

平成 27 年 度

(第 29 回)

若い研究者を育てる会研究発表会

研究論文集

平成 28 年 3 月 15 日 (火)

於：ホテルグランテラス富山

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
富山県立大学工学部

ご あ い さ つ

会 長 武 内 繁 和

若い研究者を育てる会では、今年度も県内の各企業から選ばれた若き精鋭が一年間にわたり各研究テーマに真剣に向き合い、取り組んでまいりました。その研究成果報告として、「第29回研究論文集」が今年も発行されるはこびとなりました。当会が「これからの県内企業の若手技術者を、創造的な研究者として育成していこう」との趣旨により、昭和62(1987)年1月に異業種交流団体として発足して以来、今日まで継続的に活動してこられま



したのも、ひとえに大学の諸先生方や工業技術センターの方々のご熱心な指導をはじめ、富山県新世紀産業機構、他会員企業の関係各位のご支援の賜物とここに深く感謝申し上げます。

さて、研究者にとっての明るい話題として、梶田隆章さんによる「ノーベル物理学賞受賞」という快挙がありました。梶田さん自身も受賞後の会見等で「若い研究者時代から観測データに疑問を持ち続け、地道に解析を進めたことが今回の受賞につながった。長期的な視野に立ち、若い研究者がじっくりと研究できるような環境にしていかなければならない。」と述べておられますが、梶田さんの粘り強さもさることながら、研究活動に対する信念とこのように一つの目標に向かって共同でコツコツと取り組み、研究の成果を出していく長年の地道な活動による今回の受賞は、若手研究者の日々の研究活動を大いに勇気づけ、夢と希望を与えてくれる出来事であると思います。そういった意味でも、富山県内で30年前から若手研究者の育成とその環境づくりを支えている当会の存在意義は大きく、富山県が産官学の連携により注力している「ものづくり県とやま」としても本県の産業と県内企業の技術力の発展に向け、今後当会の活動がさらに活性化し、また若い研究者の皆さんにとって将来的に世界に通ずる活躍に繋がることを心から期待しております。

おわりになりましたが、この研究論文集の発行を機に、当会の今後のますますの発展を祈念するとともに、関係各位の変わらぬご指導とご支援をお願いして、発行にあたってのごあいさつとさせていただきます。

研究の概要

「若い研究者を育てる会」（以下、「若研」）の研究発表会は今年度で29回目を迎えた。本論文集は「若研」に参加する企業（現在の会員企業数14社）と会員企業の研究者が6つの研究テーマとグループを定め、平成27年5月から富山県工業技術センターにおいて、6グループ（6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、6テーマの内1テーマについては、富山大学大学院理工学研究部の研究協力と指導のもとで実施した。ここでは、今年度実施した6テーマの研究概要を研究発表順に述べる。

富山県工業技術センター機械電子研究所 博士(工学) 佐山 利彦

①「トイレからの漏えい音低減に関する研究-II」の研究グループ（参加企業1社）では、昨年度の研究において音圧低減が困難であった約500 Hz以下の周波数帯域の用足し音を対象として、アクティブノイズコントロール（ANC）の手法を適用したシステムにより積極的に低減することを試みた。まず、便器の上部開口部から外部へ直接放射される音を低減することを検討したところ、便座上空に設定した制御点に2次音源スピーカを上向きに設置することにより、広い空間範囲において減音効果が得られることが明らかになった。次に、便座の内周端部付近で回折して外部へ広がる音を低減することを検討したところ、ANCシステムにおける制御点の適切な設置により回折点の音圧をある程度低減できる可能性を示した。今後、前年度の研究成果を含め、これらの減音方法をすべて組み合わせた場合の減音効果について検討し、公共のトイレや仮設トイレ等へ適用していきたい。



富山県工業技術センター機械電子研究所 博士(工学) 佐山 利彦

②「3D スキャナーを用いた形状測定と変形解析への適用」の研究グループ（参加企業3社）では、金属・樹脂締結部品の熱変形を想定して、3D スキャナーを用いた高い精度での形状測定および変形状態の解析を試みた。その結果、(1) 二次反射光の低減対策および特徴形状を配置した測定方法により、測定誤差10 μm以内の高精度形状測定を実現した。(2) ABS樹脂平板とアルミプレートを締結した複合構造モデルの熱変形に対して本測定方法を適用したところ、樹脂平板の中央部が面外に座屈する変形状態を可視化することに成功した。(3) この複合構造モデルの3次元変形データによる検証に基づき、CAEによる変形解析を実施したところ、部材内部での温度分布を考慮することで変位の解析精度を6%程度まで高めることができた。(4) 樹脂平板の熱変形を抑制するために、リブ設置による曲げ剛性の向上、締結部の固定方法の変更、および低線膨張係数材料への変更、という3種類の方法について検討したところ、面外変形による最大変位を0.5 mm / 145 mm以下に抑える指針が得られた。今後は、実際の金属・樹脂締結部品へと展開をしていきたい。



富山大学大学院理工学研究部 理学博士 西村 克彦

③「厚膜型圧電発電振動素子の開発に関する研究」の研究グループ（参加企業1社）では、金属基板上にスクリーン印刷法で圧電体厚膜を形成し、エネルギーハーベスター素子の開発を目指した。この研究成果から、圧電体パターンを簡便に製膜できること、基板割れのリスクを低減すること、製造コストを低減することが期待できる。チタン酸ジルコニウム酸鉛のソフト系材料とハード系材料をイットリア安定化ジルコニア（YSZ）基板とニッケル（Ni）基板に厚膜形成し、基礎的電気特性および発電特性を評価した。その結果、過去のバルクセラミックス素子と同等の性能を有することが分かった。Ni基板素子はYSZ基板素子より低い発電特性を示しており、今後プロセスや分極条件の最適化を進める。



富山県工業技術センター中央研究所 博士(工学) 石黒 智明

④「ハイブリッド樹脂粉末を用いた樹脂の特性改善」の研究グループ（参加企業2社）では、樹脂材料への機能付与に際して多用される混練手法で問題の機能性粒子の大量添加を改善するため、ハイブリタイゼーション法による複合材料の利用について検討した。特に、PA12粉末をグラファイト被覆した複合材料（グラファイト添加量 0.5wt%）を作製し、導電性への効果について調べた。複合材料を熱プレス法・3D-プリンティング法・混練押し出し法で板材として測定した表面抵抗値は、3D-プリンティング法<熱プレス法<<混練押し出し法の順であり、3D-プリンティング法の効果が最も大きく、約 $10^8 \Omega/\square$ まで低下した。市販の帯電防止樹脂材で同程度の表面抵抗値を得るには、10~30wt%の導電材の混練が必要であるが、ハイブリタイゼーションと3D-プリンティングを組み合わせれば0.5wt%と少量で済む、などの成果が得られた。



富山県工業技術センター機械電子研究所 博士(工学) 杉森 博

⑤「ドリル切削加工における精度向上に関する研究」の研究グループ（参加企業1社）では、深穴加工用ドリルによる加工精度向上を目的に、加工時の切削動力等をもとに各種加工条件と加工後の穴精度の関係を検討した。その結果、加工の際にドリルに作用する力の大きさがびびり音発生の一つの指標で、その音には機上ドリルの共振周波数に起因する成分が含まれることがわかった。また、ドリルの芯振れを小さくして加工すると加工後の穴精度（円筒度、穴入口近傍の真円度）の改善に効果が認められた。ドリルのびびり振動抑制のため、試みに機上ドリルの共振周波数を基



に切削条件（主軸の回転速度）を決め、穴加工を行った。その結果、ある程度の効果が認められるケースもあったが、その有効性についてはさらに検証が必要である。

富山県工業技術センター 博士(工学) 土肥 義治

⑥「アルミ缶内面の腐食防食評価技術の高度化」の研究グループ（参加企業1社）では、塗装したアルミ缶内面の腐食の初期段階の評価法として、電気化学的測定法である交流インピーダンス法の適用が可能かどうか、検討を行ったものである。具体的には、種々の進行状態のアルミ容器の腐食サンプルを保存試験で作製し、形態観察より腐食の進行状況を観察した。腐食初期の状態と交流インピーダンス測定結果を等価回路で解析した結果、保存試験の経過とともに、インピーダンスの上昇を確認しており、目視評価で捉えることのできない腐食初期の変化との相関を見いだしている。また、種々の観察法や分析法を用いて、腐食の進行との関連も調査したが、腐食初期の状態の変化を捉えるには十分でなかった。消費者や飲料メーカー、化粧品メーカーなどのユーザーニーズの多様化に伴い、充填される内容物の液性も様々なものとなり、また、容器に要求される耐食性もますます厳しいものとなっている。様々な内容物に対する耐食性の確認や、新たな内面塗料や洗浄剤を採用する場合に対応した手軽で、かつ、迅速、高感度で行う評価方法として、交流インピーダンス法の適用の可能性を明らかとした意義は大きい。



以上、本論文集は6つの独立した研究テーマと成果から構成されているが、残念なことに今年度は一つの課題に対して複数の企業が参加した研究テーマは6テーマ中2テーマであった。

化石エネルギーの消費に伴う二酸化炭素の大量排出と地球温暖化や、原発に対する信頼性の低下などの問題もあって、各方面では再生可能エネルギーを含めてさまざまなエネルギーの開発が活発に検討されているが、今年度は本会でもエネルギー関連技術の研究を1テーマ実施した。

今年度を含めた**29年間で184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。29年間のテーマを富山県が戦略的に進める科学技術事項に準拠して分類すると次のとおりとなる。

- ・ライフイノベーション関連：27テーマ（14.7%）
- ・グリーンイノベーション関連：40テーマ（21.7%）
- ・先端ものづくり技術開発関連：117テーマ（63.6%）

また、29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や製品の検査技術などに応用され、材料技術などはセンサー技術や建材関連製品、自動車の機能性部品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、企業・業種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、本会はこのような研究活動を通じ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、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28年3月（名誉研究幹事 工学博士 谷野克巳）

研究グループの構成

I. トイレからの漏えい音低減に関する研究-IIの研究グループ

研究担当者 **杉森 雄平 (コーセル株)**

○金森 直希 (工業技術センター機械電子研)

佐々木克浩 (工業技術センター中央研究所)

☆佐山 利彦 (工業技術センター機械電子研)

II. 3Dスキャナーを用いた形状測定と変形解析への適用の研究グループ

研究担当者 **山崎 諭史 (コーセル株)**

内山 肇 (三協立山株)

金山 侑司 (北陸電気工業株)

○鍋澤 浩文 (工業技術センター機械電子研)

羽柴 利直 (工業技術センター機械電子研)

金森 直希 (工業技術センター機械電子研)

☆佐山 利彦 (工業技術センター機械電子研)

III. 厚膜型圧電発電振動素子の開発に関する研究の研究グループ

研究担当者 **山本 貴之 (コーセル株)**

○坂井 雄一 (工業技術センター機械電子研)

塚本 吉俊 (工業技術センター中央研究所)

佐々木克浩 (工業技術センター中央研究所)

寺澤 孝志 (工業技術センター機械電子研)

角田 龍則 (工業技術センター機械電子研)

升方 康智 (工業技術センター機械電子研)

岩坪 聡 (工業技術センター中央研究所)

☆西村 克彦 (富山大学大学院理工学研究部)

IV. ハイブリッド樹脂粉末を用いた樹脂の特性改善の研究グループ

研究担当者 **熊澤 周士 (株タカギセイコー)**

黒河 歩美 (立山マシン株)

○高松 周一 (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)

清水 孝晃 (工業技術センター中央研究所)

☆石黒 智明 (工業技術センター中央研究所)

V. ドリル切削加工における精度向上に関する研究の研究グループ

研究担当者 **石澤 剛士 (田中精密工業㈱)**

- 上野 実 (工業技術センター機械電子研)
- 金森 直希 (工業技術センター機械電子研)
- 羽柴 利直 (工業技術センター機械電子研)
- 清水 孝晃 (工業技術センター中央研究所)
- 佐山 利彦 (工業技術センター機械電子研)
- ☆杉森 博 (工業技術センター機械電子研)

VI. アルミ缶内面の腐食防食評価技術の高度化の研究グループ

研究担当者 **筒井 英明 (武内プレス工業㈱)**

- 本保 栄治 (工業技術センター機械電子研)
- 羽柴 利直 (工業技術センター機械電子研)
- 坂井 雄一 (工業技術センター機械電子研)
- 高田 耕児 (工業技術センター機械電子研)
- ☆土肥 義治 (工業技術センター)

註：○印は各研究グループのチーフ

☆印は研究幹事

目 次

I. トイレからの漏えい音低減に関する研究- II	1
1. 緒 言	1
2. 泡の層による減音効果(昨年度の研究成果)	1
3. 低い周波数帯域の放射音を低減する方法の検討	2
4. 直接音の低減	2
5. 回折音の低減	4
6. 結 言	6
II. 3Dスキャナーを用いた形状測定と変形解析への適用	7
1. 緒 言	7
2. 3Dスキャナーの概要	7
3. 3Dスキャナーを用いた高精度形状測定の見直し	8
4. ABS樹脂平板の熱変形の測定および解析	9
5. 曲げ剛性の向上(熱変形抑制対策①)	11
6. 固定方法の見直し(熱変形抑制対策②)	12
7. 低線膨張係数の材料への変更(熱変形抑制対策③)	13
8. 結 言	14
III. 厚膜型圧電発電振動素子の開発に関する研究	15
1. 緒 言	15
2. 実験方法	15
3. 実験結果	18
4. 結 言	22
IV. ハイブリッド樹脂粉末を用いた樹脂の特性改善	23
1. 緒 言	23
2. 実験方法・結果および考察	23
3. 結 言	30

V. ドリル切削加工における精度向上に関する研究	-----	3 1
1. 緒 言	-----	3 1
2. ドリルに作用する切削動力	-----	3 1
3. 試験概要	-----	3 1
4. 実験条件	-----	3 2
5. 実験結果	-----	3 3
6. 結 言	-----	3 7
VI. アルミ缶内面の腐食防食評価技術の高度化	-----	3 8
1. 緒 言	-----	3 8
2. 実験方法	-----	3 8
3. 実験結果と考察	-----	4 0
4. 結 言	-----	4 5
○各研究グループの研究風景	-----	付— 1
○「若い研究者を育てる会」29年間の研究活動の足跡	-----	付— 7
○会員企業および研究幹事名簿	-----	付—22
○入会申込書	-----	付—23

I. トイレからの漏えい音低減に関する研究－II

Study on Reduction of Leakage Sound from Restroom Stall – II

杉森 雄平 金森 直希 佐々木 克浩 佐山 利彦

SUGIMORI Yuhei KANAMORI Naoki SASAKI Katsuhiko SAYAMA Toshihiko

Abstract

Reducing the sound leakage from the toilet bowl in public toilets leads to further improvement of its comfort, especially for ladies. In our previous studies, sufficient sound attenuation performance was obtained approximately over 500 Hz frequency range by introducing foam layer on the water surface. However, it was quite difficult to eliminate the excitation sounds in the frequency range under 500 Hz. Therefore, in order to obtain the good attenuation performance in the range, two systems of ANC (Active Noise Control) considering the direct sound and the diffracted sound were investigated. First, an ANC system for the direct sound without diffraction from the opening of the toilet bowl has been shown effective sound reduction performance in actual frequency range and in a wide space around the toilet bowl. And then another ANC system for the sound diffracted from the opening of the toilet bowl has achieved a slight sound reduction performance.

1. 緒言

従来から、国内の商業施設や公共施設では、使用者の視点に立ったトイレ作りが行われており、トイレを集客装置と捉える考え方が浸透しつつある。また、近年急増している外国人観光客による日本の印象向上および国民の生活の質の向上の観点から、環境省が全国の公園トイレを再整備する事業¹⁾を進め、内閣官房が「日本トイレ大賞」を創設²⁾するなど、行政側からもトイレ空間の更なる快適性の向上を強く促しており、トイレ装置に関する研究開発の機運が高まっている。

トイレの音の問題に対しては、用足しの際に発生する排泄音に対してマスキング効果を得るための擬音装置が設置されているところがある。特に、女性は、擬音装置の音量を大きくする場合が多いとみられること、および擬音装置と本物の流水音・トイレ洗浄音の音質が異なることを気にしていることが指摘³⁾されている。また、震災時の避難所では音漏れを嫌って屋内簡易トイレの利用を我慢したため健康被害が多数生じたという教訓から、遮音性の高い屋外仮設トイレ・屋内簡易トイレの需要も高まっている。

このようなトイレの音の問題に対して、我々は、便器外に出してしまった音に対策を講じるのではなく、便器外へ出る音そのものを低減することが重要であるとの考えから、昨年度より、便器開口部からの放射音を低減する手法を検討してきた。これまでに、洋式便器を対象として、便器内の水溜の水面に水滴・水脈が落下する際に発生する広帯域音の低減を試み、適切な泡の層で水面を覆うことにより、大きな減音効果があることを示した⁴⁾。しかし、500 Hz 程度以下の周波数帯域に対しては大きな減音効果を得ることができなかった。そこで、本研究では、残る 500 Hz 程度以下の周波数帯域の音に対して、アクティブノイズコントロール

(ANC) 手法を用いて低減することを試みた。

2. 泡の層による減音効果（昨年度の研究成果）

水脈・水滴が水面へ衝突する際に、水に空気を取り込まれて空洞・気泡が生成され、それらが振動、破裂、分離、あるいは合体する際に音が発生する⁵⁾。これらの空洞・気泡の発生を抑制・緩和することで発生音の低減が実現できるのではないかと考え、水面上に別の界面を設ける(図1)ことを検討した。実際のトイレの便器を使い、水面上に下水へ流しても環境的な問題が発生しないと考えられる種々の界面を形成し、900 mm 上空から水脈・水滴を垂らした際の発生音を便器の近接にて測定した。最も優れた減音効果が得られた界面は、市販の食器用洗剤と水の混合液をミキサーで十分に泡立てた泡であった。図2は、その減音効果を周波数特性で表したものである。メレンゲ（卵白をミキサーで十分に泡立てた泡）を浮かべた場合と比較して、食器用洗剤の泡を浮かべた場合には、ほぼすべての周波数帯域に渡って大きな減音効果を

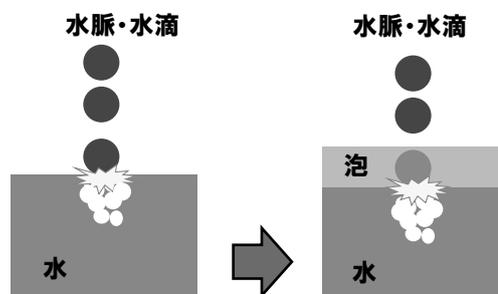


図1. 水面上の泡の層による水脈・水滴落下音の低減
Fig.1. Reduction of water falling sound by foam layer on water surface.

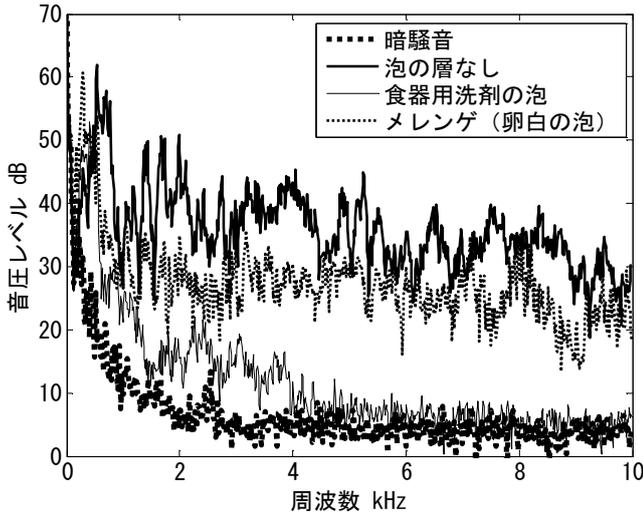


図2. 水面上の泡の層による減音効果

Fig.2. Sound attenuating performance by foam layer on water surface.

得ることができた。特に、4 kHz 以上の周波数帯域においては、暗騒音と同程度のレベルまで減音できることがわかった。しかし、約 500 Hz 以下の周波数帯域においては、あまり大きな減音効果が得られてはいない。筆者らの聴感では、「ゴボゴボ」という低い音がほとんど消えずに残っていた。

3. 低い周波数帯域の放射音を低減する方法の検討

2章の実験結果で残された約 500 Hz 以下の低い周波数帯域の音に対して、便器の外へ放射されるのを低減する方法を検討した。便器内の水溜りの水面で発生した音は、便器内の空間を伝搬し、便器上部の開口部から外部へ放射される。人が便座に座った際にできる開口部のみを通して音が便器外へ出るものと仮定し、開口部に対する減音方法を検討した。なお、便器と便座の間には隙間が存在しないものとする。図3は、便器内の水溜りの水面で発生した音(1次音)が便器外へ放射される様子を模式的に示す。水面で発生した音には、開口部から直接便器の外へ出ていく直接音と、便器の内周端で回折して便器外へ広がって行く回折音とに分けられる。そこで、これらの直接音および回折音、それぞれに対して ANC 手法を用いて低減することを試みた。

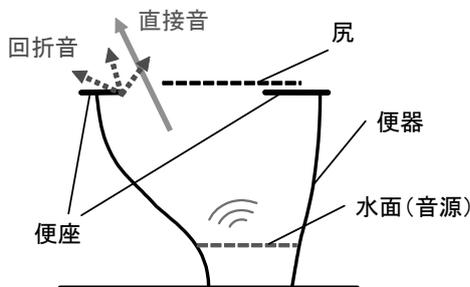


図3. 直接音と回折音

Fig.3. Direct sound and diffracted sound generated inside the toilet bowl.

4. 直接音の低減

< 4. 1 > 概要

図3に示した直接音に対して、遠方(音の下流)の任意の場所で ANC による減音効果を得るためには、便器開口部から出てくる1次音の波面と、制御スピーカから出てくる2次音の波面を、できるだけ平行にすることが必要である。そこで、便座上部の空中に制御点を設け、2次音源スピーカを上方へ向けて設置することで、便器周辺の広い範囲で減音効果を得ることを試みた。

< 4. 2 > ANC システム

図4は、直接音の低減用に構築したフィードフォワード型の単チャンネル ANC システムにおけるスピーカおよびマイクロホンの配置を示す。制御用の2次音を出力するスピーカを上向きで便座の座面位置に設置し、このスピーカと1次音源の間に参照マイクロホンを設置した。参照マイクロホンには、指向性マイクロホンを用い、1次音源の方向へ向けて設置した。制御点となる誤差マイクロホンにも指向性マイクロホンを用い、2次音源の鉛直上方に、1次音源に向けて設置した。誤差マイクロホンの設置位置は後述する。減音効果を評価するための測定マイクロホン(騒音計)は、X=0 mm、Y=500 mm、Z=0 mm の位置に設置した。また、1次音源として、便器の水溜りに相当する位置にスピーカを上向きに設置し、200~500 Hz に帯域制限したホワイトノイズを出力した。便器には市販されている据え置き型の樹脂製洋式トイレを用い、また、便器内面に吸音材を貼付した。図5は製作した ANC 実験装置を示す。

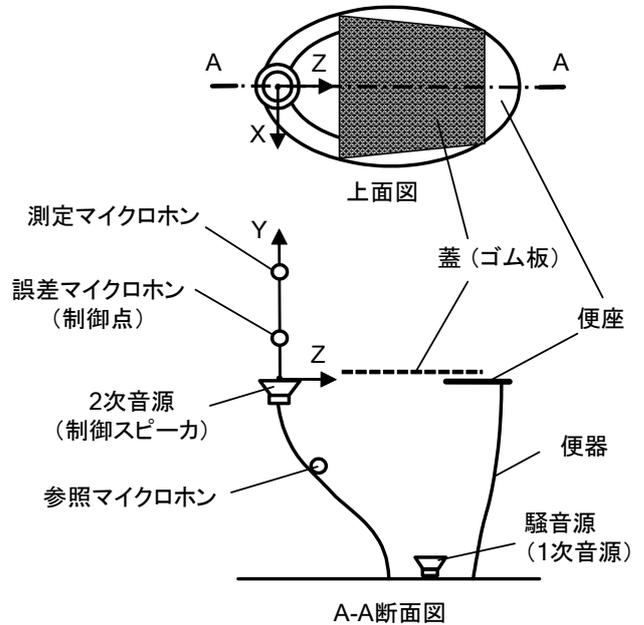


図4. 直接音低減用のスピーカとマイクロホンの配置

Fig.4. Arrangement of loudspeakers and microphones for direct sound reduction.

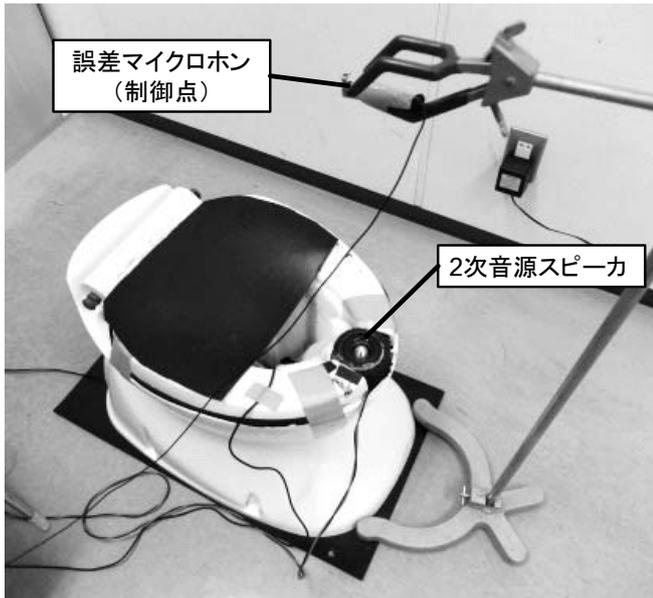


図5. 作製した直接音低減用の ANC 実験装置
Fig.5. A manufactured ANC apparatus for direct sound reduction.

図6は、ANC 実験装置の制御ブロック図を示す。両マイクロホンの出力信号および2次音源スピーカへの出力信号には、バンドパスフィルタ(図中のBPF) 100~800 Hzを挿入し、制御帯域を制限した。ANC アルゴリズムには Filtered-x LMS アルゴリズム⁽⁸⁾を用い、市販の DSP 装置に実装した。この DSP 装置は、Texas Instruments 社製の浮動小数点型 DSPである C6713 を搭載し、16bit

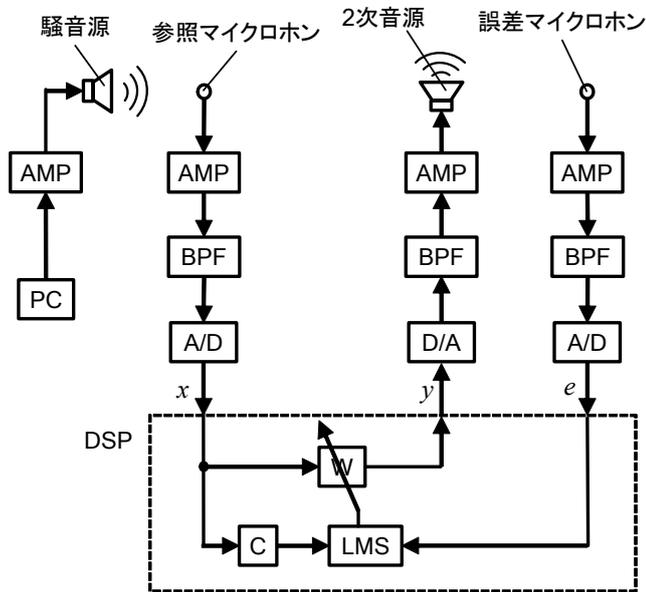


図6. 直接音低減用 ANC システムの制御ブロック図
Fig.6. Control block diagram of the ANC system for direct sound reduction.

同時変換型の D/A および A/D インタフェースが接続されている。ここで、図6中のCは、DSP の出力信号 y から入力信号 e までの伝達特性であり、予め測定したものを入力した。この伝達特性には、2次音源-誤差マイクロホン間の空間を伝播する音の音響伝達特性が含まれる。図7は、伝達特性Cの測定に使用した制御ブロック図を示す。ノイズ発生器から出力したホワイトノイズ信号は、D/A を通って DSP の外へ出て A/D から DSP の中へ入る経路Aと、DSP 内の可変フィルタWを通る経路Bとの2つに分かれる。それぞれの経路を通った信号は、その差が点Pにおいて算出され、LMS 適応器へ入力されて適応フィルタの係数が更新される。すなわち、経路Bの適応フィルタWが経路Aの伝達特性を学習するアルゴリズムとなっている。Wのフィルタ係数が十分に収束した後、そのフィルタ係数を図6のCへ入力した。

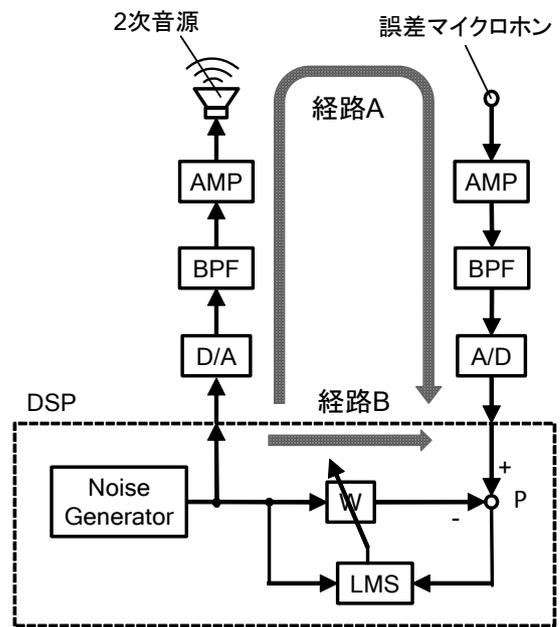


図7. 伝達特性同定用のブロック図
Fig.7. Block diagram for the identification of the transfer characteristics in the ANC system.

< 4. 3 > 実験結果

図8は、制御音発生前後における、 $X=0$ mm、 $Y=500$ mm、 $Z=0$ mm の位置に設置した誤差マイクロホン(制御点)の出力信号の周波数特性を示す。約 200~400 Hz の帯域で信号レベルが大きく低減した。次に、制御点に設置した誤差マイクロホンの位置と減音効果との関係を調べた。なお、制御音の発生前後における騒音レベルの差を減音効果とした。表1は、 $Z=0$ mm を通る XY 平面内に制御点を設置した場合の減音効果を示す。便座から制御点までの高さ Y が大きくなるほど減音効果が大きくなった。ANC は誤差マイクロホン位置(制御点)の音圧を制御しているため、制御点 が測定マイクロホンに近くなると減音効果が高まることは当然

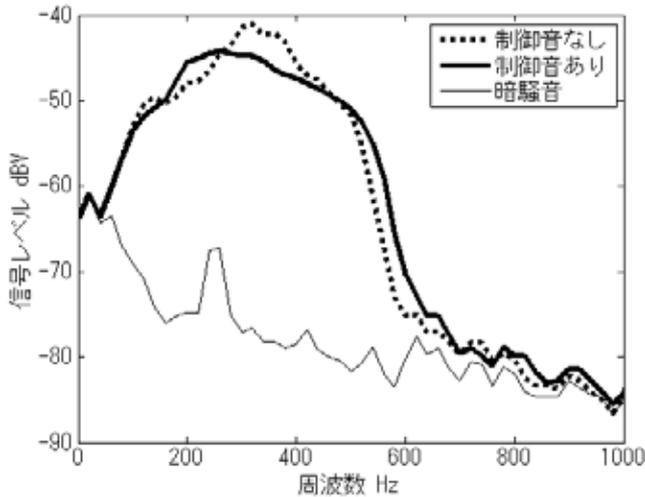


図8. 制御点がY=500 mmのときのANCによる直接音低減効果

Fig.8. An ANC performance of the direct sound reduction at the control point Y=500 mm.

と予想された。しかし、制御点を、1次音源、参照マイクロホン、および2次音源とは直線上にない外れた位置であるX= -100 mm およびX=100 mmに設置した場合にも大きな減音効果が得られていることから、制御点が上方にあるほど1次音と2次音の波面がより平行になり、減音効果が高まったものと推測される。

さらに、制御点のZ座標を移動させた場合についても、減音効果を調べた。表2は、Z=-100 mmを通るXY平面と平行な平面内に制御点を設置した場合の減音効果を示す。制御点をZ=0 mmのXY平面内に置いた場合よりも減音効果は小さくなったが、Yが大きくなるほど減音効果が大きくなる傾向が見られた。ここでも、制御点が上方にあるほど、1次音と2次音の波面が平行になりやすいことを示唆する結果が得られた。

次に、便器から離れた遠方においても、同様の減音効果が得られるのかについて調べた。表3は、制御点をX=0 mm、Y=300 mm、Z=0 mmに固定し、Y=500 mmを通るXZ平面と平行な平面内に測定マイクロホンを設置した場合の減音効果を示す。すべての測定点において騒音レベルの低減が確認できた。特に、3 m程の遠方においても約1 dB(A)の減音効果が得られた点は重要である。1次音と2次音の波面が平行になっていない場合は、空間に音圧の腹と節が多数発生して、音圧が低減する場所と増加する場所がまだらにできると考えられるが、表1~3の実験結果からは、そのような現象が発生しているようには見えない。したがって、便器の開口部から出てくる1次音の波面に対して、2次音による波面が比較的平行に形成されていたものと推測される。

5. 回折音の低減

< 5. 1 > 概要

便器の外部で直接音の音源を見通すことができない方向から見ると、回折点は、あたかも回折音の音源のように見える。そこで、この回折点での音圧を低減すれば、回折点よりも下流側の音

表1. 制御点の場所を変えた場合のANC効果(Z=0mm)

Table 1. An ANC sound reduction performance depending on the position of the control points on Z=0 mm plane.

単位: dB(A)

		X (mm)		
		-100	0	100
Y (mm)	500	5.7	5.9	6.2
	400	5.2	5.8	6.1
	300	5.6	5.7	6.0
	200	5.1	5.1	5.0
	100	5.2	3.2	4.8
	10	4.0	—	5.0

表2. 制御点の場所を変えた場合のANC効果(Z=-100mm)

Table 2. An ANC sound reduction performance depending on the position of the control points on Z=100 mm plane.

単位: dB(A)

		X (mm)		
		-100	0	100
Y (mm)	500	3.8	4.2	4.1
	400	—	4.2	—
	300	3.5	3.8	3.7
	200	—	2.7	—
	100	2.0	2.0	2.9
	10	—	0.3	—

表3. 広い空間範囲でのANC効果

Table 3. An ANC sound reduction performance in a wide space around the toilet bowl.

単位: dB(A)

		X (mm)		
		0	1000	3000
Z (mm)	3000	0.9	—	—
	1000	1.0	—	—
	400	1.3	—	—
	0	3.5	1.2	1.2
	-400	2.4	1.0	—
	-1000	2.0	—	—
	-3000	0.9	—	—

圧も低減すると考えられるので、便器内周端の回折点の音圧をANC手法により低減することを試みた⁷⁾。

< 5. 2 > ANCシステム

図9は、回折音低減用に構築したフィードフォワード型の単チャンネルANCシステムにおけるスピーカおよびマイクロホンの配置を示す。制御用の2次音を出力するスピーカを横向きで便器の直下に設置し、このスピーカと1次音源(水面)の間に参照マイクロホンを設置した。参照マイクロホンには、指向性マイクロホンを使い、1次音源の方向へ向けて設置した。制御点となる誤差

マイクロホンにも指向性マイクロホンを用い、便座内上部の1次音源が見通せない場所(1次音の回折後となる場所)に、便器開口部中心側に向けて水平に設置した。また、1次音源のスピーカは、便器の水溜りに相当する位置にスピーカを上向きで設置した。減音効果を評価するための測定マイクロホン(騒音計)は、1次音源が見通せる場所である誤差マイクロホンの上方(Y軸上)に設置した。便器には市販されている据え置き型の樹脂製洋式トイレを用い、便器内面に吸音材を貼付した。図10は、作製したANC実験装置を示す。制御システムには4.2節と同一のものを使用した。

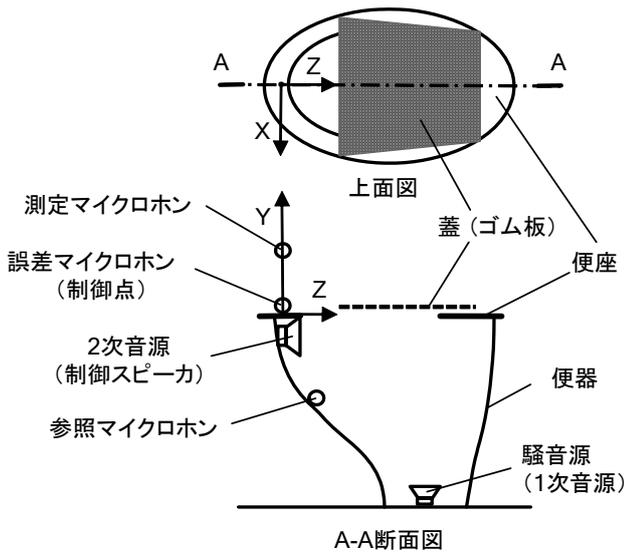


図9. 回折音低減用のスピーカとマイクロホンの配置
Fig.9. Arrangement of loudspeakers and microphones for diffracted sound reduction.

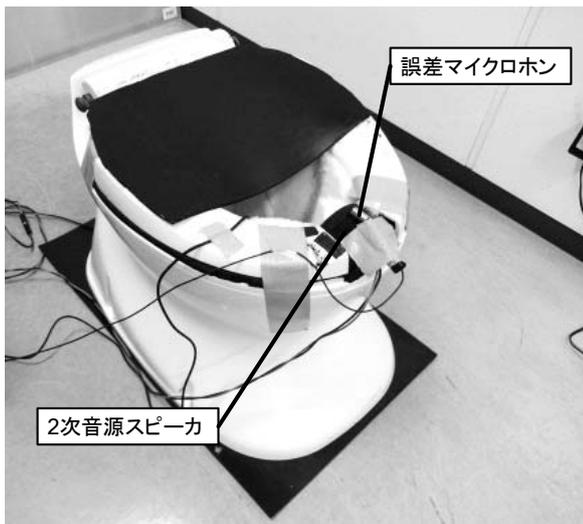


図10. 作製した回折音低減用のANC実験装置
Fig.10. A manufactured ANC apparatus for diffracted sound reduction.

< 5. 3 > 実験結果

図11は、2章で最も減音効果の高かった食器用洗剤の泡の層を浮かべて水滴・水脈を水面へ落下させた際に発生した音を、1次音として出力した際の制御点(誤差マイクロホン)での音圧レベルの周波数特性を示す。1次音は、リニアPCMレコーダで予め収録したものであり、その周波数特性は図2の「食器用洗剤の泡」に示したものと同一である。その結果、100~800 Hzの全制御帯域において音圧が数dB低減し、ANCがほぼ意図したとおりに動作していることが分かった。図12は、同じ実験条件で、 $X=0$ mm、 $Y=100$ mm、 $Z=0$ mmに設置した測定マイクロホンにより測定した音圧レベルの周波数特性を示す。図13は、同じ実験条件で、測定マイクロホンを $X=0$ mm、 $Y=500$ mm、 $Z=0$ mmとした場合の測

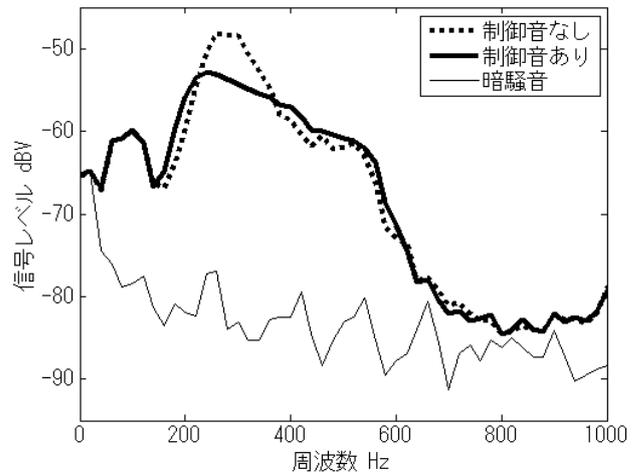


図11. 水滴・水脈落下音を1次音とした場合の制御点でのANC効果
Fig.11. An ANC performance at the control point in case of the recorded water falling sound excitation as the sound source.

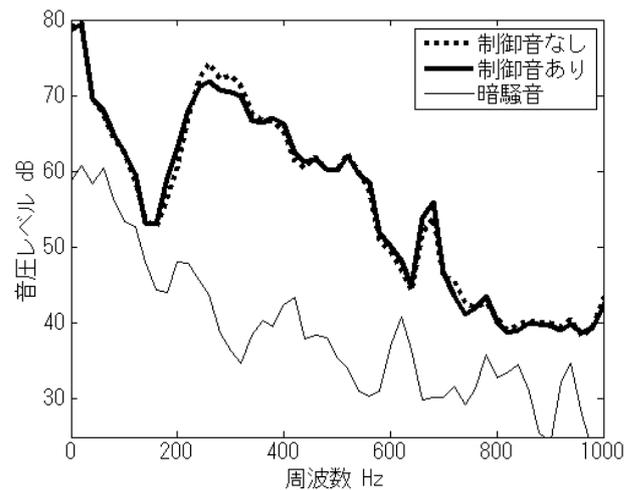


図12. 水滴・水脈落下音を1次音とした場合の測定点が $Y=100$ mmのときのANC効果

Fig.12. An ANC performance at the measurement point $Y=100$ mm in case of the recorded water falling sound excitation as the sound source.

定結果を示す。まず、測定点が Y=100mm の場合は、約 220～約 360Hz の周波数帯域において、数 dB の音圧低下が見られたが、制御帯域の下限である約 100～約 220 Hz の帯域、および約 360 Hz から制御帯域の上限約 800 Hz の帯域では、音圧の低減と増加が入り混じった結果となった。一方、測定点が Y=500 mm の場合は、約 200～約 600 Hz の周波数帯域で数 dB の音圧低下が見られ、それ以外の制御帯域では音圧の増減が入り混じる結果となった。

さらに、図 14 は、200～500 Hz に帯域制限したホワイトノイズ

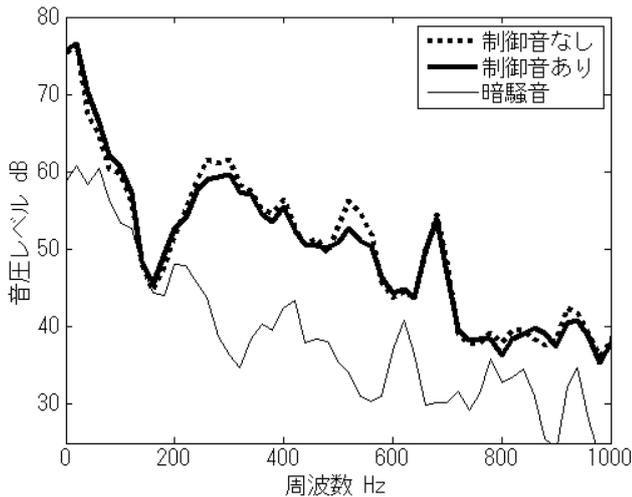


図 13. 水滴・水脈落下音を 1 次音とした場合の測定点が Y=500 mm のときの ANC 効果

Fig.13. An ANC performance at the measurement point Y=500 mm in case of the recorded water falling sound excitation as the sound source.

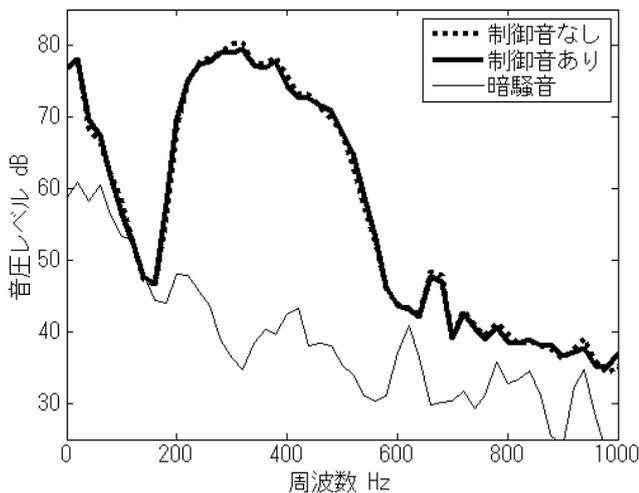


図 14. 200～500 Hz に帯域制限したホワイトノイズを 1 次音とした場合の測定点が Y=100 mm のときの ANC 効果

Fig.14. An ANC performance at the measurement point Y=100 mm in case of the band-limited white noise from 200 to 500 Hz excitation as the sound source.

を 1 次音として出力し、測定点を X=0 mm、Y=500 mm、Z=0 mm とした場合の測定結果である。約 200～約 460 Hz の周波数帯域で音圧がわずかに低減したことが確認できた。しかし、それ以外の制御帯域内の周波数帯域では、音圧の増減が入り混じる結果となった。

制御点ではほぼ意図通り減音し、それ以外の測定点で減音効果が小さいあるいは減音・増音が入り混じった原因について考察する。まず、本章の ANC システムは、便座内周端の回折点のみでの音圧低減を狙ったものであるため、直接音に対しては何も考慮されていないことが挙げられる。さらに、便座内周端の制御点および 2 次音源が 1 か所のみであり、開口部全体を ANC システムで取り囲んだわけではないため、制御点および 2 次音源が設置されていない部分の回折点からの影響が大きく、結果として減音効果が小さくなったと推測される。

6. 結言

本研究では、洋式便器の水面相当の位置から発生し上部開口部から放射される約 500 Hz 以下の広帯域ランダム音に対して、アクティブノイズコントロール (ANC) 手法を用いて積極的に低減することを試みた。まず、便器の上部開口部から外へ直接放射される直接音を低減することを検討し、便座上空に制御点を設け 2 次音源スピーカを上向きにすることによって、広い空間範囲である程度の減音効果を得られることが分かった。次に、便座内周端付近で回折して便座の外側へ広がって行く回折音を低減することを検討し、便座内周端の回折点の音圧を ANC システムで制御することによって僅かに減音効果が得られることを示した。今後、これら 2 つの手法を組み合わせることで減音効果をより大きくすることを検討し、実際のトイレの便器と水を使った減音効果の検証をしていく。

文 献

- (1) 環境省：平成 28 年度環境省予算(案)主要新規事項等の概要、
<http://www.env.go.jp/guide/budget/h28/h28-gaiyo-2.html>.
- (2) 内閣官房：トイレ大賞、
<http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kurashinoshitsu/hyosho/>.
- (3) 岩宮ほか：騒音制御, vol.34, No.5 (2010), pp.418-422.
- (4) 中村ほか：日本機械学会北陸信越支部第 52 期総会講演会講演論文集, (2015), 310.
- (5) 中村ほか：平成 26 年度若い研究者を育てる会研究発表会研究論文集, (2015), pp.1-7.
- (6) 京藤ほか：ながれ, vol.23, No.1 (2004), pp.27-36.
- (7) 杉森ほか：日本機械学会北陸信越支部第 53 期総会講演会講演論文集, (2016), 619.
- (8) 西村ほか：アクティブノイズコントロール, (2006), pp.74-80.

Ⅱ. 3Dスキャナーを用いた形状測定と 変形解析への適用

3D Shape Measurements by a 3D Scanner and Its Application to Deformation Analyses of Industrial Products

山崎 諭史

YAMAZAKI Satoshi

鍋澤 浩文

NABESAWA Hirofumi

内山 肇

UCHIYAMA Hajime

羽柴 利直

HASHIBA Toshinao

金山 侑司

KANAYAMA Yuji

金森 直希

KANAMORI Naoki

佐山 利彦

SAYAMA Toshihiko

Abstract

Thermal deformation of fastener components, which combine metal and resin parts, causes some serious problems such as short product life, deterioration of the design properties, and so on. Some 3D scanner systems are expected to solve these problems because the systems enable us to measure deformation shape of the products three-dimensionally and lead to precise deformation analyses by CAE. However, the scanner is apt to have relatively large measurement errors and lower measurement accuracy due to surface reflection and deviation positioning matching. In this study, focusing on a 3D scanner system with pattern projection method, the enhancement of the shape measurement precision was investigated and the results were applied to the analysis for the thermal deformation of a fastener structure. Consequently, the following results were obtained. At first, optimal measuring conditions with using a ceramic block gauge were investigated by changing the influence of the reflected light intensity and arranging of some objects with angular shapes. Then, comparing the 3D measured data with the deformation analysis data, CAE accuracy was improved by considering the temperature distribution within the resin plate. Finally, by setting elastomer rings around bolts as deformation dumper, or using PPS or glass epoxy with low thermal expansion coefficient, it was quite effective for thermal deformation reduction, so that these methods have achieved a project target of maximum displacement below 0.5 mm.

1. 緒言

屋外環境下における金属-樹脂締結部品の熱変形は、製品寿命や意匠性の低下等、様々な問題の原因になっている。熱変形の効果的な対策を講じるには、3次元的に変形を測定することが望ましいが、従来の接触式3次元測定器では代表箇所の実測量しか取得できないため、変形の要因を絞り込むことが困難であった。また、支援ツールとしてCAE解析を用いる場合においても、対象物の実際の変位分布が明確でないため、解析モデルの妥当性を検証することが困難であった。一方、3Dスキャナーは、非接触で3次元形状データを正確に取得できるだけでなく、取得したデジタルデータをCADデータに変換し、CAE解析との連携も容易である。しかし、3Dスキャナーは、非接触での光学的測定法であるため、測定物の形状や表面反射を考慮した測定を行わなければ、測定誤差やばらつきが大きくなり、正確な3次元座標を得ることができない。

そこで、本研究では、まず金属-樹脂締結部材の熱変形量を3

次元的に精密測定する手法について検討した。次に、実測データとCAE解析データとの比較を行い、解析モデルの妥当性、および解析精度の向上を検討した。さらにCAE解析結果を応用しながら、部材構造や樹脂の金属への締結方法、および樹脂材質（線膨張係数）の影響を3Dスキャナーの実測データに基づいて考察し、有効な熱変形抑制手法について検討した。

2. 3Dスキャナーの概要

図1は、非接触3次元計測法の分類を示す。3D情報を得る方法については、能動的計測法と受動的計測法に大別できる。能動的計測法は、対象物に特定の光を照射し、その反射を測定することで位置情報を得るものであり、汎用性は低いが高精度である。一方、受動的計測法は自然光を使用して位置情報を得るものであり、汎用性は高いが測定誤差が大きい⁽¹⁾。3Dスキャナーは能動的測定法に分類され、アクティブステレオ法の中の符号化パターン投影法を採用している。パターン投影法は一度で広範囲のデー

表1. 3Dスキャナーの主な仕様

Table 1. Main specification of the 3D scanner.	
メーカー	シュタインビヒラーオプトテック
型名	COMET6-16M
測定点数	16,000,000 (=4896×3264)
測定速度	1.2 sec/ショット
測定範囲	81×54×40 [mm] ※
1ショット精度	0.010 [mm] ※

※ 250 mm レンズ使用時

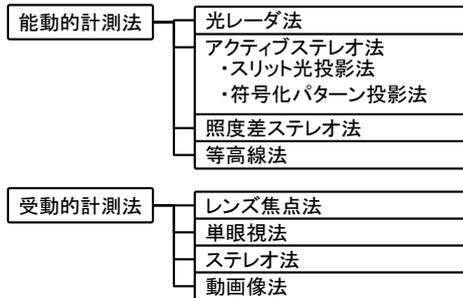


図1. 三次元計測法の分類

Fig.1. Classification of 3D measurement methods.

タ取得が可能であるため、スリット光投影法と比較して測定時間削減につながるという特徴を有する。

本研究で用いる3Dスキャナーは、CCDカメラを用い、測定原理としてはパターン投影法を採用している。この方式は、スリット光投影法と比較して高速、高精度、高品質の特徴があり、短時間で精密な点群データを取得できる。表1は、本研究で用いる3Dスキャナーの主な仕様を示す。1600万画素のCCDカメラにより、250mmレンズにおいては、1ショットの測定精度は10μmである。また、大容量メモリ対応PCにより、1ショット測定時間は1.2秒である。この3Dスキャナーで得られた大量の点群データは、付属のCADデータ作成ソフト(spScan)、検査ソフト(spGauge)、データ変換ソフト(spGate)により、測定対象物の3次元計測や寸法検査、CAE解析に応用が可能である。

図2は、本装置による点群データの測定原理を示す。本装置は三角測量法を応用した計測手法を採用している。三角測量法においては、図2(a)に示すように、観測点A、Bの2点間の正確な距離Lが既知である場合、観測点から離れた測定点Pと線分ABの midpoint Iとの距離dが、角度α、βを測定することで算出できる²⁾。

本装置では、図2(b)に示すように、プロジェクタから縞模様のパターン光を対象物表面に投影して得られる「曲線」および、カメラの撮影位置からの「直線」を定義する(パターン投影法)。この定義された曲線と直線の交点が測定点Pとして認識される。

ラインレーザを走査するレーザ方式とは異なり、縞模様を投影したカメラ画像全面を同時解析するため(図中縞模様投影:1ショットに相当)高速で処理が可能であり、さらに縞模様位相解析手法を用いることでサブ画素の精度が得られる。一般に測定物

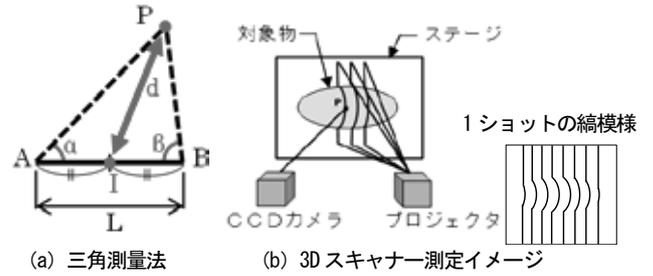


図2. スキャナーの測定原理

Fig.2. Measurement principle of the 3D scanner.

は3次元形状のため、実際の測定では試料テーブル上の測定物を回転させながら複数ショットを撮影し、それらを位置合わせすることにより最終的な3D点群データが得られる。

3. 3Dスキャナーを用いた高精度形状測定の見直し

<3.1> 高精度形状測定の問題点

3Dスキャナーを用いて表1に示す測定精度を実現するには、縞模様のパターン光を対象物に正確に投影する必要がある。しかし、対象物外で反射したパターン光も測定物に照射され、その二次反射光を測定してしまう問題が懸念される。特に、ノイズ光を集光しやすい鏡面においてこの現象は顕著である。

また、高品質な3D点群データを得るには、各ショット間の位置合わせ精度を高める必要がある。しかし、角やエッジがある対象物の場合、ショット間の位置合わせは収束しやすいが、直線や滑らかな曲線しかない場合は、測定精度の低下を招きやすい。

<3.2> 実験方法

測定の高精度化を検討する試料として、セラミックゲージブロック(株)ミツヨ製BM3-112-0)の75mm(寸法精度0.06μm以内)を選定した。ゲージブロックは面間距離がマイクロオーダーで既知であり、スキャナー実測値との精度評価に適している。このゲージをターンテーブルに乗せ、回転させながら反射防止用の炭酸カルシウム粉末をスプレー塗布した。テーブルの回転数と塗布時間を一定にし、塗布厚を5~10μmの範囲に調整した。3Dスキャナーは、後述の金属樹脂締結体の寸法に合わせて250mmのレンズを取り付け、プロジェクタおよびカメラの仰角は天面と側面が同時に写る30°、ショット数はテーブル1回転で10ショットに設定した。

図3は、二次反射光の低減と位置合わせ精度を向上させる対策を示す。前者については、ゲージのかさ上げおよび試料テーブル上への黒布の設置による対応を考案した。後者については低背の六角ナットの配置を考案した。ゲージのかさ上げは、試料台からの反射光が測定物に照射しないようにするための幾何学的な対策であり、黒布の配置は、試料台に投影された測定光を吸収する

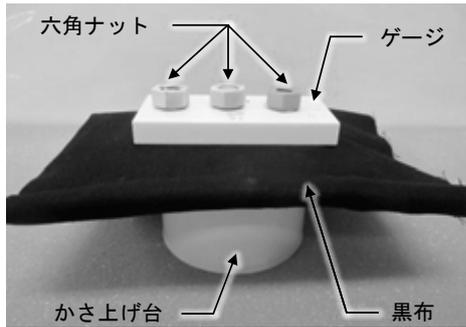


図3. 高精度測定のための対策法

Fig.3. Various settings for high precision measurement by the 3D scanner.

表2. 測定精度評価実験の水準

Table 2. Some experimental levels for the evaluation of measurement accuracy experiment.

水準	黒布	かさ上げ	六角ナット個数
水準1	×	×	0
水準2	○	×	0
水準3	×	○	0
水準4	○	○	0
水準5	○	○	1
水準6	○	○	3

※ ○;あり、 ×;なし

効果を期待している。一方、六角ナットは、カメラ画像に常に急峻な角を含めることで位置合わせ精度の向上を狙ったものである。これら3つの対策法を用い、表2に示した6水準を設けて高精度測定の評価を行った。水準1は、対策を施していない条件であり、水準2～水準4は、異なる種類の二次反射対策を行ったものである。水準5、6は、二次反射対策に加えて位置合わせ精度向上を試みたものであり、5、6の違いはゲージブロックに配置した六角ナットの個数のみである。

< 3. 3 > 実験結果と考察

図4は、ゲージブロックの精度保証面(75 mm)に対して各実験水準での寸法測定結果を示す。対策を施していない水準1のばらつきが約70 μmと大きいものに対して、二次反射対策を施した水準2から水準4においては、ばらつきは数 μm以内に改善された。しかし、寸法誤差は50 ~ 100 μmと大きく、位置合わせ精度は改善されていない。一方、二次反射対策に加えて六角ナットを配置した水準5、6においては、六角ナットを設置した個数に関わらず、寸法誤差が10 μm以内に収まっており、高精度測定が可能になった。これらの結果から、本装置を用いて高精度測定を行うためには、二次反射を抑え、急峻な角度やエッジを持つ特徴形状物を配置することが有効であるといえる。以降の金属-樹脂接合部材の測定においてもこれらの対策を適用することで、測定寸法誤差は10 μm以内に低減することが期待できる。

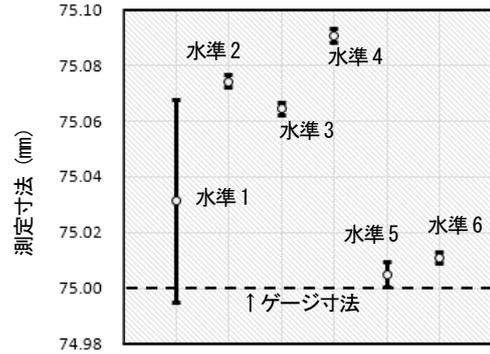


図4. 各水準におけるブロックゲージ保証面間隔の寸法測定

Fig.4. Measurement of the gage block with guaranteed dimensions in each experimental level.

4. ABS樹脂平板の熱変形の測定および解析

< 4. 1 > 実験概要

3D スキャナーを用いた三次元計測を、単純形状(平板)有する樹脂部材(ABS樹脂)の加熱に伴う変形に適用した。接触式では困難な全体形状測定の可否、および測定方法の最適化について検討した。また、CAEによる変形解析結果と実測データの比較検討も行った。

< 4. 2 > 実験内容

図5は、実験に用いた金属-樹脂締結部材の試験体を模式的に示す。樹脂部材はABS樹脂(TPS-ABS:東レプラスチック精工株)の平板(切削加工品)を用いた。外寸は145 mm×75 mm×2.5 mm、締結ビス穴間隔は長手方向120 mm・短辺方向20 mmとした。また、金属部材は外寸170 mm×170 mm×10 mmのアルミニウム(A5052)のプレート(切削加工品)を用意した。締結部のビス穴にはヘリサート加工を施した。

二次反射を防止して測定のばらつきを抑えるため、アルミプレートの表面に黒色加工を行った。また、位置決め精度向上を目的に、樹脂の撮影を阻害しない範囲でアルミプレート上の3隅に特徴形状(六角ナット)を配置した。さらに、座標測定の基準点としてブロックゲージを1隅に配置した。樹脂の締結は、金属製M4六角穴付きボルトで行い、ボルトからの伝熱を低減するため金属ワッシャーの他、3枚の樹脂ワッシャーを用いた。締付けトルクは六角穴付きボルトの標準である1.57 N/mとした。

図6は、実験機器の配置を示す。樹脂部材を固定したアルミプレートの裏面を170 mm×170 mmの加熱面を持つホットプレート(アズワン株製DP-1S)を用いて加熱した。温度の制御および測定はアルミプレート中央に挿入した熱電対で行い、40 ~ 120 °Cの範囲で10 °Cごとに熱変形の測定を実施した。

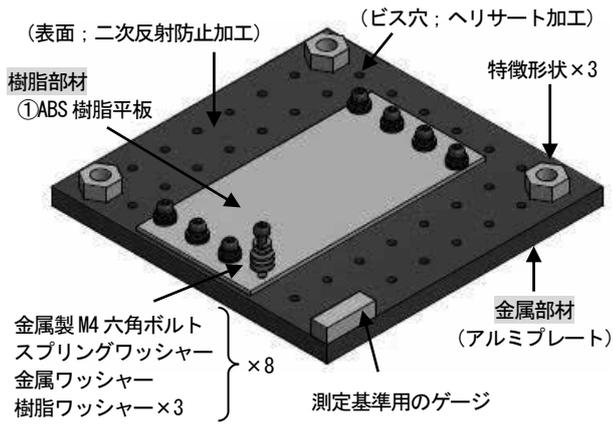


図 5. 試験体の概要

Fig.5. Overview of the specimen.

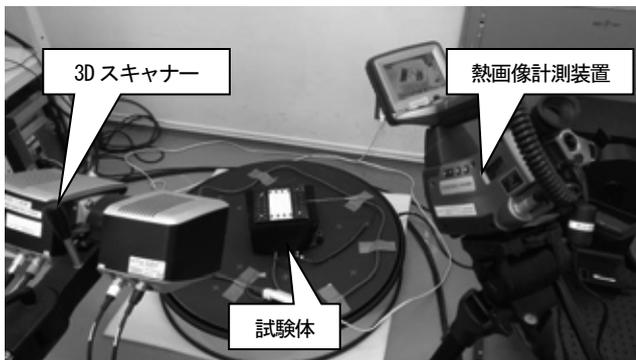


図 6. 実験機器の測定配置

Fig.6. Set up of the measuring equipments.

各測定温度において樹脂部材の変形が収まったのを確認した後、熱画像計測装置(株式会社 CPA-8200)で温度分布を記録し、3D スキャナーで形状を測定した。なお、スキャナーのレンズは 250 mm、プロジェクタおよびカメラの仰角は 30° と設定した。

＜ 4. 3 ＞ 実験結果と考察

図 7 は、ホットプレートの各設定温度における試験体の実測形状を、図 8 は、最大変位の変化を、図 9 は、90 °C における断面プロファイルを示す。これらの図より、設定温度が室温から 90 °C の範囲において、樹脂部材の中央部が浮き上がり、非拘束領域である短辺方向の端部が最大変位を示す傾向を確認できた。また、温度上昇に応じて樹脂部材の浮き上がり量(最大変位)はほぼ線形に増加しており、90 °C において、最大値 3.16 mm に到達した。しかし、90 °C 以上では、変位量は減少に転じる結果となった。

室温から 90 °C の範囲における変形の原因は、金属と樹脂の線膨張係数の差が挙げられる。熱機械分析装置(セイコーインスツル株式会社 EXTRA6000)を用いて ABS 樹脂の線膨張係数を測定したところ $1.0 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ (20 ~ 100 °C の範囲) の値が得られた。アルミニウムの線膨張係数 $2.3 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ と比較して 4 倍以上大きな

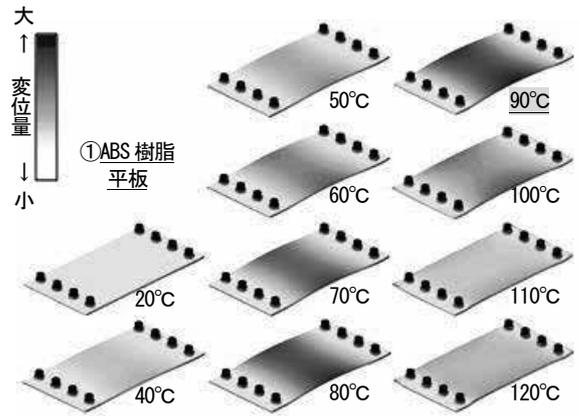


図 7. 樹脂部材の熱膨張による変形形状の計測

Fig.7. Measurement of deformation shape of the ABS plate due to thermal expansion.

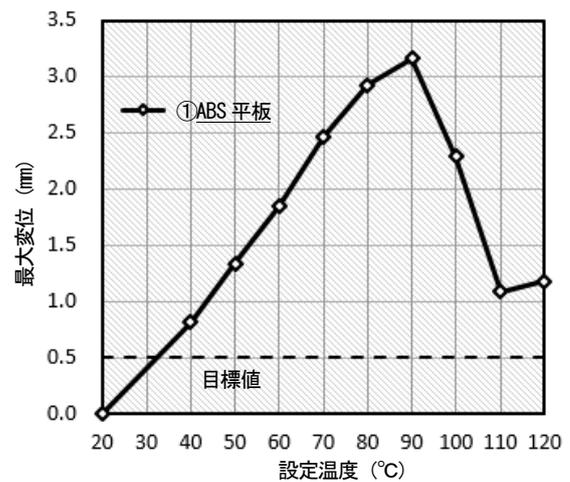


図 8. 樹脂部材の最大変位の変化

Fig.8. Change of the maximum displacement of the ABS plate.

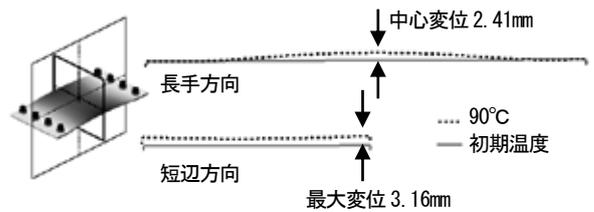


図 9. 90 °C 時における長手方向および短辺方向の断面変位プロファイル

Fig.9. Sectional displacement profile of the longitudinal and transverse direction of the ABS plate at 90 °C.

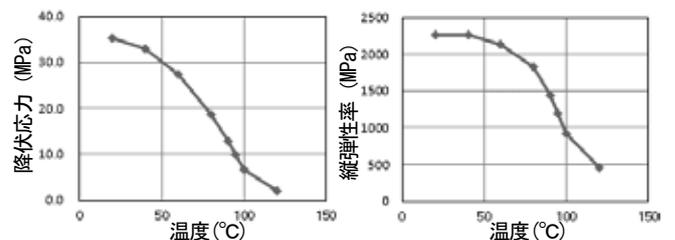
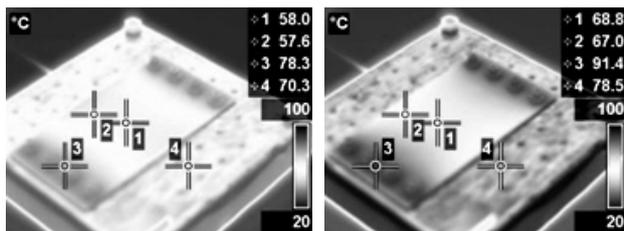


図 10. ABS 樹脂の降伏応力および弾性率の温度依存性

Fig.10. Temperature dependence of yield stress and Young's modulus of the ABS plate.



温度設定 : 90 °C 温度設定 : 100 °C

図 11. ABS 樹脂プレートの温度分布の例

Fig.11. Temperature distributions in the ABS plate.

値であった。樹脂部材の熱膨張が締結部において、拘束されるため、樹脂部材がその面外方向に座屈変形するもの考えられる。

90 °C以上において、変位量が減少に転じる現象については、部材締結部の周辺温度が ABS 樹脂のガラス転移温度を超え、樹脂が急激に軟化（降伏応力および縦弾性係数が急激に低下）して締結部周辺のひずみが容易に増加するためであると推測される。図 10 は、精密万能試験機（インストロン・ジャパン(株)製 5567 型）で測定した ABS 樹脂の降伏応力および弾性率の温度依存性を示す。80 ~ 100 °C間で降伏応力・弾性率は急激に低下しており、この温度範囲において、ガラス転移温度が存在する。また、図 11 は、設定温度 90 °Cおよび 100 °Cの熱画像を示す。変位が最も大きい設定温度 90 °Cにおいては、締結部周辺の温度（図中の点 3）は、78.3 °Cであるのに対し、変位が減少し始める設定温度 100 °Cでは 91.4 °Cである。すなわち、締結部周辺が最も速くガラス転移温度に到達しており、板中央部における座屈変位の減少に大きな影響を与えていると考えられる。

< 4. 4 > CAE による変形解析

図 12 は、温度設定 60 °Cにおける CAE による変形解析によって得られた変位を示す。(1) は ABS 板温度が均一であると仮定したもの、(2) は ABS 板内の温度分布を考慮したものである。3D スキャナーによる測定結果と同様に、変位量の大小をグレースケールで示す。

板の温度が均一と仮定したものでは、変形の傾向は実測と概ね一致しており、板の中央部が座屈によって大きく面外に浮き上がる状況を再現できている。しかし、最大変位量の解析値 2.95 mm に対して実測値は 1.85 mm と異なったものになった。一方、板内の温度分布を考慮した場合は、変形形状は実測と概ね一致すること

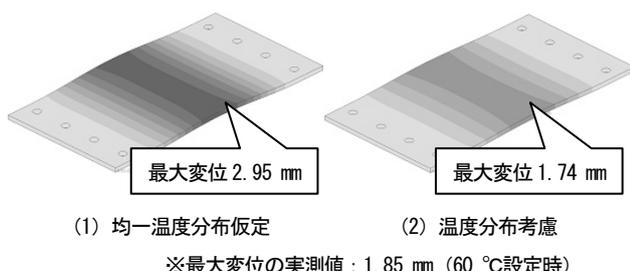


図 12. 60°C 設定時における変位分布

Fig.12. Displacement distribution of 60 °C setting obtained by CAE deformation analysis.

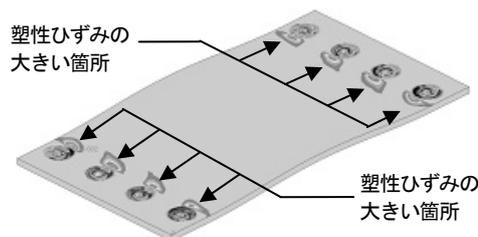


図 13. 60 °C設定における相当塑性ひずみ分布

Fig.13. Equivalent plastic strain distribution of 60 °C setting obtained by CAE deformation analysis.

に加え、また、最大変位量の解析値は 1.74 mm となり（誤差 6%）、妥当性のある結果が得られた。以上より、温度分布の考慮が変位量の予測精度に大きく影響することが明らかになった。ただし、解析精度の向上には、材料物性値（線膨張係数、縦弾性係数、降伏応力等）の温度依存性の考慮、予め熱画像計測装置による温度分布の検証を行う等の実験的補助作業が必要である。

さらに、図 13 は、変形解析による 60 °C設定時における相当塑性ひずみ分布の結果を示す。締結部付近において塑性ひずみが集中していることが分かる。このひずみを緩和あるいは積極的に増加させる等、制御することで、樹脂部材の座屈による面外変位量を低減できるものと考えられる。

< 4. 5 > 樹脂部材の熱変形抑制対策と目標値

樹脂部材の熱変形の 3D スキャナーによる実測および CAE 解析の結果を踏まえ、樹脂部材の熱変形を抑制する対策として、①リブ設置による部材の曲げ剛性の向上、②締結部におけるひずみの集中の制御、および③低線膨張係数の材料への変更、という 3 手法について検討することにした。対策①は、リブによる機械的な補強で部材の曲げ剛性を高め、熱変形の抑制をねらうものである。対策②は、締結部付近に発生するひずみ集中を制御して熱変形の抑制をねらうものである。対策③は、ABS 樹脂よりも低線膨張係数を有する樹脂材料を選定して熱変形の抑制をねらう根本的な対策である。以上の熱変形対策の目標として、屋外部材として容認できる樹脂部材の最大変位を 0.5 mm/145 mm 以下（室温～設定温度 90 °C間）と設定した。

5. 曲げ剛性の向上（熱変形抑制対策①）

< 5. 1 > 実験概要

加熱に伴う樹脂部材の熱変形抑制案として、まず、リブ設置による曲げ剛性の向上について検討した。図 14 に示す中央リブ、囲いリブ、複合リブの 3 種類モデルに対して、均一温度分布を仮定した変形解析を実施したところ、熱変形抑制の効果が確認された。そこで、これら 3 種類モデルを切削加工にて製作し、3D スキャナーによって熱変形を測定した。



図 14. 曲げ剛性を高めた試験体

Fig.14. Test specimens with increased bending stiffness.

< 5. 2 > 実験方法

4.1 の ABS 樹脂平板に高さ 2.5 mm、厚さ 2.5 mm のリブ設置した 3 種類の試験体 (図 14 : ②、③、④) を製作した。

室温において試験体形状を測定した後、設定温度 60 ~ 100 °C の範囲で 10 °C ずつ昇温し、変形が安定したところで、各温度における形状を測定した。4.3 の結果より ABS 樹脂は 100 °C 以上で最大変位を取ることはないと推測されたので、測定は 100 °C までとした。上記以外は 4.2 と同様の設定とした。

< 5. 3 > 実験結果と考察

図 15 は、3D スキャナーを用いて実測した変位分布を示す。リブを設置した 3 種類の試験体全てにおいて、図 7 に示した平板と同様に、中央部が座屈で浮き上がり、短辺方向の端部において最大変位を示す傾向が確認された。図 16 は、各試験体における最大変位の変化を示す。どのリブ構造も平板と比べて変位量は小さくなり、変位量が大きい順に①平板>②中央リブ>④複合リブ>③囲いリブとなった。特に、最大変位の発生箇所である短辺方向の端部の剛性を高めた囲いリブおよび複合リブでは、熱変形抑制効果が高いことが分かった。一方、中央リブのみによる熱変形抑制効果は小さいものであった。

また、最も剛性の高い複合リブより囲いリブの方が熱変形抑制効果は高い結果となったが、変位量の差はわずかであり、優劣は明らかではない。測定時の室温、測定環境等が結果に影響していることも考えられる。しかし、熱変形抑制効果の高い囲いリブや複合リブにおいても最大変位は 0.5 mm 以上あるため、リブ設置による対策のみでは不十分であるといえる。

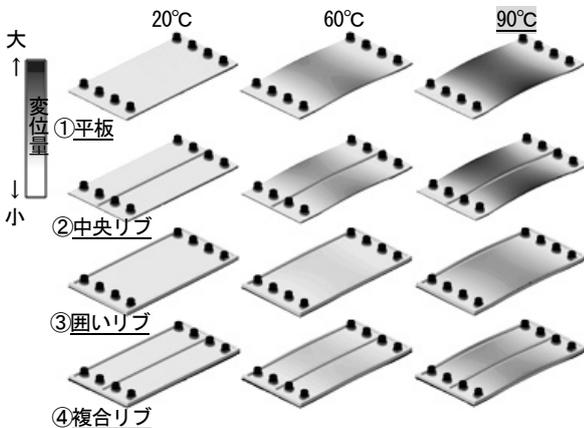


図 15. 曲げ剛性を高めた試験体の変形形状の計測

Fig.15. Measurement of deformation shape of the specimens with increased bending stiffness.

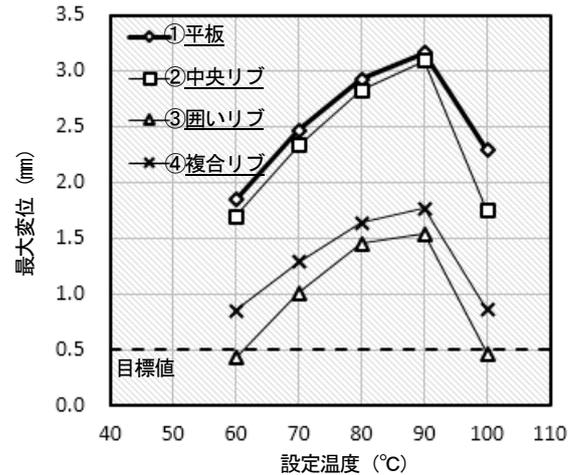


図 16. 曲げ剛性を高めた試験体の最大変位の変化

Fig.16. Change of the maximum displacement of the specimens with increased bending stiffness.

6. 固定方法の検討 (熱変形抑制対策②)

< 6. 1 > 実験概要

4.4 の変形解析で、締結部付近に塑性ひずみが集中することが分かった。このひずみ集中を制御することで、加熱に伴う樹脂部材の座屈による面外変形を抑制できると考え、次のような締結部の固定方法を検討した。

ABS 樹脂平板のビス穴を長辺方向に拡大した 2 種類のモデル、およびビス穴周りをシリコン樹脂に変更したモデルを作製して、熱変形の抑制効果について検討した。前者はビス穴を拡大することで、樹脂平板とワッシャー界面で滑りを意図的に発生させ、締結部付近のひずみ集中を緩和させるものである。後者は縦弾性係数が極めて小さいシリコン樹脂にしたビス穴周りにひずみを積極的に集中させて、樹脂平板の座屈による面外変形を抑制するねらいがある。

< 6. 2 > 実験方法

4.1 の ABS 樹脂平板に、ビス穴を長辺方向に拡大した 2 種類の試験体 (図 17 : ⑤、⑥)、およびビス穴周りに補助金属リングとシリコンリングを同心円状に配置した試験体 (図 17 : ⑦) を製作した。

締付けトルクは、⑤、⑥が 1.57 N/m、⑦についてはシリコン樹脂の弾性により同じトルクがかかけられず、1.00 N/m で締結した。上記以外は 5.2 と同様とした。

< 6. 3 > 実験結果と考察

図 18 は、3D スキャナーを用いて実測した変位分布を示す。ビス穴を拡大した 2 種類の試験体においては、図 7 に示した平板と同様に、中央部が座屈で浮き上がり、短辺方向の端部において

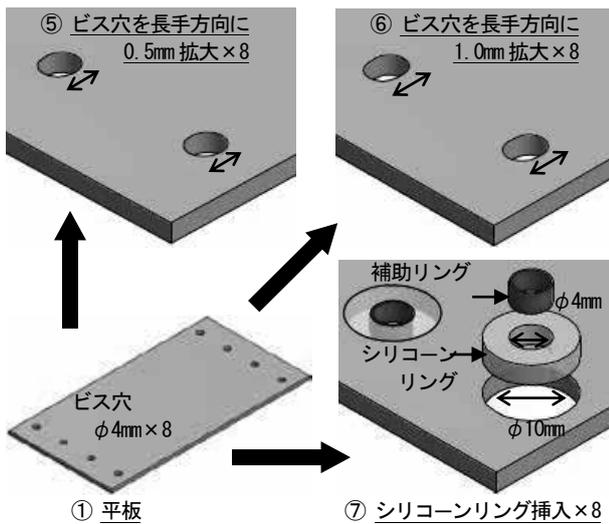


図 17. 固定方法を変えた試験体
Fig. 17. Test specimens with various fixing methods.

最大変位を示す傾向が確認された。一方、シリコーンリングを配置した試験体においては、設定温度 90 °Cにおいても樹脂部材の座屈による浮き上がりはほとんど確認できなかった。図 19 は、各試験体における最大変位の変化を示す。変位量が大きい順に、⑤拡大 0.5 mm = ⑥拡大 1.0 mm ≧ ①平板 ≧ ③シリコーンリングとなった。シリコーンリングを配置した試験体は、設定温度 90 °Cにおいても最大変位 0.38 mm であり、熱変形抑制の目標をクリアした。

シリコーンリングを挿入した試験体においては、設定温度 80 °Cまでは浮き上がる傾向は全くなく、中央部は室温時よりも凹んでいる状態である。締結部付近に発生するひずみをシリコーン樹脂部分に積極的に集中させ、予想どおりに樹脂平板の座屈による面外変形を十分に抑制することができた。また、シリコーン樹脂リングを別のエラストマー素材に変えて一体成形することで有効な熱変形抑制手法になる可能性もある。

ビス穴を拡大した試験体 (⑤、⑥) において、最大変位が①平板より大きくなったのは、拡大されたビス穴によりワッシャーの押し付け面積が小さくなることで単位面積あたりの押し付け力が増大し、より強固な締結状態となり、樹脂平板とワッシャーと

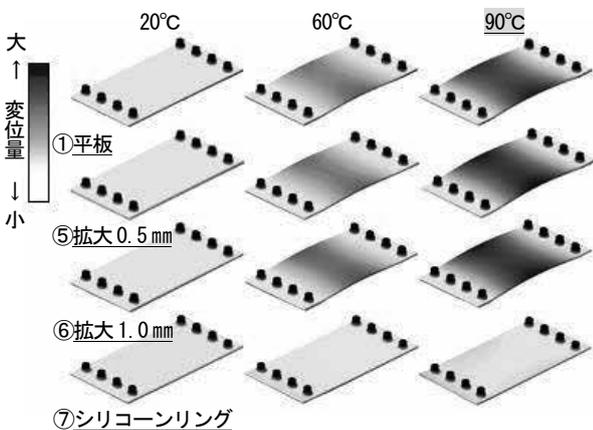


図 18. 固定方法を変えた試験体の変形形状の計測
Fig. 18. Measurement of deformation shape of the specimens with various fixing methods.

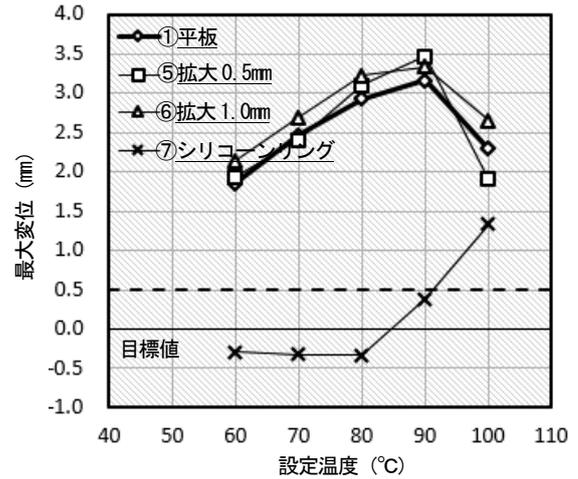


図 19. 固定方法を変えた試験体の最大変位の変化
Fig. 19. Change of the maximum displacement of the specimens with various fixing methods.

の間で滑りが発生しなかったためと推測される。締付けトルクと平板との滑りの問題は、今後の課題である。

7. 低線膨張係数の材料への変更 (熱変形抑制対策③)

< 7. 1 > 実験概要

加熱に伴う樹脂部材の 3 番目の熱変形抑制案として、樹脂部材を低線膨張係数の材料へ変更することについて検討した。材料の選定条件として、ABS 樹脂よりも線膨張係数が小さいものに加え、GF (ガラス繊維) 添加による縦弾性係数の増加を期待できるものを挙げた。上記を満たす材料として、熱可塑性樹脂スーパーエンジニアプラスチックの PPS 樹脂 (GF あり・GF なし)、および熱硬化性樹脂のガラスエポキシ樹脂を選定した。4.1 と同寸法の平板を製作し、熱変形の抑制効果について検討した。

< 7. 2 > 実験方法

4.1 と同一寸法の平板試験体、3 種類 (表 3 : ⑧、⑨、⑩) を製作した。また、実験方法は、5.2 と同様の設定とした。

表 3. 試験体の線膨張係数
Table 3. Thermal expansion coefficient of the test specimen.

カテゴリ	熱可塑性樹脂			熱硬化性樹脂	金属
	汎用プラ	スーパーエンジニア			
①	⑧	⑨	⑩	参考	
材質	ABS	PPS	PPS	ガラスエポキシ	アルミニウム
GF	なし	なし	あり	あり	-
線膨張係数 [$\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$]	10.0	4.6	5.2	4.8	2.3*

* アルミニウムのみ文献値

< 7. 3 > 実験結果と考察

図 20 は、3D スキャナーを用いて実測した変位分布を示す。材料変更した 3 種類の試験体の全てにおいて、ABS 樹脂の試験体と比較して樹脂部材の座屈による浮き上がりは、ほとんど確認できなかった。図 21 は、各試験体における最大変位の変化を示す。変位量が大きい順に、①ABS 樹脂 > ⑧PPS 樹脂 (GF なし) > ⑨PPS 樹脂 (GF あり) > ⑩ガラスエポキシ樹脂となった。設定温度 90 °C で試験体⑧、⑨、⑩の最大変位は、それぞれ 0.59 mm、0.26 mm、0.02 mm であり、PPS 樹脂 (GF あり) およびガラスエポキシ樹脂が目標をクリアした。

表 3 に示すように、試験体⑧、⑨、⑩の線膨張係数に大きな差異はないが、最大変位に差が生じたのは GF 添加による縦弾性係数の向上によるものと推測される。以上より、線膨張係数 $5.0 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ 以下、かつ GF 添加で縦弾性係数を改善した材料において熱変形抑制効果があるものと判断される。

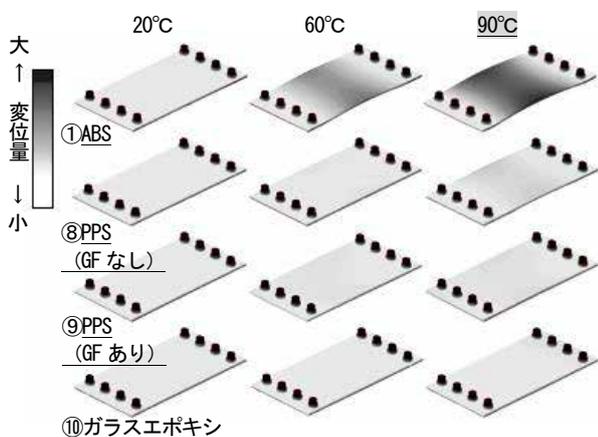


図 20. 材料の異なる試験体における変形形状の計測
Fig.20. Measurement of deformation shape of the specimens with different materials.

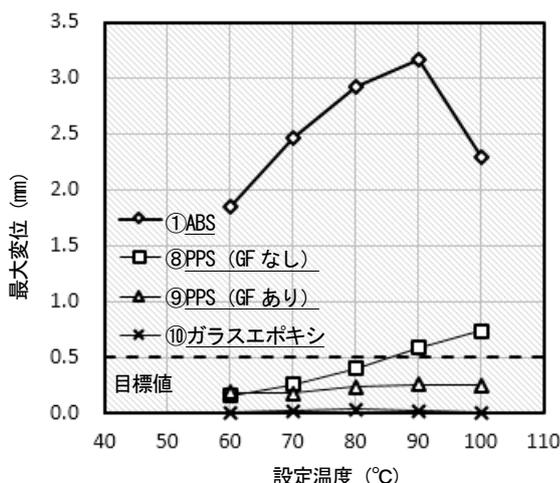


図 21. 材料の異なる試験体における最大変位の変化
Fig.21. Change of the maximum displacement of the specimens with different materials.

8. 結言

3D スキャナーを活用することで、加熱を伴う金属-樹脂締結部材の変形について、高い精度で形状計測し、解析を行うことができた。

本研究で得られた成果は、以下のとおりである

- (1) 3D スキャナーを用いた形状測定の高精度化について検討を行い、二次反射光対策および特徴形状物を配置する測定により寸法の測定誤差 $10 \mu\text{m}$ を実現することができた。
- (2) ABS 樹脂の平板とアルミプレートを締結した複合構造モデルの加熱時 (ホットプレート) における熱変形状に対して、3D スキャナーによる本測定方法を適用した。樹脂部材の中央部が浮き上がり、短辺方向の端部において最大変位を示す形状を可視化できた。
- (3) この ABS 樹脂平板モデルについて CAE による変形解析を実施し、部材内部における温度分布を考慮することより、十分な解析精度 (変形傾向の一致・誤差 6%) が得られた。解析結果より、樹脂部材の熱変形は、樹脂と金属の線膨張係数の差に起因する座屈現象であることが明らかとなった。
- (4) 加熱に伴う樹脂部材の熱変形を抑制するために、リブ設置による曲げ剛性の向上、締結部の固定方法の変更、および低線膨張係数の材料への変更という 3 つの手法について検討した。対策目標は、最大変位を $0.5 \text{ mm} / 145 \text{ mm}$ 以下 (室温 ~ 設定温度 $90 \text{ }^\circ\text{C}$ 間) に抑えることとした。
 - ・ ABS 樹脂の平板に高さ 2.5 mm 、厚さ 2.5 mm の囲いリブを設置して曲げ剛性を向上させたところ、熱変形抑制の効果を確認できた。しかし、最大変位は 0.5 mm 以上 ($90 \text{ }^\circ\text{C}$) になるため、リブ設置による対策のみでは不十分であった。
 - ・ ABS 樹脂平板のビス周りをシリコン樹脂に変更し、ビス周りに意図的にひずみを集中させたところ、熱変形抑制の効果を確認できた。最大変位は 0.38 mm ($90 \text{ }^\circ\text{C}$) であり、対策目標をクリアした。
 - ・ ABS 樹脂と比較して線膨張係数が低い材料を使用した。PPS 樹脂 (GF なし・あり) およびガラスエポキシ樹脂で熱変形抑制の効果を確認できた。線膨張係数が $5.0 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ 以下、かつ GF を添加して縦弾性係数を改善した材料であれば、対策目標をクリアできると考えられる。

文 献

- (1) 佐藤宏介, 横矢直和: "リアルタイムに近づいた 3D 形状計測", 計測と制御, Vol. 34, No. 6 (1995), pp. 435-439.
- (2) 加藤嗣: "位相シフトを用いた三次元形状計測における高精度・高速化に関する研究", 名古屋工業大学博士学位論文 (2014), pp. 6-7.
- (3) 社日本化学会: 化学便覧 (応用編) (1965), pp. 205.

Ⅲ. 厚膜型圧電発電振動素子の 開発に関する研究

Study on Thick-film Piezoelectric Element for Energy Harvesting

山本 貴之 坂井 雄一 塚本 吉俊 佐々木 克浩 寺澤 孝志
YAMAMOTO Takayuki SAKAI Yuichi TSUKAMOTO Yoshitoshi SASAKI Katsuhiko TERASAWA Takashi
角田 龍則 升方 康智 岩坪 聡 西村 克彦
KAKUDA Tatsunori MASUGATA Yasutomu IWATSUBO Satoshi NISHIMURA Katsuhiko

Abstract

Energy harvesting (EH) is the process of converting unutilized small energy into electric energy which can be used as a power source of wireless sensor nodes. A piezoelectric sheet is generally brittle, so making a power generation element of the sheet is difficult. The screen printing method is widely used in the electronics industry to produce thick films. This method is expected to improve the mechanical strength of piezoelectric sheets, form patterns easier, and lead to a low-cost mass production. Therefore, we aim to prepare EH elements of piezoelectric thick films onto metal substrates by the screen printing method. Two kinds of PZT-based powders (“Soft-type” and “Hard-type”) were used. The thick films were prepared onto ZrO₂ stabilized with 3 mol % Y₂O₃ (YSZ) substrates or nickel plates. The electric properties of the thick films were improved by aging and applying high voltage to thick films. Output voltages of the hard-type-PZT thick films prepared on YSZ were larger than those of the soft-type-PZT thick films. Maximum output powers of the soft-type- and hard-type- PZT thick films prepared on YSZ substrates (Ni substrates) were approximately 5.0 and 4.4 $\mu\text{W}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{G}^{-2}$ (0.5 and 1.3 $\mu\text{W}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{G}^{-2}$), respectively.

1. 緒言

電源 IC や無線モジュールの低消費電力技術が発達し、近い将来多数の無線センサがインターネットを介して様々な情報をやり取りする IoT (Internet of Things) の世界が現実に近い。ここで利用されるセンサの課題として、電源の供給方法、メンテナンスなどがある。解決手段として、電源やメンテナンスを不要とする EH (Energy Harvesting) 技術が注目されている。EH とは、周囲の環境で使用されていない微小エネルギーを電力に変える手法で、エネルギー源として光エネルギー、熱エネルギー、振動エネルギー、電磁波エネルギーなどがある。そのなかでも、われわれは振動エネルギーを利用した発電に着目した。振動を電力に変換する方法のひとつに圧電発電があり、比較的高い電圧を容易に得ることができる。昨年度の研究では、圧電素子を用いた発電素子を作製し、ロータリーポンプ程度の振動から無線センサモジュールを動作させ、データを取得することに成功した¹⁾。発電素子に使用される圧電体の形状としては、バルクセラミックス、スパッタ法、ゾルゲル法などで形成する薄膜がある。昨年度用いたバルクセラミックスは、薄いシート状で任意の形状にするのが難しく、ハンドリングも困難であった。また、スパッタ法、ゾルゲル法といっ

た手法で作製された薄膜は、緻密な膜が作製可能であるが、パターンニングの際に大量の廃液が発生する、工程が複雑になるなどの課題がある。一方で、スクリーン印刷法による厚膜形成は、パターンニングが容易で材料ロスも少ないといった特徴がある。

本研究では、金属基板上にスクリーン印刷法で圧電体厚膜を形成し、EH 素子に応用することを目的とする。成膜方法をスクリーン印刷法にすることで圧電体パターンを簡便に製膜できる。また、基板材料として、薄いセラミックス基板ではなく、金属を使用することで基板割れのリスクを減らすだけでなく、コストの低減が見込まれる。さらに金属のバネ性により、振動による変位がセラミックス基板よりも大きくなり、発電量が向上する可能性がある。

2. 実験方法

< 2. 1 > 実験概要

現在使用されている圧電材料は、チタン酸ジルコン酸鉛、Pb(Ti,Zr)O₃ 系が主流であり、バルクセラミックスは成形した圧電材料を 1200°C 以上で焼成することで形成される。今回の研究では金属基板を使用するため、焼成温度が高すぎると金属基板の酸化や劣化が生じてしまう。そのため、できるだけ低温での焼成が望

まれる。また、圧電材料は、ソフト系、ハード系の2種類に分けられる。ソフト系材料は電気機械共振スペクトルが広いが、振動エネルギーから電気エネルギーに変換する際の損失が大きい。反対に、ハード系材料は電気機械共振スペクトルが鋭く、振動エネルギーから電気エネルギーに変換する際の損失が少ない。ソフト系、ハード系材料のEH用素子としての特性の違いは具体的に示されておらず、今回、市販のソフト系(以下、PZT-Sと省略)およびハード系(以下、PZT-Hと省略)材料をそれぞれ1種類ずつ選択し、実験に用いた。厚膜にすることでバルクセラミックスに比べ電気特性が低下することが予想されたので、(1)バルクセラミックスの作製と、PZT-S、Hのそれぞれ基本物性の調査、(2)金属基板よりも安定した膜形成が可能なセラミックス基板の厚膜形成と評価、(3)金属基板上への厚膜形成と評価、の順で実験を行った。

< 2. 2 > バルクセラミックスの作製

バルクセラミックスの作製手順を図1に示す。粉末の圧電材料とバインダを混合し、プレス成形した。その後、600°Cで脱バインダした。PZT-Sは820、850、880°C、PZT-Hは950、980、1010°Cのそれぞれ3条件で2時間焼成した。焼成後、研磨により、厚みをそろえた後、Agペーストをスパチュラで塗り、800°Cで焼成することで電極を形成した。電気特性を測定したのち、分極処理を行った。PZT-Sは、120°Cで30kV/cm、PZT-Hは120°Cで40kV/cmの条件で15分分極処理を行い、圧電特性を評価した。

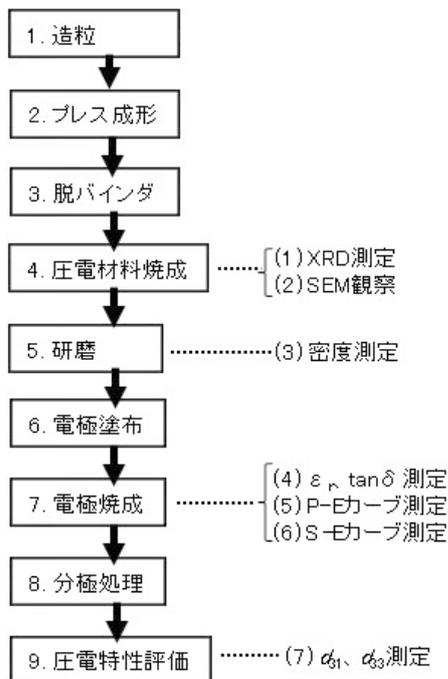


図1. バルクセラミックスの作製手順
Fig.1. Preparation process of bulk ceramics.

< 2. 3 > バルクセラミックスの評価方法

作製したバルクセラミックスは、SEM観察、密度測定、X線回折測定(XRD)による結晶相の評価を行った。また、インピーダンスアナライザにより、1kHzでの比誘電率 ϵ_r 、 $\tan\delta$ 、強誘電体テストシステムにより1HzでのP-Eヒステリシスカープ、S-Eヒステリシスカープを測定した。

圧電定数 d_{31} は、分極された圧電体に分極方向に電界を加えた時の分極方向に対して垂直方向の変位に相当する。 d_{31} はバルク矩形板を作製し、インピーダンスアナライザを用いて並列共振周波数(f_p)、直列共振周波数(f_s)を以下の式より求めた。

$$d_{31} = k_{31} \sqrt{\epsilon_{33}^T S_{11}^E} \quad (1)$$

$$\frac{k_{31}^2}{1-k_{31}^2} = -\frac{\pi}{2} \times \frac{f_p}{f_s} \times \cos\left(\frac{\pi}{2} \times \frac{f_p}{f_s}\right) \quad (2)$$

$$f_s = \frac{1}{2l} \times \frac{1}{\sqrt{\rho S \epsilon_{11}^E}} \quad (3)$$

$$C_f = \frac{\epsilon_{33}^T a l}{t} \quad (4)$$

ここで、 k :電気機械結合係数、 ϵ :誘電率、 s :弾性定数、 ρ :密度、 f_p :並列共振周波数、 f_s :直列共振周波数、 l :矩形板振動子幅、 a :矩形板振動子長さ、 t :矩形板振動子厚み。また、圧電定数 d_{33} は、分極された圧電体に分極方向に電界を加えた時の分極方向の変位に相当し、測定には d_{33} メーターを用いた。

< 2. 4 > スクリーン印刷法による圧電体厚膜の作製

厚膜の作製手順を図2に示す。基板には、セラミックス基板と金属基板を使用した。セラミックス基板材料としては、高温でも安定性の高いイットリア安定化ジルコニア(以下YSZと省略)を、金属基板材料としては、高温でも比較的安定なニッケル(以下Ni)を用いた。基板に白金(以下Pt)ペーストをスクリーン印刷し、950°Cで焼成し、下部電極とした。さらに、PZT-S、PZT-Hそれぞれの圧電体粉末を含むペーストをスクリーン印刷し、600°Cで脱バインダした後、焼成した。PZT-Sは820から1150°C、PZT-Hは950から1150°Cで焼成した。この工程を3回繰り返した。その後、金(以下Au)ペーストをスクリーン印刷し、900°Cで焼成することで上部電極を形成した。各電気特性を測定後、PZT-S、H、ともに120°Cで2kV/cmで5分間の分極処理を行い、圧電特性を評価した。

厚膜の構成は図3(a)のようになっており、焼成後の下部電極、圧電材料、上部電極の厚みはそれぞれ10 μ m、20~40 μ m、10 μ mであった。また、使用した基板の厚みはYSZが250 μ m、Niが150~250 μ mであった。図3(b)に試作した素子の写真を示す。完成した素子のサイズは、縦幅16mm、横幅2mmであった。

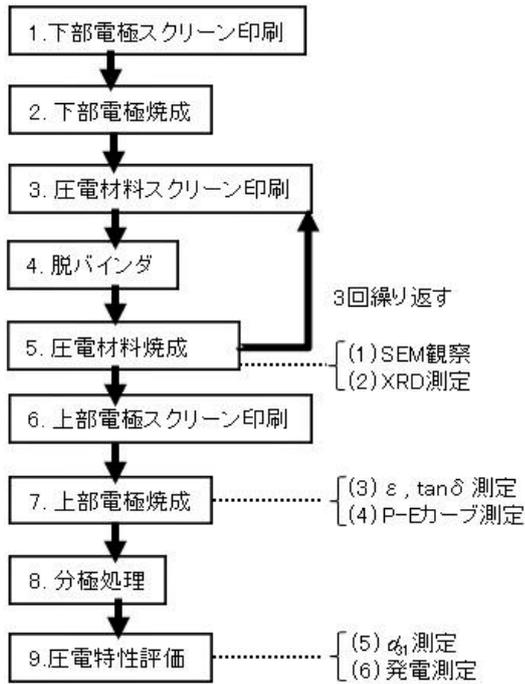


図2. 圧電体厚膜の作製手順
Fig. 2. Preparation process of piezoelectric thick films.

< 2. 5 > 圧電体厚膜の評価方法

< 2. 5. 1 > 作製厚膜の評価方法

作製した圧電体厚膜は、焼成後に、SEM 観察による微構造の観察および XRD による結晶相の確認を行なった。

< 2. 5. 2 > 厚膜の電気特性評価方法

上部電極形成後にインピーダンスアナライザにより、1kHz での比誘電率 ϵ_r 、 $\tan \delta$ 、強誘電体テストシステムにより 1Hz での P-E ヒステリシスカーブ、S-E ヒステリシスカーブを測定した。

基板上に形成された厚膜の圧電定数 d_{31} は、図 4 に示すように、分極した圧電体厚膜に電圧を印加した際の変位量をレーザー変位計で測定し、以下の式から算出した²⁾。

$$d_{31} = -\frac{h_s^2 E_s}{3E_p L^2} \times \frac{\delta}{V} \quad (5)$$

ここで h_s : 基板厚み、 E_s : 基板ヤング率、 E_p : 厚膜ヤング率、 L : 長さ、 δ : 変位、 V : 印加電圧である。

厚膜の圧電定数 g_{31} は、以下の式から算出した。

$$g_{31} = \frac{d_{31}}{\epsilon_r \epsilon_0} \quad (6)$$

ここで d_{31} : 圧電定数、 ϵ_r : 比誘電率、 ϵ_0 : 真空の誘電率、である。

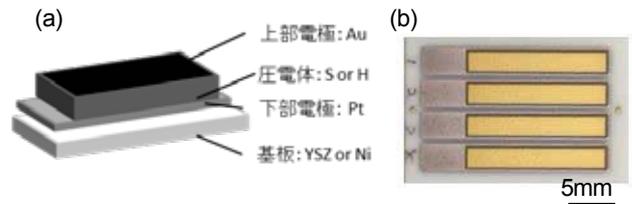


図3. (a)厚膜模式図および(b)厚膜試料外観
Fig.3. (a) Schematic image of thick film and (b) OM image of prepared thick films.

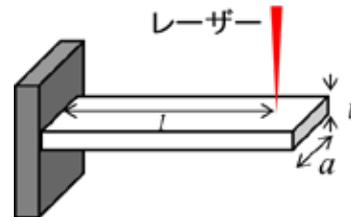


図4. 厚膜の d_{31} 測定システム模式図
Fig.4. Schematic image of measurement system of d_{31} .



図5. 出力電圧および出力電力測定系の模式図
Fig. 5. Schematic image of measurement system for output.

< 2. 5. 3 > 厚膜の発電特性評価方法

作製した素子の下部電極および上部電極から配線を引き出し、加振器に固定し、加振器を、加速度 0.5G、周波数 60~120Hz で振動させた。図 5 に、出力電圧および出力電力の評価系模式図を示す。素子から引き出された配線をオシロスコープに接続し、共振周波数付近での出力電圧を測定した。また、発電測定の際は、素子に負荷抵抗を取り付け、発生電圧を測定し、電力を見積もった。素子は、毎回同じ力で固定できるように磁石で固定した。磁石を用いることで、振動源に容易に取り付けることができる。

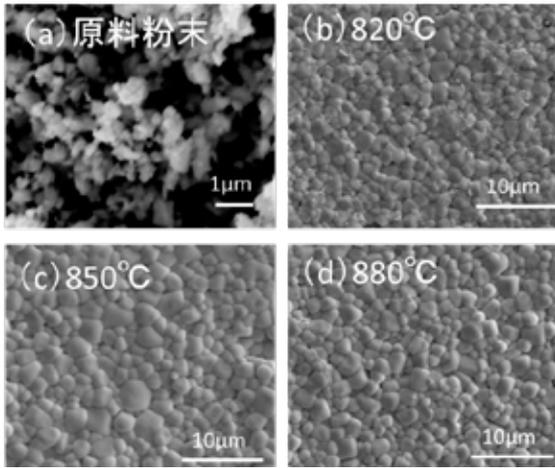


図 6. PZT-S の(a)原料粉末および(b) 820、(c) 850、(d) 880 °C で焼成したバルクの表面 SEM 像

Fig. 6. SEM images of (a) raw powder of PZT-S and as-fired surface of PZT-S ceramics fired at (b) 820, (c) 850, and (d) 880°C.

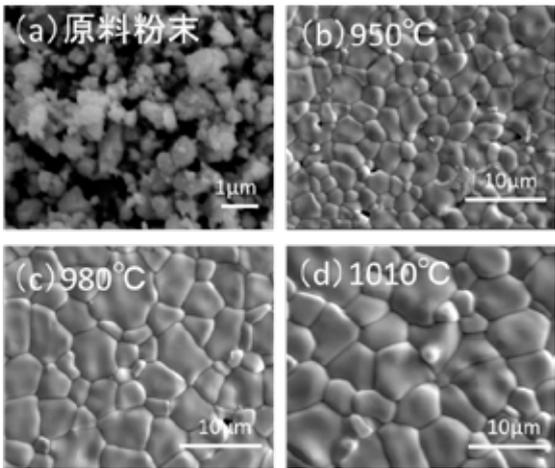


図 7. PZT-H の(a)原料粉末および(b) 950、(c) 980、(d) 1010°C で焼成したバルクの表面 SEM 像

Fig. 7. SEM images of (a) raw powder of PZT-H and as-fired surface of PZT-H ceramics fired at (b) 950, (c) 980, and (d) 1010°C.

3. 実験結果

< 3. 1 > バルクセラミックス

PZT-S、H とともに X 線回折では一般的な圧電特性を示すペロブスカイト単相で、異相はみられなかった。図 6、7 に原料粉末および各焼成温度における PZT-S、PZT-H の SEM 画像を示す。原料粉末は 0.1~0.2 μm 程度の粒径であったが、焼成により数 μm のグレインが成長した。焼成温度が上がるにつれてグレインは成長し、緻密なセラミックスとなっている事が確認できた。結晶粒の粒径は PZT-S よりも PZT-H の方が大きかった。密度の焼成温度依存性を図 8 に示す。焼成温度を上げていくことで密度が向上した。

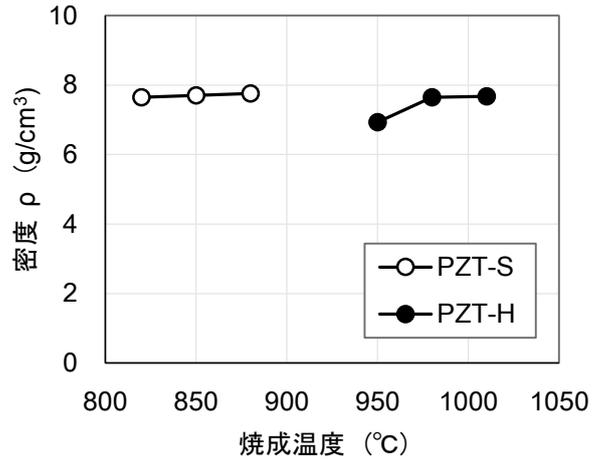


図 8. バルクセラミックス密度の焼成温度依存性

Fig. 8. Firing temperature dependence of density of bulk ceramics.

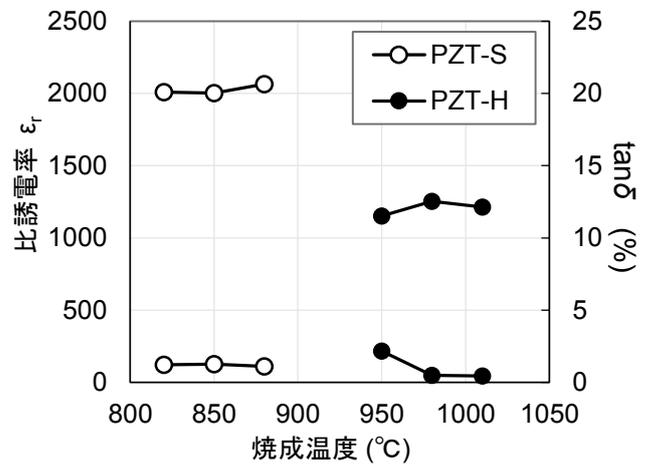


図 9. バルクセラミックスの比誘電率および tanδ の焼成温度依存性

Fig. 9. Firing temperature dependence of dielectric constant and tanδ of bulk ceramics.

密度の向上は、図 6、7 の SEM 観察で焼成温度の上昇とともに粒成長が進んでいることに対応しているものと考えられた。PZT-H の焼成温度 950°C では密度が低い、SEM 像においてもポアが見られ、粒成長が十分進んでいないためであった。また、PZT-H は、PZT-S と比較して、焼成後に、割れ、欠け、クラックが生じやすかった。

図 9 に作製したバルクセラミックスの比誘電率 ε_r および tanδ の焼成温度依存性を示す。PZT-H の 950°C 焼成では tanδ が他より大きな値となっているが、これも、密度の結果からも分かるように、焼結が不十分であるためと考えられた。図 10 に、820°C で焼成した PZT-S、980°C で焼成した PZT-H のバルクセラミックスの P-E ヒステリシスカーブを示す。PZT-S、H、ともにヒステリシ

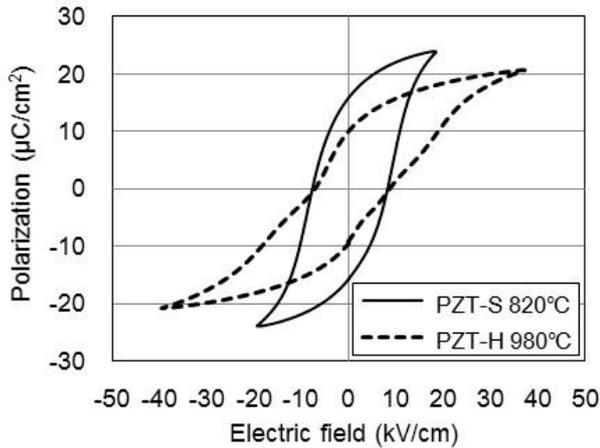


図 10. バルクセラミックスの P-E ヒステリシスカーブ
Fig. 10. P-E hysteresis curve of bulk ceramics.

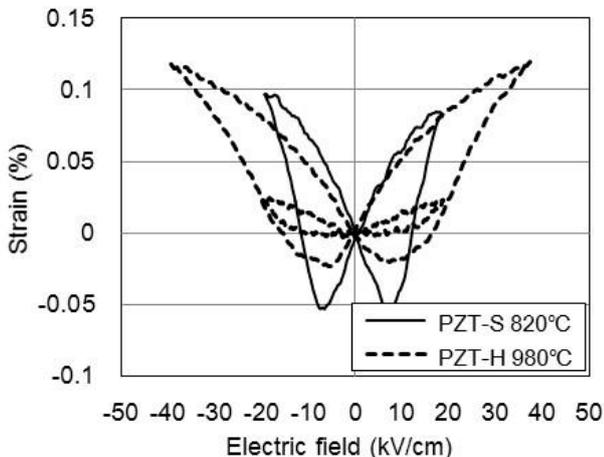


図 11. 20kV/cm 印加した PZT-S、PZT-H および 40kV/cm 印加した PZT-H の S-E ヒステリシスカーブ
Fig. 11. S-E hysteresis curve of bulk ceramics.

スカーブを描いており、強誘電性を示す事が確認された。PZT-H はハード系材料であり 40kV/cm 程度までの高電圧を印加しないとヒステリシスカーブは得られなかった。40kV/cm より大きな電界を印加すると電界によりバルクセラミックスが破壊され、十分な電界を印加することができなかった。PZT-H では、クラックが発生しやすく、微小なクラックが生じていたためと考えられる。図 11 に 820°C で焼成した PZT-S、980°C で焼成した PZT-H のバルクセラミックスの S-E ヒステリシスカーブを示す。バタフライ形状のカーブが得られ、電圧印加により変位が生じる事が確認された。20kV/cm 印加では、PZT-H は、PZT-S の 1/7 程度の歪み量であったが、図 10 で PZT-H のヒステリシスカーブが得られた条件である 40kV/cm では約 0.15% の歪みとなった。このとき、ハード系としては大きなヒステリシスを示した。表 1 に 820°C で焼成した PZT-S、980°C で焼成した PZT-H のバルクセラミックスの特性一覧を示す。PZT-H はハード系材料であるため、PZT-S よりも比誘電率お

よび $\tan\delta$ が小さな値となった。ハード系材料の抗電界 E_c は通常大きな値を示すが、今回は十分な印加電圧が印加できなかったためか、比較的小きな値となった。

表 1. バルクセラミックス材料 S、H の特性
Table I. Properties of bulk ceramics type-S and -H.

	ρ (g/cm ³)	ϵ_r	$\tan\delta$ (%)	P_r ($\mu\text{C}/\text{cm}^2$)	E_c (kV/cm)	Strain (%)	d_{31} (pC/N)	d_{33} (pC/N)
S-bulk 820°C	7.7	2010	1.2	15.6	7.8	0.15	119	341
H-bulk 980°C	7.6	1250	0.5	7.4	7.9	0.02	127	322

< 3. 2 > セラミックス基板に作製した圧電体厚膜の電気特性

YSZ 基板に作製した S および H の厚膜について、X 線回折ではペロブスカイト単相で、異相は見られなかった。図 12 に YSZ 基板に作製した PZT-S 厚膜の焼成後の表面 SEM 像を示す。バルクセラミックスでは 850°C 以上で緻密な構造となっていたのに対して、厚膜では 950°C 焼成においてもグレインが小さく、隙間も観察された。1000 から 1150°C 程度で隙間が少なくなり、バルクと同等の緻密さにするためにはバルク以上の焼成温度が必要ことが分かった。PZT-H も PZT-S と同様の傾向であった。これらの原因として、スクリーン印刷するため圧電体をバインダの量を増やしてペースト状にしたため、脱バインダ時にバインダの抜けが大きく隙間が発生した。プレス成形工程がなくなったため緻密化しにくい。セラミックス基板と一緒に焼成するため基板と圧電体の熱膨張係数の差で応力が発生し、応力がかかった状態で焼成するためグレインが成長しにくい、といった原因が考えられる。

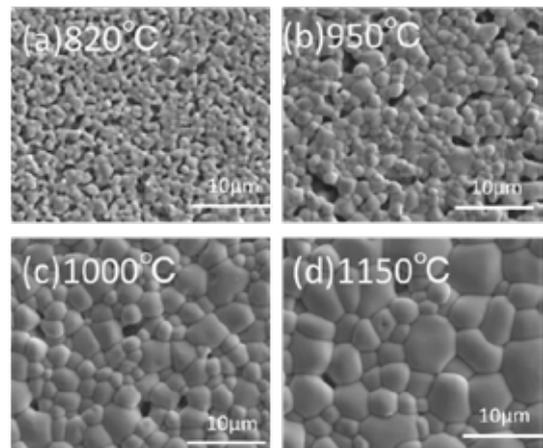


図 12. (a) 820、(b) 910、(c) 1000、(d) 1150 °C で焼成した YSZ-S 厚膜の表面 SEM 像
Fig. 12. SEM images of as-fired surface of YSZ-S thick films fired at (a) 820, (b) 910, (c) 1000, and (d) 1150°C.

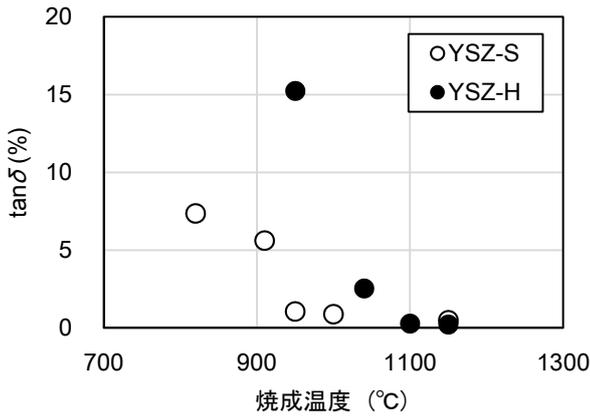


図 13. YSZ 基板上に作製した厚膜の $\tan\delta$ の焼成温度依存性
 Fig. 13. Firing temperature dependence of $\tan\delta$ value of thick films prepared on YSZ substrates.

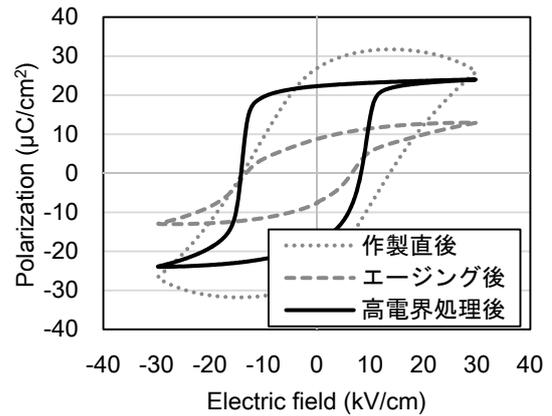


図 15. YSZ 基板上に 950°C で焼成した YSZ-H 厚膜の P-E ヒステリシスカーブ
 Fig. 15. P-E hysteresis curves of YSZ-H thick films fired at 950°C.

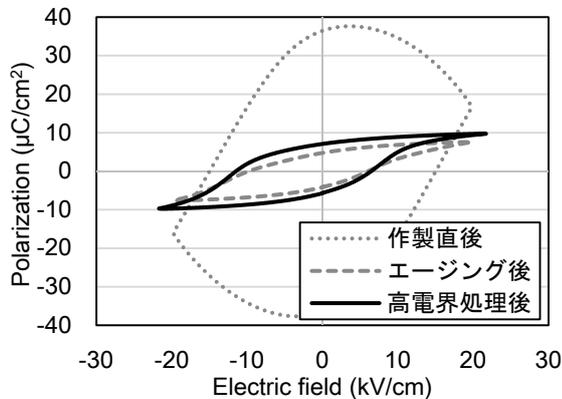


図 14. YSZ 基板上に 820°C で焼成した YSZ-S 厚膜の P-E ヒステリシスカーブ
 Fig. 14. P-E hysteresis curves of YSZ-S thick films fired at 820°C.

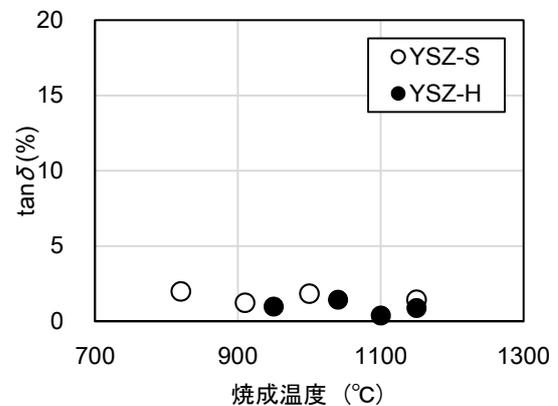


図 16. 改善処理後の厚膜の焼成温度と $\tan\delta$ の関係
 Fig. 16. Relationship between $\tan\delta$ value and firing temperature of thick film after treatment.

図 13 に厚膜の $\tan\delta$ の焼成温度依存性を示す。低温側では焼結が不十分であり大きな値を示したが焼成温度を上げていくことで改善傾向が見られた。しかしながら、金属基板での厚膜形成を考えるとできるだけ低温での焼成が望ましく、低温で作製した厚膜の特性改善について検討した。図 14 に 820°C 焼成で YSZ 基板上に作製した PZT-S 厚膜(以降、YSZ-S)の P-E ヒステリシスカーブを示す。作製直後、エージング後、さらに高電圧処理を行った後のデータを示した。作製直後の YSZ-S 厚膜は、縦軸方向に大きなふくらみが見られた。これは、電界印加後の電界を下げる際に、分極値が増加していることを示しており、リーク電流の発生を示唆している。一方で、エージングや高電圧処理を行うと YSZ-S の上下の膨らみは小さくなっており、リーク電流は低減した。処理後の残留分極値 P_r は約 $7.3\mu\text{C}/\text{cm}^2$ であった。図 15 に 950°C 焼成で YSZ 基板上に作製した PZT-H 厚膜(以降、YSZ-H)の作製直後、エージ

ング後、さらに高電界処理を行った後の P-E ヒステリシスカーブを示す。YSZ-S 厚膜と同様に、処理によってヒステリシスカーブの形状が大きく改善し、処理後の残留分極値 P_r は約 $20\mu\text{C}/\text{cm}^2$ であった。図 16 にエージング処理に加え、高電界処理を行った後の $\tan\delta$ の焼成温度依存性を示す。作製直後である図 13 と比較して、処理を行うことで 900°C 付近の焼成でも $\tan\delta$ の値が下がっていることが確認できた。

図 17 に作製直後、各処理後の厚膜の P-E カーブと格子模式図を示す。圧電体は、一般的に焼成時に鉛や酸素が一部蒸発して抜けていくことが知られており³⁾、リーク電流発生の原因は厚膜の内部で欠陥の生成にともなって、比較的自由に動くことができる不安定な電荷が生じているためだと考えられる。今回、厚膜構造にしたことでバインダ由来の隙間が増えただけでなく、バルクと比較して大気に露出している面積が大きい。その結果、焼成時に鉛

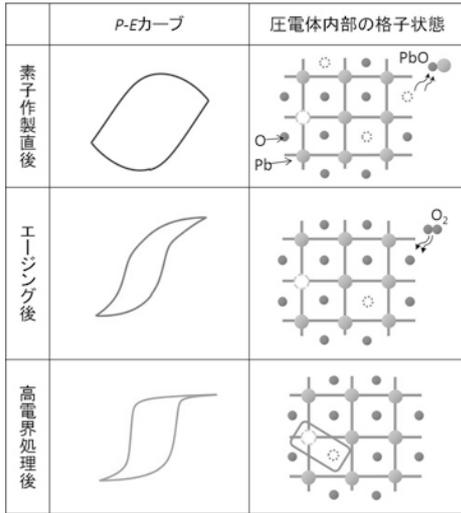


図 17. 厚膜の格子模式図

Fig. 17. Schematic image of lattice of thick films.

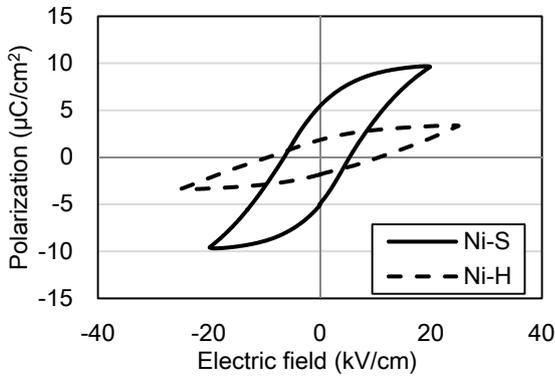


図 18. Ni 基板上に 950°C 焼成で作製した厚膜の P-E ヒステリシスカーブ
Fig. 18. P-E hysteresis curves of Ni-S and H thick films fired at 950°C.

や酸素がより蒸発しやすく、格子欠陥が発生しやすい状態になったと考えられる。エージングを行い大気中の酸素と結合することで、不安定な格子欠陥を減らし、さらに高電界印加処理を行うことで不安定な欠陥を固定化し、リーク電流を低減させることができたものと考えられる。

< 3. 3 > ニッケル基板上に作製した圧電体厚膜の特性

Ni 基板上に作製した PZT-S および PZT-H の厚膜(以降、Ni-S、Ni-H)について、X 線回折測定を行なったところペロブスカイト単相で、特に異相は見られなかった。図 18 に Ni-S 厚膜および Ni-H 厚膜の P-E ヒステリシスカーブを示す。YSZ 基板上に作製した厚膜と比較して残留分極値は低い値であった。特に Ni-H 厚膜では、残留分極値 P_r は約 $3\mu\text{C}/\text{cm}^2$ であった。

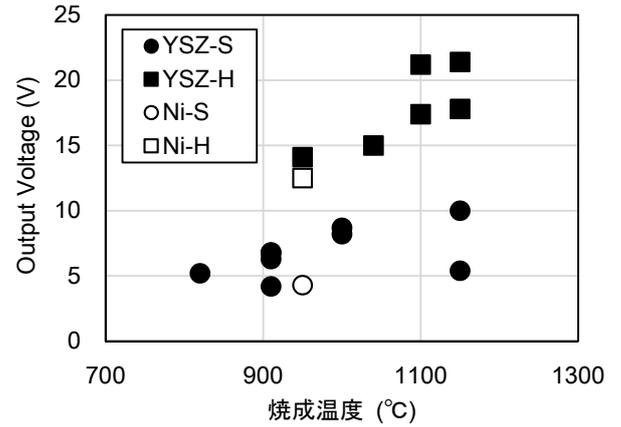


図 19. 厚膜の焼成温度と出力電圧の関係

Fig. 19. Relationship between firing temperature and output voltage of thick film.

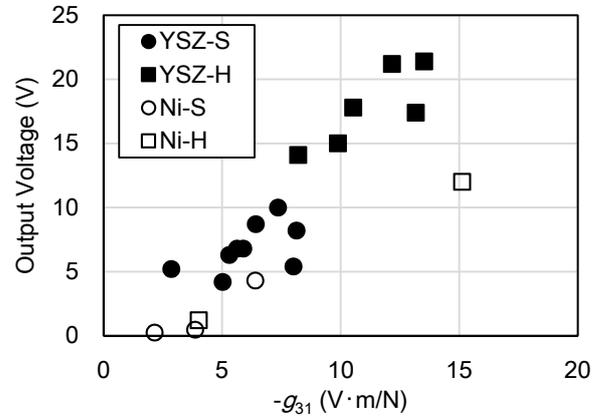


図 20. 厚膜の $-g_{31}$ と出力電圧の関係

Fig. 20. Relationship between $-g_{31}$ value and output voltage of thick film.

< 3. 4 > 発電特性

図 19 に 0.5G の振動を印加した際の YSZ 基板および Ni 基板上に作製した厚膜の無負荷での出力電圧の焼成温度依存性を示す。焼成温度が高いほど出力電圧が大きくなる傾向が見られた。また、PZT-H の厚膜の方が PZT-S の厚膜よりも高い電圧が出力できることが分かった。Ni 基板上に形成された厚膜は YSZ 基板上に形成された厚膜よりも低い値となった。

図 20 に厚膜の $-g_{31}$ と出力電圧の関係を示す。圧電電圧定数 $-g_{31}$ と出力電圧に相関がみられた。PZT-H は、PZT-S よりも $-g_{31}$ が大きく発生電圧も大きな傾向を示した。Ni-H 厚膜の出力電圧は YSZ-H 厚膜よりも小さくなっているが、これは Ni 基板上に形成された H 厚膜の P_r が S 厚膜よりも小さいことが示すように十分な膜質の厚膜ができていないこと、YSZ 基板のサイズ(面積)が厚膜とほぼ同じサイズであるのに対して、Ni 基板のサイズが作製した厚膜の 1.5~2 倍程度と広く、基板による厚膜の拘束が大きいことにより、

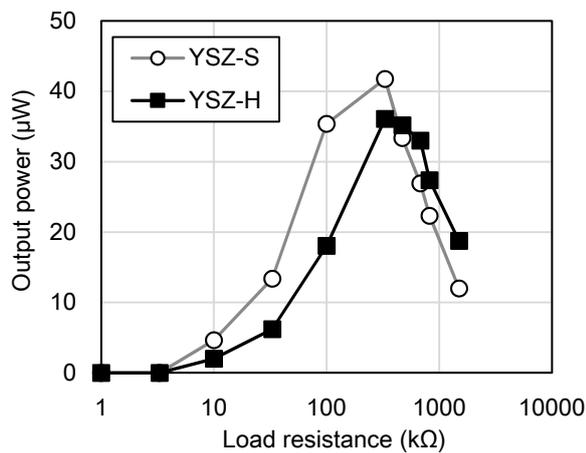


図 21. 1150°C焼成で作製した YSZ-S 厚膜および YSZ-H 厚膜の出力電力の負荷抵抗依存性

Fig. 21. Road resistance dependence of output power of YSZ-S thick film and YSZ-H thick film fired at 1150°C.

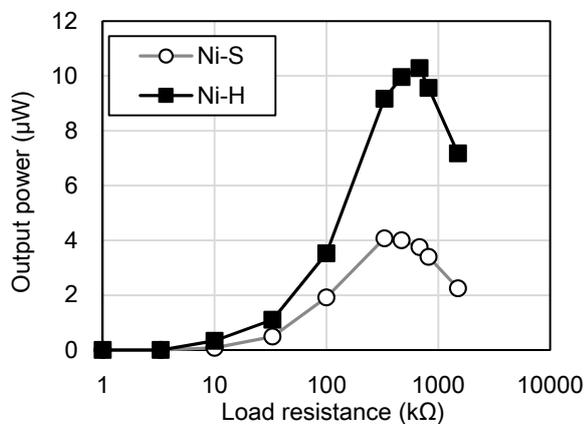


図 22. 950°C焼成で作製した Ni-S 厚膜および Ni-H 厚膜の出力電力の負荷抵抗依存性

Fig. 22. Road resistance dependence of output power of Ni-S thick film and Ni-H thick film fired at 1150°C.

発生電圧が小さくなったことが原因と推察される。厚膜とほぼ同じサイズの Ni 基板を使用すること、使用する基板をさらに薄くすること、プロセスを改善すること、などにより、発電量を高めることも期待できる。図 21 に、1150°C焼成で作製した YSZ-S 厚膜および YSZ-H 厚膜の出力電力の負荷抵抗依存性、図 22 に、950°C焼成で作製した Ni-S 厚膜および Ni-H 厚膜の出力電力の負荷抵抗依存性の結果を示す。最大発電量を規格化すると YSZ-S、YSZ-H がそれぞれ 5.0、4.4 $\mu\text{W}\cdot\text{mm}^2\cdot\text{G}^2$ であり、Ni-S、Ni-H がそれぞれ 0.5、1.3 $\mu\text{W}\cdot\text{mm}^2\cdot\text{G}^2$ であった。これらは、前年度のバルクセラミックスを用いた発電素子(0.5 $\mu\text{W}\cdot\text{mm}^2\cdot\text{G}^2$)と遜色ない値であった。厚膜化による変位量の増大がバルクと比べて劣る電気特性を補ったものと考えられる。Ni 基板の厚膜の発電量は、YSZ 基板上に作製された厚膜の発電量の 1/10~1/4 程度であった。図 18 において、Ni-S 厚膜は Ni-H 厚膜

よりも良好な特性を示したにもかかわらず、Ni-H 厚膜の最大電力 10 μW に対して Ni-S 厚膜の最大電力は 4 μW となった。インピーダンスアナライザにて、分極処理後の素子の共振付近での位相の反転量を両者で比較すると、Ni-S 厚膜の位相反転量は Ni-H 厚膜の位相反転量よりも小さな値であった。これは、Ni-S 厚膜は Ni-H 厚膜よりも十分な分極がかかっていないことを示しており、電力が Ni-H よりも小さな値となった一因と考えられた。また、同一条件の試料においても位相の反転量や発電量にバラツキが見られた。これらは、焼成時の基板元素の厚膜への拡散、欠陥などが原因と考えられ、詳細について今後検討する必要があると考える。

4. 結言

金属基板上にスクリーン印刷法で圧電体厚膜を形成し、EH 素子に応用することを目的として、検討を行ったところ以下の結果が得られた。

- ・ソフト系、ハード系の圧電材料を用い、バルクセラミックスを作製したところ、残留分極値 P_r は、それぞれ約 16 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 、7 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ であった。
- ・ソフト系及びハード系の圧電材料を用い、圧電体厚膜を Pt 下部電極を有する YSZ 基板上に作製した。電気特性の安定化にはエージングや高電圧印加が有効であった。焼成温度が低めであっても電気特性が改善した。
- ・安定化処理後の 820°C焼成の YSZ-S 厚膜および 950°C焼成の YSZ-H 厚膜の P_r はそれぞれ、約 7 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 、20 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ であり、950°C焼成の Ni-S 厚膜および Ni-H 厚膜の P_r はそれぞれ、約 3 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 、6 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ であった。
- ・作製した厚膜素子を共振周波数付近で加振したところ、電圧の出力が確認された。ソフト系よりもハード系厚膜の方が高い電圧を得ることができた。得られた最大発電量を規格化すると YSZ-S、YSZ-H がそれぞれ 5.0、4.4 $\mu\text{W}\cdot\text{mm}^2\cdot\text{G}^2$ 、Ni-S、Ni-H がそれぞれ 0.5、1.3 $\mu\text{W}\cdot\text{mm}^2\cdot\text{G}^2$ であった。
- ・Ni 上に作製した厚膜は、材料系や焼成条件により分極のかけ方が異なっており、プロセスや分極条件の詳細な検討と最適化が必要であるものと考えられた。

文 献

- (1) 浦山陽平 他, 平成 26 年度若い研究者を育てる会研究発表会研究論文集, pp. 24
- (2) I. Kanno *et al.* Sensor and Actuators A 107 (2003) pp. 68
- (3) 岡崎 清, セラミック誘電体工学, (1978) 学術社

IV. ハイブリッド樹脂粉末を用いた樹脂の特性改善

Improvement in Performance of the Resin Using Hybridization

熊澤 周士
KUMAZAWA Shushi
住岡 淳司
SUMIOKA Junji

黒河 歩美
KUROKAWA Ayumi
清水 孝晃
SHIMIZU Takaaki

高松 周一
TAKAMATSU Shuichi
石黒 智明
ISHIKURO Tomoaki

Abstract

According to the method of a hybridization, it is possible to cover a mother particle by child particles, and, thereby, the characteristic of a mother particle can be improved. In this research, in order to improve the electric conductivity of PA12, graphite was mixed 0.5wt%, and hybridization processing was performed. And, the powder which is PA12 covered with graphite was obtained. The plate was fabricated for the obtained powder by the 3D printing method, the heat pressing method, and the hot extrusion method. And surface electric resistance of a plate was measured. Consequently, resistance of a plate by the 3D printing method became $2 \times 10^8 \Omega/\square$. By the heat pressing method, it became $2 \times 10^{14} \Omega/\square$, and by the kneading extrusion method, it became over $1 \times 10^{15} \Omega/\square$. This showed that the 3D printing method was suitable for fabrication of composite powder by the hybridization. Usually, in order to improve the characteristic of plastics, the kneading extrusion method was used, and by this method, in order for surface resistance to become the same value, 10-30wt% of carbon black needs to be mixed.

1. 緒言

高分子材料は、一般にその用途に合わせた機能性を付与して用いられている。機能性付与には、①分子構造から設計する、②成形後に表面処理をする、③他材料を混ぜる、④粒子形状を整える等の手法があり、このうち③の手法を用いる場合が多い。この手法を用いて機能性を高めるには、機能性粒子の大量添加が必要になり、製造コストが高騰することが問題となる。そこで、少ない添加量で高特性を有する高分子材料を開発することが求められている。

そのための手法の一つとして、ハイブリダイゼーションが挙げられる。この方法では、乾式の高速気流中で粒子にメカノケミカル効果を発現させ、母粒子（樹脂）の周囲を子粒子（機能性粒子）で覆う（複合化、成膜化）ことが可能である¹⁾。ハイブリダイゼーションシステムに投入された材料は、高速回転（4,000～8,000 rpm）するブレードによって衝撃力を与えられながら、気流に乗ってブレードや材料同士と衝突を繰り返しつつ攪拌されることで、粒子が凝集・変形・破砕を繰り返し、球形化及び複合化される。本装置を用いて表面処理した材料は、食品添加物材料や建材、電池材料など幅広い分野で応用されており、また、本装置を用いて粒子を複合化することにより、新たな特性を持つ材料の開発が期待されている。この装置を用いて得られた複合材料をうまく結合できれば、母粒子成形体の中に子粒子が連続的につながった構

造体を作製できる可能性があり、機能性材料の添加量削減が期待される。

そこで本研究では、ハイブリダイゼーションシステムを用いて樹脂粉末とグラファイトの複合材料（樹脂粉末の周りをグラファイトで覆った粒子）を作製し、これを種々の方法で成形することで、樹脂製品の機能性、特に導電性の向上効果について検討した。

2. 実験方法・結果および考察

<2. 1> ハイブリダイゼーション処理

本研究では、母粒子に3D-プリンティング用樹脂として使用されているナイロン12（以下、PA12）を用い、子粒子には熱伝導性や導電性向上を狙い、グラファイト（伊藤黒鉛工業株式会社 膨張黒鉛 EC1500）を使用した。ハイブリダイゼーション処理は、株式会社奈良機械製作所製ハイブリダイゼーションシステム NHS-1（図1）を用いた。以下、ハイブリダイゼーション処理を複合化処理、複合化処理により得られた粉末を複合材料と記す。

複合化処理では、まず、PA12 に対して所定の比率（重量比で 1.0、0.5、0.1wt%）のグラファイトを攪拌混合した。次に混合物を装置内に約 100g 投入し、装置を稼働させた。ブレード回転数が 8,000rpm 到達後から 3 分間保持し、その後複合材料を回収した。回収率は約 90%であった。

グラファイトを 0.5wt% 添加した複合化処理中の機内温度の変化を図2に示す。なお、粉末を投入しない場合（空運転）及び PA12 のみを投入した場合の結果も示す。

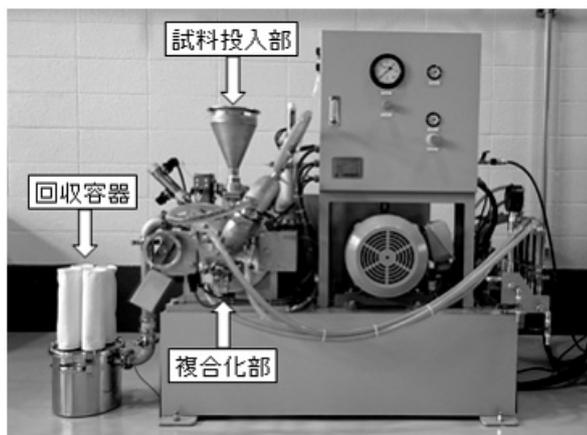


図1 ハイブリダイゼーションシステム外観
Fig. 1. Outline of hybridization system.

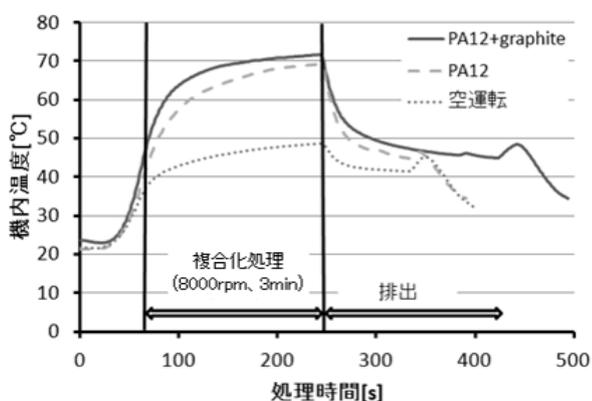


図2 複合化処理中の機内温度
Fig. 2. The temperature in chamber during hybridization.

機内温度は、粉末の有無によらず、処理の初期に急激に上昇し、ブレード回転数が8,000rpmで一定となった後も上昇した。そして最高到達温度は空運転でも約50°Cに達し、PA12粉末を入れた場合は約70°Cまで、PA12粉末とグラファイトを複合化処理した場合はPA12単独の場合より若干高い温度まで上昇した。また、機内温度は粉末の排出と同時に低下し始めた。添加量0.1wt%と1.0wt%でも同様であった。

このことから、融点が約190°CのPA12では問題にならないが、ポリオレフィンを代表とする融点の低い材料を使用する場合には注意が必要であると考えられる。

< 2. 2 複合材料の特性 >

2. 2. 1 顕微鏡観察

図3に0.5wt%複合材料の光学顕微鏡写真を示す。

図3から、母粒子は若干球形状に近づく傾向は見られるが、粒

径には大きな変化がないことが確認できた。また、遊離グラファイトはあまり認められなかった。図には示さないが、0.1wt%グラファイト複合材料ではグラファイトに被覆されないPA12の粒子が、1.0wt%グラファイト複合材料では遊離したグラファイトが多く認められた。

以上のことから子粒子にあたるグラファイトの混合比率は0.5wt%程度が適するものと考えられる。

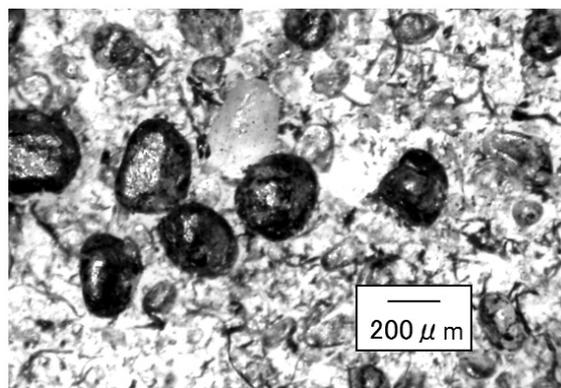


図3 グラファイト被覆されたナイロン粒子(0.5wt%)
Fig.3. Nylon particles coated graphite (0.5wt%).

また、図4にトリミングナイフを用いて切断した0.5wt%複合材料の粒子断面の光学顕微鏡写真を示す。観察結果から、PA12の粒子表面にグラファイトが附着していることが明らかであり、また、グラファイトの厚さは約2μmであることが分かった。

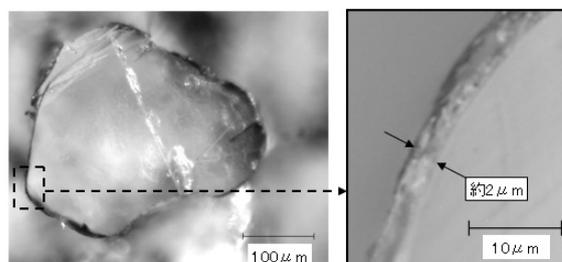


図4 複合材料断面
Fig.4. Sections of a hybridization particle.

2. 2. 2 遊離グラファイト量の測定

複合材料中の遊離グラファイト量を、PA12の密度が約1.02g/cm³、グラファイトが約2.26g/cm³であることを利用して、食塩水による比重分離を用いて調査した。

まず分離に適する食塩水濃度を求めるために、濃度が段階的に異なる食塩水を調製し、1.0wt%複合材料を各々に分散させ静置した。分散剤には中性洗剤を用いた。図5に静置後の写真を示す。

図5から、食塩濃度が7wt%以下では沈殿物が多くなり、この沈殿物には複合材料が多く含まれている事が確認された。

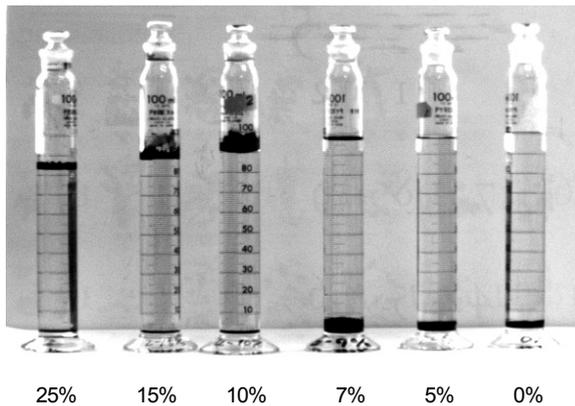


図5 分離状態への食塩水濃度の影響

Fig.5. The influence of concentration of NaCl solution for separating.

一方、10wt%以上の沈殿物には、複合材料はほとんど認められないことから、本研究では、食塩水濃度を10wt%とし、遊離グラファイト量の測定を試みた。

遊離グラファイト量の測定は、以下の手順で行った。まず、0.5wt%、1.0wt%のグラファイト複合材料各々0.5gを食塩水中に攪拌・分散させて静置後、沈殿物を吸引・分取した。引き続きデカンテーションを繰り返し、沈殿物中の食塩水と中性洗剤を除去・乾燥し、その重量を測定した。

その結果、0.5wt%グラファイト複合材料では添加グラファイトの約9wt%、1.0wt%グラファイト複合材料では約15wt%のグラファイトが複合化されずに存在している事が確認できた。このことから、処理時間や添加量について改善の余地があると考えられる。

2. 2. 3 安息角の測定

粉末を用いた樹脂製品の成形方法としては様々な方法があるが、一般に流動性の高いほうが成形には有利であると考えられることから、その目安付けとして安息角測定を行なった。

本研究では、図6に示す金属製漏斗（内径8mm）を用いて樹脂粉末をアルミニウム板上に落下させることで形成される円錐の角度を測定した。なお、ナイロン6（以下、PA6）の凍結粉碎粉末、さらに球形化処理した粉末についても測定した。

測定結果を表1に示す。

表1から、グラファイト複合材料は複合化されていないPA12に比べて約5°安息角が大きくなった。すなわち、複合化させたことで、流動性が低下したことになる。

一方、PA6の凍結粉碎粉末はさらに安息角が大きくなり、球形化処理後もあまり変わらなかった。このことは粉碎粉末の形状が角ばっていること、また、球形化処理が不十分なことを示している。すなわち、PA6粉末を成形に用いるには、更なる改良が必要であることが分かった。

また、種々の材料における安息角の違いがどの程度樹脂成形に影響するかについては、さらに検討が必要であると考えられる。

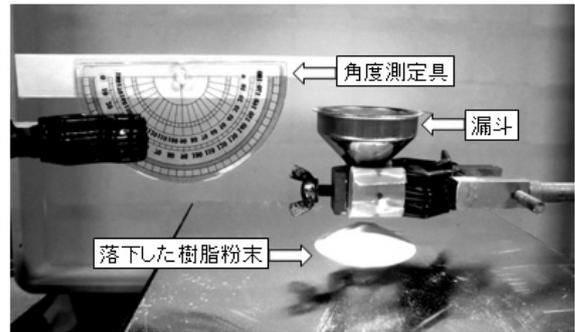


図6 安息角測定装置

Fig.6. The measuring instrument of an angle of repose.

表1 種々の材料における安息角

Table 1. The angle of repose about samples.

試料	安息角/°
PA12	37
0.1wt%グラファイト複合材料	42
0.5wt%グラファイト複合材料	41
1.0wt%グラファイト複合材料	41
PA6 粉碎粉末	45
PA6 球形化処理粉末	45

< 2. 3 複合材料の成形 >

一般に、複合材料の電気特性を評価するためには、板状の成形品が必要である。しかし本研究では、複合材料表面のみがグラファイトで覆われており、混練押し出しのような手法ではグラファイトのつながりが破壊されるために特性を発揮できない可能性が高いと考えられる。そこで、3D-プリンティング法、熱プレス法と、比較のため混練押し出し法の3種類の成形方法で検証した。

2. 3. 1 3D-プリンティング法

3D-プリンティングには、図7に示すファイバーレーザ加工機を用いた。また、装置の仕様を表2にまとめた。

ファイバーレーザ加工機を使用した成形では、空気中で樹脂材料にレーザを照射すると燃焼してしまうため、窒素ガス置換ができるように図8に示す成形用ボックスを用いた。また、レーザ漏洩による危険性を回避するため、レーザ光入射用の上面の窓を除いてアルミニウム板で遮光した。試料台は高さの基準とするガイドの間に上下に昇降できるダイヤル付きステージと樹脂粉末を敷くベースプレートを組み合わせて作製した。

2. 3. 1. 1 レーザ加工評価

まず、照射されるレーザで溶融する幅及び深さを調べるため、レーザ光が吸収されやすいようにカーボンブラックを分散したポリエチレンブロックに直線加工を行った。

図9に、出力20% (18W)、スキャン (走査) 速度 50mm/s で加工した直線加工部の上面および断面の写真を示す。

図9からわかるように、レーザによる直線加工部には、幅約300 μ m、深さ約400 μ mの溝と、その両側に沿って光沢の異なる筋が確認された。

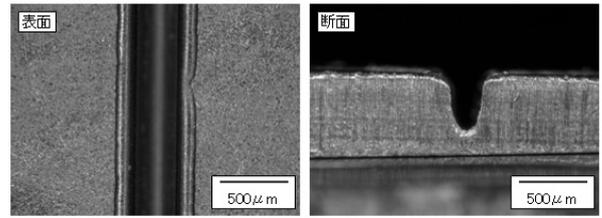


図9 レーザ加工跡(出力20%、速度50mm/s)
Fig.9. Processing trace of fiber laser.

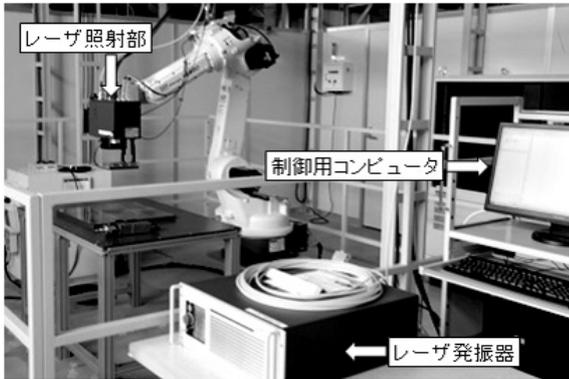


図7 ファイバーレーザ高速微細加工装置
Fig.7. Fiber laser high-speed minute processing device.

表2 ファイバーレーザ加工機仕様
Table 2. The specification of the fiber laser high-speed minute processing device.

メーカー	IPG フォトニクスジャパン株式会社 (レーザ発振器)
レーザ発振器	キャノン株式会社(レーザ照射部) レーザ波長: 1070nm 発振形態: パルス/連続 最大定格出力: 150W (パルス) 250W (連続)
スキャナ	スキャンエリア: 150×150mm 制御軸数: XY2軸

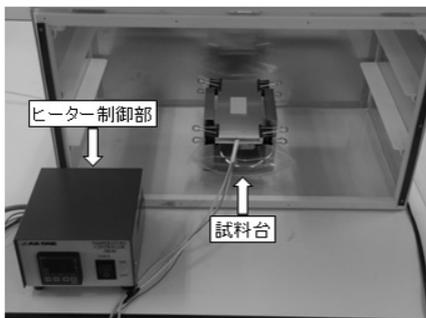
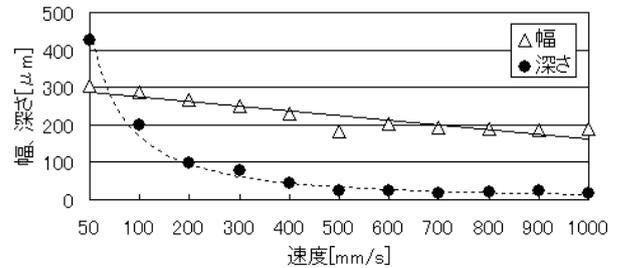


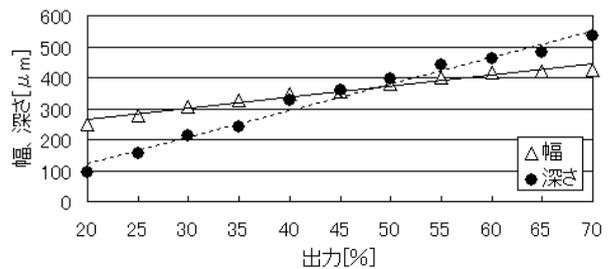
図8 成形用ボックス
Fig.8. The box for fiber laser processing.

この溝の部分は、レーザ加工によりポリエチレンが熱分解してできたもの、その両側の筋は、熔融凝固に伴うものと考えられる。

図10(a) および (b) に、レーザ出力を発振下限の20%で一定とし、スキャン速度を50mm/s から1000mm/s まで変えた場合の溝の幅と深さを、スキャン速度を200mm/s で一定とし、レーザ出力を発振下限の20%から70%まで変えた場合の溝の幅と深さを各々示す。



(a) 出力20%、速度50~1000mm/s



(b) 速度200mm/s、出力20~70%

図10 レーザ照射条件による加工幅と深さ
Fig.10. The width and depth of processing trace by fiber laser

図10(a) から、レーザ出力20%一定で、スキャン速度を増加させると、溝の幅は300 μ m から200 μ m までほぼ直線的に低下することが分かった。一方、溝の深さは、速度が200mm/s までは400 μ m から100 μ m まで急激に浅くなるが、500mm/s 以降は大きく変化しなかった。

また、図10(b) から、スキャン速度200mm/s 一定で、レーザ出

力を増加させると、溝の幅は 250 μm から 400 μm へ、溝の深さは 100 μm から 500 μm へ、いずれもほぼ直線的に増加することが分かった。

樹脂の 3D-プリンティングでは、熱分解は性能低下のためあまり好ましくないこと、また、樹脂の熔融はスキャン速度で調整可能であることを考慮すると、レーザー出力は抑えた方がよいと考えられる。

以上のことから、本研究ではレーザー出力を最低の 20%とした。また、図 10 (a), (b) の結果から、レーザー出力 20%のときの、溝の幅は 200 μm から 300 μm 程度であることが分かった。また、溝の両側の熔融凝固部を加えると、レーザーによる最大の加工幅は、500 μm 程度となる。

このことは、ファイバーレーザー加工機による 3D-プリンティングでは、ハッチング間隔の最大は 500 μm であり、これよりも間隔を空けると各ハッチングのラインが重ならず、成形品が得られなくなることを推測される。

2. 3. 1. 2 1層シートの試作

図 10(a), (b) の溝深さや溝幅の結果を参考に、レーザー出力を 20%一定とし、

スキャン(走査)速度 : 100, 200, 500, 1000mm/s、

ハッチング(照射) 間隔 : 100, 200, 300, 500 μm

と変えて 1層シートのプリンティングを試みた。

なお、複合材料を敷くベースプレートには表面をサンドブラストで荒らしたアルミニウム板(幅 25mm×長 50mm×厚さ 2mm)を使用した。

また、ファイバーレーザーによる 3D-プリンティングは以下の手順で行った。

- ① ベースプレートをガイドと同じ高さに調整し、レーザーの焦点を合わせる。
- ② ①の高さから、ベースプレートを所定の厚さ分降下させる。
- ③ ガイド高さまで、ベースプレート上に樹脂を敷く。
- ④ レーザ照射を行う。

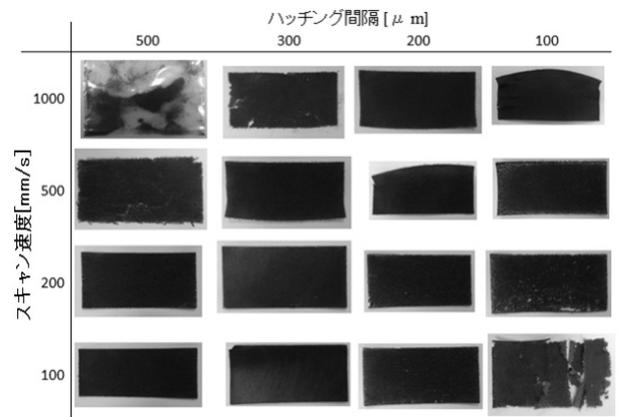
0.5wt%および 1.0wt%グラファイト複合材料に対して、スキャン速度及びハッチング間隔を変えて作製した 1層シートの写真を図 11 (a), (b) にそれぞれ示す。図 11 (a), (b) の試料は、3D-プリンティング後にアルミニウム板上から自然に剥離したもの、あるいは、強制的に剥離させたシートである。

図 11 (a), (b) から、0.5wt%、1.0wt%のいずれの複合材料も、図の左上に示されるスキャン速度が速くハッチング間隔が広い条件と、逆に右下のスキャン速度が遅くハッチング間隔が狭い条件では、隙間の多いシートとなった。

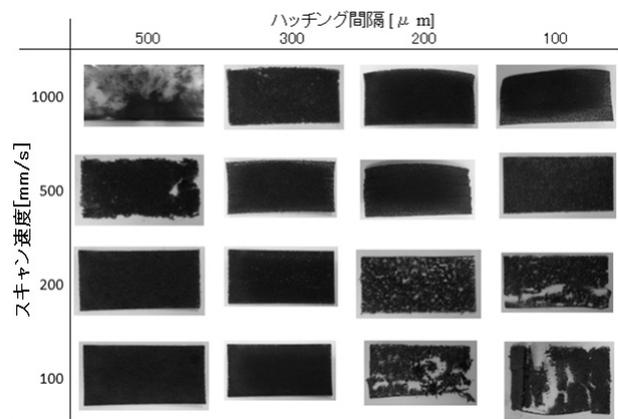
すなわち、レーザーのエネルギー密度の小さい左上の部分においては熔融不足、エネルギー密度の大きい右下の部分においては過度の分解蒸発による成形不良と考えられる。右下の不良部分の範囲は 1.0wt%の方が 0.5wt%より広く、これは、1.0wt%の方がグラ

ファイト量が多くレーザー光を良く吸収したためだと考えられる。

また、0.5wt%と 1.0wt%で得られたシートを比較すると、0.5wt%より 1.0wt%の方が脆いシートになった。



(a) 0.5wt%



(b) 1.0wt%

図 11 シート状態へのスキャン速度とハッチング間隔の影響

Fig.11. Influence of the scanning speed and the hatching interval to the sheet condition.

他方、0.1wt%複合材料の場合はシートが得られず、処理後の試料には未熔融の粒子が混在した状態であった。PA12 単体では、ほとんど変化が見られず、プリンティングが不可能であった。PA12 単体とグラファイトの 0.5wt%混合物(複合化処理はしていない)では、レーザー処理によりシートは得られたが、未熔融の粒子が多く認められた。

これは、PA12 粒子が 1 μm の波長のレーザー光を殆ど吸収しないためであり、0.1wt%で未熔融の粒子を認めたことも、複合化されていない PA12 粉末が多く含まれていたことによるものと考えられる。また、単に混合しただけではグラファイトの分布が不均一であるため、0.1wt%と同様に未熔融の粒子が混在した。

以上の結果から、ファーマーレーザによる 3D-プリンティングには、粒子各々がグラファイトに覆われている事が重要で、複合化処理を行うことが必要であることがわかった。これにより、粉末それぞれがレーザ光を効率よく吸収するようになり、プリンティングが可能になった。

グラファイトの添加量も重要であり、グラファイトと PA12 は互いに溶け合わないため、1.0wt%といった過剰添加では遊離グラファイトの割合が多く、PA12 粒子間の融着を阻害するために脆くなり、一方でグラファイト添加量が不足した場合は、グラファイトに被覆されていない PA12 粉末がレーザを吸収せず溶融しないため、造形不良が発生すると考えられる。

2. 3. 1. 3 多層シートの試作

1 層シートの試作結果を基に、

材料：0.5wt%複合材料

出力：20% (18W)

スキャン (走査) 速度：200mm/s

ハッチング (照射) 間隔：200 μ m

造形層厚さ：200 μ m

レーザ走査方向：各層間平行 or 垂直

上記を基本積層条件として 1 層シートの造形手順を繰り返す事で多層シートの試作を試みた。

このような条件で試作を繰り返したところ 4 層まではプリンティングできたが、5 層以上ではシートの反りやベースプレートからの剥離が発生し、新しく粉末を敷くことが困難となった。

図 12 に 4 層積層したシート表面および断面の光学顕微鏡写真を示す。

表面写真から、全体に透明感のある光沢が確認できるため、最表面は PA12 で覆われていると考えられる。

断面写真からは、全体にグラファイトの黒色がある中で粒子形状を残した PA12 の灰色部が点在している事が確認できる。また、1 層目に該当するベースプレートとの接触部には溶融した PA12 が多く存在する事も確認できた。

このことから、レーザ照射によりグラファイトと接触している PA12 表層部が溶融し、これが周囲の複合材料を繋ぐことでシートが得られたものと推測される。

また、ベースプレートがアルミニウム製であるためにレーザにより高熱を持ち、複合材料の溶融に影響したと考えられる。

5 層以上のプリンティングができなかった原因として、樹脂の冷却収縮に伴う反りや未溶融粒子の影響、再溶融によるシートの切断、そして、ベースプレートとの接合が不十分である事などが考えられる。

特にベースプレートとの接合をより強固にすれば、反りも抑制できると考えられる。アルミニウム板と樹脂との接合機構はアンカー効果によるものと推測されるが、より強固な接合を得るためにベースプレートに PA12 板を用いた試作を試みた。PA12 板上へ

のプリンティングでは、ベースプレートと複合材料が互いに溶融し接合を生じるために化学的な強い結合が生じると考えられる。

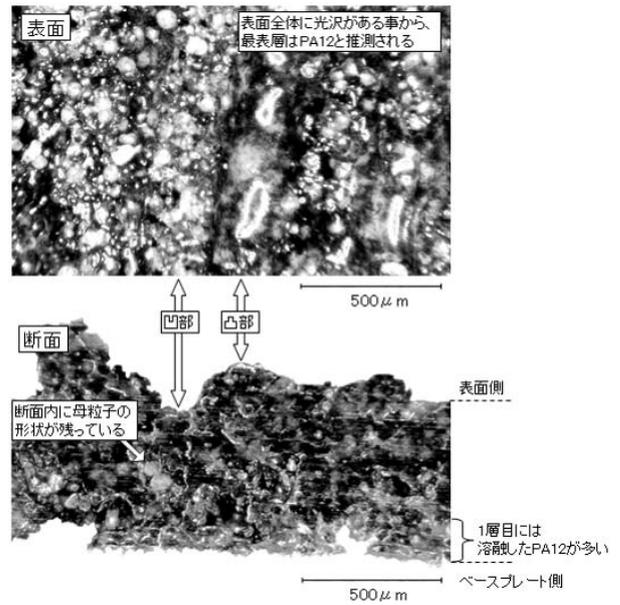


図12 4層プリンティングシートの表面(上)、断面(下)

Fig.12. The photographs of the surface(upper) and cross-section(lower) of 4 layers sheet.

これにより、ハッチング間隔250 μ m、スキャン速度300mm/s (1、2層目は 250mm/s)、ハッチング方向は各層間直交するようにして 3D-プリンティングしたところ、図 13 のように 12 層の積層も可能であった。ただし、端部での反りが発生しており、レーザ照射条件と層厚の検討が必要である。



図13 多層プリンティング板

Fig.13. Multilayer printing plate.

2. 3. 2 熱プレス法

熱プレス法では、複合材料約 0.5g を直径 20mm の金型に入れ、150 $^{\circ}$ C~180 $^{\circ}$ C に保たれた熱プレス機にセットし、15MPa の圧力で 10 分間保持し、成形体を得た。

2. 3. 3 混練押し出し法

ATLAS 社製 LME を用い、190 $^{\circ}$ C で各粉末を溶融混練して押し出した。混練物は、電気的特性を評価しやすいように、2-3-2 の熱プレスによりシート状に成形した。

＜ 2. 4 表面抵抗値の測定＞

成形品の表面抵抗値は三菱化学社製ハイレスタ-UP を用い、所定の電圧を 30 秒間印加し測定した。

2. 4. 1 3D-プリンティング法

図 13 の 12 層積層品を用いて表面抵抗値の測定を行った。表面抵抗値は、 $2 \times 10^8 \Omega/\square$ であった。

2. 4. 2 熱プレス法

図 14 に、プレス温度と作製した円板の表面抵抗値の関係を示す。

PA12 と 0.1wt% グラファイト複合材料成形品の表面抵抗値は温度によらず測定上限の $10^{15} \Omega/\square$ より高い値となり、導電性の向上は確認できなかった。

0.5wt% および 1.0wt% グラファイト複合材料成形品の表面抵抗値は、プレス温度が高いほど小さくなる傾向を示した。また、グラファイト添加率が大きいほど導電性の向上効果が大いことが分かった。

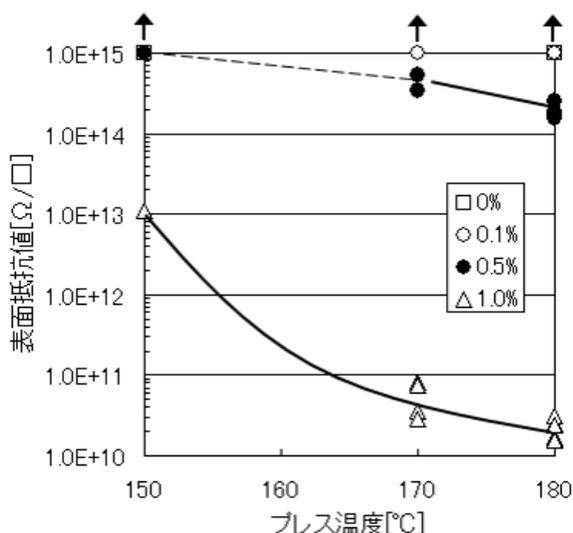


図14 表面抵抗値と熱プレス温度の関係

Fig.14. Relationship between a surface electric resistance and press temperature.

また、図 15 に、プレス温度と作製した円板の見かけ密度の関係を示す。

図 15 から、熱プレス温度が高くなるほど成形品の見かけ密度が大きくなる傾向があると分かった。また、見かけ密度はグラファイト 0.1wt%、0.5wt% グラファイト複合材料ではほとんど変わらないが、1.0wt% 添加したところ再び大きくなった。

この原因として、熱プレス成形ではグラファイト量の増加に伴い焼結は阻害されるが、逆に粒子間の潤滑が良くなるため、見かけ密度の向上が考えられる。すなわち、0.1wt%、0.5wt% では、阻

害の効果が顕在化し密度が下がったが、1.0wt% では、潤滑性の効果により密度が上がったものと考えられる。

図 14、15 から、グラファイト複合材料については、見かけ密度が大きくなるほど表面抵抗値が小さくなることがわかった。

これは、密度増加に伴いグラファイトの接触が増加するためと考えられる。

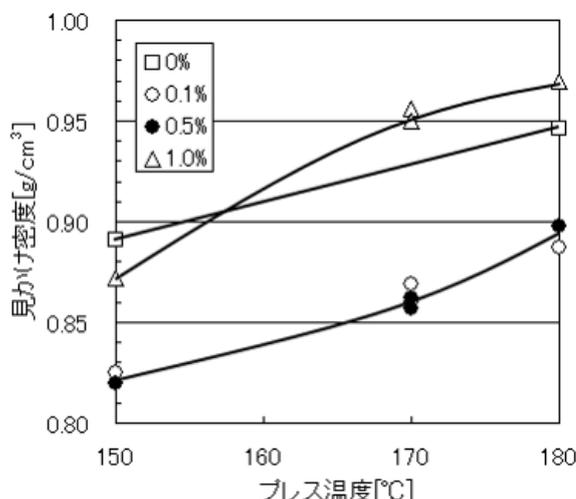


図15 見掛け密度と熱プレス温度の関係

Fig. 15. Relationship between apparent density and press temperature.

2. 4. 3 混練押し出し法

グラファイト添加量によらず、表面抵抗値は測定上限の $1 \times 10^{15} \Omega/\square$ より高い値となり、導電性の向上が見られなかった。

今回試みた 3 種の成形法を比較すると、以下のように考えることができる。

混練押し出し法では、複合材料は完全に溶解され混練されるため、粒子表面に存在していたグラファイトは PA12 中に分散された状態となる。このため、グラファイト同士の接触が切断されており、シートの導電性は向上しない。

熱プレス法では、複合材料は完全には溶解せず、複合材料粒子は大きな変形を伴わない状態で成形される。このため、粒子表面および粒子間のグラファイトはある程度連続しており、導電性が向上した。

ファイバーレーザを用いた 3D-プリンティング法では、複合材料の溶解が表面に限定され、粒子の変形が最小限に抑えられる。その結果、図 12 の断面写真のようにグラファイトが全体的に繋がった状態で成形されるため、導電性の向上が大きい。

以上のことから、本研究で作製した複合材料を用いて導電性を得る成形方法としては、3D-プリンティング法のように成形時に母粒子表面を覆っている子粒子が剥離・分散しにくい方法が適していると考えられる。

3. 結言

複合化した樹脂粉末を成形する際には混練工程を伴わないプレス成形や、3D-プリンティングといった方法が望ましく、これらの成形方法では導電性の向上が確認できた。

既存の帯電防止剤として用いられるカーボンブラックにおいては、これを10~30wt%²⁾分散・混合してはじめて、グラファイト添加率が0.5wt%のハイブリダイゼーション処理粉と同程度の表面抵抗となることから、ハイブリダイゼーション処理の優位性が確認できた。

文 献

-
- (1) 小野憲次編著：実用表面改質技術総覧，材料技術研究協会（1993）
 - (2) 例としてトーヨーカラー株式会社 ホームページ 等

V. ドリル切削加工における精度向上に関する研究

Study on Accuracy Improvement in Drilling

石澤 剛士

上野 実

金森 直希

ISHIZAWA Tsuyoshi

UENO Minoru

KANAMORI Naoki

羽柴 利直

清水 孝晃

佐山 利彦

杉森 博

HASHIBA Toshinao

SHIMIZU Takaaki

SAYAMA Toshihiko

SUGIMORI Hiroshi

Abstract

High-precision drilling is performed by reaming or boring after drilling. This process takes long machining time. However, high efficiency is required in the production process. Therefore, the drilling method of the non-step and single process is required. In the through hole with 20 mm depth, this high-precision drilling method is developed. However, in the through hole with 60 mm depth, it has not been completed.

In this investigation, a high-precision deep hole drilling method was studied. The cutting force, vibration and the cutting sound in drilling process, were measured. Then the relation between these measurement data and the machining accuracy, such as the roundness and cylindricity of a drilled hole, was examined. Experiments suggested following results. A chattering sound was generated, when the variation of cutting force became more than at least 413.9N. It brought improvement of cylindricity and roundness of the drilled hole to reduce an axial runout of drill.

1. 緒言

製品の品質化や高機能化のため、例えば自動車のエンジンバルブ開閉用ロッカーアームの穴加工など、高精度なドリル切削加工が求められている。

高精度な穴加工は、まずドリルを用いて下穴加工を行い、次にリーマや中ぐりバイトで仕上げ加工を行うのが一般的である。しかし、この方法は2工程を必要とするため、加工時間が長くなるという欠点がある。また、切りくずの切断、排出のためドリルの送りを停止させて引き戻す操作を穴加工中に繰り返すステップ加工は、加工時間がかかるため生産現場の高効率化の視点から避けたい方法とされている。そこで1工程、ノンステップ加工で穴精度を満足する加工技術が求められており、生産現場では既に専用ドリルによって、深さ20mmの貫通穴で実現している。しかし、専用ドリルの形状を変えず、ドリルの長さを変えて深さ60mmの貫通穴を加工すると、穴精度（円筒度10 μ m以下）を満足できない。

そこで本研究では、深さ60mm用ドリルによる高精度加工について検討する。加工時の切削動力、振動、音などの挙動を測定・解析し、この時の加工穴の精度（円筒度、真円度）との関係を調査する。

2. ドリルに作用する切削動力

ドリルによる穴あけ加工時に作用する動力には、スラスト、トルク、刃側方向の荷重、逃げ側方向の荷重の4つの動力が主に作用する。図1に、一般的なツイストドリルの先端形状と各動力の方向を示す。ドリルが回転することから、刃側方向の荷重と逃げ側方向の荷重はワーク側から見ると常に変化することとなる。

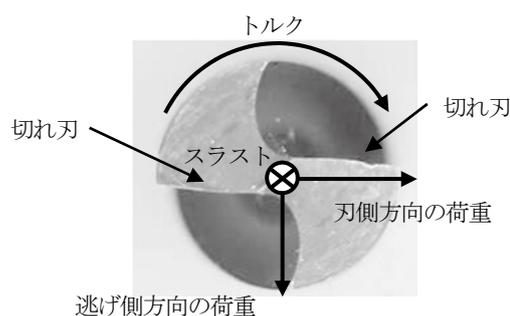


図1 ドリル切削動力

Fig.1. Cutting forces in drilling.

3. 試験概要

< 3. 1 > 使用ツール

使用するツールは、生産現場で実際の加工に使用されている

直刃ドリルとした。図2に一般的な直刃ドリルの写真を示す。ストレート部側面マージンの4点によって穴内壁でドリルが支えられ加工時の振れが抑えられるため、ツイストドリルに比べ円筒度、真円度、表面粗さの向上が期待される。

< 3. 2 > 試験機

図3に示すCNCフライス盤（エンシュウ株製 VF-Center）を使用し、ドリル切削加工を行った。ツールシャンクはBT50で主軸回転数は20~4000rpmである。この主軸に、図4の回転式切削動力計測装置（日本キスラー株製 9123B）を取り付けてドリル切削加工を行った。この動力計は、スラスト荷重、トルクと、X、Y方向にある刃側方向と逃げ側方向の切削動力を測定できる。またドリルと一緒に回転式動力計も回転するため、出力される動力は、ドリルに作用する切削動力となる。

また、フライス盤のテーブルに図5のテーブル式動力計測装置（日本キスラー株製 9257B）を取り付け、この上にワークを固定することで、ワークに作用する切削動力の測定を行った。テーブル式動力計測装置は、スラスト、X、Y方向の荷重を測定できる。

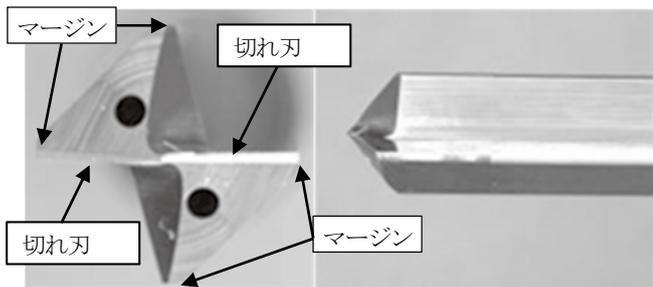


図2 直刃ドリル
Fig.2. Straight blade drill.



図3 CNC フライス盤
Fig.3. CNC milling machine.

4. 実験条件

表1に切削条件を示す。ドリルの芯振れは図6に示すようにドリル肩部をダイヤルゲージで刃側の振れ幅と逃げ側の振れ幅をそれぞれ測定し、振れ幅の大きい方を振れの向きとしその値をドリルの芯振れとした。クーラントは、使用した試験機の制約によって（ドリルのオイルホールを用いず）、外部供給とした。

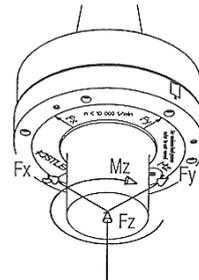


図4 回転式切削動力計測装置
Fig.4. Rotating cutting force dynamometer.

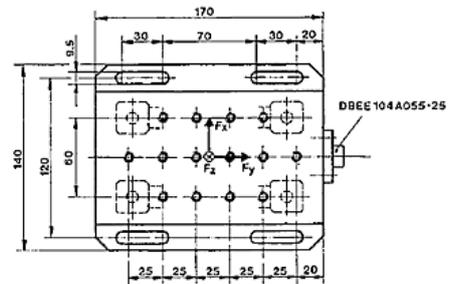


図5 テーブル式動力計測装置
Fig.5. Table type cutting force dynamometer.

表1 切削条件

Table1. Cutting conditions.

工具径	φ17mm
突き出し長さ	100mm(刃長 60mm)
刃数	2 枚刃
ドリルの芯振れ	2~40μm
芯振れ向き	刃側、逃げ側
回転数	4000rpm
送り速度	0.05, 0.10, 0.15, 0.20mm/rev
加工深さ	止まり穴 10mm
クーラント	水溶性加工液 外部供給
被削材	A2017(100mm×100mm×30mm)

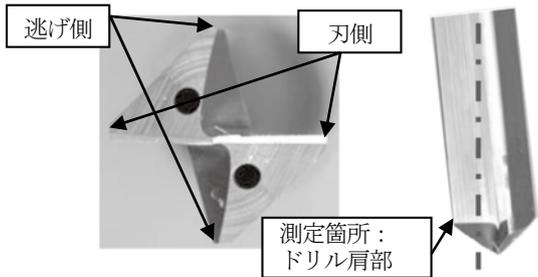
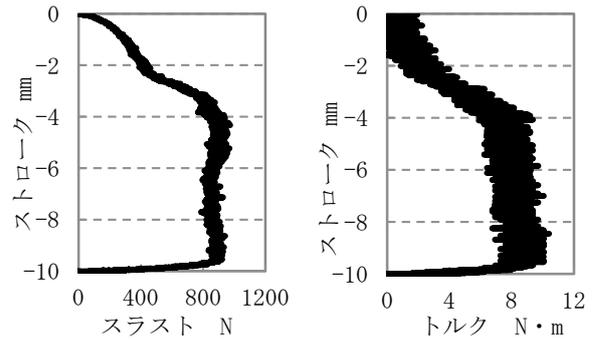


図6 ドリルの測定箇所

Fig.6. Measuring point of drill.



(a) スラスト

(b) トルク

図7 スラストとトルクの切削動力

Fig.7. Thrust force and torque in drilling.

5. 実験結果

< 5. 1 > 加工現象

検討対象のドリルによる加工現象を調べるために加工テストを行った。加工条件は、回転数4000rpm、送り速度0.10mm/revである。ドリルの芯振れは、 $32\mu\text{m}$ で振れ向きは逃げ側方向であった。

図7にドリルに作用するスラストとトルクの切削動力を示す。この図からドリルの肩部まで入る4mm付近まではスラスト・トルク共に動力が上昇し、その後安定することがわかる。

次に、図8に刃側と逃げ側方向の切削動力の変動を示す。ドリルの肩部から徐々に刃側、逃げ側の荷重の変動が大きくなりドリルの肩部が加工穴に入ったあと荷重の変動が徐々に安定している。

図9に加工後の穴の円筒度と真円度の測定結果を示す。円筒度と真円度は、加工穴上端面から深さ0.2mm地点を出発点に1mm間隔で5カ所測定している。円筒度は $14.85\mu\text{m}$ で測定結果の図を見ると穴入口部が広がっていることがわかる。また真円度は穴入口部0.2mm地点で $10.51\mu\text{m}$ で、穴底側の4.2mm地点で $5.87\mu\text{m}$ と穴入口部が大きい値を示している。

これらの事から、刃側・逃げ側方向の切削動力の変動が大きいドリル肩部が進入しはじめる部分が円筒度、真円度に大きく影響を及ぼす傾向にあるため、この部分に注視して検討することとした。

< 5. 2 > ドリルの芯振れとびびり音の関係

穴加工を行うと、ドリルの肩部が穴に入る手前から肩部が穴に入る直後までびびり音が発生する場合がある。そこで、まずびびり音の発生条件を確かめることとした。

図10に、びびり音の有無による刃側と逃げ側の切削動力変化を示す。(a)にびびり音ありの場合の動力変化を示し、(b)にびびり音なしの時の動力変化を示す。びびり音ありの場合、ドリルの肩部が進入しはじめる前から刃側と逃げ側の切削動力が大きく変動しているが、びびり音なしの場合、切削動力の変化は小さいことがわかる。特に、びびり音がある場合は逃げ側の切削動力の変化が

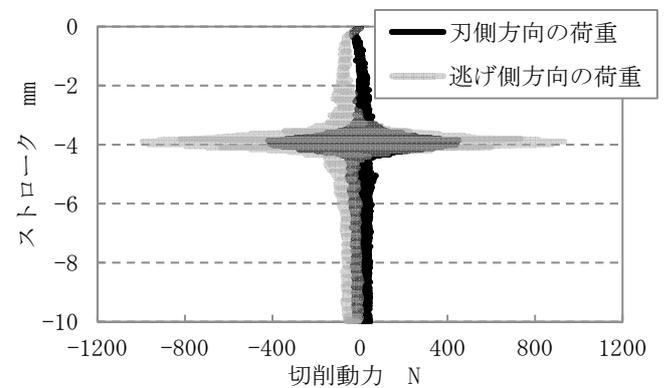


図8 刃側と逃げ側方向の切削動力の変動

Fig.8. Waveform of cutting force.

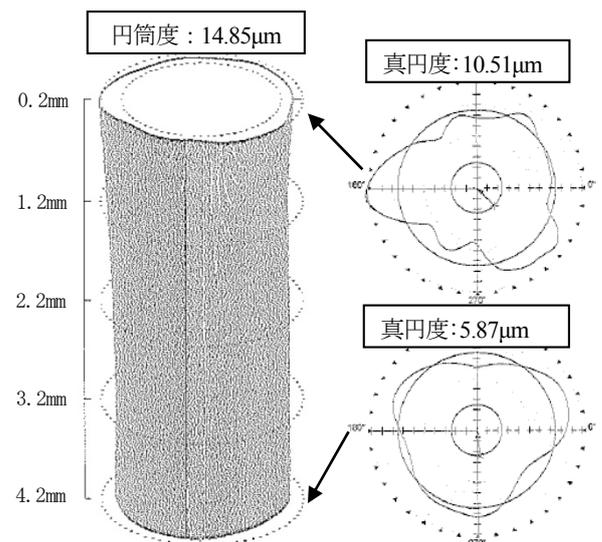


図9 加工穴の円筒度と真円度

Fig.9. Cylindricity and roundness of drilled hole.

顕著である。

このことから次に、逃げ側の切削動力の変動幅を最大値と最小値の差として計算し、びびり音が鳴る時の動力変動の条件を求めた。

図 11 にドリルの芯振れと逃げ側の切削動力変動の関係を示す。○はドリル振れ向きが刃側で、△はドリル振れ向きが逃げ側となっており、それぞれ黒で塗りつぶしたものがびびり音があったものとした。この結果からドリルの芯振れの向きが逃げ側の場合はいずれもびびり音が発生していることがわかる。これは、ドリルが逃げ側に振れている際は、加工穴側面にドリルの逃げ側のマージンが擦れてびびり音が発生しやすい状態になっているためだと考えられる。

また、びびり音は逃げ側切削動力変動が所定の値（この場合、413.9N）以上になると発生するものと考えられる。

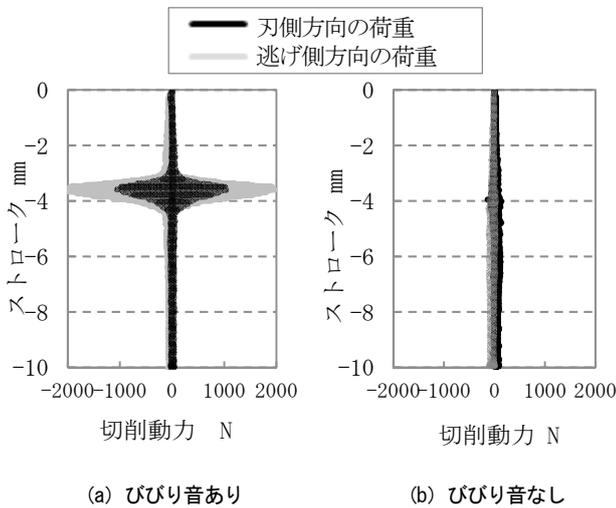


図 10 びびり音有無による刃側と逃げ側の切削動力変化

Fig.10. Waveform of cutting force in drilling

(a) with chattering sound and (b) without chattering sound.

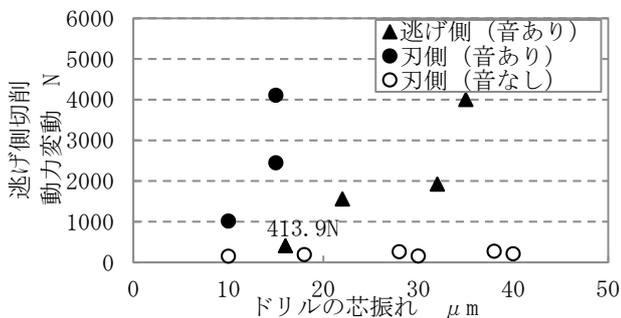


図 11 ドリルの芯振れと逃げ側の切削動力変動の関係

Fig.11. Relationship between runout of drill and variation of cutting force.

< 5. 3 > ドリルの芯振れと精度の関係

図 12 にドリルの芯振れと円筒度の関係を示す。ここで、ドリルの芯振れ $5\mu\text{m}$ 以下の加工データは回転式動力計を外し、通常ホルダーで加工した結果である。この結果より、びびり音が発生したものを除くと、若干のバラつきが見られるものの芯振れが小さくなるにしたがって円筒度が小さくなる傾向にあり、 $25\mu\text{m}$ を下回ったあたりからほぼ横ばい状態にあることがわかる。またドリルの振れ向きが刃側の場合で、びびり音が発生すると顕著に円筒度が悪化することがわかる。

図 13 にワークに作用する X、Y 方向の切削動力の合力（水平合力）と円筒度の関係を示す。ここで、水平合力はワークに作用する切削動力であるため、テーブル式動力計測装置の測定値を使用した。この結果から水平合力が小さくなるにしたがって円筒度が小さい値に収れんされていくように見える。これよりドリルの芯振れを抑えることで、ワークにかかる切削荷重が抑えられ円筒度を良好にするものと考えられる。

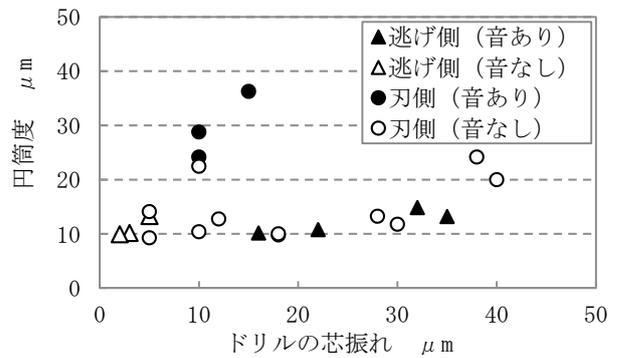


図 12 ドリルの芯振れと円筒度の関係

Fig.12. Relationship between runout of drill and cylindricity of drilled hole.

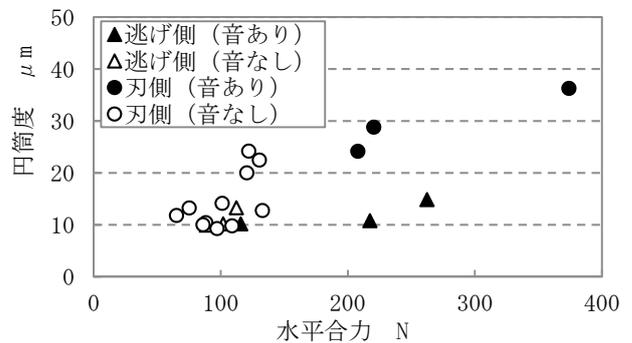


図 13 水平合力と円筒度の関係

Fig.13. Relationship between total horizontal cutting force and cylindricity of drilled hole.

次に、図 14 にドリルの芯振れと穴上端面入口から深さ 0.2mm 地点の真円度の関係を示す。この結果よりドリルの芯振れを 10 μ m 未満に抑えるとバラつきも少なく 10 μ m 未満の真円度でできることがわかる。

図 15 に水平合力と穴上端面から深さ 0.2mm 地点の真円度の関係を示す。この結果から水平合力が小さくなると真円度のバラつきが少なくなり小さくなる傾向にあることがわかる。このことからドリルの芯振れを抑えることで、ワークにかかる水平方向の切削荷重が抑えられ、真円度が良好になると考えられる。

よってドリルの芯振れを抑えることで、円筒度・真円度共に改善できることがわかった。

< 5. 4 > 送り速度と穴精度の関係

図 16 に送り速度と円筒度の関係を示す。ドリルの芯振れを 16 μ m で芯振れ向きを刃側とした。また回転数を 4000rpm 一定とし、送り速度 0.05~0.20mm/rev で加工実験を行った。その結果、送り速度 0.10~0.20mm/rev では、円筒度にあまり影響を与えず、ほぼ一定の結果となった。しかし、送り速度 0.05mm/rev では円筒度のバラつきが大きくなり、0.15mm/rev 以上ではバラつきが小さくなるように見える。

次に、図 17 に送り速度と水平合力の関係を示す。水平合力も円筒度と同様に、送り速度 0.10~0.20mm/rev の間では、切削動力への影響はほとんどなく、ほぼ一定となった。しかし、送り速度 0.05mm/rev では大きく切削動力がばらついている。

図 18 に送り速度別の切りくずの観察写真を示す。この観察写真より、送り速度が 0.10~0.20mm/rev までは概して排出性の良い切りくずとなっているが、送り速度 0.05mm/rev の切りくずは、薄いかんな屑のような連続型の排出性の悪い切りくずとなっていることがわかる。

図 19 に送り速度と穴上端面からの深さ 0.2mm 地点の真円度の関係を示す。この結果より、送り速度による真円度への影響はあまり見られないといえる。ただし送り速度 0.20mm/rev では若干真円度のバラつきが小さいように見える。

以上のことから、送り速度を大きくすることで円筒度と穴入口近傍の真円度のバラつきを抑える効果が期待できると考える。

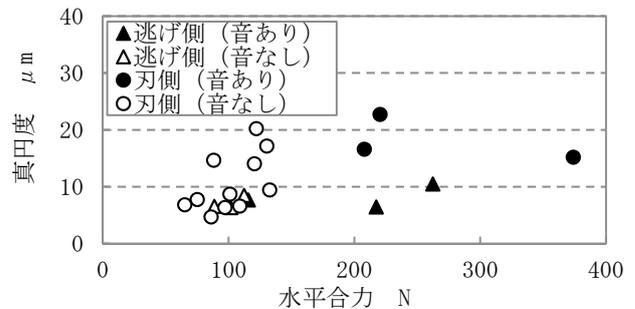


図 15 水平合力と 0.2mm 地点の真円度の関係

Fig.15. Relationship between total horizontal cutting force and roundness of drilled hole.

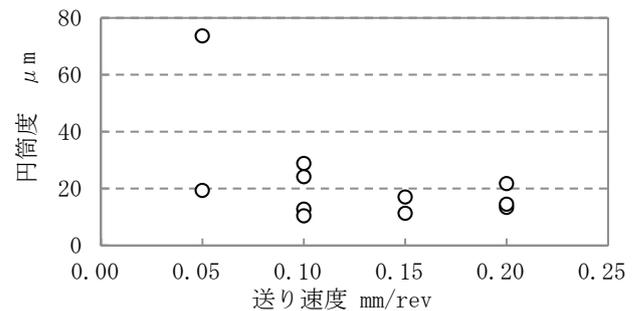


図 16 送り速度と円筒度の関係

Fig.16. Relationship between feed speed and cylindricity.

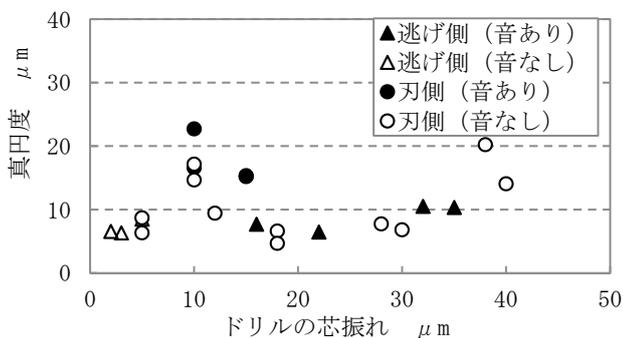


図 14 ドリルの芯振れと 0.2mm 地点の真円度の関係

Fig.14. Relationship between runout of drill and roundness of drilled hole.

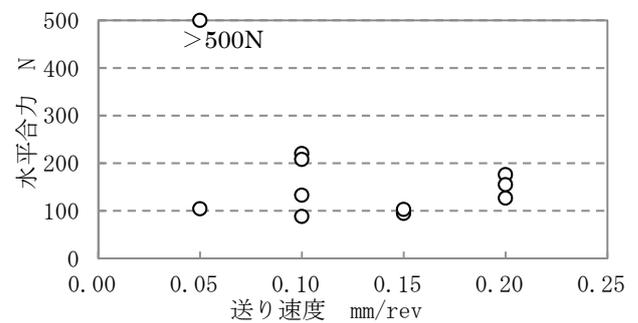


図 17 送り速度と水平合力の関係

Fig.17. Relationship between total horizontal cutting force and feed speed.

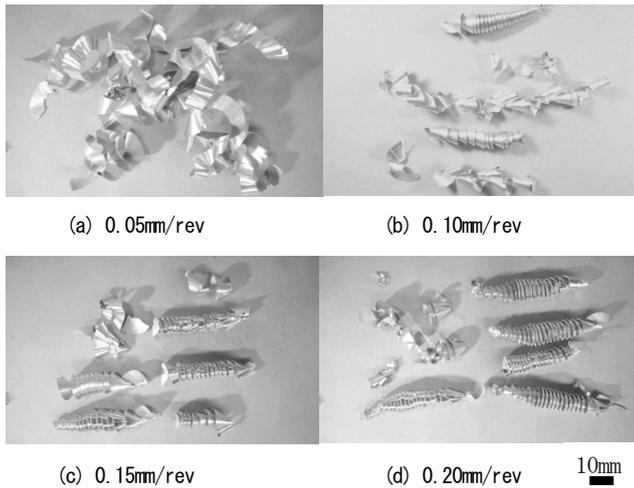


図18 送り速度別の切りくずの観察写真

Fig.18. Photographs of chips in different feed speed.

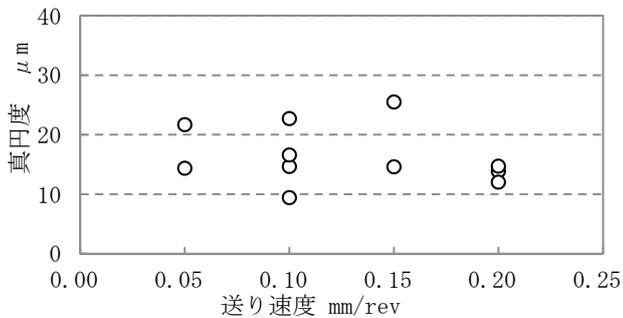


図19 送り速度と0.2mm地点真円度の関係

Fig.19. Relationship between feed speed and roundness.

< 5. 5 > びびり音の解析

加工中のびびり音の周波数解析を行った。図20にびびり音の周波数解析結果を示す。この結果より、463Hzと603Hzにピークが見られ、主にこの2つの周波数によってびびり音が形成されていることがわかった。

次に、びびり音の発生源を調査するために、主軸に取り付けた状態で、主軸を含む系におけるドリルの固有振動数の解析を行った。加速度ピックアップ(ダイトラン社製3101BG)をドリル根元に取り付け、インパルスハンマ(ダイトラン社製HB5800A4)でドリルの刃先を加振し伝達関数を測定した。図21にびびりの振動方向である切れ刃と直角方向のドリルの固有振動数の解析結果を示す。固有振動数は467.5Hzで、びびり音を形成する1つの周波数463Hzに近い値を示した。このことから、びびり音を形成する2つの周波数のうち1つは主軸に取り付けたドリルの固有振動数に起因していると考えられる。

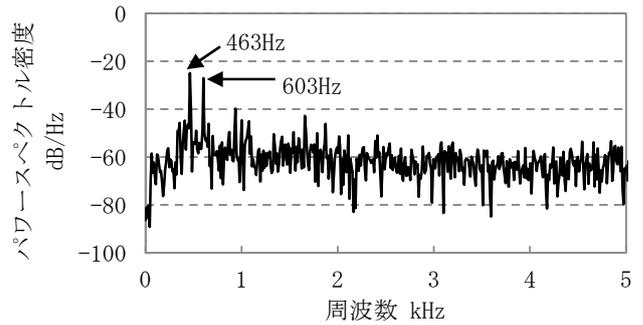


図20 びびり音の周波数解析結果

Fig.20. Frequency analysis of chattering sound.

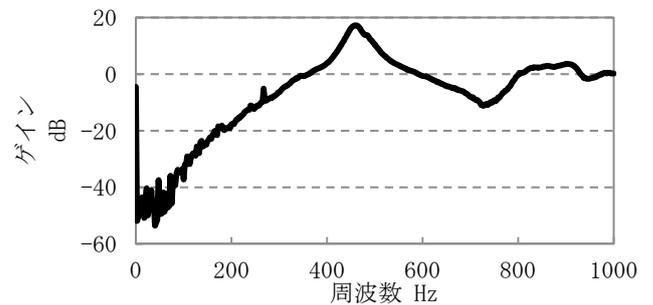


図21 主軸に取り付けたドリルの固有振動数解析結果

Fig.21. Natural frequency analysis of drill.

< 5. 6 > 振動解析に基づく加工条件の検討

切削加工の際、発生するびびり振動には、切りくず厚さの変動が加振力となり発生する再生びびりがある。これは、先に切削した際にびびりのために残された起伏を、次の切削時に位相がややずれて倣いながら削るため発生するものである。図22に再生びびりが生じる状況を示す。これを抑制するために適正な主軸回転速度を選択して、切りくず厚さを一定にする方法が提案されている⁽¹⁾。この手法は中ぐり加工やフライス加工に適用されている。加工時に発生する周期的なびびり振動によって切りくず厚さが変動する場合、たえずその切りくず厚さを一定にすればこれを抑制できる。このため、このびびり振動と主軸の回転が位相ずれの無い条件を選べば、振動を抑制できることになる。ここでは、この方法に基づいて(主軸に取り付けた状態の)ドリルの固有振動数をもとに主軸回転数を決め、その条件によるドリル加工を試みた。具体的には、主軸が1回転したらドリルがn回びびり振動をおこすよう、主軸回転数を設定する。

これは下記の式で表される。

$$\text{主軸回転数 (rpm)} = \frac{\text{固有振動数 (Hz)} \times 60}{2(\text{枚刃}) \times n}$$

実験では、加工毎に主軸に取り付けたドリルの固有振動数を測定しており、上記計算式において加工機の上限の回転数を考慮して、 $n=4$ として主軸回転数を算出した。またドリルの芯振れを $16\mu\text{m}$ 、振れ向きを刃側とし、送り量を 0.20mm/rev とした。

図23に回転数と円筒度の関係を示す。○で囲ってあるデータが固有振動数から回転数を導いたときの加工結果である。バラつきがあるものの、(本研究における目標値)円筒度 $10\mu\text{m}$ 以下となる結果も見られ、本手法による円筒度改善の可能性を示している。

図24に安定限界線図の一例を示す。横軸は主軸回転速度で縦軸は切込み量としている。図ではびびり振動の発生する条件を不安定領域、発生しない条件を安定領域としている。主軸回転速度が大きくなるにしたがって安定領域の回転速度の許容範囲が広くなり、切込み量も大きくできることから、高能率加工に有効な手法とされている。実験で検討した回転速度は低速域であり、高速域に比べて安定領域の条件範囲が狭くなることが想定され、これが本実験結果のバラつきの一因と考えられる。

図25に同一回転数 $3,640\text{rpm}$ で図23における円筒度 $10\mu\text{m}$ 以下のNo.1と $10\mu\text{m}$ を超えるNo.2の条件で加工した時の水平合力の波形を示す。円筒度の改善が見られないNo.2では、びびり振動が発生する加工位置近傍でNo.1の水平合力より大きい値を示しており、びびり振動抑制の可能性が見られる。

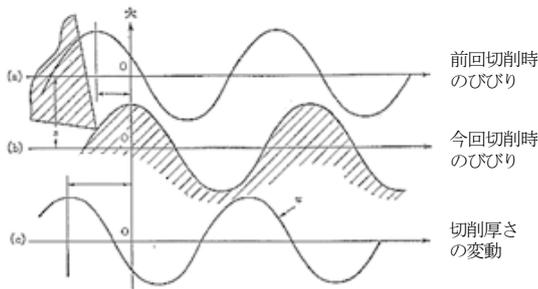


図22 再生びびりが生じる状況²⁾

Fig.22. Schematic image of regenerative chatter.

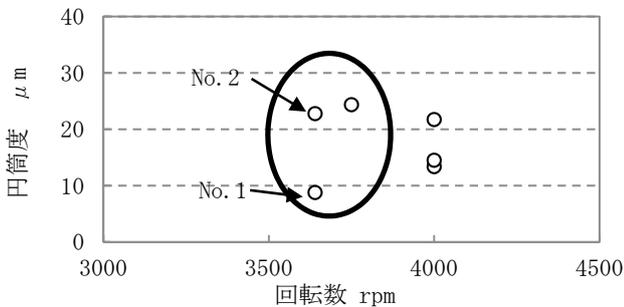


図23 回転数と円筒度の関係

Fig.23. Relationship between rotational speed and cylindricity.

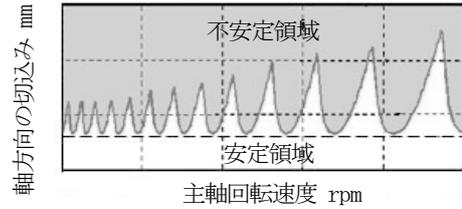


図24 安定限界線図一例³⁾

Fig.24. An example of stability limit diagram for cutting.

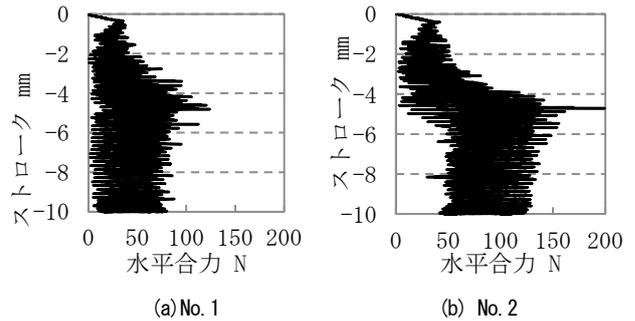


図25 水平合力の生波形

Fig.25. Waveform of total horizontal cutting force.

6. 結言

直刃ドリルを使用したドリル切削加工を対象として加工実験を行い、穴精度の円筒度、真円度に影響を与える因子の検討を実施した。その結果、以下のことがわかった。

- (1) びびり音は逃げ側の切削動力変動が少なくとも 413.9N 以上になると発生する。
- (2) ドリルの芯振れを抑えると、円筒度・真円度に減少効果が得られる。
- (3) 送り速度 0.05mm/rev では、切りくずの排出性が悪くなり円筒度のバラつきが大きくなると考えられる。
- (4) 送り速度を大きくすることで、円筒度、真円度のバラつきを抑えられる。
- (5) びびり音は機上ドリルの固有振動数に起因した成分が含まれていると考えられる。
- (6) 機上ドリルの固有振動数から再生びびり抑制効果の見込まれる主軸回転数を算出し、この条件で加工を行った。その結果、びびり振動の抑制や円筒度の改善の可能性を確認できた。

文献

- (1) 野波健蔵、江口悟司 他、制御の事典、(2015)pp307-311、朝倉書店。
- (2) 星鐵太郎、びびり現象-解析と対策、(1977)p19、工業調査会
- (3) 安藤知治、「加工ナビ」を用いた加工能率の向上、機械と工具、54(1)、(2010)pp73-77。

VI. アルミ缶内面の腐食防食評価技術の高度化

Improvement of Evaluation Method for Corrosion and Corrosion Resistance of Inner Side of Aluminum Can

筒井 英明 本保 栄治 羽柴 利直
TSUTSUI Hideaki HONBO Eiji HASHIBA Toshinao
坂井 雄一 高田 耕児 土肥 義治
SAKAI Yuichi TAKATA Koji DOI Yoshiharu

Abstract

The inner side of Aluminum Can has coated for the purpose of resisting corrosion. The corrosion resistance is investigated by preserving tests at present. But it is problem that we take a lot of time for the evaluation and are not able to evaluate the beginning of corrosion. And the mechanism of the corrosion of coated Aluminum is not investigated sufficiently.

In this study, forms of corrosion are observed with sorts of coatings and contents, and the corrosion resistance are investigated quantitatively by electrochemical measurement. Further we are going to improve the evaluation method by comparing practical tests. This time we measured impedance of inner side of Aluminum can after preserving test by AC impedance method, then evaluated quantitatively corrosion and corrosion resistance by an equivalent circuit model of corrosion. It's possible to catch a change inner side of aluminum can by AC impedance method as a result of the study.

1. 緒言

アルミ容器は軽く、内容物のバリアー性、容器のリサイクル性に優れており、様々な用途で使用されている。アルミ容器の種類として、消臭剤や家庭用品等に使用されているアルミアゾール缶、医薬品や染毛剤等に使用されているアルミチューブ、ビールやジュース等に使用されているアルミ飲料缶がある。

アルミ容器の外側は多様なデザインで加飾されており、塗装によりコーティングされていることが瞬時に分かるが、アルミ容器の内側にも、多様な内容物からの容器の保護を目的とした塗装が施されている。

消費者や飲料メーカー、化粧品メーカーなどのユーザーニーズの多様化に伴い、充填される内容物の液性も様々なものとなり、また、容器に要求される耐食性もますます厳しいものとなっている。このため、アルミ容器が新規の内容液に耐え得るか確認する作業がこれまで以上に重要となっている。

一般的に新規内容液に対する容器の耐内容物性を確認する方法として保存試験を実施しており、試験の結果が分かるまでには数カ月間という長い期間が必要となる。また、新たな内面塗料や洗浄剤を採用する場合も、モデル液を使用した同様の保存試験を実施しており、評価の迅速化が望まれている。

腐食の評価を手軽に、かつ迅速、高感度で行う方法として、電気化学的測定法があり、特に塗装された鋼板への適用例として、交流インピーダンス法が有用であることが知られている⁽¹⁾⁽²⁾。ま

た、アルミへの適用例としては、プレコートアルミの絞り加工前後の耐食性を塩水噴霧試験の結果と交流インピーダンス法の評価との相関が研究されているが、まだ少ないのが現状である⁽³⁾。本方法を塗装したアルミの腐食の初期段階での評価に適用できれば、高感度でかつ、評価の迅速化が期待される。

そこで、まず種々の進行状態のアルミ容器の腐食サンプルを保存試験で作製し、形態観察より腐食の進行状況を観察した。特に、腐食初期の状態を電気化学測定（交流インピーダンス法）により定量化し、進行状況との相関を検討することにより、塗装されたアルミ容器内面評価の高感度かつ迅速化を目的とした。あわせて、種々の観察法や分析法を用いて、腐食の進行との関連を調査した。

2. 実験方法

< 2. 1 > 保存試験条件

腐食サンプルを作製するために、モデル液による保存試験を実施した。アルミ容器にモデル液を充填し、バルブをクリンチャーでクリンチし保存試験を行った。試験条件は以下の通りである。

- ・容器：アルミアゾール缶 (φ45)
- ・素材：A1070
- ・内面塗料：エポキシ系、及びポリアミドイミド（以後 PAI）系
- ・内容液：モデル液 2 種

【モデル液1】クエン酸6%+塩化ナトリウム1%+界面活性剤0.5%

【モデル液2】1規定塩酸

- ・温度：45°C、65°C、120°C
- ・期間：1時間～4週間（1H～4W） 温度条件により異なる
- ・腐食評価方法：目視評価

＜2. 2＞ 交流インピーダンス測定

アルミ容器内面の変化を捉えるために、交流インピーダンス法を適用した。まず交流インピーダンス法について紹介する^{(4),(5)}。交流インピーダンス法とは、広い周波数域の測定により、交流信号に対する電極の応答から電極反応機構を解析する測定方法である。

交流インピーダンス測定装置の図及び写真を図1に示す。交流インピーダンス測定装置のセルは試料極、対極、参照極の三極で構成され、セルはポテンシオスタット（Solartron社 SI1287）と接続されている。電極の電気化学的な制御はポテンシオスタットで行う。さらに、ポテンシオスタットに接続されたFRA（周波数応答解析装置）（Solartron社 SI1260）により電位、電流信号から交流インピーダンスが計算される。このようにして交流インピーダンス測定を実施する。

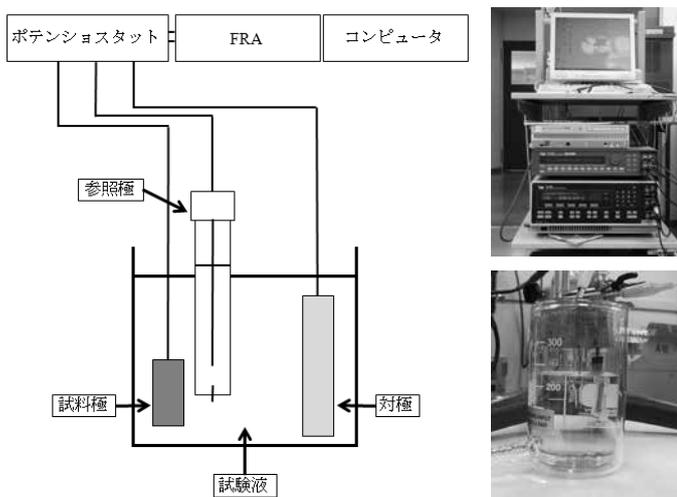


図1 交流インピーダンス測定装置の図及び写真

Fig.1. Schematic view and photographs of the AC impedance equipment.

試料極の写真を図2に示す。試料極は銅線を塗膜付きアルミ板の下地部分と接触させ、それを導電性のあるカーボンテープで上から接着した。また、2cm×2cmの4cm²の内面塗膜部分を残しエポキシ塗料でマスキングを行い、4cm²以外の部分を絶縁した。試料極に使用されるサンプルは、腐食サンプルの作製にて作製したサンプルを用い、各水準について試料極を作製し、交流インピー

ダンス測定を行った。測定条件は以下の通りである。

- ・保存試験未実施サンプル、45°C及び65°C保存試験後のサンプル
- ・参照極：銀塩化銀（Ag/AgCl）電極
- ・対極：白金（Pt）電極
- ・試験液：塩化ナトリウム水溶液（3mol/l）
- ・周波数：1MHz～0.1Hz
- ・振幅：10mV
- ・1水準につき3回測定実施
- ・データは原則として3回目のデータを使用

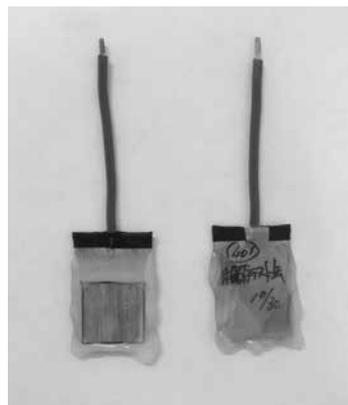


図2 試料極の写真

Fig.2. photograph of a specimen electrode.

次に、交流インピーダンス法における測定の例を図3に示す。交流インピーダンス測定の結果は、縦軸がインピーダンスZの虚数部Z^{''}、横軸がインピーダンスZの実数部Z[']で表されるナイキスト線図と、縦軸がインピーダンスの絶対値|Z|及び位相差θ、横軸が周波数で表されるボード線図によって示される。

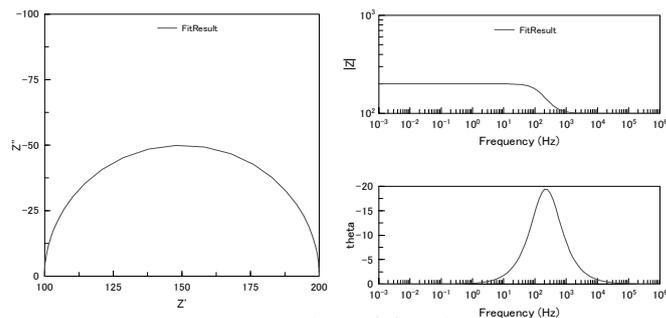


図3 ナイキスト線図及びボード線図

Fig.3. Nyquist plot and Bode plot.

交流インピーダンス測定の解析は、その系で起こっている現象を等価回路に置き換えて行うものである。溶液と金属電極の系に等価回路を想定した例を、図4に示す。

等価回路の抵抗や静電容量を変更していくことで、交流インピー

ーダンス測定の結果にフィッティングさせていき、各々の要素に分離していくことが可能である。

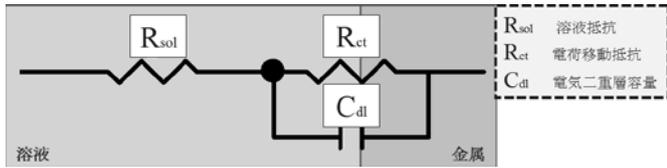


図4 溶液と金属電極の系における等価回路例

Fig.4. Example of the equivalent circuit.

< 2. 3 > 保存試験による内面変化の観察・分析

(1) アルミ板の表面組成状態分析

アルミアゾール缶に使用されているアルミ板を各条件にて表面処理し X 線光電子分光分析装置 (XPS) (アルバック・ファイ株式会社 Quantum2000) を用い、表面の組成状態を分析した。表面処理の各条件は以下の通りである。

条件 1 : 未処理 (内面塗装実施前の状態)

条件 2 : 1 規定水酸化ナトリウム水溶液 30 秒 + 濃硝酸 1 時間

条件 3 : 1 規定水酸化ナトリウム水溶液 30 秒 + 濃硫酸 1 時間

(2) ブリスター発生箇所の観察

サンプルに発生していたブリスターという腐食による塗膜の膨らみについて、マイクロSCOPE(株式会社KEYENCE VHX-1000)及び非接触表面形状測定機 (Zygo 社 New View 7300) を用い、表面観察を行った。また、ブリスターについて試料断面作製装置(株式会社日立ハイテクノロジーズ E-3500)及び走査型電子顕微鏡 (SEM) (日本電子株式会社 JSM-6610LA) を用い、断面観察を行った。

(3) 塗膜付きアルミ板の表面組成状態分析

保存試験未実施のサンプルと 45°Cにおける保存試験後のサンプルを、蛍光 X 線分析装置 (XRF) (株式会社リガク ZSX Primus II) 及びグロー放電発光分析装置 (GDS) (株式会社リガク GDA750) を用い、表面組成状態を分析した。

3. 実験結果と考察

< 3. 1 > 目視観察

選定したモデル液 2 種がアルミアゾール缶を腐食させることができるかを確認するために、保存試験を 120°C・1 時間において実施した。120°C・1 時間における保存試験後の目視評価結果を表 1 に示す。この条件ではエポキシ系内面のサンプルがモデル液 1 (クエン酸) 及びモデル液 2 (塩酸) 共に、腐食やブリスター等の異常が発生していた。PAI 系内面のサンプルは異常がなかった。また、両内面塗料のサンプルとも蒸留水に対しては異常が見られなかった。このことより、モデル液 2 種はアルミアゾール缶に

対して腐食性のある内容物であることが確認された。

表 1 120°C・1 時間における保存試験後の目視評価結果

Table1. Result of visual evaluation after the preservation test in 120°C・1hr.

○ : 異常なし			
内面	モデル液1 (クエン酸)	モデル液2 (塩酸)	蒸留水
エポキシ	内面剥離、ブリスター	腐食、ブリスター	○
PAI	○	○	○

次に、交流インピーダンス法を用い、腐食の初期段階を捉えるために、異常が発生する前段階のサンプルを採取できるように保存試験の条件を緩和し、保存試験の期間を 1 週間ごと 4 週間まで、温度を 45°Cにおいて実施した。45°Cにおける保存試験後の目視評価結果を表 2 に示す。この条件では内容液モデル液 2 (塩酸) の PAI 系内面が 1 週間、エポキシ系内面が 2 週間、内容液モデル液 1 (クエン酸) の PAI 系内面が 3 週間で何らかの異常が発生している。内容液モデル液 1 (クエン酸) のエポキシ系内面は 4 週間で異常なしとなっている。これより、異常が発生する前の段階のサンプルを採取することができた。

表 2 45°Cにおける保存試験後の目視評価結果

Table2. Result of visual evaluation after the preservation test in 45°C.

○ : 異常なし					
内容液	内面	1W	2W	3W	4W
モデル液1 (クエン酸)	エポキシ	○	○	○	○
	PAI	○	○	底部ブリスター	側部ブリスター 底部ブリスター
モデル液2 (塩酸)	エポキシ	○	底部ブリスター多	底部ブリスター多	底部ブリスター多
	PAI	側部ブリスター 底部ブリスター多	側部ブリスター多 底部ブリスター多	側部ブリスター多 底部ブリスター多	側部ブリスター多 底部ブリスター多

次に、1 日間という短い保存試験期間で異常が確認できるような保存試験の条件を検討し、温度を 65°Cにおいて実施した。65°Cにおける保存試験後の目視評価結果を表 3 に示す。この条件では内容液モデル液 2 の PAI 系内面で異常が発生している。その他の条件では異常なしとなっている。これより、1 日間という短い期間で、異常が発生することが確認できた。

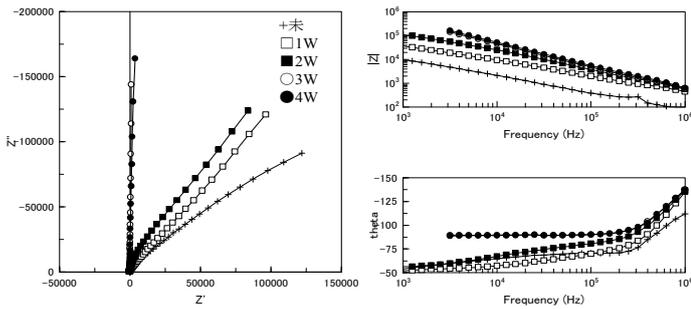
表 3 65°C・1 日間における保存試験後の目視評価結果

Table3. Result of visual evaluation after the preservation test in 65°C・1day.

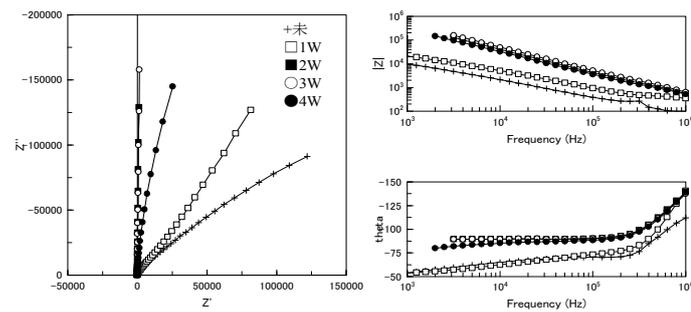
○ : 異常なし		
内面	モデル液1 (クエン酸)	モデル液2 (塩酸)
エポキシ	○	○
PAI	○	底部ブリスター

< 3. 2 > 交流インピーダンス測定

45°Cにおける保存試験を行ったサンプルを用い、交流インピーダンス測定を実施した結果を図 5、6 に示す。



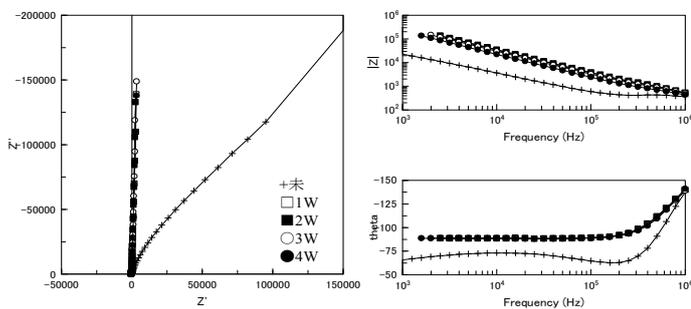
(a)モデル液 1(クエン酸)



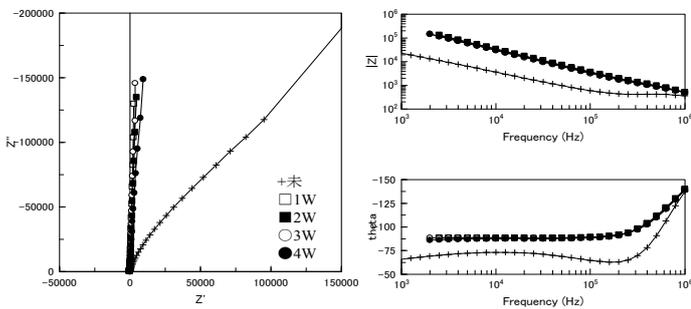
(b)モデル液 2(塩酸)

図5 保存試験 45°Cエポキシ系内面交流インピーダンス測定結果

Fig.5. Result of AC impedance on epoxy after the preservation test in 45°C.



(a)モデル液 1(クエン酸)



(b)モデル液 2(塩酸)

図6 保存試験 45°CPAI系内面交流インピーダンス測定結果

Fig.6. Result of AC impedance on PAI after the preservation test in 45°C.

図5より、内容液モデル液1(クエン酸)、エポキシ系内面の結果は、保存試験の経時期間が長くなるにつれてインピーダンスが上昇している。内容液モデル液2(塩酸)、エポキシ系内面の結果においても、保存試験の経時期間が長くなるにつれてインピーダンスが上昇している。

図6より、内容液モデル液1(クエン酸)、PAI系内面の結果は、保存試験前よりも1週間でインピーダンスが上昇している。内容液モデル液2(塩酸)、PAI系内面の結果においても、保存試験前よりも1週間でインピーダンスが上昇している。

保存試験 45°C目視評価結果と交流インピーダンス測定結果の比較の表を、表4に示す。表4より、保存試験により内面塗膜にダメージが与えられると、インピーダンスが上昇する傾向が見られた。内容液モデル液1(クエン酸)のエポキシ系内面では、目視評価において異常がないにもかかわらず、インピーダンスが上昇している。これは目視評価において捉えることのできない変化を確認できたと考えられる。

表4 保存試験 45°C目視評価結果と交流インピーダンス測定結果

Table4. Result of visual evaluation and AC impedance after the preservation test in 45°C.

内容液	内面	1W	2W	3W	4W	交流インピーダンスの傾向
モデル液1 (クエン酸)	エポキシ	○	○	○	○	経時と共にインピーダンスが上昇。
	PAI	○	○	底部プリスター多	底部プリスター多	1Wより大きく上昇。
モデル液2 (塩酸)	エポキシ	○	底部プリスター多	底部プリスター多	底部プリスター多	経時と共にインピーダンスが上昇。 2Wより大きく上昇。
	PAI	底部プリスター多	底部プリスター多	底部プリスター多	底部プリスター多	1Wより大きく上昇。

○: 異常なし

今回の交流インピーダンス測定の系において想定した等価回路を図7に示す。保存試験による塗膜の欠陥を想定して、塗膜の電気容量として不均一性パラメーターCPE_fを導入した。CPE_fとは、コンデンサー表面の粗さの影響により、コンデンサーと抵抗の両成分を持つ要素である。

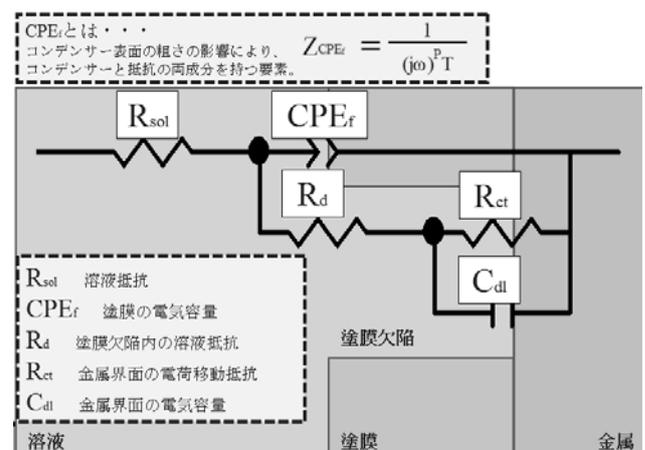


図7 想定した等価回路の詳細

Fig.7. Assumed equivalent circuit.

保存試験未実施のサンプルと 45°Cにおける保存試験において目視評価では異常がなかったものの、交流インピーダンス測定では経時と共にインピーダンスが上昇していた内容液モデル液 1 (クエン酸)、エポキシ系内面の交流インピーダンス測定結果に先ほどの等価回路を用いてフィッティングを行った結果を、図 8 に示す。保存試験未実施のサンプルと保存試験 1 週間のデータを例として示したが、目視で腐食やブリストー等の異常が発見できなかった 4 週間保存試験したいずれのサンプルも、想定した等価回路を用いてフィッティングすることができた。しかし、高周波側ではずれが生じている。

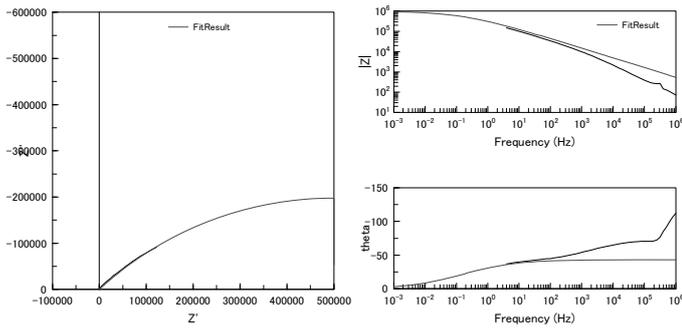
いている。次に、モデル液 1 (クエン酸)、モデル液 2 (塩酸) の PAI 系内面の結果は、1 週間で CPE 指数 P が 1 に近づいている。

表 5 等価回路フィッティングまとめ

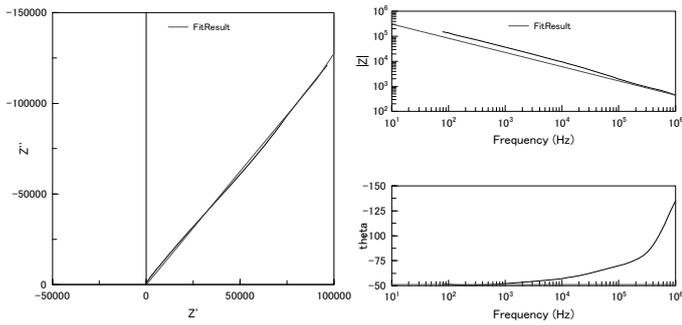
Table5. Summary of the fitted equivalent circuit.

	R_{so1}	R_d	R_{ct}	C_{dl}	$CPE_f T$	$CPE_f P$
0W	0	1.0E+06	0	0	1.0E-06	0.48
1W	0	0	0	0	3.0E-07	0.57
2W	0	0	0	0	5.0E-08	0.62
3W	0	0	0	0	4.0E-10	0.99
4W	0	0	0	0	3.0E-10	0.99

次に、保存試験未実施のサンプルと 65°C・1 日間における保存試験後のサンプルを用い、交流インピーダンス測定を実施した結果を図 9 に示す。1 日間という短い試験期間であったが、内容液モデル液 1 (クエン酸)、モデル液 2 (塩酸) のエポキシ系内面、PAI 系内面共にインピーダンスが上昇しており保存試験前とは変化していた。



(a)保存試験前



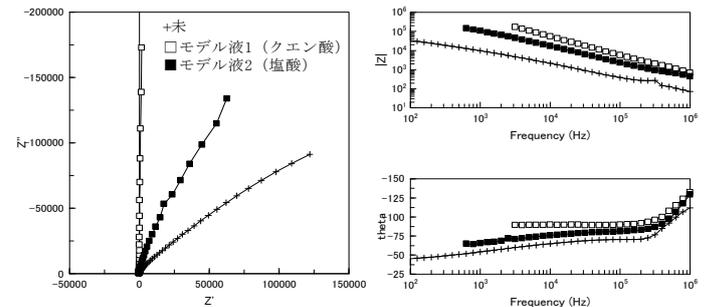
(b)モデル液 1(クエン酸)、エポキシ系内面保存試験 45°C・1 週間

図 8 等価回路フィッティング結果

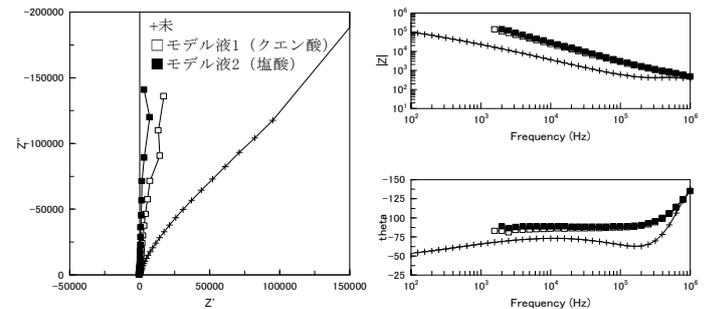
Fig.8. Fitted results of the equivalent circuit.

等価回路フィッティングのまとめを、表 5 に示す。等価回路フィッティングの結果より、塗膜面に対して溶液抵抗はほとんどないと考えられ、系の溶液選択は妥当であると考えられる。また、経時と共に CPE 定数 T 及び CPE 指数 P が変化していた。CPE 指数 P が 1 に近づいていくので、性質として抵抗成分よりもコンデンサー成分に近づいているものと考えられる。また、経時と共に CPE 定数 T が低下しているということは、塗膜の誘電率が低下し絶縁性が高まっているものと考えられる。

また、他の保存条件においても等価回路フィッティングを行うことができた。モデル液 2 (塩酸) のエポキシ系内面の結果は、モデル液 1 (クエン酸) の結果よりも早く CPE 指数 P が 1 に近づ



(a)エポキシ系内面



(b)PAI 系内面

図 9 保存試験 65°C・1 日間交流インピーダンス測定

Fig.9.Result of AC impedance on epoxy after the preservation test in 65°C・1day.

アルミの表面処理によるインピーダンスへの影響を確認した。アルミの表面処理の違いによる酸化膜の形成状態を確認するために、表面処理が異なるアルミ板を XPS で表面の組成状態を分析し

た。表面処理の条件は以下の通りである。

条件1：未処理（内面塗装実施前の状態）

条件2：1 規定水酸化ナトリウム水溶液 30 秒+濃硝酸 1 時間

条件3：1 規定水酸化ナトリウム水溶液 30 秒+濃硫酸 1 時間

アルミ板の深さ方向における酸素の分布の結果を、図 10 に示す。エッチングレートは 4.2mm/min（シリカ換算）となっており、図 10 より、アルミ板表面の酸化膜の厚さが、濃硫酸で薄く、濃硝酸では厚くなっていることがわかる。

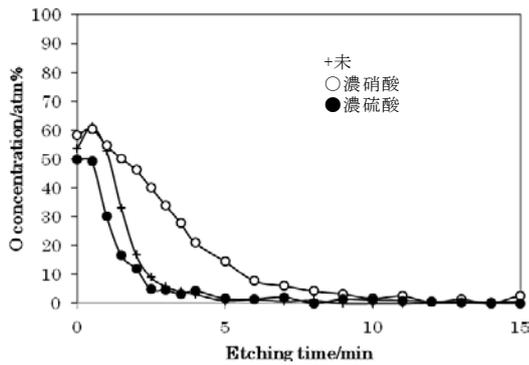


図 10 アルミ板の深さ方向における酸素の分布
Fig.10. Depth profile of O element in Al sheet.

次に、アルミの表面処理の違いによって、インピーダンスに違いが見られるか確認するために、表面処理の異なるアルミ板の交流インピーダンス測定を実施した。今回の測定では、測定が安定しなかったため、全て 1 回目の結果を採用している。表面処理の条件は、XPS 分析時と同条件である。

表面処理の異なるアルミ板の交流インピーダンス測定の結果を、図 11 に示す。各条件の交流インピーダンス測定の結果にほとんど差異は認められなかった。

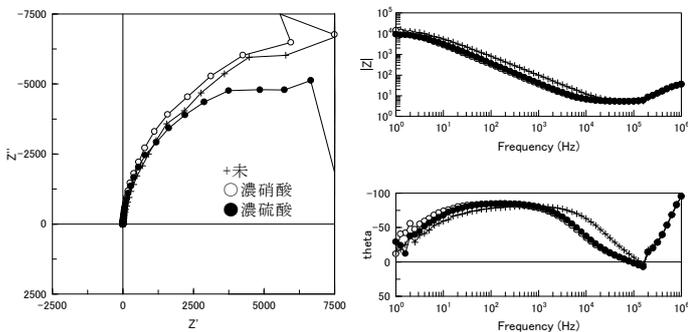


図 11 アルミの表面処理試験の交流インピーダンス測定

Fig.11. Result of AC impedance on Al sheet after the surface treated test.

図 10 の XPS の分析結果と合わせて考えると、アルミ表面の状態が異なっても、交流インピーダンス測定に及ぼす影響は少ないものと考えられる。よって、交流インピーダンス測定によって得られる結果は、塗膜の状態の変化を表しているものと考えられる。

< 3. 3 > 保存試験による内面変化の観察・分析

120°C・1 時間、内容液モデル液 2（塩酸）、エポキシ系内面のサンプルに発生していたブリストアについて、顕微鏡で撮影した画像を図 12 に示す。

顕微鏡画像より、ブリストア発生箇所は円形になっており、円の中心が隆起しているようにも見える。また、ブリストア発生箇所の外周部は塗膜とアルミの下地が剥離している部分としていない部分が混在しているように見える。

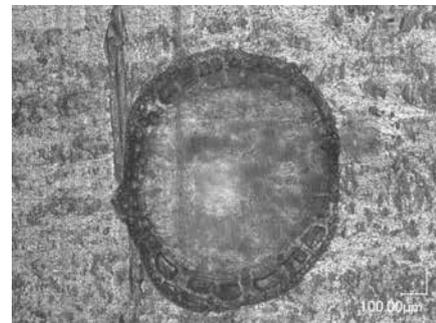


図 12 ブリストア発生箇所の顕微鏡画像(×200)
Fig.12. Microscope photograph of a blister place.

次に、非接触表面形状測定機で測定した結果を図 13 に示す。図 13 より、円の中心部が隆起しており、円の外周部に向かって下がってきていることがわかる。また、隆起している部分の内側は、図 12 の顕微鏡画像より内面塗膜の後ろにアルミ下地が透けて見えるが、隆起していないところに比べるとくすんでおり、空間もしくは物体がある可能性が考えられる。これは内面塗膜とアルミ下地の間で腐食が進行し、腐食により発生したガスや腐食生成物により内面塗膜が隆起し、空間ができたものと考えられる。

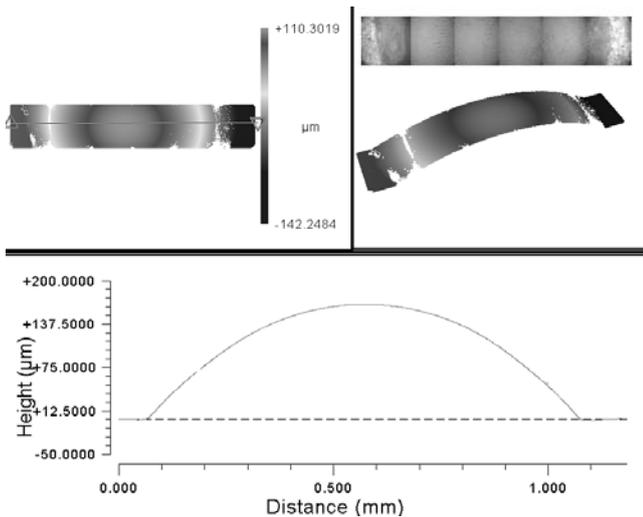


図 13 ブリスター発生箇所の表面形状測定結果

Fig.13. Surface shapes of a blister place.

次に、腐食していないサンプル及びブリスターが発生したサンプルの周囲をエポキシ樹脂で固め、試料断面作製装置を用いて断面試料を作製し SEM 観察を実施した。内面塗膜とアルミ界面の腐食していない通常部の SEM 画像を図 14 示す。

内面塗膜とアルミ界面の SEM 画像より、上からサンプル作製のために使用したエポキシ樹脂、次に内面塗膜、最後にアルミ下地の状況が確認できる。

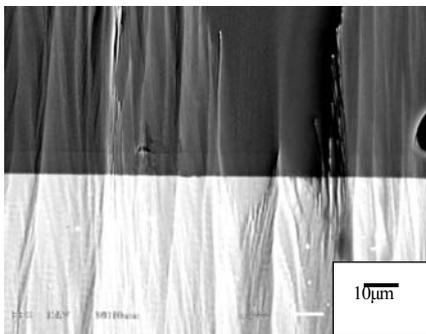


図 14 内面塗膜とアルミ界面の SEM 画像

Fig.14. SEM photograph of the interface between painting and Al sheet.

次に、ブリスター発生箇所の SEM 画像及び EDS 分析結果を図 15 に示す。図 15 より、ブリスターが発生した箇所の内面塗膜が隆起しているところを拡大すると、粒状の腐食生成物が確認できた。アルミ下地と腐食生成物の元素分析を実施した。アルミ下地は検出元素としてアルミ (Al)、炭素 (C)、粒状の腐食生成物は検出元素としてアルミ (Al)、炭素 (C)、酸素 (O)、塩素 (Cl) が存在した。ブリスター発生箇所の隆起している空間には、酸素及び塩素を含む物質が生成していた。これより、塗膜付きアルミ

板の腐食に影響を与える物質として、酸素と塩素が大きく関係していることが確認された。

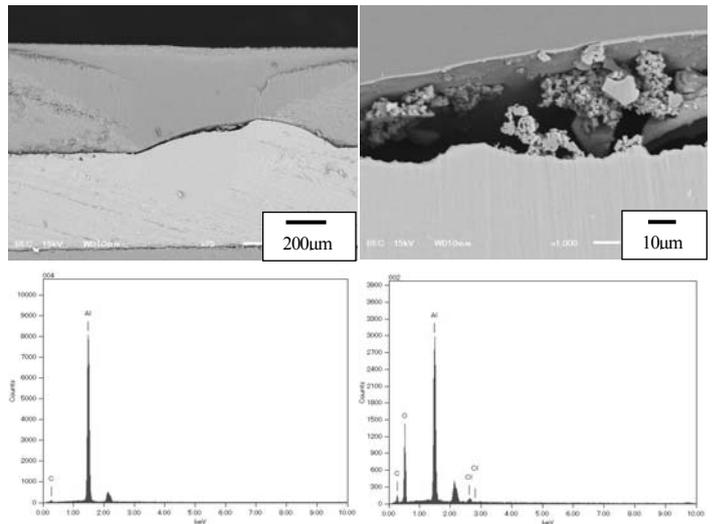


図 15 ブリスター発生箇所の SEM 画像及び EDS 分析結果

Fig.15. SEM photographs and EDS analyses of a blister place.

次に、内面塗膜中に存在する塩素と保存試験の経時による関係を確認するために、保存試験未実施サンプルと 45°C における保存試験後のサンプルを用い、XRF で塩素の濃度を測定した結果を図 16 に示す。図 16 より、内容液モデル液 2 (塩酸) で保存試験を実施したサンプルの、エポキシ系内面は経時と共に塗膜中の塩素濃度が増加している。また、PAI 系の内面は、保存試験未実施のサンプルと比較して、保存試験を実施したサンプルは塗膜中の塩素濃度が増加している。内容液モデル液 1 (クエン酸) で保存試験を実施したサンプルの内面塗膜中の塩素濃度は、PAI 系内面は保存試験前よりもわずかに増加しているが、エポキシ系内面はほとんど変化が見られない。

保存試験の経時時間が増加すると共に内面塗膜中の塩素濃度が上昇しているということは、内容液の塩素が内面塗膜中に継続的に浸透していき、塩素濃度が増加していると考えられる。内容液モデル液 1 (クエン酸) のエポキシ系内面は、XRF の結果より、内面塗膜中の塩素濃度にほとんど変化が見られず、4 週間の保存試験においても異常が認められていない。しかし、モデル液 1 (クエン酸) の PAI 系内面では 4 週間の結果において塩素濃度がほとんど増加していないにもかかわらず、目視評価で異常が見られることから、内面塗膜中の塩素濃度と内面塗膜の変化は一致していない。

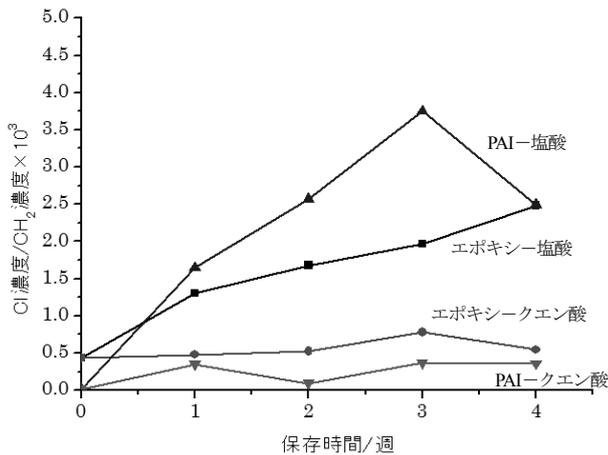


図 16 保存試験経時時間と塗膜中の塩素濃度の関係

Fig.16. Relation between the preservation test and Cl concentration in painting.

次に、内面塗膜中に存在する元素と深さ方向の関係を確認するために、保存試験未実施サンプルと 45°Cにおける保存試験後のサンプルを用い、GDS で深さ方向の組成状態を分析した。内容液モデル液 1 (クエン酸) 及びモデル液 2 (塩酸)、エポキシ系内面サンプルの、経時時間と深さ方向における塩素濃度の関係を、図 17 に示す。図 17 より、経時時間によりわずかに濃度が異なる結果となっているが、経時時間と深さ方向における塩素濃度の関係に、明確な傾向は捉えることができなかった。

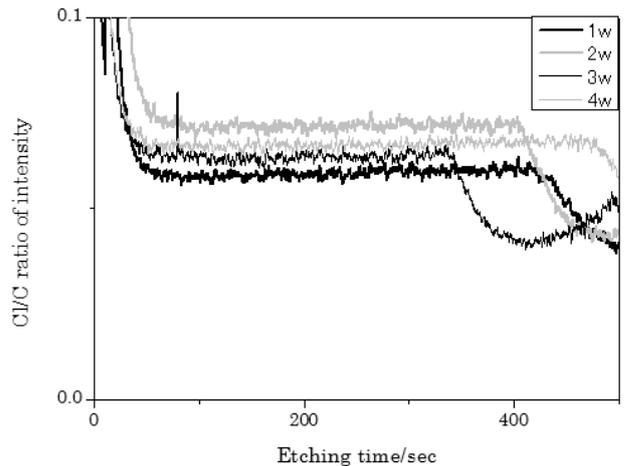
4. 結言

本研究では、塗装されたアルミ容器内面評価の高感度かつ迅速化を目標に検討を行ったところ、以下の結果が得られた。

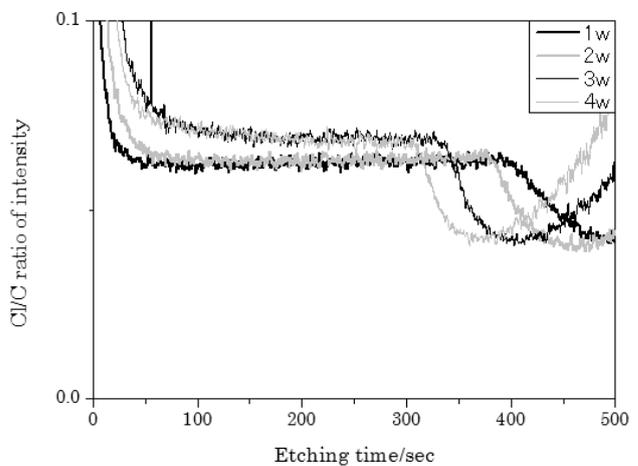
(1) 保存試験後、目視評価では異常がないにもかかわらず、交流インピーダンス法を用い、腐食初期のアルミ容器内面の変化を捉えることができた。

(2) 腐食の因子として、酸素と塩素が大きく関わっていることが、腐食生成物の元素分析より確認された。

(3) 内面塗膜中の塩素濃度の変化を捉えることはできるが、塗膜の劣化具合を推測することは困難であることがわかった。



(a)モデル液 1(クエン酸)、エポキシ系内面



(b)モデル液 2(塩酸)、エポキシ系内面

図 17 GDS による経時時間と深さ方向における塩素濃度の関係

Fig.17. Relation between time of the preservation test and depth profiles of Cl concentration using GDS.

文献

- (1) R.Hirayama & S.Haruyama, Corrosion, 47, 952 (1991)
- (2) 小林ら：あいち産業科学技術総合センター研究報告(2012)6-9.
- (3) 服部ら：軽金属,58(2008),157-161.
- (4) 電気化学会，電気化学測定マニュアル，(2002) 丸善株.
- (5) 板垣昌幸 ，電気化学インピーダンス法，(2008) 丸善株.

「トイレからの漏えい音低減に関する研究-II」グループの研究活動風景



「3Dスキャナーを用いた形状測定と変形解析への適用」グループの研究活動風景



「厚膜型圧電発電振動素子の開発に関する研究」グループの研究活動風景



「ハイブリッド樹脂粉末を用いた樹脂の特性改善」グループの研究活動風景



「ドリル切削加工における精度向上に関する研究」グループの研究活動風景



「アルミ缶内面の腐食防食評価技術の高度化」グループの研究活動風景



「若い研究者を育てる会」の研究活動の足跡

- 29年間の研究テーマ数：184テーマ（昭和62年度～平成27年度）
- 参加研究員延べ人数：352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-Metal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・ファイバー複合材パネに関する研究
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(タカノギケン株)、滝川義弘・煙田不二男(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(東洋化工株)、吉田孝一(株)タカギセイコー、吉野正浩(吉田工業株、現YKK株)

◎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(北陸電気工業株)、前坂昌春(エルコー株、現コーセル株)

◎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

6. 超音波メガネの研究

中村 亮(北日本電子株)、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(エルコー株、現コーセル株)

◎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

高柳敏信(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. 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

尾畑哲史(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

4. 拡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(燐化学工業株)、若林成喜(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

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(エルコー株、現コーセル株)

・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(北日本電子株)、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

尾畑哲史（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

飴井俊裕（エルコー株、現コーセル株）、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—トランスの試作

伊勢寿夫（コーセル株）、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（立山科学工業株）

◎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（コーセル株）、森田智之（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. 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株）、後藤 肇（コーセル株）、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（東洋化工株）

◎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（北陸電気工業株）、山口 睦（磷化学工業株）

◎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株）、中村和禎（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株）

◎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（コーセル株）

中村厚平（エヌアイシ・オートテック株）、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 毅（コーセル株）、田村雅英（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

3. リン酸エッチング液の基礎研究

山口 睦（磷化学工業株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 傾斜機能膜素子の開発

市川良雄（富山軽金属工業株）、福本 滋（北陸電気工業株）、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株）、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 (コーセル株)

◎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 睦 (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 (コーセル株)、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・笹島和明 (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)、田畑裕信 (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. 蓄光性蛍光膜の開発

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）、田畑裕信（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ストランズの開発

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. 局所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（株斉藤製作所）、高橋 聡（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

稲垣 聡（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 (株斉藤製作所)

◎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 (株斉藤製作所)、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 (コーセル株)

◎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 (コーセル株)、坂本雅美 (株斉藤製作所)、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センサの開発

小森一哉 (北陸電気工業株)、石川勝巳 (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

6. 微細放電加工の研究 (2)

太田光則 (株斉藤製作所)

◎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センサーの開発 (2)

小森一哉 (北陸電気工業株)、谷口真也 (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

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(株斉藤製作所)

◎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(株斉藤製作所)、稲澤直子(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・P J、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・P J

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P J・中央研究所

7. 圧電トランス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（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（コーセル株）、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（コーセル(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（コーセル(株)）、石見雅美（(株)斉藤製作所）

◎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（コーセル(株)）、太田光則（(株)斉藤製作所）

◎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）

上谷聡史（コーセル(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(コーセル株)、深沢正樹(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(コーセル株)

◎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(コーセル株)、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 (北陸電気工業株)

◎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 (株タカギセイコー)

◎富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所・P J 推進担当

8. マイクロTASチップの開発 (2)

石村和雄 (コーセル株)

◎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 (磷化学工業株)、梅原洋平 (コーセル株)

◎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 (コーセル株)、木下正之 (立山科学工業株)

◎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 (田中精密工業株)、古川万晃 (株タカギセイコー)

◎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・P J 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 (株タカギセイコー)

◎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 (立山マシン株)

◎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 (株タカギセイコー)、中田裕一 (北陸電気工業株)

◎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 (コーセル株)、日出嶋宗一 (立山マシン株)

◎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 (コーセル株)、細川修宏 (株タカギセイコー)

◎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 (田中精密工業株)

◎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

斉藤洋輔 (コーセル株)、若林 傑 (立山科学工業株)

◎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（コーセル株）、古川和明（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
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）
◎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）
◎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（コーセル株）、細川修宏（株タカギセイコー）
◎富山県工業技術センター機械電子研究所
5. 光触媒による自立型水質浄化浮遊物の開発
高見和志（コーセル株）、新川翔平（北陸電気工業株）
◎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）
◎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（コーセル株）
◎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（コーセル株）
◎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）
◎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）
◎富山県工業技術センター中央研究所

☆平成24年度（第26回）研究テーマと研究参加者（7テーマ、10名）

1. MDF木屑からのバイオエタノール抽出技術の開発
羽根新太郎（三協立山株）
◎富山県工業技術センター機械電子研究所
2. マグネシウムイオン2次電池に関する研究
作道千枝（燐化学工業株）
◎富山県工業技術センター機械電子研究所
3. ナノインプリントを応用した微細電極パターンの形成に関する研究
大門貴史（北陸電気工業株）
◎富山県工業技術センター機械電子研究所・企画管理部

4. 小水力発電システムの研究

中瀬典章（コーセル株）、荒井勇人（立山科学工業株）、熊澤周士（株タカギセイコー）

◎富山県工業技術センター機械電子研究所・企画管理部

5. 受動的歩行ロボットの開発

水上慎太郎（コーセル株）、若崎祥人（立山マシン株）

◎富山県工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

6. 積層鋼板の磁気特性に関する研究（2）

藤岡英示（田中精密工業株）

◎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

7. SW電源の電磁ノイズのシミュレーション

野口拓（コーセル株）

◎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25年度（第27回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、7名）

1. 接着剤を用いない異種材料の超音波接合に関する研究

猪原 悠（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、元工業技術センター

2. スイッチング電源における電磁界ノイズシミュレーション実用化の研究

野口 拓（コーセル株）

◎指導機関：工業技術センター中央研究所・機械電子研究所

3. 単層カーボンナノチューブに関する研究

大門貴史（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、富山大学大学院理工学研究部

4. 極低容量水力発電システムの研究

住和大輔（コーセル株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. マグネシウム燃料電池の開発

安田 剛（三協立山株）、山崎鉄平（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、富山大学大学院理工学研究部

6. ナノインプリント技術による金属ナノドットパターン形成に関する研究

升方康智（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・企画管理部、県商工労働部

☆平成26年度（第28回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、12名）

1. トイレからの漏えい音低減に関する研究

中村 将士（コーセル株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 切削加工シミュレーションに関する研究

水野 輝章（田中精密工業株）、若林 武司（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・中央研究所、元工業技術センター

3. 3Dプリンタを利用した簡易的なブロー成形樹脂型の製作に関する研究

黒田 大輔（武内プレス工業株）、相馬 優（株斉藤製作所）、桑原 浩一（コーセル株）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所・ものづくり研究開発センター

4. エネルギーハーベスター利用システムに関する研究

浦山 陽平 (コーセル株)、中田 智康 (北陸電気工業株)

◎指導機関：工業技術センターものづくり研究開発センター・中央研究所・機械電子研究所

5. 量子ドット増感太陽電池の研究

山本 尚人 (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、富山大学大学院理工学研究部

6. 接着剤を用いない異種材料の超音波接合に関する研究-II

大浦 秀剛 (三協立山株)、山崎 鉄平 (株タカギセイコー)、林 達規 (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、元工業技術センター

☆平成27年度(第29回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、9名)

1. トイレからの漏えい音低減に関する研究-II

杉森 雄平 (コーセル株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所

2. 3Dスキャナーを用いた形状測定と変形解析への適用

山崎 諭史 (コーセル株)、内山 肇 (三協立山株)、金山 侑司 (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

3. 厚膜型圧電発電振動素子の開発に関する研究

山本 貴之 (コーセル株)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所・中央研究所・富山大学大学院理工学研究部

4. ハイブリッド樹脂粉末を用いた樹脂の特性改善

熊澤 周士 (株タカギセイコー)、黒河 歩美 (立山マシン株)

◎指導機関：工業技術センター中央研究所

5. ドリル切削加工における精度向上に関する研究

石澤 剛士 (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. アルミ缶内面の腐食防食評価技術の高度化

筒井 英明 (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・中央研究所

○ 会 員 企 業

平成28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(株)	西川 浩司	大茂 達朗	076-462-0578
2	コーセル(株)	谷川 正人	安田 勲	076-432-8151
3	(株)斉藤製作所	斉藤 行男	斉藤 行男	076-468-2727
4	三協立山(株)	山下 清胤	宇野 清文	0766-20-2366
5	(株)タカギセイコー	八十島清吉	高橋 伸忠	0766-24-5522
6	タカノギケン(株)	高野 恵子	瀧森 幸浩	076-455-2525
7	武内プレス工業(株)	武内 繁和	駒井 義時	076-441-1856
8	立山科学工業(株)	水口昭一郎	森 喜代志	076-483-3088
9	立山マシン(株)	宮野 兼美	市川 吉晴	076-483-4123
10	田中精密工業(株)	田中 一郎	櫛田 孝隆	076-451-7651
11	東洋化工(株)	中田 守人	中田 守人	076-475-2125
12	長柄鉄工(株)	長柄 勝	長柄 大介	0766-22-3170
13	北陸電気工業(株)	津田 信治	上野 之久	076-467-1111
14	燐化学工業(株)	大塚 肇	稲生 吉一	0766-86-2511

事務局：(公財) 富山県新世紀産業機構内 〒930-0866 富山市高田 529 TEL:076-444-5607 (二口友昭、渡邊千晶)

○ 研 究 会 員

氏 名	所 属	役 職	学 位	電話番号
研究幹事				
石 黒 智 明	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
岩 坪 聡	工業技術センター中央研究所	評価技術課長	博士(工学)	0766-21-2121
佐 山 利 彦	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
杉 森 博	工業技術センター機械電子研究所	所 長	博士(工学)	076-433-5466
高 辻 則 夫	富山大学大学院理工学研究部	教 授	工学博士	076-445-6011
高 林 外 広	工業技術センター中央研究所	参事・加工技術課長	博士(工学)	0766-21-2121
土 肥 義 治	工業技術センター	次長・中央研究所長	博士(工学)	0766-21-2121
富 田 正 吾	工業技術センター企画管理部	部 長	工学博士	0766-21-2121
西 村 克 彦	富山大学大学院理工学研究部	教 授	理学博士	076-445-6011
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 飴 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 斉藤 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～平成24年度)	12代会長 田中 一郎 (平成25年度～平成26年度)
13代会長 武内 繁和 (平成27年度～)	

○ 名 誉 研 究 幹 事

谷野 克巳 (元工業技術センター所長)

○ 願 問 (50音順)

海野 進 ((公財) 富山県新世紀産業機構・専務理事)
 角崎 雅博 ((公財) 富山県新世紀産業機構・産学官連携推進センター長)
 龍山 智榮 ((国) 富山大学・名誉教授)
 東保喜八郎 ((公財) 富山県新世紀産業機構・参与)
 鳥山 素弘 (工業技術センター所長・ものづくり研究開発センター所長)
 堀田 裕弘 ((国) 富山大学・工学部長)
 町野 利通 (コーセル (株)・取締役相談役)
 松本三千人 (富山県立大学・工学部長)
 米田 政明 ((国) 富山大学・名誉教授)

(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わせください。

☆申し込み先

〒930-0866 富山市高田529

（公財）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 (公財) 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 土肥 義治 杉森 博 (公財) 富山県新世紀産業機構 渡邊 千晶
発 行 年 月 日	平成28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。