広島市工業技術センター年報

第4巻

ANNUAL REPORTS

of

HIROSHIMA MUNICIPAL
INDUSTRIAL TECHNOLOGY CENTER

VOL. 4

1990

平成2年度

広島市工業技術センター

はじめに

本市経済は、わが国経済が引き続き個人消費や民間設備投資の堅調さによる景気の底堅感があるなかで、総じて順調に推移しているところでありますが、反面人手不足による物流経費の増加や高金利による資金コストの上昇といった問題もあり、中小企業を取り巻く環境は、一段と厳しくなると予想されます。

このような状況の中で、本市の中小企業がさらに成長・発展していくためには、的確な情報のもとに人材育成、新技術導入など技術力の強化により、新製品の開発、新分野開拓を図るとともに異業種交流や産学官交流による情報交流等が不可欠となっています。

このため、本市といたしましても、本市工業の基幹である中小企業の皆さんがこうした時代の変化に対応した体質転換を円滑に行うことができるように技術指導・相談、設備提供、試験分析、講習会・研修会等の開催等積極的に取り組むとともに、技術交流事業による情報交換、新製品の開発、技術力向上に必要な当センター独自のデータベース構築を進め、さらに、当センター職員の技術力向上のため多くの研究活動を行ってまいりました。

本報は、平成2年度取り組みました以上のような諸施策の概要及び研究報告を取りまとめたもので、ご高覧いただければ幸いでありますとともに、当センターにつきまして従来同様お気軽にご利用いただき、ご意見ご要望などお寄せいただければと考えているところでございます。

なお従来、当センターの成果は業務報告並びに研究報告をそれぞれ別冊として発刊しておりましたが、本報より併せて年報と致すことにしましたのでご了承ください。

平成3年7月

広島市工業技術センター

所長　谷口健二

目　　次

1．概　　要

(1) 沿　　革

(2) 施設規模

(3) 機構及び業務

(4) 職　　員

(5) 予　　算

1　概　　要

(1) 沿　　革

昭和13年８月	市議会の決議を経て工業指導所の創設に着手
昭和13年10月	「機械工訓育所」が、大手町七丁目４番広島電気学校内仮校舎で開所したのちに併せ、工業指導所創設事務を開始
昭和14年12月	東雲町671番地に工業指導所及び機械工訓育所用建物が完成し、広島電気学校より移転
昭和15年10月	「工業指導所」を開設
昭和17年11月	「機械工訓育所」を「機械工養成所」に改称
昭和18年４月	工業指導所に木工部設置
昭和21年３月	機械工養成所の閉鎖
昭和27年４月	「工業指導所」を「工芸指導所」に改称 （組織：庶務係・木工係・金属１係・金属２係）
昭和34年11月	組織改正（庶務係・意匠係・塗装係・金属係）
昭和37年６月	加工技術係を設置 （敷地内に、㈶広島地方発明技術センター及び広島県理科教育センターが開設）
昭和39年４月	分析科を設置（庶務係・デザイン科・加工技術科・塗装科・金属科・分析科）
昭和42年４月	金属材料開放試験室の開設
８月	本館落成 （㈶広島地方発明技術センターが㈶広島地方工業技術センターに改称）
昭和44年３月	木工試作試験室の開設
昭和55年８月	㈶広島地方工業技術センターの解散に伴い、建物（別館及び金属試作試験室）及び各種機器の譲受
昭和59年４月	電子技術担当部門新設
昭和62年５月	広島市工業技術センターの落成にともない「広島市工芸指導所」を「広島市工業技術センター」に改称 （組織：庶務係・材料係・加工技術科・生産技術科） 所在地を中区千田町三丁目８番24号へ移転
平成元年４月	技術振興科を設置（庶務係・技術振興科・材料科・加工技術科・生産技術科）

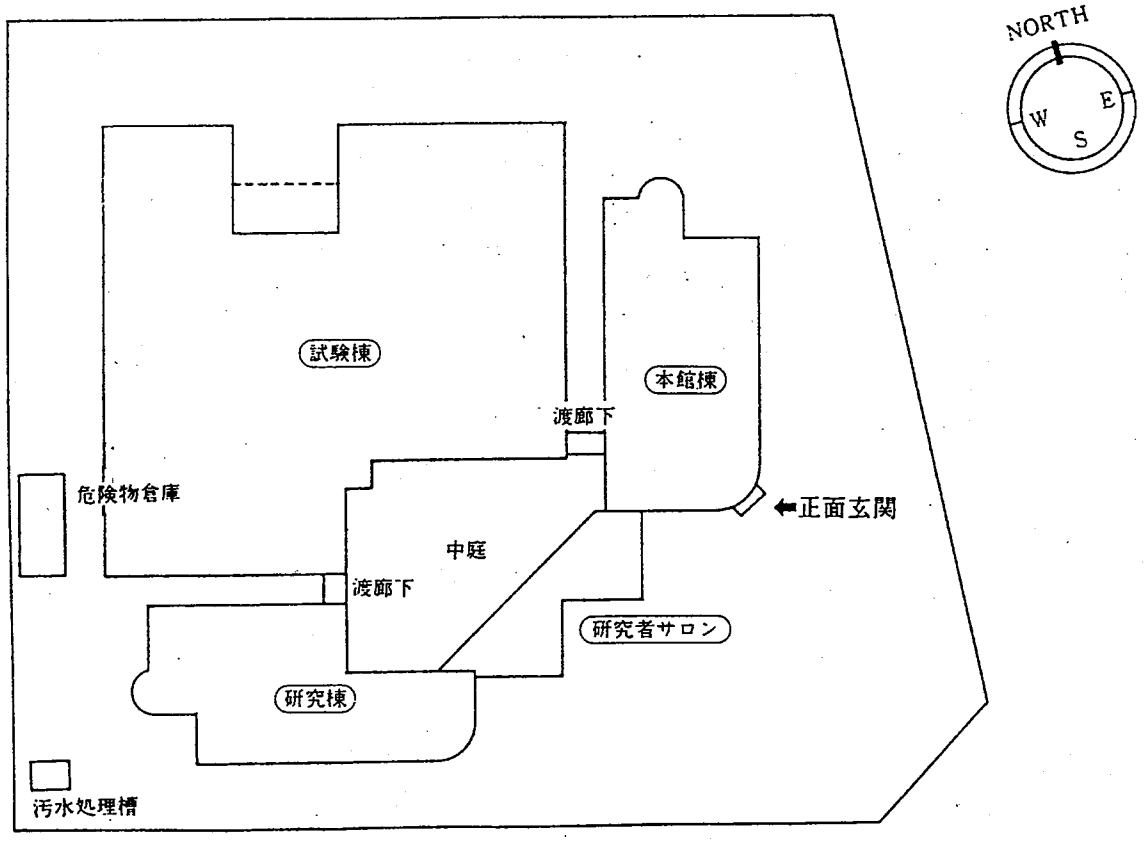
(2) 土 地・建 物

① 建設規模

(単位：㎡)

敷地面積	10,117.20							
建築面積	総建築面積	3,816.55						
	総延床面積	6,789.10						
建物概要	鉄筋コンクリート造							
棟 / 階	本館棟	研究者サロン棟	研究棟	試験棟	渡廊下	危険物倉庫棟	汚水処理槽	計
地階				45.82				45.82
1階	587.49	180.66	451.03	2,404.20		60.00	13.86	3,787.24
2階	459.21	65.66	541.03	440.31	19.16			1,525.24
3階	562.34		535.26					1,097.60
4階	134.26		146.26					280.52
PH階	52.55							52.55
計	1,795.85	246.32	1,763.58	2,890.33	19.16	60.00	13.86	6,789.10

② 配置図



(3) 機構及び業務

機構及び業務

- 経済局
  - 所　長
    - 庶　務　係
      - 設備使用及び試験等依頼の受付
      - 使用料、手数料の収納
    - 技術振興科
      - 中小企業技術振興施策の企画、立案及び調整
      - 広島市工業技術振興協議会及び技術交流会の運営
      - 各種情報の収集、加工及び提供
      - 発明考案の奨励事業
      - 刊行物の編集及び発行
    - 材　料　科
      - 各種工業材料試験、特性試験及び化学分析
      - 各種工業材料の特性（耐熱性、耐食性、耐磨耗性）評価試験
      - 各種工業材料の強度、特性等、材料性能向上の試験、研究及び指導
      - 金属、セラミックス、プラスチックス等、新素材の利用技術の試験研究及び指導
      - 金属、セラミックス、プラスチックス、木材等の複合材の利用技術の試験研究及び指導
      - 講習会、研修会等の開催
      - 材料に関する技術交流
    - 加工技術科
      - 各種工業材料の機械加工、成形加工技術の試験研究及び指導
      - 各種工業材料の表面処理加工、熱処理加工等、表面改質技術の試験研究及び指導
      - 工業製品、家具、インテリア等、製品開発促進のデザイン技術の調査研究及び指導
      - 機械加工品、工業製品の試験、検査及び測定
      - 講習会、研修会等の開催
      - 加工技術に関する技術交流
    - 生産技術科
      - 生産管理、生産技術に関する調査研究及び指導
      - コンピューターを利用した設計、工作、生産技術などの情報処理技術（CIM、FA、CAD／CAMなど）の調査研究及び指導
      - 電気、電子技術の応用に関する調査研究及び指導
      - ＮＣ加工機による加工技術とＮＣ制御技術の調査研究及び指導
      - 講習会、研修会、研究会等の開催
      - 生産技術に関する技術交流

(4) 職　員

＜職員一覧表＞

（3年3月現在）

所長		谷口健二
庶務係	庶務係長	丸山耕三
	主事	酒井祥子
	主事	問可信治
技術振興科	専門員 ㈹技術振興科長	野村孝雄
	主任技師	山嵜勝弘
	主事	空田敏行
	主任専門員	三上卓治
材料科	専門員 ㈹材料科長	奥村逸男
	専門員	山田　洋
	主任技師	木下利徳
	主任技師	山口研二
	技師	四辻博文
	技師	福原啓聡
	技師	隠岐貴史
加工技術科	専門員 ㈹加工技術科長	山田利春
	専門員	岡本　弘
	専門員	斉藤文二
	主任技師	市後博造
	主任技師	西原正明
	主任技師	植木邦夫
	主任技師	谷本義則
	技師	浅野直弘
生産技術科	主監 ㈹生産技術科長	山本慧実
	主任技師	西山修二
	技師	岡田邦彦
	技師	尾崎　清
	技師	古谷　薫
	技師	上杉憲雄
	技師	横山武房
	主任専門員	小島一洋

(5) 予　算

① 歳　入

（単位：千円）

科　目	平成元年度当初予算額	平成２年度当初予算額	備　考
商工使用料	1,348	597	
商工手数料	31,534	27,914	
商工費国庫補助金	272	24,387	
雑入	31,260	31,733	
市債	50,000	45,000	
計	114,414	129,631	

② 歳　出

（単位：千円）

科　目	平成元年度当初予算額	平成2年度当初予算額	備　考
報償費	4,243	3,610	
普通旅費	4,620	4,534	
特別旅費	743	304	
消耗品費等	11,150	12,483	
燃料費	304	267	
食料費	767	812	
光熱水費	21,324	17,550	
修繕費	3,965	4,943	
通信運搬費	994	1,108	
手数料等	77	77	
保険料	42	42	
委託料	50,922	51,731	
使用料及び賃借費	782	10,354	
備品購入費	103,154	121,935	
負担金補助及び交付金	10,165	16,021	
公課費	18	18	
計	213,270	245,789	

2. 事　　業

(1) 依頼試験

(2) 設備利用

(3) 指導相談

(4) 施設見学

(5) 講習会・研修会等の開催
- ① 新製品開発の促進
- ② 生産工程合理化の促進
- ③ 新技術の普及

(6) 現地指導

(7) 技術交流
- ① 新素材交流部会
- ② 生活環境技術交流部会
- ③ 生産技術交流部会

(8) 情報化の促進

2 事　業

(1) 依頼試験

区分	科名	材料科			加工技術科			生産技術科			合計		
		件数	数量	金額	件数	数量	金額	件数	数量	金額	件数	数量	金額
木材又は木製品	機械試験	8	39	63,960	8	31	50,840	0	0	0	16	70	114,800
	物理試験	4	10	15,400	1	1	1,540	0	0	0	5	11	16,940
	接着試験	0	0	0	13	22	36,080	0	0	0	13	22	36,080
	製品性能試験	3	149	95,790	13	342	349,580	0	0	0	16	491	445,370
	小計	15	198	175,150	35	396	438,040	0	0	0	50	594	613,190
金属又は非金属	機械試験	3,155	11,074	16,422,210	125	612	740,330	0	0	0	3,280	11,688	17,162,540
	物理試験	9	45	153,080	135	636	1,947,260	0	0	0	144	681	2,100,340
	分析試験	251	1,374	4,317,240	0	0	0	0	0	0	251	1,374	4,317,240
	小計	3,415	12,493	20,892,530	260	1,248	2,687,590	0	0	0	3,675	13,741	23,580,120
塗料・被膜	塗料試験	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	被膜試験	1	1	1,850	378	16,012	6,664,230	0	0	0	379	16,013	6,666,080
	小計	1	1	1,850	378	16,012	6,664,230	0	0	0	379	16,013	6,666,080
電子・電気	電子計算機による解析	0	0	0	0	0	0	11	24	108,720	11	24	108,720
	電気試験	0	0	0	0	0	0	12	40	48,390	12	40	48,390
	小計	0	0	0	0	0	0	23	64	157,110	23	64	157,110
試験用資料作成	木材または木製品	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	金属または非金属	6	40	61,600	0	0	0	26	275	423,500	32	315	485,110
	塗料または被膜	0	0	0	6	10	39,100	0	0	0	6	10	39,100
	電子・電気	0	0	0	0	0	0	11	31	47,740	11	31	47,740
	小計	6	40	61,600	6	10	39,100	37	306	471,240	49	356	571,940
意匠図案の作成		0	0	0	11	57	241,020	0	0	0	11	57	241,020
工業製品の試作		0	0	0	3	15	11,550	0	0	0	3	15	11,550
試験または検査に関する証明		11	28	10,080	3	3	1,080	0	0	0	14	31	11,160
計		3,448	12,760	21,141,210	696	17,741	10,082,610	60	370	628,350	4,204	30,871	31,852,170

(2) 設備利用

区分	科名	材料科			加工技術科			生産技術科			合計		
		件数	数量	金額	件数	数量	金額	件数	数量	金額	件数	数量	金額
工作設備		24	68	81,380	351	1,678	181,550	6	15	46,350	381	1,770	309,280
試験設備		76	286	640,990	5	15	33,680	11	48	143,040	92	349	819,710
計		100	354	722,370	356	1,702	215,230	17	63	189,390	473	2,119	1,126,990

(3) 指導相談

① 科別調べ

科　　名	所　外	所　内	計
材　料　科	117 件	132 件	249 件
加工技術科	658	824	1,842
生産技術科	338	193	531
計	1,113	1,149	2,262

② 技術分類別調べ

技術分類		所　外	所　内	計
A	機　械	54 件	52 件	106 件
B	電子・電気	36	34	70
C	化　学	92	101	193
D	金　属	291	456	747
E	木材・木質	146	203	349
F	情報処理	31	74	105
G	デザイン	243	109	352
H	経営工学	139	54	193
I	資　源	3	1	4
J	建　設	8	11	19
K	衛　生	12	17	29
Z	その他	58	37	95
計		1,113	1,149	2,262

(4) 施設見学

受　入　団　体	見学者数
広島塗装高等職業訓練校 他　36 団体	344 名

(5) 講習会・研修会等の開催

① 新製品開発の促進

名　　称	開催月日	テ　ー　マ	講　　師	参加人員	担当者
工業デザイン講習会	3月8日	・広がるマッキントッシュの世界 ・パソコンによるプロダクトデザイン開発	広工㈱インストラクター ㈱アイテック　伊丹由和	45名	谷本
インテリアデザイン技術講習会	6月22日	新しい生活者像と開発の視点 業種分類の開発から生活気分分類の開発へ	㈱フウ未来生活研究所 代表取締役 大谷　ゆみこ	69名	谷本
インテリア基礎デザイン技術講座	① 10月5日	デザインと色彩	セントラルデザインアソシエーツ 主宰　山下　新治	20名	西原
	② 10月12日	デザインと色彩	セントラルデザインアソシエーツ 主宰　山下　新治	20名	
	③ 10月19日	スケッチ技法（簡略法）	工業技術センター 主任技師　西原　正明	20名	
	④ 10月26日	スケッチ技法（簡略法）	工業技術センター 主任技師　西原　正明	20名	
	⑤ 11月2日	パースと色づけ	㈲向井デザイン事務所 所長　向井　康弘	20名	
	⑥ 11月9日	パースと色づけ	㈲向井デザイン事務所 所長　向井　康弘	20名	
	⑦ 11月16日	色の基本演習	工業技術センター 主任技師　谷本　義則	20名	
	⑧ 11月22日	インテリアの計画 （色彩と形態）	㈱アステリア コーディネーター　河野　房子	20名	
焼結金属の開発研究会	① 7月11日	第1回焼結金属研究会 オリエンテーション 研究会の運営方法について	広島大学教授　黒木英憲 マツダ㈱部長　森下　強 広島シンター社長　河迫康男 三菱重工主任　市来崎哲男	20名	山田 木下 山口 四辻 福原
	② 8月24日	第2回焼結金属研究会 焼結金属の概要、自動車用焼結金属の応用、実験計画	広島大学教授　黒木英憲 マツダ㈱部長　森下　強 広島シンター社長　河迫康男 三菱重工主任　市来崎哲男	20名	
	③ 9月28日	第3回焼結金属研究会 ・焼結金属製品開発の実態 ・焼結金属の特殊加工機 ・共同研究実験計画について	広島大学教授　黒木英憲 マツダ㈱部長　森下　強 広島シンター社長　河迫康男 三菱重工主任　市来崎哲男	20名	
	④ 10月26日	第4回焼結金属研究会 試験片の作成 機械構造用、耐磨耗用	広島大学教授　黒木英憲 マツダ㈱部長　森下　強 広島シンター社長　河迫康男 三菱重工主任　市来崎哲男	20名	
	⑤ 11月30日	第5回焼結金属研究会 焼結試験片の物理試験、機械試験	広島大学教授　黒木英憲 マツダ㈱部長　森下　強 広島シンター社長　河迫康男 三菱重工主任　市来崎哲男	20名	
	⑥ 1月18日	第6回焼結金属研究会 平成2年度焼結金属研究会のまとめとディスカッション	広島大学教授　黒木英憲 マツダ㈱部長　森下　強 広島シンター社長　河迫康男 三菱重工主任　市来崎哲男	20名	

名　　称	開催月日	テ　ー　マ	講　　師	参加人員	担当者
広島市デザイン講習会	11月20日	これからのインテリア・家具デザイン	京都工芸繊維大学 住環境学科 教授　山内　陸平	40名	岡本
	11月21日	新しい生活スタイルと家具	㈲山本棟子デザイン研究所 代表　山本　棟子	38名	

② 生産工程合理化の推進

名　　称	開催月日	テ　ー　マ	講　　師	参加人員	担当者
スクリーンプロセス技術講習会	11月16日	スクリーン印刷インキの最近の動向と産業界への導入例について	㈱セイコーアドバンス 取締役技術開発部長 馬場　節	109名	谷本
注文洋服縫製技術講習会	7月2日 7月3日	スーツの新しい縫製技術について	㈲吉田洋服店 吉田　実	70名	岡本
表面処理技術講習会	7月26日	溶射技術の現状と自動化について	プラズマ技研工業㈱ 社長 深沼博隆	35名	市後
金属塗装技術講習会	2月21日	地球環境保全に要求される塗装技術	ランズバーグ・インダストリー㈱ 機器事業部 営業部長 金子修三	45名	植木
品質工学講習会	9月13日	生産設計・生産技術における田口メソッドの活用	通商産業省 計量研究所 力学部 工学博士　矢野　宏	113名	市後
広島市生産技術講習会	10月24日	木製品の高級化へ向けての塗装技術	ユニオンペイント㈱ 塗装技術課主任技師 鈴木敏雄	40名	斉藤
	10月25日	素地及び塗膜の曲面研磨について	三共理化学㈱ 常務取締役 園部英哲	23名	
CIM研究会 アプローチ・シミュレーションモデルの研究	① 6月15日	会員企業の現状とその問題点 モデル企業の募集とその検討	広大(工) 中村助教授、森川助手 三菱重工　重光主務 大東通商　福原課長	20名	西山 小島
	② 6月29日	現地調査による特定モデルの検討	広大(工) 中村助教授、森川助手 三菱重工　重光主務 大東通商　福原課長	22名	
	③ 7月19日	特定モデルの選定 研究項目の決定	広大(工) 中村助教授、森川助手 三菱重工　重光主務 大東通商　福原課長	20名	

名　　称	開催月日	テ　ー　マ	講　　師	参加人員	担当者
ＣＩＭ研究会 アプローチ・シミュレーションモデルの研究	④ 8月23日	決定研究項目の調査研究Ⅰ	広大(工) 中村助教授、森川助手 三菱重工　重光主務 大東通商　福原課長	17名	西山 小島
	⑤ 9月20日	決定研究項目の調査研究Ⅱ	広大(工) 中村助教授、森川助手 三菱重工　重光主務 大東通商　福原課長	16名	
	⑥ 10月25日	決定研究項目の調査研究Ⅲ 研究結果のまとめ	広大(工) 中村助教授、森川助手 三菱重工　重光主務 大東通商　福原課長	20名	
ＣＩＭ研修会 システムの啓蒙と生産管理及び導入事例の研修	① 9月14日	中堅中小企業のＣＩＭシステム構築の基礎概論、 品質向上に対するユーザーの満足度合とメーカーの設計重点	広島市工業技術センター 主任専門員、中小企業診断士 小島　一洋 東京理科大学教授 工学博士　秋庭　雅夫	105名	小島 横山
	② 9月27日	生産システムと 生産管理システム	広島大学工学部 助教授　中村　信人	38名	
	③ 10月4日	ＴＰＭとその実施例	マツダ部品工業㈱ 社長　竹崎　重雄 ＴＰＭ推進室課長 永岡　昭造	34名	
	④ 10月23日	既存工場のＣＩＭ化	三菱重工㈱ 技術本部 システムインテグレーション部 主管　神谷　勝義	38名	
	⑤ 10月30日	ＣＩＭを指向した中堅中小企業のシステム事例紹介	日本ビジネスコンピュータ㈱広島支店 営業開発室先端技術支援グループ 課長　津端　忠勝 技術推進室課長　伊藤　将和	37名	
	⑥ 11月1日	事業部ＣＩＭ構築に向けて －川重の事例から－	川崎重工業㈱ 精機事業部 情報システム部 課長　森井　国興	38名	
	⑦ 11月6日	中堅中小製造業のための ＣＩＭ構築について	日本アイ・ビー・エム㈱広島第2営業所 先進プロジェクト推進課 課長　小林 本行　他1名 製造営業本部ＣＩＭ営業推進 主任　松島　桂樹	38名	
	⑧ 12月21日	「ＴＰＭ」とその事例」 特に自主保全活動について マツダ部品工業㈱を見学	マツダ部品工業㈱ 社　長　竹崎　重雄 取締役　渡部　惇・他	20名	

③ 新技術の普及

名　　称	開催月日	テ　ー　マ	講　　師	参加人員	担当者
金属系新素材講習会	3月15日	新しい金属粉末焼結材料とその適応例	日立金属㈱ 安来工場 主任研究員 坂本大司	78名	山田
特殊加工技術講習会	3月7日	型彫り放電加工及びワイヤーカット放電加工の基礎と加工上のノウハウ	三菱電気㈱名古屋製作所 産業機製造部加工技術課 課長　大泉　俊郎	50名	岡田
高分子材料講習会	4月26日	プラスチックスの成形とその利用法について	工業技術院大阪工業試験所 主任研究員 山下岩夫	57名	四辻
データベース活用技術講習会	2月26日	中小企業におけるデータベースの活用法	中小企業事業団情報調査部 部長　野田　正浩 税理士　苅田　吉富	55名	古谷
プラスチックス系材料の基礎技術研修会	① 6月6日	原料エラストマー （天然ゴム、合成ゴム）	丸紅㈱ 大阪物資部 ゴム課課長補佐 穂積英一	40名	四辻 福原
	② 6月13日	高分子材料の配合例 （有機配合例、無機配合例）	大内新興科学工業㈱ 常務取締役 山本隆造	39名	
	③ 6月20日	高分子材料の成形加工 （高分子材料、フィラー複合の物性）	妻鹿技術士事務所 所長 妻鹿菊夫	38名	
	④ 6月27日	ゴムの科学 （加硫の理論と実際）	三新化学㈱ 会長 河岡豊	39名	
	⑤ 7月4日	高分子材料試験法 （実習を含む）	㈶化学品検査協会 大阪事務所 次長　森永　一義	38名	
	⑥ 7月11日	高分子材料用機械	㈱ダイハン 社長　森　広蔵	36名	
	⑦ 7月18日	高分子材料の品質管理	吉井技術コンサルタント 吉井一	31名	
	⑧ 7月25日	高分子材料のCAD／CAMシステム	電気通信大学 教授 竹内芳美	31名	
	⑨ 8月1日	有限要素法による高分子材料の評価	富士通㈱ システム部長 金谷善治	32名	
	⑩ 8月8日	高分子材料の現状と展開	三菱レイヨン㈱ 山本直巳	34名	
CAD／CAM 研修会	① 8月22日	CAD／CAM／CAEの動向	京都大学工学部 応用システム科学教室教授 工学博士　沖野　教郎	48名	西山
	② 8月24日	製造業における実践CAD／CAM	マツダ㈱情報システム室 研究開発グループ 課長　中元　昌弘	47名	

名　　称	開催月日	テ　ー　マ	講　　師	参加人員	担当者
CAD／CAM 研修会	③ 8月28日	スーパーコンピューティングと CAE	マツダ㈱開発計画業務部 開発システムグループ 課長　　富田　次信	42名	西山
	④ 9月4日	自由曲面創成の原理	近畿大学工学部教授 工学博士 富　田　　豊	40名	
	⑤ 9月7日	CAD／CAM／CAEにおける CG利用技術の動向	近畿大学工学部教授 工学博士 長　江　貞　彦	38名	
	⑥ 9月10日	AIのCAD／CAM／CAE への応用	大阪大学工学部教授 工学博士 赤　木　新　介	36名	
	⑦ 9月18日	CAD／CAM／CAEから CIMへ	日立造船情報システム㈱ システム事業本部長 植　田　　俊	35名	
	⑧ 9月21日	新製品開発設計支援コンピュータ ツールCAE	広島市工業技術センター 生産技術科 主任技師　西山　修二	38名	
	⑨ 9月25日	CADとCAMの連携	㈱小松製作所 情報システム部 FA開発グループ 主幹　　坂本　千秋	35名	
	⑩ 9月28日	異機種CAD／CAMシステムの IGESと先端CAD／CAM 技術	神戸大学工学部助教授 工学博士 杉　村　延　広	40名	
マイコン研修会	① 7月25日	パソコンの操作実習	工業技術センター 生産技術科 技師　尾崎　清	10名	尾崎
	② 7月27日	マイクロプロセッサZ80の 内容説明	工業技術センター 生産技術科 技師　尾崎　清	10名	
	③ 7月30日	プログラミング実習 入出力実験ボードを用いて制御プログラムの作成動作確認を行う	工業技術センター 生産技術科 技師　尾崎　清	10名	
	④ 8月1日	プログラミング実習 入出力実験ボードを用いて制御プログラムの作成動作確認を行う	工業技術センター 生産技術科 技師　尾崎　清	10名	
	⑤ 8月3日	プログラミング実習 入出力実験ボードを用いて制御プログラムの作成動作確認を行う	工業技術センター 生産技術科 技師　尾崎　清	10名	
	⑥ 8月7日	ハードウェア実習 CUPボードの組立、プログラムのROM化 CUPボードの単独動作確認	工業技術センター 生産技術科 技師　尾崎　清	10名	
	⑦ 8月8日	ハードウェア実習 CUPボードの組立、プログラムのROM化 CUPボードの単独動作確認	工業技術センター 生産技術科 技師　尾崎　清	10名	
	⑧ 8月10日	ハードウェア実習 CUPボードの組立、プログラムのROM化 CUPボードの単独動作確認	工業技術センター 生産技術科 技師　尾崎　清	10名	

(6) 現 地 指 導

① 鋳銑鉄鋳物業の素材管理と製品開発

・日程及び指導先

平成２年10月31日	㈱今西製作所 海田工場・矢賀工場
	㈱野間鋳造所
平成２年11月１日	㈱大田鋳造所 千代田工場
	友鉄工業㈱ 本社工場・安佐工場

・指 導 員

招へい講師	㈲東京国際鋳造技術コンサルタント	
	代表取締役社長	滝　　勇
工業技術センター	専　門　員	奥村　逸男
	〃	山田　　洋

・指導内容

ア　板状鋳造品の鋳造欠陥現象防止については、フラン砂の微粉除去及び湯口径を大きくかつ堰数を増し、溶湯を早く均等に鋳型内に注入するよう指導。

イ　生産性向上のため、ローラーコンベヤの導入による合理化、更に作業流動化と各種機器、器具の機械総合効率をあげ、サイクルタイムを縮めるためのソフト開発を指導。

ウ　大物木型の管理方法として、野外シートカバーコンテナ方式を採るよう指導。

エ　溶解作業の改善として、ＦＣＤ製造を確実に実行し、生産性向上のため高周波誘導炉を採用するよう提言。

② 新素材の利用技術

・日程及び指導先

平成２年11月27日	新ダイワ工業㈱ 千代田工場
	広島テクノ㈱
平成２年11月28日	神田鉄工㈱
	萬国製針㈱

・指 導 員

招へい講師	古川電気工業㈱ 横浜研究所	
	技 師 長	根岸　　朗
工業技術センター	主任技師	山口　研二
	技　　師	隠岐　貴史

・指導内容

ア　自動車メーカーは、燃費低減のため総重量を５ヵ年で20％軽量化する目標を設定した。このため、材質の変更による軽量かが求められ、現在使用されている鋳鉄製トランスミッション部品を熱処理可能なアルミニウムーリチューム合金への使用変更が可能で、この種の合金

の使用方法等についての留意点等の指導を行なった。

イ　新素材の利用は、一般にコストの上昇と考えられがちだが、素材の持つ機能を把握すれば、部品点数の削減、高付加価値製品等の開発が可能となり、現在のコストを凌ぐ事が可能となることを提言。

ウ　広島の地場産業の一つである針工業は、今後需要増加があまり期待薄であり、一部他分野への進出が望まれる。

今後の展開の可能な分野として眼鏡の精密加工が有望で、特に、針の穴開け技術は、最も有望な技術移転先であることを秘めていると示唆した。

③　機械化による針金型の作製技術

・日程および指導先

平成３年２月13日	萬国製針㈱
	㈱福山ミシン針製作所
平成３年２月14日	佐川製針㈱

・指 導 員

招へい講師	㈱三琇ファインツール	
	副 社 長	南川　耕二
工業技術センター	主任技師	市後　博造
	技　　師	浅野　直弘

・指導内容

ア　主型の加工技術は昔から手加工が主体で、それを加工できる企業一社（一人）だけで後継者もいないので、機械化（マシニング、放電加工、ワイヤ加工）によって、主型の作製ができるかどうかを評価し、加工形状を数値化（ＮＣプログラム作製のため）することが出来れば可能であると提言。

イ　ＮＣ化するためには、マシニングセンター、放電加工機、ワイヤ放電加工機等の機械を導入しなければならないが、１社でこれらの機械を備えるには相当の資金を必要とし、現在の金型製作量ではとうてい採算が合わないので、組合内共同で加工できる方法を検討したらどうかを提言。

ウ　最近のＮＣ化した機械により主型を作製すると、現在のようなコストではとうてい不可能であり、針組合としても現在のような低コストの金型が手に入る以上、金型の機械化について、真剣に取り組まないだろうが、現状のままは困ることが目に見えており、この問題について、早急に取り組まなければならない。

その場合、個々の企業としてではなく、組合として年間のテーマ、開発研究費等を設けて取り組むべきであることを提言。

エ　手縫い針の加工工程中の高速度３連機の型合わせに大変時間を必要としており、これについてプレス金型のＱＤＣ（金型交換の迅速化）的考え方を導入できれば、金型交換は数分ですむので、新たに機械を導入するのであればＱＤＣが使用できるようにすることを提言。

オ　現在の針加工技術を利用した新しい分野への進出については、針業界の場合は小物の精密塑性加工技術が得意と見受けられるので、その方面の加工を検討したらどうかを提言。

④　ＦＺ技術利用（労働力不足に対応した自動化レベル）

・日程及び指導先

平成３年２月27日	三島食品㈱
	西川ゴム工業㈱
平成３年２月28日	㈱ヒロテック
	デルタ工業㈱

・指 導 員

招へい講師	トヨタ車体㈱	
	相談役(常勤)	藤本　俊
工業技術センター	主任専門員	小島　一洋
	主任技師	西山　修二

・指導内容

広島地域の製造業の中堅・中小企業では、近年、加工・組立の自動化やＦＭＳ等が次第に導入されたり、または導入準備が進められるようになった。

しかし、中堅・中小企業の場合、自動化に関わる管理水準や技術水準は、いまだに大手企業と比べると低く、また労働力不足問題については、尚一層深刻な状況が続いている。

この度、このような背景をふまえ、工場の自動化に対して企業ニーズはあるものの問題点の把握、改善策の手掛かり抽出、具体的展開方法で行き詰まっている上記４社に対し、３現主義（現場・現物・現実主義）で技術指導することにより、自動化促進の支援を行い、Ｑ（品質）、Ｃ（コスト）、Ｄ（日程）の競争力強化を図った。

指導先に対する具体的な指導のやり方の特徴点は、次の６点である。

ア　指導先の対象者を代表取締役等の経営者、関係する各階層の管理者・監督者等（30～40名／社）幅広い対象として、改善へ進むための共通の土壌作りを行い実効が上がるようにした。

イ　今回の指導先以外の企業の関係者もオブザーバー参加してもらい「他山の石」として指導の波及効果を高めた。

ウ　更に、参加者全員に明確に理解してもらうために、指導現場から帰った後に、指導先ごと電子黒板やＡ０サイズの掛図を用い、改善への手掛かりを30～40ポイント（省略）参加者全員の眼前で整理し、理解の徹底を図った。

エ　更に、指導先４社が当センターに集まり、今回の指導を通じての広島地域としての共通的改善項目とそのヒントについて、講師を交えて討議した。

尚、この討議には、今回本テーマに関心の高かった指導先以外の企業10社も参加し、総勢70名の広島地域の中堅・中小企業の製造業のリーダーが集まることにより、広島地域への指導効果を更に高める場作りをした。

オ　本プロジェクトは、超一流の講師にご無理をお願い出来たこともあって、特に指導先企業のトップマネージメントから各階層の管理・監督者に大きなインパクトと感銘を与えることができた。

最後に、指導ポイントの今後の展開については、指導先企業では、すでに改善に着手している。

今後、当センターの日常の技術指導・相談等でこれらの企業をフォロー・バックアップすると共に、当センターで行う研究会・研修会や技術交流事業（くすのき会活動）を通じても、企業間や地域に相乗効果を高めることを目標としたい。

(7) 技術交流事業

広島市技術交流部会の活動について

平成元年6月に公募による参加企業40社により発足した広島市技術交流部会は、当センター技術職員の直接的支援、講師招へい費用の公費負担等、他の異業種交流団体にはない広範囲な支援体制と会員の積極的な努力により具体的な物づくりを第一目標として活動している。

会員の希望及び提案により、以下の三つの部会に分かれて自主的な活動を続けているが、平成元年度（1年目）には、新製品開発の手がかりをつかみ、平成2年度（2年目）には、試作・実験さらには製品化等の具体的な活動を展開してきた。

以下、各部会の平成2年度の経過と平成3年度の計画の概要をまとめたものである。

① 新素材技術交流部会

・代表者及び構成メンバー

代表者　山野　衛

三協プラスチック工業㈱	上田　弘之	㈱里吉製作所	里吉　賢司
三栄精密モールド㈱	福原　令二	東プレ㈱	池田　芳清
広島アルミニウム㈱	長倉　良夫	㈱モルテン	中村　浩二
㈱やまの化成工業所	山野　衛	㈱三和製作所	広田　修一
㈱やまの化成工業所	山野不二男	野口ゴム工業㈱	藤井　陸司
三興化学工業㈱	西弘　雅史	㈱オート	松本　團治
㈱清水木工	清水　豊	ピーエス技研	小田　孟雄
杉原縫製工業㈱	岡野　禎徳	中国メタリコン㈱	河本　利之(新会員)

・部会のねらい

本年度は、当初計画における最終年度でもあり、一応の区切りの年としたい。

あくまでも目指すものは、

ア　自動車関連部品

イ　生活関連部品

を中心とした展開としたい。

その中より商品化の可能性を追求すべく、狙いを定める。

・これまでの経過

ア　センターでの試み

これまで13解にわたって研究会を開き、この間アドバイザー等を招き、研究・交流を行ってきた。

また、会員の試作した粉末冶金金型を用いて形状記憶樹脂の成形を試み、その可能性について示唆した。

イ　会員の試み

その示唆により、会員の中から、ゴムの加工技術にすぐれた野口ゴム工業㈱に「インドアシューズの試作依頼をしては……」との要請があり、これに応え試作にかかった。

当シューズは、素材の有する衝撃吸収特性がよいというすぐれた性質により、これまでにないユニークな特性を示す製品を得ることができた。

この成果は新聞（中国、日刊工業）等にハイテクシューズとして取り上げられ、大変な反響を呼び商品化が期待されており、現在会員・医師等によって履き心地の官能試験を行っている。

また、㈱三和製作所は、教材用展開図（仮称）の試作を行った。

・平成３年度の計画

最終年度にふさわしいものとした実践的な企画としたい。

ア　成功事例を有する先進地の視察

イ　実際に製造を行っている現場の見学

ウ　アドバイザーの招へいによる問題点の指導

エ　形状記憶樹脂と他の素材による組合せによるハイブリッドな製品の開発

オ　会員の紹介による新会員加入によって、会の活性化を図る。

等を計画している。

② 生活環境技術交流部会

・代表者及び構成メンバー

代表者　田中　滋

㈱熊平製作所	草尾　宣孝	広島アルミニウム工業㈱	長倉　良夫
田中家具工業㈱	田中　滋	㈲宮本家具工業所	宮本　隆三
㈱仁井田商会	仁井田幸成	㈱大協	藤原　義正
㈱大之木ダイモ	吉野　浩然	前田機工㈱	茶村　達男
コニシ㈱	山田　克也	㈱ニューライト工業	藤川　昌

・部会のねらい

ア　防音・吸音壁材料の開発とこれを利用した防音室・防音間仕切り壁等の開発

イ　木質系複合材を利用した家庭用金庫、ロッカー、キャビネット等の開発

・これまでの経過

ア　防音研究会は、防音・吸音材料の先進企業調査を目的として大建工業㈱を見学するとともに、課題解決のための意見交換を先進企業・会員によって行い、試作に役立てた。

また、今までの調査・研究に基づいた防音パネルを試作するとともに、モデルルーム用の設計図面を作成した。

イ　木質系複合材研究会では、R形状扉を有する新型家庭用金庫の開発において、突き板、バックシート、接着剤の選定を行い、試作のための図面を作成した。

これによってモデルの試作を行い、更に検討を加えながら研究を進め、商品化のための製品を試作中である。

ウ　二つの研究会は、試作等で活動する一方、会員相互の交流を深めるため、並行して先進地の調査、会員相互の工場見学等も実施した。

・平成3年度の計画

ア　防音研究会では、平成2年度に研究・開発した防音・吸音材を用いたモデルルームの試作と性能評価を行う。

遮音材、吸音材の積層組合せによる各種パネルの製作、続いて2年度に研究した設計図面を基に組み立て、モデルルームを製作する。

更に、防音・遮音性の性能評価と生産性の研究を行い、商品化への検討を進める。

イ　木質系複合材研究会では、製品化されたR形状新型金庫の評価並びに量産化、コスト等商品としての研究を行う。

③　生産技術交流部会（くすのき会）

・代表者及び構成メンバー

代表者　　川上　豊彦

チューリップ㈱	原田　宣	野口ゴム工業㈱	野口侑紀夫
セイビ興産㈱	谷原　久資	広島アルミニウム工業㈱	田島　恒
三島食品㈱	杉本　和三	㈱ナガモト	長迫　道雄
鯉城サッシュ工業㈱	沖　常登	中国電機製造㈱	増田　紀幸
大西電機工業㈱	金森　清	㈲宮本家具工業所	林　邦治
村上ロクロ	村上　拓也	㈱仁井田商会	仁井田幸成
大東通商㈱	川上　豊彦	前田機工㈱	瀬川　均
内海電機㈱	金田　祐輔	南工㈱	田中　健二
三玄精機㈱	安藤　英一	山口精機㈱	山口　輝圓

・部会のねらい

会員の保有する技術や情報などを交換することにより、個々では解決できない新技術、新製品の開発、新市場の開拓、販売面で相互協力等を行い、会員企業の成長、地域産業の発展に貢献することを目的とする。（規約第1条）

・これまでの経過

平成2年度の活動概要は、次のとおりである。

ア　Hi-Unit分科会活動

イ　地域間交流活動　　伊勢原市（H2.12月）、浜松市（H2.12月）、
竹原市（H3. 2月）、大宮市（H3. 3月）

ウ　宿泊先定例研修会（2回）と先進地域・先進企業視察（4回）

エ　技術と市場の交流プラザ（中国ブロック・全国大会）

オ　会員企業の相互訪問が一巡

・平成3年度の計画

ア　自動化に係わる製品／システム（含ソフト）などについての分科会活動を行う。

a．Hi-Unit分科会の継続

b．希望会員による分科会（自社検討課題含む。）

イ　会員企業の相互訪問（2回目）

ウ　講師を招へいしての勉強会

エ　先進企業視察と地域間交流

オ　技術と市場の交流プラザ（中国ブロック・全国大会）、技術交流広場'91への参加

カ　その他くすのき会の目的に合う活動

(8) 情報化の推進

広島市工業技術センター技術データベースの構築

① はじめに

広島市では、地域経済の活性化と高度情報化社会への対応を図るため、ニューメディア構想のもとに、情報システムの構築を進めているところである。

当センターにおいても、中小企業の技術力向上に役立つ技術情報の提供及び人材育成に係る情報システムの構築を図る必要から、昭和62年度より技術データベースシステムの構築を行ってきた。

その経過は、以下のとおりである。

ア 昭和62年度

「広島市工業技術センターのデータベース構築に関する調査」を実施し、情報システムの概念を検討。

イ 昭和63年度

「広島市工業技術センターのデータベース構築のための基本設計に関する調査」を実施し、情報システムの危機構成、開発運用計画のあり方等を検討。

ウ 平成元年度

業務処理支援システム、設備・資産管理システム、企業情報管理システムの3つのサブシステムに関する詳細設計及びシステム開発。

エ 平成2年度

研究開発支援システム、人材情報管理システム、ドキュメント管理システムの3つのサブシステムに関する詳細設計及びシステム開発を行い、また、機器を導入した。

② 平成2年度開発したシステムの概要

ア 研究開発支援システム

工業技術センターにおける研究開発の概要、計画、成果、評価等の情報を登録・管理することにより、研究開発の企画及び実施に役立てるとともに、技術指導の際の参考情報、研究内容に関する対外的な情報として活用する。

イ 人材情報管理システム

工業技術センターの技術指導業務に関して、研修会講師、技術相談、指導・診断、研究開発、調査・研究などの指導協力を得られる人材の情報を収集・管理することにより、所外人材の有効活用を図るとともに、技術指導業務の高度化を図る。

ウ ドキュメント管理システム

工業技術センターが収集・購入する図書、逐次刊行物、リーフレット類のドキュメントに関する情報を管理することにより、現状の資料管理業務の効率化を図るとともに、情報の共有化とドキュメント検索の効率化により、技術指導業務や研究開発業務の際に的確な専門情報を活用できるようにする。

③ 今後の動き

平成3年4月より初期データの入力を行っており、随時データの整備を行う予定である。

3．研　究　報　告

1. 機械構造部品用焼結材料の機械的特性について

四辻　博文　　隠岐　貴史　　山田　洋
※焼結金属製品開発研究会第1グループ

Mechanical properties of sintered materials for structural parts

Hirofumi YOTSUJI
Takashi OKI
Hiroshi YAMADA

市販の焼結用原料粉より配合、混合、成形、そして焼結を施し、得られた供試体の機械的特性と金属組織の関係について調べた。

特に、鉄系焼結材料における鋼粉に対する各種添加粉の影響は強さと組織によく一致した関係を呈し見掛け硬さとの相関関係が得られた。

1. 目　的

機械構造部品用材料は、昭和58年にJIS Z 2550に制定され、工業的に普及している材料である。そのため、輸送用機械器具や電気部品等に多く用いられている。しかし、未だこれら製造に起因する特性の把握は充分にはなされていない。

とりわけ、一連の製造工程を通しての機械的特性はユーザ側では知られていない。

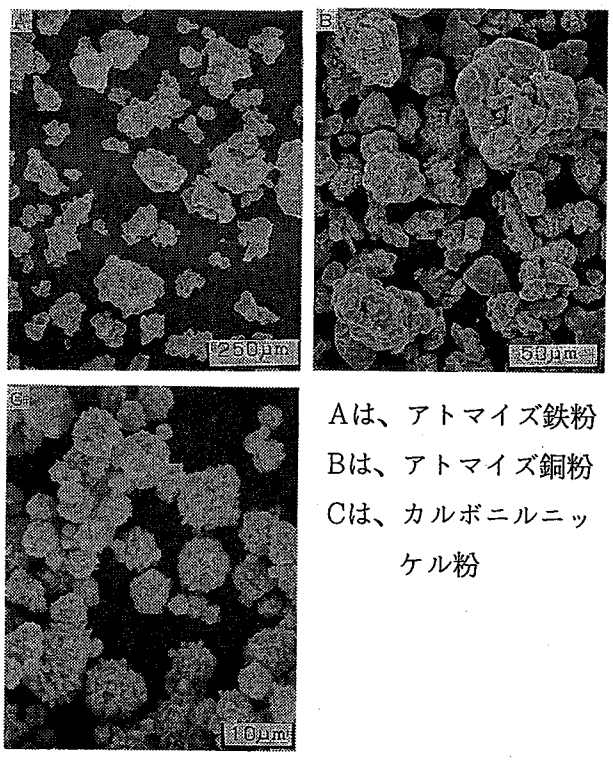
そこで、当地域において焼結金属製品開発研究会を設け、そのグループの一つのテーマとして、鉄系焼結材料（以下、SMF）の基礎的な、試作実験を試み、その特性評価方法について検討をした。さらに、合金元素の焼結材料へ与える機械的、物理的影響について調べた。

なお、本研究会の第1グループのメンバーを下記に示す。

※ ㈱横田製作所：中川　孝作(班長)
神田鐵工㈱：福田信一郎
㈱呉英製作所：古満誠三郎
新ダイワ工業㈱：森田　正弘、野村　文雄
デルタ工業㈱：川西　文夫、小井川好輝

2. 実験方法

原料粉末（図1）から表1の配合で試験片を作成した。一連の製造工程を図2に示す。



Aは、アトマイズ鉄粉
Bは、アトマイズ銅粉
Cは、カルボニルニッケル粉

図1　原料粉末SEM写真

表1　配合表

試料番号	鉄粉 wt%	銅粉 wt%	Ni粉 wt%	黒鉛粉 wt%	総重量 (g)	目標材質 (JIS)
1-1	100				503.65	SMF1015
1-2	98	2			503.55	SMF2025
1-3	99.2			0.8	503.50	SMF3035
1-4	97.2	2		0.8	503.53	SMF4050
1-5	93.2	2	4	0.8	503.47	SMF5040
1-6	95.2		4	0.8	503.50	SMF8040

潤滑剤（wt%）：0.7

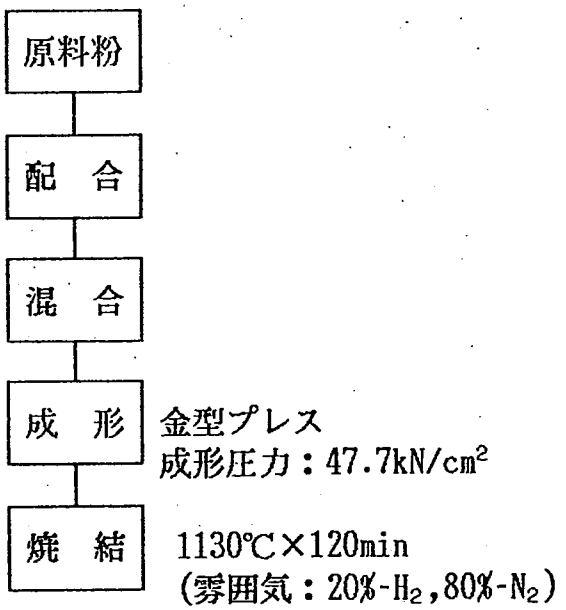


図2　製造工程

原料粉末の混合は、乳鉢を使用し、先ず鉄粉に潤滑剤（ステアリン酸亜鉛）を加え、潤滑剤の粒形が識別できなくなるまで混合し、次に他の粉末を加えて10分間混合した。

混合粉末の流動度は、JIS Z 2502に準じて測定した。その試験装置を図3に示す。

成形は、フローテイングダイ法により行った。先ず、混合粉末21 g を秤量し、試験片作成用金型に均一になるよう充填した。その後、万能試験機（㈱島津製作所UMH-100）を用い、圧力47.7kN／cm²（総荷重47.7kN／cm²×6.45cm²＝308kN）にて各材質20試料を圧粉成形した。

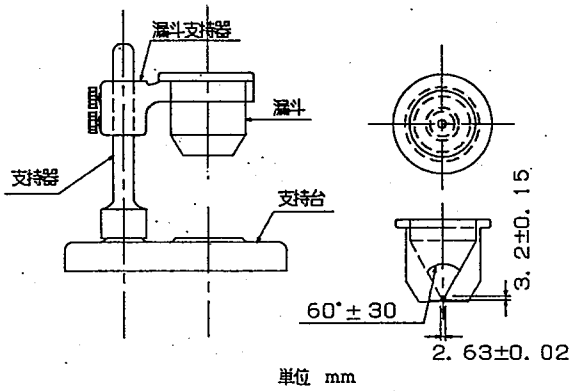


図3　粉末流動度計

試験片の形状を図4に示す。

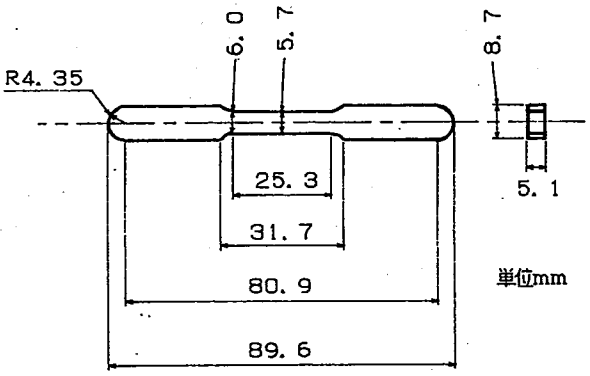


図4　引張試験片の形状

脱ロウ及び焼結は、図5に示す焼結パターンのトレイプッシャー式炉により、20%－H_2、80%－N_2ガス雰囲気中で行った。

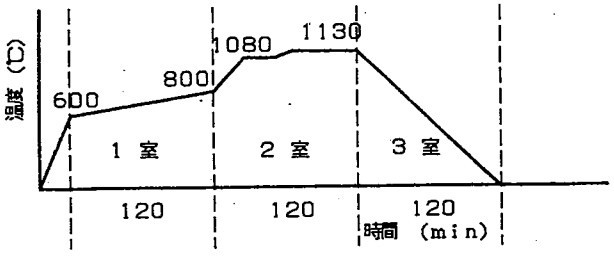


図5　焼結パターン

圧粉体及び焼結体の密度測定は、アルキメデス法により行った。圧粉体の寸法測定は、各材質とも十分に注意して高さ・幅・長さをマイクロメータ（1／100㎜の精度）で測定した。焼結体の寸法から寸法変化率を算出した。

焼結体の見掛け硬さ測定は、ロックウエル硬度計（松沢精機DTR－FA）を用い、各材質とも5試料7点測定し最大値、最小値を除いて5点の平均値から算出した。

引張強さ及び公称伸びの測定は、Instron1125型により引張速度1.0㎜／minで行い、最大荷重より公称応力を求めた。

また、金属組織は Versamet Union6318型顕微鏡によりノーエッチングで空孔状態を観察し、3%－ナイタールで腐食後、金属組織を観察した。マイクロビッカース（松沢精機DMH－1型）でマトリックス硬さを測定した。

3. 実験結果

試料1－1は、純鉄の焼結体であるにもかかわらず、軟鋼（SPC）においてみられるような応力－歪曲線（図6）が明確に現れた。この試料はフェライト組織（図7－1B）で、セレーション現象も見られ、大きな公称伸びが得られた。しかし、引張強さは軟鋼の約1／2で他の材料より軟らかいので、ロックウエル見掛け硬さは、HRHで測定している。

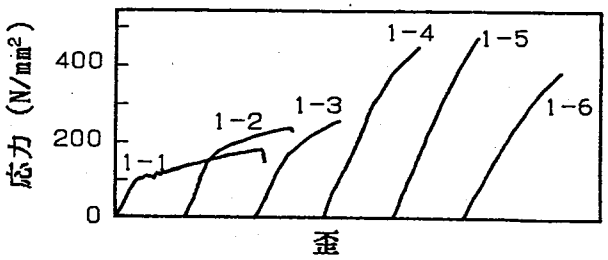


図6　各材質における引張S－S線図

試料1－2（Fe－Cu系）は、試料1－1と比べて引張強さ、見掛け硬さが増している。

これは、鉄に銅が固溶し、強化したためと思われる。図7－2Bは、その顕微鏡組織である。黒く腐食した部分は、鉄に銅が固溶したフェライト組織のようである。

試料1－3（Fe－C系）の組織は、パーライトで、炭化物により試料1－1より引張強さ、見掛け硬さは増加するが、伸びは減少する。ただし、この場合は圧粉体の取扱に細心の注意が要求される。今回の実験では、強度不足を生じ、焼結前の試料の運搬に問題があったと思われる。

試料1－4（Fe－Cu－C系）では、微細な炭化物の生成と銅による基地の固溶硬化により、強度は、Fe－C系、Fe－Cu系と比較して向上している。また、銅側固溶体と炭化物の存在により、強い腐食反応を示す。

試料1－5(Fe－Cu－C－Ni系)では、組織にわずかにオーステナイトが観察された。引張強さは、試料1－4よりも高く、図6のS－S曲線において、塑性域が殆ど見られない。

試料1－6（Fe－C－Ni系）を試料1－5と比較すると、組織に銅の影響が消えてオーステナイトがより明確に観察できた。そのことは、引張強さの低下、伸びの向上として現れている。また、マイクロビッカース硬さの測定結果（図8）から、マトリックスと微小化合物の硬さに差が見られ、ロックウエル試験による見掛け硬さは、微小化合物の硬さに依存していることがうかがえる。このことは、引張強さにも良く対応している。

全般的に合金元素の影響が引張強さ、伸び、硬さによく現れている。

SMFにおいて、焼結前と焼結後のみかけ密度には、ほとんど差が認められなかった。

図7の2A、4A、5Aに見られる大きな空孔は、銅が鉄に拡散した後の抜け殻であると思われる。

また、組織は、各成分がよく分散しており、乳鉢による混合を行ったことの問題はないようである。

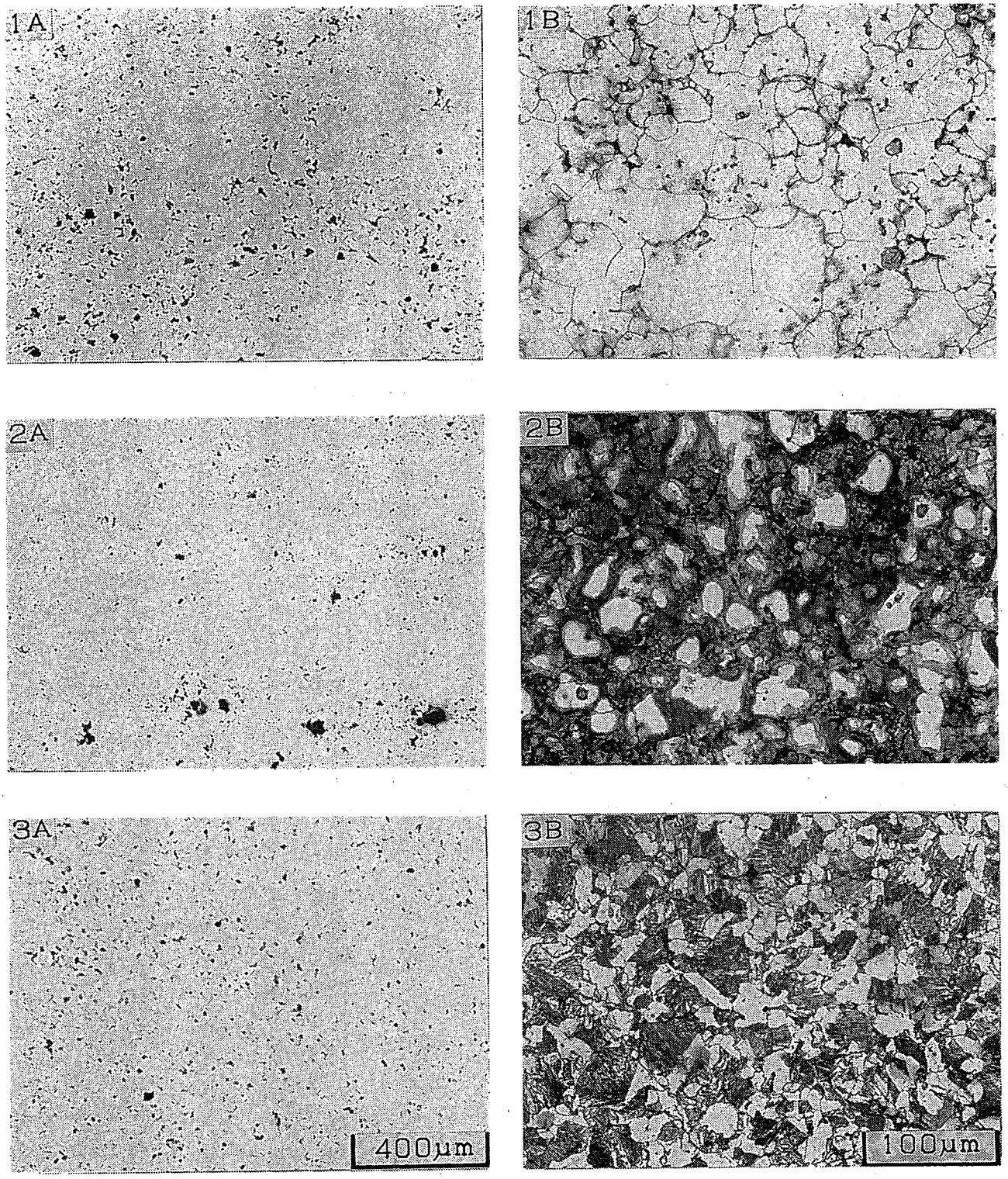


図7－1　各資料の顕微鏡組織写真

1)　1A、2A、3Aは試料1－1、1－2、1－3のノーエッチング組織

2)　1B、2B、3Bは試料1－1、1－2、1－3の3％－ナイタール腐食組織

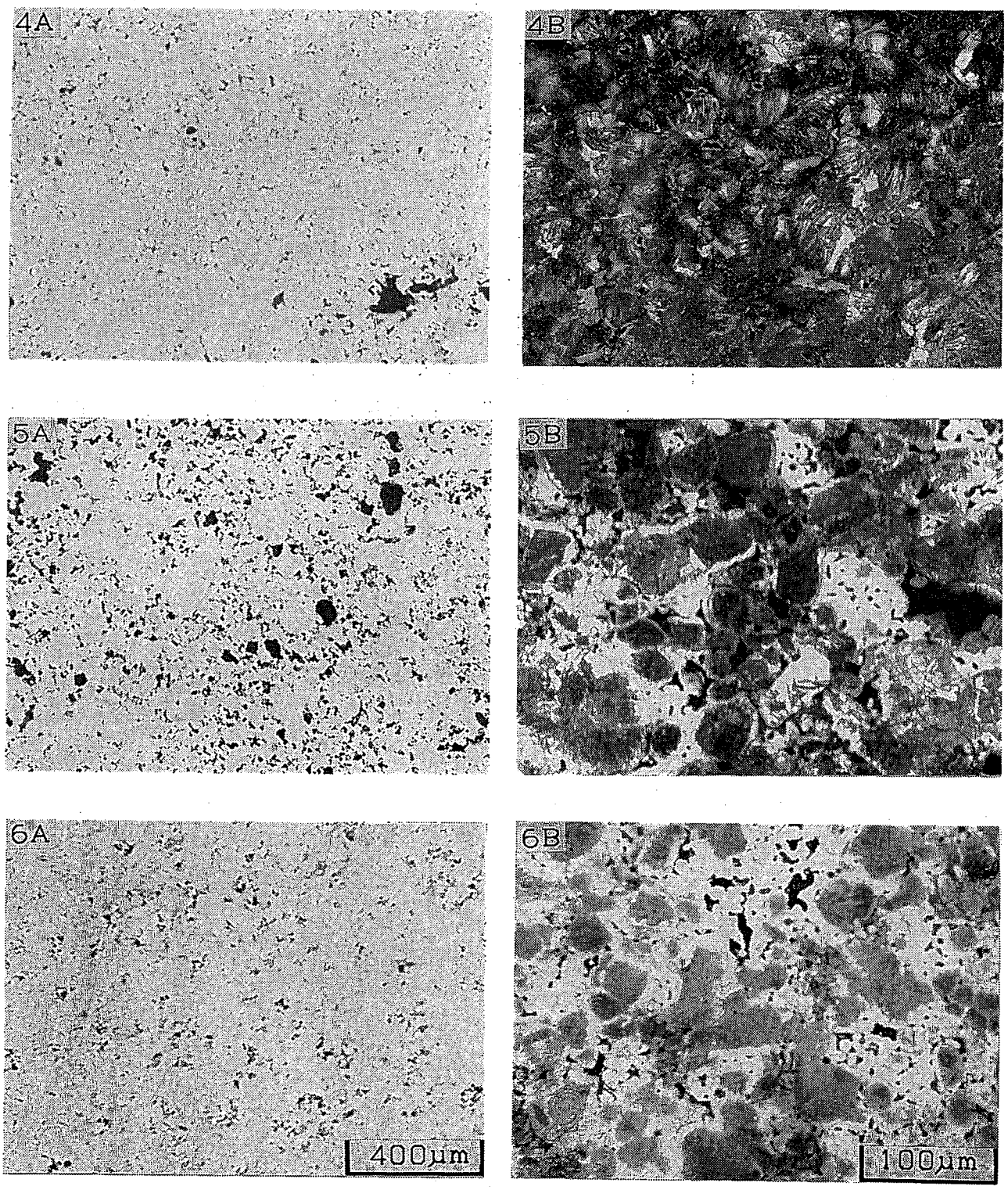


図7－2　各資料の顕微鏡組織写真

1)　4A、5A、6Aは試料1－4、1－5、1－6のノーエッチング組織

2)　4B、5B、6Bは試料1－4、1－5、1－6の3％－ナイタール腐食組織

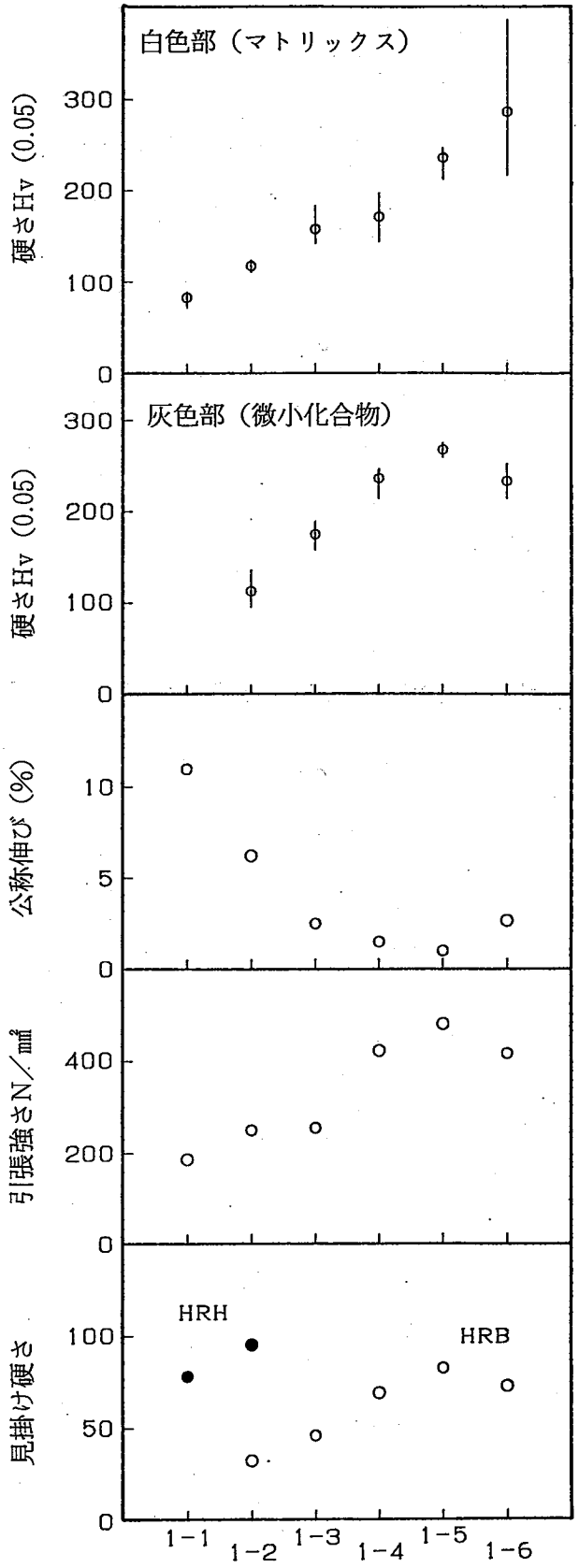


図8　各材質の機械的特性

4. まとめ

混合に乳鉢を用いたにもかかわらず、試作材料はJIS規格に概ね達することができた。

とりわけ、今後の研究会に対して以下の点が示唆できる。

①機械的性質はそれらの組織に明確に現れる。

②密度および流動度の測定は非常に重要であるが、これらのデータ検出は必ずしも容易でない。

③空孔率はそのテストピースの研磨方法に十分に注意を要する。

④合金元素、とりわけ銅の混合と黒鉛の取扱いには充分注意を要する。

謝　辞

この事業を進めるに当たり、始終ご助言を賜りました、広島大学工学部教授　黒木英憲 殿、マツダ㈱技術研究所部長研究員　森下　強 殿、三菱重工業㈱広島研究所主任　市来崎哲雄 殿、広島シンター㈱社長　河迫康男 殿に心より厚くお礼を申し上げます。

参考文献

1) 黒木英憲:基礎技術普及講習会テキスト

2) 日本粉末冶金工業会:「焼結機械部品」技術書院

3) 日本粉末冶金工業会:「焼結部品概要」PMparts

4) 日本規格協会:「JISハンドブックー非鉄」

2. 合金鋼粉による焼結金属材料の熱処理技術について

山口　研二　　木下　利徳　　奥村　逸男

※焼結金属製品開発研究会第2グループ

Heat treatment technology of sintered metal materials was based on alloyed steel powder

Kenji　YAMAGUCHI

Toshinori　KINOSHITA

Itsuo　OKUMURA

※Study circle of sintered metal No.2 group

2Ni－1Mo系合金粉を用いて，乳鉢より混合した粉末を金型に充填し，圧縮成型した。得られた成型体をH_2ガス中で脱ロウを施し，真空炉にて焼結加工を行った。この供試体をN_2ガス中で浸炭焼入，焼戻しを施し，その後，機械的性質と金属組織の関係について調べた。

1. 目　的

焼結金属材料の用途を拡大する上で，高い強度と靭性を併せ持った材料が求められている。これに応じる製造技術のひとつとして，合金鋼粉を原料に用いて焼結後に一連の熱処理を施す方法があげられる。

これらの材料の評価方法はその製造工程が多岐に渡るため様々である。

そこで，焼結金属製品開発研究会のグループテーマの一つとして，2Ni－1Mo系合金粉を用い，そのプロセス及び焼結温度，熱処理温度が材料特性へ与える影響について，見掛け硬さ，引張強さ，伸び，組織の評価を行った。

この研究の第2グループのメンバーを下記に示す。

※ ㈱日本製鋼所：大藪　英雄(班長)
㈱コンセック：多賀谷邦弘
三葉工業㈱：中本　正直
長門金属工業㈱：田村　武志
広島アルミニウム工業㈱：萬田　寿，古賀　千春

2. 実験方法

合金鋼粉(図1)に表1のように黒鉛と潤滑剤を配合して試験片を作成した。合金粉の組成を表2に示す。

一連の製造工程を図2に示す。

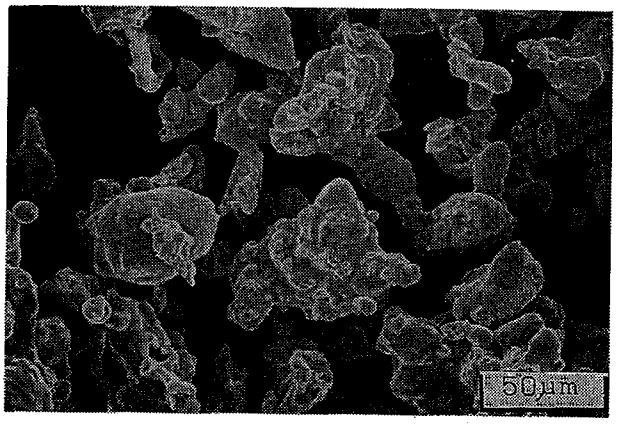


図1　合金鋼粉SEM写真

原料粉末の混合には，乳鉢を使用した。先ず，合金鋼粉に潤滑剤（ステアリン酸亜鉛）を加え，

表1　配合表

合金鋼粉 (wt%)	黒鉛粉 (wt%)	潤滑剤 (外wt%)	総重量 (g)
99.7	0.3	1.0	505

表2　合金鋼粉の化学組成（wt%）

Fe	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo
Bal.	0.3	0.01	0.05	0.005	0.003	1.9	1.0

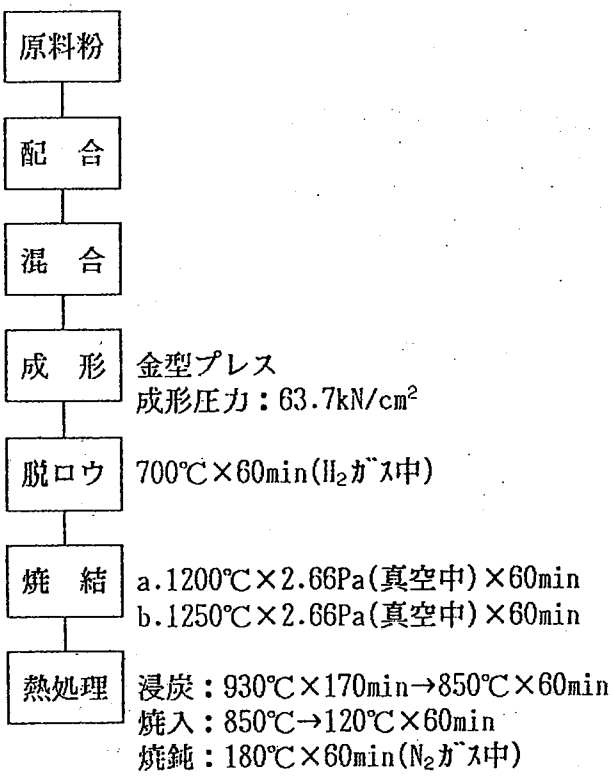


図2　製造工程

T（焼結温度）：1200、1250(℃)

潤滑剤の粒形が識別できなくなる程度まで混合した。次に黒鉛粉を徐々に加えて均一になるよう混合した。

混合粉末の流動度は前報第1グループと同様の方法で測定した。

成型はフローテイングダイ法により行った。先ず合金粉20ｇを秤量し，試験片作成用金型に均一になるよう充填した。その後，万能試験機(㈱島津製作所UMH－100)を用い，圧粉目標密度を7.1ｇ／cm³に設定し，圧力63.7kN／cm²（総荷重63.7kN／cm²×6.45cm²＝411kN）で27試料を圧粉成型した。

試験片の形状も第1グループと同様である。

脱ロウ処理はH_2ガス雰囲気中で図3に示すフローにより行い，潤滑剤を除いた。

焼結は図4のフローに沿い真空中（2.66Pa）で

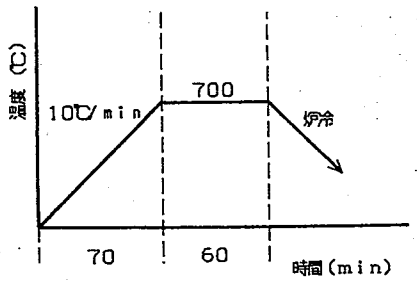


図3　脱ロウ工程

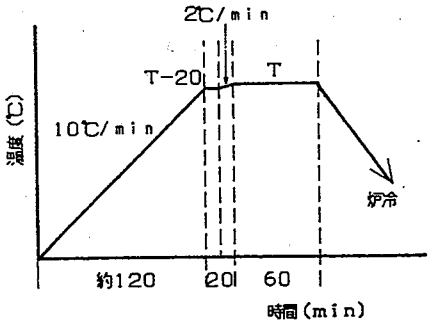


図4　焼結工程

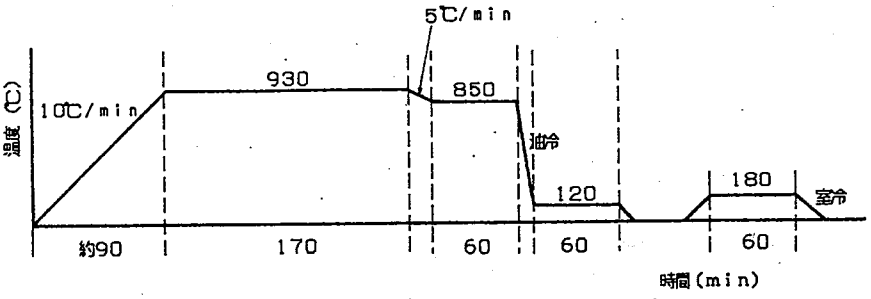


図5　熱処理工程

温度を1200℃と1250℃に分けて行った。

得られた焼結体をさらに図5に示すフローにより熱処理した。

圧粉体及び焼結体（熱処理をした焼結体を含む）の密度測定は，アルキメデス法により行った。

各試料の寸法測定は，高さ・幅・長さをマイクロメータ（1／100mm精度）で測定し，焼結及び熱処理における寸法変化率を算出した，

焼結体の見掛け硬さは，ロックウエル硬度計（松沢精機DTR－FA）を用いて，各5試料の平行部7点測定し，最大値，最小値を除いて5点の平均値とした。

引張強さ及び公称伸びの測定はInstron1125型でJISZ2241に準じて行い，最大荷重より公称応力を求めた。

金属組織は，Versamet Union6318型顕微鏡によりノーエッチングで空孔状態を観察し，さらに3%－ナイタール腐食により金属組織を観察した。また，マイクロビッカース硬度計（松沢精機DNH－1型）でマトリックス硬さを測定した。

3. 実験結果

表3に焼結温度及び熱処理の違いによる見掛け硬さ及び引張強さの結果を示す。熱処理を施していない試料では，焼結温度の違いによる機械的性質の差は，比較的小さい。

組織を図6に掲げ，その説明を表4に示す。

表3　各材質の機械的特性

試料番号	焼結温度及び浸炭熱処理	見掛け硬さ	引張強さ (N/mm²)	伸び (%)
2-1	1200℃	HRB 68.6	438	4.7
2-2	1250℃	HRB 74.1	478	3.8
2-3	1200℃＋浸炭	HRC 48.1	904	0.9
2-4	1250℃＋浸炭	HRC 49.0	985	1.1

表4　組織写真の説明

写真番号	試料番号	腐食条件	倍率
1A	2－1	腐食せず	50倍
1B		3%-ナイタール腐食	200倍
2A	2－2	腐食せず	50倍
2B		3%-ナイタール腐食	200倍
3A	2－3	腐食せず	50倍
3B		3%-ナイタール腐食	200倍
4A	2－4	腐食せず	50倍
4B		3%-ナイタール腐食	200倍

図6によれば，1200℃で焼結したものには，残留オーステナイト（白色部）が観察され，1250℃では，合金成分の拡散が進んでいる状態がうかがえる。この2つの材質に浸炭処理を施した場合，残留オーステナイトの部分に炭素が拡散していない状態が明らかに認められ，マイクロビッカース硬さ（図7）もこの部分では，低くバラツキが多

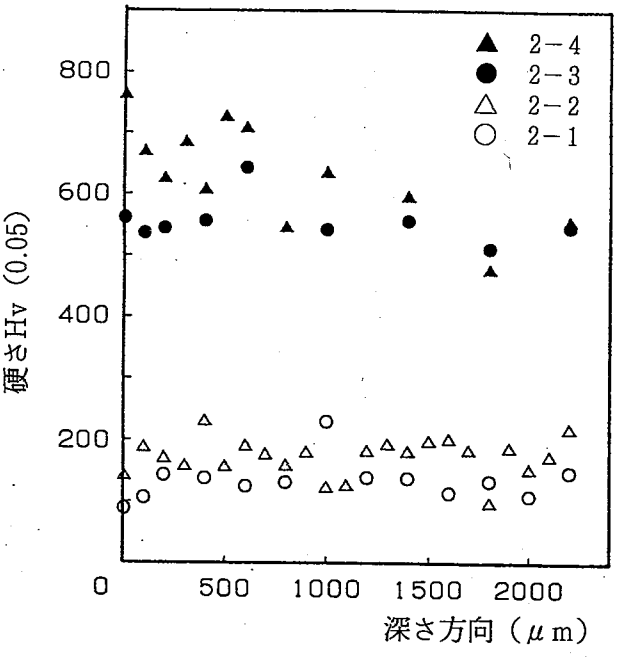


図7　各試料の深さ方向のマイクロビッカース硬さ

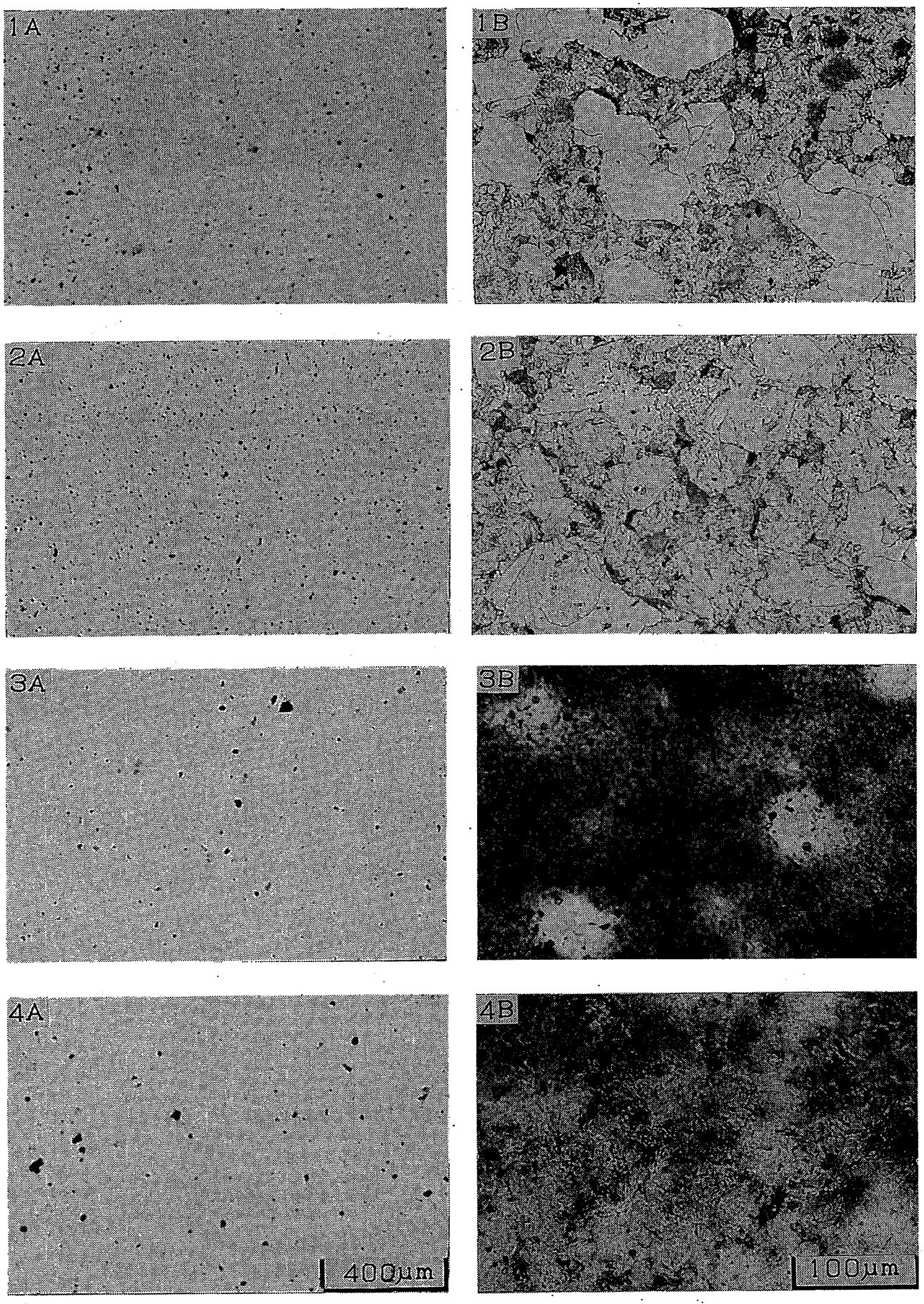


図6　各試料の顕微鏡組織写真

かった。また，このような組織の影響は，見掛け硬さに僅かに現れているようである。これらの結果から，焼結温度が合金元素の拡散を大きく左右することがうかがえる

4. まとめ

焼結金属材料は，焼結温度の制御によって部品に要求される機械的性質に対応できることがわかる。即ち，高強度耐摩耗を要求する時は，炭素の拡散をより効果的に行うため焼結温度を高域に設定する必要がある。（この実験の場合，1250℃～1270℃）また，ある応力以下は強さを必要とせず，それよりりも靭性を求められるときは，残留オーステナイトをよく分散させることにより高強度高靭性が得られる。

この実験において焼結金属の組織が合金成分をわずかに添加することにより制御できたことは，今後，焼結材料を耐衝撃材料は益々拡大する用途によく対応できる技術であることが明らかになった。

謝　辞

この事業を進めるに当たり，始終ご助言を賜りました，広島大学工学部教授　黒木英憲 殿，マツダ㈱技術研究所部長研究員　森下　強 殿，三菱重工業㈱広島研究所主任　市来崎哲雄 殿，広島シンター㈱社長　河迫康男 殿に心より厚くお礼を申し上げます。

参考文献

1) 黒木英憲:基礎技術普及講習会テキスト
2) 日本粉末冶金工業会:「焼結機械部品」技術書院
3) 日本粉末冶金工業会:「焼結部品概要」PMparts
4) 日本規格協会:「JISハンドブック－非鉄」

3. Fe-Cr-Mo-C-P焼結金属材料の作成とその評価

福原　啓聡　　山田　洋
※　焼結金属製品開発研究会第3グループ

Production of sintered metal materials and its estimation

Keisou FUKUHARA
Hiroshi YAMADA
※Study circle of sintered metal No.3 group

SUS粉と合金鋼粉を用いてFe,Cr,Mo,C,P,の配合を行い，簡単な混錬により，5種類の混合粉を作りその合金粉を万能試験機により圧力31.5kN／㎠にて加圧成形を施した。

この成形体を1060℃～1090℃，2.66Pa（真空中）で液相焼結を行い，得られた供試体により，各成分における抗折力と硬さ（組織内）と液相焼結組織の関係を調べた。特に，Cr炭化物の分散状態が抗折力に与える影響について知見を得たので報告する。

1. 目　的

Fe-Cr-Mo-P焼結金属材料は，耐摩耗用として用いられている。

焼結金属製品開発研究会の開催に当たり，素材の特性に対するニーズが最も高かったのが耐摩耗性である。耐摩耗性の意味する範囲は広く，条件により内容を決定しなければならない。そのため，機械摺動部に用いられているこの焼結金属について製造方法に起因する各特性の評価を行い，合金元素が材料特性に及ぼす影響，特に，組織中の化合物と硬さが強さに及ぼす影響について調べることを目的とした。

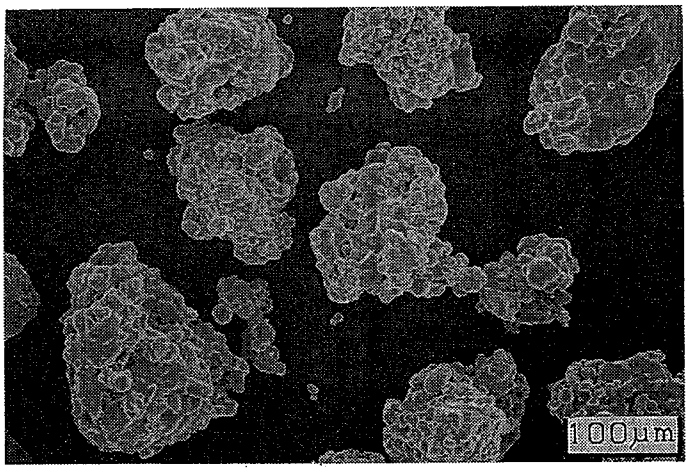
なお，研究会の第3グループのメンバーを下記に示す。

辰栄工業㈱	升本　秀治（班長）
あかね鉄工㈲	砂本　健市
協和レジナス㈱	石川　伸英，石川　伸治
㈱ニイテック	三宅　研治
㈱日本製鋼所	肥田　修
㈱ヒロテック	河野　秀敏

2. 実験方法

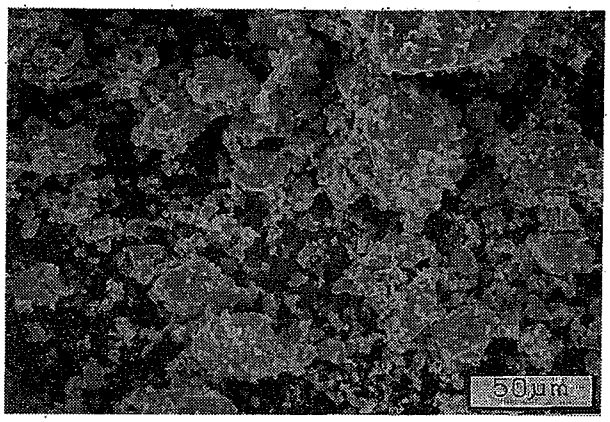
2種類の原料粉末（SEM写真図1－a,b,化学組成表1）を表2に示す5段階に混合した，

一連の製造工程を図2に示す。



SUS粉

図1－a　原料粉末のSEM写真



合金鋼粉

図1－b　原料粉末のSEM写真

表1　原料粉末の化学組成（wt%）

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Cr
SUS粉	Bal.	0.014	0.79	0.16	0.03	0.013	0.14		12.38
合金鋼粉	Bal.	4.43	0.47	0.40	2.35	0.023	0.05	10.8	2.75

表2　配　合　表

試料	配合割合（wt%）		化学組成（wt%）				
番号	SUS粉	合金鋼粉	Fe	Cr	Mo	C	P
3－1	60	40	Bal.	8.53	4.32	1.78	0.96
3－2	55	45	Bal.	8.05	4.86	2.00	1.07
3－3	50	50	Bal.	7.57	5.40	2.22	1.19
3－4	45	55	Bal.	7.08	5.94	2.44	1.31
3－5	40	60	Bal.	6.60	6.48	2.66	1.42

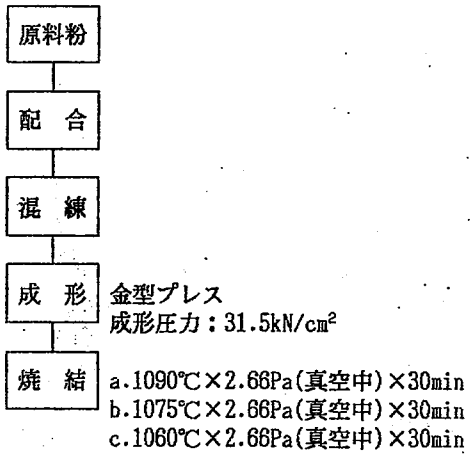


図2　製　造　工　程

原料粉末を乳鉢により10分間混合し，均一にした後，アセトンに溶解したショウノウを加えて湿式混合した。続いて，少し湿る程度までアセトンを揮発させた後，それが完全に揮発するまで混合続けた。

成形はフローテイングダイ法により行った。先ず混合粉末15ｇ秤量し，抗折試験片用金型に均一になるように充填した。その後万能試験機（㈱東京衡機製造所50tfRU型）を用い，圧力31.5kN／cm²（総荷重31.5kN／cm²×4.03cm²＝127kN）で各材質ともに15試料を圧粉成形した。

試験片の形状を図3に示す。

次に圧粉成形体を真空中（2.66Pa）で脱ロウした後，焼結を図4の工程で行った。

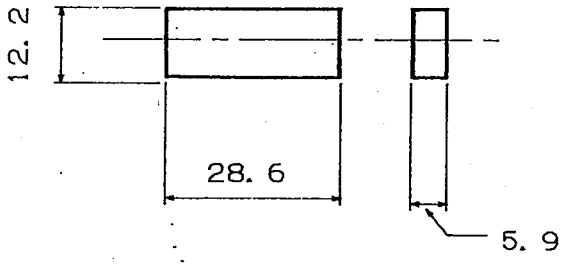


図3　試験片の形状（単位 mm）

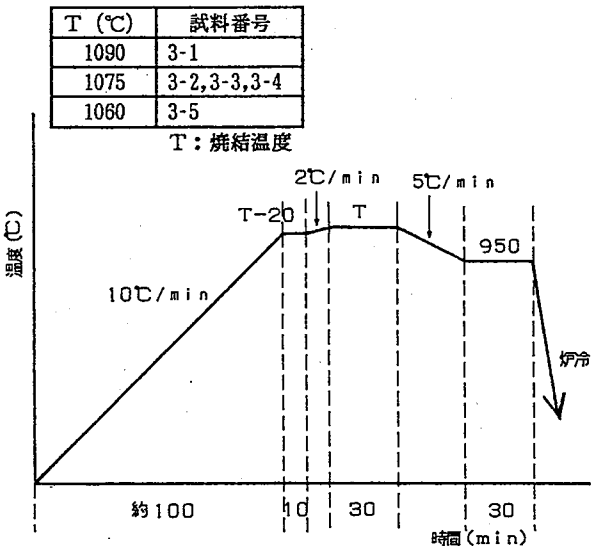


図4　焼　結　工　程

各試料の圧粉密度は，マイクロメータにより1／100㎜の精度で寸法を測定し，また0.1㎎の精度で重量を測定した結果から計算によって求めた。

焼結体の寸法測定もマイクロメータで1／100㎜の精度で行い，圧粉体の寸法より焼結体の寸法変化率を求めた。

焼結体の密度測定はアルキメデス法により行った。

焼結体の見掛け硬さの測定には，ロックウェル硬度計（松沢精機DTR-FA）を用い，各材質とも5試料を供し，各資料とも7点測定し，最大値，最小値を除いて5点の平均値を求めた。

抗折力の測定は，Instron1125型試験機によりクロスヘッドスピード1㎜／minで行った。（NPIF Standard 13-51Tに準ずる）。

また抗折力は次の式により求めた。

$$\delta_B = \frac{3 \times P \times L}{2 \times t^2 \times W}$$

δ_B:抗折力（N／㎟）

P:抗折破壊荷重（N）

L:支持棒間の距離

t:試験片の暑さ

W:試験片の幅

金属組織の観察は，焼結体の空孔を見るためノーエッチングで50倍にて検鏡した。次に，村上試薬で腐食し，特に複合炭化物の観察を目的として200倍で検鏡しマイクロビっカース硬度計（松沢精機 DMH-1型）で各組織上の硬さを測定した。

3. 実験方法

表2の混合粉末の化学組成と図5の焼結体の抗折力の関係を見ると，強さはクロムの量に依存していることがうかがえる。

組織は，図6を比較すると微細なクロム炭化物が分散しており，試料3－1のほうが試料3－2より小さい炭化物を生成している。これはEPMAでも観察しており，黒色部はリンとモリブデンを含

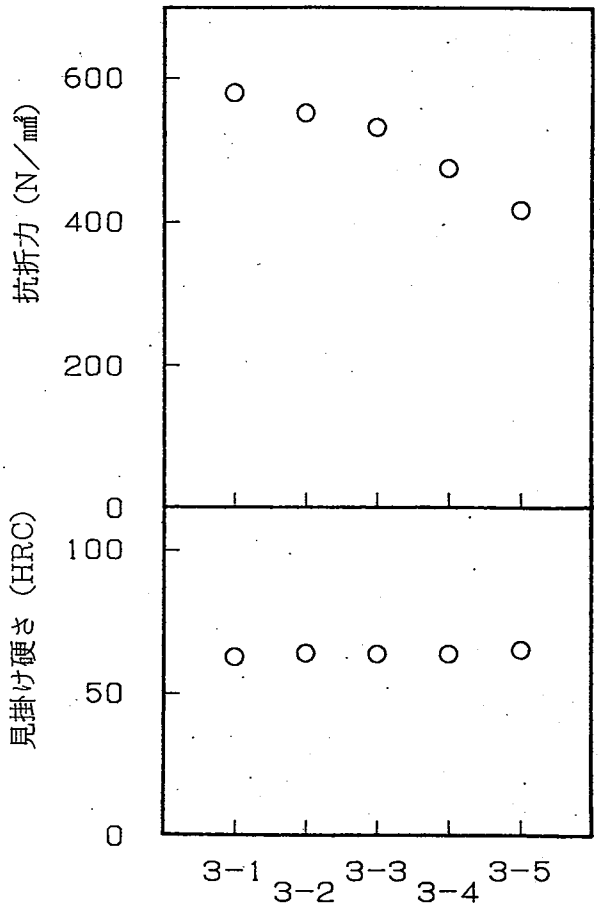
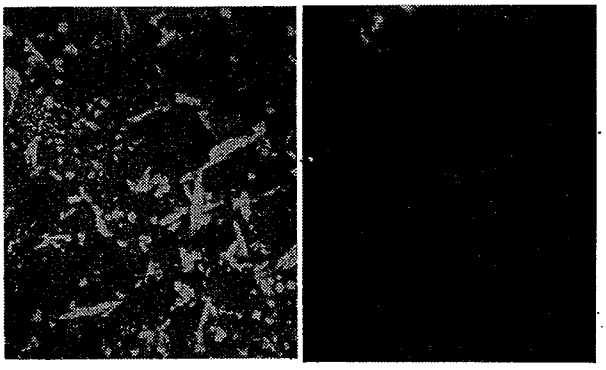


図5　各試料の機械的特性

む炭化物が生成していると思われる。図7にEPMA写真を示す。マイクロビっカース硬さ（図8）は，試料3－1から試料3－5に移行するにしたがって低くなっており，これらの化合物の占有割合が抗折力にも影響を与えていることがわかる。しかし，ロックウェルにより見掛け硬さには，殆ど変化が見られない。



Crの分布 ×400　　Cの分布 ×400

図7　EPMAによるX線像

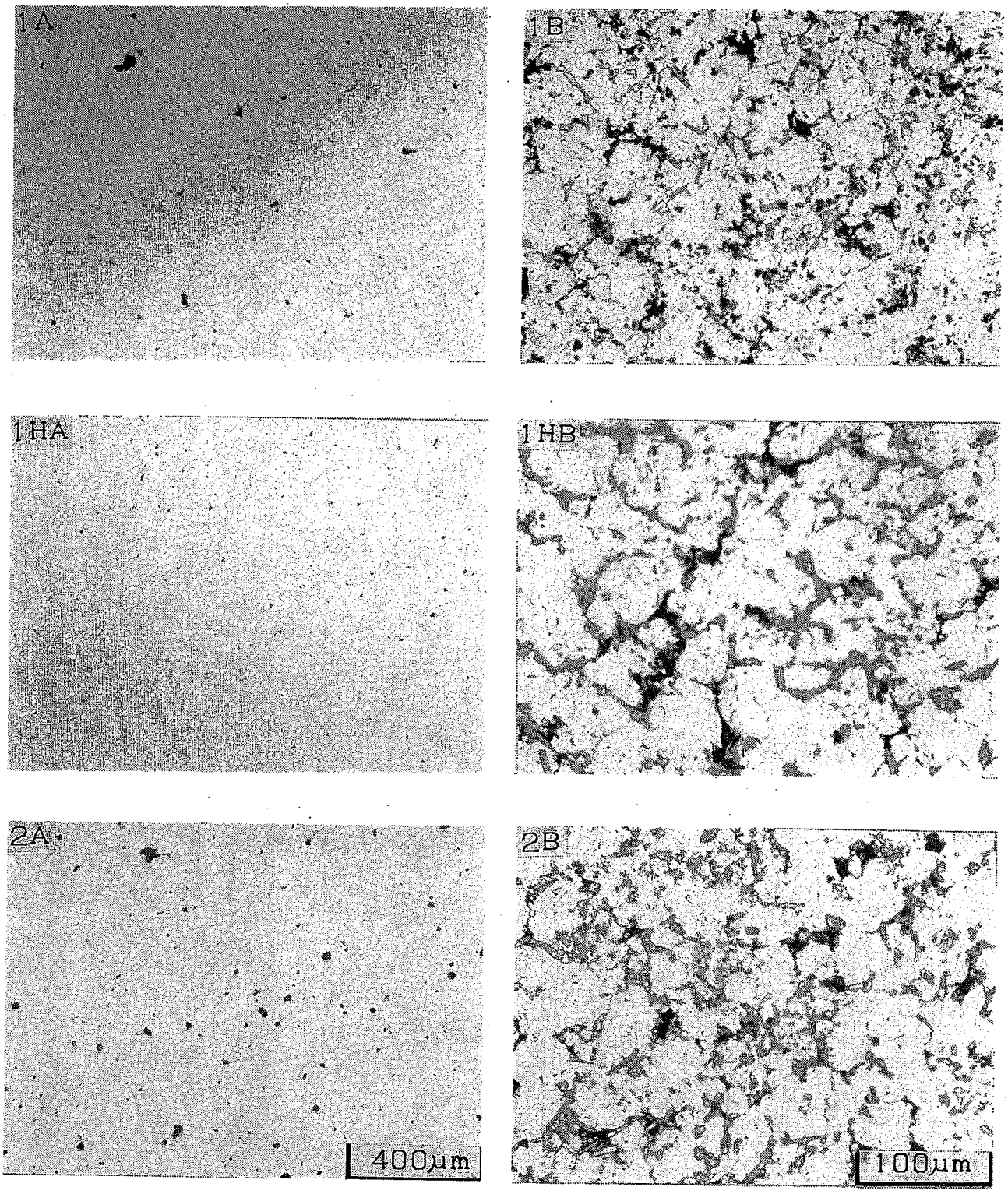


図6－1　各試料の顕微鏡組織写真

1)　1A,1HA,2Aは試料3－1，3－1HIP処理（1353k×19.6kN×60min）
3－2のノーエッチング組織

2)　1B,1HB,2Bは試料3－1，3－1HIP処理（1080℃×19.6kN×60min）
3－2の村上試薬腐食組織

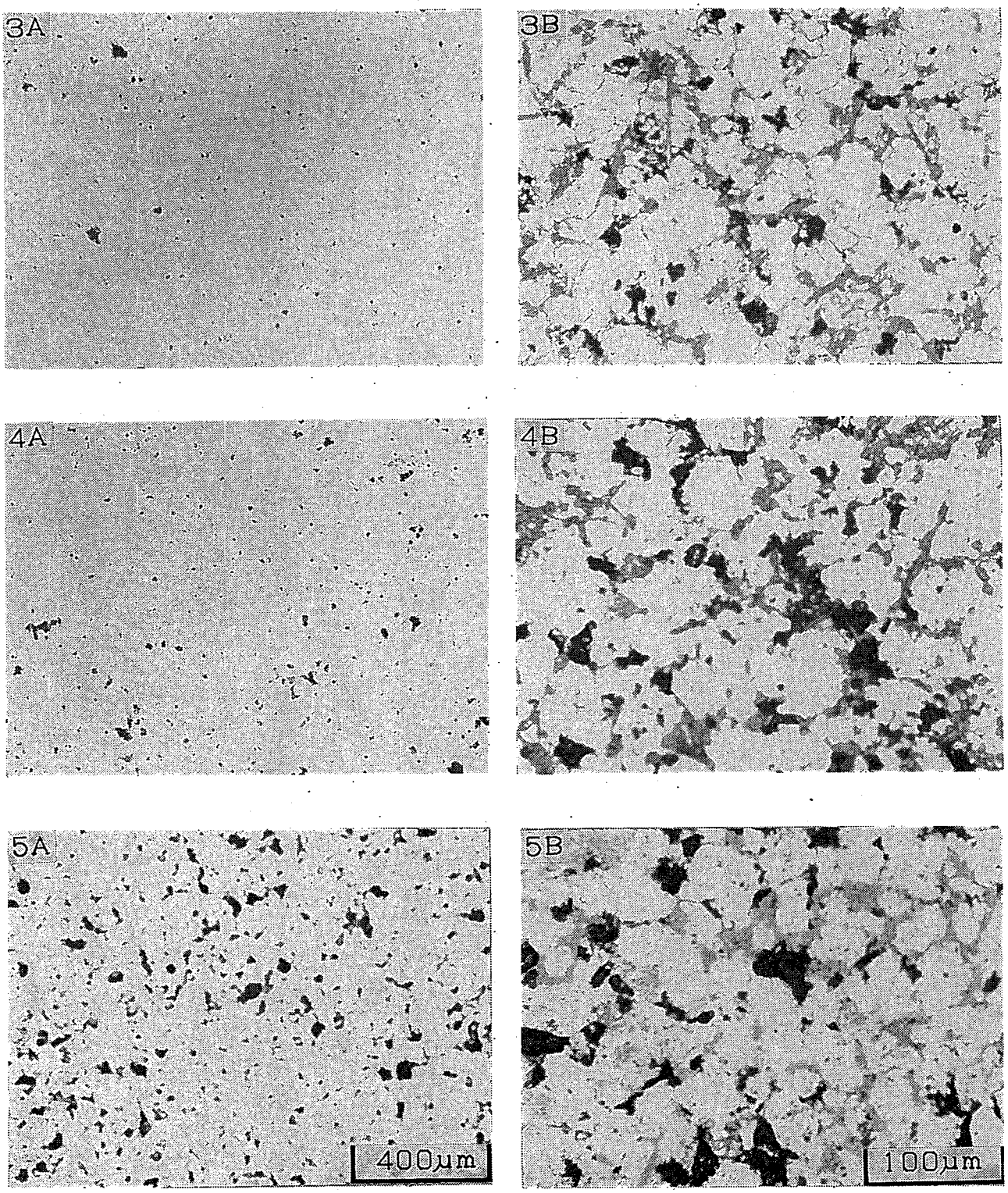
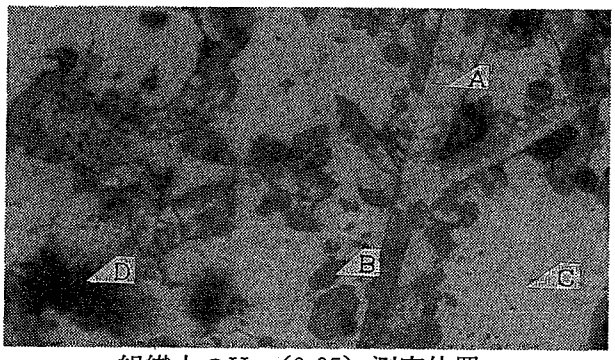


図6－2　各試料の顕微鏡組織写真

1)　3A,4A,5Aは試料　3－3，3－4，3－5　のノーエッチング組織

2)　3B,4B,5Bは試料　3－3，3－4，3－5　の村上試薬腐食組織



組織上のHv（0.05）測定位置

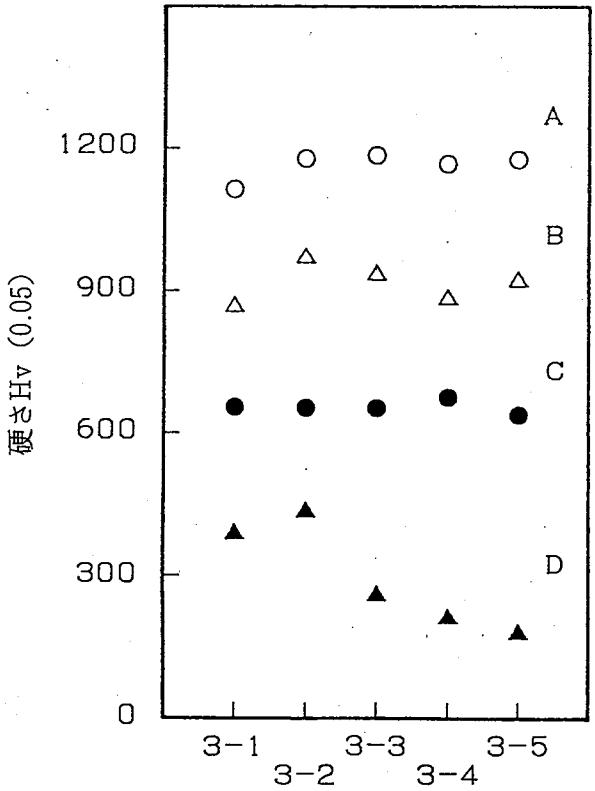


図8　各試料のマイクロビッカース硬さ

この系の耐摩耗試験は，現在進行中であり，これらの微細な化合物の状態が耐摩耗特性に与える影響は，さらに検討を加えて次回報告する予定である。

4. まとめ

今回の実験で得たことは，液相焼結によって製造される材料について成分と焼結温度を制御すれば，抗折力が変化することを確かめた。

以下，その結果を要約する。

①抗折強さは，そのクロムの配合料に比例する。

②微細なクロム炭化物は試料3−1の方が3−5より多くSUS粉の配合に比例している。

③見掛け硬さと抗折強さは，直接相関性はなかった。

謝　辞

この事業を進めるに当たり、始終ご助言を賜りました、広島大学工学部教授　黒木英憲 殿、マツダ㈱技術研究所部長研究員　森下　強 殿、三菱重工業㈱広島研究所主任　市来崎哲雄 殿、広島シンター㈱社長　河迫康男 殿に心より厚くお礼を申し上げます。

参考文献

1) 黒木英憲:基礎技術普及講習会テキスト

2) 日本粉末冶金工業会:「焼結機械部品」技術書院

3) 日本粉末冶金工業会:「焼結部品概要」PMparts

4) 日本規格協会:「JISハンドブック−非鉄」

4. HIP法による焼結金属材料（Fe-Cr-Mo-C-P）の高密度化とその影響

山田　洋　　山口　研二　　四辻　博文　　隠岐　貴史

Densification of sintered friction metal materials by HIP method and its influence

Hiroshi YAMADA　　Kenji YAMAGUCHI
Hirofumi YOTSUJI　　Takashi OKI

耐摩耗用材料のFe-Cr-Mo-C-P焼結金属材料に，HIP処理を施した。この高密度化がもたらす特性への影響をHIP未処理体と比較検討したところ，摩耗量においては大きな差異は認められなかったが，抗折力において増加傾向を示した。これに対し，見掛け硬さ（ロックウェル硬さ）は低くなっており，微小硬さ（マイクロビっカース硬さ）から，マトリックスの硬さに依存していることがわかった。

1. 目　的

焼結金属の特徴は，合金では得られない多くの特性を有し，この金属の特性を活かして，自由に組成を調整し，ニーズに応じた材料特性を作り得ることが出来る。さらに焼結工程を制御することにより，機械的性質，物理的性質を制御することが可能となる。

金属粉の原料もこれらの目的に沿い，純金属粉，合金鋼粉，工具鋼粉等，各種開発されている。

これらの粉末を混合し，その目標とする特性を得るため，前報[1]で液相焼結によりSUS粉と合金鋼粉の混合によるFe-Cr-Mo-C-P焼結金属材料を作成し，その機械的性質と組織の関係を調べた。

その原料粉末の化学組成を表1に，配合表を表2に示す。

表1　原料粉末の化学組成（wt%）

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Cr
SUS粉	Bal.	0.014	0.79	0.16	0.03	0.013	0.14	−	12.38
合金鋼粉	Bal.	4.43	0.47	0.40	2.35	0.023	0.05	10.8	2.75

表2　配合表

試料	配合割合（wt%）		化学組成（wt%）				
番号	SUS粉	合金鋼粉	Fe	Cr	Mo	C	P
3−1	60	40	Bal.	8.53	4.32	1.78	0.96
3−2	55	45	Bal.	8.05	4.86	2.00	1.07
3−3	50	50	Bal.	7.57	5.40	2.22	1.19
3−4	45	55	Bal.	7.08	5.94	2.44	1.31
3−5	40	60	Bal.	6.60	6.48	2.66	1.42

このFe-Cr-Mo-C-P液相焼結金属材料（以下:FCMP）は，一般に機械摺動部に用いられている。

この材料は，高温加圧成形等により内部の空孔を消滅させ高密度化を図ることにより，さらに機械的性質を向上させることが可能と思われるが，これらに関する資料は少ない，

そこで，このFCMPにHIP（Hot Isoststic Press）処理を施した試料とHIP処理を施していない試料（HIP未処理体）との比較評価を行い，HIP処理における各特性への影響を検討した。

2. 実験方法

HIP未処理体は，前報[1]において作成した焼結金属材料を用いた。この製造工程を図1に示す。

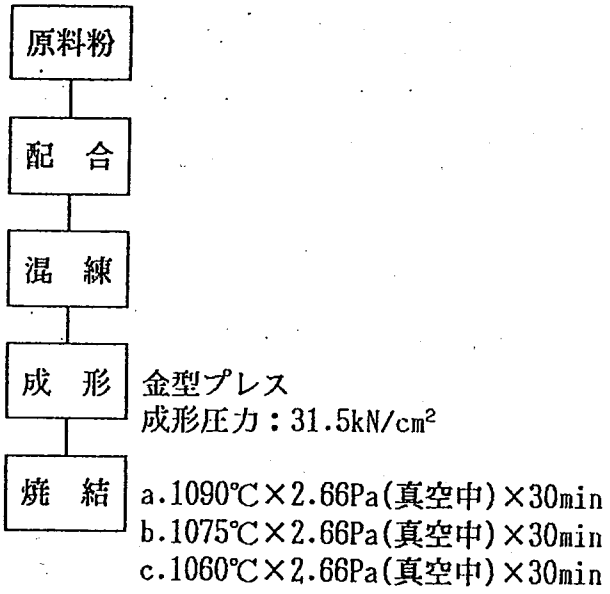


図1　製造工程

混合した原料粉末をフローティングダイ法により成形した。抗折試験片の形状を図2に示す。

次に圧粉成形体を真空中に（2.66Pa）で脱ロウした後，焼結を行った。さらに試料の一部を，三菱重工業㈱広島製作所製Labo-HIPにより図3のパターンで温度:1303K，圧力:147MPaにて等方加圧処理を行った。

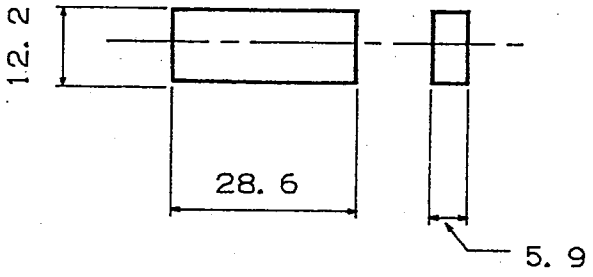


図2　抗折試験片の形状（単位 mm）

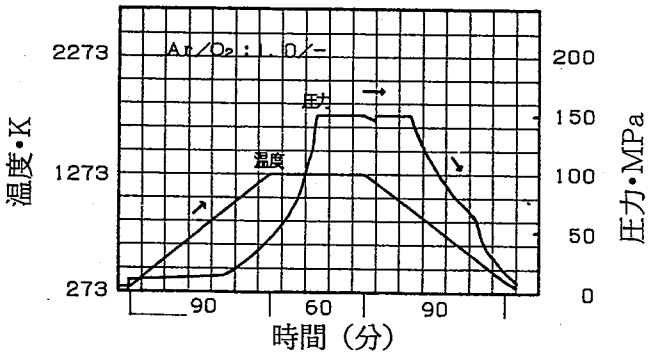


図3　HIP処理パターン

焼結体の寸法測定はマイクロメータで1／100mmの精度で行い，HIP未処理体およびHIP処理体の密度測定はアルキメデス法により行った。

各試料の見掛け硬さの測定には，ロックウェル硬度計（松沢精機DTR-FA）を用い，各材質とも5試料，各試料とも7点測定し，最大値，最小値を除いて5点の平均値を求めた。

抗折力の測定は，Instron1125型試験機を用いクロスヘッドスピード1mm／minで行った（MPIF Standard13－51Tに準ずる）。

また抗折力は次の式により求めた。

$$S=\frac{3\times P\times L}{2\times t^2\times W}$$

S:抗折力（N／mm²）
P:抗折破壊荷重（N）
L:支持棒間の距離
t:試験片の厚さ
W:試験片の幅

金属組織は，焼結体の空孔を見るためノーエッチングで50倍で検鏡した。次に，村上試薬でエッチングし，とくに複合炭化物の観察を目的として200倍で検鏡し，マイクロビッカース硬度計（松沢精機DMH-1型）で各組織上の化合物及びマトリックスの硬さを測定した。

摩耗試験は㈱東京試験機製大越式DAT-U型迅速摩耗試験機により，リング材料はSKD11相当品（HRc61）,滑り速度は2.73m／sec,滑り距離は200m最終荷重は185.3Nとして，摩擦面状態は無潤滑の条件で行った。

摩耗試験用供試体は図2の抗折試験片と同形状を用い，HIP未処理体とHIP処理を施した試料の表裏の摩耗試験を行った。

摩耗量は摩耗した体積を次式で算出し，得られた摩耗量の単純平均値を摩耗値とした，

①摩耗体積

$Wp'=Bb^3/12r$

ここで，B:相手材の接触幅（3.0mm）
b:摩耗痕幅（mm）
r:相手材の半径（mm）

②摩耗体積の補正

$$Wp = Wp' \times \frac{30}{d'} \times \frac{\ell}{\ell'}, \ (mm^3)$$

ここで，ℓ:設定摩擦距離（m）

ℓ':実際の摩擦距離（m）

d ':相手材の試験前後の平均直径（mm）

尚，表3はFCMP材の摩耗試験前の表面粗さを示す。KOSAKA Lab Ltd SEF-30D-Rを用い，測定端子径2μm,ドライブ速度0.1mm／s,にて中心線平均粗さ（Ra),最大粗さ(Rmax)を測定した。

表3　摩耗試験片の粗さ

区　分	呼　び	各試料における粗さ（μm）				
		3－1	3－2	3－3	3－4	3－5
HIP未処理体	(Rmax)	2.38	0.64	1.98	0.70	0.95
	(Ra)	0.28	0.16	0.68	0.16	0.15
HIP処理体	(Rmax)	0.83	1.42	1.12	1.57	2.41
	(Ra)	0.11	0.20	0.13	0.14	0.18

3. 実験結果

図4にFCMP材料のHIP未処理体とHIP処理体の抗折試験結果を示す。

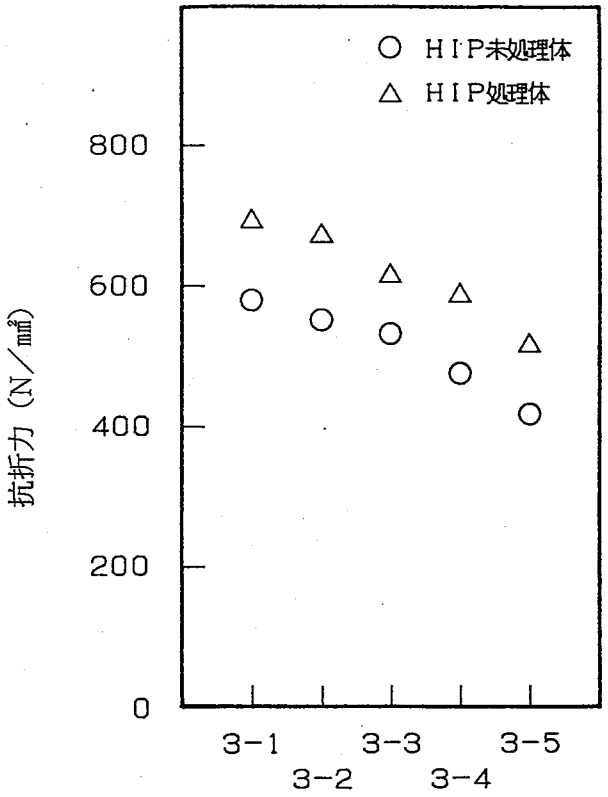


図4　HIP処理効果

図4から合金鋼粉に対するSUS粉の混合割合を少なくすることにより，抗折力が低下していることが分かる。これは，HIP未処理体，HIP処理体とも同様の傾向を呈し，組織中のCr炭化物に依存しているようである。

しかし，HIP処理を施した材料はHIP未処理体に比して全体的に約20%抗折力が向上した。

これは，図5，6で見られるように，HIP未処理体の材料内部の空孔が，HIP処理効果により減少し，破壊の起点となる抗折試験片下端面上の，欠陥が除去されたためと思われる。そのことは，密度測定の結果(表4)にも，その傾向が見うけられる。

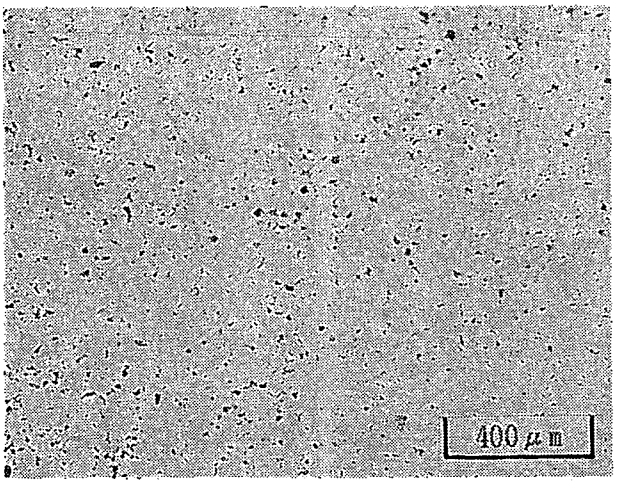


図5　HIP未処理体　ノーエッチング組織

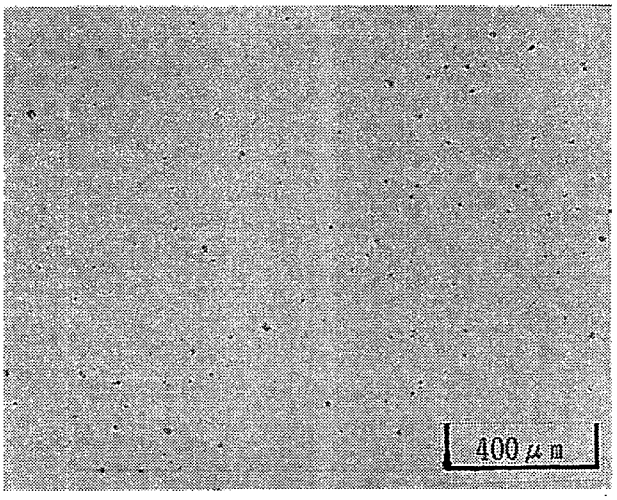


図6　HIP処理体　ノーエッチング組織

表4　各試料の密度

	3－1	3－2	3－3	3－4	3－5
HIP未処理体	7.62	7.69	7.68	7.67	7.58
HIP処理体	7.72	7.73	7.72	7.71	7.72

（g／cm³）

また，図7,・8からHIP処理により，Cr炭化物はわずかに成長しているようであるが，抗折力に与える影響を検討できるまでの差は認められなかった。

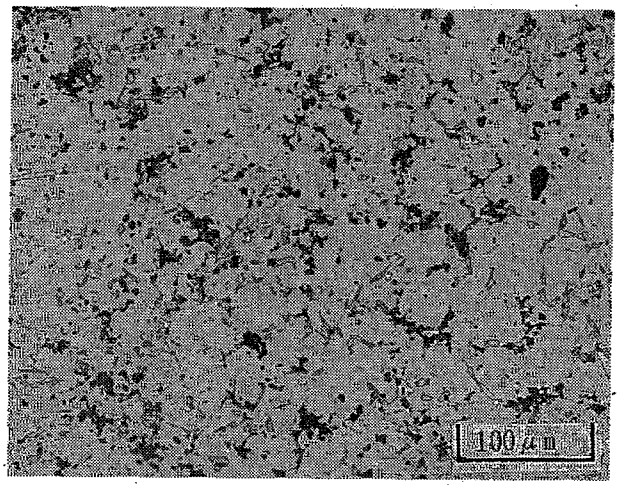


図7　HIP未処理体　組織（村上試薬腐食）

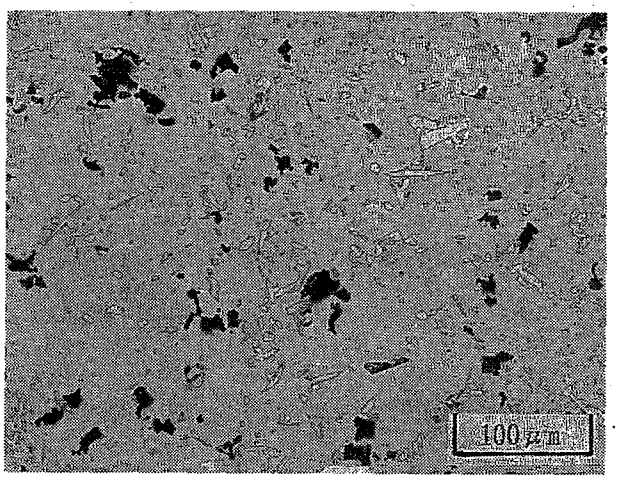


図8　HIP処理体　組織（村上試薬腐食）

図9より見かけ硬さはHIP未処理体に比して，HIP処理体のほうが幾分柔らかくなっている。

これはHIP未処理体，HIP処理体の組織内の化合物の硬さを，更にマイクロビッカースで測定した結果(図10, 11) この間の差は認められなかったが，マトリックスの硬さ（C）だけは低下いていた。このマトリックスの低下傾向は，HIP処理体の見掛け硬さのそれと一致しており，見掛け硬さはマトリックスの硬さが支配的であることを示していることが伺える。

しかし，合金鋼粉に対するSUS粉混合割合と硬さの関係は，見掛け硬さ，微小硬さとも，その傾向に変化は見られなかった。

これらの事象から，抗折力は硬さへの依存度より，材料内の空孔の大きさとその数が，大きく寄与していることを示し，さらに，Cr炭化物の組織内での形状及び分散状態が影響を及ぼしたものと思われる。

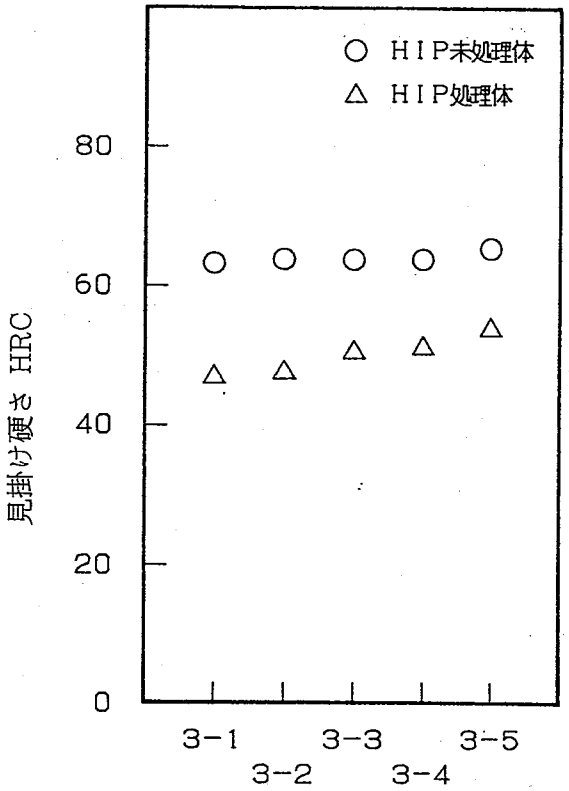
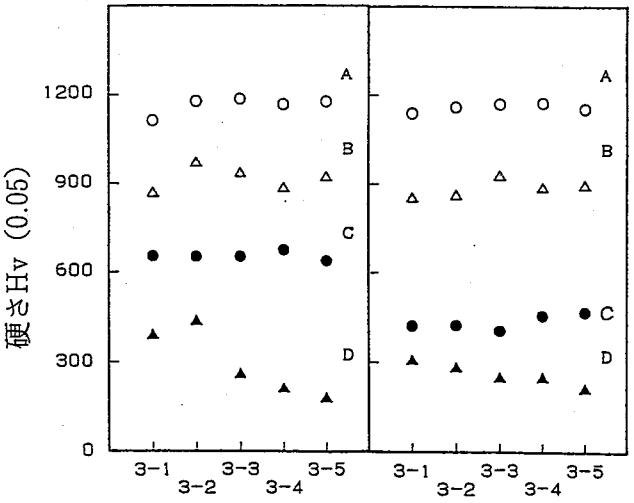


図9　HIP未処理体とHIP処理体の見掛け硬さ



（HIP未処理体）　　（HIP処理体）

図10　各組織のビッカース硬さに及ぼすHIP処理の影響

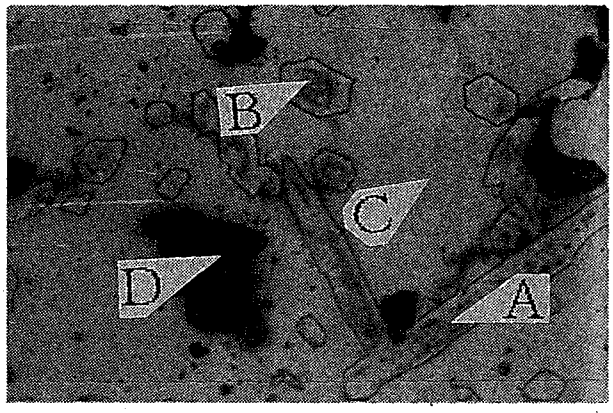


図11　硬さHv（0.05）測定位置を示す組織写真

摩耗試験結果を図12に示す。

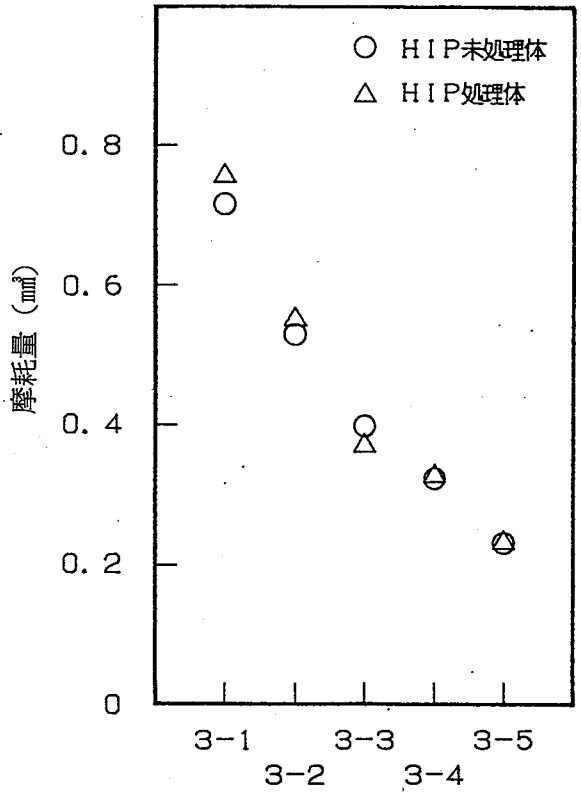


図12　摩耗に及ぼすHIP処理の影響

摩耗の現象は，その設定条件が対象となる実体摩耗現象に近似させることが望ましい。そのため，実体に即した試験条件を設定するためには多くの試験を要する。今回の実験では試験回数が少ないため，結果だけを述べるにとどめたい。

図12に見られるように合金鋼粉に対するSUS粉の配合割合が高い程，HIP未処理体，HIP処理体ともに，今回の摩耗試験条件下では劣るようである。そして，SUS粉の混合割合が高い，HIP処理体のほうが摩耗量が幾分多く，そのデータも不安定であった。

以上，Fe-Cr-Mo-C-P系焼決金属材料の，HIP未処理体とHIP処理を施した試験片での機械的性質と組織の関係について評価を行ったが，特に摩耗試験については，組織に分散する化合物の形態が耐摩耗性に与える影響を調べるまでには至らなかった。

この系の耐摩耗性は今後更に細かく検討を加えて次回報告予定である。

4. ま と め

耐摩耗用材料のFe-Cr-C-Mo-P焼結金属材料に，HIP処理を施したところ，次の結果を得た。

①HIP処理体とHIP未処理体の摩耗量に大きな差は認められなかった。

②抗折力は約20%向上した。

③見掛け硬（ロックウェル硬さ）は低くなった。

これは，組織内のビッカース硬さ試験結果より，マトリックスの硬さに依存していることが分かった。

謝　辞

この研究の摩耗試験に際し，格段のご支援を賜りました，㈱日本製鋼所，機械・電子技術研究所大藪英雄殿に深尽なる謝意を表します。

参 考 文 献

1) 焼結金属研究会第3班，福原啓聡，山田　洋：Fe-Cr-Mo-c-p焼結金属材料の作成とその評価
2) 黒木英憲：基礎技術普及講習会テキスト
3) 日本粉末冶金工業会：「焼結機械部品」技術書院
4) 日本粉末冶金工業会：「焼結部品概要」PMparts
5) 日本規格協会：「JISハンドブック－非鉄」

5. ノルボルネンゴムの成形について

四辻　博文　　奥村　逸男　　藤井　陸司※

Molding of poly-norbornen polymer

Hirofumi YOTSUJI
Itsuo OKUMURA
Rikusi HUJII

1. はじめに

ノルボルネンポリマーは，1975年フランスのCdF社によって工業化された比較的新しいポリマーであり，高分子材料としてそれなりの地位を築きつつある。ノルボルネンポリマーは，既存の市販ポリマーとかなり異なった特性を持つため，既存の材料では得られない応用が現在でも見出されつつあり，広島市企業センターの民間企業異業種グループである新素材交流部会において，この実用化に取り組んだ。

ノルボルネンポリマーは，形状記憶樹脂として良く知られているが，この度の実用化においては，強度物性の良好な低硬度加硫物が容易に得られ，振動吸収特性に優れ，低反発弾性であると云う特徴を生かし，業務用靴メーカーである野口ゴム工業㈱が，合成ゴム（ポリノルボルネンゴム，以下PNRとする）として，ルームシューズに利用することとなった。

そこで，この利用に際して，最適加硫条件と機械的特性を把握することを目的として，野口ゴム工業㈱の実機による原料の混錬及び加硫を行いテストピースを作成し，その機械的特性を評価した。

※ 野口ゴム工業㈱

2. 実験方法

PNRを表1の配合で混錬し，各試料は，表2の条件で加硫を行った。

表1 配 合 表

	配合１	配合２	配合３
ＰＮＲ	５１６	５１６	５１６
硫黄	０．５	１．５	３．０
促進剤ＴＭＴＤ	１．０	１．０	１．０
促進剤ＴＢＴ	１．５	１．５	１．５
促進剤ＴＬ	０．５	０．５	０．５
促進剤ＭＢＴ	１．０	１．０	１．０

TMTD;テトラメチルチュウラムジスルフィド
TBT;テトラブチルチュウラムジスルフィド
TL;テルリウムジエチルチオカーボメイト
MBT;2メルカプトベンゾチゾアール

表2 加 硫 条 件

試料番号	配合	加硫温度(℃)	加硫時間(min)	試料番号	配合	加硫温度(℃)	加硫時間(min)
1	配合1	150	5	16	配合1	160	10
2	配合2			17	配合2		
3	配合3			18	配合3		
4	配合1		7	19	配合1	170	5
5	配合2			20	配合2		
6	配合3			21	配合3		
7	配合1		10	22	配合1		7
8	配合2			23	配合2		
9	配合3			24	配合3		
10	配合1	160	5	25	配合1		10
11	配合2			26	配合2		
12	配合3			27	配合3		
13	配合1		7	28	配合3		3
14	配合2			備考			
15	配合3			プレス加硫の圧力 150cm²			

引張試験，硬さ試験，引裂試験は，JIS K 6301に準じて行った。

引張試験は，万能試験機（㈱島図製作所オートグラフAGS-1000A）を用い，引張速さ500mm／min,最大過重容量100kgfとした。試験片は，ダンベル状2号試験片で，プレス加硫したゴム板から列理法向と平行に打ち抜き型により打ち抜いて作製した。試験片に標線距離20mmの標線を付け，100%，200%，300%伸び時における荷重，試験片の切断に至るまでの最大荷重及び切断時の標線間の長さを測定した。試験片の数は，各条件ごとに4個とし，引張強さ（T_B），伸び（E_B），100%，200%，300%伸び時における引張応力（M_{100}，M_{200}，M_{300}）を求めた。T_B及びE_Bは，測定値の大きいものから順に並べて，それぞれS1≧S2≧S3≧S4とすると

T_B及びE_B＝0.5S1＋0.3S2＋0.1（S3＋S4）

として計算した。引張応力は，測定値の平均とした。

硬さ試験は，スプリング式硬さ試験A形でで行った。試験片は，プレス加硫したゴム板を積み重ねて厚さ12mm以上とした。

引裂試験は，万能試験機（㈱島津製作所オートグラフ AGS-1000A）を用い，引張力500mm／min，最大荷重容量50kgfとした。試験片は，プレス加硫したゴム板から列理方向と直角に打ち抜き型により打ち抜いて作製（B型）した。試験片が切断するまでの最大荷重より引張強さ（T_R）を求めた。

各氏件片の厚さは，0.001mmの目盛りを持つ測厚機により測定した。

各試験片の温度は，23±2℃であった。

3. 実験結果

実験結果を表3に示す。

表3 実 験 結 果

試料番号	T_B kgf/cm²	E_B %	引張応力 kgf/cm² M_{100}	M_{200}	M_{300}	T_R kgf/cm²	硬さ
1	118	460	8	22	55	31.1	48
2	141	410	11	41	99	29.7	48
3	123	290	17	67	122	29.5	51
4	145	490	9	27	67	40.8	49
5	167	400	12	44	104	29.9	49
6	112	270	20	75	−	29.8	52
7	130	470	9	28	65	35.6	49
8	165	380	15	51	119	30.6	49
9	128	280	20	75	−	29.7	52
10	147	500	9	28	65	31.7	50
11	168	420	12	44	106	30.9	48
12	137	300	16	68	141	28.2	51
13	142	490	10	31	69	31.0	49
14	163	390	13	49	111	31.0	48
15	136	300	17	70	139	29.6	50
16	146	490	9	29	71	30.8	49
17	162	390	13	47	111	28.5	49
18	111	270	16	68	−	31.1	50
19	142	490	9	27	65	28.1	49
20	135	370	12	45	105	30.8	48
21	132	290	17	64	−	27.8	50
22	138	480	10	29	66	30.4	48
23	147	370	13	50	108	29.8	49
24	119	280	17	68	−	24.0	50
25	128	440	10	32	72	31.9	48
26	147	380	12	49	106	27.6	48
27	119	280	16	63	−	25.7	49
28	107	280	17	69	−	29.7	49

加硫温度，加硫時間，硫黄添加量が機械的特性に与える影響は，図1～3のとおり。各変化に対して安定した特性が現れている加硫最適条件は，温度160℃，時間7分，硫黄添加量1.5である。

伸びは，硫黄添加量を増すと減少し，温度及び時間の変化に対しては増減が少ないことより，硫黄添加量により伸びが制御できることがうかがえる。

引張強さは，温度，時間及び硫黄添加量の影響を受けやすく，170℃では，オーバー加硫により，強さが減少している。

引裂強さは，温度，時間及び硫黄添加量の影響をあまり受けておらず，架橋反応があまり進まない条件では，温度の影響が大きい。

4. ま と め

今回の実験は，PNRの基本的な配合系での機械的性質の評価並びに加硫条件の影響を把握でき，新素材交流部会におけるPNR実用化の課題解決の一翼を担ったものと思われる。

参 考 文 献

日本ゴム協会編　「ゴム技術の基礎」
87，1989.

6. 高分子材料の機械的及び熱的特性について
― 公設機関との共同研究 ―

福原　啓聡　　四辻　博文

Mechanical and thermal properties of polymers

Keisou FUKUHARA
Hirofumi YOTSUJI

昭和63年度から3年間，高分子材料試験技術共同研究に参加し，各種高分子材料の機械的及び熱的特性に関する，試験・評価技術の向上を図った。

1. 緒　言

高分子材料は自由に成形でき，軽量であるという長所を持ち，一般に広く利用されている。しかしながらその機械的・熱的特性の評価技術は，いまだ確立されたものとは言い難い。

昭和62年度に「プラスチックの熱重量測定方法 JIS K 7120」,「プラスチックの転移温度測定方法 JIS K 7121」,「プラスチックの転移熱測定方法 JIS K 7122」，及び「プラスチックの比熱容量測定方法 JIS K 7123」の4方法が，日本工業規格（JIS）として新たに制定され，高分子材料の熱的特性の試験方法が規格化された。[1)]

当所はこれを機に工業技術連絡会議・化学連合部会・高分子分科会に加盟し，高分子材料試験技術共同研究に参加して，各種高分子材料の機械的特性及び熱的特性に関する試験・評価技術の向上を図った。

当共同研究は昭和48年度から始められた長い歴史を持つもので，平成2年度をもって終了することになったが，当所が参加した最終の3年間は，高分子材料の曲げ試験及び上記JIS4方法による熱分析をテーマにとりあげた。その概要について紹介する。

2. 実験方法及び実験結果

2－1　曲げ試験（昭和63年度）

高分子材料の曲げ試験方法については，「硬質プラスチックの曲げ試験方法 JIS K 7203」及び「ガラス繊維強化プラスチックの曲げ試験方法 JIS K 7055」が制定されている。

昭和63年度はこれらのJIS規格に沿って試験を行い，当所ではガラス繊維強化プラスチック（EL-GE）,フェノール樹脂積層板（PL-FCM）,ポリカーボネート板（PC）,硬質ポリ塩化ビニル板（PVC）,高密度ポリエチレン板（HD-PE）,ポリプロピレン板（PP）の6種の試料について，曲げ弾性率，規定曲げ強さ，曲げ破壊強さ，曲げ破壊ひずみ，曲げ最大ひずみを測定した。

昭和63年度の曲げ試験条件を表1に示す。

表1　測　定　条　件

	EL-GE	PL-FCM	PC	PVC	HD-PE	PP
試験機	インストロン１１２５型					
曲げジグ丸み半径	加圧くさび＝5mm，支点＝2mm					
試験片状態調節	23±2℃，55±10% RH，96時間					
試験雰囲気	23℃，60% RH					
支点間距離(mm)	65.1	67.2	68.0	64.0	62.7	63.2
ｸﾛｽﾍｯﾄﾞ速度(mm/min)	2	2	2	2	2	2
ﾁｬｰﾄ速度(mm/min)	40	40	40	40	40	40
フルスケール(kgf)	200	200	200	200	200	200

曲げ弾性率の測定結果を表2に示す。[2] 測定値にややばらつきが認められるが，これはたわみ計によるたわみ量の測定が習熟を要し，測定誤差が生じたためと考えられる。

当所は高分子材料の曲げ試験について経験の蓄積を持っておらず，使用したインストロン型万能試験機にも，小荷重用ロードセルが無いため，容量10tfのロードセルを使用（最小レンジでのフルスケール200kgf）したこと，試験ジグやたわみ計も自作したこと等，必ずしもよい条件ではなかったが，他機関の平均データと比較しても，さほど遜色の無い結果が得られた。

表2　昭和63年度 曲げ弾性率測定結果

単位:GPa

	EL-GE	PL-FCM	PC	PVC	HD-PE	PP
測定機関数	34	33	16	33	33	16
最大値	31.2	10.8	2.47	3.36	1.68	2.05
最小値	22.6	8.91	2.25	2.58	1.24	1.75
範囲	8.6	1.89	0.22	0.78	0.44	0.30
平均値	25.14	9.789	2.343	2.946	1.421	1.872
標準偏差	1.65	0.44	0.06	0.15	0.10	0.08
変動係数（%）	6.56	4.44	2.40	5.01	7.36	4.23
当所測定値	23.3	9.23	2.29	3.02	1.51	1.89

2－2　曲げ試験（平成元年度）

平成元年度は，昭和63年度の共同試験で，ややばらつきが見られた曲げ弾性率の測定について，再度共同試験を行った。

試験方法については，4mm幅の短冊型試料を用いて支点間距離をJIS法における細長比（16程度）よりも大きく（45程度）し，3点曲げ試験における曲げたわみ量に対し誤差の原因となる，装置から生じるたわみ，せん断によるたわみ，接触部におけるたわみ等が無視できるようにした。

この結果，習熟を要するたわみ計を使用せず，試験機のクロスヘッド移動量により，たわみを測定できることになった。

大支点間距離を採用したため，測定時の荷重が小さくなり，精度上の問題があるため，大阪工業技術試験所で低荷重用ロードセルと試験ジグを製作し，希望機関で持回り試験を実施した。

共通試料として，ガラス繊維強化プラスチック（EL-GE），硬質ポリ塩化ビニル板（PVC），ABS樹脂板（ABS），ポリプロピレン板（PP）4種類の試料について，曲げ弾性率の測定を実施した。当所では，試験日程の関係から今回は持回り品のロードセル，ジグは使用せず，昨年度導入された低荷重精密万能試験機（容量100kgfのロードセルつき）と自作の試験ジグを用いて測定を行った。

曲げ弾性率測定結果を表3に示す。荷重－ひずみ曲線の立ち上がり傾斜が小さく，弾性率を求めにくいPPを除き，昭和63年度と比べ，結果のばらつきが少なくなっている。[3]

当所のデータは，ばらつきは少ないが，曲げ弾性率の値は全般に低く，特にEL-GEについてはこの傾向が著しかった。

この原因としては，自作した試験ジグの精度，試験機ロードセルの校正不良等が考えられた。しかしながら，日程的に十分な時間がとれず，ほとんど試験機の調整もしないで測定した結果としては，かなり良好な結果が得られた。

校正の面倒なたわみ計を必要とせず，測定値も良好だったことから，この大支点間距離による3点曲げ試験は，きわめて有用であると考えられる。

表3　平成元年度 曲げ弾性率測定結果

単位:GPa

	EL-GE	PVC	ABS	PP
測定機関数	24	24	23	23
最大値	23.6	3.29	2.38	2.04
最小値	18.7	2.76	2.03	1.61
範囲	4.9	0.53	0.35	0.43
平均値	21.80	2.986	2.180	1.877
標準偏差	1.13	0.11	0.07	0.09
変動係数（%）	5.19	3.67	3.15	5.00
当所測定値	20.7	2.89	2.11	1.83

＊各機関所有の試験ジグ，ロードセルを利用して測定したデータ

2－3　曲げ試験（平成2年度）

平成元年度共同試験で，大支点間距離による3点曲げ弾性率測定の有用性が確認されたため，平成2年度は3点曲げ弾性率測定に加えて4点曲げ弾性率測定，さらに電気抵抗線ひずみゲージを利用した弾性率測定を共同試験のテーマとした。

共通試料として，ガラス繊維強化プラスチック（EL-GE），硬質ポリ塩化ビニル板（PVC），ABS樹脂板（ABS）,3種類の試料を用い，当所では上記3試料について，大支点間距離による曲げ弾性率の測定と，EL-GE,ABSのひずみゲージによる曲げ及び引張弾性率測定を実施した。

試験ジグ及びひずみゲージ用アンプは，持回り品を利用した。

弾性率測定結果を表4～表6に示す。ばらつきの少ない良好な結果が得られている。[4]

測定項目が多く，時間的な制約もあるため，結果に不安があったが，結果としては大支点間距離による曲げ弾性率測定，ひずみゲージによる弾性率測定，共に良好なデータが得られた。

ひずみゲージによる弾性率測定の値が高いのは，ゲージを試料表面に貼り付けることにより生じる補強効果のためである。この補強効果は，金属材料やEL-GE等，高弾性率の材料ではあまり問題にならないが，ABS等一般の高分子材料では，弾性率の測定値に大きく影響を及ぼしている。

本共同実験の結果，大支点間距離による曲げ弾性率測定の有用性がさらに確認された。また，従来はぞれぞれ値が異なるとされていた3点及び4点曲げの弾性率と，引張弾性率が，試験した3種類の高分子材料においては誤差の範囲で一致することが確認された。

このことから，製品管理等の目的には，試料形状に合った試験により，弾性率を測定すれば良いことがわかった。

表4　平成2年度 EL-GE弾性率測定結果

単位:GPa

測定方式	3点曲げ	4点曲げ			引張
	たわみ	たわみ	ゲージ		ゲージ
			引張	圧縮	
測定機関数	29	30	24	24	26
最大値	22.8	22.9	23.6	23.7	23.8
最小値	20.4	20.4	21.9	21.9	22.0
範囲	2.4	2.5	1.7	1.8	1.8
平均値	21.50	21.56	22.66	22.73	22.74
標準偏差	0.60	0.62	0.37	0.39	0.52
変動係数（%）	2.77	2.85	1.62	1.70	2.30
当所測定値	21.7	20.9	22.4	22.3	23.2

表5　平成2年度 PVC弾性率測定結果

単位:GPa

測定方式	3点曲げ	4点曲げ			引張
	たわみ	たわみ	ゲージ		ゲージ
			引張	圧縮	
測定機関数	28	28	13	13	12
最大値	3.13	3.10	3.66	3.69	3.37
最小値	2.87	2.88	3.42	3.42	3.14
範囲	0.26	0.22	0.24	0.27	0.23
平均値	3.005	3.012	3.538	3.554	3.256
標準偏差	0.05	0.06	0.07	0.08	0.06
変動係数（%）	1.82	1.90	2.08	2.18	1.80
当所測定値	3.01	2.99	－	－	－

表6　平成2年度 ABS弾性率測定結果

単位:GPa

測定方式	3点曲げ	4点曲げ			引張
	たわみ	たわみ	ゲージ		ゲージ
			引張	圧縮	
測定機関数	28	29	10	11	13
最大値	2.24	2.28	2.88	2.90	2.53
最小値	2.11	2.08	2.69	2.63	2.38
範囲	0.13	0.20	0.19	0.27	0.15
平均値	2.183	2.192	2.751	2.759	2.467
標準偏差	0.03	0.04	0.07	0.08	0.04
変動係数（%）	1.50	1.87	2.37	2.76	1.81
当所測定値	2.20	2.15	2.69	2.7	2.48

2－4　熱分析（昭和63年度）

JIS K 7121及びJIS K 7122 に基づき，示差走査熱量計（DSC）を用いて，試料の転移温度及び転移熱を測定した。

融解温度測定用にポリエチレン(PE)，ポリフェニレンスルフィド(PPS)，結晶化温度測定用にPE，PPS，ガラス転移温度測定用にポリスチレン(PS)，ポリスルホン(PSF)，そして融解熱，結晶化熱の測定用にPEを共通試料とし，共同試験を実施した。

融解温度に比べ，結晶化温度，ガラス転移温度はばらつきが大きい。結晶化温度測定結果を表7に，PSのガラス転移温度測定結果を表8に示す。また，転移熱については，平均値をとることができないほど，各機関の測定値にばらつきがあった。

当所のDSCはJISに規定された性能を満たしておらず，測定には困難を伴ったが，融解温度の測定では，比較的良好な結果が得られた。しかしながら，結晶化温度及びガラス転移温度の測定では，他機関の平均値から大きく外れた。[2)]

また，結晶化熱の測定は，安定したデータが得られなかったため，測定結果を報告しなかった。

このように測定値がばらついた原因として，温度校正法が不統一であること，当所と同様にJISの性能規定を満足していない装置が多いこと（特に冷却時の温度制御），等が考えられる。

表7　昭和63年度 結晶化温度測定結果

単位:℃

	PE			PPS		
	Tic	Tpc	Tec	Tic	Tpc	Tec
測定機関数	35	35	35	34	34	34
最大値	122.6	120.6	118.0	247.8	238.4	234.6
最小値	114.2	111.4	103.4	230.1	219.3	211.8
範囲	8.4	9.2	14.6	17.7	19.1	22.8
平均値	118.4	116.7	112.1	238.2	230.2	224.2
標準偏差	1.68	2.02	3.98	4.29	4.90	5.30
変動係数（%）	1.42	1.73	3.55	1.80	2.13	2.36
当所測定値	118.5	117.0	115.1	247.8	238.4	234.6

＊Tic:補外結晶化開始温度
Tpc:結晶化ピーク温度
Tec:補外結晶化終了温度

表8　昭和63年度 PSガラス転移温度測定結果

単位:℃

	1回目加熱			2回目加熱		
	Tig	Tmg	Teg	Tig	Tmg	Teg
測定機関数	34	34	34	34	34	34
最大値	104.9	109.6	117.6	104.6	109.6	118.4
最小値	95.7	100.0	106.0	86.6	100.9	104.7
範囲	9.2	9.6	11.6	18.0	8.7	13.7
平均値	101.7	105.9	111.1	100.5	104.6	111.8
標準偏差	2.41	2.19	2.51	3.00	2.01	3.49
変動係数（%）	2.37	2.06	2.26	2.99	1.92	3.12
当所測定値	96.0	100.0	110.6	96.0	100.9	104.7

＊Tig:補外ガラス転移開始温度
Tmg:中間点ガラス転移温度
Teg:補外ガラス転移終了温度

2－5熱分析（平成元年度）

平成元年度は，昭和63年度の共同試験で測定値のばらつきが大きかった結晶化温度，ガラス転移温度，融解熱，結晶化熱について，再度試験を行った。結晶化温度測定用にポリエチレンテレフタレート（PET），PPS，ガラス転移温度測定用にPS，ポリアリレート（PAR），転移熱測定用にPE，ポリエーテルエーテルケトン（PEEK）を共通試料として用いた。さらに，JIS K 7123に基づいて，PSの比熱容量の測定も試みた。

昭和63年度の結果から，温度校正法，温度制御法をJISに準拠しつつ，実施要領でさらに詳細に規定し，できるだけ測定時の条件が一定になるように留意している。また，DSC装置を更新した機関が，参加33機関中，3機関あった。

表9にガラス転移温度の測定結果を，表10に転移熱の測定結果を示す。ガラス転移温度については，昭和63年度よりもばらつきが減少した。各機関の測定条件を統一するよう，実施条件を詳細に規定した効果が表われたものと考えられる。[3)]

結晶化温度のばらつきも，昭和63年度より小さくなっているが，各機関のデータをさらに検討した結果，結晶化温度は冷却速度が大きい程，低温側に移動することが判明し，単純に各機関の平均をとって議論しても意味がないことがわかった。

表9　平成元年度ガラス転移温度測定結果

単位:℃

	PS			PAR		
	Tig	Tmg	Teg	Tig	Tmg	Teg
測定機関数	33	33	33	32	32	32
最大値	104.7	108.4	117.4	191.5	197.3	206.7
最小値	97.8	103.3	106.4	176.3	183.5	194.2
範囲	6.9	5.1	11.0	15.2	13.8	12.5
平均値	101.9	105.9	112.0	185.1	191.2	199.6
標準偏差	1.50	1.39	2.51	2.55	2.65	3.25
変動係数(%)	1.47	1.31	2.24	1.38	1.39	1.63
当所測定値	100.4	104.3	108.3	185.8	188.0	194.2

＊Tig:補外ガラス転移開始温度
Tmg:中間点ガラス転移温度
Teg:補外ガラス転移終了温度

表10　平成元年度 転移熱測定結果

単位:kJ/kg

	PE (融解熱)		PEEK	
	元年度	63年度	融解熱	結晶化熱
測定機関数	29	29	28	29
最大値	218.0	203.9	52.0	57.4
最小値	152.8	112.6	28.0	20.3
範囲	65.2	91.3	24.0	37.1
平均値	178.6	161.9	39.7	43.6
標準偏差	14.0	23.3	4.5	8.4
変動係数(%)	7.8	14.4	11.4	19.3
当所測定値	168.9		42.8	25.9

このことから，高分子材料の結晶化温度を測定する場合，冷却速度の正確な制御が不可欠であることがわかる。

転移熱測定についても，昭和63年度よりばらつきは減少しているが，まだ非常に大きい。各機関のデータを検討した結果，転移熱のピークがベースラインから離れる点とベースラインに戻る点をどこに決めるかが，各々の測定した転移熱の値を左右していることがわかった。[3]

現在のJISの規定では，この2点を決定する明確な基準がなく，測定者の判断に任されているのが実情である。従って，転移熱の測定については，測定値の信頼性に問題があると言わざるを得ない。

また，比熱容量測定については，JISが世界に先駆けてDSCによる比熱容量測定法を規格化したものであるが，測定時のベースラインの安定性，容器への試料の詰め方，装置への試料の置き方等で，測定値にかなりのばらつきを生じた。

さらに他機関から，別の手段で測定した比熱容量と一致しないとの報告もあり，測定条件の検討，標準試料との比較等が必要と思われる。

平成元年度は，測定条件の統一に注意が払われ，共同試験全体のデータにはその効果が現れている。

しかし残念ながら当所の測定結果については，きわめて不満足なものであった。

2−6　熱分析（平成2年度）

転移温度，転移熱の測定については，平成元年度までの共同試験で，機関間の測定値のばらつきを減少させるか，ばらつきの原因を示すことができたので一応終了することにした。

平成2年度は，JIS K 7120に基づき，示差熱天秤（TG-DTA）または熱天秤（TG）を用いる高分子材料の熱重量測定を行い，さらに比熱容量の測定を再度行うことにした。熱重量測定用として2種類のPS（PS-a,PS-b）及び，PE,エチレン−酢酸ビニル共重合体（EVA），比熱容量測定用に2種類のPSを共通試料として用いた。

代表例としてPS-a，EVAについての熱重量測定結果を表11及び表12に示す。[4]

表11　平成2年度 PS-a熱重量測定結果

	質量減少	質量変化温度(℃)			残分率
	(wt.%)	T1	T2	T3	(wt.%)
最大値	100.0	389.9	405.0	456.2	7.1
最小値	92.9	334.8	363.5	396.6	0
範囲	7.1	55.1	42.5	59.6	7.1
平均値	98.3	356.2	382.1	416.4	1.6
標準偏差	1.8	13.6	10.8	15.4	1.9
変動係数(%)	1.8	3.8	2.8	3.7	(120)
当所測定値	100.0	347.9	380.2	412.2	0

＊T1:熱分解の開始温度　　測定機関数 22
T2:熱分解の中点温度
T3:熱分解の終点温度

表12　平成2年度 EVA熱重量測定結果

	第１次質量減少 (wt.%)	第２次質量減少 (wt.%)	第１次質量変化温度 (℃)			第２次質量変化温度 (℃)			残分率 (wt.%)
			T1	T2	T3	T21	T22	T23	
最　大　値	37.9	60.4	341.2	365.0	391.4	469.9	490.7	527.4	7.3
最　小　値	30.0	43.0	310.0	334.0	364.0	436.0	448.0	457.0	0
範　　囲	7.9	17.4	31.2	31.0	27.4	33.9	42.7	70.4	7.3
平　均　値	32.2	53.1	318.0	345.0	373.5	450.3	464.2	473.7	2.0
標準偏差	2.1	5.2	9.4	10.2	9.6	9.3	12.8	21.3	2.8
変動係数（%）	6.5	9.8	3.0	3.0	2.6	2.1	2.8	4.5	(140)
当所測定値	31.2	54.4	318.2	343.6	369.4	444.9	461.5	476.9	0

＊T1:第１次熱分解の開始温度　　T21:第２次熱分解の開始温度　　測定機関数 12
T2:第１次熱分解の中点温度　　T22:第２次熱分解の中点温度
T3:第１次熱分解の終点温度　　T23:第２次熱分解の終点温度

PSのような易熱分解性で，1段階の質量減少を示す試料では，質量変化温度，質量減少共，比較的ばらつきが少なかったが，EVAのように他段階で質量減少する試料では，ばらつきが大きかった。　質量変化温度のばらつきの原因としては，温度校正方法，試料分解時の発熱等が考えられる。

また，質量減少率，残分率のばらつきの原因については，熱天秤の質量校正，あるいは浮力の補正不良が考えられた。

当所の装置はTG-DTAであり，純金属の融解温度を基準に温度校正を行い，さらに分銅を用いて試験前に天秤部分の質量校正を行った結果，やや温度が低めに出た以外は，比較的良好な測定データが得られた。

比熱容量測定については，全体的にはデータのばらつきが改善されたが，当所のデータは，何回測定しても安定せず，当所のDSC装置そのものに何か問題があるのではないかと思われる。

3. 結　　語

昭和63年度から平成2年度までの3年間，高分子材料試験技術共同研究に参加して，各種高分子材料の機械的特性及び熱的特性に関する共同試験を行った。

最初は全く手探りの状態であったが，この共同試験に参加した結果，当所の設備を整備していけば，高分子材料の試験・評価にも十分対応していけるとの見通しが立った。

当共同研究は一応，平成2年度を持って終了することになったが，高分子材料の試験・評価技術には，まだ不備な点が多々あると思われる。今後，さらに研究を進め，高分子材料の機械的，物理的，あるいは化学的特性の試験・評価技術の確立につとめてゆきたい。

参　考　文　献

1) 日本企画協会:
「JISハンドブックープラスチック」
2) 工業技術院　大阪工業技術試験所：「高分子材料試験技術共同研究報告」第16巻，(1988)
3) 工業技術院　大阪工業技術試験所:「高分子材料試験技術共同研究報告」第17巻，(1989)
4) 工業技術院　大阪工業技術試験所:「高分子材料試験技術共同研究報告」第18巻，(1990)

7. PZT系圧電セラミックスへのHIP処理効果

隠岐　貴史　　市来崎　哲雄※

Effects of hot isostatic pressing on PZT piezoelectric ceramics

Takashi OKI
Tetsuo ICHIKIZAKI

酸素雰囲気下においてPZT系圧電セラミックス素子にHIP（Hot Isostatic Pressing）処理を施した。[1]

この高密度化がもたらす特性の向上を調べたところ，変位量，歪量ヒステリシス及び発生力等に向上が見られ，これを用いたアクチュエータとして小型化，高機能が期待される。

1. はじめに

圧電セラミックス材料は，今日，エレクトロニクス部品材料として広く用いられている。一方，メカトロニクス機器の発展にともなって，アクチュエータ部に，この圧電現象を利用した固体素子が多く用いられるようになってきた。[2][3][4]

元来，アクチュエータは空油式，または電磁式が主であったが，空油式については変位精度か悪く，応答速度が遅い等の欠点があり，電磁式については高い変位精度が得られるものの電磁ノイズを発生する等の欠点を有している。これに対して圧電効果を利用したアクチュエータでは本質的にこれらの欠点は持っておらず，変位量を問わない変位精度，応答速度，発生力等を要求される部位に選択的に用いることが出来る。しかし，これまでは，駆動電圧が高いために制御回路の構成が困難であったが，最近，圧電セラミックスを薄板積層とすることで実用に至っている。さらに，積層型圧電アクチュエータの小型化，高性能化を進めることで，実用範囲が広がるものと思われる。（表1 参照）

そこで，本研究では，圧電セラミックス素子の特性向上を目的として，O_2-HIP処理技術（酸素

表1　積層型圧電アクチュエータの応用例[3]

応用分野	応用例
精密機械，メカトロ	X－Yステージ，パーツフィーダ，ロボット，リニアステップモータ，超音波モータ
計測，制御	圧力、振動、加速度等のセンサ，圧電リレ，ソナー，精密位置決め，電子弁，電空変換
自動車	燃料噴射，ポンプ，バルブ制御，振動制御
プリンタ，タイプライタ	インクジェットのポンプ，ワイヤドットの駆動
VTR，VD等映像	ヘッドのオートトラッキング，ビデオカメラのオートフォーカス
コンピュータ周辺機器	タッチパネルの圧力センサ，電子ファン
光デバイス	レンズ、プリズム、ミラーの微調整偏光制御装置，光ヘッドトラッキング
カメラ	オートフォーカス
半導体製造装置	X－Yステージ、露光装置等の精密位置決め
医療機器	血液、X線分析器の加振及び位置決め，マイクロポンプ
その他	ミシン，パチンコ，家電用ポンプ，楽器

※ 三菱重工業㈱　技術本部広島研究所　工作機械研究推進室

雰囲気下でHIP処理を施し緻密化を図る）を使い，構成部材であるPZT系圧電セラミックス素子（以下，圧電素子と略記）及びこれを用いた圧電特性測定用アクチュエータを試作した。[5]

そして，圧電素子の高密度化がもたらす特性向上をつかむため，O_2-HIP処理を施していないものと特性を比較検討した。[1][6]

2. 供試材料組成

圧電セラミックス材料は，一般にペロブスカイト（$CaTiO_3$）と同じ結晶構造を持ったABO_3で表される酸化物が主である。

そしてこの内，特に圧電性に優れた材料として，$PbTiO_3$(チタン酸鉛:PT)と$PbZrO_3$(ジルコン酸鉛:PZ)の個溶体(PZT)及びPZTを主成分とし，Nb，Ni，La，Mg等の添加物を加えた2成分系セラミックス，さらには，第3成分としてPZTに，同じペロブスカイト構造を持つ$Pb(Ng_{1/3}Nb_{2/3})O_3$（以下，PMN），$Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O_3$（以下，PNN），$Pb(Mn_{1/3}Sb_{2/3})O_3$（以下，PMS）等を加えた3成分系セラミックスがある。

これらは，組成を変えることにより目的に応じた特性を得ることができ，特に，3成分系セラミックスは2成分系セラミックスに比べ，組成の選択範囲が広くかつ焼結性に優れた特徴を持っている。[2]

本研究には，表2に示した3成分系材料の内，変位量及び発生力に優れたPNN／PT／PZセラミックス個溶体（H社製造粒粉）を使用した。

写真1に，原料粉のSEMを示す。

表2　3成分系圧電セラミックスの組成[2]

(　　)－$PbZrO_3$－$PbTiO_3$	
$(A^{1+}_{1/2}A^{3+}_{1/2})TiO_3$	$Pb(B^{2+}_{1/3}B^{5+}_{2/3})O_3$
$Pb(B^{2+}_{1/2}B^{6+}_{1/2})O_3$	$Pb(B^{3+}_{2/3}B^{6+}_{1/3})O_3$
$Pb(B^{3+}_{1/2}B^{5+}_{1/2})O_3$	$Pb(B^{1+}_{1/4}B^{5+}_{3/4})O_3$

A^{1+}；Li,Na,K,Ag
A^{2+}；Bi,La,Ce,Nd
B^{1+}；Li,Cu
B^{2+}；Mg,Ni,Zn,Mn,Co,Sn,Fe,Cd,Cu
B^{3+}；Mn,Sb,Al,Yb,In,Fe,Co,Sc,Y,Sn
B^{5+}；Nb,Sb,Ta,Bi
B^{6+}；W,Te,Re

引用文献　岡崎清　セラミックス（1976）

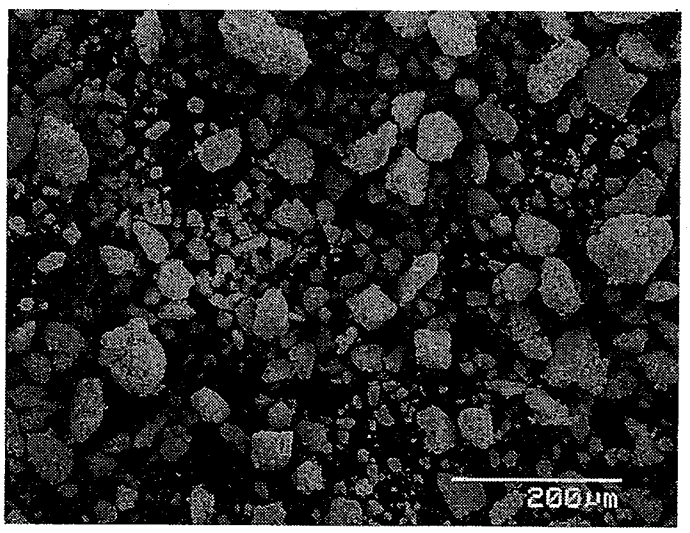


写真1　原料粉のSEM

3. 圧電特性測定用アクチュエータの試作

積層型圧電アクチュエータの一般的な製造工程を図1に示す。なお，本研究における圧電特性測定用アクチュエータ（以下，測定用アクチュエータと略記）は工程②によって試作した。

図2に測定用アクチュエータ製造工程の詳細を，図3，図4に焼結パターン及びHIP処理パターンを示す。

図2に示すとおり，造粒してある原料粉を冷間静水圧プレス（CIP）により200MPaで成形し，グリーン体を脱ロウ，雰囲気焼結した。

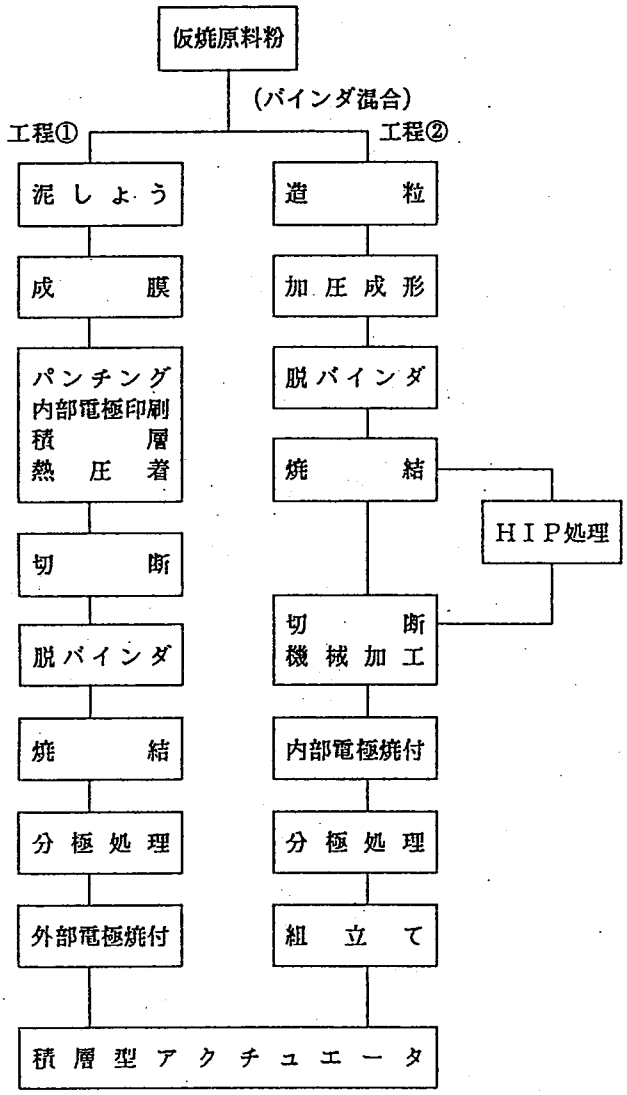


図1　積層型圧電アクチュエータの製造工程

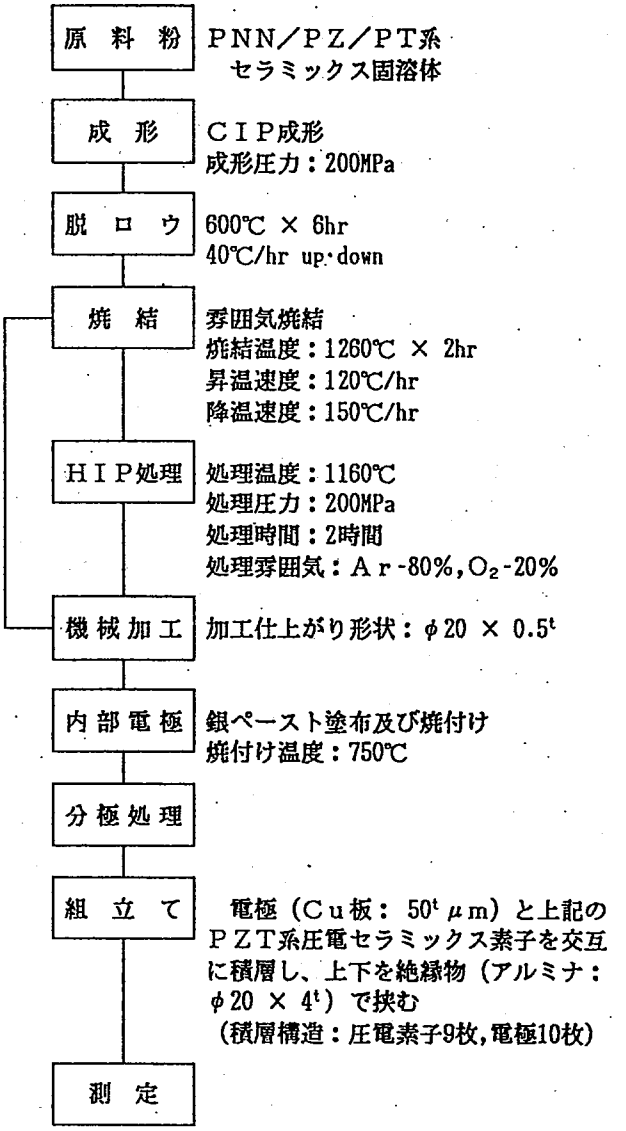


図2　圧電特性測定用アクチュエータの製造工程

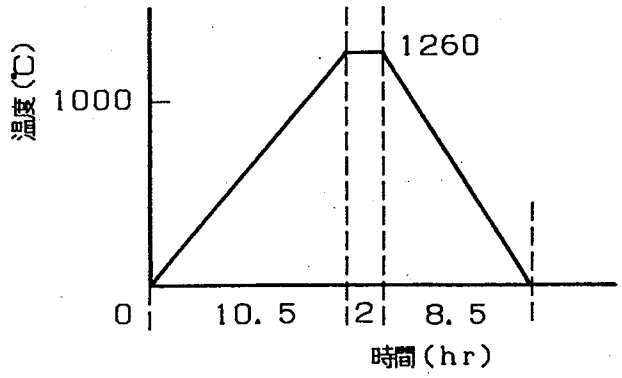


図3　予備焼結パターン

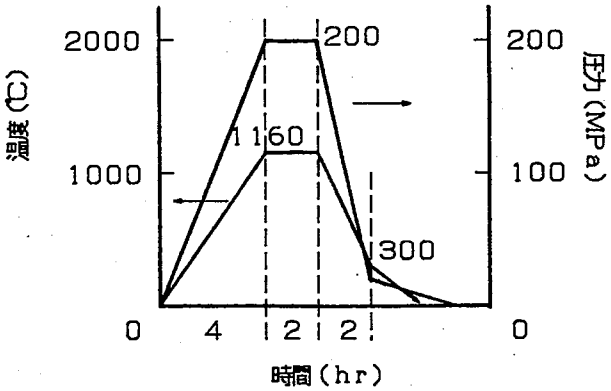
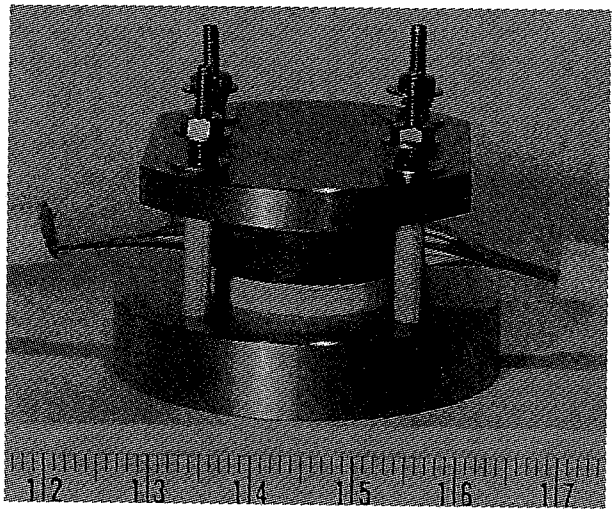


図4　HIP処理パターン

更に，1160℃，200MPa，2時間，酸素（20%）雰囲気化でO_2-HIP処理を施した。

測定用アクチュエータの製造に当たっては，機械加工した圧電素子の両面に内部電極として銀ペーストを塗布し，さらに焼付けた後，分極処理を施した。

図5に組み立てた測定用アクチュエータの構造及び外観写真を示す。



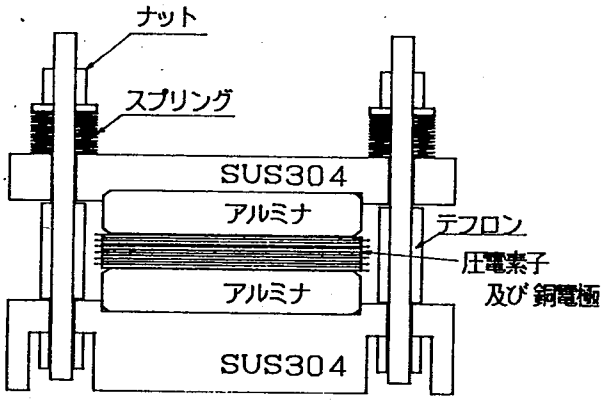


図5　測定用アクチュエータの構造及び外観写真

4. 特性値の測定

密度測定は，アルキメデス法により行い（JIS C 2141），発生力を算出するためヤング率を測定した。

さらに，図2のような工程で試作した，各圧電素子を組み込んだ測定用アクチュエータの電圧印加時における縦方向変位量を測定した。図6に測定回路の構成を示す。

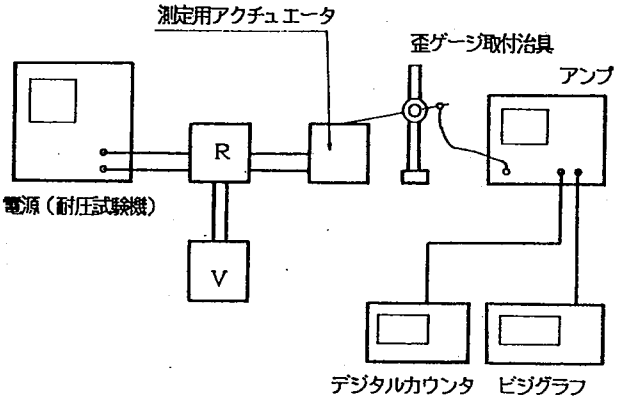


図6　変位量測定回路

500Vまで100Vごとに電圧を印加したときの変位量を歪ゲージによって測定，デジタルカウンタ及びビジグラフで読み取った。

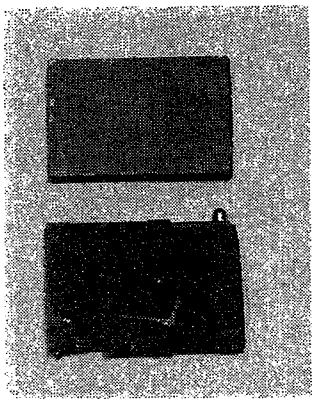
また，材料定数は，電子材料工業規格（EMAS）に準じて測定した。今回，測定機器にはインピーダンスアナライザーを用い，共振周波数f_r，反共振周波数f_a，または，最大アドミッタンス周波数f_m，最小アドミッタンス周波数f_nを測定し関係式より圧電定数をはじめ各材料定数を算出した。

5. 結果および考察

酸化物系セラミックスへのHIP処理適用は，従来の不活性ガスを媒体とした場合には，分解・脱酸素等による変色，変質が起こり問題となっている。

本試料は鉛酸化物である。このため，写真2に示すように，不活性雰囲気下においてHIP処理した試料は，表面が還元し鉛の溶出，割れが発生している。これに対し，酸素雰囲気下において処理した試料には鉛の溶出，割れが見あたらない。

そこで，本試料のHIP処理は酸素雰囲気下において行った。[1]



酸素雰囲気下におけるHIP処理体

不活性雰囲気下におけるHIP処理体
（埋粉末使用）

写真2　異なった雰囲気によるHIP処理体

図7に予備焼結体の焼結温度と密度の関係を示す。不完全であるが，予備焼結体の焼結状態をこれより判断し，最適と思われるものについて次ステップのO_2-HIP処理を施した。

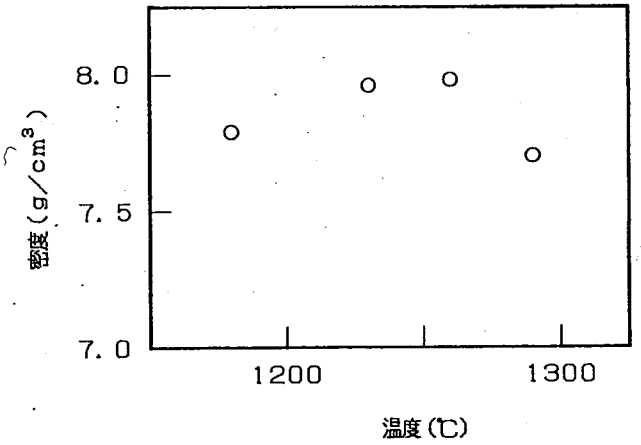


図7　予備焼結体の密度

測定した予備焼結体（O_2-HIP未処理体）とO_2-HIP処理体の歪量（変位量／圧電素子長）ヒステリシスを図8に示す。電圧500V印加時での歪量は0.5mm（圧電素子1枚の厚さ）当たり約0.53μm伸びる。

これに対して，ヒステリシスカーブの幅で最も広い部分は最大歪量に対し，O_2-HIP処理体は8%，O_2-HIP未処理体は18%である。O_2-HIP処理によりほぼ半減している。特に，O_2-HIP処理体は，低電圧域（～200V）での応答生が良い。これは，O_2-HIP処理により気孔を無くし緻密にしたことで，圧電素子の圧電効果を阻害する要因が減少したことと，拡散および結晶化がさらに進行したためと考えられる。[7]

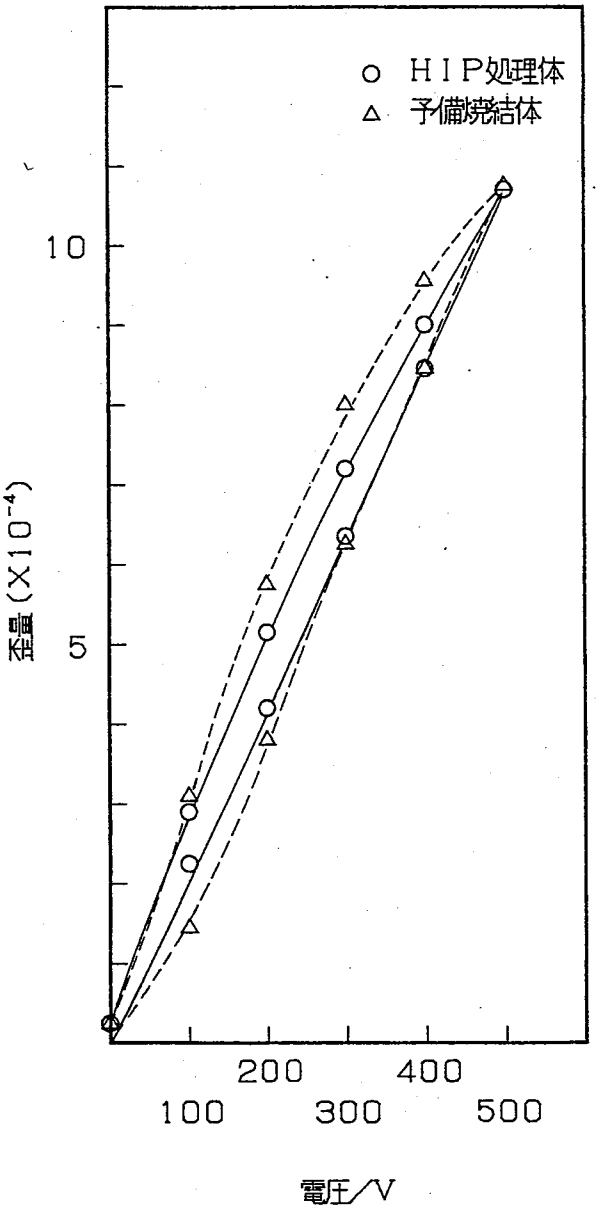
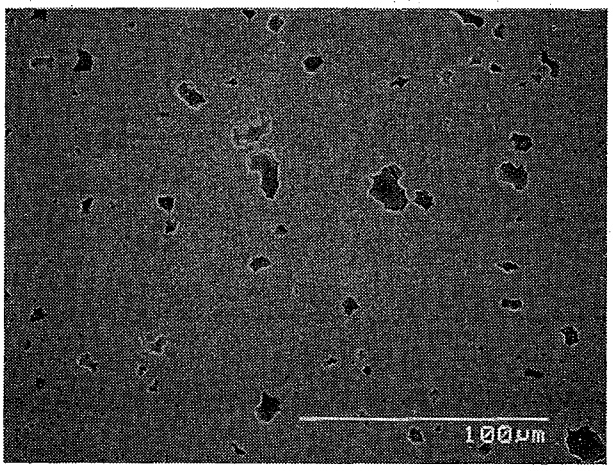


図8　各試料の歪ヒステリシス

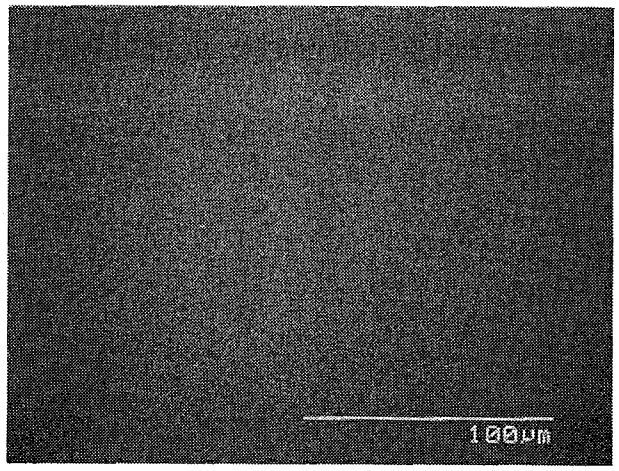
発生歪量は，圧電定数（d_{33}），印加電圧，断面積，圧電素子厚（全長）に依存しており，各々を大きくすることで歪量を増すことが出来る。しかし，印加電圧，断面積，圧電素子厚は電源および形状によるため，本質的には圧電定数（d_{33}）の値により決まると考えられる。

また，疋の報告によると，圧電定数（d_{33}）は気孔率にほとんど依存しておらず，この値は材料組成により決まる特性値と推測される。[8]

写真3に，各電圧素子のSEM写真を示す。



予 備 焼 結 体



HIP 処 理 体

写真3　各電圧素子のSEM写真

予備焼結体には，5～20μmの気孔が多数存在している。一方，HIP処理体では，予備焼結体のような大きな気孔は見当たらずO_2-HIP処理による緻密化の効果が認められる。

また，図9に任意の電解強度における各試料の縦方向発生歪と発生力との関係を示す。

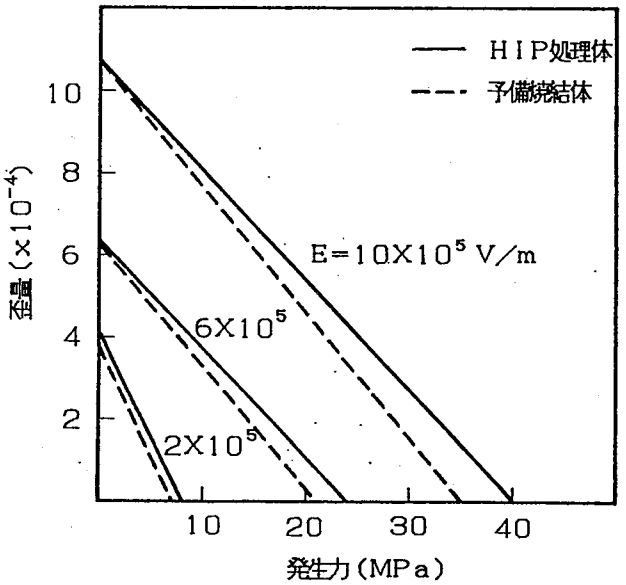


図9　各試料の縦方向発生歪と発生力との関係

各々が大きい程アクチュエータとしての仕事量が大きいことになる。

この発生力は，ヤング率，圧電定数（d_{33}），断面積，印加電圧に依存している。しかし，ヤング率を除いた他の因子は材料組成，電源及び形状によるため，ヤング率に影響されるところが大きい。

さらに，ヤング率は気孔率に直接依存しており緻密なものほど発生力は大きくなる。

表3に，発生力等の圧電セラミックス材料の物性値及び圧電特性値を示す。O_2-HIP処理体の発生力は，未処理体に比べて10数%の向上がみられた。

これは，上述したとおり，O_2-HIP処理により緻密化（密度の向上）が図られたためと思われる。

表3　圧電素子の物性値及び圧電特性値

	予備焼結体	O_2-HIP処理体
密　　度（g／cm³）	7.98	8.35
ヤング率（N／m²）	5.5×10^{10}	6.0×10^{10}
変　位　量（μm／0.5mm／500V）	0.53	0.53
発　生　力（MPa・／500V）	35	40

表4に，予備焼結体（O_2-HIP未処理体），O_2-HIP処理体の圧電素子の材料定数を示す。

表4　圧電素子の材料定数値

	予備焼結体	O_2-HIP処理体
圧電定数d_{33}（m／V）	6.36×10^{-10}	6.57×10^{-10}
圧電定数d_{31}（m／V）	2.37×10^{-10}	2.50×10^{-10}
圧電定数g_{33}（mV／N）	1.59×10^{-2}	1.58×10^{-2}
圧電定数g_{31}（mV／N）	0.60×10^{-2}	0.60×10^{-2}
電気機械結合係数k_{33}	0.71	0.72
電気機械結合係数k_{31}	0.33	0.35
機械的品質係数Q_m	60	70
誘　電　率　ε_{33}^T	4500	5100

各定数を比較すると，誘電率に関しては，試料の緻密化により約10%大きくなっているが，その他の定数に関しては，特に大きな差は見受けられない。

6. ま と め

O_2-HIP処理を施した圧電素子の使用により，変位量 0.53μm／0.5mm／500V，発生力 40Mpa（$E=1\times10^6$V／m）を得た。

なお，O_2-HIP処理前後の特性を比較した結果，電圧印加時（300～500V）の変位量は変わらないが，低電圧域（～200V）での変位量が増え，ヒステリシスカーブの幅が狭くなることが分かった。さらに，緻密化により発生力が10数%向上した。

変位量，歪量ヒステリシス及び発生力等，O_2-HIP処理を施すことでアクチュエータとしての高い性能が期待される。

引用文献及び参考文献

(1) 市来崎哲雄，隠岐貴史　第4回九州・中国地域ファインセラミックス合同研究発表会資料

(2) 岡崎　清　セラミックス，11,622－629（1976）

(3) 村田　稔　エレクトニク・セラミクス，3,34－40（1987）

(4) 高橋貞行　エレクトニク・セラミクス，臨時号，35－40（1984）

(5) 内野研二　セラミックス，21,229－236（1986）

(6) 高田光裕　粉体及び粉末冶金，25,292－294（1978）

(7) 五十嵐秀二　セラミックス，12,126－131（1977）

(8) 疋　和康　エレクトニク・セラミクス，臨時号，41－48（1984）

8. 木製家具の色調と塗装の感性に関する研究

斎藤　文二

Study on the tone and sense for coated wooden furnitures

Bunji SAITOU

1. はじめに

木製家具に使用される木材（主として表面材料）の種類，塗料及び塗装法，色調等はデザインと共に常に変化しており，イメージ的には感性に訴える商品であることから，製品開発においては，これらの要素を念頭にいれて取り組むことが肝要である。

当研究はこれらのことを踏まえて，繊維製品，電気製品等の傾向をも導入しながら，住宅，家具等における標準的な色調，塗装法を研究し，木製品の流行色の創造，塗装工程の改善，技術力の向上に資することを目的に行った。

2. 研究内容

(1) 供試材種

現在，木製家具に使用されている標準的な材種である，なら，にれ，せん等9種。国産材にない木目のパターン，色調を持っている輸入材のサペリ，ブビンガー，メープル等8種。及び良材の枯渇により未利用材の活用を図るための樹種3種を供試用材種として用いた。（表－2）

(2) 供試塗料

近年の家具塗装に用いられる塗料は，ポリウレタン樹脂塗料が主流となっていることから，このタイプの塗料を中心に用いた。

なお，中塗り塗料としては厚膜，研磨性等の必要上一部ポリエステル樹脂塗料，ウレポリタイプを使用し，感性が要求されることからパール調，スエード調，石目調の塗料による塗装も試みた。

また，塗料メーカーによる使用上の問題点，性能の把握等を行うため，ハードタイプとワングレードアップのタイプを並行して使用した。

(3) 塗装工程（方法）

研究の着眼項目として

①使用材種の特色を生かすこと

②流行を取り入れ新しさを表現すること

③感性に訴える製品であることの3点を挙げた

このため，技術的な問題として，

着色剤の染着性の効果，染着むらの防止，複層膜の効果，塗料の組み合わせ等の検討を行い，課題の解決を図った。

（表1－1～1－3）

(4) 成果の普及

作成した塗装見本板は，材種，使用材料（着色剤，塗装等）の工程表を貼付して当所へ展示，また，貸出等により，一般への利用を図ると共に技術的な問題については，所内及び現地にて指導を行った。

また，標準的な仕上げ見本板15点を1セットとし，70セットを作製して家具メーカー，資材メーカー，塗料メーカー等関係業界に配布し，技術の普及を図った。

なお，企業においての活用は，

- 製品開発
- 家具展示会等出展物製作
- 新製品，新技術等の動向調査などがあり，当所においては技術相談，指導の際に活用している。

3. あとがき

まえがきでも述べたように家具の仕上げ（色調，光沢，塗膜厚等）は年々変移していることから常に市場動向を把握しておくことが大切である。

今回の研究も継続研究として，毎年取り組んでいる中から方向づけが出来たものと思っている。

材種的には市場動向が，なら，せん，かば材が中心となっていたことから，これらを多く用いて色調，仕上げについて検討してきたが，もう少し未利用材等今後期待される材種が入手できれば，それらについて取り組むとなお一層効果が上がるものと思う。

感性に訴えるものとして，変わり塗りに取り組んだが，特にパール調仕上げは面白く表現でき，製品の種類，グレード等によっては採用する価値がある。

企業等の活用状況については，住宅部材，造作家具，展示会出品物への採用等，幅広く利用され，企業からも期待されていることから，今後とも継続的に研究していきたいと思っている。

平成2年度作製見本板一覧

表1－1

H. 2. 9.　　広島市工業技術センター

	樹種	木理			色調	着色剤				膜厚			仕上げ（GLOSS）					備考
		板目	柾目	杢目		水性	油性	溶剤	アルコール	OP	SOP	FG	0	30	50	70	100	
1	なら（楢）	○			オールナット			○			○		○					
2	なら（楢）	○			バイオレット		○	○				○		○				
3	なら（楢）	○			Dオールナット		○	○				○		○				
4	なら（楢）	○			Lブラック	○	○	○			○				○			
5	にれ（楡）	○			ブラウン				○		○		○					
6	にれ（楡）	○			Dオーク		○		○		○		○					
7	せん（栓）	○			オールナット		○	○				○		○				
8	せん（栓）	○			Lブラウン	○	○			○			○					
9	せん（栓）	○			Dオールナット	○	○	○			○				○			
10	せん（栓）	○			ブラック			○				○			○			エナメル仕上げ
11	せん（栓）	○			Lブラウン	○	○				○		○					
12	ぶな（樸）		○		Lブラウン		○	○			○				○			
13	しおじ（塩地）	○			ブラウン		○	○		○			○					
14	しおじ（塩地）	○			オールナット	○	○	○			○				○			
15	しおじ（塩地）	○			ブラック	○	○	○			○				○			エナメル仕上げ
16	ひのき（檜）	○			Lブラウン	○		○			○				○			
17	ひのき（檜）	○			Lオーク			○			○		○					
18	ひのき（檜）	○			チェリー		○	○			○				○			
19	すぎ（杉）		○		Lブラウン	○		○				○		○				

表1－2

	樹種	木理			色調	着色剤				膜厚			仕上げ（GLOSS）					備考
		板目	柾目	杢目		水性	油性	溶剤	ｱﾙｺｰﾙ	OP	SOP	FG	0	30	50	70	100	
20	すぎ（杉）	○			エンジュ		○	○			○				○			
21	すぎ（杉）	○			Lブラウン	○		○			○				○			
22	まつ（松）	○			オーク		○	○				○			○			
23	まつ（松）	○			Lブラウン	○	○	○				○	○					
24	まつ（松）	○			バイオレット	○		○			○				○			
25	まつ（松）	○			ホワイト			○			○				○			エナメル仕上げ
26	まつ（松）	○			ブラック			○			○				○			〃
27	ポプラ	○			ブラウン		○	○			○			○				
28	ローズウッド	○			ローズ				○			○	○					
29	サペリ	○			Dオールナット	○	○	○			○				○			
30	サペリ	○			バイオレット	○	○	○		○			○					
31	ブビンガ			○	Dブラウン	○	○	○			○				○			
32	ブビンガ			○	ワイン		○	○				○		○				
33	ブビンガ			○	Lブラウン		○	○			○				○			
34	ﾊﾞｰｽﾞｱｲﾒｰﾌﾟﾙ			○	イエロー			○			○			○				
35	ﾊﾞｰｽﾞｱｲﾒｰﾌﾟﾙ			○	Dオールナット		○	○			○			○				
36	ﾊﾞｰｽﾞｱｲﾒｰﾌﾟﾙ			○	Lブラウン	○		○				○		○				
37	化粧紙			○	Lオールナット			○				○		○				
38	化粧紙			○	Lブラウン			○				○		○				
39	イエローポプラ	○			Lオーク		○	○				○		○				

表1－3

	樹種	木理			色調	着色剤				膜厚			仕上げ（GLOSS）					備考
		板目	柾目	杢目		水性	油性	溶剤	ｱﾙｺｰ	OP	SOP	FG	0	30	50	70	100	
40	ウォールナット	○			オールナット			○				○			○			
41	にれ	○			Lオーク	○		○		○				○				
42	ブビンガー	○			ブラウン		○	○				○				○		
43	MDF				バイオレット			○				○					○	変わり塗り
44	シャムガキ	○			コクタン			○				○		○				
45	にれ	○			オールナット		○	○		○					○			
46	まつ	○			ローズ		○	○				○	○					
47	ブビンガー	○			ローズ		○	○				○		○				
48	たも	○			Lブルー		○	○			○		○					
49	人工突板	○			オーク		○	○				○			○			
50	〃	○			ブラウン		○	○				○			○			
51	MDF				シルバー			○				○					○	変わり塗り
52	MDF				ブラック			○				○					○	〃

内　訳

表－2

樹種別

なら	4点
にれ	4点
せん	5点
ふな	1点
しおじ	3点
ひのき	3点
すぎ	3点
まつ	6点
ポプラ	1点
ローズ	1点
サペリ	2点
ブビンガ	5点
メープル	3点
化粧紙	2点
イエローポプラ	1点
オールナット	1点
MDF	3点
シャムガキ	1点
たも	1点
人工突板	2点
計	52点

表－3

木理別

板目	39点
柾目	2点
杢目	8点
その他	3点
計	52点

表－4

色調別

オールナット	5点
Dオールナット	4点
Lオールナット	1点
ブラウン	5点
Dブラウン	1点
Lブラウン	10点
ブラック	5点
イエロー	1点
ホワイト	1点
オーク	4点
ワイン	1点
チェリー	1点
エンジュ	1点
ローズ	3点
Lオーク	2点
コクタン	1点
Lブルー	1点
バイオレット	4点
シルバー	1点
計	52点

表－5

着色剤別

溶剤	13点
溶剤・油性	20点
水・溶・油	8点
アルコール	2点
ｱﾙｺｰﾙ・油	1点
水性・油性	2点
水性・溶剤	6点
計	52点

表－6

膜厚別

OP	5点
SOP	24点
FG	23点
計	52点

表－7

光沢別

全艶消し	12点
3分艶	15点
5分艶	21点
7分艶	1点
全艶有り	3点
計	52点

9. 溶射加工条件と耐摩耗性の関係について
― 溶射に関する研究（第3報）―

市後　博造　　浅野　直弘　　中　川　孝　作※

Relation between Thermal Sprayed Parameters and Wear Resistance

Hirozou ICHIGO
Naohiro ASANO
Kousaku NAKAGAWA

プラズマ溶射法は被膜形成速度が速く，被膜材料の選定が自由に行なえ，また，使用目的にそった材料の選定が容易に出来る等の利点を有するため，航空機，自動車産業をはじめとして身近な生活用品にまで広く使用されている。特に耐摩耗性が必要なところには，安価な材料の上に機能特性にあった溶射材料を被膜することにより使用目的を満足させている。当センターにおいても保護被膜の研究，開発に着手し羽根車の表面にセラミック材料を被膜することにより製品の延命化を計る研究を行なっているが，その中で溶射加工条件の最適化を得るため，パラメータ設計を用いた実験を行った結果について報告する。

1. 緒　　言

前報において，アルミチタニア系材料を使用して溶射加工条件の最適化にについて検討した結果，溶射材料が評価特性値に及ぼす影響が大きいことが明らかとなった。すなわち，アルミチタニア系材料においては，チタニアの含有量の硬さに及ぼす影響が大きく，チタニアの含有量が多くなるほど硬度は低下する傾向にあり，耐摩耗性が悪くなっている。この結果に基づいて低Aℓ_2O_3-TiO_2材料を排煙脱流装置の渦巻ポンプに溶射し実地試験を行ない，定期的にその摩耗量の測定を行なって良い結果を得ているが，さらによい被膜を得るために今度はアブレシブ摩耗に良いといわれている酸化クロムを用いて前回と同様，溶射条件と耐摩耗との関係について田口メソッドのパラメータ設計を用いて溶射条件の最適化を計る実験を行ったので，その結果について報告する。

※ 株式会社横田製作所材料研究室室長

2 実験方法

プラズマ溶射において，溶射条件が被膜特性に大きな影響を及ぼすことは周知の通りである。この条件は使用機械，使用材料によって，メーカー側のデータに基づいて指定された条件をそのまま使用しているのが現状である。

今度は，被膜特性に影響を及ぼす要因として余熱の有無，厚み，粉末供給速度，電流，アークガラス量，補助ガス量，粉末供給ガスの7個のパラメータについてそれぞれ各要因に水準を決めこれを表1にまとめた。

被膜特性に影響を与える要因が多い場合，それらの要因の効果を効率よく求めるため直交表を用いる。直交表には多くの種類があるが水準数3，要因7種の場合L_{18}の直交表を用いる。表2に各要因のわりつけを示す。

テストピースは図1に示す形状に加工を行なった。母材はSUS304である。前処理として，ブラスト材は酸化アルミ系グリット（#24）を用いた。溶射はプラズマダイン製（40KW）で手動で行なった。

次に被膜特性の評価方法として図2に示すような摩耗試験機を作製し，図3に示すようにポンプの羽根車の先端にテストピースを取り付ける。できるだけ実動に即した方法での摩耗試験を行った。

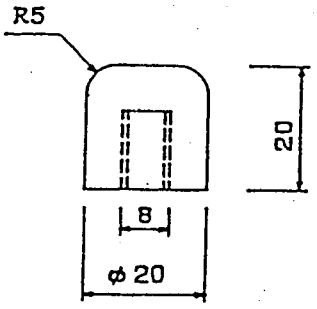


図1　テストピース

要因＼水準	1	2	3
A　予　熱	有	無	−
B　厚　み　(μm)	300	400	500
C　ﾎﾟﾝﾌﾟ回転数(rpm)	2	4	6
D　電　流　(A)	700	800	900
E　ARCｶﾞｽ (PSI)	50	60	70
F　AUXｶﾞｽ (PSI)	40	50	60
G　POWｶﾞｽ (PSI)	30	40	50

表1　各要因の水準値

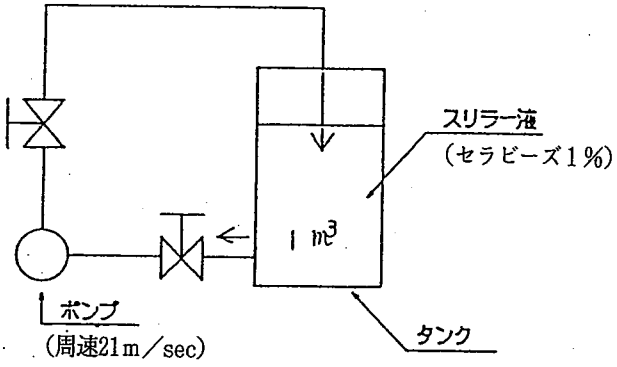


図2　テスト装置

	予熱 A	厚み B	ﾎﾟﾝﾌﾟ C	電流 D	ARC ｶﾞｽ E	AUX ｶﾞｽ F	POW ｶﾞｽ G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

表2　L_{18}のわりつけ表

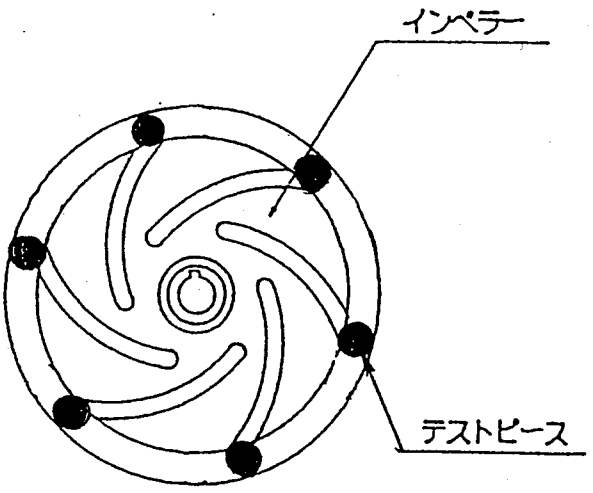


図3　テストピースの取付位置

スラリー濃度と試験時間の関係は，酸化クロムの摩耗量を予め予備テストを行なって，摩耗量との関係で1%，10時間と決定した。そして，初期重量と試験後の重量差により摩耗量を求めた。

なお，硬さはHR15Nでテストピース側面で測定した。粉末の溶融状態はSEM像で観察した。補助ガス量（He），供給ガス量（Ar）が被膜特性に大きく影響を及ぼすことが言われているので，今回は，これらのガスを変化させることによって被膜特性（溶融状態，被膜硬さ）がどのように変化するかを他の条件で溶射を行なった被膜との比較を行なうことにより検討を行なった。

3. 実験結果及び考察

3−1 制御因子の影響

表2にしたがって順次溶射を行なって得られたテストピースを図2の摩耗試験機に図3のように取り付け摩耗試験を行った。そして，それぞれの摩耗量を測定し表3にまとめた。

この結果を見ると摩耗量に大きなばらつきが見られる。

この要因間のばらつきの検討を行ない判断するのに，ここでは，田口メソッドの望小特性（特性値が小さければ小さいほどよい，例えば寸法誤差）の解析手法を用いて計算を行なった。

望小特性の計算手法

$$V_T = \frac{\sum_{i=1}^{n} (y_i - 0)^2}{n}$$

y_i ……計測データ

V_T……分散

$$\eta = 1/V_T$$

η …… SN比

$$= 10\,\ell og\,(1/V_T) = -10\,\ell og V_T$$

上記の式よりη（SN比）を求めた。

これをSN比の望小特性の評価尺度にする。このことにより望小特性のSN比ηは大きいほどよい値となる。この計算結果を表3の右欄に示した。

また，表3の下側の（※）に示すような条件でプラズマ溶射を行なった試料の摩耗量とSN比を示した。これらの試料は摩耗量も少なくばらつきの少ないよい結果を示している。これは，溶射条件のなかで粉末の溶けこみに影響を及ぼすと思われるAUXガスおよびPOWガスが適量流れているためと思われる。

次に，上記のSN比のデータを特性値として要因間の被膜の特性とのばらつきを比較し検討を行なうために分散分析を行なった。その結果を表4にまとめた。

この結果，厚みの効果が顕著で寄与率34.5%を示した。電流値，ARCガスに僅かながら効果は見られるがその他の要因については効果は見られなかった。

要因 / TP	予熱 A	厚み B	ﾎﾙﾊﾞ C	電流 D	ARC ｶﾞｽ E	AUX ｶﾞｽ F	POW ｶﾞｽ G	Wear volume (mg)	SN ratio (dB)
1	有	300	2	700	50	40	30	25.6	-28.16
2			4	800	60	50	40	52.9	-34.47
3			6	900	70	60	50	45.8	-33.22
4		400	2	700	60	50	50	10.6	-20.51
5			4	800	70	60	30	19.0	-25.58
6			6	900	50	40	40	18.4	-25.30
7		500	2	800	50	60	40	13.1	-22.35
8			4	900	60	40	50	14.8	-21.44
9			6	700	70	50	30	29.0	-29.25
10	無	300	2	900	70	50	40	35.2	-30.93
11			4	700	50	60	50	33.1	-30.40
12			6	800	60	40	30	30.4	-29.66
13		400	2	800	70	40	50	40.1	-32.06
14			4	900	50	50	30	16.0	-24.08
15			6	700	60	60	40	8.2	-18.28
16		500	2	900	60	60	30	32.5	-30.24
17			4	700	70	40	40	22.4	-27.00
18			6	800	50	50	50	46.3	-33.31
※	無	300	5	800	50	100	90	16.7	-24.45
	無	400	5	800	50	100	90	15.0	-23.52
	無	500	5	800	50	100	90	15.5	-23.81

※ 一般的な条件で溶射を行ったテストピース

表3 各要因毎の摩耗量によるSN比

AUXガスおよびPOWガスについては通常の半分程度しか流しておらず，この流量で水準を変化させても効果はみられず，水準の取り方に問題が

考えられる。

ホッパの回転数については，一般に4～6rpmが適切と言われておりどの水準をとっても良い結果が得られた。

要　因	平　方　和	自由度	分　散	分散比	F値	寄与率ρ
平　均	13680.7854222	1	13680.7854222			
予　熱	13.65902222	1	13.65902222	0.50	7.7	－
厚　み	141.11954444	2	70.55977222	2.58	8.9	34.5
ﾎｯﾊﾟｰ	3.38854444	2	1.69427222	0.06	8.9	－
電　流	47.33274444	2	23.66637222	0.86	8.9	－
ARCｶﾞｽ	46.60817778	2	23.30408889	0.85	8.9	－
AUXｶﾞｽ	13.78321111	2	6.89160556	0.25	8.9	－
POWｶﾞｽ	13.85681111	2	6.92840556	0.25	8.9	－
誤　差	109.44912222	4	27.36228056			65.5
合　計	389.19717778	17				

表4　摩耗量の分散分析表

分散分析に基づいて，図4に各要因効果図を，表5に各要因毎の平均値を示した。

以上の結果により，最適条件の組合せを行なった。

要因＼水準	1	2	3
A　予　熱	-26.70	-28.44	－
B　厚　み	-31.14	-24.30	-27.27
C　ﾎｯﾊﾟｰ回転数	-27.38	-27.16	-28.17
D　電　流	-25.60	-29.57	-27.54
E　ARC ｶﾞｽ	-27.27	-25.77	-29.67
F　AUX ｶﾞｽ	-27.27	-28.76	-26.68
G　POW ｶﾞｽ	-27.83	-26.38	-28.49

表5　要因毎の平均値

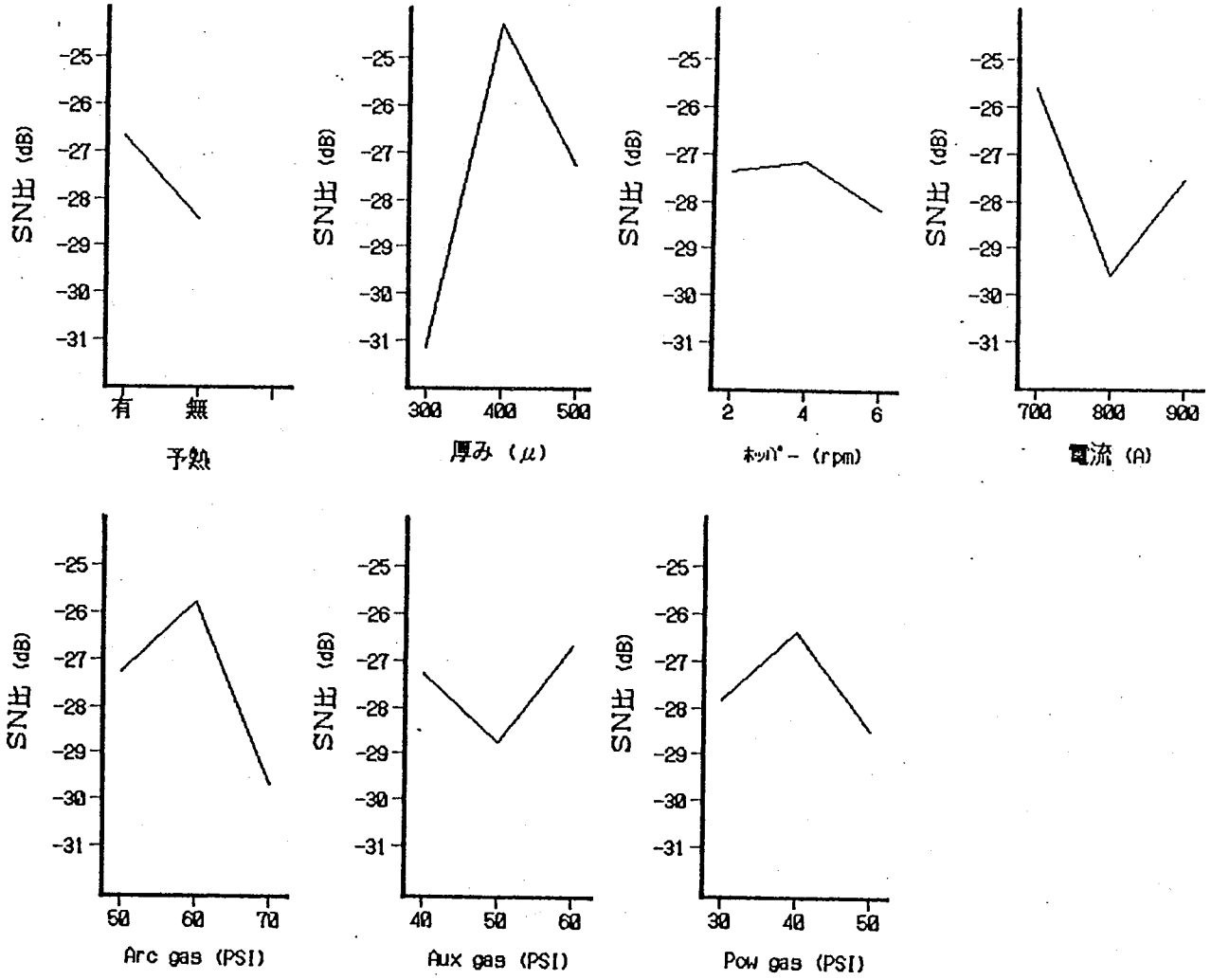


図 4　各 要 因 効 果 図

その条件を次に示す。

予熱	有
厚み	400（μm）
ホッパ回転数	4（rpm）
電流	700（A）
ARCガス	60（PSI）
AUXガス	60（PSI）
POWガス	40（PSI）

この結果と次に行なう硬さ評価による最適条件の組合せを考えていく。

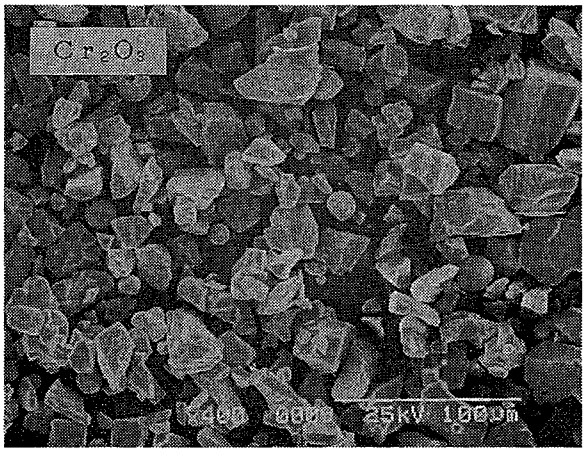
3－2　SEM像による観察

図5は酸化クロム粉末（市販品）および溶射被膜断面のSEM像を示すが，これによると酸化クロムの粉末の粒径は均一でなく大きなばらつきがみられる。

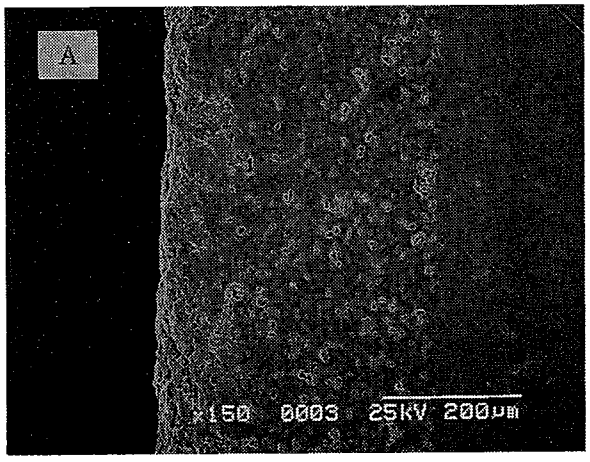
写真Aは表3の（※）の条件で溶射を行なった試料の写真を示すが，AUXガスおよびPOWガス量が適切と思われるので完全に溶融しているが，反面気孔も多くなっている。このため，摩耗量が比較的（24.0mg）大きくなっている。このことより，溶射条件により溶けこみ量，気孔の発生率が変化することが明らかになった。

写真Bは摩耗量が8.2mgと少ない試料の写真を示すが，粉末の未溶解部分が多く見られるが，粉末どうしの結合状態がよいので，気孔が比較的少なくなっている。粉末の溶融状態は熱容量が比較的小さくても，小さな粉末が早く溶け，大きな粉末は半溶融状態で残るが溶けた粉末がバインダの役目をなして耐摩耗性を向上させているとも考えられる。

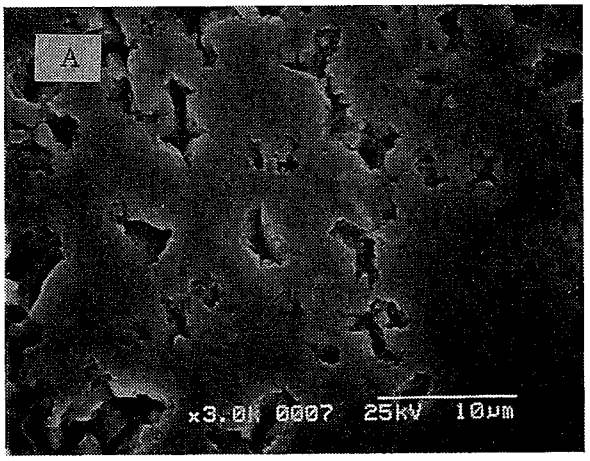
写真Cは摩耗量の大きな試料である。粉末の溶融が不十分なため粒子間の結合も悪く摩耗試験中に被膜が脱落する現象が発生するため，摩耗量も大きく，また硬度のばらつきも大きくなっていると思われる。



溶射材料のSEM写真

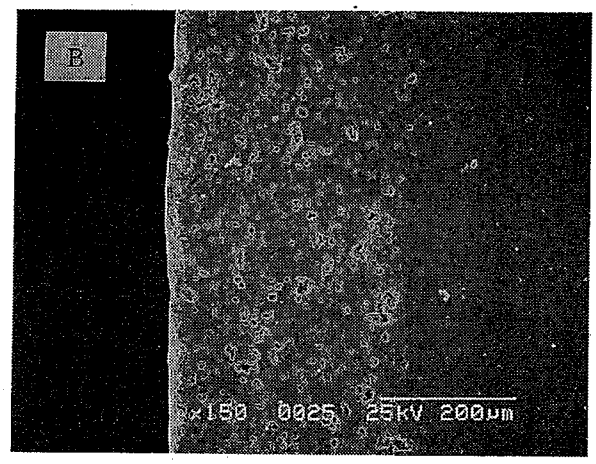


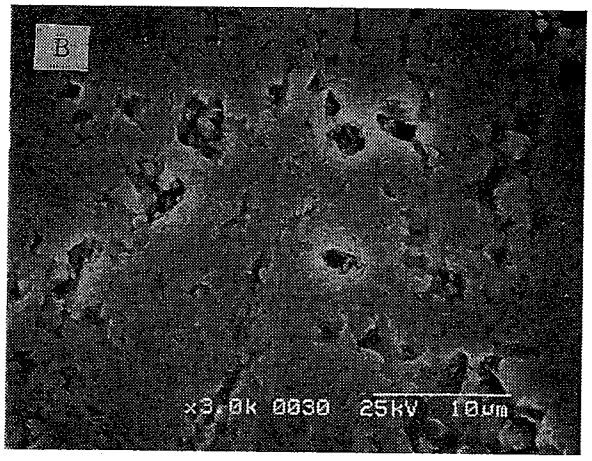
溶射被膜と母材接合部の断面SEM写真

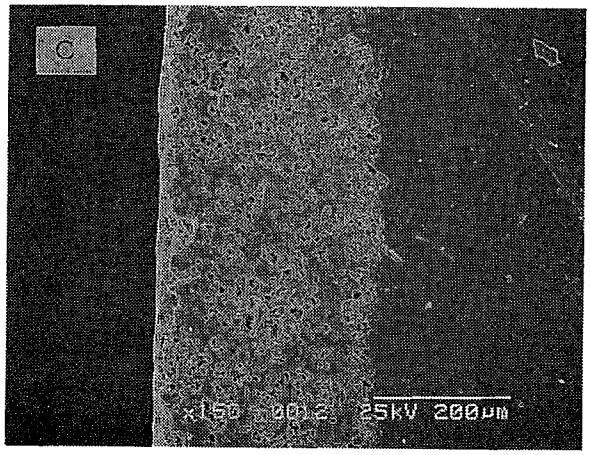


溶射被膜の断面SEM写真

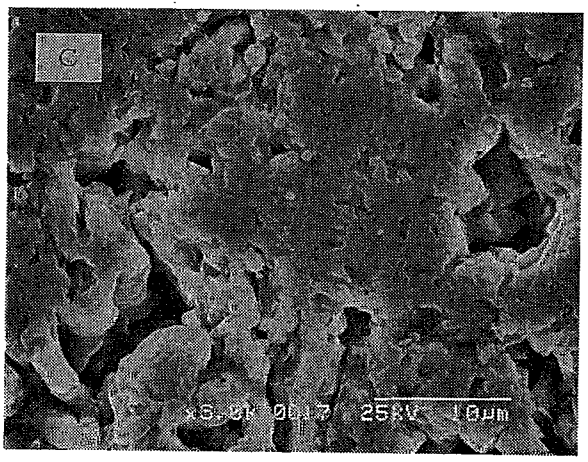
図5　溶射材料及び溶射被膜の断面SEM写真







溶射被膜と母剤接合部の断面SEM写真



溶射被膜の断面SEM写真

図5　溶射材料及び溶射被膜の断面SEM写真

3−3　硬さによる評価

表6は直交表L_{18}で硬さ測定を行なった結果である。このデータに基づいて以下の解析を行なった。

全変動Stは

$$St = \Sigma yi^2$$

一般平均Smは

$$Sm = \frac{(\Sigma yi^2)}{n}$$

誤差分散Veは

$$Ve = \frac{St - Sm}{n-1}$$

であり，SNを次式で求めた。

$$\eta = \frac{\frac{1}{n}(Sm - Ve)}{Ve}$$

$$SN\ (dB) = 10\,\ell og\,\eta$$

同様に感度において

$$感度S\ (dB) = \frac{1}{n}(Sm - Ve)$$

$$SN比\ (dB) = 10\,\ell og\,\eta$$

ここでnは制御因子を割り付けた直交表のデータ数，yiはデータである。以上の手続きによってSN比ηと感度Sが制御因子を割り付けた直交表の行つまり18個から求める。次に，L_{18}の分散分析

も行ない制御因子について検討する。表7に硬度のSN比と感度Sの分散分析を示す。

感度Sは平均値の傾向を表すがホッパの回転数（rpm）の効果が顕著で（寄与率17.0%）予熱有無（寄与率15.7%）厚み（寄与率5.9%）の効果が認められ他の効果は認められなかった。

硬さの平均値を上げるためにはホッパ回転数6，厚みは300μとなるほど硬さ平均値は上がる傾向にある。

一方ばらつきの指標のSN比はホッパ回転数，予熱有無，厚みに僅かながら効果は見られるものの寄与率に表示できる数値に達していない。

表8に制御因子とSN比感度の関係について示すが，この結果よりSN比の水準が高いところが感度Sが高くなっている。つまりSN比の高いところが硬さのばらつきが小さく，硬さが高いということになる。

以上のことにより，摩耗試験および硬さ試験結果による溶射条件の最適化を検討したが，摩耗試験結果と硬さ試験結果が比較的よく一致した。

予熱（有），厚み（400μ），ホッパ回転数（4rpm），電流（700A），ARCガス（60PSI），AUXガス（60PSI），POWガス（40PSI）となり再度試料を作成し，繰り返し摩耗試験を行なった結果15mgとばらつきの少ないよい結果を示した。摩耗量は少なくなったが，今回AUXガスおよびPOWガスを一般の条件より少なく設定し，実験を行ったが，その各要因の影響のなかでもこれらのガスの影響が大きいことがわかった。

試料No	HR15N						平均値
1-3	92.2	88.6	92.9	91.5	93.3	91.5	91.7
2-3	88.0	87.3	83.5	72.5	90.2	86.0	84.6
3-2	77.9	84.0	83.1	87.2	84.0	84.7	83.5
4-4	82.6	86.1	82.3	86.6	78.7	85.9	83.7
5-2	89.3	88.0	90.0	92.6	89.4	90.5	90.0
6-1	89.5	89.3	91.0	92.4	86.7	70.3	86.5
7-3	86.9	80.1	79.9	80.7	79.3	81.6	81.4
8-1	80.7	79.3	73.8	83.5	81.4	78.4	79.5
9-3	89.0	91.8	86.7	94.0	91.9	85.6	89.8
10-2	93.2	91.1	91.6	89.6	92.6	83.4	90.3
11-3	84.5	86.3	71.3	92.4	72.0	69.5	79.3
12-2	90.2	88.6	91.1	91.2	88.6	91.9	90.3
13-3	78.3	69.1	71.8	77.3	74.8	75.1	74.4
14-3	71.6	74.0	71.9	66.2	64.8	78.6	71.2
15-2	90.2	91.4	89.9	88.7	91.0	91.0	90.4
16-1	76.7	80.1	71.7	85.0	70.9	78.7	77.2
17-1	65.5	60.2	52.5	71.6	69.5	70.8	65.0
18-3	82.1	77.2	88.1	84.1	76.0	79.3	81.1

表6　直交表L_{18}の硬さ

SN比の種類		感度S		SN比	
要因	f	V	ρ(%)	V	ρ(%)
予熱	1	1.86888889	15.7	17.44435556	−
厚み	2	1.01717222	5.9	19.48990556	−
ﾎｯﾊﾟｰ	2	1.38717222	17.0	49.09667222	−
電流	2	0.09487222	−	25.94263889	−
ARCｶﾞｽ	2	0.14223889	−	29.85300556	−
AUXｶﾞｽ	2	0.16190556	−	13.67507222	−
POWｶﾞｽ	2	0.32940556	−	33.75740556	−
誤差	4	0.81943889	61.4	63.34688889	100.0
合計	17				

表7　硬度の分散分析表

	SN比η			感度S		
要因＼水準	1	2	3	1	2	3
A 予熱	28.46	26.49	−	38.64	38.00	−
B 厚み	28.09	28.89	25.45	38.74	38.31	37.91
C ﾎｯﾊﾟｰ回転数	28.46	24.26	29.72	38.37	37.82	38.78
D 電流	28.10	29.18	25.18	38.35	38.43	38.18
E ARCｶﾞｽ	25.14	29.58	27.72	38.23	38.50	38.23
F AUXｶﾞｽ	27.43	25.99	29.01	38.13	38.40	38.43
G POWｶﾞｽ	30.20	26.39	25.84	38.55	38.33	38.08

表8　制御因子とSN比の関係表

4. 結　論

パラメータ設計に基づいて酸化クロム材料の溶射加工条件の最適化を計るために，摩耗および硬さ試験による評価を行ない検討した結果以下の結論を得た。

(1)プラズマ溶射における種種のパラメータの内で耐摩耗性に及ぼす要因として被膜厚さの寄与率が34.5%と大きく，他の効果は見られなかった。

(2)溶射被膜の断面をSEM写真により観察を行なった結果，摩耗量の少ない試料は溶融状態もよく気孔も少ない反面摩耗量の大きな試料は溶融不十分で，気孔が多く被膜の脱落現象が見られる。

(3)溶射条件のなかでAUXガスおよびPOWガス量が溶融状態および気孔率に及ぼす影響が大きいことが判明した。

(4)硬さ測定より制御因子とSN比の関係について分散分析を用いて検討した結果，平均値（感度）に及ぼす影響としてrpm，予熱および厚みの寄与率が大きく，はらつきに及ぼす要因の効果は顕著にみられなかった。

(5)摩耗試験および硬さ試験の分散分析を行ない最適溶射条件を検討した結果，両方の評価の整合性を得た。

この結果の基づいて確認の実験を行ったところ摩耗量，ばらつきの少ない結果を得ることができた。

本研究は株式会社横田製作所と当センターとの共同で行なったものである。

参 考 文 献

1) 田口玄一:品質工学講座(1), (2), (3)
2) 矢野　宏:計測管理の実際
3) 榎原研正:設計者のための最適化法
4) 日本溶射協会:溶射ハンドブック
5) 市後博造:溶射に関する研究(1), (2)

10. 各種表面処理鋼板の塗装耐食性能について

植木　邦夫

On the corrosionproofness of steel sheets, surface treated by various kinds of paintings

Kunio UEKI

一般的に市販されている6種類の表面処理鋼板とSPCC鋼板に，スプレー及びフルデップ方式によるりん酸亜鉛系化成処理と，カチオン電着塗装を施し，化成被膜の生成状態と電着時に受ける鋼板表面（皮膜）の溶出等の変化の様子を調べた。また，これら鋼板のカチオン電着塗膜の耐食性能をSST及びCCTにより調べた。

1. はじめに

自動車，電気，建設等に利用される薄鋼板の表面処理鋼板と，非表面処理鋼板の比は4:6になっている。その表面処理鋼板の需要は図1[1]のような構成になっている。

自動車分野では表面処理鋼板の使用割合が図2[2]に示すように年々増加しており，技術的にプレス成型，溶接性等の機械加工，化成処理・電着塗装に対する相互的な研究により強化改善がなされている。

表面処理鋼板とりん酸塩処理性及び，電着塗装性との関連は防食性機能の観点から，非常に密接な関係にあるといえる。

表面処理鋼板は，塗装後の耐食性が問題になることが多い。これは，亜鉛メッキの場合，生成されるりん酸塩皮膜が耐アルカリ性の劣るHopeiteとなり，カチオン電着塗装工程において，皮膜表面近傍がPH13近くのアルカリ環境にさらされ，溶出することによると言われている。

そこで，一般的に市販されている表面処理鋼板が，化成処理（スプレー方式，ディップ方式）及び，カチオン電着塗装される際に化成皮膜表面が，どのような影響を受けているかを調べ，カチオン電着塗装後の耐食性についてSST及び，CCTにより実験を行った。

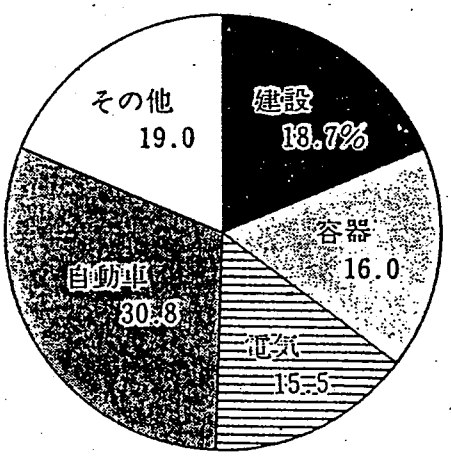


図1　表面処理鋼板の需要分野

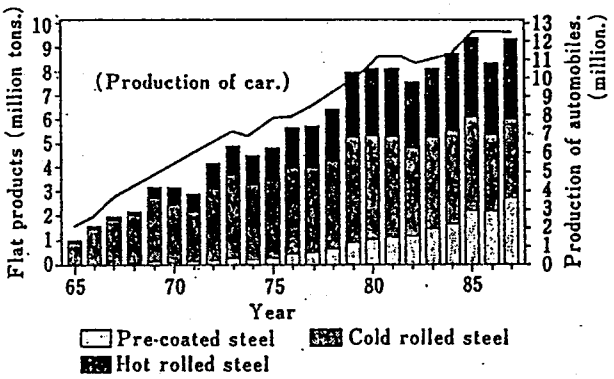


図2　自動車用表面処理鋼板の使用量の変遷

2. テストピース作成条件

2−1 使用鋼板の種類

表1に示すように，合金化溶融亜鉛メッキ，合金メッキ，電気亜鉛メッキ，各2種類と自動車用冷延鋼板の合計7種類の鋼板を使用した。

2−2 りん酸亜鉛皮膜処理

自動車車体で採用されているフルディップ方式に準じた，りん酸亜鉛皮膜処理として，表2に示す処理剤及び処理条件とした。また，皮膜結晶形態の比較とカチオン電着塗装時の皮膜溶出を比較するため，表3に示す処理剤及びスプレー処理条件で行なった。

2−3 カチオン電着塗装

表4に示す条件により行い，電着塗装時の化成皮膜の変化を観るテストピースは，電着塗装直後に溶剤洗浄により塗膜の除去剥離を行った。

表1 使用鋼板の種類

めっき系	組 成	T・P記号	目付量g/m²
溶融亜鉛	Zn＋Fe（合金化処理）	S	20/20
		P	30/30
合金めっき	Zn＋Ni	ZL	10/10
		M	10/10
電気亜鉛	Zn	Z	9.0/9.0
	Zn＋りん酸塩	B	8.7/8.7
冷延鋼板	Fe	F	−

表2 デップ方式りん酸塩皮膜処理薬品及び処理条件

処理剤	品 名	処理条件
脱脂剤	FC-4326	20g/l,Temp 50℃,Time 2min
表面調整剤	PL-Z	5g/l,Temp RT,Time 30sec
皮膜化成剤	PBL-3020	FA1.0,TA24.7,AC2.5,Temp 42℃ Time 2min

表3 スプレー方式りん酸塩皮膜処理薬品及び処理条件

処理剤	品 名	処理条件
脱脂剤	FC-4363	FA5.8,Temp 45℃,Time 2min
皮膜化成剤	PBN-144	TA13.0,FA0.6,AC1.8,Temp 42℃ Time 1.5min

3. 試験条件

3−1 SST JISK−5400

3−2 CCT

→SST(4hr)→乾燥(60℃×2hr)→湿潤(50℃×98%RH×2hr)
12hrを1サイクル←乾燥(RT×4hr)←

4. 判定基準

スクラッチマーク及びエッジ部からの，さび，ふくれの広がりが片側3mmに達するまでの試験時間による。

5. 試験結果

ディップりん酸亜鉛皮膜処理・カチオン電着塗装した各鋼板の，SST及びCCTの結果を図3と表5に示す。

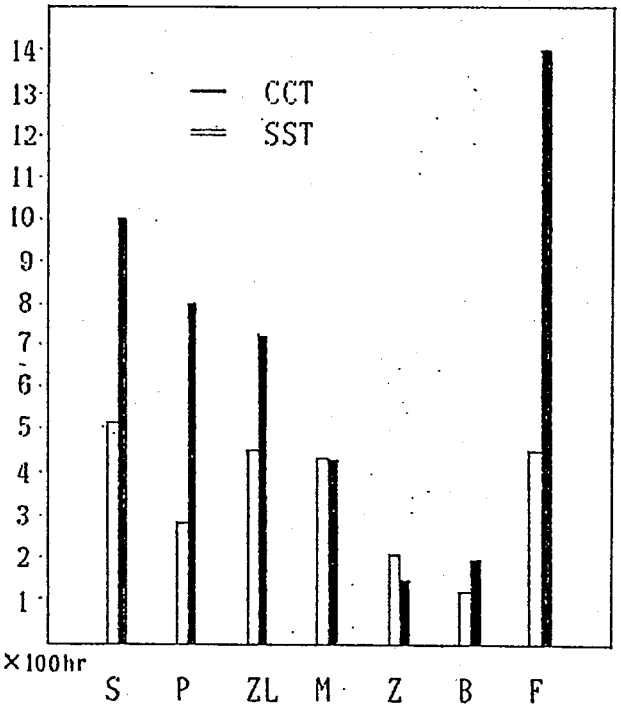


図3 SSTおよびCCTの試験結果

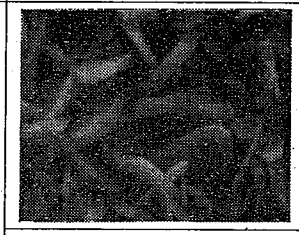
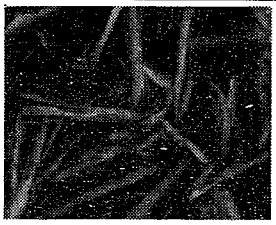
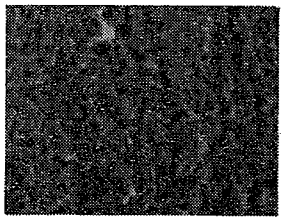
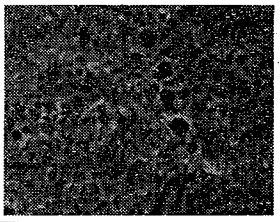
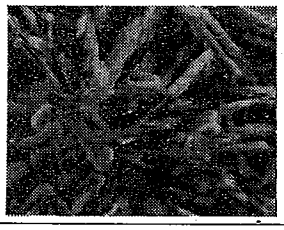
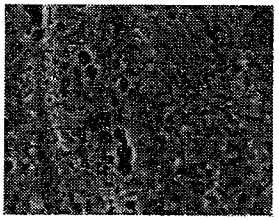
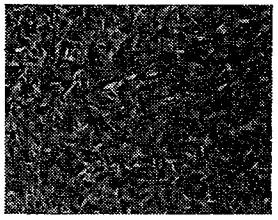
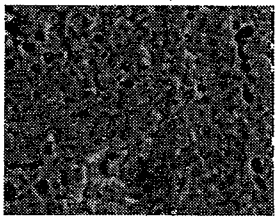
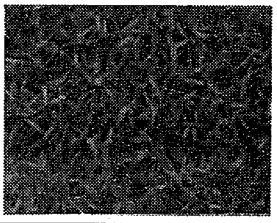
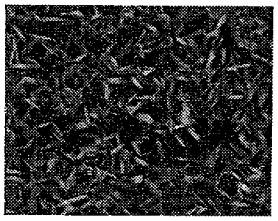
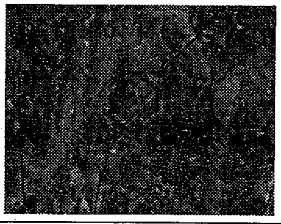
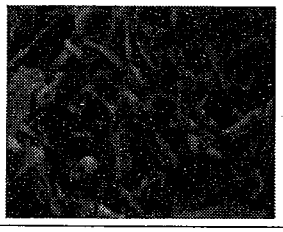
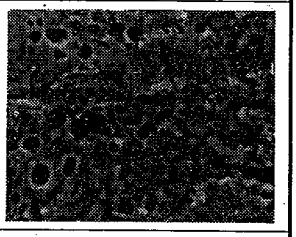
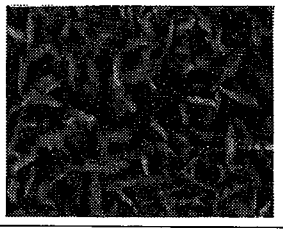
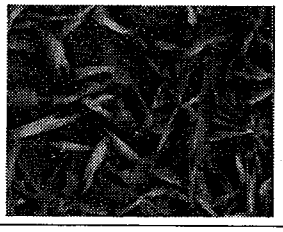
表4　カチオン電着塗装条件

項　　目	条　件　値
N V (Non・Volatile)	17 %
P H	6.5
酸　濃　度	28 Meq/100g
電　導　度	1,400 μm /cm
溶剤濃度	3.0 %
温　　度	28 ℃
極間距離	250 mm
通電電圧	130 V
昇圧時間	25 秒
電圧ｷｰﾌﾟ時間	120 秒
乾燥温度	160 ℃
乾燥時間	30 分
膜　　厚	15 μm
硬　　さ	3H
光　　沢	56.2

表5　(　) サイクル回数

鋼板	S S T	C C T
S	520	1010(84)
P	280	790(66)
Z L	460	720(60)
M	440	430(36)
Z	210	160(13)
B	120	190(16)
F	920	1380(115)

また，各鋼板にディップ及びスプレー法の化成処理により形成された，りん酸亜鉛皮膜結晶の電子顕微鏡写真を写真1に示した。ここで，各鋼板の1，3は化成処理直後のもので，2，4はそれぞれカチオン電着塗装直後に，電着塗膜を剥離除去後の写真である。この二次電子像とディップ法による，りん酸塩皮膜＋カチオン電着塗装のSST及びCCTの結果から，各鋼板のりん酸塩皮膜の特徴とカチオン電着塗装によるりん酸塩皮膜の変化及び，カチオン電着塗膜の耐食性について考察した。

	PBL−3020（ディップ）		PBN−144（スプレー）	
	化成処理直後	CED塗膜剥離後	化成処理直後	CED塗膜剥離後
溶融亜鉛メッキ鋼板				
	S−1	S−2	S−3	S−4
				
	P−1	P−2	P−3	P−4
合金メッキ鋼板				
	ZL−1	ZL−2	ZL−3	ZL−4
				
	M−1	M−2	M−3	M−4
電気亜鉛メッキ鋼板				
	Z−1	Z−2	Z−3	Z−4
				
	B−1	B−2	B−3	B−4

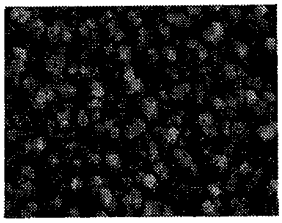
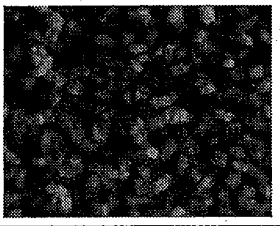
	PBL−3020（ディップ）		PBN−144（スプレー）	
	化成処理直後	CED塗膜剥離後	化成処理直後	CED塗膜剥離後
冷延鋼板				
	F−1	F−2	F−3	F−4

写真1　リン酸亜鉛皮膜の顕微鏡写真（倍率×1000）

まず，冷延鋼板（F）であるが，SST，CCT共に他の表面処理鋼板に比べ，非常に優れる結果となった。これは，緻密で耐酸•耐アルカリ性に優れるPhosphophylliteが化成され（F−1），カチオン電着時の皮膜の溶出も，写真で観る限り殆ど無いためと思われる（F−2)。しかし，スプレー法の場合（F−3，4）は皮膜がHopeiteのため，電着時の溶出が認められる。

次に，合金化溶融亜鉛メッキ鋼板（S−1，2）は，結晶形態はHopeiteが化成して電着時の溶出が少し認められるが，表面処理鋼板のなかでは一番成績が良かった。

一方（P−1，2）は正規な皮膜化成がされておらず，りん酸塩皮膜効果は認められない。スプレー法の場合（P−3，4）もディップ法同様で，電着時の表面溶出はディップ法よりも激しい。部分的にはピット状のエッチングが観られる(P−4)。

合金メッキ鋼板は，SSTでは2種類とも同等の耐食性能を示すが，CCTでは電着時のエッチングが少ないZLの方が相当に優れる結果となった。スプレー法の場合の皮膜化成状態及び，電着時のエッチングの様子はディップ法と同様である。

次に，電気亜鉛メッキ鋼板は一番成績の悪い鋼板であるが，りん酸塩処理電気亜鉛メッキ鋼板は，既存のHopeite皮膜により，皮膜化成処理で皮膜は化成されない。一方の電気亜鉛メッキ鋼板は荒いHopeiteが化成され，電着塗装時に激しくエッチングされておりCCTの結果が非常に悪くなっている。

同鋼板のスプレー皮膜（Z−4）は，なおこの傾向が顕著で無数のピットが観られる。

5. ま と め

自動車に採用されているフルディップ方式によるりん酸亜鉛皮膜処理および，カチオン電着塗装は，Phosphophyllite皮膜である冷延鋼板に対してすばらしい耐食性能を示す。

しかし，市販されている一部の一般的な表面処理鋼板では鋼板面が亜鉛リッチであることから，ディップ方式による皮膜処理を施しても，皮膜の結晶形態はHopeiteとなり，カチオン電着塗装工程のアルカリ環境により，皮膜や亜鉛メッキ層の溶出の激しいものがあり，期待される耐食性能を示さないことになる。スプレー方式によるりん酸亜鉛皮膜の場合はさらにこの傾向が強くなる。

参 考 文 献

1) 岡　襄二:防災管理　VO1，35，No2，1991
2) R•Hada:Proceeding　GALVATECH　'89，P−111

11. 中小企業におけるCAD／CAMシステムの概念設計

地域中小企業CIM化への取組み事例研究—広島市工業技術センターCIM研究会の成果から（その1）

小島　一洋　　西山　修二　　山本　慧實　　中村　信人※
森川　克己※　　重光　敏明※※　　福原　英幸※※※

Conceptual Design of CAD／CAM system in a small & medium enterprise Research on examples of development of CIM system in regional small & medium enterprise — Result of a society for scientific research of CIM system in HIROSHIMA MUNICIPAL INDUSTRIAL TECHNOLOGY CENTER (part 1)

Kazuhiro OJIMA
Shuji NISHIYAMA
Satomi YAMAMOTO
Nobuto NAKAMURA
Toshiaki SHIGEMITU
Hideyuki FUKUHARA

研究概要

近年CIMの構築が有力な技術として注目されている。これは，従来の生産管理•生産技術に情報理論，コンピュータサイエンス，通信技術さらに知能化技術等が融合化した新しい技術であり，企業の全活動を高度な生産システムとして結合しようとするものである。このシステムの実現には，少なくとも数年の準備期間を要し，しかもその企業独自の組織風土に根ざしたものを着実に構築していく必要がある。広島市工業技術センターでは，地域中小企業を対象に産•学•官交流により，平成元年度　生産管理•技術研究会　対象15者（CIMの構築についての基礎的研究）平成2年度　CIM研究会　対象12社（モデル企業2社に対するCIM化への第一歩を目指したシステム　エンジニアリング能力の向上）を実施した。

これらの研究会活動は，地域中小企業を対象にCIMの構築を進めていく上でどのような留意点をおさえるべきかを探索したものである。特に地域中小企業といえども，近年の事業環境からCIM化の必要性を痛感しているからである。ここにその研究会活動の成果例の一つとして，地域中小企業サッシュメーカR社をモデル企業として，CIM化を目指した第一歩としての(1)設計から製造への自動化のためのCAD／CAMシステムの導入，(2)生産管理システムの高度化等の概念設計を試みた。

※ 広島大学工学部計数管理工学教室
※※ 三菱重工㈱広島工機工場
※※※ 大東通商㈱システム課

1. 目　的

地場サッシュメーカーであるR社は比較的堅調な経営状態にあるが，今後予想される受注獲得競争の激化に耐えれるだけの力をつけるために，将来的にはCIM化を進めたいと考えている。このCIM化に向けての第一歩として，設計から製造への自動化のためのCAD／CAMシステムの導入を検討している。

ここでは，R社がどのような手続きでCAD／CAMシステムの導入を進めているかを述べる。

2. R社の沿革ならびに背景

R社は昭和34年よりスチールサッシュやドアの製造を始め，地場サッシュメーカーとしてビル用の防火戸，スチールサッシュやドアの供給をしており，従業員約50名，資本金約2,500万円，年商約7億円の中小企業である。

サッシュ製造という業種の特徴としては以下のような点があげられる

①アルミサッシュ（ならびに軽量ドア）は大手6社が圧倒的なシェアを持っており，各地の中小企業はアルミサッシュの販売とスチールサッシュの製造•販売が主となっている。

②アルミサッシュメーカーとの価格競争より，独自の価格維持が簡単ではない。

③販売方法が多くあり。価格が乱れやすい（図2.1参照）。

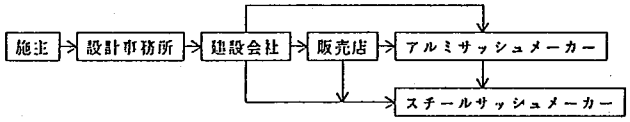


図1　サッシュ工事の流れ

R社のおかれている環境の特徴としては

①個別受注生産であるため，生産合理化が進めにくい。

②夏場の受注量が減少する（負荷がばらつく）。

③客先からの大まかな建築図面と過去の実績をもとに，詳細な設計図面を仕上げ，その図面が承認された後，今度は工場での加工指示のために，設計図面に基づく加工図面をつくらなければならない。

などがある。図2はR社における製造工程図である。

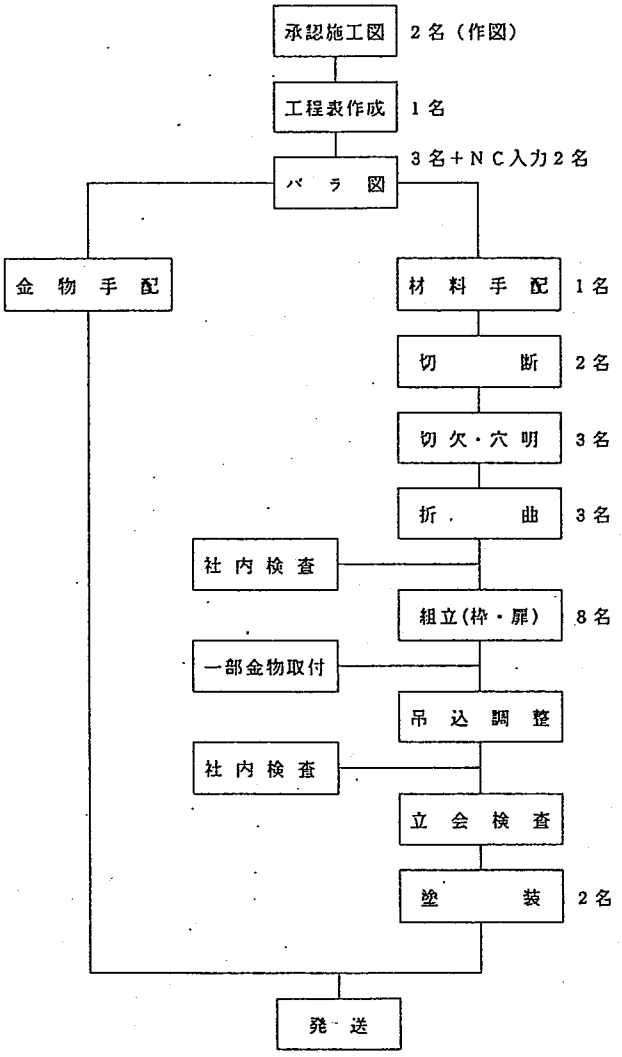


図2　R社における製造工程図

3. CAD／CAMシステム導入の手順

CAD／CAMの導入にあたっては，以下のような手順をふむことが必要であろう。

①開発基本方針の明確化（技術面，運用面，重点改善ポイント）

②目標の明確化（製造工期および生産準備期間短縮，省人，コスト低減，無人運転など）

③現状分析（設計業務フロー分析，ドキュメント

分析，既存関連システム分析など）

④システムへの要求条件の明確化と概念設計（投資可能限度，開発期間，既存システムとの接続の要否と接続条件，システム化の範囲明確化，コンピュータハードウェアの構成と機能分担など）

⑤プロジェクトチームの編成ならびに実行計画（システム仕様書）の作成

⑥システムの導入と運用

以下では，R社に対してこれらの手順を実際に適用する。

3－1　開発基本方針の明確化

R社における各工程の現状ならびに将来的な目標をまとめると，表1のようになる。

技術面ならびに運用面の開発方針:

①加工技術としは，現状もしくは多少の改良で当面対応可能。

②自動化レベルは，現状は人による作業が主となっており，人のスピードが基本的なものとなっているので，人はオペレータないし補助的な作業を行う形（自動化）を行いたい。

③システムとしては，現在のところ，作図で人手がかかり，解図でまた人手が必要という状態なので，CADで入力すれば作図が終わり，解図も自動的に処理し，機械加工，データ作りも自動で行うというように，極力人の介在が少なくなるシステムとしたい。

重要的な改善ポイント:

作図，解図，データ入力などの人が何度も介在する箇所を一度の入力で終了するようにして，省人化を図りたい。

表1　各工程の現状と目標

工程	現状	目標
作図	人による	CAD等による自動化
解図	一部コンピューク利用	CAD等による自動化
機械加工データ	人による	CAM等による自動化
機械加工		
① 切断	シャーリング等の利用	自動化
② 切欠	NCプレス等の利用	自動化
③ 折曲	NCベンダ等の利用	半自動化
組立	人による	自動溶接等による組立
防錆塗装	人による	自動化

3－2　目標の明確化

目標（例えば，工期短縮や省人化の程度，コスト低減の割合など）を数値的に設定することはかなり困難であるが，おおまかには以下のように設定した。

a.　作図に関して

①施工図に必要な納まり図

・外部の躯体関係，内部の仕上関係で全体の60％～70％満足させてくれる作図

・自由にしかも簡単に作図できる機能を持ち，CADのみの作図とする

②製品の断面図

・自社製品の60％～70％をしめる製品についてはCAD～CAMに連絡

・将来的には上記の90％程度まで実現。

b.　製造に関して

・自社製品の60％～70％をしめる製品の完全自動化（バラ図，金物，NCプログラム）

・簡単な曲物自動化

3－3　現状分析

設計を中心とした作業内容について分析を行った。設計業務を大別すると，以下の6つとなる。なお図3に設計業務フロー図を示した。

①作図，②訂正，③検図，④解図，

⑤出図，⑥見積

このうち特にCAD／CAMと密接に関係している①作図と④解図について現在の作業内容を細かく分析する。

①作図（設計）

a.　断面図（納まり図を含む）作成［1人1工事］

→25枚くらい

まず，設計事務所からの建築図面（仕上表，平面プラン，立面図，断面図，矩形図，各部詳細図，展開図，建具がつく場所，建具表など），見積表から拾い出しながらスケッチを書く。このとき，建具がつく場所，　幅(W)，高さ(H)，枠見込み

(D)，躯体の納まりが大切である。(16分／製品)

次に第2原紙（断面図の第2原紙で，全部で約120種ある）を棚に取りに行き，コピーを取り，ドラフターにのせて断面図（図4参照）を書く。(37分／製品)

なお，第2原紙があるのは70％，ないのが30％である。

b. 製品の部分的断面詳細図（補助図面）作成

第2原紙をコピーし，寸法を記入して断面図に添付する。（ガラリ，補強材断面図）

(注) 第2原紙には①断面図［120種程度］と②挿入用（ガラリ，補強材）［20枚程度］がある。

c. 姿図作成

①断面図，断面詳細図より姿図（図5参照）を書く。 (37分)

②見積図，カタログから金物表を作成する。

③断面図の1／20の部分的詳細図（製品がつくと

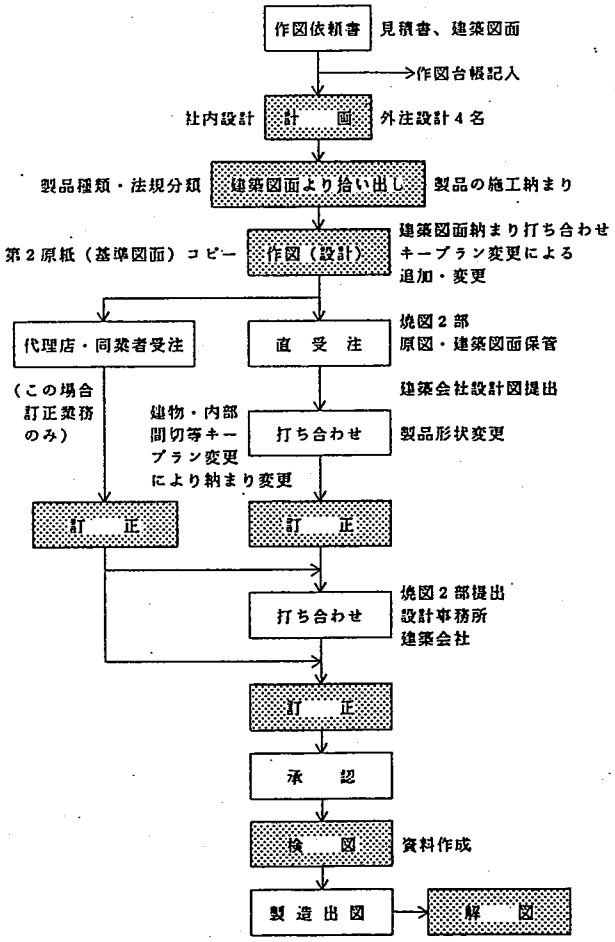


図3 設計業務フロー図(網掛けは主体作業を示す)

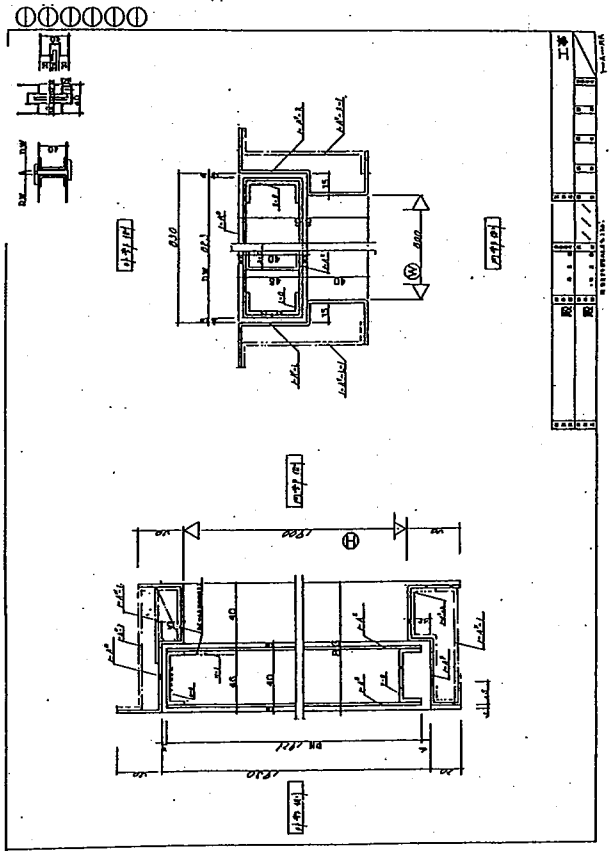


図4 断 面 図

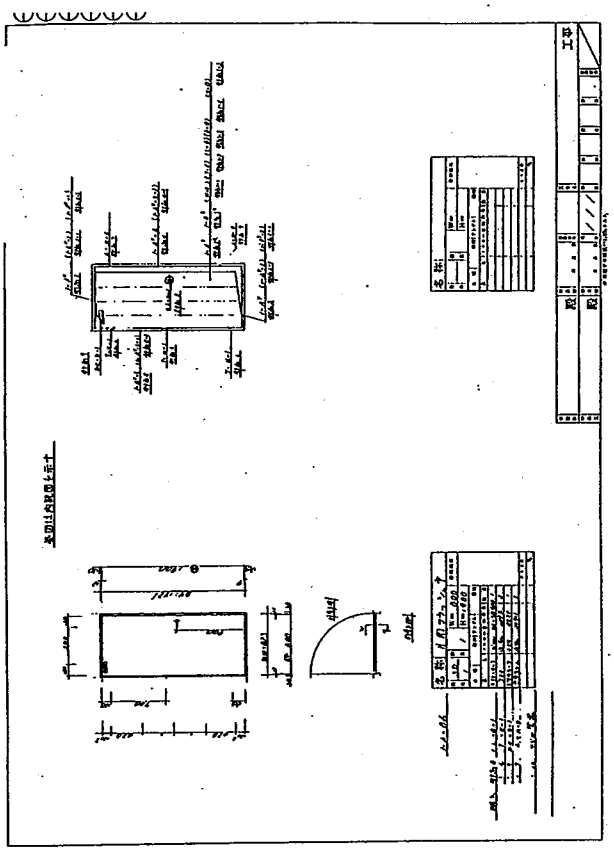


図5 姿 図

ところの詳細図）を書く。

d. 修正配置図作成

姿図を見ながら，実際の建築配置図をコピーして修正する。

e. 建具表作成

修正配置図，姿図を利用する。

	要素作業	比率（%）	累計
主体作業	1．計画	3	3
	2．建築図面拾い出し	20	23
	3．作図（設計）	25	48
	4．訂正	11	59
	5．検図	10	69
付帯作業	1．第2原紙コピー	10	79
	2．打ち合わせ	10	89
	3．資料作成	0.5	
	4．作図台帳記入	0.5	90
その他	1．納まりの問い合わせ	7	97
	2．変更・追加		
	3．設計デザイン変更		
	4．焼図（コピー）	3	100

表2　設計業務の各作業の比率

なお，表2は設計業務の各作業の大まかな比率を示している。

④解図→1製品で12枚くらい

a. 入　力

建築会社から承認された図面（断面図）に対し，数量，寸法，機能などの検査をする。この検査を通過した図面が製造部長により検図され。内作・外作の区分けがされる。内作となったものに対し，金物リスト（金物表を一覧形式にしたもので，製造部門で行われる）が作られる。これと，承認された図面の2つが解図作業に対する入力となる。

b. 処　理

製品の特徴より，コンピュータで処理できるものとできないものがある。その比率は以下の通りである。

コンピュータ処理可能		コンピュータ処理不可能
70%		30%
全部可能	一部可能	↓
90%	10%	現在のソフトでは対応できない（例えばエンジンがある場合など）

ⓐ コンピュータ処理の場合

(i) 図面を見て，図番符号ごとに寸法（W，H）を入力する。入力箇所は1～50で，平均5箇所

(ii) 金物入力（これはリストが表示される），吊り元（右開きか左開きか）入力

以上の手続きの繰り返し（5分／画面:女性1人）

一部特殊な処理が必要なケース(1工事当たり平均1件)

例:扉の上にパネルがある。

連窓，段窓がある。

ドア形状が特殊

↓

この場合，男性が応援する。

ⓑ 人間による処理の場合(男性2人)　→A4用紙1枚あたり60分

(i) 曲げのスケッチを書く

(ii) 寸法を入力する。

(iii) 切りかき（展開図）を書く

c. 出　力

解図されたものから

ⓐ 手打ちNCテープ

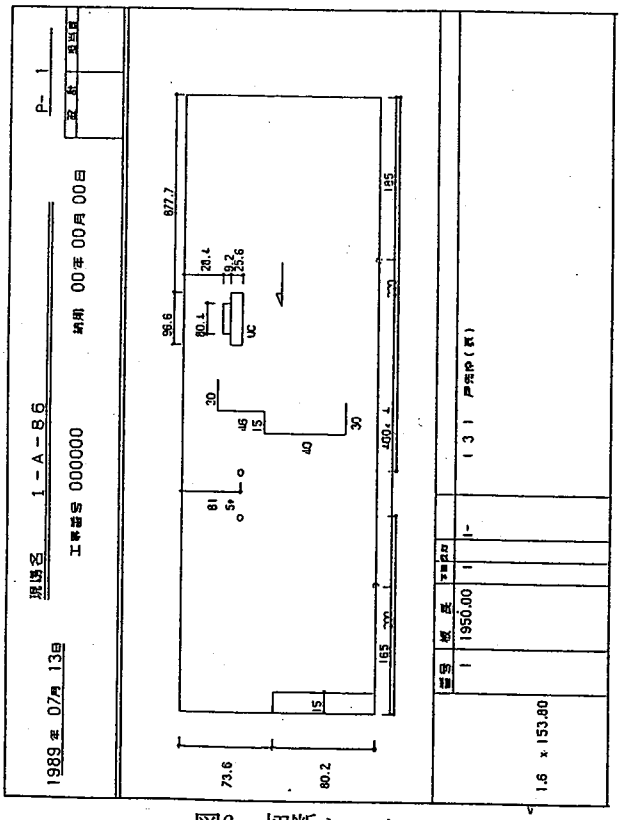


図6　切断シール

ⓑ 切断シール（板取り）→部材に貼付する（図6参照）

（注1）使用しているコンピュータからもNCプログラムが出力されるが，何らかの原因で正しく動かないため，利用していない。

（注2）男性2人は，コンピュータによる解図の出力もチェックする。

3－4　システムへの要求条件の明確化と概念設計

上述のような現状分析に基づき，R社としてはCAD／CAMシステムに対し，以下のようなような要求条件を設定した。

- 作図から解図へと作業が一連して行える。
- 別のCADシステムと両立できる。
- 施工図（建築図面）から断面図を作るときに，躯体が画面に出るとよい（そのためのは，あらかじめ形状を入力しておくことが必要であろう）
- 金物表の品番の自動マッチング機能（社外番号と社内番号が必ずしも一致していないため）
- マスター登録能力
  ①標準形状の種類
  ②独自の形状の登録も可能であること
  ③ドア断面の作図
- CADで作図したものを解図して出力したい
- 信頼できるメンテナンス体制
- 断面縮小図が欲しい（縮小・拡大機能）
- ドア干渉チェック機能
- スピードが速いこと
- 夜間自動出力できる
- 資材発注リスト作成能力
- 他のコンピュータシステムとの統合性（ただし，既存システムにより構築されたデータベースはないので，既存システムとの連結などは特に必要ない）
- 図面変更が簡単にできる
- 構造図が作図できる
- 円・円弧が作図できる
- 製品寸法を画面から確認できるとよい
- NCプログラムが簡単にできる

R社は，CAD／CAMシステムを独自に作るだけの人的パワーがないため，ソフトウェアハウスの既存製品を一部自社用に変更・拡張してもらい，それを購入する予定である。そこで，上述の要求条件を以下のような6つの評価チェック項目に整理し，現在導入を検討しているソフトウェアハウス3社（A，B，C）の代表的製品について，各項目5点満点で評価してみた（表3参照）

〈チェック項目〉

- 既存システムとの融合性
- システムの拡張性
- CAD／CAMの連続性
- システムのサポート体制
- 処理の迅速化
- システムの操作性

表3　ソフトウェアハウス3社(A，B，C)の製品に対する評価（5点満点）

	融合性	拡張性	連続性	サポート体制	迅速性	操作性	計
A社	2	2	3	2	3	3	15
B社	3	4	3	4	3	4	21
C社	3	2	3	3	3	4	18

また，図7はR社の現在システム構成をもとに作成した，CAD／CAMシステムの概念的な構成案である。

なお，CIMのモデル工場を目指し，そのための第一歩という観点から生産管理システムを中心とした概念設計案を付録として巻末に記載した。

3－5　プロジェクトチームの編成ならびに実行計画（システム仕様書）の作成

(1)　プロジェクトチームの編成

現在CAD／CAMを検討する上で，このシステムの範囲だけを考えればいいというものではなくなって来ている。既存のシステムとのリンケージが深く関わり合うので，チーム構成には，関連するセクション（営業，製造，資材等）で各々要求項目をまとめ各セクションの代表者，トップの方針を理解している人もしくはトップによって，プ

ロジェクトチームを構成し，脱落項目や追加項目を補い仕様を作りあげていく。

(2) システム仕様書の作成

a. システムの拡張性

①現在営業，経理はLANで構築され，そのシステムからCAD／CAMに営業情報が受けられるようなシステムでなければならない。

②既存NC装置とのDNC化が構築可能であること。

今後DNC，FAと展開していく上で不可欠。

b. CAD／CAMの機能チェック

①仕様頻度の高い部品，断面図をパターン化し，特殊な仕様のものに対しては縦横寸法，径入力の変化で対応できる様にし，効率化を図る。

出来るだけパターン化し，経験のない人でも使用可能なものにしたい。

以上のような運用進めて行く上で，社内で標準部品，断面図などの整理が必要である。

②既存NC装置，他NC装置に対してのNCテープが対応可能である事。

③カスタム化の可能範囲

- 独自の形状
- 独自のルーチン手順の追加

④その他諸機能

- 板厚別のネスティング
- 製作指示書，材料指示書，材料集計，材料明細

3−6 システムの導入と運用

(1) システムの導入と運用

その導入場所に最適なCAD／CAMを最初から導入することができれば理想的ではあるが，現実問題としては，理想的なシステムの導入が完成したイメージを念頭におき，段階的に導入を計るのがベストと考えられる。

その理由

①運用に必要なデータベースの整備がCAD／CAMの効率的な運用には不可欠だが，入口の時点では完璧データベースの整備が通常は不可能である。

データベースそのものの構築を最終的なCAD／CAMの姿に向けて方向修正しつつ順次進めて行くのがもっとも現実的と言える。

②CAD／CAMを標準的な運用でなく，その導入対象業務に合わせてカスタマイズするためのは，使用者の慣れ，あるいは経験から発生する諸問題をシステムに最適の状態で反映することが肝要である。

4. 結　論

R社のCAD／CAMシステムへの取り組みはまだ途中段階であり，導入に向けて解決しなければならない問題点はいくつもある。差し迫って解決しなければならない問題点としては，

①図面番号の導入（GTコードのような統一的なコードを取り入れる）

②現存のデータ（特に第2原紙）のデータベース化

③要員教育

などが挙げられよう。

R社はこれらの問題点についての検討を進めると同時に，具体的なCAD／CAMシステムを絞り込みつつあり，近い将来，何らかのシステムが導入されることになろう。

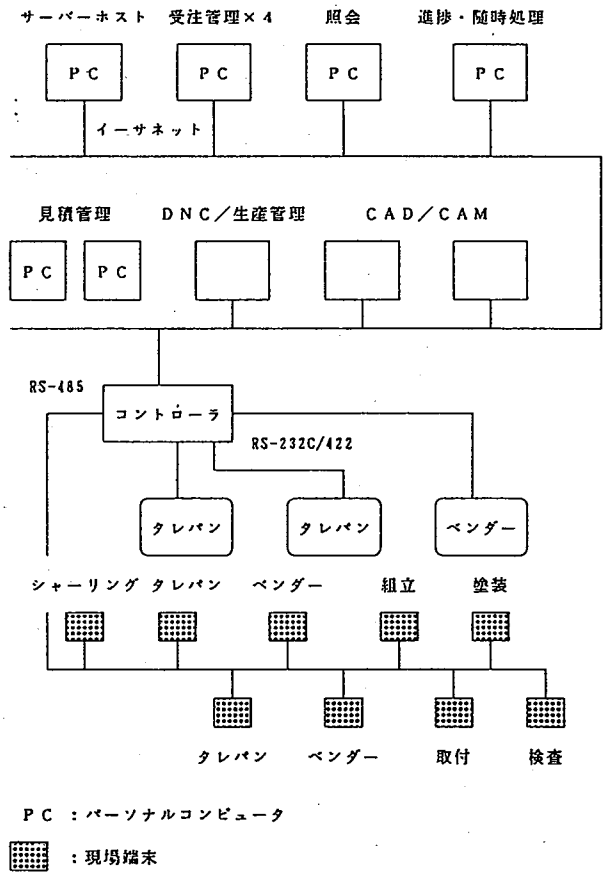


図7　R社におけるシステム構成案

参 考 文 献

1) 中村信人・小島一洋・西山修二・森川克己・福原英幸・重光敏明ほか「CIM研究会—特定テーマによる構築事例研究」pp3～16　広島市工業技術センター，ー平成3年3月

2) 小島一洋・西山修二・中村信人ほか「中堅・中小企業のCIMシステム構築の基礎的研究」，広島市工業技術センター研究報告　第三巻，1990 pp46～62

3) 中村信人・小島一洋ほか「生産管理・技術研究会報告書」，広島市工業技術センター，平成2年3月

12. 中小企業における生産管理システムの概念設計

地域中小企業CIM化への取組み事例研究—広島市工業技術センターCIM研究会の成果から（その2）

小島　一洋　　福原　英幸※

Conceptual Design of Production Control System in a small & medium enterprise
Research on examples of Derelopment of CIM system in regional small & medium enterprise — Result of a society for scientific research of CIM system in HIROSHIMA MUNICIPAL INDUSTRIAL TECHNOLOGY CENTER (part 2)

Kazuhiro OJIMA
Hideyuki FUKUHARA

前報（その1）に引き続き，R社をモデルとしたCIM化を目指した生産管理システムの高度化について述べる。

1. 目　的

CIMのモデル工場を目指し，そのための第1歩という観点から生産管理システムの高度化を中心とした概念設計を検討する。

2. システムの機能

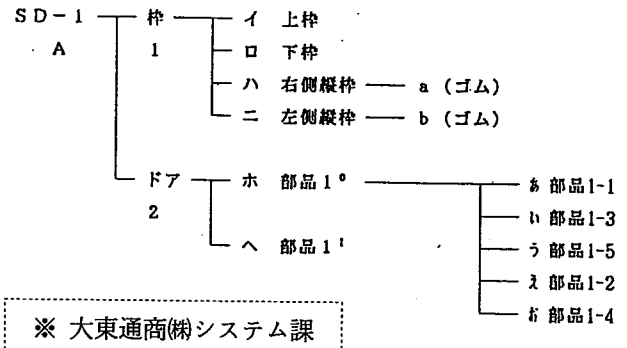
2−1　技術情報

(1)　部品構成

部品を構成する部材，副部材を設定する。具体的には，図2.1のように部材をツリーとして表現し，部材毎の親子関係，個数，払出先等を設定

片開フラッシュ

サンプル



親部材	子部材	個数	払出先
A	1	1	
A	2	1	
1	イ	1	
1	ロ	1	
1	ハ	1	
1	ニ	1	
ハ	a	2	
ニ	b	2	

図2.1　部品構成

(2)　工程マスター

部材単位に工程を設定する。具体的には，図2.2のように内作工程であれば段取時間と加工時間を，外注工程であれが外注先と外注単価を設定する。なお，当初時間設定が無理であれば，工程毎リードタイム（製作日数）を設定することにより工程別納期を算出することもやむを得ない。

枠作業工程

シャーリング—タレパン—ベンディング—溶接組立取付—仕上サンダー—塗装—取付

※ 大東通商㈱システム課

上枠マスター

部材コード	SD1110	部材名	上枠
材　　質	SUS	材料単価	
材料　寸法	1000× 250	生産数	20

工程番号	工　程	段取時間	加工時間	外注単価	外注先	リードタイム
0010	シャーリング	0.1	0.05			0.3
0020	タレパン	0.1	0.05			0.3
0030	ベンディング	0.2	0.1			0.3
0040	溶接組み立て	0.5	0.3			0.5
0050	取り付け	0.1	0.1			0.5
0060	仕上サンダー	0.1	0.5			0.5
0070	塗　装	0.5	0.5			1.0
0080	取り付け	0.1	0.2			1.0

図2.2　工程マスター

(3)　生産性基準

工程別人員と，その生産機順地を設定し，生産性評価値として使用する。又これは工程別負荷積み時の余力計算の能力算出にも，使用可能である。

(4)　カレンダー

工場の稼働日，休日を指示，稼働時間を設定し生産計画に重要な負荷積の基準値作業日程の開始予定時刻，終了予定時刻の設定基準として使用する。

2−2　生産計画

(1)　生産計画の登録

営業受注管理コンピュータから，営業情報を取り生産計画（中日程計画（2〜3ケ月））を立案する。登録されたデータは，以降で説明する生産計画の基礎データとなる。

項目

- 工番
- 受注先
- 工事名
- 部材コード
- 生産数
- 納期等

(2)　工程別負荷積

入力された，負荷計画をもとに部品構成および工程マスターにより工程別負荷積を行う。

負荷方法は，詳細設計時に検討する。

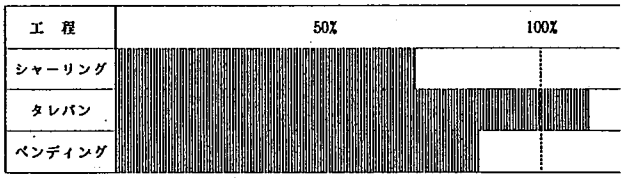
工番No.	部　材	シャーリング		タレパン		ベンディング		溶接組立		取り付け		塗装	
930-107		数	納期	数	納期	数	納期	数	納期	数	納期	数	納期
	SD1110	10	1210	10	1211	10	1213	10	1214	10	1215	10	1216
	SD1111												

図3.1　工程別負荷積―工番別

日　程	シャーリング	タレパン	ベンディング	溶接組立	取り付け	塗装	仕上げ
1202	840	850	500	600	900	750	800
1203	850	700	900	550	800	550	900
1204							
1205							

図3.2　工程別負荷積―日程別

年月日1990.12.05



負荷オーバーのものに対してはカラー表示

図3.3　工程別負荷積―グラフ表示

(3)　生産性計画シミュレーション

工程別に立案された生産計画は，進捗状況により調整する必要が発生する。

調整が必要とされる要因は次の事項が考えられる。

項目

- 受注の追加，削除
- 受注の生産数変更
- 受注オーダの優先付け
- 工程，マシン，部材別の納期変更
- 負荷状況による稼働時間の変更等

シミュレーション後生産スケジュールの作成を行う。

2−3　資材管理

生産計画に基づき資材発注等の資材管理へ結びつける。

2−4　作業指示

(1)　作業指示書の発行

確定スケジュールに基づき，作業指示書を発行する。工番，部材コード別に整理No.を採番し，バーコード表示する。

工　番	受注先	工　事　名	納　期	部材コード	NC No.
942-0010	大阪	第一ビル	1219	SD-1110	1110

材質	厚さ	寸　法	数量	着手日	完成日
SUS	6.0	150 ×150	20	1212	1213

000001

図3.4　作業指示書

(2)　作業予定表の作成

作業指示書発行分に対し，作業予定表を各工程別に作成する。

この表より各工程の組長が各担当への作業指示を行う。

シャーリング工程

作業着手日	工番	工事名	部材コード	材質	厚さ	寸法	数量
90.12.12	942-0010	第一ビル	SD-1110	SUS	1.5	150 ×150	20
90.12.12	942-0010	第一ビル	SD-1111	SUS	2.0	200 ×1500	5
90.12.12	942-0010	第一ビル	SD-4110	SUS	3.0	300 ×1500	6

図3.5　作業予定表

2－5　進捗管理

確定スケジュールに基づいた進捗状況を，オーダ別・工程別に捉えられるようにし，生産高の予定把握，遅れ工程の顕在化を行う。

工番	部材コード	シャーリング		タレパン		ベンディング		溶接組立		取り付け	
942-0010	SD-1110	完	1212	完	1212	完	1213	完	1214	10	1215
	SD-1111	完	1212	5	1212	5	1213	2	1214		1215
	SD-4110	6	1212								

図3.6　工番別進捗状況

シャーリング工程

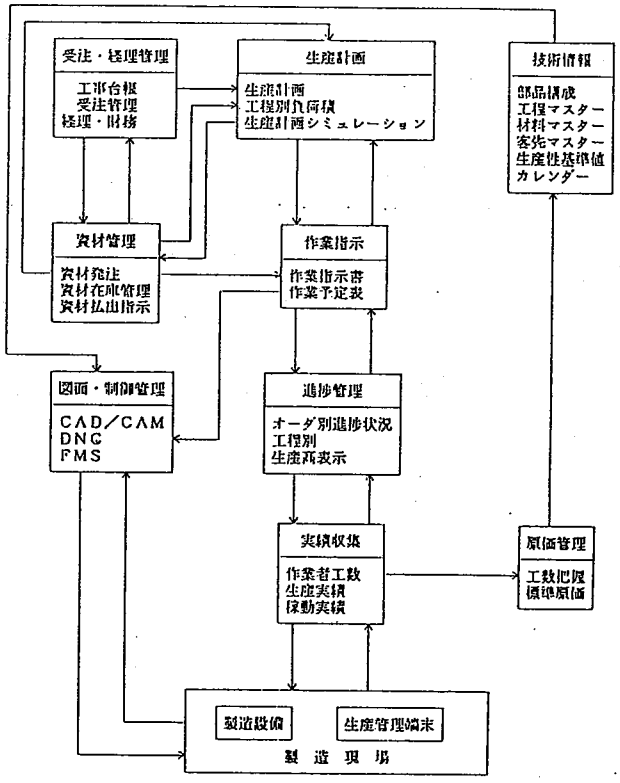
工　番	部材コード	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209
942-0010	SD-1110	10								
	SD-1111	5								
	SD-1112	8								
	SD-4110		15							
	SD-2110		9							
	SD-2111			8						
	SD-2110			5						

図3.7　工程別進捗状況

2－6　実績収集

実績収集としては，生産実績，稼働実績をリアルタイムで収集する。

4.　システム構成図



参考文献

1) 小島一洋 ㈳日本経営工学会　平成3年度春季研究大会予稿集「産・学・官交流による地域中小企業CIM化への取組み事例―広島市工業技術センターCIM研究会の成果から」pp246～247，平成3年5月

2) 中村信人・小島一洋・森川克己・福原英幸・重光敏明ほか「CIM研究会―特定テーマによる構築事例研究」pp3～4，pp付1～付8，広島市工業技術センター，平成3年3月

3) 小島一洋・西山修二・中村信人ほか「中堅・中小企業のCIMシステム構築の基礎的研究」，広島市工業技術センター研究報告　第三巻，1990，pp46～62

4) 中村信人・小島一洋ほか「生産管理・技術研究会報告書」，広島市工業技術センター，平成2年3月

13. 中小企業における工場内マテリアルフローのシミュレーション分析

地域中小企業CIM化への取組み事例研究 ― 広島市工業技術センターCIM研究会の成果から（その3）

小島　一洋　　中村　信人※　　森川　克己※

Simulation of Material Flows in a factory of a small & medium enterprise Research on examples of Development of CIM system in regional small & medium enterprise — Result of a society for scientific research of CIM system in HIROSHIMA MUNICIPAL INDUSTRIAL TECHNOLOGY CENTER (part 3)

Kazuhuro OJIMA
Nobuto NAKAMURA
Katsumi MORIKAWA

前報（その1），（その2）の研究背景のもとに，家具製造メーカM社をモデルとして，製造機能に関連した「工場内マテリアルフローのシミュレーション分析を行った。この研究は，コンピュータを活用したシミュレーションにより工場内の現状分析と改善項目（無駄なフローの排除など）を抽出し，マテリアルと情報の流れを先づシンプル化することをCIM化の大前提としてアプローチしたものである。特に中小企業においては，企業内にCIM化検討のためのデータが不十分な実情があり，このようなシミュレーション研究がこのような課題の解決策として有効であることも結論として得た。

※ 広島大学 工学部　　計数管理工学教室

1. 目　的

CIM構築の第一歩は現状分析をしっかり行うことである。マテリアルフロー，情報のフローの現状分析から，無駄なフローを排除し，できるだけフローをシンプルにすることがCIM化への成功の道である。マテルアルおよび情報のフローをシンプルにしないで，自動化，機械化はうまく行かない。

工場内のマテリアルフローの現状分析の1つの方法としてシミュレーション分析がある。これは，まず工場内のマテリアルフローをシミュレートするためのコンピュータプログラムを作成し，これに必要なデータをインプットすることによって，工場内のマテリアルフローの様子がどのようになるかを実際に生産を行ったごとく実現させるものである。コンピュータが広く普及している今日，シミュレーションは現状分析に最も役に立つ手法の1つである。

本研究はある家具製造会社（以降M社と呼ぶ）をモデルとして，そこにおける向上のマテリアルフローをシミュレーション手法によって分析し，現状がどうなっているのかをまず把握し，その結果から現状をどのように改善すればマテリアルのフローがスムーズになるかの提言を行う。またどの部分をどのように機械化，自動化すればどれだけ効率アップするかを具体的な数値例に基づいて考察する。

もちろんマテリアルフローのシミュレーション分析だけでCIM構築がうまく行くとは思わない。人•金•情報•生産方法などの諸観点からの現状分析も必要であるが，これらは同じような方法によって行うことができるためここでは割愛する

2. 対象会社

本研究の対象となった会社は婚礼家具の製造•販売を主事業とするM社である。M社は製造部門と販売部門をそれぞれ独立した企業体として経営しているが，ここで研究の対象となったのはその中の製造部門（従業員約30名）である。

3. 現　状

3−1 工場レイアウト

M社の製造工程のレイアウトを図1に，工程•機械作業の説明を表1に示す。製造工程は，大きく木取A，木取B，加工，塗装，仕上の5つの工程に分けられる。

【木取A】戸枠，鏡板などの婚礼家具の中心部材の木取り，面取りなどを行う工程。

【木取B】胴，天台ワザなどに使われる小物部材の木取り，面取りなどを行う工程。

【加工】天，胴の機械による切削加工が中心の工程。

【塗装】塗装前の研磨，塗装，並びに塗装後の研磨からなる工程。

【仕上】以上の工程を経た部品を最終的に組み付けて1つの製品を作り出す工程。

上記5つの製造工程間をマテリアルがどれだけ，かつどの方向に流れているかを現状分析したものが図2である（数字は調査データにおけるフローの回数を表す）。

3−2 作業工程

家具（婚礼家具）の作業プロセスチャートを図3に示す。この図から解るように，作業工程は典型的な集約型組立工程であって，出発点（原材料）は複数箇所あるが最終的に1つの終点（製品）に集約される。

3−3 製　品

- 製品種類:A〜Vの22種類。
- セット:洋服ダンス，盆ダンス，リビング，ブレザーが1セットを構成する。
- 製品構成:1セットの構成レベルが3，総部品点数が約450（ただし，共通部品と思われるものも別々の点数として数えている）。

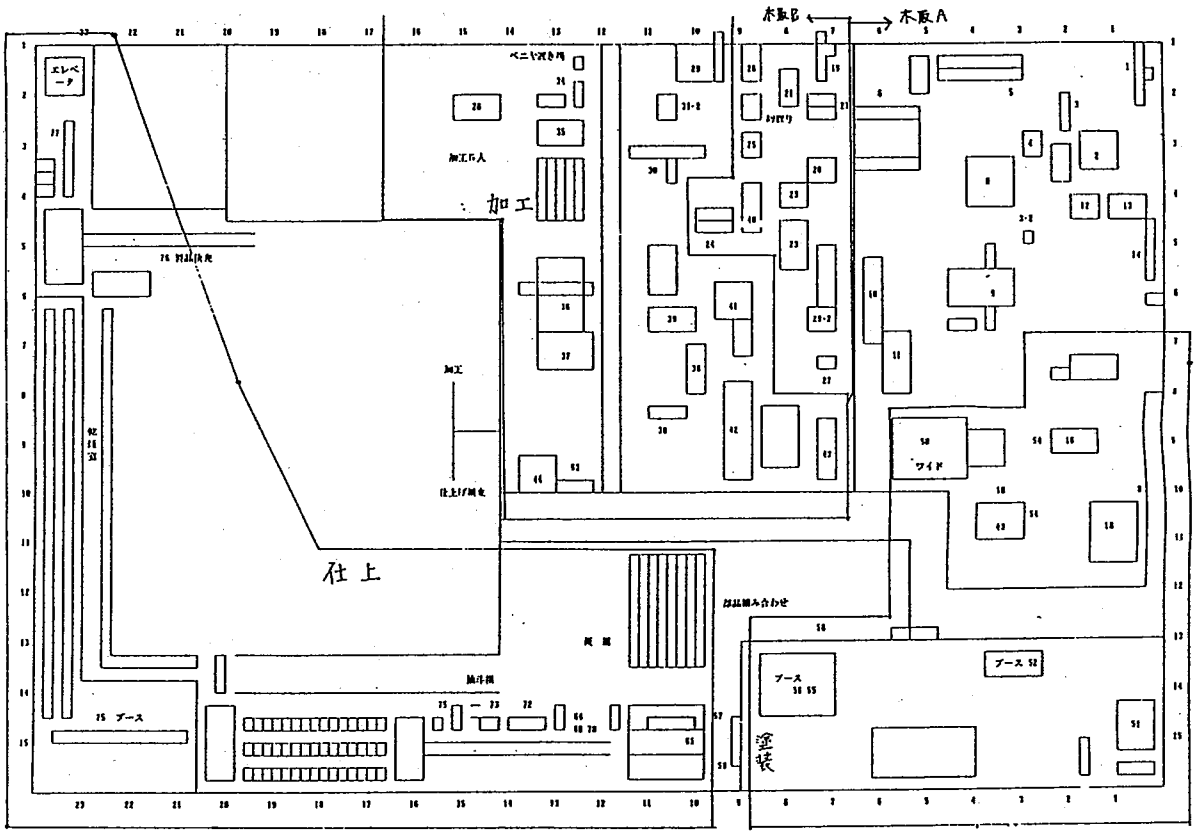


図1　工場レイアウト

表1　工程・機械作業一覧表

1989-9-18 (H-1)

Ⓐ 木取（A）	Ⓑ 木取（B）	Ⓒ 加工	Ⓓ 塗装	Ⓔ 仕上	Ⓕ
㉑ クロスカットソー	㉙ クロスカットソー（1-2）	㉘ パネルソー	㊺ トリマ上下面取機	㊼ 部品組合せ	○ ボイラー
② リップソー	⑳ 面取り	㉙ ギャングリッパー ①	㊻ 素地研磨	㊽ ダボ打ち	○ ホットプレス
③ 自動ムラ取り鉋盤	㉑ 手押プレナー	㉚ クロスカットソー（1-B）	㊼ プロフィルダー	㊾ 縦横・金具等取付	○ 板張
④ プレナー	㉒ 万能丸鋸盤	㉛ プレナー	㊽ ㊾ 手動研磨	㊿ 仮組み	○ リフト
⑤ 小型モルダー	㉓ 横帯鋸取盤	㉛-2 自動	㊾ スポンチサンダー	(61) ボディプレス	○
⑥ ダブルサイザー	㉔ ベルトサンダー	㉜ 合板組合せ	(50) ㊿ ベルトサンダー	(61-1) ウラツナギ	○
⑦ 巾貼機	㉕ モルダー	㉝ 自動のりつけ機	(51) 着色. 31-2 B上.	(62) タッカー打ち	
⑧ 横切丸鋸盤	㉖ ルーターマシン	㉞ 芯材組合せ	(52) 塗装	(63) 蝶・タイコ取付（　）	
⑨ NC・ルーター	㉗ スモールサンダー	㉟ プレス	(53) 塗装乾燥機	(64) 鏡板入れ（　）	
⑩ 戸枠ボーリングマシン	○ ホゾ取	㊱ ダブル、テノーナ	(54) 塗 研磨	(65) 卓上ボール盤（　）	
⑪ 縦横送り	○	㊲ 自動先取機	(55) 補 色	(66) 多軸ボール盤（　）	
⑫ 横帯鋸取盤		㊳ ノ リ	(56) カラーリング	(67) プレス（　）	
⑬ 戸枠組治具		㊴ 函貼（ローラ貼）	○	(68) 金具付	
⑭ 戸枠組プレス		㊵ 函貼（エッヂプレス）	○	(69) タッカー打ち	
⑮ ダブルサイザー		㊶ 横切丸鋸盤	○	(70) 戸 取付	
⑯ 手動研磨		(42) 多軸ボーリングマシン(A)	○	(71) コーナーロッキングマシン（エポック）	
⑰ トリマー		(43) 多軸ボーリングマシン(B)	○	(72) ダブテール	
⑱ ベルトサンダー		(44) 多軸ボーリングマシン(C)（アミノ）	○	(73) 押斗組	
(5-2) プレナー手動切断（手押プレナー）		(29-2) 昇降盤 ②		(74) 押斗スリコミ型型サンダー	
○				(75) 補 修	
○				(76) 検 査	
○				(77) 倉 入	
				○	

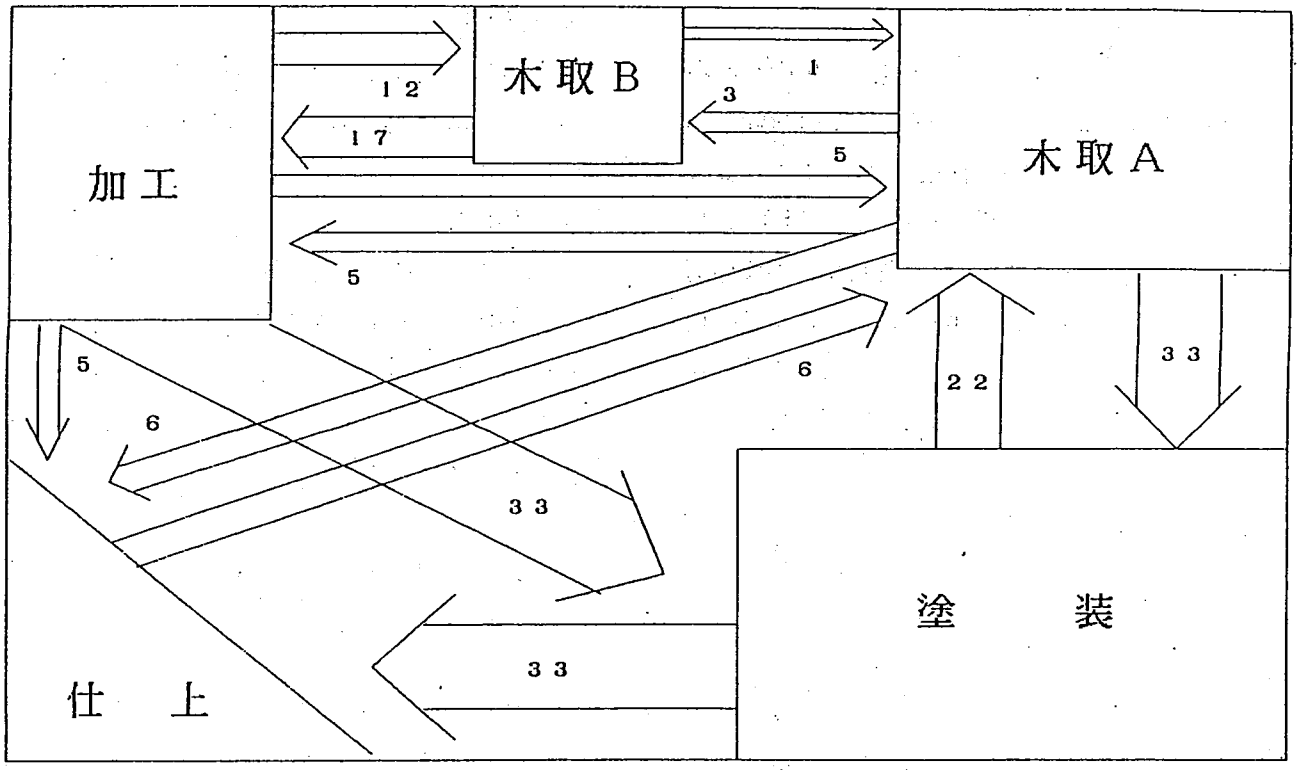


図2　部品の流れ相互関連図

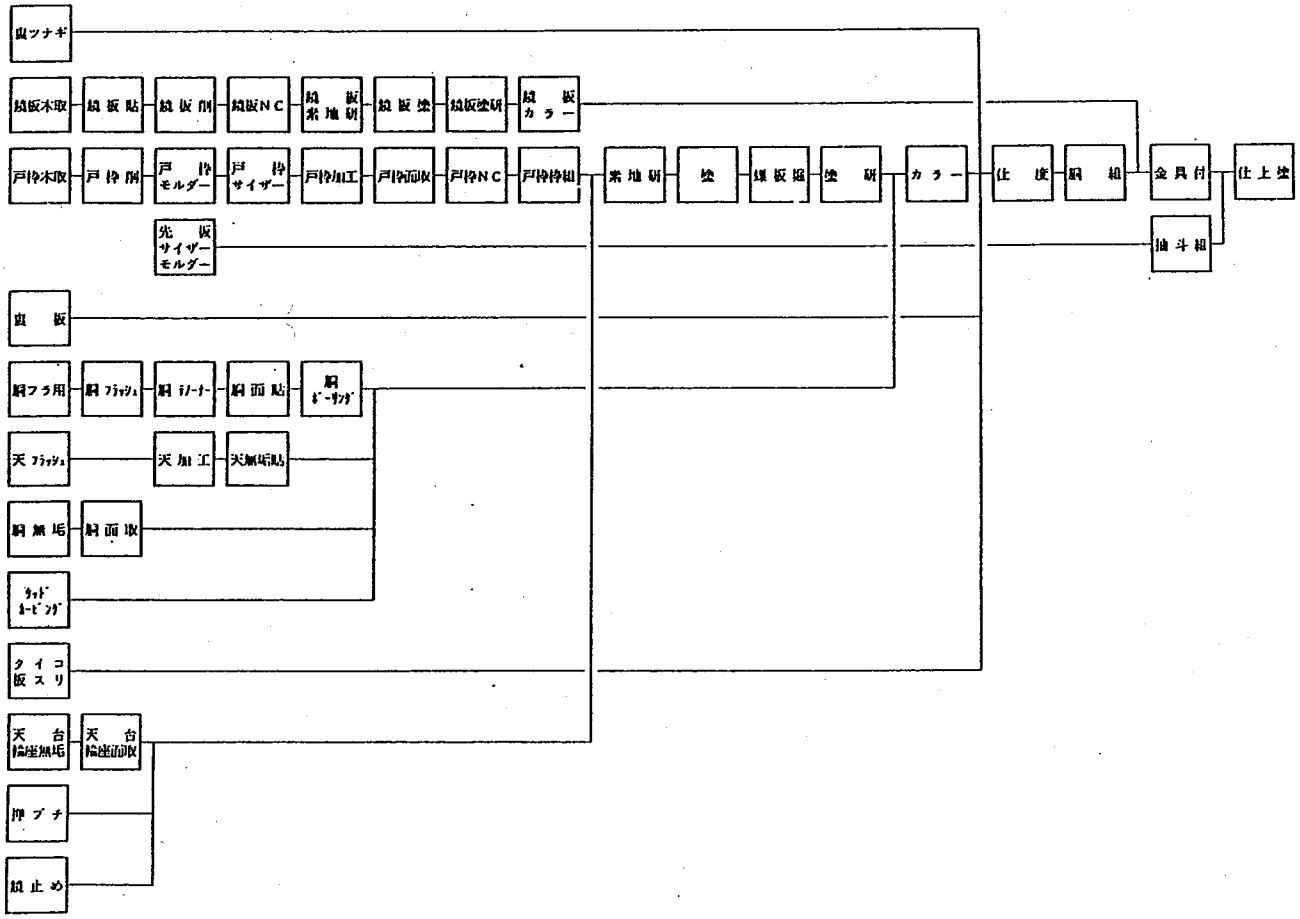


図3　作業プロセスチャート

3−4　生産・販売形態

生産形態としては受注生産と見込み生産が混在した形となる。販売形態としては，①直接顧客への販売，②代理店，特約店を通しての販売，③専門店への販売，④卸への販売がある。基本的には，上記の①，②の販売に関しては製品在庫から出荷する。また③，④の販売は図4にしたがって出荷される。上記の販売先（直接，代理店，専門店など）からの受注に加えて，見込み生産を行うために次のようなデータ:

- 前月，前年同期の販売量
- シーズン前の販売量
- 競合会社の製品の売れ行き
- 専門店での製品の展示状況

を勘案して生産計画日程表（表2）を作成する。生産計画日程表の作成プロセスを図5に示す。なお，生産計画立案には，次のような市場の動静に留意しなければならない。

- 展示した製品が展示後すぐに売れた場合，その商品は多く売れることが多い。
- よく売れる製品には対抗する製品が競合他社から出されることが多い。
- よい場所に展示された製品はよく売れる。
- 専門店からの情報は期日間近にならないと入らないことが多い。

3−5　生産方法

現状の生産方法は次の通りである。ここでは1ロット＝6セットのロット生産を行っているところが特徴的である。

(1) 生産方式

1ロット＝6セットを2日ピッチで生産する。リードタイムは，合板（購入）が10日，製造（自社工場）が7日である。

(2) 製品在庫状況

シーズンにおいては1ケ月分，シーズンオフでは3ケ月分の在庫をもっている。

(3) 稼働日

平均24日／月で，シーズンオフにはなるべく休むようにしており，シーズン中は平均稼働日数を越える。

(4) 使用木材

楓，マホガニー，ケバンス，なら，化粧合板で，部材として用いる木材は3ケ月分をまとめて購入する（相場，乾燥の度合を考えて）。

4.　シミュレーション

4−1　目　　的

現行の生産方式では，1ロット＝6セットをベースに，生産計画日程表に基づいて生産命令が工場にリリースされて生産が開始される。製品は，原則として前工程が終了すれば次工程に送られ，もし次工程がつまっていれば，その工程の前で待ち状態になる。このような生産方式は，製品が前工程から後工程へ押し出される形で生産されるために“プッシュ方式”と呼ばれる。これに対して，これとは全く逆の生産方式として近年注目されている“プル方式”と呼ばれるものがある。これは，次工程が行う仕事を前工程に採りにいく方式であって次工程は必要とされる仕事しか実行しない。前工程で終了した仕事は，次工程に送られるのではなく，次工程からの要求があるまで前工程で待たされることになる。プッシュ方式とプル方式の関係を分かりやすく説明したのが図6である。この図から分かるように，当然製品の流れは同じであるが，情報の流れ（情報伝達）が逆になっていることに注意されたい。

本シミュレーション分析の目的は，このような2つの生産方式によって生産を遂行した場合にマテリアルフローがどのようになるか，また工程間待つ状態がどの程度生じるかなどをシミュレーションによって確認し，問題点を見つけ出すことである。また，いわゆるwhat−if分析（“もし……ならば，どうなるのか？”といった分析）によって，

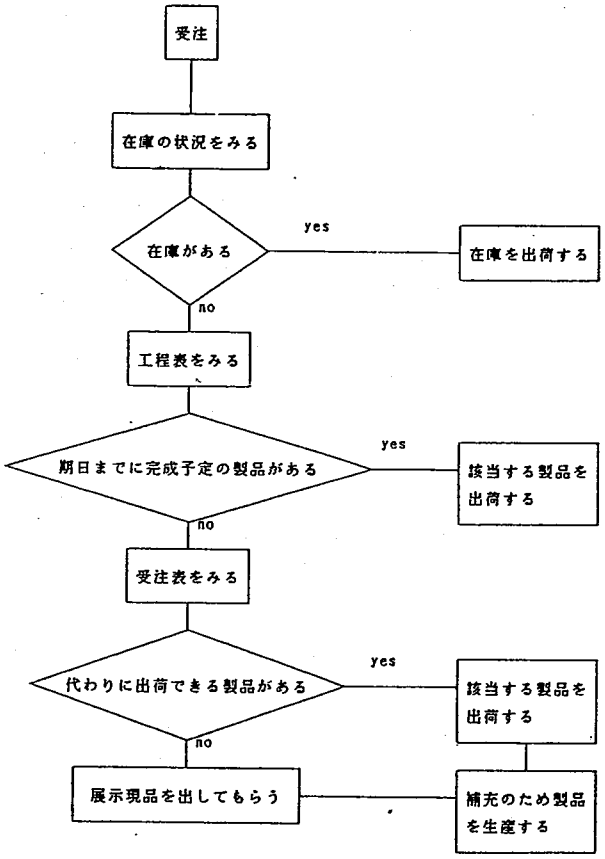


図4　受注から製品出荷までのプロセス

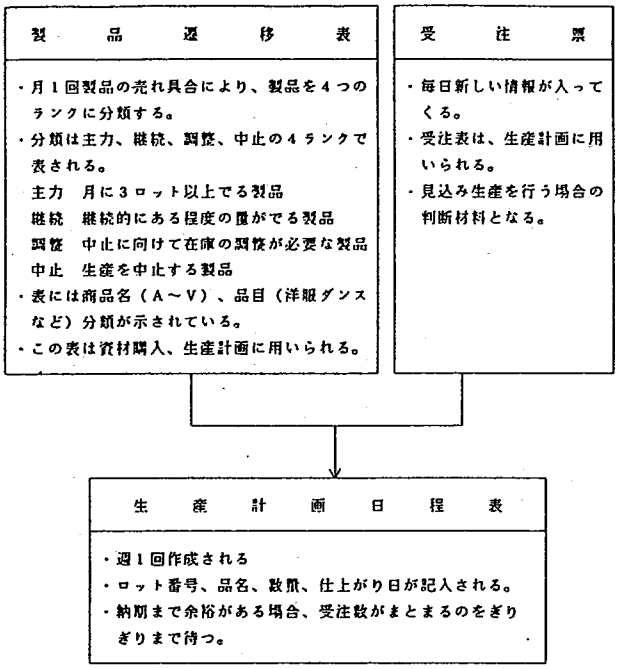
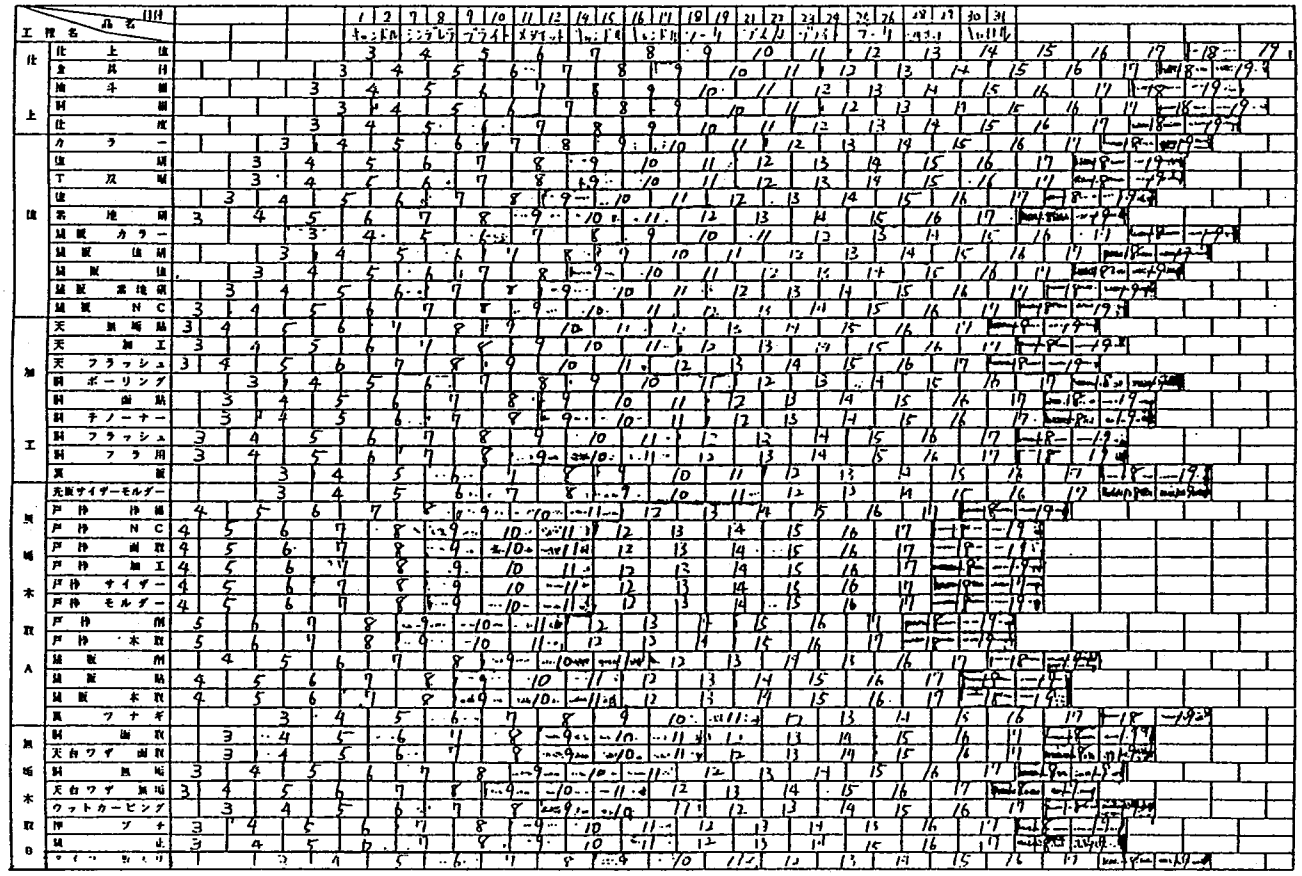


図5　生産計画日程表作成プロセス

表2　生産日程計画表



現行がどのように変化するかを観察する。

4−2　シミュレーション言語

シミュレーションプログラムはSLAMⅡと呼ばれる汎用シミュレーション言語によって書かれた。SLAMⅡは連続型，離散型の両シミュレーションの実行が可能であり。今日かなり広く用いられているシミュレーション言語の1つである。

4−3　シミュレーション実験

(1) 実験方法

ここではまず次の2つのカテゴリーに分けて実験を行う，

①現状（工程・作業構成，作業者の配置など）を容認した状況下で，ロットサイズを1セットから6セットまで変化させた場合について，生産方法としてプル方式とプッシュ方式（現行方式に相応）の両方の実験を行う。

②現状の工程・作業編成に変更を加えたいくつかの代替え案を作成し，それに基づいて①と同様の実験を行う。

(2) 実験データ

シミュレーションに用いたデータ（インプットデータ）は次の通りである。

①工程フロー，作業時間（段取時間＋加工時間），作業者工程を図7に示す。ここで，工程は45工程存在するが，作業者グループは17である。また，図中の作業者グループ番号と工程番号の関係は表3の通りである。

②年間需要量:過去1年間（平成2年11月〜平成3年10月）の需要実績データを使用した。

(3) 実験条件

総セット数819セットの生産が完了するまでを実行。

5　シミュレーション結果の解析※

5−1　プッシュ方式とプル方式の比較

(1) 概説

表5にプッシュ方式とプル方式の各々に対する完了時刻，サイクルタイム，フロータイムを示す。これらの結果から，プル方式のほうがプッシュ方式よりも若干良いように思えるが，その差は小さい。したがって方式によるこれらの値の差はほとんどないといって良い。それでは，両方式による違いはどこに現れるのであろうか？

それは図8に示す作業者グループ毎の平均待ち行列長（これは，見方を変えれば作業者グループの前で待たされる平均仕掛在庫としてみることが出来る）に大きな違いが生じる。図から明らかなようにプル方式の方がプッシュ方式よりもはるかに平均待ち行列長が小さい。このことはプル方式とプッシュ方式の本来的な相違からくるもので当然の結果と言えるものであるが，シミュレーションによってこのことが明確に理解できる。

(2) ロットサイズの大きさによる比較

表5ではまたプッシュ方式とプル方式の各々に対してロットサイズを1セットから6セットまで変化させて行ったシミュレーション結果を示している。（年間需要量は同じデータを使っているため，例えば1ロットサイズ＝1セットの場合と1ロットサイズ＝6セットの場合を比較した場合，前者は後者1回のリリースに対して6回リリースが行われることになる。したがってリリース回数は6倍となる）。

【プッシュの場合】ロットサイズが1の場合，グループ12（胴テノーナー，胴ボーリング，天加工）がボトルネックになる。これは胴ボーリングの段取り時間が加工時間に比べ大きいことが原因であると考えられる。その時のグループ12の1ロット当たりの加工時間の合計は651分（1ロット1セット）であり，これは製品の到着時間間隔とだいたい対応している。ロットサイズが2の場合，グループ12が最大のボトルネックであることは変わらないが，グループ6（塗研）の稼働率が約90%となっているのが特徴的である。

※ 紙面の都合上，重要な結果のグラフのみを掲載している。詳細な結果については参考文献を参照されたい。

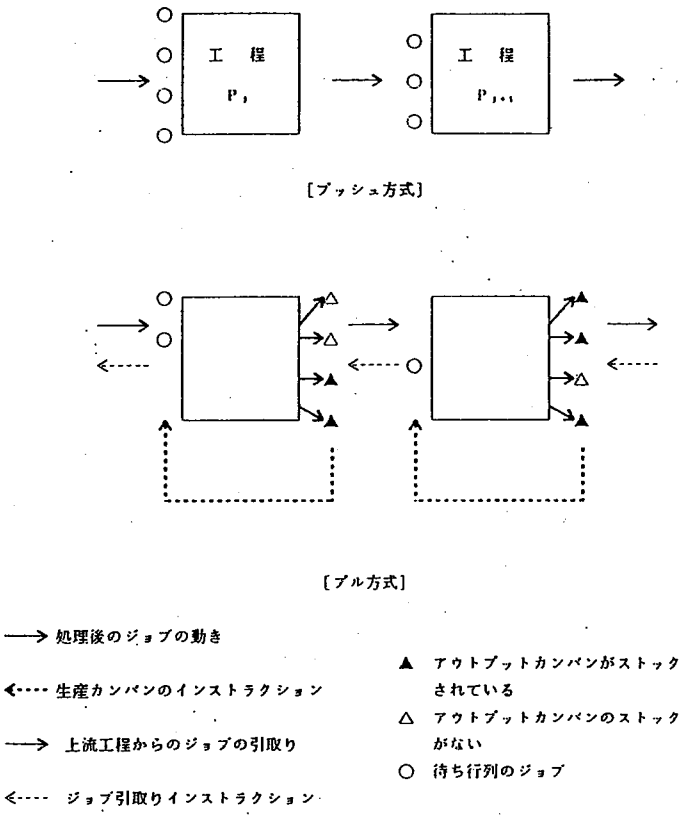


図6　プッシュ方式とプル方式

表3　作業者グループ番号と工程番号の関係

作業者グループ	工　　程
1	仕上塗（1）
2	金具付（2）
3	抽斗組（3）
4	胴組（4）、仕度（5）
5	カラー（6）、鏡板カラー（11）
6	塗研（7）、鏡板塗研（12）
7	蝶板掘（8）
8	塗（9）、鏡板塗（13）
9	素地研（40）、鏡板素地研（14）
10	鏡板NC（15）、戸枠NC（27）、天台輪座面取（39）
11	天無垢貼（16）、胴面貼（20）
12	天加工（17）、胴ボーリング（19）、胴テノーナー（21）
13	天フラッシュ（18）、胴フラッシュ（22） 胴フラ用（23）、裏板（24）
14	先板サイザーモルダー（25）、戸枠サイザー（30） 戸枠モルダー（31）、戸枠削（32）、鏡板削（34）
15	戸枠木取（33）、鏡板貼（34）、鏡板木取（36） 裏ツナギ（37）
16	戸枠枠組（26）、戸枠面取（28）、戸枠加工（29）
17	胴面取（38）、胴無垢（40）、天台輪座無垢（41） ウッドカービング（42）、押ブチ（43）、鏡止め（44） クイコ板スリ（45）

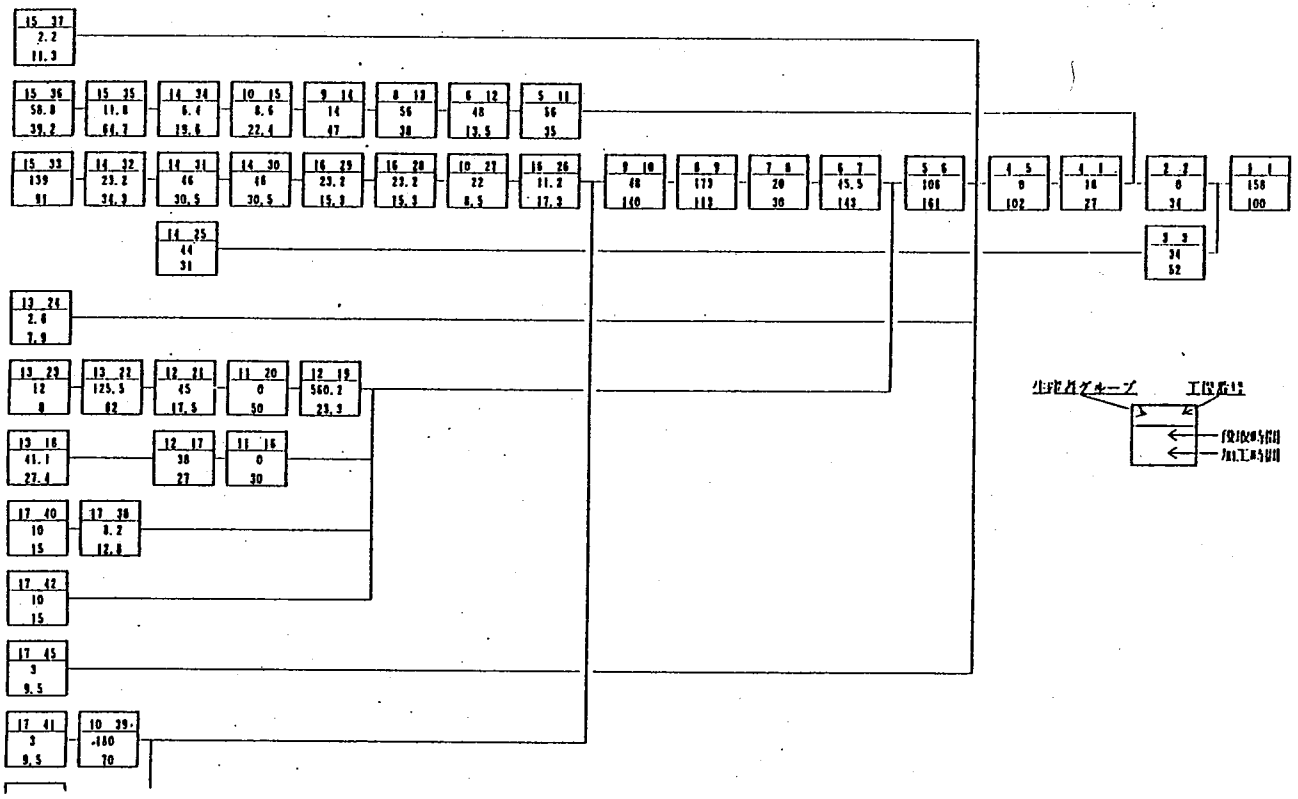


図7　工程・作業者グループ・作業時間

表5(1) プッシュ方式とプル方式における完了時刻（分）

データ	生産方式	1ロット当たりのセット数 1	2	3	4	5	6
実	プッシュ	746700	319800	248400	224300	209400	198900
	プル	564100	312300	229200	204200	197200	191800
案1	プッシュ	746400	300600	248300	223300	209600	198900
	プル	499600	248700	195600	187100	183400	178500
案2	プッシュ	745900	319800	248200	225400	207600	197300
	プル	564100	312300	229000	198000	189500	182800
案3	プッシュ	513500	371700	327500	307400	295400	285900
	プル	499600	361000	321800	300600	289300	281000
案4	プッシュ	586800	424900	374100	350800	337600	327200
	プル	567400	412200	367300	343900	330900	320900
案5	プッシュ	280900	183000	170500	173500	175800	177200
	プル	186700	165900	168200	170400	172000	172600

表5(2) プッシュ方式とプル方式におけるサイクルタイム(分)

データ	生産方式	1ロット当たりのセット数 1	2	3	4	5	6
実	プッシュ	909	767	877	1040	1200	1350
	プル	686	750	811	947	1130	1250
案1	プッシュ	908	721	877	1030	1200	1350
	プル	571	596	695	874	1050	1200
案2	プッシュ	908	767	876	1040	1190	1340
	プル	686	750	810	878	1050	1200
案3	プッシュ	626	896	1160	1430	1700	1970
	プル	608	869	1140	1400	1660	1930
案4	プッシュ	715	1020	1330	1640	1950	2250
	プル	691	992	1300	1600	1900	2200
案5	プッシュ	341	437	600	801	1000	1200
	プル	227	400	600	800	1000	1200

表5(3) プッシュ方式とプル方式におけるフロータイム(分)

プッシュ

データ	1ロット当たりのセット数 1	2	3	4	5	6
実	293000	78700	42700	30000	22100	17200
案1	293000	69200	42600	29500	21800	16700
案2	292000	78700	42300	30200	20900	15600
案3	176000	104000	81500	70900	64500	59900
案4	213000	131000	105000	92600	85500	80600
案5	59900	10400	3380	3960	4830	5740

プル

データ	1ロット当たりのセット数 1	2	3	4	5	6
実	163000	44600	12600	4950	2090	839
案1	122000	22800	6940	2320	8520	713
案2	164000	44600	12600	2280	848	711
案3	143000	67300	42100	28000	20700	15800
案4	174000	86200	55700	39600	30200	22900
案5	7850	296	404	506	602	700

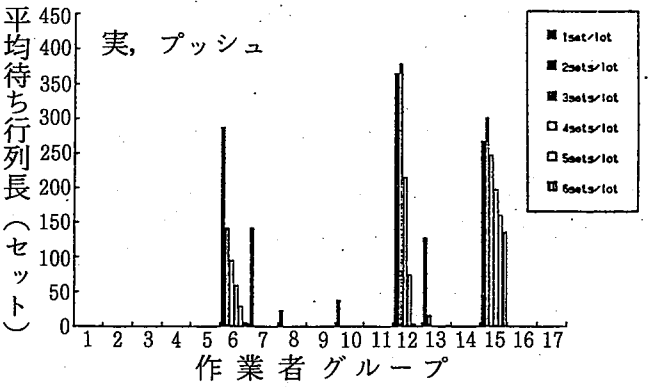


図8(1) 作業者グループ別平均待ち行列長（実，プッシュ）

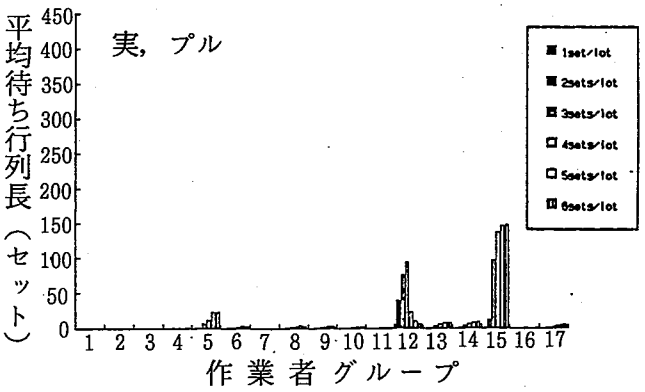


図8(2) 作業者グループ別平均待ち行列長（実，プル）

ロットサイズが3の場合，グループ3，12はそれぞれ95%を越える稼働率を示しており，またグループ15（戸枠木取，鏡板貼，鏡板木取，裏ツナギ）が90%を越える稼働率を示している。

ロットサイズが4以上になると，クルーぷ15の稼働率がもっとも大きくなる。ロットサイズ6の場合を例にすると約98%となっている。そのグループの1ロット当たりの加工時間は1263分となっており，この値は製品の到着時間間隔に近い。

【プルの場合】傾向としては，プッシュと同様である。

これらの結果から分かるようにロットサイズが小さいほどいずれの方式においても値は悪くなっている。これは，各工程作業において段取り時間が占める割合が非常に高く（約20%），その結果，ロットサイズが小さくなるとその影響をもろに受けて，時間尺度（完了時刻，フロータイム，サイクルタイム）が悪くなってしまう。

従って，本工程を改善するためにはまず，段取時間をもっと突っ込んで分析し，この時間をさらに小さくすることに努める必要がある。このことは，今日的課題でもあり，この結果がプル方式の典型であるJITシステムへとつながっていく。段取時間の減少はそのための第一歩である。

(3) 工程別平均待ち行列長

プル方式がプッシュ方式よりも作業者グループ別平均待ち行列長が極端に小さくなることは先に述べた。ここでは，工程別平均待ち行列長（これは“加工待ち”と“組合せ相手待ち”の和）の発生状況について考察する。

・1ロット＝6セットでプッシュ方式の場合，クリティカルパスの長さは約5800分である。

・クリティカルパス

33−32−31−30−29−28−27−26−10−9−8−7−6−5−4−2−1

【プッシュの場合】クリティカルパスに合流する前の工程でてきた部品が多く滞留する。作業者グループとの関係からみると，ボトルネックの工程の前には，部品が集中的に滞留する。

【プルの場合】全体的に同じくらいの量の平均待ち行列長が各工程に滞留している。ボトルネック工程の前には，他より多くの在庫が集まるが，プッシュ程集中していない。

以上，工程別平均待ち行列が長い作業者グループ／工程は，図7からも分かるように作業時間が長く，かつクリティカルパスとなっているものであった。したがって，工程別平均待ち行列の減少にはまずこれらの工程の作業を細部に見直して改善を図るとともに，作業者への作業割り当てを再考すべきである。

(4) ロットサイズと同期化

得られた結果を検討してみると，プッシュの場合には組合せ相手待ち行列列がかなり多く発生していることが解った。これは，工程間の負荷バランスが如何に悪いかを示すと同時に，そのために同期がうまくとられていないことを示じている。一方，プルの場合においてこれに相当するものがカンバン又は組合せ相手待ち行列であるが，この長さはロットサイズ（セット数）に比例する。

またロットサイズが小さいほど平均待ち行列長が大きくなっていることも解った。一般にロットサイズが大きいと平均待ち行列が大きいはずなのに，ここではこの関係が逆転している。これは何故か？ この理由として次のようなことが考えられる。

ロットサイズが小さい場合，先に述べたようにリリース回数が多くなり，したがって同期化，すなわち2つ以上の部品が組み合わされる場合，それらのタイミングをうまく取らないと，一方が他方を待つことになり，同期化仕掛在庫が長く存在することになる。上記のような現象はこの同期化が悪いために平均待ち行列長がかえって大きくなったことがあげられる。さらに，ロットサイズが小さくなるとそれだけ段取時間

の割合が高くなり，1セット当たりの作業時間（段取時間＋加工時間）が長くなり，これがまた平均待ち行列地長を大きくしてしまう要因となる。このようにシミュレーション結果は我々が平均待ち行列長を減らそうとする場合単にロットサイズを小さくするだけではだめで，段取り時間の減少と同時に，組立もしくは組み合わせ工程における同期化が如何に大切であるかを教えてくれている。

5－2　what－if分析

ここでは主として工程•作業者グループ間の負荷バランスをできるだけ解消することをねらって次の5つの代替案を設定した。

【案1】各工程の加工時間を変えずに，作業者グループ間の負荷配分ができるだけ等しくなる様に，作業の割り当てを行う。

【案2】クリティカルパス上にある作業を割り当てられた作業者グループは，そのパス上に無い作業は行わない様にする。

【案3】各工程に作業時間の平均値を割り当てる。その際，作業者グループへの割り当ては，現状のものを用いる。

【案4】案2での作業配分に対して案3の作業時間を割り当てる。

【案5】案2での作業配分に対して，作業者グループの作業時間の平均値を各グループの作業時間として，グループ内の工程数で割ったものを各工程の作業時間とする。

実験の結果（表5も参照されたい）を結論的に要約すれば，案1～4のうち案2が若干良い結果を示したものの全体として結果が良くなかった。これらの案ににによって工程，作業者グループ間の負荷バランスが一見良くなったように思えたが，クリティカルパス上の作業の負荷は現状とほぼ同じであった。クリティカルパス以外の作業の負荷をバランスさせても結局何の効果も生まないことがこれで解る。クリティカルパスの負荷を減らしつつ，工程間の負荷バランスを図るこのことが大切であることを教えてくれている。

この教訓に基づいて作成したのが案5である。この案は，理想案であって実現が難しいかもしれないが，1つの目標値としては意味がある。実験結果をみると完了時刻，フロータイム，サイクルタイム，工程別待ち行列長のいずれにおいても現状よりもかなり優れていた。

6. 提　言

本研究の結果，次のような提言が可能である。

(1) 生産方式としては現在のプッシュ方式からプル方式にきりかえるべきである。それによって特に工程別待ち行列長の大幅な改善が期待される。しかしながらそのためのは次のような更なる分析，改善が必要である。

①段取時間の減少:相対的に段取時間の比率が高い。もっと作業改善を積極的に行って，段取時間を減少すべきである。

②工程間負荷バランス化:工程間の負荷配分がアンバランスなために一部の工程で工程間仕掛在庫が極端に多い。これを少なくするためには，工程間の負荷のバランスを図ることが必要である。そのための手段として

(i)機械レイアウトをもう一度見直す。

(ii)作業者グループの作業配分をもう一度見直す。

(iii)機械化できるところは積極的に機械化する。

(2)段取り時間が減少し，かつ工程間負荷がある程度バランスするようになれば，生産ロットを現在の6セットから減らすべきである。これによって大幅な工程間仕掛在庫量，製品在庫量の減少が期待できる。

(3)現在需要状況から考えて，全くの個別生産は必要ではない。ある程度のロット生産でよい。それではいくらにすべきか。その回答として，まず製品種類によってロットサイズをシミュレー

ション結果から考えてとりあえず変えること。現在の一律6セットは望ましくなく，平均して需要が多い製品種類に対して1ロット＝3セット，需要が少ないものに対して1ロット＝1セットに変更すればどうだろうか。

7. 結　言

本研究では，M社の工場内マテリアルフローに焦点を当てたシミュレーション分析を行い，いくつかの提案を行った。しかしながら，分析に必要な基礎データ，例えば，作業内容，作業時間，段取時間などが不足していたため十分な分析が出来なかった。工程データの蓄積はCIMアプローチの第一歩である。データ整備は根気のいる，地道な仕事であって，生産につながる直接的な仕事ではないために，おろそかにされがちである。しかしながら，何をやるにしてもデータがなければ的確な分析が出来ない。データ整備の必要性を改めて痛感した。

ここで述べたシミュレーション分析は，マテリアルフロー分析のそのほんの一例を行ったに過ぎない。しかしながら，この手法はどんな業種，どんな工場にも適用可能な汎用的な分析方法である。シミュレーション手法の利点はwhat－if分析が可能なことである。すなわち，『この工程をこのように変えればその結果はどうなるだろうか？』『この工程を機械化し，工程時間を短くすることが果たして効果があるだろうか？　』……などの設問に的確に答えてくれる。

世を挙げて，自動化，オートメ化の時代である。しかしながら，本研究で見たように，機械化，オートメ化の前にやるべきことは多くある。データの整備，工程改善，マテリアルフローの流れの平滑化，単純化がまず行われなければならない。これらはそんなに大きな投資を伴うものではなく，注意深く作業を観察し，分析すれば簡単にできることである。これによって50％～70％の効果が十分期待できるものである。CIMは，これらがある程度実行された後に，もう一段高い所をねらう次のステップとして考えれば良いのであって，いきなりは無理である。何度も言うようであるが，まずデータの整備，工程の改善，マテリアルフローの単純化が何よりも優先されなければならない。

参 考 文 献

1) 中村信人・小島一洋・西山修二・森川克己・福原英幸・重光敏明ほか，「CIM研究会－特定テーマによる構築事例研究」，pp.17－115，広島市工業技術センター，平成3年3月。

2) 小島一洋・西山修二・中村信人・森川克己ほか，「中堅・中小企業のCIMシステム構築の基礎的研究」，広島市工業センター研究報告第三巻，1990，pp.46～62

3) 中村信人・小島一洋・森川克己ほか「生産管理・技術研究会報告書」，広島工業技術センター，平成2年3月

14. マシニングセンター加工における加工精度に関する研究（粗さの最適化）

岡田　邦彦

A Study on Machining Accuracy by Machining Center
(Determination for Optimum Roughness of Surface)

Kunihiko OKADA

最近のマシニングセンターの動向は，高生産性，高精度加工，および高機能化への要求をはじめ，より人手のかからない，そして将来への仕様の拡張性などのユーザニーズに応える製品作りへと，各メーカーとも烈しく，技術開発に取り組んでいる昨今のようである。しかし，使う側が機械の特徴を十分熟知して，加工研究データをはじめとする加工情報を収集し，その結果を基に加工を行わなければ，その機械の持っている能力を十分発揮させないままで，製品が作り出されていく事になる。

今回は加工精度（表面あらさ）に的を絞って，機械能力を発揮させる一手法（SN比の活用によるあらさの最適化）について報告を行う。

1. はじめに

プラスチック金型をはじめ，プレス金型など要求精度（寸法，あらさ）は高くなってきている。中でも，プラスチック精密成形品は，使用樹脂の物性向上に伴い，益々高い加工精度を要求されてきているようである。従って，マシニングセンターを使って加工するとき，ワークの目的とする表面あらさに，最も適合した因子をSN比を使って見い出した。そしてあらさと信号因子との一次式を求め，さらに表面あらさの誤差限界の範囲を求める事とした。

2. 使用機械，試験片と使用刃物

①使用機械の名称と形式

立形　VMC530Ⅱ（対話とまと付）

遠州製作所㈱製

②試験片

材種S50C，寸法55×85×55㎜（縦×横×高さ）

③使用刃物

φ12㎜のエンドミル，材種ハイス

ねじれ角は30°と60°でともに3枚歯

日立ツール㈱製

3. 試験方法

①各因子を$L_9(3^4)$の直交表にわりつけ，各試験の順番はランダムに決めた。

②加工環境は空調室で，室温20±3℃で行った。

③試片はいずれも▽▽仕上げ程度である。

④加工面は横方向（85㎜）で0.3㎜切り込んで加工した。

⑤加工後のあらさは触針式あらさ計で，中心あらさ（μm R_a）を測定し，これをあらさの特性値とした。

4. 因子と水準

①制御因子Z

ねじれ角　$Z_1=30°$　　$Z_2=60°$

②信号因子A，B

送り量を信号因子とした場合（㎜／刃）

$A_1=0.02$　　$A_2=0.035$　　$A_3=0.05$

切削速度を信号因子とした場合（rpm）

$B_1=430$　　$B_2=530$　　$B_3=630$

③誤差因子　　工具磨耗R（min）

測定箇所　2箇所

$R_1=0\sim5$　　$R_2=10\sim15$　　$R_3=15\sim20$

5. わりつけと計測データ（中心平均あらさ）

送り量の信号因子をA，切削速度の信号因子をBとして，それぞれの一次効果S_A，S_Bを調べる。そして，Z_1，Z_2ごとの分散分析表を作成し，一次式のSN比を求めA_1とA_2の比較を行なう。更に，あらさと信号因子との関係式を求める。そして，表面あらさの誤差限界を求める。

表1　L_9の直交表と計測データ

（μm）

因子 NO.	送り量 A	切削速度 B	誤差 e	工具摩耗 R	信号因子 Z_1 (30°)		Z_2 (60°)	
1	1	1	1	1	0.82	0.73	0.70	0.68
2	1	2	2	2	1.43	1.56	1.29	1.20
3	1	3	3	3	1.89	2.20	2.40	2.35
4	2	1	2	3	1.28	1.32	1.85	1.93
5	2	2	3	1	0.98	1.10	0.78	0.89
6	2	3	1	2	1.50	1.32	1.08	1.07
7	3	1	3	2	1.35	1.48	0.93	0.98
8	3	2	1	3	1.25	1.19	2.25	2.10
9	3	3	2	1	1.38	1.59	1.18	1.12

6. SN比の計算

①Z_1の変動計算

$$S_T=0.82^2+0.73^2+\cdots\cdots+1.59^2-\frac{(24.37)^2}{18}$$
$$=35.0635-32.9942$$
$$=2.0693$$

S_β一次式校正の場合の基本公式より

$$S_\beta=\frac{(-y_1+y_3)^2}{2r_o}$$ である（水準数3の場合 r_o:反復数）

従って，S_Aは

$y_1=8.63$　　$y_3=8.24$より

$$S_A=\frac{(-8.63+8.24)^2}{2\times6}=\frac{0.1521}{12}=0.0126$$

同様にして，S_Bは

$y_1=6.98$　　$y_3=9.88$より

$$S_B=\frac{(-6.98+9.88)^2}{2\times6}=\frac{8.41}{12}=0.7008$$

従って

$$S_e=2.0693-(0.0126+0.7008)=1.3559$$

②Z_2の変動計算

$$S_T=0.70^2+0.68^2+\cdots\cdots+1.12^2-\frac{(24.78)^2}{18}$$
$$=40.1428-34.1138$$
$$=6.029$$

S_Aは

$y_1=8.62$　　$y_3=8.56$より

$$S_A=\frac{(-8.62+8.56)^2}{2\times6}=\frac{0.0036}{12}=0.0003$$

同様にして，S_Bは

$y_1=7.07$　　$y_3=9.20$より

$$S_B=\frac{(-7.07+9.20)^2}{2\times6}=\frac{4.5369}{12}=0.3781$$

従って

$$S_e=6.029-(0.3781+0.0003)=5.6506$$

以上のことら表2の分散分析表を得る。

Z_1の場合の切削速度（要因B）のみ危険率5％で有意である。その事により，信号因子は切削速度のみ有用である事が分かった。

③SN比の比較

公式 $\eta=\dfrac{\frac{1}{2r_oh^2}(S_\beta-V_e)}{V_e}$　（h:信号因子の水準が等間隔の場合の間隔）

表2　あらさのデータの分散分析表

要因	Z_1 (30°) の場合				Z_2 (60°) の場合				F(0.005)	F(0.01)
	S	ϕ	V	Fo	S	ϕ	V	Fo		
A	0.0126	1	0.0126	0.1395	0.0003	1	0.0003	0.0007	4.54	8.68
B	0.7008	1	0.7008	7.7607※	0.3781	1	0.3781	1.0037	4.54	8.68
e	1.3559	15	0.0903		5.6506	15	0.3767			
	2.0693	17			6.0290	17				

Z_1のSN比

$$\eta = \frac{\frac{1}{12}\ (0.7008-0.0903)}{0.0903} = 0.5625$$

$$= -2.5\ (\mathrm{dB})$$

Z_2のSN比

$$\eta = \frac{\frac{1}{12}\ (0.3781-0.3767)}{0.3767} = 0.00031$$

$$= -35.1\ (\mathrm{dB})$$

$$(-2.5) - (-35.1) = 32.6\ (\mathrm{dB})$$

Z_1 (30°) の方がZ_2 (60°) に比べて，32.6 (dB) だけSN比が高い。

7. あらさと信号の関係式

$$y = m + \beta\ (M - \overline{M})$$

(y:あらさの読み値
M:信号因子（切削速度）の値
β:一次係数)

$$m = \frac{1}{3r_o}\ (y_1 + y_2 + y_3)\ \text{より}$$

$$m = \frac{1}{3\times 6}\ (24.37) = 1.3538$$

$$\beta = \frac{1}{2r_o h}\ (-y_1 + y_3)\ \text{より}$$

$$\beta = \frac{1}{2\times 6\times 100}\ (-6.98 + 9.88) = 0.002416$$

従って，関係式は

$y = 1.3538 + 0.002416\ (M - 530)$ となる。

次に誤差限界を求める。

SN比は誤差の分散の逆数となるから

$$Ve = \frac{0.0126 + 1.3559}{16} = 0.0926$$

(ただし，VeはAをプールした)

$$\eta = \frac{1}{V_e} = 10.7991\ (1/\mu\mathrm{m})$$

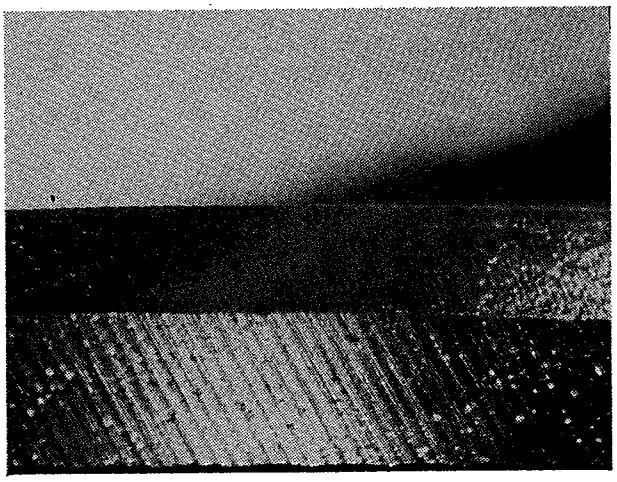
よって，表面あらさの誤差限界は

$$\pm 3\frac{1}{\sqrt{\eta}} = \pm 0.913\ (\mu\mathrm{m})$$

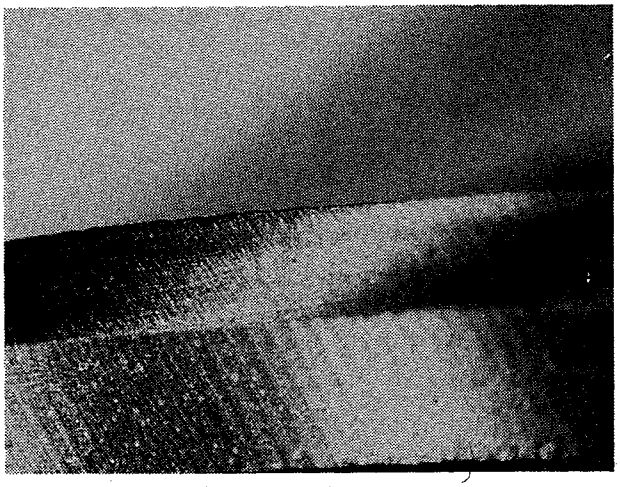
となる。

8. 切れ刃部の写真

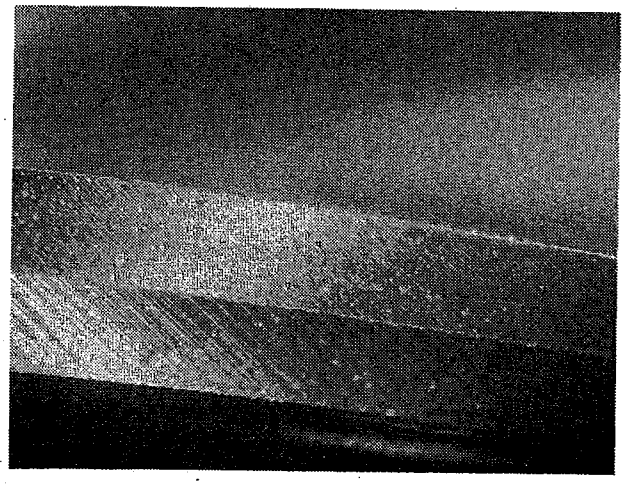
(イ) Z_1 (30°) の使用前　（×24倍）



(ロ) Z_1 (30°) の使用後（No.4のR3）（×24倍）



(ハ) Z_2 (60°) の使用前　　(×24倍)



(ニ) Z_2 (60°) の使用後 (No.3のR3)　(×24倍)

写真の(ロ)のねじれ角30°のエンドミルは，新品の状態から約20分近く加工に使用したあとの，状況を撮ったものであるが，新品の状態と較べて余り変化は見られない。それに較べて，(ニ)のねじれ角60°の約20分近く使用したエンドミルの切れ刃部は，新品のときと比較して著しく変わっている。即ち，構成刃先ができている。

この構成刃先が災いして，仕上面に影響を及ぼしていることが理解できた。

8. まとめ

エンドミルのねじれ角30°の方が60°の場合に較べて，32.6 (dB) ほど高かった。本来的には，60°の方が，結果がよいはずのものが，逆の結果となったのは，加工後の写真(ニ)からも分かるように，ねじれ角60°の切れ刃部に構成刃先が生成していることに因る。それにより，ねじれ角60°の場合の工具摩耗R•3 (12〜20分) のあらさの数値が悪いのは (3回の試験とも) この構成刃先が原因しているものと分かった。そして，信号因子は切削速度のみ有効性があることが理解できた。

求まった，あらさと信号因子の関係式を活用することにより，現場において，図面上の要求仕上げあらさに合った，加工をする事ができる。この事は，過剰品質にする事もなく，また逆に不合格品となる製品を作り出すこともなく，合理的な加工ができることを意味する。

参考文献

1) 田口玄一:品質評価のためのSN比，日本規格協会

2) 田口玄一:品質設計のための実験計画法，日本規格協会

3) 石川　馨，ほか3名:初等実験計画法テキスト，日科技連

4) 矢野　宏:計測のおはなし，日本規格協会

15. 画像処理の高機能化による検査工程自動化の研究（第1報）

尾崎　清　　上杉　憲雄

Study on Automatization of Inspection Process Using Image Processing Method

Kiyoshi OZAKI
Norio UESUGI

文字の検査を画像処理を用いて行う手法として特徴抽出をとりあげ面積，周長，最大長，幅，複雑度，オイラー数を特徴量として0から9までの文字の認識が可能であることを示し，認識のための文字判別フローチャートの作成を行った。また，文字の撮影をカラーカメラで行う場合のR，G，B成分の選択方法，および文字を切り出すために平滑化やメディアンフィルタが有効であることを示した。

1. はじめに

近年，中小企業における生産工程にも，マイクロコンピュータや，エレクトロニクス技術を応用した自動化省力化が普及している。しかし，検査等の視覚的な作業工程は，検査項目や検査対象が多岐にわたっていること，検査装置を導入しても対象を限定した専用機が多く，広範囲な応用ができないこと，さらに検査対象の種類や工場の環境など企業固有の条件を考慮したシステム化が必要にもかかわらず画像処理技術に対する基礎知識の不足，画像処理専門技術者不在のため自社で対応できない等の理由により自動化が遅れている。本研究では検査対象に応じた画像処理手法を確立し，アルゴリズムをプログラムとしてモジュール化することにより，他の安価なハードウェアや対象に応じた専用ボードへの移植を可能とし，それによって中小企業の画像処理技術の導入推進を図り，検査工程自動化を支援することを目的としている。

具体的な検査対象物として，ここでは文字をとりあげた。製造日付，生産ロット番号，型式番号グループ仕分番号など製品には大概，文字がついておりその文字を様々な管理に用いている。また文字の付け方も様々であり製品に直接行う刻印，インクにより吹き付け，印刷，文字ラベルを張りつける方法などがある。しかしながら，文字が正しく付いているかの検査や次処理を判断するために文字を認識する部分では人間が介在している。そこで文字の検査，認識を自動化するために画像処理技術の応用を試みた。その概要を以下に述べる。

2. 画像処理システム構成

①テレビカメラ

(1)HDTVカラーカメラ（朋栄　HMC−1020）

(2)NTSCカラーカメラ（ビクター　KY−F30）

②画像処理装置（ネクサス　7106）

マスターCPU:inmos　T414

サブCPU:TI　TMS34010

画像メモリ:8Mバイト

カメラ入力解像度

(1)1920×1024画素

(2)640×480画素

濃淡階調:256階調

③テレビモニタ（パナソニック　TM−2020HD）

水平走査線:1125本，2:1インタレース

④ワークステーション（東芝　AS4330）

CPU:SPARCチップ

メインメモリ:16Mバイト

⑤光磁気ディスク（ソニー　SMO−S501）

記憶容量:600Mバイト

本システムの特徴は，画像入力分解能が高いこと及び，画像処理装置とワークステーションをVMEバスで接続しているため画像メモリをワークステーション上のメモリと同様，直接アクセスできることである。画像処理システムの構成を図1システム全体の写真を図2に示す。

3. 実験と考察

3−1　文字の切り出し

背景が有色で文字部が白色の文字をカラーカメラで撮影すると赤，緑，青（以後R，G，Bとする。）それぞれの成分画像が得られる。今，文字部を切り出すために2値化する場合，R，G，Bいずれかの画像で行えばよいが，その際，R，G，Bどの成分を用いればよいかは背景色の分光分布から判断可能である。最も有効な成分は文字部と背景部のコントラストが大きい成分であり，文字部の白色はR，G，Bいずれも最も高濃度であるから背景色は濃度の低い成分を用いればよい。

背景色が紅，青，橙の場合の分光分布を図3，背景色が青の文字9の原画像を図4，図4に引いた直線でのR，G，B各成分の濃度分布を図5に示す。

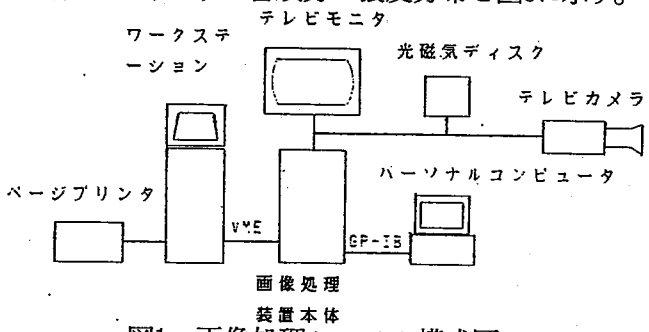


図1　画像処理システム構成図

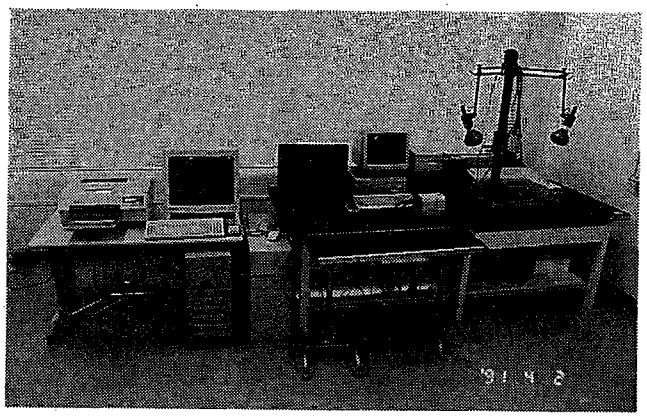
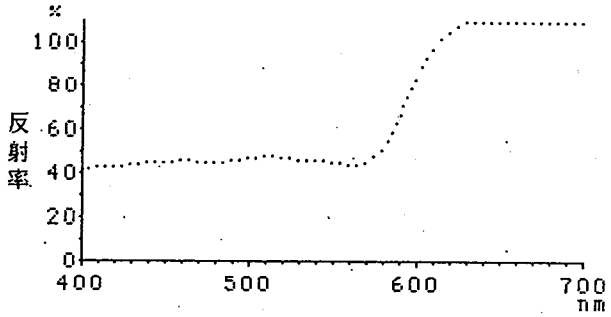
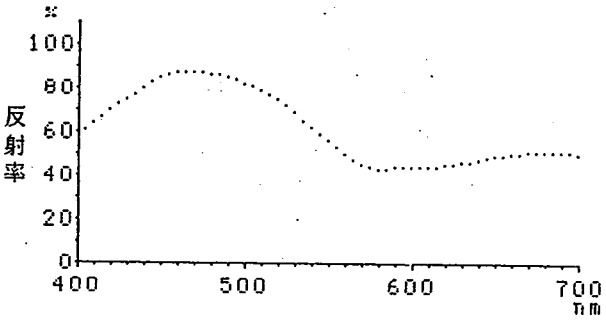


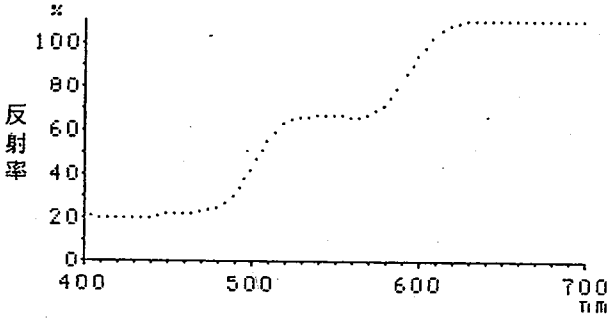
図2　画像処理システム



(a)　紅の分光分布



(b) 青の分光分布



(c) 橙の分光分布

図3　背景色の分光分布

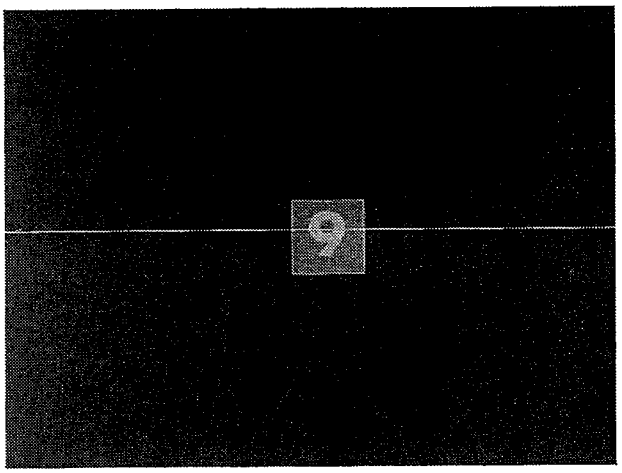
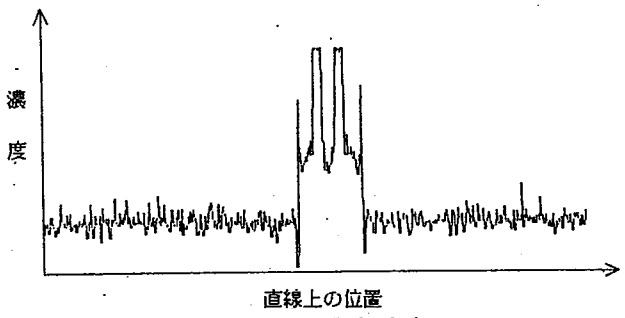


図4　文字9の原画像

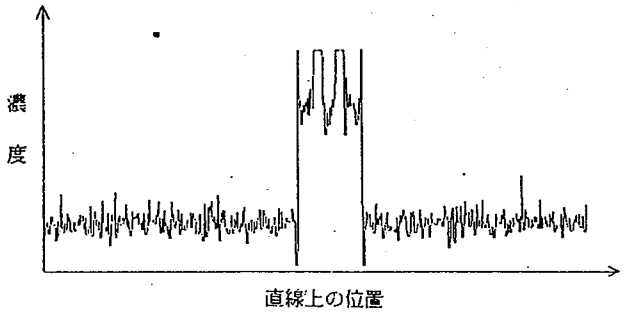
3－2　雑音除去

(1)平滑化

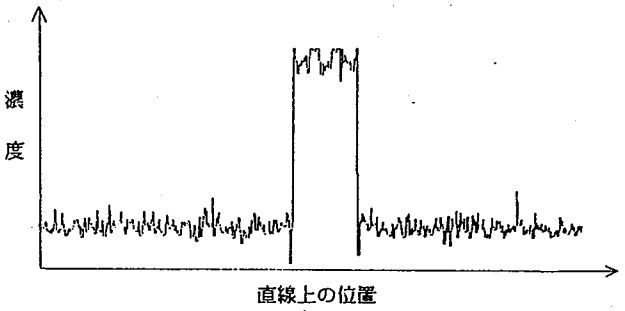
画像には多くの種類の雑音が含まれており，画像から種々の特徴を抽出する前にこうした雑音を除去する必要がある。雑音発生のモデルが予めわかっているときは，そのモデルに応じたフィルタを設計すればうまく雑音除去ができる。しかし，通常は雑音発生のメカニズムが未知の場合が多く，またメカニズムがわかっていても，それをうまく数式的にモデル化できないこともある。こうした場合は，雑音のもつ一般的性質に基づいて雑音除去を行う平滑化の手法が用いられる。画像データの平滑化を図る場合，多くの処理法では，ある画素の値がそのまわりの点の値に関連しているということを前提にしている。すなわち，画素のまわりに，平滑で連続した濃度値が分布していると見なして行なう。ここでは，ある画素を中心とした近傍領域内の画素の濃度値から平均値を求めるという操作を各画素で行なった。その時に用いた3×3空間フィルタのオペレータと，濃度値の計算式を図6に示す。



(a) R成分の濃度分布



(b) G成分の濃度分布



(c) B成分の分布

図5　濃度分布

(2)メディアンフィルタ

平滑化では，n×nの局所領域における濃度の平均値を，領域中央の画素の出力濃度とした。メディアンフィルタでは，局所領域中の濃度の中央値を出力濃度として与える。つまり，3×3の領域を用いた場合，9個の濃度値を小さい順に並べ小さい方から5番目の（まん中の）濃度値を求めればよい。この非線形なフィルタでは，平滑化に比べてかなりエッジのぼけが少ないのが特徴である。

a_{11}	a_{21}	a_{31}
a_{12}	a_{22}	a_{32}
a_{13}	a_{23}	a_{33}

＝

1	1	1
1	1	1
1	1	1

(a)　平滑化オペレータ

$$A_{22} = \mathrm{INT}\left(\sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3}(a_{ij} \times W_{ij}) \Big/ \sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3} a_{ij}\right)$$

W_{ij}：注目画素の近傍画素の各濃度

W_{11}	W_{21}	W_{31}
W_{12}	W_{22}	W_{32}
W_{13}	W_{23}	W_{33}

A_{22}：注目画素の演算結果

	A_{22}	

(b) 濃度計算式

図6 平滑化オペレータと濃度計算式

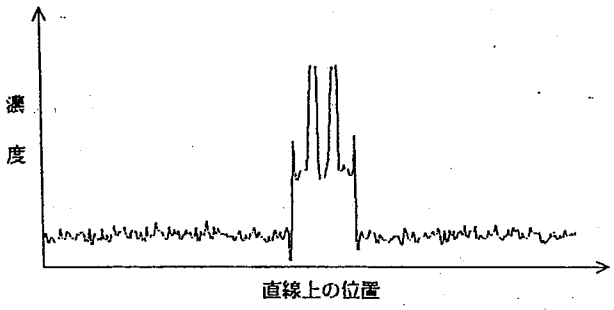


図7 平滑化処理後の濃度分布

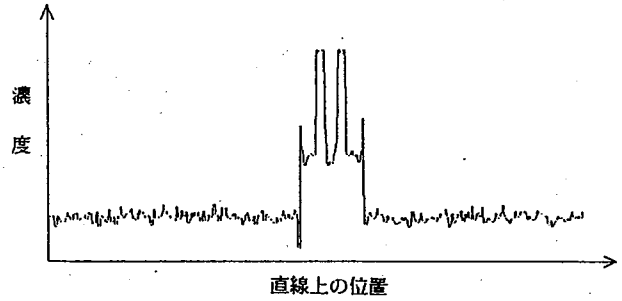


図8 メディアンフィルタ処理後の濃度分布

背景色が青の文字9のR成分に平滑化，及びメディアンフィルタ処理を行ったときの濃度分布をそれぞれ図7，図8に示す。処理を行う前の原画像のR成分（図5－(a)）と比較すると濃度分布がなめらかになり文字枠エッジ部分の濃度ピークが下がっていることがわかる。この処理により，文字を切り出すための2値化のしきい値選択の幅が広がった。なお，今回はメディアンフィルタよりも処理速度の速い平滑化のほうを採用した。

3－3 文字の特徴抽出

原画像に対して，その特徴を表現するような情報を取り出すという操作は特徴抽出と呼ばれ，パターン認識，画像理解あるいは，情報量の削減のための基本手法として重要である。特徴抽出ではより抽象化された形で表現するような数値情報を得ることが行われる。画像の特徴としては，点の特徴，局所的特徴，領域の特徴などがあるが文字パターンの認識を行う場合は領域の特徴を扱う必要がある。さらに文字の認識に有効な特徴量を選択する場合に，文字が画像中のどの位置にあっても，どの方向を向いていても，位置や方向に無関係であることが望ましい。そういう観点からここでは文字の面積，周長，最大長，幅，複雑度，オイラー数をとりあげた。各々の言葉の意味及び処理の概要は次のとおりである。

面積:2値画像のうち文字部分の画素（1画素）の総和

周長:連結成分のまわりの境界画素（文字の外周部分の画素）の総和，但し斜め方向は垂直•水平方向に比べ$\sqrt{2}$倍の補正をしている。

最大長:文字部分の任意の2画素間の最大距離

幅:最大長と平行な2本の線で文字を挟んだときの平行線の距離

複雑度:（周長）^{2}／（面積）

図形が円形のときにもっとも小さくなり，図形が複雑になるほど値が大きくなる。

オイラー数:2値画像において連結成分の個数から穴の個数を引いたもの

さて，これらの特徴量を求めるためには，3－2で述べた雑音処理を行った画像から2値画像を作る必要がある。その際，画像から文字だけを切り出すためには2値化のしきい値を考慮する必要が

あるが，それは図7の濃度分布から求めることができる。

文字の原画像（0～9）を図9，2値化処理後の文字画像を図10に示す。また，これら特徴量の，しきい値による変化を図11に示す。ただし，縦軸の単位は画素数，あるいは無名数である。

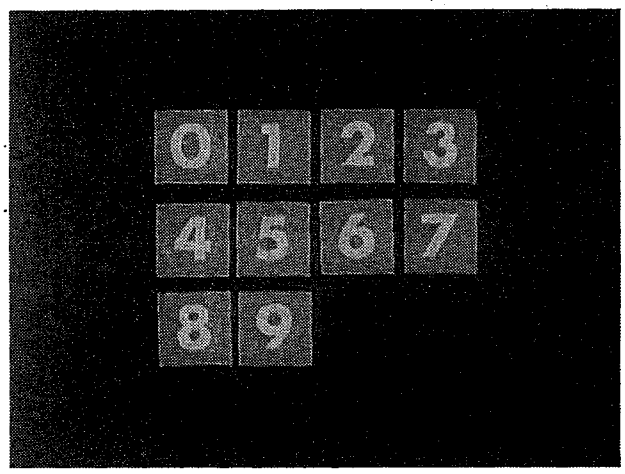


図9　文字の原画像

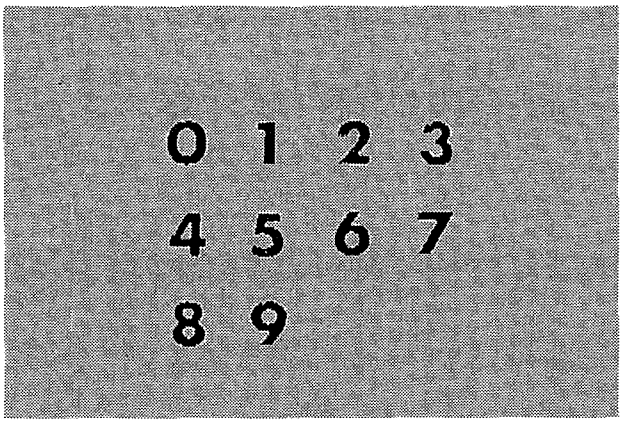


図10　2値化処理後の文字画像

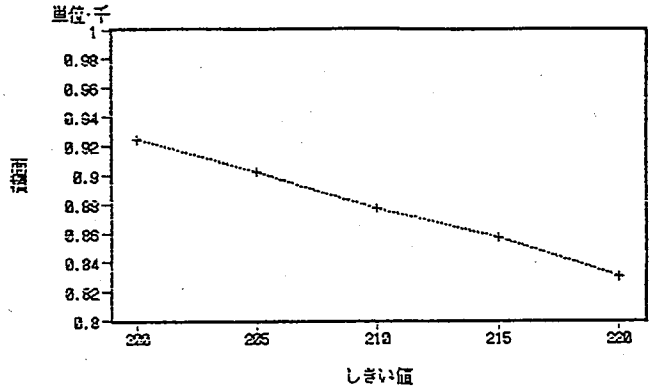


図11－(a)　面積の変化

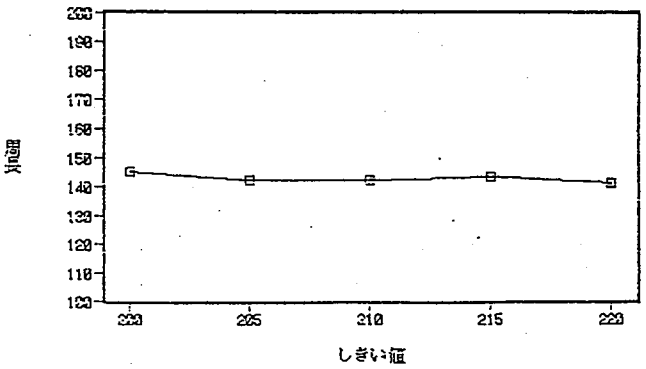


図11－(b)　周長の変化

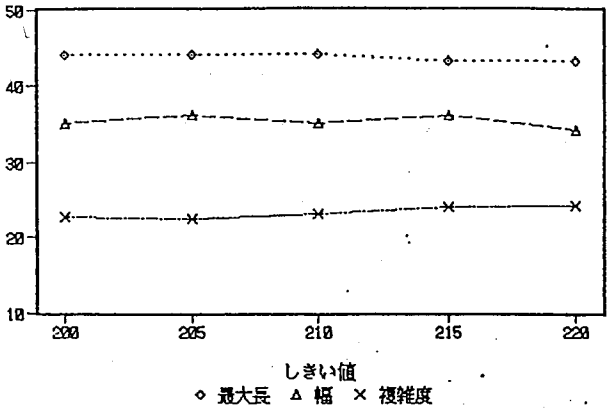


図11－(c)　最大長，幅，複雑度の変化

図11から，しきい値の影響を強く受ける特徴は面積であり，周長，最大長，幅，複雑度はあまり影響を受けないことがわかる。このことは，照明等の画像入力環境の影響についても同様であると思われる。次に，しきい値を固定して2値化処理を行った文字画像（0～9）について各特徴量を求め，文字間で比較を行ったものを図12に示す。

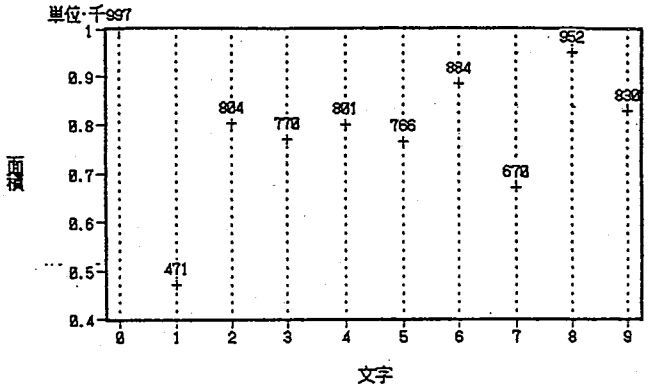


図12－(a)　面　　積

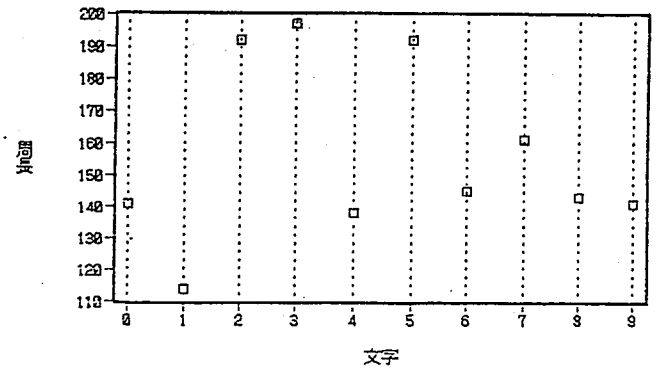


図12－(b)　周　　長

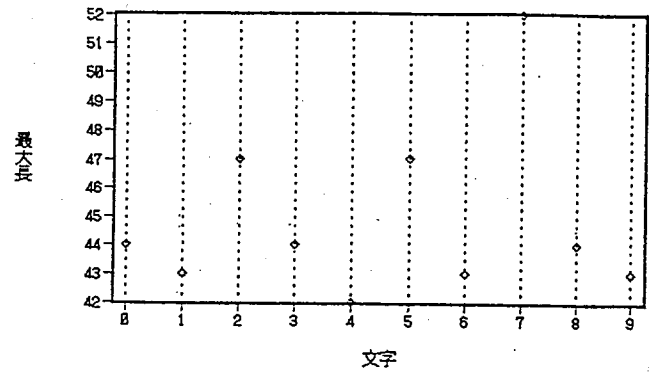


図12－(c)　最　大　長

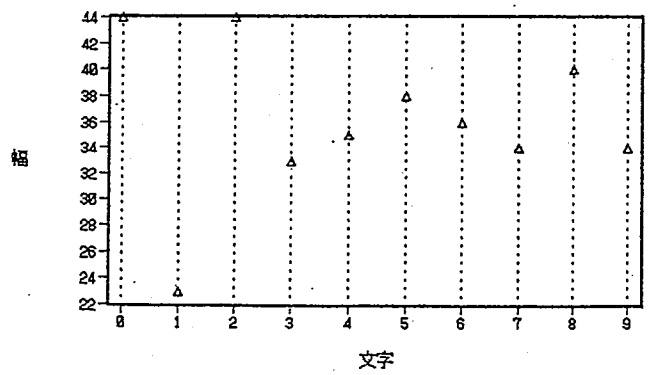


図12－(d)　　幅

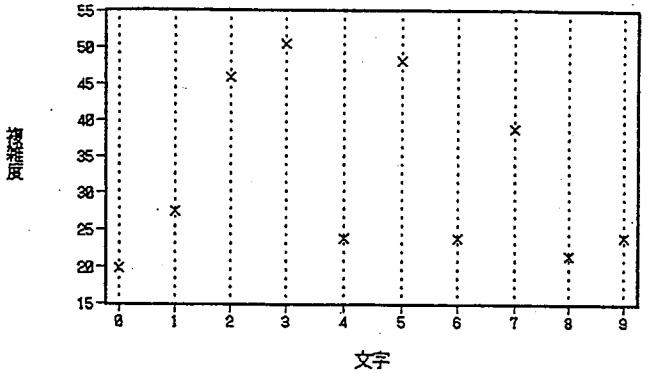


図12－(e)　複　雑　度

図12をもとに各特徴量ごとに文字のグループ化を行い，グループ分けの順序をうまく決めてやることにより最終的に文字を0から9に判別することが可能となる。その際，外部環境変化の影響を受けにくくグループ化の線引きにおいても境が明瞭で確実に行える特徴量を優先させた。最終的に求めた文字の判別フローチャートを図13に示す。

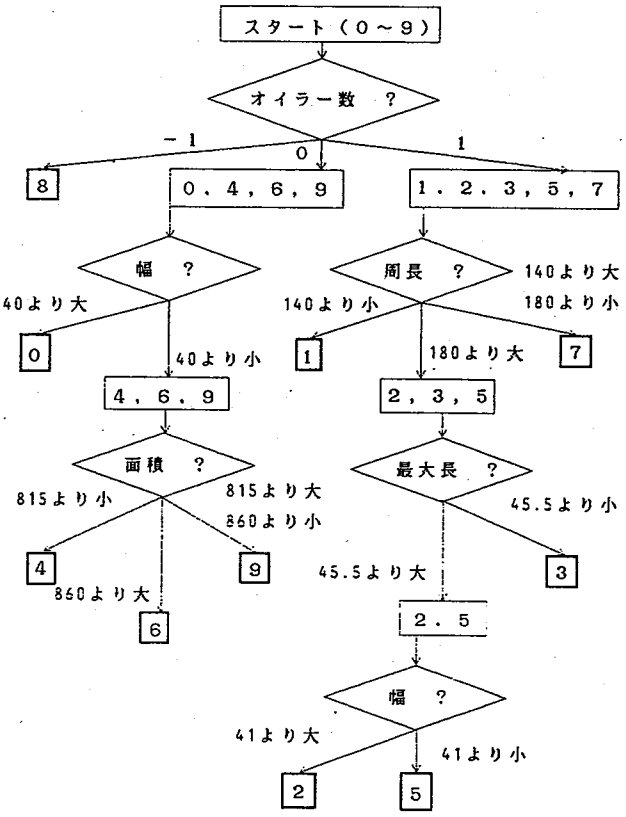


図13　文字判別フローチャート

4. おわりに

本研究では，検査対象物である文字をカラーカメラで撮影する場合，文字及び背景の色が持つ分光分布からR，G，Bどの成分を用いればよいかが判断できること，雑音除去の手法である平滑化やメディアンフィルタが濃度分布をなめらかにし文字の切り出しに効果があること，さらに文字を認識するための手法として特徴抽出をとりあげ面積，周長，最大長，幅，複雑度，オイラー数を

特徴量として0から9までの文字の判別が可能であることを示した。この特徴量はいずれも撮影する文字の位置や方向に無関係であるため現場に適用する際は，周辺環境の負担をある程度軽くできると思われる。ただし，今回の場合は文字の撮影を室内で静止状態で行っており現場に適用するためには動いている検査対象物を明瞭に取り込むことや照明等の変化に対する耐力を含めて検討する必要があると思われる。また，今回は特徴抽出を取り上げたが文字を認識するためのアルゴリズムは他にも研究されており，検査対象に応じてそれらのアルゴリズムの有効性を検証，改良して行けば最適な手法が確立できると思われる。

なお，本研究は平成2年度中小企業庁技術開発研究費補助事業（広域共同研究）として実施したものである。最後に，本研究を遂行していくにあたり多大なる御指導，ご助言を賜りました工業技術院中国工業技術試験所システム工学研究室の住本室長，岡田主任研究官，宮内主任研究官ならびに各共同研究機関の担当者の皆様に感謝の意を表します。

参 考 文 献

1) 田村秀行:コンピュータ画像処理入門
総研出版，　1985
2) 長谷川純一他:画像処理の基本技法
技術評論社，1986
3) 坪内順平:応用画像解析
共立出版，1981

16. FEM（有限要素法）による三次元フックの最適設計法に関する研究

西山　修二

Optimum Design by the Finite Element Method for the 3−dimensinal Hook

Shuji NISHIYAMA

形状決定問題において，荷重条件，境界条件は解析モデルの最終形状を左右する重要な因子である。

本論文は，ある制約条件のもとに形状最適化を計算力学を適用して，鋼板吊り上げ用フックを最適設計するための手法を見いだし最適設計モデルを決定した。

1. 緒　言

形状決定問題において，荷重条件，境界条件等は解析モデルの最終形状を左右する重要な因子である。

ある境界条件のもとで最適とされる形状が他の境界条件のもとでは最適であると言う保証は全くない。また初期形状にたいしては重要でないと判断され無視された境界条件が最終形状に対しては形状決定上重要な因子に変化している場合があり得る。

従って，解析モデルに与えるべき境界条件はできるだけ多くの状況を考慮に入れて現実に即したものであることが望ましい。

本論文では，ある制約条件のもとに形状最適化を計算力学を適用して試みる。

具体的には，鋼板吊り上げ用フックを最適設計するための手法を見いだし最適設計モデルを決定する。フックは操作性及び強度上の観点から，形状が非常に複雑となる。

2. 最適設計問題の設定

制約条件として，図1に示すように4個のフックで鋼板を吊り上げ移動する場合を想定する。

また鋼板重量はサイズにより異なるが，鋼板の横寸法が1524㎜の場合で，最大重量W＝15tとなる。このとき，吊り上げワイヤの角度は鉛直に対して$\theta=20.05°$となる。

以上の制約条件のもとに目的関数として，フック形状要求は，操作性及び強度上の観点から次の通りとする。

幅:90㎜程度

長さ:400㎜程度

重量:10kg程度

材料:溶接用高張力鋼板　SM50A

3. 最適解の探索法

手法としてまず形状仕様から図2(a)に示す初期モデルを作成する。工学的解析手法は有限要素法を適用して構造解析する。各節点及び要素におけ

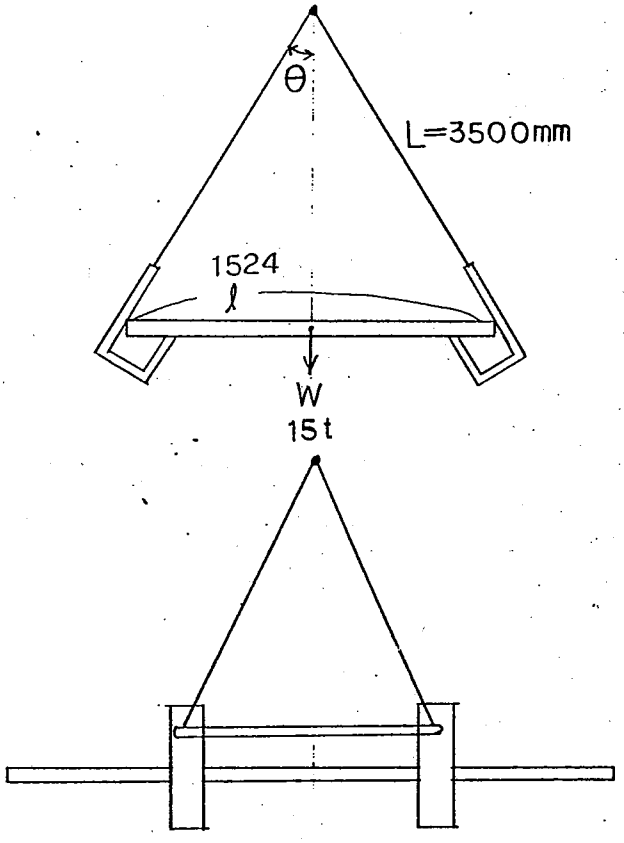


図1　フックの使用法

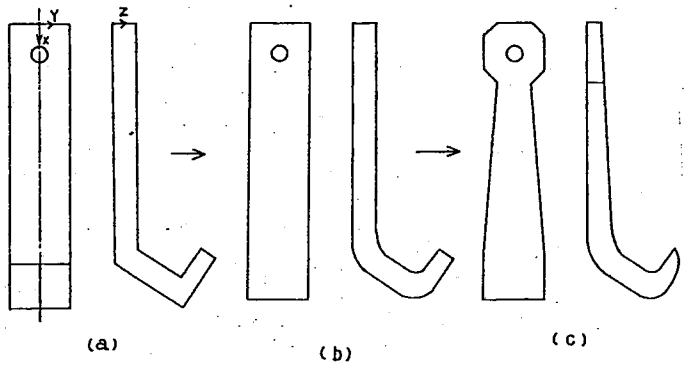


図2　構　造　物

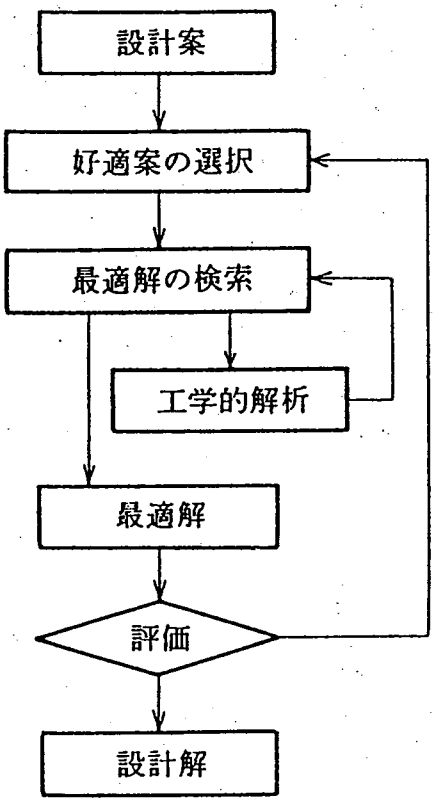


図3　最適設計のプロセス

る変形，応力などを強度評価する。強度上影響がほとんどない部分を削除していき，削除した新たな形状についてFEM解析をくり返す。この方法を数度繰り返して目的とする最適形状を決定していく。

また，概念設計における数理モデルの構成が困難なためある決められた形状に対して，各部の寸法や形状を最適化し，その結果を形状選択へフィードバックするというプロセスをとる。その手順の流れを図3に示す。すなわち

①好適設計で選れた設計案の形態に対して，得た各部の寸法など決定すべき設計変数の初期値を設定する。

②設定された設計変数の値に対して工学的解析を実行し，応力や歪みなどの状態を解析する。

③許容応力や許容歪みなどの制約の範囲内で，設計案の良否を判定する基準，たとえば重量やコストなどについてそれらが改善される方向に各設計変数の値を修正する。

④修正された設計変数値に対して，工学解析を繰り返し，もはや制約の範囲内で評価基準が改善されなくなったとき，その設計案を最適解とする。

4.　最適解の探索と工学的解析

最適解の探索として，図2(a)に示すように制約条件をみたす初期設計解として原形モデルを考える。

このモデルは形状及び荷重の対称性から1／2モ

デルを解析領域とし，各部の応力を有限要素法により求める。この原形モデルに対して応力集中を起こしている部分の形状を変更していく。

このモデルは形状及び荷重の対称性から1／2モデルを解析領域とし，各部の応力を有限要素法により求める。この原形モデルに対して応力集中を起こしている部分の形状を変更していく。

このプロセスを数度繰り返して最適解を求めていく。工学的解析に当たっては次のような条件を考慮した。

(a)拘束条件

全節点について，y軸方向，x，y，z軸まわりの変位を拘束する。ピン穴部周辺の全節点のx，y，z軸方向の変位およびx，y，z軸まわりの回転を拘束する。

(b)荷重条件

フック先端にz軸から20度の角度をもたせ節点に節点集中荷重を定義する。

(c)材料定数

使用材料は溶接用高張力鋼板SM50Aである。解析に用いた材料の機械的定数は次のとおりである。

引っ張り強さ　＞490～608MPa
(49.9～61.9kgf／mm²)
降伏点　＞314MPa
ヤング率　E＝21000kgf／mm²
ポアソン比　ν＝0.30

開発した計算プログラムの妥当性を検証するために矩形断面の片持ち梁の先端x＝275mmの位置に10tの荷重を－z軸方向に作用させた場合について検討した。

簡略計算では最大変位δ_{max}は次式で与えられる。

$$\delta_{max}=W\ell^3/3EI$$

$$I=bh^3/12$$

これらの式に
E＝21000kgf／mm²，W＝10000kgf，h＝30mm，b＝70mm，ℓ＝275mmを代入して計算すると

$$\delta_{max}=19.9\text{mm}$$

となる。一方，有限要素法による計算結果は

$$\delta_{max}=20.1\text{mm}$$

となる。

従って，理論値とFEMによる計算値はよく一致し解析プログラムの真評性が確認できた。

5. 最適設計モデル

工学的解析を数度繰り返し評価位置の応力が基準値に収束するまで繰り返した。最終モデルを図2(c)に示す。

最適モデルでの節点数および要素数は次のとおりである。

節点数:976
要素数:
CHAXA（可変20節点固体要素）:542
CPENTA（くさび形固体要素）: 80

解析結果はW＝15t×1.25（割増係数[5]：ここで割増係数は安全基準で定められた値である），θ＝20度の場合について計算を実行した。計算に要した時間は一計算当たりFACOM S－3300を使用して16分である。

図4は最適設計で求めた最終形状の設計図を示す。

図5はフックの初期形状と最適設計手法を適用して得た最終形状を示す。最終形状におけるモデルの重量は初期モデルの70%であり，表面応力は強度的にバランスの取れた形状が得られた。

図6は形状を最適化する階段で応力評価を行った位置を示す。

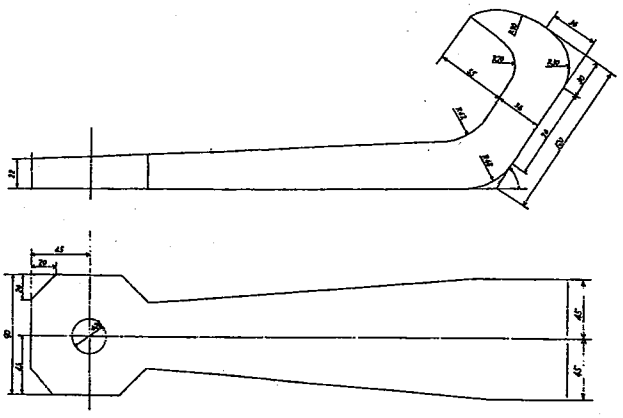


図4　最終設計図

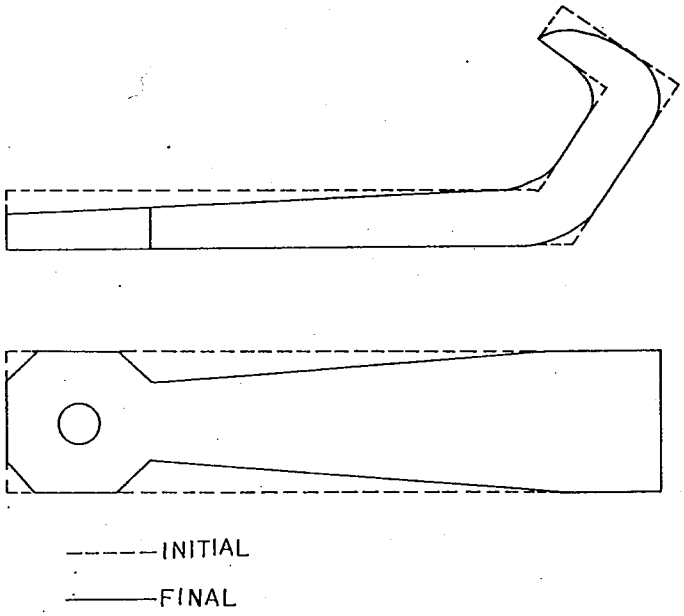


図5　フックの初期及び最終形状

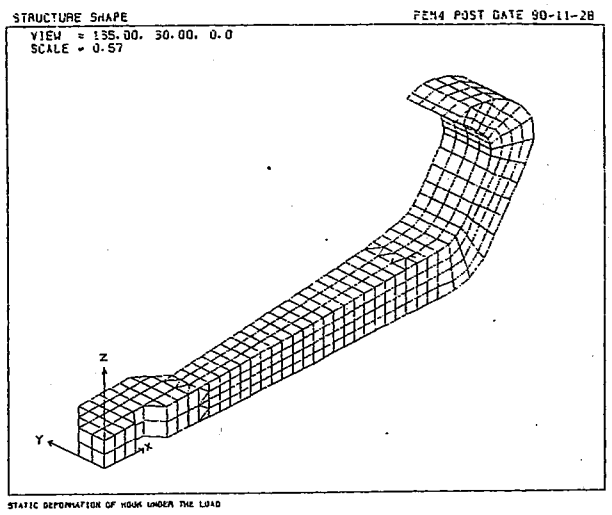


図8　座標系と要素分割図

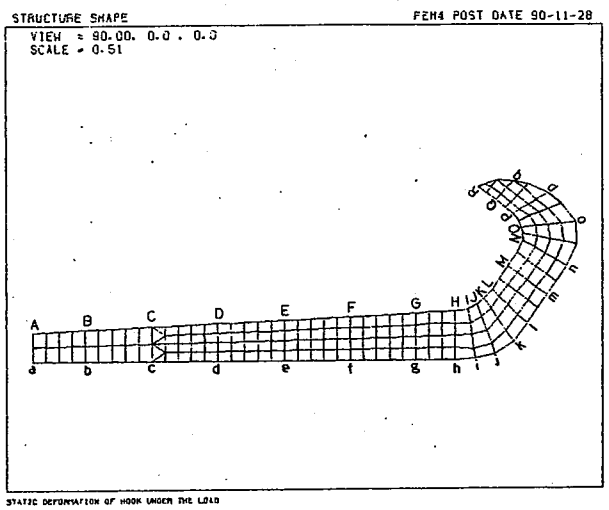


図6　応力の評価位置

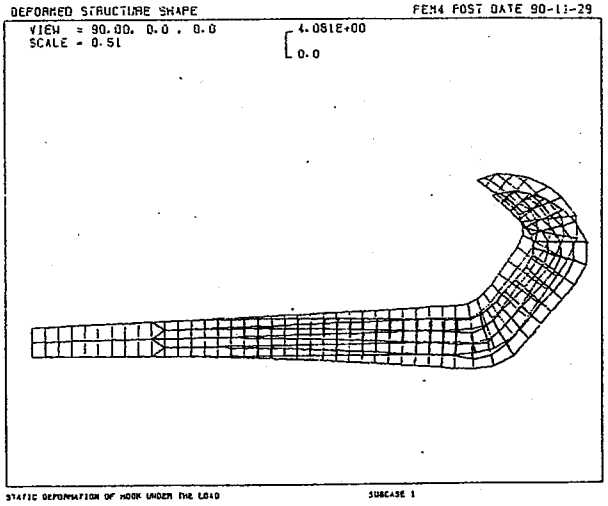


図9　変　形　図

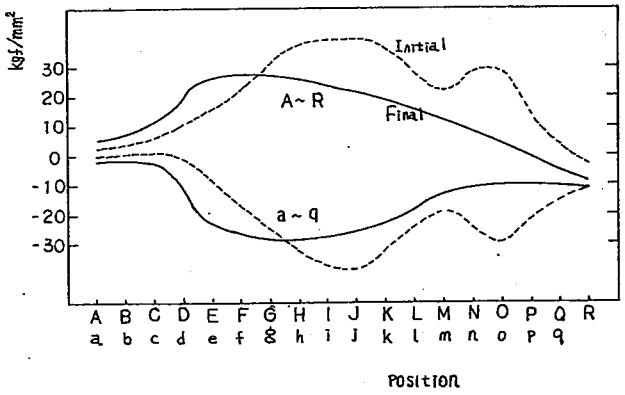


図7　初期及び最終モデルにおける応力分布図

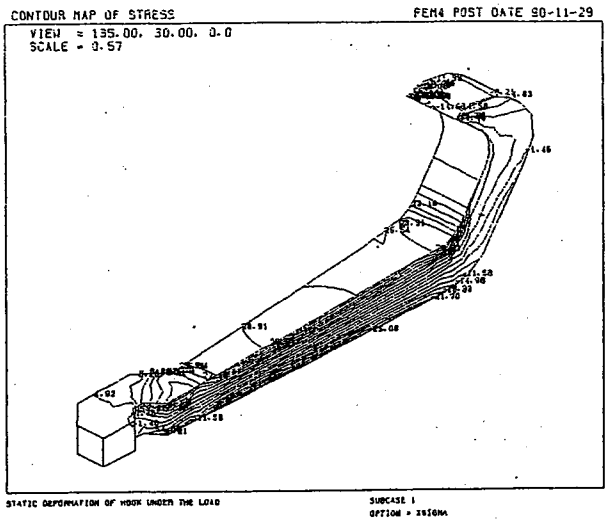


図10　x方向応力等高線図

図7は初期形状と最終形状の各部の応力状態を示す。形状を最適化して形状修正によって応力集中がなくなっている。

図8は，最終モデルの座標系と要素分割図を示す。要素は可変20節点固体要素とくさび形固体要素である。全要素は622個である。

図9は最終形状に荷重が作用した場合の変形前後の様子を示す。最大変位はフック先端に発生し，4mmである。強度上許容内である。

図10と図11はx及びy方向の応力を等高線で表したもので全ての位置で許容範囲内である。また，ピン穴周辺で応力がやや高い値を示している理由は解析にあたって，ピン穴周辺部の全節点を完全拘束したためである。しかし，実際は拘束がやや緩和されるため多少低めの値となるものと思える。

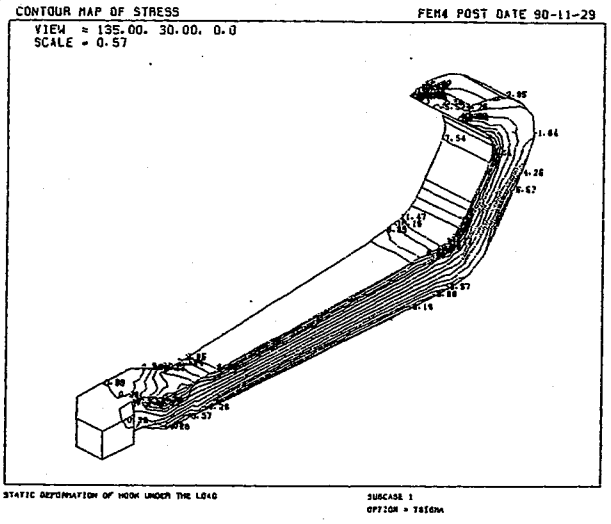


図11　y方向応力等高線図

6. 結　言

三次元形状を有するフックの最適形状決定の問題を計算力学手法を適用して解析した。

形状及び境界条件等が複雑な場合はモデルを数理モデルとして定式化することが困難である。

そのため，本法で取り扱ったような手法によらざるを得ない。最終形状の重量は9.36kgとなり全ての制約条件は満足された。最適解への収束の判断等も難しく今後の課題である。

謝　辞

本研究はT社からの依頼により実施したものである。T社から各種データを提供していただき関係者各位に感謝の意を表します。

さらに，当フックはT社で量産され使用されている。

参 考 文 献

1) 藪，瀬口，多田，機論　52巻476号
（昭和61－4）　pp1191－1195
2) 尾田，機械構造物の最適化手法とその応用
機械の研究　第41巻　第11号（1989）
3) 西山，フックの強度計算報告書
平成2年12月　広島市工業技術センター
4 赤木著，設計工学 (上) (下)
コロナ社　1991
5) 日本機械学会編　機械工学便覧
c3運搬機械

17. メッシュ構造物の強度評価に関する研究

西山　修二

Strength Analysis in Designing of Flat Plate with Periodic Holes Under the Load

Shuji NISHIYAMA

メッシュ構造物は電子機器の外装，各種機械のカバーあるいは容器等に幅広く利用されている。機械重量の軽減化や意匠デザイン性の観点からの要求もあり，近年これらの形状が多様化すると同時に複雑化する傾向にある。このような状況の下で充分な構造強度を保証するためにはメッシュ構造物の正確な強度評価が不可欠となっている。そこで，本研究は各種材料特性を有する板状の材料に種々の形状の穴が明いている構造物に発生する応力を計算力学を用いて，強度評価する手法について検討した。本研究により，メッシュ構造物に計算力学の適応が可能なことを示すと同時に基本的な設計諸元の影響を調べた。

1. 緒　言

メッシュ（板状の材料に種種の形状の穴が規則的に存在するもの）構造物は電子機器の外装，機械類のカバーあるいは容器等に幅広く利用されている。機械重量の軽減化や意匠デザイン性の観点からの要求もあり，近年，構造物の形状が多様化すると同時に複雑化する傾向にある。このような状況の下で充分な構造強度を保証するためにはメッシュ構造物の正確な強度評価が不可欠なものといえる。従来は，この種の材料は強度評価が難しく，計算データも知見されないようである。従って，この種の構造物を使用する場合は機械装置等のカバーなど機械的強度を要しない部分に使われることが多く，また強度を要する場合は充分な安全率を考慮して使用されている。

しかし，経済性，意匠性及び機能性等を考慮すると精度よい最適設計を行う必要性が生じる。そこで，本研究は各種材料特性を有する平板の材料に種々の形状の穴が明いている板に発生する応力を計算力学を用いて，強度評価する手法について検討した。

解析対象モデルは幾何学的対称性と境界条件の対象性から部分モデルを提案し，形状パターンに応じて全体の応力状態や変形の様子が把握できるようにした。これまでの研究ではこの種の強度評価を解析的に評価した例は見当たらない。

本研究により，メッシュ構造物に対し計算力学の適応が可能なことを示すと同時に基本的な設計諸元の影響を調べた。

2. 工業用材料の機械的定数

CAE的アプローチにより，材料の強度評価を

行う場合に必要な定数は材料のヤング率，ポアソン比などの材料定数，さらに荷重，板厚などの形状・荷重特性等が考えられる。図1は工業上使用される可能性のある各種材料のヤング率とポアソン比の関係を調査し，プロットしたものである。

本研究ではヤング率は0.5～2.0×10⁴kg／mm²，ポアソン比は0.2～0.4の範囲について強度シミュレーションを実施する。これらの範囲をシミュレーションしておけば実用上充分であると思える。

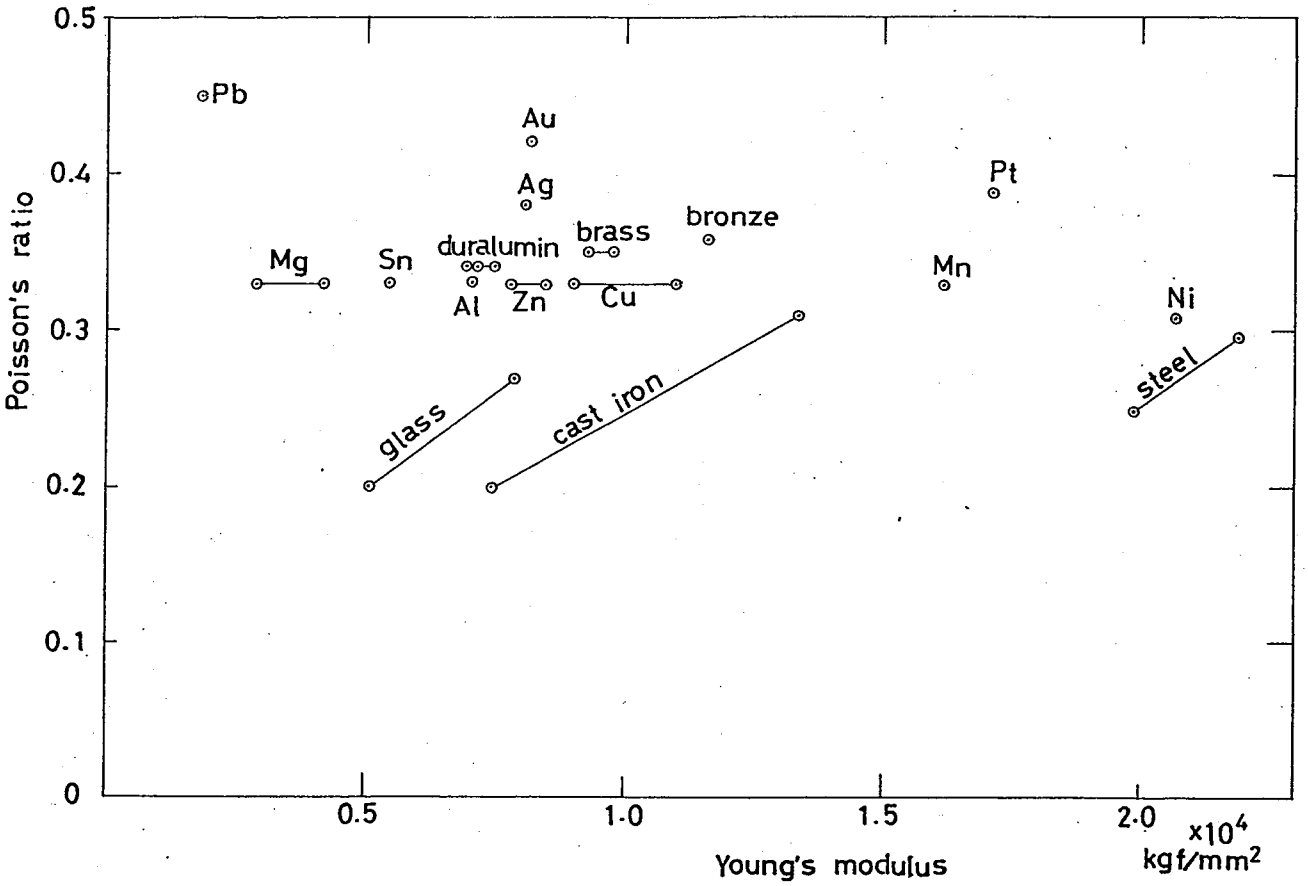


図1　各種材料のポアソン比とヤング率の関係

3. 解　析

3.1　物理モデル　　図2に本研究で解析する物理モデルを示す。一様な張力場にある構造物の応力・ひずみ解析を行なう。

穴径をd，x－y座標を反時計回りにθ回転した座標をx_1－y_1座標とする。a，bはx_1，y_1軸方向の穴ピッチを示す。

従って，θ，d，a，bの四つの変数により板に種々の穴が配置されたメッシュ構造物のパターンが表現できる。

3.2　数学的モデル　　図2において，メッシュ構造物のパターンをθ＝45°，d＝4mm，a＝b＝10mmの場合について，解析を実施する。

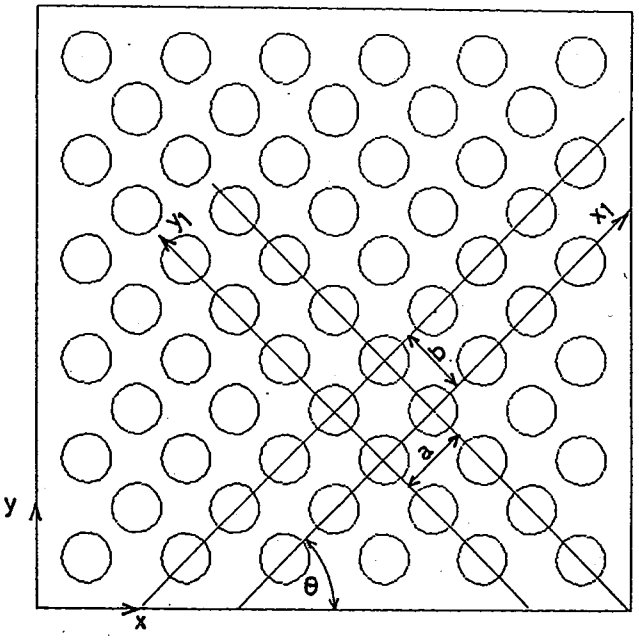


図2　物理モデルと座標系

解析は有限要素法を適用する。構造物全体について要素を分割し，計算を実施することは，計算時間もかかるので適当とはいえない。そこで，本研究では，構造物の対称性から図3(b)に示すように，部分構造を解析領域としたモデルを提案する。この際，図3(b)において，辺BCは辺DEと辺EFは辺ABと各々平行を保ちつつ変形するという拘束条件を与える。

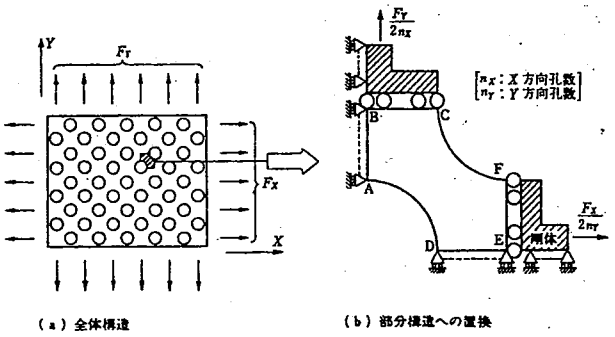


図3　解析領域のモデル化

3.3　FEMによる解析　　解析領域は図3(b)とする。図4は解析領域の要素分割と節点番号を示す。図5は要素分割と要素番号を示す。本解析は節点数は115である。また要素は四角形板要素と三角形板要素を用いる。要素数は各々60で，計120となる。

数値解析は$\theta=45°$，d＝4mm，a＝b＝10mmの場合について，板厚は2，4，6，8，10mm，節点荷重は5，10，15，20，25，30kg，ヤング率は0.5，1.0，1.5，2.0×10^4kg／mm²，ポアソン比は0.2，0.3，0.35，0.4とし，これらのパラメータがメッシュ構造物の変形及び応力等におよぼす影響について計算を実施した。

辺EFと辺BCに作用する力はそれぞれ$F_x/2n_Y$，$F_Y/2n_x$となる。ここでF_x，F_YはX軸，Y軸方向の張力，n_x n_YはX軸Y軸方向の穴の数を表わす。

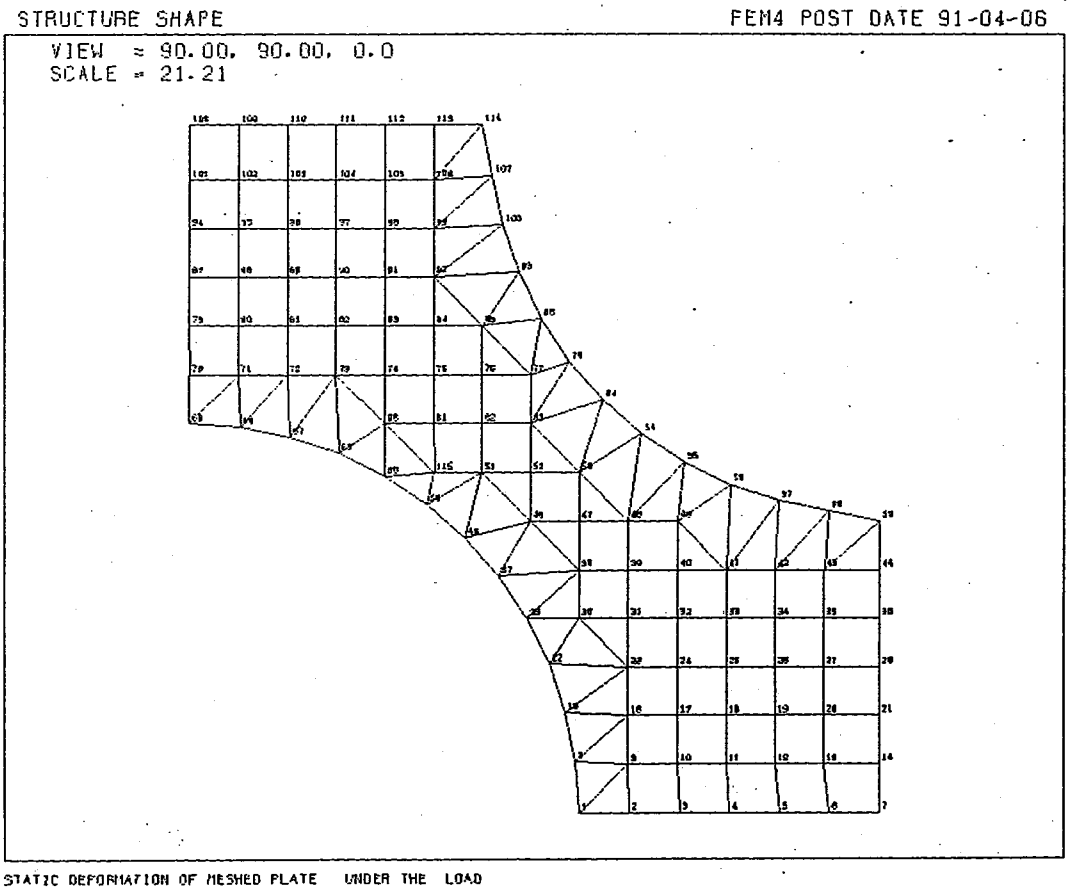


図4　要素分割と節点番号

一辺が100mmの四角形に$\theta=45°$，d=4mm，a=b=10mmの構造パターンの場合，$n_x=n_Y=7$となる。$F_x=F_Y=100\sim1000$kgをシミュレーションするには辺EF，BCに作用する力は14.3～142.8kgとなる。辺EF，BCは7節点で分割しているので一節点当たりの荷重すなわち節点荷重は1.42～28.5kgとなる。従って節点荷重については5から30kgを検討しておけば充分と思われる。板厚t，ヤング率E，ポアソン比ν，節点荷重Ws等のパラメータが構造物の変形及び応力等に及ぼす影響を調べるために三つのパラメータを固定し，一つを変化させて影響を調べた。この場合固定するパラメータの標準値は板厚:2mm，節点荷重:20kg，ヤング率:2.0×10^4kg／mm²，ポアソン比:0.3とした。

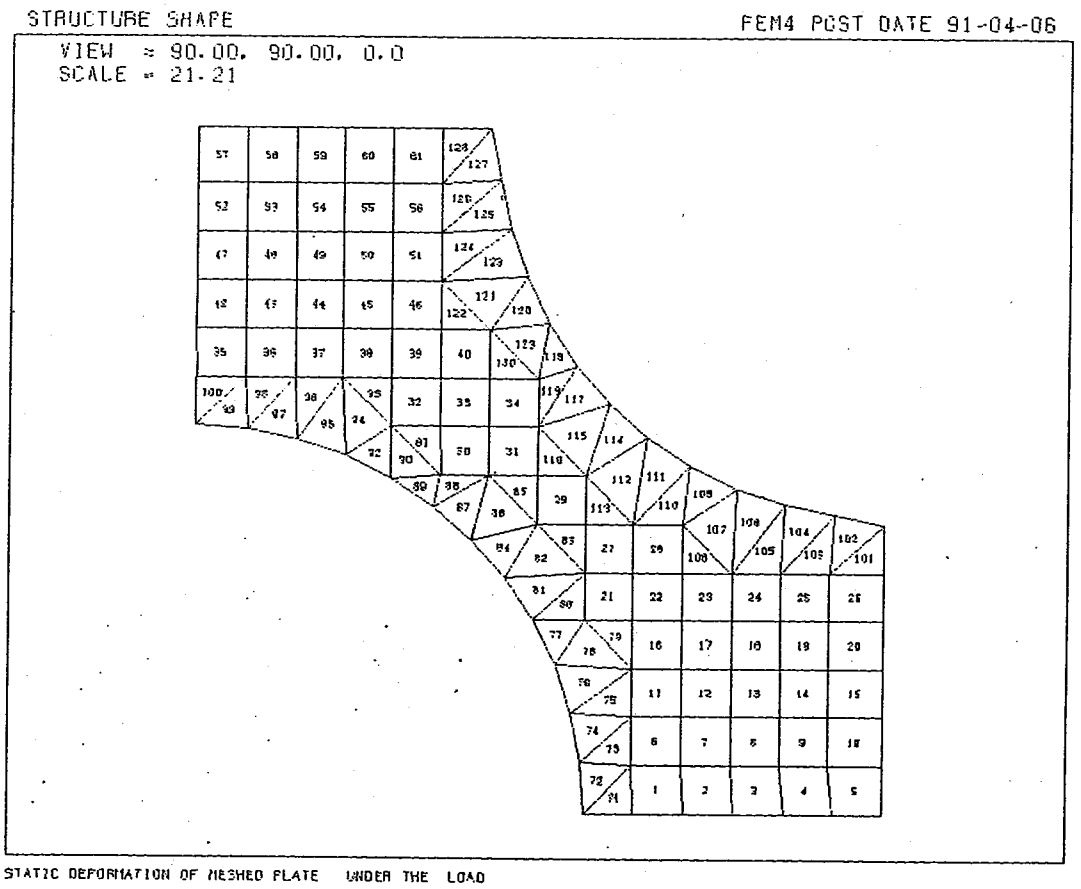


図5　要素分割と要素番号

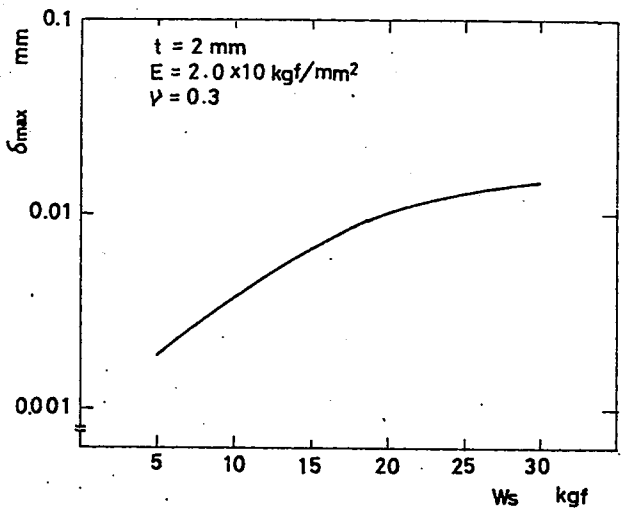


図6　荷重が最大たわみに及ぼす影響

4. 計算結果

FEM解析は構造解析ソルバーFEMⅣを使用した。計算時間はFACOM S−3300で一計算当たり125秒であった。

図6は板厚，ヤング率，ポアソン比を一定とした場合，節点荷重が最大たわみに与える影響について示す。板厚が増加するに従い最大たわみは減少する。

図7は節点荷重，ヤング率，ポアソン比を一定とした場合，板厚が最大たわみに与える影響につい

て示す。荷重が増すに従い最大たわみも増加する。

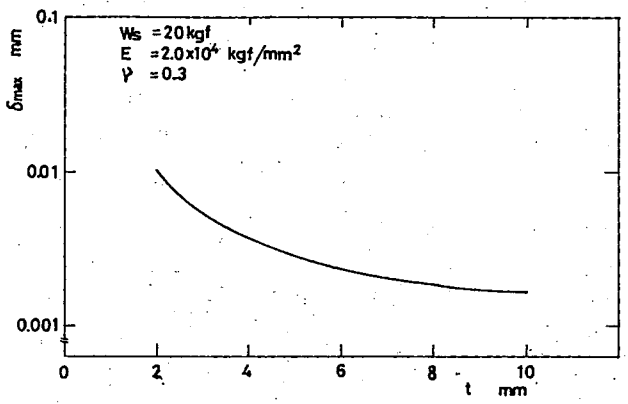


図7　板厚が最大たわみに及ぼす影響

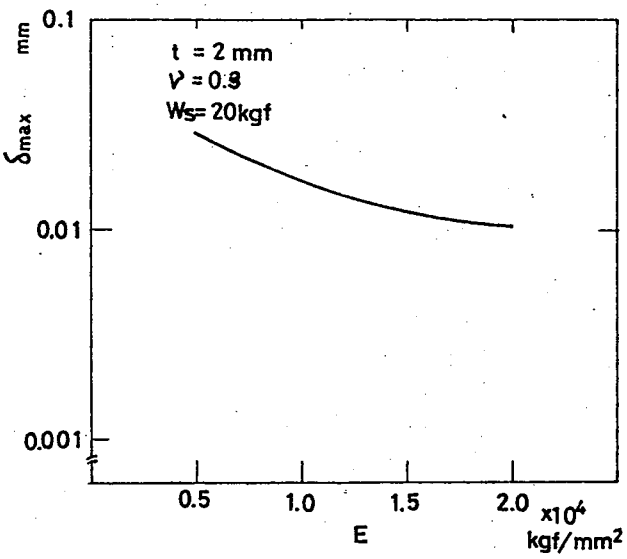


図8　ヤング率が最大たわみに及ぼす影響

図8は板厚，節点荷重，ポアソン比を一定とした場合，ヤング率が最大たわみに与える影響について示す。ヤング率が大きくなるほど最大たわみ

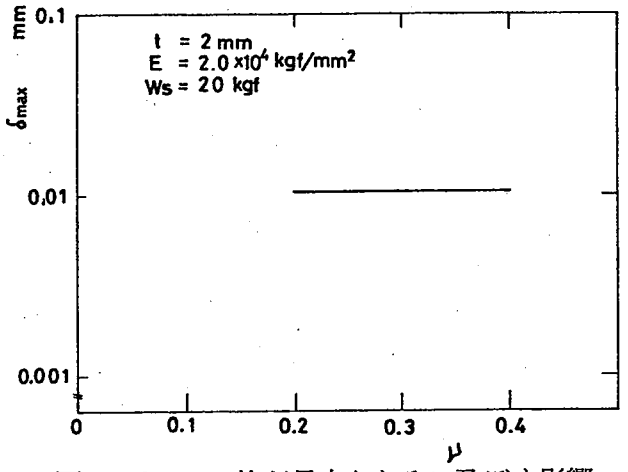


図9　ポアソン比が最大たわみに及ぼす影響

は減少する。

図9は板厚，節点荷重，ヤング率を一定とした場合，ポアソン比が最大たわみに与える影響について示す。ポアソン比は最大たわみには影響を及ぼさない。

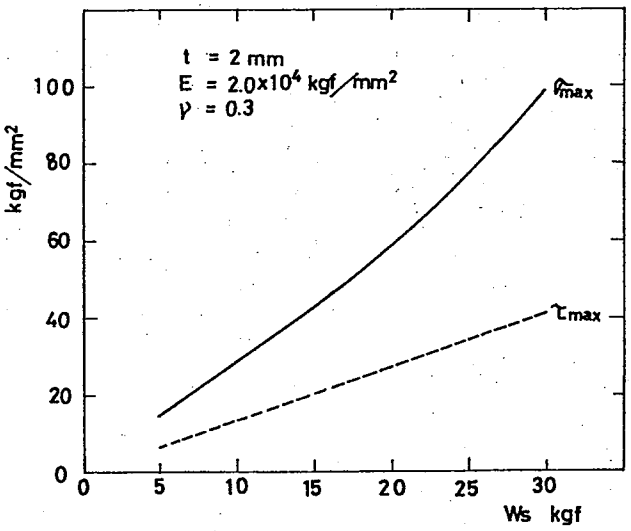


図10　荷重が応力に及ぼす影響

図10は板厚，ヤング率，ポアソン比を一定とした場合，節点荷重が最大主応力及び最大剪断応力に与える影響について示す。最大主応力及び最大剪断応力は節点荷重が増すに従い大きくなる。

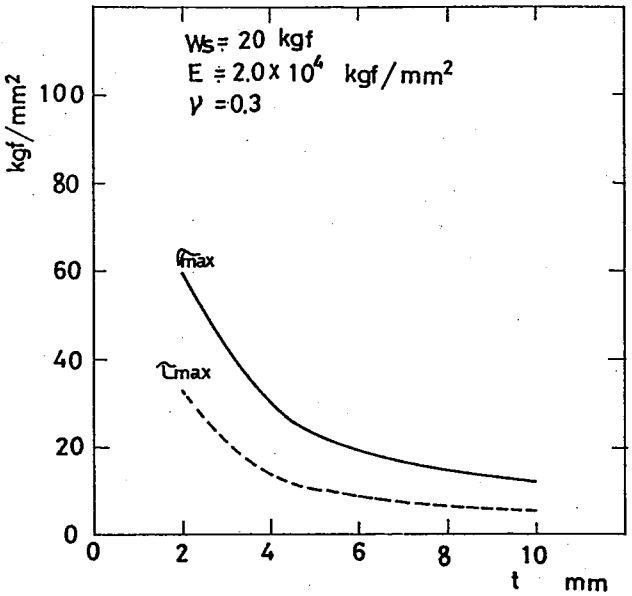


図11　板厚が応力に及ぼす影響

図11は節点荷重，ヤング率，ポアソン比を一定

とした場合，板厚が最大主応力及び最大剪断応力に与える影響について示す。

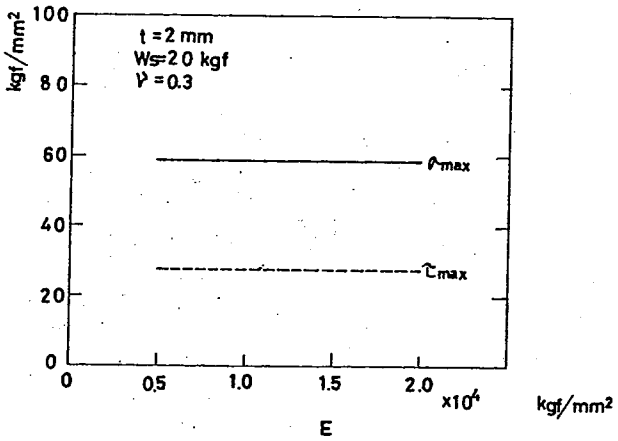


図12　ヤング率が応力に及ぼす影響

図12は板厚，節点荷重，ポアソン比を一定とした場合，ヤング率が最大主応力及び最大剪断応力に与える影響について示す。

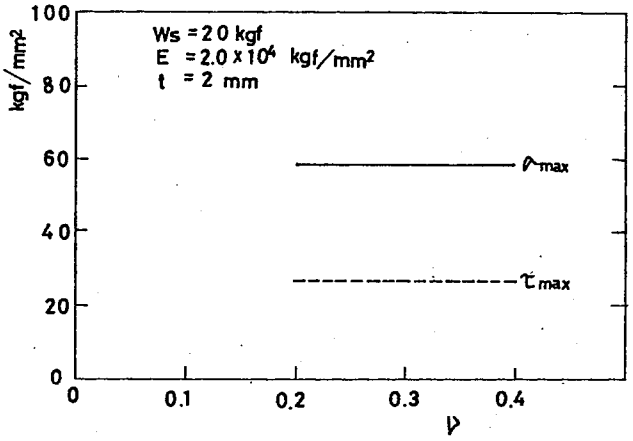


図13　ポアソン比が応力に及ぼす影響

図13は板厚，節点荷重，ヤング率を一定とした場合，ポアソン比が最大主応力及び最大剪断応力に与える影響について示す。

ヤング率，ポアソン比は最大主応力及び最大剪断応力には影響をおよぼさない。

図14は$\theta=45°$，d＝4㎜，a＝b＝10㎜の場合について，板厚t＝2.3㎜，節点荷重Ws＝20kg，ヤング率E＝2.1×10⁴kg／㎟，ポアソン比$\nu=0.3$の場合についての変形図を示す。

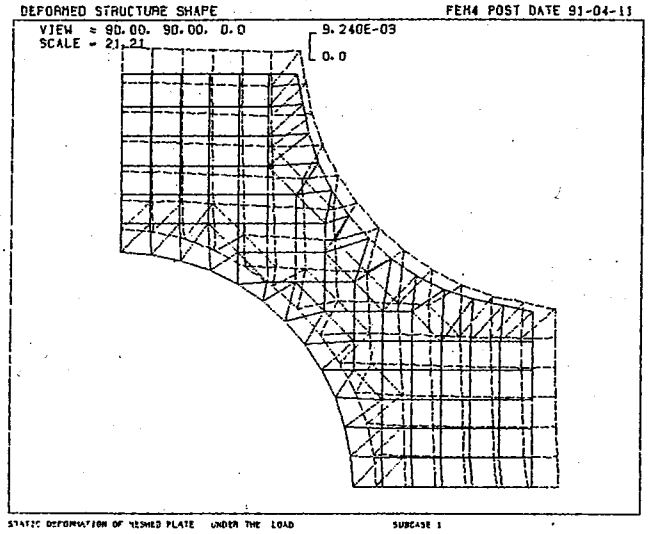


図14　変　形　図

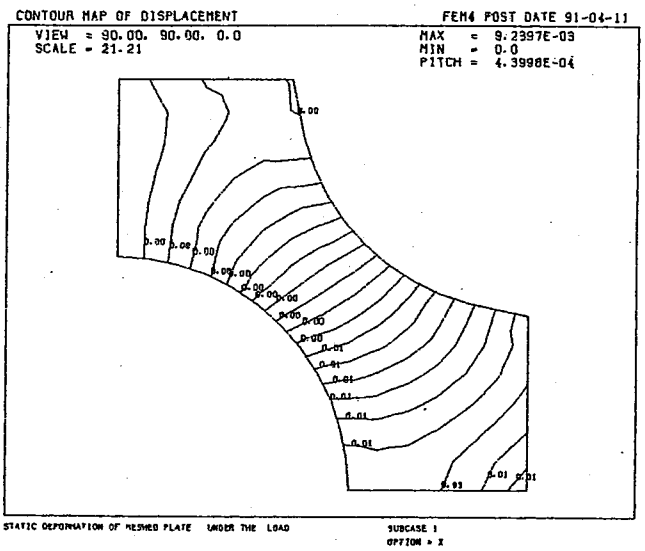


図15　x方向変位等高線図

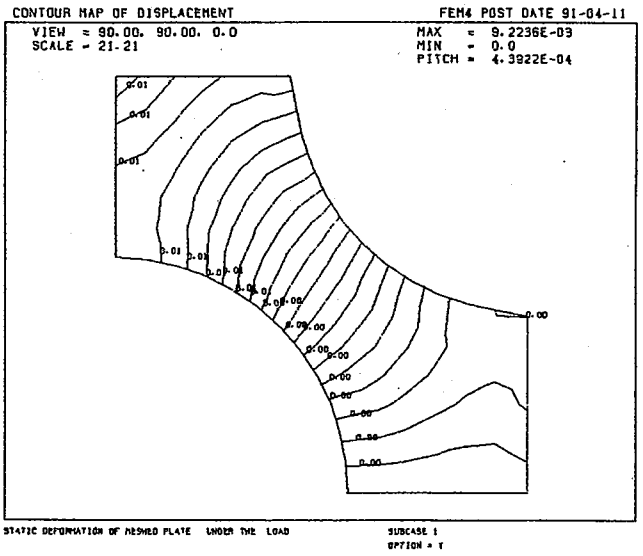


図16　y方向変位等高線図

図15はx方向変位等高線図，図16はy方向応力等高線図をそれぞれ示す。最大変位は節点番号7と108近傍で発生している。

図17は応力のベクトル図，図18はx方向応力等高線図，図19はy方向応力等高線図，図20は最大主応力等高線図，図21は剪断応力等高線図をそれぞれ示す。

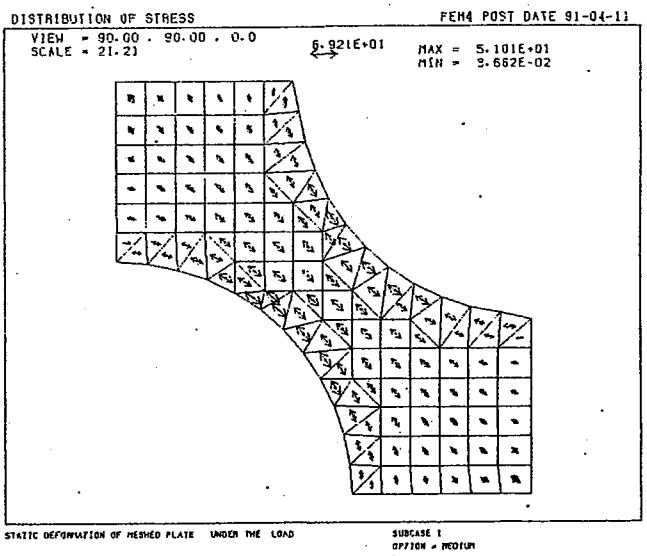


図17　応力ベクトル図

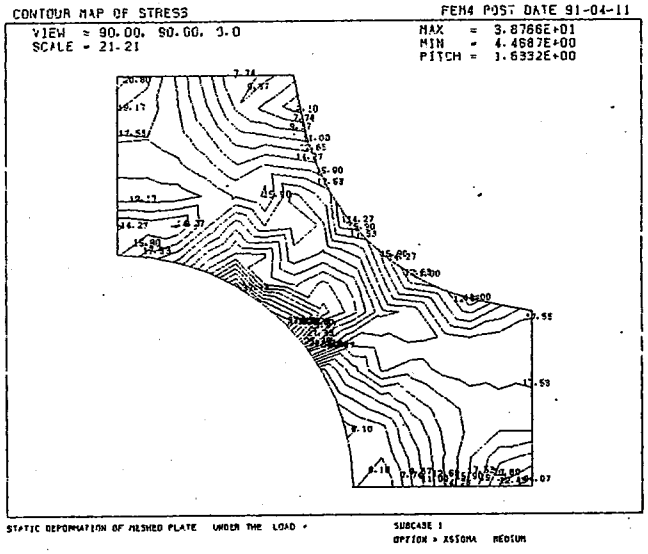


図18　x方向応力等高線図

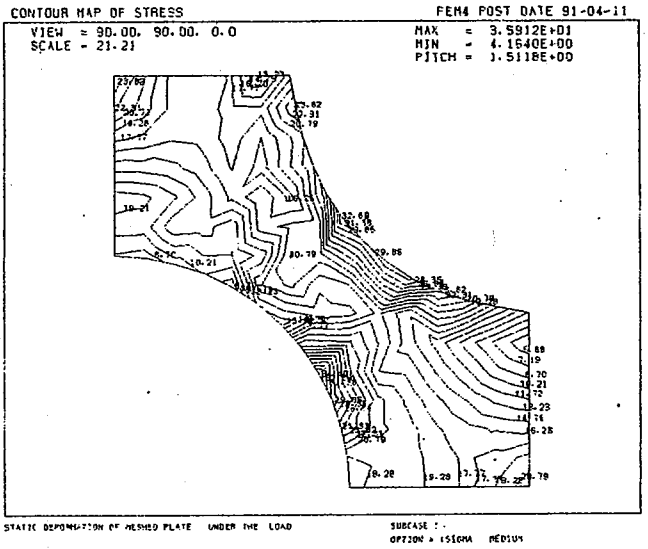


図19　y方向応力等高線図

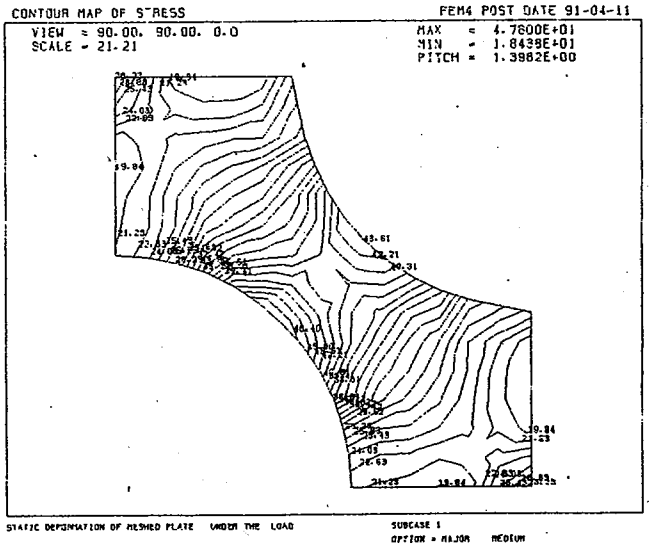


図20　最大主応力等高線図

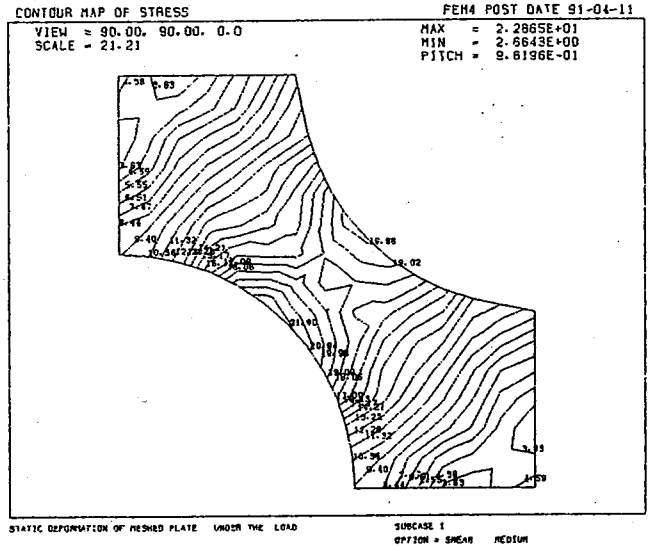


図21　剪断応力等高線図

応力は穴周辺において高い値が発生している。x方向最大応力は要素番号84，y方向最大応力は要素番号81，最大剪断応力は要素番号118最大主応力は要素番号84，最大剪断応力は要素番号89でそれぞれ発生している。

5. 結　言

ヤング率E＝0.5～2.0×10⁴kg／㎟，ポアソン比ν＝0.2～0.4の範囲の材料について板厚及び荷重が種々変化する場合について円形のメッシュ構造物に発生する応力・歪み解析をFEMにより評価する方法について検討した。

さらにメッシュ構造物の全体的な応力状態が精度がよく把握でき各種パラメータによる影響を定量的に明らかにすることが出来た。

本法で提案したモデルの採用により計算速度及び計算時間等も実用的であることが実証できた。

今後，本評価法により，メッシュ構造物の形状設計の重要な基本的諸元であるθ，d，a，bによる影響についても定量的に検討する必要がある。

さらに，基本形状として円形以外の種々の形状を有するメッシュ構造物の強度評価法を確立し，設計資料を体系化する必要がある。

謝　辞

本研究を行なうに当たり御指導ご協力していただいた方々に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

1) O.C.Zienkiewicz著　マトリックス有限要素法
倍風館　1975
2) 川井忠彦監修　川井忠彦，岸正彦共著
有限要素法入門　オーム社　1983
3) 構造設計のための有限要素法の適用
富士通㈱　1988

18. レーザー加工機加工条件設定支援エキスパートシステムの研究

西山　修二　　横山　武房

Operational Support Expert System for Laser Beam Machining

Shuji NISHIYAMA
Takefusa YOKOYAMA

レーザ加工機による切断加工では，材料の種類及び板厚に応じて，レーザ出力，周波数，デューティ，加工速度，補助ガス，ガス流量等のパラメータを最適に設定しないと加工精度が上がらず，最適な加工面が得られない。本研究は，鉄鋼材料，非鉄金属材料，焼結金属材料，電磁気材料，有機高分子材料，無機材料等の各種材料の種類及び板厚に応じてレーザ加工機を用いて切断加工する場合の最適パラメータを決定するための支援エキスパートシステムである。

1. 緒　言

レーザ加工機による切断加工では，材料の種類及び板厚に応じて，レーザ出力，周波数，デューティ，加工速度，補助ガス，ガス流量等のパラメータを最適に設定しないと加工精度が上がらず，最適な加工面が得られない。

本研究は，鉄鋼材料，非鉄金属材料，焼結金属材料，有機高分子材料，無機材料等の各種材料の種類及び板厚に応じてレーザ加工機を用いて切断加工する場合の最適パラメータを決定するための支援エキスパートシステムである。データは板厚も含めて約400種類のデータが蓄積されている。データは全て，炭酸ガスレーザ加工機（日立　HIL－500CSP）を使用して確認したものである。

2. エキスパートシステム開発支援ツールの現状

2.1 エキスパートシステム発展の流れ

エキスパートシステムの誕生は，1969年に若きプロジェクトリーダーであったE.A.Feigenbaumのもとで始められたDENDRALの開発にさかのぼる。

DENDRALは質量分析データ等から有機化合物の構造化合物の構造式を推定するものであり，その成果として大量の科学出版物が刊行された。初期の時代は，特に化学，医学の分野におけるエキスパートシステムの開発が進められたが，特筆すべきプロジェクトは，MYCINの開発である。このプロジェクトから生まれたEMYCINは，初めてのエキスパートシステム開発支援ツールである。

PUFFはこのEMYCIMを用いた呼吸器疾患の診断システムで，ツールによる開発の有効性が実証された。

1970年代後半は，それまでの推論メカニズムの追求よりも，多くの関連知識を集積し，活用するほうが現実に役立つという認識により，IF→THEN型のプロダクションシステムに加えて意味ネットワーク，フレームモデル，黒板モデル等の知識表現も生まれた。今日の商用ツールの基礎となる研究が進められた。

1980年代は，コンピュータの新しい応用分野を拓くものとして，エキスパートシステムに関心が集められ，開発ツールやAIワークステーションの商品化の展開がはかられた。AIビジネス化時代を迎えた。

2.2 エキスパートシステム開発支援ツールの知識表現

エキスパートシステムで用いられる知識表現としては，ルール，述語論理，意味ネットワーク，フレーム，黒板モデル等がある。商用ツールで一般に採用されている知識表現はルール，フレーム黒板モデルで次のような特徴がある。

(1) ルール表現

①ルール表現では，対象問題についての知識を「IF……THEN」形式で記述する。

②エキスパートシステムの入門としてなじみやすい。

③システムの作成が容易であるが，適用できる問題領域が限定されやすい。

④経験的判断を中心とした診断・ガイダンス等の問題に適している。

(2) フレーム

①フレームはMITのM.Minskyが提案したフレーム理論に基づく知識表現で，概念や事物を表わすデータ構造の枠組みをフレームという。

②フレームによって表現された知識を用いる推論は，ルールのように汎用の推論機構を提供しているのではなく，継承と付加手続の連鎖を整備し，組み込むことになる。

(3) 黒板モデル

①黒板モデルはカーネギーメロン大学で開発されたHEASAY－Ⅱ（会話理解システム）において提案された。

②黒板モデルにおける強調動作は，ある知識源の推論した結果を黒板に書き込まれると担当する別の知識源が起動されて推論を受け継ぎ推論結果を黒板に書き込むという処理の繰り返しである。この黒板モデルにおける実現における焦点は，黒板がもつデータ構造と，各知識源を起動するスケジュールリングにある。

2.3 エキスパートシステム開発支援ツールの動向

最近汎用ツールではフレーム，ルールによるプロダクションシステム，手続き，データ指向などを総合している場合が多い。典型的な使用法は，階層化したフレームをデータベースと見立て，これをルールでプロダクションシステム流にアクセスして推論を進める方法である。このような複合型ツールをハイブリットツールとよんでいる。

また，システムの実用化に際しては，データベース，シミュレーション，ヒューマンインタフェース技術，ソフトウエアー工学等との結合，相補的使用も不可欠であり，これらの要素技術とインターフェースを備えたエキスパートシステム開発支援ツールが主流をしめつつある。一方，常識問題や創造的な設計問題，発想といった不完全な知識，あいまいな知識が関与する領域における高次推論機能の実用化や，システムが自らをリファインする学習機能に関する研究も進行しており，これらの技術が現行の商用ツールの進化の流れと融合することににより，本格的な応用システムの実現が見られるであろう。

3. レーザ加工機支援エキスパートシステムの開発

システム開発に当たっては，開発支援ツールを使用した。推論方法は「後ろ向き」推論を適用し，選択枝を一致選択していくシステム構造とした。本研究で開発したエキスパートシステムの画面推移を以下に示す。

```
==============================================================================

      1   ルールの編集
      2   事象変数の編集
      3   数値変数の編集
      4   画面の編集
      5   ゴールの変更
      6   モードの変更
      7   タイトル画面の修正
      8   知識ベースの印刷
      9   実　行
     10   中　止
     11   終　了

------------------------------------------------------------------------------
```

画面1　機能選択画面

画面1は開発したエキスパートシステムの機能を選択する画面である。エキスパートシステムの機能を実行するには［9　実行］を選択する。

```
==============================================================================

   ****************************************************
   **                                                **
   **   炭酸ガスレーザ加工機支援エキスパートシステム  **
   **                                                **
   ****************************************************

                        システム開発者：西山　修二
                                        横山　武房

このシステムは炭酸ガスレーザ加工機で各種材料を切断する場合に必要なパラメータ（レ
ーザ出力W、周波数Hz、デューティ％、加工速度mm/min、補助ガス、ガス流量Nl/min）を
最適に設定するための支援エキスパートシステムです。

全てのデータは広島市工業技術センターで炭酸ガスレーザ加工機（日立HIL-500CSP）を使
用して切断試験を実施し、確認したものです。

------------------------------------------------------------------------------
```

画面2　エキスパートシステムタイトル画面

画面2はエキスパートシステムタイトル画面である。エキスパートシステムの詳細な説明がしてある。設定するパラメータ等の単位も明記してある。開発したエキスパートシステムの内容が詳細にわかったならば次画面へと進む。

```
==========================================================================

材料は何ですか。次の中から選んでください。
    （１）鉄鋼材料
    （２）非鉄金属材料
    （３）焼結金属材料
    （４）電磁気材料
    （５）有機高分子材料
    （６）無機材料

--------------------------------------------------------------------------
```

画面3　材料大分類選択画面

画面3は材料大分類選択画面である。これからレーザ加工機で加工したい材料がどの大分類に属しているかを選択する。画面推移では［(1)　鉄鋼材料］を選択する。

```
==========================================================================

鉄鋼材料の種類は何ですか。
    （１）炭素鋼
    （２）ステンレス鋼及びステンレス合金
    （３）耐熱鋼及び耐熱合金
    （４）軸受鋼
    （５）ばね鋼
    （６）工具鋼
    （７）鋳鉄
    （８）鋳鋼

--------------------------------------------------------------------------
```

画面4　材料中分類選択画面

画面4は材料中分類選択画面である。画面3［(1)　鉄鋼材料］を選択するとこの鉄鋼材料の中分類が表示される。画面推移では［(6)　工具鋼］を選択する。

```
==============================================================================

工具鋼の種類はどれですか。
    (1) SK3
    (2) SK5
    (3) SKS2
    (4) SKS5
    (5) SKS43
    (6) SKS3
    (7) SKD11
    (8) SKD6
    (9) SKT4
    (10) SKH2
    (11) SKH51
    (12) SKH55



------------------------------------------------------------------------------
```

画面5　材料小分類選択画面

画面5は材料小分類画面である。画面4［(6)　工具鋼］を選択するとこの工具鋼の小分類が表示される。画面推移では［(2)　SK5］を選択する。

```
==============================================================================
    (1) 0.1                     (11) 2.3
    (2) 0.2                     (12) 3.0
    (3) 0.3                     (13) 3.2
    (4) 0.4                     (14) 4.0
    (5) 0.5                     (15) 4.5
    (6) 1.0                     (16) 5.0
    (7) 1.2                     (17) 6.0
    (8) 1.5                     (18) 7.0
    (9) 1.6                     (19) 8.0
    (10) 2.0                    (20) 9.0
                                (21) 10.0




----(続く)----------------(ROLL-UP:上スクロール　ROLL-DOWN:下スクロール)----
```

画面6材料板厚選択画面

画面6は材料板厚選択画面である。加工したい材料の板厚を選択する。画面推移では［(6)　1.0］を選択する。

```
==========================================================================
推論を終了しました。次に，結論を表示します。
最適条件は
     (1.01)  ３７５w，４００Hz，３０％，  ３００mm/min，窒素，  ７０Nl/min です

--------------------------------------------------------------------------
```

画面7　推論最終画面

画面7は推論最終画面である。加工したい材料名および板厚を選択していくと最終的に最適加工条件が推論される。従って，SK5で厚みが1mmの鋼板はレーザ出力:375ワット，周波数:400Hz，デューティ:30パーセント，加工速度:300mm／min，補助ガス:窒素，ガス流量:70NI／minが最適パラメータとなる。

4. 結　言

レーザ加工条件設定支援エキスパートシステムの開発を行なった。開発にあたっては，商用の支援ツールを用いた。材料の板厚も含めれば，約400種類の材料に対応可能である。

本システムの開発により，レーザ加工機を所有する中小企業において，新たな材料を加工する場合に最適パラメータを設定するための時間が約十分の一に短縮でき，同時に加工精度の向上も計ることが可能となった。

本研究により，今後中小企業で必要とされるエキスパートシステムの概要およびパソコン用構築支援ツールを使用してのシステム構築事例を示した。レーザ加工機を保有する企業およびエキスパートシステムを今後開発する企業にとって参考になれば幸いである。

参 考 文 献

1) 素形材生産プロセスにおけるエキスパートシステムの開発に関する調査研究(1)
財団法人　素形材センター　昭和63年4月

2) エキスパートシステムの市場動向調査報告書（平成2年度）
財団法人　国際AI財団　平成3年3月

広島市工業技術センター研究報告

REPORTS

of

HIROSHIMA MUNICIPAL INDUSTRIAL
TECHNOLOGY CENTER

第二巻

(Vol. 2)

1990

広島市工業技術センター

目　　次

ファインセラミックスの製造に関する研究

石谷凡夫，山田　洋，山口研二，福原啓聡，隠岐貴史，平岡　登

1）Studies on producing of fineceramics

Tuneo ISHIGAI
Hiroshi YAMADA
Kenzi YAMAGUCHI
Keisou FUKUHARA
Takashi OKI
Noboru HIRAOKA

本研究は，エンジニアリングセラミックスとして汎用されているアルミナセラミックスの製造技術について調査研究を行ったものである。すなわち使用するアルミナ原料の特性を明らかにするため，スプレードライヤー装置による造粒（顆粒化），ＣＩＰ装置（ラバープレス装置）による成形，成形体の焼結を行い，その評価を試みた。特性評価は，顆粒の特性，形状におけるラバープレス成形圧力の影響，焼結体のかさ密度，吸水性，収縮率および内部構造のＳＥＭ観察等によって検討を行った。

1. 諸　言

ファインセラミックスは，素材固有の特性によって構造用および機能性材料として利用されている。なかでもアルミナセラミックスは，耐熱性，耐食性，高硬度および電気絶縁性などの優れた特性を有し，産業機械部品，電子機器部品などの構造材料として広く利用されている。しかし，アルミナセラミックスの利用の現状は，機械的安定性（破壊靱性値）に課題を残すため，ＩＣパッケージ等を除くと機械部品および耐火材料の一部にすぎない。この課題を改善する目的でアルミナ原料に少量の添加物を配合したり，ラバープレス成形等[1,2]を試みたりするなど機械的性質の向上をめざして基礎研究が進められている。

本研究は，選定したアルミナ原料の造粒，ラバープレス成形，焼結といったアルミナセラミックスの製造プロセスに基づいて特性評価を行い，基礎的技術の蓄積および機械部品への応用技術（成形体の機械加工性等）について，その可能性を調べたものである。

2．実験装置および使用機材

2.1　実験装置

1)　振動ミル（中央化工機製ＭＢ－１型）

2)　スプレードライヤー装置（坂本技研ＤＣＲ－３型）乾燥塔径1200㎜

3)　ＣＩＰ装置（三菱重工業ＭＣＴ－100）
高圧容器　内径100㎜，深さ250㎜
最高使用圧力　4000kgf/㎠

4)　高速昇温電気炉（モトヤマ）
常用使用温度　1600℃
最高使用温度　1700℃

5)　精密万能試験機（インストロンＭＯＤＥＬ 1125）最大荷重10t

6)　Ｘ線マイクロアナライザー（島津製作所Ｅ

PMA—8705)

2.2　使用機材

1)　バインダーは，セルナWD830

2)　解こう剤は，セルナD305

3．実験方法

3.1　使用原料

用いるアルミナ原料は，微粒アルミナ（AM—27）および易焼結性アルミナ（AES—11E）といずれもS社製の2種類を選定した。AM—27の顆粒製造における性状および低ソーダ原料との焼結特性を検討するため，AES—11Eについては，市販顆粒原料を用いた。それぞれの原料の化学組成および物性[3]は表1に示すとおりである。

表1．アルミナ原料の種類と物性

種　類		アルミナ(AM-27)	アルミナ(AES-11E)
*化学組成	Al_2O_3	99.70	99.80
	Na_2O	0.27	0.04
	SiO_2	0.02	0.04
	Fe_2O_3	0.01	0.01
	MgO	—	0.10
中心粒径		2.0μm	0.4μm
粒度分布（体積%）		~1.0μm 28% ~1.5μm 16% ~2.0μm 21% ~3.0μm 13% 3.0μm~ 22%	

3.2　顆粒の製造

出発原料であるアルミナ原料（AM—27）に分散剤（解こう剤）およびバインダーを加え，振動ミル（アルミナポット，アルミナボール使用）を用いて混合し，スラリーを調製した。分散剤は，固形分換算濃度で0.5%と一定とし，バインダーを固形分換算濃度で2～4%と変化させた。調製したスラリーをスプレードライヤー装置を使用して表2の条件において顆粒の製造を行った。

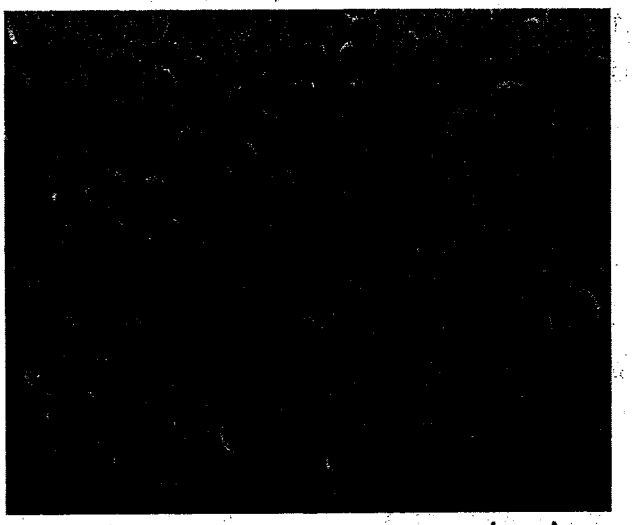
表2．顆粒製造条件

方　法	スプレー顆粒	スプレー顆粒*
種　類	AM-27	AES-11E
バインダー	セルナWD830	PVA
解こう剤	セルナD305	—
ディスク回転数	9500回転/分	8000回転/分
送風温度	150℃	200℃
排風温度	80℃	120℃

*市販顆粒品

3.3　ラバープレス成形

製造したアルミナ顆粒（図1）および市販アルミナ顆粒を内径20φ×長さ20mm（かさ密度，吸水率測定およびSEM観察用）および内径17φ×115mm（曲げ試験用）のゴム型を用い，湿式ラバープレス装置で加圧成形を行い，試験用成形体を製作した。成形は，1000，2000，3000および4000kgf/cm²の4段階で加圧し，得られる成形体の均質性について表面および内部をSEM観察により検討した。ラバープレス成形は，ゴム型を用いるが，そのゴム型に対する成形体の寸法変化（収縮率）を確認しておかなければならない。これは，焼結体（セラミックス製品）の寸法からゴム型設計のデータとなることとアルミナ顆粒の特性を検討する上で重要となるからである。したがって，ゴム型に対する成形体の収縮率を検討した。



100μ

図1　顆粒の性状

3.4　焼結実験

焼結は，高速昇温電気炉を使用して大気中で行った。焼結スケジュールは，脱脂工程を含めて1400～1700℃の各焼結温度において5℃/minと一定とし，設定温度に到達後，2時間保持し，800℃まで300℃/minで降温して炉中冷却とした。焼結体の各焼結温度における寸法変化を調べ，成形体に対する収縮率の検討を行った。

4．実験結果および考察

4.1　顆粒の製造[4)]

ラバープレス成形に用いられるアルミナ原料は，ゴム型充填時の流動性および初期加圧時の顆粒の適度な強度を必要とすることから，一般に顆粒化処理が行なわれている。AM—27の顆粒製造には，ワックス系バインダーを用いた。顆粒の性状と累積粒度分布を図1，2に示す。AM—27顆粒およびAES—11E顆粒の平均粒径は，70μmおよび90μmであった。これは，バインダーの種類，スプレードライヤー装置の運転条件などの相違によるものと考えられ，とくに後者の場合に300μmに及ぶ顆粒が存在している。

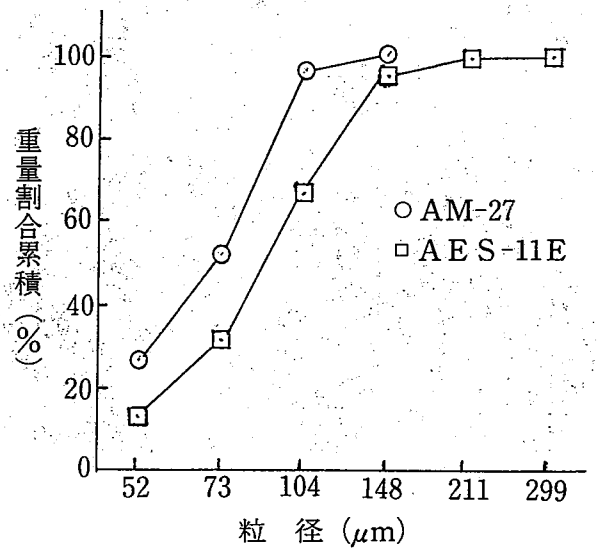


図2　顆粒の累積粒度分布

4.2　ラバープレス成形体の評価

ラバープレス成形圧とかさ密度の関係を図3に示す。同一バインダーの添加濃度による影響は，いづれも成形圧力の増加とともにかさ密度も増加傾向を示している。しかし，3000kgf/cm²以上になるとかさ密度に大きな変化が認められなかった。

したがって，AM—27のバインダー濃度は，脱脂および機械加工性を考慮して3％とした。ラバープレス成形におけるAM—27およびAES—11Eの粗充填かさ密度，タッピング密度は，それぞれ0.99，1.13g/cm³および0.96，1.08g/cm³であった。後者は，前者と比較してゴム型への充填密度が高い傾向を示しているが，成形体の平滑度に弱干の問題を生じた。ラバープレス常用成形圧力は，成形時間および成形体強度を考慮して2000kgf/cm²とした。以上の条件におけるゴム型寸法に対する成形体収縮率を表3に示す。ゴム型の軸方向と径方向に収縮率の差が認められた。これは，ゴム型の構造によって生じるものと推定され，AM—27とAES—11Eの収縮率の差は，原料の粒径，粒度分布，バインダーの種類の相違によって生じているものと考えられる。

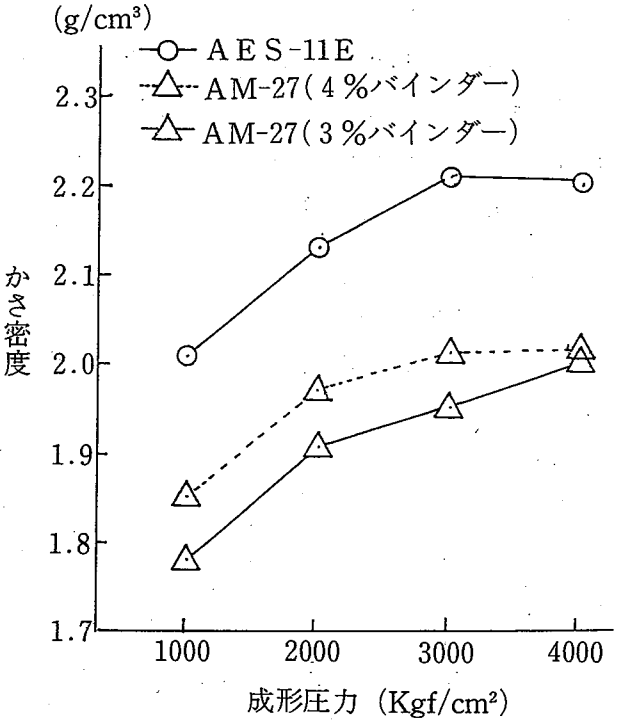


図3　ラバープレス成形圧力とかさ密度の関係

表3. 成形体収縮率

顆粒名	軸長平均収縮率(%)	径平均収縮率(%)	成形圧力(Kgf/cm²)
AM−27	12.7	11.8	2000
AES−11E	17.9	17.2	2000
ゴム型寸法(mm)	115	17	−

4.3 焼結体の評価

焼結体の評価は，成形体をφ10×長さ95mmに機械加工した曲げ試験片を焼結したものについて行った。AM−27およびAES−11Eをラバープレス成形圧力2000kgf/cm²で成形し，1400〜1700℃で焼結した焼結体のかさ密度，吸水率を図4に示す。AM−27は，1700℃で焼結後においても，吸水率およびかさ密度が飽和していないことから，適性焼結温度は1700℃以上に存在していると考えられる。AES−11Eは，1600℃前後において吸水率，かさ密度とも飽和しており，適性焼結温度は1600℃前後と推定される。両者の焼結体破面のSEM像を図5〜11に示す。AM−27の焼結挙動は，観察部位によって相違するものと考えられるが，焼結温度の上昇にともなって顆粒の形状が変化しているが，1700℃においても内部気孔が見うけられる。一方，AES−11Eの焼結挙動は，1500℃（図9）で既に顆粒の形状が認められず，図4，13の焼結特性と一致し，易焼結性を有することがわかった。

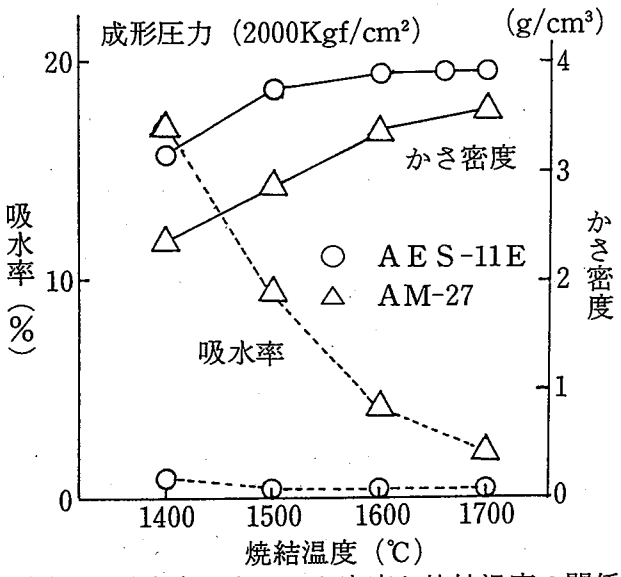


図4 吸水率およびかさ密度と焼結温度の関係

一般に，セラミックス原料の焼結温度は，原料の純度，粒度分布，平均粒径に依存することが知られている[5,6]ことと一致する。成形圧力2000kgf/cm²で得た焼結体の1400〜1700℃における収縮率を図12に示す。AES−11Eの収縮率は，1600℃で17%と安定しており，適性焼結温度による焼結体寸法の制御が可能であることを示唆している。

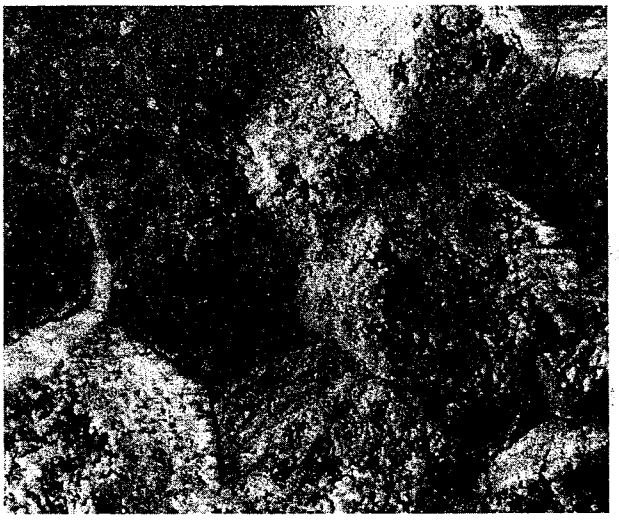


図5 AM-27焼結体（破面） 10μ
焼結温度 1400℃

図6 AM-27焼結体（破面） 10μ
焼結温度 1500℃

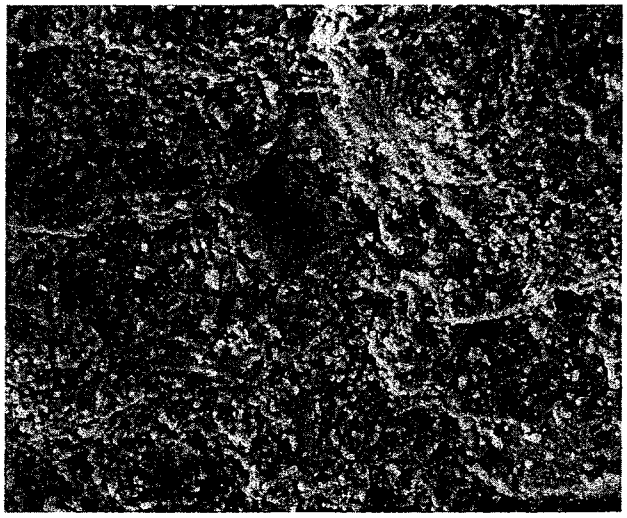


図7　AM-27焼結体（破面）　10μ
焼結温度　1600℃

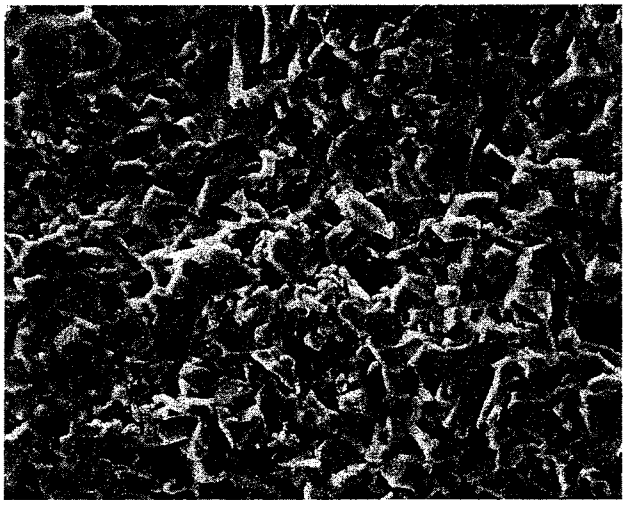


図8　AM-27焼結体（破面）　10μ
焼結温度　1700℃

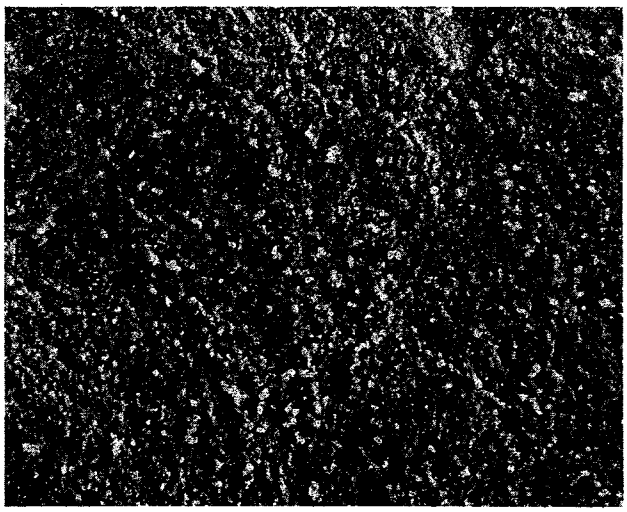


図9　AES-11E焼結体（破面）　10μ
焼結温度　1500℃

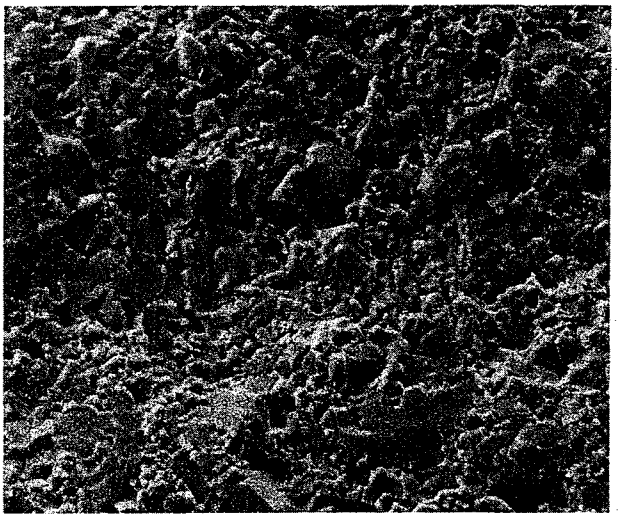


図10　AES-11E（破面）　10μ
焼結温度　1600℃

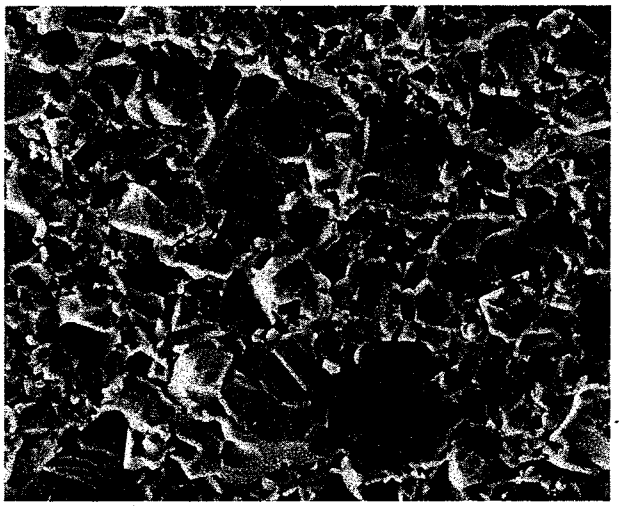


図11　AES-11E（破面）　10μ
焼結温度　1650℃

4.4　焼結体の機械的評価

曲げ試験は，セラミックスの焼結特性評価法として一般に行なわれている。この良否は，アルミナセラミックスの機械部品などへの応用における重要な指標となっている。曲げ試験片の形状および試験法は，JIS-C-214に準じた。曲げ試験片は，ラバープレス圧力2000kgf/cm²で成形，機械加工により10ϕ×80mmに仕上げたものを焼結して用いた。曲げ試験は，3点曲げ法により行い，ヘッドスピード速度0.05mm/min，スパン30mmの条件で行った。微粒アルミナおよび易焼結性アルミナ曲げ試験片を1500～1650℃で焼結して，曲げ強さの温度依存性を図13のように調べた。微粒アルミナは，1650℃

において曲げ強さの増加が小さいのに対して，易焼結性アルミナは，焼結温度が高くなるに従って曲げ強さの増加傾向を示し，両者とも図5～11の焼結挙動と一致しているようである。易焼結性アルミナの1650℃における曲げ強さの低下は，適性焼結温度以上の過熱によって図11の一部に見られるような異状粒成長[7]を起したことによるものと推定される。あわせて曲げ強さに影響を与えるものと考えられる表面あらさを測定して，曲げ強さとの相関を調べたが，相関性は見い出されなかった。

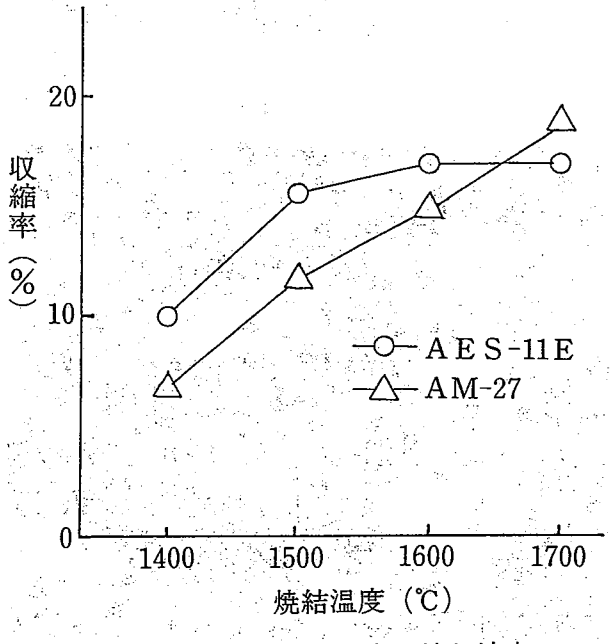


図12　焼結温度と線収縮率

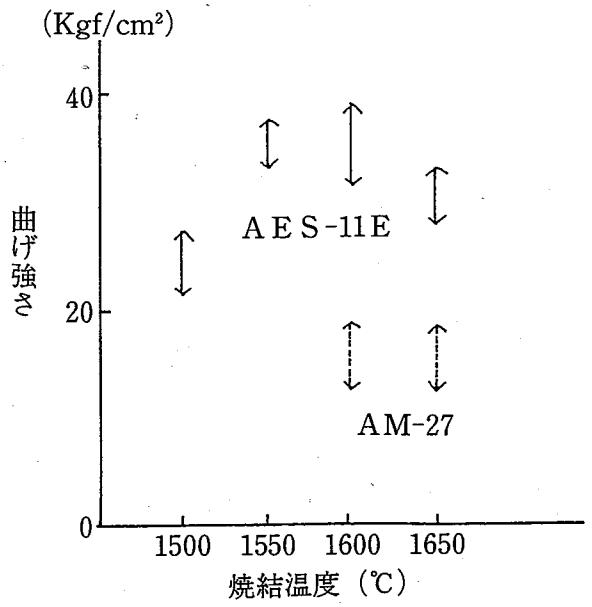


図13　曲げ強さと焼結温度の関係

5．結　語

アルミナ原料を用いて，ラバープレス成形，焼結などのセラミックス製造技術に関する実験の結果から，AM—27およびAES—11Eは，ラバープレス成形圧力が高くなると，

1)　成形かさ密度が大きくなる
2)　成形体の焼結による収縮率が小さくなる
3)　焼結体のかさ密度が大きくなる
4)　開気孔が少なくなる

ことがわかった。AES—11E（中心粒径0.4μm，Mg0.01%含）は，最適焼結温度1600℃前後と推定されるが，AM—27（中心粒径2λm）は最適焼結温度が1700℃においても見い出せなかった。

以上の結果から，アルミナ原料の焼結特性は，原料の純度，粒度分布，中心粒径の依存性が高いことがわかった。今後，AM—27に焼結助剤を添加して，最適焼結温度を見い出し，セラミックス製品への応用を試みるつもりである。

6．参考文献

1)細工藤龍司：「セラミックの超高圧CIP成形」，第18回等方加圧加工研究会講演要旨集
2)西尾浩明：「N.S.—CIP」，同上
3)住友化学工業製品カタログ
4)島井駿蔵：セラミックス，22，〔5〕，400，1987
5)山田興一：セラミックス，22，〔1〕，15，1987
6)素木洋一：ファインセラミックス；技報堂出版，389，1971

ファインセラミックス製品の試作

石谷凡夫，奥村逸男，山田　洋，山口研二，木下利徳，隠岐貴史，平岡　登

2）Manufacturing of fineceramics product

Tuneo ISHIGAI
Ituo OKUMURA
Hiroshi YAMADA
Kenzi YAMAGACHI
Toshinori KINOSHITA
Takashi OKI
Noboru HIRAOKA

セラミックス製造技術に関して既報[1)]のとおり検討を行った。アルミナセラミックスの試作に際し，ラバープレス用ゴム型の製作を試みた。このゴム型を用いてラバープレス成形体を製作し旋盤加工によって形状を整え，1600℃で焼結を行ってサンドブラスト用ノズルを試作した。試作品は実機に装着して耐摩耗試験を行い，その評価を試みた。

1．まえがき

天然に産出する粘土などを用いて作られる陶磁器は，古くから家庭用品として利用されている。

近年，人工的に精選されたセラミックス原料（アルミナ，ジルコニア，窒化ケイ素等）を用いるファインセラミックスは，耐熱，耐摩耗，高硬度などの優れた特性を有し，鉄鋼，プラスチック材料につぐ第三の素材としてエレクトロニクス産業などに利用され，先端技術における重要な素材となっている。

しかし，広島市産業界においては，ファインセラミックスの対応が十分と言えず，この分野への取り組みが重要な課題となっている。

このような環境のもとで広島市は，昭和63年度の技術振興対策の一環としてファインセラミックス製品の製造技術の確立をテーマにとりあげ，セラミックス技術開発に係る研究会を実施することとした

この研究会は，広島市内産業界，大学，国立試験研究機関から構成し，いわゆる産・学・官共同事業である。

本研究会の活動は，セラミックス関連最新情報収集，セラミックス製造に関する基礎技術の習得および利用技術の確立を検討し，その結果を機械部品の試作への応用をめざして行った。

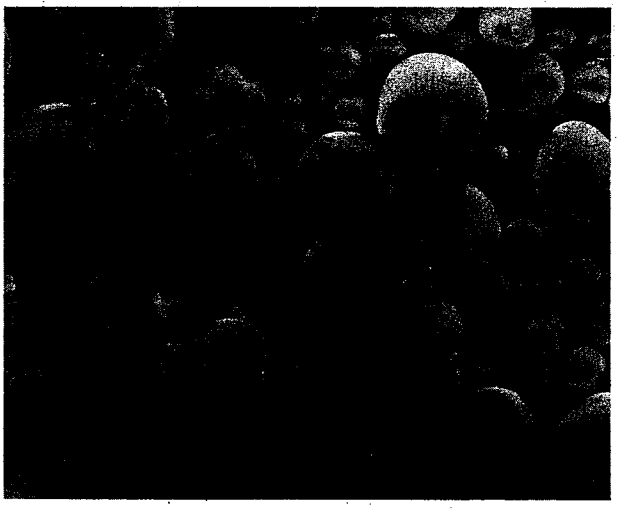


図１　顆粒の性状

100μ

2．使用アルミナ原料

使用したアルミナ原料は，既報[1]から市販アルミナ顆粒（ＡＥＳ－11Ｅ）を選定した。顆粒の性状を図１に示す。

3．製造方法

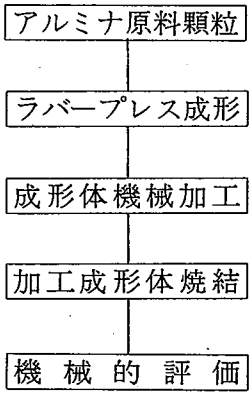


図２　実験フロー

試作品には，サンドブラストアルミナノズルを選定し，その製造フローを図２のとおり試みた。

3.1　ラバープレス成形ゴム型の製作

成形法は，ラバープレス成形法を採用した。ラバープレス成形法では，ゴム型を必要とするが，このゴム型をノズル最終形状（焼結体）から設計して製作した。そのノズルの形状およびゴム型の形状を図３，４に示す。ノズル試作用ゴム型の製作には，

1)　円柱を成形し，機械加工によって形状に仕上る方法

2)　マンドレルを用いて円筒を成形し，テーパー加工を施す方法

3)　近年基礎研究[2]が進んでいる加工を必要としない「Ｎ.Ｓ.－ＣＩＰ」による方法

が考えられる。1)については，加工工程数および加工治具に難点があり，3)については，現段階で技術的に対応できないことから2)の方法を採用してゴム型の設計した。ゴム型は，図４のとおり，円筒，上下蓋およびマンドレルから構成されている。

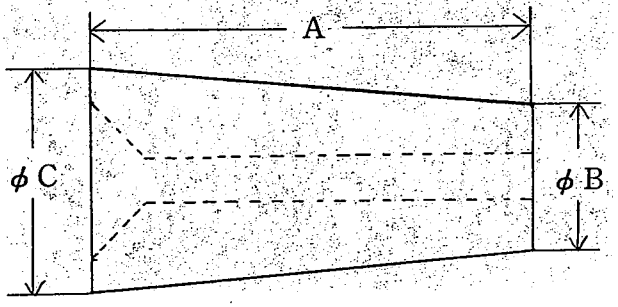


図３　試作ノズル形状

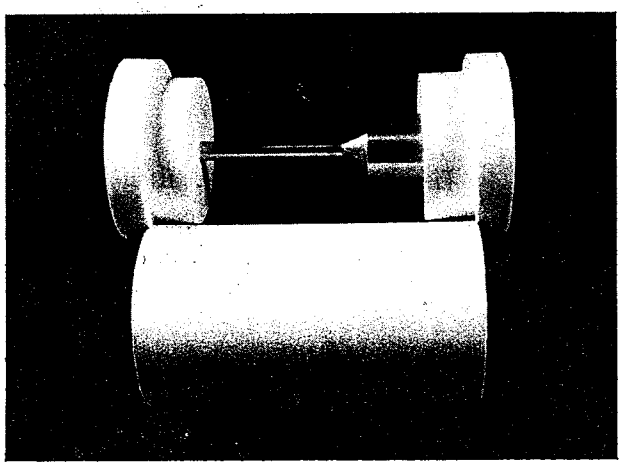


図４　ゴム型の形状

3.2　ラバープレス成形体の機械加工

一般に，ラバープレス法による成形体は，機械加工が必要とされている。ノズル成形用ゴム型による成形体を図５に示す。図５の成形体を加工用マンドレルを用いて施盤（卓上）で回転数428rpm，切削速度53m/min，送り0.3㎜/rev，切り込み0.1～0.2㎜の条件で機械加工を行って規定の寸法とした。

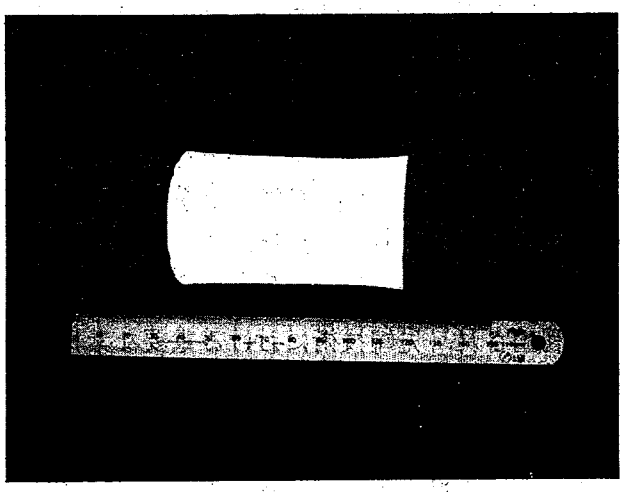


図５　ラバープレス成形体

3.3　機械加工成形体の焼結

図６の加工成形体の脱脂は，昇温速度60℃/h，600℃で30分保持した。その後炉中放冷した。焼結は1000℃まで昇温速度180℃/h，1000～1600℃まで昇温速度120℃/h 条件で行った。加工成形体の焼

結後の形状を図6に，寸法変化（収縮率）の一例を表1に示す。また，加工成形体の焼結体にクラックの発生が見られた。これは，成形時のラミネーション，機械加工時の損傷，焼結時の昇温速度などの影響が考えられる。

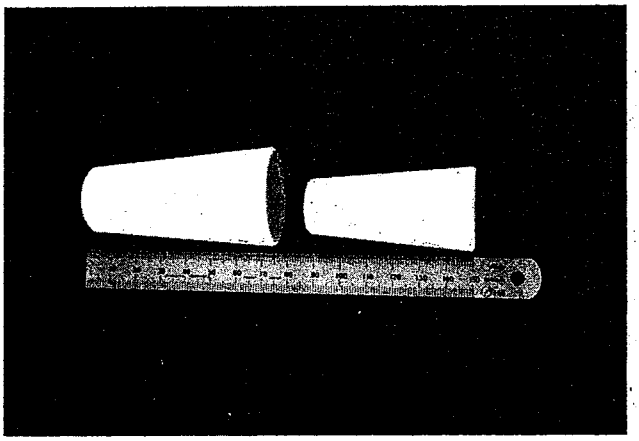


図6　加工成形体および焼結体

表1．加工成形品・寸法履歴　　単位(mm)

	加工寸法	焼結寸法	平均収縮率	図面寸法
A	71.9	61.3	14.8	60.0
φB	24.4	20.5	16.0	20.0
φC	35.8	30.2	15.7	30.0

3.4　ノズルの焼結体の評価

サンドブラストアルミナノズル試作品の評価は，サンドブラスト装置に装着して，ノズル径の変化から摩耗試験を試みた。試験条件は[3]，研磨材料アルミナ#60，空気圧4.5～6.0kg/cm²，噴射時間430分で行った。ノズル径変化（試験後ノズル径／試験前ノズル径）は，約1.8であった。

4．まとめ

アルミナセラミックスノズルの試作は，既報[1]の実験結果にとづいて，機械部品への応用を試みた。その結果，ラバープレス成形用ゴム型の製作，成形体（2000kgf/cm²）の機械加工，成形体寸法に対する焼結体寸法変化の制御などが可能となり，セラミックス製品への応用が示唆された。試作したアルミナノズルの耐摩耗性も，市販品に較べて弱干劣るものの，福浦ら[3]と同程度の性能を有しているようである。しかし，湿式ラバープレス成形法は，加工を必要とすることから，小品の製作には不利なようである。したがって，成形方法として他法（鋳込み法等）によることも考慮し，検討してゆく必要がある。

本研究は，セラミックス製品の試作を通してその製造技術の一端に触れたところであるが，今後セラミックスの製造技術に関する基礎的諸条件の検討と，その応用をめざして活動してゆく方針である。

5．謝　辞

本研究会の活動において実験にご協力いただいたセラミックス研究会員の皆様およびご助言を賜った広島大学教授服部信先生，中国工業技術試験所樋端保夫氏，㈱日本製鋼所酒井忠基氏，マツダ㈱塚脇洋二氏および三菱重工業㈱市来崎哲雄氏に感謝の辞を述げるとともに，終始セラミックスの焼結について御指導を賜った岡山県工業技術センター矢吹達美氏に心から感謝の辞を述べる。

6．参考文献

1)広島市工業技術センター研究報告，1989
2)西尾浩明：「N.S.—CIP」，第18回等方加加工研究会講演要旨集
3)福浦雄飛：窯業協会原料部会技術講習会，「高純度アルミナの最近の進展」，P73，1979

X線マイクロアナライザー（EPMA）による ステンレス鋼中の主要元素の定量分析

福原啓聡，奥村逸男，平岡　登

3）Determination of Major Elements in Stainless Steel Using X-ray Microanalyzer.

Keisou FUKUHARA
Itsuo OKUMURA
Noboru HIRAOKA

化学分析法の適用が困難な微小領域の定量を目的とし，X線マイクロアナライザー（EPMA）のオンライン定量分析プログラムを使用して，ステンレス鋼の主要元素を対象とした，定量分析を試みた。標準ステンレス鋼を含む6種類の試料を分析した結果，標準値及び化学分析値と，比較的良い一致を示した。

1．緒　言

鋼材の種類を判別するには，一般にその組成を化学分析する必要がある。しかし多元素を同時に分析する場合，多量の試料と期間を要し，試料がごく少量の場合には，化学分析でその組成を求めることは難しい。

一方，元素の偏析は鋼材の機械的性質に重大な影響を及ぼすが，化学分析では，元素の分布・偏析の状態を，定量的に調べることは困難である。

そこで，微小領域の分析が可能なX線マイクロアナライザー（EPMA）の特質を生かし[1]，比較的合金元素の含有率の高い，ステンレス鋼を対象として定量分析を試み，化学分析値との比較，検討を行ったところ，良好な結果が得られたので報告する。

2．実験方法

2.1　標準ステンレス鋼及び純金属標準試料

表1に示す，2種類の標準鋼を使用した。

JSS651-6はSUS304，JSS652-9はSUS316の標準鋼である。試料は樹脂に埋込成形し，表面をエメリーペーパーで手ずり研磨した後，バフ研磨して仕上げた。

純金属標準試料は，X線マイクロアナライザーの付属品（99.9%）を用いた。

2.2　使用装置

X線マイクロアナライザー（EPMA）は，島津製作所製EPMA—8705QHを用いた。測定に際しては，Qシステムのオンライン定量分析プログラム（ZAF—1定量補正計算）を使用した[2]。

表1．標準ステンレス鋼試料の化学組成

試料名	C(%)	Si(%)	Mn(%)	P(%)	S(%)	Cr(%)	Ni(%)	Cu(%)	Mo(%)	Co(%)
JSS　651-6	0.046	0.72	1.72	0.028	0.007	18.60	9.18	0.082	0.084	0.22
JSS　652-9	0.051	0.74	1.68	0.027	0.0066	17.27	11.32	0.31	2.33	0.22

※　JSS：日本鉄鋼協会

3．実験結果

3.1　測定条件の検討

表２に示す特性Ｘ線と，分光器の組合せを用いて，各元素を測定した。いずれも，本装置では最大のＸ線強度が得られる組合せである。

表１に示した元素のうち，Ｃ，Ｐ，Ｓについては微量であり，標準試料が準備しにくいこともあって測定しなかった。またCoについては，JISにおいて管理する化学成分として規定されていないため，今回は測定対象から外した。

表２．測定元素と特性Ｘ線，分光器の組合せ

測定元素	特性Ｘ線	分光器	分光結晶
Cr	Cr(Kα)	No.1	LiF
Mn	Mn(Kα)	No.1	LiF
Fe	Fe(Kα)	No.1	LiF
Ni	Ni(Kα)	No.1	LiF
Cu	Cu(Kα)	No.1	LiF
Si	Si(Kα)	No.2	PET
Mo	Mo(Lα)	No.2	PET

3.1.1　加速電圧の影響

オーステナイト系ステンレス材料の，最も主要な合金元素である，NiとCrについて，加速電圧とＸ線強度との関係を調べた。

純金属標準試料を用い，試料電流20nA一定で，加速電圧を10～25kVの間で変化させ，Ni(Kα)とCr(Kα)のＸ線強度を測定した結果を，図１に示す。加速電圧15kV以上で，加速電圧とＸ線強度との関係は，正の直線となった。

Ｘ線強度を考慮して，加速電圧は20kVとした。

3.1.2　試料電流の影響

加速電圧20kV一定で，Ni(Kα)とCr(Kα)について，試料電流とＸ線強度の関係を調べた結果を図２に示す。試料電流１～80nAまでは，良好な直線性が得られている。

Ｓ／Ｂ比を考慮し，試料電流は20nAとした。

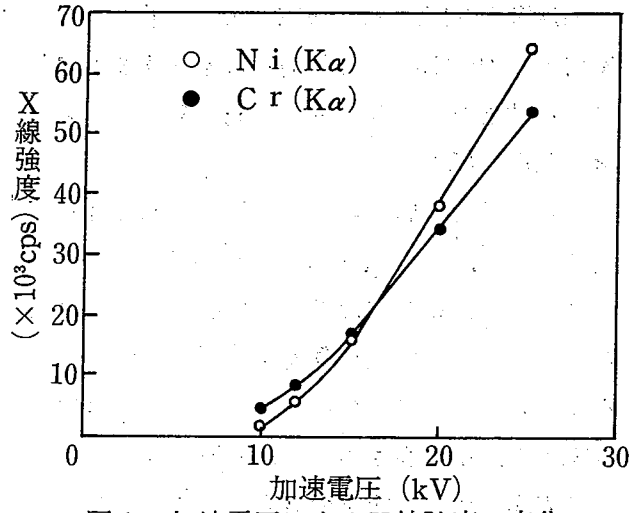


図１　加速電圧によるＸ線強度の変化

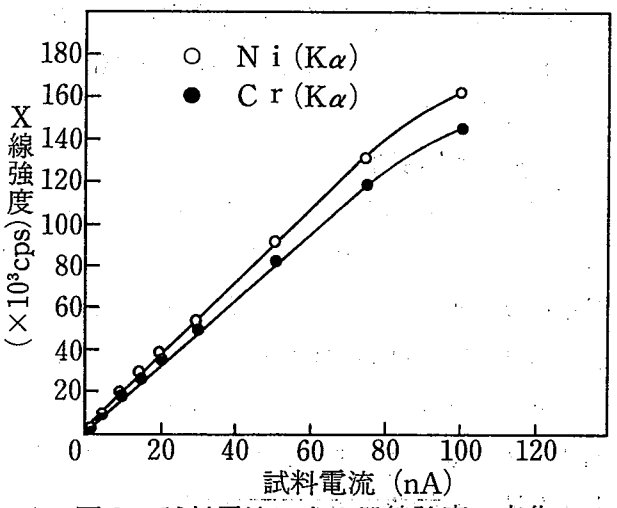


図２　試料電流によるＸ線強度の変化

3.1.3　観察倍率の影響

Ｘ線マイクロアナライザーによる定量分析では通常，試料表面を走査せず，電子プローブを固定した点分析モードで分析を行う。平均的な組成を求めるには，プローブ径を大きく（200μm程度）するか，試料を移動しながら測定する。

しかしこの方法では，試料のどこに電子線が当たっているのか，わかりにくい。そこで試料を観察しながら分析するため，静止画像表示（ＴＶスキャン）モードを利用して，常に分析領域を画面に表示しながら，分析することにした。

加速電圧20kV，試料電流20nAの条件下で，観察倍率とNi(Kα)，Cr(Kα)のX線強度の関係を調べた結果を，図3に示す。低倍率では，X線強度が急激に低下する[3]。

これは視野の周辺部で，X線の分光条件から外れるためで，特にNi(Kα)では著しい。

従って，観察倍率はできるだけ高い方が良いのだが，このように試料電流が大きい条件下では，電子プローブを細く絞れないため，数千倍以上の倍率での，試料表面の観察は困難になり，同時に試料表面の汚染，損傷の度合が大きくなる。

これらの点を考えて分析時の観察倍率は，ややX線強度は低くなるが，安定した画像の得られる2000倍とした。

観察用CRTの大きさから逆算すると，実際には試料表面，約120×90μmの領域を観察していることに相当する。

3.1.4　測定時間

一元素当りの測定時間を長く取れば，X線の計数値が大きくなり，統計誤差が減少する結果，定量精度は向上する。しかし，多元素を分析する場合，全体の測定時間が非常に長くなってしまう。

今回は，個々の測定精度より，試料の平均的な組成を求めることに主眼を置いて，一元素当りの測定時間を5秒間と短くし，そのかわりに試料上の5か所で測定を行って，その平均を求めた。

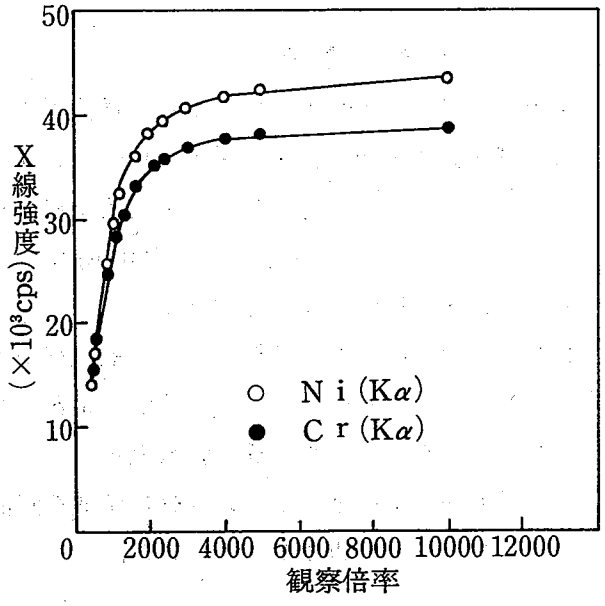


図3　観察倍率によるX線強度の変化

表3．測定条件

加速電圧	20kV
試料電流	20nA
観察倍率	2000倍
測定時間	5秒間
測定場所	5ヶ所

3.2　測定条件の決定

以上の検討結果から決定した測定条件を，表3に示す。

3.3　測定結果

表3に示した条件で測定した，純金属試料と標準ステンレス鋼試料の，平均X線強度を表4に，ZAF－1定量補正計算によって求めた，標準ステンレス鋼の定量値及び標準値を，表5に示す。

Cu，Moを除き，繰り返し精度（相対標準偏差）は±4％以内，標準値との誤差は±7％以内と，比較的良い一致を示している。

表4．各元素のX線強度の測定結果

特性X線	平均X線強度（cps）	
	純金属標準試料	JSS 651-6
Cr(Kα)	32476	6967
Mn(Kα)	35718	622
Ni(Kα)	34377	2692
Cu(Kα)	29689	38
Si(Kα)	30044	146
Mo(Lα)	13651	17
Fe(Kα)	37728	24968

特性X線	平均X線強度（cps）	
	純金属標準試料	JSS 652-9
Cr(Kα)	31915	6274
Mn(Kα)	34704	604
Ni(Kα)	33638	3366
Cu(Kα)	29077	92
Si(Kα)	30418	142
Mo(Lα)	13413	245
Fe(Kα)	36873	23605

表5．標準ステンレス鋼の定量結果（ＺＡＦ-１　定量補正計算）

ＪＳＳ　651-6			
元素	平均値 (wt.%)	相対標準偏差 (%)	化学分析値 (wt.%)
Ｃｒ	18.125	1.43	18.60
Ｍｎ	1.722	1.74	1.72
Ｎｉ	8.738	1.87	9.18
Ｃｕ	0.140	28.13	0.082
Ｓｉ	0.767	2.86	0.72
Ｍｏ	0.168	11.94	0.084
Ｆｅ	67.448	0.94	—

ＪＳＳ　652-9			
元素	平均値 (wt.%)	相対標準偏差 (%)	化学分析値 (wt.%)
Ｃｒ	16.682	0.84	17.27
Ｍｎ	1.712	0.78	1.68
Ｎｉ	11.076	2.04	11.32
Ｃｕ	0.348	7.42	0.31
Ｓｉ	0.732	3.79	0.74
Ｍｏ	2.423	3.24	2.33
Ｆｅ	64.694	0.61	—

4．未知試料の分析結果と考察

化学組成が不明の，ステンレス鋼試料４種類（Ａ～Ｄ）について，2.1に述べた方法に従って試料調製した後，3.2に示した測定条件で分析した結果と，化学分析値を表６に示す。

分析結果から試料Ａと試料ＢはSUS304相当品，試料Ｃと試料ＤはSUS316相当品と推定される。

Cu，Si，試料Ａと試料ＢのMoを除き，繰り返し精度（相対標準偏差）は±４％以内，化学分析値との誤差は±７％以内と，比較的良好な値が得られている。

今回用いたＺＡＦ定量補正計算法は，標準として純物質を用いているため，重量濃度で１％未満の微量成分の定量では，補正がうまくできず，誤差が大きくなる傾向がある[4]。

その他考えられる誤差の原因として，

1)　試料表面の研磨が不十分で，平滑かつ均一な表面が得られていない。

2)　微量成分はＸ線の計数値が小さいため，統計変動の影響を，大きく受けてしまった。

等があげられる。

5．結　言

標準ステンレス鋼試料と，未知試料の化学組成を，Ｘ線マイクロアナライザーで求めた。

主要合金元素であるCr，Niについては，繰返し精度も良く，試料に添付された標準値，または化学分析値とも，ほぼ一致した。

化学分析と比較すると，特に微量元素の定量精度が悪いが，試料電流を増やし，測定時間を長くすることで精度の向上が図れると考えられる。

今後は検量線法等の，ＺＡＦ定量補正計算法以外の定量法[5]をも含めて，さらに検討を行い，化学分析法の適用が困難な微小領域の定量法として，あるいは試料表面の元素の分布・偏析状態の定量的な解析法として，確立してゆきたい。

表６．ステンレス試料の定量結果（ＺＡＦ-１　定量補正計算）

試　料　Ａ			
元素	平均値 (wt.%)	相対標準偏差 (%)	化学分析値 (wt.%)
Ｃｒ	18.251	0.78	18.63
Ｍｎ	1.778	2.89	1.75
Ｎｉ	8.135	1.62	8.11
Ｃｕ	0.440	6.57	0.43
Ｓｉ	0.371	7.04	0.36
Ｍｏ	0.236	17.54	0.21
Ｆｅ	68.446	1.35	—

試　料　Ｂ			
元素	平均値 (wt.%)	相対標準偏差 (%)	化学分析値 (wt.%)
Ｃｒ	17.548	0.73	18.04
Ｍｎ	1.266	2.11	1.24
Ｎｉ	8.061	0.34	8.06
Ｃｕ	0.113	28.94	0.077
Ｓｉ	0.519	2.29	0.61
Ｍｏ	0.124	23.79	0.068
Ｆｅ	69.891	0.49	—

試料 C			
元素	平均値 (wt.%)	相対標準偏差 (%)	化学分析値 (wt.%)
Cr	16.016	0.92	16.60
Mn	1.858	3.05	1.75
Ni	9.669	2.93	9.99
Cu	0.207	6.47	0.18
Si	0.369	5.30	0.38
Mo	2.105	3.21	2.01
Fe	67.182	0.61	—

試料 D			
元素	平均値 (wt.%)	相対標準偏差 (%)	化学分析値 (wt.%)
Cr	16.815	1.02	17.28
Mn	1.245	2.89	1.21
Ni	10.393	1.86	10.75
Cu	0.308	7.38	0.27
Si	0.588	2.92	0.63
Mo	2.190	2.10	2.17
Fe	65.619	0.29	—

文　献

1) 内山　郁，渡辺　融，紀本静雄："X線マイクロアナライザー"，(1978)，(日刊工業新聞社).

2) 島津製作所　EPMA—8705Qシステム取扱説明書.

3) 国村　勝，小川俊夫：分化，34，634(1985).

4) 副島啓義："電子線マイクロアナリシス"(1987)，(日刊工業新聞社).

5) 日本学術振興会マイクロビームアナリシス第141委員会編："マイクロビームアナリシス"，(1985)，(朝倉書店).

チオテノイルトリフルオロアセトンとオルトフェナントロリンを用いるマンガン(II)の溶媒抽出—原子吸光分析

奥村逸男，山口研二，出口正一*

4）Atomic Absorption Spectorphotometric Determination of Mn(II) Using Solvent Extraction with Thiothenoyltrifluoro acetone and O-phenantroroline

Itsuo OKUMURA
Kenji YAMAGUCHI
Masakazu DEGUCHI*

マンガン(II)はpH6.0～9.0の範囲でオルトフェナントロリンの存在下で水溶液よりチオテノルトルフルオロアセトン（ＳＴＴＡ）を含むキシレン溶液中に定量的に抽出される。抽出された錯体は48時間安定で，抽出された化学種を連続変化法を用いて検討した結果，マンガン(II)，ＳＴＴＡ，オルトフェナントロリンの比率は１：２：１と予測された。本法をアルミニウム中の微量マンガンの定量に応用を試みたところ，充分実用性のあることが判明した。

1．緒　言

チオテノイルトリフルオロアセトン（ＳＴＴＡ）はテノイルトリフルオロアセトン（ＴＴＡ）のモノチオ誘導体であり，Bergら[1]により金属の比色試薬への適用性が示唆されて以来，溶媒抽出試薬[2]として種々の金属の吸光光度定量及び２～３の陰イオンの間接吸光光度定量に利用されている。しかし，ＳＴＴＡを原子呼光分析用溶媒抽出試薬として利用した報告例は少なく，鉛，銅，カドミウム，亜鉛への適用[3~6]が見られるに過ぎい。

著者らは既報[6]に続き今回は，マンガンへの適用条件を検討し，その溶媒抽出—原子吸光分析法を確立した。更に，本法をアルミニウム中の微量のマンガンの定量に応用し，有用性のあることを確かめた。

＊広島大学工学部第三類工業化学教室

2．試薬及び装置

2.1　試薬

マンガン標準溶液：金属マンガン（99.99%）1.0000gを塩酸（1+1）20mlに溶解した後，水で正しく１ｌに希釈し，マンガン１mg/ml溶液とした。使用時，水で希釈し適当濃度とした。

ＳＴＴＡ—キシレン溶液：ドータイトＳＴＴＡを特級キシレンに溶解して1.68×10^{-3}M溶液とした。

phen溶液：特級０—フエナントロリン（Phen）を水に溶解して3.0×10^{-3}M溶液とした。

緩衝溶液：0.5M酢酸—0.5M酢酸ナトリウム系（pH4.0～5.0），0.5Mトリスアミノメタン—0.5Mマレイン酸系｛トリス緩衝溶液（pH5.5～8.5）｝，0.5Mトリスアミノメタン溶液（pH9.0～10.0）を使用した。

その他の試薬：市販特級品を使用した。

2.2　装置

pHメーター：電気化学計器COM—10型。

振り混ぜ機：イワキKM式万能シェーカー。

原子吸光分析装置：日本ジャーレルアッシュ社製ＡＡ－１型。バーナーは0.6㎜×100㎜の水冷式予混合型，光源は浜松テレビ製のマンガンの中空陰極ランプを使用し，原子吸光測定条件は Table 1のように定めた。

Table1　Operating conditions

Wavelength	279.5nm
Lamp current	9mA
Slit width	0.1mm
Acetylene flow rate	1.5 ℓ/min
Air flow rate	5.25 ℓ/min
Aux flow rate	14.0 ℓ/min
Height of burner head	34mm

3．定量操作

100mlの分液漏斗にマンガン（0.7～25）μg を含む試料溶液を採り，pH6.5の0.5Mトリス緩衝溶液5 ml及び3.0×10^{-3}M—Phen 溶液 5 mlを加え混和した後，水で全容を50mlとする。これに1.68×10^{-3}ＭＳＴＴＡ—キシレン溶液10mlを加え，シェーカーで３分振り混ぜた後，10分間静置し水相を分離除去する。有機相を乾いた沪過した後，原子吸光測定に供する。同じ操作により作成した検量線からマンガン量を求める。

4．実験結果と考察

4.1　抽出時の pH の影響

マンガン25μg を採り，水相の pH を種々変化させ，吸光度に及ぼす影響を検討した結果を Fig．1 に示す。

pH6.0～9.0で最大かつ一定の吸光度が得られたことから，溶液の pH は0.5Mトリス緩衝溶液を用いて6.5に調節することとした。なお，検討した pH 範囲でマンガンは，Phen が共存しない場合には全くキシレン相に抽出されなかった。依って，マンガンをＳＴＴＡ錯体としてキシレンに抽出しようとする場合には，Phen を加えてMn(II)—ＳＴＴＡ—phen 付加錯体に変えなければ抽出できないことが分かった。

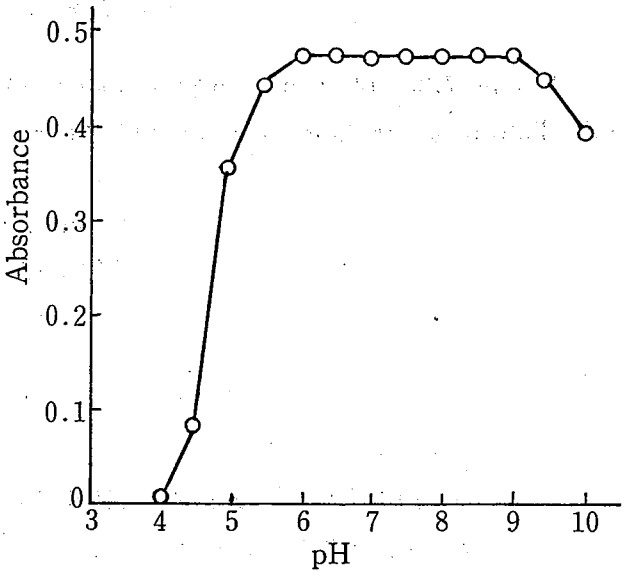


Fig.1　Effect of pH on the extraction of Mn(II)
Mn(II)：25μg；Aqueous phase：50mℓ，；
1.68×10^{-3}M STTA：10mℓ；3.0×10^{-3}M
0 －Phenanthroline：5 mℓ

4.2　試薬濃度の影響

マンガン25μg を採り，3.0×10^{-3}M phen 溶液量を５mlと定め，ＳＴＴＡ—キシレン溶液濃度（添加量は10mlとする）を種々変化させ，吸光度に及ぼす影響を検討した結果を Fig. 2 に示す。ＳＴＴＡ濃度が3.36×10^{-4}M以上で最大かつ一定の吸光度が得られた。次にＳＴＴＡ濃度を1.68×10^{-3}Mと定め，Phen 溶液濃度（添加物は５mlとする）を種々変化させた場合，Fig. 3 に示すようにその濃度が6.0×10^{-5}M以上であれば最大かつ一定の吸光度が得られた。マンガン定量時，ＳＴＴＡ及び Phen と錯体を生成する他元素の共存許容量を増大させるため，ＳＴＴＡ溶液では1.68×10^{-3}M（Mn25μg に対し36.9倍モルに相当），Phen 溶液では3.0×10^{-3}M（Mn25μg に対し32.9倍モルに相当）のものを用いることとした。

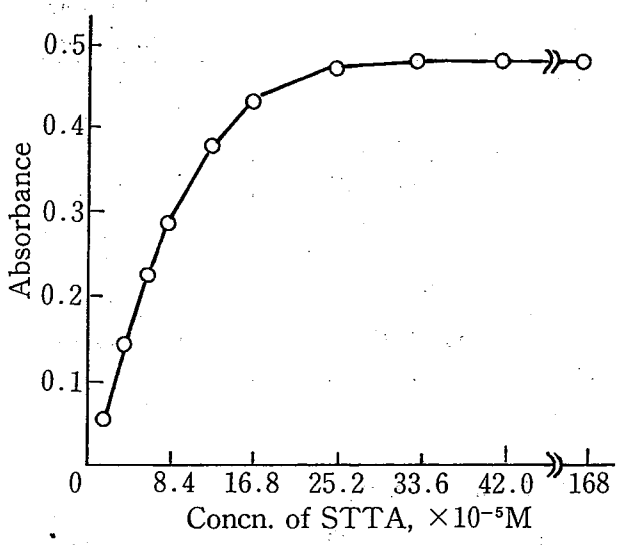


Fig.2 Effect of concentration of STTA
Mn(II):25μg;Organic phase:10mℓ,;
Aqueous phase:50mℓ;pH:6.5;
0 −Phenanthroline:3.0×10⁻³M

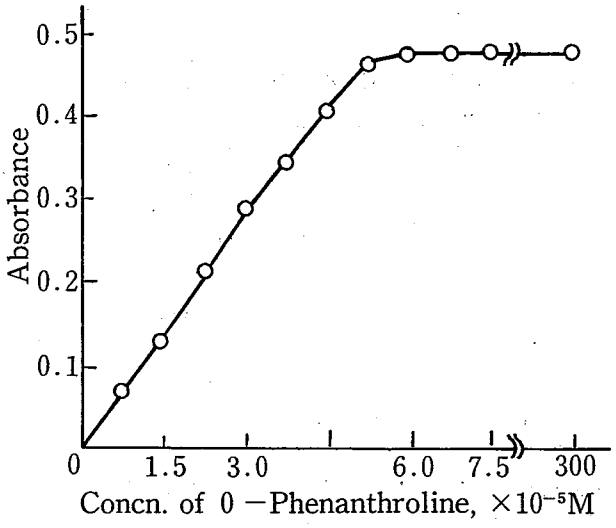


Fig.3 Effect of concentration of 0 −Phenanthroline
Mn(II):25μg;Organic phase:10mℓ,;
Aqueous phase:50mℓ;pH:6.5;
STTA:1.68×10⁻³M

4.3 振り混ぜ時間の影響

マンガン錯体抽出時の振り混ぜ時間は1分間で一定吸光度を示したが，更に，安全を計って3分間とした。

4.4 抽出回数の影響

マンガン25μgを採り，抽出操作を2回繰りかえしたが，2回目抽出の吸光度は空試験値と一致した。依って，抽出回数は1回とした。

4.5 抽出錯体の安定性

水相と分離後の有機相の吸光度については，48時間は一定であり，抽出錯体は安定であることが分った。

4.6 容積比の影響

添加するＳＴＴＡ−キシレン溶液量（有機相）を10ml，水相のマンガン量を25μgに保ち，水相の容積を（10〜200）mlと変化させ吸光度に及ぼす影響を検討したが，吸光度は一定値を示した。

4.7 検量線

3の操作を適用して作成した検量線はマンガン0〜25μgで良好な直線性を示した。マンガンの1.0μg，10μg，25μgにおける5回の繰りかえし測定の結果，変動係数はそれぞれ，2.7%，1.2%，1.0%であった。

4.8 抽出化学種の組成

抽出化学種の組成を連続変化法により検討した結果をFig. 4及びFig. 5に示す。この結果から，マンガン，ＳＴＴＡ及びPhenの比は1：2：1であると推定される。

4.9 共存イオンの影響

マンガン25μgに対して共存イオンの影響を検討した結果（相対誤差±3%以内であれば妨害しないとした）をTable 2に示す。検討したイオンのうち，共存許容量が1mg未満のものは銅(II)，亜鉛(II)，鉄(III)，ニッケル(II)，パラジウム(II)であった。銅については，pH（3.7〜4.0）でＳＴＴＡ−キシレン溶液（Phenは添加しない）を用いて抽出することが可能である。本法ではアルミニウム(III)の共存許容量が大きく，更に，マスキング剤として10w/v%クエン酸二アンモニウム溶液15mlの添加により，400mgまで許容することができた。

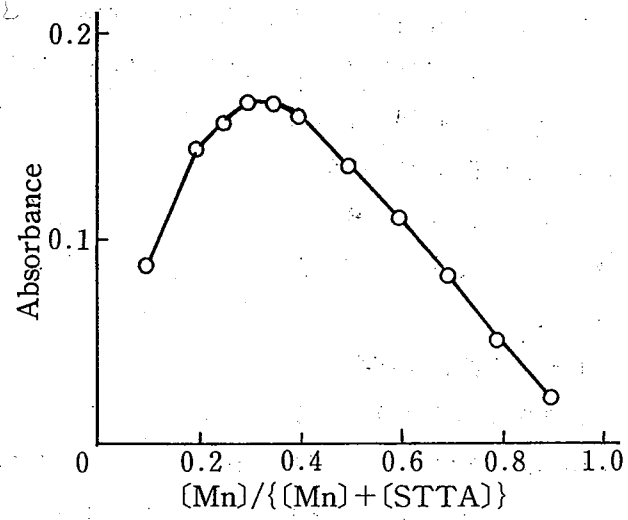


Fig.4 Continuous variation method
〔Mn〕+〔STTA〕=9.1×10^{-5}M
0 −Phenanthroline:3.0×10^{-3}M

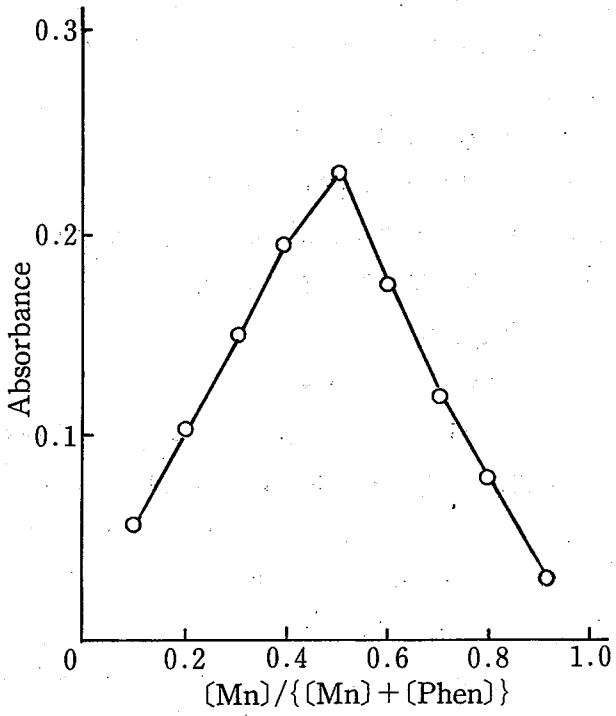


Fig.5 Continuous variation method
〔Mn〕+〔Phen〕=4.55×10^{-5}M
STTA=1.68×10^{-3}M

Table2 Effect of diverse ions

Ion	Tolerable amount(μg)
Al^{+3}	5000 400000*
Ag^{+}, Be^{2+}, Cd^{2+}, Co^{2+}, Hg^{2+}, Pb^{2+}, Bi^{3+}, In^{3+}, Sn^{4+}, V^{5+}, Cr^{6+}, W^{6+}	1000
Cu^{2+}, Zn^{2+}	500
Ni^{2+}, Pd^{2+}, Fe^{3+}	250

Mn taken:25μg;*:15mℓ of 10w/v% ammonium citrate, dibasic solution was added

4.10 応用分析例

本法ではアルミニウム(III)の共在許容量が大きいことから，実試料としてアルミニウム分析用標準試料｛4−A及びNo.3（軽金属協会）｝及び市販特級アルミニウムを選び，微量マンガンの定量を試みた。

Table3 Analytical results of manganese in practical samples

Sampl	Mn added (μg)	Mn found (μg)	Mn content in sample (%)	C.V.(%)
Al(4-A)	0	2.0	0.0008	2.6
(99.9%)	10	12.0	0.0008	
Al(No3)	0	4.0	0.0016	2.0
(99.8%)	10	14.0	0.0016	
Al(JIS)*	0	0.7_5	0.0003	5.0
(Reagent)	10	10.7_5	0.0003	

4.10.1 分析操作

試料（0.2〜0.3）gを精秤し，塩酸（1+1）30ml及び過酸化水素水（30%）1mlを用いて分解する。これに10w/v%クエン酸二アンモニウム溶液15mlを加えて混和し，続いてアンモニア水（1+3）の適量を加え溶液のpHを6.5に調節した後，3の操作を適用してマンガン量を求める。

4.10.2　分析例

実試料の定量結果を Table 3 に示す。マンガンの添加回収が100%を示したこと及び分析精度もほぼ満足できることから，本法で得られた定量値は信頼できると考えられる。

6．結　語

本法の抽出化学種は，Mn(ＳＴＴＡ)$_2$Phen 錯体と認められ，抽出操作後，キシレン中で安定であり，48時間は一定の吸光度を示した。

本法では有機相中（0.7～25）μg のマンガンが定量可能であり，又，溶媒抽出法であるためその濃縮効果により，水相中，ppb レベルのマンガンの定量に利用することができる。

著者らは，ＳＴＴＡの類縁化合物であるＴＴＡを用いるマンガンの溶媒抽出―原子吸光分析｛抽出化学種は Mn(II)－ＴＴＡ－Phen 付加錯体｝も検討し（未発表），本法との比較を行った。感度，定量範囲の点では両者の方法とも一致し，抽出 pH 範囲ではＴＴＡ法が本法にくらべ，0.5pH だけアルカリ側に拡大することが分かった。又，共存イオンの影響について，ＴＴＡ法では，ニッケル(II)，パラジウム(II)，鉄(III)の共存許容量が本法の 2 倍量（0.5mg）に増加し，アルミニウムの共存許容量（マスキング剤無添加の際）が1/5倍量（1 mg）に減少した。従って，ＳＴＴＡ，ＴＴＡともにマンガンの原子吸光分析用溶媒抽出試薬として利用する際には，特性上大差はないものと考えられる。

本法はアルミニウム中の微量マンガンの定量に適用することができ，試料採取量（0.2～0.3）g での定量下限は 3 ppm 程度である。又，本法の感度は軽金属協会規格（LIS AO17 1977）[7]であるＤＤＴＣ抽出原子吸光法（定量下限 1 ppm）にくらべ若干劣るが，本法では抽出溶媒として可燃性のキシレンを用いているため，有機相を直接原子吸光測定に供し得る利点がある。

以上の結果から，本法はマンガンの一定量法として十分実用性があると考えられる。

文　献

1) E.W. Berg, K.P. Reed: *Anal. Chim. Acta,* 36, 372 (1966).

2) 本浄高治，木羽敏泰：分化，21，676(1982).

3) M. Jauniaux, M. D Meyer, W. Lejeune, J.M. Levert: *Bull. Soc. Chim. Belg.,* 84, 565 (1975).

4) 出口正一，木下武志，山口研二，奥村逸男：分化，26，507 (1977).

5) 山口研二，奥村逸男，出口正一：分化，7，125 (1978).

6) 出口正一，山口研二，奥村逸男：広島大学工学部研究報告，29，175 (1981).

7) 軽金属協会分析委員会："アルミニウム中の微量成分の分析方法"，P 137 (1978)，(軽金属協会).

浸炭材の熱処理条件と引張強さの関連について

市後博造，西原正明，横山武房

5）The Relation of Between Heat Treatment Condition and Tention Strength of Carburized Steel

Hirozou ICHIGO
Masaaki NISHIHARA
Takehusa YOKOYAMA

浸炭材は耐摩耗，耐疲労強度の改善，向上を目的に行なわれる処理であるが，近年製品の高性能，高機能化に伴い，従来より一層高い機械的特性が要望されている。

そこで，ＳＰＨＣ32材を用て，浸炭深度，表面カタサが，引張度に及ぼす影響について検討した。その結果次のことが明らかになった。

(1) 浸炭深度を深くして行くと引張強度は高くなって行くが，表面的タカサが高くなるに従い強度は低下して行く傾向にある。

(2) 重回帰式よりそれぞれの引張強度を求めた。

ガス浸炭　$\sigma max = 87.6 - 0.64HR15N \pm 21.8D$

液体浸炭　$\sigma max = 93.9 - 0.64HR15N + 5.9D$

上式で求めた値と実験値で求めた引張強度の差は±２kgf/cm²の範囲にあり，この式で引張強度を推測することが可能となった。

１．緒　言

浸炭焼入は，機械，自動車部品をはじめとして各種の耐摩耗，耐疲労性向上に大きな役割をなしている。中でもガス浸炭は作業性のみならず，雰囲気管理が容易なこともあって生産工場に於て幅広く採用されている。

しかし，これら浸炭条件と強度に関するデーターはあまり見られず，会社間の取引に於ても従来の慣習から表面カタサ，浸炭深度材質のみで行い，製品の使用目的にかなった材料の特性が記入されていない場合が多い。今度は，浸炭条件と引張強さの関係について重回帰分析を用いて検討した結果知見を得たのでその結果を報告する。

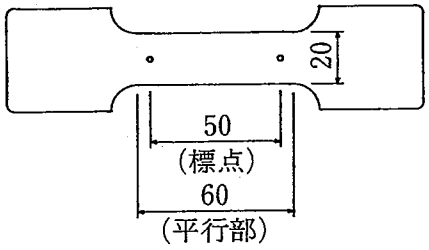
２．実験材料

供試材はＳＰＨＣ32（5.0t）でその化学成分を表１に示す。引張試験は図１に示すような形状に加工を行ない，浸炭焼入を行なった。チャック部は浸炭焼入による硬化を防止する為に浸炭防止済を塗布した。

表１　供試材の化学成分（％）

C	Si	Mn	P	S
0.06	0.02	0.34	0.035	0.013

図１　試験片の形状と寸法



浸炭処理は，ガス浸炭（オールケースタイプ）液体の２通りの方法を採用した。

ガス浸炭は図２に示すようなパターンで処理を行なった，浸炭温度850℃，浸炭時間は深度に応じて45，90，120分行ない，その後，表面硬さのバラツキを小さくするために15分間アンモニアの添加を行なった。その後，60℃のオイルに冷却を行なった。焼戻しは，表面硬さに応じて表２に示すような温度でそれぞれ60分間保持した。

液体浸炭も上記と同様に図２に示す。

浸炭温度900℃，浸炭時間も深度に応じて20，45，75分間保持した。

冷却は180℃のソルト冷却を行ない表面硬さに応じて表２に示す温度でそれぞれ60分間焼戻しを行ない実験に供した。試料数はそれぞれ３個ずつある。

図２　各種浸炭の熱処理パターン

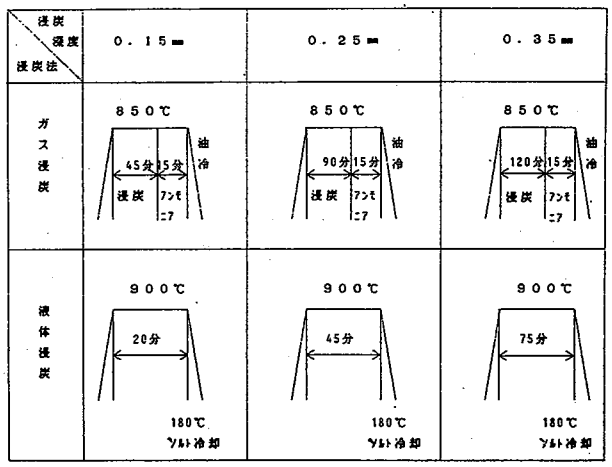


表２．各種浸炭材の焼戻し温度とカタサ

浸炭法	焼戻し番号	温度	浸炭深度 / 硬さ	0.15㎜ HR15N	0.25㎜ HR15N	0.35㎜ HR15N
ガス浸炭	焼戻し温度	1	350℃	86～87	—	—
			440℃	81～82	—	—
			580℃	75～76	—	—
		2	400℃	—	86～87	—
			520℃	—	81～82	—
			630℃	—	75～76	—
		3	400℃	—	—	86～87
			520℃	—	—	81～82
			630℃	—	—	75～76
液体浸炭	焼戻し温度	1	260℃	86～87	—	—
			460℃	81～82	—	—
			540℃	76～77	—	—
		2	240℃	—	86～87	—
			460℃	—	81～82	—
			540℃	—	86～87	—
		3	280℃	—	—	86～87
			460℃	—	—	81～82
			540℃	—	—	76～77

３．実験方法

3.1　硬さ試験

有効硬化層，0.15，0.25，0.35㎜の３通りの試料の有効硬化層を断面硬度で確認を行ない，その後にそれぞれの浸炭材の表面硬さをＨＲ15Ｎで測定を行なった。

3.2　引張試験

図１に示す試験を用いて試験を行なった，引張試験機は，インストロン125型で試験条件はクロスヘッドスピード２㎜/分，チャート，スピード10㎜/分で行ない，降状点，最大荷重，伸びをそれぞれ求めた。

3.3　重回帰分析

重回帰分析による回帰式（σmax）は三菱電機㈱MULTI—16による統計計算法より求めた。

4．実験結果と考察

4.1　表面カタサが引張強度に及ぼす影響

図3にバス浸炭に於ける各種浸炭材の硬さと引張強さの関係を示した，表面の硬さが75の時には浸炭深度が0.15㎜材で42kgf/㎟，81の時には39kgf/㎟，86の時には35kgf/㎟と硬さに反比列して下がる傾向にある。以下同様にして浸炭深度が0.25㎜材，0.35㎜材とも表面の硬さが75より86と漸次高くなるに従って強度の低下現象を示す。強度の低下率は硬さの高い所と低い所ではその下がり方が少し異なるようである。75～81のところで，強度の低下も各種材料に於て1～2kgf/㎟であるが，81～87のところでは3～6kgf/㎟と大きくなっている。このように強度低下率が一般材料に比較して大きくなっている。

その理由として考えられることは，一般材料に於ては，材料に引張応力が掛った時にはその応力を材料全体で受けることが出来るが，浸炭材の場合には，浸炭層と芯部では組織，硬さが異なるので応力の作用も異なってくると，すなわち浸炭層は芯部に比較して強度は高く伸びが少いので応力が掛った時，浸炭層及びその境界層に応力集中現象を起こし，クラックの発生を助長するものも思われる，この現象は，硬さが高くなるほど著しくなると考えられるので，表面硬さが高い試料ほど強度の低下が著しくなっている。

次に図4と液体浸炭における各種浸炭材の硬さと強度の関係について示した。これもガス浸炭材と同様各種浸炭材とも硬さが高くなるに従って強度は低下しているが，強度そのものは各種浸炭材ともガス浸材に比較して2～4kgf/㎟上昇している。この理由としては，ガス浸炭材の焼入温度に比較して液体浸炭温度が高いこと又ソルト冷却により芯部まで焼入効果を受けるために芯部の硬さがビッカース硬さで30～40硬度高くなることに起因するためと考える。

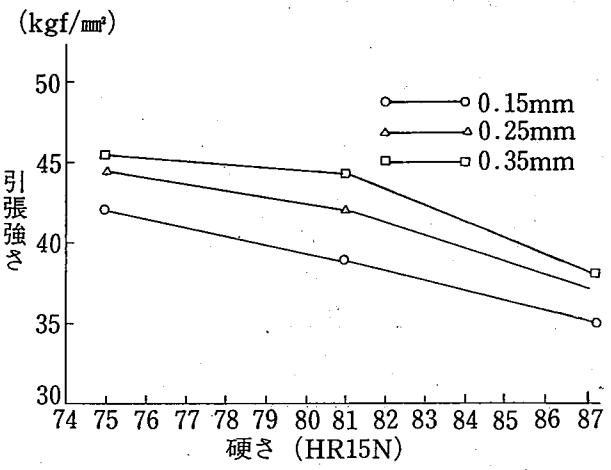


図3　ガス浸炭における各種浸炭材の硬さと引張強さの関係

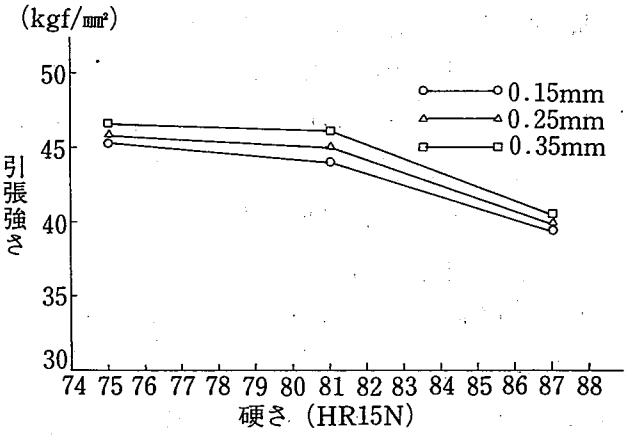


図4　液体浸炭における各種浸炭材の硬さと引張強さの関係

4.2　浸炭深度が引張強度に及ぼす影響

図5にガス浸炭に於ける各種硬度材の浸炭深度と引張強さの関係いて示した。表面カタサが75の試料については，浸炭深度が0.15㎜時に42kgf/㎟，0.25㎜で42.6kgf/㎟，0.35㎜で45kgf/㎟を示した。同様に硬さが81の試料では強度が39kgf/㎟から41kgf/㎟へ51kgf/㎟の上昇を示し，硬さが86の試料では35.5kgf/㎟から37kgf/㎟へ1.5kgf/㎟の上昇を示した。

以上の結果より浸炭深度が深くなるほど強度の上昇は顕著に見られるが，中でも表面硬さが81の試料では浸炭深度が0.22㎜深くなることにより強

度が5 kgf/㎟も上昇した，しかし表面硬さの高い86の試料では2 kgf/㎟の上昇にとどまっている。このように，深度と強度の関係は深度に比列して強度は上昇して行くが深度が深くなるにつれて表面硬さを適切に選ぶことが重要となってくる。図6に液体浸炭に於ける結果を示した。表面硬さが75，81，の試料については，各試料とも強度は44～46.5 kgf/㎟の範囲にあり，浸炭深度の差による相異は大きく見られなかった。

表面硬さが86の試料についても浸炭深度が0.15㎜～0.35㎜に変化しても強度は1 kgf/㎟の範囲に有り深度による差は見られない。このように液体浸度はガス浸炭に比較して浸炭深度による引張強さに大きな差は見られないが，表面硬度によるそれは顕著であった。この原因として浸炭はソルト冷却のため，冷却効果が大きく，内部で焼入効果を受け，その硬化現象が浸炭現象より大きいために深度の差が表面に出てこないものと思われる。

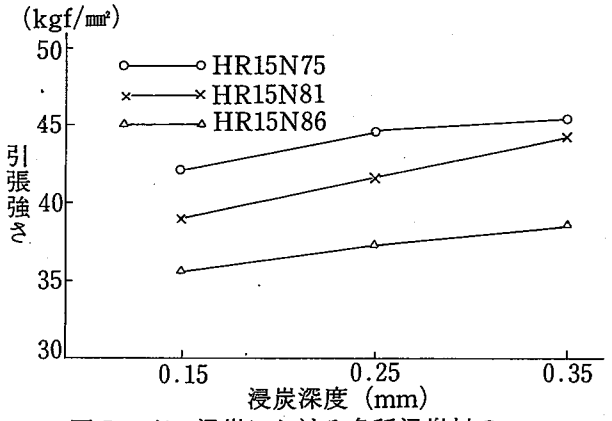


図5　ガス浸炭における各種浸炭材の浸炭深度と引張強さの関係

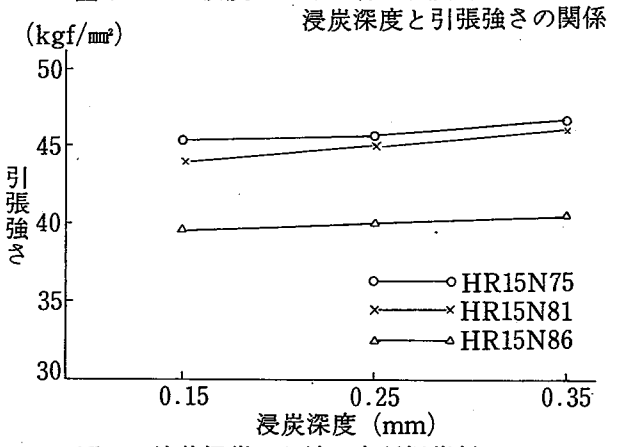


図6　液体浸炭における各種浸炭材の浸炭深度と引張強さの関係

4.3　重回帰分析

ガス浸炭材の引張強さの実測値と計算値との関係を図7に示した。この関係をコンピュータMULTI－16を用いて重相関係数を求めて見ると C＝0.80

同様に液体浸炭材についても実測値と計算値の関係について図8に示す。コンピューターを用いて重相関係数を求めるとC＝0.84とガス浸炭より少し高い値を示した。この結果ガス，液体浸炭とも比較的高い値を示し十分信頼出来る範囲にあるものと考えられる。

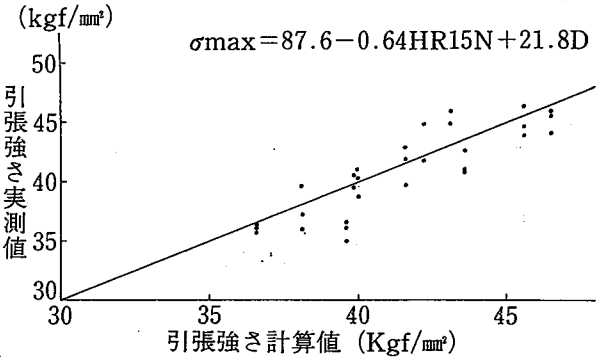


図7　ガス浸炭の引張強さ実測値と計算値の関係

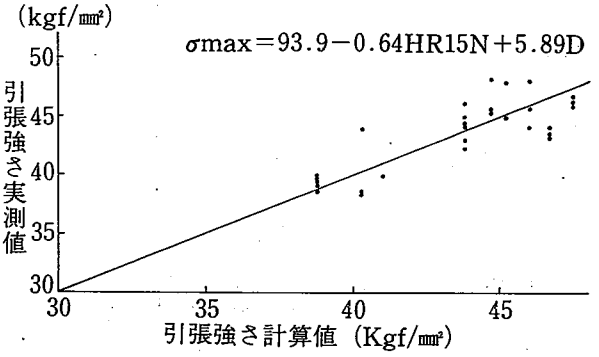


図8　液体浸炭の引張強さ実測値と計算値の関係

4.4　重回帰式から引張強度を求める。

図9に重回帰式よりガス浸炭材の引張強度と硬さの関係を各浸炭深度材別に求めた。

この求め方としてまる重回帰分析により

$\sigma max = 87.6 - 0.64HR15N + 21.8D$

の式を求め，

次に0.6CR15Nの所に硬さを代入，次に21.8Dの所に浸炭深度をそれぞれ代入して，各硬さにおける引張強度を求めた。次に図10に液体浸炭材の引張強度と硬さの関係を各浸炭深度別に下記の式を用いて求めた。

$\sigma max = 93.9 - 0.64HR15N + 5.89D$

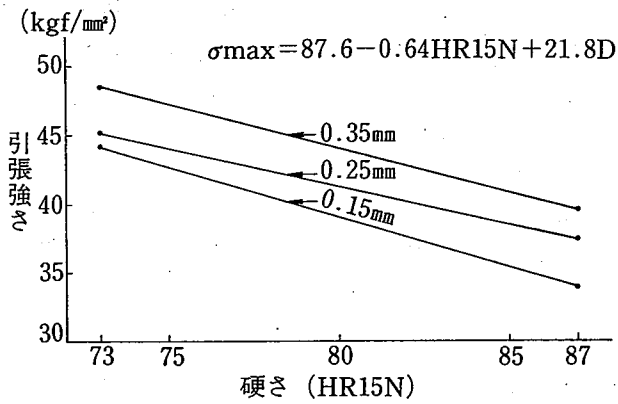


図9　重回帰式より求めたガス浸炭の表面硬さと引張強さの関係

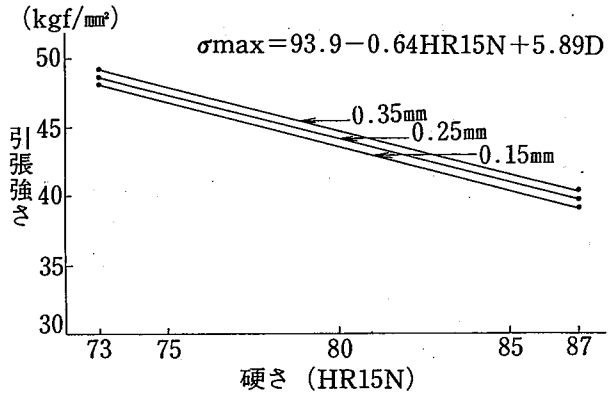


図10　重回帰式より求めた液体浸炭材の硬さと引張強さの関係

5．結　論

1．浸炭焼入を行うことにより引張強さを高め耐疲労性を改善することを目的とする場合，浸炭深度に相応した硬さの選択が大切となってくる。ガス，液体深炭とも表面硬さがHR15で75，81，86と高くなるに従って引張強度は硬さに反比列して45，42，38kgf/mm²と下がる傾向にある。

2．浸炭深度と引張強度の関係を見るとガス深度が深くなると強度と表面硬さに応じて最高39～44kgf/mm²と高くなっているが，液体浸炭の場合には44～46kgf/mm²と上昇幅が小さな深度による影響は小さい。

3．ガス浸炭と液体浸炭の引張強度を比較した場合，浸炭深度が深い0.35mmの試料については強度差はあまり見られないが，深度の浅い0.15mmの試料では液体浸炭材が5kgf/mm²高い値を示した。

4．重回帰式を求めそれより引張強度を求めた。

ガス浸炭の場合

$\sigma max = 87.6 - 0.62HR15N + 21.8D$

液体の場合

$\sigma max = 93.9 - 0.64HR15N + 5.89D$

上式で求めた強度と実験値で求めた強度差は±2kgf/mm²の範囲に有り表面硬さと浸炭深度を求めることにより引度強度を求めることが出来る。

参考献文

1) 品質管理便覧（日本規格協会）
2) 統計計算パッケージ（三菱電機）
3) 熱処理19巻4号

ソレノイドコイルによるレビテーション溶解の基礎テスト

尾崎　清，加藤光雄*，花本幹夫*

6) Fundamental Test of Electromagnetic Levitation Melting of Metal by means of Solenoid Coil

Kiyoshi OZAKI
Mituo KATO*
Mikio HANAMOTO*

るつぼを使わずに金属を溶解する方法として電磁力によるレビテーション溶解をとりあげた。ソレノイドコイルを用い金属塊を空中に浮かべたまま溶解したという文献[1)]をもとにアルミニウム球の浮上実験を行い，次の結果を得た。

① 最大4.7gのアルミニウム球の安定浮上を確認した。

② 浮上力の実験と計算との対応を行った。

③ 100g程度のアルミニウム球を浮上させるスケールアップの検討を行った。

1．はじめに

真空蒸着あるいは真空溶解など，金属を溶解する場合，溶融金属を入れるるつぼを用いることが一般的である。しかしながら，るつぼは，しばしば溶融物と反応しこれを汚染したり，高融点の金属では適当なるつぼ材が無いなどの問題がある。そこで，るつぼを使わずに金属を溶解することができれば，そのメリットは大きい。

一方，電磁力を用いて物体を搬送するリニアモータ，あるいは空中に保持する浮上設備の研究が半導体素子の大型化あるいはパワーコントロールの高精度，高速度化に伴い行われている。ここでは，金属塊を空中に浮かべたまま溶かしたという文献[1)]をもとに実験を再現したが，これにより金属溶解の可能性を調べ，あわせて溶融金属の電磁力によるハンドリング技術の基礎研究の一助とするものである。

＊三菱重工業株式会社技術本部広島研究所

2．実　験

2.1　実験装置

実験に用いたソレノイドコイルを図1，電源との接続を図2に示す。ソレノイドコイルは外径7㎜の銅管を加工したものである。回路は電源にサイリスタインバータ（富士電機製，定格出力100kW）を使用し，ソレノイドコイルとコンデンサで共振回路を構成している。実験材料は直径5㎜，10㎜，15㎜のアルミニウム球を用いた。

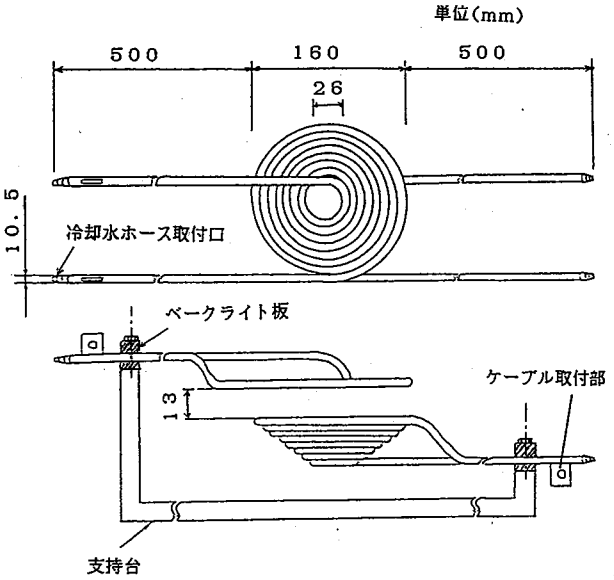


図1　ソレノイドコイル

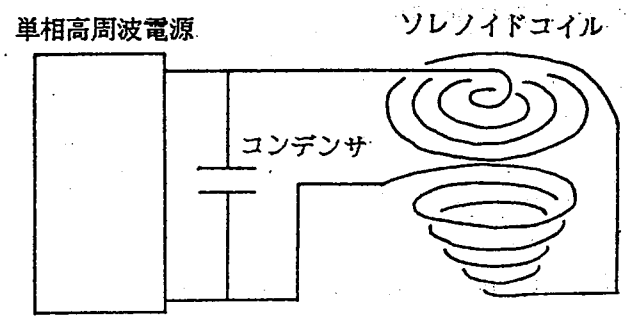


図2　実験装置

2.2　実験内容

上下2つに分れているソレノイドコイルに反対方向の高周波電流を流し発生する交流磁場内にアルミニウム球を入れ，球に働く力，コイル電流，磁束密度の測定を行った。コイルの座標を図3，実験条件を表1に示す。

表1．実験条件

	測定項目	実験条件		
		コイル電流	電源周波数	位置
①	コイル同心軸（Z軸）でアルミ球に働く浮上力分布	300A	10kHz	アルミ球をZ軸上で移動させる
②	コイル同心軸（Z軸）での磁束密度分布	300A	10kHz	サーチコイルをZ軸上で移動させる
③	コイル電流と浮上力の関係	0~600A	10kHz	Z軸上の数箇所で停止させておく
④	コイル電流と磁束密度（Z軸方向）の関係	0~600A	10kHz	Z軸上の数箇所で停止させておく

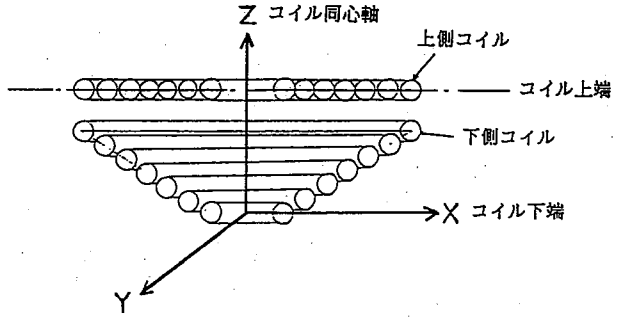


図3　コイル座標

2.3　測定方法

球径より大きなパイレックス管（内径20mm）をXYZ3軸に移動可能な治具に固定したロードセルから吊し，その中にアルミニウム球を入れる。アルミニウム球に働く力はパイレックス管も含めた重量の変化をロードセルを用いて測っている。従って，アルミニウム球の自重より大きな＋Z方向の力（浮上力）は測定できない。アルミニウム球の位置は差動トランスで測りXYレコーダに信号出力する。磁束密度測定時はロードセルとパイレックス管のかわりにサーチコイルを用いる。コイル電流，電圧，周波数は電源に接続したパワーメータ（横河電機2533）の指示値を読む。なお，パワーメータは指示値をアナログ直流電圧信号として出力する機能を持っている。

浮上力分布測定の装置構成を図4，コイル電流と浮上力の関係測定の装置構成を図5に示す。

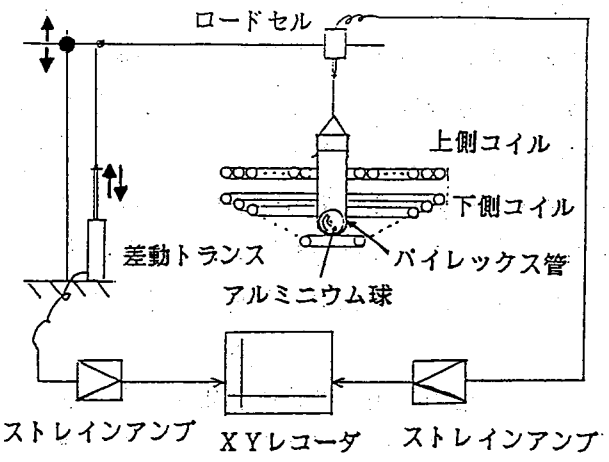


図4　浮上力分布テスト装置構成

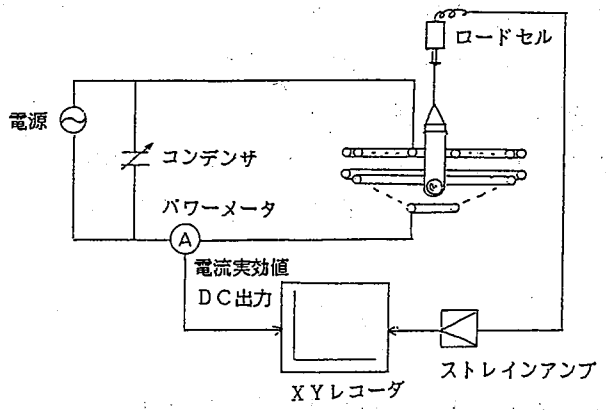


図5　コイル電流ー浮上力テスト装置構成

3．実験結果と考察

3.1 浮上力分布

実験に用いたアルミニウム球のうち最大の大きさのもの（直径15mm，4.7g）がコイル電流350Aで安定浮上した。（図6）

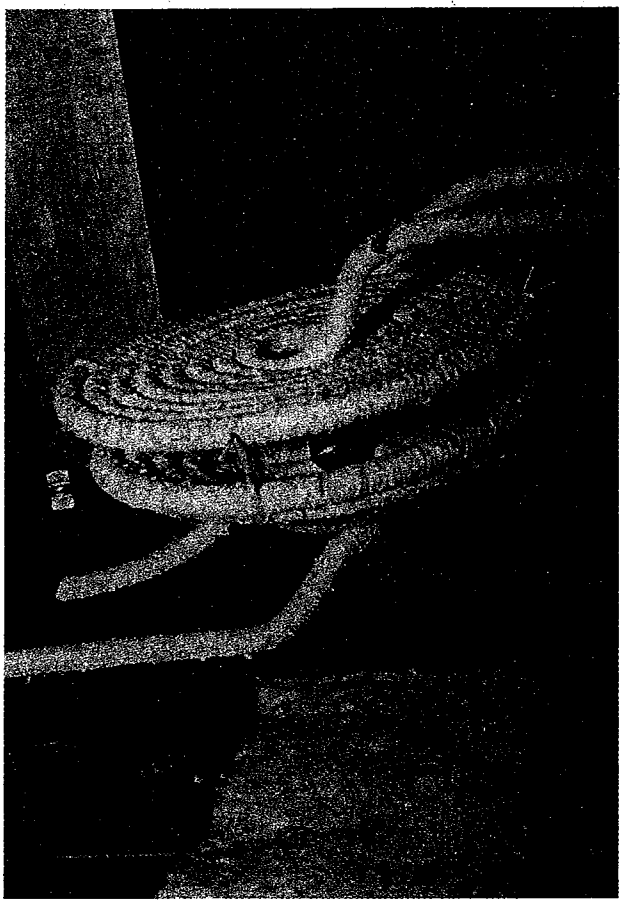


図6　安定浮上の様子

コイル同心軸（Z軸）上の浮上力分布（図7）と磁束密度分布（図8）を比較すると磁束密度がゼロの位置で浮上力もゼロになっており磁束密度が大きくなると浮上力（＋Z方向(浮上)と－Z方向がある。）も大きくなっている。磁束密度が最大の位置（上側コイルの上端，下側コイルの下端）で浮上力がゼロになっているのはアルミニウム球の上半分と下半分に大きさが等しく方向がそれぞれ逆方向の力が作用しているためと考える。力の方向が上半分と下半分とで反対方向になるのは磁束密度の水平方向成分（Z軸と垂直方向）がコイル端の上と下で逆になっているためと考える。（図9）

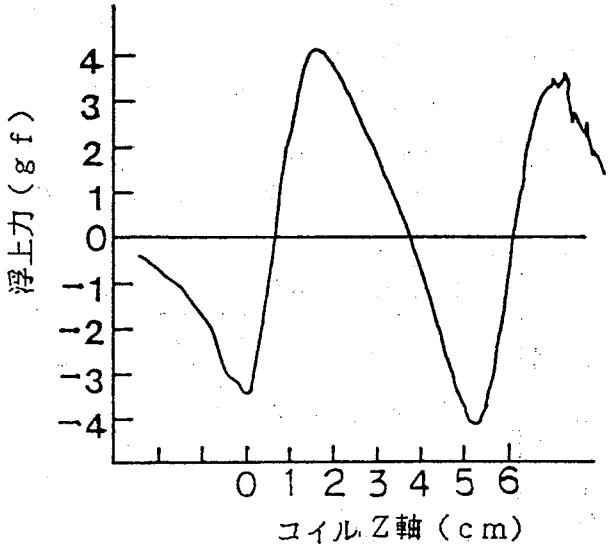


図7　浮上力分布

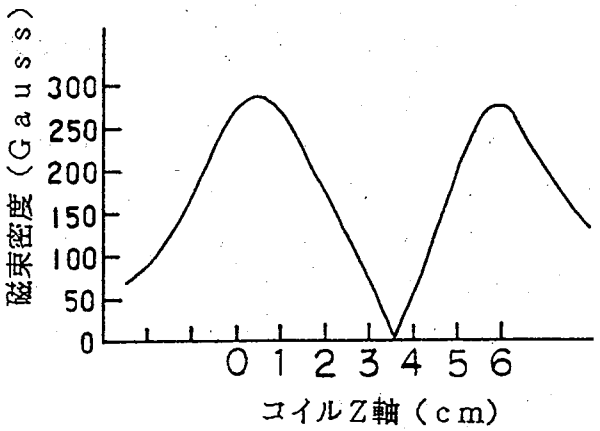
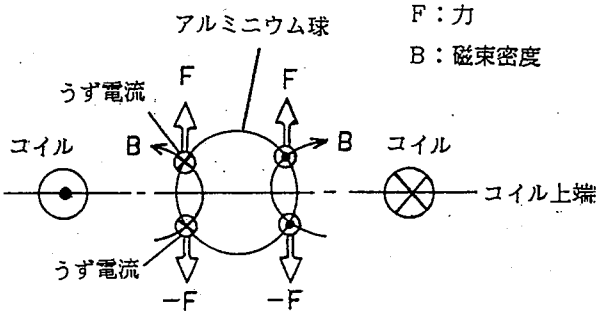


図8　磁束密度分布



コイル電流の方向とうず電流の方向は交流的に変わるが力の方向は、この図の通りの方向となる。

図9　浮上力モデル

3.2　浮上カーコイル電流特性

浮上力はコイル電流の２乗に比例している。(図10) 浮上力はコイル電流により生じる磁場とアルミニウム球表面のうず電流の相互作用によるものであり磁場とうず電流のどちらもコイル電流に比例するからこの結果は妥当であると考える。

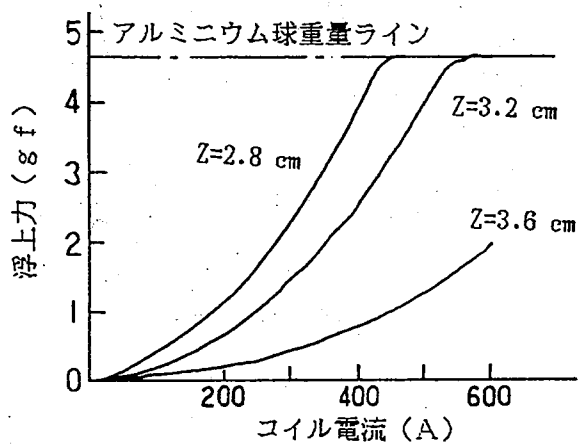


図１０　コイル電流と浮上力の関係

3.3　磁束密度分布

磁束密度はコイル電流に比例している。(図11) 図12に示すように磁束密度分布はビオ・サバールの式を用いた計算値と実験値がよく合っており計算により推定可能である。多少のズレは現物のコイルと計算時のコイルモデルの寸法が完全には一致していないためである。

3.4　浮上力推定式

浮上力 F_z (kgf) はコイル電流 I_c (A) とアルミニウム球半径 r (m) により(1)式で表わせると考える。

$$F_z = aI_c^2r^3 \quad \cdots\cdots(1)$$

a：コイルにより決まる定数 (kgf/A²・m³)

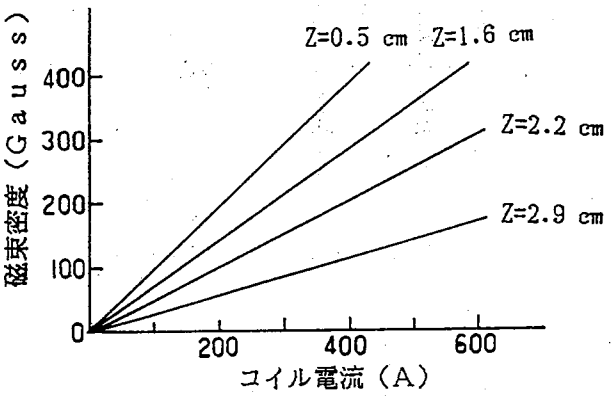


図１１　コイル電流と磁束密度の関係

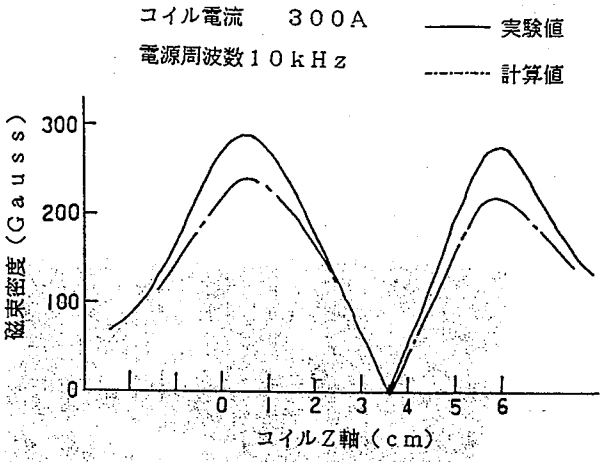


図１２　磁束密度分布

すなわち，アルミニウム球のうず電流は表皮効果により表面をコイルと平行に流れるとし，その一部を図13のようなループにモデル化すると，ループに働く浮上力 F_z はローレンツ力により次式で表わされる。ただし，I_e はループを流れるうず電流 B_x はコイル半径方向の磁束密度，ℓ はループ長である。

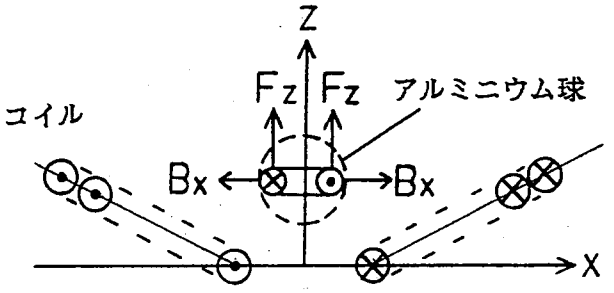
$$F_z = I_eB_x\ell \quad \cdots\cdots(2)$$

ここで B_x は計算によりＺ軸からの距離に比例することがわかっており (図14) アルミニウム球半径に比例することになる。すなわち $B_x \propto r$ 又3.3に述べた実験結果により $B_x \propto I_c$，更に $I_e \propto I_c$，$\ell \propto r$ は明らかなので(2)式は次のようになる。

$$F_z \propto I_c^2r^2 \quad \cdots\cdots(3)$$

アルミニウム球の浮上力をこのようなループの積み重ねと考えると大略，次のようになる。

$$F \propto \sum_i F_{Zi} \propto rF_z \quad \cdots\cdots(4)$$



コイル電流の方向とうず電流の方向は交流的に変わるが力の方向は、この図の通りの方向となる。

図１３　うず電流モデル

従って

$$F \propto I_c^2 r^3 \quad \cdots\cdots(5)$$

(5)式は前出の文献[1]とも I_c, r の関係が一致している。コイル電流を300Aに固定した時の浮上力とアルミニウム球半径の関係を図15に示す。今回のコイルでは定数 a =0.096となる。

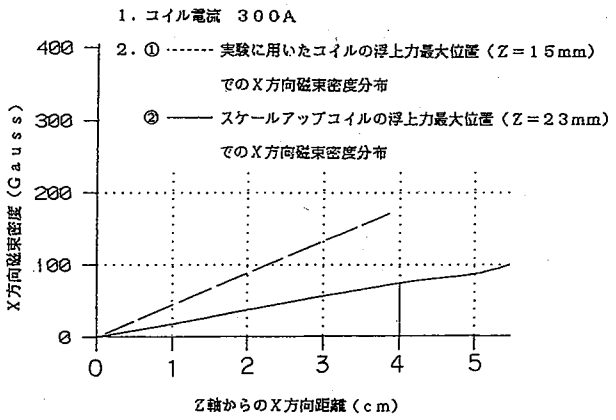


図14 X方向磁束密度分布（計算値）

3.5 スケールアップ法

実験は文献[1]のコイルを再現したためコイル寸法の制約上，最大4.7g（直径15mm）のアルミニウム球を用いた。そこで次のステップとして重量が重い（100g，直径41.4mm）のアルミニウム球を浮上させるためのコイル，コイル電流，電圧の検討を行った。その際，コイル形状は本実験のコイルと相似なものとし磁束密度分布も相似であるとした。

① 直径41.4mmの球が収まるには本実験コイルと比べコイル長，コイル径を約1.5倍にする必要がある。

② 浮上力推定式(1)式のコイル定数 a を推定する。浮上力の要素のうちスケールアップによって影響を受けるのはコイル半径方向の磁束密度 B_x であるのでビオ・サバールの式を用いてスケールアップコイルの B_x を計算し本実験コイルの B_x との比（図14の傾きの比）をもとに実験コイルの a の値（0.096）からスケールアップコイルの a を推定する。結果が(6)式で

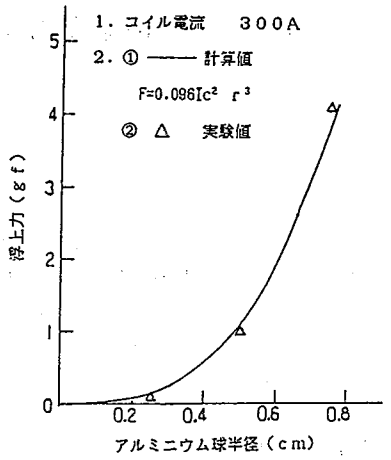


図15 浮上力とアルミニウム球半径の関係

ある。

$$F = 0.044 I_c^2 r^3 \quad \cdots\cdots(6)$$

③ (6)式から100g のアルミニウム球を浮上させるために必要なコイル電流は506A，必要電圧は周波数を10kHz としてコイル形状を本実験コイルと相似するとインダクタンスは10.92 μH となり347V となる。ただし純抵抗分は僅かなので無視した。

4．むすび

4.7g のアルミニウム球の安定浮上を確認し，浮上力の推定式を導出した。実験により浮上力分布と磁束密度分布が密接な関係にあることが判明した。更に，100g のアルミニウム球を浮上させるスケールアップの検討を行った。今後の課題としてはコイル電流を増やし浮上したまま溶解にまで至らせた時の金属球の状態確認，浮上力の測定あるいは浮上力と電源周波数の関係確認などがある。

尚，この実験は三菱重工業株式会社技術本部広島研究所において行ったものである。これらの実験を遂行するにあたり，多大なる御支援を賜わりました計測振音研究室，片山圭一室長，並びに研究室の皆様に厚くお礼を申し上げます。

文 献

1) E.C. Okress & D.M. Wroughton: "Electromagnetic Levitation of Solid and Molten Metals" J.Appl. Phys. 23, 545 (1952)

極振幅変調方式による2速度電動機

山本慧實

7）2-Speed Induction Motor by means of Pole Amplitude Modulation.

Satomi YAMAMOTO

送風機を風量が少くてよい時や騒音を下げたい時，回転数を少し下げて運転したいという相談があった。高価なインバータを利用する代りに，固定子巻線の結線変更により目的を達成できる方式を提示した。この方式の内容について述べ，類似機種での実験結果を示した。

まえがき

工業団地内の某企業より，共同利用している送風機を昼夜連続運転しているが，風量をそれ程必要としない場合や，特に夜間など周囲が静かな時の騒音低下のため電動機の回転数を低減したいという相談があった。

回転数を1/2にすると風量が不足するので2/3程度にしたい，更に回転数を下げるひん度はそれ程大きくないため，インバータ導入では投資額が回収できないとのことであった。

負荷が送風機であるため，トルクが回転数の自乗に比例する所謂低減トルク特性となるので，現在使用している4極機の固定子巻線を結線変更することで4/6極切替えの電動機に改造すればよいことを提示，その方式について詳細に説明，類似機種での試験結果を示した。

以下，その内容について述べる。

極振幅変調方式の原理

極数切替えは2重巻線方式が一般であり，極数比が2：1の時のみ，Consequent pole winding 方式が用いられて来た。他の極数比に対して後者は適用できないとされていたが，英国ブリストル大学の Rawcliff 教授の提示により任意の極数比に対しても適用できることが示され，現在では広く用いられている。

この原理は，2p極のアンペアコンダクターが或る瞬間

$$A\cos(p\theta-\beta) \quad \cdots\cdots(1)$$

という分布をした時（θ＝空間角，β＝原点からの位相角），振幅Aを2q極変調する，即ち

$$A \rightarrow A\cos q\theta$$

とすれば(1)式は

$$\frac{A}{2}\cos\{(q+p)\theta-\beta\}+\frac{A}{2}\cos\{(q-p)\theta-\beta\} \quad \cdots\cdots(2)$$

となり，(q＋p) 又は (q－p) 極が得られることにある。換言すれば，p′極を得るためには

① $p'=q+p$ 即ち $q=p'-p$

② $p'=q-p$ 即ち $q=p'+p$ ……(3)

の2通りが考えられ，①を差変調，②を和変調といっている。

ここにq極で変調することは，q極の正の部分はそのまま，負の部分のコイル群を逆向きにすることを意味するが，これによって p→p′ 極への変換が可能になる。この時，変調後も各相の誘起起電力は位相及び振幅共に完全にバランスしていなければならない。

次に，具体例によってこの点を述べる。

ベクトルスター

以下，36スロット2層巻の4極機を6極に変換する場合を例に述べる。即ち，p=2（4極）p′=3（6極）であるから，q=3−2=1（2極）又はq=3+2=5（10極）となる。

4極の場合は毎極毎相のスロット数q_4は，

$$q_4=36/(4\times3)=3 \quad \cdots\cdots(4)$$

であるから図1(a)の相帯に示す様な分布となる。

これを6極に変換するための差変調と和変調を求めるため，4極と同一相帯の時の6極の基本波に対する誘起起電力を考える。相隣り合うコイル間の位相差αは

$$\alpha=\frac{180^\circ\times6}{36}=30^\circ \quad \cdots\cdots(5)$$

であるから，A相，B相，C相について各スロットのベクトルを画くと図1(b)(c)の如くなる。このままでは合成ベクトルは0になり，6極は生じないが，これは4極の結線のままであるから当然である。

このうち各組の半分ずつを反転（変調）させると，各組120°づつの位相差のある合成起電力が得られる。これには(b)と(c)の2通りがあり，スロット番号を○で囲ったものを反転させると相順はA→B→C及びA→C→Bとなる。前者が差変調，後者が和変調となることは，(a)の下部の図を見れば明らかである。

相順が異なることは，回転方向が逆向きになる

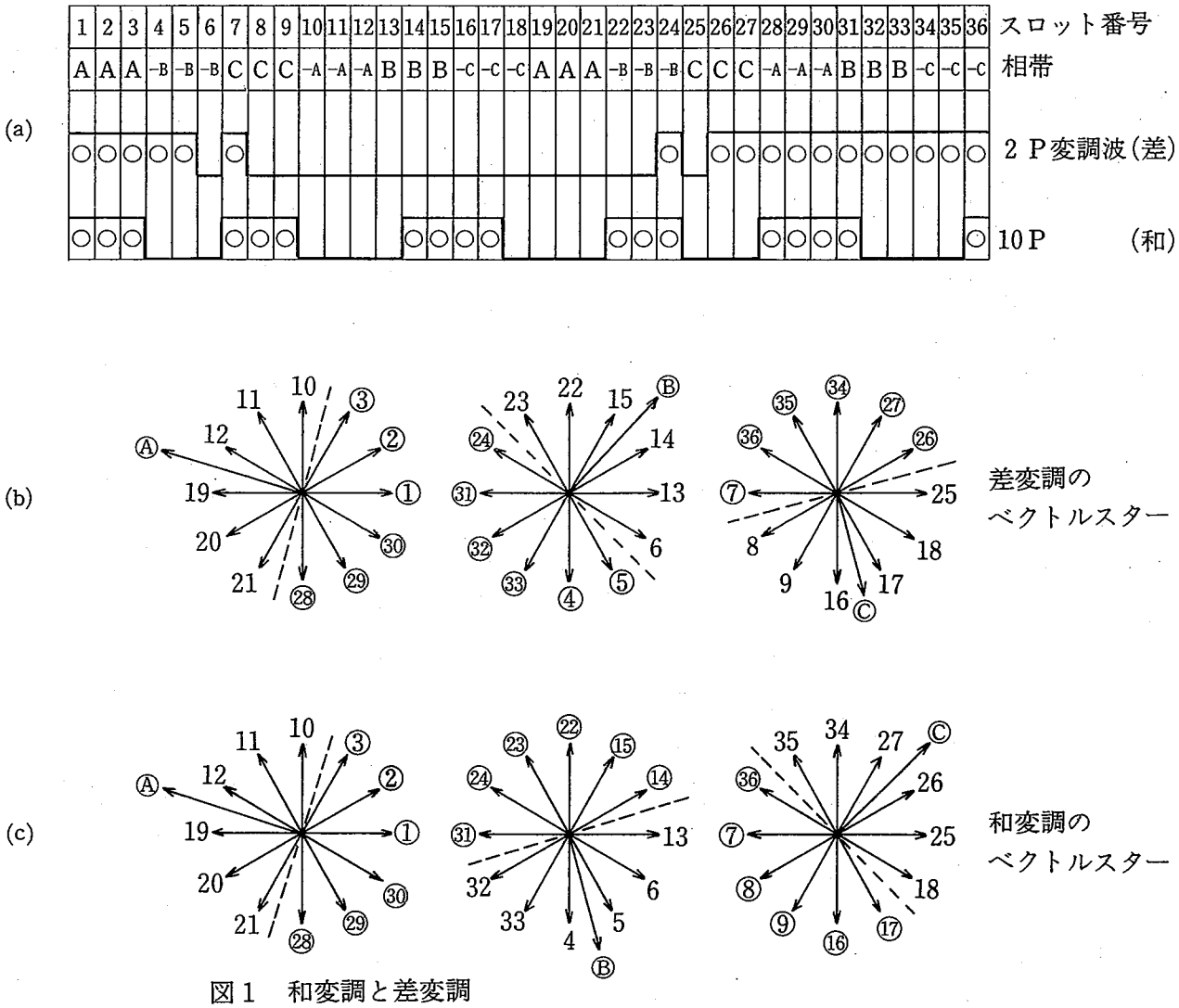


図1　和変調と差変調

ので，電源に接続する時は，これを考慮に入れておく必要がある。

巻線係数（分布巻係数）はこれ等のベクトル図から次の如くなる。

$$k_{d6}=\frac{|1+\varepsilon^{j30}+\varepsilon^{j60}+\varepsilon^{j90}+\varepsilon^{j120}+\varepsilon^{j150}|}{6}$$

$$=\frac{\sin 90^\circ}{6\times\sin 15^\circ}=0.644 \quad \cdots\cdots(6)$$

高調波スペクトル

和変調と差変調のどちらを採用するかという規範は，有害な高調波が少いということである。

コイルピッチ#1～#8（ひとつの両コイル辺が#1と#8のスロット内にあること）と#1～#7の場合について，和変調と差変調の起磁力の高調波スペクトルを計算した結果を表1に示す。これらは6極（p＝3）の値を100とした百分率で与えてあるが，逆相分が含れていること，p＝1（2極）の低調波分が生じていることなど興味深い。

前述の如く，和変調の場合相順が逆になることが見てとれる。

トルク・回転数特性に対し，低調波は殆ど影響がなく，問題はp＝5，7でこれはこの特性曲線に鞍部を生ぜしめ10%以上は許容できないと言われている。

表から，差変調の方が和変調より良いことが分り，コイルピッチは#1～#8の方がよさそうである。

結　線

標準の4極巻線の結線から，数本のタップを出し，それを結線し直す方法の詳細は省略し，電源との結線図のみを示す（図2）。

実際の作業には，同一グループ内のコイルのまたがりなどからタップを出す必要があり，巻線作業に相当習熟した作業者と，それ相応の設備が必要である。

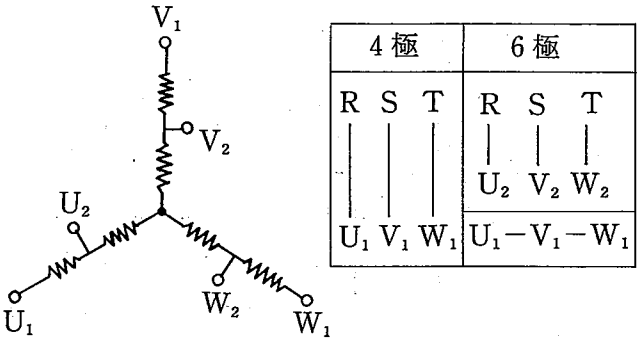


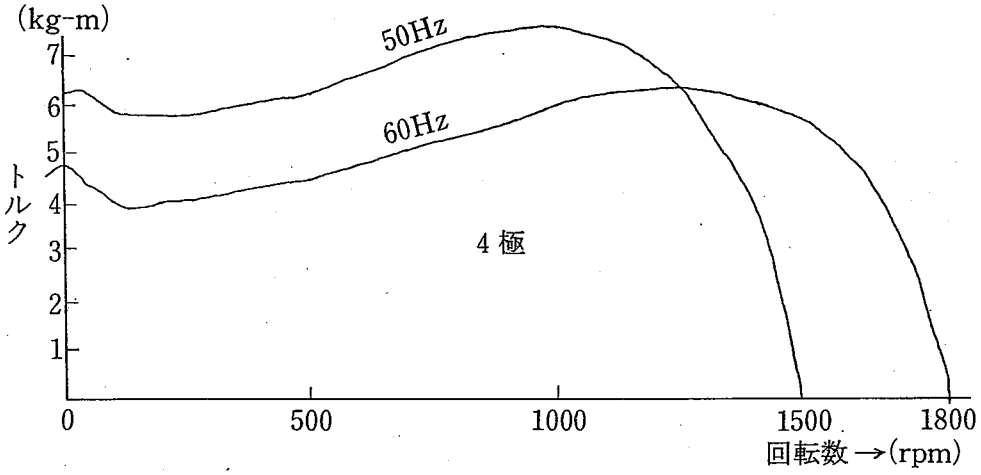
図2　端子記号と電源との結線図

表1．起磁力の高調波スペクトル（p＝3に対する百分率）

p	差変調				和変調			
	#1～#8		#1～#7		#1～#8		#1～#7	
	正	逆	正	逆	正	逆	正	逆
1	150.4	29.3	126.6	24.7	13.99	29.28	11.78	24.66
3	100	0	100	0	0	100	0	100
5	1.67	0.42	9.27	2.36	1.67	2.43	9.27	13.47
7	4.84	4.31	2.58	2.30	33.94	4.31	18.09	2.30
9	0	0	0	0	0	0	0	0
11	1.28	5.36	1.46	6.12	1.28	2.70	1.46	3.08
13	6.98	7.35	3.38	3.57	2.86	7.35	1.39	3.56
15	0	1.44	0	5.36	1.44	0	5.36	0

試験結果

これらに関連して3.7kW，4Pの標準機に本方式を適用したものを試験した結果として，代表的なトルク・速度特性の実測データを図3に示す。6極側で第7次及び第13次高調波の影響が見られるが，実用上問題になる程ではない。



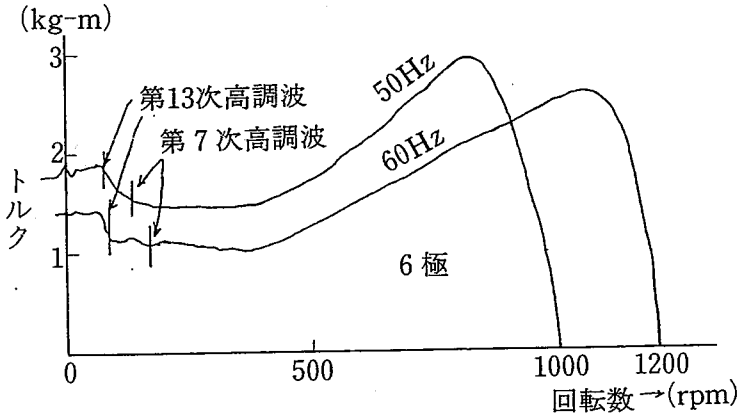


図3　トルク・回転数特性の実測データ

まとめ

以上極振幅変調による2速度電動機について述べた。この方式は低減トルク特性の時（例えば試験データを示した電動機の場合は3.7/1.5kW，4/6極）は標準のわく番適用を可能とするので，巻線の結線替え又は巻替えのみで目的が達せられるのが利点である。

トルク一定，出力一定の特性，2重巻線の場合はいずれもわく番適用が1～数段大きくなる。

今回は，差変調の方がベターとなったが，これは何時もそうなるとは限らず，極数比とスロット数によって変ることは注意すべきである。

以上のことをベースに，相談に来た企業では現在検討に入っているが，巻線に詳しい作業者と設備などがネックになって実現にはまだ時間がかかりそうである。

参考文献

1) G.H. Rawcliff, W.Fong: "Sum" and "difference" winding modulation with reference to the design of 4/6 pole p. a. m. winding.
Proc. IEEE, vol. 117,No.9 Sept. 1970 p1782～1792

2) J.Trochard: Moteurs Asynchrones Á Deax Vitesses suivant procédé P.A.M., D534, Rev. Jeamont-Schneider No.8, p51～60〔'70〕.

有限要素法によるマンホール蓋の解析的研究

西山修二，横山武房

8）Analytical research on a manhole using finite element method

Shuji NISHIYAMA
Takefusa YOKOYAMA

有限要素法により，マンホール蓋の力学的解析を行った。マンホール蓋は，補強リブ付構造物のため，材料力学的な解析がむつかしい。本研究は，マンホール蓋の板厚，補強リブの構造，補強リブの配置等が最適に設計できる解析プログラムの開発を行ったものである。開発した解析プログラムの計算結果は実測値ともよく一致した。

1．まえがき

マンホール蓋は，補強リブを有する構造物であるため，材料力学的解析では，高精度に設計することがむつかしい。

本研究では，有限要素法を用いてマンホール蓋の力学的な解析を行った。開発したプログラムは，マンホール蓋の板厚，補強リブの断面形状及び配置等が最適に選択でき，マンホール蓋を最適設計するためのツールとして供することができる。

2．ＦＥＭによる力学的解析

2.1　モデル化

構造や荷重を本来の性質を失わない範囲で簡単化，単純化，理想化して，ＦＥＭプログラムの計算に適用しやすくする必要がある。

2.1.1　構造のモデル化

構造をあるがままに忠実に要素分割し，ＦＥＭ解析することもあるが，本報で取り扱う構造物は多数の対称面を持つ構造物であるため図１に示すように1/4のモデルを考える。解析領域もこの範囲とする。

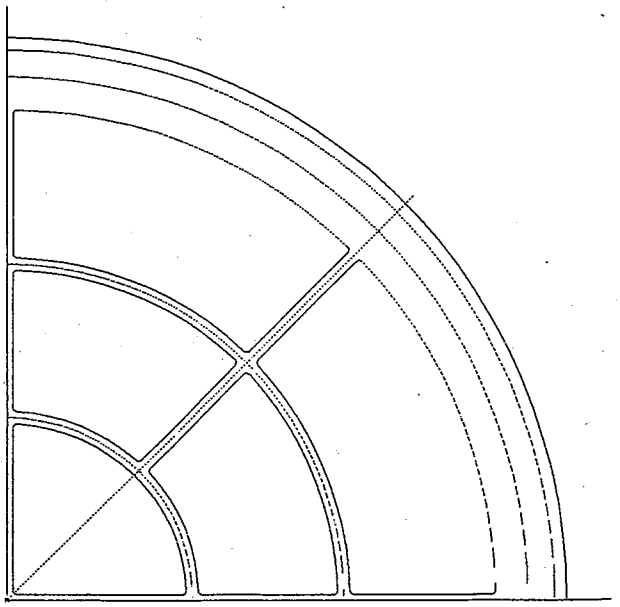


図１　構造モデル

2.1.2　座標系

節点の定義及び荷重の定義を容易にするために円筒座標系を適用する。

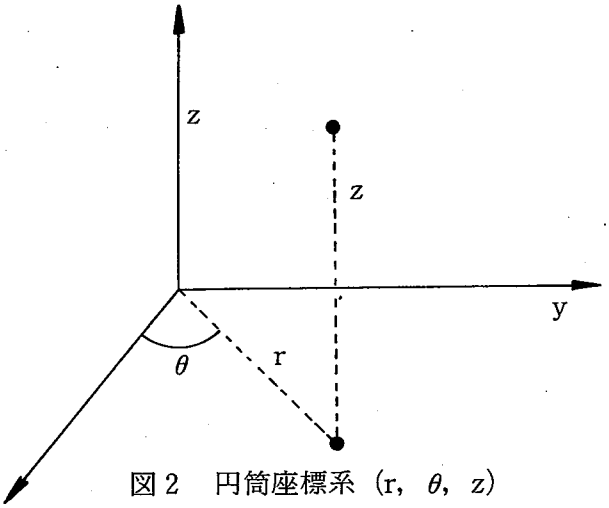


図２　円筒座標系（r，θ，z）

2.1.3　要素分割

構造モデルの要素分割方法として，本報では，三角形板要素，四角形板要素，及び梁要素の３種の要素を用いて構造モデルの要素分割を行なう。四角形板要素の場合，一般に要素の縦横比が大きくなる程誤差が大きくなり，要素の縦横比を１：１～１：1.5の範囲にすることが望ましい。また，三角形要素の場合，最長辺と最短辺の辺長比で縦横比を代表させれば，前述と同様のことがいえる。

本報の解析では，応力集中部等の応力状態を把握することが目的ではなく，全体的な変形を解析することを目的とするため，要素は全体的に一様な大きさとする。以上のことを考慮し，要素分割を行なう。要素分割図を図３に示す。

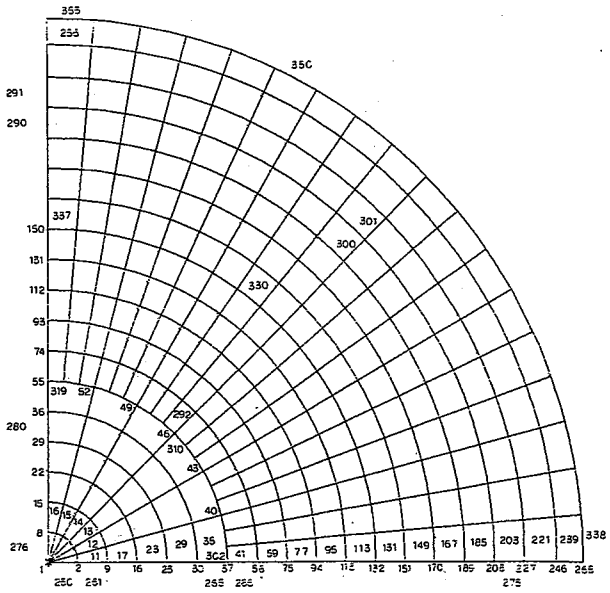


図３　要素合割図

2.1.4　拘束のモデル化

ＦＥＭ解析の場合，節点は最大６自由度で，ＸＹＺ座標系で表わすと，Ｘ軸方向変位ｕ，Ｙ軸方向変位ｖ，Ｚ軸方向変位ｗ，Ｘ軸まわり回転 θ_X，Ｙ軸まわり回転 θ_Y，Ｚ軸まわり回転 θ_Z である。

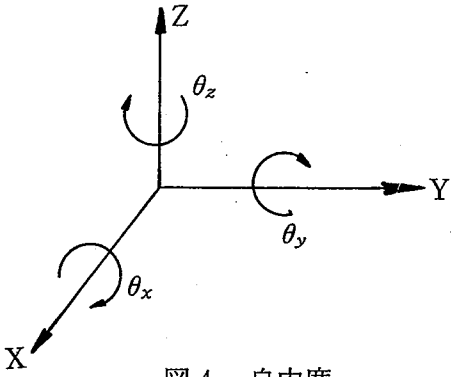


図４　自由度

本報では，構造および荷重の対称性を利用して拘束条件を与えた。

各節点は表１に示す方向変位を拘束する。

表１．節点と拘束条件

節　　点	u	v	w	θ_X	θ_Y	θ_Z
1	1	1	0	1	1	1
支点上の節点	1	1	1	1	0	1
Ｘ軸上の節点	1	1	0	1	0	1
Ｙ軸上の節点	1	1	0	0	1	1
全節点について	1	1	0	0	0	1

０は自由，１は拘束

2.1.5　荷重のモデル化

本解析では，マンホール蓋中心から半径45㎜以内に分布荷重が作用するものとする。荷重のモデル化としては、中心から45㎜以内の節点に作用する荷重すなわち節点荷重としてモデル化する。

対称性を考慮し，表２に示す節点荷重を解析では与える。

表２．節点荷重

節点番号	荷　重（kg）
1	34.25
2，8，9，15，16，22	68.49
3～7，10～14，17～21	136.98

2.2　プログラム化

ＦＥＭ計算プログラムはＦＥＭⅣを使用した。本プログラムで解析できる現象は，微少変位の線形弾性範囲内での変形である。本研究で開発した解析プログラムのソースリストを付録に示す。

3．計算結果

3.1　計算結果の妥当性

ＦＥＭ解析で用いた要素分割法等による計算精度の確認をするために，マンホール蓋の補強リブを全部除去すると，平板の弾性曲げの理論が成立する。

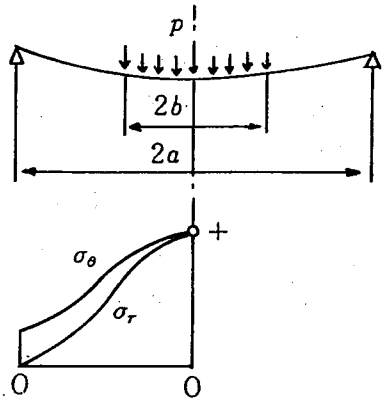


図５　平板の弾性曲げ

たわみw，w_{max} および応力 σ，σ_{max} の計算式は表３に示す[3]。

表３　たわみ，応力の計算式[4]

(i) $0 \leqq r \leqq b$:—

$$w=\frac{pb^4}{16D}\left\{\frac{r^4}{4b^4}-\frac{4a^2-(1-\nu)b^2}{2(1+\nu)a^2}\frac{r^2}{b^2}-\left(2\frac{r^2}{b^2}+1\right)\ln\frac{a}{b}+\frac{4(3+\nu)a^2-(7+3\nu)b^2}{4(1+\nu)b^2}\right\}$$

$$\sigma_r=\mp\frac{3pb^2}{8h^2}\left\{4(1+\nu)\ln\frac{a}{b}+4-(1-\nu)\frac{b^2}{a^2}-(3+\nu)\frac{r^2}{b^2}\right\}$$

$$\sigma_\theta=\mp\frac{3pb^2}{8h^2}\left\{4(1+\nu)\ln\frac{a}{b}+4-(1-\nu)\frac{b^2}{a^2}-(1+3\nu)\frac{r^2}{b^2}\right\}$$

(ii) $b \leqq r \leqq a$:—

$$w=\frac{pb^4}{16D}\left[\frac{1}{2(1+\nu)}\left(1-\frac{r^2}{a^2}\right)\left\{2(3+\nu)\frac{a^2}{b^2}-(1-\nu)\right\}-\left(1+\frac{2r^2}{b^2}\right)\ln\frac{a}{r}\right]$$

$$\sigma_r=\mp\frac{3pb^2}{8h^2}\left\{4(1+\nu)\ln\frac{a}{r}+(1-\nu)\left(\frac{a^2}{r^2}-1\right)\frac{b^2}{a^2}\right\}$$

$$\sigma_\theta=\mp\frac{3pb^2}{8h^2}\left[4(1+\nu)\ln\frac{a}{r}-(1-\nu)\left\{\left(\frac{a^2}{r^2}+1\right)\frac{b^2}{a^2}-4\right\}\right]$$

$$w_{max}=(w)_{r=0}=\alpha_s\frac{pa^4}{Eh^3}, \quad (\alpha_s:\text{図81})$$

$$\sigma_{max}=(\sigma_r)_{r=0}=(\sigma_\theta)_{r=0}=\mp\beta_s\frac{pa^2}{h^2}, \quad (\beta_s:\text{図82})$$

ここで

$D=Eh^3/12(1-\nu)$　　$P=W/\pi b^2$

E：ヤング率

h：板厚

本解析での構造モデルの解析仕様は

$b=45$mm，$a=256$mm，$w=10^4$kg

$E=0.75\times10^4$kg/mm²，$\nu=0.2$

であり，これらの値を表３の式に代入し，最大たわみ w_{max} を計算すると次のようになる。

$w_{max}=100.28$mm

一方，ＦＥＭでの解析では，$w_{max}=101.27$mmとなり，極めてよく一致した。従って，本解析での要素分割及びプログラム化が妥当であるといえる。

3.2　マンホール蓋の強度解析

3.1で検証したプログラムに補強リブをモデル化したプログラムを追加し，マンホールの実モデルの解析を行なう。

補強リブのＦＥＭプログラム化にあたっては梁要素を用いる。Ｘ軸，Ｙ軸上の補強リブについては図６に示すように形状をモデル化した。

梁の断面特性および質量密度等の値を付表１に示す。

梁要素の使用にあたっては，計算精度を向上させるために，梁要素のＡ端，Ｂ端のオフセットベクトルの成分を考慮した。

材料定数としては，使用材料が鋳鉄であるため縦弾性係数は $(0.75\sim1.3)\times10^4$kg/mm²であり，比重は7.03～7.70，ポアソン比は0.2～0.29である。[1]解析結果が安全サイドの値となるように，縦弾性係数は0.75×10^4kg/mm²，比重は7.7，ポアソン比を0.2としてＦＥＭ解析を実施した。

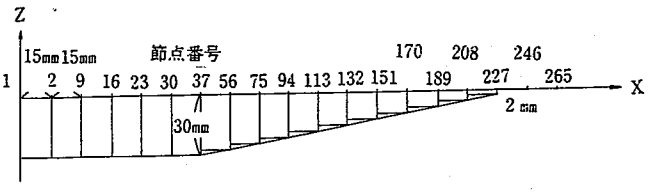


図６　補強リブのモデル化（Ｘ－Ｚ平面内）

3.3　ＦＥＭ解析出力データ

ＦＥＭ解析による計算結果を以下に示す。

3.3.1　静的解析の節点，スカラ点変位リスト

各節点の変位リストを表４に示す。

表４　各節点の変位リスト

D I S P L A C E M E N T　V E C T O R

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
1	G	0.0	0.0	-1.331055D+01	0.0	0.0	0.0
2	G	0.0	0.0	-1.327470D+01	0.0	-4.767660D-03	0.0
3	G	0.0	0.0	-1.327765D+01	-1.247394D-04	-4.516286D-03	0.0
4	G	0.0	0.0	-1.328314D+01	5.662984D-04	-3.810166D-03	0.0
5	G	0.0	0.0	-1.328743D+01	1.546238D-03	-2.717248D-03	0.0
6	G	0.0	0.0	-1.328901D+01	2.348705D-03	-1.552051D-03	0.0
7	G	0.0	0.0	-1.328862D+01	2.779512D-03	-6.373498D-04	0.0
8	G	0.0	0.0	-1.328834D+01	2.713809D-03	0.0	0.0
9	G	0.0	0.0	-1.316620D+01	0.0	-9.416918D-03	0.0
10	G	0.0	0.0	-1.317650D+01	1.434660D-04	-9.454740D-03	0.0
11	G	0.0	0.0	-1.319354D+01	2.582988D-03	-8.378986D-03	0.0
12	G	0.0	0.0	-1.320298D+01	5.538985D-03	-6.074305D-03	0.0
13	G	0.0	0.0	-1.319945D+01	7.914964D-03	-2.930505D-03	0.0
14	G	0.0	0.0	-1.318599D+01	8.962171D-03	-3.495274D-04	0.0
15	G	0.0	0.0	-1.318173D+01	5.104647D-03	0.0	0.0
16	G	0.0	0.0	-1.298933D+01	0.0	-1.360865D-02	0.0
17	G	0.0	0.0	-1.300082D+01	2.134700D-03	-1.423215D-02	0.0
18	G	0.0	0.0	-1.301962D+01	6.020260D-03	-1.344644D-02	0.0
19	G	0.0	0.0	-1.303261D+01	9.809222D-03	-1.064559D-02	0.0
20	G	0.0	0.0	-1.303233D+01	1.243570D-02	-6.334376D-03	0.0
21	G	0.0	0.0	-1.301433D+01	1.433383D-02	-1.436914D-03	0.0
22	G	0.0	0.0	-1.300200D+01	6.843394D-03	0.0	0.0
23	G	0.0	0.0	-1.275359D+01	0.0	-1.711743D-02	0.0
24	G	0.0	0.0	-1.275278D+01	4.668904D-03	-1.797409D-02	0.0
25	G	0.0	0.0	-1.276339D+01	8.598049D-03	-1.713784D-02	0.0
26	G	0.0	0.0	-1.278254D+01	1.226575D-02	-1.382860D-02	0.0
27	G	0.0	0.0	-1.279519D+01	1.464792D-02	-8.970192D-03	0.0
28	G	0.0	0.0	-1.279809D+01	1.540564D-02	-3.753984D-03	0.0
29	G	0.0	0.0	-1.279007D+01	7.699403D-03	0.0	0.0
30	G	0.0	0.0	-1.247118D+01	0.0	-1.983457D-02	0.0
31	G	0.0	0.0	-1.245336D+01	5.871012D-03	-2.030101D-02	0.0
32	G	0.0	0.0	-1.246502D+01	9.119303D-03	-1.828508D-02	0.0
33	G	0.0	0.0	-1.249940D+01	1.228768D-02	-1.500026D-02	0.0
34	G	0.0	0.0	-1.253476D+01	1.410834D-02	-1.022298D-02	0.0
35	G	0.0	0.0	-1.256961D+01	1.441462D-02	-5.770119D-03	0.0
36	G	0.0	0.0	-1.259128D+01	7.530841D-03	0.0	0.0
37	G	0.0	0.0	-1.215349D+01	0.0	-2.201880D-02	0.0
38	G	0.0	0.0	-1.214907D+01	1.357747D-03	-2.057275D-02	0.0
39	G	0.0	0.0	-1.214683D+01	2.644740D-03	-1.935480D-02	0.0
40	G	0.0	0.0	-1.214550D+01	4.005627D-03	-1.851691D-02	0.0
41	G	0.0	0.0	-1.215265D+01	5.623736D-03	-1.798235D-02	0.0
42	G	0.0	0.0	-1.216361D+01	6.930268D-03	-1.714040D-02	0.0
43	G	0.0	0.0	-1.217367D+01	8.130839D-03	-1.620187D-02	0.0
44	G	0.0	0.0	-1.218121D+01	9.378636D-03	-1.611762D-02	0.0
45	G	0.0	0.0	-1.219267D+01	1.076216D-02	-1.608762D-02	0.0
46	G	0.0	0.0	-1.220820D+01	1.233096D-02	-1.612501D-02	0.0
47	G	0.0	0.0	-1.223627D+01	1.176473D-02	-1.395658D-02	0.0
48	G	0.0	0.0	-1.226569D+01	1.125811D-02	-1.195192D-02	0.0
49	G	0.0	0.0	-1.229500D+01	1.081683D-02	-1.008270D-02	0.0
50	G	0.0	0.0	-1.232285D+01	1.041603D-02	-8.299531D-03	0.0
51	G	0.0	0.0	-1.234786D+01	1.011726D-02	-6.604632D-03	0.0
52	G	0.0	0.0	-1.236880D+01	9.948005D-03	-4.966576D-03	0.0
53	G	0.0	0.0	-1.238465D+01	9.846948D-03	-3.321253D-03	0.0
54	G	0.0	0.0	-1.239443D+01	9.915296D-03	-1.680621D-03	0.0
55	G	0.0	0.0	-1.239756D+01	1.016224D-02	0.0	0.0
56	G	0.0	0.0	-1.176502D+01	0.0	-2.941611D-02	0.0
57	G	0.0	0.0	-1.176770D+01	1.679211D-03	-2.819664D-02	0.0
58	G	0.0	0.0	-1.177514D+01	3.396249D-03	-2.674138D-02	0.0
59	G	0.0	0.0	-1.178727D+01	5.190130D-03	-2.541586D-02	0.0
60	G	0.0	0.0	-1.179949D+01	7.166939D-03	-2.441196D-02	0.0
61	G	0.0	0.0	-1.181441D+01	9.193335D-03	-2.347196D-02	0.0
62	G	0.0	0.0	-1.182929D+01	1.092812D-02	-2.245876D-02	0.0
63	G	0.0	0.0	-1.184558D+01	1.253234D-02	-2.161390D-02	0.0
64	G	0.0	0.0	-1.186588D+01	1.402535D-02	-2.099885D-02	0.0
65	G	0.0	0.0	-1.189386D+01	1.524933D-02	-2.036305D-02	0.0

表4 （つづき）

DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
139	G	0.0	0.0	-8.936439D+00	3.632200D-02	-5.988973D-02	0.0
140	G	0.0	0.0	-9.001299D+00	4.109589D-02	-5.550052D-02	0.0
141	G	0.0	0.0	-9.049751D+00	4.212738D-02	-4.576674D-02	0.0
142	G	0.0	0.0	-9.068587D+00	5.349613D-02	-4.498422D-02	0.0
143	G	0.0	0.0	-9.060083D+00	5.962696D-02	-4.047074D-02	0.0
144	G	0.0	0.0	-9.044204D+00	6.543025D-02	-3.649558D-02	0.0
145	G	0.0	0.0	-9.031178D+00	7.030551D-02	-3.199582D-02	0.0
146	G	0.0	0.0	-9.024626D+00	7.438753D-02	-2.681497D-02	0.0
147	G	0.0	0.0	-9.024008D+00	7.767891D-02	-2.091693D-02	0.0
148	G	0.0	0.0	-9.026822D+00	8.013467D-02	-1.437045D-02	0.0
149	G	0.0	0.0	-9.030089D+00	8.166890D-02	-7.323693D-03	0.0
150	G	0.0	0.0	-9.031472D+00	8.219335D-02	0.0	0.0
151	G	0.0	0.0	-7.789563D+00	0.0	-6.809561D-02	0.0
152	G	0.0	0.0	-7.765826D+00	9.652151D-03	-7.611627D-02	0.0
153	G	0.0	0.0	-7.712241D+00	1.708466D-02	-7.692607D-02	0.0
154	G	0.0	0.0	-7.667582D+00	2.296742D-02	-7.763777D-02	0.0
155	G	0.0	0.0	-7.651443D+00	2.803546D-02	-7.721774D-02	0.0
156	G	0.0	0.0	-7.670544D+00	3.273722D-02	-7.578711D-02	0.0
157	G	0.0	0.0	-7.723787D+00	3.727874D-02	-7.334578D-02	0.0
158	G	0.0	0.0	-7.803315D+00	4.188416D-02	-6.965603D-02	0.0
159	G	0.0	0.0	-7.891102D+00	4.747975D-02	-6.472358D-02	0.0
160	G	0.0	0.0	-7.948134D+00	5.142632D-02	-5.408052D-02	0.0
161	G	0.0	0.0	-7.942778D+00	6.372385D-02	-5.036992D-02	0.0
162	G	0.0	0.0	-7.893721D+00	7.029468D-02	-4.483434D-02	0.0
163	G	0.0	0.0	-7.839487D+00	7.578093D-02	-3.996906D-02	0.0
164	G	0.0	0.0	-7.795026D+00	8.023634D-02	-3.473184D-02	0.0
165	G	0.0	0.0	-7.764204D+00	8.393783D-02	-2.888331D-02	0.0
166	G	0.0	0.0	-7.745529D+00	8.693000D-02	-2.237786D-02	0.0
167	G	0.0	0.0	-7.735677D+00	8.916750D-02	-1.528683D-02	0.0
168	G	0.0	0.0	-7.731308D+00	9.056573D-02	-7.758881D-03	0.0
169	G	0.0	0.0	-7.730116D+00	9.104344D-02	0.0	0.0
170	G	0.0	0.0	-6.588870D+00	0.0	-7.992448D-02	0.0
171	G	0.0	0.0	-6.541895D+00	1.276605D-02	-8.681523D-02	0.0
172	G	0.0	0.0	-6.449260D+00	2.076837D-02	-8.733908D-02	0.0
173	G	0.0	0.0	-6.376398D+00	2.667829D-02	-8.722441D-02	0.0
174	G	0.0	0.0	-6.344966D+00	3.192303D-02	-8.616873D-02	0.0
175	G	0.0	0.0	-6.358566D+00	3.707653D-02	-8.447012D-02	0.0
176	G	0.0	0.0	-6.414238D+00	4.231383D-02	-8.214093D-02	0.0
177	G	0.0	0.0	-6.503918D+00	4.782300D-02	-7.883548D-02	0.0
178	G	0.0	0.0	-6.608175D+00	5.434852D-02	-7.394018D-02	0.0
179	G	0.0	0.0	-6.672465D+00	6.092819D-02	-6.267586D-02	0.0
180	G	0.0	0.0	-6.643895D+00	7.362284D-02	-5.634435D-02	0.0
181	G	0.0	0.0	-6.562993D+00	7.986656D-02	-4.974365D-02	0.0
182	G	0.0	0.0	-6.482687D+00	8.455224D-02	-4.377648D-02	0.0
183	G	0.0	0.0	-6.418465D+00	8.830075D-02	-3.759149D-02	0.0
184	G	0.0	0.0	-6.372799D+00	9.144910D-02	-3.094498D-02	0.0
185	G	0.0	0.0	-6.343042D+00	9.403357D-02	-2.377834D-02	0.0
186	G	0.0	0.0	-6.325263D+00	9.598863D-02	-1.614027D-02	0.0
187	G	0.0	0.0	-6.315965D+00	9.722336D-02	-8.154738D-03	0.0
188	G	0.0	0.0	-6.313064D+00	9.764872D-02	0.0	0.0
189	G	0.0	0.0	-5.214160D+00	0.0	-9.373792D-02	0.0
190	G	0.0	0.0	-5.145027D+00	1.529835D-02	-9.335933D-02	0.0
191	G	0.0	0.0	-5.025300D+00	2.327525D-02	-9.752278D-02	0.0
192	G	0.0	0.0	-4.939682D+00	2.917065D-02	-9.587073D-02	0.0
193	G	0.0	0.0	-4.903122D+00	3.487939D-02	-9.375552D-02	0.0
194	G	0.0	0.0	-4.912521D+00	4.082768D-02	-9.157324D-02	0.0
195	G	0.0	0.0	-4.963375D+00	4.709227D-02	-8.925340D-02	0.0
196	G	0.0	0.0	-5.049167D+00	5.381856D-02	-8.642983D-02	0.0
197	G	0.0	0.0	-5.154038D+00	6.153328D-02	-8.222946D-02	0.0
198	G	0.0	0.0	-5.219490D+00	7.061181D-02	-7.160878D-02	0.0
199	G	0.0	0.0	-5.175672D+00	8.229778D-02	-6.279656D-02	0.0
200	G	0.0	0.0	-5.082542D+00	8.746946D-02	-5.494736D-02	0.0
201	G	0.0	0.0	-4.996174D+00	9.117380D-02	-4.769364D-02	0.0
202	G	0.0	0.0	-4.928437D+00	9.421087D-02	-4.042843D-02	0.0
203	G	0.0	0.0	-4.879958D+00	9.683762D-02	-3.292074D-02	0.0
204	G	0.0	0.0	-4.847585D+00	9.904003D-02	-2.508177D-02	0.0
205	G	0.0	0.0	-4.827466D+00	1.007251D-01	-1.691451D-02	0.0
206	G	0.0	0.0	-4.816286D+00	1.018093D-01	-8.493378D-03	0.0
207	G	0.0	0.0	-4.812586D+00	1.021915D-01	0.0	0.0
208	G	0.0	0.0	-3.653014D+00	0.0	-1.079180D-01	0.0

表4 （つづき）

DISPLACEMENT VECTOR

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
209	G	0.0	0.0	-3.574555D+00	1.613437D-02	-1.092530D-01	0.0
210	G	0.0	0.0	-3.457939D+00	2.386458D-02	-1.059420D-01	0.0
211	G	0.0	0.0	-3.384316D+00	3.004218D-02	-1.024737D-01	0.0
212	G	0.0	0.0	-3.355827D+00	3.668306D-02	-9.925379D-02	0.0
213	G	0.0	0.0	-3.362618D+00	4.370663D-02	-9.654865D-02	0.0
214	G	0.0	0.0	-3.401088D+00	5.115233D-02	-9.405285D-02	0.0
215	G	0.0	0.0	-3.466792D+00	5.919676D-02	-9.144581D-02	0.0
216	G	0.0	0.0	-3.549189D+00	6.822535D-02	-8.800707D-02	0.0
217	G	0.0	0.0	-3.602205D+00	7.878576D-02	-7.925633D-02	0.0
218	G	0.0	0.0	-3.559981D+00	8.822154D-02	-6.893041D-02	0.0
219	G	0.0	0.0	-3.481881D+00	9.224280D-02	-5.976849D-02	0.0
220	G	0.0	0.0	-3.411543D+00	9.524911D-02	-5.124721D-02	0.0
221	G	0.0	0.0	-3.356452D+00	9.782408D-02	-4.294884D-02	0.0
222	G	0.0	0.0	-3.316442D+00	1.001004D-01	-3.463806D-02	0.0
223	G	0.0	0.0	-3.289621D+00	1.020289D-01	-2.619267D-02	0.0
224	G	0.0	0.0	-3.272512D+00	1.034967D-01	-1.756589D-02	0.0
225	G	0.0	0.0	-3.262370D+00	1.044512D-01	-8.761993D-03	0.0
226	G	0.0	0.0	-3.258570D+00	1.048141D-01	0.0	0.0
227	G	0.0	0.0	-1.928183D+00	0.0	-1.190329D-01	0.0
228	G	0.0	0.0	-1.864130D+00	1.425463D-02	-1.165665D-01	0.0
229	G	0.0	0.0	-1.793363D+00	2.245933D-02	-1.104510D-01	0.0
230	G	0.0	0.0	-1.754154D+00	2.938750D-02	-1.059841D-01	0.0
231	G	0.0	0.0	-1.741454D+00	3.746296D-02	-1.023102D-01	0.0
232	G	0.0	0.0	-1.745719D+00	4.558199D-02	-9.921090D-02	0.0
233	G	0.0	0.0	-1.766382D+00	5.406488D-02	-9.635572D-02	0.0
234	G	0.0	0.0	-1.800936D+00	6.309366D-02	-9.344032D-02	0.0
235	G	0.0	0.0	-1.843442D+00	7.283729D-02	-8.994034D-02	0.0
236	G	0.0	0.0	-1.870092D+00	8.316845D-02	-8.332702D-02	0.0
237	G	0.0	0.0	-1.847364D+00	9.011438D-02	-7.314626D-02	0.0
238	G	0.0	0.0	-1.805598D+00	9.383998D-02	-6.329963D-02	0.0
239	G	0.0	0.0	-1.767318D+00	9.674656D-02	-5.391766D-02	0.0
240	G	0.0	0.0	-1.736505D+00	9.920520D-02	-4.485438D-02	0.0
241	G	0.0	0.0	-1.714062D+00	1.013410D-01	-3.592408D-02	0.0
242	G	0.0	0.0	-1.698557D+00	1.031226D-01	-2.701086D-02	0.0
243	G	0.0	0.0	-1.688750D+00	1.044610D-01	-1.806827D-02	0.0
244	G	0.0	0.0	-1.682510D+00	1.052724D-01	-8.948361D-03	0.0
245	G	0.0	0.0	-1.679097D+00	1.055968D-01	0.0	0.0
246	G	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.243228D-01	0.0
247	G	0.0	0.0	0.0	8.198608D-03	-1.141914D-01	0.0
248	G	0.0	0.0	0.0	2.035583D-02	-1.086776D-01	0.0
249	G	0.0	0.0	0.0	2.813495D-02	-1.053675D-01	0.0
250	G	0.0	0.0	0.0	3.713172D-02	-1.019238D-01	0.0
251	G	0.0	0.0	0.0	4.597368D-02	-9.861872D-02	0.0
252	G	0.0	0.0	0.0	5.503907D-02	-9.534220D-02	0.0
253	G	0.0	0.0	0.0	6.436677D-02	-9.188494D-02	0.0
254	G	0.0	0.0	0.0	7.362795D-02	-8.787792D-02	0.0
255	G	0.0	0.0	0.0	3.205892D-02	-8.206078D-02	0.0
256	G	0.0	0.0	0.0	8.302950D-02	-7.374899D-02	0.0
257	G	0.0	0.0	0.0	9.205866D-02	-6.448503D-02	0.0
258	G	0.0	0.0	0.0	9.529194D-02	-5.500375D-02	0.0
259	G	0.0	0.0	0.0	9.796971D-02	-4.567563D-02	0.0
260	G	0.0	0.0	0.0	1.002262D-01	-3.647184D-02	0.0
261	G	0.0	0.0	0.0	1.020660D-01	-2.733661D-02	0.0
262	G	0.0	0.0	0.0	1.034429D-01	-1.824021D-02	0.0
263	G	0.0	0.0	0.0	1.042980D-01	-8.954940D-03	0.0
264	G	0.0	0.0	0.0	1.042004D-01	0.0	0.0
265	G	0.0	0.0	1.583810D+00	0.0	-1.175895D-01	0.0
266	G	0.0	0.0	1.478530D+00	3.722394D-04	-1.152980D-01	0.0
267	G	0.0	0.0	1.420352D+00	1.768997D-02	-1.062319D-01	0.0
268	G	0.0	0.0	1.409750D+00	2.729099D-02	-1.043665D-01	0.0
269	G	0.0	0.0	1.403235D+00	3.673109D-02	-1.009379D-01	0.0
270	G	0.0	0.0	1.408046D+00	4.595340D-02	-9.752592D-02	0.0
271	G	0.0	0.0	1.424219D+00	5.529242D-02	-9.399510D-02	0.0
272	G	0.0	0.0	1.450216D+00	6.466912D-02	-9.029888D-02	0.0
273	G	0.0	0.0	1.478399D+00	7.343081D-02	-8.615418D-02	0.0
274	G	0.0	0.0	1.492750D+00	8.079947D-02	-8.073874D-02	0.0
275	G	0.0	0.0	1.480458D+00	8.630361D-02	-7.349658D-02	0.0
276	G	0.0	0.0	1.452206D+00	9.037897D-02	-6.482216D-02	0.0
277	G	0.0	0.0	1.422477D+00	9.375313D-02	-5.544849D-02	0.0
278	G	0.0	0.0	1.397693D+00	9.660101D-02	-4.605587D-02	0.0
279	G	0.0	0.0	1.378989D+00	9.898380D-02	-3.673608D-02	0.0
280	G	0.0	0.0	1.366016D+00	1.009115D-01	-2.749708D-02	0.0
281	G	0.0	0.0	1.357730D+00	1.023342D-01	-1.835198D-02	0.0
282	G	0.0	0.0	1.353170D+00	1.033287D-01	-9.302136D-03	0.0
283	G	0.0	0.0	1.342235D+00	1.029718D-01	-1.755104D-03	0.0
300	G	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

出力結果リストの説明

POINT　ID：節点，スカラ点の表示

TYPE：節点，スカラ点の表示

T_1，T_2，T_3，R_1，R_2，R_3：X，Y，Z，θ_X，θ_Y，θ_Z方向の変化

3.3.2　静的解析の支点反力リスト

表5に静的解析の支点反力リストを示す。

表5　支点反力リスト

F O R C E S　O F　S I N G L E - P O I N T　C O N S T R A I N T

POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
1	G	-4.076350D+03	-2.319202D+03	0.0	-4.536532D+04	9.274075D+04	1.013142D+03
2	G	0.0	0.0	0.0	9.457025D+02	0.0	0.0
8	G	0.0	0.0	0.0	0.0	9.195204D+02	0.0
9	G	0.0	0.0	0.0	1.044979D+03	0.0	0.0
15	G	0.0	0.0	0.0	0.0	1.886945D+02	0.0
16	G	0.0	0.0	0.0	-1.939153D+02	0.0	0.0
22	G	0.0	0.0	0.0	0.0	1.430467D+02	0.0
23	G	0.0	0.0	0.0	-2.156217D+03	0.0	0.0
29	G	0.0	0.0	0.0	0.0	1.527924D+03	0.0
30	G	0.0	0.0	0.0	-3.909237D+03	0.0	0.0
36	G	0.0	0.0	0.0	0.0	5.285303D+04	0.0
37	G	0.0	0.0	0.0	-1.401317D+05	0.0	0.0
55	G	0.0	0.0	0.0	0.0	1.681681D+05	0.0
56	G	0.0	0.0	0.0	-5.341724D+04	0.0	0.0
74	G	0.0	0.0	0.0	0.0	7.726120D+04	0.0
75	G	0.0	0.0	0.0	3.538532D+02	0.0	0.0
93	G	0.0	0.0	0.0	0.0	4.090393D+03	0.0
94	G	0.0	0.0	0.0	-7.224421D+02	0.0	0.0
112	G	0.0	0.0	0.0	0.0	3.785059D+03	0.0
113	G	0.0	0.0	0.0	-1.886870D+03	0.0	0.0
131	G	0.0	0.0	0.0	0.0	3.499099D+03	0.0
132	G	0.0	0.0	0.0	-3.089193D+03	0.0	0.0
150	G	0.0	0.0	0.0	0.0	3.240224D+03	0.0
151	G	0.0	0.0	0.0	-4.262397D+03	0.0	0.0
169	G	0.0	0.0	0.0	0.0	3.002425D+03	0.0
170	G	0.0	0.0	0.0	-5.475598D+03	0.0	0.0
188	G	0.0	0.0	0.0	0.0	2.781011D+03	0.0
189	G	0.0	0.0	0.0	-6.548767D+03	0.0	0.0
207	G	0.0	0.0	0.0	0.0	2.566417D+03	0.0
208	G	0.0	0.0	0.0	-6.917089D+03	0.0	0.0
226	G	0.0	0.0	0.0	0.0	2.336290D+03	0.0
227	G	0.0	0.0	0.0	-1.006864D+04	0.0	0.0
245	G	0.0	0.0	0.0	0.0	3.250299D+03	0.0
246	G	0.0	0.0	-2.008876D+03	-1.177517D+04	0.0	0.0
247	G	0.0	0.0	2.177321D+03	0.0	0.0	0.0
248	G	0.0	0.0	7.397300D+02	0.0	0.0	0.0
249	G	0.0	0.0	-8.070897D+01	0.0	0.0	0.0
250	G	0.0	0.0	8.008834D+01	0.0	0.0	0.0
251	G	0.0	0.0	4.889813D+01	0.0	0.0	0.0
252	G	0.0	0.0	7.423326D+01	0.0	0.0	0.0
253	G	0.0	0.0	8.304099D+01	0.0	0.0	0.0
254	G	0.0	0.0	2.240915D+02	0.0	0.0	0.0
255	G	0.0	0.0	4.196959D+02	0.0	0.0	0.0
256	G	0.0	0.0	2.321747D+02	0.0	0.0	0.0
257	G	0.0	0.0	9.130469D+01	0.0	0.0	0.0
258	G	0.0	0.0	8.169080D+01	0.0	0.0	0.0
259	G	0.0	0.0	6.506706D+01	0.0	0.0	0.0
260	G	0.0	0.0	6.279624D+01	0.0	0.0	0.0
261	G	0.0	0.0	5.699352D+01	0.0	0.0	0.0
262	G	0.0	0.0	7.544524D+01	0.0	0.0	0.0
263	G	0.0	0.0	-1.719871D+01	0.0	0.0	0.0
264	G	0.0	0.0	9.409531D+01	0.0	4.117418D+03	0.0
POINT ID.	TYPE	T1	T2	T3	R1	R2	R3
265	G	0.0	0.0	0.0	-4.837453D+04	0.0	0.0

3.3.3 静的解析の要素応力リスト

静的解析の要素応力リストを示す。

表6　各要素応力リスト

F O R C E S　A N D　S T R E S S E S　I N　T R I A N G U L A R　E L E M E N T S　(T R I A E)

ELEMENT ID.	FIBER DISTANCE	FORCE.... STRESS...	MX NORMAL-X	MY NORMAL-Y	MXY SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR	MAX-SHEAR
1			-1.095334D+02	-4.969833D+01	9.849558D+00				
	-4.000000D+00		1.025922D+01	4.659218D+00	-9.233970D-01	-9.1107	1.041730D+01	-4.511138D+00	2.953083D+00
	4.000000D+00		-1.025922D+01	-4.659218D+00	9.233970D-01	80.8893	-4.511138D+00	-1.041730D+01	2.953083D+00
2			-1.066203D+02	-9.271236D+01	2.522556D+01				
	-4.000000D+00		9.995655D+00	8.691784D+00	2.364896D+00	-37.2940	1.179683D+01	6.890608D+00	2.453111D+00
	4.000000D+00		-9.995655D+00	-8.691784D+00	2.364896D+00	52.7060	-6.890608D+00	-1.179683D+01	2.453111D+00
3			-9.203284D+01	-1.037124D+02	2.048581D+01				
	-4.000000D+00		8.628079D+00	9.723034D+00	-1.920545D+00	-52.9555	1.117261D+01	-7.178503D+00	1.997054D+00
	4.000000D+00		-8.628079D+00	-9.723034D+00	1.920545D+00	37.0445	-7.178503D+00	-1.117261D+01	1.997054D+00
4			-7.397415D+01	-7.612320D+01	4.673529D+00				
	-4.000000D+00		6.935077D+00	7.136550D+00	-4.381433D-01	-51.4741	7.485388D+00	6.586239D+00	-4.495747D-01
	4.000000D+00		-6.935077D+00	-7.136550D+00	4.381433D-01	38.5259	-6.586239D+00	-7.485388D+00	4.495747D-01
5			-5.826550D+01	-2.587067D+01	-9.847466D+00				
	-4.000000D+00		5.462391D+00	2.425375D+00	-9.231999D-01	15.6491	-5.721005D+00	-2.166761D+00	1.777122D+00
	4.000000D+00		-5.462391D+00	-2.425375D+00	-9.231999D-01	-74.3509	-2.166761D+00	-5.721005D+00	1.777122D+00
6			-4.949641D+01	-2.261874D+01	-1.405749D+00				
	-4.000000D+00		4.640289D+00	2.120507D+00	1.317890D-01	2.9858	4.647163D+00	2.113633D+00	1.266765D+00
	4.000000D+00		-4.640289D+00	-2.120507D+00	-1.317890D-01	-87.0142	-2.113633D+00	-4.647163D+00	1.266765D+00

F O R C E S　A N D　S T R E S S E S　I N　Q U A D R I L A T E R A L　E L E M E N T S　(Q U A D E)

ELEMENT ID.	FIBER DISTANCE	FORCE.... STRESS...	MX NORMAL-X	MY NORMAL-Y	MXY SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR	MAX-SHEAR
11			-1.098439D+02	-1.978347D+01	4.645514D+00				
	-4.000000D+00		1.029787D+01	1.854701D+00	-4.355170D-01	-2.9450	1.032027D+01	-1.832295D+00	4.243988D+00
	4.000000D+00		-1.029787D+01	-1.854701D+00	4.355170D-01	87.0550	-1.832295D+00	-1.032027D+01	4.243988D+00
12			-1.312293D+02	-1.152988D+02	1.404172D+01				
	-4.000000D+00		1.230275D+01	1.080926D+01	-1.316411D+00	30.2178	1.306946D+01	-1.004254D+01	1.513461D+00
	4.000000D+00		-1.230275D+01	-1.080926D+01	1.316411D+00	59.7822	-1.004254D+01	-1.306946D+01	1.513461D+00
13			-1.393720D+02	-1.662335D+02	2.566790D-01				
	-4.000000D+00		1.306612D+01	1.558439D+01	-2.405281D-02	-89.4526	1.558462D+01	-1.306589D+01	1.259365D+00
	4.000000D+00		-1.306612D+01	-1.558439D+01	2.405281D-02	0.5474	-1.306589D+01	-1.558462D+01	1.259365D+00
14			-1.398411D+02	-1.818321D+02	-2.605223D+01				
	-4.000000D+00		1.311011D+01	1.704676D+01	2.442396D+00	-64.4327	1.821525D+01	-1.194162D+01	3.136814D+00
	4.000000D+00		-1.311011D+01	-1.704676D+01	-2.442396D+00	-25.5673	-1.194162D+01	-1.821525D+01	3.136814D+00
15			-1.355166D+02	-1.554399D+02	-5.506771D+01				
	-4.000000D+00		1.270467D+01	1.457249D+01	5.162597D+00	50.1269	1.888497D+01	8.392193D+00	5.246390D+00
	4.000000D+00		-1.270467D+01	-1.457249D+01	-5.162597D+00	-39.3731	-8.392193D+00	-1.888497D+01	5.246390D+00
16			-8.369020D+01	-9.334676D+01	-9.438874D+01				
	-4.000000D+00		7.845957D+00	8.751259D+00	8.848945D+00	46.4642	1.715912D+01	-5.619066D-01	8.860514D+00
	4.000000D+00		-7.845957D+00	-8.751259D+00	-8.848945D+00	-43.5358	5.619066D-01	-1.715912D+01	8.860514D+00
17			-1.095495D+02	-5.681510D+01	-5.084341D+00				
	-4.000000D+00		1.027027D+01	5.326416D+00	4.766569D-01	5.4571	1.031581D+01	5.280879D+00	2.517463D+00
	4.000000D+00		-1.027027D+01	-5.326416D+00	-4.766569D-01	-84.5429	-5.280879D+00	-1.031581D+01	2.517463D+00
18			-1.444486D+02	-1.396937D+02	-1.209702D+01				
	-4.000000D+00		1.354205D+01	1.309628D+01	1.134095D+00	-39.4406	1.447496D+01	1.216338D+01	1.155790D+00
	4.000000D+00		-1.354205D+01	-1.309628D+01	-1.134095D+00	-50.5594	-1.216338D+01	-1.447496D+01	1.155790D+00
19			-1.669349D+02	-1.734995D+02	-1.574406D+00				
	-4.000000D+00		1.565015D+01	1.626558D+01	1.476005D-01	77.1873	1.629915D+01	1.561658D+01	3.412846D-01
	4.000000D+00		-1.565015D+01	-1.626558D+01	-1.476005D-01	-12.8127	-1.561658D+01	-1.629915D+01	3.412846D-01
20			-1.657184D+02	-1.782153D+02	9.423627D+00				
	-4.000000D+00		1.553610D+01	1.670769D+01	-8.834650D-01	-61.7734	1.718192D+01	-1.506186D+01	1.060030D+00
	4.000000D+00		-1.553610D+01	-1.670769D+01	8.834650D-01	28.2266	-1.506186D+01	-1.718192D+01	1.060030D+00
21			-1.500439D+02	-1.581154D+02	6.140759D+00				
	-4.000000D+00		1.406662D+01	1.482332D+01	-5.756962D-01	-61.6566	1.513387D+01	-1.375607D+01	6.888955D-01
	4.000000D+00		-1.406662D+01	-1.482332D+01	5.756962D-01	28.3434	-1.375607D+01	-1.513387D+01	6.888955D-01
22			-4.961208D+01	-9.962641D+01	-1.796605D+02				
	-4.000000D+00		4.651133D+00	9.339976D+00	1.684317D+01	48.9621	2.400111D+01	-1.001000D+01	1.700555D+01
	4.000000D+00		-4.651133D+00	-9.339976D+00	-1.684317D+01	-41.0379	1.001000D+01	-2.400111D+01	1.700555D+01

表6 （つづき）

FORCES AND STRESSES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUAD8)

ELEMENT ID.	FIBER DISTANCE	FORCE.... STRESS...	MX NORMAL-X	MY NORMAL-Y	MXY SHEAR-XY	ANGLE	MAJOR	MINOR	MAX-SHEAR
227			-3.3284140D+01	-2.849575D+02	-4.293994D+01				
	-5.000000D+00		1.997049D+00	1.709745D+01	2.576397D+00	80.5793	1.752493D+01	1.569571D+00	7.977679D+00
	5.000000D+00		-1.997049D+00	-1.709745D+01	-2.576397D+00	-9.4207	-1.569571D+00	-1.752493D+01	7.977679D+00
228			-2.0897240D+01	-2.945500D+02	-5.625687D+01				
	-5.000000D+00		1.253834D+00	1.767300D+01	3.375412D+00	78.8249	1.833983D+01	5.870071D-01	8.876411D+00
	5.000000D+00		-1.253834D+00	-1.767300D+01	-3.375412D+00	-11.1751	-5.870071D-01	-1.833983D+01	8.876411D+00
229			-8.759982D+00	-3.271799D+02	-3.525859D+01				
	-5.000000D+00		5.255989D-01	1.963079D+01	2.115516D+00	83.7564	1.986224D+01	2.941520D-01	9.784044D+00
	5.000000D+00		-5.255989D-01	-1.963079D+01	-2.115516D+00	-6.2436	-2.941520D-01	-1.986224D+01	9.784044D+00
230			-1.442278D+01	-3.205489D+02	5.643659D+01				
	-5.000000D+00		8.653667D-01	1.923293D+01	-3.386196D+00	-79.8802	1.983732D+01	2.609838D-01	9.788167D+00
	5.000000D+00		-8.653667D-01	-1.923293D+01	3.386196D+00	10.1198	-2.609838D-01	-1.983732D+01	9.788167D+00
231			-2.589135D+01	-2.847823D+02	7.835212D+01				
	-5.000000D+00		1.553481D+00	1.708694D+01	-4.701127D+00	74.4069	1.839890D+01	2.415162D-01	9.078693D+00
	5.000000D+00		-1.553481D+00	-1.708694D+01	4.701127D+00	15.5931	-2.415162D-01	-1.839890D+01	9.078693D+00
232			-3.286024D+01	-2.772665D+02	7.073713D+01				
	-5.000000D+00		1.971614D+00	1.663599D+01	-4.244228D+00	-74.9678	1.777578D+01	8.318220D-01	8.471981D+00
	5.000000D+00		-1.971614D+00	-1.663599D+01	4.244228D+00	15.0322	-8.318220D-01	-1.777578D+01	8.471981D+00
233			-3.031667D+01	-2.704368D+02	5.880702D+01				
	-5.000000D+00		1.819000D+00	1.622621D+01	-3.528421D+00	-76.9519	1.704393D+01	1.001278D+00	8.021324D+00
	5.000000D+00		-1.819000D+00	-1.622621D+01	3.528421D+00	13.0481	-1.001278D+00	-1.704393D+01	8.021324D+00
234			-2.552628D+01	-2.671841D+02	4.596100D+01				
	-5.000000D+00		1.531577D+00	1.603105D+01	-2.757660D+00	-79.5871	1.653781D+01	1.024808D+00	7.756503D+00
	5.000000D+00		-1.531577D+00	-1.603105D+01	2.757660D+00	10.4129	-1.024808D+00	-1.653781D+01	7.756503D+00
235			-2.088689D+01	-2.654509D+02	3.518432D+01				
	-5.000000D+00		1.253214D+00	1.592706D+01	-2.111059D+00	-81.9739	1.622473D+01	9.555435D-01	7.634591D+00
	5.000000D+00		-1.253214D+00	-1.592706D+01	2.111059D+00	8.0261	-9.555435D-01	-1.622473D+01	7.634591D+00
236			-1.754843D+01	-2.642117D+02	2.629419D+01				
	-5.000000D+00		1.052906D+00	1.585270D+01	-1.577652D+00	-83.9824	1.601901D+01	8.865975D-01	7.566206D+00
	5.000000D+00		-1.052906D+00	-1.585270D+01	1.577652D+00	6.0176	-8.865975D-01	-1.601901D+01	7.566206D+00
237			-1.741409D+01	-2.682491D+02	2.401066D+01				
	-5.000000D+00		1.044845D+00	1.609494D+01	-1.440639D+00	-84.5811	1.623161D+01	9.081839D-01	7.661711D+00
	5.000000D+00		-1.044845D+00	-1.609494D+01	1.440639D+00	5.4189	-9.081839D-01	-1.623161D+01	7.661711D+00
238			-6.770614D+00	-2.584726D+02	1.866321D+01				
	-5.000000D+00		4.062368D-01	1.550836D+01	-1.119792D+00	-85.7824	1.559094D+01	3.236580D-01	7.633639D+00
	5.000000D+00		-4.062368D-01	-1.550836D+01	1.119792D+00	4.2176	-3.236580D-01	-1.559094D+01	7.633639D+00

出力リストの説明

ELEMENT ID.：要素番号

FIBER DISTANCE：応力計算変位

MX, MY, MZ：X, Y, Z方向のモーメント

NORMAL—X：X軸の応力

MXY：XY方向のモーメント

SHEAR—XY：XYのせん断応力

ANGLE：最大主応力のX軸となす角度

MAJOR：最大主応力

MINOR：最小主応力

MAX—SHEAR：最大せん断応力

表6 （つづき）

F O R C E S A N D S T R E S S E S I N B A R E L E M E N T S (B A R)

ELEMENT ID.	STATION (PCT)	FORCE.... STRESS...	AXIAL AXIAL	SHEAR VY BENDING 1	SHEAR VZ BENDING 2	TORQUE BENDING 3	MOMENT MY BENDING 4	MOMENT MZ MAX	MIN
260	0.000		4.076350D+03	1.119466D-02	1.765747D+01	0.0	1.619111D+04	1.026500D+01	
			4.529277D+01	0.0	0.0	0.0	0.0	4.529277D+01	4.529277D+01
	1.000		4.076350D+03	1.119466D-02	1.765747D+01	0.0	1.592625D+04	1.009708D+01	
			4.529277D+01	0.0	0.0	0.0	0.0	4.529277D+01	4.529277D+01
261	0.000		3.975116D+03	2.411779D-01	3.804128D+02	0.0	1.851297D+04	1.173704D+01	
			4.416795D+01	0.0	0.0	0.0	0.0	4.416795D+01	4.416795D+01
	1.000		3.975116D+03	2.411779D-01	3.804128D+02	0.0	1.280677D+04	8.119368D+00	
			4.416795D+01	0.0	0.0	0.0	0.0	4.416795D+01	4.416795D+01
262	0.000		3.583930D+03	4.750119D-01	7.492419D+02	0.0	1.973812D+04	1.251377D+01	
			3.982145D+01	0.0	0.0	0.0	0.0	3.982145D+01	3.982145D+01
	1.000		3.583930D+03	4.750119D-01	7.492419D+02	0.0	8.499491D+03	5.388593D+00	
			3.982145D+01	0.0	0.0	0.0	0.0	3.982145D+01	3.982145D+01
263	0.000		3.000004D+03	6.030901D-01	9.512611D+02	0.0	1.895290D+04	1.201595D+01	
			3.333338D+01	0.0	0.0	0.0	0.0	3.333338D+01	3.333338D+01
	1.000		3.000004D+03	6.030901D-01	9.512611D+02	0.0	4.683985D+03	2.969600D+00	
			3.333338D+01	0.0	0.0	0.0	0.0	3.333338D+01	3.333338D+01
264	0.000		2.365910D+03	5.574335D-01	8.792464D+02	0.0	1.591479D+04	1.008982D+01	
			2.628789D+01	0.0	0.0	0.0	0.0	2.628789D+01	2.628789D+01
	1.000		2.365910D+03	5.574335D-01	8.792464D+02	0.0	2.726098D+03	1.728319D+00	
			2.628789D+01	0.0	0.0	0.0	0.0	2.628789D+01	2.628789D+01
265	0.000		1.824765D+03	3.898190D-01	6.148662D+02	0.0	1.180011D+04	7.481154D+00	
			2.027517D+01	0.0	0.0	0.0	0.0	2.027517D+01	2.027517D+01
	1.000		1.824765D+03	3.898190D-01	6.148662D+02	0.0	2.577120D+03	1.633869D+00	
			2.027517D+01	0.0	0.0	0.0	0.0	2.027517D+01	2.027517D+01
266	0.000		5.311857D+03	2.579838D-01	0.0	0.0	0.0	1.519173D+01	
			6.509630D+01	0.0	0.0	0.0	0.0	6.509630D+01	6.509630D+01
	1.000		5.311857D+03	2.579838D-01	0.0	0.0	0.0	1.132197D+01	
			6.509630D+01	0.0	0.0	0.0	0.0	6.509630D+01	6.509630D+01
267	0.000		3.100141D+03	5.256508D+00	0.0	0.0	0.0	4.716289D+01	
			4.235166D+01	0.0	0.0	0.0	0.0	4.235166D+01	4.235166D+01
	1.000		3.100141D+03	5.256508D+00	0.0	0.0	0.0	3.168474D+01	
			4.235166D+01	0.0	0.0	0.0	0.0	4.235166D+01	4.235166D+01
268	0.000		3.032263D+03	7.127431D+00	0.0	0.0	0.0	6.102718D+01	
			4.679420D+01	0.0	0.0	0.0	0.0	4.679420D+01	4.679420D+01
	1.000		3.032263D+03	7.127431D+00	0.0	0.0	0.0	4.588428D+01	
			4.679420D+01	0.0	0.0	0.0	0.0	4.679420D+01	4.679420D+01
269	0.000		2.857663D+03	6.071907D+00	0.0	0.0	0.0	5.267635D+01	
			5.066779D+01	0.0	0.0	0.0	0.0	5.066779D+01	5.066779D+01
	1.000		2.857663D+03	6.071907D+00	0.0	0.0	0.0	3.840226D+01	
			5.066779D+01	0.0	0.0	0.0	0.0	5.066779D+01	5.066779D+01

出力リストの説明

STATION（PCT）：梁のA端，B端

AXIAL：上段　軸力，下段　平均軸応力

SHEAR　VY：Y方向のせん断力

BENDING：曲げ応力

3.3.4　変形図

図７は解析結果をＦＥＭ／ＰＯＳＴを用いて変形量を図化処理したものである。

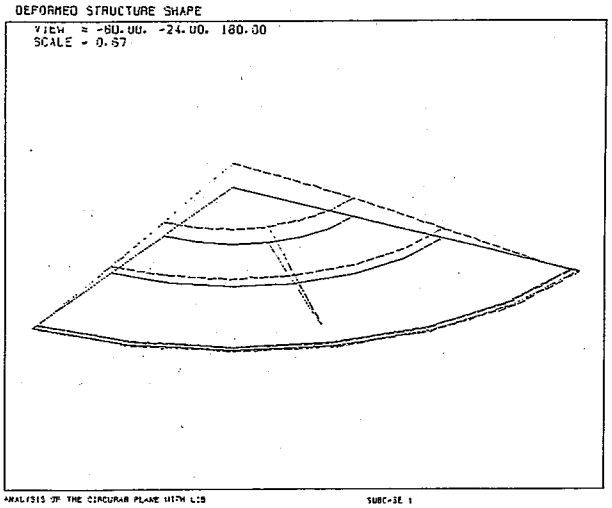


図７　変形図

図７で，破線は変形前，実線は変形後の形状を表わす。

3.3.5　実測値との比較

実物のマンホール蓋に６～８トンの荷重をかけ最大たわみを実測した。

ＦＥＭによる解析結果との比較を図８に示す。両者はよく一致し，本研究で行った構造のモデル化，要素分割法，及びプログラム化等が妥当であることを示している。

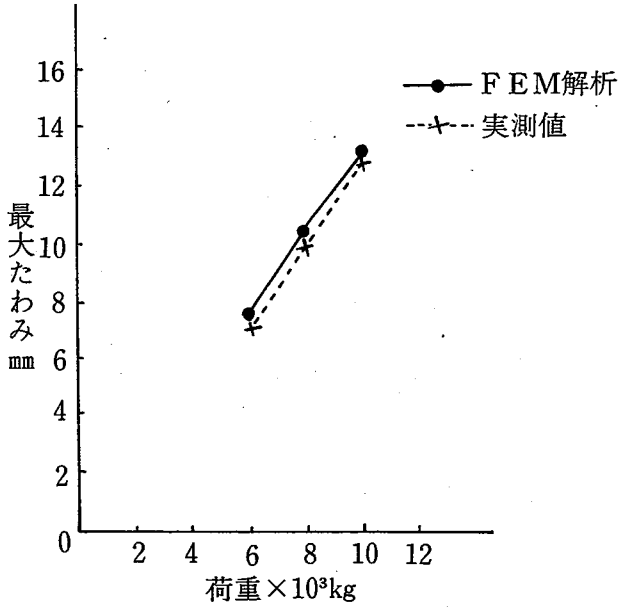


図８　解析結果と実測値との比較

４．あとがき

有限要素法により，複雑な形状を有するマンホール蓋の強度解析を実施した。

要素の選択及び要素分割はＦＥＭでの解析結果の精度を左右する。本研究では，要素分割などの妥当性を評価するために，円板の中央に集中荷重が作用している場合について，プログラムをチェックした。その結果，高精度で信頼性の高いＦＥＭ解析プログラムが構築できた。

解析結果は実測値ともよく一致した。本研究で作成したＦＥＭ解析プログラムは，マンホール蓋の板厚，補強リブの断面形状，補強リブの配置，および材質等をパラメータとして，マンホール蓋の最適設計を行なうためのツールとして利用できる。

参考文献

1) 川井忠彦　監修
有限要素法入門，オーム社
2) 富士通
構造設計のための有限要素の適用
3) 日本機械学会編
機械工学便覧　Ａ４材料力学　新版

付表１．梁の断面特性及び質量密度

要素番号	A(mm²)	I_1(mm⁴)	I_2(mm⁴)	P(kgf·s²/mm⁴)
260～265, 276～281	90	67.5	6750	0.717×10^{-9}
266, 282	81.6	61.2	—	
267, 283	73.2	54.9	—	
268, 284	64.8	48.6	—	
269, 285	56.4	42.3	—	
270, 286	47	36	—	
271, 287	39.6	29.7	—	0.717×10^{-9}
272, 288	31.2	23.4	—	
273, 289	22.8	17.1	—	
274, 290	14.4	10.8	—	
275, 291	6.0	4.5	—	
292	163.2	489.6	—	
293	146.4	439.2	—	
294	129.6	388.8	—	
295	111.8	338.4	—	
296	96	288	—	
297	79.2	237.6	—	
298	62.4	187.2	—	
299	45.6	136.8	—	
300	28.8	86.4	—	
301	28.8	86.4	—	
302～319	235.53	540	17664.75	
320～337	230.31	288	4913.152	
338～355	610.14	2166.67	34371.33	0.717×10^{-9}

```
¥   1  ¥¥   2  ¥¥   3  ¥¥   4  ¥¥   5  ¥¥   6  ¥¥   7  ¥¥   8  ¥¥   9  ¥
ID      MAK-600B
TITLE   ANALYSIS OF THE CIRCURAR PLANE WITH LIB.
SOL     0
SAVE    70
BEGIN   BULK
¥   1  ¥¥   2  ¥¥   3  ¥¥   4  ¥¥   5  ¥¥   6  ¥¥   7  ¥¥   8  ¥¥   9  ¥
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
¥¥¥     DEFINED AXIS OF COORDINATE    ¥¥¥
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
CORD2C  10              0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     10.0
+       15.0    0.0     15.0
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
¥¥¥   NODAL POINTS   ¥¥¥
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
GRID    1       10      0.0     0.0     0.0             12456
¥¥¥
GRID    2       10      15.0    0.0     0.0             126
/GENERG 8       1       0.0     15.0    0.0
/GENERG 30      7       15.0    0.0     0.0
¥¥¥
¥¥¥
GRID    37      10      90.0    0.0     0.0             126
/GENERG 55      1       0.0     5.0     0.0
/GENERG 227     19      15.0    0.0     0.0
¥¥¥
GRID    246     10      256.0   0.0     0.0             126
/GENERG 264     1       0.0     5.0     0.0
¥¥¥
GRID    265     10      269.0   0.0     0.0             126
/GENERG 283     1       0.0     5.0     0.0
GRID    300     10      300.0   90.0    0.0             123456
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
¥¥¥  DEFINED ELEMENTS   ¥¥¥
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
¥   1  ¥¥   2  ¥¥   3  ¥¥   4  ¥¥   5  ¥¥   6  ¥¥   7  ¥¥   8  ¥¥   9  ¥
¥¥¥   TRIANGULAR ELEMENT   ¥¥¥
CTRIAE  1       111     1       2       3
CTRIAE  2       111     1       3       4
CTRIAE  3       111     1       4       5
CTRIAE  4       111     1       5       6
CTRIAE  5       111     1       6       7
CTRIAE  6       111     1       7       8
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
PTRIAE  111     888     8.0     8.0
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
¥¥¥
¥¥¥   SQUARE ELEMENT   ¥¥¥
CQUADE  11      333     2       9       10      3
/GENERE 16      1       1
/GENERE 29      6       7
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
CQUADE  35      333     30      37      40      31
CQUADE  36      333     31      40      43      32
CQUADE  37      333     32      43      46      33
CQUADE  38      333     33      46      49      34
CQUADE  39      333     34      49      52      35
CQUADE  40      333     35      52      55      36
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
CQUADE  41      333     37      56      57      38
/GENERE 58      1       1
/GENERE 203     18      19
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
PQUADE  333     888     8.0     8.0
```

```
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
CQUADE  221     343     227     246     247     228
/GENERE 238     1       1
/GENERE 239     18      19
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
PQUADE  343     888     10.0    10.0
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
¥¥¥   BEAM ELEMENT    ¥¥¥
¥   1  ¥¥   2  ¥¥   3  ¥¥   4  ¥¥    5 ¥¥   6  ¥¥    7 ¥¥   8  ¥¥   9  ¥
CBAR    260     707     1       2       300
+BC                                     -19.0                   -19.0
¥¥¥
CBAR    261     707     2       9       300
+BC                                     -19.0                   -19.0
/GENERE 265     1       7
¥¥¥
CBAR    276     707     1       8       300
+BC                                     -19.0                   -19.0
CBAR    277     707     8       15      300
+BC                                     -19.0                   -19.0
/GENERE 281     1       7
PBAR    707     888     90.0    67.57   6750.0
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
¥¥¥
CBAR    266     717     37      56      300
+BC                                     -17.6                   -17.6
CBAR    267     727     56      75      300
+BC                                     -16.2                   -16.2
CBAR    268     737     75      94      300
+BC                                     -14.8                   -14.8
CBAR    269     747     94      113     300
+BC                                     -13.4                   -13.4
CBAR    270     757     113     132     300
+BC                                     -12.0                   -12.0
CBAR    271     767     132     151     300
+BC                                     -10.6                   -10.6
CBAR    272     777     151     170     300
+BC                                     -9.4                    -9.4
CBAR    273     787     170     189     300
+BC                                     -7.80                   -7.80
CBAR    274     797     189     208     300
+BC                                     -6.40                   -6.40
CBAR    275     818     208     227     300
+BC                                     -5.0                    -5.0
¥¥¥

CBAR    282     717     55      74      300
+BC                                     -17.6                   -17.6
CBAR    283     727     56      75      300
+BC                                     -16.2                   -16.2
CBAR    284     737     75      94      300
+BC                                     -14.8                   -14.8
CBAR    285     747     94      113     300
+BC                                     -13.4                   -13.4
CBAR    286     757     113     132     300
+BC                                     -12.0                   -12.0
CBAR    287     767     132     151     300
+BC                                     -10.6                   -10.6
CBAR    288     777     151     170     300
+BC                                     -9.4                    -9.4
CBAR    289     787     170     189     300
+BC                                     -7.80                   -7.80
CBAR    290     797     189     208     300
+BC                                     -6.40                   -6.40
CBAR    291     818     208     227     300
+BC                                     -5.0                    -5.0
¥¥¥¥
```

```
PBAR     717      888      81.6     61.2
PBAR     727      888      73.2     54.9
PBAR     737      888      64.8     48.6
PBAR     747      888      56.4     42.3
PBAR     757      888      48.0     36.0
PBAR     767      888      39.6     29.7
PBAR     777      888      31.2     23.4
PBAR     787      888      22.8     17.1
PBAR     797      888      14.4     10.8
PBAR     818      888      6.00     4.50
¥¥¥
¥¥¥
CBAR     292      716      46       65       300
+BC                                           -17.6                                    -17.6
CBAR     293      726      65       84       300
+BC                                           -16.2                                    -16.2
CBAR     294      736      84       103      300
+BC                                           -14.8                                    -14.8
CBAR     295      746      103      122      300
+BC                                           -13.4                                    -13.4
CBAR     296      756      122      141      300
+BC                                           -12.0                                    -12.0
CBAR     297      766      141      160      300
+BC                                           -10.6                                    -10.6
CBAR     298      776      160      179      300
+BC                                           -9.4                                     -9.4
CBAR     299      786      179      198      300
+BC                                           -7.80                                    -7.80
CBAR     300      796      198      217      300
+BC                                           -6.40                                    -6.40
CBAR     301      816      217      236      300
+BC                                           -5.0                                     -5.0
¥¥¥¥
PBAR     716      888      163.2    489.6
PBAR     726      888      146.4    439.2

PBAR     736      888      129.6    388.8
PBAR     746      888      112.8    338.4
PBAR     756      888      96.00    288.0
PBAR     766      888      79.2     237.6
PBAR     776      888      62.4     187.2
PBAR     786      888      45.6     136.8
PBAR     796      888      28.8     86.4
PBAR     816      888      12.0     36.0
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
CBAR     302      828      37       38       300
+BC                                           -19.0                                    -19.0
/GENERE  319      1        1
PBAR     828      888      235.53   540.0    17664.75
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
CBAR     320      838      56       57       300
+BC                                           -12.0                                    -12.0
/GENERE  337      1        1
PBAR     838      888      230.31   288.0    4913.152
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
CBAR     338      848      265      266      300
+BC                                           -18.0                                    -18.0
PBAR     848      888      610.14   2166.66  34371.33
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
¥¥¥  MATERIAL CONSTANT  ¥¥¥
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
MAT1     888      0.75+4           0.20     0.717-9
¥   1  ¥¥  2  ¥¥  3  ¥¥  4  ¥¥  5  ¥¥  6  ¥¥  7  ¥¥  8  ¥¥  9  ¥
```

```
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
¥¥¥   CONSTRAIN   ¥¥¥
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
¥¥¥
SPC1            3       246     THRU    264
¥¥¥   X-AXIS CONSTRAIN   ¥¥¥
SPC1            4       2       9       16      23      30      37
+BC     56      75      94      113     132     151     170     189
+BC     208     227     246     265
¥¥¥   Y-AXIS CONSTRAIN   ¥¥¥
SPC1            5       8       15      22      29      36      55
+BC     74      93      112     131     150     169     188     207
+BC     226     245     264
¥¥¥
SPC1            12456   1
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
¥¥¥   LOAD DISTRIBUTION   ¥¥¥
¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥¥
FORCE   111     1       10      34.245          -1.0
FORCE   111     2       10      68.49           -1.0
FORCE   111     8       10      68.49           -1.0
FORCE   111     9       10      68.49           -1.0
FORCE   111     15      10      68.49           -1.0
FORCE   111     16      10      68.49           -1.0
FORCE   111     22      10      68.49           -1.0
FORCE   111     3       10      136.98          -1.0
/GENERL 4       1
FORCE   111     10      10      136.98          -1.0

/GENERL 4       1
FORCE   111     17      10      136.98          -1.0
/GENERL 4       1
LOAD    1       1.0     1.0     111
ENDDATA
```

大理石テーブルの強度評価に関する研究

西山修二，古谷　薫，上杉憲雄，横山武房

9）Research on strength evaluation of a marble table

Shuji NISHIYAMA
Kaoru FURUTANI
Norio UESUGI
Takefusa YOKOYAMA

本研究は3種の大理石について，実験的に強度を測定し，実測データをもとに，大理石で作られたテーブルの強度評価法の指針を示した。

まえがき

今日，大理石で作られた家具調度品の種類は多い。大理石で作られたテーブルなどは相当の重量となり，安全上からも強度評価をすることは重要である。本研究では3種の大理石について実験的及び理論的に強度評価について指針を示した。

1．大理石の仕様

本報で取り扱った大理石の仕様を表1に示す。

表1．大理石の仕様

名　称	比　重 (g/cm³)	圧縮強度 (kg/m²)	吸水率 (%)	備　考
AGIAS	2.827	985	0.62	
VITINAS	2.710	945	0.06	
IOANNINON	2.686	1541	0.29	

2．試験片による強度試験

解析に先立ち，角柱と正方形の試片により強度試験を行い，破壊荷重などを求めた。各々の試験後の写真を図3と図4に又試験設備を図5に示す。

2.1　角柱試片の場合

(1)　試験方法

JIS　R2213（1978）「耐火れんがの曲げ強さの試験方法」により，試片の試験を実施した。

(2)　試験結果

3種の大理石の試験結果を表2に示す。

表2．試片寸法と試験結果

名　称	試片寸法		破壊荷重 (kgf)	たわみ (mm)
	高　さ (mm)	幅 (mm)		
AGIAS	51.1	101.4	630	0.21
VITINAS	52.1	99.7	2270	0.18
IOANNINON	51.4	101.6	1610	0.11

(3)　曲げ強さ

JIS　R2213より曲げ強さは次式で算出する。

$$T_r=\frac{3wl}{2bd^2} \quad \cdots\cdots(1)$$

ここに

w：最大荷重（kgf）

l：支持用ロールの中心間の距離（cm）

b：試験片の幅（cm）

d：試験片の厚さ（cm）

式(1)に各値を代入して曲げ強さを算出すると表3のようになる。

表3．各試片の曲げの強さ

名　称	曲げ強さ (kg/cm²)
AGIAS	71.4
VITINAS	251.6
IOANNINON	179.9

2.2　正方形片の場合

(1)　試験方法

図1に示すように試片を4点支持し，中央に集中荷重をかける。

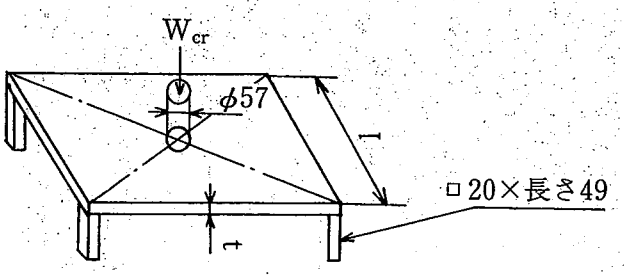


図1　試験方法

(2)　試片寸法と試験結果

正方形試片の場合の試験結果を表4に示す。

表4．試片寸法と試験結果

試片名	t (mm)	l (mm)	W_{cr} (kgf)	δ (mm)		備考
AGIAS	8.9	252	39	3.3		
VITINAS	9.0	250	110	0.4		
IOANNINON	8.8	250	82.5	0.5		1.2 破壊

t：厚さ(mm)　l：長さ(mm)
W_{cr}：破壊荷重(kgf)　δ：たわみ(mm)

(3)　破壊荷重の理論値

式(1)を適用して，正方形試片の破壊荷重を算出する。曲げ強さ，試片寸法は表3，表4の値を用いる。

式(1)より破壊荷重Wは

$$W=\frac{2bd^2T_r}{3l} \quad \cdots\cdots(1)'$$

となる。理論値と実験値を比較すると表5のようになる。

表5．理論値と実験値の比較

試片名	理論値 (kgf)	実験値 (kgf)	誤　差 (%)
AGIAS	37.6	39.0	3.5
VITINAS	135.8	110.0	23.5
IOANNINON	92.8	82.5	12.4

表5に示すように，30%以内の精度ならば正方形試片においても式(1)が適用できる。

3．テーブルの許容荷重

テーブル上における鉛直方向の許容荷重は次式で算出できる。

$$W_a=\left\{\frac{2bd^2T_r}{3l}-(\text{テーブル板の自重})\right\}\frac{1}{s} \quad \cdots\cdots(2)$$

ここに，

b：テーブル脚中心の長さ（mm）

d：テーブル板の厚さ（mm）

T_r：曲げ強さ（kg/cm²）

l：テーブル脚中心間の長さ（幅方向）（mm）

s：安全率

式(2)を用い，安全率を10として各形式について計算した結果を表6に示す。

表6．各種形式と許容荷重

品名・形式・寸法		許容荷重 (kgf)
AGIAS GB-31	W1200＊D1200＊H350 t48mm	90
AGIAS GB-51	W1300＊D1300＊H700 t48mm	87
AGIAS GB-41	W1300＊D1300＊H350 t48mm	87
VITINAS GB-32	W1200＊D1200＊H350 t48mm	367
AGIAS GB-1	W900＊D900＊H350 t28mm	31
IOANNINON GB-2	W900＊D900＊H350 t28mm	88
VITINAS GB-3	W900＊D900＊H350 t28mm	125

4．テーブル脚の強度

図2に示すような力Pが作用したとき，テーブル脚接合部には摩擦力に起因する曲げ応力が発生する。

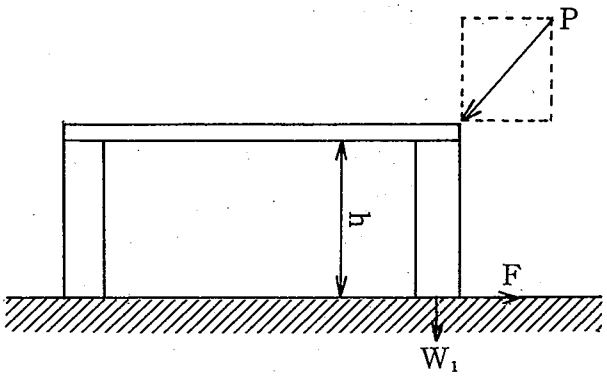


図２　作用する力

摩擦力は次式で算出できる。

$F = W_1\mu$，ここに

W_1＝脚１本の重量＋(テーブル板重量)/4

μ：静止摩擦係数

３種の大理石（AGIAS, VITINAS, IOANNINON）と床板間の静止摩擦係数は実測の結果0.4～0.6の範囲であった。

接合部でのモーメントが作用する方向の最小断面の形状は矩形で縦と横をそれぞれh，bとすると，接合部における曲げ応力は次式となる。

$\sigma = M / Z$

$Z = bh^2/6$（断面係数）

$M = Fh = W_1\mu \cdot h$（モーメント）

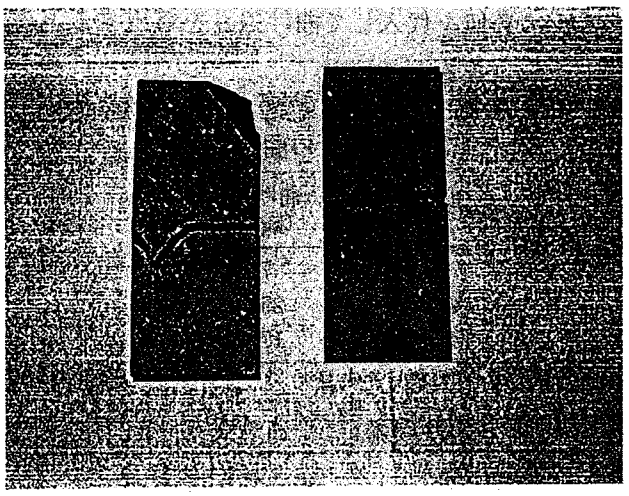
以上より，接合部が破壊する摩擦力は次式となる。

$$F = \sigma/h \cdot bh^2/6 \quad \cdots\cdots(3)$$

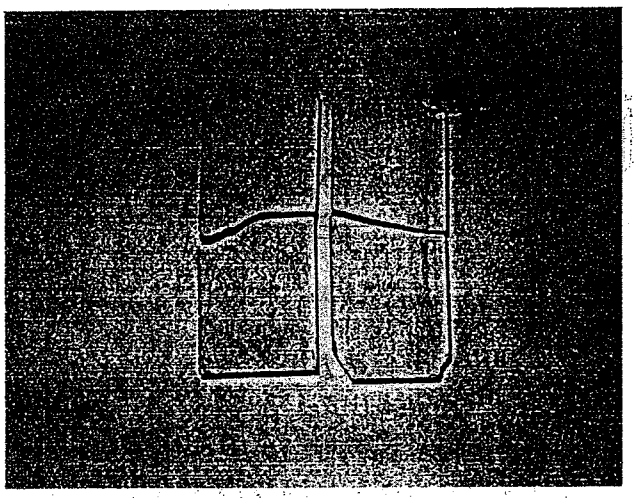
式(3)より算出した接合部が破壊する摩擦力Fと実際に作用する摩擦力F_aの計算結果を表７に示す。

表７．FとF_aの比較

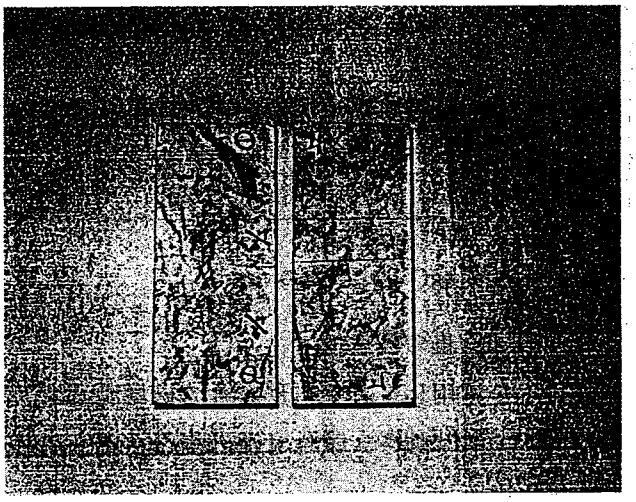
品名・形式・寸法		F (kgf)	F_a (kgf)
AGIAS GB-31	W1200＊D1200＊H350 t48㎜	174	40
AGIAS GB-51	W1300＊D1300＊H700 t48㎜	87	56
AGIAS GB-41	W1300＊D1300＊H350 t48㎜	174	45
VITINAS GB-32	W1200＊D1200＊H350 t48㎜	611	38
AGIAS GB-1	W900＊D900＊H350 t28㎜	174	20
IOANNINON GB-2	W900＊D900＊H350 t28㎜	437	19
VITINAS GB-3	W900＊D900＊H350 t28㎜	611	20



(a)　VITINAS

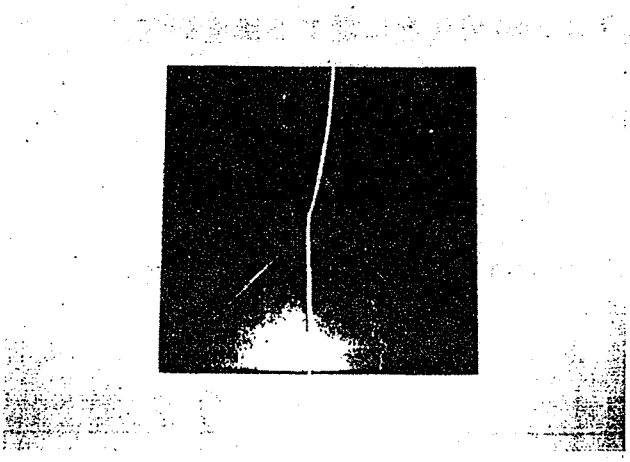


(b)　IOANNINON

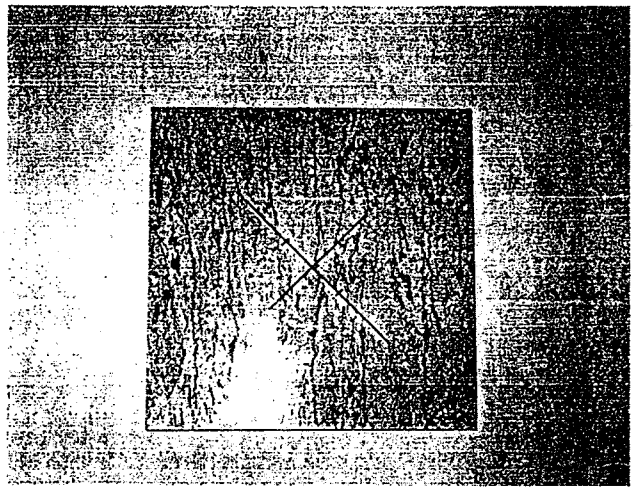


(c)　AGIAS

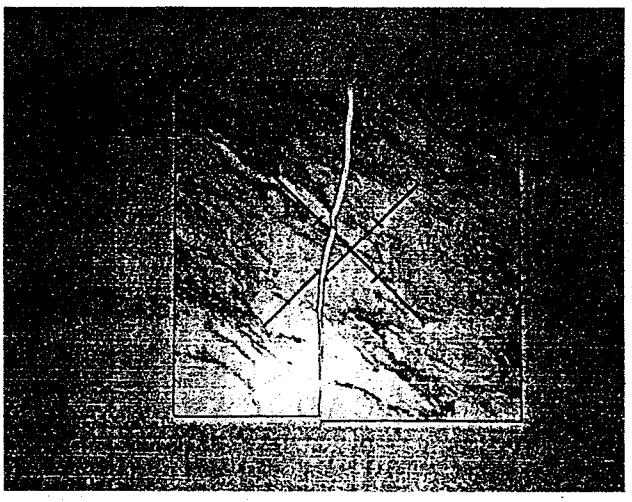
図３　角柱試片



(a) VITINAS

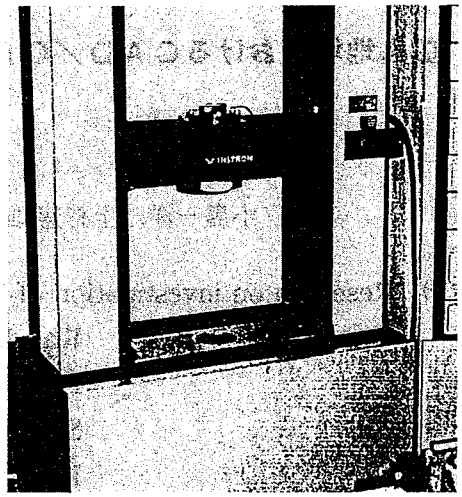


(b) IOANNINON

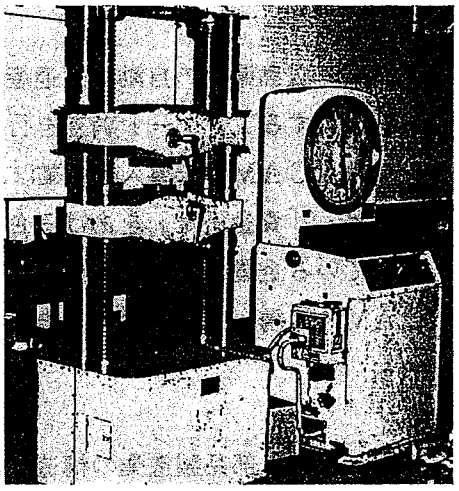


(c) AGIAS

図 4　正方形試片



引張試験機



引張試験機

図 5　試験機

5．考　察

今回の場合，試験片による強度試験では，角柱試片は 2 片，正方形試片は各 1 片で行った。

大理石等の材質はばらつきがおおく，多数の試片について試験を実施し，試験結果を統計的に評価する必要がある。今回程度の試験結果では一般性が乏しいといえる。

更に，大理石の材質は理論的に取り扱うには，かなり無理があると思われる。しかし，実際に製品を試作する場合の設計資料としては，本研究結果は参考になると思われる。

文　献

1) JIS　R2213
耐火れんがの曲げ強さの試験方法

広島地域におけるＣＡＤ／ＣＡＭシステムの利用状況に関する調査研究

小島一洋，上杉憲雄，西山修二，古谷　薫，横出武房

10) Research on investigation of CAD/CAM system utilized in Hiroshima area

Kazuhiro OJIMA
Norio UESUGI
Shuji NISHIYAMA
Kaoru FURUTANI
Takefusa YOKOYAMA

今回，広島県内の自動車関連産業を対象としてＣＡＤ／ＣＡＭシステムの利用状況に関するアンケート調査を行った。アンケートに回答のあった企業44社中でＣＡＤ／ＣＡＭを未導入の企業は24社（55%）であり，未導入の理由としては「人材不足」，「資金不足」をあげる企業が多かった。一方，ＣＡＤ／ＣＡＭを既に導入している企業は，20社（45%）であり，今後又は将来の課題として「ＣＡＤとＣＡＭの連携」，「加工手順・方案の自動化」をあげた企業が多かった。

１．まえがき

広島地方では，自動車部品製造業の構造改善診断の流れに沿って自動車工業を支える設備・治工具製造業について，その実態調査分析と今後の方向が検討されている。この動向を踏え，このたび広島市工業技術センターでは，ＣＡＤ／ＣＡＭシステムの導入状況等にスポットライトを当てたアンケート調査を行ったので報告する。

２．調査方法

広島県内のマツダ㈱の協力会社が組合員となっている東友会協同組合に所属する86社の企業にアンケート調査を依頼し，平成元年８月現在の利用状況について回答してもらった。その結果，86社中，44社から回答が寄せられ，回答率は51.2%であった。

３．調査結果

3.1　ＣＡＤ／ＣＡＭ未導入の企業

まず，ＣＡＤ／ＣＡＭシステムを未導入の企業についての調査結果について述べる。（アンケートに回答のあった企業44社中で未導入と回答した企業は24社であった。）

3.1.1　ＣＡＤ／ＣＡＭ未導入の理由

図１は，ＣＡＤ／ＣＡＭ未導入企業が，なぜＣＡＤ／ＣＡＭシステムを導入しないかその理由を示している。ＣＡＤ／ＣＡＭを未導入の企業中，11社（46%）が人材，６社（25%）が資金に問題があり，４社（17%）が技術ノウハウのレベル不足，５社（21%）が投資効果を検討中，５社（21%）が導入の必要がないという結果であった。アンケートの結果から見ると人材不足，資金不足が未導入の主因である。

また，図２－１はＣＡＤ／ＣＡＭ未導入企業，図２－２はＣＡＤ／ＣＡＭ導入企業の設計・製図の要員数を示す。設計・製図の要員数が10人以下の企業が，ＣＡＤ／ＣＡＭ未導入企業では19社（79%），ＣＡＤ／ＣＡＭ導入企業では13社（65%）で

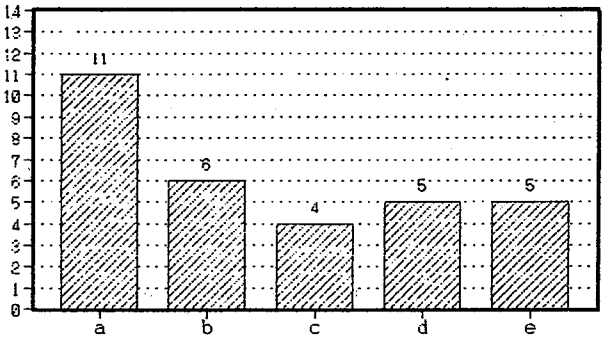


図１．ＣＡＤ/ＣＡＭ未導入の理由

ａ．人材不足	11社(46%)
ｂ．資金に問題あり	6社(25%)
ｃ．人材はいるが技術、ノウハウのレベル不足	4社(17%)
ｄ．投資効果を検討中	5社(21%)
ｅ．現在必要ない	5社(21%)

注：複数回答７社

あり，設計・製図の要員数の規模が小さいことのみがＣＡＤ／ＣＡＭの導入に直接影響を与えているとは言えないことが，この両図関連で分る。

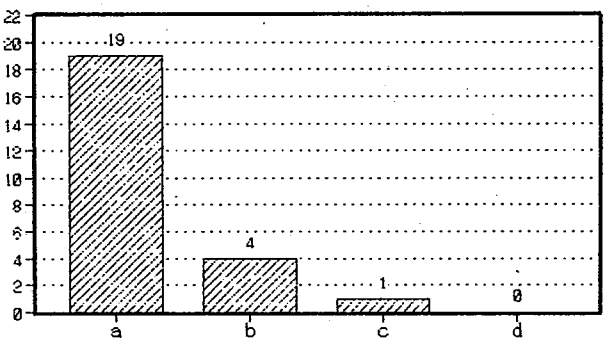


図2-1．ＣＡＤ/ＣＡＭ未導入企業における設計・整図の要員数

ａ．10人以下	19社(79%)
ｂ．11～20人	4社(17%)
ｃ．21～30人	1社(4%)
ｄ．31人以上	0社(0%)

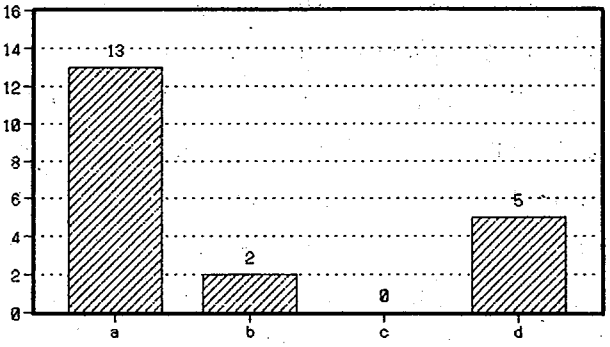


図2-2．CAD/CAM 導入企業における設計・製図の要員数

ａ．10人以下	13社(65%)
ｂ．11～20人	2社(10%)
ｃ．21～30人	0社(0%)
ｄ．31人以上	5社(25%)

3.1.2 ＣＡＤ／ＣＡＭ未導入企業の今後の導入計画

図３は，ＣＡＤ／ＣＡＭ未導入企業の今後のＣＡＤ／ＣＡＭ導入計画を示している。ＣＡＤ／ＣＡＭ未導入企業24社中，早急に導入したい企業が７社（29%），１年以内に導入したい企業が３社（13%），２～３年以内に導入したい企業が４社（17%），導入の予定なしが２社（８%），その他もしくは無回答が８社（33%）であった。調査結果によると，未導入企業の内で，59%の企業は３年以内にＣＡＤ／ＣＡＭの導入を予定しており，ＣＡＤ／ＣＡＭに対してかなり関心をもっていることが分る。

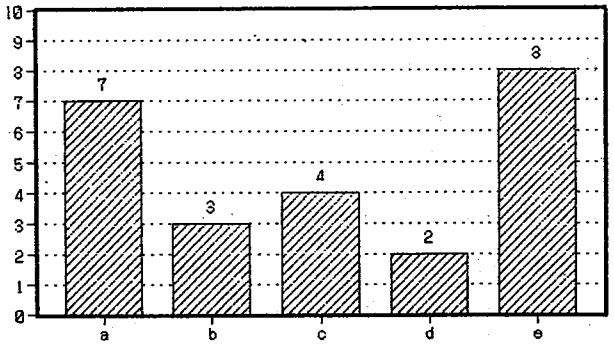


図３．CAD/CAM 未導入企業における今後の導入計画

ａ．早急に導入したい	7社(29%)
ｂ．１年以内に導入したい	3社(13%)
ｃ．２～３年以内に導入したい	4社(17%)
ｄ．導入の予定なし	2社(8%)
ｅ．その他	8社(33%)

3.1.3 ＣＡＤ／ＣＡＭ推進にあたり，組合若しくは公的機関に期待する事項

図４は，ＣＡＤ／ＣＡＭ未導入企業がＣＡＤ／ＣＡＭ推進にあたり組合（今回，調査を行った東友会協同組合）若しくは公的機関に期待する事項を示している。先づ14社（58%）が「特になし」と回答しているが，期待する事項がある企業10社（42%）の具体的事項は多岐に分散しており，他社システムとのインターフェース，導入の指導，ＣＡＤ導入による成功例・失敗例の紹介を求める企業が比較的多い。

ここに，図３と図４の相関関係についてブレークダウンして考察してみると次の様になる。

(1) 「早急に導入したい」と回答した企業では，期待事項として具体的なものはあがっていなかった。このことは問題解決を自助努力で展開中であると受けとめたい。なお，中には，他社とのインターフェース等の実務上の障壁に直面し，生産技術的にも，生産管理的にも１段階レベルの高い課題へ支援を求めている企業があったことが印象強かった。

(2) 「１年以内に導入したい」と回答した企業では，期待事項としてかなり具体的テーマがあがってきており，フロッピーディスクによる図面提供，技術交換会の開催，組合として組合員間の金型設計の標準化等の推進を期待していることが分った。

(3) 「２～３年以内に導入したい」と回答した企業では，期待事項としてあまり具体的なものはあがっておらず，ソフト・ハードの選定，導入効果，成功例・失敗例を踏まえての導入時における指導を期待する企業が多かった。

(4) 上記(1)～(3)以外の企業（導入予定なし・不明）と回答した企業においては，期待事項はほとんどあがっておらず，ＣＡＤ／ＣＡＭについてのオリエンテーションを求めている程度であった。

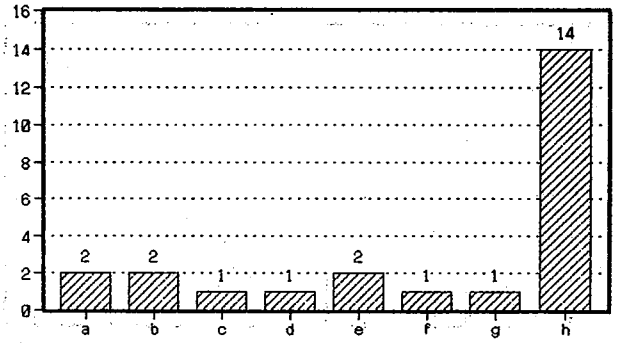


図４．組合若しくは公的機関に期待する事項（未導入企業）

a．他社システムとのインターフェース	2社
b．導入の指導	2社
c．金型設計の標準化推進	1社
d．導入効果が知りたい	1社
e．成功例・失敗例を知りたい	2社
f．技術教育を受けたい	1社
g．技術交流会をひらいて欲しい	1社
h．特になし	14社

3.2 ＣＡＤ／ＣＡＭ導入済の企業

次に，ＣＡＤ／ＣＡＭシステムを既に導入している企業についての調査結果を述べる。アンケートに回答のあった44社中で既に導入していると回答した企業は20社であった。

3.2.1 ＣＡＤ／ＣＡＭ導入企業の現在又は将来の課題

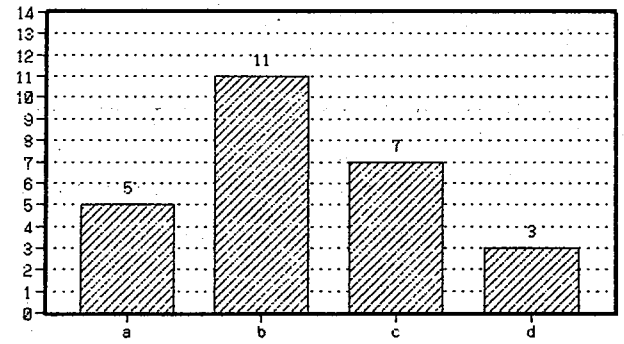


図５．現在又は将来の課題（導入企業）

a．親会社との連携（CAD 情報）	5社（25%）
b．CAD と CAM の連携	11社（55%）
c．加工手順・方案の自動化	7社（35%）
d．その他（能力アップ）	3社（15%）

注：複数回答６社

図5は，ＣＡＤ／ＣＡＭ導入企業の現在又は将来の課題を示したものである。「ＣＡＤとＣＡＭの連携」をあげている企業が11社（55%）と最も多い。次に「加工手順・方案の自動化」が7社（35%），「親会社とのＣＡＤ／ＣＡＭ情報の連携」が5社（25%）の順になっている。

3.2.2　ＣＡＤ／ＣＡＭ推進にあたり組合若しくは公的機関に期待する事項

図6は，ＣＡＤ／ＣＡＭ導入企業がＣＡＤ／ＣＡＭ推進にあたり，組合（今回，調査を行った東友会協同組合）若しくは公的機関に期待する事項を示している。先づ10社（50%）が「特になし」と回答しているが，期待する事項がある企業残り10社（50%）の具体的事項は未導入企業と同様に多岐に分散しており，システムの共同利用，他社とのインターフェースについての指導，情報提供，技術教育の順になっている。

ここで，図5と図6の相関関係についてブレークダウンして考察してみると次の様になる。

(1) 現在又は将来の課題として「ＣＡＤとＣＡＭの連携」の設問肢を選択した企業では，他のシステムとのインターフェース，ハード・ソフトの共同購入・共同利用，新技術・新製品等の情報入手といった課題に対する指導，技術交流会，研修会，研究会の企画・実施推進を望んでいた。

(2) 「加工手順・方案の自動化」の設問肢を選択した企業では，「ＣＡＤとＣＡＭの連携」の設問肢を選択した企業とほぼ同じ内容を期待事項としてあげていた。

(3) 「親会社との連携」の設問肢を選択した企業も又「ＣＡＤとＣＡＭの連携」の設問肢を選択した企業とほぼ同じ内容を期待事項としてあげていたが，入出力データ（図形データ，ＮＣデータ）の他社とのやりとりを行うための調査推進を望んでいる企業があり，高度の生産システムを構築しようと意欲を燃やしている姿がうかがえた。

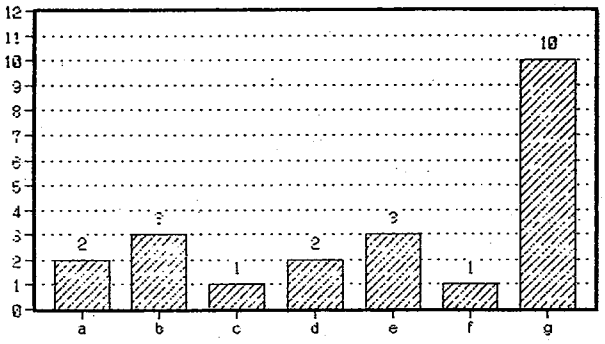


図6．組合若しくは公的機関に期待する事項(導入企業)

a．技術教育	2社
b．システムの共同利用	3社
c．CAD から CAM への連携指導	1社
d．情報提供	2社
e．他社システムとのインターフェース	3社
f．システム活用事例の紹介	1社
g．特になし	10社

4．まとめ

当広島市工業技術センターでは，例年ＣＡＤ／ＣＡＭ研修会を開催している。この研修会は，昭和63年度より開催されており第2回目の平成元年度は「2～3年のＣＡＤ／ＣＡＭ実務経験者」を対象として会合数11回で実施した。また本研修会と密接なつながりを持つ生産管理・技術研究会（ＣＩＭの構築について）についても合せて実施した。今回の調査結果は，我々センターの平成2年度以降の諸事業の企画に様々の有益な手がかりを求めることができた。

また今回の調査は，自動車関連産業に限定して行ったものである。今後は，木材・木製品製造業，家具・装備品製造業，金属製品製造業など業種別調査を展開し，広島市を中心とする地場産業の活路を開拓する手がかりを探し，地場産業を甦えさせる努力を継続する必要性を痛感した。

更に，「ＣＡＤ／ＣＡＭシステムの利用状況」の切口からの調査であったが，企業の抱えている課題には，「人材育成」，「資金確保」，「技術情報交流」等の企業経営上の根本的課題が抽出されており，

我々工業技術センターの力のみでは，効果的打手とはならない課題もあり，例えば，広島市経済局の機構の中で，中小企業対策として経営改善面・公的融資面から施策を実施している機関（広島市中小企業指導センター）等とスクラムを組んで総合的対策を推進して行くことが，より大切であり，またこの総合的課題については，組合等ともよく相談の上で有効な相乗効果が出てくるような対策を実施して行くことと致したい。

終わりに，本調査研究を進めるにあたり，多大なる御尽力を頂いた東友会協同組合に感謝の意を表したい。

広島市工業技術センター研究報告

REPORTS

of

HIROSHIMA MUNICIPAL INDUSTRIAL
TECHNOLOGY CENTER

第三巻

(Vol. 3)

1990

広島市工業技術センター

目　　次

ファインセラミックスの製造に関する研究(II)

山口研二，山田　洋，福原啓聡，木下利徳，奥村逸男，隠岐貴史

Studies on producing of fine ceramics

Kenji YAMAGUCHI
Hiroshi YAMADA
Keisou FUKUHARA
Toshinori KINOSHITA
Ituo OKUMURA
Takashi OKI

本研究は，エンジニアリングセラミックスとして汎用されているアルミナセラミックスの製造技術について調査研究を行ったものである。既報[1]によってアルミナセラミックスの耐摩耗性試験を行ったところ，耐摩耗性能の向上要因として粒子の硬さ，粒子の大きさおよび焼結温度等が考えられた。したがって，アルミナ原料に，シリカ，マグネシアおよびチタニアを添加し，これら添加元素による効果を相対密度，焼結温度，硬さ試験の圧痕のSEM観察等によって評価し，耐摩耗セラミックスへの適応性を検討した。

1. 諸　言

既報[1]によってアルミナセラミックスの耐摩耗性を向上するためには，耐摩耗性セラミックスの粒子の硬さ，粒子径の大きさ，靱性を賦与する元素の添加等を検討する必要性が示唆された。したがって，アルミナ原料にシリカ，マグネシアおよびチタニアを添加し，その挙動の検討を行った。

セラミックスの摩耗のされ方には，(1)面と面が摺動する場合，(2)砥粒が表面を流動したり，高速で衝突する場合等，それぞれの使用環境によって異なっている。試作した[1]アルミナノズルは，(2)の使用環境に属するものであり，その耐摩耗セラミックスの特性は，構成する粒子の硬さに依存して発揮されるといわれている[2]。しかし，アルミナノズルのようなアブレッシブ摩耗は，耐摩耗性要因として硬さのほか，粒子の大きさの制御[3]，添加元素による靱性賦与の必要性があるようである。

これは，アルミナノズルの摩耗試験結果[1]から推定された。したがって，シリカ，マグネシアおよびチタニアを二種以上添加し，その挙動をかさ密度，硬さ，硬さ試験圧痕の形状をSEM観察等によって評価し耐摩耗セラミックスへの適応性を検討した。

2. 実験方法

2.1　実験装置および使用機材

既報[1]のとおりである。

2.2　使用原料

使用したアルミナ原料は，アルミナ純度99.9%平均粒径(0.4μ)のAES-12（S社製）を，またシリカ，マグネシアおよびチタニア（オルトチタン酸イソプロピル）は，市販特級試薬を用いた。

2.3　顆粒の製造

アルミナ顆粒（A配合とする），アルミナにシリカ6 wt %，マグネシア2 wt %を配合した顆粒（B

配合とする)，アルミナにシリカ5wt%，マグネシア1.5wt%，チタニア1.5wt%を配合した顆粒（C配合とする）の3種類を製造した。この配合は，市販の耐摩耗アルミナセラミックスのアルミナ純度が92%であることを参考とした。

2.4　ラバープレス成形

製造した3種類の顆粒をゴム型を用いてラバープレス成形圧力100Mpa～400Mpaの4段階に加圧成形してϕ14×長さ55mmの試験片を作製した。

3. 成形体の焼結

焼結は，高速昇温電気炉を使用して大気中で行った。焼結スケジュールは，既報[1]のとおり行ったが，1450～1650℃における焼結特性の評価に用いる試験片の成形圧力は，400Mpaとした。

4. 実験結果および考察

4.1　ラバープレス成形体の評価

ラバープレス成形圧力と相対密度との関係を図1に示す。A，B，C配合の3種類の顆粒は，成形圧力の増加にともなって相対密度が上昇しており，いづれも同様な傾向が見うけられた。とくにB，C配合は，200Mpaから300Mpaの相対密度変化が顕著であった。これは，顆粒の流動性に起因しているものと思われる。

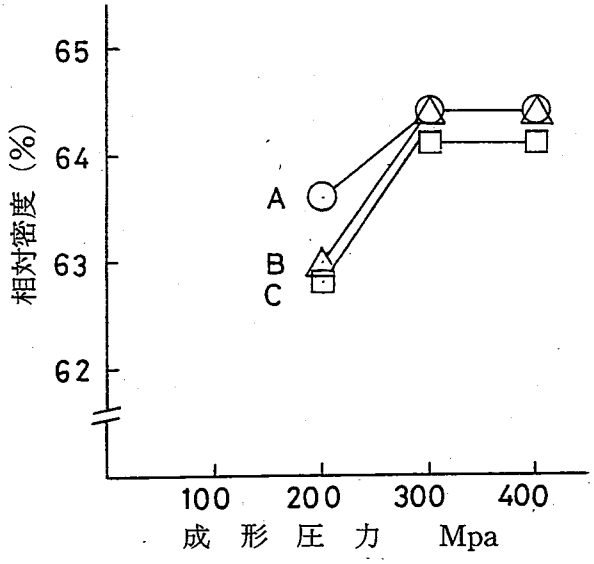


図-1　成形圧力と相対密度の関係

A：Al_2O_3,
B：SiO_2（6wt%）MgO（2wt%）添加
C：SiO_2（5wt%）MgO（1.5wt%）
TiO_2（1.5wt%）添加

4.2　焼結体の評価

焼結体の評価は，1450～1650℃で焼結した試験片を用いて相対密度を算出した。その結果を図2に示す。B，C配合の相対密度は，理論密度から

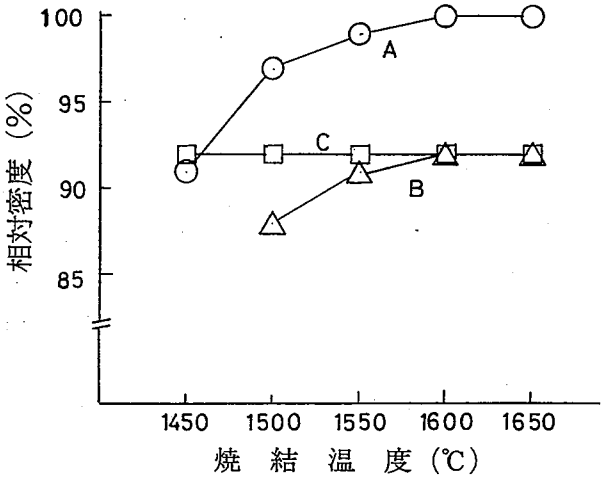


図-2　焼結温度とかさ密度の関係

A：Al_2O_3,
B：SiO_2（6wt%）MgO（2wt%）添加
C：SiO_2（5wt%）MgO（1.5wt%）
TiO_2（1.5wt%）添加

算出した。A配合は，1550℃でほぼ100%，B配合は，1600℃で92%，C配合は，1450℃で92%の相対密度が得られた。A配合は，平均粒径0.4μであり，易焼結性を有することが確認された。B配合は，1600℃付近に適性焼結温度が見い出せるものの相対密度が理論密度より低下している。シリカの分散状態をEPMAによって観察したところ，ほぼ均一に分布していることが確認された。A配合（1550℃）におけるSEM写真を図3に示す。一部粒成長が認められるものの2μ以下の粒子径が多いようである。B配合で相対密度の低い原因は，焼結温度および焼結時間の影響ではなく一部融解層（図4）が認められ，粒成長が抑制されていることから，シリカとアルミナの反応によってムライト層が析出[4]しているものと推定される。C配合は，チタニアの添加効果といえる焼結促進効果[5,6]が働いており，1450℃から一定の相対密度が得られた。これは，A配合に比べてほぼ150℃程度の焼結温度を低下させることが可能となった。一方，相対密度が理論密度に比べて低い原因は，B配合

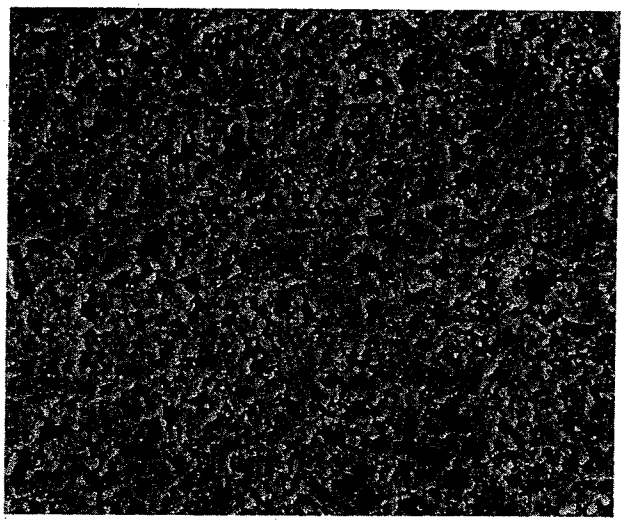


図3　A配合　焼結体（破面）
焼結温度1550℃　　×800

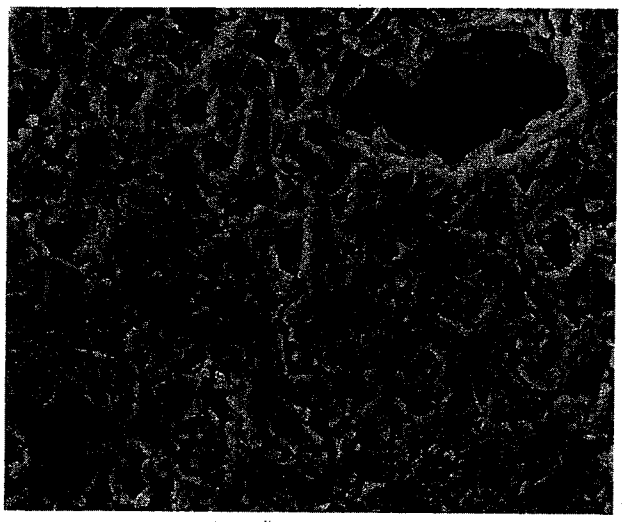


図4　B配合　焼結体（破面）
焼結温度1600℃　　×800

図5　C配合　焼結体（破面）
焼結温度1450℃　　×800

と共通と思われる。1450℃における焼結体破面のSEM写真を図5に示す。

4.3　機械的特性

市販の耐摩耗アルミナセラミックスのアルミナ含有率は，92%程度であり，配合した3種類を硬さ試験および圧痕の形状から，耐摩耗性[1]を類推した。市販のアルミナセラミックスは，添加粉体としてタルク，カオリン等の天然材料を加え，焼結性を上げているように思われる。硬さは，ビッカース硬さによって評価されているが，圧痕の測定が困難であったので，ロックウェル硬さ（H_{RA}）によって評価を試みた。図6に焼結温度と硬さの関係を示す。A配合は，焼結温度の上昇とともに硬

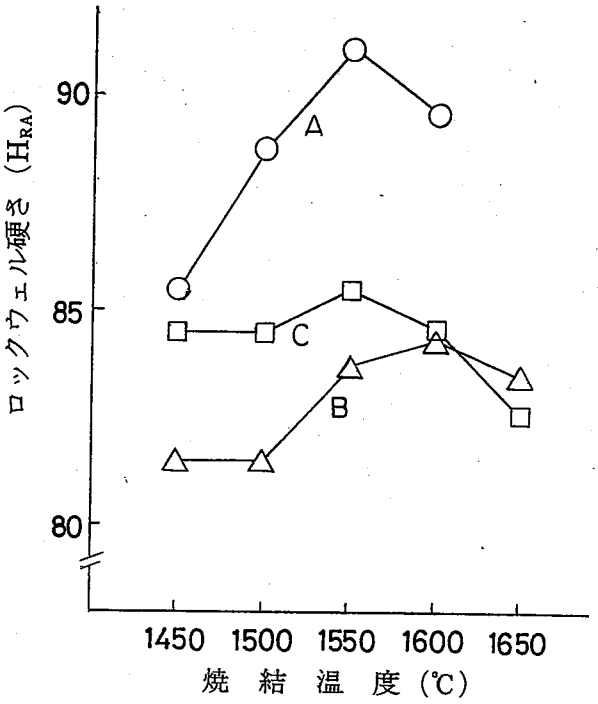


図-6　焼結温度と硬さの関係

A：Al_2O_3,
B：SiO_2（6wt%）MgO（2wt%）添加
C：SiO_2（5wt%）MgO（1.5wt%）
TiO_2（1.5wt%）添加

さを増しており，1550℃付近で最大となり，1600℃において粒成長[7,8]にともなって硬さが低下している。B配合は，1600℃付近で硬さが最大となり，それ以降は低下傾向が見られる。これは，図2の焼結温度と相対密度の関係とよく一致している。C配合は，1550℃で硬さが最大となっている。これは，1500℃以上で生成するAl_2TiO_5がα-Al_2O_3

と共存しており[5,6]，チタニアの添加量の増加によって α-Al_2O_3 の粒径が減少しているものと推定される。硬さ試験後のロックウェルダイヤモンド圧子による圧痕を SEM 写真として図７～図13に示す。図７の市販品は，一部クラックが認められるが圧子の形状を残存している。A配合の1550℃における圧痕は，クラックに沿って一部剥離して脱落がみられる。1650℃における圧痕は，縁の形状をとどめていない。B配合は，1600℃において比較的圧子の形状を反映している。C配合は，1450℃において圧子の形状を残存しているが，1600℃においては圧子の形状を残存していない。C配合の

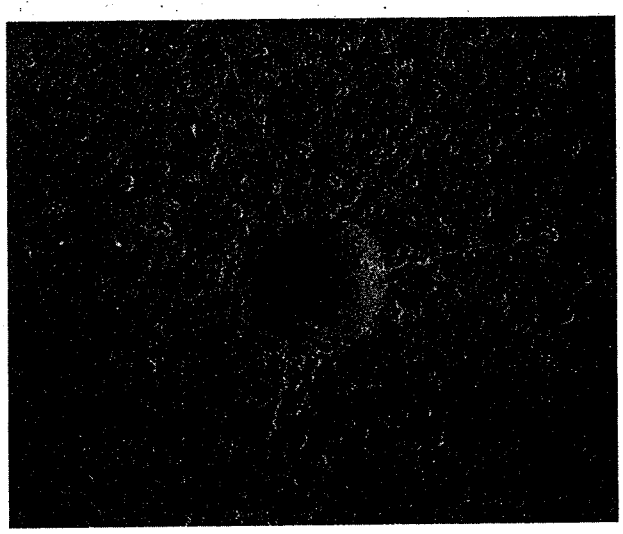


図７　市販品　圧痕　　×80

図８　A配合　圧痕　　×80
焼結温度1550℃

図９　A配合　圧痕　　×80
焼結温度1650℃

図10　B配合　圧痕　　×80
焼結温度1450℃

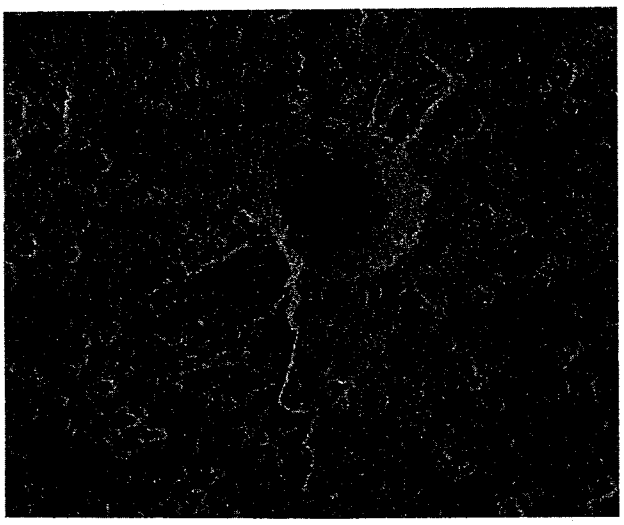


図11　B配合　圧痕　　×80
焼結温度1600℃

チタニアの添加は，焼結温度を低下させるが，焼結促進効果を有するため粒成長を起し，耐摩耗性を低下させる可能性がある。

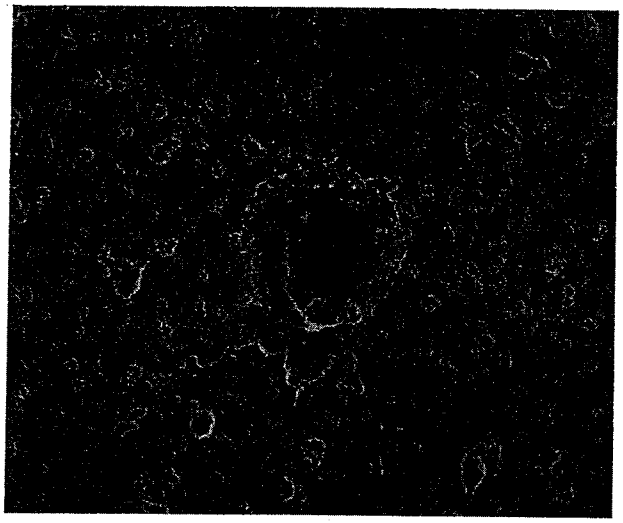


図12　C配合　圧痕　　×80
焼結温度1450℃

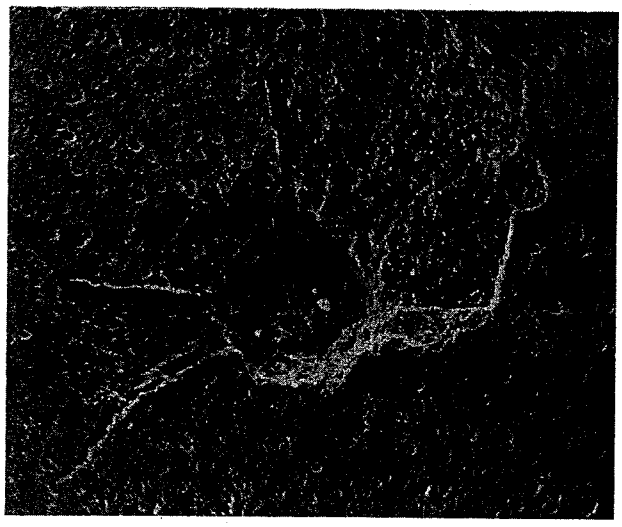


図13　C配合　圧痕　　×80
焼結温度1600℃

5. まとめ

アルミナセラミックスノズルのようなアブレッシブ（avrasive）摩耗環境で使用される耐摩耗性は，硬さだけでなく，粒子径等の大きさに依存すると思われる。

本研究は，既報[1]の摩耗試験結果から，ロックウェルダイヤモンド圧子の圧痕形状によって摩耗傾向を類推したものである。アルミナ原料に対するシリカ，マグネシア，チタニアの添加効果は，つぎのようであった。

1) 各適性焼結温度におけるロックウェル硬さは，A＞C＞Bの順であった。
2) B，C配合は，適性焼結温度において相対密度が理論密度に比べて低い傾向を示した。これは，アルミナ，シリカの反応によって一部ムライト結晶（比重3.05）が析出している。これはX線回析プロファイルから確認された。
3. チタニアの添加は，明らかに焼結温度を低下させることがわかった。

以上の結果から，市販品の圧痕形状を示したシリカを添加した系について，さらに検討を続行することとした。

6. 参考文献

1) 広島市工業技術センター研究報告(1990) Vol. 2
2) 井上良二：日立金属報 Vol.5，P59
3) 島井駿蔵：金属「耐摩耗セラミックスの動向」P 3，1989
4) 熊沢　猛：日本セラミックス協会学術論文誌 96〔1〕85，1988
5) 黄　啓祥：窯業協会誌，94，〔8〕，761，1986
6) 黄　啓祥：窯業協会誌，94，〔5〕，505，1986
7) 山田興一：セラミックス，22，〔1〕，15，1987
8) 素木洋一：ファインセラミックス；技報堂出版，389，1976

2-ヒドロキシ-1-ナフトアルデヒド-セミカルバゾンによるアルミニウムの蛍光定量
-炭酸カルシウムへの適用-

山口研二，奥村逸男，出口正一*，佐々木芳寿**，森重清利***

Fluorometric Determination of Alumenium with 2-Hydroxy-1-1-naphthaldehyde-semicarbazone ; Application to Calcium Carbonate

Kenji YAMAGUCHI
Ituo OKUMURA
Masakazu DEGUCHI
Yoshihisa SASAKI
Kiyotoshi MORISHIGE

2-ヒドロキシ-1-ナフトアルデヒド-セミカルバゾンによる微量アルミニウムの定量法を確立し，炭酸カルシウム中のアルミニウムの定量に応用した。アルミニウムとして5μg以下を含む試料溶液に0.05%の2-HNSのDMF溶液2mlを加え，更に10W/V%の酢酸アンモニウム溶液1mlを加える。この溶液を塩酸とアンモニア水を用いてpHを5.9±0.1に調製する。その後，水で最終溶液を25mlとする。30分後，標準キニーネ溶液（30，10，5μg/ml）を対象として，励起光405nmを用い，435nmでの螢光強度を測定する。アルミニウムは，0.005～5μg/mlの範囲で定量が可能である。アルミニウム4.0μgに対する5回測定により得られた相対標準偏差は0.5%であった。アルミニウム4.0μgに対する許容量は，Ca(II)，Mg(II)，Ba(II)，Sr(II)は1mgまで，Sc(III)は1μgの存在でも妨害した。本法は炭酸カルシウム中の0.2ppm以下のアルミニウムの定量に応用することが可能であった。

1．諸　言

芳香族シッフ塩基化合物である2-ヒドロキシ-1-ナフトアルデヒド-セミカルバゾン（2-HNSと略記）および1-ヒドロキシ-2-ナフトアルデヒド-セミカルバゾン（1-HNSと略記）はアルミニウム，カリウム，スカンジウム，イットリウムなどの蛍光定量試薬[1]として利用されている。しかし，アルミニウムの蛍光試薬としては，アルミニウム以外の金属錯体（Ga，Sc，Yなど）に対する蛍光強度が1-HNSより2-HNSの方が小さく，さらに，2-HNSの方がやや選択的であろうと考えられる。

そこで，2-HNSを用いるアルミニウムの定量法について，既報[1]に比べ低濃度の定量範囲（Al 0.005～5.0μg/25ml）を拡大し，さらに共存イオンの影響とその選択性を詳細にした。2-HNSを用いた実試料中のアルミニウムの定量法がこれまでに報告されていないこと，および確立した方法の実用性を確めることから，本法による炭酸カルシウム中の微量アルミニウムの定量を試みた。用いた実試料中の0.2～30μg/g程度のアルミニウムが数%の相対標準偏差で定量され，得られた定量法はJIS法によるものともほぼ一致する良好な結果を示した。

*広島大学工学部工業化学専攻　**広島ガス株式会社　***近畿大学理工学部

2．試薬および装置

2.1　試薬

アルミニウム標準溶液：金属アルミニウム（三津和化学薬品製99.99%）を塩酸（2＋1）に溶かしたのち，水で希釈し，1mg/1mlの1M塩酸溶液とした。使用の都度，さらに希釈し、適当濃度の0.1M塩酸溶液とした。

2-HNS溶液：既報[1]に準じて合成した2-HNSをN，N-ジメチルホルムアミド（DMF）に溶かして0.05%溶液とした。

キニーネ標準溶液：硫酸キニーネ（和光純率工業製）を0.05M硫酸に溶かして，5，10及び30μg/ml溶液を調製し，蛍光光度計のセッティングのために用いた。その他の試薬は，市販特級品を用いた。

2.2　装置

既報[1]のとおりの装置を用いた。

3．実験結果および考案

3.1　定量操作

アルミニウム5.0μg以下を含む試料溶液に0.05%2-HNS溶液2mlを加え，水で15mlとした後，10W/V%酢酸アンモニウム溶液1mlを加える。続いて，適量の希塩酸又は希アンモニア水を加え，最終溶液のpHが5.9±0.1になるよう調節し，水で全容を25mlとする。30分後，キニーネ標準溶液を対照とし，435nm（励起波長405nm）で蛍光強度を測定する。

3.2　蛍光波長と強度

3.1の操作を適用し，測定したアルミニウム錯体（Al 4.0μg）の励起（測定波長範囲370～420nm）および蛍光スペクトル（測定波長420～500nm）では，励起および蛍光極大波長は，それぞれ405および435nmであった。一方，アルミニウムを添加しない2-HNS溶液（試薬から試験液と略記）の上記測定波長範囲での蛍光強度は1目盛以内（キニーネ標準溶液（30μg/ml）の435nmでの蛍光強度（励起波長405nm）を蛍光光度計の10目盛に調製した場合）であった。したがって，以後の実験では蛍光強度の測定は，435nm（励起波長405nm）で行うこととした。

3.3　pHの影響

溶液のpHを3.0～8.0と変化させ，アルミニウム錯体の蛍光強度に及ぼす影響を検討した結果，pH 5.8～6.0で最大かつ一定値を示すことがわかった。一方，試薬から試験液の蛍光強度は，pH3.0～7.0でほぼ一定値を示すが，pH7.0以上では，蛍光強度は1目盛を越え増加が認められた。したがって，蛍光強度の測定はpH5.9±0.1で行うこととした。

3.4　試薬濃度の影響

アルミニウム4.0μgを含む試料溶液について2-HNS溶液の添加量を2mlと定め（最終溶液中のDMS濃度を一定に保つため），2-HNS濃度を種々に変化させ蛍光強度におよぼす影響を検討し，その結果をFig. 1に示す。2-HNS濃度が0.05%で最大蛍光強度を示し，それ以上の濃度では除々に減少する傾向を示した。したがって，添加する2-HNS濃度は0.05%，その量は，2mlとすることとした。これはAl 4.0μgに対し，モル比で約29倍量に相当する。なお，錯体組成については既報[1]のごとくAlと試薬のモル比が1：1であることが推定される。

3.5　酢酸アンモニウム濃度の影響

緩衝剤として添加する10W/V%酢酸アンモニウム溶液量を0.1～2mlと変化させた結果，0.7～1mlにおいて最大かつ一定値の蛍光強度が得られた。その添加量を1mlとした。

3.6　蛍光強度の経時変化

3.1の操作により生成するアルミニウム錯体の蛍光強度は操作後，直ちに最大値に達し，30分間まではやや不安定であった。なお24時間後における蛍光強度は当初のそれに対し，約6%の減少を示した。

3.7　検量線

3.1の操作を適用し，アルミニウムの濃度とその蛍光強度（試薬から試験値との差）の関係を求め，Fig 2に検量線（I，II，III）を示す。各検量線と

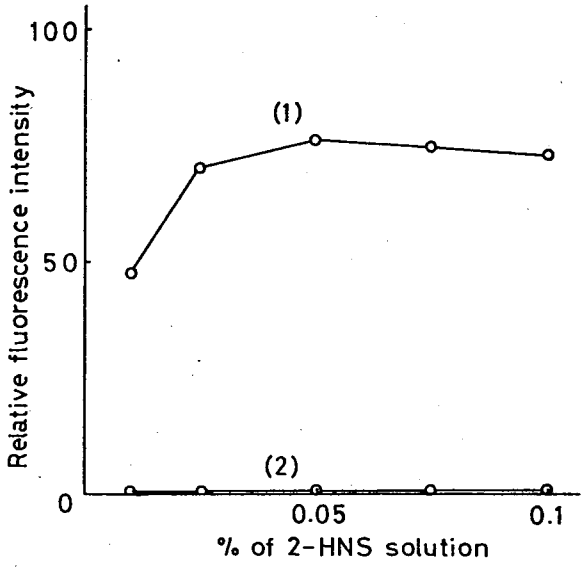


Fig. 1 Effect of concentration of reagent on fluorescence intensity
0.05% 2-HNS solution : 2 ml, pH : 5.9.(1) : Al 4.0 μg, 405 mm/435 nm, 10 div. vs. 30 μg quinine sulfate/ml standard solution ; (2) : Reagent blank

も良好な直線性を示し，Ⅰでは，Al 0.5～5 μg/25 ml，Ⅱでは，Al 0.05～1.0μg/25ml，ⅢではAl 0.005～0.1μg/25mlがそれぞれ定量可能である。Al 4.0μg（Ⅰ適用），0.8μg（Ⅱ適用）及び0.08μg（Ⅲ適用）の操り返し測定における相対標準偏差（n=25）はそれぞれ0.5，0.7及び2.3%であった。本法における感度を単純に検量線からの定量範囲を基にして，他の芳香族シッフ塩基のそれと比較すれば，2-ヒドロキシ-5-スルホアニリン-N-サリチリデン[3]に対してやや劣るものの，2，4-シヒドロキシベンズアルデヒド-セミカルバゾン[4]の結果と同様に認められた。また2，2′-ジヒドロキシアゾベンゼン[5]や種々の既存試薬[6]と比べても感度的に遜色ないものと認めた。

3.8　共存イオンの影響

アルミニウム4.0μgを採り，3.1の操作を適用する際の種々な共存イオンの影響について検討を行った。Li(Ⅰ), Na(Ⅰ), Ca(Ⅱ), Mg(Ⅱ), Ba(Ⅱ),

Table 1 Effect of diverse ions on determination of aluminum

Ion added / μg		Al found / μg I	Al found / μg II	Ion added / μg		Al found / μg I	Al found / μg II
Cu(Ⅱ)	2.0	3.86	0.78	Cr(Ⅲ)	0.4		0.76
	4.0	3.75	0.77		0.8		0.72
	8.0	3.70	0.75		2.0	3.82	
Ni(Ⅱ)	4.0	3.87	0.79		4.0	3.46	
	8.0	3.72	0.77	Ti(Ⅳ)	4.0	3.82	0.77
	12	3.66	0.75		8.0	3.70	0.75
Sn(Ⅱ)	2.0	3.97	0.76	V(Ⅴ)	4.0	3.82	0.76
	4.0	3.75	0.73		8.0	3.72	0.74
	8.0	3.46	0.61	Cr(Ⅵ)	2.0	3.82	0.77
Fe(Ⅲ)	2.0	3.89	0.79		4.0	3.65	0.75
	4.0	3.75	0.78	F^-	0.4		0.78
	8.0	3.54	0.75		0.8		0.76
Ga(Ⅲ)	4.0	3.85	0.82		4.0	4.04	0.73
	8.0	3.70	0.84		8.0	3.44	
Sc(Ⅲ)	0.08		0.84	PO_4^{3-}	12	3.82	0.79
	0.12		0.85		20	3.52	0.77
	0.4	4.14			40	2.50	0.78
	1.0	4.25			80		0.76

Ⅰ : 4.0μg Al／25ml (Calibration curve Ⅰ was applied) ;
Ⅱ : 0.8μg Al／25ml (Calibration curve Ⅱ was applied)

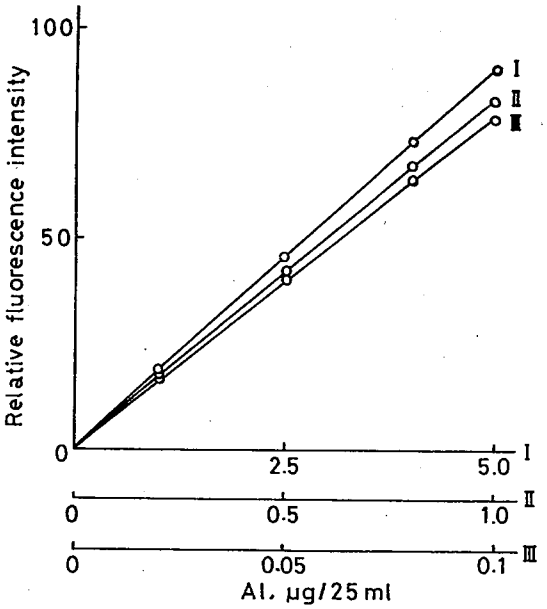


Fig. 2 Calibration curves for aluminum 0.05% 2-HNS solution : 2ml ; pH : 5.9. I : Al 0~5.0μg, 405nm/435nm, 10 div. vs. 30μg quinine sulfate/ml standard solution ; II : Al 0~1.0 μg, 405nm/435nm, 20 div. vs. 10μg quinine sulfate/ml standard solution ; III : Al 0~0.1μg, 405nm/435nm, 85 div. vs. 5μg quinine sulfate/ml standard solution

Table 2 Analytical results of aluminum in practical samples

Sample taken/g	Aliquot (ml/25 ml)	Al found in aliquot/μg	Al found, μg/g	
			Proposed method	Oxine method[a)]
Calcium carbonate (A) (JIS special grade)				
2.0000	2.0	0.086	0.54	
2.0000	2.0	0.091	0.57	
2.0000	4.0	0.17	0.53	0.6
2.0000	4.0	0.18	0.56	
			Mean 0.55±0.018 (R. S. D. 3.3%)[b)]	
Calcium carbonate (B) (JIS special grade)				
2.0000	4.0	0.076	0.24	
2.0000	4.0	0.079	0.25	
2.0000	4.0	0.077	0.24	0.4
2.0000	4.0	0.088	0.28	
			Mean 0.25±0.019 (R. S. D. 7.6%)	
Limestone (1)				
0.4000	1.0	0.35	22	
0.4000	1.0	0.38	24	
0.2000	2.0	0.39	24	25
0.2000	2.0	0.40	25	
			Mean 24±1.3 (R. S. D. 5.4%)	
Limestone (2)				
0.4000	1.0	0.48	30	
0.4000	1.0	0.46	29	
0.2000	2.0	0.50	31	32
0.2000	2.0	0.46	29	
			Mean 30±1.0 (R. S. D. 3.3%)	

a) Spectrophotometry (JIS K 8617_{-1975}) ; b) Relative standard deviation (n=4) ; Main constituents (%) —— Limestone (1) : CaO 55.56, MgO 0.26, SiO_2 0.10 ; Limestone (2) : CaO 55.45, MgO 0.24, SiO_2 0.11

Sr(II)，は1mg，Tl(I)，Cd(II)，Mn(II)，Pb(II)，Hg(II)，B(III)，Sb(III)，As(III)，La(III)，Ce(III)，Sm(III)，Se(IV)，Ge(IV)，W(VI)，は400μg，Y(III)，Bi(III)は200μg，Be(II)，In(III)，Tm(III)，Lu(III)，Te(IV)は40μg，Co(II)，PO_4^{3-}は12μg，Zr(IV)は8μgが共存しても妨害しなかった。共存許容量が4μgもしくはそれ未満のイオン及びリン酸イオンについてはアルミニウム0.8μgの定量時における影響についても検討を加え，その結果とともにTable Iに示す。本法で最大の妨害を及ぼすイオンはSc(III)であり，アルミニウムの4.0μg及び0.8μgの定量における共存許容量はそれぞれ0.4μg及び0.08μg程度であった。共存許容量の小さいイオンのうち，Ni(II)及びCu(II)はマスキング剤として0.5W/V%シアン化カリウム溶液1mlの添加により両イオンとも120μg（Al 4.0μgに対し）まで共存可能となった。

3.9.1　実試料の分析操作

試料粉末0.2～2.0gをはかり採り，塩酸（1＋1）を加えて溶解後，加熱し蒸発乾固する。残さを0.1M塩酸1mlと適量の水を用いて溶解し，さらに水を加え全容を25mlとする。この溶液の4ml以下（Alとして1.0μg以下を含むよう）を分取し，3.1の操作を適用し，検量線IIよりアルミニウムを求める。なお，検量線は，実試料と同じ操作を行って得られた試薬から試験液に既知量のアルミニウム標準溶液を加えて作成する。

3.9.2　分析例

実試料の分析結果をTable 2に示す。得られたアルミニウム定量値はオキシン吸光光度法（JISK 8617）によるものとほぼ一致する結果を示した。又，各試料におけるアルミニウムの添加回収実験では98.4～102.2%と良好な回収率を示した。さらに，1，10-フェナントロリン吸光光度法で定量した各試料｛炭酸カルシウム(A)，(B)および石灰石粉末(1)，(2)｝の鉄定量値は0.31，0.28，62及び72μg/gであり，分取液中の鉄量に換算すれば，いずれも本法での許容範囲の量であることが分った。以上の結果から，本法で得られたアルミニウム定量値は信頼できると考えられる。

4．結　語

アルミニウム-2HNS錯体の生成pH領域における2-HNS溶液自身の螢光強度が小さいため適切な試薬濃度と機器感度調製によりアルミニウムの定量下限の引き下げが可能となり，本法では0.005～5.0μg/25mlのアルミニウムを精度よく定量することができる。感度は同じ芳香族シッフ塩基の2-ヒドロキシ-5-スルホアニリン-N-サリチリデン[3]にやや劣るものの，錯体生成時の加熱操作を必要としない簡便さがある。

実試料としての炭酸カルシウム（JIS試薬特級）中0.2μg/g程度の微量アルミニウムが定量可能であり，又，溶媒抽出操作を必要としないため，オキシン吸光光度法（JISK 8617）に比べ操作が簡便である。以上の結果から，2-HNSは既知のスカンジウム[8]，ガリウム[9]に対すると同様アルミニウンに対しても実用的な螢光定量試薬であると認められる。

（第26回化学関連支部合同九州大会において一部発表）

5．参考文献

1)　森重清利：近畿大学理工学部研究報告，17,405（1982）。

2)　JISK 8617

3)　K. Morishige：Anal. Chim. Acta, 72,295 (1974).

4)　森重清利：分析科学，27,109（1978）

5)　渡辺邦洋：分析化学，30,640（1981）

6)　無機応用比色分析編集委員会編："無機応用比色分析"，1巻，p.55（1973）共立出版

7)　窒業協会編："窒業工学ハンドブック" p.1503（1971），技報堂

8)　出口正一：分析科学，35,779（1986）

9)　出口正一：分析化学，37,485（1988）

広島市工業技術センター有効活用支援エキスパートシステムの開発

西山　修二，横山　武房

Development of Expert System for making the most use of Hiroshima Municipal Industrial Technology Center

Shuji NISHIYAMA
Takefusa YOKOYAMA

広島市工業技術センターでは，中小企業の技術力向上のための技術指導，相談に応じるとともに，講習会・研修会等を開催し，また新技術，新製品の開発および導入に必要な情報提供，試験分析等を通じて中小企業の技術振興を図っている。今回開発したシステムは，当工業技術センターを中小企業の利用者が有効かつ効率的に活用するための支援エキスパートシステムである。

1.　まえがき

広島市工業技術センターでは，中小企業の技術力向上のために，技術相談，現地指導，依頼試験，共同研究，情報提供，技術交流，開放試験，技術研修等の多くの事業を行っている。

技術が高度化，細分化するにつれて，業務内容も細分化され，中小企業の利用者が，相談したい技術内容をセンター職員の誰に相談すればよいかがわかりにくくなってきており，受付窓口でも判断しにくいことがある。

このような現状を踏まえ，中小企業の利用者が広島市工業技術センターを有効活用するための，AI（人工知能）技術による有効活用支援エキスパートシステムを開発した。本システムは，企業が抱える技術的課題の追求と問題解決を当センターの誰に相談すればよいかが即座にわかるエキスパートシステムである。

2.1　システム概要

開発したシステムは，次の８項目で構成されている。

1)技術指導を受けたい。
2)技術相談をしたい。
3)調査を依頼したい。
4)設備を利用したい。
5)試験を依頼したい。
6)情報の提供を受けたい。
7)研修会・講習会について知りたい。
8)共同研究について知りたい。

システム利用者は，各項目を一値選択していき，最終的にセンターの誰に相談すればよいかが即座にわかるシステムである。当センターの技術スタッフでは対応できない技術部門（例えば，船舶，航空・宇宙，繊維，資源工学，水道，衛生工学，農業，林業，生物工学等の部門）については，日本技術士会中四国支部の会員約150名の各部門技術士を紹介するシステムとした。

2.2　開発環境

ハードウェア環境として，開発したシステムをフロッピーディスクで提供する方法も考慮に入れて，中小企業に多く普及しているＰＣ-9800シリーズを対象とした。

ソフトウェアとして，Prolog-KABA　およびエキスパート・システム構築ツール　AI　PLAN TELL により知識ベースを作成した。

知識の表現法はプロダクション・ルール（if～then ルール）を用い，推論方向は後向き推論を採用した。構築したシステムのルール数は約200である。

3. システムの実行例

開発したシステムの実行例として，「技術指導を受けたい」を選択した場合と，「研修会・講習会について知りたい」を選択した場合について画面推移の様子とその内容について示す。

3.1 「技術指導を受けたい」を選択した場合の実行例

==========

1 ルールの編集
2 事象変数の編集
3 数値変数の編集
4 画面の編集
5 ゴールの変更
6 モードの変更
7 タイトル画面の修正
8 知識ベースの印刷
9 実　行
10 中　止
11 終　了

画面1

---

§ タイトル画面

有効活用支援エキスパートシステム

このシステムは中小企業の利用者が広島市工業技術センターを有効活用するためのAI技術による有効活用支援エキスパートシステムです。

このシステムを利用すれば工業技術センターの利用方法及び各担当者の職員名が即座にわかるため、短時間で問題解決することが可能です。

時代の変化と技術革新により、中小企業に於ける技術上の問題の処理や、技術力の向上そして、新技術に取り組む必要性がますます増大し、技術相談、試験や新しい設備などについての相談の内容も高度化、細分化しています。

広島市工業技術センターでは、このような状況に対応して、企業ニーズに即した技術指導、各種試験、設備機器を整備する一方、研修会、講習会においては、新しい動向や知識の普及を図り技術の振興と創造を目的として業務を拡充しています。

このエキスパートシステムを技術課題の追求と問題解決による今後の企業の発展にご活用ください。

画面2

==========

どのようなご用件ですか。次の中からお選びください。

（１）技術指導を受けたい
（２）技術相談を受けたい
（３）調査を依頼したい
（４）設備を利用したい
（５）試験を依頼したい
（６）情報の提供を受けたい
（７）研修会・講習会について知りたい
（８）共同研究について知りたい

画面３

==========

技術指導を受けたい部門を選んで下さい。

（１）機械部門
（２）船舶部門
（３）航空・宇宙部門
（４）電気・電子部門
（５）化学部門
（６）繊維部門
（７）金属部門
（８）資源工学部門
（９）建設部門
（１０）水道部門
（１１）衛生工学部門
（１２）農業部門
（１３）林業部門
（１４）水産部門
（１５）経営工学部門
（１６）情報処理部門
（１７）応用理学部門
（１８）生物工学部門
（１９）デザイン部門
（２０）新材料部門
（２１）生産技術部門
（２２）管理改善部門
（２４）応用技術部門
（２５）その他の部門

画面４

==========

情報処理部門の科目を選択して下さい。

（１）情報システム
（２）情報数理
（３）電子計算機システム

画面５

==========

情報数理の科目の内容を選択して下さい。
（１）データ解析
（２）数値解析
（３）数理分析
（４）技術分析
（５）技術計算
（６）オペレーションズ・リサーチ
（７）シミュレーション

画面６

==========

推論を終了しました。次に，結論を表示します。
あなたが、ご依頼されたい事柄は、つぎの職員にご相談ください。
（1.01）　西山　修二

画面７

3.2 「講習会・研修会について知りたい」を選択した場合の実行例

==========

どのようなご用件ですか。次の中からお選びください。
（１）技術指導を受けたい
（２）技術相談を受けたい
（３）調査を依頼したい
（４）設備を利用したい
（５）試験を依頼したい
（６）情報の提供を受けたい
（７）研修会・講習会について知りたい
（８）共同研究について知りたい

画面8

==========

研修会・講習会の事業名を選んで下さい。
（１）新製品開発促進事業
（２）生産工程合理化推進事業
（３）新技術普及事業

画面9

==========

生産工程合理化推進事業での項目を選んで下さい。
（１）工業技術講習会
（２）技術アドバイザー
（３）技術開発共同研究会
（４）共催事業

画面10

==========

技術アドバイザー
（１）ロボットの利用
（２）金型のCAD/CAM
（３）鋳物の多角化
（４）金属塗装の自動化技術
（５）FA利用技術
（６）親素材の利用技術
（７）生産現場の合理化技術

画面11

==========

推論を終了しました。次に，結論を表示します。
あなたが、ご依頼されたい事柄は、つぎの職員にご相談ください。
（1.01） 山田　洋
（1.02） 実施は１１月の予定です

画面12

4. あとがき

本システムの開発により，次のようなメリットが生じた。

(1)工業技術センターの業務内容及び機能が短時間で詳細に把握できる。

(2)センターの利用方法及び各担当者が即座に知れる為，企業が抱える技術的課題が短時間で解決が可能となる。

開発したシステムの利用方法としては，センター窓口にパソコンを設置し利用する方法，及び開発したシステムをパソコン用のフロッピーディスクとして中小企業へ提供する方法などを考えている。

さらに，中小企業に，パソコン通信が普及すれば，センターと企業間でのパソコン通信で利用することも可能となる。

参考文献

1)柴山悦哉　他２名著　Prolog-KABA入門　岩波書店

2)後藤滋樹著　PROLOG入門　サイエンス社

3)エキスパートシステム構築ツール　AI PLAN TELL　岩崎技研

繊維強化複合材料（CFRP）のAE法及び熱断性効果を利用しての破壊メカニズムの研究

岡田邦彦，野中勝信*，影山和郎**

Studies on Fracture Mechanism for Carbon-Cloth/Epoxy Composites by Means of Acoustic Emission Method and Thermoelastic Effect

Kunihiko OKADA
Katsunobu NONAKA
Kazuro KAGEYAMA

CFRPの疲労破壊機構は複雑である。その破壊過程を究明するためには，AE法や赤外線応力画像測定法は有効な手段であると言える。本研究は，CFRP$(0°/90°)_{2s}$材の疲労強度を知るための試験を施行し，SN曲線を求めた。そして，次に試験材にAEセンサーを取り付けて，静的引張り試験時のAE発生状況の観察を行った。

また，疲労試験時のAE発生状況とその時の応力分布を，赤外線応力画像測定法によって測定を行うと同時に，き裂の進展具合いの測定も行った。最後に，疲労試験を行ったものを，軟X線及び，走査電子顕微鏡により撮影を行い，その破壊状況の観察も併せて行った。その結果，応力画像測定測置による応力分布とAEの発生状況とが，よく一致している事などの確証を得ることができた。

1．緒　言

繊維強化複合材料であるCFRPは，プラスチックの軽さと鋼を凌ぐ強さを合わせ持つ高性能材料である。即ち，軽量，高強度で熱膨張係数が小さいことから，航空，宇宙分野など幅広く利用されている。しかし，その破壊挙動は極めて脆性的であり，構造用材料として高い信頼性を確保するためには，破壊力学的取扱いが不可欠と考えられている。線形破壊力学では破壊靱性値K_cが，材料の靱性を表すパラメータとして用いられているが，複合材料に対してはその評価方法は未だ確立していない。繊維複合材料は一般に，巨視的異方性を有するため，従来の等方均質を仮定した評価を用いることには問題がある。最近，DEN試験片を用いることにより，破壊靱性試験を各種行った結果，異方性を考慮したK_c値は等方性材とした場合のそれよりも，小さくなっている等の研究報告も出されている。

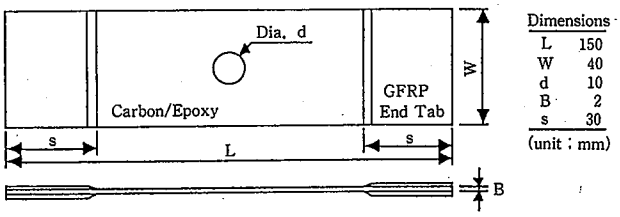
CFRPは次世代の構造用部材として，着実に用途を拡大しているが，しかし，材料として比較的歴史が浅いため，破壊機構に関する基礎的なデータは不足している。（特に疲労に関して）従って，今回の実験は，疲労試験を中心にそれとAEを絡ませて，破壊メカニズムの解明を行った。

＊　通産省　工業技術院　機械技術研究所
＊＊　東京大学

2．実　験

2.1　実験試料

試験材は炭素繊維（東レT300），エポキン樹脂（東レ#2500）で構成した，厚さ2mmの負荷方向に対して，0°と90°方向に8プライ積層したもので$(0°/90°)_{2S}$，中央に10mmの円孔を有する。下にその形状・寸法を示す。



2.2　装置

(1)　疲労試験機

名称及び仕様

名称：MTS810

製造元：MTS社

能力：50ton

機器構成：制御機　MTS410・80，458・20

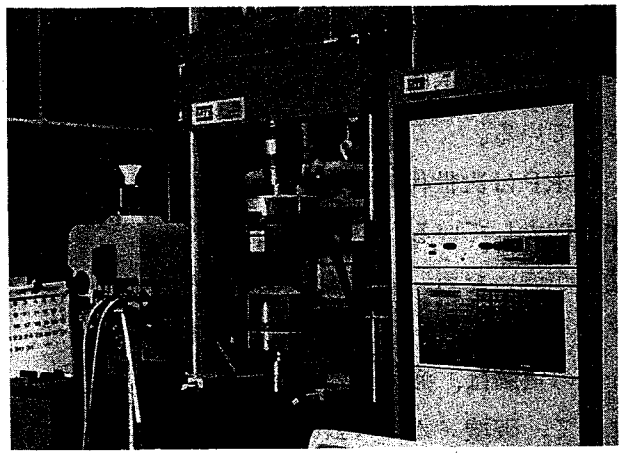
647油圧グリップ

(69Pa/10000Psi)

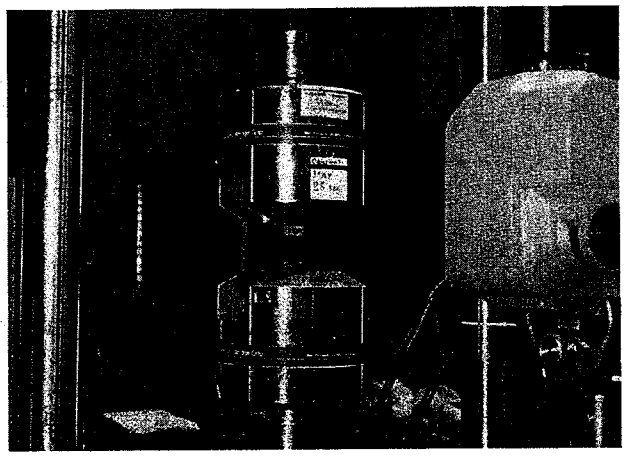
グリップコントロールユニット

油圧装置

(ポンプ，分配弁，タンク類)



試験機全体像



試験材取り付け状況

(2)　赤外線応力画像測定装置

(2)—①　名称及び仕様

名称：SPATE8000

製造元：OMETRON社

機器構成：相関計（5208）

アナログユニット（8020）

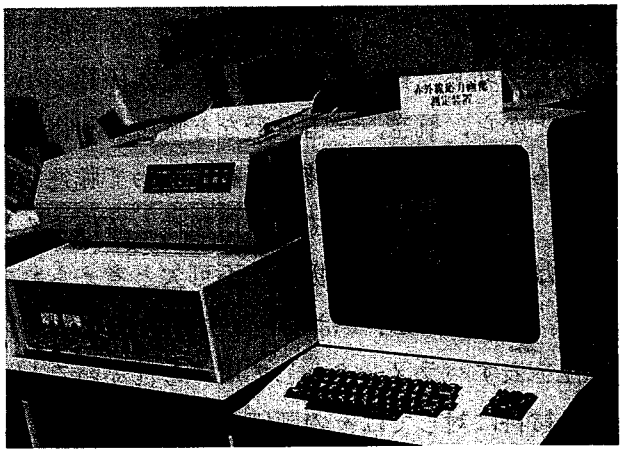
スキャンユニット

ディジタルユニット（8030）

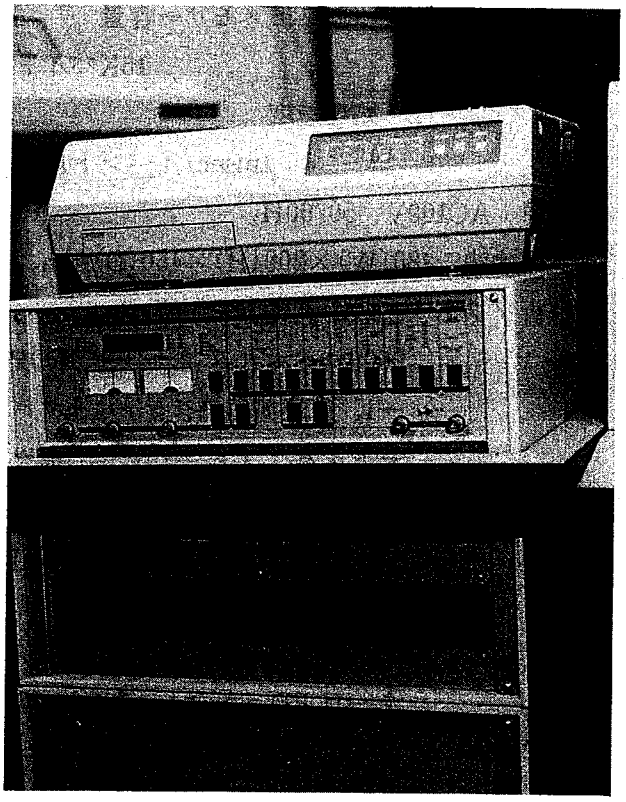
TVモニター，ディスプレイ

ハードコピーユニット

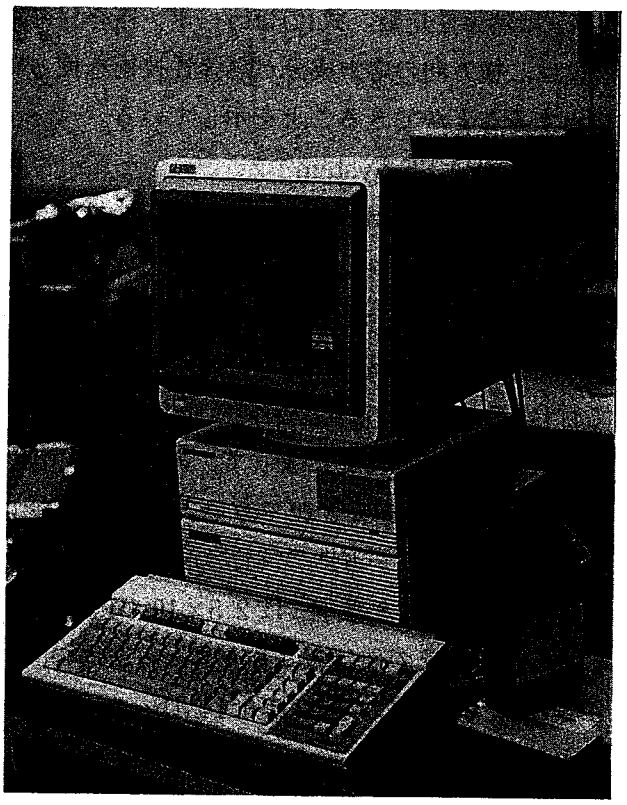
ホストコンピュータ（H/P9153C）



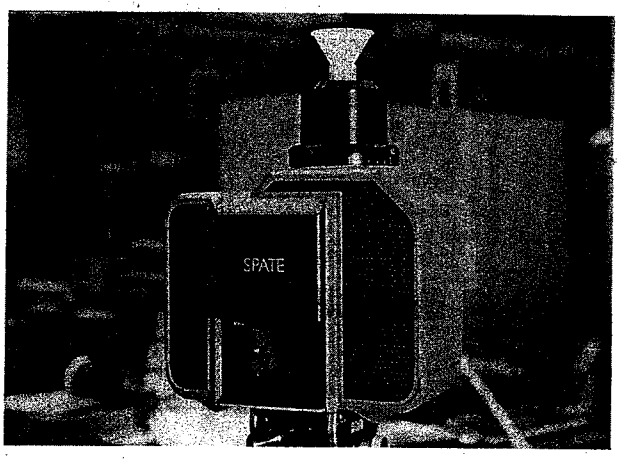
相関計　TVモニター



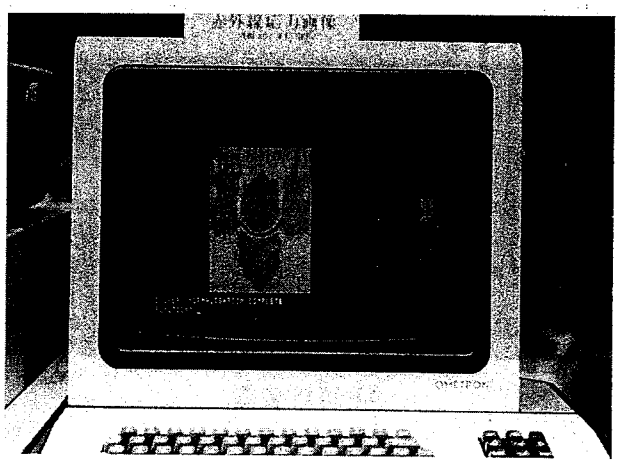
相関計　　ディジタルユニット



ホストコンピュータユニット



スキャンユニット



応力分布をスキャンニングした画像

(2)—②　原理

弾性体が断熱状態で圧縮されたり，膨張したとき，それぞれに温度が上昇したり，減じたりする。これは熱弾性相互作用によるものである。周期的荷重が供試体に，断熱状態で加えられ，そして同一周波数のもとで，温度変化に応じた正確な負荷荷重が検出される。応力分布は供試体の表面上を走査することにより，温度分布としてえられる。

直交性平板の熱断性効果の温度変化 ΔT は長さ方向（σ_L）と横方向（σ_T）の応力変化との間に直線関係が得られる。

$$\Delta T = -\frac{T}{\rho C\sigma}\left(\alpha_L \Delta\sigma_L + \alpha_T \Delta\sigma_T\right) \qquad (1)$$

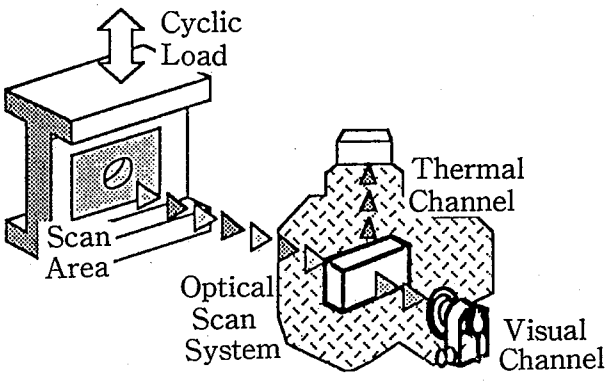
ここに，Tは絶体温度，ρ は比重，$C\sigma$ は応力一定のもとでの比熱である。α_L と α_T はそれぞれ長さ方向と横方向の熱膨張係数である。一方向の強化カーボン/エポキシ積層板の場合，α_T は絶体値で α_L より，より大きな値となる。従って，括弧内の中の第一項は省略できる。

$$\Delta T = -K_m \cdot T \cdot \Delta\sigma_T, \qquad K_m = \frac{\alpha_T}{\rho C\sigma} \qquad (2)$$

K_m は熱弾性定数。式(2)はカーボン複合材の場合には，横方向の応力成分が熱弾性技術を使って検出することができることを示している。

(2)—③　SPATE System

試料からの熱放出はSPATEによって検出される。そして解析される。データの取得はコンピュータにより，リモートコントロールされる。そして，走査は図に見えるようなラスターライク法にて行われる。応力の最高分解能は0.5mmである。相関技術を用いることによって，非常に高い温度の検出感度を得ることができる。温度分解能は0.001°Cである。一方向の強化カーボン/エポキシ積層板の熱弾性定数 K_m は $2.5\times10^{-11}Pa^{-1}$ である。そして，その値は鋼よりもおよそ7倍の大きさである。0.001°Cの感度は0.14MPaの応力に相当する。



SPATEsystem

(3)　ＡＥ解析装置

(3)—①　名称及び仕様

名　称：ローカルプロセッサ AE9600/30

製造元：(株)NF回路設計ブロック

周波数：$10KH_z\leftrightarrow1MH_z$(Log)

$10KH_z\leftrightarrow2MH_z$(Lin)

ハードウェア：CPU……8085

ROM……6Kバイト

RAM……18Kバイト

ソフトウェア：バッファメモリー容量

16Kバイト

処理速度

1msec/イベント以下

電源：AC100V　50/60H_z

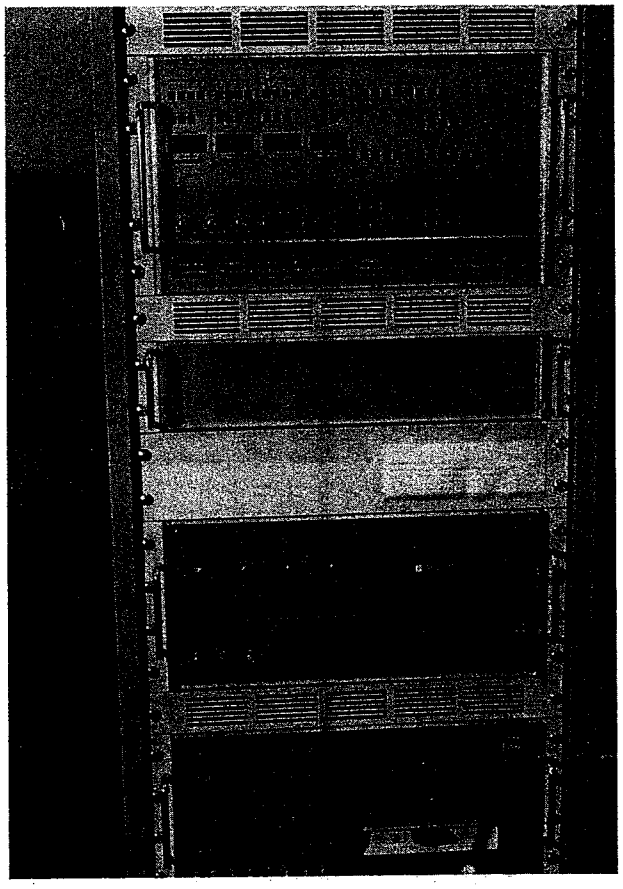
外形寸法：480(W)×200(H)×450(D)mm

解析ソフト：リアルタイムモニター

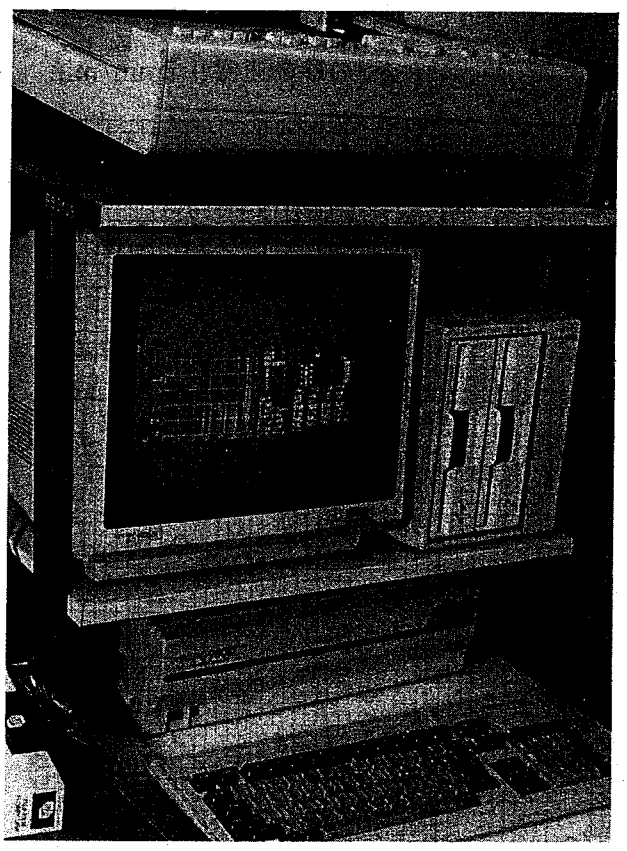
9600ローカルプロセッサ用OP—1，高速演算モジュールをサポートするソフトウェアで，種々のAE解析をリアルタイムで行い，CRTでモニタするもの。

：AE解析ソフトウェア

オフライン専用である。データを一旦FDへ転送し，その後FDベースで選別解析を行う。



AE解析装置



データ解析装置

(3)—② 試験状況

試料に，円孔を狭んで50mm間隔で2個のAEセンサー（広帯域）を接着剤で固定した。AEセンサーに到達した，AE信号の到達時間差からコインシデンス法によって，円孔の周辺より発生したAE信号のみを検出した。プリアンプの利得は40dB。（AE-912）周波数フィルタは疲労試験の場合，200 KH_z↔1000KH_zの信号を検出するように設定した。但し，引張り試験の場合はスルー状態である。

(4) 走査形電子顕微鏡

名称：SUPERIIIA

製造元：㈱明石製作所

倍率：10～200,000倍

加速電圧：2Kv～30Kv

試料室：76.2mmφ×25.4mmt

走査モード：ラピッドスキャンI（全面）

〃　　II（制限視野）

(5) 軟X線装置

名称：SOFTEX

製造元：ソフテックス㈱

型式：C—60

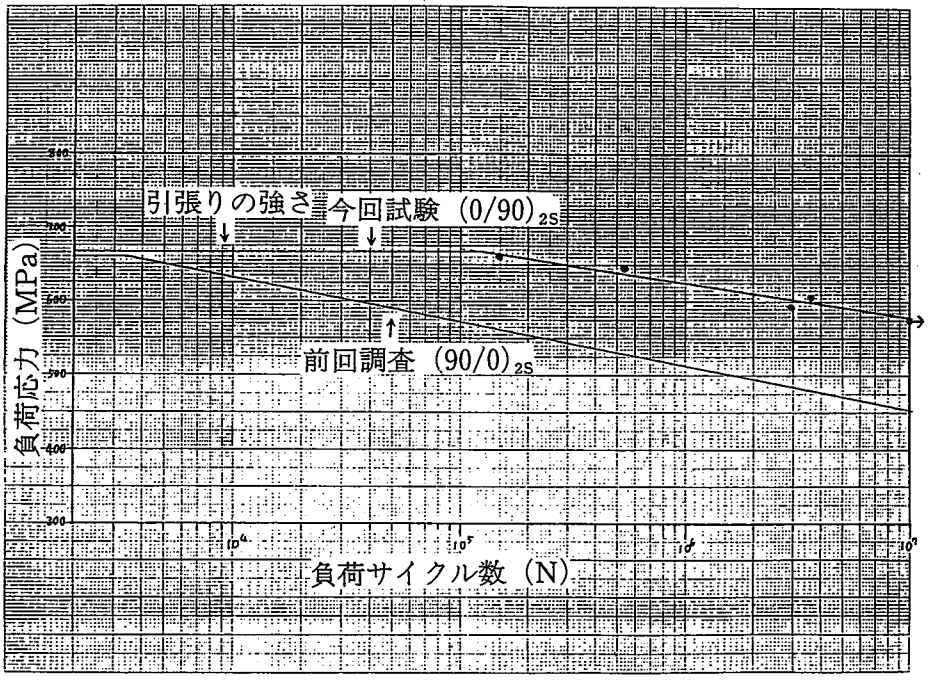
出力：最大管理電圧　60K_vP

最大管電流　5mA

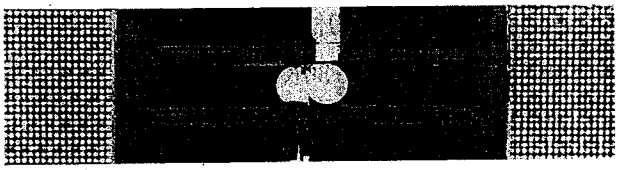
漏洩線量：0.1mR/H以下

3．実験結果及び考察

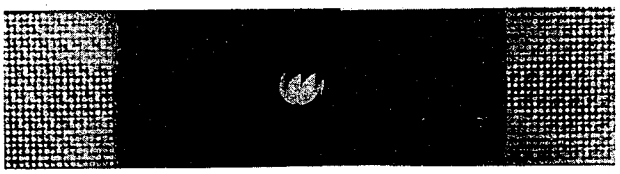
3.1 SN曲線（片振り引張り試験，周波数10H_z，最小と最大荷重の応力比Rは0.1）



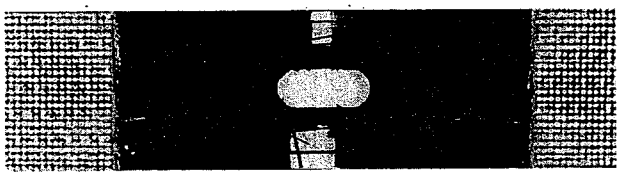
今回実験した $(0°/90°)_{2S}$ のSN曲線と前回調査分（影山氏ら）の $(0°/90°)_{2S}$ とは違った結果を見るに至った。今回の試験材は表面に，荷重方向に対して0°の面がでていることによる好影響と考えられ，今後CFRPを製作する上での指針となるものと考える。そして，今回の疲労限は575MPaであり，前回の疲労限450MPaに比べ可なり高いものであると言える。



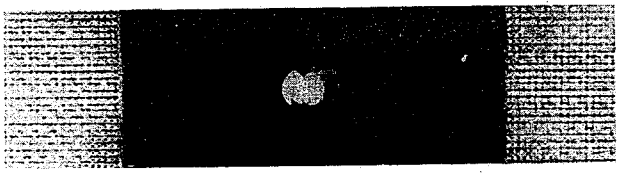
引張り試験材，破断荷重4,480kg（応力666.5MPa）



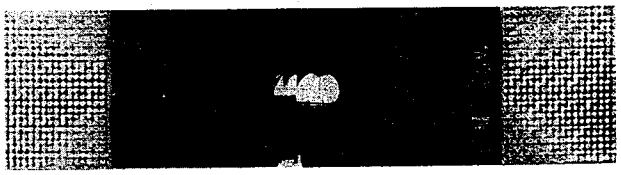
疲労試験，応力645.5MPa，
破断回数543，014サイクル



疲労試験，応力660MPa，
破断回数142，118サイクル



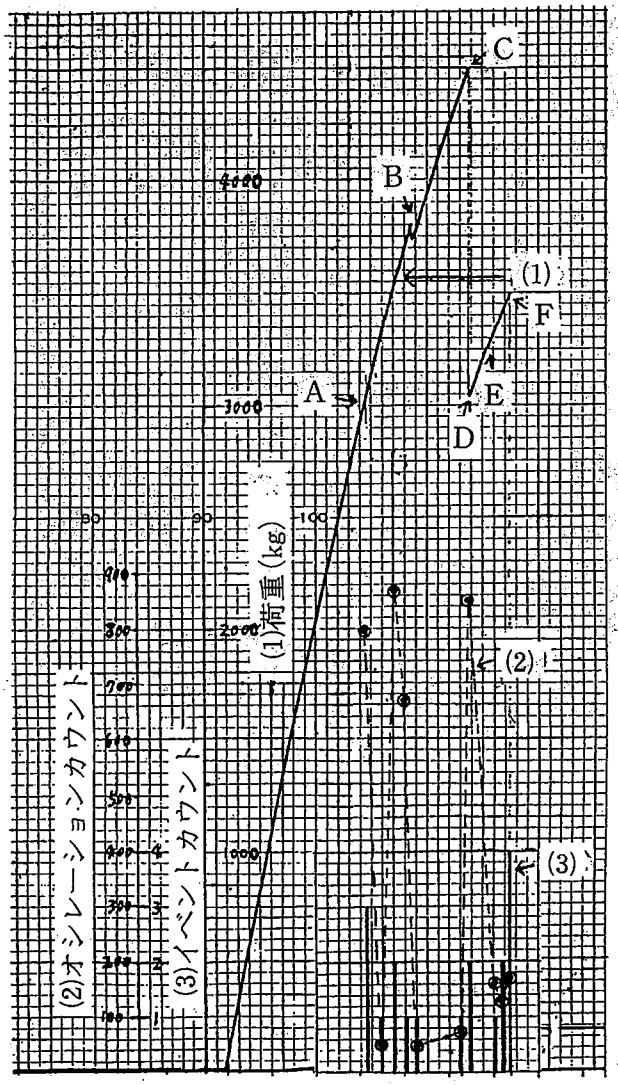
疲労試験，応力607.2MPa，
破断回数3,638,094サイクル



疲労試験，応力594.3MPa，
破断回数2,963,185サイクル

3.2　引張り試験時のAE発生挙動

クロスヘッドの移動速度0.5mm/min



最初のイベントが発生したときは，荷重線図上のA点であり，最大荷重の約67%近くで発生している。イベント数は3カウントであり，総オシレーション数では799カウントである。樹脂割れ，繊維と樹脂との剥離等が考えられる。

Bの荷重降下点は最大荷重の85%近くで発生している。イベント数は1カウントであるが，オシレーション数は668カウントの多くを数えていることから，樹脂割れや繊維と樹脂との剥離の外に，繊維破断が生じたものと考えられる。中でも取分け繊維破断の影響が大きいと考えられる。

最大荷重点Cでは，2イベント数で859のオシレーション数をカウントとしており，しかもここで

最大121dBを記録している。従って，ここで大部分の繊維破断が生じていることが推察される。そして，D→E→Fの順に残った一部の繊維破断（振幅110dB前後）と樹脂割れ（振幅60dB前後）によって最終破断が起きている。

また荷重の（B，D，E点）降下と上昇は，一部の繊維束が破断すると，試験材の残部の負荷応力が上昇するためで，繊維束が回数にわたり破断したことを示している。

3.3 疲労試験のAE発生挙動と応力分布，及びき裂の進展挙動と顕微鏡による破壊状況の観察

(1)試験手順

試験材に周波数10Hzで，それぞれ70MPa，100MPa，150MPa，200MPa，250MPaと負荷を順次上げていき各種の試験を行った。（なお，試験材には耐熱塗料を塗布して，応力の測定を行った）

①負荷荷重70MPa

負荷カウント数0～635,000

応力画像測定時のカウント数32,000～390,000

AEのディスクリレベル1ch，3chとも62dB

②負荷荷重100MPa

負荷カウント数635,00～900,4000

応力画像測定時のカウント数710,000～790,000

AEのディスクリレベル1ch，3chとも62dB

③負荷荷重150MPa

負荷カウント数900,4000～1,605,000

応力画像測定時のカウント数905,000～993,000

AEのディスクリレベル1ch，3chとも62dB

④負荷荷重200MPa

負荷カウント数1,605,000～2,464,000

応力画像測定時のカウント数2,356,000～2,447,000

AEのディスクリレベル1ch，3chとも77dB

⑤負荷荷重250MPa

負荷カウント数2,464,000～2,635,000

応力画像測定時のカウント数2,499,000～2,634,000

AEのディスクリレベル1ch，3chとも78dB

(2)AE発生状況の考察（付表のAEデータ参照のこと）

1)応力が70MPa（タイトル，CFRP2—負荷回数47,4000回からのデータで，その時より以前のAEの発生はない）の場合，負荷回数が60万回以降で，AEの発生が顕著に現れた。その事は50万回で，き裂（90°のトランズバースき裂）の長さが7.3mmであったものが60万回近くになると11mmにも伸びていることでも理解できる。また，1イベント当りのオシレーション数は10.3カウント（227/22）であった。

2)応力が100MPa（タイトルCFRP3）の場合，70MPa時とは逆に，最初の15分で総イベント数の92%（$1.306\times10^4/1.425\times10^4$）近くがでている。また，1イベント当たりのオシレーション数は4.8カウント（$0.68\times10^5/1.425\times10^4$）と，70MPaの時に比べると半減している。この事は，90°のトランズバースき裂の進展が余り認められない（70MPa，63万回で11.3mm→100MPa，90.4万回で11.5mm）ことと対応している。この事は，スレッシュホールドレベル近くにあるためと考えられる。

3)振幅は70MPaで62～88dB（中心70dB）と幅広かったものが，100MPaでは65dBと狭くなっている。また，250MPaでは81～82dBが中心の振幅となっている。

4)また，AE発生の位置評定では興味深い結果が得られている。即ち，70MPaのとき1ch（上側取り付け）と3ch（下側取り付け）では，3ch寄りにAEの発生が多く見られたものが，100MPaでは総て3ch寄りだけに発生している。また，250MPaになると前半の3.2時間（タイトルCFRP4のch—not selected）で

は，1 ch と 3 ch にほぼ同じ位の AE が発生しているものが，後半の0.6時間（タイトル CFRP 4 の ch—1，3）では，1ch 側に AE が頻発している。この事は，応力分布図ともよく一致している。即ち，70MPa のときは90°のトランズバースき裂の発生は，極僅かなため，上下とも均等の応力が掛かっているものが，100MPa になると，き裂が長く伸張しているので，1 ch 側は固定状態で，3 ch の下側の方には強い，引張り応力が働くためと考えられる。しかし，250MPa になると 1 ch 側には可なりの圧縮応力が生じるため，1 ch の AE の発生が多くなるものと推察される。

5) その他，気付いた点として，負荷に応じてディスクリレベルを上げる必要のあることから，逆にディスクリレベルを操作して，その時点でのレベルを感知することにより，応力の推定が出来るのではないかと考えられる。この事は，今後の応用研究の課題としてとらえることができる。

(3)赤外線応力画像測定装置による応力分布

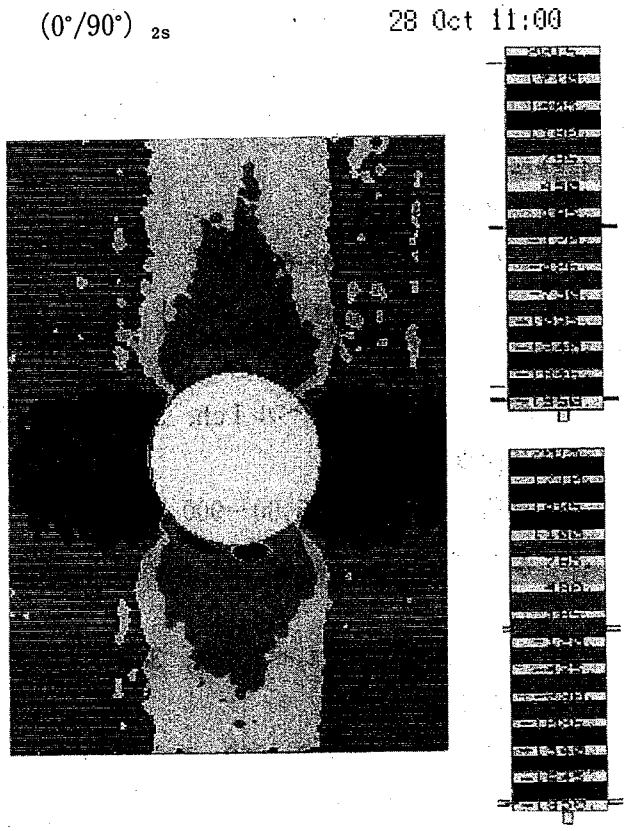
応力分布は同一レベルにした。なぜなら，円孔の周囲がどのような状況で変化するかを見るためである。応力分布図・1 は 70MPa（32,000～390,000カウント）で，円孔の周囲のトランズバースき裂が殆ど発生していない状態なために，半円周に沿って高い応力部分（数値1405～2015）が取り囲んでいることを窺うことが出来る，初期状態のものである。

図・2 では 100MPa のもので，円孔の周囲左右に発生するトランズバースき裂も11.4mm（上下合わせて）近く伸びているため，初期状態で半円周に取り囲んでいた高応力分布も，真直な分布に変化しており，円孔の左右両端に，き裂が発生したことを如実に物語っている。

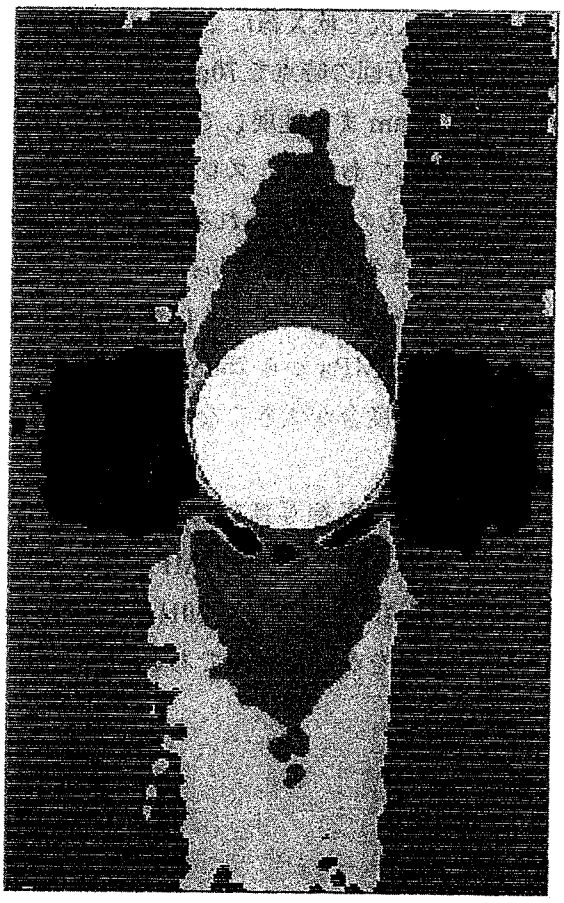
図・3 は 150MPa のものでトランズバースき裂も 12mm 近くになっており，左右にでていた高応力部分も小さくなり，円孔の真下に高応力が掛かりつつあることが窺える。

図・5（250MPa）に至るとトランズバースき裂も 18mm 近く伸びており，完全に円孔の真下に高応力部分が移っている。

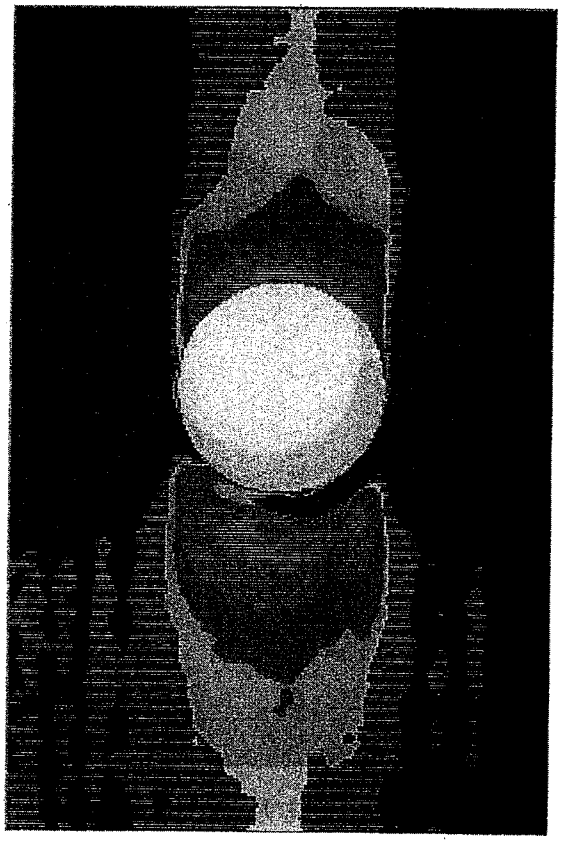
図・6 は別の試験材で 420MPa で30万カウントの負荷を掛けたもので，円孔の周囲の上下，左右ともき裂の進展したものである。円孔の下側には，プラス方向の高応力，上側にはマイナス方向の高応力が，掛かっていることが窺える。



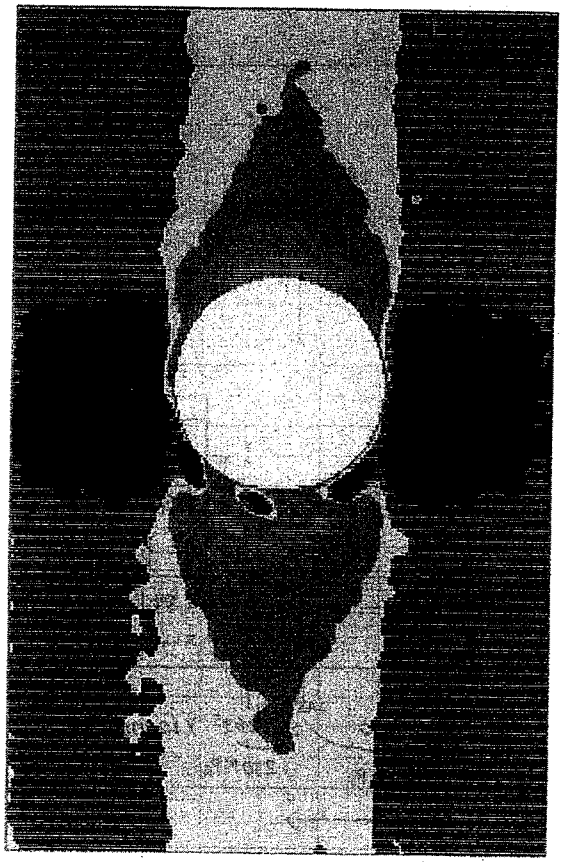
図・1（応力 70MPa）



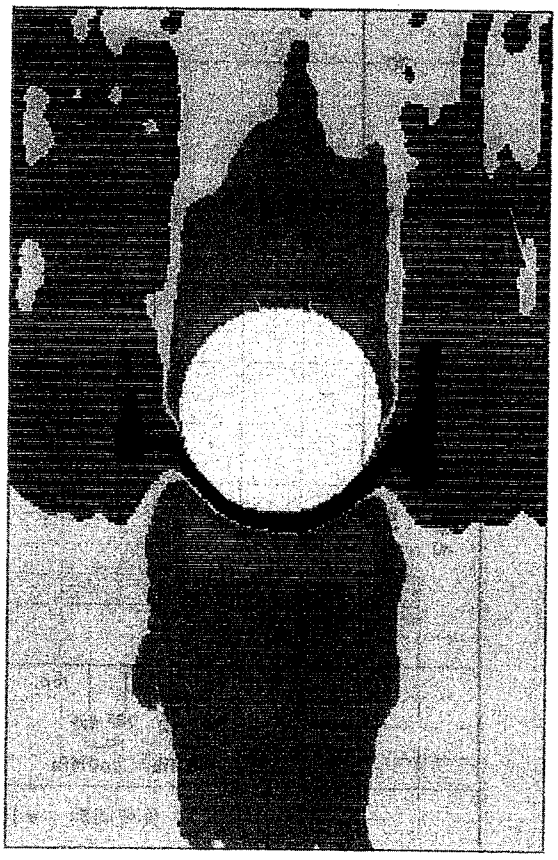
図・2（応力 100MPa）



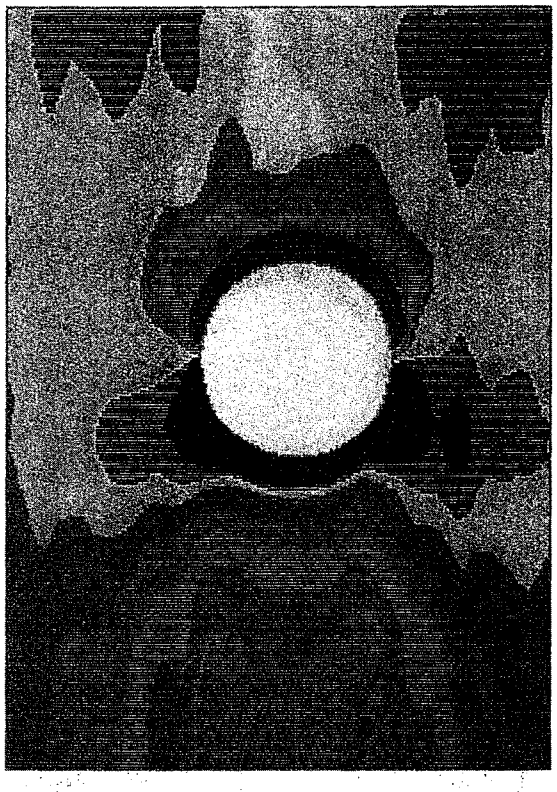
図・4（応力 200MPa）



図・3（応力 150MPa）



図・5（応力 250MPa）



図・6（応力 420MPa）

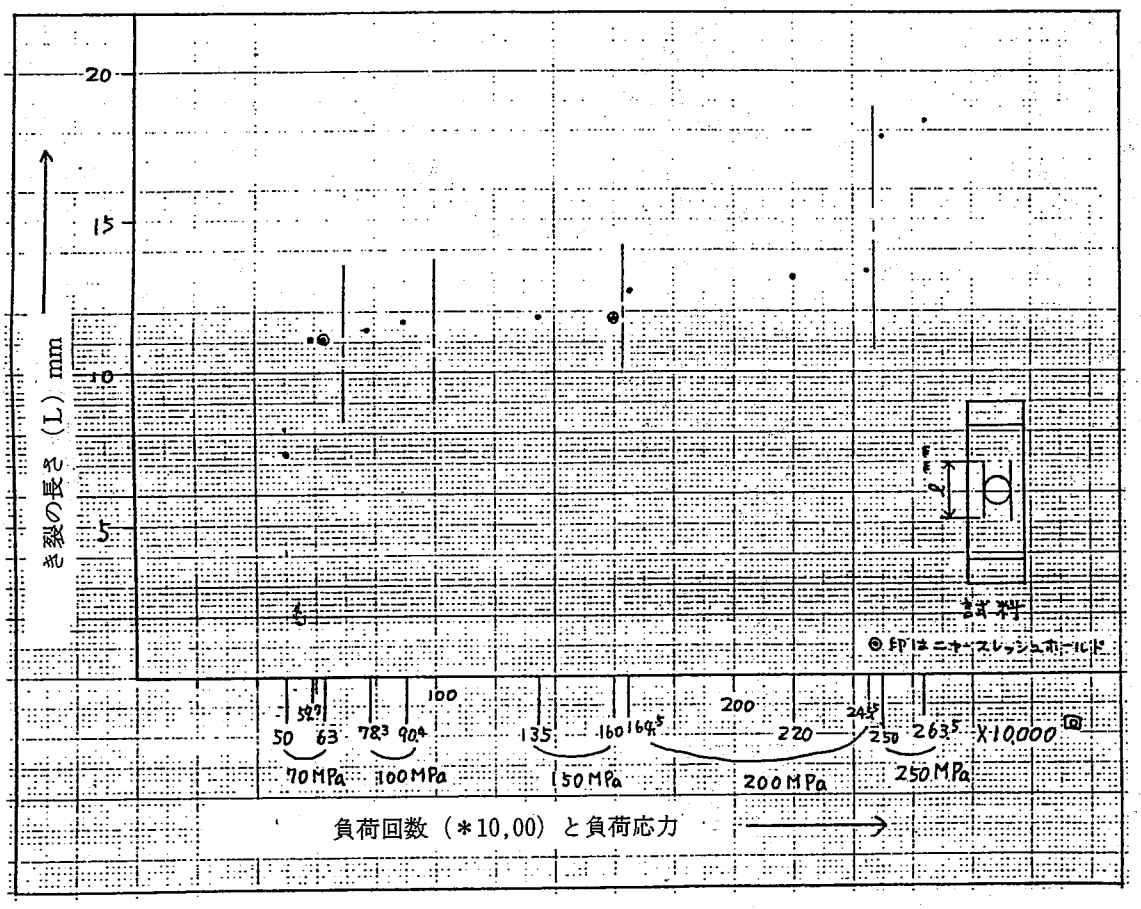
(4)き裂の進展状況と軟X線によるき裂の確認

70MPa の50万回の時点で 70mm のものが，59.7 万回では 11.1mm まで進展している。しかし，63 万回では進展しておらず，スレッシュホールドレベル近くにあるものと考えられる。また，150MPa の160万回でもき裂の進展が見られないことから，スレッシュホールドレベル近くにあるものと考える。しかし，200MPa から 250MPa に上げると，急にき裂の進展度合が大きくなっていることが確認できた。

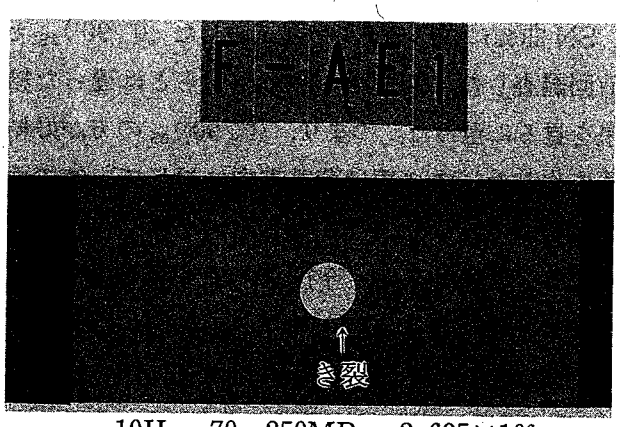
き裂進展図と軟X線写真を載せる。

（軟X線写真は 10Hz, 70～250MPa で2.635×10^6の負荷をかけたものと，同じく 10Hz で 624MPa, 3.3×10^4の負荷をかけたものである）

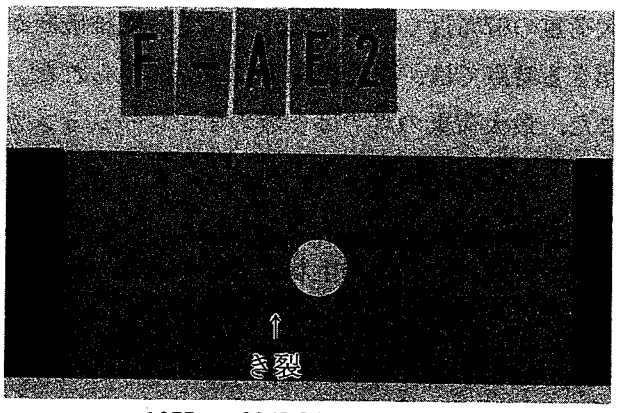
き　裂　進　展　図



軟X線写真



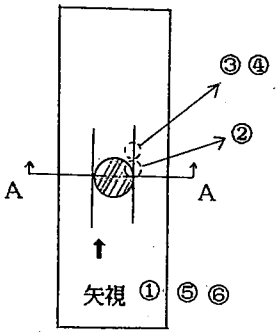
10Hz, 70～250MPa, 2.635×10^{6}



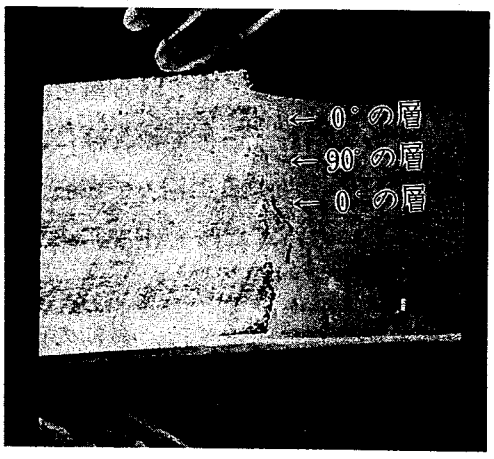
10Hz, 624MPa, 3.3×10^{4}

(5)走査形電子顕微鏡による，破壊状況の観察

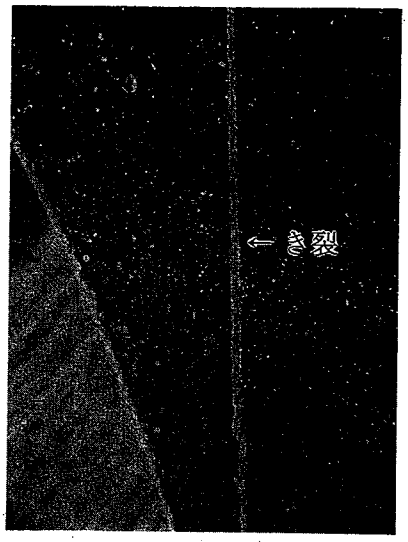
試料は70MPa～250MPa（周波数10Hz，負荷カウント数0～2,635,000）の負荷試験を終了したもの。



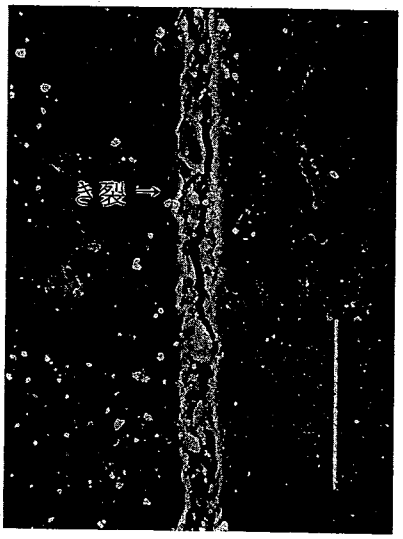
写真①（A－A断面，×24.5倍）



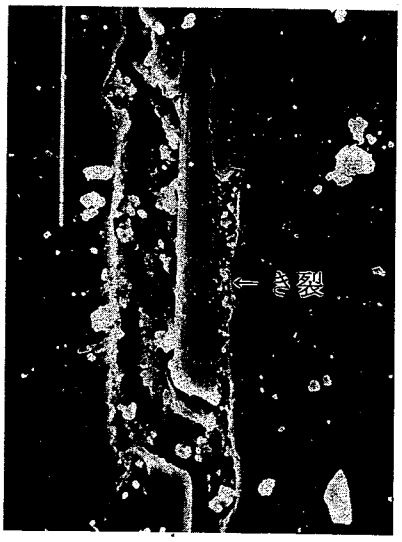
写真②（×100倍）



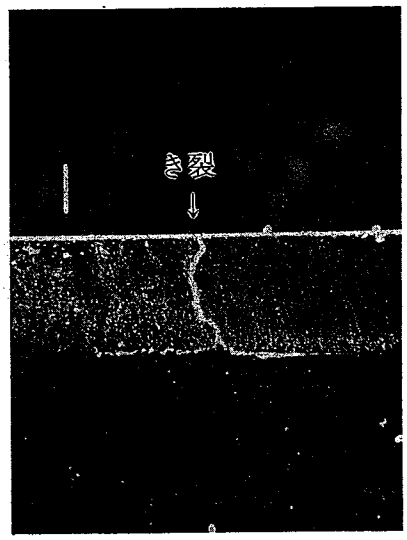
写真③（×700倍）



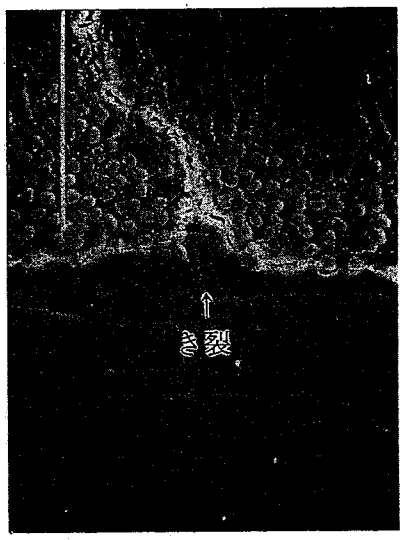
写真④（×1000倍）



写真⑤（×110倍）



写真⑥（×550倍）



最初の破壊は円孔の際の最外層（0°の面）樹脂部分より発生し、繊維と繊維の間だを縫うように、中へと進展（写真5，6）して行っている。そして，90°層に当たるとき裂は止まり，0°と90°の層間にき裂が伸び（長さ0.4mm）ている。そして更に，90°の繊維層を飛び越して，第三層目の0°の層に，最外層の位置よりは少しずれて，き裂が進展しているのが窺えた。また，写真4からは，多少の繊維破断を伴いながら，しかも繊維と樹脂の剥離やマトリックスの樹脂割れとが互いに錯綜しながら進展している様子を窺い知ることが出来た。

4．結　言

SN曲線については，今回試験した $(0°/90°)_{2S}$ と前回調査した $(90°/0°)_{2S}$ の影山氏らとは違った結果を見るに至った。つまり，$(0°/90°)_{2S}$ の方が好結果を出した。この事は荷重方向に対して，0°の面が表面にでていることに因るものと考えることが出来る。この結果は，今後CFRPを積層製作する上での指針となるものと考える。

引張り試験時のAE発生挙動では，ディスクリレベル62dBの設定で，最初のイベントの発生は最大荷重の67%近くであった。そして，繊維破断が起きる時点では，荷重の降下，上昇が見られた。また，最大荷重の点では多数のオシレーションカウントと最大振幅121dBが発生していることが分かった。

疲労試験時のAE発生状況では興味深い結果がえられた。70MPaのとき1ch（上側に取り付け）と3ch（下側に取り付け）では1chも3chもAEの発生を見たが，多少3chの方が多い目であった。そして，100MPaになると1ch方には全く発生せず，3chのみAEの発生を見た。しかし，250MPaの後半になると，逆に1chの方に多くAEの発生を見るに至った。この事象の発生原因は応力分布図の，応力の移り変わりによって解明がなされた。

応力画像の測定とき裂の進展については，初期状態で円孔を取り囲んでいた高応力部分が，疲労が進展し，トランズバースき裂が11.4mm（100MPa）近く伸びると，真直ぐに立ち上がり，き裂の存在を窺わせた。そして，250MPaに至ると，トランズバースき裂も18mm近くに伸び，円孔の真下に高応力部分が移って来ている事を，応力分布図によって知り得た。そして軟X線により，上下方向のき裂と同時に，円孔に沿って左右方向に，き裂が発生している（写真F—AE2）のも確認が出来た。

走査形電子顕微鏡によっては，最初の破壊は円孔の際の最外層（0°の面）の樹脂部分より発生し，繊維と繊維の間だを縫うように，進展している。

そして，90°層に当たると，き裂は止まり，0°と90°の層間にき裂は伸びて行っている。それと同時に，90°層を飛び越して，中の第三層の0°層にき裂が発生しているのが分かった。また，多少の繊維破断を伴いながら，しかも繊維と樹脂の剥離や樹脂割れとが互いに錯綜しながら，進展している様子も窺い知ることが出来た。

5．謝　辞

この研究は中小企業技術指導員養成課程6ケ月研修の一環として，機械技術研究所において行ったものである。ご指導戴いた機械技術研究所の主任研究官，野中勝信氏また，ご協力戴いた東京大学助教授の影山和郎氏ならびに，材料物性課の課長，佐々木務氏をはじめ課員の皆様，㈱NF回路設計ブロックの金田政文氏の方々には，心から厚くお礼申し上げます。

参考文献

1) K. Kageyama, ほか2名，To be published in proc. 7th Conf. Comp. Mat. (ICCM7), Beijing (1989).
2) 孫　　峰，ほか4名：モデルGFRP材の破壊機構とAE特性の関係，材料，37—416 (昭和63).
3) 影山和郎：複合材料の破壊力学特性，精密機械，51/3/1985.
4) 尾上守夫，ほか5名：アコースティックエミッションの基礎と応用，(昭和51)，207，コロナ社.
5) 笠野英秋，ほか3名，CFRP複合材の破壊靱性に及ぼす異方性の影響，機論，(昭和61).

AEデータ集計表の見方

＊疲労試験

70MPa→Title，TEST of AE Test CFRP 2
100MPa→Title，TEST of AE Test CFRP 3
250MPa→Title，CFRPFT 5 (総合計)
TEST of AE Test CFRP 4 の
ch—not selected (前半3．2時間)
ch—1，3 (後半0．6時間)

＊引張り試験

Title→TEST of AE Test CF または OK

Operator　OKADA

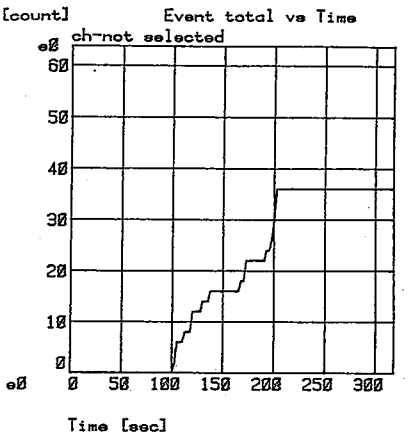
Time offset　1989/09/29-00:00:00
Sensor distance d13= 0.05m, d24=　m
Wave velocity　4000m/s
Windows
Time　-　:　:　/　-　:　:
Area　X:　/　Y:　/
Ampl　/　dB
Parameter　1V=
A　/　" A "　100
B　/　" B "　100
C　/　" C "　100
D　/　" D "　100

	ch-1	ch-2	ch-3	ch-4
Gain	Log	Log	Log	Log
Float	off	off	off	off
Discri level	57dB	80dB	58dB	80dB
Dead time	1 ms	1 ms	1 ms	1 ms
Filter(HPF)	THRU	THRU	THRU	THRUkHz
Filter(LPF)	THRU	THRU	THRU	THRUkHz

Coincidence　2 ch　16 us
Resolution　64 us　Search time 64 us
Min duration　off　us

引張り試験

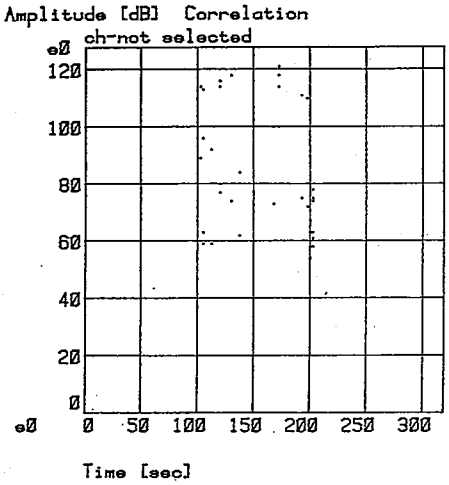
Title　TEST of AE Test OK
Comment　Date 9-29-89



引張り試験

Title TEST of AE Test OK
Comment Date 9-29-89

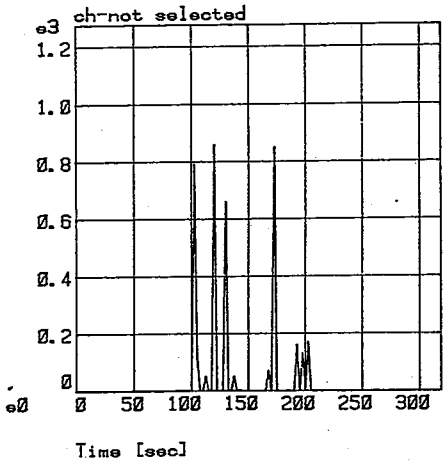
Amplitude [dB] Correlation



引張り試験

Title TEST of AE Test OK
Comment Date 9-29-89

[count] Osc. rate vs Time



Operator OKADA

Time offset 1989/10/23-00:00:00
Sensor distance d13= 0.05m, d24= m
Wave velocity 4000m/s
Windows
Time - : : / - : :
Area X: / Y: /
Ampl / dB
Parameter 1V=
A / " A " 100
B / " B " 100
C / " C " 100
D / " D " 100

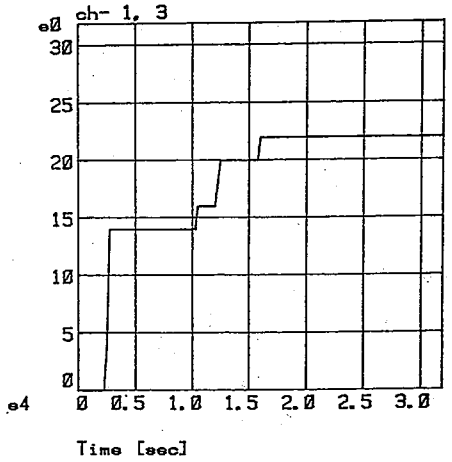
	ch-1	ch-2	ch-3	ch-4
Gain	Log	Log	Log	Log
Float	off	off	off	off
Discri level	62dB	80dB	62dB	80dB
Dead time	1 ms	1 ms	1 ms	1 ms
Filter(HPF)	200	THRU	200	THRUkHz
Filter(LPF)	1000	THRU	1000	THRUkHz

Coincidence 2 ch 8 us
Resolution 64 us Search time 64 us
Min duration off us

疲労試験−70MPa

Title TEST of AE Test CFRP2
Comment Date 23-10-89

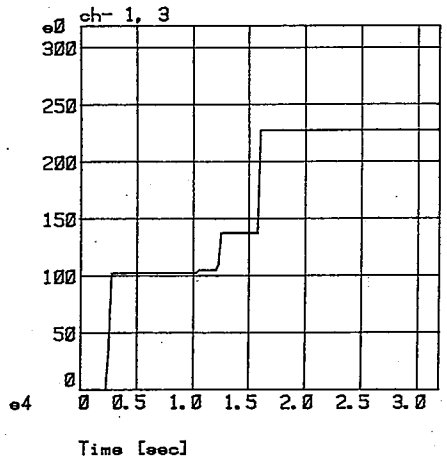
[count] Event total vs Time



疲労試験−70MPa

Title TEST of AE Test CFRP2
Comment Date 23-10-89

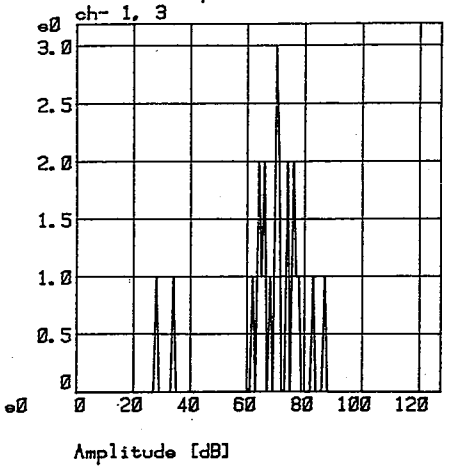
[count] Osc. total vs Time



疲労試験−70MPa

Title TEST of AE Test CFRP2
Comment Date 23-10-89

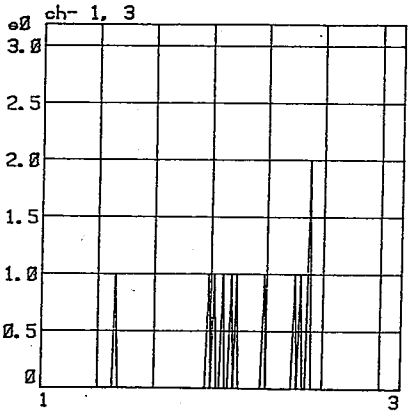
[count] Amplitude distribution



疲労試験－70MPa

Title TEST of AE Test CFRP2
Comment Date 23-10-89

[count] Linear location 1-3



Operator OKADA

Time offset 1989/10/23-00:00:00
Sensor distance d13= 0.05m, d24= m
Wave velocity 4000m/s
Windows
Time - : : / - : :
Area X: / Y: /
Ampl / dB
Parameter 1V=
A / " A " 100
B / " B " 100
C / " C " 100
D / " D " 100

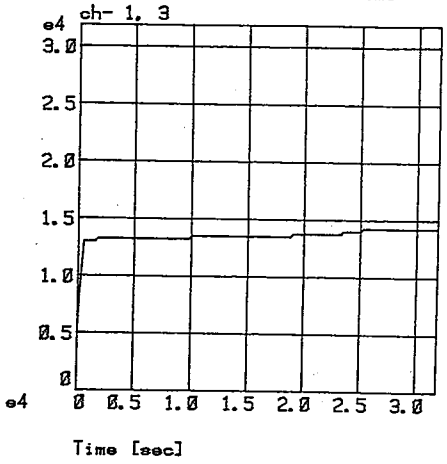
	ch-1	ch-2	ch-3	ch-4
Gain	Log	Log	Log	Log
Float	off	off	off	off
Discri level	62dB	80dB	62dB	80dB
Dead time	1 ms	1 ms	1 ms	1 ms
Filter(HPF)	200	THRU	200	THRUkHz
Filter(LPF)	1000	THRU	1000	THRUkHz

Coincidence 2 ch 8 us
Resolution 64 us Search time 64 us
Min duration off us

疲労試験－100MPa

Title TEST of AE Test CFRP3
Comment Date 23-10-89

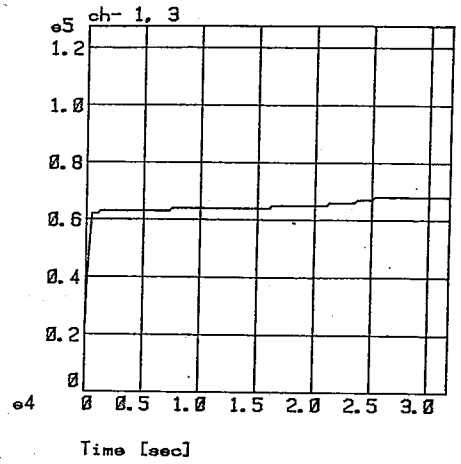
[count] Event total vs Time



疲労試験－100MPa

Title TEST of AE Test CFRP3
Comment Date 23-10-89

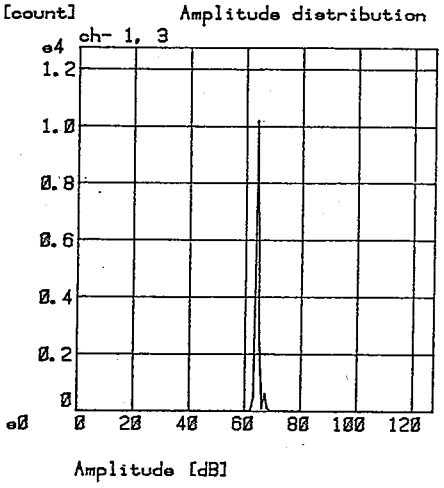
[count] Osc. total vs Time



疲労試験－100MPa

Title TEST of AE Test CFRP3
Comment Date 23-10-89

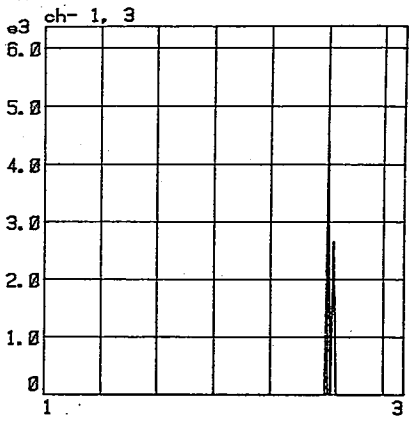
[count] Amplitude distribution



疲労試験－100MPa

Title TEST of AE Test CFRP3
Comment Date 23-10-89

[count] Linear location 1-3



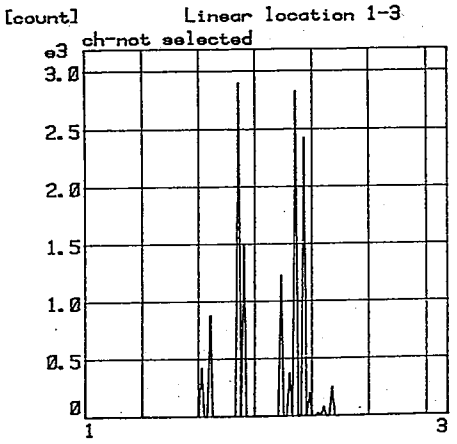
Operator OKADA

Time offset 1989/10/26-00:00:00
Sensor distance d13= 0.05m, d24= m
Wave velocity 4000m/s
Windows Start time 0[sec]
Time - : : / - : :
Area X: / Y: /
Ampl / dB
Parameter 1V=
A / " A " 100
B / " B " 100
C / " C " 100
D / " D " 100

	ch-1	ch-2	ch-3	ch-4
Gain	Log	Log	Log	Log
Float	off	off	off	off
Discri level	78dB	80dB	78dB	80dB
Dead time	1 ms	1 ms	1 ms	1 ms
Filter(HPF)	200	THRU	200	THRUkHz
Filter(LPF)	1000	THRU	1000	THRUkHz
Coincidence	2 ch	8 us		

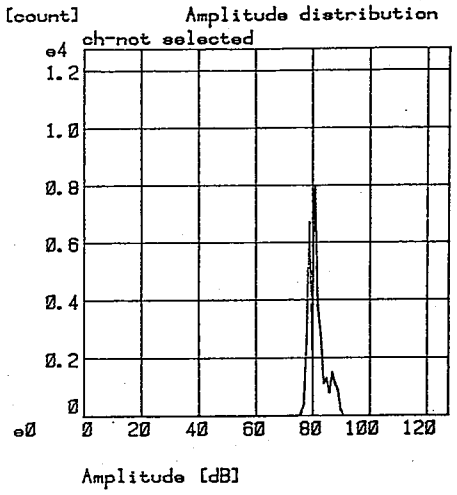
疲労試験-250MPa

Title TEST of AE Test CFRP4
Comment Date 23-10-89



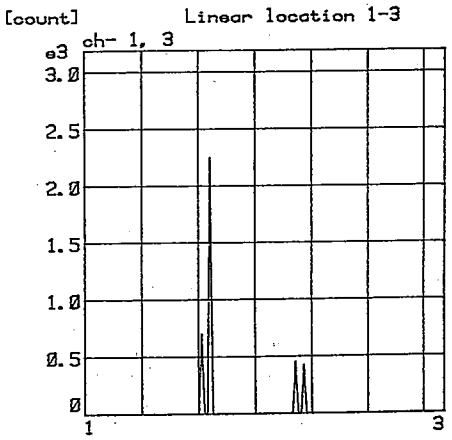
疲労試験-250MPa

Title CFRPFT5
Comment (0/90)2s



疲労試験-250MPa

Title TEST of AE Test CFRP4
Comment Date 23-10-89



パソコンを利用した自動監視装置の開発

尾崎　清，上杉憲雄，末田　猛*

Development of Automatic Supervisory Device by Micro Computer

Kiyoshi OZAKI
Norio UESUGI
Takeshi SUEDA

加工機の運転状態をセンシングするためにZ80（8 bit CPU）用A/D変換回路の設計，試作を行った。

評価試験の結果，最高サンプリング周波数6.7kHz，総合誤差±1 LSB以内を確認した。

1. はじめに

製造現場においては，製造品目に応じて様々な種類の専用加工機械が稼働している。そして，それらの多くは自動機メーカで開発されたものであるためメンテナンス等はメーカにまかせきりである。そのためトラブル発生時にも自社対応できず現状回復に長時間を要するといった状況が多い。ここでは，加工機の運転状態を常時，監視することによりトラブル原因の概略診断，早期現状回復を行い，製造効率の低下防止を可能とする自動監視装置，特にその中心部分となるA/D変換ボードの開発を行った。

2. 装置の概要

2.1 装置開発のコンセプト

監視対象は加工機の温度，圧力，変位，スイッチ類のON－OFF動作等である。これら各種物理量のセンシングは市販センサ及び信号変換器で行うこととし，ここでは信号変換器からの出力を採り込み，処理することを考える。

装置本体は，マンマシンインターフェース，プログラム開発環境の整っているパソコンを利用する。その際，試作コストを抑えるため中古の8 bitパソコンを活用する。8 bitパソコンを選んだのは，16bitの必要性がない，アプリケーションボードの開発が容易である，低価格で機能的にも問題のないMSXパソコンへそのまま応用可能なため汎用性がある等の理由による。

信号変換器と装置本体であるパソコンとのインターフェースは信号変換器の一般的な出力形式である4～20 mA電流出力，±数V電圧出力に対応でき，パソコンに組み込めること。

以上のようなことをコンセプトとして開発を行った。

2.2 A/D変換回路

監視装置全体のブロックダイヤグラムを図1に示す。この中で中心となるA/D変換部には，チャンネル数が多い，マイコンのバスと直接接続可能なためコンパクトにできる，機能の割に低価格である，参考文献が入手しやすい等の理由によりナショナルセミコンダクタ社のADC0816CCNを採用した。また，交流信号にも対応可能とするため

＊有限会社下村ポンプサービス

サンプルホールド回路を付加した。これらを含めたA/D変換アクセスシーケンスを次に示す。

①アナログ入力チャンネルのセット

②サンプルホールド回路をホールドにする

③A/D変換スタート

④プログラムタイマによる時間待ち

⑤A/D変換結果の読み込み

⑥サンプルホールド回路をサンプルにする

今回，採用したサンプルホールドIC，ナショナルセミコンダクタ社LF398Nは，②～③間のホールドセトリングタイムが0.8μs以上必要である。また，ホールドコンデンサに1000pFを使用したときのドループレート30mV/s，ホールドステップは10mVである。ADC0816CCNは入力範囲が0～5V，分解能が8bitであるから最小分解能1LSBは約0.019Vとなり，A/D変換時間を150μsとしてもサンプルホールドによる変換誤差は1LSB以内に収まる。また，アクイジションタイムは終値の±0.01%誤差内に落ち着くまで6μs以上必要である。

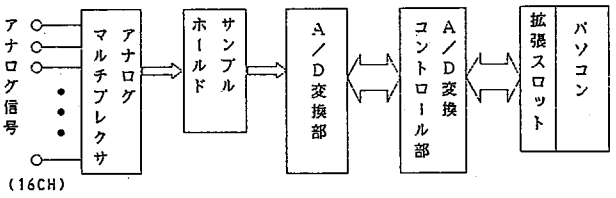


図1　ブロックダイヤグラム

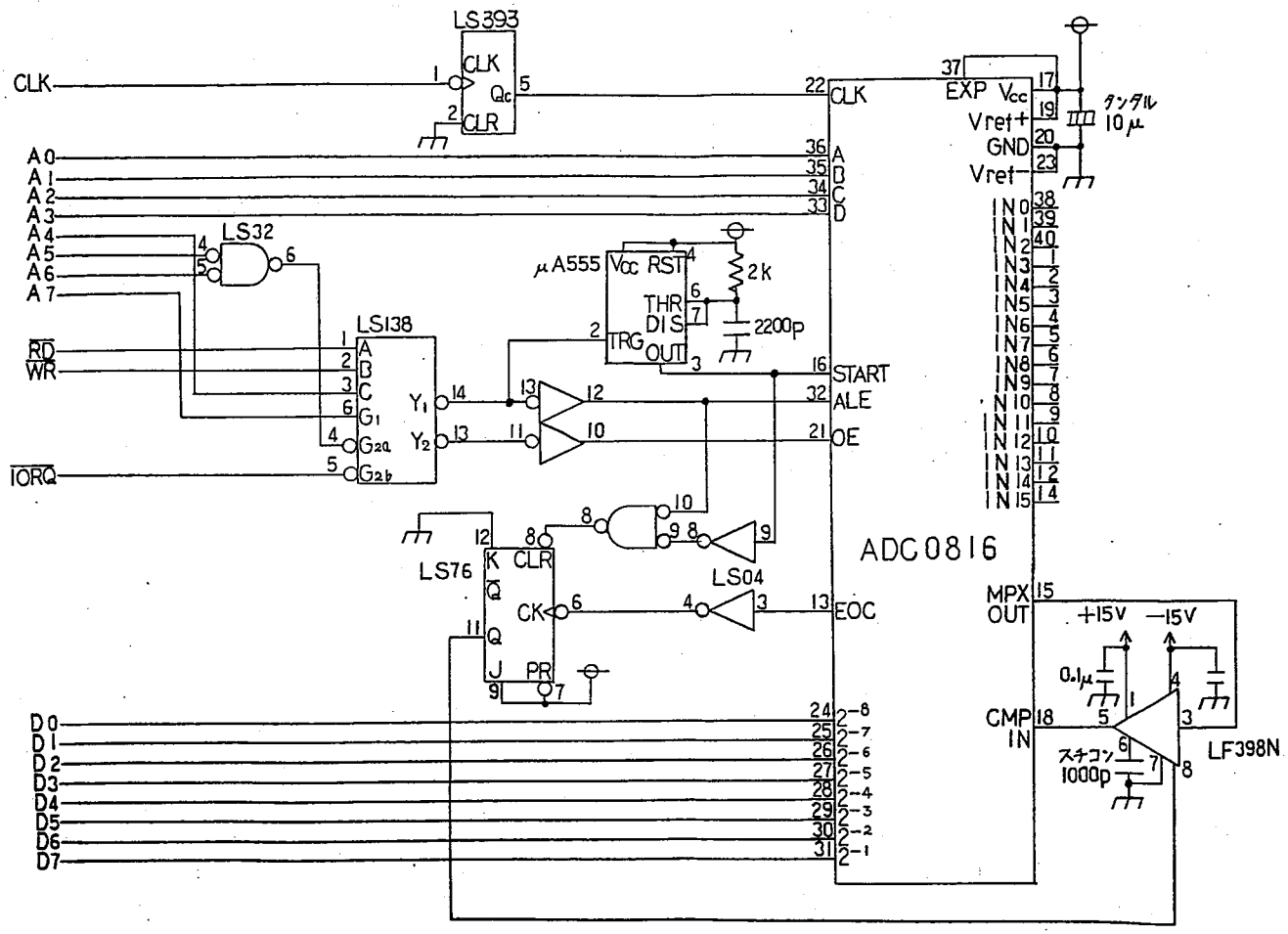


図2　A/D変換回路

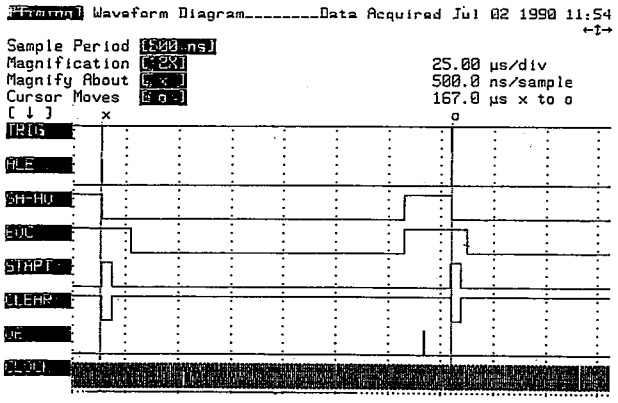


図3　A/D変換タイミング（全体）

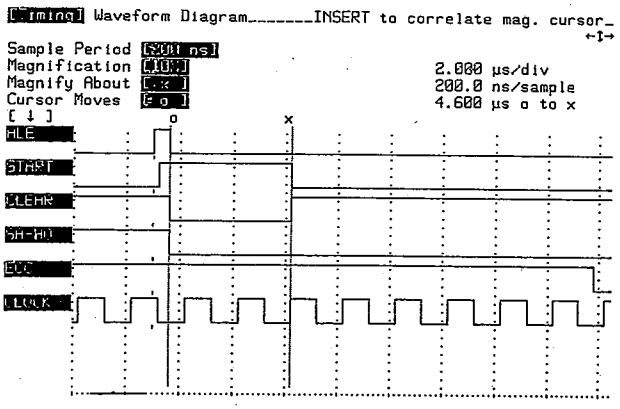


図4　A/D変換タイミング（一部）

アナログ回路の電源はDC/DCコンバータから供給することによりデジタル回路との絶縁を図っている。また，アナロググランドとデジタルグランドは1点接続を行っている。

上記A/D変換シーケンスを考慮した回路を図2，全体のタイミングを図3，特に①～③に注目したタイミングを図4に示す。

2.3　I/V変換回路

ADC0816CCNのアナログ入力範囲は0V～5Vであり4～20mA電流入力に対応するためには電流一電圧変換回路が必要である。オペアンプを用いた電流一電圧変換回路を図5に示す。

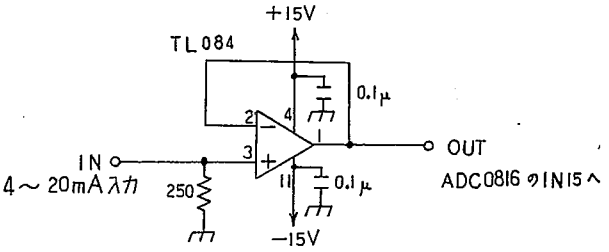


図5　I/V変換回路

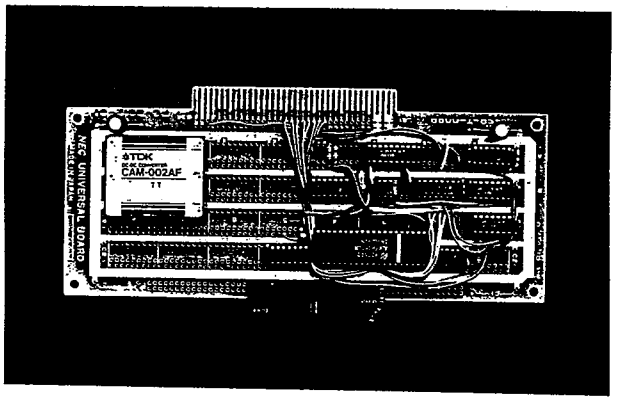


図6　A/D変換ボード

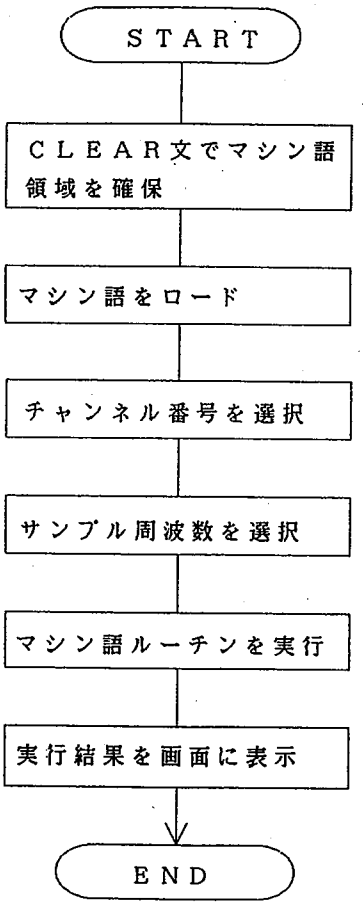


図7　全体プログラムのフローチャート

3. 実験と考察

試作したA/D変換ボードを図6に示す。このA/D変換ボードの評価は実際にパソコン（PC8801mk IISR）に組み込み，監視装置とした状態で行った。評価用プログラムはBASICで作成し，高速処理を要するA/D変換ルーチン部分はマシン語で作成した。

全体プログラムのフローチャートを図7，マシン語プログラムのフローチャートを図8に示す。

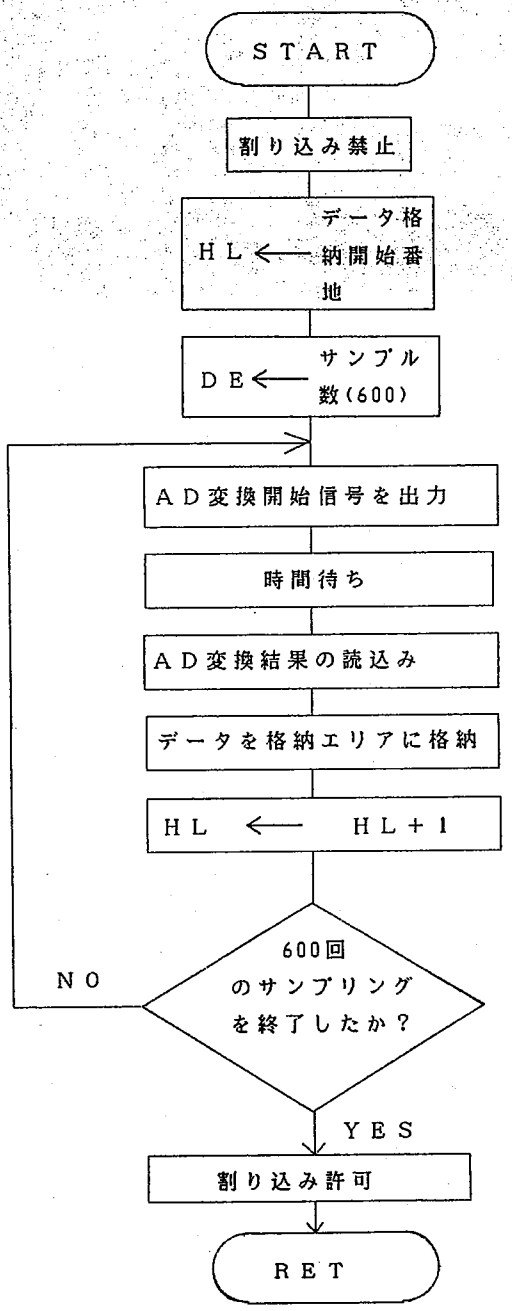


図8　マシン語プログラムのフローチャート

交流信号のサンプリング試験は，信号源としてファンクションジェネレータ（岩崎通信機FG-350）を用いて行った。約38Hzの正弦波と約29Hzの三角波をサンプリング周波数6kHzで測定した結果の画面ハードコピーを図9，図10に示す。

A/D変換の総合誤差試験は，信号源として標準電圧電流発生器（横河電機2553）を用いて行った。試験方法としては，標準直流電圧を入力し，サンプリング周波数6kHzで600回連続測定を行い，その平均値を求めた。A/D変換回路の最小分解能1LSBは約0.019Vであるから総合誤差は±1LSB以内に収まっている。

試験結果を図11に示す。

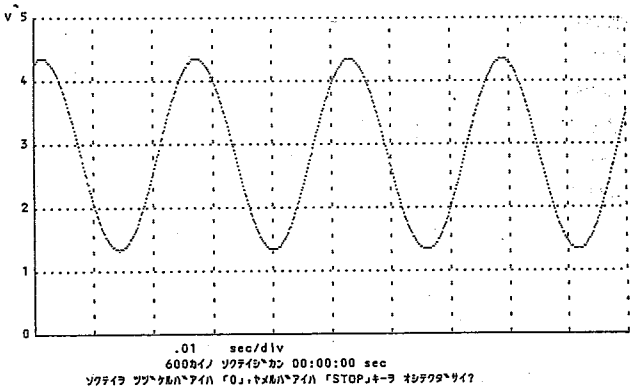


図9　正弦波測定結果

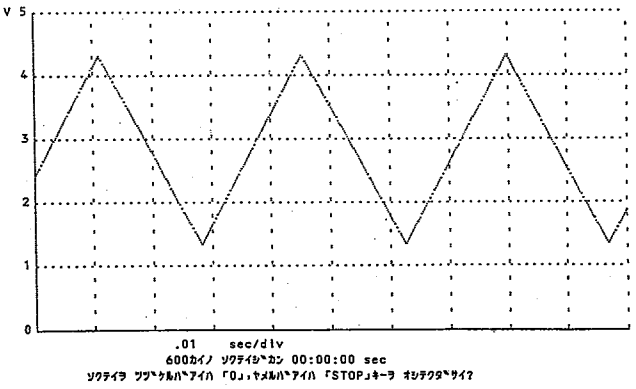


図10　三角波測定結果

アナログ入力値（V）	A／D変換の平均値（V）	誤　差（V）
0．000	0．00000	0．00000
1．000	1．00394	+0．00394
2．000	1．99169	−0．00831
3．000	2．99845	−0．00155
4．000	3．99515	−0．00485
5．000	4．98824	−0．01176

図11　総合誤差測定結果

ADC0816CCNへのクロックはパソコンのクロック（4MHz）を8分周して500kHzで供給しておりA/D変換時間の実測結果は，約134μsであった。またサンプリング周波数はソフトウェアタイマで設定するようにしてあり，変換データの読込みを含めた最高サンプリング周波数は，約6.7kHzとなった。

試作した監視装置の最終仕様は，次の通りである。

①入力チャンネル数　16ch
②分解能　8 bit
③最高サンプリング周波数　6.7kHz/ch
④総合誤差　±1LSB
⑤消費電流（A/D変換ボード）　0.4A
⑥入力範囲　4～20mA（1ch）
　　0～5V（15ch）

4．むすび

パソコンを利用した自動監視装置，なかでもその中心部分となるA/D変換ボードの試作，評価試験を行い最高サンプリング周波数6.7kHz総合誤差±1LSB以内であることを確認した。今回は，試作のためユニバーサル基板と空中配線で回路を組み立てたが，プリント基板まで設計しホールドコンデンサにガードリングを施す等すれば，更に誤差は小さくなると思われる。しかし，加工機の自動監視装置とすれば現状の精度，及びサンプリング速度で充分であろう。

今後は監視する対象にあわせてセンサを選択する，処理する内容をプログラミングするなどにより実用可能となると思われる。

参考文献

1）佐藤清忠：パソコンインターフェース考　CQ出版
2）佐々木彬夫・田保光雄：FA・LAの実際　サイエンスハウス
3）リニアICデータブック，NATIONAL SEMICONDUCTOR JAPAN

異機種 CAD/CAM システム間におけるデータ交換に関する基礎的研究

古谷　薫

Fundamentary reserch of data exchange among different CAD/CAM systems.

Kaoru FURUTANI

本研究は，ANVIL-4000 CAD/CAM システムにおける IGES フォーマットによる，異機種 CAD/CAM システム間の形状データの相互利用を可能にすることを目的とする。

種々の基礎的調査及び解析を実施し，2 次元の汎用 CAD/CAM システムやパソコンＣＡＤ等で作成した 2 次元形状のデータを ANVIL-4000で 3 次形状への展開，加工情報の作成等に利用することが可能になった。

1. 諸　言

現在，CAD/CAM システムは機械・金型設計を始め建築，電気部門から店舗の内装レイアウトまで，数多くの分野で有効な合理化省力化の手段として広く利用されている。これと同時にシステムの開発が急激に進み，多種多様なシステムが短期間のうちに登場した。このため１つの企業で複数の異なる機種のシステムが導入されたり，関連企業の間で異なる機種のシステムが利用されているといった状況が起きている。

このような場合，全体としてシステムを有効的に活用するためには，システム間におけるデータの互換性が大変重要であるが，これらのシステムは，ユーザー自身やソフトウェア会社で別々に開発されているため，異なるシステム間でのデータの相互利用は一般的にはできないのが現状である。

この問題を解決するために作られたのが，IGES (Initial Graphics Exchange Specification) 規格である。本研究は広島市工業技術センターに導入されている CAD/CAM システム ANVIL-4000 における IGES フォーマットによる CAD データの外部入出力技術を確立することにより，CAD/CAM システムのより有効的な活用を図ることを目的とする。

2. IGES の概要

2.1　データ交換

IGES は，異なる CAD/CAM システム間で製品定義データを伝達するための中間ファイルの形式を規定している。そのデータ交換の概念は図１のとおりである。

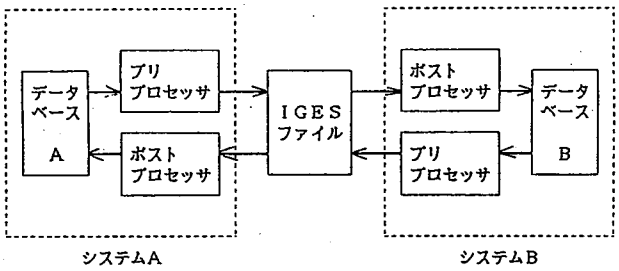


図１　IGES の概念

システムＡからシステムＢへデータを伝達する場合，Ａ側では自己のデータベースの中から伝達しようとするデータをプリプロセッサで IGES ファイルに変換して出力する。Ｂ側では送られてきた IGES ファイルをポストプロセッサで自己のデータ様式に変換してデータを受け取る。

2.2　構成要素

IGESで表現される要素は要素番号で識別され，幾何形状要素，表記要素および構造要素に大別することができる。図2に幾何形状要素，表記要素の例を示す。

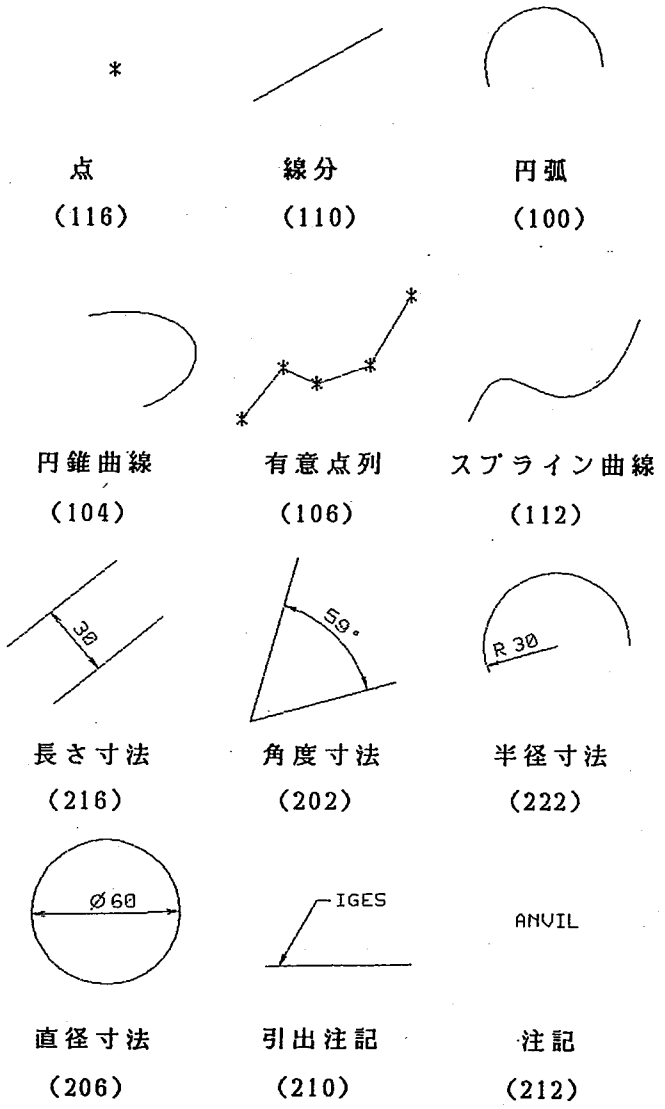


図2　幾何学形状要素及び標記要素の例

2.3　IGESファイルの形式

IGESファイルは図3に示すように5つのセクションで構成される。各レコードは固定長（80文字）のASCIIデータである。

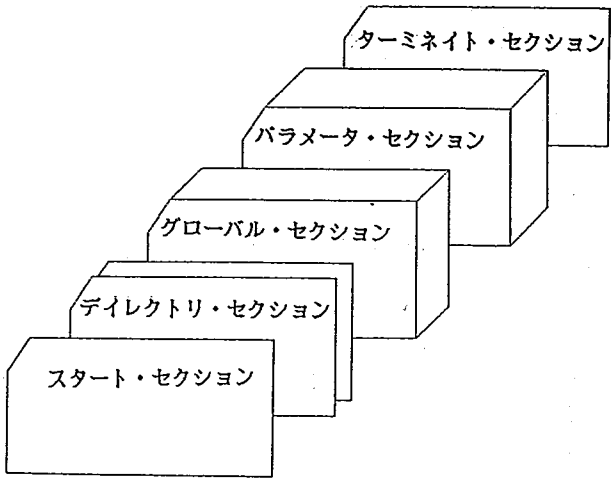


図3　IGESファイルの構成

各セクションの内容は次のとおりである。

① スタート・セクション

相手システムへのメッセージを記述する。

② グローバル・セクション

相手に伝えるシステム情報（精度，日付，単位，縮尺，システム名等）を記述する。

③ ディレクトリ・セクション

各要素の属性情報（線種，線幅，色，ペン番号，パラメータ・セクションへのポインタ等）を記述する。

④ パラメータ・セクション

要素番号，要素の定義データ（線分の場合，始点・終点の座標値）を記述する。

⑤ ターミネイト・セクション

ファイルの物理的な大きさ（各セクションのレコード数）を記述する。

3. ANVIL-4000のIGES

3.1　メニュー選択

ANVIL-4000ではメニューが階層構造になっている。IGESフォーマットによるデータ入出力を行う場合，メニューの選択は図4のようである。

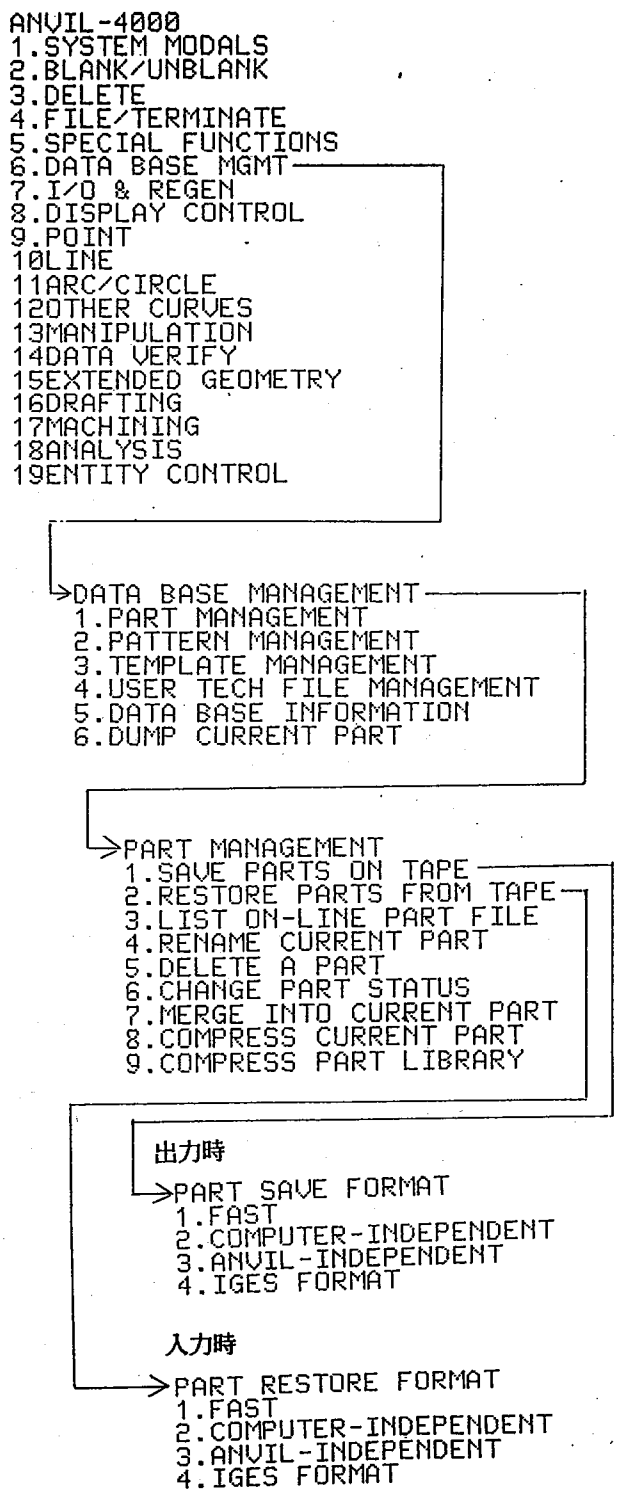


図4　メニュー選択の流れ

当工業技術センターに導入されているANVIL-4000はFACOM S-3300上で動いている。IGESフォーマットによるデータ入出力の場合，システム内部におけるデータの流れは図5のようである。

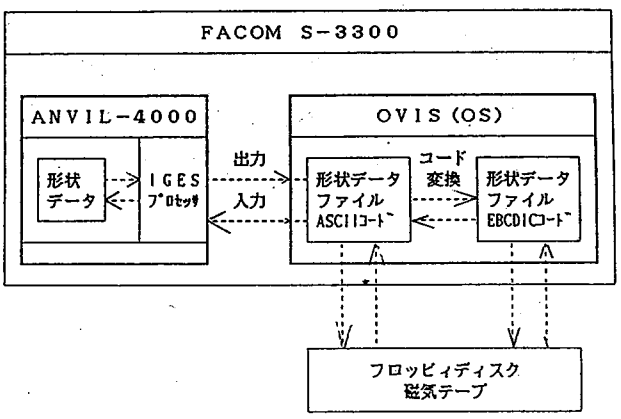


図5　IGESフォーマットによる外部入出力

3.2　コード変換

IGESファイルは2.3で述べたようにASCIIコードで記述されている。しかしS-3300のオペレーションシステムOVISではEBCDICコードが使われているため，ファイルのリストを直接ディスプレイ上に表示させることはできない。IGESファイルの内容の確認や修正ができるよう，ファイルの変換プログラムを作成した。作成したプログラムのソースコードは付録リスト1に示す。

このプログラムによりASCIIコード（バイナリー形式）のファイルがEBCDICコードのファイルに変換される。使用した言語はFORTRANである。

一方EBCDICコードのファイルをANVIL-4000に読み込ませる場合は，前とは逆の変換操作が必要となる。EBCDICコードのファイルをASCIIコードのファイルに変換するためのプログラムは付録リスト2に示す。

3.3　出力結果

図6に示す形状をANVIL-4000で作成した。この形状データをＩＧＥＳフォーマットで出力し，コード変換プログラムによりコード変換した結果はリスト1のようである。

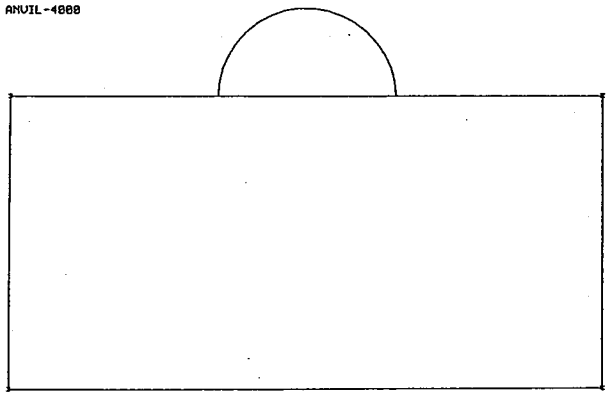


図6　形状定義の例

[リスト1の説明]

各レコードの終わりの8桁は，セクションを区別するための記号

S：スタート・セクション

G：グローバル・セクション

D：ディレクトリ・セクション

P：パラメータ・セクション

T：ターミネイト・セクション

及び各セクション内での行番号からなっている。

D0000033の行に注目すると，この行が表している点要素（要素番号116）はP0000019の行を参照することにより，点の座標値が（100，50，0）であることがわかる。

4. 結　言

異機種のCAD/CAMシステムを利用して製品の設計・製造を行う場合，データの互換性は重要なファクターである。この問題に対してIGESは1つの有力な手段となる。

本研究によりANVIL-4000において，IGESフォーマットによる異機種CAD/CAMシステムとの形状データの交換が可能になった。

さらに2次元の汎用CAD/CAMシステムやパソコンCADなどで作成した図面データ，2次元形状のデータを，ANVIL-4000で3次元形状への展開，加工情報の作成に利用することも可能である。

参考文献

1) ANVIL-4000　REFERENCE MANUAL

2) CAD/CAMキーワード100　CAD/CAM用語研究会編　工業調査会

3) PIXEL　No.10　No.72

リスト１　IGESファイルの出力例

```
                    DATA SET NAME : CAD001.X1.DATA
IGES CONSTRUCTION OF  GS17, SHEET NO.  1                                S0000001
,,4HGS17,,24HANVIL-4000, REL 1, REV 7,,32,8,24,8,56,,1.,2,2HMM,0,,13H891G0000001
222.115000,,,,:                                                         G0000002
     124      1      1                          0        000100 D0000001
     124                    1                                     D0000002
     410      2      1                          1        000100 D0000003
     410                    1                                     D0000004
     124      3      1                          0        000100 D0000005
     124                    1                                     D0000006
     410      4      1                          5        000100 D0000007
     410                    1                                     D0000008
     124      5      1                          0        000100 D0000009
     124                    1                                     D0000010
     410      6      1                          9        000100 D0000011
     410                    1                                     D0000012
     124      7      1                          0        000100 D0000013
     124                    2                                     D0000014
     410      9      1                         13        000100 D0000015
     410                    1                                     D0000016
     124     10      1                          0        000100 D0000017
     124                    1                                     D0000018
     410     11      1                         17        000100 D0000019
     410                    1                                     D0000020
     124     12      1                          0        000100 D0000021
     124                    1                                     D0000022
     410     13      1                         21        000100 D0000023
     410                    1                                     D0000024
     124     14      1                          0        000100 D0000025
     124                    1                                     D0000026
     410     15      1                         25        000100 D0000027
     410                    1                                     D0000028
     124     16      1                          0        000100 D0000029
     124                    2                                     D0000030
     410     18      1                         29        000100 D0000031
     410                    1                                     D0000032
     116     19      2      1      0           0       00000000D0000033
     116      0      0      1                                     D0000034
     116     20      2      1      0           0       00000000D0000035
     116      0      0      1                                     D0000036
     116     21      2      1      0           0       00000000D0000037
     116      0      0      1                                     D0000038
     116     22      2      1      0           0       00000000D0000039
     116      0      0      1                                     D0000040
     110     23      2      1      0           0       00000000D0000041
     110      0      0      1                                     D0000042
     110     24      2      1      0           0       00000000D0000043
     110      0      0      1                                     D0000044
     110     25      2      1      0           0       00000000D0000045
     110      0      0      1                                     D0000046
     110     26      2      1      0           0       00000000D0000047
     110      0      0      1                                     D0000048
     100     27      2      1      0           0       00000000D0000049
     100      0      0      1                                     D0000050
124,1.,0.,0.,0.,0.,1.,0.,0.,0.,0.,1.,0.;                            00000001P0000001
410,1;                                                              00000003P0000002
124,1.,0.,0.,0.,0.,0.,-1.,0.,0.,1.,0.,0.;                           00000005P0000003
410,2;                                                              00000007P0000004
124,0.,0.,1.,0.,0.,1.,0.,0.,-1.,0.,0.,0.;                           00000009P0000005
410,3;                                                              00000011P0000006
124,0.866029977798,0.,-0.5,0.,-0.25,0.866029977798,                 00000013P0000007
-0.433014988899,0.,0.433014988899,0.5,0.75,0.;                      00000013P0000008
410,4;                                                              00000015P0000009
124,-1.,0.,0.,0.,0.,1.,0.,0.,0.,0.,-1.,0.;                          00000017P0000010
410,5;                                                              00000019P0000011
124,1.,0.,0.,0.,0.,0.,1.,0.,0.,-1.,0.,0.;                           00000021P0000012
410,6;                                                              00000023P0000013
124,0.,0.,-1.,0.,0.,1.,0.,0.,1.,0.,0.,0.;                           00000025P0000014
410,7;                                                              00000027P0000015
124,0.866029977798,0.,0.5,0.,-0.25,0.866029977798,                  00000029P0000016
0.433014988899,0.,-0.433014988899,-0.5,0.75,0.;                     00000029P0000017
410,8;                                                              00000031P0000018
116,100.,50.,0.;                                                    00000033P0000019
116,100.,-50.,0.;                                                   00000035P0000020
116,-100.,-50.,0.;                                                  00000037P0000021
116,-100.,50.,0.;                                                   00000039P0000022
110,100.,50.,0.,-100.,50.,0.;                                       00000041P0000023
110,-100.,50.,0.,-100.,-50.,0.;                                     00000043P0000024
110,-100.,-50.,0.,100.,-50.,0.;                                     00000045P0000025
110,100.,-50.,0.,100.,50.,0.;                                       00000047P0000026
100,0.,0.,50.,30.,50.,-29.9999847,50.0000153;                       00000049P0000027
S0000001G0000002D0000050P0000027                                          T0000001
```

[属性]

点

線分

円弧

[数値]

点

線分

円弧

スタートセクション

グローバルセクション

デイレクトリセクション

パラメータセクション

ターミネイトセクション

付録　リスト１
　コード変換プログラム１
　（ASCII コード→EBCDIC コード）

```
----+----1----+----2----+----3----+----4----+----5----+----6----+----7----+----8

        MEMBER NAME AE01                LIBRARY NAME PWD001
                    LEVEL      15       DATE       89.08.08   TIME       10.10.37
              ***** APPOINTED MODULE INFORMATION *****
                    LEVEL      15       DATE       89.12.22   TIME       16.46.47

      PROGRAM CASCCI                                                      00000100
      CHARACTER*84  IBUFF,OBUFF                                           00000200
      CHARACTER*80  OBUFF2                                                00000210
      CHARACTER*4   WCHA1,WCHA2                                           00000300
      INTEGER*4     ICHA1,ICHA2,ASCCI                                     00000400
      EQUIVALENCE    (WCHA1,ICHA1)                                        00000500
      EQUIVALENCE    (WCHA2,ICHA2)                                        00000600
C                                                                         00000700
      OPEN (UNIT=20,FORM='UNFORMATTED')                                   00000800
      OPEN (UNIT=21,FORM='FORMATTED')                                     00000900
      DO 9000 WHILE (1.EQ.1)                                              00001000
          READ (20,END=8000)IWCNT,(IBUFF(I:I),I=1,IWCNT*4)                00001100
          DO 1000 I=1,IWCNT*4                                             00001200
              ICHA1=0                                                     00001300
              WCHA1(4:4)=IBUFF(I:I)                                       00001400
              ICHA2=ASCCI(ICHA1)                                          00001500
              OBUFF(I:I)=WCHA2(4:4)                                       00001600
1000      CONTINUE                                                        00001700
      DO 2000 I=1,IWCNT*4                                                 00001710
          OBUFF2(I:I)=OBUFF(I:I)                                          00001720
2000  CONTINUE                                                            00001730
          WRITE (21,110)OBUFF2                                            00001800
100       FORMAT(A84)                                                     00001900
110       FORMAT(A80)                                                     00002000
9000  CONTINUE                                                            00002100
8000  CLOSE (20)                                                          00002200
      CLOSE (21)                                                          00002300
      STOP                                                                00002400
      END                                                                 00002500
C                                                                         00002600
      INTEGER FUNCTION ASCCI(IA1)                                         00002700
C                                                                         00002800
      INTEGER EBCDIC(128)                                                 00002900
      DATA EBCDIC                                                         00003000
C        0   1   2   3   4   5   6   7   8   9   A   B   C   D   E   F     00003100
     1/000,001,002,003,055,045,046,047,022,005,037,011,012,013,014,015,   00003200
     - 2 016,017,018,019,060,061,050,038,024,025,063,039,028,029,030,031,  00003300
     3 064,090,127,123,091,108,080,125,077,093,092,078,107,096,075,097,   00003400
     4 240,241,242,243,244,245,246,247,248,249,122,094,076,126,110,111,   00003500
     5 124,193,194,195,196,197,198,199,200,201,209,210,211,212,213,214,   00003600
     6 215,216,217,226,227,228,229,230,231,232,233,173,224,189,095,109,   00003700
     7 121,129,130,131,132,133,134,135,136,137,145,146,147,148,149,150,   00003800
     8 151,152,153,162,163,164,165,166,167,168,169,192,079,208,161,007/   00003900
C        0   1   2   3   4   5   6   7   8   9   A   B   C   D   E   F     00004000
C                                                                         00004100
      DATA MSK7                                                           00004200
     1/127/                                                               00004300
C                                                                         00004400
      ISUB=(IAND(IA1,MSK7)+1)                                             00004500
      ASCCI= EBCDIC(ISUB)                                                 00004600
9000  RETURN                                                              00004700
      END                                                                 00004800
```

付録　リスト２
コード変換プログラム２
(EBCDIC コード→ASCII コード)

```
----+----1----+----2----+----3----+----4----+----5----+----6----+----7----+----8

        MEMBER NAME EAA                  LIBRARY NAME PWD001
                    LEVEL      4         DATE       89.07.13  TIME       16.29.21
              ***** APPOINTED MODULE INFORMATION *****
                    LEVEL      4         DATE       89.07.14  TIME       14.42.09

      PROGRAM CVTDAT                                                     00000100
C                                                                        00000200
C     07-13-89 K.FURUTANI                                                00000300
C                                                                        00000400
      CHARACTER*80    IBUFF                                              00000500
      LENG=80                                                            00000600
      OPEN (UNIT=20)                                                     00000700
      OPEN (UNIT=21,FORM='UNFORMATTED')                                  00000800
 1000 CONTINUE                                                           00000900
         READ (20,200,END=8000)IBUFF                                     00001000
         WRITE (6,200)IBUFF                                              00001010
  200 FORMAT(A80)                                                        00001100
C                                                                        00001200
      CALL EBASC(LENG,IBUFF)                                             00001300
      WRITE(21)LENG/4,IBUFF                                              00001400
      GO TO 1000                                                         00001500
 8000 CLOSE (20)                                                         00001600
      CLOSE (21)                                                         00001700
      END                                                                00001800
```

```
      SUBROUTINE EBASC(IA1,IA2)                                          00000100
C                                                                        00000200
C     07-13-89 K.FURUTANI                                                00000300
C                                                                        00000400
      INTEGER IA2(2),C(256),ASC,BCD                                      00000500
      DATA C                                                             00000600
C        0   1   2   3   4   5   6   7   8   9   A   B   C   D   E   F    00000700
     1/000,001,002,003,255,009,255,127,255,255,255,011,012,013,014,015,  00000800
     2 016,017,018,019,255,010,008,255,024,025,255,255,023,029,030,031,  00000900
     3 255,255,028,255,255,010,023,027,255,255,255,255,255,005,006,007,  00001000
     4 255,255,022,255,255,255,255,004,255,255,255,255,020,021,255,026,  00001100
     5 032,255,255,255,255,255,255,255,255,255,255,255,046,060,040,043,124,  00001200
     6 038,255,255,255,255,255,255,255,255,255,255,255,033,036,042,041,069,094,  00001300
     7 045,047,255,255,255,255,255,255,255,255,255,124,044,037,095,062,063,  00001400
     8 255,255,255,255,255,255,255,255,255,255,096,058,035,064,039,061,034,  00001500
     9 255,097,098,099,100,101,102,103,104,105,255,255,255,255,255,255,  00001600
     1 255,106,107,108,109,110,111,112,113,114,255,255,255,255,255,255,  00001700
     2 255,126,115,116,117,118,119,120,121,122,255,255,255,255,255,255,  00001800
     3 255,255,255,255,255,255,255,255,255,255,255,255,255,091,255,255,  00001900
     4 123,065,066,067,068,069,070,071,072,073,255,255,255,255,255,255,  00002000
     5 125,074,075,076,077,078,079,080,081,082,255,255,255,255,255,255,  00002100
     6 092,255,083,084,085,086,087,088,089,090,255,255,255,255,255,255,  00002200
     7 048,049,050,051,052,053,054,055,056,057,255,255,255,255,255,2557  00002300
C        0   1   2   3   4   5   6   7   8   9   A   B   C   D   E   F    00002400
C                                                                        00002500
      IF(IA1.LT.1)GO TO 9000                                             00002600
      DO 100 I=1,IA1                                                     00002700
      BCD=LDBYT(IA2(1),I)                                                00002800
      ASC=C(BCD+1)                                                       00002900
      CALL STBYT(ASC,IA2(1),I)                                           00003000
  100 CONTINUE                                                           00003100
 9000 RETURN                                                             00003200
      END                                                                00003300
```

付録　リスト２（続き）

```
----+----1----+----2----+----3----+----4----+----5----+----6----+----7----+----8

          MEMBER NAME EA03                  LIBRARY NAME PWD001
                      LEVEL      5          DATE       89.07.13   TIME       14.54.28
                *****APPOINTED MODULE INFORMATION *****
                      LEVEL      5          DATE       89.07.13   TIME       15.24.46

      SUBROUTINE STBYT(IA1,IA2,IA3)                                          00000100
C                                                                            00000200
C     07-13-89  K.FURUTANI                                                   00000210
C                                                                            00000220
      INTEGER IA2(2),MSK(4)                                                  00000300
      DATA MSK                                                               00000400
     1    /Z00FFFFFF,ZFF00FFFF,ZFFFF00FF,ZFFFFFF00/                          00000500
C                                                                            00000600
      ICNT = IA3-1                                                           00000700
      I = (ICNT/4)+1                                                         00000800
      IPOS = ICNT-4*(ICNT/4)+1                                               00000900
      IWORD = IAND(IA2(I),MSK(IPOS))                                         00001000
      ISHF = (4-IPOS)*8                                                      00001100
      IA2(I) = IOR(IWORD,ISHFT(IA1,ISHF))                                    00001200
      RETURN                                                                 00001300
      END                                                                    00001400


      INTEGER FUNCTION LDBYT(IA1,IA2)                                        00000100
      INTEGER IA1(2)                                                         00000200
      DATA MSKLO/255/                                                        00000210*
      ICNT = IA2-1                                                           00000300
      I = (ICNT/4)+1                                                         00000400
      IWORD = IA1(I)                                                         00000500
      IPOS = 3-(ICNT-4*(ICNT/4))                                             00000600
      ISFT = 8*IPOS                                                          00000700
      IWORD = ISHFT(IWORD,-(ISFT))                                           00000800
      LDBYT = IAND(IWORD,MSKLO)                                              00000900
      RETURN                                                                 00001000
      END                                                                    00001100
                                                                             00001200
```

中堅・中小企業のCIMシステム構築の基礎的研究

小島一洋，西山修二，山本慧實，横山武房，中村信人*，森川克己*，重光敏明**，

Fundamental Research on Development of Computer Integrated Manufacturing System in Smaller and Intermediate Enterprise

Kazuhiro OJIMA
Shuji NISHIYAMA
Satomi YAMAMOTO
Takefusa YOKOYAMA
Nobuto NAKAMURA
Katumi MORIKAWA
Toshiaki SHIGEMITU

(研究概要)

1990年代の前半期には，戦略的な生産システムとして開花するであろうと言われているCIMシステムが世界各国で，近年脚光を浴びている。広島地域の中堅・中小企業にも極めて強い関心を持ち，検証をしている企業が見受けられるが，その取り組みが今一つと言った段階である。広島市工業技術センターでは，このような地域のCIM背景を踏まえ平成元年度に「生産管理・技術研究会」(6会合)を実施しCIMシステム構築への啓蒙を図った。この小論は，産・学・官の技術交流で実施した研究会報告書（125頁）をベースに，その後の検討結果も織込みとりまとめたものである。この研究会は，平成2年度に「CIM研究会」として発展し，地域中堅・中小企業12社を対象に「特定モデルによる事例研究」に取り組み中のところである。

* 広島大学 工学部 計数管理工学教室
** 三菱重工㈱広島工機工場

1. はじめに

広島地域の製造業をとりまく事業環境は，円高やNIESの追い上げ，競争の激化，技術革新，顧客ニーズの多様化などによって大きく変化している。それにともない，従来からの課題であったコストダウンや在庫の削減などに加え，市場ニーズを迅速・的確に把握，製品開発のスピードの向上・多様なニーズに対応するために生産のフレキシビリティーの確保などが新たな課題となっている。

こうした課題の解決には，個別の業務や部門単位での効率化には限界がある。そこで，図1に示すように「技術」「生産」「販売」の各機能のつながりを戦略的に統合するCIM（Computer Integrated Manufacturing）が注目されている。これは，従来の生産管理・生産技術に情報理論，コンピュータサイエンス，通信技術更に知能化技術等を融合した新しい技術であり，企業を高度な生産システムに変革して行こうとするものである。従来CIMは比較的規模の大きな企業に採用されていたが，日本経済の底辺を支える中小企業においても今や必要不可欠なシステムとなりつつある。

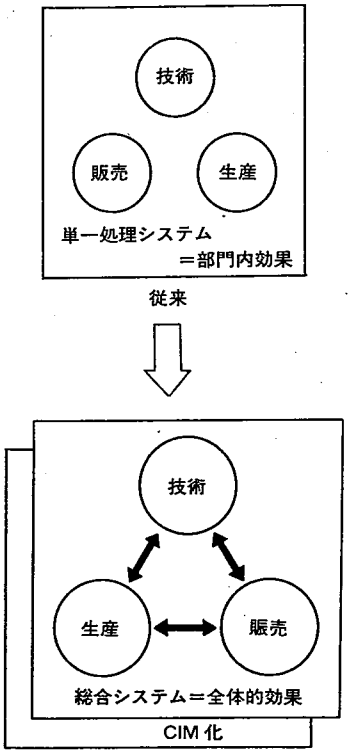


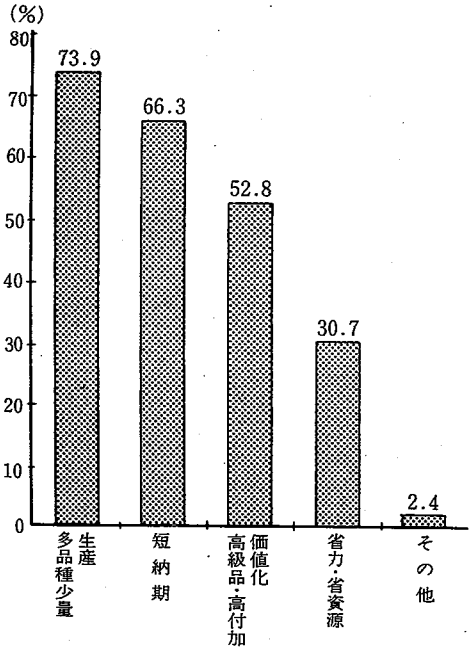
図1　CIM化による効果

2. 中小企業の生産管理・技術の現状

2.1　中小企業に求められている「技術」「生産」「販売」の各機能のつながり

高水準化する市場の要求に応じるための技術力の重要性がますます高まっている。中小企業は生産ラインでの技術力や生産管理の面では能力を有するものの，市場との関係を重視した技術力の行使や技術開発の面では立ち遅れを見せている。経営力の面で制約がある場合が多い中小企業にとっては，重点的・効率的な技術力獲得のための戦略的視点が必要である。

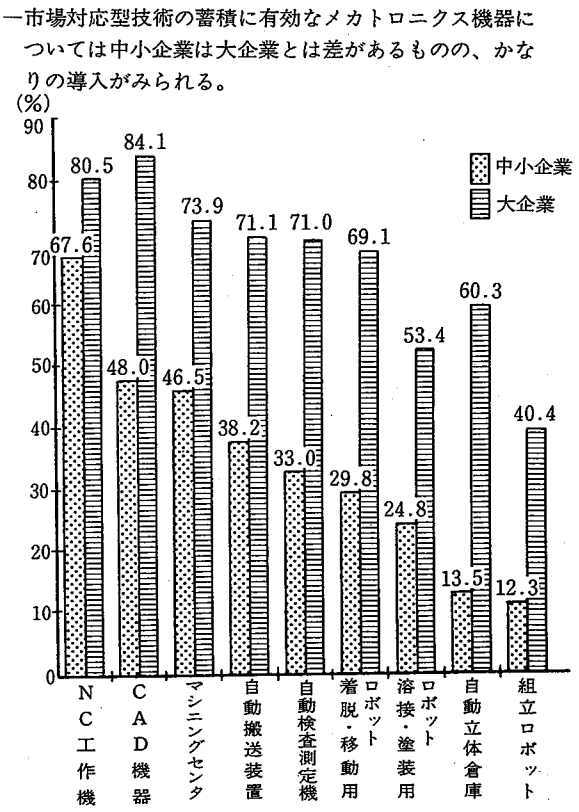
技術力蓄積の一つの方向が，高付加価値化，多品種小ロット化，短サイクル化といった既存市場の要求（図2参照）に対応しうる技術（市場対応型技術）の蓄積である。



資料：中小企業庁「技術活動実態調査」元年12月
（注）　複数回答のため合計は100を超える。

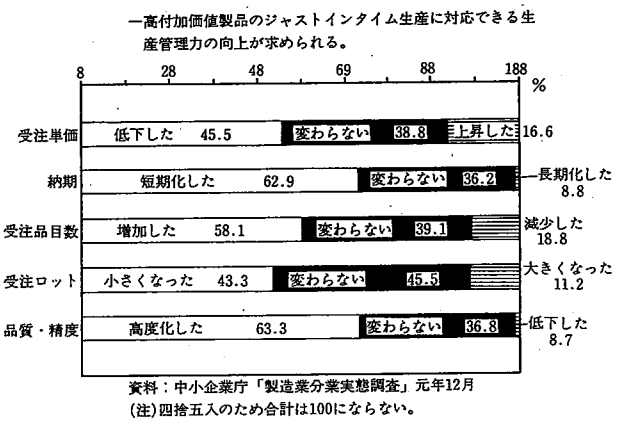
図2　既存市場が求める技術（中小企業）

一方，市場の要求が高水準化する中で，企業活動において優れた外部資源を活用する必要性が高まっており，下請中小企業の果たす役割はその重要性を増している。親企業の海外進出および輸入品への切り替えによる下請活用の見直しとあいまって，親企業の要求に対応できる企業とできない企業との差が拡大している。このような傾向は，下請中小企業にとって自らの能力を高め，新たな発展を遂げるチャンスでもある。今後，下請中小企業が技術力・生産管理力の一層の強化，さらには技術の専門化，設計能力の強化を図ることによって，単に親企業からの受注をこなすだけの立場から，親企業に対して積極的に提案し，共同で事業展開を行うパートナーへとその役割を高めることが期待される。



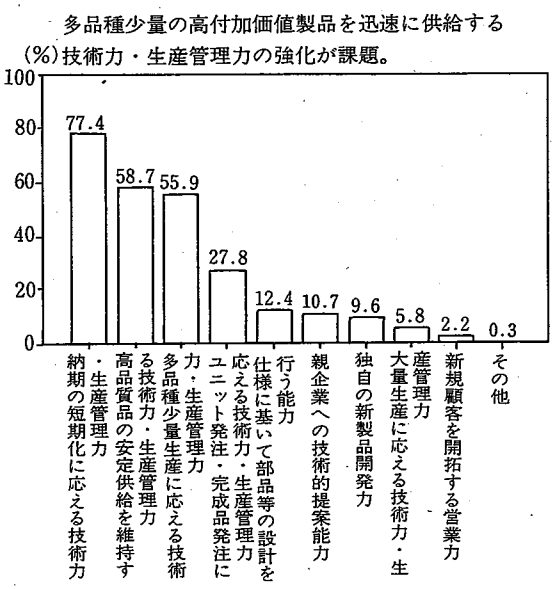
資料：中小企業庁「技術活動実態調査」元年12月
(注)1. CADとはコンピュータ・エイディット・デザインの略。
2. 複数回答のため合計は100を超える。

図3　メカトロニクス機器導入状況



資料：中小企業庁「製造業分業実態調査」元年12月
(注)四捨五入のため合計は100にならない。

図4　親企業の要求水準の変化



資料：中小企業庁「製造業分業実態調査」元年12月
(注)複数回答のため合計は100を超える。

図5　下請中小企業に今後必要とされる能力

図3～図5は，平成2年5月に公表された平成元年度の中小企業白書の指摘である。この指摘の解決策の有力な手がかりが，「技術」「生産」「販売」の各機能を統合化しようとするCIM技術である。

2.2 広島地域での中堅・中小企業の現況

広島市工業技術センターが平成元年度の事業として取り組んだ「生産管理・技術研究会」において会員16社に対して「生産システム」に関するアンケートと各会員から「自社の生産管理・技術の現状と問題点」を発表して貰い，その改善方向につき検討を実施した。

これは，広島地域の全業種の中堅・中小企業の全ぼうではないが会員の構成のバラエティーから考えて，広島地域のかなりの傾向を示しているものと受けとめたい。

前項2で述べた平成元年度の中小企業白書レベルの傾向は，広島地域でも同様であった。またCIMへの取り組み等についても問題意識はあるもののその取り組みが今一つと言ったところである。先ずは，CIM技術の基礎的勉強とシステムエンジニアリング能力の向上が必要な段階である。

次に「生産システムに関するアンケート結果」を表1～表12に示す。

実施年月日：平成元年10月25日
サンプル数：16社（各欄右の数値は回答実数）

表1　研究会会員企業の業種

主業種を1つだけ選んで下さい							
製造業	14	食品	1	化学		金属	2
		飲料・飼料		石油・石炭		一般機械	1
		繊維		プラスチック	1	電気機械	1
		衣服		ゴム		輸送機械	2
		木材		革製品		精密機械	1
		家具	2	窯業		その他	2
		パルプ・紙		鉄鋼			
		印刷		非鉄金属	1		
卸売業	1						
小売業	1						
サービス業							
建設業	1						
運輸・通信業							
その他	1						

生産工程	製品設計	9	加工	13	組立	10	検査	10	その他	3	
生産形態	見込生産	5	反復的受注生産	9	個別受注生産	6					

表2　質問1

Q1．ここ数年の貴社の経営環境の変化について，お知らせ下さい	
受注競争が厳しくなった	8
新製品開発競争が厳しくなった	7
部品，パーツが従来のものと大幅に異なるようになった	
品種が大幅に増えてきた	9
生産量が小口化してきた	10
納期が短くなってきた	8
ものの作り方が大幅に変わってきた	2
納期時間を指定されるようになった	5
特急飛び込みが多くなった	5
仕様変更が多くなった	6
納品の頻度が増加した	7
品質チェックが厳しくなった	7
コストダウンの要請が厳しくなった	11
取引情報がオンライン化された	4
取引先からコンピュータの導入を要請された	
取引情報がフロッピィ化された	

表3　質問2

Q2．その変化に対応するために，積極的に取り組んだ課題は何でしたか					
設備の更新	6	TQC運動	8	多品種化	5
FA化	2	品質・精度の向上	8	新材料等の活用	1
FMS化	2	コスト削減	6	新製品開発	5
コンピュータ化	4	シングル段取り	3	市場開発	3
MRPの導入	2	在庫把握・削減	6	業種転換	
省力化	9	部品点数の削減	1	ネットワーク化	3
現場改善	11	加工工数の削減	5	取引先の変更	
標準化	7	技術導入	2	その他	
現場教育	9	量産化	1		

表4　質問3

Q3．貴社のコンピュータ対象業務をお知らせ下さい					
需要予測	3	部品在庫管理	3	見積り計算	2
生産計画	7	製品在庫管理	4	得意先管理	4
受注・出荷管理	9	技術情報管理	1	財務管理	9
手順計画	1	技術計算	1	給与計算	15
作業指示	3	CAD	7	手形管理	1
進捗管理	3	CAM	5	売掛・買掛管理	9
資材計画	2	検査業務		MRPシステム	2
購買・外注管理	7	配送計画	3	CIMシステム	1
受入・検収管理	4	原価管理	6	コンピュータは利用せず	

表5　質問4

Q4．コンピュータ導入・活用の目的は何ですか			
売上高の増大を図るため	1	現場の進捗を把握するため	4
利益の増大を図るため	3	適切な生産計画を立てるため	7
コストダウンを図るため	5	設計の効率化を図るため	5
省力化を図るため	11	品質を向上させるため	2
生産性を向上させるため	7	管理のレベルアップのため	6
生産期間の短縮を図るため	5	意思決定情報の収集のため	5
納期管理を徹底させるため	7	事務処理の迅速化，正確化のため	10
多品種少量生産に対応するため	6	取引先からの要請	
部品在庫を減らすため	2	企業のイメージアップのため	
仕掛品の減少のため	2	その他	

表6　質問5

Q5．どのような部品表をお使いですか			
部品表を作っている	8	部品表は作っていない	
設計用部品表	6		
計画用部品表	3		
手配用部品表	9		
その他			
無回答	1		

表7　質問6

Q6．在庫管理についてお知らせ下さい。棚卸はどのようにしていますか			
(周期) 年 1回	4	(対象品目) 全部品	11
年 2回	5	主力部品	2
年 6回	1	製造品	1
年12回 (月1回)	6	指定品	1
その都度	1	無回答	3

表8　質問7

Q7．実際在庫と帳簿上の在庫の一致 (精度) はどのくらいですか			
ほぼ 100%一致する	6	ほぼ 60%ぐらい	1
ほぼ 95%ぐらい	2	60%以下	
ほぼ 90%ぐらい	3	よく分からない	
ほぼ 80%ぐらい	2	無回答	2

表9　質問8

Q8．資材の手配や製造指示のために用いる「生産計画」は立てていますか	
注文をこなすのに精いっぱいで，これといって立てていない	3
得意先から特急飛び込み的に注文が入るので立てられない	
親企業の立てた計画に従っている	3
生産計画は自社で立てている	11
その他	

表10　質問9

Q9．生産計画は計画どおり実行されますか	
ほぼ実行される	3
8割ぐらい実行されている	8
6割ぐらい実行されている	4
半分ぐらい実行されている	
ほとんど実行されない	
無回答	1

表11　質問10

Q10．生産計画が計画どおり実行されない主な理由は何ですか	
最初から無理な計画を立てているため	7
部品等の欠品，品切れが多いため	4
現場作業員が急に休むため	2
特急の注文が入るため	5
需要予測が不確かなため	4
販売計画が不確かなため	3
その他	1
無回答	3

表12　質問11

Q11．製造完了報告 (実績報告) はどのようにしていますか	
製造日報に記入する	11
製造指示書ごとに記入する	4
上記伝票等に手書きしたものをコンピュータに入力する	6
作業員等が作業現場でコンピュータに直接入力する	
生産設備から直接コンピュータに入力する	

3．CIM の基礎と構築

3.1　CIM の定義

CIM の定義はいくつか提案されているが，それらをまとめれば次のようになる。

①組織体としての定義：

組織の主機能のコンピュータ化にかかわる定義。CIM を戦略レベルにおいて用いる。思想的，概念的把握。

②情報システムとしての定義：

CIM を情報管理システムにおける手段として用いる。1つのフィードバックシステムの体系としての把握。

③単体としての定義：

CIM をある特定の側面から見る考え方。例えば統合的 CAD/CAM，進歩的生産技術などとしての把握。

ここでは次のような定義を採用したい。

“CIM は企業のすべての部門を包含するものであって，単に製造部門だけにかかわるものではない。そこでは組織の統合化が大切であって，必ずしも組織体のコンピュータ化を要求するものではなく，コンピュータは単なる組織統合化のための手段である。したがって，CIM とは組織のすべての機能がそれによって統合化され，1つの部門の情報が，所与の制約下においてすばやく他部門に伝達されるシステムを言う。”

3.2 統合生産（Integrated Manufacture）の必要性

現代企業に課せられた要求

これには，次のようなものが考えられる。

・品質の向上
・市場要求に対する迅速な対応
・コスト低減
・製品責任

➡組織，生産の統合化によって対応

しかし，これらの目標にアタックする手段としてCIMが脚光を浴びているわけであるが，CIM導入にあたっては，次のような留意点を認識しておかなければならない。

①CIMはコンピュータ技術に関する１つの強力なパッケージであると錯覚している。➡CIMは統合生産を支援する単なる道具にすぎない。

②企業の将来の戦略の明確化並びにシステムの単純化がなさなければCIMは役立たない。

③教育の問題：経営者並びに管理者は，ＣＩＭを通じて変革をしなければならないことは解っているが，変革の仕方が解らない。したがって変革の必要性を十分理解できていない。そのために生産の統合化が成功しない。

④技術が先行しがちである。教育，研究開発，生産技術水準，投資額これらのバランスが大切。

⑤システム供給者（ハードウェア並びにソフトウェアの両方において）が提供するシステムは必ずしも自社には合わない。効能書きだけが先行して実際には実現がむつかしい。

⑥技術者は一般に戦略にうとい。

統合生産の必要性

小規模企業は機敏さにおいてすぐれているが，他企業との競争力において劣っている。しからば大規模企業が良いかと言えば，必ずしもそうとは言えず，部門間のコミュニケーションが悪くなり，市場の変化に迅速に追従できなくなる。

その１つの解決法として考えられるのが統合生産の考え方である。すなわち，大規模システムが，柔軟性をもって製品を作り出すことを可能にし，従業員のモチベーションを低下させない方法としてCIMが考えられる。そのためにはどうすればよいか？　これには何も大規模中央コンピュータが必要である訳ではなく，また現存の従業員の配置換えを必要とするものでもない。

その手順としては，まず第１にシステムの単純化，次に統合化，そして CIM 技術の適用である。

(1)統合化の前に何故単純化なのか？

・“Simple is best”という言葉があるように，常に単純化への努力が必要である。成りゆきまかせにしておくと，現在の生産システムはますます複雑になってしまう。

・設備の自動化は，従来手作業における技能の中，自動化しやすい所からまず行われる傾向があり，その部分が自動化されることによって，設備の分離をまねき，全体システムとしてはより複雑さが増加することにつながる（アイランズ・オブ・オートメーション）。

・ジャストインタイムの考え方を物の流れだけでなく，工具，治具，取付具その他の器材などに対しても適用されなければならない。理想的には工具，治具，取付具等も必要な時に購入すればよいことになる。

(2)次の設問に答え得るか？

①資材，その他の生産要素が，付加コストの発生なしに責任をもって，正確に供給され得るか。

②連続して起こるオペレーションが，物理的に隣接して設置されているか。

③物の自動的搬送においてコスト効果が図られているか。

④工程がそれぞれ適合するように変更されるべきか。

⑤完成品倉庫が消費者サービスに対して本質的に重要な役割を果たしているか。

⑥企業組織を構成する各部門・各機能をデータベースによって最適にリンクさせ得るか。

(3)統合化のための留意点

①部門間のコミュニケーションの問題は全体プロセスの文脈の中で取り扱われるべきである。

②各部門の活動は全体プロセスとの関連において論じられるべきで，それによって良くない活動が避けられるか，もしくは再検討される。

3.3 CIM 適用の前提

生産工程は複雑である。しかし，それが如何に複雑であろうとも，少数の作業者で生産工程を管理運営することが出来ないことはない。その成功のカギは単純化と統合化である。単純化は今日製造業が利益の確保を図るためのモットーである。たとえば，

①ストックが“ジャストインケース”でなく“ジャストインタイム”になっているか？

②内作が外注より安く行われているか？

③競合企業より短いリードタイムが達成されているか？

統合生産アプローチの応用はこれらの設問に対する回答を提供する。統合生産は従来伝統的な部門間の障害を打ち破り，部門間のコミュニケーションを単純化することによって，人々間の意思疎通が得られるものとなる。

統合生産は CIM を通して達成される。それにはコンピュータの利用が不可欠である。したがって，CIM に対する正しい理解は統合生産が成功裡に達成されるために本質的に重要なものとなる。

3.4 CIM のアプローチに対する留意点

コンピュータが出現する以前は人によるコミュニケーションと情報処理が中心であったが，これには人的能力が大きくかかわべているため，エラーがちとなり，同時に作業も面倒であった。

コンピュータの援用による情報処理は，手続きがスピードアップされると同時に自動化される。しかし，内容が複雑化するため，それに伴って組織も複雑にならざるを得ない。

このような現実を踏まえ，CIM へのアプローチにあたっては，次のような留意点を認識しておく必要がある。

①現在の経営がどのように行われているかについて十分理解すること。

②重複および冗長あるいは非経済的な活動をとり除いて単純化すること。

③統合生産への移行によって経営がどのように変化するかを十分予測すること。

④新技術の導入による従来の重要な活動に対する経済性を評価すること。

⑤将来の変化に適応できる柔軟性のある生産システムを設計すること。

⑥情報の流れについて十分検討しておくこと。
（特に単純化への努力が大切である）

⑦コンピュータ援用システムの経営管理の各機能への影響：コンピュータ援用システムは今日まで種々開発されているが，それらはシステム内にあってそれぞれ独立している。これからは独立的な展開はストップせねばならない。

➡CIM は企業の統合化戦略の重要な役割を担う。

3.5 統合生産技術—CIM の構成要素

CIM の対象領域を分類すれば，次の通りである。

・経営管理
・製品設計技術
・コンピュータ援用生産管理
・製造，品質管理，検査
・データベース，コミュニケーション

(1)<u>経営管理</u>

生産の統合化によって生産資源の有効利用の最大化が計られる可能性がある。

［理由］

①経営意思決定が up-to-date, on line で行える。
システムが瞬時の意思決定をサポートする。

②経営意思決定が適切なレベルで行われる。その結果“大きな決定”が“少人数”で行われるのでコストが安くつく。

(2)製品設計技術

ＣＡＥ（Computer Aided Engineering）

［用途］

- パフォーマンスの予測・シミュレーション
- 構造分析，信頼性予測
- 生産プロセスのシミュレーション

［方法］

- 数学モデル
- 有限要素法，グラフモデルシミュレーション

CAD（Computer Aided Design）

・３次元CADなど種々あり，進歩が著しい。

（自社に合ったものを選ぶことが重要）

CAM（Computer Aided Manufacturing）

・CAMは便利な言葉であるために誤って使われているきらいがある。正しくは“物の作り方に”に関する技術データ処理の自動化。（量と時期（タイミング）についてはCAPM（Computer Aided Production Management））

・CAMの目的

ＮＣプログラミング，機械・取付具・工具の選択，

現場への製造技術指示

- 段取り
- 工具設計
- 工具リスト
- 切削トルクのコントロールテープ

CAPP（Computer Aided Process Planning）

・物を作るときに複数の作業が必要になるときの“順序付け”．行う。

→作業手順（工程設計）

・個々の作業の明確な区分（すなわち個々の作業の定義）が大切。それがショップにおける“物の流れ”の管理の基本になる。

(3)コンピュータ援用生産管理

CAPM（Computer Aided Production Management）

・製品情報，プロセス情報を使って生産活動を支援する。

［内容］

- ストックコントロール
- 購買
- MRP（Material Requirements Planning）
- MRPII（Managemant Resource Planning II）
- 負荷計画
- 日程計画，生産統制

・B/M（Bill of Materials：部品構成表）が重要な役割を果たす。

(4)製造，品質管理，検査

［市場のニーズ］

- 高品質
- 低コスト
- 迅速な対応
- 短いリードタイム
- 新製品開発

［対応］

統合化への組織と管理の再構築が重点項目

→ 生産に関する事象（event）の流れ（物および情報の流れ）を最も単純になるように再編成すること。

製造：

［オートメーションの島（islands of automation）］

・分散管理システム，データ収集，CNC，FMS，AGV，CAD，CAM，ロボット，自動/ロボット組立，工具管理，DNC，各種ソフトウェアを統合する自律システム➡CIM

［シミュレーション技術］

物理システムの構成前に種々の要因の解析・影響を分析することができる。

品質管理：

・統合生産によっていわゆる“TQC(総合的品質管理)”の実施が容易になる。

検査：

CAT（Computer Aided Testing）—自動検査

・人による検査の誤りを少なくすることができる。（故障・誤作動などの欠点もある）

データベースおよびコミュニケーション

共通データベースアプローチは次のような利点を提供する。

・共通のソースへただちにアクセスすることができる。

・情報の一貫性が保たれる。

・データ収集のための努力が少なくて済む（重複がないため）。

・計算，データ伝送にエラーが少なくて済む。

・技術的変更，生産変更に対してすばやい対応ができる。

・計算コストが減少する。

しかし実際には実現化困難：→分散データベース

これには適切なコミュニケーションシステムが必要

［例］

・Ethernet

・MAP(Manufacturing Automation Protocol)

付録1　CIM モデル（一例）（図6参照）

付録2　CIM の全般モデル（図7参照）

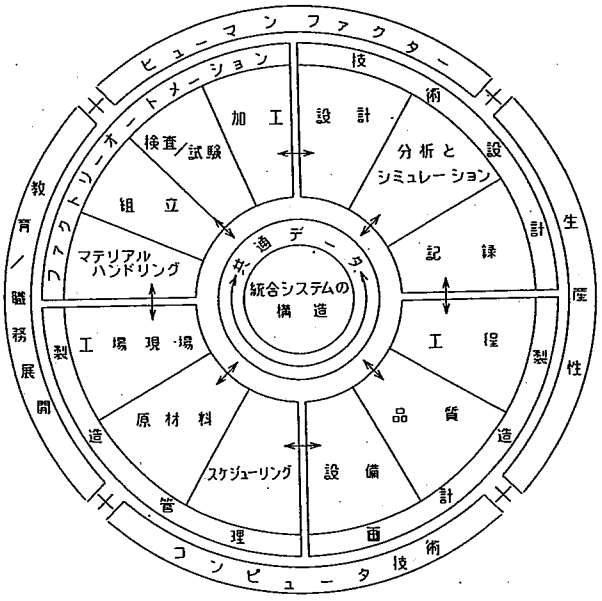


図6　CIM モデル（一例）

出典：Boaden, R. J. and Dale, B. J., "Development of a model for use in planning for computer-integrated manufacturing." International Journal of Operations & Production Management, Vol. 6, No. 5, (1986), p. 9.

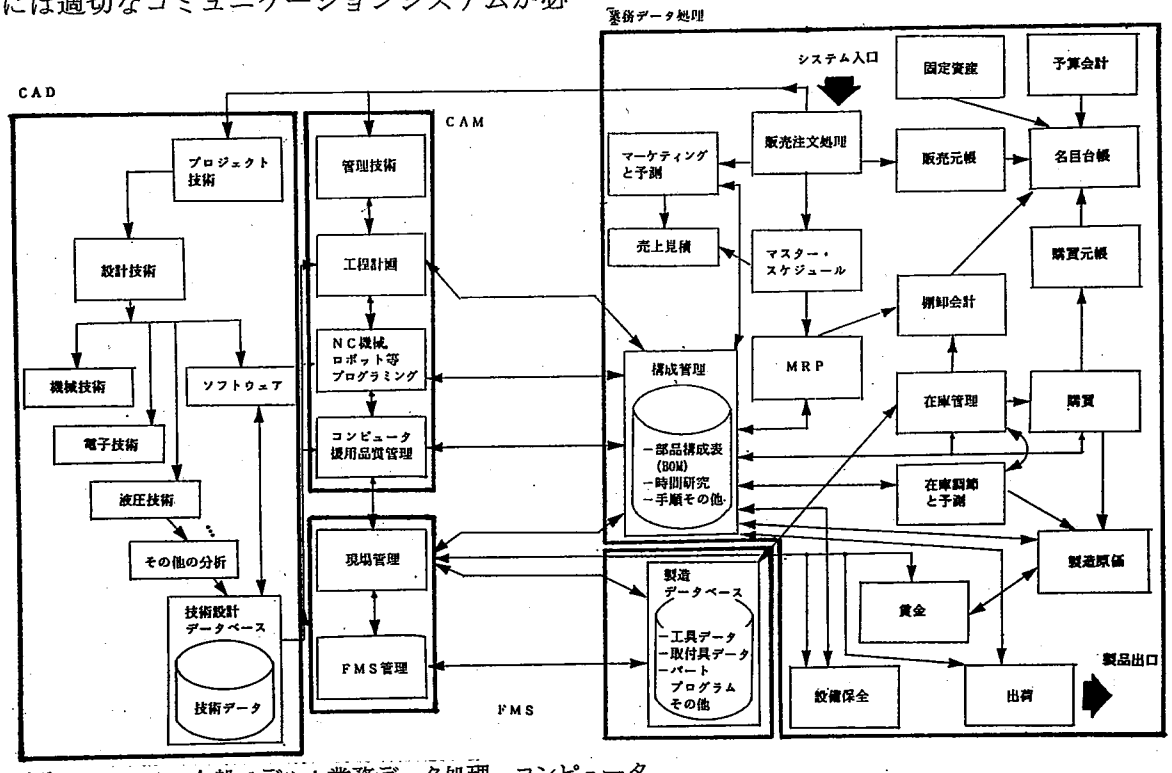


図7　CIM の全般モデル：業務データ処理，コンピュータ援用設計(CAD)，コンピュータ援用製造(CAM)，および柔軟製造システム(FMS)（機械加工，組立，試験およびその他の工程を統合）を統合.

出典：Ranky, Paul G., Computer integrated manufacturing: an introduction with case studies. Prentice-Hall International, 1986, pp. 6-7.

4. CIM システムへのアプローチ

CIM システム構築を進めて行く上で，実務的な立場でシステムエンジニアリング上留意しておくべき事項を以下述べる。

4.1 CIM の概念とレベルについて

CIM の概念については，種々の立場で多様に論じられている。またそのレベルも一様ではない。CIM に関心を寄せる企業や研究者が増加するに従って，CIM の基本概念が多様化しあいまいさが増えてきた。この問題に対して，岩田が図 8 に示す CIM の概念とレベルを提案し，非常に分りやすくなったので以下岩田の説明をそのまま掲載する。

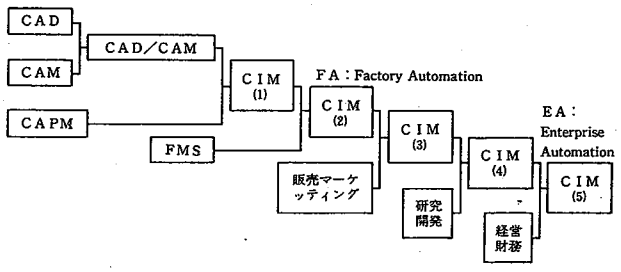


図 8　CIM の概念とレベル

CAD と CAM は当初，異なった分野の専門家によって開発されていた。それらの実用化が進むにつれて両技術は本質的に一貫処理される必要性があると認識されるようになり，両者の中間に位置するCAPP（Computer Aided Process Planning，コンピュータによる工程設計）技術開発を中心に CAD/CAM のシステムの開発が進められた。

さらに，CAD/CAM と生産管理へのコンピュータの適用である，CAPM（Computer Aided Production Management，コンピュータによる生産管理）との統合システムが開発の対象となった。ここではこれを第 1 レベルの CIM という意味での CIM (1)と呼ぶことにする。

CAD/CAM と CAPMの統合は生産情報処理の範囲に止っていたが，実際に製品を生産するには生産設備や機械などの物のフローを扱うハードウェアも含めて考えることが必要である。この考え方に従って，生産の情報処理とハードウェアを統合化し，かつ自動化を計ろうとする動きが表われた。わが国ではこれを一般に FA と呼ぶ。これは第 2 レベルの CIM として CIM (2)と位置づけることができる。

図 9 に CIM (1)および CIM (2)の基本構成を示す。この基本構成において重要な点は，一元化された設計・生産・管理データベースがシステムの中核にあることと，製品のライフサイクルが考慮に入れられていることである。

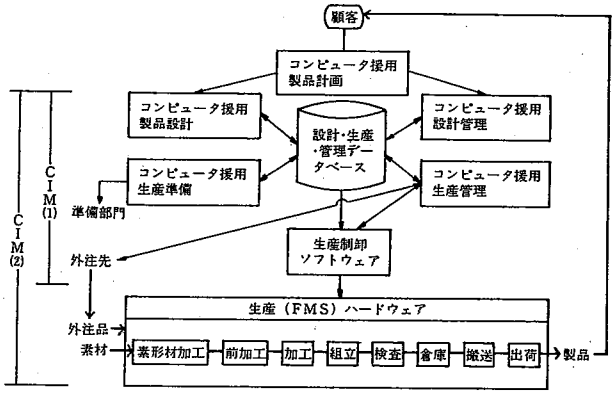


図 9　CIM(1)，(2)レベルの基本構成

製造された製品は販売されることによって，はじめて企業活動としての価値を生むということに注目すると，CIM (2)は，さらに販売やマーケティングと統合されることが望まれる。いわゆる生販一体といわれるレベルで，従来の FA や CIM (2)より一段階統合化が進められている意味から，ここでは CIM (3)と呼ぶ。現段階で企業が CIM といった場合には，CIM (3)を対象とすることが多い。

企業全体の活動を自動化するとともに実時間で実体を把握するという観点からみると第 8 図に示すように研究・開発や，さらには経営・財務も統合化されることが求められるようになる。これらはそれぞれ CIM (4)，CIM (5)とここでは呼んでおく。CIM (5)の段階になると企業全体の統合化された自動化が実現されることから岩田はこれを EA（Enterprise Automation，企業オートメーション）と命名している。

前述の通りCIMレベルを(1)～(5)までに区分してとらまえて見れば，今後CIM化の議論を展開する上で，議論の土俵を確認することが容易となり，CIMシステム関係者がCIMシステムのシステムエンジニアリングを進める上で極めて有効であることが分った。CIMの概念が多様に流布しているが故に，CIM関係者は，常にCIMのどのレベル（CIMの土俵）で議論をしようとしているかを，前提条件として確認することが相互に肝要である。

4.2 FAの発展過程と自動化レベル

前述の通りFAは，CIMのレベルでいえば，CIM(2)レベルであると考えれば分かりやすい。このFAについて，その発展過程と自動化レベルを表13のように整理してFA化を整理してみることも必要である。

ねらい		工場自動化レベル	目標		
部分自動化	第1段階（点の自動化）	FA機器(NCM/C・ロボット)の導入やグレードアップ	無人化	フロアタイム短縮	ビジネスサイクルの短縮
部分最適化	第2段階（線の自動化）	複数のFA機器の運用・搬送システムの導入，設計の自動化			
	第3段階（面の自動化）	工場全体の自動化			
全体最適化	第4段階（体の自動化）	工業全体の生産システムの統合化			

4.3 中堅・中小企業がFA化に取り組む場合の第一線での課題とアプローチ方法

4.3.1 FA化の対象領域とその課題

(1) 設計技術の向上

イ．機能設計……省資源設計(VE)

ロ．製品構造の簡略化(VR)

ハ．自動化しやすい製品形状，材質

ニ．CAD/CAM一貫化

(2) 生産技術の向上

イ．歩留りの向上

ロ．薄肉，軽材料加工など

ハ．工法の開発

ニ．加工工程の短縮

ホ．加工費の低減

ヘ．加工速度の向上

ト．自動化，機械化

チ．生産形態の合理化

リ．レイアウトと物の流れの合理化

(3) 生産管理の向上

イ．負荷変動の平準化

ロ．リードタイムの短縮

ハ．仕掛減

ニ．小ロット混流生産対応

ホ．稼動率の向上……機械故障の低減

ヘ．欠勤，欠品，不良，納期遅れの低減

ト．勤務体制と作業管理

4.3.2 FA化のアプローチ法

(1) FA化の対象範囲と自動化レベル

イ．システム化のレベルをどの位考えるか。

ロ．自動化の水準をどの程度にするか。

ハ．内外作の見直しをするか否か。

など

(2) 既存対新規

○既存設備をフルに活用するか，機械をいれかえるか。

イ．既存機械を利用し，つなぎを自動化（マテハン）。

ロ．既存機械の自動着脱を図り，多台持化を促進する。

ハ．既存機械のNCレトロフィット化を行う。

など

(3) 増設時に考慮すること

イ．漸増……ロボット，NCなど，1台1台だんだんと増やしていく。

ロ．一新……一気に生産システムを作りかえてしまう。

(4) 統合化（点，線，面）

イ．点……加工セル型，NC/MC＋ロボット型

ロ．線……コンベア型，トランスファー型

＊FAでは，島型にして無人車などの柔らかい搬送を用いることが多い。

ハ．制御と生産管理を接続し，統合する。

(5) 単列対並列

イ．単列……大規模，高性能機械を１ライン設置

ロ．並列……小規模のものを複数台設置

＊ＦＡでは，並列型で変量生産に対処することが多い。

(6) 専用機対汎用機

イ．専用機

ロ．汎用機

＊ＦＡでは，汎用機型の自動化を狙う。又は，ユニット化を図り，多様化対応を図る。

4.3.3 CIMの動向とFMSの実例

4.3.3.1 M社の実例

ニーズは身近にある

－注文がこなし切れない→納期遅れ
－能力増強したくても人が集まらない
　→パートも動員
－生産（ワーク，量）が一定しない
－段取替ばかりで機械の稼動率が上がらぬ
－ワークが滞留してしまって先に進まない
－リードタイムが縮まらない
－仕掛り在庫が減らない
－工程がどこまで進んだかわからない
－特急品がまかり通って混乱ばかり
－納期の見当がつかない
－部品がどこにあるかわからない
－部品が不足して組立にかかれない
－土，日働いても追い付かない
－手待ちの部門もある
－図面が日程通りに出てこない
－検討不足で設計ミスが多い
－設変がプログラムに間に合わず
　オシャカになる
－オシャカ対策でますます工程が混乱
－特急品の工具が間に合わない
－帳票処理作業がやたらに多い
　そのくせ必要な情報は１wk遅れでしか見られない
－サービスに出払って組立が進まない
－この納期，金額で受注してよいのか判断ができない

問題点をまとめると

嗜好の多様化で商品の種類がふえ
ライフサイクルが短縮化したため

↓

“受注したものをすぐ作る”
という生産形態に変化

↓

ワークの種類も量も一定しない

↓

段取り作業がふえ機械の稼動率が上がらない

↓

ふえた時間だけ作業時間をふやすわけにいかない

一方
納期を守る為に長納期パーツは作り溜めせざるを得ない

↓

仕掛在庫が減らない

解決の手法

要は

リードタイム短縮

手法１：夜間・休日の無人運転で見かけのリードタイムを短縮
手法２：１つの設備を多機能化してプロセス数を減らしＭＨ／滞留時間を短縮
手法３：スケジュール管理を確立してプロセスの最適化を行い“待ち”のムダを排除

上記を組合せて

生産性倍増

具体的には

単体機	無人化機能 長時間性能維持 データ取入，取出機能
FMS	ワークの貯蔵・配送機能 工具　〃
FA	ＪＩＴ管理技術 スケジューリング データベース構築 ＬＡＮ構築
CIM	ＣＡＤ，ＣＡＭの生産の結合 ＶＡＮ構築 経営判断，情報の創出

実現するのに必要な技術

単体機	無人化機能	適応制御 熱変位対策 自動計測 自己診断 工具データ管理 データ通信 切粉処理	部分自動化 ↓ 部分最適化 ↓ 全体最適化
	機能の複合化	ビルトインオートローダ ビルトインＡＰＣ ２次機能付旋盤 マシニングセル	
FMS	ワーク搬送	ＦＭＰＳ（タクト搬送） ＦＦＭＳ（コンベア搬送） ＦＭＳ　（ＡＧＶ搬送）	
	工具搬送	バッチ式搬送 シングル式搬送	
	データ管理	プログラム管理 工具管理 モニタリング	
FA・CIM	管理ソフトの充実	FIFO式スケジューリング 工具GT式　〃 ＭＡＰ導入 ＬＡＮ構築	

無人化
フロータイム短縮
ビジネスサイクルの短縮

図10

工作機械の部品加工に使用しているＦＭＳ

表14　FMSシリーズ

	モデルA（小物ＦＭＳ）	モデルB（大形箱物ＦＭＳ）	モデルC（中形箱物ＦＭＳ）
モデルのイメージ	搬送装置にフリーフローコンベアを使い２分サイクルを実現	安価で実用的なＦＭＳ	ＦＭＳに必要なすべての機能を備えた本格的ＦＭＳで，将来のＦＡへのモジュールになる
適応する業界	中種中量～多種少量生産分野	中種少量生産分野	多種少量生産分野
制御機	ＰＬＣ（プログラマブルコントローラ）	ＰＬＣ＋パソコン	スーパーミニコン

工作機械の部品加工に使用しているＦＭＳ

各システムの位置付け

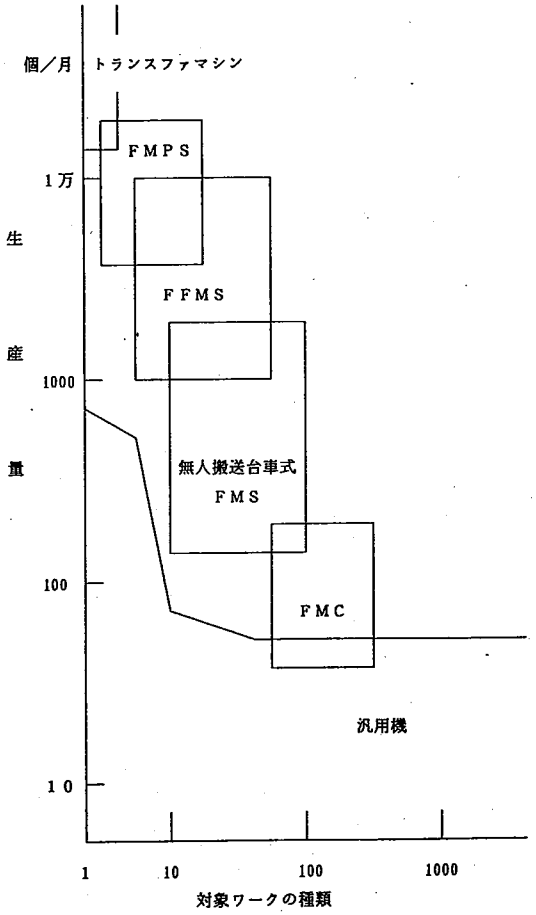


図11

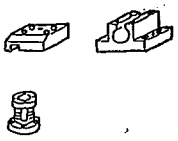
小物加工用ＦＦＭＳ

目的

(1) 小物加工の合理化を図る
(2) シンプルFMSの実現

加工対象部品

500口以下の丸物・角物 400種



効果

人工時間	工期
574H/月	15日
230H/月	2日
改善前 改善後	改善前 改善後

特長

(1) クルクル寿司方式による多数同時パレット搬送なので短サイクルタイムにも待ち時間なしに対応できる
(2) パレットにワーク情報をもたせることにより，システム制御にコンピュータを使わないシンプルＦＭＳ
(3) 構成・制御がシンプルなので据付・操作・保全・拡張が容易
(4) ＬＳＩカードシステムの採用によるセルフコントロールＤＮＣ
　－各パレットに取り付けられたＬＳＩカードにＮＣデータ・工具情報等を書き込み，カードとＮＣ間でデータの授受を行う
(5) 段取情報のＣＲＴ表示
　－ワーク番号入力により，段取図を画面に表示
(6) 工程分割方式による１Ｍ／Ｃ必要工具数の削減

注）(4)～(6)は，多種少量生産への対応

ＦＦＭＳ＝FREE FLOW FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM
フリーフロー搬送式ＦＭＳ

図12

中形箱物ＦＭＳ　－　モデルC

表15　システムの機能

```
*** ＦＭＳメインメニュー ***  87- 7-22
                          15:08:44  Page  1

 1．マスタ情報管理        10．品 質 管 理
 2．日 程 管 理           11．ホストデータ交換
 3．段取作業管理          12．
 4．Ｄ Ｎ Ｃ              13．
 5．工 具 管 理           14．
 6．搬 送 制 御           15．
 7．機 械 制 御           16．
 8．設 備 監 視           17．
 9．実 績 管 理           18．補 助

                 選択番号入力 ___<CR>
```

表16　FMSにおけるスケジューリング

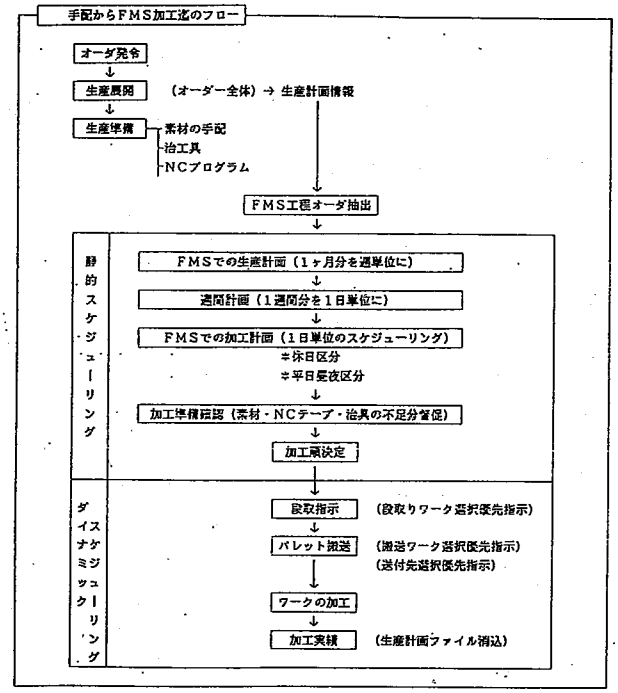


表17　FMSスケジューリング内容

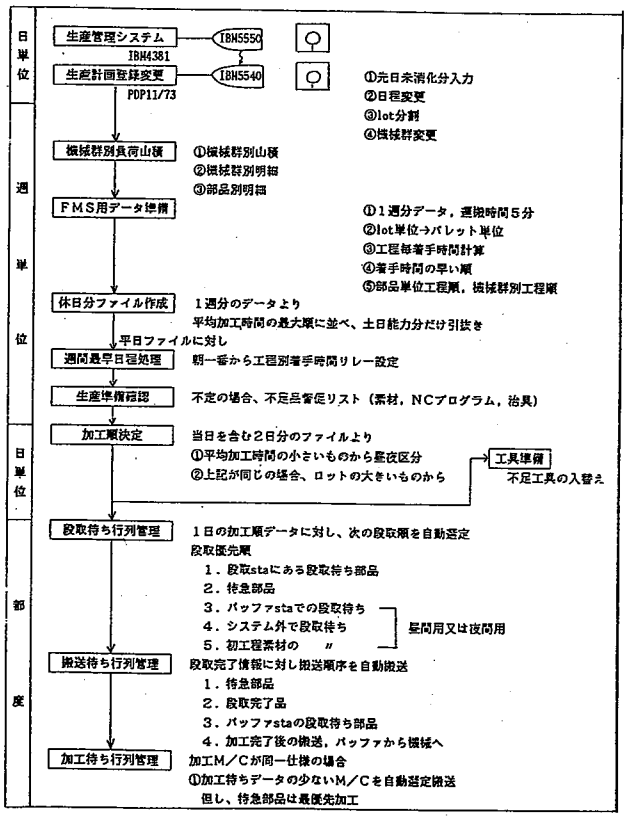


表18　生産管理機能マップ

機能＼区分	生産事務業務	負荷管理	日程管理
生産計画		1. ショップ別山積 2. NECK M/C別山積 3. 外注先別山積	
設計出図	1. CAD／CAM 2. 技術情報管理	1. 設計山積	1. 出図日程管理
所要量計画	1. ユニット展開 2. 部品展開 3. 所要量計算		
生産自動手配	1. 加工品内外ﾌﾟﾚﾌｨｯｸｽ 2. 購入品パック購入		
小日程計画	1. 小日程計算	1. 班別M/C別山積 2. NECK M/C別山積 3. 外注先別山積	1. 負荷による日程修正
加　工	＜自己完結型GTライン＞ 1. 大物部品 ・大物加工グループ ・ベッドFMS 2. 中物部品 ・中箱FMS ・シャフトライン 3. 小物部品 ・小物FFMS 4. 小物C級部品 ・パック外注	1. 差立負荷管理 2. 外注先負荷管理	1. 加工品進捗管理 2. 発注納入進捗管理
受入・荷揃	内外作品 購入品 成品 一括外注品 1. 入庫情報での部品取纏め 2. 組立タクト単位荷揃		
組立検査		1. 班別負荷管理	1. 進捗管理

4.3.3.2　K社の実例

FMS（Flexible Manufacuturing System，総合生産管理システム）に，オリジナルの生産システムCIM（Computer Integrated Manufacturing，コンピュータによる統合生産）を結びつけることにより，本社，工場，支店をネットワーク化。受注から生産，在庫，販売，出荷，などの情報を統合して各工程の作業効率を大幅にアップさせる。

受注に基づく多品種少量生産に対応できる情報網とFMS，これはK社が打ち出した，KLPの第一歩でもある。

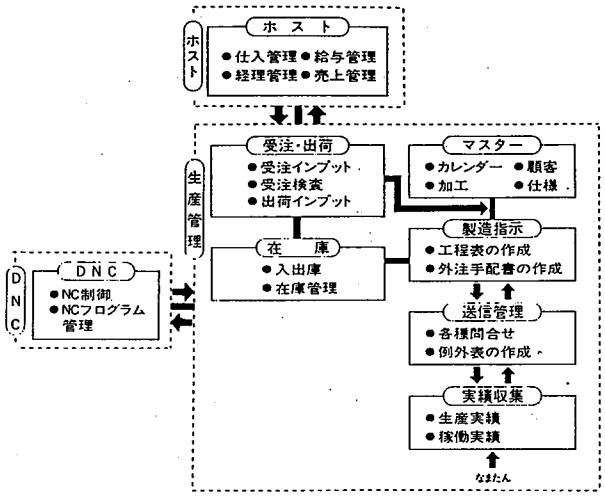


図13

システム管理業務

1）受注管理

・受注処理（リアルタイムネットワーク）

・受注モニター

・営業日報作成

・原稿作成等

・その他

2）工程管理

・工程表作成

・作業予定表作成

・セクション別負荷参照

・客先別・セクション別進捗照会

・その他

3）販売管理

・売上高管理

・仕入管理

・買掛管理

・経理処理

・その他

VAN

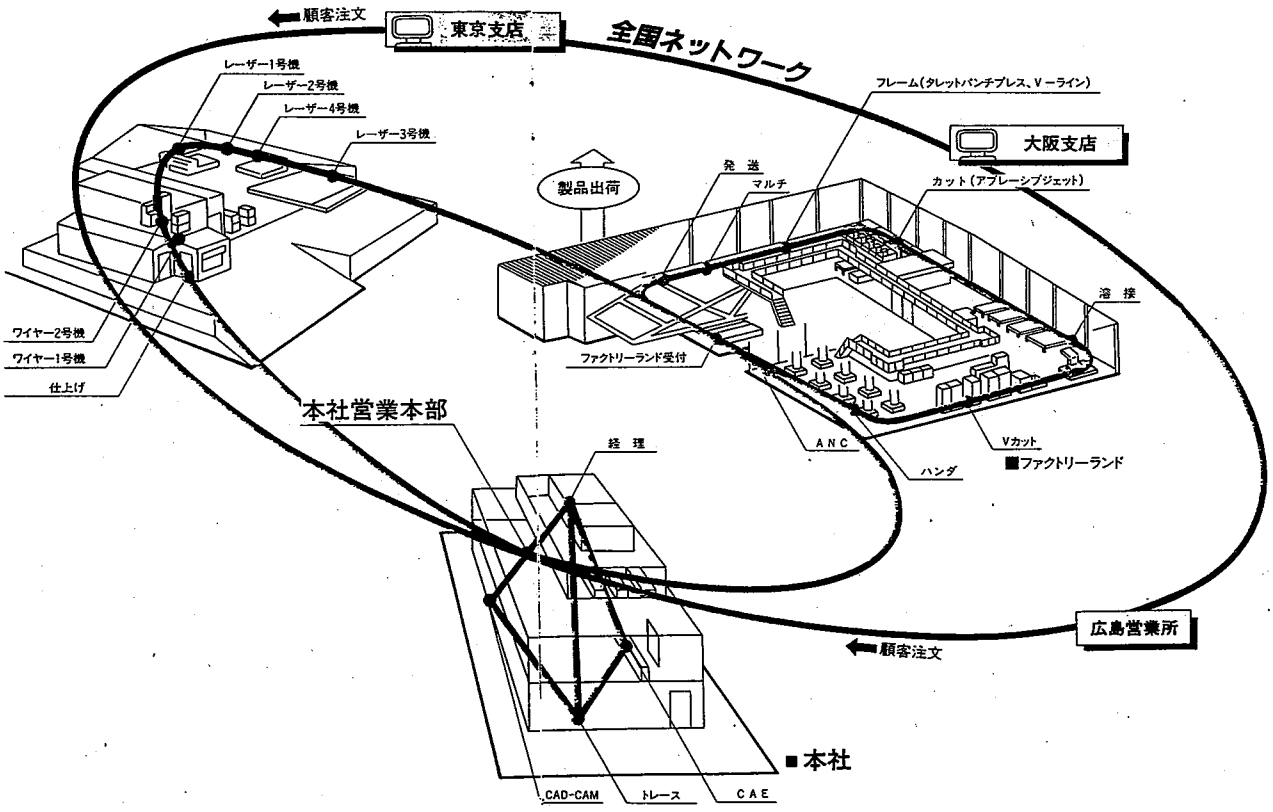


図14

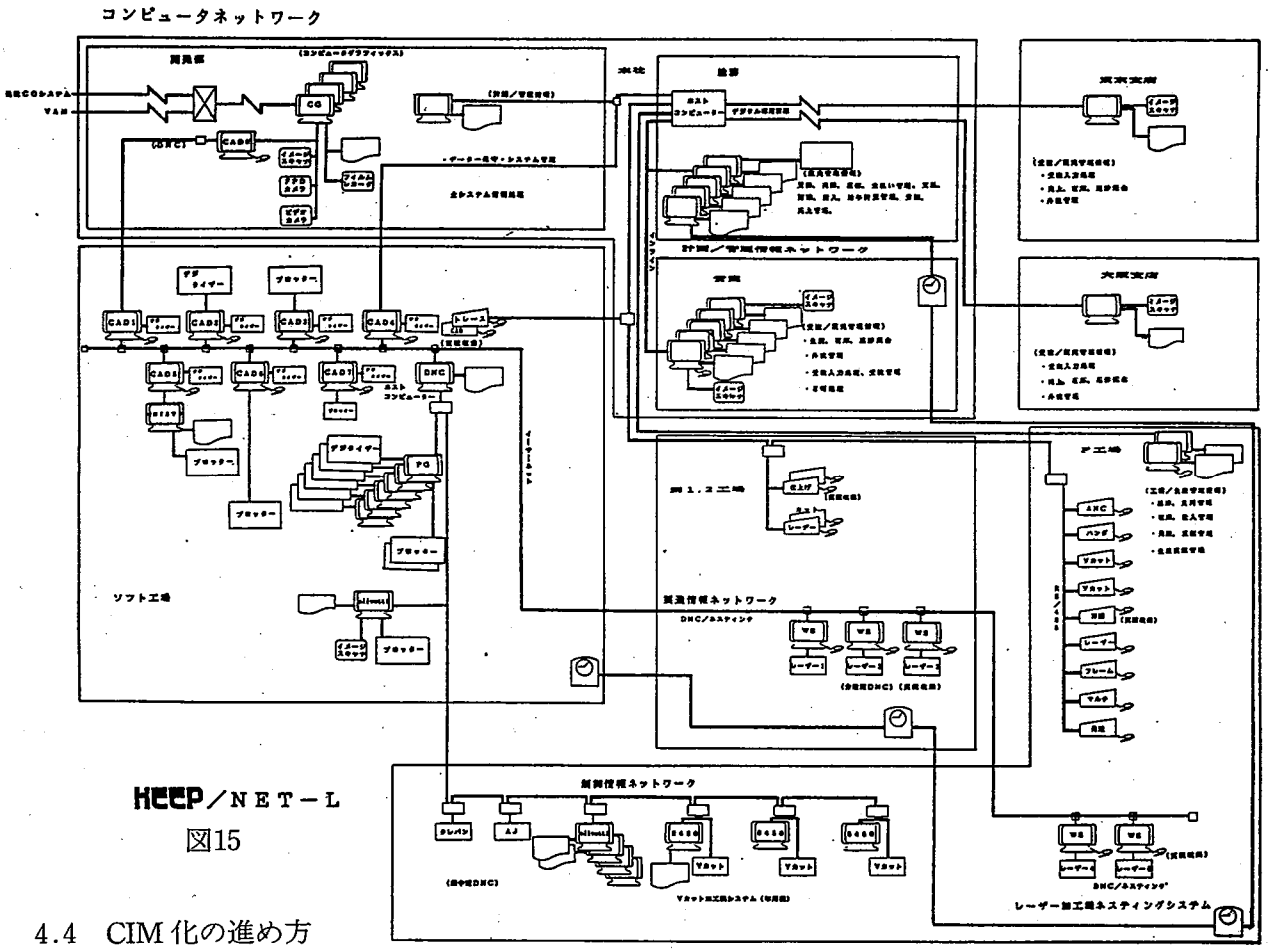


図15

4.4　CIM 化の進め方

(1)意識改革の実施

・全員参加

・トップダウン/ボトムアップ

(2)目標値の設定

・工期短縮

・棚卸圧縮

・稼働率ＵＰ

・省人化　etc.

(3)具体策の立案

・現状分析

・理想案の作成

・実行可能案の作成

(4)個別の合理化からトータルな効率化へ

(5)地道な努力

・標準化

・内外作見直し

・生産方式

・工程見直し

・既存コンピュータシステム

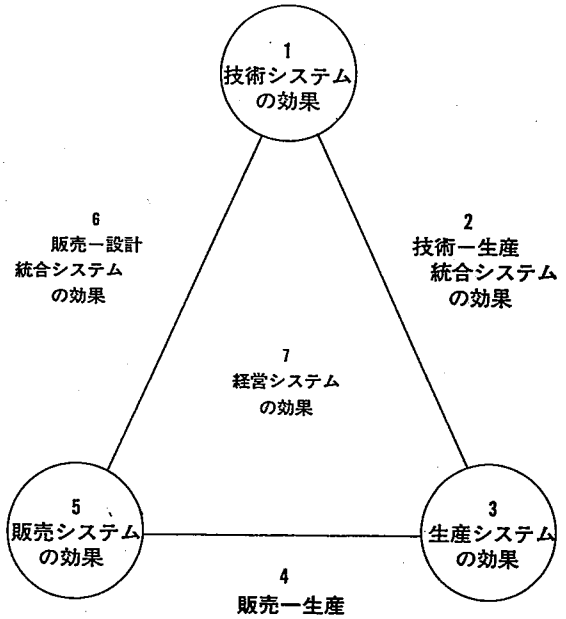
(6)投資効果

・投資，効果，採算

・省人化/生産性ＵＰ

(7)ステップバイステップ

4.5　CIM の効果



■インテグレーションによる効率化

■ビジネス・スピードの向上

図16

6. おわりに

中堅・中小企業のCIMシステムの構築の基礎的考察のとりまとめに当り，次のような重点課題とアプローチの手掛りを図17に示し図解したい。

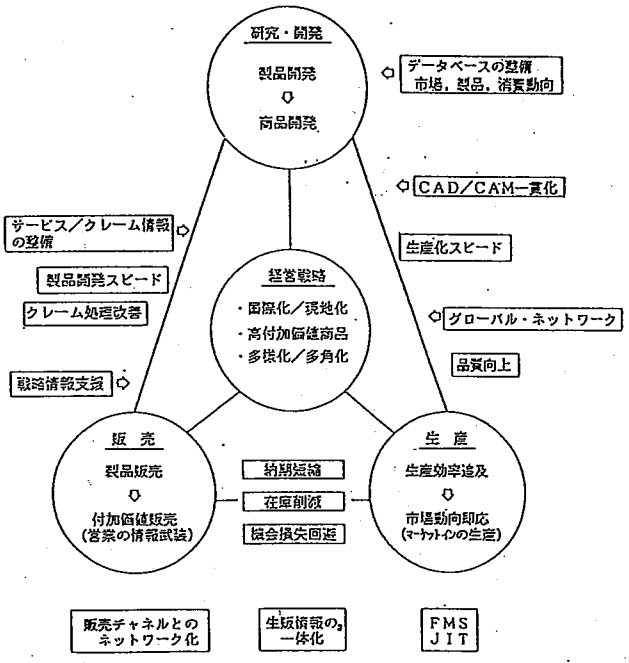


図17

このように，中堅・中小企業のCIMシステムの構築は，全社的ビジネススピードの向上をはかることにより多品種少量生産化や開発から受注・納入までの短サイクル化そしてコストダウンを可能にし，製品競争力の強化，企業体質の強化を目指そうとするものである。

CIMは，企業の全活動を高度な生産システムとして開発しようとするものであるが，このシステムの実現には，少なくとも数年の準備期間を要し，しかも，その企業独自の組織風土に根ざしたものを着実に構築して行く必要がある。

広島市工業技術センターでは，平成元年度の事業として，地域中堅・中小企業15社に対して生産管理・技術研究会（6会合）を開催し，CIMシステムの構築について基礎的な段階からの研究活動を実施し研究報告書をとりまとめたところである。平成2年度は，これを更に発展させ「特定テーマによる構築事例研究」を実施して，地域中堅・中小企業の上級・中級管理者のシステム・エンジニアリングの能力向上を目指した研究会活動をキックオフした。この成果についても，次の機会に研究報告として発表したいと考えていることを述べて本小論を結びたい。

参考文献

1) 生産管理・技術研究会報告書　平成2年3月　広島市工業技術センター
2) 平成元年度　中小企業の動向に関する年次報告　平成2年5月　中小企業庁
3) 中堅製造向　CIM（MR-CIM）リーフレット　日本アイ・ビー・エム㈱
4) Ingersoll Engineers, Integrated Manufacture, Springer-Verlag. 1985.
5) Ranky, P. G., "Computer Integrated Manufacturing: an Introduction with case studies," Prentice-Hall International. 1986.
6) Rembold, U., Blume, C., and Dillmann, R., "Computer-Integrated Manufacturing Technology and Systems." Marcel Dekker, Inc. 1985.
7) Boaden, R. J. and Dale, B. G.," Development of a Model for Use in Planning for Computer-Integrated Manufacturing." International J. of Operations & Probuction Management, Vol. 6, No. 5, 1986, pp. 8-19.
8) 星　孝雄：CIM，日本機械学会誌，第90巻，第829号，昭62年，pp.25-30.
9) 特集CIM：コンピュートロール，No.11，コロナ社，昭60年.
10) 岩田一明：新しい生産システム—CIM，システム/制御/情報，Vol34, No. 3，pp.123～127. 1990.

溶射に関する研究（第２報）
溶射加工条件と耐摩耗性の関係について

市後博造

Relation between Thermal Sprayed Parameters and Wear Resistance

Hirozou ICHIGO

近年，製品の高性能，高機能化に伴い，それらを構成する部品の耐食，耐摩耗，耐熱性が強く要求されるようになった。そのような状況下にあって，プラズマ溶射は身近な表面被覆法として広く利用されるようになった。その特徴の１つとして，使用目的により，基材，初覆材を自由に選定することが出来る，又他の被覆法に比較して成膜速度も早い等の利点を持っている。当所に於いてもプラズマ溶射機の導入に伴い，保護皮膜の研究，開発として，羽根車機の表面にセラミックス材料を被覆することにより製品の延命化を計ること目的とした実験を行ない，溶射材料，溶射条件の最適化の有効性を得た。

１．諸　言

排煙脱硫装置に使用されているうず巻きポンプの羽根車は，耐食性と同時に耐摩耗性が要求されている。従来のメタル系材料では限界があり，プラズマ溶射を行なうことにより材料の延命化を計ることは可能であるが溶射条件により皮膜の特性が決定されるので多くのパラメーターの最適化を計らなければならない。本研究は溶射材料にアルミナチタニア系材料を使用し，実験計画法を用いて，溶射加工条件と耐摩耗性との関係を明らかにしたのでその結果を報告する。

２．実験方法

プラズマ溶射に於ては，溶射条件によって皮膜特性が変化する。ほとんどの場合，使用材料，使用機械によって，メーカサイドの溶射条件表にもとづいたものを使用している現状である。この度は，皮膜特性に影響を及ぼす要因として，予熱有無，チタニアの含有量，粉末の供給速度，電流，アークガス量，補助ガス量，粉末供給ガス量，以上７個のパラメータについて各要因毎に水準を決め検討した。これを表１にまとめた。表２溶射材料として用いたアルミナチタニアの化学組成，粒度を示した。

表１　各要因の水準値

要　因 ＼ 水　準	1	2	3
1.予熱	有	無	—
2.TiO 2	13	20	40
3.rpm	5	7	10
4.Amper	700	800	900
5.Arc gas	50	60	70
6.Aux gas	50	60	70
7.Powder gas	60	70	80
8.　—	—	—	—

表２　アルミナチタニアの性状

	TiO_2	Al_2O_3	粒度(μ)
K—35M	13.8	85.7	28.0
K—37M	21.7	77.9	28.1
K—40M	42.9	56.0	25.6

実験計画法では，目的特性に影響を与える要因が多い場合，要因の影響を効率よく求めるのに直交表を用いる。直交法にも，いろんな種類があるが，最小の実験で最大の効果を得るための最適法としてL_{18}を用いた。表3に各要因のわりつけを示す。

表3　L_{18}のわりつけ表

	予熱 A	TiO_2 (%) B	rpm C	電流 (A) D	Arc. gas E	Aux. gas F	Pow. gas G	H	データ
1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	1	1	2	2	2	2	2	2	
3	1	1	3	3	3	3	3	3	
4	1	2	1	1	2	2	3	3	
5	1	2	2	2	3	3	1	1	
6	1	2	3	3	1	1	2	2	
7	1	3	1	2	1	3	2	3	
8	1	3	2	3	2	1	3	1	
9	1	3	3	1	3	2	1	2	
10	2	1	1	3	3	2	2	1	
11	2	1	2	1	1	3	3	2	
12	2	1	3	2	2	1	1	3	
13	2	2	1	2	3	1	3	2	
14	2	2	2	3	1	2	1	3	
15	2	2	3	1	2	3	2	1	
16	2	3	1	3	2	3	1	2	
17	2	3	2	1	3	1	2	3	
18	2	3	3	2	1	2	3	1	

テストピースの母材はSUS 304を使用し，図1に示す形状に旋盤加工を行なった。

次に，溶射の手順は，表1の要因，水準値，表3のわりつけにもとづいて，一要因毎に溶射を行なった。なお，前処理として，ブラスト材は，酸化アルミニウム（#24）を用いた。皮膜形成にはアンダーコートNi-Crを40 μ，トップコートの皮膜が500 μになるよう，それぞれ溶射を行なった。

次に，皮膜特性の評価方法として，図2に示すような摩耗試験機を作製し図3に示すようにポンプの羽根車の先端にテストピースを取付け，実動にそくした方法での摩耗試験を行なった。

試験時間は，トップコート皮膜の摩耗量を加味して10時間とした。そして初期重量と試験後の重量差により摩耗量を求めた。

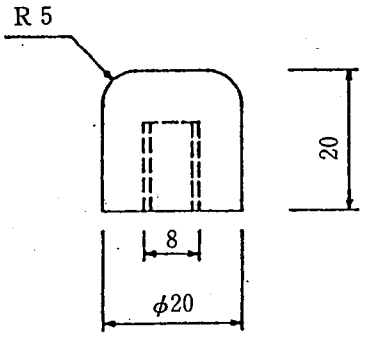


図1　テストピース

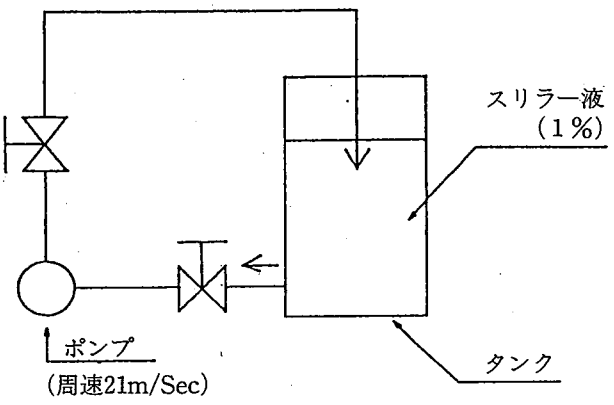


図2　テスト装置

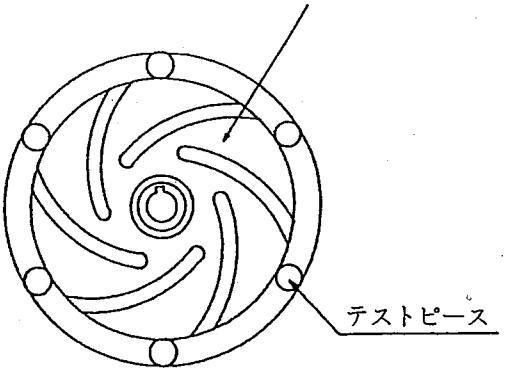


図3　テストピースの取り付け位置

3．実験結果及び考案

表3の直交わりつけに従って順次溶射を行なって得られたテストピースを摩耗試験機に掛けてそれぞれの摩耗量を求めて表4にまとめた。摩耗量は一般的には，カタサと比例関係にあり，カタサが硬いほど摩耗量は少ないようであり，カタサ依存性を示している。

この度のように，アブレシブ摩耗様式をとるものについては特にこの関係が顕著である。いいかえれば，皮膜カタサが硬いほど摩耗量も少なく，良い皮膜といえる。ポンプのインペラ材の場合には，カタサと同時に耐食性も考慮に入れなくてはならず，両方の性質をかねそなえた材料の選定が大切となっている。

今度の実験に於ては，摩耗量の小さいほど良い皮膜であるという考えに立ちタグチメソードの「パラメータ設計」における，望小特性（特性値が小さければ小さいほど良い，例えば騒音，寸法誤差，摩耗）の解析手法を用いた計算を行なった。

望小特性の計算手法として

$$V_T=\frac{\sum_{i=1}^{n}(yi-0)^2}{n}$$

yi…計測データ
V_T…分散

$$\eta=-10\log V_T$$

表4　各要因毎の摩耗量によるSN比

要因 / T.P No.	予熱 A	TiO_2 (%) B	rpm C	電流 (A) D	Arc. gas E	Aux. gas F	Pow. gas G	SNration (dB)
1	有	13	5	700	50	50	60	−27.75
2	↓	13	7	800	60	60	70	−27.53
3		13	10	900	70	70	80	−28.43
4		20	5	700	60	60	80	−32.06
5		20	7	800	70	70	60	−32.42
6		20	10	900	50	50	70	−31.95
7		40	5	800	50	70	70	−37.28
8		40	7	900	60	50	80	−37.57
9		40	10	700	70	60	60	−37.70
10	無	13	5	900	70	60	70	−28.30
11	↓	13	7	700	50	70	80	−30.05
12		13	10	800	60	50	60	−31.41
13		20	5	800	70	50	80	−30.13
14		20	7	900	50	60	60	−32.17
15		20	10	700	60	70	70	−31.50
16		40	5	900	60	70	60	−36.26
17		40	7	700	70	50	70	−38.49
18		40	10	800	50	60	80	−37.55

注；1）予熱(有)　100℃
2）ブラスト　#24
3）under coat　Ni-Cr　40μ
4）over cort　500μ　一定
5）溶射距離　100～120mm

表4に示すSN比は上記の式で求められたものである。望小特性の場合，SN比 η は大きいほど良く，いいかえれば，バラツキが小さく，良い皮膜と言える。次にSN比をもとに分散分析を行ない

表5　分散分析表

要　因	平方和	自由度	分　散	分散比	F値(0.05)
平　均	19243.95013889	1	19243.95013889		
予熱有無	0.55827222	1	0.55827222	0.39	7.7
TiO_2	228.85257778	2	114.42628889	67.41	6.9
rpm	4.85534444	2	2.42767222	2.45	6.9
電　流	0.69107778	2	0.34553889	1.85	6.9
Arc gas	0.14191111	2	0.07095556	1.04	6.9
Aux gas	0.34481111	2	0.17240556	0.85	6.9
Pow gas	0.62831111	2	0.31415556	0.91	6.9
残　差	10.22825556	4	2.55706389		
全変動	246.30056111	17			

表6　要因毎の平均値

(dB)

要因＼水準	1	2	3
予　　熱	−32.5211	−32.8733	
TiO_2　(%)	−28.9117	−31.7050	−37.4750
rpm	−31.9633	−33.0383	−33.0900
電　　流(A)	−32.9250	−32.7200	−32.4467
Arc gas	−32.7917	−32.7217	−32.5783
Aux gas	−32.8833	−32.5517	−32.6567
Pow gas	−32.9517	−32.5083	−32.6317

どの制御要因が大きな効果を持つかを定量的に検討した。

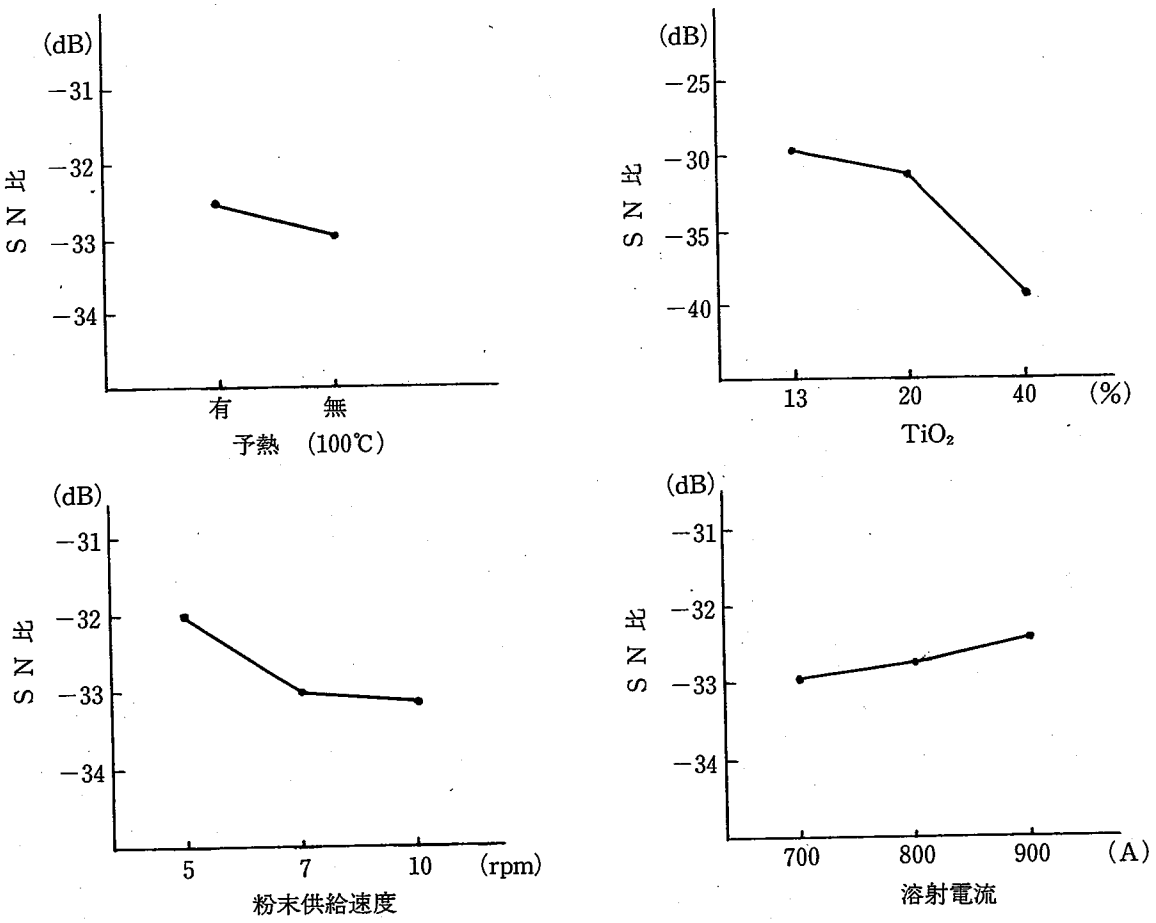
その結果を表5に示した。

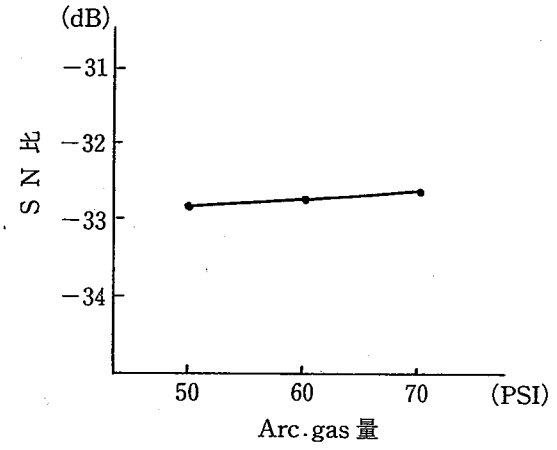
この結果よりF検定，危険率(5%)の場合，有意な要因は，チタニウムの含有量であり，この要因が皮膜特性，摩耗に大きく影響を及ぼすことが判明した。以後，順次粉末供給速度，電流，アークガス量，パウタガス量，補助ガス量の順に影響を及ぼした。

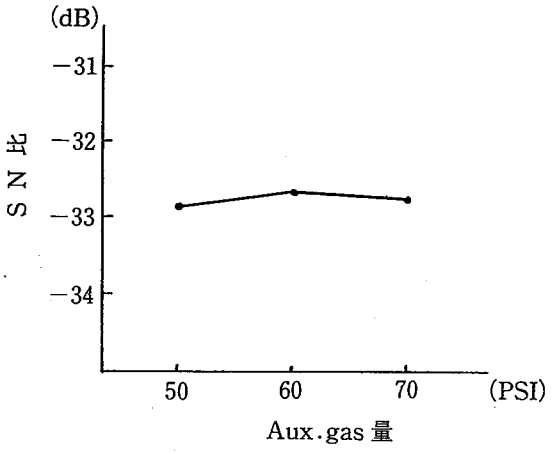
表6に要因毎の平均値を示し，それを図4に各要因の効果図として示す。

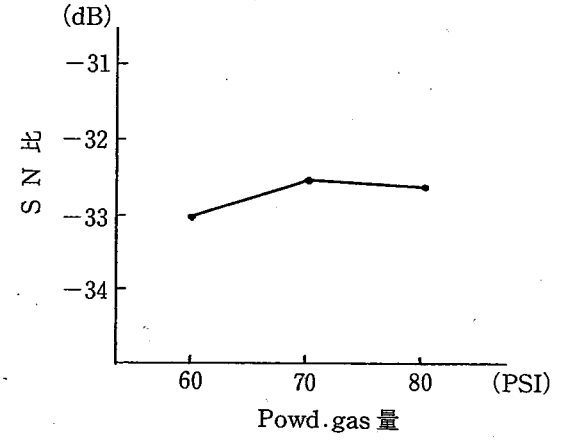
この結果により，TiO_2の含有量が，13%，20%，40%と高くなるほど耐摩耗性が悪くなり，カタサで言えば順次低下現象を示していることになり，アブレーシブ摩耗に於ける，カタサ依存性が大きいことが確認された。

図4　各要因の効果図









次に表6に示す各要因毎との最適条件の組合わせによる確認実験を行った。

その条件を次に示す。

平起	有
Tio_2	13(%)
粉末供給速度	5 (rpm)
溶射電流	900(A)
アークガス量	70(PSI)
補助ガス量	60(PSI)
ハウダーガス量	70(PSI)

その結果，摩耗量は最小値となっており実験計画法を使用しての実験の有効性を確認出来た。

4．結　論

実験計画法に基ずいて，アルミチタニア材料の溶射加工条件と耐摩耗性との関係について検討した結果以下のような結果を得た。

1. 耐摩耗性に及ぼす要因としては溶射材料の TiO_2 の含有量が有意であり，13%，20%，40%と高くなるほど摩耗量が大きくなり，カタサ依存性が高くなることが判明した。
2. 有意差は見られなかったが，粉末供給速度，電流，アークガス量，補助ガスの順に影響を及ぼすことがわかった。
3. 各種要因の最適条件の組合せを決定し，その条件により確認実験を行なった結果，その摩耗量も最もよい結果を得ることが出来，パラメータ設計による SN 比の有効性が確認出来た。

参考文献

1) 市後博造他：金属の溶射に関する研究
2) 田口玄一：品質工学講座(1)(3)
3) 矢野　宏：計測管理の実際
4) 榎原研正：設計者のための最適化手法
5) 日本溶射協会：溶射ハンドブック