

平成 23 年度

(第 25 回)

若い研究者を育てる会研究発表会

研究論文集

平成 24 年 3 月 15 日 (木)

於：名鉄トヤマホテル

若い研究者を育てる会

The Educational Society for Young Research Workers of Technology, in TOYAMA

本書は下記の研究機関の指導のもとに作成された。

記

富山県工業技術センター
富山大学大学院理工学研究部
富山大学芸術文化学部
富山県立大学工学部

ごあいさつ

会長 津田信治

若い研究者を育てる会の第 25 回研究論文集発行を迎え、
ごあいさつを申し上げます。

若研は、富山県の製造企業の将来を担う若手技術者が、
研究活動を通して開発の進め方を学びつつ、他社の技術者
と交流し刺激を受け、技術者として成長する機会として運
営されてきましたが、端的に言えば“技術者は井の中の蛙
であってはならない”という危機意識から生まれたものと
推察いたします。過去 25 年間に若研で学ばれた若手技術者
は 314 名に達し、現在各職場で指導的立場や、開発の中心
メンバーとしてご活躍されています。当会の運営指導に携
わっておられる関係各位には県内製造業の発展に対するご貢献に心より感謝申し上げます。



さて、この 25 年の間に日本の製造業を取り巻く状況は大きく変化してきました。かつて「ジ
ャパンアズ NO.1」が叫ばれ、戦後最長の好景気を迎えたこともありますが、リーマン・ショ
ックからようやく立ち直ってきた昨年 3 月 11 日の千年に 1 度といわれる東日本大震災の発生、
それに伴う原発事故、夏はタイでの水害、秋の欧州金融危機と超円高基調など、1 年を通して日
本のものづくりには試練の年でした。

震災早々に国際社会は救援の手を差し伸べてくれ、日本人の民度を褒め称え、我々は国内外の
絆を実感いたしましたが、一方サプライチェーンの日本集中危機感をチャンスに海外企業が、弱
り目の日本企業にシェア奪取攻勢をかける国際ビジネスの非情な一面を見せ付けられました。し
かし“日本製”的のシェア低下の原因を災害の不運ばかりに押し付けることは出来ません。

今まで概して日本製品戦略は、先進国や新興国富裕層市場をターゲットとし日本国内ライバル
との競争のなか、すりあわせ技術を駆使し高機能、高品質を実現し海外市場でも勝ち組の美酒を
味わって参りましたが、その間に韓国などはいち早く新興国を成長市場と見定め、市場のあると
ころで設計を行い、地域ごとのニーズを取り入れた商品力戦略でしっかりと足場を築き、彼我に差
が出始めていることも否めません。

“得るは捨つるにあり”。過去の成功例がいつまでも通用するはずがなく、世の中は変わる”
無常“こそ真理と肝に銘すべきでしょう。そのためには若研での経験を活かし、井の中の蛙にな
らず、ワールドワイドの視点で行く先を見定め、スピード感を持った開発に邁進してください。

そして皆さんの世界に通ずる今後の活躍をお祈りいたします。

研究の概要

本論文集は、『若い研究者を育てる会』に参加する企業（会員企業数14社）と会員企業研究者が5つの研究テーマとグループを定め、平成23年5月から富山県工業技術センターにおいて、5グループ（5テーマ）が実施してきた研究の成果をまとめたものである。なお、5テーマの内3テーマについては、富山大学大学院理工学研究部及び富山大学芸術文化学部の研究指導・協力のもとで実施した。ここでは、今年度実施した5テーマの研究概要を研究発表順に述べる。

富山大学芸術文化学部 博士(工学) 長柄 翼一

①「CMM（三次元測定機）用簡易検査器の開発2」の研究グループ（参加企業1社）では、三次元測定機の日常点検用検査器の開発を目的として開発を行った。昨年度の研究で提案した、可搬性の良い8個の鋼球を配置した検査器について、2社の持ち回りによる実証試験を行った。距離測定、球形測定の実験による誤差限界（95%信頼性限界）の差が小さいこと、誤差限界がメーカー保証精度とほぼ同程度であったことを明らかにしたほか、スタイルスの向きや検査機の傾きなど、実用上の誤差要因についても検証し、日常点検用の検査器として十分活用できることを示すことができた。



富山県工業技術センター 博士(工学) 角崎雅博

②「LED照明のEMC・ノイズ対策に関する研究」の研究グループ（参加企業1社）では、市販されているLED電球単体を対象に、国内外規格に対応した試験及び評価を行うとともに、複数個のLED電球を並列点灯させた場合についても試験し、発生したノイズの原因と対策について検討し、以下のような有用な知見を得た。（1）「雑音電力」と「雑音電界強度」に関しては、電気用品安全法／国際規格の許容値を満たしていない製品が一部あること。（2）「雑音端子電圧」に関しては、電気用品安全法を満たしていたものの、国際規格などを満たさない製品が一部あり、その主要因としては、入力チョークコイルのL値が小さいことが明らかとなった。（3）LED電球を並列点灯させた場合、ノーマルモードノイズは増加しないが、コモンモードノイズは増加することが明らかになり、それらのノイズ対策案を提示した。



富山大学大学院理工学研究部 工学博士 升方 勝己

③「積層鋼板の磁気特性に関する研究」の研究グループ（参加企業2社）では、電気自動車用モーターに用いる電磁鋼板についての知見を得ることを目的として、強磁性材料の特性評価を行った。9種類の無方向性電磁鋼板、Niパーマロイ、フェライト、純鉄について磁気特性の比較を行うと共に、電磁鋼板について成分分析、PWM波形に対する応答性の評価を行った。その結果、鉄損は純鉄が最も大きく、電磁鋼板、パーマロイ、フェライトの順に減少すること、周波数が高くなると増加し、電磁鋼板は温度上昇で鉄損が増加することなどが分かった。また、電磁鋼板の鉄損はSi含有量の増加と共に減少し、結晶粒径にも依存性を有すること、PWM波形を用いた場合、正弦波に比べて鉄損が増加することなどが明らかになった。以上の結果より、用途や使用環境等に応じた電磁鋼板の選定が必要であることが分かった。



富山大学大学院理工学研究部 工学博士 丹保 豊和

④「シリコンアーマチュアデバイスの研究開発」の研究グループ（参加企業2社）。

スピーカーやマイクロホンの音響機器など、磁力で動作させる機器は世の中にたくさん出回っている。従来それらにはPZTや水晶で代表される圧電体が使われてきた。本研究では、電磁力で駆動するアーマチュアの素材としてシリコンを用いている。シリコンは多くの半導体素子で使われているようにその動作は安定であり、伝播する音速が早く超音波領域での振動子として期待される材料である。本シリコンアーマチュアデバイスの構造はダイヤフラム型であり、MEMS技術を用い超小型化を試みた。共振周波数での過度応答を改善するためにデバイスの構造に検討を加えた。最終的には弾性材料をはさみ、ダイヤフラム上に駆動用マグネットを直接附加した構造を提案している。



富山県工業技術センター 中央研究所 博士(工学) 土肥 義治

⑤「精密切削加工による表面機能創成に関する研究」の研究グループ（参加企業1社）では、たとえば繊維のような風合いを有するプラスチック製品の開発を目指して、精密切削加工を利用して、微細なテクスチャを有するプラスチック成形品を作製し、官能評価や物理特性との比較によって微細なテクスチャが人間の触感に及ぼす影響について検討した。その結果、(1)溝形状では40～120μmの条件において、触感が大きく変化する。(2)ピラー形状では、ピラー径と高さによって触感が大きく変化する。(3)溝形状では、布や皮革の「滑らかな」触感をある程度引き出せるが、「厚み」、「きめの粗さ」、「弾力性」などは異った触



感であった。(4)ピラー形状では、物理特性と触感に良い相関性が得られる。などの知見が得られた。これまで、“機能性表面”の製品の触り心地といった感性的な視点では、ほとんど検討されておらず、自動車や携帯電話等の新たなニーズや付加価値の創成への貢献が期待される。

以上、本論文集は5つの独立した研究テーマと成果から構成されているが、今年度は東日本大震災など景気の回復に影響を与える諸要因のため、例年に比べて少ない研究テーマの実施となった。

一方、今年度は昨年度末に工業技術センターに隣接して設置された「富山県ものづくり研究開発センター」の先端的設備の啓蒙・普及を図ることも目的として、これら設備の一部を利用した2つの研究テーマと研究グループを形成した。

過去25年間で159テーマの研究を実施したが、これらの研究成果は関連学会ですでに発表、もしくは今年中に開催される関係学会で研究発表を予定している。

また、過去25年間の研究で得られた成果を発展させた幾つかの自動化技術や材料技術、例えば、自律型ロボット技術などは生産ラインの自動化などに応用され、材料技術などは建材関連製品や自動車などに応用され企業化している。従って、これらの研究を遂行する過程で得られた様々な成果は、本会会員企業ならびに本県産業の科学技術力、工業技術力向上と発展などのために十分に役立っているものと確信している。

なお、本会の目的は学術的な研究をすることではなく、企業現場で戦力となる企業技術者・研究者の育成とリカレント教育、そして、企業の枠を越えた若手技術者・研究者同士の連携の「輪」を広げることであり、本会はこのような活動の実践によって富山県産業全体の発展を願う県内企業オーナー有志によって設立された会である。異業種が交流して共同研究を実施することは、様々な面で座学では得られない貴重かつ重要な実学であると考えている。

最後に、本会の研究を推進するにあたり、内外の方々より多大なご助力、ご助言を賜わっていることに対しまして、深く感謝の意を表します。



平成24年3月（顧問・運営アドバイザー 工学博士 谷野克巳）

研究グループの構成

I. CMM（三次元測定機）用簡易検査器の開発 2 の研究グループ

研究担当者 **廣地 信一（立山マシン株）**
○吉田 勉（工業技術センター中央研究所）
☆長柄 豊一（富山大学芸術文化学部）

II. LED照明のEMC・ノイズ対策に関する研究の研究グループ

研究担当者 **平田 哲郎（コーチル株）**
○佐々木克浩（工業技術センター中央研究所）
塙本 吉俊（工業技術センター中央研究所）
宮田 直幸（工業技術センター中央研究所）
浅田 峰夫（工業技術センター機械電子研）
☆角崎 雅博（工業技術センター）

III. 積層鋼板の磁気特性に関する研究の研究グループ

研究担当者 **堀田 哲朗（田中精密工業株）**
杉本 寿行（コーチル株）
○浅田 峰夫（工業技術センター機械電子研）
丹保 浩行（工業技術センター機械電子研）
◇谷野 克巳（谷野技術士事務所）
☆升方 勝己（富山大学大学院理工学研究部）

IV. シリコンアーマチュアデバイスの研究開発の研究グループ

研究担当者 **木澤 裕志（立山科学工業株）**
岩滝 幸司（北陸電気工業株）
○小幡 勤（工業技術センター中央研究所）
☆丹保 豊和（富山大学大学院理工学研究部）

V. 精密切削加工による表面機能創成に関する研究の研究グループ^o

研究担当者 **藤井 美里 (タカギセイコ)**

○川嶽 宣隆 (工業技術センター中央研究所)

清水 孝晃 (工業技術センター中央研究所)

関口 徳朗 (工業技術センター中央研究所)

住岡 淳司 (工業技術センター中央研究所)

☆土肥 義治 (工業技術センター中央研究所)

註: ○印は各研究グループのチーフ

◇印は研究アドバイザー

☆印は研究幹事

目 次

I. CMM(三次元測定機)用簡易検査器の開発2	1
1. 緒　　言	1
2. 実験計画	1
3. 実験結果及び考察	5
4. 結　　言	7
II. LED照明のEMC・ノイズ対策に関する研究	8
1. 緒　　言	8
2. 規格と試験方法	8
3. 試験結果	10
4. LED電球単体のノイズの要因と対策	12
5. LED電球の複数点灯時のノイズ測定と対策	13
6. 考　　察	15
7. 結　　言	15
III. 積層鋼板の磁気特性に関する研究	16
1. 緒　　言	16
2. 実験方法	16
3. 結果と考察	18
4. 結　　言	23
IV. シリコンアーマチュアデバイスの研究開発	24
1. 緒　　言	24
2. 素子設計と作製方法	25
3. 実験方法	26
4. 結果と考察	27
5. 結　　言	29
V. 精密切削加工による表面機能創成に関する研究	30
1. 緒　　言	30
2. 微細な溝形状による触感の制御	30
3. 微細なピラー形状による触感の制御	32
4. 布・皮革製品との比較	34
5. 結　　言	37

- 各研究グループの研究風景付一 1
- 「若い研究者を育てる会」25年間の研究活動の足跡付一 6
- 会員企業および研究幹事名簿付一 9
- 入会申込書付一 20

I. CMM（三次元測定機）用簡易検査器の開発 2

A Development of Simple Testing Gauge for CMM (Coordinate Measuring Machine) Part 2

広地 信一

吉田 勉

長柄 豪一

HIROCHI Shinichi

YOSHIDA Tsutomu

NAGAE Takekazu

Abstract

Last year, we developed the simple testing gauge that enables CMM users to check the precision of CMM easily in ten minutes. On the other hand the daily check of the accuracy of CMM is recommended by JIS B7440-2. The measurements for daily check of CMM's accuracy with the gauge, except of block gauges and step-gauges, are recommended by JIS B7440-2. CMM users can check the daily check of the accuracy of CMM with the developed gauge. We make a study of the reliability of the check of the accuracy of CMM with the developed gauge, based on design of experiments method. We make the table of the experiments composed of some factors of measurement errors, length of stylus, radius of the ball of stylus tip, attitude of the gauge, number of measurements, based on L18 orthogonal experimental table that is the most reliable experimental table of the orthogonal designed tables of experiments method. So, we made the experiments on the table that we made and surveyed the factor effects of the test accuracy of CMM with the developed gauge.

1. 緒言

三次元測定機（以下CMM）は効率的に立体形状のワークの寸法測定が行えるため、製造業の現場で広く使われているが、使用状況や時間の経過により、精度変化が生ずる場合がある。

JIS規格では付属書Aで「定期検査の間にも座標測定機を日常的に検査することが望ましく、その場合、寸法標準器以外の標準器を測定しておくことを推奨する。」と補足説明し、「点検に使用するものは、寸法的に安定、機械的に強靭な典型的な幾何学形状の形体を持ち、測定の不確かさに大きく影響しない表面仕上げを持つもの」と中間点検について規定している。

本研究では、昨年度、ユーザー自身が高い技能を持たなくともCMMの精度を日常的に短時間で検査するためのCMM検査器を開発し、その校正不確かさについて検討した⁽¹⁾。本年度は、開発したCMM検査器を使用して実証実験を行い、測定方法の相違、CMMの機種によって測定結果にどのような違いが生じるのか調査を行った。

2. 実験計画

<2. 1> 基本機能

CMMの基本機能は、ゲージ寸法と測定値が一致していることが良い機能と考え、ゲージ寸法とCMM測定値とを転写性としてとらえ、動特性のSN比により評価した⁽²⁾。

<2. 2> 標示因子の設定

図1～2に測定方法の相違により測定に影響を及ぼすと考えられる標示因子の説明、表1に標示因子の水準を示す。標示因

子は、スタイラス長さの違いによる重さ・剛性の違いによる影響を求めるためA：延長スタイラスとし、延長スタイラスがある場合とない場合の2水準とした。延長スタイラスは40mmのものを使用した。スタイラス向きの違いによるスタイラスのたわみによる影響を求めるためB：スタイラス向きとし、下向き、水平向きでX方向、水平向きでY方向の3水準とした。また、CMM検査器をCMM上に置いた際の検査器とCMM機械軸との傾きの違いによる影響を求めるためC：検査器の傾きとし、CMMのX軸（機械座標系）との傾きが0mm/200mm、1mm/200mm、2mm/200mmの3水準とした。チップ径の違いによる剛性及び重さの影響を求めるためD：チップの径とし、φ1mm、φ2mm、φ4mmの3水準とした。

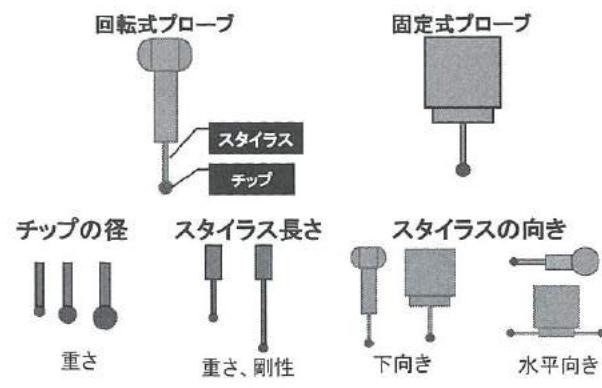


図1 標示因子 1

Fig.1 Indicative Factors 1

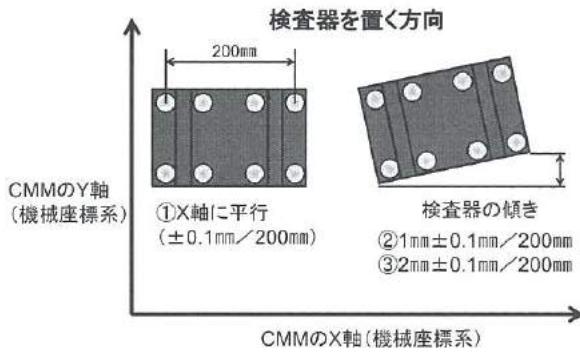


図2 標示因子2

Fig.2 Indicative factor 2

表1 標示因子の水準

Table 1 Levels of indicative factors

因子	水準		
	1	2	3
A 延長スタイラス	なし	あり(40mm)	—
B スタイラス向き	下向き	X 方向	Y 方向
C 検査器の傾き	0 mm/200 mm	1 mm/200 mm	2 mm/200 mm
D チップの径	$\phi 1\text{mm}$	$\phi 2\text{mm}$	$\phi 4\text{mm}$

<2. 3> 信号因子の設定

図3にワーク座標系設定の定義、図4にCMM検査器の概略図を示す。ワーク座標系は、ゼロ点球、球③、球⑦の中心を通る平面を作り基準面とし、ゼロ点球、球③を通る直線を基準軸とする。原点はゼロ点球の中心座標とする。

信号因子の特性値は球間距離、球径の2種類とし、球間距離はゼロ点球と球①～⑦の中心座標間の距離が7水準で、ゼロ点比例式によりSN比を算出した。球径はゼロ点球～球⑦の8個の総和の1水準でゼロ点比例式によりSN比を算出した。

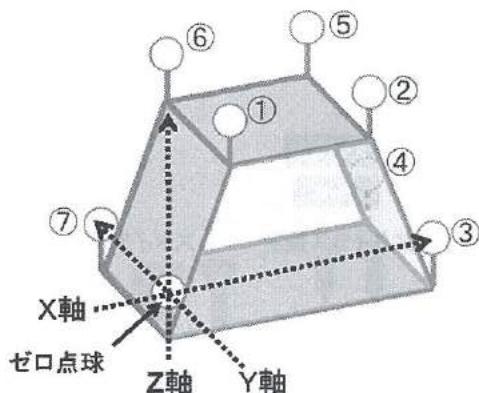


図3 ワーク座標系の設定

Fig.3 Setup of the object coordinate system of the gauge

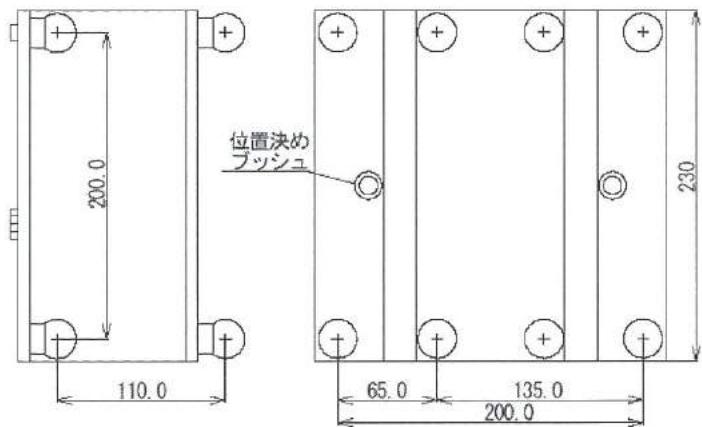


図4 検査器の概略図

Fig.4 Schematic illustration of the developed gauge

<2. 4> 直交表への割付け

表2に直交表への割付け、表3に測定値テーブルを示す。L18直交表を用いて標示因子を直交表の内側に割り付けた。No.1～18の因子の組み合わせにおいて測定を行い、測定の繰り返しは表3に示す通り C1～C3 の3回とした。L18直交表は、因子が2水準と3水準の混合系直交表であり、各因子の主効果が、因子間の交互作用によって影響されにくいという特徴がある。

<2. 5> 持ち回り測定

表2、表3で示す直交表、測定テーブルを使用し、CMM検査器の持ち回り測定を実施した。測定は各測定機関でティーチング・プログラムを作成し、CNCによる自動測定を行った。また、ワークの温度慣らしは1日程度、測定室の環境に慣らして行った。長さの測定では温度変化が重要になるので、CMMの測定テーブル上にデジタル温度計を設置し15分ごとに温度を記録した。

実験に参加した機関のCMMの主な仕様を表4に示す。

<2. 6> 信号因子値

信号因子の特性値となる値、すなわち、ここでは、基準値を求めるため、CMM検査器を指示精度の高いCMMにて測定した。使用したCMMはZeiss製UPMC850CARATで、空間測定精度は $0.8+L/600$ (μm) 20°C [L =任意測定長 mm] であり、標準スタイルス (φ8mmL115mm) を用いた。

表2 直交表 L18への割付け

Table 2 Indicative factors allocation to L18 orthogonal experimental table

No.	標示因子			
	延長スタイラス	スタイラス向き	検査器の傾き	チップ径
1	なし	下	0 mm/200 mm	φ1
2	なし	X	1 mm/200 mm	φ2
3	なし	Y	2 mm/200 mm	φ4
4	なし	下	0 mm/200 mm	φ2
5	なし	X	1 mm/200 mm	φ4
6	なし	Y	2 mm/200 mm	φ1
7	なし	下	1 mm/200 mm	φ1
8	なし	X	2 mm/200 mm	φ2
9	なし	Y	0 mm/200 mm	φ4
10	あり(40 mm)	下	2 mm/200 mm	φ4
11	あり(40 mm)	X	0 mm/200 mm	φ1
12	あり(40 mm)	Y	1 mm/200 mm	φ2
13	あり(40 mm)	下	1 mm/200 mm	φ4
14	あり(40 mm)	X	2 mm/200 mm	φ1
15	あり(40 mm)	Y	0 mm/200 mm	φ2
16	あり(40 mm)	下	2 mm/200 mm	φ2
17	あり(40 mm)	X	0 mm/200 mm	φ4
18	あり(40 mm)	Y	1 mm/200 mm	φ1

表3 測定値テーブル

Table 3 Table of measurement data

No.	因子			特性値：球間距離				
	延長	向き	傾き	チップ径	C1	C2	C3	SN比
1	なし	下	0 mm	φ1				
2	なし	X	1 mm	φ2				
3	なし	Y	2 mm	φ4				
4	・	・	・	・				
18	あり	Y	1 mm	φ1				

特性値：球径			
C1	C2	C3	SN比

C1~C3は繰返し数

表4 参加機関のCMMの主な仕様

Table 4 Main Specs of CMM

測定機関	A社	B社
CNC／手動式	CNC	CNC
プローブヘッド方式	差動トランス平行板 バネ、プローブヘッド回転式	3点支持タッチトリガ、プローブヘッド固定式
構造	ブリッジ、門移動型	ブリッジ、門移動型
測定範囲 (X×Y×Z mm)	800×700×600	850×1000×600
測定精度 U3 (μm)	±(2.0+1.5L/1000)	±(1.9+4L/1000)

検査器をCMM測定エリアの中心に定位し、CMM本体のX軸(機械座標系)に対して検査器のゼロ点球と球③の中心を通る直線が±0.1 mm以内になるようアライメントを行った後、8個の球の中心を8回繰り返し測定し、その平均値を元にゼロ点球と球①～⑦との球間距離と各球の球径を求め、信号因子値Mとした。測定点は極の1点と赤道上の4点とした。信号因子値を表5に示す。

表5 信号因子値

Table 5 Values of signal factors

信号因子値 (M)	ゼロ点球との球間距離 (mm)	球径(mm)
ゼロ点球	—	25.39990
球①	128.33073	25.39993
球②	174.51184	25.39990
球③	200.04533	25.40000
球④	282.92619	25.40003
球⑤	265.31358	25.39970
球⑥	237.41287	25.39973
球⑦	199.99719	25.39988

<2. 7> CMMの基本機能とSN比

SN比とは、元々は通信の分野で用いられている用語で、信号(Signal)と雑音(Noises)の比である。これを技術全体に広げて考えれば、雑音のことを誤差とかばらつきと言い、比率が一定でない状態を指す。SN比は、システムの入出力におけるエネルギー分解として、次のように定義でき、品質工学においては、ばらつきを示す尺度であると言える。

$$\text{SN比} = \frac{\text{その技術の働きで投入されたエネルギーの有効な成分(信号)}}{\text{投入されたエネルギーのうち出力として有効に働かなかった有害な成分(誤差)}}$$

CMMのような計測機器の場合は、ワークの信号因子値 M （基準）と測定値 y の誤差が小さいほど良い機能であると言うことができ、その基本機能は $y = \beta M$ (β : 感度) の式で表すことができる。この式は SN 比を計算する方法のひとつでゼロ点比例式と言い、計測機器の場合は $y=M$ 、感度 $\beta=1$ が理想となる。

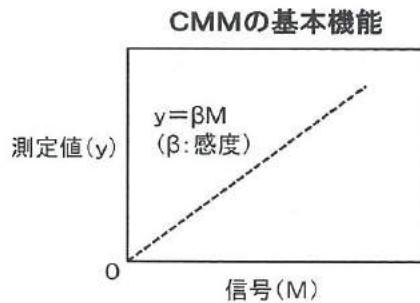


図 5 計測機器の基本機能
Fig.5 Basic function of measurement instrument

ゼロ点比例方式の場合、 M と Y の実際の関係は $Y = \beta M + e$ で表される。 e は Y の誤差である。ここで $e^2 = (Y - \beta M)^2$ ので、 M を変化させたときの e^2 の総和を S_e (誤差変動) とする。

信号因子 M の数を k とし、各信号因子 M の値を M_1, M_2, \dots, M_k とする。また、各信号因子値 M_j に対し、 n 回繰返し測定したときの測定結果を Y_{ij} とし、その和を Y_j とすると、

$$\begin{aligned} S_e &= (Y_{11} - \beta M_1)^2 + (Y_{21} - \beta M_1)^2 + \cdots + (Y_{nk} - \beta M_k)^2 \\ &= Y_{11}^2 + Y_{21}^2 + \cdots + Y_{nk}^2 - 2\beta(M_1 Y_1 + \cdots + M_k Y_k) + n \beta^2 \\ &\quad (M_1^2 + \cdots + M_k^2) \\ &= Y_{11}^2 + Y_{21}^2 + \cdots + Y_{nk}^2 \\ &+ \left[\frac{M_1 Y_1 + \cdots + M_k Y_k}{\sqrt{n(M_1^2 + \cdots + M_k^2)}} - \beta \sqrt{n(M_1^2 + \cdots + M_k^2)} \right]^2 \\ &- \frac{(M_1 Y_1 + \cdots + M_k Y_k)^2}{n(M_1^2 + \cdots + M_k^2)} \end{aligned} \quad (1)$$

となる。

β の近似値を最適なものにする、すなわち、 S_e を最小にするためには、既知のデータ Y, M, n ではなく、 β の入っている右辺の第2項をゼロにしなければならない（最小自乗近似法）。

式 (1) 右辺の第2項をゼロとおくと、

$$\left[\frac{M_1 Y_1 + \cdots + M_k Y_k}{\sqrt{n(M_1^2 + \cdots + M_k^2)}} - \beta \sqrt{n(M_1^2 + \cdots + M_k^2)} \right] = 0$$

$$\text{比例項 } \beta = \frac{M_1 Y_1 + \cdots + M_k Y_k}{n(M_1^2 + \cdots + M_k^2)}$$

が決定される。このとき式 (1) は、

$$S_e = Y_{11}^2 + Y_{21}^2 + \cdots + Y_{nk}^2 - \frac{(M_1 Y_1 + \cdots + M_k Y_k)^2}{n(M_1^2 + \cdots + M_k^2)}$$

$$\text{全変動 } S_T = Y_{11}^2 + Y_{21}^2 + \cdots + Y_{nk}^2$$

$$\text{信 号 } S_\beta = \frac{(M_1 Y_1 + \cdots + M_k Y_k)^2}{n(M_1^2 + \cdots + M_k^2)}$$

すると、 $S_e = S_T - S_\beta$

有効除数 r は、

$$r = M_1^2 + M_2^2 + M_3^2 + \cdots + M_k^2$$

で表される。

誤差分散 V_e は、誤差変動 S_e を自由度 $(n k - 1)$ で除したもの

ので

$$V_e = \frac{S_e}{nk - 1} \quad \text{となる。}$$

したがって、SN比 η は

$$\eta = \frac{1}{r} \frac{(S_\beta - V_e)}{V_e} \quad \text{と表される。}$$

<2. 8>ゼロ点比例式による SN比の算出

一例として A 社の測定での、特性値：球間距離における直交表の実験 No.1 での SN比を求める。

有効除数(r)：信号因子値の 2 乗和

$$r = M_1^2 + M_2^2 + M_3^2 + \cdots + M_7^2 = 333743.564187$$

線形式 $R_1 \sim R_3$ の変動を求める。 R_1 とは繰り返し測定の 1 回目、 M_1 は球①の球間距離の信号因子値、 y_{11} は測定 1 回目の球①の球間距離の測定値である。

$$R_1 = M_1 y_{11} + M_2 y_{12} + \cdots + M_7 y_{17} = 333742.918148$$

$$R_2 = M_1 y_{21} + M_2 y_{22} + \cdots + M_7 y_{27} = 333742.801422$$

$$R_3 = M_1 y_{31} + M_2 y_{32} + \cdots + M_7 y_{37} = 333742.273367$$

全変動(S_T)：全測定値の2乗和

$$S_T = y_{11}^2 + y_{21}^2 + y_{31}^2 + \cdots + y_{37}^2 = 1001225.293322$$

信号(S_β)

$$S_\beta = (R_1 + R_2 + R_3)^2 / (3 \times r) = 1001225.293320$$

感度(β)

$$\beta = (R_1 + R_2 + R_3) / (3 \times r) = 0.999997$$

誤差変動(S_e)

$$S_e = S_T - S_\beta = 1.9990 \times 10^{-6}$$

誤差分散(V_e)

$$V_e = S_e / (f - 1) = 9.99949 \times 10^{-8}$$

(f : 自由度)

SN比(η)

$$\eta = (S_\beta - V_e) / (V_e \times 3 \times r) = 10000452.03 \text{ (mm}^{-2}\text{)}$$

$$\eta = 10 \times \log (S_\beta - V_e) / (V_e \times 3 \times r) = 70.0 \text{ (dB)}$$

誤差限界（これはほぼ95%信頼限界に相当する。）

$$= \pm 3 / \sqrt{\eta} = \pm 0.00095 \text{ (mm)} = \pm 0.95 \text{ (\mu m)}$$

3. 実験結果及び考察

<3. 1> 実験結果

A社の実験でのSN比と誤差限界を表6、特性値：球間距離における各標示因子のSN比を表7、SN比の水準別グラフを図6に示す。特性値：球間距離における各標示因子の感度水準を表8に示す。ここで、特性値：球間距離における標示因子：延長スタイラス、水準：なしの場合のSN比は、球間距離の実験No.1～9のSN比の平均値である。

SN比は、有効な信号とバラツキ誤差の比であり、大きいほどバラツキ誤差が小さいことを意味する。表6と図6より、標示因子が及ぼす効果としては、A:延長スタイラスでは水準1：なしが水準2：あり(40 mm)より誤差が小さい。これは延長スタイラスを取付けたことによる重みと、長くなった分チップがワークに接触した際のスタイラスのたわみが大きくなることが測定に影響を与えると考えられる。B:スタイラスの向きでは水準1：下向きの場合に最も誤差が小さい。下向きの場合と比較し3dB以上の有意な差が認められる。

また、下向きの場合は測定点が極1点と赤道上の4点の5点測定ができるのに対し、水平向きの場合はワークとプローブの形状に起因する制限により測定点が極1点と赤道上3点の4点測定になってしまふことも測定精度に影響していると考えられる。

C:検査器傾きでは水準1(0 mm/200 mm)の場合が最も誤差が小さく水準3(2 mm/200 mm)が最も誤差が大きい。これはワークとCMMの機械軸との傾きが測定精度に影響を与えていることを意味している。水準1と水準2の差は3dB未満で有意な差とは言えないが、水準1と水準3には3dB以上の有意な差が見られる。

D:チップ径の違いによる因子の水準間に有意な差は認められない。しかし、水準1：チップ径 $\phi 1 \text{ mm}$ のとき、わずかに誤差が

大きい。スタイラスの剛性がやや小さいことが原因と考えられる。

表6 SN比と誤差限界の実験結果

Table 6 SN ratios and limits of errors estimated by the experiments

実験 No.	球間距離		球径	
	SN比(dB)	誤差限界 $\pm (\mu \text{m})$	SN比(dB)	誤差限界 $\pm (\mu \text{m})$
1	70.0	0.95	73.6	0.63
2	65.2	1.64	65.2	1.66
3	62.2	2.32	62.8	2.17
4	73.0	0.67	67.6	1.25
5	62.6	2.22	64.1	1.88
6	64.0	1.90	60.4	2.87
7	67.0	1.34	68.8	1.08
8	61.9	2.42	64.1	1.88
9	67.0	1.34	65.8	1.53
10	65.2	1.64	67.6	1.25
11	62.6	2.22	64.6	1.77
12	61.2	2.60	73.6	0.63
13	66.0	1.50	70.6	0.88
14	60.5	2.85	65.8	1.53
15	64.0	1.90	70.6	0.88
16	65.2	1.64	66.6	1.40
17	66.0	1.50	65.2	1.66
18	63.0	2.12	66.6	1.40
平均値	64.8	1.82	66.9	1.46

表7 各標示因子のSN比

Table 7 SN ratios of every indicative levels

SN比補助表	水準		
	1	2	3
延長スタイラス	65.9	63.7	—
スタイラスの向き	67.7	63.1	63.6
検査機の傾き	67.1	64.2	63.2
チップ径	64.5	65.1	64.8

単位 (dB)

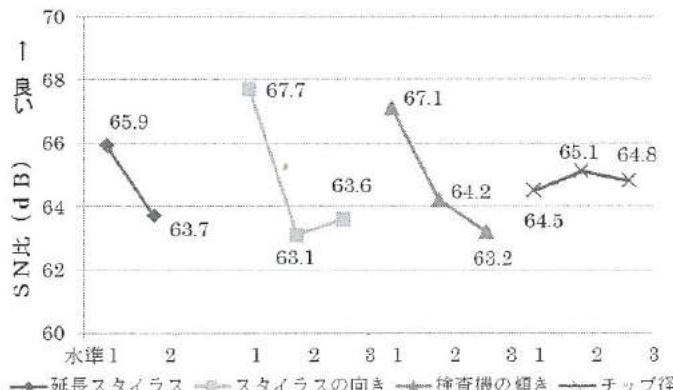


図6 S N比の水準

Fig.6 SN ratios of every indicative levels

表8 各標示因子の感度水準

Table 8 Sensitivities of the every indicative level

感度補助表	水準		
	1	2	3
A. 延長スタイラス	0.999996	0.999997	—
B. スタイラスの向き	0.999995	0.999998	0.999997
C. 検査機の傾き	0.999998	0.999995	0.999996
D. チップ径	0.999997	0.999996	0.999997

感度水準は、測定値の偏りを示す指針となる。表8より、各標示因子の水準間の相異は、ほとんど認められなかった。

<3. 2> 実験での温度環境

図7に持ち回り測定での温度環境を示す。温度測定方法はCMM測定テーブル上に置かれたデジタル温度計を使用し、15分毎に温度を記録した。JIS B7506 ブロックゲージの規格ではブロックゲージの寸法は、温度20°C、気圧101325Paにおいて求めるものと規定されている。固体の線膨張係数 α は式(1)にて示される。

$$\alpha = (1/l_0) \times (d l/d t)$$

l_0 : 0°Cにおける長さ(m)、 l : t °Cにおける長さ(m)となる。鉄の線膨張係数は 11.5×10^{-6} (K⁻¹)であり、鉄の温度が1°C上昇すると鉄は1mあたり $11.5 \mu\text{m}$ 伸びる。本実験に使用したCMM検査器の本体部の板材は、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)を使用しており、熱膨張係数は面に平行な方向均一に 2×10^{-6} (K⁻¹)であるため、1°Cの差は本体部で200mmあたり約 $0.4 \mu\text{m}$ となる。

図7より20°Cからの偏りは平均値でA社、B社ともほぼ同じ値であるが、温度のばらつきを示す標準偏差 σ は、A社は小さく、B社は大きい。B社では寸法として3~4 μm の変動が予想される。

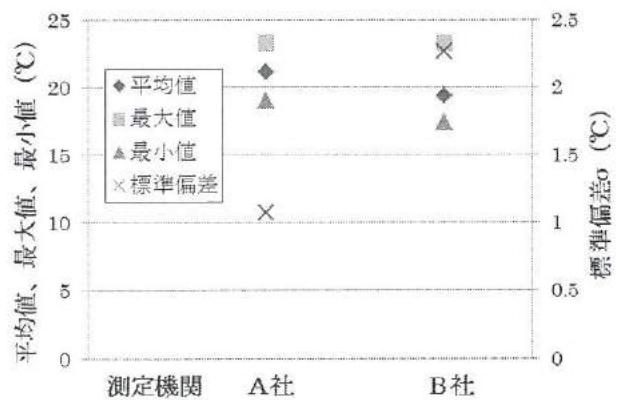


図7 持ち回り測定での温度環境

Fig.7 Temperature environment while round-robin tests

<3. 3> 測定誤差の評価

(1) 特性値ごとの誤差限界

図8にS N比による測定誤差の比較、表9に誤差限界の平均値を示す。S N比は信号/誤差の比であり大きいほど誤差が小さいことを意味する。実験では特性値として測定項目が球間距離による評価、球径による評価の2つにより評価し、値は各特性値の平均値である。2つの特性値についてS N比を比較すると、球径>球間距離の関係となる。球間距離のS N比が小さいのは、球径測定では直径 $\phi 1$ インチの測定長さに対し、球間距離測定では最大で約283mmの測定長さとなるため測定長さに起因する累積誤差及び温度変動の影響が考えられる。

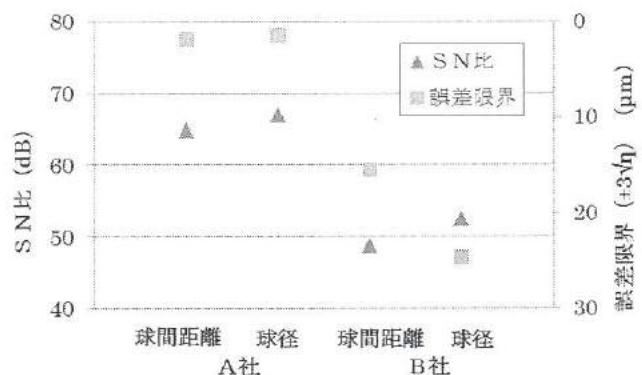


図8 S N比による測定誤差の比較

Fig.8 Comparison of measurement errors estimated by SN ratios

表9 実験での誤差限界

Table 9 Limits of errors estimated by measurements

特性値	A社	B社
球間距離	1.82	15.52
球径	1.46	24.66

単位± (μm)

(2) メーカー保証精度との誤差限界の比較

図9に球間距離測定の場合のメーカー保証精度（空間精度 U_3 ）と誤差限界（ $\pm 3/\sqrt{\eta}$ ）の比較を示す。図中のエラーバーは誤差範囲であり、標準偏差 2σ （片側）である。A社では測定誤差を表す誤差限界とメーカー保証測定精度である空間精度 U_3 はほぼ同等の値となった。しかし、B社では誤差限界がメーカー保証測定精度に対して誤差が大きい結果となった。

明確な原因はわからないが、B社の測定機のプローブは3点支持式タッチトリガー方式であり、測定圧が小さい。

スタイラス長さが長くて重い場合、プローブが受ける慣性モーメントを増大させる原因となる。このような場合、感度調整が困難な状況となり、測定誤差が大きくなつたと推察される。

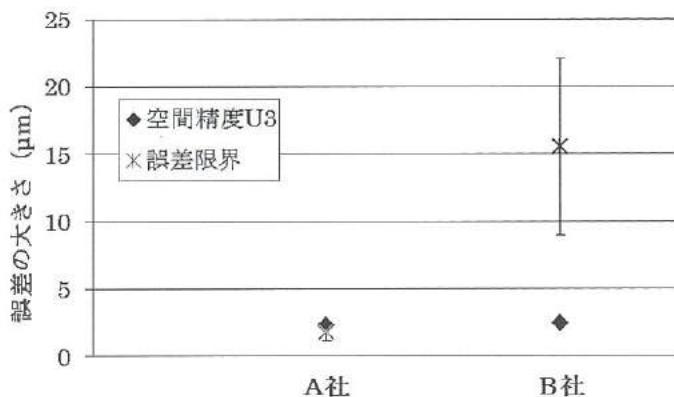


図9 メーカー保証精度と誤差限界の比較

Fig.9 Comparison between accuracies of specs and limits of error estimated by measurements

(3) 温度のばらつきの誤差限界への影響

図10に温度のばらつき（標準偏差 σ ）と誤差限界（ $\pm 3/\sqrt{\eta}$ ）の比較を示す。温度のばらつきが小さい測定機関では誤差限界も小さくなつており、温度の影響と測定誤差に関連性があると考えられる。

4. 結言

独自のCMM用簡易検査器を考案・試作して、2社持ち回りによるCMMの誤差評価実験を行い、以下の結果が得られた。

- 1) A社の実施結果では、2種類の特性値、距離測定、球径測定について、誤差限界の差が $0.36\mu\text{m}$ であり、特性値間の差が小さいことが確認された。

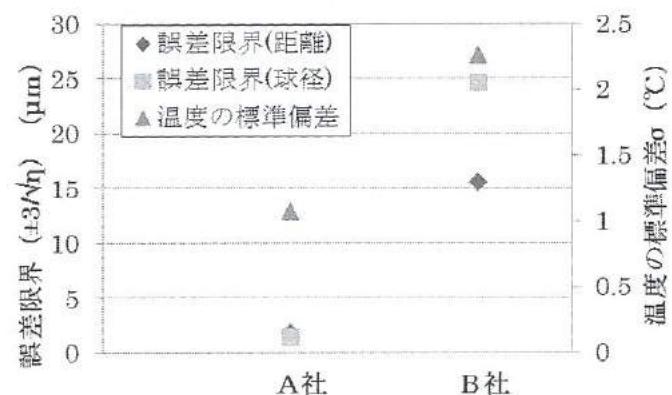


図10 誤差限界と温度の関連性

Fig.10 Relationship between limits of errors and environmental temperatures

- 2) A社の実施結果では、実験により算出した誤差限界とメーカー保証精度（空間精度 U_3 ）はほぼ同等の値となった。
- 3) 因子B（スタイラスの向き）では、水準間のSN比に有意差が認められた。

スタイラスが下向きの場合と、スタイラスが水平向きの場合とは、誤差発生のメカニズムが異なることが考えられる。

- 4) 因子C（検査機の傾き）では、水準間のSN比に有意差が認められた。しかし、水準1と水準2とでは、水準間のSN比の差が 2.9dB であり、有意性判断基準値の限界に近い値を示した。このことから、目視確認できる検査器の傾き（ $0.2\text{mm} \sim 0.3\text{mm}/200\text{mm}$ ）は、測定結果に影響を与えない、と推察された。
- 5) B社の3点支持式タッチプローブ方式のCMMでは、誤差限界がメーカー保証精度に対して、誤差が大きい結果となった。スタイラス長さが長くて重い場合、感度調整が困難な状況となり、測定誤差が大きくなつたと推察される。

文 献

- (1) 広地ほか; CMM（三次元測定機）用簡易検査器の開発、平成22年度若い研究者を育てる会研究論文集
- (2) 田口玄一ほか; 転写性の技術開発、日本規格協会

II. LED 照明の EMC・ノイズ対策に関する研究

EMC for LED lighting

平田 哲郎

HIRATA Tetsuro

佐々木 克浩

SASAKI Katsuhiro

塚本 吉俊

TSUKAMOTO Yoshitoshi

宮田 直幸

MIYATA Naoyuki

浅田 峰夫

ASADA Mineo

角崎 雅博

KADOSAKI Masahiro

Abstract

We measured noise levels of 13 kinds of LED bulbs on the market, and investigated causes and measures for those noises. As a result, with terminal disturbance voltage measurements, all LED bulbs satisfied limits of Electrical Appliance and Material Safety Act, however, some of them did not satisfy that of international standards. With disturbance power and radiated disturbance, some of the LED bulbs did not satisfy limits of Electrical Appliance and Material Safety Law and/or international standards. With terminal disturbance voltage measurements, we found that those differences of noise levels were mainly attributed to those of input choke coils, i.e., L value in the LC filter, and that well-known noise reduction method using LC filter could be applied to LED bulbs. Furthermore, we measured noise generated by parallel LED bulbs in consideration of actual environment. Consequently, with increasing the number of LED bulbs, noise levels of common mode got larger, whereas that of normal mode did not. We presented cases in measures for those common mode noises.

1. 緒言

現在、低消費電力、長寿命の次世代照明として発光ダイオード(LED: Light Emitting Diodes)を用いた照明が脚光を浴びている。LEDは、一方向の電流で駆動する必要があり、定電流駆動が一般的である。その中でも、小型化、高効率化のためにスイッチング電源が使用されることが多いが、スイッチングに伴って電磁ノイズが発生する。最近、LED照明に切り替えたことで、テレビが映りにくい、ラジオに雑音が入る等の問題が発生したとの報告がある。2012年2月現在、電気・電子機器から発せられるノイズは電気用品安全法で規制されているものの、LED照明は対象外となっているため、LED照明のノイズに対しては不明確である。近年、LED照明から発生するノイズに関して報告されつつあり⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾、異なる知見の提示が重要と考えられる。

そこで本研究では、LED照明の利用や開発の際に生かせる知見の提示を目的とし、LED照明から発生するノイズを測定するとともに、その原因と対策法についても検討する。

2. 規格と試験方法

<2. 1> 規格

電磁環境両立性(EMC: Electro Magnetic Compatibility)には電磁妨害(EMI: Electro Magnetic Interference)と電磁感受性(EMS: Electro Magnetic Susceptibility)の2つがあり、EMIの評価においては雑音端子電圧、雑音電力、雑音電界強度が代表的である。雑音端子電圧は試験体の電源線から伝導するノイズ、雑音電力は試験

体の電源線から空中に放射されるノイズ、雑音電界強度は試験体や電源線・通信線から空中に放射されるノイズである。

照明関連を含めたEMI規制を表1に示す。電気用品安全法(以

表1 各規格におけるEMI規制

Table 1 Law of EMI

	周 波 数 [MHz]	許容値 ^a (QP)		
		電気用品 安全法 (LED)	国際規格 CISPR15	VCCI (Class B)
雑音端子 [dB μ V]	0.009~0.05	—	110	—
	0.05~0.15	—	90~80 ^b	—
	0.15~0.5	—	66~56 ^b	66~56 ^b
	0.5~5	—	56	56
	5.265~5	56	—	—
	5~30	60	60	60
雑音電力 [dB μ PW]	30~300	55	—	—
雑音電界 強度 [dB μ V/m]	30~230	—	30	30
	230~300	—	37	37
	300~1000	—	—	37

a 周波数の境界では、値の低い方の許容値を使用する

b 周波数の対数に対して許容値は直線的に減少する

- 規定なし

下電安法と呼ぶ)では2012年7月よりLEDランプおよび照明器具も雑音端子電圧と雑音電力で規制されることが決定している⁽⁶⁾。一方、照明機器に関する国際規格 CISPR 15^{(7),(8)}では、雑音端子電圧と雑音電界強度が規制の対象となっている(表には記載していないがラージループアンテナによる試験も対象)。また、参考としてパソコンなどのノイズに関する国内における規制 VCCI (Voluntary Control Council for Information Technology Equipment)⁽⁹⁾でも、雑音端子電圧と雑音電界強度が規制対象となっている。

以上を考慮し、本研究では、電安法にて規制される雑音端子電圧と雑音電力に加え、CISPR15で規制される雑音電界強度についても測定を行った。

<2. 2> 試験方法

富山県工業技術センターにおける「ものづくり研究開発センター 10m 法電波暗室 (VCCI および FCC 登録)」にて、以下①～③の測定を行うこととした。

① 雜音端子電圧

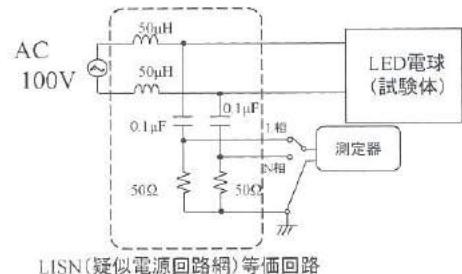
電安法では規制周波数範囲は 0.5265～30MHz であるのに対して、VCCI では 0.15MHz から規制される。VCCI を考慮して、本研究では、0.15～30MHz の雑音端子電圧を電安法に基づいて⁽⁶⁾測定する。測定には擬似電源回路網 (LISN: Line Impedance Stabilization Network) を使用し、試験体から電源を見たインピーダンスを管理しながら、電源線上のノイズ成分のみを抽出する。LISN の等価回路、測定配置図および測定風景をそれぞれ図 1(a)、(b)、(c)に示す。高さ 0.8m の机の上で垂直基準金属面より 0.4m、LISN より 0.8m 離れた場所に試験体を設置する。はじめにノイズのスペクトラムピークを測定し、その後、ノイズレベルが最大となる周波数を決定して準尖頭値 (QP; Quasi-peak) 検波を行う。

② 雜音電力

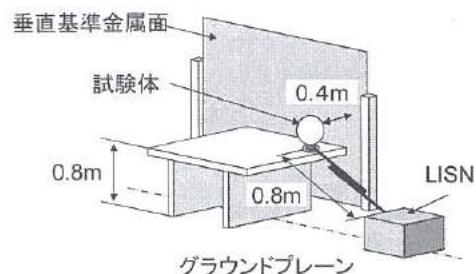
電安法に基づき周波数 30～300MHz の雑音電力を測定する。測定配置図と測定風景を図 2 に示す。試験体と電源線は、それぞれ高さ 0.8m の非導電性テーブルとクランプ走行台の上に設置する。電源線に沿って吸収クランプを 5m 走査しながらノイズのスペクトラムピークを測定する。その後、ノイズレベルが最大となる周波数と位置を決定して QP 検波を行う。

③ 雜音電界強度

雑音電界強度に関しては、CISPR15 は許容値の上限周波数が 300MHz であるが、VCCI を考慮し、30MHz～1000MHz の雑音電界強度を CISPR15 に基づいて測定する。測定配置図と測定風景を図 3 に示す。高さ 0.8m の非導電性テーブル中央に試験体を設置し、電源線は直下に垂らしグラウンドプレーン上に配線して AC 電源に接続する。試験体中心から 10m 離れた位置で受信アンテナ (ハイブリッドアンテナ) によりノイズを受信する。受信アンテナを高さ 1～4m 走査し、試験体を 360° 回転させる。はじめにノイズのスペクトラムピークを測定し、その後、ノイズレベルが最大となる周波数と方向を決定して、QP 検波を行う。なお、本研究では、水平偏波と垂直偏波を同時に測定可能な 2 アンテナ



(a) 回路



(b) 測定配置図



(c) 測定風景

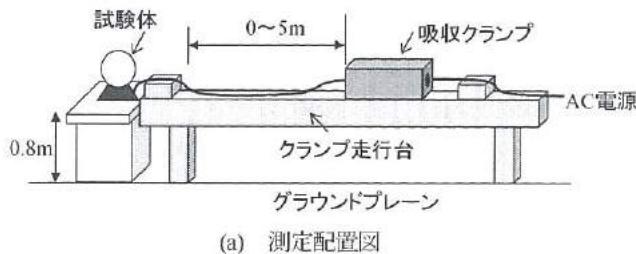
図 1 雜音端子電圧の測定系

Fig.1. Measurement system of terminal disturbance voltages.

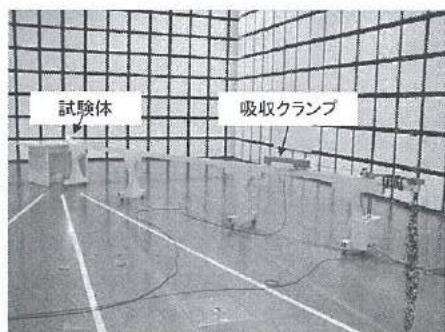
(a) Equivalent circuit of LISN, (b) Measurement arrangement and (c) Overview of the measurement set-up.

法を採用した。

QP 検波の測定、雑音端子電圧および雑音電力のスペクトラムピーク測定には EMI レシーバ (ローデ・シュワルツ社製 ESU-26) を用いた。また、雑音電界強度のスペクトラムピークの測定にはスペクトラムアナライザ (アジレント・テクノロジー社製 N9000A) を用いた。システム全体の制御は、東陽テクニカ製のソフトウェアにより行った。なお、試験体は、市販されている LED 電球とし、口金ソケット E26 に関して 8 種類 (LED1～8)、E17 に関しては 5 種類 (LED9～13) 選定した。



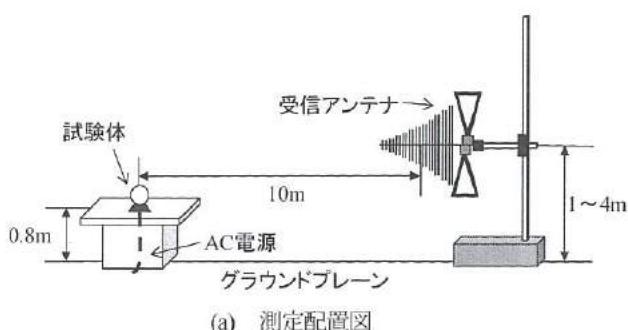
(a) 測定配置図



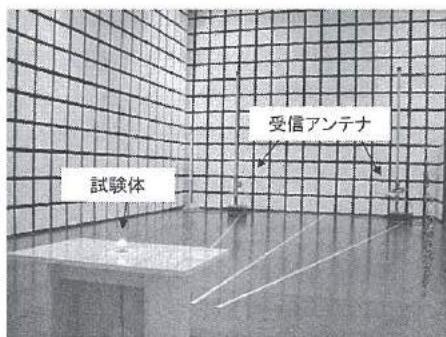
(b) 測定風景

図 2 雑音電力の測定系

Fig.2. Measurement system of disturbance power.
(a) Measurement arrangement and (b) Overview of the measurement set-up.



(a) 測定配置図



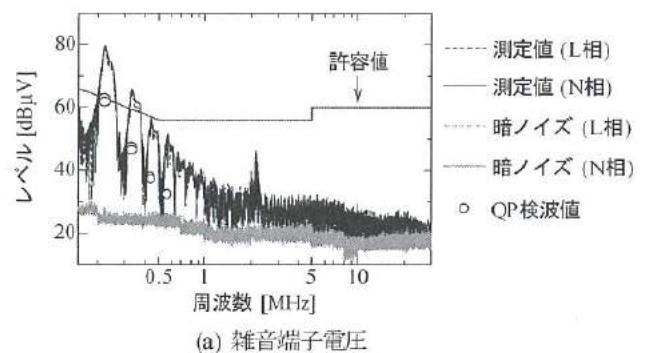
(b) 測定風景 (2 アンテナ法)

図 3 雑音電界強度の測定系

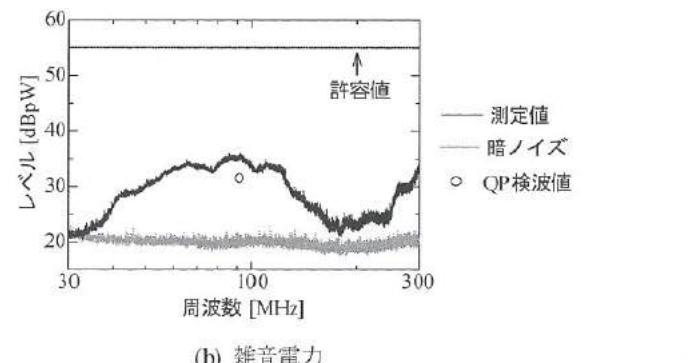
Fig.3. Measurement system of radiated disturbance.
(a) Measurement arrangement and (b) Overview of the measurement set-up.

3. 試験結果

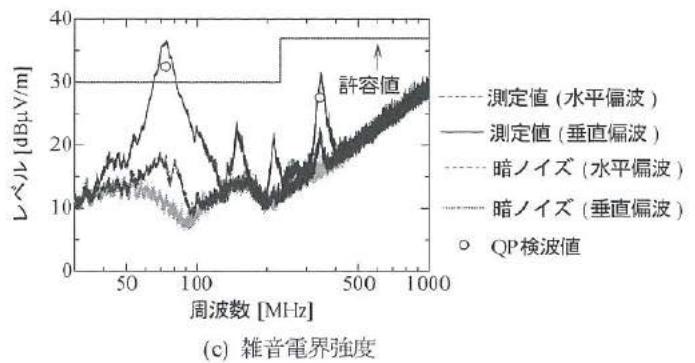
第2章の方法に基づいて、雑音端子電圧、雑音電力および雑音電界強度の測定を行った結果例をそれぞれ図 4(a), (b)および(c)に示す (LED3 の場合)。各図中の灰色の線は、暗ノイズレベルを示しており、測定できる最小値を意味する。また、黒色の線はスペクトラムピークの測定値を、白丸はQP検波値を示している。他のLED電球も同様に雑音端子電圧、雑音電力および雑音電界強度を測定し、QP検波の最大値をプロットした結果をそれぞれ図5、図6および図7に示す。なお、LED8 と LED13 は測定値が暗ノイ



(a) 雑音端子電圧



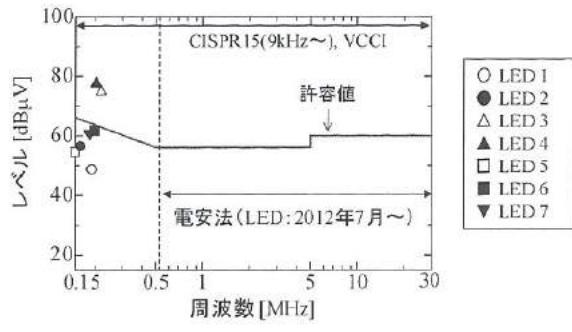
(b) 雑音電力



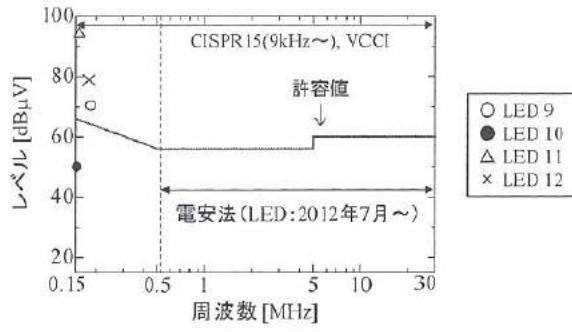
(c) 雑音電界強度

図 4 測定結果例 (LED3 の場合)

Fig.4. Typical measured results for (a) Terminal disturbance voltage, (b) Disturbance power and (c) Radiated disturbance.



(a) 口金サイズ: E26

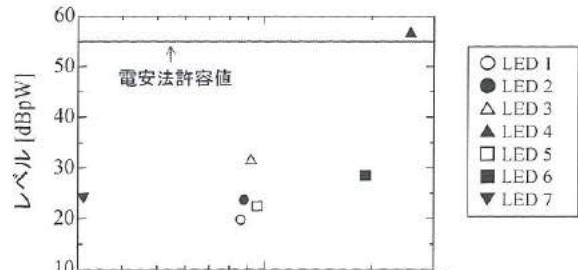


(b) 口金サイズ: E17

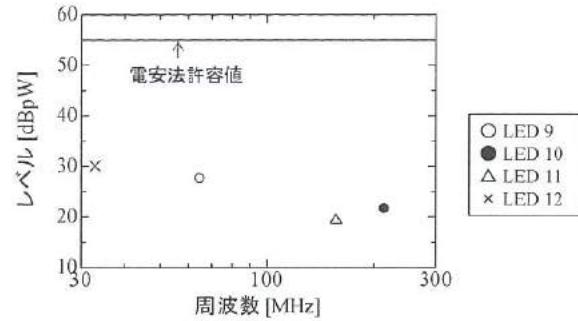
図 5 雑音端子電圧の測定結果 (QP 検波の最大値)

Fig.5. Results of terminal disturbance voltage measurements when cap size is (a) E26 and (b) E17.

ズレルべであったため、各図中にプロットしていない。図 5 より、各 LED 電球ともに 0.2MHz 付近でノイズレベルが高い。図 6 と図 7 の比較より、雑音電力に比べて雑音電界強度は特定の周波数 70MHz 付近でノイズレベルが高い。また、LED4 は、他の LED 電球に比べて (300MHz に近い) 高周波数でノイズレベルが高い。以上の結果をもとに、表 1 の条件での規格への適合性を表 2 にまとめた。同表より、雑音端子電圧は、すべての LED 電球において電安法の許容値を満たしていたが、CISPR15 または VCCI (Class B) の許容値を満たさないものが一部あった。また雑音電力に関して、LED4 のみ電安法の許容値を満たしていなかった。雑音電界強度については、CISPR15 の許容値を満たしていない LED 電球があった。なお、LED3 と 4 は同一メーカーであるが LED4 で雑音電力が電安法の許容値を満たしていなかった。表 2 より口金サイズの違いで結果が異なる例もあり、同一メーカーであってもノイズレベルが異なる場合があることがわかった。



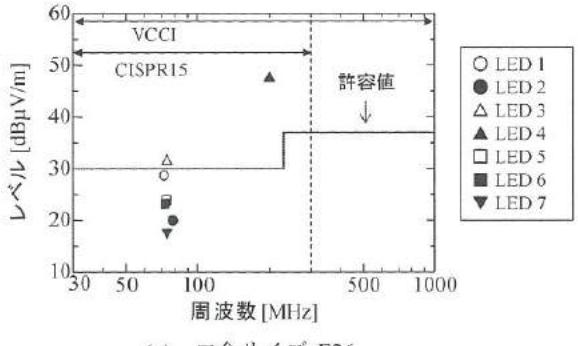
(a) 口金サイズ: E26



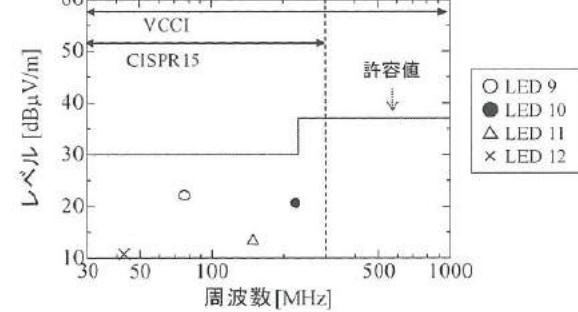
(b) 口金サイズ: E17

図 6 雜音電力の測定結果 (QP 検波の最大値)

Fig.6. Results for disturbance power measurements when cap size is (a) E26 and (b) E17.



(a) 口金サイズ: E26



(b) 口金サイズ: E17

図 7 雜音電界強度の測定結果 (QP 検波の最大値)

Fig.7. Results for radiated disturbance measurements when cap size is (a) E26 and (b) E17.

表2 規格対応試験結果

Table 2 Test results

	口金 サイズ	メーカ	雑音 端子 電圧	雑音 電力	雑音 電界 強度
LED1	E26	A	○	○	○
LED2		B	○	○	○
LED3		C	△	○	△
LED4		C	△	×	△
LED5		D	○	○	○
LED6		E	○	○	○
LED7		F	○	○	○
LED8		G	NL	-	NL
LED9	E17	A	△	○	○
LED10		B	○	○	○
LED11		C	△	○	○
LED12		H	△	○	○
LED13		D	NL	NL	NL

○：表1の規格の許容値を満たす

△：CISPR15 またはVCCI(表1の許容値)を満たさない

×：電安法を満たさない

NL：暗ノイズレベル

- : 未測定

4. LED電球単体のノイズの要因と対策

第3章で明らかとなった各LED電球のノイズレベルの差の要因を検討するため、LED1～4, 9～11を分解した(図8参照)。各LEDのスイッチング電源は、小型化、高効率化が可能である非絶縁型であり、この方式が主流になってきていると考えられる。今回分解したLED電球の電源回路は、主に昇降圧型(図9(a))または降圧型(図9(b))であり、昇降圧型の割合が高かった(表3参照)。また、各LED電球は、ノーマルモードノイズ用のノイズフィルタのみが内蔵されていた。

<4. 1> 雜音端子電圧に関するノイズ

図9に示すようなスイッチング電源から発生するノイズは、スイッチング電流が電解コンデンサCに流れたとき、電解コンデンサの直列等価抵抗ESRに発生する電圧が原因となる。このノイズは、図9の入力チョークコイルLとコンデンサCにより構成されるLCフィルタ(ノーマルモードノイズ用)で減衰される。したがって、LやCなどの特性がノイズレベルに影響する。そこで、インピーダンスアナライザ(アジレント・テクノロジー社製4294A)を用いて、各LED電球内の部品の特性を測定した。その結果を表3に示す。同表より、C社のL値が他のメーカより小さいことがわかった。L値とノイズレベルの関係を検討するため、LED3のL値を55μHから他メーカ同等の725μHに変更して計算

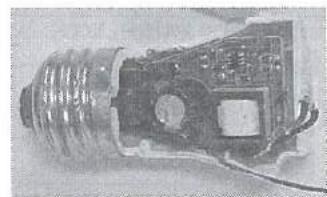


図8 LED電球内の基板の一例
Fig.8. Typical basal plate of LED bulbs.

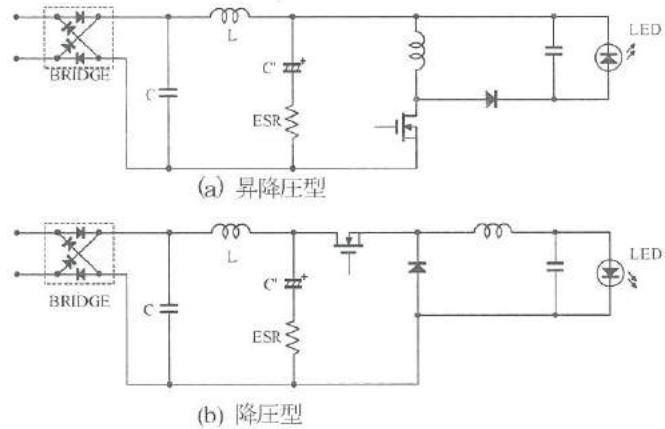


図9 LED電球の回路概略図

Fig.9. Schematic circuit diagram of LED bulb.

(a) Buck boost converter and (b) Buck converter.

表3 LED電球の諸特性

Table 3 Characteristics of LED bulbs

メーカ	LED No.	回路方式	スイッチング周波数 (typ.)[kHz]	LC フィルタ		電解コンデンサ ESR [mΩ], 容量 [μF]
				L [μH]	C [μF]	
A	LED1	昇降圧型	46	800	0.047	3100, 6.8
	LED9	昇降圧型	46	795	0.047	6400, 6.8
B	LED2	昇降圧型	68	720	0.1	1300, 7.5
	LED10	昇降圧型	68	725	0.1	1690, 5.1
C	LED3	降圧型	115	55	0.1	3150, 10
	LED4	降圧型	115	12	0.1	2650, 10
	LED11	昇降圧型	53	24	0.068	3900, 10

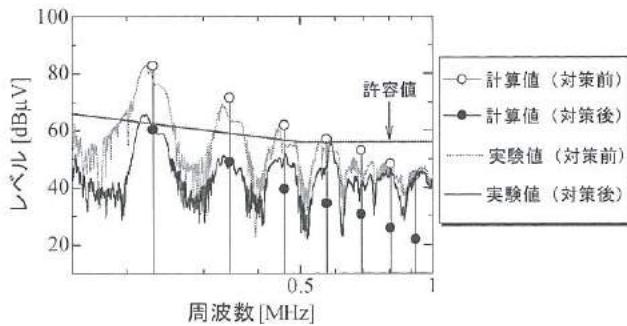


図 10 雑音端子電圧のノイズ対策例

Fig.10. Typical noise reduction for terminal disturbance voltage measurements.

と実測を行った。計算値は、ESRにおける発生電圧をフーリエ級数展開した値と、表3のLおよびCの値から求めたLCフィルタの減衰特性値を乗算して算出⁽¹⁰⁾した。L値を変更して計算と実測を行った結果を図10に示す。同図より、L値の変更により、0.15～0.5MHzのノイズレベルが低くなり、許容値内となることが計算と実験(QP検波後)により確認できた。以上より、図5の周波数0.2MHz付近のノイズレベルの差は、LCフィルタのL値の差が主要原因であることが明らかになった。また、LED電球に対して、LCフィルタを用いた一般的なノイズ対策の設計が適用可能であることを示せた。

<4. 2> 雑音電力および雑音電界強度に関するノイズ

表2と表3より、ノイズレベルが高いLED3とLED4のみ回路方式が降圧型であることがわかる。この回路方式は、スイッチングに用いられるFETがONする際に転流ダイオードに逆方向電流が流れることでサージ電流が発生しやすくなるという特徴がある。しかし、LED3においてはそれがサージ電流の主要因ではなく、回路方式によるノイズの違いについての特定には至らなかった。

雑音電力と雑音電界強度のノイズには相関性があることが報告されている⁽¹⁾。雑音電界強度に関しては、文献(2)においてスイッチングに伴うサージ電流がノイズ源であることが示されている。また、文献(3)において、放射ノイズは、電源線による共振もしくは電源線におけるコモンモード放射が要因と考えられている。本研究が対象としたLED電球についても同様の知見を確認している。このようなノイズへの対策として一般的にスナバ回路が知られており、LED電球への適用例が報告されている⁽²⁾。上記文献の事例がノイズ対策の一指針になると考えられる。

<4. 3> ノイズレベルが極端に小さいLED電球について

ノイズが暗ノイズレベルであったLED8を分解したところ、スイッチング電源を用いていなかった。この方式では、発光効率が悪い(発熱が大きい)、商用周波数の2倍の周波数でLEDが点灯するためちらつきなどの問題が懸念される。しかし、例えば医療現場のようなノイズに対して非常に厳しい環境では適していると言える。

5. LED電球の複数点灯時のノイズ測定と対策

実使用では、同一の電源系統に複数の照明が接続される場合が想定できる。そこで、LED2の電球を並列に点灯した際の雑音端子電圧と雑音電力のノイズレベルについて以下検討する。

測定風景と測定配置図をそれぞれ図11(a)と(b)に示す。各LED電球は垂直基準金属面から0.4m離した位置に0.3m間隔で配置した。LED電球1のみと、LED電球1～5すべて点灯させて雑音端子電圧を測定した結果を図12に示す。0.5MHzまでのノイズレベ

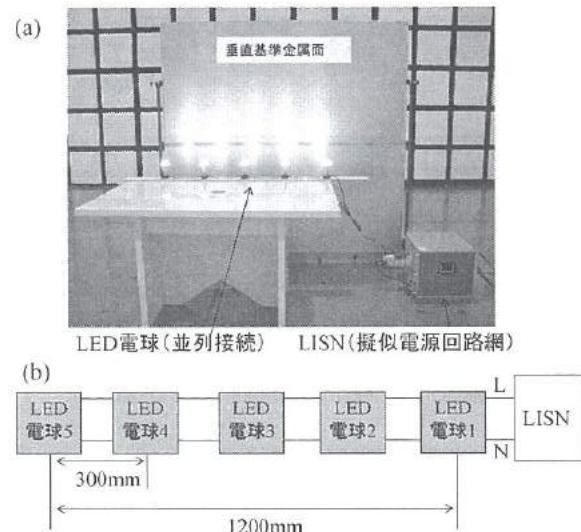


図 11 LED電球並列点灯時の雑音端子電圧測定系

(a)測定風景、(b)測定配置図

Fig.11. Measurement system of terminal disturbance voltages for parallel LED bulbs. (a) Measurement arrangement and (b) Overview of the measurement set-up.

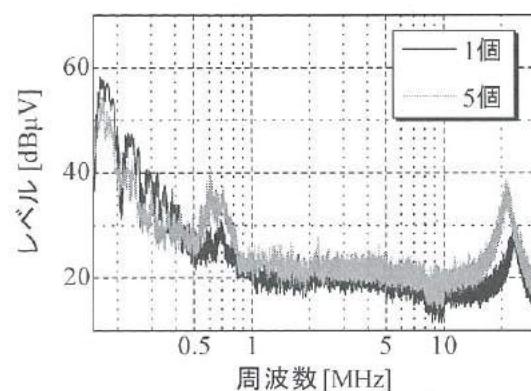


図 12 LED電球並列点灯時の雑音端子電圧測定結果

Fig.12. Results for terminal disturbance voltage measurements for parallel LED bulbs.

ルは高くなっているが、0.7MHzと20MHz付近でレベルが高くなっている。図5(a)より、LED2は雑音端子電圧のノイズレベルが比較的低いため、図12で示したノイズの増加は、許容値を超えるまでの問題にならない。しかし、LED電球がさらに多くなった場合や、単体でノイズレベルが高い電球を並列点灯させた場合は、問題となる可能性がある。そこで2つの対策を検討した。1つ目は、ノーマルモードノイズへの対策として、L-N間にフィルムコンデンサ $1\mu F$ を3つ並列に接続した(図13(a))。2つ目

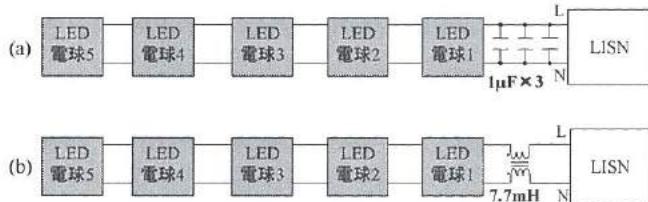


図13 LED電球並列点灯時の対策

(a) 並列コンデンサ、(b)コモンモードチョークコイル

Fig.13. Measures for terminal disturbance voltage measurements for parallel LED bulbs.

(a) Parallel capacitance and (b) Common mode choke coil.

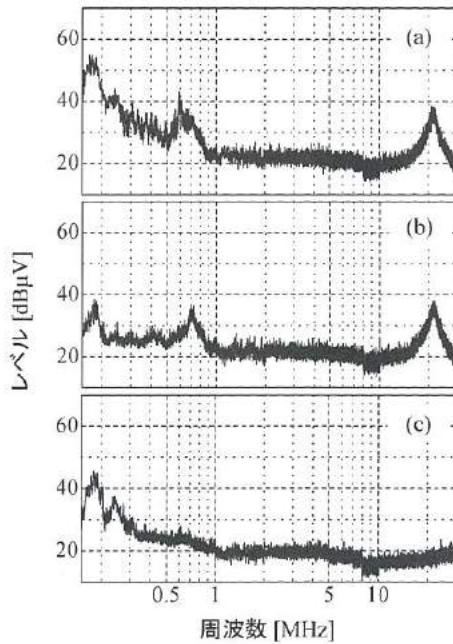


図14 並列点灯時の雑音端子電圧の対策

(a) 対策前、(b) 図13(a)の対策後、(c) 図13(b)の対策後

Fig.14. Measures for terminal disturbance voltage measurements for parallel LED bulbs.

(a) Normal. After measures for (b) Fig. 13(a) and (c) Fig. 13(b)

は、主にコモンモードノイズへの対策として、L-N間にコモンモードチョークコイルを挿入した(図13(b))。対策結果を図14に示す。同図(b)より、1つ目の対策では0.5MHzまでの周波数でノイズレベルが10~15dB低減されたが、0.7MHzと20MHz付近のレベルは低減されなかった。一方、同図(c)に示すように、2つ目の対策により0.7MHzと20MHz付近のノイズレベルを低減できた。以上より、増加したノイズは主にコモンモードノイズであることがわかった。

並列点灯時の雑音電力の測定を行った結果を図15に示す。ほぼすべての周波数帯でノイズレベルが高くなり、最大で13dB程度の増加がみられた。コモンモードノイズへの対策例として、LED電球1に接続されている被測定電源線の電球直近にフェライトコアを装着した結果を図16に示す。同図より、各周波数帯域で5~10dBのノイズレベルの低減効果がみられた。

以上の結果から、LED電球を並列点灯した場合には、ノーマルモードノイズは増加しないが、コモンモードノイズが増加することが明らかとなり、さらにそれらのノイズの対策事例を示した。

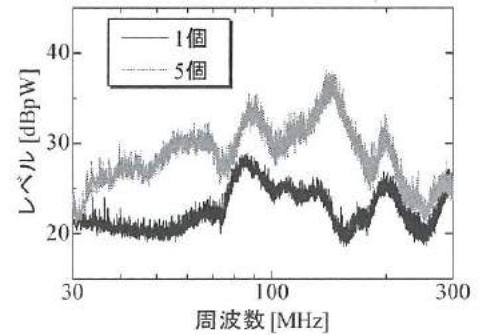


図15 LED電球並列点灯時の雑音電力の測定結果

Fig.15. Result for disturbance power measurements for parallel LED bulbs.

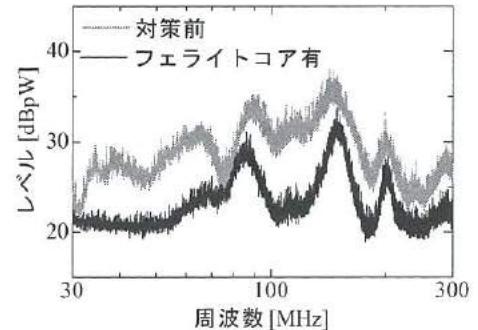


図16 並列点灯時の雑音電力の対策

Fig.16. Measures for disturbance power measurements for parallel LED bulbs.

6. 考察

雑音端子電圧に関して、第3章にある図4のLED電球単体の試験では20MHz付近にノイズが発生していなかったが、第5章にある図12ではLED電球1のみを点灯させた場合にその周波数帯でノイズが発生している。このノイズの要因として、並列接続により電源線が長くなり大地との間の浮遊容量が増えたことと電源線の共振の影響があげられる。コモンモード電流は、大地との間の浮遊容量を流れるため、等価回路は図17(a)のようになるとされる。上記要因とLED電球の増加に伴いノイズ源が増えたことで20MHz付近のノイズの増加につながったと考えられる。また、LED電球にはコモンモードフィルタが内蔵されていないためLISNに流れるノイズ電流が増加し、0.7MHz付近の成分も含めたコモンモードノイズのレベルが高くなったと考えられる。一方、ノーマルモードノイズの等価回路は図17(b)のようになるとされる。各電球に(ノーマルモード)LCフィルタが内蔵されているため、L-N間のインピーダンスが低下する。このため、並列接続によってノイズ源は増えるが、LISNに流れる電流値は増加せず、ノイズレベルは高くなかったと考えられる。

雑音電力の測定はコモンモードノイズを対象としていることより、図17(a)の等価回路が適用可能と考えられ、雑音端子電圧の場合と同様にノイズレベルが高くなつたと考えられる。

コモンモードノイズについては、図6および図7よりLED単体で電安法を満たさないものやVCCIの許容値を満たさないものがある。電球が複数となった場合にはさらにノイズが増加し、他の電子機器への妨害が一層懸念され、対策の必要性が示唆さ

れる。本研究では、対策方法とその効果の傾向を把握する目的から図13に示す位置にノイズフィルタを挿入したが、実使用ではノイズ源の近くに挿入することが望ましい。ただし、コモンモードチョークコイルやフェライトコアなどをLED電球内に内蔵することは大きさの面からも現実的ではない。そこで、使用環境に応じてノイズが問題となる場合には、電球直近での外付け対策(例えばフィルタ付きソケット)が選択肢のひとつとなるであろう。

また、コモンモードノイズの発生と電源線によるノイズ放射のメカニズムをはじめ、図17の仮説を検証するためには、解析による検討が必要と考えられる。その中でも、電磁界解析と実測による検討が今後の課題のひとつである。

7. 結言

単体のLED電球を対象とした規格対応試験と複数LED電球を並列点灯させた場合のノイズレベルの測定を行うとともに、ノイズ発生原因と対策に関して検討し、以下の知見が得られた。

- (1) 雜音電力と雑音電界強度に関しては、電気用品安全法/国際規格の許容値を満たしていないものが一部あった。
- (2) 雜音端子電圧に関しては、電気用品安全法を満たしていたが、国際規格などを満たさないものが一部あった。各LED電球のノイズレベルの差は、入力チョークコイルL値の差が主要因であることがわかり、LCフィルタを用いた一般的なノイズ対策設計が適用可能であることを示した。
- (3) LED電球を並列点灯させた場合において、ノーマルモードノイズは増加しないが、コモンモードノイズは増加することが明らかになり、コモンモードノイズへの対策が必要になる場合があることを示した。また、コモンモードフィルタを用いた対策事例を示した。

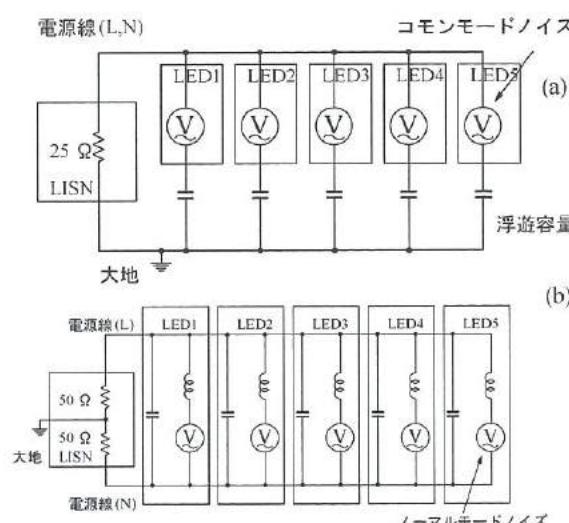


図17 並列点灯時の雑音端子電圧測定における等価回路
(a)コモンモード、(b)ノーマルモード

Fig.17. Equivalent circuits in terminal disturbance voltage measurements for parallel LED bulbs.
(a) Common mode and (b) Normal mode.

文 献

- (1) 柄他, 信学技報, EMCJ2010-680 (2010) 57.
- (2) 菅野他, EMC, 271 (2010) 54.
- (3) 春日他, 信学技報, EMCJ2011-66 (2011) 29.
- (4) 市村他, 電子情報通信学会総合大会, B-4-37 (2011) 350.
- (5) 電気用品の技術上の基準を定める省令 付属の表2 電気用品の雑音の強さの測定方法 (昭和37年通商産業省令第87号)
- (6) 電気用品安全法施行令の一部を改正する政令 (平成23年7月6日政令第213号)
- (7) CISPR15 Ed.7, 2005-11.
- (8) CISPR15 Amd.1, 2006-10.
- (9) VCCI 技術基準, V-3/2011.04.
- (10) 前坂, 町野: “スイッチング電源設計基礎技術”, 誠文堂新光社, (2011)

III. 積層鋼板の磁気特性に関する研究

Study on Magnetic Properties of Electrical Steel Sheet

堀田 哲朗

HORITA Tetsuro

浅田 峰夫

ASADA Mineo

杉本 考行

SUGIMOTO Takayuki

丹保 浩行

TAMBO Hiroyuki

谷野 克巳

TANINO Katsumi

升方 勝己

MASUGATA Katsumi

Abstract

Electrical laminated steel sheet is a soft magnetic material used in the core of transformers, motors, and so on. Generally, the characteristics of low core loss, high magnetic flux density and high permeability are required for the electrical steel sheet. The motor is magnetized by a PWM (Pulse Width Modulation) inverter which can easily control velocity. In this study, we investigated the relationship between magnetic properties and chemical composition for several kinds of non-oriented electrical steel sheets. Additionally we examined the influence of temperature on magnetic properties, and iron loss of the electrical steel sheet under the PWM wave excitation.

As a result, iron loss and magnetic flux density depended on Si contents in the electrical steel sheet. The core loss (eddy current loss) reduced with the decreasing sheet thickness. On the other contrary, the iron loss (Hysteresis loss) reduced with the increasing grain size. Iron loss and magnetic flux density decreased with the increase of the sheet temperature. In addition, iron loss of the PWM wave excitation was larger than that of a sine wave magnetization. We consider that this result is due to minor loop.

1. 緒言

近年、地球環境の観点から省エネルギー化が進み、CO₂を全く排出しない次世代自動車として、電気自動車（以下、EVと略す）が急速に注目を集めている。一般に、EV用モータの鉄心材料には無方向性電磁鋼板が用いられている。モータの高効率化のためには、電磁鋼板自体の低損失化が必須であるが、モータの高速回転化に対応するために、高周波においても鉄損が低いものが望まれている。一方、モータの小型高出力化のために回転子に希土類磁石のようなエネルギー積が非常に高い永久磁石が取り付けられているため、高飽和磁束密度でも使用できる必要がある。以上の理由から、電磁鋼板には、低損失化、高飽和磁束密度化、高透磁率化などが求められている¹⁾。

本研究では、EV用モータにおいて有効な電磁鋼板の知見を得ることを目的として、先ず、無方向性電磁鋼板を中心に各種磁性材料の磁気特性を測定した。次に、電磁鋼板の成分量が鉄損などの磁気特性にどのような影響を与えていたかについて検討した。また、自動車用モータとしての使用環境を考慮し、電磁鋼板の高温時の磁気特性について検討した。さらに、モータは速度制御が容易なPWM（Pulse Width Modulation）インバータによる励磁法が用いられているため、PWM波励磁下での磁気特性について検討を加えた。

2. 実験方法

<2. 1> 測定試料

本研究に用いた磁性材料は、9種類の無方向性電磁鋼板 A～I材、78%Ni パーマロイ、Ni-Zn 系フェライトおよび純鉄（4N）である。無方向性電磁鋼板のうち、6種類は汎用品で3種類はモータの固定子あるいは回転子用の材料である。

<2. 2> 測定方法

板厚が0.35 mm、0.50 mm の試験品から、外径25 mm、内径15 mm のリング試料を作製し、磁束密度および鉄損を測定した。試料の加工には、磁気的損失を考慮して放電加工機（DWC110SA、三菱電機製）を用いた。図1は測定試料の形状を示す。Ni-Zn 系フェ

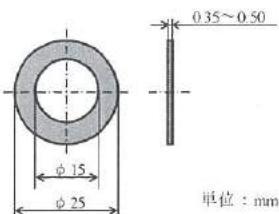


図1. リング試料

Fig.1. An appearance of ring specimen.

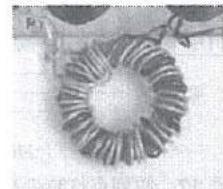


図2. 卷線した測定試料

Fig.2. Ring specimen with winding.

ライトについては、外径 31 mm、内径 19 mm、厚さ 8 mm の市販品コア材 (HF70、㈱TDK) を用いた。正弦波励磁下での鉄損、磁束密度はリング試料に励磁コイル (1 次側)、検出コイル (2 次側) を巻き、B-H アナライザ (SY-8258、岩通計測㈱製) で測定した。コイルの巻き数は鉄損測定では 1 次側 10 ターン、2 次側 35 ターンとし、磁束密度測定では 1 次側 35 ターン、2 次側 10 ターンとした。図 2 は巻線した測定試料の写真を示す。また、高温時の磁気特性は恒温槽 (IE-1210、岩通計測㈱製) に試料を入れ、実際の自動車用モータ耐久テストの環境条件である 150°C を含めた温度条件 (室温～200°C 露露下) で B-H アナライザにより測定した。

飽和磁束密度および保磁力の測定には、試料振動型磁化測定装置 (VSM-5-18AUTO、東英工業製)、組成分析には、蛍光 X 線分析 (XRF) 装置 (RIX3100、リガク製)、電磁鋼板の試料表面の Si 原子分布観察には、電子線マイクロアナライザ (EPMA) (JXA-8800RL、日本電子製) を用いた。比抵抗の測定は、100 mm × 10 mm の大きさに加工した試料をミリオームハイテスタ (3540、日置電機製) による四端子法で測定した。ただし、一連の測定および分析には、予め電磁鋼板表面の絶縁膜を研磨によって除去した試料を用いた。

<2. 3> 2周波法による鉄損の分離²⁾

鉄損 W はヒステリシス損 W_h と渦電流損 W_e に分けられ式(1) で表される。

$$W = W_h + W_e \quad (1)$$

ヒステリシス損は B-H 曲線で囲まれた面積で表される損失であり、 f を周波数、 B_m を最大磁束密度、 K_h を比例定数とするとスタインメツの実験式により式(2) で表される

$$W_h = K_h f B_m^{1.6} \quad (2)$$

また、渦電流損 W_e は鋼板を通る磁束が変動すると、磁束線のまわりに渦状の電流 (渦電流) が流れ、それによって生じる熱による損失であり、 t を電磁鋼板の板厚、 ρ を電磁鋼板の抵抗率、 K_e を比例定数とすると式(3) で表される

$$W_e = K_e \frac{(f B_m)^2}{\rho} \quad (3)$$

よって、

$$W = K_h f B_m^{1.6} + K_e \frac{(f B_m)^2}{\rho} \quad (4)$$

と表される。式(4)より同一試料で磁束密度を一定とすると、ヒステリシス損は周波数に比例し、渦電流損は周波数の 2 乗に比例する。ここで、1 サイクル分の鉄損 w は

$$w = \frac{W}{f} = K_h B_m^{1.6} + K_e \frac{f(t B_m)^2}{\rho} \quad (5)$$

と表され、1 サイクル分のヒステリシス損 w_h は式(5)において $f=0$ 時の鉄損、つまり式(5)の 1 次方程式の切片となる。したがって、

B_m 一定とすると、任意の周波数におけるヒステリシス損は 1 サイクル分のヒステリシス損 w_h と任意の周波数の積となる。また、渦電流損 W_e は求めたヒステリシス損 W_h と全鉄損 W の差となる。よって、 B_m 一定として 2 つの周波数における鉄損を求め、それらを 1 サイクル分に換算し、連立方程式を解くことで鉄損の分離が可能となる。本研究では、50Hz と 80Hz にて鉄損測定し、鉄損分離を行った。

<2. 4> PWM 波励磁による鉄損測定方法

EV 用モータの制御に用いられている PWM 駆動は、パルス間隔を一定にし、パルスの幅を変化させて擬似的なアナログ波形を生成する方式である。図 3 は、2 レベル PWM 波形 (以下、2-PWM と略す)、3 レベル PWM 波形 (以下、3-PWM と略す) および PWM 波による鉄損測定の概要を示す。一般に、2-PWM は蛍光灯などの照明器具に、3-PWM は主にモータ駆動に用いられている。今回は身近に PWM インバータがないため、任意波形発生器 (WF1946A、エヌエフ回路設計ブロック) とコンパレータを用いて PWM 波を生成し、これを高速電力増幅器 (4020、エヌエフ回路設計ブロック) に接続することで PWM 波を出力した。また、非正弦波の鉄損は B-H アナライザで測定できないため、パワー解

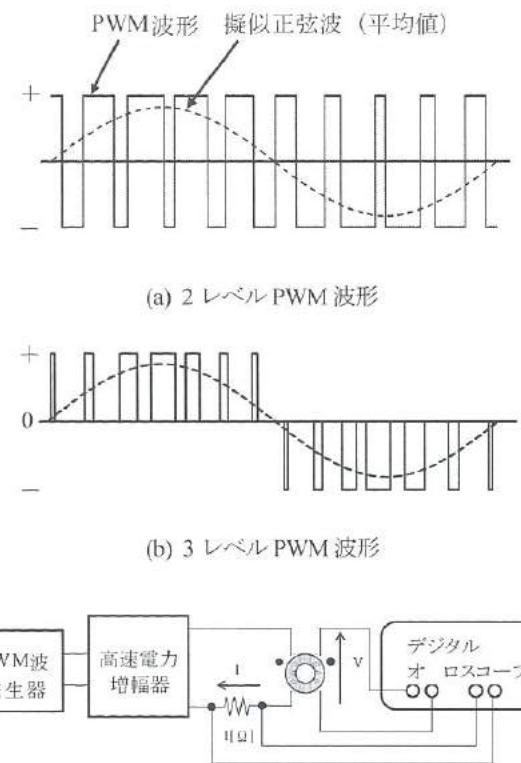


図 3. PWM 波による鉄損測定の概要

Fig.3. Schematic diagram of iron loss measurement with PWM wave excitation

析の付加機能を有するデジタルオシロスコープ (MSO4054、tektronix 製) を用いた。鉄損の測定方法は、リング状試料の 1 次側コイルに流れる電流波形と 2 次側コイルに誘起される電圧波形を乗算することで、試料の鉄損を求めた。

ここでは、板厚が 0.35 mm または 0.50 mm の 9 種類のリング試料 A~I 材について、1 次側コイルと 2 次側コイルを共に 30 ターンとして、磁束密度 $1T$ ($T=$ テスラ)、基本周波数 $400Hz$ の時の鉄損を測定した。この時、変調度は 100%一定とし、キャリア周波数の次数を 12 次、24 次、36 次、48 次、60 次、72 次と増加させた。

3. 結果と考察

< 3. 1 > 各種磁性材料の磁気特性

鉄損とは、試料を磁束正弦波で磁化した時の、試料中に消費される電力をいう。鉄損の表記は JIS で定められており³⁾、特に周波数 f (Hz)、最大磁束密度 $B_m(T)$ で磁化した場合の記号を $W_{10Bm,f}$ で表す。例えば、鉄損 $W_{10/50}$ とは、最大磁束密度 $1.0T$ 、周波数

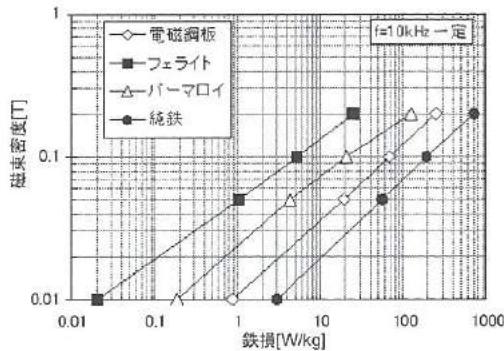


図 4. 各種磁性材料の鉄損

Fig.4. Magnetic flux density dependence with iron losses for various magnetic materials.

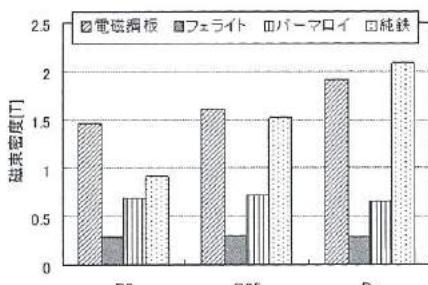


図 5. 各種磁性材料の磁束密度

Fig.5. Magnetic flux density dependence with magnetic fields for various magnetic materials.

50Hz における鉄損をいう。また磁化特性は、ある磁界 $H(A/m)$ に対応する磁束密度を $B_{0.01H}$ で表す。例えば、 B_8 とは磁界の強さが $800A/m$ における磁束密度をいう。

各種磁性材料 (電磁鋼板 A 材、パーマロイ、フェライト、純鉄) の磁束密度 B_8 、 B_{25} 、飽和磁束密度 B_s 、さらに高周波領域の鉄損 $W_{0.1/10k}$ 、 $W_{0.2/10k}$ 、 $W_{1/10k}$ 、 $W_{2/10k}$ について測定した。図 4 は各種磁性材料の鉄損、図 5 は各種磁性材料の (飽和) 磁束密度を示す。図より、周波数 $10kHz$ では、純鉄、電磁鋼板、パーマロイ、フェライトの順に鉄損が減少した。最も鉄損の低いフェライトはスイッチング電源によく用いられているが、磁束密度については最も低い値を示し、一般に知られている通りの結果となった。また、図 4 の鉄損と磁束密度両対数グラフでは、どの試料もほぼ直線の関係を示した。これは、<2.3>の鉄損を表す式(4)から推定できる。

< 3. 2 > 電磁鋼板の成分分析

表 1 は、電磁鋼板 A~I 材の成分分析結果を示す。この結果、Fe の含有量は 93.02%~96.01%、Si の含有量は 0.26%~3.54% となり、大部分がこの 2 元素で占め、残りは、Al、Mn、Cr、P、S などの元素が微量に含まれていた。図 6 は、電磁鋼板 D 材、G 材の表面の EPMA による Si 分布を分析した一例を示す。図より、Si 含有量に関係なく、Si は一様に分布しており、鋼板全体に固溶していると考えられる。

表 1. 電磁鋼板 A~I 材の成分分析結果

Table 1. Chemical composition analysis of electrical steel sheets. (A~I)

試料	Si含有量 [%]	Fe含有量 [%]
A	2.05	94.73
B	3.54	93.93
C	3.08	94.18
D	3.19	93.02
E	2.13	94.65
F	0.62	96.01
G	0.26	96.71
H	3.08	94.14
I	2.01	94.41

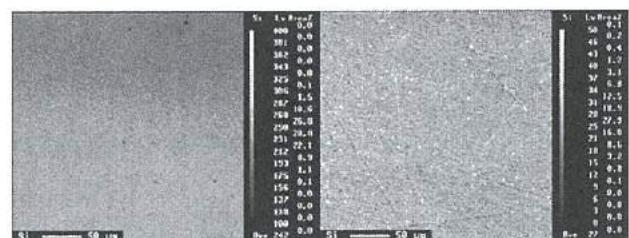


図 6. 電磁鋼板表面の Si 分布分析

Fig.6. Analysis of Si distribution in electrical steel sheet.

<3. 3>板厚および周波数による影響

想定しているEV用同期モータは、電源周波数50Hz付近は低速域、400Hz付近は中速域、1000Hz付近は高速域のため、本研究では400Hz、1Tの鉄損 $W_{10/400}$ を中心に測定する。

電磁鋼板A材において、板厚が鉄損に及ぼす影響について測定した。測定試料は、板厚0.50mmの鋼板とその鋼板を研磨して作製した板厚0.20mm、0.35mmの鋼板である。図7は、鉄損 $W_{10/50}$ 、 $W_{10/400}$ 、 $W_{10/1000}$ の板厚依存性を示す。その結果、板厚が増加すると鉄損が増加した。そこで図8は、2種類の板厚0.35mm、0.50mmの400Hzにおける鉄損 $W_{10/400}$ の鉄損分離結果を示す。その結果、板厚の増加によってヒステリシス損はほとんど変化しないのに対して渦電流損の増加が見られた。鋼板が厚くなると導体抵抗が低くなるため渦電流が大きくなつたと考えられる。このことは、<2.3>の渦電流損の式(3)と図7の特に $W_{10/1000}$ のグラフで見られる2次関数的な増加傾向からも裏づけられる。また、励磁周波数が高いほど板厚の影響が大きいことがわかった。従って高い励磁周波数では鋼板の薄板化が有効である。

次に、Si含有量が低いG材と高いH材の鉄損 $W_{10/50}$ 、 $W_{10/400}$ 、

$W_{10/1000}$ について測定した。図9は励磁周波数に対する鉄損の分離結果を示す。励磁周波数が高くなると鉄損は増加し、特に渦電流損は急激に増加した。またSi含有量が高いほうが鉄損は小さく、励磁周波数が高いほどその影響は大きいことがわかった。

<3. 4>Si含有量による影響

電磁鋼板A～I材および純鉄について鉄損 $W_{10/400}$ 、飽和磁束密度 B_s を測定した。図10および図11に、Si含有量が0～3.5%近くまで増加した時の鉄損および飽和磁束密度の変化を示す。ここで、純鉄はSi含有量0%とした。板厚0.50mmのA材と純鉄についても研磨して作製した板厚0.35mmの試料の鉄損測定も行った。

図より、Si含有量が増加すると鉄損は大きく減少したが、一方で飽和磁束密度の減少傾向が見られた。また、図12に電磁鋼板A～I材および純鉄の保磁力測定結果を示す。Si含有量が増加すると保磁力は減少傾向を示した。一般に、純鉄中のSi含有量が増加すると結晶磁気異方性定数(K)および磁歪定数(λ)が減少し、特に、Si含有量6%付近ではゼロになることが知られている⁴⁾。軟磁性材料の特性は、飽和磁束密度が大であればあるほど、また、

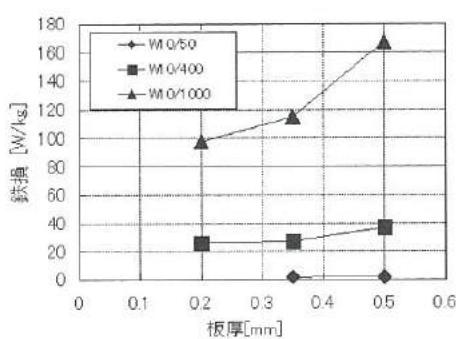


図7. 鉄損の板厚依存性 (A材)

Fig.7. Thickness dependence of iron loss. (Sample A)

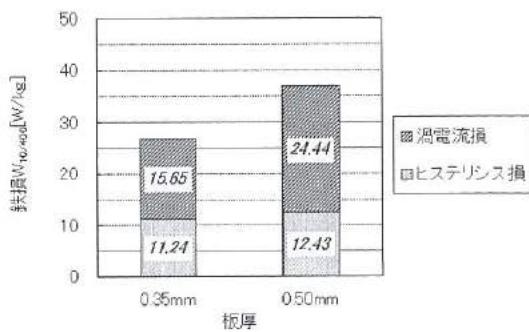


図8. 板厚違いによるヒステリシス損と渦電流損の比較
(A材)

Fig.8. Comparison of hysteresis loss and eddy current loss with different thickness. (Sample A)

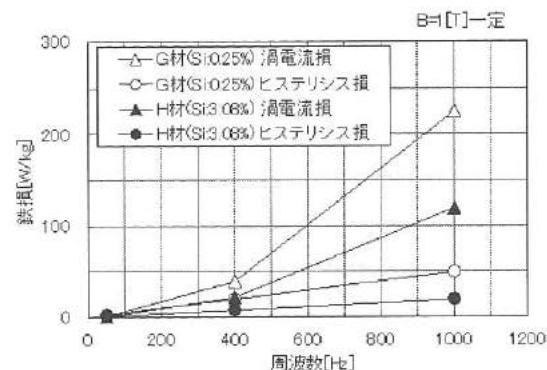


図9. 励磁周波数に対するヒステリシス損と渦電流損

Fig.9. Hysteresis loss and eddy current loss to magnetization frequencies.

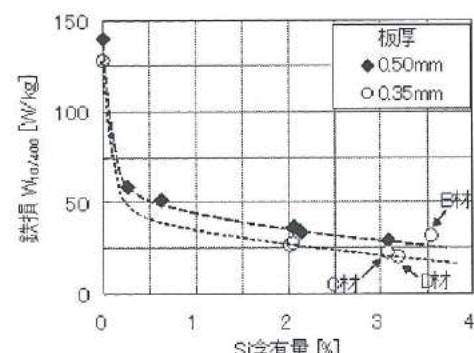


図10. Si含有量に対する鉄損

Fig.10. Iron loss dependence of Si contents.

Kや μ が小であればあるほど改善されることから、Si含有量の増加とともに保磁力が減少した結果が理解できる。保磁力の減少は、B-H曲線で囲まれた面積であるヒステリシス損の減少に寄与する。図13は電磁鋼板A～I材および純鉄の比抵抗測定結果を示す。図より、Si含有量が増加すると、比抵抗も増加した。 $<2.3>$ で示した式(3)より、比抵抗の増加は渦電流の減少に寄与する。

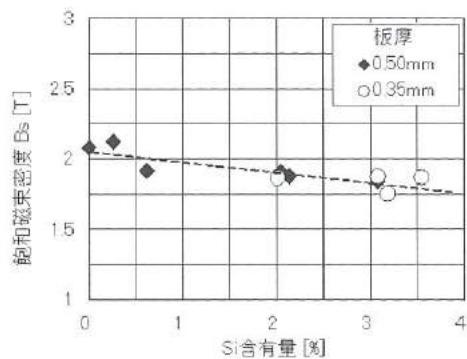


図11. Si含有量に対する飽和磁束密度
Fig.11. Magnetic flux density dependence of Si contents.

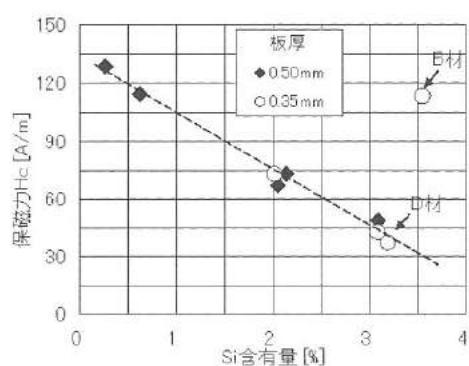


図12. Si含有量に対する保磁力
Fig.12. Coercivity dependence of Si contents.

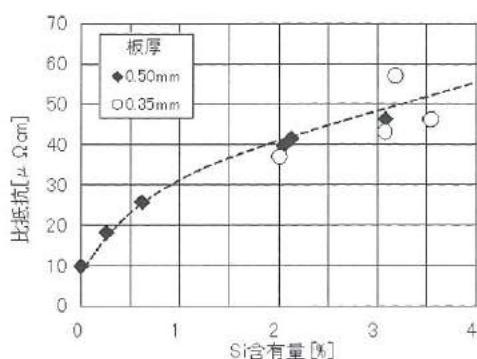
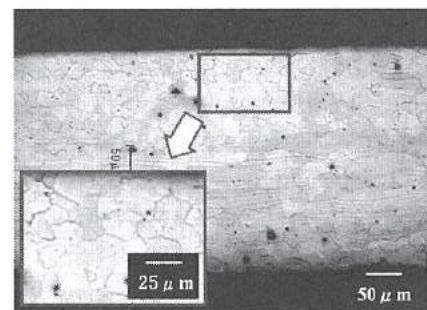


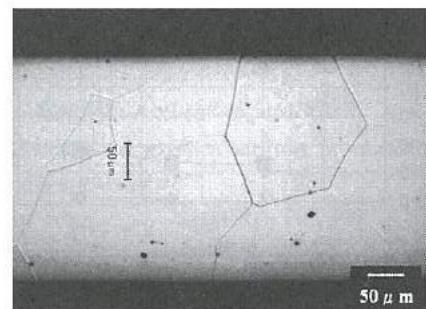
図13. Si含有量に対する比抵抗
Fig.13. Specific resistance dependence of Si contents.

一方、図10より、Si含有量が3.54%と最も多いモータの回転子用材料であるB材は近似曲線から外れ、高い鉄損を示した。

ここで、Si含有量が近いのに鉄損が大きく異なるB材とD材について比較検討するため、金属組織の観察を行った。図14に二つの試料の顕微鏡写真を示す。図より両者は結晶粒子径が大きく異なり、B材は汎用のD材に比べ結晶粒径が小さいことが分かった。一般に結晶粒径が小さいほど金属の硬度が高くなるため、B材は熱処理工程などの製造工程を工夫することで高強度化を図っていると推測される。図15に電磁鋼板B材とD材の鉄損分離結果を示す。比較すると渦電流損には変化が見られなかったが、ヒステリシス損は大きく異なることが分かった。従って、結晶粒



B材



D材

図14. 電磁鋼板の表面組織
Fig.14. Surface texture of electrical steel sheets.

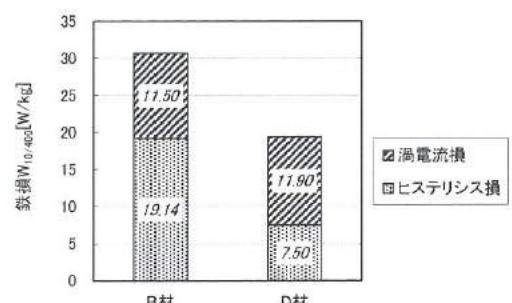


図15. 鋼板の違いによるヒステリシス損と渦電流損の比較
Fig.15. Comparison of hysteresis loss and eddy current loss with different sheets.

径の大きさもヒステリシス損に影響を与えると考えられる。さらに、B材はD材よりもSi含有量が高いため磁歪定数は小さくなることが予想される。また、磁歪が減少すると、部品に組み込んだ場合に発生する騒音を抑えることができる⁹⁾。以上からB材は鉄損よりも強度を優先し、さらに低騒音化を狙ったものと考えられる。モータに用いられる電磁鋼板は、磁気回路を構成する磁性部材としての役割と、トルクを保持し回転軸に伝える機械部材としての2つの役割が求められるため、回転子材料であるB材は機械部材としての役割を優先した材料といえる。一方、図10より、モータの固定子用材料であるC材の鉄損は近似曲線上にあり、汎用材と同じ傾向にあった。

<3. 5> 温度による影響

図16に電磁鋼板E材の磁束密度B₈の温度依存性、図17は鉄損W_{10/400}と鉄損分離結果を示す。温度が上昇すると磁束密度は減少し、室温に対して200°C下で2.99%低下した。一方、鉄損は温度が上昇すると減少し、室温に対して200°C下で12.53%低下した。また、温度が上昇するとヒステリシス損はほとんど変化しないが、渦電流損は減少した。従って、温度上昇により鋼板の比抵抗が増加するため、鉄損は減少したものと考えられる。

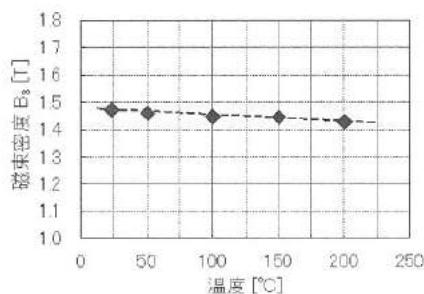


図16. 温度に対する磁束密度 (E材)

Fig.16. Magnetic flux density dependence of temperatures.
(Sample E)

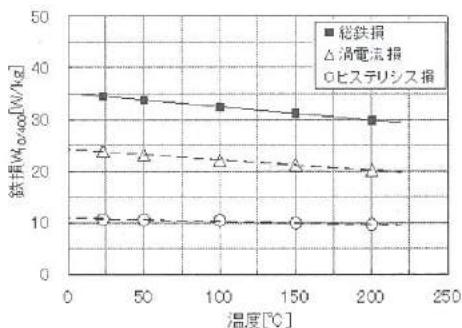


図17. 温度に対する鉄損 (E材)

Fig.17. Core loss dependence of temperatures. (Sample E)

一般的にモータは温度上昇によって性能の低下を招くが、検討結果から、温度上昇による性能低下は鉄損ではなく銅損（コイルによる損失）の増加が主要因であると考えられる。すなわち、モータの温度が上昇するとコイルの抵抗は増加するため、銅損が増えて励磁電流が減少し、モータ性能を低下させる。

<3. 6> PWM 波励磁

まず、鉄損測定において、デジタルオシロスコープによる測定を検証するために、正弦波励磁時のB-Hアナライザによる測定値との比較を行なった。表2は、電磁鋼板F材のW_{10/400}について異なる測定装置による測定結果を示す。この結果、デジタルオシロスコープとB-Hアナライザによる鉄損の測定誤差は2.2%となり、測定装置の違いによる大きな差異は無いことが確認できた。

図18は、PWM波および正弦波励磁による電磁鋼板A～I材の鉄損を、板厚0.50 mmおよび0.35 mmについてSi含有量の少ない順番に並べた様子を示す。図より、2種類の板厚において、励磁の種類に関わらずSi含有量の増加と共に鉄損が減少する傾向が見られた。ただし、B材だけが例外の傾向を示すのは<3.4>で述べた理由による。また、各試料ともPWM波では正弦波よりも鉄損

表2. 測定装置の違いによる鉄損の比較 (F材)

Table 2. Comparison of iron loss with different measurement instruments. (Sample F)

測定装置	鉄損 [W/kg]
B-Hアナライザ	54.98
任意波形発生装置 + オシロスコープ	56.21

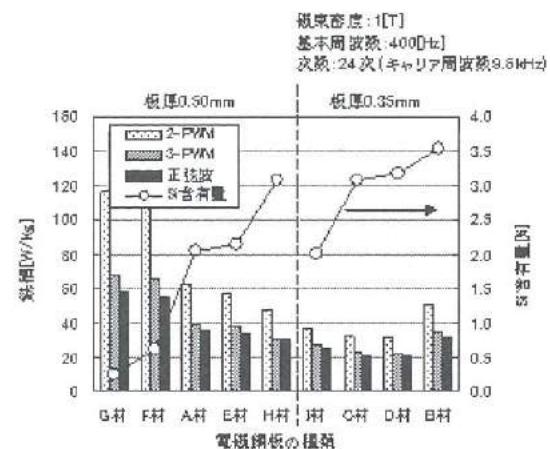
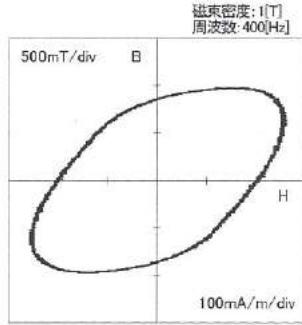


図18. 電磁鋼板におけるSi含有量と鉄損の関係

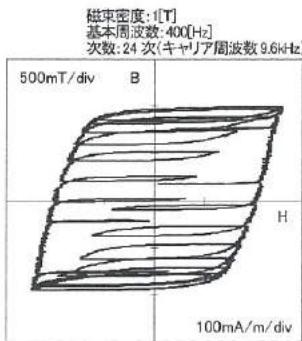
Fig.18. Relation between iron loss and Si content for various electrical steel sheets.

が増加し、さらに、2-PWM は 3-PWM よりも増加した。正弦波に対し PWM 波の鉄損が増えた要因として、励磁電流波形に重畠する高調波によるヒステリシス損の増加が考えられる。図 19 は、PWM 励磁の B-H カーブで正弦波励磁には見られないマイナーループが形成される様子を示す。3-PWM が 2-PWM に対して鉄損が低い要因はマイナーループが小さいためと高調波成分が少ないためと考えられる。

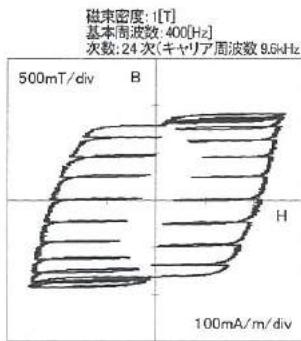
図 20 は、電磁鋼板 A、G および H 材について、キャリア周波数と鉄損の関係の一例を示す。この結果より、鉄損の大きい G 材では 2-PWM 励磁の場合にキャリア周波数による鉄損の減少が見られたが、これは、高次になるほど励磁電流は正弦波に近くなるためと考えられる。一方、損失の少ない電磁鋼板 A、H 材については、2-PWM および 3-PWM 励磁において、キャリア周波数の増加に対する鉄損には目立った変化は見られなかった。図 21 は、電磁鋼板 A~I 材について、正弦波励磁の PWM 励磁に対する鉄損の増加率を示す。この結果より、正弦波励磁鉄損に対する増加率は 3-PWM で 4.3%~13.8% で、特に Si 含有量が低い場合は増加率が大きく、正弦波励磁の鉄損から PWM 波励磁による鉄損のおおよその値が推測できる。



(a) 正弦波励磁



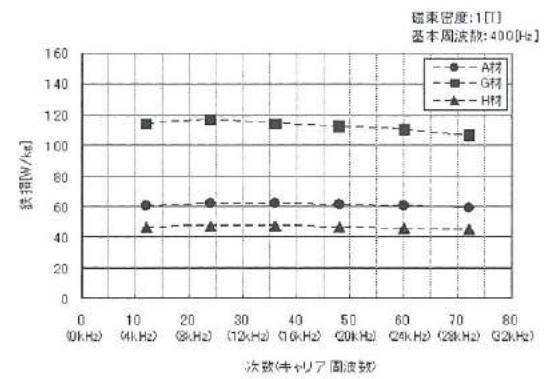
(b) 2 レベル PWM 波励磁



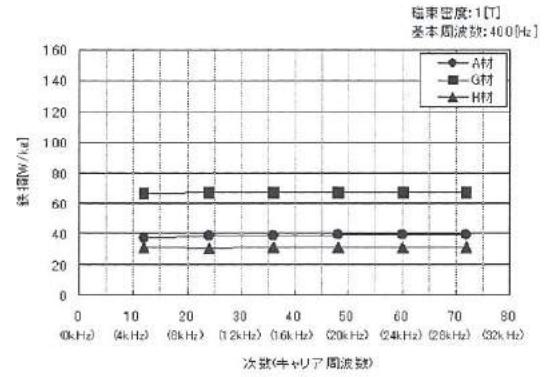
(c) 3 レベル PWM 波励磁

図 19. 励磁方法の違いによる B-H カーブの比較 (A 材)

Fig.19. Comparison of B-H curve with different excitation methods.



(a) 2 レベル PWM 波励磁



(b) 3 レベル PWM 波励磁

図 20. キャリア周波数に対する鉄損

Fig.20. PWM carrier frequency variations of iron loss.

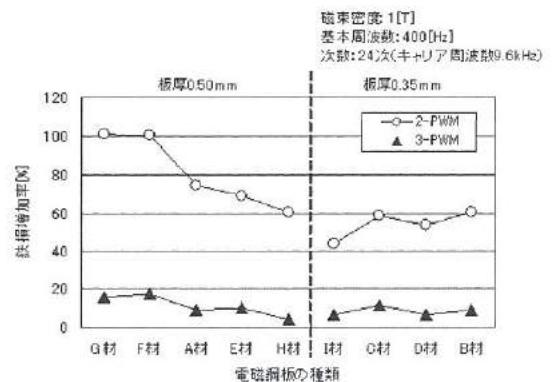


図 21. 正弦波励磁に対する PWM 波励磁の鉄損増加率

Fig.21. Iron loss increasing ratio of PWM wave to sine wave excitation.

4. 結言

各種磁性材料および無方向性電磁鋼板の磁気特性を測定し、EV用モータとしての使用環境下において積層鋼板が及ぼす影響について検討を行い、以下の知見を得た。

- ① 電磁鋼板の薄板化による鉄損の減少は、渦電流損の減少によるものであることが分かった。特に、高い励磁周波数ほどその効果は顕著である。
- ② 励磁周波数が高くなると鉄損は増加するが、これはヒステリシス損によりものではなく、渦電流損の増加によるものであることが判明した。
- ③ 電磁鋼板の Si 含有量の増加により鉄損は減少するが、これは、保磁力の減少と比抵抗の増加によるものであることが分かった。
- ④ 結晶粒径の大きさは、鉄損に影響を及ぼすことが判明した。
- ⑤ 電磁鋼板は、周囲温度の上昇とともに鉄損および磁束密度が減少したが、鉄損の減少は鋼板の比抵抗の増加による渦電流損の減少のためであることが判明した。
- ⑥ PWM 波励磁での鉄損は、正弦波励磁に比べて増加した。これは、B-H カーブにおいて正弦波には見られないマイナーループが形成されるためと考えられる。特に、2 レベル PWM 波励磁の鉄損は、3 レベル PWM 波励磁に比べて大きく増加した。
- ⑦ 3 レベル PWM 波励磁ではキャリア周波数の次数を 72 次まで増加させても鉄損値に変化が見られなかった。このため、電磁鋼板はモータのインバータ性能に依存しないと考えられる。

本研究により、電磁鋼板の磁気特性は、Si 含有量、板厚、結晶粒などに依存することが分かった。Si 含有量增加や薄板化した高性能な材料ほど製造コストの増加や生産性の低下などが考えられ、さらに、Si 含有量增加は磁束密度の低下を招くため、用途や要求性能などを考慮して電磁鋼板を選定する必要がある。

謝辞

本研究の遂行にあたり、工業技術センター杉森課長には、放電加工機によるリング試料の作製に多大な協力をいただいた。ここに記して謝意を表します。

文 献

- 1) 開道力, まぐね, Vol.1, No.9, p416 (2006)
- 2) ASTM A932/A932M-01 (2006), Standard Test Method for Alternating-Current Magnetic Properties of Amorphous Materials at Power Frequencies Using Wattmeter-Ammeter-Voltmeter Method with Sheet Specimens
- 3) Japan Industrial Standards, JIS C 2550 (2000)
- 4) 近角聰信, 強磁性体の物理(下), 菩華房 (1984)
- 5) 加藤義雄, まぐね, Vol.1, No.1, p6 (2006)

IV. シリコンアーマチュアデバイスの研究開発

Development of a Silicon armature device

木澤 裕志 岩滝 幸司 小幡 勤 丹保 豊和
KIZAWA Hiroshi IWATAKI Koji OBATA Tsutomu TANBO Toyokazu

Abstract

MEMS (Micro electro-mechanical systems) technology using the same processes that are employed to build memory chips can achieve miniaturized and highly integrated devices. For instance, sensors for detecting pressure, inertia (acceleration and angle rate) and so on are already used by general consumers. In this work, we have developed a silicon armature device using MEMS technology with technical approach similar to acoustic transducer. It consists of a coil, a diaphragm and a magnet to work on the principle of dynamic type speaker. Single crystal of silicon selected as transducer material shows the characteristics of high stability and high sound velocity. In general, the transducers such as ultrasonic vibrator are extensively used in piezoelectric ceramic devices. They mostly activate at the resonance frequencies especially in ultrasonic range. However the output waveform of the ultrasonic vibrator operated at the resonance point shows a gradual slope against the precipitous input signal. This phenomenon interrupts with increasing the precision of measurement. Our devices are electromagnetically-driven type and composed of a diaphragm, a coil and two magnets. In the process of fabrication, Al is evaporated on the surface and the coil pattern is formed by etching process. Then the diaphragm is fabricated by etching SOI wafer using deep-RIE process. After that the device is finished up by bonding the connection for observing the characteristics. At last, we make sure that they operate on designed resonance frequency (40kHz). Also we find that the output power and the transient response performance go up, if there is a magnet on the diaphragm. Additionally, the transient response performance is improved, if an elastic layer between a magnet and a thin silicon vibrator is fabricated on the diaphragm.

1. 緒言

近年、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)技術の発展により、様々なデバイスの微細化、集積化が進められている。デバイスの微細化、集積化が進むことにより、1つのアイテムの中にさまざまな構造体や配線が設けられ複雑化しており、特定の用途でしか利用できない原理や構造となっている。そこで我々は、できるだけ単純な原理と構造でより汎用性の高いデバイスとしてアーマチュアデバイスの開発を行うことにした。

アーマチュアは電機子とも呼ばれ、発電機やモーターなどで用いられる電磁気力によって動作するコイルや磁性体の駆動部のことである。構造は磁石とコイルの組み合わせだけであり、原理としては例えば磁場中で電流が流れる導体が受ける力(ローレンツ力)などで動作するという単純なものである。このアーマチュアを MEMS により作製することで、微小かつ精度の良い構造を持たせることが可能である。また、MEMS で用いられる単結晶シリコンは材料的に安定であり、経時的に劣化しにくいことも特徴である。しかしながら、微小になることでサイズ効果(スケーリング則)が顕著となり、電磁駆動力の低下が懸念される⁽¹⁾。駆動力のはほとんどは印加電流の大きさと磁場の強さで決まるが、ジュール熱

などの影響により微細な配線に大電流を印加することは不可能である。ただし、強力なネオジム磁石を使用し、磁束を集中させる構造をとることで微小でも大きな駆動力を得ることが可能であると考えられる。本研究のアーマチュアデバイスは電磁駆動であり、スピーカーやマイクロホンなどの音響機器、光学素子や電磁パルプなど様々な応用が可能であると考えられる。

本研究ではシリコンで振動板を形成し、可聴領域から超音波領域まで振動子として使用可能であるアーマチュアデバイスの開発を行った。一般に振動子として利用されている圧電素子はPZTや水晶で作製され、電圧を印加することで変形する性質を利用して振動させている。圧電素子に利用される PZT は鉛を含有しているため有害物質であるが、本研究のアーマチュアデバイスの材料は地球上に大量に存在し、低い毒性でかつ高剛性が特徴のシリコン(Si)である。また、シリコン中を伝播する音速は 8433 m/s であり⁽²⁾、鉄(5950 m/s)やガラス(5440 m/s)と比較しても非常に速く音響デバイスとしてよい特性を得られる可能性がある。しかし、音響デバイスに利用されるアルミやチタンなどと同様に内部損失が小さいことから、圧電素子と同様に入力に対し忠実な音の再生は難しい⁽³⁾。本研究では、シリコン振動子の開発とともにに入力に対して忠実な振動を出力するデバイスの開発を検討した。

2. 素子設計と作製方法

<2. 1> 素子構造

図1にシリコンアーマチュアデバイスの構造を示す。図1(a)はデバイス断面構造であり、(b)(c)はデバイス表面のコイルパターンである。図1(a)に示すように、デバイスはシリコン基板で形成したダイアフラム上にアルミ電極でコイルパターンが形成されている。また、アルミ電極とシリコンのダイアフラムは絶縁層により分離されている。デバイスは磁石上に設置され、コイルに交流電流を印加することでダイアフラムが振動する。この構造と動作原理は、スピーカーで一般に用いられているダイナミック型(動電型)と同様である⁽⁴⁾。アルミ電極で形成したコイルパターンはダイアフラム中心でコンタクトホールを介してシリコン基板と導通しており、上部電極と結合される。通常、ダイナミック型のスピーカーではコイルの巻き数が多いほど、駆動力は大きくなる。しかしながら、本研究のように平面にコイルを形成する構造では巻き数を増やすと抵抗値が増大してしまう。そこで、素子サイズを5 mm×5 mmとし、コイルの抵抗値と巻き数を変えて2種類のコイルパターンで試作し、評価を行うことにした。図1(b)はライン幅50 μm、ライン長さ41 mm、10回巻きのコイルパターン①、図1(c)はライン幅100 μm、ライン長さ22 mm、5回巻きのコイルパターン②である。設計抵抗値はパターン①で18.2 Ω、パターン②で4.8 Ωである。

<2. 2> ダイアフラムの共振周波数

共振周波数は固有振動数とも呼ばれ、ダイアフラム材料と形状に依存する。この周波数では共振現象によりダイアフラムの振動振幅が著しく大きくなる。通常のデバイスはこの共振周波数より十分に小さい周波数で非共振動作させるが、共振周波数付近で出力が大きくなる特性を利用し共振点で動作させるデバイスもある。まずは作製するダイアフラムの大きさを決定するため、共振周波数の計算を実施した。外周固定の円平板の共振周波数 f は式(1)で表される⁽⁵⁾。

$$f = \frac{10.21}{2\pi r^2} \left(\sqrt{\frac{E}{12(1-\nu^2)\rho}} \right) t \quad \text{式(1)}$$

r はダイアフラム半径、 E はヤング率、 ν はボアソン比、 ρ は密度、 t はダイアフラム厚さである。式(1)から明らかのようにダイアフラムの半径 r を増大させ、または厚さ t を減少させることで共振周波数 f の値を低くすることができる。図2に式(1)を用いてシリコンでダイアフラムを形成した場合の板厚と共振周波数の関係を示す。共振周波数が式(1)と一致することを確認するため、今回試作するデバイスはダイアフラム厚さを一定とし、ダイアフラム半径を変え2種類試作することにした。試作するデバイスはダイアフラムの厚さは20 μmとし、ダイアフラム半径を1.0 mmと

1.3 mmとした。すると共振周波数は式(1)よりそれぞれ73 kHzと43 kHzとなる。

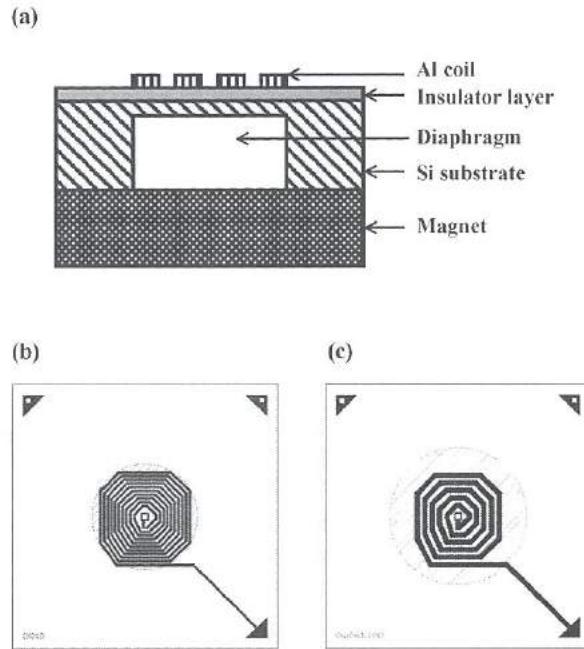


図1. シリコンアーマチュアデバイス構造
(a) 断面構造 (b)コイルパターン① (c)コイルパターン②
Fig.1. Structure of silicon armature device.
(a) A cross-section structure,
(b) W=50 μm, L=41 mm, coil turns=10
(c) W=100 μm, L=22 mm, coil turns=5.

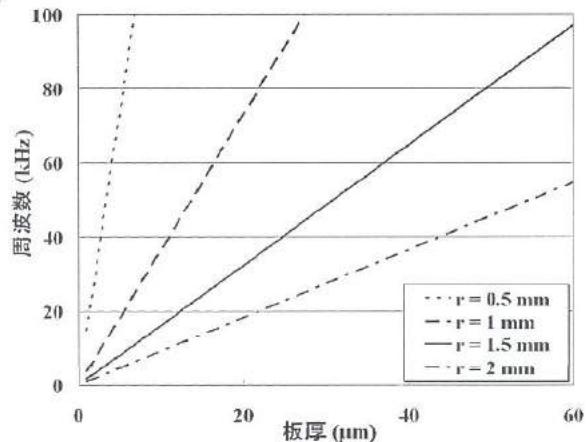


図2. ダイアフラム厚さと共振周波数
Fig.2. Diaphragm thickness and resonance frequency.

<2. 3> 試作プロセスフロー

ダイアフラム形成はボッシュプロセスによる深堀りエッチング技術を用いて行い、中空構造を形成した。試作にはSOI(Silicon on Insulator)基板を使用した。SOI基板は、ベースとなるSi基板と活性層と呼ばれる薄いSi層の間にSiO₂酸化膜が挟み込まれた構造をしている。本研究では、ダイアフラムとなる活性層の厚みを20 μmとした。この基板表面に熱酸化により、表面に形成されるコイルと基板を電気的に絶縁する酸化膜を成長させる。次に、基板表面にフォトレジストを塗布し、パターンが描かれたフォトマスクを介して露光・現像を行う。光が照射された部分のフォトレジストが溶けて、開口部が形成される。その開口部より露出した酸化膜をエッチングし、コンタクトホールを形成する。酸化膜のエッチング後、フォトレジストを除去しアルミ電極を蒸着することで、コンタクトホールを介してSi活性層とアルミ電極が導通する。アルミ電極はコンタクトホール形成と同様にしてフォトレジストでコイルパターン形成し、アルミエッチングを施すことでアルミのコイルパターンが完成する。アルミのコイルパターン形成後、窒素雰囲気下でシリコンとアルミの共晶点以下の420 °Cでアニール処理を行う。このアニール処理により、アルミ電極の密着性が向上し、同時にアルミ電極とSi活性層のコンタクト抵抗を低下できる。最後に、上記と同様にダイアフラムのパターンニングを行い、Deep-RIE(Reactive Ion Etching)で深堀エッチングを行うことでダイアフラムを形成する。Deep-RIEではSiとSiO₂エッチングレート選択比が高いことから、SOI基板中のSiO₂酸化膜が露出した時点でエッチングが進行しづらくなり、活性層厚さのダイアフラムが形成できる。深堀エッチング後、フォトレジストを除去し磁石を取り付けた台座に素子をマウントした。磁石はφ5 mm×2 mmのネオジム磁石を4個連ねて使用することにした。

<2. 4> 磁束密度計算

試作デバイスの駆動力は、外部磁場と電流が流れる導体が形成する磁場との相互作用であるため、デバイス表面のコイルパターンがさらされる磁束密度が重要となる。デバイス表面の磁束密度は、ダイアフラムが破損する恐れがあり測定できないため、磁石表面からの距離によって磁束密度を算出した。図3にφ5 mm×2 mmで表面磁束2800 Gのネオジム磁石を4個つなげた際の磁束密度と距離の関係を示した。ネオジム N40 の残留磁束密度は1250～1280 mTを使用して計算を行った⁽⁶⁾。距離が離れるに従って、磁束密度は指数関数的に減少することが分かる。実測値は4500 Gであり、計算値とよく一致しているといえる。今回試作したデバイスでは台座下に磁石を取り付けるため、デバイス表面と磁石の距離は4 mmとなる。この計算結果より、デバイス表面の磁束密度は600 G程度と考えられる。

3. 実験方法

図4(a)に試作したデバイスと(b)に測定系を示す。素子はモメンティブ・パフォーマンス・マテリアルズ製シリコーン(TSE389-C)で台座に固定し、ワイヤーポンドによってチップと基板電極を電気接続した。測定は、ファンクションジェネレーター(Wavetek社製 model 166)で作成したトリガー出力をnf社製デジタル・ファンクションジェネレーターへ入力し、その励起信号を入力とした。周波数をスキャンすることで試作デバイスの共振周波数を評価した。入力信号のPeak to Peakは10 Vで一定にした。またデバイスからの出力は、10 mm離した位置に設置したKowels Electronics社製シリコンマイク SPM0404UD5により検知し、自作アンプで増幅した後、nf社製デジタルストレージオシロスコープ GDS1062Aにて出力波形を観察した。

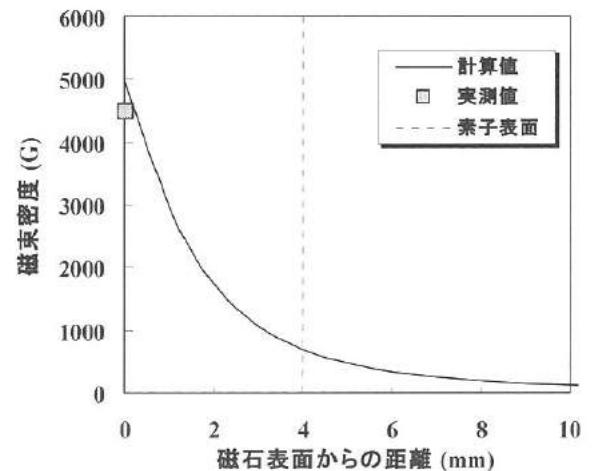


図3. 磁石からの距離と磁束密度
Fig. 3 Distance dependence of magnetic flux density.

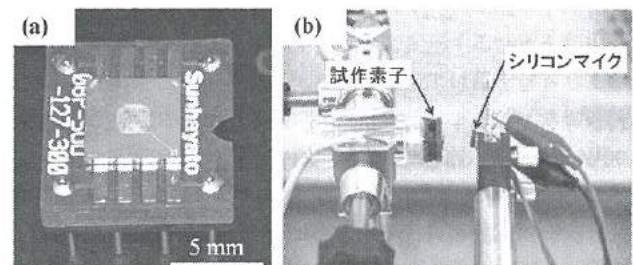


図4. (a) 試作デバイス外観と(b) 測定系
Fig. 4. (a) Fabricated device and (b) measurement system.

4. 結果と考察

<4. 1> 共振波形と非共振波形

コイルパターン①、ダイアフラム半径 1 mm で試作したデバイスに 20 波のパルスを入力した際のオシロスコープでの出力波形を図 5 に示す。図 5(a)は非共振周波数 52 kHz を入力した際の出力波形であり、図 5(b)は共振周波数 64 kHz を入力した際の出力波形である。(a)、(b)の振幅スケールは異なっており、共振点の波形である(b)のほうが出力は大きい。(a)の非共振周波数では、入力信号の波形とほぼ同等な出力波形が得られており、5 波以内で定常状態となり入力信号 off の後、5 波以内で収束している。また、出力波形のピーク値から得られる包絡線は矩形となっている。共振周波数を入力した場合の出力波形(b)は、20 波では定常状態とならず、入力信号 off 後も長時間尾を引いて出力されている。これは入力信号がなくなった後も共振現象により、ダイアフラムが振動を続けるために生じる。出力波形の包絡線は入力信号 on の時点から緩やかに立ち上がり、立ち下がりも緩やかになっている。共振周波数における出力波形のこのような過渡応答は、一般に振動子として利用されている圧電素子でも同様であり、入力 off 後も出力される超音波により計測が制限される場合もある⁽³⁾。

また、コイルパターン②でも共振周波数の出力波形は同様の傾向であり、パターンの違いによって共振周波数の変化はないことが確認できた。しかしながら、パターン①の出力は約 800mV で定常状態となったのに対し、パターン②では約 1.4 V で定常状態となった。抵抗値を確認したところ、パターン①は 45.6Ω 、パターン②は 75.2Ω であり、それぞれの設計抵抗値 18.2Ω 、 4.8Ω より高くなっている。これはアルミニ電極と Si 活性層とのコンタクト抵抗及び Si 活性層中の抵抗が高いためであると考えられる。パターン②の抵抗値がパターン①より高い理由としては、SiO₂ 酸化膜のエッチング不足が考えられる。しかし、パターン②ではコイルの巻き数が少なくインダクタンスが小さくなり、交流のインピーダンスがパターン①より小さくなっているため、出力が向上したと考えられる。

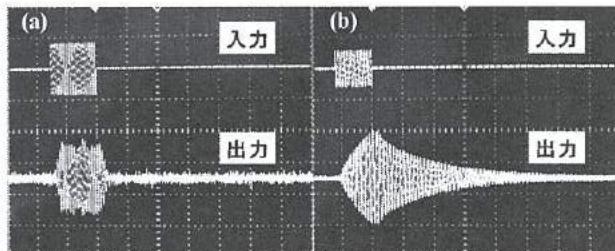


図5. (a) 非共振周波数での出力波形と(b) 共振周波数での出力波形

Fig.5. Output waveform at (a) nonresonance frequency and (b) resonance frequency.

<4. 2> ダイアフラム半径と共振周波数の関係

ダイアフラム半径を変えて試作したデバイスの共振周波数測定を実施した。図 6 にダイアフラム半径 1.0 mm と 1.3 mm のデバイスの共振周波数を示す。2 章の式(1)で求めた理論値を実線で表記してある。図 6 の■で表した測定値はそれぞれ 64 kHz と 39 kHz であり、理論曲線と若干のずれが生じていた。この原因としてダイアフラム構造が設計通りではないと考え、デバイスの断面 SEM 観察を行った。図 7 はデバイスの断面 SEM 像であり、明るい領域が空洞部分でダイアフラム端部を拡大した像である。デバイス裏面の開口部からダイアフラム端部までの側壁がテーべー構造であることが確認できる。開口部半径に対しダイアフラムの半径は大きくなっている。共振周波数が理論値からはずれたと考えられる。このような構造となった原因として、Deep-RIE でのダイアフラム形成の際に SOI 基板中の SiO₂ 酸化膜に到達した後、酸化膜がチャージし、反跳したエッチングイオンが側壁に当たり、側壁もエッティングされたためと考えられる。図 7(b)より測定したダイアフラムと側壁の角度 85.61° を用い、ダイアフラム半径を算出したデータを図 6 の◇でプロットした。図から明らかなように理論曲線とよく一致しており、試作したデバイスはダイアフラム厚さと半径で共振周波数を選択することが可能である。

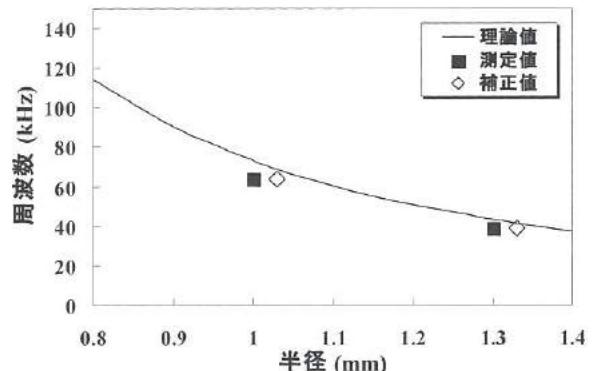


図6. ダイアフラム半径と共振周波数

Fig.6. Diaphragm radius and resonance frequency.

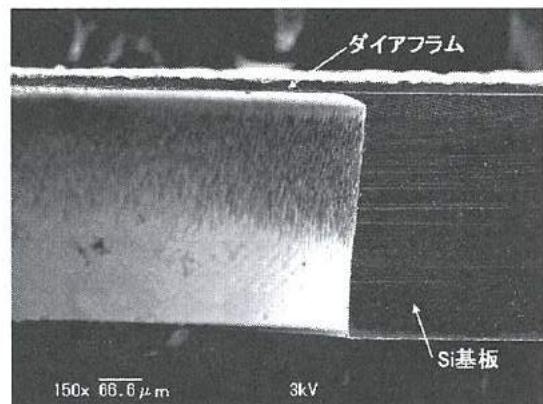


図7. ダイアフラムの断面 SEM 像

Fig.7. Cross-section SEM image of diaphragm.

<4. 3> 過渡応答の改善へ向けた検討

音響デバイスとしては、図5(a)で示した非共振周波数の出力波形のように入力波形に対し忠実であることが望ましい。しかしながら、試作したデバイスでは非共振周波数の出力が非常に小さくS/Nが悪い。デバイス性能は高い応答性と大きい出力が必要とされるため、非共振周波数では出力を上げる必要があり、共振周波数では過渡応答を向上させる必要がある。出力を大きくするには、印加電流を増やす、または磁石をより強力にするといった簡単な方法で対応が可能である。また、入力信号 off 後でも出力し続ける過渡応答の立ち下がりの問題に関しては、入力 off 後に振動が停止するような減衰構造を持たせることで改善が可能であると考えられる。そこで、構造を工夫することで過渡応答を改善できないか検討した。

通常、ダイナミック型スピーカーでは、入力がなくなるとコイルを貫く磁束によって発生する逆起電力により反作用磁束が形成されるため、振動が急速に減衰され、コイルは停止する。この逆起電力による減衰は、本研究で作製したアーマチュアデバイスでも同様に生じていると考えられる。しかしながら、共振周波数で振動する振動板は、共振現象により振動が継続し続けなかなか減衰しない。そこで、二つの磁石を使用することで振動を抑制し、入力信号 off 後の固有振動を積極的に減衰させることにした。図8に過渡応答改善のため検討したデバイスの構造を示す。ダイアフラム表面に弾性体であるポリジメチルシリコサン(PDMS)を塗布し、それを介して第二の磁石を配置した。ダイアフラムを挟んで配置した磁石には、引力または斥力が常に働くことになり、ダイアフラムの振動が抑制される。さらに、PDMSは内部損失が大きく上部に配置した第二の磁石とダイアフラムの間に挟まれることで、ダンパーとして振動の減衰を促すと考えられる。PDMSは東レダウコーニング製 SYLGARD 184 を使用し、第二の磁石は $\phi 1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ のネオジム磁石を使用し、シリコン基板下に設置する第一の磁石と引き合う向きで設置した。

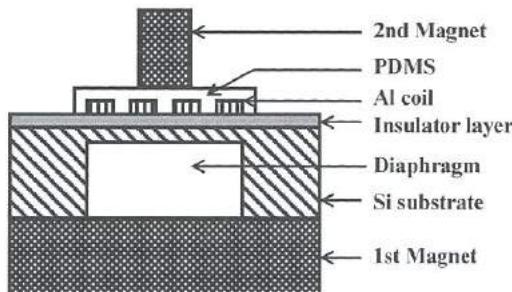


図8. 過渡応答改善型アーマチュアデバイス構造

Fig.8. Structure of improved device for transient response.

<4. 4> 過渡応答検証

図9(a)に改善前、(b)に改善後のデバイスに20波のパルスを入力した際の出力波形を示す。ダイアフラム半径1.3 mm(共振周波数 39 kHz)、コイルパターン②で試作したデバイスを使用した。改善前で入力信号 off 後に長く尾を引いていた立ち下がりが、改良後ではほとんど尾を引いておらず、より少ない波数で立ち下がっている。立ち上がりについても改善前では20波のパルス入力では定常状態にならず立ち上がりきらなかつたが、改善後では10波以内に立ち上がり、定常状態となることが確認できた。また、改善前では共振周波数が39 kHzであったが、改善後では共振周波数が54 kHzと上昇することを確認した。これは磁石の引力によってダイアフラムが変形し、発生した応力によってダイアフラムの見かけのヤング率が変化したためと考えられる。

図8の構造をとることにより過渡応答の改善が可能であることが確認できたため、磁石の種類、PDMSの有無といった条件を変えた際の過渡応答の定量的評価を試みた。過渡応答の立ち上がりは発振が定常状態になるまでの波数とし、立ち下がりは入力がオフとなってから振幅が4分の1になるまでの波数として評価を行った。評価条件は下記5種類で実施し、PDMSがない状態で第二の磁石を配置した②、PDMS上に第二の磁石を配置した③④とPDMS上に第二の磁石を配置し第一の磁石を取り除いた⑤の条件で評価することにした。PDMSを塗布し、第二の磁石を配置せずに出力波形を確認したところ、全体的に振幅が小さくなつたものの、通常のデバイスの立ち上がり、立ち下がりとほとんど変化が見られなかつたため、評価は行わないこととした。

・過渡応答評価条件

- ① 通常のデバイス
- ② ネオジム磁石($\phi 1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ 、1700 G)設置
- ③ PDMS+ネオジム磁石($\phi 1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ 、1700 G)設置
- ④ PDMS+サマリウムコバルト磁石($\phi 0.8 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ 、1150 G)設置
- ⑤ 条件③で第一の磁石無し

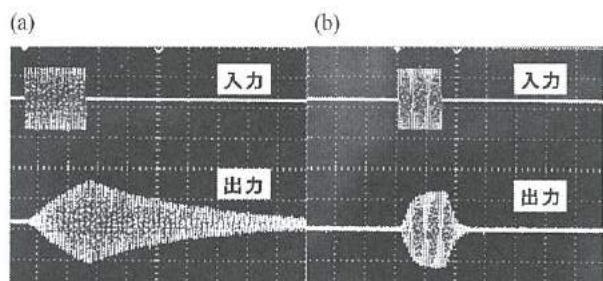


図9. 共振周波数の出力波形 (a) 改善前 (b) 改善後

Fig.9. Output waveform at resonance frequency.
 (a) before and (b) after improvement.

図10に①～⑤の条件で測定した過渡応答について示した。過渡応答に対し改善を行っていない通常のデバイス①では定常状態になるまでの立ち上がりに30波以上のパルスが必要であり、振幅が4分の1まで立ち下がりにはそれ以上の波数を要している。一方、第二の磁石を設置した②構造では磁石を載せた構造をとることで立ち上がり、立ち下がりともに通常の2分の1以下となることがわかる。また、③からPDMSを挟むことで立ち上がり、立ち下がりともにさらに10波以下にまで向上することがいえる。③④の磁石を変えた構造では、ネオジム磁石とサマリウムコバルト磁石との差異は全くなく、過渡応答に関し磁石の違いによる影響はないといえる。同様に、共振周波数にも違いは見られなかつた。しかしながら、出力の大きさは磁束密度の高いネオジム磁石を用いた③のほうがサマリウムコバルト磁石④の2倍近く大きいという傾向が得られた。これは、コイルパターンに印加する磁束密度を向上させることにより、より高出力なデバイスの作製が可能であることを示唆している。また、④⑤の測定では立ち上がり、立下りはほとんど変わっておらず、過渡応答の改善に対する第一の磁石の寄与はほとんどなく、PDMS上に設置した第二の磁石によって過渡応答が向上しているといえる。第一の磁石による磁束密度はデバイス表面でおよそ600Gであり、デバイス表面に設置した第二の磁石の表面磁束は1700Gと3倍近く大きい。また、図3で示したように距離の変化に対し指數関数的に変動する。そのため、振動するダイアフラムの位置により磁束密度は動的に変化することになる。それに対し、第二の磁石はPDMSを介しダイアフラム表面に設置されており、ダイアフラムの振動に追従するため磁束密度の変化はほとんどないと考えられる。上記のような磁束密度変化の少なさとPDMSによるダンピング効果により、立ち上がり、立ち下がりが向上すると考えられる。過渡応答特性に関し、第二の磁石による影響が支配的であることがわかつたが、対向して設置する第一、第二の磁石の磁束密度と位置関係を最適化し、コイルパターンを貫く磁束密度が最大となる磁気回路形成を行うことにより、更なる過渡応答の向上が期待でき、出力振幅の増大にもつながる。また、コイルパターンに対しても、インピ

ーダンスを考慮した形状に最適化することで更なる出力振幅を得ることができると考えられる。さらに、デバイスの音響インピーダンスについても空気の音響インピーダンスと整合可能である最適な構造にすることで、出力及び過渡応答の向上が期待できる。本研究で作製したデバイスは、今回は第一の磁石にネオジム磁石を使用したが、第一の磁石に電磁石を使用することで様々な応用が可能であると考えられる。例えば、入力信号がoffとなつた時点で第二の磁石に対し大きな引力が働くよう電磁石に電流を印加することで立ち下がりを急峻にすることが可能である。また磁力を電流で可変できることから、第二の磁石との吸引力によって生じるダイアフラムへの応力を制御でき、共振周波数を微可変することも可能となる。このように、入力信号に対応して電磁石に印加する電流を変化させることでアクティブに制御可能な超音波発振デバイスとして使用可能である。

また、今回は単素子のみで評価を行ったが、1素子が小型である特長を生かして、アレイ状に複数の素子を並べて配置することでさらに大きな出力を得ることが可能である。アレイ状にすることによって指向性の向上が期待でき、入力信号の位相をずらすことで出力する超音波の方向を変えるといった応用が可能になると考えられる。

5. 結言

本研究では、MEMS技術を用いてシリコンアーマチュアデバイスを作製し、超音波領域で使用した際の過渡応答特性を向上可能な構造の検討を行った。その結果、以下の成果が得られた。

- ① シリコンアーマチュアデバイスを作製し、作製素子が超音波領で駆動する振動子として使用可能であることを確認した。
- ② 作製デバイスの共振周波数はダイアフラムの半径と厚さに依存し、ダイアフラム形状を変えるだけで共振周波数の選択が可能であった。
- ③ ダイアフラム上に弾性体を介して第二の磁石を設置することで過渡応答の立ち下がりを大幅に改善でき、立ち上がりについても改善できた。

謝辞

本研究にあたり、超音波測定方法について助言を頂いた富山県工業技術センター 中央研究所 佐々木克浩主任研究員に厚く御礼申しあげます。

文献

- (1) 江刺正喜、「マイクロマッピングとマイクロトロニクス」、培風館
- (2) 国立天文台、「理科年表」、丸善株式会社
- (3) 谷腰欣司、「超音波とその使い方」、日刊工業新聞社
- (4) 牧野昇、「永久磁石」、アグネ
- (5) 「圧力センサ」、特開平7-174651
- (6) NeoMag Co., Ltd., <http://www.neomag.jp/>

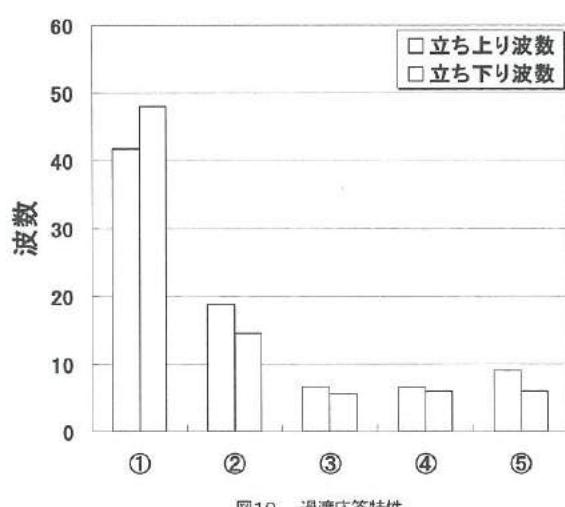


Fig.10. Transient response performance.

V. 精密切削加工による表面機能創成に関する研究

Studies on the Fabrication of Functional Surface by Precision Cutting Process

藤井 美里

FUJII Misato

関口 徳朗

SEKIGUCHI Noriaki

川堰 宣隆

KAWASEGI Noritaka

住岡 淳司

SUMIOKA Jyunji

清水 孝晃

SHIMIZU Takaaki

土肥 義治

DOI Yoshiharu

Abstract

In this study, textures were fabricated on plastic molded product surfaces utilizing characteristics of the precision cutting process to control the sensitivity function. In the fabrication of the pattern, it was fabricated on a mold surface by precision cutting, and then transcribed to the plastic surface by vacuum press method. The effect of the texture shape on the tactile sense was investigated. As a result, in the case of groove textures, the sensitive characteristics changed greatly under conditions of 40-120 μm pitch. It changed by the pillar diameter, aspect ratio and pitch at the pillar texture. In addition, the texture was compared with the clothes and leathers by sensory test. The roughness, friction and compression characteristics were also compared using textiles measurement system.

1. 緒言

プラスチック成形品は、自動車、携帯電話やカメラなどの各種分野で使用されている。近年、製品の付加価値を高めることを目的として、見た目や触り心地などの感性的な機能の付与が求められている。プラスチック成形品の感性機能を高める例としては、シボ加工などが挙げられる。しかし従来の手法では、感性的な機能を制御するうえで限界がある。一方、近年、固体表面に微細なテクスチャを作製することで様々な表面の機能を制御する“機能性表面”が注目されている¹⁾。これらの研究では、トライボロジーやぬれ性など様々な機能に関連した報告が行われているものの、製品の触り心地といった感性的な機能については、検討されていない。

本研究では、精密切削加工を利用して、微細なテクスチャを有するプラスチック成形品を作製した。これに対して官能評価を行い、微細なテクスチャが人間の触感に及ぼす影響について検討した。さらに、これらのテクスチャが布や皮革と触感がどのように異なるかを明らかにするために官能評価するとともに、繊維製品計測システムを使用した粗さや摩擦特性の評価を行い、テクスチャ形状との関連について検討した。

人間が粗さを知覚する触感システムはその大きさによって異なり、100 μm 以下の粗さを知覚するシステムは100 μm 以上のそれとは異なることが確認されている²⁾。そこで2種類の方法により大きさ、形状の異なるテクスチャを作製した。一方は、高速引切加工を用いて作製した溝状のテクスチャである。この方法では、大きさ数 μm ~ 200 μm のテクスチャを作製することが可能である。

他方は、小径穴あけ加工を用いて作製したピラー状のテクスチャである。この方法では、大きさ数百 μm オーダーのテクスチャを高効率に作製することができる。これら2種類のテクスチャを用いて官能評価と共に物理特性との比較を行い、風合いを有するプラスチック成形品の開発を行った。

2. 微細な溝形状による触感の制御

<2. 1> プラスチック成形品の作製

まず高速引切加工を利用して微細なテクスチャを有するプラスチック成形品を作製し、その形状が触感に及ぼす影響について検討した。本手法では、大きさ数 μm ~ 200 μm 程度のテクスチャの作製が可能である。

官能評価には、大きさ 35 mm × 35 mm、厚さ 1 mm のポリプロピレン (PP) とエラストマーの表面に、数 μm ~ 数百 μm オーダーの溝状のテクスチャを作製した試料を用いた。金型作製およびプラスチック成形には、それぞれ超精密切削加工機 (FANUC 社製

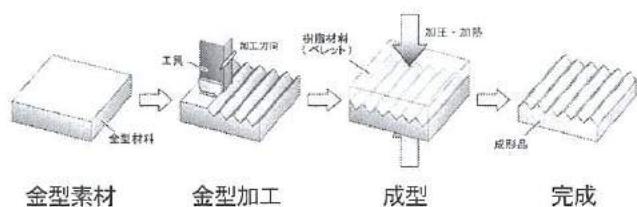


図 1 溝形状テクスチャの作製プロセス

Fig. 1 Manufacture process of groove textures

表1 作製した試料形状

Table 1 Specification of textures used for a sensory evaluation

サンプル番号	ピッチ(μm)	高さ(μm)	サンプル番号	ピッチ(μm)	高さ(μm)
0	未加工		7	300	150
1	10	5	8	400	200
2	40	20	9	120	40
3	80	40	10	200	40
4	120	60	11	400	40
5	160	80	12	400	20
6	200	100	13	400	100

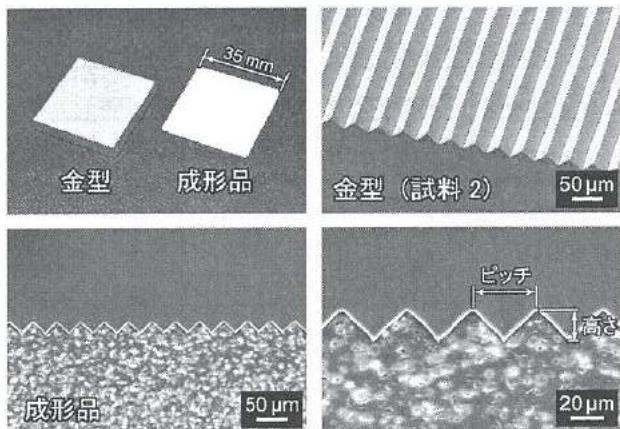


図2 溝形状を有する金型とプラスチック成形品

Fig. 2 View of an aluminum mold and plastic molding

ROBONANO α-0iB) と真空加熱プレス機 (井元製作所社製 IMC-199A) を用いた。図1は、溝形状テクスチャの作製方法である。まず、表面仕上げを行ったアルミニウム合金 A2017 (表面粗さ $Rz: 0.04 \mu\text{m}$) に対して、先端角 90° の単結晶ダイヤモンド工具を用いて溝加工を行う。つぎにプレス機内の真空引きおよび加熱後、プレス成形を行う。最後に成形品を金型から取り出し、完成となる。

表1は、作製した試料形状である。試料0は切削加工を施さない未加工品、試料1~8は連続的な溝形状を作製した条件である。これらの条件では工具の幾何学的な形状から、テクスチャのピッチは高さの2倍となる。試料3と9~11は高さを一定として、ピッチを変化させた条件である。試料8と11~13は、ピッチを一定として、高さを変化させた条件となる。図2は作製した金型とプラスチック成形品である。金型に作製した溝形状が、成形品に転写されていることがわかる。

<2. 2>官能評価方法

作製したプラスチック成形品を用いて、官能評価を行った。官能評価には、反対語を両端に置き、数段階に順位付けするSD (Semantic Differential) 法³⁾を用いた。実験では、表2示す10対の変数について、試料をランダムに提示しながら7段階の評価を行った。また視覚による影響を避けるため、試料表面を覆った状

表2 官能評価に用いる変数

Table 2 Variable used in a sensory evaluation

変数
凹凸な — 平らな
心地よい — 不快な
しっとりした — 乾いた
きめの粗い — きめの細かい
硬い — 柔らかい
厚みのある — 厚みのない
ヒヤッとする — ヒヤッとしない
引っかかる — 滑らかな
チクチクする — チクチクしない
好き — 嫌い

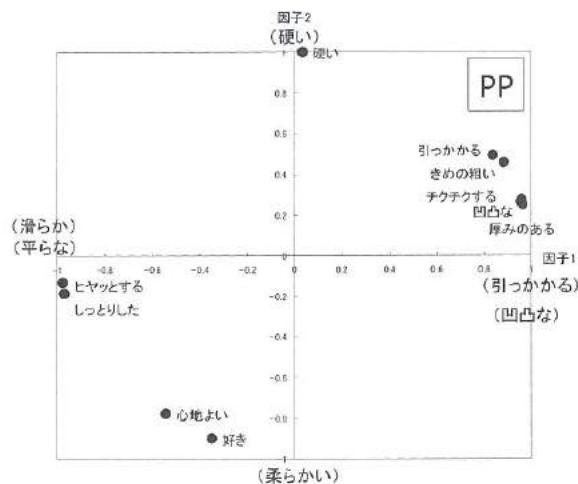


図3 変数と因子の関係

Fig. 3 Relation between variable and factor

態で評価を実施し、指を動かす方向はテクスチャに対して垂直方向とした。被験者は、20代~60代の男女計23名である。

<2. 3>官能評価結果

まず、アンケートの結果を基に因子分析を行い、各変数の関連性について検討した。因子分析の結果、第3因子以降の固有値は1以下となり、変数を十分に説明できない。このため、因子数は2個とした。

図3は、因子1と因子2に対する各形容詞の因子負荷である。「凹凸な」や「チクチクする」に代表されるテクスチャの粗さを表す形容詞が、因子1との相関が強い。また「しっとり」や「ヒヤッと」などの乾湿感、温冷感を示す形容詞に対して、負の相関が強くなった。一方、「硬い」は因子2との関連性が強く、「好き」に代表される感情的な変数と負の相関が高いことがわかる。また、「好き」や「心地よい」は因子1とも負の相関があり、柔らかく、比較的粗さの小さな触感が好まれることがわかる。

図4は、各試料の因子得点空間である。テクスチャのない試料0のみ、値が大きく異なった。すなわち、数μmオーダーのテクスチ

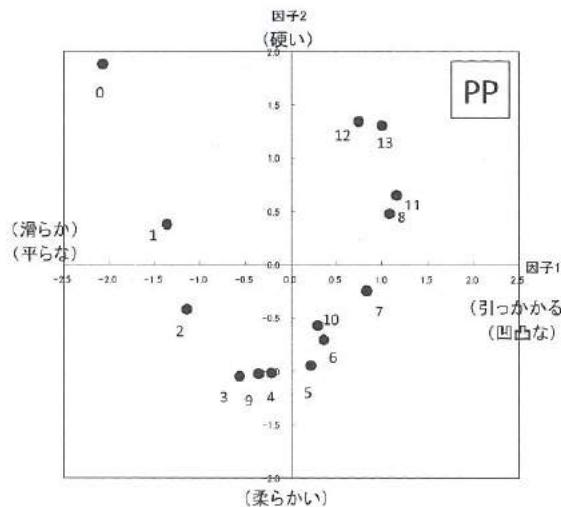


図4 サンプルと因子得点の関係

Fig. 4 Relation between sample and the factor scores

ヤが存在するだけでも、その触感は大きく変化することがわかる。テクスチャを作製した試料を比較すると、ピッチの増加にともない、主に粗さを示す因子1の値が大きくなる。一方、ピッチが80~120 μmの条件で因子2は最小値を示しており、これらの条件で「硬い」や「好き」などの触感が大きく変化することを示唆している。

つぎに、因子1の代表的な形容詞である「凹凸な」と「滑らかな」について、テクスチャのサイズとの比較を行った。図5はピッチと凹凸感の関係である。試料0~8を比較すると、テクスチャのピッチが80 μmまで、凹凸感の増加量はわずかである。ピッチが120 μm以上になるとその値は急増し、ピッチの増加にともない凹凸感は大きくなることがわかる。また、高さを40 μm一定として、ピッチを変化させた場合でも同様な結果となり、評価値は一致した。一方、ピッチを400 μm一定として、高さを変化させた場合、凹凸感に差は見られず、高さ20 μmのテクスチャでも強い凹凸感を示した。すなわち、指に感じる凹凸感は、テクスチャの高さに依存せず、そのピッチのみによって決定されることがわかる。

図6は、ピッチを変化させた場合の変数「滑らかな」の変化である。テクスチャのないものと比較して、ピッチがわずか10 μmのテクスチャを作製することで、滑らかさが大きく向上することがわかる。ピッチが小さいほど滑らかに感じ、ピッチが10~40 μmで最大となる。ピッチが大きくなると表面の凹凸を認識するようになり、滑らかさは減少する。この傾向は、凹凸感のそれと強い相関性がある。

人間の指の表面は、高さ約100 μm、幅約300 μm~500 μmの小稜状の指紋が存在し、これに対する刺激によって触感が変化するとされている^{4,5)}。ピッチが小さな条件では、テクスチャが指紋の内部に入り込み、連続体として認識される。ピッチが大きくなると、指紋の凹部にテクスチャが入り込むようになり、指を動かした際に生じる指紋内部でのせん断力によって、凹凸感を感じる

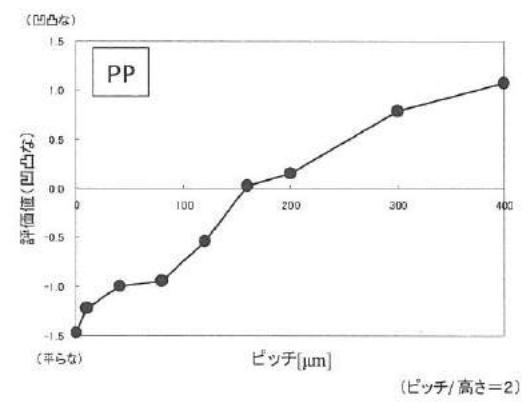


図5 ピッチと凹凸感の関係

Fig. 5 Relation between pitch and asperity feeling

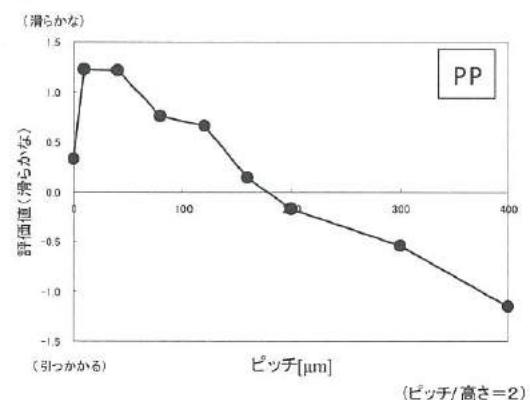


図6 ピッチと滑らか感の関係

Fig. 6 Relation between pitch and slick feeling

ようになるとわかる。一方、テクスチャが高くなても凹凸感は一定であり、指に対して垂直（高さ）方向の形状の違いについては認識できないことがわかる。今回は、PP成形品の結果を述べた。エラストマー成形品の場合はテクスチャが変形しやすく、小さなテクスチャの認識はより困難となる。その結果、触感が変化するピッチの臨界値は大きくなるものの、傾向は同様であった。

溝形状のテクスチャでは、ピッチが触感に大きく影響を及ぼし、その値が40~120 μmの条件において、触感が大きく変化することがわかった。

3. 微細なピラー形状による触感の制御

<3. 1> プラスチック成形品の作製

つぎに、小径穴あけ加工を利用して微細なテクスチャを有するプラスチック成形品を作製し、その形状が触感に及ぼす影響について検討した。本手法では、大きさ数百μmオーダーのテクスチャの作製が可能である。

官能評価には第2章と同様に、大きさ35 mm×35 mm、厚さ1

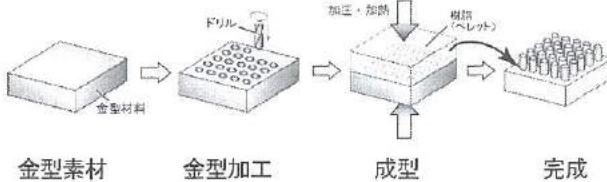


図 7 ピラー形状テクスチャの作製プロセス

Fig. 7 Manufacture process of pillar textures

表 3 作製した試料形状

Table 3 Specification of textures used for a sensory evaluation

サンプル番号	ドリル径 (mm)	ピッチ (mm)	高さ (mm)
未加工			
1	0.1	0.25	0.2
2	0.5	1.0	0.4
3	0.2	0.4	0.4
4	0.3	0.6	0.4
5	0.1	0.25	0.4
6	0.2	0.4	0.2
7	0.2	0.4	0.8
8	0.2	0.3	0.4
9	0.2	0.8	0.4

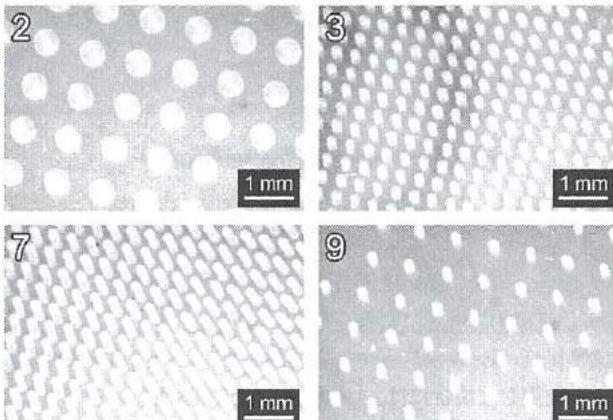


図 8 ピラー成形品写真

Fig. 8 View of pillar textures

mm の PP、エラストマーの表面に、0.1 mm~0.5 mm のピラー形状のテクスチャを作製した試料を用いた。金型作製およびプラスチック成形には、それぞれ精密フライス加工機(コマツ NTC 社製 Zμ1500)と真空加热プレス機を用いた。図 7 は、ピラー形状テクスチャの作製方法である。まず、表面仕上げを行ったアルミニウム合金 A2017(表面粗さ Rz 0.04 μm)に対して、 ϕ 0.1 mm~ ϕ 0.5 mm のドリルを使用して、穴あけ加工を行う。つぎにプレス機内の真空引きおよび加熱後、プレス成形を行う。最後に成形品を金型から取り

表 4 官能評価に用いる変数

Table 4 Variable used in a sensory evaluation

変数
硬い — 柔らかい
温かい — 冷たい
しっとりした — 乾いた
きめの粗い — きめの細かい
高級な — 安っぽい
弾力性のある — 弾力性のない
滑らかな — 引っかかる
チクチクする — チクチクしない
好き — 嫌い

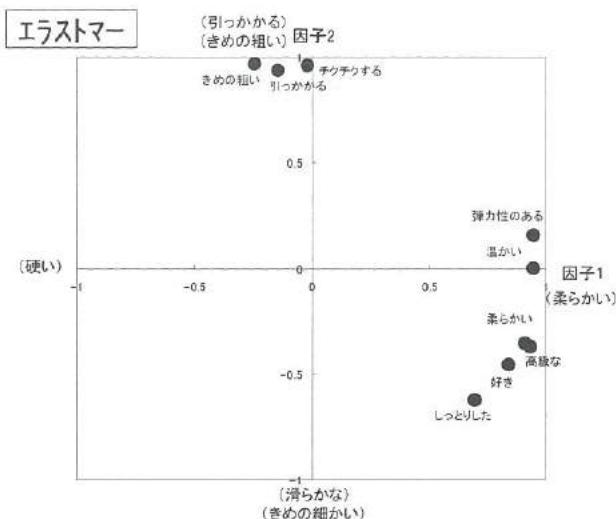


図 9 変数と因子の関係

Fig. 9 Relation between variable and the factor

出し、完成となる。樹脂には PP とエラストマーを検討したが、PP では触感にあまり違いが見られなかった。このため、官能評価はエラストマーのみ実施した。

表3と図8は、それぞれ作製した試料形状と顕微鏡写真である。条件がいずれの場合でも、金型形状通りのテクスチャが作製された。これらの試料を用いて、ドリル径、高さ、ピッチを変化させた場合の触感の違いを比較した。

< 3. 2 > 官能評価方法

第2章と同様に SD 法を用い、表4に示す9対の変数について、試料をランダムに提示しながら7段階の官能評価を行った。被験者は、20代~50代の男女計16名である。

< 3. 3 > 官能評価結果

溝形状の際と同様、アンケート結果を基に因子分析を行った。因子分析の結果、第3因子以降の固有値1以下となった。このため、因子数は2個とした。

図9は、因子1と因子2に対する各形容詞の因子負荷である。因子分析の結果、因子1は柔らかい、弾力性のあるなどの因子負

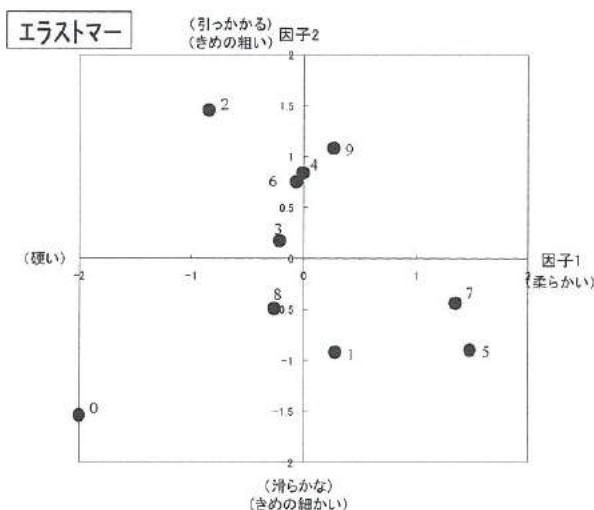


図 10 サンプルと因子得点の関係

Fig. 10 Relation between sample and the factor scores

荷が大きい。因子 2 は、きめが粗い、引っかかる、チクチクするなどの因子負荷が大きい。このため、因子 1 と因子 2 は、それぞれ硬軟感と粗滑感といえる。また、高級、好きなという変数が因子「柔らかい」、「滑らかな」の傾向であることより、これらの触感を好む傾向があることがわかる。

図 10 は、各サンプルの因子得点分布である。溝形状のテクスチャ同様、テクスチャのない試料 0 のみ値が大きく異なった。柔らかく滑らかな触感が好まれることよりサンプル 1、5、7 がそれに近いことがわかる。

つぎに、テクスチャの形状と因子を比較する。まず、因子 1 とピラー高さを変化させた場合の比較を行った。図 11 のようにピラーが高くなるほど因子 1 の値が大きく、柔らかく感じる傾向にある。ピラーの高さが大きくなると、ピラーの剛性が小さくなり、変形しやすくなるためと考えられる。

図 12 は因子 2 とピラー径を変化させた場合の比較である。ピラー径が小さくなるほど因子 2 の値は小さくなり、滑らかに感じる傾向がある。これらのパラメータを変化させることにより、「柔らかい」、「滑らかな」などの触感が大きく変化することを示唆している。一方、ピッチを大きくした場合、「柔らかく」、「滑らかな」の触感が大きくなる結果が得られた。

第 2 章で示した PP やエラストマーを用いた溝形状の場合、テクスチャの高さによる影響は見られなかった。また、ピッチが 100 μm 以下でピーク値を示すなど、特徴的な傾向が見られた。これらのテクスチャでは、テクスチャの摩擦や剛性などの物理的特性が直接触感に影響するのではなく、指紋形状との関係で触感が決定される。一方、エラストマーを用いたピラー形状の場合、ピラーの径が小さく、高くなるほどピラーの剛性値が小さくなり、硬軟感に大きな変化が見られた。溝加工よりも形状の大きなピラー

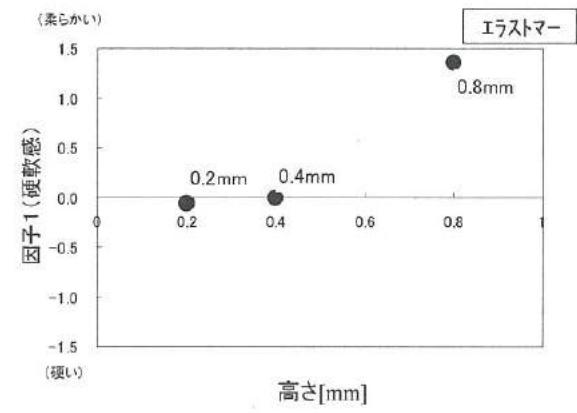


図 11 ピラー高さと因子 1 (硬軟感) の関係

Fig. 11 Relation between a pillar height and the factor

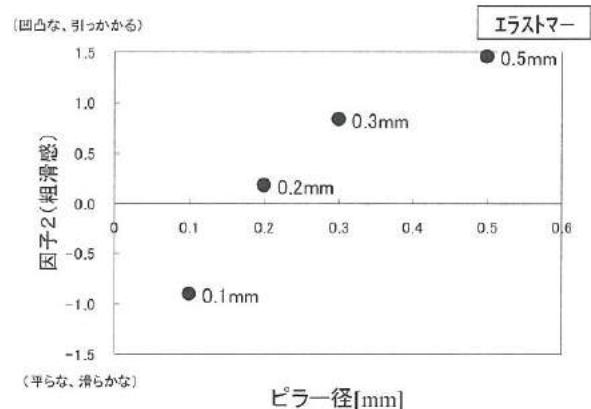


図 12 ピラー径と因子 2 (粗滑感) の関係

Fig. 12 Relation between a pillar diameter and the factor

形状の場合、形状の違いによって生じる素材の硬度などの物理的特性が、直接的に触感に影響を及ぼしていると考える。また、今回は素材として、エラストマーを使用した。このため、硬度の高い PP を使用した場合には、「弾力性」などの特性が大きく異なる可能性がある。

4. 布・皮革製品との比較

<4. 1> 官能評価方法

ここまで実験では、大きさ数 μm ~ $200 \mu\text{m}$ の溝状のテクスチャおよび大きさ数百 μm のピラー状のテクスチャについて、その形状が触感に及ぼす影響について検討した。その結果、それぞれことなるメカニズムによって、触感が変化することがわかった。そこで、溝加工、ピラー加工で良い触感が得られた試料が、布や皮革に対して、どのように触感が分布するかを確認するため、SD 法を用いた官能評価により比較した。選定した試料を、表 5 に示す。また、代表的な試料の表面写真を図 13 に示す。

表 5 官能評価試料

Table 5 Sample used in a sensory evaluation

サンプル番号	評価サンプル
1	綿
2	マイクロファイバー
3	クラリーノ(合成皮革)
4	溝加工サンプル3(エラストマー)
5	麻
6	ピラー形状サンプル7(エラストマー)
7	ピラー形状サンプル1(エラストマー)
8	エクセーヌ(合成皮革)
9	ペロア
10	溝加工サンプル3(PP)
11	本革
12	ウール

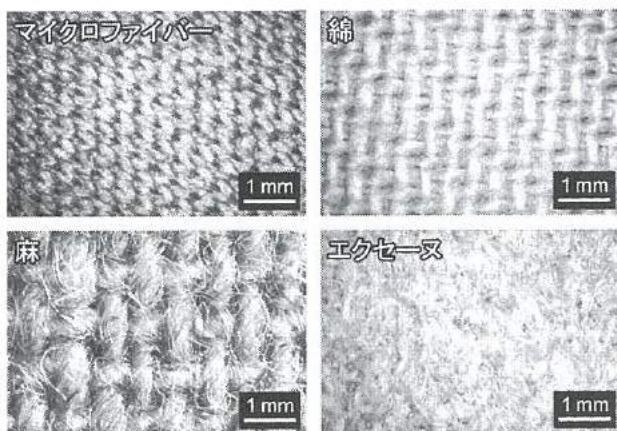


図 13 官能評価に使用した布、皮革の表面写真

Fig. 13 View of clothes and a leather

表 6 官能評価に用いる変数

Table 6 Variable used in a sensory evaluation

変数
硬い — 柔らかい
温かい — 冷たい
厚みのある — 厚みのない
しっとりした — 乾いた
きめの粗い — きめの細かい
高級な — 安っぽい
弾力性のある — 弹力性のない
滑らかな — 引っかかる
凹凸な — 平らな
好き — 嫌い

テクスチャを作製した試料には、第2章と第3章で好まれた触感のものを使用した。官能評価ではSD法を用いて、表6に示す10対の変数について、試料をランダムに提示しながら7段階の評価を行った。また視覚による影響を避けるため、試料表面を覆つ

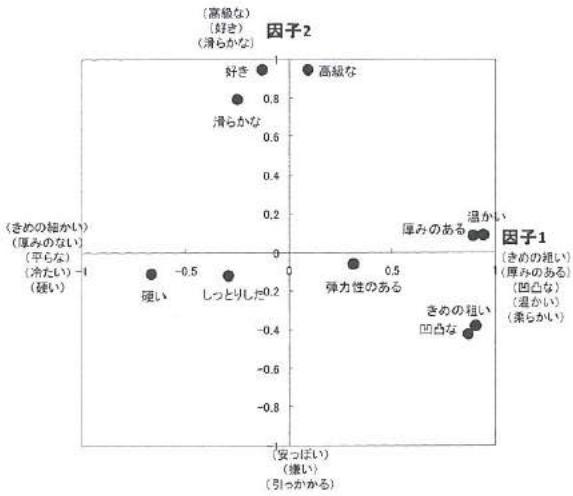


図 14 変数と因子(因子1、因子2)の関係

Fig. 14 Relation between a variable and the factor

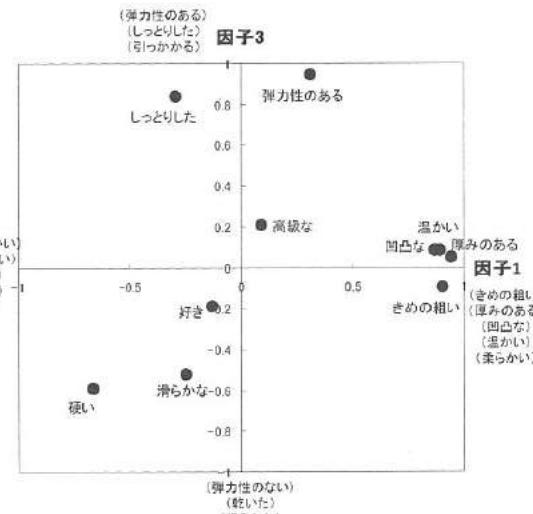


図 15 変数と因子(因子1、因子3)の関係

Fig. 15 Relation between samples and the factor

た状態で評価を実施した。指を動かす方向は、テクスチャに対して垂直方向とした。被験者は、20代～50代の男女計17名とした。

<4. 2>官能評価結果

まず、アンケート結果を基に因子分析を行い、各変数の関連性について検討した。因子分析の結果、第4因子以降の固有値は、1以下となった。このため、因子数は3個とした。

図14は、因子1と因子2に対する各変数の因子負荷である。「きめの粗い」、「凹凸な」などの粗さを表す形容詞が、因子1との相関が強い。また、「厚みのある」、「温かい」の関係性が非常に強いことより、厚みを感じるものは、温かくも感じる傾向にあることがいえる。因子2は、「滑らかな」、「好き」などとの相関が強くなかった。また、「滑らかな」と「好き」の関係性が強く、滑ら

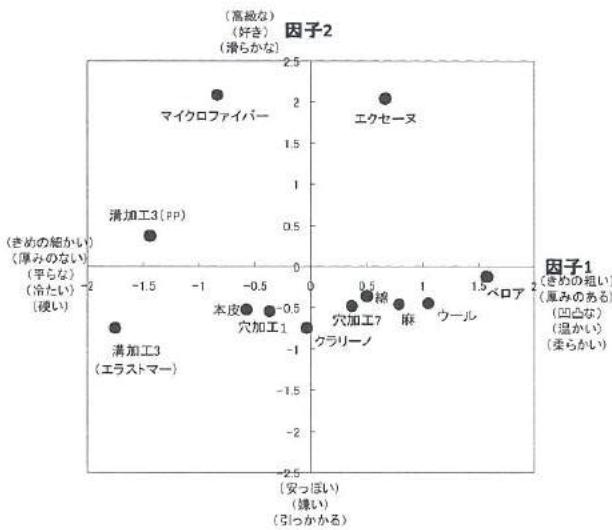


図 16 各試料の因子得点（因子 1、因子 2）

Fig. 16 Factor score of textures

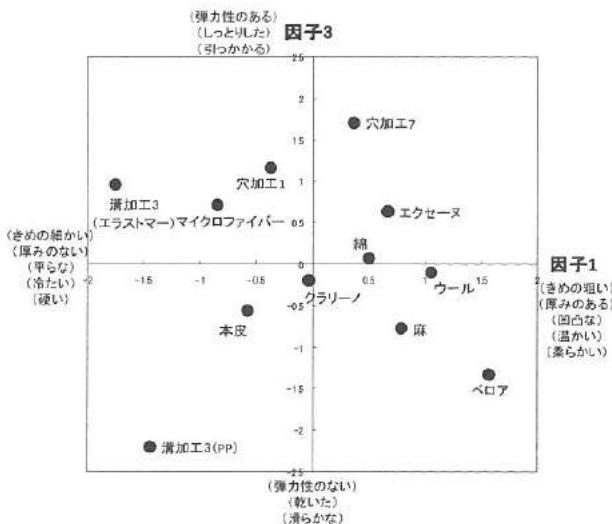


図 17 各試料の因子得点（因子 1、因子 3）

Fig. 17 Factor score of textures

かな触感が好まれることがいえる。

図 15 は、因子 1 と因子 3 に対する各変数の因子負荷である。因子 3 は「弾力性のある」、「しっとりした」、「滑らかな」、「硬い」などの相関が強くなつた。

図 16 は、因子 1 と因子 2 に対する各試料の因子得点である。布と皮革を比べると、目の粗い布製品の場合に因子 1 が大きくなる傾向がある。ピラー形状の場合、布や皮革に対して因子 2 の値が近くなつた。「粗滑感」や「凹凸感」を変化させることによって、比較的布や皮革に近くなる。また溝加工 (PP)、マイクロファイバー、エクセースは滑らかな触感であり、好まれる傾向にあつた。一方、溝加工した成形品はきめが細かく、厚みを感じない点で他の製品とは異なつてゐた。

表 7 各試料の物理特性測定結果

Table 7 Result of physical properties of the samples

試料	最大たわみ [mm]	摩擦係数 (MIU)	粗さ [μm] (SMD)
綿	0.75	0.208	3.520
マイクロファイバー	0.82	0.350	0.545
クラリーノ	0.11	0.819	2.860
溝加工4(エラストマー)	0.07	1.310	0.265
麻	0.67	0.176	10.785
穴加工7(エラストマー)	0.36	2.000	0.155
穴加工1(エラストマー)	0.32	1.997	0.170
エクセース	0.41	0.473	2.910
ベロア	0.96	0.409	6.985
溝加工4(PP)	0.06	0.261	1.075
本皮	0.09	0.377	0.575
ウール	0.29	0.168	2.975

図 17 は、因子 1 と因子 3 に対する各試料の因子得点である。この結果より、溝加工 (PP) は因子 3 が大きく異なり、「弾力性」や「しっとりした」が他の試料と異なる触感であることがいえる。また、穴加工した試料は因子 3 の因子得点が布や皮革に比べて高く、「弾力性のある」、「ひっかかる」の触感が強くなる結果が得られた。

<4. 3> 物理特性測定結果

布や皮革の触感では、摩擦やたわみなどの物理特性を測定し、それらを総合的に分析することで定量的な評価が行われている。ここでは、布や皮革がどのような特徴を含んでいるのかを確認し、溝状やピラー状のテクスチャとの比較を行う。これを基に触感の良い布や皮革に近づけるためには、形状をどのように制御すればよいかを検討した。

まず、風合いを定量的に評価するために、繊維製品計測システム（カトーテック社製 KES-FB システム）を使用し、布・皮革・作製した成形品の物理特性を評価した。評価方法として、試料それぞれの最大たわみ量、摩擦係数、粗さを測定し、物理特性との変数の相関が強いかを確認した。

表 7 は、各試料を繊維製品計測システムで測定した結果である。

図 18 は、物理特性「最大たわみ」と変数「厚みのある」の関係である。最大たわみの増加に伴い、「厚みのある」の評価値は大きい。また、たわみに対して、溝加工品は厚みの評価値が極端に小さくなつた。

図 19 は物理特性「摩擦係数」と変数「滑らかな」の関係である。摩擦係数の増加に伴い、「滑らかな」の評価値は減少した。溝加工 (PP) とマイクロファイバーの摩擦係数は近く、摩擦係数に対する「滑らかな」の評価値が大きくなつた。一方、穴加工や溝加工 (エラストマー) は、摩擦係数が大きくなつた。布や皮革に近い滑らかな触感を得るためにには、摩擦係数を減少させる必要がある。

図 20 は、物理特性「粗さ」と変数「きめの粗い」の関係である。

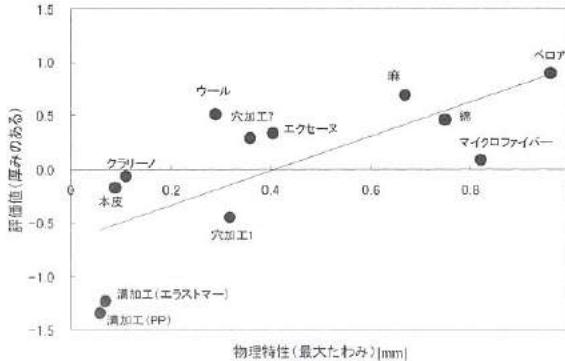


図 18 物理特性 (最大たわみ) と変数 (厚みのある) の関係

Fig. 18 Relation between physical characteristic and variable

粗さが増加するに伴い、「きめの粗い」の評価値は大きくなる。また、溝加工品、ピラー加工品は、布や皮革に比べ「粗さ」が小さいことがいえる。

ピラー加工品の場合、布や皮革と同様に、物理特性と触感の間に良い相関性が得られた。しかし、溝加工品の場合、その傾向が大きく異なる。これは第2章で示した通り、微細なテクスチャでは物理特性そのものが触感に及ぼす影響が小さく、その特性が大きくなるためだと考えられる。

図16で示した通り、「滑らかな」触感を示すマイクロファイバー、合成皮革のエクセースや溝加工品(PP)が好まれることがわかった。しかし、溝加工は布や皮革とは異なり、「厚みのある」、「きめの粗い」などの触感が小さいことより、独特な触感になる。滑らかさを失わずにこれらの触感を得るために、サイズの大きなテクスチャを混在させるなどの工夫が必要であると考える。

ピラー成形品の場合、「滑らかな」や「しっとり」の点で布や皮革と触感が異なっていた。ピラー形状ではテクスチャの物理特性が触感に影響しやすい。このため、形状とともに素材を選定することで、触感を近づけることができる。また、今回は弾力性が強いエラストマーを素材として選んだため、素材の特性に起因した「しっとり感」、「弾力性」の因子得点が高かったといえる。

5. 結言

本研究では、微細加工を利用した風合いを有するプラスチック成形品の開発を行った。本研究で得られた結果は、以下の通りである。

- (1) 溝形状のテクスチャでは40~120μmの条件において、触感が大きく変化した。
- (2) ピラー形状のテクスチャでは、ピラー径と高さによって触感が大きく変化した。
- (3) 溝形状のテクスチャと布や皮革では「厚みのある」、「きめの粗い」などの因子得点が異なり、独特な触感になった。

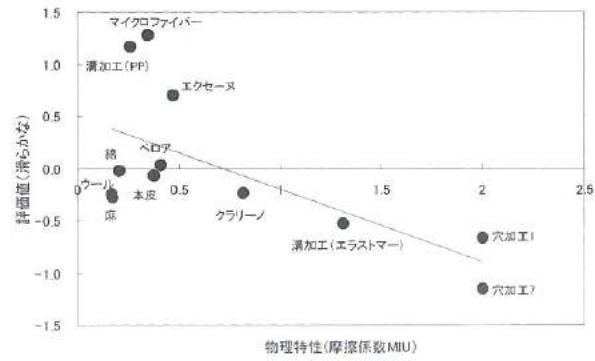


図 19 物理特性 (摩擦係数) と変数 (滑らかな) の関係

Fig. 19 Relation between the physical characteristic and variable

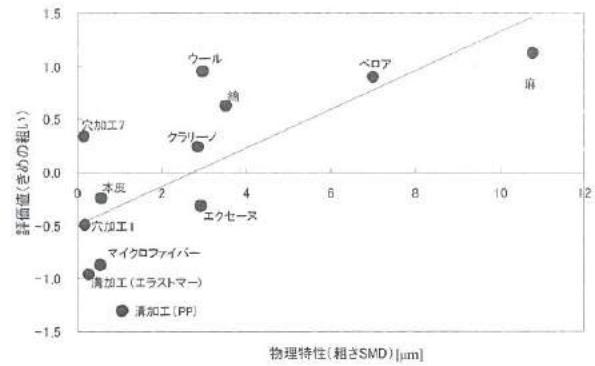


図 20 物理特性 (粗さ) と変数 (きめの粗い) の関係

Fig. 20 Relation between of the physical characteristic and variable

(4) ピラー形状のテクスチャでは、物理特性と触感に良い相関性が得られる。

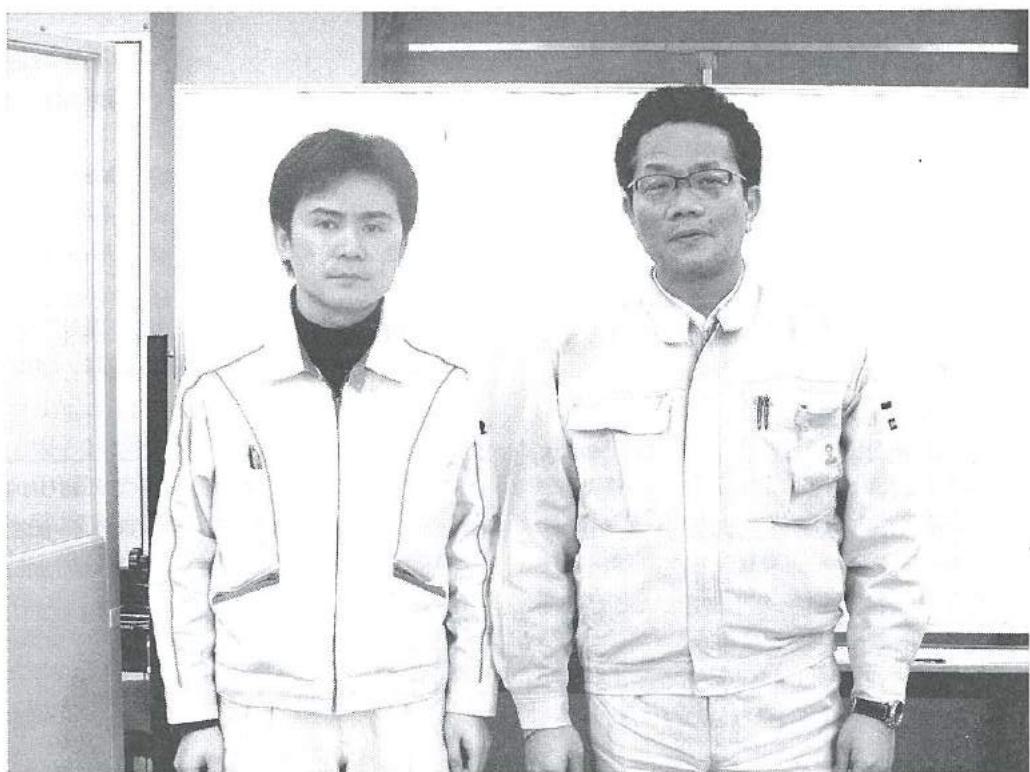
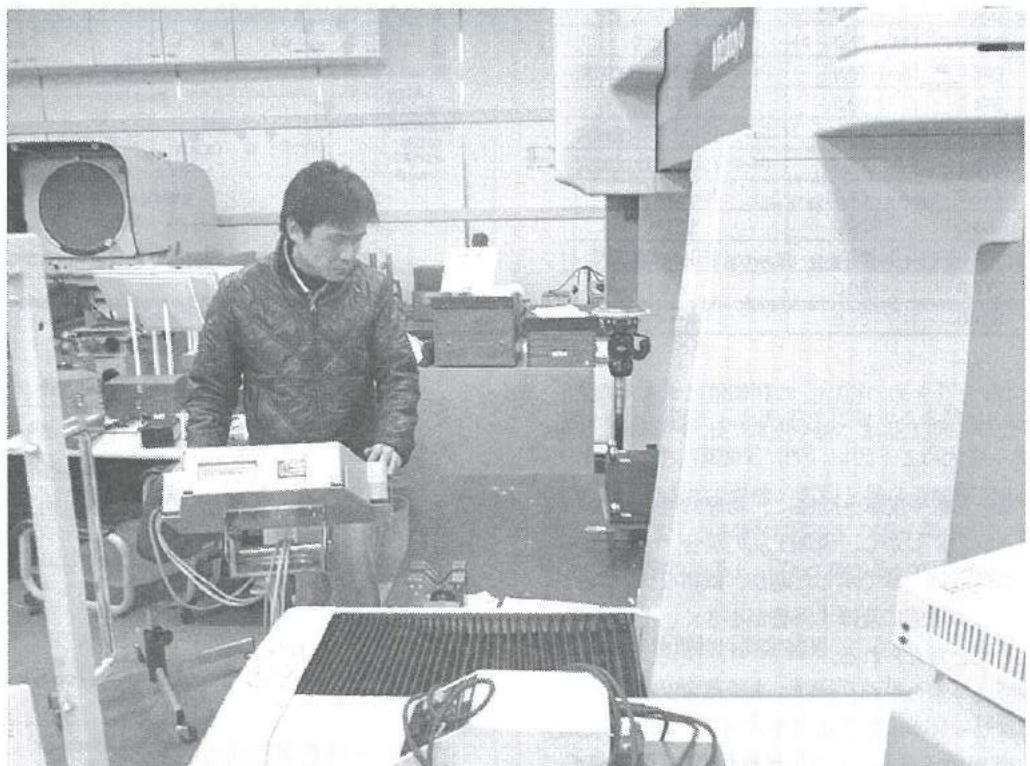
今回の実験では、大きさ、形状の異なるテクスチャが触感に及ぼす影響を明らかにした。今後、これらの結果を応用することで、任意の触感を有するプラスチック成形品の作製が可能になると考へる。

官能評価にご協力頂いた、富山県工業技術センター、(株)タカギセイコーおよび富山大学の関係各位に、お礼申し上げます。

文 献

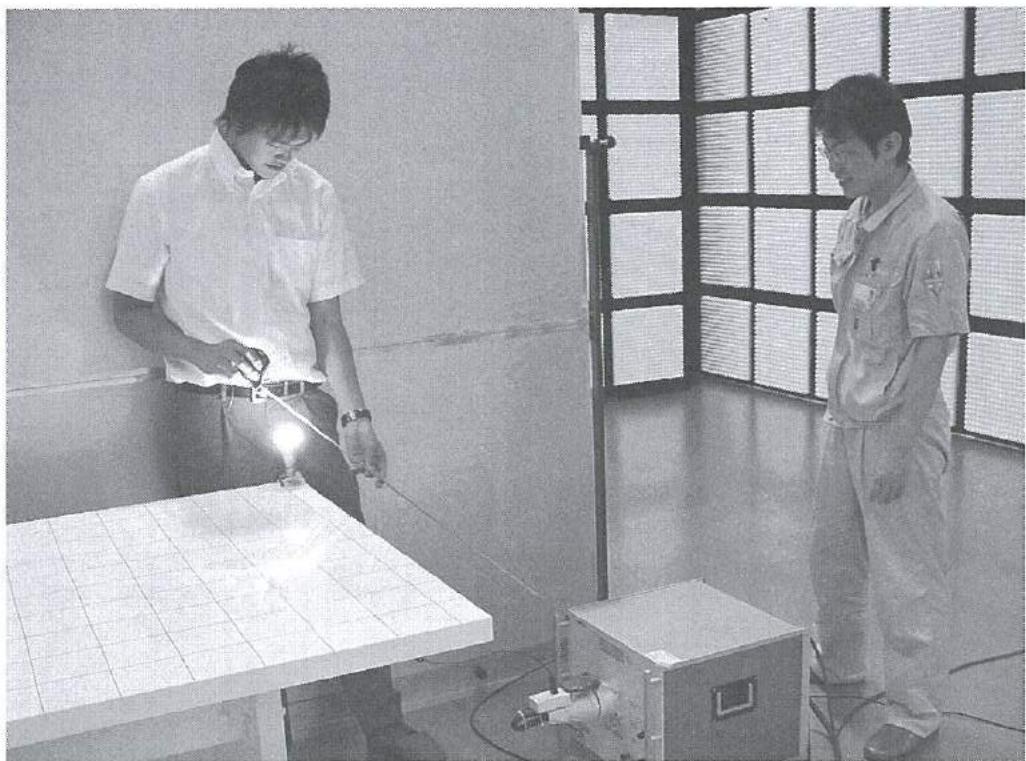
- (1) C. J. Evans and J. B. Bryan: *Annals CIRP*, **48** (1999) 541.
- (2) 下条ほか: 触感認識メカニズムと応用技術—触感センサ・触覚ディスプレイー, サイエンス&テクノロジー(株)(2010).
- (3) 長沢、川栄: Excel でできる統計的官能評価法(2011).
- (4) 渡辺ほか: 精密工学会誌, **71**, 11 (2005) 1421.
- (5) C.J. Barnes et al.: *Wear*, **257** (2004) 740.

「CMM（三次元測定機）用簡易検査器の開発2」グループの研究活動風景



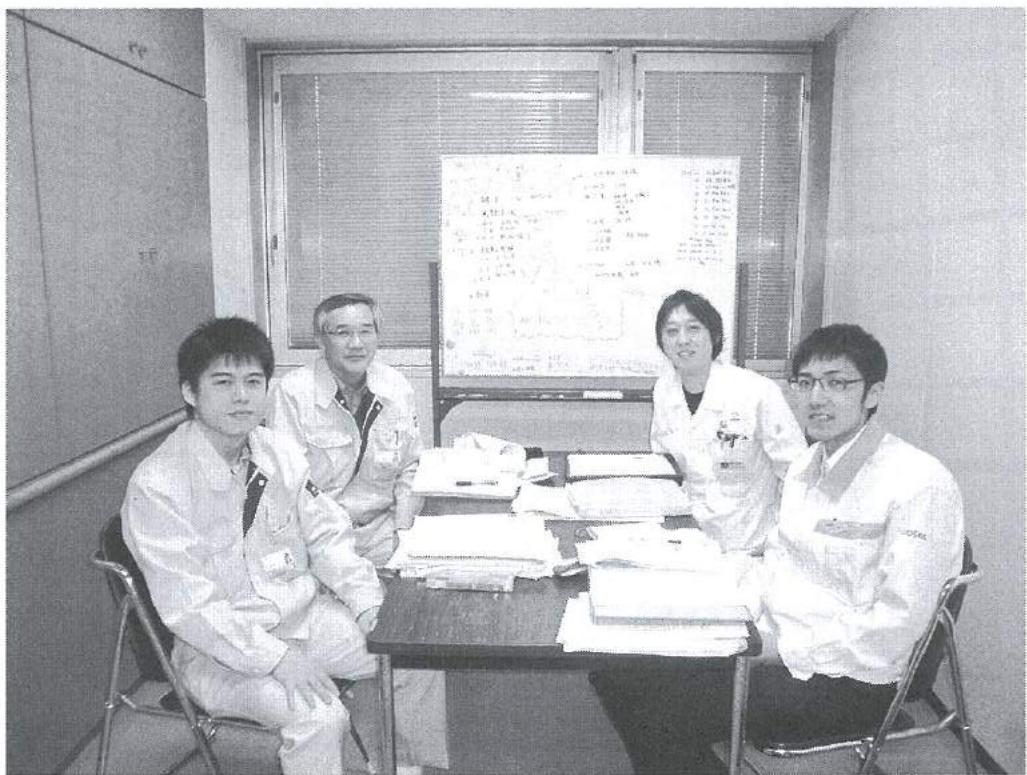
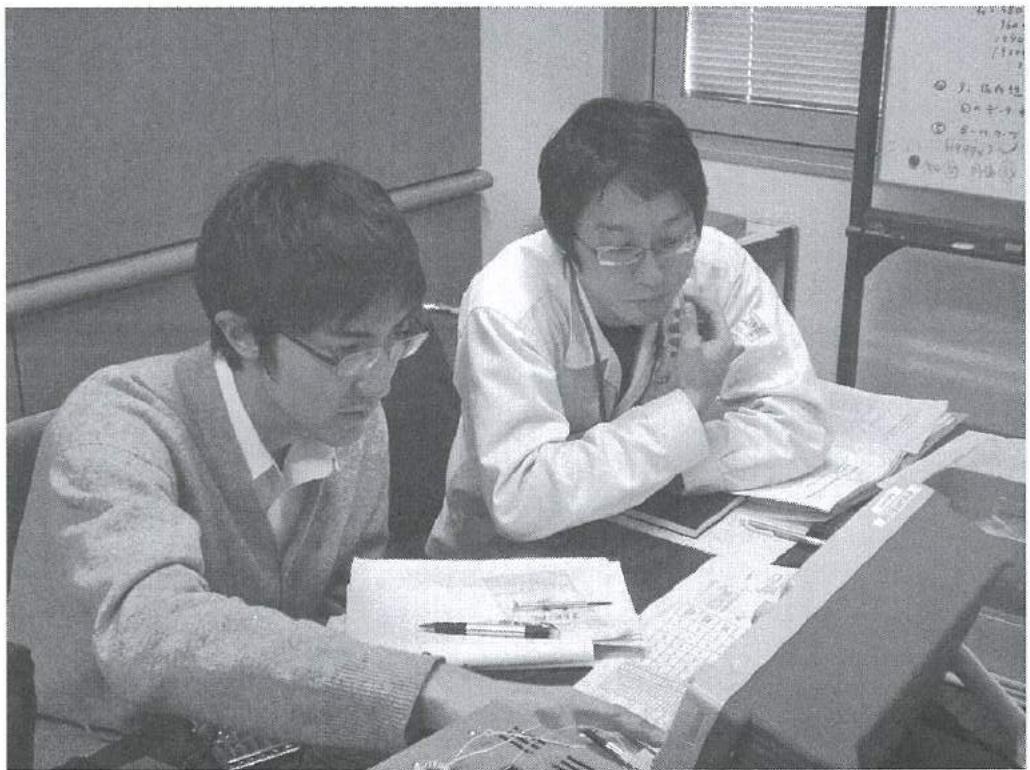
(付-1)

「LED照明のEMC・ノイズ対策に関する研究」グループの研究活動風景



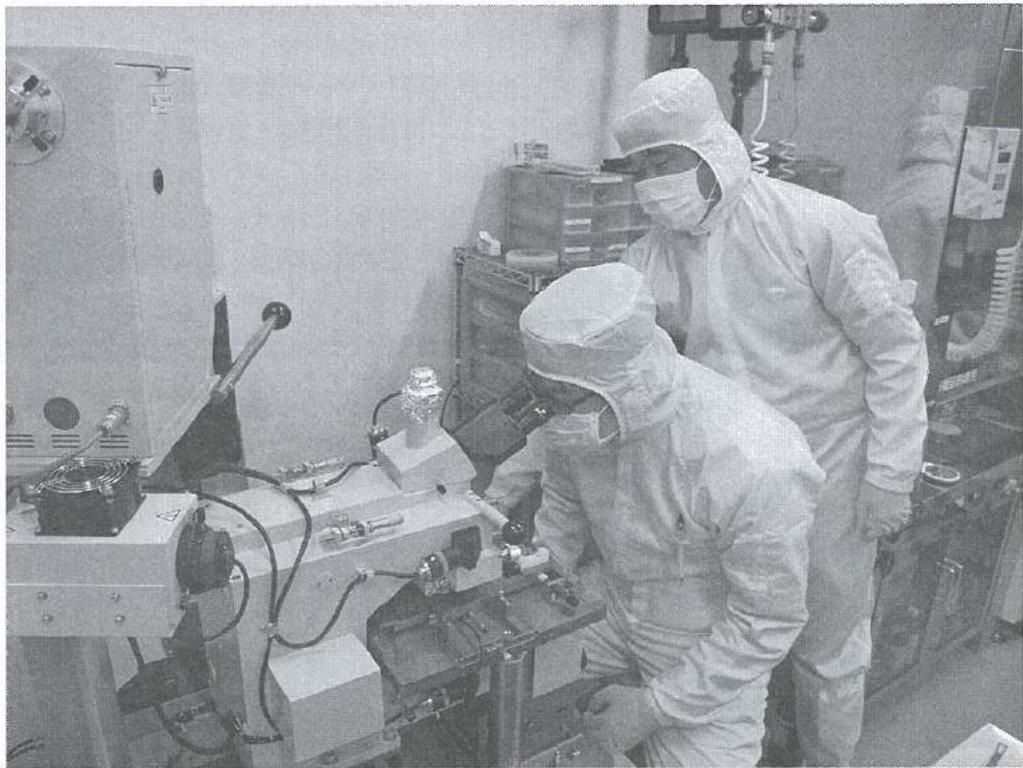
(付-2)

「積層鋼板の磁気特性に関する研究」グループの研究活動風景



(付-3)

「シリコンアーマチュアデバイスの研究開発」グループの研究活動風景



(付-4)

「精密切削加工による表面機能創成に関する研究」グループの研究活動風景



(付-5)

「若い研究者を育てる会」の研究活動の足跡

- 25年間の研究テーマ数：159テーマ（昭和62年度～平成23年度）
- 参加研究員延べ人数：314名（指導機関の研究員を除く）

☆昭和62年度（第1回）研究テーマと研究参加者（3テーマ、12名）

1. 複合材料の開発—金属粉末・樹脂複合材料による射出成形用簡易金型材料の開発
竹本要一（株タカギセイコー）、田上輝次（東洋化工株）、長柄 勝（長柄鉄工株）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）
2. 金属酸化物単結晶の作製とその応用開発—中高温用サーミスターの開発
岡崎誠一（北陸電気工業株）、加藤昌憲（日本鋼管株）、滝川義弘（燐化学工業株）
堀田 孝章（立山科学工業株）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）
3. フレキシブルハンドの開発—介護ロボット用アームの試作
石崎 浩・滝森幸浩（タカノギケン株）、茨木正則（北日本電子株）、西田信孝（株タカギセイコー）
山田俊一（エルコー株、現コーセル株）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

☆昭和63年度（第2回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、21名）

1. フレキシブルハンドに関する研究—ロボット用アームの試作（II）
石崎 浩・滝森幸浩（タカノギケン株）、茨木正則（北日本電子株）
窪池義文（エルコー株、現コーセル株）、滝脇優治（株タナカエンジニアリング）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）
2. ZnO系セラミックス薄膜に関する研究—圧電音響素子の開発
小西孝浩（タカノギケン株）、小町秀彦（株タカギセイコー）、滝川義弘（燐化学工業株）
平能 司（株和泉電気富山製作所）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）
3. Co-Meatal系アモルファス軟磁性薄膜に関する研究
越浜哲夫（株不二越東富山製鋼所）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）
4. 樹脂・ファイバー複合材バネに関する研究
池田秀男（株タカギセイコー）、上段一徳（東洋化工株）、長柄 勝（長柄鉄工株）
柳原 潔（株黒田精型）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）
5. Pb系セラミックス薄膜に関する研究—光シャッター及び赤外線センサの開発
中溝佳幸（北陸電気工業株）、水谷里志（立山電化工業株）、山田義昭（東洋化工株）
宮沢進一（吉田工業株、現YKK（株黒部工場）、山本直樹（NKK（日本鋼管株）富山製造所）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）
6. 障害者のための学習機能を有するマンマシンシステムの研究—機能的電気刺激のための上肢機能シミュレータの研究開発
古瀬正浩（株インテック）、堀井 孝（エルコー株、現コーセル株）
◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成1年度(第3回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、19名)

1. 樹脂・ファイバー複合材に関する研究

池田秀男・高柳敏信(株タカギセイコー)、上段一徳(東洋化工㈱)、長柄 勝(長柄鉄工㈱)
柳原 潔(株黒田精型)

◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所

2. ZnO系セラミックス薄膜に関する研究—圧電薄膜音響光学素子の開発

小西孝浩(タカノギケン㈱)、滝川義弘・煙田不二男(鱗化学工業㈱)、平能 司(株和泉電気富山製作所)
◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所

3. 焦電型赤外線センサに関する研究—RFマグネットロンスパッタ法によるチタン酸鉛薄膜の作製

山田義昭(東洋化工㈱)、吉田孝一(株タカギセイコー)、吉野正浩(吉田工業㈱、現YKK㈱)
◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所

4. Co-Nb-Zrアモルファス軟磁性薄膜に関する研究

越浜哲夫(株不二越)、西田達也(北陸電気工業㈱)、前坂昌春(エルコ一㈱、現コーセル㈱)
◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所

5. 障害者のための学習機能を有するマンマシンシステムの研究—機能的電気刺激のための上肢機能シミュレータの研究開発

古瀬正浩(株インテック)、堀井 孝(エルコ一㈱、現コーセル㈱)
◎指導機関:高志リハビリテーション病院

6. 超音波メガネの研究

中村 亮(北日本電子㈱)、中山正明(株和泉電気富山製作所)
◎指導機関:富山大学工学部

☆平成2年度(第4回)研究テーマと研究参加者(7テーマ、16名)

1. 磁性薄膜の応用に関する研究—倍周波型磁気センサの開発

越浜哲夫(株不二越)、高島 誠(エルコ一㈱、現コーセル㈱)
◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所

2. 仕上げ面粗さ自動測定装置の開発に関する研究

高柳敏信(株タカギセイコー)、田村正行(吉田工業㈱、現YKK㈱)、柳原 潔(株黒田精型)
◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

3. 圧電シートを用いた簡易超音波診断装置の開発に関する研究

尾畠哲史(株和泉電気富山製作所)、山田義昭(東洋化工㈱)
◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所

4. 扇散型光導波路を用いた音響光学素子に関する研究

煙田不二男(鱗化学工業㈱)、若林成喜(北陸電気工業㈱)
◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所

5. 画像による寸法計測に関する研究

石黒哲也(株タナカエンジニアリング)、窪池義文(エルコ一㈱、現コーセル㈱)
・西浦慎一・村井哲雄(株タカノギケン)
◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所

6. 超音波杖の開発

中村 亮(北日本電子㈱)、堀登紀男(株和泉電気富山製作所)
◎指導機関:富山大学工学部

7. 障害者のための学習性を有するマンマシンシステムの研究－完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究
土田隆一（立山科学工業株）
◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成3年度（第5回）研究テーマと研究参加者（7テーマ、14名）

1. 強誘電体薄膜の応用に関する研究－光書き込み型メモリの開発
玉川 勤（北陸電気工業株）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
2. 仕上げ面粗さ自動測定装置の開発に関する研究
桜栄和則（株タカギセイコー）、田村正行（吉田工業株、現YKK株）、柳原 潔（株黒田精型）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部
3. 画像による円筒内面検査装置の開発に関する研究
荒木満男（株タナカエンジニアリング）、西浦慎一（株タカノギケン）、
山本達生（エルコー株、現コーチセル株）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
4. 圧電シートを用いた簡易超音波診断装置の開発に関する研究
尾畠哲史（株和泉電気富山製作所）、山田義昭（東洋化工株）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
5. 薄膜微細加工技術の研究
鈴井俊裕（エルコー株、現コーチセル株）、竹端精己（株不二越）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
6. 視覚障害者のための音声点字変換装置に関する研究
岩田雅明（北日本電子株）、島野英明（株インテック）
◎指導機関：富山大学工学部
7. 障害者のための学習性を有するマンマシンシステムの研究－完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究
土田隆一（立山科学工業株）
◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成4年度（第6回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、12名）

1. マイクロマシンに関する研究
白石信行（コーチセル株）、新谷哲也（北陸電気工業株）、吉井靖岳（株タナカエンジニアリング）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
2. 薄膜微細加工技術の研究－トランジスタの試作
伊勢寿夫（コーチセル株）、戸田雅規（株不二越）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
3. 形状測定装置の開発に関する研究
野末昌朗（立山アルミニウム工業株）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
4. 透明プラスチックス製品の欠陥検査装置の開発
大岩秀徳（三協アルミニウム工業株）、長峰浩幸（株タカギセイコー）、本堂 裕（株斎藤製作所）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
5. 短音節認識による音声一点字変換装置に関する研究
北喜靖規（北日本電子株）、島野英明（株インテックシステム研究所）
◎指導機関：富山大学工学部

6. 完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究

土田隆一（立山科学工業㈱）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

★平成5年度（第7回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、12名）

1. 機能性膜の微細加工に関する研究—磁気式回転センサおよび温度抵抗素子の試作

伊東 守（ヨーセル㈱）、森田智之（北陸電気工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. マイクロマシンに関する研究

川西和昭（三協アルミニウム工業㈱）、後藤 肇（ヨーセル㈱）、佐々木啓充（株タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 有機電子材料に関する研究

雨野孝信（株タカギセイコー）、堀田正人（東洋化工㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. リン酸塩系セラミックス固体電解質に関する研究

黒川寛幸（北陸電気工業㈱）、山口 瞳（鱗化学工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. RIMのCAEに関する研究

杉田孝嗣（三協アルミニウム工業㈱）、中村和頼（株タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究（I）

五十嵐隆治（立山アルミニウム工業㈱）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

★平成6年度（第8回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、16名）

1. 視覚システムを持つ移動ロボットの開発

小山直人（株タカギセイコー）、寺本正夫・杉谷 健（ヨーセル㈱）

中村厚平（エヌアイシ・オートテック㈱）、松田英雄（株タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 機能性薄膜と半導体の複合素子の開発

高柳 裕（ヨーセル㈱）、田村雅英（北陸電気工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. リン酸エッチャング液の基礎研究

山口 瞳（鱗化学工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 傾斜機能膜素子の開発

市川良雄（富山軽金属工業㈱）、福本 滋（北陸電気工業㈱）、三松克次（株タカギセイコー）

山下慎也（株タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 3次元入力デバイスの開発—（バーチャルリアリティ用）

細木文夫（三協アルミニウム工業㈱）、横山 大（長岡技術科学大学）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究（2）

五十嵐隆治（立山アルミニウム工業株）、米谷庄一（三協アルミニウム工業株）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成7年度（第9回）研究テーマと研究参加者（8テーマ、15名）

1. 視覚システムを持つ移動ロボットの開発（2）

大浦真司（三協アルミニウム工業株）、高田謙一（コーチャル株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 金属製品の鍛造成形シミュレーションに関する研究

永森和久（株タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 電子回路用ウェットエッチング液の開発

山口 瞳（燐化学工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 形状記憶合金薄膜を用いたマイクロアクチュエータの開発

高橋伸忠（株タカギセイコー）、能村輝一（北陸電気工業株）、山下慎也（株タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 微動機構による機械の高度化の研究

佐野仁一（東洋化工株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 薄膜超磁歪素子の研究

酒井隆正（コーチャル株）、谷上英樹（北陸電気工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

7. レドックス型太陽発電システムの開発

市川良雄・大橋伸一（富山軽金属工業株）、三井清隆（株タナカエンジニアリング）

長谷川益夫（富山県林業技術センター木材試験場）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

8. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究（3）

五十嵐隆治（立山アルミニウム工業株）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成8年度（第10回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、15名）

1. 機能性薄膜を用いたマイクロポンプの研究

三松克次・笛島和明（株タカギセイコー）、田島正康（株タナカエンジニアリング）

田中 篤（北陸電気工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 鍛造成形の簡易シミュレーションに関する研究

松井裕昭（株タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. レドックス型太陽発電システムの開発（2）

市川良雄（富山軽金属工業株）、田畠裕信（中越合金鋳工株）、三井清隆（株タナカエンジニアリング）

長谷川益夫（富山県林業技術センター木材試験場）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 複数のロボットによる協調制御の研究

金田淳也（コーセル株）、森田裕之（立山アルミニウム工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

5. 多孔質シリコンの形成に関する研究

石川秀人（北陸電気工業株）、安田純子（コーセル株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 莠光性蛍光膜の開発

佐野仁一（東洋化工株）、二見泰雄（三協アルミニウム工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

☆平成9年度（第11回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、18名）

1. レドックス型太陽発電システムの開発（3）

市川良雄（富山軽金属工業株）、田畠裕信（中越合金鋳工株）、野中義夫（有）トヤマ技術開発研究所

長谷川益夫（富山県林業技術センター木材試験場）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 複数のロボットによる協調制御の研究（2）

森田裕之（立山アルミニウム工業株）、渡辺暁信（株タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

3. 生活環境用臭センサの開発

垣内由美子（コーセル株）、角谷哲哉（北陸電気工業株）、小島理敬（三協アルミニウム工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

4. 電力変換用圧電セラミックトランスの開発

堀井一宏（コーセル株）、柳川 新（立山科学工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 局部的レーザー処理による形状記憶合金膜アクチュエータの開発

丹保哲也（北陸電気工業株）、野上拓也（株タナカエンジニアリング）、山田浩美（東洋化工株）

滝川健太郎（金沢大学工学部）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 電気自動車の開発

坂本雅美（株齊藤製作所）、高橋 聰（株タナカエンジニアリング）、藤木和幸（株タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

☆平成10年度（第12回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、11名）

1. 圧電素子を用いた制振機構の研究

稻垣 聰（北陸電気工業株）、渡辺暁信（田中精密工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. コーティング工具の密着性向上に関する研究

野上拓也（田中精密工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 生活環境用においセンサの開発（2）

星野昌則（コーセル株）、南 政克（北陸電気工業株）、山田浩美（東洋化工株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

4. 電気自動車の開発（2）

坂本雅美（株齊藤製作所）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 微細放電加工の研究

太田光則（株齊藤製作所）、橋本 明（田中精密工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

6. 電磁シールド材の基礎研究

高橋伸忠（株タカギセイコー）、福田隆之（ヨーセル株）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

☆平成11年度（第13回）研究テーマと研究参加者（8テーマ、14名）

1. エンジンの動弁機構における構造解析及び強度評価

島村和彦（田中精密工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. コーティング工具の密着性向上に関する研究（2）

高田智哉（田中精密工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 深層水及び藻類を利用した太陽光発電の基礎研究

東堂浩次（ヨーセル株）、坂本雅美（株齊藤製作所）、長谷川益夫（木材試験場）、小善圭一（水産試験場）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

4. 山岳遭難者探索システムの探索性能向上に関する研究

前田智博（立山科学工業株）、高瀬 洋（県警察本部）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

5. インテリジェントにおいてセンサの開発

小森一哉（北陸電気工業株）、石川勝巳（ヨーセル株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

6. 微細放電加工の研究（2）

太田光則（株齊藤製作所）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

7. 機能性高分子を用いたアクチュエータの開発研究

小中稔正（YKK株）、山田浩美（東洋化工株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

8. プラスチックス上のハードコーティング技術の研究

高橋伸忠（株タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

☆平成12年度（第14回）研究テーマと研究参加者（5テーマ、8名）

1. 「ANSYS」を使用した動的機構解析の応用

島村和孝（田中精密工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. インテリジェントにおいてセンサーの開発（2）

小森一哉（北陸電気工業株）、谷口真也（ヨーセル株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

3. 高摩擦係数材料の開発
高田智哉（田中精密工業株）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
4. 木粉末を配合したプラスチックリサイクル材の研究
酒井康弘（株タカギセイコー）、前田健二（立山アルミニウム工業株）
◎指導機関：工業技術センター中央研究所
5. 低温駆動型小型燃料電池の開発に関する基礎研究
高橋雄一（コーセル株）、山田浩美（東洋化工株）
◎指導機関：工業技術センター中央研究所

★平成13年度（第15回）研究テーマと研究参加者（8テーマ、14名）

1. 滑雪板（着雪防止版）の開発
河井牧夫（田中精密工業株）、高橋伸忠（株タカギセイコー）、野田耕司（三協アルミニウム工業株）
石井 雅（富山県土木部）
◎指導機関：工業技術センターP J・中央研究所
2. 分子機能材料を用いた光電池の研究開発
濱口 誠（コーセル株）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
3. 高摩擦係数材料の研究（2）
高田智哉（田中精密工業株）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
4. 木粉末を配合したプラスチックリサイクル材料の研究
酒井康弘（株タカギセイコー）、前田健二（立山アルミニウム工業株）
◎指導機関：工業技術センター中央研究所、富山県立大学工学部
5. ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発
小出哲雄（コーセル株）、坂本雅美（株齊藤製作所）
◎指導機関：工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学工学部
6. 体質診断用DNAチップと測定装置の開発
水島昌徳（立山科学工業株）、川上浩美（東洋化工株）
◎指導機関：工業技術センターP J・機械電子研究所
7. マイクロマシニング技術による2軸型シリコンピエゾ抵抗式加速度センサの開発
桑原大輔（北陸電気工業株）
◎指導機関：工業技術センターP J・機械電子研究所、富山大学工学部、J S T
8. アルミ表面解析技術の高度化に関する研究
澤井 崇（武内プレス工業株）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

★平成14年度（第16回）研究テーマと研究参加者（8テーマ、13名）

1. ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発（2）
石見雅美（株齊藤製作所）、稻澤直子（コーセル株）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部
2. 生活習慣病等体質診断用DNAチップと評価機器の開発（2）
碓井洋平（立山科学工業株）、水原 崇（コーセル株）、米嶋勝宏（東洋化工株）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・P J・中央研究所

3. MEMSを応用した高精度温度センサの開発

今村徹治（北陸電気工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・PJ、富山大学工学部

4. アルミ飲料容器の形状評価手法の開発

清水 歩（武内プレス工業株）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・PJ

5. 超小型(20cc前後)4サイクルエンジンの開発

杉森雅一（エヌアイシ・オートテック株）、中西智英（田中精密工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 滑雪機構の改善に関する研究

河井牧夫（田中精密工業株）、野田耕司（三協アルミニウム工業株）

◎指導機関：工業技術センターPJ・中央研究所

7. 圧電トランസを用いたマイナスイオン発生装置の開発

山田英子（立山科学工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

8. 有機材料を用いた排ガス吸着材料の検討

酒井康弘（株タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター生活工学研究所、機械電子研究所

☆平成15年度（第17回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、9名）

1. ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発（3）

石見雅美（株齊藤製作所）、魚谷一成（ヨーセル株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

2. 生活習慣病等体質診断用DNAチップの検出精度向上に関する研究（3）

碓井洋平（立山科学工業株）、中山 均（ヨーセル株）、中林俊幸（東洋化工株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

3. 薄膜超低温度特性抵抗器の開発

桑原大輔（北陸電気工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

4. 小型穴加工システムの開発

手嶋成市（株タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

5. 超小型4サイクルエンジンの開発（2）

花崎 大（田中精密工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

6. インクジェット法による電子部品作製に関する基礎研究

増山智英（立山科学工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

☆平成16年度（第18回）研究テーマと研究参加者（7テーマ、12名）

1. 大型色素増感太陽電池の開発

廣田和也（株タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

2. 交流法を用いたバイオセンサの開発

米澤久恵（ヨーセル株）、碓井洋平（立山科学工業株）、深沢正樹（立山マシン株）
宝泉重徳（東洋化工株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所、富山県新世紀産業機構

3. インクジェット用機能性インクの開発

松田杏子（立山科学工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 小型燃料改質器を用いた燃料電池の開発

澤田篤宏（ヨーセル株）、石見雅美（株齊藤製作所）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

5. 薄膜超低温度特性抵抗器の開発（2）

桑原大輔（北陸電気工業株）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学工学部

6. 環境適応型インテリジェント窓の開発

堀 剛文・松田 力（立山アルミニウム工業株）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

7. 高摩擦係数材料の研究（3）

上田修一（田中精密工業株）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・生活工学研究所・機械電子研究所

☆平成17年度（第19回）研究テーマと研究参加者（7テーマ、10名）

1. 小型燃料改質器を用いた燃料電池の開発（2）

小杉京平（ヨーセル株）、太田光則（株齊藤製作所）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

2. 交流法を用いたバイオセンサの開発（2）

上谷聰史（ヨーセル株）、深沢正樹（立山マシン株）、中田守人（東洋化工株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所、富山県新世紀産業機構

3. 薄膜超低温度特性抵抗器の開発（III）

津幡 健（北陸電気工業株）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学工学部

4. 圧電材料による起電力素子の研究

猪田明宏（立山科学工業株）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・機械電子研究所

5. 高摩擦係数材料の研究（IV）

山下剛史（田中精密工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・生活工学研究所・中央研究所

6. インクジェット技術の応用研究

田中裕美（立山科学工業株）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・機械電子研究所

7. 大型色素増感太陽電池の開発（2）

廣田和也（株タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

☆平成18年度（第20回）研究テーマと研究参加者（9テーマ、11名）

1. メタボリック症候群検出装置の開発

三宅正浩（コーチル株）、深澤正樹（立山マシン株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県新世紀産業機構

2. マイクロTASチップの開発

嶋 将伸（コーチル株）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・PJ推進担当・機械電子研究所

3. 陽極酸化皮膜を用いたナノ構造体の開発

清水裕也（株タカギセイコー）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・機械電子研究所・PJ推進担当

4. インクジェット法による電子回路パターンの作製

篠原おりえ、田中裕美（立山科学工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

5. 小径穴の仕上げ加工

高岡利尚（田中精密工業株）

◎指導機関：工業技術センターPJ推進担当・中央研究所・機械電子研究所

6. ナノポーラス構造薄膜の作製とセンサーへの応用研究

中野貴之（北陸電気工業株）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学工学部

7. 高温耐熱型サーミスタの開発

山野 博（立山科学工業株）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・機械電子研究所

8. 超小型指向性アンテナの開発

徳島達也（立山科学工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

9. 機械部品の洗浄に関する研究

杉森雅一（エヌアイシ・オートテック株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所・PJ推進担当

☆平成19年度（第21回）研究テーマと研究参加者（8テーマ、10名）

1. 電子回路用ウェットエッチング液の研究

曾根宏信（燐化学工業株）

◎指導機関：富山県立大学工学部、工業技術センター中央研究所

2. 肉盛りステライトの硬さに影響を与える溶接条件の研究

田中隆尚（田中精密工業株）、長柄大介（長柄鉄工株）

◎国立大学法人富山大学芸術文化学部、富山県工業技術センター中央研究所・PJ推進担当

3. インクジェット法を用いたアンテナの作製

廣島大三（立山科学工業株）

◎富山県工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

4. 燃料電池用超小型水素発生器の開発

川端基裕（コーチル株）、遠藤 亮（三協立山アルミ株）

◎富山県工業技術センター機械電子研究所

5. 三次元座標測定機における測定信頼性向上に関する研究

中橋秀記（立山マシン株）

- ◎富山県工業技術センター中央研究所・企画管理部
6. ナノポーラス構造薄膜の作製とセンサーへの応用研究（2）
石橋孝裕（北陸電気工業㈱）
◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所
7. 陽極酸化皮膜を用いたナノ構造体の応用研究
清水裕也（㈱タカギセイコー）
◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所・PJ推進担当
8. マイクロTASチップの開発（2）
石村和雄（コーチル㈱）
◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所・生活工学研究所

★平成20年度（第22回）研究テーマと研究参加者（5テーマ、8名）

1. マイクロリアクタによる反応制御方法に関する研究
大橋裕之（㈱化学工業㈱）、梅原洋平（コーチル㈱）
◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所・生活工学研究所
2. 空中超音波を用いた空間温度計測システムの研究
正源浩之（コーチル㈱）、木下正之（立山科学工業㈱）
◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所・生活工学研究所
3. ダイカスト金型材料の接合技術の開発
花崎裕美（田中精密工業㈱）、古川万晃（㈱タカギセイコー）
◎国立大学法人富山大学芸術文化学部、富山県工業技術センター中央研究所・PJ推進担当
4. 局部加熱によるプラスチック表面の高機能化
吉田康子（㈱タカギセイコー）
◎富山県工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
5. 酵母を利用した和漢薬の薬理作用の解析および測定デバイスの開発
日出嶋宗一（立山マシン㈱）
◎富山県工業技術センター機械電子研究所

★平成21年度（第23回）研究テーマと研究参加者（5テーマ、9名）

1. 軽量・フレキシブルな色素増感太陽電池の開発
吉田康子（㈱タカギセイコー）、中田裕一（北陸電気工業㈱）
◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所
2. ハンダ付着性導電塗料を用いた試作基板作製法の開発
熊田泉実（コーチル㈱）、日出嶋宗一（立山マシン㈱）
◎富山県工業技術センター機械電子研究所
3. X線CTを用いた実寸計測に基づくCAE技術
山根幸治（コーチル㈱）、細川修宏（㈱タカギセイコー）
◎富山県工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
4. ダイカスト金型材料の接合技術の開発（2）
中田雄三（田中精密工業㈱）
◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所、富山大学芸術文化学部
5. スクリーン印刷法による低コスト色素増感太陽電池の開発
斎藤洋輔（コーチル㈱）、若林 傑（立山科学工業㈱）
◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所

☆平成22年度(第24回)研究テーマと研究参加者(5テーマ、8名)

1. ミニロボット群による水田防除草システムの開発

上田将志(コーチセル株)、古川和明(立山科学工業株)

⑤富山県工業技術センター機械電子研究所

2. CMM(三次元測定機)用簡易検査器の開発

広地信一(立山マシン株)

⑤富山県工業技術センター中央研究所、富山大学芸術文化学部

3. 高耐摩耗性を有する熱可塑性樹脂複合材料の開発

須田誠(田中精密工業株)

⑤富山県工業技術センター中央研究所・企画管理部

4. CAEによる仮想振動試験の信頼性評価への適用

澤田修平(コーチセル株)、細川修宏(株タカギセイコー)

⑤富山県工業技術センター機械電子研究所

5. 光触媒による自立型水質浄化浮遊物の開発

高見和志(コーチセル株)、新川翔平(北陸電気工業株)

⑤富山県工業技術センター機械電子研究所・企画管理部・中央研究所

☆平成23年度(第25回)研究テーマと研究参加者(5テーマ、7名)

1. CMM(三次元測定機)用簡易検査器の開発2

広地信一(立山マシン株)

⑤富山県工業技術センター中央研究所、富山大学芸術文化学部

2. LED照明のEMC・ノイズ対策に関する研究

平田哲郎(コーチセル株)

⑤富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所

3. 積層鋼板の磁気特性に関する研究

堀田哲朗(田中精密工業株)、杉本考行(コーチセル株)

⑤富山県工業技術センター機械電子研究所、谷野技術士事務所、富山大学大学院理工学研究部

4. シリコンアーマチュアデバイスの研究開発

木澤裕志(立山科学工業株)、岩滝幸司(北陸電気工業株)

⑤富山県工業技術センター中央研究所、富山大学大学院理工学研究部

5. 精密切削加工による表面機能創成に関する研究

藤井美里(株タカギセイコー)

⑤富山県工業技術センター中央研究所

○会員企業

平成24年3月15日現在(50音順)

	企業名	代表者名	運営委員	電話番号
1	エヌアイシ・オートテック㈱	西川 浩司	大茂 達朗	076-462-0578
2	コーチル㈱	福村 恵一	山影 隆	076-432-8151
3	㈱齊藤製作所	齊藤 恵三	齊藤 行男	076-468-2727
4	三協立山アルミ㈱	藤木 正和	宇野 清文	0766-20-2366
5	㈱タカギセイコー	笠井 千秋	高橋 伸忠	0766-84-2318
6	タカノギケン㈱	高野 啓良	瀧森 幸浩	076-455-2525
7	武内プレス工業㈱	武内 繁和	駒井 義時	076-441-1856
8	立山科学工業㈱	水口昭一郎	森 喜代志	076-483-3088
9	立山マシン㈱	宮野 兼美	齋 日登志	076-483-4123
10	田中精密工業㈱	田中 一郎	櫛田 孝隆	076-451-5600
11	東洋化工㈱	中田 守人	中田 守人	076-475-2125
12	長柄鉄工㈱	長柄 勝	長柄 大介	0766-22-3170
13	北陸電気工業㈱	津田 信治	山本 肇	076-467-1111
14	燐化学工業㈱	安田 陽一	稻生 吉一	0766-86-2511

事務局：(財)富山県新世紀産業機構内 〒930-0866 富山市高田 529 TEL:076-444-5607 (加茂真理子)

○研究会員

氏名	所属	役職	学位	電話番号
研究幹事				
岩坪 聰	工業技術センター中央研究所	主幹研究員	博士(工学)	0766-21-2121
角崎 雅博	工業技術センター	次長	博士(工学)	076-433-5466
佐山 利彦	工業技術センター機械電子研究所	副主幹研究員	博士(工学)	076-433-5466
杉森 博	工業技術センター機械電子研究所	機械システム課長	博士(工学)	076-433-5466
高林 外広	県商工労働部商企画課	主幹	博士(工学)	076-444-9606
丹保 豊和	富山大学大学院理工学研究部	准教授	工学博士	076-445-6727
土肥 義治	工業技術センター中央研究所	材料技術課長	博士(工学)	0766-21-2121
長柄 穀一	富山大学芸術文化学部	准教授	博士(工学)	0766-25-9111
二口 友昭	工業技術センター企画管理部	部長	博士(工学)	0766-21-2121
升方 勝己	富山大学大学院理工学研究部	教授	工学博士	076-445-6714
松田 敏弘	富山県立大学工学部	教授	博士(工学)	0766-56-7500

○歴代会長 (会長人事は会員企業内持ち回り、2代目からは任期2年)

初代会長 館 久晴 (昭和62年度～平成4年度)	2代会長 高木 正明 (平成5年度～平成6年度)
3代会長 中田 守人 (平成7年度～平成8年度)	4代会長 野村 正也 (平成9年度～平成10年度)
5代会長 田中 一郎 (平成11年度～平成12年度)	6代会長 武内 繁和 (平成13年度～平成14年度)
7代会長 齊藤 恵三 (平成15年度～平成16年度)	8代会長 水口昭一郎 (平成17年度～平成18年度)
9代会長 町野 利道 (平成19年度～平成20年度)	10代会長 笠井 千秋 (平成21年度～平成22年度)
11代会長 津田 信治 (平成23年度～)	

○顧問・運営アドバイザー

谷野 克巳 (谷野技術士事務所)

○顧問 (50音順)

池田 進 (財)富山県新世紀産業機構専務理事)
 石坂 誠一 (富山国際大学・名誉学長)
 榎本 祐嗣 (工業技術センター所長・中央研究所長)
 龍山 智榮 (財)富山県新世紀産業機構産学官連携推進センター長)
 東保喜八郎 (財)富山県新世紀産業機構参与)
 南日 康夫 (財)富山県新世紀産業機構科学技術コーディネータ)
 藤城 敏史 (財)富山県新世紀産業機構産学官連携推進センター部長)
 米田 政明 (富山高等専門学校校長)

(様式 1)

「若い研究者を育てる会」入会申込書

企業名（事業所名）	
代表者名	
住所・電話番号・ファクシミリ番号 〒 TEL : FAX :	
連絡担当者所属・役職・氏名・E-mail address	
上記のとおり貴会へ入会を申し込みます。	
平成 年 月 日	
企業名（事業所名）	印
「若い研究者を育てる会」 殿	

◎ 「若い研究者を育てる会」では会員企業を随時募集しています。

- ・申し込みは郵送またはファクシミリにてお願いします。
- ・申し込み用紙は本票をコピーしてご利用ください。
- ・その他不明な点は事務局へお問合せください。

★申し込み先

〒930-0866 富山市高田529

(財) 富山県新世紀産業機構

「若い研究者を育てる会」事務局

TEL 076-444-5607

FAX 076-444-5630

発行者	若い研究者を育てる会
	〒930-0866 富山市高田529 (財)富山県新世紀産業機構 プロジェクト推進課内
発行責任者	富山県工業技術センター 角崎 雅博 杉森 博 (財)富山県新世紀産業機構 加茂 真理子
発行年月日	平成24年3月15日
印刷所	富山スガキ株式会社

*無断転載を禁ずる。非売品。