

ISSN 0917-6640

広島市工業技術センター一年報

第13巻

ANNUAL REPORTS

of

HIROSHIMA MUNICIPAL
INDUSTRIAL TECHNOLOGY CENTER

VOL. 13

1999

平成 11 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。

さて、わが国の中小製造業を取り巻く経済環境は、個人消費は低調ななかにも持ち直しの傾向が見られますが、消費者ニーズの多様化やグローバル化の進展に伴う流通構造の激変などが深刻化し、依然厳しい状況が続いております。

このような情勢を受け、中小製造業におきましては、独創的研究開発の推進及び生産システムの最適化が、一層強く求められています。

当センターといたしましては、このような状況のもと、企業の技術力の向上、技術革新への対応として、微力ながらも技術指導・相談、研究会・講習会の開催、設備機器の提供、産学官連携の推進、国庫補助による公設試験研究機関との共同研究等、積極的に取り組んでいるところです。

ここに、平成11年度に実施しましたこれら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。従来同様お気軽にご利用いただき、ご意見、ご要望などございましたらご教示いただければ幸いです。

今後とも、技術指導をはじめ産学官連携の強化など時代の変化に即応した新技術・新分野開拓を一層推進し、地域産業の技術支援に努めてまいります。

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 石原道雄

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) 技術支援基盤整備事業	13
(5) 地域産業技術開発研究事業	14
(6) 自動車関連新技術支援事業	14
(7) 特定技術後継者育成事業	15
(8) 超精密加工技術研究事業	16
(9) 新技術共同研究事業	17
(10) 新事業展開共同研究事業	19
(11) 地域産業活性化推進事業	20
(12) 技術開発融合化促進事業	20
(13) 重慶市との技術交流事業	23
(14) 産業デザイン振興事業	23
(15) 工業技術支援アドバイザー派遣事業	25
(16) 設計・開発デジタル化技術者育成支援事業	25
(17) ライシングジェネレーションテクノ21	26
(18) 産学官共同研究推進事業	26
(19) 技術者研修事業	27
(20) 発明考案奨励・表彰事業	29
(21) 広島市工業技術振興協議会	30
(22) 会議・研究会への参加	31
(23) 技術職員派遣研修事業	32
(24) 講師・委員の派遣	32
(25) 発表（誌上・口頭）	33
(26) 受賞・表彰等	34

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 (組織：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 (組織：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 (組織：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 (組織：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)

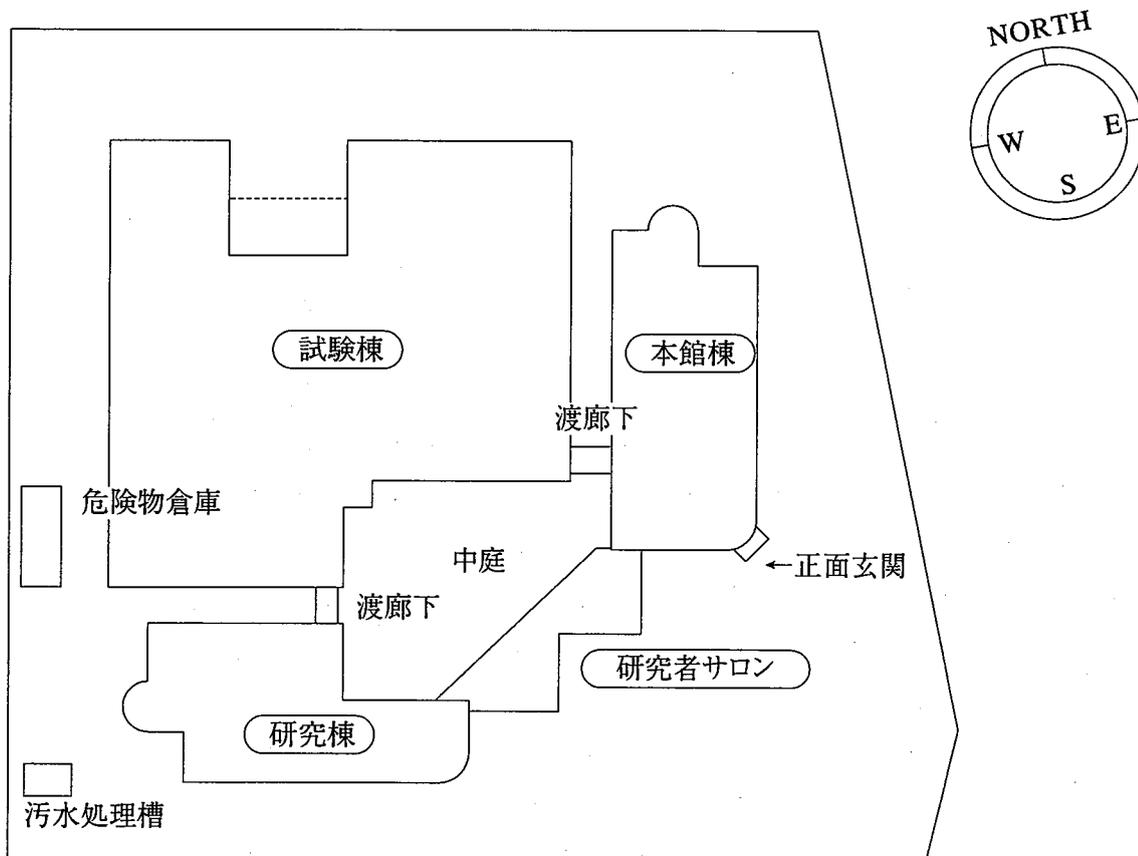
(2) 施設規模

① 土地建物

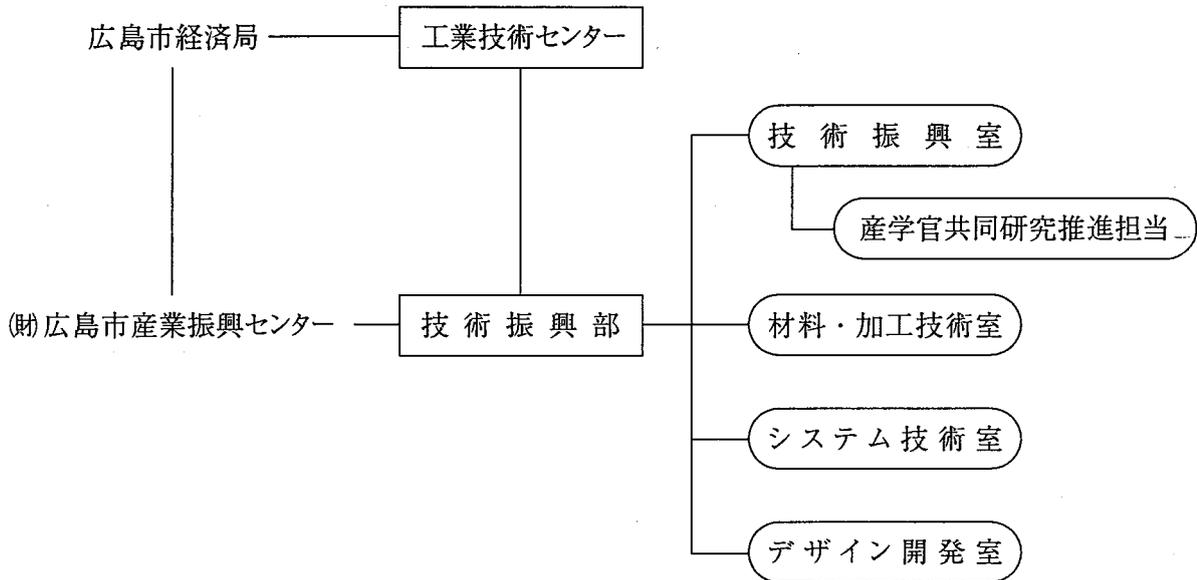
(単位：m²)

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	倉庫その他	污水处理機械室	計
地階				45.82				45.82
1階	587.49	180.66	541.03	2,404.20		60.00	13.86	3,787.24
2階	459.21	65.66	541.03	440.31	19.16			1,525.37
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	60.00	13.86	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・加工・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10年度予算額	平成11年度予算額	増 減
商 工 使 用 料	719	740	21
商 工 手 数 料	32,198	32,437	239
商工費国庫補助金	24,529	12,969	△ 11,560
雑 入	13,734	12,656	△ 1,078
合 計	71,180	58,802	△ 12,378

② 歳 出

(単位：千円)

科 目	平成10年度予算額	平成11年度予算額	増 減
報 償 費	61	61	0
普 通 旅 費	1,260	1,090	△ 170
消 耗 品 費 等	4,010	3,208	△ 802
食 糧 費	28	27	△ 1
修 繕 料	0	0	0
通 信 運 搬 費	114	110	△ 4
手 数 料 等	41	41	0
委 託 料	177,168	151,338	△ 25,830
使用料及び賃借料	297	57	△ 240
備 品 購 入 費	78,595	52,995	△ 25,600
負担金補助及び交付金	18,089	19,251	1,162
合 計	279,663	228,178	△ 51,485

(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
金属摩耗試験機	(株)島津製作所 48447型	昭和41年度
焼入試験機	(株)川崎製鉄	昭和41年度
顕微鏡	ニコン(株) AFM型	※昭和47年度
渦電流式非破壊膜厚計	デーミロン社 D-5型	★昭和47年度
万能表面形状測定機	(株)小坂研究所 SE-3C-501806型	★昭和47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
真空蒸着装置	(株)島津製作所 VPC-350型	昭和51年度
雰囲気加熱炉	光洋リンドバーク(株) G8-50 AC-145	昭和51年度
立型フライス盤	日立(株) 3M型	※昭和52年度
金属顕微鏡	ユニオン(株) 6318型	昭和54年度
荷重変位測定装置	(株)シンコー工業 6505型	★昭和54年度
デジタル変角光沢計	スガ試験機(株) UGV-4D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
サン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
自記分光光度計	(株)島津製作所 UV-240型	※昭和56年度
インストロン型万能試験機	インストロンジャパン(株) 1125型	※昭和56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
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
マイクロビッカース硬度計	松沢精機(株) DMH-1型	※昭和58年度
直流アーク溶接機	大阪変圧器(株) CPXGT-350型	★昭和58年度
マッフル炉	(株)亀井製作所 3513型	※昭和58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
高温真空炉	(株)島津製作所 DEGUSSA	※昭和58年度
示差熱分析装置	真空理工(株) TA-1500型	※昭和59年度
プログラマブルコントローラ	立石電機(株) SYSMACC-120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
平面研削盤	日興機械(株) NSG-520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	タバイエスバック(株) PL-4G	★昭和62年度
高周波プラズマ分析装置	(株)日本ジャーレルアッシュ ICAP-575型	※昭和62年度
X線マイクロアナライザー	(株)島津製作所 8705QH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
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
ロジック開発システム	YHP(株) 64000型	昭和62年度
CAD/CAMシステム	富士通(株) S-3300 ANVIL-4000	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
デザインスコープ	(株)いずみや 3N型	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 EPE700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
フローコーター塗装機	岩田塗装機工業(株) FL-W3F型	昭和62年度
プラズマ溶射装置	プラズマデザイン社 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
コーナーロックンギンマシン	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
低荷重精密万能試験機	(株)島津製作所 AGS-1000A型	★昭和63年度

機 器 の 名 称	型 式	購 入 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	タバイエスベック(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
高速度手押しかんな盤	(株)桑原製作所 KP-300LDX型	昭和63年度
自動一面かんな盤	(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	タバイエスベック(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)ランズバーグゲマ エレツペR-E-AN	平成元年度
熱間静水圧プレス(HIP)	三菱重工業(株) O2-LaboHIP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	日本クラウトクレーマーウェルター(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
画像処理システム	(株)ネクサス 7106型	★平成2年度
コンピュータグラフィックシステム	アップル社 マッキントッシュ FXシステム	★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

★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
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
AI開発システム	(株)東芝 AS4075GX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
摩擦摩耗試験機	神鋼製造(株) ファレックス型	★平成4年度
デジタイザシステム	(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
メカニカルCAEシステム	(株)ビューレットパッカーード社 モデル735	★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
50Jシャルピー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
デュー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トーション(株) TE-03-AFS01	平成8年度
大型恒温恒湿低温室	タバイエスペック(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

☆通商産業省補助対象機器 ★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
工具顕微鏡	(株)トプコン TUM-220EH	※平成9年度
示差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	富士写真フィルム(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 プラズマン 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トーシ(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
万能混練攪拌機	(株)ダルトン 25AMV-rr	※平成10年度

平成11年度新設機器

機 器 の 名 称	用 途	備 考
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	製品内部構造の欠陥・異常等を検知する非破壊検査システムの開発	中小企業庁補助対象機器
超音波振動ユニット (株)岳将 ULTRA-700	ドリル等に超音波振動を付加し、微細加工を行う装置	〃
シミュレーションシステム開発装置 MathWorks MATLAB	構造-流体-伝熱系の物理現象シミュレーションプログラムの開発	〃
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	自動車等の工業製品のデザインモデルをコンピュータ上で表現し、NC加工機等の3次元加工データを作成	日本自転車振興会補助対象機器
分光式色差計測システム 日本電色工業(株) SQ-2000	塗膜・木材・プラスチック等の表面色差を測定	〃
変角光沢計測システム スガ試験機(株) UGV-6P	塗膜・木材・プラスチック等の光沢残存率変化を測定	〃
恒温振盪水槽 タイテック(株) XY-80	めっき等の表面に含まれる微量の付着物・含有成分の液体抽出	
色彩輝度計 ミノルタ(株) CS-100	微小面の塗膜、発光体の輝度、表面色の測定	
攪拌機 特殊機化工業(株) T.K.ホモディスパー 2.5型	攪拌や低粘度から高粘度の液体の均一混合	

2 事 業

(1) 依 頼 試 験	11
(2) 設 備 利 用	11
(3) 技 術 指 導 ・ 相 談	12
(4) 技 術 支 援 基 盤 整 備 事 業	13
(5) 地 域 産 業 技 術 開 発 研 究 事 業	14
(6) 自 動 車 関 連 新 技 術 支 援 事 業	14
(7) 特 定 技 術 後 継 者 育 成 事 業	15
(8) 超 精 密 加 工 技 術 研 究 事 業	16
(9) 新 技 術 共 同 研 究 事 業	17
(10) 新 事 業 展 開 共 同 研 究 事 業	19
(11) 地 域 産 業 活 性 化 推 進 事 業	20
(12) 技 術 開 発 融 合 化 促 進 事 業	20
(13) 重 慶 市 と の 技 術 交 流 事 業	23
(14) 産 業 デ ザ イ ン 振 興 事 業	23
(15) 工 業 技 術 支 援 ア ド バ イ ザ ー 派 遣 事 業	25
(16) 設 計 ・ 開 発 デ ジ タ ル 化 技 術 者 育 成 支 援 事 業	25
(17) ラ イ シ ン グ ジ ェ ネ レ ー シ ョ ン テ ク ノ 21	26
(18) 産 学 官 共 同 研 究 推 進 事 業	26
(19) 技 術 者 研 修 事 業	27
(20) 発 明 考 案 奨 励 ・ 表 彰 事 業	29
(21) 広 島 市 工 業 技 術 振 興 協 議 会	30
(22) 会 議 ・ 研 究 会 へ の 参 加	31
(23) 技 術 職 員 派 遣 研 修 事 業	32
(24) 講 師 ・ 委 員 の 派 遣	32
(25) 発 表 (誌 上 ・ 口 頭)	33
(26) 受 賞 ・ 表 彰 等	34

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	37	74	151,700
	物 理 試 験	4	22	42,240
	接 着 試 験	3	16	12,600
	製 品 性 能 試 験	25	662	419,280
	小 計	69	774	625,820
金属・非金属	機 械 試 験	3,420	13,225	22,726,330
	物 理 試 験	212	619	1,935,410
	分 析 試 験	162	546	1,844,510
	小 計	3,794	14,390	26,506,250
表面处理	塗 料 試 験	—	—	—
	皮 膜 試 験	247	11,257	3,798,690
	小 計	247	11,257	3,798,690
電子・電気	電子計算機による解析	1	1	4,610
	電 気 試 験	8	8	9,200
	小 計	9	9	13,810
試験用試料作成	木 材 ・ 木 製 品	—	—	—
	金 属 ・ 非 金 属	13	38	83,110
	塗 装 ・ 皮 膜	28	66	322,080
	電 子 ・ 電 気	2	16	24,960
	小 計	43	120	430,150
意匠図案の作成		7	15	57,900
工業製品の試作		1	2	1,920
試験・検査に関する証明		38	62	22,320
合 計		4,208	26,629	31,456,860

(2) 設備利用

区 分	件 数	数 量	歳入額(円)
工 作 機 械	46	154	104,430
試 験 設 備	276	1,912	804,500
合 計	322	2,066	908,930

(3) 技術指導・相談

	分 野	内 容	合 計
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	91
B	電 子 ・ 電 気	電力機器 電気応用機器 電子応用機器	117
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	256
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	804
E	木 材 ・ 木 質 材	材料 加工技術 表面技術 改質技術	91
F	情 報 処 理	情報管理 情報数理 コンピュータシステム	48
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	75
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	2
I	資 源	金属鉱業 石灰・石油鉱業	3
J	建 設	鋼構造 コンクリート製品	2
K	衛 生	環境 公害防止技術 廃棄物利用技術	11
L	そ の 他		123
合 計			1,623

(4) 技術支援基盤整備事業

中国四国地方公設試験研究機関共同研究「機械加工技術分野」(担当 岡田)

研究テーマ 金型加工技術の高機能化に関する研究

チタンの粉末を放電プラズマ焼結機により成形し、電極として用いて形彫放電加工を実施した。その結果、表層部に高硬度のTiCの化合物層ができていることが確認できた。

中国四国地方公設試験研究機関共同研究「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

細い配管内面の非破壊損傷計測において、周囲に障害物のある場合には、外部からの計測は困難である。そこで、本問題を解決するため、レーザー光を管内面に照射してできる光切断線をCCDカメラで撮影し、画像処理により光切断線のひずみ量を計測する手法を提案した。そして、本計測システムを構築し、検証を行った。

中小企業庁共同研究①(担当 古谷)

研究テーマ デジタルエンジニアリングデータの共有と利用技術

指定課題「デジタルエンジニアリングデータの共有と利用技術」のもとで岐阜県、山口県、高知県、大分県、広島市の5つの公設試験研究機関で共同研究を実施した。当センターの分担課題は「構造系、流体系、伝熱系のエンジニアリングシステムの統合化及びその活用技術」であり、構造系、流体系、伝熱系の各現象を連成させて解析する方法について研究を実施した。

中小企業庁共同研究②(担当 田中秀)

研究テーマ 非破壊センサによる知的診断システムに関する研究

密封容器内面の付着物状態および細い配管内面損傷程度を計測し、自動診断するシステムの実現を目的として研究を行った。そして、密封容器内および配管内面それぞれに対するセンシングシステムを構築した。本研究は岩手県、秋田県、山形県、鹿児島県の公設試験研究機関と共同で行った。

中小企業庁共同研究③(担当 栗原)

研究テーマ 高周波振動複合加工による金属材料の微細加工に関する研究

切削工具に高周波の微振動を付加した加工を行い、加工時の切削抵抗等を評価した。その結果、超硬材質の工具に高周波振動を付加した場合、工具へのダメージが軽減できる事が明らかになった。本研究は徳島県、大分県、長野県の公設試験研究機関と共同で行った。

大学との共同研究(担当 隠岐)

広島大学工学部第一類(機械系)

研究テーマ HIPによる焼結チタン材の材質制御

純チタン材、チタン合金及びTiC粒子分散チタン材について、CIP(冷間等方加圧)→VS(真空焼結)→HIP(熱間等方加圧)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、TiC粒子分散チタン材において、引張性質及びその変形における破壊形態を局所面積率及び局所粒密度等の空間分布パラメータにより調べた。

(5) 地域産業技術開発研究事業 (担当 上杉、衆原、田中真、西山)

共同研究テーマ アクティブセンシングによる高機能製品の機能診断技術

中国工業技術研究所が主体となって平成9年度から平成13年度まで5年間にわたる産官学共同研究事業である。分担研究テーマ「動的高機能製品の健全度知的診断システム」に関する研究として、工具摩耗と音響特性の定量化・材料の疲労損傷度計測センサの開発・センシング・モニタリング技術の3テーマについて継続し、研究している。

(6) 自動車関連新技術支援事業

新加飾技術研究会 (担当 山寄)

本研究会は、自動車部品の塗装関連企業を中心とした会員企業と共同で、鉄鋼、アルミニウム、亜鉛、マグネシウム、ステンレス、銅合金等で製造された日用雑貨、家具金具、住宅部品、スクリーン印刷等を対象として、パッド印刷、染色、転写等の新加飾技術の研究をしており、「塗膜染色による光輝金属面の新加飾方法」「電解による電着排水のCOD削減技術」「蓄光クリヤーの屋外実用性評価」をテーマに研究を行った。

【会員企業】

(有)アートプランニング、片山工業(株)、カワダ(株)、(株)紀陽、(株)熊平製作所、(株)エコ、新明和工業(株)、(株)高山商会、大協(株)、西川化成(株)、(株)日本製鋼所、(株)日本パーカーライジング、平岡技術研究所、マツダ(株)、マツダ部品工業(株)、三葉工業(株)、宮川化成工業(株)、(株)メンテック、(株)ニッポー、住野工業(株)、(株)研創、(株)東洋シート

開催月日	テ マ	講 師
第1回 4月16日	研究テーマ「蓄光クリヤーの屋外実用性評価」について 技術講演「地球に優しい粉体塗料」	(財)広島市産業振興センター 山寄 勝弘 日本ペイント(株) 石原 嘉孝 氏
第2回 6月23日	講演「地球に優しい省エネ・省資源に適用した新しい塗装機」	ランズバーグ・インダストリー(株) 荒巻 勝成 氏 杉田 雅治 氏
第3回 7月9日	講演「重防食塗料の環境対策」 講演「鋼橋塗装の現状と将来について」 講演「高塗着スプレーシステムについて」	中国塗料(株) 倉田 忠志 氏 (株)日本鋼橋塗装専門会 福島 稔 氏 旭サナック(株) 杉本 久 氏
第4回 7月23日	講演「デジタルプリントにおける表面保護及び裏面加工について」 「蓄光クリヤーの屋外実用性評価」の進捗状況	リンテック(株) 小島 一仁 氏 (財)広島市産業振興センター 山寄 勝弘
第5回 11月18日	実地研修「箱文字の表面処理・塗装工程について」	(株)研創 高森 秀喜 氏
第6回 3月9日	報告「蓄光顔料メーカーの調査結果」 講演「マグネシウム成形品の表面処理と塗装技術の現状」	(財)広島市産業振興センター 山寄 勝弘 カワイEMI 河合 宏紀 氏

創成工学研究会 (担当 古谷、上杉、西山)

科学の急速な進展により、工業製品への要求はますます高まっていることから、これまでも増して高機能、高性能な製品の開発・設計が必要不可欠となっている。このような状況の中で当研究会では、これから特に重要であると考えられる、人間の動的特性を考慮した製品開発に関する研究や産業界でかかえる高度な技術的課題を理論的及び実験的に解明することを目的とし、本年度は、加盟企業からの要望のあった、以下の研究テーマについて活動を行った。

- ① 非線形特性を考慮したタービンの設計方法（つづり翼の固有振動数解析の研究）
（株）シンコー
- ② 静動摩擦を考慮した平面歪み要素のトライボロジー問題に関する研究
デルタ工業（株）
- ③ ラグランジュ定数マトリックスのスパース解法
デルタ工業（株）
- ④ マンホールの表面形状が動摩擦係数に及ぼす影響
（株）二宮産業
- ⑤ 車両の後輪横力が走行安定性に及ぼす影響
（株）ハラダクニ
- ⑥ 歯車の噛み合いから発生する起振力がトランスミッション系に及ぼす振動特性
マツダ（株）
- ⑦ 人体・シート・ステアリングホイール・ペダル系の振動特性に関する研究（実験的研究）
マツダ（株）
- ⑧ シートの振動特性が長時間疲労に及ぼす研究
マツダ（株）
- ⑨ 製品開発のための新しいモデル化手法の開発
（株）ユーシン
- ⑩ 快適ロッキングソファの開発に関する研究
広島市工業技術センター

【会員企業】

黒石鉄工（株）、（株）シンコー、新川電機（株）、（株）DCS、デルタ工業（株）、（株）東洋シート、（株）二宮産業、（株）ハラダクニ、マツダ（株）、（株）ユーシン、（株）リョーセンエンジニアズ

開催月日	テ	マ	講	師
第1回 7月22日	建設機械の操作性向上をめざして		（株）小松製作所 開発本部システム 開発センター 技師 出浦 淑枝 氏	
第2回 11月30日	低加速度振動が入眠に及ぼす影響「電車の固有振動の1/fゆらぎ特性を応用した振動による入眠促進効果」		松下電工（株）電器分社電器R&D センター健康科学研究所 主査研究員 北堂 真子 氏	
第3回 3月7日	蒸気タービンブレードの振動設計		摂南大学 工学部 機械工学科 教授 角家 義樹 氏	
第4回 3月9日	自動車の操縦安定性評価法		防衛大学校 機械教室 機械システム 工学科 教授 原田 宏 氏	

(7) 特定技術後継者育成事業

高機能表面処理技術開発研究会（担当 植木）

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、二世（後継者）を中心とした構成により、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、後継者の育成と企業の発展を図ることを目的としている。

本年度は「環境」をキーワードにした活動の中で、研修会・先進地視察等のほか、めっき業界に対策が迫られている六価クロメート処理の代替技術に関する研究を行った。

【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、昇和化工(株)、新和金属(株)、泰洋工業(株)、(株)中村製作所、(株)日本アール、日鋼テクノ(株)、(株)日本パーカライジング広島工場、日本バレル工業(株)、福山メッキ工業(株)、(有)富士金属、富士金属工業(株)、マツダ(株)技術研究所、(有)ワイエスデー、(有)広鍍金工業所

開催月日	テ	マ	講	師
第1回 4月16日	総会	平成10年度第2回役員会・事業・決算の各報告 平成11年度事業計画・事業予算、役員改選、その他		
第2回 4月16日	研修	フロン、エタンの代替水系洗浄剤		ゴスペル化工(株) 鈴木 光彦 氏 小川 晃弘 氏
第3回 5月20日 21日	先進地視察研修	20日/ (株)太洋工作所 (大阪市) 21日/ 清水長金属(株) (京都市)		
第4回 6月24日	研修	マグネシウム合金の表面処理について		(株)日本製鋼所広島製作所 中津川 勲 氏
第5回 8月20日	役員会	企業見学研修、研究会の今後の進め方、その他		
第6回 10月7日	企業見学研修	新明和工業(株)特装車事業部 広島工場 (東広島市)		
第7回 10月28日	研修	ESCO事業について 工場用照明の省エネについて ヨーロッパから来た六価クロム対策		松下電工エンジニアリング(株) 永井 一弘 氏 松下電工(株) 森本 幸利 氏 アテックジャパン(株) 中村 幾一 氏
第8回 11月25日	企業見学研修	大協(株) (東広島市)		
第9回 12月17日	研修 講演	研究発表 ・六価クロムフリーへの対応研究 ・重慶市との共同研究 環境問題と自動車材料に関して		同研究会顧問 山本 侃靖 氏 (株)広島市産業振興センター 植木 邦夫 氏 マツダ(株)技術研究所 岡崎 健 氏
第10回 2月24日	研修	研究発表 ・六価クロムフリーへの対応研究		同研究会顧問 山本 侃靖 氏 (株)広島市産業振興センター 植木 邦夫 氏
第11回 2月24日	役員会	平成11年度事業・決算報告、平成12年度事業計画・予算(案)、その他		
第12回 3月24日	研修	PRTR法とは		広島県 水・大気・生活環境室 児玉 学 氏

(8) 超精密加工技術研究事業

超精密加工技術研究会 (担当 山本、栗原)

本研究会は、現在各企業が持っている技術を許される範囲で相互に公開提供し、加工試験、データ収集なども行いながら、各企業で直面している技術課題の解決を図り、加工技術を高度化させ、その技術のレベルアップの段階で精密加工への道を探り、将来を見据えた精密加工技術の確立を目標としている。本年度も広島大学教授 鳴瀧則彦氏をアドバイザーに、外部講師の協力を得て最新技術の研修や研究討議により解決策を得て、技術の向上を図った。

【会員企業】

荻野鉄工(株)、(有)工業センター、(株)島村製作所、(株)デルタツーリング、トーヨーエイテック(株)、(株)二上工作所、(株)西井製作所、(株)ヒロコウジェットテクノロジー、(株)フクトクダイヤ、(株)向井製作所

開催月日	テ マ	講 師
第1回 5月21日	新入会員・企業紹介、平成11年度の研究会計画、参加企業における技術課題・問題点の研究討議（焼入硬度HRC56～60工具鋼SK3のエンドミルによる溝加工、同硬度HRC45～50鋼材のエンドミルによる側面加工）	広島大学 工学部 鳴瀧 則彦 氏
第2回 7月23日	技術セミナーの実施 テーマ「高速高能率切削に有効な工具ホルダー・工具」	(株)日研工作所 木内 誠二 氏
第3回 9月24日	会員企業における技術課題の討議 （課題解決策の実施結果報告）	トーヨーエイトック(株) 末盛 孝 氏
第4回 11月22日	型技術研究会「型技術ワークショップ99in太田群馬」への参加報告 参加企業における技術課題・問題点の研究討議（発泡ウレタンの加工）	広島大学 工学部 鳴瀧 則彦 氏
第5回 1月21日	超音波微振動複合による微細穴加工の事例発表	(株)岳将 岳 義弘 氏
第6回 3月15日	セミドライ切削に関するセミナーの実施	フジ交易株式会社 作田 勇 氏

(9) 新技術共同研究事業

品質工学研究会（担当 市後、中村、衆原、田中真）

低コスト、短期間で製造工程の最適化や新製品開発を行える品質工学の手法を用いて、講師の指導のもと会員企業が抱える課題の解決に取り組んだ。研究成果の中から、平成12年6月の全国発表大会へ5テーマの発表があった。

【会員企業等】

(株)あじかん、極東工業(株)、(株)久保田鐵工所、(株)熊平製作所、(株)クラタ、(株)住建産業、食協(株)、中国精工(株)、デルタ工業(株)、(株)東洋シート、ナルデック(株)、西川化成(株)、西川ゴム工業(株)、(株)日本製鋼所広島製作所、(株)ヒロテック、フマキラー(株)、マツダ(株)、(株)マルニ、三浦工業(株)、(株)モルテン、ヨシワ工業(株)、リョービ(株)、広島県立西部工業技術センター、広島県立東部工業技術センター

開催月日	テ マ	講 師
第1回 5月20日	講師・アドバイザー紹介、各会員の自己紹介、平成10年度会員による研究事例発表、設計・技術開発の進め方・問題点把握	(財)日本規格協会 (株)あじかん 矢野 宏 氏 金築 利夫 氏
第2回 6月25日	研究テーマの提出、基本機能・誤差因子・テストピースの形状・実験方法などの討議	
第3回 7月15日	会員からのテーマ取り組み状況説明（基本機能、信号・誤差因子など）、講師・アドバイザーなどのアドバイス、討議	
第4回 9月10日	取り組み状況説明（予備実験終了・本実験実施段階。基本機能・誤差因子の考え方再チェック。）、講師・アドバイザーなどのアドバイス、討議	
第5回 11月11日	取り組み状況説明（本実験終了・確認実験段階）、講師・アドバイザーなどのアドバイス、討議（新たな課題発生・実施確認）	
第6回 1月20日	取り組み状況説明（確認実験終了段階。レポート未提出研究の口頭報告実施）、講師・アドバイザーなどのアドバイス、討議（確認実験の再現性、新たな因子設定・計算のチェックなど）、品質工学・公設試連絡協議会参加者の聴講・質疑応答、第8回品質工学研究発表大会へ向け5テーマ発表とする。	

メカトロニクス研究会 (担当 尾崎、田中秀)

機械加工、組立型企業が既存技術を基盤に、更に発展していく方法の一つとして、センサ応用技術やコンピュータ利用技術を活用した、機械系の高付加価値化があげられる。

本研究会では、その代表的な事例であるロボットや、他のメカトロニクス技術に関する研究者を招聘し、技術動向や先進研究事例の知見を得るとともに、具体的テーマによる試作研究を行うことにより保有技術の多様化を図ることを目的に活動した。

【会員企業】

新川電機(株)、(株)クラタ、マツダプランテック(株)、日本バンディング(株)、日本システムデザイン(株)、(株)サンエイエンジニアリング

① 研究事例紹介セミナー

開催月日	テーマ	講師
第1回 10月15日	lmsビジョンチップとそのセンサフュージョンシステムへの応用	東京大学大学院 石川 正俊 氏
第2回 12月17日	健康モニタリングシステム	広島工業大学 米沢 良治 氏
第3回 2月17日	立体視を用いた機械加工支援ロボットの開発	広島工業大学 玉野 和保 氏
第4回 2月25日	オフィスロボットjiro-2 実時間通信機能を備えたレスポンスチップ立体視を用いた機械加工支援ロボットの開発	電子技術総合研究所知能システム部 松井 俊浩 氏
第5回 3月17日	人間共存ロボットの技術～コミュニケーションと安全～	早稲田大学理工学部 菅野 重樹 氏

② 自在移動ロボットの試作

通常、体験することの少ない動きも実現可能な乗り物を試作することにより人間に心地よい移動方法、逆にスリルを感じる移動方法等、人間の移動方法と感性に関する実験研究やプログラムによる最短自動運転の研究、或いは、移動機構の研究などの実験素材として、駆動機能と操舵機能を合わせ持つ独立2輪と自在輪2輪からなる電動台車を試作した。

新材料プロセス研究会 (担当 隠岐)

機械金属関連の製造業を中心に、既存自社製品の改良および新製品の開発を目的に、各会員企業ごとの開発テーマを1テーマ以上持ち、各々が独立した形で直接物づくりのための実験を行った。

平成11年度の開発テーマは以下のとおりである。

- ・ 部品の接合、表面処理および表面改質
- ・ 防御材または耐火材の開発
- ・ 放電焼結装置の実験モデルプログラムの作成
- ・ 蓄光材料およびリン酸塩スラジの成形
- ・ 放電焼結による製品開発および量産化の検討

【会員企業】

(株)音戸工作所、(株)熊平製作所、中国精工(株)、(株)日本パーカラライジング広島工場、広島シンター(株)

開催月日	テ マ	講 師
第1回 6月29日	会員紹介、研究会運営方針、放電焼結機の説明及び実演、その他	広島大学 工学部 柳沢 平氏
第2回 9月13日	各会員企業の開発テーマについての討議、その他	
第3回 12月13日	話題提供：テーマ「放電焼結の焼結機構について」 各会員企業の開発テーマについての討議、その他	
第4回 2月7日	話題提供：テーマ「放電焼結の現状と原理について」 各会員企業の開発テーマについての討議、その他	
第5回 3月21日	話題提供：テーマ「放電焼結を用いた材料作りについて」 各会員企業の開発テーマについての討議、その他	広島大学 工学部 柳沢 平氏 松木 一弘氏
その他 3月29日 ～31日	成果報告及び先進地調査 日本金属学会 2000年春期大会（横浜市）で発表、ほか	広島市工業技術センター 隠岐 貴史

(10) 新事業展開共同研究事業

新型加工技術研究会（担当 岡田）

本研究会は、新たな新事業展開や新商品開発を目指す企業が共同で研究に取り組み、高付加価値を生む革新技術の開発を目的に活動している。

本年度は、研究テーマを「Ti電極での放電加工による新表面硬化法の開発」として、各種条件下で加工実験を実施し、被加工物の評価をして最適加工条件選定のための基礎的研究を実施した。

【会員企業】

(株)めいでん、(株)明光堂、(株)橋川製作所、シージーケー(株)、(有)平長鉄工所、チューリップ(株)、松本重工(株)、(株)久保田鐵工所、中国工業技術研究所

開催月日	テ マ	講 師
第1回 8月24日	議題1:Ti電極での放電加工による新表面硬化法の開発について ①問題点の抽出 ②実施方法についての検討 議題2:工業技術センターに設備されている機械装置について	アドバイザー： (有)寄高技術研究所 代表取締役 寄高 政史氏
第2回 11月11日	議題:「Ti電極での放電加工による新表面硬化法の開発」のテーマに沿っての検討と加工の実施(その1) ①電極条件の選定 ②電気条件の検討 ③加工対象物の選定 ④加工液条件検討 ⑤加工の実施 ⑥その他	
第3回 12月14日	議題:「Ti電極での放電加工による新表面硬化法の開発」のテーマに沿っての検討と加工の実施(その2) ①電極条件の選定 ②電気条件の検討 ③加工対象物の選定 ④加工液条件検討 ⑤加工の実施 ⑥その他	
第4回 1月25日	議題:「Ti電極での放電加工による新表面硬化法の開発」のテーマに沿っての検討と加工の実施(その3) ①前回の加工結果の報告 ②加工結果を踏まえての検討 ③加工の実施 ④その他	
第5回 3月23日	議題:Ti電極での放電加工による新表面硬化法の開発についての11年度のまとめ ①前回(第4回)以降実施した加工実験の結果報告 ②来年度以降の研究の進め方 ③特許出願事例 ④その他	

(11) 地域産業活性化推進事業

資源高度利用技術開発研究会（担当 木下、三宅）

木材は、クリーンな環境調和型資源であり、地球環境の保全の見知からも、その一層の活用が望まれている。本研究会は、建築廃材や木材関連企業から排出される鋸屑、端材等の残廃材及び未利用の低級材等、増加する木質系廃棄物を積極的に活用するため、「木質系廃棄物の有効利用と再資源化」をテーマに木材の液化化技術と液化木材を利用した製品開発を目的として活動している。

本年度は、試作された液化木材を原料とする木質成分を有するウレタンフォームを家具、車両用椅子のクッション材に利用する目的で活動した。試作された木質系ウレタンフォームの物性について、密度、引張り強さ、吸音性、繰返し耐久性、通気性、難燃性、崩壊性等について検証を行い、家具部材用フォームとして改良した同製品を再度、評価試験を行い検討を加えた。また、同フォームの崩壊（分解）性についても、試作した試片を平成11年1月から（財）広島市農林業振興センターの協力を得て、畑地、林地（針葉樹帯、広葉樹帯、混合林帯）に埋設し、崩壊（分解）性の経緯を見るため継続して埋設試験を行っている。

【会員企業】

アオイ化学工業(株)、大鹿振興(株)広島営業所、協和木工(株)、(株)清水木工、(株)住健産業、中国木材(株)、(株)仁井田商会、西日本イノアック(株)、浜井建具工業(株)、(株)マルニ、(株)LAT環境設計事務所

開催月日	テ	マ
第1回 4月21日	総会 平成10年度事業報告・会計報告 平成11年度事業計画・役員人事・その他	
第2回 7月6日	企業見学 (株)マルニ 液化木材を原料とする軟質フォームの「座り心地アンケート」集計報告 講師：(財)広島市産業振興センター 三宅 裕行	
第3回 7月27日	液化木材を原料とする軟質フォームの製品評価 木材フェノール接着剤の海外事情 講師：京都大学大学院農学研究科 教授 白石 信夫 氏	
第4回 12月15日	液化木材を原料とする商品開発	
第5回 1月27日	液化木材の製造手段について 木質系軟質フォームの評価項目と性能試験	
第6回 2月15日	液化木材装置の設置について 木質系軟質フォーム物性試験結果	
第7回 3月14日	液化木材装置の移設 特許申請について 平成11年度研究会活動総括	

(12) 技術開発融合化促進事業

高分子応用技術融合化グループ（担当 上田、奥村、四辻）

本グループは、ゴム・プラスチックなど高分子系廃材の資源化をテーマに、再生素材、機能性材料などを利用した応用製品の開発を目指し、参加企業の新事業分野の支援などを行うことを活動の目的としている。

平成11年度は、初年度につき部会の規約・活動計画などを協議決定し、部会長その他の役員を選出し活動を開始した。会員提案アイデアの中から、高価格原料ゴムの廃材などを利用したスベリ止め機能などを付加したアイデア製品を開発することとし、試作化のための各種実験や検討を行い、試作化実験品の作製などを実施した。

【会員企業】

三協プラスチック工業(株)、(株)モルテン、(株)三和製造所、(株)やまの化成工業所、(株)ノサックス、東プ

レ(株)、浜井建具工業(株)、寺戸産業(株)、(株)シンギ、世界長(株)、(株)広島樹脂コーティング、アオイ化学工業(株)、ハセガワ化成(株)

開催月日	テ ー マ
第1回 6月15日	事務局あいさつ、議長選出、参加者自己紹介、活動計画・規約など協議、部会長・その他役員選出、その他
第2回 7月28日	新会員紹介、会員等からの話題提供、開発アイテム・再生素材（原材料）の検討、その他
第3回 10月27日	開発アイテム・再生素材（原材料）の検討、会員からの試作品提示・意見交換、特許流通関係情報の研修 講師：広島県知的所有権センター 壹岐 正弘 氏
第4回 12月8日	会員等からの話題提供（新素材“セシオン”、容器包装リサイクル法） 開発アイテム アイデア提案事例等の具体化検討
第5回 2月23日	開発アイテム アイデア提案品の試作化検討
第6回 3月22日	塗料開発関連技術研修（テーマ「機能性塗料開発の現状と動向」 ～環境・リサイクル対応技術との関連において～） 講師：大橋化学工業(株) 安田 一美 氏 開発アイテム アイデア提案品の試作化検討

新分野製品融合化グループ（担当 山口、上杉、三宅）

本グループは、依然として低迷する経済環境のなか、各企業の既存技術及び新技術との融合化を図りながら、新たな分野へ向けた製品開発の促進を目的として活動を行ってきた。平成11年度は、車椅子・焼却炉・福祉システムの3つの開発分科会を設置し、各々の開発テーマに基づいて活動を実施した。

【会員企業】

アカネ(株)、アズ・ブレイン(株)、(有)ウィット、(有)吉岡製作所、(有)技研、協和レジナス(株)、(株)クリーン技研、サイン食品工業(株)、(有)オステン、(株)シスコム、(株)サンテック、(株)シグマ、(株)システム電子設計、新和金属(株)、サンゲン(株)、新中央工業(株)、(有)第一電話、後藤鉄工(株)、寺戸産業(株)、(株)ナガモト、(株)仁井田商会、新見工業(株)、畑林工業(株) 丸善工業(株)、(株)広島樹脂コーティング、プランニングS、(株)プロト、平和機械(株)、(株)藤田エンジニアリング、弁萬食品(有)、丸一倉庫運輸(株)、丸善工業(株)、(株)美和、(株)山下製作所

■例会

開催月日	テ ー マ
第1回 6月24日	日開発テーマのプレゼンテーション 講師：二艘木経営研究所 二艘木憲司 氏
第2回 7月13日	開発分科会の発足
第3回 9月7日	広島県介護実習支援センター視察
第4回 9月24日	各分科会の実施計画の策定
第5回 11月19日	講演会「燃焼のメカニズム」 講師：三菱重工業(株) 新屋 謙治 氏
第6回 3月17日	講演会「福祉用具の現状と課題」 講師：(有)であい工房 矢賀 洋 氏 きっかけづくりの会 奥田 信春 氏

■車椅子開発分科会（開発テーマ：後付式補助動力）

開催月日	内 容
① 9月14日	アシスト電動ユニットの視察
② 10月20日	補助動力ユニットの試作図面・部品リストの作成
③ 11月10日	呉高専の開発した電動補助ユニット視察
④ 11月12日	呉高専へ共同研究の申し入れ
⑤ 11月29日	補助動力ユニットの共同開発に関する協議事項の検討
⑥ 12月7日	共同研究事業に関する協議
⑦ 12月21日	テクノエイド協会への助成申請の草案作成
⑧ 1月21日	平成12年度福祉用具研究開発助成事業の助成要望書作成
⑨ 2月9日	補助動力機構の詳細図面作成
⑩ 2月21日	詳細図面の最終検討
⑪ 3月13日	補助動力試作品の試運転及び性能評価
⑫ 3月21日	試運転・性能評価にもとづいた課題の抽出

■焼却炉開発分科会（開発テーマ：小型焼却炉）

開催月日	内 容
① 10月12日	小型焼却炉開発に関する課題抽出及び検討
② 11月4日	産業教育フェアにおいて小型焼却炉を視察（松江市）
③ 1月24日	ダイオキシン規制が強化され、小型焼却炉の開発を断念、新たなテーマで再スタートすることに決定

■福祉システム開発分科会（開発テーマ：双方向通信システム）

開催月日	内 容
① 10月13日	丸善(株)コンテンツ&ソリューションシステムの視察
② 10月19日	(株)ニックスから介護サービスの現状について情報交換
③ 10月22日	福祉サービスに関する具体的なアイデア提案を募集
④ 1月25日	会員から提示された福祉サービスに関するアイデアの発表及び検討を行い、対応が困難と判断し、本テーマを断念

生活環境融合化グループ（担当 西原、平松）

本グループは、急速に進んだ高齢社会に対応する福祉機器等の開発が遅れている現状を鑑み、高齢者に「やさしい」環境づくりを目指して、設備機器及び福祉機器の開発に取り組んだ。

【会員企業】

(株)アベイル、大西電機工業(株)、コニシ(株)、新和金属(株)、田中家具工業(株)、浜井建具工業(株)、前田機工(株)、(株)めいでん、明星ゴム工業(株)

開催月日	テ ー マ
第1回 4月20日	・グループの活動目的 ・製品開発の実施計画
第2回 5月13日	・玄関段差解消機器の昇降幅を拡大する改善案の検討 ・グループ開発製品の検討
第3回 6月18日	・グループ開発製品の入浴用介護機器の開発検討
第4回 7月14日	・入浴用介護機器の製品開発のアイデア展開
第5回 8月19日	・現状の入浴用介護機器の製品分析
第6回 9月14日	・入浴用介護機器の製品分析及び開発製品の絞り込み
第7回 10月19日	・第26回国際福祉機器展の調査報告
第8回 11月16日	・簡易（組立式）浴槽のアイデア展開
第9回 12月14日	・簡易（組立式）浴槽のデザイン開発
第10回 1月18日	・簡易（組立式）浴槽のデザイン、材料、構造
第11回 2月17日	・ゴム質系材料を活用した浴槽について
第12回 3月16日	・介護保険制度及び今後の介護のあり方 講師：いずみ整形外科クリニック 副院長 鳥井 浩司 氏

(13) 重慶市との技術交流事業

重慶市との共同研究（担当 面崎、尾崎）

昭和61年、広島市は中華人民共和国重慶市と友好都市提携を結び、各分野での友好交流を積極的に進めている。当センターでは技術交流として、平成7年度から「自然暴露試験と促進腐食試験の相関性と防錆設計技術」をテーマとして共同研究に取り組み、平成10年度に成果報告をもって終了した。平成11年度は、重慶市から5名の技術交流団を受け入れ、広島市、重慶市からそれぞれ提案された新しいテーマについて協議を行い、メインテーマを設定した。

重 慶 市 技 術 交 流 団	広島市受入期間
重慶市科学技術委員会工業科学技術処 副処長 李 雷霆（団長） 他4名	9月2日～9月7日

(14) 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、谷本）

中小企業の製造業を対象にデザイン開発手法を習得しながら、自社製品の開発にデザインを導入し、市場に即した製品化を目的に開催した。

【会員企業】

大西電機工業(株)、(株)フジタ、広島アルミニウム工業(株)、(株)ワタオカ、テンパール工業(株)、(株)アンネルベッド

開催月日	テーマ	講師
第1回 5月26日	・参加企業の自社製品の紹介 ・研究会での製品開発テーマの検討	広島市立大学芸術学部 助教授 吉田 幸弘 氏
第2回 6月23日	・参加会員企業の鍋のデザイン開発 ・参加会員企業のヤスリ技術を展開した新製品開発	
第3回 7月28日	・鍋のデザイン開発に必要な調査資料の説明 ・現在の鍋のデザインについて検討(取っ手部)	
第4回 10月4日	・開発製品へのユニバーサルデザイン ・最近のヨーロッパのデザイン事情	
第5回 11月27日	・ガーデニング市場における商品紹介 ・ガーデニングに関するアイデア展開	
第6回 12月1日	・ガーデニンググッズのデザイン展開 ・ユニバーサルデザインをキーワードとした鍋の検討 ・水中翼自転車の開発経過	
第7回 1月26日	・ユニバーサルデザインに基づいた鍋のデザイン案の検討 ・水中翼自転車の試作製品の意見交換	
第8回 3月29日	・鍋の製品化に向けたデザイン検討 ・水中翼自転車の今後の製品化への展開	

産業デザイン振興研究会 (担当 久保崎、谷本)

本研究会は、学識経験者、企業、デザイン関連企業・団体等で構成されており、地場産業の活性化を図るための産業デザイン振興施策について検討し、具体的なデザイン事業の展開を図るための研究会である。

【会員団体】

広島市立大学、広島工業大学、広島女学院大学、(社)日本インダストリアルデザイナー協会西日本ブロック、(社)日本ディスプレイ業団体連合会広島ディスプレイ協会、(社)日本グラフィックデザイナー協会広島地区、(社)日本建築家協会中国支部、(社)日本インテリアデザイナー協会広島会、マツダ(株)、広島家具工業協同組合、広島商工会議所、消費者

ひろしまグッドデザイン賞の授与 (担当 久保崎)

「ひろしまグッドデザイン賞」は、デザインの特に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に平成6年度より実施している。

平成11年度は、下記の6点が受賞商品に選定されている。

【受賞商品】

- ・ Medic master (救急車用防振架台) / (株)デルタツーリング
- ・ 路面検知白杖 / 日本ロードテック(株)
- ・ 風力発電式自発光デリニエータ「ウィンピカ」 / 日本道路エンジニア(株)
- ・ 生まれた月からはじまるウチの子だけのカレンダー / (有)ハーストリー
- ・ 超低床車両グリーンムーバー5000形 / (株)デザイン総研広島
- ・ ポール化粧ケース / 明星ゴム工業(株)

(15) 工業技術支援アドバイザー派遣事業（担当 片山）

自動車工業関連企業に対する支援策として、分野別アドバイザーを登録し、企業からの要請により技術課題について指導支援するものである。指導方法は、企業（生産現場）へアドバイザーを派遣して現地指導（診断指導）する方法で実施した。

平成11年度は実施回数29回、指導企業数は25社、指導分野は9分野にわたった。

■現地指導アドバイザー

指導分野	アドバイザー
高分子材料	廣兼 泰雄 氏
新めっき技術	二艘木憲司 氏
熱処理技術	寄高 政史 氏 石神 逸男 氏
鑄造技術	山中 昇 氏
木工技術	水野 泰嗣 氏

指導分野	アドバイザー
品質改善	廣兼 泰雄 氏 二艘木憲司 氏
材料開発	下脇 一晴 氏
新製品開発	廣兼 泰雄 氏 二艘木憲司 氏 寄高 政史 氏
商品デザイン	田中 宏樹 氏

■診断指導

事業名	テーマ / 講師	開催月日	診断企業名	担当者
鑄造技術診断指導	講師 川口鑄物協同組合 山中 昇 氏 テーマ「企業の抱えている技術課題の解決と保有技術の向上」	① 11月18日	ヨシワ工業(株)	山田 中村
		② 11月19日	(株)大田鑄造所 (株)ニノミヤファンドリー	
木工技術診断指導	講師 大鹿振興(株)中央研究所 水野 泰嗣 氏 テーマ「木質系新材料の利用と接着技術」	① 2月25日	協和木工(株)竹原工場 (有)ミヤ家具	木下 三宅
熱処理技術診断指導	講師 大阪府立産業技術総合研究所 石神 逸男 氏 テーマ「環境に優しい浸炭炉の開発に向けた 雰囲気制御システムの構築」 「イオンプレーティング法を用いた化合物被覆による金属製品の機能強化」	① 2月17日	日本電子工業(株)広島工場 (株)ナガト本社工場	市後 田中真
		② 2月18日	呉金属熱錬工業(株)黒瀬工場 福山熱錬工業(株)広島工場	

(16) 設計・開発デジタル化技術者育成支援事業（担当 片山）

自動車関連産業振興施策の一環としてMDI（マニユファクチャリング・デジタル・イノベーション）構想に対応し、自動車関連協力企業においてデジタル化に対応できる技術者を育成する必要があるため、当センターで研修に必要な器具、機材並びにソフトウェア等の整備を行い、研修を行うものである。この研修は、設計・開発デジタル化技術者支援研修実行委員会が実施し、選任講師により機器操作の習得と開発技法や製品設計等を目的としている。

研修期間は19日間とし、平成11年度は年間9回実施し、受講生は83名であった。

	項 目	日 数	内 容
1	3次元設計概要	0.5	I-DEASの概要
2	チームデータ管理	0.5	チームデータマネージャーによる管理の説明
3	3次元基礎設計	3.0	フューチャーベースモデリングに基づく3次元ソリッドモデラー機能の研修
4	3次元設計応用	2.0	自由曲面を作成する設計演習
5	アッセンブリ設計	2.0	3次元ソリッドモデルの組立干渉チェック公差解析の研修
6	2次元設計/作図方法	2.0	設計を支援する作図機能の研修
7	解析基礎	1.0	モデル作成
8	応用解析	2.0	構造設計の完成度を高めるシミュレーション機能の作成
9	応用教育	6.0	課題演習による3次元/2次元の操作演習

(17) ライジングジェネレーションテクノ21 (次世代技術者育成) (担当 山壽、菅原)

地域の理工系大学生を対象に、先進技術の基調講演、企業見学、技術実習、企業経営者による講演会を実施し、地域企業への理解と企業が求める技術者像を認識していただいた。(修了者 43名)

開催月日	テ ー マ	講 師
① 8月2日	技術講演「技術社会を拓く」	三菱重工業(株)広島研究所 末田 禎 氏 マツダ(株)技術研究所 小林 一夫 氏
② 8月3日	企業見学 中国電機製造(株) 油谷重工(株) テンパール工業(株)高圧開閉器部	
③ 8月4日	技術演習 ①材料コース : 金属材料の物性評価 ②加工コース : 機械加工 ③システムコース : 複雑系の解析技術 ④デザインコース : デザイン開発手法	広島市工業技術センター/広島市産業振興センター 市後 博造・中村真知也 世良 英美・菅原 昭夫 西山 修二・上杉 憲雄 谷本 義則・久保崎 厚・平松 志保
④ 8月5日	講演「経営戦略と求める技術者像」	住野工業(株) 住野 重樹 氏 ヨシワ工業(株) 吉野 克己 氏

(18) 産学官共同研究推進事業 (担当 山壽、菅原)

■産学官共同研究専門委員会の開催

産学官共同研究の推進方策について「産」「学」の要望を取りまとめるとともに、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「広島市産学官共同研究専門委員会」を設置し、第一回目を開催した。

(開催日 1月17日(月)、委員長 広島市立大学教授 吉田典可 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、広島家具工業会の理事長等6名(広島市工業技術振興協議会会員)
- ・「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共同研究センター長等 5名
- ・「官」側－広島市経済局 理事、(財)広島市産業振興センター 技術振興部長

■技術講座の開催

地元大学の施設を利用した大学教官との触れ合いを通じて、産業界と地元大学とのより一層の連携強化を図ることを目的に開催した。

講座名	開催月日	講師	参加者数
インターネット講座	1月24日	広島市立大学 情報科学部長 大槻 説子 氏 情報科学部 教授 大場 充 氏	33名
工業デザイン講座	3月7日	広島市立大学 芸術学部 教授 大井 健次 氏 芸術学部 助教授 中嶋 健明 氏 芸術学部 助教授 吉田 幸弘 氏	34名

■大学等の研究シーズ視察会の開催

中小企業の経営者等が今後の事業展開に役立てるため、広島工業大学、広島大学地域共同研究センター、広島県産業科学技術研究所の研究施設を見学し、保有している研究シーズの紹介をいただいた。

(開催日 2月28日(月)、参加者 35名)

(19) 技術者研修事業

各種材料、加工技術、工程合理化技術及びデザイン技術に関する講習会を実施し、企業の技術力向上を支援した。

■材料・加工技術

事業名	開催月日	テーマ	講師	参加者	担当
熱処理技術講習会	3月16日	鉄鋼への微量不純物元素の影響 プラズマ窒化とその応用	広島工業大学 山根 壽巴 氏 鋼板工業(株)機器工場 深田 一徳 氏	37名	市後
表面技術講習会	11月25日	防錆皮膜に及ぼす酸性雨の影響と防錆仕様の確立 大気腐食及び促進試験法の最新の動向	(財)広島市産業振興センター 山崎 勝弘 氏 日本テストパネル工業(株) 外川 靖人 氏	34名	山崎
工具鋼材料技術講習会	12月8日	最近の高速切削技術の動向	(株)牧野フライス製作所 田中 浅男 氏	90名	山本
高分子材料講習会	① 5月11日	21世紀に向けての品質経営と商品企画	大阪府立大学 工学部 太田 宏 氏	37名	四辻
	② 7月16日	自動車の開発とゴム材料開発について	トヨタ自動車(株) 大脇 雅夫 氏	37名	
	③ 11月19日	ゴムと金属の加硫接着剤の現状と課題	(株)モートンインターナショナル 江口 力人 氏	32名	
木質高機能化技術講習会	12月2日	木材の居住性と改質技術	京都大学木質科学研究所 則元 京 氏	36名	三宅

■生産工程合理化技術

事業名	開催月日	テーマ	講師	参加者	担当
非破壊センシング 技術講習会	10月22日	センサとその高機能化のための信号処理	東京大学大学院工学系 研究科 安藤 繁 氏	35名	田中 上杉
電磁環境耐性 技術講習会	12月15日	EMCの規格動向及び測定技術について	九州工業大学工学部電気 工学科 徳田 正満 氏	33名	上杉 田中
人間工学技術 講習会	1月28日	製品開発における人間工学の導入	千葉大学工学部 長尾 徹 氏	28名	谷本
ISO 14000 講習会	3月3日	何故、今ISO14000が必要なのか —その基本的考え方と事例— ISO14001認証取得への取り組み	広島工業大学工学部 北山 正文 氏 テンパール工業(株) 横野 良治 氏	68名	片山
ISO 9000 研修会	① 11月9日	ISO9000sシリーズの概説	マツダエース(株) 出口 信行 氏	17名	片山
	② 11月15日	内部品質監査員研修①		16名	
	③ 11月16日	内部品質監査員研修②		17名	
	④ 11月22日	ISO9000 に適合した文書作成方法の解説 契約管理規定の作成のための調査方法		18名	
	⑤ 12月7日	契約管理規定の作成		16名	
	⑥ 12月21日	契約管理規定の作成 文書管理規定の作成のための調査方法		13名	
	⑦ 1月11日	文書管理規定の作成		10名	
	⑧ 1月25日	文書管理規定の作成 品質マニュアル作成のための調査方法		7名	
	⑨ 2月8日	品質マニュアルの作成		7名	
	⑩ 2月22日	品質マニュアルの作成 まとめ		8名	

■デザイン技術

事業名	開催月日	テーマ	講師	参加者	担当
注文洋服縫製 技術講習会	7月14日	修正の出にくいデザインの基本 オーダー、イメージ、既製服の格差	紳士服デザインコンサルタント 佐藤 五郎 氏	30名	谷本
インテリアデザイン 技術講座	① 6月1日	デザインと色彩 I	セントラルデザインアソシエーツ 山下 新治 氏	15名	西原
	② 6月8日	デザインと色彩 II	セントラルデザインアソシエーツ 山下 新治 氏		
	③ 6月15日	製図法、スケッチ技法 I	(財)広島市産業振興センター 西原 正明		
	④ 6月22日	製図法、スケッチ技法 II	(財)広島市産業振興センター 西原 正明		
	⑤ 6月29日	パースと色づけ I	(有)アトリエ・ケン 慶雲寺 誠 氏		
	⑥ 7月6日	パースと色づけ II	(有)アトリエ・ケン 慶雲寺 誠 氏		
	⑦ 7月13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19日	インテリアの計画 (色彩と形態)	(株)中電アクセス 河野 房子 氏		

(20) 発明考案奨励・表彰事業

■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。

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	市PTA協議会 会長賞	増本賞 熊平賞 山本賞 木曾賞 賞	優秀賞	学校賞
小学生の部	87点	1点	1点	1点	1点	1点	1点	2点	15点	1点
中高校生の部	138点	1点	1点	1点	1点	1点	1点	3点	15点	1点

②発表展示会の開催

広島市、広島県、(社)発明協会広島県支部、広島商工会議所及び中国新聞社が運営委員会を設置し、広島県下の入賞作品の展示会を開催した。

- ・開催時期 平成11年10月29日～11月7日
- ・開催場所 広島市こども文化科学館

■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11年10月29日～11月7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	1,110点	17点 (7)	16点 (5)	29点 (8)	50点 (16)	21点 (6)	2校 (1)
中高校生の部	1,144点	13点 (1)	14点 (3)	31点 (6)	50点 (6)	29点 (7)	3校 (-)

上段：広島県 ()：広島市

■広島市技術指導優良企業表彰・優良発明功績者表彰

表彰名	表彰者	成果の内容
優良企業表彰	株式会社 ハラダクニ	自動車用検査機器であるサイドスリップテストのタイヤとローラ間の動的特性を明らかにすると共に、その理論的解明や実験的検証を行い、計測の精度と再現性に優れ、さらに省スペース化等、多くの利便性を有するローラ式サイドスリップテストを開発した。これにより車両検査の合理化、省スペース化を図った。
	二宮産業 株式会社	鋳物製造時の木型を発泡スチロールに代替えて、直接溶金を流し込んで発泡型を金属に置き換える減圧消失模型鋳造法の生産現場への導入を図り、発泡型のNC加工化により大幅な工期と経費の削減が可能となった。
	株式会社 メンテック	ドライアイスの顆粒を研削材にしたブラスト機械の開発に取り組み、顆粒と素材の表面粗さの関係や高価なドライアイスの代替え材について究明し、小型軽量化したブラスト機械を開発して、作業環境の改善を図った。
優良発明功績者表彰	副島 秀夫 氏 (西川化成株式会社 技術センター次長)	'80年入社以来、一貫して自動車用合成樹脂部品の製品開発を手掛け、自動車内外装品の製造における省力化、製品の高品位化について、数多くの技術開発を行い特許・実用新案を取得して、発明の実用化に尽くした。

(21) 広島市工業技術振興協議会

本協議会は、地域企業の技術支援、産学官の連携促進を目的に関係団体、技術振興機構、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ている。今回は産業界から19組合及び技術振興機関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15日（水）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、広島熱処理協同組合、協同組合広島県鉄構工業会、広島県針工業協同組合、広島県鍍金工業協同組合、広島県鋳物工業協同組合、鯉城鉄工センター、広島県プラスチック工業会、中国ゴム工業協同組合、広島家具工業会、協同組合広島家具クラフト、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、広島県スクリーン印刷産業協同組合、(社)広島県情報産業協会、広島県中小企業団体中央会、(社)中国技術センター、(助)広島県産業技術振興機構、(社)発明協会広島県支部、広島大学工学部、広島工業大学、広島国際学院大学工学部、近畿大学工学部、広島市立大学芸術学部

(22) 会議・研究会への参加

会議等の名称	出席者	出張先	出張日	備考
日本自転車振興会	石原・山田・小川	東京	4/14~15	
工業技術連絡会議総会	石原	つくば	2/8~9	
公立鋳工業試験研究機関長協議会総会	石原	名古屋	7/8~9	
中国地方工業技術連絡会議	吉村	宇部	2/25	
全国公設鋳工業試験研究機関担当者会議	小林	富山	9/9~10	
工業技術連絡会議機械金属連合部会総会	面崎	四日市	5/27~28	
機械金属連合部会材料研究会	市後	京都	7/1~2	
中国・四国・九州地方合同機械専門部会(機械関係)	中村	高松	10/14~15	
機械金属連合部会生産情報システム研究会	古谷	宇部	10/28~29	
機械金属連合部会計測分科会	市後	鹿児島	11/3~5	
機械金属連合部会素形材技術担当者会議	中村	名古屋	11/24~26	
工業技術連絡会議電子連合部会総会	山口	山梨	6/2~4	
電子連合部会中国四国地方部会	上杉	鳥取	9/9~10	
工業技術連絡会議電子連合部会EMC研究会	田中秀	和泉	10/7~8	
電子連合部会コンピュータ応用分科会	田中秀	名古屋	10/28~29	
工業技術連絡会議資源環境連合部会総会	山崎	那覇	6/9~12	
物質工学連合部会第6回表面技術分科会	植木	和泉	5/13~14	
工業技術連絡会議物質工学連合部会総会	上田	高松	6/24~25	
工業技術連絡会議物質工学連合部会デザイン分科会	谷本	仙台	7/6~8	
物質工学連合部会高分子分科会第1回運営会議	四辻	池田	7/21	
物質工学連合部会中国四国九州地方合同部会	三宅	人吉	7/22~23	
物質工学連合部会塗装工学分科会	山崎	岐阜	9/20~22	
工業技術連絡会議物質工学連合部会デザイン分科会	平松	浦和	10/13~15	
中国地方物質工学・資源環境合同専門部会	上田	宇部	10/15	
物質工学連合部会木質科学分科会	三宅	富山	10/21~22	
物質工学連合部会高分子分科会	四辻	和歌山	11/3~5	
窯業連合部会窯業技術担当者会議	隠岐	名古屋	11/10~12	
品質工学・公設試連絡協議会	市後・栗原・田中真	広島	1/19~20	当センター
全国デザインセンター会議	久保崎	三条	11/11~12	
中国四国地方公設試験研究機関共同研究企画担当者会議	田中秀	高松	6/30	
中国四国地方公設試験研究機関共同研究企画担当者会議	尾崎	宇部	12/15~16	
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	鳥取	7/15~16	
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	呉	2/9~10	
中国四国九州機械技術担当者会議	岡田	呉	12/16	
中国四国地方公設試験研究機関共同研究機械分野	岡田	宇部	2/17	
技術開発研究事業推進協議会(高周波複合振動加工)	中村	徳島	11/10~12	
技術開発研究事業推進協議会(高周波複合振動加工)	栗原	大分	3/7~9	
技術開発研究事業推進協議会(デジタルエンジニア)	古谷	各務原	8/9~10	
技術開発研究事業推進協議会(デジタルエンジニア)	古谷	高知	12/16~17	
技術開発研究事業推進協議会(非破壊センサ)	田中秀	つくば	9/7~9	
技術開発研究事業推進協議会(非破壊センサ)	田中秀	鹿児島	3/7~9	

(23) 技術職員派遣研修事業

氏名	研修テーマ	研修先	期間
金行 良隆	腐食・防食へのコンピュータ高度利用技術	三菱重工業(株)広島研究所	4月1日～12年3月末
束原 修	中小企業技術指導員養成過程(6カ月コース)	中小企業大学校東京校	5月11日～11月26日
中村真知也	中小企業技術指導員研修過程(1カ月コース)	中小企業大学校東京校	1月13日～2月9日

(24) 講師・委員の派遣

開催月日	名称	内容	開催場所	派遣者
4月20日	日本鑄造工学会理事会	理事(定例会議)	東京	山田
4月28日	平成11年度基礎2級技能検定 (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	植木
5月19日	(社)発明協会広島支部理事会	理事	発明協会	石原
5月28日 ～29日	(社)日本鑄造工学会 第134回全国講演大会	理事 研究発表講演会の座長	東京	山田 中村
6月1日	(財)広島県産業技術振興機構 技術開発委員会(第1回)	委員	広島ガーデンパレス	石原
6月1日	平成11年度前期技能検定委員会 (広島県職業能力開発協会)	検定委員(実技試験調整会議)	広島	植木
6月11日	日本鑄造工学会中四国支部総会	常任理事 委員	当センター	山田 中村
6月24日	日本鑄造工学会理事会	理事(定例会議)	東京	山田
7月9日	日本鑄造工学会中四国支部理事会	常任理事(定例会議)	当センター	山田
7月18日	平成11年度前期技能検定 (広島県職業能力開発協会)	検定委員(噴霧塗装作業)	マツダ(株)	山崎 植木
7月25日	平成11年度前期技能検定 (広島県職業能力開発協会)	検定委員(金属塗装作業)	マツダ(株)	山崎 植木
7月30日	日本金属学会中四国支部理事会	常任理事	当センター	山田
8月3日	(社)日本鑄造工学会企画委員会	理事	東京	山田
9月2日	中国地方発明表彰選考委員会	委員	発明会館	石原
9月8日	平成11年度基礎2級技能検定	検定委員(溶融亜鉛めっき作業)	三原	植木
9月21日	広島県未来の科学の夢絵画展事前審査会	審査員	発明会館	谷本
9月22日	素形材センター中国支部幹事会	幹事	メルパルク広島	山田
9月27日	広島県未来の科学の夢絵画展審査会	審査員	発明会館	石原 谷本
9月30日	広島市児童生徒発明くふう展審査会	審査員	こども文化科学館	谷本
10月1日 ～2日	(社)日本鑄造工学会 第11回現場技術大会	理事 研究発表の司会	福山	山田 中村
10月8日	(社)発明協会広島県支部常任理事会	理事	発明会館	吉村
10月26日 ～28日	(社)日本鑄造工学会 全国講演大会及び理事会・総会	理事	福岡市	山田
10月29日	中国地域技術振興会議 第1回運営委員会	委員	広島	石原
10月29日	平成11年度基礎2級技能検定	検定委員(金属塗装作業)	御調	山崎

開催月日	名 称	内 容	開催場所	派遣者
11月15日	(財)広島県産業技術振興機構 RSP事業推進ワーキング委員会(第1回)	委員	メルパルク広島	石原
11月18日	(財)広島県産業技術振興機構 技術開発委員会(第2回)	委員	メルパルク広島	石原
12月1日	岡山県塗装技術研究会	講師	アークホテル岡山	植木
12月9日	(社)日本鑄造工学会中四国支部講演会	常任理事	当センター	山田
12月22日	(社)日本鑄造工学会技術研究会	委員	(株)シンコー	山田
1月12日	(社)日本鑄造工学会評議委員会 〃 理事会	理事	東京	山田
2月16日	中国地域技術振興団体会議	委員	広島ガーデンパレス	山田
2月18日	素形材センター懇話会	司会・幹事	メルパルク広島	石原・山田
3月2日	中国地域技術振興会議 第2回運営委員会	委員	広島ガーデンパレス	石原
3月3日	型技術委員会	実行委員(ワークショップ2000)	鯉城会館	山田
3月7日	(社)日本鑄造工学会企画委員会	理事	東京	山田
3月9日	(社)発明協会理事会	理事	発明会館	尾崎
3月15日	(財)広島県産業技術振興機構 技術開発委員会(第3回)	委員	広島県情報プラザ	石原
3月21日	(社)日本鑄造工学会理事会	理事	東京	山田
3月29日	中国工業技術研究所産学官連携推 進委員会	委員	中国工業技術研究所	本田

(25) 発 表

■誌上発表

時 期	誌 名	テ ー マ	氏 名
1999年5月	日本機械学会論文集 65巻 633号 C編(1999-5)	ローラ式サイドスリップテストの開発 (実車による性能試験)	西山 修二 他2名

■口頭発表

時 期	誌 名	テ ー マ	氏 名	備考
1999年6月	日本機械学会VSTech'99 振動・音響新技術シンポジウム	振動環境下における妊婦と胎児の振動特 性に関する理論的および実験的研究	西山 修二 他2名	東広島
1999年6月	資源環境連合部会研究発表会	防錆皮膜に及ぼす酸性雨の影響と防錆仕 様の確立	山崎 勝弘	那覇
1999年10月	(社)日本自動車部品工業界 第10回シート技術研究発表会	着座姿勢が人体各部の振動特性および眠 気に及ぼす研究	西山 修二	東京
1999年10月	重慶市との共同研究成果普及 交流会	防錆皮膜に及ぼす酸性雨の影響と防錆仕 様の確立	山崎 勝弘	重慶
2000年3月	電子情報通信学会 2000年総合大会プログラム チュートリアル講演	振動環境下における妊婦胎児の安全評価	西山 修二	広島
2000年3月	日本金属学会 2000年春期大会	Tic粒子分散チタン焼結材の引張変形にお けるTic粒子の破壊	隠岐 貴史	横浜

(26) 受賞・表彰等

氏 名	内 容	団 体 名
西山 修二	長期の日本機械学会校閲委員就任に対する感謝状	(社)日本機械学会 会長 井口 雅一

3 研究報告

(1) 金属材料強度に及ぼす屋外暴露の影響 (重慶市と広島市の比較試験) 尾崎 清, 面崎 敬, 張 倫武, 唐 倫科.....	35
(2) 高周波振動複合加工による金属材料の微細加工に関する研究 栗原 修, 山本敏彦	39
(3) 創成倣機構による加工精度向上に関する研究 山本敏彦, 西山修二.....	44
(4) 創成機構の運動解析に関する研究 山本敏彦, 西山修二.....	52
(5) 光切断法による細管内面の損傷計測 (第1報, 損傷計測システムの構築) 田中秀樹, 世良英美.....	61
(6) 中性子の後方散乱を利用した非破壊計測 (第1報, システムの実現と有効性の検証) 田中秀樹.....	67
(7) 金型加工技術の高機能化に関する研究 (第1報, 基礎研究) 岡田邦彦, 山口研二, 隠岐貴史.....	74
(8) 振動環境下における妊婦と胎児の振動特性に関する理論的および実験的研究 西山修二, Farid M.L. Amirouche, 平松志保	79
(9) 人体各部の振動特性に関する実験的研究 (自動車ドライバーのアームアングルの影響) 西山修二, 上杉憲雄, 竹島 透, 狩野雄二, 研井 堅.....	90
(10) 着座姿勢が眠気に及ぼす影響に関する実験的研究 (トルソ角度の影響) 西山修二, 小松谷昌弘, 岡村周亮, 農沢隆秀, 西川一男, 堀 忠雄, 林 光緒.....	98
(11) トリオテスタマルチユニットNS21システムの開発 (ローラ式サイドスリップ・ブレーキ・スピードテスター一体型検査機器) 西山修二, 原田 伸, 原田國雄.....	107

Research Report

- (1) **Influence of outdoor exposure tests on the strength of metallic materials
(The comparative test between in Chongqing and in Hiroshima)**
Kiyoshi OZAKI, Takashi OMOSAKI, Zhang Lunwu and Tang Lunke 35
- (2) **Research on Microfabrication of metallic material applying combined
Machining with high frequency vibration**
Osamu KUWABARA and Toshihiko YAMAMOTO 39
- (3) **Research on the Improvement of Formative Accuracy Ground
by a Copying Device Attached to the Generating Mechanism**
Toshihiko YAMAMOTO and Shuji NISHIYAMA 44
- (4) **Investigation of the Motion Analysis on a Trochoidal Form Generating Mechanism**
Toshihiko YAMAMOTO and Shuji NISHIYAMA 52
- (5) **Damage Measurement on Inside of Thin Tube Using Light Section Method
(1st report, Construction of The Damage Measuring System)**
Hideki TANAKA and Hidemi SERA 61
- (6) **Non-Destructive Measurement Using Back Scatter of Neutron
(1st report, Realization of The System and Inspection of Efficacy)**
Hideki TANAKA 67
- (7) **Study on Development of Metallic Mold Fabricating Technique
(1st Report, Fundamental Research)**
Kunihiko OKADA, Kenji YAMAGUCHI and Takashi OKI 74
- (8) **Analytical and Experimental Investigation of Pregnant Woman-Fetus
Response to Low Frequency Excitation**
Shuji NISHIYAMA, Farid M. L. AMIROUCHE and Shiho HIRAMATSU 79
- (9) **Experimental Investigation on Vibrational Characteristics of Human Body Parts
(Effect of Arm Angle of Vehicle Driver)**
Shuji NISHIYAMA, Norio UESUGI, Toru TAKESHIMA,
Yuji KANO and Hisashi TOGII 90
- (10) **Experimental Investigation of the Effects of Stable Posture on Sleepiness
(Effects of Torso Angle)**
Shuji NISHIYAMA, Masahiro KOMATUDANI, Chikaaki OKAMURA,
Takahide NOUZAWA, Kazuo NISHIKAWA, Tadao HORI and Mitsuo HAYASHI ... 98
- (11) **Development of Trio-Tester Multi-Unit NS21 System
(Inspection Equipment Integrated Roller-Type Side Slip Tester,
Brake Tester, and Speed Tester)**
Shuji NISHIYAMA, Shin HARADA and Kunio HARADA 107

金属材料強度に及ぼす屋外暴露の影響 (重慶市と広島市の比較試験)

尾崎 清, 面崎 敬, 張 倫武*, 唐 倫科*

Influence of outdoor exposure tests on the strength of metallic materials (The comparative test between in Chongqing and in Hiroshima)

Kiyoshi OZAKI, Takashi OMOSAKI, Zhang Lunwu, and Tang Lunke

We performed mechanical strength tests, and investigated the influence of the polluted atmosphere on collision of metallic materials for general structure at Hiroshima and Chongqing. We used four kinds of metal, Hot-rolled mild steel plates, Rolled steels for general structure, Hot-rolled stainless steel plates, and Aluminium plates. After we exposed them to the outdoors for six months and twelve months, performed tensile force test, hardness test, fatigue test. As a result, we found the difference in the falls of mechanical strength data between Hiroshima and Chongqing.

Key Words: Outdoor Exposure Test, Tensile Force Test, Hardness Test, Fatigue Test

広島市と重慶市の自然環境の差異が、一般構造用金属材料の腐食に及ぼす影響を調べるために、機械的試験を行った。試験には熱間圧延軟鋼板(SPHC)、一般構造用圧延鋼材(SS)、熱間圧延ステンレス鋼板(SUS304)、アルミニウム板(A1085P)、計4種類の金属材料を用い、それぞれ6ヶ月間及び12ヶ月間の屋外暴露を行った後に、引張試験、硬さ試験、疲労試験を行った。その結果、SPHCとSSにおいて、広島市と重慶市とで材料強度低下の差が認められた。

キーワード：屋外暴露試験、引張試験、硬さ試験、疲労試験

1. 緒言

広島市と重慶市は、1986年10月の友好都市提携以後、1988年からは技術交流項目も盛り込まれ友好的な交流を行ってきている。1995年からは「自然暴露試験と促進腐食試験の相関性と防錆設計技術」というテーマを掲げ共同研究を行っており、研究成果は既に報告^{(1),(2)}されている。この共同研究は広島市と重慶市の大気汚染度合の差が塗装などの防錆皮膜に及ぼす影響を、主に腐食の定量評価により行っている。そこで本研究では、新たに機械的強度を評価要素として、両市の自然環境の差が腐食に対してどのような影響を与えているかを調べた。

* 重慶市西南技術工程研究所

2. 実験方法

2.1 試験試料

試料には一般構造物に使われる汎用材料として、表1の4種類を選び、日本工業規格、金属材料引張試験片(JIS Z 2201) 5号試験片の形状に加工して用いた。

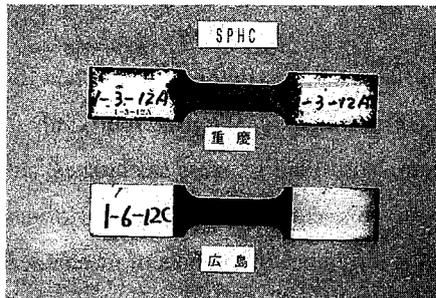
表1 試験試料

材質	仕様	板厚(mm)
SPHC	JIS G 3131 熱間圧延軟鋼板	3.2
SUS304	JIS G 4304 熱間圧延ステンレス鋼板	3.0
SS	JIS G 3101 一般構造用圧延鋼材	5.0
A1085P	JIS H 4000 アルミニウム板	3.0

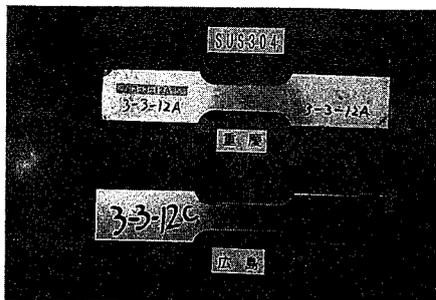
2.2 屋外暴露

広島市及び重慶市において、同時期に暴露試験を開始した。耐候試験台(JIS K 5400.9.9, 暴露角度 広島市 30°, 重慶市 24°)に試験試料を固定し6ヶ月間及び12ヶ月間の暴露を行った。

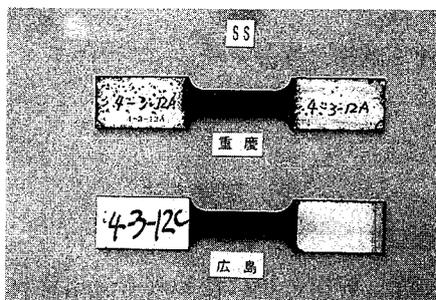
12ヶ月暴露後の試料を図1 (a)～(d)に示す。図1 (a)から(d)の順にSPHC, SUS304, SS, A1085Pである。



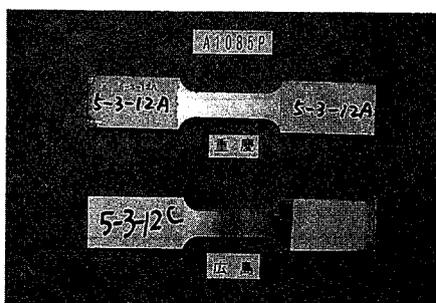
(a) SPHC



(b) SUS304



(c) SS



(d) A1085P

図1 12ヶ月暴露後の試験試料

2.3 機械的試験

表1の各試料について暴露前, 6ヶ月暴露後, 12ヶ月暴露後に次の順序で試験を行った。

- ① 全種類の試料に対し引張試験を行う。
- ② 強度低下が確認された試料について, 組織の観察及び硬さ試験を行う。
- ③ 目視で判断して腐食程度の著しい材質(SS)と腐食が認められない材質(SUS304)に対して疲労試験を行い, 金属材料の繰返し荷重に対する腐食の影響を調べる。

各試験に使用した機器は次のとおりである。

引張試験：万能試験機 (INSTRON MODEL 1125)

硬さ試験：MICRO HARDNESS TESTER

(松沢精機(株) DMH-1)

疲労試験：サーボパルサ

(株)島津製作所 EHF-UD 100KN-20L形

3. 実験結果及び考察

3.1 引張試験

各試料の引張強さを図2に示す。なお, 引張速度はすべて2mm/分であり, 値は2試料の平均値である。

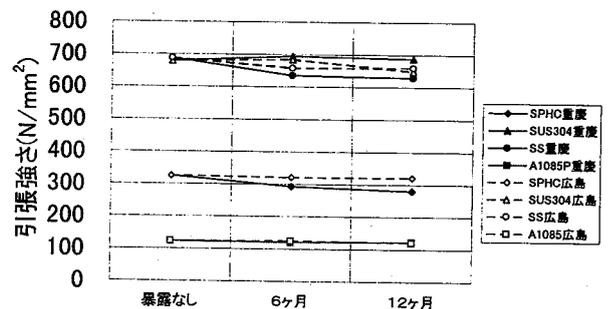


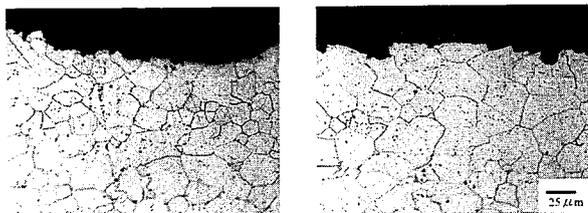
図2 屋外暴露による引張強さの変化

腐食が目視によりはっきり確認できるSPHCとSSの鉄系は引張強さが低下している。また, その傾向は腐食の激しい重慶市のほうが広島市より著しい。一方, 外見上, 腐食がほとんど見られないアルミニウム材の引張強さは変化していない。同じく腐食が見られないステンレス材もほとんど変化していないが, 広島市で12ヶ月暴露させたものに約30N/mm²の低下がみられる。

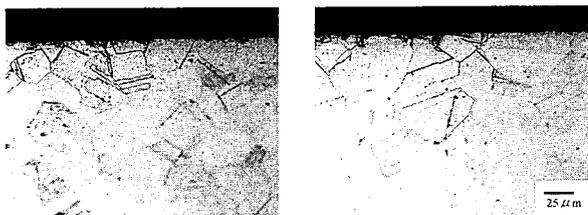
3.2 組織観察及び硬さ試験

次に試料内部組織の観察を行った。

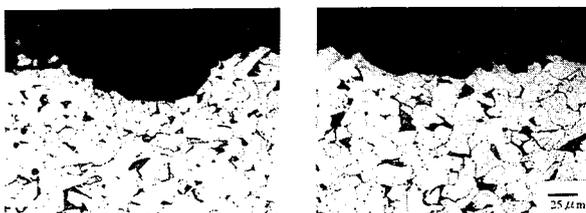
12ヶ月暴露後のSPHC, SUS304, SSの組織写真を図3 (a)~(c)に示す。



重慶 広島
(a) SPHC (腐食：5%ナイトル)



重慶 広島
(b) SUS304 (腐食：10%蔞酸溶液電解)



重慶 広島
(c) SS (腐食：5%ナイトル)

図3 12ヶ月暴露後の組織

写真は試料の断面である。SPHCとSSは腐食が著しく、試料表面の凹凸が顕著であった。一方、SUS304の表面は、まったく凹凸がなく、腐食の様子が観られなかった。さらに、試料内部の組織を観察すると、SPHC, SS, SUS304, いずれの試料についても、粒界腐食などの痕跡は観られなかった。

次に定量的に腐食の影響を調べるために試料内部の硬さ試験を行い、材料特性の変化を調べた。測定部位は腐食表面から深さ0.05mmの位置で、値は試料の表裏4箇所ノ平均値である。

硬さ測定はSPHCをHv(0.1), SUS304とSSをHv(0.2)で行った。

測定結果を図4に示す。

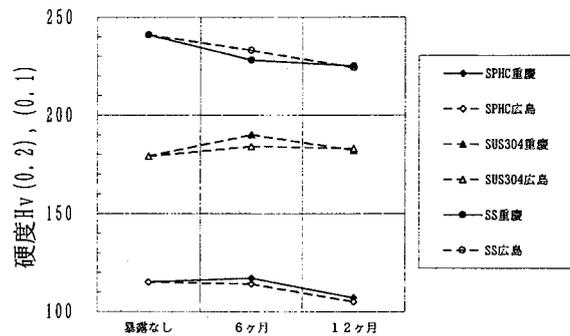


図4 屋外暴露による硬さの変化

屋外暴露による硬さの変化を見ると図2の引張強さの変化と傾向がほぼ一致している。しかし、ピッカース方式による硬さ測定の場合、結晶粒の大きさが異なれば硬さも異なるなど、測定値のバラツキが大きいため、最大17という硬さの差から腐食による影響が出ていると断定することは難しい。

以上、組織観察及び硬さ測定の結果からは、材料内部への腐食の影響は認められなかった。

3.3 疲労試験

次に金属材料の繰返し荷重に対する腐食の影響を調べるため、腐食が著しく、引張試験において強度低下が認められたSS、及び腐食が認められず、引張強さにおいても広島市で12ヶ月暴露させたものを除いて、強度低下が認められなかったSUS304について疲労試験を行った。

繰返し荷重は図5に示すとおり、正弦波状に変化させながら引張り方向のみに加え、試料が破断あるいは亀裂を発生するまでのサイクル数をカウントした。

SS及びSUS304のS-N線図を図6, 図7に示す。

図中、生材は10試料の結果を直線補完したものである。直線が水平になっている部分は、疲労限界と呼ばれており、これ以上の最大荷重を繰返し加えて

も疲労破壊を起こさない部分である。実験では、サイクル数が 10^7 回を越えても破断等に到らなかったときの最大荷重で求めた。

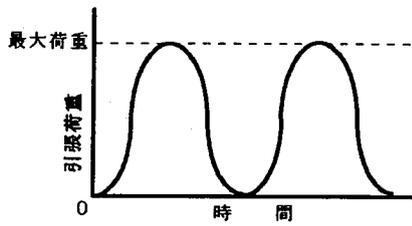


図5 繰返し荷重

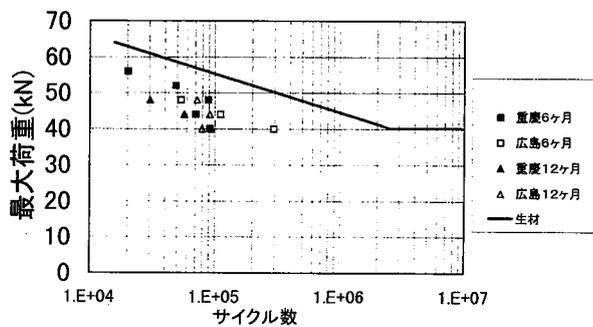


図6 S-N線図 (SS材)

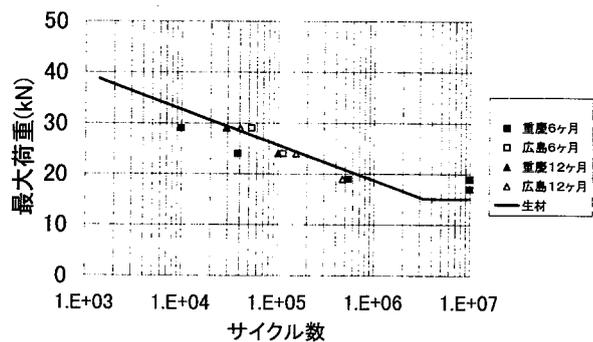


図7 S-N線図 (SU304)

SSの場合、屋外暴露後はあきらかに疲労強度が低下していることがわかる。また、重慶市と広島市を比べると、同じ最大荷重に対して重慶市の方が少ないサイクル数で破壊している。

一方、SUS304の場合はあきらかな差は認められず、引張試験において強度低下が認められた広島市12ヶ月暴露試料についても生材と差がなかった。

4. 結 言

広島市と重慶市において屋外暴露させた4種類の金属材料に対し、機械的強度試験を行い、腐食が金属材料強度に及ぼす影響を調べ、以下のような結果を得た。

- (1) SPHC, SSの鉄系材料では、広島市より重慶市の方が腐食が著しい。そして、腐食が著しいほど引張り強さ、疲労強度の低下も大きくなる。
- (2) 金属材料内部への腐食の影響は12ヶ月間の屋外暴露では認められない。
- (3) 上の結果から、材料強度の低下は単純に材料の減肉によるものと推測される。

今後(3)の推測を実証するためには、厳密な試料管理とともに、腐食した試料の正確な断面積測定が必要であり、今後の課題とする。

参考文献

- (1) 山寄勝弘, 植木邦夫, 秦暁洲, 張倫武: 防錆皮膜に及ぼす酸性雨の影響と防錆仕様の確立(第1報), 広島市工業技術センター年報第10巻, 1996
- (2) 山寄勝弘, 四辻博文, 山口研二, 植木邦夫, 秦暁洲, 張倫武: 防錆皮膜に及ぼす酸性雨の影響と防錆仕様の確立(第2報), 広島市工業技術センター年報第11巻, 1997

高周波振動複合加工による金属材料の微細加工に関する研究

栗原 修, 山本 敏彦

Research on Microfabrication of metallic material applying combined Machining with high frequency vibration.

Osamu KUWABARA and Toshihiko YAMAMOTO

This paper describes experimental investigation. In the drilling of the metal, the experiment by which the high cycle vibration (40kHz) was added to the drill was done. As a result, the decrease in the value of the cutting resistance was able to be confirmed by the effect of the high cycle vibration and confirm making cutting rubbish minute. Some results are presented in the from of parametric graphs and tables.

Key Words: High Cycle Vibration, Drilling

金属の穴加工において、ドリルの軸方向に40kHzの高周波振動を付加した実験を行った。その結果、高周波振動の効果により、切削抵抗の変動値の減少、切削屑の微細化が確認できた。

キーワード：高周波振動，ドリル加工

1. はじめに

近年、機械製品並びに部品の高機能化・小型化に伴い、微細加工技術分野に対する重要性が増している。例えば、自動車エンジンの燃料噴射ノズルの微小穴加工や、プラスチック金型のリブ極薄加工技術に対する細溝加工等があげられる。一般的に金属の微小穴や細溝を切削加工で行う場合、工具の径が小さくなるに伴い回転速度を高くして一定の切削速度を維持しなければ加工が困難となり、高品位加工を行う事が出来ない。しかし、回転速度を高くする事により回転ぶれの影響が大きくなり、切削性の低下や工具の折損につながる可能性が大きくなる。このことが、微細加工技術の普及における大きな阻害因子として挙げられている。本研究では、金属の微細加工において、工具回転数は通常のままで行うことが可能な技術を確立し、その普及を図るものである。

2. 実験方法

2.1 実験装置

加工機は立形マシニングセンターを用い、主軸に超音波振動ユニットを取り付けて加工をする。加工時に被加工物に加わる力を切削抵抗として動力計で測定する。研究に使用した実験装置を図1に示す。

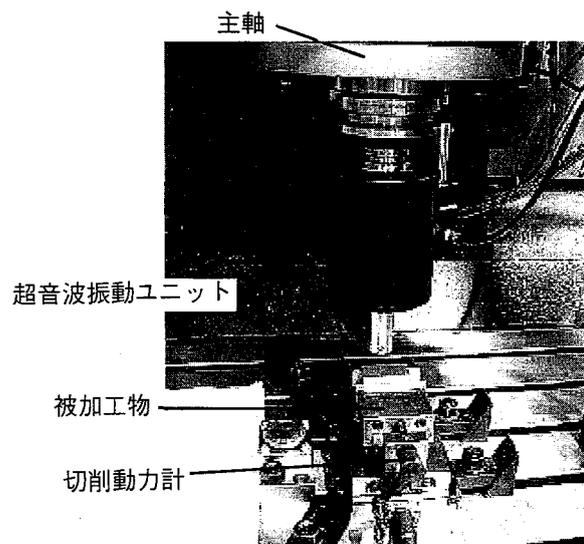


図1 実験装置

高周波振動は回転工具に高周波振動の付加が可能な超音波振動ユニット(株式会社)を用い、ドリルの軸方向に周波数40kHz振幅約10 μ mの高周波振動を付加する。

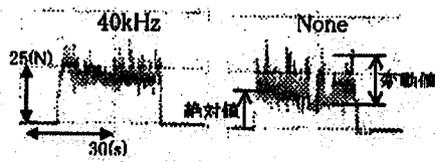
切削抵抗の測定は動力計(キスラー製)を用いる。動力計に被加工物を取り付け、加工時の切削抵抗を被加工物側で測定する。

2.2 実験条件

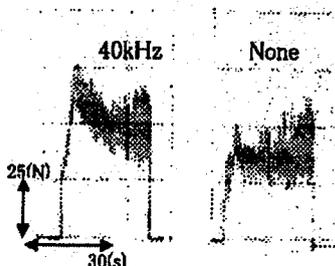
ドリルに高周波振動を付加し、金属の底付穴加工の実験を行った。実験条件を表1に示す。被削材はS45Cとし、ドリル直径は1mmと2mm、ドリル材質はハイスと超硬2種を用いた。加工深さは直径2mmのドリルで深さ3mm、直径1mmのドリルで深さ2mmの止まり穴とした。ドリル回転数は500~2000rpm、送り速度は0.001~0.005(mm/rev)とする。それぞれの条件で高周波振動を付加した場合と付加しない場合の方法で実験を行う。

表1 実験条件

項目	条件
被加工材質	S45C
ドリル直径	1, 2 (mm)
ドリル材質 (形状)	ハイス(先端角118° ねじれ角26°) 超硬(先端角120° ねじれ角18°)
ドリル回転数	500, 1000, 2000 (rpm)
送り速度	0.001, 0.002, 0.005 (mm/rev)
高周波振動	40, なし (kHz)



(a) ハイスドリル ϕ 1mm



(b) ハイスドリル ϕ 2mm

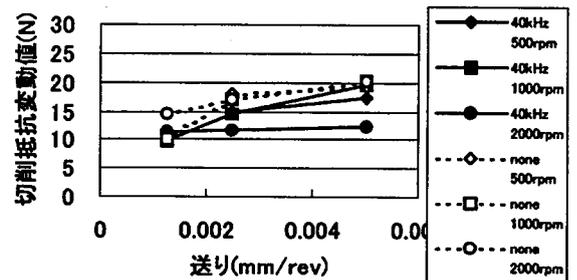
切削条件: 1000rpm, 0.005mm/rev

図2 軸方向切削抵抗 (ハイスドリルの場合)

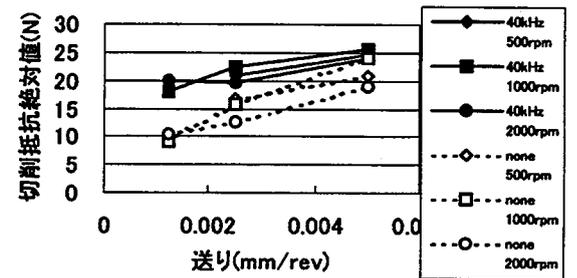
3. 結果と考察

3.1 引張試験

穴加工時における軸方向の切削抵抗を図2~7に示す。切削抵抗は変動値と絶対値で表し、高周波振動を付加した場合を40kHz、付加しない場合をNoneと記した。

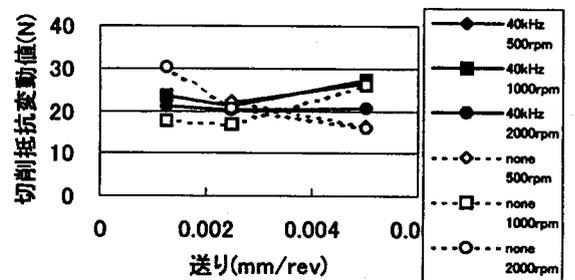


(a) 変動値

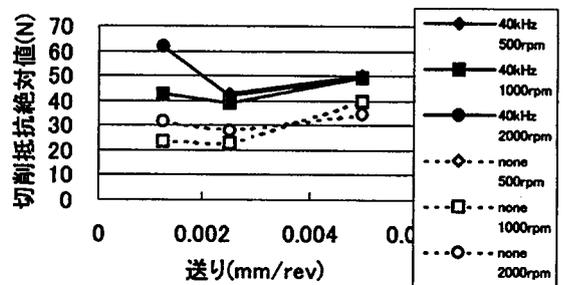


(b) 絶対値

図3 軸方向切削抵抗 (ハイスドリル ϕ 1mmの場合)



(a) 変動値

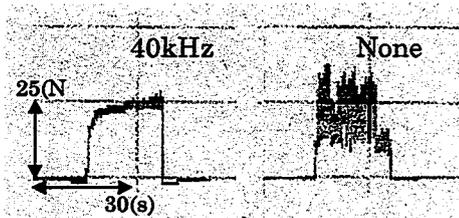


(b) 絶対値

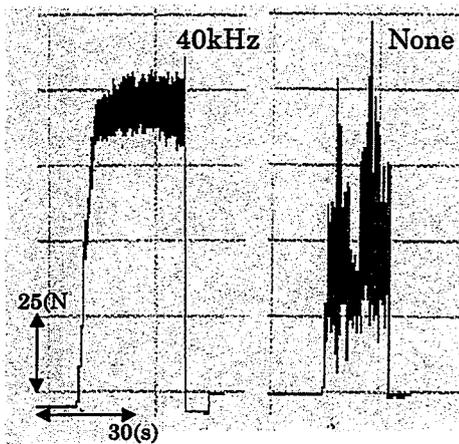
図4 軸方向切削抵抗 (ハイスドリル ϕ 2mmの場合)

ハイスドリルを用いて加工した場合の軸方向の切削抵抗を、高周波振動を付加したものと、振動を付加しないもので比較した。φ1mmドリルでの加工においては、変動値は振動を付加した場合と、振動を付加しない場合では大きな差は見られず、絶対値は振動を付加した場合に若干の上昇が見られた。φ2mmドリルの加工においても同様であり、振動を付加した場合に変動値の差は見知できず絶対値に若干の上昇が見られた。

超硬ドリルを用いた加工における軸方向の切削抵抗を、図5～7に示す。φ1mmのドリルでの加工において、振動を付加した場合には、絶対値に若干の上昇が見られるが、変動値は小さくなり、約1/2に減少した。φ2mmのドリル加工においても同様の傾向を示し、絶対値は振動を付加した場合は上昇し約3～5倍となったが、変動値は約1/2に減少したハイスドリルと超硬ドリルに高周波振動を付加した場合、ハイスドリルでは切削抵抗を減少させる効果が少なく、超硬ドリルで切削抵抗変動値を減少させる効果が得られた。これは、ドリルの材質と形状が異



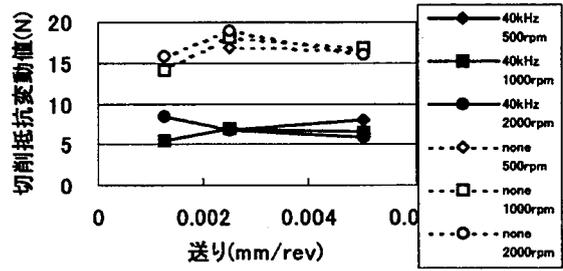
(a) 超硬ドリルφ1mm



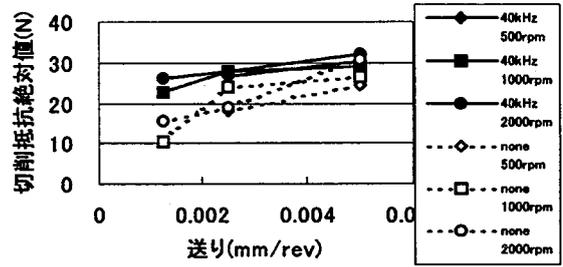
(b) 超硬ドリルφ2mm

切削条件：1000rpm, 0.005mm/rev

図5 軸方向切削抵抗（超硬ドリルの場合）

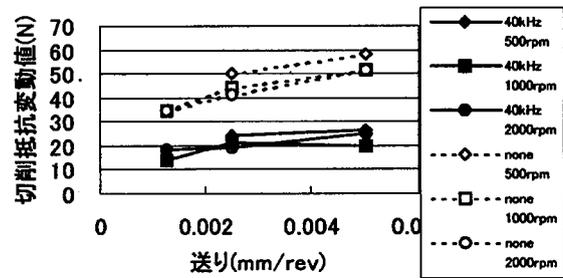


(a) 変動値

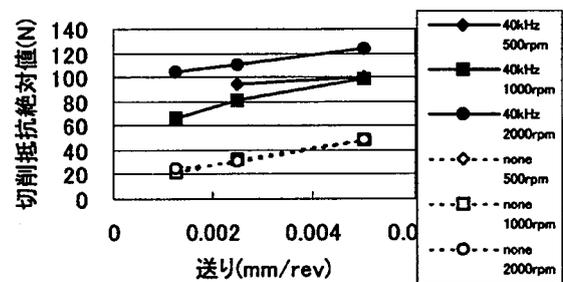


(b) 絶対値

図6 軸方向切削抵抗（超硬ドリルφ1mmの場合）



(a) 変動値



(b) 絶対値

図7 軸方向切削抵抗（超硬ドリルφ2mmの場合）

なり、超硬ドリルによる切削結果は、刃先における軸方向の剛性が高い事が影響したためである。これにより、工具に高周波振動を付加する場合、工具刃先の振動方向の剛性が結果に大きく影響するものと推測される。

3.2 切削屑

それぞれのドリルを用いて加工した時の切削屑の写真を、図8～11に示す。縦方向に送り速度、横方向にドリル回転数を取り、高周波振動付加と振動なしの場合を配列した。

ハイスドリルの加工では、 $\phi 2$ mmのドリル加工において振動を付加した場合、全体的に切削屑形状が小さくなっている。これはドリル回転数、送り速度の低い領域ほど顕著に現れた。 $\phi 1$ mmのドリル加工

において振動を付加した場合、回転数1000rpm、2000rpmの条件下では、送り速度の高い領域で高周波振動の付加により切削屑形状が長くなった。ドリル回転数500rpmの条件下では全体的に切削屑形状が小さくなった。

超硬ドリルの加工では、 $\phi 2$ mmのドリル加工において振動を付加した場合、全体的に切削屑形状が小さくなった。 $\phi 1$ mmのドリル加工では全体的に振動を付加した場合、全体的に切削屑形状が長くなった。

	高周波振動付加			振動なし		
0.0075 mm/rev						
0.005 mm/rev						
0.0025 mm/rev						
0.00125 mm/rev						
	500rpm	1000 rpm	2000 rpm	500rpm	1000 rpm	2000 rpm

図8 切削屑写真 (S45C、ハイスドリル $\phi 1$ mmの場合)

	高周波振動付加			振動なし		
0.0075 mm/rev						
0.005 mm/rev						
0.0025 mm/rev						
	500rpm	1000 rpm	2000 rpm	500rpm	1000 rpm	2000 rpm

図9 切削屑写真 (S45C、ハイスドリル $\phi 2$ mmの場合)

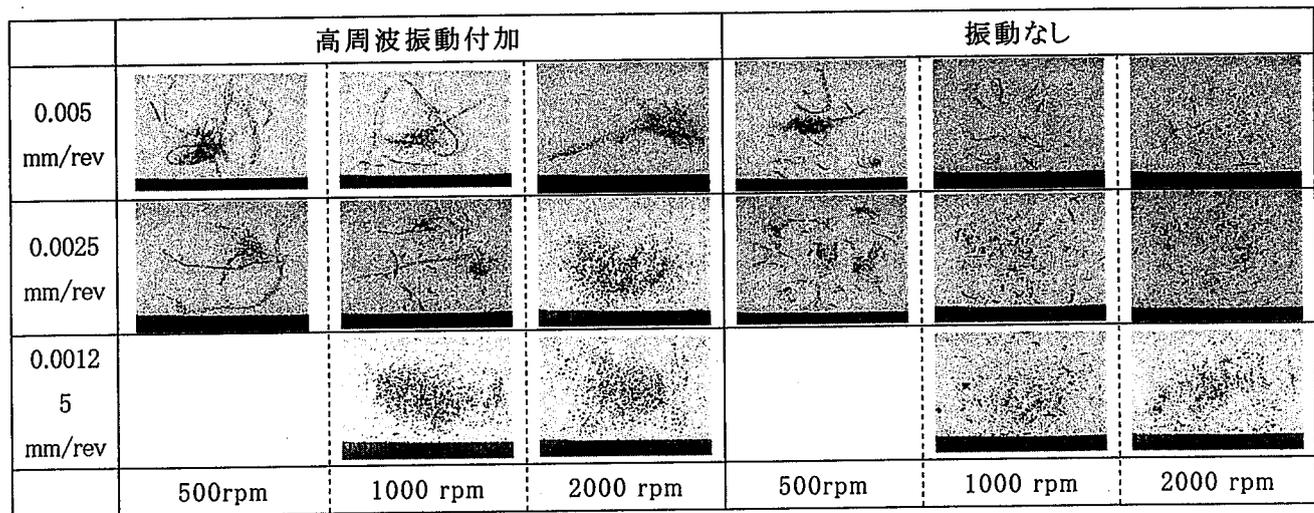


図10 切削屑写真 (S45C、超硬ドリルφ1mmの場合)

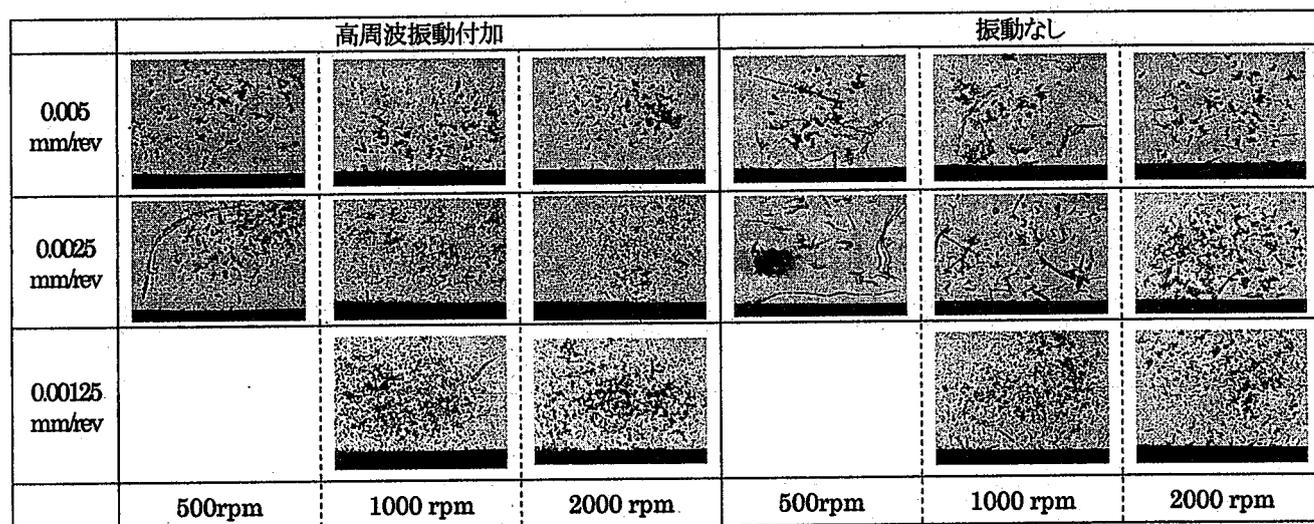


図11 切削屑写真 (S45C、超硬ドリルφ2mmの場合)

ドリルに高周波振動を付加した場合、切削条件により切削屑が小さくなる場合と長くなる場合があるが、加工時に高周波振動のON/OFFを断続的に行うことにより、切削屑形状を制御できる可能性がある。

4. まとめ

ドリルに高周波振動を付加した金属の穴加工の研究を行い、次の成果を得た。

超硬ドリルに高周波振動を付加した場合、ドリル折損の大きな原因となる切削抵抗の変動値が減少し、切削性が向上した。

高周波振動を付加することにより、従来に比べて切削屑を小さくできることが明らかになった。

おわりに

この研究は、中小企業庁より補助金(地域活性化連携事業費補助金)を受けて実施した事業で、今後さらに研究を進め、業界の発展に貢献したいと思います。

参考文献

- (1) セラミックス部品の多品種少量生産型高効率加工技術ワーキンググループ, 平成5-9年度重要地域技術研究開発制度報告書, 九州工業技術研究所
- (2) 鬼鞍宏猷・大西修・森田貴博, 超音波振動小径穴加工における切削特性, 九州大学日本機械学会九州支部講演論文集 Vol 48th, 55-56, 1995.

創成倣機構による加工精度向上に関する研究

山本 敏彦*¹, 西山 修二

Research on the Improvement of Formative Accuracy Ground by a Copying Device Attached to the Generating Mechanism

Toshihiko YAMAMOTO and Shuji NISHIYAMA

The working chamber of a Wankel rotary engine makes a peri-trochoidal form. This paper describes an analytical and experimental investigation how to create this form precisely. The form is manufactured by the internal grinder, which consists of a generating mechanism. The mechanism is deformed by inertia forces and assembly errors of mechanism and so forth. For that reason, in process the track of a workpiece is derailed from the theoretical line. Consequently the ground formative accuracy is affected badly.

To compensate for the distortion, we attached a copying device to the generating mechanism. We have investigated how this copying device improves the formative accuracy of a trochoidal form. We have obtained theoretical estimation of the copying device and compared the theoretical results with the experimental ones. We found good agreement between them.

Key Words: Wankel Engine, Peri-trochoidal Form, Copying Device, Internal Grinder, Generating Mechanism

バンケル型機関のロータハウジング内周面はトロコイド曲線の形状である。本論文はこの形状を高精度に加工する倣機構付き創成機構について述べる。トロコイド形状は創成機構をそなえた内面研削盤によって生産加工される。創成機構は慣性力や慣性トルクあるいは組立誤差などのために、加工中のロータハウジングの運動軌跡が理想的位置からのずれを生じ、加工精度が低下する。創成機構による工作物運動精度を高めるため、倣機構を追加した。その結果、トロコイド形状の加工精度が向上した。

キーワード：バンケルエンジン，ペリトロコイドフォーム，倣機構，内面研削盤，創成機構

1. 緒 言

バンケル型ロータリエンジンのロータハウジング非真円筒状内周面は、2節ペリトロコイド曲線（以降TC曲線と記す）で形成されている^{(1)~(4)}。このトロコイド内周面（以降、TFと記す）を、創成機構による研削加工で成形する場合^{(5), (6)}、創成運動に基づく慣性力や慣性トルクあるいは研削抵抗などで創

成機構や研削砥石軸系に弾性変形が生ずる。また、創成機構の要素寸法や組立などの誤差により、工作物と砥石の相対的位置に誤差が生ずる。弾性変形や相対的位置誤差によりトロコイド創成運動誤差が生じ、TFに加工誤差が生ずる。この誤差の発生メカニズムを解明し、加工精度を向上することは重要な課題である。しかし、これらの問題について、理論的あるいは実験的に究明した報告書は、調査する限

*1 マツダ株式会社

り見受けられない。本論文では、創成機構に倣機構⁽⁵⁾を付加して創成誤差を低減し（以降、創成誤差補正と記す）、非真円筒状内周面の加工精度を向上せしめる方法を理論的及び実験的に示す。

2. 創成機構と倣機構

2.1 創成機構

図1はTFを研削加工成形する創成倣機構の概念を示す。

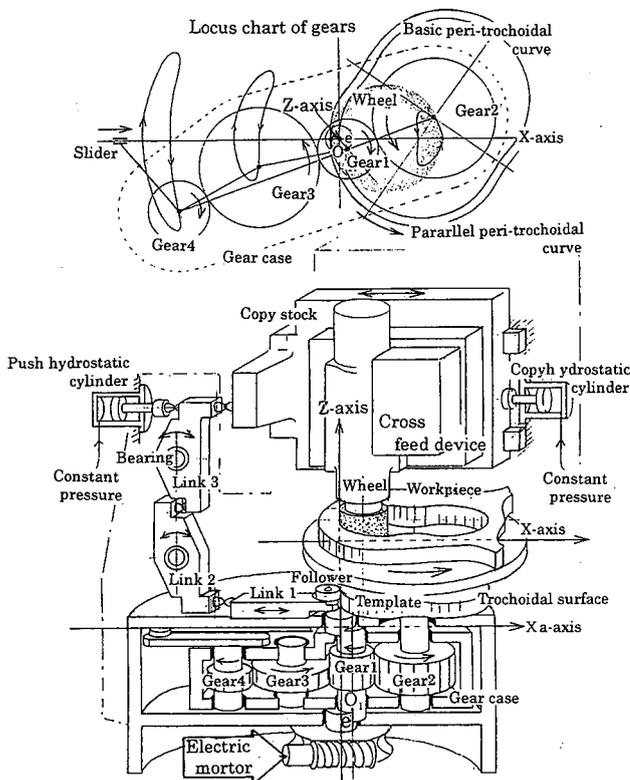


Fig.1 Sketch of the generating and copying mechanism

創成機構は創成ギヤケースとその内部の歯車列によって構成される。歯車1は電動モータで駆動され、軸心 O_1 から平行に e だけ偏心したZ軸の周りを一定速度で回転する。これに連動して、歯車2, 3, 4が回転する。歯車4の回転軸上端に固定された腕の端のスライダは、Z軸と直交している X_a 軸上を往復運動する。創成ギヤボックスは軸心 O_1 を中心に揺動し、その軸心 O_1 はZ軸の周りを巡回する。

歯車1, 2の嚙合点は、Z軸に直交し X_a 軸に平行な往復運動をする。歯車2の回転軸上端に固定し

た直交平面をテーブルの工作物取付面とする。テーブルは、歯車2と同じく、回転と揺動の合成運動をする。この平面とZ軸の交点Pが描く軌跡が、基本TC曲線⁽⁴⁾となる。交点Pを通り X_a 軸に平行な直線をX軸とする。

歯車1, 2は1:2の歯数比であり、交点PがTC曲線の一周を創成する間に、創成ギヤボックスは二サイクルの揺動をする。このテーブル上に工作物を固定し、砥石軸心 O_s をZ軸に平行させ、常にX軸と直交させて、研削加工する。創成誤差がない場合は、X軸がTC曲線の法線方向となり、加工点がZ軸上になれば基本TFが創成される。研削点がZ軸上でない場合は、平行TF^{(2), (4)}が創成される。

砥石の半径切込方向をX軸方向に設定する。創成誤差のX軸方向成分が、TFの主要な形状誤差要因となるため、本論では、このX成分を創成誤差として扱う。また、創成誤差と逆向きに創成誤差の補正を行い、形状加工精度を向上させる。

2.2 倣機構

図1は、創成機構に付加し創成誤差補正をする倣機構の概念も示す。創成機構で創成する理想の基本TFと一致する外周面を有するテンプレートを、歯車2回転軸上で工作物下方に固定する。この外周面に接する倣フォロアを有するリンク1を、Z軸に直交しX軸方向に移動可能となるように設ける。創成誤差をテンプレート外周面の動きから、倣フォロア変位として検出する。その変位を互いに球面接触するリンク1, 2, 3を介して倣台に伝達する。リンク2, 3はその中央部軸受で回転可能に支持されている。構造上、砥石は倣台と一体的にテンプレートと同変位して、創成誤差を補正する。創成誤差がない場合は、テンプレート外周面の変位は不変となり、リンク1, 2, 3及び倣台などは変位しない。創成誤差補正を行う必要がない。図1のように、倣押付シリンダと倣シリンダには、図示しない油圧源からの各一定油圧力が作用している。倣押付シリンダからの一定力がリンク3に、倣シリンダからの一定力が倣台に、それぞれ作用してテンプレートの変位を倣台に伝達する。

3. 理論的解析

図2は解析モデルを示す。倣機構による創成誤差補正を、理論的に解析するにあたり本報で使用する主な記号を次のように定義する。

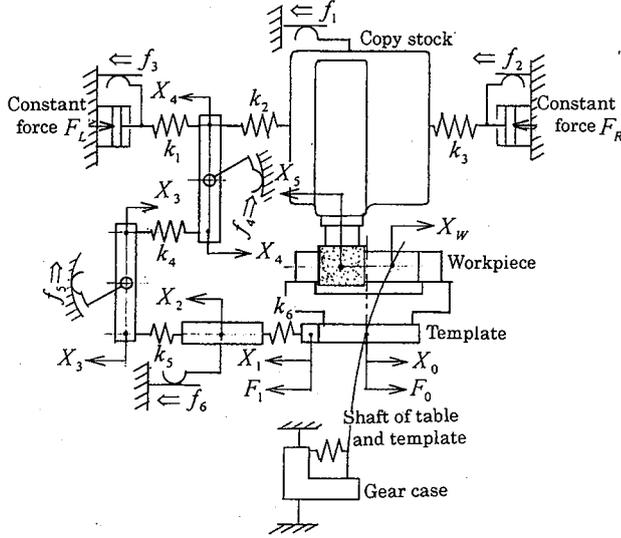


Fig.2 Analytical model

主な記号

k_1 : 倣押しシリンダロッド, リンク3間の剛性	$[N/\mu m]$
k_2 : リンク3, 倣台間の剛性	$[N/\mu m]$
k_3 : 倣台, 倣シリンダロッド間の剛性	$[N/\mu m]$
k_4 : リンク2, 3間の剛性	$[N/\mu m]$
k_5 : リンク1, 2間の剛性	$[N/\mu m]$
k_6 : リンク1, テンプレート間の剛性	$[N/\mu m]$
f_1 : 倣台直線運動案内内部摩擦力	$[N]$
f_2 : 倣シリンダロッド摩擦力	$[N]$
f_3 : 倣押しシリンダロッド摩擦力	$[N]$
f_4 : リンク3 旋回摩擦力	$[N]$
f_5 : リンク2 旋回摩擦力	$[N]$
f_6 : リンク1 直線案内内部摩擦力	$[N]$
F_0 : 倣フォロアからテンプレートに作用する力	$[N]$
F_1 : テンプレートから倣フォロアに作用する力	$[N]$
F_L : 倣押しシリンダピストンへの一定油圧の力	$[N]$
F_R : 倣シリンダピストンへの一定油圧の力	$[N]$
$F_L > F_R$ に設定する	
X_0 : テンプレート中心変位	$[\mu m]$
X_W : 工作物TF中心変位	$[\mu m]$

X_1 : 倣フォロア変位	$[\mu m]$
X_2 : リンク1, 2の接点でのリンク1変位	$[\mu m]$
X_3 : リンク1, 2の接点でのリンク2変位	$[\mu m]$
及びリンク2, 3の接点でのリンク2変位	$[\mu m]$
X_4 : リンク2, 3の接点でのリンク3変位	$[\mu m]$
及びリンク3の接点でのリンク3変位	$[\mu m]$
X_5 : 倣台及び研削砥石変位	$[\mu m]$

3.1 倣機構の解析モデル

倣機構により、テンプレートから砥石に変位を伝達するための力が機構要素間に作用する。この力に対するリンクやその接触弾性変形で生ずる要素間相対変位の比を剛性と定義し、 k_i ($i=1, \dots, 6$) で示す。要素間可動部の摩擦は、 f_i ($i=1, \dots, 6$) で示し、 f_2, f_3 のシリンダロッド摩擦力にはピストン摩擦力を含める。 f_4, f_5 の旋回摩擦力は、これらを旋回させる場合に、倣押しシリンダロッド、リンク1側でそれぞれ必要な力を示す。摩擦は全て、クーロン摩擦を仮定する。すなわち、外力が最大静止摩擦力より小さい場合、摩擦力は、外力と反対向きに、外力に平衡して変化し、物体は静止を保つ。外力が最大静止摩擦力より大きくなると、物体は摩擦力に抗して動き始める。動き始めてからの摩擦力は、動く速度に関係なく一定でしかも最大静止摩擦力に等しいと仮定する。

図2に示す力 F_L, F_R, F_1, F_0 及び変位 X_i ($i=0, 1, \dots, 5$) は矢印向きを正とする。倣フォロア変位 X_1 とテンプレート中心変位 X_0 が共に矢印向きに最小変位であり、摩擦力 f_i ($i=0, 1, \dots, 5$) が矢印向きに最大静止摩擦力で釣合状態にあるとする。これを、解析上の初期状態とし、変位 X_1, X_5 を零とし、創成誤差補正の零点と定義する。

3.2 倣特性

倣機構による創成誤差補正の解析について述べる。説明の簡易化のため、創成誤差の要因で加工残を生ずる場合の補正について論ずる。この場合、加工残解消のため、砥石を工作物に切込む向きの変位を与える。これは、砥石軸心と工作物TF中心を相対的に引離す変位を、倣フォロアとテンプレートから、この両者間に与えて創成誤差の補正を行うことになる。以降、この変位を創成誤差の補正設定量と記す。これは、図2に示す初期状態から工作物が1

回転する間に、做フォロア変位 X_1 とテンプレート中心変位 X_0 とを矢印のように逆向きに、創成誤差の最大補正設定量まで変位させて、初期状態に戻すことに相当する。

テンプレート中心変位 X_0 とこれに作用する力 F_0 や工作物TF中心変位 X_w の関係は線形であり、比例係数が求まれば、これらの関係は容易に求まる。しかし、做フォロア変位 X_1 とこれに作用する力 F_1 や做台変位 X_5 などは非線形関係にあり、その解析について次節で論ずる。また、創成誤差を補正する做運動では、做機構の慣性力は摩擦力に比べて小さいので、慣性項を無視し静力学的な解析を行う。慣性力の大きさについては、「4.4 本解析法の適応範囲の考察」で検討する。

3.3 做機構の做特性解析

図2の初期状態から做フォロアに作用する力 F_1 を増加し、変位 X_1 を矢印向きに増加し、リンク1, 2, 3, 做台, 做押付シリンダピストン, 做シリンダの順に変位させる。その後、力 F_1 を減少し、変位 X_1 を減少し初期状態に戻す。この間の変位 X_1 に対応する力 F_1 , 変位 X_i ($i=2, \dots, 5$) などの関係式を求める。力 F_1 を次第に大きくする場合は次のようになる。

(i) 初期状態では、力の釣合から、変位と力は次式で示される。

$$X_1=X_2=X_3=X_4=X_5=0 \quad \dots\dots\dots(1a)$$

$$F_1=(F_L-F_R)-\sum_{i=1}^6 f_i \quad \dots\dots\dots(1b)$$

(ii) 力 F_1 を増加し、做フォロア変位 X_1 を増加させる。

リンク1に作用している摩擦力 f_6 が図2の矢印向きには減少し、矢印と逆向きに増加する。力 F_1 が、 f_6 の最大静止摩擦力に達し、リンク1が動き始める。その時点での力、変位は次式となる。

$$X_1=2f_6/k_6 \quad \dots\dots\dots(2a)$$

$$X_2=X_3=X_4=X_5=0 \quad \dots\dots\dots(2b)$$

$$F_1=(F_L-F_R)-\sum_{i=1}^6 f_i+2f_6 \quad \dots\dots\dots(2c)$$

(iii) 力 F_1 をさらに増加すると摩擦力 f_6 に続き f_5 が図の矢印と逆向きの最大静止摩擦力に達し、リンク2が動き始める。この時点での力、変位は次式となる。

$$X_2=2f_5/k_5 \quad \dots\dots\dots(3a)$$

$$X_1=2(\sum_{i=5}^6 f_i)/k_6+X_2 \quad \dots\dots\dots(3b)$$

$$X_3=X_4=X_5=0 \quad \dots\dots\dots(3c)$$

$$F_1=(F_L-F_R)-\sum_{i=1}^6 f_i+2\sum_{i=5}^6 f_i \quad \dots\dots\dots(3d)$$

(iv) 力 F_1 をさらに増加すると、摩擦力 f_6, f_5 に続き f_4 が図の矢印と逆向きの最大静止摩擦力に達し、リンク3が動き始める。この時点での力、変位は次式となる。

$$X_3=2f_4/k_4 \quad \dots\dots\dots(4a)$$

$$X_2=2(\sum_{i=4}^5 f_i)/k_5+X_3 \quad \dots\dots\dots(4b)$$

$$X_1=2(\sum_{i=4}^6 f_i)/k_6+X_2 \quad \dots\dots\dots(4c)$$

$$X_4=X_5=0 \quad \dots\dots\dots(4d)$$

$$F_1=(F_L-F_R)-\sum_{i=1}^6 f_i+2\sum_{i=5}^6 f_i \quad \dots\dots\dots(4e)$$

(v) 力 F_1 をさらに増加すると、摩擦力 f_6, f_5, f_4 に続き f_3 が、 f_3 より先に、図の矢印と逆向きの最大静止摩擦力に達し、リンク3に続き做台が、做押付シリンダピストンより先に、動き始めるとする。これは、次の理由による。 F_1 を増加し、リンク3の次に、做押付シリンダピストンが動く場合、摩擦力 f_3 が図の矢印と逆向きの最大静止摩擦力となり、その時点の変位は、 $X_4=2f_3/k_1$ となる。做押付シリンダピストンが動き始める場合の変位、 $X_4=2f_3/k_1$ と比べて、小さい方が先に動く。本研究で実験した機械では、

$$2f_3/k_1 > 2f_1/k_2 \quad (2f_3/k_1 = 86.7, 2f_1/k_2 = 15)$$

となり、做台が先に動くとして、解析する。

この時点での力、変位は次式となる。

$$X_4=2f_1/k_2 \quad \dots\dots\dots(5a)$$

$$X_3=\{2(f_4+f_1)+k_1X_4\}/k_4+X_4 \quad \dots\dots\dots(5b)$$

$$X_2=\{2(\sum_{i=4}^5 f_i+f_1)+k_1X_4\}/k_5+X_3 \quad \dots\dots\dots(5c)$$

$$X_1=\{2(\sum_{i=4}^6 f_i+f_1)+k_1X_4\}/k_6+X_2 \quad \dots\dots\dots(5d)$$

$$X_5=0 \quad \dots\dots\dots(5e)$$

$$F_1=(F_L-F_R)-\sum_{i=1}^6 f_i+2\sum_{i=4}^6 f_i+2f_1+k_1X_4 \quad \dots\dots(5f)$$

(vi) 力 F_1 をさらに増加すると、摩擦力 f_6, f_5, f_4, f_1 に続き f_3 が図の矢印と逆向きの最大静止摩擦力に達し、倣押付シリンダピストンが動き始める。この時点での力、変位は次式で示される。

$$X_4 = 2f_3 / k_1 \quad \dots\dots\dots (6a)$$

$$X_5 = (k_2 X_4 - 2f_1) / (k_2 + k_3) \quad \dots\dots\dots (6b)$$

$$X_3 = \{ 2(\sum_{i=3}^4 f_i + f_1) + k_3 X_5 \} / k_4 \quad \dots\dots\dots (6c)$$

$$X_2 = \{ 2(\sum_{i=3}^5 f_i + f_1) + k_3 X_5 \} / k_5 + X_3 \quad \dots\dots\dots (6d)$$

$$X_1 = \{ 2(\sum_{i=3}^6 f_i + f_1) + k_3 X_5 \} / k_6 + X_2 \quad \dots\dots\dots (6e)$$

$$F_1 = (F_L - F_R) - \sum_{i=1}^6 f_i + 2 \sum_{i=3}^6 f_i + 2(\sum_{i=3}^6 f_i + f_1) + X_5 k_3 \quad \dots\dots\dots (6f)$$

(vii) 力 F_1 をさらに増加すると、摩擦力 f_6, f_5, f_4, f_1, f_3 に続き f_2 が図の矢印と逆向きの最大静止摩擦力に達し、倣シリンダピストンが動き始める。この時点では力、変位は次式で示される。

$$X_5 = 2f_2 / k_3 \quad \dots\dots\dots (7a)$$

$$X_4 = 2(\sum_{i=1}^2 f_i) / k_2 + X_5 \quad \dots\dots\dots (7b)$$

$$X_3 = 2(\sum_{i=1}^4 f_i) / k_4 + X_4 \quad \dots\dots\dots (7c)$$

$$X_2 = 2(\sum_{i=1}^5 f_i) / k_5 + X_3 \quad \dots\dots\dots (7d)$$

$$X_1 = 2(\sum_{i=1}^6 f_i) / k_6 + X_2 \quad \dots\dots\dots (7e)$$

$$F_1 = (F_L - F_R) - \sum_{i=1}^6 f_i \quad \dots\dots\dots (7f)$$

これは、全ての摩擦力 f_i ($i=1, \dots, 6$) が図2の初期状態の矢印と逆向きの最大静止摩擦力に達し、外力 F_1, F_L, F_R と釣合状態である。この状態からさらに力 F_1 を増加すれば、倣台変位 X_5 の増分 ΔX_5 が倣フォロア変位 X_1 の増分 ΔX_1 に等しくなるように、変位、 X_5, X_1 が増加し続ける。力 F_1 を増加行程から反転して減少し、変位 X_1 を折返点から初期状態に返す行程の解析は次のようになる。初期状態(i)から(ii), (iii), ..., (vii), 折返点までの変位と力の変化の順に、その変化の増分を求める。折返点の変位と力に、その増分をそれぞれ逆向きに加えながら初期状態に返すことになる。これは、倣フォロア変位 X_1 の、初

期状態→折返点→初期状態の1サイクルで、折返点、(i)～(vii)の間の点である場合も同様にして、 X_1 と X_5 の関係や X_1 と F_1 の関係が解析的に求まる。

4. 解析結果と実験

4.1 倣機構の倣特性の実測とパラメータの同定

倣フォロア変位 X_1 が初期状態から一サイクルの増減をする場合の変位 X_1 と、フォロアに作用する力 F_1 との関係を①とし、砥石変位 X_5 との関係を②とする。同様に、テンプレート中心変位 X_0 と、これに作用する力 F_0 との関係を③とし、工作物TF中心変位 X_W との関係を④とする。この変位 X_0, X_W は、主にテーブル軸系弾性変形によって生ずる。図3は、これらの力、変位の関係の測定法を示す。

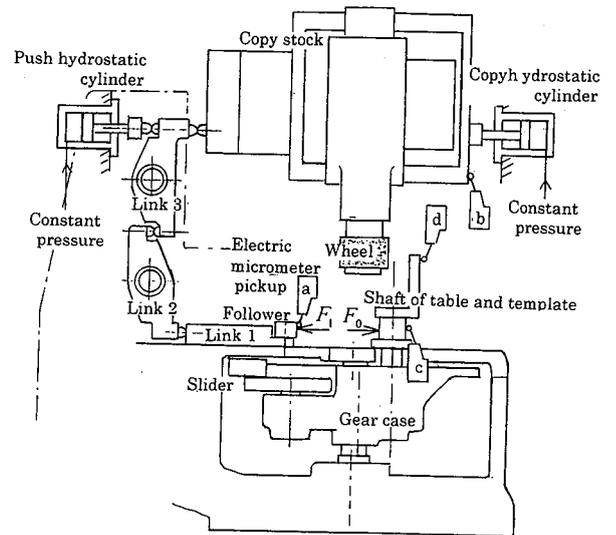


Fig. 3 Measurement of copy mechanical properties

倣フォロアの矢印 F_1 の位置に、ロードセルを介してスクリージャッキで力 F_1 を加えた。その作用点の変位 X_1 をa、倣台変位 X_5 をbの電気マイクロメータで測定した。同様に、倣フォロアに接するテンプレートをテーブル軸に取付ける、矢印 F_0 で示す位置に、ロードセルを介して力 F_0 を加えた。その作用点の変位 X_0 をc、工作物TF中心変位 X_W をdの電気マイクロメータで測定した。

実測によって求めた関係①、②を基に、3.3節(i)～(iii)から解析的に求めた関係①、②に対応する関係式に含まれる最大静止摩擦力 f_i ($i=1, \dots, 6$)、剛性

Table 1 Values of parameter

Stiffness [N/μ m]		Static friction [N]	
k ₁	2.94	f ₁	88.2
k ₂	11.76	f ₂	58.8
k ₃	0.98	f ₃	127.4
k ₄	88.2	f ₄	107.8
k ₅	98.0	f ₅	98.0
k ₆	68.6	f ₆	9.8
Constant force F _L [N]		Conatant force F _R [N]	
1911		1049	

k_i (i=1, ..., 6), 力F_L, F_Rなどのパラメータの同定を行い, 表1を得た.

テンプレート中心変位X₀と, テーブル軸に作用する力F₀との関係③及び工作物TF中心変位X_Wに相当するテーブル軸心上変位との関係④を実測した. 実測値から, 力F₀の変化に対する変位X₀の変化の比である剛性が79.4 [N/μm]となり, X_W=3.58×X₀ [N]の関係④を得た.

4.2 倣機構による創成誤差補正の解析と評価

図4は倣特性の解析結果を示す. 表1のパラメータk₁~k₆, f₁~f₆, F_L, F_Rの値を用いて, 式(1)~(7)より算出した. 変位X₁と力F₁との関係①, 砥石変位X₅との関係②, また, 変位X₀と, 力F₀との関係③, 変位X_Wとの関係④を示す.

図4において, 倣フォロアとテンプレート間接触力が最小となる初期状態の点P_Sから, 創成誤差の補正設定量がδだけ増加した場合, ③上の点P_{d3}と①

上の点P_{d1}の距離がδになる. 倣フォロアとテンプレートの接触力は, 点P_Sの値から点P_{d2}の値に増加する. 図4に示すように, δ=δ₁+δ₂となるように倣フォロア変位量X₁がδ₁だけ, テンプレート軸心変位量X₀がδ₂だけ増加するが, これらは図2の各矢印向きに増加する.

図4に示すように, 変位X₁と変位X₅の関係②から, δ₁に対応する変位X₅の値ε₁が倣機構による砥石側での実質的創成誤差補正量となる. 変位X₀と変位X_Wの関係④からδ₂に対応する変位X_Wの値ε₂がテーブル軸系弾性変形による実質的創成誤差補正量となる. 実質的創成誤差補正量は(ε₁+ε₂), 補正後の誤差は{δ-(ε₁+ε₂)}となり, これが加工精度となる. この解析を工作物の一回転について行い全周の補正後の誤差を求める.

創成誤差の補正設定量が, 初期状態から最大となり初期状態に戻る, 単調な増減をする場合の倣特性を解析的に求める.

図5は, 補正設定量の最大値が, 図4に示すδ_A, δ_B, δ_Cの3通りについて, 解析的に求めた補正設定量と補正後の誤差の関係を示す.

すなわち倣特性は, 補正設定量δ_Aが約44μmまでは補正後の誤差が約18μmまで増加し, 補正量δ_Bが約108μmまでは補正後の誤差が約23μmとなり, さらに補正設定量δ_Cが190μmでは補正後の誤差が約30μmとなる. 補正設定量が190μm以上では補正後の誤差は約30μmに留まり, これ以上増加しない.

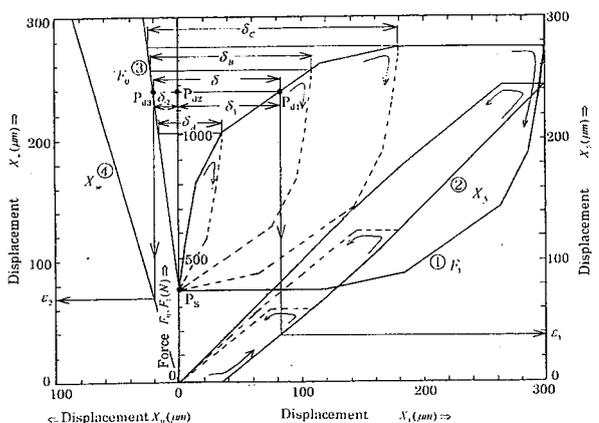


Fig.4 The analyses of copying properties

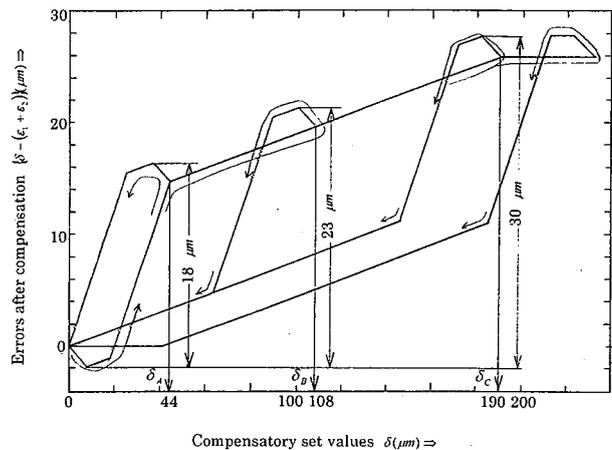


Fig.5 Relations between compensatory set values and errors after compensation

図6は、工作物の回転速度を27rpmとして、創成機構のみで加工した形状精度をGとし、創成機構に倣機構を付加して加工した形状精度をCGとして示す。

この精度は、TC曲線を極座標 (R, θ) で表示した場合の、等間隔の角度θに対する径Rの誤差を示す。創成機構のみで加工した形状精度Gが約73μmで

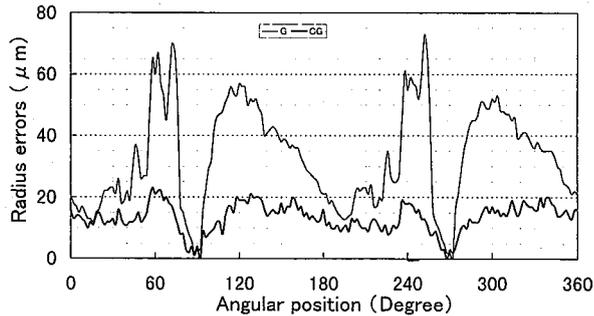


Fig. 6 Grinding formative accuracy

あり、創成機構に倣機構を付加し創成誤差補正を行って加工した形状精度CGが約24μmである。

創成機構のみによる加工の形状精度73μmに相当する補正設定量を想定して、補正後の誤差を図5から解析的に求めると約20μmになる。これは、24μmと比較し、本解析法の妥当性を示す。

4.4 本解析法の適応範囲の考察

本論文では倣機構の慣性力を無視し、摩擦と剛性に基づく静力学的な解析を行った。これは次のような理由による。倣機構の運動は周期的であり、その最低次周波数成分は、「2.1 創成機構」に述べたように、回転周波数の2倍である。工作物の実用的回転速度は30rpm以下であるので、その最低次周波数成分は1Hz以下となる。

実機の砥石軸系を含む倣台重量及びテーブル系重量は765kgと122kgであり、倣機構リンクなどの重量はこれに比べて無視できる。

倣台の倣運動を振幅Aが50μm、周波数fが1Hzの正弦波形とした場合の、倣台の慣性力F_Nを求める。

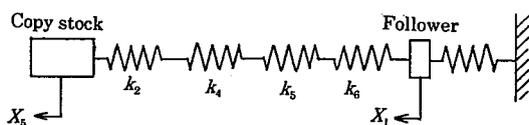


Fig. 7 Dynamic model of copying mechanism

倣台変位：

$$X_5 = A \cdot \sin(2\pi ft) = 50 \sin(2\pi t) \quad [\mu\text{m}/\text{sec}]$$

慣性力：

$$F_N \leq W \cdot A \cdot \sin(2\pi f)^2 / 10^6 = 765 \times 50 \times (2\pi)^2 / 10^6 = 1.5 \quad [N]$$

となり、慣性力F_Nは倣台に作用する最大静止摩擦力88.2Nに比べて力学的影響が小さく、無視できる。

また、テンプレート変位X₁から倣台変位X₅への動の変位伝達率X₅/X₁を検討するため倣機構を単純化し、摩擦などの減衰性を無視した力学的モデルを図7に示す。

倣台質量をm、倣機構の等価剛性をkとし、テンプレートからの強制変位X₁を、X₁ = X · sin(2πft) [μm/s] とすれば、変位伝達率X₅/X₁は次のようになる。

$$m = 765 \quad \dots\dots\dots [kg]$$

$$k = 1 / \{ 1/k_2 + \sum_{i=4}^6 (1/k_i) \} = 8.254 \quad \dots\dots\dots [N/\mu\text{m}]$$

$$f_n = \sqrt{k_2 / m_2 \cdot (2\pi)^2} = \sqrt{8.254 \times 10^6 / (765 \times (2\pi)^2)} = 16.5 \quad \dots\dots\dots [1/s]$$

$$X_5/X_1 = 1 / \{ 1 - (f/f_n)^2 \}$$

周波数fに対する伝達率 (X₅/X₁) を図8に示す。f=1Hz以下では、伝達率は、1.0037以下であり、これは静的な状態であるf=0Hzの伝達率1.0に近い。

以上の考察から、倣特性を静力学的に解析すれば十分であると判断できる。

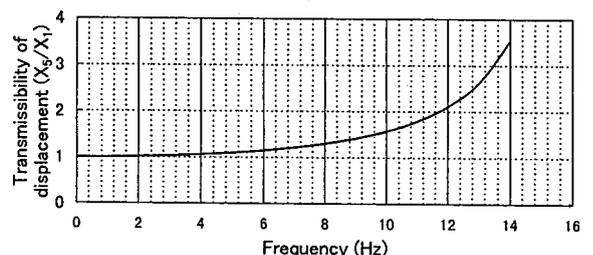


Fig. 8 Transmissibility of displacement

5. 結 言

本研究で明らかになった事項をまとめると次のとおりである。

- (1) 創成機構に倣機構を追加することによって、創

成機構に発生する創成誤差を補正し加工精度を向上することができた。

- (2) 倣機構の各部の摩擦力と剛性に基づく静力学的解析によって、倣機構による誤差の補正後の誤差、すなわち、加工精度を精度よく予測できた。
- (3) 創成機構に追加した倣機構による創成誤差の実質的補正量と、工作物を支持しているテーブル軸の弾性変位に基づく創成誤差の実質的補正量が同程度であることが明らかとなった。

おわりに、本研究を実施するにあたり、貴重な機会とご支援を賜ったマツダ株式会社とトーヨーエイトック株式会社の多くの方々に感謝の意を表す。

文 献

- (1) 山本健一, 工業技術ライブラリー15, ロータリエンジン, 日刊工業新聞社, 1970, 6-8, 25-26.
- (2) Richard F. Ansdale, 入門ロータリ機関設計法, 工学図書株式会社, 1973, 23-29, 89-100.
- (3) 自動車技術会, 自動車技術ハンドブック設計編, 社団法人自動車技術会, 1992, 175-178.
- (4) 日本機械学会, 機械工学便覧応用編, 丸善株式会社, 1996, B7, 114-115.
- (5) 林・ほか1名, トロコイド加工面の研削, 特許出願公告, 197-2943.
- (6) 自動車技術会, 自動車技術ハンドブック, 生産・品質・整備編, 社団法人自動車技術会, 1996, 221.

創成機構の運動解析に関する研究

山本 敏彦*, 西山 修二

Investigation of the Motion Analysis on a Trochoidal Form Generating Mechanism

Toshihiko YAMAMOTO and Shuji NISHIYAMA

A rotor housing of a Wankel combustion chamber has a peri-trochoidal form that is machined by the internal grinder, which is operated by a form generating mechanism. This paper describes the motion analysis how and what kinds of forces and torques are acting on the mechanism in the process of machining. This mechanism is deformed elastically by inertia forces and torques and other loads that are caused in the processing motion. For that reason, the relation between a workpiece and a grinding wheel is derailed from the theoretical line in the process. Consequently even if the deformation is slight, the ground formative accuracy is affected badly. To improve machining this trochoidal form more precisely and efficiently, we have investigated the motion analysis about the mechanism. First of all, we have obtained theoretical results about force and torque acting on the mechanism to estimate the elastic deformation. Some results are presented in the form of graphs and tables.

Key Words: Motion analysis, Wankel Engine, Peri-Trochoidal Form, Internal Grinder,
Generating Mechanism

バンケル型内燃機関のロータハウジングはトロコイド曲線の内周面を有する。この内周面を創成機構によって研削加工する場合、創成運動で生ずる慣性力や慣性トルクなどで機構が弾性変形しトロコイド曲線の加工精度が劣化する。高精度・高能率にトロコイド内周面を加工するには、この加工精度を解析的に予測しながら、創成機構を設計し研削盤を製作する必要がある。本論文ではまず、創成機構に作用する慣性力、慣性トルク、軸受荷重等の解析法と解析事例を述べた。

キーワード：運動解析，バンケル型内燃機関，ペリトロコイド形状，内面研削盤，創成機構

1. 緒 言

バンケル型ロータリ機関のロータハウジング内周面は、2節ペリトロコイド曲線（以降、TC曲線と記す）で形成されている^{(1)~(4)}。トロコイド内周面（以降、TFと記す）を、創成機構により研削成形する場合^{(5),(6)}、創成運動に基づく慣性力、慣性トルクあるいは研削抵抗などにより創成機構や研削砥石軸系に弾性変形が生ずる。また、創成機構の要素系寸

* マツダ株式会社

法や組立などの誤差により、工作物と砥石の相対的位置に誤差が生ずる。弾性変形や相対的位置誤差が要因となり、トロコイド創成運動精度が劣化し、TFの加工形状に誤差が生ずる。このような誤差の発生メカニズムを解明し、形状精度や加工能率を向上することは重要な課題であるにも拘わらず調査する限り報告例が見受けられない。そのため、本論文では、まず創成機構の弾性変形要因となる各要素系に発生する慣性力、慣性トルク、これらに基づく各

軸受荷重などについての理論的解析を行い、試作した創成研削盤についての解析結果を示す。

2. 機構と創成運動

図1はTFを研削成形する創成機構の概念図を示す。創成機構主要部はギヤケースと歯車4個の歯車列で構成される。歯車1は、偏心駆動軸に固定され、電動モータで駆動され、歯車2,3と噛み合いながら歯車中心 O_1 からの偏心量 E のZ軸周りを回転する。歯車4は揺動軸に固定され、その軸上端に固定された腕の端のコロガリ案内式スライダは、Z軸と直交するXa軸上を往復運動する。ギヤボックスは軸心 O_1 周りに揺動し、軸心 O_1 はZ軸周りを回転する。

歯車2は、テーブル軸に固定され、歯車3は、ギヤケースに固定された軸に、コロガリ軸受を介して取付られている。歯車3は歯車1からの動力を歯車4に伝達するアイドル歯車である。歯車1,2の噛み合点は、Z軸に直交しXa軸に平行な往復運動をする。テーブル軸上端固定軸直交平面をテーブルの工作物取付面とする。この平面とZ軸の交点Pが創成運動に基づいて平面上に描く軌跡が、基本TC曲線⁽⁴⁾となる。交点Pを通るXa軸の平行線をX軸とする。歯車1,2の歯数比は1:2であり、交点PがTC曲線を一周する間に、ギヤボックスは揺動二サイクルを行う。テーブル上に工作物を固定し、砥石軸心 O_s をZ軸に平行に、X軸と直交させ、研削によるTFの成形加工を行う。X軸は常にTC曲線の法線となる。

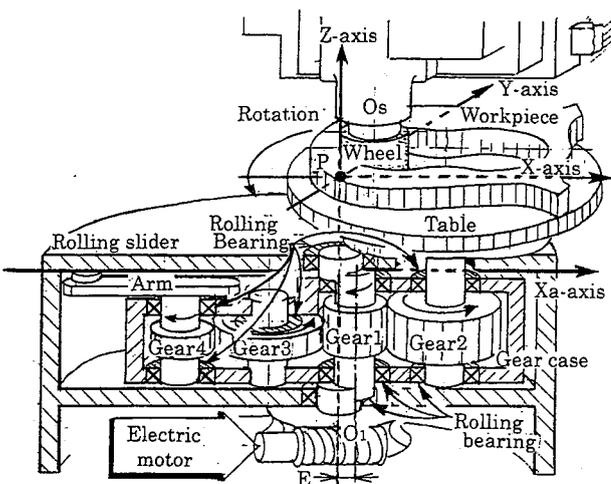


Fig. 1 Sketch of the generating mechanism

り、研削点がZ軸上にあれば基本TFが、Z軸上になければ平行TF^{(2),(4)}が創成される。砥石半径切込方向はX軸負方向に設定する。

3. 理論的解析

3.1 解析モデルと記号の定義

解析モデルを図2に示す。前述の駆動軸回転中心Z軸とスライダ運動方向X軸に、P点で直交するY軸を追加し、右手系直交XYZ座標を設定する。

創成運動で機構要素系に生ずる慣性力、慣性トルク、軸受荷重などを求めるための理論的解析を行うため、本報で使用する主な記号は次のように定義する。説明文中、Z高さはテーブル軸下側軸受を基準に、これからの距離のZ成分を表す。

主な記号

A : 平行移動量

E : 偏心量

F_{ix}, f_{xi}, f_{yi} ($i=1, \dots, 5$): 要素系 i 重心慣性力と x, y 成分

F_{ui}, f_{xui}, f_{yui} ($i=0, 1, \dots, 4$): 上側軸受荷重と x, y 成分

F_{di}, f_{xdi}, f_{ydi} ($i=0, 1, \dots, 4$): 下側軸受荷重と x, y 成分

f_{yR} : スライダ荷重 y 成分

I_i ($i=1, \dots, 5$): 要素系 i 重心回慣性能率

R : 創成半径

R_p, r_i ($i=1, \dots, 4$): 歯車 i のピッチ円半径と基礎円半径

R_{ik} ($i, k=1, \dots, 4$): 歯車 i, k 中心間距離

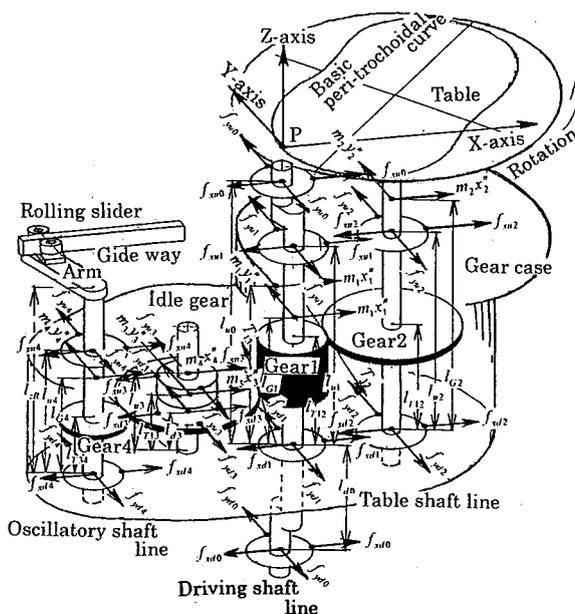


Fig. 2 Analytical model

- R_{15} : 歯車1中心, ギヤケース重心間距離
- $T_{Qi}(i=1, \dots, 5)$: 要素系 i 重心回り慣性トルク
- $T_{ik}(i, k=1, \dots, 4)$: 歯車 i, k 間伝達力
- $T_{gi}(i=1, \dots, 4)$: 歯車間伝達力による歯車 i 中心軸荷重
- $l_{Tik}(i, k=1, \dots, 4)$: 歯車 i, k 間噛合中心点 z 高さ
- $l_{Gi}(i=1, 2, \dots, 5)$: 要素系 i 重心 z 高さ
- $l_{ui}(i=0, 1, \dots, 4)$: 上側軸受 z 高さ
- $l_{di}(i=0, 3)$: 下側軸受 z 高さ
- l_{zR} : スライダ z 高さ
- $m_i(i=1, \dots, 5)$: 要素系 i 質量
- N : 歯車1回転速度
- $(x_i, y_i)(i=1, \dots, 5)$: 要素系 i 重心変位 x, y 座標
- $(x_i'', y_i'')(i=1, \dots, 5)$: 要素系 i 重心加速度 x, y 成分
- x_R : スライダ x 座標
- α : 歯車1-2, ギヤケース重心間角度
- α_p : 歯車圧力角
- β : ギヤケース揺動角度
- $\beta'_\theta : d\beta/d\theta$
- $\beta''_\theta : d^2\beta/d\theta^2$
- γ : 歯車2-4, 歯車2-3間角度
- θ : 歯車1回転角度
- $\phi_i(i=1, \dots, 5)$: 要素系 i 重心回り回転角度
- $\phi_i'(i=1, \dots, 5)$: 要素系 i 重心回り角加速度
- ω : 歯車1回転角速度
- e : 自然対数の底2.718281828...
- j : 虚数単位 $\sqrt{-1}$
- $[]^T$: 転置行列

3.2 機構要素系の変位と加速度

創成機構は歯車1の駆動軸系, 歯車2のテーブル軸系, 歯車3のアイドル歯車, 歯車4の揺動軸系とギヤケースの5個の機構要素系が, コロガリ軸受と歯車の噛合により相互に連結されている。創成運動では, すべての要素系が $X-Y$ 平面に平行な平面運動を行い, Z 方向の運動成分はない。平面運動は, 各要素系重心の並進運動と重心回り回転運動として把握できる。ギヤケースを除く要素系は, 回転軸対称構造であり重心は回転軸上にある。歯車1~4の回転中心およびギヤケース重心の運動軌跡を XY 座標で図3に示す。

要素系 i の変位および加速度は, 並進変位 (x_i, y_i) と回転角変位 ϕ_i , 並進加速度 (x_i'', y_i'') と回転角加速

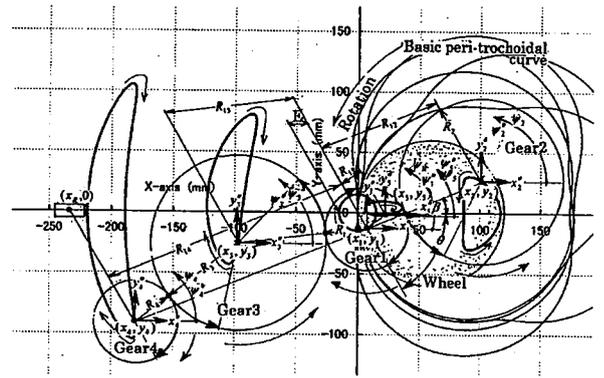


Fig.3 Locus of the elements of the generator

度 ϕ_i' それぞれの合成である。 x 成分を実数部, y 成分を虚数部とする複素数で並進運動の変位 (x_i, y_i) と加速度 (x_i'', y_i'') それぞれを表示する。また, 電動機で駆動される駆動軸系と歯車1は, 一定角速度 ω で回転すると仮定する。この場合, 各要素系の変位, 加速度は以下のように表示され, 加速度 (x_i'', y_i'') , ϕ_i' は ω の二乗に比例する。

歯車1の回転角 θ およびギヤケース揺動角 β の関係式は次式となる。

$$\theta = \omega t \quad \dots\dots\dots(1a)$$

$$\theta' = d\theta/dt = \omega = 2\pi N/60 \quad \dots\dots\dots(1b)$$

$$\theta'' = d^2\theta/dt^2 = 0 \quad \dots\dots\dots(1c)$$

$$\beta = \sin^{-1}(E \sin \theta / R_1) \quad \dots\dots\dots(1d)$$

$$\beta' = (d\beta/d\theta)(d\theta/dt) = \beta'_\theta \omega \quad \dots\dots\dots(1e)$$

$$\beta'_\theta = d\beta/d\theta = E \cos \theta \{R_1 \cos \beta\}^{-1} \quad \dots\dots\dots(1f)$$

$$\beta'' = (d^2\beta/d\theta^2)(d\theta/dt)^2 = \beta''_\theta \omega^2 \quad \dots\dots\dots(1g)$$

$$\beta''_\theta = d^2\beta/d\theta^2 = \{(E/R_1)^2 - 1\} \sin \beta \cos^3 \beta \quad \dots\dots(1h)$$

駆動軸系重心の変位 (x_1, y_1) , ϕ と加速度 (x_1'', y_1'') , ϕ_1' は次式となる

$$x_1 + y_1 j = E e^{-\theta j} \quad \dots\dots\dots(2a)$$

$$\phi_1 = -\theta \quad \dots\dots\dots(2b)$$

$$x_1'' + y_1'' j = -E \omega^2 e^{-\theta j} \quad \dots\dots\dots(2c)$$

$$\phi_1' = 0 \quad \dots\dots\dots(2d)$$

テーブル軸系重心の変位 (x_2, y_2) , ϕ_2 と加速度 (x_2'', y_2'') , ϕ_2'' は次式となる

$$x_2 + y_2 j = E e^{-\theta j} + R_{12} \cdot e^{\beta j} \quad \dots\dots\dots (3a)$$

$$\phi_2 = 0.5\theta + 1.5\beta \quad \dots\dots\dots (3b)$$

$$x_2'' + y_2'' j = \{-E e^{-\theta j} - [\beta_0'^2 - \beta_0'' j] R_{12} \cdot e^{\beta j}\} \omega^2 \quad \dots (3c)$$

$$\phi_2'' = 1.5 \beta_0'' \omega^2 \quad \dots\dots\dots (3d)$$

アイドル歯車重心の変位 (x_3, y_3) , ϕ_3 と加速度 (x_3'', y_3'') , ϕ_3'' は次式となる。

$$x_3 + y_3 j = E e^{-\theta j} - R_{13} e^{(\beta-\gamma)j} \quad \dots\dots\dots (4a)$$

$$\phi_3 = (\theta + \beta)R / (3R_{13} - R) + \beta - \gamma \quad \dots\dots\dots (4b)$$

$$x_3'' + y_3'' j = \{-E e^{-\theta j} + [\beta_0'^2 - \beta_0'' j] R_{13} \cdot e^{(\beta-\gamma)j}\} \omega^2 \quad \dots (4c)$$

$$\phi_3'' = 3R_{13} \beta_0'' \omega^2 / (3R_{13} - R) \quad \dots\dots\dots (4d)$$

揺動軸系重心の変位 (x_4, y_4) , ϕ_4 と加速度 (x_4'', y_4'') , ϕ_4'' は次式となる。

$$x_4 + y_4 j = E e^{-\theta j} - R_{14} e^{\beta j} \quad \dots\dots\dots (5a)$$

$$\phi_4 = -\theta + \gamma \quad \dots\dots\dots (5b)$$

$$x_4'' + y_4'' j = \{-E e^{-\theta j} + [\beta_0'^2 - \beta_0'' j] R_{14} e^{\beta j}\} \omega^2 \quad \dots\dots (5c)$$

$$\phi_4'' = 0 \quad \dots\dots\dots (5d)$$

ギヤケース重心の変位 (x_5, y_5) , ϕ_5 と加速度 (x_5'', y_5'') , ϕ_5'' は次式となる。

$$x_5 + y_5 j = E e^{-\theta j} - R_{15} \cdot e^{(\beta+\alpha)j} \quad \dots\dots\dots (6a)$$

$$\phi_5 = \beta + \alpha \quad \dots\dots\dots (6b)$$

$$x_5'' + y_5'' j = \{-E e^{-\theta j} - [\beta_0'^2 - \beta_0'' j] R_{15} e^{(\beta+\alpha)j}\} \omega^2 \quad \dots (6c)$$

$$\phi_5'' = \beta_0'' \omega^2 \quad \dots\dots\dots (6d)$$

3.3 軸受荷重の解析

創成運動で要素系 i には, 重心に慣性力 F_i と重心回り慣性トルク T_{Qi} , 歯面に歯車間伝達力 T_{ik} とこれによる歯車中心軸荷重 T_{Bi} , 軸受部に軸受荷重 F_{ui}, F_{di} などが作用する。慣性力 F_i の x, y 成分 f_{xi}, f_{yi} と慣性トルク T_{Qi} は $f_{xi} = -m_i x_i'', f_{yi} = -m_i y_i''$ と $T_{Qi} = -I_i \phi_i''$ に

より求められる。要素系連結部の軸受や歯車噛合点で系相互に作用する軸受荷重と歯車間伝達力それぞれに作用反作用の法則が成立する。歯車間伝達力は, 歯車を回転させるトルクと歯車軸荷重とに置換できる。ダランペールの原理により, 各要素系に作用する力やトルクは, 系ごとに常に釣合状態を保つ。以上のことから要素系ごとに, 軸受荷重 $f_{xui}, f_{yui}, f_{xdi}, f_{ydi}$ とスライダ荷重 f_{yR} を未知数とする力の釣合方程式が求まる。系ごとに, X, Y 方向の力の釣合, X, Y 軸回りモーメントの釣合および重心を通る Z 軸回りモーメントの釣合などが成立する。図4はギヤケースに作用する力やトルクを示す。

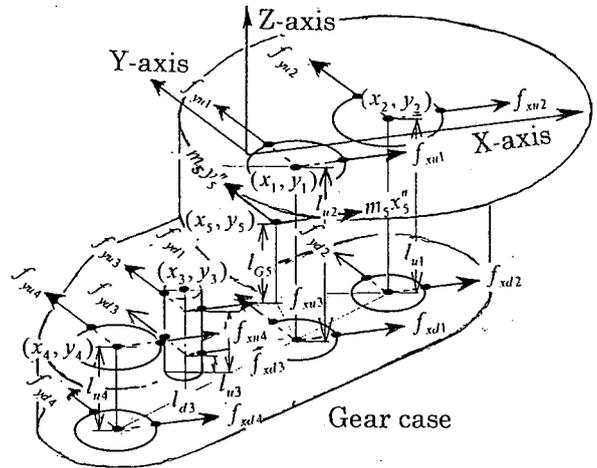


Fig.4 Forces and torques acting on gear case

各軸受位置 (x_i, y_i) ($i=1, \dots, 4$) の上側軸受荷重 f_{xui}, f_{yui} と下側軸受荷重 f_{xdi}, f_{ydi} , ギヤケース重心 (x_5, y_5) の慣性力 $-m_5 x_5'', -m_5 y_5''$ と重心回りの慣性トルク $-I_5 \phi_5''$ などである。図より, 釣合方程式は, 次式で表される。

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^4 (f_{xui} + f_{xdi}) \\ \sum_{i=1}^4 (f_{yui} + f_{ydi}) \end{bmatrix} = m_5 \begin{bmatrix} x_5'' \\ y_5'' \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (7a)$$

$$\sum_{i=1}^4 \left\{ \begin{bmatrix} x_i - x_5 \\ y_5 - y_i \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} f_{yui} + f_{ydi} \\ f_{xui} + f_{xdi} \end{bmatrix} \right\} = I_5 \phi_5'' \quad \dots\dots\dots (7b)$$

$$\begin{bmatrix} l_{u1} \\ l_{u2} \\ l_{u3} \\ l_{d3} \\ l_{d4} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} f_{xu1} & f_{yu1} \\ f_{xu2} & f_{yu2} \\ f_{xu3} & f_{yu3} \\ f_{xd3} & f_{yd3} \\ f_{xu4} & f_{yu4} \end{bmatrix} = l_{G5} m_5 \begin{bmatrix} x_5'' \\ y_5'' \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (7c)$$

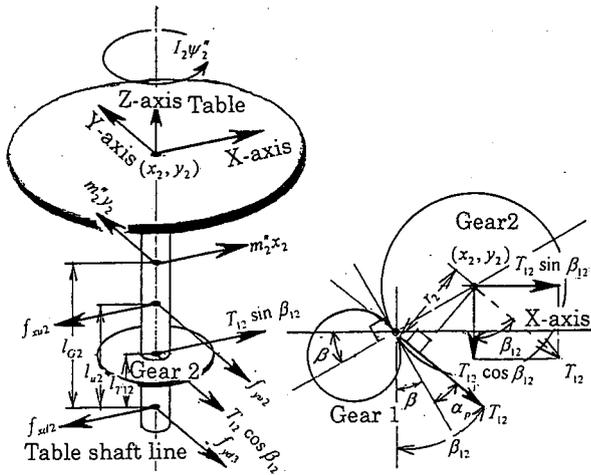


Fig.5 Forces and torques acting on table shaft line

図5はテーブル軸系に作用する力とトルクを示す。上側軸受荷重 f_{xu2} , f_{yu2} , 下側軸受荷重 f_{xd2} , f_{yd2} , 重心 (x_2, y_2) の慣性力 $-m_2 x_2''$, $-m_2 y_2''$ と重心回りの慣性トルク $-I_2 \phi_2''$, 歯車1からの伝達力 T_{12} などである。

図は $T_{12} \geq 0$ とする場合を示し, T_{12} 方向と y 方向のなす角 β_{12} は T_{12} の向きに応じて圧力角 α_p 分の増減を生じ, 釣合方程式は次式で表される。

$$T_{12} r_2 - I_2 \phi_2'' = 0 \quad \dots\dots\dots(8a)$$

$$T_{12} \geq 0 \text{ で } \beta_{12} = \beta + \alpha_p, T_{12} \leq 0 \text{ で } \beta_{12} = \beta - \alpha_p \quad \dots\dots(8b)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ l_{u2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{xu2} & f_{yu2} \\ f_{xd2} & f_{yd2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \beta_{12} & -x_2'' \\ -\cos \beta_{12} & -y_2'' \end{bmatrix} \times$$

$$\begin{bmatrix} T_{12} & T_{12} l_{T12} \\ m_2 & m_2 l_{G2} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(8c)$$

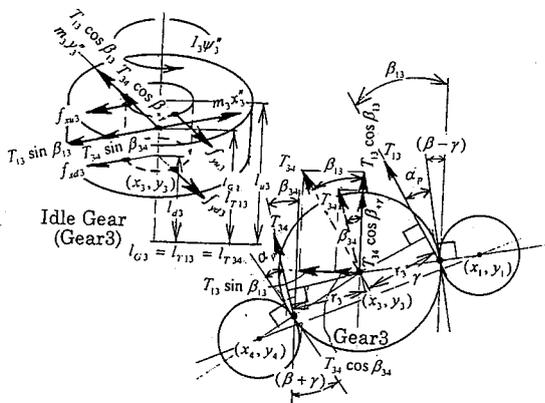


Fig.6 Forces and torques acting on idle gear

図6は歯車3のアイドルギヤ歯車に作用する力とトルクを示す。上側軸受荷重 f_{xu3} , f_{yu3} , 下側軸受荷重 f_{xd3} , f_{yd3} , 重心 (x_3, y_3) の慣性力 $-m_3 x_3''$, $-m_3 y_3''$ と重心回りの慣性トルク $-I_3 \phi_3''$, 歯車1,4からの伝達力 T_{13} , T_{34} などである。

図は $T_{13} \geq 0$, $T_{34} \geq 0$ とする場合を示し, 各 T_{13} , T_{34} 方向と y 方向のなす角 β_{13} , β_{34} も T_{13} , T_{34} の向きに応じて圧力角 α_p 分の増減を生じ, 釣合方程式は次式で表される。

$$(T_{13} - T_{34}) r_3 - I_3 \phi_3'' = 0 \quad \dots\dots\dots(9a)$$

$$T_{13} \geq 0 \text{ で } T_{13} = \beta - \gamma + \alpha_p, T_{13} \leq 0 \text{ で } T_{13} = \beta - \gamma - \alpha_p \quad \dots\dots\dots(9b)$$

$$T_{34} \geq 0 \text{ で } \beta_{34} = \beta + \gamma - \alpha_p, T_{34} \leq 0 \text{ で } \beta_{34} = \beta + \gamma + \alpha_p \quad \dots\dots\dots(9c)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ l_{u3} & l_{d3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{xu3} & f_{yu3} \\ f_{xd3} & f_{yd3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \beta_{34} & \cos \beta_{34} \\ -\sin \beta_{13} & \cos \beta_{13} \\ -x_3'' & -y_3'' \end{bmatrix} \times$$

$$\begin{bmatrix} T_{34} & T_{34} l_{T34} \\ T_{13} & T_{13} l_{T13} \\ m_3 & m_3 l_{G3} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(9d)$$

図7は揺動軸系に作用する力とトルクを示す。スライダ荷重 f_{yR} , 上側軸受荷重 f_{xu4} , f_{yu4} , 下側軸受荷重 f_{xd4} , f_{yd4} , 重心 (x_4, y_4) の慣性力 $-m_4 x_4''$, $-m_4 y_4''$ などである。

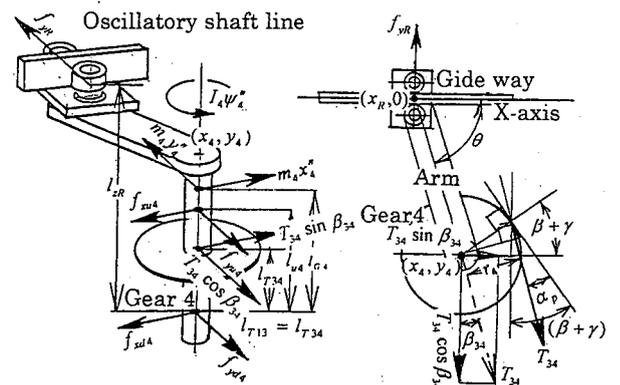


Fig.7 Forces and torques acting on oscillatory shaft line

図は $T_{34} \geq 0$ とする場合を示し, 釣合方程式は次式で表される。

$$-f_{yR}(x_A - x_R) - r_4 T_{34} - l_4 \psi'' = 0 \quad \dots\dots\dots(10a)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ l_{u4} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{xu4} & f_{yu4} \\ f_{xd4} & f_{yd4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \beta_{34} & -\cos \beta_{34} \\ -x_4'' & -y_4'' \\ 0 & 1 \end{bmatrix}^T \times$$

$$\begin{bmatrix} T_{34} & T_{34} l_{T34} \\ m_4 & m_4 l_{G4} \\ f_{yR} & f_{yR} l_{2R} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(10b)$$

図8は駆動軸系に作用する力とトルクを示す。ベッド上側軸受荷重 f_{xu0}, f_{yu0} , ギヤケース上側軸受荷重 f_{xu1}, f_{yu1} , ギヤケース下側軸受荷重 f_{xu1}, f_{yu1} ベッド下側軸受荷重 f_{xd0}, f_{yd0} , 重心 (x_1, y_1) の慣性力 $-m_1 x_1'', -m_1 y_1''$ などである。

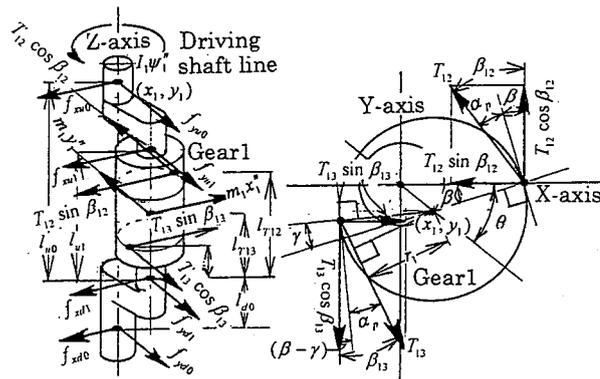


Fig.8 Forces and torques acting on driving shaft line

図は $T_{12} \geq 0, T_{13} \geq 0$ とする場合を示し、釣合方程式は次式で表される。

$$\begin{bmatrix} 1 & l_{u0} \\ 1 & l_{u1} \\ 1 & -l_{d0} \\ 1 & 0 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} f_{xu0} & f_{yu0} \\ f_{xu1} & f_{yu1} \\ f_{xd0} & f_{yd0} \\ f_{xd1} & f_{yd1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \beta_{13} & -\cos \beta_{13} \\ -\sin \beta_{12} & \cos \beta_{12} \\ -x_1'' & -y_1'' \end{bmatrix} \times$$

$$\begin{bmatrix} T_{13} & T_{13} l_{T13} \\ T_{12} & T_{12} l_{T12} \\ m_1 & m_1 l_{G1} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(11a)$$

軸受荷重 $f_{xui}, f_{yui}, f_{xdi}, f_{ydi} (i=0,1, \dots, 4)$ とスライダ荷重 f_{yR} の21個を未知数とする(7a)~(11a)に示す21元連立1次方程式の解から、すべての軸受荷重が求まる。また、創成機構を駆動するに要するトルクは、駆動軸系に作用する力とトルクにより、次式から求まる。

$$T_Q = y_1(f_{xu1} + f_{xd1}) - x_1(f_{yu1} + f_{yd1}) - T_{Q1}$$

$$+ T_{13} \{ [E \cos \theta + R_1 \cos(\beta - \gamma)] \cos \beta_{13}$$

$$+ [E \sin \theta + R_1 \sin(\beta - \gamma)] \sin \beta_{13} \}$$

$$+ T_{12} (E \cos \theta + R_1 \cos \beta) \cos \beta_{12} \quad \dots\dots(11b)$$

3.4 機構要素系の質量と慣性能率

要素系の質量、重心、重心回り慣性能率など解析に必要な特性値を求める。回転軸対称形状要素系であるテーブル軸系、アイドル歯車、揺動軸系などは、重心が回転軸上にある。特性値解析では、回転軸直角断面形状が同じ部分ごとに系を直角断面で n 個に分割する。分割部分 i ごとに質量 M_i , 重心 Z_i , 回転軸回り慣性能率 J_i を求める。要素系の質量 M , 回転軸回り慣性能率 J は、分割部分特性値の和 $\sum_1^n M_i, \sum_1^n J_i$ として求める。重心 Z は回転軸に沿って分割部分に分散された質量 M_i と重心 Z_i から系の重心 Z を、 $Z = (\sum_1^n M_i Z_i) / M$ により求める。

ギヤケースも、図9に示すように Z 方向直角断面が同じ部分で n 個に分割し、分割断面を、円、同心円、円弧の三種の形状で再分割し、系を m 個に細分割する。細分割部分 j の質量 M_j , 重心 (X_j, Y_j, Z_j) , 重心 Z 軸回り慣性能率 J_j の特性値を求め、ギヤケースの質量 M , 重心 (X, Y, Z) を $M = \sum_1^m M_j, X = (\sum_1^m M_j X_j) / M,$
 $Y = (\sum_1^m M_j Y_j) / M, Z = (\sum_1^m M_j Z_j) / M$

により求める。平行軸の定理により、 m 個の細分割部分の重心回り慣性能率 J_j と質量 M_j から、ギヤケ

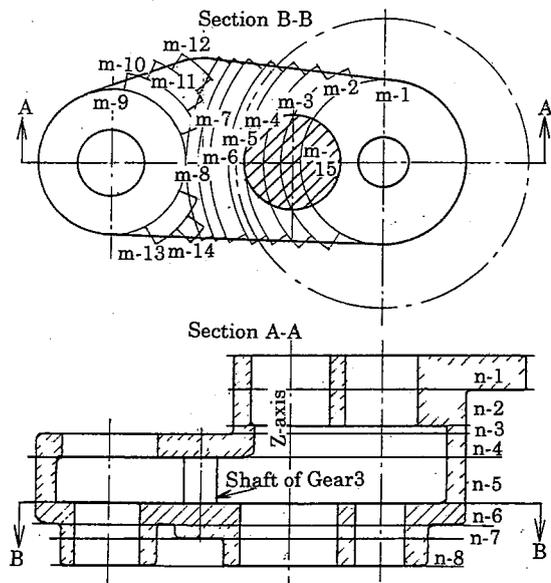


Fig.9 Analyses of properties for gear case

一の重心Z軸回り慣性能率 J を

$$J = \sum_{j=1}^n \{J_j + M_j [(X-X_j)^2 + (Y-Y_j)^2]\} \text{ により求める.}$$

図9では、ギヤケースをn-1からn-8の8個に分割し、第n-6分割断面を円、同心円、円弧の三種形状でm-1からm-15の15個に細分割している。分割断面B-B中央の斜線円形状は、穴を示す。

4. 創成機構の諸元

試作した創成研削盤の創成機構の要素系に作用する力について解析を行う。その要素系の形状および重心などを図10に示す。図10の(a)から(e)は揺動軸系、テーブル軸系、アイドル歯車、駆動軸系、ギヤケースをそれぞれ示す。駆動軸系の質量、重心は歯車4の中心軸と同心部分の質量、重心として示す。解析に必要な諸元は表1のとおりである。

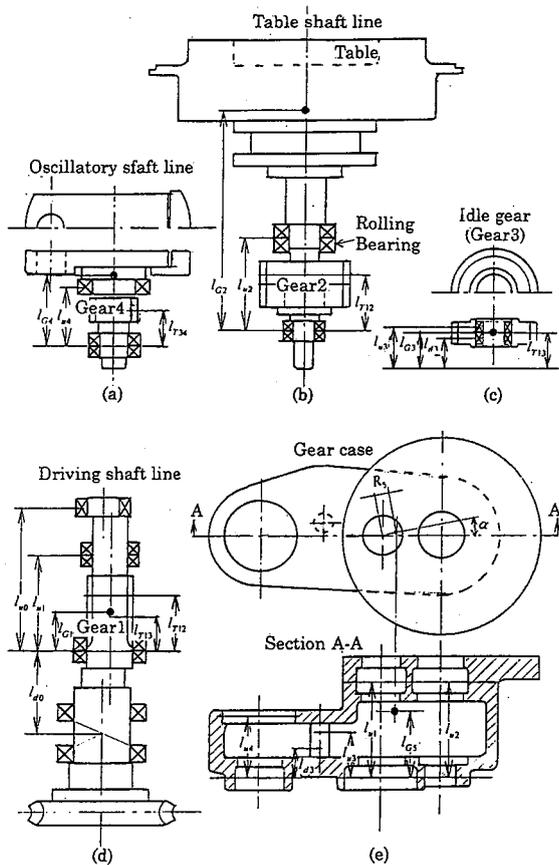


Fig.10 Properties of the mechanical elements

5. 解析結果

駆動軸と歯車1が一定速度で回転する場合、各要素系に作用する慣性力、慣性トルクは駆動軸回転速度 ω の二乗に比例し、歯車間伝達力、軸受荷重など

Table 1 Values of parameters

Symbol	Value	Unit	Symbol	Value	Unit
A	0.102	m	E	0.015	m
I_1	0.142	$kg \cdot m^2$	I_2	3.57	$kg \cdot m^2$
I_3	0.0115	$kg \cdot m^2$	I_4	0.0665	$kg \cdot m^2$
I_5	2.16	$kg \cdot m^2$	l_{d0}	0.147	m
l_{d3}	0.052	m	l_{G1}	0.079	m
l_{G2}	0.381	m	l_{G3}	0.0595	m
l_{G4}	0.099	m	l_{G5}	0.102	m
l_{u0}	0.381	m	l_{u1}	0.159	m
l_{u2}	0.159	m	l_{u3}	0.067	m
l_{u4}	0.099	m	l_{zR}	0.143	m
l_{T12}	0.0995	m	l_{T13}	0.0595	m
l_{T34}	0.0595	m	m_1	7.6	kg
m_2	166.0	kg	m_3	4.7	kg
m_4	14.0	kg	m_5	68.0	kg
R	0.102	m	R_1	34.0	m
R_2	0.068	m	R_3	70.0	m
R_4	0.034	m	R_{12}	102.0	m
R_{13}	0.104	m	R_{14}	204.0	m
R_{15}	0.021	m	r_1	0.0320	m
r_2	0.0639	m	r_3	0.0658	m
r_4	0.0320	m	α	11.05	$^\circ$
α_p	20.0	$^\circ$	γ	11.25	$^\circ$

も、 ω の二乗に比例することが理論的解析から明らかになった。歯車1,2の歯数比1:2により、創成運動1サイクル間に、ギヤケースは揺動二サイクルを行い、テーブルと工作物は半回転ごとに、同じ運動を繰り返す。駆動軸と歯車1が一定速度20rpmで回転する場合、テーブルと工作物平均回転速度は10rpmとなる。この速度で工作物が半回転する間について、試作した創成研削盤の創成機構の諸元に基づいて、要素系に作用する慣性力、慣性トルク、歯車間伝達力、軸受荷重などの解析を行った。解析値の力は、X成分を横軸にY成分を縦軸とする極線図で示す。極線図中に ϕ° で示す数値は、図11の角度 ϕ の値であり、TF上の加工点に相当する位置を示

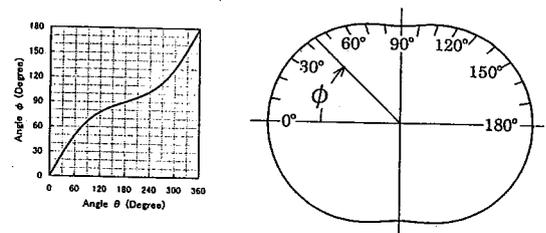


Fig.11 Position on the trochoidal form

す。創成運動ではX軸がTC曲線の法線となり、創成運動誤差のX成分はTF形状精度に直接的に影響するため、力の解析値のX成分が大きくなる位置を図に示した。

図11には θ と ϕ の関係も示す。力以外の解析値を示す図では、横軸が図11の角度 ϕ を示す。

5.1 慣性力

要素系重心慣性力の駆動軸系 F_1 、テーブル軸系 F_2 、アイドル歯車 F_3 、揺動軸系 F_4 、ギヤケース F_5 を図12に示す。

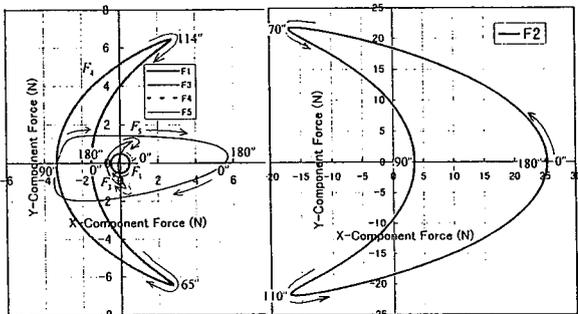


Fig.12 Polar diagram of inertia forces

要素系のうち、テーブル軸系重心慣性力が大きく、 $\phi = 0^\circ, 70^\circ, 110^\circ$ 付近でx成分が特に大きくなり創成動への影響が大きくなる。

5.2 慣性トルク

要素系重心回り慣性トルクの駆動軸系 T_{Q1} 、テーブル軸系 T_{Q2} 、アイドル歯車 T_{Q3} 、揺動軸系 T_{Q4} 、ギヤケース T_{Q5} を図13に示す。要素系のうち、テーブル軸系に作用する慣性トルクが大きく、 $\phi = 66^\circ, \phi = 114^\circ$ 付近で最大となる。駆動軸系、揺動軸系は回転速度が一定となり、慣性トルク T_{Q1}, T_{Q4} は0である。アイドル歯車に作用する慣性トルク T_{Q3} の値は、図中のX軸の線幅内にある。

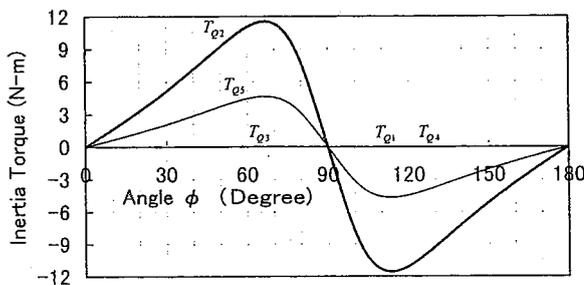


Fig.13 Polar diagram of inertia torques

5.3 歯車間伝達力

歯車間伝達力 T_{12} がテーブル軸系歯車2に、 T_{13} と T_{34} がアイドル歯車に、 T_{34} が揺動軸系歯車4に作用する。これらの力は順に歯車中心軸荷重 T_{g2}, T_{g3}, T_{g4} として系ごとに作用する。これを図14に示す。テーブル軸系 T_{g2} は $\phi = 67^\circ, \phi = 113^\circ$ 付近の位置でx成分が最も大きくなっている。

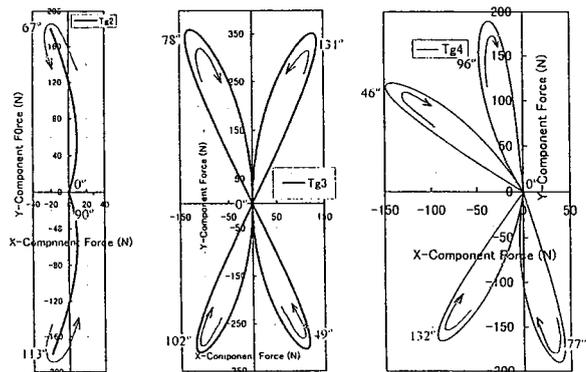


Fig.14 Polar diagram of radial loads on gear shaft

5.4 軸受荷重

駆動軸系ベッド取付軸受のベッド側に作用する上下軸受荷重 F_{u0}, F_{d0} と駆動軸系ギヤケース取付軸受のギヤケース側に作用する上下軸受荷重 F_{u1}, F_{d1} を図15(a)に示す。テーブル軸系、アイドル歯車、揺動軸系のギヤケース取付軸受のギヤケース側に作用する各上下軸受荷重 $F_{u2}, F_{d2}, F_{u3}, F_{d3}, F_{u4}, F_{d4}$ を図15(b)に示す。テーブル軸系上側軸受荷重 F_{u2} のx成分が大きくなる位置は $\phi = 69^\circ, \phi = 113^\circ$ 付近である。また、図中の F_{u3} と F_{d3} は全く重なっている。

5.5 入力トルク

駆動軸系が一定速度20rpmで回転する創成運動を行うために必要な駆動軸系への入力トルクの解析値を図16に示す。トルクの値が正の区間は創成機構に必要なトルクを、負の区間は創成機構から放出されるトルクを表す。解析では、軸受部、歯車噛合点などでの摩擦力を考慮していないため、エネルギー保存則により一サイクルの積分値0が成立している。

5.6 仮定の検証

駆動軸系は一定速度で回転すると仮定した。解析の対象とした試作機は、3.7kw三相交流モータと減速機により、駆動されている。研削加工時のように工作物に砥石を接触させ、創成運動による工作物の

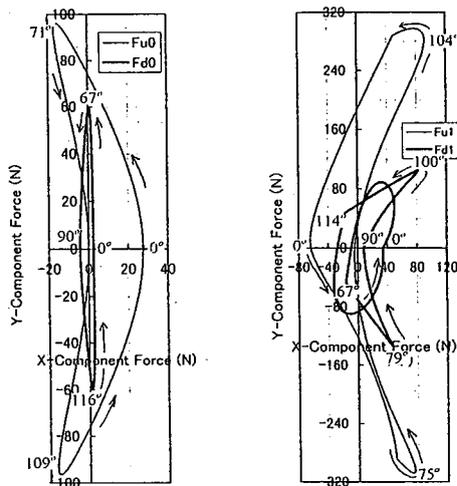


Fig.15 (a) Polar diagram of loads on the bearing

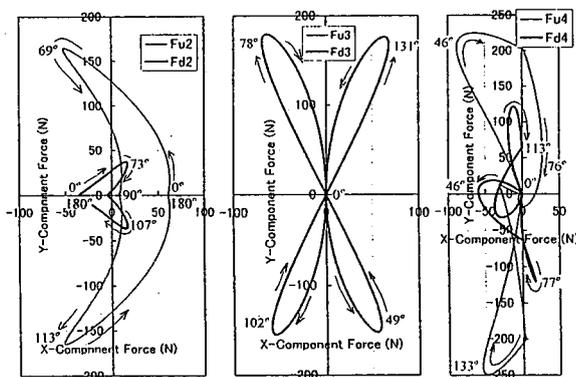


Fig.15 (b) Polar diagram of loads on the bearing

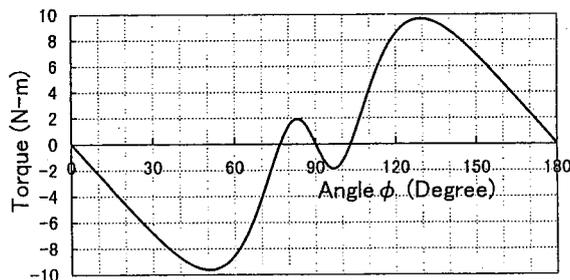


Fig.16 Driving torque for the generating mechanism

回転で砥石を接触回転させ、砥石軸回転速度を測定した。この実測回転速度から研削点の移動速度を求め、解析的に求めた速度と比較し、図17に示す。

図17は駆動軸系回転速度が55rpmの場合である。これより、駆動軸系が一定速度で回転するとした仮定が成立していることが分かる。

5. 結 言

本研究で明らかになった事項などをまとめる次の

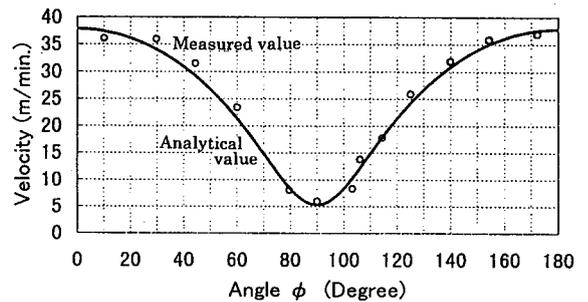


Fig.17 Grinding feed speed

とおりである。

- (1) 創成機構要素系に作用する慣性力、慣性トルク、軸受荷重などは駆動軸系回転速度の二乗に比例して増大する。解析により、その定量的予測が可能になった。
- (2) 創成誤差の要因となる機構の弾性変形も、慣性力や慣性トルクにより回転速度の二乗に比例して増大する。
- (3) TFを高精度・高能率に加工するには、本研究に続いて、機構の弾性変形の要因となるこのような力やトルクから創成機構による加工精度までを定量的に予測するための研究を行い、その結果を創成機構の設計制作やTFの生産加工に活用することが不可欠である。

おわりに、本研究を実施するにあたり、貴重な機会とご支援を賜ったマツダ株式会社とトーヨーエイトック株式会社の多くの方々に感謝の意を表す。

文 献

- (1) 山本健一, 工業技術ライブラリー-15, ロータリエンジン, 日刊工業新聞社, 1970, 6-8, 25-26.
- (2) Richard F. Ansdale, 入門ロータリ機関設計法, 工学図書株式会社, 1973, 23-29, 89-100.
- (3) 自動車技術会, 自動車技術ハンドブック 設計編, 社団法人自動車技術会, 1992, 175-178.
- (4) 日本機械学会, 機械工学便覧 応用編, 丸善株式会社, 1996, B7, 114-115.
- (5) 林・ほか1名, トロコイド加工面の研削, 特許出願公告, 197-2943.
- (6) 自動車技術会, 自動車技術ハンドブック, 生産・品質・整備編, 社団法人自動車技術会, 1996, 221.
- (7) 山本, 西山, 機論投稿中

光切断法による細管内面の損傷計測 (第1報, 損傷計測システムの構築)

田中 秀樹, 世良 英美

Damage Measurement on Inside of Thin Tube Using Light Section Method (1st report, Construction of The Damage Measuring System)

Hideki TANAKA and Hidemi SERA

It is difficult to measure the damage on inside of the tube without breaking tube, when there is any obstacles around the thin tube. I propose the testing system that is measured damages from the inside of the tube for the purpose of the solution of this problem. The system, which is composed of sensor and image accumulation processing is constructed. Sensor is composed of the circle line laser source and CCD camera. Also, image accumulation processing is composed of the image board and computer. The processing outline of this system is the following. For the first time, sensor irradiates the laser light that enables circle line to inside of the tube, and then take the light section image. Next, extract the line of light section from the image, and find the coordinate. And, I find the damage by the difference from the coordinate of the standard circle. In this report, we describe the method that measures the damage on inside of the tube, and we investigate about the outline of the system that constructed it. Also, the hole size that opened to the inside of tube experimentally for the purpose of the system inspection, was measured. We confirmed the verification of the system comparing measuring data. We report because the efficacy of the system was confirmed from the experiment result.

Key Words: Non-Destructive Measurement, Light Section Method, Damage on Inside of Tube, Circle Line Laser

細い配管内面の非破壊損傷計測において、周囲に障害物のある場合には、外部からの計測は困難である。本研究ではこの問題の解決を目的として、管の内面から損傷を計測する手法を提案する。そして、サークルライン・レーザ光源とCCDカメラからなるセンサ部、および画像ボードとコンピュータからなる画像蓄積・処理部で構成されるシステムを構築する。本システムにおける処理概要は次のとおりである。センサ部で、輪状の軌跡の得られるレーザ光を管内面に照射し、光切断画像を撮影する。次に、画像より光切断線を抽出し、その座標を求める。そして、基準円の座標と比較し損傷程度を求める。本報告では、管内面の損傷計測手法を説明し、構築したシステムの概要について述べる。また、システム検証のため、試験的に管内面にあけた孔サイズを計測し、その結果システムの有効性を確認したので報告する。

キーワード：非破壊計測, 光切断, 管内面損傷, サークルライン・レーザ

1. はじめに

石油プラントや化学プラントなどでは、さまざまな配管が利用されている。この配管は使用するうちに、減肉や管内面の孔食、傷、割れなどが起こる。そして、この状態のまま放置すると、配管に穴がいたり、亀裂が生じる。この結果、装置が停止したり、最悪の場合には事故が発生する。このため、保守点検において損傷程度を調べ、損傷のひどい場合には補修を行っている。

保守点検では損傷計測を必要とするが、計測上、次のような問題がある。たとえば熱交換器などは、多くの細管が束となった形態をしている。このように、管の周りに障害物のある場合には、管内面を外側から検査することは難しい。また、検査する配管数の多い場合には、1本の検査にかかる作業時間の短縮が望まれる。このような理由より、細管の損傷計測には作業効率のよい渦流探傷⁽¹⁾が用いられる。しかし、渦流探傷では、センサを手で手繰り寄せる方法がよく行われており、この方法の場合は管の軸方向に対する位置情報が定まらない。また渦流探傷の方式上、軸に垂直な面上の損傷位置を特定できない。このように、渦流探傷では正確な損傷位置の特定が難しく、位置情報の得られる手法の確立が望まれている。

そこで、本研究では管の内面にレーザ光を照射して得られる光切断線から、損傷を解析する手法を提案し、そのシステムを実現した。このシステムの特徴は、センサの挿入位置に応じ光切断画像を蓄積することで、軸方向位置を特定でき、さらに、管の軸に垂直な面の損傷位置を特定できることである。

本システムの検証のため、内面に孔をあけた管を用意し、その孔の寸法を計測した。そして検証により明らかとなった問題点を改良した。

2. 管の損傷形態

ここでは、特に熱交換器に用いられる配管の損傷について述べる。

2.1 熱交換器の種類および管材料

熱交換器とは流体から他の流体に熱を伝える装置で、石油精製、石油化学工業、発電所、一般化学工業などに広く使用されている。熱交換器を構造で分

類すると、管使用換熱型、板使用換熱型、その他となり、よく利用されるのは管使用換熱型である。さらに管使用換熱型には、二重管式、多管式、単管式、空冷式などの形式が存在し、多管式は最も代表的なものである。実際に、化学工場に使われている熱交換器のうち、多管式が1/3近くも占めている。そして、多管式において使用されている管の長さや本数は、概ね長さ2.5~6m、本数10~1500本である⁽²⁾。多管式形熱交換器の管の外観を図1に示す。

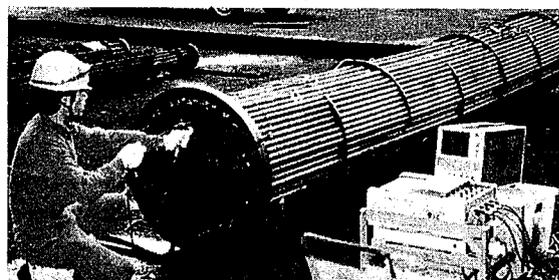


図1 熱交換器管外観図

次に、熱交換器用の管は、熱交換する2つの流体を隔てると共に、この両者間に熱伝達を促すという二重機能が必要である。このため、管の条件には耐食性のよいこと、加工性・溶接性のよいこと、熱伝導率が高いこと、汚れにくいこと、機械的強度が高いことなどがある。そして、条件を満足し使用される管の材質は、モリブデン鋼、チタン、キュプロニッケル、炭素鋼、ステンレス鋼、アルミニウムなどである。そのうち、現在最も利用されている材質はアルミニウム黄銅である。管の肉厚については、高耐食材料ほど薄肉材が使用されている。材質ごとの肉厚は、チタン1.0mm未満、ステンレス鋼2.0mm、アルミニウム黄銅1.5~2.0mmが多く使用されている⁽³⁾。

2.2 損傷形態

損傷の生じやすい部位は、流体の流れる部分、温度の不均一部分、残留応力および負荷応力の大きい部分、流体の蒸発および結露の生じる部分、スケールのたまりやすい部分などである。ここで、管の腐食形態別損傷発生率をまとめると表1となる。アルミニウム黄銅においては孔食・すきま腐食、応力腐食割れ、潰食、デポジットアタック(堆積下腐食)が、ステンレス鋼においては応力腐食割れ、孔食、すき

ま腐食，また炭素鋼においては全面腐食を伴った局部腐食，孔食などが多く発生する。

表1 熱交換器管腐食形態別損傷発生率(%)

損傷	アルミニウム黄銅	ステンレス鋼	炭素鋼
全面腐食	2.1	0	14.6
潰食	6.3	0	0
孔食・すきま腐食	12.5	10.4	6.3
デポジットアタック	4.2	0	0
選択腐食・腐食疲労	4.2	0	0
応力腐食・腐食疲労	12.4	12.4	4.2
ガルバニック腐食	0	0	10.4

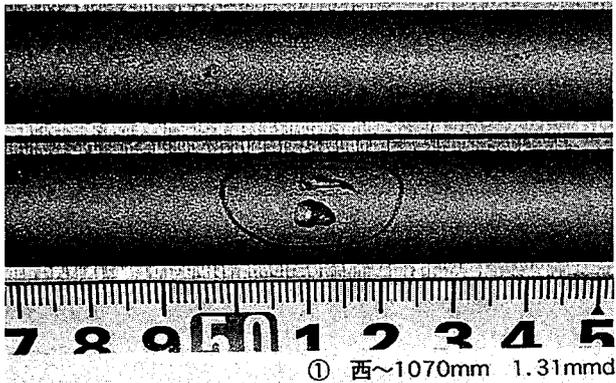


図2 アルミニウム黄銅管の孔食1

次に，アルミニウム黄銅管内面に発生した孔食の状態を図2に示す．図1は，管に大きな孔があいているが，それ以外には目立った損傷はない．図2は，全面に細かい孔が分布している．また，図4にアルミニウム黄銅管内面に発生した全面腐食の状態を示す．これは腐食が進行し，全面にわたり減肉しており，図でもその様子が確認できる．ここに示す図は管を半割にし，上下に並べたものである．

3. システムの構築

3.1 原理

レンズを用いて輪状の光を発生するレーザー光源と

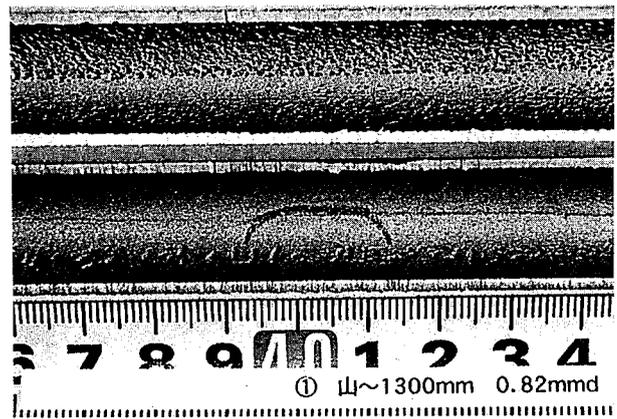


図3 アルミニウム黄銅管の孔食2



図4 アルミニウム黄銅管の全面腐食

小型CCDカメラを，図5のように同軸上に対向させて配置する．この検出器を管内に挿入した場合，管内面には輪状のレーザー軌跡を生じ，CCDカメラにより輪状画像(光切断画像)として撮影される．

この光切断画像において，管に損傷のない場合には光切断画像は真円となる．一方，管に損傷のある場合には円がひずみ，また減肉している場合には円の径が大きくなる．このように，管の損傷程度に応じ変化する円の変化量と損傷寸法との相関関係を調べることで，光切断画像から損傷が計測可能となる．

3.2 構成

本センシングシステムは，図6に示すように検出器，距離計測ユニット，コントロールユニット，画像蓄積解析装置から構成される．

3.2.1 検出器

管内面観測用の窓を開けた直径19mm×330mmの金属製円筒内に，レーザーとカメラが収まる．図7に管内用検出器の外観を示す．レーザー仕様は出力波長

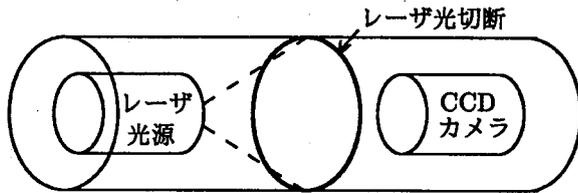


図5 検出器原理図

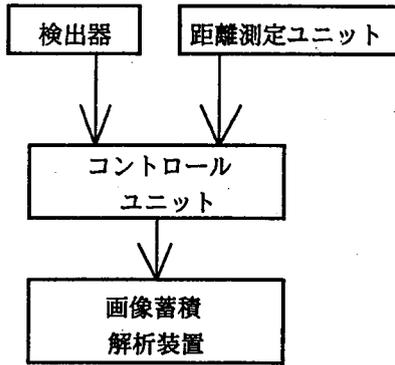


図6 システムブロック図

635nm, 最大定格出力 5 mW, ビーム径0.8mm, 放射角20°(初期設定)である。カメラ仕様は直径12mm, 有効画素数 768(H)×494(V), 走査線525本, アスペクト比4:3である。

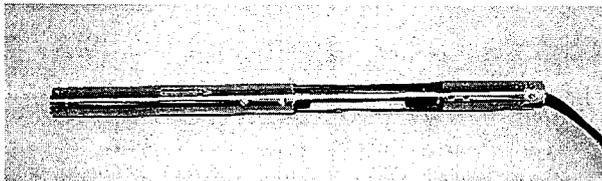


図7 検出器の外観

3.2.2 距離測定ユニット

管内面の損傷箇所は、検出器に直接接続した挿入用棒の移動量を、ロータリーエンコーダで回転量に変換して求める。距離は管端からの相対値で、精度は約0.05mmである。図8に距離測定ユニットの外観を示す。

3.2.3 コントロールユニット

検出器と距離測定ユニットの制御および電力供給、さらに画像蓄積解析装置とのインターフェース機能を担っている。

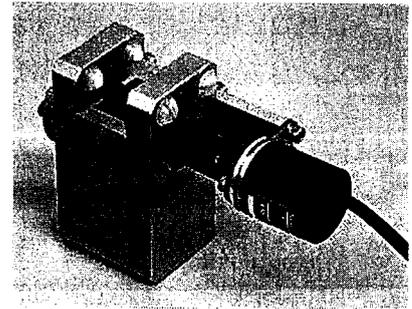


図8 距離測定ユニット

3.2.4 画像蓄積解析装置

コントロールユニットから送られる画像データを取り込み、オンラインで保存・解析を行う。さらに距離測定ユニットのデータから検出器の移動距離をリアルタイムで計算し保存する。

入力可能な画像サイズは640×480画素である。現在の検出器の設定における画像の分解能は、1画素当たり0.05mmである。図9に管内形状抽出システムの外観を示す。

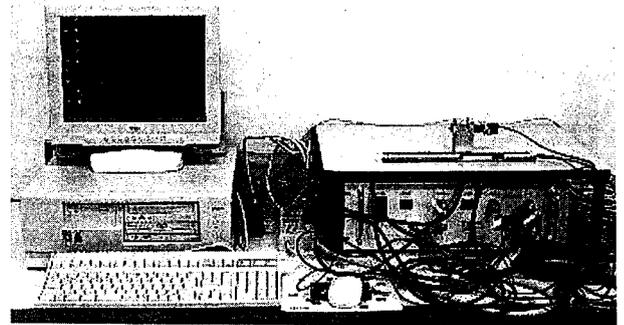


図9 管内形状抽出システムの外観

3.3 データ解析処理

検出器で得た管内面の光切断画像を解析することで、配管内面の損傷程度を計測する。現在のデータ解析処理内容を説明する。始めに、蓄積した画像をロードし、続いて解析処理の高速化・簡略化のため、256階調である画像を2階調に減じる(2値化)。この2値化のしきい値は、画像のプロファイルを参考に設定を行う。2値化後、光切断線の一部を拡大すると、輪郭に大きな凹凸がみられる。このまま次の処理に移ると、データの誤差として結果に現われるため、膨張収縮処理を行う。最後に、輪郭追跡処理により光切断線を単線化する。このようにして求め

た光切断線から、円の座標を抽出する。データ解析の処理フローを図10に示す。

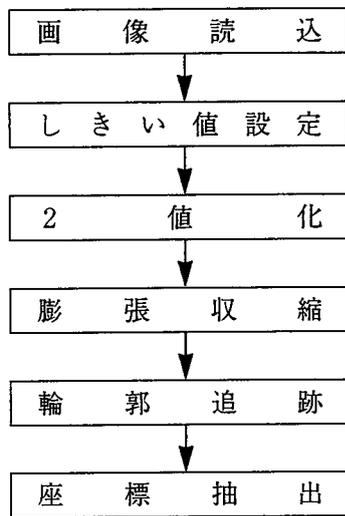


図10 データ解析フロー

4. 計測

4.1 計測手順

光切断線の座標検出手順は次のとおりである。

- (a) 距離測定ユニットの校正
設定した間隔ごとに画像を保存するため、距離測定ユニットの校正を行う。
- (b) 2値化のためのしきい値設定
画像の2値化に必要なしきい値を設定する。
- (c) 画像マスクの設定
光切断線の外側に表われる散乱光(図14参照)を誤って検出しないようにマスク処理を行う。
- (d) データの保存先指定
別のデータとの混合を避けるため、データ保存ディレクトリを指定する。
- (e) 画像データ収集
設定した検出器の挿入間隔ごとに画像が保存される。
- (f) 座標検出処理
収集した画像を一括してデータ解析処理し、管内面座標を抽出する。

ここで、(a)から(d)までは設定値を初期値として保存でき、データ収集前に1回設定すれば2回目からの収集では設定が省略可能である。

4.2 計測と結果

孔を開けた試料を用意し、その孔の大きさを本研究で構築したシステムにより調べた。試料については、材質アルミ、内径21mmの管の内面に、増分を0.1mmとして深さ0.1から1.5mmまでの孔を開けた。ここで、使用したドリル形状は、径4.9mm、刃先角度90°である。孔の深さは実測値ではなく、加工機の送り移動量からの推定値である。計測する孔径および孔位置の概念を図11に示す。

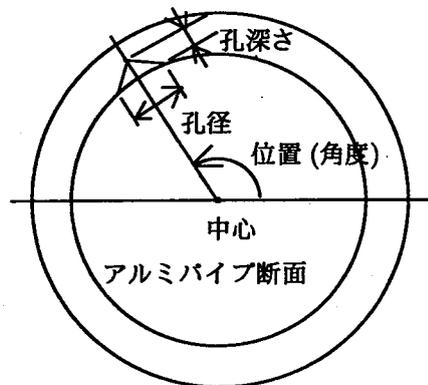


図11 孔径および孔位置の概念

表2 孔径および孔位置

孔深さ [mm]	孔径 [mm]	位置 [度]
0.1	0.39	148.2
0.2	0.82	152.3
0.3	1.43	155.0
0.4	1.59	157.4
0.5	1.92	148.7
0.6	2.80	155.9
0.7	3.61	152.4
0.8	3.01	149.7
0.9	4.20	150.2
1.0	4.74	153.8
1.1	4.53	149.6
1.2	4.80	158.1
1.3	4.80	139.5
1.4	5.12	158.7
1.5	5.06	148.7

計測は孔1つごとに行い、孔の前後10mmを計測の開始点と終了点として、管内に0.5mm挿入するごとに1枚、計40枚の画像を保存した。そして、各画像ごとにデータ解析処理を行い、光切断線を抽出し、

座標を求めた。次に、全ての座標データについて孔径を求め、径が最大となる孔はその中心を求め角度で表わした。この計測結果を表2に示す。結果から、孔径は孔深さと比例していないことがわかる。

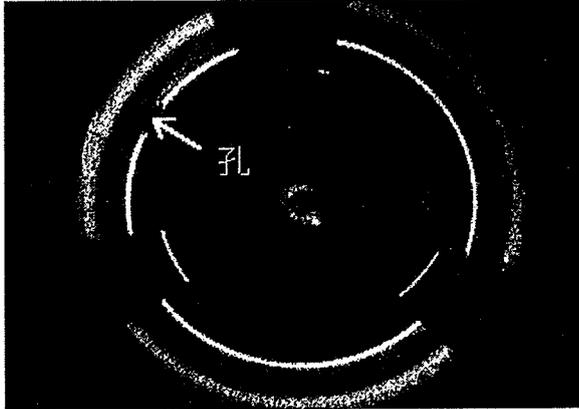


図12 孔深さ0.5mmの画像

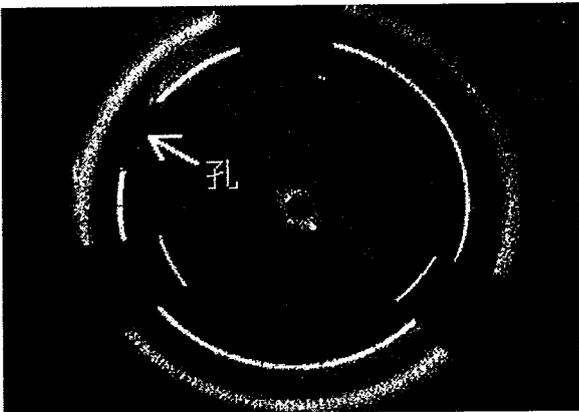


図13 孔深さ1.0mmの画像

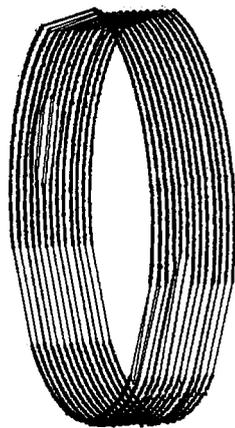


図14 管内面形状表示画面

この原因として考えられることは、加工時に加工機の送り量を孔深さと仮定しており、深さに誤差があるためである。実際、管の口から内面を見ると、孔の大きさにはばらつきがあるように見える。

図12、図13に孔深さが0.5mm、1.0mmの時の光切断画像を示す。図の左上で光切断線が切れている部分が孔であるが、図の上、左下、右下で切れている部分は、検出器のフレームがレーザー光を遮る部分である。深さ1.0mmの孔の計測結果を、3次元表示したものを図14に示す。

5. おわりに

細い管内面の傷や孔食に対する非破壊センシング手法の確立を目的として、レーザーおよび小型CCDカメラを利用したシステムを構築した。そして、光切断画像から損傷程度を計測する手法の検討および改良を行った。これにより、周囲に障害物のある場合や径の小さい管内面に対する、損傷計測が可能となった。

そして、構築したシステムを用いて、アルミパイプ内面に開けた孔の大きさと位置を計測し、良好な結果を得た。

今後は次の課題について検討を行う。管径に合わせた検出器の微調整が必要であり、計測開始までに時間を要す。この対策として、簡略化した調整法の検討を行う。また現在のレーザーの放射角は 20° と小さく、孔の深さまでは計測できない。そこで、孔の深さを計測するため、レーザー放射角度を大きくする。さらに、2値化で起こるデータの消去により、座標抽出結果に誤差が発生する。この誤差を低減する手法を検討する。

参考文献

- (1) 日本非破壊検査協会, 非破壊検査便覧, 日刊工業新聞社, 1978
- (2) 化学工学協会編, 化学装置便覧, 丸善, 1989
- (3) 日本材料学会, 熱交換器の管理と余寿命予測, 日本材料学会, 1996

中性子の後方散乱を利用した非破壊計測 (第1報, システムの実現と有効性の検証)

田中 秀樹

Non-Destructive Measurement Using Back Scatter of Neutron (1st report, Realization of The System and Inspection of Efficacy)

Hideki TANAKA

The contents in the sealed container, such as an oil tank, and a tube, accumulate and also stick inside. A container is destroyed generally, when these are inspected. The large-scale device is necessary to inspect without destroying a sealed container and we can not check them so easy. Then, in this research, the neutron measurement system is constructed, for the purpose of that measure the volume of deposits and adhesion inside a sealed container, without destroying it. In this system, the radioisotope is adopted as the source that radiate neutron. And a neutron is irradiated to the container that is an object of measurement. The back scatter that happens by the interaction between a neutron and contents of container is found with the radiation detector. There is correlation between back scatter and volume of contents, and volume of contents are measured by utilizing this. In this report, we explain the outline of the neutron measurement system that is constructed by the author. To check the correlation between back scatter and volume of contents, we carried out the experiment that changed the quality and volume of a contents. Similarly we carry out the experiment that changed the thickness of a shelter. Some results are presented in the form of parametric graphs and tables.

Key Words : Non-Destructive Measurement, Radioisotope, Neutron, Sealed Container

石油タンクや配管などのような、密封容器中の堆積物量や容器内面の付着物量の検査は容器の破壊により行われることが多い。これを非破壊で行う場合、大がかりな装置が必要となり、簡単には検査できない。そこで本研究では、堆積物量や付着物量の計測を非破壊で行うことを目的に、中性子測定システムを構築する。本システムは、中性子を放出する線源として放射性同位元素を用い、計測対象である容器に中性子を照射する。これにより中性子と容器内容物との相互作用で生じる後方散乱を放射線検出器で検知する。この後方散乱と内容物量との間には相関関係があり、これを利用し内容物量を計測する。本報告では、構築した中性子測定システムの概要を説明する。後方散乱と内容物量との相関関係を調べるために実施した、内容物の質的・量的な変化、および遮蔽物の厚さを変化させた実験の結果を示す。

キーワード：非破壊計測，放射性同位元素，中性子，密封容器

1. はじめに

タンクや配管などのような密封容器において、内容物が堆積したり、内面に付着することがある。そして、このまま容器を使用すると、タンクの場合には許容量が減り、配管の場合には所定の流量が少なくなり、設備の能力を十分に利用できなくなる。

そのため、密封容器内部の堆積物や付着物の量を定期的に測定し、その量が設定値をこえた場合には、これらを取り除く必要がある。ここで必要となるのが堆積物や付着物の量の計測であり、現在では一般的に、破壊した容器の中に入り、量を計測したり、容器を破壊せず外部から計測を行っている。しかし、容器を破壊する場合には設備の使用を停止しなければならず、計測後には破壊箇所の修理が必要である。一方、非破壊検査の場合は計測装置が対象よりも大きく、装置を扱うための特殊な資格が必要な場合もあり、簡単に計測が行えない。このような問題を解決するため、本研究では小規模で、特殊な資格を必要とせず、非破壊で容器内部を計測する装置を構築した。

本装置では、放射性同位元素を線源として容器に照射し、容器や堆積物・付着物と放射線との相互作用により生じる後方散乱を、放射線検出器で検知する。そして、検出器のデータを容器による後方散乱線と内容物による後方散乱線とに分別処理する。さらに、内容物による後方散乱線と内容物の量との相関関係を求め、計測を行う。

本装置は、照射する放射線には中性子を採用し、その線源は放射性同位元素の ^{252}Cf (放射能3.7MBq以下)とした。そして、検出器には ^3He 比例計数管および ^6Li ガラスシンチレーション検出器を、またデータ解析にはマルチ・チャンネル・アナライザ(MCA)を使用した。

検出器において、比例計数管は放射線入射範囲が広く、線源と検出器との位置により、計測値が大きく変動するといった問題がある。この対策として、感度が最大となる線源と検出器との位置を調べ、位置関係の最適化を図った。また、構築したシステムの検証を目的に、容器内の質的・量的な変化および遮蔽物の厚さを変化させ、その後方散乱を調べた。

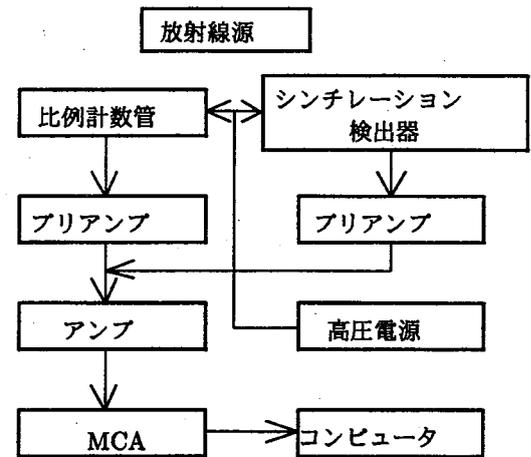
2. システムの概要

2.1 原理

容器外部から照射した放射線と内容物との間には相互作用が生じる。これにより容器外部に放出される放射線(後方散乱)を検出器で検知する。この検出器の出力をMCAに通すことで、放射線の数や放射線の持つエネルギーを検出できる。この放射線の数やエネルギーは内容物質や付着物の量に応じて変化することから、内容物や付着物量との相関関係を調べることで、計測が可能となる。ここで、放射線同位元素 ^{252}Cf が線源であるため、放射線を任意に照射できるわけではなく、自然放射性崩壊により飛び出す放射線を当てる。また、後方散乱のうち検出できるのは、検出器の有効計測域内に入射した放射線のみである。このため検出器では、線源が放出する放射線のうちごく一部しか検知できない。

2.2 システム構成

センシングシステムは、図1に示すように放射線が発生する放射線源、放射線を検知する比例計数管、シンチレーション検出器、そして、検出器でとらえた放射線を計数するMCAで構成する。



(1) 放射線源

放射線源には、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。この線源は、放射線放出方向を制限するために、外形寸法 $\phi 26 \times 28\text{mm}$ のコリメータで覆われている。

(2) 検出器

放射線検出器は、放射線が入射するたびに信号を

発生する。検出器としてよく用いられるものには、気体計数管、シンチレーション検出器、半導体検出器などがある。これらは用途によって使い分けるが、本システムでは中性子の後方散乱が計測でき、取扱いが容易で、機械的強度が大きいなどの理由から、比例計数管およびシンチレーション検出器^{(1), (2)}を用いる。図2に放射線源および検出器の外観を示す。図中で右にあるのが放射線源で、中央と左の金属製の円筒が検出器である。

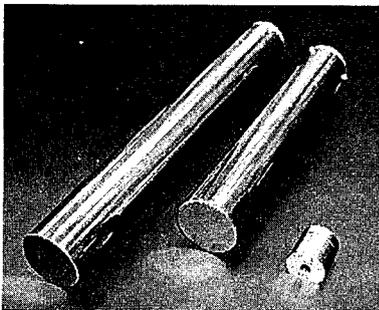


図2 放射線源および検出器

(a) 比例計数管

比例計数管は、放射線が気体中を通過する際に起こる電離作用を利用し、放射線を検出する。図3に示すように、気体が封入してある円筒型の容器の中心軸に、正電極を張った構造をしている。この電極に高圧電源装置から電圧を印加し、そこへ放射線が通過すると電荷が発生し、パルスとして出力される。ここで、本システムで採用した比例計数管の気体は ^3He である。また、比例計数管はプリアンプと共に $\phi 42.7 \times 330\text{mm}$ の金属ケースに収めてある。

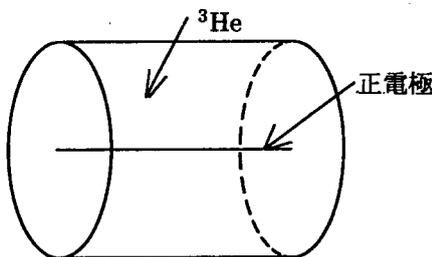


図3 比例計数管の構造

(b) シンチレーション検出器

シンチレーション検出器は、放射線が通過する際に、閃光あるいは蛍光を発する物質(シンチレータ)

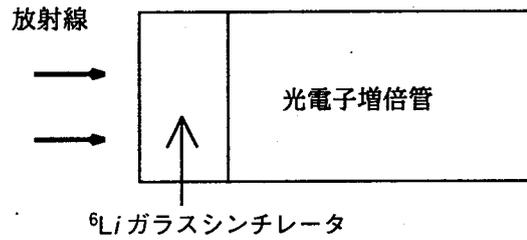


図4 シンチレーション検出器の構造

を利用する。この光量は微量であるため、図4に示すようにシンチレータ後段の光電子増倍管で増幅し、電気パルスとして出力する。ここで、光電子増倍管は高電圧を必要とするため、高圧電源装置から電力を供給する。

(3) プリアンプおよびアンプ

検出器からの信号は電圧が低く、ミリボルト程度であるため、信号を計数可能な大きさ(1000倍)まで増幅する。この増幅に利用するのがプリアンプである。プリアンプからの信号はケーブルなどで伝送するが、ケーブルによる信号の減衰やアンプとのマッチングも行う。

アンプは、プリアンプで増幅した信号をさらに十数ボルトまで増幅する。

(4) マルチ・チャンネル・アナライザ(MCA)

MCA⁽³⁾は、検出器からの出力パルス波高に応じてパルスを計数する。各記憶ユニットはチャンネルと呼ばれる。パルス波高は、検出器に入射した放射線のエネルギーと相関関係を持つ。パルスはそのエネルギーに対応したチャンネルに次々に蓄積される。このようにMCAでは任意時間、放射線を計数することで、チャンネルに蓄積した値(エネルギー・スペクトル)から計測対象の特徴を抽出する。図5にアンプ・高圧電源装置・MCA・コンピューターが一体となった計測ユニットの外観を示す。

3. センサ部の最適化

比例計数管は放射線入射範囲が広く、線源と検出器の位置により計測値が異なる。このため、感度を最大とする線源と検出器の位置を実験により調べ、センサ部を最適化した。

3.1 線源と検出器の位置

比例計数管は図3のような形状をしているため、検出器の有効計測領域が広い。より多くの後方散乱

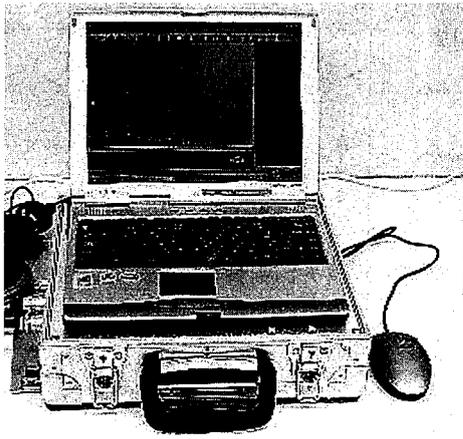


図5 中性子測定システム

を検知するためには、線源と検出器の位置設定が必要不可欠である。そこで、計測感度が最大となる線源と検出器の位置関係を調べた。

放射線源と比例計数管の条件は、互いの軸が直角に交わるように配置し、密着させた。内容物は硬化したワセリンで容器の底から24mmの量とした。容器はステンピーカ（寸法φ108×123mm）とした。このステンピーカ底面に、放射線源の軸が垂直になるよう線源と検出器を配置した。

この状態で、比例計数管の先端から3cmごとに放射線源をずらした。また、線源と容器との距離も1, 5, 10cmと変え、それぞれの位置における後方散乱を計測した。データ収集・解析に使用するMCAは、データ収集時間の設定が必要であり、30秒と設定した。線源、比例計数管と容器の位置関係を図6に示す。

設定時間内に、比例計数管で検知した放射線数を

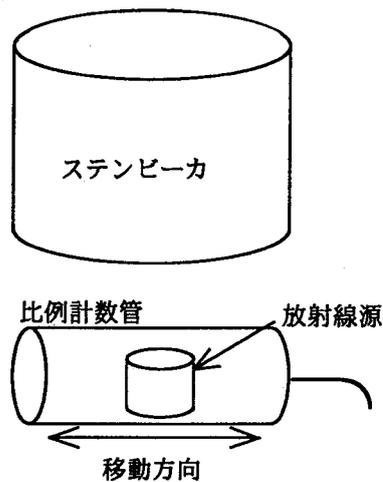


図6 線源と比例計数管との位置関係

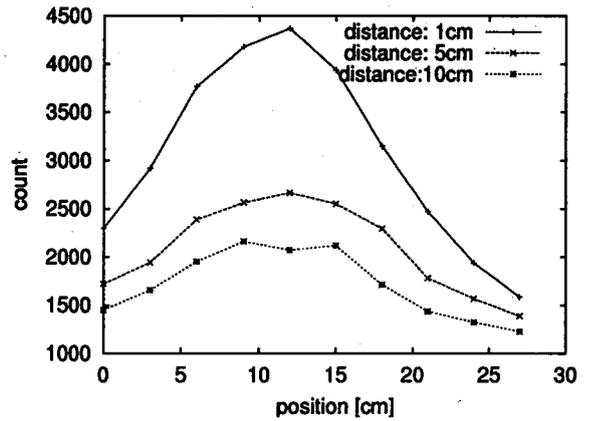


図7 位置とカウント数

総カウント数で表わした。その結果を図7に示す。この結果、放射線源の位置が比例計数管の先端から12cmである時、総カウント数が最も多いことが明らかとなった。今後は、比例計数管の感度が最大となる、比例計数管の先端から12cmに線源を配置する。

3.2 容器との距離

線源・検出器と容器には距離の影響が考えられる。このため、両者の距離による後方散乱の変化を調べ、放射線検出に最適な位置を検討した。放射線源と検出器の条件は、検出器が比例計数管の場合、前項の試験と同様に先端から12cmの位置に互いの軸が直角に交わるように配置し、互いに密着させた。一方シンチレーション検出器の場合は、互いの先端を揃えて密着させ、互いの軸が平行となるように配置した(図8)。

内容物および容器は前項と同様に、ワセリン入り

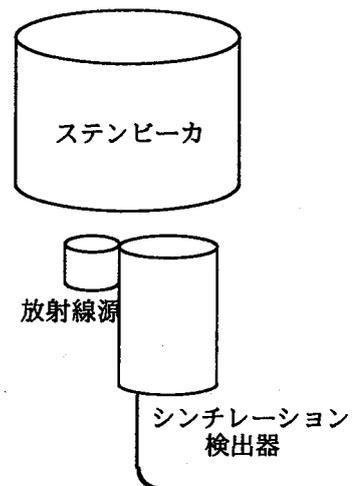


図8 線源とシンチレーション検出器との位置関係

4. 計測

構築したシステムの検証、ならびに密封容器内の堆積物量や付着物量の計測手法の確立を目的に、容器内の質的・量的な変化および遮蔽物の厚さの変化による後方散乱データを収集した。

4.1 内容物の違いによる後方散乱の変化

(1) 計測方法

ステンピーカ(寸法 $\phi 108 \times 123 \text{mm}$)が空の場合と、ピーカの底から40mmほどワセリンおよび水を入れた場合のそれぞれについて計測を行った。線源・検出器とステンピーカとの距離は1cmとした。検出器は比例計数管とシンチレーション検出器の両方を使用し、データ収集・解析をMCAで行い、データ収集時間を30秒とした。

(2) 結果

容器内の物質の違いによる計測結果を、比例計数管については図11に、シンチレーション検出器については図12に示す。ここで、比例計数管ではチャンネル50から320の間に、また、シンチレーション検出器では180から300の間に波形に特徴が表われた。グラフはこのチャンネル間のデータを示す。

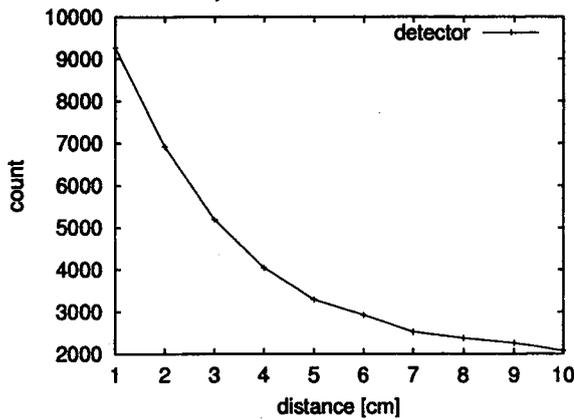


図9 比例計数管と容器との距離

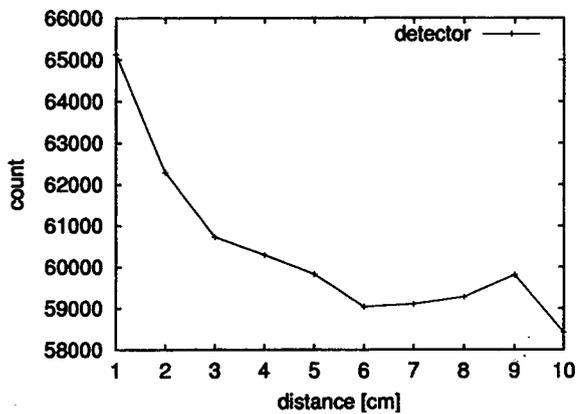


図10 シンチレーション検出器と容器との距離

ステンピーカとし、ピーカの底面に対し、放射線源の軸が垂直になるよう線源と検出器を配置した。

この状態で線源・検出器と容器との距離を1cmから10cmまで1cmずつ変えながら後方散乱を計測した。このデータ収集・解析はMCAで行い、データ収集時間を30秒とした。

設定時間内に検知した放射線数を、総カウント数でまとめた。

図9に比例計数管、図10にシンチレーション検出器の計測結果を示す。

この結果、比例計数管およびシンチレーション検出器とも、線源・検出器と容器との距離が近いほどカウント数が多く、より多くの後方散乱を計測できることが明らかとなった。

今後は検出器の感度が最大となる、線源・検出器と容器との距離を1cmとする。

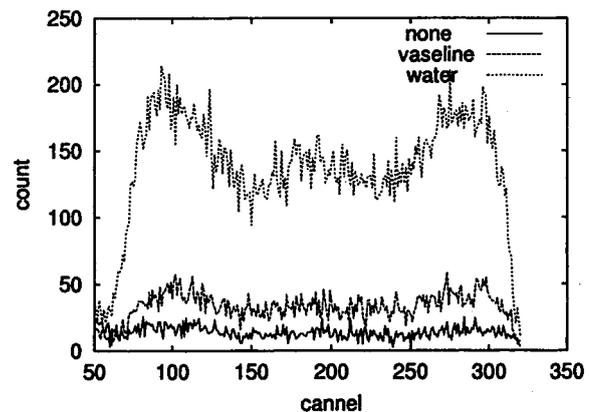


図11 内容物の違い計測 (比例計数管)

結果から比例計数管、シンチレーション検出器のどちらにおいても水、ワセリン、内容物なしの順にピーク値が小さくなった。一方、計測したチャンネル範囲におけるカウント数の総和は、表1の結果となる。シンチレーション検出器において、水よりもワセリンのほうが総カウント数が多いという結果となった。

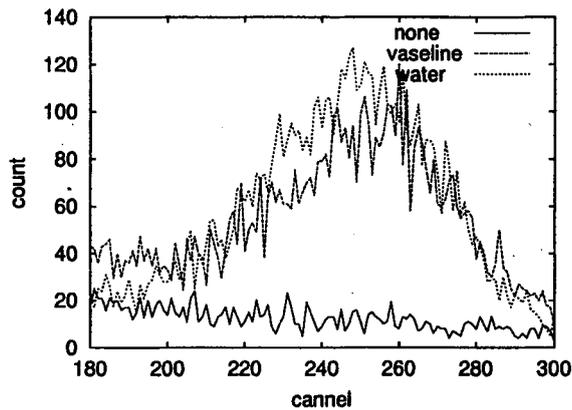


図12 内容物の違い計測 (シンチレーション)

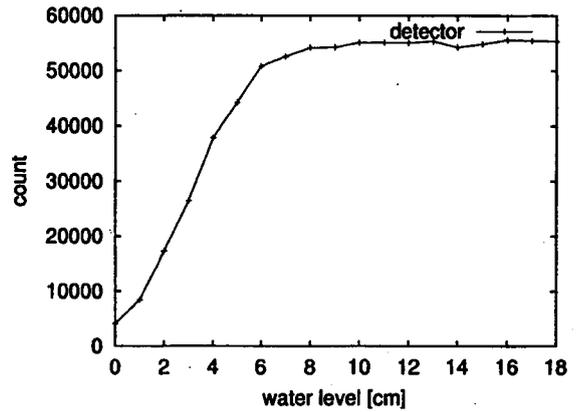


図13 水位による変化 (比例計数管)

表1 内容物の違いによるカウント数

	内容物無し	ワセリン	水
比例計数管	3558	8789	36886
シンチレーション	8871	20792	14692

4.2 内容物量による後方散乱の変化

(1) 計測方法

内容物量が増えた場合の後方散乱の変化を計測するため、ステンピーカ(寸法φ180×210mm)に水を入れ、水位を変化させたときのカウント数を計測した。水位は1cmから18cmまで1cmごとに増した。線源・検出器とステンピーカとの距離は1cmとした。そして、検出器には比例計数管とシンチレーション検出器の両方を使用し、データ収集・解析をMCAで行い、データ収集時間を30秒とした。

(2) 結果

比例計数管において、チャンネルが50から320の間において、波形に特徴がみられた。この範囲内のカウント数の総和を、水位ごとにまとめた。その結果を図13に示す。シンチレーション検出器は、チャンネルが180から300の間に特徴がみられた。この範囲内のカウント数の総和をまとめた結果を図14に示す。

結果から比例計数管およびシンチレーション検出器とも、水位が高くなるほど後方散乱が増加した。また、どちらの検出器についても水位が6cmを越えたあたりから、後方散乱が飽和の傾向を示した。

4.3 遮蔽物による後方散乱の変化

(1) 計測方法

線源・検出器と容器の間に遮蔽板を置き、その厚

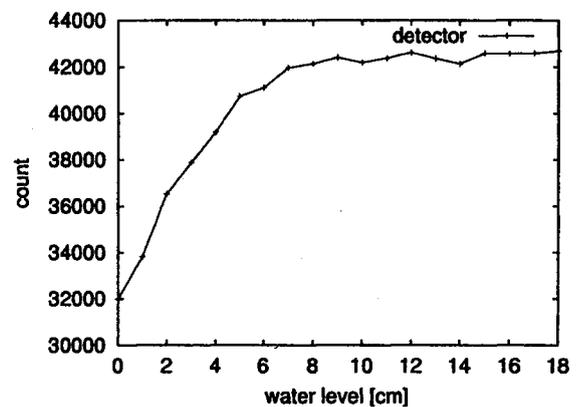


図14 水位による変化 (シンチレーション)

さを変化させた場合の放射線の後方散乱を計測した。遮蔽板には厚さ2.5mm, 3.2mm, 7.0mmの3種類の鉄板を用い、線源・検出器と容器の間に挿入した。そして、前項(2)同様、ステンピーカ(寸法φ180×210mm)に水を入れ、水位を変化させたときのカウント数を計測した。検出器と容器の距離は1cmとし、水位は1cmから18cmまで1cmずつ増した。計測には比例計数管とシンチレーション検出器を使用し、データ収集・解析をMCAで行い、計測時間を30秒とした。

(2) 結果

比例計数管ではチャンネルが50から320の間に波形に特徴がみられた。この範囲内のカウント数の総和を水位ごとにまとめ、結果を図15に示す。シンチレーション検出器では、チャンネルが180から300の間に、波形の特徴がみられた。範囲内のカウント数の総和を図16に示す。

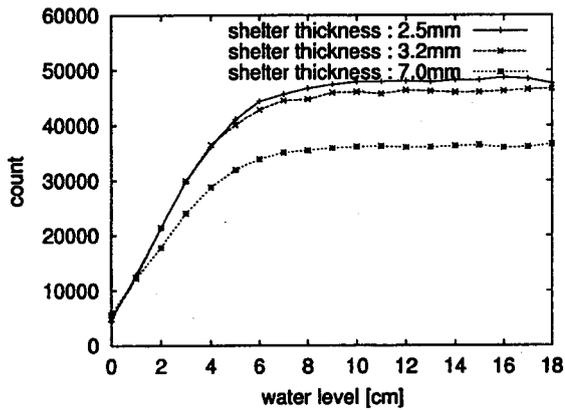


図15 遮蔽物による変化 (比例計数管)

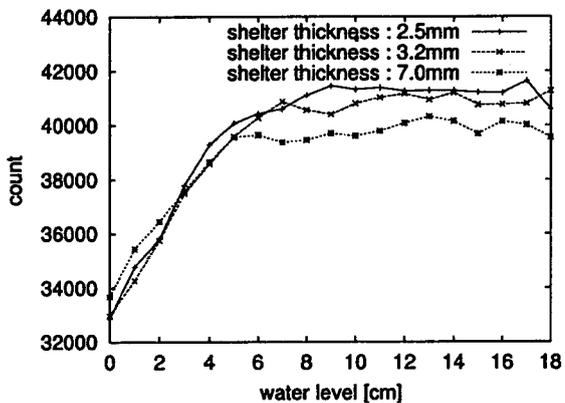


図16 遮蔽物による変化 (シンチレーション)

結果から、検出器と容器の間に鉄板が存在するとカウント数は減少するが、水位変化は計測できることがわかった。遮蔽板が薄い場合は遮蔽板が無い場合と同様に比例計数管、シンチレーション検出器とも水位が6 cmあたりから飽和し始めた。

5. おわりに

密封容器内の堆積物や内面の付着物量を計測するため、放射線の後方散乱を利用したセンシングシス

テムを構築した。また、放射線源と検出器の物理的位置を可変するしくみを作成し、計測に利用した。放射線源と検出器との位置、線源・検出器と容器との距離を変えて後方散乱を計測し、最適な位置や距離を求めた。また、検出器からのデータ通信や解析に必要なシステムの環境設定を行った。

本システムを用いた実験で、次のような結果を得た。

- 内容物が水・ワセリンである場合は比例計数管を用いることで、物質の違いが判別可能である。
- カウント数のピーク値を持つチャンネル番号で、物質の違いの判別が可能である。
- 内容物の量(厚み)とカウント総数に相関関係がある。
- 容器の肉厚が厚くなると検出感度は低下するが、内容量の変化の計測は可能である。

今後は、放射線源と検出器の間隔を広くした場合の計測特性を調べ、より多くの後方散乱を検知できるように検討を行う。また、多くの計測対象について後方散乱を計測し、基礎データを蓄積する。さらに、計測値から内容物の量を推定する解析手法を確立する。

参考文献

- (1) ニコラスツルファニデイス, 放射線計測の理論と演習 基礎編, 現代工学社, 1986
- (2) 日本アイソトープ協会, 放射線・アイソトープ講義と実習, 丸善, 1992
- (3) ニコラスツルファニデイス, 放射線計測の理論と演習 応用編, 現代工学社, 1986

金型加工技術の高機能化に関する研究 (第1報, 基礎研究)

岡田 邦彦, 山口 研二, 隠岐 貴史

Study on Development of Metallic Mold Fabricating Technique (1st Report, Fundamental Research)

Kunihiko OKADA, Kenji YAMAGUCHI and Takashi OKI

We have carried out the experiments of R-EDM using titanium electrode.

We obtained following results:

- (1) It was confirmed that very hard titanium carbon compound layer existed on the surface of working when CIP electrode is used.
- (2) We also found that the electrode which is made by spark plasma sintering method was able to be smoother than that of CIP electrode ones.

Key Words: Metallic Mold, Titanium Electrode, Spark Plasma Sintering, CIP Electrode

チタン電極を用いて形彫り放電加工実験を実施した結果, 次の結果が得られた.

- (1) CIP作製電極を用いた実験では, 高硬度のTiCの化合物層が晶出していることを確認した.
- (2) 放電プラズマ焼結法で作製した電極による放電加工法は, CIP電極法に比べて表面あらさを, より微細に加工できることがわかった.

キーワード: 金型, チタン電極, 放電プラズマ焼結, CIP電極

1. 緒 言

各種工具の表面には, 耐摩耗性等向上を図るためCVD, およびPVD装置により, TiN, TiC皮膜を形成させ, その寿命を数倍に延ばしている. TiC皮膜形成が, 自社設備の形彫り放電加工機で可能となれば, コストの低下が期待できる.

一方, この技術を金型表面加工に活用して, 硬い皮膜を生成することにより, 型寿命を著しく向上させることも可能となる.

以上を実現するために, チタンの圧粉体を成形し, この成形体による電極を使用して形彫り加工を実施する. その時の放電加工のメカニズムとして, 工作物表面に電極のチタンと加工油の熱分解により生じる炭素とが化合して, 炭化物のTiCとなり, 転移,

付着して, 密着力の大きい高硬度の表面改質層を形成するものと考えられる.

そこで, どのような電気的条件下で加工を施すと, 厚く, しかも高硬度な改質層を得ることができるのか, 各種条件下で実験を実施し評価を行う.

そして, その結果から, 最適条件を見出すこととした.

本研究は最終的には, 求められた最適条件を金型表面の耐摩耗性ならびに, 切削工具の耐摩耗性の向上等に活用することを目的としている.

2. 実 験

2.1 加工条件

M社の加工データをベースとして, 電気的条件下を

種々変えて表1のように設定し、独自の電気的条件を作り実験(表2参照)を実施した。

2.2 電極

粉末チタンをCIPおよび、放電プラズマ焼結機でφ17.2×58mmに作製し電極として使用した。なお、粉末チタンは住友シチックス(株)製TSP-10を使用した。また、粒度は-150μmである。

2.3 被削材

本研究では被削材として、加工性の面からSPHC(熱間圧延軟鋼板)材を使用した。

2.4 測定(確認)項目

- 1) 表面の化合物層の確認
表面層のTiとCまたはTiCの確認を行う。
- 2) 断面画像
表面部の皮膜状態を確認する。
- 3) 表面の硬度
表面の硬度を確認し、硬化の確認をする。
- 4) 表面あらさ
加工部の表面あらさを測定し、使用の可否を判断する。

表1 電気的条件

電気条件	加工条件												
	設定番号	EP-SEL	AUX	POL	I _p	ON	OFF	GAP	GAIN	PCON	JUMP	OPAJ	SV
	9410	SP	1	+	2(3)	1.0	3.5	10	80	0	1	5	-2.0
	9411	SP	1	+	3(3)	1.3	3.5	10	80	0	1	5	-2.0
	9420	SP	2	+	4(4)	2.0	4.0	10	90	0	0	5	-2.0
	9440	SP	4	+	6(2)	3.0	5.0	10	99	0	0	5	-2.0
	9441	SP	4	+	6(3)	5.0	5.0	10	60	0	4	5	-2.0

※EP-SEL:電源方式, SP:スーパーパルス回路, AUX:補助電源, I_p:加工セッティング, ON:パルス幅,
OFF:休止時間, GAP:ギャップ調整, GAIN:加工調整, PCON:コンデンサー切換, JUMP:放電安定,
OPAJ:感度, SV:サーボ電圧

表1 加工条件と測定データ

実験 No	電気条件 設定番号	電極 作製法	播動 パターン	電極縮小 代(μm)	加工 時間(分)	拡大 回数(S)	加工中または加工実施後の 測定データ
1	9440	CIP	--- (ストレート加工)	---	0.5	---	◆46.3~49.7 μmRy ◆TiとCの存在が確認された。 ◆HV(0.3)1793~1815
2	9420	CIP	--- (ストレート加工)	---	0.5	---	◆53.4~66.8 μmRy ◆HV(0.3)170~202
3	9441	CIP	D202 (四角)	R100	1	25	◆34.6~36.0 μmRy
4	9441	放電プラ ズマ焼結	D200 (円)	R200	2	25	◆23.4~26.8 μmRy
5	1 | 9441	放電プラ	D200	R200	3	25	◆18.8~19.5 μmRy ◆E9410の加工中, 0~76V, 0~0.69A, 9~599HZ
	2 | 9410	ズマ焼結	D200	R200	3	25	
6	1 | 9441	放電プラ	D200	R200	3	25	◆19.0~25.8 μmRy
	2 | 9411	ズマ焼結	D200	R200	3	25	
7	1 | 9441	CIP	D200	R200	3	25	◆36.7~47.0 μmRy
	2 | 9410		D200	R200	3	25	
8	1 | 9441	CIP	D200	R200	3	25	◆47.4~54.6 μmRy
	2 | 9411		D200	R200	3	25	
9	9441	放電プラ ズマ焼結	D200	R200	3	25	◆23.9~25.5 μmRy ◆加工中, 0.1~77V, 0~ 0.94A, 9.6~749HZ ◆HV(0.1)1756~2472

3. 実験結果

3.1 表面の化合物層の確認 (エスカでの解析)

図1は、実験No.1の場合の測定結果を示す。

なお、図において、縦軸は1秒間のカウント数、横軸は束縛エネルギーを示す。

実験No.1 (サンプルA) では、図1から窺えるようにTi (458.04eV) とC (288.01eV) の存在が推定されるピークが、確認された。しかし、TiC

の化合物タイプかどうかは不明であった。

図2は、実験No.2の場合の測定結果を示す。

実験No.2 (サンプルB) では、Tiと推定されるピークは認められなかった。

しかし、C (088.01eV) の存在は確認された。

3.2 断面部の画像

図3は全面に皮膜で覆われている。その皮膜の厚さは、10~23 μm (ばらつき大) であった。

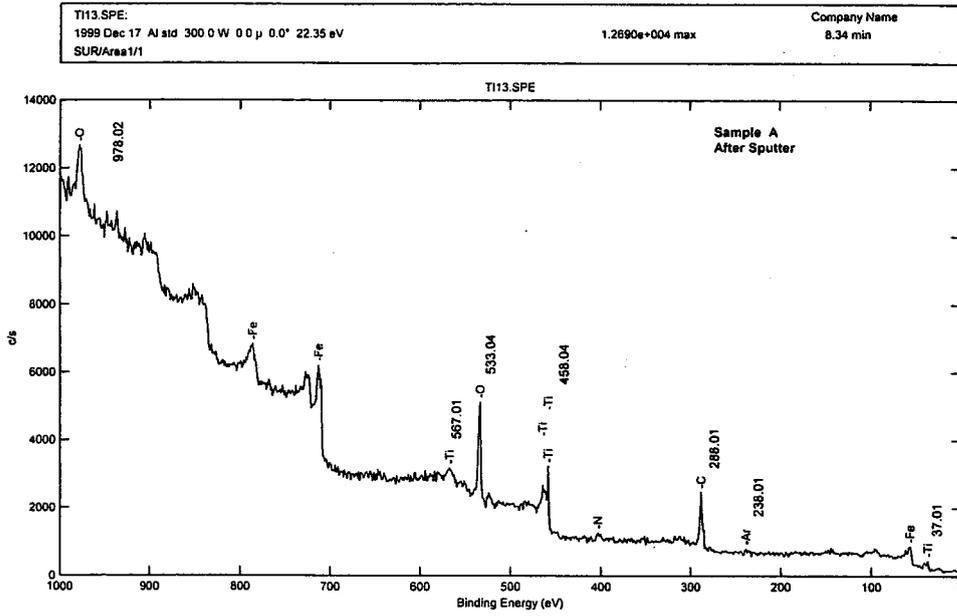


図1 実験No. 1

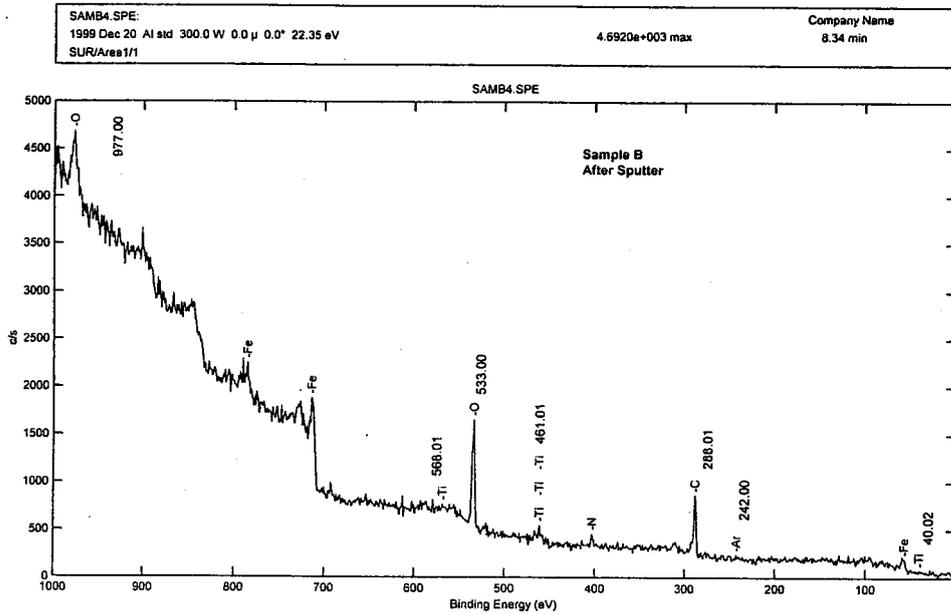


図2 実験No. 2

図4の実験No. 2の場合は、所々皮膜が付着しているだけの不良状態であることが窺える。

図5と図6は、全面被膜が形成されており、良好な状態である。その皮膜の厚さは、実験No. 5で2～6 μmで、実験No. 9では3～5 μmであった。

3.3 表面硬度

実験No. 1では、ビッカース硬度のHV (0.3) 1793～1815の硬度が、実験No. 9ではHV (0.1) 1756～2472の硬度が、それぞれ確認できたことによ

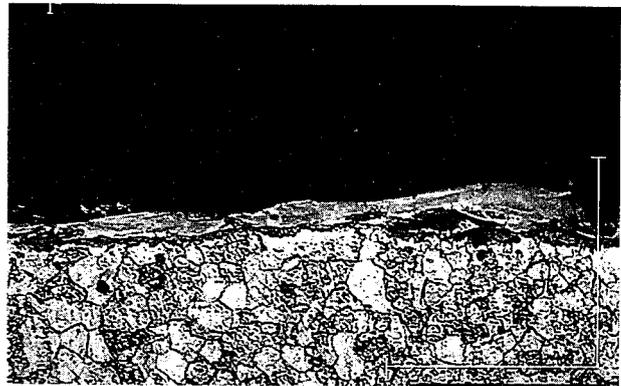


図3 実験No. 1 ×330

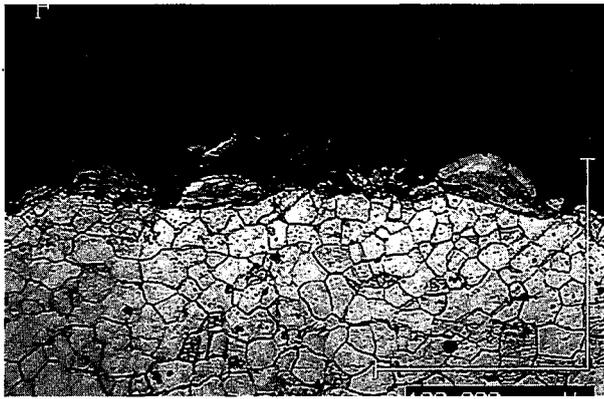


図4 実験No.2 X330

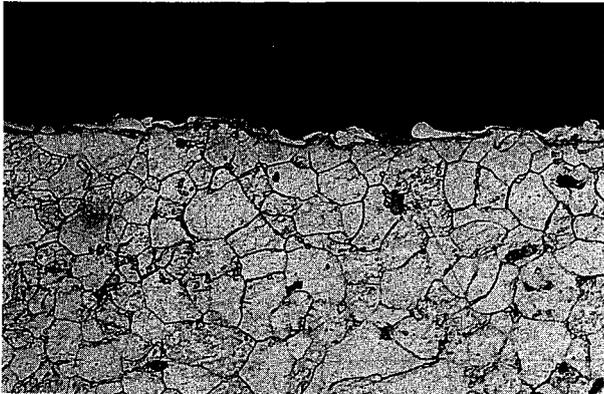


図5 実験No.5 X400

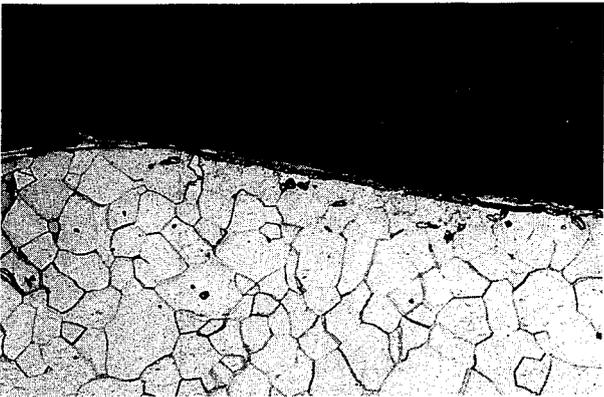


図6 実験No.9 X400

り、表層部にTiCの化合物層が存在するものと考えられることができる。(表2参照)

3.4 加工部の表面あらさ

CIP電極と放電プラズマ焼結電極での加工面を比べると、CIP電極の方が粗い。(実験No.1, 2, 3と実験No.4, 9の比較)

放電プラズマ焼結電極では、実験No.5のように工程を重ねる(2工程)とあらさを小さくすることができるが、CIP電極の方は、工程を重ねても期待したほど小さくならない(実験No.7, 8)ことが判明した。

4. 結 言

CIP電極を用いての実験では、TiとCの存在が分析(エスカ)により、確認された。さらに、その試料の硬度を測定したところ、ビッカース硬度でHV(0.3)1793~1815(実験No.1)が確認できた。このことにより、表層部にTiCの化合物が存在するものと考えられることができる。

しかし、この実験条件下では表面性状は粗く、使用に供することはできないものと判断した。

また、放電プラズマ焼結法で作製した電極の方が、CIP電極法で作製した電極で加工するよりも、表面あらさは小さくなるという結果も確認できた。

今後の課題として、実験No.5のように工程を重ねる(2~3工程)ことにより、面あらさを改善していく方向で実験を進めていく。さらに、TiC層が厚く、均一に付着し、しかも表面あらさの小さい最適条件を求め、それを金型、切削刃物の寿命向上等へ活用したいと考えている。

参考文献

- (1) 向山芳世：放電加工マニュアル,(1989), P.76-77, 大河出版

振動環境下における妊婦と胎児の振動特性に関する理論的および実験的研究

西山 修二, Farid M. L. Amirouche*, 平松 志保

Analytical and Experimental Investigation of Pregnant Woman-Fetus Response to Low Frequency Excitation

Shuji NISHIYAMA, Farid M. L. AMIROUCHE and Shiho HIRAMATSU

The purpose of this study is to investigate the effects of vibrational environment on the vibration characteristic of a pregnant woman and a fetus. As an example of vibrational environment, we have investigated the vibration characteristic of a pregnant woman riding in a running bus on a road with a surface roughness. The mathematical model has 23 degrees of freedom. The human model, with 13 masses, has 13 degrees of freedom, while the vehicle model has 10 degrees of freedom. The model is composed of springs, dampers and masses. The effects of posture such as standing or seating and the damping characteristic of shoes are calculated by a computer simulation system, which was developed in this research. The experimental model, which is made from silicon rubber, is investigated to identify the parameter of fetus in the womb. Some measurement and calculated results are presented in the form of parametric graphs and tables.

Key Words: Simulation, Vehicle, Pregnant Woman, Fetus, Complexity, Coupled Vibration

1. 緒 言

近年, 多くの妊婦が振動にさらされた環境で生活している^{(1),(2)}. そのような振動環境として, 特に顕著なものとして乗り物が考えられる. 交通機関が発達した現在, 妊婦は種々の交通手段を利用して移動している. これらの交通手段を利用する場合, 妊婦の人体各部および胎児にどれくらいの振動が伝達されるかを明らかにすることは, 妊婦の健康や胎児の発育などに重要と思われる. このことは動物に対する研究においても示されている^{(3),(4)}. しかし, 振動環境下における妊婦や胎児への振動影響などについての研究はあまりなされていないようである.

本研究では, 振動環境として, 妊婦が大型バスに乗車して移動する場合を考える. 大型バスが道路を走行すると路面から受ける振動あるいは衝撃はタイヤ, ばね下質量, サスペンション, そして車体を介

*イリノイ大学

して, 最終的には妊婦に伝達される. この複雑な現象を解析できる妊婦-胎児-車両系の連成振動モデルを構築し, 計算システムを開発する. さらに, シリコンゴムを用いて実物に則した妊婦-胎児系のモデルを作成し, 実験的に各種要因の影響について検討する. 振動実測から, シミュレーションシステムのパラメータの同定を実施し, 妥当性を有するシステムを開発する. 本システムにより妊婦および胎児の振動応答が予測可能であることを示す. さらに, 種々の影響について検討する.

2. 理論的解析

2.1 解析モデルと記号

本報で用いる主な記号の意味は次のとおりとする. また添字で最初の f, r はフロントとリア, 次の r, l はそれぞれ右側と左側を示す.

m : 質量

l : 長さ

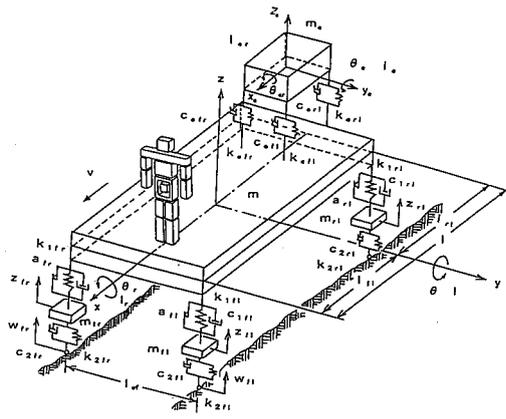


Fig.1 Analytical model

- x, y, z : 座標系
- k : ばね定数
- c : 粘性減衰係数
- F : 作用力
- v : 車両走行速度
- I : 慣性モーメント
- θ : 角変位
- a : サスペンション系フリクション
- w : タイヤ接地点の上下変位と路面凹凸の和

図1は、解析モデルを示す。車両系については、大型バスの三次元モデルを考慮する。車体、エンジン、ばね下質量の上下運動と車体とエンジンのピッチング運動およびローリング運動からなる10自由度のモデルとする。懸架装置はばねとダンパおよびサスペンション系フリクションを考慮する。エンジンと車体はエンジンマウントで連結されており、4個所において同一の特性を有するばねとダンパでモデル化する。

図2は、妊婦-胎児系のモデルおよび座標系を示す。人体を質量、ばね、ダンパでモデル化する方法については、著者の一人が前報^{(5),(6)}で報告している。妊婦-胎児系を頭部、肩部、胸部、腹部、大腿部、下腿部、上腕部、前腕部および胎児の13の剛体としてモデル化する^{(7),(8)}。そして各部の重心に質量を考慮する。また各部の連結間は、ばねとダンパでモデル化する。

車両内での妊婦の姿勢として、立位状態と座位状態の場合を考慮する。妊婦が立位状態の場合は車両のフロアと妊婦はシューズで連結されており、シューズをばねとダンパでモデル化する。また座位状態の場合は尻部とシート間を3点支持とし、それぞれをばねとダンパでモデル化する。子宮内では、胎児は羊水に満たされ、外部からの衝撃を緩和する構造となっている。子宮を含む腹部と胎児を質量、ばね、ダンパでモデル化する。妊婦-胎児系を質量、ばね、ダンパでモデル化する試みは本研究が初めてである。

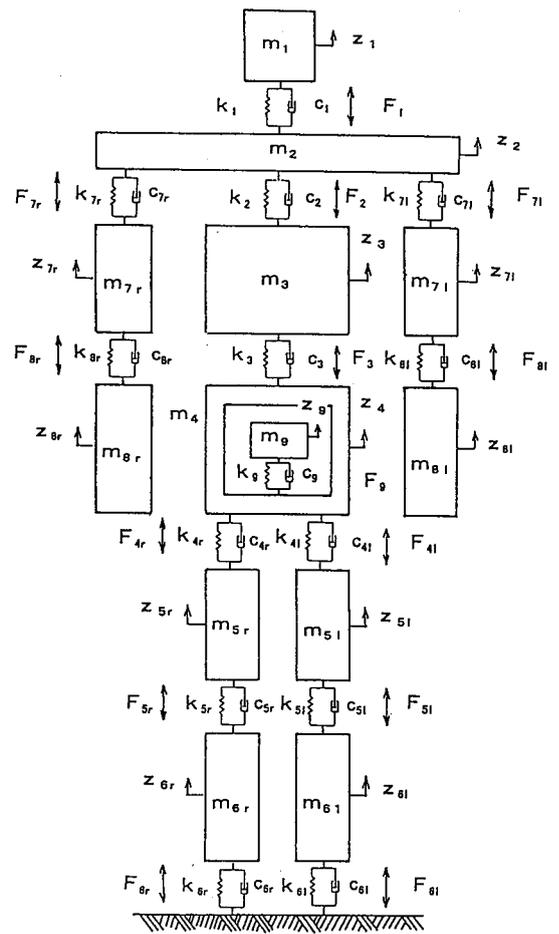


Fig.2 Pregnant-fetus model and coordinate system

2.2 運動方程式

車両系については、系を支配する運動方程式は車体、エンジン、前後のばね下質量の上下運動および車体とエンジンのピッチング運動とローリング運動に起因した方程式が成立する。車両と妊婦の運動はシューズにより連結されており、車両と妊婦系は連成振動系を構成している。妊婦が車両内で進行方向に面している場合と進行方向に対して側面に面している場合とでは足の位置すなわち車両と妊婦の連結点が異なる。妊婦が側面を向いている場合は、車両重心から左右の連結点までの長さは次式となる。

$$z_{0r} = z - b \cdot \sin \theta \quad \dots \dots \dots (1a)$$

$$z_{0l} = z - (b + d) \cdot \sin \theta \quad \dots \dots \dots (1b)$$

ここに、 z_{0r} , z_{0l} は妊婦の右足、左足と車両の連結点の座標を示す。 b は車両の重心から z_{0r} までの距離を示す。 d は z_{0r} と z_{0l} 間の長さを示す。また、妊婦が進

行方向に面している場合は次式となる。

$$z_{or} = z_{ol} = z - b \cdot \sin \theta \quad \dots\dots\dots(2)$$

サスペンション支持点の位置の座標は次式で表すことができる。

$$(z_{1fr}, z_{1fl}) = z - l_f \sin \theta \mp l_{wf} \sin \theta_r \quad \dots\dots\dots(3a)$$

$$(z_{1rr}, z_{1rl}) = z - l_r \sin \theta \mp l_{wr} \sin \theta_r \quad \dots\dots\dots(3b)$$

ここに、 z_{1fr} , z_{1fl} , z_{1rr} , z_{1rl} はそれぞれフロント右側、左側、リア右側、左側を示す。 l_f , l_r は車体重心からフロント、リアタイヤ中心線上までの長さを示す。 l_{wf} はサスペンション支持点間の距離を示す。 θ , θ_r は車体のピッチング、ローリング角を示す。

車両に作用するフロントおよびリアのサスペンションでの作用力は次式となる。

$$F_{1i} = k_{1i}(z_i - z_{1i}) + c_{1i}(\dot{z}_i - \dot{z}_{1i}) + f_i \quad \dots\dots\dots(4)$$

$(i = fr, fl, rr, rl)$

ばね下質量と路面間の作用力は次式となる。

$$F_{2i} = k_{2i}(w_i - z_i) + c_{2i}(\dot{w}_i - \dot{z}_i) \quad \dots\dots\dots(5)$$

$(i = fr, fl, rr, rl)$

車体とエンジン間の作用力は次式となる。

$$F_{3i} = k_{ei}(w_{ei} - z_{3i}) + c_{ei}(\dot{w}_{ei} - \dot{z}_{3i}) \quad \dots\dots\dots(6)$$

$(i = fr, fl, rr, rl)$

以上の作用力を考慮して、車体の上下方向の運動方程式は次式となる。

$$m\ddot{z} = F_{1fr} + F_{1fl} + F_{1rr} + F_{1rl} - F_{3fr} - F_{3fl} - F_{3rr} - F_{3rl} - F_p \quad \dots\dots\dots(7)$$

ここに、 F_p は車体-妊婦間の作用力を示す。フロントとリアのばね下質量およびエンジンの上下運動から次式が成立する。

$$m_i \ddot{z}_i = F_{2i} + F_{1i} \quad \dots\dots\dots(8)$$

$(i = fr, fl, rr, rl)$

$$m_e \ddot{z}_e = F_{3fr} + F_{3fl} + F_{3rr} + F_{3rl} \quad \dots\dots\dots(9)$$

車体およびエンジンのピッチング運動から次式が成立する。

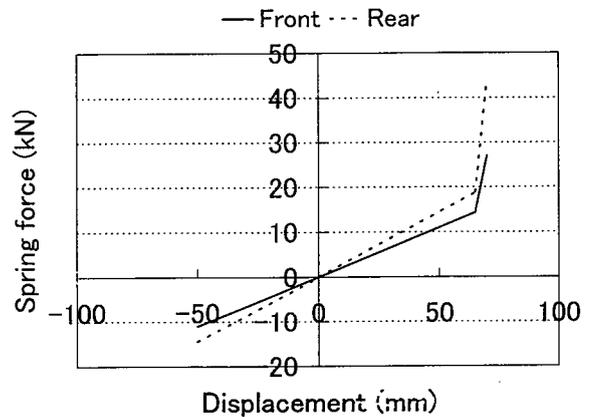
$$I\ddot{\theta} = -F_{1fr} \times l_f - F_{1fl} \times l_f + F_{1rr} \times l_r + F_{1rl} \times l_r + F_p(b + \frac{c}{2}) - F_{3fr}(l_f + l_{ef}) - F_{3fl}(l_r + l_{ef}) - F_{3rr}(l_r + l_{er}) - F_{3rl}(l_r + l_{er}) \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$I_e \ddot{\theta}_e = -F_{3fr}(l_{eg} - l_{ef}) - F_{3fl}(l_{eg} - l_{ef}) + F_{3rr}(l_{er} - l_{eg}) + F_{3rl}(l_{er} - l_{eg}) \quad \dots\dots\dots(11)$$

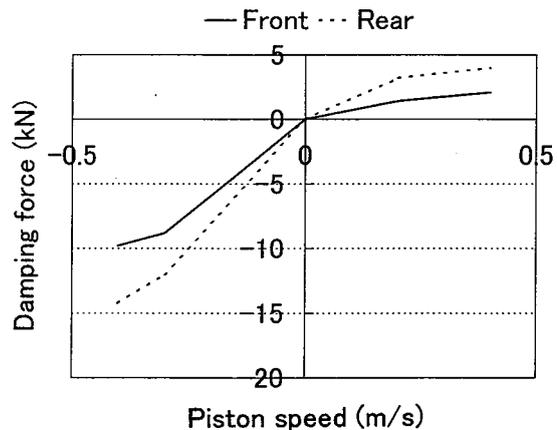
車体およびエンジンのローリング運動から次式が成立する。

$$I_r \ddot{\theta}_r = F_{1fl} \times l_{wf} + F_{1rl} \times l_{wr} - F_{1fr} \times l_{wf} - F_{1rr} \times l_{wr} - F_{3fl} \times l_{ewf} - F_{3rl} \times l_{ewr} + F_{3fr} \times l_{ewf} + F_{3rr} \times l_{ewr} \quad \dots\dots\dots(12)$$

図3は、サスペンションのばねとダンパの特性を示す⁽⁹⁾ばねとダンパの特性は非線形特性を考慮する。図3(a)は、フロントとリアのばね特性を示す。横軸はピストンの変位量を示す。縦軸は作用力を示す。図3(b)は、フロントとリアのダンパ特性を示す。横軸



(a) Spring characteristics



(b) Damping characteristics

Fig.3 Suspension parameters

はピストンの変位速度を示す。縦軸は作用力を示す。またサスペンション系フリクション力は次式で定義する^{(10),(11)}。

$$f_i(x_{vf}) = a_i \times \tanh\left(\frac{2}{c} x_{vf}\right) \quad (i = fr, fl) \quad (14a)$$

$$f_i(x_{vr}) = a_i \times \tanh\left(\frac{2}{c} x_{vr}\right) \quad (i = rr, rl) \quad (14b)$$

ここに、 x_{vf} , x_{vr} はフロントとリアのピストンスピードを示す。サスペンション系フリクションは $a_{fr} = a_{rl} = 7.5g$, $a_{rr} = a_{fl} = 11.0g$ とする。gは重力加速度を示す。またcは実験結果より0.01m/sとする^{(10),(11)}。

妊婦-胎児系については各質量に対して13の上下方向の運動方程式が成立する。図2に示すとおり妊婦-胎児系の作用力は次式となる。

$$F_i = k_i(z_{i+1} - z_i) + c_i(\dot{z}_{i+1} - \dot{z}_i) \quad (i = 1, 2, 3) \quad (15)$$

$$F_{4i} = k_{4i}(z_{5i} - z_4) + c_{4i}(\dot{z}_{5i} - \dot{z}_4) \quad (i = r, l) \quad (16)$$

$$F_{ir} = k_{ir}(z_{(i+1)r} - z_i) + c_{ir}(\dot{z}_{(i+1)r} - \dot{z}_i) \quad (i = 5, 6, 7, 8) \quad (17)$$

$$F_9 = k_9(z_4 - z_9) + c_9(\dot{z}_4 - \dot{z}_9) \quad (18)$$

$$F_{10} = k_{10}(z_0 - z_4) + c_{10}(\dot{z}_0 - \dot{z}_4) \quad (19)$$

$$F_{11i} = k_{11i}(z_{0i} - z_{5i}) + c_{11i}(\dot{z}_{0i} - \dot{z}_{5i}) \quad (i = r, l) \quad (20)$$

ここに、 z_0 は妊婦の中心座標を示し次式で定義する。

$$z_0 = (z_{0r} + z_{0l}) / 2 \quad (21)$$

従って、妊婦-胎児系の運動方程式は次式となる。頭部、肩部、胸部、腹部の上下運動から次式が成立する。

$$m_1 \ddot{z}_1 = F_1 \quad (22)$$

$$m_2 \ddot{z}_2 = F_2 + F_{7r} + F_{7l} - F_1 \quad (23)$$

$$m_3 \ddot{z}_3 = F_3 - F_2 \quad (24)$$

$$m_4 \ddot{z}_4 = F_{4r} + F_{4l} - F_3 - F_{10} \quad (25)$$

大腿部、下腿部、上腕部、前腕部、胎児の上下運動から次式が成立する。

$$m_{5i} \ddot{z}_{5i} = F_{5i} - F_{4i} + F_{11i} \quad (26)$$

$$m_{6i} \ddot{z}_{6i} = F_{6i} - F_{5i} \quad (27)$$

$$m_{7i} \ddot{z}_{7i} = F_{8i} - F_{7i} \quad (28)$$

$$m_{8i} \ddot{z}_{8i} = -F_{8i} \quad (i = r, l) \quad (29)$$

$$m_9 \ddot{z}_9 = -F_9 \quad (30)$$

2.3 シミュレーションシステムの開発

シミュレーションに使用する計算諸元として、車両系はUAMS729P相当⁽⁹⁾の大型バスとする。さらに、その他必要な諸元は他車両を参考に定めた。人体系については前報⁽⁵⁾より定めた。ただし m_9 , k_9 , c_9 については、本研究による模型実験から値を同定する。表1は車両系の諸元、表2は妊婦-胎児系の諸元をそれぞれ示す。

系を支配する運動方程式は連立23元の2階常微分方程式の初期値問題である。解法としてRunge-Kutta-Gill法により数値解析する。計算きざみ幅は

Table 1 Specifications for vehicle

k_{1fr}	$110 \times 10^3 \text{ N/m}$	k_{dfr}	$36.5 \times 10^3 \text{ N/m}$
k_{1fl}	$110 \times 10^3 \text{ N/m}$	k_{dfl}	$36.5 \times 10^3 \text{ N/m}$
k_{1rr}	$145 \times 10^3 \text{ N/m}$	k_{err}	$4.4 \times 10^3 \text{ N/m}$
k_{1rl}	$145 \times 10^3 \text{ N/m}$	k_{erl}	$4.4 \times 10^3 \text{ N/m}$
k_{2fr}	$9 \times 10^5 \text{ N/m}$	c_{dfr}	$1.45 \times 10^4 \text{ Ns/m}$
k_{2fl}	$9 \times 10^5 \text{ N/m}$	c_{dfl}	$1.45 \times 10^4 \text{ Ns/m}$
k_{2rr}	$16.5 \times 10^5 \text{ N/m}$	c_{err}	$0.175 \times 10^4 \text{ Ns/m}$
k_{2rl}	$16.5 \times 10^5 \text{ N/m}$	c_{erl}	$0.175 \times 10^4 \text{ Ns/m}$
m	$1.19 \times 10^4 \text{ kg}$	I	$1.43 \times 10^5 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
m_{rf}	385 kg	I_e	$420 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
m_{rl}	385 kg	I_r	$3.575 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
m_{rr}	685 kg	I_{er}	$105 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
m_{rl}	685 kg	l_{wr}	1.2 m
m_e	1700 kg	l_{wl}	1.2 m
l_0	6.15 m	l_{evf}	0.5 m
l_f	3.25 m	l_{ewr}	0.5 m
l_r	2.92 m	l_{ef}	1.59 m
l_{er}	2.62 m	l_{eg}	1.87 m

Table 2 Specifications for pregnant woman and fetus

m_1	5.3 kg	k_1	120 kN/m	c_1	2.5 kN·s/m
m_2	17.6 kg	k_2	105 kN/m	c_2	1.6 kN·s/m
m_3	2.69 kg	k_3	105 kN/m	c_3	1.8 kN·s/m
m_4	11.76 kg	k_{4l}	50 kN/m	c_{4l}	1.1 kN·s/m
m_{5l}	4.93 kg	k_{4r}	50 kN/m	c_{4r}	1.1 kN·s/m
m_{5r}	4.93 kg	k_{5l}	50 kN/m	c_{5l}	1.0 kN·s/m
m_{6l}	2.21 kg	k_{5r}	100 kN/m	c_{5r}	1.0 kN·s/m
m_{6r}	2.21 kg	k_{6l}	100 kN/m	c_{6l}	1.0 kN·s/m
m_{7l}	1.11 kg	k_{6r}	50 kN/m	c_{6r}	1.0 kN·s/m
m_{7r}	1.11 kg	k_{7l}	50 kN/m	c_{7l}	1.0 kN·s/m
m_{8l}	1.075 kg	k_{7r}	50 kN/m	c_{7r}	1.0 kN·s/m
m_{8r}	1.075 kg	k_{8l}	50 kN/m	c_{8l}	1.0 kN·s/m
m_9	3 kg	k_{8r}	50 kN/m	c_{8r}	1.0 kN·s/m
		k_9	50 kN/m	c_9	1.0 kN·s/m
		k_{10}	100 kN/m	c_{10}	1.0 kN·s/m
		k_{11l}	100 kN/m	c_{11l}	1.0 kN·s/m
		k_{11r}	100 kN/m	c_{11r}	1.0 kN·s/m

0.001秒とし、数値計算は倍精度で行う。考慮する周波数の帯域は1~30Hzとする。プログラムの開発はFortran90を使用した。

3. 実験

3.1 妊婦-胎児系モデルの開発

妊婦-胎児系の振動特性を把握するために、実物に近い寸法と重量を有するモデルを作成した。モデルはシリコンゴム（信越シリコン製、KE-116）を使用し、胎児、子宮、羊水、腹部から構成されている。

妊婦-胎児系のモデルの開発は、まず八ヶ月程度の実物大に相当する胎児原型を、加工性の優れた油粘土を使用して作成した。この粘土モデルから石こう型を作成し、真空処理したシリコンゴムを石こう

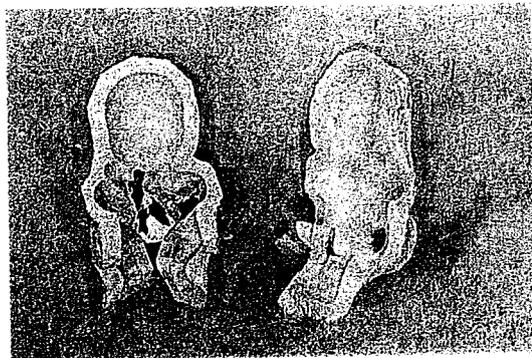


Fig.4 Plaster caster of fetus

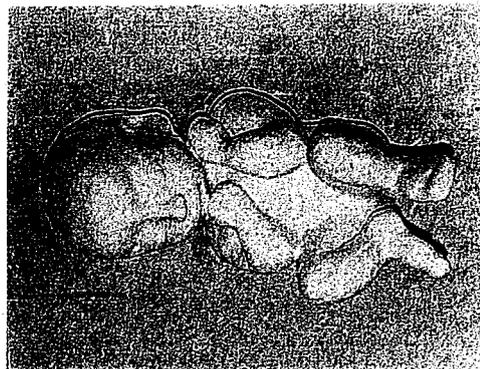


Fig.5 Fetus model

型に注入し作成した。

図4は、石こう型を示す。上型にはシリコンゴムを注入する湯口を設ける。石こう型に注入したシリコンゴムが硬化した後、石こう型を粉碎し、胎児モデルを取り出す。

図5は、石こう型から取り出し、表面仕上げした胎児モデルを示す。

次に、胎児モデルを使用して、子宮部を作成する。完成したシリコンゴム製胎児モデルの外周に子宮部空間に相当する粘土を取り付ける。

胎児モデルの外周に取りつける粘土の容積は羊水の保有量から決定した。つぎに腹部に相当する容器（径200cm、高さ300cm）に逆さにつりさげ、シリコン樹脂を流し込み、子宮部下部を作成する。

図6は、胎児モデルと完成した子宮部モデルを示す。胎児モデルと子宮部の上部と下部を示す。子宮の接合面は機密性および強度の面から図に示すようにダボとダボ穴を有する構造とした。次に、胎児と腹部の加速度を計測するために防水用の加速度セン

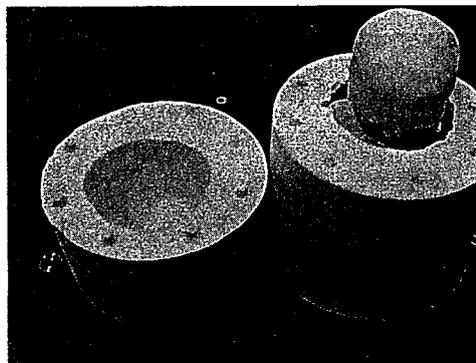


Fig.6 Fetus and womb with mating structure

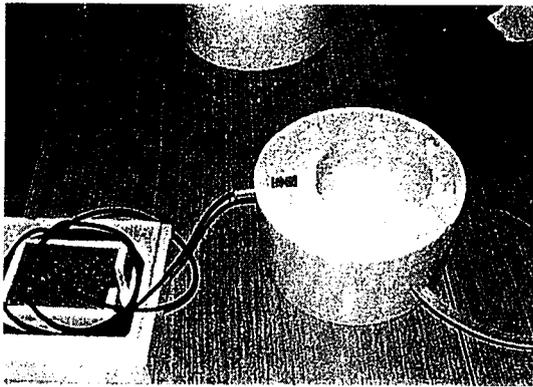


Fig.7 Acceleration pickup mounted in the womb

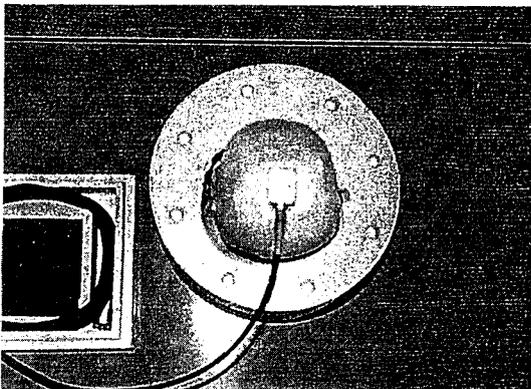


Fig.8 Acceleration pickup mounted on the head of fetus

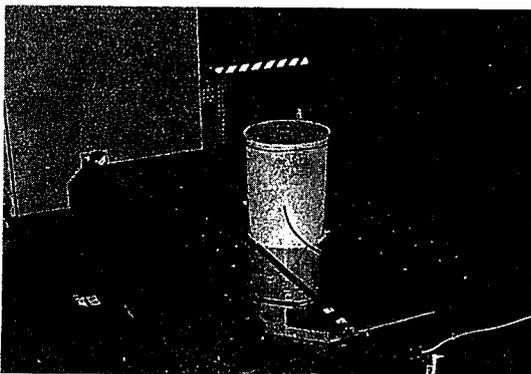


Fig.9 Model mounted on the shaker

サをモデルに内臓した。

図7は、腹部の加速度を計測するためにセンサを取り付けた状態を示す。

図8は、胎児の加速度を計測するためにセンサを頭部に取り付けた状態を示す。子宮内は羊水に相当する液体を注入した。液体を注入するホースはシリコンゴム製を使用した。胎児モデルの重量は1951.1グラム、子宮部モデルは3938.6グラムである。

実験用モデルは幅200mm、厚さ12mm、長さ1000mm

のアルミニウム板上にシリコン製の接着剤を使用して密着し、三次元振動試験機の台上に容易に固定できるようにした。

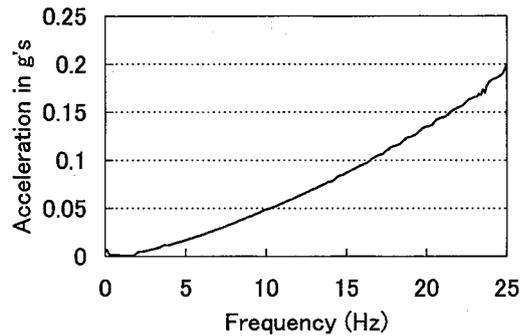
図9は、作成したモデルを三次元振動試験機の台上に固定した状態を示す。

3.2 振動実測

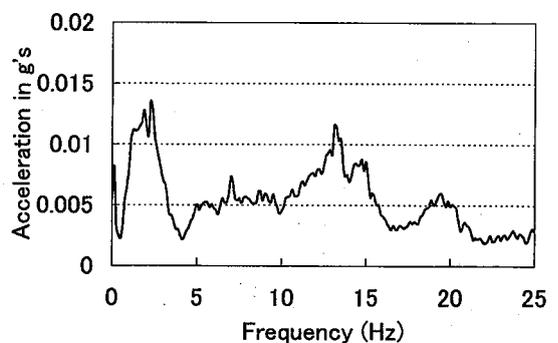
実測に用いた装置は、三軸振動加振機、制御器、加速度計測用センサ、アンプ、データレコーダ、FFTアナライザ等である。加速度の測定は胎児の頭部、子宮部の2箇所について実測した。測定方向は上下方向とした。測定は防水性の加速度ピックアップ(KYOWA ASW-1A, ASW-5A)を使用した。

実測は、正弦波加振とランダム加振の2種類について実施した。正弦波加振では全振幅を2mmとし周波数が2~25Hzの帯域を対数掃引した。本研究では2~25Hzの掃引時間を90秒とした⁽²⁾。

ランダム加振は、実際の路面上(国道2号線)をセダンタイプの車両が一定速度で走行した場合に車両のフロア上で観測された上下方向加速度を三軸振



(a) Sinusoidal



(b) Random

Fig.10 Vibration magnitude

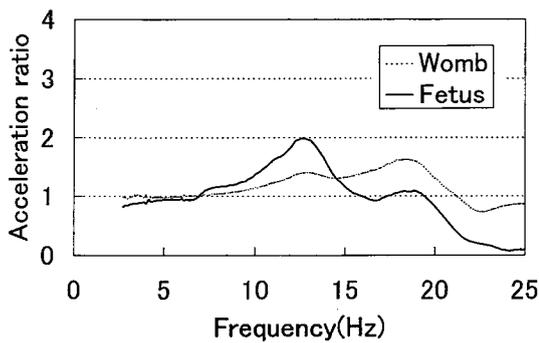


Fig.11 Experimental result (sinusoidal)

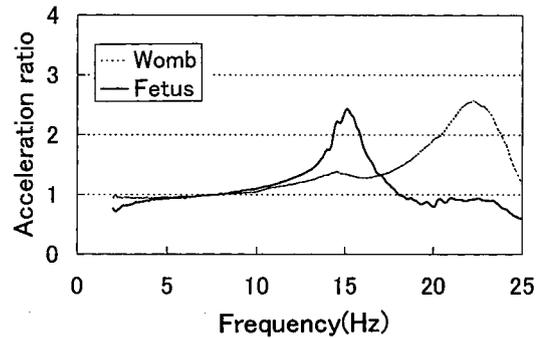


Fig.13 Experimental result (sinusoidal without fluid)

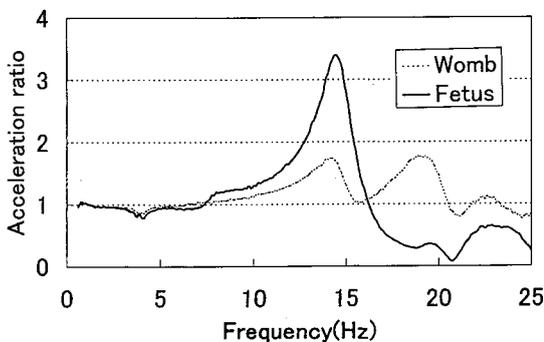


Fig.12 Experimental result (random)

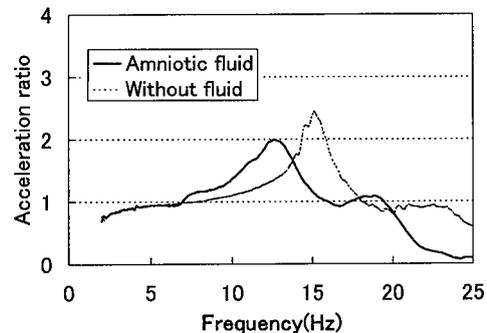


Fig.14 Comparison of acceleration ratio of fetus

動試験装置に入力信号として使用した。実測した国道2号線の区間は路面凹凸がなめらかな路面である。図10は、加振機に入力する振動強度を示す。

3.3 測定結果

図11は、正弦波加振した場合の実測結果を示す。横軸は周波数、縦軸は加速度比を示す。試験に用いた試験機は2 Hz以上で測定可能な試験機である。胎児は12Hz近傍で共振周波数を持ち、加速度比は約2となる。

一方、腹部は12Hz、19Hzでピークが観測される。19Hz近傍で最大加速度比は1.6~1.7程度である。

図12は、ランダム加振した場合の実測結果を示す。横軸は周波数、縦軸は加速度比を示す。胎児は14Hz近傍で大きいピークが発生し、そのときの加速度比は約3.4である。一方、腹部は14Hz、19Hz、22Hz近傍においてピークが見受けられた。加速度比のピーク値は19Hz近傍において、約1.7である。

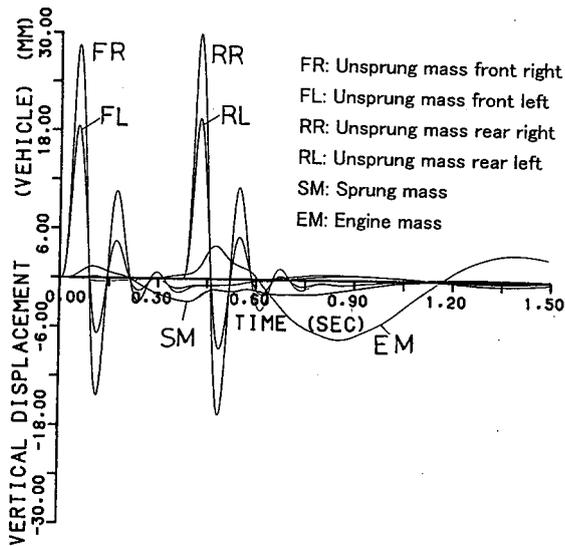
図13は、正弦波加振の場合の実測結果を示す。子宮内に羊水に相当する液体がない場合の試験結果を示す。胎児は15Hz近傍で加速度比にピークが見受けられ、そのときの値は約2.2となる。一方、腹部

は22Hz近傍でピークが発生し、そのときの値は約2.3である。

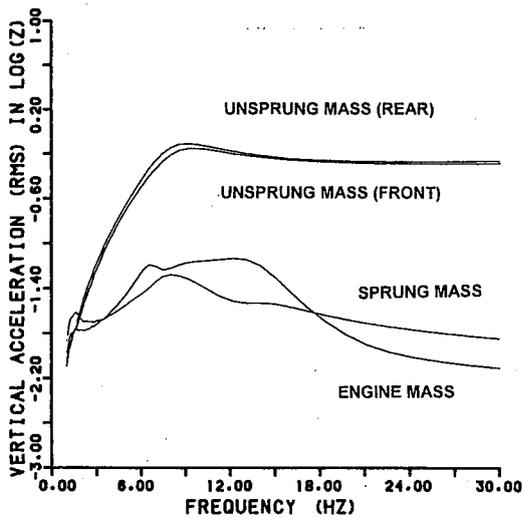
図14は、子宮内の羊水がある場合とない場合の胎児の周波数応答を比較した試験結果を示す。羊水がある場合は、12Hz近傍において、加速度比のピーク値は約2.0となる。一方、羊水がない場合は、15Hz近傍において、加速度比のピーク値は約2.2となる。羊水がある場合は共振周波数および加速度比ともに、小さくなる傾向が見受けられた。共振周波数は15Hzから12Hzに低下し、加速度比は2.2から2.0に低下した。羊水により胎児へ伝達される振動および衝撃が緩和される効果が見受けられる。

3.4 パラメータの同定

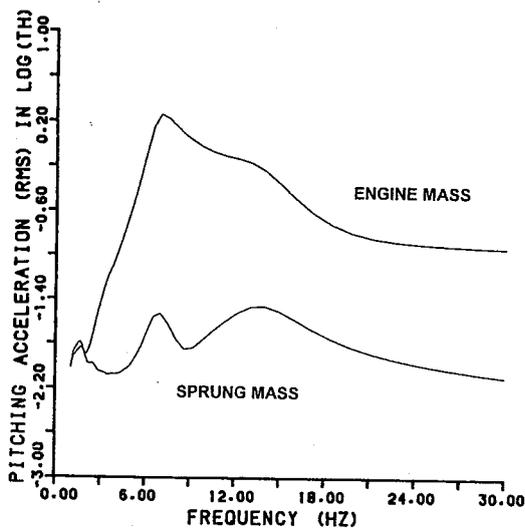
妊婦-胎児系の振動実測結果から、パラメータ k_0 、 c_0 の同定を行なった。すなわち、実測結果が1次、2次の共振を有する特性を示すため、実測モデルを2質量、2ばね・ダンパから構成される2自由度系の振動モデルを仮定した。実測結果の振動応答特性に一致する値を数値実験から探索し、パラメータ k_0 、 c_0 の値とした。この問題は、振動応答結果に一致する最適なパラメータを決定する逆問題である。



(a) Transient response for vehicle



(b) Frequency response of vertical acceleration for vehicle



(c) Frequency response of pitching acceleration for vehicle

Fig.15 Simulation results

4. 計算結果

4.1 車両振動特性

図15は、車両の振動特性を示す。図15(a)は、突起乗り越しの場合の計算結果を示す。突起は正弦波形とし、最大高さを右側30mm、左側20mm、長さを1mとする。これらの突起を走行速度60km/hで乗り越した時の左右のばね下質量、ばね上質量、およびエンジンの上下変位の時間的変化を示す。

図15(b)は、ばね上質量、エンジン、フロントとリアのばね下質量の周波数応答特性を示す。ばね上質量は1.63Hzにおいてピーク値が0.025、さらに8.02Hzで0.053となる。ばね下質量は、フロントでは9.22Hzにおいてピーク値は0.712、リアは9.22Hzで0.784となる。エンジンは、12.17Hzにおいてピーク値は0.074となる。これらの振動特性は計算結果の妥当性を示す^{(10),(11)}。

図15(c)は、ばね上質量とエンジンのピッチング角速度を示す。ばね上質量は、周波数が1.63, 6.98, 13.98Hzにおいてピーク値がそれぞれ0.016, 0.029, 0.034となる。さらに、エンジンは周波数が1.62, 6.98Hzにおいてピーク値は0.015, 0.182となる。

4.2 立位状態

図16は、妊婦が立位状態の場合の計算結果を示す。頭部、肩部、胸部、腹部、大腿部、下腿部、上腕部、前腕部、胎児および車両のばね上質量の上下方向加速度を示す。頭部、肩部、胸部、腹部は同様の特性を示し、周波数が1.63Hzにおいて小さなピークが見受けられた。そして3.74Hzにおいて大きなピークが見受けられた。ピーク値は、それぞれ0.030, 0.030, 0.029, 0.028である。さらに、周波数が3.74Hzではピーク値はそれぞれ0.058, 0.057, 0.049, 0.040とな

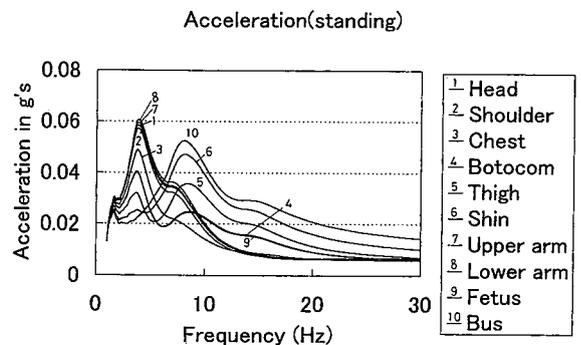


Fig.16 Simulation results (standing posture)

る。大腿部は1.63, 3.74, 8.60Hzにおいてピークとなり、その時の値は、それぞれ0.027, 0.032, 0.036となる。

下腿部, 上腕部, 前腕部および胎児の上下方向加速度については、いずれの場合も1.63Hzにおいて小さなピークが見受けられた。その時の値は、それぞれ0.026, 0.030, 0.030, 0.028である。さらに下腿部は8.02Hzにおいてピーク値が0.047, 上腕部は3.74Hzにおいて0.059, 前腕部は3.74Hzにおいて0.060, 胎児は3.74Hzにおいて0.041, さらに8.6Hzにおいて0.025となる。1.6Hz近傍のピークは車両のばね上共振の影響によるものと考えられる。そして3.7Hz近傍のピークは人体各部の共振によるものと考えられる。

4.3 座位状態

図17は、妊婦が座位状態の場合の計算結果を示す。図17(a)は、頭部, 肩部, 胸部, 腹部, 大腿部, 下腿部, 上腕部, 前腕部, 胎児および車両ばね上質量の上下方向加速度を示す。頭部, 肩部, 胸部, 腹部, 大腿部とも同じような特性を示し、周波数が1.63Hzにおいて小さなピーク値を有し、それぞれ、0.028, 0.030, 0.027, 0.026, 0.025となる。さらに頭部は5.67Hzでピーク値は0.074, 肩部は3.74Hzでピーク値は0.05, 胸部は3.74Hzでピーク値は0.051, 腹部は5.6Hzでピーク値は0.037, 大腿部は8.02Hzでピーク値は0.053となる。

下腿部, 上腕部, 前腕部, 胎児については、いずれの場合も1.63Hzにおいて小さなピークが見受けられた。その時の値はそれぞれ、0.026, 0.028, 0.028, 0.026である。さらに下腿部は8.02Hzでピーク値が0.054, 上腕部は5.67Hzで0.075, 前腕部は5.67Hzで

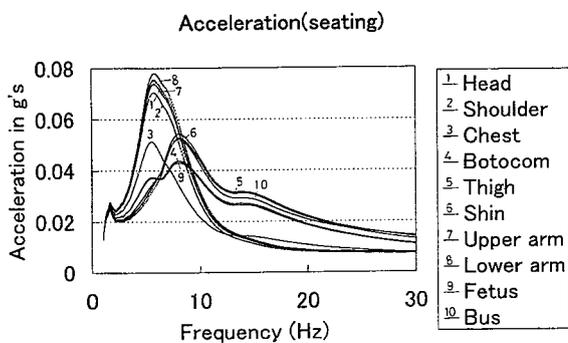


Fig.17 Simulation results (seating posture)

0.078, 胎児は5.67Hzで0.0373, さらに8.02Hzで0.044となる。

座位状態の場合は胎児のピーク値が高くなる傾向にある。座位状態の場合、振動が腹部(尻部)から直接入力され、胎児への振動伝達が大きくなるものと考えられる。

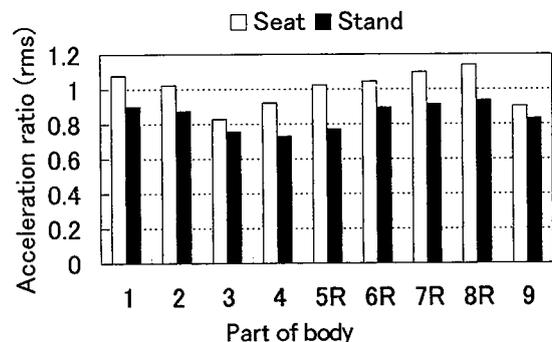
4.4 立位状態と座位状態の比較

表3は妊婦-胎児系各部の振動加速度比のピーク値を示す。括弧内の数値はピークとなる共振周波数を示す。13箇所の平均値と比較すると、立位状態が2.087(3.623)となり、座位状態の場合が1.764(5.075)となる。平均的には、立位状態を基準にして座位状態は加速度比が15.48%小さい。さらに共振周波数は40.08%高くなる。

図18は、妊婦が立位状態と座位状態を比較した場

Table 3 Peak vertical acceleration ratio and resonance frequency

Parts	Standing	Seating
Head	2.617(3.739)	2.345(5.290)
Shoulder	2.560(3.739)	2.249(5.290)
Chest	2.193(3.739)	1.722(4.935)
Hip	1.852(3.488)	1.270(4.604)
Thigh(right)	1.493(3.488)	1.111(4.935)
Thigh(left)	1.497(3.488)	1.117(4.935)
Shin(right)	1.168(3.488)	1.060(4.935)
Shin(left)	1.176(3.488)	1.067(5.290)
Upper arm(right)	2.656(3.739)	2.394(5.290)
Upper arm(left)	2.656(3.739)	2.394(5.290)
Lower arm(right)	2.704(3.739)	2.467(5.290)
Lower arm(left)	2.704(3.739)	2.467(5.290)
Fetus	1.861(3.488)	1.861(3.488)
Mean value	2.087(3.623)	1.764(5.075)



(1:Head 2:Shoulder 3:Chest 4:Botocom 5R:Thing(R) 6R:Shin(R) 7R:U-Arm(R) 8R:L-Arm(R) 9:Fetus)

Fig.18 Effect of posture on acceleration ratio (rms)

合の計算結果を示す。

車両走行速度が60km/hで200m走行した場合の走行区間での人体各部の加速度比のrms値を示す。図において、横軸は人体各部を示す。縦軸は加速度比を示す。人体各部とも立位状態より座位状態の方が加速度比は大きくなる傾向にある。座位状態では足部と尻部から振動が直接入力されるためと考えられる。したがって、振動伝達の面からは、妊婦は座位状態より立位状態の方が振動影響は小さいといえる。

4.5 シューズの影響

図19は、妊婦が履いているシューズの特性を変化させた場合の計算結果を示す。車両走行速度は60km/hで200m走行した場合の走行区間での人体各部の加速度比のrms値を示す。シューズのばねとダンパの特性を標準状態から50%増減させた場合について比較した結果を示す。

図において、横軸は人体各部を示す。縦軸は加速度比を示す。頭部、肩部、胸部、腹部は特性を50%上昇させると加速度比はやや小さくなる傾向にある。大腿部、下腿部は特性を上昇すると、加速度比はやや大きくなる。上腕部と前腕部は頭部などと同様の特性を示す。一方、胎児はシューズの特性を50%上昇すると、加速度比はやや小さくなる傾向がある。

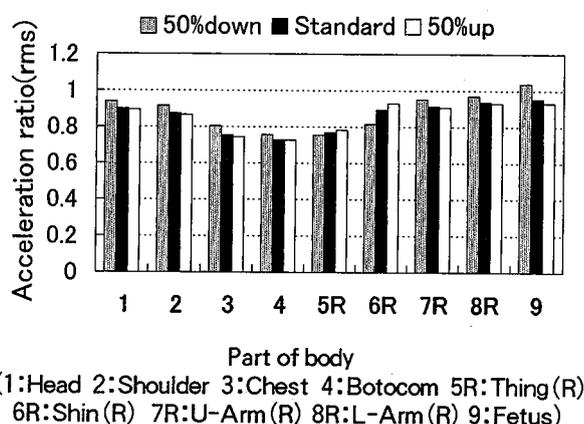


Fig.19 Effects of shoes characteristics

5. 結 言

本研究の結果をまとめると次のとおりである。

- (1) シリコン樹脂により実物に則した妊婦-胎児系のモデルを作成し、妊婦-胎児系の振動特性を明

らかにした。

- (2) 開発したシリコンゴム製モデルにより、子宮内の羊水の振動・衝撃緩和効果が定量的に明らかとなった。
- (3) 妊婦-胎児系を質量、ばね、ダンパを用いてモデル化できることを示した。
- (4) 種々の実測結果から妊婦-胎児系のパラメータの同定を行なった。
- (5) 妊婦-胎児-車両系の振動モデルを構築し、胎児の振動応答が予測可能な計算システムを開発した。開発した計算システムにより、種々の影響を検討することが可能となった。
- (6) 妊婦が履いているシューズの影響、妊婦が座位状態あるいは立位状態の場合などについての妊婦-胎児系の振動影響を明らかにした。

本システムは人体を多体動力学として取り扱い、振動特性の観点から検討した。感性に関わる要素をシステムに取り込むことも今後は必要と考えられる。さらに、胎児は月日の経過にもなって子宮内で発育していく。時間経過と胎児の振動特性を左右するパラメータを体系化することも必要である。

文 献

- (1) 山中克己・中川武夫・小林章雄, 新幹線鉄道騒音・振動およびその沿線住民への影響に関する文献研究, 公害と対策, 22-6, (1986), 76-83.
- (2) 笠原孝之, 振動音刺激に対する胎児応答に関する研究, 日医大誌, 58-5, (1991), 87-96.
- (3) A.J.M.Peters, R.M.Abrams, K. J. Gerhardt, D. J. Burchfield, D. E. Wasserman, Resonance of the Pregnant Sheep Uterus, Journal of Low Frequency Noise and Vibration, 11-1, (1992), 1-6.
- (4) D.Tzvetkov, T.Vergieva, L.Hinkova, S.Dinoeva, A.Penkov, P.Tilev, Experimental Studies on the Effect of Whole-Body High Frequency Vibrations on Reproduction and Development in Rats, Journal of Low Frequency Noise and Vibration, 10-1, (1991), 26-37.
- (5) F.M.L. Amirouche, M.Xie, A. Patwardhn, Optimization of the Contact Damping and Stiffness Coefficients to Minimize Human Body Vibration, Transaction of the ASME, Journal of

- Biomechanical Engineering, November 1994, Vol.116, 413-420.
- (6) F.Amirouche, Computational Methods in Multibody Dynamics, 1992, Prentice-Hall, Inc.70-73.
- (7) 西山修二・F. Amirouche, 振動環境下における妊婦と胎児の振動特性, 機講論, 97-72(1998-1), 102-103.
- (8) 西山修二・F. Amirouche・平松志保, 振動環境下における妊婦と胎児の振動特性に関する理論的および実験的研究, 機講論, 99-8(1999-6), 17-20.
- (9) 芳村敏夫・田坂茂二, ニューラルネットワークを用いたビークルのアクティブサスペンションの設計, 機論, 59-567,C(1993),190-196.
- (10) Nishiyama, S.,Development of a Vehicle-Occupant Dynamic Interaction Simulation System, Proceedings. ASIA-PACIFIC VIBRATION CONFERENCE 1993(1993-11), Vol.2, 825-830.
- (11) 西山修二, 車両-乗員系連成振動シミュレーションシステムの開発(第1報, 理論解析及びシステム検証), 機論, 59-568,C(1993),3613-3621.
- (12) 西山修二・武田史郎・竹島透, 着座姿勢が人体各部の振動特性に及ぼす影響(実験的研究), 機論, 61-590,C(1995),3866-3873.

人体各部の振動特性に関する実験的研究 (自動車ドライバーのアームアングルの影響)

西山 修二, 上杉 憲雄, 竹島 透*1, 狩野 雄二*1, 研井 堅*2

Experimental Investigation on Vibrational Characteristics of Human Body Parts (Effect of Arm Angle of Vehicle Driver)

Shuji NISHIYAMA, Norio UESUGI, Toru TAKESHIMA, Yuji KANO and Hisashi TOGII

We present experimental results on the vibrational characteristics of the automotive sub-system comprising the human body, seat, steering wheel and pedals. The magnitude of the vibrations transferred to a driver from the seat, steering wheel and pedals have been measured with both random and sinusoidal excitations in the vertical, fore and aft directions at frequencies up to 20 Hz. Measurement points were located on the surface of the head, chest, hip, thigh, shin, upper arm and lower arm. Eleven subjects were used to investigate the effect of some variable factors, such as arm angle, that may affect human dynamic behaviour. It was found that arm angle in driving posture has a substantial influence on the dynamic behaviour of the human body while driving. Some results are presented in the form of parametric graphs and tables.

Key Words: Vibration, Riding Quality, Human Engineering, Measurement, Human Dynamics,
Driving Posture, Seat, Steering Wheel, Pedal

1. まえがき

人間が乗り物や農業機械, 建設機械などを操作する場合, 人間はシート, ステアリングホイールあるいはペダル類等に常に接している⁽¹⁾.

人体の振動特性に関連した研究として種々の結果が報告されている. Fairley・Griffin⁽²⁾は, 着座している人体の質量の影響について示している. Wilderらは⁽³⁾,トラック運転中の筋肉疲労や姿勢の影響について研究している. Paddan・Griffin⁽⁴⁾は, シートのロールおよびピッチ振動が頭部へ伝達される振動特性について研究している. Lewis・Griffin⁽⁵⁾は, 可動バックレストに着座した人体振動伝達について研究し, 固定より可動バックレストの方が振動伝達率が小さいことを示している. Fairley・Griffin⁽⁶⁾は,

上下および前後振動による不快感の評価手法を示している. Parsons・Griffin⁽⁷⁾は, 人体振動の閾値について示している. Corbridge・Griffin⁽⁸⁾は, 周波数の帯域が0.5-5.0Hzにおける人体振動の周波数の影響について報告している. 以上の研究は尻下部や頭部での振動実測が主である. 人体各部にいたるまで計測された例はない.

ドライバーが運転席に着座すると, まずペダル操作が容易にできるように, シートを前後に動かして, シート位置を決定する. シート位置が定まると人体・シート・ステアリングホイール・ペダル系の位置関係から最終的に人体の着座姿勢が定まる.

路面などから入力された振動はシート, ステアリングホイール, ペダル類などを介して最終的に人体各部に伝達される. 人体に伝達される振動を低減することは, 乗り心地および操作性の観点から重要な

*1 デルタ工業(株)

*2 黒石鉄工(株)

課題である。また、着座姿勢が人体各部の振動特性に及ぼす影響を把握することも重要である。しかし、この種の研究は、まだ報告された例がないようである。

上腕部や前腕部などの腕部、大腿部や下腿部などの脚部が受ける振動は、振動乗り心地に重要な要因であるかどうかは明らかではない。しかし、緊急時の危険回避のためのペダル操作やステアリング操作などの面から人体各部の振動特性を明らかにすることは、振動乗り心地、操作性、安全性の面から重要である。本研究は、以上のような観点から、シート位置により決定される着座姿勢すなわちアームアングル（上腕部と前腕部との相対角度）が人体各部の振動特性に及ぼす影響を明らかにする。

実験手法としては、三軸振動試験装置の加振台上に、本研究において開発したシート・ステアリングホイール・ペダル系装置を設置する。シートに着座した被験者のアームアングルが4段階に変化するようにシート位置を前後に調整して人体各部の振動特性を実測する。

測定位置は、着座状態において、頭部、胴体部、大腿部、下腿部、上腕部、前腕部、尻下部とする。被験者は、性別、年齢、体型などが異なる11名について実施する。加振入力は、振幅一定の正弦波加振とする。

2. 実 測

2.1 シート・ステアリングホイール・ペダル系装置の開発

図1は、本研究で開発した装置を示す。表1は装置の主要部の諸元を示す。この装置はシート、ステアリングホイール、ペダル等の相対的位置関係が実車を再現できる構造である。三軸振動試験装置の加振台上に本装置を設置し、種々の項目について検討ができるような寸法および重量とした。軽量化と剛性を確保するためにアルミニウム構造とした。ステアリングはM社の量産品を使用し、上下および前後方向が調整可能である。ステアリングの操作力は考慮していない。ペダルについてもM社の量産品を使用し、上下および前後方向の調整を可能とし、踏み力も考慮した。

シート、ステアリングホイールおよびペダル類の相対的位置シートは前後方向および上下方向の調整

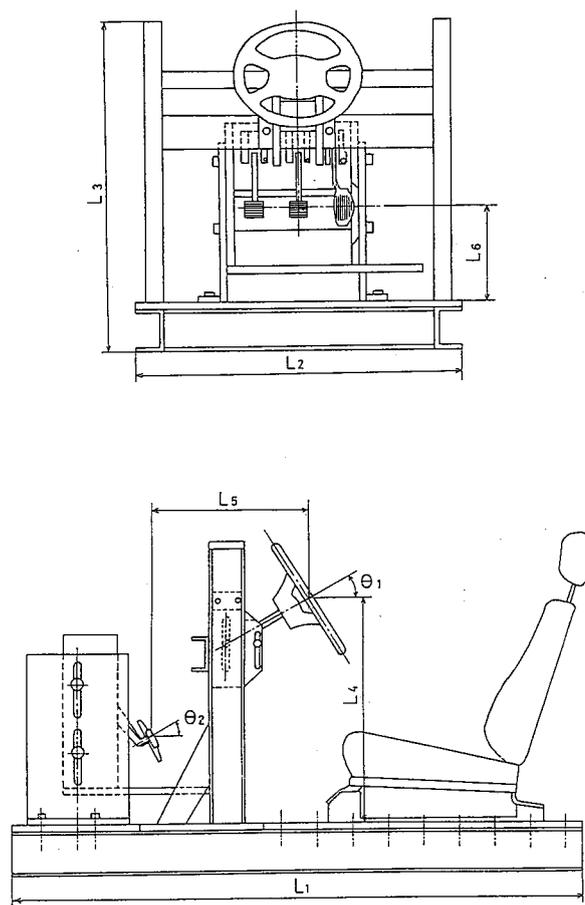


Fig.1 General arrangement of seat-steering wheel-pedals system.

が可能である。位置関係は、トラック系から乗用車系までに対応できる構造とした。装置の総重量は100kgである。

装置は三軸振動試験装置の加振台上にボルトで締結する。本装置の開発により、自動車用シートの座り心地・乗り心地をはじめステアリングホイールの握り心地・操作性およびペダル類の踏み心地・操作性等についての評価精度の向上もはかることが可能となる。

2.2 被験者

被験者は、成人男子9名、成人女子2名からなる計11名とする。被験者は、現代人の日本人50パーセントイル値⁽⁹⁾および運転経歴等を考慮して人選した。被験者の性別、年齢、身長および体重等の幾何学的特性は表2のとおりである。被験者の平均年齢は35.1歳(24-54)、平均身長は167.8cm(161-178)、

Table 1 Specifications of seat-steering wheel-pedals system.

L_1	1600mm	L_5	350~650mm
L_2	920mm	L_6	160~310mm
L_3	975mm	θ_1	10.5°~46.5°
L_4	530~700mm	θ_2	30°

そして平均体重は63.9kg(46-78)である。人体の振動特性は再現性が十分とはいえない。実測結果を統計的処理するために、性別、年齢、体型、体重などが異なる10名以上の被験者を選定し、実測することとした。

Table 2 Characteristics of the eleven subjects.

Subject No.	Sex	Age (years)	Height (m)	Weight (kg)
1	Male	32	1.78	78
2	Male	26	1.63	59
3	Male	25	1.71	67
4	Male	34	1.62	68
5	Male	51	1.64	75
6	Male	29	1.75	58
7	Female	31	1.54	47
8	Female	24	1.61	46
9	Male	48	1.74	67
10	Male	54	1.66	60
11	Male	32	1.78	78

表3は、11名の被験者の人体の幾何学的寸法と各アームアングルにおけるステアリングホイールと人体間の距離などについての全被験者の平均値を示す。

Table 3 Dimensionless mean length.

h_1 / h	h_2 / h	h_3 / h	h_4 / h	h_5 / h
0.16468	0.34452	0.27464	0.25830	0.17659
h_6 / h	b_{180} / h	b_{150} / h	b_{120} / h	b_{90} / h
0.19176	0.27275	0.24360	0.20558	0.16766

ここに、 h_1 は頭部長さを示す。 h_2 は胴体部、 h_3 は大腿部、 h_4 は下腿部、 h_5 は上腕部、 h_6 は前腕部、 h は身長、 b_{180} はアームアングル180°における人体とステアリングホイール間の距離、 b_{150} はアームアングル150°の場合、 b_{120} はアームアングル120°の場合、 b_{90} はアームアングル90°の場合をそれぞれ示す。

2.3 振動実測方法

図2は、加速度の測定部位と測定方向を示す。頭部は頭頂部、胴体部、大腿部、下腿部、上腕部、前腕部は重心位置、尻部は尻下部の7箇所について測定する。測定方向は、頭部、大腿部、下腿部、上腕部、前腕部に対しては上下方向及び前後方向とする。胴体部に対しては、胴体部に沿った方向(z')と胴体部に鉛直方向(x')とする。尻下部は上下方向のみとする。測定は人体各部の表層部とする。頭部、胴体部、大腿部、下腿部および尻下部の加速度を計測する各部専用のセンサ取付用装置は前報⁽¹⁰⁾で開発したものを使用する。

本研究では、新たに上腕部と前腕部の三軸方向の加速度が計測可能なセンサ取付用装置を開発した。形状及び寸法は大腿部及び下腿部計測用のセンサ取付装置と同じものとした。また上腕部と前腕部のセンサ取付用装置は同一形状とする。厚さ1.2mm、幅50mmのアルミニウム板を矩形状に折り曲げ、布ベルトのバックル上にトランスイソプレン系樹脂のシート素材を挟んで取り付ける。

各アームアングルに応じて、大腿部、下腿部、上腕部、前腕部の加速度センサが常に水平となるように装置に装着する。センサは両面テープを使用して固定する。大腿部、下腿部、上腕部、前腕部の加速度センサと取付装置の総重量は270グラムである。頭部、胴体部、大腿部、下腿部、上腕部、前腕部については、動歪式加速度センサを使用し、各部の三軸方向の加速度を測定する。

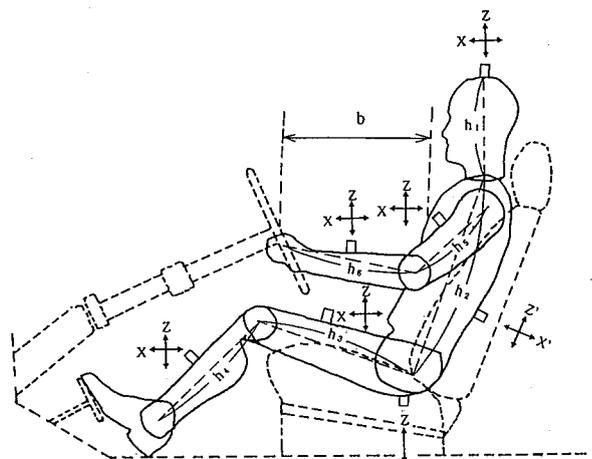


Fig.2 Measurement points and its directions.

加振台上に設置するシートの座面角度は床面に対して19.5度とし、シートバック角度は110度とする。実車での現象をなるべく再現するために、シート位置のみを前後方向にスライドさせる。そしてステアリングホイールと人体の位置関係を定め、アームアングルが指定角度となるように設定する。両膝間の開き寸法は各被験者の両手の最大手幅⁹⁾として脚部の位置を定める。大腿部がシートの座面全域に接するように下腿部の角度を調整する。両足は踵をフロアにつけて足をペダルに載せる。両手はステアリングホイールの水平部を軽く握る。視線は約4m前方の壁面上に設置したマーカーを見つめる。頭部は垂直に保持する。被験者は筋肉の緊張をほぐし安楽姿勢(弛緩状態)で着座する。

振動試験はそれぞれの被験者に対して、アームアングルが180, 150, 120, 90度の場合について順次実施する。実験室内の騒音は主に振動試験機の冷却機から発生するものである。被験者の頭部近傍における騒音レベルは56dB(A)であり、振動計測に影響はない。各試験の前に計測装置のキャリブレーションを行なった。振動試験装置への振動入力は、上下方向のみとする。加振入力は、全振幅3mmの正弦波とする。周波数の帯域は2~20Hzとし対数掃引する。本研究では2~20Hzの掃引時間を約90秒とする¹⁰⁾。

3. 実測結果

3.1 データ解析

人体の振動測定は、ばらつきが大きく再現性も十分とはいえない。そこで、本研究では11名の被験者の測定データを統計処理して一般的特性とした。測定データは0から20Hzの間を401点の離散点に対する値を有している。振動加振機の性能から、有効データは2Hzから20Hzである。測定データを統計処理し、平均値と標準偏差を算出した。

3.2 アームアングルが人体各部の振動特性に及ぼす影響

加速度比と共振周波数は人体各部で異なる。腕部や脚部に伝達される振動を減少させることは、ステアリングホイールやペダルの操作を容易に行なうために必要と考えられる。図3から図6はアームアングルが90, 120, 150, 180度の場合の人体各部の振動特性を示す。

頭部については、アームアングルが加速度比に及ぼす影響は小さい。共振周波数は4Hz近傍に存在し、加速度比の値は各アームアングルに対して3.3から3.4である。周波数が小さい領域において、加速度比が1以下の値を示した。人体は複雑で多自由度系のシステムであるために人体のダンピング特性により振動伝達が抑制されたものと考えられる。

胴体部については、加速度比のピーク値は4Hz近傍において見受けられた。アームアングルが増加するにつれて、特性曲線の山が鋭くなる。加速度比のピーク値は1.6から1.7である。

尻下部については、加速度比のピーク値は4Hz近傍において見受けられた。アームアングルが増加するにつれて、特性曲線の山が鋭くなる。

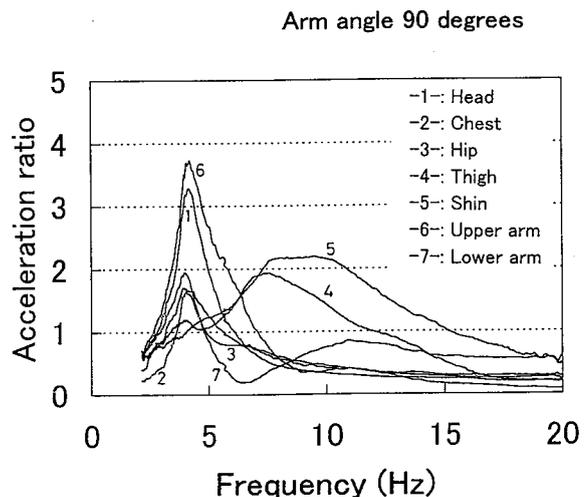


Fig.3 Measurement points and its directions.

加速度比のピーク値は1.7から1.8である。周波数が共振周波数より増加すると加速度比は減少する。6Hz近傍において小さなピークが再び観測された。その後さらに周波数が増加すると値は減少する。

5~10Hzの領域ではアームアングルが増加すると加速度比は小さくなる。

大腿部については、各アームアングルに対する加速度比はほとんど変化がなく1.9から2.2である。共振周波数はアームアングルの影響が認められた。

共振周波数はアームアングルが90度で7.6Hz, 120度で6.7Hz, 150度で6.4Hz, 180度で6Hzであった。このようにアームアングルが増加すると共振周波数

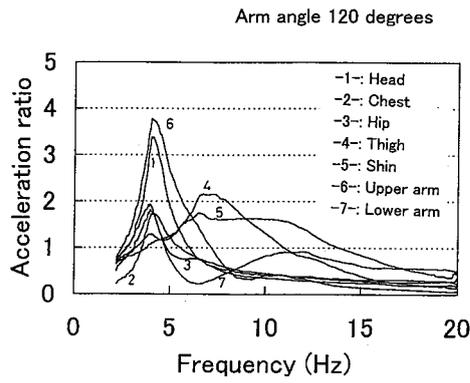


Fig.4 Parts body acceleration ratio for arm angle 90 degrees.

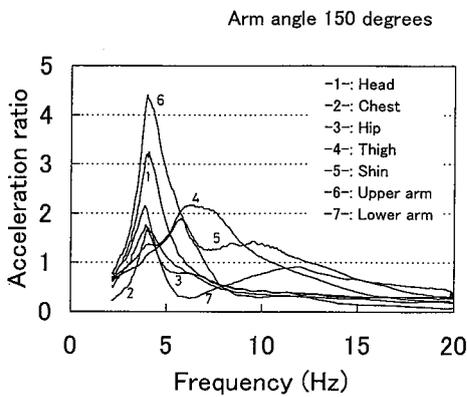


Fig.5 Parts body acceleration ratio for arm angle 120 degrees.

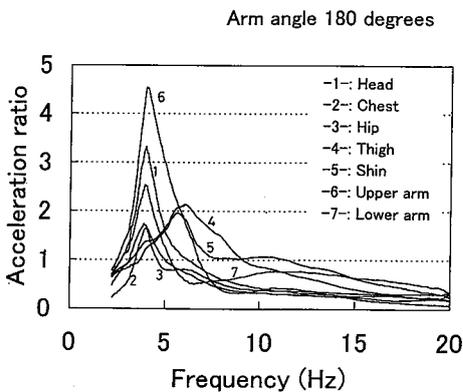
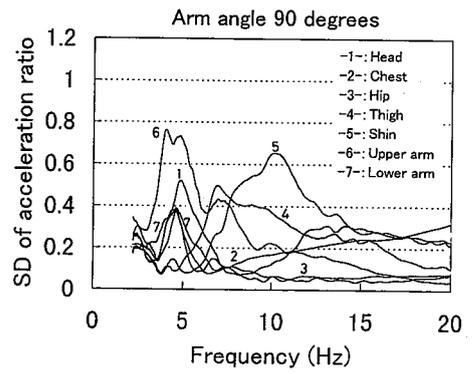
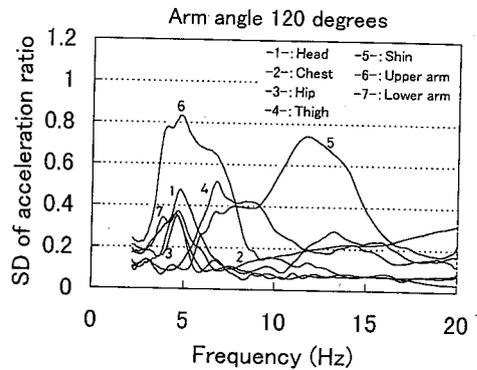


Fig.6 Parts body acceleration ratio for arm angle 150 degrees.

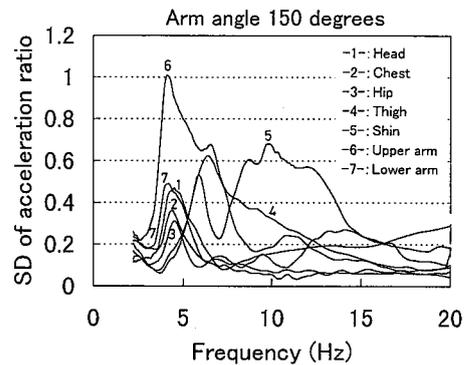
は減少する特性を示した。アームアングルが減少すると、床面に対する大腿部の角度は大きくなる。アームアングルが着座姿勢に影響を及ぼし、このような結果が表れたものと考えられる。大腿部については、加速度比と共振周波数はアームアングルの影響を顕著に受ける。大腿部と下退部の角度はシート位



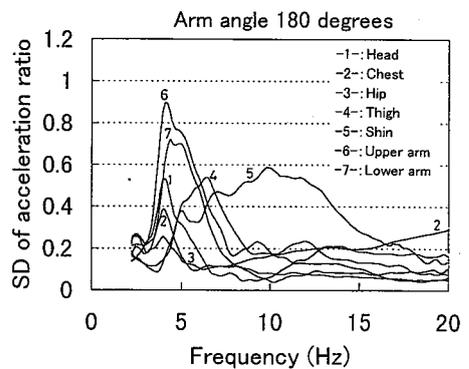
(a) Arm angle 90 degrees.



(b) Arm angle 120 degrees.



(c) Arm angle 150 degrees.



(d) Arm angle 180 degree.

Fig.7 S.D. of parts body acceleration ratio.

置に応じて変化する。シートが前方に移動するにつれて、アームアングルは減少し、大腿部と下腿部の角度は大きくなる。従って、加速度比と共振周波数は及ぼす影響が大きいものと考えられる。

下腿部については、加速度比がピークとなる共振周波数はアームアングルの影響を受けるが、加速度比にはほとんど影響が認められず1.9から2.2である。共振周波数はアームアングルが90度で9.5Hz、120度で6.5Hz、150度で5.75Hz、180度で5.65Hzであった。アームアングルが増加すると、共振周波数は減少した。特性曲線は大腿部の場合の結果と類似している。アームアングルが減少すると大腿部と床面との角度は増加するのでこのような特性を示すものと考えられる。アームアングルが90度と120度の曲線の頂点が平らであった。下腿部については二つのパターンが見受けられた。最初の共振周波数は4Hz近傍において、二番目の共振周波数は12Hz近傍において認められた。二番目のピーク値は4 Hz近傍のものより小さかった。

上腕部については、加速度比のピーク値は3.7から4.5である。4 Hz近傍の共振周波数はアームアングルの影響が認められない。アームアングルが増加すると、加速度比は大きくなり、アームアングルが90度と120度の場合ほとんど同じ値である。そして150度と180度の場合もほとんど同じ値である。

前腕部については、加速度比のピーク値は1.9から2.5である。4 Hz近傍の共振周波数はアームアングルの影響がほとんど認められない。さらに、小さなピークが12Hz近傍においても観測された。4 Hz近傍の加速度比に関しては、アームアングルが増加すると、加速度比は大きくなる。共振周波数はアームアングルによる影響が見受けられない。しかしながら、加速度比は影響が見受けられた。

図7は、各アームアングルに対する人体各部の加速度比の標準偏差を示す。横軸は周波数、縦軸は加速度比の標準偏差を示す。いずれのアームアングルにおいても、上腕部と下腿部は他の部位に比べて高い値を示した。上腕部は4 Hz近傍においてピーク値が発生した。下腿部は10Hz近傍において、ピーク値が発生した。ピーク値の発生する周波数帯域は加速度比の場合に一致しており、被験者間の実測結

果に大きいばらつきがあることを示す。

他の部位については、4 Hz近傍においてピーク値が観測されるが、全体的に値は小さく、被験者間の実測結果にそれ程大きいばらつきがなかったことを示す。また、尻下部は標準偏差が全周波数の帯域において小さい値を示し、被験者間のばらつきが小さいことが見受けられる。

3.3 加速度比と共振周波数

図8は、アームアングルが人体各部の加速度比のピーク値に及ぼす影響について示す。

頭部はピーク値は大きいですが、アームアングルの影響がほとんど見受けられない。

胴体部、尻下部、大腿部および前腕部はピーク値は2前後の値を示し、アームアングルの影響はほとんど見受けられない。上腕部はアームアングルが90

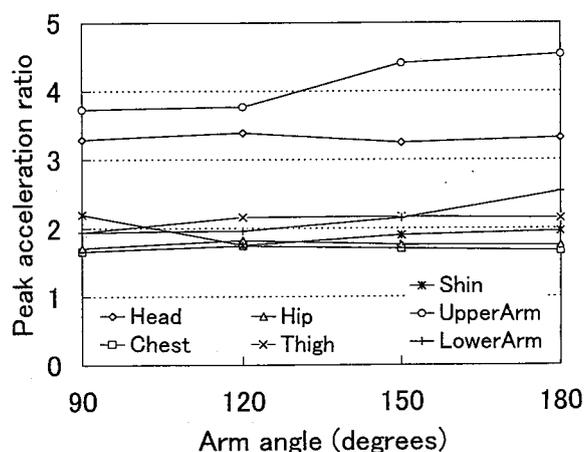


Fig.8 Effect of arm angle on peak acceleration ratio.

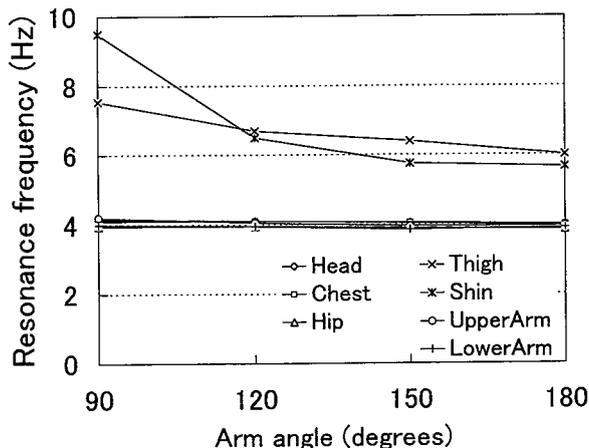


Fig.9 Effect of arm angle on resonance frequency.

度から120度の間において、ほぼ一定値となり、120度より増加するとピーク値は大きくなる。下腿部はアームアングルが120度で極小となる。

図9は、アームアングルが共振周波数に及ぼす影響を示す。頭部、胴体部、尻下部、上腕部および前腕部は4Hz近傍の値を示し、アームアングルの影響は認められない。大腿部はアームアングルが90度において最大値となり、アームアングルが増加すると共振周波数はなめらかに減少する。下腿部はアームアングルが90度において大きい値を示し、120度において急激に減少し、その後は緩やかに減少する。

3.4 最適運転姿勢と今後の課題

加速度比と共振周波数は、振動乗り心地を評価するために重要な要因である。アームアングルが加速度比と共振周波数に及ぼす影響から判断して、アームアングルが120度前後は乗り心地とステアリングホイールやペダル等の操作性に及ぼす影響などから考えて望ましい運転姿勢と考えられる。

加速度センサ等を使用して人体の振動特性を計測することは容易ではなく、再現性も十分とはいえない。計測技術が向上し、非接触などで人体各部の加速度が計測可能となれば、さらに再現性が増し高精度な計測が可能となろう。

今回の振動試験では各試験ごとに被験者からの感応評価は行っていない。本研究では定量的評価を試み、人体各部での加速度計測に重点をおいた。この種の振動試験においては定量的評価と被験者の感応評価との相関を得ることも重要と思われる。

人体各部に対して不快と感じる振動基準等についての定説はまだ知見しない。人体各部において振動特性は異なり、乗り心地の要因を決定づける人体各部の代表部とその閾値などを決定することも必要である。人体を単体として取り扱った評価基準では、ユーザの感性をとらえた開発には限界があるものと考えられる。

人体にかかわる振動実測は、容易ではなく、シミュレーションによる検討も重要である。人体・シート・ステアリングホイール・ペダル系の振動特性について詳細な検討が可能でシミュレーションシステムが必要となる。

人体系のパラメータの同定にあたり、本研究成果

は有用と思われる。調査するかぎりでは、この種の研究は本研究が初めてであり、独創性を有すものと考えられる。

4. あとがき

研究結果を整理し、明らかとなった事柄をまとめると次のとおりである。

- (1) シート・ステアリングホイール・ペダル系の相対的位置関係が実車を再現できる装置を開発した。人体・シート・ステアリングホイール・ペダル系の振動特性について定量的評価が可能となった。
- (2) 加速度センサ取付用装置の開発により人体各部の振動特性を定量的に計測することが可能となった。
- (3) 人体各部の振動特性に及ぼすアームアングルの影響が明らかとなった。頭部、胴体部、尻下部には顕著な影響は見受けられない。しかし上腕部、前腕部、大腿部および下腿部はアームアングルの影響が見受けられた。人体各部の共振振動数およびピーク値に差異が生じることが明らかとなった。
- (4) 振動乗り心地および操作性の面から望ましい運転姿勢はアームアングルが120度前後であることが明らかとなった。
- (5) 上腕部のピーク値と大腿部と下腿部の共振周波数の標準偏差は大きい値となった。すなわち、被験者間の実測結果に大きいばらつきがあった。

文 献

- (1) 西山修二・矢川元基, 人体を含む複雑系の振動特性の現状と動向, 機械の研究, 第47巻 第6巻, p. 661-669, (1995).
- (2) Fairley T.E. and Griffin M.J., The apparent mass of the seated human body: vertical vibration, *Journal of Biomechanics*, 22, p.81-94(1989).
- (3) Wilder D. et al., The effect of posture and seat suspension design on discomfort and back muscle fatigue during simulated truck driving, *Applied Ergonomics*, 25, p.66-76(1994).
- (4) Paddan G.S. and Griffin M.J., Transmission of roll and pitch seat vibration to the head, *ERGONOMICS*, 37, p.1513-1531(1994).

- (5) Lewis C.H. and Griffin M.J., The transmission of vibration to the occupants of a car seat with a suspended back-rest., *Journal of Automobile Engineering*, 210, p.199-207(1996).
- (6) Fairley T.E. and Griffin M.J., Prediction the discomfort caused by simultaneous vertical and fore-and-aft whole-body vibration, *Journal of Sound and Vibration*, 124, p.141-156(1988).
- (7) Parsons K.C. and Griffin M.J., Whole-body vibration perception thresholds, *Journal of Sound and Vibration*, 121, p.237-258(1988).
- (8) Corbridge C. and Griffin M.J., Vibration and comfort: Vertical and lateral motion in the range 0.5 to 5.0 Hz, *Ergonomics*, 29, p.249-272(1986).
- (9) 河内まき子・他7名, 設計のための人体寸法データ集, 生命工学工業技術研究所研究報告, Vol. 2, No.1, p. 1-188, (1994).
- (10) 西山修二・武田史郎・竹島 透, 着座姿勢が人体各部の振動特性に及ぼす影響(実験的研究), 日本機械学会論文集, Vol.61, No.590, C, p.3866-3873, (1995).

着座姿勢が眠気に及ぼす影響に関する実験的研究 (トルソ角度の影響)

西山 修二, 小松谷昌弘*1, 岡村 周亮*1, 農沢 隆秀*2, 西川 一男*2, 堀 忠雄*3, 林 光緒*3

Experimental Investigation of the Effects of Stable Posture on Sleepiness (Effects of Torso Angle)

Shuji NISHIYAMA, Masahiro KOMATUDANI, Chikaaki OKAMURA, Takahide NOUZAWA,
Kazuo NISHIKAWA, Tadao HORI and Mitsuo HAYASHI

We have investigated the effects of stable posture on sleepiness. In a magnetic shielded room, we used real car seats and monitors. Twelve subjects who have much experiences of driving participated in the tests. Torso angles set in 26, 36, and 46 degrees. We measured three postures correspond to the relative angles for each subject. Electroencephalogram, eye movement, electro-oculogram, and skin potential activity were recorded continuously during forty minutes. The correlation between the stable posture and the drowsiness level has been discussed. It was found that sitting posture exerts an influence upon human's sleepiness. Some results are presented in the form of parametric plots and tables.

Key Words: Sleepiness, Arousal Level, Driving Posture, Eye Movement, Electro-Oculogram, Skin Potential Activity

1. 緒 言

長時間にわたる単調運転, 条件の良い道路での運転など, これらの条件のもとでは, 人間は眠気や意識低下などを起こす。その結果, 信号機の誤認・居眠り運転などにより発生する事故など社会的にも注目されている⁽¹⁾。

運転者の眠気を支配する要因として, 着座姿勢, 振動, 車内の換気状態, 運転者の睡眠状態・食事摂取状況, 車内の電磁気学的環境および温度・湿度環境など種々の要因が考えられる。しかし, 運転中の眠気がどのような状況下において生じているかということとは明確になっていない⁽²⁾。

本研究はこれら多くの要因のなかで, 快適性の要因の一つである着座姿勢が眠気に及ぼす影響について実験的に検討する。自動車の乗り心地, 安全性,

操作性などの面から着座姿勢に関する研究は重要である^{(3), (4)}。

着座姿勢が眠気に及ぼす影響を明らかにすることは, 人間工学および自動車開発などの面から重要な課題である。しかし, このような研究は調査する限り報告された例がない。

着座姿勢を決定する要因のなかで, 眠気に影響を及ぼす主要因と考えられるトルソ角度を3段階に変化させて, 眠気に及ぼす影響について調べる。運転経験の豊富な成人男子12名の被験者を使用する。被験者の脳波, 眼球運動, 皮膚電気活動などの変化を指標として行なう精神生理学的な評価を実施する。実験室内では, 被験者に対して運転状態を再現した音響入り映像を利用する。ハンドル操作, 振動などは実験室などの制約から考慮しない。映像は定常運転状態を取り扱い, 緊急操作, 危険回避などの要因は考慮しない。

本研究で行なう実験条件は, 自動車学校などでの

*1 (株)東洋シート

*2 マツダ(株)

*3 広島大学

助手席の運転指導員などに匹敵する。運転指導員などにとっても、路上運転の教習中に眠気を催すと緊急操作、危険回避などの妨げとなり、重大事故を引き起こす危険性もあり、着座姿勢と眠気の関係を明らかにすることは重要な課題である。

2. 実験

2.1 眠気の計測⁽⁵⁾

眠気の計測として定量的評価が可能な脳波(EEG)、眼球運動(EOG)および皮膚電気活動(SPA)を計測する。

EEGの導出は単極誘導とし、国際式10-20電極法によりCz、Pzについて左耳を基準として記録する。さらに、CzとPzの2部位間の電位差を計測する。時定数は0.3秒とする。

図1は、EEG計測のために電極を被験者の頭部に取り付けた状態を示す。

EOGは、眼球の上下方向および左右方向の動きを観察する。一般に、生理的なまばたきの回数は正常人では毎分20回程度見られる。まばたきの回数の時間的変化は自律神経機能をみる指標の一つである。



Fig.1 Measurement of EEG



Fig.2 Measurement of EOG

測定は両眼角外1cmから水平方向、右眼の上下から垂直方向の動きを測定する。右眼瞼の上下と左右目尻に銀塩化銀電極を貼付し、誘導された電位変化をデータレコーダ、万能型脳波計を用いて時定数1.5秒で測定記録する。図2は、EOG計測のために電極を被験者に取り付けた状態を示す。

皮膚電位水準(SPL)^{(6),(7)}は、手掌部や足蹠部のような角層の厚い部分に顕著である。本研究における測定では、電極部位として左手掌部を測定部位、左側前腕部を基準部位とする。眠気が高まるとSPLが低下する。実験時間全体でのSPLの推移を検討し、覚醒水準を推定する。

図3は、SPL計測のための電極を被験者に取り付けた状態を示す。

2.2 実験室

実験は周囲の騒音が覚醒レベルの変化に影響を及ぼさない実験室(横幅:295cm,奥行き:280cm,高さ:220cm)を使用する。

この実験室は計測にノイズが混入しないように磁気シールドされている。実験中の実験室の照度は100ルクス、暗騒音は35~40dB(A)、室温は26度、

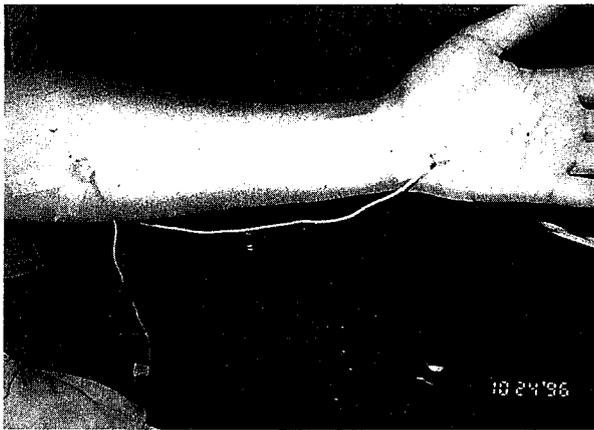


Fig.3 Measurement of SPL

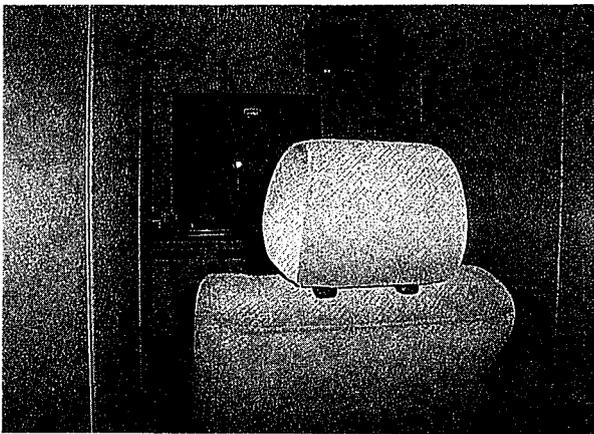


Fig.4 Measurement room

湿度は40~60%に設定する。実験室は同時に2名ずつ計測できるように二つに仕切る。図4は、実験室の一部を示す。

2.3 被験者

運転経験が豊富な年齢25歳以上40歳以下の健康な男性12名を被験者とする。表1は被験者の年齢および運転経歴を示す。被験者の平均年齢は30.5歳、平均運転経歴は8.3年である。本研究においては、被験者の選定にあたって、女性は生理などの影響を考慮して対象外とする。さらに、大学生および40歳以上の壮年も眠りやすい特性を有しており対象外とする。

2.4 着座姿勢

図5は、着座姿勢を示す。クッション座面角度 θ_c は17度(標準角度)に固定する。トルソ角度 θ_b は26, 36, 46度の3段階に変化させる。

フットレスト角度 θ_f は60度とし、シート固定位置から一定距離($b=425\text{mm}$)に固定する。シートの前後位置の調整はシートに付属されているアジャスタを使用して調整する。

Table 1 Twelve subjects

Subject	Sex	Age	Driving history (years)
1	Male	29	10
2	Male	26	6
3	Male	35	6
4	Male	32	10
5	Male	31	9
6	Male	27	5
7	Male	33	12
8	Male	30	10
9	Male	36	15
10	Male	33	5
11	Male	29	8
12	Male	25	4

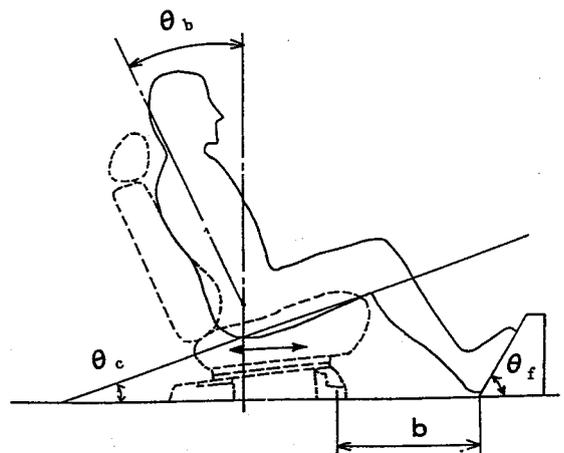


Fig.5 sitting posture

図6は、各トルソ角度における被験者の着座姿勢を各角度ごとに示す。全被験者が共通して、トルソ角度26度はリラックスできる姿勢、トルソ角度36度はややきつい姿勢、トルソ角度46度はきつい姿勢という感想であった。

2.5 眠気実験方法

一日の計測を二つのグループにわけ、同時に2名ずつ40分間実験する。

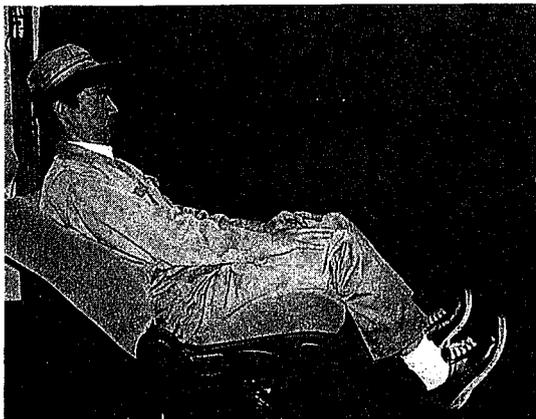
トルソ角度の順序はランダムに配置し、各被験者に対して実験日を変えて三つのトルソ角度について、実験する。時間差による影響を避けるため、同一被験者は1日1回、人間が強い眠気を催す14:00~15:00の同一時間帯に実験する。各被験者は昼食を通常どおり済ませて実験にのぞむこととする。被



(a) Torso 26°



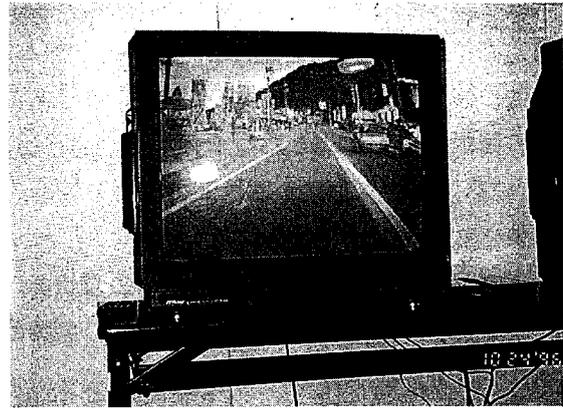
(b) Torso 36°



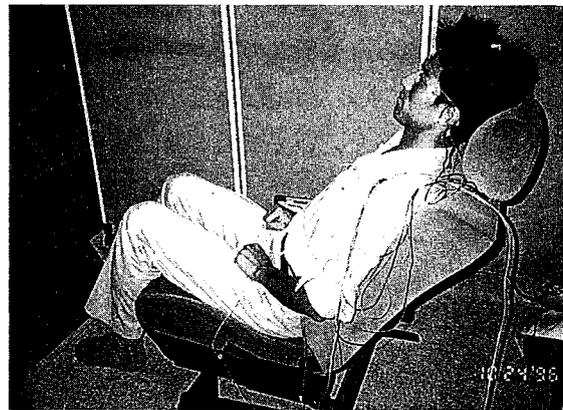
(c) Torso 46°

Fig.6 Torso angle and stable posture

験者の衣服はリラックスできるものとする。実験室へは靴を脱ぎ入室する。シートにリラックスした状態で着座し、座面およびシートバックに身体が密着するように姿勢を調整する。座面先端で大腿部を圧迫しないようにシートをスライドさせて位置を定める。両足は前面のフットレストに軽く載せた状態となるように、シート位置を調整する。頭部はトルソ角度に関係なくほぼ垂直に保持し、前方のモニター



(a) Monitor



(b) Subject

Fig.7 Subject in an experimental room

が見やすい角度とする。被験者には実験時間中、実験室前面に設置したモニターに映し出されるビデオ映像を見せよう。眠くなくても、寝入らないように心がけてもらう。

モニターに映し出される映像は、一般路面を時速50~70kmで走行している音響入りの車両内から進行方向に向かっての映像である。実験での供試シートはセダンタイプの乗用車用実シートを使用する。図7は、実験中の被験者の様子を示す。

3. 実験結果の解析および考察

3.1 脳波の視察判定

成人の睡眠[®]は一般に、睡眠段階1、睡眠段階2、睡眠段階3と4、およびレム睡眠に分類される。睡眠段階1は寝ているという実感はないが、体の浮遊感や意識が遠く独特の感じを体感する。睡眠段階2は注意力をもって車を運転できる状態ではなく、着座して身体を維持できない状態である。

実験時間(40分)を30秒毎に80区間に区切って、国際判定基準⁽⁸⁾により睡眠段階の視察判定を行った。図8は、各トルソ角度における、睡眠段階1あるいは2の睡眠区間が出現した様子を示す。図8(a)から(c)の順にトルソ角度が26、36、46度の場合の実験結果を示す。

12名の全被験者に対する睡眠区間の出現状況の累積頻度を示す。横軸は時間の経過を示す。縦軸は出現回数を示す。

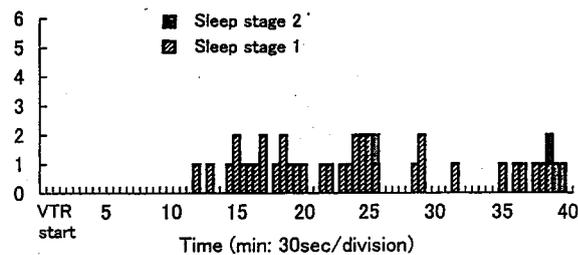
表2は、各トルソ角度における睡眠の出現状況をまとめた結果を示す。睡眠段階1あるいは2が観測された区間があった被験者の数は、トルソ角度26度は6名、つづいてトルソ角度46度は5名、トルソ角度36度は4名であった。いずれのトルソ角度においても居眠りをおこした被験者は33.3~50.0%存在した。

睡眠段階1あるいは2(睡眠)が発生した総区間数はトルソ角度46度が122回であった。トルソ角度36度は60回、トルソ角度26度は41回であり相対的に少なかった。睡眠段階1あるいは2が認められた被験者一人あたりの睡眠区間数も、トルソ角度46度で24.4回/人、36度で15.0回/人、26度で6.8回/人の順に減少した。

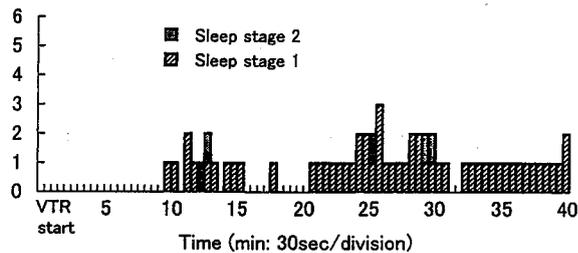
睡眠段階1が最初に認められた区間までの平均時間は、トルソ角度46度は12.2分、トルソ角度36度は13.5分、トルソ角度26度は19.5分であった。このように睡眠段階1が最初に認められた区間までの平均時間は10分から20分の間認められた。トルソ角度が増すにつれてこれらの時間は早くなった。トルソ角度46度と36度はあまり差がないが、トルソ角度26度は最も遅かった。

睡眠段階2が最初に認められた区間までの平均時間は、トルソ角度46度は20.3分、トルソ角度36度は21.0分、トルソ角度26度は32.0分であった。トルソ角度46度と36度はあまり差がなく、トルソ角度26度は最も遅かった。睡眠段階2が最初に認められた区間までの平均時間は20分から30分の間認められた。

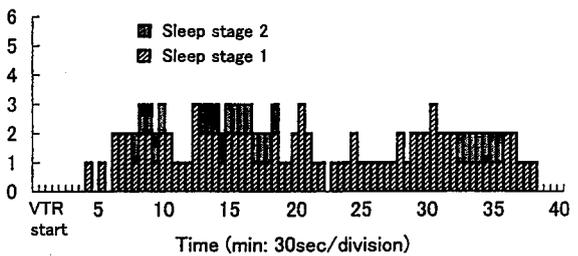
トルソ角度46度は、睡眠段階1あるいは2の出現区間数が多く、さらに睡眠段階1あるいは2が最初に認められた時間も早かった。トルソ角度26度は、睡眠段階1あるいは2が認められた被験者数は多かった。しかし、睡眠段階1あるいは2の出現区間数は



(a) Torso angle 26°



(b) Torso angle 36°



(c) Torso angle 46°

Fig.8 Appearance of sleep stage

Table 2 Number of sleepiness and posture

Posture(degrees)		Torso 26°	Torso 36°	Torso 46°
Numeberes of sleeping subjects Ns		6	4	5
Numeberes of blockss Nb		41	60	122
Nb/Ns		6.8	15.0	24.4
Sleep stage 1	Numbers of blocks	37	55	98
	First time (min)	12.0	10.0	4.5
	Average time (min)	19.5	13.5	12.2
Sleep stage 2	Numbers of blocks	4	5	24
	First time (min)	25.5	12.5	8.0
	Average time (min)	32.0	21.0	20.3

少なく、出現の潜時も遅かった。トルソ角度36度は睡眠段階1あるいは2の出現区間数は少なく、睡眠段階1あるいは2が認められた被験者数も少なかった。

全トルソ角度において睡眠段階1あるいは2が認められた被験者は2名存在した。睡眠段階1あるいは

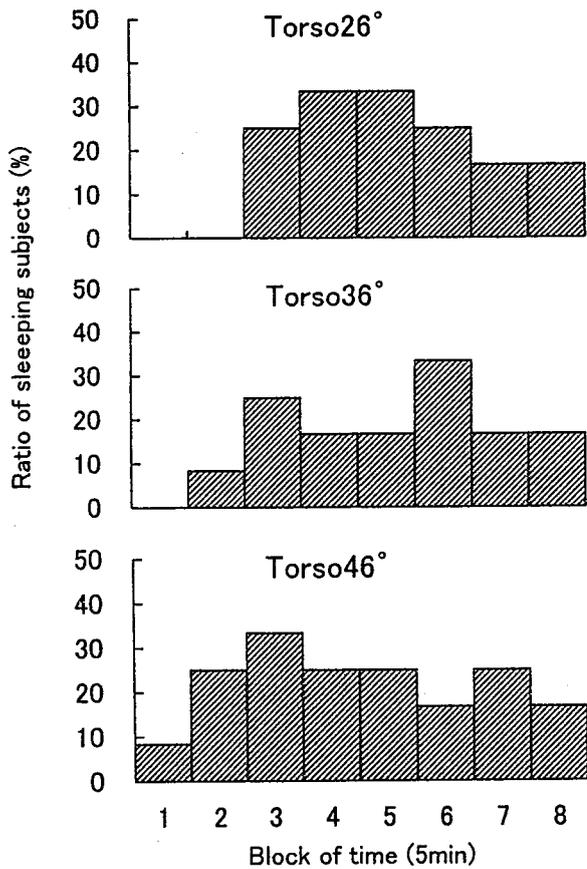


Fig.9 Ratio of sleeping subjects

は2が全く認められなかった被験者は4名存在した。しかし、66.7%の被験者がいずれかのトルソ角度において睡眠段階1あるいは2が認められた。

図9は、睡眠が出現した被験者の割合を各トルソ角度ごとに示す。横軸は実験時間40分を5分毎に8区間に分割した数を示す。縦軸は1区間でも睡眠が出現した被験者の割合を示す。

図9の上段から順にトルソ角度26度、36度、46度の場合をそれぞれ示す。被験者の25%以上が睡眠段階1あるいは2が認められた区間数は、トルソ角度46度が5、26度が4、そして36度は2で最も少なかった。

3.2 脳波の周波数分析

Cz-Pzの双極導出による脳波を30秒毎のスペクトルについて、 θ 帯域(3.5-7.25Hz)、 α 帯域(7.5-13.25Hz)、 β 帯域(13.5-20.0Hz)として各帯域の振幅値を算出した。30秒毎に、演算のためのロスタイム(約6秒)を除く24秒間(4秒×6回)の平均スペクトルを算出した。

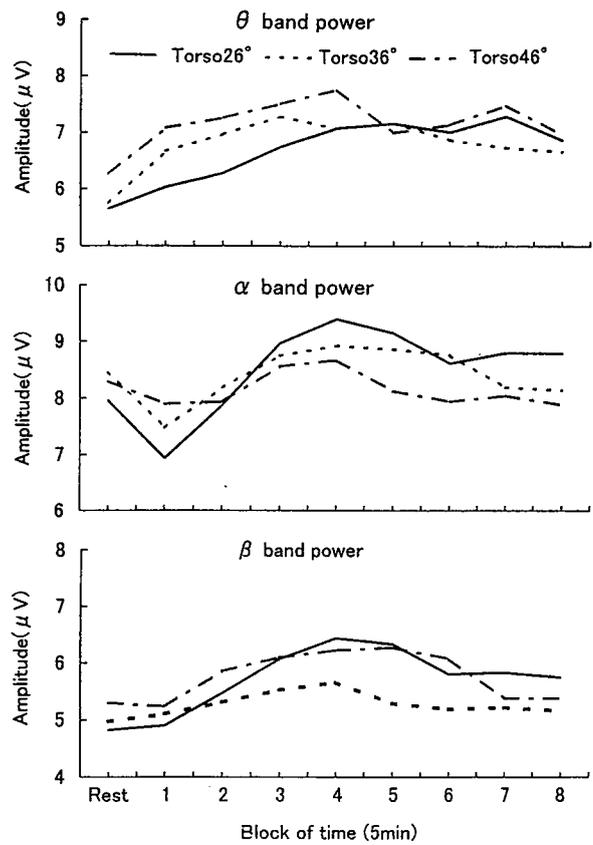


Fig.10 Band power

サンプリング間隔2.5msでA/D変換し、サンプル長4000msを高速フーリエ変換(FFT)を行い、周波数分解能0.25Hzのスペクトルを算出した。

図10は、30秒毎の帯域振幅値を6回単純加算平均し、5分毎の各帯域振幅値の時間的変動を示す。縦軸は帯域振幅値、横軸は時間経過を5分毎に分割した区間数を示す。横軸上のRestは実験開始前の開眼時安静脳波の、24秒間の平均スペクトルから求めた帯域振幅値を示す。

いずれのトルソ角度においても実験前の安静時と比較して、実験開始直後の5分間で θ 帯域振幅値の急激な増加、および α 、 β 帯域振幅値の低下がみられた。実験開始直後に覚醒水準が急激に低下したことが考えられる。その後、徐々に α 、 β 帯域振幅値の増加がみられ、覚醒水準が復帰した。しかし、トルソ角度46度の場合にはトルソ角度26度、36度の場合と同様の傾向を示さなかった。 α 、 β 帯域における振幅値の5分以降の増加は、最初の5分で低下した覚醒水準が再び上昇していることを示す。しかしながら、 θ 帯域の振幅値についても第1区間と比較し

て第3区間以降で増加が見受けられ、全体的な脳波 (θ 波, α 波, β 波)の振幅値の増加が見受けられた。

3.3 皮膚電位水準

図11は、トルソ角度毎に全被験者の平均皮膚電位水準の時間的変化を示す。各トルソ角度について被験者毎に皮膚電位水準の30秒毎の平均値をプロットし、3点で移動平均をとって平滑化した。いずれのトルソ角度においても、実験開始の時点ですでに開始前のレベル (◆印のレベル) より大きく低下した。シートに着座して計測の準備をする段階で、すぐにリラックス状態となり、覚醒水準の低下がおこったものと考えられる。さらに、いずれのトルソ角度においてもレベルの低下は実験開始後5~10分頃まで観測された。

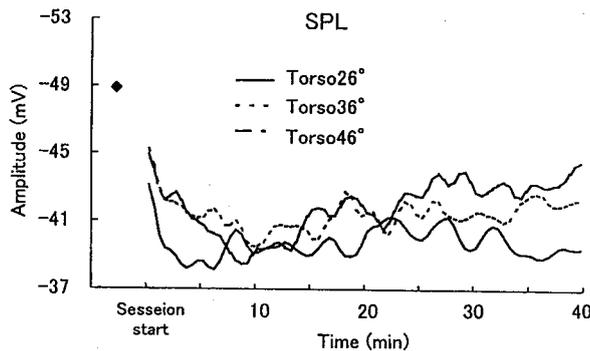


Fig.11 Amplitude of SPL

各トルソ角度毎に覚醒水準の低下の様子をみると、トルソ角度26度は5分頃までに急激に低下し、トルソ角度36度、46度は実験開始後10分頃まで緩やかに低下した。被験者からの感想でも明らかなように、トルソ角度26度は安楽な姿勢でありリラックス状態となる時間が短かったものと考えられる。トルソ角度26度は急激な低下の後、そのレベルを維持しているが、トルソ角度36度と46度は低下したレベルを維持せず、徐々に上昇した。これはトルソ角度の安定感による影響と考えられる。皮膚電位水準の上昇は、覚醒の上昇を示す。

3.4 眼球運動

図12は、眼球運動の時間的変化を示す。

横軸は時間、縦軸はまばたきの回数(回/30秒)を示す。12名の被験者の平均値を示す。眠気が高まるとまばたきの回数は減少する。

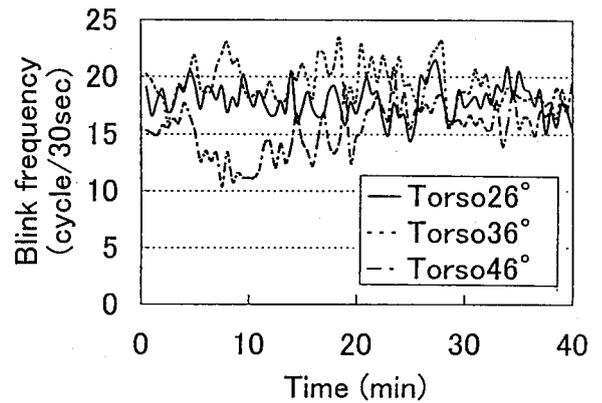


Fig.12 Blink frequency

4. 実測結果の評価法

各トルソ角度が眠気に及ぼす影響を検討するために、脳波、皮膚電気活動、眼球運動などを総合的に検討する。

脳波の解析結果において、 β 波は覚醒、 α 波は安静状態、 θ 波は眠気を示す。 θ 波の振幅値が高いほど眠気が高いことを示す。SPLはマイナスの値をとり、十分に目がさめている状態では-50mVで飽和し、睡眠時には0mV近くに飽和する。SPL波形は眠気が高まるにつれて低下する。まばたきの回数については眠気が高まるにつれてまばたきの回数は減少する。以上のような生理的特徴をもとに、図10、11、12で示した θ 波、SPL、まばたきの回数の時間的経過を示す波形を実験時間について積分し、各トルソ角度に対して求める。その積分値を各トルソ角度に対する眠気の評価値とする。睡眠段階1あるいは2が出現した区間数、睡眠段階1、2が最初に発生した時間は脳波の視察判定より得た結果(表2)による。

25%以上の被験者に睡眠段階1あるいは2が認められた区間数は、図9による。表3の各特性値において、眠気が最も低い値をレベル1とし、眠気が最も高い値をレベル5と定め、各値を5段階評価値に変換する。表3はこれらの集計結果を示す。

表3の各トルソ角度における下段の数値は5段階評価に変換した値を示す。各要因の総和が大きいほど眠気のレベルが高いことを示す。トルソ角度26度は15.1、トルソ角度36度は17.5、トルソ角度46度は31.0となる。

図13は、定量的計測結果から得られた評価値を5段階評価に変換した値を各トルソ角度毎に示す。トルソ角度の増加につれて眠気が高まった。

Table 3 Experimental analysis

	Electroencephalogram					Skin potential activity	Eye movement
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	S-1	Ey-1
Torso 26°	240.33	6.8	19.5	32	4	-1392.42	708.87
	1	1	1	1	3.66	5	2.42
Torso 36°	243.55	15.0	13.5	21	2	-1446.52	763.72
	1.72	2.86	4.29	4.76	1	1.84	1
Torso 46°	260.0	24.4	12.2	20.3	5	-1461.0	609.42
	5	5	5	5	5	1	5

E-1: θ band power ($\mu V \cdot \min$)

E-2: Block number / person

E-3: First time for Sleep stage I (min)

E-4: First time for Sleep stage II (min)

E-5: Block number more than 25% sleep subject

S-1: SPL (mV \cdot min)

Ey-1: Blink frequency (cycle \cdot min)

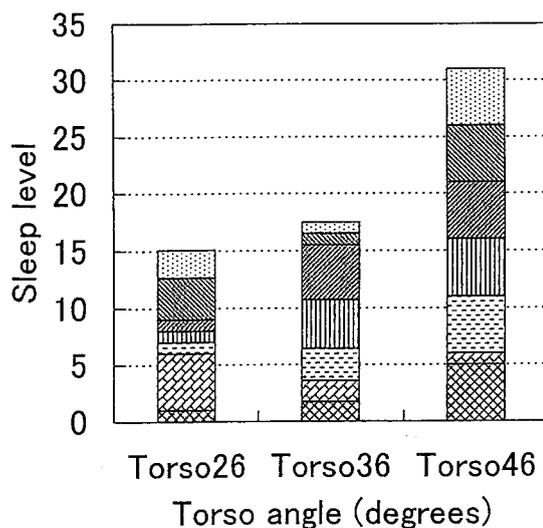
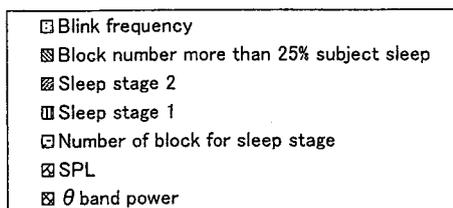


Fig.10 Band power

5. 結 言

トルソ角度が眠気に及ぼす影響を定量的に明らかにした。研究結果をまとめると次のとおりである。

脳波、皮膚電気活動、眼球運動などの計測結果を眠気に関して5段階評価し総合的に定量評価することを試みた。 θ 波、SPL、まばたきの回数などトルソ角度との関連性を評価する方法として、各波形を実験開始から終了までの時間についての積分値で評価した。その結果、トルソ角度と眠気の関係が明らかになった。

トルソ角度26度に対する眠気のレベルを100とすると、36度は116、46度は206という結果が得られた。すなわち、トルソ角度が26度から36度、46度と増加するにつれて眠気が高まった。

以上のように、トルソ角度が眠気に及ぼす影響を定量的に明らかにしたことは自動車乗員の安全確保、プラントシステムにおけるモニタ監視員などに対するマン・マシンインターフェースの改善など工業的有用性を有する。さらに、着座姿勢と眠気の相関関係を特性波形の積分値をもとに定量的に評価した手法は人間工学などの分野において工学的有用性があるものと考えられる。

今後の課題として、今回の実験では実験室のスペースなどの制約から、ステアリング操作、ペダル操作等は考慮していない。これらの項目を実際に考慮し、さらに現実性のある運転環境において人体の生理的特性を計測することも必要と思われる。

トルソ角度と眠気の評価法として主観評価も考えられる。主観評価と今回計測した定量的評価などとの関連性についても検討する必要がある。さらに、今回はトルソ角度が26度から46度を対象としたが、トルソ角度が0度から26度の範囲も明らかにしておくことも必要である。これらについては、続報で報告する。

文 献

- (1) 服部広司・大伸英文, 居眠り運転の防止のための一考察 (振動刺激に対するフィーリング評価), 大阪産業大学論集 自然科学編62号, 1980, 12-17.
- (2) 守 和子・渡部明彦・前原直樹, 覚醒水準と自動車運転特性に関する研究—高速道路運転中の眠

- 気の発生要因の検討, 交通・予防医学 研究財団, 研究報告書 Vol.1990, (1992), 161-177.
- (3) 西山修二・武田史郎・竹島透, 着座姿勢が人体各部の振動特性に及ぼす影響 (実験的研究), 機論, 61-590, C (1995), 62-69.
- (4) 西山修二・上杉憲雄・竹島透・狩野雄二・研井研, 人体・シート・ステアリングホイール・ペダル系の振動特性に関する研究, 自動車技術会学術講演会前刷集971, (1997-5), 69-72.
- (5) 宮田洋, 眠気の計測, 日本睡眠学会編 睡眠学ハンドブック, (1994), 519-532, 朝倉書店.
- (6) 堀忠雄・新美良純・宮田洋・藤澤清・柿木昇治編, 生理心理学, (1985), 102-103, 朝倉書店.
- (7) 新美良純・鈴木二郎編, 皮膚電気活動, (1986), 124, 星和書店.
- (8) 阿住一雄, 成人の睡眠, 日本睡眠学会編 睡眠学ハンドブック, (1994), 28-29, 朝倉書店.

トリオテスタマルチユニットNS21システムの開発 (ローラ式サイドスリップ・ブレーキ・スピードテスター一体型検査機器)

西山 修二, 原田 伸*, 原田 國男*

Development of Trio-Tester Multi-Unit NS21 System (Inspection Equipment Integrated Roller-Type Side Slip Tester, Brake Tester, and Speed Tester)

Shuji NISHIYAMA, Shin HARADA and Kunio HARADA

We have developed an inspection equipment integrated roller-type sideslip tester, brake tester and speed meter tester. This paper presents both theoretical and experimental investigation on measurement principles of roller-type sideslip. The effects of toe and camber angles on an amount of sideslip are theoretically introduced. We compared the theoretical results with the experimental results. A good agreement was shown between them. The developed tester is examined under the conditions that are considered in industrial applications. The validity of the developed tester is confirmed under these conditions. It was found that it could be used in practical use. Some measurement results are presented in the form of parametric plots and tables. And we also compared the measurement data of the roller-type with those of the flat type using several automobiles.

Key Words: Vehicle Dynamics, Measurement, Test Equipment, Sideslip Tester, Roller type

1. まえがき

新型車の認証試験および車検において、サイドスリップテスト、ブレーキテスト、スピードテストなどが道路輸送車両の保安基準で義務づけられている。

従来の車検では、車両を移動させて各項目の検査をおこなっており、大きいスペースの検査ラインが必要であり、検査のはじめから終わりまで車両を移動させる搭乗者が必要である。サイドスリップ量については、保安基準第11条第1項1号の基準に適合しない例として、四輪以上の自動車のかじとり車輪の横すべり量が走行1mについて5mmをこえるものとされている。従来の踏板式のサイドスリップテスタでは、道路のカントの影響を考慮していないことや車両の直進性と関係するトルクは測定できないことなどから、車両の直進性を正しく評価できないこ

*(株)ハラダクニ

とが指摘されている^{(1),(2)}。テスタの踏板への進入角度、進入速度など運転者による個人差が大きく再現性も十分とはいえない。

本研究では、従来の踏板式のサイドスリップテスタのこれらの問題点を解決し、将来必要と考えられる検査工程の効率化および高精度化に対応可能なトリオテスタマルチユニットNS21システムを開発する。本システムは車両を移動することなく同一場所ですべての検査項目が実施できるシステムである。種々の条件の場合について、実車を使用して検証し、検査機器としての有効性を確認する。

2. 装置の開発

2.1 各部の構造

図1は、開発したトリオテスタマルチユニットNS21システムの平面図を示す。本システムはローラ部本体、制御部、表示部、リモートコントロール

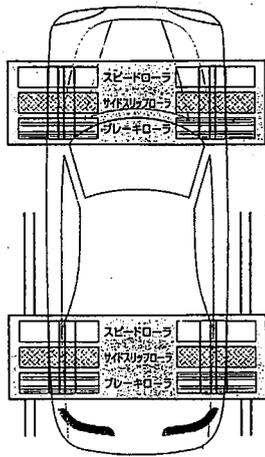
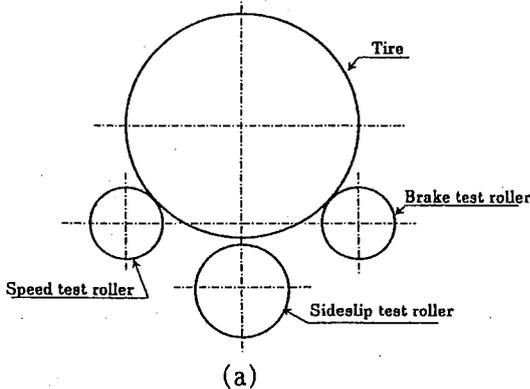
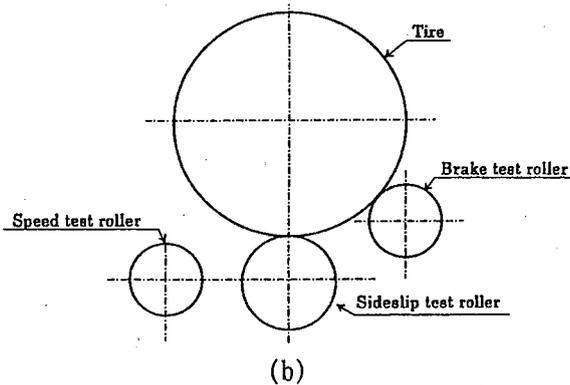


Fig.1 Trio-Tester Multi-Unit NS21 system



(a)



(b)

Fig.2 Position of tire and roller

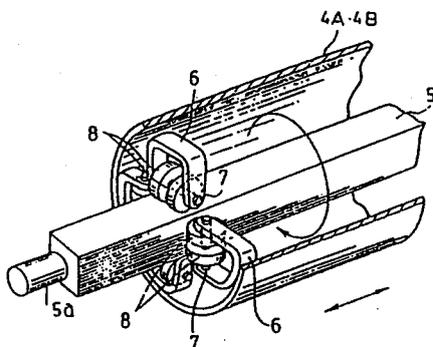


Fig.3 Structure of roller and shaft
(4A, 4B: sideslip test drum, 5: square shaft 5a: round shaft
6: bearing support 7: shaft of bearing 8: bearing roller)

部から構成されている。

ローラ部本体は前後左右4箇所に設置されている。スピードテストローラ、サイドスリップテストローラ、ブレーキテストローラから構成されている。後部のローラ部は可動式となっており、前後間のホイールベース長を1980~3000mmに調整可能である。

図2は、タイヤと各ローラの位置関係を示す。車輪の中心とサイドスリップテストローラ(SSTR)の中心は同一鉛直線上にある。ブレーキテストローラ(BTR)とスピードテストローラ(STR)の軸心は平行で水平である。

サイドスリップ量を測定する際は、図2(a)に示すようにSSTRを下降させて、BTRとSTRとの間にタイヤをセットする。その後車両のサイドブレーキを引き、後輪タイヤを固定した後、図2(b)に示すようにSSTRを一定押し上げ力で上昇させる。BTRによりタイヤを回転させてサイドスリップ量を測定する。

図3は、SSTR部⁽³⁾の構造を示す。軸に作用する荷重は線接触となる構造とした。個々のローラは車両の乗入時および退出時にローラが空転しないようにストップ機構を設置した。

2.2 ローラ式サイドスリップテストの作動原理

図4は作動概略図を示す。SSTRには、ローラの回転数を検知するためにロータリエンコーダを設置した。SSTRが回転するとその回転に比例したパルスが発生し、コントローラ側でそのパルス数を計数する。SSTRの左右の変位量は、直線式ポテンシオメータで検知し、A/D変換し演算処理した後CRTに

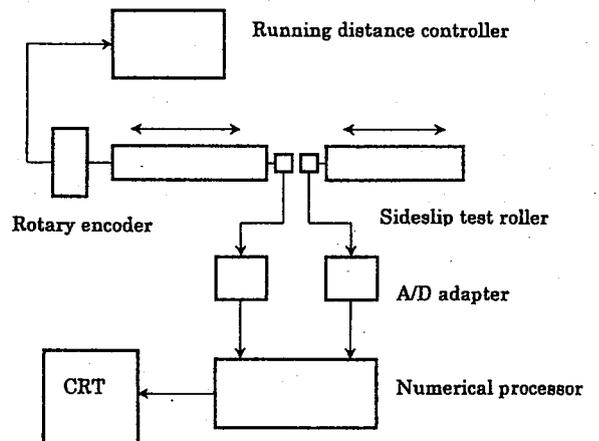


Fig.4 Component and mechanism

0.1mmの精度で表示する。SSTRの回転速度は6.5rpm/5.5rpm(60Hz/50Hz)とした。回転速度を早くするとタイヤの変形が追従できずタイヤとBTR間にスリップが発生する。逆に遅すぎるとタイヤの変形量で横滑り量を吸収する。実測より回転速度の最適値を定めた。

3. 理論的解析

3.1 サイドスリップ量

サイドスリップ量はタイヤの横力による変形成分を解放する量とタイヤがローラ面上を転動するときのローラを動かす量の和としてあらわすことができる。トー角によるサイドスリップ量 S_t は次式となる^{(4),(5)}。

$$S_t = \frac{F}{L_F} \cos \beta + R_l n \tan \beta \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 L_F はタイヤの横剛性、 F はローラ面上のタイヤの横力、 β はトー角、 R_l はローラ1回転あたりの転動距離、 n はローラ回転数をそれぞれ示す。

タイヤにキャンバ角 ϕ が付与されている場合はキャンバスラストが発生する。キャンバ角が付与されたときのサイドスリップ量は次式となる^{(4),(5)}。

$$S_c = K_T \phi \left(\frac{1}{L_F} + 2\pi R_l n \frac{8}{l_r^2 b_r C_x} \right) \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 C_x はトレッドゴムの単位長さあたりのせん断剛性、 ϕ はキャンバ角、 l_r はタイヤ接地長さ、 K_T はキャンバスティフネスをそれぞれ示す。

3.2 タイヤ特性の比較

タイヤがローラ面上とフラット面上でのタイヤ特性についての関連性を理論的に考察する。接地長さについては、実測データ^{(7),(8)}からローラ面上とフラット面上の接地長さおよび接地幅の間には次の関係が成立するものと考え。

$$l_r = \zeta_1 l_f \quad b_r = \zeta_2 b_f \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここに ζ_1, ζ_2 はフラット面とローラ面間の接地長さ比および接地幅比を示す。ただし $0 < \zeta_1 < 1$ 、 $\zeta_2 > 1$ である。

タイヤに発生する横力の関係からコーナリングパワー、接地面内の最大圧力の間、接地面でのすべり域が始まる点の間には表1に示す関係が成立する^{(4),(5)}。

Table 1 Parameters between flat and roller

	Flat	Roller
Contact length	l_f	$l_r = \zeta_1 l_f$
Contact width	b_f	$b_r = \zeta_2 b_f$
Cornering power	K_f	$K_r = \zeta_1^2 \zeta_2 K_f$
Maximum Pressure	p_{mf}	$p_{mr} = \frac{1}{\zeta_1} \frac{1}{\zeta_2} p_{mf}$
Slip Point	x_f	$x_{sr} = \zeta_1 x_{sf}$

3.3 理論値と実測値の比較

タイヤ185/70R13、空気圧196kPa、荷重2.94kNの場合について理論値と実測値を比較する。

図5は、サイドスリップ量に及ぼすトー角の影響について理論値と実測値の比較を示す。理論値は式(1)から算出した。実測ではタイヤの初期変形を開放した状態で計測した。したがって、図中の理論値は式(1)の右辺の第1項を差し引いた値を示している。

図6は、サイドスリップ量に及ぼすキャンバ角の

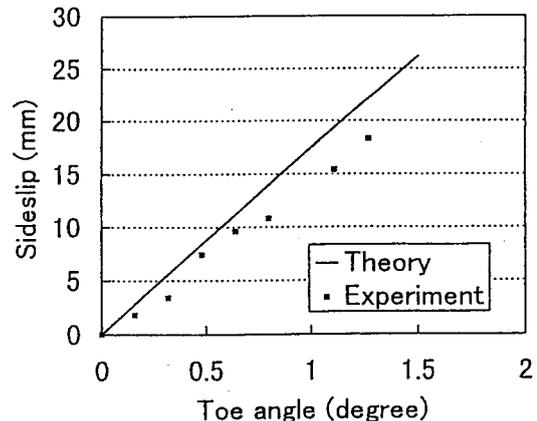


Fig.5 Comparison between calculation and experiment

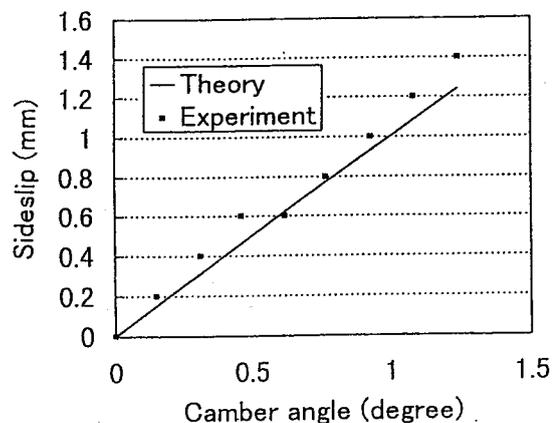


Fig.6 Comparison between calculation and experiment

影響について理論値と実測値の比較を示す。理論値は式(2)より算出した。実測では、タイヤの初期変形を開放した後、サイドスリップ量を計測した。したがって、理論値も式(2)の右辺第1項を差し引いた値を示している。いずれの場合においても理論値と実測値はよく一致した。理論式を導出するにあたっての仮定およびモデル化等の有効性が確認できた。

4. 実車による性能試験

4.1 性能試験方法

開発したトリオテストマルチユニットNS21システムの有効性を確認するために使用した車両および各諸元は表2のとおりである。運転者が乗車した車両を装置にセットした後、ブレーキテストローラで車輪を回転させ、表示されるサイドスリップ量が0mmになるハンドル状態を測定基準位置とした。測定基準位置より車両の外方向に車輪の角度を変え、ブレーキテストローラで車輪をサイドスリップ測定規定走行距離(1000mm)分回転させた時のサイドスリップ量をそれぞれ測定した。

供試車両に対し、タイヤサイズおよび軸荷重の影響、タイヤ空気圧の影響、接地面の摩擦係数の影響、ブレーキテストローラ押付力の影響、ローラ回転速度の影響などについて実測した。測定に当たって標準条件を設定した。すなわち、サイドスリップテストローラ回転速度は6.5rpm、タイヤ空気圧は供試車両の規定空気圧、ブレーキテストローラ押付力は20kg、タイヤの湿潤は乾燥状態を測定の標準条件とした。

タイヤサイズおよび軸荷重の影響については、軸荷重が変化しても、タイヤ角度に対するサイドスリップ量には影響を及ぼさないものと考えられる。

タイヤ空気圧の影響については、タイヤ空気圧の

Table 2 Specifications of vehicles

Vehicle No.	Tire ⁽⁸⁾			P	L	R
1	145	R	12	2.0	390	537
2	175	70	13	2.0	670	575
3	185	60	14	2.0	590	578
4	195	65	14	2.2	800	609
5	205	65	15	2.0	860	648

P: Pressure (kg/cm²) L: Axle load (kg)
R: Radius (mm)

増減により、タイヤ接地面積およびタイヤ有効半径が変化する。標準条件で実測した平均値と比べてサイドスリップ量の変化に差は見受けられない。

接地面の摩擦係数の影響については、タイヤ表面を湿潤状態で計測した結果、測定結果には影響を及ぼさない。

ローラ押付力の影響については、ブレーキテストローラによりタイヤを支持して駆動する場合、ブレーキローラの押付力の変化は測定値に影響を及ぼさないようである。

ローラ回転速度の影響については、サイドスリップテストローラ回転速度を標準条件より±30%増減させて実測した。標準条件で実測した平均値と比べてサイドスリップ量の変化に差は見受けられない。

5. 従来の踏板式との比較

本研究で開発したトリオテストマルチユニットNS21システムにおけるローラ式サイドスリップテストと従来の踏板式サイドスリップテストでの測定データの比較を示す。踏板式はN社製で測定走行長

Table 3 Specifications of tire

Vehicle No.	Tire size		
1	245	70	16
2	215	65	15
3	145	SR	12
4	145	SR	12
5	185	70	14
6	205	65	15
7	205	65	15
8	195	65	14

Table 4 Comparison of measurement data

No.	Roller type	Flat type
1	1.06 (IN) (0.9~1.2)	1.56 (IN) (1.2~2.3)
2	1.96 (OUT) (1.7~2.0)	1.02 (OUT) (0.8~1.3)
3	2.18 (IN) (1.7~2.4)	2.26 (IN) (1.3~2.7)
4	1.58 (IN) (1.5~1.7)	0.66 (IN) (0.5~0.7)
5	0.94 (IN) (0.8~1.1)	0.46 (IN) (0.3~0.6)
6	2.14 (OUT) (1.9~2.3)	1.94 (OUT) (1.8~2.0)
7	1.62 (OUT) (1.5~1.8)	1.22 (OUT) (0.5~1.5)
8	2.68 (IN) (2.6~2.8)	2.08 (IN) (1.7~2.5)

さ500mmの製品である。車両およびタイヤサイズ等が異なる8種の供試車両について測定データを比較した。踏板式では踏板長さは走行方向に500mmであるため測定値を2倍した数値をサイドスリップ値とした。表3は供試車両とタイヤ諸元を示す。

表4は、ローラ式サイドスリップテストと踏板式サイドスリップテストでの測定データの比較を示す。各試験を5回実施し、平均値を示す。括弧内には測定値の最小値と最大値を示す。踏板式は測定値にばらつきが大きく、再現性も十分とはいえない。一方ローラ式は測定値にばらつきが小さく、再現性も十分といえる。従来の踏板式での測定データはローラ式に比べて小さい値を示している。

6. あとがき

トリオテストマルチユニットNS21システムを開発した。ローラ式サイドスリップテスト、ブレーキテスト、スピードメータテスト一体型検査機器として種々の条件について、本システムを使用して検査機器としての有効性を確認した。自動車の計測用装置として十分な精度を有していることが確認できた。

本システムは車両を移動することなくサイドスリップ・ブレーキテスト・速度計試験が実施できる。本システムを適用することにより検査ラインの省スペース化および高効率化が期待される。同一場所で移動することなくすべての検査が実施可能である。多様化する車両およびタイヤサイズに対しても計測が可能である。検査作業の大幅な効率化が図れる。以上のように本装置は、従来の装置(踏板式サイドスリップテスト)にはない多くの特徴を有し、今後

の発展性が期待される。

参考文献

- (1) 山崎俊一, 藤川達夫, 山口泉, サイドスリップテストの測定原理に関する力学的考察, 自動車技術会論文集, Vol.24, No.4, October, 1993, 70-75.
- (2) 山崎俊一, 他3名, 乗用車用タイヤの室内摩耗試験方法と自動車のアライメントがタイヤ摩耗に及ぼす影響, 自動車技術会論文集, No.40, 1989, 110-120.
- (3) 車検におけるスピードメータテストとサイドスリップテストの集約検査装置, 特許第1980353号, 1995年10月.
- (4) 西山修二, 原田伸, 原田國男, ローラ式サイドスリップテストの開発, 自動車技術会論文集, Vol.30, No.1, January 1999, 109-114.
- (5) 西山修二, ローラ式サイドスリップテストに関する研究(測定原理に関する理論的および実験的考察), 日本機械学会論文集, 第65巻, 第630号, C編(1999-2), 132-139.
- (6) 西山修二, 原田伸, 原田國男, ローラ式サイドスリップテストの開発(実車による性能試験), 日本機械学会論文集, 第65巻 第633号, C編(1999-5), 234-243.
- (7) 山崎俊一, 鈴木忠, 藤川達夫: 室内摩耗試験におけるドラム曲率がタイヤの摩耗に及ぼす影響の理論的考察, 日本ゴム協会誌, 70巻, 7号, 392-398(1997)
- (8) 酒井秀男, タイヤ工学, 東京, グランプリ出版, (1987)