

ISSN 0917-6640

広島市工業技術センター年報

第17巻

ANNUAL REPORTS

of

HIROSHIMA CITY
INDUSTRIAL TECHNOLOGY CENTER

VOL.17

2003

平成15年度

広島市工業技術センター

発行によせて

関係各位におかれましては、日頃より当センターの運営にあたり多大なご支援、ご協力を賜り厚くお礼申し上げます。

今年度上期はデジタル家電製品を中心として好調だった景気も、最近の円高や好転しない個人消費などに影響されて減速傾向にあり、我が国の経済は、依然として厳しい状況にあります。

このような厳しい状況下にあっても、環境問題や産業廃棄物リサイクルへの対応、高齢者社会へ向けた福祉支援製品の開発など、21世紀の共生型の社会づくりに向けた対応と、これまで我が国の製造業を支えてきた、優れた「ものづくり」の技術や技能を継承・発展させていくことが、産業界の新たな課題となっており、中小製造業におきましても、これまで以上に独創的な技術開発の促進、新分野への進出が強く求められています。

当センターといたしましても、このような状況を踏まえ、地場産業の技術的課題に対応した研究開発機能の整備拡充に努めるとともに、中小企業の技術力の向上を支援するため、技術指導・相談、依頼試験、公設試験研究機関との共同研究を中心に各種の事業を展開しているところです。

今後とも地元中小企業の技術支援拠点の公設機関として、産学官連携の推進、企業との共同研究等時代に即応した新技術・新分野開発を一層推進し、地域産業の活性化に努めてまいりたい所存であります。

ここに平成15年度実施いたしました技術支援事業の概要をとりまとめましたので報告いたします。お気づきの点等ございましたら、ご一報いただければ幸いです。

関係各位のなお一層のご協力とご支援を賜りますよう心からお願い申し上げます。

広島市工業技術センター

所長 川 本 康 正

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	11
(2) 設備利用	11
(3) 技術指導・相談	12
(4) 産学官共同研究推進事業	13
(5) 技術支援基盤整備事業	14
(6) 新技術共同研究事業	15
(7) 環境関連分野支援事業	20
(8) 福祉関連分野支援事業	23
(9) 産業デザイン振興事業	25
(10) 工業技術支援アドバイザー派遣事業	29
(11) デジタルエンジニアリング支援研修事業	29
(12) 製造技術開発力育成事業	30
(13) 技術者研修事業	31
(14) 発明考案奨励事業	32
(15) 広島市工業技術振興協議会	33
(16) 会議・研究会への出席	34
(17) 技術職員派遣研修	35
(18) 講師・委員の派遣	35
(19) 学位取得	36

3 研究報告

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

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、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 (組織：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 ※ (広島工芸指導所敷地内に、(財)広島地方発明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 3月	広島県理科教育センターが東広島市へ移転
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、中区千田町三丁目8番24号へ新築移転
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	広島市工業技術センターを組織改正 (企画総務係、研究指導係) (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) (組織：第一研究室、第二研究室、第三研究室、第四研究室)
平成11年 4月	広島市工業技術センターを組織改正(企画総務係、研究指導係の廃止) (財)広島市産業振興センター技術振興部を組織改正 (組織：技術振興室、産学官共同研究推進担当、材料・加工技術室、システム技術室、デザイン開発室)
平成13年 4月	(財)広島市産業振興センター技術振興部を組織改正 (組織：技術振興室、材料・加工技術室、システム技術室、デザイン開発室)
平成15年 4月	(財)広島市産業振興センター技術振興部を組織改正 (組織：技術振興室、産学連携推進室、材料・加工技術室、システム技術室、デザイン開発室)

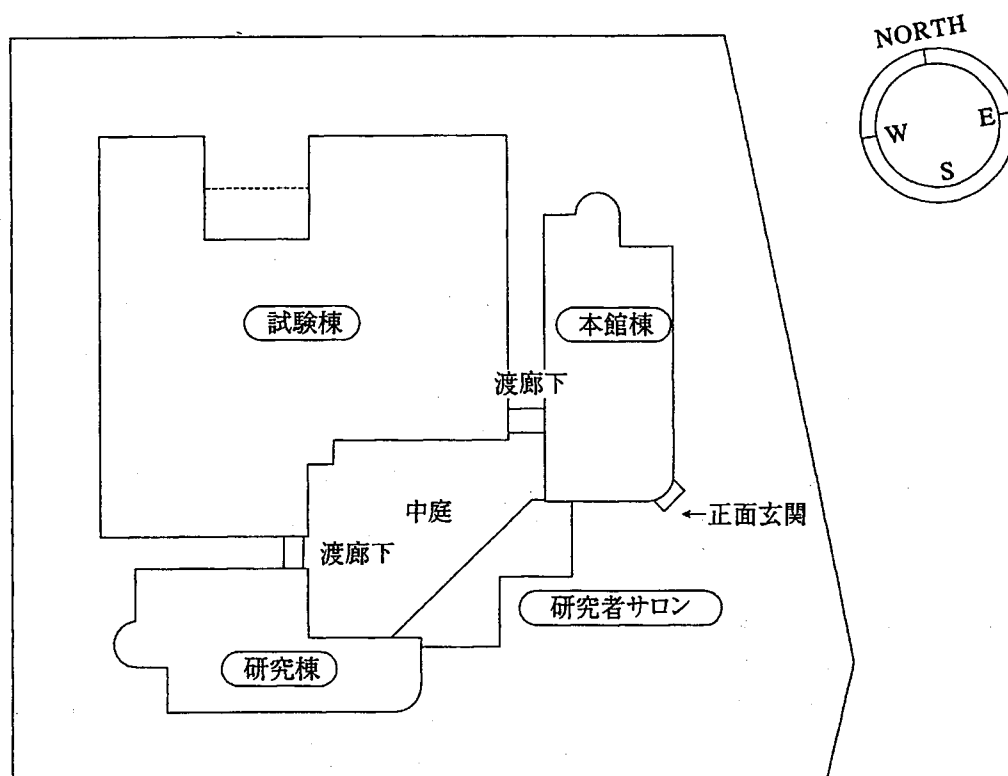
(2) 施設規模

① 土地建物

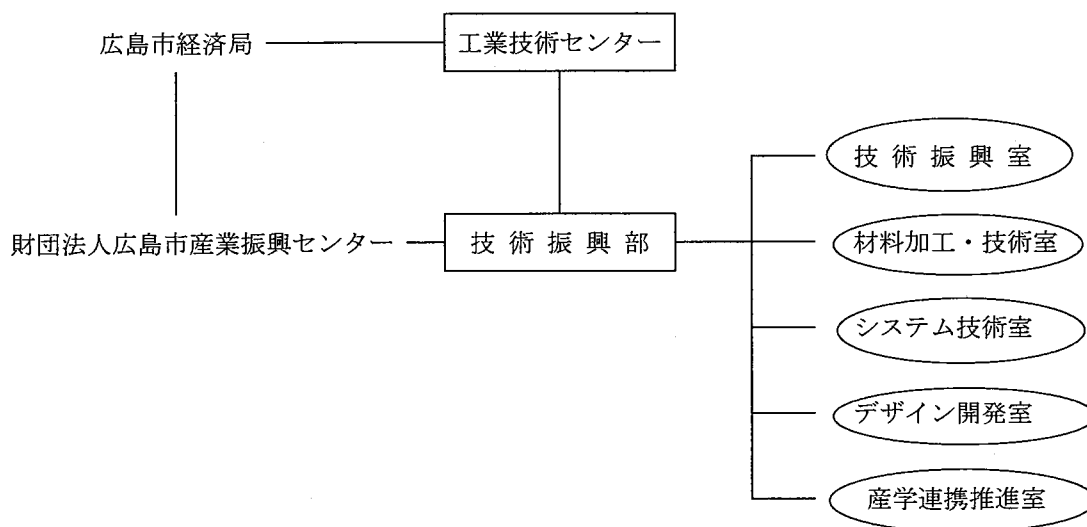
(単位 m²)

敷地面積	10,117.20						
建築面積	総 建 築 面 積		3,816.55				
	総 延 床 面 積		6,789.10				
建築概要	鉄 筋 コ ン ク リ ー ト 造						
	本館棟	研究者 サロン	研究棟	試験棟	渡廊下	その他	計
地 階				45.82			45.82
1 階	587.49	180.66	541.03	2,404.20		73.86	3,787.24
2 階	459.21	65.66	541.03	440.31	19.16		1,525.37
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	73.86	6,789.10

② 配置図



(3) 組織及び業務



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

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

各種工業材料の利用技術に関する研究及び技術指導

機械加工技術及び成形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

産業デザインに関する研究及び技術指導

公設試験研究機関との共同研究及び研究成果の普及

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

発明考案に関する奨励事業

技術情報の収集・提供

定期刊行物等の企画・発行

産学官共同研究の推進に関する事業

(4) 予 算

① 歳 入

(単位：千円)

科 目	平成14年度予算額	平成15年度予算額	増 減
商 工 使 用 料	1, 8 0 7	2, 9 0 2	1, 0 9 5
商 工 手 数 料	3 3, 2 7 3	3 4, 2 0 3	9 3 0
商工費国庫補助金	1 0, 1 0 9	9, 5 0 9	△6 0 0
雑 入	5, 9 6 1	4, 3 2 1	△1, 6 4 0
合 計	5 1, 1 5 0	5 0, 9 3 5	△2 1 5

② 歳 出

(単位：千円)

科 目	平成14年度予算額	平成15年度予算額	増 減
報 償 費	4 8	1 9 2	1 4 4
普 通 旅 費	1, 2 6 2	6 7 5	△5 8 7
消 耗 品 費 等	2, 9 0 4	4, 2 4 3	1, 3 3 9
食 糧 費	1 6	1 2	△4
通 信 運 搬 費	7 1	5 1	△2 0
手 数 料 等	4 8	4 8	0
委 託 料	1 4 3, 1 3 4	1 6 4, 1 5 4	2 1, 0 2 0
使用料及び賃借料	1 6 1	5 7	△1 0 4
備 品 購 入 費	3 2, 7 8 1	2 5, 6 2 0	△7, 1 6 1
負担金補助及び交付金	1 7, 0 4 9	5, 1 0 2	△1 1, 9 4 7
合 計	1 9 7, 4 7 4	2 0 0, 1 5 4	2, 6 8 0

(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
100kN万能試験機	(株)島津製作所 RH-10型	※昭和36年度
ロックウェル硬度計	(株)明石製作所ORK型	昭和41年度
ビッカース硬度計	(株)明石製作所AVK型	昭和41年度
回転曲げ疲れ試験機	(株)東京衡機製造所25180型	昭和41年度
焼入試験機	(株)川崎製鉄	昭和41年度
周波数測定器	リオン(株)SA-57型	★昭和47年度
接触角精密測定機	協和科学(株)CA-1型	★昭和47年度
塩水噴霧試験機	東洋理化工業(株)ST-J-2型	★昭和47年度
ロックウェル・スーパーフィシャル硬度計	(株)明石製作所ARK-S型	昭和51年度
立型フライス盤	日立(株)3M型	※昭和52年度
荷重変位測定装置	(株)シンコー工業6505型	★昭和54年度
デジタル自動測色色差計	スガ試験機(株)AUD-CH-2型	★昭和54年度
サニシャイン式ウェザーメーター	スガ試験機(株)WEL-SUN-HC型	★昭和54年度
冷熱衝撃試験機	タバイエスペック(株)TSC-10型	★昭和54年度
温湿度繰り返し試験機	タバイエスペック(株)PL-3E型	★昭和54年度
めっき処理装置	富士プラント工業(株)プライスター1型	★昭和55年度
恒温熱風乾燥機	タバイエスペック(株)HPS-222型	★昭和55年度
燃焼性試験機	スガ試験機(株)FL-45MC型	★昭和55年度
ベルトサンダー	(株)桑原製作所 KSB-70型	★昭和55年度
万能投影機	日本工学工業(株)V-20A型	※昭和56年度
試料埋め込み機	ビューラ社SIMPLIMET2型	※昭和56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	※昭和57年度
1000kN万能試験機	(株)島津製作所 UMH100型	※昭和57年度
旋盤	森精機(株)MS-650型	※昭和57年度
直流アーク溶接機	大阪変圧器(株)CPXGT-350型	★昭和58年度
ツインロックウェル硬度計	松沢精機(株)DRT-FA300型	※昭和58年度
マッフル炉	(株)亀井製作所 3513型	※昭和58年度
高温真空炉	(株)島津製作所 DEGUSSA	※昭和58年度
平面研削盤	日興機械(株)NSG-520型	※昭和59年度
マイクロロボット	三菱電機(株)RM-501型	昭和59年度
炭酸ガスレーザー加工機	(株)日立製作所 HIL-500CSP型	※昭和60年度
恒温恒湿槽低温槽	タバイエスペック(株)PL-4G	★昭和62年度

機 器 の 名 称	型 式	購 入 年 度
X線マイクロアナライザー	(株)島津製作所 EPMA8705QH型	※昭和62年度
三次元座標測定器	日本工学(株)トライステーション600型	※昭和62年度
自己変歪測定装置	さくら工業(株)SFH-20S型	昭和62年度
アナライジングレコーダ	横河電機(株)3655E	昭和62年度
デジタルパワーメーター	横河電機(株)2533	昭和62年度
デジタルストレージスコープ	松下通信工業(株)VP-5740A	昭和62年度
精密電圧電流測定機	横河電機(株)2723	昭和62年度
標準電圧電流発生器	横河電機(株)2258 2253 2563	昭和62年度
表面性測定器	新東洋科学(株)ヘイドン-14型	★昭和62年度
ガス・塩水腐食試験機	スガ試験機(株)HKC-12L型	昭和62年度
複合サイクル試験機	スガ試験機(株)ISO-3CY型	★昭和62年度
湿潤試験機	スガ試験機(株)CT-3型	★昭和62年度
屋外暴露試験機	スガ試験機(株)OER-PG型	★昭和62年度
静電粉体塗装装置	(株)ランズバークゲマ EPE 700型	昭和62年度
スプレー式前処理装置	(株)日本パーカーライジング KU-42型	★昭和62年度
プラズマ溶射装置	プラズマダイン社 40型	昭和62年度
木工用油圧プレス	(株)セイブ ONK-1000x2000型	昭和62年度
高周波加熱装置	富士電波(株)FDY-320型	昭和62年度
ボーリングマシン	新前田工業(株)SAD-120B型	昭和62年度
ダブルテールマシン	庄田鉄工(株)DV-131型	昭和62年度
帯鋸盤	日立工機(株)CB100F型	昭和62年度
コーナーロックキングマシン	庄田鉄工(株)CLA-132型	昭和62年度
ルーターマシン	庄田鉄工(株)ROA-113型	昭和62年度
超仕上げかんな盤	丸仲鉄工所(株)ロイヤル3型	昭和62年度
軸傾斜横切丸鋸盤	東海製作(株)SFJ-1300型	昭和62年度
レーザー測長機	和泉電気(株)MG-1000型	※昭和63年度
X線応力測定器	(株)リガクMSF-2M型 C-120型	※昭和63年度
カラーシミュレータ	日本色研事業(株)678RC-SA-101型	★昭和63年度
写植機	(株)写研SPICA-AH型	★昭和63年度
多光源測色色差計	スガ試験機(株)MSC-IS-2B型	★昭和63年度
精密ハードネステスター	プロセス社エコーチップC型	★昭和63年度
サーマルショック試験機	タバイエスペック(株)TSR-103型	★昭和63年度
冷間静水圧プレス(CIP)	三菱重工業(株)MCT-100型	※昭和63年度
立型マシニングセンター	(株)遠州製作所 VMC530 型	※昭和63年度
万能工具研削盤	(株)松沢製作所 MZ-8BG型	※昭和63年度
低荷重精密万能試験機	(株)島津製作所 AGS-1000A型	★昭和63年度

★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
高速度手押しかな盤	(株)桑原製作所 KP-300LDX型	昭和63年度
自動一面かな盤	(株)大洋製作所 CP-500型	昭和63年度
木工ロクロ	シンポ工業(株) WRA-075-AN型	昭和63年度
木工旋盤	北産興業(株) WL-S1型	昭和63年度
50J計装化シャルピー	(株)米倉製作所CHRAPC-5C型	平成 元年度
接着耐久性試験機	東洋精機(株)NO-537型	平成 元年度
電子回路試験装置	(株)ノイズ研究所EMC-5000S	※平成 元年度
摩耗試験機	テスター産業(株)AB101型	平成 元年度
紫外線ウェザーメーター	スガ試験機(株)WEL-SH-2HCB型	平成 元年度
紫外線フェードメーター	スガ試験機(株)FAL-SP-H型	平成 元年度
熱風式焼付乾燥装置	タバイエスペック(株)HLKS-3A型	平成 元年度
塗料用退色試験機	スガ試験機(株) FM-1型	平成 元年度
手吹静電塗装装置	(株)ランズバークゲマ エレッペR-E-AN	平成 元年度
熱間静水圧プレス(HIP)	三菱重工業(株) O2-Labo HIP型	※平成 元年度
NCワイヤカット放電加工機	三菱電機(株) DWC90H型	※平成 元年度
真空加圧含浸装置	サンワエンジニアリング(株) VPI-2PW型	平成 元年度
定荷重精密プレス	東洋テスター産業(株) SA-901型	平成 元年度
刃物研削ラップ盤	(株)丸仲鉄工所 GH-50型	平成 元年度
軸傾斜丸鋸盤	(株)桑原製作所 KS-TZ400型	平成 元年度
300Jシャルピー衝撃試験機	(株)東京衡機製造所IC型	平成 2年度
走査型電子顕微鏡	(株)日立製作所S-2400型	※平成 2年度
超音波探傷機	日本クラウトクレマーウェルター(株)HIS-2	※平成 2年度
表面粗さ輪郭形状測定機	(株)小坂研究所 SEF-30D	※平成 2年度
集塵装置	サンエス工業(株) バローズブース NB-2S型	平成 2年度
ガス溶射装置	日本ユテク(株) テロダインシステム2000型	平成 2年度
NC放電加工機	三菱電機(株) M35KC7型	※平成 2年度
走行丸鋸盤	田中機械工業(株) パネルソー 2500型	平成 2年度
500kN万能試験機	(株)島津製作所 UH-500KNA型	※平成 3年度
低温型示差走査熱量計	セイコー電子工業(株)DSC-220C型	※平成 3年度
熱機械分析装置	セイコー電子工業(株)TMA-SS120C型	※平成 3年度
切削動力計	日本キスラー(株)9257B型	※平成 3年度
蛍光X線微小膜厚計	セイコー電子工業(株)SFT-3200型	※平成 3年度
歪検出システム	(株)共和電業E-SPIRAS8型	★平成 3年度
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	※平成 3年度
難削材料切断研削装置	(株)マルトー セラミクロン MX-833型	★平成 3年度
ガスクロマトグラフ質量分析装置	(株)島津製作所 TGA-GC/MSシステム	※平成 4年度
疲労試験機	(株)島津製作所EHF-UD	※平成 4年度

機 器 の 名 称	型 式	購 入 年 度
摩擦摩耗試験機	神鋼製造(株)ファレックス型	★平成 4年度
デジタルシステム	(株)ミットヨ BHN710/MPK2900	★平成 4年度
加硫試験機	日合商事(株) キュラストメーター VD型	※平成 5年度
実体顕微鏡システム	オリンパス(株)PMG3	※平成 5年度
騒音・振動データ処理装置	エミック(株) VC-061DAMX-31-PIR	※平成 5年度
混練装置	(株)小平製作所 RII-2-CC	※平成 5年度
カプセリング装置	三菱重工業(株) Laboカプセリング100型	平成 6年度
50 Jシャルピ-衝撃角度検出システム	(株)米倉製作所 CCP-60P型	※平成 6年度
横型バンドソー	(株)ニコテック SCH-33FA型	※平成 6年度
蛍光X線分析装置	セイコー電子工業(株) SEA2010L型	※平成 6年度
投影機用データ処理装置	(株)ニコン DP-302型	※平成 6年度
ギヤー式老化試験機	スガ試験機(株) TG-100	★平成 7年度
反ばつ弾性試験機	高分子計器(株) Lupke方式	★平成 7年度
X線回折装置	(株)マック・サイエンス MXP3VA/DIP320	※平成 7年度
赤外分光光度計	日本分光(株) Herschel FT/IR-350	★平成 7年度
バーチャルリアリティシステム	旭エレクトロニクス(株) TDZ-400DS	★平成 8年度
非接触粗さ検出ユニット	(株)小坂研究所 PU-OS100	※平成 8年度
デュサイクルサンシャインウェザーメーター	スガ試験機(株) WEL-SUN-DCH. B. BR	※平成 8年度
塗膜定量測定装置	(株)キーエンス VH-6200C	※平成 8年度
熱遮蔽温度記録装置	安立計器(株) AM-7002	※平成 8年度
油分濃度計	(株)堀場製作所 OCMA-300	※平成 8年度
電解着色電源・実験用システム	(株)高砂製作所 PEC40-2	※平成 8年度
繰り返し荷重試験装置	JTト-シ(株) TE-03-AFS01	平成 8年度
大型恒温恒湿低温室	タハ・イエパック(株)TBE-4HW2GEF	☆平成 9年度
振動計測システム	(株)小野測器 DS-9110	★平成 9年度
炭素・硫黄分析装置	(株)堀場製作所 EMIA-820	※平成 9年度
工具顕微鏡	(株)トプコン TUM-220EH	※平成 9年度
示差熱熱重量同時測定装置	セイコーインスツルメント(株) TG/DTA6300	平成 9年度
紫外線可視分光光度計	(株)島津製作所 UV-2500PC	平成 9年度
超音波硬さ計	川鉄アドバンテック(株) SONOHARD SH-75	平成 9年度
光学顕微鏡用デジタルカメラ	富士写真フイルム(株) HC-300	平成 9年度
ビデオプロジェクター	(株)東芝 TLP510J	平成 9年度
高温顕微硬度計	(株)ニコン QM-2	☆平成10年度
放電焼結機	(株)中国精工 プラズマCSP-IV-A	☆平成10年度
真円度円柱形状測定機	(株)ミットヨ ラウンドテスト RA-H426	※平成10年度
大越式迅速摩耗試験器	JTト-シ(株) OAT-U	※平成10年度
高速ビデオカメラ	(株)ナック コダック SR500C	※平成10年度

機 器 の 名 称	型 式	購 入 年 度
万能混練攪拌機	(株)ダルトン 25AMV-r r	※平成10年度
非破壊検査開発システム	日本ルックス(株) RN-001 (株)イノテック NT-25	★平成11年度
超音波振動ユニット	(株)岳将 ULTRA-700	★平成11年度
シミュレーションシステム開発装置	MathWorks MATLAB	★平成11年度
CADデジタルモックアップ	シリコングラフィックス社 OCTANE/SE	※平成11年度
分光式色差計測システム	日本電色工業(株) SQ-2000	※平成11年度
変角光沢計測システム	スガ試験機(株) UGV-6P	※平成11年度
恒温振盪水槽	タイテック(株) XY-80	平成11年度
色彩輝度計	ミノルタ(株) CS-100	平成11年度
攪拌機	特殊機化工業(株) T.K.ホモジェナイザー-2.5型	平成11年度
大変形構造解析システム	中外テクノス(株) CFM-9	★平成12年度
精密加工機	牧野フライス精機(株) MSJ25-16	★平成12年度
センシングデータ診断ソフトウェア	The MathWorks社 MATLAB	★平成12年度
雰囲気炉	島津メクテム(株) VHLgr25/18/23型	※平成12年度
非接触三次元形状入力システム	ミノルタ(株) VIVID700	※平成12年度
ボールミル回転架台	東京硝子器械(株) AV-2	平成12年度
木材水分計	ケット(株) HM-520	平成12年度
クレイオーブン	新日本造形(株) 20L型	平成12年度
上皿天びん	(株)島津製作所 BW4200H	平成12年度
マイクロスコープ用デジタル撮影システム	アイ・ティ・エス(株) IDS-300VH-L250	平成12年度
三次元造形システム	Stratasys社 PRODIGY	☆平成13年度
高周波プラズマ発光分光分析装置	(株)島津製作所 ICPS-7500	※平成13年度
真空乾燥装置	アドバンテック東洋(株) VO-320	平成13年度
精密万能試験機	(株)島津製作所 AG-250 k NI	☆平成14年度
微小硬度計	(株)フーチュアテック FM-ARS7000	※平成14年度
メカニカルCAEシステム	ADINA社 ADINA7.5 SDRC社 I-DEAS9	※平成14年度
騒音計	リオン(株) NL-32	平成14年度

平成15年度の主な新設機器

機 器 の 名 称	用 途	備 考
キセノンアークランプ式耐候性試験機 スガ試験機(株)製 KL75	太陽光に近似の光線を試験片に照射し、短時間で人工的に劣化を進行させるもので、塗膜やプラスチック・ゴムなど高分子材料の耐候性評価に使用	経済産業省 補助対象機器
NC旋盤 (株)滝澤鉄工所製 TC-200	金属の切削加工を行う。試験片の作成等で使用	日本自転車振興会 補助対象機器
コンピュータグラフィックシステム アップルコンピュータ製 Power Mac G5 アドビシステムズ製 Adobe Design Collection	様々なデザイン分野の平面的なデザイン検討やグラフィックデザインの作成に使用	日本自転車振興会 補助対象機器

2 事 業

(1)	依	頼	試	験	.....	11														
(2)	設	備	利	用	.....	11														
(3)	技	術	指	導	・	相	談	.....	12											
(4)	産	学	官	共	同	研	究	推	進	事	業		13							
(5)	技	術	支	援	基	盤	整	備	事	業	.....	14								
(6)	新	技	術	共	同	研	究	事	業	.....	15									
(7)	環	境	関	連	分	野	支	援	事	業	.....	20								
(8)	福	祉	関	連	分	野	支	援	事	業	.....	23								
(9)	産	業	デ	ザ	イ	ン	振	興	事	業	.....	25								
(10)	工	業	技	術	支	援	ア	ド	バ	イ	ザ	ー	派	遣	事	業		29		
(11)	デ	ジ	タ	ル	エ	ン	ジ	ニ	ア	リ	ン	グ	支	援	研	修	事	業		29
(12)	製	造	技	術	開	発	力	育	成	事	業		30							
(13)	技	術	者	研	修	事	業	.....	31											
(14)	発	明	考	案	奨	励	事	業	.....	32										
(15)	広	島	市	工	業	技	術	振	興	協	議	会		33						
(16)	会	議	・	研	究	会	へ	の	出	席	.....	34								
(17)	技	術	職	員	派	遣	研	修	.....	35										
(18)	講	師	・	委	員	の	派	遣	.....	35										
(19)	学	位	取	得	.....	36														

2 事業

(1) 依頼試験

区 分	項 目	件 数	数 量	歳 入 額 (円)
木材・木製品	機 械 試 験	30	55	112,750
	物 理 試 験	9	119	218,760
	接 着 試 験	4	87	47,890
	製 品 性 能 試 験	24	623	312,210
	小 計	67	884	691,610
金属・非金属	機 械 試 験	2,674	10,253	18,060,510
	物 理 試 験	162	409	1,326,580
	分 析 試 験	249	732	2,224,530
	小 計	3,085	11,394	21,611,620
表面処理	塗 料 試 験	9	12	23,040
	皮 膜 試 験	206	19,590	5,438,680
	小 計	215	19,602	5,461,720
電子・電気	電子計算機による解析	12	19	87,590
	電 気 試 験	5	6	6,700
	小 計	17	25	94,290
試験用試料作成	木 材 ・ 木 製 品	2	2	3,120
	金 属 ・ 非 金 属	33	63	133,780
	塗 装 ・ 皮 膜	7	7	34,160
	電 子 ・ 電 気	0	0	0
	小 計	42	72	171,060
意匠図案の作成		14	44	169,840
工業製品の試作		2	7	6,720
試験・検査に関する証明		44	105	37,800
合 計		3,486	32,133	28,244,660

(2) 設備利用

区 分	件 数	数 量	歳入額 (円)
工 作 設 備	66	510	856,320
試 験 設 備	384	9,147	3,960,790
合 計	450	9,657	4,817,110

(3) 技術指導・相談

	分野	内 容	件 数
A	機 械	加工機 原動機 精密機械 輸送機 化学機械 流体機械 産業機械 電子機械 医療機械	1 3 6
B	電 子・電 気	電力機器 電気応用機器 電子応用機器	8 7
C	化 学	セラミックス 無機化学製品 有機化学製品 高分子製品 燃料/潤滑油 科学装置/設備	3 3 0
D	金 属	鉄・非鉄冶金 非鉄材料 鉄鋼材料 表面技術 加工技術 接合 熱処理	6 4 2
E	木 材・木 質 材	材料 加工技術 表面技術 改質技術	1 6 3
F	情 報 処 理	情報管理 情報数理 コンピュータシステム	6 7
G	デ ザ イ ン	インテリアデザイン クラフトデザイン 工業デザイン 視覚デザイン 環境デザイン	1 4 2
H	経 営 工 学	工場管理 生産管理 品質保証 作業管理 包装・物流 CIM TPM	6
I	資 源	金属鉱業 石灰・石油鉱業	6 4
J	建 設	鋼構造 コンクリート製品	7
K	衛 生	環境 公害防止技術 廃棄物利用技術	2 2
L	そ の 他		2 4 7
合 計			1, 9 1 3

(4) 産学官共同研究推進事業（担当 賀藤、山崎）

産学連携セミナー

地域の理工系大学の保有する研究シーズ（新素材関連技術）を紹介し、産学の共同研究への結びつけを行った。さらに、新技術・新製品開発を支援する国・県・市等の助成制度を紹介した。

開催日：平成15年11月17日（月）

参加者：59名（産33名、学9名、官17名）

区 分	講 師
研究シーズ 紹 介	・ 広島国際大学保健医療学部 教授 二宮 石雄 氏 「生体信号と福祉」
	・ 広島工業大学工学部 教授 米澤 良治 氏 「生体信号計測技術と福祉応用」
	・ 広島大学大学院工学研究科 教授 辻 敏夫 氏 「生体信号解析技術とその福祉応用」
	・ 広島工業大学工学部 助教授 佐藤 広徳 氏 「超音波法を用いた高齢者の筋評価について」
	・ 近畿大学工学部 教授 井原 辰彦 氏 「光触媒による室内環境浄化技術と福祉」
	・ 広島工業大学工学部 講 師 小川 英邦 氏 「IT技術と福祉応用」
助成制度 紹 介	・ 中国経済産業局 産業部産業技術課 課長補佐 上田 耕壮 氏
	・ (財)ひろしま産業振興機構技術振興部 技術交流担当部長 中倉 照郎 氏
	・ (財)ひろしま産業振興機構技術振興部 広島TLO担当課長 山高 龍治 氏
	・ 広島市経済局経済振興課 主 査 香川 隆志 氏

産学官リサイクル検討委員会

産業廃棄物のリサイクルに関連した企業ニーズ、各大学における研究シーズについて情報交換を行い、産学官の具体的な研究テーマ・研究方法等について指導・助言をいただくため、産学官のメンバーからなる「広島市産学官リサイクル検討委員会」を開催した。

開催日：平成15年10月28日（火）

委員長：広島市立大学 教授 矢野 卓雄 氏

【メンバー】

- ・ 「産」側：東友会協同組合、協同組合三菱広島協力会、広島熱処理協同組合、広島県鋳物工業協同組合、中国ゴム工業協同組合、広島家具工業協同組合の理事等6名
- ・ 「学」側：広島大学、広島市立大学、近畿大学、広島工業大学、広島国際学院大学のリサイクル関連の教員5名
- ・ 「官」側：広島市工業技術センター所長、(財)広島市産業振興センター常務理事、同技術振興部長

産学官共同研究専門委員会

産学官連携の現状について意見交換を行った。

開催日：平成15年6月20日（金）

委員長：広島市立大学 情報科学部長 堀居 賢樹 氏

【メンバー】

- ・「産」側：東友会協同組合、協同組合三菱広島協力会、広島金属熱処理協同組合、広島県鋳物工業協同組合、中国ゴム工業協同組合、広島家具工業協同組合、社団法人広島県情報産業協会の理事等7名
- ・「学」側：広島大学地域共同研究センター、広島市立大学、近畿大学工業技術研究所、広島工業大学総合研究所の教員4名
- ・「官」側：広島市工業技術センター所長、(財)広島市産業振興センター常務理事、同技術振興部長

(5) 技術支援基盤整備事業

中小企業技術開発産学官連携促進事業（担当 金行）

研究テーマ クリヤー塗膜の染色による加飾技術の開発と実用化研究

透明（クリヤー）塗装後に、表層面から染色を行い、色むらのない均一な着色を可能とする塗膜染色技術により、ステンレス・黄銅等の光輝金属面の加飾について研究を行った。

技術職員大学派遣研究事業（広島市立大学）（担当 田中(秀)）

研究テーマ パラメータの変動する時変システムの同定

自動車、機械など動作が連続的に変動するシステムは多いが、周囲の環境変化や経年変化などの要因によりシステムパラメータが変化して正しい動作や制御が行われないことが多い。このような時変システムのパラメータをオンライン推定することは、機械の動作などを適正に補正するために有用である。本研究では未知変動する連続系パラメータの推定にニューラルネットワークを用いてその適用性を調べた。

技術職員大学派遣研究事業（広島大学）（担当 清水）

研究テーマ クロムモリブデン鋼と鋳鉄を組み合わせたハイブリッド歯車の振動・騒音特性

歯車による動力伝達は滑りがなく、大きな力を確実に伝達できるため、自動車や工作機械等の多くの産業機械に用いられている。しかし、装置の振動や騒音を発生するという欠点を有している。

そこで本研究では、歯車装置の低振動・低騒音化を目的として、歯車本体のリム部には高強度材料であるクロムモリブデン鋼を、ハブ部には減衰特性の優れる鋳鉄を用いたハイブリッド歯車の設計、製作を行った。その後、歯車運転試験機を用いて歯車本体、歯車箱の振動加速度および歯車装置から放射される騒音を測定し、従来の一体構造歯車との比較を行った。

中国四国地方公設試験研究機関共同研究「情報電子分野」（担当 田中(秀)）

研究テーマ 非破壊センシングによる対象物内部の測定

石油タンクや配管などに代表される密閉容器において、スケール量の検査は設備能力の低下を防ぐために必要である。これまで、中性子線源を用いたスケール量の非破壊計測手法に対する適用性を明らかにしてきた。本年度は容器の肉厚、曲率や線源の経年変化などを考慮したスケール量を推定するための一般式を導出した。

中国四国地方公設試験研究機関共同研究「精密加工分野」（担当 桑原）

研究テーマ Ni基超耐熱合金のエンドミル加工に関する研究

難削材料の代表である、Ni基超耐熱合金の高効率加工について検討した。今年度は微小エンドミルによるNi基超耐熱合金の加工を行った。

このとき、加工中の工具への高周波振動の付加および固体潤滑剤を添加したオイルの噴霧が切削抵抗に及ぼす影響について調査した。

大学との共同研究（担当 隠岐、倉本）

共同研究相手先：広島大学大学院工学研究科

研究テーマ：TiC粒子分散チタン複合材の引張性質に及ぼすTiC粒子の空間分布の影響

純チタン材、チタン合金及びTiC粒子分散チタン複合材について、CIP(冷間等方加圧)→VS(真空焼結)→HIP(熱間等方加圧)（一部放電焼結を使用）プロセスからなる焼結法を適用し、組織と引張性質に及ぼす真空焼結温度とHIP処理温度の関係及びHIP過程における最終段階の焼結速度について研究を行ってきた。

今年度は、微細なTiC粒子を純チタンに分散させた複合材の引張性質に及ぼすTiC粒子の空間分布の影響について研究を行った。

大学との共同研究（担当 倉本、隠岐）

共同研究相手先：広島大学大学院工学研究科

研究テーマ：Al-Si合金の耐磨耗特性に与えるSi相の空間分布の影響

複相材料の第2相の空間分布の違いは機械的性質に影響を及ぼすものと考えられるが、空間分布と機械的性質の関係について評価された報告は少ない。そこで本研究では、耐磨耗材料として知られるAl-Si合金の第2相粒子であるSi粒子の空間分布が材料の機械的性質に与える影響について調べることにした。

今年度は、放電焼結法によって様々の粒径および空間分布のAl-Si合金を作製し、大越式磨耗試験機による磨耗試験を行い、粒径および空間分布が磨耗特性に与える影響について調査した。

(6) 新技術共同研究事業

物づくりの機能性評価研究会（担当 桑原）

この研究会は品質工学の手法を利用した技術開発の研究会である。品質工学ではデータのバラツキを評価する事が重要と考える。バラツキを評価することによって、安定した製品の設計や安定した加工技術の確立を行うことが出来る。

本研究会では、会員それぞれで自社の課題・研究テーマを設定し、研究会内で経過報告の発表を行う形で開催する。本年度の研究会は10回開催し、講師に矢野先生を招聘した。研究会を通じて講師・会員同士の積極的な意見交換や指導を行う事により、良い製品や技術の開発を目指す。

回	開催月日	講師
1	平成15年 5月 8日(木)	—
2	5月 15日(木)	矢野 宏 氏
3	7月 2日(水)	—
4	7月 17日(木)	矢野 宏 氏
5	9月 4日(木)	—
6	9月 18日(木)	矢野 宏 氏
7	11月 7日(金)	—
8	11月 28日(金)	矢野 宏 氏
9	平成16年 1月 30日(金)	矢野 宏 氏
10	3月 25日(木)	—

先進加工技術研究会（担当 岡田、桑原）

世界的規模でのものづくりが進展する中で、中国、韓国およびASEAN諸国等の技術追随と日本企業の海外進出による技術ノウハウの流失等により、日本の中小企業の立場は今後益々、厳しい状況に晒されることになるものと容易に推察される。

この状況の打開策として、追従できない特徴ある技術の確立も、1つの手段として考えられる。

そこで、会員を募り、会員の英知を結集して、最新の加工技術の研究を実施した。そして、一方ではアドバイザーの指導を受けながら、会員企業の抱えている個々の問題点を解決し、固有技術のレベル向上を図った。

【会員企業】

(株)海田金属、荻野工業(株)、荻野鉄工(株)、(株)今西製作所、(株)二上工作所、(株)西井製作所、平和機械(株)、(株)ヒロコージェットテクノロジー、(株)フクトクダイヤ、チューリップ(株)、(株)向井製作所、(株)明光堂、(株)橋川製作所、シージーケー(株)、(株)ヤマコーツーリング

開催月日	内容及び講師	アドバイザー
第1回 6月26日	1) 会員の会社紹介 2) 平成15年度研究会の活動について 3) 研究報告 「チタン合金材の高精度加工について（第2報）」 報告者 広島市工業技術センター 専門員 岡田 邦彦	(独)産業技術総合研究所 中国センター 産学官連携センター ものづくり基盤技術支援室長 大谷敏昭氏
第2回 8月22日	1) 産業技術総合研究所の加工関連技術の紹介 講師 (独)産総研 中国センター 産学官連携センター ものづくり基盤技術支援室長 大谷 敏昭氏 2) 参加企業の技術課題について	
第3回 10月27日	1) 新技術の開発研究 「新素材を用いたマイクロ金型開発プロジェクトのご紹介」 報告者 (株)橋川製作所 代表取締役 橋川 栄二氏 2) 参加企業の技術課題について	
第4回 1月23日	1) 研究報告 「チタン合金材の高精度加工について（第3報）」 報告者 広島市工業技術センター 専門員 岡田 邦彦 2) 国による企業支援制度のご紹介 講師 (独)産総研 中国センター 産学官連携センター ものづくり基盤技術支援室長 大谷 敏昭氏 3) 参加企業の技術課題について	
第5回 3月5日	1) 研究報告 「Ni基超耐熱合金のエンドミル加工(二硫化モリブデン)」 報告者 広島市工業技術センター 技師 桑原 修 2) 話題提供 広島市工業技術センターにおける加工技術の取り組み	

材料・設計技術融合研究会（新材料プロセス研究会）（担当 隠岐、倉本）

本研究会では、機械あるいはモジュールの性能とこれらの重量の両者を考慮しながら、材料技術と機械設計技術の積極的な融合によって高性能で軽量の機械・モジュールの開発を目的に活動している。

【会員企業】

エムジープレシジョン(株)、(株)音戸工作所、(株)北川鉄工所、(株)木下製作所、(株)シンコー、(株)ナガト、(株)日本製鋼所、(株)日本パーカーライジング広島工場、広島アルミニウム工業(株)、広島シンター(株)、豊国工業(株)、マツダ(株)

開催月日	テ ー マ	講 師
第1回 4月23日	平成15年度研究会活動テーマについて	広島大学大学院工学研究科 教授 柳沢 平 氏 教授 永村 和照 氏
第2回 4月24日	平成15年度研究会活動テーマについて	広島大学大学院工学研究科 教授 柳沢 平 氏 教授 永村 和照 氏
第3回 3月22日	・機械分野における新材料、プロセスの開発 ・強度、性能に優れた新歯型歯車の開発	広島大学大学院工学研究科 教授 柳沢 平 氏 教授 永村 和照 氏
個別開催 (18回)	高強度焼結品の製造、軽量耐摩耗材料の開発等 について	広島大学大学院工学研究科 教授 柳沢 平 氏 教授 永村 和照 氏 (随時)

新めっき技術開発研究会（担当 植木、金行）

本研究会は、表面処理業者が抱える新技術の導入、後継者育成、事業の多方面への展開、環境問題などに対応するため、経営者ならびに技術・生産責任者を中心とした会員構成により、企業の継続的成長を遂げるための情報提供や活動基盤の連携、新しい防錆・防食、加飾技術等の研究を行い、企業の一層の発展を図ることを目的としている。

平成15年度は、六価クロメート代替について生産ラインでの実働を可能とするため、関連技術の情報提供並びに先進地視察研修により研究し代替を可能とした。

【会員企業】

(株)井川製作所、(株)オート、(株)音戸工作所、柿原工業(株)、関西金属工業(株)、(有)黒川鍍金工業所、山陽鍍金工業(株)、(有)三和ユニーク、新和金属(株)、泰洋工業(株)、(株)中村製作所、(株)日本アート、日鋼テクノ(株)、(株)日本パーカーライジング広島工場、日本バレル工業(株)、(有)広鍍金工業所、福山メッキ工業(株)、(有)富士金属、富士金属工業(株)、藤田クローム工業(株)、マツダ(株)、(株)ワイエスデー

開催月日	開催内容・テーマ	講 師
第1回 4月18日	総会 平成14年度第2回役員会・事業・決算の各報告 平成15年度事業計画・事業予算・役員改選 その他	
第2回 5月23日 24日	先進地視察研修（東京都葛飾区） 東京都鍍金工業組合葛飾支部、太田鍍金工業(株)、 (株)ヒキフネ、神谷電化工業(株) 表面处理総合展－METEC'03－	
第3回 6月19日	研修会 テーマ「めっき工場の改善の進め方」	デンソー(株) 小倉 健 氏

開催月日	開催内容・テーマ	講師
第4回 8月21日	役員会 研究会の今後の進め方について	
第5回 9月18日	企業見学研修 友鉄工業㈱	
第6回 10月23日	研修会 テーマ「クロムフリー代替技術の実態と対策の必要性」	日本表面化学㈱ 山室正明 氏
第7回 12月 3日	企業見学研修 西川化成㈱	
第8回 12月19日	研修会 テーマ「六価クロムフリーとしての三価クロメートの現状 と今後の方向性」「三価クロムめっきについて」	カニング・ジャパン㈱ 石原昌久 氏 早川直彦 氏
第9回 2月19日	研修会 テーマ「六価クロムフリーへのソリューション」	ディップソール㈱ 山本富孝 氏
第10回 3月18日	役員会 平成15年度事業報告 平成16年度事業計画	

ラピッドデザイン研究会（担当 尾崎、上杉、田中(秀)、清水）

自動車、電機産業を中心に製造工程のデジタル化が進んでおり、関連企業や他の製造業においても導入の必要性は高まっている。この研究会では、その要素技術となるCAD/CAM/CAE、RP(Rapid Prototyping)、PLM(Product Lifecycle Management)などデジタルエンジニアリングについて、企業の先進事例、大学の研究事例などの紹介および会員企業の個別課題に対する技術指導相談などを行うことにより製品開発期間の短縮やデザイン開発、設計技術の高度化を支援する。

今年度は4回のセミナー、個別課題に対する技術指導、所内研究として「リバースエンジニアリングの事例研究」を行った。

【会員企業】

(株)石崎本店、(株)中央電機、(株)ジェイ・エム・エス、南条装備工業(株)
(株)東洋シート、東プレ(株)、テンパール工業(株)、(株)今西製作所
(株)日本クライメイトシステムズ、(株)明光堂、(株)カンサイ、(株)キョウエイ
真工金属(株)、日鋼設計(株)

開催月日	テ ー マ	講 師
第 1 回 7月10日	3D-CADデータを現場にフル活用した革新的生産方式「デジタル屋台」の紹介とその効果	ローランド ディー・ジー・(株) DPプロダクション部 部長 関 伸一
第 2 回 9月16日	コマツの開発部門におけるIT化推進状況について	(株)コマツ 開発本部建機第一 開発センター CAD/CAMグループ 主任技師 高田 徹
第 3 回 12月16日	3次元CAD/CAMの活用事例と今後の展望	東京大学大学院工学系研究科 助教授 割澤伸一
第 4 回 2月24日	I-DEASを活用したピストンのパラメトリック設計	マツダ(株) パワートレイン開発本部 第1エンジン開発部 小型CE設計グループ アシスタントマネージャー 三村光生

シミュレーション応用技術研究会(担当 上杉)

近年、自動車業界で使用される設計支援ソフトウェア(CATIA, I-DEAS等)に代表されるコンピュータ上でのづくりを行うシミュレーション技術は、企業の浮沈を左右する重要な技術となっている。

本研究会では、最新のシミュレーション技術やその技術動向に関する事例紹介や会員企業間での情報交換を実施することで、会員企業がシミュレーション技術に関して抱える技術課題の解決を図ることを目的として開催した。

【会員企業】

(株)ハラダクニ、振動音響研究所、日本システムデザイン(株)、マツダ(株)、
山本技術コンサルタント、(株)三英技研、キャテック(株)、(有)Jade、
イーモル回路設計、岡山大学、産業技術総合研究所

平成15年度の研究開発項目と研究分担は以下のとおりである。

- ・「カーナビ等に利用する高精度3Dパラメータ地図の開発」 (株)三英技研
- ・「各車輪単独計測可能な自動車用ローラ式動的タイヤ横力測定装置の開発」 (株)ハラダクニ

開催月日	テ ー マ	講 師
第 1 回 7月14日	ドライビングシミュレータを用いたバーチャルプルービンググラウンド	東京大学 国際・産学共同研究センター 生産技術研究所(兼担) 教授 須田 義大 氏
第 2 回 7月18日	ITSの現状と今後の動向	独立行政法人産業技術総合研究所 ITS研究グループリーダー 津川 定之 氏
第 3 回 7月23日	カーナビの開発と今後の動向	金沢工業大学 客員教授 田上 勝俊 氏
第 4 回 9月 9日	自動車のバーチャル用テストシミュレータ	(株)リンクス 制御システム事業部 倉本 庸 氏
第 5 回 12月18日	高精度実験用模型による実測(ころがり抵抗と車両走行安定性に対するホイールアライメントの影響)	
第 6 回 3月 3日	シート開発における人体振動特性の重要性	埼玉大学 工学部 助教授 松本 泰尚 氏

鋳物砂等産業廃棄物利用技術研究会（担当 隠岐、倉本）

本研究会は、産業廃棄物の最終処分場の不足と処理コストの高騰並びに循環型社会の形成のためのリサイクル問題等から課題となっている鋳物工場から排出される鋳物廃砂、集塵ダスト等の廃棄物の減量化及び有効利用を目的として調査・研究を行っている。

【会員企業】

(株)今西製作所、(株)大田鋳造所、(株)木下製作所、草野産業(株)広島支店、(株)クリタ、坂本重工(株)、(株)シンコー、眞工金属(株)、大銑産業(株)広島営業所、大和重工(株)、(株)ツチヨシ産業、友鉄工業(株)、豊田実業(株)、新居浜工業高等専門学校、西村黒鉛(株)広島支店、日鋼マテリアル(株)、二宮産業(株)、広島アルミニウム工業(株)、広島県鋳物工業協同組合、三菱重工業(株)広島製作所、三菱重工業(株)広島研究所、三原菱重機工(株)、山川産業(株)広島営業所、(株)横田製作所、ヨシワ工業(株)、広島市立大学

開催月日	テ　　マ	講　　師
第1回 5月28日	テーマ「鋳物廃砂のセメントリサイクルについて」 テーマ「セメントリサイクル以外の廃棄物リサイクルについて」	(株)トクヤマ 資源リサイクルグループ 廣戸 訓司 氏 東広商事(株)
第2回 3月17日	テーマ「鋳造業の産業廃棄物等の再利用」	(財)素形材センター 技術部 部長 笹谷 純子 氏
調査 12月10日	日本鋳造工学会中国四国支部講演会 「鋳造関連廃棄物の削減と有効利用について」	

(7) 環境関連分野支援事業

公害防止技術に関する講習会（担当 福原）

開催月日	テ　　マ	講　　師	参加者数
3月25日	自動車部品、建材のホルムアルデヒドの測定に関する講習会	理研計器 (株) 研究部副部長 中野 信夫 氏	15名

木質資源利用技術研究会（担当 三宅、福原、金行）

深刻化する環境問題を背景に、資源の有効利用および再資源化技術の開発が強く求められている。また、木材は二酸化炭素と光から再生可能な資源であり、金属やプラスチック等の人工材料に無い快適性を有しているため、人と地球にやさしい工業材料として効果的な利用が期待されている。

本研究会は、地域企業が互いに木材利用技術の知見を広め、木材資源を幅広く有用な製品に変換するための技術開発および研究を行うことを目的としており、今年度新たに会員を募集して発足した。

年度当初、幹事会で活動方法について協議を行った結果、まずは木材利用に関する新しい見聞を広めながら、取り組みテーマを検討して行くべきではないかという提案が出され、出席者全員の同意があった。これを受けて、今年度は、大学講師招へいによる勉強会や異業種会員の工場見学会などを行いながら、木材利用の課題および有用な研究テーマを検討する活動を行った。

【会員企業】

アオイ化学工業(株)、(株)IBNジャパン、(株)オービス、協和木工(株)、(株)キーレックス、串井木材(株)、(株)清水木工、新ダイワ工業(株)、(株)ティー・イー・エフ、(株)ニイダ、(株)西日本イノアック、(株)広島環境研究所、広島炭化工業(有)、豊穰技建工業(株)、(株)マルニ、(株)マルヨ木材、安田金属(株)、(株)LAT環境設計事務所

開催月日	内 容
第1回 5月27日	・ 会員紹介 ・ 総会（役員改選および研究会規約について） ・ 平成15年度活動計画の協議
第2回 7月 9日	・ 工場見学会 串井木材(株)、広島炭化工業(有)吉田工場、(株)西日本イノアック、 新ダイワ工業(株)千代田工場
第3回 8月 8日	・ 勉強会（木材高機能化技術講習会への参加） テーマ：高圧水蒸気によるレスケミカルな木質材料の開発 講師：岐阜大学農学部 教授 棚橋光彦 氏
第4回 9月10日	・ 勉強会 テーマ：バイオオイル製造技術 講師：京都大学木質科学研究所 助手 畑俊充 氏
第5回 10月10日	・ 工場見学会 (株)マルニ 湯来工場、広島炭化工業(有)廿日市工場、安田金属(株)
第6回 11月19日	・ 工場見学会 豊穰技建工業(株)、(株)オービス
第7回 1月21日	・ 研究会取り組みテーマについて ・ 今後の活動計画について
第8回 3月 5日	・ 講義および意見交換 テーマ：エクステリア資材の現状と木質資源利用の方向 講師：(株)LAT環境設計事務所 取締役企画開発部長 青木成夫 氏

廃プラリサイクル研究会（担当 金行、福原、三宅）

廃棄プラスチックの減量化・リサイクル、またこれらを原料とした新製品開発を目的として、関連製造業を中心として研究を行った。

活動の最終年度である平成15年度は、当初は14年度の研究テーマを継続・発展させ、研究会としての3年間の活動のとりまとめを行う予定だったが、製品化に取り組んでいた会員企業から技術的には製品を作れても、商品化するコストメリットが無いため、研究を終了したいとの申し出があった。

新規の研究テーマとして、廃プラを材料として何かの機能を持たせた材料の開発に取り組んでみることにした。当センターの所有する混練ロールや熱プレスを用いて、廃プラ（廃発泡スチロール）と様々な材料を組み合わせ、多孔質化や、機能性を持たせることを目標に、試作実験を行った。

廃プラと様々な材料を均一に混ぜ合わせることができ、外観的には非常に面白い風合いを持つものが試作できたが、残念ながら目標とした多孔質化や機能性を持たせることはできなかった。

【会員企業】

三協プラスチック工業(株)、(株)アルバーノ、協和木工(株)、工房志楽、坂本重工(株)、ジー・ピー・ダイキョー(株)、新明和工業(株)、宝物産(株)、(株)友鉄ランド、(株)日本パーカーライジング広島工場、(有)宮本家具工業所

開催月日	テ　　マ
第1回 7月16日	今年度の活動方針についてのディスカッション 担当者の変更について
第2回 9月10日	今年度の新規研究テーマについてのディスカッション
第3回 11月13日	試作実験についての報告・ディスカッション 「混練ロールと熱プレスを用いた、木粉を混入した成型品の試作」
第4回 1月14日	試作実験についての報告・ディスカッション 「混練ロールと熱プレスを用いた、木粉や植物繊維を混入した成型品の試作」
第5回 3月10日	試作実験についての報告・ディスカッション 「混練ロールと熱プレスを用いた、各種材料を混入した成型品の試作」 研究会活動の終了にあたって

穀物加工残さリサイクル研究会（担当 菅原）

本研究会は、おから等植物バイオマス資源の有効利用技術について研究開発を行い、地域内循環利用のための課題解決を図るため、排出者からユーザーまでの異業種・異分野の連携のもと、資源化技術を中心とした講演会、少人数でのグループ勉強会を開催しました。

【会員企業】

エコラル(株)、(有)エコロジカ、サンゲン(株)、シージーケー(株)、新日本流通(株)、(株)大栄クリーナー、(株)タカキベーカー、田中食品(株)、堂本食品(株)、(株)東洋高压、ときふじオフィス、広印農産加工(株)双葉三共(株)、(株)マルミ、リョーコクシヨウジ(株)、(有)和田物産

【アドバイザー】

広島市立大学 情報科学部情報機械システム工学科 教授 矢野 卓雄 氏

広島市立大学 情報科学部情報機械システム工学科 助手 末原憲一郎 氏

【開催内容】

(1) 講師を招聘しての勉強会の開催（計5回）（下表のとおり）

開催月日	テーマ	発表者	参加者
第1回 6月18日	「水処理・廃棄物処理に関する研究紹介」	広島大学大学院 助教授 西嶋 渉 氏	42名
	「環境バイオテクノロジー：食品廃棄物等の減量化及びエネルギー回収（水素・メタン発酵）を中心として」	広島大学大学院 教授 西尾尚道 氏	
第2回 10月2日	「バイオマスと循環型社会の実現」	九州工業大学大学院 教授 白井義人 氏	17名
第3回 11月18日	「価値観とリサイクル」	広島市立大学 教授 矢野卓雄 氏	18名
	「リサイクル関連事業の紹介」	(株)マルミ 代表取締役 中川彰二 氏	
第4回 2月10日	「ポスト化石時代のバイオマスとその活用」	京都大学大学院 教授 坂 志朗 氏	23名
	「中国地域の資源循環サブクラスターモデル概要」	(社)中国地域ニュービジネス協議会 コーディネーター 竹内善幸 氏	
第5回 3月24日	「広島市ゼロエミッション推進協議会の概要紹介」	広島市環境局	18名

(2) グループ勉強会(計13回)(事業化のための調査や試作等の研究開発)

「ペレットストーブ普及の課題調査」、「木質廃材の発生・処理状況調査」、
「木質の圧縮成形加工技術」、「プラスチック系廃材の有効利用」、「消滅型コンポスト視察」、
「ペレット造粒機の改良」等

(8) 福祉関連分野支援事業

福祉関連分野支援啓発講習会(担当 山口、田中(秀))

テ　　マ	開催月日	講　　　　　師	参加者数
在宅福祉サービスに対応した福祉介護機器の開発	11月19日	兵庫県立福祉のまちづくり工学研究所 研究第三課長 米田 郁夫 氏	34名

生活環境製品開発研究会(担当 寺戸、平松)

本研究会は、参加会員企業が製造する製品にユニバーサルデザインの視点を盛り込み、製品化することを目指す。従来の異業種交流のように参加会員企業が共同で1つの製品開発を行うスタイルをとらず、各企業の開発テーマに沿ってアドバイザー講師と担当職員によりユニバーサルデザインのアドバイスにより開発を進める。

15年度は、開発製品のアイテムの選定からアイディア展開、デザイン計画・試作を行い、16年度に企業による製品試作を行う。個々の会員企業の開発の企業秘密を守るため全体会議と企業訪問により実施する。

【会員企業】

大西電機工業(株)、(株)オガワ、岸工業(株)、協和木工(株)、(株)倉本製作所、(株)ザイエンス
(株)堀田木工所、(株)ミカサ

<全体会議> 2回

・第1回

日 時 平成15年6月5日(木)
場 所 広島市工業技術センター
内 容 ・研究会の進め方について説明
・講師よりユニバーサルデザインの紹介と取り組みについて講演
講師 フリーランスプロダクトデザイナー 隅垣内彰 氏

・第2回

日 時 平成15年7月10日(木)
場 所 くにくさ苑(介護老人福祉施設) 安芸区阿戸町
内 容 施設オリエンテーション、会員からの質疑等

<個別会議>

・各会員企業へ訪問 各社2回訪問し、開発の打ち合わせを実施
訪問回数 16回

福祉関連製品開発研究会(担当 山口、田中(秀))

福祉関連製品開発研究会は、高齢化社会を迎えた時代にあって、福祉用具を使用する高齢者・身体障害者に適合する用具の開発、介護者の労力軽減を図る用具の開発及び企業の福祉関連分野への展開を目的として活動に取り組んでおり、既に床走行リフト用電動走行ユニット(商品名: 楽くんローラー)を製造販売するに至っている。

今年度は、電動走行ユニット、ユニットを内蔵した床走行リフトの市場展開、簡易トイレ内汚物を洗浄する洗浄用具の製品開発、シルバーサービス総合フェア、第30回国際福祉機器展への出展、地場産業支援テレビ番組の制作協力などの研究会活動を実施した。

【会員企業】

協和レジナス(株)、(有)技研、(株)テーシーケーエンジニアリング、丸善工業(株)、寺戸産業(株)、
畑林工業(株)、平和機械(株)、(株)テオス、後藤鉄工(株)、(有)リプレイス、シグマ(株)

回 数	実 施 日	内 容
第1回	15年 4月17日	(1) 広島国際大学の製品開発シーズについて (2) ひろしま産業創生研究補助事業への対応について (3) 福祉用具の開発相談支援について (4) 15年度の事業計画について (5) 福祉関連創生プロジェクト推進協議会への参加について (6) 車椅子技術開発研究会との連携について (7) 大学・リハビリテーション施設等の福祉用具ニーズについて (8) 各会員の製品開発アイデアへの対応について
第2回	15年 6月 4日	(1) 研究会ホームページの更新について (2) 広島大学医学部霞サテライトオフィスとの連携について (3) 福祉用具ネットワーク工房（WG）との連携について (4) 簡易洗浄用具の開発について (5) 床走行リフトの今後の取り組みについて (6) テレビ番組「ひろしま株式会社」への制作支援について
第3回	15年 7月18日	(1) 簡易トイレ内汚物の洗浄用具開発について (2) テレビ番組企画「ひろしま株式会社」への取材協力について
第4回	15年 8月21日	(1) シルバーサービス総合フェアへの出展について (2) 福祉関連製品・車椅子技術開発研究会の統合について (3) 福祉用具開発支援依頼への対応について
第5回	15年 8月29日	(1) 簡易トイレ内汚物の洗浄用具開発実施計画について (2) 同上開発アイデアの知的所有権出願について (3) テレビ番組「ひろしま株式会社」の取材内容について
第6回	15年 9月 8日	(1) 簡易トイレ内汚物の洗浄用具開発案の選定について (2) 開発案の特許出願に関する可能性の検討 (3) テレビ番組「ひろしま株式会社」のテレビ取材内容について
第7回	15年10月 7日	(1) 販社（東急ハンズ）の洗浄用具試作品に対する評価について (2) 洗浄用具試作品の評価結果に対応する構造改良について (3) 特許出願案件の応用範囲拡大の検討 (4) テレビ番組「ひろしま株式会社」の取材日程について (5) シルバーサービス総合フェア (10月10～11日 広島県立産業会館西展示館出展打合せ)
第8回	15年12月16日	(1) 洗浄用具部品の製造法について (2) テレビ番組「ひろしま株式会社」による福祉用具開発案の公募結果について (3) テレビ番組「ひろしま株式会社」による洗浄用具のデザイン公募結果と対応について
第9回	16年 1月 9日	(1) 福祉用具開発案公募への対応について (2) 福祉用具試作開発助成事業への応募について (3) 福祉用具開発支援依頼（名古屋市内企業）について (4) 日本福祉用具評価センター（仮称）の設立概要について
第10回	16年 2月17日	(1) 話題提供：「生活面から見た福祉用具活用術」 広島県立保健福祉大学保健福祉学部作業療学科 講師 上村智子 (2) 当研究会の開発製品、試作品及び開発案件への評価 広島国際大学医療福祉学部医療福祉学科 助教授 防岡正之 (3) 高齢者・身障者の自立のための三輪自転車開発への支援
第11回	16年 3月 5日	(1) 開発製品及び試作品の今後の展開について (2) 開発案件の今後の取り組みについて (3) 福祉関連製品開発研究会と車椅子技術開発研究会との組織統合について (4) 平成16年度の実施事業について

車椅子技術開発研究会（担当 山口、田中（秀））

車椅子技術開発研究会は、高齢化社会を迎えた時代にあつて、福祉用具を利用する高齢者・身体障害者及び介護者の要望を踏まえ、福祉用具に関する相談窓口の拡充、使用者個々に対応できるものづくりシステムの構築をめざして活動に取り組んできた。

今年度は、昨年度実施した調査結果を踏まえ、福祉用具に関する相談会の実施計画の検討、福祉用具使用者及び介護者を考慮した車椅子の製品開発に取り組んできた。

福祉用具相談会については、福祉用具改造・オーダーの品質、経費試算、安全性などの法的規制の研究をする必要があることがわかった。

車椅子については、当研究会が支援しながら、当研究会会員の(有)であい工房と、車椅子メーカーの(株)松永製作所がスリングシート式車椅子（チルト・リクライニング機能付）を商品化し、シルバーサービス総合フェアに出展するとともに第30回国際福祉機器展において発売を開始している。

【会員企業】

(有)であい工房、広島情報シンフォニー(株)、(株)ミカミ、(有)技研、後藤鉄工(株)、(株)テオス

【賛助会員】 広島市身体障害者更生相談所

回 数	実 施 日	内 容
第1回	15年 6月13日	(1)車椅子利用状況調査結果の検討 (2)今年度の活動方針について (3)福祉関連創生プロジェクト推進協議会への参加について (4)福祉関連製品開発研究会との連携について (5)大学・リハビリテーション施設等の福祉用具ニーズについて
第2回	15年 7月18日	(1)車椅子利用状況調査報告書に基づいた活動計画の検討 (2)福祉関連製品開発研究会との技術交流
第3回	15年 8月21日	<u>福祉関連製品開発研究会との合同研究会</u> (1)展示会出展 シルバーサービス総合フェア、ひろしま医療ベンチャーコンソーシアム、第2回ビジネスフェア中四国、第30回国際福祉機器展 (2)製品開発 簡易トイレ用洗浄用具の開発、車運転障害者マークにかわる表示方法の開発、車を運転する脳性小児麻痺等身体障害者のための車椅子搬送装置の開発 (3)広島大学医学部からの製品開発依頼について
第4回	15年 9月29日	(1)新規加入会員の承認（(株)ミカミ） (2)福祉関連相談会実施計画の検討 (3)福祉関連製品・車椅子技術開発研究会の統合について (4)福祉用具開発支援依頼への対応について
第5回	16年 1月 9日	(1)福祉用具開発公募案への対応について (2)福祉用具試作開発助成事業について (3)日本福祉用具評価センター（仮称）の設立概要について (4)福祉関連相談会の開催時期について

(9) 産業デザイン振興事業

新製品デザイン開発研究会（担当 平松、寺戸）

本研究会は、市内の若手デザイナーを中心に既存商品にとらわれない「あったらいいな」商品の開発を目的に、実現可能な商品提案を目指し、アイデア展開を行った。次年度は、技術シーズを持ち合わせた製造企業に参加をよびかけ、商品化を目指した製品試作の開発を行う予定である。

今回の取り組みは、若手デザイナーのものづくりの提案に対し、独自に商品開発できにくい中小企業と結びつけたモデルケースとして実施する。

【参加会員】

石田あさきトータルファッション専門学校、デザイナー、ワタナベデザインオフィス、遠藤建築スタジオ、(株)千鳥、穴吹デザイン専門学校、ドリームベッド(株)、広島市立大学

開催月日	内 容	講 師
第1回 7月23日	・研究会の進め方について説明 ・製品開発に関する講演	(株)デザイン総研広島 デザイン部長 山田 晃三 氏 (株)マーケティング・ナビ 代表取締役 三宅 曜子 氏
第2回 8月20日	・開発商品についてのアイディア出し	
第3回 9月18日	・アイディア展開のまとめ	
第4回 10月22日	・アイテムの絞込み、マーケティング調査	(株)マーケティング・ナビ 代表取締役 三宅 曜子 氏
第5回 11月19日	・開発アイテムの決定、アイディアスケッチ、 デザイン試作	(株)デザイン総研広島 デザイン部長 山田 晃三 氏
第6回 12月17日	・プレゼンテーションに向けてのまとめ	
第7回 1月21日	・プレゼンテーションに向けてのまとめ	
第8回 2月18日	・商品デザイン案のプレゼンテーション	(株)デザイン総研広島 デザイン部長 山田 晃三 氏

デザイン技術基礎講座（担当 西原、平松）

開催月日	テ　　ー　　マ	講　　　　　師	参加者
① 6月 3日	デザインと色彩	セントラルデザインアソシエーツ 主宰　　　　　山下 新治 氏	11 名
② 6月10日			
③ 6月17日	製図法、スケッチ技法	(財)広島市産業振興センター 西原 正明	
④ 6月24日			
⑤ 7月 1日	パースと色づけ	(有)アトリエ・ケン 代表　　　　　慶雲寺 誠 氏	
⑥ 7月 8日			
⑦ 7月16日	開発の手法	(財)広島市産業振興センター 西原 正明	
⑧ 7月22日	プレゼンテーション技法	(財)広島市産業振興センター 平松 志保	

注文洋服縫製技術講習会（担当 平松）

開催月日	テ ー マ	講 師	参加者
7月16日	①織物原料について ②良い服を作るための織物の条件 ③紳士服最新トレンド縫製 ④最新紳士服デザイナーズコレクション	(株)ラン・クロージング 取締役社長 平松 幹雄 氏	25 名

産業デザイン振興研究会（担当 宮田、谷本）

本研究会において産業デザインの振興策を検討してきた中で、デザインネットワークを構築することが必要であるとの結論に至ったことから、昨年度は「デザインフェア広島2002」の企画を通して具体的な手法について検討を行った。

今年度は、デザインネットワークの拡充を図ることを目的として「デザインセミナー」を開催しながら、デザイン開発室を中心とするデザイン振興拠点機能の整備について引き続き検討している。

デザインセミナー開催状況

開催月日	テ　　マ	講　　師	参加者
第1回 5月30日	デザインに関する国際化の動き ①「中国・韓国のデザイン界について」 ②「最近のデザイン開発の動きーマツダデザインの開発を通してー」	(株)プラスアルファコーポレーション 代表取締役 縄田 健次 氏 マツダ（株）デザイン本部 マネージャー 井ヶ田 章 氏	35名
第2回 7月29日	(パネルディスカッション) 的場に若者を呼び込もう！ ー女性起業家たちの挑戦ー	パネリスト：「的場開発の会」メンバー 「bien sur」代表 住田麻美子氏 「zeni」代表 稲田果由氏、橋本加奈氏 「Naom」代表 山田直子氏、服部瑞恵氏 コーディネーター： 広島芸術専門学校長 大橋 啓一 氏	36名
第3回 12月11日	ユニバーサルデザインと医療機器の現状	(株)ジェイ・エム・エス デザイン包装室長 曾根 芳久 氏	31名
第4回 2月18日	モデラーの仕事について	(株)デザイン総研広島 取締役 石井 誠 氏	38名

研究会の開催

開催月日	内　　容
3月26日	・15年度事業の実施状況について ・16年度事業の計画について 今後のネットワークづくりについて 産業デザイン展について

ひろしまグッドデザイン賞（担当 宮田）

「ひろしまグッドデザイン賞」は、広島市内の企業が製造・デザインした商品や、パッケージの中から、特にデザインの優れた商品を選定し、これを表彰することにより、企業のデザイン開発力を高めるとともに、デザイン関連企業の育成・振興を図り、産業界及び市民のデザインに対する理解と関心を深めることを目的として、平成6年に創設した顕彰制度である。

6月16日から7月31日まで募集し、48社から65点の応募があった。申請書類及び写真による第一次審査の後、6名の委員による選定委員会を開催し、現物審査により受賞商品の候補を選定した。

・選定委員会（委員6名）

委員長	及川 久男（広島市立大学芸術学部 助教授）
副委員長	吉田 幸弘（広島市立大学芸術学部 助教授）
委　　員	平田 圭子（広島工業大学環境学部 講師）
	豊田 強（マツダ(株)デザイン部 製作スタジオ 部長）
	三宅 曜子（(株)マーケティングナビ 代表取締役）
	田口 俊夫（三菱重工業株技術本部広島研究所 次長）

今回は表彰式と展示会を、紙屋町地下街シャレオ中央広場で行い、3日間の展示期間中に、6,352人の来場者があった。
さらに、東京（新宿）でも展示会を開催し、同じく3日間に3,319人の来場者があった。

【受賞商品】

●大賞 6商品

- ・プロダクトデザイン賞
カプセル型ヘアカット店舗 QB Shell / 応募者：株式会社デザイン総研広島
QB Shell Private Limited
- ・パッケージデザイン賞
お土産用お好み焼き材料セット2人前 / 応募者：お好みフーズ株式会社
- ・パッケージデザイン賞
大判広島菜 / 応募者：株式会社山豊
- ・ユニバーサルデザイン賞
電動介護ベッド SKB-341-91 / 応募者：ドリームベッド株式会社
- ・エコロジーデザイン賞
荷ロックベルト / 応募者：岸工業株式会社
- ・技術賞
リアルプレート / 応募者：株式会社オガワ

●奨励賞 16商品（順不同）

商 品 名	企 業 名
湯牧民 露天デラックスセット	応募者：大和重工株式会社
JMSシリンジポンプ	応募者：株式会社ジェイ・エム・エス
かき加工品小箱シリーズ（8点セット）	応募者：倉崎海産株式会社
広島牡蛎麺	応募者：有限会社トライエル 発注者：三水株式会社
大長檸檬酒	応募者：ギミック都市生活研究所 発注者：中尾醸造株式会社
独創清酒 大辛口 とことん	応募者：株式会社田熊酒本店
かんぱの郷庄原 乳団子三彩	応募者：クリエイティブボックス ルバーリン 発注者：株式会社和泉光和堂
大地の扉まんじゅう	応募者：株式会社友鉄ランド
むすび弁当折 むさしの旅路	応募者：株式会社むさし
和漢湯やすらぎ便り	応募者：株式会社ヤマサキ
りんりんタオル、るんるんタオル	応募者：有限会社リプレイス
卓上爪やすり	応募者：有限会社ぞうぞう
多目的帽子 たーぼう	応募者：児玉センイ
バーベキューテーブル 檜なごみ	応募者：株式会社アールテック・リジョウ
超軽量ハンド式プレス機	応募者：シージーケー株式会社
杵つき餅・杵つきうどん製造機 だいがらマシーン	応募者：株式会社里吉製作所

(10) 工業技術支援アドバイザー派遣事業 (担当 田中(真))

企業からの要請により、生産現場へ分野別の登録アドバイザーを派遣し、技術課題について現地指導(診断指導)を行った。

平成15年度は実施回数30回、指導企業数は30社、指導分野は11分野にわたった。

■指導分野別アドバイザー

指導分野	アドバイザー
新製品開発	角田 鎮男氏 森田 茂氏 住本 哲宏氏 新居 敏春氏
樹脂成形	広兼 泰雄氏
品質管理	時藤 哲正氏
情報処理技術	市村 匠氏
商品デザイン	田中 宏樹氏 隅垣内 彰氏

指導分野	アドバイザー
鑄造技術	山中 昇氏
熱処理技術	寄高 政史氏 石神 逸男氏
塗装	斉藤 文二氏 平岡 康孝氏
省エネルギー	広兼 泰雄氏
廃水・廃液処理	平岡 康孝氏 矢野 卓雄氏
リサイクル	山中 昇氏 杉山 政則氏

(11) デジタルエンジニアリング支援研修事業 (担当 田中(真))

自動車関連産業をはじめとする設計・製造工程に係るデータのデジタル化に対応するための技術者育成を支援する研修事業を行った。広島県からの補助金を受けて、機材並びにソフトウェアなどの整備を行い、自動車業界で採用が拡大している3次元ハイエンドCAD CATIA V5の操作研修を行った。

平成15年度は、初心者研修を8回(受講者32名)と基礎研修2回(受講者7名)、並びに実践研修2回(受講者4名)を実施した。

○研修カリキュラム

研 修 名	日数	内 容
初心者研修 (全3日間)	0.5	CATIA概要(ウインドウ操作、モデリング手順など)
	0.5	スケッチャーによる断面形状プロファイルの作成
	1.0	プロファイルを使用したソリッド化のための操作
	1.0	ソリッドモデルの編集、ボディ同士の演算や流用パーツの使用による複雑形状の作成
基礎研修 (全3日間)	1.0	CATIAの基礎、ワイヤーフレーム・サーフェスの作成方法
	0.5	ジェネレイティブシェイプデザイン(より高度なワイヤーフレーム及びサーフェスの作成)
	1.0	アセンブリーデザイン(パーツの組み立て)
	0.5	形状表示の変更や干渉解析、ドラフティング(2次元図面の作成)
実践研修 (3時間程度)		初心者研修のフォローアップ(紹介しきれなかった機能の紹介やより有効的なモデリング方法など)

(12) 製造技術開発力育成事業

技術開発力向上実践研修（担当 菅原）

各種製造技術、評価技術等の座学・実技を幅広く研修し、守備範囲の広い多能な技術者を養成し、中小企業の技術開発力の向上を図ることを目的に実施した。

受講者数 30名

期 間 平成15年7月23日～8月22日

【全体研修】

開催月日	コース	内 容	講 師
7月23日	ガイダンス・設備見学	・広島市工業技術センターの概要説明 ・試験機器、設備紹介等	産学連携推進室 山 寄
7月23日	プレゼンテーション技術	・プレゼンテーション技術 ・技術報告書作成技術	システム技術室 西 山

【専門研修】

開催月日	コース	内 容	講 師
7月24日	①機械加工技術	・ワイヤカット放電加工機を用いた、簡単形状のプログラム作成 ・プログラムの機械入力及び機械操作しての部品製作実習	材料・加工技術室 岡 田
8月21日	②品質工学入門 (摩擦摩耗の評価)	・品質工学による評価方法を用いた摩擦摩耗の評価	材料・加工技術室 桑 原
7月29日, 7月30日	③デジタルプロセス	・I-DEASによる三次元モデリング ・ADINAによる構造解析 ・PRODIGYによる三次元造形 ・三次元測定機の操作実習	システム技術室 尾崎、上杉、田中
8月 5日	④材料評価技術 (化学分析) 基礎	・鉄鋼材料分析についての基礎講習 ・各種分析装置の紹介	材料・加工技術室 福 原
8月19日	⑤表面処理技術	・磷酸塩皮膜化成処理及びめっき処理に関する処理実習 ・皮膜の試験・評価法の紹介	材料・加工技術室 植木、金行
8月22日	⑥塗装技術	・金属、プラスチック、木材等への塗装に必要な基礎講習 ・塗装実習	材料・加工技術室 金行、山 寄

(13) 技術者研修事業

各種材料、加工技術、システム技術などに関する講習会を実施し、企業の技術力向上を支援した。

講習会名称	開催月日	テーマ	講師	参加者
工具鋼材料技術講習会	3月18日	高硬度、難切削材に適応した切削工具の動向と工具に対応した最新表面処理技術について	日立ツール(株) 理事 バリューセールスセンター長 長森 信幸 氏	39名
熱処理技術講習会	3月12日	金属材料の強化理論、強化法および組織の見方、最新の熱処理技術	大阪府立産業技術総合研究所 材料技術部 部長 石神 逸男 氏	92名
高分子材料講習会	6月6日	ゴム用スルフィド系カップリング剤の新規製法とその応用	ダイソー(株)機能材事業部 営業第一部 部長 山田 隼男 氏	40名
	8月1日	ゴム材料の耐摩耗性と耐カット性の評価	松江工業高等専門学校 土木工学科 助教授 河原 壮一郎 氏	31名
	11月12日	地震国日本での免震技術の定着と普及をめざして	ロンドン大学客員教授 ポリマーエンジニアリングデザイン 代表 深堀 美英 氏	25名
ISO 9001・14001講習会	10月21日	I S Oマネジメントシステム実践講習	ときふじオフィス 代表 時藤 哲正 氏	52名
I T 技術講習会	7月7日	ユビキタス社会への展望	東京大学大学院 情報理工学系 研究科 電子情報学専攻 教授 青山 友紀 氏	48名
ロボティクス・メカトロニクス講習会	3月11日	ウェアラブルロボットの可能性とその応用	立命館大学理工学部 ロボティクス学科 教授 川村 貞夫 氏	40名
特殊加工技術講習会	12月4日	高機能化を具現化する改質技術	トーカロ(株) 神戸工場 ZAC製造課長 宮島 生欣 氏	41名
木材高機能化技術講習会	8月8日	高圧水蒸気によるレスケミカルな木質材料の開発	岐阜大学農学部 生物資源利用学科 教授 棚橋 光彦 氏	30名
計測・システム制御講習会	7月3日	磁気センサの現状と将来	九州大学大学院総合理工学部 量子プロセス理工学専攻 教授 笹田 一郎 氏	32名
C A E 応用技術講習会	12月12日	有限要素法のノウハウと産業への応用事例	(財)熊本テクノ産業財団 次長 東町 高雄 氏	26名

(14) 発明考案奨励事業

広島市児童生徒発明くふう展

児童生徒の創意くふう、発明等に対する意欲の高揚と教育及び産業の発展を図るため、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、展示を行った。

主催：広島市

共催：広島市教育委員会・広島商工会議所・社団法人発明協会広島県支部・中国新聞社・

広島市PTA協議会

①応募及び表彰結果

区 分	応 募 状 況	表 彰 結 果								
		広 島 市 長 賞	広島市 教育長 賞	広 島 商工会 議所会 頭賞	発明協 会広島 県支部 長賞	中 国 新聞社 賞	広島市 PTA 協議会 長賞	増本賞 熊平賞 山本賞 木曾賞 竹林賞 不破賞	優秀賞	学校賞
小学生の部	105点	1点	1点	1点	1点	1点	1点	3点	15点	1点
中学生の部	109点	1点	1点	1点	1点	1点	1点	3点	15点	1点
高校の部	2点	—	—	—	—	—	—	—	—	—

②発表展示会の開催

平成15年11月7日～11月16日までの9日間、出品作品を広島市こども文化科学館において実施した広島県・広島市児童生徒発明くふう展に展示した。

広島県未来の科学の夢絵画展入賞者表彰

広島県未来の科学の夢絵画展を後援し、広島市長賞として賞状及び記念品を贈呈した。

・開催時期 平成15年11月7日～11月16日

・開催場所 広島市こども文化科学館

①応募及び表彰結果

区 分	応 募 状 況	表 彰 結 果					
		特 別 賞	金 賞	銀 賞	佳 作	努 力 賞	学 校 賞
小学生の部	602点	15点 (6)	15点 (4)	21点 (8)	33点 (6)	16点 (4)	3校 (1)
中学生の部	501点	9点 (0)	15点 (1)	19点 (2)	27点 (0)	14点 (2)	2校 (0)

上段：広島県 ()：うち広島市

広島市優良発明功績者表彰

優秀な発明考案を広く奨励することなどを目的に、優れた発明考案を創作し、その実用化が本市産業の発展に寄与した方を表彰した。

平成15年度は、3月23日（火）に市長公室において表彰式を行った。

表 彰 名	表 彰 者	成 果 の 内 容
優良発明功績賞	西田 正三氏 (株式会社日本製鋼所 広島製作所)	対象となったのは、「中空成形品の成形方法及びそれに用いられる金型」である。 従来より中空の樹脂成形品の製造は、ブロー成形やロストコア法などにより行われているが、形状の自由度が低い、初期コストが高い、後処理が煩雑などの問題があった。 この発明によりこれらの課題を解決すると共に高付加価値化が図れ、金属部品の代替として多くの製品に採用されている。 西田氏は、本発明の他にも樹脂成形における数多くの特許を取得されており、関連した特許も多く出願されている。
優良発明功績 女性奨励賞	鈴木 あゆみ氏 (湧永製薬株式会社 広島事業所)	対象となったのは、「ニンニク発酵組成物」である。 古来より健康食として知られるニンニクを最近注目されている紅麹菌で発酵させた健康食品を開発された。 蓄積された技術により殺菌効果が高いニンニクを管理の難しい紅麹菌で発酵させることに成功し、成人病予防など種々の効果を確かめられている。 鈴木氏は入社以来、大腸菌を用いた生理活性物質の研究などに従事され、技術の要として活躍されている。

(15) 広島市工業技術振興協議会

地域企業の技術支援、産学官の連携促進を目的に業界団体、産業振興機関、関係大学の代表者に出席を頂き、地場産業の現況や課題、広島市の工業技術振興に対する提言や要望について意見交換を行った。平成15年度は、産業界から16団体、技術振興機関4団体のほか、地域の関係大学から5人の先生方をアドバイザーに招き、7月17日（木）に開催した。

【参加団体等】

東友会協同組合、協同組合三菱広島協力会、広島金属プレス工業会、広島金属熱処理協同組合、協同組合広島県鉄構工業会、広島県鍍金工業組合、広島県鋳物工業協同組合、広島機械木型工業組合、広島県プラスチック工業会、中国ゴム工業協同組合、広島家具工業協同組合、広島宗教用具商工協同組合、(社)日本塗装工業会広島県支部、(社)インテリア産業協会中国支部、(社)広島県情報産業協会、(社)広島県食品工業協会、広島県中小企業団体中央会、(財)中国技術振興センター、(財)ひろしま産業振興機構、(社)発明協会広島県支部、広島大学、広島工業大学、広島国際学院大学、近畿大学工学部、広島市立大学

(16) 会議・研究会への出席

会 議 等 の 名 称	出席者	出張先	出張日
公立鉦工業試験研究機関長協議会総会	川本	宇部	6/12～13
産業技術連携推進会議総会	梅本	東京	3/19
中国地域産業技術連携推進会議	川本	福山	2/16～17
全国公設鉦工業試験研究機関担当者会議	神出	秋田	9/25～26
産業技術連携推進会議機械金属連合部会機械分科会材料研究会	田中真	盛岡	9/11～12
産業技術連携推進会議機械金属連合部会中四国九州合同機械専門部会	田中真	福山	11/20
産業技術連携推進会議機械金属部会生産情報システム研究会	清水	秋田	10/30～31
産業技術連携推進会議機械金属部会メカトロニクス研究会	尾崎	四日市	10/23～24
中四国九州公設試験研究機関接合表面改質技術者会議	世良	高松	10/31
中四国九州公設試験研究機関機械技術担当者会議	岡田	呉	1/30
産業技術連携推進会議物質工学・資源環境エネルギー部会総会	岡田	東京	7/11
産業技術連携推進会議物質工学部会表面技術分科会	金行	長崎	6/5～6
産業技術連携推進会議物質工学部会中国地方部会（製品科学）	三宅	松江	6/26～27
産業技術連携推進会議物質工学部会デザイン分科会（春期）	寺戸	弘前	6/19～20
産業技術連携推進会議物質工学部会デザイン分科会（秋期）	平松	東京	10/16～17
産業技術連携推進会議資源環境エネルギー部会中国四国地方部会	金行	岡山	10/9～10
産業技術連携推進会議物質工学部会木質科学分科会	三宅	水戸	10/2～3
産業技術連携推進会議物質工学部会高分子分科会	福原	津	10/22～23
産業技術連携推進会議物質工学部会素形材技術担当者会議	倉本	名古屋	11/27～28
デザイン開発指導連絡協議会	寺戸	今治	1/29～30
産業技術連携推進会議情報電子部会中国四国地方部会	尾崎	松山	12/4～5
産業技術連携推進会議情報電子部会情報技術研究分科会	田中秀	小郡	11/6～7
産業技術連携推進会議情報電子部会EMC分科会	上杉	福岡	10/16～17
(社)自動車技術会2003年春期大会学術講演会	西山	横浜	5/21～23
粉体粉末冶金協会秋季講演大会	隠岐	大阪	11/6～8
日本機械学会年次大会	清水	徳島	8/6～7
中国地域産学官コラボレーションシンポジウム in やまぐち	賀藤	宇部	8/19～20
中国地域産学官コラボレーションシンポジウム in とっとり	大林	鳥取	3/26～27
全国デザインセンター会議	宮田	大阪	10/21～22
中四国公設試共同研究企画担当者会議	四辻	鳥取	3/11～12
中国四国地方公設試験研究機関共同研究（電子分野）	田中秀	徳島	7/11
中国四国地方公設試験研究機関共同研究（電子分野）	田中秀	広島	2/20
中国四国地方公設試験研究機関共同研究（機械分野）	桑原	高松	7/15
中国四国地方公設試験研究機関共同研究（機械分野）	桑原	広島	3/9

(17) 技術職員派遣研修

氏 名	研 修 名	研 修 先	期 間
桑原 修	中小企業支援担当者研修課程 (製品開発)	中小企業大学校東京校	平成15年 9月25日～ 10月23日
寺戸 毅	中小企業支援担当者研修課程 (製品開発)	中小企業大学校東京校	平成15年 9月25日～ 10月23日

(18) 講師・委員の派遣

開催日	名 称	派 遣 内 容	開催場所	派遣者
4月16日	基礎2級技能検定実技試験 (広島県職業能力開発協会)	検定委員 (溶融亜鉛めっき作業)	因島市	植木
5月10日	広島少年少女発明クラブ発足式	運営委員	広島市	沖、畠山
5月21日	発明協会広島県支部・理事会・ 通常総会・講演会	常任理事代理	広島市	梅本
5月27日	(財)ひろしま産業振興機構技術委員会	委員	広島市	川本
5月30日	広島県産業支援機関等連携推進会議	委員	広島市	川本
6月24日	(財)中国活性化センター プロジェクトチーム会議	プロジェクトメンバー	広島市	菅原
7月2日	基礎2級技能検定実技試験 (広島県職業能力開発協会)	検定委員 (溶融亜鉛めっき作業)	三原市	植木
7月20日 ～21日	前期技能検定実技試験 (広島県職業能力開発協会)	検定委員(金属塗装・噴 霧塗装・広告面粘着シー ト仕上げ作業)	広島市	山寄 谷本 植木
8月20日	基礎2級技能検定実技試験 (広島県職業能力開発協会)	検定委員 (噴霧塗装作業)	広島市	山寄
9月24日	伝統工芸士認定実技試験 ((財) 伝統工芸品産業振興協会)	伝統工芸士委員会委員	広島市	谷本
9月25日	基礎2級技能検定実技試験 (広島県職業能力開発協会)	検定委員 (金属塗装作業)	三原市	山寄
9月29日	広島県未来の科学の夢絵画展審査会	審査員	広島市	川本、谷本
9月30日	(財)中国活性化センター プロジェクトチーム会議	プロジェクトメンバー	広島市	菅原
10月1日	伝統工芸士学科試験	審査員		谷本
10月～	市立大学塗装法実習(計7回)	講師	広島市	山寄
10月27日	広島県「モジュール化・システム化 研究会」発足式	委員代理	広島市	梅本
10月28日	第29回宮島特産品振興大会審査会	審査員	宮島	谷本

開催日	名 称	派 遣 内 容	開催場所	派遣者
10月30日	発明協会広島県支部常任理事会	常任理事	広島市	川本
11月5日	基礎2級技能検定実技試験 (広島県職業能力開発協会)	検定委員 (金属塗装作業)	沼隈町	山寄
11月13日	(財)中国活性化センター プロジェクトチーム会議	プロジェクトメンバー	広島市	菅原
11月21日	建築塗装講習会 (日本塗装工業会)	講師	広島市	山寄
11月25日	(財)ひろしま産業振興機構技術委員会	委員	広島市	川本
1月23日	(財)中国活性化センター プロジェクトチーム会議	プロジェクトメンバー	広島市	菅原
1月29日	モジュール・システム化研究会	委員代理	広島市	梅本
2月5日	社団法人発明協会広島県支部理事会	常任理事	広島市	川本
2月6日	(財)中国活性化センター プロジェクトチーム会議	プロジェクトメンバー	広島市	菅原
2月17日	広島少年少女発明クラブ運営委員会	委員	広島市	沖
2月25日	基礎2級技能検定実技試験 (広島県職業能力開発協会)	技能検定委員 (溶融亜鉛めっき)	三原市	植木
2月28日	広島少年少女発明クラブ修了式	委員代理	広島市	梅本
3月2日	(財)ひろしま産業振興機構 産学官連携会議	委員	広島市	川本
3月3日	基礎2級技能検定実技試験 (広島県職業能力開発協会)	検定委員 (金属塗装作業)	三原市	山寄
3月17日	(財)ひろしま産業振興機構RSP 事業推進ワーキング委員会	委員	広島市	川本
3月17日	基礎2級技能検定実技試験 (広島県職業能力開発協会)	検定委員 (溶融亜鉛めっき作業)	因島市	植木
3月23日	広島県産業支援機関東連携推進会議	委員	広島市	川本

(19) 学位取得

学 位	氏 名	論 文 名	取得年月	取得大学名
博士(工学)	倉本 英哲	放電焼結法における緻密化速度	2003年12月	広島大学

3 研究報告

- (1) リバースエンジニアリングの事例研究
尾崎 清・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 37
- (2) 医療研究用質量分析器のデザイン開発
(環境対応型ビデオマススコープ-超高速セロミクスロボットのデザイン)
寺戸 毅、升島 努、宮本 憲久、土佐 敏彦・・・・・・・・ 40
- (3) Ni 基超耐熱合金のエンドミル加工に関する研究
桑原 修・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 45
- (4) クロムモリブデン鋼と鋳鉄を組み合わせたハイブリッド歯車の
振動・騒音特性
清水 功史、池条 清隆、永村 和照・・・・・・・・ 48
- (5) チタン合金のHIP焼結速度
隠岐 貴史、倉本 英哲、松木 一弘、柳沢 平・・・・・・・・ 51
- (6) チタン基材料の最終段階におけるHIP焼結過程
隠岐 貴史、倉本 英哲、清水 功史、松木 一弘、柳沢 平
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 57
- (7) ホイールアライメントがころがり抵抗に及ぼす影響
西山 修二、原田 伸、森田 茂・・・・・・・・ 63
- (8) ホイールアライメントが走行性能に及ぼす影響に関する
シミュレーションシステムの開発
西山 修二・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 71
- (9) 救急車内の臥位人体頭部の振動特性に関する実験的研究
(第2報、水枕の水量が頭部に及ぼす影響)
上杉 憲雄、西山 修二、清水 功史、山本 和弘、松原 繁
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 80
- (10) 等粒径 Cu-Al₂O₃ 複合圧粉体の放電焼結過程における
緻密化速度に及ぼすアルミナ粒子体積率の影響
倉本 英哲、隠岐 貴史、松木 一弘、柳沢 平・・・・・・・・ 83
- (11) RI を用いたスケール量計測における補正係数の導出
田中 秀樹・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 90
- (12) パラメータの変動する時変システムの同定
田中 秀樹、小林 康秀、疋田 真一・・・・・・・・ 94
- (13) クリヤー塗膜の染色による加飾技術の開発と実用化研究
金行 良隆・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 99

Research Report

(1)	A Case Study of Reverse Engineering Kiyoshi OZAKI	37
(2)	A Design Development of the Mass Spectrometer for Medical Treatment Research (Design of super-high-speed CELLOMICS robot-Video-Massscope for environment) Takeshi TERADO, Tsutomu MASUJIMA, Norihisa MIYAMOTO and Toshihiko TOSA	40
(3)	Research on milling of nickel-base super alloy Osamu KUWABARA	45
(4)	Vibration and noise characteristics of hybrid gear which combined the SCM415 steel with the cast iron Kohshi SHIMIZU, Kiyotaka IKEJOU, and Kazuteru NAGAMURA	48
(5)	HIP Sintering Rate for Titanium Alloys Takashi OKI, Hideaki KURAMOTO, Kazuhiro MATSUGI and Osamu YANAGISAWA	51
(6)	HIP Sintering Process in the Final Stage for Ti Base Materials Takashi OKI, Hideaki KURAMOTO, Kohshi SHIMIZU, Kazuhiro MATSUGI and Osamu YANAGISAWA	57
(7)	Effect of Wheel Alignment on Rolling Resistance of Automobiles Shuji NISHIYAMA, Shin HARADA and Shigeru MORITA	63
(8)	Development of Simulation System on Influence of Wheel Alignment on Running Performance Shuji Nishiyama	71
(9)	Experimental Investigation of Vibration Characteristics of Lying Person's Head in an Ambulance Car (2nd Report, Influence of Volume of Water Pillow on Head) Norio Uesugi, Shuji Nishiyama, Kohshi Shimizu, Kazuhiro Yamamoto, Shigeru Matsubara	80
(10)	Influence of the alumina particle volume fraction on the densification rate of mono-sized Cu-Al₂O₃ composite powder compact in spark sintering process Hideaki KURAMOTO, Takashi OKI, Kazuhiro MATSUGI and Osamu YANAGISAWA	83
(11)	Derivation of Corrcion Facrtrors for Measurement of Scale UsingRI Hideki TANAKA	90
(12)	Identification of Time-Varying System with Fluctuations for Parameters Hideki TANAKA, Yasuhide KOBAYASHI, Shinichi HIKITA	94
(13)	A Study on Decorating Technology by Dying Clear Coating Films Yoshitaka KANEYUKI	99

リバースエンジニアリングの事例研究

尾崎 清

A Case Study of Reverse Engineering

Kiyoshi OZAKI

Reverse Engineering, which makes 3D-shape of actual objects such as natural or clay models by means of CAD system and applies to the design process, has been remarkably progressing. In this study we demonstrated the trial production, measured an actual object by Non-contact 3D Digitizer, and drew some curved lines from the picking points, and made some curved surfaces from the curved lines, finally made ABS models using Rapid Prototyping System.

Keywords: Reverse Engineering, CAD, 3D Digitizer, Rapid Prototyping System

天然物やクレイモデルのような実物モデルの形状をCADを用いてコンピュータ上に再現し、設計に活用する、いわゆるリバースエンジニアリングに関する技術が急速に進歩しつつある。本報では、実物モデルを非接触三次元形状入力機で計測し、得られた点群データからCADを用いて自由曲線、さらに自由曲面を作成し、最終的に三次元造形機を用いて試作を行った事例について報告する。

キーワード：リバースエンジニアリング、CAD、三次元形状入力機、三次元造形機

1. 緒言

近年、デジタルエンジニアリング関係の測定機やソフトウェアの急速な進歩によって、実物モデルの形状を設計に反映させることが実用レベルで可能になってきた。例えば自然が造りだした樹木、石、生物などの天然物や人間が感性により造形したモデルをデザインに取り入れることやCAD/CAMで製作した試作品を三次元計測し、CADデータとの誤差を求めることなども可能となってきた。具体的なツールとしては、多種多様な材質、形状からなる実物モデルを効率よく正確に数値化するための非接触三次元測定機、得られた点群データから自由曲面を自動生成する曲面生成ソフトウェア、さらに曲面データを用いて設計・製造データを作成するためのCADなどがあり、価格も機能も様々である。ここでは、自転車競技用ヘルメットを実物モデルにして、非接触

三次元形状入力機とCADを用いてリバースエンジニアリングに取り組んだ事例を紹介する。

2. 実物モデルの測定

図1に実物モデルとして用いた自転車競技用ヘルメットを示す。測定に用いた非接触三次元形状入力機はミノルタ株式会社のVIVID700である。スリット状のレーザ光で被測定物をスキャンし、その反射光をCCDカメラで受光し三角測距の原理で距離情報を得て三次元データ化する。分解能はXY方向が測定視野域の1/200、Z方向が測定視野域の1/256である。今回、被測定物をできるだけ測定視野域いっぱいになまるように配置した結果、分解能はXY方向が約1.6mm、Z方向が約1.2mmになった。

実際に測定を行うと、実物モデルの光沢が影響し検出できない箇所が多かった。この対策としては塗

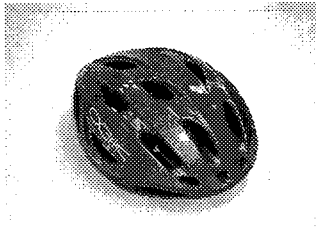


図1 実物モデル

料等を塗り、つや消しを行う方法があるが、今回はモデルを汚すことができないため、形状の特徴的な輪郭部分に白テープを貼り、境界線情報を得ることにした。その際、モデルが左右対称であることから半分だけに白テープを貼った。白テープを貼った実物モデルを図2、図3に示す。

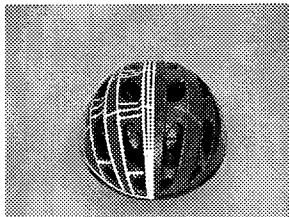


図2 モデル正面

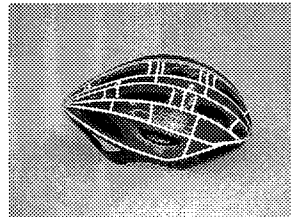


図3 モデル側面

白テープを貼った実物モデルを回転テーブルに載せ、360°回転させて得た点群データの画像を図4に示す。左上が正面、左下が上面、右が斜め方向から見たものである。白テープを貼った箇所は測定できていることがわかる。点群データは後の境界線作成作業を考慮して1/4に間引き、全部で2177点になった。

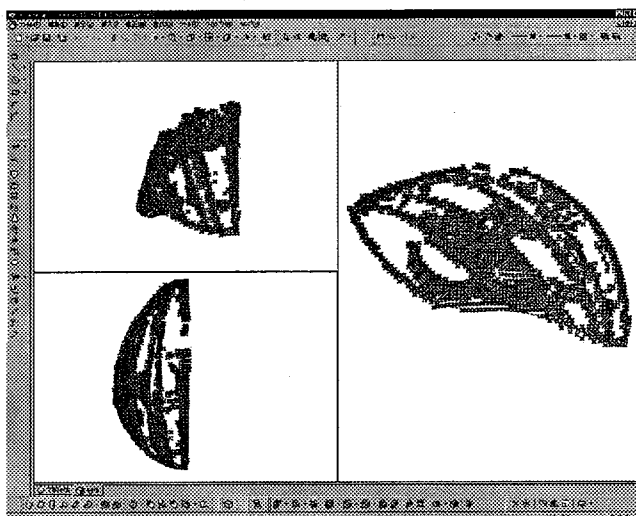


図4 点群データ

3. モデリング

補間点コマンドで点群から点をピックしながら作成した曲線を曲線フィッティングコマンドにより修正した。フィッティング条件は次数3、連続性2、セグメント数は、縦線5、横線2に統一した。境界線で構成されるワイヤーフレームモデルを図5に示す。左上が正面、左下が上面、右が斜め方向から見たものである。使用したCADはthink3社のthinkdesignである。

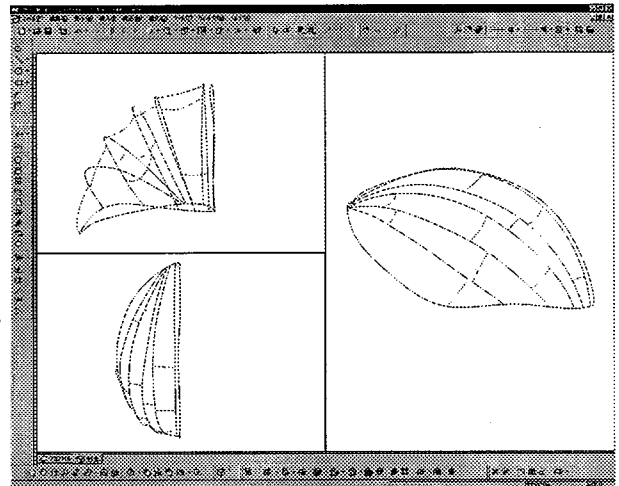


図5 境界線の作成

次に、境界線から曲面を作成したものを図6に示す。モデル上面から見て、隣り合う縦の境界線2本で囲まれた部分が接線連続な一つの曲面とみなされるが、ここでは境界線と境界線の交点で境界線を分割し、4本あるいは3本の境界線で囲まれる部分にロフトコマンドを使って曲面を作成した。

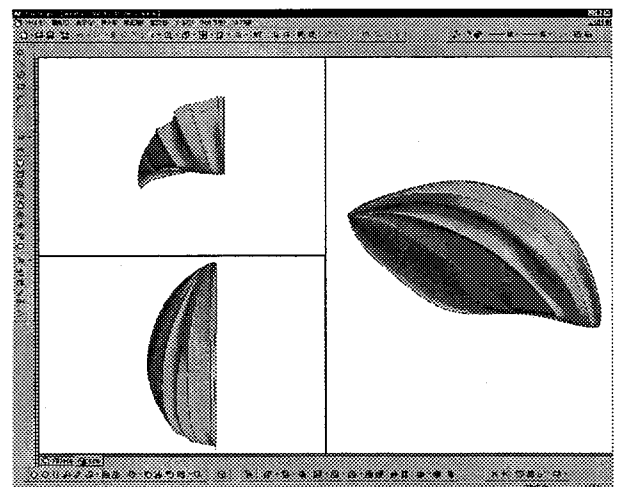


図6 曲面の作成

次にモデルに厚みをつけるために曲面をソリッド化したうえで、シェル化を試みたが、曲面が複雑なためコマンドが効かなかった。そのため、図5の境界線をオフセットして裏側の境界線を作成し、それを用いて裏面を作成した。さらに、ミラー機能を用いて完成したモデルを図7に示す。

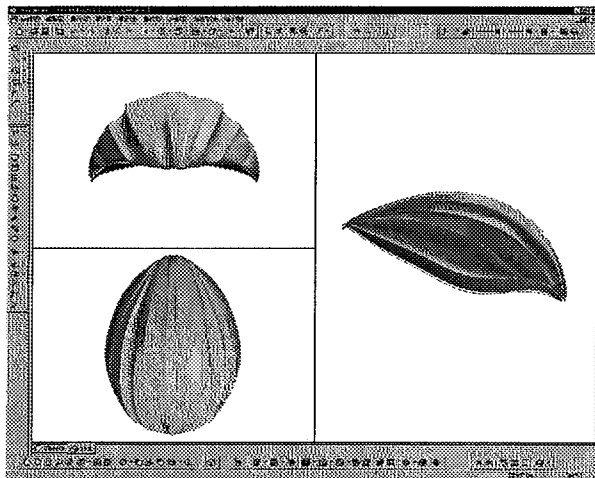


図7 完成モデル

このように、一度、3Dモデルを作成してしまえば、変更や改造は容易にできるようになる。デザインを変更したモデルを図8に示す。

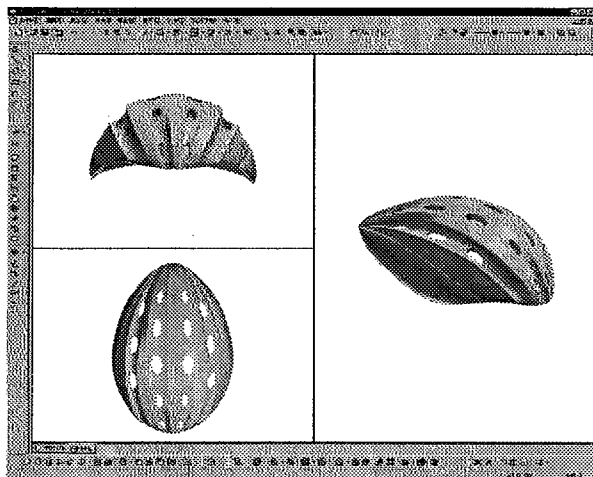


図8 デザイン変更モデル

さらに、CAD上のモデルを具現化するために三次元造形機を用いて試作を行った。用いた造形機はStratasys社のProdigyで、造形方法はABS樹脂の糸を積み重ねていく溶解紡糸堆積法(FDM)である。造形したモデルを図9、図10に示す。

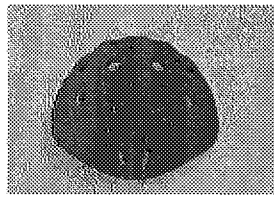


図9 モデル正面

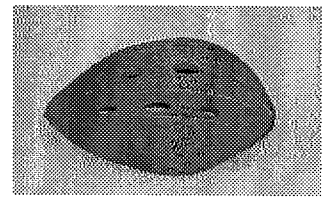


図10 モデル側面

4. 結言

自転車競技用ヘルメットを実物モデルに、三次元形状入力機とCADを用いて3Dモデルを作成した。さらに、デザイン変更を行ったうえで三次元造形機による試作を行った。今回の事例研究で得た知見として次のようなことがあげられる。

(1) 光沢のある実物モデルの場合、形状の特徴的な輪郭部分につや消しのためのテープを貼り、必要最少の境界線情報を得ることにより3Dモデルを作成する方法が有効である。

(2) 3Dモデルの曲面に厚みを持たせる場合、曲面をソリッド化のうえシェル化する方法が簡単であるが、使えない場合は、境界線をオフセットし、それにもう一つの曲面を作成することにより厚みを持たせる方法が有効である。

今回はモデル形状の輪郭部分に、意図的に境界線を作成し、曲面を作成したが、実物モデルの形状によっては境界線の設定が難しい場合や境界線が複雑になる場合が考えられる。このような場合は、点群データから曲面を自動生成する市販ソフトウェア等を利用することにより、さらに効率が良く適用範囲の広いリバースエンジニアリングが可能と思われる。

最後に、本研究の実施にあたり、リバースエンジニアリングに関するアドバイスをいただいた静岡文化芸術大学の望月達也教授に感謝の意を表する。

医療研究用質量分析器のデザイン開発 (環境対応型ビデオマススコープ-超高速セロミクスロボットのデザイン)

寺戸毅, 升島努*, 宮本憲久**, 土佐敏彦**

A Design Development of the Mass Spectrometer for Medical Treatment Research (Design of super-high-speed CELLOMICS robot-Video-Massscope for environment)

Takeshi TERADO, Tsutomu MASUJIMA, Norihisa MIYAMOTO and Toshihiko TOSA

This research showed the external design development of the mass spectrometer for the medical treatment. The investigation is a joint research between university, enterprise and government and municipal offices to utilize the technological seeds of the department of medical tooth pharmacology synthesis in Hiroshima university graduate school. The mass spectrometer is a device which analyzes the speed in a molecular which is appeared in the peculiarity when the form of the cell changes as the amount and the structure. This research has new points - the flow of the analysis is systematized and using robot, and gentle to the environment. The external design of the system is different from comparing with the former mass spectrometer unit. The system is connected and integrated with each part. It is shown to be able to contribute to the acceleration of the bio-research and creation of new industries by the development of this new type measurement machine.

Keywords: PRECISION LOOK, Edge Design Performance, Prototype

本研究では、医療研究用質量分析器の外観デザイン開発を実施した。広島大学大学院医歯薬学総合研究科の技術シーズを活用した産学官共同研究体制で実施した。質量分析器は細胞の形態変化時に特異的に発現する分子群の種と量と構造を解析する装置である。本研究では従来の解析部だけの質量分析器製品とは異なり、解析に要する一連の流れをシステム化、ロボット化し、しかも安価で環境に優しい点など新規性を有している。外観デザインも従来の質量分析器とは異なり、システム一体でまとまりのあるデザインとした。新タイプの計測器を開発する事によって、バイオ研究の加速と新産業の創生に貢献できることを示した。

キーワード : PRECISION LOOK、Edge Design Performance、プロトタイプ

1. はじめに

医療用測定機器は一般人が通常目にするものではない。しかしながら、これを使う研究者は毎日目にするものである。毎日目にするものならばそれ相応のデザインがなされている事で環境改善になる。一般的に多くの道具には業務（プロフェッショナル）用と一般（アマチュア）用があり、前者はハードで

高度な使用に耐えるスペックや機能を当然のように備えているが、デザイン性にまで配慮されたものはまだまだ少ない。外観デザインが周囲の環境にどれほどの影響を与えるかという点についてはプロの現場では語られることが少なかったが、近年あらゆる職場の労働環境は、機能的側面だけでなく精神的側面での改善についても求められてきており、プロが

*広島大学大学院医歯薬学総合研究科 ** 株式会社中央電機

働く職場（研究所など）もその例外ではない。

2. デザインの目的

プロしか目にしない道具にも売り手と買い手という商業の構図があり、商業的に成功するためには道具に「職場環境を改善するデザイン性を備えている」というひとつの Selling Feature が必要である。研究者にとっての日常をより快適な環境にしていくには、デザインを活用した環境改善が不可欠である。

これまでの医療測定機器はゲージやノブが並ぶ機能的側面優先の「無骨なメカ」という印象のものが多かった。外観のアピアランスに配慮したものも一部にはあったが、それらは大量生産とまではいかないにもかかわらず、インジェクション成型による樹脂製のボディーのせいもあって、非常に高額であった。したがって研究者なら誰でも購入できるというものではなかった。そこでこの度の共同研究では、研究者の環境改善のため及び商品性としてのデザイン性を考慮しつつ、従来以上の機能性をシステムとして備えた医療用測定機器を比較的低価格で提供できるように試作開発研究を行う事になった。

3. 研究課題

商品戦略としてのデザインを語る時には「存在感」というものが必要になる。その中身は「差別化」と「個性」である。質量分析器の競合品を見てみると、最近の高額な輸入外国製品は樹脂ボディーの有機的な外観形状を備えている。本来、大量生産の手段である射出成形は金型にコストがかかる分を量産効果で補う手法であるが、これら外国製品は非常に高額なその価格に支えられ自由なボディー形状を与えられている。この自由な3次元形状を持つ製品に「存在感」で競合していくことが課題であった。エンドユーザーに低価格で提供するためにはデザインのために金型を起こすことはできない。いくら量産前提とはいえ、大量生産ではないので簡単にコストリダクションはできない。デザインを進める上での与件は、「金型を起こさない→生産コストの抑制」「既製品の汎用フレームを用いる→生産コストの抑制」「存在感の演出→高い商品力」「商品化前提→試験的な研究に留まらない」などである。

4. デザインコンセプト

高い技術に支えられた分析機能の特徴とするこのロボットには高度な分析精度や機械としての完成度がデザイン上、高品質なイメージとして感じられなければならない。そのため、この商品のデザインコンセプトは製品が持つ本来のイメージを強化する方向で選定し、『PRECISION LOOK (=精緻感)』とした。

金型を興して射出成型された樹脂製品の滑らかな3次元形状は少なからずエモーショナルな印象を持つものだが、今回のケースでは3次元曲面は採用できないというコスト上の制約があった。直線、平面といったストレートなラインを基調としたデザインを採用しなければならない。ストレートなラインは無機質で冷たい印象が強いが、『PRECISION LOOK (=精緻感)』の具現化にはむしろこの方が都合が良いという思いで、差別化していくことを進めた。また、個性を出すために競合品のデザイン傾向を調査した。その結果大まかに分けると、自由曲面を持つ高価格品群とアピアランスに無頓着な直線的デザイン群の2種の傾向があることが判った。当研究開発ではその両方に属さない「アピアランスに拘った直線的デザイン」を個性として打ち出す方向で開発を進めた。

5. プロトタイプの素材選定

次に、このデザインコンセプトを具現化してゆくための素材を探す作業を行った。しかし素材は単にデザインコンセプトを表現するだけのものではない。このセロミクスロボットのボディーに係る様々なストレスをクリアするスペックと、デザインで表現したい形状の再現性（加工性）を兼ね備えるか、対応スペックを持つ素材との組み合わせを考慮する必要があった。

本体メインフレームはリサイクル可能な素材で、微震動を吸収し易いアルミの押し出し成型材を使用した。そのボディー上部には微細な埃と内部機器から発生する電磁波やノイズを軽減するために、間に空気層をもつ2重のアクリル樹脂を用いた。ボディー下部はアルミ板のパンチング（角穴ドット）素材（図1）を使用し、ロボット全体のマス（塊）から

くる威圧感、重量感をコントロールした。いずれのカバー素材もアルミ製のメインフレームを覆う形構成し、汎用品でありながらオリジナルな外観デザインとなるように工夫した。

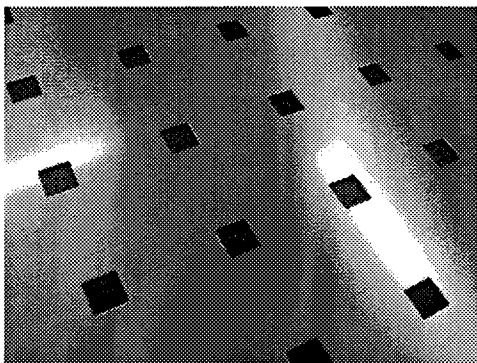


図1 角穴ドットアルミパネル

アクリル素材やアルミ素材にしてもこれを選択していく過程で『PRECISION LOOK』を具体化出来るかという点に配慮した。素材の表情として遊び過ぎない事、どちらかというとクール（冷たい）な感触を持つ事、素材の加工性において、直行するデザインエレメントに馴染みやすい事などがデザイン上の素材選択理由であった。アクリル材はスモーク色を採用し、ロボット内部メカニズムが薄く透過して見える事で、軽快さ・クリーンさを出そうとした。

また、素材だけでなく形状面からもボディー上部前面パネルを7°後へ傾斜させ、威圧感を緩和させた。これには直立、7°、14°の3パターンのミニチュアモデル（ABS樹脂モデル）を3次元造型機で作成して検討した（図2）。

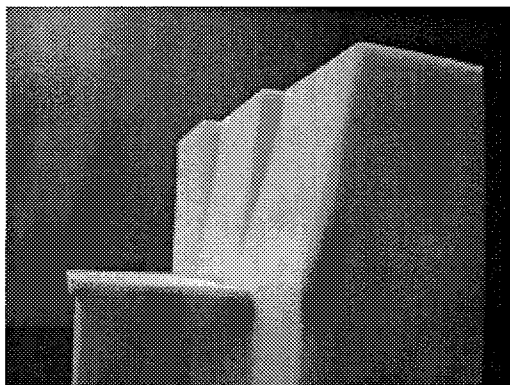


図2 デザイン検討用縮小モデル
直線で傾斜したデザインを採用するまでには前面パ

ネルを曲面にした案も考え、3次元CG上で検討も行った（図3）が、1/1検討モデル（図4）を作成した時点で、メインフレームとの相性の悪さ、メンテナンス・サービス性への配慮、量産時の工作精度（デザインコンセプトの具体化）への困難さから、採用を見送った。

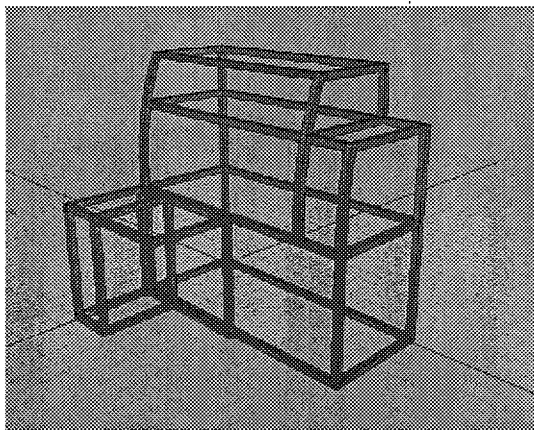


図3 3次元CG検討画面

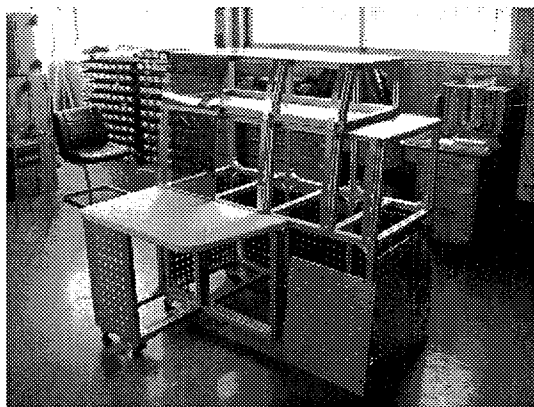


図4 1/1検討モデル

この時に直線だけのデザインエレメントでデザインを具体化していくことを再確認するために、デザインコンセプトパネル（図5）を作成した。

今、現実に生産されているプロダクトの中から、直線のみで構成された優れたデザインを持つものを幾つか選び出し、『Edge Design Performance』としてビジュアルパネルにしてみた。検討しているデザインがそこに並んだ時に違和感が無いかを評価してみた。そこには、中途半端に曲線や曲面、コーナーRを用いることを排除した潔いスタイリングがあり、直線やエッジのみのデザインエレメントでもスタイ

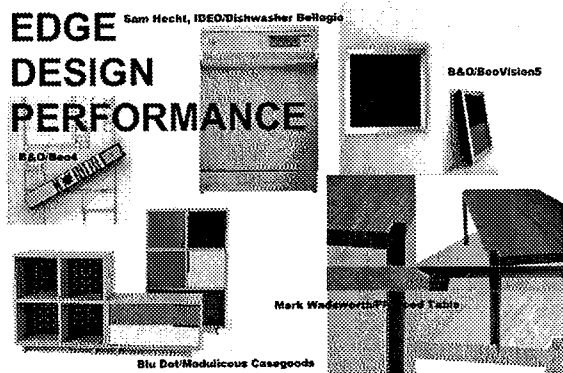


図5 デザインコンセプトパネル

リングが成り立つことを示している。これらのプロダクトは生産コストを抑えるために直線的なデザインになったのではないだろうと考えられるが、結果的に「アピランスに拘った直線的デザイン」というものを目指している点では同じである。デザインコンセプトパネル上のプロダクトは直線的なデザインであっても実際には樹脂成型カバーの裏にボスを立て、締結ビスを隠す工夫等はなされているはずであり、そうした点で今回のデザイン開発で使える生産技術とは大いに異なる面があった。

6. プロトタイプ設計

アルミ製のフレームは表（外観）に出さない構成としたが、異なる素材のパネルがフレームの上面で突き合わさる部分もある。気温によって素材は伸縮するので、端末形状に影響が出やすい。また、既成汎用フレームはボルト・ナットによって組上げるシステムなので、組み立て誤差も出やすい。そこで、そうした誤差が生じてしまった場合にもその誤差が目立ちにくい部材構成を考える必要があった。デザインコンセプト『PRECISION LOOK』は High Quality Feel（高品質感）や Reliability（信頼性）に支えられている言葉であり、特に部品構成のディテールに拘って、造り込みをしていかなければ、それらを表現できないからである。この造り込みのプロセスはデザイン構想をフリーハンドで描き、プロトタイプ製作をする（株）中央電気にデザイン意図を伝えた。そこでハード的な検討がなされ、設計 CAD を使ってプロトタイプ製作用図面に書き換えられた。最終段階で

は一定の精度が必要だったためコンピュータグラフィックデザインソフトでデザイン構想図面を描いて検討を進めた。

7. ブランドロゴタイプ

プロトタイプ開発の過程で将来的な商品計画を考慮し、ブランドロゴタイプの検討も行った。ブランド名は Human Oriented な製品を展開していくブランドであるという意味を込め『HUMANIX』とし（図7）、これがそのまま社名となる。イメージ的に堅すぎず、それでいて遊びすぎない書体として Rolled ないし Myriad Roman のフォントを選択した。このロゴタイプは立体化し、オーナメントとしてロボット本体に取り付けた。

また、社名ロゴカラーはいつまでもフレッシュなイメージで清々しいクリーンなイメージを持つターコイズブルーとした。これらのデザインを選択していく上でも、デザインコンセプト『PRECISION LOOK』から発せられるイメージは重要であった。

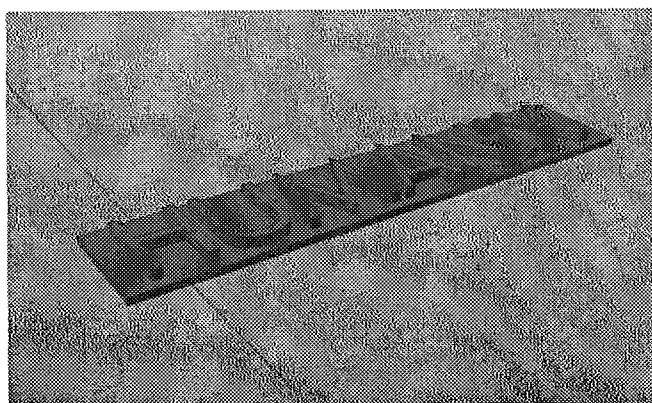


図7 ブランドロゴ検討画面

8. プロトタイプモデル

こうして試作 1 号機は何度もフレームを組み直したり、サイズを変更したりして完成した。（図8）写真はボディー右下部のパネルを一部調整のためにはずしているが、向かって右から左へとシステムチックに分析工程が流れる機器の編成になっており、全体としてデザインコンセプトである「精緻感」を感じさせるものとなった。

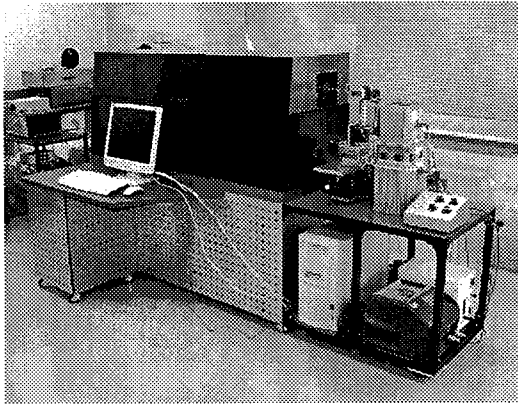


図8 プロトタイプ完成写真

- (6) Clive Grinyer : Smart Design
- (7) Mel Byars : DESIGN IN STEEL
- (8) 原田進 : 企業ブランドデザインング

9. 終わりに

通常、商品の研究開発におけるデザインプロセスを簡単に述べると、デザインコンセプト（デザイナーが主体）を商品コンセプト（企画者が主体）から導き出し、基本デザインをふまえた上で実施デザインへと移行するのが通常である。また、実施デザインステージでは設計領域が若干先行し、そこから出てくるハード要件をクリアしつつデザインを具体化するのが妥当である。今回の共同研究ではハード要件の先行が遅れたため、フレーム間サイズなどのデザイン条件提示が進みにくかった。デザインは単なる表面的な装飾であってはならず、デザインの意図が問われた時にその理由を明確に提示出来なければならない。そのためデザイン開発を担当する場合は開発の全容を大まかにでも把握しておく必要があり、また、共同開発者はデザイン担当に可能な限り早期に様々な情報提供をする必要がある。

今回の研究開発はプロトタイプ開発であるため、量産品に必要なデザインスペックを 100 % 満たしている訳ではないが、今後本機をベースにテスト開発を繰り返し、量産機へとステップを進める事になる。

参考文献

- (1) Tom Dixon : RETHINK
- (2) Cynthia Inions : The Storage Book
- (3) Patricia Bueno : design furniture
- (4) alastair fuad-luke : the echo-design handbook
- (5) Cassell & Co : THE DREAM CATALOG

Ni基超耐熱合金のエンドミル加工に関する研究

桑原 修

Research on milling of nickel-base super alloy

Osamu KUWABARA

Ni-base super alloy was milled by micro end-mill, and the effect of high frequency vibration and spraying oil mist with solid lubricant to the tool during the milling on the cutting force was investigated.

Keywords : High frequency vibration , Spraying oil, Ni-base super alloy

微小エンドミルによるNi基超耐熱合金の加工を行った。このとき、加工中の工具への高周波振動の付加および固体潤滑剤を添加したオイルの噴霧が切削抵抗に及ぼす影響について調査した。

キーワード：高周波振動, オイルの噴霧, Ni基超耐熱合金

1 はじめに

近年、各種の産業分野で製品の高性能化が追及され、超耐熱合金などの使用量が増大している¹⁾。広島市域についても例外ではなく、加工需要の海外流出が続き、難切削材料の加工を行う必要性が高まっている。

超耐熱合金は、高温強度が高い、加工硬化を生じやすい、工具材料との親和性が高い、熱伝導率が悪いなどの理由で被削性が著しく悪く、金属材料の中で最も劣位にある²⁾。それらの影響により、切削抵抗が大きく工具磨耗の激しい切削状態となる。

被削性の悪い材料の加工において、切削工具に超音波振動を付加する振動複合加工は切削抵抗が低下する等の理由から注目されている³⁾。

本研究では、Ni基超耐熱合金のエンドミル加工において工具の摩擦抵抗を低下させ、それが切削抵抗に及ぼす影響について調査した。

2 実験

本研究で用いた実験装置の概略を図1に示す。実験はNi基超耐熱合金 (Inconel718相当) のエンドミル加工を行った。工具の摩擦抵抗を低下させる方法としては、工具への超音波振動の付加と個体潤滑剤

を混合したオイルの噴霧を行った。超音波振動は図1に示すように加工機の主軸に超音波振動ユニット (株式会社 研岳製 UB-40C) を取り付けて、工具の軸方向に40kHzの振動を付加した。オイルに添加する固体潤滑剤としては二硫化モリブデンの粉末を用いた。粉末の攪拌には超音波振動を利用し、エアの負圧を利用した噴霧を行った。

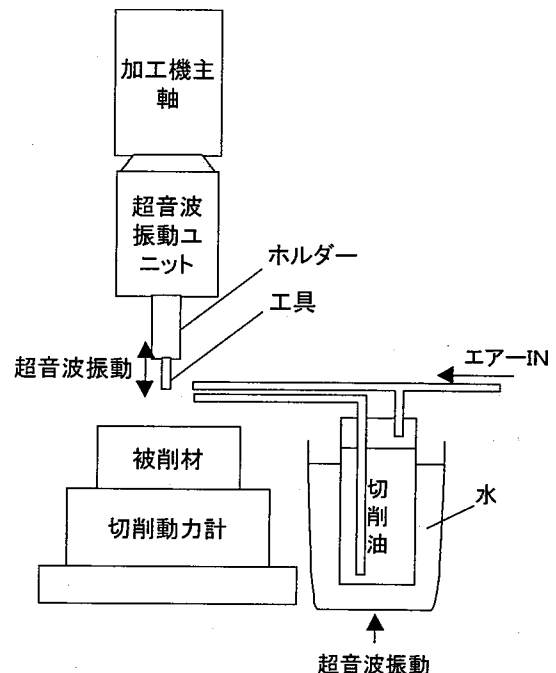


図1 実験装置の概略

表1 実験条件

項 目	条 件
被削材	Ni基超耐熱合金(Hv290)
工 具	2枚刃超硬エンドミル(K種) 直径1.0mm,首下5.0mm,ねじれ角30° CrSiNコーティング
切削液	・オイル ・MoS ₂ 粉末混合オイル(2wt%)
超音波振動	・40 kHz ・ 0 kHz(振動なし)
切削条件	切削速度 $v=8.8\text{m/min}$ (2800 rpm) 軸方向切込 $A_d=0.5\text{mm}$ 径方向切込 $d=0.2\text{mm}$ 送り速度 $f=0.01\text{mm/tooth}$ 切削方向 ダウンカット

切削抵抗の測定は3方向動力計(キスラー(株)製 9257B)を用いた。動力計に被削材を取り付け、加工時の切削抵抗を被削材側で測定した。

実験条件を表1に示す。被削材、加工工具、諸切削条件は共通とし、工具の摩擦抵抗に関する超音波振動と切削液をそれぞれ2条件割り付けた。切削液は不水溶性のものを用いた。

3 実験結果

図2は超音波振動が切削抵抗に与える影響を示す。超音波振動の付加により切削抵抗が20~50%程度低減している。振動0kHz(慣用切削)の場合は切削による工具損傷の影響で、切削距離の増加とともに切削抵抗が増大した。

図3は超音波振動複合加工において、切削油の有無による切削抵抗の変化を示す。加工初期における切削抵抗は同程度だが、Dry加工では慣用切削と同様に切削抵抗が増大した。

工具の摩擦抵抗をさらに低下させるため、切削液中に潤滑作用のある二硫化モリブデン粉末(MoS₂)を添加し切削加工を行った。その結果を図4に示す。切削抵抗は2条件とも同程度の値を示し、この条件下においては切削液中へのMoS₂添加の効果は認められなかった。

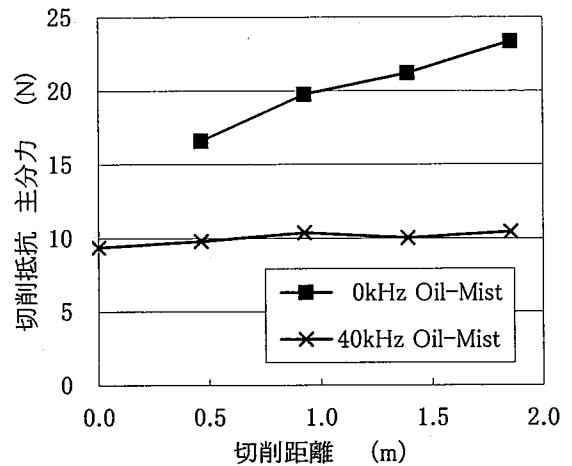
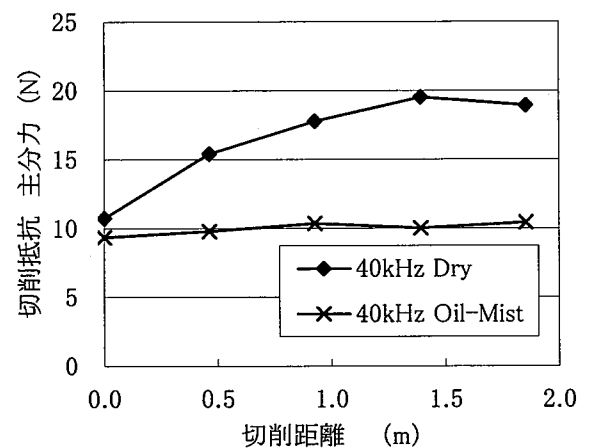
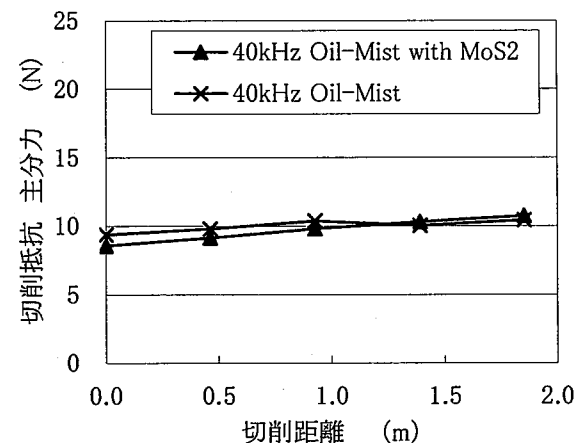


図2 超音波振動が切削抵抗に及ぼす影響



$v=8.8\text{m/min}$, $A_d=0.5\text{mm}$, $d=0.2\text{mm}$ $f=0.01\text{mm/tooth}$, Frequency 40kHz, downcut

図3 切削油が切削抵抗に及ぼす影響



$v=8.8\text{m/min}$, $A_d=0.5\text{mm}$, $d=0.2\text{mm}$ $f=0.01\text{mm/tooth}$, Frequency 40kHz, downcut

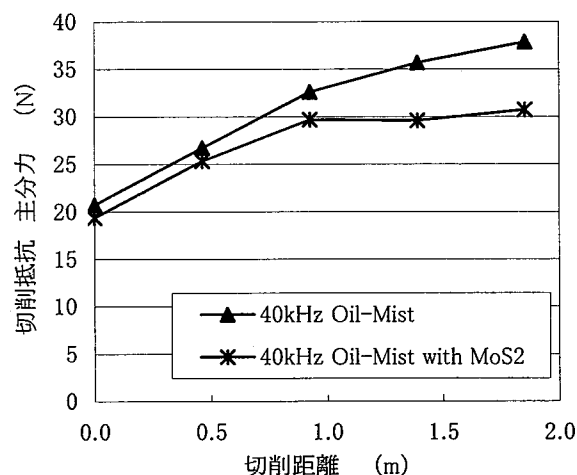
図4 MoS₂添加が切削抵抗に及ぼす影響

次に、送り速度を $f=0.05\text{mm/tooth}$ に増した場合の切削抵抗の変化を図5に示す。図に示すとおり送り速度を増すことにより、上述の条件に比較して切削抵抗は大きくなった。ただし、本条件においては、特に切削距離が1mを超える範囲において、固体潤滑剤の添加の有無による差が顕著に表れた。これは、切削条件が厳しくなる、つまり、切削中に工具刃先に生じる圧力が高くなるほど、固体潤滑剤の効果は大きくなることを示している。そこで、実際に固体潤滑剤の添加がどのように工具摩擦の低下に寄与するかを調べることにした。この時、工具の摩擦係数を実際の使用下において調べることは不可能であるため、ファレックス式摩擦磨耗試験を行うことで、その効果について調べた。結果を図6に示す。図の横軸はブロックの押付け荷重(ダイレクトロード)を示し、縦軸に摩擦係数を示す。MoS₂を添加したオイルは、ダイレクトロードの増大に対し安定した摩擦特性を示した。しかし、オイルのみの場合は、ダイレクトロードが5kNまでは、その摩擦係数はMoS₂を添加した場合とほとんど変わらないものの、ダイレクトロードが5kNを超えると摩擦係数は急激に増大し試験片が破損した。このことから、オイルにMoS₂を添加した場合、特に高圧力下における摩擦磨耗特性が向上することが分かった。

4 まとめ

Ni基超耐熱合金の微小エンドミル加工において、工具の摩擦抵抗を変化させた加工を行い、以下のことが分かった。

- 1) 工具の摩擦抵抗を減らす（工具への高周波振動の付加およびオイルの噴霧）ことにより、切削抵抗は低減した。
- 2) 二硫化モリブデン粉末(MoS₂)を混合した切削液を用いた場合、低負荷による加工については効果は得られなかった。しかし、高負荷時の加工においては、MoS₂の自己潤滑作用によって、工具の摩擦抵抗の低減に寄与し、切削抵抗を低減させる。



$v=8.8\text{m/min}$, $A_d=0.5\text{mm}$, $d=0.2\text{mm}$ $f=0.05\text{mm/tooth}$,
Frequency 40kHz, downcut

図5 MoS₂添加が切削抵抗に及ぼす影響

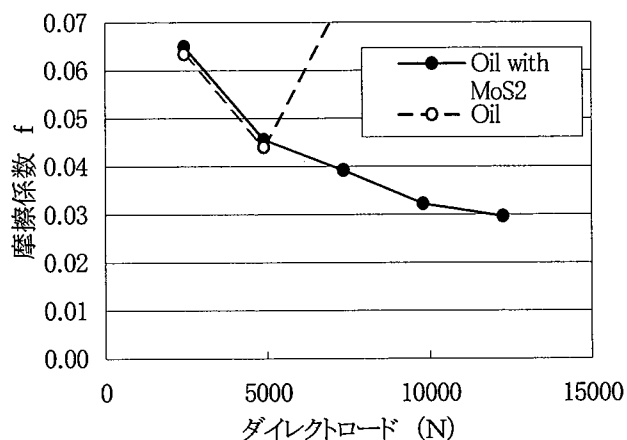


図6 荷重-摩擦係数曲線

参考文献

- (1) 鳴瀧 則彦, 難削材の切削加工技術, 機械技術 Vol151, No12, pp. 17-20 (2003).
- (2) 狩野 勝吉, スペースエージング 超耐熱合金の切削加工, (財)広島市産業振興センター 先進加工技術研究会資料 (2001).
- (3) 鬼鞍 宏猷, 超音波振動が小径穴の加工精度に及ぼす効果, 精密工学会誌, vol. 62, No5, (1996).

クロムモリブデン鋼と鋳鉄を組み合わせたハイブリッド歯車の振動・騒音特性

清水 功史 池条 清隆* 永村 和照*

Vibration and noise characteristics of hybrid gear which combined the SCM415 steel with the cast iron

Hybrid gear which consists of SCM415 steel and cast iron has been developed. The purposes of this study are to reduce a vibration acceleration (rms) and a noise of the gear system. A high strength material, SCM415 steel, was used in a rim part, and cast iron which has an excellent damping characteristic was used in a hub part. In this study, the vibration acceleration and the sound pressure level of the hybrid gear were measured by the running test. In the gear box equipped with the hybrid gear, the vibration acceleration amplitude was reduced up to 40 % in comparison with the steel solely, and the sound pressure level was reduced up to 5 dB.

Key Words: Gear, Hybrid Structure, Damping, Noise, Vibration Acceleration

クロムモリブデン鋼と鋳鉄を組み合わせたハイブリッド歯車の開発を行った。この歯車の開発目的は、歯車装置の振動、騒音の低減である。歯車材料は、リム部には高強度材料であるクロムモリブデン鋼、ハブ部には減衰特性に優れる鋳鉄を用いた。本報では、ハイブリッド歯車を歯車試験機に装着して運転試験を行い、振動加速度、騒音レベルを測定した。ハイブリッド歯車を装着した歯車箱の振動加速度の実効値は、鋼製歯車と比較して最高で 40 % 低減し、騒音レベルも最高で 5 dB 低減した。

1. 緒言

機械装置の発展が進むにつれ、歯車装置も様々な使用条件に耐えうる性能が求められている。自動車や船舶、工作機械に用いられる歯車装置は、高負荷、高速回転といった過酷な条件下での運転が必要とされており、歯車装置から発生する歯のかみあいによる振動、騒音が問題となる場合が多い。歯車装置の振動、騒音を低減させる研究例は多いが^{1)~4)}、歯車本体の材料をハイブリッド化して振動、騒音の低減を試みた研究例は少ない。

本研究では、歯車装置の振動、騒音を低減させることを目的とし、クロムモリブデン鋼と鋳鉄を組み合わせたハイブリッド歯車の設計、製作を行った。具体的には、歯とリム部には従来と同等の強度を維持させるために、一般的な歯車材料である鉄鋼 (SCM415)、ハブ部には内部減衰特性の優れる鋳鉄 (FC200) を用い、従来と同等の強度を有し、かつ振動、騒音の低減が期待できるハイブリッド歯車を開

発した。試験は動力循環式歯車試験機に装着して歯車装置の振動、騒音の測定を行った。

2. 実験方法および実験装置

2.1 試験歯車

本実験で用いたハイブリッド歯車の構造図を Fig.1 に、そして諸元を表 1 に示す。歯車材料は、歯とリム部には高強度材料である SCM415、歯車本体 (ハブ部) には内部減衰の優れた材料である FC200 を用いた。製作手順は、ハブ部を先に製作し、後からリム部を鋳包み、最後に歯切りを行った。

Table.1 Gear dimension of test gears

Tooth profile		Standard
Module	m [mm]	4
Pressure angle	α [deg]	20
Number of teeth	Z1/Z2	29/29
Face width	b [mm]	10

* 広島大学工学部

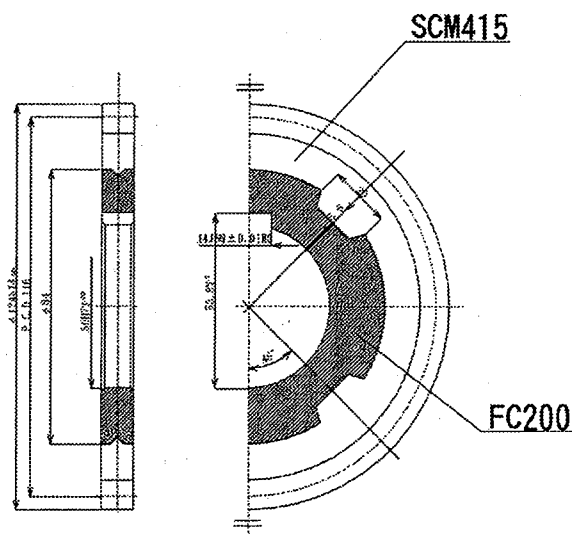


Fig.1 Hybrid gear

2.2 歯車運転試験

Fig.2 に、実験に使用した動力循環式歯車運転試験機を示す。この試験機は動力として 22kW の可変速モータ③を使用しており、駆動歯車軸回転数を 20～3300rpm の範囲で連続的に変化させることができる。本実験では各々の歯車について、負荷トルクを 37.4N・m、かみあい周波数 $f_z=145\sim1450\text{Hz}$ (300～3000rpm) の範囲を 145Hz の間隔で運転したときの歯車装置の振動加速度、騒音を測定した。

振動加速度の測定は、試験駆動歯車の側面に円周方向に 2 個、軸中心に対して半径 40mm の円周上の 180° 対称な位置に加速度ピックアップを取り付け、その出力信号をスリップリング⑨を介して取り出し、それらの和をとることにより、円周方向の振動加速度を得た。また、歯車箱の上面中心部に加速度ピックアップを取り付け、歯車箱の振動加速度を測定した。

騒音測定は、試験歯車対の中間の延長線上、歯車箱の側面から 300mm の位置に騒音計を三脚で固定し、その音圧波形をデータレコーダに記録した。また同時に音圧レベル[dB(A)]も測定した。

なお、本研究では同諸元の S45C 製歯車を製作し、これについても試験を行い、ハイブリッド歯車との各特性の比較を行った。

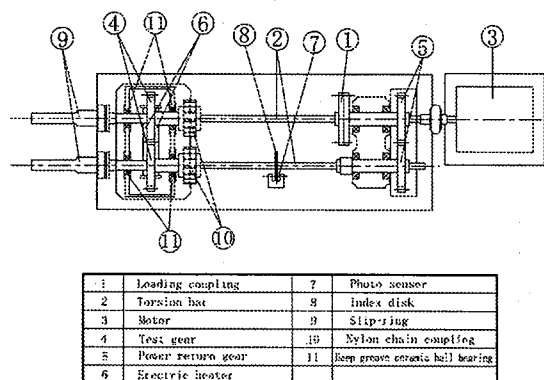


Fig.2 Power circulating-type gear testing machine

3. 実験結果および考察

3.1 振動加速度

Fig.3 に、各試験歯車のかみあい周波数と円周方向振動加速度の実効値の関係を示す。両歯車ともかみあい周波数の増加とともに振動加速度の実効値は増加した。また、かみあい周波数が $f_z=580\text{Hz}$ 以上ではハイブリッド歯車の振動加速度の実効値は鋼製歯車よりも約 30%増加した。原因としては、加速度ピックアップの取り付け位置が接合部に近く、接合部の僅かながたの影響を受けたものと考えられる。

Fig.4 に、各試験歯車のかみあい周波数と歯車箱の振動加速度の実効値の関係を示す。かみあい周波数が低い領域では両歯車ともほとんど差はなかったが、かみあい周波数が $f_z=870\text{Hz}$ 以上ではハイブリッド歯車の振動加速度の実効値は鋼製歯車より最高で 40%低減した。これは、ハイブリッド歯車の歯面で発生したかみあいによる振動が歯車軸を通して歯車箱に伝わる過程で、ハブ部および接合部で減衰し、結果として歯車箱の振動加速度が低減したものと考えられる。

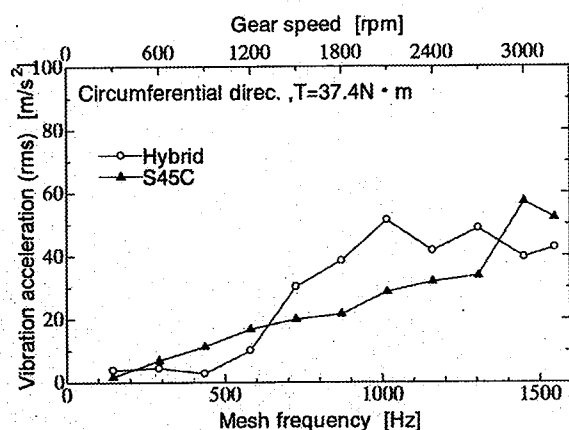


Fig. 3 Circumferential direction

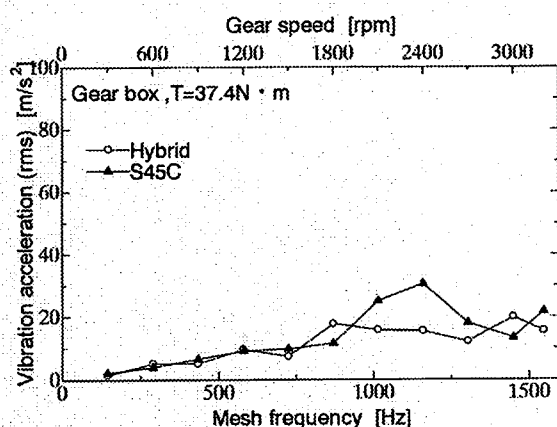


Fig. 4 Gear box

3.2 騒音

Fig. 5 に、ハイブリッド歯車と鋼製歯車のかみあい周波数と音圧レベルの関係を示す。両歯車ともかみあい周波数の増加とともに音圧レベルが増加した。

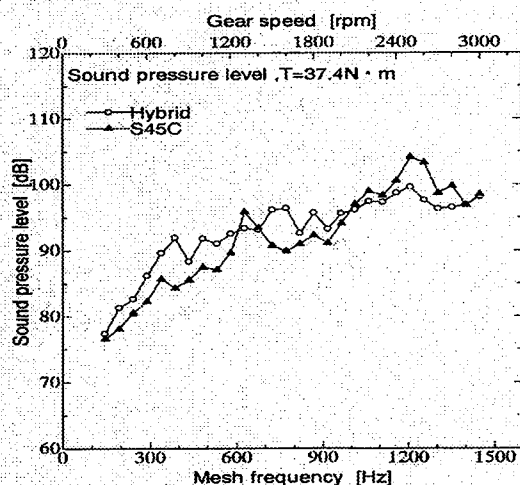


Fig. 5 Sound pressure level

また、かみあい周波数が $f_z=967\text{Hz}$ 以上ではハイブリッド歯車の音圧レベルは鋼製歯車より最高で 5dB 低減した。これは、3.1 節で述べた歯車箱の振動加速度が高いかみあい周波数領域で低減したことが騒音を低減したと考えられる。

4. 結 言

ハイブリッド歯車を設計、製作し、動力循環式歯車運転試験機を用いて歯車装置の振動、騒音を測定した。得られた結果を以下に示す。

- (1) 歯車本体の円周方向振動加速度は、両歯車ともかみあい周波数の増加とともに増加した。また、かみあい周波数が $f_z=580\text{Hz}$ 以上ではハイブリッド歯車の振動加速度の実効値は鋼製歯車よりも約 30% 増加した。
- (2) 歯車箱の振動加速度は、かみあい周波数が低い領域では両歯車ともほとんど差はなかったが、かみあい周波数が $f_z=870\text{Hz}$ 以上ではハイブリッド歯車の振動加速度は鋼製歯車より最大 40% 低減した
- (3) 騒音は、両歯車ともかみあい周波数の増加とともに増加した。また、かみあい周波数が $f_z=967\text{Hz}$ 以上ではハイブリッド歯車の音圧レベルは鋼製歯車より最大 5dB 低減した。

参考文献

- 1) 久保・梅澤、誤差をもつ円筒歯車の荷重伝達特性に関する研究 (第 1 報、基礎的考察)、日本機械学会論文集、46-401、(1980-1)、86.
- 2) 鈴木・梅澤、動力伝達用はすば歯車の振動特性、(振動レベルの解析法について)、日本機械学会論文集、53-490、C(1987-6)、1249.
- 3) 久保ほか 4 名、歯車装置の振動騒音問題に対する代表歯面形状精度、日本機械学会論文集、56-532、C(1990-12)、3398.
- 4) 久保ほか 5 名、歯車装置の振動騒音問題と歯車の伝達誤差および総合起振力、日本機械学会論文集、56-532、C(1990-12)、3404.

チタン合金のHIP焼結速度

隠岐貴史 倉本英哲 松木一弘* 柳沢 平*

HIP Sintering Rate for Titanium Alloys

Takashi OKI, Hideaki KURAMOTO, Kazuhiro MATSUGI* and Osamu YANAGISAWA *

The sintering rate of the final stage in HIP process of imperfectly sintered Ti-6Al-4V and Ti-13V-11Cr-3Al alloy has been investigated on the basis of power-law creep.

Activation energy and stress exponent of HIP-sintering rates of titanium alloy have the values close to the previously reported ones of creep and high temperature deformation. The HIP sintering rate is shown by the equation based on the power-law creep.

Keywords : Ti alloy, hot isostatic pressing, sintering rate, power-law creep, relative density

Ti-6Al-4V 合金および Ti-13V-11Cr-3Al 合金の真空焼結材の HIP 過程における HIP 最終段階の焼結速度を求め、べき乗クリープ則による焼結速度式を基礎とした研究を行った。

チタン合金の HIP 焼結速度の活性化エネルギーと応力指数は、クリープおよび高温変形の実験で求められた活性化エネルギーと応力指数に近い値である。このことから HIP 焼結速度は、べき乗クリープ則を基礎とした焼結速度式により表されることが分かった。

キーワード：チタン合金，熱間等方加圧，焼結速度，べき乗クリープ，相対密度

1 緒 言

これまでの研究で、予め真空焼結した純チタンの予備焼結体の HIP 過程における最終段階の焼結速度に及ぼす結晶粒組織の影響について報告⁽¹⁾した。そこでは、純チタンの真空焼結体の組織には等軸結晶粒組織（以後、EG 組織と略す）と不規則形状組織を含んだ非等軸結晶粒組織（以後、NG 組織と略す）が現れること、HIP 焼結速度は NG 組織を示す材料よりも EG 組織を示す材料が大きいことを示した。さらに HIP 焼結速度がべき乗クリープ則による焼結速度式によって表される⁽¹⁾こと、両組織材の HIP 焼結速度の活性化エネルギーと応力指数はほぼ同じ大きさが得られるものの、べき乗クリープ則の定数 A_c に相当する A_h が EG 組織材で大きいために HIP 焼結速度の違いが現れることも明らかにした。

一方、チタン合金の HIP 焼結速度、クリープおよび高温変形に関する研究は非常に少ない^{(2),(3)}。純チタンの焼結速度とその焼結速度に及ぼす合金元素の影響を把握することは、チタン基材料の HIP 焼結機構を総合的にとらえるために重要と思われる。

そこで本研究においては、純チタンの場合と同じく、べき乗クリープ則を基礎とした実験的解析法⁽¹⁾を適用し、2 種類のチタン合金の最終段階の焼結速度を見積り、活性化エネルギーおよび応力指数を求め、既に報告した純チタンの結果と合わせて総合的に検討した。扱ったチタン合金は（ $\alpha + \beta$ ）型の Ti-6-4 合金および β 型の Ti-13V-11Cr-3Al（以後、Ti-13 と略す）合金である。

2 実験方法

供試粉末の組成を Table1 に示す。Ti-6-4 合金は、チタン粉末（住友シチックス^(株)製）と Al-41.75V 合金粉末

*広島大学大学院工学研究科

Table 1 Chemical compositions of received powders (mass%)

Powder	Fe	Si	Cl	Mn	Mg	N	C	H	O	Ti	V	Al	Cu	P	Pb	S
Titanium	0.016	<0.010	<0.010	0.001	<0.003	0.005	0.009	0.015	0.20	Bal.	—	—	—	—	—	—
Vanadium	0.012	0.025	—	—	—	0.068	0.024	0.006	0.504	—	—	0.034	—	—	—	—
Chromium	0.028	0.010	—	—	—	0.002	0.002	—	0.07	—	—	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.0008
Al-V	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	41.75	Bal.	—	—	—	—

(福田金属箔粉工業(株)を用い、Ti-13 合金は、チタン粉末、バナジウム粉末(三津和化学工業(株)製)、クロム粉末(三津和化学工業(株)製)および Al-41.75V 合金粉末をそれぞれの合金の組成比になるように秤量した。各材料について V 型混合機により乾式混合した後、CIP 成形(392MPa 下で 240s 間保持)した。この圧粉体のうち Ti-6-4 合金は 1373K, 1×10^4 Pa, 3h の条件で真空焼結(以後、VS と表す)し、Ti-13 合金は 1568K, 1×10^4 Pa, 3h の条件で真空焼結した(VS 材と呼ぶ)。

Ti-6-4 合金の VS 材を、49、98 および 196MPa 下で、 β トランザス温度(1263K⁽⁴⁾)以下の 873~1173K の温度範囲で 0~10h 間 HIP 処理を施した。一方、Ti-13 合金の VS 材は、24.5、49、98、147 および 196MPa 下で、本合金の β トランザス温度(993~1003K⁽⁵⁾)上下において、0~10h 間 HIP 処理を施した。 $(\alpha + \beta)$ 相域(β トランザス温度以下)においては 873~973K の温度範囲で 98、147 および 196MPa の 3 つの圧力、 β 相域(β トランザス温度以上)においては 1048~1248K の温度範囲で 24.5 および 49MPa の 2 つの圧力で行った(HIP 処理材と呼ぶ)。なお、Fig.1 に HIP 処理前後の焼結材の顕微鏡組織を示す。Ti-6-4 合金の組織はアスペクト比の小さい α 相と β 相からなる混合組織を示し、Ti-13 合金の組織は等軸結晶粒組織を示した。これらの組織のときに室温での延性が大きい^{(4),(5)}ことから、HIP 処理に供する VS 材として用いた。また、同図に示すように、前述の焼結条件で得られた VS 材には連続空孔がほとんど見られない。HIP 処理した VS 材の寸法は約 $\phi 15 \times 25$ mm であり、試料の上下方向による組織の変化は確認されなかった。

本実験条件で作製した各 HIP 処理材の密度測定は JIS に準拠したアルキメデス法によった。このとき、測定のばらつきの最大値は約 0.1%であった。焼結組織の観察には、光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡(SEM と

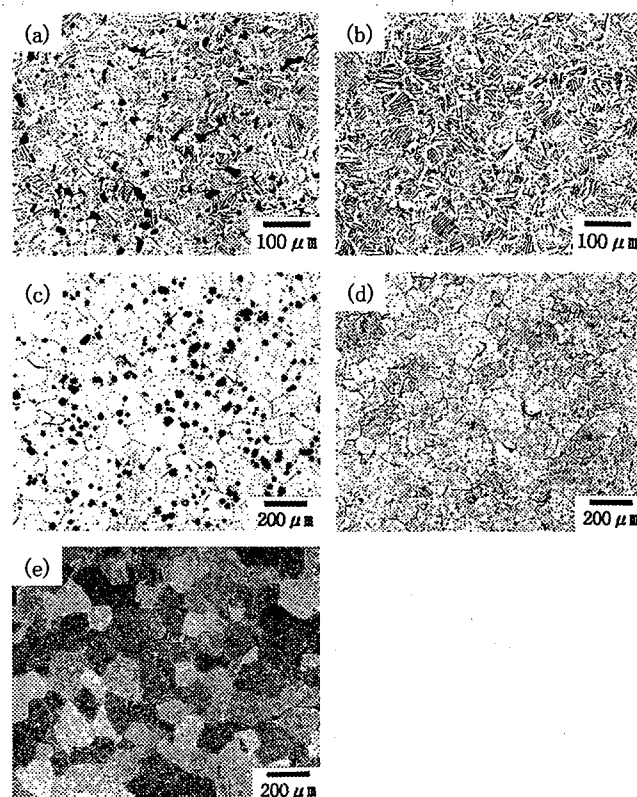


Fig. 1 Optical micrographs of Ti-6-4 alloy, sintered in vacuum at (a)1373K, 3h and (b)1373K, 3h + HIP'ed at 1123K, 98MPa, 0.5h and Ti-13 alloy, sintered in vacuum at (c)1568K, 3h, (d)1568K, 3h + HIP'ed at 1123K, 49MPa, 2h and (e)1568K, 3h + HIP'ed at 923K, 196MPa, 10h.

略す)を用いた。

ここで相対密度の算出には、Ti-6-4 合金の密度として $\rho = 4.43 \text{Mg/m}^3$ ⁽⁴⁾を、Ti-13 合金の密度として $\rho = 4.817 \text{Mg/m}^3$ ⁽⁵⁾を用いた。なお、時間 0 の相対密度は、所定の HIP 保持温度まで加熱した後、直ちに室温になるまで冷却した(保持時間 0)試料の相対密度である。

3 結果と考察

3.1 焼結速度に及ぼす HIP 処理条件の影響

予め作製した VS 材に HIP 処理を施したときの保持

時間に対する相対密度の変化 (Fig. 2~Fig. 4) を調べ、得られた相対密度の変化量から前報⁽¹⁾と同じ方法で焼結速度を求めた (Fig. 5~Fig. 7)。

なお、本実験の条件では、同じ HIP 条件において、

純チタンよりもチタン合金の焼結速度が小さかった。また、Ti-6-4 合金 ($(\alpha+\beta)$ 相) の焼結速度は Ti-13 合金 ($(\alpha+\beta)$ 相) の焼結速度より小さく、Ti-13 合金 (β 相) の焼結速度と同程度であった。

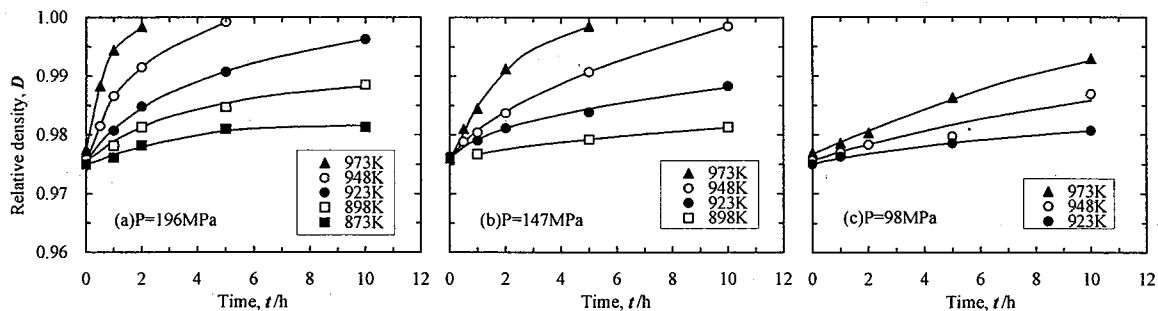


Fig. 2 Effect of HIP'ing time on relative densities of Ti-6Al-4V alloy.

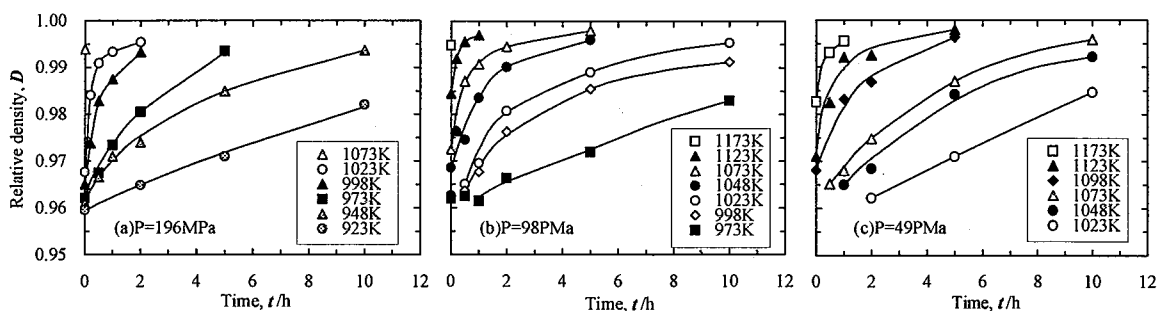


Fig. 3 Effect of HIP'ing time on relative densities of Ti-13V-11Cr-3Al alloy with $(\alpha+\beta)$ phase.

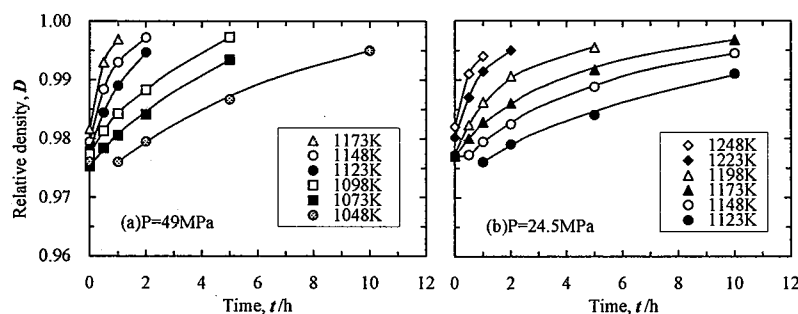


Fig. 4 Effect of HIP'ing time on relative densities of Ti-13V-11Cr-3Al alloy with β phase.

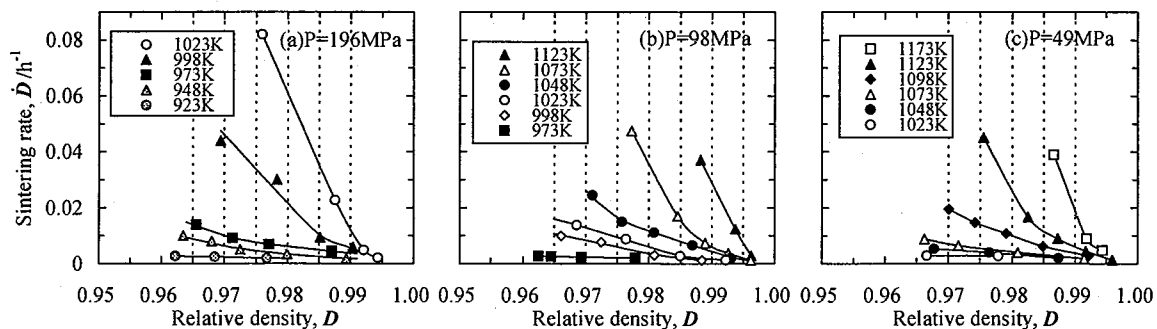


Fig. 5 Effect of relative density on HIP sintering rate $\dot{D}$ of Ti-6-4 alloy. The dashed lines indicate D values to obtain Q_h .

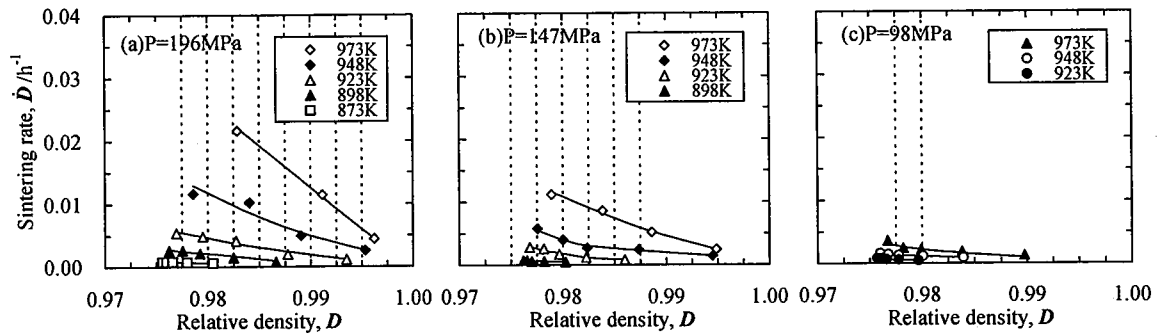


Fig. 6 Effect of relative density on HIP sintering rate $\dot{D}$ of Ti-13 alloy with $(\alpha + \beta)$ phase. The dashed lines indicate D values to obtain Q_h .

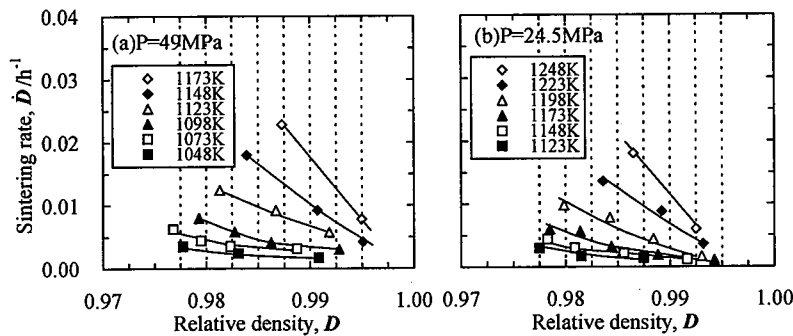


Fig. 7 Effect of relative density on HIP sintering rate $\dot{D}$ of Ti-13 alloy with β phase. The dashed lines indicate D values to obtain Q_h .

3.2 HIP 焼結速度の温度依存性

前報⁽¹⁾でも示したように、等方圧条件下の最終段階の焼結速度 $\dot{D}$ は相対密度 D 、温度 T および圧力 P の関数として式(1)の形で表される^{(6)~(10)}。

$$\dot{D} = A_c \cdot \exp\left(-\frac{Q_c}{RT}\right) \cdot P^{n_c} \cdot f(D) \quad (1)$$

ここで、 A_c は定数、 Q_c はべき乗クリープの活性化エネルギー(Jmol⁻¹)、 P は圧力(MPa)、 n_c はべき乗クリープの応力指数、 R は気体定数(Jmol⁻¹K⁻¹)、 T は絶対温度(K)であり、 $f(D)$ は n と D の関数である。

式(1)において、 D および P を一定とすると焼結速度 $\dot{D}$ は温度 T の関数で整理することができる。そこで、Fig. 5~Fig. 7 の $\dot{D}$ - D のプロットをなめらかな曲線で近似した後、 D =一定における(図中に破線で示す)各温度の $\dot{D}$ を読み取り、アレニウス・プロットを得た。これらのアレニウス・プロットの傾きより Ti-6-4 合金の活性化エネルギー(Q_h)として 201~292kJ/mol が得られ、全ての Q_h の算術平均から、 $Q_h=251$ kJ/mol を得た。Ti-6-4 合金のクリープの活性化エネルギー Q_c

に関しては、本合金が本実験の温度域で $(\alpha + \beta)$ の 2 相であるために、熱履歴と製造プロセスの違いによる組織の影響を強く受け^{(11)~(14)}、これまでに異なった種々の値(188~276kJ/mol)が報告されている。本実験で得られた HIP 焼結速度の活性化エネルギー Q_h の値は、I.Palchan 等⁽¹²⁾ (259kJ/mol) と D.Leriche 等⁽¹³⁾ (252kJ/mol) による Q_c に近い値である。

一方、 β 相 Ti-13 合金の Q_h として 188kJ/mol (153~224kJ/mol) が得られ、 $(\alpha + \beta)$ 相 Ti-13 合金の Q_h として 305kJ/mol (267~346kJ/mol) が得られた。

純チタンおよびチタン合金の β 相でのクリープと高温変形の活性化エネルギー(Q_c)は自己拡散の活性化エネルギーに等しいとする報告が多くあり(148~177kJ/mol^{(15)~(17)})、本実験における β 相の Q_h はこれらより若干大きい、ばらつき等を考慮するとほぼ同程度の値であると考えられる。

また、Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr (Ti-17) 合金⁽¹⁵⁾ の $(\alpha + \beta)$ 相の Q_c として 489kJ/mol、Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al (Ti-15) 合金⁽¹⁸⁾ の $(\alpha + \beta)$ 相の Q_c として約 400kJ/mol

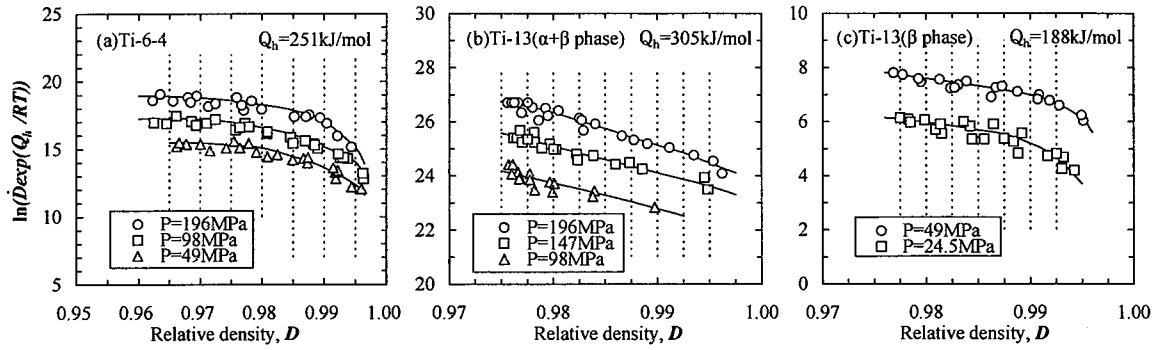


Fig. 8 Effect of relative density on the value of $\ln(D \exp(Q_h/RT))$ for (a) Ti-6-4 alloy and (b), (c) Ti-13 alloy. The dashed lines indicate D values to obtain n_h .

が報告されており、これらは β 相チタン合金の Q_c よりも大きい値であり、Ti-13 合金の ($\alpha + \beta$) 相と β 相の Q_h の傾向と同じである。

3.3 HIP 焼結速度の応力依存性

式(1)の関係は式(2)のように変形され、式(2)の左辺の値を D に対してプロットすることができる。Fig. 8 に Ti-6-4 合金および Ti-13 合金の値を示した。Fig. 8 において、 $D = \text{一定}$ のときの 2 つの圧力 P_1 、 P_2 の曲線の間隔を求め、その差から式(3)の関係を用いて HIP 焼結速度の応力指数 n_h を算出した。

$$\ln \dot{D} + \frac{Q_h}{RT} = \ln A_h + \ln f(D) + n_h \ln P \quad (2)$$

$$\left(\ln \dot{D} + \frac{Q_h}{RT} \right)_{P_1} - \left(\ln \dot{D} + \frac{Q_h}{RT} \right)_{P_2} = n_h \ln \frac{P_1}{P_2} \quad (3)$$

Ti-6-4 合金では、 $n_h = 1.9 \sim 2.5$ の値が求められ、平均値として $n_h = 2.2$ が得られた。Ti-6-4 合金の定常クリープの応力指数として、 $n_c = 1.9 \sim 3$ が報告されている^{(11)~(14)}。Ti-6-4 合金の ($\alpha + \beta$) 2 相領域における高温変形の応力指数 n_c は α 相純チタンのそれ (4.36⁽¹⁹⁾) よりも小さく、本合金の高温変形には両相間のすべりによる粘性変形と格子拡散によるクリープ変形を合わせ持った機構が作用しているものと考えられる。本実験で得られた Ti-6-4 合金の HIP 焼結の応力指数 $n_h = 2.2$ はクリープの応力指数 n_c の報告値とほぼ一致して、純チタンのそれ (4.5⁽¹⁾) よりも小さい値である。

Ti-13 合金では、 β 相の n_h は 2.4~3.2、($\alpha + \beta$) 相の n_h は 3.2~4.2 のばらつきを持つが、平均値として n_h (β 相) = 2.7、 n_h (($\alpha + \beta$) 相) = 3.7 を得た。

β 相単相域における応力指数については、D.O. Northwood 等⁽²⁰⁾が Ti-13 合金のクリープの n_c として 3.2 を求め、その他のチタン合金で 2.5~4.1 が報告^{(15),(17),(21),(22)}されている。

一方、($\alpha + \beta$) 2 相域のクリープの n_c は、Ti-6-4 合金で 1.9~3^{(11)~(15)}、Ti-15 合金で 2.3⁽¹⁷⁾、Ti-17 合金で 3.8⁽¹⁵⁾ が報告されている。Ti-17 合金の高温圧縮変形の n_c は他の材料に比べて大きな値 (3.8) であり、本実験で得た $n_h = 3.7$ に近い値である。

前報(純チタン)⁽¹⁾および前節までに述べたように、これらのチタン基材料で、式(1)を基礎として求めた HIP 焼結速度の活性化エネルギー Q_h と応力指数 n_h が、クリープと高温変形試験により得られた値 Q_c および n_c とほぼ等しい (Fig. 9 に示す) ことから、HIP 焼結速度が式(1)で表されるとする従来の解析結果は妥当と思われる。

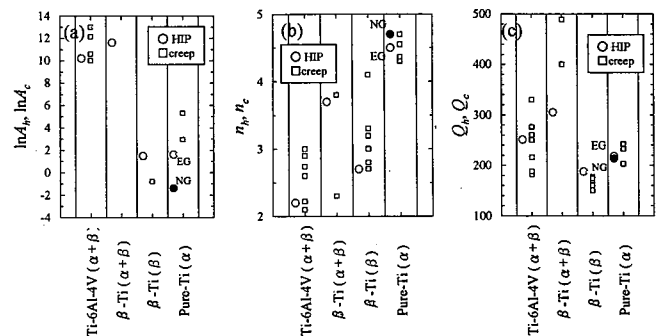


Fig. 9 Comparing HIP parameters A_h , n_h and Q_h experimentally obtained in this study with creep parameters A_c , n_c and Q_c for Titanium base alloys shown in (a), (b) and (c), respectively. Numbers in the figures indicate references.

おわりに本研究を実施するに際して使用した HIP、CIP、雰囲気焼結炉、NC 旋盤は日本自転車振興会競輪機械工業資金補助により整備したものであることを記し、関係各位に深く感謝いたします。

4 結 言

Ti-6-4 合金および Ti-13 合金の VS 材を β トランザス温度の上下において、種々の温度、圧力および時間で HIP 処理し、HIP 最終段階の焼結速度を求め、べき乗クリープ則による焼結速度式を基礎として解析を試みた。

得られた結論は次のように要約される。

- (1) 同じ温度と圧力において HIP 焼結速度は、 α 相純チタンよりも Ti-6-4 合金 ($(\alpha+\beta)$ 相) および Ti-13 合金が小さい。Ti-13 合金の HIP 焼結速度は、 β 相単相域よりも $(\alpha+\beta)$ 2 相域で大きい。
- (2) Ti-6-4 合金の HIP 焼結速度の活性化エネルギーとして、 $Q_h=251\text{kJ/mol}$ 、応力指数として $n_h=2.2$ が得られた。これは D.Leriche 等によって求められた Ti-6-4 合金のべき乗クリープ式の Q_c および n_c に近い値である。
- (3) Ti-13 合金の HIP 焼結速度の活性化エネルギーとして、 β 相単相域では $Q_h=188\text{kJ/mol}$ が、 $(\alpha+\beta)$ 相 2 相域では $Q_h=305\text{kJ/mol}$ が得られた。 β 相単相域における Q_h は自己拡散の活性化エネルギーにほぼ等しい。
- (4) Ti-13 合金の HIP 焼結速度の応力指数として、 β 相単相域では $n_h=2.7$ が、 $(\alpha+\beta)$ 相 2 相域では $n_h=3.7$ が得られた。 β 相単相域での n_h はべき乗クリープおよび高温変形の n_c とほぼ同じ大きさであり、 $(\alpha+\beta)$ 2 相域での n_h の値もその 2 相域のべき乗クリープおよび高温変形の n_c の値の範囲内であった。
- (5) 式(1)を基礎として求めた HIP 焼結速度の活性化エネルギー Q_h と応力指数 n_h が、クリープと高温変形試験により得られた値 Q_c および n_c とほぼ等しいことから、HIP 焼結速度が次式で表されるとする従来の解析結果は妥当と思われる。

参 考 文 献

- (1) 隠岐貴史, 松木一弘, 畑山東明, 柳沢平: 軽金属, 51(2001), 446.
- (2) Yong-Mei Liu, H.N.G.Wadley and J.M.Duva: Acta Metall., 42(1994), 2247.
- (3) M.Dietze, H.P.Buchkremer and D.Stoever: Met. Powder Rep., 46(1991), 30.
- (4) 隠岐貴史, 松木一弘, 畑山東明, 柳沢平: 軽金属, 46(1996), 371.
- (5) 隠岐貴史, 松木一弘, 畑山東明, 柳沢平: 軽金属, 51(2001), 151.
- (6) J.M.Duva and P.D.Crow: Acta metall.mater., 40(1992), 31.
- (7) P.S.Wilkinson and M.F.Ashby: Acta metall., 23(1975), 1277.
- (8) P.Sofronis and R.M.McMeeking: "文献(1)中に引用".
- (9) A.C.F.Cocks: J. Mech. Phys. Solids, 37(1989), 693.
- (10) P.Ponte: J. Mech. Phys. Solids, 39(1991), 45.
- (11) A.Rosen and A.Rottem: Materials Science and Engineering, 22(1976), 23.
- (12) I.Palchan and A.Rosen: Metal Science, March(1978), 163.
- (13) D.Leriche, E.Gautier and A.Simon: Sixth World Conference on Titanium, (1988), 163.
- (14) S.J.Zhu, Y.X.Lu, Z.G.Wang and J.Bi: Met. Matrix. Compos., (1993), 549.
- (15) 西元学, 高橋渉, 志田義明: 鉄と鋼, 78(1992), 1398.
- (16) 及川洪: 鉄と鋼, 72(1986), 271.
- (17) 久保木功, 本橋嘉信, 広橋光治: 軽金属, 45(1995), 315.
- (18) 小川欽也: 材料, 45(1996), 846.
- (19) 崔明勲, 及川洪: 日本金属学会誌, 49(1985), 195.
- (20) D.O.Northwood and I.O.Smith: Journal of Materials Science Letters, (1987), 820.
- (21) C.C.Chen: On the Forgeability of Hot-Die Processed Ti-10V-2Fe-3Al Alloy Rib and Web Forgings, "Report RD 75-118, The Wyman Gordon Co., November 1975.
- (22) N.E.Paton and C.H.Hamilton: "文献 Int. Conf. Forg. Prop. Aerosp. Mater., Vol.1977(1978), 279. ed. by H.W. Rosenberg 中に引用".

チタン基材料の最終段階における HIP 焼結過程

隠岐貴史 倉本英哲 清水功史 松木一弘* 柳沢 平*

HIP Sintering Process in the Final Stage for Ti Base Materials

Takashi OKI, Hideaki KURAMOTO, Kohshi SHIMIZU, Kazuhiro MATSUGI* and Osamu YANAGISAWA *

The sintering rate of the final stage in HIP process of imperfectly sintered pure-Ti, Ti-6Al-4V and Ti-13V-11Cr-3Al alloy has been investigated on the basis of power-law creep.

Using the finite element method, it was evaluated that the $f(D)$ function reported by P.L. Wilkinson et al. and J. M. Duva et al. etc. is most suitable as long as based on the cell model. A_h 's could be determined using this $f(D)$ function. In addition, it was concluded that the equation of the HIP-sintering rate should be corrected by considering the trapped gas in the pore, when the initial relative density at HIP is lower than 0.97.

Keywords : Titanium, hot isostatic pressing, sintering rate, power-law creep, $f(D)$ function

純チタン、Ti-6Al-4V 合金および Ti-13V-11Cr-3Al 合金の真空焼結材の HIP 過程における HIP 最終段階の焼結速度を求め、べき乗クリープ則による焼結速度式を基礎とした研究を行った。

有限要素法による解析から、セル・モデルによる限り $f(D)$ 関数として P.L. Wilkinson 等および J.M. Duva 等が報告している関数が最も適していると評価された。この $f(D)$ 関数を用いて各チタン基材料の A_h を求めた。

また、HIP 焼結の初期相対密度が 0.97 より小さいときにはトラップされたガスの影響を考慮することによって、焼結速度式を修正する必要があることが明らかになった。

キーワード：チタン、熱間等方加圧、焼結速度、べき乗クリープ、 $f(D)$ 関数

1 緒 言

一般的に、最終段階の HIP 焼結速度 $\dot{D}$ はべき乗クリープ則を基礎とした速度式で表され、定数 A_h (クリープ定数 A_c に相当する)、圧力依存項 P^{n_h} (P は HIP 圧力、 n_h は指数でクリープの σ^{n_c} に相当する)、温度依存項 $\exp(-Q_h/RT)$ (Q_h は活性化エネルギーでクリープの Q_c に相当する、 R 、 T はそれぞれ気体定数、絶対温度) および相対密度依存項 $f(D)$ の積で表される。

Y.-M. Liu 等⁽¹⁾は Ti-14mass%Al-21mass%Nb 粉末のホットプレスと HIP における緻密化速度の実験値と $f(D)$ 関数 (相対密度の影響を示す関数) を用いた理論計算値⁽²⁾⁻⁽⁶⁾との比較を行ったが、両者は一致しなかった。

彼らはその原因について、ミクロ組織の違い、空洞の不均一分布および空洞形状に起因すると考察した。

M. Dietze 等⁽⁷⁾は Ti-6mass%Al-4mass%V (以後、Ti-6-4 合金と略す。なお、特に断らない限り組成は mass% である) 粉末の HIP 緻密化について、encapsulation 法による膨張計を用いた実験結果と E. Arzt 等⁽⁸⁾および P.S. Wilkinson 等⁽³⁾の理論による計算結果を比較して、実験データは少ないものの初期段階から最終段階に至る焼結速度について比較的良い一致をみた。

著者等は前報⁽⁹⁾において、純チタンの HIP 焼結速度が組織の影響を受け、等軸結晶粒 (EG) 組織を有する材料は非等軸結晶粒 (NG) 組織を有する材料よりも焼結速度が速く、これは速度式の中の定数 A_h の違いで表

*広島大学大学院工学研究科

されることを明らかにした。しかし、速度式の中の各項、特に $f(D)$ 関数が最終的にどのように表されるか確定されなかった。

そこで本研究においては、すでに報告した純チタン⁽⁹⁾と Ti-6-4 合金と Ti-13V-11Cr-3Al 合金（以後、Ti-13 合金と略す）の 2 種類のチタン合金⁽¹⁰⁾の最終段階の HIP 焼結速度を総合的に解析し HIP 焼結速度式を算出した。 $f(D)$ 関数については、従来報告されているセル・モデルによって解析的に求められた数種の $f(D)$ 関数を有限要素法によって評価した。

2 実験方法

2.1 焼結パラメータ

HIP 焼結式の解析には、前報⁽¹¹⁾で相対密度 D より求めた $\dot{D}$ 、 Q_h 、 n_h を用いた。求めた Q_h 、 n_h を Table 1 に示す。

Table 1 Experimentally obtained A_h , n_h and Q_h for Ti base alloys

	Ti-6-4 ($\alpha + \beta$ phase)	Ti-13 ($\alpha + \beta$ phase)	Ti-13 (β phase)	Pure-Ti (α phase, EG)	Pure-Ti (α phase, NG)
A_h	3.0×10^4	1.7×10^5	5	10	0.5
n_h	2.2	3.7	2.7	4.5	4.7
Q_h (kJ/mol)	251	305	188	218	213

2.2 HIP 焼結最終段階のコンピュータ・シミュレーションの方法

セル・モデルによって解析的に求められた従来の $f(D)$ 関数^{(2)~(6)}を評価するために、モデルの相対密度を変えて有限要素法 (FEM) による HIP 焼結最終段階の解析を行った。

Fig. 1 に計算モデルを示す。計算領域は対称条件により 1/8 球を設定した。球の外径を一定とし、球の中心に空洞（領域 OABC）を置いて、この大きさを変えることによって初期の相対密度を調節した。メッシュ数を 500 要素とし、変形量の大きい空洞近傍の要素数を多くした。

Fig. 1 中の ADEB 面、BEFC 面および CFDA 面の垂直方向の変位を 0 とし、球面 DEF に等方圧を加えた。

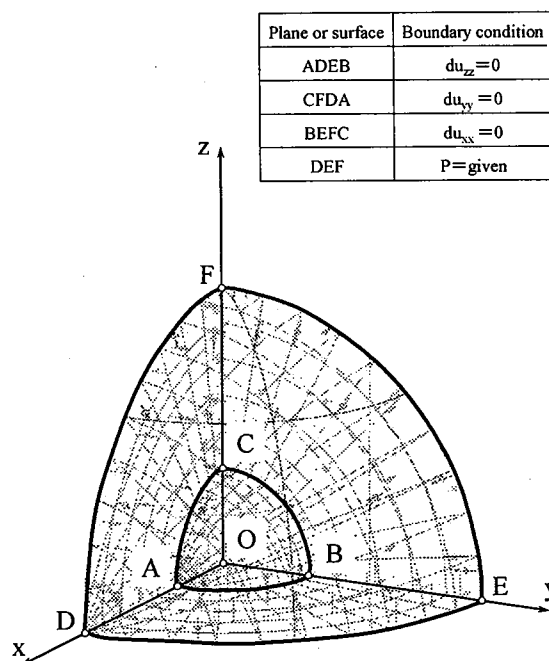


Fig. 1 FEM simulation model. (ODEF:cell, OABC:void)

計算は、等方圧力 $P=49$ 、 98 および 196 MPa 一定とし、温度 $T=1003$ K における 3 種類の相対密度 0.93、0.96 および 0.99 について行った。得られた計算結果より相対密度 D と焼結速度 $\dot{D}$ を求めた。

計算には有限要素解析汎用ソフト I-DEAS (Ver.6, SDRC 社) を使い、計算には純チタンのヤング率として 60.3 GPa ($T=1003$ K)⁽¹²⁾、ポアソン比として 0.3、クリープ定数として $Q_c(203$ kJ/mol⁽¹³⁾) および $A_c(19^{(13)})$ を与えた。 $f(D)$ に対する n_c の影響を調べるために、 $n_c=3$ 、4 および 5 を与えた。

3 結果と考察

3.1 HIP 焼結速度の $f(D)$ 関数の評価

HIP 焼結速度式を式(1)に示す。

$$\dot{D} = A_c \cdot \exp\left(-\frac{Q_c}{RT}\right) \cdot P^{n_c} \cdot f(D) \quad (1)$$

ここで、 A_c : 定数、 Q_c : べき乗クリープの活性化エネルギー (J/mol⁻¹)、 P : 圧力 (MPa)、 n_c : べき乗クリープの応力指数、 R : 気体定数 (J/mol⁻¹K⁻¹)、 T : 絶対温度 (K) および $f(D)$: n と D の関数

本研究のチタン基材料で、式(1)を基礎として求めた HIP 焼結速度の活性化エネルギー Q_h と応力指数 n_h が、クリープと高温変形試験により得られた値 Q_c および n_c とほぼ等しい⁽¹⁰⁾ことから、HIP 焼結速度が式(1)で表

されるとする従来の解析結果は妥当と思われる。

本来、式(1)は力学的解析結果として誘導された形であり、式(1)の定数 A の値は $f(D)$ 関数が与えられない限り、本実験結果からは求めることができない。しかし、これまでに力学解析による $f(D)$ 関数については解析法が異なる数種類の結果が報告^{(2)~(6)}されている (Table 2 に示す)。そこで本研究では、FEM による変形解析を行い、これまでの報告による $f(D)$ 関数を評価した。 $\ln f(D)$ は次式(2)のように表される。

$$\ln f(D) = \ln \dot{D} - \ln A_h - n_h \ln P + \frac{Q_h}{RT} \quad (2)$$

Table 2 The $f(D)$ functions previously proposed by mechanistic analysis.

No.	$f(D)$	Reference
(1)	$\frac{nD(1-D)}{[1-(1-D)^{1/n}]^n} \left(\frac{3}{2n}\right)^{n+1}$	(2),(3),(4)
(2)	$\left(\frac{9}{4} \frac{2n}{n+1} \frac{1-D}{2-D}\right)^{\frac{n+1}{2}} D^{1-n}$	(5)
(3)	$\left(\frac{4}{9}(1-D)\right)^{\frac{n+1}{2}} D^{1-n}$	(6)

コンピュータ・シミュレーションにおいて、与えた A_h , n_h , P , Q_h および T と計算により求められた $\dot{D}$ の値を式(2)の右辺に代入して求めた $\ln f(D)$ の値を Fig. 2 のプロットで示す。すべての n およびすべての P について、式(3)で与えられる $f(D)$ 関数^{(2)~(4)} (Table2-No.1) とコンピュータ・シミュレーションの結果が良く一致する。なお、この $f(D)$ 関数は D.S.Wilkinson 等⁽³⁾によって提案され、J.M.Duva 等⁽²⁾によって一般的な多孔体の降伏関数に組み込まれ、Y.-M.Liu 等⁽¹⁾によって実験結果と比較、考察された関数である。

$$f(D) = \frac{nD(1-D)}{\left\{1-(1-D)^{\frac{1}{n}}\right\}^n} \cdot \left(\frac{3}{2n}\right)^{n+1} \quad (3)$$

ここで実験的に求めた $(\ln A_h + \ln f(D))$ の値から式(3)

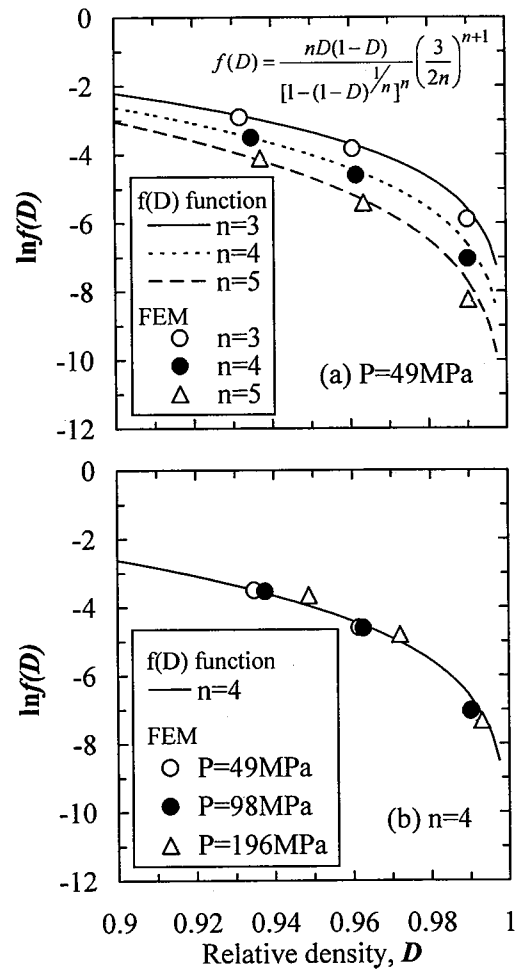


Fig. 2 Comparison of $f(D)$ values, where plots represent the result of FEM analysis and curves represent the results of mechanistic analysis, Table2-No.1, (a) $P=49\text{MPa}$ and (b) $n=4$ at $T=1003\text{K}$.

の $f(D)$ を用いて $\ln f(D)$ の値を引くと、 A_h の値が得られる。これを Table 1 に示す。Ti-6-4 合金では $A_h \approx 3.0 \times 10^4$ 、 $(\alpha + \beta)$ 相の Ti-13 合金では $A_h \approx 1.7 \times 10^5$ 、 β 相の Ti-13 合金では $A_h \approx 5$ 、さらに前報で示した等軸結晶粒 (EG) 組織の純チタンでは $A_h \approx 10$ および非等軸結晶粒 (NG) 組織の純チタンでは $A_h \approx 0.5$ となる。

また、Fig. 3 に、セル・モデルにより求められた $f(D)$ の対数値 $\ln f(D)$ および式(3)を用いて求めた A_h と実験により得られた $\dot{D}$, n_h および Q_h の値から式(2)を用いて求めた $f(D)$ の対数値 $\ln f(D)$ を示す。

各材料において、実験から求めた曲線の形状は式(3)の $f(D)$ の形状に比較的類似しており、特に、チタン合金で良い一致が見られる。しかし純チタンでは、高密度になるほど式(3)の $f(D)$ 関数との差が大きい。

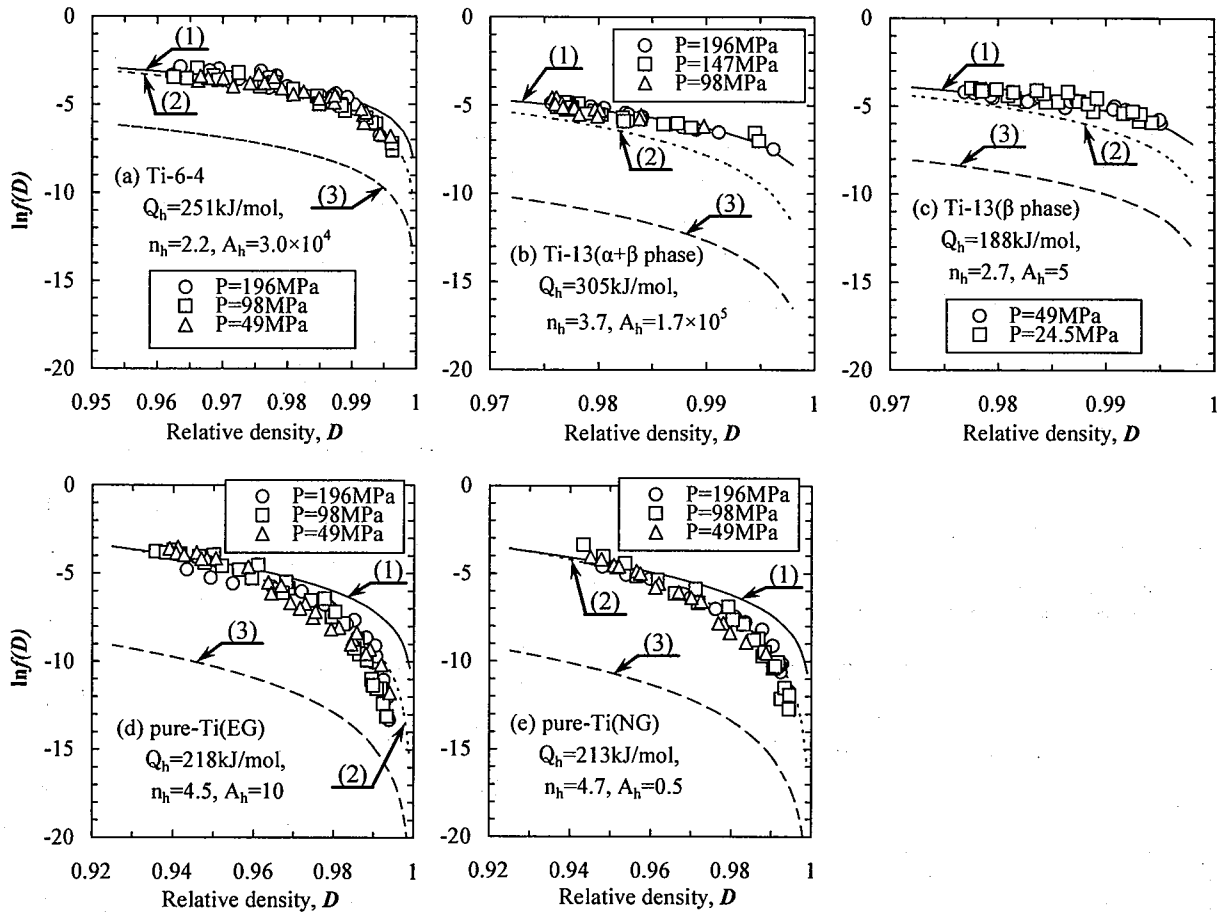


Fig. 3 Comparison of $f(D)$ values, where plots represent the values deduced from Equation (1), $\dot{D} = A_h \cdot \exp(-Q_h/RT) \cdot P^{n_h} \cdot f(D)$, using experimental results and curves represent the results of mechanistic analysis shown in table2.

Table 3 Average local area fraction $(LAF)_{av}$ and local centroid number $(LCN2D)_{av}$ of voids in sintered Titanium base alloys

Ti-6Al-4V ($\alpha + \beta$ phase)			Ti-13 ($\alpha + \beta$ phase)			Ti-13 (β phase)			Pure-Ti (EG) (α phase)		
D	$(LAF)_{av}$	$(LCN2D)_{av}$	D	$(LAF)_{av}$	$(LCN2D)_{av}$	D	$(LAF)_{av}$	$(LCN2D)_{av}$	D	$(LAF)_{av}$	$(LCN2D)_{av}$
0.984	1.10	1.11	0.988	1.23	1.29	0.988	1.23	1.27	0.981	1.19	1.17
0.990	1.09	1.12	0.994	1.28	1.20	0.994	1.16	1.19	0.987	1.28	1.25
0.996	1.00	1.17	0.998	1.25	1.29	0.996	1.18	1.29	0.991	1.27	1.34

Y.-M.Liu 等⁽¹⁾は、この違いの原因の一つに実際の材料では空洞が不均一な分布をとることを指摘している。そこで、空洞の空間分布を測定し、この影響について検討した。このとき、空間分布の評価方法⁽¹⁴⁾として、 $(LAF)_{av}$ (局所面積率の平均値) および $(LCN2D)_{av}$ (2次元の局所粒密度の平均値) を求めた。これらを Table 3 に示す。これらのパラメータは、任意の形状と大きさを持つ注目空洞の重心に中心を配置した一定の大きさを持つ測定円内に存在する空洞の面積率および個数を、

それぞれ平均面積率および粒子数 N (等粒径球を最稠密分布になるように配列したとき、この中に含まれる注目粒子と最隣接粒子の重心点の合計数) で除し、これを全ての空洞に対して測定した値の平均値を表している。なお、コンピュータ・シミュレーションにより計算したランダム分布の場合の $(LAF)_{av}$ および $(LCN2D)_{av}$ の値は約 0.95⁽¹⁵⁾であり、この値が大きいほどクラスタリング傾向が強いことを意味している。

各材料の相対密度が0.98以上のときの空間分布パラ

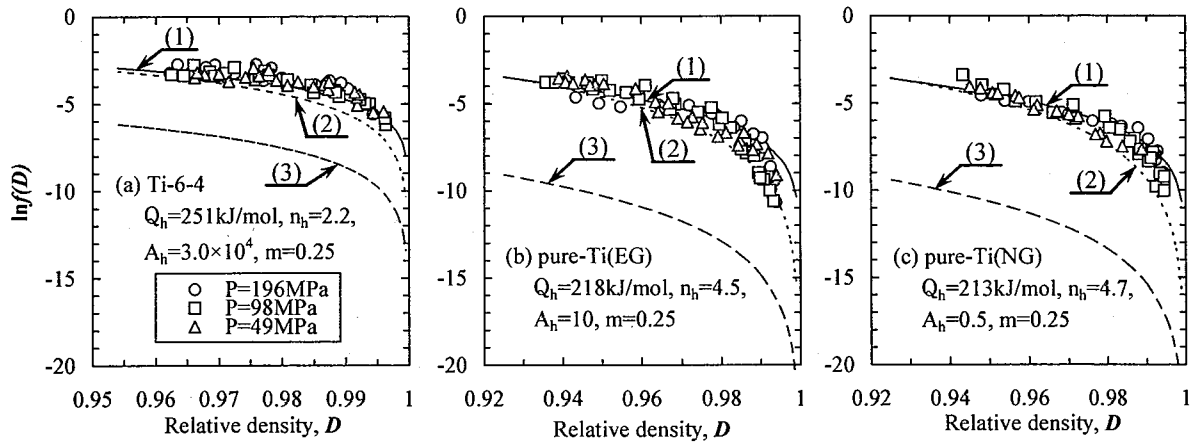


Fig. 4 Comparison of $f(D)$ values, where plots represent the values deduced from Equation (5), $\dot{D} = A_h \cdot \exp(-Q_h/RT) \cdot [P\{(1-D)/(1-D_s)\}^m]^{n_h} \cdot f(D)$, using experimental results and curves represent the results of mechanistic analysis shown in table 2.

メータの値を比較すると、純チタンと Ti-13 合金では大きな差は見られず、1.2~1.3 程度であり、Ti-6-4 合金は Ti-13 合金よりもランダム分布に近い値 1.1~1.2 を示している。以上のことから、式(3)による $f(D)$ と本実験結果から求めた $f(D)$ の値に見られる不一致の原因は空洞の空間分布の差ではないと考えられる。そこで、両者の値に良い一致が見られる Ti-13 合金では HIP 処理時の初期相対密度 (VS 材の相対密度) が大きく、不一致の大きい Ti-6-4 合金と純チタンでは、HIP 処理初期相対密度が小さいことから初期相対密度に関係すると思われる (残留ガス量は真空焼結における真空系統の能力 (排気速度等) とも関係していると思われる) 空洞内残留ガスの影響が大きいのではないかと考えた。

3.2 HIP 焼結速度に及ぼす空洞内ガスの影響

前述したとおり初期相対密度が小さいほど高密度側において、実験値と計算値の差が大きくなる傾向が強い (初期相対密度は、純チタンでは約 0.94、Ti-6-4 合金では約 0.96 および Ti-13 合金では約 0.975 である)。この原因として、HIP 処理時における VS 時に空洞内にトラップされたガスの影響⁽⁸⁾が考えられる。空洞内にガスがトラップされた場合、相対密度の上昇に伴って空洞の内圧が上昇するものと考えられる。そこで HIP に有効に作用する有効圧力 P_e を $P_e = P - P_i$ (P : 外圧、 P_i : 空洞の内圧) とし、 P_e を相対密度 D の関数として次式で表した。

$$P_e = P \left(\frac{1-D}{1-D_s} \right)^m \quad (4)$$

このとき、 D_s は HIP 処理時の初期相対密度、 m は有効圧力の効果を表す定数である。

式(4)は $D \rightarrow 1$ のとき $P_e \rightarrow 0$ 、 $D \rightarrow D_s$ のとき $P_e = P$ なることを示している。 $m > 0$ のとき D が大きいほど P_i の影響を受けやすく、 m が大きいほど P_i の影響は大きい。

ここで式(1)中の P を式(4)で表わされる P_e と置き換えると式(5)が得られる。

$$\dot{D} = A_h \cdot \exp\left(-\frac{Q_h}{RT}\right) \cdot \left\{ P \left(\frac{1-D}{1-D_s} \right)^m \right\}^{n_h} \cdot f(D) \quad (5)$$

式(7)中の m を与えて補正すると、Ti-13 合金では $m = 0$ 、Ti-6-4 合金および純チタンでは、ともに $m = 0.25$ が適当であることが分かった。これらの m の値と式(5)を用いて求めた $\ln f(D)$ を Fig. 4 に示す。EG 組織の純チタンで $D = 0.99$ 以上において計算と実験により得られた $\ln f(D)$ の間に差が見られるが全般的によい一致が見られる。

空洞内ガスの影響が無視できる場合、 m は 0 となり、無視できない場合には $m = 0.25$ が与えられる。

密度上昇に対する HIP 効果は、相対密度 D が 0.94⁽¹⁶⁾ ~ 0.96⁽¹⁷⁾ 以上で現れることが報告されている。粉末製造時に使用される Ar ガスが真空焼結時に生じる空洞

内へ残留することが指摘されている⁽¹⁸⁾。本実験においては D_s が 0.96~0.97 より小さいとき、真空焼結中に閉じこめられた Ar ガスが残留することが考えられ、密度上昇に対する HIP 効果はあるものの空洞内ガスの影響が現れ D_s の関数として 1/4 の指数で表されるものと考えられる。

以上のことから、真空焼結時の真空系統の能力が低いとき、初期相対密度が小さい材料では HIP 処理の際、空洞内ガスの影響を無視できないものと思われる。

おわりに本研究を実施するに際して使用した HIP、CIP、NC 旋盤は日本自転車振興会競輪機械工業資金補助により整備したものであることを記し、関係各位に深く感謝いたします。

4 結 言

Ti-6-4 合金および Ti-13 合金の VS 材を β トランザス温度の上下において、種々の温度、圧力および時間で HIP 処理し、HIP 最終段階の焼結速度を求め、べき乗クリープ則による焼結速度式を基礎として解析を試みた。

得られた結論は次のように要約される。

- (1) 有限要素法によるコンピュータ・シミュレーションの結果、セル・モデルによる限り、 $f(D)$ 関数として P.L.Wilkinson 等や J.M.Duva 等が報告している関数が最も適していると評価された。
- (2) P.L.Wilkinson 等や J.M.Duva 等が求めた $f(D)$ 関数を用いて各チタン基材料の A_h を求めたところ、Ti-6-4 合金では $A_h \approx 3.0 \times 10^4$ 、 $(\alpha + \beta)$ 相の Ti-13 合金では $A_h \approx 1.7 \times 10^5$ 、 β 相の Ti-13 合金では $A_h \approx 5$ が得られた。
- (3) 真空焼結時に空洞内に閉じこめられたガスの影響を考慮することにより HIP 焼結速度式の修正を行い、次式を得た。

$$\dot{D} = A_h \cdot \exp\left(-\frac{Q_h}{RT}\right) \cdot \left\{ P \left(\frac{1-D}{1-D_s} \right)^m \right\}^{nh} \cdot f(D)$$

ただし、初期相対密度 $D_s \geq 0.97$ のとき $m=0$ 、 $D_s \leq 0.97$ のとき $m=1/4$

参 考 文 献

- (1) Yong-Mei Liu, H.N.G.Wadley and J.M.Duva : Acta Metall., 42(1994), 2247.
- (2) J.M.Duva and P.D.Crow : Acta metall.mater., 40(1992), 31.
- (3) P.S.Wilkinson and M.F.Ashby : Acta metall., 23(1975), 1277.
- (4) P.Sofronis and R.M.McMeeking : ” 文献(1)中に引用” .
- (5) A.C.F.Cocks : J. Mech. Phys. Solids, 37(1989), 693.
- (6) P.Ponte : J. Mech. Phys. Solids, 39(1991), 45.
- (7) M.Dietze, H.P.Buchkremer and D.Stoever : Met. Powder Rep., 46(1991), 30.
- (8) E.Arzt, M.F.Ashby and K.E.Easterling : Metall. Trans., 14A(1983), 211.
- (9) 隠岐貴史, 松木一弘, 畑山東明, 柳沢平 : 軽金属, 51(2001), 446.
- (10) 隠岐貴史, 松木一弘, 清水功史, 柳沢平 : 軽金属, 53(2003), 258.
- (11) 隠岐貴史, 倉本英哲, 松木一弘, 柳沢平 : 広島市工業技術センター年報, 17(2003).
- (12) E.S.Fisher and G.J.Renken : Phys. Rev., 135(1964), A482.
- (13) 崔明勲, 及川洪 : 日本金属学会誌, 49(1985), 195.
- (14) 柳沢平, 諸隈真嗣, 松木一弘, 畑山東明 : 鑄造工学, 73(2001), 733.
- (15) 隠岐貴史, 柳沢平, 松木一弘, 畑山東明 : 軽金属学会第 100 回春期大会講演概要, (2001), 123.
- (16) 田中紘一, 石崎幸三 : 新素材焼結, 内田老鶴圃, (1987), 221.
- (17) 小泉光恵, 西原正夫 : 等方加圧技術, 日刊工業新聞社, (1988), 196.
- (18) 藤井秀樹, 藤沢和郎 : まてりあ, 34(1995), 212.

ホイールアライメントがころがり抵抗に及ぼす影響

西山 修二, 原田 伸^{*1}
森田 茂^{*2}

Effect of Wheel Alignment on Rolling Resistance of Automobiles

Shuji NISHIYAMA, Shin HARADA and Shigeru MORITA

This paper presents rolling resistance of automobiles. The wheel alignment such as toe angle and camber angle has an effect on vehicle handling and stability. In driving cars, the total of the power which acts on the opposite direction, that is called running resistance should be diminished. It is necessary to understand the principle of occurring the running resistance and to consider the influence on running performance. The running resistance consists of the following four factors; rolling resistance, air resistance, inclination resistance, and acceleration resistance. In this research, the influence of rear wheel alignment of rear wheel of a car exerts on the rolling resistance is experimentally investigated. The experimental devices are also developed in the research.

Key Words: Rolling Resistance, Wheel alignment, Measurement, Fuel Cost

本研究は、自動車の後輪のホイールアライメントがころがり抵抗に及ぼす影響について実験的に研究した。実験にあたり、ころがり抵抗の原理を明らかにし、ころがり抵抗計測装置を開発した。開発した装置を適用して、後輪のホイールアライメントを種々変化させて、自動車の転動距離を計測し、自動車の後輪のサイドスリップ量ところがり抵抗の関係を明らかにした。さらに、ころがり抵抗と燃費との関係についても考察した。

キーワード：ころがり抵抗，ホイールアライメント，実験的研究

1. はじめに

走行抵抗とは、自動車が走行する場合にその進行方向とは逆方向に作用する力の総和をいう。自動車が走行する際には、その進行を妨げる力はいらない力であるので、走行抵抗は限りなく小さい方が望ましい。そのためには走行抵抗の発生原理を理解し、走行性能に与える影響を考慮する必要がある。走行抵抗は発生原因より分類すると、次の四つからなっている。すなわち、ころがり抵抗、空気抵抗、勾配抵抗および加速抵抗である。

自動車の走行性能を評価する場合は、その駆動性能と走行抵抗の両者から、検討を行い、走行性能の向上に際しては駆動性能の改善と走行抵抗の低減の両者から行う必要がある。

本研究では、自動車の後輪のホイールアライメント、特にサイドスリップ量がころがり抵抗に及ぼす影響について実験的に研究する。実験にあたり、ころがり抵抗の原理を明らかにし、ころがり

抵抗計測装置を開発する。開発した装置を適用して、後輪のホイールアライメントを種々変化させて、自動車の転動距離を計測し、ころがり抵抗を評価する。さらに、ころがり抵抗と燃費との関係についても論じる。

記号の説明

R_e : ころがり抵抗

μ : ころがり抵抗係数

W : 車両重量

F : 車両進行方向作用力

R : 斜面垂直方向作用力

l_1 : 重心位置斜面の距離

l_2 : 水平助走路の距離

h : 車両重心位置高さ

E_p : 車両の位置エネルギー

E_r : 損失エネルギー

θ : 斜面の角度

^{*1} (株)ハラダクニ。(〒739-0046 広島市西区観音町 17-3)

^{*2} 正員、振動音響研究所(〒739-0141 東広島市八本松町飯田 22-2)

2. ころがり抵抗

ころがり抵抗は、操縦性・安定性とは直接的にはかかわってこないもので、むしろ動力性能に関係するものである。ころがり抵抗の発生は、タイヤのひずみによる内部エネルギー損失以外に路面のひずみによる抵抗、路面が平坦でないために起こる衝撃抵抗、車輪を支える軸受けの摩擦抵抗、空気中でタイヤやホイールが回転するために起こる空気抵抗などが含まれる。そのため現象は極めて複雑で、これを理論的に求めることが困難であり、完成したタイヤをタイヤ試験機にかけて実験的に求める方法が一般的である。

このように、複雑でわかりにくいころがり抵抗を、単純化し、理解しやすくするために導入されたのが、ころがり抵抗係数という概念である。ころがり抵抗は、タイヤ荷重が増加すれば大きくなる簡単な実験によってわかっている。そこで、両者の関係を次のようにおく。

$$R_g = \mu \cdot W \quad \dots(1)$$

実際には、 R_g と W とは決して比例関係にあるわけではないので、 μ の値は決して一定値ではない。表1は、乗用車用タイヤの μ の値を示す。

表1 μ の値⁽¹⁾⁽²⁾

路面の状況	μ
良好な舗装路	0.01~0.02
良い平坦未舗装路	0.04
粘土質の自然路	0.2~0.3
新しく敷いた砂利道路	0.12

μ の値は、路面状況以外に、速度、内圧、タイヤ荷重、タイヤ構造などによっても変化する。

3. 装置の開発

3・1 ころがり抵抗の原理 ころがり抵抗の原理について考察する。計測は発射台方式を採用する。アライメントの効果を数値で示すには、横力を計測して、グラフよりころがり抵抗に換算し、燃費などへの効果を示す。

ころがり抵抗係数は、公称 1~2% であり、実測では 0.1% の分解能を持つことが好ましい。アライメントの狂いにより、顧客の車がどの程度の燃費損失があるかを提示することも可能となる。

図1は装置の原理を示す。計測原理を以下に示す。水平部分の長さ l_2 を設け、停車するまでの距離を計測する。発車する前に自動車もつ位置のエネルギーは次式となる。

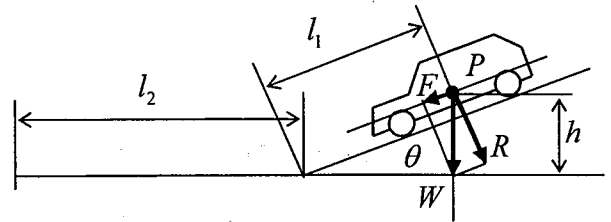


図1 計測原理

$$E_p = Wh = Wl_1 \sin \theta \quad \dots(2)$$

また、ころがり抵抗による損失エネルギーは次式となる。

$$E_r = l_1 \mu W \cos \theta + l_2 \mu W \cong \mu W (l_1 + l_2) \quad \dots(3)$$

位置のエネルギーがころがり抵抗による損失に変換されるので、式(3),(4)より次式が導ける。

$$\therefore \mu W (l_1 + l_2) = Wl_1 \sin \theta \quad \dots(4)$$

式(4)より、ころがり抵抗係数 μ に対して、次式が得られる。

$$\mu = l_1 \sin \theta / (l_1 + l_2) \cong \theta / (1 + l_2 / l_1) \quad \dots(5)$$

この時、試験装置の開発に必要な長さを計算する。条件として、次の値を使用する。

$$\mu = 0.01$$

$$l_1 = 2m$$

$$h = l_1 \sin \theta = 0.065m$$

$$l_2 = l_1 \sin \theta / \mu - l_1 = 0.065 / 0.01 - 2 = 4.5m$$

以上より、水平な路面が 4.5m 必要となる。

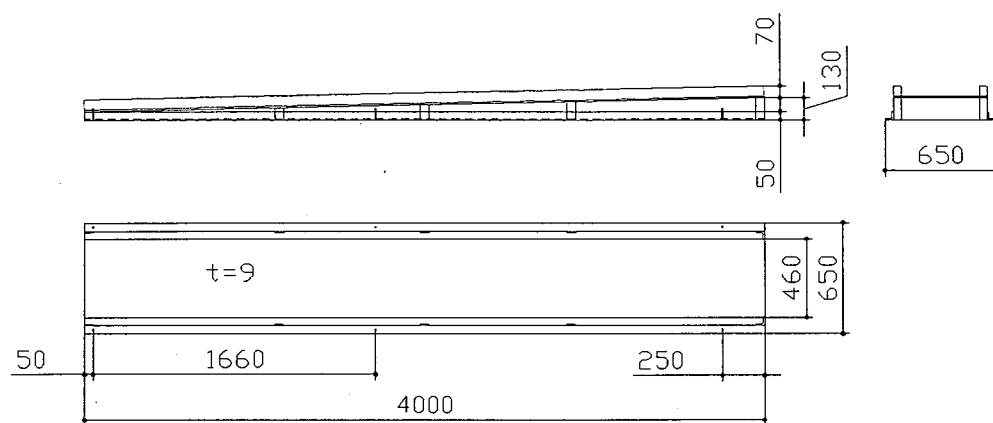
前後に余裕を取れば 5m 以上の長さが必要となる。内 4.5m は完全に水平であることが必要である。

要求精度として、車の μ は 1~2% 程度と考えられている。この範囲内では、カタパルト長さ 2m、高さ 6cm (何れも重心位置) にすれば、 μ の 10% の差で l_2 (水平部停止距離) は 50~60cm 異なり、視覚で認知可能となる。

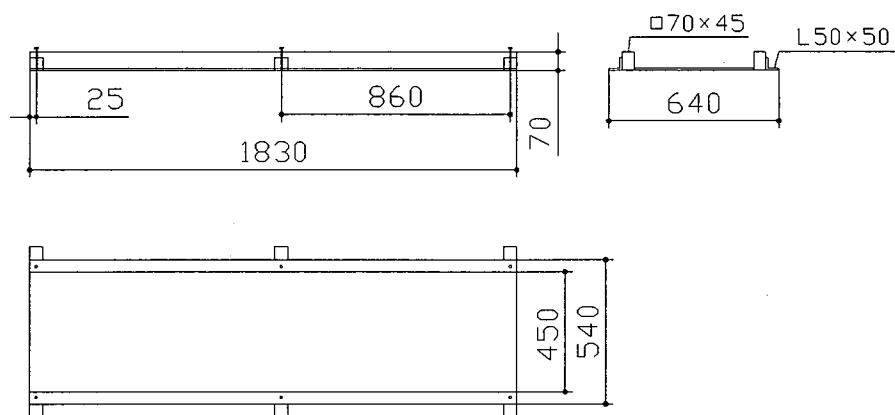
重心位置の誤差については、 l_2 の誤差を 10% 以内にするには、 l_1 の誤差を 10% 以内にする必要がある。重心位置を数 cm で把握する必要がある。そのためには、試験車両の重心位置の計測が必要となる。

3・2 ころがり抵抗係数ところがり距離

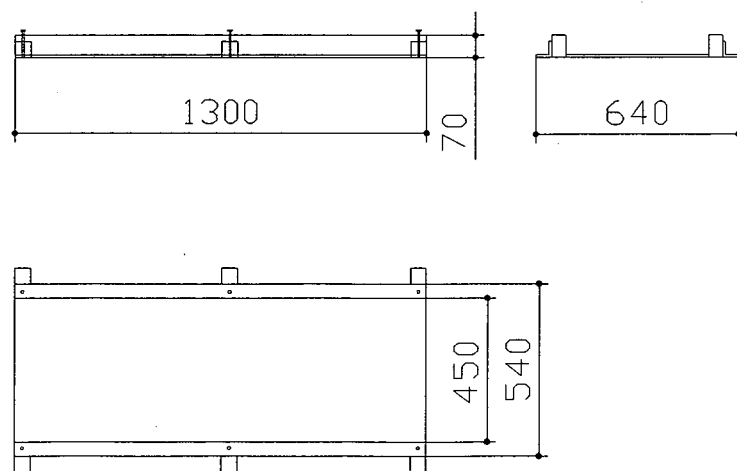
図2は式(5)を図示した。縦軸はころがり抵抗係数を示す。横軸は長さ比 l_2 / l_1 を示す。



(a)カタパルト



(b)水平助走路



(c)水平助走路

図 3 抵抗計測装置

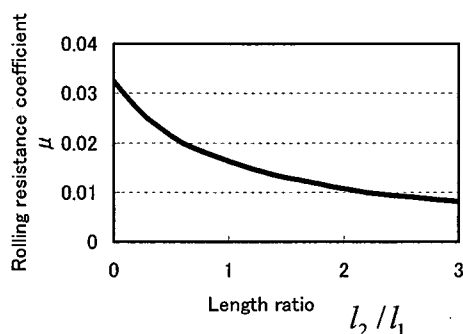


図2 転動距離ところがり抵抗係数

ころがり抵抗係数 μ が 0.016 から 0.011 になると転動距離は 2 倍になる。さらに、0.016 から 0.008 になると転動距離は 3 倍になる。

3・3 実測装置 図3は今回の研究で開発したころがり抵抗計測装置を示す。

図3(a)はカタパルトを示す。勾配は 130/4000 である。図3(b)、図3(c)は水平助走路を示す。水平助走路は 4960mm となる。

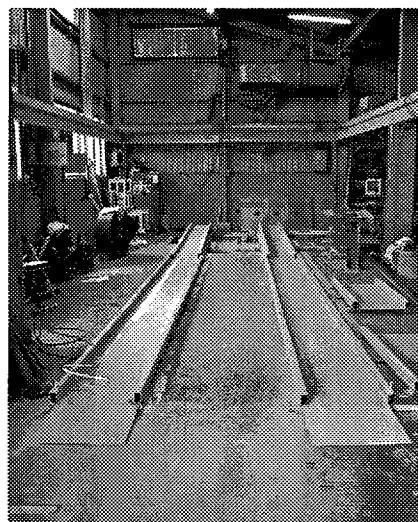


図4 ころがり抵抗計測装置



図5 重心を通鉛直線

図4は、カタパルト、水平助走路を並べて車両が走行できる状態にした試験路を示す。カタパルト、水平助走路のつなぎ目は段差が生じないように接続した。

さらに、水平助走路はトランシットを用いて $\pm 1\text{mm}$ 以内の水平精度を維持した。

4. 実測

4・1 車両 実測に使用した供試車両は、二車種である。車両の諸元は表2に示す。

車両の重心位置の計測は、 $\pm 2.5\text{m}$ 程度の回転台上に車両を進入させて、台が反転したら、支点を $6 \pm 0.1\text{cm}$ の範囲で正確に持ち上げる装置を開発した。この装置により、車両の重心点を通る鉛直方向の位置を正確に計測する事ができる。

図5は、この方法により、車両の重心位置を通鉛直線を計測し、線で示す。

表2 車両諸元

Items	Vehicle 1	Vehicle 2
Registration year	2003.May	1994.Nov.
Total mileage (km)	12000	85000
Tire	225/55/R16	205/55/R16
Wheel base (mm)	2700	2780
Weight of vehicle (kg)	1330	1380

4・2 実測方法 車両の重心位置がカタパルト上において 65mm の位置 ($l_1 = 2\text{m}$) となるように、斜面上に車両を位置する。この場合前輪の中心位置がカタパルト上の 30mm の位置であった。この位置から車両を解放して走行する距離を計測した。転動距離は前輪タイヤの中心を基準に計測した。カタパルト上の斜面の長さや水平助走路とを計測する。前輪のホイールアライメントはトー角ゼロ、キャンバー角ゼロに設定し、後輪のアライメントのみを調整し、その影響を実測した。

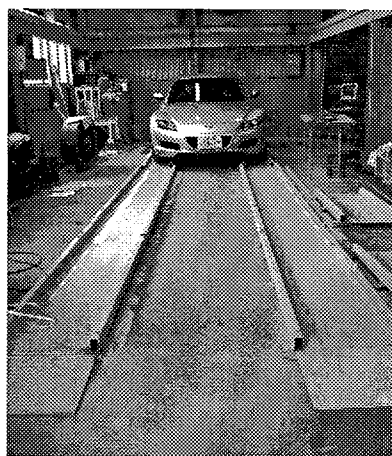


図6 計測開始位置

図6は試験車をカタパルト上の斜面に設定した状態を示す。車両の重心の位置が斜面高さの65mmの位置になるようにセットする。運転者は乗車し、ギヤはニュートラル位置、ハンドル操作をしない。サイドブレーキを開放し、車を始動させる。

図7は、車両が試験路の斜面から水平助走路をころがり停止した状態を示す。

図8は、試験車が停止した前輪タイヤの位置を示す。前輪タイヤの中心点の移動前から移動後までの距離を計測した。

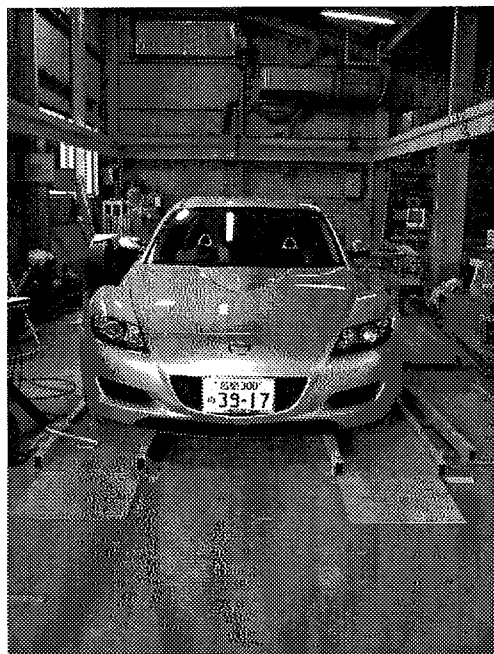


図7 ころがり終了位置

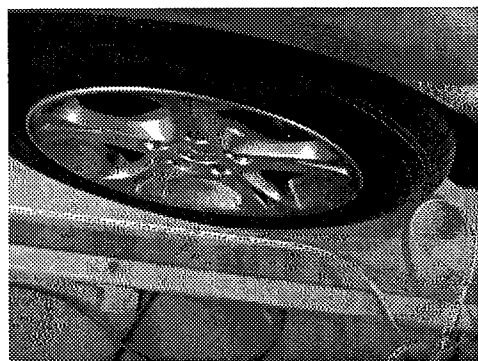


図8 ころがり終了前輪タイヤ位置

4・3 実測結果 各車両の実測結果を表3,4に示す。設定したアライメントに対して5回実測した。5回の転動距離はほぼ一定の値であったので、5回の平均値をそれぞれのアライメントに対する実測値とした。

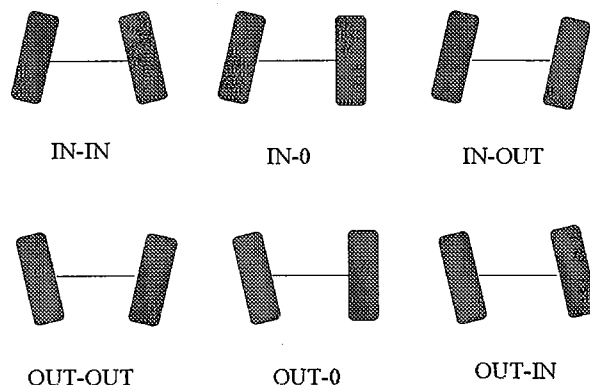


図9 ホイールアライメントのパターン

図9は実測で設定したホイールアライメントのパターンを示す。IN-INは左右輪ともトーイン状態を示す。IN-0は左輪がトーインで右輪が0を示す。IN-OUTは左輪がトーイン、右輪がトーアウトを示す。OUT-OUTは左右輪ともにトーアウトを示す。OUT-0は左輪がトーアウトで右輪が0の状態を示す。OUT-INは左輪はトーアウト、右輪はトーイン状態を示す。

表3,4において、Noはアライメントの設定番号を示す。図10,11のアライメントNoと一致する。サイドスリップ量の左右は運転者側から見て、左側と右側を示す。

表3 実測結果 (Vehicle 1)

No.	サイドスリップ量(mm/m)		転動距離 mm (5回の平均値)
	左輪	右輪	
1	0	0	5414
2	IN 5	IN 5	5012
3	IN10	IN10	4294
4	IN 5	0	5328
5	IN10	0	4974
6	OUT 5	IN 5	5350
7	OUT 5	OUT 5	5368
8	OUT10	OUT10	4866
9	OUT 5	0	5196
10	OUT10	0	5158
11	OUT10	IN10	5328

表3に示す試験の日時は2003年12月1日に実施した。外気温は9℃であった。試験場所は(株)ハラダクニ 五日市工場である。

また、表4に示す試験は2004年1月21日に実施した。外気温は9℃であった。試験場所は(株)ハラダクニ 五日市工場である。

図10は表3に示す試験結果を横軸が転動距離、縦軸がホイールアライメント設定Noを示す。

No1はサイドスリップ量を左右ともに0の場合を示す。転動距離はこの場合が一番大きく5414mmである。サイドスリップ量の値がIN10-IN10の場合は4294mmで一番小さい転動距離である。すなわち、ころがり抵抗が一番大きいといえる。サイ

ドスリップ量が IN と OUT を比較すると、IN10-IN10 では 4294mm である。

一方 OUT10-OUT10 では 4866mm で IN より OUT の方がころがり抵抗が小さい。IN10-0, OUT10-0 を比較すると前者が 4974mm, 後者が 5158mm となり、片輪のみサイドスリップ量が設定されている場合でも IN の方がころがり抵抗は大きい傾向にある。

図 11 は表 4 に示す試験結果を横軸が転動距離、縦軸がホイールアライメント設定 No を示す。No1 はサイドスリップ量を左右ともに 0 の場合を示す。転動距離はこの場合が一番大きく 4622mm である。サイドスリップ量の値が IN10-IN10 の場合は 3778mm で一番小さい転動距離である。すなわち、ころがり抵抗が一番大きい。サイドスリップ量が IN と OUT を比較すると、IN10-IN10 では 3778mm である。

一方 OUT10-OUT10 では 4120mm で IN より OUT の方がころがり抵抗が小さい。IN10-0, OUT10-0 を比較すると前者が 4220mm, 後者が 4420mm となり、片輪のみサイドスリップ量が設定されている場合でも IN の方がころがり抵抗は大きい。

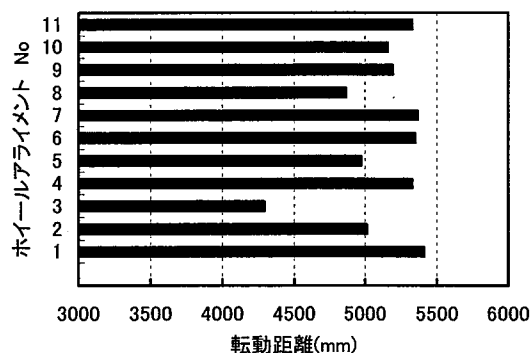


図 10 転動距離(Vehicle 1)

表 4 実測結果 (Vehicle 2)

No	サイドスリップ量(mm/m)		転動距 mm (5 回の平均値)
	左	右	
1	0	0	4622
2	IN 5	IN 5	4186
3	IN10	IN10	3778
4	IN 5	0	4438
5	IN10	0	4220
6	OUT 5	IN 5	4558
7	OUT 5	OUT 5	4554
8	OUT10	OUT10	4120
9	OUT 5	0	4486
10	OUT10	0	4420
11	OUT10	IN10	4544
12	IN10	OUT10	4486
13	IN(F:5,R:5)	IN(F:5,R:5)	3832

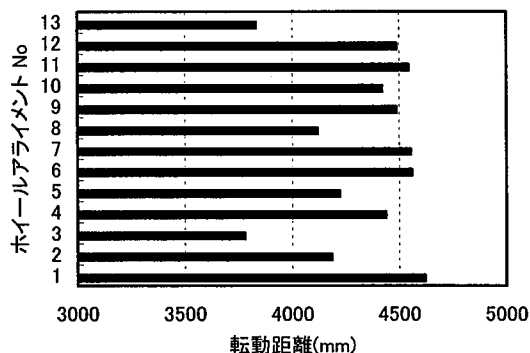


図 11 転動距離 (Vehicle 2)

また No13 はフロントタイヤが IN5-IN5, リアタイヤが IN5-IN5 の場合である。転動距離は 3832mm となる。フロントタイヤにサイドスリップ量が設定されると、ころがり抵抗がさらに大きくなる傾向にある。

図 12 は表 5 に示す実測結果を図示したものである。

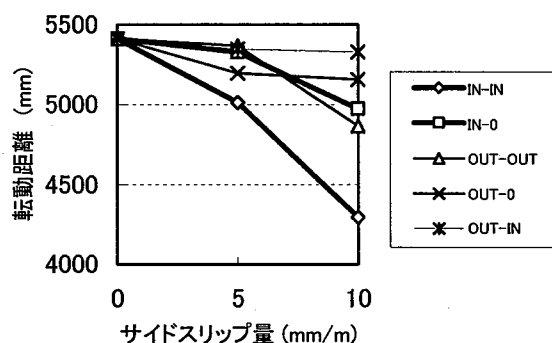


図 12 後輪トー角と転動距離(Vehicle 1)

図 12 は、Vehicle 1 の場合についての後輪アライメントと転動距離の関係を示す。図の横軸がサイドスリップ量、縦軸が転動距離を示す。サイドスリップ量が 10 の場合、OUT-IN, OUT-0, IN-0, OUT-OUT, IN-IN の順に転動距離が減少し、ころがり抵抗が大きくなる傾向を示す。

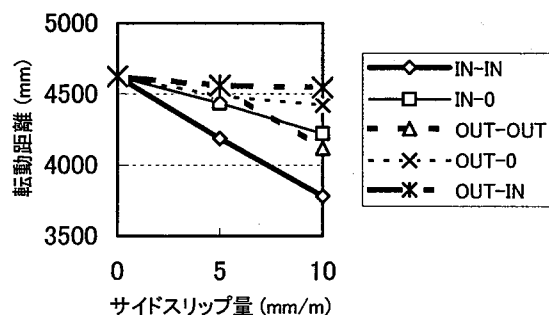


図 13 後輪トー角と転動距離(Vehicle 2)

図 13 は、Vehicle 2 の場合についての後輪アライメントと転動距離の関係を示す。図の横軸がサイドスリップ量、縦軸が転動距離を示す。サイドスリップ量が 10 の場合、OUT-IN, OUT-0, IN-0, OUT-OUT, IN-IN の順に転動距離が減少し、ころがり抵抗が大きくなる傾向を示す。

5. ころがり抵抗係数と燃費

約 10% ころがり抵抗が増加すると、ころがり抵抗の影響係数は、10-15M で 0.1~0.2 程度、40~60km/h の定常走行で 0.4 程度であるから、10% のころがり抵抗差に対し、燃費差は、10-15M 的な走行の車で 1~2%、定常走行の車で 4% 程度となる。従って、生涯で 10000 l のガソリンを消費する車は (10 km/l で、10 万 km 走る車)、100~400 l の差がつくことになる。

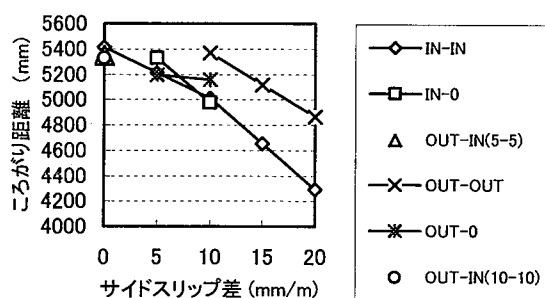


図 14 サイドスリップ量の差による影響

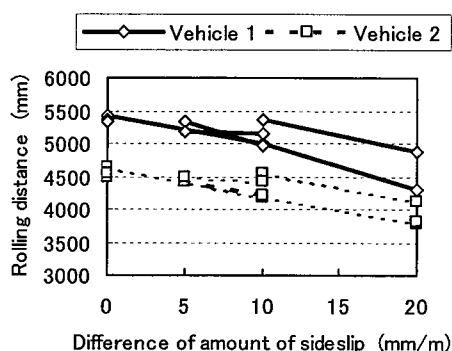


図 15 サイドスリップ量の差による影響

ここで、左右輪の相対（見かけ）サイドスリップ量の差を次のように定める。

$$\text{サイドスリップ量の差} = |S_l + S_r| \quad \cdots (1)$$

ここに、 S_l, S_r は左右タイヤのサイドスリップ量を示す。式(1)での符号は

IN のとき、 $S_l, S_r \rightarrow +$

OUT のとき、 $S_l, S_r \rightarrow -$

とする。

図 14, 15 より、サイドスリップ量の差が 20 mm の車はその 2.5 倍となる。

実測した結果、ころがり抵抗係数 μ は、サイドスリップ量の差 10 mm/m で約 10% 悪化する。

15 mm/m で約 20%、20 mm/m で約 25% それぞれ悪化する。

車にはタイヤが 4 本あるので、例えば、それぞれのタイヤに 2.5 mm/m のサイドスリップ量の差があるとすると全部で 10 mm/m となる。

燃費に対する影響は 40~60km/h の定常走行で約 0.4 となる。

従って、10% の (サイドスリップ量の 10 mm/m) の走行抵抗改善は燃費 4% の改善につながる。

また 20% の (サイドスリップ量の差 15 mm/m) の走行抵抗改善は燃費 8% の改善につながる。

さらに、25% (サイドスリップ量の差 20 mm/m) の走行抵抗改善は燃費 10% の改善につながる。

大半の乗用車はサイドスリップ量の差 10 mm/m 前後と考えられる。なかにはこれ以上に差がある車両もあるが、燃費への効果は走行モードによって大きく変化する。今のところ、1~5% ではないかと考えている。乗用車は廃車までに 100 万円程度のガソリン代がかかるので 1 から 5 万円に相当すると考えられる。また、CO₂ が 1 から 5% 低減するので、京都議定書の 6% 削減の数値と比較し、かなり寄与できるものと考えられる。

6. おわりに

後輪のホイールアライメントがころがり抵抗に及ぼす影響について研究した。研究により明らかになった事柄をまとめると次のとおりである。

(1) ころがり抵抗の原理を整理し、ころがり抵抗計測装置の開発に応用した。

(2) 車両の重心の位置を簡易に計測するスケルトン方式計測装置を考案した。

(3) 種々のホイールアライメントについてころがり抵抗への影響について明らかにした。

サイドスリップ量が増加すると、OUT-IN, OUT-0, IN-0, OUT-OUT, IN-IN の順にころがり抵抗が大きくなる。

さらに、IN-IN と OUT-OUT を比較すると、前者の方がころがり抵抗は大きい。

また IN-0 と OUT-0 を比較すると前者の方がころがり抵抗は大きい。

(4) ころがり抵抗係数とサイドスリップ量の差および燃費との関係を明らかにした。

さらに、今後の課題として次のことが考えられる。今回は後輪のホイールアライメントの影響を主に検討した。前輪と後輪のホイールアライメントの組み合わせによる影響についても検討する必要がある。さらに、キャンバー角がころがり抵抗に及ぼす影響についても調べる必要がある。

今回は二車種の車両について実測したが，車種によってころがり抵抗に差が見受けられる．種々の車種によるころがり抵抗の影響についても実測してみることが必要である．さらに，ホイールアライメントがころがり抵抗に及ぼす影響を検討可能なシミュレーションシステムについては，非線形の要因が多く定式化が容易ではない．しかし，今後の課題として考えたい．

参考文献

- (1) 景山克三，自動車の操縦性・安定性，pp.10-18,山海堂
- (2) 茄子川，宮下義考，汐川満則，自動車の走行性能と試験法，pp.11-13,山海堂．
- (3) 伊達 肇，改訂版 ホイールアライメント入門 理論と調整の実際，1999，鉄道日本社．
- (4) 安部 正人，自動車の運動と制御〔第二版〕，山海堂，2003 年 4 月．
- (5) 亘理 厚，自動車の運動に関する研究，東京大学生産技術研究所報告
- (6) 酒井 秀男，タイヤ工学 入門から応用まで，グランプリ出版，2002．
- (7) 宇野 高明，車両運動性能とシャシーメカニズム，2001，グランプリ出版．
- (8) 近藤 政市，基礎自動車工学 前編・後編，1993，養賢堂．
- (9) 渡邊 徹郎，タイヤのはなし，日本規格協会，2002．
- (10) 山本 真規，ホイールアライメントと操安性，自動車技術 Vol.54, No.11, 2000, 10-15．

ホイールアライメントが走行性能に及ぼす影響に関する

シミュレーションシステムの開発

西山 修 二

Development of Simulation System on Influence of Wheel Alignment on Running Performance

Shuji Nishiyama

Wheel alignment is shown how to assemble each part which composes the suspension and the steering wheel system in a car. The wheel alignment is composed by various angles such as caster, camber, and toe angle, SAI, included angle, rotation angle, set backing, geometrical drive axle, rear wheel cambers, and rear wheel toe angle. This research theoretically clarifies the influence of toe and camber angle of vehicle, especially the influence of both camber angle and toe angle on the running stability of a car is investigated numerically. We developed simulation system to be able to calculate the performance of car stability. And, we will introduce the best value of wheel alignment and how to set up these of each wheel of a vehicle.

Key Words: Wheel Alignment, Running Performance, Camber Angle, Toe Angle, Simulation System

ホイールアライメントの中でも、特に前後輪のトー角およびキャンバー角が自動車の走行安定性に及ぼす影響について、理論的に明らかにした。数学モデルにもとづきシミュレーションシステムを開発した。研究結果より、ホイールアライメントの最適値および設定方法を定めた。

キーワード: ホイールアライメント, 走行性能, キャンバー角, トー角, シミュレーション

1. まえがき

ホイールアライメントとは、サスペンションやステアリングのシステムを構成するそれぞれの部品が、どのような角度関係で自動車に取り付けられているかを示すものである。ホイールアライメントは、キャスタ、キャンバ、トーをはじめ SAI、インクルードドアングル、回転角度、セットバック、ジオメトリカルドライブアクシス、後輪キャンバ、後輪トーなどの諸角度によって構成されている。

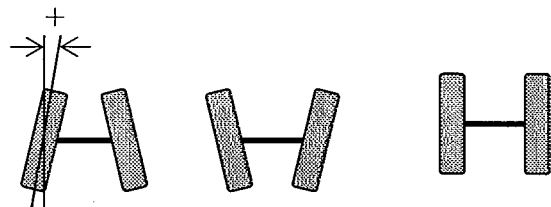
本研究はホイールアライメントの中でも、特に前後輪のトー角およびキャンバー角が自動車の走行安定性に及ぼす影響について、理論的に明らかにする。そして、ホイールアライメントの最適値および設定方法を定める。

2. ホイールアライメント

ホイールアライメント調整の最終目的は、走行上の安全性と安定性、自己直進性と接地性能、最大のタイヤ寿命等を確保することにある。ホイールアラ

イメントにおける約束ごととして、トーは、自動車を上から見た場合、タイヤの前方が自動車の中心の方向に向いている状態を+とする。図1はトーの角度を示す。図1(a)はトーイン、図1(b)はトーアウト、図1(c)はゼロトーをそれぞれ示す。

キャスタは、図2に示すとおり、ストラットの上の方が自動車の後方へ傾いている状態を+とする。キャンバは、図3に示すとおり、タイヤの上方が自動車の外側に傾いている状態を+とする。



(a) トーイン

(b) トーアウト

(c) ゼロトー

図1 トーの角度

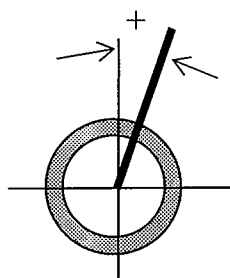


図2 キャスタの角度

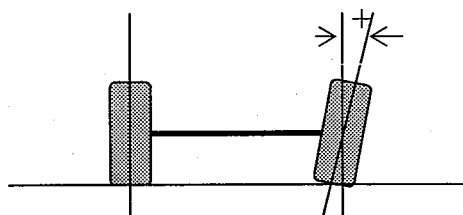


図3 キャンバーの角度

図3は、前輪を前方から見た図を示す。

3. 車両の運動方程式

本研究では自動車の運動性能を主に平面運動に関して考える。前後方向については加速性能と制動性能、横方向に横すべり、ヨーイング、ローリングに関する性能が議論される。一般に自動車は、ばね上系とばね下系から構成され、解析の目的に応じて運動方程式の自由度が選ばれる。

記号の説明

X, Y : 地上に固定した座標系

θ : ヨー角

$\sum F_y$: Y方向に作用する力の総和

m : 車両の質量

$\frac{d^2 y}{dt^2}$: 重心点垂直方向加速度

$\sum M$: 重心点回りのモーメント

I : 重心点回りの慣性モーメント

$\frac{d^2 \theta}{dt^2}$: 重心点の回転角速度

Y_f, Y_r : コーナリングフォース

x, y : 車両に固定した座標系

l, l_f, l_r : ホイールベース, 車両重心から前輪, 後輪までの長さ

$\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$: 実舵角

V : 車両速度

θ : 車両重心点の回転角度

$\frac{d\theta}{dt}$: 車両重心回転角速度

$K_y = \frac{wC_y \ell^2}{2(1 + \delta l/6)}$ コーナリングスティフネス

F_z : 荷重

w : 接地幅

$\delta = C_y \lambda^3 \ell^2 / 2k_y$

ℓ : 接地長さ

$\lambda = \sqrt[4]{\frac{k_y}{4EI}}$

C_y : 横ばね定数 (ゴムブロックのY方向)

α : スリップ角

I_z : Z軸回りの断面二次モーメント

E : 弾性係数

μ : 摩擦係数

添え字

1:前輪左 2:前輪右 3:後輪左 4:後輪右

3.1ホイールアライメントが走行安定性に及ぼす影響

地上に固定した座標系における解析手法を適用する。図4は地上に固定した自動車の座標系を示す。

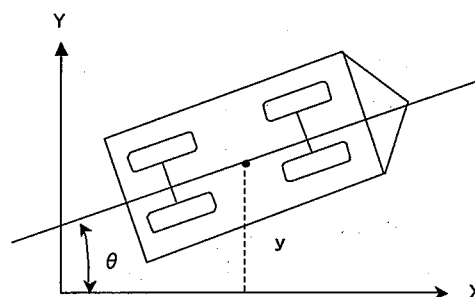


図4 地上に固定した座標系

解析手順としては、次の(1)から(8)の手順で解析をすすめていけばよい。

- (1)車両の重心点のX, Y方向の速度成分を求める。
- (2)各車輪の実舵角, 横滑り角, ヨー角の関係を明らかにする。

- (3)Y方向に作用する力の総和 $\sum F_Y$ を求める。

- (4)重心点のY方向の運動方程式を定式化する。

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = \sum F_Y \quad \dots\dots\dots (1)$$

- (5)重心点回りのモーメントの総和 $\sum M$ を求める。

- (6)重心点回りのヨーイング運動方程式を定式化する。

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} = \sum M \quad \dots\dots\dots (2)$$

- (7)コーナリングフォース Y_f , Y_r を算出する。

スリップ角が小さい場合, およびスリップ角が大きい場合は別々に扱う。

- (8)車両重心点の軌道軌跡 X, Y, θ を求める。

3・2 重心点の速度成分 図5は地上に固定した座標系での車両の速度成分を示す。

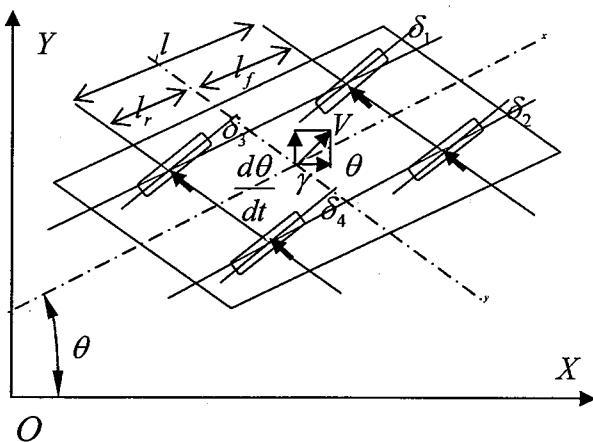


図5 重心点の速度成分

重心点のX方向の速度成分は $V \cos \gamma$ となる。

また, 重心点のY方向の速度成分は $V \sin \gamma$ となり,

一方, $V \sin \gamma = dy/dt$ となる。

さらに, $|\gamma| \ll 1$ のときは, X, Y方向の速度成分は

次のように簡略化できる。

$$V \cos \gamma \rightarrow V$$

$$V \sin \gamma \rightarrow V \gamma = \frac{dy}{dt}$$

3・3 各車輪のスリップ角 各車輪のスリップ角は次のようになる。

図6は各車輪に作用する速度成分を示す。

前輪左側タイヤに作用するスリップ角は次式のようにになる。

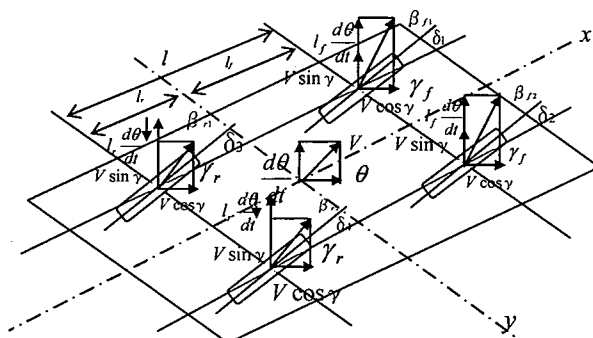


図6 各車輪タイヤに作用する速度成分

$$\tan \gamma_{f1} = \tan(\theta + \delta_1 + \beta_{f1}) = \frac{V \sin \gamma + l_f \frac{d\theta}{dt}}{V \cos \gamma}$$

$$\tan \gamma_{f1} = \frac{1}{V \cos \gamma} \left\{ \frac{dy}{dt} + l_f \frac{d\theta}{dt} \right\}$$

$$\beta_{f1} = \tan^{-1} \left\{ \frac{1}{V \cos \gamma} \left(\frac{dy}{dt} + l_f \frac{d\theta}{dt} \right) \right\} - \theta - \delta_1 \quad \dots\dots (3)$$

前輪右側タイヤに作用するスリップ角は次式のようにになる。

$$\tan \gamma_{f2} = \tan(\theta + \delta_2 + \beta_{f2}) = \frac{V \sin \gamma + l_f \frac{d\theta}{dt}}{V \cos \gamma}$$

$$\beta_{f2} = \tan^{-1} \left\{ \frac{1}{V \cos \gamma} \left(\frac{dy}{dt} + l_f \frac{d\theta}{dt} \right) \right\} - \theta - \delta_2 \quad \dots\dots (4)$$

後輪左側タイヤに作用するスリップ角は次式のようにになる。

$$\tan \gamma_{r1} = \tan(\theta + \delta_3 + \beta_{r1}) = \frac{V \sin \gamma - l_r \frac{d\theta}{dt}}{V \cos \gamma}$$

$$\beta_{r1} = \tan^{-1} \left\{ \frac{1}{V \cos \gamma} \left(\frac{dy}{dt} - l_r \frac{d\theta}{dt} \right) \right\} - \theta - \delta_3 \quad \cdots (5)$$

後輪右側タイヤに作用するスリップ角は次式のようになる。

$$\tan \gamma_{r2} = \tan(\theta + \delta_4 + \beta_{r2}) = \frac{V \sin \gamma - l_r \frac{d\theta}{dt}}{V \cos \gamma}$$

$$\beta_{r2} = \tan^{-1} \left\{ \frac{1}{V \cos \gamma} \left(\frac{dy}{dt} - l_r \frac{d\theta}{dt} \right) \right\} - \theta - \delta_4 \quad \cdots (6)$$

3・4 二次元運動方程式 車両のY方向へ作用する力は次式となる。

$$\begin{aligned} \sum F_y &= Y_{f1} \cos(\theta + \delta_1) - X_{f1} \sin(\theta + \delta_1) \\ &\quad + Y_{f2} \cos(\theta + \delta_2) - X_{f2} \sin(\theta + \delta_2) \\ &\quad + Y_{r1} \cos(\theta + \delta_3) - X_{r1} \sin(\theta + \delta_3) \\ &\quad + Y_{r2} \cos(\theta + \delta_4) - X_{r2} \sin(\theta + \delta_4) \quad \cdots (7) \end{aligned}$$

重心点のY方向の運動方程式は次式となる。

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = \sum F_y \quad \cdots (8)$$

また、重心点回りのモーメントは次式となる。

$$\begin{aligned} \sum M &= \{ (Y_{f1} \cos \delta_1 + Y_{f2} \cos \delta_2) - (X_{f1} \sin \delta_1 + X_{f2} \sin \delta_2) \} \times \ell_f \\ &\quad + \{ (Y_{r1} \sin \delta_1 + X_{r1} \cos \delta_1) - (Y_{r2} \sin \delta_2 + X_{r2} \cos \delta_2) \} \times \frac{d_f}{2} \\ &\quad - \{ (Y_{r1} \cos \delta_3 + Y_{r2} \cos \delta_4) - (X_{r1} \sin \delta_3 + X_{r2} \cos \delta_4) \} \times \ell_r \\ &\quad - \{ (Y_{r1} \sin \delta_3 + X_{r1} \cos \delta_3) - (Y_{r2} \sin \delta_4 + X_{r2} \cos \delta_4) \} \times \frac{d_r}{2} \quad \cdots (9) \end{aligned}$$

従って、重心点回りのヨーイング運動は次式となる。

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} = \sum M \quad \cdots (10)$$

各車輪に作用するコーナリングフォース Y_f, Y_r

は次式で表すことができる。

$$Y_f = -K_f \beta_f \quad \cdots (11a)$$

$$Y_r = -K_r \beta_r \quad \cdots (11b)$$

3・5 車両重心点の軌跡 車両の運動軌跡を求める式を導出する。

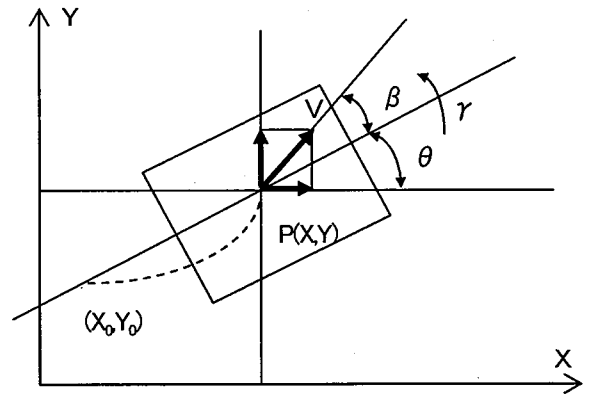


図7 車両重心点の軌跡

図7は地上に固定した座標系における車両重心位置の速度成分を示す。x方向の速度成分は次式となる。

$$\frac{dx}{dt} = V \cos(\beta + \theta)$$

y方向の速度成分は次式となる。

$$\frac{dy}{dt} = V \sin(\beta + \theta) \quad \cdots (12)$$

X方向の移動距離は次式となる。

$$X = X_0 + V \int \cos(\beta + \theta) dt \quad \cdots (13)$$

Y方向の移動距離は次式となる。

$$Y = Y_0 + V \int \sin(\beta + \theta) dt \quad \cdots (14)$$

回転角度は次式となる。

$$\theta = \theta_0 + \int r dt \quad \cdots (15)$$

ここに、 X_0, Y_0, θ_0 は $t = 0$ での初期値を示す。

3・6 スリップ角が小さい場合 前輪左側タイヤでは次式となる。

$$\gamma_{f1} = \theta + \delta_1 + \beta_{f1}$$

$$\tan \gamma_{f1} = \tan(\theta + \delta_1 + \beta_{f1}) = \frac{V \sin \gamma + l_f \frac{d\theta}{dt}}{V \cos \gamma}$$

$$\theta + \delta_1 + \varphi_{f1} = \tan^{-1} \left\{ \frac{V \sin \gamma + l_f \frac{d\theta}{dt}}{V \cos \gamma} \right\} \dots\dots\dots(16)$$

式(16)はスリップ角がついて横変形したタイヤにおいて成立する。

$|\gamma|, |\theta|$ が小さいときは、各車輪に対して次式のように簡略化できる。
前輪左側タイヤでは次式となる。

$$\begin{aligned} \gamma_{f1} = \theta + \delta_1 + \beta_{f1} &= \frac{V\gamma + l_f \frac{d\theta}{dt}}{V} \\ &= \frac{1}{V} \frac{dy}{dt} + \frac{l_f}{V} \frac{d\theta}{dt} \\ \beta_{f1} &= \frac{1}{V} \frac{dy}{dt} + \frac{l_f}{V} \frac{d\theta}{dt} - \theta - \delta_1 \dots\dots\dots(17) \end{aligned}$$

後輪左側タイヤでは次式となる。

$$\begin{aligned} \gamma_{r1} = \theta + \delta_3 + \beta_{r1} &= \frac{V\gamma - l_r \frac{d\theta}{dt}}{V} \\ &= \frac{1}{V} \frac{dy}{dt} - \frac{l_r}{V} \frac{d\theta}{dt} \\ \beta_{r1} &= \frac{1}{V} \frac{dy}{dt} - \frac{l_r}{V} \frac{d\theta}{dt} - \theta - \delta_3 \dots\dots\dots(18) \end{aligned}$$

前輪右側タイヤでは次式となる。

$$\begin{aligned} \gamma_{f2} = \theta + \delta_2 + \beta_{f2} &= \frac{V\gamma + l_f \frac{d\theta}{dt}}{V} \\ &= \frac{1}{V} \frac{dy}{dt} + \frac{l_f}{V} \frac{d\theta}{dt} \\ \beta_{f2} &= \frac{1}{V} \frac{dy}{dt} + \frac{l_f}{V} \frac{d\theta}{dt} - \theta - \delta_2 \dots\dots\dots(19) \end{aligned}$$

後輪右側タイヤでは次式となる。

$$\gamma_{r2} = \theta + \delta_4 + \beta_{r2} = \frac{V\gamma + l_r \frac{d\theta}{dt}}{V}$$

$$= \frac{1}{V} \frac{dy}{dt} - \frac{l_r}{V} \frac{d\theta}{dt}$$

$$\beta_{r2} = \frac{1}{V} \frac{dy}{dt} - \frac{l_r}{V} \frac{d\theta}{dt} - \theta - \delta_4 \dots\dots\dots(20)$$

コーナリングフォースは次式となる。

$$Y_f = -K_f \beta_f \dots\dots\dots(21a)$$

$$Y_r = -K_r \beta_r \dots\dots\dots(21b)$$

3・7 コーナリング特性の理論

(1) スリップ角が小さい場合

タイヤに発生する横力 F_y は次式となる。

$$F_y = K_y \tan \alpha - \frac{K_y^2}{3\mu F_z} \tan^2 \alpha + \frac{K_y^3}{27\mu^2 F_z^2} \tan^3 \alpha \dots\dots\dots(22)$$

ここに、記号は次のとおり。

$$K_y = \frac{wC_y \ell^2}{2(1 + \delta/6)}$$

$$\delta = C_y \lambda^3 \ell^2 / 2k_y$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{k_y}{4EI}}$$

(2) スリップ角が大きい場合

タイヤに発生する横力 F_y は次式となる。

$$\begin{aligned} F_y &= C_y \ell_h^2 w \left[\frac{1}{2} \tan \alpha \left(\frac{\delta}{C_y} + \frac{4\ell^2}{3r^2 G_y'} \right) \frac{F_y}{\ell} \left(\frac{1}{2} - \frac{\ell_h}{3\ell} \right) \right] \\ &+ \frac{n+1}{n} \frac{2^n F_z \mu_d}{\ell^{n+1}} \left[\left(\frac{1}{2} \right)^n (\ell - \ell_h) - \frac{1}{n+1} \left\{ \left(\frac{\ell}{2} \right)^{n+1} - \left(\ell_h - \frac{\ell}{2} \right)^{n+1} \right\} \right] \end{aligned} \dots\dots\dots(23)$$

$$\mu_d = \mu - a \frac{\ell V}{\ell - \ell_h} \sin \alpha \dots\dots\dots(24)$$

コーナリングフォース F_y'

$$F_y' = F_y \cos \alpha \dots\dots\dots(25)$$

コーナリング抵抗 F_x'

$$F_x' = F_y \sin \alpha + \eta F_z \cos \alpha \quad \cdots \cdots (26)$$

η : ころがり抵抗係数

これらの式から、前節と同様に逐次近似法によって、解析解をもとめることもできるが、スリップ角の大きいところでは精度が悪くなる。そこで、ここでは計算機を用いて求める方法について説明する。上式の両辺には横力 F_y が含まれている。それ故、計算の方法は図9のフローチャートに示すように、横力として適当な値の F_{y1} を選んで右辺を計算し、これを F_{y2} とする。そして収束を早くするために、重み付け平均 $(F_{y1} + 4F_{y2})/5$ を行い、この値を用いて再度 F_{y3} を計算する。

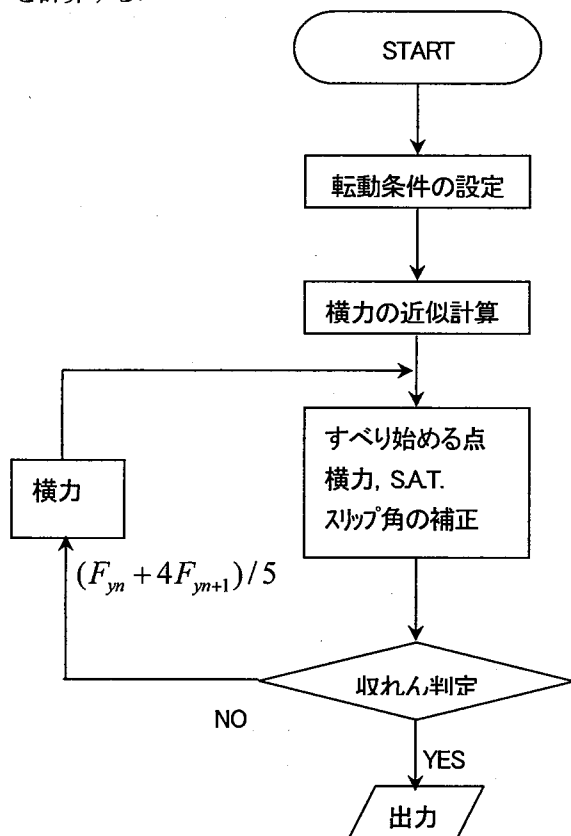


図9 横力の収れん計算フローチャート

順次この計算をくりかえして収れんさせ、 F_{ym} と $F_{y_{m+1}}$ とが誤差の範囲内で一致した値を横力 F_y とする。このようにして F_y が求められれば、すべり出す点 l_h が決まり、セルフアライニングトルク M_z が求められる。なお、他の補正項は計算ループの中に入り込ませればよい。

3・8 シミュレーションシステムの開発 計算システムは Fortran90 を使用して開発した。計算刻み幅は1ミリ秒とする。解析に用いた計算諸元は表1に示すとおり。

表1 計算諸元

パラメータ	値	単位
m	130.61	Kgf s ² /m
I	163.26	Kgf s ² m
l	250	M
l_f	1.15	M
l_r	1.35	M
K_y	3928.58	kg/rad
w	0.12	M
ℓ	0.1	M
C_y	8.6×10^6	kgf/m ³
EI	300	kgf/m ²
μ	0.03	
B	1.47	M

4. 計算結果

図10はトー角とキャンバー角の符号を示す。トー角とキャンバー角の正負はトー角が左右輪とも進行方向に向かって左側を正、右側を負とする。キャンバー角は自動車の進行方向に向かって後方から見て、鉛直から右側を正、左側を負とする。

図11は前輪左側トー角が走行安定性に及ぼす影響についての計算結果を示す。前輪左側のトー角を0, 1, -1度と変化させた場合の結果を示す。図の横軸は時間を示す。また、図の縦軸は車両重心位置の横方向変位を示す。走行速度は40km/hである。

1度はトーアウト1度を示す。-1度はトーイン1度を示す。1度の場合は自動車の進行方向の左側に変位する。逆に-1度の場合は進行方向に対して右側にそれる。トー角が0の場合は直線上を進行することがわかる。

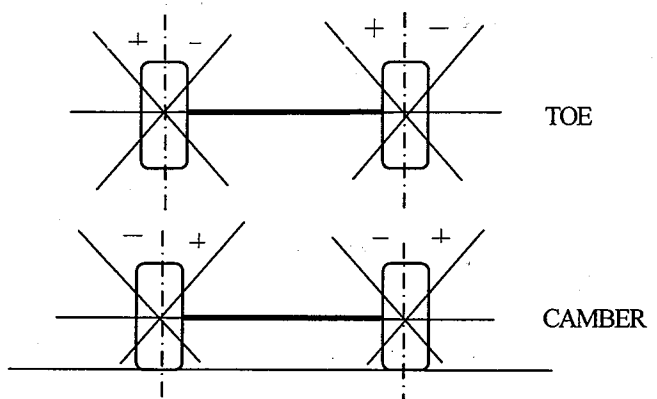


図10 トー角とキャンバー角の符号

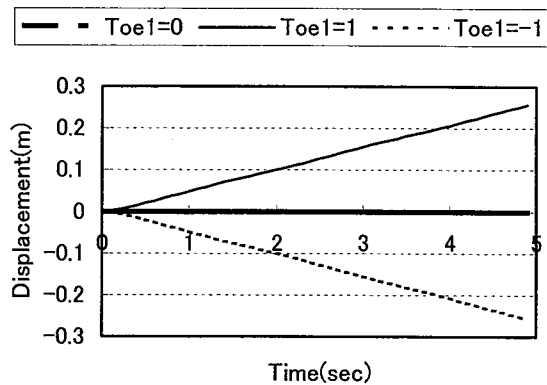


図 11 前輪左側トー角が走行安定性に及ぼす影響

図 12 は前輪トー角が車両のヨーイング運動に及ぼす影響についての計算結果を示す。横軸は時間、縦軸は車両重心位置のヨー角の時間的変位を示す。

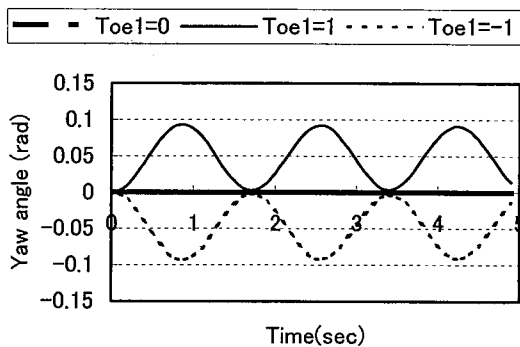


図 12 前輪左側トー角がヨーイング運動に及ぼす影響

図 13 は前輪右側トー角が走行安定性に及ぼす影響についての計算結果を示す。前輪右側のトー角を 1, -1 度と変化させた場合の結果を示す。図の横軸は時間を示す。また、図の縦軸は車両重心位置の横方向変位を示す。走行速度が 40km/h で 5 秒間走行した場合の結果を示す。

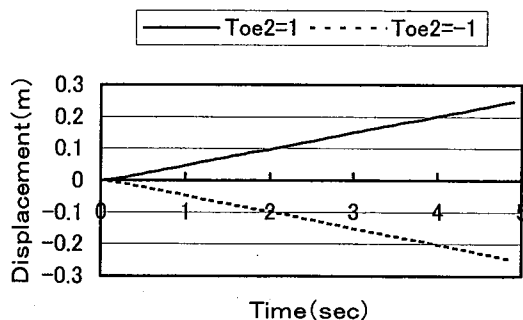


図 13 前輪右側トー角が走行安定性に及ぼす影響

図 14 は前輪トー角が車両のヨーイング運動に及ぼす影響についての計算結果を示す。横軸は時間、縦軸は車両重心位置のヨー角の時間的変位を示す。

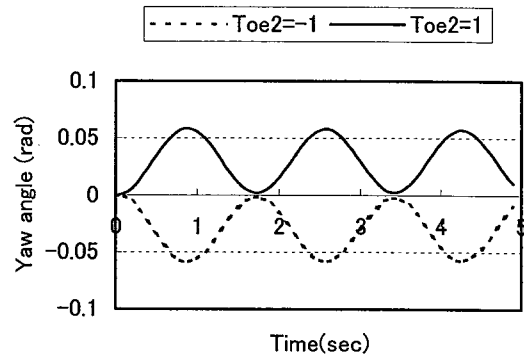


図 14 前輪右側トー角がヨーイング運動に及ぼす影響

図 15 は後輪左側トー角が走行安定性に及ぼす影響についての計算結果を示す。後輪左側のトー角を 1, -1 度と変化させた場合の結果を示す。図の横軸は時間を示す。また、図の縦軸は車両重心位置の横方向変位を示す。走行速度は 40km/h である。

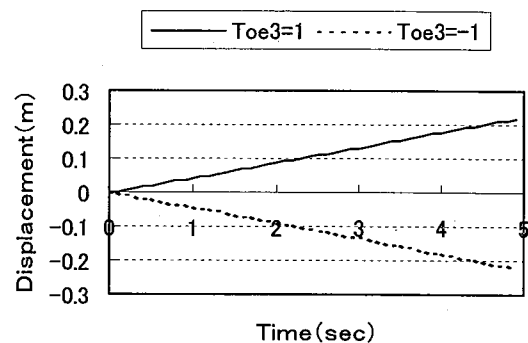


図 15 後輪左側トー角が走行安定性に及ぼす影響

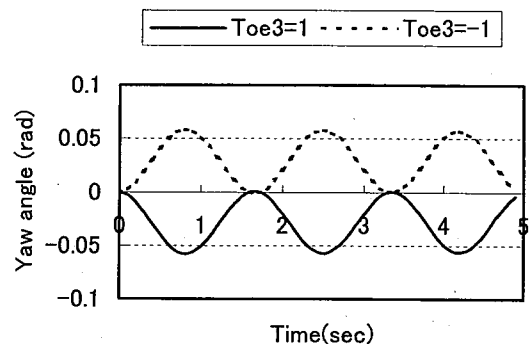


図 16 後輪左側トー角がヨーイング運動に及ぼす影響

図 16 は後輪トー角が車両のヨーイング運動に及ぼす影響についての計算結果を示す。横軸は時間、縦軸は車両重心位置のヨー角の時間的変位を示す。

図 17 は後輪右側トー角が走行安定性に及ぼす影響についての計算結果を示す。後輪左側のトー角を 1, -1 度と変化させた場合の結果を示す。図の横軸は時間を示す。また、図の縦軸は車両重心位置の横方向変位を示す。走行速度は 40km/h である。

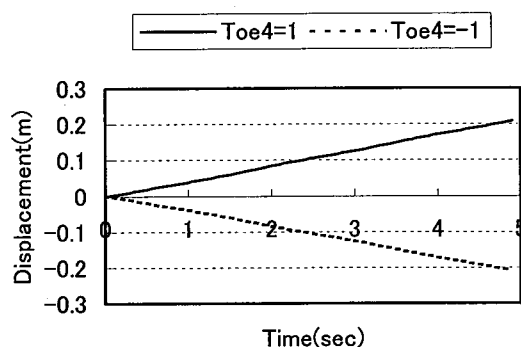


図 17 後輪右側トー角が走行安定性に及ぼす影響

図 18 は後輪トー角が車両のヨーイング運動に及ぼす影響についての計算結果を示す。横軸は時間、縦軸は車両重心位置のヨー角の時間的変位を示す。

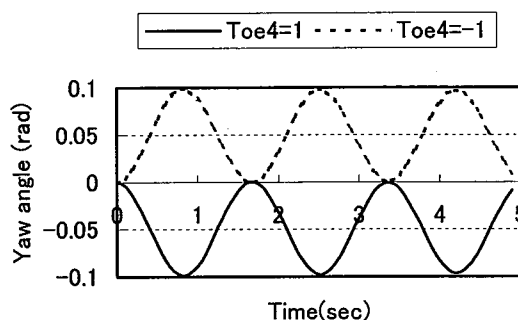


図 18 後輪右側トー角がヨーイング運動に及ぼす影響

図 19, 20 は前輪左右輪がトーイン側に 1 度の角度を有する場合の走行安定性に及ぼす影響についての計算結果を示す。図の横軸は時間を示す。また、図の縦軸は車両重心位置の横方向変位を示す。

図 19, 20 において、No28-31 の各車輪の角度は次のとおりである。

No28 (Toe1=1, Toe2=1, Toe3=-3, Toe4=-3)

No29 (Toe1=-1, Toe2=1, Toe3=3, Toe4=3)

No30 (Toe1=-1, Toe2=1, Toe3=3, Toe4=-3)

No31 (Toe1=-1, Toe2=1, Toe3=-3, Toe4=3)

すなわち、No28 は前輪左が IN 側に 1 度、前輪右が IN 側に 1 度、後輪左が IN 側に 3 度、後輪右が OUT 側に 3 度の状態を示す。No29 は前輪左が IN 側に 1 度、前輪右が IN 側に 1 度、後輪左が OUT 側に 3 度、後輪右が IN 側に 3 度の状態を示す。No30 は前輪左が IN 側に 1 度、前輪右が IN 側に 1 度、後輪左が OUT 側に 3 度、後輪右が OUT 側に 3 度の状態を示す。No31 は前輪左が IN 側に 1 度、前輪右が IN 側に 1 度、後輪左が IN 側に 3 度、後輪右が IN 側に 3 度の状態を示す。走行速度は 40km/h で 5 秒間走行した場合の結果を示す。

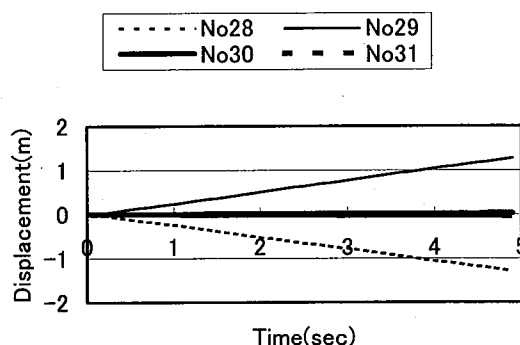


図 19 後輪トー角が走行安定性に及ぼす影響

図 20 は車両のヨーイング運動に及ぼす影響についての計算結果を示す。横軸は時間、縦軸は車両重心位置のヨー角の時間的変位を示す。

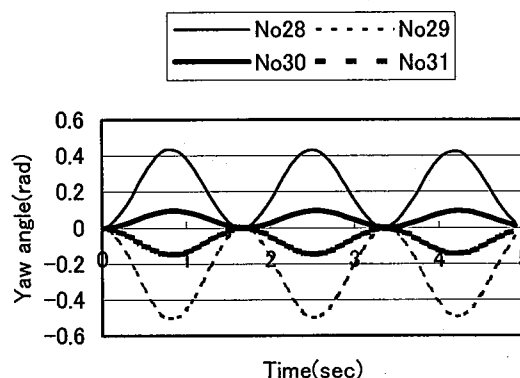


図 20 後輪トー角がヨーイング運動に及ぼす影響

5. ホイールアライメント調整

5.1 最適ホイールアライメント 直進状態でのホイールアライメント、すなわち初期トー角や初期キャンバー角は路面外乱に対する安定性やタイヤ摩耗からは感覚的に小さいほどよいように思われる。とこ

ろが、現実的にはわずかではあるがトー角やキャンバー角が設定されている車両が多い。その理由の一つは、それらにより操安性の設計自由度が拡大するからである。

前輪はトーインで左右輪対象に設定したほうがよい。後輪は左右輪対象に設定してあれば、走行安定性については特に支障はない。後輪はトー角が 0 度が望ましい。

5・2 ホイールアライメント最適設定方法 ホイールアライメント調整作業の留意点としては次の点が考えられる。

(1)自動車の進行線(スラストライン)は後輪のトーで決まる。後輪のアライメントを重視する。

(2)最適調整方法としては、まず後輪のキャンバーおよびトーを調整する。その後、前輪のキャスタ、キャンバー、トーを調整する。

(3)トーの調整では、20 度回転角が自動車の上下運動に伴って片側トーが 3 分以上変化しないこと。

(4)195 以上のタイヤ偏平率 55% 以下のタイヤでは、キャンバをできるだけ 0 度に近い値にする。

ホイールアライメント調整順序は、リアキャンバー → リアトー → スラスト角 → 前輪キャスタ → 前輪キャンバー → 前輪トー → 20 度回転角 → 最大回転角 → セットバックの順序で調整作業は、後輪から始め、それが終わったら前輪のキャスタ、キャンバー、トーの順序ですすめていくのが一般的なやり方である。

6. あとがき

ホイールアライメントが走行安定性に及ぼす影響について検討した。自動車の横方向の運動とヨーイング運動からなる 2 自由度平面運動について定式化した。導出した式に基づき計算システムを開発し、各輪のホイールアライメント（トー角、キャンバー角）が走行安定性に及ぼす影響について検討した。検討の結果次の事項が明らかとなった。

(1)前輪は左右輪トーインで左右対称に設定する。

(2)後輪トー角は左右対称に設定すれば、走行安定性には影響を及ぼさない。

(3)後輪はトー角は 0 度が望ましい。

(4)前輪の調整のみでは方向安定性が確保できない場合は後輪のアライメント調整で、車両の方向安定性が得られることが明らかとなった。

(5)車両重心まわりのヨーイング運動については、ヨーイングの周期は走行速度に依存する。速度が小さくなるとヨーイング周波数は大きくなる傾向にある。

さらに、今後の課題として、前後左右輪のキャンバ角とトー角の種々の組み合わせが走行安定性に及ぼす影響などについてさらに検討することが、必要と考えられる。

本研究は平成 14 年度補正創造技術研究開発事業の一環として実施した。関係各位に感謝の意を表する。また、原稿作成にあたり、柴北典子氏には多大なるお世話になった。ここに付記し感謝の意を表する。

参考文献

- (1) 伊達 肇, 改訂版 ホイールアライメント入門 理論と調整の実際, 1999, 鉄道日本社
- (2) 喜 永, タイヤ負荷率の観点から見た車両の運動と制御に関する研究, 学位論文(日本大学).
- (3) 原田 宏, 人間-自動車系の操舵安定限界と操縦安定性評価に関する研究, 学位論文(九州工大), 平成 4 年 3 月.
- (4) 私信, 原田 宏, 自動車の運動.
- (5) 産業科学システムズ編, 自動車走行におけるタイヤの力学的特性と操安性評価.
- (6) 安部 正人, 自動車の運動と制御 [第二版], 山海堂, 2003 年 4 月.
- (7) 亘理 厚, 自動車の運動に関する研究, 東京大学生産技術研究所報告, 昭 40.4, 153-219.
- (8) 酒井 秀男, タイヤ工学 入門から応用まで, グランプリ出版, 2002.
- (9) 宇野 高明, 車両運動性能とシャシーメカニズム, 2001, グランプリ出版.
- (10) 江守 一郎・斉藤孝三・関本孝三, 第三版 模型実験の理論と応用, 技報堂出版, 2000.
- (11) 近藤 政市, 基礎自動車工学 前編・後編, 1993, 養賢堂.
- (12) 渡邊 徹郎, タイヤのはなし, 日本規格協会, 2002.

救急車内の臥位人体頭部の振動特性に関する実験的研究 (第2報, 水枕の水量が頭部に及ぼす影響)

上杉 憲雄, 西山 修二, 清水 功史, 山本 和弘*, 松原 繁*

Experimental Investigation of Vibration Characteristics of Lying Person's Head in an Ambulance Car (2nd Report, Influence of Volume of Water Pillow on Head)

Norio Uesugi, Shuji Nishiyama, Kohshi Shimizu, Kazuhiro Yamamoto*, Shigeru Matsubara*

In case of carrying a patient into a hospital by an ambulance, the influence of volume of water pillow on vibration characteristics for a lying patient's head was examined. The regulation of volume of water pillow was proved to be effective for reduction of head vibration by measuring both transient and frequency response.

Keywords: Vibration, Ambulance, Lying patient

患者が救急車により医療機関へ緊急搬送される際、水枕の水量が臥位状態の患者頭部振動特性に及ぼす影響について検討した。患者頭部が受ける振動について、その過渡応答特性と周波数応答特性を測定し、水枕の水量調節が臥位人体頭部の振動低減に有効であることを示した。

キーワード: 振動、救急車、臥位状態

1. 緒 言

患者が救急車により医療機関へ緊急搬送される場合、患者はベッドに常に接し、車両走行による路面からの刺激は、車両・ベッド各部の共振の影響を受けながら、患者の人体各部に振動として伝達される。この患者が受ける振動を低減することは、患者の安全のために必要であるばかりでなく、救急隊員が車内で蘇生措置等を行う上においても重要である。

昨年度に引き続き、広島市安佐北消防署安佐救急隊と共同で、患者頭部下に設置した水枕が臥位状態の患者頭部の振動特性に及ぼす影響について検討を行った。本報では、水枕の水量を3段階に変化させ、水量が臥位人体頭部の振動特性に及ぼす影響を測定している。手法としては、患者の頭部が受ける振動について救急車が突起乗り越しする場合の過渡応答特性と一般道路を走行する場合の周波数応答特性を実測することにより行った。

2. 実 測

2.1 過渡応答特性

図1のように、救急車(メルセデスベンツ製310D)が突起乗り越し板(幅27cm, 高さ3.3cm)の上に敷いたゴムマット上を車速20km/hと40km/hで走行する

場合の過渡応答特性を測定する。水枕の水量は、容量100%の3.4kg、容量66%の2.3kg、容量50%の1.7kgに変化させる。さらに、水枕を使用しない場合についても測定する。ベッドには、CPRボードを設置し、防振架台を使用する。測定箇所は、前報⁽¹⁾のとおりであり、臥位状態の被験者頭部、水枕(オカモト㈱スタンダードカバー付き SEAMLESS PILLOW)の下及び救急車内の床上の3箇所である。加速度センサーにより上下方向の加速度を検出する。被験者は、身長168cm、体重60kg、年齢48才の健康な男性である。被験者の状況を図2に示す。

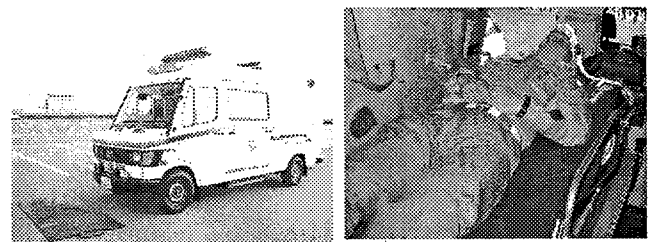


図1 突起乗り越し試験 図2 振動測定時の被験者

2.2 周波数応答特性

救急車がコンクリート一般路面を車速40km/hで走行した場合の各部の加速度を測定し、測定結果を周波数分析して周波数応答特性を求める。測定箇所、被験者は過渡応答特性の場合と同様である。

*広島市安佐北消防署安佐救急隊

3. 実測結果

3.1 過渡応答特性

図3、4に実測結果を示す。図で、横軸は時間、縦軸は加速度を示す。

図3は、車速20km/h、水枕の水量が100%の場合における臥位状態の被験者頭部、水枕の下及び救急車内の床上の測定結果を示す。床の振動波形では、時間軸で0.2秒と1.0秒の部分にそれぞれピークが発生し、その後、減衰していく。第一のピークは救急車の前輪が突起に乗り上げた際に発生する振動であり、第二のピークは後輪が突起に乗り上げた際に発生する振動である。臥位状態の被験者頭部、水枕の下及び救急車内の床上の各振動波形の傾向は、前報¹⁾の傾向と同様である。

図4は、車速20km/h、水枕の水量を100%、50%、水枕無しとした場合における臥位状態の被験者頭部の測定結果を示す。水枕の水量を100%とした場合は、水枕を使用しない場合と比較して、高周波成分が除去されるが、振動波形が増幅されている箇所が見受けられる。それに対して、水枕の水量を50%とした場合は、水量が100%の場合と同様に高周波成分が除去されると共に、水枕を使用しない場合の振動波形と比較して増幅されている箇所はなく全般的に減衰している。水量66%の場合は、水量100%の場合とほぼ同様の特性を示す。

3.2 周波数応答特性

実測では、救急車の速度を車速40km/hとし、水枕の水量を過渡応答特性の場合と同様に3段階に変化させ、それぞれの場合について、臥位状態の被験者頭部の加速度を救急車床上の加速度で除した値（以下、加速度比と記す）を求めている。ベッドには、CPRボードを設置し、防振架台を使用している。

図5は、水枕の水量を100%、66%、50%、水枕無しの場合における臥位状態の被験者頭部の加速度比の周波数応答特性を示す。図で、横軸は周波数、縦軸は加速度比を示す。

水枕の水量を100%とした場合は、水枕を使用しない場合と比較して、10Hz以上の周波数領域では加速度比が減少するが、5Hz近傍では逆に増加する。このことは、5Hz近傍での患者頭部と水枕間の共振現象に起因するものと考えられる。それに対して、水枕の水量を66%と50%にした場合は、10Hz以上の周波数領域では加速度比が水枕を使用しない場合と比較して減少すると共に、5Hz近傍の加速度比が水量100%の場合と比較して減少している。路面状況と車速等の組み合わせにより、5Hz近傍の振動が主となって救急車内の床上に発生する場合は、振動低減の面では今回、使用した水枕の使用は逆効果である。しかし、頭部の冷却等に水枕が必要な場合には、水枕の水量の調節が臥位状態の患者頭部振動低減に有効であることがうかがえる。

4. 結 言

本報では、患者が救急車により医療機関へ緊急搬送される際、患者頭部下に設置した水枕の水量が臥位状態の患者頭部の振動特性に及ぼす影響について検討した。手法としては、患者の頭部が受ける振動について救急車が突起乗り越しした場合の過渡応答特性と一般道路を走行した場合の周波数応答特性を実測し、水枕使用時の水量調節が臥位状態の患者頭部の振動低減に有効であることを確認した。

今後の課題としては、水枕に充填する液体を水以外の流体にした場合についてもさらに測定を行い、その効果を評価していくことが挙げられる。

参考文献

- 1) 上杉憲雄・西山修二・他3名, 救急車内の臥位人体頭部の振動特性に関する実験的研究（水枕が頭部に及ぼす影響）, 広島市工業技術センター年報第16巻, 2002, 64-69

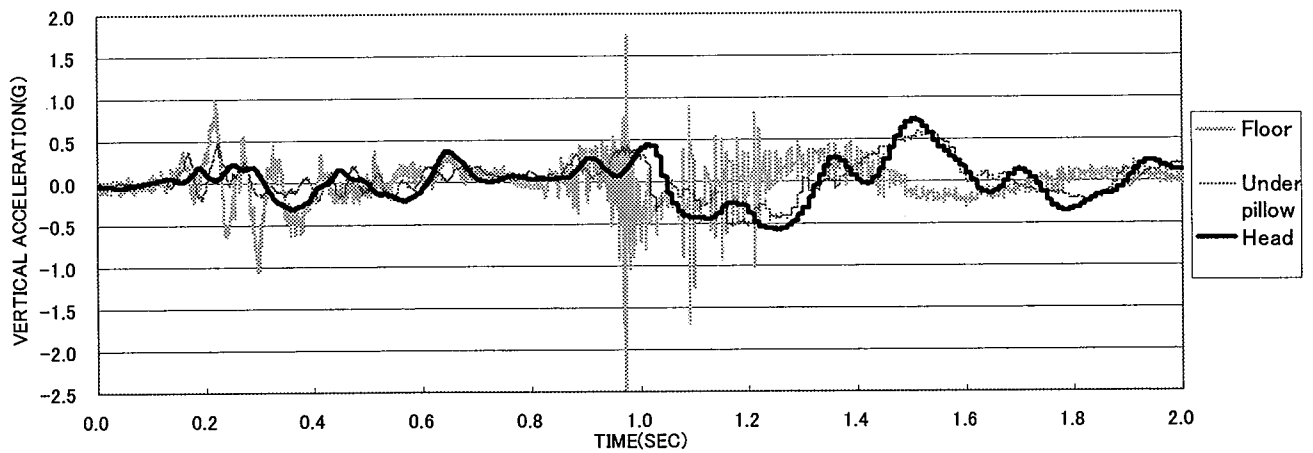


図3 水枕の水量100%の場合における床上、水枕下、人体頭部加速度の過渡応答特性（車速20km/h）

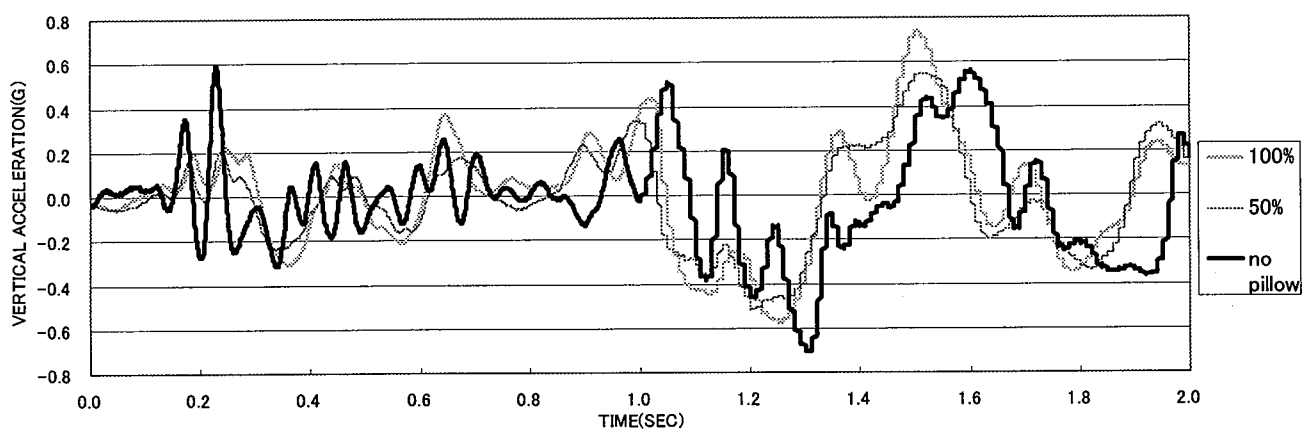


図4 水枕の水量を変化させた場合における人体頭部加速度の過渡応答特性（車速20km/h）

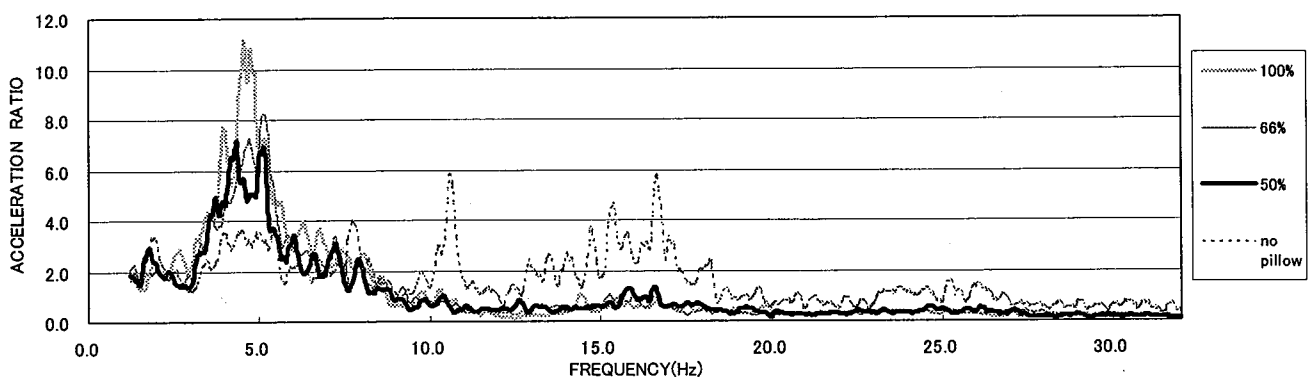


図5 水枕の水量を変化させた場合における人体頭部加速度の周波数応答特性（車速40km/h）

等粒径 Cu-Al₂O₃ 複合圧粉体の放電焼結過程における緻密化速度に及ぼす アルミナ粒子体積率の影響

倉本英哲、隠岐貴史、松木一弘*、柳沢 平*

Influence of the alumina particle volume fraction on the densification rate of mono-sized Cu-Al₂O₃ composite powder compact in spark sintering process

Hideaki KURAMOTO, Takashi OKI, Kazuhiro MATSUGI* and Osamu YANAGISAWA*

The densification rate of mono-sized Cu - 10~50vol%Al₂O₃ composite powder compact in spark sintering process was measured and analyzed to investigate the influence of the alumina particle volume fraction on the densification rate. Because it was considered that the composite compact densified by densifying of pure copper matrix powder, the following densification rate equation was found in consideration of particle's contact probability.

Keywords: spark sintering, Cu-Al₂O₃ powder composite, densification rate, particle's contact probability

等粒径の銅とアルミナ粉末からなる複合圧粉体を放電焼結した場合に、添加したアルミナ粒子の体積率が緻密化速度に与える影響について調べるために、アルミナの体積率が 10~50vol%の複合圧粉体を放電焼結によって緻密化し、この時の緻密化速度の測定と解析を行った。Cu-Al₂O₃ 複合圧粉体では、母相である純銅粉末が緻密化することで、複合圧粉体の緻密化が進むと考え、粒子接触の確率を考慮することで、緻密化速度式を導いた。

キーワード：放電焼結、Cu - Al₂O₃ 複合圧粉体、緻密化速度、粒子接触確率

1. 緒言

複合材料は、金属、セラミックあるいはプラスチックなど特性の異なる材料を人為的に組み合わせ、比強度、比弾性、耐食性、耐摩耗性などの単体材料では得ることのできない諸特性を作り出す材料である。これらの複合材料の作製には、ホットプレス(HP)や熱間静水圧プレス(HIP)などの粉末冶金法がよく用いられる^{(1)~(4)}。最近では、放電焼結による複合材料の作製に関する報告^{(5)~(7)}も多くなってきた。

電気不導体で、塑性変形しないセラミック粒子が金属粉末に混合された場合、緻密化速度がどのような影響を受けるかを明らかにすることは、放電焼結によって金属-セラミックス系複合材料の製造技術を確立する上で重要である。本研究では、最も簡単なモデルとして界面反応が起こりにくく、2種類の粉末の粒径が

等しい球形粉末が入手しやすい Cu - Al₂O₃ 複合粉末の型内単軸圧縮・放電焼結を行い、緻密化速度の測定と解析によって、アルミナ粒子の体積率が緻密化速度に及ぼす影響について考察した。

2. 実験方法

実験に用いた純銅粉末(99.8mass%, 堺福田金属箔粉工業製)およびアルミナ粉末(99.9mass% α-Al₂O₃, 堺昭和電工製)は、ともに平均粒径が約 50μm のほぼ等粒径球状粉末である。両粉末の SEM 像を Fig.1 に示す。先に銅粉末とアルミナ粉末をアルミナ粒子の体積率(V_p)が、0.1、0.2、0.3 および 0.5 になるように混合および秤量をして、型内に挿入した。1回の焼結に用いる粉末の量は、円柱状の焼結体の相対密度が 100%のときに、直径が 10mm、高さが 10mm になるように、それぞれの

*広島大学大学院工学研究科

V_p について算出した。このとき、純銅およびアルミナの真密度の値としてそれぞれ 8.93Mgm^{-3} および 3.97Mgm^{-3} を用いた。なお、用いた型、パンチおよび基本的な放電焼結を行う手順は前報⁽⁸⁾と同様であるため、ここでは説明を省略する。

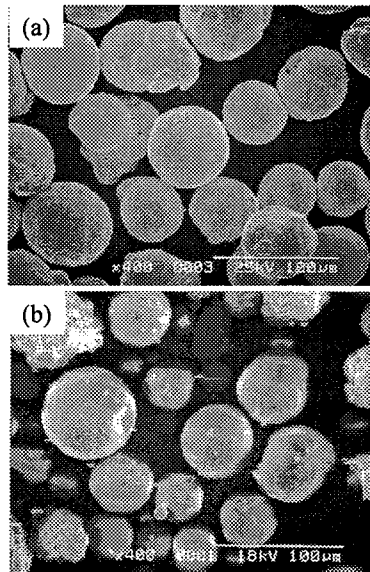


Fig.1 SEM images of as-received (a) pure copper powder and (b) alumina powder.

アルミナ粉末を 10～50vol.%添加した銅圧粉体においても、初期段階(第1段階)として矩形波パルス電流を負荷すると、純銅粉末の場合と同様の条件⁽⁹⁾で十分な比抵抗の減少を確認することができた。そこで、本研究では第1段階のパルス通電として、焼結圧力(P)が 37.5MPa、パルス電流密度(I_p)が 1.3A/mm^2 、単位パルス通電時間(t_p)が 100ms、パルスの on/off 時間比が 1:1 のモード1の電源による矩形波パルス通電を 1020s(5000パルス)行い、その後、Pが 37.5もしくは 62.5MPaで、電流密度(I)が $2.8\sim 4.6\text{A/mm}^2$ のモード2の電源による定電流連続パルス通電を行い、この時の相対密度および圧粉体温度の時間変化を測定した。なお、実験は全て 10^{-2}Pa 下の真空中で行った。

3. 実験結果および考察

3. 1 相対密度および圧粉体温度

Fig.2に $V_p=0.1$ と 0.3 の場合の T_c と D の時間変化の例を示す。 T_c および D はアルミナの添加量に関係なく、その絶対値は異なるものの、前報⁽⁸⁾の等粒径純銅噴霧

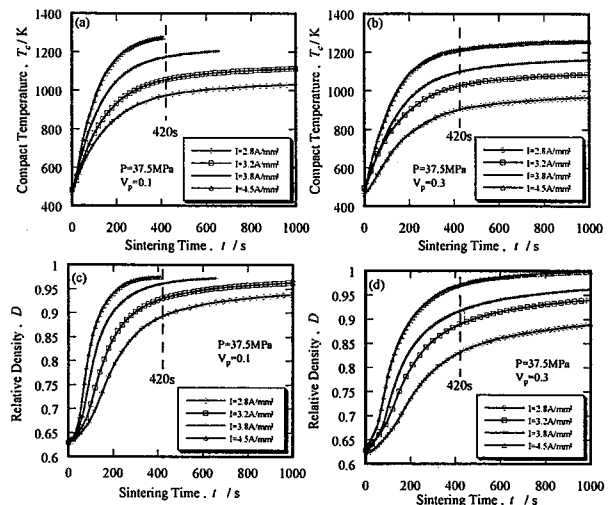


Fig.2 Temperatures, T_c , and relative density, D, of $\text{Cu-Al}_2\text{O}_3$ compact of 10vol% Al_2O_3 ((a) and (c)) and 30vol% Al_2O_3 ((b) and (d)) with $P=37.5\text{MPa}$ and various electric currents.

粉末の場合と同様に、焼結開始直後から急激に増加して、Iによって決定されるある値に近づき、あとは時間の経過と共にその変化量は減少する。

Fig.3に焼結時間 420sにおける T_c および D を示す。この時間における T_c および D はともにその上昇速度を減らし、徐々に定常値に収束しつつある段階の値である。本図(a)より、 $P=37.5\text{MPa}$ の場合、 $V_p=0.1$ 付近で焼結温度の極大値が見られ、 V_p が大きくなるに従って低下して、再び上昇することが認められる。これは、アルミナ粒子が電気絶縁体であるために、 V_p の増加に伴って銅圧粉体母相に電流が集中して発熱量を増加させる効果がある反面、アルミナ粒子の加熱に熱エネルギーを消費するので、両者の効果が相乗して現れた結果と考えられる。また、Pが増加すると、同じ電流密度

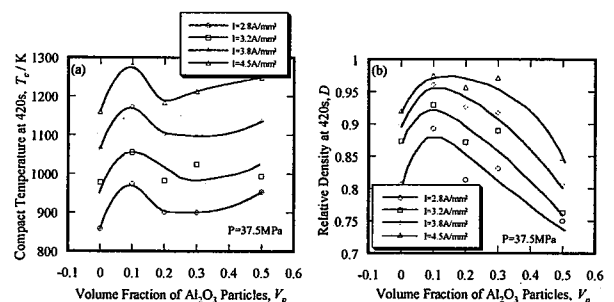


Fig.3 Influence of Al_2O_3 particles volume fraction, V_p , on (a) compact temperature, T_c , and (b) relative density, D, at 420s, with $P=37.5\text{MPa}$ and various electric currents.

で得られる T_c が小さくなる傾向が見られた。P が大きくなると純銅粉末粒子間の接触抵抗が減少することと、圧粉体と型の間の熱伝達係数が大きくなるのが原因と考えられる。

同図(b)に示すように、 $V_p \approx 0.1$ で到達相対密度の極大値が見られる。この傾向は上記のように、この V_p の範囲で焼結温度が高くなることと、本研究の温度範囲においてアルミナ粒子同士の焼結が進行するとは考えにくいことから、 V_p と T_c の両者の関係によって $V_p \approx 0.1$ で到達相対密度の極大値を示し、あとは V_p が増加するに従って、アルミナ粒子同士の接触が増えるために(後述)、得られる D は小さくなるものと考えられる。これに対して、P が 62.5MPa の場合には、焼結温度は V_p の増加に伴ってわずかではあるが単調に上昇する傾向が見られ、得られる D は $V_p = 0.3$ まではあまり変化なく、 $V_p = 0.5$ で急激に減少した。

3. 2 緻密化速度

緻密化速度($\dot{D}$)は D の変化量をその変化に要した微小時間(Δt)で除して求めた。Fig.4 に V_p と $\dot{D}$ の関係の例を示す。前報⁽⁸⁾で得られた等粒径純銅噴霧球状粉末の場合と同様に、 D と $\dot{D}$ の関係は焼結開始直後の D が小さい範囲で上昇し、焼結条件によって決まるある相対密度において $\dot{D}$ の極大値($\dot{D}_{max}$)に達し、その後は徐々にその速度を減らしながら最終的には 0 に近づく。P が 37.5MPa の場合、 $\dot{D}_{max}$ は V_p が 0.1 で最も大きな値を示し、それ以上の V_p になると V_p の増加と共に小さく

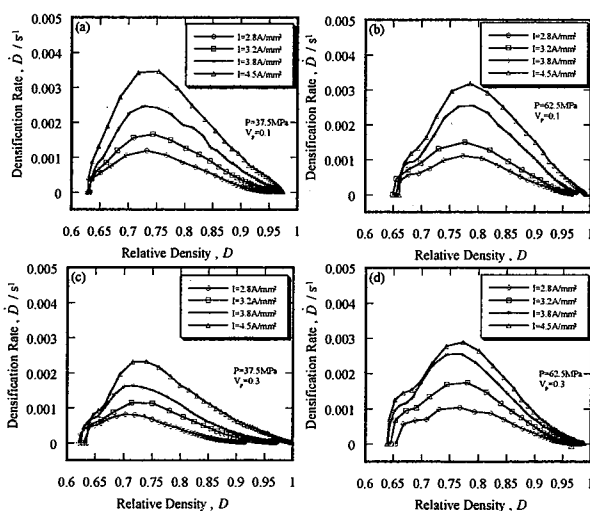


Fig.4 Densification Rate, $\dot{D}$, during increasing relative density in the composite compact of $V_p = 0.1$ and 0.3.

なる。また、P が 62.5MPa の場合には、 V_p が 0~0.3の間では $\dot{D}$ はほとんど変わらず、 V_p が 0.5 になると小さくなる傾向が見られた。この傾向は前述の焼結時間 420s における相対密度(Fig.3(b))に現れた傾向と同じである。

3. 3 アルミナ粒子添加の影響

アルミナ粒子を添加した場合、圧粉体中の粒子の接触は Fig.5 に示すように、“銅-銅(c-c)”、“銅-アルミナ(c-al)”、“アルミナ-アルミナ(al-al)”の 3 通りに分類される。それぞれの接触の起こる確率を考慮して、アルミナ粒子を添加した場合の相対密度の増加が、Fig.5 のような粒子同士の接近によって粒子接触部のオーバーラップ部の体積が空隙部を埋める過程^{(10),(11)}とすれば、複合圧粉体の相対密度の増加分($D - D_0$)は式(1)のように表される。ここで、測定により銅粉とアルミナ粉の初期相対密度(かさ密度) $D_{c,0}$, $D_{al,0}$ は $D_{c,0} = D_{al,0} = 0.54$ であったので、接触の種類にかかわらず、初期相対密度を D_0 で表わす。

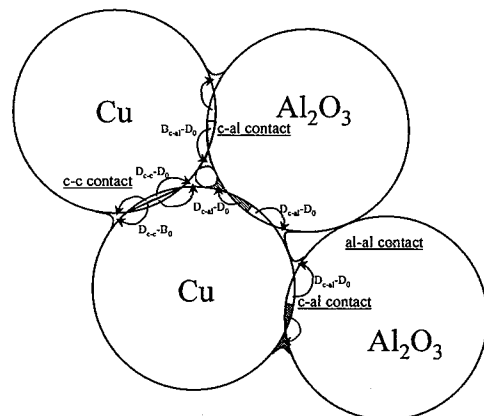


Fig. 5 Schematic illustration showing deformation and the transfer of the material at the contact of the particles.

$$(D - D_0) = \gamma_{c-c}(D_{c-c} - D_0) + \gamma_{c-al}(D_{c-al} - D_0) + \gamma_{al-al}(D_{al-al} - D_0) \quad (1)$$

ただし、 $\gamma_{c-c} + \gamma_{c-al} + \gamma_{al-al} = 1$

ここで、 γ_{c-c} , γ_{c-al} および γ_{al-al} は、それぞれ Cu- Al_2O_3 複合圧粉体における銅-銅(c-c)、銅-アルミナ(c-al)およびアルミナ-アルミナ(al-al)接触の起こる確率である。 D_{c-c} と D_{al-al} はそれぞれ与えられた温度(T_c)と P で達成される銅圧粉体($\gamma_{c-c} = 1$, $\gamma_{c-al} = 0$, $\gamma_{al-al} = 0$)とアルミナ圧粉体($\gamma_{c-c} = 0$, $\gamma_{c-al} = 0$, $\gamma_{al-al} = 1$)の相対密度であり、 D_{c-c} は式(3)を満足する銅粉末の相対密度に相当する。また、

($D_{c-c}-D_0$)、($D_{c-al}-D_0$)および($D_{al-al}-D_0$)は、それぞれの接触部における相対密度の増加分を示す。ここで、圧粉体中のアルミナ粒子の分布をランダムとすれば、両粒子は球形・等粒径であるので、c-c接触、c-al接触およびal-al接触の確率、 γ_{c-c} 、 γ_{c-al} および γ_{al-al} は次のように導かれる。単位体積の圧粉体中の全粒子数を N 、銅粒子数を N_{cu} 、アルミナ粒子数を N_{al} とし、配位数を Z とする。単位体積中の全接触点数は $NZ/2$ であり、1つの銅粒子に隣接するアルミナ粒子の数は $V_p Z$ であるから、単位体積中の銅-アルミナ接触点数は $V_p Z N_{cu}$ となる。よって、c-al接触の確率は $\gamma_{c-al} = (V_p Z N_{cu}) / (NZ/2) = 2V_p(N_{cu}/N) = 2V_p(1-V_p)$ と表される。同様に γ_{c-c} と γ_{al-al} を求めると式(2)が得られる。

$$\begin{aligned}\gamma_{c-c} &= (1-V_p)N_{cu}Z / (NZ) = (1-V_p)^2 \\ \gamma_{c-al} &= 2(1-V_p)N_{al}Z / (NZ) = 2V_p(1-V_p) \\ \gamma_{al-al} &= V_p N_{al}Z / (NZ) = V_p^2\end{aligned}\quad (2)$$

Fig.6 に式(2)によって表されるそれぞれの粒子接触の確率(γ_{c-c} 、 γ_{c-al} および γ_{al-al})と V_p の関係を示す。本図からも分かるように、 V_p が0.5まで増加すると、c-c接触の確率は1/4まで低下する。

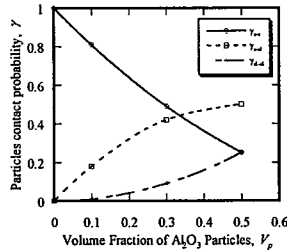


Fig. 6 Relation between volume fraction of alumina particles and particles contact probability. γ_{c-c} , γ_{c-al} and γ_{al-al} are the contact probability of Cu-Cu, Cu- Al_2O_3 and Al_2O_3 - Al_2O_3 respectively.

ここで、Cu- Al_2O_3 複合圧粉体では、母相である純銅の変形によって、緻密化が起こると仮定すれば、Fig. 5にも示すとおり D_{c-c} および D_{c-al} のどちらの場合も、粒子中心間距離にのみに依存し、同じになることが予想される。しかし、放電焼結において粒子接触面の垂直方向に流れる電流による局所ジュール発熱は c-c 接触では起こり得るが、c-al 接触では期待されない。これ

より、c-al 接触部での温度は、c-c 接触部に比較して低くなると考えられる。このため、c-al 接触部における相対密度の増加分は c-c 接触部に比較して小さくなることが予想され、 $D_{c-al}-D_0 = \eta(D_{c-c}-D_0)$ (ただし、 $\eta \leq 1$) と仮定することができる。そこで、この式と式(2)を用いて、式(1)から式(3)が導かれる。なお、上記のように温度の不均一がある場合、熱電対によって測定された温度(T_c)は、ほぼ圧粉体の平均温度を意味するものと考えられる。

$$(D_{c-c}-D_0) = \{(D-D_0)-V_p^2(D_{al-al}-D_0)\} / \{(1-V_p)^2 + 2\eta V_p(1-V_p)\} \quad (3)$$

3. 4 塑性変形機構による第2段階

Fig.7 にそれぞれの V_p における T_c と D の関係を示す。 V_p および P が一定のとき、昇温速度が大きく、相対密度が小さい範囲で、 D は温度のみによって決定される。

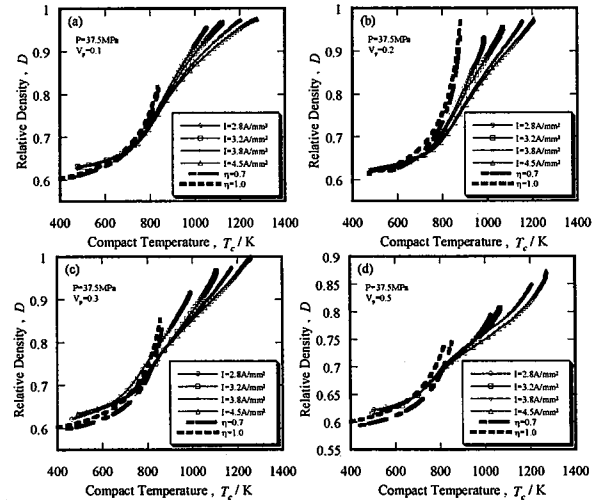


Fig.7 Relation between compact temperature and relative density of Cu- Al_2O_3 compact at various volume fractions of alumina particles during spark sintering under the pressure of 37.5MPa. The dashed lines show the relation between the relative density of the Cu- Al_2O_3 compact obtained by substituting D_{c-c} from eq. (3) for the eq. (5) and compact temperature.

前報⁽⁸⁾において、純銅の放電焼結過程における第1段階以降の緻密化機構は、大まかに塑性変形機構による第2段階と累乗則クリープ(高温)変形による第3段階の2つに分けられることを報告したが、Fig.7の結果は、同様に、この範囲における圧密機構として、 V_p によらず降伏応力の温度依存性のみに依存する塑性変形によ

るものと考えられる(第2段階)。

前報⁽⁸⁾で述べたように、金属圧粉体の型内単軸圧縮・放電焼結の第2段階において、DとPの関係は式(4)のVon Mises型圧密構成式より、式(5)のように導かれ、さらに、降伏応力(0.2%耐力： $\sigma_{0.2} = \sigma_{\text{yield}} = \sigma_{\text{eq}}$)と温度(T)との関係を用いることで、Dと $T_c(=T)$ の関係を求めることができる。

$$\alpha(D) J_2 + \beta(D) J_1^2 = \sigma_{\text{eq}}^2 \quad (4)$$

$$\sigma_{\text{eq}} = \sigma_{\text{yield}} = \kappa(D) P \quad (5)$$

ただし、 $\kappa(D) = [9\alpha(D)\beta(D) / \{\alpha(D) + 12\beta(D)\}]^{1/2}$

$$\alpha(D) = 3 / \{1 - \exp(-V_{\text{ex}}) + \exp(-sV_{\text{ex}}) V_{\text{ex}}\}$$

$$\beta(D) = 1 / (9 V_{\text{ex}}), \quad s = 1/500,$$

$$V_{\text{ex}} = [(3/4)k(D/D_0)]^{1/3} \{(D-D_0)/(1-D)\}^2$$

ここで、 σ_{eq} は圧粉体のみかけの相当応力⁽¹²⁾、 σ_{eq} は粉末材料の相当応力で、0.2%耐力あるいはそれに近い値である。また、kは粉末粒子間の相対滑りによる再配列の起こりやすさによって変わる係数であり、純銅粉末の場合、k=3.5となることが分かっている。

ここで、式(3)の $(D_{\text{cc}}-D_0)$ は、複合圧粉体のDを得るために必要なc-c接触部とc-al接触部の銅粉の再配列と変形による相対密度増分を表し、これは、al-al接触部の相対密度増分 $(D_{\text{al-al}}-D_0)$ と η が分かれば、右辺中の変数から求められる。再配列だけによって決定されと考えられる $D_{\text{al-al}}$ は、室温におけるPが37.5MPaおよび62.5MPaのときの $D_{\text{al-al}}$ に等しいと考え、実験によって求めたところ、それぞれ0.59および0.61であった。この結果より、式(3)において $D_{\text{al-al}}$ の値は、温度に関係なく一定値(P=37.5MPaの場合 $D_{\text{al-al}}=0.59$ 、P=62.5MPaの場合 $D_{\text{al-al}}=0.61$)とした。式(3)とこれらの値を用いて、0.7と1.0の η を仮定し、複合圧粉体のDを得るために必要な銅粉の再配列と変形による D_{cc} を求めた。この D_{cc} を用いて式(5)より $\kappa(D)(=\kappa(D_{\text{cc}}): \kappa_{\text{Cu}}$ と表す)が求められる。さらに、式(5)より、この κ_{Cu} が得られるような σ_{yield}/P を求めて、純銅の0.2%耐力の実験結果から、 $\sigma_{\text{yield}}/P = \sigma_{0.2}/P$ が得られる温度を複合圧粉体のDが得られる温度 T_c とした。得られた結果をFig.7中の破線で示す。

ここで、 η を0.7~1.0の間で変えても、計算結果にそれほど大きな差はなく、本結果より、 η の値を決定

することはできなかった。ただし、計算によるDと T_c の関係は、 η の値に関係なく実験結果のばらつきを考慮すると、おおむね実験結果をよく表した。すなわち、この第2段階における緻密化は、基本的に粒子全体の再配列とc-c接触およびc-al接触における純銅だけの塑性変形によると結論される。

3.5 累乗則クリープ(高温)変形機構による第3段階

3.5.1 緻密化速度式

アルミナ粒子を添加した場合の緻密化速度式としては、式(3)を時間で微分して式(6)が得られる。

$$\dot{D} = \{(1-V_p)^2 + 2\eta V_p(1-V_p)\} \dot{D}_{\text{cc}} \quad (6)$$

ここで、 $\dot{D}_{\text{cc}}$ は複合圧粉体中の純銅部分のみの緻密化速度である。前報において、純銅の第3段階における緻密化速度は報告⁽⁸⁾したが、これに拡張体積率(V_{ex})を考慮して、発展させた式を式(7)に示す

$$\dot{D}_{\text{cc}} = A V_{\text{ex}}^m D_{\text{cc}} \kappa_{\text{Cu}}^{n+1} \exp\{-Q_{\text{Cu}}/(RT_c)\} P^n \quad (7)$$

ただし、A、R、 Q_{Cu} およびnはクリープ定数、気体定数、純銅のクリープの活性化エネルギー($Q_{\text{Cu}}=197\text{kJ/mol}$)⁽¹³⁾および応力指数である。mの値については、応力が有効的に使われる度合いを示す乗数であり、粒径が50 μm の純銅粉末の放電焼結の場合には、m=0.3の値を与えることで、実験結果とよく一致する。

式(6)は式(7)を代入し、両辺の対数をとることで、式(8)のように変形される。

$$\begin{aligned} \ln[D/(D_{\text{cc}} \kappa_{\text{Cu}})] + Q_{\text{Cu}}/(RT_c) - m \ln(V_{\text{ex}}) \\ = n \ln(\kappa_{\text{Cu}} P) + \ln A + \ln\{(1-V_p)^2 + 2\eta V_p(1-V_p)\} \end{aligned} \quad (8)$$

η について、第3段階においては相対密度が大きくなって、昇温速度が小さくなり、圧粉体中の温度が均一に近づくので、c-cとc-al接触部における温度差は小さくなり、ほぼ1に近い値になるものと考え、式(6)中の η を1とした。

式(8)の左辺と右辺の $\ln(\kappa_{\text{Cu}} P)$ の関係を求めたところ、Fig.8が得られた。

図から、それぞれの V_p について $\ln(\kappa_{\text{Cu}} P)$ が約3.0~3.5以下の部分ではほぼ直線関係(図中に破線で示す)を示すことが確認される。この直線の傾きは式(8)からも分かるように、緻密化速度の応力指数(n)を表す。これよ

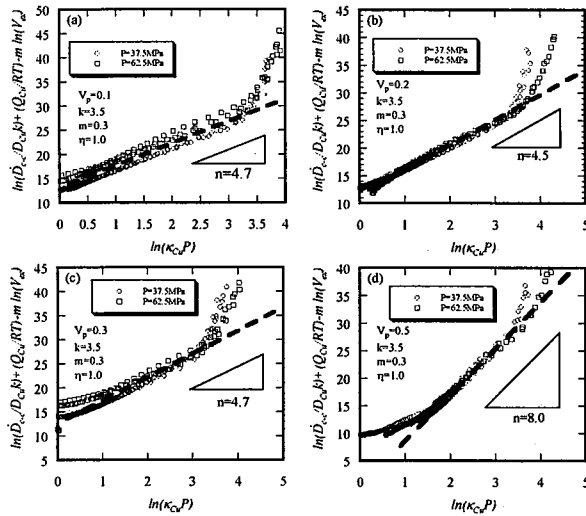


Fig.8 Relation between $\ln\{D/(D_{cc} K_{Cu})\} + Q/(RT_c) - m \ln(V_{ex})$ and $\ln(K_{Cu} P)$ at various alumina volume fractions. K_{Cu} is the function of relative density of pure copper matrix compact, D_{cc} is the stress exponent of copper-alumina composites for each alumina volume fraction obtained from eq.(8).

り、 V_p が0.1、0.2および0.3のときに n はそれぞれ4.7(4.5～5.1)、4.5(4.0～5.0)および4.7(4.3～5.3)となった。 V_p が0.3までは V_p の増加に伴って n は若干小さくなる傾向はあるものの、純銅の n 値(=4.8)とほぼ同値であった。このことから、 V_p が0.3までは、式(6)に式(7)を代入することによって緻密化速度を表すことが出来る、つまり、純銅のみの累乗則クリープ(高温)変形によって緻密化が進行すると考えられる。しかし、 V_p が0.5のときには、 $n=8.0$ (7.7～9.2)となり、純銅の n 値と比較して大きな値を示した。これには他の要因があるものと考えられる(後述)。

3. 5. 2 しきい応力

粒子分散型複合材料において、第2相粒子を添加することによって、 n_c 値は母相のそれよりも大きくなり、応力依存性は強くなることが多数報告^{(14)・(17)}されている。他方、複合材料のクリープのひずみ速度はしきい応力(σ_{th})を考慮することによって、母相材の n_c 値を用いて式(9)のように表すことができるとするいくつかの報告^{(18)・(20)}がある。

$$\dot{\epsilon}_c = A(\sigma_{eq} - \sigma_{th})^n \exp\{-Q/(RT)\} \quad (9)$$

そこで、式(9)を考慮して式(6)に対応する緻密化速度式を求めると式(10)が得られる。

$$D = \{(1 - V_p)^2 + 2\eta V_p(1 - V_p)\} A V_{ex}^m D_{cc} K_{Cu} \exp\{-Q_{Cu}/(RT_c)\} \{K_{Cu} P - \sigma_{th}\}^n \quad (10)$$

本研究において、 V_p が0.5の場合について n 値が大きな値を示したが、式(10)において σ_{th} に約5.0MPaを与えると、 n 値は純銅の値とほぼ等しくなる。このときの $\ln\{D/(D_{Cu} K_{Cu})\} + Q/(RT_c) - m \ln(V_{ex})$ と $\ln(K_{Cu} P - \sigma_{th})$ の関係をFig. 9に示す。

このように $V_p=0.5$ の場合には、式(10)に従って、圧粉体の変形に最低限必要な応力として、 σ_{th} を仮定することによって、純銅の場合の n 値(=4.8)と同値で実験データを整理することができた。一般に σ_{th} は添加粒子が可動転位を拘束することによって生まれる応力である。しかし、本研究における添加粒子であるアルミナ粒子

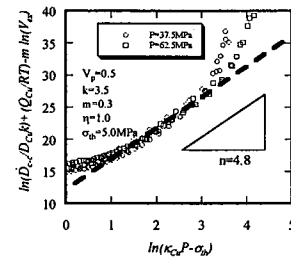


Fig.9 Relation between $\ln(K_{Cu} P - \sigma_{th})$ and $\ln\{D/(D_{cc} K_{Cu})\} + Q/(RT_c) - m \ln(V_{ex})$ at $V_p=0.5$. n in this figure is the stress exponent of copper-alumina composites obtained from eq.(10) by using threshold stress, σ_{th} .

の粒径は約50 μm で、オロワン応力が働く粒子径よりもはるかに大きいことから、転位移動の拘束による応力とは考えにくい。Fig. 6に示されるように、 $V_p=0.5$ になると、クリープ(高温)変形がより起こりにくいと思われるc-al接触部と、クリープ(高温)変形が全く期待できないal-al接触部が合わせて0.75にもなるために、これらの接触部が圧粉体全体のクリープ(高温)変形を拘束するためと考えられる。

3. 6 緻密化速度式の適合性

Al_2O_3 複合圧粉体の第2段階の緻密化速度については、式(3)を用いて D と D_{cc} の関係を求め、この D_{cc} を式(5)を時間で微分することで求めた緻密化速度式の D に置き換えることで、下式のように表される。

$$\dot{D} = [(\dot{\sigma}_{eq}/dT) / \{dk(D_{cc})/dD\}] \{K(D_{cc})/\sigma_{eq}\} \dot{T}_c \quad (11)$$

この式と式(10)によって $\dot{D}$ に対する $\dot{D}$ を計算し、実験結果と比較した例を Fig.10 に示す。

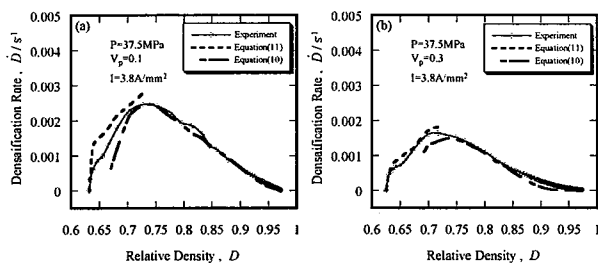


Fig.10 The comparison between the experimental results and the calculation results obtained from eq. (11) and eq. (10).

本図より、実験結果と計算結果はよく一致し、 Al_2O_3 複合圧粉体においては複合圧粉体中の母相(純銅)部分のみが塑性変形もしくはクリープ(高温)変形するとして、緻密化速度を表すことが出来ると言える。また、本図より、3.2 節において述べた $D_{\max}$ は、第 2 段階から第 3 段階に遷移する相対密度において表われる。

4. 結言

平均粒径 $50\mu\text{m}$ で等粒径の純銅粉末とアルミナ粒子によって構成される $\text{Cu-Al}_2\text{O}_3$ 複合圧粉体(アルミナ体積率 $V_p=0.1, 0.2, 0.3, 0.5$)の定電流条件下での型内単軸圧縮・放電焼結の緻密化速度の測定および解析を行った。結果として、アルミナ粒子体積率(V_p)の複合圧粉体の緻密化速度($\dot{D}$)に及ぼす影響は、粒子接触の確率を考慮することで、以下の式によって整理された。

$$\dot{D} = \{(1-V_p)^2 + 2\eta V_p(1-V_p)\} \dot{D}_{cc}$$

ただし、 η は銅 - アルミナ粒子接触部と銅 - 銅粒子接触部における相対密度の増加量の比を表す係数($\eta \leq 1$)であり、また、 $\dot{D}_{cc}$ は複合圧粉体中の母相である純銅部分の緻密化速度である。ここで、 $\dot{D}_{cc}$ は純銅の緻密化速度式と等しく、つまり、上式においては、純銅の緻密化速度式と V_p が明らかな場合において、複合圧粉体の緻密化速度を求めることができる。

おわりに本研究を実施するに際して、NC 旋盤、放電焼結機およびオートグラフを使用しました。使用した NC 旋盤は、日本自転車振興会競輪機械工業資金補助に

より整備したものであり、また、放電焼結機およびオートグラフは、経済産業省地域産業集積活性化対策補助により整備したものであることを記し、関係各位に深く感謝致します。

参考文献

- (1)A.B.Pandey, R.S.Mishra and Y.R.Mahajan: Acta Metall. mater. **40**(1992) 2045.
- (2)V.C.Nardone and J.R.Strife: Metal. Trans. **A18**(1987) 109.
- (3)E.P.Barth, J.T.Morton and J.K.Tien: The Minerals, Metals and Mater. Soc. (1990) 839.
- (4)隠岐貴史, 松木一弘, 清水功史, 柳沢 平: 軽金属 **52**(2002) 243.
- (5)M-J.Suk, K.H.Min, Y.D.Kim and I-H.Moon: Adv. Powder Metall. Part Mater. (2001) 9.42.
- (6)大迫和久, 戸田裕之, 小林俊郎: 鉄と鋼 **87**(2001) 619.
- (7)高橋勝彦, 清水 満, 川上正博: 日本金属学会誌 **65**(2001) 122.
- (8)倉本英哲, 隠岐貴史, 松木一弘, 柳沢 平: 広島市工業技術センター年報 **16**(2002) 46.
- (9)松木一弘, 畑山東明, 柳沢 平: 日本金属学会誌 **59**(1995) 740.
- (10)E.Arzt: Acta Metall. **30**(1982) 1883.
- (11)H.Fishmeister and E.Arzt: Powder Metall. **26**(1983) 82.
- (12)S.J.Park, H.N.Han, K.H.Oh and D.N.Lee: Int. J. Mech. Sci. **41**(1999) 121.
- (13)A.S.Helle, K.E.Eastering and M.F.Ashby: Acta Metall. **33**(1985) 2163.
- (14)松浦圭助, 松田則男: 日本金属学会誌 **63**(1999) 535.
- (15)T.G.Nieh, K.Xia and T.G.Langdon: J. Eng. Mater. Tech. **110**(1988) 77.
- (16)F.Carreno and O.A.Rauno: Acta Mater. **46**(1997) 159.
- (17)Y.Li and T.G.Langdon: Acta Mater. **46**(1998) 1143.
- (18)S.Ranganath and R.S.Mishra: Acta Mater. **44**(1996) 927.
- (19)Y.Li and T.G.Langdon: Acta Mater. **45**(1997) 4797.
- (20)Z.Y.Ma and S.C.Tjong: Compos. Sci. Technol. **61**(2001) 771.

RIを用いたスケール量計測における補正係数の導出

田中 秀樹

Derivation of Correction Factors for Measurement of Scale Using RI

Hideki TANAKA

Non-destructive measuring method using RI for the scale inside a sealed container was presented. I have constructed the measurement system of the amount of scale inside a container and have verified the system for the accumulated flat layer of scale. But, in the general measurements, it is necessary to consider several factors, thickness of the scale, curvature of the sealed container and thickness of the sealed container itself. In this study correction factors are guided for finding the general equation in order to estimate the amount of scale from data.

Keywords: Non-Destructive Measurement, Neutron, Sealed Container, Scale, Correction Factor

密閉容器内に発生するスケールの量を非破壊計測する手法として、中性子 RI を用いた方法を提案した。これまではスケール計測システムを構築して、平面に堆積したスケールについて検証実験を行ってきた。しかし、一般の計測対象物を考えた場合には、スケールの厚み、容器の板厚、容器の曲率を考慮する必要がある。本報告では、実験データからスケール量を推定する一般式を求めるために必要な補正係数を導出する。

キーワード: 非破壊計測、中性子、密封容器、スケール、補正係数

1 まえがき

タンクや配管などに代表される密閉容器において、内部にスケールが発生することがある。スケールとは容器の内部物が内部に付着したものであり、設備運用において障害となるため定期的な検査が必要である。検査に用いられる手法には目視による方法があるが、容器の破壊を要するため検査後の修復が必要である、また設備を停止しなければならないという費用的、時間的な課題がある。一方、非破壊検査を行う場合には、大型の計測対象物を計測できる装置でなければならない、装置の移動と設置に課題が残されている。

これまで、大型の計測装置を必要としない非破壊計測法として、 γ 線を用いた透過法によるスケール量の計測法が提案されている^{(1),(2)}。この手法は、透過方式を採用しているため、大型の計測対象物を計測する場合には強力な線源が必要であり、線源を取

り扱うには作業者の資格と線源を保有するための届け出が必要である。

そこで、筆者らは資格を必要としない微量な中性子線源を用いたスケール計測法を提案し、計測システムを構築した後にシステムの特性を明らかにした^{(3),(4)}。さらに、スケール量のインプロセス計測を目的としたデータ解析システムと人の客観的評価機能を有する診断プログラムを開発し、水位計測実験によってこれを評価した⁽⁵⁾。またこれまで、平面に堆積したスケールを想定した計測実験を行ってきたが、実際の計測対象物を計測するためにはスケール厚み、容器板厚、容器曲率の考慮が必要であることは明らかである。

そこで本報では、スケール厚み、板厚、容器曲率を考慮し、計測システムをより一般的な使用条件に対応させることを目的に、それぞれの補正係数を求め、スケール量を推定するための一般式を導出する。

2 システムの概要

2.1 原理

放射線源 (以下、線源) と放射線検出器 (以下、検出器) とを密閉容器の外側に配置する。検出器ではスケールに衝突することで減速する中性子の検出器への入射個数を計数する。スケール量は中性子の入射数とスケール量との間に成り立つ相関関係を明らかにすることで計測できる。

提案する手法に用いる線源は放射能が微量であるため、誰でも使用することができ、さらに線源側に戻ってくる中性子 (以下、後方散乱) を利用するため計測対象物が大型であってもスケール量を計測できるという特徴を持つ。

2.2 システム構成

本システムは図 1 に示すとおり、放射線を放出する線源、放射線を検出する比例計数管、シンチレーション検出器、検出器の出力を分析するマルチ・チャンネル・アナライザ (以下、MCA) で構成する。

線源には主に中性子を放出する、放射能 3.7MBq の放射性同位元素 ^{252}Cf を利用する。線源は外形寸法 $\phi 26 \times 28\text{mm}$ のコリメータで覆われており、これにより放射線の放射方向を制限する。検出器には後方散乱した中性子を計数でき、取扱いが容易で、さらに機械的強度が大きいという理由から比例計数管とシンチレーション検出器を用いる。検出器では入射した中性子のエネルギーに比例する電圧パルス信号を発生するが、この信号を得るための高圧電圧は高圧電源ユニットから供給される。プリアンプはミリボルト程度である検出器の出力電圧を計数可能な大きさ (10^3 倍) まで増幅するために用いる。次段のアンプでは増幅した信号をさらに十数ボルトまで増幅

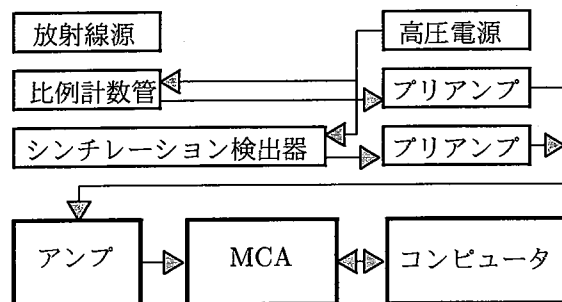


図 1 システムブロック図

する。MCA はアンプの後段に配置して、入力する電圧パルス波高に対応づけられたチャンネルと呼ばれる記憶ユニットに出現回数を記録する。コンピュータと MCA は RS-232C を介して通信を行い、コンピュータから MCA 動作の制御を行う。そして、チャンネルに記録された出現回数をコンピュータで解析してスケール量を推定する。

ここで、本研究において線源と検出器のセットを計測ヘッドと呼ぶことにする。

3 補正係数の算出

一般的な密閉容器に対するスケール量の計測システムを完成させるためには、①線源の経年変化、②スケール量と計数率との相関、③容器の板厚、④容器の曲率を踏まえた一般式を導出する必要がある。一般式を導出するにはそれぞれの計数率を求めて補正計数を算出する。

ここで、本計測では任意の時間内に計数した中性子の数およびそのエネルギーを加算した値を使いスケール量を求める。加算した中性子数 (c) と測定時間 (s) との比 (c/s) を計数率として、補正係数を算出する。

実験で用いる検出器は比例計数管とする。比例計数管を用いた計測ではこれまでの実験により、チャンネル 100 から 300 までに特徴のあるデータが得られることがわかっている。本実験においても 100 から 300 までのチャンネル間のデータを積分した結果を計数値として用いることにする。中性子を測定する時間は測定誤差を小さくするため 180 秒と比較的長めに設定する。

3.1 経年変化

線源 ^{252}Cf の半減期は 2.65 年であり、検量線を算出した基準日と測定日との間の検量線に差が生じる。この差を補正するため、基準日の計数率 n_s と計測日の計数率 n_n から補正係数 st を次式より求める。

$$st = \frac{n_s}{n_n} \quad (1)$$

当然ながら、同一の測定基準物に対する計数率を測定して補正計数 st を求める。本実験では安価でいつでも用意できるように、ステンレスビーカー ($\phi 300\text{mm}$) に入れた 100mm の水を測定基準として利用する。

3.2 スケール量の影響

スケール量と計数率との間の相関関係を調べる。実験においてスケールとして用いる物質は、室温では固体、80 度程度の温度では液体となるパラフィンとする。パラフィンはステンレスピーカに入れ、計測ヘッドをステンレスピーカの底面に配置する。ステンレスピーカに入れるパラフィンの厚みを 10mm から 130mm まで変化させたときの計数率を調べる。

図 2 にステンレスピーカと計測ヘッドの位置関係を側面から見た図を示す。図 3 に容器の板厚を 3mm から 19mm まで変化させたときの結果を示す。板厚ごとに微妙な波形形状の違いはあるが、ほぼ相似形をしていることがわかる。しかし、厚みの 80mm と 130mm の付近には、波形形状に乱れがある。これは、線源から放射される中性子のばらつきと測定誤差が原因と考えられる。

鋼板厚み 3mm の測定結果を基に回帰分析を行った結果、次の多項式を得た。

$$t_p = 2.0 \times 10^{-12}n^5 - 4.0 \times 10^{-9}n^4 + 2.0 \times 10^{-6}n^3 - 8.0 \times 10^4n^2 + 0.2n + 1.6 \quad (2)$$

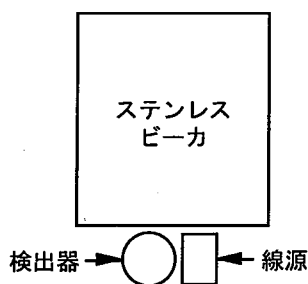


図 2 測定ヘッドの配置図

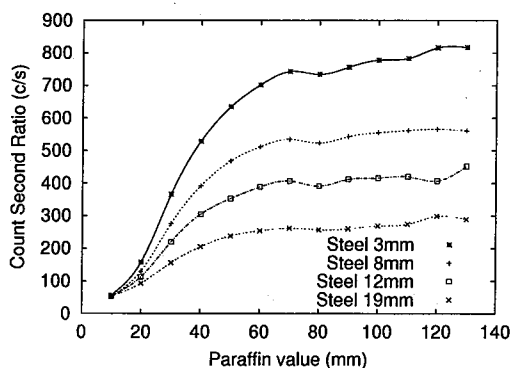


図 3 計数率におよぼすスケール量の影響

t_p はパラフィン厚み、 n は計数率を表わす。

3.3 容器の板厚の影響

測定する容器にはさまざまな板厚があるため、ここでは容器の板厚がおよぼす計数率の影響を調べ、板厚の変化に対応する補正係数を算出する。一定量のパラフィンを入れたステンレスピーカの底面に計測ヘッドを配置する。計測ヘッドとステンレスピーカの間には鋼板を置き、鋼板の厚みを 3mm から 19mm まで変化させたときの計数率を調べ、結果を図 4 に示す。なお、パラフィンの厚みを 10mm から 130mm まで変えたときの結果もあわせて図示する。

実験結果には若干測定誤差は見受けられるが、板厚の増加と計数率が反比例していることがわかる。パラフィンの厚みが大きくなるほど、厚み変化にともなう計数率の変化の割合が小さくなることもわかる。

パラフィン厚みを 50mm の測定結果を基に t_s の変化について回帰分析を行った結果、次式を得た。

$$S(t_s) = 750.8 \exp(-0.06t_s) \quad (3)$$

n_t は鋼板厚み変化により計測される計数率、 t_s は

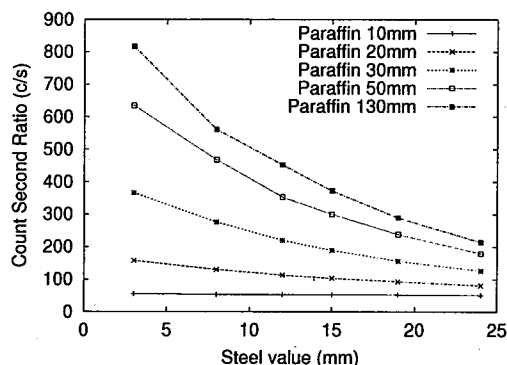


図 4 計数率におよぼす鋼板厚みの影響

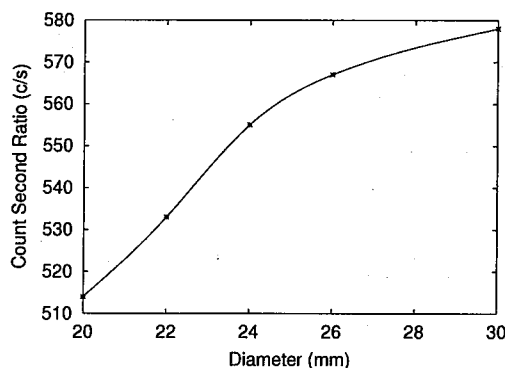


図 5 計数率におよぼす容器曲率の影響

鋼板厚みを表わす。

3.4 容器曲率の影響

一般的な密閉容器の測定点は平面のものばかりでなく、曲面となっている容器も多く存在する。ここでは、容器の曲率がおよぼす計数率の影響を調べ、容器の曲率の変化に対応する補正係数を算出する。パラフィンで満たしたステンレスピーカの側面に計測ヘッドを配置して、計数率を求める。同様の実験を直径の異なるピーカに対して行った結果を図5に示す。

測定結果を基に回帰分析を行った結果、次の多項式を得た。

$$C(D) = -0.04D^3 + 2.4D^2 - 37.3D + 622.7 \quad (4)$$

n_c は容器曲率の変化から計測される計数率、 D は容器の直径を表わす。

3.5 計測のための一般式

パラフィンスケールの厚み t_p を求めるための一般式を導出する。式(2)は鋼板厚み $t_s = 3$ において、測定点を平面とした場合のスケール導出式である。したがって、計数率の実測値 n_{real} を n'_{real} に補正する必要がある。式(1)、式(3)および式(4)より、 n_{real} は次式で与えられる。

$$n'_{real} = st \frac{S(3)}{S(t_s)} \frac{n_{max}}{C(D)} n_{real} \quad (5)$$

n'_{real} は鋼板厚み 3mm のときの測定点を平面として補正した計数値、 n_{real} は実測値、 n_{max} は測定値を平面としたときの飽和計数値を表わす。式(5)により補正した計数値を、式(2)の n へ代入し、求めるスケール厚み t_p を得る。

4 むすび

密閉容器内に発生するスケール量を中性子 RI を用いた計測方法を提案し、これまで測定点が平面である容器に対する水位計測などの実験を行ってきた。一般の計測対象物を考えた場合、容器の板厚には多くの種類があり、形状も平面ではなく曲面で構成された容器も数多く存在する。

そこで、実際の計測対象物に対応した計測システムを構築するため、スケール厚み、容器板厚、容器

曲率を考慮する必要がある。本報ではスケール厚み、板厚、容器曲率、それぞれの補正係数を求めた上で、スケール量を推定するための一般式を導出した。今後は計測システムに導出した一般式を用い、数個のパラメータの入力のみでスケールを計測できるシステムを作成する予定である。

参考文献

- (1) 児玉潔, 小林修, 脇部康彦, 林憲秋, “ γ 線透過法による地熱発電所熱水配管のシリカスケール測定,” 非破壊検査, vol.38, no.9A, pp.797-798, 1989.
- (2) 清水健一, 栗森義彦, “石油精製装置等の内部診断技術の開発,” 石油学会誌, vol.41, no.2, pp.138-144, 1998.
- (3) 田中秀樹, “中性子の後方散乱を利用した非破壊計測(第1報),” 広島市工業技術センター年報, vol.13, pp.67-73, 1999.
- (4) 田中秀樹, “中性子の後方散乱を利用した非破壊計測(第2報),” 広島市工業技術センター年報, vol.14, pp.57-63, 2000.
- (5) 田中秀樹, “中性子の後方散乱を利用した非破壊計測(第3報),” 広島市工業技術センター年報, vol.15, pp.60-65, 2001.

パラメータの変動する時変システムの同定

田中 秀樹 小林 康秀[†] 疋田 真一[†]

Identification of Time-Varying System with Fluctuations for Parameters

Hideki TANAKA Yasuhide KOBAYASHI Shinichi HIKITA

Much continuance exists in most actual systems. It is useful to identify parameters of composed systems for predictive control and diagnosis of failure. Generally, because these parameters vary with environmental change and the aging, it is important to estimate these parameters at the on-line system. In this study, the method which the neural networks was used for the estimation of the time-varying parameters was proposed, and the method was verified experimentally.

Keywords: System Identification, Time-varying System, Generalized Predictive, Neural Networks

現実のシステムでは連続系が多く存在し、このシステムパラメータを同定することはシステムの故障診断、予測制御に有用である。一般的にシステムパラメータは周囲の環境変化、システムの経年変化などに伴い変動するため、この時変パラメータをオンライン推定することは重要な課題である。そこで本研究では、未知変動する連続系パラメータの推定にニューラルネットワークを用い、この手法の実験的検証を行った。

キーワード: システム同定、時変システム、予測制御、ニューラルネットワーク

1 まえがき

現実の制御においては、自動車、機械などに代表されるように連続的なシステムが多く、システムのパラメータを同定することは故障診断、予測制御に有用である。このようなシステムでは、実環境においては周囲の環境変化、システムの経年変化などに伴い、時間とともにパラメータが変化することが多い。そのため、時変システムのパラメータをオンライン推定することは重要な課題である。

簡単な同定法は、ある時間幅のウィンドウを設け、そのウィンドウ内のパラメータを一定とみなしてパラメータを推測することである。しかし、ウィンドウ内の平均的な推定値が得られるため、推定値に時間遅れが生じるという課題が残る。そこで、パラメータ推定値の時間遅れを小さくする方法として、ウィ

ンドウ内のパラメータの変動を表現できる関数で近似する方法が提案されている^{(1),(2)}。しかし、あらかじめ定めた関数で周囲環境変化により未知変動するパラメータを十分に近似できるとは限らない。

そこで、本研究では適応、学習、汎化能力に優れたニューラルネットワーク (NN) を変動パラメータの推定に用いて、その理論的正当性を調べる。NNには3層のバックプロパゲーション (BP) 法を用い、変動パラメータを NN 出力で表現し、出力誤差が最小となるように NN の重み係数、しきい値の学習を行う。変動パラメータは時刻の非線形関数と見なすことができるため、NN の入力時刻とする。

そして、離散値で未知変動するパラメータを与えたときに、変動パラメータを推定するシミュレーションを行い、本手法の実験的検証を行う。

[†] 広島市立大学情報科学部, 広島市

2 問題設定

対象とするシステムは、パラメータの未知変動する線形離散値系であり、 k 時刻における入力、状態値、出力をそれぞれ $u(k), x(k), y(k)$ とすると次式で表される。

$$x(k+1) = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ I_{n-1} \\ 0 \\ -a_0(k) \quad \dots \quad -a_{n-1}(k) \end{bmatrix} x(k) + \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(k) \quad (1)$$

$$y(k) = [b_0(k), \dots, b_r(k), 0, \dots, 0]x(k) + v(k) \quad (2)$$

ここで、次数 r, n は既知とする。また、システムのパラメータ $a_n(k), b_r(k)$ は、周囲、環境の変化によって、サンプリング周期に比べ緩やかで連続的に未知変動するものとし、これを $n+r$ 次元のベクトル $\theta(k)$ で定義する。

$$\theta(k) = (a_0(k), \dots, a_{n-1}(k), b_0(k), \dots, b_{r-1}(k))^T \quad (3)$$

また、 $v(k)$ は観測雑音で $N(0, \sigma_v^2)$ にしたがる入力と独立な正規白色雑音とする。

現時刻 k までの $u(k), y(k)$ に基づき、連続的に未知変動するシステムのパラメータ $\theta(k)$ をオンライン推定する問題を考える。

3 システム同定

3.1 モデルの設定

システム推定の概念図を図 1 に示す。変動モデルは、(1) 式に準じて次式で設定する。

$$\hat{x}(k+1) = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ I_{n-1} \\ 0 \\ -\hat{a}_0(k) \quad \dots \quad -\hat{a}_{n-1}(k) \end{bmatrix} \hat{x}(k) + \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(k) \quad (4)$$

$$\hat{y}(k) = [\hat{b}_0(k), \dots, \hat{b}_r(k), 0, \dots, 0]\hat{x}(k) \quad (5)$$

ここで、モデルの変動パラメータ $\hat{a}_n(k), \hat{b}_r(k)$ を次式で定義する。

$$\hat{\theta}(k) = (\hat{a}_0(k), \dots, \hat{a}_{n-1}(k), \hat{b}_0(k), \dots, \hat{b}_{r-1}(k))^T \quad (6)$$

変動パラメータ $\hat{\theta}(k)$ を推定するためには、パラメータの変動形態を特定の関数で表現することが必要である。しかし、パラメータは自発的に変動し、また変動形態が未知であるため、変動形態を特定の関数で表現することは難しい。そこで、一般に広範な非線形特性を表現でき、適応、学習、汎化能力に優れた NN で変動形態を表現する。

3.2 NN の構成

変動パラメータ $\hat{\theta}(k)$ を求めるために、ウィンドウ幅を N 、現時刻を k とし、 $k-N \leq k' \leq k$ の変動形態を 3 層の BPNN で表現する。ここでは、次式に示す 1 入力多出力の NN を用いる。

$$s_j(k) = w_{1j}I(k) - e_j \quad (7)$$

$$h_j(k) = \frac{1}{1 + \exp(-s_j(k))} \quad (8)$$

$$o_i(k) = \sum_{j=1}^q w_{2ij}h_j(k) \quad (9)$$

ここで、 $I(k), o(k)$ は k 時刻の NN の入出力、 q は中間層のニューロン数であり、重み係数 w_{1j}, w_{2j} およびしきい値 e_j をベクトル τ で表す。

システムパラメータ $\theta(k)$ は時間とともに未知変動するため、モデルパラメータ $\hat{\theta}(k)$ は時刻 k の非線形関数と見なすことができる。しかし、時刻 k が進むにつれて k' も増加するため、NN の収束が悪くなる。そこで、図 2 のように入力信号 $I(k)$ をある

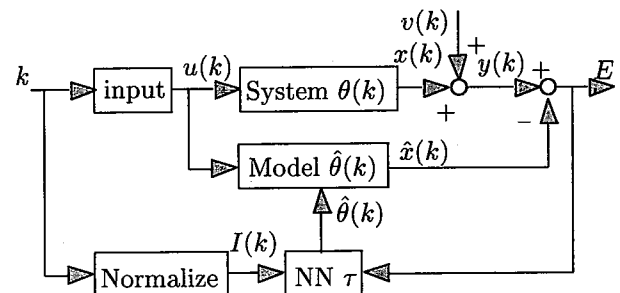


図 1 システムとモデルの概念

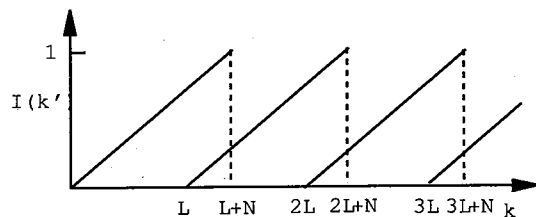


図 2 NN への入力信号

時間間隔 L ごとに規格化する。

ただし、ウィンドウ幅 N は、変動の複雑さ、SN 比などに応じて設定する。また、 L は収束性および計算時間を考慮して、 N の数倍から十倍程度に選ぶ。

3.3 パラメータ推定

$k' = k - N$ 時刻から現時刻 $k' = k$ までの $\hat{\theta}(k')$ を表す NN の τ を学習させることを考える。モデルとシステムの時変パラメータが完全に一致する場合、モデル出力 $\hat{x}(k)$ とシステム出力 $x(k)$ は一致する。しかし、(2) 式のようにシステム出力 $x(k)$ は得られず、観測値 $y(k)$ が得られる。そこで学習のための誤差評価関数 $E(\tau)$ は次式で与えられる。

$$E(\tau) = \frac{1}{2\sigma_v^2} \sum_{k'=k-N}^k (\hat{x}(k') - y(k'))^2 \quad (10)$$

NN の学習は (10) 式を $\hat{\theta}$ および τ についての最小化問題となる。ただし、 τ は非線形関数であるため、本報告では Davidon Fletcher Powell 法⁽³⁾で非線形最適化を行う。最小化には (10) 式の偏微分が必要であり、これは次式で与えられる。

$$\frac{\partial E}{\partial \tau} = \frac{\partial E}{\partial \hat{\theta}(k)} \frac{\partial \hat{\theta}(k)}{\partial \tau} \quad (11)$$

$$\frac{\partial E}{\partial \hat{\theta}(k)} = \frac{1}{\sigma_v^2} \sum_{k'=k-N}^k (\hat{x}(k') - y(k')) \frac{\partial \hat{x}(k')}{\partial \hat{\theta}(k)} \quad (12)$$

なお、最適化パラメータが極小値に陥らないように、 θ は零、 τ は一様乱数で与える。

(10) 式を最小にする τ を学習させると、NN の出力 $\hat{o}(k)$ は $k' = k - N$ から現時刻 k までの変動形態を近似していると考えられる。したがって、現時刻 k での NN の出力値をパラメータ推定値 $\hat{\theta}(k)$ とする。

4 数値例

2 次連続系でゲイン K もしくは減衰率 ζ が未知変動する離散値系についてシミュレーションを行い、提案した推定法の理論的正当性を検証する。

4.1 シミュレーションの概要

ゲイン $K(k)$ または減衰率 $\zeta(k)$ を変動パラメータとする次式で表される正弦波の和が未知変動する

場合を考えた。

$$K(k) = 5.0 + 4.0 \sin\left(\frac{2\pi k}{2000}\right) + 0.5 \sin\left(\frac{2\pi k}{600}\right) \quad (13)$$

$$\zeta(k) = 0.5 + 0.4 \sin\left(\frac{2\pi k}{2000}\right) + 0.05 \sin\left(\frac{2\pi k}{600}\right) \quad (14)$$

このとき、システムゲイン $K(k)$ または $\zeta(k)$ のいずれかが変動する場合を考え、変動しない残りのパラメータは $K = 5, \zeta = 0.5$ の一定値とした。

4.2 初期値の設定法

(4) 式、(5) 式の次数 $r = 2, n = 2$ とし、規格化間隔 $L = 1000$ 、NN の中間層のユニット数 $j = 2$ として与えた。システムへの入力は正規乱数 $N(0, 1^2)$ で与え、10 % の観測雑音を考えた。ウィンドウ幅の大きさによってパラメータの推定値の時間遅れも大きくなるが、ウィンドウ幅におよぼす推定誤差の影響について調べるため、 $N = 50, 100, 200$ とする。変動パラメータの推定誤差 J_{θ} は次式で与える。

$$J_{\theta} = \sqrt{\frac{\sum_{k=100}^{2000} \{\hat{\theta}(k') - \theta(k')\}^T \{\hat{\theta}(k') - \theta(k')\}}{\sum_{k=100}^{2000} \theta(k')^T \theta(k')}} \quad (15)$$

4.3 ゲイン K の変動する場合

ウィンドウ幅を変えてシミュレーションした結果、得られたパラメータの推定誤差 J_{θ} を表 1 に示す。結果から推定誤差はウィンドウ幅の大きさに比例して増加している。一般的にウィンドウ幅が小さいと

表 1 ゲイン変動する場合の推定誤差

ウィンドウ幅	50	100	200
推定誤差 (%)	7.15	8.34	14.72

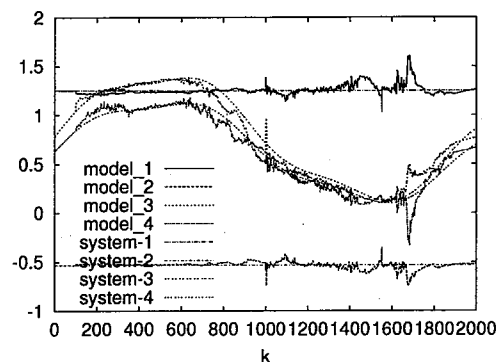


図 3 K 変動時のパラメータ推定結果

表 2 減衰率変動する場合の推定誤差

ウィンドウ幅	50	100	200
推定誤差 (%)	3.53	3.86	5.19

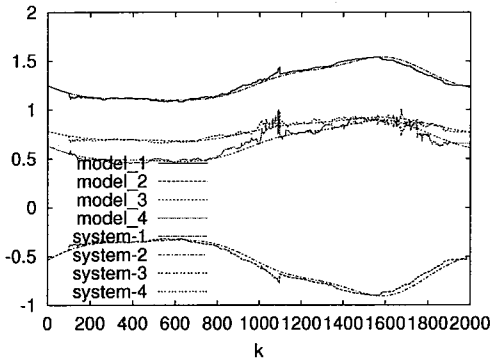


図 4 ζ 変動時のパラメータ推定結果

推定値に時間遅れが生じるが、正弦波状に変動する離散値系において本手法ではウィンドウ幅が小さいほうが推定誤差が小さいという結果を得た。

ウィンドウ幅を $N = 100$ として与え、シミュレーションした結果、得られたパラメータ推定値 $\hat{\theta}(k)$ を図 3 に示す。図より実パラメータとパラメータ推定値とは大きな誤差のある時刻が見られる。これは、雑音を 10 % としたことに原因があり、そのため推定が正しく行われなかったと考えられる。

4.4 減衰率 ζ の変動する場合

ウィンドウ幅を変えてシミュレーションした結果得られたパラメータの推定誤差 $J_{\hat{\theta}}$ を表 2 に示す。結果から推定誤差はウィンドウ幅の大きさに比例して増加している。ゲイン K の変動する場合と同様に、ウィンドウ幅が小さいほうが推定誤差が小さいという結果を得た。

ウィンドウ幅を $N = 100$ として与えシミュレーションした結果、得られたパラメータ推定値 $\hat{\theta}(k)$ を図 4 に示す。図よりパラメータをほぼ正しく推定していることが確認できる。

以上の結果から、推定誤差が小さく、変動するパラメータをオンライン推定できることを確認した。したがって、本手法は時変システムの未知変動パラメータをオンライン推定するのに有効であると考えられる。

5 むすび

システムパラメータは時間とともに変化し変動形態も未知であるため、関数で表現することは難しい。そこで、未知変動するシステムのパラメータをオンライン推定する手法に NN を用い、その理論的正当性を調べるためシミュレーションを行った。本手法により、未知変動形態をもつパラメータを数%の誤差でオンライン推定できることを確認した。

今後は最適化パラメータ τ の初期設定値を効率的に与える方法を検討して、計算時間の短縮を行う。さらに、パラメータ推定の誤差を低減する NN の中間層の大きさについて検討する。

謝 辞 本研究は、広島市立大学情報工学部の協力研究員として行った。研究の機会を与えてくださった関係各位に記して感謝の意を表する。

参考文献

- (1) Donald M. Wiberg, et al, "An on-line parameter estimator for quick convergence and time-varying linear system," IEEE, vol.45-10, pp.1854-1863, 2000.
- (2) 森本滋郎, 山本由和, 小林郁典, 田淵敏明, 古本奈奈代, "時変パラメータ追跡のための一適応アルゴリズム," 計測自動制御学会論文集, vol.33, pp.1108-1110, 1997.
- (3) 清水清孝, システム制御と数理計画法, コロナ社, 1980.

付 録

1 2 次連続系の離散化パラメータ

2 次連続系をサンプリング間隔 T で離散化したとき、パラメータ $\theta(k)$ は次のように与えられる。

まず、次のようにおく。

$$a(k) = \zeta(k)\omega_n$$

$$\omega_o(k) = \sqrt{1 - \zeta^2(k)}$$

$$\phi(k) = \tan^{-1} \left(\frac{-a(k)}{\omega_o(k)} \right)$$

$$g(k) = \frac{K(k)}{a^2(k) + \omega_o^2(k)}$$

ここで、固有角周波数 $\omega_n = 1.0$ 、サンプリング間隔 $T = 2.0\pi/10$ とする。

$\zeta < 1$ のとき

$$\begin{aligned}\theta_1(k) &= 2 \exp\{-a(k)T\} \cos(\omega_0(k)T) \\ \theta_2(k) &= -\exp\{-2a(k)T\} \\ \theta_3(k) &= g(k) \{\exp\{-a(k)T\} \sec \phi(k) \\ &\quad \cos(\omega_0(k)T - \phi(k)) - 2 \exp\{-a(k)T\} \\ &\quad \cos(\omega_0(k)T) + 1\} \\ \theta_4(k) &= g(k) \{\exp\{-2a(k)T\} - \exp\{-a(k)T\} \\ &\quad \sec \phi(k) \cos(\omega_0(k)T - \phi(k))\}\end{aligned}$$

$\zeta \geq 1$ のとき

$$\begin{aligned}\theta_1(k) &= 2 \exp\{-a(k)T\} \cosh(\omega_0(k)T) \\ \theta_2(k) &= -\exp\{-2a(k)T\} \\ \theta_3(k) &= g(k) \{\exp\{-a(k)T\} (\tan \phi(k) \sinh(\omega_0(k)T) \\ &\quad + \cosh(\omega_0(k)T) - 2 \exp\{-a(k)T\} \\ &\quad \cosh(\omega_0(k)T) + 1\} \\ \theta_4(k) &= g(k) \{\exp\{-2a(k)T\} - \exp\{-a(k)T\} \\ &\quad (\tan \phi(k) \sinh(\omega_0(k)T - \cosh(\omega_0(k)T))\}\end{aligned}$$

2 勾配ベクトルの計算

τ の最適化に必要な k' 時刻における各勾配ベクトルを算出する。

(1) $\frac{\partial \hat{x}(k')}{\partial \hat{\theta}(k')}$ の算出

$$\frac{\partial \hat{x}(k')}{\partial \hat{\theta}(k')} = \begin{bmatrix} \hat{x}(k'-1) \\ u(k'-1) \end{bmatrix}^T + \hat{\theta}^T(k') \begin{bmatrix} \frac{\partial \hat{x}(k'-1)}{\partial \hat{\theta}(k')} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}$$

ただし、

$$\hat{x}(k'-1) = \begin{bmatrix} \hat{x}(k'-1) \\ \hat{x}(k'-2) \\ \vdots \\ \hat{x}(k'-r) \end{bmatrix} \quad u(k'-1) = \begin{bmatrix} u(k'-1) \\ u(k'-2) \\ \vdots \\ u(k'-n) \end{bmatrix}$$

(2) $\frac{\partial \hat{\theta}(k')}{\partial \tau}$ の算出

$w1_j$ に関する勾配

$$\begin{aligned}\frac{\partial \hat{\theta}_l(k')}{\partial w1_j} &= \frac{\partial \hat{\theta}_l(k')}{\partial h_j(k')} \frac{\partial h_j(k')}{\partial s_j(k')} \frac{\partial s_j(k')}{\partial w1_j} \\ &= w2_{lj} h_j(k') (1 - h_j(k')) I(k')\end{aligned}$$

$w2_{lj}$ に関する勾配

$$\frac{\partial \hat{\theta}_l(k')}{\partial w2_{lj}} = h_j(k')$$

e_j に関する勾配

$$\begin{aligned}\frac{\partial \hat{\theta}_l(k')}{\partial e_j} &= \frac{\partial \hat{\theta}_l(k')}{\partial h_j(k')} \frac{\partial h_j(k')}{\partial s_j(k')} \\ &= w2_{lj}(k') h_j(k') (1 - h_j(k')) (-1)\end{aligned}$$

クリヤー塗膜の染色による加飾技術の開発と実用化研究

金 行 良 隆

A Study on Decorating Technology by Dying Clear Coating Films

Yoshitaka KANEYUKI

A color clear coating technology is widely spread as coating with high transparency on the surface of glittering metals. But in case of painting on complicated forms, color clear coating often brings irregular color. In order to avoid this problem, decorating technology with dying clear coating films was studied.

Keywords: Dyeing Clear Coating Films

光輝金属面を活かしながら透明感の高い着色を行うための技術として、現在はカラークリヤー技術が広く普及している。しかし、カラークリヤーは複雑な形状において色むらが出る可能性が高い。これを解決する手法としてクリヤー塗膜の染色による加飾技術の研究を行った。

キーワード：塗膜染色

1. 緒言

近年では製品の性能・機能はもちろんのこととして、デザイン・カラーリングといった意匠性・美粧性への消費者の意識の高まりがある⁽¹⁾。よって、耐食性の高いステンレス・アルミニウム等の金属素材表面や、防食のために施したニッケルめっき面に対しても、素材の光輝金属面を活かしながら着色するという技術が広く使用されている⁽¹⁾。

この光輝金属面への着色には、現在では通常、カラークリヤーという技術が使用されている。これは、透明塗料(クリヤー)に染料を混合することにより透明感の高いカラーリングを行う技術であり、手軽な着色方法として広く普及している。しかし、カラークリヤーは、クリヤーに染料を混合して塗装するため、膜厚のバラツキがそのまま色の濃淡となり、凹凸面や複雑な形状ほど色むらとなりやすい。

そこで、クリヤー塗装後に染料液に浸漬し、クリヤー表層面から染色するという新しい加飾技術を開発した。この手法によれば、上記のようなカラークリヤー塗膜の色むらなどが起こりにくい。本研究では、染色クリヤー塗膜の促進耐候性及び物理的な塗膜特性等の確認等を行った。

2. 実験概要

2.1 焼付クリヤー塗膜の染色⁽¹⁾⁽²⁾

クリヤー塗膜の染色を行う対象材料として、ステンレスSUS304(JIS G 4305)、真鍮C2801P(JIS H 3100)及び銅C1100P(JIS H 3100)を用いた。

焼付クリヤー塗料は、アクリル樹脂塗料(規定乾燥条件：150℃×20分)及びメラミン樹脂塗料(規定乾燥条件：130℃×20分)の2種類を用い、約25μmの厚さに塗装する。100℃×20分の半乾燥を行い、冷却後、染色溶液に浸漬することにより塗膜染色する。

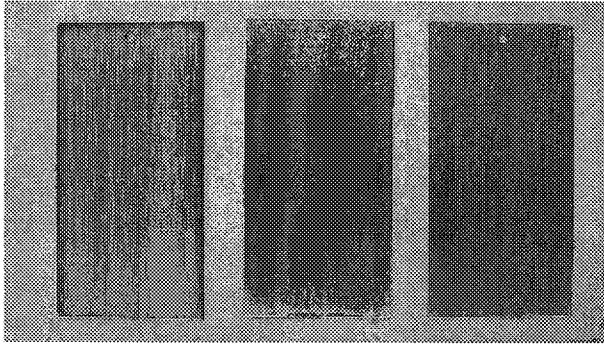


図1 焼付塗膜の赤色染色試験片
(左からステンレス、真鍮、銅)

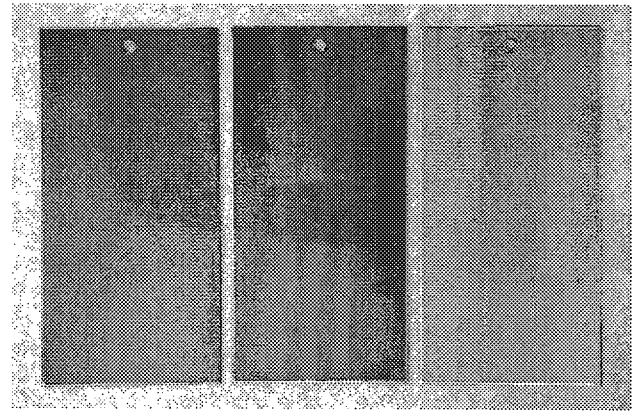


図2 常温乾燥型塗膜の染色試験片
(左からステンレス、真鍮、銅)

染色溶液は、溶媒はメタノール、1-ブタノール、エチレングリコールモノエチルエーテルを70：15：15の体積比で混合し、この混合溶媒1 dm³に塩基性染料を10 g 溶解させたものを染色溶液とする。

図1には、素地が見えやすいように、塗装前の素材に#40ペーパーで傷を入れてからアクリルクリアー塗装を施し、赤色に染色した試験片の例を示す。

2.2 2液型常温乾燥クリアー塗膜の染色

工程の短縮化、簡素化を行うため、2液型常温乾燥クリアー塗料による塗膜染色の実験を行った。

対象材料は上記と同様で、塗料に2液型常温乾燥アクリル変性ウレタンクリアー塗料及び2液型常温乾燥フッ素系クリアー塗料の2種類を試した。なお、これらの塗料は常温乾燥と強制乾燥(温度をかけて乾燥させること)の両方が可能である。また、染料にはアクリル繊維を良く染める性質を持つカチオン

型染料を用い、染色溶媒をメタノールのみとした。

図2にステンレスを素材として常温乾燥クリアー塗膜を染色した試験片の一例を示す。

3. 実験結果

図3には、各色の染料を用い、焼付塗膜を染色して作成した試験片を示す。

このように、染料及び染色液への浸漬時間を変えることにより多くの種類の色を作ることが可能である。

アクリル塗膜の染色条件を色々変えて最適化を試みた。図4に、60℃～110℃までの半焼付温度における染色時間と元のクリアーとの色差 ΔE との関係を示す。この色差はJIS K 5600-4-4～6によってD 65(10°)の条件によりL*a*b*表色系により測定したものである。この ΔE が大きいほどクリアーとの色差が大きい、すなわちよく染まっているという

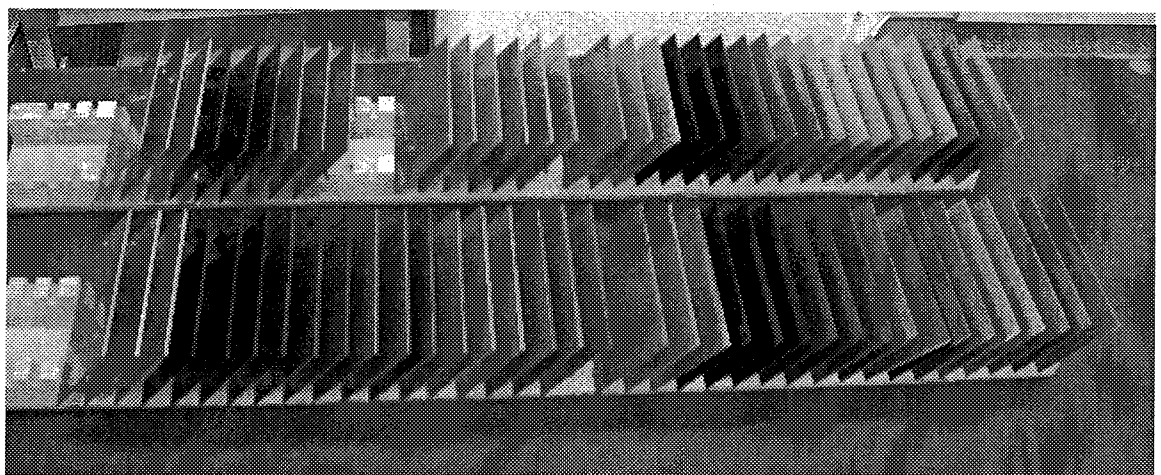


図3 試作試験片：上段がメラミン、下段がアクリル
左半分が5分浸漬染色、右半分が20分浸漬染色

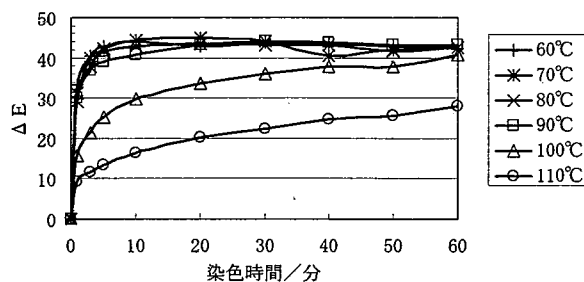


図4 アクリル塗膜の半焼付温度、染色時間とΔE

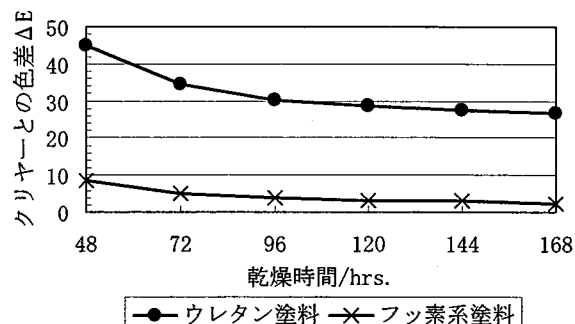


図5 常温乾燥時間と染色時の色差

ことである。図から、90℃以上ではΔEは温度の上昇に伴い小さくなるのが分かる。しかし、半焼付温度90℃以下では実験結果に差はなく、20分以上染色してもあまり結果が変わらない。なお、あまり半焼付温度が低い、または染色液への浸漬時間が長いと塗膜が膨潤して透明感が失われる。このため、半焼付温度はなるべく高く、また、染色時間はなるべく短くすることが望ましい。

染色溶媒は、混合溶媒と比較的安価なメタノールを使用した。メタノールだけでも染色可能であることが分かった。ただし、メタノールは揮発が早いので、染色しないときは蓋を付けておくこと等が必要である。

染色後の機械的塗膜物性を表1に示す。これにより、染色後の焼付塗膜は、元のクリアーと機械的塗膜物性の差がないことが解った。

上述のとおり、焼付クリアー塗膜を半焼きにすることにより塗膜染色が可能である。しかし、この方法は染色前後に2回焼付を行わなければならない。工程短縮化のため、焼付後の塗膜を染色する方法を検討したが、よい染色法を見出すことができなかった。そこで、常温乾燥型のクリアー塗料について、

乾燥後のクリアー塗膜の染色を試みた。結果として、図2に示したように乾燥後の塗膜を染色することが可能であった。

実験はウレタンクリアーと耐汚染性に優れるフッ素樹脂系の常温乾燥クリアー塗料について行った。図5に、これらの塗膜の常温乾燥時間と染色時の色差を示す。なお、この時の染色時間は2分である。図から、フッ素系のクリアー塗膜はあまり染色することができないことが分かる。

上述のクリアー塗装では、塗装後2日以下で染色を行った場合、染色後の水洗の際にシミが発生、あるいは塗膜が膨潤して透明感が失われる結果となった。塗装を行った3～4日後に染色を行えば、十分に染色が可能であり、寧ろ焼付塗膜よりもよく染まる結果となった。また、ウレタンクリアーについては強制乾燥後も染色が可能であることが分かった。

箱文字・メタルサインなど、塗膜染色技術による部品・製品を屋外で使用した時を想定し、塗膜の耐候性を評価するため、JIS B 7753に規定するサンシャインウェザーメーターによる促進耐候性試験(B. P. T. 63℃、降雨サイクル18/120分)を行った。試料は、アクリル焼付塗料及びウレタン系常温乾燥クリ

表1 クリアー塗膜及び染色塗膜の機械的物性

試験方法		アクリル塗膜		メラミン塗膜	
		クリアー	染色塗膜	クリアー	染色塗膜
引っかき硬度	JIS K 5600-5-4	2 H	2 H	F	F
付着性	JIS K 5600-5-6	分類0	分類0	分類0	分類0
耐おもり落下性	JIS K 5600-5-3 1/4R, 500g, 50cm	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし

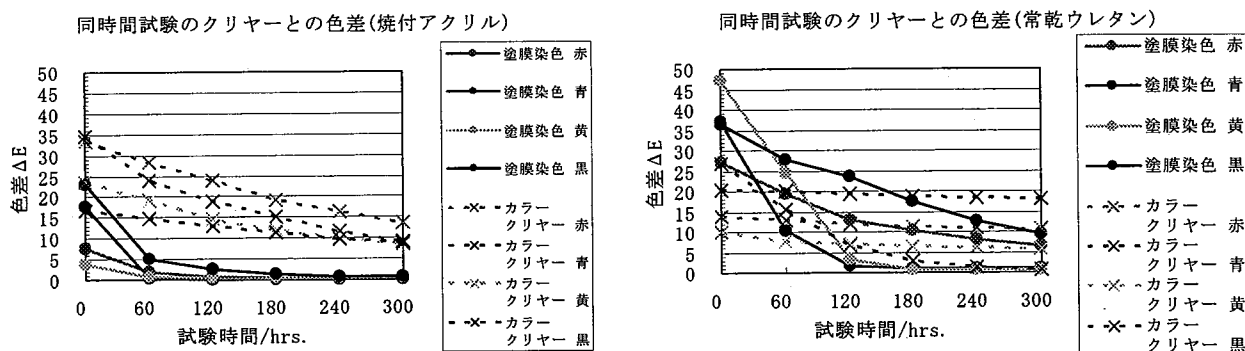


図6 促進耐候性試験によるクリヤー塗膜との色差の経時変化

ヤー塗料の2種類の塗料について、メタノール系染料を使用したカラークリヤー及び塗膜染色の試験片をそれぞれ作成して試験を行った。

図6にサンシャインウェザーメーターによる促進耐候性試験の結果を示す。評価は同じ試験時間のクリヤー塗膜との色差により行った。つまり、 ΔE が0に近いほど色が抜けているということになる。この結果、塗膜染色により作成した試験片は、カラークリヤー塗装したものと比較して色落ちが激しいことが解った。染料がもともと紫外線に弱いことと、表層面から染色を施していることにより、カラークリヤーと比較しても色落ちが激しい結果となってしまったと考えられる。また、塗膜染色後に対紫外線フッ素樹脂クリヤーを塗布しても短時間での色落ちを免れられなかった。このように現時点では屋外で使用するのは困難であるため、屋内での使用を検討する必要がある。

最後に、塗膜染色技術の応用例として、図7に示すような部分染色を行った。これはアクリルクリヤー塗膜を半焼にした後、テープやパラフィンでマスキングして染色を行い、テープによるマスキングの場合はこれを除去後、焼付を行ったものである。パラフィンによるマスキングの場合は、焼付時に揮散するため、焼付前の除去は不要である。スクリーンプリンティング技術によりマスキングを行うなど、応用することにより、種々の模様の染色が可能であると考えられる。

4. 結 言

クリヤー塗装した光輝金属面に塗膜染色を施す研究を行い、以下の研究成果を得た。

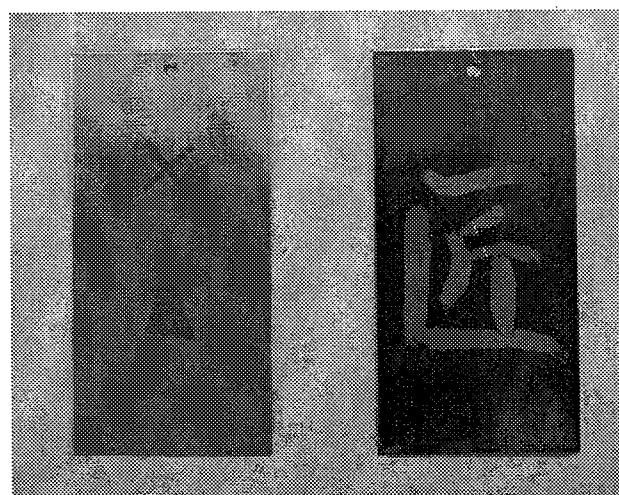


図7 部分染色による試作試験片

- (1) 焼付アクリル及び焼付メラミン塗料について、半焼を行うことによる塗膜染色が可能であることが解った。塗膜の膨潤を避けるため、染色時間は短い方が望ましい。
- (2) 2液型ウレタン塗料(常温乾燥)は塗膜硬化後も染色が可能であることが解った。また、2液型フッ素系クリヤー塗料は塗膜硬化後の染色が困難である。
- (3) 染色前にロウ等でマスキングすることにより部分染色が可能である。スクリーンプリンティング技術を用いれば、絵柄や模様も可能と思われる。
- (4) 塗膜の物理的性質については、それぞれのクリヤー塗膜と変わらないことを確認した。

なお、本研究は、中小企業技術開発産学官連携促進事業(経済産業省補助)の一環として実施した。関

係各位に謝意を表する。

参考文献

- (1) 山寄勝弘, 野村孝雄, 斉藤文二, 広島市工業技術センター年報, Vol. 9, pp. 53-57 (1995).
- (2) 青木司, 実務表面技術, Vol. 28, No. 11, pp. 563-564 (1981).