

平成29年度

長崎県工業技術センター研究報告

REPORT OF
INDUSTRIAL TECHNOLOGY CENTER OF NAGASAKI

No.47

長崎県工業技術センター

INDUSTRIAL TECHNOLOGY CENTER OF NAGASAKI

目 次

1. 海洋産業に用いるデジタルデータと電力の非接触式伝送システムの開発	1
次長兼グリーンニューディール技術開発支援室長	兵 頭 竜 二
グリーンニューディール技術開発支援室 参 事	神 田 誠
グリーンニューディール技術開発支援室 専 門 幹	田 口 勝 身
グリーンニューディール技術開発支援室 専 門 幹	丁子谷 一
電子情報科 主任研究員	中 川 豪
2. 無線ネットワークを用いた振動監視装置の開発	7
機械システム科 科 長	田 口 喜 祥
3. 光学特性の評価手法確立による非破壊計測装置の応用展開	9
電子情報科 科 長	下 村 義 昭
電子情報科 主任研究員	田 中 博 樹
食品・環境科 主任研究員	三 木 伸 一
4. 電気・電子機器のノイズ対策技法の確立	11
次長兼グリーンニューディール技術開発支援室長	兵 頭 竜 二
電子情報科 主任研究員	中 川 豪
電子情報科 主任研究員	田 中 博 樹
グリーンニューディール技術開発支援室 参 事	神 田 誠
5. 低コストで高機能な発光サイン用導光板の開発	16
電子情報科 主任研究員	田 中 博 樹
6. 難削性非鉄材料の高効率切削加工技術の開発	18
工業材料科 科 長	瀧 内 直 祐
工業材料科 主任研究員	福 田 洋 平
食品・環境科 主任研究員	三 木 伸 一
所 長	馬 場 恒 明
7. 連成統合シミュレーション技術の開発と普及支援（第3報）	22
工業材料科 専門研究員	重 光 保 博
8. 分子複合による耐熱性樹脂材料の開発	27
工業材料科 主任研究員	市 瀬 英 明

9. 健康維持と美味しさを求めるアクティブシニアのための食品開発	31
食品・環境科 主任研究員	横山 智栄
食品・環境科 主任研究員	玉屋 圭
食品・環境科 主任研究員	松本 周三
10. 五島つばき酵母を活用した加工食品の開発	33
食品・環境科 主任研究員	松本 周三
食品・環境科 主任研究員	横山 智栄
食品・環境科 主任研究員	晦日 房和
応用技術部 部長	河村 俊哉
11. 新規電解槽の開発	35
食品・環境科 専門研究員	大脇 博樹

海洋産業に用いるデジタルデータと電力の非接触式伝送システムの開発

次長 兼 グリーンニューディール技術開発支援室長	兵 頭 電 二
グリーンニューディール技術開発支援室 参 事	神 田 誠
グリーンニューディール技術開発支援室 専 門 幹	田 口 勝 身
グリーンニューディール技術開発支援室 専 門 幹	丁子谷 一
電子情報科 主任研究員	中 川 豪

本研究事業は、海洋関連産業の振興に寄与すべく、金属接点を持たない給電部と受電部のコネクタを接続して固定することに特徴を持つ非接触給電技術を開発し、これに海水の影響を受けない光通信技術を付加することで、海面・海中において90%以上の電力伝送効率と45 Mbps以上のデジタルデータ転送速度を実現する小型・軽量な非接触式伝送システムを開発することを目指している。

研究2年度目となる平成29年度は、初年度（平成28年度）に開発した500 VA伝送用試作機の各種性能評価を行うことで、最終的な目標である1.5 kVAの電力を伝送できるシステムの開発に向けた検討を行った。また、外殻ケースの基本構造についても検討を行った。

1. 緒 言

海洋再生可能エネルギー分野で新たな産業を興すとともに、その産業拠点を長崎に形成することの重要性から、県では“ナガサキ・グリーンイノベーション戦略”や“長崎県海洋エネルギー産業拠点形成プロジェクト”が重要な施策として推進されている。

金属接点を持つ接続部品は、錆びや漏電などの問題があるため、海面や海水中での利用に制限がある。また、水中ロボットや観測ブイ、洋上発電装置などとの接触を行う場合、電力の伝送とともに情報収集やメンテナンスのためのデータ転送が欠かせない。

そこで本研究事業では、県内製造業者の得意技術を活用して、海洋再生可能エネルギー分野で広く利用可能なデジタルデータと電力を伝送するシステムを開発する。具体的には、むき出しの金属接点を持たない給電部と受電部のコネクタを密着して固定することに特徴を持つ非接触給電技術を開発する。そして、これに海水の影響を受けない光通信技術を付加することで、海面・海中において90%以上の電力伝送効率と45 Mbps以上のデジタルデータ転送速度を実現する小型・軽量な非接触式伝送システムを開発する。

本研究事業の2年度目となる平成29年度は、初年度に試作した500 VAの電力伝送を実現するシステムについて性能評価を行った。そして、この評価結果に基づき、中心周波数が85 kHzの高周波電力を用いた新たな非接触給電回路を試作し、効率90%以上、最大電力伝送容量1.5 kVAの性能を実現できることを確認した。

2. 方 法

2.1 500VA伝送用試作機の評価

最終的に1.5 kVAの電力伝送を実現するための課題を明確にするため、初年度の試作機（500 VAの電力伝送能力）について、昨年度に引き続き幾つかの性能評価を実施した。ここでは、次の2つを取り上げて説明する。

(1) 温度上昇と伝送効率

測定は、表1に示す5条件について行った。

測定1と測定2については、条件設定の完了と同時に通電を開始し、その直後と10分経過時に各部位の温度と電力の非接触伝送効率の測定を行い、さらに10分間通電を継続した。測定3については、条件設定の完了と同時に通電を開始し、その直後と10分経過時に同様の測定を行った後、40分間通電を停止して自然冷却した。

続く測定4については、条件設定の完了と同時に通電を開始し、その直後と10分経過時に同様の測定を行い、さらに5分間通電を継続した。最後に測定5については、条件設定の完了と同時に通電を開始し、その直後と10分経過時に同様の測定を行い、実験を終了した。

表1 温度上昇と伝送効率の測定条件

	測定1	測定2	測定3	測定4	測定5
コア間距離	1.2 mm	2.2 mm	4.2 mm	1.2 mm	1.2 mm
コア捻じれ角	なし	なし	なし	5°	10°

(2) 漏洩磁界の評価

漏洩磁界の計測は、表2に示す4パターンについて、当センターの電波暗室内において実施した。

日置電機（株）製の磁界測定器（型番：FT3470-52）を用いて、給電側コアと受電側コアを合わせた中心部からの距離が0.3 mと1 mについて磁束密度を測定し、一般公衆曝露レベルと職業的曝露レベルを評価した。なお、磁束密度の測定レンジは10 Hzから400 kHzまでのレンジであり、今回使用した測定器が有する設定で最も広範囲の測定レンジである。また、この測定器の一般公衆曝露レベルの測定モードは、IEC/EN62233に準拠したものである。

表2 漏洩磁界の測定条件

	測定1	測定2	測定3	測定4
回りの媒質	水	水	水	空気
コア間距離	1.2 mm	2.2 mm	2.2 mm	2.2 mm
ノイズフィルタ（給電側）	1個	1個	1個	2個
ノイズフィルタ（受電側）	なし	なし	なし	2個

2.2 1.5kVA伝送用試作機の開発

1.5 kVAの電力伝送を可能にするシステムを完成するには、高周波電源の開発に加え、最適なコア形状や巻線の検討、筐体の検討も不可欠である。このため、基礎的な実験を進めるのに必要な初期の試作機となる、1.5 kVAの電力を送り出せる高周波電源を開発し、いくつかの基礎的な実験を行った。

(1) 1.5 kVA伝送用の高周波電源等の開発

昨年度開発の500 VA伝送用試作機の回路構成などを基に、1.5 kVA伝送用の高周波電源（給電側回路）と受電側回路を試作開発した。主だった開発仕様は、表3に示すとおりである。

表3 開発主要諸元

項目	仕様
高周波電源の入力電源	単相2線式の商用電源
電源電圧	AC 100 V と AC 200 V に対応
電源周波数	50 Hz と 60 Hz に対応
高周波電源出力電力	85 kHz、1750 VA 以上（1500 W 以上）
受電側回路	全派整流方式
受電側回路の定格出力	DC 140 V × 11 A

(2) コア形状と電力伝送効率

非接触式伝送システムでは、給電側と受電側との電磁的な結合にコイルを巻き付けたフェライトコアを用

いる。このフェライトコアの形と大きさがシステム全体の形状と大きさに関係するため、数種類のフェライトコアを準備して電力伝送効率などの検証を行った。

電力伝送効率の算出は、図1に示すように、給電側の高周波電源の入力と受電側の整流後の出力とを利用して行った。

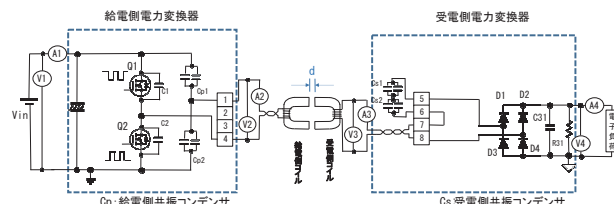


図1 コア形状と電力伝送効率の実験系

(3) コア形状と熱特性

前述(2)で使用した巻線を巻きつけたフェライトコア4種について、受電側の負荷に1500 Wの電力を消費させた状態を30分間維持し、その後のフェライトコアや巻線の表面温度を熱画像診断で評価した。

また、後のシステム構成の有力候補となるフェライトコアを選定して、温度上昇についての詳しい評価も行った。

(4) コア近傍の金属への電磁的干渉

非接触式伝送システムでは、嵌合機構を含む筐体も重要な要素である。そして、この筐体には嵌合機構や防水性を維持するための剛性と耐久性が必要であり、材料に金属を使用することが望まれる。このため、コア近傍に金属材料を配置することを想定し、金属への電磁的干渉性について評価した。

評価の方法は、向かい合わせにセットした大型のU字型コア（Cコの状態でセット）の上面の直上30 mmのところ金属板を固定し、その金属板の温度上昇を熱画像で評価した（図2を参照）。

用いた金属は、アルミ（A1050、板厚3 mm）、銅（C1100、板厚0.5 mm）、非磁性のステンレス（SUS304、板厚0.5 mm）、磁性を有するステンレス（SUS430、板厚0.5 mm）の4種類である。

3. 結果と考察

3.1 500VA伝送用試作機の評価例

EMI試験や光通信試験などの評価検証も行ったが、ここでは、2.1で示した次の2つの評価例を説明する。

(1) 温度上昇と伝送効率

評価実験の様子を図3に示す。測定では、給電側装

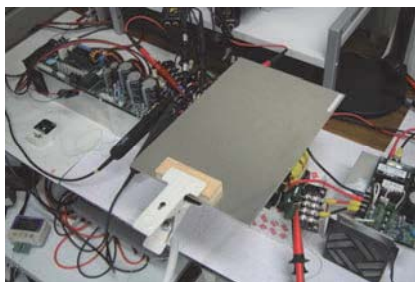


図2 コア近傍の金属への電磁的干渉の評価

置への入力電力、受電側での負荷消費電力に加え、高周波電力の周波数、主要部位の温度などを計測した。

図4は、第2号試作機についての測定結果例を示している。

給電側コイルと受電側コイルの温度は30℃から45℃程度で推移しているが、密閉した樹脂ケース内に収納した給電側ヒートシンクの温度は、連続給電40分程度で約80℃まで上昇している。このため、運転定格は40分程度が限界と推察され、最終的なシステム開発では、筐体外に効率よく放熱する工夫が必要である。

また、コア間距離の増加とともに電力伝送効率も低下するが、コア捻じれ角度については目立った影響は見られなかった。

さらに、温度上昇とともに高周波電力の周波数が高くなる傾向がみられ、安定性に問題があることも明らかとなった。

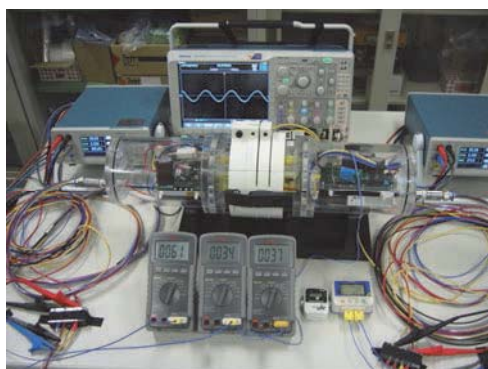
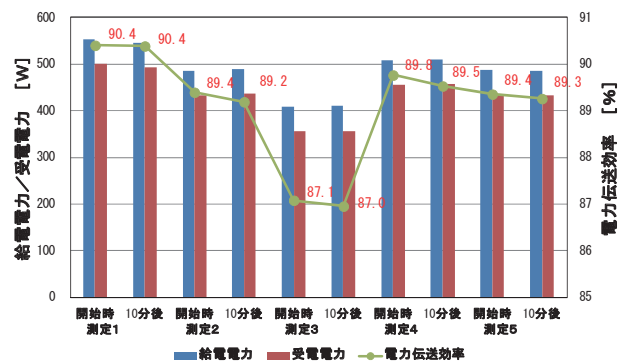


図3 500VA伝送用試作機の温度上昇と伝送効率の評価

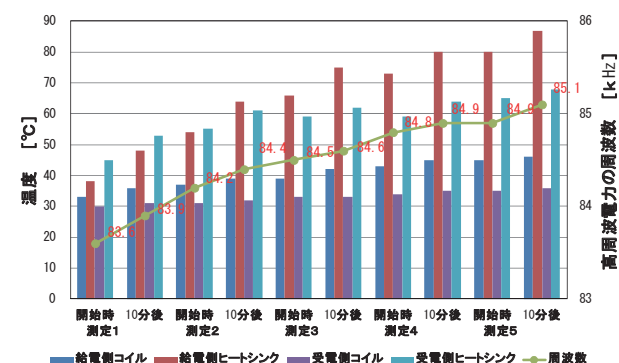
(2) 漏洩磁界の評価

漏洩磁界測定の様子を図5に、評価結果を表4に示す。測定には第2号試作機を用いた。測定時の受電側消費電力は約340Wであった。

結果として、対象装置の作動環境が水中であっても気中であっても測定結果に大きな差はなかった（表4中の測定3と測定4を参照）。



(a) 電力の伝送効率



(b) 温度と高周波電力の周波数

図4 500VA伝送用試作機の温度上昇と伝送効率

また、測定距離が至近距離である0.3mにおいても、一般公衆曝露レベル、職業的曝露レベルともに制限値以下であった。

長崎地域の地磁気が約47 μT ^[1]、50万ボルト送電線直下の地表高1mの磁束密度が約6.4 μT ^[2]であることを考慮すれば、測定対象からの漏洩磁界は、さほど問題にならないことが理解できる。



(a) 測定の様子



(b) 水槽内の様子

図5 漏洩磁界の評価

表4 漏洩磁界の評価結果

		測定1	測定2	測定3	測定4
測定距離：0.3 m					
磁束密度	[μT]	6.63	4.01	4.57	4.42
一般公衆曝露レベル	[%]	24.6	14.8	16.7	16.3
職業的曝露レベル	[%]	6.6	4.0	4.5	4.4
測定距離：1 m					
磁束密度	[μT]	0.344	0.263	0.288	0.273
一般公衆曝露レベル	[%]	1.2	0.9	1.0	1.0
職業的曝露レベル	[%]	0.3	0.3	0.3	0.3

3.2 1.5kVA 伝送用試作機の開発

1.5kVA 伝送を実現するための各種実験を進めるのに必要な試作機として、初期型の高周波電源を開発し、いくつかの基礎的実験を行った。

(1) 1.5 kVA 伝送用の高周波電源等の開発

試作開発した給電側回路（高周波電源回路）と受電側回路の外観を図6に示す。大きさは、給電側回路がおおよそ210 mm × 190 mm × 80 mm、受電側が同じく100 mm × 150 mm × 50 mm 程度であった。

基本的な回路構成は、初年度に開発した500 VA 伝送用試作機と同じである。給電側回路では、パワー半導体の見直しや、前段に昇圧回路を実装するなどして、扱える電力量を大幅に増やし、1.5 kW の出力に備えた。さらに、受電側で取り出す電力を安定化するためのフィードバック方式を検討開発するため、受電側から給電側へのフィードバック機能を実装できるインタフェースを準備し、後の評価実験に備えた。

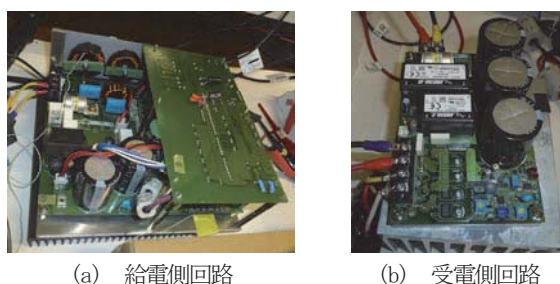


図6 試作開発した給電側回路と受電側回路の外観

(2) コア形状と電力伝送効率

評価には図7に示す4種類のコア^{[3],[4]}を使用した。順に、**大C型**コア、**I 2型**コア、**C 2型**コア、**E 2型**コアと称する。**大C型**コアはメーカー標準品をそのまま使用した。**I 2型**コア、**C 2型**コア、**E 2型**コアはコア材を2枚重ねることで断面積を増やす措置をとった。なお**I 2型**コアについては、標準のコア材を切断して、棒状のフェライト材として使用した。同じく**C 2型**コアについても、標準のコア材から切り出した棒状のフェライト材を**C**の字型に接合して使用した。なお、材料として用いたコア材のメーカー型番などの情報を表5の上段に示した。そして、これらのコアに、それぞれ巻き数などの適切な条件を満たす巻線を巻きつけて使用した。

表5の下段には、電力伝送効率の評価結果を示している。12.82 Ω の定抵抗モードで作動する電子負荷装置を負荷として接続した評価実験を行った結果、準備した4種のコアについて、1.5 kW の電力を負荷に与え

ることができた。なお、**I 2型**コアの場合のみ、電力伝送効率が僅かではあるが90 %を下回る結果となった。

システム全体の形状と大きさに影響を与えるため、フェライトコアの形と大きさも加味すれば、**C 2型**コアと**E 2型**コアが候補となる。さらに、巻線の巻きやすさを考えれば、**C 2型**コアが有力候補となる。

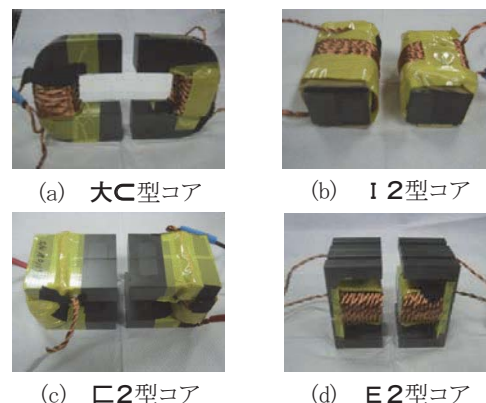


図7 準備したコアの形状

表5 コアの仕様と評価結果

項目\名称	大C型コア	I 2型コア	C 2型コア	E 2型コア
使用コア	TDK PC40	TDK PC40	TDK PC40	TDK PC40
メーカー型番	UU100x151x30	UU80x150x30N	UU80x150x30N	EC90x90x30
利用形態	原型	切り出し	改造	原型
コア外観	図6 (a)	図6 (b)	図6 (c)	図6 (d)
コア形状	U字型	I型	U字型	E字型
コア断面積 [mm ²]	915	600×2	600×2	626×2
巻線を含む重量				
給電側 [g]	788	496	1175	727
受電側 [g]	793	505	1178	727
給電側				
入力電圧 [V]	273	209	304.6	289.5
入力電流 [A]	5.89	8.15	5.37	5.58
受電側				
出力電圧 [V]	138.7	139.0	139.6	139.1
出力電力 [W]	1508	1524	1529	1518
電力伝送効率	93.8 %	89.5 %	93.5 %	94.0 %

(3) コア形状と熱特性

図8は、4種のコアについての実験時のトゥルーカラー画像と熱画像である。各熱画像での最高温度は、**大C型**コア：40℃、**I 2型**コア：62℃、**C 2型**コア：32℃、**E 2型**コア：50℃であった(カラー画像はpdf版を参照)。

通電時の温度上昇値が最も小さいのは**C 2型**コアであった。一方、温度上昇値が大きいのは**I 2型**コアと**E 2型**コアであった。ただし、巻線を含むコアの重さで考えれば、**C 2型**コアが最も重く、**I 2型**コアと**E 2型**コアは比較的軽量であった。

本研究では、これらの結果に上述(2)の結果を加味して検討し、**C 2型**コアをベースとして今後の評価・

検討を進めることとした。実際の評価では、標準コア PC40 UU80×150×30N を 2 枚重ねたものに巻線を巻いた後、不要な U 字の開放先端部を切り落とし、U 字底辺から開放先端までの寸法を 30 mm に切り詰めたもの（以下、**□2 s 型コア**と称す）を使用した。

図 9 (a) は **□2 s 型コア** の外観である。図 10 は、受電側に接続した電子負荷に適宜適切な設定を与えて負荷に消費させる電力を 797 W、1000 W、1206 W、1306 W、1410 W、1517 W とし、それぞれの設定において温度変化が安定したところで熱電対を用いて温度特性を評価したものである。また、図 9 (b) には、受電側負荷の消費電力が 1517 W の時の熱画像を併せて示している。

結果、熱電対における温度測定では、1517 W 時の受電側の巻線の外側が最も高く、45.6℃ (Δt 25.6℃) であった。熱画像からは全体的に給電側の巻線の温度が高いと判断できるが、熱電対による測定では 37℃ (Δt 17℃) であり、いずれも技術的には大きな課題にはならないと判断できる。

(4) コア近傍の金属への電磁的干渉

図 11 は、受電側負荷が消費する電力を 1500 W に調整したときの、コア直上の金属板の温度上昇を示す熱画像である（カラー画像は pdf 版を参照）。

図から分かるように、アルミ (A1050) と銅 (C1100) については、温度上昇は認められなかった。ステンレスについては、非磁性ステンレス (SUS304) で最高温度 46℃、磁性ステンレス (SUS430) で最高温度 72℃ であった。

これらの結果から、コア外周については、アルミ材と銅材の使用が可能であると判断できる。

なお、コア間に金属を配置すれば、急激な発熱現象などが当然に予測されるので、コア間は樹脂等で防水処理を施すことが必要であることに容易に想到する。

4. 結 言

研究事業 2 年度目である平成 29 年度は、最終的な目標である 1.5 kVA の電力を伝送できるシステムの開発に向け、初年度（平成 28 年度）に開発した 500 VA 伝送用試作機を用いて電力伝送に関するいくつかの性能評価を行った。この結果、最終的なシステム開発では筐体外に効率よく放熱する工夫が必要であることを確認した。また、漏洩磁界については、その絶対量が少なく、装置からの距離が 0.3 m の箇所の一般公衆曝

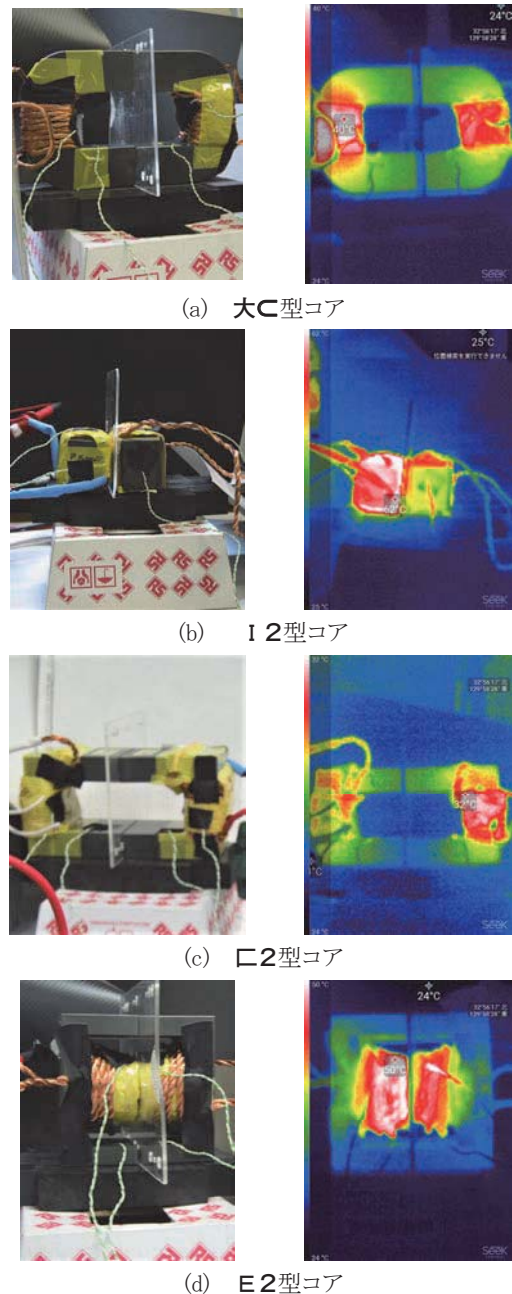


図 8 コアと巻線の表面温度

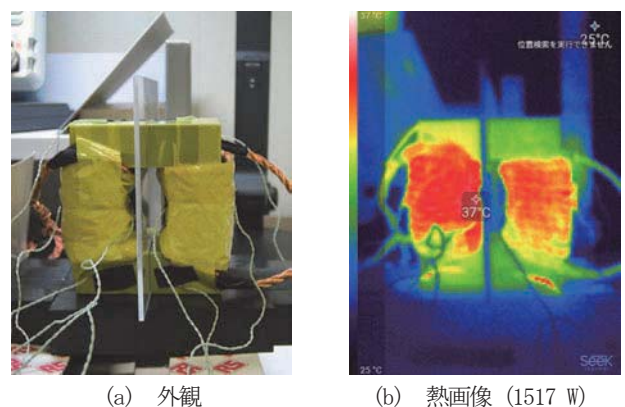


図 9 **□2 s 型コア**の外観と熱画像

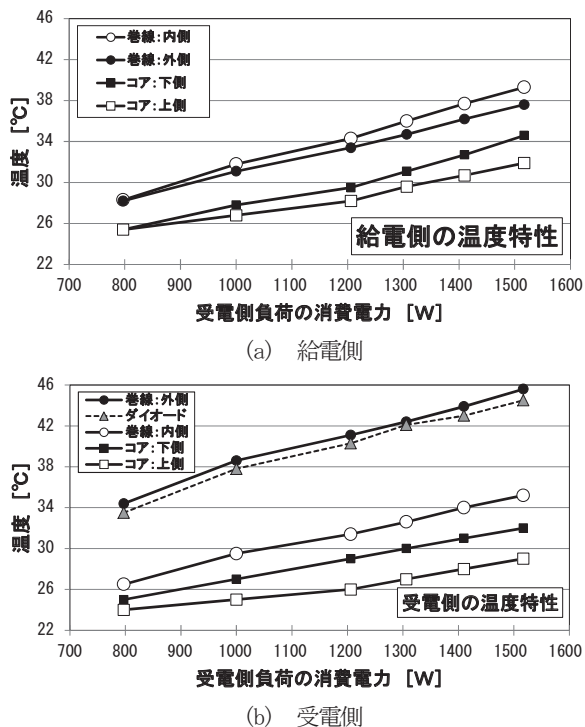


図 10 □2 s 型コアの温度特性

露レベルも約 25 % 程度であり、大きな問題とはならないことも確認できた。

次に、1.5 kVA の電力を伝送できる高周波電源などを試作し、使用するコア材の形状、筐体を使用する材料との電磁干渉性などについて検討を加えた。この結果、コア材には市販標準の U 字型コアを 2 枚重ねて使用するのが開発システムに適していることや、コア材周辺の材料（筐体の材料）にはアルミ材等の磁性を持たない金属が使用できることなどを確認した。

また、ここでは報告を省略したが、光パルス信号を用いて受電側から送電側に受電電圧情報をフィードバックする方法についても検討を行い、その実現性の実証を行った。さらに、嵌合部を含む筐体の基本構造についても検討を行った。

今後は、最終的な電力伝送用の回路、嵌合部を含む筐体などの開発を完了し、非接触伝送システムとしての完成を目指すとともに、県内企業への技術移転も適宜、進めて行く考えである。

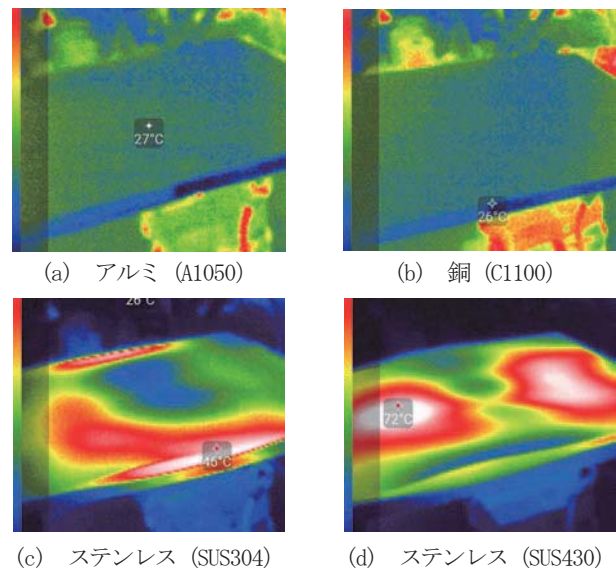


図 11 コア直上に配置した金属板の熱画像

謝 辞

本研究事業を推進するにあたり、長崎大学海洋未来イノベーション機構の山本郁夫教授と長崎大学大学院工学研究科の盛永明啓准教授、長崎大学大学院工学研究科の樋口剛教授と横井裕一准教授、イサハヤ電子株式会社の徳永秀昭部長と服部慎一郎氏と手束翔氏、ロボットテクノス株式会社の長嶋豊研究開発部長に、多大なるご協力とご支援を頂いた。

参考文献

- [1] 国土地理院地磁気測量, 地磁気を求める, https://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/geomag/menu_04/index.html, (accessed 12 Jul. 2018).
- [2] 東京電力パワーグリッド株式会社、なるほど電磁波！～身近な電磁波と健康のはなし～, 2016.10.
- [3] TDK, Mn-Zn 系大電力用フェライトコア E シリーズ, 2016.6.
- [4] TDK, Mn-Zn 系大電力用フェライトコア UU シリーズ, 2016.6.

無線ネットワークを用いた振動監視装置の開発

機械システム科 科 長 田 口 喜 祥

県内中小企業では、生産性を向上させるため、できるだけ少ない人員で多くの機械装置を長時間稼働させたいという要望がある。機械装置の稼働率を上げることは利益に直結するため、機械装置の稼働状況を監視し、異常の早期検出が求められている。従来、機械装置の監視は人間が目視や音響により判断していたが、近年 IoT (Internet of Things: もののインターネット) 技術の発達により、複数のセンサを機械装置に取り付け、取得したデータを基に AI (Artificial Intelligence: 人工知能) 技術を用いて故障の予兆を検出するなどの取組がなされている。

本研究では、機械装置に後付けで簡便に取り付けできる無線式の電流および振動の監視モジュールを試作し、試作した監視モジュールで計測したデータを処理することで機械の異常を検出し、モバイル端末に通知を行う装置の開発を行うことを目的とする。

1. 緒 言

県内中小製造業では、生産性を向上させるために、少人数で多くの機械装置を休みなく長時間稼働させたいという要望がある。特に、CNC 工作機械を用いて機械加工を行っている企業では、工作機械の稼働率を上げるために、工作機械の稼働状況を常時監視し、故障の予兆などの異常を早期に検出したいとの要望がある。従来、機械装置の異常は人間が目視により加工状態や製品の状況を観察し、機械装置から異音が発生していないかを観察することにより行われていた^[1]。一方、IoT 技術の発達により、機械装置に複数のセンサを取り付け、取得したデータを品質工学や AI により解析することで異常を検出する研究が行われてきている^{[2],[3]}。

また、近年、センサやマイコンボードなど安価な製品が数多く発売されるようになり、インターネット回線を用いた機械装置の遠隔監視を安価に実現することが容易になってきた。特に県内企業からは、従来の機械装置に安価で取り付け可能な IoT 機器の開発に関する相談が多くあった。

そこで、本研究では、IoT 技術を応用し、機械装置に簡便に取り付けでき、機械の振動や消費電流を計測する無線式監視モジュールと、監視モジュールで取得したデータを処理することで機械の異常を検出し、モバイル端末に通知を行う解析モジュールから構成された振動監視装置を開発することを目的とする。

2. システム構成

開発する無線ネットワークを用いた振動監視装置のシステム構成を図 1 に示す。平成 28 年度には無線監

視モジュールおよび解析モジュールのハードウェア試作を行った。平成 29 年度は、振動計測に用いるセンサに関する検討を行った。

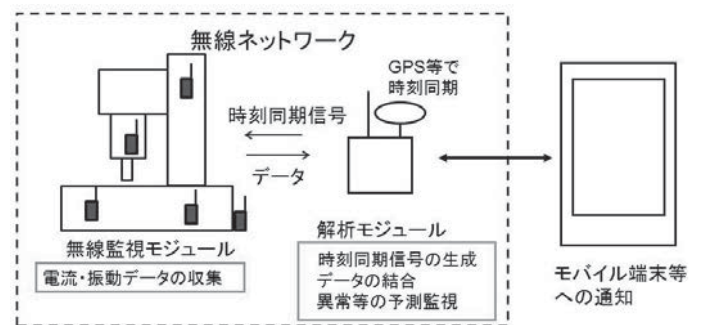


図 1 システム構成

3. 加速度センサ

無線監視モジュールには、電流センサや振動センサを取り付けて機械装置から振動や電流に関するデータを収集して監視を行う。電流に関しては、平成 28 年度までに長崎県単独経常研究「機械装置知的遠隔監視装置の開発」で開発した手法^[4]を用いてクランプ式の CT センサで取得することとした。

振動の計測には、通常圧電式加速度ピックアップが使われる。圧電式加速度ピックアップは振動計や振動試験装置などでも使われているが、一般に高価である。また、電荷での出力であるため、マイコンでデータを取り込むためにはチャージアンプなどの回路が必要となり大きさ的にも不利になる。このような理由で、圧電式加速度ピックアップを機械装置に複数設置することは難しいと考えられる。

一方、近年スマートフォンの傾きを測定するなどの用途で利用される MEMS (Micro Electro Mechanical

Systems) 技術を用いて製造されたチップ型加速度センサが数多く流通している。これらのセンサは、1つのチップ部品に3軸の加速度センサを組み込んだものもあり、安価に入手できるものが多い。そこで、チップ型3軸加速度センサを機械装置の振動計測に使用できないか検討を行った。今回検討したチップ型3軸加速度センサは Kionix 社製 KXR94-2050^[5] である。

圧電式加速度ピックアップと比較を行うために、圧電式加速度ピックアップとチップ型3軸加速度センサを振動試験装置に取り付け、正弦波で加振をし、比較する実験を行った。加振の基準として圧電式加速度ピックアップである IMV 社製の VP-32 を使用し、比較のために同じ IMV 社製の VP-02S とチップ型3軸加速度センサ KXR94-2050 により加速度の測定を行った。使用した加速度センサの写真を図2に示す。



図2 加速度センサ

振動試験装置は、IMV 社製の i230/SA2M を使用した。加速度 0.7[G] の固定で、周波数 5[Hz] から 2[kHz] までは 1[oct/min] の掃引速度で変化させながら加振を行い、加速度の比と位相差の計測を行った。

圧電式加速度ピックアップ VP-32 と VP-02S およびチップ型3軸加速度センサ KXR94-2050 を、図3に示すようにキューブ型補助テーブルに固定して加振を行った。制御に用いた加速度ピックアップ VP-32 を基準としたボード線図を取得したので、図4に示す。

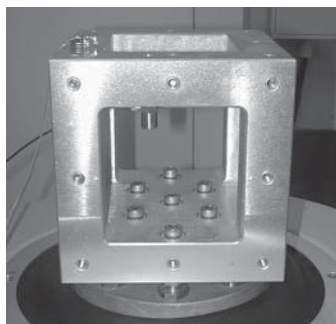


図3 試験装置の写真

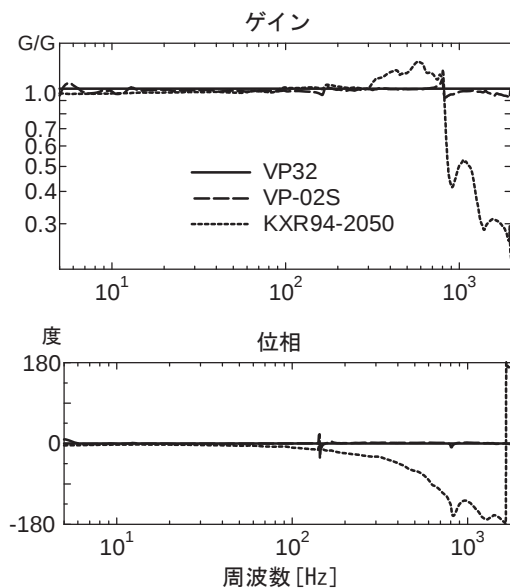


図4 測定結果

4. 考 察

試験の結果、KXR94-2050 は 200[Hz] 以上でゲインおよび位相の差が大きくなる現象を確認した。この結果、今回使用したチップ型3軸加速度センサでは高周波の振動現象を対象とする測定には注意が必要であるが、比較的周波数が低い振動モードの計測には使用できると考えられる。

5. 結 言

無線監視モジュールを用いて振動を計測するためのセンサについて評価を行った。今後、複数の無線監視モジュールでデータを収集し、機械装置の稼働状況、不具合監視を行うプログラムを開発する。

参考文献

- [1] 植松 他4名：動作音から機器の異常を検知する異常音検知技術、NTT 技術ジャーナル 2017.6, pp.24-27, 2017.
- [2] 神生 他3名：パターン認識技術を用いた設備保全診断システムの開発、北海道立総合研究機構工業試験場報告 No.309, pp.97-103, 2010.
- [3] 高橋：製造業 IoT 向け振動による異常検知、OKI テクニカルレビュー, 第 230 号 Vol.84, No.2, pp.30-33, 2017.
- [4] 田口：機械装置知的遠隔監視装置の開発、長崎県工業技術センター研究報告 No.45, pp.10-14, 2016.
- [5] <http://kionixfs.kionix.com/en/datasheet/KXR94-2050 Specifications Rev 03.pdf>, Accessed 2016.

光学特性の評価手法確立による非破壊計測装置の応用展開

電子情報科 科 長 下 村 義 昭

電子情報科 主任研究員 田 中 博 樹

食品・環境科 主任研究員 三 木 伸 一

光学的手法による非破壊測定装置は農産物の品質管理やヘルスケアにおいて高いニーズと大きな市場規模を持った成長産業として期待されている。また、長崎県が保有する光学的非破壊計測に関するコア技術は携帯型の非破壊糖度計を実現するなど装置の低コスト・小型化で競合製品を差別化できる強力な武器となっている。一方、コア技術を活用した非破壊測定装置の開発では測定光源の波長や測定精度に関する装置仕様を理論と実験の両面で検討する必要があるが、穀物や生体では理論計算に必要な吸収係数等の光学特性の測定が難しく正確な情報が不足している。そこで、本研究では光散乱体の光学特性を正確に測定する手法を確立して穀物や生体等の光学特性のデータベースを構築することを目的としている。本報告では、時間相関単一光子計数法をベースとした時間分解分光による光散乱体の光学特性測定方法と装置について述べる。

1. 緒 言

光学的手法による非破壊計測装置は農産物の品質管理や生体組成計測によるヘルスケアにおいて高いニーズと大きな市場規模を持った成長産業として期待されている。また、長崎県独自の光学的計測技術は携帯型の非破壊糖度計を実現するなど装置の低コスト・小型化で競合製品を差別化できる強力な武器となっている。

非破壊糖度計を実現した計測手法TFDRS (Three-Fiber-Based Diffuse Reflectance Spectroscopy)^[1]の概略と糖度測定のSN比 η を図1に示す。SN比 η は糖度の測定精度（測定誤差の標準偏差）を ΔC として $\eta = (1/\Delta C)^2$ で定義される。TFDRSでは、果実の表面から光ファイバで光を照射し、反射光の一部を2本の受光ファイバで受光する。受光した2つの反射光量 i_{ref} 、 i_{sig} から反射率 $R = i_{sig}/i_{ref}$ を算出し、下記式で表される相対吸光度比 γ を求める。

$$\gamma(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = \frac{\ln(R(\lambda_3)) - \ln(R(\lambda_1))}{\ln(R(\lambda_2)) - \ln(R(\lambda_1))} \quad (1)$$

ここで、 $R(\lambda_1)$ 、 $R(\lambda_2)$ 、 $R(\lambda_3)$ は波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 での反射率をそれぞれ表す。(1)式で表される相対吸光度比 γ は散乱の影響を受けない物理量で果実糖度と良い直線相関を示す。図1に示したSN比 η の算出では、(1)式の波長 λ_1 、 λ_3 をそれぞれ900 nm、1060 nmとして波長 λ_2 のみを変化させた。SN比 η の実測値（実線）と理論値（点線）は良く一致しており、波長の組み合わせと測定精度を理論的に予測できる。

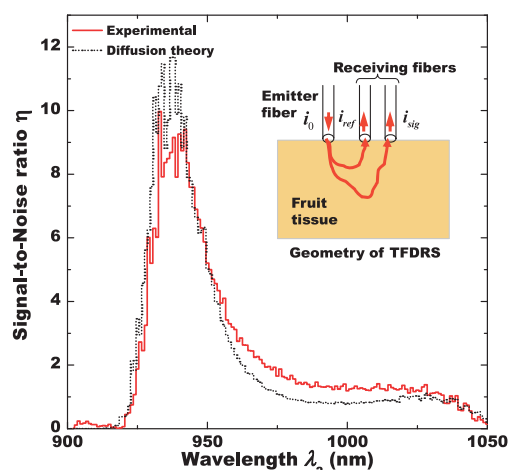


図1 TFDRSの概略とSN比 η の波長依存

TFDRSにおいて最適な波長を選択し測定精度を理論的に予測するには、吸収係数等の被検体固有の光学特性の情報が必要となる。透明な糖水溶液の散乱体でモデル化できる果実では、その光学特性を容易に測定することができる。一方、穀物や生体では、含まれるタンパク質や炭水化物が不溶性のため、吸収係数等の光学特性の測定が難しく情報が少ない。

そこで、本開発では不溶性物質の光学特性を正確に測定する手法を確立し、穀物や生体等の光学特性のデータベースを構築することを目的とした。

2. 研究内容と結果

2.1 単一光子計測装置の試作

図1で時間幅が数psのパルス光を入射光 i_0 とした

場合、反射光 i_{ref} (又は i_{sig}) のパルス幅は入射光に比べて数 100 倍と大きくなる。この反射光の時間波形は検出距離や散乱係数等、被検体固有の光学特性の関数として解析的に算出することができる。これにより、散乱係数等の光学特性を測定した反射光の時間波形と理論値が一致する値として非線形最小二乗法で決定することができる。

図 2 に時間相関単一光子計数 (以下 TCSPC: Time Correlated Single Photon Counting) 法をベースに試作した時間分解分光システムの概略を示す。照射光源に繰り返し数 80 MHz、パルス幅 3 ps 以下の波長可変 Ti:sapphire レーザー (Tsunami, Spectra-Physics 社製) を用いた。被検体からの反射光を光ファイバ (NA=0.22, コア径 0.1 mm) で受光し、光検出器 PD1 (PHD-400, Becker & Hickl 社製) と PD2 (SPD-100-CTE, Micro Photon Devices 社製) で入射光の一部と光ファイバで受光した反射光をそれぞれ検出する。各光検出器からの信号を TCSPC 回路 (SPC-130EM, Becker & Hickl 社製) に入力してレーザー光の照射から単一光子検出までの時間を測定することにより、反射光の時間波形が得られる。

2.2 単一光子計測

単一光子計測では、高感度な検出器を用いるため、わずかな光学系の反射や外乱光がノイズとなる。そのため、光の導光部に反射光や外乱光が進入しにくい構造の検討を行った。開発した装置の性能を評価するため、光学特性が既知の濃度 0.4 wt%、直径 600 nm のポリスチレン微粒子溶液を用いた測定を行った。入射光ファイバと受光ファイバ間の距離は 20 mm とし、Ti:sapphire レーザーの波長は 801 nm とした。このとき得られた時間波形を図 3 に示す。

時間波形の理論式^[2]を測定波形にフィッティングすることにより散乱係数、吸収係数を得ることができるが、図 3 の時間波形には、装置固有の応答特性 (装置関数) が畳み込まれ、真の波形よりパルス幅が広がっている。理論的には、測定した時間波形に装置関数をデコンボリューションすることにより機器の応答特性を除去した真の波形を得ることができる。しかしながら、デコンボリューションで得られた真の波形の結果が測定データのノイズの影響を受け、フィッティングで得られる散乱係数等の誤差が大きかった。そこで、時間波形の理論式と装置関数をコンボリューションした波形に測定波形をフィッティングするプログラムを

作成した。これにより、ポリスチレン微粒子溶液の散乱係数を理論値に対して $\pm 5\%$ 以下の精度で測定できることを確認した。

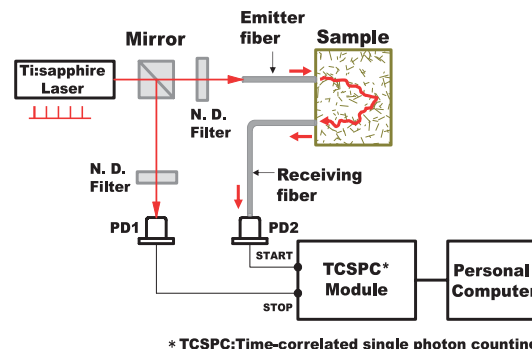


図 2 TCSPC 法をベースに構築した時間分解分光システムの概略図。照射光源にパルス幅 3 ps 以下の Ti:sapphire レーザーを用いた

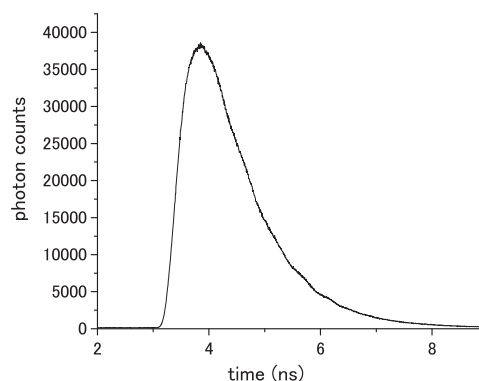


図 3 濃度 0.4wt%、直径 600nm のポリスチレン微粒子溶液で測定した反射光の時間波形

3. 結 言

本開発では、不溶性物質の光学特性を測定するために、TCSPC 法をベースにパルス幅 3 ps 以下のチタンサファイアレーザーを測定用光源とした時間分解分光システムを構築した。導光部の改良によるノイズの低減、及び検出器など装置固有の光学応答に起因したパルス幅の広がり補正する信号処理方法確立し、ポリスチレン微粒子の光学特性を精度良く測定できることを確認した。今後は、再現性や検出距離の影響などを確認し、穀物や生体を対象に光学特性に関するデータベースを構築する。

参考文献

- [1] 下村義昭: レーザー研究 39 (2011) 233.
- [2] M. S. Patterson, B. Chance, and B. C. Wilson: Appl. Opt. 28 (1989) 2331.

電気・電子機器のノイズ対策技法の確立

次長 兼 グリーンニューディール技術開発支援室長

電子情報科 主任研究員

電子情報科 主任研究員

グリーンニューディール技術開発支援室 参 事

兵 頭 竜 二

中 川 豪

田 中 博 樹

神 田 誠

工業技術センターに整備された電磁ノイズ試験環境を活用し、県内企業が製造する電子機器の電磁ノイズ試験および試験結果に基づく各種ノイズ対策の試みを行い、電磁ノイズ対策の基本的手法を整理することで、県内電気・電子機器製造業の振興を図ることを目的としている。

このため、導入された新しい機器について、利用者にとって分かりやすい機器利用のマニュアルとノウハウ集の整備や、利用環境の補足整備を進めている。最終年度である平成 29 年度は、関係機器導入からこれまでの設備利用件数の推移などの分析を試みた。また、電磁ノイズ対策技法の一助として、電子機器から放射される電磁ノイズを軽減する対処方法についても検討を加えた。

1. 緒 言

電気電子機器を開発製造するメーカは、開発製品に対して電磁適合性（EMC）試験規格を満足することが求められる。この EMC は電磁両立性とも呼ばれ、2 つの性能からなる。一つは、放射（Emission）に関するもので、開発製品自身が電氣的ノイズを発生して他の機器の誤作動を招かない性能である。電磁的不干渉性（EMI）と言われる。もう一つは、ノイズ耐性（Immunity）に関するもので、開発製品が他の機器が発生した電氣的ノイズによって誤作動を引き起こさない性能である。電磁感受性（EMS）と言われる。

この EMC に関する技術支援を充実するために当センターでは平成 26 年度、電源立地地域対策交付金事業を活用して EMI 計測システムを導入した。また、地域オープンイノベーション促進事業によって、国際規格である IEC 規格や国内規格の電気用品安全法（PSE）に準じた電気ノイズに対する耐性と安全性を評価する設備（8 機種）を導入した。電気ノイズ耐性を評価する機器は、①静電気試験器、②雷サージ試験器、③ノイズ試験器、④ファストトランジェント／バースト試験器、⑤電源電圧変動試験器、の 5 機種であり、電気安全性を評価する機器は、⑥アース導通試験器、⑦耐電圧・絶縁抵抗試験器、⑧漏電電流試験器、の 3 機種である。

本研究事業は、これらの機器を活用して県内企業が製造する電子機器の電磁ノイズ試験および試験結果に基づく各種ノイズ対策を進めるとともに、電磁ノイズ対策の基本的手法を整理することで、県内電気・電子

機器製造業の振興を図ることを目的としている。このため、導入された新しい機器について、利用者にとって分かりやすい機器利用のマニュアルとノウハウ集の整備を目指している。また同時に、利便性向上をも図るため、利用環境の補足整備も進めることとしている。

本研究事業の最終年度である平成 29 年度は、関係機器導入からこれまでの設備利用件数や関係する技術相談件数の推移について、その分析を試みた。また、電磁ノイズ対策技法の一助として、電子機器から放射される電磁ノイズを簡易的に軽減する対処方法についても検討を加えた。

2. 方法

2.1 関係する利用件数等の推移

(1) 開放設備利用

集計には、当センターの平成 26 年度から平成 28 年度までの事業報告書^{[1],[2],[3]}に掲載の情報と、平成 26 年度から平成 29 年度までの開放設備の使用記録の情報を用いた。

推移の分析は、EMI 計測システム、EMS 関連機器 5 機種、PSE 関連機器 3 機種について、使用件数、使用時間、使用 1 件あたりの使用時間を評価した。

(2) 技術相談

集計には、当センターの平成 26 年度から平成 28 年度までの事業報告書^{[1],[2],[3]}に掲載の情報と、当センターが保有・管理している企業データベースシステムに記録されている平成 26 年度から平成 29 年度までの技術相談に関する情報を用いた。

推移の分析は、EMI 関連、EMS 関連、PSE 関連について、集計を行った。

2.2 放射電磁ノイズ軽減の簡易対策

(1) スペクトラム拡散

供試体には 10 MHz のクロックで作動する電子回路を準備した。この電子回路は平成 27 年度に試作したスペクトラム拡散クロック生成器^[4]をベースにしたもので、10 MHz の水晶発振器の後にスペクトラム拡散クロック生成用の回路^[5]を実装している。

評価では、スペクトラム拡散なしのモードと、スペクトラム拡散 $\pm 2\%$ のモードでこの供試体を作動させ、EMI 計測システムで放射電磁ノイズを計測した。その上で、両者の計測結果を比較検討した。

(2) 導電性塗料による電磁シールド

供試体には、前述と同じものをスペクトラム拡散なしのモードで使用した。

この供試体を、4 種類のケースに封入し、EMI 計測システムで放射電磁ノイズを計測した。用いたケースは、対照用として樹脂ケースとステンレス製金属ケースの 2 種類と、実験対象用として導電性塗料を内側に固定した樹脂ケースが 2 種類である。なお、使用した導電性塗料は、Polycalm PCS-1201S 導電塗料スプレーと、Bare Conductive 社の Electric Paint の 2 つである。

3. 結果と考察

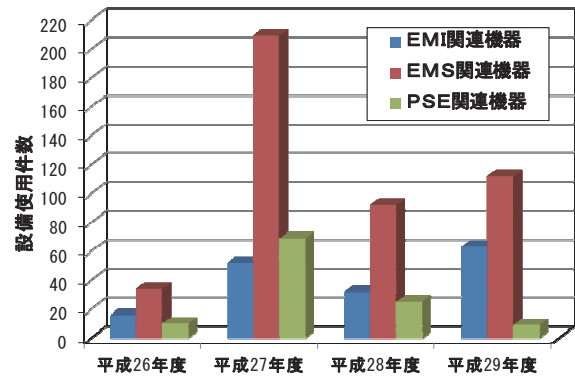
3.1 関係する利用件数等の推移

(1) 開放設備利用

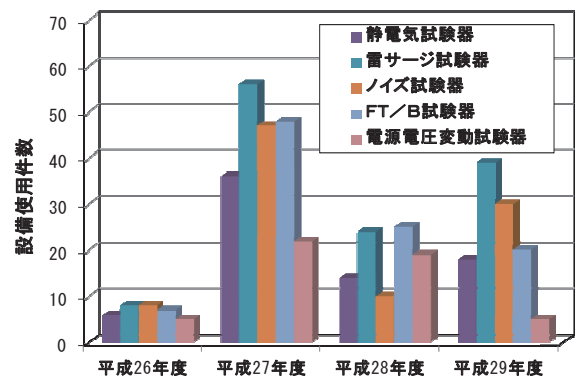
関連試験機器の設備開放は平成 26 年度から平成 29 年度までの合計で 723 件の実績があった（図 1 (a) を参照）。EMI 関連、EMS 関連、PSE 関連で分類すると、それぞれ 163 件、447 件、113 件であった。年度別でみれば、60 件、330 件、149 件、184 件であった。なお、図 1 (b) と図 1 (c) は、それぞれ EMS 関連機器と PSE 関連機器の個別の利用件数の推移を示している。

図 2 (a) は、関連試験機器の設備開放としての利用時間数の推移を示しており、平成 26 年度から平成 29 年度までの合計で 2972 時間であった。種類による分類では、EMI 関連が 518 時間、EMS 関連が 1966 時間、PSE 関連が 488 時間であった。年度別では、187 時間、1381 時間、718 時間、686 時間であった。なお、図 2 (b) と図 2 (c) は、それぞれ EMS 関連機器と PSE 関連機器の個別の利用時間数の推移を示している。

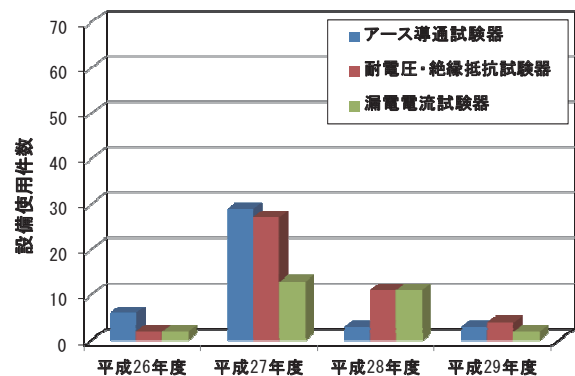
推移の傾向としては、件数、時間ともに平成 27 年



(a) 関係する全ての機器



(b) EMS関連機器

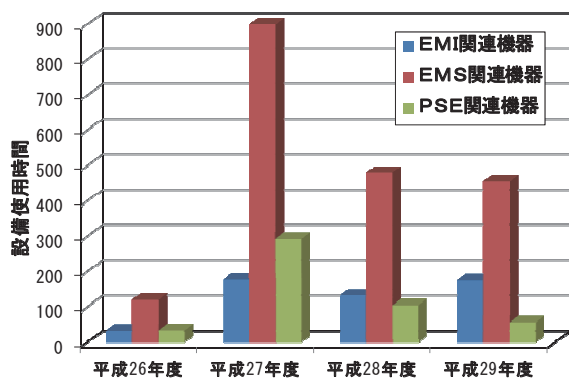


(c) PSE関連機器

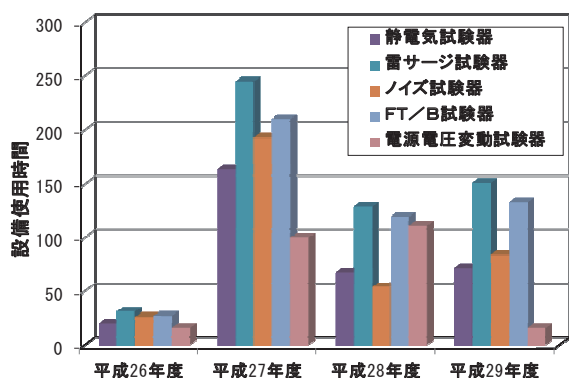
図1 設備使用件数の推移

度にピークが見られるが、平成 28 年度と平成 29 年度には大きな変動はなく、PSE 関連機器の利用の減少が目立つ結果となった。

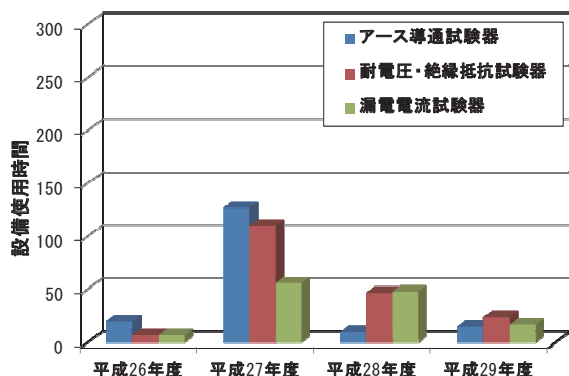
図 3 は、設備開放としての使用 1 件あたりの使用時間の推移を示している。平成 28 年度に比べて平成 29 年度に EMI 関連機器と EMS 関連機器の同使用時間が減ったのは、使用方法を十分に理解したりピータの利用者が増え、効率よく評価試験を実施できているためと推察している。これとは反対に、PSE 関連機器の同使用時間が増加しているのは、PSE 関連試験が代表的



(a) 関係する全ての機器



(b) EMS 関連機器



(c) PSE 関連機器

図2 設備使用時間の推移

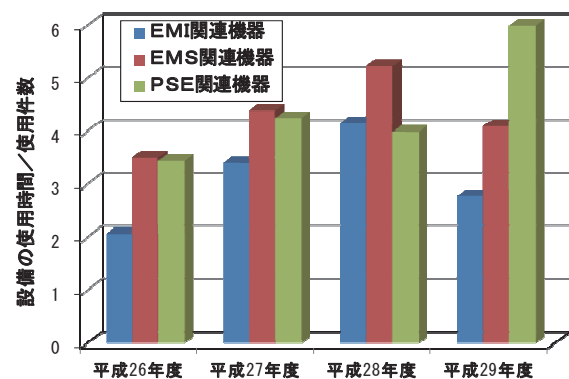


図3 使用1件あたりの使用時間の推移

なサンプルだけではなく、全数を試験対象とする場合があることが理由と考えられる。

(2) 技術相談

関係する技術相談は平成26年度から平成29年度までの合計で361件の実績があった(図4を参照)。EMI関連、EMS関連、PSE関連で分類すると、それぞれ208件、123件、30件であった。年度別でみれば、34件、149件、95件、83件であった。

技術相談についても開放設備の利用件数の推移と同様の傾向が見て取れ、平成27年度にピークが見られるが、平成28年度と平成29年度には大きな変動はなく、PSE関連機器に関する技術相談の減少が目立つ結果となった。

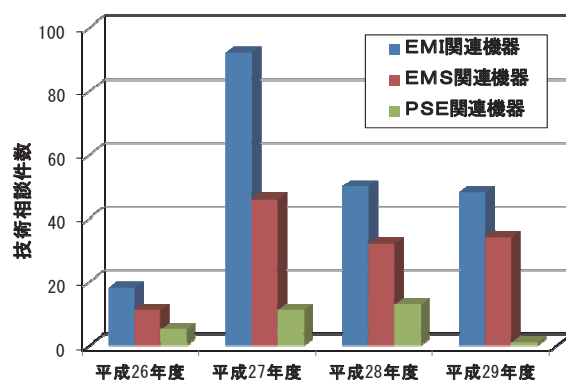


図4 関係する技術相談件数の推移

3.2 放射電磁ノイズ軽減の簡易対策

(1) スペクトラム拡散

図5は、EMI計測システムの被試験機器設置用回転テーブルの上に置いた供試体の様子の写真である。評価試験では、影響のない樹脂ケースに供試体を入れた状態で使用した。

図6は、測定結果例を示している。細線によるプロットが“スペクトラム拡散なしのモード”のときの結果であり、太線によるプロットが“スペクトラム拡散 $\pm 2\%$ のモード”のときの結果である。

この図から、周波数が200 MHz近くと580 MHz近くにおいて、“スペクトラム拡散 $\pm 2\%$ のモード”の方が“スペクトラム拡散なしのモード”よりも放射電界強度が強い周波数域が見受けられるが、全体的に見れば“スペクトラム拡散 $\pm 2\%$ のモード”の方が、放射電界強度が弱くなっていることが分かる。

従って、製造した電子機器から電磁ノイズの漏れがある場合、クロック信号のスペクトラム拡散を適用すれば、一時的な簡易対策としての効果が期待できることが推察できる。

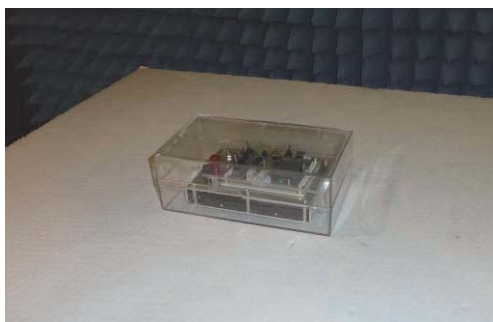


図5 スペクトラム拡散機能を持つ実験回路の測定

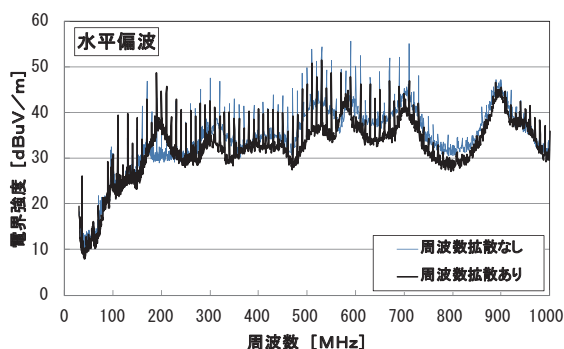


図6 スペクトラム拡散による放射電磁ノイズ軽減

(2) 導電性塗料による電磁シールド

図7は、EMI 計測システムの被試験機器設置用回転テーブルの上に置いた、4種のケースに封入された供試体の様子の写真である。ケースは、同図(a)から順番に樹脂ケース（導電性なし）、導電性スプレーを吹き付けた樹脂ケース、導電性塗料を塗布した樹脂ケース、金属ケースである。

図8は、測定結果例を示している。プロットは概ね上から順に、樹脂ケース（導電性なし）のとき、導電性スプレーを吹き付けた樹脂ケースのとき、導電性塗料を塗布した樹脂ケースのとき、金属ケースのときの結果である。

樹脂ケース（導電性なし）には電磁シールドの効果は全くなく、この場合のプロットが、供試体から放射される電磁ノイズである。また、用いる金属部材の厚みにもよるが、金属ケースによる密閉は、電磁シールドの面では十分な効果が期待できる。これら2つのプロットを対照データとして捉え、導電性スプレーを吹き付けた樹脂ケースの場合と、導電性塗料を塗布した樹脂ケースの場合について考える。

まず導電性スプレーの場合には放射電界強度に微妙な軽減しか見られず、電磁シールドとしてはさほど期待できない。一方、導電性塗料の方は、周波数域によっては放射電界強度に約5dBの軽減効果があり、電

磁シールドとしてのある程度の効果が期待できる。

従って、製造された電子機器から電磁ノイズの漏れが疑われる場合、電磁的に見てその筐体の弱い箇所に当該導電性塗料を塗布すれば、一時的な簡易対策としての効果が期待できることが推察できる。

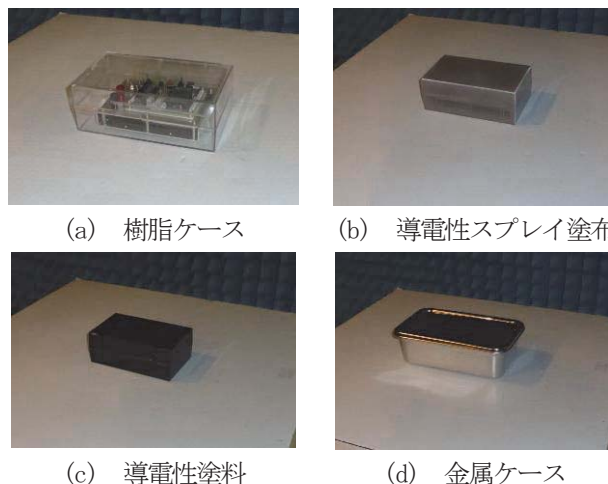


図7 導電性塗料による電磁シールド効果の評価

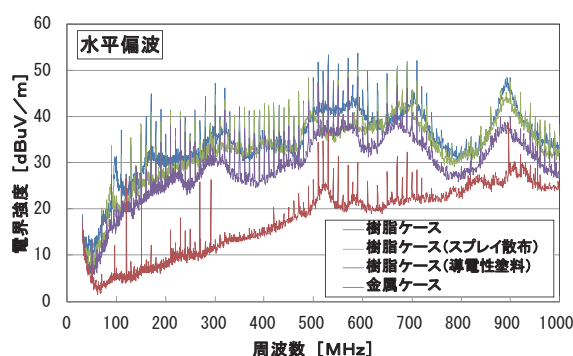


図8 導電性塗料による電磁シールド効果

4. 結 言

本研究では、3年間のまとめとして先ず、EMCに関係する機器の導入からこれまでの設備利用件数や関係する技術相談件数の推移についての分析を試みた。この結果、平成27年度に機器利用、技術相談ともにピークが見られるが、平成28年度と平成29年度には大きな変動はなく落ち着いたことが分かった。

また、電子機器から放射される電磁ノイズを簡易的に軽減する対処方法として、クロックのスペクトラム拡散の効果と、導電性塗料の効果について評価した。この結果、クロックのスペクトラム拡散や導電性塗料による電磁シールドは、一時的かつ簡易な電磁ノイズ対策としてある程度の効果が期待できると言えることが分かった。

最後に、この EMC 関連機器に関連しては、設備開放業務や技術相談業務をとおして得られるニーズに応えるため、今後も設備利用環境の充実や、技術ノウハウの集約を継続する考えである。

参考文献

- [1] 長崎県工業技術センター事業報告 平成 26 年度, 2015.7.
- [2] 長崎県工業技術センター事業報告 平成 27 年度, 2016.7.
- [3] 長崎県工業技術センター事業報告 平成 28 年度, 2017.7.
- [4] 兵頭竜二ほか, 電気・電子機器のノイズ対策技法の確立, 長崎県工業技術センター研究報告 平成 27 年度, pp.6-9, 2016.8.
- [5] Texas Instruments Incorporated, CDCS503 Clock Buffer/Clock Multiplier With Optional SSC, <http://www.tij.co.jp/product/jp/cdcs503> (Accessed 5 Jan. 2016).

低コストで高機能な発光サイン用導光板の開発

電子情報科 主任研究員 田 中 博 樹

近年、導光板（側面から入れた光を拡散させ、表面に光を出す板）を均一に発光させてバックライトとして用いているのではなく、文字やロゴマークといった一定のパターンで発光するように加工し、導光板そのものを各種案内表示等に利用する発光サインの用途が増えている。本研究では、発光サイン用導光板の金型を安価に作製する技術を確認し、さらに光源照射方向により発光パターンを切り替えることができる導光板の実現を目指している。今年度の研究では、光学設計とシミュレーション解析により発光パターンを切り替える為の最適な導光板の表面形状を検討し、その検証実験を行った。シミュレーション解析により光源照射方向を変えたときの発光強度の比率が最大となる条件を見出した。また、検証実験でもシミュレーション解析と定性的に同様の結果が得られ、解析手法の妥当性を確認した。

1. 緒 言

導光板は側面から入れた光を拡散させ、表面に光を出すアクリル板で、液晶ディスプレイのバックライト（以下、液晶バックライトという）や発光する看板のバックライト（以下、看板バックライトという）として主に用いられている。また、最近では、導光板表面を均一に発光させるのではなく、文字やロゴマークといった一定のパターンで発光するように加工し、導光板そのものを各種案内表示等に利用しているもの（以下、発光サインという）もある。

上記用途の中で、液晶バックライト用導光板で特に求められるのは、高輝度であることと均一な面発光であることである。また、大量生産が前提であるため、多数のV字溝を持った金型で射出成型を行い、表面に多数のプリズム構造を持つ導光板を製造するのが一般的である。

一方で、看板バックライト及び発光サイン用導光板の製造では、アクリル板にレーザーで多数の細かな傷を付ける方法がよく用いられている。また、看板バックライト用導光板の製造では、散乱体をインクジェット印刷する方法も用いられている。これは、看板バックライト及び発光サイン用導光板の生産量が液晶バックライト用導光板ほどは大量でないため、同様の方法で金型を作製してはコストが合わないためである。

しかしながら、一品物ではなくある程度の数量の看板バックライト又は発光サイン用導光板を製造する必要がある場合、上記のレーザー加工やインクジェット印刷では量産性が低いため、より量産性が高い製造方法の確立が求められている。

本研究では、金属板にレーザー加工を施すことで、

発光サイン用導光板の金型を安価に作製する技術を確認することを目的としている。これにより、従来手法と比較して低コストで発光サインの量産が可能となる。

また、発光サインを各種案内表示に使用する場合に、複数枚の導光板を用い、点灯させる導光板を切り替えることで表示内容（発光パターン）を変えるといった使い方もある。そこで、本研究では、光源照射方向により発光パターンを切り替えることができる導光板の実現も目指す（図1参照）。これが実現すれば、発光パターンの切り替えに必要な導光板の枚数を半減でき、材料減と製造時間の短縮によるさらなる低コスト化が可能となる。

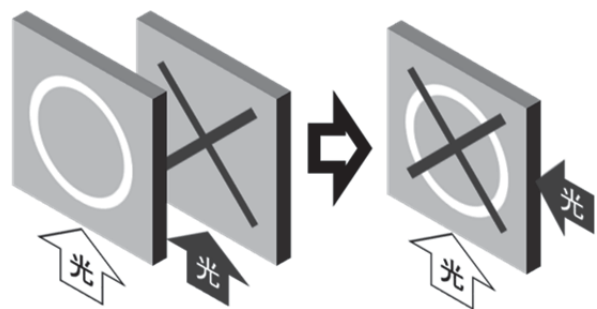


図1 光源照射方向によるパターン切り替えのイメージ

2. 研究内容と結果

本研究では、上記の目的を達成するために、以下の研究項目を実施する計画としている。①光学設計とシミュレーション解析により、発光パターンの切り替えに最適な導光板の表面形状を検討し、検証実験を行う。②上記の表面形状を形成できる金型の形状を検討し、

金型とする金属板に所望の加工跡を付けるためのレーザー加工条件を探索する。③金型を試作し、その金型を用いて所望の表面形状を安定的に形成できる加工条件を探索する。④発光パターン切り替え型導光板を設計・試作し、その機能を評価する。今年度は、上記①の研究項目を実施したので、その内容と結果を以下に詳述する。

本研究で試作する導光板は一定のパターンで発光させる必要があるため、表面に微小なドットを所望のパターンで配置していくものとした。また、導光板の材質はアクリルとした。

まず、導光板表面に形成するドット形状を検討した。一枚の導光板で発光パターンの切り替えを実現するには、アクリル導光板の側面に入射させる光の方向によって導光板表面の発光強度を大きく変化させるドット形状が必要となる。したがって、ドットの形状は単純な半球状ではなく、複雑な構造を持つことになる。このドット形状を検討するために、光線追跡法^{[1],[2]}によるシミュレーション解析を行った。解析に用いたソフトウェアはZEMAX（ZEMAX Development Corporation社製）である。

解析では、光の入射方向によって発光強度比が異なるようなドット形状を考案し、考案した形状の各部位の寸法を変化させたときの発光強度を計算した。次に、光の入射方向だけを90°変えて発光強度を計算し、入射方向変更前との発光強度比を求めた。計算結果の一例を図2に示す。部位によっては図2(a)のように寸法に比例して単調に増加した。しかし、あまり寸法を大きくすると微小ドットとはいえなくなり、自由に配置してパターンを形作ることができなくなる。そこで、最適条件を探索する際の寸法の上限は500 μm とした。他の部位では、図2(b)のように寸法に対して発光強度比が最大値を持つような結果も得られ、主要な部位について計算を行った結果から、発光強度比が最大となる条件を見出した。

次に、検証実験を行った。検証には、考案した形状で各部位の寸法が異なるミクロンオーダーの微細なドットを有する複数の導光板サンプルが必要となる。そこで、本実験で用いる導光板サンプルはフェムト秒レーザーを用いた特殊加工により作製した。検証実験では、導光板サンプルの側面のある方向とそれと垂直な

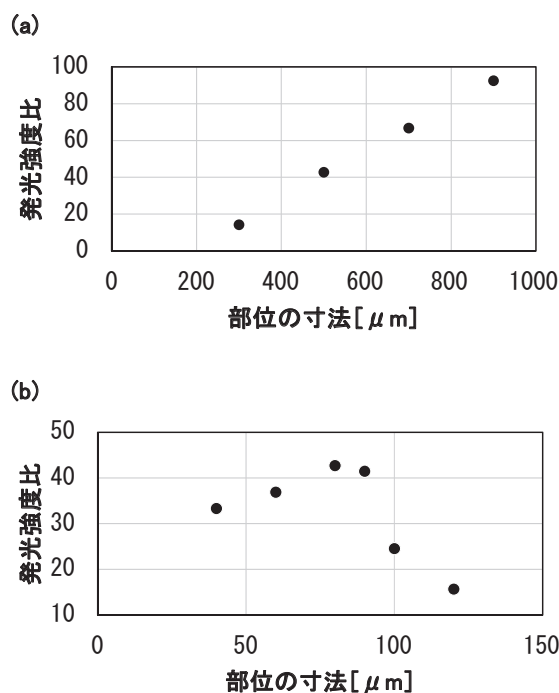


図2 微小ドット各部位の寸法を変えたときの発光強度比の計算結果の例

方向からLEDライトの光を入射させ、それぞれの入射方向での導光板表面からの発光強度を輝度計（トプコンテクノハウス製BM-7A）で測定した。その結果、入射方向による発光強度比がシミュレーション解析と定性的に同様の結果となり、解析手法の妥当性を確認できた。

3. 結 言

今年度の研究では、光源照射方向により発光パターンを切り替え可能な導光板を実現するために、光学設計とシミュレーション解析により最適な導光板の表面形状を検討し、併せて検証実験も行った。次年度は、その表面形状を形成できる金型の形状を検討し、レーザー加工により金型を試作する。また、試作した金型を用いて所望の表面形状を安定的に形成できる最適な成形条件を探索する。

参考文献

- [1] 草川徹：レンズ光学，東海大学出版会 (1988).
- [2] 牛山善太，草川徹：シミュレーション光学，東海大学出版会 (2003).

難削性非鉄材料の高効率切削加工技術の開発

工業材料科	科 長	瀧 内 直 祐
工業材料科	主任研究員	福 田 洋 平
食品・環境科	主任研究員	三 木 伸 一
	所 長	馬 場 恒 明

長崎県内の金属加工業では、環境問題等を考慮して、切削油剤を使用しない冷却方法に関する要求が高まっている。材料の高機能化、多様化等により、チタン合金（Ti-6Al-4V）等の難削材料に関する切削加工技術の確立が望まれている。しかし、チタン合金（Ti-6Al-4V）の切削加工の問題点として、チタン合金（Ti-6Al-4V）は熱伝導率が小さく、切削熱が発熱部の切れ刃と工具すくい面に集中し、局部的に切削温度を上昇させ、異常な工具摩耗が発生しやすい。そこで、環境問題等を考慮した冷却方法を検討することを目的として、平成29年度はチタン合金（Ti-6Al-4V）におけるTiAlNコーテッド超硬エンドミル工具の水溶液ミストを用いたエンドミル切削加工実験を行った。切削油剤、油ミストを用いた時の工具の摩耗状況、加工面（表面）粗さについて、比較検討を行った。

1. 緒 言

長崎県内には、金属加工業の中小企業が多数存在しており、工作機械、切削工具等の進歩により、切削加工技術の高度化が進んでいる。しかし、金属系難削材料は、切削加工に長い時間を要し、工具寿命が短い等、非効率的な加工作業となっている。また、切削油剤の使用による作業環境の悪化、塩素系油剤の焼却時に発生するダイオキシンが問題になっているため、切削油剤の使用量を減らす要望が益々強くなっているのが現状である。そこで、本研究は、環境問題等を考慮して、切削油剤を使用しない冷却方法を検討し、切削工具の劣化防止及び適切な加工面粗さを得ることを目的とする。

筆者らは、難削材料の切削加工性の向上を目的として、ステンレス鋼における切削加工性について報告^{[1],[2]}を行った。

平成29年度はチタン合金（Ti-6Al-4V）におけるTiAlNコーテッド超硬エンドミル工具の水溶液ミストを用いたエンドミル切削加工実験を行い、切削油剤、油ミストを用いた時の工具の摩耗状況、加工面（表面）粗さについて、比較検討を行った。

2. 実験方法

実験は基本的に前報^[2]と同様とした。実験装置は、汎用フライス盤（牧野フライス製KVJP55）を用いた。被削材は、チタン合金（Ti-6Al-4V）を使用した。エンドミル切削工具は、TiAlNコーテッド超硬エンドミル工具（ねじれ角30°、φ8、4枚刃）を使用した。エ

ンドミル切削加工条件は以下のとおりである。

- ・ 切削速度 60 m/min、100 m/min
- ・ 送り速度 0.03 mm / 刃
- ・ 軸方向切り込み量 10 mm
- ・ 半径方向切り込み量 0.5 mm
- ・ 工具突き出し長 27 mm
- ・ 切削加工方法（側面切削、ダウンカット）

水溶液ミスト、油ミスト、切削油剤を用いてエンドミル切削加工実験を行った。水溶液ミストにおける水溶液は、発泡剤 2 g / 蒸留水 500 cm³ (pH 9.0) である。水溶液ミストの装置はスプレーガン（明治機械製作所製）を使用し、噴射量は 50 mL/min である。

切削油剤は、JX 日鉱日石エネルギー製ユニソルブル EM-H（20 倍希釈）を使用し、油ミストはブルーベ植物性切削油 LB-1 を使用した。

切削工具の摩耗（最大の逃げ面摩耗幅、チップング幅等）については、工具顕微鏡（30 倍）（ニコン製 MM-11B）を用いて、所定加工パスごとの工具刃先における最大の逃げ面摩耗幅等を測定した。さらに、加工面における表面粗さ（R_z）は、加工面の両端より 20 mm の所を、それぞれ A 部、B 部とし、その中心部の切削工具の進行方向を X 方向、切削工具の軸方向を Y 方向として、超精密表面形状粗さ測定機（アメテック製 PGI1200）を用いて測定した。実験前のチタン合金（Ti-6Al-4V）の表面粗さ（R_z）は、2 μm であった。

なお、TiAlNコーテッド超硬エンドミル工具の刃先における逃げ面摩耗幅が 100 μm 以上になるか、工具

刃先が欠損した場合、エンドミル切削加工実験を終了した。

3. 実験結果

3.1 水溶液ミスト、油ミスト、切削油剤を用いた時のチタン合金(Ti-6Al-4V)における切削加工実験(切削速度 60 m/min)

図1は、切削速度 60 m/min の切削加工実験における工具刃先の逃げ面摩耗幅と切削距離との関係を示す。

図中の▲印は水溶液ミスト、■印は油ミスト、●印は切削油剤の結果である。水溶液ミストの元となる水溶液は、蒸留水に発泡剤を添加した溶液である。

水溶液ミスト、切削油剤は、著しく逃げ面摩耗幅が増大し、油ミストは逃げ面摩耗幅が抑制された結果となった。

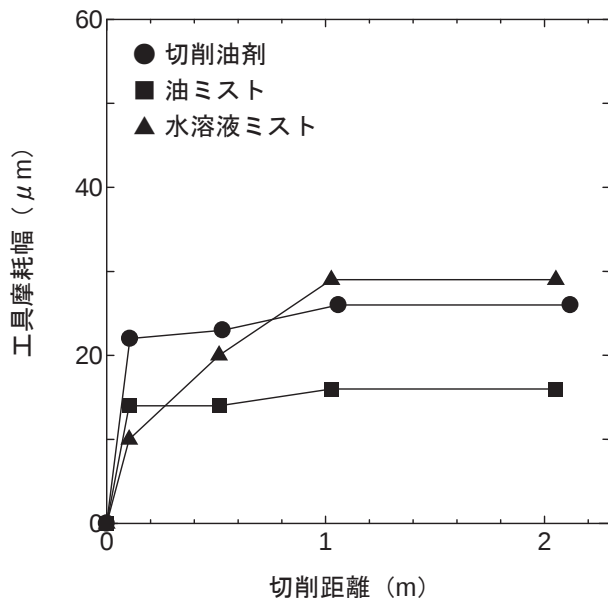


図1 切削距離と摩耗幅との関係

図2は、切削速度 60 m/min の切削加工実験における表面粗さ (Rz) と切削距離との関係を示す。

図中の▲印は水溶液ミスト、■印は油ミスト、●印は切削油剤の結果である。図中の表面粗さ (Rz) の値は、Y方向 (工具の軸方向) の表面粗さ (Rz) の値を示す。なお、Y方向 (工具の軸方向) の表面粗さ (Rz) は、工具軌跡の影響のため、X方向 (工具の進行方向) の表面粗さ (Rz) に比べて、高い値を示した。

表面粗さ (Rz) は、油ミストを使用した場合、5 μm 以上であり、水溶液ミスト、切削油剤を使用した場合 は 3 μm であった。水溶液ミストは切削油剤と同様に良好な表面粗さ (Rz) となった。

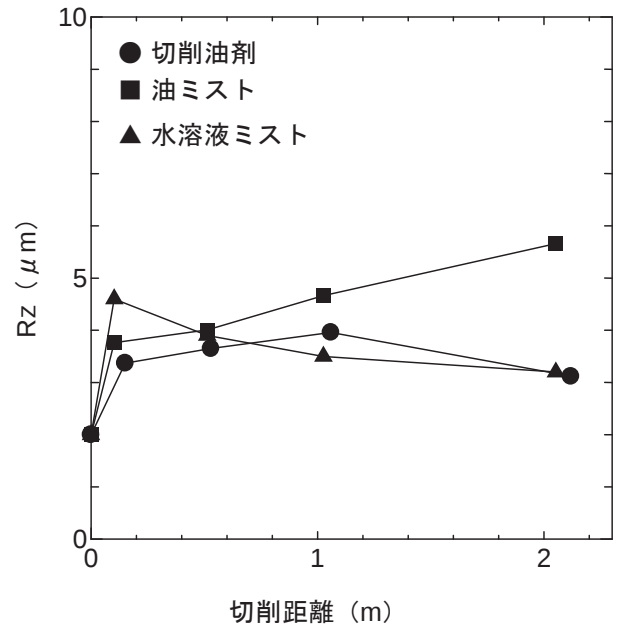


図2 切削距離と表面粗さ (Rz) との関係

3.2 水溶液ミスト、油ミスト、切削油剤を用いた時のチタン合金(Ti-6Al-4V)における切削加工実験(切削速度 100 m/min)

図3は、切削速度 100 m/min の切削加工実験における工具刃先の逃げ面摩耗幅と切削距離との関係を示す。

図中の△印は水溶液ミスト、□印は油ミスト、○印は切削油剤の結果である。水溶液ミストの元となる水溶液は、蒸留水に発泡剤を添加した溶液である。

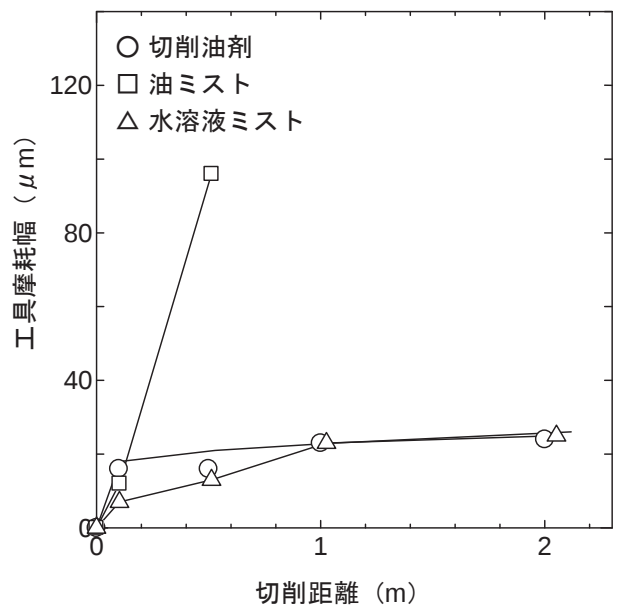


図3 切削距離と摩耗幅との関係

切削距離 2 m における逃げ面摩耗幅は、水溶液ミストを使用した場合に $25\ \mu\text{m}$ であった。切削油剤を使用した場合は $26\ \mu\text{m}$ であり、油ミストに比べて水溶液ミストは切削油剤と同様に良好な結果となった。油ミストは切削距離が 0.5 m の場合、工具摩耗幅が $100\ \mu\text{m}$ 以上となり、切削加工実験を終了した。

図 4 は、切削速度 100 m/min の切削加工実験における表面粗さ (R_z) と切削距離との関係を示す。図中の $\triangle$ 印は水溶液ミスト、 $\square$ 印は油ミスト、 $\circ$ 印は切削油剤の結果である。

なお、表面粗さ (R_z) は、前述の結果と同様に Y 方向 (工具の軸方向) の表面粗さ (R_z) の値を示す。表面粗さ (R_z) は、油ミストを使用した場合、 $8\ \mu\text{m}$ 以上であり、水溶液ミスト、切削油剤を使用した場合は $3\ \mu\text{m}$ であった。水溶液ミストは切削油剤と同様に良好な表面粗さ (R_z) となった。

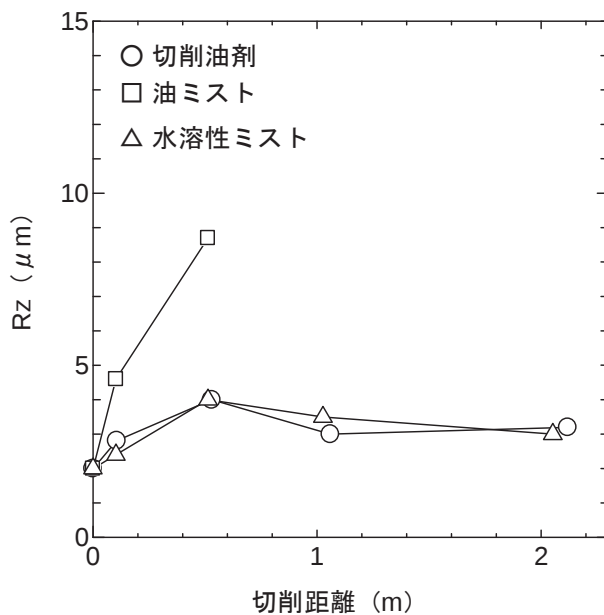


図 4 切削距離と表面粗さ (R_z) との関係

3.3 切削速度 60 m/min、切削速度 100 m/min における水溶液ミストを用いた時のチタン合金 (Ti-6Al-4V) における切削加工実験

図 5 は、水溶液ミストを用いた時のエンドミル工具における工具刃先の逃げ面摩耗幅と切削距離との関係を示す。図中の $\blacktriangle$ 印は切削速度 60 m/min の結果、 $\triangle$ 印は切削速度 100 m/min の結果である。

切削距離 2 m における逃げ面摩耗幅は、切削速度 100 m/min は 60 m/min に比べて工具摩耗幅が小さい結果となった。

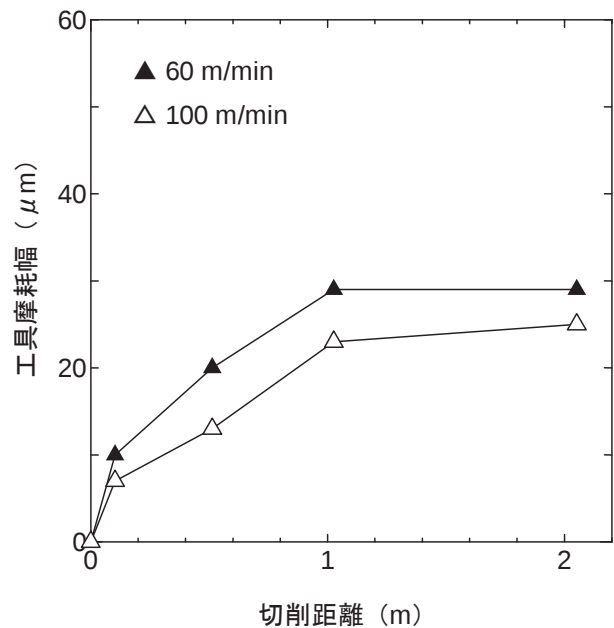


図 5 切削距離と摩耗幅との関係

図 6 は、水溶液ミストを用いた時のエンドミル工具における表面粗さ (R_z) と切削距離との関係を示す。図中の $\blacktriangle$ 印は切削速度 60 m/min の結果、 $\triangle$ 印は切削速度 100 m/min の結果である。なお、表面粗さ (R_z) は、前述の結果と同様に Y 方向 (工具の軸方向) の表面粗さ (R_z) の値を示す。

切削距離 2 m において、切削速度 60 m/min 及び 100 m/min の表面粗さ (R_z) は $3\ \mu\text{m}$ であった。

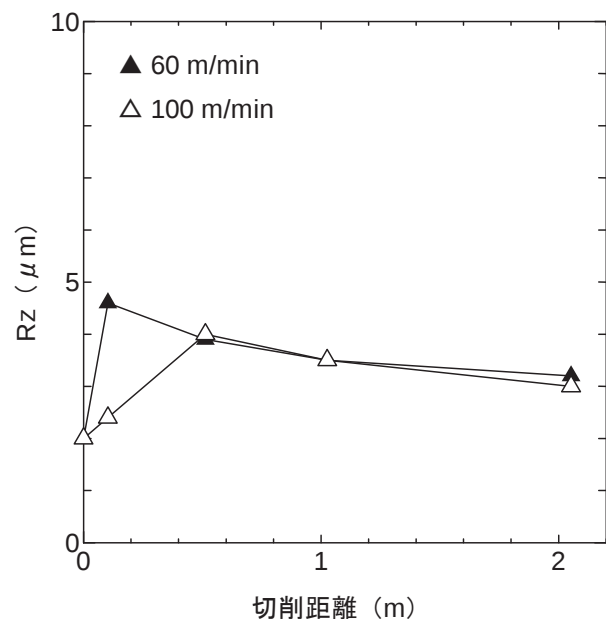


図 6 切削距離と表面粗さ (R_z) との関係

4. 結 言

チタン合金 (Ti-6Al-4V) における水溶液 (発泡剤を添加した水溶液) ミストを用いた時のエンドミル切削加工実験を行い、切削油剤、油ミストを用いた時の工具の摩耗状況、加工面 (表面) 粗さについて、比較検討を行った。

その結果は、以下のとおりである。

- (1) 切削速度 60 m/min の場合、水溶液ミストは、工具摩耗幅が大きいが、表面粗さ (最大高さ Rz) は良好な結果が得られた。
- (2) 切削速度 100 m/min の場合、水溶液ミストは、工具摩耗幅、表面粗さ (最大高さ Rz) が良好な結果が得られた。

- (3) 水溶液ミストを使用した場合、切削速度 60 m/min と切削速度 100 m/min において、切削速度 100 m/min の切削加工実験は、工具摩耗が小さく、最も良好な結果が得られた。

参考文献

- [1] 瀧内直祐，福田洋平，三木伸一，長崎県工業技術センター研究報告，No.43，pp.32-35(2014).
- [2] 瀧内直祐，福田洋平，三木伸一，長崎県工業技術センター研究報告，No.44，pp.35-38(2015).

連成統合シミュレーション技術の開発と普及支援（第3報）

工業材料科 専門研究員 重 光 保 博

本研究では、「連成解析システム」を導入・活用して地場 CAE(CAE: Computer Aided Engineering) 関連企業の技術支援を行い、あわせて最近注目されている高度な CAE 解析である連成シミュレーション技術開発を行った。長崎県ではその地理的特性を生かした海洋関連工学・風潮力発電インフラ分野の振興が期待され、コンピューターシミュレーションによる構造解析・流体解析 CAE は重要な役割を果たすと考えられる。「連成解析システム」の概要・活用事例・普及活動・技術開発について報告する。

1. 緒 言

長崎県では海洋関連工学・再生可能エネルギー工学分野の発展が推進されており、CAE は関連インフラ設計や地理・気象解析へ貢献する先端技術である。シミュレーション解析を受託ビジネスとする県内 CAE 関連企業は、県内の潜在 CAE マーケットにとどまらず、県外への積極的な展開を実現するため、従来の技術では解析困難な複雑事象を扱うことができる高度なシミュレーション技術を必要としている。

近年、人工知能や IoT 等の技術トレンドと並行してシミュレーション技術のモノづくりへの浸透が進み、シミュレーションは実験の検証にとどまらず、モノづくりを主導する役割を果たしつつある^[1]。

平成 27 年に導入した CAE 統合ソフトウェア「ANSYS」^[2]は、従来の CAE 解析機能である構造解析・流体解析・電磁界解析機能を包括的に統合した代表的な CAE 解析ソフトウェアである。ANSYS の特徴として、これらの独立事象解析だけでなく、それらが複雑に絡む事象に対する連成解析も実行することができる。本事業では、ANSYS を活用して地場 CAE 関連企

業の技術支援を行い、最近注目されている高度な CAE 解析である連成シミュレーションの先端技術開発を試みた。

2. 手法・結果・考察

2.1 長崎県工業技術センター「連成解析システム」

本システムは、ANSYS を中核とする統合 CAE シミュレーション装置である。ANSYS は広範な機能を有する CAE モジュール群から構成されており、それらを統一的に使用する GUI 環境「Workbench」を通じて多様な機能をシームレスに使用できる。CAE 解析にとどまらず、物理解析（構造解析、流体解析、電磁界解析）・機構解析（Rigid Body Dynamics）に対して実験計画最適化や設計最適化機能を加味した統合的システムシミュレーションに基づくマルチドメイン解析も可能である。

本システムは、ANSYS ソフトウェアとそれが稼働するハードウェア群（計算サーバー 1 台＋クライアントパソコン 3 台）から構成されている。最大で 16-CPU+GPGPU を用いて 1000 万メッシュ程度の大規

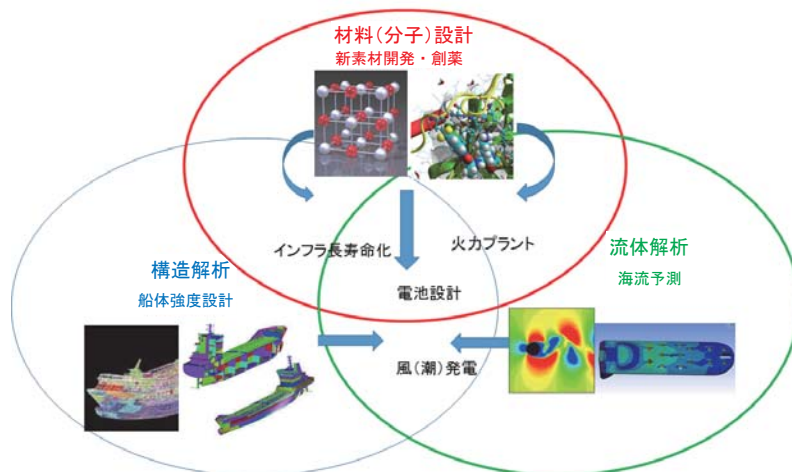


図 1 連成解析のイメージ図

模計算を実行可能である。

本システムは、平成 27 年度電源立地地域対策交付金（資源エネルギー庁）の支援を受けて導入した。



図 2 連成解析サーバー（VT server E5-2SG-V3）

2.2 統合 CAE ソフトウェア「ANSYS」の構造解析・流体解析機能

構造解析ソルバー「ANSYS Mechanical」は、構造解析に関する全般的機能を有している。応力・ひずみ解析に加えて、非線形・塑性領域の解析も可能である。FRP/CFRP といった複合材料に対しては、オプションモジュール「ANSYS Composite Prepost」による解析が可能である。

表1 連成解析システムの構成

ソフトウェア：	ANSYS Release 16.2
モデリング：	DesignModeller/Brademodeller
メッシャー：	ANSYS Meshing/TurboGrid
ソルバー（構造）：	Mechanical/Profes. NLT
ソルバー（流体）：	CFD/CFD-Flo
ハードウェア：	

サーバー VT server E5-2SG-V3

CPU：Xeon E5-2699 v3（36 cores）

Main Memory：256 GB

GPGPU：NVIDIA Tesla K 40

OS：RedHat Linux release 6.6

クライアント Dell Precision T1700

流体解析については、定評がある Fluent モジュールを包含した「ANSYS CFD」を用いた種々の乱流モデル解析が可能である。ターボ機械のような回転複雑形状に特化したモデラ「Blademodeler」、メッシャー「TurboGrid」による効率的なモデリング・メッシングが可能である。

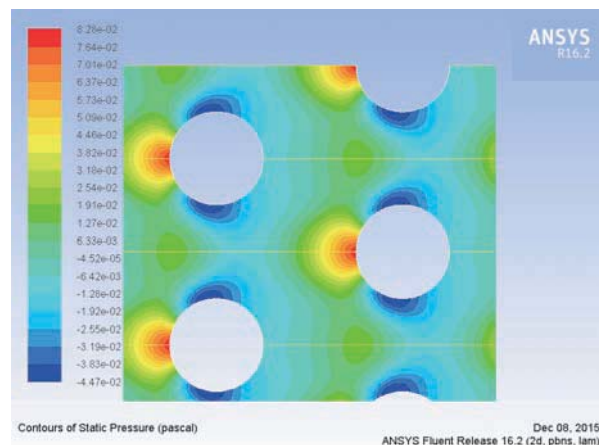


図 3 流体解析例

2.3 ANSYS の高度な機能：連成解析

マクロ構造体と流体の連成解析は、「ANSYS CFX」を用いて効率的に実行可能である。その際、双方の影響を非回帰的 (1-way) もしくは回帰的 (2-way) に考慮して求解することができる。

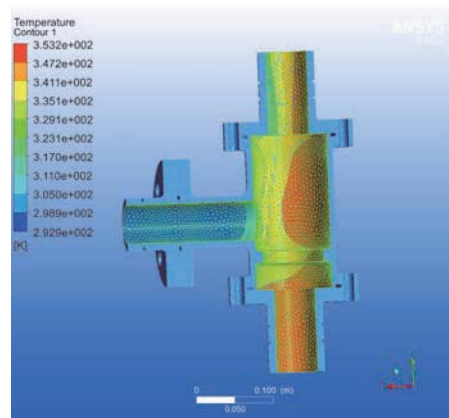


図 4 連成解析の例：1way-FS1 + 2way-FSI

2.4 活用事例：アスピレーターの流体挙動解析

アスピレーターは、ベンチュリー効果に基づいて流体の流れを利用して減圧部位を作り出す比較的コンパクトな装置で、小規模な化学実験室等や医療用途に用いられる。動物組織の体液交換や医療用途でのポンプ代替品としてのアスピレーター活用を考え、アスピレーターの吸引中枢部分に対して流体解析を行い減圧効

果を予測した（図5）。動物組織のモデルとして液体で満たされたバルーンを仮想的に設定し（図6）、水流変化に対する減圧効果を算出した（図7）。水流変化に対するバルーン構造への影響を考慮した構造－流体解析を実行した。

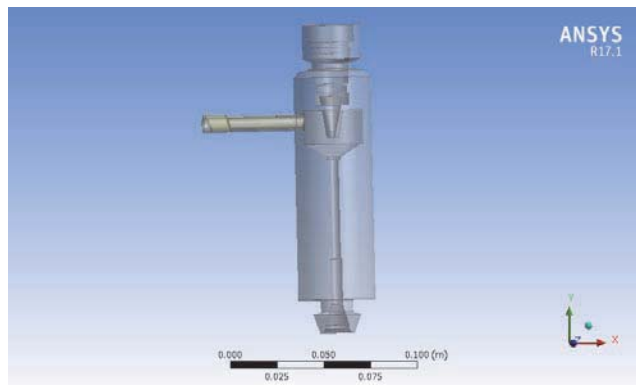


図5 アスピレーターの減圧部

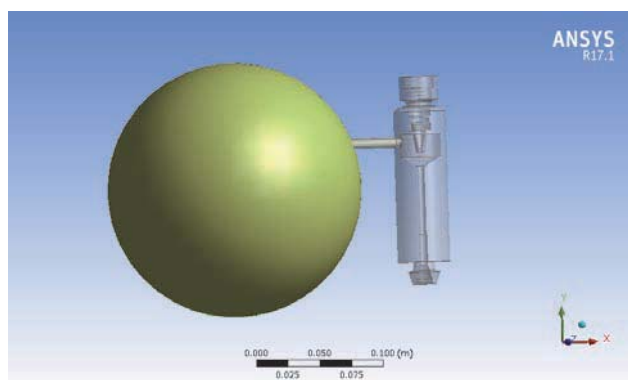


図6 付加したバルーンモデル

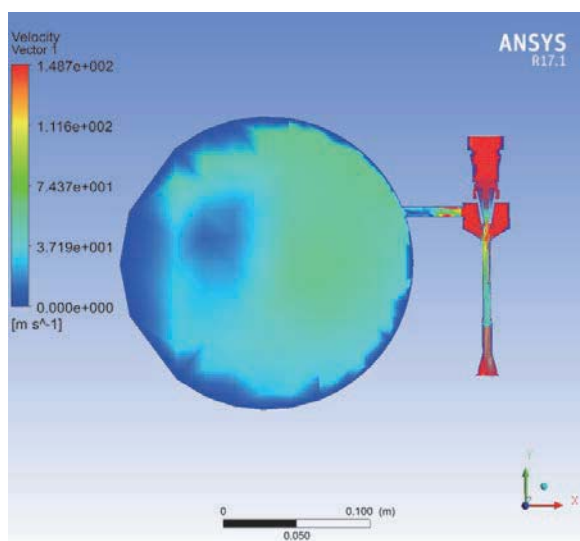


図7 減圧効果の解析

2.5 分子解析との連成に向けて：機能性分離膜のモデル計算

構造－流体連成解析のさらなる発展として、化学シミュレーション技法との統合が望まれる。化学現象のシミュレーションには、ミクロ現象（化学反応）とマクロ現象（流体挙動・反応容器との力学的干渉）の両方を考慮する必要がある。分子レベルのミクロ情報と連続体解析のマクロ情報の融合（マクロとミクロの融合）は、現代シミュレーション技術の大きな課題であるが、計算コストの制約もあり実用的な解析手段は確立していない。構造－流体－化学連成解析に向けた試みとして、分子シミュレーションによるボトムアップミクロアプローチと、濃度分極モデルに基づく化学工学マクロアプローチを試みた。

(1) ポリアミド膜中の水の拡散係数計算

浸透圧を利用した水処理技術では、淡水側と溶液側を分離して高い選択性で水のみを透過させる機能性膜が必要とされる。ポリセルロースアセテート膜と架橋芳香族ポリアミド膜がよく用いられている。

今回のテスト計算には、ポリアミド膜のモデルとして meta-phenylene diamine (MPD) と trime-solyl chloride (TMC) 重合オリゴマー分子を 20 個束ねたランダム構造モデルを用いた。周期的境界条件は、直交方向 (XY 平面) に 4 周期、水の透過方向 (Z 軸) に 1 周期の (4x4x1) モデルを作成した。初期構造生成と水分子の付加には、分子モデリングソフト「Winmostar」^[3]を用いた（図8）。初期構造緩和にはモンテカルロ計算ソフトウェア「Cassandra」^[4]を用いた（図9）。拡散係数は分子シミュレーションソフトウェア「Lammps」^[5]を使用し、1 ns と 10 ns の NTV アンサンブルシミュレーションのトラジェクトリからそれぞれ算出した（表2）。今回の MD シミュレーション予測値 (0.04/0.014) は実験値とオーダーが一致しており、ポリアミド膜モデルの改良、NaCl イオンの考慮、シミュレーション時間の拡張などのモデル精密化を行うことで実験値との定量的予測が期待される。

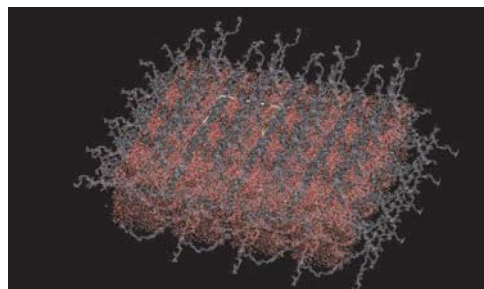


図8 MPD+TMC オリゴマー分子モデルの初期構造

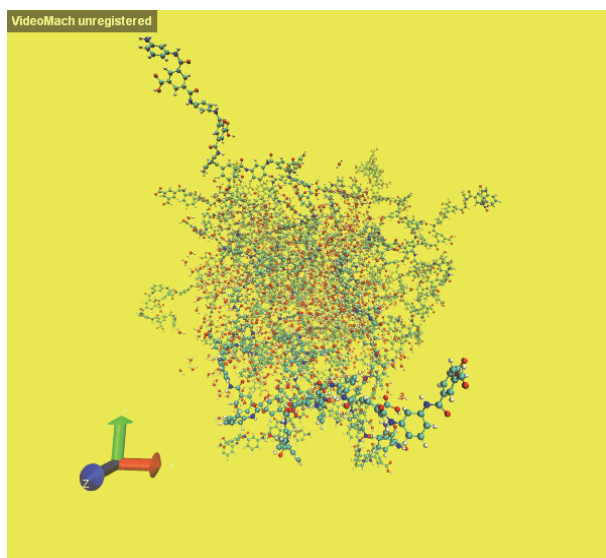


図9 MPD+TMC オリゴマー分子モデルの初期構造

表2 ポリアミド膜モデルの水の拡散係数計算

No.	ensemble	膜構造	NaCl	密度	MD 時間 (ns)	拡散係数 (Å ² /ps)
JMS-1998	NVT	Linear	No		3.5	0.023
JMS-1998	NVT	Cross-linked	No		5.0	0.020
JMS-1998	NVT	Linear	Yes		3.5	0.019
JMS-1998	NVT	Cross-linked	Yes		5.0	0.013
This work	NVT	Linear	No		1.0/10.0	0.040/0.014
Expl.						0.01

(JMS-1998 : M.J.Kotlyanskii et al., J.Membrane Science 139, 1-16, (1998))

(2) 逆浸透装置のプロセスシミュレーション

逆浸透膜を組み込んだ淡水分離モジュールは、平膜を利用したスパイラル型モジュールと中空糸膜を束ねた中空糸型モジュールに大別される。

今回は、谷口らのRO 淡水化シミュレーション論文^[6]を参考にして、スパイラルエレメント型 RO システムの運転シミュレーションプログラムを実装し、初歩的な評価を実施した。原水濃度・原水圧力を入力値とし、RO 膜近傍に濃度分極モデルを使用して透過水濃度・透過水量を求めるマクロシミュレーターである。膜面流速の流れ場解析は考慮していない（流体解析は使用していない）。また RO 膜を介したイオン移動は直接考慮していない（分子動力学法は使用していない）。プログラム実装・シミュレーションには「Mathematica」^[7]を用いた。

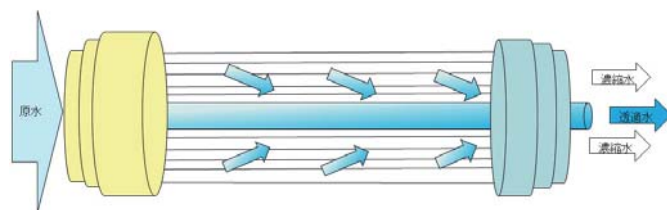


図10 スパイラル型モジュールのイメージ図

表3 プロセスシミュレーションの結果

原水濃度 (NaCl: wt)	原水圧力 (Mpa)	透過濃度 (NaCl: wt)	透過水量 (m ³ /day)
0.01	5.5	0.0006548	4.751136
0.02	5.5	0.0013097	4.75026336
0.03	5.5	0.0019648	4.74939936
0.05	5.5	0.0032755	4.74767136
0.1	5.5	0.0065546	4.74334272
0.03	2	0.00270245	2.1592224
0.03	4	0.00204825	3.8015568
0.03	5	0.00197547	4.4578512
0.03	10	0.00224501	6.4757232
0.03	20	0.00421056	6.8304384

原水圧力の増加に対して、透過濃度と透過水量は上昇する。ただし、原水圧力 5Mpa で透過濃度に極小が見られる。これは、原水圧力が低い領域では RO 膜内外のイオン平衡が律速となり、原水圧力が高い領域ではイオン平衡が破れるためと考えられる（表3）。

2.6 普及支援：研究会の開催

「連成解析システム」の機能は多岐にわたり、その全機能を包括的に把握しつつ、地場企業へスムーズな技術支援を図るため、連成解析システム研究会を合計 10 回実施した（図 11、図 12）。また、分子シミュレーション技術・データマイニング技術研究会を 3 回実施し、シミュレーション技術の先端動向に関する普及啓蒙活動を実施した。今後も、CAE 技術情報の発信とスキルアップを図るため、関連する技術研究会を積極的に企画する予定である。



図 11 連成解析システム講演会



図 12 連成解析システム講演会

3. 結 言

3 か年の本研究では、CAE 技術として確立している構造解析・流体解析について、「連成解析システム」の導入を行い、県内関連企業との共同研究・普及活動を実施した。さらに、次世代 CAE 技術である構造－流体連成、さらに構造－流体－化学連成解析に向けた基礎的モデル解析を行った。

従来の CAE 技術は、マクロ構造体・流体・分子材料が別々の解析ドメインとして独立して解析されてきた。そのため、構造力学・流体力学・化学が複雑にからむ現象、たとえば風潮流発電・化学プラント・触媒・リチウム電池といった事象をシミュレーションすることは困難であった。近年、物理支配方程式が異なる 3 つの事象を連成して解く技術が急速に発展しており、次世代の CAE 技術はマルチフィジックスシミュレーションが主流になると予測される。長崎県においても、

このような技術的潮流を視野に入れた先端機器整備・スキルアップが望まれる。

過去に実施した材料化学シミュレーション研究で得られた知見を活かし^{[8]-[12]}、先端的な CAE 技術へと展開するため、県内学術機関・IT ベンチャー企業等との連携を進めている。講習会・セミナー・共同技術開発等を通じて、連成シミュレーション技術の県内企業への普及を今後も進めてゆく。

謝 辞

アスピレーターの流れ・構造連成解析に関してモデリングおよび実測データをご提供いただいた株式会社コムテック様、機能分離膜のシミュレーションに関してご協力いただいた協和機電株式会社様に感謝いたします。

参考文献

- [1] (a) 元橋 一之 “インダストリ 4.0 に対して日本企業はどう対応するか?” CIAJ JOURNAL, No.2 pp.4 (2016) (b) 2013 年版ものづくり白書 (経済産業省製造産業局ものづくり政策審議室) (2014).
- [2] ANSYS® Release 16.2 (ANSYS, Inc.).
- [3] 千田範夫, "分子計算支援システム Winmostar の開発", 出光技報, 49, 1, 106-111 (2006).
- [4] Cassandra ver.1.2, J. Shah and E. J. Maginn, A general and efficient Monte Carlo method for sampling intramolecular degrees of freedom of branched and cyclic molecules, J. Chem. Phys., 135, 134121 (2011).
- [5] Sandia National Laboratory, USA <http://lammps.sandia.gov>.
- [6] 谷口雅英、木原正博、山村弘之、栗原優、Bull.Soc.Sea Water Sci.Jpn, 56, 247-255 (2002).
- [7] Wolfram Research, Inc., Mathematica, Version 11, Champaign, IL (2018).
- [8] 重光保博、長崎県工業技術センター研究報告、No.32, 57-61 (2004).
- [9] 重光保博、長崎県工業技術センター研究報告、No.43, 36-41 (2014).
- [10] Y. Shigemitsu, T. Mutai, H. Houjou and K. Araki, Phys.Chem.Chem.Phys. 16 (28) 14388 (2014).
- [11] Y. Shigemitsu, Int.J.Quant.Chem. 113(4), 574 (2013).
- [12] Y. Shigemitsu and Y. Ohga, J.Sol.Chem. 47(1) 127-139 (2018).

分子複合による耐熱性樹脂材料の開発

工業材料科 主任研究員 市瀬 英明

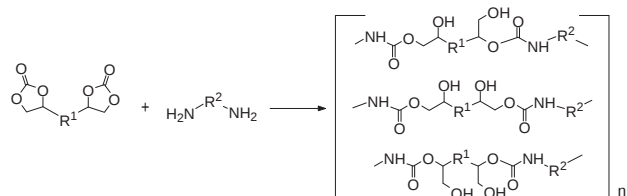
ポリヒドロキシウレタンは、側鎖に水酸基が付くことにより、ガラス転移温度の向上や基材表面への密着性、ガスバリア性の向上が期待できる。とくに本県においては、産業集積が高いシート材やライニング材等の分野において「密着性」と「耐水・防水性」を両立する合成樹脂材料として期待が高い。しかし、実用上の耐熱温度が十分ではないとの課題がある。そこで、本研究では、ポリヒドロキシウレタンの耐熱性向上を目指して、分子構造のネットワーク化を検討した。すなわち、本研究では、ノボラック型エポキシ樹脂を基材として、ポリヒドロキシウレタンを合成した。次いでフィルム成形したポリヒドロキシウレタンの機械的、熱的特性を評価した。その結果、分子構造がネットワーク化されたことで機械特性の向上が達成された。動的粘弾性測定よりガラス転移温度が107℃～133℃、熱重量分析より5%重量減少温度が249℃～296℃であり、分子構造のネットワーク化は、機械的特性、及び熱的特性の向上に効果が高いことがわかった。

1. 緒言

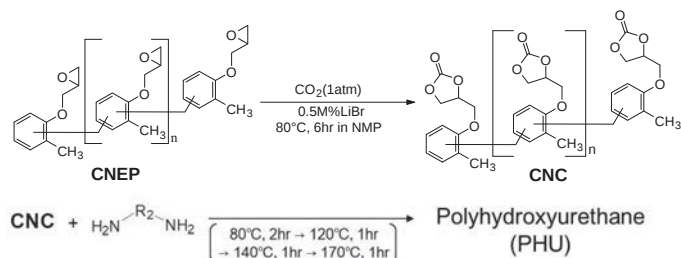
二酸化炭素（CO₂）の炭素資源としての利用法として、エポキシドとの反応が広く検討されている。すなわち、エポキシ化合物にハロゲン化アルカリ金属等を触媒として添加し、CO₂と反応させることでカルボニル基を有する五員環構造をもつ化合物、五員環カーボネートが合成できることが報告されている^{[1]~[3]}。二官能性エポキシ化合物とCO₂の反応により二官能性環状カーボネートを合成し、これをジアミンと反応させることでスキーム1のように側鎖に水酸基を有するポリウレタン、すなわちポリヒドロキシウレタン（PHU）が合成できることも報告されている^{[4]~[6]}。側鎖に水酸基が付くことにより、ガラス転移温度の向上や基材表面への密着性、ガスバリア性の向上が期待できる。とくに本県においては、産業集積が高いシート材やライニング材等の分野において「密着性」と「耐水・防水性」を両立する合成樹脂材料として期待が高い。しかし、これまで報告されてきたPHUは分子構造が直鎖のものが多いために、実用上の耐熱特性が十分ではないとの指摘もあった。

そこで、研究初年度の本年度は、ベース樹脂材料の合成検討の一環として、PHUの耐熱化を目指して、PHU分子構造のネットワーク化を検討した。すなわち、 α -クレゾールノボラック型エポキシ樹脂（CNEP）から多官能五員環カーボネート類（CNC）を合成し、さらに、CNCと種々の脂肪族ジアミンとの反応から得られる新規ネットワーク型PHUを合成し（スキーム2）、その特性を評価したので報告する。

スキーム1：PHUの合成



スキーム2：ネットワーク型5員環カーボネートとネットワーク型PHUの合成



2. 実験方法

2.1 試薬

α -クレゾールノボラック型エポキシ樹脂（重量平均分子量 1879、エポキシ当量 225 g/eq）はシグマアルドリッチ社の製品を用いた。臭化リチウム、1,2-エタンジアミン、1,4-ブタンジアミン、1,6-ヘキサンジアミン、1,8-オクタンジアミン、N-メチルピロリドン（NMP）、ジエチレングリコールジメチルエーテル、及びテトラヒドロフラン（THF）は和光純薬工業㈱の製品を用いた。いずれも精製することなく市販品をそのまま使用した。

2.2 環状カーボネートの合成

○-クレゾールノボラック型エポキシ樹脂を基材として既報に準じて合成した^{7,8)}。赤外分光分析の結果から、エポキシ基に基づく吸収が消失し、カーボネートのカルボニル基に基づく吸収が発現したことを確認した。

2.3 フィルムの作製

前項で合成した環状カーボネートの45%ジエチレングリコールジメチルエーテル溶液を調製した。そこにカーボネート基とアミノ基が等モルになるようにジアミンを添加して速やかに攪拌脱泡した。この溶液をポリプロピレンシート上に均一に塗布し、常温にて一晩静置した後、80℃で3時間加熱した。次いで、フィルム前駆体をポリプロピレンシートから剥がし、金属型枠に固定して、120℃で1時間、140℃で1時間、そして170℃で2時間加熱した。これらの操作を経て、厚さが約100 μm の均質なフィルムを得た。

2.4 分析方法

【分子量、および分子量分布】ゲル浸透クロマトグラフィー（GPC、（株）島津製作所製）により測定した。分析条件は、カラム：Shodex GPC LF-604（（株）昭和電工製×3本）、検出器：紫外可視分光光度検出器（波長254 nm）、移動相：THF、カラム温度：40℃、移動相流量：0.6 ml/minとした。分子量は標準ポリスチレン（（株）東ソー製）を使用した検量線より換算した。

【赤外分光分析】フーリエ変換赤外分光光度計（IRTracer-100、（株）島津製作所製）を用いてATR法により分光スペクトルを得た。

【引張試験】卓上型オートグラフ（AG-10kNX、（株）島津製作所製）を用いて掴み具間距離40 mm、及び引張速度10 mm/minで行った。試験片はダンベル状に打ち抜いて作製し、平行部の幅は4 mm、及び長さは25 mmとした。引張弾性率は応力-歪み曲線の初期の傾きから求めた。伸びは掴み具間距離の初期長さを基準として求めた。試験はおおの5回行い、その平均値を算出した。

【化学的耐熱性】示差熱重量同時測定装置（DTG-60AH、（株）島津製作所製）により評価した。5%重量減少温度（ T_{d5} ）、10%重量減少温度（ T_{d10} ）、及び600℃における残渣率（ RW_{600} ）を求めた。測定は窒素気流下で行い、昇温速度は10℃/minとした。

【線熱膨張係数】熱機械測定装置（TMA-60、（株）島津製作所製）により評価した。短冊状試験片（長さ10

mm、幅5 mm）に5 mNの引張り荷重を印加して昇温測定を行い、100℃から200℃までの変位から線膨張係数（CTE）を求めた。

【動的粘弾性測定】動的粘弾性測定装置（DMS-6000、セイコーインスツルメンツ（株）製）により測定した。測定は短冊状試験片（長さ30 mm、幅5 mm）を用いて周波数10 Hz、昇温速度5℃/min、及び印加ひずみ0.2%の条件で実施した。損失正接（ $\tan \delta$ ）のピーク値をガラス転移温度とした。

3. 結果と考察

3.1 環状カーボネートの合成

前述の方法により環状カーボネートを白色粉体として得た。赤外分光分析の結果（図1）から、エポキシ基に基づく吸収（909 cm^{-1} ）が消失し、カーボネートのカルボニル基に基づく吸収（1792 cm^{-1} ）が発現したことを確認した。GPCによる反応追跡結果（図2）より、本実験系では6時間の攪拌操作を行ったが、3時間以降は分子量分布に変化がないことから、実質的に3時間程度で反応は終了していると推測された。収率は98.2%、重量平均分子量は2,390だった。

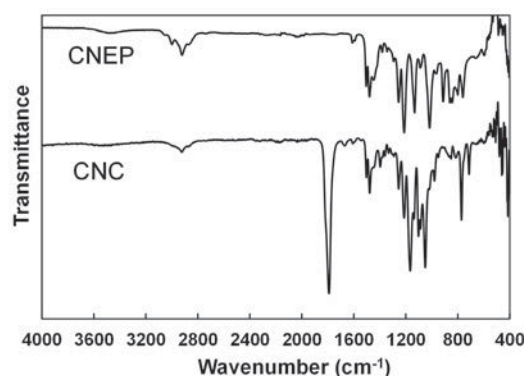


図1 CNEPとCNCのFT-IRスペクトル

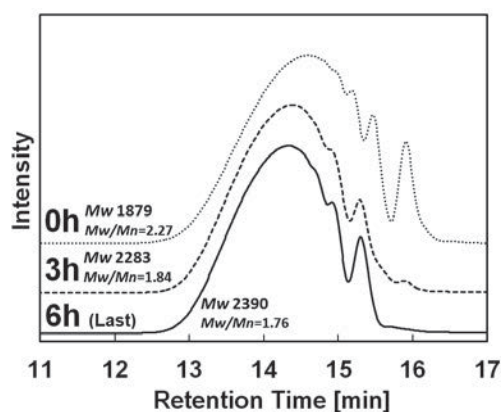


図2 GPCによる反応追跡

3.2 ポリヒドロキシウレタン系ネットワークポリマー (PHU) の熱機械的特性

調製した PHU フィルムは黄褐色透明で可とう性に富んでいた (図 3)。赤外分光分析の結果 (図 4) から、カーボネートのカルボニル基に基づく吸収 (1792 cm^{-1}) が消失し、ウレタン結合に基づく吸収 (1694 cm^{-1} ~ 1697 cm^{-1}) が発現したことを確認した。PHU8 ではほぼ完全にカルボニル基の吸収が消失したものの、PHU6、PHU4、そして PHU2 の順に残存するカルボニル基の吸収が大きくなった。短鎖ジアミンを用いた PHU ほど反応率が低かったと推測される。



図 3 PHU フィルム (PHU2)

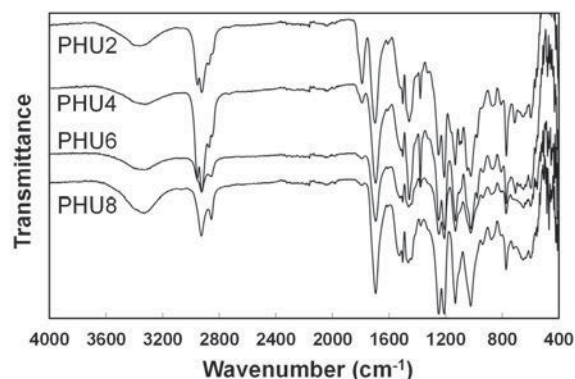


図 4 PHU の FT-IR スペクトル

得られたフィルムからダンベル状試験片を打ち抜いて引張特性を評価した。フィルムの機械的性質を表 1 に、応力-ひずみ線図を図 5 に示す。その結果、鎖長が短いジアミンを用いた PHU ほど引張強さ、及び弾性率が高い傾向にあった。その一方で伸びはその反対の傾向があった。引張応力は PHU2 の 84.5 MPa から PHU8 の 55.3 MPa の範囲にあった。また、表 2 に示すように線膨張係数 (CTE) は PHU2 の $119\text{ ppm/}^\circ\text{C}$ から PHU8 の $185\text{ ppm/}^\circ\text{C}$ の範囲にあった。鎖長が短いジアミンを用いた PHU ほど CTE が小さい傾向にあった。

PHU フィルムの貯蔵弾性率 (E') 及び損失正接 ($\tan \delta$) の温度依存性を図 6 に示す。ガラス転移域における E' の勾配は PHU 合成に用いたジアミンの鎖長によって大きな変化は見られなかった。 E' の転移域は、ジアミン鎖長が短い PHU ほど高温側にシフトした。ゴム状平坦域の E' はジアミン鎖長によらずほぼ一定の値を示した。PHU のガラス転移温度 (T_g) は、 $\tan \delta$ のピーク値から PHU8 の 96.6°C から PHU2 の 132.6°C の範囲にあった。鎖長が短いジアミンを用いた PHU ほどパッキング効果によって分子運動が抑制されているために、引張応力、弾性率、及び T_g が高い傾向にあると考えられる。同様に伸びや CTE はその反対の傾向を示したと考えられる。

表 1 PHU の構造と機械的性質

Sample	$\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_n-\text{NH}_2$	Preparation Ratio ¹⁾	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Strain (%)
PHU2	$n=2$	13.37	84.5	4.78	1.91
PHU4	$n=4$	19.61	71.7	3.29	2.53
PHU6	$n=6$	25.85	59.8	2.88	2.72
PHU8	$n=8$	32.10	55.3	1.78	2.77

1) ジアミンの仕込み重量比 (対 CNC 100 g)

表 2 PHU の熱的性質

Sample	$T_{d5}^{1)}$ ($^\circ\text{C}$)	$T_{d10}^{2)}$ ($^\circ\text{C}$)	$Rw_{600}^{3)}$ (%)	$CTE^{4)}$ ($\text{ppm/}^\circ\text{C}$)	$T_g^{5)}$ ($^\circ\text{C}$)
PHU2	249	260	20.7	119	133
PHU4	276	296	14.4	148	129
PHU6	287	312	11.5	152	112
PHU8	296	318	8.6	185	107

1) 5 wt% 重量減少温度, 2) 10 wt% 重量減少温度, 3) 600 $^\circ\text{C}$ 残差率,

4) 線熱膨張係数 (100 $^\circ\text{C}$ ~ 200 $^\circ\text{C}$), 5) ガラス転移温度

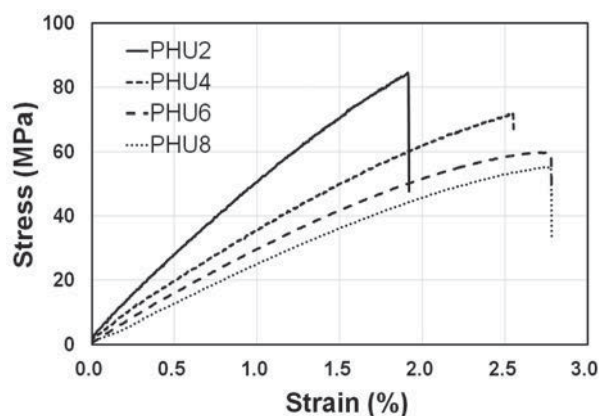


図 5 PHU フィルムの応力-歪み線図

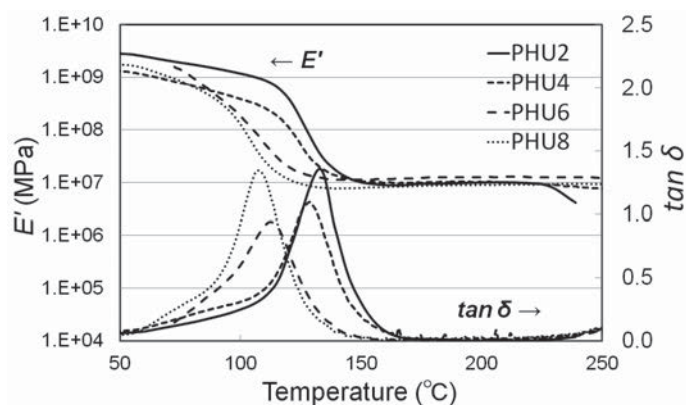


図6 PHU フィルムの動的粘弾性測定結果

4. 結 言

α-クレゾールノボラックを基材とした多官能五員環カーボネートから、ネットワーク構造を有するポリヒドロキシウレタン (PHU) を調製した。得られた PHU フィルムは褐色透明で可とう性に富み、PHU がネットワーク化されたことで機械特性の向上が達成された。動的粘弾性測定より 107 °C ~ 133 °C という高いガラス転移温度を示すとともに、熱重量分析より 5 % 重量減少温度が 249 °C ~ 296 °C という高い熱安定性を有することがわかった。また、PHU の熱分解過程は 2 段階からなることが確認された。そのうち第 1 段階目

の分解はおもにウレタン結合の解離によるものと推測され、またそれに合わせて尿素結合の生成が示唆された。

PHU は分子設計の自由度が高く、またネットワーク化の進展により一層の高性能化・高機能化ができると考える。また、CO₂ の炭素資源としての利用法としてもその効果は高い。今後、シート材やライニング材としての応用を目指して、密着性や防耐水性等の実用試験を行いたい。

参考文献

- [1] N. Kihara and T. Endo, J. Org. Chem., 58, 6198 (1993).
- [2] 遠藤剛, 落合文吾, 化学, 63, 34 (2008).
- [3] 遠藤剛, 落合文吾, 日本接着学会誌, 45, 118 (2009).
- [4] H. Tomita, F. Sanda, and T. Endo, J. Polym. Chem. Part A: Polym. Chem., 39, 851 (2001).
- [5] N. Kihara, Y. Kushida, and T. Endo, J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem., 34, 2173 (1996).
- [6] Y. Ochiai, Y. Satoh, and T. Endo, Green Chem., 7, 765 (2005).
- [7] N. Kihara, N. Hara, T. Endo, J. Org. Chem., 58, 6198 (1993).
- [8] 市瀬英明, 里見暢子, 古川信之, 遠藤 剛, ネットワークポリマー論文集, 39, 111 (2018).

健康維持と美味しさを求めるアクティブシニアのための食品開発

食品・環境科 主任研究員 横山 智 栄
食品・環境科 主任研究員 玉 屋 圭
食品・環境科 主任研究員 松 本 周 三

長崎県では全国平均より高い推移で高齢化率が進行しており、高齢者向けに健康機能性を有する食品開発が望まれている。食生活の西洋化により簡便な畜肉加工品の消費量が伸びている一方で、慢性的な便秘で悩むシニアは増加しており、健康面への悪影響が危惧されている。そこで本研究では、アクティブシニアが健康増進を図るために栄養成分を手軽に摂取する方法として、食物繊維の豊富なおからを含有した畜肉製品の開発を試みた。ソーセージなどの畜肉加工品におからを含添加させると食感の悪くなることが問題となっており、このことを改善する加工方法について検討した。その結果、こんにゃく粉とカラギーナンを練り肉に混合させると、デンプンを使用したものより畜肉加工品の試料強度を高めることができ、食感を改善する効果がみられた。

1. 緒 言

日本人の平均寿命と健康寿命との間には約 10 年の差があるといわれている¹⁾。高齢者が自立した生活を送るためには、健康寿命を延ばすことが重要であり、阻害要因である生活習慣病の早期予防に取り組む必要がある。

長崎県は高齢化率が全国平均より高く²⁾、高齢化の進行している地域である。高齢者人口のうちの約 8 割は「アクティブシニア」と呼ばれている元気な高齢者である。この層の市場開拓は食品産業界の課題であり、県内食品製造企業からもアクティブシニア向けの食品開発が強く求められている。

日本では食生活の西洋化などの影響を受け、肉消費量が増加し、特に近年は調理が簡便な畜肉加工品の消費量が伸びている。一方で、慢性的な便秘で悩むシニアは増加しており、健康面への悪影響が危惧されている。

おからは豆腐製造時に産業廃棄物となるが、食物繊維が豊富であり、ミネラル、ビタミンなどが含まれており、機能性のある食品原料として近年注目される。しかし、おからを添加すると歯ごたえが無くなることによる食感の低下が問題となっており、破断応力を高めることで、食感を向上させる必要がある。おから含有畜肉加工品の開発に関しては、これまでも報告³⁾があるが、数は少ない。そこで本研究では、アクティブシニアが健康増進を図るために栄養成分を手軽に摂取する方法として、食物繊維の豊富なおからを含有しながらも、食感を向上させた畜肉製品の開発を試みた。

2. 実験方法

2.1 試 料

乾燥おからは県内豆腐製造業者より入手したものを試験に供した。こんにゃく粉、カラギーナン、豚ひき肉（赤身 80%）等の材料は市販品を使用した。なお、片栗粉は馬鈴薯デンプン 100%のものを使用した。

2.2 練り肉の調製

表 1 に示す割合で配合し均一に混ぜ合わせ、おからを 13.2% ～ 15.6% 配合した練り肉を調製した。おからを配合した練り肉の調製には、つなぎとして片栗粉を使用している例もあることから、対象区として片栗粉添加の試験区も設けた。すなわち、豚肉のみ、ゲル化剤のみ、豚肉とゲル化剤混合、豚肉と片栗粉混合の計 4 試験区を調製した。なお、水はこんにゃく粉の膨潤を目的として使用した。

表 1 練り肉の配合表

	豚肉 のみ	ゲル化剤 のみ	豚肉 +ゲル化剤	豚肉 +片栗粉
乾燥おから	—	5 g	5 g	5 g
こんにゃく粉	—	1 g	1 g	—
カラギーナン	—	1 g	1 g	—
水	—	30 g	25 g	20 g
中華調味料	—	1 g	1 g	1 g
豚ひき肉	40 g	—	5 g	5 g
片栗粉	—	—	—	1 g
塩	0.3 g	—	—	—

2.3 加熱

φ50 mm×H20 mm に成型後、蓋をしたフライパンで10分蒸し焼きにした。その後、試料を室温（25℃）に1時間放置し、放冷したものを物性測定に供試した。

2.4 物性測定

加熱した各試験区の試料について、クリープメーター（RE2-33005C（株山電製））を用いて破断応力を測定した。測定条件として、プランジャーはW13×30°先端1 mm 幅平面くさび型を使用し、格納ピッチ0.1 sec、測定歪率99 %、測定速度1 mm/sec とした。

解析はクリープメーター用自動解析ソフトウェア（破断強度解析 Windows ver.1（株山電製））にて行い、破断応力（Pa）を硬さとした。

3. 実験結果および考察

試料のゲル強度を図1に、豚肉のみの試験区を100 % としたときの各試験区における試料の破断強度比を表2に示した。

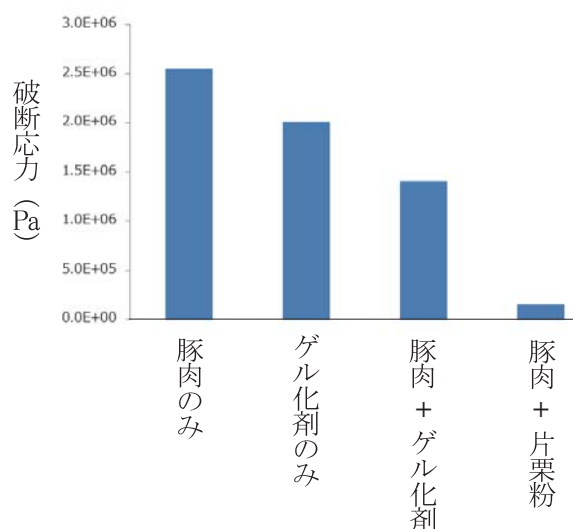


図1 各試験区における試料の破断応力

表2 各試験区における試料の破断強度比

	破断強度比
豚肉のみ	100 *
ゲル化剤のみ	78.9
豚肉+ゲル化剤	55.1
豚肉+片栗粉	6.0

*：豚肉のみの試験区を100%とした

表2の結果より、破断強度は豚肉のみ、ゲル化剤のみ、ゲル化剤と豚肉との混合、豚肉と片栗粉の混合区の順に低下した。また、豚肉とゲル化剤を混合すると豚肉またはゲル化剤単独のものより破断強度が低下した。

豚肉は加熱されることで、たんぱく質の網目状のゲルが形成される。こんにゃく粉に含まれるコンニャクグルコマンナンとカラギーナンも混合し加熱すると、熱不可逆性の網目状のゲルを形成する。しかし、豚肉とゲル化剤を混合するとそれぞれのゲル形成力が弱まり、結果として試料強度の低下を招いたものと考えられた。また、コンニャクグルコマンナンとカラギーナンのゲル化剤を使用した試験区の方が片栗粉を使用したものより破断強度は高かった。ゲル強度は、コンニャクグルコマンナンとカラギーナンの混合系の方が、片栗粉の成分である馬鈴薯デンプンより高いことが示唆された。

以上の結果、コンニャクグルコマンナンとカラギーナンとを用いてゲル化補強を行うことにより、おからを形成した畜肉加工品のゲル形成能の向上がみられた。コンニャクグルコマンナンとカラギーナン混合系の主要な網目構造はカラギーナン同士によって形成され、コンニャクグルコマンナンはカラギーナンと弱い結合により相互作用するものと考えられる^[4]。

おからを10 %程度含有させた畜肉加工品は、カラギーナンなどのゲル化剤を加えてゲル化を補強することにより試料の強度が高まり、従来品と比べて食感の向上したものに加工できることが明らかとなった。今後、おからを活用した食物繊維を含む新規畜肉製品の開発が可能になるものと考えられた。

参考文献

- [1] 平成27年版高齢社会白書（概要版）。
- [2] 国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口」（平成29年推計）。
- [3] 多田耕太郎、寺島晃也：オカラ含有ソーセージの開発、富山県食品研究所研究報告,6,57-63(2008)。
- [4] 吉村美紀：食品混合ゲル、日本調理科学会誌, 34,4,424-431(2001)。

五島つばき酵母を活用した加工食品の開発

食品・環境科	主任研究員	松 本 周 三
食品・環境科	主任研究員	横 山 智 栄
食品・環境科	研 究 員	晦 日 房 和
食品・環境科	科 長	河 村 俊 哉

椿の島として有名な五島列島でヤブツバキの花等から *Saccharomyces cerevisiae* が分離され、「五島つばき酵母」と名付けられた。これらの酵母を利用した酒類を開発するため、吟醸香の香気成分である、酢酸イソアミルを高生産する酵母の育種を行った。紫外線照射により変異処理を行った五島つばき酵母を 500 µg/mL 5, 5, 5-トリフルオロロイシンを含む最小寒天培地で培養し、コロニーを形成した株を酢酸イソアミル高生産候補株として分離した。これらの候補株で麴エキスパ地を発酵させ、酢酸イソアミル濃度を GC/MS で分析した。親株と比較して、高い数値を示した菌株を、酢酸イソアミル高生産酵母とした。

1. 緒 言

日本有数の椿の島として有名な五島列島は、約 900 万本のヤブツバキが自生しており、椿を活用した地域振興の機運が高まっている。長崎県では、これまでに新規搾油法によるツバキ油やツバキの葉を活かしたツバキ茶の開発を行ってきたが、引き続き、新たな需要を生み出す商品の開発が望まれている。五島市商工会においては、そのような期待を受け、椿に関連する新たな地域資源として、ヤブツバキの花等から複数の *Saccharomyces cerevisiae* を分離した。これらを「五島つばき酵母」と命名し、酵母を活用した加工食品を開発するため、平成 26 年度から工業技術センターと五島市商工会で共同研究を開始した。

酵母を利用した食品としてはパン、醤油、味噌、酒類等が挙げられる。そのうちの酒類については、近年、販売数量が減少を続けており、消費をいかに取り込むかが課題の 1 つとなっている。幅広い嗜好に対応するために製品を多様化し、さらに市場で販売されている製品との差別化を図る必要がある。これと併せて、新たな酵母の開発が数多く行われている。各県では、地域性を活かした独自酵母の開発が進められており、長崎県においても香気や呈味に特徴を有した酵母の開発が望まれている。これまで、本研究では地域特性を活かしたこの五島つばき酵母を親株にして、吟醸香の主要な香気成分であるカプロン酸エチルの高生産酵母の育種を行った。今年度は吟醸香のもう一つの主要な香気成分である酢酸イソアミルを高生産する酵母の育種を行った。

清酒もろみにおいて酢酸イソアミルが生成するには、

その前駆体であるイソアミルアルコールが必要となる。5, 5, 5-トリフルオロロイシンに耐性を有する株は、ロイシンからイソアミルアルコールが生合成される経路において、フィードバック阻害を受けにくいため、イソアミルアルコール濃度が上昇することが明らかになっている¹⁾。よって、トリフルオロロイシン耐性株の分離及びそれらの菌株からの酢酸イソアミル高生産酵母の選抜を行った。

2. 実験方法

2.1 トリフルオロロイシン耐性株の分離

親株には五島つばき酵母の中からアルコール発酵性が高い菌株を使用した。変異処理は紫外線照射により行った。トリフルオロロイシン耐性株の分離は Ashida らの方法²⁾を参考に行った。YPD 液体培地で 30℃、48 時間静置培養した五島つばき酵母を生理食塩水で 1 回洗浄後、10⁶ cell/mL になるよう生理食塩水で希釈し、直径 45 mm のシャーレ上に広げた。生菌数が 1% 程度になるように、光源から約 20 cm の位置にシャーレを置いて、15 W の紫外線ランプを 120 秒間照射した後、2,000 × g、3 分間、遠心分離した。上清を除去した後、菌体を再度少量の生理食塩水に懸濁し、500 µg/mL 5, 5, 5-トリフルオロロイシンを含む最小寒天培地に接種し、30℃、4 日間培養した。コロニーを形成した菌株をトリフルオロロイシン耐性株とし、その中からコロニーの径が大きい菌株を選抜した。

2.2 酢酸イソアミル高生産酵母の選抜

YPD 液体培地 3 mL にトリフルオロロイシン耐性を



図1 トリフルオロロイシン耐性株の最小寒天培地上のコロニー
左；コントロール（5,5,5-トリフルオロロイシンなし）、右；500µg/mL 含有
C；コントロール（親株）、1、2、3、4；各酢酸イソアミル高生産候補株

有する14株、親株、きょうかい酵母901号を接種した。30℃、48時間、静置培養後、2,000×g、5分間、遠心分離し、上清を除去した。生理食塩水1mLを加えて菌体を洗浄後、再度2,000×g、5分間、遠心分離し、上清を除去した。洗浄は2回行った。沈殿した菌体を少量の滅菌水で懸濁し、Brix 20に調製した麴エキスピ地10mLに添加した。30℃、7日間、静置培養後、上清をGC/MSで分析した。装置は450GC-240MS system（バリアン）、カラムはInertCap Pure-WAX（内径0.25mm、長さ60m、膜厚0.25µm）（GLサイエンス株）を用いた。カラムオープン温度は50℃で10分間保持し、180℃まで10℃/分、220℃まで20℃/分で昇温し、5分間保持した。注入口温度は220℃、注入方法はスプリット注入、スプリット比は10:1、キャリアガスはHe、流速は1.2mL/分で分析した。試料はバイアルに上清0.9mL、カプロン酸メチルを10%エタノール溶液で0.1mg/Lに調製した内部標準液0.1mLを添加した。50℃、20分間保温し、気相900µLを注入した。

3. 結果及び考察

紫外線による変異処理を行った五島つばき酵母から、酢酸イソアミルを高生産する候補株として14菌株のトリフルオロロイシン耐性株を分離した。図1は5,5,5-トリフルオロロイシンを添加していない最小寒天培地と500µg/mL添加した培地上における、候補株のコロニー形成の様子である。500µg/mL添加した培地上では親株が増殖できないことが確認できる。

これらの候補株を用いて発酵試験を行い、香気成分を分析した濃度の比を図2に示した。酢酸イソアミルの含有量は候補の全株が親株及びきょうかい酵母901号より多かった。しかし、残存するイソアミルアルコ

ール濃度比も全株で高かった。酢酸イソアミル／イソアミルアルコール比についてはきょうかい酵母901号より全株低く、多量のイソアミルアルコールは劣化臭の原因となるため、さらなる改善が必要である。

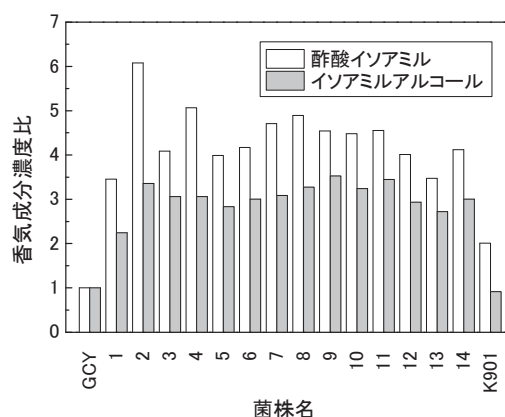


図2 麴エキスピ地発酵液の香気成分濃度比
GCY; 五島つばき酵母、K901; きょうかい酵母901号

4. 結 言

本年度の分離した *Saccharomyces cerevisiae* のトリフルオロロイシン耐性株から酢酸イソアミル高生産株を分離することができた。今後はこれらの菌株のさらなる育種を行うとともに、小仕込み試験を行い、酒造適性を調べる。

謝 辞

本研究を行うにあたり、酵母をご提供いただいている五島市商工会に謝意を表します。

参考文献

- [1] S. Ashida, E. Ichikawa, K. Suginami, S. Imayasu, Agric. Biol. Chem., 51 (8), pp. 2061-2154 (1991) .

新規電解槽の開発

食品・環境科 専門研究員 大 脇 博 樹

国内における消費者の「魚離れ」が進行し、国民1人1日当りの水産物の摂取量が減少傾向にある一方、欧米での健康志向の高まりやアジア諸国、インド等の経済発展に伴って世界的には水産物の消費量が急速に増加し、水産物の貿易量も急速に増大している。今後も水産物の需要は拡大することが予測されるが、天然水産資源は有限であり、天然水産物の漁獲量は頭打ち状態となってきたことから、今後は養殖による生産量の増大が必要不可欠であり、生産された水産物を流通させるための鮮度保持技術の発展も重要な課題となる。また、生産された水産魚介類を生きたまま流通させる活魚輸送は、水産物の高付加価値化を目指す上では非常に重要である。

本研究開発では、海水電解を利用して海水魚介類を水換え無しで高密度・長時間飼育するための海水浄化システムの高度化を目指して、この海水浄化システムで利用するための新規電解槽の開発に取り組み、新たな構造の電解槽内の流れの解析や、この電解槽を使用した魚の飼育試験を実施して、その性能を確認した。

1. 緒 言

世界的な水産物消費量の増大に伴って、世界的に漁業・養殖業を合わせた水産物生産量は増加し続けている。1960年以降、世界の漁業・養殖業を合わせた生産量は増加し続けているが、その中の漁船漁業生産量は1980年代後半以降頭打ち傾向が続いているのに対して、養殖業生産量は著しく伸びている¹⁾。天然資源の管理の重要性が示されていることもあって、今後養殖業の重要性は増していくものと思われる。

一方国内では、魚介類消費量の減少が続くなどマーケットが小さくなっているが、水産物の輸出は増加傾向にあり、特に経済成長の著しい東アジアに対しても長崎県産の高品質な水産物の輸出拡大が求められている。鮮魚については、県内の民間企業が20年程前から中国市場への輸出を行っており、鮮度保持の観点から2005年より航空便が利用され、その後輸出量は年々増加して高級品として高値で取引されている。しかしながら、航空便での活魚輸送は困難であり、生きたまま輸送する技術・装置の開発が求められている。

これらの背景のもと、当センターでは、海水魚を水換え無しに陸上で飼育するために必要となる海水浄化技術として、海水電解を利用した海水浄化システムの開発を行い、活イカ輸送装置の開発や閉鎖循環式陸上養殖システムの構築に向けた検討を行っている。

本研究開発では、上記海水浄化システムに適用するための、陽極水と陰極水を分離でき、海水を電気分解する際に問題となる陰極表面へのスケール析出を抑制できる新たな構造の電解槽を開発することを目的とした。本年度は、考案した電解槽内の流れの解析を、コ

ンピュータシミュレーションを用いて行い、試作した電解槽を使ったクエの飼育試験を行って、陰極表面に析出するスケールの析出状況を確認した。

2. 電解槽内流れのコンピュータシミュレーション

新たに考案した新規電解槽（図1）内の流れを、コンピュータシミュレーションを用いて解析した。

電解槽は、外筒の内部に陽極水と陰極水を分離するための内筒が入っており、陰極水は電解槽上部側面から流入して電解槽下部側面から排出するようになっている。上から下への直線的な流れではなく、らせん状の流れとすることによって流速が大きくなることを期待している。

流れの解析は、スケールが析出する陰極水のみに限定し、2次元モデルを作成して計算した。



図1 解析に使用した電解槽外観（試作品）

3. クエの飼育試験

コンピュータシミュレーションを行った電解槽を使用してクエの飼育試験を実施し、陰極表面のスケール析出状況を確認した。使用したクエは約500g/尾を20尾で計8kg、飼育水槽（200L容）、沈殿槽、物理濾過槽（20L）、泡沫分離装置（（株）プレスカ製FSR-002P）、温度コントロール装置（26℃に維持）、

前記電解槽、活性炭槽、循環ポンプ、酸素供給装置を備えた飼育システムを構築して（図2）、15 L/分で飼育水を循環・浄化し、3日毎に飽食給餌を行いながら水換え無しで3ヶ月間飼育した。飼育水量は150 Lであったため、クエの飼育密度は5.6%であった。

1週間毎に電解槽を分解して陰極表面へのスケールの析出状況を確認した。

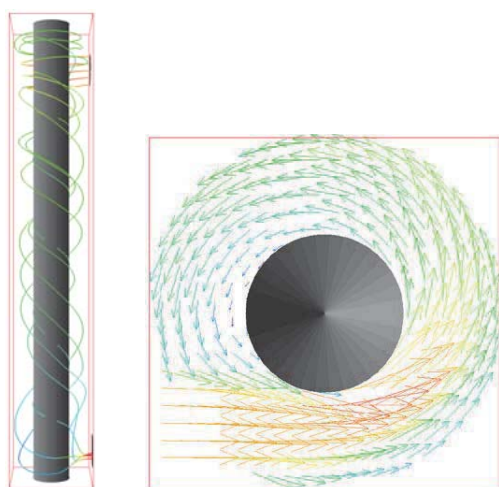


図2 クエ飼育システム外観

4. 結果及び考察

4.1 電解槽内流れのコンピュータシミュレーション

今回のシミュレーションで、電解槽上部側面から流入した飼育水は、当初期待していたとおりらせん状の流れとなって電解槽内を流れていることが確認できたが、電解槽出口付近ではその流れが遅くなっていることも確認された。クエを使った飼育試験でも、陰極の電解槽出口付近にスケールが析出することが確認できており、今回のシミュレーション結果と一致している。流入口付近の流速を維持できれば、スケール析出



a : 側面

b : 上面

図3 電解槽内の流れの解析例（Streamline）

が抑制できる可能性もあるため、今後、電解槽内の流速を維持する構造について検討を進める予定としている。

4.2 クエの飼育試験

3か月間の飼育期間中、クエの斃死等の問題は発生せず、順調に飼育することができた。この間、電解処理によりクエの排出するアンモニアは分解除去され、0.5 ppm から 10 ppm の範囲で推移した。クエのアンモニア排泄量と電解により除去されるアンモニア量のバランスにより、飼育水中のアンモニア濃度は変化する。飼育水中アンモニア濃度が 10 ppm 以上にならないように、できるだけ一定の電流値で電解を行うように電解条件を設定した。

陽極水中の過剰のオキシダントは、電解槽と飼育水槽の間に設置した活性炭槽で分解される。電解槽で分離された陰極水は、活性炭槽を通過せずに飼育水槽に戻るため、オキシダントを含む陽極水との分離が不十分な場合は、飼育水槽中にオキシダントが流入することになるが、今回の試験中は飼育水中にオキシダントが混入することはなく、陽極水と陰極水の分離が問題なく行われていたことが確認された。

電解槽は、1週間に1度分解し、陰極のスケール析出状況を目視にて確認した。約2週間で、電解槽出口付近の陰極表面にスケールの析出が確認されたため、電極表面を研磨し、スケールを除去してから飼育システムに再度組込んで試験を継続した。同じサイズの電解槽、同じ流量で、流れをらせん状にしなかった評価では、1週間以内にスケールが析出していたこと、スケールが陰極全体に生じていたことから、電解槽内の流れをらせん状にして流速を上げることでスケール抑制効果が得られたものと推察された。

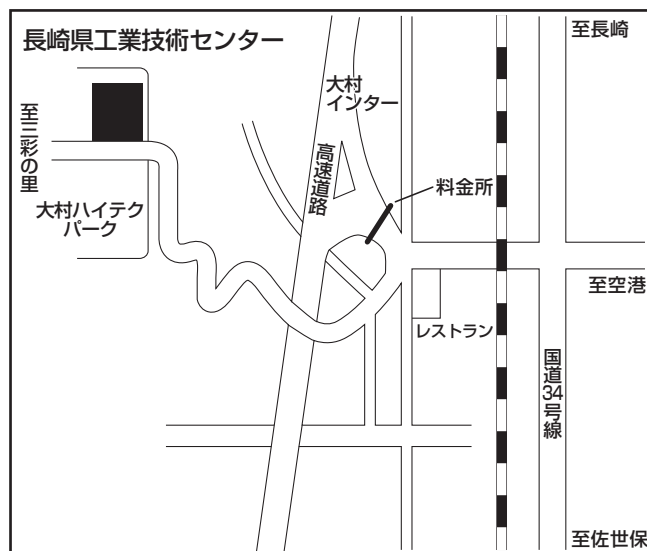
謝 辞

電解槽のコンピュータシミュレーションを実施していただいた、独立行政法人国立高等専門学校機構 佐世保工業高等専門学校 物質工学科 城野祐生 准教授と物質工学科5年生の重信賢直 氏に謝意を表する。

参考文献

- [1] “第2章 第3節 水産業をめぐる国際情勢” 水産白書,平成29年度版,水産庁,2017,pp.97-102.
<http://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/29hakusyo/attach/pdf/index-13.pdf>, (参照 2018-7-20).

位 置 図



- 大村駅から車で10分
- 長崎空港から車で13分
- 大村ICから車で3分

発行日：平成30年10月1日

発行所：長崎県工業技術センター

〒856-0026 大村市池田2丁目1303番地8

TEL 0957-52-1133

FAX 0957-52-1136

ホームページ <http://www.pref.nagasaki.jp/section/kogyo-c/>

森林を保護し、地球温暖化を防止するため、
古紙パルプ配合品を使用しています。