平成 26 年度 (第 28 回)

若い研究者を育てる会研究発表会

研究論文集

平成27年3月12日(木)

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



ごあいさつ

「若い研究者を育てる会」の第28回研究論文集発行を 迎えるにあたり、一言ごあいさつを申し上げます。

「若い研究者を育てる会」(以下「若研」)は、昭和 62年1月に発足し現在に至っております。発足以来28 年余り、私は良く継続できたものだと常々感心いたして おります。今回の寄稿にあたり、おぼろげながら知って いる「若研発足のいきさつ」を発足の起因となった谷野 克巳さんにお願いし、詳細な資料をいただきました。

会長田中一郎



「若研」設立20周年記念パーティーだったかと思いますが、石井知事を訪ね「このような会が20年も継続しています。ぜひ激励の挨拶を...」とお願いいたしましたところ、石井知事より 発足からの経緯を聞かれ「えっ!こんなことを20年も前からやっているの?」と即、快諾をい ただきました。今後の県政の大綱にも必ず「若研」の項目があり、石井知事の熱意により実現し た「富山県ものづくり開発センター」は共同研究方式による若手研究者の育成として紹介されて おります。その成果が近年の「若研」の発表内容の急速な成果にあらわれております。

終わりになりますが、工業技術センター職員の皆様の絶大なるご支援と各参加企業の皆様に感 謝を申し上げます。10年20年後にも「若い研究者を育てる会」の皆さんが各々の分野で貢献さ れんことを祈念申し上げます。

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28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26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」の研究グルー プ(参加企業1社)では、用足しの際にトイレ個室外へ漏れ 出る音を、次の3段階に分けて積極的に低減することを試み た。まず、便器内の水溜りの水面における発生音そのものを 低減することを検討し、水面を適切な泡の層で覆うことによ って顕著な減音効果が得られることを示した。次に、便座よ りも下側の便器内空間における伝搬経路対策を検討し、便器 - 便座間の隙間をゴムスポンジで閉鎖することにより比較的 大きな減音効果が得られることを明らかにした。最後に、ト

イレ個室を隔てる壁の減音効果を確かめる実験を行い、薄いプラスチック製段ボールの壁 を設置するだけで、約2dB(A)の減音効果があることを示した。今後、これら3つの減音方 法をすべて組み合わせた場合の減音効果、および泡の層を用いても音圧低減が困難であっ た約 500Hz 以下の周波数帯域への対策について検討し、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「切削加工シミュレーションに関する研究」の研究グル ープ(参加企業2社)では、代表的な切削加工である旋盤加 工を対象として、工具寿命に決定的な影響を及ぼす工具摩耗 量を推定するために、有限要素法を用いた2次元および3次 元の切削加工解析を実施した。その結果、(1) サーメット工 具を用いた被削材 S45C の旋盤加工において、工具摩耗試験 および切削解析を実施し、アブレッシブ摩耗および拡散摩耗 を想定した工具摩耗評価式を決定した。(2)2次元切削モデル を用いた解析では、切削速度が 100~300 m/min の範囲におい

て、すくい面における最大摩耗量の切削長さに対する変化は、工具摩耗試験の結果とよい 一致を示した。(3)3次元切削モデルを用いた解析では、すくい面における摩耗量の分布状 況も、工具摩耗試験の結果とよい一致を示した。また、逃げ面摩耗についても推定が可能





となった。今後は、フライス加工等の他の3次元切削加工、あるいは難削材における最適 加工条件の探索等へと展開をしていきたい。

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」の研究グループ(参加企業3社)では、近年、普 及が目覚ましい3D プリンタで作製した樹脂型が、耐熱性や耐 圧性が要求されるブロー成形の試作用簡易型として利用可能か どうか、検討を行ったものである。具体的には、LDPE チュー ブやミニ PET ボトルを想定して、型構成の検討から、造形、試 作及び寸法精度などの一連の評価を行った。成形品の離型不良 や変形、粗さの問題など、適用上の課題を抽出するとともに、 研磨加工や冷却水管を取り入れるなど、多くの改善を加えるこ とで、利用上のノウハウを構築した。特に、LDPE チューブで

は、連続 100 ショットの成形に成功するとともに、内容物を充填した成形品の評価にも応 用できた。また、ミニ PET ボトルでは、金属型では加工費のかかるダイヤモンドカット形 状を有するオリジナルなデザイン形状を再現するなど、いずれもモックアップとしての有 用性と製作納期、コストメリットなどを充分考慮した取り組みを行った。今後は、本技術 の試作開発・商品開発での普及利用が多いに期待される。

富山県工業技術センター 博士(工学) 二口 友昭

④「エネルギーハーベスター利用システムに関する研究」の研 究グループ(参加企業2社)では、ロータリーポンプ程度の振 動で無線センサモジュールを動作させる圧電型エネルギーハー ベスターの作製を目標として検討を行った。身近な振動源の振 動の周波数と加速度を測定したところ、ロータリーポンプでは 60Hz、0.14Gであった。PZT-PMN 系の圧電板を用いて、バイモ ルフ素子を試作した。この素子は、おもりの質量とおもりの支 点からの距離によって、試作素子の共振周波数の調整が可能で あり、得られた共振周波数は計算値とほぼ一致した。さらに、 素子に電源 IC を接続することで AC12Vpp から DC の 3.3V が取



り出せる事を確認した。60Hz、0.5Gの振動源でおもりを最適化すると4gのときに0.39mWの出力電力が得られた。無線センサモジュールを接続し、加振器の60Hz、0.5Gで5秒間毎に1回の通信が可能であることを確認した。ロータリーポンプに取り付けた場合においても、5秒間毎に1回の通信が可能であった。また、共振周波数の異なる2つの素子を組み合わせることで、駆動周波数帯域を1つの素子の2.3倍広げることが可能であった。



富山県工業技術センター機械電子研究所 博士(工学)

富山大学大学院理工学研究部 工学博士 丹保 豊和

⑤「量子ドット増感太陽電池の研究」の研究グループ(参加企業1社)では、高効率と低コストを兼ね備えた太陽電池の開発 を目指した。太陽は紫外から赤外まで広い波長範囲の光を地球 に注いている。高効率を目指すには太陽の持つ広範囲の波長に 対応できる仕組みを持たせることである。そのアイデアの1つ が量子ドットの形成である。一方、有機物を利用することは低 コスト化につながる。スパッタ法で作成した酸化チタン膜は細 かな柱状構造を持つので、その構造を利用した太陽電池の作製 を試みた。増感剤に鉛ペロブスカイト化合物 CH₃NH₃PbI₃を用い、 ホールを受け止めやすいようにチオシアン酸銅 CuSCN を用いた。



評価は SEM, XPS, XRD, I-V 特性などで行った。絞り込みの要素が多く、鉛ペロブスカイト 化合物の層の厚みが不足しているなど課題を残している。

富山県工業技術センター機械電子研究所 博士(工学) 石黒 智明

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の研究グループ(参加企業3社)では、コスト低減や軽量化の観点から、異種材料の接合への技術開発ニーズが高まっている。本研究では、融点差の大きい材料も接合可能で、低環境負荷・低コスト・短時間接合が可能な超音波接合に着目し、加振材をSUS304、固定材をADC12等Al材として接合を試みた。その結果、SUS304によるホーンチップ部の摩耗抑制に、加振材・ホーンチップ間への銅箔挿入が有効であること、超音波振幅の増大やSUS・ADC間へのAl箔挿入が接合時間・加圧力の低減に有効なこと、SUSと表面処理Al材の直接接合は困難だ



が、双方の間へ樹脂箔を挿入することは有用なこと、そして、大きい製品への多点接合で は振動の腹部を避ければ接合可能なことなどがわかった。これらの知見は、例えば、大き い Al 部材と小さい鉄部品の接合への超音波接合が利用可能であることを示したもので、実 用上の意義は大きい。

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、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4テーマであり、「一つの課題を複 数企業で実施する」という本会設立当初の姿に戻りつつある。

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2テーマ 実施した。

今年度を含めた**28年間で178テーマ**の研究を実施したが、これらの研究成果は関連学 会ですでに発表、もしくは今年中に開催される関係学会で研究発表を予定している。

また、28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27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の研究グループ

研究担当者 中村 将士(コーセル株)

○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)

☆佐山 利彦(工業技術センター機械電子研)

Ⅱ. 切削加工シミュレーションに関する研究の研究グループ

研究担当者 水野 輝章(田中精密工業㈱)
 若林 武司(立山マシン㈱)
 ○上野 実 (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)
 宮田 直幸(工業技術センター中央研究所)
 ◇谷野 克巳(元工業技術センター)

☆佐山 利彦 (工業技術センター機械電子研)

Ⅲ.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 の研究グループ

研究担当者
 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))
 ○鍋澤 浩文 (工業技術センター機械電子研)
 山本 貴文 (工業技術センター機械電子研)
 住岡 淳司 (工業技術センター中央研究所)
 林 千歳 (ものづくり研究開発センター)
 横山 義之 (工業技術センター機械電子研)
 ☆土肥 義治 (工業技術センター機械電子研)

IV. エネルギーハーベスター利用システムに関する研究の研究グループ

研究担当者 浦山 陽平 (コーセル株) 中田 智康 (北陸電気工業株) ○坂井 雄一 (ものづくり研究開発センター) 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) 角田 龍則 (工業技術センター機械電子研) ☆二口 友昭 (工業技術センター) V. 量子ドット増感太陽電池の研究の研究グループ

研究担当者 山本 尚人 (北陸電気工業株)

- ○本保 栄治(工業技術センター機械電子研)
 - 横山 義之(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)
- 高田 耕児(工業技術センター機械電子研)
- ☆丹保 豊和 (富山大学大学院理工学研究部)

VI. 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の研究グループ

- 研究担当者 大浦 秀剛(三協立山㈱)
 山崎 鉄平(㈱タカギセイコー)
 林 達規(田中精密工業㈱)
 ○羽柴 利直(工業技術センター機械電子研)
 上野 実 (工業技術センター機械電子研)
 - ◇谷野 克巳 (元工業技術センター)
 - ☆石黒 智明(工業技術センター機械電子研)
- 註:〇印は各研究グループのチーフ

◇印は名誉研究幹事 ☆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 ------1 1. 緒 言 ------1 1 3. 研究の進め方および目標 ------1 4. 水面発生音の低減 ------2 5. 便器外への漏えい音低減 ------5 6. 個室外への漏えい音低減 ------7 7. 結 言 ------7

Π.	切削加エシミュレーションに関する研究	8
	1. 緒 言	8
	2. 旋盤加工と工具摩耗の概要	8
	3. 工具摩耗試験	9
	 工具摩耗試験結果と工具摩耗モデルについて	9
	5.2次元切削モデルによる解析	1 2
	6.3次元切削モデルによる解析	13
	7. 結 言	15

Ⅲ.3 D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 -- 16

1. 緒 言	16
2.3D プリンタの概要	16
3.3D プリンタの基本特性評価	1 7
4. 対象とするブロー成形法と型の基本構造	1 7
5.ダイレクトブロー成形の実験方法	18
6.ダイレクトブロー成形の実験結果と考察	19
7. インジェクションブロー成形への応用	$2\ 1$
8.3D プリンタによる樹脂型の適用効果と課題	2 2
9. 結 言	23

1.緒 言	 24
2. 実験方法	 2 4
3. 実験結果	 26
4. 結 言	 30

∇. 量子ドット増感太陽電池の研究 3.1

1.	緒	言		 31
2.	研究背	景		 32
3.	実験方	法と結	課	 32
4.	結	言		 36

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	37
1.緒言	37
2. 超音波接合について	37
 実験方法・結果および考察 	38
4. 結 言	44
	 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 1.緒 言 2.超音波接合について 3.実験方法・結果および考察 4.結 言

○各研究グループの研究風景	付— 1
○「若い研究者を育てる会」28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
〇入会申込書	付-23

I. トイレからの漏えい音低減に関する研究

Study on Reduction of Leakage Sound from Restroom Stall

中村 将士 金森 直希 羽柴 利直 佐山 利彦 NAKAMURA Soshi KANAMORI Naoki HASHIBA Toshinao SAYAMA Toshihiko

Abstract

Excretion sounds generated from public restroom will leak and be heard outside. However, it is quite difficult to eliminate perfectly or change qualitatively the excretion sounds. Therefore, we tried to reduce the excretion sounds leaking the restroom in the following three phases. First, by the examinations, the sound source due to falling of water drops on the water surface in the toilet bowl, it shows that the cushion on the water surface has remarkable sound attenuating effect. Second, the attempt of reducing the radiated sound from the toilet bowl lead to the fact that the closing of the gap between the toilet bowl and the toilet seat with the rubber sponge has sufficient sound attenuating effect. In addition, the examination of sound attenuating performance of the walls surrounding the toilet cubicle confirmed that the plastic cardboard has sound attenuating effect of about 2 dB(A).

1. 緒言

近年、施設・店舗において集客を目的としてトイレを整備・改 修することが盛んに行われている。トイレを使う人の心象をよく するために、トイレ使用時に発生する排泄音に対しては、マスキ ングのための擬音装置が設置されているところもある。また、震 災時にトイレの利用を我慢したため健康被害が生じたという教 訓から、催事や災害時に一時的に屋内外に設置される仮設トイレ では、遮音性の高いトイレの需要も高まっている。しかし、換気 の面から、トイレ個室には開口部が存在するので、個室内で発生 した音は必然的に個室外へ漏れ出る。そのため、とくに女性は、 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⁽¹⁾されている。

そこで、本研究では、用足しの際にトイレ個室外へ漏れ出る音 を積極的に低減することを試みた。

2. 発生音調査

音の低減方法を検討するためには、用足し時に発生する音の特 徴を調べることが必要である。そこで、水脈が便器内の水溜の水 面へ落下する際に発生する音の周波数特性を測定した。図1 は、 水面発生音を実際のトイレの便器(富山県工業技術センター機械 電子研究所に設置された多目的トイレ)を使って測定した際の様 子である。水洗トイレの水面に高さ 900mm から小型のジョウロ で水を便器内の中心付近の水溜りへ垂らした際の発生音を、高さ 450mm に設置した精密騒音計(B&K 2236)のマイクロホンで検出 し、リニア PCM レコーダ (TASKAM DR-100MKII) へ収録した 音圧波形から周波数特性を算出した。これらの操作を2回実施し た。図2は、算出した音圧スペクトルを示す。1回目、2回目の 測定とも発生音は広い周波数帯域に渡って出ており、とくに約0.5 ~1kHzで音圧レベルがより大きくなっていることが分かった。



(a). 実験環境 (a). Experimental Environment.

(b). 実験の様子 (b). A scene of the experiment.

図 1. 水脈落下音発生実験 Fig.1. An experiment to generate the water fall sounds.

3. 研究の進め方および目標

便器内の水溜の水面から発生した音圧は、便器内の空間および 便器の側壁を経由して便器外へ放射され、その後トイレ個室を隔 てる壁の外へ伝搬していくことで、トイレ個室外の受音点で音圧 が観測される。音という物理現象の特徴を考慮すると、まず音の 発生源において対策を施し、次に伝搬経路における対策を施すこ とが自然である。そこで、最初に、便器内の水溜りの水面におけ る発生音そのものを低減することを検討(4章)し、次に、便座よ りも下側の空間における伝搬経路対策(5章)を施し、最後に、個室 を隔てる壁までの空間における伝搬経路対策(6章)を施すという、 3 段階でトイレ個室外の受音点における音圧を低減していくこと とした。具体的な数値目標として、騒音レベルが未対策時に比べ て 3dB(A)以上低減することを掲げた。この値は、音響エネルギー が半分となる値である。



Fig.2. Frequency spectrum of water falling sounds.

4. 水面発生音の低減

<4. 1> 音の低減方法

用足し時に発生する音のうち、水脈・水滴が便器内の水溜に落 下する際に発生する音を低減することを考える。水脈・水滴が水 面へ衝突すると、水に空気が取り込まれて空洞・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⁽²⁾。 何らかの方法でそれらの空洞・気泡の発生を抑制・緩和すること ができれば、水面からの発生音も低減することができると考えら れる。そこで、本研究では、水面上に別の界面を設けることによ り、空洞・気泡の発生を抑制・緩和することを検討した。

<4. 2> 界面材料

落下水脈・水滴の水中への突入衝撃の緩和、および水中の空 洞・気泡の振る舞いの変更という観点から、さらに下水道へ流し ても問題が発生しないという観点から材料を選定した。選択した 界面材料を以下に示す。

- ・トイレットペーパー
- ・スポンジ紙
- ・キャノラー油
- ・かき氷
- ・小麦粉
- ・食器用洗剤の泡
- ・卵白の泡(メレンゲ)

なお、スポンジ紙は、下記のようにして作製した。図3に示す ように、市販のトイレットペーパーを細かく砕き、重曹、クエン 酸、および水を加えて発泡させた液体を、金網の上ですいた後、 天日で乾燥させさたものである。このスポンジ紙の厚さは約5mm であった。食器用洗剤の泡は、市販の食器用中性洗剤に少量の水 を加え、ハンドミキサーで十分に泡立て、できるだけ細かい泡と したものを用いた。卵白の泡については、卵白に少量の砂糖を加 え、ハンドミキサーで十分泡立て、泡を入れた容器を静かに逆さ にしても泡が落下しない程度の硬さにしたものを用いた。



図3. スポンジ紙の作製 Fig.3. Fabrication of Sponge paper.

<4.3> 減音効果の比較実験

2章における発生音の調査実験と同じ実験方法・環境を用い、 水面上に界面材料を浮かべ、上空から水を垂らした際の発生音の 周波数特性を、FFT アナライザ(ADVANTEST R9211C)を用いて測 定した。測定結果を図4および図5に示す。図4から、小麦粉お よびスポンジ紙により、水面発生音の音圧が測定したほとんどの 周波数帯域で減少していることが分かる。スポンジ紙は、約4kHz 以下の帯域における減音効果が大きく、特に約500Hz以下の帯域 では暗騒音に近いレベルまで音圧が低下している。また、図5か ら、食器用洗剤の泡および卵白の泡によっても、水面発生音の音 圧が測定したほとんどの周波数帯域で減少していることが分か る。特に食器用洗剤の泡の減音効果が顕著であり、約4kHz以上 の帯域では暗騒音と同等のレベルまで音圧が低下している。なお、 かき氷およびキャノラー油については、特筆すべき減音効果が見 られなかったため、周波数特性の図示は割愛した。

<4.4>実際の用足し時を想定した泡の減音効果

前節で述べた実験により食器用洗剤の泡の減音効果が最も大きいことが明らかとなった。しかし、泡の層の厚さ、水面へ突入する水の速度、および便器の水溜の水深によって、減音効果が異なることが容易に推察される。そこで、これらのパラメータを変化させて水面から音を発生させることができる実験装置を作成し、発生音を測定した。図6は、作成した実験装置の模式図を示す。下部水槽の上空に設置した上部タンクのノズルから水脈を下部水槽の中心付近の水面へ自由落下させ、水面から発生する音を騒音計のマイクロフォンで検出する装置である。実験パラメータ

は、水脈の落下高さh、水深w、および泡厚さbの3つとした。 落下高さとして、洋式便器の便座に座って用を足す場合 (h=250mm)および立ち小便の場合(h=600mm)を想定した。また、 下部水槽の水深として、便器の水溜りが、浅い場合(w=10mm)、 中くらいの場合(w=50mm)、および深い場合(w=100mm)を設定し た。さらに、泡厚さとして、薄い場合(b=10mm)、厚い場合(b=50mm)、 および発生音を低減しない場合(b=0mm)を設定した。



図 4. 小麦粉およびスポンジ紙による減音効果 Fig.4. Sound attenuating performance of flour and sponge paper.



表1は、各条件において水面から発生する音の騒音レベルを示 す。まず、水深と泡厚さを同じ条件とした場合、落下高さの高い 方がより大きな騒音レベルとなった。これは、落下高さの高い方 が、落下水脈が水面を叩く際の運動エネルギが大きくなることが 原因であると考えられ、すなわち、トイレで洋式便器を使用する 場面を想像すると、座って用を足す場合よりも立ち小便の方が、 発生音圧が大きくなることを示している。



図 6. 水脈落下音の実験装置 Fig.6. Experimental apparatus of water drop sounds.

表 1. 水脈落下実験における騒音レベルの変化 Table 1. Change of A-weighted sound pressure Level in water drop test.

					unit. uD(A)
		Drop height (mm)			
				250	600
			0	72.0	74.8
	10		10	54.1	58.0
	50 Foam thickness (mm)		50	53.0	58.1
Water		Foam thickness	0	69.1	72.2
depth			10	53.2	61.5
(mm)		50	52.5	56.7	
		100	0	66.5	72.4
	100		10	51.8	60.0
			50	51.5	55.1

次に、泡の効果について考察する。水深と落下高さを同じ条件 とした場合、泡厚さ 0mm と比べて泡厚さ 10mm の場合にすべて の条件で騒音レベルが 10dB(A)以上小さくなった。したがって, 水面に泡の層を少し設けるだけで、大きな減音効果が得られるこ とが分かる。また,泡厚さを 10mm から 50mm に増やすと、落下 高さ 600mm かつ水深 50mm 以上の場合は、騒音レベルが小さく なるが、それ以外の落下高さ・水深の条件では、騒音レベルはほ とんど変化がなかった。すなわち、落下高さ 250mm の場合は泡 厚さ 10mm で減音効果は頭打ちになったが、落下高さ 600mm の 場合は泡厚さ 10mm では減音効果は頭打ちにはならず、泡厚さを さらに増すことでより大きな減音効果が得られることが分かっ た。

次に、図7は、水深100mmかつ落下高さ250mmの時の音圧スペクトルを示す。この図より、約500Hz以上の全周波数帯域で泡の層による大きな減音効果が得られており、特に約3kHz以上の

周波数帯域では暗騒音に近いレベルまで音圧が減少していることが分かった。また、他の実験条件でも同様の傾向が見られた。

図8~図11は、水中に発生した気泡の様子を示す。図8は、水 深100mm、落下高さ250mm および泡厚さ0mm の条件下での写 真であり、図9は、図8において泡厚さを50mm に変更した条件 下での写真である。図8では大きな気泡が支配的であり、図9で は小さな気泡が多く見られる。水面上を覆った泡が、空気と一緒 に水中へ引き込まれることで、水中に生成される気泡が小さくな り、発する音の周波数や音圧が変化したのではないかと推測する。

また、図10は、水深10mm、落下高さ600mm および泡厚さ0mm の条件下での写真であり、図11は、図10において泡厚さを10mm に変更した条件下での写真である。図10では、水深が浅いため、 水脈落下によって水中に発生する気泡は水槽の底に衝突し水平 方向へ広がるとともに、水面上に気泡が激しく湧き上がっている。 一方、図8の水中の気泡の様子と大きく異なるこのような状況で も、水面を10mmの泡の層で覆うことによって、水中に小さな気 泡が多く見られるようになり、表1が示すように16.8dB(A)の減 音効果があった。



図 7. 水脈落下音の周波数特性 Fig.7. Frequency spectrum of water drop sounds.



図 8. 水中の気泡(w=100mm、h=250mm、b=0mm) Fig.8. Water bubbles in deep water tank under the condition of w=100mm, h=250mm and b=0mm.



図 9. 水中の気泡(w=100mm、h=250mm、b=50mm) Fig.9. Water bubbles in deep water tank under the condition of w=100mm, h=250mm and b=50mm.



図 10. 水中の気泡(w=10mm、h=600mm、b=0mm) Fig.10. Water bubbles in shallow water tank under the condition of w=10mm, h=600mm and b=0mm.



図 11. 水中の気泡(w=10mm、h=600mm、b=10mm) Fig.11. Water bubbles in shallow water tank under the condition of w=10mm, h=600mm and b=10mm.

<4.5> 固形物落下時の泡の減音効果

水面を泡の層で覆うことにより、水脈落下時に水面で発生する 音を大幅に低減できることが明らかとなった。しかし、水面で発 生する音は水脈落下に伴うもののみではない。そこで、固形物が 水面へ落下する場合についても、泡の層の効果を調べた。具体的 には、実際のトイレの便器に図 12 に示す固形物を便座と同じ高 さから水溜(最も水深が深い部分)へ自由落下させた際の発生音 を、3章と同じ環境にて測定した。固形物は、油粘土を人の手で 整形したものであり、大(重さ 102g、最大径 33mm)、および小 (重さ 66g、最大径 26mm)とし、泡の層は約 30mm とした。図 13 は、固形物(大)を落下させた際の発生音の周波数特性を示す。 泡の層を設置した場合は、泡の層がない場合と比べて、測定した ほぼ全帯域で数 dB 程度音圧レベルが減少した。また、図示して いないが、固形物(小)においても同様の傾向が見られた。



図 12. 作製した固形物 Fig.12. Fabricated solid bodies.





Fig.13. Frequency spectrum of the sound generated by the water surface along with the fall of solid bodies.

5. 便器外への漏えい音低減

<5.1> 概要

便器内における水溜の水面から発生した用足し音が、便器外へ 放射されるまでの経路は、主に、便器内の空間を伝わり便器上部 から便器外へ放射される経路、および便器の側壁を伝わり側壁外 部へ放射放射される経路の2通り存在すると考えらる。特に、前 者の割合が高いと考えられるので、便器上部における開口部から の放射音を低減する方法について検討した。

<5.2> 対象とする便器および音

日常よく見かける便器として、仮設トイレに見られる樹脂製便器、および常設トイレに見られる陶器製便器の2種類がある。これらの便器を直接の対象としたいが、構造および形状が大きく異なり、条件を統一できない。そこで、図 14 に示す樹脂製の簡易設置型洋式便器(アロン化成サニタリーエースHG据置式)を用い、この簡易設置型洋式便器の内側じょうご部の外側全体に粘土を約10mmの厚さでまんべんなく貼り付けたもの(図15(a))を陶器相当便器とし、粘土を貼り付けなかったもの(図15(b))を樹脂相当便器とした。水面発生音は、2章で収録した水面発生音を、便器内の下部に設置したスピーカ(コーン: Tang Band W3-582SC、エンクロージャ:自作)を通して出力することとした。



図 14. 簡易設置型洋式便器 Fig.14. An easily installable western-style toilet bowl.





(a). 陶器相当便器
(b). 樹脂相当便器
(a). Pottery equivalent bowl.
(b). Resin equivalent bowl.
図 15. 実験に用いた便器のじょうご部
Fig.15. Funnel part of toilet bowl used in the experiment.

< 5. 3> 音響実験環境

図 16 は、便器部からの漏えい音を測定する実験装置の概要を 示す。トイレ個室(縦 900mm、横 900mm、高さ 1800mm)を想定し て個室(本節の実験では枠のみ設置し壁は設置していない)中心 部に図 15 の供試便器を設置した。なお、本節の実験では個室を 隔てる壁は設けなかった。個室外を歩く人が音を聞くことを想定 した位置(便座先端から水平に 1000mm、かつ床からの高さ 1500mmの位置)に騒音計のマイクロホンを設置した。また、便器 に人が座っていることを模擬するために、図 17 に示すように便 座の上に粘土製の臀部モデル(5.7kg)を置いた。このとき、便器前 方に小さな開口部が形成される。



図 16. 便器からの漏えい音測定のための実験装置





図 17. 粘土製の臀部モデルと便座の間の開口部 Fig.17. An opening between hip clay model and toilet seat.

<5. 4> 便器外への音漏れの低減方法

便器に存在する開口部は、人が便座に座った際に便器上部にで きる開口部、および便座と便器の間の隙間の2つがある。前者の 開口部は、座り方あるいは座る人によって開口部の大きさ・形状 が異なる。後者の隙間は使用する便器が同じであれば、同じ大き さ・形状となる。そこで、図 18 に示すように、便器と便座の間 を隙間なくスポンジゴムで埋めることで、対象となる開口部を塞 ぐこととした。



図 18. スポンジゴムによる開口部の閉鎖 Fig.18. Closure of the opening by the sponge rubber.

<5.5> 音響実験装置を用いた減音効果の確認

樹脂相当便器および陶器相当便器の両者に対して、便器-便座 間をスポンジゴムで閉鎖した場合、および閉鎖しない場合におけ る騒音レベルの測定結果を表2に示す。樹脂相当便器および陶器 相当便器の両方において、便器-便座間を閉鎖することによる減 音効果が得られた。しかし、樹脂相当便器の方が陶器相当便器よ りも減音効果が低くなった。これは、樹脂相当便器の方が便器側 面から放射される音の割合が大きかったことが原因と考えられ る。

また、図 19 および図 20 は、それぞれの便器について、便器– 便座間の閉鎖前後での音圧レベルの周波数特性を示す。樹脂相当 便器および陶器相当便器の両方とも、測定した全周波数帯域で減 音していることが分かった。

表 2. 便器と便座の間の閉鎖による減音効果 Table 2. Sound attenuating performance by closure of the opening between toilet bowl and toilet seat.

unit: dB(A)

		unit ub(i i)
	Normal	Sponge rubber
Equivalent resin	67.1	62.3
Equivalent pottery	64.5	53.5





resin equivalent bowl.





<5.6> 実際のトイレを用いた減音効果の確認

便器-便座間の閉鎖による減音効果が実際のトイレにおいて も見られるかを確認した。2章と同じトイレにおいて、図 21 に 示すように便器と便座にスポンジゴムを貼り付け、便座を閉じた 際に便器と便座の間に隙間ができないようにした。さらに、図 22 に示すように、閉じた便座の上に図 17 の粘土製臀部モデルを置 き、図 16 と同じ位置にマイクロホンを設置した。音源は、洗浄 ボタン押下時に流水により発生する実際のトイレの洗浄に伴う 音とした。実験の結果、スポンジゴム適用前後の騒音レベル値は、 それぞれ 71.1dB(A)および 63.4dB(A)となり、数 dB(A)の減音効果 が得られた。



図 21. 実際のトイレに施したスポンジゴム Fig.21. Sponge rubber applied to an actual toilet bowl.

6. 個室外への漏えい音低減

便器から放射された音は、個室を隔てる壁、および壁上部や壁 下部の開口部を経由して、個室外の人に届く。ここでは、便器内 から放射された音が、壁によりどの程度の減音効果があるのかを 確かめる実験を行った。

<5.2>節で使用した2種類の便器および音源、および<5.

3>節で使用した音響実験環境を用い、図 16 の個室寸法に沿っ て厚さ 5mm のプラスチック段ボールを天井と床面以外の 4 面に 隙間なく設置した。

樹脂相当便器および陶器相当便器の両者に対して、プラスチック段ボール壁を施した場合と施さない場合における騒音レベルの測定結果を表3に示す。実験の結果、樹脂相当便器および陶器相当便器の両方において、約2dB(A)の減音効果が得られた。



図 22. 実際のトイレを用いた音響実験環境

Fig.22. Acoustic experimental environment using an actual toilet room.

表 3. プラスチック段ボール壁による減音効果 Table 3. Sound attenuating performance of plastic cardboard walls.

		unit: dB(A)
	Without wall	With wall
Equivalent resin	67.1	65.0
Equivalent pottery	64.5	62.6

7.結言

本研究では、用足しの際にトイレ個室外へ漏れ出る音を3段階 に分けて低減することを試みた。まず、便器内の水溜りの水面に おける発生音そのものを低減することを検討し、水面を適切な泡 の層で覆うことによって顕著な減音効果が得られることを示し た。次に、便座よりも下側の便器内空間における伝搬経路対策を 検討し、便器-便座間の隙間をゴムスポンジで閉鎖することによ り比較的大きな減音効果が得られることを明らかにした。最後に、 トイレ個室を隔てる壁の減音効果を確かめる実験を行い、薄いプ ラスチック製段ボールの壁を設置するだけでも、約2dB(A)の減音 効果があることが分かった。今後、これら3つの減音方法をすべ て組み合わせた場合の減音効果を検証する必要がある。また、泡 の層でも音圧低減が困難であった約500Hz以下の周波数帯域につ いての対策は未検討であり、今後の大きな課題である。

文 献

(1) 岩宮ほか; 騒音制御, vol.34, No.5, (2010), pp.418-422.

(2) 京藤ほか; ながれ, vol.23, No.1, (2004), pp.27-36.

Ⅱ. 切削加エシミュレーションに関する研究

Study on Metal Machining Simulation

水野 輝章 若林 武司 上野 実 清水 孝晃 MIZUNO Teruaki WAKABAYASHI Takeshi UENO Minoru SHIMIZU Takaaki 宮田 直幸 佐山 利彦 谷野 克巳 SAYAMA Toshihiko MIYATA Naoyuki TANINO Katsumi

Abstract

In metal machining, experimental investigation has been mainly performed in the optimization of cutting conditions or tool shapes. In other words, from the points of cost, time, and precision of machining, the most suitable cutting conditions have been determined on the basis of accumulated experiential knowledge and many machining experiments. Moreover, such experimental trials have already reached limits in the machining under severe cutting conditions or the machining of new materials. In addition, the exchange of tools due to wear is the most practical and serious problem because the wear leads to tool damage and greatly influences the precision of products. However, it is quite difficult to predict the amount of wear precisely and to judge the tool exchange. In this investigation, finite element analyses for several cutting conditions were carried out to simulate the machining process and to estimate the amount of tool wear. The following results were obtained. First, in lathe machining of work material S45C by using cermet tool, wear experiments of the tool were carried out under several cutting conditions, and a wear estimation formula was determined. Second, in two-dimensional cutting analysis, the change of the maximum amount of wear on the rake face to the cutting length showed good agreement with the results of tool wear experiments in the range of cutting speed from 100 to 300 m/min. And the last, in three-dimensional cutting analysis, the distribution of the amount of wear on the rake face also showed good agreement with the results of tool wear experiments, and it became possible to evaluate the wear on the flank face. These results suggest that the mechanism of wear on the rake and flank faces is primarily diffusion wear rate-limited by temperature.

1. 諸言

切削加工においては、工具形状や切削条件の最適化は主に実験 的に行われてきた。すなわち、メーカが推奨する加工条件の範囲 内において、加工時間、コスト、工具寿命、加工精度等の観点か ら最適な加工条件を決定するには、多くの経験と加工実験の裏付 けを必要とする。また、過酷な切削条件下での加工や新しい素材 の加工に関しては、実験的手法のみでは効率的な切削を行うこと が困難になっている。さらに、工具寿命は、主に工具摩耗によっ て決定される。工具摩耗が進むと、製品の精度や仕上げ面粗さな どに大きく影響し、工具破損に繋がることもある。しかし、工具 摩耗は、被削材および工具の組成、加工条件等により変わるため、 摩耗量を正確に予測し、最適な工具交換時期を判断することは困 難なことである。

近年、コンピュータの演算能力の飛躍的な向上により、複雑で 大規模な有限要素法を用いた解析が可能となり、かつ解析時間の 大幅な短縮も可能となっている。そこで、本研究では、代表的な 切削加工である旋盤加工を対象として、まず S45C の被削材およ びサーメット工具を用いた工具摩耗試験を実施し、工具摩耗評価 式を決定した。次に、有限要素法を用いた2次元および3次元の 切削加工解析を実施し、最終的に工具摩耗量を推定する研究を行 った。

2. 旋盤加工と工具摩耗の概要

<2. 1>旋盤加工

旋盤加工は、古典的な切削加工方法の一つである。旋盤では、 被削材を回転させ、刃物台に固定されたバイトと呼ばれる工具を 押し当てながら移動し、切削加工を行う。このとき、図1に示す ように、主分力、送り分力、および背分力の3分力からなる切削 動力が作用する。



図1 旋盤加工と切削動力 Fig.1 Lathe machining and cutting forces.

<2. 2> 工具摩耗の種類

図 2 に示すように、旋盤加工における主な工具摩耗の種類は、 その発生する箇所に対応して、次の3つがあげられる。⁽¹⁾

a. 逃げ面摩耗

工具と切削仕上げ面との不必要な接触を避けるために逃がし た面(逃げ面)において生じる摩耗。

b. すくい面摩耗

切削の主体となる面(すくい面)において、被削材の切りく ずとの摩擦により生じる摩耗。

c. 境界摩耗

切削部と非切削部との境界において生じる細長い溝状の摩耗。



図2 工具摩耗の種類

Fig.2 Classification of tool wears in lathe machining.

3. 工具摩耗試験

<3. 1> 試験方法

切削加工解析に先立ち、工具の摩耗状況を定量化するために、 工具摩耗試験を実施し、工具摩耗量および切削動力を測定した。 被削材は φ50 mm の構造用炭素鋼 S45C であり、オークマ(株)製 CNC 旋盤 LB15 II C を使用して乾式切削を行った。工具は、サー メット素材のチップ((株)タンガロイ社製 TPGN160304 NS9530) を使用した。チップ形状は、ノーズ半径 0.4 mm であり、すくい 面に対し角度 30°および幅 60 μm で面取りされた形状を持つ角度 切れ刃となっている。このチップを、チップブレーカー((株)タ ンガロイ社製 CBT-3S) とともに、工具ホルダ((株)タンガロイ社 製 CTGPR/L2020K3) に取付けて加工を行った。チップを工具ホ ルダに取付けると、横切れ刃角-1°およびすくい角 5°の状態に設定 される。表1は、切削条件を示す。

表1 切削条件 Table .1 Cutting conditions.

切削速度 V (Cutting speed)	100m/min	200m/min	300m/min	
送り速度 f (Feed rate)	0.15mm/rev			
切込み量 a (Depth of cut)		1. 0mm		

<3. 2> 測定方法

工具摩耗状況については、チップ表面の外観を光学顕微鏡にて、 またすくい面の摩耗部を電子顕微鏡にて観察した。ここで、すく い面における摩耗量は、非接触3次元粗さ測定装置を用いて測定 を行った。さらに、切削動力の測定には、日本キスラー(株)製の3 成分工具動力計を使用した。

4. 工具摩耗試験結果と工具摩耗モデルについて

<4.1> 切削動力

工具摩耗試験の結果として、図3は、切削動力の3分力(主分 力、送り分力、背分力)と切削距離との関係を示す。切削の初期 においては、切削速度が遅いほど、3分力が共に大きい傾向にあ る。また、切削速度 V=300 m/min においては、切削距離が長く なるほど切削動力は増加傾向にある。一方、切削速度 V=200、 100 m/min においては、ほぼ一定あるいは微増の傾向となった。 なお、切削速度 V=300 m/min においては、チップの摩耗が大き くなったために、切削距離 3000 m で測定を打ち切った。



Fig.3 Change of cutting forces for cutting distance.

<4. 2> 工具摩耗状況

工具摩耗試験におけるチップ表面の摩耗形態を確認するため、 一定距離を切削するごとにチップの外観の観察を行った。図4は、 一例として切削速度 V=300 m/min における切削距離3000 m 時の チップ表面状態を示す。図において、チップ上端から1.0 mm の 範囲が切削部である。逃げ面の右端に見える白い光沢部が、逃げ 面摩耗である。工具摩耗試験においては、逃げ面の摩耗量が少な く、光学顕微鏡での判断は困難であった。一方、すくい面におい ては、エッジから約0.5 mm までの範囲において色合いが変化し ている部分が、すくい面摩耗である。これは、すくい面と切りく ずとの摩擦により形成されたものである。また、各面ともに切削 部と非切削部との境界においては、目視にて分かるほど顕著な境 界摩耗が現れている。





<4. 3> 工具摩耗の定量化

工具寿命の評価は、一般的に、逃げ面、およびすくい面におけ る摩耗状況により判断が行われる。図4に示すように、逃げ面摩 耗は、すくい面摩耗と比較して相対的に小さかったので、すくい 面摩耗に焦点をおいて摩耗量を測定した。工具摩耗量の計測は、 外観の観察と同様に、一定距離を切削する毎に非接触3次元粗さ 測定装置を用いて行った。図5は、すくい面における摩耗量分布 の一例を示す。図4においては、すくい面において変色部が目視 にて確認されたが、摩耗量の測定結果から、摩耗域は変色部と完 全に対応しておらず、また摩耗域内においても摩耗量の分布があ ることが分かる。また、チップ先端のノーズ半径のR部において も境界摩耗が見られた。



図 5 チップすくい面における摩耗量分布 Fig.5 An example of wear distribution on the rake face.

そこで、図6に示すように、摩耗の幅が広く安定している部分 において工具摩耗プロファイルの測定ラインを設定した。すなわ ち、チップ先端部およびすくい面のエッジをそれぞれ基準として、 測定ラインを4箇所設定し、各ラインにおいて摩耗プロファイル の測定を行った。4箇所の設定理由は次のとおりである。ライン ①は、境界摩耗の影響がある位置において摩耗プロファイルを得 るためであり、ライン②~④は、最大摩耗量の平均値を求めるた めに選定した。



図6 摩耗プロファイルの測定ライン Fig.6 Measurement lines for wear profiles.

切削速度毎に、すくい面摩耗量と切削距離との関係を測定した 結果、図7に示す関係が得られた。ここで、平均摩耗量は、図6 に示した測定ライン②~④における各プロファイルの最大摩耗 量の平均値と定義する。図7から、切削速度が速いほど、平均摩 耗量が大きいといえる。具体的には、V=200、および100 m/min においては、同じ切削距離での平均摩耗量に大差は見られなかっ た。一方、V=300 m/min においては、相対的に大きな摩耗量とな った。次に、図8は、切削距離3000mにおける摩耗プロファイ ルを測定した結果を示す。こちらは、図6に示す測定ライン②~ ④における平均の摩耗プロファイルである。図8より、切削速度 が速いほど、摩耗幅が大きく、かつ深く摩耗していることが分か る。また、すくい面のエッジから摩耗が始まる位置については、 V=300m/minではエッジからすぐに摩耗が始まっているが、V= 100m/minではエッジから約0.2mm離れた位置から摩耗が始まっ ている。各切削速度におけるプロファイルを比較すると、切削速 度が速いほどすくい面のエッジに近い所から摩耗が始まってい る。



図7 切削距離と平均摩耗量の関係

Fig.7 Change of mean wear for cutting distance.





<4. 4> 工具摩耗評価式

本研究の対象とする旋盤加工においては、大別して次の3種類の摩耗形態を想定することができる⁽²⁾。

a.凝着摩耗

接触面にある微小の凹凸が、加圧による変形凝着とせん断 による破壊を繰り返すことに起因する摩耗である。 b.アブレッシブ摩耗

チップと被削材との接触面に硬い酸化物や金属間化合物が 生成することに起因する摩耗である。

c.拡散摩耗

被削材の塑性変形によるひずみエネルギおよび被削材とチッ プとの摩擦エネルギは、その大部分が熱エネルギに変換され、 被削材とチップとの境界が、非常な高温にさらされることに起 因する原子拡散による摩耗である。

摩耗量の大きさは、a~c の順に大きくなる。まず、凝着摩耗は、 他の形態の摩耗と比較して十分に小さいため、評価しないことと した。次に、アブレッシブ摩耗は、実験的にはチップおよび被削 材の硬度の関数として取り扱われる。しかし、本研究では、式(1) のように、アブレッシブ摩耗による摩耗比率 dw/dl は一定値であ ると仮定した。これは、チップ材料のサーメットは、硬度の温度 依存性が小さいこと、また前述の工具摩耗試験において、摩耗比 率 dw/dl に明確な下限値が認められたことによる。

$$\frac{dw}{dl} = C_1 \tag{1}$$

ここに、w は摩耗量、1 は切削距離、および C₁ は定数である。 さらに、拡散摩耗には、チップ表面の面圧 σ、および温度 T に よって大きく影響を受ける。本研究では、解析モデルにおいて取 り扱いを容易にするために、式(2)に示すように、摩耗比率 dw/dl は、面圧 σ については累乗則で、また温度 T に関してはアレニウ ス型で表されるものと仮定した。

$$\frac{dw}{dl} = C_2 \sigma^n \exp\left(-\frac{C_3}{T}\right) \tag{2}$$

ここに、C2、C3、およびnは定数である。

最終的に、摩耗比率 dw/dl を表す工具摩耗評価式は、次式に示 すように、アブレッシブ摩耗と拡散摩耗の線形和とするモデルを 適用する。

$$\frac{dw}{dl} = C_1 + C_2 \sigma^n \exp\left(-\frac{C_3}{T}\right) \tag{3}$$

式(3)の左辺 dw/dl は、工具摩耗試験により実験的に求めること ができる。しかし、右辺の面圧 σ および温度 T は、工具表面の極 めて局所的な値であり、実測することは困難である。そこで、式 (3)における定数は、以下の手順によって求めた。

- ② 摩耗比率 dw/dl に対応する 2 次元切削解析において得られる 面圧 σ および温度 T のデータを用いて、式(3)のカーブフィッ

トを行い、定数C2、C3、およびnを求める。

 定数 C₂、C₃、および n が収束するまで、2 次元切削解析を繰 り返す。

5.2次元切削モデルによる解析

<5.1> 2次元切削モデル

有限要素法を用いて、まず2次元切削加工解析を行う。有限要 素法においては、図9に示すように、まず物体を小さな要素に分 割し、変形特性を与えた各要素について力の釣り合いを表す方程 式を作成する。そして、各方程式を組み合わせて物体全体の再構 成を行い、全体の釣り合い方程式を解いて物体の挙動を予測する。



本研究では、最初に2次元切削モデルによる解析を実施した。 この理由としては、まず古典的な2次元切削理論での対応が容易 であることがあげられる。また、3次元切削モデルは非常に大規 模となるために、PCのハードウエア環境では、数日単位の解析 時間が必要になるという現実的な問題がある。効率的にパラメー タスタディを行い、切削および摩耗現象について概要を把握する ために、まず2次元切削モデルによる解析を実施した。



図 10 は、2 次元切削モデルを示す。まず、旋盤の外形切削は、 近似的に円筒の切削に置き換えることができる。さらに、円筒形 の半径が十分大きければ、固定した直方体の被削材を切削速度 V の工具で切削するモデルとして考えることができる。また、切削 加工は、工具先端のみにおける非常に局所的な現象であるため、 加工周辺部のみを簡略にモデル化した。図 10 に示す領域は、 X 方向:3.0 mm×Y方向:2.1 mmの大きさであり、解析の初期にお いては、要素数1415、節点数1525、および最小要素寸法は3.2 µm である。また、工具と被削材が接触する部分においては、詳細な 解析を行うため、細かな要素分割を行っている。さらに、要素の ゆがみや塑性ひずみの変化が大きくなった場合には、要素の再分 割を遂次行った。

<5. 2> 解析環境

表2に示すソフトウェア環境を用いて、解析を実施した。基本 的な手順は、まずCADにより工具および被切材の形状を作成し、 インターフェイスによりソルバ用の入力データを作成する。そし て、ソルバにおいて有限要素解析を実行し、最後に、インターフ ェイスに解析結果を戻し、結果の表示および評価を行う。

表2 解析に使用したソフトウェア環境

Table 2 Software environment for the analysis.

ソフトの分類	ソフト名	使用目的
CAD	Sollid Edge	モデルの作成
インターフェース	MSC/Patran MSC/Mentat	解析用入力データの作成 結果表示
ソルバ	MSC/Marc	有限要素解析の実行

<5. 3> 2次元切削モデルによる解析結果

図 10 に示す 2 次元切削モデルを用いて解析を実施した。図 11 および図 12 は、切削速度 V=300 m/min における、相当応力分布、 および温度分布の例をそれぞれ示す。図において、色の濃い部分 は、数値が大きいことを示している。図 11 より、逃げ面の先端 部において最も高い応力が発生しており、被削材においても、こ の付近から応力が高いせん断帯が形成されていることが分かる。 すくい面においては、被削材から形成される切りくずとすくい面 とが、摩擦接触する部分に高い応力が発生している。切りくずが すくい面のエッジ部分から離れるに従い、すくい面に対する相対 速度は急激に増加し、切りくずがかい離する付近において最大速 度に達する。最も応力の高い位置は、この部分と対応している。 次に、図 12 より、すくい面と切りくずとの接触領域において、 最大で約800℃の高温となっている。これは、被削材の塑性変形 によるひずみエネルギ、および摩擦エネルギの大部分が、熱エネ ルギに変換されるためである。一方、切りくずの工具と接触して いない背面においては、温度は高々200℃程度の上昇にとどまる。 さらに、図 11 および図 12 を比較すると、すくい面においては、 相当応力、温度共に高い場所はほぼ対応している。





図 12 温度分布の一例 Fig.12 Temperature distribution at cutting speed of 300 m/min.

<5. 4> 2次元切削モデルによる工具摩耗の推定

 2 次元切削モデルを用い、まず<4.4>で述べた工具摩耗評価 式の定数を求めた結果、C₁=2.11×10⁻⁹、C₂=1.76×10⁻¹⁴ (at 1 MPa)、 C₃=5.07×10³ K、n=2.39 と得られた。この定数を使用した工具摩耗 評価式より摩耗量の評価を実施した。

図13は、2次元切削モデルを用いた解析において、平均摩耗量 の変化を推定した結果を、工具摩耗試験の結果と比較する形で示 す。各切削速度において、解析結果と試験結果との差は、1 µm 以 内であり、概ね一致しているといえる。次に、図14は、2次元切 削モデルを用いた解析による摩耗プロファイルの推定結果を示 す。工具摩耗試験の結果と解析結果とを比較すると、摩耗量の最 大値に関しては概ね一致しているが、最大摩耗が発生する位置に 関しては一致しているとはいえない。これは、2次元解析におい ては、奥行き方向には物理量が変化しないと仮定しているため、 摩耗量の3次元分布を反映できないからである。実際の切削にお いては、切りくずがらせん状に排出されることからも分かるとお り、工具の角度やノーズ半径などの影響が、2次元切削モデルで は考慮されていない。

以上より、切削距離に対する平均摩耗量の変化を評価するので

あれば、2次元切削モデルにより可能であるが、摩耗プロファイルを含む摩耗量分布については、十分な精度の推定ができるとは言えない。



図 13 2 次元モデルによる平均摩耗量の推定 Fig.13 Estimation of amount of mean wear by using 2-dimensional cutting model.



図 14 2 次元モデルによる摩耗プロファイルの推定 Fig.14 Estimation of wear profile by using 2-dimensional cutting model.

6.3次元切削モデルによる解析

<6. 1> 3次元切削モデル

工具表面の摩耗量分布を得て、摩耗プロファイルの評価を行う ため、3 次元切削モデルによる解析を実施した。切削が非常に局 所的な現象であるため、2 次元切削モデルと同様に、工具および 被削材について加工が進行する部分のみをモデル化した。図 15 は、3 次元切削モデルを示す。ここで、工具による切削方向は Y 方向であるが、被削材が一回転するごとに、送り速度 f で-Z 方向 に工具が移動し、被削材を加工する。また、連続加工時の評価を 行うために、被削材の形状を工具のノーズ半径 R で既に削られた 形状とした。図 15 に示す全体領域は、X 方向:3.1 mm ×Y 方向: 3.0 mm ×Z 方向:3.2 mm の大きさであり、解析の初期においては、 要素数 239,464、節点数 47,145、および最小要素寸法は 10.3 µm で ある。



Fig.15 3-dimensional model for cutting analysis.

<6. 2> 3次元切削モデルによる解析結果

図15に示した3次元切削モデルに対して、2次元切削解析の結 果より定めた工具摩耗評価式を適用し、3次元切削解析を実施した。



図 16 切削状況および相当応力分布の例 Fig.16 An example of deformed state and equivalent stress distribution by 3-demensional cutting analysis.

図 16 は、切削状況および相当応力分布の一例を示す。切りく ずは、工具先端部 A と被削材の端面境界部 B とを結んだ線上にお いて形成され、この線に直交かつすくい面に沿う方向へと流れて いく。また、A および B においては、相当塑性ひずみが最も集中 していること、加えて元々の形状から外側へと大きな変形が見ら れることから、実際の切削においては、ばりの形成が示唆される。 さらに、切りくず背面の領域 C は、せん断帯の終端部にあたり、 相当応力が高くなっている。

次に、図 17 および図 18 は、切削速度 V=300 m/min における、 工具表面の面圧分布および温度分布をそれぞれ示す。図における 視点は、図15に示したモデルのY方向であり、色の濃い部分は、 数値が大きいことを示している。図 17 より、工具の切れ刃付近 において、面圧が高くなっている。2 次元切削モデルでは、すく い面の先端よりも切りくずがすくい面からかい離する領域にお いて応力が高かったが、3 次元切削モデルの解析では、異なった 結果となった。次に、図18より、2次元解析の結果と同様に、被 削材とすくい面とが接触し、切りくずがすくい面からかい離する 部分が高い温度分布となった。一方、ノーズ半径のR部を含む逃 げ面のエッジ部においても、高い温度となっており、2次元解析 と異なる結果となった。これは、2次元切削解析では、工具のエ ッジ部に設けられた面取り付近において、塑性流動の停留が見ら れたのに対し、3次元切削解析では、エッジ部をクサビとして、 すくい面および逃げ面へと滑らかに塑性流動が起こっているこ ととして理解できる。









<6.3> 3次元切削モデルによる工具摩耗の推定

図19は、切削速度 V=300 m/min、および切削距離3000 m にお ける、すくい面上での摩耗量分布を示す。比較のために、同一条 件での工具摩耗試験における摩耗量分布を図20に示す。いずれ の図においても、色の濃い部分は、数値が大きいことを示してい る。両者の比較により、すくい面における摩耗量の分布は、概ね 一致しているといえる。また、図17に示した温度分布の高い領 域と摩耗量の大きい領域が、概ね一致しているとは、すくい面お よび逃げ面摩耗の形態が、主に温度律速による拡散摩耗であるこ とを示唆している。さらに、図21は、図6におけるライン②上 の摩耗プロファイルを、3次元切削解析の結果と工具摩耗試験の











結果について比較したものである。図より、摩耗プロファイルは 近似しており最大摩耗量の差は約0.5 µm、摩耗幅の差は約50 µm であり、両者は非常に良い一致を見た。

7. 結言

代表的な切削加工である旋盤加工を対象として、工具寿命に決 定的な影響を及ぼす工具摩耗を推定するために、有限要素法を用 いた2次元および3次元の切削加工解析を実施した。以下の結果 が得られた。

- (1) サーメット工具を用いた被削材 S45C の旋盤加工において、工 具摩耗試験および切削解析を実施し、アブレッシブ摩耗およ び拡散摩耗を想定した工具摩耗評価式を決定した。
- (2) 2 次元切削モデルを用いた解析では、切削速度が 100~300 m/min の範囲において、すくい面における最大摩耗量の切削長 さに対する変化は、工具摩耗試験の結果とよい一致を示した。
- (3)3次元切削モデルを用いた解析では、すくい面における摩耗量の分布状況も、工具摩耗試験の結果とよい一致を示した。また、逃げ面における摩耗についても推定が可能と思われる。このことは、すくい面および逃げ面における摩耗形態が、主に温度律速による拡散摩耗であることを示唆している。

文 献

- (1) JIS B0170:1993 切削工具用語(基本)
- (2) 横山良彦、他: NACHI-BUSHINEE NEWS, Vol. 9D2 (2005).

Ⅲ. 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

Study on the Prototype Plastic Mold for Blow Molding by 3D Printing Technology

黑田 大輔 相馬 優 桑原 浩一 鍋澤 浩文 KURODA Daisuke SOHMA Yutaka KUWAHARA Koichi NABESAWA Hirofumi 山本 貴文 住岡 淳司 林 千歳 横山 義之 土肥 義治 YAMAMOTO Takafumi SUMIOKA Jyunji HAYASHI Chitoshi YOKOYAMA Yoshiyuki DOI Yoshiharu

Abstract

This study explored the feasibility of test mold made by plastic 3D printer for the test product development of standard blow molding. LDPE tube and PET bottle were selected to evaluate heat and pressure resistance of the plastic test mold, respectively. As the parison temperature of LDPE is close to the melting point of mold material, a test mold with a water cooling channel coated by epoxy resin was fabricated to avoid its thermal deformation and product sticking to mold. A hundred LDPE tubes were obtained by the continuous direct blow molding process with the mold. Additionally, PET bottles were injection blow-molded by a hybrid mold consists of two parts, an iron screw mold and a plastic base mold with diamond-cut surface. In spite of the high blow pressure condition of 3.5 MPa (about 10 times higher than that of LDPE tube), fifteen PET bottles were successfully made without breakage and deformation of the mold. In conclusion, the plastic test mold made by 3D printer has great possibilities to make test products by taking into account the characteristics of molding method.

1. 緒言

中空成形、すなわちブロー成形 (Blow molding) は、一般的に チューブや飲料ボトル、医薬品容器などのプラスチック製品を大 量生産する際に用いられている。このブロー成形は、シミュレー ションによる成形品の肉厚や寸法等についての成形前評価が難 しいため、量産用金型を製作するためには多くの試作金型を製作 し、成形品の評価を行うことが必要となる。この試作金型の製作 期間は調整加工も含め1~2ヶ月を要す上、追加工により材料費・ 加工費が大きく嵩むという問題点がある。

一方で、昨今 3D データを用いた積層造形、いわゆる 3D プリン ティングが試作開発期間の短縮や低コスト化の観点から注目を 集めており^{(1),(2)}、最近ではプラスチック製品の成形金型への応用 が提案されている。

本研究では 3D プリンティング技術の中でも費用面でより一般 的な材料である樹脂を用いて、簡易的なブロー成形樹脂型の製作 に取り組んだ。樹脂型を造形し寸法精度・表面粗さを評価後、型 を実機に搭載しブロー成形を行い、型の耐熱性や耐久性、成形品 の寸法精度、透明性等、使用上の問題点を調査することで、試作 型としての適用可能性を検討した。

2. 3D プリンタの概要

3D プリンタ(積層造形装置)には現在7つの積層方式があり⁽³⁾、 本研究では粉末床熔融結合方式の積層造形装置 EOS Formiga P100 を用いた。この方式は他に比べ造形物の強度があり、複雑形状に 適している。この装置の主な仕様を表1に、使用材料の主な物性 値を表2に示す。

EOS Formiga P100					
メーカー	EOS (Electro Optical Systems)				
造形方式	粉末床熔融結合				
造形可能寸法	200mm X 250mm X 330mm(H)				
造形ピッチ	0.10mm				
造形速度	10mm/h (高さ方向)				
レーザー径	約0.5mm(CO ₂)				

表1 EOS 製 Formiga P100 の主な仕様 Table 1 EOS / Formiga P100 main specification.

表2 使用材料の主な物性値

Table 2 Main physical properties of the employed material.

ファインナイロン(polyamide12) : PA2200						
平均粒子径	-	60	μ m			
かさ密度	DIN 53466	0.435~ 0.445	g/cm³			
レーザー焼結パーツ密度	EOS方式	0.90~0.95	g/cm³			
硬度 (Shore D)	DIN 53505	75±2	-			
融点	DIN 53736	172~180	°C			
ビカット軟化温度 B/50	DIN EN ISO 306	163	°C			
ビカット軟化温度 A/50	DIN EN ISO 306	181	°C			

3. 3D プリンタの基本特性評価

樹脂型の製作に先駆け、積層造形装置の 3D データに対する形 状再現性及びその表面粗さについて検討した。本研究では、3D プ リンティングにより容量 15~20ml 程の比較的小さなブロー容器 成形型を造形するため、前述の造形方式や造形ピッチ(表1、2) が型の形状精度及び表面性状に大きく影響すると考えた。

<3. 1> 3D データに対する形状再現性の評価

樹脂型の製品成形面のうち最も微細な形状となるネジ部について、ネジ形状試験片を用いたデジタル光学顕微鏡による観察評価を行った(図1)。方法は、片辺勾配30度の三角ネジの山頂点を先端R無し~R0.5に段階的変化させた3Dデータを作成し、これを造形した試験片のネジ山先端R径を画像計測した。結果として3DデータR0.3~R0.5までは、概ねデータ値通りに造形されていたが、データ値R0.2以下は、いずれもR0.3程度の先端Rが付与されていた。このことより、ネジ形状試験片における造形精度はR0.3が限界であると結論付けた。



図 1 ネジ形状試験片 (a) 概観 (b) ネジ山部 (c) ネジ山の拡大写真 Fig.1 Screw-shaped test piece. (a) Overview (b) Thread part (c) Top view of thread

<3. 2> 造形体表面粗さの評価

粉末床熔融結合方式では、造形する部分を選択的にレーザー照 射し粉末媒体を熔融することにより形作っていくが、図2(a)に示 す様にレーザー照射された部分はおよそ半球状に熔融・凝固する。 これにより、造形体においては連続的に半球状の凝固が繰り返さ れ造形面が形成されるため、その下面側は丸味を帯び、上面側は 鋭利となり段差が大きくなる⁽⁴⁾(図2(b))。





本装置は、積層角度に依存した段差形成が既に確認されていた ため⁽⁵⁾、板状試験片による面粗度評価を行った。積層角度を 0~ 90°に段階的に変化させた板状試験片を造形し、その上下面の面 粗度を表面粗さ測定器にて測定した。上面は積層角度 15°で Ra30µm を超える粗面が形成され、全造形角度の平均値で上面が粗 いことが確認された。この結果より、樹脂型の造形は製品成形面 を下向きにして行うことにした。

4. 対象とするブロー成形法と型の基本構造

本研究では、ブロー成形に樹脂型を用いた際の懸念事項と考え られる成形時の耐熱性、及び耐圧性を検討するために、①ダイレ クトブロー成形による LDPE (低密度ポリエチレン) チューブ φ 19mm・H120mm (図3)、及び②インジェクションブロー成形による ミニ PET (ポリエチレンテレフタレート) ボトル φ 23mm・H60mm (図4) をそれぞれ成形対象に選んだ。

<4. 1> ダイレクトブロー成形 (LDPE チューブ)

ダイレクトブロー成形とは、押出機より溶融押出されたパイプ 状の樹脂 (パリソン)を金型に挟み込み、冷めないうちに直接空 気を吹き込んで中空品を作る成形方法である。LDPE チューブの成 形にあたっては、160~180℃で LDPE を軟化させ、吹き込み時に 約 120~140℃になったパリソンを用いるため、樹脂型の耐熱性が 主な懸念事項と想定された。また LDPE は常温でも比較的軟質な 樹脂であるため、成形後の離型不良も懸念された。なお、チュー ブ形状は、成形性評価を容易にするため、通常金属型による量産 実績品と同形状とした。研究目標値について、外観・寸法・キャ ップ嵌合・吐出感等の評価への利用の観点から成形ショット可能 数を100 ショット、連続成形のサイクル時間は使用するブロー成 形実機の最低速度である 30 秒/本に設定した。



図3 LDPE チューブとその樹脂型の 3D イメージ Fig.3 3D images of LDPE tube and plastic test mold.

<4.2> インジェクションブロー成形(ミニPETボトル) インジェクションブロー成形とは、射出成形によりプリフォー ムと呼ばれる試験管形状の成形品を前工程で作り、それを再加熱 によって胴体部のみ軟化させ、高圧エアーを吹き込んで中空品を 作る成形方法である。製品ネジ部は射出成形で形作られるため、 寸法精度の良い容器口部を製作することができる。胴体部を形成 するブロー工程では約3.5MPaの高圧エアーを用いるため、樹脂 型の機械的強度(耐圧性)が懸念事項と想定された。また、ブロ ー時のプリフォーム温度は約60~70℃程度であるため、樹脂型の 耐熱性は懸念事項として想定しなかった。特にミニPETボトルは 樹脂型の意匠再現性を主目的として行うこととし、図4に示すダ イヤモンドカットの側面を持つオリジナル形状を製作してブロ ー成形実機搭載による成形性諸評価を行うことにした。



図4 ミニPET ボトルとその樹脂型の 3D イメージ Fig.4 3D images of mini-PET bottle and plastic test mold.

<4. 3> 型の基本構造

本研究では、型の基本構造として、ブロー成形面を備えた 3D プリンタ製の樹脂型を金属製のベース型(バックアップ)に嵌入 する「入子方式」を採用した。これにより樹脂型の厚肉箇所の反 り低減、及び造形材料と造形時間の低減を図ることが可能となる。 なお金属製ベース型は鋼材ブロックを切削加工で製作した。その 他研究を進める上で、通常金属型と比較して 3D プリンタ製樹脂 型の利点とされる製作費用・製作期間について、金属型のそれを 上回らないよう留意した。

5. ダイレクトブロー成形の実験方法

- <5.1> 型及び成形品の作製と評価
- (1) 型の設計・製作と評価

樹脂型の設計について、内面(成形面)の設計は通常金属型と 同じ寸法とし、外面については成形面から外側に約8mmの肉厚を 狙い半円柱状とした。また嵌入するベース型へのボルト固定を想 定し、外面に雌ネジ部を設けた。この3Dデータを作成し、プリ ンティングした。評価としては、造形型と3Dデータとの寸法差 異及びブロー成形前後の型の形状変化をエックス線CT装置にて 測定した。型の表面粗さは表面粗さ測定器を用いて測定した。ま た型の水冷効果については、80℃に加熱した型を実機と同じ条件 (0.3MPa・20℃)で2分間通水し、型表面(ネジ部・胴部)の温 度を熱画像装置で測定した。

(2) ブロー成形実験と成形品の評価

製作した樹脂型をブロー成形機に取付け、LDPEを材料としたブロー成形を行った。成形条件は表3のとおりである。

表 3 LDPE チューブ成形条件

Table 3 Direct blow molding conditions of LDPE tube.

成形方法		押出ダイレクトブロー
材料		LDPE(透明色)
成形ブロー圧	(MPa)	0. 3
成形サイクル	(sec)	30
成形品胴肉厚狙い値	(µm)	400
成形時パリソン温度	(°C)	120~140
冷却水温度	(°C)	21

採取した成形サンプルを以下の項目について、通常金属型成 形品との比較評価を行った(図5)。

①【連続成形ショット数】上記の成形条件にて連続成形を行い、 成形数量をカウントする。型への張り付き等による著しい離 型不良や成形不良、型の破損等発生した場合はその時点で成 形を終了する。

② 【寸法】ノギスにて成形品のネジ部・胴部の外径、及び底面からネジ部付根までの高さを測定する。



凶 5 成形品評価測定固所

Fig.5 Measurement points of LDPE tube.

- ③ 【表面粗さ】表面粗さ測定器にて成形品の胴部中央を縦・横 それぞれの方向にて測定する。
- ④ 【透明度(光透過率)】分光光度計にて成形品の胴部中央の 断片を測定する。

6. ダイレクトブロー成形の実験結果と考察

本研究では2種類の樹脂型(1次型・2次型)を用いて成形実 験を行った。1次型では根本的な成形可能性の確認及び問題点の 抽出を目的とし、2次型ではその改善処置を検討した。

<6.1> 1次型(表面処理と水冷機構のない樹脂型)

図6に造形した樹脂型と入子方式で金属型に取付けた樹脂型を 示す。



図 6 1 次試作型 (a) 樹脂型 (b) 入子構造 Fig.6 First test mold. (a) Plastic test mold (b) Insert structure

この水冷構造のない樹脂型に、成形面研磨などの後処理を加え ず、ブロー成形を行ったところ、樹脂型を破壊することなく成形 体を得ることができた(図7(a))。しかし、通常金属型での成形 品と比較した場合に以下の点において型の機能性が及んでいな いことが確認された(下記①~④の結果は<6.2>にまとめる)。



図7 1 次型成形品 (a) 良品 (b) 変形した離型不良品 Fig.7 Molding products of first-mold blowing. (a) Good product (b) Deformed product

- 連続成形において、成形後の離型不良が発生した(図7(b))。
 原因は、冷却構造が無いことによる型温上昇と考えられる。
- ② 成形品の熱変形・収縮が大きい。冷却不足により型開き直後の成形品温度が高いと考えられ、離型後の後収縮に影響していると考えられる。
- ③ 成形品の表面粗さが金属型成形品よりも粗い。これは積層造 形方式による型の表面粗さ(積層段差や造形粉末の粒子)が 成形品に転写されたためである。
- ④ 成形品の透明度が金属型成形品より劣っている。上述③と同 理由による表面の乱反射による白色化が生じた。

なお、3D プリンタ造形後の型と元の3D データとの寸法差異、 及び連続ブロー成形前後での型の変形・劣化は、CT スキャンによ る形状測定ではほとんど確認できなかった。

<6. 2> 2次型(改良型)

前述<6.1>①~④の項目への対策を施した樹脂型を製作し、 成形実験及び評価を行った。

(1)型の設計・製作と評価

具体的な対策として、樹脂型の内面(成形面)を#1000の耐水 ペーパーで研磨し面粗度を改善させた。且つ、型内部に3次元流 路を設け水冷可能とした。3次元流路について、成形面に沿って 型の内部をM字状に往復するよう設計し冷却効率の向上を図った

(図8)。また、造形直後の流路に通水すると流路から型表面にリ ークが発生したため、流路内に低粘度エポキシ(粘度 190cP)を コーティングした。図9に示すように、含浸域の幅は約0.2mm 程 度であった。その他、通水ホースを繋ぐ継手を樹脂型に直接取付 け、ベース型に組み込んだ(図10)。



図83次元流路 Fig.8 Three-dimensional water channel.



図9 低粘度エポキシコーティング処理した流路 Fig.9 Water channel coated by low viscosity epoxy resin.





図 10 2 次試作型 (a)ホース継手を取付けた樹脂型 (b)ベース型に組み込んだ樹脂型 Fig.10 Second test mold. (a) Plastic test mold with hose couplings (b)Plastic test mold assembled into a base mold このように対策を施した樹脂型の表面粗さについては、金属型 に及ばないものの、1 次型から大幅に改善し Ra4.94µm となった (図 11)。また図 12 に示すように、水冷効果検証実験について目 標サイクルの開始 30 秒後の温度変化に着目すると、自然放熱の 放冷型は、胴部・ネジ部ともに約 2℃しか冷却効果が見られなか った。一方、水冷型については、胴部で約 23℃、ネジ部で約 8℃ の温度変化が見られ、水冷による冷却効果の改善を確認できた。 ネジ部は胴部に比べて冷却効果が低いが、これはベース型に取り 付ける樹脂型の構造上、ネジ部周辺が厚肉になってしまうためと 考えられる。



Fig.12 Relationship between cooling time and mold surface temperature.

(2) ブロー成形品の評価

2 次型を用いてブロー成形実験を行い、採取した成形サンプル について以下の項目①~④における金属型及び1次型の成形品と の比較評価を行った。

 連続成形ショット数は、1次型では連続10ショット(うち7 本が離型不良によるネジ部破断)で作業を中断したのに対し、 2次型では100ショット(ネジ部破断無し。離型不良による 小さな破れ・変形は発生)まで成形が可能となった。成形品 離型直後の型胴部温度は1次型では、ショット数に伴い大き く上昇したのに対し、2次型では35℃前後を推移しており、 連続成形において水冷の効果が現れている(図13)。

- ② 成形品高さは、ほとんど収縮のない金属型成形品に対し、水 冷構造の無い1次型成形品では約1.7%と大きいが、水冷し た2次型成形品では約0.9%の収縮に抑えることができ、こ の点でも水冷による改善が確認された(図14)。また、ネジ 部、胴部の外径寸法についても同様の傾向が見られた。
- ③ 成形品の表面粗さは、1 次型の Ra13.08µm から 2 次型では Ra2.34µm と大幅に改善しており、型の研磨加工が重要で有 ることがわかる(図 15)。
- ④ 成形品透明度(光透過率)は、型及び成形品の表面粗さの向上に伴い、1次型の13.5%に対して、51.4%という飛躍的な改善が見られた(図16)。



図 13 成形ショット数と型表面の温度変化の関係

Fig.13 Relationship between shots and mold surface temperature.



図 14 成形品の高さ n=3 AVE. Fig.14 Height of molding products.



Fig.15 Surface roughness of molding products.



Fig.16 Light transmittance of molding products.

以上の成形品評価結果をまとめ、表4に示した。

表4 LDPE チューブ成形品評価結果

Ē	平価項目	1 次型	2次型 (表面研磨・水冷有り)	金属型
① 連続府	成形ショット数 (本)	10	100	(量産)
② 寸法 (mm)	ネジ外径	11.7	11.8	11.9
	胴外径	18.4	18.7	18.9
	底面~ネジ部付根	107.7	108.5	109.5
 3 表面粗さ 	· (μm)	13.08	2.34	0.44
④ 透過率	(%)	13.5	51.4	66.6

7. インジェクションブロー成形への応用

さらに、ダイレクトブロー成形より高圧ブローとなるインジェ クションブロー成形への応用展開を行い、樹脂型を製作して実機 搭載評価を行った。製作するミニPET ボトルはオリジナル形状に て行い、意匠再現性の確認を主目的とした。

<7.1>型及び成形品の作製と評価

(1) 樹脂型の製作と評価

3D データから樹脂型を造形する精度については、ダイレクト ブロー用樹脂型製作時に CT スキャンによる形状比較を行ってお り、概ね 0.1mm 以下の誤差内であることが確認されているため省 略した。造形は製品面が下向きになる方向(表面粗さが最も小さ くなる)で行い、樹脂型製作のコストと時間を抑えた。樹脂型は LDPE チューブ同様に#1000の耐水ペーパーで研磨処理を施した後、 入子として金属型に嵌入し、実機搭載した(図17)。樹脂型以外の 成形必要部品は既存の量産型部品を使い、金属型への固定はダッ デインサートの圧入にて行った。また、冷却構造は設けなかった。



図 17 実機に搭載したミニ PET ボトル用樹脂型 Fig.17 Plastic test mold assembled into the blow molding machine.

(2) ブロー成形品の評価

実機に搭載した樹脂型を用いて成形を行い、PET 製の中空モ ックアップを得ることができた。当初、懸念事項として挙げられ た高圧エアー(約3.5MPa)の吹き込みによる樹脂型の破損は発生 しなかったが、連続成形では LDPE チューブと同様に、蓄熱によ る製品の変形が確認されたため、15 ショットで成形は中断した。 インジェクションブロー成形では、前述した通りネジ部を射出成 形で作るため、その寸法精度や形状についての評価は省略する。 入子方式で樹脂型を嵌入し、実機搭載によって得られた成形サン プルと、形状の異なる量産品(金属型)との比較を行った。本ミ ニ PET ボトルはオリジナル形状としたため、同様形状の比較対象 が存在しない。よって、今回比較している量産品の測定値は参考 値として掲載するものである。図 18 に実機搭載によって得られ たインジェクションブロー成形品と樹脂型の写真を示す。



図 18 成形品と樹脂型 Fig.18 Injection blow molding product and a plastic test mold.

試作品の面粗度は、鏡面光沢まで磨き上げられた金属型に比べると大幅に劣るが、充分に意匠形状を確認できる水準であり、モックアップとしての価値を果たしていると考えられる。図 19 に成形品の面粗度測定結果を示す。



成形品の光透過率を測定した結果を図 20 に示す。PET 樹脂は本 来、結晶性であるが、プリフォームを射出成形する工程で急冷す ることにより、非晶質状態を保つことができる。そのため、非常 に透明性の高い樹脂であるが、薄い紫色が着色されているため波 長 550nm における光透過率は約 9.9%に留まっている。また、ボト ル形状も円柱体ではなく、乱反射しやすい形状であることも影響 していると考えられる。



Fig.20 Light transmittance of molding products.

8. 3D プリンタによる樹脂型の適用効果と課題

樹脂型で成形した LDPE チューブとミニ PET ボトルについて、 量産実材料で製作したモックアップモデルとして利用できるか 簡易的な評価を行い、適用効果について検討した。

<8.1> LDPE チューブへの適用効果

目視による外観検査では、量産品には若干劣るものの、内容物 がはっきりと認識できる程度で透明感があった。次に、量産型の キャップを用いて嵌合評価を行ったところ、特段の抵抗を感じる ことなく、キャップを嵌めることができた。さらに、市販のハン ドクリームを充填し、チューブを押し潰したところ、量産品と変 わらない吐出感でクリームを出すことができた。胴部成形面の滑 らかさについても、量産品と有意な差異は感じなかった。内容物 を充填した試作成形品写真を図 21 に示す。

なお、2 次型の製作では諸々の改善対策を講じたが、トータルの 製作期間は約 2 週間、製作費用は約 5~6 万円と、一般的な通常 金属型(それぞれ約 2 ヶ月、約 30 万円)に比べて 3D プリンティ ングの利点を活かすことができた。



図 21 液体を充填した LDPE チューブの製品モデル Fig.21 Liquid-filled LDPE tubes as product model.

<8. 2> ミニPETボトルへの適用効果

外観検査では、樹脂型の積層目が転写されていることが視認で きた。これは LDPE チューブに比較して表面研磨が困難であった ことに起因している。そのため、表面はざらざらした触感であっ た。一方、形状再現性は良好であり、モックアップモデルとして は遜色ないものであった。特に、ダイヤモンドカットの形状は、 金属型では高額で納期のかかる複雑形状品であり、3D プリンタ樹 脂型のメリットを活かすことができた。既存のキャップ等を取り 付け、内容物を充填した試作成形品例を図 22 に示す。



図 22 液体を充填したミニ PET ボトルの製品モデル Fig.22 Liquid-filled mini PET bottles as product model.

<8.3> 今後の課題

本研究を通して、3D プリンタが樹脂試作型製作の汎用技術とし て利用されるための基本的な課題も明らかになった。造形装置に 関しては、造形ピッチや原料粉末粒径のさらなる精密化、細粒化 による造形精度の向上が望まれる。また、流路を形成した場合で も空隙による水漏れの発生リスクがないことなど、造形物の信頼 性も重要である。樹脂材料に関しては、高温樹脂成形に耐えられ る耐熱性の向上と成形品の離型性、熱収縮の影響を低減するため に、金属により近い熱伝導性を持つ材料開発が望まれる。

9. 結言

本研究では、3D プリンティングによるポリアミド製のブロー成 形試作型を製作し、一定の成形条件の下、ダイレクトブロー成形 及びインジェクションブロー成形を試み、以下の知見を得ること ができた。

(1) ダイレクトブロー成形 (LDPE チューブ)

- 3D プリンティングの積層段差による成形品不透明化への対策として積層目への研磨処理を施し、型及び成形品の表面粗さと透明度を大幅に向上させた。
- 連続成形時に発生する型温度上昇は、離型性悪化と成形品の収縮を招くが、樹脂型に設けた3次元流路による水冷がこの対策として効果的であった。
- 上記樹脂型を用いた連続成形において 100 本までの成形品 を得ることができた。成形後の型の劣化はほとんど見られな いことから、さらに本数を採取することは可能である。
- (2) インジェクションブロー成形 (ミニ PET ボトル)
- ・ 量産実材料の PET 樹脂を用いた中空モックアップを得るこ とができた。
- 高圧ブローである PET 樹脂のインジェクションブロー成形 においても、本樹脂型は成形対応可能であることを確認した。
- 複雑な製品形状でも意匠性の確認が充分に可能であり、コ スト・納期の面でも優れていることが分かった。

文 献

(1) 経済産業省ホームページ:新ものづくり研究会報告書(2014)

- (2) 丸谷洋二、早野誠治: 解説 3D プリンター —AM 技術の技術的発展の ために、オプトロニクス社経済学部(2014)
- (3) 米国材料試験協会: ASTM F2792-12a:Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies (2012)
- (4) 中川威雄、丸谷洋二:積層造形システム (1996)
- (5) 山本貴文、住岡淳司、林千歳:富山県工業技術センター研究報告 No. 28 (2014)

Ⅳ. エネルギーハーベスター利用システムに関する研究

Study on Vibration Energy Harvesting System

浦山 陽平 中田 智康 坂井 雄一 塚本 吉俊 URAYAMA Yohei NAKADA Tomoyasu SAKAI Yuichi TSUKAMOTO Yoshitoshi 佐々木 角田 克浩 龍則 二口 友昭 SASAKI Katsuhiro KAKUDA Tatsunori FUTAKUCHI Tomoaki

Abstract

Energy harvesting (EH) is the process of converting unutilized small energy (e.g., thermal energy, light energy, electromagnetic energy, and vibration energy) into electric energy. It is expected that the generated power is used as a power source for wireless sensor nodes. In this study, we investigated the output power of the piezoelectric power generation element, and aimed at developing the vibration energy harvester (VEH) for driving wireless sensor nodes. Piezoelectric power generation elements with bimorph structure were prepared. Output voltage from the element shows maximum value when the frequency of forced vibration matches the resonant frequency of the element. Resonant frequency of the element can be controlled by changing the length of the cantilever and/or weight of the chip mass. The resonant frequencies were agree with the calculated frequency using a driven spring-mass-damper model. VEH was prepared by combining the piezoelectric power generation element with an AC-DC converter module. Output powers of the prepared VEH were approximately 0.39 mW when acceleration at 60 Hz was 0.5 G. Prepared VEH successfully drove wireless sensor node without battery by using the vibration of a rotary pump.

1. 諸言

近年、地球温暖化やエネルギー問題から、周囲の環境で使用さ れていない微小なエネルギーを電力に変えるエナジーハーベス ト (EH) 技術が注目されている。また、無線モジュールや電源 IC の低消費電力技術が発達してきている。EH と低消費電力の無線 モジュールを組み合わせることで、電源フリーのワイヤレスネッ トワークシステム (WNS)へと応用することが可能となる。1) WNS とは図1に示すように、場所ごとのセンシングデータを無線通信 し、データを一括管理するシステムのことである。この WNS に EH 技術を用いることで電池レスやメンテナンスフリーとするこ とができる。このようなシステムでは、人が頻繁に立ち入ること が困難な場所で継続的にセンシングを行うことができる。EH に 用いられる未利用の微小エネルギーとしては、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挙げられ る。その中で私たちは振動を利用した発電2,3)に着目した。振動を 電力に変換する方法のひとつとして、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。

本研究では、EH 素子を作製し、電源 IC、無線モジュールを組 み合わせ、身近な振動源からの発電のみで温度、湿度などのデー タを送信することを目的とした。



区 1. WINS 候式区 Fig.1. Schematic image of WNS.

2. 実験方法

<2.1> 身近な振動源の調査

自動車のエンジン付近では200Hz、1.2G 程度の振動があるといわれている⁴が、身近にある振動が実際にどの程度の加速度と周波数であるかを確認するために、振動源の加速度および周波数の調査を行った。ロータリーポンプ、コンプレッサ、遊星ミルに対して、振動レコーダーを用いた測定を行った。各装置に小型の振動レコーダーを張り付け、XYZ 方向それぞれの加速度を測定し、

最も大きい振動が得られる方向とその周波数を読み取った。

- <2. 2> 圧電体を用いた EH について
- <2.2.1>構造と特徴

振動が圧電素子に伝わることで圧電体が変位し電圧が発生す る。圧電素子1枚の構造をユニモルフ、2枚の圧電素子を貼り合 わせた構造はバイモルフと呼ばれる。バイモルフ構造にすること でユニモルフの2倍の電力を得ることが期待できる。本研究で用 いる振動は小さいことが考えられるため、より大きな電力が得ら れるバイモルフ構造を用いることとした。

<2.2.2>作製手順

図2に示す構造と分極方向で作製を行った。バイモルフ構造の 素子の作製手順を以下に示す。素子は市販のPZT-PMN系の圧電 体の板を用い、ガラスエポキシと張り合わせた。具体的な手順は 以下のとおり、

- ① 電極形成 (Ag スパッタ 100W、15min)
- ② 分極処理(270V、5min)
- ③ 絶縁層 (エポキシプリプレグテープ) と圧電素子の貼り合せ
- ④ 加圧プレス (120°C/0.4MPa/20min)
- ⑤ 本硬化 (150°C/60min)
- ⑥ サイズ調整

<2. 3> 素子評価方法

バイモルフ素子を加振器に固定し、様々な加速度、周波数で振動させた。図3に、評価系の概略図を示す。素子から引き出された配線をオシロスコープに繋ぎ、出力電圧を測定した。また、電源 IC を接続し、定電圧に変換した際の出力電力の測定を行なった。加振器の加速度は、0.5G に固定し、周波数を変更して、そのときの出力電圧を測定した。取り付け方法を図3に示す。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もできる。

<2. 4> 通信システムの構成

<2. 4. 1>システム全体の構成

実験で用いたシステム構成を図4に示す。通信には無線センサ ネットワークキット TWE-WSN-002(東京コスモス電機)を用い た。評価には図4に示すように振動源として加振器を用いている が、実際のシステムでは振動している装置に固定することになる。 <2.4.2>構成モジュール

電源 IC: LTC3588-1 (リニアテクノロジー)

接続される IC やマイコンを動作させるためには、定電圧での 駆動が必要となる。今回使用する圧電体を用いた発電では、出力 が AC であるため DC に変換しさらにコンデンサに蓄電する構成 で必要な定電圧が出力できる電源 IC を用いた。

温湿度センサつき無線タグ:TWE-WNS-002(東京コスモス電機) 無線タグは、温湿度センサを搭載しており、取得した温湿度デ



図 2. バイモルフ素子の断面および上部模式図

Fig. 2. Schematic images of cross section and top view of bimorph element.



図 3. 出力測定方法の概略図 Fig. 3. Schematic image of measurement system for output.



図 4. 通信システムの概略図および外観写真 Fig. 4. Schematic image and photo of radio communication system.

ータを無線で送信することができる。WNS を構築するために無 線モジュールとして必要な条件として ①低消費電力 ②小型であること ③スター型ネットワークのように1対N型が可能であること ④ノイズに強く安定した通信が可能であること などの項目が挙げられるが、今回使用したモジュールでは、以上 の条件を満たす IEEE802.15.4/ZigBee を使用している。ZigBee で
使用される波長帯域とチャンネル割り振りの模式図を図5に示す。

<2. 5> 通信状態の評価

試作した素子で駆動した無線モジュールの通信状態の評価を 電波暗室で行った(図 6)。60Hz、0.15G で加振した素子に電源 IC を接続、定電圧化し、電波暗室内に設置された無線モジュールま で配線を伸ばした。発電により駆動した無線モジュールから出力 された信号はアンテナを用いて測定した。評価は、通信周波数帯 域測定とノイズレベル測定の2項目行った。

<2. 6> 身近な振動源を用いた通信評価方法

振動源としてロータリーポンプを選択し、振動レコーダーを用 いた測定結果から、加速度が最も大きくなる方向と素子の変位方 向が同じになるように素子を取り付けた。図4において、加振器 に相当する部分が振動源であるロータリーポンプとなる。駆動し た通信モジュールは5秒ごとにデータ送信する設定とした。

3. 実験結果

<3.1> 身近な振動源の調査

表1に身近な振動源の種類と振動の周波数と加速度の測定結果 を示す。遊星ミル、コンプレッサではほとんど振動を確認するこ とができなかったが、ロータリーポンプでの振動は、0.14G であ ることが分かった。この結果から、周波数 60Hz、加速度 0.14G の 振動で動作する通信システムの構築を目的とすることとした。

<3. 2> 素子作製

図 7(a)に試作したバイモルフ素子の写真を示す。完成した素子 のサイズは、長さ75mm、幅26mm、厚さ60µmであった。また、 今回作製したバイモルフ構造では、2 つの圧電素子から構成され ていることから、図 7(b)に示すように、接続方法には、直列接続 と並列接続が考えられる。なお、直列接続では、ユニモルフ構造 の2倍の電圧、並列接続では、ユニモルフ構造の2倍の電流を取 り出すことが期待できる。

<3.3> 作製したバイモルフ素子の出力特性

<3.3.1>バイモルフの接続方法と出力

図 8 に直列接続時と並列接続時の周波数と電圧の特性を示す。 共振周波数はほぼ同じであったが、直列接続では、並列接続の2 倍の電圧を取り出せることを確認できた。また、素子の共振周波 数でピークが鋭くなっており、共振周波数以外の周波数帯では、 出力電圧がかなり小さくなることが分かった。



図 5. ZigBee 使用周波数帯域の模式図 Fig. 5. Schematic image of frequency band of ZigBee.



図 6. 電波暗室での測定配置の概略図

Fig. 6. Schematic image of measurement system at anechoic chamber.

表 1. 身近な振動源の種類と加速度測定結果

Table 1. Measurement results of acceleration of vibration source.

	周波数 (Hz)	加速度 (G)
ロータリーポンプ	60	0.14
遊星ミル	300	0.04
コンプレッサ	20	0.05









図9に直列接続時と並列接続時の出力と負荷抵抗値の関係を示す。 直列接続と並列接続で取り出せる電力のピーク値は、変わらない ことが分かった。

<3.3.2>おもりによる共振周波数の調整

試作した素子は、図 10 に示すような片持ち梁の振動系と考え られるため、以下の式のように記述できる。⁵

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{1}$$

$$m = m_0 + \frac{33}{140}m_1 \tag{2}$$

$$k = \frac{3EI}{l^3} \tag{3}$$

$$I = \frac{ab^3}{12} \tag{4}$$

ここで、 ω_0 : 共振周波数、E: 梁のヤング率、I: 断面 2 次モーメント、I: 固定端から重心までの距離、 m_0 : おもりの質量、 m_1 : 梁の質量、a: 梁の幅、b: 梁の厚み

これらの式から、おもりの重さ*m*₀と固定端からおもりの重心 までの距離を変えることで共振周波数を調整可能である事が予 想される。

図 11 に素子の固定端からおもり重心までの距離を変化させた 際の、おもりの質量と共振周波数の関係を示す。式(1)から予想さ れるとおり、共振周波数は $1/\sqrt{m}$ に比例した。また、素子の長さ を短くするにつれて傾きが大きくなったが、これは、式(3)の1が 小さくなるにつれて、kが大きくなる事に対応している。また、 式(1)~(4)から計算した l=45.0mm のときの共振周波数は、実測値 とほぼ一致した。以上より、素子の長さとおもりを決めることで 任意の共振周波数を作れることが分かった。

図 12 にm₀=4g、l=37mmのバイモルフ素子からの出力電力と加振



図 9. 直列および並列接続時の出力電力の負荷抵抗依存性 Fig. 9. Road resistance dependence of output power.





周波数の関係を示す。共振周波数である 60Hz 付近で出力電力は 最大値を示した。試作したバイモルフ素子を、振動する強制力 fcosωt がはたらく、質量 m、ばね定数 k、摩擦係数 c を有する ばね振り子と仮定すると運動方程式は以下の式(5)のように記述

 $mx''(t) + cx'(t) + kx(t) = f \cos \omega t$ (5) 定常状態での振動変位 x(t)は以下のようになる。

$$x(t) = A\cos(\omega t - \phi) \tag{6}$$

でき 5,6)





Fig. 12. Frequency dependence of output power and calculated displacement.

$$A = \frac{F}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_0^2)^2 + \Gamma^2 \omega^2}} \tag{7}$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\Gamma \omega}{\omega_0^2 - \omega^2} \tag{8}$$

$$\mathbb{Z}\mathbb{Z}\mathbb{C},\ \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}\ ,\ F = \frac{f}{m}\ ,\ \ \Gamma = \frac{c}{m}$$

式(6)~(8)から計算した加振周波数と素子の変位の関係を図 12 に 示した。出力電圧と同様の形状をしており、素子の振動変位が出 力電圧と対応している事が確認できた。

<3.4>素子と電源 IC の接続

図13に素子に電源ICを接続したときの入出力波形を示す。電源ICの入力電圧には10Vpp以上の電圧が必要であり、それ以上の入力電圧が加わることで出力に3.3Vの直流電圧が取り出せていることが分かった。そこで、バイモルフ素子は、電圧を取り出すのに有利な直列接続とする事にした。

図 14 におもりの重さを変化させた時の負荷抵抗と出力電力の 関係を示す。周波数 60Hz、加速度 0.5G の条件で、おもりが 4g のときに最大 0.39mW の出力電力を得られることが分かった。

<3.5> 無線センサモジュールの接続

図15に作製した素子と電源ICを組み合わせたEHを用いて無線モジュールを動作させた際の通信帯域での信号を示す。11~26のチャネルを設定することが可能であるが、例えば、25、26チャネルに設定した場合、通信帯域が変化していることが確認でき、 ピークトップで、それぞれ 2475MHz、2480MHz であった。これは、図5に示したZigBeeの規格値と一致しており、EHを用いた 電源でZigBee を正しく動作させることが可能であることが確認 できた。





データは示さないが、動作時のモジュール周辺からのノイズ測定 の結果、水平方向、垂直方向ともに微弱であり、問題にならない レベルであった。使用電力が mW 程度と小さいためと考えられる。

<3. 6> ロータリーポンプへのとりつけと通信実験

図 16 に作製したバイモルフ素子を実際に動作しているロータ リーポンプに取り付け、無線センサモジュールを駆動させた時の 通信データを示す。センサで測定した温度、湿度が通信できてお り、ロータリーポンプを振動源として、電池フリーで無線センサ モジュールを動作させられることが確認できた。また、ロータリ ーポンプの振動と同じ周波数 60Hz で加速度 0.14G 以上であれば、 他の振動源でも通信できると考えられる。

<3.7> 駆動周波数を広げる方法の検討

今回作製したシステムでは、無負荷のときの素子からの出力電 圧が12Vpp以上となる場合に、電源ICが駆動し、安定したデー タ送信が可能であったが、図8に示すとおりピークが鋭くなって おり、振動源の振動の周波数が共振周波数からずれた場合に電源 IC駆動に必要な入力電圧が得られなくなる可能性がある。図8よ り、出力電圧12Vpp以上となる周波数幅を求めると約6Hzであっ た。そこで、出力電圧12Vppを超える周波数帯域幅を広げるため、 共振周波数の異なる2つの素子を直列接続する手法を検討した。

図 17 に共振周波数の異なる 2 素子を組み合わせた際の写真と 模式図を、図 18 に共振周波数の異なる 2 素子を直列接続した際 の出力電圧の周波数依存性を示す。共振周波数の異なる2素子を 直列接続することで、周波数帯域を広げられることが分かった。 しかしながら、共振周波数を5Hz以上ずらすと2素子の共振周波 数の間の周波数で出力電圧が大きく落ち込むという結果となっ た。図 19 に共振周波数 55Hz と 60Hz の素子を組み合わせた際の 出力電圧の周波数依存性を示す。出力電圧は、特に谷となってい るところでは、単純に2つの素子の出力電圧の足し算となってい ないことが分かった。式(6)から素子ごとに、位相遅れが存在する ことが予想される。そこで、それぞれの素子の出力電圧波形を測 定した。図 20 に共振周波数 55Hz と 60Hz の組み合わせ素子を (a)50Hzおよび(b)54Hzで駆動した場合の各素子からの出力波形を 示す。50Hzの振動では、揃っていた位相が 54Hzの振動では、ず れていた。これは、2 つの素子で位相遅れに差が生じるためと考 えられた。図 21 に共振周波数 55Hz と 60Hz の組み合わせ素子の 出力電圧、位相差の実測値および位相差の計算値を示す。大きく 出力電圧が落ち込んでいる周波数(2つの素子の共振周波数の間の 周波数)で位相差が最も大きくなっているのが確認できる。また、 この位相差の周波数依存性は計算結果とほぼ同じになり、素子間 の位相遅れの差により、出力電圧が単純な足し算にならないこと が確認できた。

以上の結果から、2素子を組み合わせたときに谷となる出力電 圧が 12Vpp 以上となるような共振周波数の素子を組み合わせる









Fig. 17. (a) Photo and (b) schematic image of the combination of two bimorph elements.









図 19. 共振周波数 55Hz と 60Hz の素子を組み合わせた際の出力電圧の周波数依存性

Fig. 19. Output voltage from the combination of bimorph elements with resonant frequency of 55 and 60 Hz.

ことで、周波数帯域幅を広げることができる。今回の実験では、 2 つの素子の共振周波数が 55Hz、60Hz の時が最も周波数帯域幅 を広げることができ、1 つの素子と比べ2.3 倍の約 14Hz となった。

4. 結言

本研究では、ロータリーポンプ程度の振動で無線センサモジュ ールを動作させる圧電型 EH の作製を目標として検討を行ったと ころ、以下の結果が得られた。

・身近な振動源の振動の周波数と加速度を測定したところ、ロータリーポンプでは 60Hz、0.14G であった。

・PZT-PMN 系の圧電板を用いて、バイモルフ素子を試作した。

 ・おもりとおもりの支点からの距離によって、試作素子の共振周 波数の調整が可能であり、計算値とほぼ一致した。

 ・素子に電源 IC を接続することで AC12Vpp から DC の 3.3V が 取り出せる事を確認した。

・60Hz、0.5Gの振動源でおもりを最適化すると 4gのときに 0.39mWの出力電力が得られた。

・無線センサモジュールを接続し、加振器で 60Hz、0.5G で 5 秒 間毎に1回の通信が可能であることを確認した。

・ロータリーポンプに取り付けたところ、5秒間毎に1回の通信が可能であった。

・共振周波数の異なる2つの素子を組み合わせることで、駆動周 波数帯域を1つの素子の2.3倍広げることが可能であった。

- data	
V	1541
~	111/
~~	114/5

(1) 千葉義人 他, 情報処理学会第 73 回全国大会講演論文集, pp. 3-163.

(2) 猪田明宏 他, 平成 17 年度若い研究者を育てる会研究発表会 研究論文集, pp.19.

(3) T. Ogawa et al., Jpn. J. Appl. Phys. 52 (2013) pp.06KD14.

(4) S. Roundy et al., Computer Communications 26 (2003) pp.1131.

(5) 松村志真秀 他, 振動工学入門, (2001) パワー社.

(6) 野村昭一郎 他, 振動・波動入門,(1977) コロナ社.



図 20. (a) 50Hz および(b) 54Hz で駆動したときの各素 子からの出力波形

Fig. 20. Waveforms of output voltage from each bimorph element vibrated at (a) 50 and (b) 54 Hz.



- 図21. 共振周波数55Hz と 60Hz の組み合わせ素子の出力 電圧、位相差の実測値および変位、位相差計算値
- Fig. 21. (a) Measured output voltage and phase difference and (b) calculated displacement and phase difference of combination of two bimorph elements.

V. 量子ドット増感太陽電池の研究

Research of Quantum Dots Solar Cells

山本 尚人 本保 栄治 横山 義之 YAMAMOTO Naoto HONBO Eiji YOKOYAMA Yoshiyuki 角田 龍則 高田 耕治 丹保 豊和 KAKUTA Tatsunori TAKADA Kouji TAMBO Toyokazu

Abstract

Photovoltaic generation rides on the strength of inexhaustible solar energy, so that people are not seriously worried about the drying up of fossil fuels. And solar photovoltaic is a clean technology that does not emit waste such as carbon dioxide. Recently development of high efficient- and low cost-solar dye-sensitized cells has been advanced for practical use. Now, organometal-halide perovskite is focused on instead of dye-sensitizer for high efficiency.

In this study, we have ever developed the high efficiency solar cells using porous titanium oxide thin film deposited by sputtering. Porous titanium oxide thin film is thought to be useful for helping the alignment of the sensitizer to the specific structure. Pb-iodide perovskites is selected as a sensitizer in the present paper because it can be prepared for easy one-pot process. However, it is found that Pb-iodide perovskite changes to the other material by the heat process at higher temperature. The suitable condition for preparing Pb-iodide perovskites has been investigated and the properties of photovoltaic cells have been measured.

1. 諸言

近年、電力の需要は増加しているが、その供給の大部分を担っ ているのは火力発電や原子力発電である。しかし、これらの発電 方法は石油やウランなどの有限な採掘資源由来であること、発電 の過程において二酸化炭素や廃棄物などの有害物質を出すこと から、新たな代替エネルギーへの転換が進められている。その動 きの中で、太陽光発電はクリーンで半永久的に使えるエネルギー として古くから研究されており、現在では多くの家庭に太陽光パ ネルがつくなど実用化が進んでいる分野である。

太陽電池の特性向上のために様々な研究がなされているが、そ の中のひとつとして有機色素増感型太陽電池というものがある。 図1に有機色素増感太陽電池の仕組みを示す。ここで使われる有 機増感色素は一般に半導体よりも狭いエネルギーギャップを持 ち、また、その電子非占軌道(LUMO 軌道)は組み合わせる半 導体の非占軌道よりも高いエネルギー準位を持つ。このようなセ ルに光が当たると色素の電子占有軌道(HOMO 軌道)にある電 子はエネルギーを得て LUMO 軌道へと移動する。その後、移動 してきた電子が半導体の LUMO 軌道へと移ると、その電子がさ らに半導体の HOMO 軌道へと移動する際にそのギャップ分のエ ネルギーを電気エネルギーとして取り出すことができる。このよ うな系では色素である有機化合物をデザインすることで様々な 波長の光を吸収させうること、比較的低コストで作れる点、コス トに対する発電効率が良い点が注目されているが、問題点として は多くの電解質が溶液であり、耐久性が悪いことや取扱いが難し い点が挙げられる。



図 1. 有機色素増感太陽電池の仕組み

Fig.1. Mechanism of dye-sensitized solar cell.

また、現在は数%程度の発電効率しか得られていないが、理論 上は 60%近くもの効率が得られるということで量子ドット太陽 電池も注目され始めている。量子ドットとは数千から数万個ほど の原子が集まってできた小さな粒子のことで、原子が寄り集まっ た結果、電子をその中に閉じ込めるという性質を持っている。こ のため、量子ドットを作らないものと比較してバンド構造が変化 し、その構造は量子ドットのサイズや原子密度により変化すると 考えることができる。このことから、様々なエネルギーの光を吸 収できる高効率な太陽電池としての役割が期待されている。

2. 研究背景

有機色素増感型太陽電池は電解液を使う点から性能の劣化が 起こりうることが問題点とされていたが、ペロブスカイト化合物 を太陽電池の増感剤として利用し電池を固体化した例が近年報 告されている。例として、ヨウ化鉛を使ったハロゲン化鉛ペロブ スカイト化合物 CH₃NH₃PbI₃を増感色素として 15%以上もの高 い発電効率を示すという報告がある。このペロブスカイト化合物 は太陽電池の増感剤として用いた時に適切なエネルギーギャッ プを持つだけでなく、取り扱いが容易で、作製プロセスにおいて グローブボックス等の設備を必要としない点からも注目を集め ている。また、この系でホール導電体として用いられるチオシア ン酸銅 CuSCN は従来の系で用いられてきた有機材料である MeOTAD や DNTPD と比較して価格が 1/100 という破格のコス トメリットを持っていることからも注目をれている。

本研究では酸化チタン TiO2(以下、TiO2)、鉛ペロブスカイト化 合物 CH₃NH₃PbI₃ (以下、CH₃NH₃PbI₃)、チオシアン酸銅 CuSCN(以下、CuSCN)を用いて太陽電池の作製に取り組んだ ことを報告する。また、TiO2を半導体として用いる場合、ペース トTiO2を塗布・焼成することで作製することが多いが、本研究で は量子ドット効果の発現についても検討するためにスパッタに おいて作製した。スパッタ TiO2 膜はスパッタ条件を変えることで そのナノロッド構造を変えられるが、そのロッド構造を変化させ ることで TiO2や CH₃NH₃PbI₃のバンド構造が量子ドット効果に よって変化し、太陽電池としての特性が向上することを期待した。

3.実験方法と結果

〈3.1 太陽電池の構成〉

太陽電池特性の評価のために図2のような太陽電池セルを検 討した。各層の名称と効果について記す。 それぞれ下層から Glass 基板 : セルの支持基板 ITO 電極 : 透明電極 TiO₂ 膜 : 半導体 CH₃NH₃PbI₃ 層 : 増感剤 CuSCN 層 : ホール導電体 Au 膜 : 電極



Fig.2. Image of solar cell.

本項ではそれぞれの構成要素について合成方法とその検討事項 について記す。尚、ITO 膜付き Glass 基板については市販のもの をそのまま使用した。

3.1.1 TiO2膜

半導体の働きを持つ TiO2 膜はスパッタ法により作製を行った。 成膜に際しては市販の 50×50 mm の ITO 膜付き Glass 基板上に 行った。TiO2はその結晶系によりルチル型とアナターゼ型に分類 されるが、どちらが本実験に適しているかの判断を行った。

[TiO₂膜のスパッタ条件]

・アナターゼ型	Ar 圧	3.4×10^{-1} Pa	O2圧	7.7×10^{-1} Pa
・ルチル型	Ar圧	1.0×10^{-1} Pa	O2圧	2.0×10^{-1} Pa
Kalan Sala	XX			RM VA
	八百			
CR (MAR)	包影			
	家公		A.J.	ALCONT.
Part of the				
7 M Edited States	100mm JROL 20	04/84/85	AN STREET	103- 2552 2014/54/5

(a) アナターゼ型
 (b) ルチル型
 図 3. スパッタ法により作製した TiO₂の SEM 画像
 Fig.3. SEM images of TiO₂ films deposited by sputtering.

それぞれの結晶系はX線回折装置(Bruker AXS DB DISCOVER) によりX線回折で確認した。膜の形態は電界放出形走査型電子顕 微鏡(日本電子製 JSM-7001)によりSEM 画像で確認した。

図3に示した SEM 画像から、アナターゼ型 TiO2 膜は粒径が大 きく揃っているものの、ルチル型 TiO2 膜は粒子が不揃いであるこ とが分かった。結果として、ひとつひとつの粒径が大きいアナタ ーゼ型 TiO2 膜の方が、量子ドットの配列や反応表面積的に有利に 働くと考え、アナターゼ型 TiO2 膜を使う事にした。尚、これ以降 の工程においては Glass 基板を 4 つに割ってひとつあたりのセル の大きさは 25×25 mm とした。

3.1.2 $CH_3NH_3PbI_3$ 層

本研究で使う CH₃NH₃PbI₃ は基板上に堆積させたヨウ化鉛 (PbI₂)をヨウ化メチルアンモニウム溶液 (CH₃NH₃I) に浸漬さ せて作る方法 (分液法) と、CH₃NH₃I と PbI₂の混合溶液を基板 にスピンコートして作る方法 (一液法)の2種類が知られている。 ここでは2つの手法の比較をまず行った。

・溶液の調整 (分液法)

PbI2(粉末)0.42 g in 10 mlジメチルホルムアミドCH3NH3I(粉末)0.32 g in 20 mlイソプロパノール

PbI₂溶液 100 µl を基板にスピンコート(1000 rpm, 30 秒)し、 80℃で 30 分間ベークを行った。その後、基板を CH₃NH₃I 溶液 に 10 秒程度浸漬させ、そのまま 80℃で 30 分間ベークを行った。

・溶液の調整(一液法)

PbI_2	(粉末)	2.12g
CH ₃ NH ₅	aI (粉末)	0.70g

上記の試薬を 10 ml のγ-ブチロラクトンに溶解させ、黄色溶液 を得た。その黄色溶液を数時間加熱し、その溶液 100 µl を基板に スピンコートし、80℃で 30 分間ベークを行った。

それぞれで得られた化合物について光電子分光分析装置(XPS) (ULVAC-PHI PHI Quantum 2000)により表面の組成分析を行ったところ、目的物は得られていなかった。特に、分液法で試作 した場合は浸漬の際に PbI2 が溶出してしまっていることも示唆 される。そこで溶液作製の際に使用した溶媒をモレキュラーシー ブスで脱水し、グローブボックス中で再度溶液の合成を行ったと ころ、目的物に近い組成が得られた。表1に作製条件の違いにお ける組成比を示す。

XPS結果	Pb4f (%)	13d5 (%)	比(1/Pb)
GBを使用せずに一液法	9.02	12.59	1.40
GBを使用せずに分液法	0.35	0.68	1.94
GBを使用して一液法	9.65	23.51	2.44
GBを使用して分液法	6.87	24.76	3.60

表 1. 作製条件の違いにおける CH₃NH₃Pbl₃の Pb/I 比

Table1. Pb/I ratio in CH₃NH₃PbI₃ by XPS.

このことから溶媒中に含まれている水分や溶存酸素が CH₃NH₃PbI₃の分解を促していることが示唆されるが、グローブ ボックスと脱水溶媒を用いることでそれを防ぐことができるこ とが分かった。

次に CH₃NH₃PbI₃の作製条件についても検討を行った。

始めに混合溶液の加熱時間について検討を行うために、加熱温度 は60℃に固定し、加熱時間を1時間と4時間の条件で作製を行い、 生成物をX線回折により比較したものを図4に示す。文献による と、PbI2の(001)面は2 θ =12.76、CH₃NH₃PbI3のピークは2 θ =14付近に現れるが、図4より、加熱時間による差はなく、両方 とも CH₃NH₃PbI₃ができているものの PbI2が相当に混ざってい るという結果が得られた。



次に、加熱温度における違いを検討した。条件としては加熱時間を4時間に固定し、加熱温度を60℃と80℃の2条件とし、比較を行った。X線回折により比較したものを図5として示す。



60℃で4時間の場合よりも80℃で4時間の場合の方が、明らか に CH₃NH₃PbI₃のピークは大きいため、高い温度で溶液を加熱し た方が良いことが示唆される。

前記のデータから高温で処理した方がよいという知見が得ら れたため、より高温での処理を試みた。95℃で12時間の処理を 行ったところ、溶液の色は黄色からオレンジ色へと変化した。X 線回折により比較したものを図6として示す。



95℃で12時間溶液を加熱するとCH₃NH₃PbI₃やPbI₂は分解して別のものになることが示唆される。

これらの結果から $CH_3NH_3PbI_3$ は $80^{\circ}C$ で4時間加熱して作製 することを決定した。また、 $CH_3NH_3PbI_3$ と TiO_2 の作用につい て考えるために $CH_3NH_3PbI_3$ を塗布した TiO_2 についての分光光 度結果を図7として示す。

3.1.3. CuSCN 層

CuSCN (粉末)

本研究の CuSCN はホール導電体としての役割を担っている。 文献を参考に以下のような方法で作製を行った。

・溶液の調整

0.12 g

上記の試薬を20 ml のジプロピルスルフィドに入れ、一昼夜撹拌 を続けることで全量が溶けた。

溶液の塗布は、CH₃NH₃PbI₃を塗布した基板にカプトンテープで マスクをする。マスクした基板を 70℃に加熱した状態で CuSCN の溶液を垂らしガラス棒で均一に慣らす。溶液が乾燥するまで待 ち、この工程を繰り返した。図8にその様子を示す。



Fig.8. Application of CuSCN.

得られた CuSCN 層について X 線回折により同定を行った結果を 図 9 に示す。TiO2 のピークが強く観測されているが、CuSCN に 帰属されるピークが見られているため目的物は得られていると 考えた。





図 7. TiO2の CH3NH3Pbl3塗布前後の分光透過率

Fig.7. UV-vis spectra of TiO_2 films with and without $CH_3NH_3PbI_3$.

3.1.5 Au 膜

陽極側の電極として Au を蒸着により厚み 1000 Åを目安として 付けた。また、電極面積としては CuSCN よりも一回り小さくし た。このときの Au 膜のシート抵抗は 0.42 Ω/□であった。

3.1.6 電池セル

電気特性を取り出すために太陽電池セルを以下の手順で作製 した。

- ② リード線を付けたスルホール基板を Au 電極側に取り付けた。尚、導通を良くするために Au とスルホール基板の間に 銅箔を挟んだ。
- ③ それらをクリップでまとめて下写真のようにした。
- ④ ITO 部からは鰐口クリップで電気を取り出した。





図 10. 太陽電池測定の構成(左)と太陽電池セル(右)

Fig.10. Construction for measurement (Left) and Photovoltaic cell (Right).

<3.2 太陽電池特性>

太陽電池としての特性評価はソーラシュレータ(分光計器製 CEP-25)を用いて、疑似太陽光源として、AM1.5、光パワー1kW/m² の光を当てながらセル面積 1cm²で I-V 測定によって行った。

太陽電池の I-V 特性は電圧 V, 短絡電流密度 J, 開放電圧として 表されるが、本研究で作製したセルでは太陽電池特性は得られな かった。その結果を図 11 に載せる。





Fig.11. Current density-voltage (J-V) curve of solar cell using TIO_2 film deposited with sputtering.

<3.3 考察>

作製した太陽電池で起電力が得られなかった理由としては次 のように考えることができる。

- (1) CH₃NH₃PbI₃ がごく表面にしか存在せず、反応表面積が稼 げていない。
- (2) CH₃NH₃PbI₃が工程の間に分解・流出してしまっている。
- (3) CuSCN の塗り方が適当でない。

これらについて検討を行った。(1)についての検証を行うために CH₃NH₃PbI₃ 層を付けた膜の光電子分光分析装置(ULVAC-PHI PHI Quantum 2000)により深さ方向の XPS 分析を行ったものを図 12 に示す。





深さは SiO₂のエッチングレート 3.5nm/min を参考にした。この結 果より、CH₃NH₃PbI₃の構成成分である Pb やI が表面より 10nm 程度にしか存在していないことが分かり、太陽電池としての特性 を出すには TiO₂の奥まで CH₃NH₃PbI₃ を浸透させる必要がある と思われる。

(2)については、図6より CH₃NH₃PbI₃ は熱を与えすぎると分 解してしまうことが示唆されており、CH₃NH₃PbI₃の塗布以降の 工程でも熱をかけすぎないよう注意する必要がある。実験当初、 Au 膜はスパッタにより付けていたが、熱の影響を考えて蒸着へ と変更した。

(3)の CuSCN の塗布状態を現在は目視により確認しているため、 CuSCN の塗布状態を数値的に確認する手段が今後必要である。

<3.4 比較実験>

スパッタ法で形成した TiO₂ 膜を使用した鉛ペロブスカイト化 合物増感太陽電池の課題を明らかにするために、酸化チタンペー ストで形成した TiO₂ 膜を使用した太陽電池を作製して比較実験 を行った。

3.4.1 電池の構成

TiO₂ 膜の形成に高温での焼成プロセスがあることから基板は 透明電極 FTO (F ドープ酸化スズ) 膜付きのガラス基板を用いた。 TiO₂ 膜は、酸化チタンペースト(日揮触媒化成 18NR)を使用 して、スクリーン印刷法で塗布し、電気炉で 500℃、30 分焼成す ることにより形成した。また、FTO 膜と TiO₂ 膜の間に前節と同 様スパッタ法による酸化チタン薄膜を形成したものとないもの を準備した。電池セルは、CH₃NH₃PbI₃、CuSCN 膜、Au 電極を前 節と同様の方法で積層することにより作製した。

3.4.3 電池構成材の評価

酸化チタンペーストで形成した TiO2 膜への CH₃NH₃PbI₃の堆積 を分光透過率によって評価した。図 13 はガラス基板にペースト による TiO2 膜のみとスピンコートで回転数 2000rpm,30 秒 CH₃NH₃PbI₃溶液を塗布し、ホットプレートで 80°C,10 分乾燥した ものの分光透過率である。TiO2 膜のみでは、可視光域において約 70%の透過率であり、波長 350nm から急激な吸収が見られる。 CH₃NH₃PbI₃を堆積したものでは、波長 750nm 付近からゆるやか に吸収が見られ、波長 400nm では全て吸収となる。このグラフよ り、CH₃NH₃PbI₃は TiO₂ 膜表面に緻密に堆積していると考えられ る。



Fig.13. UV-vis spectra of pasted TiO₂ films.

3.4.3 電池の特性評価

電池セルの組み立て、特性測定に関しては前記の通りに行った。 図 14.に J-V 測定結果のグラフを示す。

FTO 上にスパッタ TiO2 薄膜があるものでは、開放電圧 Voc が 0.18V、短絡電流密度 Jsc が 0.07mA/cm2、変換効率 0.003%と太陽 電池特性が得られた。変換効率が小さい理由は、各界面での接合 が不十分なためと考えられる。スパッタ TiO2 膜がないものでは、 オーミックな抵抗の特性であった。これは、スパッタ TiO2 薄膜が CuSCN 膜からのホールをブロックする効果があるためと考えら れる。



図 14. ペーストによる TiO2 膜を用いた太陽電池の電流密度-電圧(J-V) 曲線 Fig.14. Current density-voltage (J-V) curves of solar cells using TiO₂ films coated in paste.

4.結言

本研究では、スパッタ法で形成した細かな柱状構造のTiO2膜を 利用して、増感剤として鉛ペロブスカイト化合物CH₃NH₃PbI₃を 用いた太陽電池の作製と評価を行った。本研究で得られた知見は 以下の通りである。

① CH₃NH₃PbI₃層は、グローブボックス中で溶液を調整し、スピンコートで塗布した後、80℃、15分加熱することにより堆積することができた。

 スパッタ法によるアナターゼ型 TiO₂ 膜に対して、CH₃NH₃PbI₃の堆積を行ったところ、膜厚 1µm の TiO₂ 膜に回転数 2000rpm の 塗布条件で透過率測定から堆積が確認できた。

③ スパッタ法による TiO2 膜を用いて太陽電池を作製したところ、 太陽電池の特性は得られなかった。

④ XPS 深さ方向の XPS 分析やペーストによる TiO2 膜を用いた太 陽電池の特性から、スパッタ法による TiO2 膜では比表面積の不足 により CH₃NH₃PbI₃ 層の堆積が不十分であることが特性を得られ ない要因の一つである。

参考文献

- (1) J. Phys. Chem. C 2012, 116, 13465-13471
- (2) NPG Asia Materials (2013) 5, e68 REVIEW
- (3) コロナ社 濱川圭弘編著 フォトニクスシリーズ3 太陽電池
- (4) シーエムシー出版 荒川裕則 色素増感太陽電池の最新技術 II
- (5) Softbank Creative 佐藤勝昭 太陽電池のキホン

Ⅵ. 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

Ultrasonic Welding of Sheet Metals-II

大浦 秀剛 山崎 鉄平 林 達規 OURA Hidetake YAMAZAKI Teppei HAYASHI Tatsunori 羽柴 利直 上野 実 谷野 克巳 石黒 智明 HASHIBA Toshinao **UENO** Minoru TANINO Katsumi ISHIKURO Tomoaki

Abstract

The joining technique of metal can be carried out in many different ways, such as welding. There are ultrasonic junction, diffused junction and so on in solid state bonding. Ultrasonic junction has an advantage which can carry out junction directly without using adhesives, binder, and so on. In recent years, the needs of the technical development about junction of different materials are growing for the purpose of reducing cost and weight of products. In this research we use ultrasonic welding which is joinable with a short time and low cost, and the junction characteristics and mechanisms of ultrasonic welding between aluminum and stainless steel with few present reports are investigated.

By the previous report, we clarified basic joining properties of ultrasonic welding between aluminum and stainless steel. In this report, extension of life for ultrasonic horn tip, the effect of insert material, and so on are investigated. As a result of research, the life of ultrasonic horn tip becomes the tendency to extend by sandwiching copper foil between ultrasonic horn tip and stainless steel. The junction strength improves by using insert materials.

1. 緒言

近年、コストの低減や軽量化の観点から、異種材料の接合に 関する技術開発のニーズが高まっている。材料を接合する方法 には、溶接や接着剤による接合など様々な種類があり、製品・ 部品に要求される機能・性能を考慮して選定されなければなら ない。このうち、接合材を固相状態のまま接合する固相接合に は、超音波接合、拡散接合などがある。

本研究では、低コスト・短時間接合が可能で、自動生産ラインへの組み込みが容易といったメリットのある超音波接合に注目し、自動車部品や建材等に広く用いられる材料である Fe と Al を素材として選定し、これらの接合について検討した。

FeとAlの接合においては、加振材をAl、固定材をFeとした 接合技術は確立されている¹⁾(以下、加振材/固定材の様に示す。 すなわち、加振材が Al、固定材が Fe の場合は、Al/Fe と表 す。)。逆に、Fe/Alの接合は、FeはAlと比較して硬いため、 ホーンチップ部のローレットが食い込みにくく、振動が伝わり にくいという事から、報告は見受けられない。このような加振 材/固定材の組み合わせは、例えば、大きいAl部材に小さいFe 部材を接合する場合が該当する。

前報では、SUS304/ADC12の接合技術について基本的な接合特性を明らかにした²⁾。本報では、前報の結果を基に、以下の

項目について検討を加えた。

はじめに、鉄鋼材料を加振材とした場合には、AlやCuを加振 材とした場合に比べてホーンチップ部が激しく損傷を受けるこ とから、

①鉄鋼材料を加振材としたときのホーンチップ部の長寿命化 について調査した。

次に、接合強度の向上・安定化、接合の短時間化等、実作業の 効率化を目的に、

②加振材や固定材の接合位置による接合特性の違い

③ホーンチップ部の振動振幅の接合強度への影響

④インサート材の使用による接合強度への影響

について調査した。

さらに、一般に表面処理された部材が用いられる建材等への 適用や、面積の大きい部材同士の接合への応用のため、 ⑤固定材をAl表面処理材とした場合の接合特性 ⑥多点スポット接合の可能性 についても調査した。

2. 超音波接合について

<2. 1>超音波接合とは

超音波接合の概要を図 1 に示す。超音波発振器からの電気エ ネルギーを超音波振動子で振動エネルギーに変換し、ホーンに よって所定の振幅に拡大される。ホーン先端のホーンチップ部 で加振材を固定材に押し付けながら、超音波振動が印加される。 これにより、加振材は固定材上で摺動し、材料表面の酸化物や有 機被膜などは、破壊・飛散し、清浄な金属面になる。同時に界 面に摩擦熱が発生し、この状態が継続されることで、加振材と固 定材の間に接合が生じる。ホーンチップ部は、加振材への振動の 伝達を確実にするため、ローレット形状になっている。



<2. 2>超音波接合の特徴

超音波接合は、特殊な環境でなくても容易に接合でき、かつ、 大量生産への適用が可能であることから、様々な分野で用いら れている。超音波接合の特徴は次のとおりである³⁾。

- (1) ほとんどの同種金属材料の接合が可能である
- (2) 溶融温度の異なる異種金属間の接合が可能である
- (3) 融点よりかなり低温での固相接合なので、熱の発生による組 織変化が生じにくい
- (4) ハンダやフラックス、樹脂などの消耗品がない為、環境に優しく、コストダウンに対応できる
- (5) 自動生産ラインなどへの組み込みが容易である
- (6) 短時間接合が可能である
- (7) 接合の電気消費量が少なく、ランニングコストが下げられる

3.実験方法・結果および考察

実験は、特に断らない限り、前報と同様に、SUS304/ADC12 を超音波接合機(出力1200W、周波数15kHz、振幅(p-p)35µm) で接合し、図2(加振材・固定材寸法が異なる場合は、各項に明 記する)の試験片を作製した。なお、接合の際は、固定材端をゴ ムクランプで押さえた。接合強さは、前報と同じ方法で加振方向 と垂直な方向の最大引張りせん断荷重(試験速度:0.5mm/s 以 下、接合強度 と示す)で評価した。

- 以下の項目について順番に記載する。
- 3.1 ホーンチップ部の損傷対策
- 3.2 加振材や固定材上の接合位置の影響
- 3.3 振動振幅の影響
- 3.4 インサート材の効果
- 3.5 アルミ表面処理材への接合
- 3.6 多点スポット接合の可能性



<3.1> ホーンチップ部の損傷対策

超音波接合において、加振材が鉄鋼製ホーンチップ部に固着 し、引きはがす際に加振材にホーンチップ部が移着して大きく 損傷する事象が発生した(図3参照)。加振材が鋼の場合、ホー ンチップ部のローレットが食い込みにくい為、加振材-ホーン チップ間が摺動し、温度が上昇、その界面で固着が生じたと予 測される。大きく損傷したホーンチップを使用すると加振材に 超音波振動が伝わりにくくなるため、接合性の低下が懸念される。 すなわち、安定した接合を得るためには、ホーンチップ部の損傷 を抑制することが必要であると考えられる。



図 3. ホーンチップ部の写真 Fig.3. Photographs of horn tip surface.

そこで、この同種(Fe)素材の強固な固着を抑制するため、加 振材とホーンチップ部の間に鉄と固溶し難い金属である銅の箔 を挟むことを考えた。そして、銅箔の加振材-ホーンチップ間 の固着抑制効果と接合強度への影響の確認を行った。 <3.1.1>加振材のホーンチップへの固着抑制効果の確認

加振材-ホーンチップ間にチップ面積以上の寸法の板厚 0.2mmの銅箔を挟み、超音波接合を行った。加振材厚は0.3mm、 0.5mm、1.0mmで、接合条件は、加圧力600N、加振時間2sと した。

いずれの板厚でも、銅箔を挟むことで加振材-ホーンチップ間 の固着が抑制された。しかしながら、接合回数を重ねていくに つれて、ホーンチップ部の摩耗はゆっくりと進行した。そのた め、根本的な解決には、ホーンチップの材質や形状等の検討が 必要である。

<3.1.2>接合強度への影響確認

銅箔有無の接合強度への影響を調査した結果を図4に示す。

図4より、加振材の板厚に関係なく銅箔の有無が接合強度へあ まり影響しないことがわかる。また、銅箔有りの方が、銅箔無 しよりデータのばらつきが小さいことも、ホーンチップ部の摩 耗低減の効果によるものではないかと考えている。

更に優れた対策手法の検討は必要と考えられるが、本研究で は安価で入手し易い銅箔を加振材-ホーンチップ間に挟む方法 で接合試験を遂行する(以下の検討項目全てに適用)。



<3. 2>加振材や固定材上の接合位置の影響

超音波接合では、ホーンチップ部が所定の振幅になるようにホ ーンが設計されている。この振動が加振材に伝えられるが、ホー ンと同様に、加振材や固定材の位置・形状等によっては、それら の振動特性により、振動や摺動の状態が異なる可能性がある。そ こで、10mm 幅 0.5mm 厚の SUS304 材と 25mm 幅 2mm 厚の ADC12 材の長さと接合箇所を変えて、振動や界面の摩擦の状況 が反映される接合エネルギー(600N × 2s) について調べた。

図5は、50mm長 SUS304 材を50mm長 ADC12 材に接合した場合(クランプ無し)の接合位置と接合エネルギーの結果である。なお、接合エネルギーは、接合時のエネルギーから、無負荷時のエネルギーを引いた値を用いた(以下も同様である)。また、接合位置の値は、試料の長手方向の両端からの距離で示した。な

お、図中の黒塗り(▲●)は、SUS304の図ではADC12の両端 付近(0-4mm、或いは、46-50mm)の結果を、ADC12の図では SUS304の中央付近(15-35mm)の結果を示す。

図5より、接合エネルギーは、ADC12では両サイドが大きく 落ち込む傾向にあり、SUS304では中央部が小さい傾向にある。

また、SUS304の場合は、黒塗りの結果を省けば上側の曲線に まとまる傾向であるが、ADC12 では、黒塗りを除いても接合位 置とエネルギー値の傾向は大きく変わらない。このことは、すな わち、ADC12 上の接合位置がエネルギー値に大きく影響するこ とを示している。



引き続き、異なる大きさの SUS304 と ADC12 を用いて、接合 エネルギーの測定を行った。

図6に100mm、150mm 長 ADC12 材上での接合位置と接合 エネルギーの関係を示す。尚、SUS304 長は100mm 固定とした。 100mm の結果には、片端クランプ有りのものとクランプ無しの ものを示した。クランプ有りでは、クランプ側端部からの距離を 接合位置とした。クランプ無しでは、50mm と同様に、両端から の距離それぞれを接合位置とした。150mm は、クランプ無しで ある。

100mm では、クランプの有無によらず、50mm の場合と同様 に両端部での接合エネルギー値が急激に低下する傾向を示した。 一方、150mm では、両端以外に、40mm-60mm、90mm-110mm の位置でも、接合エネルギーの低下が確認された。

この結果から、接合エネルギーの分布は、固定材の振動モー ドが反映しているものと推測した。

すなわち、加振材は接合時にホーンチップ部と一体となり 15kHz で振動している。しかし、加振材と接合していない固定 材には、固定材固有の振動モードにより、振動しやすい部位(振 動の腹)と振動しにくい部位(振動の節)が生じると考えられる。 振動しやすい部位は、加振材と同期して振動するため、摩擦が 小さく接合エネルギーも小さくなると推測される。そして、接合 エネルギーの分布から、固定材長が 50mm、および、100mm 長 では長手方向に 1/2 波長、150mm 長では 3/2 波長(図 7)の振動 モードの存在が考えられ、これらの振動モードの腹の位置では、 接合が困難になるものと推測される。

接合試験においては、ADC 長が、50mm、100mm では極力両 端を避けて接合を行った。SUS 板においては、端部付近への接合 を行った。図2の接合位置もこれを満足している。





図 7.3/2 波長の振動モード Fig.7. Vibration mode of the 3/2 wavelength.

<3.3>振動振幅の影響

振動の振幅が大きいほど、加振材・固定材界面の摩擦熱が大き くなり、接合性が改善されるものと予想される。そこで、振幅が 接合に与える影響を検証した。振幅と接合強度、接合エネルギ ーの関係を図8に示す。接合条件は、加圧力600N、加振時間2s、 振幅(p-p)35µm、42µm、48µmの3水準である。

図8より、振幅の増加にともない、接合強度は向上した。また、 接合エネルギーも増加しており、振幅が大きいほど、加振材・固 定材間の摩擦熱が大きくなっていることが推測される。

このことより、振幅は大きい方が良いと言える。しかしながら、 周波数一定で振幅を大きくすることは、ホーンへの負荷の増加 につながるため、ホーン破損の可能性が高まると予想される。 すなわち、接合強度向上の為に振幅を大きくすることには限界 があり、周波数に対し、適切な振幅を設定する必要があると思 われる。



<3. 4>インサート材の効果

加振材と固定材間に純 Al 箔をインサート材として挟むことに よる接合強度の向上、低加圧力・短時間接合の可能性を検証し た。

インサート材厚は 12µm、20µm、100µm で、加振材/固定材 ラップ全面をカバーするように 10mm×25mm 以上のサイズとし た。接合条件は、加圧力 100N、200N、400N、600N、加振時間 は 1s、2s とした。

インサート材厚 12µm での、加圧力の影響(加振時間 2s)を図 9 に、加振時間の影響(加圧力 400N)を図 10 に示す。

図 9 より、インサート材無しでは接合できなかった加圧力 100N、200N も、インサート材を挟むことにより接合が可能とな り、200N ではインサート材無しの 400N と同等の接合強度が得 られた。また、加圧力 400N、600N の条件でも接合強度の向上 が見られ、400N ではインサート材無しの 600N と同等の接合強 度となった。



図 9. インサート材有無の影響(加圧力) Fig.9. Influence of the insert material to strength.



Fig. 10. Influence of the insert material to strength.

図10より、インサート材を挟むことにより、加振時間1sでインサート材無し2sの2倍の接合強度となり、インサート材の効果が大きいことがわかった。

図 11 に加圧力 400N、加振時間 2s のインサート材有無それぞ れの剥離面(SUS304 側)の SEM 写真(反射電子像)を示す。

インサート材無しの黒色部は、移着 ADC12 である。インサー ト材有りの黒色部は、インサート材と ADC12 の移着が混在して いる。Si マッピングにて確認した ADC12 の移着部を丸枠で図示 する。インサート材有りの ADC12 の移着面積は、インサート材 無しと比較して増加していることが明らかである。

図 12 に、インサート材厚さ 12µm、20µm、100µm で、加圧 力 400N、加振時間 2s で得た接合材の接合強度の結果を示す。

接合強度は、インサート材が厚い程、高い値を示した。インサート材が厚いと、接合時に加振材と固定材の密着性が高まる為と思われる。



図 11. 引張り試験後の SUS304 側破断面 Fig.11. Surface of the SUS sheet after joining.

図 13 にインサート材の厚さと接合面積の関係を示す。接合面 積には、SUS304 上の Al (インサート材+ADC12 (図 11 の黒色 部))の移着面積を用いた。

図 13 より、インサート材が厚い程、接合面積が増加する傾向 となった。この結果は接合強度の傾向と一致する。

図 14 にインサート材有りの接合部断面の SEM 写真及び Al と Si のマッピング結果を示す。マッピングでは、白色部が各元素 の濃度が高い部位である。

SEM 写真の SUS304 と ADC12+Al 箔の境界と、Al マッピン

グ結果の Al の分布の境界は一致しているが、Si マッピング結果 の Si の分布の境界は一致しておらず一段低くなっている。イン サート材には、Si があまり含まれていない Al 箔を用いているた め、Al の分布と Si の分布の違いの部分には、インサート材が存 在している事になる。すなわち、インサート材が加振材・固定材 の面に応じて変形し隙間を埋めることで、加振材と固定材がイン サート材を介して接合され、強度の向上に繋がったと思われ る。



Fig.12. Influence of the insert material thickness to strength.



図13. インサート材厚さと接合面積 Fig.13. Relation between the insert material thickness and welding area.



Fig.14. The SEM photographs of section of joint.

以上の結果より、インサート材を用いることが低加圧、短時 間接合及び接合性向上に効果が有ることを確認した。本研究で はインサート材として純 Al 箔を用いたが、更なる接合性の向上 を目的として他材質の見極めも必要であると考えている。

<3. 5>アルミ表面処理材への接合

固定材の表面処理皮膜の接合への影響を調査した。異種材料 の接合においては、長期耐久性(特に電食の懸念から)の観点からは、表面処理皮膜を破壊しない接合が重要である。

<3. 5. 1>表面処理 Al への直接接合

固定材には、表面処理Alとして多用されているAl-Mg·Si系合 金のA6063S-T5 (25mm×75mm×2mm)を用いた。そして、こ れを陽極酸化した、皮膜厚 0µm、3µm、9µm、13µmの板、およ び、9µmの板に更に 7µmの電着塗装をした陽極酸化塗装複合皮 膜Al材の5水準を試験に供した。接合条件は、加圧力は200N、 400N、600Nの3水準、加振時間は1s、2s、3s、4sの4水準と した。接合可否の結果を表1にまとめる。なお、陽極酸化塗装複 合皮膜Alとは上記条件では接合が生じなかったので省いた。

表1より、表面処理皮膜が厚いほど接合は困難になるが、高加 圧力・長加振時間であれば接合可能であることが分かる。しかし ながら、このような条件で接合したものは、図 15 の断面 SEM 写真からわかるように皮膜が破壊され(SUS と Al 素地間で電気 の導通も確認)、接合近傍部に素地 Al 材が削り取られバリが発 生した(図 16 参照)。皮膜が薄く、低加圧力・短時間接合が可 能であったものでも、SUS と Al 素地間で電気の導通を認めた。 これらのことより、表面処理皮膜を破損しない健全な直接接合 は困難であることが分かった。

表 1. 陽極酸化皮膜 AI の接合可否結果 Table1. Joining test results of the anodic oxidation coatings

on a	luminum	
------	---------	--

○: 接合可 ×: 接合否 −: 未実施					
	加振		陽極酸化皮膜厚		
加圧力	時間	0µm	3µm	9µm	13µm
	1s	×	×	×	×
2000	2s	0	×	×	×
200IN	3s	0	×	×	×
	4s	_	×	×	×
	1s	×	×	×	×
40001	2s	0	0	×	×
400N	3s	0	0	0	0
	4s	_	_	0	0
	1s	0	0	×	×
COON	2s	0	0	0	0
600IN	3s	_	_	0	0
	4s	_	_	_	_

<3.5.2>樹脂インサートの効果

SUS304 と陽極酸化皮膜 Al では、皮膜破損が生じ電食の懸念 はぬぐえないが接合可能であった。一方、陽極酸化塗装複合皮膜 Al では、全く接合が生じなかった。そこで、SUS304/陽極酸化 塗装複合皮膜 Al の接合を目指し、樹脂インサートについて検討 した。

樹脂インサートには、表2に示すボンダインとポリエチレンの ブレンド品を用いた。ボンダインは金属やナイロン、PET、ポリ オレフィン等となじみの高い樹脂改質剤である。ポリエチレンは 汎用樹脂であり、安価である。双方のブレンド品を使用すること で、安価なインサート材によるSUSと陽極酸化塗装複合皮膜Al の健全な接合の可能性を調べた。

接合試験は、加圧力は100N、200N、300N、加振時間は1s、 2s、3sで行った。接合可否を表3に示す。

表3より、ボンダインのブレンド比率が高い樹脂インサートを 用いることで、接合の可能性を見出すことができた。また、接 合部の皮膜を目視確認したところ破壊しておらず、SUS と Al 素 地間が電気絶縁状態であることより、表面処理皮膜を破損しな い健全な接合状態であることがわかった。しかし、接合強度は あまり大きくなかった。





図 15. 接合断面の SEM 写真 Fig.15. SEM photograph of the joining section.

図 16.固定材の接合面 Fig.16. Joining surface of the fixed material to junction.

表 2. 樹脂インサート材料

Table2. Plastic insert materials			
水準	ブレンド比率(重量%)		
а	ポリエチレン 100%		
b	ポリエチレン 90%+ボンダイン 10%		
С	ポリエチレン 60%+ボンダイン 40%		
d	ボンダイン 100%		

表 3. 樹脂インサート試験結果 Table3. Plastic insert test results

○. 拉本	コーマ・ 技ど	***/古.+	立つとす
	リヘゴ女口	蚁胆 1	女口归反

ᆂ		加振	樹脂インサートの水準			
NUT		時間	а	b	С	d
		1s	×	Х	Х	×
100	Ν	2s	×	×	×	×
		3s	×	×	0	0
	200N	1s	×	×	×	×
200		2s	×	×	×	O(22N)
	3s	×	×	O(22N)	O(67N)	
	1s	×	×	×	×	
300	300N	2s	×	×	×	0
		3s	×	×	0	0

せん断試験後の剥離部を観察したところ、移着樹脂面積は小さ く、荷重のかかる部位へ応用するには、樹脂インサートの材質の 検討や固定材の加熱などの工夫が必要であると考えられる。

<3. 6>多点スポット接合の可能性

面積の大きい部材同士の接合への応用を目指し、2 点接合について検証・評価を行った。接合は、加圧力 600N、加振時間 2s で行った。

<3.6.1>加振方向の2点接合への影響

図17に示すように、2点接合の間隔を20mmとして、1点目 と2点目を結ぶ直線が加振方向と平行な場合(平行方向接合)と、 垂直な場合(垂直方向接合)それぞれの接合状態について確認し た。試験片寸法は図2と同じである。そして、超音波探傷による 接合の可否の確認、および、接合強度の測定を行った。



図 17. 加振方向と試料の位置の関係 Fig.17. Relationship between vibration direction and sample position.

超音波探傷画像を図 18 に示す。左写真は1点接合時の画像で ある。また、2点目接合後の1点目の画像を中央に、2点目の画 像を右に示す。なお、接合部は白色に、非接合部は灰色、或いは 黒色で表示される。

振動	1点接合時	2点接	合時
方向	1点目	1点目	2点目
平行 方向	()). 		
垂直 方向			

図 18. 超音波探傷画像 Fig.18. Ultrasonic flaw detection image.

この図より、加振方向が平行方向では、2点目の接合時に1点 目の接合面積が小さくなっている様子が確認された。加振方向 が垂直方向では、2点目接合時も1点目の面積に顕著な変化は見 られない。

接合平均強度は、平行方向接合で約1400N、垂直方向接合で約2400Nであった。平行方向接合の値が小さくなったのは、2 点目接合の際に1点目の接合が部分剥離したためと考えられる。 すなわち、垂直方向接合の方が、1点目接合部の剥離が生じ難く、 強度が高いことが分かった。

<3.6.2>加振材の板厚の影響

加振材の板厚 0.1mm、0.3mm、0.5mm、0.8mm、1.0mm で 垂直方向 2 点接合(間隔 20mm)を行い、接合部の超音波探傷画 像を求めた。その結果を図 19 に示す。

加振	1点接合時	2点接合時		
· 材厚 (mm)	1点目	1点目	2点目	
0.1	_	剥離		
0.3		剥離		
0.5	0			
0.8				
1.0				

図 19. SUS 板厚が異なる接合材の超音波探傷画像

Fig.19. Ultasonic flaw detection image of the welding materials with use of various thickness SUS plate.

図19より、加振材の板厚0.5mmでは2点ともに接合されており、また、2点目の接合後も1点目の接合面積に変化が見られなかった。

しかし、0.5mmより薄い0.1mm、0.3mmでは、1 点目が完全 に剥離し、より厚い0.8mm、1.0mmでは1 点目が部分剥離して いる様子が確認された。

これは、1 点目の接合強度が影響しているものと推測される。 すなわち、前報より、加振材の板厚が 0.5mm では他の板厚より 1 点目の接合強度が大きく、2 点目の接合時に 1 点目は剥離しな い。しかし、0.5mm 以外では接合強度が不足し、伝播した振動 により、1 点目が剥離或いは部分剥離したと考えられる。

<3.6.3>2点接合の接合点間距離の影響

SUS304、ADC12 材ともに 100mm 長として、接合点間距離 を 8mm、20mm、32mm、55mm、62mm と変えて垂直方向接 合を行い、接合強度への接合点間距離の影響を確認した。その結果を図 20 に示す。

接合強度は、接合点間距離が20mmで1点接合時の約1.5倍、 32mmで約2倍となった。しかし、接合点間距離8mmでは1点 接合時の強度より、やや低めの値になった。

これは、2点間距離が近すぎるために、1点目が2点目接合時の振動により剥離し、一方、2点目は加振開始から1点目が剥離 するまでの間、1点目が束縛となり、加振が抑制されたのではないかと考えている。

また、接合点間距離が 55mm では接合点間距離 32mm に比べ 強度が低く、また、ばらつきも大きかった。このばらつきの原因 は、引張り試験時に、1 点目と2 点目が同時に破断したか、別々 に破断したかの違いであると考えている。すなわち、図 21 に示 すように、同時破断では、荷重-変位曲線が単調に完全破断ま で増加するのに対し、別々に破断した場合は、1 点目の破断に伴 うと考えられる荷重の急激な低下が完全破断前に認められた。

接合点間距離62mmでは、2点目が明らかに接合しておらず、 1点の接合強度と変わらなかった。

2 点目の接合エネルギーは接合点間距離が 8mm-55mm では 700J-900J あったのに対し、接合点間距離 62mm では約 300J で あった。62mm の接合エネルギーが低いのは、図 6 より、この部 分が固定材の振動モードの腹の位置であるためと考えられる。









そこで、接合点間距離を 62mm に保ったまま、クランプ側に 10 mm シフトさせて接合し、接合強度を確認した。

その結果、2 点目が接合し、接合強度は約 2000N、接合エネル ギーは約 720J となった(n=3 の平均)。固定材の振動モードの 腹を避けた接合を行えば2 点の接合が可能になり、1 点接合より 強度が増すことが分かった。

4. 結言

低コスト・短時間接合が可能という利点がある超音波接合に ついて、加振材を Fe 、固定材を Al とした接合技術の確立のた め、接合特性を調査した。得られた主な知見を以下に示す。

①ホーンチップ部の損傷対策

・銅箔を挟むことで加振材-ホーンチップ間の固着が抑制さ れた。

②加振材や固定材の接合位置による接合特性の違い

・固定材において、接合が困難になる位置が確認された。これは、接合時に固定材の振動モードの腹の位置が、加振材振動と同期振動したためと推測される。

③ホーンチップ部の振動振幅の影響

- ・振幅の増加にともない、接合強度は向上した。また、接合 エネルギーも増加しており、振幅が大きいほど、加振材・ 固定材間の摩擦熱が大きくなっていることが推測される。
- ④インサート材の効果
 - インサート材を用いることが低加圧、短時間接合及び接合
 性向上に効果が有ることを確認した。

⑤アルミ表面処理材への接合

- ・陽極酸化皮膜が厚いほど接合は困難になるが、高加圧力・ 長加振時間であれば接合可能である。但し、陽極酸化皮膜 を破損しない健全な直接接合は困難である。
- ・ボンダインのブレンド比率が高い樹脂インサートを用いる ことで、陽極酸化塗装複合皮膜Alへの接合の可能性が得ら れた。

⑥多点スポット接合の可能性

- ・1 点目の接合強度が低いと 2 点目接合時に 1 点目が剥離する。
- ・加振方向に対し平行方向に接合するよりも、垂直方向に接合 する方が、1点目接合部の剥離が生じ難く、強度が高い。
- ・固定材の振動モードの腹を避けた接合を行うことで2点接 合が可能になり、1点接合より強度が向上した。

文 献

(1) HONDA R&D Technical Review Vol.25 No,1

~サブフレームへ適用可能な FSW を用いたスチールとアルミニ ウムの連続接合技術の開発~

(2) 若い研究者を育てる会研究論文集(平成 25 年度)

(3) 社団法人日本塑性加工学会 超音波応用加工(2004)

「トイレからの漏えい音低減に関する研究」グループの研究活動風景





「切削加工シミュレーションに関する研究」グループの研究活動風景





「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」グループの研究活動風景





「エネルギーハーベスター利用システムに関する研究」グループの研究活動風景





「量子ドット増感太陽電池の研究」グループの研究活動風景





「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」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

○ 28年間の研究テーマ数:178テーマ(昭和62年度~平成26年度)
 ○ 参加研究員延べ人数:343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)

- 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(㈱タカギセイコー)、田上輝次(東洋化工㈱)、長柄 勝(長柄鉄工㈱)
 ⑥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)
- 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㈱)、加藤昌憲(日本鋼管㈱)、滝川義弘(燐化学工業㈱)
 堀田 孝章(立山科学工業㈱)
 ⑨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)
 ⑥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)

- フレキシブルハンドに関する研究ー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)
 ⑥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)
 ⑥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)
- Co-Metal系アモルファス軟磁性薄膜に関する研究 越浜哲夫(㈱不二越東富山製鋼所)
 ⑥指導機関:工業技術センター富山研究所(現機械電子研究所)
- 4. 樹脂・ファイバー複合材バネに関する研究
 池田秀男(㈱タカギセイコー)、上段一徳(東洋化工㈱)、長柄 勝(長柄鉄工㈱)
 柳原 潔(㈱黒田精型)
 ⑥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㈱)、水谷里志(立山電化工業㈱)、山田義昭(東洋化工㈱) 宮沢進一(吉田工業㈱、現YKK㈱黒部工場)、山本直樹(NKK(日本鋼管㈱)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(㈱インテック)、堀井 孝(エルコー㈱、現コーセル(㈱) ◎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)

- 樹脂・ファイバー複合材に関する研究
 池田秀男・高柳敏信(㈱タカギセイコー)、上段一徳(東洋化工㈱)、長柄 勝(長柄鉄工㈱)
 柳原 潔(㈱黒田精型)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 2. ZnO系セラミックス薄膜に関する研究-圧電薄膜音響光学素子の開発 小西孝浩(タカノギケン(㈱)、滝川義弘・煙田不二男(燐化学工業㈱)、平能 司(㈱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㈱)、吉田孝一(㈱タカギセイコー)、吉野正浩(吉田工業㈱、現YKK㈱) ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 4. Co-Nb-Zrアモルファス軟磁性薄膜に関する研究
 越浜哲夫(㈱不二越)、西田達也(北陸電気工業㈱)、前坂昌春(エルコー㈱、現コーセル㈱)
 ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 5. 障害者のための学習機能を有するマンマシンシステムの研究-機能的電気刺激のための上肢機能シミュレー タの研究開発

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

6. 超音波メガネの研究
 中村 亮(北日本電子(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)

- 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(㈱不二越)、高島 誠(エルコー(㈱、現コーセル(㈱))
 ⑥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(㈱タカギセイコー)、田村正行(吉田工業㈱、現YKK㈱)、柳原 潔(㈱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(㈱和泉電気富山製作所)、山田義昭(東洋化工㈱) ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 4. 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㈱)、若林成喜(北陸電気工業㈱)
 ⑥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(㈱タナカエンジニアリング)、窪池義文(エルコー(㈱、現コーセル(㈱)・西浦慎一・村井哲雄(㈱タカノギケン)
 ⑥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一完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究 土田隆一(立山科学工業㈱) ◎指導機関:高志リハビリテーション病院

☆平成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㈱)
 ◎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(㈱タカギセイコー)、田村正行(吉田工業㈱、現YKK㈱)、柳原 潔(㈱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
- 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(㈱タナカエンジニアリング)、西浦慎一(㈱タカノギケン)、
 山本達生(エルコー(㈱、現コーセル(㈱)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- **1. 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(㈱和泉電気富山製作所)、山田義昭(東洋化工㈱)
 ⑥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㈱)
 ②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)

- 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)
 ⑥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ートランスの試作 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㈱) ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 4.透明プラスチックス製品の欠陥検査装置の開発
 大岩秀徳(三協アルミニウム工業㈱)、長峰浩幸(㈱タカギセイコー)、本堂 裕(㈱斎藤製作所)
 ⑥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ー点字変換装置に関する研究 北喜靖規(北日本電子(株)、島野英明(株インテックシステム研究所) ◎指導機関:富山大学工学部

6. 完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究

土田隆一(立山科学工業㈱) ◎指導機関:高志リハビリテーション病院

☆平成5年度(第7回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、12名)

- 機能性膜の微細加工に関する研究ー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))
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 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)
 ⑥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(㈱タカギセイコー)、堀田正人(東洋化工㈱) ©指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- リン酸塩系セラミックス固体電解質に関する研究
 黒川寛幸(北陸電気工業㈱)、山口 睦(燐化学工業㈱)
 ③指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 5. RIMのCAEに関する研究 杉田孝嗣(三協アルミニウム工業㈱)、中村和禎(㈱タカギセイコー) 〇指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 6. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究(I)
 五十嵐隆治(立山アルミニウム工業㈱)
 ◎指導機関:高志リハビリテーション病院

☆平成6年度(第8回)研究テーマと研究参加者(6テーマ、16名)

- 視覚システムを持つ移動ロボットの開発
 小山直人(㈱タカギセイコー)、寺本正夫・杉谷 健(コーセル㈱)
 中村厚平(エヌアイシ・オートテック(㈱)、 松田英雄(㈱タナカエンジニアリング)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 機能性薄膜と半導体の複合素子の開発
 高柳 殻(コーセル(株))、田村雅英(北陸電気工業(株))
 ⑥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(燐化学工業㈱)
 ②指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 4. 傾斜機能膜素子の開発
 市川良雄(富山軽金属工業㈱)、福本 滋(北陸電気工業㈱)、三松克次(㈱タカギセイコー)
 山下慎也(㈱タナカエンジニアリング)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 5.3次元入力デバイスの開発-(バーチャルリアリティ用) 細木文夫(三協アルミニウム工業㈱)、横山 大(長岡技術科学大学) ②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)

- 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
- 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(㈱タナカエンジニアリング)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 電子回路用ウエットエッチング液の開発
 山口 睦(燐化学工業株)
 ⑥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(㈱タカギセイコー)、能村輝一(北陸電気工業㈱)、山下慎也(㈱タナカエンジニアリング)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 3. 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)
 ⑥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))
 ③指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- ア・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㈱)、三井清隆(㈱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)
 ⑥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㈱)
 ⑥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)

- 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(㈱タカギセイコー)、田島正康(㈱タナカエンジニアリング)
 田中 篤(北陸電気工業㈱)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 3. 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(㈱タナカエンジニアリング)
 ③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㈱)、田畑裕信(中越合金鋳工㈱)、三井清隆(㈱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)
 ②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(㈱)、森田裕之(立山アルミニウム工業(㈱) ◎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) 〇指導機関: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㈱)、二見泰雄(三協アルミニウム工業㈱)
 ◎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)

- 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㈱)、田畑裕信(中越合金鋳工㈱)、野中義夫(街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)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 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㈱)、渡辺暁信(㈱タナカエンジニアリング)
 ⑥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
- 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)
 ⑥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
- 電力変換用圧電セラミックストランスの開発
 堀井一宏(コーセル(株)、柳川 新(立山科学工業(株))
 ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 5. 局部的レーザー処理による形状記憶合金膜アクチュエータの開発 丹保哲也(北陸電気工業㈱)、野上拓也(㈱タナカエンジニアリング)、山田浩美(東洋化工㈱) 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(㈱斉藤製作所)、高橋 聡(㈱タナカエンジニアリング)、藤木和幸(㈱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)

- **正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
- 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㈱)
 ⑥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(㈱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(㈱斉藤製作所)、橋本 明(田中精密工業㈱)
 ③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(㈱タカギセイコー)、福田隆之(コーセル㈱)
 ⑥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)

- 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㈱)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 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㈱)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 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)
 ⑥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㈱)、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㈱)、石川勝巳(コーセル㈱) ③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(㈱斉藤製作所)
 ⑥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㈱)、山田浩美(東洋化工㈱) ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 8. プラスチックス上のハードコーティング技術の研究 高橋伸忠(㈱タカギセイコー) ②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)

- 「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㈱)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 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㈱)、谷口真也(コーセル㈱)
 ②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㈱) ◎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スリサイクル材の研究
 酒井康弘(㈱タカギセイコー)、前田健二(立山アルミニウム工業㈱)
 ◎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(㈱)、山田浩美(東洋化工㈱) ◎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)

- 滑雪板(着雪防止版)の開発 河井牧夫(田中精密工業㈱)、高橋伸忠(㈱タカギセイコー)、野田耕司(三協アルミニウム工業㈱) 石井 雅(富山県土木部) ◎指導機関:工業技術センターPJ・中央研究所
- 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))
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 高摩擦係数材料の研究(2)
 高田智哉(田中精密工業㈱)
 ◎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(㈱タカギセイコー)、前田健二(立山アルミニウム工業㈱)
 ⑥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)斎藤製作所)
 ③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) ⑥指導機関:工業技術センターPJ・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㈱) ◎指導機関:工業技術センターPJ・機械電子研究所、富山大学工学部、JST
- 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㈱)
 ②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)
- ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発(2)
 石見雅美(㈱斉藤製作所)、稲澤直子(コーセル(㈱)
 ⑥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㈱)、水原 崇(コーセル㈱)、米嶋勝宏(東洋化工㈱) ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所・PJ・中央研究所

(付-14)

- 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)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所・PJ、富山大学工学部
- 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㈱)、野田耕司(三協アルミニウム工業㈱)
 ⑥指導機関:工業技術センターPJ・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㈱)
 ⑥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(㈱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)

- ダイレクトメタノール小型燃料電池の開発(3)
 石見雅美(㈱斉藤製作所)、魚谷一成(コーセル㈱)
 ③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㈱)、中山 均(コーセル㈱)、中林俊幸(東洋化工㈱) ◎指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
- 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(㈱タカギセイコー)
 ⑥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)
 ⑥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㈱)
 ②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)

 大型色素増感太陽電池の開発 廣田和也(㈱タカギセイコー)
 ②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㈱)
 ◎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)
 ⑥指導機関:工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
- 薄膜超低温度特性抵抗器の開発(2)
 桑原大輔(北陸電気工業㈱)
 ⑥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㈱)
 ◎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㈱)
 ②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)

- 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
- 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))
 ⑥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
- 薄膜超低温度特性抵抗器の開発(III)
 津幡 健(北陸電気工業㈱)
 ◎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)
 ⑥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㈱)
 ◎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㈱)
 ③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(㈱タカギセイコー)
 ②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㈱)、深沢正樹(立山マシン㈱) ◎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・P」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(㈱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・P I 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㈱) ◎指導機関:工業技術センターP」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・P」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 曽根宏信(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㈱)、長柄大介(長柄鉄工㈱) ◎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))
 ③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(㈱)

(付-17)
◎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㈱)
 ③富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所
- 7. 陽極酸化皮膜を用いたナノ構造体の応用研究
 清水裕也(㈱タカギセイコー)
 ③富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所・PJ推進担当
- 8.マイクロTASチップの開発(2)
 石村和雄(コーセル(株))
 〇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)

- 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(燐化学工業㈱)、梅原洋平(コーセル㈱)
 ③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
- 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)
 ③富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所・生活工学研究所
- 3.ダイカスト金型材料の接合技術の開発
 花崎裕美(田中精密工業㈱)、古川万晃(㈱タカギセイコー)
 ⑥国立大学法人富山大学芸術文化学部、富山県工業技術センター中央研究所・PJ推進担当
- 4. 局部加熱によるプラスチック表面の高機能化
 吉田康子(㈱タカギセイコー)
 ◎富山県工業技術センター機械電子研究所・中央研究所
- 5. 酵母を利用した和漢薬の薬理作用の解析および測定デバイスの開発 日出嶋宗一(立山マシン(株)) ③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)

- 軽量・フレキシブルな色素増感太陽電池の開発
 吉田康子(㈱タカギセイコー)、中田裕一(北陸電気工業㈱)
 ③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) ③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)
 ③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) ②富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所

(付-18)

☆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㈱)、古川和明(立山科学工業㈱) ◎富山県工業技術センター機械電子研究所
- 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))
 ③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
- 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)
 ③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) ②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)) ③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)

- 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㈱)
 ③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
- 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))
 ③富山県工業技術センター中央研究所・機械電子研究所
- 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㈱)、杉本考行(コーセル㈱)
 ⑥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㈱)、岩滝幸司(北陸電気工業㈱)
 ③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(㈱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)

- 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㈱)
 ③富山県工業技術センター機械電子研究所
- 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)
 ③富山県工業技術センター機械電子研究所
- 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㈱)
 ③富山県工業技術センター機械電子研究所・企画管理部

(付-19)

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)) ②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㈱)
 ③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
 野口拡(コーセル(株))
 ③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)

- 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㈱)
 ◎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
- 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 拡 (コーセル(株)
 ⑥指導機関:工業技術センター中央研究所・機械電子研究所
- 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㈱)
 ◎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))
 ⑥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㈱)、山崎鉄平(㈱タカギセイコー) ②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㈱)
 ③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)

- 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))
 ②指導機関:工業技術センター機械電子研究所
- 切前切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)
 ③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㈱)、相馬 優(㈱斉藤製作所)、桑原 浩一(コーセル㈱) ◎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㈱)、中田 智康(北陸電気工業㈱) ◎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㈱)

◎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㈱)、山崎 鉄平(㈱タカギセイコー)、林 達規(田中精密工業㈱) ◎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

〇会員企業

平成27年3月12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	㈱斉藤製作所	齊藤 行男	齊藤 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	中村 清澄	0766-24-5522		
6	タカノギケン(株)	高野 惠子	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㈱	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㈱	田中 一郎	櫛田 孝隆	076-451-7651		
11	東洋化工㈱	中田 守人	中田 守人	076-475-2125		
12	長柄鉄工㈱	長柄 勝	長柄 大介	0766-22-3170		
13	北陸電気工業㈱	津田 信治	上野 之久	076-467-1111		
14	燐化学工業㈱	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 (角崎雅博、渡邊千晶)						

O 研 究 会 員

긙		名	所属	役	職	学	位	電話番号
研究障	傳							
石	黒権	習 明	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
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	河 彦	工業技術センター機械電子研究所	電子技	術課長	博士(工学)	076-433-5466
杉	森	博	工業技術センター企画管理部	部	長	博士(工学)	0766-21-2121
高	辻 月	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	林夕	1 広	県商工労働部商工企画課	新産業科学	学技術班長	博士(工学)	076-444-4562
丹	保豊	豊 和	富山大学大学院理工学研究部	准	教授	工学	博士	076-445-6011
土	肥 靠	轰 治	工業技術センター機械電子研究所	所	長	博士(工学)	076-433-5466
富	田正	E 吾	工業技術センター中央研究所	加工技	術課長	工学	博士	0766-21-2121
長	柄爹	段 —	富山大学芸術文化学部	教	授	博士(工学)	0766-25-9111
	口龙	攴 昭	工業技術センター	次	長	博士(工学)	0766-21-2121
松	田甸	故 弘	富山県立大学工学部	教	授	博士(工学)	0766-56-7500

O歴 代	会長	(会長	長人事は会員企業内持ち回り	. 2件	に目からは信	壬期24	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	水口日	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~)

〇名誉研究幹事

谷野 克巳(元工業技術センター所長)

O顧	問(50音順)
海野	進	((公財) 富山県新世紀産業機構・専務理事)
龍山	智榮	((国) 富山大学・名誉教授)
東保喜	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)
藤城	敏史	((公財) 富山県新世紀産業機構・産学官連携推進センター長)
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
- $F \ A \ X \quad 0 \ 7 \ 6 \ \ 4 \ 4 \ \ 5 \ 6 \ 3 \ 0$

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 二ロ 友昭 石黒 智明 (公財)富山県新世紀産業機構 渡邊 千晶
発行年月日	平成27年3月12日
印 刷 所	富山スガキ株式会社

*無断転載を禁ずる.非売品.