

広島市工業技術センター年報

第5巻

ANNUAL REPORTS

of

HIROSHIMA MUNICIPAL
INDUSTRIAL TECHNOLOGY CENTER

VOL. 5

1991

平成3年度

広島市工業技術センター

はじめに

本市の中小企業は、平成4年3月の時点において、すべての指標でDI（景気動向指数）が低下していることが報告され、景気の減速感が強まっています。この原因には、需要の停滞、製品在庫の増大並びに設備投資の減退などのほか、労働時間の短縮や人手不足などが考えられ、中小企業を取り巻く環境は非常に厳しいものがあります。

このような状況のもとで、本市の中小企業が力を蓄え、発展を遂げていくためには、正しい情報と的確な判断に基づいて現製品の機能とバランスを追究しながら、人材の育成と新技術の導入を図り、新製品開発と新分野開拓を強力に推進していくことが必要です。

当工業技術センターは、本市中小企業の技術拠点であり、技術的課題を解決していくために、技術指導・相談、試験検査などを通じて中小企業の皆さま方の要望に応じてまいりました。さらに、人材育成や新技術の普及を図るため、講習会・研修会の開催、産・官・学による研究会の設置、特定技術診断事業、企業との共同研究並びに異業種交流事業の展開などを通じて、中小企業の新技術・新製品開発の支援を行い、多くの成果を挙げる事ができたものと自負しております。

このほか、当センター職員の技術力向上と企業ニーズに応えるため、試験機器などの設備導入や研究活動を行い、その成果は日常業務を通じて各企業に技術移転しております。

本報は、平成3年度に実施した諸事業の概要と、当センター職員が行った研究内容についてまとめたものです。ご一覧のうえ、ご助言を賜れば幸いです。

尚、平成4年4月から、中小企業の方々のご要望に柔軟に対応できるよう(財)広島市産業振興センターを発足させ、工業技術センターが実施してきた事業の大部分を技術振興部に委託して実施することになりました。今後は両者が車の両輪のように一体となって事業を推進することになります。

従前以上に工業技術センターと産業振興センター技術振興部をご気軽に御利用下さいますようお願いいたします。

平成4年7月

広島市工業技術センター
所長 山本 慧 實

目 次

1 概 要

(1) 沿 革	1
(2) 施設規模	2
(3) 組織及び業務	3
(4) 予 算	4
(5) 主要設備機器	5

2 事 業

(1) 依頼試験	13
(2) 設備利用	13
(3) 指導相談	14
(4) 施設見学	14
(5) 講習会・研修会・研究会の開催	15
(6) 現地指導	19
(7) 技術交流事業	24
(8) 講師・委員等の派遣	28
(9) 発明考案の奨励	33

3 研究報告

(1) 任意形状スロットの深溝効果の計算 山本 慧實	37
(2) Fe - Cr - Mo - C - P 焼結金属材料の液相拡散接合とその評価 隠岐 貴史、四辻 博文、山田 洋	42
(3) 機械構造部品用焼結材料を用いた溶接接合の評価 隠岐 貴史、福原 啓聰、山口 研二、山田 洋	53
(4) フッ素・シリコンアクリル樹脂クリヤーコーティングの塗膜物性について 植木 邦夫	58
(5) 2 - (5 - プロモ - 2 - ピリジルアゾ) - 5 - ジエチルアミノフェノール を用いる亜鉛中のインジウムの吸光光度定量 山口 研二、岩切 美穂、出口 正一	61

(6) 各種セラミックス溶射皮膜の摩耗特性 市後 博造、浅野 直弘、中川 孝作	66
(7) 難削材料であるインコネル718 (Ni基超耐熱合金) のワイヤカット放電加工機による加工特性 岡田 邦彦、福原 啓聰、隠岐 貴史	73
(8) 画像処理の高機能化による検査工程自動化の研究 (第2報) 尾崎 清	83
(9) 画像処理の前処理手順導出のためのエキスパートシステムの研究 上杉 憲雄	90
(10) 車両-乗員-高架路面連成振動シミュレーションシステムに関する研究 西山 修二	93
(11) パーソナルニューロコンピュータとファジイシステムの適用化技術 - 2自由度マニピュレータのファジイ制御 - 古谷 薫	103
(12) MRPシステムによる生産計画システムの構築に関する研究 小島 一洋、横山 武房、井上 達夫、中村 信人、森川 克己、 小方 文明、小野 元司、谷口 正夫	111
(13) 自動車用部品の組立ラインにおけるスケジューリング支援シミュレーションシステムの構築 小島 一洋、横山 武房、神垣 大持、中村 信人、森川 克己、 惣城 正明、小川 猛、谷口 栄治	117
(14) 生産計画パラメータ設定のための生産工程シミュレータの開発 小島 一洋、横山 武房、稲井 大介、森川 克己、沖 常登、深野 信幸 川隅 信志、市原 建男、田中 滋、田中 隆太郎、河田 博夫	122
(15) プレス用金型製造ラインにおける生産計画支援システムの構築 小島 一洋、横山 武房、白神 正樹、中村 信人、森川 克己、 山田 浩一、古庵 弘之、林 康明、切田 俊昭	127
(16) 鉄骨溶接組立ラインのシミュレータ開発 小島 一洋、横山 武房、森川 克己、中村 信人、石原 栄治 槇本 浩二、伊達 和孝	132

1 概 要

- (1) 沿 革
- (2) 施設規模
- (3) 組織及び業務
- (4) 予 算
- (5) 主要設備機器

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、(財)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
((財)広島地方発明技術センターが(財)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 (財)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)
- 平成 4年 4月 (財)広島市産業振興センター技術振興部を新設
(広島市工業技術センターから一部分離創設)

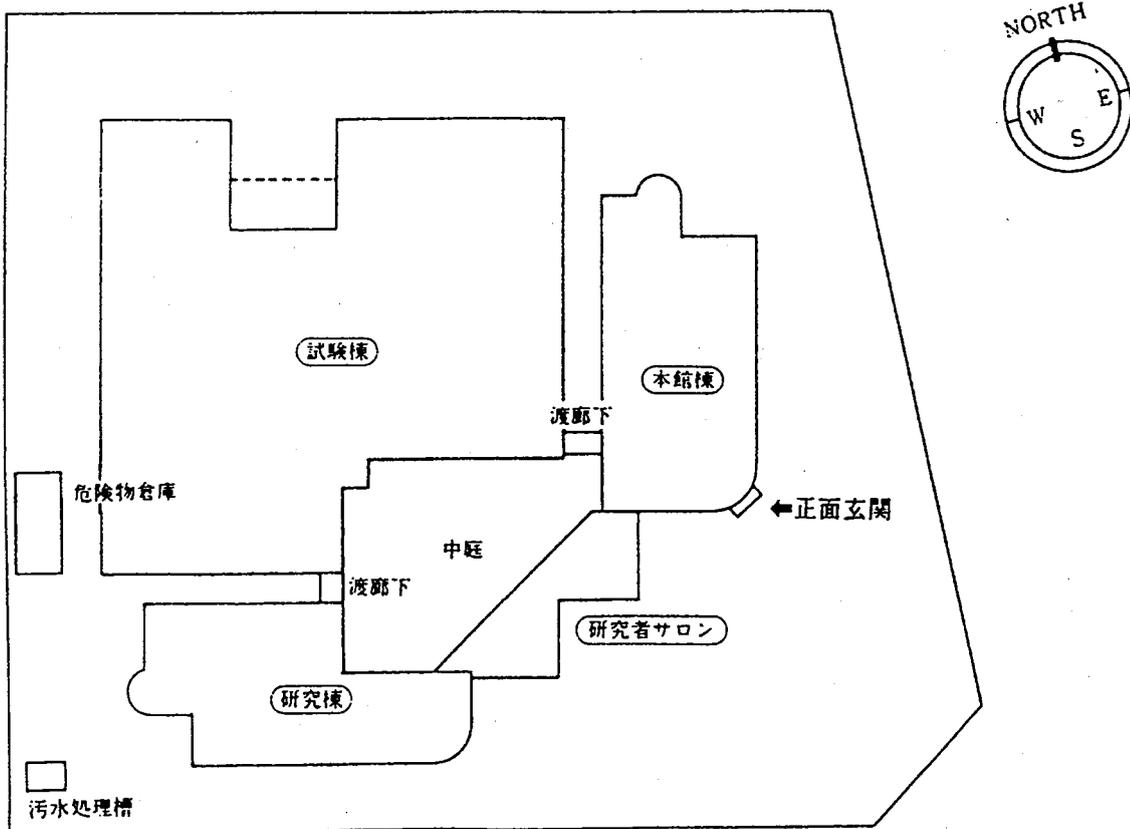
(2) 土地・建物

① 建設規模

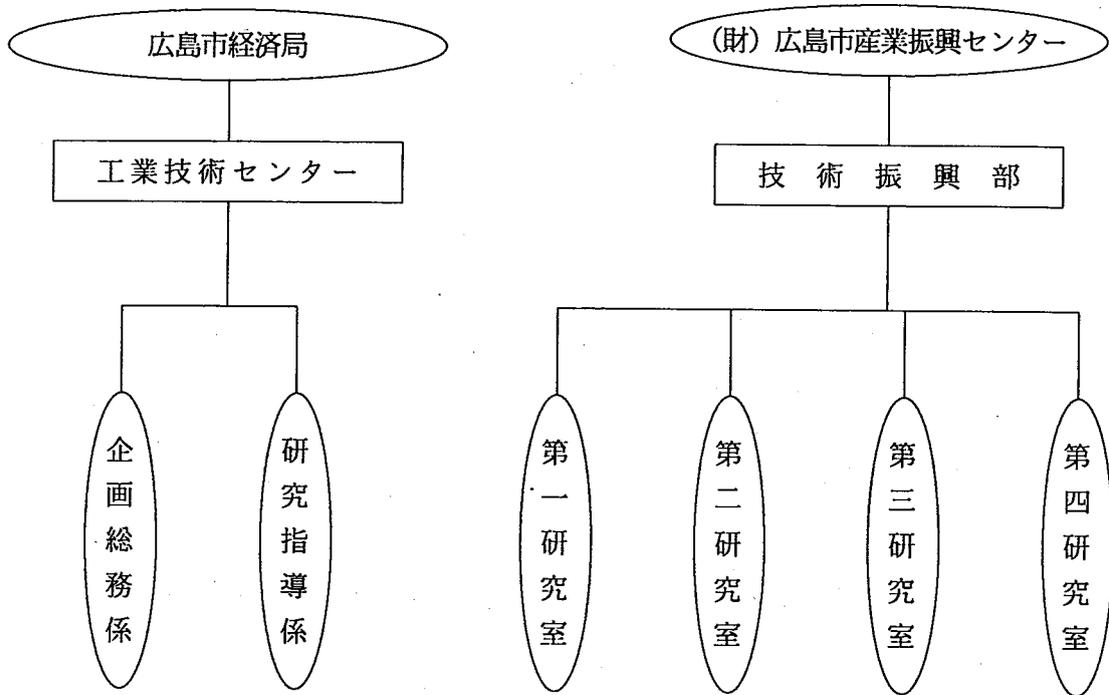
(単位：m²)

敷地面積	10,117.20							
建築面積	総建築面積	3,816.55						
	総延床面積	6,789.86						
建物概要	鉄筋コンクリート造							
	本館棟	研究者サロン棟	研究棟	試験棟	渡廊下	危険物倉庫	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
P H階	52.55							52.55
計	1,795.85	246.32	1,763.58	2,890.33	19.16	60.00	14.62	6,789.86

② 配置図



(3) 組織および業務



- 依頼試験・設備使用の受付及び手数料・使用料の収納。
- 試験成績書の発行。
- 発明考案に関する奨励事業。
- 公設試験研究機関との共同研究及び研究成果の普及。
- 産業デザインに関する研究及び技術指導。
- 各種工業材料の利用技術に関する研究及び技術指導。
- 成形加工技術及び機械加工技術に関する研究及び技術指導。
- 表面処理・改質技術に関する研究及び技術指導。
- 生産管理技術に関する研究及び技術指導。
- 電気・電子応用技術に関する研究及び技術指導。
- コンピュータ支援技術・情報処理技術に関する研究及び技術指導。
- 各種工業材料の機械試験・物性試験及び化学分析。
- 各種工業製品の試験・測定・検査。
- 中小企業からの受託研究及び企業との共同研究。
- 講習会・研修会・研究会の開催及び人材育成事業。
- 技術交流事業の支援。
- 技術情報の収集・加工・提供。
- 定期刊行物等の企画・発行。

(4) 予 算

① 歳 入

(単位：千円)

科 目	平成2年度当初予算額	平成3年度当初予算額	増 減
商 工 使 用 料	597	1,268	671
商 工 手 数 料	27,914	27,878	36
商工費国庫補助金	24,387	30,910	6,523
雑 入	31,733	27,748	3,985
市 債	45,000	0	△45,000
計	129,631	87,804	△41,827

② 歳 出

(単位：千円)

科 目	平成2年度当初予算額	平成3年度当初予算額	増 減
報 償 費	3,610	4,188	578
普 通 旅 費	4,534	5,776	1,242
特 別 旅 費	304	287	△17
消 耗 品 費 等	12,483	12,455	△28
燃 料 費	267	215	△52
食 糧 費	812	855	43
光 熱 水 費	17,550	18,897	1,347
修 繕 費	4,943	4,910	△33
通 信 運 搬 費	1,108	1,083	△25
手 数 料 等	77	46	△31
保 險 料	42	42	0
委 託 料	51,731	51,165	△566
使用料及び賃貸料	10,354	11,033	679
備 品 購 入 費	121,935	115,750	△6,185
負担金補助及び交付金	16,021	19,748	3,727
公 課 費	18	18	0
計	245,789	246,468	679

(5) 主要設備機器

* : 中小企業庁補助対象機器 ※ : 日本自転車振興会補助対象機器

機 器 の 名 称	型 式	購入年度
原子吸光分析装置	(株) 日本ジャーレルアッシュ AA - 860型	※S 5 7
原子吸光分析装置	(株) 日本ジャーレルアッシュ AA - 1 EWT	S 4 7
炭素・硫黄分析装置	(株) レコ社 CS - 244型	※S 5 9
自記分光光度計	(株) 島津製作所 UV - 240型	※S 5 6
高周波プラズマ分析装置	(株) 日本ジャーレルアッシュ ICAP - 575型	※S 6 2
X線マイクロアナライザー	(株) 島津製作所 8705QH型	※S 6 2
100kN 万能試験機	(株) 島津製作所 RH - 10型	※S 3 6
500kN 万能試験機	(株) 島津製作所 UH - 500KNA型	※H 3
1MN 万能試験機	(株) 島津製作所 UMH 100T型	※S 5 7
インストロン型万能試験機	インストロンジャパン(株) 1125型	※S 5 6
低荷重精密万能試験機	(株) 島津製作所 AGS - 1000A型	※S 6 3
ショッパー式引張試験機	(株) 島津製作所 SH - 500型	* S 4 7
ツインロックウェル硬度計	松沢精機(株) DRT - FA300型	※S 5 8
ロックウェル硬度計	(株) 明石製作所 ORK型	S 4 1
ロックウェル・スーパーフィッシャル硬度計	(株) 明石製作所 ARK - S型	S 5 1
マイクロビッカース硬度計	松沢精機(株) DMH - 1型	※S 5 8
ビッカース硬度計	(株) 明石製作所 AVK型	S 4 1
50kN・m計装化シャルピー	(株) 米倉製作所 CHARPAC - 5C型	H 1
300kN・m シャルピー衝撃試験機	(株) 東京衡機製造所 IC型	H 2
回転曲げ疲れ試験機	(株) 東京衡機 25180型	S 4 1
金摩耗試験機	(株) 島津製作所 48447型	S 4 1
焼入試験機	(株) 川崎製鉄	S 4 1
繰返し荷重試験機	サクラ工業(株) AB型	* S 4 7
走査型電子顕微鏡	(株) 日立製作所 S - 2400型	※H 2
金属顕微鏡	ユニオン(株) 6318型	S 5 4
実体顕微鏡	ニコン(株) AFX型	※S 5 6
顕微鏡	ニコン(株) AFM型	* S 4 7
工具顕微測定器	(株) ツガミ製作所	S 3 0
接着耐久性試験機	東洋精機(株) NO - 537型	H 1

* : 中小企業庁補助対象機器 ※ : 日本自転車振興会補助対象機器

機 器 の 名 称	型 式	購入年度
低温型示差走査熱量計	セイコー電子工業(株) DSC-220C型	※H 3
熱機械分析装置	セイコー電子工業(株) TMA-SS120C型	※H 3
示差熱分析装置	真空理工(株) TA-1500型	※S 5 9
渦電流式非破壊膜厚計	ダーミトロン D-5型	* S 4 7
自記変歪測定装置	サクラ工業(株) SFH-20S型	S 6 2
荷重変位測定装置	(株) シンコ工業 6505型	* S 5 4
万能投影機	日本光学工業(株) V-20A型	※S 5 6
レーザー測長機	和泉電気(株) MG-1000型	※S 6 3
万能表面形状測定機	(株) 小坂研究所 SE-3C-501806型	* S 4 7
切削動力計	日本キスラー(株) 9257B型	※H 3
三次元座標測定機	日本光学(株) トライステーション600型	※S 6 2
蛍光X線微小膜厚計	(株) セイコー電子工業 SFT-3200型	※H 3
歪検出システム	(株) 共和電業 E-SPIRAS8型	* H 3
試料埋込機	ビューラー SIMPLIMET 2型	※S 5 6
超音波深傷機	日本クラウトクレマーウェルターHIS-2	※H 2
X線応力測定装置	(株) リガク MSF-2M型	※S 6 3
プログラマブルコントローラ	立石電機(株) SYSMAC C-120型	※S 5 9
画像処理システム	(株) ネクサス 7106型	* H 2
ロジック開発装置	YHP(株) 64000型	S 6 2
CAD/CAMシステム	富士通(株) S-3300 ANVIL-4000	S 6 2
アナライジングレコーダ	横河電機(株) 3655E	S 6 2
デジタルパワーメータ	横河電機(株) 2533	S 6 2
AI開発システム	(株) 東芝 AS4075GX型	* H 3
電子回路試験装置	ノイズ研究所 EMC-5000S他	※H 1
デジタルストレージスコープ	松下通信(株) VP-5740A	S 6 2
精密電圧電流測定器	横河電機(株) 2723	S 6 2
標準電圧電流発生器	横河電機(株) 2558 2553 2563	S 6 2
周波数測定機	リオン(株) SA-57型	* S 4 7
マイクロロボット	三菱電機(株) RM-501型	S 5 9
カラーシュミレータ	日本色研事業(株) 678RC-SA-101型	* S 6 3

* : 中小企業庁補助対象機器 ※ : 日本自転車振興会補助対象機器

機 器 の 名 称	型 式	購入年度
コンピュータグラフィックシステム	アップル社 マッキントッシュ II FXシステム	*H 2
デザインスコープ	(株) いずみや 3N型	S 6 2
写植機	(株) 写研 SPICA - AH型	*S 6 3
スクリーン印刷機	新栄工業(株) SK - B600 - V型	*S 6 3
デジタル変角光沢度計	スガ試験機(株) UGV - 4D型	*S 5 4
デジタル自動測色色差計	スガ試験機(株) AUD - CH - 2型	*S 5 4
多光源測色色差計	スガ試験機(株) MSC - IS - 2B型	*S 6 3
接触角精密測定機	協和科学(株) CA - 1型	*S 4 7
精密ハードネステスター	プロセス社 エコーチップC型	*S 6 3
摩耗試験機	テスター産業(株) AB101型	H 1
めっき処理装置	富士プラント工業(株) プライスター1型	*S 5 5
屋外暴露試験器	スガ試験器(株) OER - PG型	*S 6 2
表面性測定機	新東洋科学(株) ヘイドン-14型	*S 6 2
塩水噴霧試験機	東洋理化工業(株) ST - J - 2型	*S 4 7
ガス・塩水腐食試験機	スガ試験機(株) HKC - 12L型	S 6 2
複合サイクル試験機	スガ試験機(株) ISO - 3CY型	*S 6 2
紫外線ウェザーメーター	スガ試験機(株) WEL - SH - 2C H - B型	H 1
紫外線フェードメーター	スガ試験機(株) FAL - SP - H型	H 1
サンシャイン式ウェザーメーター	スガ試験機(株) WEL - SUN - HC型	*S 5 4
冷熱衝撃試験機	タバイエスペック(株) TSC - 10型	*S 5 4
サーマルショック試験機	タバイエスペック(株) TSR - 103型	*S 6 3
温湿度繰り返し試験機	タバイエスペック(株) PL - 3E型	*S 5 4
湿潤試験機	スガ試験機(株) CT - 3型	*S 6 2
高温熱風乾燥器	タバイエスペック(株) HPS - 222型	*S 5 5
熱風式焼付乾燥装置	タバイエスペック(株) HLKS - 3A型	H 1
塗料用退色試験機	スガ試験機(株) FM - 1型	H 1
恒温恒湿低温槽	タバイエスペック(株) PL - 4G型	*S 6 2
恒温恒湿槽	タバイエスペック(株)	*S 4 7
静電粉体塗装装置	(株) ランズバーグゲマ EPE 700型	S 6 2
静電塗装装置	(株) ランズバーグゲマ	*S 4 7

* : 中小企業庁補助対象機器 ※ : 日本自転車振興会補助対象機器

機 器 の 名 称	型 式	購入年度
手吹静電塗装装置	(株) ランズバーグゲマ エレッペ R-E-AN	H 1
スプレー式前処理装置	(株) 日本パーカライジング KU-42型	*S 6 2
フローコーター塗装機	岩田塗装機工業(株) FL-W3F型	S 6 2
燃焼性試験機	スガ試験機(株) FL-45MC型	*S 5 5
冷間等方圧加圧装置(CIP)	三菱重工業(株) MCT-100型	※S 6 3
熱間等方圧加圧装置(HIP)	三菱重工業(株) O2-Labo HIP型	※H 1
プラズマ溶射装置	プラズマダイン 40型	S 6 2
集塵装置	サンエス工業(株) バロズブース NB-2S型	H 2
ガス溶射装置	日本ユテク(株) テロダインシステム2000型	H 2
プラズマ溶射ロボット	プラズマ技研工業(株) モトマンK6SB型	※H 3
立形マシニングセンター	(株) 遠州製作所 VMC530 II型	※S 6 3
NCワイヤーカット放電加工機	三菱電機(株) DWC90H型	※H 1
NC放電加工機	三菱電機(株) M35KC7型	※H 2
放電精密型彫機	シャパレックス(株) D-15L型	※S 3 6
真空加圧含浸装置	サンワエンジニアリング(株) VPI-2PW型	H 1
真空蒸着装置	(株) 島津製作所 VPC-350型	S 5 1
切断機	島本鉄工(株) 603型	※S 5 6
難削材料切断切削装置	(株) マルター セラミクロン MX-833型	*H 3
炭酸ガスレーザ加工機	(株) 日立製作所 HIL-500CSP型	※S 6 0
直流アーク溶接機	大阪変圧器(株) CPXGT-350型	※S 5 8
立形フライス盤	日立(株) 3M型	S 5 2
定荷重精密プレス	東洋テスター産業(株) SA-901型	H 1
木工用油圧プレス	(株) セイブ ONK-1000×2000型	S 6 2
木材真空乾燥機	北川鉄工(株) WVD-1-5型	*S 5 5
マッフル炉	(株) 亀井製作所 3513型	※S 5 8
高温真空炉	(株) 島津製作所 DEGUSSA	※S 5 8
雰囲気加熱炉	光洋リンドバーク G8-50,AC-145	S 5 1
高周波加熱装置	富士電波(株) FDY-320型	S 6 2
旋盤	森精機(株) MS-650型	※S 5 7
平面研削盤	日興機械(株) NSG-520H型	※S 5 9

* : 中小企業庁補助対象機器 ※ : 日本自転車振興会補助対象機器

機 器 の 名 称	型 式	購入年度
万能工具研削盤	(株) 松沢製作所 MZ - 8BG型	※S63
刃物研削ラップ盤	(株) 丸仲鉄工所 GH - 50型	H 1
ボーリングマシン	新前田工業(株) SAD - 120B型	S62
タブテールマシン	庄田鉄工(株) DV - 131型	S62
コーナーロックングマシン	庄田鉄工(株) CLA - 132型	S62
ルーターマシン	庄田鉄工(株) ROA - 113型	S62
超仕上かな盤	丸仲鉄工所 ロイヤル 3型	S62
高速度手押しかんな盤	(株) 桑原製作所 KP - 300LDX型	S63
自動一面かな盤	(株) 大洋製作所 CP - 500型	S63
軸傾斜丸鋸盤	(株) 桑原製作所 KS - TZ400型	H 1
軸傾斜横切丸鋸盤	東海製作(株) SFJ - 1300型	S62
走行丸鋸盤	田中機械工業(株) パネルソー 2500型	H 2
木工ロクロ	シンポ工業(株) WRA - 075 - AN型	S63
木工旋盤	北産興業(株) WL - S1型	S63
ベルトサンダー	(株) 桑原製作所 KBS - 70型	*S55

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 ・ 研 究 会
 - ① デザイン高度化の推進
 - ② 生産工程合理化の推進
 - ③ 新技術の普及
 - ④ 新技術の開発共同研究
- (6) 現 地 指 導
- (7) 技 術 交 流 事 業
 - 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) 講 師 ・ 委 員 等 の 派 遣
- (9) 発 明 ・ 考 案 の 奨 励

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	158	95,790	13	398	349,580	0	0	0	16	556	445,370
	小 計	15	207	175,150	35	452	438,040	0	0	0	50	659	613,190
金属又は非金属	機 械 試 験	3155	11074	16,425,900	125	612	736,640	0	0	0	3280	11686	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	215	1374	4,317,240	0	0	0	0	0	0	251	1374	4,317,240
	小 計	3379	12493	20,896,220	260	1248	2,683,900	0	0	0	3675	13741	23,580,120
塗料・皮膜	塗 料 試 験	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	皮 膜 試 験	1	1	1,850	378	16551	6,664,230	0	0	0	379	16552	6,666,080
	小 計	1	1	1,850	378	16551	6,664,230	0	0	0	379	16552	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
試験用試料作成	金属または木製品	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	485,100
	塗料または皮膜	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	78	241,020	0	0	0	11	78	241,020
	工業製品の試作	0	0	0	3	15	11,550	0	0	0	3	15	11,550
	試験又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	3412	12769	21,144,900	696	18357	10,078,920	60	370	628,350	4204	31496	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	1687	181,550	6	15	46,350	381	1770	309,280
	試 験 設 備	73	277	640,090	8	24	34,580	11	48	143,040	92	349	817,710
	計	97	345	721,470	359	1711	216,130	17	63	189,390	473	2119	1,126,990

(3) 技術相談

分類	分野	所外	所内	計
A	機械	50	60	110
B	電子・電気	38	41	79
C	化学	81	112	193
D	金属	276	463	739
E	木材・木質材	131	194	325
F	情報処理	38	86	124
G	デザイン	219	103	322
H	経営工学	135	68	203
I	資源	2	2	4
J	建設	7	6	13
K	衛生	10	13	23
Z	その他	32	47	79
計		1,019	1,195	2,214

(4) 施設見学

見学団体	見学者数
中国重慶市自動車整備技術研修生 他	36団体 188名

(5) 講習会・研修会・研究会

①デザイン高度化の推進

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	10月21日	製品開発とデザインプロセス定性情報の定量化とコミュニケーション	(株)コペル 代表取締役 谷内 真之介	36名	谷 本
デザイン開発講習会	2月20日	市場のヒット商品にみるデザイン要因について	日本デザインセンター グラフィックスデザイン ディレクター 中川 範造	86名	谷 本
インテリア基礎 デザイン技術研修会	第1回 9月6日	デザインと色彩	セントラルデザインソリュー 主宰 山下 新治	20名	西 原
	第2回 9月13日	デザインと色彩	セントラルデザインソリュー 主宰 山下 新治	20名	
	第3回 9月20日	製図法 スケッチ技法	広島市工業技術センター 主任技師 西原 正明	20名	
	第4回 9月27日	製図法 スケッチ技法	広島市工業技術センター 主任技師 西原 正明	20名	
	第5回 10月4日	パースと色づけ	建築アトリエK 代表 慶雲寺 誠	20名	
	第6回 10月11日	パースと色づけ	建築アトリエK 代表 慶雲寺 誠	20名	
	第7回 10月18日	色の基本演習	広島市工業技術センター 主任技師 谷本 義則	20名	
	第8回 10月25日	インテリアの計画（色彩と形態）	(株)アステリア コーディネーター 河野 房子	20名	
注文洋服縫製技術講習会	7月26日	夏物スーツの縫製技術について	吉田洋服店 吉田 実	82名	岡 本
広島市デザイン講習会	11月7日	工業化住宅のインテリアとデザイン	(株)樋口環境設計研究所 社長 樋口 治	39名	岡 本
	11月8日	インテリア産業の新しい視点	(株)ラリアート・デザイン 社長 大川 允	32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	1月17日	スクリーン印刷の自動化について	東洋インキ(株) 技術顧問 山田 善吾	80名	谷 本
表面処理技術講習会	11月15日	熱処理を効率よく行う新しい方法 (品質工学の活用)	宮城教育大学 教育学部 技術科 教授 矢野 宏	99名	市 後

名 称	開催月日	テ ー マ	講 師	参加人員	担当者
金属塗装技術講習会	3月6日	表面処理鋼板の最近の技術	新日本製鉄(株) 技術開発本部鉄工研究所 工学博士 岡 襄二	73名	植 木
広島市生産技術講習会	3月4日	UV塗装とG-VACシステムについて	玄々化学工業(株) 取締役技術部長 衣斐 正道	44名	斉 藤
	3月5日	木材・木製品製造業における加工技術の現状と将来について	実践女子大学 教授 農学博士 小野 昌孝	35名	山田利

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18日	金属系新素材の利用技術	日立ツール(株)西部営業部 主管技師 紺谷 康夫	83名	山田洋
特殊加工技術講習会	3月11日	金型作りを変革するための最新放電加工技術	三菱電機(株)名古屋製作所 産業機製造部加工技術課 課長 大泉 俊郎	53名	岡 田 横 山
高分子材料講習会	4月26日	高分子材料特に弾性エラストマーの成形技術の見直しと融合化	岡山県工業技術センター 次長 川崎 仁士	45名	奥 村
	6月28日	最近のゴム練り事情について	ゼオンポリミックス(株) 部長 安岡 彰	62名	奥 村
	11月29日	わが社の研究開発と物の作り方	バンドー化学(株) 常務取締役 平尾 和俊	42名	奥 村
人工知能応用技術講習会	10月29日	コンピュータ支援技術における知識工学の適用	東京大学 工学部 教授 矢川 元基	80名	西 山 上 杉
木質系新素材講習会	11月28日	木質系新素材の利用技術について	京都大学 教授 則元 京	70名	木 下
パソコン活用技術講習会	2月4日	中堅中小企業における情報ネットワークの構築活用	(株)辻システム計画事務所 代表取締役社長 辻 淳二	94名	横 山 小 島
CAD/CAM, CIM 技術研修会	第1回 10月1日	実製品向けCAEシステムの開発経験と課題	広島大学 工学部 教授 蔦 紀夫	31名	西 山 小 島
	第2回 10月3日	自動車開発におけるCAEの役割	車輛研究所 シニアリサーチャー 萩原 一郎	46名	
	第3回 10月9日	航空機開発における先端CAD/CAM/CAEの役割	石川島播磨重工業(株) 航空宇宙事業本部 次長 勝又 一郎	38名	

名 称	開催月日	テ ー マ	講 師	参加人員	担当者	
CAD/CAM. CIM 技術研修会	第4回 10月15日	EWS形CAD/CAM/CAE/CAT 一体化システムの実現	トヨタ自動車(株) 第一情報システム部 課長 森 達博	61名	西 山	
	第5回 10月31日	中堅中小企業のための統合FA - LANの構築の基礎	オムロン(株) コントローラ研究所 課長 堀田 正明	36名		
	第6回 11月14日	実践CIM構築法 (1)	日本アイ・ビー・エム(株) CIM技術センター 主管 東 正則	42名	小 島	
	第7回 11月14日	実践CIM構築法 (2)	日本アイ・ビー・エム(株) CIM技術センター 主管 東 正則	42名		
	第8回 12月6日	中堅中小企業のための日本型CIM 構築について	東邦学園短期大学 教授 沢田 善次郎	31名		
マイコン研修会	第1回 7月16日	マイコン応用概論 マイコン開発環境の考え方(リモ ットモニタについて)	広島工大助教授 玉野和保 岡山県工業技術センター 専門研究員 平松 隆志	10名	尾 崎	
	第2回 7月18日	マイコン実習用インターフェース ボードの製作	広島市工業技術センター 技師 尾崎 清 技師 上杉 憲雄	10名		
	第3回 7月22日	プログラミング実習 入出力実験ボードを用いた制御プ ログラムの作成、動作確認	広島市工業技術センター 技師 尾崎 清 技師 上杉 憲雄	10名		
	第4回 7月24日		広島市工業技術センター 技師 尾崎 清 技師 上杉 憲雄	10名		
	第5回 7月26日	プログラムのROM化 CPUボードの単独動作確認	広島市工業技術センター 技師 尾崎 清 技師 上杉 憲雄	10名		上 杉
	第6回 7月29日	使用言語 BASIC及びアセンブラ プログラミング実習	広島市工業技術センター 技師 尾崎 清 技師 上杉 憲雄	10名		
	第7回 7月31日	・入出力 ・プログラムROM化 ・使用言語	広島市工業技術センター 技師 尾崎 清 技師 上杉 憲雄	10名		
	第8回 8月2日		広島市工業技術センター 技師 尾崎 清 技師 上杉 憲雄	10名		

④新技術の共同研究

名 称	開催月日	テ ー マ	講 師	参加人員	担当者
焼結金属技術開発研究会	第1回 5月23日	〈平成3年度研究計画〉 焼結金属材料の接合 焼結ハメ、液相拡散接合 固相拡散接合について	広島大学工学部 教授 黒木英憲 マツダ(株) 部長 森下 強 三菱重工業(株) 主任 市木崎哲男 広島シンター(株) 社長 河迫康男	21名	山 田 山 口 隠 岐
	第2回 7月12日	焼結金属の接合実験 ・2グループによる研究 ・応用テーマのディスカッション	広島大学工学部 教授 黒木英憲 マツダ(株) 部長 森下 強 三菱重工業(株) 主任 市木崎哲男 広島シンター(株) 社長 河迫康男	21名	
	第3回 8月30日	・焼結金属の各種接合法による実験結果報告 ・応用研究テーマのディスカッション	広島大学工学部 教授 黒木英憲 マツダ(株) 部長 森下 強 三菱重工業(株) 主任 市木崎哲男 広島シンター(株) 社長 河迫康男	21名	
	第4回 10月18日	溶接用コンタクトチップの改良 ・現用コンタクトチップの焼損摩耗原因について	広島大学工学部 教授 黒木英憲 マツダ(株) 部長 森下 強 三菱重工業(株) 主任 市木崎哲男 広島シンター(株) 社長 河迫康男	21名	
	第5回 11月29日	溶接用コンタクトチップの改良 ・試作品の実機試験結果 ・今後の実験の進め方	広島大学工学部 教授 黒木英憲 マツダ(株) 部長 森下 強 三菱重工業(株) 主任 市木崎哲男 広島シンター(株) 社長 河迫康男	21名	
	第6回 3月13日	〈研究会のまとめ〉 成果報告 ・接合の研究 ・コンタクトチップの改良	広島大学工学部 教授 黒木英憲 マツダ(株) 部長 森下 強 三菱重工業(株) 主任 市木崎哲男 広島シンター(株) 社長 河迫康男	21名	
C I M 研 究 会	第1回 7月31日	シミュレーション技術の基礎及び応用について 会員企業の研究テーマについて検討依頼	広島大学工学部 教授 中村信人 広島大学工学部 助手 森川克己 三菱重工(株) 主務 重光敏明 大東通商(株) 課長 福原英幸	31名	小 島 横 山
	第2回 8月7日	会員企業検討の研究テーマの説明 上記テーマの取り組みへのヒント等についてのディスカッション	広島大学工学部 教授 中村信人 広島大学工学部 助手 森川克己 三菱重工(株) 主務 重光敏明 大東通商(株) 課長 福原英幸	31名	
	第3回 9月27日	開発シミュレーションツールの説明 上記を使用したの演習	広島大学工学部 教授 中村信人 広島大学工学部 助手 森川克己 三菱重工(株) 主務 重光敏明 大東通商(株) 課長 福原英幸	30名	
	第4回 10月30日	会員企業シミュレーションスタディの中間報告とディスカッション(その1)	広島大学工学部 教授 中村信人 広島大学工学部 助手 森川克己 三菱重工(株) 主務 重光敏明 大東通商(株) 課長 福原英幸	30名	
	第5回 11月27日	会員企業シミュレーションスタディの中間報告とディスカッション(その2)	広島大学工学部 教授 中村信人 広島大学工学部 助手 森川克己 三菱重工(株) 主務 重光敏明 大東通商(株) 課長 福原英幸	30名	
	第6回 12月18日	会員企業の研究テーマについての成果発表	広島大学工学部 教授 中村信人 広島大学工学部 助手 森川克己 三菱重工(株) 主務 重光敏明 大東通商(株) 課長 福原英幸	31名	
	第7回 12月25日	新理論「経営トータルシミュレーションからみた生産の成功失敗のキーポイントについて」	矢矧コンサルタント(株) 代表取締役社長 矢矧晴一郎	63名	

(6) 現地指導

① プラスチック成形品の塗装技術

・日程及び指導先

平成4年3月18日 デルタ工業(株), (株)モルテン
平成4年3月19日 (株)新邦塗装, 西川ゴム工業(株)

・指導員

招へい講師 ランズバーグ・インダストリー(株)
ディストリビューテッドプロダクトマネージャー 金子修三
担当職員 工業技術センター 主任技師 植木 邦夫

・指導内容

自動車部品に採用されるプラスチック成形品は、軽量化と高品質エンジニアリングプラスチックの開発により増加の一途である。

これらのプラスチック成形品を塗装する場合、静電気によるゴミ不良、密着性等の不良率が高く、工場の立地条件や塗装設備の良否がこの点に大きく影響する。また、人手不足や塗装生産効率の向上をめざし、コンベアーライン、ロボット等による自動化がすすんでいるが、目的の効果を得られていないのが現状である。

このような背景から、塗装工場の自動化に対し、塗装条件及び品質、不良率等の現状を多角的に点検し全体の見直しを行うことにより、不良率・コスト低減と塗装の効率向上について指導を行った。

主な具体的指導内容は以下のとおりである。

- ア. ブツの原因となる塗料の吐出量、スプレー圧力等の自動制御や、ホースクリーナーの設置効果について指導。
- イ. ゴミ不良には、塗装環境湿度が影響するが、梅雨期の湿度コントロール及び塗料温度、溶剤の選択等注意点について指導。
- ウ. 導電プライマー、導電テープ及びハンガーの導通を確実にするためのハンガーデザイン、色替え等の塗装効率向上のためのホース・配管の施工法について指導。
- エ. コンベアーハンガーピッチ、除電エアブロー、ハンガーデザイン、自動機設置条件の改善により、補正塗装の簡略化、塗装効率向上が期待され、塗装ライン全体の見直しについて提言。
- オ. フロン、トリクロルエタン等塩素系有機溶剤の大量使用に対し、環境汚染に対する認識と一般的有機溶剤に切り替えた場合の塗装設備の変更、改造法について指導。

② 鉄鉄鋳物工場の生産性向上と管理技術について

・日程及び指導先

平成3年11月14日 二宮産業(株), (株)ニノミヤファンドリ
平成3年11月15日 (株)大田鋳造所千代田工場, 友鉄工業(株)本社工場

・指導員

招へい講師 東京国際鑄造技術コンサルタント
代表取締役社長 滝 勇

担当職員 材料科長 奥村 逸男 専門員 山田 洋

・指導方法

銑鉄鑄物製造業の現場代表者、現場技術者との工場内技術研究会を実施して、特に鑄物製品の生産性向上のための管理技術について指導した。さらにこの業種の将来動向について現在の要因にからめて対応策について検討した。

・指導内容

イ. 溶解技術について

実際の出湯から注湯における溶湯処理作業時の温度管理があいまいであり、これらに帰因する製品の不安定要因があったため、特に温度計測機器の精度を確かめるためのキャリブレーションをするよう指導。

ロ. 生型鑄物砂の配合について

生型用鑄物砂の粘結強さ（靱性）の向上方法と鑄物砂の管理を自社でデータ化するよう指導。

ハ. 溶解と造型のラインバランスについて

溶解能力と造型能力のアンバランス、製品の種類、形状の大小等による溶解造型のバランスがとれていないため、今後、受注計画と生産計画を連結させるための生産管理技術について指導。

ニ. 木型の管理とその格納方法について

大物鑄物用木型については昨年度の指導でコンテナ方式により解決し、さらに木型倉庫の新設により木型の殆どが管理された。今年度は将来に向けて立体倉庫の導入を研究するようその切り口について示唆した。

ホ. 鑄物産業の現行の問題を踏まえた10年後の将来動向について

先進都市における鑄物の製造動向、大企業の鑄物の内製化、外地への鑄物依存（国際協業）人手の問題とりわけ若年労働者の不足、製品における鑄物から他材料への転化について現実的なデータにより解析し、これらについて種々の問題に悩むより、とにかく続ける意欲を指導した。

③ 新素材の利用技術

・日程及び指導先

平成4年3月10日 (株)ユーシン広島, 荻野工業(株)

平成4年3月11日 (株)熊平製作所, 中国技工(株)

・指導員

招へい講師 古河電気工業(株) 横浜研究所
技師長 根岸 朗
担当職員 工業技術センター 専門員 山田 洋
主任技師 山口 研二

・指導内容

- ア. 新素材の定義、市場規模、種類と用途及び今後の利用が期待される産業分野を示唆。
イ. 新素材は、材料自身を研究開発するより、材料を現在の製品の構成品として利用して、自社の特徴のある新製品開発をする方がメリットが多く、そのためには、新素材の進歩と開発の現況を適確に知ることが不可欠であることを示唆。
ウ. 製品の設計及び組立部門の技術レベルに比較して、材料関連のアクティビティが若干不十分であり、この分野のレベルアップには地道な努力が必要であり、早急な対応策が必要であることを示唆。
エ. 自動車の軽量化に伴い、使用材料も鉄系からアルミニウム、マグネシウムに変わりつつある。又、耐久性を増強するため、耐摩耗性のあるセラミックスを鑄ぐるんだ製品も出現している。したがって、これらの材料の加工技術並びに製品検査技術の重要性を示唆。
オ. 各種金型材料は、今後金属材料の高付加価値化の重要な鍵を握っている分野である。特殊材料として、超塑性材料を利用した成形技術の開発、溶接部の連続検査法などを知っておくと有利であることを示唆。

④ FA技術利用(自動化へ向けてのレベル評価と指導)

・日程及び指導先

平成4年2月19日 鯉城サッシュ工業(株), 中国電機製造(株)
平成4年2月20日 (株)仁井田商会, (株)あじかん
平成4年2月21日 特別講和会「管理改善Q & A」

・指導員

招へい講師 トヨタ車体(株)
相談役(常勤) 藤本 俊
担当職員 工業技術センター 主任専門員 小島 一洋
技師 岡田 邦彦

・指導内容

工場の自動化には取り組んでいるものの、問題点の把握、改善案の手掛かりの抽出、具体的展開の方法論等で今一つと言った状態である上記4社に対し、超一流講師と共に3現主義(現場・現物・現実)で技術指導を行った。指導先に対する具体的な指導の方法については、平成2年度に指

導先企業に大きなインパクトと感銘を残した特徴ある指導の方法を踏襲した。

なお、指導先企業のトップを交えての「講師を囲んでの交流懇親会」において、本音の意見交換と指導が得られたと、企業サイドより大変ご好評を戴いた。

平成3年度の当該プロジェクトで具体的に指導した主要点は次の通りである。

- ア. 事前段取（外段取）を考える必要がある。現場の機械の前で、作業者が右往左往してはいけい。この事は金を生んでいない事を、肝に銘じなければいけい。正味の加工時間のみが、利益を生み出すところである。それ故、シングル段取にトライする事が必要である。
- イ. 研磨等の作業は時間を決めて、やらないといけい。制約がなく自分の満足する所までやれば、工数ばかり掛かる。最初、時間を決めてやり、その時間ではどれだけ不良が発生するか見極め、更に追加時間を決める等して、設定時間を最終的に決定すればよい。
- ウ. 現状は流れ作業でなく、流し作業の様式である。設計変更もあまりない様なので、タクトを考えて流れ作業にしたらよい。
- エ. 製品を安く造るとは、管理を効率化する事であり、人・物・金はインプットを最小化して、アウトプットを最大化する事である。また、情報は何が問題かを、教えてくれるものであり、節約してはダメである。情報を基に、管理部門が解析して、それぞれの責任部署に提出する。そして、各部署で、何処にムダがあるか究明して、PDCAを廻して潰していく事が必要である。
- オ. 糊をハケ塗りしているが、機械式に吹き付ける（均一に塗れる）事を検討したらどうか。帯電してやれば（静電塗装の原理）相手以外にはいかない。トヨタ中央研究所はトヨタ以外の企業でも、研究開発費を出せば、相談に応じてくれるので、このような研究所の活用も検討してみてもどうか。
- カ. 良い物を造るには「ばらつき」の管理が大事だ。物差しを用いて、肉眼で見て判断するより、対象が薄物なので、何か機器を使ってデジタルで表示したりして、100分の1の誤差が分かる検出器で機械的に良否を判定させた方がよい。
- キ. 「食べ物のあじ」は感性であるが、数値化して開発にフィードバックせよ。「おいしい」とはあと味が良い、口ざわりが良い、香りがよい、濃がある等に解釈できるように、言葉を翻訳することが大切である。広報の役割とはアンケートをとるだけが仕事ではなく、技術部門へのサービスもある。味に対する評価にしても、年齢でも違し、男女でも違し、また地域によっても違し。従って、アンケートは層別してとる必要がある。また、情報を正しく吸い上げる評価の仕組みは大切であり、改善に改善をかさねて、良い仕組みを作る事が重要な事である。
- ク. 製造原価はどう言う方向に動いているのか、善い方向かあるいは悪い方向か理解して、原価の上がり下がり^の要因による因果関係を、明確に把握している事が大事である。総ての製品の評価ができる評価の物差しを作れば、総ての製品の横睨み^ができて何が問題なのか、どの製品が問題なのか等が分かり、問題点の絞り込みや解決策を立てる事ができる。

特別講話会

「管理改善 Q & A」から

☆売れるのに製品がない。儲けるチャンスを逃す（機会損失）のはトップマネジメントの責任である。先の見通しの甘さである。

☆堅実経営とはバクチ的判断でなく、情報を基に解析して判断を下し、飽く迄堅く、堅く経営の舵取りをして行く事である。

☆経営は人間の体に似ている。人間の五臓六腑は替える事はできないが、企業体は人が入れ替わる事で、内蔵や肝臓が入れ替わる事となる。従って、人が入れ替わる事により、企業は永遠に発展し、続いて行くもの（ゴーイング・コンサーン）と言える。従って、また企業は教育に始まり、教育に終わるものとも言える。

☆ロスコストの7割は品質が悪いため生じている。

☆問題を潜在化してはいけない。全部健在化せよ。その問題点潰しのために管理者がいるのだ。

☆管理者となれば、損益分岐点くらい知っていて当たり前だ。技術者だから知らないでは通らない。

☆現場・現物・現実に存在する事実ほど、貴重なものはない。理屈だけこね回し、下界を眺めて少しも現場に降りて来ない雲上人では、いけない。

☆意思決定の事前検討の充実強化は大事である。また品質に関する連絡、伝達等は確りとやり、やった事に対しての評価確認の仕方を明確にしていないと、いい加減なものができる。

☆管理者は問題意識が豊かな人間でないといけない。

☆上司は部下のやった事に、聞く耳を持たねばならない。そして、部下に対してアドバイスを与えて行くためには、常に自分自身を磨いていないとアドバイスをする事ができない。

☆上司は部下を指導育成して、部下が動いてあるいは働いて稼ぐのであって、上司が稼ぐのではない。それ故、教える時愛情を持ってやらないと、うまくいかない。

☆人に教える事は自分自身をも高める事になる。

☆投資はどちらかと言うと、後追い投資がよい。〔危険回避〕しかし、後追い投資が可能なレイアウトはしておく必要がある。

☆苦勞が有って、その山を極めたあと、その山の頂上から見る見晴らしは素晴らしいものだ。

(7) 技術交流事業

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(株)	上田 弘之	(株) 里吉製作所	里吉 賢司
三栄精密モールド(株)	福原 令二	東 プ レ (株)	池田 芳清
広島アルミニウム工業(株)	長倉 良夫	(株) モ ル テ ン	中村 浩二
(株)やまの化成工業所	山野 衛	(株)やまの化成工業所	山野 不二男
(株)三和製造所	廣田 修一	野口ゴム工業(株)	藤井 陸司
三興化学工業(株)	西弘 雅史	(株)オ ー ト	松本 團治
(株)清水木工	清水 豊	ピーエス技研(株)	小田 孟雄
杉原縫製工業(株)	岡野 禎徳	中国メタリコン(株)	河本 利之
浜井建具工業(株)	浜井 博行		

・部会のねらい

当初の計画に従って、本年度は製品の試作および商品化を行う。

・こまれでの経過

センターでの試み

これまで、交流会、講習会、見学会、先進地視察、情報交換会等数多くの行事を行い交流を図った。その結果、ハイテクシューズとして新聞報道されたインドアシューズあるいは素材の機能性と斬新なデザインをマッチさせたカジュアルスニーカー、素材の低反発性を利用した教材等の商品化から特許あるいは実用新案へと発展した。

・会員の試み

冒頭、形状記憶樹脂として取り組んだ素材ポリノルボルネンポリマー（商品名ノーソレックス）は形状記憶の工程が複雑で生産性に劣っていることが判明した。ところが素材が低反発であることに着目し靴のアウトソールに利用する試みがなされ、

- 1) 成形技術の確立
- 2) 加硫技術の確立
- 3) 接着技術の確立

等の検討が行われ、技術的に可能であることが確認された。その間当センターも技術的な支援をおこなった。

・平成4年度の計画

会員よりの強い要望により、今後新展開が期待される素材をテーマとし、この会を存続することになった。

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		
(株) 熊平製作所	草尾 宣孝	広島アルミニウム工業(株)	長倉 良夫
田中家具工業(株)	田中 滋	(有) 宮本家具工業所	宮本 隆三
(株) 仁井田商会	仁井田幸成	(株) 大 協	藤原 義正
浜井建具工業(株)	浜井 博行	前田機工(株)	茶村 達男
コニシ(株)	山田 克也	(株) ニューライト工業	藤川 昌迪

・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

・これまでの経過と結果

- 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(株)を見学するとともに、課題解決のため専門家を招へいし研修会を開催、また、会員・先進企業による意見交換を数多く重ね、試作に役立てた。モデルルーム完成後は騒音計によって遮音効果(第一報及び第二報)を測定し専門家に評価を仰いだ。その結果10~13dB程度の遮音効果が認められ、構造的にも概ね良好との評価を得た。モデルルームは当センターに設置、保管し一般に公開している。
- イ. 木質系複合材研究会では、R形状扉を有する新型家庭金庫の開発を目的として、会員による意見交換、実地研修を数多く重ね、突板、バックシート、接着剤の選定を行い、試作のくり返しを行った。更に検討を加えながら研究を進め、商品化のための試作を完成させた。試作品は、今後、会員企業において更に研究を行う予定であり、数種の試作品のうち最終製品は当センターのロビーにて展示し一般に公開している。
- 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4年度の計画

平成3年度までの二つの研究会は試作等当初の目的を達成したのでピリオドを打ち、今年度は、現在もっとも関心が高く、将来においても永遠のテーマである「高齢化社会」に向けた製品作りを目指し会員も一部更新し、あらたに「高齢化社会に対応する製品」という大きなテーマで製品開発を行う計画である。

③ 生産技術研究会（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 (株)	原田 穆	野口ゴム工業 (株)	野口侑紀夫
セイビ興産 (株)	西本 乙一	広島アルミニウム工業 (株)	田島 恒
三島食品 (株)	小方 文明	(株) ナガモト	長迫 道雄
鯉城サッシュ工業 (株)	沖 常登	中国電機製造 (株)	増田 紀幸
大西電機工業 (株)	金森 清	(株) 宮本家具工業所	宮本 隆三
村上工芸 (株)	村上 拓也	(株) 仁井田商会	仁井田幸成
大東通商 (株)	川上 豊彦	前田機工 (株)	瀬川 均
内海電機 (株)	兼田 祐輔	南 工 (株)	田中 健二
三玄精機 (株)	安藤 英一	浜本工芸 (株)	室岡 虎雄

・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3年度の活動概要は、次のとおりである。

活 動 内 容
1. 総会1回、定例会11回、幹事会3回と三役会を随時開催 2. 特徴的事項としては ①分科会活動 テーマの検討開始 ②本格的な宿泊研修会 (H3・9/3~4 於中小企業大学校広島校) ③先進地・先進企業視察 (5回) と地域間交流活動 (府中市 H3/8、新潟市・長岡市 H3/10、岡山市・里庄町 H3/11、岩国市・下関市 H3/11、三鷹市・江戸川区 H4/2) ④技術と市場の交流プラザ (中国ブロック、全国大会) への参加、広島県技術交流プラザへの参加

活 動 成 果
1. HI-UNIT分科会は、横型が完成し、堅型・横型の品揃え完了。インターメックス広島 (H3/4) など3回出展 2. 地域間交流 (竹原市・呉市・広島市) 活動の初成果、養豚ブーツ (仮称) の展示品120足販売 3. 横ハギツキ板マシンの高性能化分科会 (5社) 最終段階の日本一の $t = 0.2\text{mm}$ へ挑戦中 4. 中小企業事業団発行の融合化事例集にHI-UNITの取組み事例が記載された。(H4/3刊行) 5. 本格的な一日宿泊研修会実施による「くすのき会」活動のリフレッシュと今後の取り組み計画策定 6. カタライザー制度を初めて活用して、地域間活動 (新潟市、長岡市 H3/10) で実効を上げた。 7. 地域間交流活動の活発化による広島市の知名度向上と地域間交流の胎動期

・平成元年度・平成2年度・平成3年度のまとめと今後の取組み

1. 第1年目より第2年目、そして第3年目がさらに「くすのき会」活動の目的に向かって実現効果を積み上げてきた。
2. 「くすのき会」活動は、異業種交流活動でいえば、第2段階に入ったといえる。第1段階は「知り合う→使い合う」活動が中心である。第2段階では、「使い合う→創り合う」活動が顕著になってくる。これらの関係を模式図化してみると図表2となる。

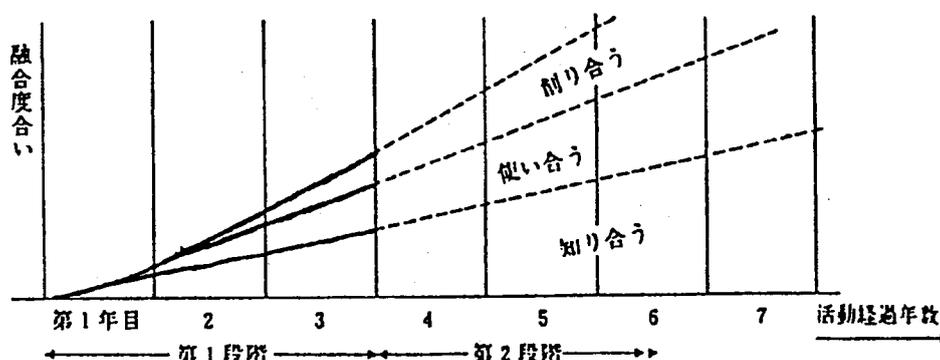
当面する活動内容として

- (1) 平成2年度から取り組んだHI - UNIT分科会の製品（NC工作機械）の高機能化とマーケットニーズに対応した商品作りの継続研究と開発の推進
- (2) 平成4年度から新たに取り組んでいる6テーマ（くつ底のバリ取りの省略化など）の継続推進による新商品と新技術の研究と開発の推進
- (3) 県内外地域間交流による「くすのき会」の成果PRと地域間パートナーの発掘
- (4) (財) 広島市産業振興センターが主宰する研究会、研修会、講習会、特定技術診断指導事業に参加し、相乗効果を上げる。
- (5) その他宿泊研修会実施など「くすのき会」の目的に合う活動。

図表1

	第1段階	第2段階
(1)	定例会中心交流	分科会中心交流
(2)	情報交流	ノウハウ交流
(3)	経営者交流	全社員交流
(4)	地域内交流	地域間交流
(5)	技術交流	全経営資源交流

図表2 交流段階区分と融合度合い



(8) 講師・委員等の派遣

派遣日	名 称	内 容	派遣場所	担当者	備 考
4/12	重慶市自動車車体整備研修生座学研修	オリエンテーション	広島市車体整備協同組合	山 嵯岡 田	講 師
4/18	(財)中国技術振興センター分析技術研究会	平成3年度事業計画他	中国技術振興センター	山 口	委 員
4/19	重慶市自動車車体整備研修生座学研修	車体整備用工具・治具について	広島市車体整備協同組合	山 嵯	講 師
4/20	平成3年度広島市発明クラブ発足式	クラブの発足式及びオリエンテーション	広島市こども文化科学館	谷 口野 村	委 員
4/27	広島クラフトデザイン協会	総会・活動計画について	広島YMCA	岡 本	委 員
5/10	日本鋳物協会中国四国支部若手鋳造研究会	座談会	広島市工業技術センター	山田洋	委 員
5/17	児童生徒発明くふう展について	平成3年度広島県内児童生徒発明くふう展の打ち合わせ	広島市こども文化科学館	野 村	委 員
5/18	広島クラフトデザイン協会	理事会	デザインセンター	岡 本	理 事
5/21	発明協会広島県支部役員会	平成2年度事業報告並びに収支決算報告、平成3年度事業計画並びに収支予算案について、規約改正 他	発明会館	野 村	委 員
5/25~26	(社)日本経営工学会平成3年度春季大会	研究発表 ・産学官交流による地域中小企業CIM化への取り組み事例について ・産学官交流による市場指向型の製品開発取り組み事例について	東京都吉祥寺市成蹊大学	小 島	講 師
6/3	広島県コンピュータグラフィックス協議会	企画・運営会議	広島県情報プラザ	谷 本	委 員
6/6	平成3年度前期技能検定実技試験水準調整会議	木工塗装作業、金属塗装作業、噴霧塗装作業、日程、試験内容等の調整	広島県情報プラザ	野 村山 嵯	委 員
6/10	平成3年度前期技能検定実技試験水準調整会議	化学分析作業（日程及び試験内容等の調整）	広島県情報プラザ	奥 村	委 員
6/11	平成3年度前期技能検定実技試験水準調整会議	広告面ペイント仕上げ作業（日程及び試験内容等の調整）	広島県情報プラザ	谷 本	委 員
6/12	日本塗装工業会安全大会	有機溶剤の性質とその取扱	工業技術センター	山 嵯	講 師
6/20	広島県コンピュータグラフィックス協議会	企画・運営会議	広島県情報プラザ	谷 本	委 員
6/27	CI計画研究会	活動計画会議	広島県情報プラザ	谷 本	委 員
7/2	中国地域住宅産業研究会運営委員会	事業報告及び事業計画	中国通産局	山田利	委 員

派遣日	名 称	内 容	派遣場所	担当者	備 考
7/13	塗装技術研修会	噴霧塗装技術研修会	工業技術センター	山 寄	委 員
7/14	平成3年度広告美術技能検定	実技試験	福山市	谷 本	委 員
7/14	平成3年度建築塗装作業技能検定	実技試験	福山市	斉 藤	講 師
7/17	広島県小木工品振興協議会	クラフト展開催打ち合わせ会	宮島町	谷 本	委 員
7/19	第32回技術委員会	平成3年度広島市発明考案試作補助審議	発明会館	谷 口	委 員
7/21	平成3年度建築塗装作業技能検定	実技試験	広島市	斉 藤	委 員
7/21	平成3年度噴霧塗装作業技能検定	実技試験	広島市	山 寄	委 員
7/21	平成3年度金属塗装作業技能検定	実技試験	広島市	野 村	委 員
7/25	平成3年度広島県技術・市場交流プラザ幹事会	設立総会準備のための打ち合わせ会	広島県情報プラザ	小 島	助言者
7/28	平成3年度店頭調色作業技能検定	実技試験	広島市	植 木	委 員
7/28	平成3年度木工塗装作業技能検定	実技試験	広島市	野 村	委 員
8/4	塗装技術研修	金属塗装及び噴霧塗装技術検定試験学科研修	広島市自動車整備協同組合	山 寄	講 師
8/20	平成3年度広島県技術・市場交流プラザ設立総会	プラザの運営方針、役員選出、事業計画、予算などの審議	広島ステーションホテル	小 島	助言者
8/27	広島クラフト展実行委員会	理事会	広島YMCA	岡 本	理 事
9/1	平成3年度化学分析作業技能検定	計画打ち合わせ	福山市日本鋼管	奥 村 山 口	委 員
9/3	CI計画研究会	活動計画会議	広島県情報プラザ	谷 本	委 員
9/6	中国地域住宅産業研究会運営委員会	中国地域住宅産業研究会の方向づけ	広島八丁堀シャンテ	山田利	委 員
9/21	広島クラフト展実行委員会	計画打ち合わせ	広島YMCA	岡 本	理 事
9/26	技術委員会	平成3年度事業の進捗状況・平成4年度事業計画・産学官フォーラムについて	せとうち苑	谷 口	委 員
10/3	平成3年度夢の絵画展審査会	平成3年度夢の絵画展出品物の審査	発明会館	谷 口	委 員

派遣日	名 称	内 容	派遣場所	担当者	備 考
10/4～5	日本鋳物協会第119回全国講演大会	鋳造技術研究発表会	広島工業大学	山田洋	委 員
10/5	広島県小木工品振興協議会	クラフト講習会	宮島町	谷 本	委 員
10/7～13	広島クラフトデザイン展	各種工芸作品展	広島市	岡 本	理 事
10/14	技術開発委員会	平成3年度技術開発委員会関係事業の実施状況 他	広島ガーデンパレス	谷 口	委 員
10/15	広島県コンピュータグラフィックス協議会	企画・運営会議	広島県情報プラザ	谷 本	委 員
10/17	平成3年度広島市児童生徒発明くふう展審査会	平成3年度広島市児童生徒発明くふう展出品物の審査	広島市こども文化科学館	谷野 口村	委 員
10/22	宮島産業振興会	小木工品の審査会	宮島町	谷 本	委 員
10/23	広島県児童生徒くふう展審査会	平成3年度広島市児童生徒発明くふう展出品物の審査	広島市	西 原	委 員
11/12	第1回中小企業支援事業共同化検討委員会専門部会	広域的な共同事業について 専門部会の今後の進め方について 他	中国電力(株)	野 村	委 員
11/15	広島県コンピュータグラフィックス協議会	資格試験	工業技術センター	谷 本	委 員
11/15	中国地域住宅産業研究会企画委員会(第1回)	企画委員会事業について	中国通産局	山田利	委 員
11/19	平成3年度広島市児童生徒発明くふう展表彰式	表彰状授与 他	広島市こども文化科学館	谷野 口村	委 員
11/22	平成3年度広島県技術・市場交流プラザNo.2定例会	会員2名の「我が者、我が業界を語る」に関する発表 発表に対する自由討議のアドバイザー	三原グランドパレス	小 島	助言者
11/22	広島市発明クラブ運営委員会	発明クラブ10周年事業について 規約改正について 他	広島市こども文化科学館	谷野 口村	委 員
11/26	CI計画研究会	広島県のCI計画会議について	広島県情報プラザ	谷 本	委 員
11/26	広島商工会議所新技術情報懇談会	(株)超高温材料研究センター 宇部フェニックス・テクノポリス視察	山口県宇部市	谷山 口本	委 員
11/27～29	中小企業大学校広島校技術研修会	「工程の自動化・メカトロ化・FA化の進め方」の課題研究「自社のFA化の設計と進め方」	中小企業大学校広島校	小 島	講 師
12/2～3	1991年度中小企業経営診断シンポジウム	入選論文発表 「地域中小企業異業種交流による地域経済活性化への取り組みについて」	アルカディア市ヶ谷(東京)	小 島	講 師

派遣日	名 称	内 容	派遣場所	担当者	備 考
12/9	平成3年度第1回中国地方技術連絡会議	平成4年度通商産業省技術関係予算 平成4年度各公設試の研究・指導計画 工業技術連絡会議の活動報告	中国通産局	谷 口 野 村	委 員
12/17	平成3年度広島県技術・市場交流プラザNo.3定例会	講演会及び意見交換会	広島県情報プラザ	小 島	助言者
1/10	近畿大学工学部経営工学特別講義	経営工学科3年生対象 「CIMの基礎概念と技術交流について」	近畿大学工学部	小 島	講 師
1/15	鋼橋塗装作業技能検定	実技試験	広島市	斉 藤	委 員
1/16	エレクトロニクス技術開発調査部会	中国地域におけるエレクトロニクス技術振興について	(財)中国技術振興センター	山 本	委 員
1/20	平成3年度広島県技術・市場交流プラザNo.4定例会	会員企業(大和重工、味日本、東光印刷)の見学会と意見交換会	左記見学先企業	小 島	助言者
1/21	(社)中国地方総合研究センター 第2回中小企業支援事業共同化検討委員会専門部会	共同研究のテーマ 企業アンケートの検討	広島厚生年金会館	野 村	委 員
1/24	広島クラフトデザイン協会	総会	千鳥ビル	岡 本	理 事
1/24	中国地域住宅産業研究会	調査委員会、活動計画	中国通商産業局	山田利	委 員
1/24	樹脂注入施工士検定予備試験	学科講習	広島市	斉 藤	講 師
1/24	発明クラブ運営委員会	平成3年度広島少年少女発明クラブ終了式について 広島少年少女発明クラブ10周年式典について	広島市こども文化科学館	野 村	委 員
1/26	樹脂接着剤注入施工技能検定	実技試験	広島市	斉 藤	委 員
1/28	日本鋳物協会鋳造技術講演会	台湾に於ける鋳造技術の交流	大和重工(株)	山田洋	講 師
1/28	(財)中国技術振興センター分析技術研究会	研究会発表・特別講演会の内容について協議・決定	(財)中国技術振興センター	山 口	委 員
2/6	中小企業大学校研修会	パソコンCAD	中小企業大学校	谷 本	講 師
2/22	発明クラブ運営委員会	平成3年度広島少年少女発明クラブ活動状況及び決算について 平成4年度事業予算について	広島市こども文化科学館	谷 口 野 村	委 員

派遣日	名 称	内 容	派遣場所	担当者	備 考
2/26	(社)中国地方総合研究センター 第3回中小企業支援事業 共同化検討委員会専門部 会	共同研究のテーマ 企業アンケートの検討	広島厚生年金会館	野 村	委 員
2/26	(財)中国技術振興セン ター第2回技術開発委員 会	平成3年度事業の進捗状況 平成4年度事業計画(案)について 産学官フォーラムの開催について	せとうち苑	谷 口	委 員
3/3	平成3年度高知県異業種 交流会	瀬戸内圏から見た高知県 ー開放化時代に突入した今後の高知 県の進むべき方向ー 基調講演とパネルディスカッション	山内会館 (高知市)	小 島	講師と コーディネ ーター
3/3	中国地域住宅産業研究会	調査委員	中国通産局	山田利	委 員
3/7	広島少年少女発明クラブ 創設10周年記念式典及び 平成3年度発明クラブ終 了式	広島少年少女発明クラブ創設10周 年記念式典 平成3年度発明クラブ終了式	広島市子ども文化 科学館	谷 野 口 村	委 員
3/ 5~6	中小企業大学校生産シス テム研修会	生産管理システムの構築~短納期・ 多種変量生産に対応した生産管理の あり方~ 課題研究「自社の生産システムの見 直し」	中小企業大学校広 島校	小 島	講 師
3/18	地域大プロ連絡会議	地域大プロの進捗状況、参加企業・ 公設試の平成3年度の経過と4年度 の計画	中国工業技術試験 所	野 村	委 員
3/24	コウチ・アサヒ異業種交 流会講演会	異業種交流による地域経済の活性化	高知県紙業試験場 (高知市)	小 島	講 師
3/31	メカトロニクス技術開発 調査部会	メカトロニクス技術の現状と今後の 課題	(財)中国技術振興 センター	小 島	委 員

(9) 発明・考案の奨励

発明考案奨励事業を通じ、新技術、新製品の開発を促進し、中小企業振興を側面から応援することにより、中小企業の技術水準の向上を図るとともに、産業教育により発明くふうの意欲を啓発し、本市産業の振興、発展に寄与することを目的として、次の5つの事業を実施している。

1. 発明考案試作補助事業

(1) 内容

有益な発明、または考案の試作研究を促進し、その実用化等を図ることにより、産業の振興と技術水準の向上に役立てるため、当該発明または考案の試作を行う者に対し、50万円を限度に補助金を交付する。

(2) 交付者

ア 「避難誘導装置」の試作 佐々木 久 氏

イ 「含有水流中の水玉の動きを波形状に変化させて見せる噴水装置」 平岡 正之 氏

2. (社) 発明協会広島県支部発明奨励事業補助

(1) 内容

当支部が実施する未来の科学の夢絵画展、発明・考案表彰事業、特許・実用新案等の広報事業に対し、発明奨励事業補助金を交付する。

(2) 本年度補助金額

125,000円

3. 児童生徒発明くふう展事業及び広島県・広島市児童生徒発明くふう展展示会共催事業

(1) 児童生徒発明くふう展事業

ア 内容

児童生徒の創意くふう等、発明に対する意欲の高揚を図るため、科学的でアイデアに富んだ作品を募集し、審査して、入賞作品の表彰を行う。

イ 応募及び表彰結果

区 分	応募状況	表 彰 結 果							
		広島市長賞	市教育長賞	発明協会賞	商工会議所賞	中国新聞賞	増本賞熊平賞	優秀賞	学校賞
小学校の部	85点	1点	1点	1点	1点	1点		15点	1校
中学校の部	193点	1点	1点	1点	1点	1点	2点	14点	1校
高校の部	1点							1点	

(2) 広島県・広島市児童生徒発明くふう展展示会共催事業

ア 内容

くふう展展示会をより効率的に運営するとともに、経費の効率的運営を図るため、広島市、広島県、(社)発明協会広島県支部、広島県商工会議所及び中国新聞社が展示会運営委員会を設置し展示会を開催する。

(3) 開催期間及び開催場所

- ① 開催期間 平成3年11月9日～同年11月17日
- ② 開催場所 広島市こども文化科学館

4. 未来の科学の夢絵画展入賞者表彰事業

(1) 内容

広島県未来の科学の夢絵画展を後援し、市長費として賞状及び記念品を贈呈する。

(2) 応募及び表彰結果

単位：点数 上段は県全体 ()内は広島市分

区 分	応募状況	表 彰 結 果				
		特別賞	金 賞	銀 賞	佳 作	団 体 賞
小学校の部	1,922 (279)	28 (7)	22 (6)	47 (11)	77 (13)	4 校
中学校の部	386 (123)	8 (4)	7 (2)	13 (2)	23 (5)	1 校

5. 優良発明功績者表彰事業

(1) 内容

優れた発明考案を創作し、その実用化により本市産業の発展に顕著な成績をあげた者を表彰することにより、優秀な発明考案を広く奨励するとともに、市民の発明考案の意欲の高揚と企業の技術開発の振興を図る。

(2) 被表彰者

(社)発明協会広島県支部の推薦により、本年度は次の者を表彰した。

- ア 氏名 三島 哲男 氏 (三島食品(株)代表取締役社長)
- イ 功績 「移動用店舗」「広島菜の鮮色保存法」等の考案

(3) 表彰式 平成4年3月27日 (広島市長出席)

3 研究報告

- (1) 任意形状スロットの深溝効果の計算
- (2) Fe - Cr - Mo - C - P 焼結金属材料の液相拡散接合とその評価
- (3) 機械構造部品用焼結材料を用いた溶接接合の評価
- (4) フッ素・シリコンアクリル樹脂クリヤーコーティングの塗膜物性について
- (5) 2-(5-プロモ-2-ピリジルアゾ)-5-ジエチルアミノフェノールを用いる亜鉛中のインジウム吸光度定量
- (6) 各種セラミックス溶射皮膜の摩耗特性
-溶射加工に関する研究 第4報-
- (7) 難削材料であるインコネル718 (Ni基 超耐熱合金) のワイヤカット放電加工機による加工特性
- (8) 画像処理の高機能化による検査工程自動化の研究 (第2報)
- (9) 画像処理の前処理手順導出のためのエキスパートシステムの研究
- (10) 車両-乗員-高架路面連成振動シミュレーションシステムに関する研究
- (11) パーソナルニューロコンピュータとファジイシステムの適用化技術
-2自由度マニピュレータのファジイ制御-
- (12) MRP システムによる生産計画システムの構築に関する研究
- (13) 自動車用部品の組立ラインにおけるスケジューリング支援シミュレーションシステムの構築
- (14) 生産計画パラメータ設定のための生産工程シミュレータの開発
- (15) プレス用金型製造ラインにおける生産計画支援システムの構築
- (16) 鉄骨溶接組立ラインのシミュレータ開発

任意形状スロットの深溝効果の計算

山本 慧實

Calculation of Deepbar Effect for Complicatedly Shaped Rotor Slots of Squirrel Cage Induction Motor

Satomi YAMAMOTO

電気回路理論の観点から、任意のスロット形状に対して深溝効果を考慮した回路パラメータを求める方法を述べた。これはロータの導体をスロットの幅方向に磁力線に沿って細分し、それら導体エレメント間の回路方程式を数値計算するもので、プログラムはFORTRANで作成した。計算結果は細分数を50以上にすれば十分な精度のものが得られ、実際の設計々算に利用できることが分かった。

1. まえがき

誘導電動機には、その始動特性を改善するため深溝効果が大きくなるような複雑なスロット形状を採用することが多い。この場合、深溝効果がロータの回路インピーダンスに与える影響を求める必要があるが、これはスロット形状が複雑であれば極めて難しい問題となる。

当地の企業より電動機の始動特性を最適化するためのスロット形状と、その深溝効果を考慮した回路インピーダンスを求める方法について技術相談を受けたので、任意のスロット形状に共通した計算プログラムをFORTRANで作成した。

2. 深溝効果の一般理論

深溝効果とは、電動機の始動時にロータ回路に電源周波数と同一の周波数の電流が流れるため、表皮効果が生じてロータ導体の表面に電流が集中する現象の事で、等価的に2次抵抗の増加と2次リアクタンスの減少をもたらす。

始動が完了して運転に入ると、ロータには滑り周波数の電流が流れるため均一電流となり、この

現象はなくなる。

電動機のトルク T は、2次電流 I_2 、抵抗 R_2 、滑り s とすると、3相機の場合

$$T = 3I_2^2 R_2 / s \text{ (同期ワット)} \dots\dots\dots (1)$$

であるため、始動時 ($s=1$) には I_2 も R_2 も大きくなるため始動トルクが大きく、運転時 ($s=\text{数}\%$) には R_2 が小さくなり2次銅損が減少するので効率が良くなる。即ち、深溝効果の有効な利用は電動機特性改善の有効な手段である。

深溝効果(表皮効果)の一般的な基礎理論を述べるにあたり、次の仮定をする。

- a. スロット洩れ磁束の磁力線はスロットの幅方向(Y軸)に平行である
- b. 磁力線に沿った電流密度は一定である
- c. 電流はスロットの深さ方向(Z軸)にのみ流れる
- d. 変位電流は無視する
- e. 鉄心の透磁率は無限大である
- f. 導体の固有抵抗は一定である

マクスウェルの電磁方程式から、導体の電流密度 G はスロットの高さ(X軸)の関数として次式

のようになる。⁽⁴⁾

$$\frac{d^2G}{dx^2} + \frac{1}{\ell} \times \frac{d\ell}{dx} \times \frac{dG}{dx} - \frac{j\omega\mu_0}{\rho} \times \frac{b}{\ell} \times G = 0 \quad (2)$$

ここに、G: 導体の電流密度 (A/cm²)、 ℓ : スロット幅 (cm)、b: 導体幅 (cm)、 $\omega = 2\pi fs$: 角周波数、 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-9}$ (H/cm): 空気の誘磁率、 ρ : 導体の固有抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)、f: 電源周波数、s: 滑り、 $j = \sqrt{-1}$

導体の単位長さ当りのインピーダンス $R + j\omega L$ は

$$R + j\omega L = j\omega\mu_0 \left\{ \frac{G}{\ell \frac{dG}{dx}} \right\}_{x=h} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、R: 抵抗 (Ω)、L: インダクタンス (H)、h: スロット高さ (cm)

例えば最も簡単な $b \times h$ の長方形バーを幅 ℓ のスロットに収納した場合、

$$R + j\omega L = \frac{j\omega\mu_0 h}{(1+j)\ell\xi} \coth(1+j)\xi \dots\dots\dots (4)$$

$$\xi = h \times \sqrt{\frac{\omega\mu_0}{2\rho} \times \frac{b}{\ell}} \dots\dots\dots (5)$$

となり、これから抵抗増加計数 K_r とリアクタンス減少係数 K_x を求めると、よく知られた Emde の式が得られる⁽⁵⁾

$$K_r = \xi \times \frac{\sinh 2\xi + \sin 2\xi}{\cosh 2\xi - \cos 2\xi} \dots\dots\dots (6)$$

$$K_x = \frac{3}{2\xi} \times \frac{\sinh 2\xi - \sin 2\xi}{\cosh 2\xi - \cos 2\xi} \dots\dots\dots (7)$$

台形スロットの場合は円柱関数を含む複雑な関数となるが、ここではその詳細は割愛する。⁽⁶⁾

実際のロータスロットには更に複雑な形状のものが採用され、解析的に解けないことが多い。従って (2) 式と (3) 式を数値計算することになるが、複素関数であるため非常に厄介で実用的でない。上記の長方形と台形の場合も、解析的には解けても実際の計算には寸法比をパラメータにした

曲線図から補間的に数値を得るのが実状である。

場合によっては、スロットを上下に分割して2重かご形として計算することも考えられるが、ダイカストロータの様に両者を一体に鋳込んだ場合は、その区切りが問題になることもある。

3. 計算式

電磁方程式でのアプローチには前節のような問題が生ずるが、電気回路理論の観点から論を進めると、任意のスロット形状に対して深溝効果を考慮した回路パラメータを得ることができる。⁽²⁾⁽³⁾

この手法は温度上昇などの熱計算を熱の等価回路に基づいて実施するのと同じ考え方であり、実用性は高い。

以下この方法について簡単に述べ、それを用いた計算結果を示す。

前節に述べた仮定の a~f のもとで、ロータの導体をスロットの幅方向に磁力線に沿って n 分割し、それら n 個の導体エレメント間の回路方程式を導出し、それを解くことで回路パラメータを求める。

導体エレメントは上から順番に、1、2、3...n と番号をつけ、i 番目の導体エレメントの電流を I_i 、抵抗を r_i 、磁気洩れパーミアンスを λ_i とすると電流の漸化式として次式が得られる。⁽²⁾⁽³⁾

$$I_i = \frac{r_{i+1}}{r_i} \times I_{i+1} + j\omega\mu_0 \frac{\lambda_{i+1}}{r_i} \times \sum_{k=i+1}^n I_k \dots\dots\dots (8)$$

但し、初期値として次の値を用いる。

$$I_n = 1 + j0 \dots\dots\dots (9)$$

スロット導体全体のインピーダンス $Z_s (= r_s + j\omega\mu_0\lambda_s)$ は次式で求められる。

$$Z_s = r_s + j\omega\mu_0\lambda_s = \frac{I_1}{\sum_{k=1}^n I_k} \times r_1 + j\omega\mu_0 \frac{\lambda_1}{2} \dots\dots\dots (9)$$

ここに、 $\omega = 2\pi fs$ であるから $s = 1$ (始動時) と $s = 0.001$ (始動完了時) における r_s と λ_s の比をとれば抵抗増加係数 K_r とリアクタンス減少係数 K_x が

求められる、即ち

$$K_r = \frac{r_s(s=1)}{r_s(s=0.001)} \dots\dots\dots (10)$$

$$K_x = \frac{\lambda_s(s=1)}{\lambda_s(s=0.001)} \dots\dots\dots (11)$$

ここで r_1 と λ_1 は次式で求められる。

$$r_1 = \frac{\rho}{S_i \times k_c} \dots\dots\dots (12)$$

$$\lambda_1 = \frac{\Delta X}{l_{i+1} - l_i} l_n \frac{l_{i+1}}{l_i} \div \frac{2\Delta X}{l_i + l_{i+1}} \dots\dots\dots (13)$$

ここに $S_i = \frac{\Delta X(l_i + l_{i+1})}{2}$, $\Delta X = \frac{h}{n}$, l_i : i 番目の導体エレメントの幅, $\rho = 2.13 \times 10^{-6}$ ($\Omega \cdot \text{cm}$): 75°C における銅の固有抵抗、 k_c : 導体の導電率

尚、参考のため均一電流の時の全スロット導体の抵抗 R_0 とパーミアンス λ_0 も次式を用いて計算するルーチンも付加した。⁶⁾

$$R_0 = \frac{\rho}{k_c \sum_{i=1}^n S_i} \dots\dots\dots (14)$$

$$\lambda_0 = \frac{\lambda_1}{2} + \sum_{k=1}^{n-1} \left[\frac{\sum_{i=1}^k S_{n-i+1}}{\sum_{i=1}^n S_i} \right]^2 \times \lambda_{n-k+1} \dots\dots\dots (15)$$

4. 計算結果

これらの計算を行うため、FORTRAN 言語を用い図1のフローチャートに基づいた計算プログラムを作成した。

このプログラムでの計算が可能な該当スロットとして代表的な7種類を図2に示す。このうち形状番号1~3と6について分割数を替えて計算したので、その一計算例として形状番号1に相当するスロットの結果を図3に示す。

ここで、設計書番号P02926のあとの()内に示す n : 分割数、 S : 全断面積、 H : スロット高さ、 R : R_0 (14式)、 X : λ_0 (15式) であり、滑りが1~0.001に対する抵抗 R 、パーミアンス、 K_r (10式)、 K_x (11式) をそれぞれ周波数50及び60Hz

に対して計算している。これから、次のことが分かる。

a. 滑り0.01と0.001の時、両者には実用上の差異はない。この時の抵抗とパーミアンスは(14)式と(15)式による R_0 と λ_0 にそれぞれ等しい。

b. 分割数が50、100、990の場合についての差異は最大でも3%をこえない

5. 結 論

この計算結果を用いて、実際の電動機について設計計算を行ったが、2重かご形として計算した場合とか、グラフ読み取りによる深溝かご形として計算した場合とかの従来の方法による結果と実用上差異は認められなかった。

設計計算としては2重かご形としてよりも、深溝かご形として計算する方法が容易であるため、この方法を用いると、図2に示すスロットなどは全て深溝かご形として計算できることになり、実用上大きなメリットがある。

分割数は50以上であればよいが、電算機の計算時間には殆ど差がないので、多くしておくにこしたことはないと思われる。但し、本プログラムでは分割数は最大990にしている。

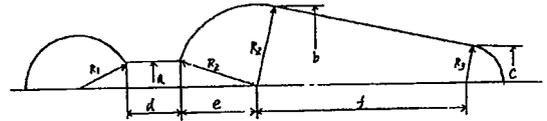
このプログラムは、実用上考えられる任意のロータスロット形状を採用した誘導電動機を設計するにあたり、始動時を含めた特性計算を行うためのサブルーチンとして利用できる。

参考文献

- [1] 例えば、執行岩根, 電気機械設計論1, 2, 丸善(株)
- P.L. Alger, The Nature of Polyphase Induction Machines, John Wiley & Sons, Inc. その他、多数
- [2] Б. К. КЛОКОВ, Расчет вытеснения тока в стерж-

нах произвольной конфигурации, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, 40 (9), 1969.

- [3] 山本 慧実, 二重かご形スロットの深溝効果, 技術メモPEM71-001
- [4] 山本 慧実, 深溝かご形の表皮効果について, 技術ノートPD2-0002
- [5] 山本 慧実, Slot leakage reactance, 技術ノートPD2-0003



形状番号	1	2	3	4	5	6	7	
スロット形状								
	r_1	-	-	-	R	R_1	r_1	-
	r_2	-	-	R	-	R_2	-	-
r_3	r_3	-	-	$(\rightarrow R)$ ($\rightarrow 0$)	$(\rightarrow R_2)$	r_2	-	
a	a	(a)	(a)	a	-	a	(a)	
b	-	b	a	-	-	b	b	
c	-	b	b	-	-	-	c	
d	d	(d)	(d)	d	-	d	(d)	
e	-	-	-	-	-	-	(e)	
f	f	f	f	-	-	f	f	

図2 該当スロット形状と各入力データ

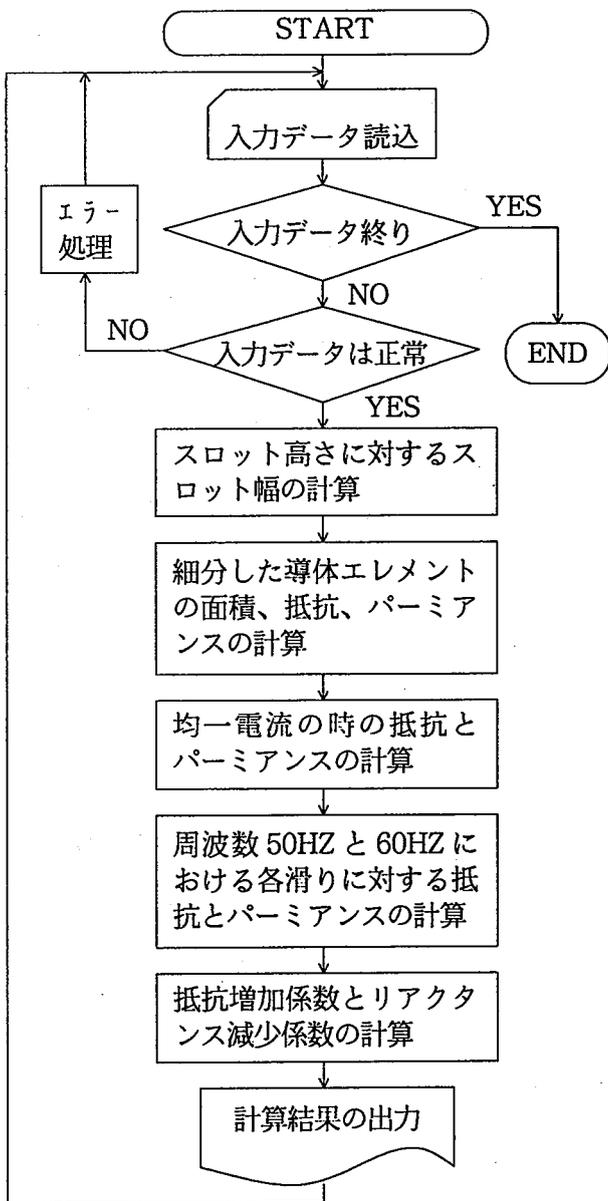


図1 計算フローチャート

CALCULATED RESULTS OF DEEPBAR EFFECT

P02926	(N= 50	S=1. 1580(CM·2)	H=3. 1662(CM)	R=0. 3679E-05	X=3. 0318)				
HZ=50. 0					HZ=60. 0				
SLIP	R	PERMEANCE	KR	KX	R	PERMEANCE	KR	KX	
1. 000	0. 8354E-05	1. 4521	2. 2707	0. 4789	0. 8941E-05	1. 2600	2. 4305	0. 4156	
0. 800	0. 7565E-05	1. 7145	2. 0563	0. 5655	0. 8214E-05	1. 4983	2. 2327	0. 4942	
0. 600	0. 6532E-05	2. 0623	1. 7756	0. 6802	0. 7182E-05	1. 8431	1. 9522	0. 6079	
0. 400	0. 5303E-05	2. 4791	1. 4414	0. 8177	0. 5807E-05	2. 3079	1. 5784	0. 7612	
0. 200	0. 4167E-05	2. 8654	1. 1327	0. 9451	0. 4362E-05	2. 7991	1. 1856	0. 9232	
0. 100	0. 3807E-05	2. 9879	1. 0350	0. 9855	0. 3863E-05	2. 9692	1. 0499	0. 9793	
0. 050	0. 3711E-05	3. 0207	1. 0088	0. 9963	0. 3726E-05	3. 0158	1. 0127	0. 9947	
0. 010	0. 3680E-05	3. 0314	1. 0003	0. 9999	0. 3681E-05	30. 312	1. 0005	0. 9998	
0. 001	0. 3679E-05	3. 0318	1. 0000	1. 0000	0. 3679E-05	3. 0318	1. 0000	1. 0000	
P02926	(N= 100	S=1. 1641(CM·2)	H=3. 1662(CM)	R=0. 3659E-05	X=3. 0301)				
HZ=50. 0					HZ=60. 0				
SLIP	R	PERMEANCE	KR	KX	R	PERMEANCE	KR	KX	
1. 000	0. 8291E-05	1. 4395	2. 2658	0. 4751	0. 8861E-05	1. 2507	2. 4215	0. 4128	
0. 800	0. 7523E-05	1. 6991	2. 0558	0. 5607	0. 8155E-05	1. 4851	2. 2287	0. 4901	
0. 600	0. 6509E-05	2. 0458	1. 7787	0. 6752	0. 7148E-05	1. 8269	1. 9533	0. 6029	
0. 400	0. 5290E-05	2. 4658	1. 4456	0. 8138	0. 5792E-05	2. 2928	1. 5827	0. 7567	
0. 200	0. 4152E-05	2. 8592	1. 1347	0. 9436	0. 4348E-05	2. 7915	1. 1882	0. 9213	
0. 100	0. 3789E-05	2. 9850	1. 0355	0. 9851	0. 3845E-05	2. 9657	1. 0508	0. 9788	
0. 050	0. 3692E-05	3. 0186	1. 0090	0. 9962	0. 3707E-05	3. 0136	1. 0129	0. 9946	
0. 010	0. 3661E-05	3. 0296	1. 0003	0. 9999	0. 3661E-05	3. 0294	1. 0005	0. 9998	
0. 001	0. 3659E-05	3. 0300	1. 0000	1. 0000	0. 3659E-05	3. 0300	1. 0000	1. 0000	
P02926	(N=990	S=1. 1672(CM·2)	H=3. 1662(CM)	R=0. 3650E-05	X=3. 0701)				
HZ=50. 0					HZ=60. 0				
SLIP	R	PERMEANCE	KR	KX	R	PERMEANCE	KR	KX	
1. 000	0. 8265E-05	1. 4711	2. 2644	0. 4793	0. 8826E-05	1. 2839	2. 4181	0. 4183	
0. 800	0. 7506E-05	1. 7294	2. 0565	0. 5634	0. 8131E-05	1. 5164	2. 2277	0. 4940	
0. 600	0. 6501E-05	2. 0760	1. 7812	0. 6764	0. 7135E-05	1. 8570	1. 9548	0. 6050	
0. 400	0. 5286E-05	2. 4982	1. 4483	0. 8139	0. 5787E-05	2. 3239	1. 5855	0. 7571	
0. 200	0. 4145E-05	2. 8961	1. 1358	0. 9435	0. 4342E-05	2. 8274	1. 1897	0. 9211	
0. 100	0. 3780E-05	3. 0241	1. 0357	0. 9852	0. 3836E-05	3. 0044	1. 0511	0. 9788	
0. 050	0. 3682E-05	3. 0583	1. 0089	0. 9964	0. 3697E-05	30. 532	1. 0129	0. 9947	
0. 010	0. 3650E-05	3. 0694	1. 0002	1. 0000	0. 3651E-05	3. 0690	1. 0003	0. 9998	
0. 001	0. 3649E-05	3. 0695	0. 9999	1. 0000	0. 3649E-05	3. 0695	0. 9999	1. 0000	

図3 計算結果

Fe - Cr - Mo - C - P 焼結金属材料の液相拡散接合とその評価

隠岐 貴史 四辻 博文 山田 洋

Liquid - phase diffusion bonding of sintered metal material and its estimation

Takashi OKI

Hirohumi YOTUJI

Hiroshi YAMADA

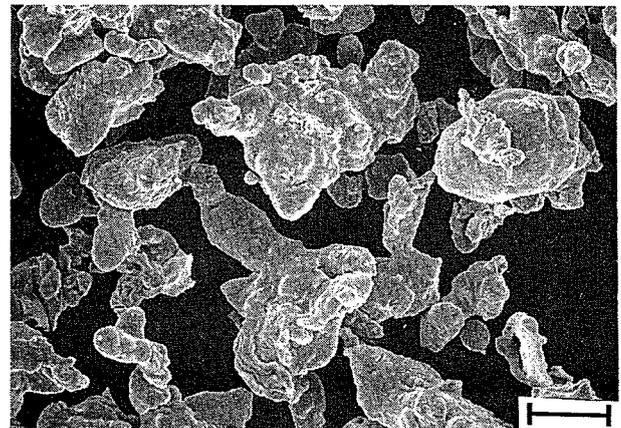
液相拡散接合では、同一成分の配合による接合では本雰囲気下において温度が高温側に移行するに従い焼結金属材料の接合界面に空孔が増加する傾向が観察された。一方、液相生成元素の多い試料の接合強さのピークは低温側に移行する。これとは無関係に接合温度が上昇すれば溶製材の接合界面付近の硬さが上り、炭素の拡散距離も長くなっている。

1. 目的

焼結金属材料は、2次元形状の加工性に優れているが、3次元形状の製品には金型等に多くの工夫を要する。さらに、その成形には限界があるため、多くの接合技術が開発されているもののコスト等の問題も残されている。なかでも各金属間による共晶温度領域を制御する事による液相拡散接合は、自動車部品をはじめとして広く用いられている技術であるが、接合界面の組織と温度との関係を示した報告例は少ない。そこで、本研究では、ステンレス鋼粉と合金粉を用いて、この問題を機械的特性と組織を接合温度と関連付けることを行い、興味深い結果を得たので報告する。

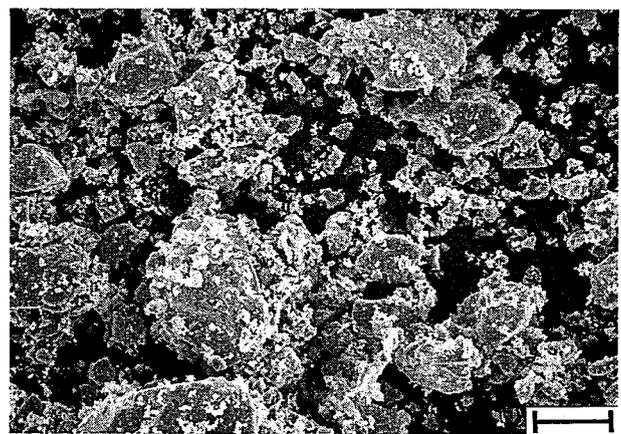
2. 実験方法

焼結金属材料には、SUS410系合金鋼粉を用いた。これは、昨年度、筆者等が機械的特性を評価研究をした材料である。表1に原料粉末の化学組成を、図1に原料粉末を示す。2種類の原料粉末の配合は、前年度行った5通りの内、表2に示す2通りをこの実験に供した。また、一連の製造工程を図2に示す。



(a) SUS410粉末

25 μm



(b) 高合金粉末

25 μm

図1 原料粉末

表1 原料粉末の化学組成 重量 (%)

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Cr
A	Bal.	0.014	0.79	0.16	0.03	0.013	0.14	-	12.38
B	Bal.	4.43	0.47	0.40	2.35	0.023	0.05	10.8	2.75

表2 配合表

試料番号	合金粉末(A)	合金粉末(B)	ショウノウ
試料1	55	45	2 (外%)
試料2	45	55	2 (外%)

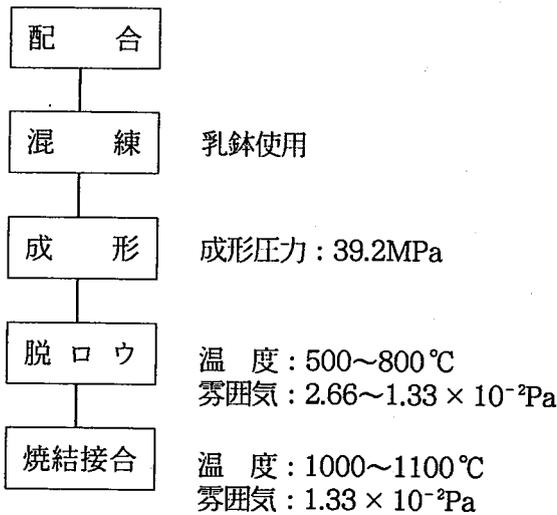


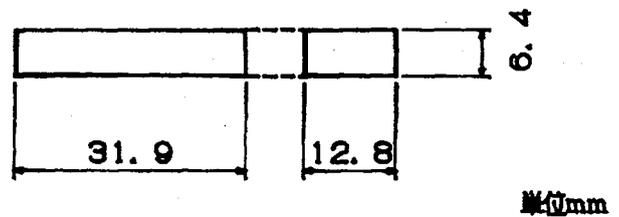
図2 製造工程

まず、原料粉末を乳鉢により均一になるように10分間混合した後、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を続けた。

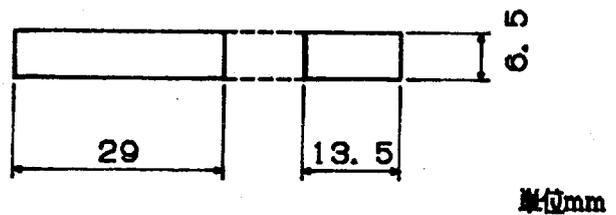
成形はフローティングダイ法により行った。そ

して、混合粉末15g秤量し、金型内に均一になるように充填した。その後、万能試験機（株式会社東京衡機製造所50tfRU型）を用い、圧力39.2MPa（総荷重 $39.2\text{MPa} \times 4.08\text{cm}^2 = 160\text{kN}$ ）で各材種とも圧粉成形した。

試験片（圧粉体及び溶製材）の形状を図3に示す。溶製材の形状は、圧粉体とほぼ同じ形状とし接合界面を#800のエメリー紙により研磨仕上げとした。



(a) 焼結金属試験片



(b) 溶製材試験片

図3 試験片形状

次に圧粉成形体を真空中 ($2.66 \sim 1.33 \times 10^{-2}\text{Pa}$) で脱ロウした後（図4）、焼結接合を図5の工程で行った。接合温度（T）は、 $1000 \sim 1100 \text{℃}$ まで 20℃ 刻みで行った。

脱ロウ後の圧粉体と溶製材（S10C）を図6の様に重ね合わせ、周りをアルミナセラムックスによりガイドし、焼結金属材料の熱変形を防いだ。

焼結金属材料の圧粉密度は、マイクロメータにより $1/100\text{mm}$ の精度で寸法を、さらに、 0.1mg

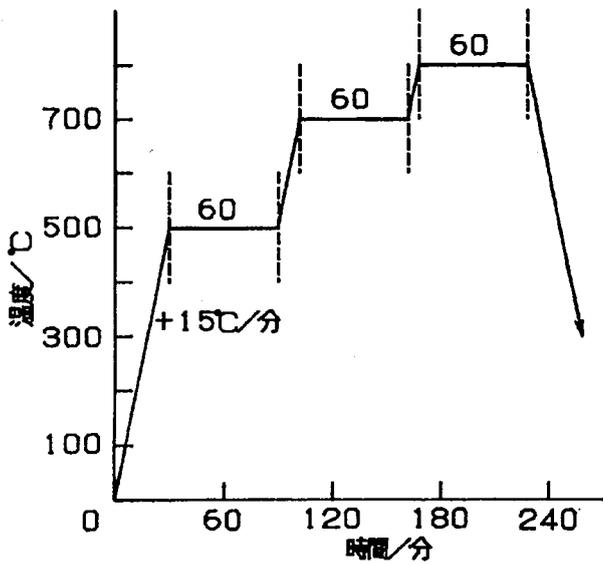


図4 脱ロウ工程

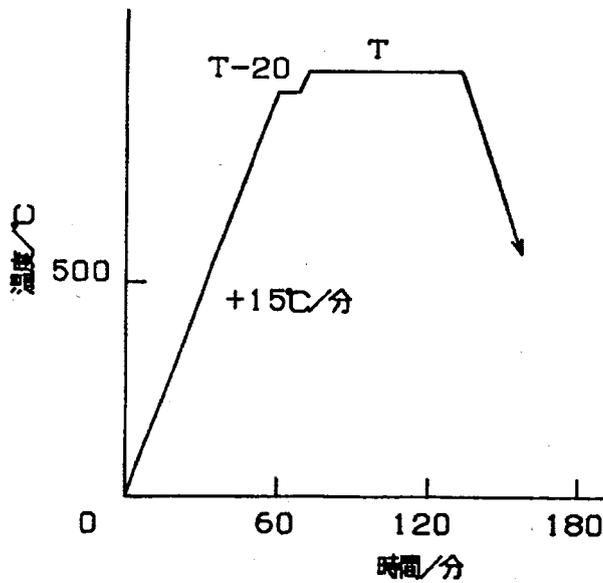


図5 接合工程

の精度で重量を測定した結果から計算によって求めた。

引張強さ及び抗折力の測定は、Instron 1125型試験機により、クロスヘッドスピード1mm/minで行い(MPIF Standard 13-51Tに準ずる)、特に、抗折試験はセラミックス曲げ試験用治具を

用いた(JIS R 1601)。

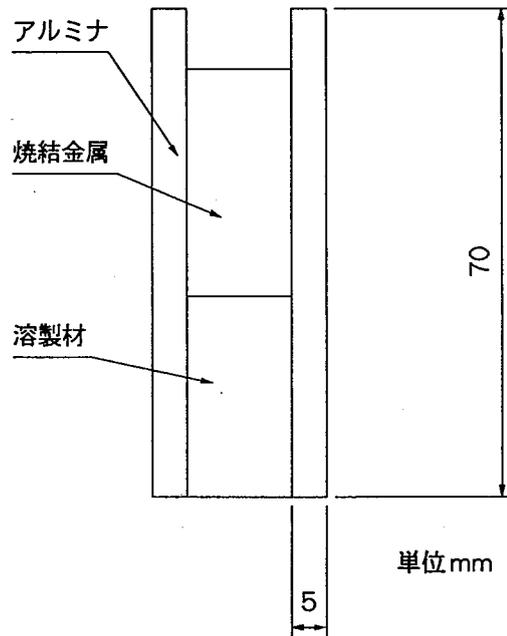


図6 接合方法

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

金属組織の観察は、焼結体の空孔を見るためノーマルエッチングで50倍にて検鏡した。次に、3%-ナイトール試薬で腐食し、特に、焼結金属材料から拡散する元素の影響の観察を目的として50倍で検鏡し、マイクロビッカース硬度計(松沢精機 DMH-1型)で特定の組織の硬さ分布を測定した。

さらに、EPMA(株式会社島津製作所 EPMA-8705)により主成分元素の分析(濃度分布)を行い直接に拡散状態を観察した。

2. 実験結果

接合温度を変化させたときの試料1と試料2の抗折強さを図7に、試料2の引張強さの変化を図8に示す。

試料1では1060℃付近に、試料2では1040℃付近に抗折強さの最大があり、液相生成元素の多い方が、接合強さの最大値が低温側に移行している。この時、焼結金属材料の抗折力は焼結温度1075℃で約500N/mm²である。

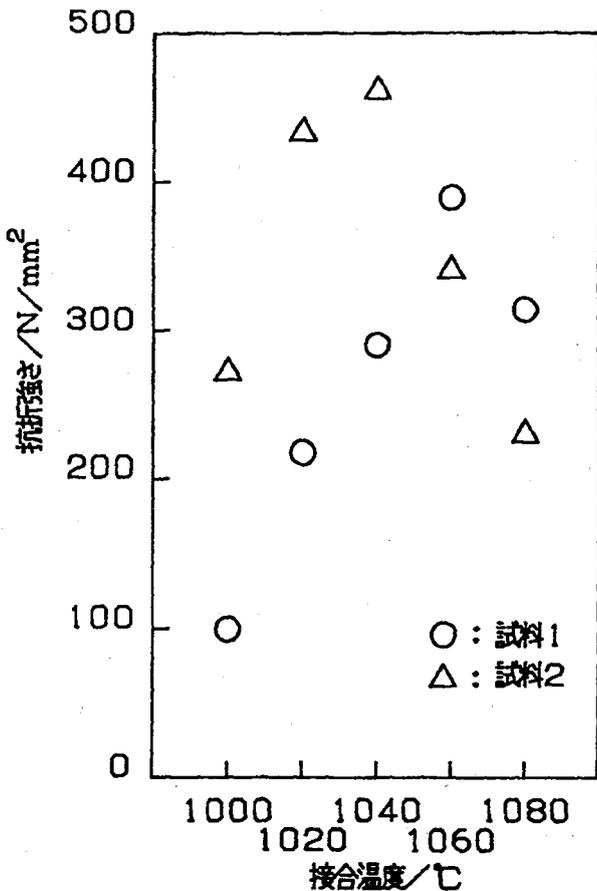


図7 抗折強さ試験結果

一方、試料2の引張強さは接合温度が1020℃以上ではほぼ一定の強さに留まっている。これは用いた溶製材がS10Cであることから240N/mm²付近で降伏現象が発生し塑性現象により界面に亀裂が

発生し降伏点で切断するようである。

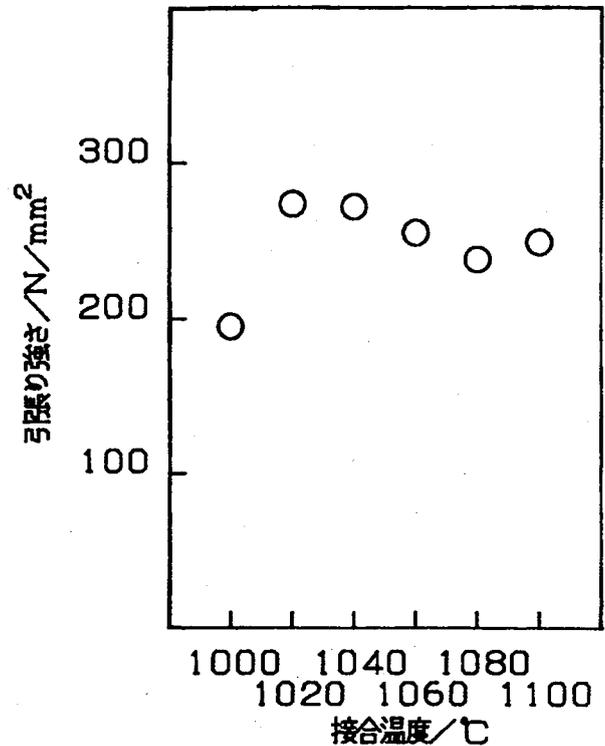


図8 引張強さ試験結果

図9, 図10, 図11に各試料の顕微鏡写真を示す。

試料1は試料2に比べ合金鋼成分が少ないため、ナイトールによる腐食がされにくく、炭素の拡散も少なく、接合温度による違いも明確でない。ただし、1060℃以上では、これらの違いも確認できるようになる。一方、試料2では、接合温度が高温側に移行するに従い焼結金属材料の接合界面に空孔が増加する傾向にある。また、図11より、溶製材の脱炭層の幅も抗折力の強い1020℃,1040℃が広がっており、1080℃ではほとんど見られない。これとは別に接合温度が上昇すれば炭素の拡散距離も長くなっている。これは、パーライト組織の接合界面からの広がりにより判断できる。

合金鋼成分の比により、これらの接合強さ及び腐食性に変化がみられ、試料1は腐食がされにくく、試料2では接合強さが強い等の特徴を持って

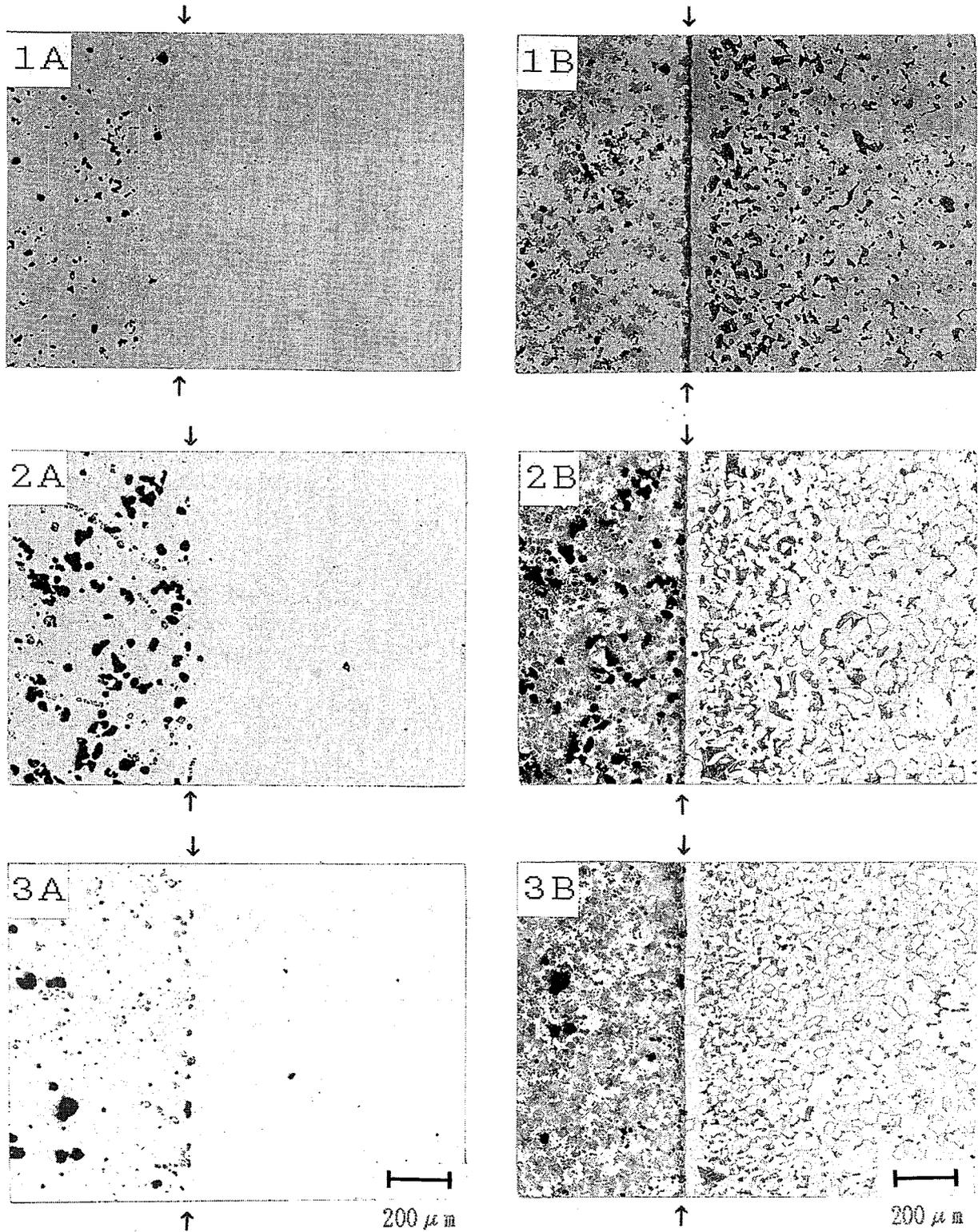


図9 (1) 試料1の顕微鏡写真

- 1) 1 A, 2 A, 3 Aはそれぞれ接合温度が1000℃, 1020℃, 1040℃の時のノーエッチング組織
- 2) 1 B, 2 B, 3 Bはそれぞれ接合温度が1000℃, 1020℃, 1040℃の時の3%-ナイトール腐食組織
- 3) → ← が接合界面を示す。接合界面より左側が焼結金属材料、右側が溶製材

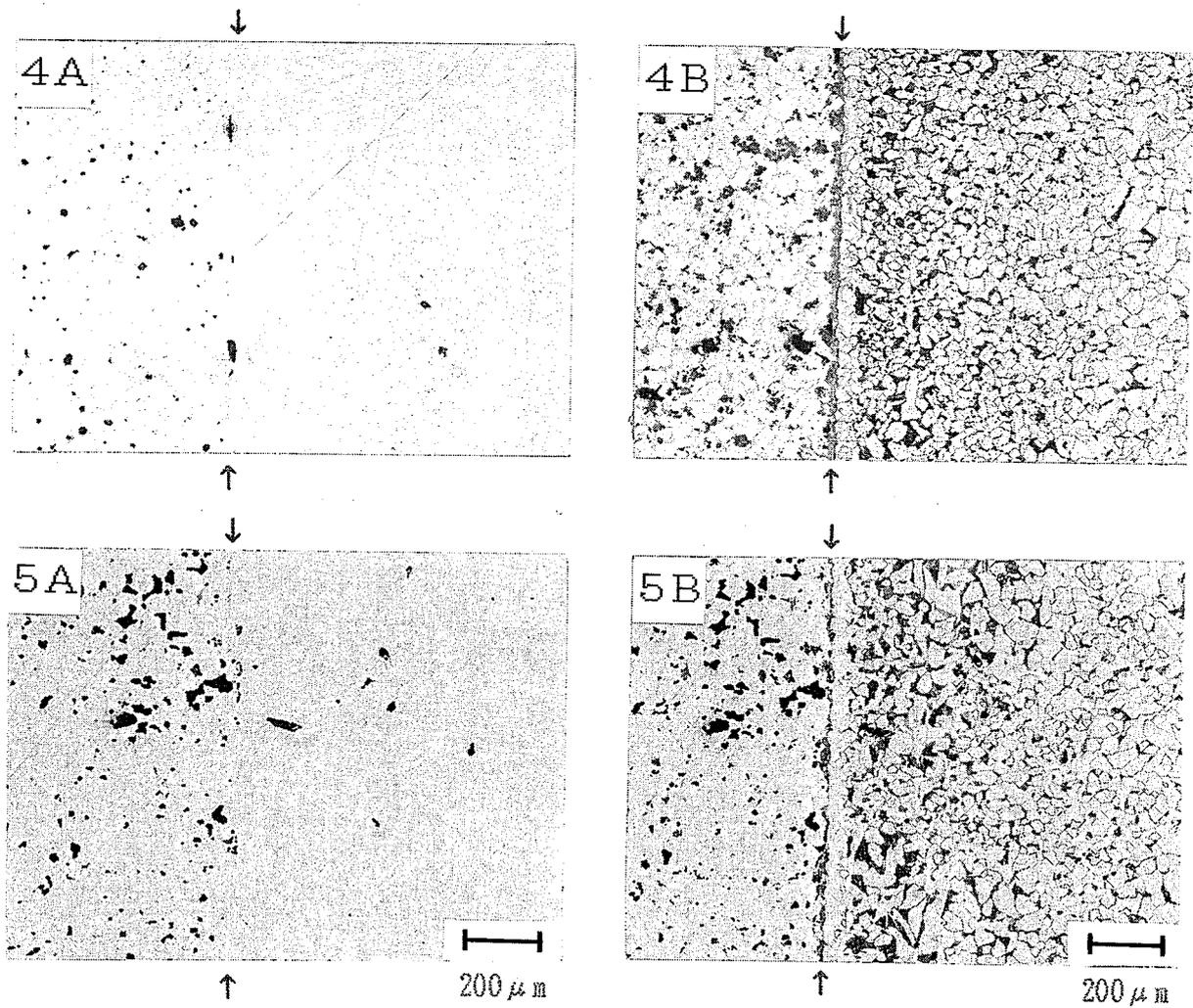


図9 (2) 試料1の顕微鏡写真

- 1) 4 A, 5 Aはそれぞれ接合温度が1060℃, 1080℃の時のノーエッチング組織
- 2) 4 B, 5 Bはそれぞれ接合温度が1060℃, 1080℃の時の3%-ナイトール腐食組織
- 3) → ← が接合界面を示す。接合界面より左側が焼結金属材料、右側が溶製材

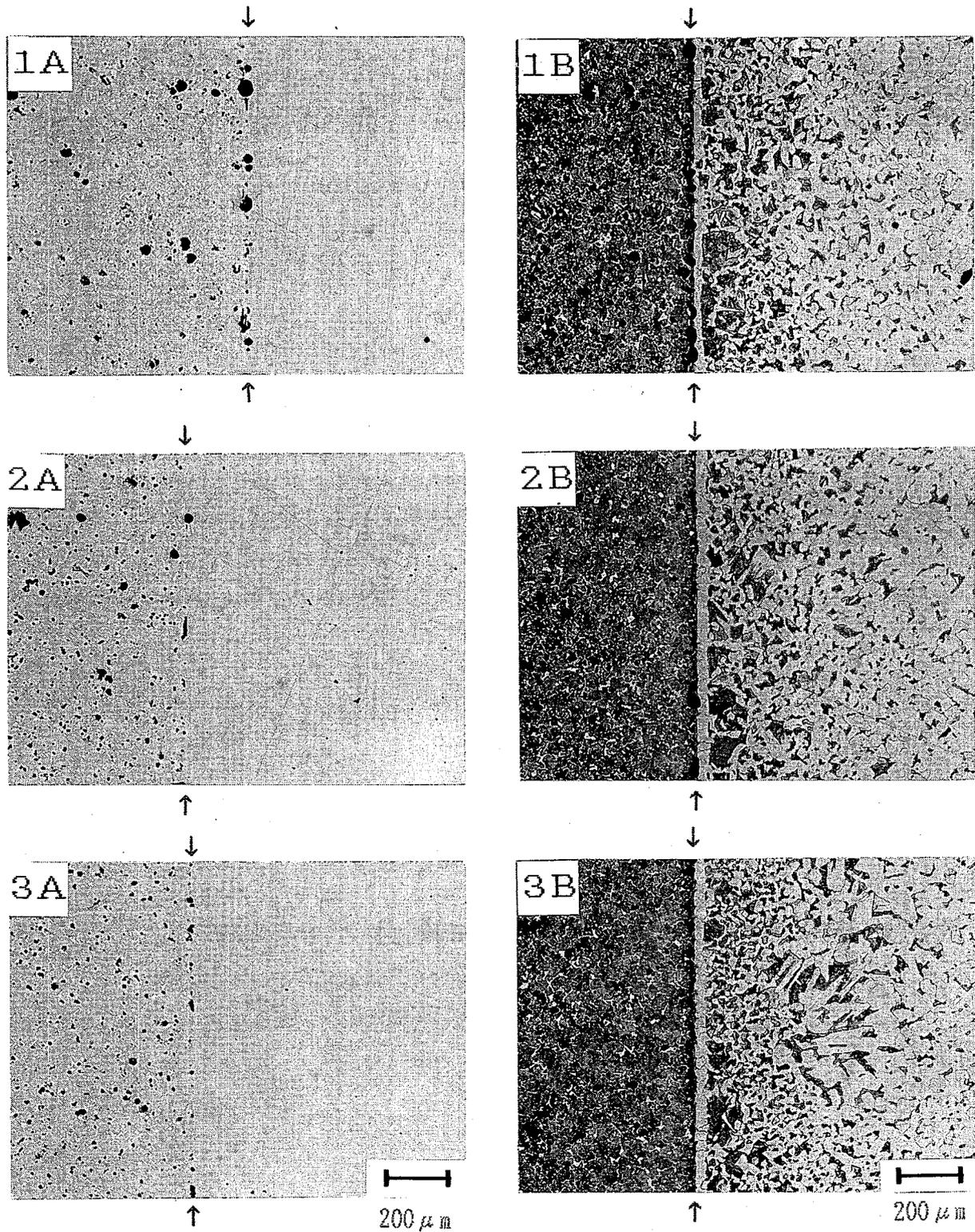


図10 (1) 試料2の顕微鏡写真

- 1) 1 A, 2 A, 3 Aはそれぞれ接合温度が1000℃, 1020℃, 1040℃の時のノーエッチング組織
- 2) 1 B, 2 B, 3 Bはそれぞれ接合温度が1000℃, 1020℃, 1040℃の時の3%-ナイタール腐食組織
- 3) → ← が接合界面を示す。接合界面より左側が焼結金属材料、右側が溶製材

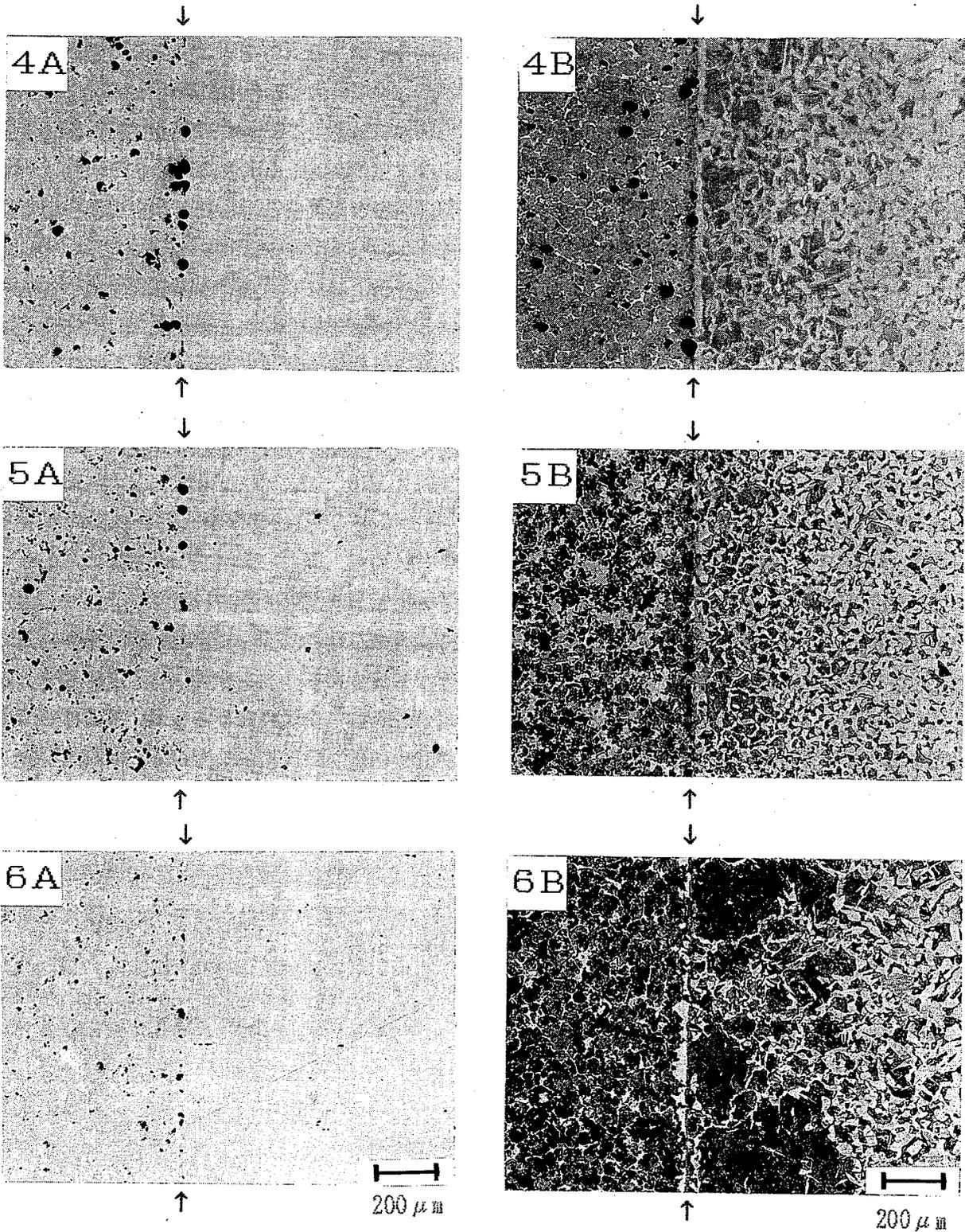


図10(2) 試料2の顕微鏡写真

- 1) 4 A, 5 A, 6 Aはそれぞれ接合温度が1060℃, 1080℃, 1100℃の時のノーエッチング組織
- 2) 4 B, 5 B, 6 Bはそれぞれ接合温度が1060℃, 1080℃, 1100℃の時の3%-ナイトール腐食組織
- 3) → ← が接合界面を示す。接合界面より左側が焼結金属材料、右側が溶製材

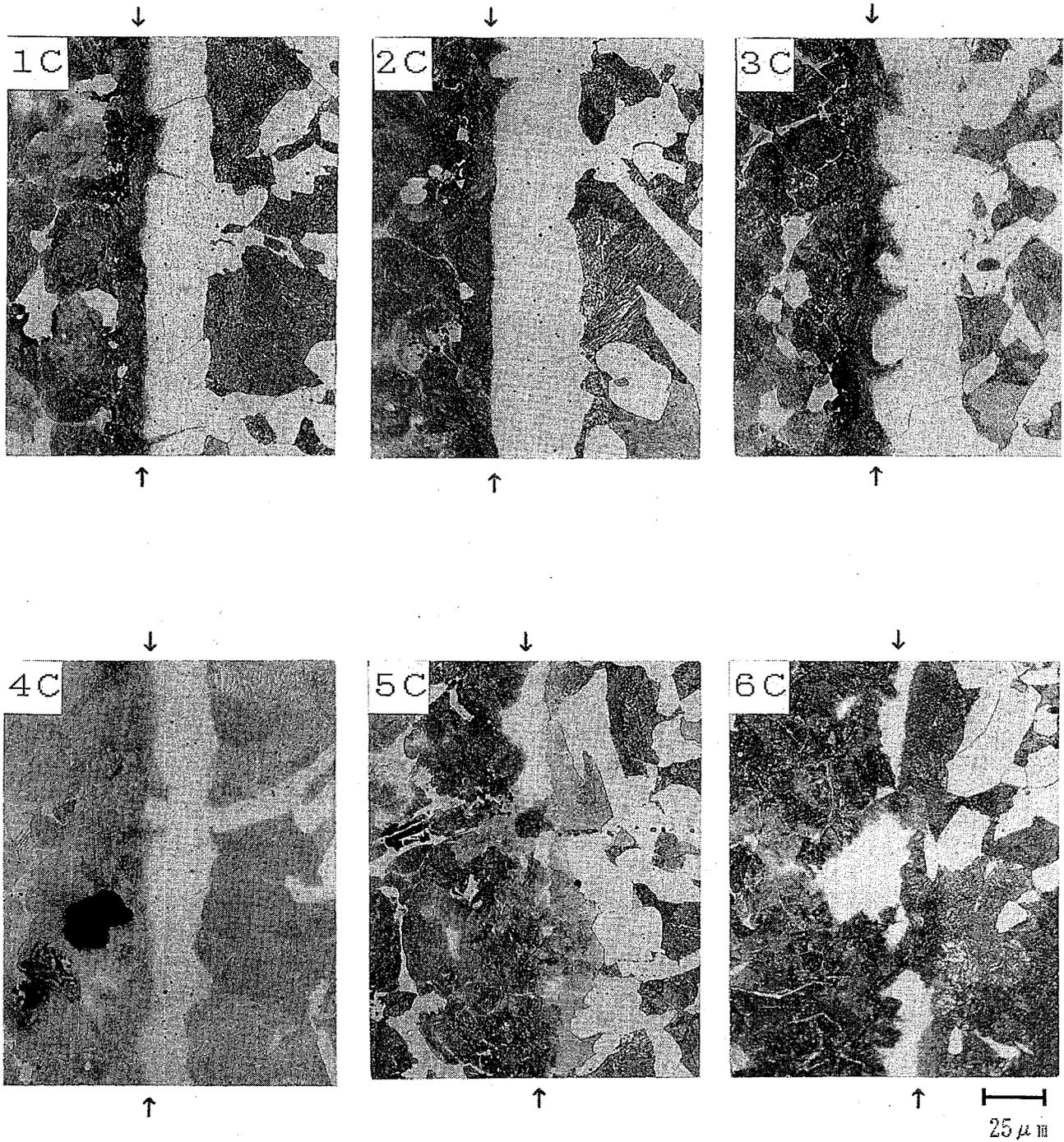


図11 試料2の顕微鏡写真

- 1) 1 C, 2 C, 3 C, 4 C, 5 C, 6 Cはそれぞれ接合温度が1000℃, 1020℃, 1040℃, 1060℃, 1080℃, 1100℃の時の3%-ナイトール腐食組織
- 3) → ← が接合界面を示す。接合界面より左側が焼結金属材料、右側が溶製材

いる。さらに、試料2の様に合金鋼粉の配合比率を多くすることで、接合温度を下げる事が可能となる。

試料2について、溶製材 (S10C) のフェライト組織の接合界面からのマイクロビッカース硬さ分布を図12に、パーライト組織のマイクロビッカース硬さを図13に示し、焼結金属材料 (SUS410系) の接合界面付近 (10~50 μm) のマイクロビッカース硬さを、図14に示す。

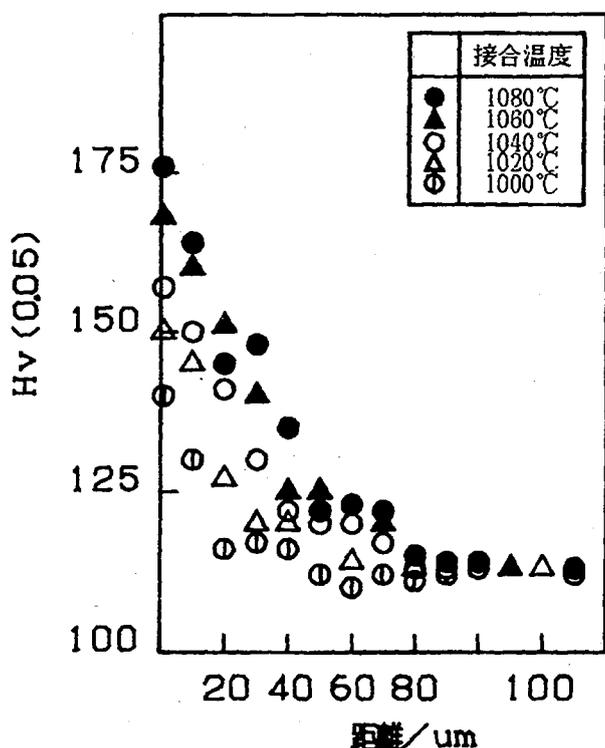


図12 溶製材のマイクロビッカース硬さ分布

溶製材 (S10C) のフェライト組織は、接合温度が高い程、接合界面近傍の硬さの分布が高くかつ元の溶製材料の硬さになるまでの距離が長くなっている。このことから、炭素及び炭化物生成元素の拡散の状態がうかがえる。

また溶製材 (S10C) のパーライト組織は、接合温度による差はほとんど見受けられなかった。

一方、焼結金属材料 (SUS410系) の接合界面付近 (10~50 μm) の硬さは温度が高くなるのに

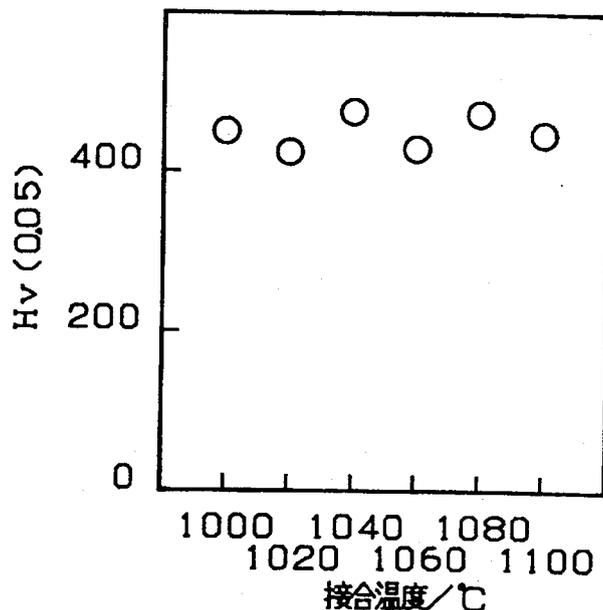


図13 溶製材のマイクロビッカース硬さ

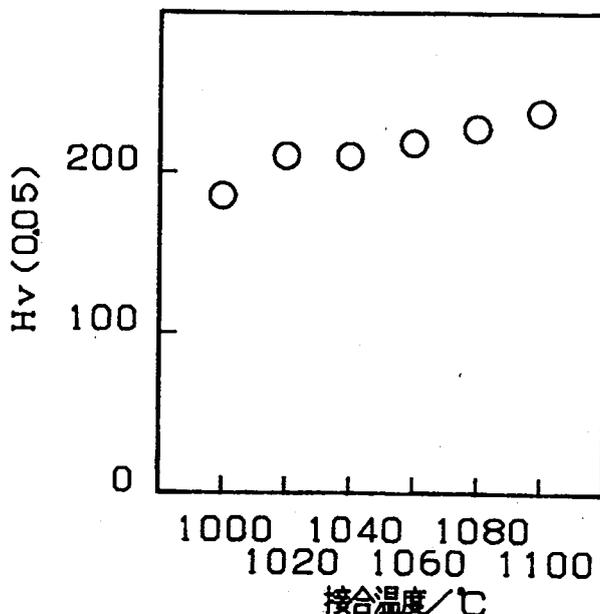


図14 焼結金属材料のマイクロビッカース硬さ

伴って高くなっている。この部分は、前年度の研究報告によると、リンとモリブデンを含む炭化物で、そのマイクロビッカース硬さにほぼ一致する。

さらに、EPMAによるクロム、モリブデン、リン等の各元素の線分析を行ったが、接合温度によ

る各元素の拡散距離に明確な差は見られなかった。

接合技術の今後の問題の一つとして、焼結金属材料と異種金属材料間での機械的特性（弾塑性現象）や物理的特性の違いから接合部に脆性破壊を生じることがあり、今後この問題について、さらに研究を進めたいと思っている。

4. まとめ

焼結金属材料の利用拡大を図るため接合技術について現実的な実験を試み、以下の結果を得た。

液相拡散接合は、試料1では1060℃付近に、試料2では1040℃付近に抗折強さの最大を示し、液相生成元素の多い方が、接合強さのピークが低温側に移行している。試料2は試料1に比べ合金鋼成分が多いため、ナイトールによる腐食がされ易い。一方、接合温度が高温側に移行するに従い焼結金属材料の接合界面に空孔が増加し、炭素の拡散距離も長くなっている。

さらに、接合界面の溶製材側に見られる脱炭層の幅に抗折力と相関関係がみられた。

5. 謝 辞

この研究は、平成3年度広島市新技術普及事業の一環である焼結金属技術開発研究会で行ったものである。

この研究会を通して多くのご支援を賜りました関係各位に紙面をお借りして厚くお礼申し上げます。

参考文献

[1] 日本粉末冶金工業会：「焼結機械部品」

技術書院

[2] 福原啓聡，山田 洋 広島市工業技術センター年報，34 - 39 (1991)

機械構造部品用焼結材料を用いた溶浸接合の評価

隠岐 貴史 福原 啓聡 山口 研二 山田 洋

The evaluation of infiltration sinter bonding

Takashi OKI

Keisou FUKUHARA

Kenji YAMAGUCHI

Hiroshi YAMADA

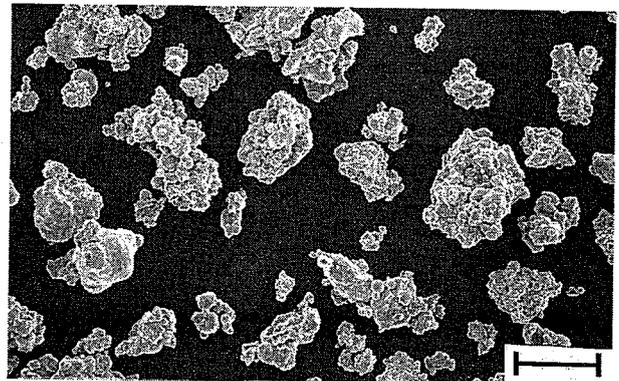
溶浸接合は、同じ条件の製造工程の固相拡散接合に比べ、接合強さが強くなり、溶浸材の添加量を変えることにより接合強さに変化がみられた。特に、強さのピークが2つ見られ、接合に2種以上のメカニズムが関与していると思われる。

1. 目的

焼結金属材料は、機械加工の工程が省略可能であり、コスト低減に大きく寄与する等の長所がある。しかし、成形段階において形状的な制約を受けるといった短所を併せ持っている。このため焼結金属材料を、多方面で工業的に利用するためには、接合技術が必要となる。しかし、焼結金属と異種金属の溶浸接合において、その溶浸材の適正な添加量を求めた実験は少ない。そこで、一般的に用いられている固相拡散接合の強さを調べるとともに、実験式により溶製材重量を変化させて作成した溶浸接合の強さの比較を押抜き試験（せん断試験）により求めた。

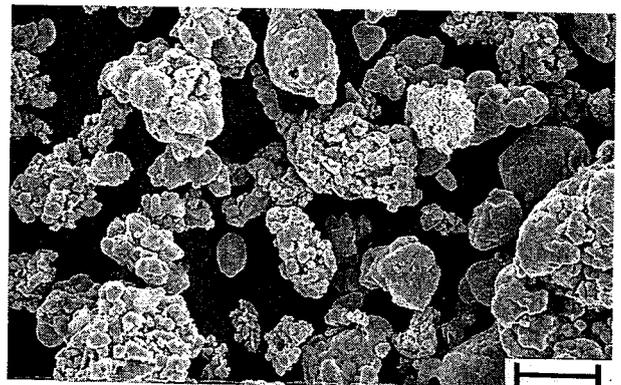
2. 実験方法

焼結金属材料に、機械構造部品用焼結材料（SMF4種）を用いた。表1に配合を、図1に原料粉末を示す。鉄粉はアトマイズ鉄粉、銅粉はアトマイズ銅粉、黒鉛粉は天然黒鉛粉、そして潤滑剤にはステアリン酸亜鉛を用いた。また、一連の製造工程を図2に示す。



(a) アトマイズ鉄粉

130 μm



(b) アトマイズ銅粉

25 μm

図1 原料粉末

表1 配合表

	鉄粉	銅粉	黒鉛粉	ステアリン酸亜鉛
重量(%)	96.4	3.0	0.6	0.7(外%)



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、潤滑剤の粒子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。

成形は、フローティングダイ法により行った。先ず、混合粉末約22gを秤量し、試験片作作用金型に均一になるよう充填した。その後、万能試験機（株東京衡機製造所50tfRU型）を用い、圧力46.2MPa（総荷重：46.2MPa×3.14cm²=145kN）にて試料を圧粉成形した。また、焼結金属材料の試験片形状を図3に示し、図4に試験片の写真を示す。

試験片の形状及び接合方法を、固相拡散接合、溶浸接合について、それぞれ図5、6に示す。

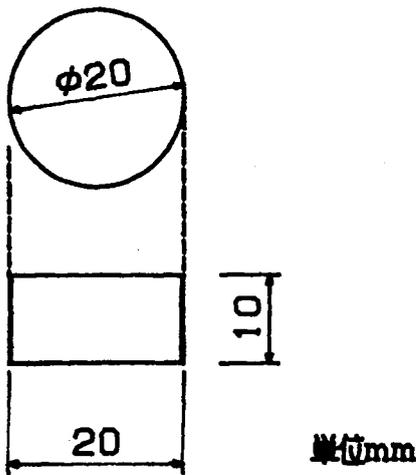
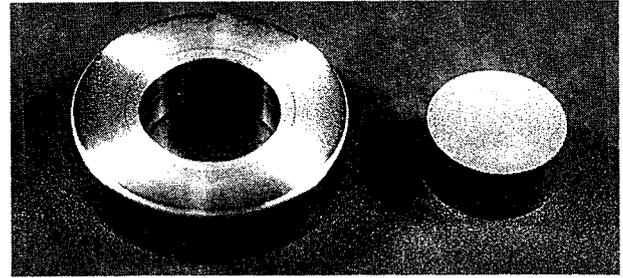


図3 試験片形状



溶製材 (S45C)

焼結金属材料

図4 試験片の写真

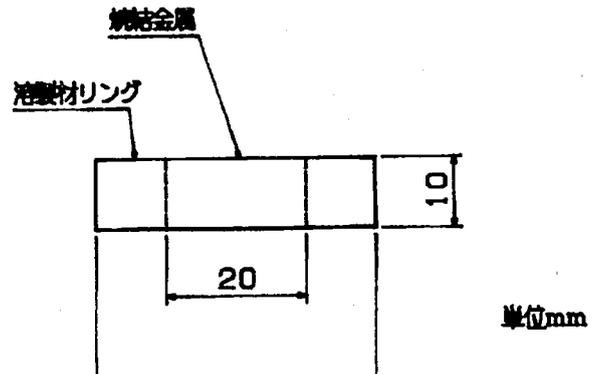


図5 接合方法（固相拡散接合）

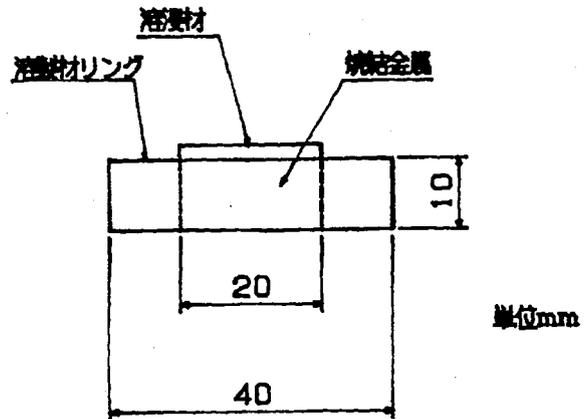


図6 接合方法（溶浸接合）

溶浸材は、銅-コバルト（1%）を用い、焼結金属材料と同様に図3の圧粉体成形用金型を用い、フ

ローティングダイ法により、φ20mmのペレット状に成形した。

また、溶浸材の重量は、次式によって求めた。

$$M_{inf} = P \times (V_{tes} \times R \times D_{inf}) + K + K'$$

ただし、式に用いた記号は下記の通りである。

- M_{inf} : 溶浸材重量
- P : 有効気孔率 (0.7)
- V_{tes} : 供試体見掛け体積 (φ20mm × 10mm)
- R : 気孔率 (1 - D_{obs}/D)
- D_{obs} : 供試体 (焼結体) 見掛け密度
- D : 焼結用材料の理論密度 (7.86g/cm³)
- D_{inf} : 溶浸材の真密度 (8.8g/cm³)
- K : $V_{tes} \times D_{obs} \times C$
- C : 鉄に固溶する合金元素の量
- K' : 一般溶製材料に固溶する銅の量

脱ロウ及び焼結接合は、図5、6に示すように溶製材リング (S45C) の中に焼結金属材料を差込み、図7に示す焼結パターンのトレイプッシャー式炉により、20% - H₂, 80% - N₂ガス雰囲気中で行った。この時、リング内径と焼結金属材料の外径の差は0.01~0.04mmとした。

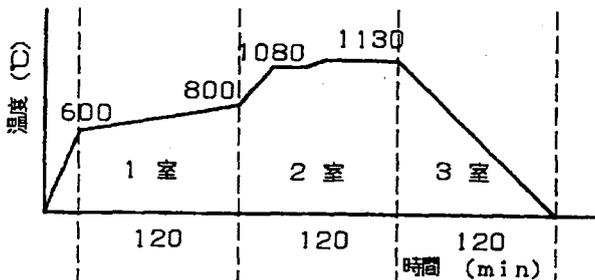


図7 接合工程

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 (0.01mmの精度) で測定し、見掛け密度を測定した。

このリングから焼結金属材料を押抜く強さの試験を、万能試験機 (株)東京衡機製造所 50tfRU型) を用いて行った。せん断強さについては JIS、MPIF とともに規定が無いため、その最大荷重と溶製材リングの内側表面積より押抜き強さを求めた。試験方法を図8に示す。

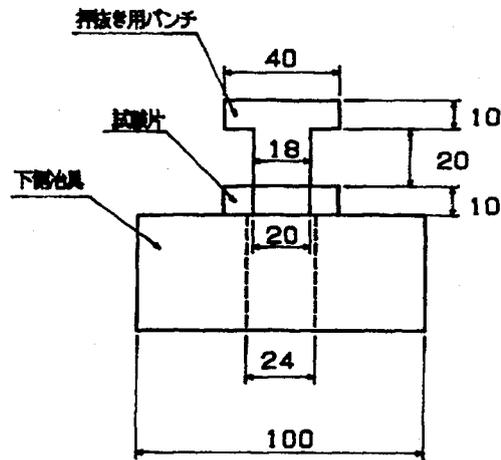


図8 押抜き強さ試験方法

また、金属組織は Versamet Union 6318型顕微鏡によりノーエッチングで空孔状態を観察し、3% - ナイタルで腐食後、金属組織を観察した。

さらに、EPMA (株)島津製作所 EPMA - 8705) により銅元素の線分析 (濃度分布) を行い拡散状態を観察した。

3. 実験結果

図9に顕微鏡組織写真 (3% - ナイタルで腐食) を示す。

溶浸接合の場合、焼結金属材料の気孔に溶浸材が入り込んでいる様子が分かる。また、加える溶浸材が増えるにつれて溶製材の接合界面付近のセルが微細になっている。

各接合の押抜き強さの試験結果を図10に示す。

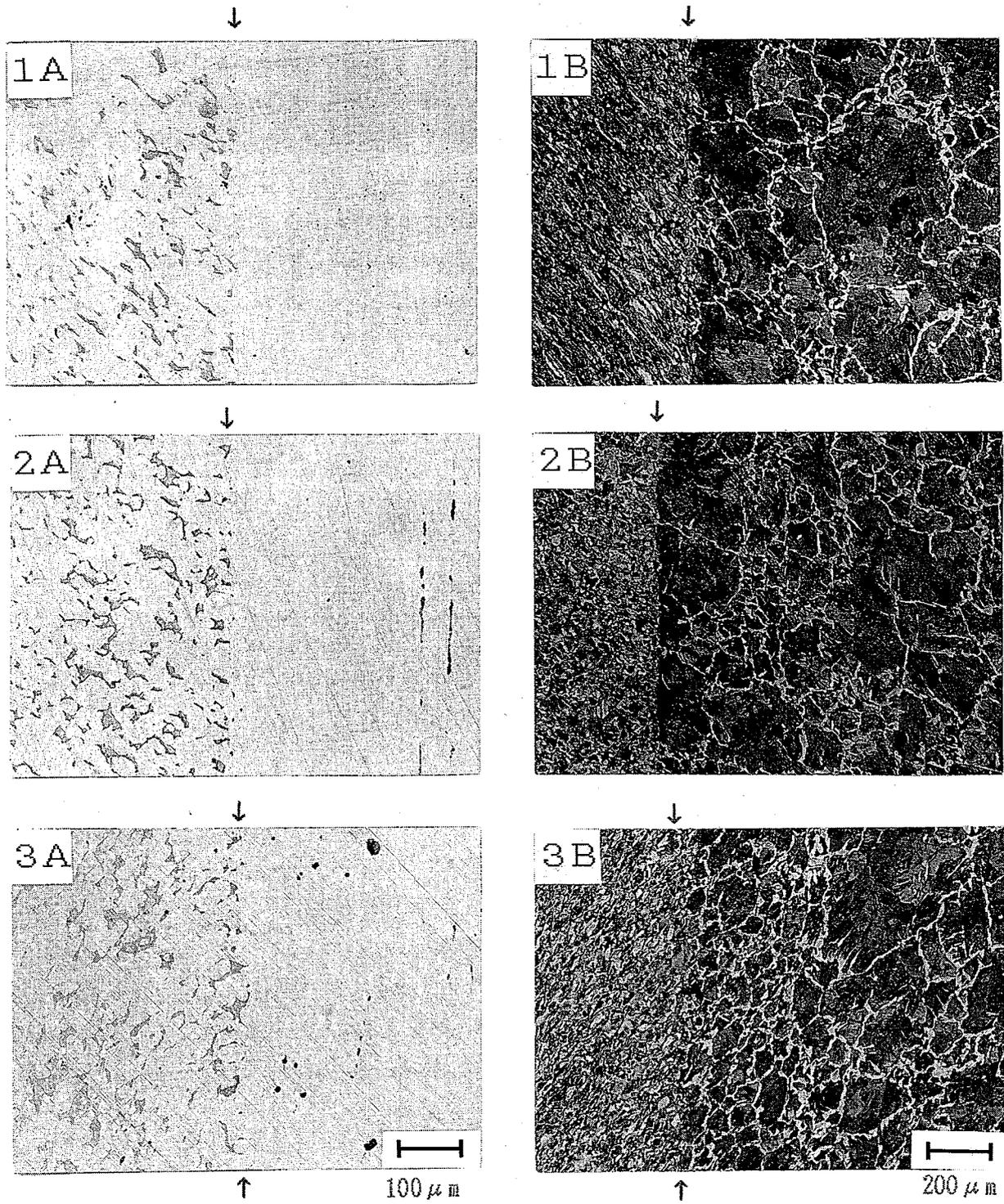


図9 顕微鏡写真

- 1) 1 A, 2 A, 3 Aは溶浸材重量 (M_{in}) がそれぞれ1.48 g, 2.34 g, 4.18 gの時のノーエッチング組織
- 2) 1 B, 2 B, 3 Bは溶浸材重量 (M_{in}) がそれぞれ1.48 g, 2.34 g, 4.18 gの時の3%-ナイタル腐食組織

固相拡散接合の押抜き強さは $202\text{N}/\text{mm}^2$ を得た。

溶浸接合は、固相拡散接合（溶浸材の重量=0g）に比べ、同条件下では接合強さが強くなる。

さらに溶浸材の添加量を変えることにより接合強さに変化がみられた。特に、強さの極大が2つ見られ、接合に2種以上のメカニズムが関与していると思われる。

前式の係数Cを8%~10%（溶浸材の重量=2.34g~2.77g）とした時の強さと13.5%（溶浸材の重量=3.53g）とした時の強さで、2つの極大値が存在する。前者の極大値は、一般に鉄に固溶する合金元素の量は約8%であることに矛盾していない。後者の極大値は、鉄と溶浸材である銅との合金と銅のマトリックスからなる材料ができたためと推測される。最大強さから言えば、係数Cで13~14

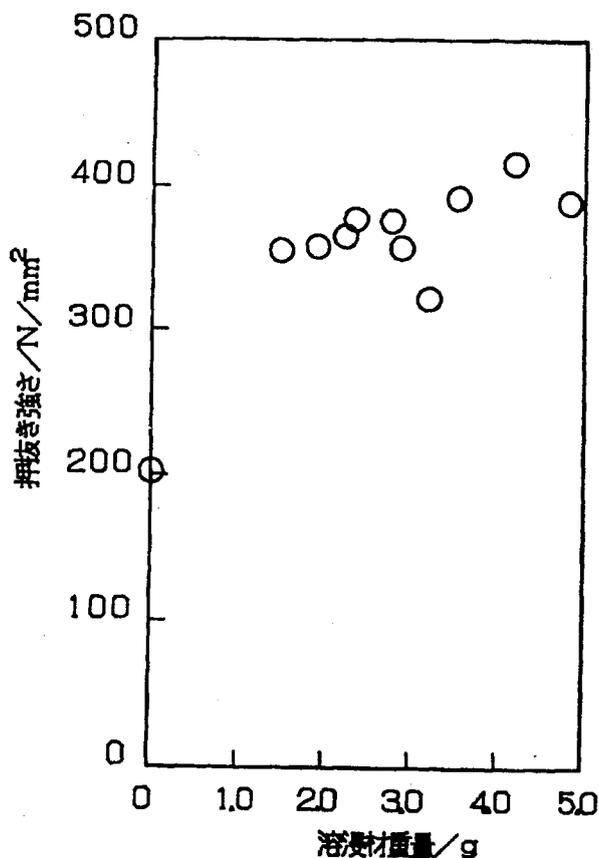


図10 押抜き強さ試験結果

%（図10において約4g）必要であるが、溶製材リングにも銅合金の付着がみられ外観等問題が生じる。

4. まとめ

焼結金属材料の利用拡大を図るため接合技術について現実的な実験を試み、以下の結果を得た。

- (1) SMF4種と溶製材（S45C）との固相拡散接合では、押抜き強さ $202\text{N}/\text{mm}^2$ を得た。
- (2) 溶浸接合は、固相拡散接合に比べ、同条件下では、接合強さが強くなる。さらに溶浸材の添加量を変えることにより接合強さに変化がみられた。特に、強さのピークが2つ見られ、接合に2種以上のメカニズムが関与していると思われる。

5. 謝 辞

この実験は広島市新技術普及事業の一環である焼結金属技術開発研究会を通して行ったものである。

この実験の遂行にあたり、特に焼結接合に際しお世話になりました広島シンター(株)河迫康男氏に深甚の感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 日本粉末冶金工業会：「焼結機械部品」

技術書院

- [2] 四辻博文, 隠岐貴史, 山田 洋

広島市工業技術センター年報, 23 - 28 (1991)

フッ素・シリコンアクリル樹脂クリヤーコーティングの塗膜物性について

植木 邦夫

Coating propertics for clear - coating of fluoro - silicon - acylic resin
Kunio UEKI

建築内外装品、標板、銘板類に使用されるステンレス鋼、黄銅、銅、アルミニウムに対する高耐候性塗料として、一般的に市販されているフッ素樹脂および、シリコンアクリル樹脂塗膜の耐食性、耐候性について調べた。

1. はじめに

建築分野における内・外装品、設備関係等に使用されるステンレス鋼、アルミニウム、銅合金等は、耐久性、安全性、施工性、さらに機能性、意匠性などの特性を生かした利用が急激に増加している。これらの製品の表面仕上げは建築物の意匠性を高めるためにヘアライン仕上げ、鏡面仕上げ、エッチング、エンボス、化学発色等が施され素材面の特徴を生かすクリヤー塗装で仕上げられていることが多い。建築物の内部に使用されるものは耐食性、塗膜の密着性、変色等が問題になることは少ないが、屋外に設置されるものはこの機能が大きな問題となる。このため、長期メンテナンスフリーに対応した塗料として注目されているフッ素樹脂塗料、シリコンアクリル樹脂塗料が市販されており、各素材に対しどのような機能であるか一部の塗料について実験した。

2. 仕様素材及び塗料

表1に使用素材、表2に塗料及び塗装条件、表3に膜厚・塗膜かたさを示す。

表1 使用素材

素 材 板	表 面 処 理	記号
アルミニウム板	無 処 理	A
黄 銅 板	無 処 理	B
銅 板	無 処 理	C
ステンレス鋼板	鏡 面 仕 上 げ	S
	ヘアライン仕上げ	HS

表2 塗料及び塗装条件

塗料種類	メーカー	乾燥条件	塗膜No.
シリコンアクリル樹脂	A社	150°C×20分	1
		常 温	2
	B社	常 温	3
フッ素樹脂	C社	160°C×20分	4
		常 温	5
	D社	160°C×20分	6
		常 温	7
	E社	160°C×20分	8

表3 膜厚・塗膜かたさ

塗膜No.	平均膜厚 μ m	かたさ
1	16	2H
2	22	H
3	19	4H
4	23	H
5	25	HB
6	24	2H
7	26	H
8	23	H

3. 試験条件

- (1) 塩水噴霧試験 JISK - 5400による。
- (2) 複合サイクル試験 SST4hr → 乾燥60℃ × 2hr → 湿潤50℃ × 98%RH × 2hr → 外気乾燥(冷却) 常温 × 4hrを1サイクルとする。
- (3) 促進耐候性試験 JISD - 0205によるB・P63℃、降雨12/60

4. 試験結果

(1) SST・CCT

SST(表4)において、アルミニウムに対してはA社のシリコンアクリル樹脂の常温タイプが、銅、ステンレス鋼板鏡面仕上げ及び同鋼板ヘアライン仕上げについては、C社、D社、E社のフッ素系焼付けタイプが優れる。シリコンアクリル樹脂で常乾タイプの二つの塗膜(塗膜2,3)は、黄銅及びステンレス鋼板鏡面仕上げの素材に対し極端に劣る結果となった。これは他の素材でも鏡面仕上げであれば同様のことが考えられる。次にCCT(表5)においては、やはり各素材ともフッ素系焼付けタイプの成績がよく、シリコンアクリル樹脂の常乾タイプはここでもSST同様の結果である。

表4 SST結果 単位hr

素材板 塗膜	A	B	C	S	SH
1	142	171	383	122	205
2	3008	7	474	4	11
3	338	96	350	8	338
4	267	87	3913	※	※
5	261	53	585	324	52
6	284	90	2583	4250	3360
7	271	62	763	421	453
8	305	86	2342	3620	3025

※は4500時間で試験を中止

表5 CCT結果 数値はサイクル数()内は時間

素材板 塗膜	A	B	C	S	SH
1	646 (7752)	38 (458)	114 (1368)	3 (38)	7 (83)
2	560 (6720)	3 (34)	26 (304)	2 (19)	7 (75)
3	764 (9168)	30 (360)	24 (288)	1 (12)	31 (372)
4	840 (10080)	43 (516)	323 (3876)	7 (76)	32 (384)
5	93 (1116)	3 (27)	18 (209)	40 (480)	25 (300)
6	890 (21360)	40 (960)	213 (5112)	6 (144)	33 (792)
7	312 (7488)	60 (1440)	32 (768)	26 (624)	30 (720)
8	876 (21024)	38 (912)	191 (4584)	31 (744)	30 (720)

(2) 促進耐候性試験結果

光沢、色差の変化を表6,7のようにサンシャインウエザーメーターによる200時間後及び500時間後で比較した。この結果、光沢の変化は素材及び塗膜間の差異はほとんどなく、他の樹脂系塗膜に比べればフッ素、シリコンアクリル樹脂ともに優れていると思われる。変色については、素材板Sでみる限りフッ素系樹脂の方がシリコンアクリル系樹脂に比べ変色が大きい。次に素材A、B、Cについては素材表面の変質による変色が大きく、素材表面の変色防止表面処理と変色防止剤及び紫外線吸収剤等の塗料添加物効果について研究の必要がある。また、素材SH(SUS304ヘアライン加工)の色差が素材A、B、C同様に大きくなった原因を調べる必要がある。

表6 光沢残存率 (85° /85°)

素材板		A		B		C		D		SH	
塗料	hr	200	500	200	500	200	500	200	500	200	500
1		96.5	93.0	92.2	87.2	91.0	90.2	88.3	77.6	92.3	84.2
2		96.2	92.5	94.8	87.2	95.6	89.2	89.4	85.3	92.9	87.1
3		96.0	93.9	90.3	84.3	92.0	82.9	91.8	85.8	95.6	86.8
4		93.5	84.1	89.3	76.3	89.1	75.7	85.1	72.1	92.6	81.6
5		94.1	86.7	91.0	78.0	92.1	82.4	89.3	79.5	94.8	83.3
6		96.7	87.7	91.2	87.8	91.9	83.4	86.6	75.6	94.5	85.4
7		95.3	90.4	90.6	78.9	93.2	83.3	91.0	82.4	93.5	84.6
8		94.5	86.7	90.7	79.7	91.8	79.8	86.3	73.9	93.4	82.6

表7 色差測定結果

素材板		A		B		C		D		SH	
塗料	hr	200	500	200	500	200	500	200	500	200	500
1		0.36	7.46	1.79	3.28	5.39	16.51	0.71	1.60	0.64	11.86
2		0.40	8.09	5.81	6.78	8.36	19.29	0.83	1.42	0.84	12.27
3		0.75	8.09	2.48	3.70	2.77	16.03	0.49	2.18	0.54	12.20
4		1.12	7.17	4.70	6.09	3.97	16.76	1.85	4.59	1.31	11.16
5		0.44	6.28	6.77	9.11	3.38	15.03	1.07	2.94	1.17	11.08
6		0.82	7.36	5.10	5.34	4.03	16.26	1.25	3.21	1.19	11.38
7		0.68	7.47	6.89	8.79	4.16	16.89	1.67	3.96	1.22	12.13
8		0.78	7.64	4.86	6.12	4.19	16.58	1.33	4.31	1.08	11.45

5. まとめ

フッ素樹脂系とシリコンアクリル樹脂系塗膜の耐食性及び耐候性について比較した場合、総合的にはフッ素樹脂系塗膜が優れている。しかし、自動車をはじめとする他の塗装系と比較した場合、塗料の価格が高価な割に満足できる結果ではない。また、クリヤーであるため宿命的な素材の変質を

伴うため塗膜性能として非常に難しい面がある。特に、金色が好まれ使用されている黄銅製の標板・銘板類は、塗膜が付きにくいエッジからの変色が比較的短時間に起こることが多く屋外に設置されるものについては十分に考慮する必要がある。

これらの製品には長期メンテナンスフリーに対応できる性能が厳しく要求されているのが現状である。このため、今後BTA（ベンゾトリアゾール）、ATA（3-アミノ-1・2・4トリアゾール）等変色防止剤の添加効果や防錆剤、ノンクロメート、不動態化処理等表面処理について引き続き研究することとしている。

2 - (5 - ブロモ - 2 - ピリジルアゾ) - 5 - ジエチルアミノフェノールを用いる亜鉛中のインジウムの吸光光度定量

山口 研二 岩切 美穂* 出口 正一*

Spectrophotometric Determination of Indium in Zinc with 2 - (5 - Bromo - 2 - pyridylazo) - 5 - diethylaminophenol.

Kenji YAMAGUCHI

Miho IWAKIRI

Masakazu DEGUTHI

2 - (5 - ブロモ - ピリジルアゾ) - 5 - ジエチルアミノフェノール (5 - Br - PADAP) を用いる微量インジウムの吸光光度定量条件について検討を行い、亜鉛及び亜鉛合金中のインジウムの定量に適用した。

1. 結 言

インジウムは、合金として用いられるほか、その酸化物、硫化物、ヒ化物、リン化物などが半導体として利用され、近年、その用途が増大している金属の一つである。したがって、インジウムに対する分析頻度も高まっていることから、今回著者らは、金属イオンの高感度呈色試薬として知られている5 - Br - PADAP^{1),2)}を用いる亜鉛及び亜鉛合金中のインジウムの定量について検討を行い、実用的に利用できると思われる方法を見いだしたので報告する。

2. 試薬及び装置

2 - 1 試薬

2 - 1 - 1 インジウム標準液 (1mg/ml)

インジウム (三津和化学薬品製純度99.99%) 0.25gに硝酸5mlを加え、蒸発乾固を行った。

続いて、塩酸 (1 + 1) 4mlと少量の水を加えて溶解させ、水で250mlに希釈して標準溶液とした。

* 広島大学工学部

使用時には、標準溶液を適宜0.1M塩酸で希釈して適当濃度の溶液とした。

2 - 1 - 2 5 - Br - PADAP溶液

5 - Br - PADAP (同仁化学研究所製) をN,N' - ジメチルホルムアミド (同仁化学研究所製) に溶解し、0.015W/V%溶液とした。

2 - 1 - 3 緩衝溶液

酢酸アンモニウム (試薬特級) を水に溶解し、10W/V%酢酸アンモニウム溶液として用いた。

2 - 1 - 4 その他の試薬

共存イオンの影響を検討した試薬は、すべて市販原子吸光用標準溶液を使用した。

2 - 1 - 5 装置

吸光度の測定には、日立150 - 20型分光光度計 (1cm石英セル) を使用した。溶液のpH測定には、東亜電波pH計HM - 7Bを使用した。溶液の振り混ぜには、イワキKM式万能シェーカーを使用した。

3. 標準操作

インジウム0~35 μg を含む試料溶液を25mlメスフラスコにとり、水を加えて全量を約15mlとする。

これに0.015W/V% 5-Br-PADAP溶液2mlを加え、続いて10W/V%酢酸アンモニウム溶液0.5mlを加える。最終溶液のpHが 5.0 ± 0.1 になるように希塩酸または希アンモニア水で調整した後、水で標線まで希釈し、よく振り混ぜる。室温で10分放置後、試薬ブランクを対照にして565nmで吸光度を測定する。

4. 定量条件の検討

4-1 吸収曲線

3の標準操作に従い測定したインジウム-5-Br-PADAP錯体及び試薬ブランクの吸収曲線を図1に示す。錯体の吸収極大は565nmに見られたことから、以後の実験では、試薬ブランクを対照として、この波長で吸光度を測定することとした。

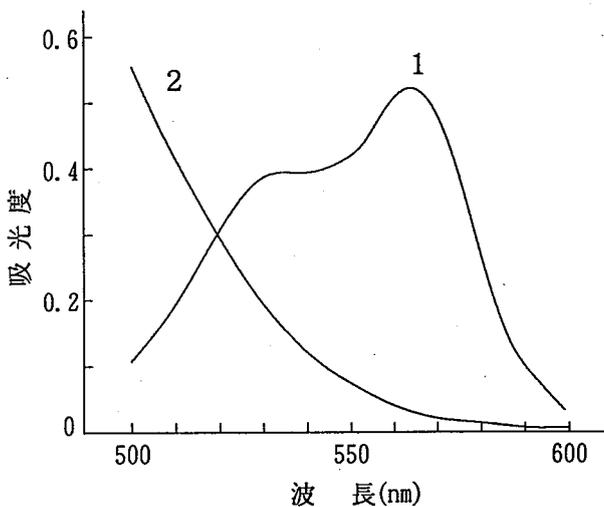


図1 吸収曲線

0.015% 5-Br-PADAP = 2ml ;
pH : 5.0, 最終液量 = 25 ml
1. インジウム錯体 (インジウム : 20 μg)
対照液 : 試薬ブランク
2. 試薬ブランク, 対照液 : 蒸留水

4-2 pHの影響

溶液のpH値が錯体の吸光度に与える影響について検討し、最適pH範囲を決定した。インジウム20 μg に0.015W/V% 5-Br-PADAP溶液2mlを加え、種々のpHに調整し、吸光度を測定した。その結果を図2に示す。インジウム-5-Br-PADAP錯体は、pH4.0~5.5の範囲で最大吸光度を示した。したがって以後の実験は、pHを 5.0 ± 0.1 に調節することにした。

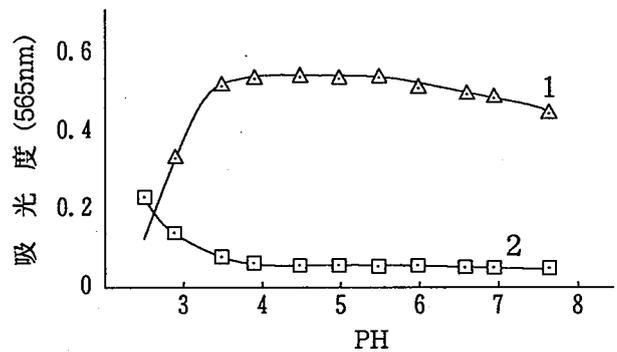


図2 pHの影響

0.015% 5-Br-PADAP = 2ml ;
最終液量 = 25ml
1. インジウム錯体 (インジウム : 20 μg)
対照液 : 試薬ブランク
2. 試薬ブランク, 対照液 : 蒸留水

4-3 試薬濃度の影響

試薬濃度の影響について検討した。添加する5-Br-PADAP溶液の量を2mlと定め、試薬濃度を種々変化させ吸光度を測定した結果を図3に示す。これより5-Br-PADAP濃度が0.005~0.025W/V%で最大かつ一定の吸光度が得られた。したがって、標準操作では、0.015W/V% 5-Br-PADAP溶液2mlを使用することとした。なお、これはインジウム20 μg に対しモル比で4.9倍量に相当する。

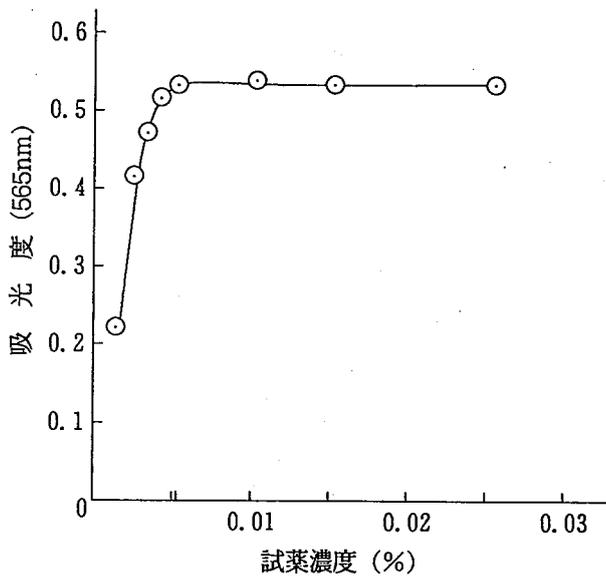


図3 試薬濃度の影響

インジウム：20 μg ；5-Br-PADAP：
2ml；pH：5.0；対照液：試薬ブランク
最終液量：25ml

4-4 錯体の経時変化

錯体の安定性を検討するため、3の標準操作を適用し吸光度の経時変化を測定した。試薬添加後、直ちに最大吸光度に達し、少なくとも3時間までは変化せず、24時間後の吸光度は約1%減少を示した。

4-5 検量線及び分析精度

インジウム0~35 μg の濃度範囲において3の標準操作を適用して検量線を作成した。インジウム量0~35 $\mu\text{g}/25\text{ml}$ の範囲でBeerの法則に従い、定量下限は0.8 $\mu\text{g}/25\text{ml}$ (吸光度0.021)であった。インジウム20 μg の平均吸光度から算出したモル吸光係数は $7.79 \times 10^4 \text{ l mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ であり、5、20および30 μg において5回繰り返し測定による吸光度の相対標準偏差は、それぞれ0.32、0.38および0.45%であった。なお、本法は従来法⁹⁾に比べ同等の高感度法の一つと認めることができる。

4-7 錯体組成比の検討

インジウムの錯体組成比を検討した。連続変化

法による錯体組成比を図4に示す。インジウムと5-Br-PADAPの和が一定値 ($5.73 \times 10^{-4} \text{ M}$) となるようにモル数を相互に変化せよ、3の標準操作に従って検討したところ、インジウム-5-Br-PADAP錯体の組成比は1:1と推定される。同様にモル比法および傾斜比法によって検討したところ、両方法ともインジウム-5-Br-PADAP錯体の組成比1:1と推定される結果が得られた。

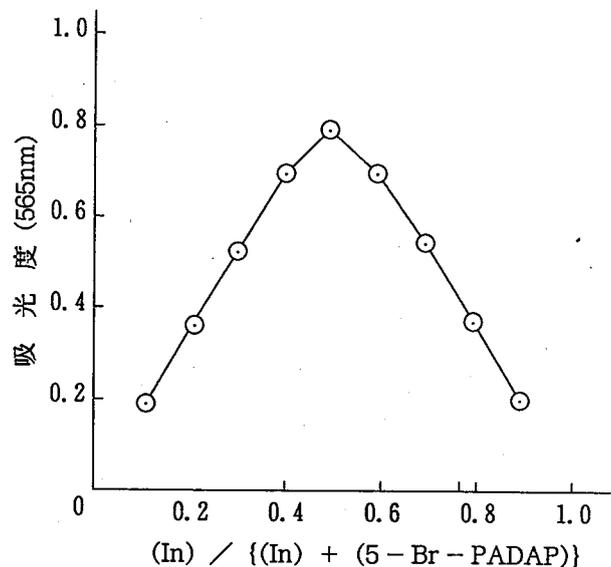


図4 連続変化法

(In) + (5-Br-PADAP) = $5.73 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$
pH：5.0；対照液：試薬ブランク

4-8 共存イオンの影響

インジウム20 μg 定量時における共存イオンの影響について検討した結果を表1に示す。インジウムの定量値に及ぼす影響が $\pm 5\%$ 以内であれば妨害しないと見なした。

検討した41種類のイオンのうち、多くの金属イオンは5-Br-PADAPと錯体を形成し妨害を与えた。共存許容量の小さいイオンのうち、 Al^{3+} 、 Sc^{3+} 、 Sn^{2+} 、 Sn^{4+} はフッ化ナトリウム溶液の添加により、それぞれ400、800、20及び20 μg が共存可能となった。一方、本法の適用pHが5付近であるため、シアン化物イオンによるマスキング効

果は期待できずシアン化カリウム溶液の添加によるNi²⁺、Zn²⁺、Cu²⁺の共存許容量はそれぞれ1、4及び2μg程度に過ぎなかった。又、Fe³⁺についても適切なマスクング剤が見当らず、L-アスコルビン酸及び1、10-フェナントロリン溶液の添加を試みたが、1μg程度しか許容できないことが分かった。以上のことから、本法による実試料の分析に際して他のインジウム定量法³⁾に見られるように、マトリックス元素からのインジウムの前段分離操作を必要とすることが分かった。

表1 共存イオンの影響

共存イオン	共存許容量 (μg)
Tl ⁺ , Mn ²⁺ , B ³⁺ , La ⁺ , Au ³⁺ , As ³⁺	
Se ⁴⁺ , Ge ⁴⁺ , Pd ²⁺	1000
Sc ^{3+***}	800
Ce ³⁺ , Al ^{3+***}	400
Cd ²⁺ , Pr ³⁺ , Nd ³⁺ , W ⁶⁺	200
Sm ³⁺ , Eu ³⁺ , Tb ³⁺ , Cr ³⁺	80
Dy ³⁺	60
Yb ³⁺ , Lu ³⁺ , Y ³⁺ , Hg ²⁺ , Cr ⁶⁺ , PO ₄ ³⁻	40
Gd ³⁺ , Zr ⁴⁺ , Sn ^{2+***} , Sn ^{4+***}	20
Pb ²⁺ , Al ³⁺ , Sm ⁴⁺	8
Sn ²⁺ , Zn ^{2+*}	4
Zn ²⁺ , Cu ^{2+*} , Bi ³⁺	2
Pd ²⁺ , Sc ^{3+*} , Ni ^{2+*} , Fe ^{3+****}	1
Cu ²⁺	0.8
V ⁵⁺	0.6
Co ²⁺ , Fe ³⁺ , Ga ³⁺	0.4
Ni ²⁺	0.2

インジウム採取量: 20 μg

* : 0.5W/V% KCN溶液 1ml添加

** : 0.5W/V% KCN溶液 1ml添加

*** : 1W/V% L-アスコルビン酸 1ml +
0.03W/V%

1-10フェナントロリン溶液 1ml添加

5. 実試料溶液の調整及び定量操作

本法を高純度亜鉛、亜鉛合金に適用してインジウムの含有率を測定し、その実用性を検討した。

実試料約0.5gをビーカーにはかりとり、塩酸(2+1) 5mlを加えて溶解させ、加熱して完全に蒸発乾固する。この残渣に1.5M硫酸5mlを加えて溶解させ、L-アスコルビン酸約0.5gを加える。

これを25ml分液ロートに移し、3Mヨウ化カリウム溶液を5mlを加え、含量を10mlとする。続いて、イソプロピルエーテル5mlを加えて1分間激しく振とうする。静置後、水相を別の分液ロートに移し、再びイソプロピルエーテル5mlを加えて1分間激しく振とうする。有機相を合わせて、0.75M硫酸酸性1.5Mヨウ化カリウム溶液3mlで3回(各回の振り混ぜは30秒間)行い、洗浄する。洗浄した有機相を50mlビーカーに移し、湯浴上で加熱して完全に蒸発乾固する。これに0.1M塩酸1mlを加えた後、水と共に10mlのメスフラスコに移し定容とする。本分離操作により得られた実試料溶液中の全亜鉛量は2μg以下(ジンコン法による)であり、その影響は、無視できることがわかった。調製した実試料溶液から4ml以下を分取し、3の標準操作に従って吸光度を測定する。なお、適用する検量線は、実試料と同一操作により得られた試薬ブランクに既知量のインジウムを加えて作成することとした。

6. 実試料中のインジウムの定量

実試料として高純度亜鉛及び亜鉛合金を選び、本法を適用した。実試料中のインジウムはヨウ化物とし、希硫酸溶液からのイソプロピルエーテル抽出⁴⁾により分離を行うこととした。本法による実試料中のインジウムの定量結果を表2に示す。

表2 実試料の分析例

試料	インジウム(μg)	インジウム含量($\mu\text{g/g}$)	
		本法	ICP-AES
高純度亜鉛	N. D.	N. D.	N. D.
亜鉛合金No.1	4.4	8.8	8.0
		(n=5, S. D=3.7)	
亜鉛合金No.2	11.9	23.8	22.0
		(n=5, S. D=2.2)	
亜鉛合金No.3	34.6	69.2	68.0
		(n=5, S. D=2.0)	

(試料採取量 : 0.5000g)

本法により実試料中8~69 $\mu\text{g/g}$ のインジウムが精度よく定量でき、ICP-AESによる定量法ともほぼ一致する結果が得られた。さらにインジウムの添加回収実験によるインジウムの回収率も95~100%と良好な結果を示した。なお、本法では、実試料中4 $\mu\text{g/g}$ 以上のインジウムが定量可能である。したがって、確立した方法は、亜鉛及び亜鉛合金中のインジウムの定量法として有効に利用できると考えられる。

参考文献

- [1] S. I. Guser, G. G. Shalamova : Zh. Ana l. Khim, 23, 686 (1969) ; C. A., . 68, 49005u.
- [2] D. A. Johnson, T. T. Flor ence : Talanta, 22, 253 (1975).
- [3] 無機応用比色分析編集委員会編：“無機応用比色分析”，3巻，p66 (1974).
- [4] 出口正一、大達彰、森重清利、奥村逸男、山口研二：分析化学、27、645 (1982).

各種セラミックス溶射皮膜の摩耗特性 (溶射加工に関する研究 第4報)

市後 博造 浅野 直弘 中川 孝作*

Wear Properties of Variety Ceramics Plasma Spray

Hirozou ICHIGO

Naohiro ASANO

Kousaku NAKAGAWA

各種機械の高性能化・高機能化に伴い、それらを構成する部品に過酷な材料性能が要求されている。しかし、材料単独では使用に限界があり二種以上の材料を複合させ、新しい機能を生み出す複合材料が必要となっている。

プラズマ溶射は、ある素材の上に素材とは異なる性質を持った材料を溶射することにより新しい機能を持った皮膜を短時間で成膜できるので広く使用されている。

当センターにおいてもプラズマ溶射装置を導入以来、セラミックスの保護皮膜研究開発に着手しているが、まだよい結論を得ていない。今回も、前回同様に羽根車の皮膜開発に各種セラミックスの溶射を行い、使用条件に近似した方法でその溶射皮膜の摩耗試験を行ったのでその結果について報告する。

1. 緒言

前報において、 $Al_2O_3-TiO_2$ 系、 Cr_2O_3 材を用いた材料の耐摩耗性に及ぼす影響を溶射条件との関連について検討を行ってきた。この結果により、皮膜粒子自身の硬さが耐摩耗性に大きく影響を及ぼすことがわかった。次に、溶射条件においては、電流値、ARC・AUX・POWDERガスの影響は顕著にみられなかった。しかし、溶射距離、冷却効果の影響は大きくみられた。このことより、セラミックス溶射においては、溶射距離、冷却方法の適正化ということが重要となっている。

以上のことより、この度は、皮膜粒子自身の硬度と、その粉末を溶射することによる皮膜特性が耐摩耗性に及ぼす影響について研究を行ったのでその結果を報告する。

2. 実験方法

今回の実験の目標は粉末自身が持っている硬度が溶射条件によって、耐アブレシブ摩耗に対してどのような耐摩耗性を示すであろうかということ、溶射粉末に硬さの相違がみられるように表1に示すような材料の選定を行った。

テストピースは、前回と同様、図1に示す形状に加工を行った。母材料はSUS304である。ブラスト処理には、酸化アルミ系グリット(#24)を用いた。溶射装置はプラズマダイナ製(40KW)で、可動はロボットで行った。

溶射距離は100mm、冷却はできるだけ十分に行い熱クラックによる割れ防止を行った。次に摩耗量の評価方法として、図2に示すような摩耗試験装置の作成を行い、図3に示すようなインペラ羽根車の先端にテストピースを取り付けることによってできるだけ実働に即した方法での摩耗試験を行っ

*株式会社横田製作所作業所材料研究室室長

た。スラリー濃度はできるだけ過酷なテスト条件で行うということで前回の1%から今回は2%で行った。濃度を高める方がより実用に即した方法といえるが、これ以上濃度を高めると、インペラの羽根およびケーシングの摩耗が激しく摩耗試験に支障をきたすことになるので、濃度は2%にとどめた。硬さ試験はHR15Nでテストピース側面で測定を行った。

SEM像の観察は日立製作所株式会社製S-2400により撮影し表面状態の観察を行った。

3. 実験結果及び考察

3-1 摩耗特性

耐摩耗性に関する一般的な考え方は、相手材雰囲気及び使用環境と密接な関係があり一義的に論じられない分野である。というのも、摩耗現象を構成する多くの変動要因が複雑に影響を及ぼし合う。特に溶射皮膜の摩耗は、溶射条件をはじめとする各種パラメータ要因により、皮膜の特性値が大きく変動するので良質皮膜を再現性よく得るためには、各種の要因を如何に高度に管理するかが重要となっている。

今回の実験においても、あらかじめ文献等において、セラミックス材料の摩耗特性に関する調査を行い耐摩耗性の良い材料の選定を行った。その一例を図4に示した。この図より、耐アブレシブ摩耗は硬さの高い材料ほど耐摩耗性が良く、硬さ依存性を示している。

次に溶射皮膜の摩耗特性の結果を表2と図5にそれぞれ示した。各種セラミックス粉末の比重が異なるため、摩耗量をその比重で除した摩耗体積値を摩耗特性値として用いた。この結果よりWC-12Co材料の摩耗特性値が12.6mm³と他の材料に比較して著しく悪い値を示しているのに反して、Cr₂O₃材の特性値は4.7mm³とWC-12Co材の約3分の1程度になっている。その原因として考えられることはCr₂O₃材は皮膜粒子自身がセラミックス

表1 溶射材料の種類

溶射材料	主成分
1 97Al ₂ O ₃ - TiO ₂	97% Al ₂ O ₃ 3% TiO ₂
2 83Al ₂ O ₃ - TiO ₂	83% Al ₂ O ₃ 17% TiO ₂
3 Cr ₂ O ₃	100% Cr ₂ O ₃
4 WC - 12Co	88% WC 12% Co
5 WC - 17Co	83% WC 17% Co
6 WC - 16C	50% WX 50% NiCr - B

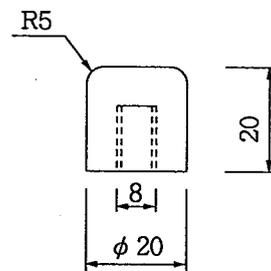


図1 テストピース

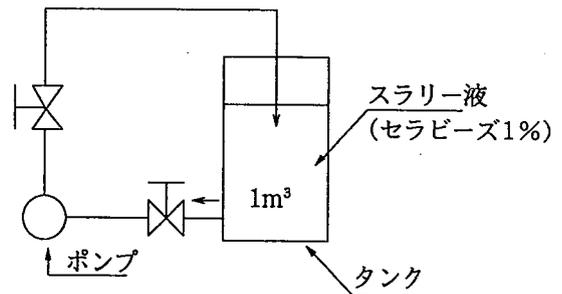


図2 テスト装置

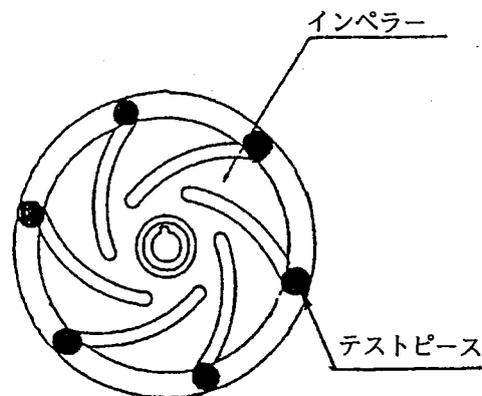


図3 テストピースの取付位置

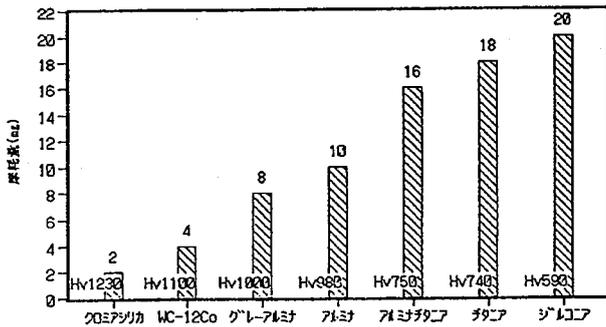


図4 各種セラミックスの摩耗量(スガ式による)

表2 各種溶射皮膜の摩耗検査結果

試料	摩耗量 (mg)			比重	摩耗体積 (mm ³)
	1回目	2回目	平均		
1 97Al ₂ O ₃ -TiO ₂	35.9	32.1	34.00	3.3	10.31
2 83Al ₂ O ₃ -TiO ₂	41.8	34.4	38.10	3.5	10.89
3 Cr ₂ O ₃	22.3	23.6	22.95	4.9	4.68
4 WC-12Co	184.7	183.4	184.05	14.6	12.60
5 WC-17Co	76.7	70.3	73.50	11.8	6.23
6 WC-16C	59.2	59.4	59.30	9.9	5.98

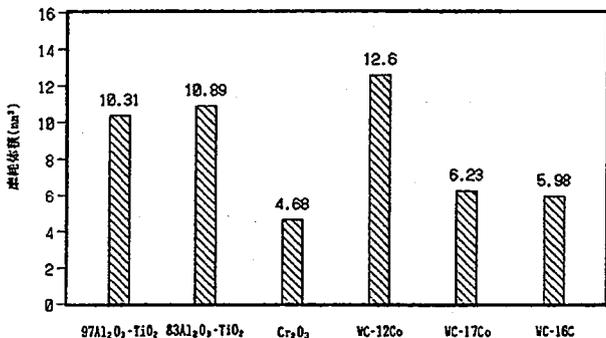


図5 各種溶射皮膜の摩耗試験結果

粉末の中でも硬度的には高い位置にあり、また、プラズマ溶射施工時、溶射条件 (AUX、POWDER ガス、電流値) が多少変動しても良質の皮膜を得ることができる。

WC-12Co系材料はセラミックスと金属を機械的にブレンドしているため両者の比重の違いにより送給むらが発生したり、溶射機器や溶射条件によっては、分解や酸化反応により均一な皮膜を得ることが難しいので、密着性をはじめとして、機械的特性値に大きな影響を及ぼすと考えられる。

今後皮膜の組成をX線回析により解析を行いその原因を追求する必要がある。

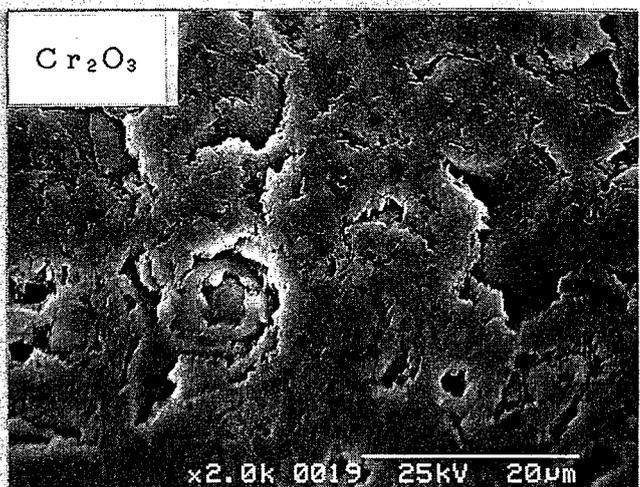
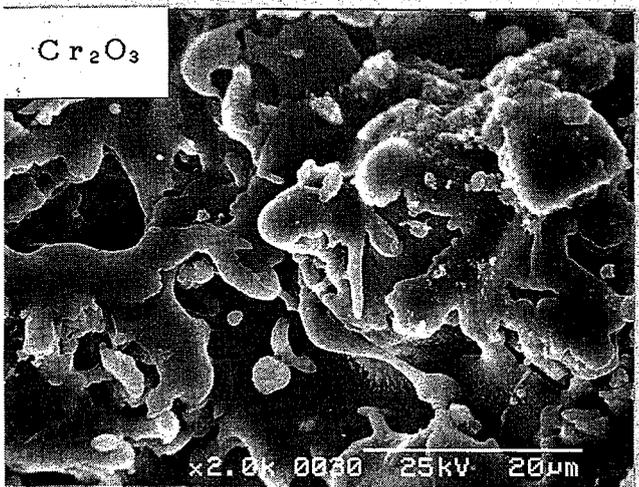
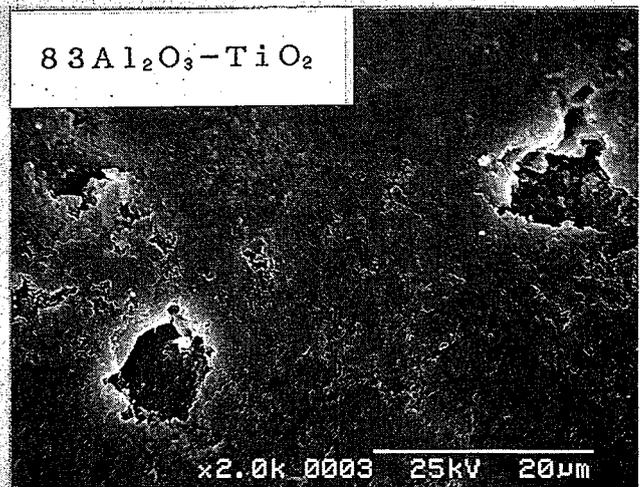
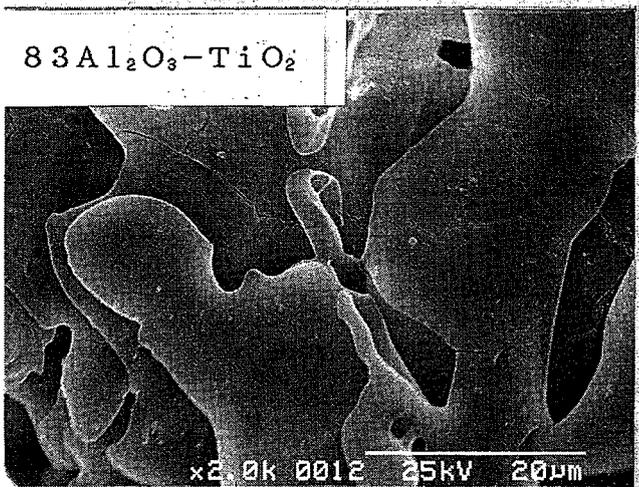
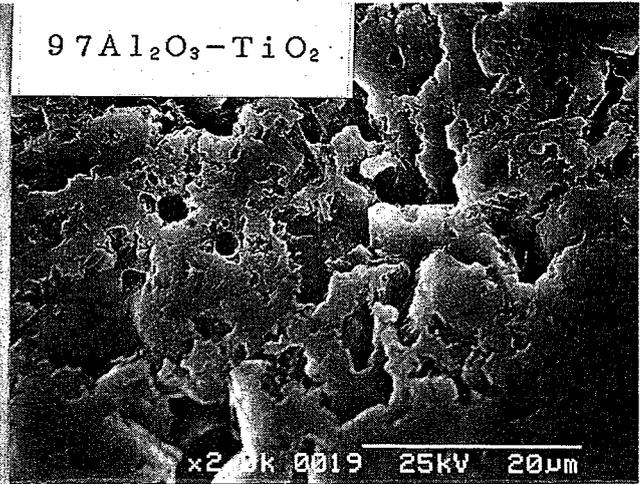
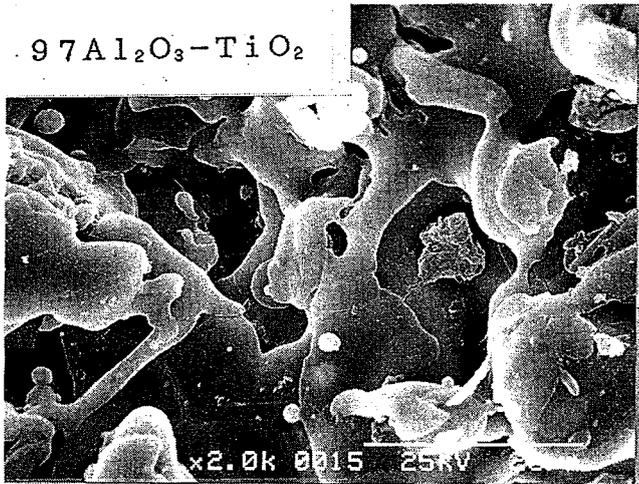
当面インペラのWC-12Co系材料の施工は問題が多いので現段階での適用は困難である。

他の材料については、SEM観察の結果、溶着偏平度、溶着粒子の大きさ、結合度も適正であり、摩耗特性値もこの程度と考えられるので溶射施工も含め、インペラへの適用を考えて行きたい。

3-2 SEM像による観察

写真1に溶射皮膜の表面状態をまた摩耗試験後の表面状態をそれぞれ示した。摩耗特性の優れたCr₂O₃は粒子自身の硬度も高いが、積層粒の大きさ、偏平度も大きく、高速で溶着された状態を示している。粒子間の結合力、熔融状態は十分ではない。83Al₂O₃-TiO₂材料の偏平度は良いが粒子の大きさが異常に成長している。これは、熔融温度が高いために粒子が成長したものである。97% Al₂O₃-TiO₂材についても同様のことがいえる。

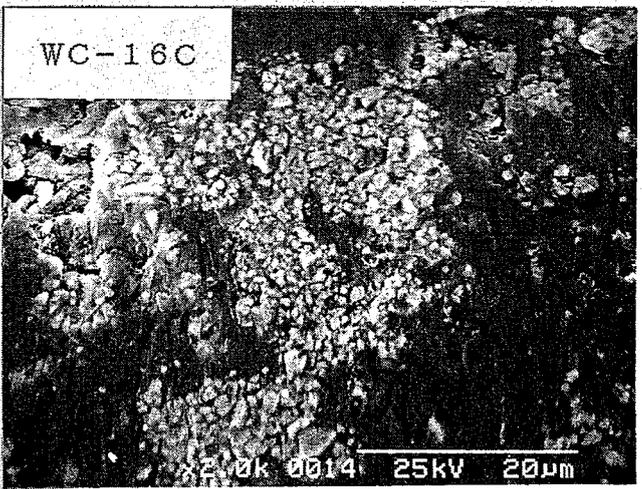
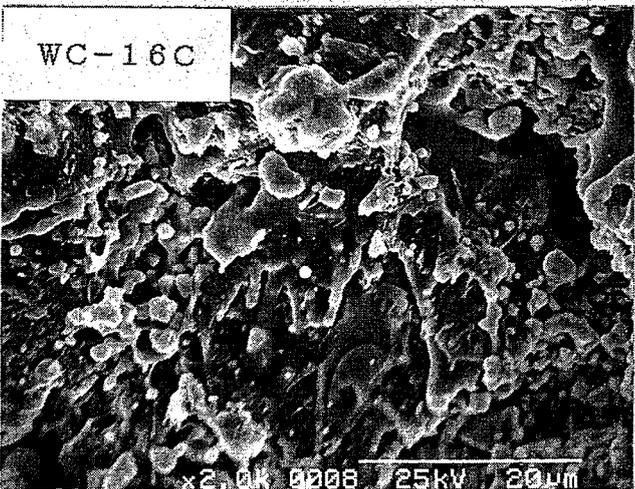
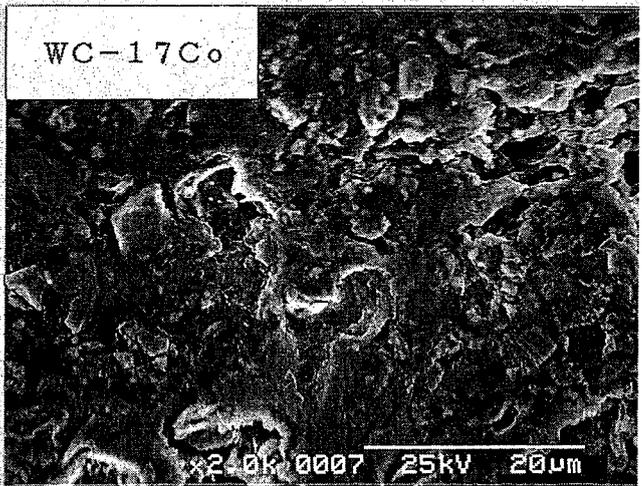
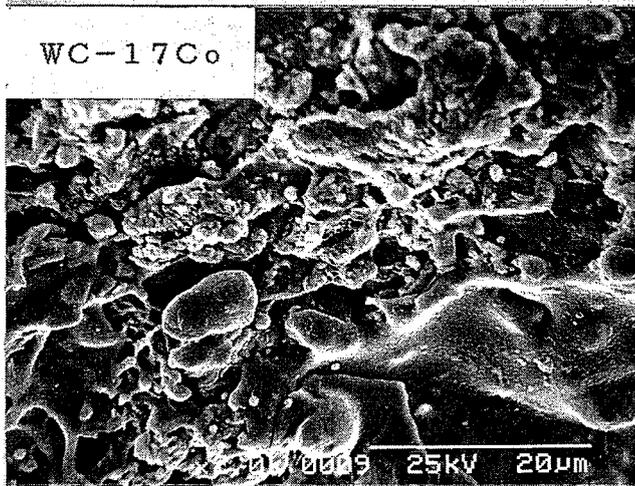
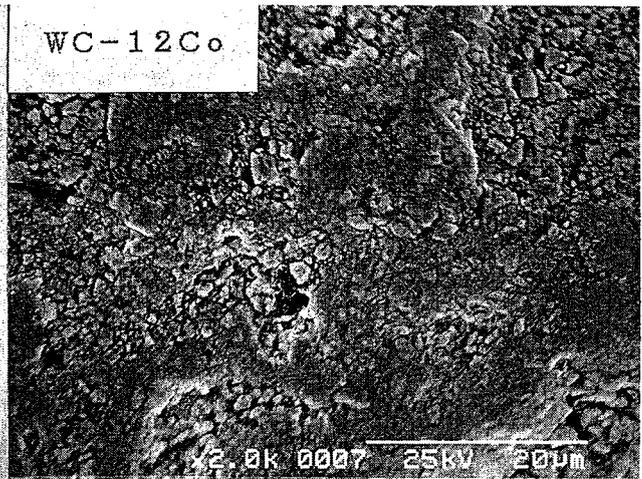
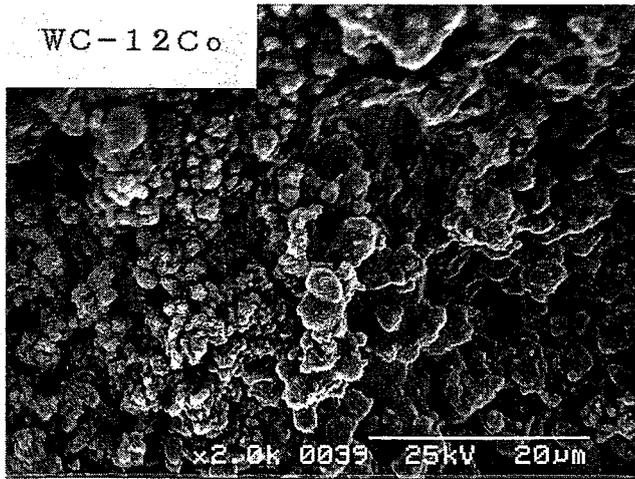
WC-12Co材については、積層粒子が観察されず、未熔融の小さな粒子が飛散した状態になっており、溶射条件、施工に問題が考えられる。次にWC-17Co材については、ある程度の積層粒子、偏平度が観察されるもののまだ十分とはいえない。摩耗試験後のSEM写真により粒子間相互の結合力、熔融状態の良悪が一目で判別できる。



摩耗試験前のSEM写真

摩耗試験後のSEM写真

写真1 皮膜のSEM写真



摩耗試験前のSEM写真

摩耗試験後のSEM写真

写真1 皮膜のSEM写真

表3 各種溶射皮膜の硬度

試料	硬 度 HR15N										平均
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	
1 97Al ₂ O ₃ -TiO ₂	88.0	84.9	90.1	86.4	83.9	84.3	83.1	87.5	83.6	90.0	86.18
2 83Al ₂ O ₃ -TiO ₂	88.8	87.0	87.5	86.0	88.2	83.8	84.2	86.2	86.6	87.4	86.49
3 Cr ₂ O ₃	87.0	88.9	90.1	89.1	89.8	90.1	89.1	91.1	93.6	91.8	89.98
4 WC-12Co	87.4	89.3	81.6	87.5	85.9	80.1	82.5	86.6	81.1	85.1	84.70
5 WC-17Co	87.1	85.5	88.7	85.7	87.3	88.8	85.6	90.2	82.6	83.9	86.46
6 WC-16C	85.6	87.5	84.5	85.7	85.6	85.1	86.8	86.7	83.7	83.9	85.53

摩耗特性の優れているCr₂O₃材は粒子の溶融、結合力にいま一つ問題が考えられるが、溶着粒子の界面での剥離はみられない。

97% Al₂O₃ - TiO₂材については、溶融温度が高いため、粒子の成長も大きく、また、粒子強度の低下による皮膜の潰れ現象が観察される。

WC-12Co材については、前述のように偏平度、積層粒子とも十分でなく、未溶融の飛散した粒子が多いために試験中に剥離脱落して行くものと考えられる。

文献によればWC系材料の溶射は溶射条件によっては、皮膜の組成がWCよりW₂Cに変化することにより、機械的特性値が著しく低下するといわれており、今回と同様な現象が起きたものと思われる。

以上のことより、SEM像を観察することにより溶射施工の良悪はもちろん、溶射材料と溶射条件(AUX・POWDER・ARCガス、電流値)により積層粒子の大きさ、偏平度の関係について、最適化を図って行けば良い皮膜を得ることが可能となるものと思われる。

3-3 硬さ試験による観察

表3に各種溶射皮膜の表面硬度を示した。この結果を見てもわかるように摩耗特性の優れたCr₂O₃材では、HR15Nの10回の平均値が90と高い値を示すと同時に硬度値にバラツキも少なく粒子自身の

硬度に近い均一な皮膜が作成できているものと思われる。

WC-12Co材料については、HR15Nの10回平均で84.7と粒子自身が持っていると思われる硬度94~95より10硬度程度低くなっている。しかも、硬度そのものにバラツキが少ないことから溶射皮膜特有の気孔、空隙によるものではなく、溶射条件の管理不十分による。WC系にみられる組織変化、分解、酸化反応によるものと考えられる。今後、溶射機器の選定を含めて溶射方法、溶射条件について検討を重ねていかなければならない。

4. 結 論

ポンプの羽根車に耐摩耗性の優れた溶射皮膜を作成するにあたり、各種セラミックス材料の溶射を行い、耐摩耗性の評価を行った結果次のような結論を得た。

- (1) 摩耗試験の結果Cr₂O₃材が優れた摩耗特性を示した。この材料は溶射施工時溶射条件を多少変動させても摩耗特性にあまり影響を与えないことから、皮膜生成も容易で、良質の皮膜を再現性よく得ることができるので、現段階では最適の皮膜といえるが、今後、耐食性も考慮し検討して行きたい。
- (2) WC-12Co材は粒子硬度は一番高いにもかかわらず、溶射条件の誤りによる良質の皮膜を得ることができず摩耗特性においては、最

も悪い結果になった。

今後、WCの特性を引き出す溶射法の研究を行っていかねばならない。

- (3) 溶射皮膜の表面状態をSEM像により観察を行い、積層粒子の大きさ、偏平度、粒子の結合度(溶融度)の評価を行うことにより、溶射皮膜の最適条件を見いだすことが可能となった。

参考文献

- [1] 市後博造、浅野直弘、中川孝作
広島市工業技術センター業務報告
(溶射に関する研究 第3報)
- [2] 堀江譲
機能性溶射皮膜の開発事例
島根県立工業技術センター
- [3] メテコデータ集

難削材料であるインコネル718 (Ni基超耐熱合金) のワイヤカット放電加工機による加工特性

岡田 邦彦 福原 啓聡 隠岐 貴史

Machining Characteristic of Inconel 718 (Nickel - base Super - heat
- resistant Alloys) for Hard Cutting Materials by WEDM

Kunihiko OKADA

Keisou FUKUHARA

Takashi OKI

超耐熱合金であり、且難削材料であるインコネル718のワイヤカット放電加工機による、加工特性を明らかにする目的をもって、加工実験を行い、切断部のアラサ、切断部付近の硬度変化、EPMA分析及びSEM観察等を行った。

1. はじめに

超耐熱合金の歴史は約50年におよび、研究開発の重点は高温強度の改善と高温耐食性の向上の2つに注がれてきた。そして、通常650℃以上で使用に耐える合金を言うとされている。中でも、ニッケル基超耐熱合金は高温強度があり、高温耐食性に優れているため、航空機のジェットエンジンの部品、ロケット部品及び原子炉用熱交換器材料等の構造用材料として多く用いられている。最近では自動車用の耐熱部品等にも使用され、その用途は広がりつつある。

超耐熱合金は各種難削材の中でも被削性は著しく悪く、金属材料としては最も加工しにくい材料であると言われている。従って、現場で利用でき

る公表された切削データは少ない。ましてや、ワイヤカットによる切断データは極めて少ないのが実情である。

本報告は、三菱電機(株)にて公表されている、SKD11の加工特性データを基に、各条件をばらつかせて各種実験を実施した。そして、加工の安定した条件を究明すると同時に、黄銅ワイヤによるマトリックスへの影響等について調査研究したものである。

2. 実験方法

2-1 供試材

インコネル718 $\phi 92 \times t 5 \text{ mm}$

2-2 供試材の化学成分

〈表・1〉成分表

成分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Co	Cu	Al	Ti	Nb+Ta	B	Fe
Wt %	0.03	0.02	0.06	0.007	0.001	52.14	18.67	3.09	0.31	0.01	0.54	0.95	5.02	0.004	Bal.

2-3 使用機械

三菱電機（株）製 DWC90H形

2-4 実験条件

①前加工

供試材を下記の条件で研削して、切断実験に供した。

イ) 研削機：日興機械（株）製平面研削盤

ロ) 形式：NSG-520H-D

ハ) 周速度：2000m/min

ニ) 切込み：荒研削10 μ m、仕上げ研削2.5 μ m

ホ) 砥石：アサヒ印研削砥石

DA46JM7VT1A

寸法 205 \times 16 \times 32mm

②研削面のアラサ

$R_s = 0.155 \mu\text{m}$ 、 $R_{\text{max}} = 1.001 \mu\text{m}$

③加工実験及び切断部の検討

イ) 安定して、切断可能な条件を見出した。

(3-1 参照)

ロ) ワイヤカット切断面からの硬度変化を調べた。(助走面、本走面)

ハ) ワイヤカット切断面のEPMA分析(Cu、Zn、Nb)及びSEMでの観察を行った。

ニ) ワイヤカット切断面のアラサ測定を助走面と本走面とで行った。

3. 実験結果及び考察

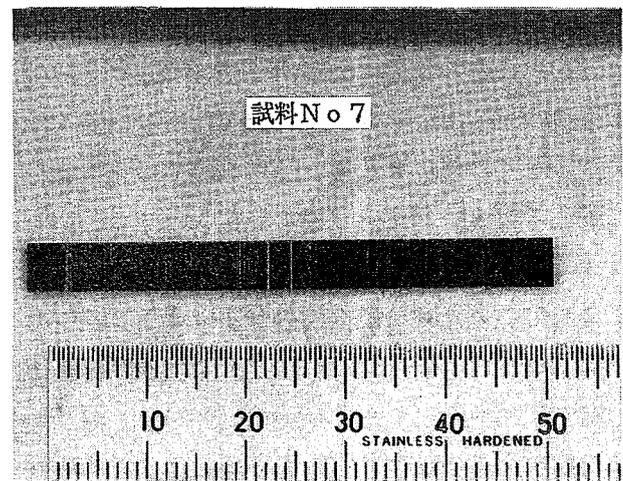
3-1 各条件での加工結果(表・2参照)

加工番号No.6、7、10、13で加工は可能であった。しかし、No7は不安定な加工状態であった。No.6の加工速度は6.90~5.92mm/minで一番速く、No.13と比べると安定回路B、ワイヤ速度、ワイヤ張力の設定値が異なっている。

加工速度に影響を与える主要因としては、安定回路Bが考えられる。従って、No.6の安定回路Bの設定値(ノッチ)がNo.13に比べて3段階小さいため、加工速度が速くなっているものと考え事ができる。

3-2 放電ワイヤカット面のマクロ写真

試料No.7と試料No.13を示す。



切断面の至る所縦方向に白く光っている箇所が窺え、ワイヤの進行にムラがあった事が分かる。

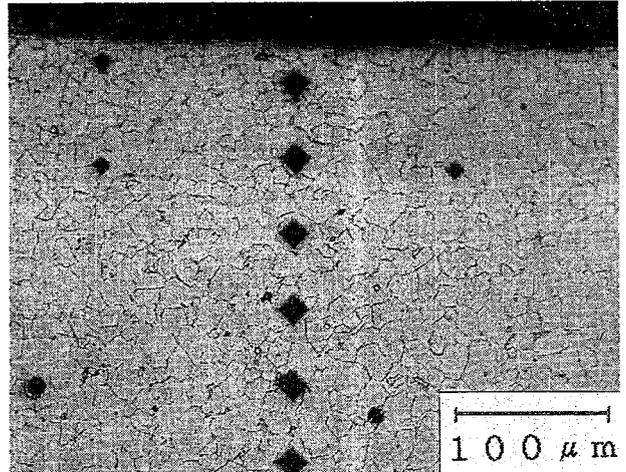
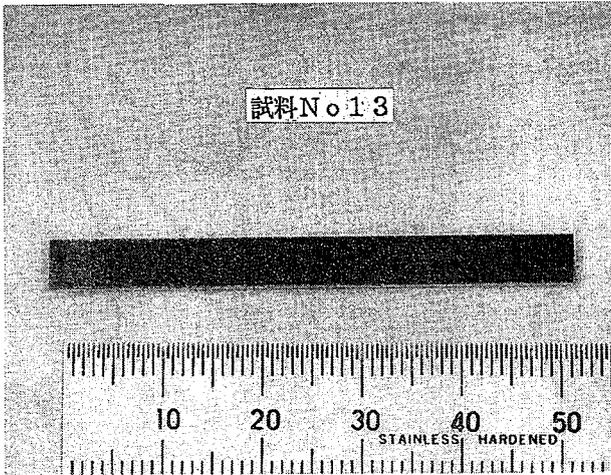
インコネル718の
ワイヤカット放電加工機による加工試験条件表

ワイヤ電極	工作物	板厚(mm)	加工液流量(l/min)			
黄銅系 $\phi 0.2$	インコネル718	5	上	3~4	下	4~6

〈表・2〉

加工区分 加工番号	標準加工							テーパ加工			段差加工			助走加工
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		14
E パック No.	100		101				102		103			104		105
電圧切替 V_0 (ノッチ)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
加工セッティング I_p (ノッチ)	7	7	6	6	5	5	4	8	6	5	7	6	5	5
休止時間 OFF(ノッチ)	10	11	10	11	10	11	10	11	10	11	10	10	11	14
安定回路 A SA(ノッチ)	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	2	2
安定回路 B SB(ノッチ)	12	10	12	10	12	11	10	16	15	16	16	15	14	16
ワイヤ速度 WS(ノッチ)	12	12	12	11	10	10	10	11	10	9	12	10	8	8
ワイヤ張力 WT(ノッチ)	7	7	8	8	8	8	8	8	7	6	9	8	7	7
プリテンション PT(ノッチ)	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
加工液流量 LQ(ノッチ)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
加工液比抵抗 LR(ノッチ)	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
平均加工電圧 VG(V)	40	44	40	44	40	44	40	51	49	45	51	49	45	50
安定回路 C SC(ノッチ)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ファインサーフェイス FS(ノッチ)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
安定回路 D SD(ノッチ)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
設定加工速度 FA(mm/min)	17.0	.....	14.0	.....	12.0	.....	5.5	.....	11.0	.....	.....	11.0	.....	1.0
実加工速度 FC(mm/min)	17.4~ 14.5	.....	14.4~ 11.6	.....	11.5~ 8.6	6.90~ 5.92	6.39~ 4.51	.....	11.4~ 10.2	5.78~ 5.58	.....	11.4~ 10.2	6.10~ 5.89	1.0~ 0.7
オフセット量 (μm)	129~ 134	.....	128~ 132	.....	127~ 132	.....	125~ 130	.....	131~ 136	.....	.....	131~ 136	.....	.....
加工面粗さ (μmR_{max})	19~ 17	.....	17~ 15	.....	15~ 13	.....	13~ 11	.....	17~ 15	.....	.....	17~ 15	.....	.....
加工の可・不可	×	×	×	×	×	◎	△	×	×	◎	×	×	◎	○
加工時の状況	.....	.....	.....	.....	.....	安定	不安定	.....	.....	安定	.....	.....	安定	安定

(注) 加工分類の1, 3, 5, 7, 9, 12, 14の各加工条件は、三菱電機㈱にて、基準値として設定されているもの。



組織写真

均一な面を呈しており、安定した切断であった事が分かる。

倍率：200倍

組織：オーステナイトの結晶粒がよく現われている。粒状の析出炭化物も窺える。

3-3 切断部の硬度測定と組織写真

切断試料の研削面をエメリーペーパーやバフにより研磨して、ビッカース硬度計にて、切断面から母材内部に向けて硬さを測定した後、組織写真を撮影した。

腐食液：蒸留水 25ml

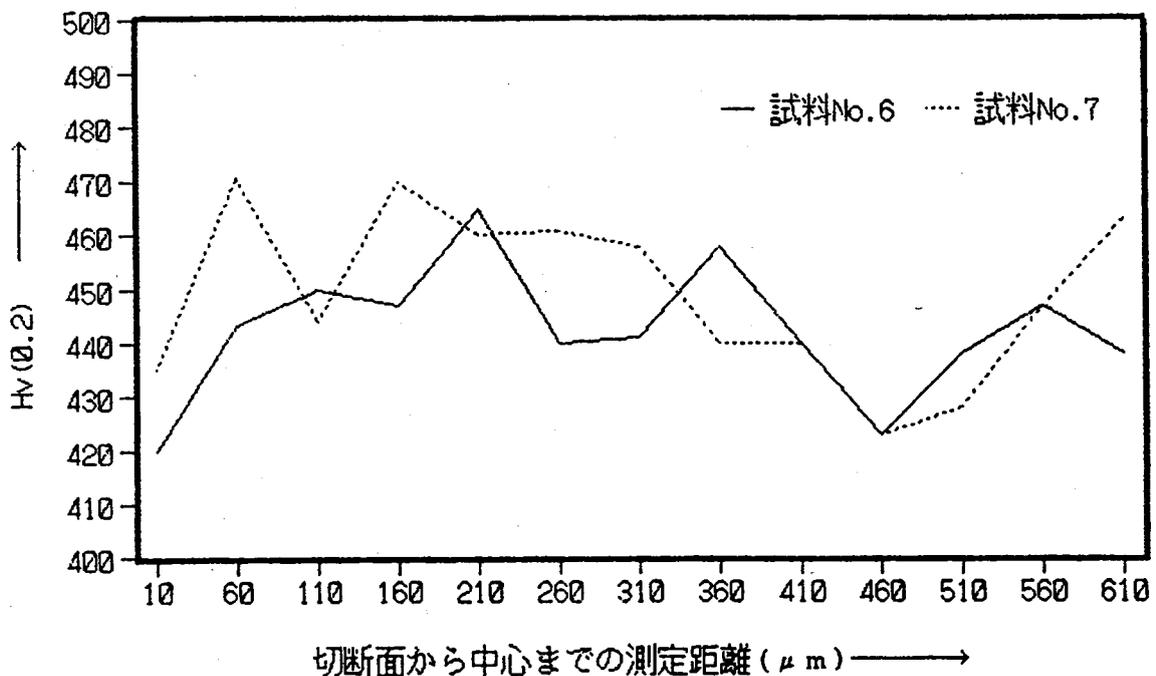
硝酸 (1.40) 10ml

塩酸 (1.19) 10ml

過酸化水素水 (30%) 5ml

腐食時間：2分

〈表・3〉硬さ測定結果



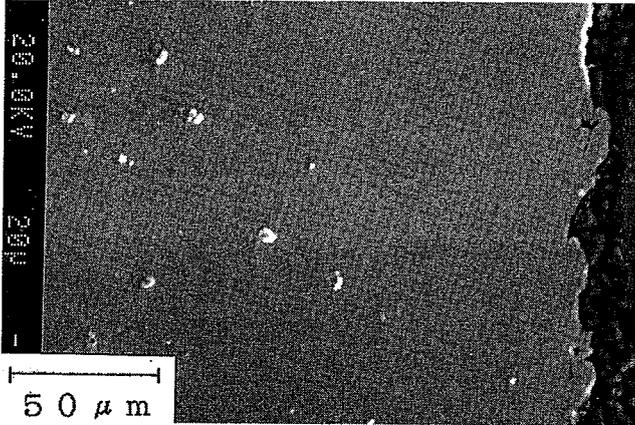
3-4 ワイヤカット切断面のEPMA分析

分析試料 : No.6

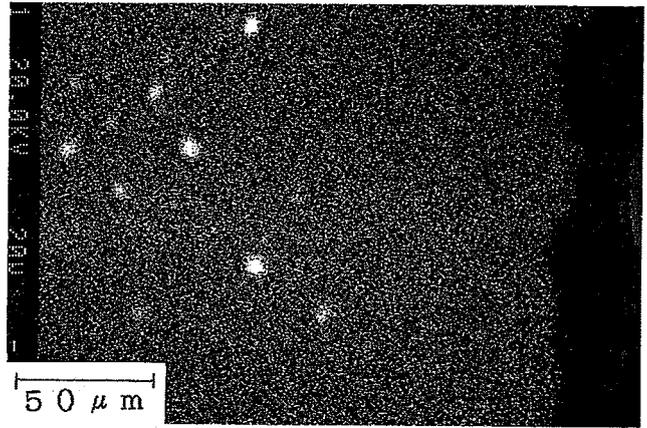
測定位置 : 中央部

測定機器 : 島津EPMA - 8705QH

分析元素 : Cu、Zn、Nb



20KV - 0.2mA × 400



Nb - L α 20KV - 100mA × 400

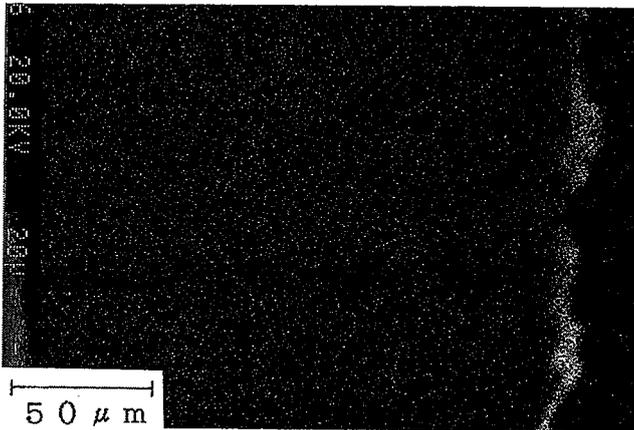
黄銅ワイヤの母材への影響を見るためCu、Znの分析を行ったがCu、Zn両元素とも切断面への拡散侵入を窺い知る事ができた。しかし、いずれも切断面より、10 μ m以内に存在が確認されただけであり、仕上げ加工時の研摩加工にて、十分除去される範囲内にあり、問題にはならないものと考えられる。また、試料の研摩面に粒状の白く光る個所が窺え、調べた結果、Nbと他の元素の化合物である事が分かった。

3-5 ワイヤカット切断面のSEM像

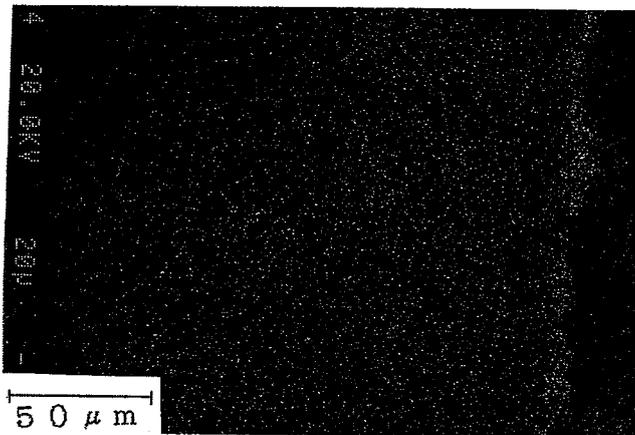
撮影試料 : 加工番号No.6

観察位置 : 助走部、本走部

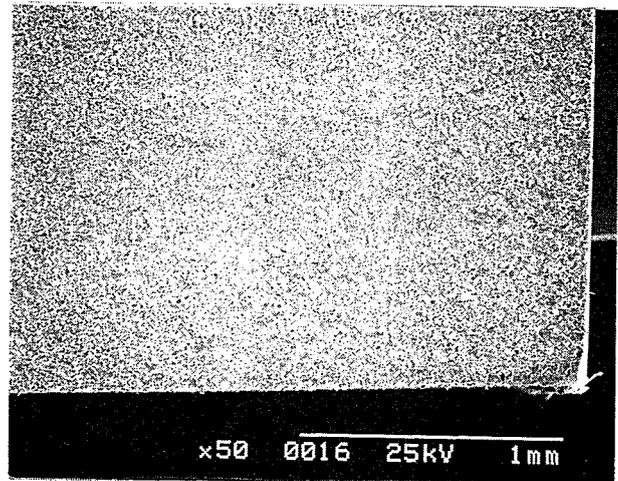
測定機器 : (株) 日立製作所 S - 2400形



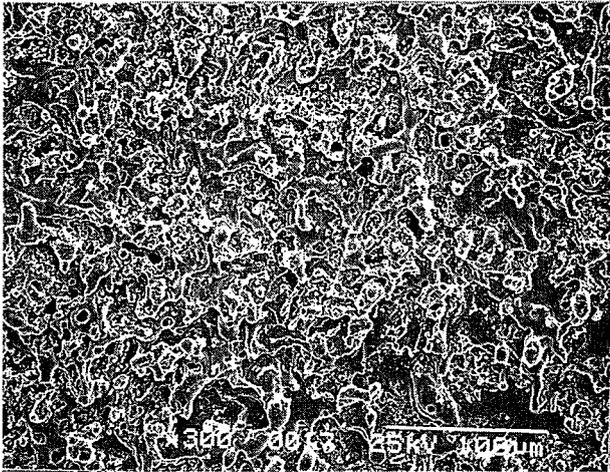
Cu - K α 20KV - 100mA × 400



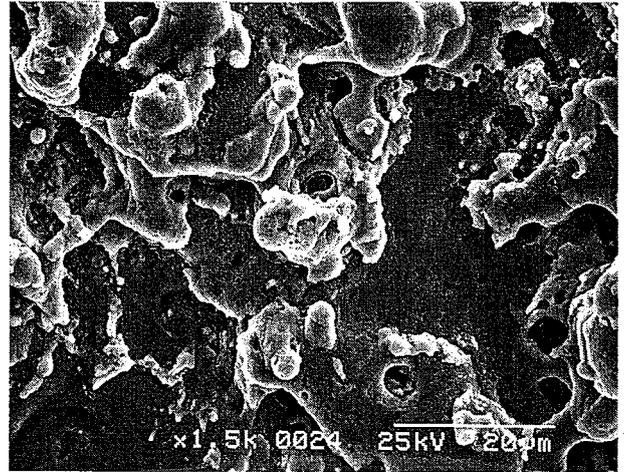
Zn - K α 20KV - 100mA × 400



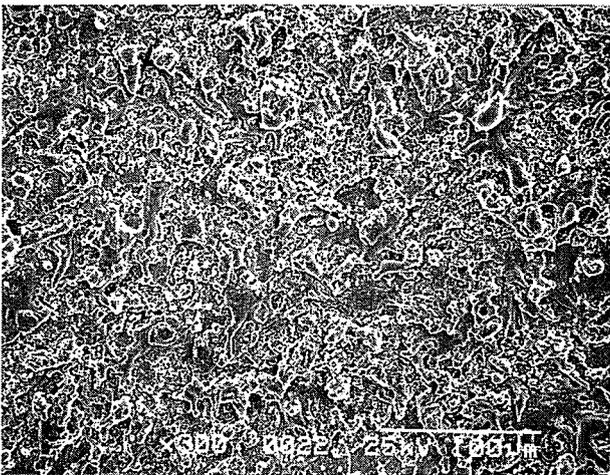
切断開始部 (×50)



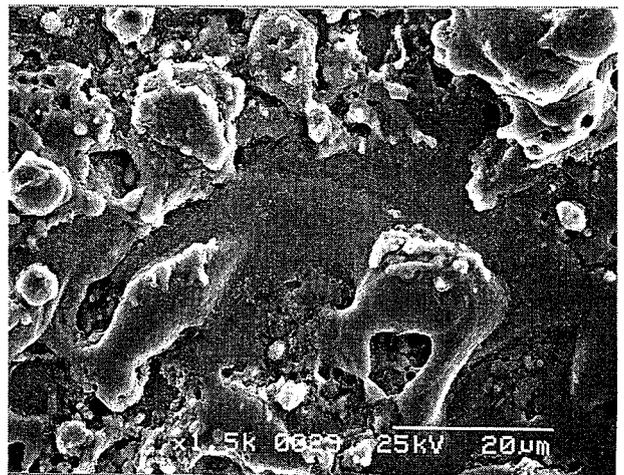
助走部 (×300)



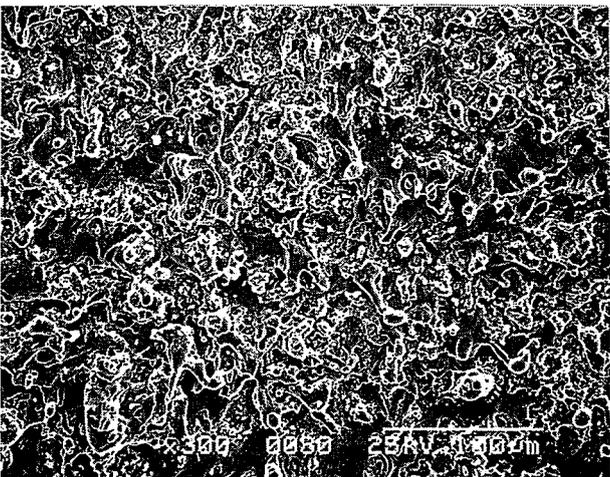
助走部 (×1500)



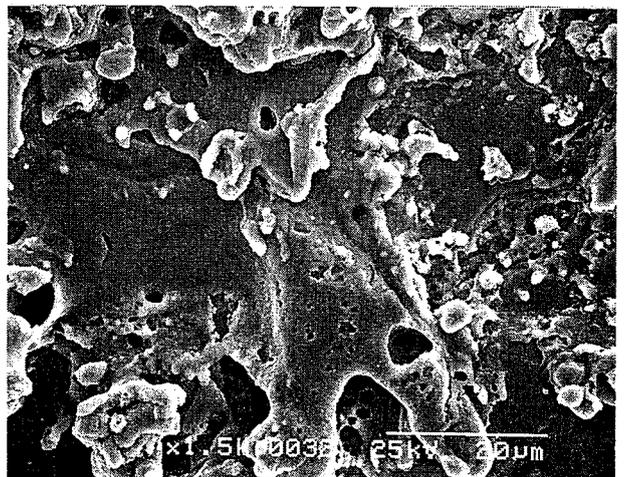
本走部 (×300)



本走部 (×1500)



切断終了端より3mm (×300)



切断終了端より3mm (×1500)

撮影試料：加工番号 No.7

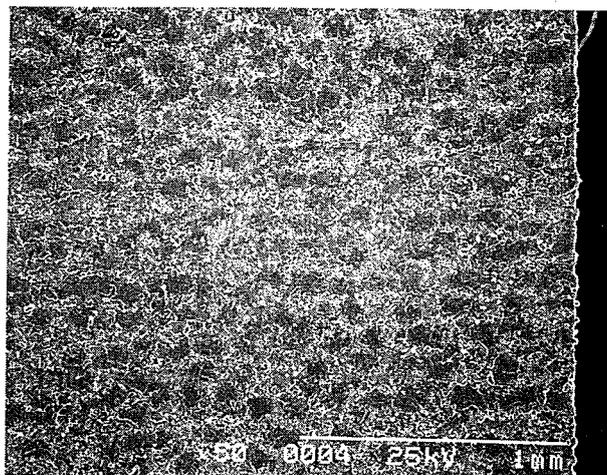
観察位置：助走部、本走部

助走部と本走部の境界近傍

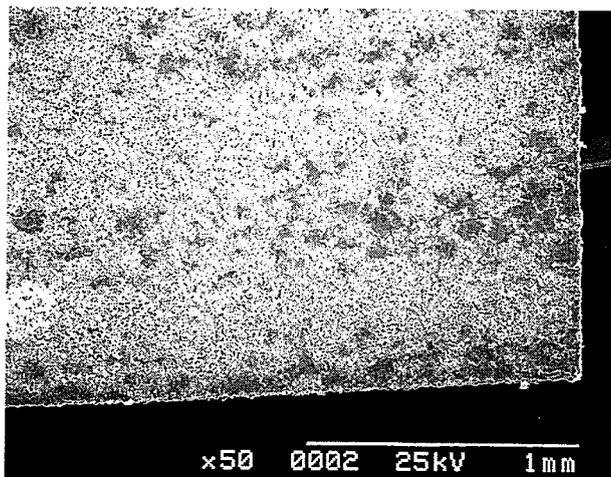
(特に、助走部と本走部の境界近傍には切断ムラが窺えたので、観察を行った。)

測定機器：(株)日立製作所 S-2400形

走査形電子顕微鏡



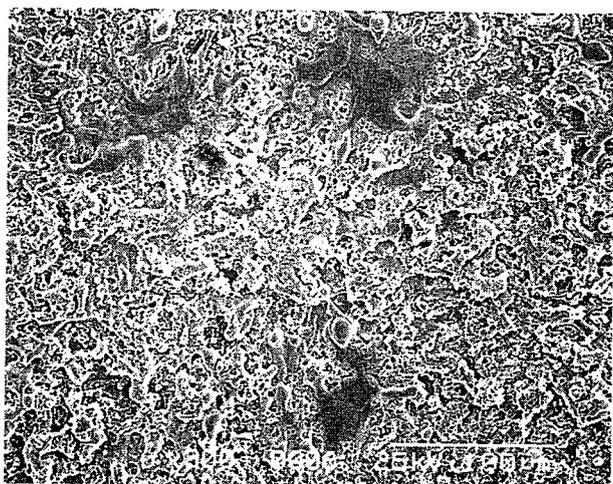
助走部 (×50)



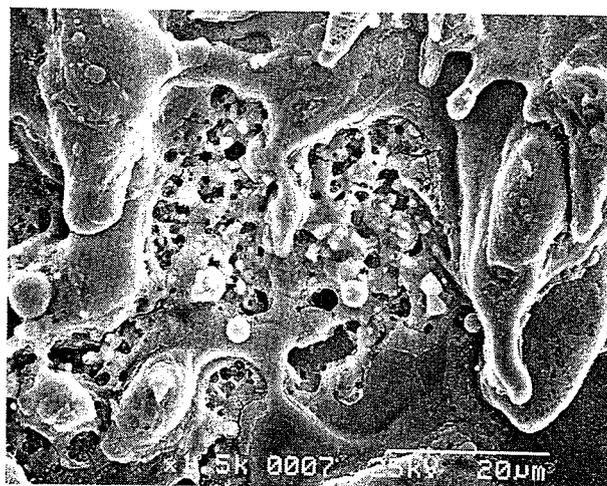
切断開始部 (×50)



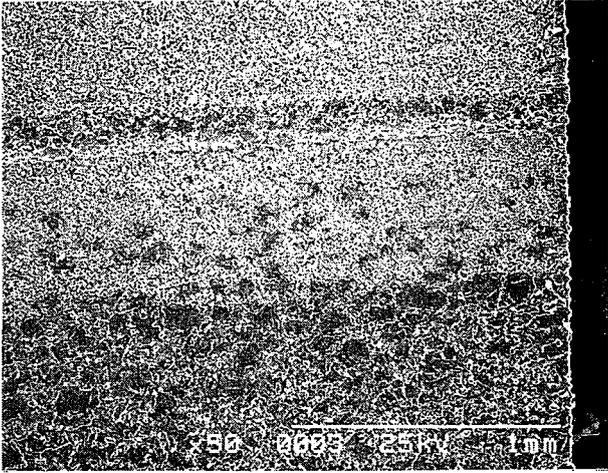
助走部 (×300)



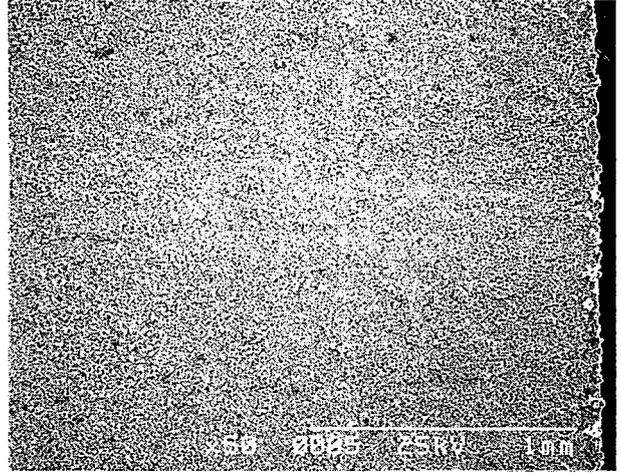
切断開始部 (×300)



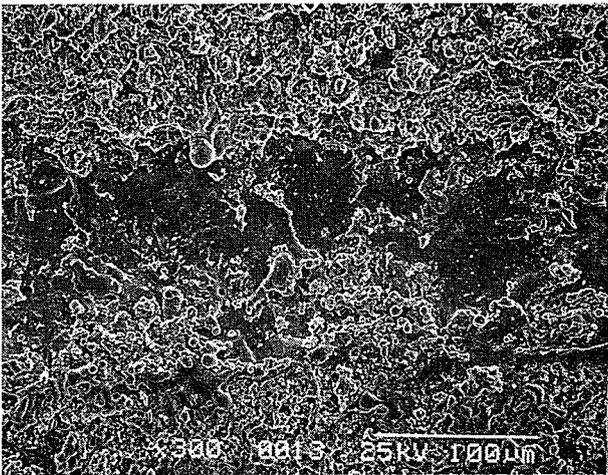
助走部 (×1500)



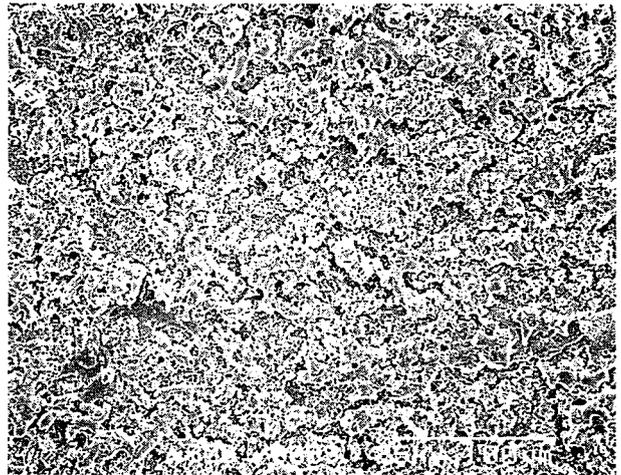
助走部と本走部の境界近傍 (× 50)



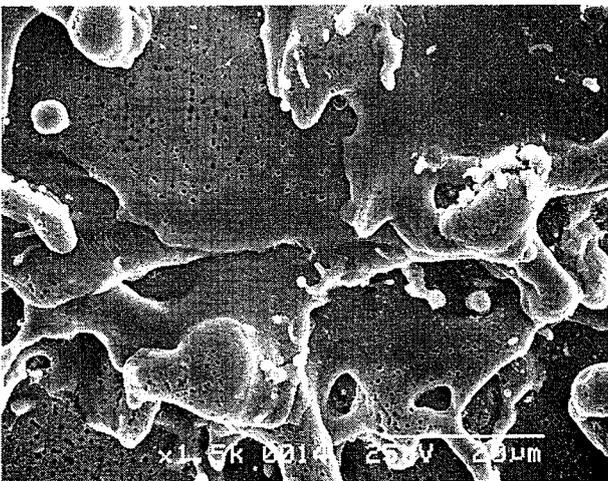
本走部 (× 50)



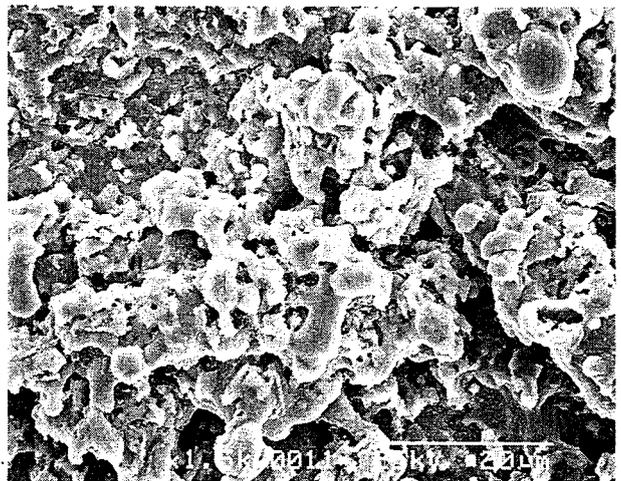
助走部と本走部の境界近傍 (× 300)



本走部 (× 300)



助走部と本走部の境界近傍 (× 1500)



本走部 (× 1500)

3-6 ワイヤカット切断面のアラサ測定

表2の実験で切断可能であった加工番号No.6、7、10、13番について、ワイヤカット切断面の最大アラサと中心平均アラサを測定した。

①測定条件

- イ) 使用機器：(株)小坂研究所
SEF-30D-R
- ロ) 測定端子径：2 μ m
- ハ) ドライブ速度：0.1mm/sec

②計測波形データの一例を示す。

但し、加工番号No.6のデータである。

F Profileはアラサ曲線

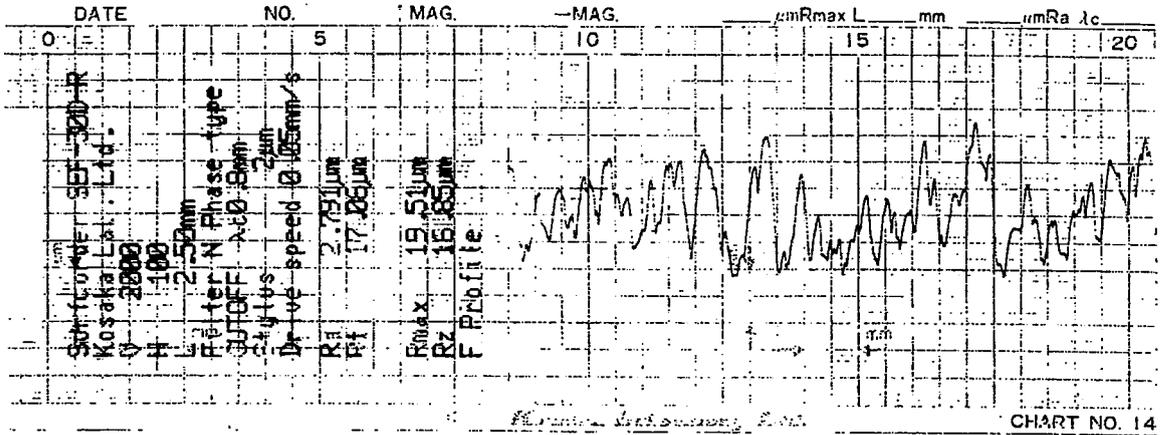
P Profileは断面曲線である。

③測定結果

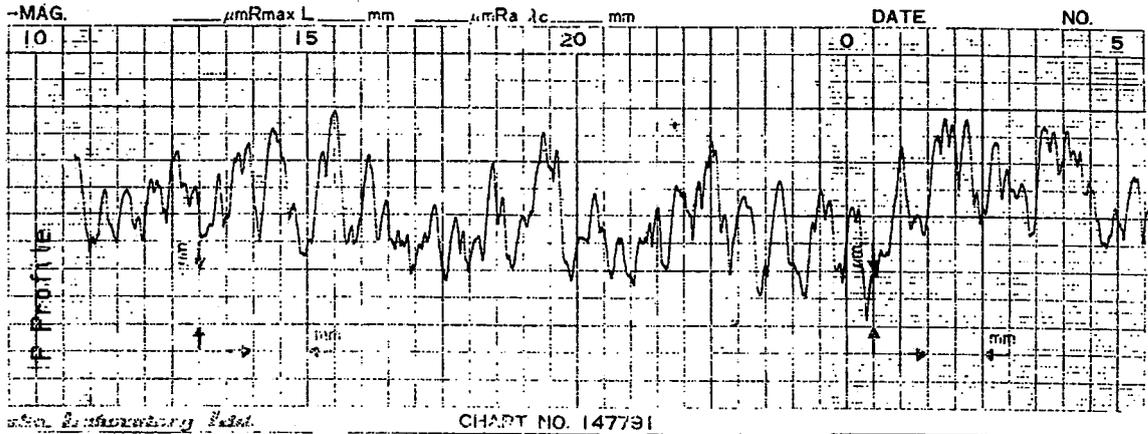
〈表・4〉

加工番号	中心線平均アラサ(Ra) μ m	最大アラサ(Rmax) μ m	備考
6	2.549	22.21	本走部
7	2.925	25.88	〃
10	2.706	24.66	〃
13	2.805	20.47	〃
6	2.791	19.51	助走部
7	2.011	19.26	〃
10	3.070	25.96	〃
13	2.998	20.76	〃

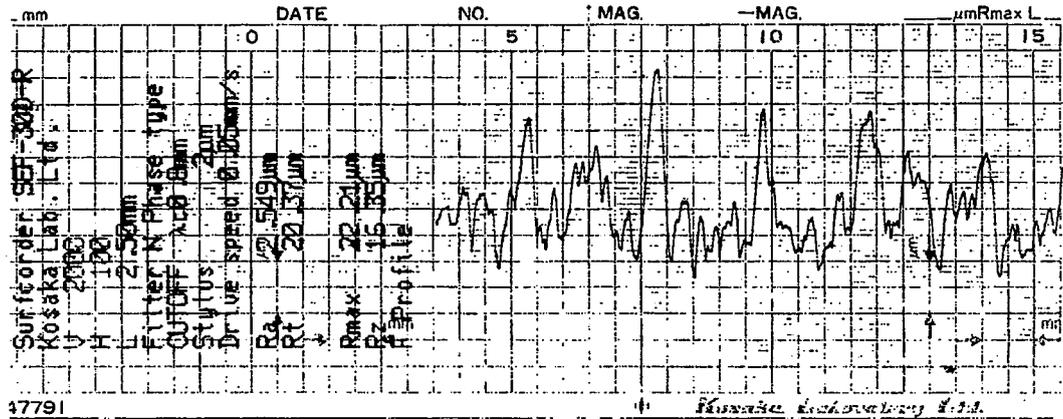
No.6の助走部



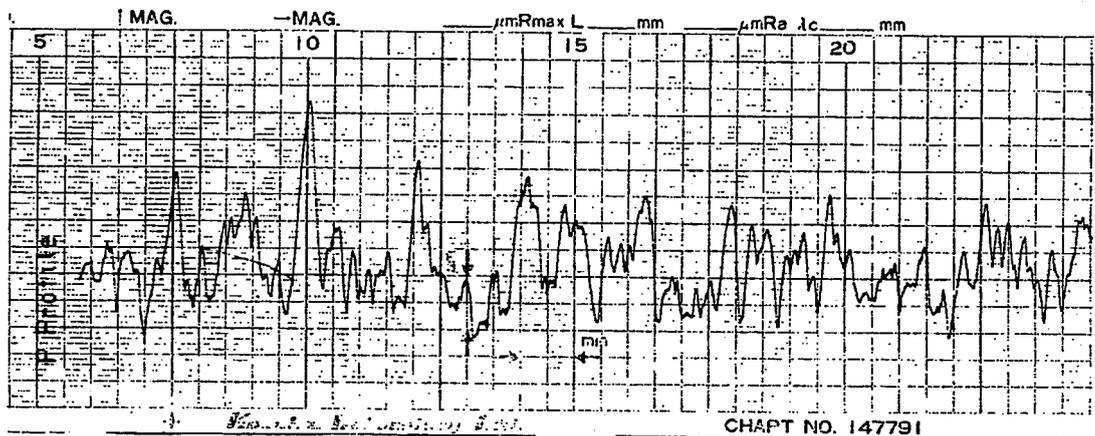
No.6の助走部



No.6の本走部



No.6の本走部



4. まとめ

助走加工条件以外の条件設定でも、十分切断が可能であった。実験したものの中で、最速加工速度は実測値で6.90~5.92mm/minで、その切断面のアラサは表面アラサ表示で、25S程度であった。また、切断できた試験片の切断面は、25S~35Sのアラサ範囲内だった。

切断面への銅と亜鉛の影響はEPMA分析の結果、マトリックスへの拡散侵入は窺い知る事ができたが、いずれも10μm以下であり、硬度面から見ても(表・3参照)影響は無視、否むしろ無いものと判断できよう。

SEM写真によっては切断ムラのある個所(焼けタダれた感じ)と助走加工部、本走加工部との明瞭な違いを確認する事ができた。

いずれにしても、本実験により、難削材料の代

表であるインコネル718が、切断加工が可能である事が分かっただけでも、意義は大きいものと言える。

5. 謝 辞

この実験は中国・四国・九州の機械技術担当者による共同加工試験により行ったもので、供試材の提供、インコネル718に関する文献の提供等、ご支援を賜りました、中国工業技術試験所の 大谷敏明殿、藤瀬健領殿に深尽なる謝意を表します。

参考文献

- [1] 名古屋工業技術試験所:「CBN工具によるインコネル718の切削」第40巻、(1991)
- [2] 狩野勝吉:難削材の切削加工技術、工業調査会

画像処理の高機能化による検査工程自動化の研究 (第2報)

尾崎 清

Study on Automatization of Inspection Process Using Image Processing Method

Kiyoshi OZAKI

刻印文字の検査を画像処理を用いて行うための手法としてニューラルネットワークをとりあげ0から9までの文字の認識が可能な文字認識ニューラルネットワークの構築を行い、キズや傾きにもある程度、対応可能なことを示した。また、刻印文字の画像抽出にリングファイバー照明が有効なことを確認した。

1. はじめに

近年、中小企業の生産工程にも、マイクロコンピュータや、エレクトロニクス技術が普及し、部品製造や組立ラインの自動化には目覚ましいものがある。又、単純な製造作業だけでなく、種々の高度な組立作業もコンピュータ制御による組立機械などによって代替されるようになってきた。それに比べ、検査等の視覚的な作業工程は、まだまだ人手によって行われているのが現状である。その理由は、検査項目や検査対照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ことなどである。そのため、これらの目視検査作業を代替可能な画像処理技術のニーズが高まっている。

本研究では、検査対象物として文字をとりあげた。文字には、印刷文字、インクジェット文字、刻印文字等、様々な種類があるが印刷文字については画像として捉える際の変動が少なく、再現性が得やすいため特徴量抽出法による認識も可能である。¹⁾ 一方、刻印文字は、印刷文字に比べ汚れや経年変化に強いことから、自動車生産工程における指示文字として広く用いられている。しかし、母材の性質、表面状態の影響を受けやすいため文字品質が安定しておらず得られた画像も印刷文字のように鮮明な画像にはならない。又、表面が曲面の場合は刻印圧にムラができるため文字の形状が変動するなどの問題がある。そこで、ここではニューラルネットワークを用いた文字の認識方法について検討を行い、良好でない文字画像に対しても有効であることを示した。その概要を以下に述べる。

2. 装 置

本研究は、今年度導入したAI開発システム及び、前年度導入した画像処理装置を用いて行った。これらの用途は次のとおりである。

①AI開発システム（東芝AS4075システム）

・刻印文字認識のためのニューラルネットワークの構築及び検証

②画像処理システム（nexus7106システム）

・刻印文字の画像入力、画像変換、ニューラルネットワークとのインターフェース

AI開発システムの概観を図1に示す。



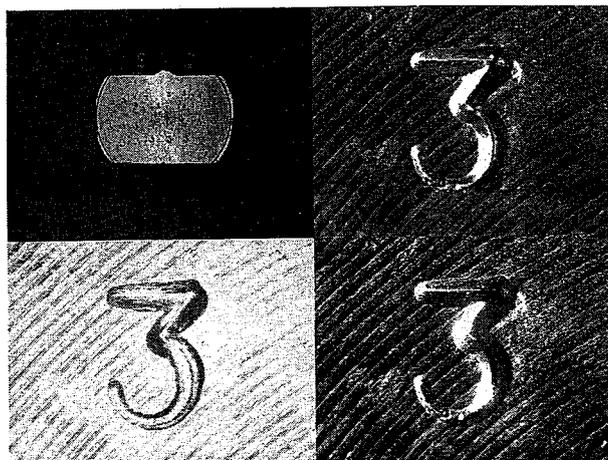
図1 AI開発システム

3. 実 験

3-1 照明方法の検討

刻印文字は、金属材料に打ってあるため光を散乱しやすい、又、文字そのものも立体的であるため照明方法を変えると得られる画像も変わるといったことが起こる。又、照明方法を固定しておいても刻印の立体的な形状が再現性に乏しいため文字画像は変動しやすい。そこで、今回は白熱灯、アームファイバー照明、リングファイバー照明の3種類を試した。その結果、リングファイバー照明のとき最も良好な画像が得られた。リングファイバー照明は360度全周から均一な光が照射されるので他の照明方法に比べ照明を置く位置による画像への影響が少なく、対象物との位置調整が簡単なため現場にも適用しやすいと思われる。

刻印文字のサンプル及び、3種類の照明を用いたときのそれぞれの文字画像を図2に示す。



左上：刻印文字サンプル

右上：白熱灯照明

左下：リングファイバー照明

右下：アームファイバー照明

図2 刻印文字サンプル及び文字画像

3-2 ニューラルネットワーク

印刷文字に適用した特徴量抽出法では文字の面積や周長を計測するために2値化する必要がある。しかし、刻印文字の場合、文字の再現性が得にくいのでこのような手法は適用できない。図3に刻印文字の生画像とその2値化画像を示したが同じ文字でも2値化画像があきらかに異なっていることがわかる。そこでここでは、新しい手法として人間のように学習することが出来るといわれているニューラルネットワークをとりあげた。

ニューラルネットワークとは、人間の脳神経系をモデルにした自己学習機能を持ったネットワークであり、種々のモデルが提案されている。ここでは、なかでも比較的単純で安定しているといわれるフィードフォワード形ニューラルネットワークをとりあげ、伝達関数はシグモイド関数、学習ルールは結合重みの変化量が理想出力と実際出力の差に依存して決まるデルタルールを用いた。

ニューラルネットワークの基本要因であるプロセッシングエレメント (PE) を図4、フィードフォワード形ニューラルネットワークの概要を図5、シグモイド関数を (1) 式、デルタルールの概要を (2) 式に示す。

$$\text{シグモイド関数 } f(X) = (1 + e^{-X})^{-1} \quad (1)$$

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \Delta w_i(t) \quad (2)$$

$$\Delta w_i(t) = C1 \cdot e_i(t) \cdot x_i(t) + C2 \cdot \Delta w_i(t-1)$$

- x_i : i 番目の PE からの出力
- w_i : i 番目入力の結合重み
- Δw_i : 結合重みの修正量
- e_i : 理想出力と実際出力との誤差
- $C1, C2$: 学習係数
- t : 学習回数

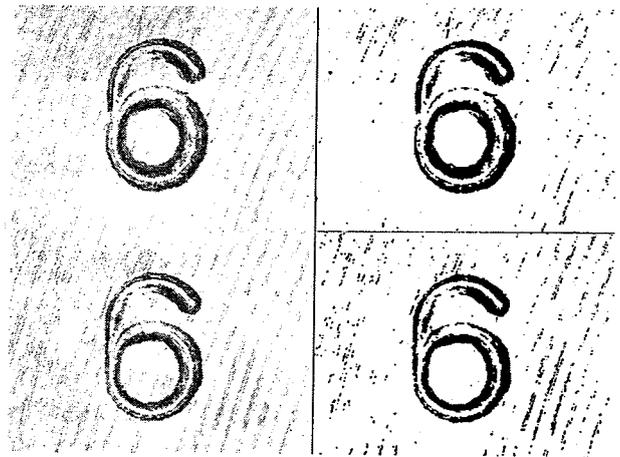


図3 刻印文字の生画像と2値画像

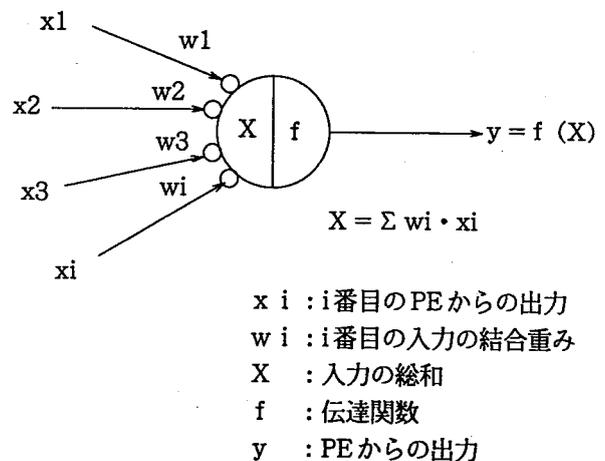


図4 プロセッシングエレメント

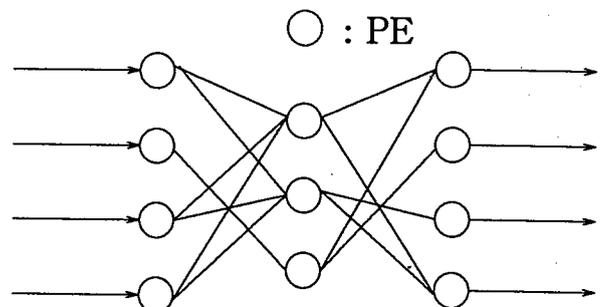


図5 フィードフォワード形ニューラルネットワーク

3-3 文字画像の変換

カメラから得られた文字の生画像は640×480画素の領域をもつ濃淡画像である。これらを、そのままニューラルネットワークへ入力しようとすると巨大なネットワークとなるため学習にも認識にも時間がかかり実用的でない。そこで今回は生画像を12×16画素に変換して入力を行った。変換方法は生画像の文字部分を12×16の領域に分割しそれぞれの領域の平均濃度値をその領域の濃度値とする方法とした。ニューラルネットワークへ入力する際はさらに、その濃度値を0から1の範囲におさめるために濃淡階調である255で除した値を用いた。又、領域分割では、10×10分割も試みた。生画像を図6、変換後の画像を図7、図8に示す。

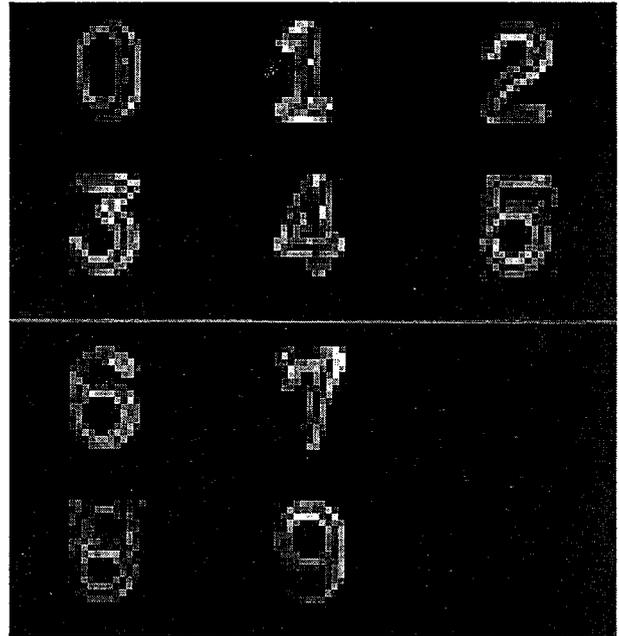


図7 変換画像 (12×16)

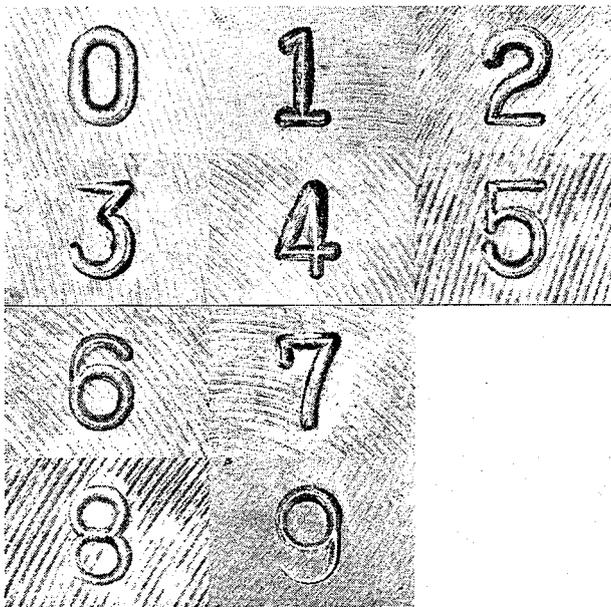


図6 刻印文字の生画像

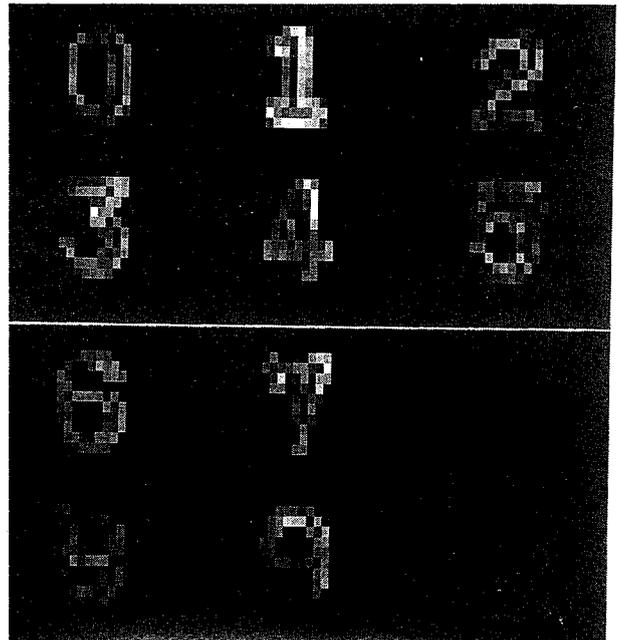


図8 変換画像 (10×10)

3-4 文字認識ニューラルネットワーク

構築したニューラルネットワークは、3層フィードフォワード形でありPEの数は、入力層192、中間層20、出力層10とした。中間層のPE数の決め方は有効な方法がないため実験をもとに最適化を図った。中間層のPE数は少なくなると学習時に収束しにくく従って学習回数も多く必要になる。又、多くなると収束はしやすいが1回の学習時間が長くなり認識に寄与しないプロセッシングエレメントも出て来るため冗長なものになる。

文字認識ニューラルネットワークの概要を図9、中間層PE数と収束までの学習回数の関係を図10に示す。

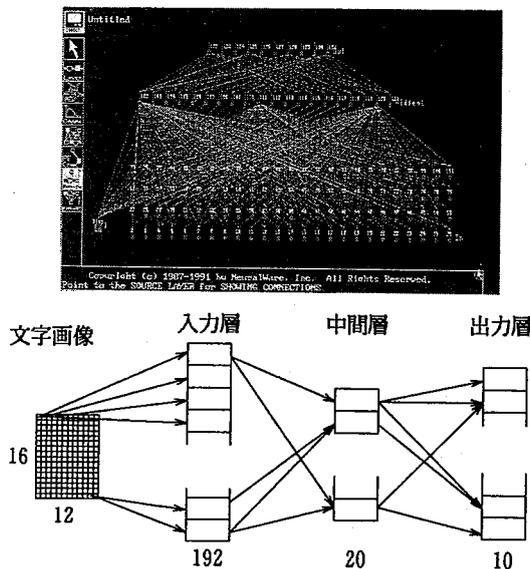


図9 文字認識ニューラルネットワーク

中間層PE数	収束までの学習回数
15	10916
20	8587
25	7506

図10 中間層PE数と収束までの学習回数

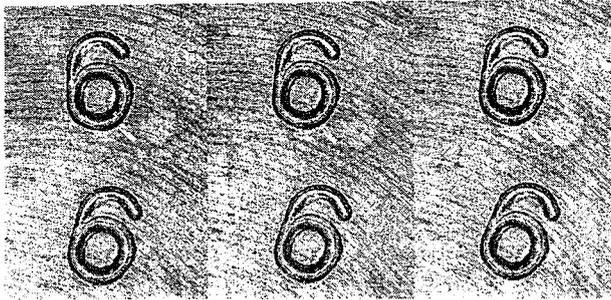
入力層と中間層、中間層と出力層の結合は各PE間を全て結合してある。学習は100個のサンプルを用いて教師あり学習を行い、理想出力と実際出力の誤差の2乗平均が設定値に到達するまで繰り返し行った。生画像を10×10分割したものでも同様の実験を行ったが、12×16分割に比べて収束しにくいため以降は全て12×16分割で行った。

学習により構築されたニューラルネットワークの認識能力を評価するために、別のサンプルを用いてテストを行った結果を図11に示す。

図11を見ると第1候補の出力値と第2候補の出力値に桁違いの差があることから、十分な認識能力があることがわかる。次に、文字が傾いた場合の認識能力をテストした。傾けた文字の例を図12、認識結果を図13に示す。又、文字にキズがある場合の認識能力をテストした時のキズ文字の例を図14、認識結果を図15に示す。

入力文字	第1候補 (出力値)	第2候補 (出力値)
0	0.8912	0.0615
1	0.9693	0.0254
2	0.9247	0.0458
3	0.9606	0.0282
4	0.9724	0.0290
5	0.9610	0.0294
6	0.956	0.0388
7	0.9528	0.0324
8	0.9255	0.0298
9	0.9517	0.0406

図11 認識結果



左上：傾き0度 中上：傾き5度 右上：傾き10度
左下：傾き15度 中下：傾き20度 右下：傾き25度

図12 傾けた文字6

入力文字	第1候補 (出力値)		第2候補 (出力値)	
0	6	0.9715	5	0.0417
5	6	0.8969	0	0.0470
10	6	0.7958	5	0.0756
15	6	0.6972	4	0.0616
20	6	0.3198	4	0.2848
25	6	0.2450	5	0.1280

図13 認識結果



図14 キズ文字

第1候補 (出力値)	
6	0.9697
第2候補 (出力値)	
0	0.0251

図15 認識結果

文字の傾きに対する許容範囲は15度程度まであり、テンプレートマッチング等の手法に比べ柔軟性があることがわかる。又、キズが入った文字に対しても高い認識能力を示しているが、このこと

は図6のように切削痕が残っている母材への刻印文字を認識可能であったことから考えれば不自然ではない。さらに、学習後のニューラルネットワークの出力値は各文字の標準パターンと入力された文字の距離の評価関数と考えれば、距離最小となった文字を認識結果とするとともに、評価関数の値を文字品質の評価値とすることができる。このことは、ニューラルネットワークが文字の区別だけでなく、品質評価に使える可能性を示している。

4. おわりに

本研究では、母材等の状態により形状そのものが変動しやすく、立体的であることから照明の影響も受けやすいため鮮明で再現性の高い画像が得られにくい刻印文字を認識する手法としてニューラルネットワークをとりあげ、刻印文字認識ニューラルネットワークの構築及び、認識能力の評価を行った。

その結果、ある程度の文字の傾きやキズ、或いは母材の表面状態の変化にも柔軟に対応可能ことが実証された。このことは、避けられない画像上のノイズや照明の変化にも強いということであり、実際の工場に適用する場合に非常に有効である。又、特徴量抽出法などと大きく異なるのは、濃淡画像をそのまま2値化せずに使えるため画像処理プロセスが簡単で、適用範囲もひろいことや、画像にバラツキがあってもそれらを学習させれば対応可能となるなど柔軟性に富むところである。今回は、文字の中でも数字だけを対象とした。これにアルファベット等が加わり文字の種類が増えた場合の認識能力が問題であるが、これは文字の分割を12×16から適当な数に増やす等により解決可能と思われる。

その他、刻印文字の抽出にリングファイバー照明が有効なことを示した。今後は、実用化のための周辺技術を整備してゆく予定である。ニューラルネットワークをはじめとするAI関連技術は従来

技術にない可能性を秘めているため、今後もいろいろな活用が可能と思われる。

なお、本研究は平成3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、本研究を遂行して行くにあたり多大なるご指導、御助言を賜りました工業技術院中国工業技術試験所生産技術部、横川部長、システム工学研究室、岡田室長、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] 尾崎 清ほか：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）
広島市工業技術センター年報Vol.4,1991
- [1] 安西祐一郎：認識と学習、岩波書店、1989
- [3] 中野 馨ほか：ニューロコンピュータ、技術評論社、1998
- [4] 浅野一哉ほか：ニューラルネットワークを用いた連铸スラブマーキング文字認識装置、電気学会金属産業研究会資料、1990

画像処理の前処理手順導出のためのエキスパートシステムの研究

上杉 憲雄

Reserch on Expert System for Construction of Preprocessing in Image Processing

Norio Uesugi

エキスパートシステムとは、ある問題領域の専門家がもっている事実と規則という知識を計算機内に実現し、専門家と同程度の問題解決能力をもったシステムである。本研究では、画像処理の前処理部における手順導出を行うエキスパートシステムの構築を試みた。

1. 緒言

一般に画像処理を行う場合、画像から目的の対象物を取り出すための前処理を行う必要がある。たとえば、文字認識においては入力画像の雑音除去、文字のカスレ等の回復等のため平滑化、膨張、縮小、鮮明化等の各処理を前処理として行わねばならないが、それらの各処置を最適な手法で行い、かつ最適な手順に組み合わせる必要がある。しかし、この前処理は画像処理において最も経験が必要とされるところであり、画像処理の専門知識が不可欠である。

そこで、会話形式で前処理手順導出を可能とするエキスパートシステムの構築を試みた。

2. 動作フロー

システム開発にあたっては、エキスパートシステム構築用ルーツ (ART - IM / UNIX VERSION2.5 Inference社) を使用し、ルールの記述はプロダクションルール (IF .. THEN形式) で行い、推論方式は前向き推論を適用した。

図1に今回構築したエキスパートシステムの動作フローを示す。図2から図4は図1のフローを実行した際の画面推移の一部である。

図2は、システムを起動した際に最初に表示され

る抽出領域指定画面であり、前処理において抽出すべき領域の指定をここで行う。

図3は、平滑化方法決定画面であり、平滑化を行う際の条件選択をここでを行い、選択された条件により平滑化方式が決定される。

図4は、しきい値処理方法決定画面であり、しきい値処理を行う際の条件選択をここでを行い、選択された条件によりしきい値処理方法が決定される。

そして図5は、最終推論画面であり、導出された前処理手順が表示される。

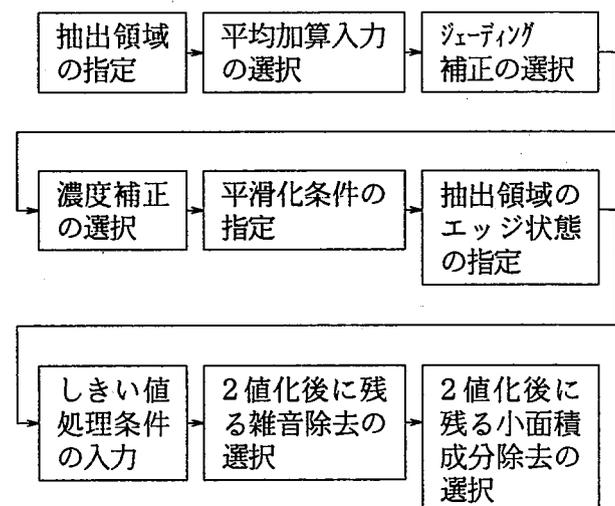


図1 前処理エキスパートシステムの動作フロー

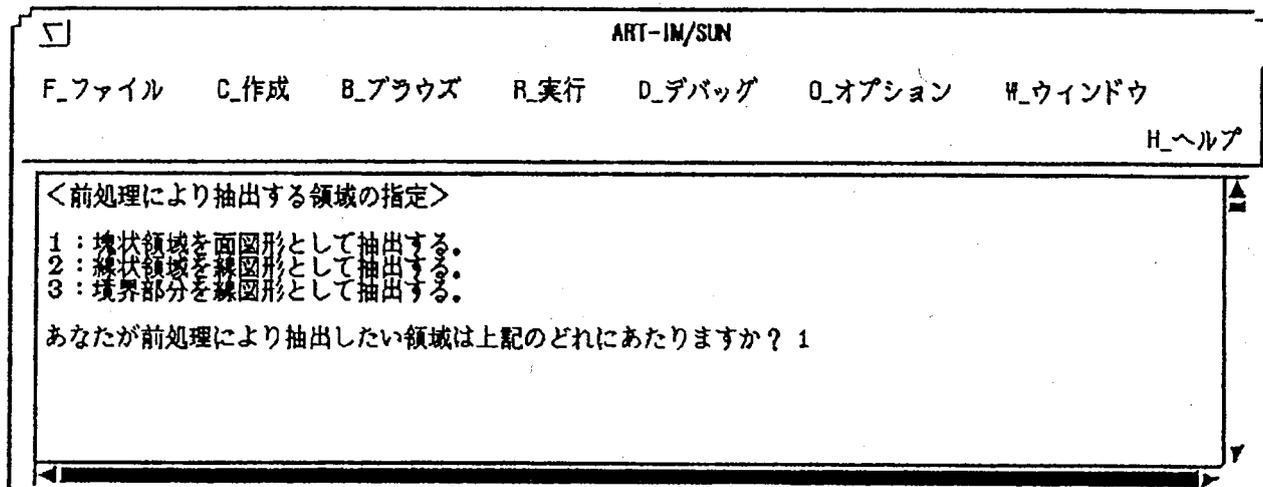


図2 抽出領域指定画面

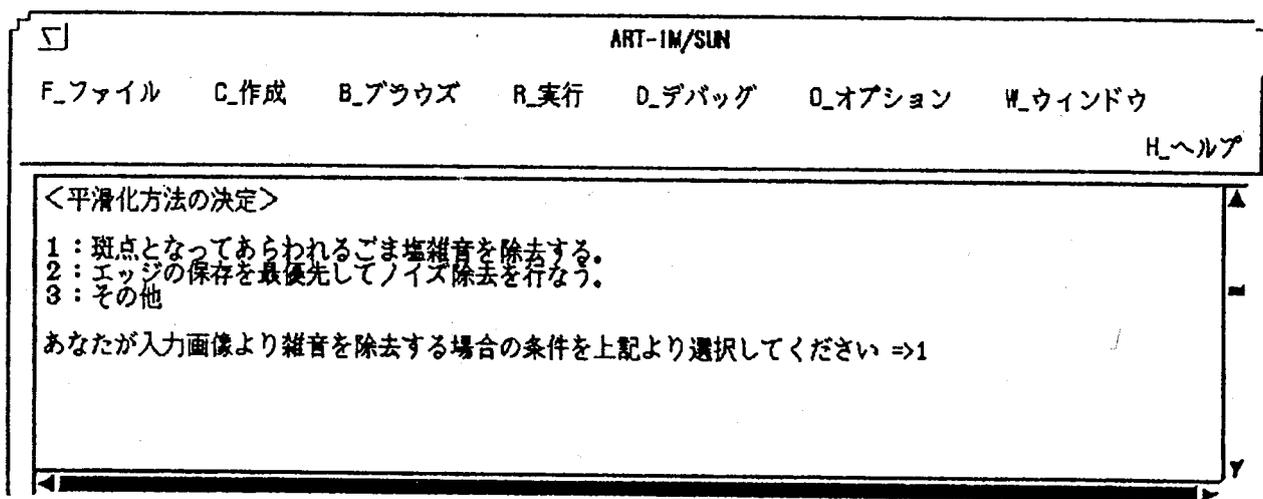


図3 平滑化方法決定画面

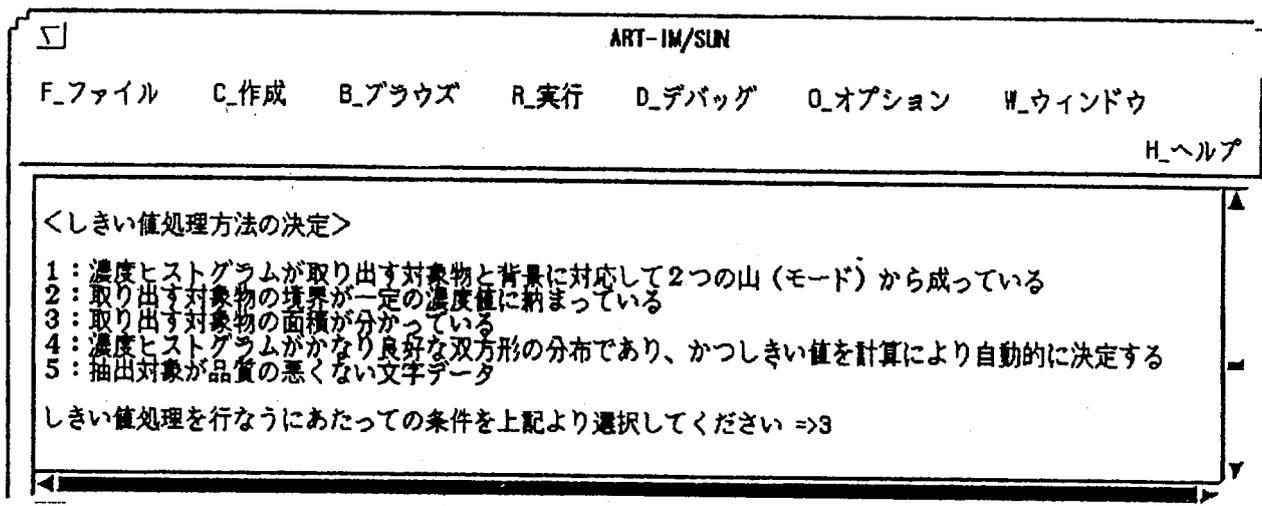


図4 しきい値処理方法決定画面

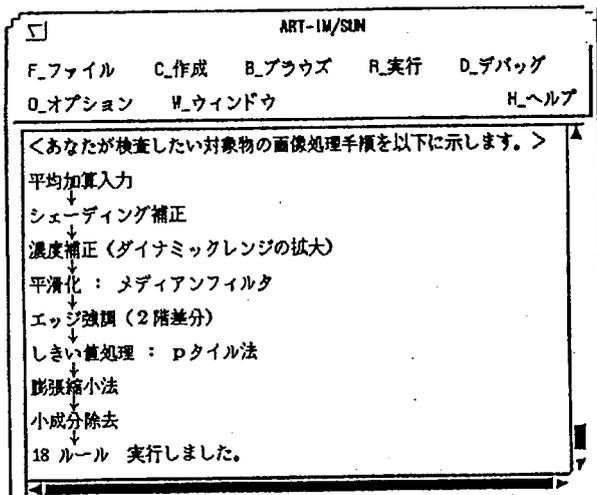


図5 導出された前処理手順例

3. 結 言

画像処理の前処理部分の手順導出を行うことを目的としたエキスパートシステムの構築を試みた。実用的なシステムを前提とした場合には、画像処理装置との結合及び各手順におけるパラメータの調整が必要である。今回構築したシステムでは、その2点が満足されていないため、今後システムの機能拡張を行うことにより解決する予定である。

4. 謝 辞

この研究は平成3年度中小企業庁技術開発研究補助事業（広域共同研究）の一環として実施したものである。この研究にあたり、多大なご支援を賜った関係官庁係官に対して厚くお礼申し上げます。

参考文献

- [1] 長谷川純一、他3名：“画像処理の基本技法” 技術評論社
- [2] 森俊二、他1名：“画像認識の基礎 [1]” オーム社

車両-乗員-高架路面系連成振動シミュレーションシステムに関する研究

西山 修二

RESEARCH ON SIMULATION SYSTEM OF VEHICLE-OCCUPANT-BRIDGE DYNAMIC INTERACTION
(INFLUENCES OF BRIDGE MISALIGNMENT & EIGENFREQUENCY ON SEAT RIDE COMFORT)

SHUJI NISHIYAMA

This paper is concerned with an analysis of the dynamic interaction between the vehicle occupant and bridge. Automobile seat ride comfort is a function of many physical variables that can generally be divided into two main categories : statics and dynamics. With the emerge of high-speed vehicles, dynamic loads on guideways have changed. A method for estimation of the time-dependant vehicle/occupant/bridge interaction forces and vibrations has been analyzed in this paper. A parametric study of responses is made.

The parameters varied are the guideway displacement, vehicle speed, bridge eigenfrequency. The influences of guideway and eigenfrequency on seat ride comfort are investigated. Result of the study indicated that guideway displacement and eigenfrequency influence vehicle/occupant/guideway dynamic interaction. System design guidelines are presented in the form of parametric plots, tables and recommended formulas. The random roughness of real highway surface has been also taken into account in the computer simulation.

Key words ; Simulation, Coupled Vibration, Human Engineering, Automobile, Seat ride comfort, Vehicle dynamics, guideway vibration

1. 緒言

自動車の快適性向上への要求は、近年飛躍的に高まってきている。長時間乗車しても疲労が少なく、安全かつ快適であるような機能的性能の高さが重要になってきている。

乗心地は人間の心理的、生理的反応であって感覚の個人差が大きく、支配される要因も多い。中でも車両の運動に基づく振動加速度及びその変化も乗心地を左右する要因であり、その他、騒音、温度、湿度、色彩、換気等も関係している。乗心地向上のために、これまでは車両-高架軌道系¹⁾、乗員-シート系の連成振動解析がされている。著者ら²⁾は車両-乗員-路面系の連成振動解析モデル

を構築し、車両走行時の乗員挙動を定量的に評価した。その結果、乗心地向上を図るための詳細な検討には、乗員まで含んだ系を考慮する必要があることを示した。車両走行に伴う高架路面の動的たわみ、地震時の橋梁の不同変位などは、直接乗心地を左右する要因である。

本研究は、車両-乗員-高架路面系を連成問題としてモデル化し、経年あるいは地震等により発生した高架路面系の狂いのパターンを考慮し、高架路面不同変位及び桁の固有振動数等が乗員挙動に及ぼす影響について検討する。さらに高架路面の常時の保守基準、盛土構造物に対する沈下等の規制値を検討する。

2. 理論解析

2-1 解析モデルと記号

車両の走行による車両-乗員-高架路面の動的相互作用に関する基本式を誘導する。誘導にあたっては高架路面の振動モードを仮定して級数展開する解析的手法であるモーダルアナリシス法を適用する。解析にあたって、以下の仮定を設ける。

(1) 動的解析を車両-乗員-高架路面ともに走行方向を含む鉛直平面内の運動のみに限定する。

(2) 高架路面の質量、剛性、減衰特性は長さ方向に一様に分布するものとする。

(3) 車両が高架路面に進入するまで ($t=0$) は高架路面は水平状態にあるものとする。

解析モデルを図1に示す。また、主な記号を以下に示す。

記号

車両系

V : 車両走行速度
 z : 車体重心変位
 z_f, z_r : ばね下質量の変位
 m : 車体質量
 m_f, m_r : ばね下質量
 I : ピッチング方向車体慣性モーメント
 θ : 車体ピッチング角
 k_{1f}, k_{1r} : 懸架装置のばね定数
 c_{1f}, c_{1r} : 懸架装置の粘性減衰係数
 f_f, f_r : サスペンション系フリクション
 k_{2f}, k_{2r} : タイヤのばね定数
 c_{2f}, c_{2r} : タイヤの粘性減衰係数
 c_{eq} : フリクション等価減衰係数
 l : 軸間距離
 l_f, l_r : 車体の重心水平位置

路面系

$z_o(t)$: 荷重載荷点の路面表面の上下変位
 $z_{oi}(t)$: タイヤ接地点の路面表面の凹凸
 w_f, w_r : タイヤ接地点の上下変位と凹凸の和
 d : 路面狂い量

l_s : スパン長さ
 ζ_n : 粘性減衰係数 (n次)
 $E I$: 曲げ剛性
 ρA : 単位長さ当たりの梁の質量
 C : 外部粘性減衰係数
 ω_n : 梁の固有円振動数 (n次)
 R_b : 質量比
 $z(x, t)$: 中央線からの梁の変位
 $\phi_n(t)$: n次振動モードの時間関数
 $Q_n(t)$: 荷重関数 (n次)
 乗員系
 m_1, m_2, m_3, m_4 : 頭部と頸部、胴体部、大腿部、下腿部の質量
 I_1, I_2, I_3, I_4 : 各部の慣性モーメント
 $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$: 各部の回転変位
 θ_o : シートの初期角度
 β : フットレスト角度
 ξ, ζ : 腰ジョイント点の x、z 方向変位
 l_A, l_B : 車体重心からシート固定位置寸法
 x_1, x_2, x_3, x_4 : 各部重心の x 座標
 z_1, z_2, z_3, z_4 : 各部重心の z 座標
 k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 : 乗員支持点のばね定数
 c_1, c_2, c_3, c_4, c_5 : 乗員支持点の粘性減衰係数
 T_1, T_2, T_3 : 頸部、腰部、膝部関節のフリクションモーメント
 $\delta_i, (i=1,2\cdots 5)$: ばね・ダンパの動的たわみ
 $\delta_{io}, (i=1,2\cdots 5)$: ばね・ダンパの初期たわみ
 $l_i, (i=1,2\cdots 7)$: 乗員各部の寸法
 $l_{i1}, l_{i2}, l_{o1}, l_{p1}, l_{q1}$: シート各部の寸法

モデル化に当たって、車両については、車体、フロントとリアのばね下質量の上下運動と車体のピッチング運動からなる4自由度のモデルとする。タイヤはばねとダンパーでモデル化し、ばね下質量とばね上質量の間はばねとダンパー及びサスペンション系フリクションを考慮する。

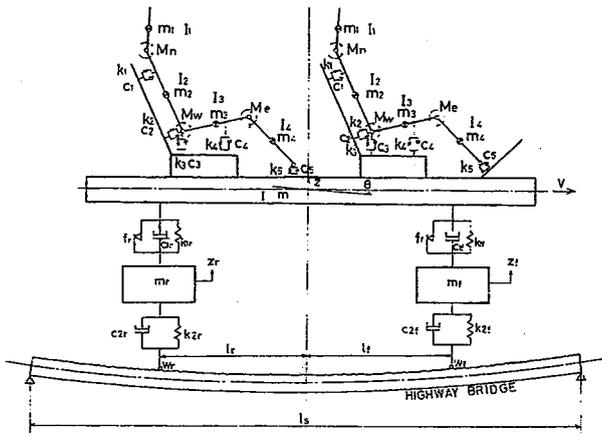


図1(a) 車両-乗員-高架路面系連成振動モデル

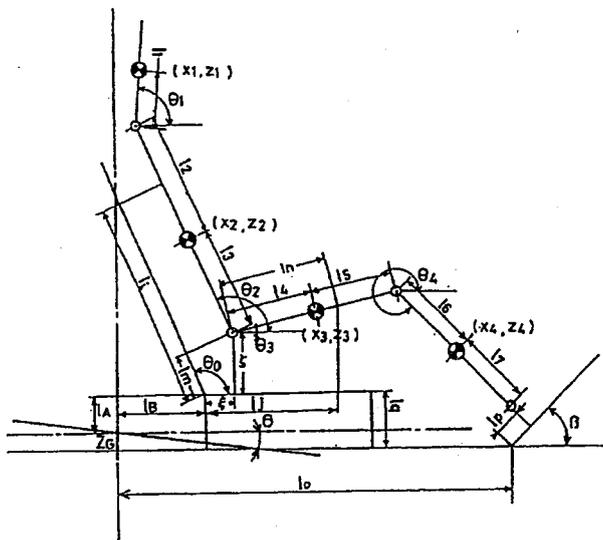


図1(b) 乗員モデルの座標系

乗員系については、図1(b)に示すように頭部と頸部、胴体部、大腿部、下腿部の四つの剛体部分にわけ⁽³⁾、各部の重心に質量と回転慣性モーメントを考慮する。また各部の連結点(頸、腰、膝)はピンジョイントとし、その関節部にフリクションモーメントを考慮する。頸、腰、膝でのフリクションモーメントは各関節の相対角速度に比例したダンピング特性を考慮し式(1)で表わす。

$$T_i = T_{\max,i} \cdot \tanh(2\omega_i/\omega_{i0}) \quad \dots (1)$$

$$\omega_i = \dot{\theta}_i - \dot{\theta}_{i+1} \quad (i = 1, 2, 3)$$

ここに、 $T_{\max,1}$ 、 ω_1 、 ω_{i0} 、の値は、次のように定める。

$$T_{\max,1} = 3.920\text{N} \cdot \text{m} \quad \omega_{10} = 0.349\text{rad/s}$$

$$T_{\max,2} = 35.280\text{N} \cdot \text{m} \quad \omega_{20} = 0.349\text{rad/s}$$

$$T_{\max,3} = 14.112\text{N} \cdot \text{m} \quad \omega_{30} = 0.349\text{rad/s}$$

シートバックは固定式とし、シートは、シートクッション、シートバッククッションを考慮する。胴体部はシートバック上部、および、下部の2点で支持するものとし、車体とシート-乗員系とはばねとダンパーでモデル化する。平常走行を想定し、シートと乗員の支持点は密着しているものとし、シートバック角度と乗員胴体角度は初期値が等しいものとする。また、フロアと足との接触間をばねとダンパーでモデル化する。足がフロアから浮いている場合はばね定数及び粘性減衰係数はゼロとする。シート-乗員系は各質量の上下、前後及び回転運動からなる6自由度のモデルとする。

高架路面は単純支持梁とし、Bernoulli-Euler-beamsを仮定し、軸力を無視する。路面狂い、路面の動的たわみの他に路面凹凸も考慮する。

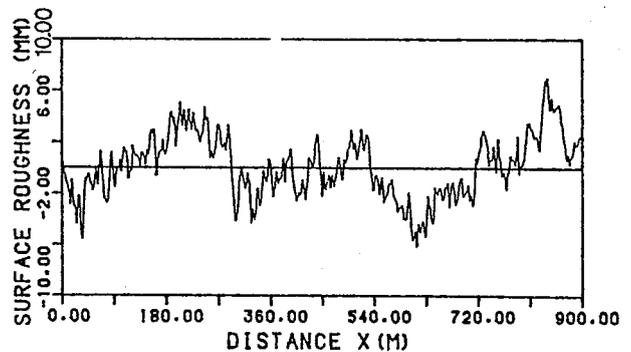


図2(a) 高速道路の路面凹凸

路面凹凸は高速道路の実測データを使用する⁽⁴⁾。路面凹凸データは1m毎の数値データ900点からなるものである。路面凹凸の変位及びパワースペクトル密度を図2(a)、(b)に示す。タイヤ接地点での路面凹凸の値は、接地点近傍4点の測定データを使

って3次関数を仮定し、補間で路面凹凸を計算する。

2-2 運動方程式

車両-乗員-高架路面連成系の運動エネルギー、ポテンシャルエネルギー、散逸関数及び一般力をラグランジェの方程式(2)

$$d(\partial T / \partial \dot{q}_r) / dt - \partial T / \partial q_r + \partial U / \partial q_r + \partial D / \partial \dot{q}_r = Q_r \quad \dots (2)$$

$$r = 1, 2, 3, \dots, 15$$

に代入することにより変数 $z, z_l, z_r, \theta, \xi, \zeta, \Theta_1, \Theta_2, \Theta_3, \Theta_4, \phi_n(t)$ ($n=1\sim 5$) に関する運動方程式を得る。

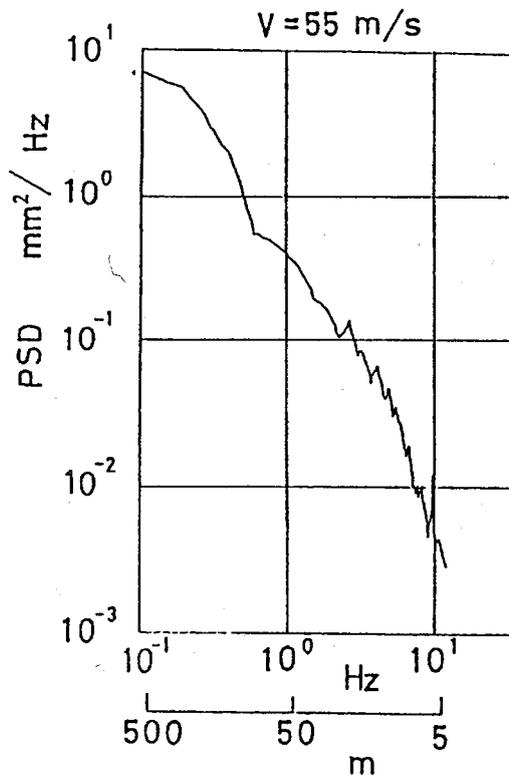


図2(b) 路面凹凸のパワースペクトル密度

すなわち、車両系の運動方程式

$$m \ddot{z} + k_{1r} (z - 1_r \theta - z_l) + k_{2r} (z + 1_r \theta - z_r) + c_{1r} (\dot{z} - 1_r \dot{\theta} - \dot{z}_l) + c_{2r} (\dot{z} + 1_r \dot{\theta} - \dot{z}_r) + f_l + f_r = 0 \quad \dots (3)$$

$$m_l \ddot{z}_l + k_{1r} (z - 1_r \theta - z_l) + c_{1r} (\dot{z} - 1_r \dot{\theta} - \dot{z}_l) + c_{2r} (\dot{z} - \dot{w}_l - \dot{w}_r) - f_l = 0 \quad \dots (4)$$

$$m_r \ddot{z} + k_{1r} (z - 1_r \theta - z_r) + k_{2r} (z_r - w_r) - c_{1r} (\dot{z} - 1_r \dot{\theta} - \dot{z}_r) + c_{2r} (\dot{z}_r - \dot{w}_r) - f_r = 0 \quad \dots (5)$$

$$I \ddot{\theta} - 1_r (k_{1r} (z - 1_r \theta - z_l) - c_{1r} (\dot{z} - 1_r \dot{\theta} - \dot{z}_l) + f_l) + 1_r (k_{1r} (z + 1_r \theta - z_r) - c_{1r} (\dot{z} + 1_r \dot{\theta} - \dot{z}_r) + f_r) = 0 \quad \dots (6)$$

高架路面の運動方程式

$$E I \partial^4 z(x, t) / \partial x^4 + K_s z(x, t) + C \partial z(x, t) / \partial t + \rho A \partial^2 z(x, t) / \partial t^2 = F(x, t) \quad \dots (7)$$

ここに、

K_s : 地盤のばね定数

$F(x, t)$: 高架路面に加わる荷重

単純支持はりの場合、第 i_s 番目の梁の運動方程式及びたわみは次のようにあらわすことができる。

$$\ddot{\phi}_n(i_s, t) + 2 \zeta_n \omega_n \dot{\phi}_n(i_s, t) + \omega_n^2 \phi_n(i_s, t) = Q(i_s, n, t) \quad \dots (8)$$

$$Q(i_s, n, t) = 1 / \rho A \cdot \int F(i_s, x, t) \sin(n \pi x / l_s) \cdot dx \quad \dots (9)$$

$$z(i_s, x, t) = 2 / l_s \sum \phi_n(i_s, t) \sin(n \pi x / l_s) \cdot dx \quad \dots (10)$$

乗員系の運動方程式

$$M_1 \ddot{\xi} - M_2 \sin(\Theta_1 + \theta) \ddot{\Theta}_1 - (M_3 + M_6) \cdot \sin(\Theta_2 + \theta) \ddot{\Theta}_2 - (M_4 + M_7) \sin(\Theta_3 + \theta) \ddot{\Theta}_3 - M_5 \sin(\Theta_4 + \theta) \ddot{\Theta}_4 + M_1 (\ddot{x} \cos \theta - \ddot{z} \sin \theta) - M_2 \cos(\Theta_1 + \theta) \ddot{\Theta}_1 - (M_3 + M_6) \cdot \cos(\Theta_2 + \theta) \ddot{\Theta}_2 - (M_4 + M_7) \cos(\Theta_3 + \theta) \ddot{\Theta}_3 - M_5 \cos(\Theta_4 + \theta) \ddot{\Theta}_4 + M_1 (1_A + \zeta) \ddot{\theta} - M_1 (1_B + \xi) \ddot{\theta}^2 + 2 M_1 \zeta \dot{\theta} + \sum_{i=1}^5 K_i (\delta_i - \delta_{i,0}) \partial(\delta_i - \delta_{i,0}) / \partial \xi + \sum_{i=1}^5 c_i \dot{\delta}_i \partial \delta_i / \partial \xi = 0 \quad \dots (11)$$

$$\begin{aligned}
& M_1 \ddot{\zeta} + M_2 \cos(\Theta_1 + \theta) \ddot{\Theta}_1 + (M_3 + M_6) \cdot \cos \\
& (\Theta_2 + \theta) \ddot{\Theta}_2 + (M_4 + M_7) \cos(\Theta_3 + \theta) \ddot{\Theta}_3 + M_5 \cos(\Theta_4 + \theta) \ddot{\Theta}_4 + M_1 (\ddot{x} \sin \theta + \ddot{z} \cos \\
& \theta) - M_2 \sin(\Theta_1 + \theta) \dot{\Theta}_1^2 - (M_3 + M_6) \cdot \sin \\
& (\Theta_2 + \theta) \dot{\Theta}_2^2 - (M_4 + M_7) \sin(\Theta_3 + \theta) \dot{\Theta}_3^2 \\
& - M_5 \sin(\Theta_4 + \theta) \dot{\Theta}_4^2 - M_1 (1_B + \xi) \dot{\theta} - \\
& M_1 (1_A + \zeta) \dot{\theta}^2 - 2M_1 \dot{\zeta} \dot{\theta} + \sum_{i=1}^5 K_1 (\delta_i - \delta_{i0}) \\
& \partial(\delta_i - \delta_{i0}) / \partial \zeta + \sum_{i=1}^5 c_i \dot{\delta}_i \partial \delta_i / \partial \zeta = 0 \quad \dots (12)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& M_{10} \ddot{\Theta}_1 + M_2 (\ddot{M}_{\theta_2} \cos \Theta_1 - \ddot{M}_{\theta_2} \sin \Theta_1 \Theta_1) + \\
& M_5 \sin(\Theta_1 - \Theta_2) \dot{\Theta}_2^2 + M_5 \cos(\Theta_1 - \Theta_2) \ddot{\Theta}_2 \\
& + \sum_{i=1}^5 k_i (\delta_i - \delta_{i0}) \partial(\delta_i - \delta_{i0}) / \partial \Theta_1 + \sum_{i=1}^5 c_i \dot{\delta}_i \partial \delta_i / \partial \Theta_1 + T_1 = 0 \quad \dots (13)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& M_{11} \ddot{\Theta}_2 + (M_3 + M_6) (\ddot{M}_{\theta_2} \cos \Theta_2 - \ddot{M}_{\theta_2} \sin \Theta_2) \\
& - M_5 \sin(\Theta_1 - \Theta_2) \dot{\Theta}_1^2 + M_5 \cos(\Theta_1 - \Theta_2) \ddot{\Theta}_1 \\
& + \sum_{i=1}^5 k_i (\delta_i - \delta_{i0}) \partial(\delta_i - \delta_{i0}) / \partial \Theta_2 + \sum_{i=1}^5 c_i \dot{\delta}_i \partial \delta_i / \partial \Theta_2 - T_1 + T_2 = 0 \quad \dots (14)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& M_{12} \ddot{\Theta}_3 + (M_4 + M_7) (\ddot{M}_{\theta_2} \cos \Theta_3 - \ddot{M}_{\theta_2} \sin \Theta_3) \\
& + M_5 \cos(\Theta_3 - \Theta_4) \dot{\Theta}_4^2 + M_5 \sin(\Theta_3 - \Theta_4) \ddot{\Theta}_4 \\
& + \sum_{i=1}^5 k_i (\delta_i - \delta_{i0}) \partial(\delta_i - \delta_{i0}) / \partial \Theta_3 + \sum_{i=1}^5 c_i \dot{\delta}_i \partial \delta_i / \partial \Theta_3 - T_2 - T_3 = 0 \quad \dots (15)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& M_{13} \ddot{\Theta}_4 + M_5 (\ddot{M}_{\theta_2} \cos \Theta_4 - \ddot{M}_{\theta_2} \sin \Theta_4) + M_5 \\
& \cos(\Theta_4 - \Theta_3) \dot{\Theta}_3^2 + M_5 \sin(\Theta_4 - \Theta_3) \ddot{\Theta}_3 + \\
& \sum_{i=1}^5 k_i (\delta_i - \delta_{i0}) \partial(\delta_i - \delta_{i0}) / \partial \Theta_4 + \sum_{i=1}^5 c_i \dot{\delta}_i \\
& \partial \delta_i / \partial \Theta_4 + T_3 = 0 \quad \dots (16)
\end{aligned}$$

ここに

$$\begin{aligned}
M_{\theta x} = & x + 1_A \sin \theta + 1_B \cos \theta + \zeta \cos \theta \\
& + \zeta \sin \theta \quad \dots (17)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{\theta z} = & z + 1_A \cos \theta - 1_B \sin \theta - \zeta \sin \theta \\
& + \zeta \cos \theta \quad \dots (18)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_1 &= m_1 + m_2 + m_3 + m_4 & M_2 &= m_1 l_1 \\
M_3 &= m_2 l_3 & M_4 &= m_3 l_4 \\
M_5 &= m_4 l_6 & M_6 &= m_1 (l_2 + l_3) \\
M_7 &= m_4 (l_4 + l_5) & M_8 &= m_1 l_1 (l_2 + l_3) \\
M_9 &= m_4 l_6 (l_4 + l_5) & M_{10} &= I_1 + m_1 l_1^2 \\
M_{11} &= I_2 + m_1 (l_2 + l_3)^2 + m_2 l_3^2 \\
M_{12} &= I_3 + m_3 l_4^2 + m_4 (l_4 + l_5)^2 \\
M_{13} &= I_4 + m_4 l_6^2 \\
\Theta_0 &= \theta_0 - \theta & \Theta_1 &= \theta_1 - \theta \\
\Theta_2 &= \theta_2 - \theta & \Theta_3 &= \theta_3 - \theta \\
\Theta_4 &= \theta_4 - \theta & & \dots (19)
\end{aligned}$$

3. 解析結果

3-1 解析結果の妥当性

系を支配する運動方程式は連立2階常微分方程式の初期値問題である。変数変換により連立1階常微分方程式として解くことができる。解法として Runge - Kutta - Gill法により時間ステップ毎の各変数とその微係数の値を求める。計算きざみ幅は0.001秒とし、数値計算は倍精度で行う。数値解析に用いた基本緒元は車両系は表1、乗員-シート系は表2、高架路面系は表3にそれぞれ示す。また初期条件は次のとおりとする。

$$\begin{aligned}
\theta_{10} &= 100.0^\circ & \theta_{20} &= 112.5^\circ & \theta_{30} &= 12.0^\circ \\
\theta_{40} &= 315.0^\circ & \theta_0 &= 112.5^\circ & \beta &= 45.0^\circ \\
\xi_0 &= 0.07 & \zeta_0 &= 0.11
\end{aligned}$$

表1 車両緒元 (セダントイプ)

記号	数値	単位	記号	数値	単位
mg	15.778	kN	f _r	式(1)	kN
m _{rg}	623.2	N	f _r	式(1)	kN
m _{rg}	764.4	N	k _{2r}	392.000	kN/m
l	2.21872	kg・m ³	k _{2r}	392.0	kN/m
k _{1r}	48.020	kN/m	c _{2r}	980	kn/m
k _{1r}	45.668	kN/m	c _{2r}	980	N・s/m
c _{1r}	図2	kN・s/m	l	2.680	N・s/m
c _{1r}	図2	kN・s/m	l _r	1.309	m
			l _r	1.371	m

表2 乗員-シート系緒元

記号	数値	単位	記号	数値	単位
m_1	0.543	kg	C_1	98	N·s/m
m_2	2.703	kg	C_2	98	N·s/m
m_3	1.920	kg	C_3	0.0	N·s/m
m_4	1.054	kg	C_4	0.0	N·s/m
l_1	0.03665	m	C_5	7.840	kN·s/m
l_2	0.7938	m	l_1	0.152	m
l_3	0.20384	m	l_2	0.196	m
l_4	0.1911	m	l_3	0.278	m
l_5	-0.140	m	l_4	0.149	m
l_6	-0.171	m	l_5	0.278	m
k_1	4.9	kN/m	l_6	0.286	m
k_2	5.88	kN/m	l_7	0.126	m
k_3	4.9	kN/m	l_8	0.424	m
k_4	3.92	kN/m	l_9	0.350	m
k_5	196.0	kN/m	l_{10}	0.779	m
			l_{11}	0.163	m

表3 高架路面の緒元

名称	記号	単位	A	B	C	D
スパン長	l	m	15	50	60	80
単位長当り重量	w	t/m	2.750	2.72	2.753	2.795
一次固有振動数	f_b	Hz	3	2.45	2.11	1.66
減衰定数	ζ		0.02	0.02	0.02	0.02

解析結果の妥当性を調べるために、集中荷重(22トン)が種々の速度で走行する場合の梁中央点のたわみ波形を計算し、図3(a)に示す。梁の位相速度は284m/sであるから $v = 10\text{m/s}$ は $\alpha = 0.035$ で際めて低速の場合である。低速になるに従い静たわみに接近していく傾向が確認できる。

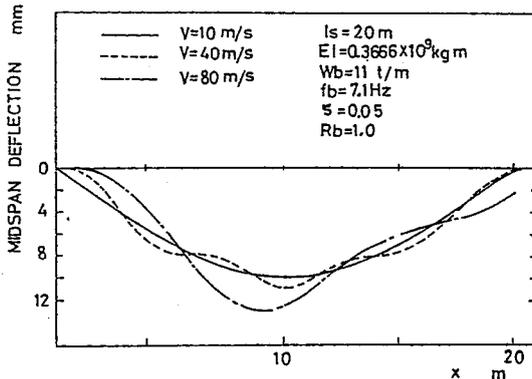


図3(a) 梁中央点のたわみと速度の関係

次に旧国鉄磁気浮上式鉄道ML500の実験値との比較を図3(b)に示す。ML500の車両重量は10ト

ンで荷重間隔を2.1mとし、4個の荷重列でモデル化し、日豊BIを走行する場合の実験値と比較した。計算結果は実測値とよく一致した。速度パラメータは0.17である。図4は表3の高架路面の緒元でスパン長さが50、60、80mの場合の梁中央点のたわみ波形を示す。高架路面の動的たわみが車両系及び乗員系の加速度(rms)に及ぼす影響は車両系で車両重心で1%、ばね下で2%、乗員系前後、上下で1%以下、程度である。セダンタイプの乗用車では車両重量も1.5~2トン程度であり、高架路面系の動的たわみの影響は小さい。以上の検討からシステムの妥当性が確認できる。(5)~(10)

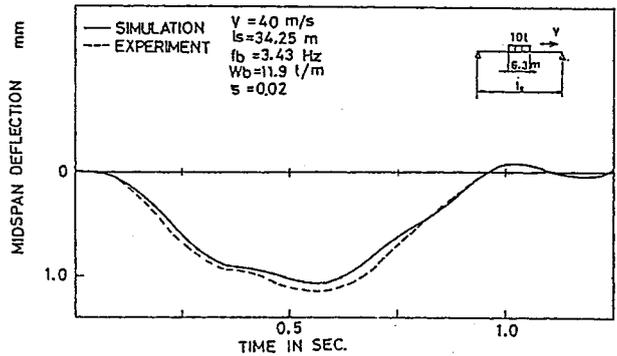


図3(b) 実測値との比較

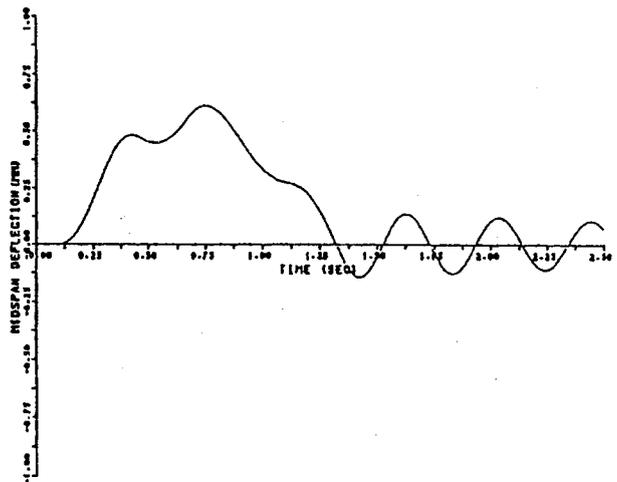


図4(a) 梁中央点のたわみ(スパン長50m)

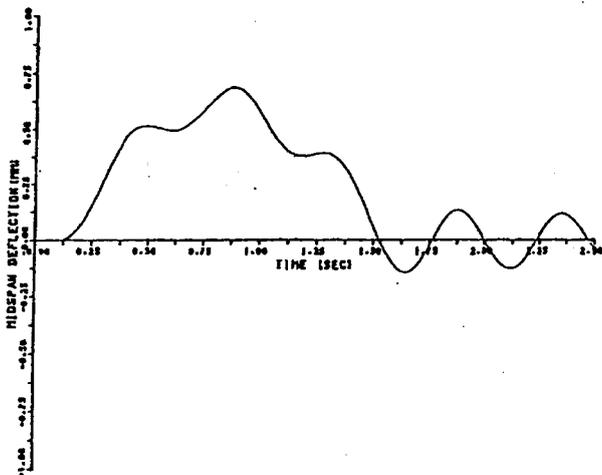


図4(b) 梁中央点のたわみ (スパン長60m)

3-2 高架路面不同変位が乗員挙動に及ぼす影響

高架路面の経年変化による老朽化、又は地震などで生じる路面狂いには種々のものが考えられる。鉛直平面内の路面狂いとしては図5に示す6種のパターンを考える。試験区間を4スパン、60mとする。路面緒元は表3を使用し変位量を0から50ミリ、速度は30、45、60m/sについて検討した。高架路面の動的たわみは考慮しない。加速度は車両前軸が高架路面に進入してから、後軸が試験区間を通過するまでの加速度の二乗平均平方根をとっ

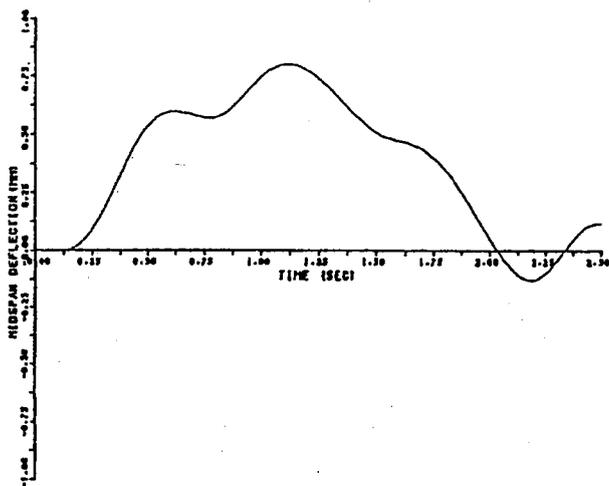


図4(c) 梁中央点のたわみ (スパン長80m)

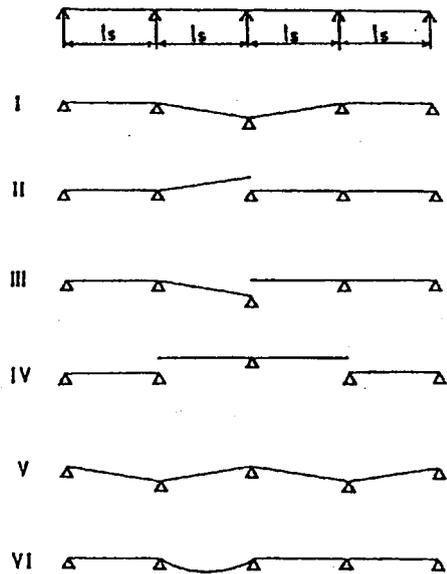


図5 高架路面狂いのパターン

ている。速度が一定で変位量を変化させた場合の計算結果を表4(a)から表(f)に示す。

表4(a) 路面狂いのパターン (I)

路面狂いパターン (I) 加速度 (g) (V = 30m/s)

変位		0mm	5mm	10mm	20mm	30mm	40mm	50mm
車	車体重心	0.01124	0.01355	0.01661	0.03436	0.05143	0.06808	0.08639
	床下(フロント)	0.01099	0.01331	0.01863	0.03455	0.05126	0.06784	0.08555
	床下(リア)	0.01403	0.01588	0.02013	0.03522	0.05265	0.06944	0.08845
両	フロントばね下	0.08102	0.08997	0.11093	0.16819	0.20578	0.24969	0.31294
	リアばね下	0.07753	0.08162	0.09495	0.15136	0.19989	0.24688	0.30829
乗員前後	頸部	0.00979	0.01023	0.01464	0.02719	0.03985	0.05139	0.06670
	胴体部	0.00944	0.00853	0.00974	0.01414	0.01863	0.02259	0.02870
	太腿部	0.00922	0.00795	0.00880	0.01717	0.02670	0.03525	0.04657
	下部腿	0.00828	0.00679	0.00800	0.01913	0.03127	0.04101	0.05011
乗員上下	頸部	0.01768	0.01923	0.02558	0.04125	0.05839	0.07551	0.09702
	胴体部	0.01795	0.02002	0.02740	0.04513	0.06331	0.08113	0.10288
	太腿部	0.01887	0.02216	0.03224	0.05674	0.08016	0.10208	0.12796
	下部腿	0.02102	0.02650	0.04168	0.08075	0.11718	0.14953	0.18593

表4(b) 路面狂いのパターン(II)

路面狂いパターン(II) 加速度(g) (V=30m/s)

変位		0mm	5mm	10mm	20mm	30mm	40mm	50mm
車	車体重心	0.01124	0.01672	0.03081	0.6721	0.10780	0.15088	0.19163
	床下(フロント)	0.01099	0.01698	0.03081	0.06605	0.10563	0.14683	0.18701
	床下(リア)	0.01403	0.01863	0.03312	0.07225	0.11597	0.16324	0.20672
両	フロントばね下	0.08102	0.20697	0.39949	0.76731	1.13573	1.60561	2.05433
	リアばね下	0.07753	0.22876	0.42122	0.80202	1.30061	1.98510	2.58948
乗員前後	頸部	0.00979	0.02357	0.04473	0.08471	0.13544	0.19993	0.25138
	胴体部	0.00944	0.01964	0.03173	0.05528	0.08298	0.12095	0.17008
	太腿部	0.00922	0.01857	0.02757	0.04609	0.07719	0.13834	0.20708
	下部腿	0.00828	0.01873	0.02645	0.04230	0.06895	0.10244	0.12959
乗員上下	頸部	0.01768	0.04209	0.07120	0.12463	0.17635	0.23077	0.29794
	胴体部	0.01795	0.04274	0.07496	0.13536	0.19566	0.25342	0.31961
	太腿部	0.01887	0.04545	0.08544	0.16203	0.24487	0.32654	0.40868
	下部腿	0.02102	0.05278	0.10698	0.21171	0.30782	0.40510	0.51594

表4(d) 路面狂いのパターン(IV)

路面狂いパターン(IV) 加速度(g) (V=30m/s)

変位		0mm	5mm	10mm	20mm	30mm	40mm	50mm
車	車体重心	0.01124	0.01732	0.02976	0.06137	0.09218	0.12404	0.15804
	床下(フロント)	0.01099	0.01714	0.02976	0.06175	0.09478	0.12950	0.16528
	床下(リア)	0.01403	0.01939	0.03168	0.06718	0.09967	0.13244	0.16707
両	フロントばね下	0.08102	0.34485	0.71991	1.50893	2.23742	3.04517	3.84502
	リアばね下	0.07753	0.36198	0.76158	1.56273	2.45559	3.32163	4.23079
乗員前後	頸部	0.00979	0.01633	0.03153	0.08275	0.12528	0.16388	0.19664
	胴体部	0.00944	0.01291	0.02662	0.06766	0.10297	0.13141	0.15049
	太腿部	0.00922	0.01141	0.02375	0.06184	0.09697	0.12643	0.15177
	下部腿	0.00828	0.01006	0.01970	0.05678	0.09038	0.11332	0.13487
乗員上下	頸部	0.01768	0.03249	0.06966	0.15325	0.22461	0.27644	0.31120
	胴体部	0.01795	0.03339	0.07122	0.15576	0.22684	0.27980	0.31594
	太腿部	0.01887	0.03597	0.07558	0.16530	0.23948	0.29927	0.34366
	下部腿	0.02102	0.04134	0.08418	0.18777	0.27264	0.34272	0.38373

表4(c) 路面狂いのパターン(III)

路面狂いパターン(III) 加速度(g) (V=30m/s)

変位		0mm	5mm	10mm	20mm	30mm	40mm	50mm
車	車体重心	0.01124	0.01553	0.02389	0.05991	0.09260	0.12247	0.15131
	床下(フロント)	0.01099	0.01546	0.02432	0.05829	0.09080	0.12099	0.15013
	床下(リア)	0.01403	0.01741	0.02516	0.06466	0.09939	0.13031	0.16080
両	フロントばね下	0.08102	0.25562	0.57335	1.27868	1.92776	2.61510	3.29848
	リアばね下	0.07753	0.25910	0.60013	1.35129	2.12061	2.90047	3.69970
乗員前後	頸部	0.00979	0.01118	0.02077	0.06160	0.10124	0.13910	0.18518
	胴体部	0.00944	0.00870	0.01165	0.03464	0.05578	0.07476	0.09556
	太腿部	0.00922	0.00781	0.01022	0.03520	0.06086	0.09121	0.12385
	下部腿	0.00828	0.00637	0.01008	0.03504	0.04900	0.07141	0.09525
乗員上下	頸部	0.01768	0.02207	0.02954	0.08143	0.12623	0.15869	0.19085
	胴体部	0.01795	0.02295	0.03255	0.08856	0.13647	0.16848	0.19836
	太腿部	0.01887	0.02528	0.04060	0.11105	0.17297	0.21422	0.25246
	下部腿	0.02102	0.02999	0.05624	0.15733	0.23670	0.27296	0.29218

表4(e) 路面狂いのパターン(V)

路面狂いパターン(V) 加速度(g) (V=30m/s)

変位		0mm	5mm	10mm	20mm	30mm	40mm	50mm
車	車体重心	0.01124	0.01273	0.01665	0.03117	0.05983	0.09464	0.12936
	床下(フロント)	0.01099	0.01241	0.01627	0.03226	0.06140	0.09460	0.12787
	床下(リア)	0.01403	0.01559	0.01875	0.03082	0.05932	0.09582	0.13211
両	フロントばね下	0.08102	0.06856	0.06450	0.13287	0.20337	0.27993	0.36583
	リアばね下	0.07753	0.06691	0.06339	0.11383	0.18755	0.27541	0.36687
乗員前後	頸部	0.00979	0.01375	0.01519	0.02230	0.04483	0.06961	0.09654
	胴体部	0.00944	0.01227	0.01045	0.01267	0.02053	0.03474	0.05475
	太腿部	0.00922	0.01332	0.01383	0.02062	0.04466	0.07447	0.10890
	下部腿	0.00828	0.01400	0.01672	0.2577	0.05573	0.08268	0.10490
乗員上下	頸部	0.01768	0.02442	0.02380	0.03621	0.05961	0.09965	0.15656
	胴体部	0.01795	0.02424	0.02364	0.03736	0.06227	0.1207	0.15140
	太腿部	0.01887	0.02489	0.02598	0.04479	0.08250	0.13175	0.14928
	下部腿	0.02102	0.02891	0.03660	0.06649	0.13631	0.20760	0.17888

表4(f) 路面狂いのパターン (VI)

路面狂いパターン (I) 加速度 (g) (V = 30m/s)

変位		0mm	5mm	10mm	20mm	30mm	40mm	50mm
車	車体重心	0.01124	0.01355	0.02237	0.05479	0.09088	0.12491	0.15784
	床下(フロント)	0.01099	0.01334	0.02196	0.05313	0.08700	0.11922	0.15100
	床下(リア)	0.01403	0.01589	0.02431	0.05791	0.09677	0.13329	0.16816
両	フロントばね下	0.08102	0.09711	0.10969	0.15525	0.19590	0.23469	0.27284
	リアばね下	0.07753	0.09345	0.11115	0.16243	0.20673	0.25470	0.30980
乗員前後	頸部	0.00979	0.01327	0.03464	0.07413	0.11557	0.16489	0.22020
	胴体部	0.00944	0.01230	0.02840	0.04747	0.06783	0.08917	0.12012
	太腿部	0.00922	0.01256	0.02644	0.04213	0.05937	0.08922	0.14159
	下部腿	0.00828	0.01262	0.02580	0.04688	0.06979	0.09576	0.13438
	頸部	0.01768	0.02606	0.06771	0.11207	0.15255	0.19316	0.25491
乗員上下	胴体部	0.01795	0.02632	0.06938	0.11900	0.16553	0.20957	0.26580
	太腿部	0.01887	0.02750	0.07430	0.13896	0.20262	0.26312	0.32424
	下部腿	0.02102	0.03093	0.08513	0.18189	0.26963	0.32377	0.37713

3-3 高架路面の固有振動数の影響

実在桁の実測値より、位相速度に比例するパラメータ $B = f_b \cdot l_s$ とスパン長さを整理すると図6のようになる²⁾。コンクリート桁、合成桁でBの値は80から200程度と考えられる。桁の死荷重は鉄道車両用で4~15トン/m、自動車用で2~3トン/mである。また桁の減衰係数は実在桁で0.02~0.06程度である。スパン長さを一定にしてBすな

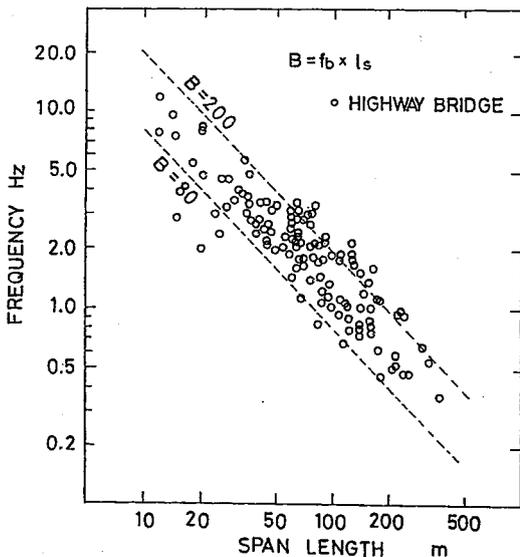


図6 実在桁のBとスパン長の関係

わち f_b の影響について調べる。計算結果を図7に示す。固有振動数が小さくなると桁の曲げ剛性は低下し、桁の動的たわみは大きくなる。2~3Hzで乗員系の加速度 (rms) にピークが発生する。

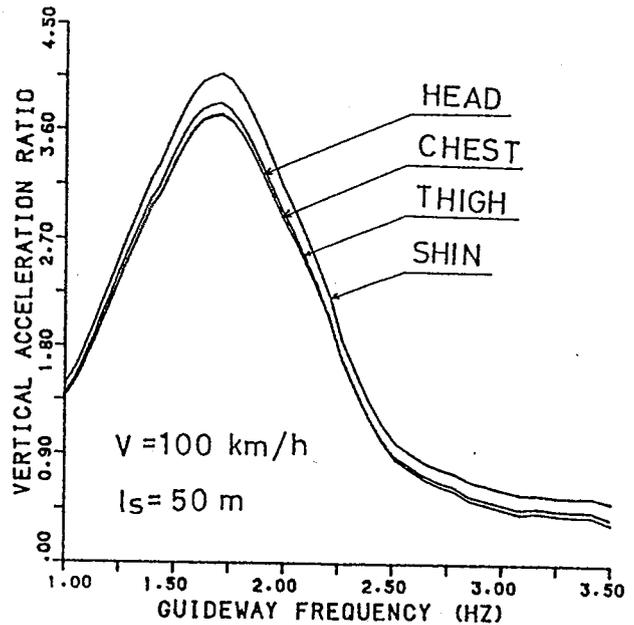


図7(a) 固有振動数の影響

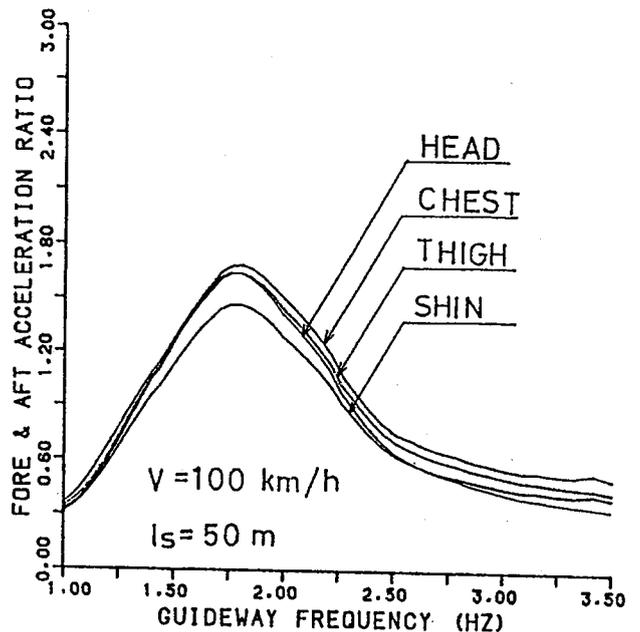


図7(b) 固有振動数の影響

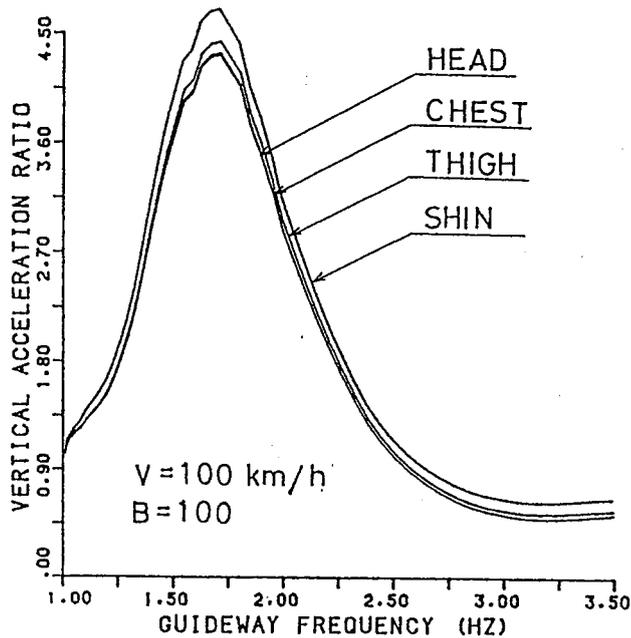


図7(c) 固有振動数の影響

これは乗員-シート系の上下加速度は2~4Hzの間に共振周波数をもっている⁽⁶⁾ ことと関連しているものと思える。

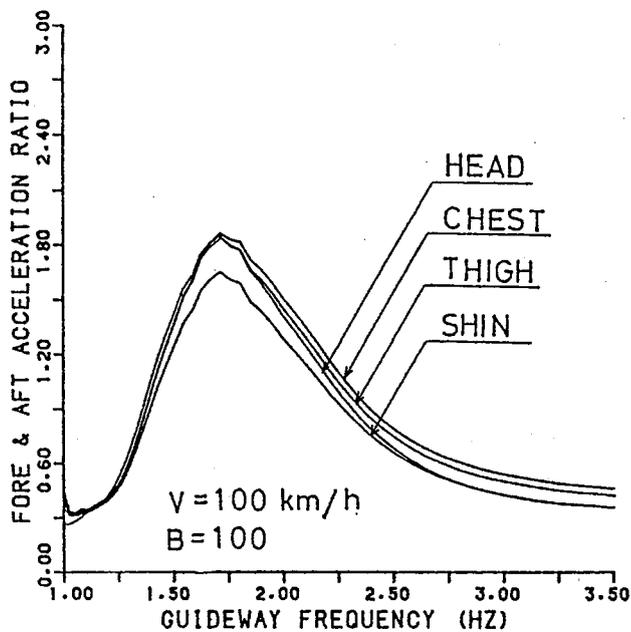


図7(d) 固有振動数の影響

4. 結 言

乗員の挙動を予測し、自動車の快適性向上を図るために、車両-乗員-高架路面系の連成振動の解析を行い、高架路面の不同変位及び固有振動数が人体の動的挙動に与える影響について検討した。その結果、以下の結論を得た。

- (1) 乗用車程度の荷重では、高架路面の動的たわみが車両及び乗員系の加速度に及ぼす影響は走行速度にもよるが、100km/hで2%以下である。
- (2) 路面狂いパターンを想定し、不同変位量による影響を定量的に検討した。各狂いパターンの場合の加速度と不同変位量、及び走行速度の相関関係を定量的に検討した。
- (3) 桁のスパン長さを一定にし、固有振動数を大きくしていくと、桁の曲げ剛性は増し、動的たわみは減少するにもかかわらず、乗員系の加速度ピークが認められる。乗員系の共振周波数と一致する。

参考文献

- [1] 西山、超伝導誘導反発型磁気浮上車両-高架軌道系連成振動に関する研究、東京大学工学部井口研研究報告 1983。
- [2] 西山 日本機械学会論文集 (投稿中)
- [3] 日本機械学会編、生体力学 (1991)、247、オーム社
- [4] 西山、浮上式鉄道快適性の研究報告書、(1982)、日本鉄道技術協会、63。
- [5] H.デュビィ/G.ツェレット著、全身振動の生体反応、(1989)、32、名古屋大学出版会。
- [6] R.N.Janeway, SAE750166
- [7] 山崎ら、鉄道線路27-5 (1975)、251
- [8] 植村、鉄道線路27-5 (1975)、259
- [9] 松井、車両力学に関する研究分科成果報告書、1984、10、201
- [10] 外国鉄道技術情報、第22号 (1984)、乗心地

パーソナルニューロコンピュータとファジィシステムの適用化技術
- 2自由度マニピュレータのファジィ制御 -

古谷 薫

Control method of 2D. O. F manipulator by Fuzzy Logic.

Kaoru FURUTANI

本研究は、2自由度マニピュレータを制御の対象とし、最近話題のファジィチップなどのハードウェアを使用せず、ソフトウェア側からのファジィ制御の実現性について検討することを目的とする。

処理時間短縮のため、操作量（重心）を求める方法として、区間分割によるアルゴリズムを考案し、C言語を用いてファジィ制御のためのプログラムを作成した結果、良好な制御を行うことができた。

1. 緒 言

1965年、L.A.Zadehによって提案されたファジィ理論は、1970年代の中ごろ、E.H.Mamdani¹⁾によって紹介された2変数系のスチームエンジンへのファジィ制御の適用により、制御におけるファジィ理論の有効性が示された。この結果今日では、制御への適用例が数多く見られるようになった。

また、近い将来には、ニューラルネットワーク、人工知能(AI)、人間感覚を応用したインテリジェント・ファジィシステムの実現も期待されている。

ファジィ制御では、制御対象のシステムの状態量からファジィ演算によって操作量を得ることになる。これらの処理をパーソナル・コンピュータを使用して行う場合、ファジィ推論ボード等ハードウェアによる方法、ソフトウェアによる方法の2つが考えられる。今回は、2自由度マニピュレータを制御の対象とし連続関数をメンバシップ関数として用いソフトウェア側からの可能性について検討することとし、処理速度、精度および制御の

結果等について評価を行った。

2. システムの概要

図1-1に本システムの構成図を示す。本システムは主に2自由度のリンク形(x軸；前進、後進、z軸；上下)のマニピュレータ、モータ駆動回路、パーソナル・コンピュータ(NEC PC-9801RX)で構成されている。

図1-2に2自由度マニピュレータの詳細図、図2にシステムの外観写真を示す。この2自由度マニピュレータは減速機(減速比:1/50)、ラックピニオンギア(ml、ピニオン部z40)を有する小形の直流モータ(定格24V、1.2A、3000r.p.m.、11W)で駆動される。モータの各軸にはマニピュレータの手先位置と速度を検出するため、それぞれポテンショメータ(5KΩ、CT付き)と直流タコジェネレータ(6.2V DC/1000r.p.m)が取り付けられている。また、モータの各軸の力を検出するための歪ゲージが各出力軸のトーションバーに貼付けられている。さらに、マニピュレータの

手先部にかかる荷重を検知するため重量センサが手先部に取り付けられている。

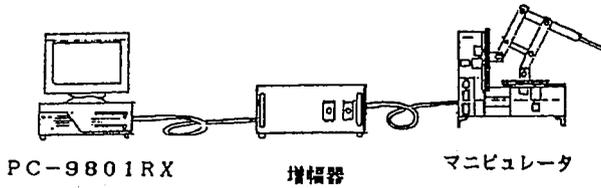


図1-1 システム構成図

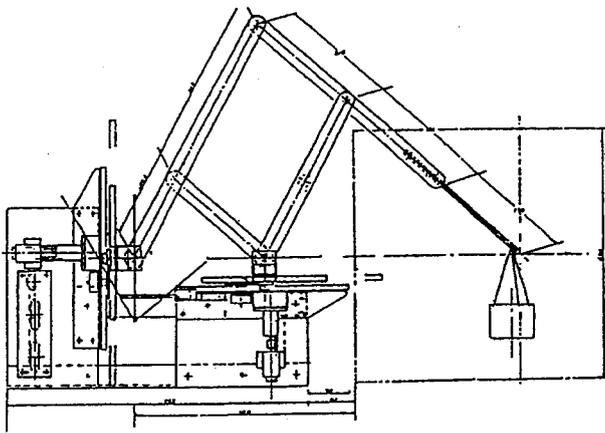


図1-2 マニピュレータ詳細図

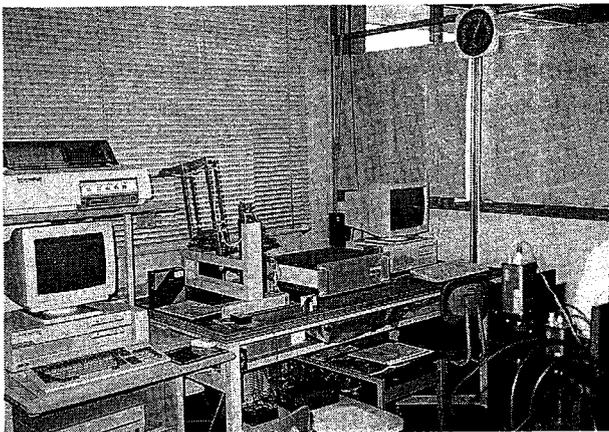


図2 システムの外観

3. 制御方法

図3~図4に本マニピュレータでハンドリングしたときの状態を示す。本マニピュレータの制御対象として、例えば、水汲み作業、トンネルとか都

市の地下空間での掘削作業等を想定した作業対象が考えられるが、ここでは、簡単のため水汲み作業を想定した。

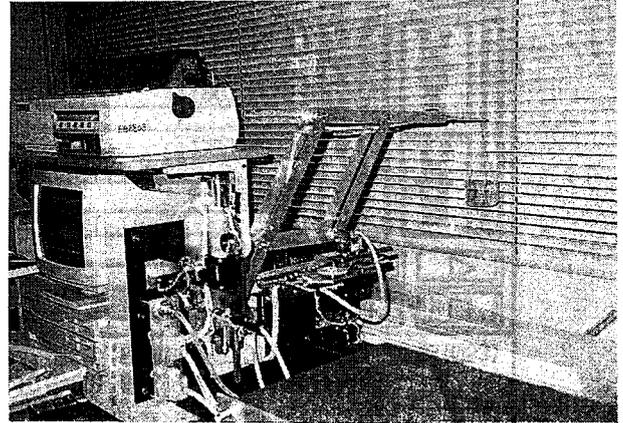


図3 ハンドリングの様子 (1)

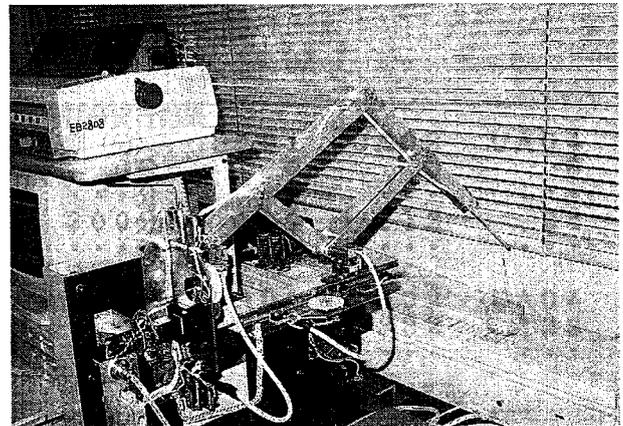


図4 ハンドリングの様子 (2)

水汲み作業では速くしかも容器いっぱいの水をこぼさないように所定の場所まで汲み上げる必要があり、そのためにはハンドリング中は重量センサ等の出力を利用してできる限り容器を揺らさぬようコントロールすることが必要となる。

本実験では手先部（縦弾性係数； E 、断面形状； $b.h$ ）に重量センサ²⁾を用いた。このセンサーでは入力電圧を V_i とすると、手先部のセンサーから先の任意の位置にかかる重力方向の荷重 W と出力電圧 V_o の間には、

$$V_o = \frac{3KW}{Ebh^2} \cdot V_i \quad (1)$$

(Kはセンサーに固有な係数)

の関係が成立する。²⁾

(1) 式のWはマニピュレータの位置(x,z)の関数であり、

$$W = P(x,z) \quad (2)$$

となる。

以上の条件をもとに、操作量の変化量を δz としてファジィ関係を以下のように設定した。

- ①もしWが大きければ目標値に対しゆっくりと動かせ。
- ②もしWが中ぐらいならば少し早く動かせ。
- ③もしWが小さく、かつ、 Δz が大きければ速く動かせ。
- ④もしWが小さく、かつ、 Δz も小さければ最低速で動かせ。

以上のファジィ関係^{3) 4)}は2入力1出力の場合のファジィ推論として取り扱うことができる。但し、座標xは(2)式からWの関数ではあるがzに比べてWへの影響が小さいため、ここでは無視した。

一般にロボット等のファジィ制御ではメンバシップ関数とその系のダイナミクスを決める重要な要素となる。本研究では上記ファジィ関係をこれまでの離散系ではなく連続系により表現することとし、(3)式⁵⁾に示すメンバシップ関数 $\mu(x)$ を用いた。

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{2(x-C)}{Q} \right)^n} \quad (3)$$

(3)式においてCは中央値、Qは半値幅を示す。また、nは形状係数である。(図5)この式の利点は

2直線で表していた従来のメンバシップ関数(三角形)の取り扱いが1つの関数のみで置き換えられたことでプログラム上も簡潔になる点である。

図6、図7に本研究で採用したメンバシップ関数およびファジィ関係の状態を示す。

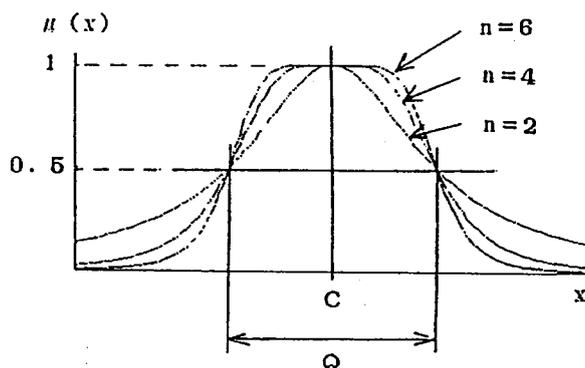


図5 メンバシップ関数の変数

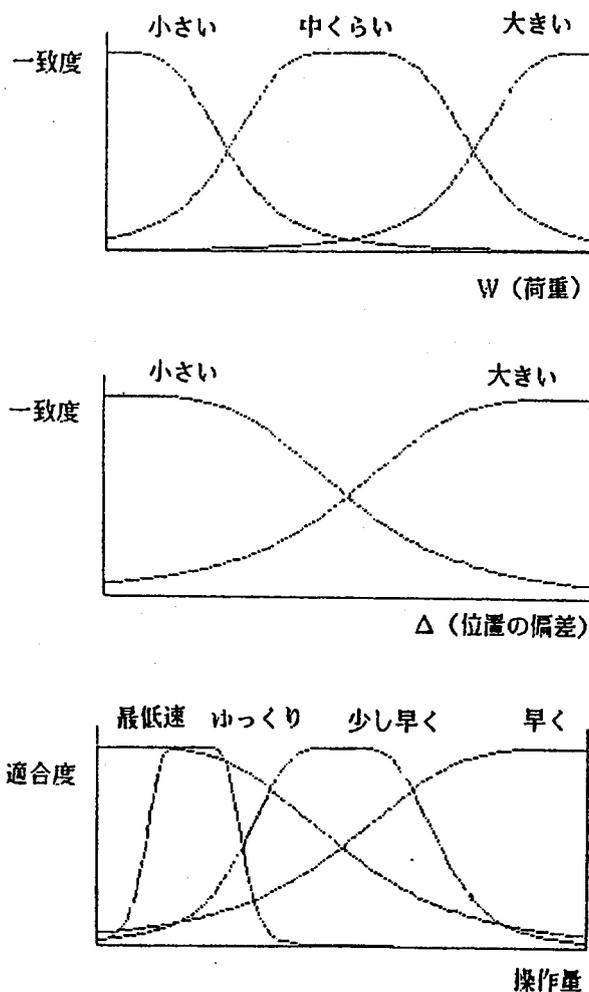


図6 メンバシップ関数

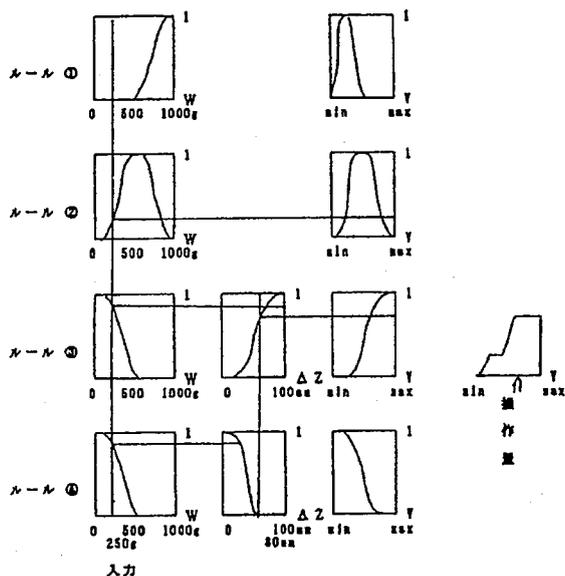


図7 ファジィ関係

4. データ処理

ファジィ制御ではシステムからフィードバックされる状態量とファジィルール前件部との適合度から後件部のmin-max演算により操作量を決定する。ここでは操作量の決定法として、重心法を用いた。

ソフトウェアによるファジィ制御の実現には、上記min-max演算の処理時間が大きな問題となる。今回制御対象としたマニピュレータのファジィ制御を可能にするサンプリングタイムを得るためにmin-max演算の処理を次の方法で行った。(図8参照)

①適合度の大きさによるルールのランク付け

前件部の推論によって有意となったルールに、適合度の大きさによる順位をつける。この順位付けは以下②③の処理を効率的に行うために大変有効である。

② α -カットによる交点の生成

①によりランク付けられた順に、それぞれのルールに対応する後件部メンバーシップ関数とその適合度を与える点を交点とする。

③max演算に対応する交点の選択、整列およびブ

ロックの生成

重心計算の対象となる領域の輪郭にあたる交点を選択し、これらの点をメンバーシップ関数の左、右の側面ごとに、xの値の小さい順に整列させる。さらに、これらの点によって区切られるxの区間をブロックとして定義する。

④ブロックごとの面積・重心計算

各ブロックについて、そのブロックのyの値により“y=一定”の場合は四辺形となるので幾何学的に、そうでない場合はメンバーシップ関数を直接積分して面積・重心計算を行う。これらのブロック化により“y=一定”区間の処理時間の短縮が可能となる。

⑤全体の重心=操作量の計算

④で求められたブロックごとの面積・重心をもとに全体の重心を求める。

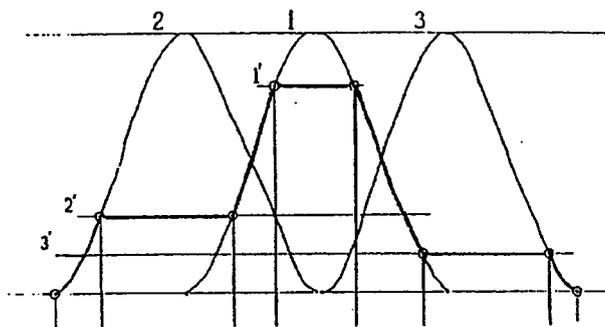


図8 区間分割による非ファジィ化処理

以上の方法でTurbo C ver.2.0を用いてプログラミングした結果、サンプリングタイムを、単純にルールごとに処理した場合の1/3にあたる約0.1秒とすることができた。

5. 実験結果

3-4で述べた方法によるファジィ制御および比較実験として速度一定制御により2自由度マニピュレータの制御を行った。

それらの結果を図9以降に示す。ここでは横軸は位置、縦軸は移動速度を示す。

図9、図10は速度一定になるようX軸を駆動した場合の速度特性をしたしたものでそれぞれマニピュレータを前方から後方へ、後方から前方へ駆使した場合を示す。図から分かるようにこの制御では駆動直後に速度が大きく変化しその後一定になっていることから分かる。この速度の変化が大きいとマニピュレータの手先の揺れが大きくなり、水をこぼしてしまったりする。また、マニピュレータ自体は速く駆動できても、実際の水汲み桶の揺れが治まるまで待つことによる時間浪費が発生してしまう。

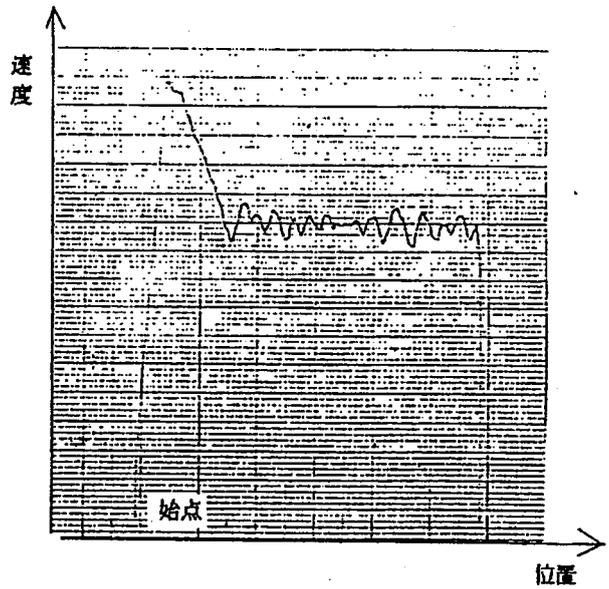


図10 速度一定制御の結果 (2)

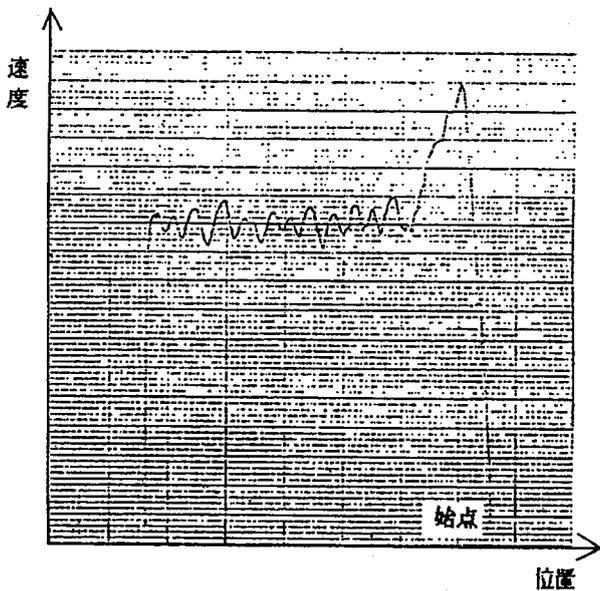


図9 速度一定制御の結果 (1)

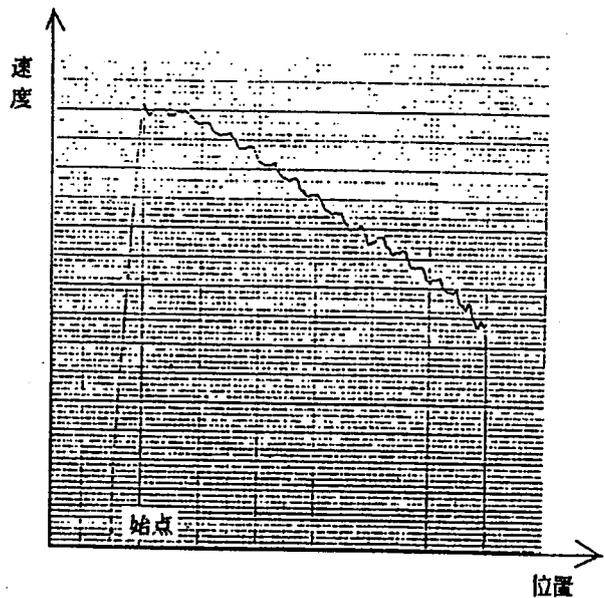


図11 ファジィ制御の結果 (1)

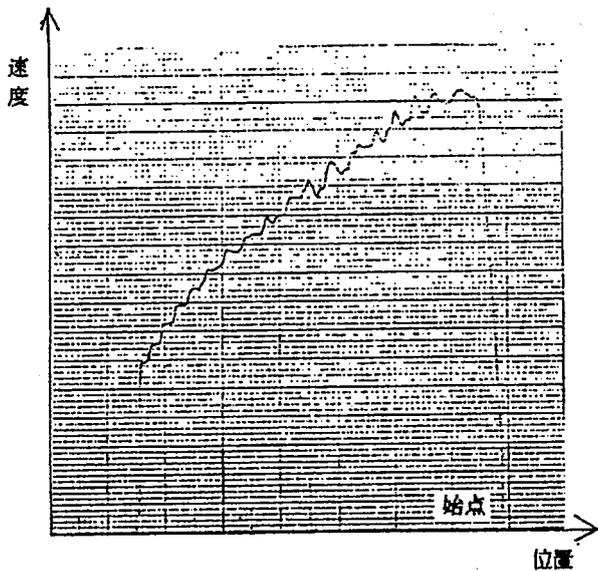


図12 ファジィ制御の結果 (2)

図11、図12にファジィ制御で駆動した場合について示す。図7、図8に比べてなだらかに速度が変わっていることが理解できよう。水汲み桶も上記の速度一定制御の場合と比べて揺れが少ないことが確認できた。

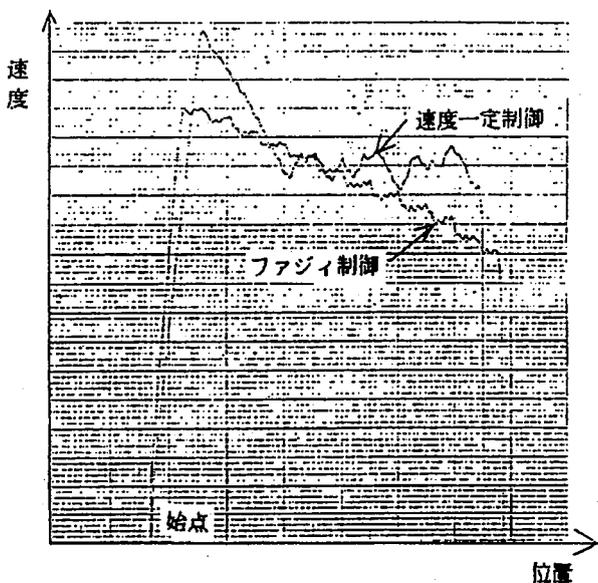


図13 速度一定制御とファジィ制御の比較 (1)

水を汲み上げるということではZ軸方向にマニピュレータを駆動した場合についても調べる必要がある。図13にZ軸方向に速度一定制御およびファジィ制御の両方の場合について図示した。実験結果からはX軸の駆動と同様の傾向が出ているが重力方向の移動のため実際の揺れはX軸と比べて小さかった。

これまでの実験では無負荷（水がない状態）で行ったが、以降は水が桶に入った場合を想定して桶内に分銅を載せることにより、実験を進めた。

図14に500gの分銅を載せた場合のZ軸方向のマニピュレータの動きについて示す。図13と比べて速度一定制御では後半の部分で若干良くなっていることが分かる。これは分銅を載せて重くなった影響で桶の揺れが少なくなっていることを示すものである。ファジィ制御では重さには無関係の傾向が得られた。

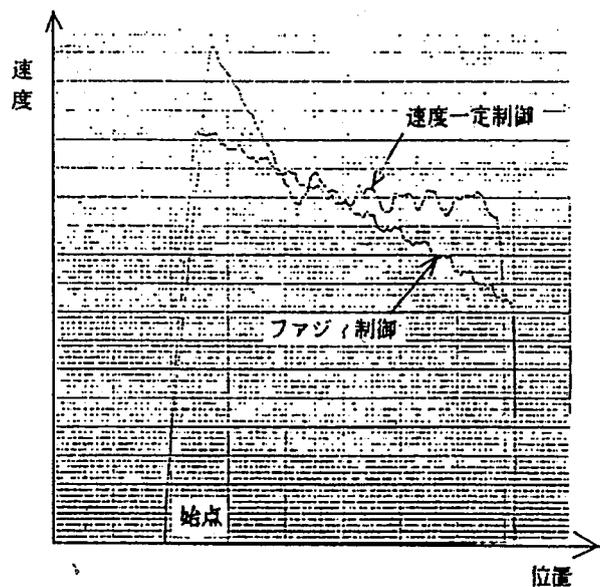


図14 速度一定制御とファジィ制御の比較 (2)

図15、図16に500gの分銅を載せたときのX軸の速度一定制御の場合の応答特性を示す。図15は比較的低速で駆動した場合を示す。図15に示すように低速の場合はマニピュレータの先端の揺れは

少ない。ところが駆動速度をあげたとき揺れが大きくなる (図16参照)。マニピュレータを出来る限り高速で駆動し、作業効率を高めるといふ最初の条件から、本速度一定の制御方式では問題が残ることがこの図から理解できる。

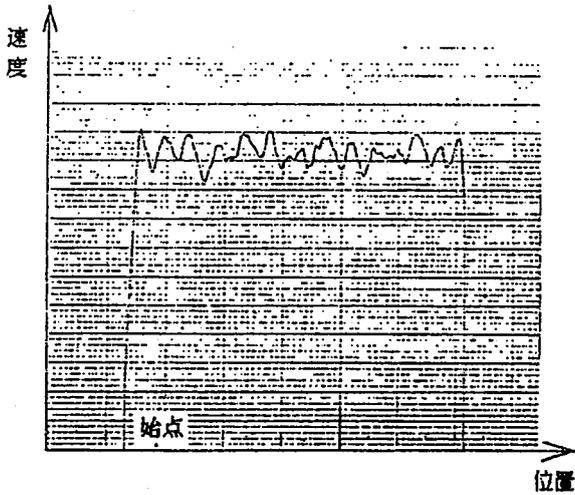


図15 速度一定制御の結果 (3)

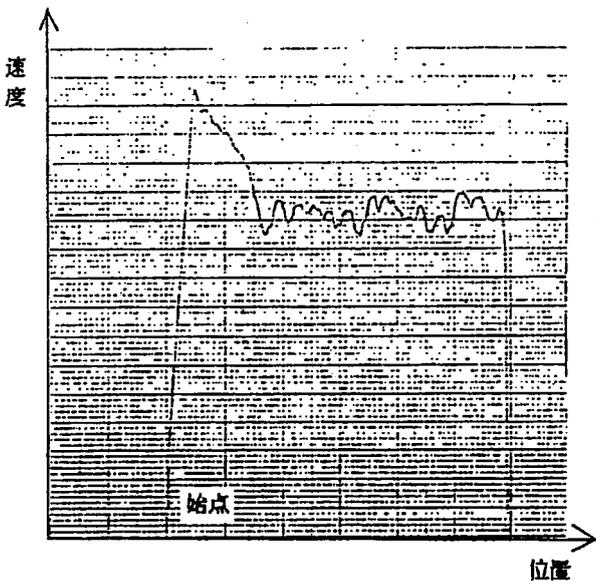


図16 速度一定制御の結果 (4)

図17にファジィ制御によるX軸方向の実験結果を示す。図16と比べて重量に関係なく揺れが少なくなっていることが分かる。これはZ軸についても同じ傾向であった (図18参照)。

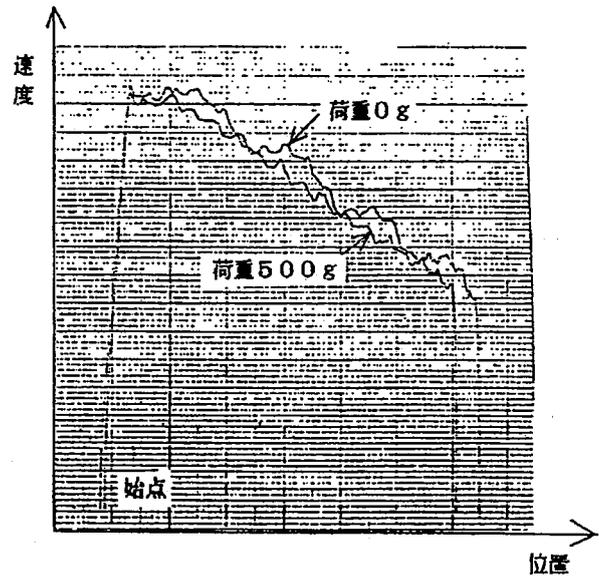


図17 ファジィ制御の結果 (3)

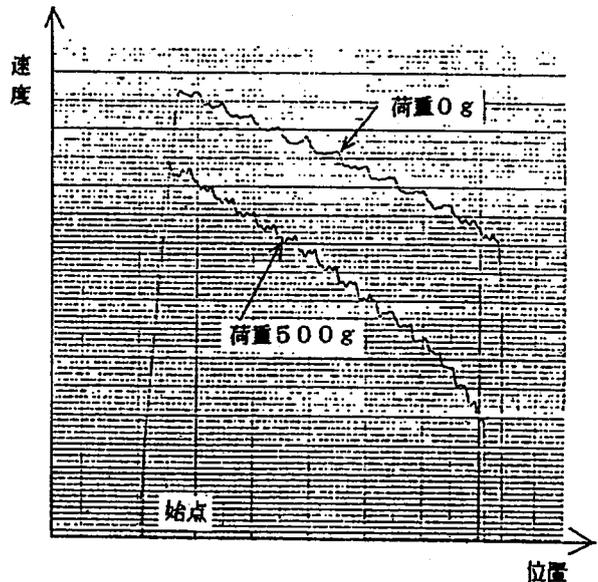


図18 ファジィ制御の結果 (4)

6. 結 言

2自由度マニピュレータを制御対象とし、C言語を用いたファジィ制御のためのプログラムを開発した。このプログラムでは操作量となる重心を求めるための方法として区間分割によるアルゴリズムを用いることでサンプリングタイムの短縮を図ったため良好な条件で制御を行うことができた。

今回、最近話題のファジィチップなどのハードウェアを使用せず、ソフトウェアのみで2軸のマニピュレータのファジィ制御を行った。ロボットのようなインプロセス制御では重心位置を求めるソフトウェアの実行に予想以上に時間がかかることが分かった。このことからソフトウェアのみの本方式では1軸の制限が限界であることが実際にマニピュレータを駆動してみて理解できた。

広島市を中心とした中国地方の各企業では人手不足から自動化に対する要望がここ数年特に大きくなってきており、これに対する早急な対策や適切な技術指導が必要となってきている。

本研究で得られた成果は、ファジィの長所（ノイズに強い、高速である）を活かした自動化の実現に大いに役立つものとなった。

今後は、同一の制御をハードウェアを利用して行った場合と比較することにより両者の適用方法等を検討する予定である。

7. 謝 辞

本研究は中小企業大学校東京校で行われた技術研修の一部として工業技術院機械技術研究所において行ったものである。

本研究を進めるにあたり終始熱心に御指導下さいました、工業技術院機械技術研究所 ロボット工学部自律制御課 山羽和夫技官に心から感謝申し上げます。また、本研修において同一研修制度により一緒になりました群馬県工業試験場 天田憲一氏には、公私にわたりましてお世話になり感謝致します。

また、ハードウェア準備にあたってはコーヨーエンジニアリングの大高功技師にお世話になりました。ここにお礼申し上げます。

さらに、このような基調な研修の機会を与えて下さいました広島市工業技術センターの先輩諸兄はじめ関係各位に心よりお礼申し上げます。

参考文献

- [1] E.H.Mamdani: Advances in the Linguistic Synthesis of Fuzzy Controller, Int.J.Man - Machine Studies. Vol.8. No.6.pp.669 - 678 (1976)
- [2] Kazuo YAMABA : A Robot Hand with Sensors, No.37. (1982), Bulletin of Mechanical Engineering Laboratory.
- [3] 電気学会編、あいまいとファジィ - その計測と制御 -、オーム社、1991年6月
- [4] 菅野道夫、ファジィ制御 日刊工業新聞社 1989年.
- [5] 山羽和夫、2自由度マニピュレータの新しい力制御方法 - ニューロ、ファジィによる制御 (第1報) - 日本機学会第69期全国大会、2219.c.pp.654 - 647 (1991)

MRPシステムによる生産計画システムの構築に関する研究

地域中小企業シミュレーション技術の事例研究－広島市工業技術センター平成3年度CIM研究会の成果から（その1）

小島 一洋 横山 武房 井上 達夫* 中村 信人* 森川 克己*
小方 文明** 小野 元司** 谷口 正夫**

Study of Construction on production Planning system by M R P system
Research on examples of Simulation technique 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
Takefusa YOKOYAMA
Tatsuo INOUE
Nobuto NAKAMURA
Katsumi MORIKAWA
Fumiaki OGATA
Motoshi ONO
Masao TANIGUCHI

研究概要

21世紀を目指した戦略的な生産システムとして、世界各国で近年 CIM (Computer Integrated Manufacturing) の構築が検討されている。

これは企業環境が急速に変化し、この変化への対応を的確に行って行くことが極めて肝要であり、その具体的な企業活動として CIM 化が検討されている。広島地域の中小企業でも、このような動きは軌を一にしている。

広島市工業技術センターでは、このような背景を踏まえて、平成元年度に生産管理・技術研究会 (CIM の構築についての基礎的研究) 対象 15 社、平成 2 年度に CIM 研究会 (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) 対象 12 社を実施してきた。

平成 3 年度の事業では、これらの研究会活動の実績を踏まえ、更にシステムエンジニアリング能力の向上を目指すこととし、具体的には、実用的方法である「シミュレーション技術」の基礎的能力の向上に着目した CIM 研究会を地域中小企業のために開催し、地域中小企業の振興と発展に寄与することとした。

* 広島大学計数管理工学講座
** 三島食品株式会社

本報告書は、その成果の一端を紹介している。内容には、会員企業7社の各々が自社の研究テーマに向かって講師陣（講師+講師アシスタント）と共に積み重ねた産・学・官交流の具体的な成果である。

特筆すべきは、

1. 「産」では、大学の研究室と企業のトップマネジメント・上級管理者・実務担当者の3者による企業チームとから構成される分科会チームで、対象企業の属性を反映した実践的テーマで研究活動を行ったこと
2. 「学」では、大学の研究室とそこで勉強している学生（院生を含む）が類例のない程の質・量の両面にわたる指導と協力を惜しまなかったこと
3. 「官」としては、研究会運営としての実践的研究活動が、回を重ねる毎に深みを増し、産・学・官交流の新しいトレンドの研究会の企画・調整・運営を行い、行政としてのサービス機能の一流化を目指した新鮮なトライアルであったこと
4. 総合的には、参加者全員の自己啓発になり、また相互啓発が大きかったことが、研究会をクローズングした後のアンケート結果にもでてきていること
5. 研究会の特別会合（第7会合）の矢矧晴一郎先生による新理論「経営トータルシミュレーションからみた生産の成果と失敗のキーポイントについて」は、レギュラー会員以外にも、広島地域の産・学・官の中堅・中小企業の関係者にもオープンにして聴講して頂き、これら受講者に強いインパクトを与えることができたこと

があげられる。

最後に、本研究会のリーダーを務めて頂いた広島大学工学部 中村信人教授と計数管理工学教室のメンバーの方々ならびに終始様々な場での協力を惜しまなかった講師陣と会員企業に対して深く感謝の意を表する次第である。

1. 序 論

食品会社S社における製品は乾燥物とレトルト物に大別でき、受注生産と見込生産とを併用している。生産計画担当者はそれらの製品の注文量と見込量のずれを日々生産前後確認し、検討し、必要があれば生産計画の変更を指示している。また、

それらの製品はレギュラー製品と、特注品とも區別されるが、特注品は受注がランダムで予想がつきにくく生産計画の変更を余儀なくさせる大きな要因の1つとなっている。しかも、包装及び加工予定をそれぞれの担当者が各自の経験に基づいて立てているため連動性がなく、また計画作成基

準が明確でないなどの理由により、このような特注品の生産計画の変更に対応する事が困難である。

そこで本研究ではMRPシステムのNet Change法 [1] をベースに、包装予定から加工予定までを連動させ、各工程間での原料の仕掛り状態を数量的に把握するためのコンピュータシステムを構築する。また、各種の制約を越えないようにしながら、生産計画の変更を行った場合の影響をシミュレートし、よりよい生産予定の変更を試みる。

2. 研究対象

2-1 概要

主要原料には、KN、AN、KK、GO、ASがある。これらの原料が、処理、調味、乾燥、検査と呼ばれる工程を経て仕掛り、1日後混合、包装と呼ばれる工程を経て製品となるものもあれば、仕掛り原料として止めておかれるもの、あるいは混合せずに包装されて製品になるものもある。材料を切り換えた場合には段取時間が発生する。これらの製品は各工程間でバッチサイズが変化し、乾燥、調味工程ではインプットとアウトプットで重量が大きく異なる。図1に工程図を示す。また、各工程で

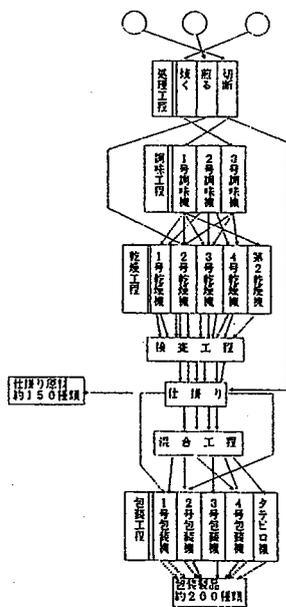


図1 工程図

は当日なすべき仕事を与えられるのみで、それらをどのような順番で行うかはその職場に任せてある。(一般的には、最も清掃時間のかからない順番を選択する) 図2に工程分析の一例を挙げる。

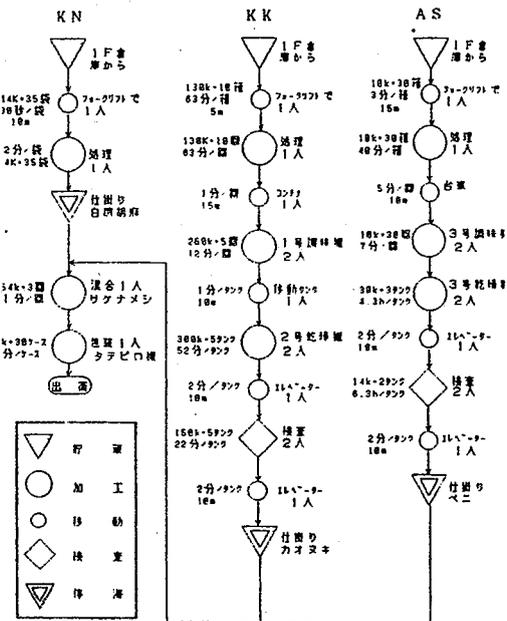


図2 工程分析の一例 (包装製品名 ABC)

図1に示すように、1つの原料が調味工程において調味の配合を変えることにより、仕掛り原料の種類が増えていくのである。そうしてできた仕掛り原料の混合の割合を変えて、さらに多種の包装製品を生産するのである。

2-2 モデル化の前提

通常のMRPシステムでは、タイムバケット(計画期間内の小期間)を1週間、生産計画を1か月以上と長期にわたって行うが、序論で述べたように、特注品による生産計画の変更がかなり頻繁に起こるため、長期の生産計画はほとんど意味のないものになってしまう可能性が高い。また、包装製品は約200種類、原料、仕掛り原料が約150種類もあるため、本研究では、第1包装場と呼ばれている工場生産される包装製品41種類(内、特注品7種類)、原料20種類、仕掛り原料31種類にしぼる。また、各工程機械として次の条件の下で生産計画システムを構築する。

- ・調味機－3台
(1号調味機、2号調味機、3号調味機)
- ・乾燥機－5台
(1号乾燥機、2号乾燥機、3号乾燥機、造粒乾燥機、第2乾燥機)
- ・包装機－5台
(1号包装機、2号包装機、3号包装機、4号包装機、タテピロ機)

を選び、

- ・計画期間 10日間
- ・タイムバケット 1日
- ・リードタイム 加工時間、段取時間、待ち時間の合計とする。
- ・ロットサイズ
 1. Lot - for - Lot
 2. 固定量発注
 3. 定期発注
 4. 定期固定量発注
 5. その他

を製品によって使い分ける。

- ・包装計画はあらかじめ決まっている

2-3 ロットサイズ

2-3-1 Lot - for - Lot

必要な量だけを生産するものである。

2-3-2 固定量発注

あらかじめ決められた量になった段階で発注する。

2-3-3 定期発注

2日、あるいは3日といったある一定の期間をまとめて発注するというものである。

2-3-4 定期固定量発注

固定量発注と定期発注とを合わせたものである。つまり、正味所要量に関係なく定期的に定量を発注するものである。

2-3-5 その他

A、B、Cの仕掛かり製品があるとする、

- ・ AとBは同じ日に生産する。
- ・ また逆に、AとBを異なる日に生産する。
- ・ Cは週の始めに生産する。

等のルールが上記のものに追加される。

3. 生産計画システムの用途

生産計画の担当者は、担当者の立てた生産計画と現場のルール等が組み込まれた採算計画システムで求められた結果とを比較する事によって、その正当性を確認する。また、特注品による生産計画の変更が生じた場合にも、シミュレーションを行って生産計画を変更する。

4. システムのモデル化

今回、図3のようなシステムを構築する。

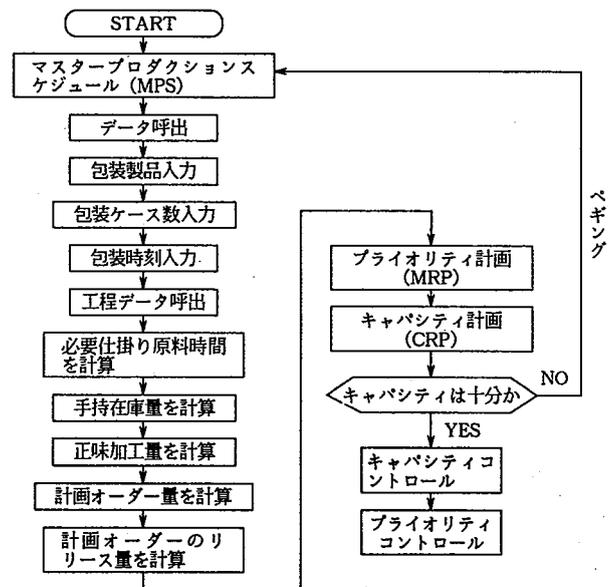


図3 生産計画システム

5. Net change 法

Net change 法 (以下、NC法と略記) はMPS (Master production Schedule) を連続的なものとして扱い、MPSの変更、種々の生産、在庫情報の変化、変更を発生都度MRPシステムの中で

吸収し、処理していく。NC法は生産計画の変更が生じるとそれによって影響を受ける部分のみを処理するため、システムの反応が良い。従って、本研究ではこの方法が適していると思われる。

このNC法により以下の場合による生産計画の変更を考える事にする。

1. 特注品が入ってきた場合
2. 機械が故障した場合
3. 作業者が休んだ場合

上記の事象に対して、そのまま生産計画に組み入れるか、あるいはレギュラー製品の生産を減らす。または、生産日を変更するなどを考慮する。

MPSの段階では能力無限で計画しているため、タイムバケットで能力線を越えた分についての処置を考えなければならない。そこで能力調整法としてペギングと呼ばれる考え方が必要になってくるわけであるが、これは、特定原料の総所要量に対応している包装製品までさかのぼることにより、原料に対する情報を求める事ができる。このペギングが必要な場合を以下に示す。

- ・特定の原料に対する総所要量の発生源のチェック
- ・ある原料に対する仕掛り位置及び総量のチェック
- ・仕掛り在庫やオープンオーダーについての包装製品の間での共通原料、共通仕掛り原料の振り分け、または代用
- ・生産計画の変更が包装製品に与える影響を調査する時

6. ペギング

表1 包装生産計画

包装機械名	12/2	12/3	12/4	12/5	12/6	12/9	12/10	12/11	12/12	12/13
1号包装機	770 240	770 200	770 150	770 170	770 200	770 200	770 200	770 200	770 150	770 170
2号包装機	770 180	770 320	770 320	770 320	770 320	770 270	770 320		770 320	770 320
3号包装機	770 40	770 170	770 250	770 50	770 120	770 50	770 250	770 60	770 120	770 50
クテピロ機	770 50	770 330	770 150	770 200	770 100	770 250	770 150	770 300	770 150	770 200
4号包装機	770 180	770 50	770 50	770 30	770 100	770 40	770 50	770 50	770 130	770 50

表2 乾燥工程の生産計画

	12/2	12/3	12/4	12/5	12/6	12/9	12/10
1号乾燥機	白煎胡麻 170	削り本節 492 黒煎胡麻 120 青のり粉 55	白煎胡麻 120 脱水青しそ 41	削り本節 492 黒煎胡麻 131 青のり粉 55	白煎胡麻 175 脱水青しそ 255	削り本節 492 黒煎胡麻 131 脱水青しそ 103	白煎胡麻 175
2号乾燥機	脱水広菜 705	脱水広菜 398		脱水広菜 199	脱水広菜 890	ピーナッツ粒 182	
3号乾燥機	しらす 222	乾燥卵粒 80 乾燥梅 250	しらす 222 切断梅 200	乾燥卵粒 80	しらす 222 焼紅鮭 327 乾燥梅 250	乾燥卵粒 80 切断梅 200	しらす 222
造粒乾燥機				白煎胡麻 2 1544	黒煎胡麻 2 227		

7. 実行例

7-1 入力データ

包装生産計画 (MPS) を表1に示す。表の数字は包装予定製品名とその包装ケース数を表している。

7-2 実行結果

表2は、包装計画をもとにMRP計算した乾燥工程での生産計画 (従来、S社で加工予定表と呼ばれているもの) を表している。この生産計画に対する1号包装機及び3号乾燥機の稼働予定表が表3である。表3の数値は、表2の生産計画に機

のプログラム化が完全に実現できていない。

また、ペギングのロジックが完成していないため、特注品が入ってきたときの対応ができない等S社にあった生産計画システムになっていない部分があるなど今後の課題が多いと思われる。

参考文献

- [1] 吉谷龍一、中根甚一郎：「MRPシステム—コンピュータ—時代の新生産管理」、日刊工業新聞社 (1977)。pp. 159 - 214.

表3. 1号包装機及び3号乾燥機における稼働予定表

	12/2	12/3	12/4	12/5	12/6	12/9	12/10	12/11	12/12	12/13
シンコミト					3.94			3.94		
ワカロ				3.14						3.14
ナオロ	4.93	4.15				4.15	4.15			
カオロ			3.58						3.58	
サカト				1.28						1.76
稼働予定時間	4.93	4.15	3.58	4.42	3.94	4.15	4.15	3.94	3.58	4.42
能力	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
稼働余裕	1.07	1.85	2.42	1.58	2.06	1.85	1.85	2.07	2.42	1.58

	12/2	12/3	12/4	12/5	12/6	12/9	12/10	12/11	12/12	12/13
乾燥卵粒		0.463		0.463		0.463				
しらす	0.492		0.492		0.492		0.492			
切断梅			0.416			0.416				
乾燥梅		0.416			0.416					
焼紅鮭					0.51					
稼働予定時間	0.492	0.879	0.908	0.483	1.418	0.879	0.492			
能力	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5			
稼働余裕	7.008	6.621	6.592	7.032	6.082	6.621	7.008			

械データをかけたものをもとに計算した各製品、計画日毎の合計稼働時間、最大稼働時間、その差である稼働余裕時間を示している。

8. おわりに

今回、MRPのロジックを使用したのが、S社におけるロットサイズの決定方法が複雑なために、そ

自動車用部品の組立ラインにおける スケジューリング支援シミュレーションシステムの構築

地域中小企業シミュレーション技術の事例研究－広島市工業技術センター平成3年度CIM研究会の成果から（その2）

小島 一洋 横山 武房 神垣 太持* 中村 信人* 森川 克己*
 惣城 正明** 小川 猛** 谷口 栄治**

Construction of schedulling supporting simulation system on assembly
line of motor parts

Research on examples of simulation technique 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
 Taiji KAMIGAKI
 Katsumi MORIKAWA
 Takeshi OGAWA

Takafusa YOKOYAMA
 Nobuto NAKAMURA
 Masaaki SOJO
 Eiji TANIGUCHI

前報（その1）の研究背景のもとに、D社自動車用部品の組立ラインにおけるス
ケジューリング支援シミュレーション システム の構築について述べる。

1. 問 題

D社では自動車用部品のライン生産をおこなっており、このラインでは車の座席を前後に移動させるスライダー部品の製造をおこなっている。生産は完全受注生産で納期遅れは許されず、数パーセントの割合で不良品が発生するために、安全のための工程間在庫を持っているがそれが適切であるかどうかは不明である。また部品は、同一なものが、ある一定個数連続して加工されるため、それに伴う工程間在庫も少くない。会社側はこれらの工程間在庫が多いと判断し、減らすように要求している。

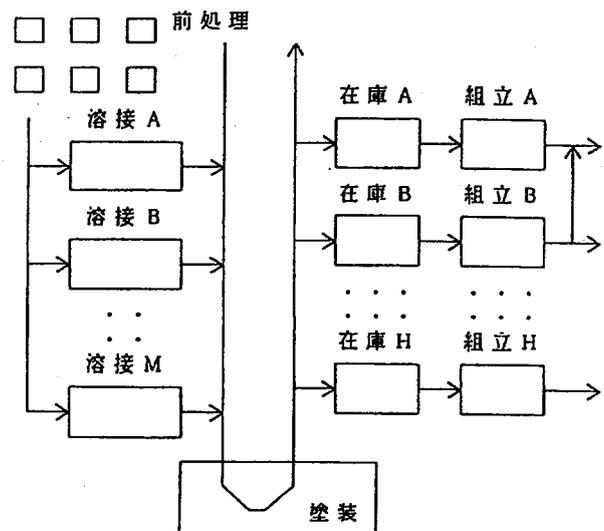


図1 モデルの概要

* 広島大学計数管理工学講座
 ** デルタ工業株式会社

2. モデル

スライダ部品は図1に示したように、前処理を行ったあと、溶接を行い、塗装、組立を経て出荷される。スライダ部品は大まかに分けて2種類の部品で構成されており、個別に加工され組立ラインで1つのスライダ部品として組み立てられる。各々の部品はそれぞれ溶接ラインA～Mのいずれかで溶接され、1本のラインにのせられ塗装される。組立ラインA～Hは出荷先やスライダタイプによって分けられているが、組立ラインAと組立ラインBは同タイプのスライダ部品を組み立てており、組立ラインA、Bの負荷バランスが悪いときには組立ラインBの部品を組立ラインAの方にまわすことができる。問題の工程間在庫はこれらの組立ラインの前に存在する。

3. 要 求

シミュレーション実験の目的は、組立ライン前の工程間在庫の数についての見解をしめすことである。そのために、分かりやすい画面表示をおこない、また、入力装置としてマウスを利用したユーザフレンドリーな操作によって各種設定をおこなえるようにする。

4. シミュレーションシステムの概要

シミュレーションは、あらかじめ設定された条件や各種部品データ、ワークセンターデータによりつくられた作業順序ファイルにしたがって実行され、図2のような形でシミュレーションが進行する。

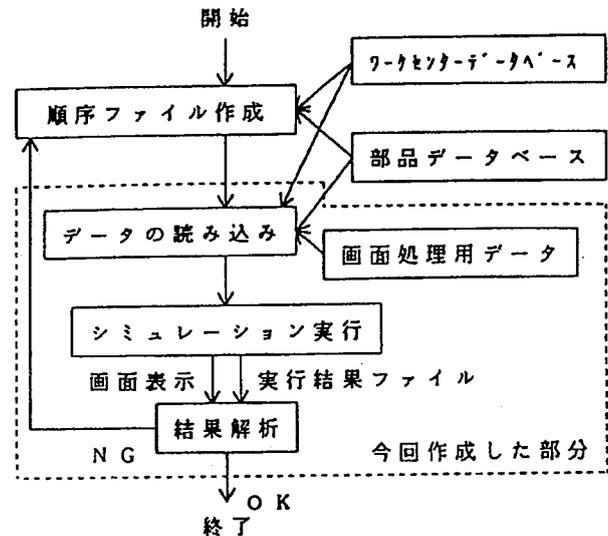


図2 シミュレーションシステムの概要

シミュレーション実行は、図4のように実際の工場のレイアウトに基づいた画面表示によって行われ、ユーザーはシミュレーションの進行状況を見ながらマウスによりアイコンを操作することによって、以下のように実行を中断したりデータを参照することができる。

アイコンは図3で示したように4種類あり、マウスのボタンをクリックする事で選択でき、以下のような動きをもっている。

① グラフアイコン

このアイコンを選択すると図4のような、時間の推移と工程間在庫料の関係を示したグラフを表示する。

② 一時停止アイコン

このアイコンを選択するとシミュレーション実行を一時停止できる。

③ 実行アイコン

このアイコンを選択すると一時停止しているシミュレーション実行を開始する。

④ 中断アイコン

このアイコンを選択するとシミュレーション実行を中断しプログラムを終了する。

アイコンはラジオボタンになっており、選択さ

れると奥に引っ込むようになってる。

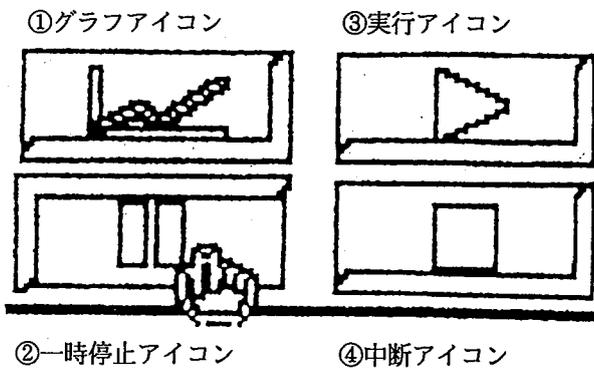


図3 アイコン

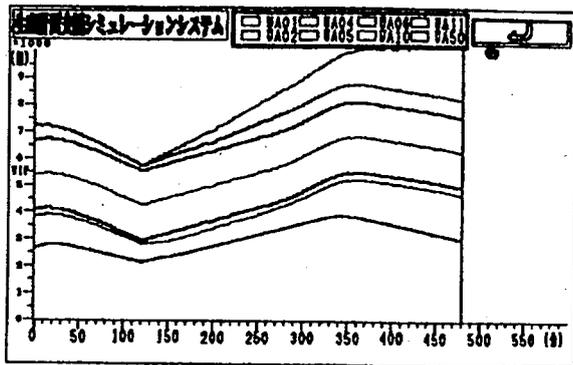


図4 時間・工程間在庫量グラフ

また、マウスにより画面上のワークセンター（溶接ライン、組立ライン）を選択することによって図5のように画面下半分に選択されたワークセンターのより詳しい情報（溶接ラインの場合は現在作業中の部品番号等、組立ラインの場合は現在作業中の部品番号、工程間在庫中にある部品番号と個数、停止した時間等）が表示される。

シミュレーション実行中は画面上で示したワークセンターの色によって以下のようにワークセンターの状態がわかる。

黄色：作業中

水色：予定分の作業終了

赤色：欠品が生じ、作業停止中

在庫量は画面中央部のバーグラフと数値によってリアルタイムに表示される。

シミュレーションはまず、初期状態をつくるた

めに前日分のデータを実行した後、当日分の実行がはじまる。シミュレーションサイクルは100分の1分単位であり、画面は1分毎に変化する。

開発は日本電気PC-9801上のTurbo-C++のオブジェクト指向を用いて作成されており、動的にクラスを編成することによって、ライン数の増減など、各種条件の変更比較的柔軟に対応できる。

5. 入力データ

必要なデータとして以下のようなものがある。

I. ワークセンターデータ

- ・作業時間
- ・部品の作業順序

II. 部品データ

- ・作業時間
- ・作業するワークセンター
- ・次に作業するワークセンター
- ・部品の構成要素

III. 画面処理用データ

- ・工場レイアウトデータ
- ・各ワークセンターの画面上での位置

各々のデータはオブジェクト指向によって図6のようにクラス管理され、クラス生成時に読み込まれる。

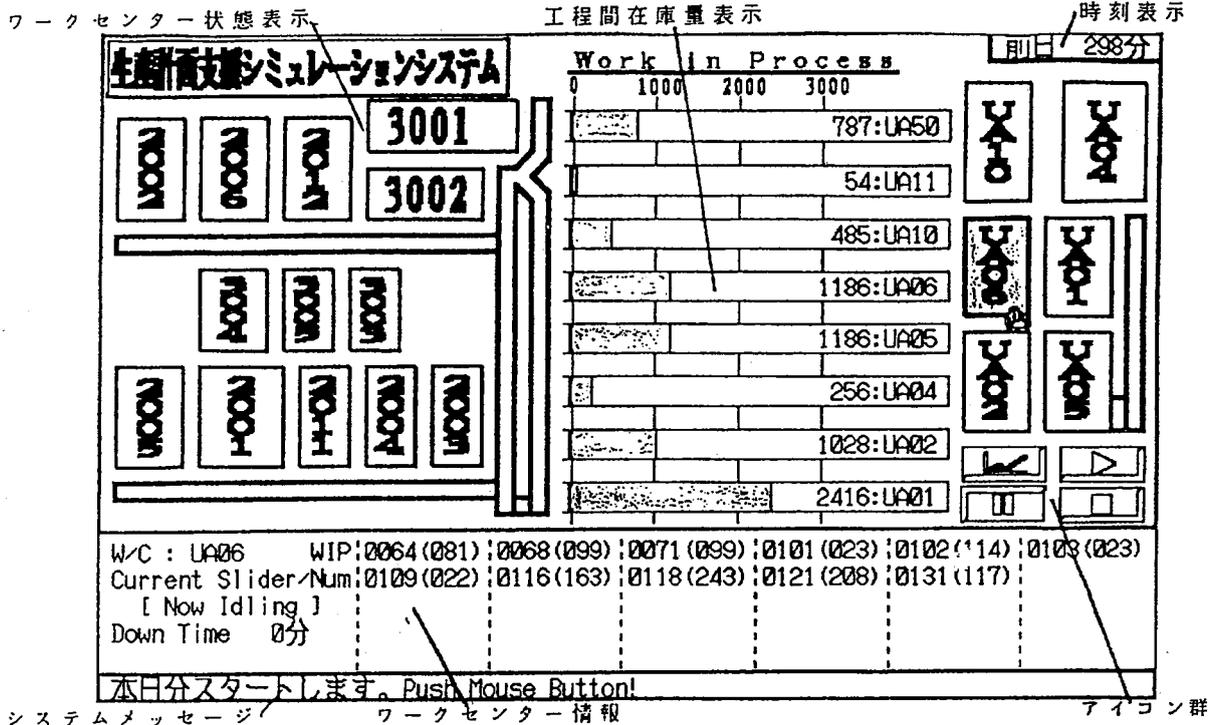


図5 シミュレーションシステムの実行画面

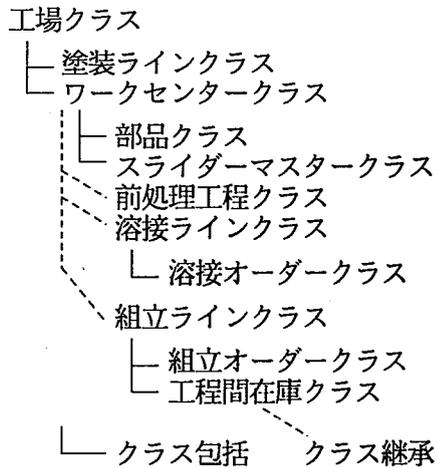


図6 クラス構成

前日分実行結果			
時刻 (分)	UA01	UA02	UA04
0分	0	0	0
・・・分	・・・	・・・	・・・
200分	100	112	34
・・・分	・・・	・・・	・・・
当日分実行結果			
時刻 (分)	UA01	UA02	UA04
0分	1123	332	123
・・・分	・・・	・・・	・・・

図7 実行結果ファイル

ラインにおける組立ラインからの先行時間である。塗装時間は2時間であるため理想的には2時間の先行時間が望ましいが、先述のような理由により、困難となっている。

6. 実行結果

実行結果は画面から得られる結果の他に、図7のようなデータファイルとして各時間における各組立ラインの工程間在庫量を得ることができる。

7. 実行例

次の4つの設定でシミュレーション実験をおこなった。設定できるパラメータは、それぞれの溶接

I) 現実に使用されている設定

実際に現在使用されている設定で、先行時間が3-4時間程度の設定で、結果として工程間在庫のグラフ出力を図8に示す。

おおむね定常的に6,000個程度の工程間在庫が存在していることがわかる。

II) 先行時間を長くしたとき

先行する時間を4-6時間程度に長くしている設定で、結果を図9に示す。

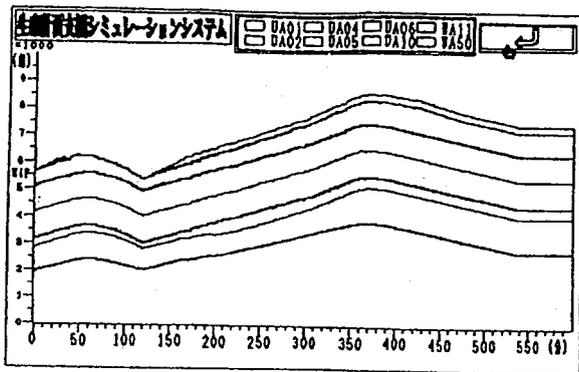


図8 実行例 I

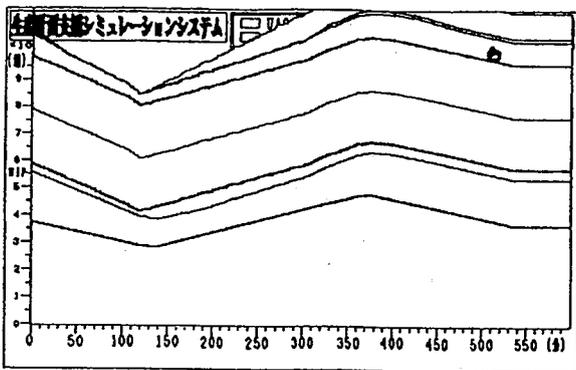


図9 実行例 II

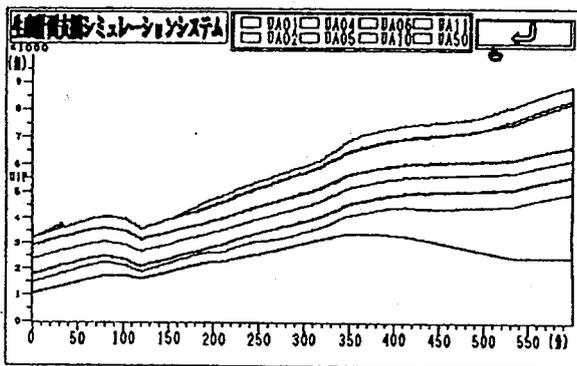


図10 実行例 III

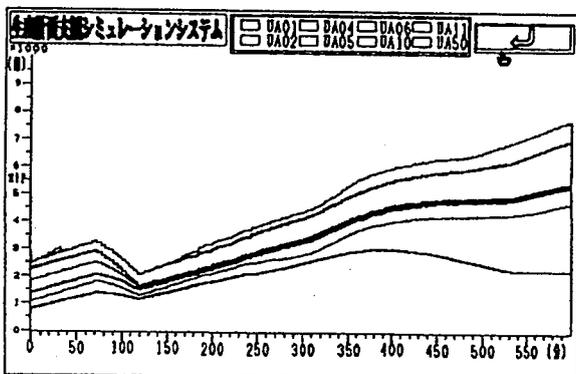


図11 実行例 IV

1の結果よりもかなり多くの工程間在庫を持つことになり、画面からはみ出してしまうほど（10,000個以上）になった。

このことから先行する時間はできるだけ短い方がよいことがわかる。

III) 先行時間を短くしたとき

先行する時間を2時間半から3時間程度に短くした設定で、結果を図10に示す。

Iの結果よりもかなり工程間在庫の量を減らすこと（4-5,000個程度）ができた。しかし、ある組立ラインにおいて10分程度の欠品状態をつくることになった。

IV) 先行時間を塗装時間+10分にしたとき

全ての溶接ラインの先行時間を2時間10分にした設定で、結果を図11に示す。

IIIの結果よりも1,000個程度減ったが、やはりある組立ラインにおいて10分程度の欠品状態をつくることとなった。

このことから欠品をおこすラインについての先行時間のみを長くすることによってよりよい状態が作りだせると考えられる。

8. 今後の展望

現在、外部にもっている順序ファイル作成機能を組み込み、統合的に作業ができるようにすれば、よりユーザフレンドリーなシステムになるとおもわれる。

生産計画パラメータ設定のための
生産工程シミュレータ開発

地域中小企業シミュレーション技術の事例研究－広島市工業技術センター平成3年度CIM研究会の成果から（その3）

小島 一洋 横山 武房 稲井 大介* 中村 信人* 森川 克己* 沖 常登** 深野 信幸**
川隅 信志** 市原 建男** 田中 滋*** 田中 隆太郎*** 河田 博夫****

Development of production process simulator for establishment of
production planning parameter

Research on examples of simulation technique in regional small
& medium enterprise - Result of a society for scientific research
of CIM system in HIROSHIMA MUNICIPAL INDUSTRIAL
TECHNOLOGY CENTER (PART 3)

Kazuhiro OJIMA	Takefusa YOKOYAMA
Daisuke INAI	Nobuto NAKAMURA
Katsumi MORIKAWA	Tsuneto OKI
Nobuyuki FUKANO	Nobushi KAWASUMI
Tateo ICHIHARA	Shigeru TANAKA
Ryutaro TANAKA	Hiroo KAWADA

前報（その1）の研究背景のもとに、スチールサッシュメーカーR社と家具メーカーT社をモデルとして、生産計画パラメータのための生産工程シミュレータの開発について述べる。

1. 研究概要

生産計画の策定にあたって、仮に設定した生産計画によって、果たして生産が不都合なく実行され得るものであるかを、実施する前に評価しておくことは大切である。

本研究では、コンピューター内に作成した生産工程のシミュレータを通じて、生産計画の実行を可能にする適切なパラメータを設定するためのシミュレータの構築を目的としている。

また、使用者がこのシミュレータを容易に扱え

るように、必要なデータの入力を対話形式で行うことができるように設計し、更に、シミュレーションの実行状況を、逐次、画面表示して、実際の工程の動きを視覚的に追うことができるようになっている。

このことは、シミュレータに入力すべきデータを一番詳しく知っている現場の人間が、他人の手を介さず、自分の経験に基づいた生産計画パラメータを設定できることを意味しており、生きた結果を得る為に有効なことと考えられる。

* 広島大学計数管理工学講座
** 鯉城サッシュ工業株式会社
*** 田中家具工業株式会社
**** 石田データサービス株式会社

2. シミュレータの構築

本シミュレータの機能は、汎用シミュレーション言語であるSLAMII [1] を参考として、必要と思われる機能をC言語を用いて、NECのパーソナルコンピュータPC-9801上で開発した。

3. 適用例

T社：生産ロットの決定問題

収納家具を主に製造をしているT社の、生産品目はあらかじめ限られているが、それらを見込みではなく受注によって生産している。そのため、注文を受けてから材料の搬入を行うのではなく、常時、各生産工程の前には、材料が山積みされており、その材料の山の中から、ある一定量のロット毎に材料を生産工程へと送り込んでいる。このロット数は、作業経験者の見込み数のため、万一、材料の欠損が起こらないとは言えない。

そこで現在の材料在庫で、ある受注があった際、どれだけのロット毎に生産を行えば、材料の欠損が起こらず、なおかつ、納期に間に合うかを、前もってコンピュータ上でシミュレーションさせて、その適正ロットを知ろうとしている。

R社：フロータイムの推定問題

スチールサッシュやドア枠等の金属加工を行っているR社では、T社と同じく受注生産を行っているが、こちらは、完全なオーダーメイドの単品の注文を受けることが多くあり、そのために、仕様の微妙に違う製品を、同時に同じラインに流すような状況に陥るような場合が多々ある。そのため、各製品に対するフロータイムが見積りにくく、生産スケジュールを立てるのが困難となっている。

そこで、シミュレーションによって得たフロータイムを生産スケジュール作成に利用しようと考えている。

4. シミュレータの機能

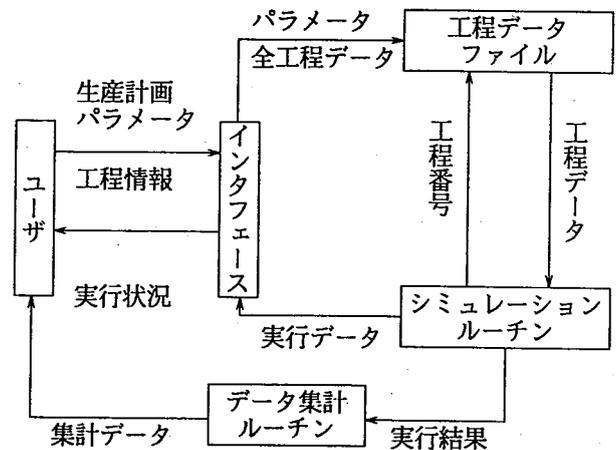


図1 システム構成

このシミュレータでは、ユーザが初めに、生産計画パラメータ並びに生産工程データを入力すれば、それが工程データファイルに納められる。

次に、そのファイルから読み取った工程データ（生産手順、作業時間等）をもとにシミュレータがシミュレーションを行い、その実行状況（材料在庫量の数、仕掛数、完成品数等）をリアルタイムに画面出力して、ユーザに知らせる。（図1参照）

また、生産計画パラメータは、シミュレーションの実行途中においても変更可能であるため、実行中にシステムが異常な状態に陥った時は、一時シミュレータを止めて、ユーザがパラメータを設定しなおすことが可能となっている。

そして、シミュレーション実行後には、全工程における製品ごとのフロータイムの平均値や標準偏差、という生産工程全体のデータの他に、各工程における作業機械の稼働率や、部品（製品）の平均持ち数などのデータが集計され、集計データとして得られるようになっている。

5. 生産工程のモデル化

ユーザは、まず対象とする生産工程内の機能を、以下の8つの工程要素を使って規定しなければなら

ない。次にこの規定に従って、各工程ごとの詳細なデータを、指定のデータ形式により入力する。

工程要素と入力データは次の通りである。

共通データ：工程番号、工程名、次工程番号（分岐の場合は除く）

投入工程：生産工程内に製品（部品）を投入する。



入力データ 製品（部品）別の投入開始時刻、投入時間間隔、投入数、総投入数

搬出工程：生産工程から製品（部品）を消去する。



入力データ 生産目標値

移動工程：現工程から次工程までの移動。



入力データ 移動時間

作業工程：加工、切削等の機械（作業者）の占有を伴う工程。



入力データ 機械台数（作業者数）
製品（部品）別の
作業時間、段取時間、
ロット数、初期仕掛かり数、
作業優先順位

ストック工程：次工程に流すロット数にまとめる。



入力データ 製品（部品）別の
ロット数、初期ストック数

結合工程：2種以上の部品を1つに組み合わせる。



入力データ 結合する部品別の
必要部品数、
初期部品在庫数

分岐工程：1種の部品から2種以上の部品に分割、また分岐条件によって選別された特定の工程に続く。



入力データ 分岐方法、分岐先

記録工程：この工程に製品（部品）が到着した時刻を記録し、記録対象に応じてデータを加工する。

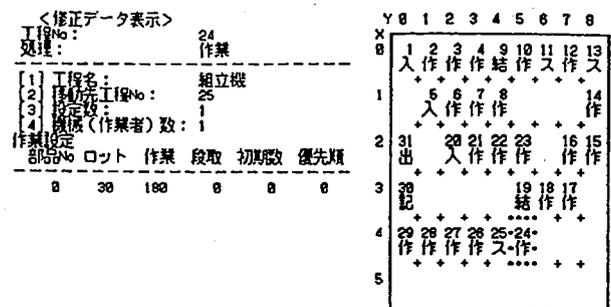


入力データ 記録対象（フロータイム、到着時間間隔等）

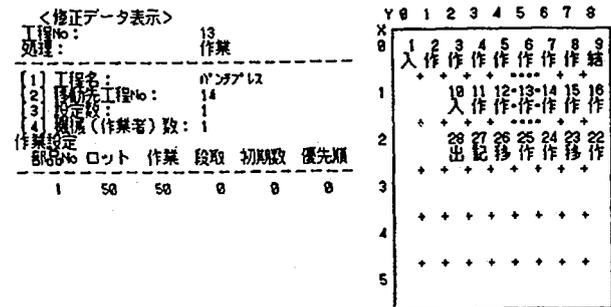
6. 入力画面

図2はシミュレータにある作業工程の工程データを入力している画面の1例である。

画面左には、この作業工程のデータ、画面右の図は、この工程の生産工程中のレイアウト位置を赤い“*”のマーカが示している。



現在の値 = 0 → 修正値 = 20



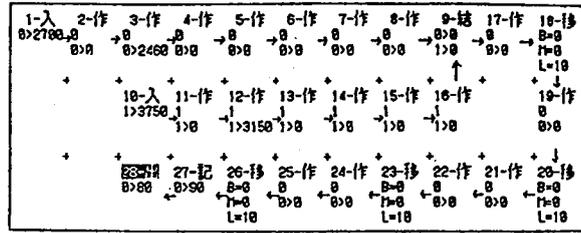
現在の値 = 14 → 修正値 =

図2 入力画面

7. 実行画面

図3は、このシミュレータに対象企業の、ある製品の製造工程のデータを入力し、シミュレーションさせている画面である。

原点: x = 0 y = 0



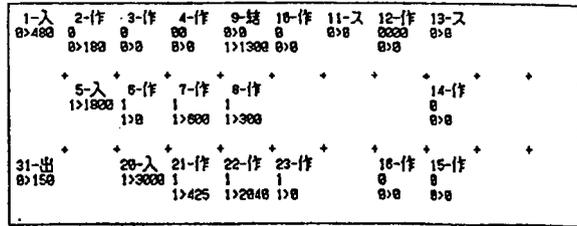
シミュレーション: 片岡フランシス

28: 出荷

シミュレーションTime = 11800 工程 = 28 evt = 11800
 全投入数 = 6450 evt = 0 lot = 18
 全搬出数 = 98 mark = 0 str = 8

工程27で部品0の10個の通過を記録

原点: x = 0 y = 0



シミュレーション: 田中家具L100K

total = 11

シミュレーションTime = 2457 工程 = 26 evt = 2457
 全投入数 = 5200 evt = 1 lot = 15
 全搬出数 = 158 mark = 0 str = 8

工程26で部品0の窓口での作業が15個開始

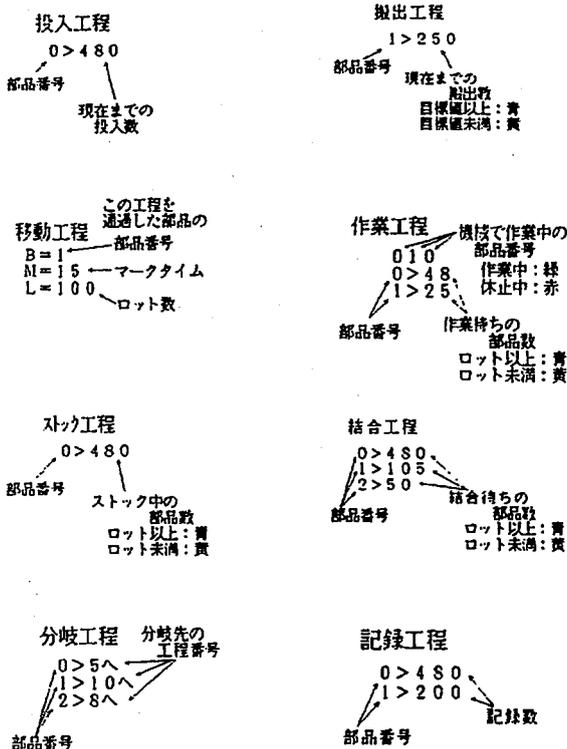


図3 実行画面

た。

図4は、シミュレーション実行終了時、または、実行途中に見ることのできる、各工程(作業工程、ストック工程、結合工程、記録工程)の実行データの画面例である。

ただし、このデータは、作業手順や作業時間、等の固定的なデータ以外のロット数や初期仕掛り量、材料投入の間隔をプログラム担当者が、独自に決定したデータによるものである。

作業工程	部品%	平均待ち数	最大待ち数	作業工程	部品%	平均待ち数	最大待ち数
2-ワッパ切取	0	26.00	200	12-ワッパ以前	1	297.01	1500
3-ワッパ以前	0	110.55	600	13-ワッパ以前	1	160.90	500
4-ワッパ以前	0	63.70	200	14-ワッパ以前	1	66.13	500
5-ワッパ以前	0	30.11	200	15-ワッパ以前	1	251.00	500
6-ワッパ	0	99.14	200	16-ワッパ後	1	35.39	500
7-台組	0	18.10	20	17-組立	0	143.90	320
8-組立直場	0	15.24	200	19-自動溶接	0	7.41	10
11-ワッパ切取	1	55.54	500	21-仕上げ加工	0	5.50	10
22-金輪取付	0	9.27	10	結合工程	部品%	平均待ち数	最大待ち数
24-作業台へ	0	9.76	10	6-手溶接	0	118.35	200
25-塗装	0	6.43	10	1	1.83	500	
記録工程	記録対象	通過数	平均	標準偏差	最大		
27-70-944記録	0	滞留時間	600	6204.68	2220.20	12167	

図4 実行結果

8. 実行結果

対象企業2社における、それぞれ30工程前後の生産工程を500時間のシミュレーションを行っ

作業工程	部品No	平均待ち数	最大待ち数
2-運搬	0	49.93	300
操機率	1	0.40%	
3-マシンツム	0	43.05	300
操機率	1	4.95%	
4-合板合わせ	0	9.83	60
操機率	1	5.95%	5.95%
6-運搬	1	32.62	700
操機率	1	1.39%	
ページを切り替えます。(Hit any key !)			
作業工程	部品No	平均待ち数	最大待ち数
7-マシンツム	1	72.09	900
操機率	1	16.65%	
8-積切り	1	63.75	500
操機率	1	24.99%	
10-割付作業	0	20.98	120
操機率	1	7.93%	
12-プレス	0	299.65	1053
操機率	1	47.59%	47.59%
操機率	2	47.59%	47.59%
操機率	3	47.59%	47.59%
操機率	4	47.59%	47.59%
ページを切り替えます。(Hit any key !)			
作業工程	部品No	平均待ち数	最大待ち数
14-運搬	0	13.91	30
操機率	1	1.90%	
15-IC検出	0	12.50	30
操機率	1	6.74%	
16-錫取り	0	12.41	30
操機率	1	7.14%	
17-IC検出	0	12.56	30
操機率	1	6.74%	
HIT Any Key to be continue !			
作業工程	部品No	平均待ち数	最大待ち数
18-マシンツム	0	13.77	30
操機率	1	11.90%	
21-運搬	1	32.62	700
操機率	1	5.55%	
22-マシンツム2	1	189.38	1100
操機率	1	34.21%	
23-丁番欠キ	1	6.31	30
操機率	1	13.68%	
ページを切り替えます。(Hit any key !)			

作業工程	部品No	平均待ち数	最大待ち数			
24-組立機	0	298.18	120			
操機率	1	70.49%				
25-運搬	0	21.25	30			
操機率	1	3.92%				
27-金物取付	0	290.11	600			
操機率	1	95.18%	92.80%			
操機率	2					
28-運搬	0	28.94	30			
操機率	1	3.92%				
ページを切り替えます。(Hit any key !)						
作業工程	部品No	平均待ち数	最大待ち数			
29-梱包	0	9.24	30			
操機率	1	47.00%	0.00%			
操機率	2					
HIT Any Key to be continue !						
記録工程	部品No	記録対象	通過数	平均	標準偏差	最大
30-70-94121	0	深層時間	2370	9123.05	4394.05	16812
HIT Any Key to be continue !						

図4 実行結果

9. 現在までの成果、および今後の課題

これまでのところ、実験的に設定した短い工程については、ほぼ8種の工程要素が仕様通りに機能し、その動作も正確であった。

しかし、このシミュレータの本来の目的でもあ

る工程内の物の動きを表す画面表示が、現段階では稚拙でわかりにくく、現実の生産工程に対するシミュレーションにはまだ不十分で、以下のような問題が残されている。

1) 現在、シミュレーション可能な生産工程は、工程数が最大50が限界であり、しかも、記憶すべき将来事象に関しても最大70が限界となっている。

現実の生産工程のシミュレーションを行うためには、これらハードの容量問題を、プログラムの改造によって行う必要がある。

2) 画面情報に色をつけることでいくらかは、表現をわかり易いものにするつもりであったが、工程間のつながりがはっきりせず、この点をさらに改善する必要がある。

参考文献

- [1] 森戸晋、相沢りえ子、「SLAM IIによるシステム・シミュレーション入門」、構造計画研究所、1986。

プレス用金型製造ラインにおける 生産計画支援システムの構築

地域中小企業シミュレーション技術の事例研究－広島市工業技術センター平成3年度CIM研究会の成果から（その4）

小島 一洋 横山 武房 白神 正樹* 中村 信人* 森川 克己*
山田 浩一** 古庵 弘之** 林 康明** 切田 俵昭**

Construction of production planning supporting system on press metal
mold production line

Research on examples of simulation technique in regional small &
medium enterprise – Result of a society for scientific research of
CIM system in HIROSHIMA MUNICIPAL INDUSTRIAL TECHNOLOGY
CENTER (PART 4)

Kazuhiro OJIMA	Takefusa YOKOYAMA
Masaki SHIRAGAMI	Nobuto NAKAMURA
Katsumi MORIKAWA	Koichi YAMADA
Hiroyuki FURUAN	Yasuaki HAYASHI
Toshiaki KIRITA	

前報（その1）の研究背景のもとに、自動車ドアメーカーHT社のプレス用金型製造ラインにおける生産計画支援システムの構築について述べる。

1. はじめに

プレス用金型は全て受注単品生産であり、その生産期間も長期間にわたる。この金型製造ラインの生産計画は、各製品の納期を満たし、加工区分の過負荷や無駄な遊休が生じないように作成される必要がある。また、納期遅れが避けられない場合には、事前にそれを知り対策を立てる必要がある。しかし、通常一つの製品は多くの順序づけされた工程を持ち、同時に多くの製品が仕掛かりの状態にあるため、負荷の状況を予測することは大変難しい。本研究では、納期遅れや負荷状況を1日単位で把握できるように情報を視覚的に提供し、生

産計画の作成、修正を支援するシステムの構築を行う。

2. 対象企業

自動車用ドアメーカーであるHT社では、ドアをプレス加工するための金型の製造を行っている。本研究ではHT社の金型製造ラインの設計を除いた加工から仕上げまでを扱う。一つの金型を製造するのに2週間から半年程度の期間がかかり、だいたい50程度の金型が同時に製造されている。作業区分はNC加工、表面做い（COM）、ダイスポッター（DS）、仕上げの4つがあり、全ての工程はこのど

* 広島大学計数管理工学講座
**株式会社ヒロテック

れかの作業区分に属する。一つの金型は多数の順序づけされた工程を持つ。

3 システムのモデル化

3-1 能力

各作業区分の作業機械一台、または一人当たり一日に可能な作業時間を能力Ⅰとして設定する。能力Ⅰは一つの工程が1日に積める負荷の最大数であり、負荷山積みの際用いる。また各作業区分全体での1日に可能な作業時間を能力Ⅱとして設定する。能力Ⅱは能力Ⅰ×機械数あるいは人数となる。能力Ⅰ、能力Ⅱは変更可能な値で、表1にその初期値を示す。能力Ⅱはカレンダー上に一日ごとに設定され、負荷を山積みをする際に参照される。休日、この値をゼロにすることで示す。

作業区分	能力Ⅰ	能力Ⅱ
NC	16時間	48時間
COM	16時間	48時間
DS	16時間	32時間
仕上げ	16時間	96時間

表1 能力の値

3-2 標準時間

各工程の負荷を表すのに、その工程の作業開始から終了までにかかるであろう時間を推定し、これを標準時間として全ての工程にあらかじめ設定する。工程の標準時間を一日最大能力Ⅰずつ（初期値では16時間ずつ）積み上げていき、一日の負荷の合計が能力Ⅱを越えた場合を過負荷と呼ぶ。

3-3 余裕

PERT計算により求めた最早終了日と最遅終了日の差から、休日分を差し引いた日数を余裕日数として各工程について計算し、負荷山積みをする際に全ての負荷に記録する。この余裕日数以内なら負荷を後ろにずらしてもその製品の希望納期をオーバーしないことをあらわす。言い替えれば余裕日数がゼロならば一日でも後ろへずらすと納期遅れになることになり、余裕日数がマイナスの場合そのマイナス日数分だけ納期遅れになっていることが分かる。

3-4 工程図

各製品の工程でまとめられるものが有ればできるだけまとめ、各製品の工程数が10~30程度になるように簡単化したものを扱う。図1に製品の工程図の例を示す。



図1 工程図の一例

4. システムの構築

4-1 概要

全ての製品につき開始年月日、希望納期、工程の工程順序を入力し、その全ての工程につき標準時間、作業区分を入力する。

各製品ごとに開始年月日から日単位のPERT計算により各工程の最早開始日と最早終了日を、希望納期から最遅開始日と最遅終了日を求める。

PERT計算により求めた最早の日程によりカレンダー上に負荷を無限山積みと制限山積みの二通りの方法で山積みし、各々その結果をグラフ表示し、それをもとに計画者が計画の作成、修正を行うのを支援する。

4-2 PERT計算 [1]

通常、PERT計算では開始日または終了日から製品の納期、あるいは開始日を計算するが、この場合、開始日と希望納期の両方が与えられているので開始日からフォワード方向に最早日程を計算し、希望納期からバックワード方向に最遅日程を計算する。

4-3 無限山積み

PERT計算により求めた最早の日程により、負荷をカレンダー上に山積みする。この場合一日の負荷が能力Ⅱを越えてもそのまま積み上げる。

4-4 制限山積み

無限山積みと同様に、最早の日程により、負荷をカレンダー上に山積みする。一日の負荷が能力Ⅱを越えてしまう場合、越える負荷を全て後ろにずらして山積みする。この場合、同じ期間で最初に山積みする製品は無限山積みと同じになり、それ以降に積まれる製品はある程度後ろにずらされると考えられる。そのため製品の山積みされる順序によって負荷状況が変わってくる。この製品を山積みする順序を変更することによりある程度の

負荷の平滑化を図る。

最初に山積みする時には無限山積みの計算結果から希望納期までの余裕の少ない順に山積みを行い、2回目以降は以前の計算結果から希望納期までの余裕の少ない順に山積みを行う。

また、優先的に初めに積む製品を指定することができる。この場合指定した製品を山積みした後、残りの製品は以前の計算結果から余裕の少ない順に山積みする。

4-5 負荷の平滑化

無限山積みされた結果をもとに、過負荷になった負荷を後ろにずらすことによる負荷の平滑化を自動的に行う。この処理フローを図2に示す。

まず過負荷になっている日に積まれている負荷のうち、最も余裕の多いものを選択する。次に選択した最も余裕の多い負荷のうち、希望納期の最も遅いものを選ぶ。この負荷を1日だけ後ろにずらす。これにともなってこの負荷と同じ製品のこれに続く負荷も後ろへずらしてゆく。ずらされた負荷の余裕を1日だけ減少させる。そしてその日が過負荷でなくなるまでこれを繰り返す。以上の操作を最も開始日の早い製品の開始日から順に過負荷がすべてなくなるまで繰り返す。

この場合も急ぎの製品を他に比べ優先させるよう指定することができる。指定された製品の負荷は過負荷になっている日の負荷が全て優先指定されている場合を除き、後ろにずらされることはなくなる。

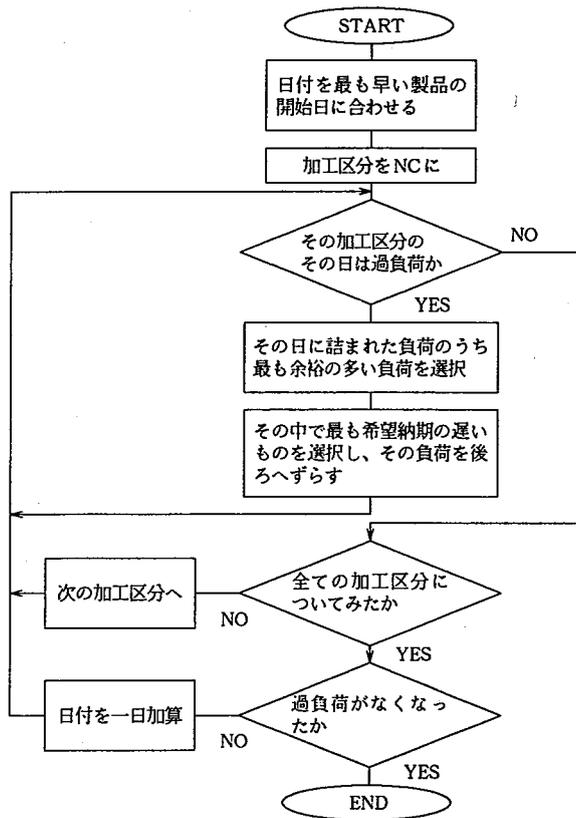


図2 負荷平滑化のフロー

4-6 実績日の入力

生産計画と実際の作業の進み具合の間には当然ズレが生じてくる。このズレにより生産計画に過負荷が生じたり、納期遅れが生じたりすることがある。これを知るために毎日の作業の進み具合を時間を単位とする実績工数として入力する。これにより、現実の作業の進み具合をより反映した負荷状況を示すことができる。

5. 出力データ

出力データとして、納期チェック表、負荷の山積み結果を示すグラフ、各製品ごとの負荷積みリストの三つがある。

5-1 納期チェック表

負荷山積み、負荷ならしを行ったとき出力される一覧表で、作業終了日と納期遅れかどうかのチェック、そして希望納期までの余裕日数等を全て製品について示す。この表により、山積みや負荷

ならしを行った結果として納期遅れの製品がどのくらいあり、その遅れた日数はどのくらいかといったことを知ることができる。

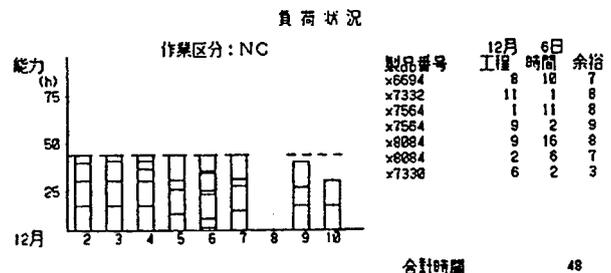
製品番号	着手日	希望納期	計算納期	余裕
x8109	1991年10月23日	1991年12月10日	1991年12月13日	-3
x8108	1991年10月30日	1991年12月3日	1991年12月4日	-1
x9075	1991年11月11日	1991年12月11日	1991年12月9日	-2
x7021	1991年10月25日	1991年12月6日	1991年12月3日	-3
x7526	1991年10月9日	1991年12月12日	1991年12月9日	-3
x7563	1991年10月24日	1991年12月18日	1991年12月14日	-4
x7330	1991年11月11日	1992年1月6日	1992年1月2日	-4
x8110	1991年10月30日	1991年12月3日	1991年11月29日	-4
x8111	1991年10月31日	1991年12月4日	1991年11月30日	-4
x9074	1991年11月2日	1991年12月20日	1991年12月17日	-3
x7022	1991年10月28日	1991年12月7日	1991年12月2日	-5
x8084	1991年12月2日	1992年1月31日	1992年1月23日	-7
x6694	1991年11月28日	1992年1月31日	1992年1月21日	-9
x9072	1991年11月18日	1991年12月30日	1991年12月19日	-11
x7332	1991年11月26日	1992年1月20日	1992年1月17日	-3
x7564	1991年12月15日	1992年1月21日	1992年1月9日	-12
x9073	1991年11月15日	1991年12月30日	1991年12月18日	-12
x8085	1991年12月12日	1992年1月28日	1992年1月14日	-14
x7020	1991年12月16日	1992年2月24日	1992年2月8日	-16
x6695	1991年12月14日	1992年2月6日	1992年1月21日	-14

F.S.C: 次ページ(11)

図3 納期チェック表出力例

5-2 グラフ

負荷の山積み状況を表した棒グラフ。指定日にどの製品のどの工程の負荷が何時間積みまれているかといったことを示した表を同時に表示する。図4にこの出力例を示す。



1: 日付の変更
2: 加工区分の変更
3: 納期チェック表
4: 負荷山積みリスト
5: 負荷積みリスト
6: 負荷ならしリスト
7: 負荷ならしリスト
8: 負荷ならしリスト
9: 負荷ならしリスト
10: 負荷ならしリスト
11: 負荷ならしリスト
12: 負荷ならしリスト
13: 負荷ならしリスト
14: 負荷ならしリスト
15: 負荷ならしリスト
16: 負荷ならしリスト
17: 負荷ならしリスト
18: 負荷ならしリスト
19: 負荷ならしリスト
20: 負荷ならしリスト
21: 負荷ならしリスト
22: 負荷ならしリスト
23: 負荷ならしリスト
24: 負荷ならしリスト
25: 負荷ならしリスト
26: 負荷ならしリスト
27: 負荷ならしリスト
28: 負荷ならしリスト
29: 負荷ならしリスト
30: 負荷ならしリスト
31: 負荷ならしリスト
32: 負荷ならしリスト
33: 負荷ならしリスト
34: 負荷ならしリスト
35: 負荷ならしリスト
36: 負荷ならしリスト
37: 負荷ならしリスト
38: 負荷ならしリスト
39: 負荷ならしリスト
40: 負荷ならしリスト
41: 負荷ならしリスト
42: 負荷ならしリスト
43: 負荷ならしリスト
44: 負荷ならしリスト
45: 負荷ならしリスト
46: 負荷ならしリスト
47: 負荷ならしリスト
48: 負荷ならしリスト
49: 負荷ならしリスト
50: 負荷ならしリスト
51: 負荷ならしリスト
52: 負荷ならしリスト
53: 負荷ならしリスト
54: 負荷ならしリスト
55: 負荷ならしリスト
56: 負荷ならしリスト
57: 負荷ならしリスト
58: 負荷ならしリスト
59: 負荷ならしリスト
60: 負荷ならしリスト
61: 負荷ならしリスト
62: 負荷ならしリスト
63: 負荷ならしリスト
64: 負荷ならしリスト
65: 負荷ならしリスト
66: 負荷ならしリスト
67: 負荷ならしリスト
68: 負荷ならしリスト
69: 負荷ならしリスト
70: 負荷ならしリスト
71: 負荷ならしリスト
72: 負荷ならしリスト
73: 負荷ならしリスト
74: 負荷ならしリスト
75: 負荷ならしリスト
76: 負荷ならしリスト
77: 負荷ならしリスト
78: 負荷ならしリスト
79: 負荷ならしリスト
80: 負荷ならしリスト
81: 負荷ならしリスト
82: 負荷ならしリスト
83: 負荷ならしリスト
84: 負荷ならしリスト
85: 負荷ならしリスト
86: 負荷ならしリスト
87: 負荷ならしリスト
88: 負荷ならしリスト
89: 負荷ならしリスト
90: 負荷ならしリスト
91: 負荷ならしリスト
92: 負荷ならしリスト
93: 負荷ならしリスト
94: 負荷ならしリスト
95: 負荷ならしリスト
96: 負荷ならしリスト
97: 負荷ならしリスト
98: 負荷ならしリスト
99: 負荷ならしリスト
100: 負荷ならしリスト

図4 グラフ表示例

5-3 負荷積みリスト

一つの製品の各工程の負荷が何日に何時間ずつ積みまれているかを全てまとめてリストにしたもの。

画面に出力するほかファイルに保存することができる。

負荷積みリスト：製品番号 x6695

開始日	1991年 12月 14日
希望納期	1992年 2月 6日
計算納期	1992年 2月 7日

No. 1：一次加工
 区分：NC 標準時間：658時間
 負荷：'91/12/11 ~ '91/12/19
 負荷：'91/12/31 ~ '92/1/4
 負荷：'91/12/17 ~ '91/12/24

1991年12月	山積み時間	銀山積み時間	余裕日数
17日	36時間	488時間	12日
18日	168時間	488時間	12日
19日	66時間	488時間	11日
20日	168時間	488時間	11日
21日	48時間	488時間	11日
22日	168時間	488時間	11日
23日	168時間	488時間	11日
24日	168時間	488時間	11日

図5 負荷積みリストの一部

6. 実行例

実際に20個の製品データを入力し、山積みを行った。この20個の製品はだいたい91年の10月の終わりから翌年の2月なかばまでの4ヵ月弱の期間に分散している。単純山積みを行った結果の余裕、制限山積みを行った結果のうち比較的良いと思われるもの、自動負荷ならしを行った結果を表2に示す。

数値は納期までの余裕日数を表す。マイナスの数値は希望納期から何日遅れているかを示している。遅れ日数は納期遅れになった日数の総計である。制限山積みの場合は5つの製品は納期に間に合っているが納期遅れの製品の納期遅れの日数が1ヵ月近くまでなっているものがある。これに対して、自動的に負荷をならしたものは全ての製品が納期遅れとなっているが比較的均等に納期遅れの日数が散らばっている。

表2 山積み結果（余裕日数）

製品番号	単純山積み	制限山積み	自動
x9075	2	1	-12
x7526	3	-7	-12
x7563	3	-12	-12
x7021	3	-5	-11
x9074	3	-9	-11
x8109	-3	-5	-10
x7022	5	-25	-10
x8111	3	-22	-7
x7330	3	3	-6
x8110	3	-13	-5
x8084	7	7	-5
x6694	9	6	-5
x9072	9	-6	-5
x9073	10	-22	-5
x8085	12	-6	-5
x7332	10	-7	-4
x7564	10	-10	-4
x8108	-1	-2	-3
x7020	13	6	-2
x6695	14	-3	-1
遅れ日数	4	154	135

7. おわりに

過負荷の負荷のうち最も余裕の多いものを後ろにずらすことにより負荷の平滑化を自動的に行ったが、実際には一日に同じ余裕日数を持つ負荷が複数あることが多く、このうちどれを選ぶかという問題が残った。今回は、もう少しで終わりそうなものがあれば一気に終わらせたほうがよいのではないかということで、最も希望納期の遅いものを選ぶようにしたが、まだ改善の余地が多いと思われる。

参考文献

- [1] Elwood S. Buffa and Rakesh K. Sarin, Modern Production / Operations Management, Eighth Edition. John Wiley & Sons, Inc., 1987, pp. 329 - 363.
- [2] 松村林太郎, 「経営工学講座3 生産管理」, 朝倉書店, 1977, pp. 145 - 170.

鉄骨溶接組立ラインのシミュレータ開発

地域中小企業シミュレーション技術の事例研究—広島市工業技術センター平成3年度CIM研究会の成果から(その5)

小島 一洋 横山 武房 森川 克己* 中村 信人*
石原 栄治** 榎本 浩二** 伊達 和孝**

Development of simulator for steel structure welding assembly line

Research on examples of simulation technique in regional small & medium enterprise —Result of a society for scientific research of CIM system in HIROSHIMA MUNICIPAL INDUSTRIAL TECHNOLOGY CENTER (PART 5)

Kazuhiro OJIMA

Takefusa YOKOYAMA

Katsumi MORIKAWA

Nobuto NAKAMURA

Eiji ISHIHARA

Kouji MAKIMOTO

Kazutaka DATE

前報(その1)の研究背景のもとに、建築構造物等の鉄骨溶接組立メーカー H 社における鉄骨溶接組立ラインのシミュレータ開発について述べる。

1. はじめに

ここでは H 社の鉄骨溶接組立ラインのシミュレータ開発事例を紹介する [1]。使用コンピュータは米国アップルコンピュータ社製 Macintosh SE/30 であり、開発言語は米国シマンテック社製 THINKC (Ver.4.0) である。

2. 鉄骨溶接組立ライン

図1は H 社の鉄骨溶接組立ラインにおける設備と材料の流れをモデル化したものである。このラインで組み立てられる鉄骨は図2左の I (アイ) 型と、右の T (ティー) 型という2つのタイプにグループ化でき、各製品タイプの加工経路は図3に示すごとくそれぞれ2通りある。各機械には作業者が

1人ずつ配置されており、材料の機械への取付作業(前処理)、実際の溶接組立作業、そして不用物の除去と不良ヶ所の手直し(後処理)という3つの作業を行う。なお搬送作業は前処理ないし後処理作業に含めて取り扱う。鉄骨は完全受注品であり材料の長さ、厚さ、穴あけ位置などが異なるために1個作りの生産を余儀なくされているが、材料の厚みや幅などが変わるとともに機械調整が必要であり、この段取時間は無視できない。

このラインのその他の設定は以下の通りである。1日の稼働時間は9時間である。段取時間は材料の板厚が変わる毎に5分かかり、板幅が変わった場合にも5分かかるものとする。ただし歪み取りとガス切断においては段取時間は常にゼロとする。前処

* 広島大学計数管理工学講座
** 豊国重機株式会社

理時間はこの段取時間に機械加工時間の0.1倍の値を加えたものとする。一方、後処理時間は機械加工時間の0.1倍の値を用いるものとする。機械加工時間は板の長さで与えられ、処理スピードは板厚が9mmのとき毎分750mm、12mmのとき700mm、16mmのとき650mm、19mmのとき600mmとする。ただし歪み取り機械とプレートボール、ラインボールは2倍の処理能力をもつものとする。

機械が故障した場合にはその機械の受け持ち作業者が修理するものとする。また欠勤があった場合、1人の欠勤の場合には当日3次溶接機械を停止させ、2人の欠勤の場合にはさらに歪み取り機械を停止させるものとする。

3. シミュレーションの目的

(1) 材料を流す順番を変えたときの影響を見る：機械段取時間が無視できないため、ある程度仕様の類似したものを集めて生産することを考えている。これにより、日当りの生産性は向上するが、遠い将来の受注品まで生産せざるをえなくなり、結果的に在庫管理が非常にしにくくなる。そこで、生産性の向上と完成品在庫量とを考慮したうえで、毎日の作業指示と材料発注を行いたい。

(2) 生産性を上げるための重点管理工程を見つける：完全受注生産のために、負荷の集中する機

械をあらかじめ見つけにくい。そのためシミュレーションによって最も負荷の高い機械を見つけて重点管理を行いたい。これにより加工経路を変えるなどの対策も考えることができる。

4. シミュレータの構成

シミュレータにはオブジェクト指向プログラミングの考え方を採用している。オブジェクト指向プログラミングを用いる場合、性質の類似したオブジェクトの集合であるクラスを決め、このクラスにおいてデータと手続きを定義することになる

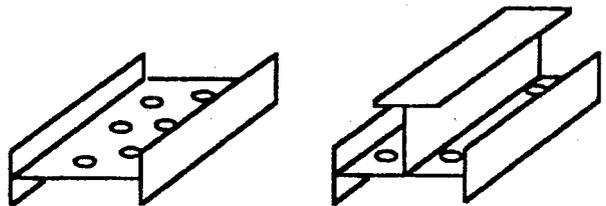


図2 完成品（I型とT型）

が、本シミュレータでは以下のようなクラスとコントロール・ロジックを用いた。

4-1 クラス構造

開発したシミュレータは図4に示す6つのクラス

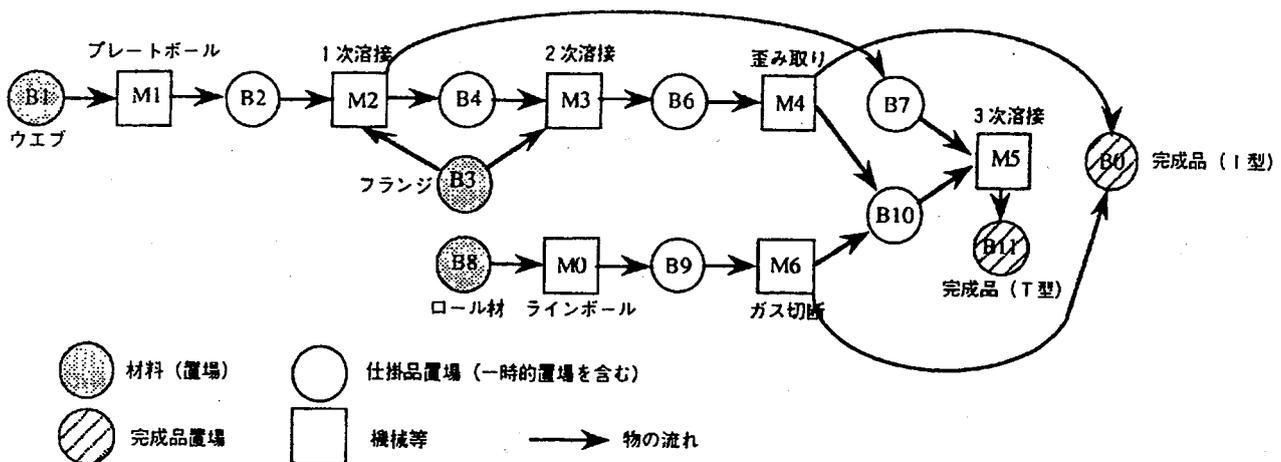


図1 鉄骨溶接組立ラインのモデル

を含んでいる。時間クラスはその他のクラスの上位クラスに位置しており、機械クラスはバッファ・クラスの下位に位置している。各クラスの内容は以下の通りである。

- I 型 (1) M1 → M2 → M3 → M4 → 完成
 (2) M0 → M6 → 完成
- T 型 (1) M1 → M2 → M5 → 完成
 M0 → M6 ↗
- (2) M1 → M2 → M3 → M4 → M5 → 完成
 M1 → M2 ↘

図3 各製品タイプの加工経路

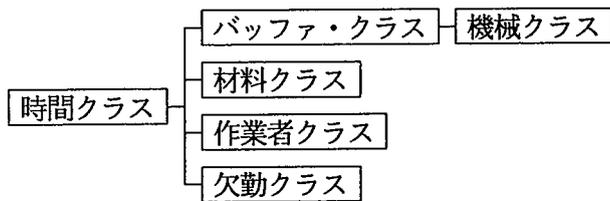


図4 シミュレータを構成するクラス

(1) 時間クラス：時間クラスは大別して2つの情報をもつ。1つはシミュレーション開始時刻から現在時刻までの事象記録（発生時刻とその内容）であり、もう1つは将来予定されている事象の発生時刻とその内容である。なお、本事例で考慮する事象は以下の通りである。

(a) 作業者の前処理開始、(b) 作業者の前処理終了、(c) 作業者の機械加工開始、(d) 作業者の機械加工終了、(e) 作業者の後処理開始、(f) 作業者の後処理終了、(g) 加工機械の故障発生（＝作業者の修理作業開始）、(h) 故障機械の修理完了（＝作業者の修理作業終了）、(i) 作業者の欠勤

(2) バッファ・クラス：これは与えられた材料の保管、FIFO規則に基づく材料の取り出し、現在の材料数量通知といった手続きをもつ。さらに、時間クラスを上位にもつため、事象発生時刻ごとの材料数量を記録できる。なお、バッファ・クラスのオブジェクトは将来事象をもたない。

(3) 機械クラス：機械クラスは、上位クラスと

して時間クラスとバッファ・クラスを持つため、活動記録ならびに材料の受け取りと引き渡しはこれら上位クラスの機能により対応する。機械クラスそのものがもつ情報としては、故障率、平均修理時間、材料を受け取るバッファの番号、直前に加工した材料の情報などであり、処理手続きとしては、設定された各種情報の提示、故障発生のチェックなどである。機械クラスは将来事象として（故障状態にあるときに）修理完了についてのみ考慮する。

(4) 材料クラス：材料のもつ情報としては、加工経路、長さ、幅、厚さ、柱番号などであり、これらの情報を得る手続きが定義されている。また時間クラスを上位にもつため、バッファでの待ち時間などが記録できる。なお、材料は将来事象に関する情報をもたない。

(5) 作業者クラス：受け持ち機械の番号、現在の状態といった情報をもち、これらの値を返す手続きをもつ。また時間クラスを上位にもつため、現在の作業終了予定時刻に関する将来事象情報をもつと同時に、これまでの事象発生時刻での状態を保管している。

(6) 欠勤クラス：欠勤クラスは、欠勤発生確率をデータとしてもち、1日ごとに欠勤の有無を決定する。すなわち、欠勤有無の将来事象を保管している。また上位の時間クラスの機能により、各日での欠勤の発生の様子を記録している。

4-2 コントロール・ロジック

開発したシミュレータは上述のオブジェクトのみで構築されているわけではなく、これらオブジェクト間の調整をとる以下の2つの手続きをその中心ロジックの中にもっている。

(1) 各事象ごとにオブジェクト間で必要なメッセージの授受を指定：たとえば、前処理開始という事象に対しては、「当該時刻にこの事象が発生したことを記録に残すとともに、バッファから材料

を受け取り、その材料を機械に送り、前処理に要する時間を求めて前処理完了時刻を得て、それを将来事象として登録する。」という処理を行う。同様に、前述の事象 (b) ~ (i) のそれぞれに対して処理を準備している。

(2) 将来事象のうち最も近い将来の時刻まで現在時刻を進めるとともに、その時刻に予定されている事象を見つける：将来事象をもつオブジェクトに対して将来事象の予定時刻を問い合わせ、そのなかで最も近い将来時刻まで現在時刻を進めるとともに、対応する事象を明らかにして、上述の処理 (1) に実行を移す。

5. シミュレーション実行例

5-1 入力データ

ウェブとフランジのデータはH社の実際のデータ（ウェブが594本、フランジが863本、ロール材はゼロであり、すべてT型）を用いた。一方、機械の故障率ならびに平均修理時間は表1に示す仮想データを用いた。また欠勤率も0.5なる仮想値を使用した。

5-2 実行経過の表示

シミュレーションの状態を把握するために、シミュレータには図5に示すような途中経過を表示する機能を付加している。表示内容は現在時刻、各機械の状態、そして仕掛品（原材料ならびに完成品を含む）の数量である。

5-3 実行結果

シミュレーション期間は30日としたが、入力した材料の処理に要した日数は7日と3時間24分25秒であった。各機械において最初の材料の作業を開始した時刻から最後の材料の処理を終えた時刻までの稼働状況を整理したものが表2である。また表3は平均仕掛在庫量を表しており、図6はバッファB2（プレートボールと1次溶接機械の間）の在

庫量の変化を日ごとに表している。

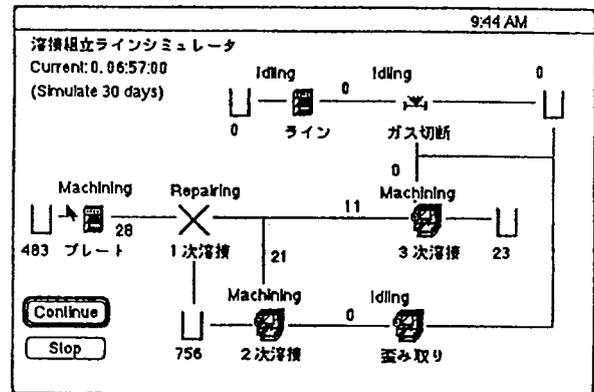


図5 実行途中の状態表示

5-4 結果の考察

(1) プレートボールは1次溶接機械よりも約2倍の処理速度を有するため、プレートボールの後ろのバッファ (B2) の仕掛在庫量は時間の経過とともに増加していくが、プレートボールは3日と5時間10分12秒ですべてのウェブを処理し終えたため、その後仕掛在庫は減少している。このことより、プレートボールは約半日稼働させれば十分であると推測される。

(2) 1次溶接機械はほとんど遊休状態がなく高い稼働率を示しているといえよう。このことより、1次溶接機械の処理能力がライン全体の生産性に大きな影響を与えることが予想される。

(3) 歪み取り機械は約10%しか実質的に稼働しておらず、また当該機械の前のバッファ (B6) の平均仕掛在庫量が少ないことから、歪み取り機械はある程度仕掛在庫がたまるまで稼働させなくてもよいと思われる。

(4) 3次溶接機械は欠勤が生じたときに稼働を停止させているため、結果的に停止状態の割合が高い。当該機械の前のバッファ (B7とB10) の平均仕掛在庫量がある程度多いことから、3次溶接機械の稼働率が高くなるような対策を講じる必要が

あると思われる。

5-5 代替案の検討

ここでは1つの代替案として1次溶接機械の故障率が0.01の場合を仮定し、シミュレーションにより総処理時間を求めたところ、7日と46分6秒という結果が得られた。これは先ほどの結果より約3時間短い値であり、1次溶接機械の故障率を小さくすることが生産性向上に大きく貢献することが裏付けられた。

6. おわりに

開発したシミュレータはまだ現実の生産システムを十分には表現できていない。しかしながらこのレベルの荒さでも、おおよそ現実的な結果が得られているとの評価を得ており、実企業で利用できる最低限度のシミュレータが開発できたものと考えている。

表3 平均仕掛在庫量

B 2	B 4	B 6	B 7	B10
157.3	7.3	7.0	23.4	19.8

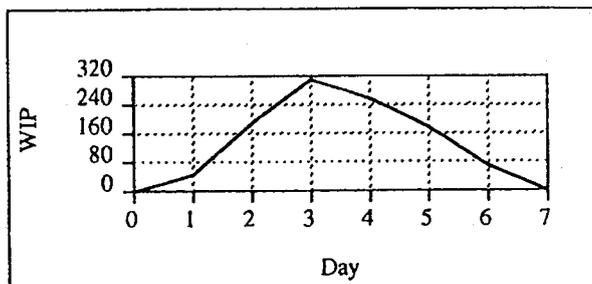


図6 B2の仕掛在庫量の時間推移

参考文献

- [1] 森川克己、中村信人 “オブジェクト指向プログラミング言語を用いた生産システム・シミュレータの開発”、日本経営工学会平成3年度秋季研究大会予稿集、1991、pp. 75 - 78.

表1 仮想データ (時間の単位は秒)

	故障率	平均修理時間
プレートボール	0.05	2100
1次溶接機械	0.05	2200
2次溶接機械	0.05	2300
歪み取り機械	0.05	1900
3次溶接機械	0.05	1800
ラインボール	0.05	2000
ガス切断	0.05	2000

表2 各機械の状態

	ル-ト	1次	2次	歪取	3次
前処理	18%	9%	3%	1%	3%
機械処理	43%	46%	22%	10%	19%
後処理	4%	4%	2%	1%	2%
遊休状態	0%	1%	36%	59%	21%
故障状態	35%	40%	37%	15%	13%
停止状態	0%	0%	0%	14%	42%