

新 創 見 創

学校法人 長崎総合科学大学
大学院 新技術創成研究所 所報

第 13 号

2018年 3 月

Institute for Innovative Science and Technology

Nagasaki Institute of Applied Science

巻 頭 言

アナログとAI

長崎総合科学大学 新技術創成研究所
学術教授

黒 川 不二雄



アナログという言葉の反義語としては、デジタルが直ぐに諸氏の頭に浮かぶことと思う。アナログ世代とかアナログ的思考というとか何かくさくて性能の良くないものや時代遅れといったイメージが漂う。一方で、デジタル世代とかデジタル的思考というとか若くてフレッシュなイメージや最新の技術といったものを指すことが多い。

信号処理の世界でもアナログ技術よりもフィルタリングが容易で、信号の分別や合成、誤り検出・訂正、暗号化に優れ、ハードウェアもCPUやDSP（Digital Signal Processor、デジタル信号処理専用のプロセッサ）といったプログラムで内容を簡単に書き換えられるデジタル技術の方が主流として広く使われるようになってきている。一方で、アナログ技術は、基本的にデジタル技術を寄せ付けない応答性の良さとか、一般には安価であるといった優れた点を持っているため、特定の分野では根強い需要がある。

世の中の電化生活を支えている電源も、その膨大な生産量のため、低コスト化を求められることからアナログ技術が根強く用いられている代表的な例である。その電源においても、近年は、情報通信分野やEV（電気自動車）、再生可能エネルギー分野を始めとして、デジタル制御技術が広く使われるようになってきている。このような分野では、電源が孤立して運用されるのではなく、モニタリングやエネルギーマネージメントを始めとするデータのやりとりが発生しており、これらはアナログ技術では難しく、デジタル技術の独断場と言って良い。

アナログ制御の下では、電源にとって負荷である電子機器へ供給する電圧を一定に保つということだけが目標であったが、デジタル制御の下では、他の電源との協調動作や上位の監視装置との情報交換といった周囲との関係に絡んだ運用が重要になってきている。今後、IoT（Internet of things）普及に伴い、電源の急増と共に行き交う情報量も天文学的に増えることが予想される。

そのような時代では、デジタル技術は必須であるが、通信量に関しては、アナログ技術の時代のように何もないことが望ましいという矛盾をはらむ。そこで、今話題のAI（人工知能）の制御分野における本格的な導入が求められることになる。AI導入に当たっては、ディープラーニングのように大量のデータが要求されるが、一方で各電源が他の電源の動作を予測することで、通信無しで運用出来るという正に“人間並みの制御・運用”が出来る可能性が極めて大きい。

AIというと、目に見える人間のようなロボットに注意が行きがちであるが、見えないところの機器の制御や設計をやれるようになって始めて本領を発揮するのではないだろうか。私の研究も含めて、今後のAIに拘わる本学の多くの研究者の活躍を見守って戴きたい。

そして、“アナログとデジタル”という新旧比較の時代から、デジタルがAI技術に飲み込まれ、“アナログとAI”が新旧として比較される新時代を早く迎えたいものである。

追悼「故 大場先生を偲んで」

長崎総合科学大学副学長 野 瀬 幹 夫



本学総合情報学部長である大場和彦教授は、平成30年1月1日に逝去されました。

大場先生は、昭和22年に島根に生誕され、昭和46年（1971年）愛媛大学大学院農学研究科修士課程を修了され、同学農学部助手に着任。その後、昭和44年（1974年）より平成3年（1991年）まで農林水産省九州農業試験場、同年4月から平成19年3月まで、（独）農業食品産業技術研究機構・九州沖縄農業研究センター室長として奉職され、農業気象に関する多数の研究業績を修められると共に、日本農業気象学会九州支部長・理事評議員を長年務められ、同学会に多大なる貢献をされ、日本農業気象学会功績賞、同学会永年功労賞、平成27年には同学会フェローを受賞されております。

その後、平成20年（2008年）より、本学の環境・建築学部教授に着任され、現在に至るまで農業気象学の研究、教育を精力的になされました。本学では農業分野の研究を中心に、農薬を使わずに太陽熱を利用した、陽熱負荷量と土壌病原菌の消毒効果の研究、大村湾の環境保全に関わる調査を県内の小学校へ出向き、環境教育活動や長崎県内のバイオマス資源のエネルギー活用法の検討など、長崎県の様々な環境問題の解決するため精力的に取り組まれました。その中でも、長崎市東部下水処理場の「新型水熱処理プラント（メタサウルス）」の残渣を熱処理して取り出し、短時間でフミン酸やフルボ酸を増量させる新しい肥料製造法（特許出願中）を開発され、画期的な肥料「大地のめざめ1号」として肥料登録されるまでに至っております。これらの研究を精力的に遂行されながら10年間に多くの学部卒業生と6人もの博士の学位（本学出身3人、社会人博士3人）を輩出されたことは、非常に特筆すべきことで称賛に値するものです。これは、大場先生の「研究に対する姿勢」と「学生に対する温かい思いやり」の表れだと確信するものです。

大場先生グループのこの研究を海洋バージョンに展開して、本学のブランドの一つとしてスタートしていた矢先に先生が逝去された事は、本学にとって大きな痛手となりますが、先生が育てられた博士の方々が継承、発展されるものと思います。

一方、同時に平成23年から平成25年まで環境・建築学部長を、改組により平成26年から現在に至るまで、総合情報学部長として大学・学部の運営に多大なるご貢献をされました。

以上の本学の教育・研究・大学運営に対し、「強い意志」と「温かさ」は本学教員の模範とされるものであり、心より深く感謝申し上げます。

ここに多年に亘るご功績に対し、深く敬意を表し哀悼の意を表すものであります。

目 次

巻頭言

追悼「故 大場先生を偲んで」

I 技術論文

バイオメタン - バイオディーゼル燃料によるデュアルフューエル方式の直噴式ディーゼル機関への適用

松田 啓希, 小辻 伊義, 中野 隆樹, 平子 廉 …… 1

汚泥発酵肥料「大地のめざめ1号」の海洋肥料としての検討

—海洋環境を模した水槽実験を行うための海水成分の維持方法の検討—

下高 敏彰, 薄田 篤生, 大場 和彦 …… 7

BDF製造時に排出されるグリセリン廃液を利用したメタン発酵の応用

中道 隆広 …… 11

環境およびバイタルエネルギーを電源とするIoTに向けたシステムデザインに関する考察

—移動空間を想定した実証実験の一例から—

水野 裕志, 山口 祐資, 松井 信正 …… 17

構造変更による振動入力パワーの変動に関する研究

黒田 勝彦 …… 25

超音速ノズル内流れの実験的研究

松川 豊, 浦田 竜輔, 永川 凱基 …… 31

海藻生育を目的とした小型閉鎖循環システムの構築

市瀬 実里, 岡部 慎太郎, 野田 僚太, 村田 隼人, 八坂 達也 …… 37

クモの網に衝突するショウジョウバエの飛行経路推定

繁宮 悠介 …… 43

II 研究活動報告

1. 研究部門・研究センター活動報告 …… 49

2. 平成29年度戦略的研究成果報告書 …… 66

3. 講演会・セミナー開催状況 …… 91

第15回新技術創成研究所公開講演会 ～生命と環境～

中道 隆広 …… 92

4. 研究所員の研究活動状況 …… 93

CONTENTS OF TECHNICAL PAPER

Study on the Application of Bio-methane and Bio-diesel Fuel to Dual Fuel-type Direct Injection Diesel Engine MATSUDA Hiroki, KOTSUJI Tadayoshi, NAKANO Ryuki, HIRAKO Osamu	1
Examination as the sea compost of sludge fermentation fertilizer "Waking of the earth 1" - Study of the maintenance method of the seawater ingredient to perform a water tank experiment in imitation of marine environment— SHIMOTAKA Toshiaki, SUSUKIDA Atsuo and OHBA Kazuhiko	7
Application of the methane fermentation using glycerin waste fluid drained from biodiesel NAKAMICHI takahiro	11
Consideration on System Design for IoT utilizing Environmental and Vital Energy —A Case Study of an Experimental Verification Assuming Space Movement— MIZUNO Yuji, YAMAGUCHI Yusuke and MATSUI Nobumasa	17
A Study on Variation of Vibrational Input Power by Structural Modification KURODA Katsuhiko	25
Experimental study of supersonic nozzle flow MATSUKAWA Yutaka, URATA Ryosuke and EGAWA Yoshiki	31
Construction of small scale closed seawater recirculating system for growing sea algae ICHISE Misato, OKABE Shintaro, NODA Ryota , MURATA Hayato, YASAKA Tatsuya	37
Trajectory estimation of fruit flies flying into spider webs SHIGEMIYA Yusuke	43

バイオメタン - バイオディーゼル燃料による デュアルフューエル方式の 直噴式ディーゼル機関への適用

松田 啓希*, 小辻 伊義**, 中野 隆樹**, 平子 廉***

Study on the Application of Bio-methane and Bio-diesel Fuel to Dual Fuel-type Direct Injection Diesel Engine

MATSUDA Hiroki, KOTSUJI Tadayoshi, NAKANO Ryuki, HIRAKO Osamu

Fatty acid esters were synthesized with used edible oil to reduce CO₂. We investigated the operating characteristics when biogas and BDF dual fuel were applied to a direct injection type diesel engine. It was clarified that bio-gas was possible to use a direct injection diesel engine by the use as a dual fuel to reduce smoke and NO_x.

1. 緒言

石炭や石油, 天然ガスなどの1次エネルギー消費量の拡大に伴い, 化石燃料の枯渇や, CO₂の増加による地球温暖化, 環境汚染が近年大きな問題となっており, これらを解決する手段としてバイオディーゼル燃料 (BDF) やバイオガスを含む再生可能エネルギーに注目が集まっている。

バイオマスの一つである廃食油から製造されるバイオディーゼル燃料 (BDF) が, 既存のディーゼル機関へ適用可能であることは周知である。同じく再生可能エネルギーとして注目されているバイオガスについても, 軽油とのデュアルフューエル方式 (DFS) によるディーゼル機関への適用についての研究は数多くなされているが^{1),2)}, さらなるバイオ化を狙いとしたバイオガスと BDF との DFS についての研究例は少ない³⁾。本研究では, BDF とバイオガスの DFS の渦流室式ディーゼル機関への適応性について明らかにしてきたが⁴⁾⁶⁾, 本研究では, 現在主流である直噴式ディーゼル機関に適用した場合, BDF 燃料物性がディーゼル機関の運転に及ぼす影響について検討を行った。

2.1 BDF, バイオメタンの特徴

BDF やバイオメタンはバイオマスエネルギーの一つである。図1にガソリンを1とした時の各種燃料の Well-to-Wheel での CO₂ 排出量の比較を示す。BDF やバイオメタンはカーボンニュートラルの特性をもつことから, 地球温暖化の原因である CO₂ 排出削減が期待でき, 中でも廃食油から製造した BDF は廃食油を再利用して作られており, また, バイオメタンは下水や家畜の糞尿から作られるなど, 両者とも廃棄物を再利用している燃料であり, CO₂ 排出削減に大きな効果が期待できる。

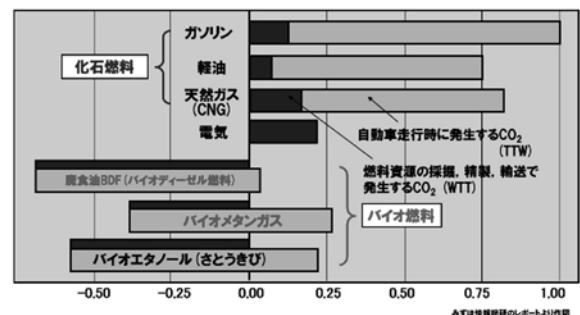


図1 Well-to-Wheel での CO₂ 排出量比較⁷⁾

2. バイオディーゼル燃料

* 長崎総合科学大学 大学院 工学研究科 生産技術学専攻
 ** 長崎総合科学大学 工学部 機械工学科
 *** 長崎総合科学大学 大学院 工学研究科 教授

2.2 M-BDF と E-BDF

通常、BDFは植物油（トリグリセリド）とメタノールを用いてエステル交換を行い製造した脂肪酸メチルエステルを指すが、本研究ではエタノールを用いて製造したBDFの研究も行っており、それらを区別するため、メタノールを用いて製造したものをM-BDF、エタノールを用いて製造したものをE-BDFと定義する。図2にそれぞれの化学式を示す。

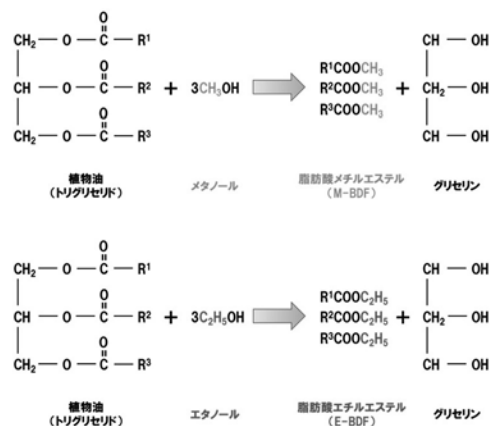


図2 M-BDF と E-BDF の化学式

2.3 E-BDF の製造方法

バイオディーゼル燃料の製造には様々な方法があるが、本研究では一般的に用いられるアルカリ均一触媒法を用いた。E-BDFの製造過程の概略図を図3に示す。中和操作や洗浄をしている際にBDFが白く濁る鹸化反応が度々起きてしまった。そこで、エトキシドを作る際に必要なアルカリ触媒の量や、反応の時間を調整することで、製造条件を最適化し、E-BDFの製造において安定した収率を得ることができた。

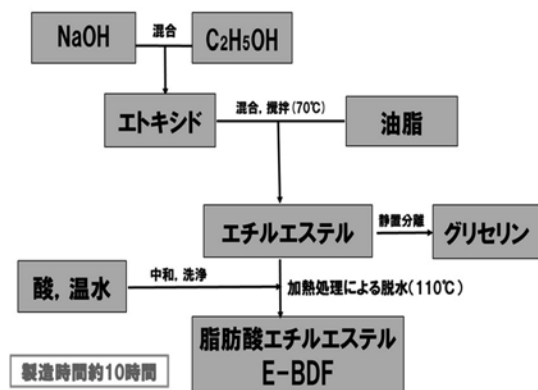


図3 E-BDF 製造工程

3. BDF の燃料物性

本研究では、菜種油とエタノール及び廃食油とエタノールから製造した菜種E-BDFと廃油E-BDF、(株)村里運輸様から提供していただいた廃食油とメタノールで製造した廃油M-BDFの3種類をエンジン試験の燃料として供試した。これらBDFを燃料としての使用するにあたり、エンジン燃料特性として動粘度、示差熱分析、発熱量、低温特性（曇り点、流動点）の調査を行った。

3.1 動粘度

動粘度は、燃料噴射ノズルから噴射される燃料の微粒化に影響を与える重要な指標の一つである。10℃～60℃における各種燃料の動粘度の計測結果を図4に示す。廃油E-BDF、ナタネ油E-BDF、廃油M-BDFの順に動粘度が低い傾向を示しており、BDFの中では廃油M-BDFが一番低い値となった。また、BDFは軽油より動粘度は大きい。京都規格により定められた数値である40℃で3.5～5.0mm²/sをほぼ満たしていることから燃料として使用できることを確認した。

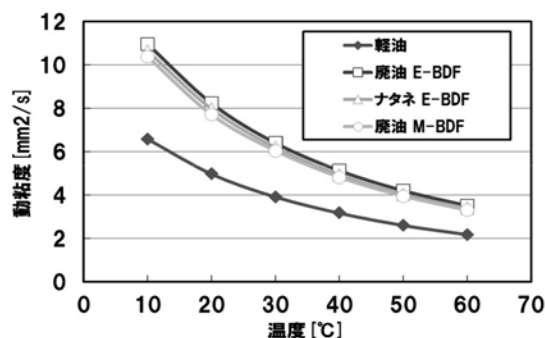


図4 各種BDFの動粘度温度特性

3.2 示差熱分析

燃料の燃えやすさの指標となる示差熱分析の各種燃料

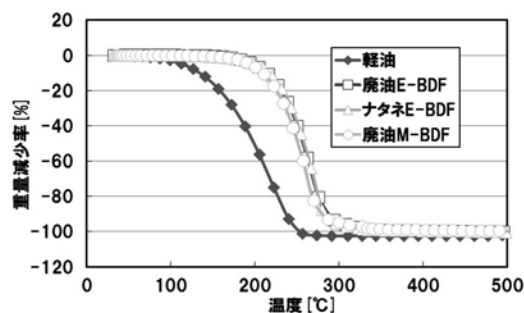


図5 示差熱分析による重量減少率

の結果を図5に示す。示差熱分析による重量減少率を比較すると、軽油に比べBDFの揮発燃焼温度は高温側にシフトしていること、また、廃油M-BDFは、廃油E-BDFとナタネE-BDFよりも揮発燃焼が始まる温度、終わる温度が低温側へとシフトしていることを示している。

3.3 発熱量

燃料が保有するエネルギーの指標となる発熱量の測定には吉田製作所製熱量測定装置-Jを使用した。通常、熱量測定装置では高位発熱量しか測定できないため、測定した高位発熱量から計算によって算出した蒸発潜熱を差し引き、低位発熱量を求めた。各種燃料の低位発熱量を図6に示す。軽油に比べ各種BDFは約15%程度低い値を示したが、BDF間では有意差は認められなかった。

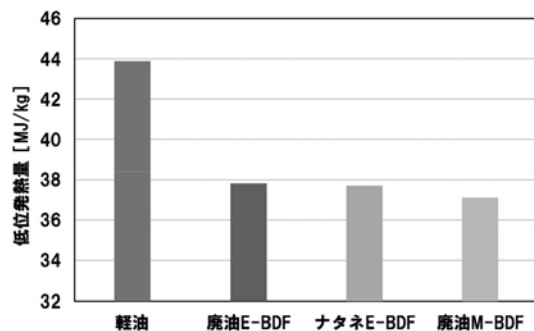


図6 低位発熱量

3.4 低温特性 (曇り点, 流動点)

各種燃料の曇り点および流動点の計測結果を図7に示す。ナタネE-BDFは廃油BDFと比べ、曇り点はほぼ同等の値、流動点は低い傾向を示した。これは、ナタネE-BDFよりも廃油BDFに不純物が多く含まれていることが要因

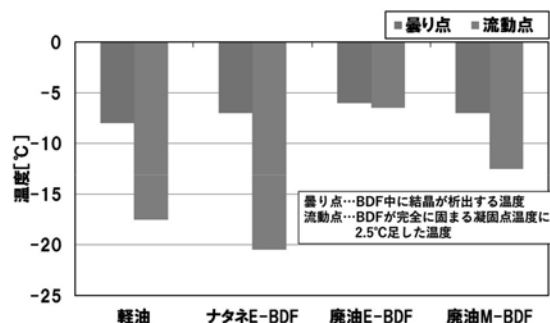


図7 低温特性 (曇り点, 流動点)

として考えられる。また、ナタネE-BDFは曇り点、流動点ともに軽油と同等の値の結果となり、寒冷地での使用にも問題はないことが確認された。

4. エンジン燃焼試験

物性試験を行った4種類の燃料をエンジン燃焼試験に供試した。供試機関は排気量300cc、最大発電出力3.4kW、定格回数3600rpmのヤンマー製直噴式ディーゼル発電機を使用した。供試機関にはメタンと吸気をあらかじめ混合し、エンジンの燃焼室内に供給するための簡単なベンチュリーを取り付けた。また、軽油やBDFなどの液体燃料は燃料噴射弁から直接燃焼室内へ供給している。試験システムの概略図を図8に示す。

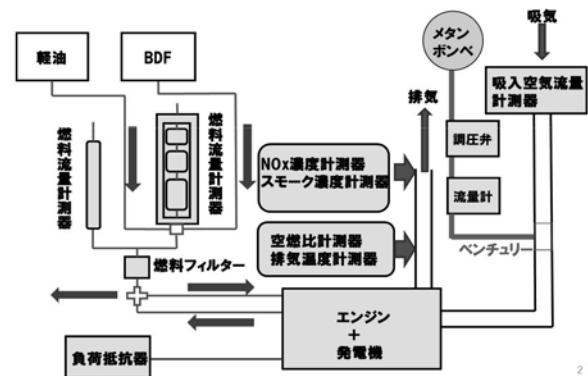


図8 試験システム概略図

4.1 メタン変換率と液体燃料噴射量

図9に供給メタン流量に対する液体燃料噴射量とメタン変換率を示す。メタン変換率は、エンジンを負荷一定の条件下で運転し、メタンを含まない液体燃料100%の燃焼

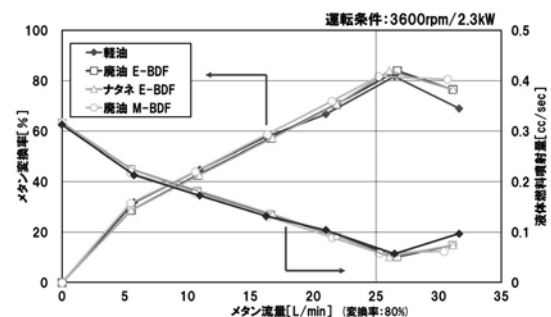


図9 液体燃料噴射量とメタン変換率

の状態からメタン流量を増大した時、液体燃料に対してメタンに置き換わって減少した液体燃料の比率として定義した。軽油と比較し、各種 BDF はほぼ同等の特性を示していることから、メタンとの DFS において BDF を直噴式ディーゼル機関の液体燃料として使用が可能であることが分かった。

4.2 空気過剰率

各種燃料の空気過剰率を図 10 に示す。空気過剰率とは実際に供給された空気の質量を理論上必要な最小空気質量で除した値を示したものであり、空気過剰率の値が 1 に近くなると燃料の割合が高くなる。空気過剰率は各燃料ともメタン流量が増加するごとに低下しており、空気に対する燃料の割合が増大していることを示している。

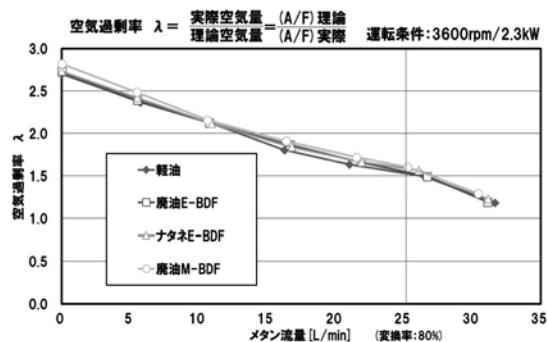


図 10 空気過剰率

4.3 スモーク濃度

図 11 に各種燃料のメタン流量に対するスモーク濃度を示す。メタン変換率約 80%まではメタン流量増加に伴い徐々に減少する傾向を示したが、メタン変換率約 80%以上で急激に増大する特性が確認できた。また、軽油と比較すると各種 BDF は低い傾向を示し、特に廃油 M-BDF が低いことが確認された。また、供試した 3 種の BDF 間では廃油 E-BDF が僅かに高い値を示した。

各燃料ともメタン流量の増大に伴いスモーク濃度は減少する傾向を示しているが、これはメタン流量の増大に伴い燃焼の主体がディーゼル燃焼から予混合均一燃焼に移行するためと考えられる。

また、メタン変換率が 80%を超えると上昇しているが、これはメタン流量の増大に伴い、着火燃料の液体燃料の噴

射量が減少し、燃焼が不安定になることによると推察される。

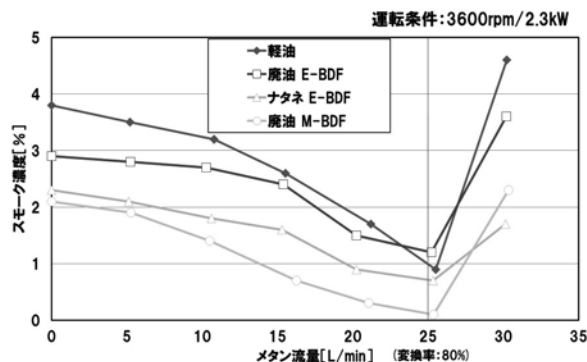


図 11 スモーク濃度

4.4 NOx 排出量

図 12 に各種燃料のメタン流量に対する NOx 排出量を示す。NOx 排出量はスモーク濃度と同様にメタン変換率約 80%まではメタン流量増加に伴い徐々に減少する傾向を示したが、メタン変換率約 80%以上で急激に増大する特性が確認できた。BDF は軽油と同等もしくは高い値を示した。各種 BDF の中では廃油 M-BDF が高い値を示した。各燃料ともメタン流量の増大に伴い NOx 濃度は減少する傾向を示しているが、これはメタン流量の増大に伴い燃焼の主体がディーゼル燃焼から予混合均一燃焼に移行するため、スモークと同様に NOx 排出量は低減すると考えられる。

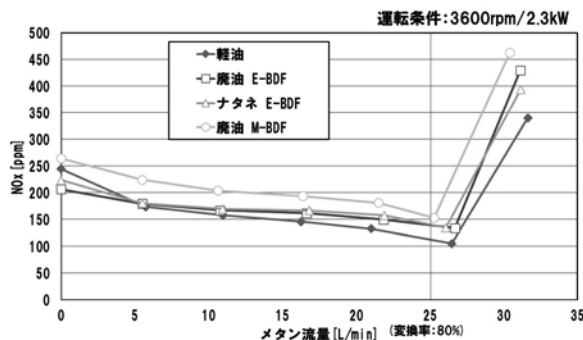


図 12 NOx 排出量

4.5 CO 排出量と HC 排出量

図 13 に各種燃料の CO 排出量を示す。BDF は軽油と同等もしくは高い値を示した。また BDF 間では廃油 M-BDF が僅かに高い傾向を示した。メタン変換率約 75%時に最も高い値を示し、それ以降は低下している。CO が増加する原因としてメタン流量増加に伴う空気過剰率の低下が考えられる。

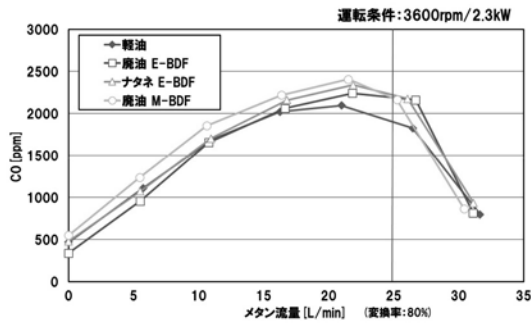


図 13 CO 排出量

図 14 に各種燃料の HC 排出量を示す。BDF は軽油と同等もしくは低い値を示した。BDF 間では、廃油 M-BDF が高い傾向を示し、廃油 E-BDF とナタネ E-BDF は軽油よりも低い値となった。メタン流量の増大に伴い、HC が増加していく傾向を示した。

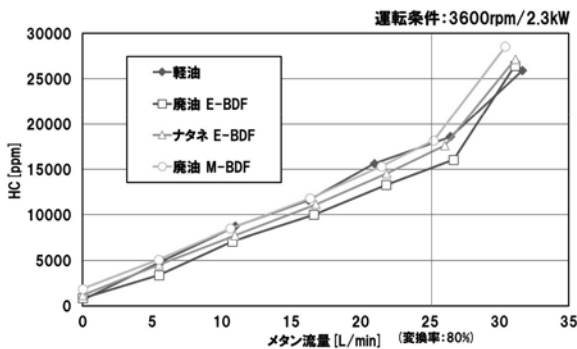


図 14 HC 排出量

4.6 燃料消費率と正味熱効率

図 15 に各種燃料の燃料消費率を示す。メタン流量の増加に伴い液体燃料の燃料消費率は減少する傾向を示した。また、メタンを含まない液体燃料単独での運転時、メタン導入による DFS 運転時のどちらも軽油と BDF に有意差は認められなかった。

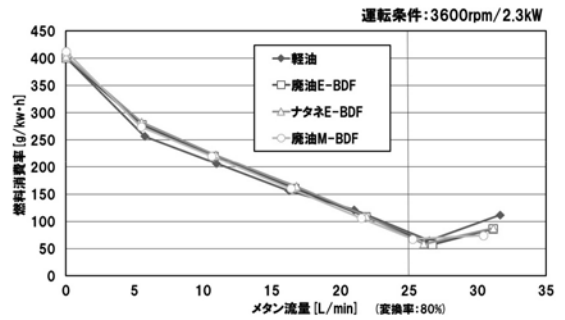


図 15 燃料消費率

図 16 に各種燃料の正味熱効率を示す。メタン流量の増加、すなわち、燃料中のメタン比率の増加に伴い、各種燃料の熱効率は低下する傾向を示したが、これはメタン流量増加に伴う空気過剰率の低下が影響していると考えられる。軽油、各種 BDF とほぼ同等の特性を示し、廃油 E-BDF、廃油 M-BDF、ナタネ油 E-BDF には熱効率に有意差は認められず、軽油代替として BDF を使用しても燃焼に悪影響を与えないことを示している。

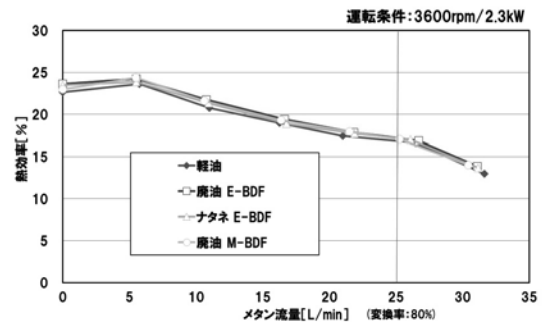


図 16 正味熱効率

5. まとめ

- 1) 一般に、BDF の製造は化石燃料に依存したメタノールを使用して行なわれているが、植物由来を前提としたエタノールを使用しても BDF の製造が可能であり、これによって BDF の完全バイオ化が可能となる。
- 2) 動粘度、示差熱分析の結果、各種 BDF は軽油と比較し、燃料物性は僅かに劣ることを確認した。また、BDF の中では廃油 M-BDF が比較的良好な物性を示した。
- 3) 直噴式ディーゼル機関に BDF/メタンガスデュアルフューエルを適用した場合、BDF は軽油と同様に約 80%までメタンガスに変換は可能であり、軽油の代替として BDF は有効な燃料となることを示した。

- 4) スモーク濃度や NO_x に関しては、メタン変換率が約 80%まではメタン流量の増大に伴い、低減することを確認した。
- 5) 正味熱効率は、各種 BDF と軽油との間に有意差はなく、BDF は燃焼に対して悪影響を与えないことを示した。

参考文献

- 1) 沢田, 塩路ほか, 「ディーゼル発電機によりバイオガス有効利用に関する研究」, 日本機械学会 2015 年度年次大会講演会論文集, G0700301(2015.9)
- 2) 塩路, 石山, 池上, 三谷, 芝田, 「天然ガスデュアルフューエル機関の性能および排気特性」, 日本機械学会論文集 B 編, Vol.66, No.642(2000), pp.284-290
- 3) B.P.Pattanaik et al., "Investigation on utilization of biogas and Karanja oil biodiesel in dual fuel mode in an single cylinder DI diesel engine", International Journal of Energy and Environment(IJEE), Volume4, Issue2, 2013, pp.279-290
- 4) 古巣, 平子ほか, 「BDF とバイオガスによるデュアルフューエルシステムの小型ディーゼル発電機への適用」, 日本機械学会 九州支部第 69 期総会 講演会論文集, G10 (2016.3.15)
- 5) 横山, 平子ほか, 「バイオガスとのデュアルフューエルにおける各種 BDF のディーゼル機関への影響」, 日本機械学会 九州支部第 70 期総会 講演会論文集, 201 (2017.3.14)
- 6) 松田, 平子ほか, 「エタノールベース BDF・バイオガスデュアルフューエルの小型ディーゼル発電機への適用」, 日本機械学会九州学生会 第 48 回卒業研究発表講演会(No.178-2)論文集, 512 (2017.3.3)
- 7) みずほ情報総研, トヨタ自動車: 輸送用燃料の Well-to-Wheel 評価(2004)

汚泥発酵肥料「大地のめざめ1号」の海洋肥料としての検討

—海洋環境を模した水槽実験を行うための海水成分の維持方法の検討—

下高 敏彰^{*1}・薄田 篤生^{*1}・大場 和彦^{*2}

Examination as the sea compost of sludge fermentation fertilizer

"Waking of the earth 1"

- Study of the maintenance method of the seawater ingredient to perform a water tank experiment in imitation of marine environment—

SHIMOTAKA Toshiaki, SUSUKIDA Atsuo and OHBA Kazuhiko

Summary

As one of the seaweed bed reproduction technologies in the marine environment, we examined the water tank experiment method that imitated ocean environment as the former stage to examine it whether "Waking of the earth 1" was available as compost in the sea.

The salinities rose 0.2% of positions in this water tank experiment for five days, and there was not a change about pH almost. but it became clear that the thing that I changed once in less than five days was desirable for the exchange of the seawater because salinity of the seawater showed an upward trend by the further days.

It was revealed that I could decrease salinity of the seawater in the water tank remarkably by increasing seawater discharges.

Keywords : (seaweed bed, waking of the earth 1, salinity)

1. 緒言

近年、地球温暖化防止策として、世界的に CO₂ 排出の削減が求められ、資源の再利用方法が研究され実施されている。下水処理場においても、発生した下水汚泥を燃料や作物に対する肥料として再利用する取り組みが全国的に実施されている。

長崎市東部下水処理場において、2012 年に国土交通省下水道革新的実証事業 (B-DASH プロジェクト) に採択され、下水汚泥処理プラント「メタサウルス」が設置さ

れた。「メタサウルス」は、三菱長崎機工株式会社が開発した従来の嫌気性消化処理プロセスと汚泥の加水分解プロセスを効率的に組み合わせた汚泥減容化システムであり、従来型に比べて、脱水汚泥量の低減に成功した。

このシステムより排出された脱水汚泥は、加水分解により低分子化されていることから、長崎総合科学大学は、このシステムから排出された原料を用いて独自の高速発酵技術を利用して発酵期間が 14 日間という短期間でも完熟で機能性の高い肥料を製造することに成功した。現在

^{*1} 大学院新技術創成研究所 環境・エネルギー部門 客員研究員

^{*2} 大学院新技術創成研究所 環境・エネルギー部門 教授

この肥料は、「大地のめざめ1号」という名で登録されている。「大地のめざめ1号」の特徴として、自然界で重要な成分である長い期間の微生物分解で生成されるフルボ酸鉄を多く含んでいる。そのため、「大地のめざめ1号」の陸上での効果は、土壌の軟化による物理性の改善、土壌の生物性の改善及び作物の品質向上などが明らかとなっている（山崎ら,2016；下高ら,2016）。

一方、近年の気候変動などに起因する海水温の上昇や、ウニや植食性魚類による食害により、海藻群落が減少する磯焼けが問題となっている。磯焼けは、世界的に起きている問題であり、日本でも藻場再生技術の研究開発が各海洋において行われてきた。成功事例もいくつかあるものの持続した藻場の再生例は少なく、実質的な藻場再生は成功していないのが現状である（綿貫,2015；藤田,2001；藤田,2015；吉村ら,2015）。長崎県東長崎地区に位置する橘湾においても磯焼けが深刻な問題であり、海洋環境改善の面から早急に対策を講じる必要がある。

藻場再生において海藻類を食害になる前になる程度大きくする必要があるが、海藻類に必須となる栄養素は、窒素、リン酸、鉄であり、陸上と異なり、「大地のめざめ1号」にはフルボ酸鉄を含んでいることから海藻類の肥料として使用できる可能性があることが予想される。しかしながら、もともと「大地のめざめ1号」は陸上の肥料として利用するために開発されたものであるため、海洋環境における影響については明らかとなっていない。

そこで、海洋環境における藻場再生技術の一つとして、「大地のめざめ1号」が海洋環境における肥料として利用できるかどうか検討するために、海洋環境を模した水槽内で、いくつかの海藻類および貝類や魚類を投入し、その中に「大地のめざめ1号」を投入し海洋環境における影響について評価することを考え、本研究はその前段階として、海洋環境を模した水槽の塩分濃度や pH などの成分を安定させる方法などについて検討し、本水槽実験を行う上での注意点などを報告する。

2. 研究方法

本研究は、長崎市農業センターの施設内に海水を充てんした水槽（60cm×30cm×36cm）を3槽設置し、槽の中に橘湾の砂場の砂と海水を充てんし、その中に藻類が付着しやすい、石灰藻の少ない自然岩及び数種類の海藻

と、海洋生物（ヤドカリ、貝、ウニ、エビ、カニ、小魚）などの小動物を投入し、疑似的海洋環境を作成した。長崎市農業センターに設置している水槽の写真を図1に示す。

水槽の疑似環境を維持するための装置として、水槽1つに対して2台のプロテインスキマー（海道河童 大：カミハタ）を設置した。この装置は浮遊たんぱく質の除去と合わせて、海水中に酸素を供給する機能も付属しており、海水中の酸素を維持する効果もある。水槽上部にはLEDライトを設け日中は明るく、夜間を薄暗くするようにした。水槽の海水は、疑似環境を安定させる為に、1週間に1回程度の海水交換を実施し、海水の交換量は、変動があるが、毎回約槽の3分の1の海水の交換を実施した。各水槽には、3つの水槽の水位レベルを一定にするため、U字管を用いて各水槽の海水が行き来できるようにつないだ。海水の分析項目は、塩分濃度及び pH の測定を実施し、適切な交換時期や海水の交換量などを検討した。



図1.長崎市農業センター内に設置している水槽の様子

3. 結果と考察

3.1 水槽の海水の塩分濃度と pH の変化

水槽の海水の塩分濃度の変化を図2に示す。図内の矢印が海水の交換時期を示す。海水の塩分濃度は5日間交換しなかった場合約0.2%上昇することが確認された。また、16日間海水を交換しなかった場合、約1%上昇することが確認された。海水を交換した場合若干の減少を示したが、もともとの海水の塩分濃度が3%付近ということからも、水槽内の小さな規模では海水を3分の1程度交換したところで、実際の海水の塩分濃度まで減少させるのは困難であり、頻繁に海水を交換する必要があると推察する。

水槽の海水の pH の変化を図 3 に示す。pH の変化は測定期間を通してほとんど変化なく、最大で約 8.2 で、最小で 7.5 であった。5 日間の海水の pH の変化はほとんどなく 8.0～8.1 の範囲を推移していた。しかし、16 日間海水を変えなかった場合、14 日間は 7.9～8.2 の範囲で推移していたが、14 日目に急激に pH が減少した。この減少傾向は、特に成分の特定はしていないが、アンモニアや硝酸などの成分に変化があったものと推察する。しかしながら、実際の海水の pH は 8.0 付近であることから、pH においては、14 日間交換しなくてもほとんど変化しないことが確認された。

以上の結果より、pH は 14 日間ほとんど変化がなかったが、海水の塩分濃度は 5 日間で 0.2% の上昇が確認されていることから、5 日間以内で交換する必要があることが推察される。

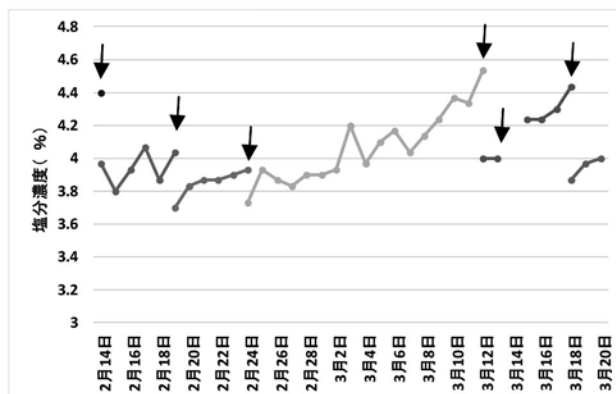


図 2.水槽の海水の塩分濃度の変化

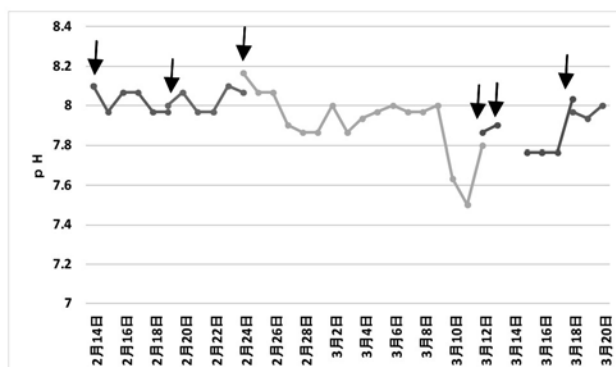


図 3 水槽の海水の pH の変化

3.2 水槽の海水交換時の塩分濃度の変化

海水の交換前の塩分濃度と交換後の塩分濃度の関係を

図 4 に示す。図 4 より、海水の交換前と交換後の塩分濃度の間には正の相関があることが示された。しかしながら、交換の際に水槽内から排出する海水量と投入する海水量の割合が変われば、交換後の塩分濃度の減少量は変化するため、海水交換時の排出量及び投入量を考慮する必要がある。

そこで、交換時の塩分濃度差と交換時の海水の排出量と投入量の関係を図 5 に示した。図 5 より交換時の塩分濃度差と海水の排出量と投入量の割合の間には負の関係があることが示され、海水排出量と投入量の割合が高くなるにつれ塩分濃度の差は低くなることが確認された。

ここで、塩分濃度差には海水排出量と投入量の割合が関係することが確認されたが、排出量と投入量どちらがより関係しているかが見えていないため、交換時の塩分濃度差と海水排出量及び海水投入量の関係について図 6 に示した。図 6 より、海水交換時の塩分濃度差は、海水投入量よりは排出量との関係性が高いことから、塩分濃度差は、海水排出量が多いほど交換時の前後で大きくなることが確認された。

以上の結果より、本水槽実験を行う際、塩分濃度の調整は海水交換時における水槽内の海水の排出量で行い、すなわち、塩分濃度が高くなった場合、排出量を多くし、水槽に十分に海水が充填するように海水を投入する操作が必要であることが明らかとなった。

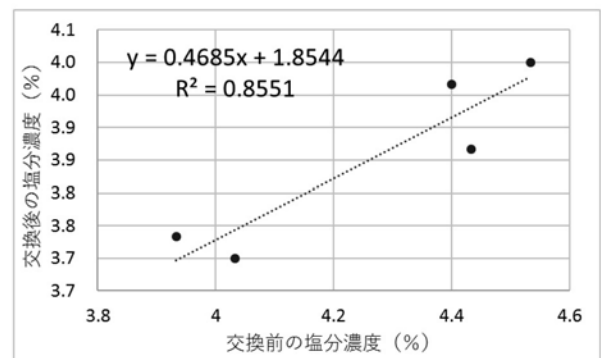


図 4. 海水の交換前の塩分濃度と交換後の塩分濃度の関係

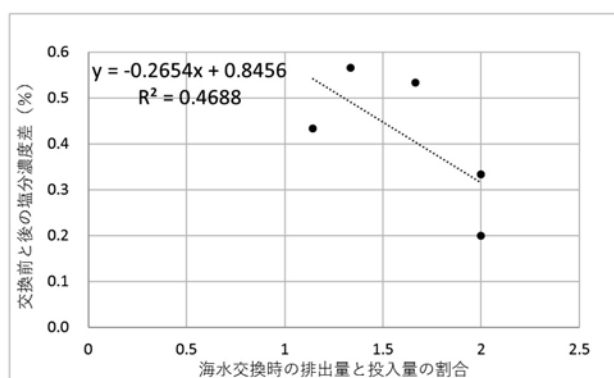


図 5. 交換時の塩分濃度差と交換時の海水の排出量と投入量の関係

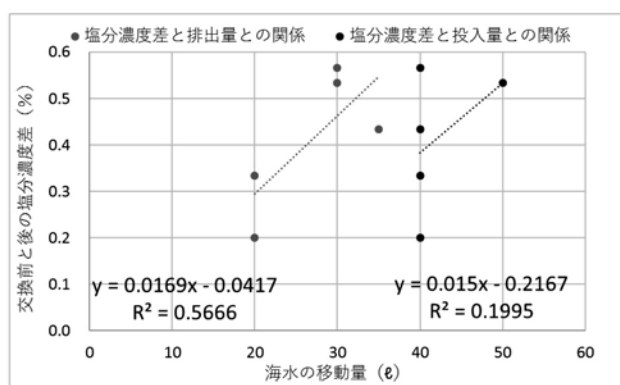


図 6. 交換時の塩分濃度差と海水排出量及び海水投入量の関係

4. まとめ

本研究は、海洋環境における藻場再生技術の一つとして、「大地のめざめ1号」が海洋環境における肥料として利用できるかどうか検討する前段階として、海洋環境を模した水槽内で、いくつかの海藻類および貝類や魚類を投入し、毎日の海洋環境を模した水槽の塩分濃度や pH の成分を測定し、その結果から本水槽実験を行う上での注意点などを検討した。

検討の結果、本水槽実験において塩分濃度は5日間で約0.2%上昇し、pHについてはほとんど変動がなかったが、それ以上の日数では海水の塩分濃度が上昇傾向を示すため、海水の交換は5日以内に1回の交換を行うことが望ましいことが明らかとなった。

海水の交換時における塩分濃度の変化を検討した結果、海水の投入量よりは、排出量のほうが海水の塩分濃度の減少に影響を与えていたため、塩分濃度が高くなりすぎ

た場合、排出量を多くすることで水槽内の海水の塩分濃度を著しく減少させることができることが明らかとなった。

今後は、水槽内に「大地のめざめ1号」を投入し、海水の栄養塩の変化や生物に与える影響について検討する。

謝辞

本研究は、共同研究者である大場教授（長崎総合科学大学大学院新技術創成研究所環境エネルギー部門教授。2018年1月1日逝去）は、本研究を遂行するにあたり、率先して本研究に多大なるご尽力を賜りました。また、ご指導、ご助言及び議論の展開など大変お世話になりました。ここにご生前のご功績を偲び謹んでご冥福をお祈りいたします。

参考文献

- 1) 山崎祐史, 下高敏彰, 薄田篤生, 中道隆広, 大場和彦: 下水処理技術「メタサウルス」から排出される脱水汚泥残渣の肥料効果に関する研究 (1) ホウレンソウの栽培試験について, 長崎総合科学大学地域科学研究所紀要, 第31巻 (2016) pp.9-14
- 2) 下高敏彰, 玖須理博, 松永梨那, 薄田篤生, 中道隆広, 大場和彦: 下水処理技術「メタサウルス」から排出される脱水汚泥残渣の肥料効果に関する研究 (Ⅱ) トマト栽培試験について, 長崎総合科学大学新技術創成研究所所報, 第11号 (2016) pp.13-20
- 3) 綿貫啓: 磯焼け対策における栄養塩供給対策の限界, 水産工学, 第51巻, 3号 (2015) pp.247-252
- 4) 藤田大介: 海洋深層水をかけ流した磯焼け地帯転石の植生回復, 海洋深層研究, 第2巻, 1号 (2001) pp.57-64
- 5) 藤田大介, 磯焼け対策ガイドラインの改訂に向けて, 水産工学, 第51巻, 3号 (2015) pp.259-262
- 6) 吉村拓, 八谷光介, 清本節夫: 小型海藻藻場の重要性和磯焼け域におけるその回復の試み, 水産工学, 第51, 3号 (2015) pp.239-245

BDF 製造時に排出されるグリセリン廃液を利用した メタン発酵の応用

中道 隆広^{*1}

Application of the methane fermentation using glycerin waste fluid drained from biodiesel NAKAMICHI takahiro

Summary

Regarding the methane fermentation treatment method of glycerin waste liquid generated at the time of BDF production, the amount of methane gas generated is increased by introducing glycerin into the methane fermentation tank in the previous study. Since it has been reported that methane fermentation is inhibited by reducing the action of microorganisms by introducing glycerin waste liquid discharged from BDF production, it is necessary to clarify the properties of glycerin waste liquid, and to clarify the characteristics of glycerin waste into a methane fermentation tank. We examined the appropriate addition amount.

In this study, it was inferred that the diversity of the fungus was changed according to the amount of waste glycerin input, and it was revealed that there is a microbial flora with a dominant rate changing with increasing amount of waste glycerin added to the methane fermentation tank.

Keywords : (plaster board, boron removal, environmental standard for water quality)

1. はじめに

近年、植物油を主原料とするバイオマス資源を活用し、軽油代替燃料として利用可能なバイオディーゼル燃料（以下、BDF と称す。）が注目され、軽油を燃料とするディーゼルエンジンを使用するトラックやバスなどの大型車両に多く採用されている。調理で使用する植物油を回収し、メタノールとアルカリ触媒（NaOH または KOH）で「メチルエステル化処理」を行い BDF を製造し、これをトラックやバスなどの軽油の代替燃料として利用する取組みが各所で展開されている。しかし、

BDF 製造から排出されるグリセリン廃液は重油と混ぜられて重油ボイラー又は、グリセリンのみを燃焼させるグリセリンボイラーによって工場の熱源として利用されている。BDF 製造由来のグリセリン廃液には、余剰メタノールや未反応植物油のほかに、水分や食品調理残渣などの不純物が混ざっているため、燃料としては利用しにくく、処理を行うにも運搬に要するコストや、廃グリセリンとほかのボイラー燃料との比重の違いによって混合利用できない場合等の課題がある。^{1, 2)}そこで、現在注目されているのが、水分が多く

^{*1} 長崎総合科学大学 総合情報学部 総合情報学科 生命環境工学コース

ても処理可能なメタン発酵処理である。廃油に含まれる有機物や BDF 製造時に排出されるグリセリン廃液を、メタン発酵槽に投入し、メタンガスを主成分とするバイオガスを回収して都市ガスの代替燃料や発電用燃料として施設利用または売電を行う方法が検討されている。メタン発酵は下水汚泥施設に多く設置されており、今までは廃棄物として扱われてきた下水汚泥を、バイオマス資源として利用する取り組みとして積極的に推進されている。

BDF 製造時に発生するグリセリン廃液のメタン発酵処理方法についても、先行研究ではグリセリンをメタン発酵槽に投入することで、メタンガスの発生量が増加する事が確認されている（京都バイオサイクルプロジェクト等）。しかし、BDF 製造から排出されるグリセリン廃液には未反応のメタノールや触媒が含まれており、大量に投入する事によって微生物の働きを低下させ、メタン発酵が阻害されることが報告されているため、グリセリン廃液の性状を明らかにすると共に、メタン発酵槽への適正添加量の検討を行った。

2. 実験方法

下水汚泥のメタン発酵槽には、エサとなる下水汚泥の成分を分解する微生物が繁殖して活動しやすい環境を形成しているが、微生物のエサが変わると微生物の繁殖環境が崩れる恐れがあり、バイオガスの発生量が減少する恐れがある。そこで、長崎県大村市に本社を構える運輸会社が所有する BDF 製造装置より排出される廃グリセリンを対象とし、実際のメタン発酵で使用する微生物を用いて、グリセリン廃液の濃度を変化させメタン発酵を行った。発生したバイオガスの組成やメタン発酵処理後の有機物量の調査（COD_{Cr} およびグリセリン残留量）と微生物の菌叢調査を行い、グリセリン廃液を添加した効果の検証を行った。

廃グリセリンのメタン発酵を確立するために、大村浄化管理センターから採取した下水汚泥と村里運輸から発生した廃グリセリンを利用してバッチ式メタン発酵実験を行う。メタン発酵での廃グ

リセリンの混合率は、0%、0.1%、1%および5%として、図1に示したメタン発酵容器に下水汚泥グリセリン混合試料を投入する（n=3）。メタン発酵槽は空隙（ヘッドスペース）を窒素ガスで充填し、槽内を嫌気雰囲気調整したのち、槽内温度を中温発酵の37℃に維持する（必要に応じて攪拌した）。発酵期間は30日と設定した。発生したガスは、アルミ製ガス捕集バックに回収し、発生ガス類（ガス捕集バックに回収したメタンと二酸化炭素濃度）の分析には、ガスクロマトグラフ（（株）柳本製作所製、G2800T）を用いた。その外観とチャート例を示す。キャリアガスはアルゴン、検出はTCD方式である。なお、本実験では廃グリセリンを混合せずに37℃に保つ槽を実験対称区として準備した。

実験では、試験前後のニクロム酸カリウムによる酸素消費量（以下 COD_{Cr}）、pH を測定するほか、実験前後の微生物解析（分析会社に依頼）を行い微生物菌叢の解析を行った。

3. 実験結果

3.1 廃グリセリンを投入したメタン発酵の実験結果

廃グリセリンを混合したメタン発酵溶液の pH 測定結果を図1に示す。メタン発酵では pH 条件が重要であり、メタン菌の最適生息 pH は6から8とされている。グリセリンを混合したメタン発酵溶液の pH は廃グリセリンに含まれるアルカリ成分が影響して、投入量が増加するとともに

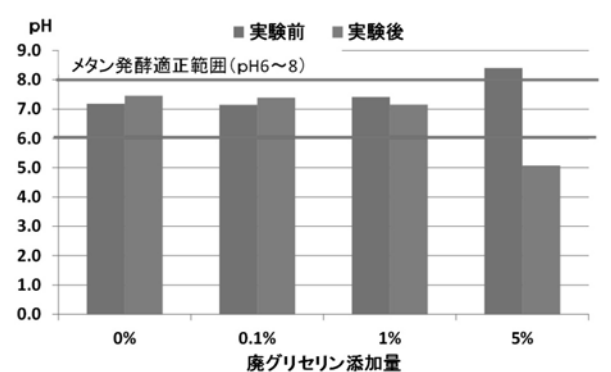


図1 実験前後の pH 測定結果

pHが高くなる傾向を示した。実験前の廃グリセリン投入pHは0%、0.1%および1%は約pH7を示しており適正範囲に収まっているが、廃グリセリン5%はpH8.3を示しており、適正範囲より高い値を示した。実験後の廃グリセリン投入pHは0%、0.1%および1%は適正範囲に収まっているが、廃グリセリン5%だけpHが4.9と低い値を示した。このことから、廃グリセリン5%を投入したサンプルは、投入した廃グリセリンが微生物の影響を受け有機酸へ変化されたことでpHが低下したと考えられる。

次に、廃グリセリンを混合したメタン発酵溶液のORP測定結果を図2に示す。通常の水処理である活性汚泥処理法は、好気性微生物の生育に必要な溶存酸素(DO)を測定するが、メタン発酵においては通常、溶存酸素ではなく嫌気度の指標としてORPを測定する。メタン生成菌は酸化還元電位が-300mV以下の還元的条件下の環境で生息し、メタン発酵での指標として用いられる。図5より、グリセリンを混合したメタン発酵溶液のORPはグリセリン投入量が増加しても適正範囲に収まっているおり、実験時に廃グリセリンを投入してもORP値が変化することは少ないことを確認した。しかし、実験後のORP値を想定すると、廃グリセリン投入量0%、0.1%および1%は、ほぼ適正範囲を示しているが、廃グリセリン5%だけプラスの約15mVを示し、適正範囲から大幅に外れている。このことから、廃グリセリン5%を投入したサンプルは、投入した廃グリセリンが

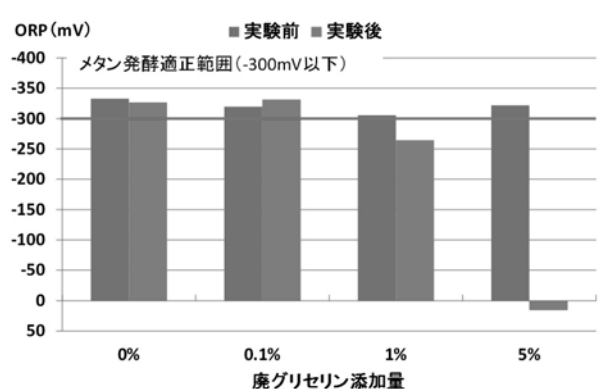


図2 実験前後のORP測定結果

微生物の影響を受け、酸性物質である有機酸へ変化されたことでORP値が変化したと考えられるため、廃グリセリンの大量投入には注意が必要であることを明らかにした。

3.2 グリセリン廃液投入後のCODcr分析結果

廃グリセリンを混合したメタン発酵溶液のCODcr測定結果を図3に示す。メタン発酵では、原料に含まれる固形成分と溶解性成分の差を、工場排水試験法JIS K0102に従い、CODcrを用いて測定することで溶液中の有機物がバイオガスとして消費されたかを算出できる。各槽からサンプリングし分析したCODcrを全CODcrとして、原料を遠心分離器によって固液分離し、その上澄み液のCODcrを測定し、これをメタン発酵原料の溶解性CODcrとする。

分析の結果、廃グリセリンの投入量が増加するごとにCODcrの値が上昇し、グリセリン投入量に対する有機物の増加が確認できた。30日間発酵させた試験終了後の各槽では、有機物量が減少したことを確認した。それぞれの減少量は廃グリセリン投入0%で約32%、0.1%で約56%、1%で約17%、5%で約26%の有機物減少量であったため、メタン発酵で有機物の原料としては廃グリセリン投入量0.1%が最も有機物をバイオガスに変換できる結果を得た。

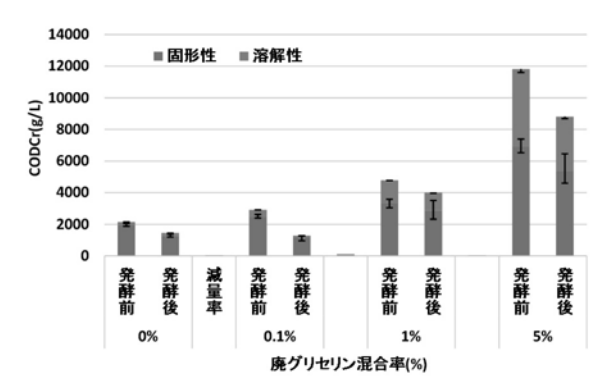


図3 グリセリン廃液投入後のCODcr分析結果

3.3 廃グリセリンを混合したメタン発酵溶液の発生バイオガス測定結果

廃グリセリンを混合したメタン発酵溶液の発生バイオガス測定結果を表1に示す。メタン発酵槽は空隙（ヘッドスペース）を窒素ガスで充填しているため、ガス分析には多くの窒素ガスが検出される。そのため、置換処理した窒素ガス以外の成分を分析したところ、廃グリセリンを投入した各メタン発酵槽からバイオガスが発生したことを確認した。ガスの分析を行った結果、廃グリセリン投入が0%ではメタンガスの発生量が少なく二酸化炭素量が多い事と水素ガスは発生していない事を確認した。廃グリセリン投入した発酵槽では、メタン濃度が向上して0.1%、1%、5%ではそれぞれ、メタン濃度31%、41.6%、44%であった。下水汚泥由来のメタン発酵では、メタンガスと二酸化炭素ガスの比率は50%：50%が通常で、発酵要件が良い場合などは60%：40%となるのが通常である。

そこで、発生したメタンガスと二酸化炭素の比率を表2に示す。メタン発酵槽から発生したバイオガスの比率としては、0%は二酸化炭素がほとんどで、メタン発酵しにくい状況であったと考えられる。しかし、廃グリセリンを投入した0.1%と1%では、メタンガスと二酸化炭素濃度が同等の比率で存在し、5%ではメタンガス濃度が約76%まで上昇しており、廃グリセリンをメタン発酵に投入することで発酵効率が向上することを明らかにした。

表1 発生バイオガスの組成分析結果

グリセリン	CH ₄	CO ₂	H ₂	O ₂
0%	0.7	24.1	0.0	75.2
0.1%	31.0	28.7	0.0	40.4
1.0%	41.6	42.7	0.0	15.7
5.0%	44.0	13.7	0.1	42.3

表2 バイオガス中のメタンと二酸化炭素比率

グリセリン	CH ₄	CO ₂
0%	2.8	97.2
0.1%	51.9	48.0
1.0%	49.4	50.7
5.0%	76.3	23.7

3.4 廃グリセリンを投入したメタン発酵液中の菌叢結果

廃グリセリンを投入し、反応期間としてメタン発酵を30日間行った各サンプルから細菌メタゲノムDNAを抽出しDNA配列解析データの編集とMicroSEQ/GreenGenes（公開されている細菌ゲノムDNAデータベース）による細菌情報検索及び細菌叢解析は、Life Technologies社のIon Reporter ver.5.0ソフトウェアを利用した。

Ion PGM シーケンサーによるDNA配列解析のデータサマリーを表3に示す。配列解析から得られたシーケンスリード（リード）は、それぞれのサンプルにおいて50,000リード以上のリード数を獲得しているため、メタゲノム解析（菌叢解析）には十分量のDNA配列データを得ることができた。これらのリードをDNAデータベースであるMicroSEQおよびGreenGenesに対して情報検索することで、それぞれのサンプルから得られた細菌DNA杯鉄に関する情報を入手して比較を行った結果、各サンプルの下水汚泥サンプル中には同程度の細菌細胞（固体）密度で細菌が存在していたことが推察され、極めて特異な検体は含まれていないことを明らかにした。

表3 各サンプルにおけるDNA配列解析データサマリー

サンプル名	リード	平均リード長
グリセリン0%	867,357	239bp
グリセリン0.1%	970,892	240bp
グリセリン1%	928,764	240bp
グリセリン5%	992,852	235bp
比較区	877,132	238bp

表4 グリセリン投入におけるメタン発酵に係る菌叢変化

OTU-Family	試験開始時 (%)	グリセリン0 (%)	グリセリン0.1 (%)	グリセリン1 (%)	グリセリン5 (%)
Acidaminococcaceae	0.18%	0.00%	0.03%	1.11%	0.68%
Desulfovibrionaceae	0.35%	0.49%	0.12%	1.88%	0.27%
Lachnospiraceae	0.62%	0.20%	0.19%	1.39%	0.07%
Acidimicrobiaceae	0.72%	0.26%	0.20%	0.66%	1.97%
Nocardiodaceae	0.47%	0.29%	0.50%	0.82%	2.25%
Coriobacteriaceae	0.05%	0.07%	0.06%	0.03%	1.30%
Microbacteriaceae	0.17%	0.08%	0.25%	0.21%	1.44%
Peptostreptococcaceae	0.13%	0.10%	0.40%	0.30%	1.17%
Hyphomicrobiaceae	0.57%	0.32%	0.54%	0.44%	1.31%
Anaerolineaceae	1.06%	0.56%	0.43%	0.05%	0.12%
Prolixibacteraceae	0.97%	0.82%	0.53%	0.18%	0.00%
Ruminococcaceae	0.97%	0.35%	0.65%	0.28%	0.25%
Rhodobacteraceae	1.04%	0.15%	0.32%	0.37%	0.48%
Sinobacteraceae	1.34%	0.90%	0.33%	0.34%	0.10%
Cytophagaceae	1.08%	1.03%	0.97%	0.14%	0.01%
Xanthomonadaceae	1.18%	1.06%	1.14%	0.49%	0.17%
Pseudomonadaceae	1.85%	0.13%	0.09%	0.02%	0.05%
Thiotrichaceae	1.35%	0.04%	0.01%	0.02%	0.00%
Burkholderiaceae	0.64%	1.01%	0.93%	0.17%	0.81%
Candidatus Brocadaceae	0.19%	0.77%	1.19%	0.01%	0.00%
Helicobacteraceae	0.21%	0.35%	1.23%	0.13%	0.18%
Methylococcaceae	0.04%	0.48%	1.63%	0.10%	0.00%
Desulfuromonadaceae	0.16%	1.42%	1.00%	0.03%	0.01%
Marinilabiliaceae	0.35%	1.20%	0.79%	0.41%	0.12%
Syntrophorhabdaceae	1.14%	1.82%	1.38%	0.23%	0.25%
Desulfurellaceae	0.25%	1.29%	0.36%	0.11%	1.25%
Leptospiraceae	0.42%	1.76%	0.19%	0.04%	0.13%
Peptococcaceae	0.82%	1.15%	2.97%	0.36%	0.36%
Verrucomicrobia subdivision 3	0.59%	0.91%	2.33%	0.00%	0.03%
Pelobacteraceae	1.03%	2.83%	4.67%	0.41%	0.31%
Planctomycetaceae	0.84%	2.42%	3.51%	0.20%	0.16%
Prevotellaceae	2.05%	0.03%	0.02%	0.27%	1.91%
Moraxellaceae	3.43%	0.19%	0.18%	0.04%	0.02%
Saprospiraceae	2.82%	1.13%	0.68%	0.23%	0.09%
Bacillaceae	1.75%	4.02%	1.85%	1.13%	1.00%
Chitinophagaceae	1.35%	3.68%	0.94%	0.10%	0.25%
Geobacteraceae	0.83%	3.30%	1.82%	0.19%	0.98%
Ectothiorhodospiraceae	4.67%	2.90%	0.53%	0.24%	0.07%
Porphyromonadaceae	3.97%	2.87%	2.36%	0.79%	0.59%
Flavobacteriaceae	4.92%	5.00%	3.36%	1.26%	0.27%
Syntrophaceae	1.42%	6.14%	1.49%	0.29%	3.10%
Campylobacteraceae	6.58%	0.17%	0.10%	0.00%	0.33%
Bacteroidaceae	1.60%	0.25%	1.36%	5.31%	0.71%
Rhodocyclaceae	1.84%	1.58%	1.46%	5.29%	1.72%
Clostridiaceae	2.05%	1.60%	2.05%	5.86%	3.73%
Clostridiales Family XI. Incertae Sedis	0.51%	0.38%	0.59%	6.11%	3.89%
Synergistaceae	2.62%	3.46%	3.90%	8.13%	2.84%
Syntrophomonadaceae	0.05%	0.33%	10.09%	0.20%	0.00%
Comamonadaceae	6.86%	2.79%	4.57%	1.30%	5.67%
Erysipelotrichaceae	5.55%	9.78%	6.79%	0.24%	0.83%
Spirochaetaceae	2.83%	6.87%	9.71%	0.55%	1.15%
Hydrogenophilaceae	0.01%	0.07%	0.03%	22.93%	0.05%
Veillonellaceae	0.31%	0.02%	0.22%	15.61%	4.95%
Enterobacteriaceae	0.57%	0.01%	0.18%	5.38%	37.51%

黄色：廃グリセリン添加量の増加と共に優占率が増加する傾向にある科

青色：廃グリセリン添加量の増加と共に優占率が減少する傾向にある科

緑色：廃グリセリン添加量に優占率が影響を及ぼされない傾向にある科

そこで、各サンプルに含まれる科、属、種レベルにおける各サンプルの菌叢の多様性を B-diversity 解析結果を行った結果、各サンプルに含まれる科および種レベルでは、廃グリセリンの投入量によって、菌の多様性が変化した事が推察された。グリセリン投入 0 %、0.1 % および実験開始時は一つのクラスターを形成し、グリセリン投入 1 % および 5 % は独立した位置にプロットされた。しかし、属レベルではグリセリン投入量に対してまともには見られなかった。

次に、「科」レベルでは廃グリセリンの投入量により菌の多様性が変化していることが確認されたため。得られた DNA 配列解析データから、菌叢の「科」レベルでの解析を実施した結果を表 4 に示す。メタン発酵槽へ廃グリセリン添加量の増加と共に優占率が変化する菌叢が有る。また、Acidaminococcaceae、Desulfovibrionaceae、Lachnospiraceae、Acidimicrobiaceae、Nocardiodaceae、Coriobacteriaceae、Microbacteriaceae、Peptostreptococcaceae、Hyphomicrobiaceae、Bacteroidaceae、Rhodocyclaceae、Clostridiaceae、Clostridiales Family XI. Incertae Sedis、Synergistaceae、Syntrophomonadaceae、Comamonadaceae、Erysipelotrichaceae、Spirochaetaceae、Hydrogenophilaceae、Veillonellaceae、Enterobacteriaceae の 17 種類は優占率が増加する傾向にある科である。特に、廃グリセリン 1 % 添加では Hydrogenophilaceae が約 23 %、5 % 添加では Enterobacteriaceae が約 38 % と菌叢の比率を大きく占めている。占有比率が最大の Enterobacteriaceae は腸内細菌科ともよばれ、真正細菌の分類上の一グループとなり、通性嫌気性でブドウ糖を発酵して酸とガスを産生する性質をもっている。実験開始時と廃グリセリン投入 0 %、0.1 % はほぼ同じ菌叢を示しているが、廃グリセリン 1 % を超えるとメタン発酵槽の菌叢が変化することを明らかにした。

これにより、廃グリセリン添加量の増加と共に優占率が増加する傾向にある科、廃グリセリン添

加量の増加と共に優占率が減少する傾向にある科、廃グリセリン添加量に優占率が影響を及ぼされない傾向にある科にグループ分けすることができた。

4. まとめ

廃グリセリンを投入したメタン発酵の実験では、メタン発酵の適正発酵条件から pH と ORP 値が適正值から外れた。このことから、廃グリセリン 5 % を投入したサンプルは、投入した廃グリセリンが微生物の影響を受け、酸性物質である有機酸へ変化されたことで ORP 値が変化したと考えられるため、廃グリセリンの大量投入には注意が必要であることを明らかにした。また、廃グリセリン投入量によって、菌の多様性が変化した事が推察され、メタン発酵槽へ廃グリセリン添加量の増加と共に優占率が変化する菌叢が有ることを明らかにした。実験開始時と廃グリセリン投入 0 %、0.1 % はほぼ同じ菌叢を示しているが、廃グリセリン 1 % を超えるとメタン発酵槽の菌叢が変化することを明らかにした。これにより、廃グリセリン添加量の増加と共に優占率が増加する傾向にある科、廃グリセリン添加量の増加と共に優占率が減少する傾向にある科、廃グリセリン添加量に優占率が影響を及ぼされない傾向にある科にグループ分けすることができたが、実プラントでの菌叢の変化を調査する必要がある。

参考文献

- 1) 中村一夫；京都市における循環型社会構築に向けた取り組みについて，環境研究大 130 号，pp78-85（2003）
- 2) 中村一夫；京都市におけるバイオディーゼル燃料化事業の取り組み，環境技術学会誌，大 33 巻，第 7 号，pp501-506（2004）

環境およびバイタルエネルギーを電源とする

IoT に向けたシステムデザインに関する考察

—移動空間を想定した実証実験の一例から—

水野 裕志^{*1}・山口 祐資^{*1}・松井 信正^{*3}

Consideration on System Design for IoT

utilizing Environmental and Vital Energy

—A Case Study of an Experimental Verification Assuming Space Movement—

MIZUNO Yuji, YAMAGUCHI Yusuke and MATSUI Nobumasa

Summary

This paper presents a consideration on system design for IoT utilizing environment and vital energy. Our goal is IoT system construction of a watching service including a healthcare management utilizing energy harvesting technology. In this paper, first, we will show an experimental verification of thermal energy harvesting by measured environmental and body temperature assuming mobility in winter. Then, a new method for energy harvesting is proposed and examined. Finally, we will describe outlook of our proposed watching system on power-less IoT utilizing ambient energy.

Keywords : (IoT, watching system, energy harvesting technology, thermal energy, space movement)

1. はじめに

近年、光、熱、振動、電波、音など、様々な形態で身の回りの環境中に存在するエネルギーを電力に変換するエネルギーハーベスティング技術 (Energy Harvesting Technology: EHT) に関する研究が盛んに行われている¹⁾。EHT は充電・取り替え・燃料補給なしで長期間エネルギー供給し、小型電子機器の自立電源となりうる。情報・知識の共有に焦点を当てた (Information and Communication Technology: ICT) やモノを通じたインターネットサービス (Internet of Things: IoT) の実現に

貢献できる技術である²⁾。これらの技術は超高齢社会に伴い、見守りシステムの構築に活用されている。例えば、地域包括ケアシステムとして安否確認や血圧の遠隔管理システムの構築がすすめられている^{4) 5)}。このように、センサネットワーク技術を活かし、大量のセンサデータである環境やバイタル情報をリアルタイムに蓄積・解析することで人のくらしに反映させる社会的なシステム (Cyber-Physical System: CPS) の技術進歩が著しい⁶⁾。

近年の低消費電力化技術の進歩と同時に EHT を活用したセンサネットワークの開発が盛んに行われるようにな

^{*1} 新技術創成研究所 電気電子情報部門 研究員

^{*2} 長崎総合科学大学 工学部 工学科 医療工学コース (論文投稿当時)

^{*3} 新技術創成研究所 電気電子情報部門 部門長

ってきており、機器同士が人のコミュニケーションを必要とせず動作するシステム (Machine to Machine: M2M) として応用されている⁷⁾。また、日常生活において常に存在するアンビエントエネルギーを利用したセンサデータ取得のシステムが開発されており、例えば、建物内のランダムな環境振動による発電センサでの温湿度の長期モニタリング検証や人の排尿を用いて発電する尿発電センサによる高齢者の尿失禁検知システムが挙げられる^{8) 9)}。

最近では、ドイツに本社がある EnOcean 社の無線通信技術が様々な分野で活用されている¹⁰⁾。無線通信プロトコルは、低電力消費を実現している EnOcean 独自のもので、世界で初めて電池不要のワイヤレスセンサネットワーク向け国際標準規格として認証されている。無線通信は、315~928MHz 帯の特定小電力無線と同じ周波数帯域であり、日本では928MHzを使用する。EnOcean 社製センサは、ドア開閉センサ、人感センサ、温湿度センサなど、ラインナップが豊富であり、工場や介護施設での省エネ施策などに利用されている^{11) 12)}。

EHT に共通した課題に、再生可能エネルギーと同様に必要な時に必要な電力量が供給できないことや発電量が不安定であることが挙げられている。電力システムのトラブルや自然災害で起こる停電時には、IoT サービスの継続が困難な場面もあるため冗長化した電源確保が必要となる。頻繁に発生する自然災害によって引き起こされる家屋の倒壊で被災者は避難所や車中泊など環境が悪い生活を強いられる。生活や移動空間では、復興までの電源確保や健康管理が重要となるが、EHT やIoTを活かしたシステムは見当たらない。

本研究では環境およびバイタルエネルギーをアンビエントエネルギーとして活用し、外部電源を必要としない健康管理できる見守り IoT システムの構築を目標とする。これまで開発されてきた EHT 環境センサとバイタルセンサを融合することで自然災害にも強い見守りシステムのデザインについて考察することを目的とする。

本論文では、まず構想する見守り IoT システムについての概要を説明する。次に、移動空間を想定した環境およびバイタル情報収集の実証実験からシステムの考察を行う。最後に、考察結果から今後の展望について述べる。

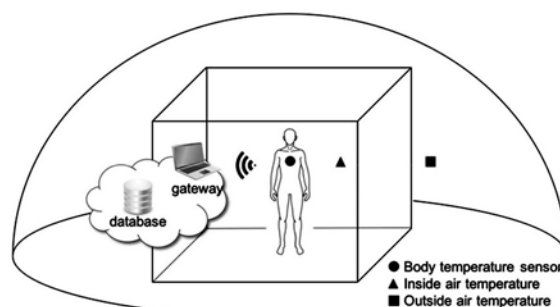


Fig. 1 Conceptual system for power-less IoT.

2. 構想する見守り IoT システムの概要

Fig. 1は、生活や移動空間でやさしく使える電源レス見守りシステムの構想図である。立方体で囲まれた空間内を人の生活や移動空間で表し、半球内は空間外を示す。●、▲、■は体温、空間内（生活空間や移動体内など）温度、および外気温を計測するセンサーの位置を表す。温度センサおよび体温センサから送信された信号はゲートウェイ機器の受信用モジュールで制御され、サーバのデータベースにアップロードする。アップロードされたそれらの情報はクラウド上のデータベースに記録され、医療機関と共有される。勿論、記録するバイタル情報の種類としては、体温だけでなく血圧、心電図、酸素飽和度なども考えられる。システムで使用するエネルギーは、人体・空間内・空間外それぞれの温度差による熱エクセルギーから確保する。生活や移動空間では、夏季と冬季で得られる熱エクセルギーは異なるため季節に応じた実証実験が必要である。体温から収穫できる最大エネルギー量は、単位面積当たり 10^{-5} W/cm^2 であると報告されているため、低消費電力のセンサデバイスと蓄電デバイスとの併用には有効であると考えられる⁸⁾。

3. 方法

本節では構想している IoT システムのデザインに向け、冬季における移動空間を想定し人体・空間内・空間外それぞれの温度差による熱エクセルギー収穫のための実証実験の方法について述べる。まず、移動空間として自動車を選定し、運転中の環境および体温データを測定し検証する。得られた温度差を模擬し、選定するペルチェ素子の温度差発電の特性について検証する。また、運転中のペダル動作から得られる電磁誘導発電の検証方法について説明する。

3.1 運転時における環境および体温測定

Fig. 2は測定に使用するセンサとゲートウェイ機器の写真である。車内の温湿度は運転席の頭上にセンサを設置し測定し、車外温度はフロントガラスの上端にセンサを貼り付ける。車内の環境情報は、太陽電池と蓄電キャパシタで駆動する EnOcean 社製温度センサ STM431J (精度 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$) と湿度センサ HSM100 (精度 $\pm 5.0\%$) を用いて測定する。湿度センサは温度センサにオプション装備として取付けが可能である。車外温度は CRECEL 社製デジタル温度計 AP-07 W (精度 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$) を使用する。なお、湿度は健康管理等の見守りの一環として収集する。車内の温湿度のデータ収集は、EnOcean が提供するソフトウェア DolphinAPI を用いる。富士通社製 LIFBOOK WA2/A3 (CPU: Core i7-6700HQ, メモリー: 8.00 GB, OS: Windows 10 64-bit) をゲートウェイ機器とし、センサから送信される信号を EnOcean 社製受信用 USB モジュール USB400J で受け取り、DolphinAPI で時系列データを確認する。移動空間を想定した実証実験であることからモバイル機器を採用したデータ収集の方法である。EnOcean 社製センサを用いた他のデータ収集の方法としては、株式会社ファンブライドが提供する“ファンブライド IoT サービス SaaS プラン”が利用できる^{13) 14)}。

体温は、これまで著者が開発してきたセンサを活用する。体温の感温箇所を頸部とすることで、無意識・無拘

束に検温できるウェアラブルデバイス型の電子体温計(ネックバンド体温計)である¹⁵⁾。使用した体温計は、先行研究で提案してきた温度校正の手法により $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ の精度を達成している。また、30 秒以内の応答特性であることから電子体温計の標準規格である JIS T 1140 に準拠した性能である¹⁶⁾。他のバイタルセンサと複合することで詳細な健康管理もできるデバイスである¹⁷⁾。体温データの収集には感温素子であるサーミスタの変化に伴う出力電圧を、日置社製メモリハイロガー LR8431 を用いてロギングし、電圧値から温度へ換算し記録する。

3.2 温度差発電

EHT の一つとして古くから知られているペルチェモジュールは、ゼーベック効果によって 2 種類の導電体の温度差に比例した熱起電力を生じる熱電変換素子である。また、電流を流すことで冷却・温熱効果があることから対象物の局所的な温度制御が可能である。近年、冷却機能に注目した研究が行われており、例えば、温度変換効率の解析に用いるモデル開発や生体治療に用いるための小型冷却装置の実用化が進められている^{18) 19)}。熱エネルギーを利用した温度差発電では、音響技術など様々な分野で適用できるため、廃熱利用できる対象物や施設で応用されている^{20) 21)}。強度や耐熱性などを向上させる積層型ペルチェモジュールも注目すべき研究である²²⁾。

本節では、実証実験で得た温度差を室内で模擬し、形状や仕様の異なるペルチェモジュールを用いて温度差に対する電気特性を検証することで構想する電源レス IoT に向けたシステムデザインについて考察する。

Table1 と Fig. 3 は、実験に用いた 5 つのペルチェモジュールの主な仕様と写真である。形状は、取り扱いが容易な小型なモジュールを選択している。Imax と Umax は、最大電流値と最大電圧値である。最大値を超えるとモジュール自身の発熱量が増えて冷却効率が低下する。最適な印加電圧は、最大電圧の 50 % ~ 60 % とされている。R は、内部抵抗である。

Fig. 4 は、実験環境の写真である。AS ONE 社製ウォーターバス THERMAXTM-1A (調整精度 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$) を 2 台用いて温度差を模擬する。ウォーターバスの貯留水を異なる温度に調整し銅板を浸漬させる。浸漬していない銅板部をペルチェモジュールの両面に熱伝導シールで粘着



Fig. 2 Pictures of installed sensors

固定する。各ウォーターバスの貯留水を異なる温度に調節し、熱が銅板からペルチェモジュールに伝導することで温度差を与えることができる。温度差を確認する場合は、ペルチェモジュールに最も近い銅板部に温度センサを取付け測定する。温度センサは、CRECEL 社製デジタル温度計 AP-07W (精度 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$) を使用する。

Table1 Specification of Peltier modules.

Peltier Module	W×D×H (mm)	I _{max} (A)	U _{max} (V)	R (Ω)
1	15×15×3.8	3.0	3.8	1.0±10 % (at 27 °C)
2	20×20×4.7	2.0	8.8	3.7±10 % (at 27 °C)
3	22×11×3.27	3.5	2.6	0.56±10 % (at 25 °C)
4	30×30×2.9	5.0	15.4	2.0~2.3 (at 20 °C)
5	40×40×3.5	8.5	15.4	1.4~1.6 (at 20 °C)

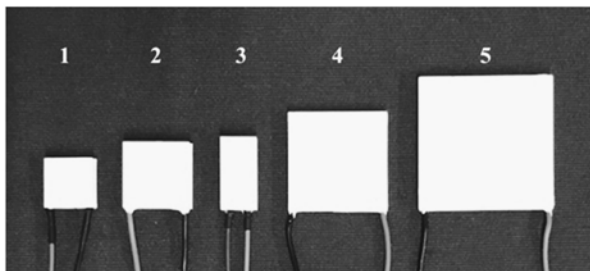


Fig. 3 Peltier modules.



Fig. 4 Thermal energy conversion.

3.3 電磁誘導発電

自動車を移動空間とした場合、温度差発電だけでなく走行時のペダル動作で収穫できる力学的エネルギーも利用できると考えられる。

電磁誘導発電素子を用いて自動車運転時のペダル操作の頻度情報をもとに、電源確保の可能性を検証する。方法は、アーミン社販売のロッカースイッチ・シングル X3100HB-W-R-928 を用いて、運転時のペダル動作の回数をカウントする。ロッカースイッチ・シングルには、EnOcean 社製電磁誘導発電素子 ECO200、低消費電力無線モジュール、機構部品がセットになったスイッチモジュールが組み込まれているため、ペダル操作回数は DolphinAPI に時系列データとして記録される。スイッチモジュールはプレーキペダルへ設置した。電磁誘導発電素子の原理は、ファラデーの電磁誘導の法則そのものであり、スイッチ動作でモジュールに組み込まれているコイル内の磁束変化から起電力が発生する。

4. 結果

4.1 運転時における環境および体温測定結果

Fig. 5 に DolphinAPI によりデータを取得している様子を示す。Fig. 6 に測定結果を示す。横軸は測定時間 (h: m)、縦軸は 10 秒間隔で測定した頸部表面の体温 ($^{\circ}\text{C}$) と 10 分間隔で測定した車内温度 ($^{\circ}\text{C}$)、車外温度 ($^{\circ}\text{C}$)、車内湿度 (%) を表している。運転者は健康成人男性 36 歳で、日常生活で使用している普通自動車を運転した。日常生活通り、片道約 14 km の比較的交通量が多い市内を 60 分程度走行した。11 時 00 分から環境情報を測定し、体温は 11 時 10 分から記録開始とした。

ネックバンド体温計は、運転開始の 11 時 10 分から 11 時 52 分と 12 時 15 分以降に装着している。体温計を外していた 11 時 52 分からの 23 分間は昼食のため運転席を離れている。運転開始し暖房を ON にすることで車内温度は 10 分間で 16.8°C から 29.6°C に上昇した。その後 OFF にして 12 時 00 分には 19.3°C まで低下している。再度暖房を ON にした 12 時 00 分過ぎに 10 分間で 30.4°C に上昇した。湿度は、車内温度の相反する変化を示しており、暖房を ON したことで約 30 % 程度から 10 分後には 13 % へと低下している。その後、OFF にすることで約 25 %

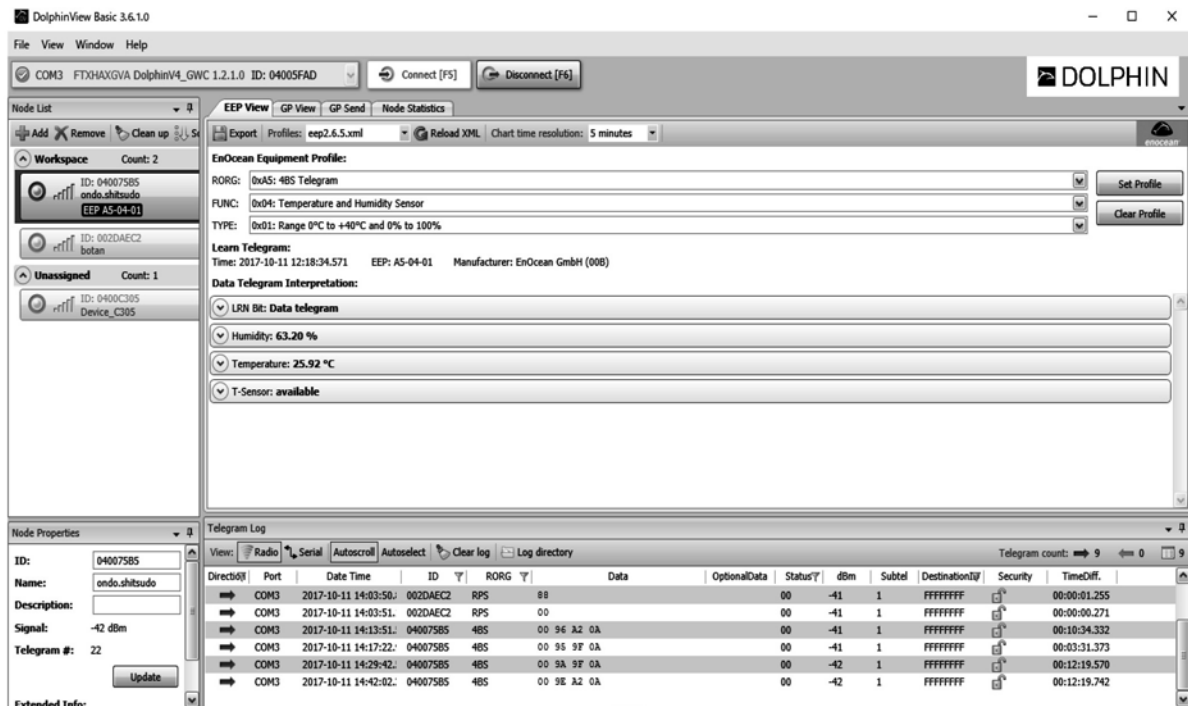


Fig. 5 Image capture of DolphinAPI.

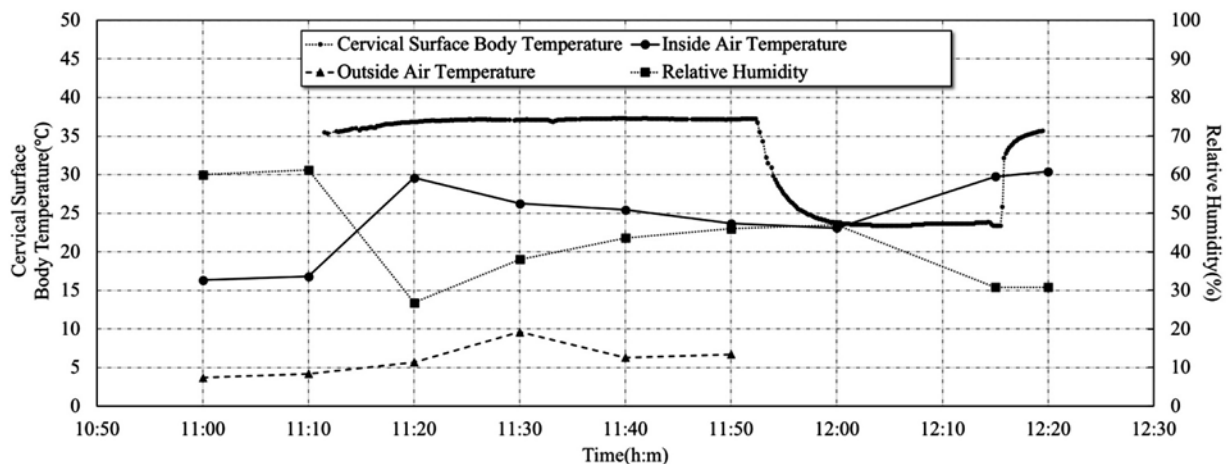


Fig. 6 Result of experimental verification.

まで上昇し、再度暖房を ON することにより再度降下している。

体温は、運転開始 15 分後に 37.15 °C で安定後 37.02 °C まで下降している。その後、上昇がみられ 11 時 40 分に最大の 37.29 °C を記録した。±0.27 °C の体温変動を確認できる。車内温度と車外温度の差は、11 時 20 分で最大の 23.9 °C、11 時 10 分で最小の 12.6 °C を記録した。体温と車内温度の差では、11 時 50 分で最大の 13.5 °C、12 時 00 分で最小の 0.7 °C を示した。

4.2 温度差発電結果

Fig. 7 は、温度差によって発生する開放電圧の測定結果である。横軸は温度差 (°C) を示し、縦軸は開放電圧 (V) を表す。温度差は、実証実験を参考に約 1 °C から 25 °C の範囲に調整した。グラフ内のデータ点は、表 1 の各モジュールで測定した開放電圧を示し、回帰分析より直線近似でフィットした。Table 2 に各モジュールに対する直線近似式と決定係数 R^2 の結果をまとめる。結果、グラフから温度差に対して開放電圧が比例関係にあることがわ

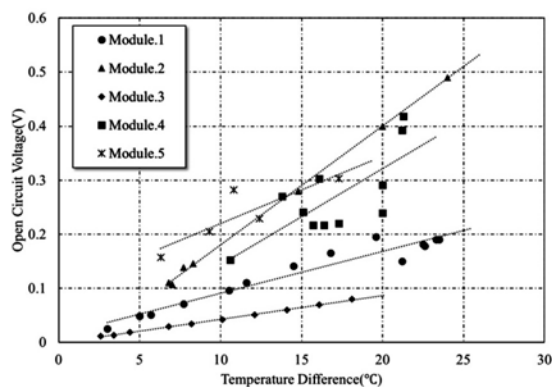


Fig. 7 Measured open circuit voltage with reference to surface temperature difference for various type of Peltier elements.

Table2 Characteristics of various type of Peltier elements.

Peltier Module	Regression line approximation	R ²
1	$y = 0.0078x + 0.0131$	0.94
2	$y = 0.0219x - 0.0389$	0.99
3	$y = 0.0044x - 0.0011$	0.99
4	$y = 0.0204x - 0.0691$	0.69
5	$y = 0.0125x + 0.0954$	0.74

かる。筆者が開発してきた体温センサとの併用を前提とし、選択する小型形状のモジュール 1～3 を比較すると、モジュール 2 の出力電圧が最も大きく、温度差約 7 °C で 0.1071 V、約 24 °C で 0.5 V を示した。モジュール 4 と 5 を比較すると、温度差約 10 °C および 17 °C でモジュール 5 が約 0.1 V 高いことがわかる。

実験では温度差に対する開放電圧の変化を確認した。ペルチェモジュールを電源として使用する場合、最大電力は開放電圧が 50 % 降下した電流値で得られる²³⁾。最大電力の取り出し方法やペルチェモジュールを分散型電源として扱う場合の最適化などは、今後の課題である。

4.3 電磁誘導発電結果

Fig. 8 は、実験に用いたスイッチモジュールの写真とペダルの ON・OFF 状況を時系列に示したものである。横軸は測定時間 (h:m) を示し、縦軸はスイッチモジュールの ON/OFF を表す。ON がペダル動作を行った場合のデータ点で、ペダルを離した場合が OFF のデータ点であ

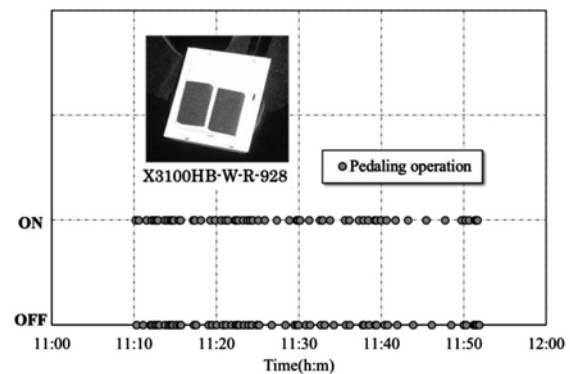


Fig. 8 Experimental result.

る。結果、約 40 分間の運転でペダル動作回数は 60 回であった。スイッチモジュールの ON/OFF 動作としての合計回数は 120 回となる。電磁誘導発電素子から得られるエネルギーは微弱ではあるが、力学的エネルギーを利用した発電として、蓄電デバイスとの併用をすることで低消費電力のシステムデバイスの電源確保は可能であると示唆された。

5. おわりに

本研究では、人体・空間内・空間外それぞれの温度差による熱エクセルギーを使用するシステムとしてハーベスティング技術を活用した見守り IoT システムの構築に向けたシステムデザインの検証を行った。実証実験では、生活や移動空間でやさしく使える電源レス見守りシステムの構築を目指し、冬季における車内での環境およびバイタル情報の測定結果からアンビエントエネルギーの収穫と健康管理が可能であることを確認した。本論文では、環境と体温の温度差等から得られる熱エクセルギーを利用した温度差発電について、ペルチェモジュールを用いた実験の結果をふまえて得られるエネルギーについて可能性を検証した。さらに、自動車運転時のペダル操作に伴う力学的エネルギーから、電磁誘導式発電を用いて電気エネルギーを収穫する方式についても検討した。

結果を以下にまとめる。

- (1) 人体・空間内・空間外それぞれの温度差による熱エクセルギーを使用した、自然災害にも強い見守り IoT システムのデザイン構想について述べた。
- (2) 構想するシステムデザインの一考察のため、移動空間として自動車を選択し、冬季における運転中の環境温

度および体温データを測定し、0℃から30℃程度の温度差から電源確保のための熱エネルギー収穫を実証実験で確認した。

- (3) 実証実験で得られた熱エネルギーを利用した温度差発電について、ペルチェモジュールを用いた基礎実験を行いながら発電の可能性を検証した。さらに、自動車走行時のペダル動作で収穫できる力学的エネルギーを利用した電磁誘導発電についても述べた。

本論で述べた実証実験の結果は、冬季での条件であり体温と空間内／外との温度差は大きい。しかし、夏季では大きな温度差を望めないため、他の有効エネルギーを活用しなければならぬと更なる検証が必要である。考察で述べた力学的エネルギーでは、スイッチモジュールを靴底に設置する手法や人の動作だけでなく移動空間で発生する振動も考えられるため、今後の研究課題としたい。熱エネルギーの収穫方法として、太陽電池が広く普及しているが、天候の影響や空間内の照度で蓄電量が不安定になる。このような課題解決には、様々なエネルギーハーベスティングを融合した分散型電源の実現とその最適化が重要であると考えられる。本論で構想した環境およびバイタルエネルギーを活用した見守り IoT システムの構築には、必要なデバイスに必要な電力量だけを供給できる分散型ハーベスティング電源システムの実現が鍵となる。今後は、我々がこれまで行ってきた負荷に対する最適なエネルギーマネジメントである分散電源の最適化^{24) 25) 26)}や蓄電池容量の最低下手法^{27) 28)}を見守り IoT システムに応用する研究を進めていく。

倫理面への配慮

本研究の一環であるウェアラブル型体温計測デバイスを用いた体温測定に関しては、学外の委員を含む「長崎総合科学大学研究倫理委員会」に申請し、研究内容の承認を得て進めている研究課題である。

謝辞

IoT に関するセンサ技術は、2017 年度長崎総合科学大学戦略的研究予算 F-3 の助成を受け、実施している研究の一環である。また、ウェアラブル型バイタルセンサ技術については、JSPS 科研費 JP17K18305 の助成を受け、実施している研究である。

参考文献

- (1) 竹内敬治：エネルギーハーベスティングの最新動向，表面技術，67巻，7号（2016）pp.334-338
- (2) 篠原真毅：バッテリーレス社会に向けたエネルギーハーベスティング技術，電子情報通信学会誌，92(8)（2009）pp.695-699
- (3) 興津俊幸：エネルギーハーベスティングを想定したIoT端末の開発(特集 エネルギー分野向けのIoTプラットフォーム)，スマートグリッド：技術雑誌，8(1)（2018）pp.18-22
- (4) 斎藤昭彦，小川晃子，鎌田弘之，鈴木亮二，千田睦美，長谷川高志：ICT活用による高齢者見守りシステムの市町村での実施方策 地域包括ケアシステムの構築に向けての政策形成・政策提言のために，日本遠隔医療学会雑誌，13巻2号（2017）pp.103-106
- (5) 千田睦美，小川晃子，鎌田弘之：血圧遠隔見守りを行う看護職からみた必要な視点と情報：ICTによる重層的見守りシステムの事例から，日本遠隔医療学会雑誌，13巻2号（2017）pp.111-114
- (6) 喜多井剛志：広域社会インフラ設備の運用管理におけるCPS/IoT活用への期待(最新の計測制御機器2018)，計測技術，42(2)（2018）pp.6-10
- (7) 田中努，鈴木貴志，栗原和明：メンテナンスフリーのセンサーを実現するエネルギー・ハーベスティング技術(特集 研究開発最前線)——(社会的問題解決への貢献)，Fujitsu，64(5)（2013）pp.557-563
- (8) 井上竜太：設備振動を電力に変換するワイドバンド型振動発電技術の開発，日本建築学会技術報告集，第21巻，第49号（2015）pp.1097-1100
- (9) 道関隆国：尿発電センサーシステムのためのエネルギーハーベスティング技術，電子情報通信学会技術研究報告，RCS，無線通信システム，112(11)（2012）pp.55-59
- (10) 坂梨知司：バッテリーレス無線(EnOcean)技術—ドイツEnOcean社の自然エネルギーを利用した無線技術，計装技術，28(1)（2008）pp.34-37
- (11) 藤井宏治：EnOcean 工場や介護施設などで採用続々 電池不要の自営IoT(特集 IoT無線を自営する)，テレコミュニケーション，35(2)（2018）pp.12-14

- (12)津田博之：照明システムと EnOcean 無線センシングシステム連携による効率運用(特集 最新の BEMS におけるクラウド活用と先進の通信・センサー技術の動向),BE 建築設備,67(9) (2016) pp.29-34
- (13)横井聖宏,金柿岳史：ICT/IoTを活用した見守りのシステムデザインに関する考察. 学校法人長崎総合科学大学大学院新技術創成研究所所報,第 12 号 (2017) pp.17-21
- (14)横井聖宏,金柿岳史：情報機器を用いた高齢者見守りサービスに関する調査—共起ネットワークによるサービス概要説明文の分析—,第 19 回日本感性工学会大会予稿集,P-13 (2017)
- (15)水野裕志,後田堯嗣,松村雅史,谷山紘太郎：ネックバンド型電子体温計の開発,電気学会論文誌C,Vol.135, No.5 (2015) pp.481-487
- (16)水野裕志,山口拓哉,田中義人：体温計測用回路の一設計と検証,電気学会論文誌C,Vol.136,No.7 (2016) pp. 1007-1008
- (17)水野裕志,宮原優介,松村雅史：ネックバンド型体温計測デバイスの有効性の検証,電気学会論文誌C,Vol.136, No.7 (2016) pp.1009-1010
- (18)関口諒,劉雨瀚,佐野勇司：ペルチェ素子のゼーベック効果を考慮した熱等価回路と冷却効率を向上させる駆動方式,電気学会論文誌C,Vol.138,No.1 (2018) pp. 65-72
- (19)上原賢祐,森浩二,齊藤俊：ペルチェ素子を利用した生体用小型冷却装置の数学モデル中のパラメータに関する研究(装置の冷却性能およびサイズの影響),日本機械学会論文集,Vol.83,No.849 (2017) 16-00473
- (20)武藤佳恭：新しい時代に向けた科学技術の挑戦,パイオフィリア リハビリテーション学会研究大会予稿集, 2011(0) (2011) pp.06-06
- (21)浦家淳博,坂口直志,横山安弘,東藤勇：温泉利用の温度差発電,太陽エネルギー=Solar energy,25(6) (1999) pp.49-54
- (22)山本祐輝,白川龍生,高橋理音：温度差発電のためのペルチェ素子積層方法に関する考察,寒地技術論文・報告集 寒地技術シンポジウム,31 (2015) pp.302-305
- (23)大橋淳一,江崎徹,小倉陽祐,岡本宗浩：ゼーベック効果を利用した太陽熱発電システムの研究,第46回日本学生科学賞中央展覧会 科学技術振興事業団賞 栃木県展覧会 最優秀賞 (2012) pp.1-29
- (24)Masaharu Tanaka, Haruhi Eto, Yuji Mizuno, Nobumasa Matsui and Fujio Kurokawa : GA based Optimization for Configuration and Operation of Emergency Generators in a Medical Facility Using Renewable Energy , International Journal of Renewable Energy Research (IJRER), Vol. 8, No. 1, pp. 200-207 (2018).
- (25)Tepei Baba, Yuji Mizuno, Yoshito Tanaka, Masaharu Tanaka, Fujio Kurokawa, Ilhami Colak and Nobumasa Matsui : Comparison of Optimum Energy Schedule of Emergency Generators of Large Hospital with Renewable Energy System Using Mathematical Programing Method , 2017 International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA), San Diego, 5-8 (2017) pp. 519-523
- (26)Yuji Mizuno, Yoshito Tanaka, Fujio Kurokawa, and Nobumasa Matsui : A New Approach of Optimum Energy Scheduling of Emergency Generators Using Linear Programing in a Large Hospital , 2016 International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA), Birmingham, 20-23(2016)pp. 832-836
- (27)Yuji Mizuno, Tepei Baba, Yoshito Tanaka, Masaharu Tanaka, Fujio Kurokawa, Ilhami Colak and Nobumasa Matsui : Estimation of Optimal Capacity of Battery by Combined Use of a Renewable Energy System and Emergency Generators in a Large Hospital, 2017 International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA), San Diego, 5-8 (2017) pp. 515-518
- (28)水野裕志, 馬場哲平, 松井信正：院内に太陽光発電システムを導入する場合のバッテリー容量の統計的評価,電子情報通信学会,信学技報,EE2017-52 (2017) pp.59-62

構造変更による振動入力パワーの変動に関する研究

黒田 勝彦^{*1}

A Study on Variation of Vibrational Input Power by Structural Modification

KURODA Katsuhiko

Summary

This paper investigates influence of variation of vibrational input power by structural modification on plate structures. This study uses a flat plate and two flat plates connected in an L-shaped configuration. There are three parameters as structural modification, loss factor, thickness, and rigidity. Analytical SEA and FEM calculation are carried out for the comparison of the variation of vibrational input power, and experimental SEA is carried out to consider the influence of partial structural modification. As a result, it is shown that the influence of modification for the thickness is greater than the other two parameters.

Keywords : (Input Power, Modeling, Statistical Energy Analysis, Finite Element Method, Simulation)

1. はじめに

様々な機械製品から発する振動騒音問題を設計面から考えると、設計の初期段階である概念設計においては、振動騒音問題を考えた機能設計はまれであると思われる、詳細設計段階では、振動発生源の位置も明確となり振動源や振動源からの伝達・伝播を介して放射までの対策が行われるようになって考えられる。エネルギー保存の法則より、機械の動力源が発する振動入力パワーを起源として、その要素の中で散逸する散逸パワー、各要素へ伝達する伝達パワー、および構造から音場へ放射する放射パワーで消費される。よって入力パワーから放射パワーまでの関係が明らかになれば、設計段階での振動騒音対策への取り組みが容易になるものと思われる。

これまでに著者らによって、全周波数域での振動騒音解析を実現することや解析精度の向上を目的として、そ

れぞれのモードの判別のしにくい中・高周波数で利用される統計的エネルギー解析法 (statistical energy analysis; 以下 SEA) とモードの判別の容易な低周波数域で利用される伝達経路解析法 (transfer path analysis; 以下 TPA) に関する比較が行われている⁽¹⁾。そこでは、SEA の評価次元であるパワーに着目し、振動源の同定と振動源から評価点または評価要素における伝達寄与の比較が提案されている。また、著者らによって SEA による固体音低減プロセスが提案され⁽²⁾、各種機器に適用しその有効性を検証してきた。このプロセスは、対象全系から固体音を低減するために有効な箇所である SEA パラメータ (内部損失率や結合損失率) の特定を目指したものであり、プロセスの構造変更案の検討においては、解析 SEA をベースとした検討例⁽²⁾や有限要素法 (Finite Element Method; 以下 FEM) による実験 SEA をベースとした検討例⁽³⁾がある。

^{*1} 工学部 工学科 機械工学コース 教授

本研究は長崎総合科学大学戦略的研究予算の助成を受けたものです

しかし、どちらの検討例においても、構造変更前後の振動入力パワーが変動することで、精度のよい音場の応答予測は難しい。

そこで本研究では、単純構造を対象とした構造変更による振動入力パワーの変動を明らかにすることを目的に、1枚の薄板平板とL型構造物を対象に解析SEAと実験SEAを用いて検討する。

2. 基礎理論

本章では、解析SEAと実験SEAによる振動入力パワーの算出について概説する。

2.1 解析SEAによる振動入力パワー 文献4に基づき、平板が角振動数 ω で定常振動しているときの振動エネルギーを E_p 、全消散パワーを W_{dis} 、音として空气中に放射される音響放射パワーを W_{rad} 、および平板内部で消散されるパワーを W_{int} とすると、それぞれの損失係数を用いて次のように表される。

$$\begin{aligned} W_{dis} &= \omega \eta_{dis}(\omega) E_p \\ W_{rad} &= \omega \eta_{rad}(\omega) E_p \\ W_{int} &= \omega \eta_{int}(\omega) E_p \\ W_{dis} &= W_{rad} + W_{int} \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $\eta_{dis}(\omega)$ は、全損失係数、 $\eta_{rad}(\omega)$ は、放射損失係数、 $\eta_{int}(\omega)$ は、内部損失係数である。

本研究では、音響放射パワー W_{rad} を無視することで全消散パワー W_{dis} が内部消散パワー W_{int} と等しくなり、すなわち入力パワーが W_{int} で表されることとなる。曲げ波数、二乗振動速度、振動エネルギーは以下の式で示される⁽⁵⁾。

$$\begin{aligned} k_B &= \frac{\omega}{c_B} \\ c_B &= \omega^{0.5} \times \left(\frac{Et^3}{12(1-\bar{\nu}^2) \times \rho t} \right)^{0.25} \\ v^2 &= \frac{F^2 k_B^2}{8\omega^2 \bar{m}^2 S \eta_{int}} \\ E_p &= mv^2 \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 F 、 c_B 、 E 、 t 、 $\bar{\nu}$ 、 ρ 、 $\bar{m}$ 、 m 、 S は、それぞれ、加振力、曲げ波速度、ヤング率、板厚、ポアソン比、密度、面密度、質量、平板の面積である。モード密度 $n(\omega)$ から振動入力パワーを算出する場合、次式を用いる⁽⁵⁾。

$$\begin{aligned} W_{int} &= \frac{F^2 \pi n(\omega)}{2m} \\ n(\omega) &= \frac{k_B^2 S}{4\pi\omega} \end{aligned} \quad (3)$$

2.2 実験SEAによる振動入力パワーの算出 本報での実験SEAとは、FEMやリアル実験によるSEAを指し、FEMでは節点への単位入力、リアル実験ではインパクトハンマや加振器による力の同定、加速度計による振動応答の測定により、加振点の振動入力パワーが算出される。そこで、文献5より、加振点入力パワーは、加振点の加振力 F と応答速度 V から実部(r)と虚部(j)で表すと、

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \text{Re} \langle FV^* \rangle &= \frac{1}{2} \text{Re} \langle (F_r + jF_j)(V_r - jV_j) \rangle \\ &= \frac{1}{2} \text{Re} \langle F_r V_r + F_j V_j + j(F_j V_r - F_r V_j) \rangle \\ &= \frac{1}{2} (F_r V_r + F_j V_j) \end{aligned} \quad (4)$$

である。

3. 1枚の薄板鋼板での検討

3.1 検討対象 基礎検討として、幅0.6 m、高さ0.4 m、厚さ0.8 mmの薄板鋼板を対象に、解析SEAとFEM（境界は自由）による数値解析とリアル実験（幅0.6 m、高さ0.3 m、厚さ1.6 mm、境界は自由）により構造変更による振動入力パワーへの影響を検討する。リアル実験では、次章のL型構造への影響を考慮し板厚を1.6 mmとした。数値解析では、損失係数、板厚、ヤング率を構造変更のパラメータとして検討し、デフォルト値として、それぞれ、5%、0.8 mm、 2.1×10^{11} Paとし、リアル実験では、板全面へのブチルゴム2 mmの制振材貼付（なしの質量が2.17 kg、有りが2.78 kg）を構造変更とした。

3.2 数値解析内容 解析SEAでは、3種の構造変更においてデフォルト値に対して、-90%から100%の10%刻みの間でデフォルト値を含む20水準で検討を行った。加振は単位入力（1 N）とした。

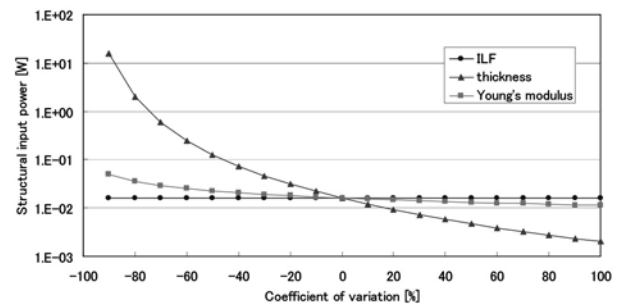
FEMによる数値解析では、有限要素解析ソフトウェアPAM-VA One 2010.5により検討し、鋼の材料特性は、密度7800 kg/m³、ポアソン比0.3125、解析対象周波数は10 Hzから2k Hzまでの10 Hz刻みの離散周波数とする。要素サイズは、2.5k Hzまでの曲げ波長に6節点が含まれる

ように設定した結果、全節点数は 1908、全要素数は 1820 である。加振入力は、全てのモードを励起するように、対象構造の左端下部の座標を $(x, y)=(0, 0)$ とすると、 $(x, y)=(0.03 \text{ m}, 0.03 \text{ m})$ の面外方向に設け、単位入力を与えた。構造変更においては、損失係数が 5 水準 (0.5 %, 3 %, 5 %, 6 %, 10 %)、板厚が 5 水準 (0.6 mm, 0.8 mm, 1.0 mm, 1.2 mm, 1.6 mm)、ヤング率は 3 水準 ($1.89 \times 10^{11} \text{ Pa}$, $2.1 \times 10^{11} \text{ Pa}$, $2.31 \times 10^{11} \text{ Pa}$) で検討した。

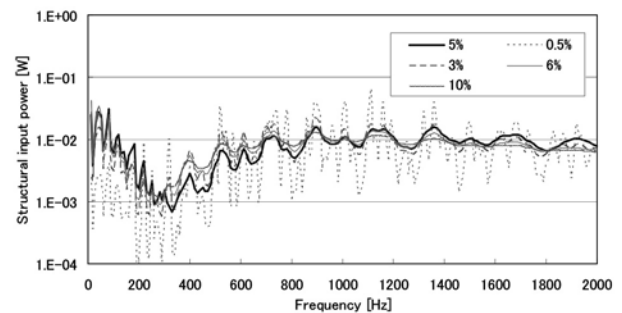
3.3 実験内容 実験においては、FFT アナライザー (小野測器, DS3200) にハンマー、加速度計を接続し、5 回のパワースペクトル加算平均を矩形窓関数で 0 Hz から 5k Hz までの 1.5625 Hz 刻みの離散周波数で測定した。鋼板の 4 隅をゴムにより吊り下げた自由支持の状態では、対象構造の左端下部の座標を $(x, y)=(0, 0)$ とすると、 $(x, y)=(0.04 \text{ m}, 0.04 \text{ m})$ の面外方向を加振し、インパルスハンマー (キスラー, 9724A) による入力の力の測定とその近傍に設置した加速度計 (PCB, 353B15) による加振点の応答を測定した。

3.4 結果と考察 解析 SEA による振動入力パワーの結果を図 1(a)に、FEM による損失係数、板厚、ヤング率をそれぞれ変動させた場合の結果を、図 1(b), 図 1(c), 図 1(d)に示す。なお解析 SEA で振動入力パワーを算出した場合、周波数に依存せず同値となる。また、実験と FEM (ここでの解析対象周波数は実験結果との比較のため 10 Hz から 5k Hz までの 10 Hz 刻みの離散周波数) により求めたイナータンスの大きさと実験による加振点の入力パワーの結果を図 2 に示す。

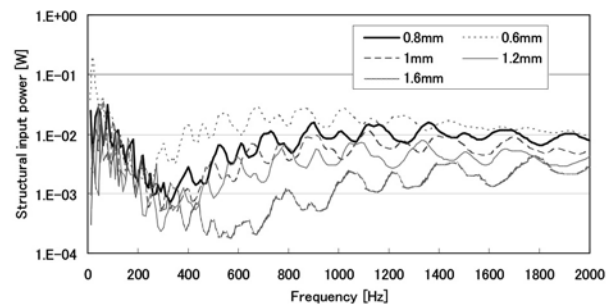
FEM 計算により境界自由では板厚が 0.8 mm の場合は、剛体モードを除いて約 12 Hz から固有振動数が見られ、1.6 mm の場合は、剛体モードを除いて約 24 Hz から固有振動数が見られた。図 1(a)より、3 種のパラメータの中で変動幅が大きいのが板厚で、損失係数については変動しないことが示されている。それは、式(1)と(2)より分母分子にある $\eta_{lm}(\omega)$ が相殺されるためであり、また曲げ波数も $\eta_{lm}(\omega)$ の関数ではないからである。式(3)から入力パワーを算出する場合も損失係数の項がないため、損失係数の影響はないと言える。次に図 1(b)より、FEM では損失係数の影響が表れ、損失係数が小さいと入力パワーの値の上下の変動幅が大きいため正しい入力パワーの同定が重要であることがわかる。また図 1(c)より、400 Hz から 1k



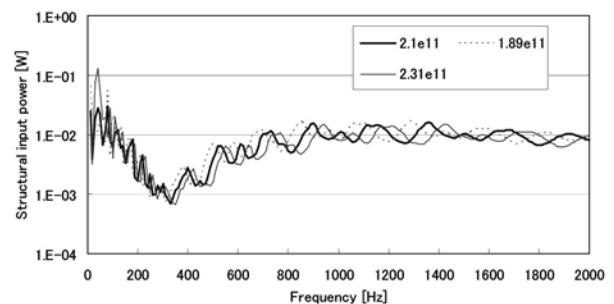
(a) Analytical SEA results



(b) FEM results by variation of ILF



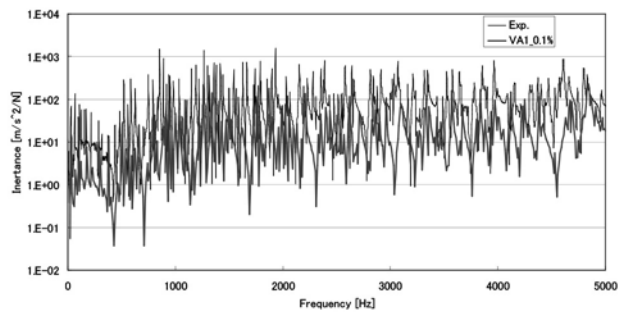
(c) FEM results by variation of plate thickness



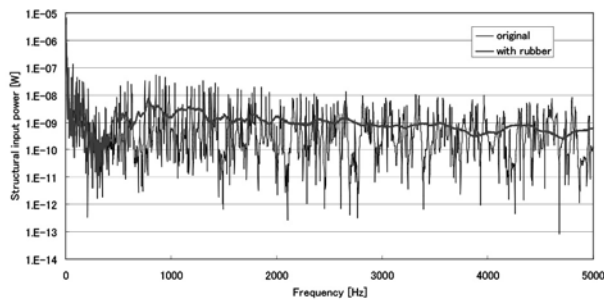
(d) FEM results by variation of the Young's modulus

Fig.1 Examples of some analytical results.

Hz あたりの周波数ではそれぞれの設定した板厚による変動幅が大きいが高周波数になるにつれて変動幅が小さくなっている。最後に図 1(d)より、ヤング率変更による



(a) Comparison between experimental results and FEM results



(b) Comparison between bare plate and structural modification by rubber

Fig.2 Examples of some experimental results.

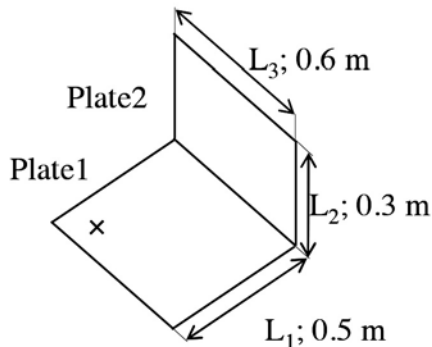
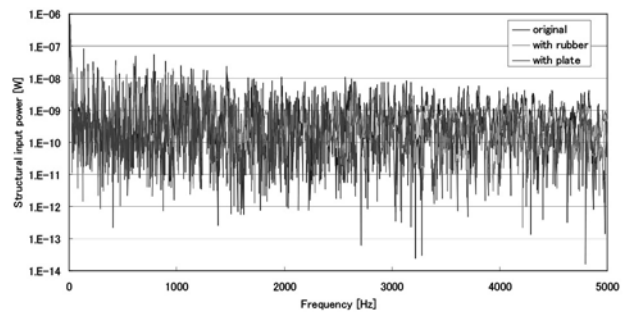


Fig.3 Test Plate.

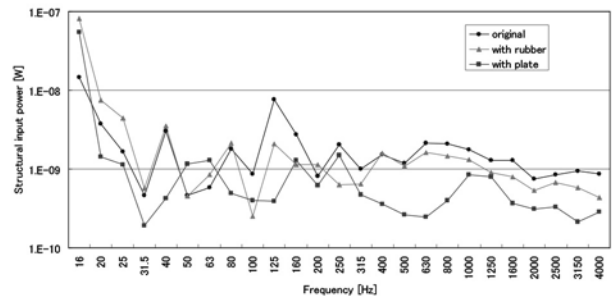
変動は小さいことがわかる。

次に図 2(a)より、構造の損失係数は 0.1 %程度であることが FEM との比較結果からわかり、図 2(b)より減衰による影響が質量による影響かは不明であるが、500Hz 程度からゴム貼付により入力パワーの値も変動も小さくなっていることがわかる。

以上のことより、1 枚の薄板鋼板構造物を対象とした解析 SEA, FEM による数値解析とリアル実験による構造変更による振動入力パワーへの影響を検討した結果、解析 SEA では、板厚の影響が大きく、損失係数の違いは入力パワーの結果に表れないこと、また FEM では損失係数



(a) Comparison between bare plate and some modifications at discrete frequency



(b) Comparison between bare plate and some modifications at one-third octave band frequency

Fig.4 In case of input to plate 1 of L shaped structure.

の影響が表れその影響が比較的大きいこと、解析 SEA と同様、板厚の影響が大きいこと、そして実験結果より、ゴム貼付により減衰に影響が表れ、周波数に依存するが振動入力パワーへの影響が表れること、が示せた。

4. L 型構造物による検討

本章では、L 型構造物を対象に解析 SEA や FEM による数値解析では困難な部分的な構造変更（ゴム貼付、板厚 up）を行う場合の振動入力パワーへの影響について実験により検討する。

4.1 対象構造物と実験内容 対象とする L 型構造物を図 3 に示す。板の材質は、SPHC で板厚は 1.6 mm である。図中の×は加振位置（左端から幅 0.12 m、高さ 0.06 m）を表している。構造変更では、板の裏面に 0.1 m×0.1 m の大きさで前章で用いた 2 mm のブチルゴム（質量 34 g）と SUS304 製の板厚 1 mm（質量 77 g）の薄板を用意し加振位置を中心に接着剤で均等に貼り付けた。拘束は前章と同様、鋼板の 4 隅をゴムにより吊り下げた自由支持の状態とし、実験内容も前章と同様である。

4.2 結果と考察 FEM 計算により境界自由では約 11

Hz から固有振動数が見られた。離散周波数と 1/3 オクターブバンドでまとめた振動入力パワーの結果を図 4 に示す。図 4(a)より離散周波数では、構造変更による効果を説明するのが困難であるが、図 4(b)の周波数帯域の結果では、振動入力パワーを低減させるためには、100 Hz 程度から概ね全ての帯域でゴム貼付が有効であること、また 80 Hz 程度からプレートの付与が有効であることがわかる。そして、プレート付与はゴム貼付に比較して振動入力パワーの値を大きく減少できることが、実験的に明らかとなった。

以上の結果より、構造変更によって振動入力パワーを変動させるためには、加振位置への板厚変更が効果的であることが、解析 SEA, FEM による数値解析とリアル実験により明らかになった。

5. おわりに

本報では、構造変更による振動入力パワーの変動を明らかにすることを目的に、1 枚の薄板平板と L 型構造物を対象に解析 SEA と実験 SEA を用いて検討した結果、以下の知見が得られた。

- (1) 解析 SEA による振動入力パワーと実験 SEA による加振点振動入力パワーの算出方法を整理した。
- (2) 板厚変動が振動入力パワーの値に影響が大きいことを、実験的に明らかにした。

謝辞

本研究の一部は、公益財団法人 JKA の競輪*の補助(2017M-114)と長崎総合科学大学新技術創成研究所からの助成を受けたものであり、ここに謝意を表する。

参考文献

- (1) 黒田, 山崎, SEAとTPAによる機械構造物の入力パワーと伝達寄与に関する一考察, 日本機械学会論文集C編, Vol.79, No.799(2013), pp. 495-506.
- (2) 山崎徹, 黒田勝彦, 森厚夫, SEAによる機械製品の固体音低減プロセス, 日本機械学会論文集C編, Vol. 73, No. 726 (2007), pp. 446-452.
- (3) K. Kuroda, F. Kuratani, and T. Yamazaki, "The Method of Application of SEA in Structural Design Process for Reducing Structure-borne Noise in

Machinery Part2: Structural Optimization of Subsystems", MECHANICS, Vol. 28, No. 3 (2009), pp. 76-82.

- (4) 林 巖, 岩附 信行, 牧 泰希: 歯車騒音の放射パワーの推定に関する研究, 日本機械学会論文集C編, Vol. 56, No.531 (1990), pp.208-214.
- (5) L.Cremer, M. Heckl, B.A.T Petersson, Structure-Borne Sound, pp. 301-303, Springer.

超音速ノズル内流れの実験的研究

松川 豊^{*1}・浦田 竜輔^{*2}・永川 凱基^{*2}

Experimental study of supersonic nozzle flow

MATSUKAWA Yutaka, URATA Ryosuke and EGAWA Yoshiki

Summary

The supersonic flow inside a supersonic nozzle was experimentally studied. The designed Mach number of the nozzle was 1.5. The pressure on the nozzle wall was measured, and the flow inside the nozzle was optically visualized. The flow inside the nozzle reached to a Mach number of 1.5, and no strong shock waves were formed inside the nozzle. These results validated the design of the supersonic nozzle.

Keywords : (fluid dynamics, supersonic flow, visualization)

1. 研究目的

超音速流れは、流れの流速が流体の音速よりも速い流れであり、航空機やジェットエンジン等の各種の機械や装置において現れる。

その一方で、超音速流れの利用における工学的課題も残されている。例えば、極超音速航空機のスクラムジェットエンジン内における燃料の超音速混合の課題や、ロケットエンジン始動時における過大横推力の課題などがあげられる。

そこで、本学流体工学研究室では、超音速流れの実験的研究に供することを目的として、超音速気流発生装置の作製を進めている¹⁻⁴⁾。

先行研究においては、流れを光学的に可視化することを試みた¹⁾。その結果、ノズルからのジェットを可視化することができた。また、ジェットは超音速になっていることを確認した。

本研究では、先行研究の成果を踏まえながら、ノズル

内部における流れの可視化を目指した。そして、ノズル内壁面圧力の計測とノズル内部の可視化にもとづいてノズル内流れを調べ、ノズルの設計の妥当性を検討した。

2. 実験方法

2.1 ノズルの設計

本研究で使用したノズル全体の形状と寸法を図1に示す。スロート高さは5 mmで、スロートの曲率半径も5 mmである。また、ノズル幅は4 mmである。

ノズルの形状は、先行研究において使用したノズルと同じ、設計マッハ数1.5のハーフノズルである。ノズルの形状は特性曲線法^{5, 6)}に基づいて設計し、その形状を図2に示す。ノズルの形状はスロート高さに相対的な形状として決まり、スロート高さを1とすると、ノズルの出口高さは1.20で、スロートから出口までの長さは2.80である。

^{*1} 工学部 工学科 機械工学コース 准教授

^{*2} 工学部 工学科 機械工学コース

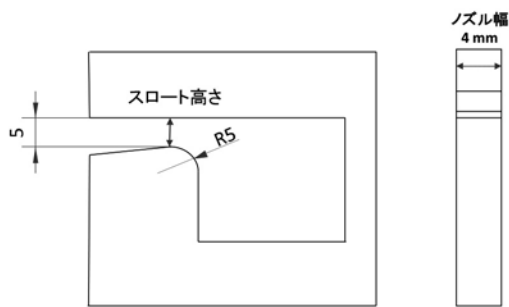


図1 ノズル全体の形状

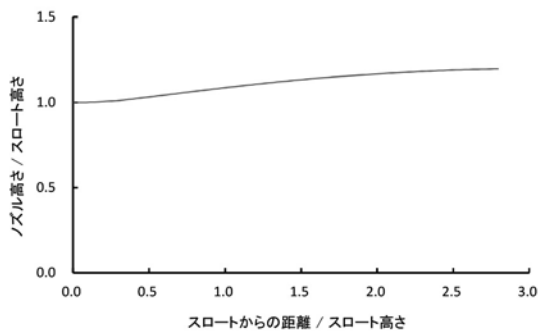


図2 ノズルの形状

2.2 実験の基本構成

実験の基本構成を図3に示す。エアコンプレッサで生成した圧縮空気をエアドライヤで除湿しメインタンクに貯蔵した後、ボールバルブを開くことでノズル部に高圧空気が供給され、ノズル内に気流が生成される。そして、気流の圧力を圧力センサにより計測し、A/D変換した計測データをPCで記録する。また、ノズル内の流れをシュリーレン法⁷⁾により可視化する。

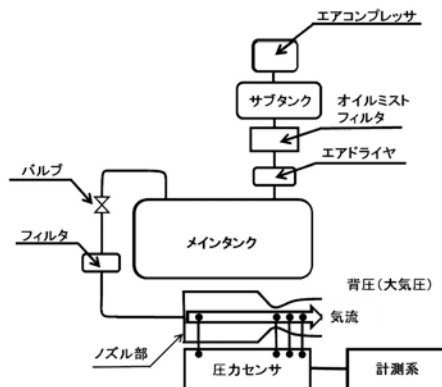


図3 実験の基本構成

2.3 ノズルの実装

実験で使用したノズルは、前述したノズル形状にもとづいて、アクリルを加工して作製した。その実装の様子を図4に示す。ノズルは空気供給口を設けたアクリルの板材に取り付けられており、集合洞に供給された空気はスロートを経由して流れを形成し、その後、ノズル出口から実験室内に流出する。また、気流が流出する環境の圧力を背圧と呼ぶ。この場合は大気圧が背圧となる。

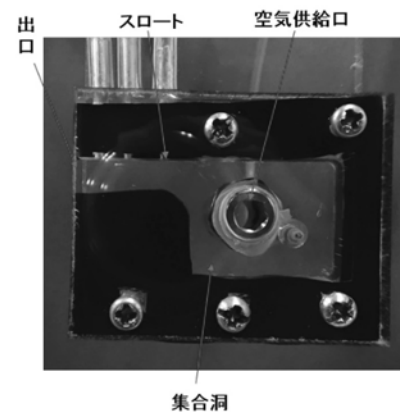


図4 ノズルの実装

2.4 圧力の計測法

このように作製したノズルにおいて、図5に示すように、4箇所圧力孔を設けて圧力の計測を行った。圧力孔の位置は、集合洞とスロートに1箇所ずつ、そして、スロートから下流側に5mmと10mmの2箇所である。圧力計測のA/D変換におけるサンプリング周波数は10Hzとした。

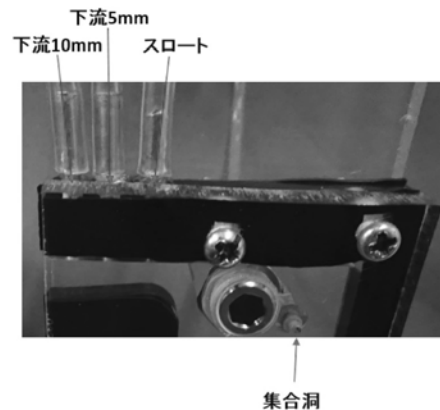


図5 圧力孔の位置

3. 実験結果

3.1 圧力計測結果

3.1.1 圧力の時間履歴

測定した圧力の時間履歴を図 6 に示す。通風を開始すると、タンクの空気が流れ出すことでタンク内の圧力は低下してゆく。それにともない、各位置における圧力も時間の経過とともに低下してゆくことがわかる。気流の下流側であるスロートにおける圧力は集合洞における圧力よりも低くなっているが、これは、ノズルにおいて気流が加速されていることを示している。なお、圧力の時間履歴には再現性があることを確認している。

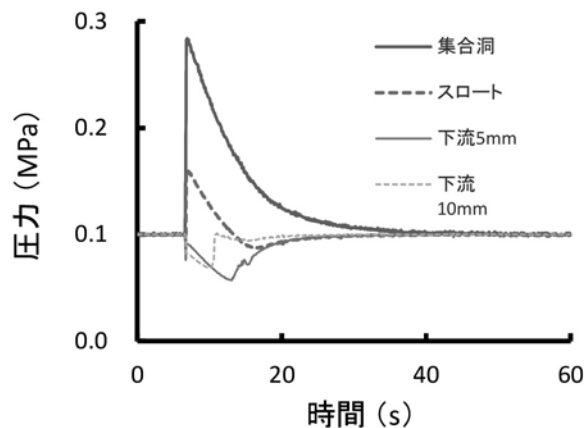


図 6 圧力の時間履歴

3.1.2 圧力比の時間履歴

次に、図 6 に示した圧力の時間履歴を、集合洞における圧力に対する比として示すと図 7 のようになる。図には背圧に対する圧力比も示してある。通風を開始すると、ノズル内の圧力比は背圧の変化に連動せず、ほぼ一定の値となっている。これは、ノズル内の流れが超音速になっており、下流側の変化が上流側に伝わらないことを示している。また、時間が経過すると、やがて背圧の変化に連動して変化できるようになることがわかる。

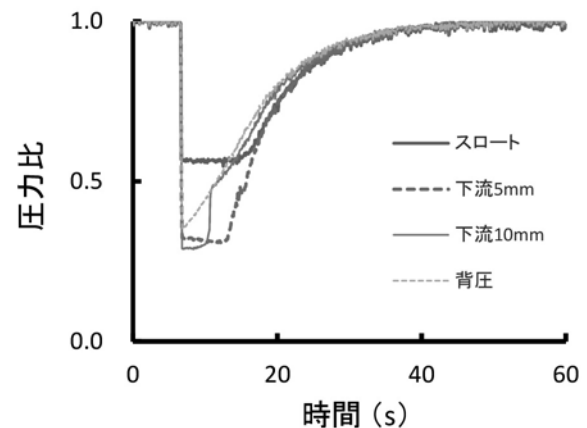


図 7 圧力比の時間履歴

3.1.3 マッハ数の時間履歴

ノズル内の流れが、衝撃波や粘性の影響のない等エン트로ピ流れになっている場合、流れのマッハ数と圧力比の間には次式が成立する⁵⁾。

$$M = \sqrt{\frac{2}{\gamma-1} \left[\left(\frac{P_0}{P} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]} \quad (1)$$

ここで、 M はマッハ数、 P_0 は流れの総圧、 P は圧力、 γ は比熱比（空気の場合は 1.4）である。

図 7 に示した圧力比にもとづいて、式(1)より求めたマッハ数の時間履歴を示すと図 8 のようになる。図より、スロートから下流 10 mm におけるマッハ数は、設計マッハ数 1.5 に近い約 1.45 になっていることがわかる。

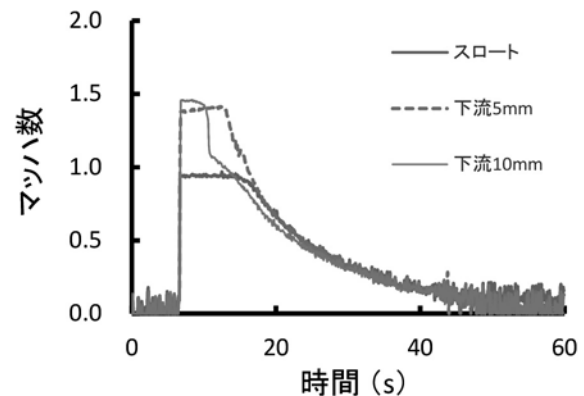


図 8 マッハ数の時間履歴

3.2 可視化結果

3.2.1 通風開始時の流れ

通風開始時のシュリーレン画像を図 9 に示す。また、画像をもとに分析した流れの構造を図 10 に示す。気流は右から左へ流れている。

ジェット境界は、ノズルからのジェットと周囲空気との境界である。また、ノズルからのジェットには、衝撃波と膨張波が白色と黒色のパターンとして現れている。これらは超音速流れに特有な現象であることから、ノズルからのジェットは超音速になっていることがわかる。

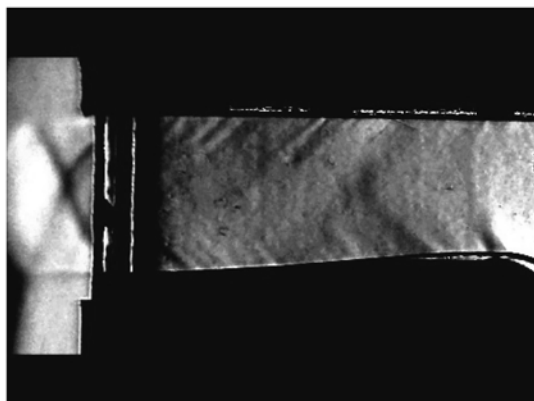


図 9 通風開始時のシュリーレン画像

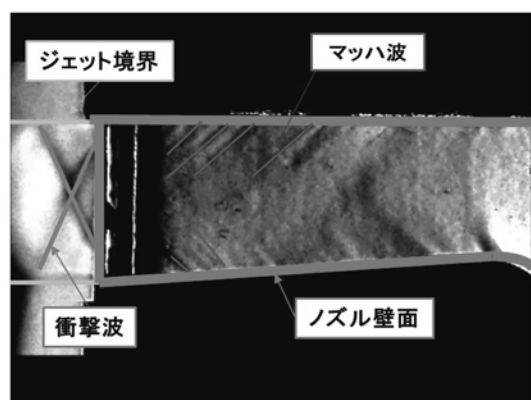


図 10 通風開始時の流れの構造

一方、ノズル内部においては衝撃波の発生は見られない。また、ノズル壁面からは、弱い圧力波である多数の

マッハ波が生じていることがわかる。マッハ波の角度をマッハ角と言い、マッハ数との関係は次式となる⁵⁾。

$$\sin \alpha = \frac{1}{M} \quad (2)$$

ここで、 α はマッハ角である。この式から、マッハ数が大きいほどマッハ角は小さくなることがわかる。図 11 に示すように、下流側にゆくほどマッハ角は小さくなっていることから、マッハ数は増大していることがわかる。

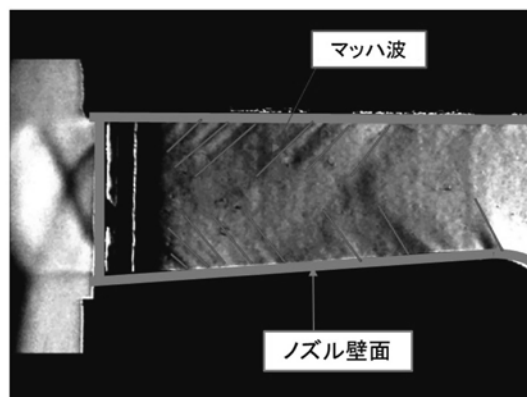


図 11 マッハ角の変化

図 12 に示すように、スロートから下流 5 mm と 10 mm 付近において、画像から測定したマッハ角はそれぞれ 45° と 42° である。そして、式(2)からマッハ数を求めると、下流 5 mm においてマッハ数は約 1.4 であり、下流 10 mm においては約 1.5 となる。この結果は、圧力計測にもとづく結果と一致している。

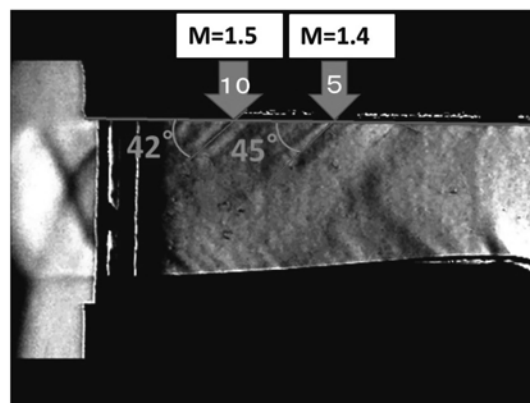


図 12 マッハ角とマッハ数

図9と図10に見られる、ジェット内に発生している衝撃波は、時間の経過とともにノズル出口に近づいてゆく。そして、この衝撃波がノズル出口に到達するまでは、ノズル内の流れは全域で超音速になっている。このような流れが持続する時間は約3秒である。

3.2.2 通風開始から6秒後の流れ

通風開始から時間が経過すると、ジェット内に発生している衝撃波はノズル出口に近づいてゆき、その後、この衝撃波はノズル内の垂直衝撃波になる。図13は、通風開始から6秒後のシュリーレン画像である。図に示す矢印の位置に垂直衝撃波がある。その上流側には丸枠で示す位置にマッハ波が見られるが、下流側には見られないため、下流側は亜音速になっていることがわかる。

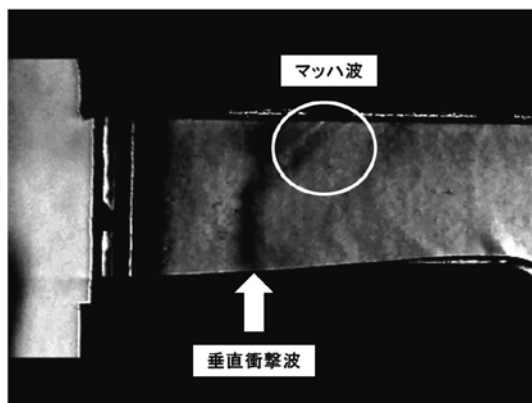


図13 通風開始から6秒後のシュリーレン画像

3.2.3 通風開始から6秒以降の流れ

ノズル内の垂直衝撃波はその後、図14に示すように、時間の経過とともに上流側に移動してゆき、スロート付近において消失する。これは、上流側にゆくほどマッハ数は小さくなるため、衝撃波の強さが弱くなってゆくためである。



(a) 7秒後



(b) 8秒後



(c) 9秒後



(d) 10秒後

図14 垂直衝撃波の時間変化

4. 結論

本研究は、先行研究の成果を踏まえながら、ノズル内部における流れの可視化を目指した。そして、ノズル内壁面圧力の計測とノズル内部の可視化にもとづいてノズル内流れを調べ、ノズルの設計の妥当性を検討した。

圧力計測と可視化によりノズル内流れを調べた結果、両者により得られたマッハ数は一致していた。また、スロートから下流 10 mm におけるマッハ数は 1.5 であり、設計マッハ数と一致していた。さらに、ノズル内部に衝撃波は発生していないことが可視化によりわかった。

以上より、本研究におけるノズルの設計は妥当であり、超音速ノズルとして機能していると言える。

参考文献

- (1) 荒木康孝, 森健太郎: 超音速発生装置の解析と試作, 2013年度長崎総合科学大学機械工学科卒業論文, (2014)
- (2) 末永慶太, 武藤乗仁: 超音速気流発生装置の作製, 2014年度長崎総合科学大学機械工学科卒業論文, (2015)
- (3) 川口健太, 角下淳平: ベル型ノズルによる超音速気流発生装置の作製, 2015年度長崎総合科学大学機械工学科卒業論文, (2016)
- (4) 松川豊, 松本航暉, 古賀勇輝: 超音速気流の生成と可視化, 長崎総合科学大学新技術創成研究所所報, 第12号 (2017) pp. 33-38
- (5) 松尾一泰: 圧縮性流体力学, 理工学社, (1994)
- (6) 木村逸郎: ロケット工学, 養賢堂, (1993)
- (7) 流れの可視化学会編: 流れの可視化ハンドブック, 朝倉書店, (1986)

海藻生育を目的とした小型閉鎖循環システムの構築

市瀬 実里^{*1}, 岡部 慎太郎^{*1}, 野田 僚太^{*1}, 村田 隼人^{*1}, 八坂 達也^{*1}

Construction of small scale closed seawater recirculating system for growing sea algae

ICHISE Misato, OKABE Shintaro, NODA Ryota, MURATA Hayato, YASAKA Tatsuya

Summary

In this study, we established and maintained a small scale closed seawater recirculation system on land using artificial seawater for the purpose of observing the relationship with sea algae growth rate and illuminance. And, as a pilot experiment, we confirmed the seawater quality change due to the presence of sea algae and bivalves.

Keywords : (closed recirculation system, artificial seawater, sea algae growth, biomarker)

1. はじめに

近年、日本各地の海洋環境で水産植物が減少・消失する現象が報告されており、長崎県内の漁場においても磯焼けやそれに伴う二次被害などが報告されている。磯焼けは主に浅瀬に生息する水産植物が、魚介類によって捕食されることにより起こる現象である。限局的かつ一過的に捕食された状況であれば、次世代の水産植物の生育は問題になることは少ない。しかし多くの場合、広範囲で継続的に捕食されるため、各種水産植物が枯渇する事態を引き起こし、当該海洋環境の生態系に変化を及ぼす。磯焼けなどの海洋環境における水産植物の減少は、その原因の大半が判明していることが多く、対策や処置が施されているケースもあるが、根本的な解決には至っていない。

海水中に生息する水産植物、一般的に「かいそう」と呼ばれるものには「海藻(sea algae, seaweed)」と「海草(sea grass)」の2つが存在する。海藻は陸上植物のよ

うに、葉・茎・根の分化がはっきりしておらず、全体を葉状体(thallus)といい胞子で増殖する。一方、海草は海産顕花植物(marine phanerogam)のことで、葉・茎・根の分化が明確な点で海藻と異なる。海草は種子によって増殖し、発芽してすぐに陸上植物と同様に次世代の植物体に成長する⁽¹⁾。年々日本における海藻類は減少の一途を辿っており、それを捕食する海洋生物の減少や絶滅も増加している。アサクサノリ *Pyropia tenera* は日本で最も多く生産され、広く水産業に利用されてきたが、現在、環境省が発表しているレッドリストで絶滅危惧Ⅰ類に指定されている⁽²⁾ (表1)。また、長崎県が発表しているレッドリストにも、アサクサノリは絶滅危惧Ⅰ類に指定されている⁽³⁾。ホソエガサ *Acetabularia caliculus* は環境省発表のレッドリストで絶滅危惧Ⅰ類に指定されているが、長崎県ではDD(情報不足)となっており、現時点では絶滅危惧種に分類されてこそいないが、近年の水準から推測すると、ホソエガサも近い将来に絶滅危惧にカテゴ

^{*1} 長崎総合科学大学 総合情報学部 総合情報学科 生命環境工学コース

ライズされることが予想される。

本研究では、長崎県内の海水域に生息する海藻と、その海藻を捕食し磯焼けの一因となる魚類の食性との関連性を検討することを最終的な目標とした。その目標を達成するにあたり、前段階の作業として、照度と海藻類の成長速度との関連性や、海藻類消費者の水温変化による生態などを検討することが必要とされた。そのため、今回、人工海水を用いた閉鎖海水循環システムの確立・維持を行うことで、陸上における飼育環境を設定した。また、同時にプレテストとして藻類と二枚貝の有無による水質変化の確認を行った。

表 1. 環境省レッドリスト 2017 に掲載されている藻類

絶滅 (EX) 4 種	コスジノリ <i>Porphyra angusta</i> イケダシヤジクモ <i>Chara fibrosa</i> ハコネシヤジクモ <i>Chara globularis</i> キザキフラスコモ <i>Nitella minispora</i>
野生絶滅 (EW) 1 種	テガヌマフラスコモ <i>Nitella furcata</i>
絶滅危惧 I 類 (CR+EN) 95 種	スイゼンジノリ <i>Aphanothece sacrum</i> ニセウシケノリ <i>Bangiopsis subsimplex</i> タニウシケノリ <i>Bangia atropurpurea</i> マルバアサクサノリ <i>Pyropia kuniedae</i> アサクサノリ <i>Pyropia tenera</i>
絶滅危惧 II 類 (VU) 21 種	オオイシソウ <i>Compsopogon caeruleus</i> ケコナハダ <i>Ganonema farinosum</i> チスジノリ <i>Thorea okadae</i> ハナヤナギ <i>Chondria armata</i> ホンバワカメ <i>Alaria angusta</i>
準絶滅危惧 (NT) 41 種	ソメワケアマノリ <i>Pyropia katadae</i> ハイコナハダ <i>Yamadaella caenomyce</i> ヤタベグサ <i>Gelidium hirsutum</i> オキツバラ <i>Constantinea rosa-marina</i> イソモッカ <i>Catenella caespitosa</i>
情報不足 (DD) 40 種	キイロタサ <i>Wildemanian occidentalis</i> ウタスツノリ <i>Pyropia kinositae</i> カヤベノリ <i>Pyropia moriensis</i> タネガシマアマノリ <i>Pyropia tanegashimensis</i> ベニタサ <i>Wildemanian amplissima</i>

(一部抜粋)

2. 材料と方法

2.1 海洋生物の採集

本研究で海水の水質管理を行うための判断材料が必要とされたため、環境指標生物（ストレスマーカー）としてメジナ *Girella punctata* の飼育を行った。メジナは雑食性で、夏場は主に甲殻類などの小動物を捕食するが、冬場は主に海藻を食べるため、水温変化に応じた食性の変化が見られるという理由で選択した。また水質向上の有無を確認するために 2 種類の二枚貝、4 種類の海藻（緑藻・紅藻・褐藻）を採集し、実験水槽に段階的に投入した（図 1）。

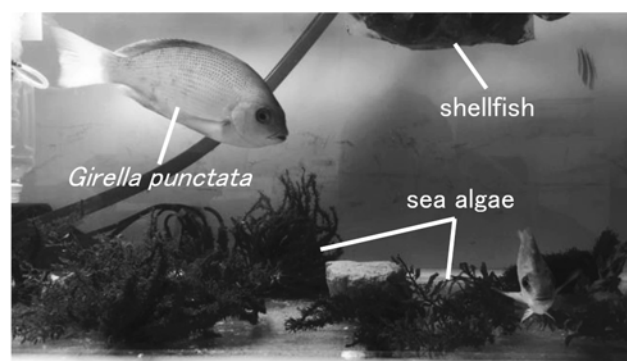


図 1. 採集した海洋生物

本研究で使用した海洋生物は、平成 29 年 6 月から 12 月の間に長崎県長崎市所在の海水域（東長崎地区、橘湾周辺）において採集を行った（図 2）。採集したメジナは実験水槽および飼育水槽下で定期的に食餌（乾燥オキアミ）の投与を行った。



図 2. 海藻および二枚貝の採集風景

2.2 閉鎖系海水循環装置の組立

以下の器具・器材を順次組み立てた。

200L 実験水槽（寿工芸社 アクアリスト KC-1200LT 1200 mm×450 mm×450 mm）、300L 飼育水槽（SHINWA 社 ブル・コンテナ）、送水ポンプ（エーハイム社 コンパクトオン 1000）、水温調節器（Tetra 社 クールパワーボックス CPX-75）、濾過フィルター（カミハタ社 Rio+1400）、光合成用照明器具（Tetra 社 プレミアム LED ライト 90）、浄化槽エアープンプ（安永社 AP-40P）、連結ホース（エーハイム社 内径 16mm/外径 22mm）。

実験水槽からの排水は、電源無供給で稼働するサイフォン式オーバーフローを採用した。濾過槽は透明色の正方形バックルコンテナで代用した。また、光合成用照明は光束を 2400 lm に設定し、人工海水（マリンソルト社）による循環の際から導入を開始した。

2.3 自然海水による閉鎖循環

自然海水を約 500L 用意し、完成した閉鎖系海水循環装置に投入した。海水の循環を開始して 1 週間様子を観察したのち、ストレスマーカーとしてのメジナを実験水槽に投入した。

2.4 人工海水による閉鎖循環

自然海水を循環して送水量を安定させたのち、海水総量の約半分を人工海水に入れ替えた。メジナの様子が安定した時期を見計らい、海藻類と貝類の投入を行った。

3. 結果と考察

3.1 自然海水による閉鎖循環

閉鎖系海水循環装置を組み立てたのち、自然海水を注入することで閉鎖循環システムの構築を行った。注入を開始して約 1 週間は、自然海水は透明水槽において目視で確認できる程度に緑色であり、顕微鏡下で微細藻類が観察されたことから富栄養状態であることが伺えた（図 3）。また、水質試験においても、硝酸・亜硝酸ともに水産用水基準値内の数値（硝酸：7 mg/L、亜硝酸：0.06 mg/L）であり、脱窒が正常であることが確認され、適度な溶存酸素量があることが示唆された。しかし、1 週間を過ぎたあたりから、海水の汚濁が減少するとともに、



図 3. 自然海水で観察された微細藻類（アオサ藻類）

緑色の程度が希薄になってきた。これは濾過フィルターが正常に作動し、海水中の汚泥をフィルタリングしたことを意味しているが、同時に微細藻類まで濾過してしまった可能性もある。そのため亜硝酸濃度とアンモニア濃度が上昇し、ストレスマーカーとしてのメジナも 1 週間を過ぎたあたりから弱り始めた個体が現れ、体表面に重度の擦過傷を持つものや、死亡してしまうケースもあった。

3.2 人工海水による閉鎖循環

循環水を自然海水から人工海水に切り替え、閉鎖循環システムの運用を試みた（図 4）。海水総量の約半分を人工海水に入れ替えた直後に、光合成用照明器具を導入したことにより、約 1 週間程度で実験水槽のガラス面の全面に藻類の付着が見られた。確認された藻類は紅藻と褐藻が主であり、緑藻は比較的密度が低かった。微細藻類の可視化が確認されたのと同時に、亜硝酸濃度とアンモニア濃度が減少したため、二枚貝による水質浄化と脱窒の正常化が行われたと判断した。実際、ストレスマーカーとしてのメジナは、人工海水入れ替え前は弱々しい挙動を示していたが、人工海水入れ替え後に藻類が繁茂した状態になると運動の機敏性が良く、飼育水槽中のメジナと差異のない様子であった。体表面の擦過傷は劇的に減少した。また、メジナには定期的に食餌を与えていたが、海水温を 18℃に設定した状況下で観察すると、採集した海藻に加え、実験水槽のガラス面に繁茂した海藻を食べたと思われる痕跡（歯形）が確認された。

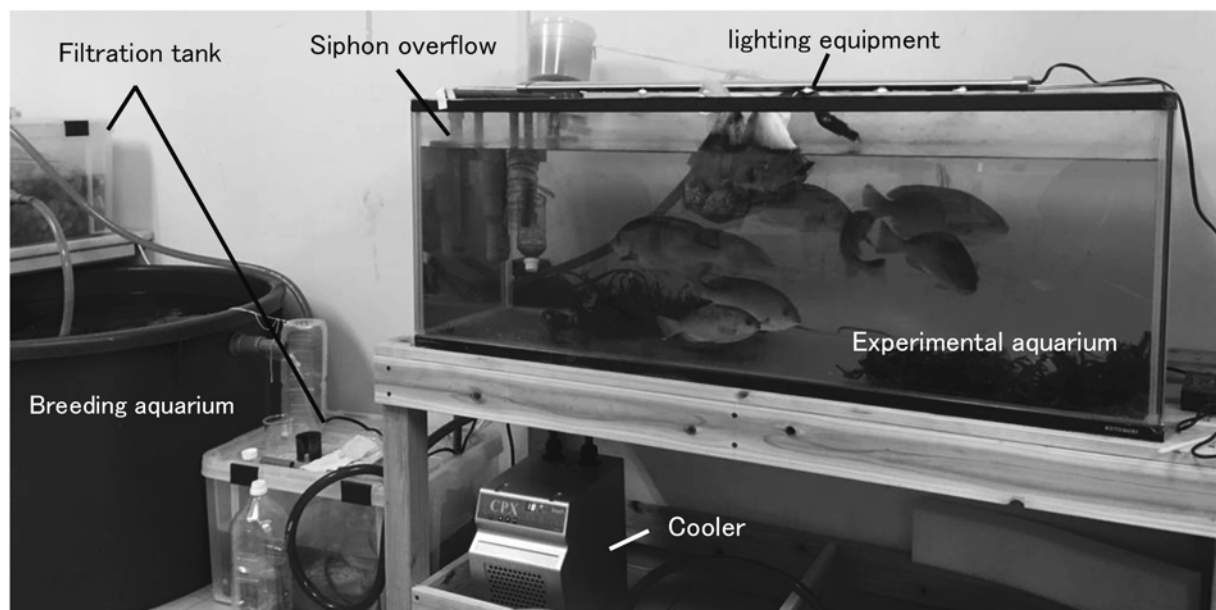


図 4. 構築した閉鎖循環システムの全体像

3.3 閉鎖循環システムによる飼育管理

今回の実験は夏場から冬場にかけて行ったため、水温の管理に非常に気を配る必要があった。特に冬場は日中の気温差が激しく、水温変化に弱い海洋生物を適切な飼育環境で維持するのが困難であった。閉鎖循環型の海水循環システムは本来、陸上における魚介類の養殖に利用されることが多く、中規模以上の装置・環境での効果が報告されている^{(4) (5) (6) (7)}。今回構築を行った循環システムは貯水量・水流の観点から見ると *in vitro* 系の領域に留まるため、養殖という生産的な目的で実験を行ったわけではないが、海洋生物を飼育・観察する上で最低条件を満たしたにすぎないと思われる。飼育管理技術の今後の課題としては、現在運用している閉鎖循環システムの改良（図 5）や脱窒槽の本システムへの追加などを検討しており、より高度な飼育管理下で実験を行っていきたい。

また、本研究では環境指標生物（ストレスマーカー）としてメジナを使用した。視認した体調の変化や体表面の状態のみのわずかな情報しか得ることができなかったため、単純な水質検査を除く水質変化の判断材料が乏しく、水質の安定化に多くの時間を要した。飼育管理技術では近年、ストレスマーカーとして遺伝子組換え技術によるトランスジェニックフィッシュが用いられており、

例としてゼブラフィッシュが挙げられる。遺伝子組換えを行ったゼブラフィッシュは、熱ストレスや重金属、汚染物質等の環境ストレスを受けると体が青色に変色するため、体色の変化の程度からストレス応答を正確に把握することが可能である^{(8) (9) (10) (11)}。ストレスマーカーとしてトランスジェニックフィッシュを使用することが可能であれば、ストレス強度を観察しながら飼育することで、飼育管理技術確立をより短期間で行うことができると期待される。

単純水質検査について、本研究では水温や pH、硝酸、亜硝酸濃度、アンモニア濃度などを用いたが、検査項目数が少なかったことも水質安定化に時間を要した原因である。閉鎖循環での pH は一般的に 7.4~8.4 の範囲で良好な硝化作用が維持されると言われており、pH が 7.0 以下になると硝化細菌の活性が落ちて硝化が進まなくなる可能性が報告されている^{(12) (13) (14)}。今回の実験では pH は平均して 7.5 を維持していたが、人工海水に入れ替える直前の自然海水では 7.0 を下回ったことがあった。これは前述したとおり、実験水槽中の藻類の減少が原因であり、脱窒が正常に行われていなかったと考えられる。人工海水入れ替え後に光合成用照明器具を導入することにより、亜硝酸およびアンモニアともに速やかに改善・安定化したことが確認された。しかし、硝酸については

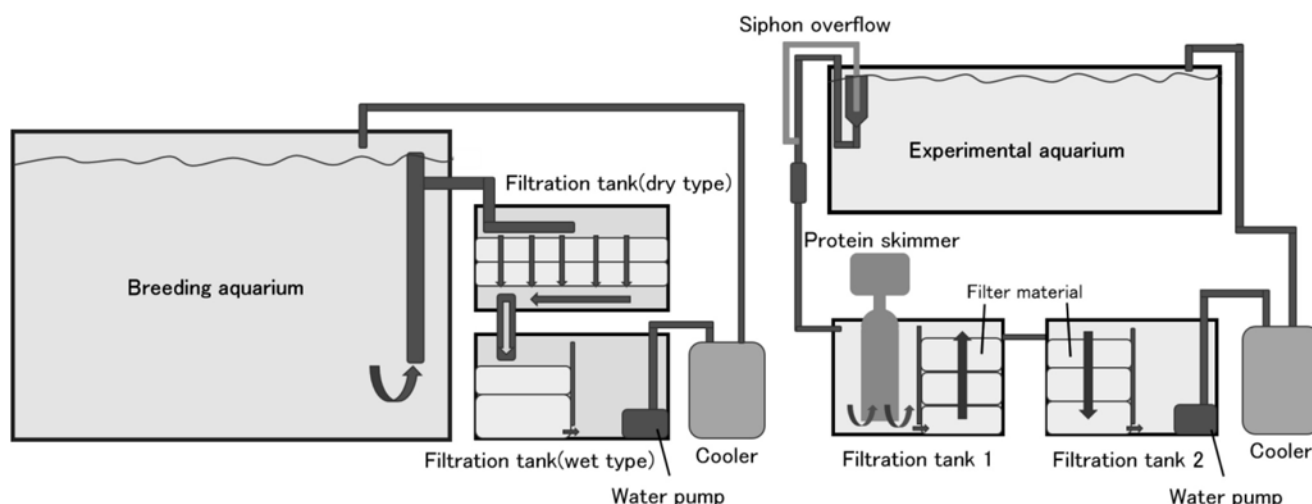


図5. 改良予定の閉鎖循環システムの構造

高濃度状態が比較的長期間続き、実験水槽中の脱室の速度が遅いことが示唆された。硝酸については、脱室槽の設置による海洋性脱室細菌の有効性の有無を検討する必要がある。

4. まとめ

本研究では多大な時間と労力を費やしながらも、小型閉鎖循環システムを用いて、水質を基調とした飼育管理技術を確認し、維持することに成功した。実験作業中に、送水ポンプが抜け落ち、実験水槽中の海水が全て流れ出すアクシデントがあったことから、送水ポンプ・連結ホース系の頑強なインフラ整備の必要性を確認することができた。また、本研究では電力無供給を目的として、実験水槽にサイフォン式オーバーフローの付属を採用したが、器具自体が目詰まりするなどのトラブルもあり、電力を消費しないという大きなメリットを持つものの、改良を要する余地を含め今後の課題として残った。自然海水は微細藻類が存在するため、適度な照度であれば脱室に対する懸念はないが、海水の運搬に費やす時間やコストを考慮すると、当該研究設備の規模では人工海水粉末を購入するほうが低コストであるということが確認された。今後、二枚貝や海藻（緑藻・紅藻・褐藻）の種の選別を行い、当該環境下および改善した環境下での最適飼育条件を検討する必要がある。

謝辞

本研究は長崎総合科学大学新技術創成研究所からの助成によって行われており、ここに謝意を表します。

参考文献

- (1) 山田信夫：新訂増補版 海藻利用の科学，成山堂，pp6-8（2013）
- (2) 環境省：環境省レッドリスト 2017，pp119-123（2017）
- (3) 長崎県：長崎県レッドリスト平成 22 年度改訂版 中間見直し 藻類，pp1（2016）
- (4) 矢田貞美：養殖・畜養システムと水管理，恒星社厚生閣，pp36-41（2004）
- (5) T. M. Losordo, A. O. Hobbs and D. P. Delong, : The design and operational characteristics of the CP&L/EPRI fish barn : a demonstration of recirculating aquaculture technology., *Aquacultural Engineering* 22, pp3-16（2000）
- (6) Kikuchi, K., T. Furuta, H. Ishizuka and T. Yanagawa, : Growth of tiger puffer, *Takifugu rubripes*, at different salinities., *J. World Aquacult. Soc* 38, pp427-434（2007）
- (7) Lee, K. M., T. Kaneko and K. Aida, : Low-salinity tolerance of juvenile fugu *Takifugu rubripes*., *Fish. Sci.*, 71,1324-1331（2005）

- (8) 蔭池 勇太, 松岡 雅人 : ゼブラフィッシュモデルの環境毒性学研究における有用性, 日本衛生学会日衛誌, 71, pp227-235 (2016)
- (9) Muthulakshmi S, Maharajan K, Habibi HR, Kadirvelu K, Venkataramana M, : Zearalenone induced embryo and neurotoxicity in zebrafish model (*Danio rerio*): Role of oxidative stress revealed by a multi biomarker study., *Chemosphere* 198, pp111-121, (2018)
- (10) Pecoraro R, Salvaggio A, Marino F, Di Caro G, Capparucci F, Lombardo BM, Messina G, Scalisi EM, Tummino M, Loreto F, D'Amante G, Avola R, Tibullo D, Brundo MV, : Metallic Nano-Composite Toxicity Evaluation by Zebrafish Embryo Toxicity Test with Identification of Specific Exposure Biomarkers., *Curr Protoc Toxicol.* 8:74, pp1.14.1-1.14.13 (2017)
- (11) Yin J, Wang AP, Li WF, Shi R, Jin HT, Wei JF, : Sensitive biomarkers identification for differentiating Cd and Pb induced toxicity on zebrafish embryos., *Environ Toxicol Pharmacol.* 56, pp340-349 (2017)
- (12) 吉野博之, Daniel E. GRUENBERG, 渡部勇, 宮嶋克己, 佐藤修 : ペヘレイの閉鎖循環式養殖による水質変化と浄化機構, 水産増殖 47(2), pp289-297 (1999)
- (13) Sakami T, Andoh T, Morita T, Yamamoto Y, : Phylogenetic diversity of ammonia-oxidizing archaea and bacteria in biofilters of recirculating aquaculture systems., *Mar Genomics.* 7, pp27-31 (2012)
- (14) Michaud L, Lo Giudice A, Troussellier M, Smedile F, Bruni V, Blancheton JP, : Phylogenetic characterization of the heterotrophic bacterial communities inhabiting a marine recirculating aquaculture system., *J Appl Microbiol.* 1:107(6), pp1935-46 (2009)

クモの網に衝突するショウジョウバエの飛行経路推定

繁宮 悠介*

Trajectory estimation of fruit flies flying into spider webs

SHIGEMIYA Yusuke

Summary

Trajectory estimation of tiny insects will contribute to development of behavioral ecology. This study attempted to construct 3D images of trajectory in fruit flies flying into spider webs, using 2 synchronized cameras and free software packages. Artificial arena containing a debris spider *Cyclosa argenteoalba* on its web was set in the open air, and *Drosophila melanogaster* flying into web was recorded by 120 fps. Each movie was processed into strobe motion picture, and the identical points were pared between two pictures from the front and the side of arena. 3D images generated for 5 intercepts provided observable trajectories from arbitrary point of view. There were problems that flies are hidden behind or melted into parts of arena in strobe motion pictures, and that the differences in length of 8 sides of arenas between 3D images and the real were 6.6 % in average and 30% in maximum.

はじめに

画像解析技術の発展とともに、微小な昆虫の飛行経路や体節の動きまでもが計測できるようになった (1, 2)。以前は専用の機器やソフトウェアが必要だったが、今では汎用機器やフリーソフトでも解析可能になったことで、これまで行われてきた認知科学および神経行動学的な研究から、行動生態学的な研究への応用が可能となりつつある (3, 4, 5)。

造網性のクモにおいて、明るく目立つ体色が餌生物を誘引することで捕獲効率を上昇させているという研究結果が報告されている (6, 7, 8, 9, 10)。一方で、目立つ体色が捕獲効率に影響しないという報告もあり (11, 12, 13)，また、ギンメッキゴミグモ *Cyclosa argenteoalba* においては、腹部に銀色部が多い目立つ個体より、黒色部が多い個体の方が捕獲効率が高いという結果が出ている (14)。

ギンメッキゴミグモの腹部には、黒色部と銀色部から成る複雑な模様があり、二色の割合には個体変異がある。本種において体

色の違いが捕獲効率に影響する理由としては、紫外線を反射する銀色部が多い個体が餌昆虫に見つかりやすいため避けられていることが示唆されるが (14)、実際に餌昆虫が銀色部の多い個体を避けているのか、黒色部の多い個体に誘引されているのかは不明である。捕獲効率の違いを引き起こす理由を明らかにするためには、餌昆虫が網の周辺を飛行する際の飛行経路を観察することが1つの方法である。本研究はギンメッキゴミグモの餌生物が網周辺で見せる飛行経路を明らかにしていく一連の研究の最初歩として、人工的な空間におけるショウジョウバエの衝突までの動画から、手動によりショウジョウバエ位置をトラッキングし、その3次元的な飛行経路を推定することを目的とする。

材料と方法

1. 対象生物

2016年に京都府長岡京市で採集されたギンメッキゴミグモの卵囊から5月および8月に孵化した個体を、長崎県長崎市の長崎

* 長崎総合科学大学大学院工学研究科

総合科学大学で飼育し、成熟したメス個体を実験に用いた。ショウジョウバエは、キイロショウジョウバエ *Drosophila melanogaster* の野生型系統の 1 つである Oregon-R を購入し（株式会社 科学クラブ、日本）、培養して実験に用いた。

2. 提示用アリーナ

ショウジョウバエにギンメッキゴミグモに乗った網を提示するための直方体のアリーナは、5 mm 厚の透明アクリル板 4 枚を用いて側面を作り、撮影時の背景として白色のプラスチック板を設置し、クモとショウジョウバエの位置が確認しやすいようにした (Fig. 1)。天井からは可視光および紫外光が入るように、目開き 1 mm のポリプロピレン網を枠に張ったものを乗せることとした。アリーナの大きさ（内寸）は 600×300×高さ 450 mm で、網はその中央に配置した。

クモは室内で造網枠（15）に網を張らせ、その造網枠ごと提示用アリーナに設置するか、針金を曲げて作った円形の枠（直径約 23cm）に網を移してアリーナに設置した。アリーナは野外に設置するが、可視光および紫外線が入るようにアリーナ上は青空が開けているようにし、一方で直射日光でアリーナ内の温度が上がらないように木の陰に置くことも条件とした。カメラにも直射日光が当たらないように、黒い板で遮光した。アリーナは水準器を用いて水平となるようにした。

3. 撮影方法

撮影用のカメラは 2 台の Exilim EX-100PRO (Casio, Japan) を用いた。このカメラは高速度撮影の無線による同期撮影が可能で、Android 4.0 で動くタブレット (AT-B618, Toshiba, Japan) に、専用アプリケーション SynchroShot (CASIO COMPUTER CO., LTD., Japan) をインストールして複数台のカメラの操作を行うことができる。

二台のカメラの配置は、一台が前方から横位置で撮影し、もう一台は側方から縦位置で撮影した (Fig.1, Fig.2)。予備実験の結果、ショウジョウバエが 1 個体のみだと網への衝突が起こりにくかったことから、2 個体から 5 個体のショウジョウバエを同時にアリーナに入れることとした。ショウジョウバエをアリーナに慣れさせるためとカメラの同



Fig.1 提示用アリーナと 2 台のカメラの配置

期撮影のセッティングのために、ショウジョウバエ投入から撮影開始までは 1 分以上を空けた。撮影は、120 fps (640 × 480 pixel) で、マニュアルフォーカス設定でクモにピントを合わせ、カメラのテストシャッターで算出される同期のずれ (1500~3000 μ sec) を記録したのち、撮影を開始する。動画の 1 ファイル最大サイズが 4GB のため、1 回あたりの撮影時間は約 12 分であった。1 日に 1 個体のクモを使用し、1 回ごとにショウジョウバエを入れ替えて、1 日に 10 回ほどの撮影を行った。実験期間は 2016 年 9 月 7 日から 30 日までであった。

4. 動画の飛行位置を残像として静止画に合成する

120 fps の動画から、ショウジョウバエの 1/120 秒 (0.00833 秒, 8.33 ms) ごとの位置が分かる静止画（一般的に Strobe motion, motion shot, ストロボ画像, マルチストロボ撮影画像などと呼ばれるが、以後「残像静止画」と呼ぶ）を作成し、さらに前方と側方から見た 2 枚の残像静止画で、どのショウジョウバエ位置が何フレーム目のものか分かるようにし、3 次元化ソフトで利用できるようにしなければならない。

まず、動画 (.mov) をパソコン (MacBook Air) の動画再生ソフト (QuickTime Player) を使い、ハエの飛行開始時点からクモによる捕獲またはハエが網から逃げて枠外にでるまでの範囲をトリミングし（編集>トリム）、30 fps (0.25 倍速) で 10 秒ほどの画像に加工する。前方からの動画と側方からの動画のどちらも、同じフレームから開始し、同じフレーム数となるようにした。

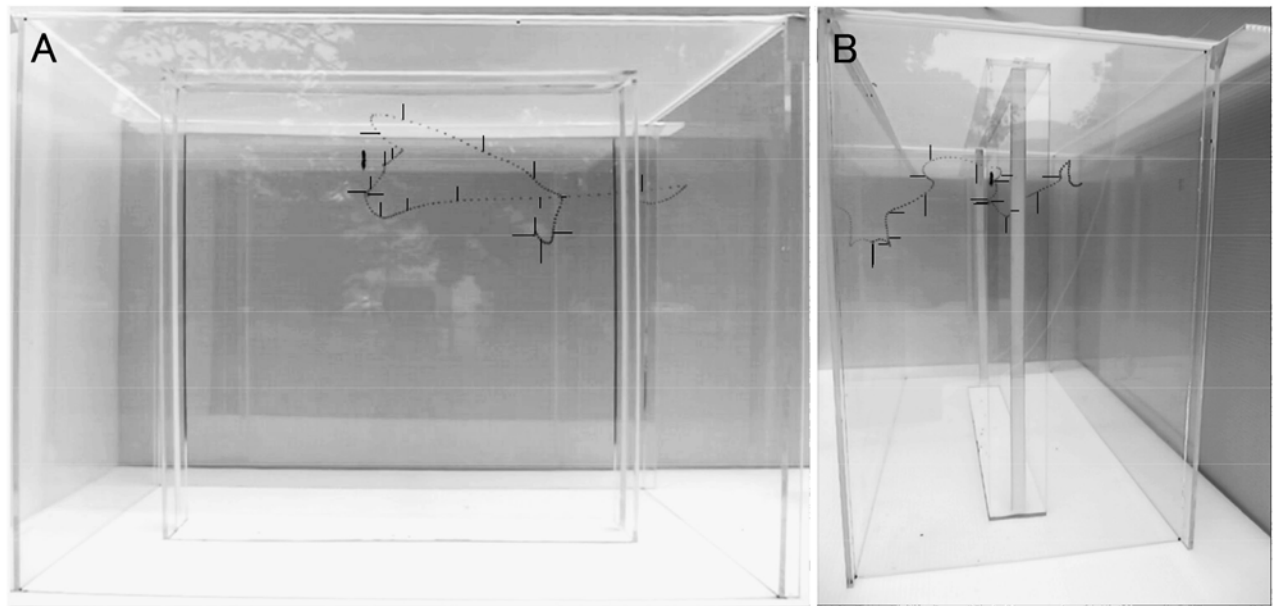


Fig.2 前方 (A) および側方 (B) から撮影した動画の各フレームにおけるショウジョウバエの位置が分かるように ImageJ により静止画に変換したもの. 10 フレームごとの位置を線で示している.

トリミングした動画(.mov)を ImageJ で virtual stack として開き, コマ送りしながら, Multi-point selections ツールを用いて 1 フレーム目, 11 フレーム目などのハエ位置を順番にクリックしていく. 衝突もしくは逃避までのクリックが終わったら, メニューから「Stacks>Z project>Min Intensity」と選択して, virtual stack された動画を一枚の静止画にする. Min Intensity を選ぶことで, 画面内の各ピクセルについて, stack された全フレームを通して最も低い明度が抽出されることとなり, 白い背景で撮影している今回は, フレームごとのショウジョウバエの位置が静止画面上に出現する (Fig.2). その静止画面上にハエ位置を Multi-point selections ツールで指定した点を表示させ, Paintbrush ツールでそれらを線で明確にしたのち, ビットマップ形式の静止画 (.bmp) として保存する.

5. 残像静止画からの 3 次元化

Windows (64bit 版) 用フリーソフト SurveyFrom Photo (以下, SFP64) v. 1.89 で, 上記 4 で作成した前方および側方からアリーナを写した 2 枚の残像静止画を開く.

メニューより「3次元化機能>対応点3次元化>対応点決定後, 次の対応点を選択する」を選ぶ. アリーナの 8 頂点の決定 (B1~B8) と, クモ位置の決定 (B9) は, 1つの対応点ごとに 2 枚の写真を行き来して行ったが, ショウ

ジョウバエの残像を 2 枚の静止画で対応させるためには, 静止画中の同一フレームにおけるショウジョウバエの位置を示した線を参考に, 一枚目の写真で 10 点ほど (例えば B10~B19) をまとめて決定しておき, その写真で B10 をクリックしておくと, 二枚目の写真で次にクリックした点は B10 となり, リターンを押して決定すれば, 次のクリックは B11 となるので, 2 枚目の写真から移動せずに B19 までを決定できる.

衝突までのショウジョウバエ位置を決定し終わったら, メニューより「3次元化機能>対応点3次元化>カメラ位置・姿勢の計算」を選択すれば, 3次元表示ウィンドウに, 3次元化された対応点が出現する. デフォルトではポリゴンとして出現し, 面には画像が貼り付けられているが, その機能を外すことで, 対応点のみを表示させることができる. アリーナの形状が分かるように, 直方体の頂点を順番にクリックして「辺」を出現させ, メニューより「補助機能>エッジ>エッジ作成 (3次元)」を選択して辺を決定する.

3次元化した対応点に, 3次元座標を設定することで, アリーナの寸法がどれほど再現されているかを調べることができる. メニューの「3次元化機能>モデリング・計測>対応点に座標値を設定して座標系設定」において, 「基準点 (原点)」としてアリーナ左下奥の点 (B1 であれば「1 番の対応点」) を指定して, (X, Y, Z) を (0, 0, 0) と

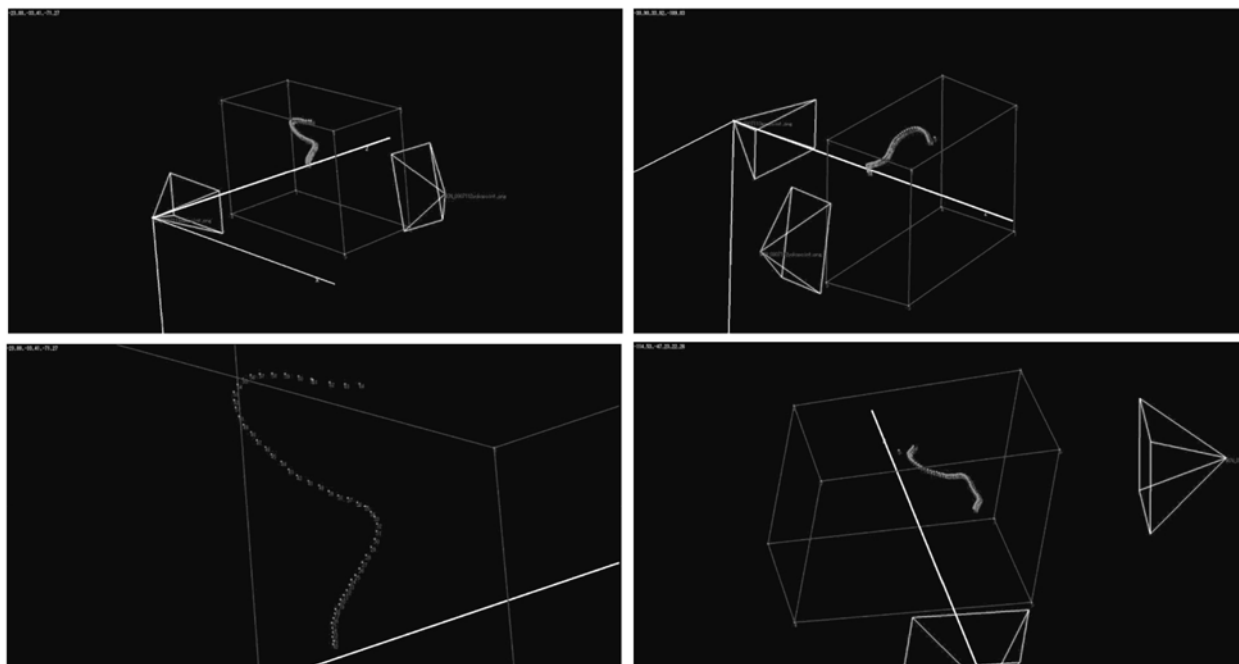


Fig. 3 SFP64 により 3 次元化されたショウジョウバエの飛行経路。アリーナと飛行経路、カメラの視野錐が表示されている。

入力し、「基準点（厳守方向・距離）」として X 軸方向と見なすアリーナ右下奥の点を (600, 0, 0), 「基準点（近似方向）」として Y 軸方向と見なす左上奥の点を (0, 450, 0) と指定する。

アリーナの 8 辺に寸法を表示するために、「補助機能>寸法>エッジ全てから寸法作成」を選ぶ。その数値を CSV 出力するために「補助機能>>エクスポート>指定箇所距離出力」を選ぶ。ショウジョウバエ位置を含む全ての指定点の 3 次元座標を出力するには「補助機能>エクスポート>対応点座標の CSV 出力」を実行する。

結果

今回は 5 つの衝突事例で、飛行経路の概要が把握できる 3 次元座標を得ることができた (Fig.3)。しかし、残像静止画からショウジョウバエ位置を特定するには、各フレームにおけるショウジョウバエの影が融合してしまい、どのフレームのショウジョウバエ位置か分からず、指定できないこともあった。また、とくに横方向から撮影したカメラでは、衝突直前のショウジョウバエ位置が、造網枠で見えなくなり、位置の指定ができなかったことがあった。また、白い背景でも光の関係で背景とショウジョウバエの明度が似てしまい、静止画からショウジョウバエ位置を特定す

ることができないこともあった。

3 次元化された座標が、どれほど正確に実際の空間を再現できたかを検証してみると、どの辺でも正および負の誤差が見られ、最大で 29.7 %, 平均 6.6 %であった (Table 1)。

考察

本研究では、ギンメッキゴミグモの網に衝突する昆虫の飛行経路推定の最初歩として、人工空間中におけるショウジョウバエ飛行経路の手動トラッキングによる 3 次元化を行った。二次元の映像では、たとえそれが二方向から撮影したものであっても、把握しにくい飛行経路について、3 次元画像を回転させることで曲がる角度や速度の変化を把握しやすくなった。そのような角度や速度の変化は、3 次元座標の出力データを MS Excel 等で加工することで、特徴を抽出することができ、クモの体色の違いに対して餌昆虫が飛行経路を変化させるのかどうかを検証することができるだろう。

しかし、アリーナ内に造網枠があったり、野外での光環境の変化があったりで、ショウジョウバエ位置が特定できないこともあった。造網枠の不透明部をできるだけ細くしたり、背景のプラスチックが光りの影響を受けないよう

Table 1 3次元化したアリーナの寸法と実際の寸法との誤差. 1行目カッコ内の数字は辺の長さ(mm). どの例でもFig. 2Aの写真における左下奥の頂点を原点とし, 右方向をX軸正方向, 上方向を同Y, 手前方向を同Zとした. 下奥の辺の長さを基準とし, 左奥の辺の長さを近似値として設定している.

	上左 (300)	上奥 (600)	上右 (300)	上前 (600)	左前 (450)	左奥 (450)	右奥 (450)	右前 (450)	下左 (300)	下奥 (600)	下右 (300)	下前 (600)	平均
例1	8.9%	2.1%	1.3%	8.8%	4.5%	2.7%	11.7%	6.3%	7.1%	8.2%	0.8%	3.1%	5.5%
例2	19.2%	4.4%	4.0%	7.3%	18.9%	29.7%	16.7%	8.5%	1.5%	13.9%	0.0%	6.2%	10.9%
例3	7.5%	1.9%	2.9%	9.6%	1.1%	11.3%	12.7%	5.2%	7.4%	6.1%	0.0%	3.8%	5.8%
例4	9.9%	1.7%	3.8%	10.4%	2.3%	13.2%	15.2%	3.7%	5.8%	9.4%	0.0%	5.8%	6.8%
例5	5.0%	0.4%	1.7%	7.6%	0.7%	7.3%	9.7%	3.8%	5.7%	5.0%	0.0%	3.2%	4.2%
平均	10.1%	2.1%	2.7%	8.7%	5.5%	12.8%	13.2%	5.5%	5.5%	8.5%	0.2%	4.4%	6.6%
最大	19.2%	4.4%	4.0%	10.4%	18.9%	29.7%	16.7%	8.5%	7.4%	13.9%	0.8%	6.2%	
最小	5.0%	0.4%	1.3%	7.3%	0.7%	2.7%	9.7%	3.7%	1.5%	5.0%	0.0%	3.1%	

に工夫したり, カメラ位置を変えたりすることで, 影響を少なくすることができるだろう.

また, 残像静止画にすることで, フレームごとのショウジョウバエの影が融合して特定できないこともあった. この点は残像静止画ではなく, 動画をコマ送りして位置を指定できれば, 静止画にする手間も無く, 1フレームにショウジョウバエの影は1つなので, 指定もしやすいだろう.

3次元化されたアリーナの寸法の誤差は最大30%と大きく, このままで飛行経路を比較するのは困難である. ソフト内で修正するか, 出力した3次元座標データをExcel等で修正する必要があるだろう.

今後は, 動画からのショウジョウバエ位置の自動トラッキングによる2次元座標の連続データの獲得や, カメラに写るアリーナの各頂点の2次元座標から, 2台のカメラの位置関係を射影行列として表し, その射影行列とショウジョウバエ位置の二次元座標から3次元座標を算出すること方法を試すとともに, 撮影方法とくにアリーナや背景の改善も進めていくべきだろう.

謝辞

本研究はJSPS科研費(課題番号26440251)の助成を受けて行った. 京都女子大学の中田兼介教授には, 様々な助言をいただいた.

参考文献

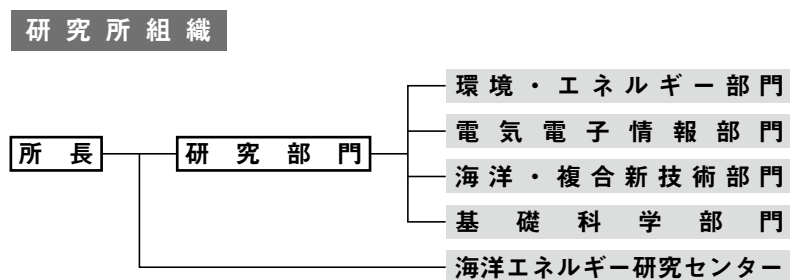
- (1) Maimon G, Straw AD, Dickinson MH (2008). A simple vision-based algorithm for decision making in flying *Drosophila*. *Curr. Biol.*, 18(6), 464-470.
- (2) Mischiati M, Lin HT, Herold P, Imler E, Olberg R, Leonardo A (2015). Internal models direct dragonfly interception steering. *Nature*, 517(7534): 333.
- (3) Dell AI, Bender JA, Branson K, Couzin ID, de Polavieja GG, Noldus LP, Brose U (2014) Automated image-based tracking and its application in ecology. *Trends. Ecol. Evol.*, 29(7), 417-428.
- (4) Anderson DJ & Perona P (2014). Toward a science of computational ethology. *Neuron*, 84(1), 18-31.
- (5) Fukunaga T, Iwasaki W (2015) : Computational ethology: バイオインフォマティクスと動物行動学の融合. 領域融合レビュー, 4, e003
- (6) Hauber ME. 2002. Conspicuous colouration attracts prey to a stationary predator. *Ecol. Entomol.*, 27: 686-691.
- (7) Heiling AM, Chittka L, Cheng K, Herberstein ME. 2005. Colouration in crab spiders: substrate choice and prey attraction. *J. Exp. Biol.*, 208: 1785-1792.
- (8) Hoese FJ, Law EAJ, Rao D, Herberstein ME (2006) Distinctive yellow bands on a sit-and-wait predator: prey attractant or camouflage? *Behaviour* 143: 763-781.
- (9) Tso IM, Liao CP, Huang RP, Yang EC (2006) Function of being colorful in web spiders: attracting prey or camouflaging oneself? *Behav. Ecol.*, 17: 606-613.
- (10) Bush AA, Yu DW, Herberstein ME (2008) Function of bright coloration in the wasp spider *Argiope*

- bruennichi (Araneae: Araneidae). Proc. R. Soc. Series B, Biol. Sci., 275(1640), 1337-1342.
- (11) Vaclav R, Prokop P (2006) Does the appearance of orb-weaving spiders attract prey? Annales Zoologici Fennici 43: 65–71.
- (12) Vanderhoff EN, Byers C, Hanna C (2008) Do the color and pattern of *Micrathena gracilis* (Araneae: Araneidae) attract prey? Examination of the prey attraction hypothesis and crypsis. J. Insect Behav., 21: 469–475.
- (13) Gawryszewski F, Motta P. (2012) Colouration of the orb-web spider *Gasteracantha cancriformis* does not increase its foraging success. Ethol. Ecol. & Evol., 24: 23– 38.
- (14) Nakata K, Shigemiya Y (2015). Body-colour variation in an orb-web spider and its effect on predation success. Biol. J. Linn. Soc., 116(4), 954-963.
- (15) Zschokke S, Herberstein ME (2005) Laboratory methods for maintaining and studying web-building spiders. J. Arachnol., 33: 205–213

Ⅱ 研究活動報告

1. 研究部門・研究センター活動報告	
(1) 環境・エネルギー部門	49
(2) 電気電子情報技術部門	52
(3) 海洋・複合新技術部門	57
(4) 基礎科学部門	61
量子計測科学寄附研究部門	64
海洋エネルギー研究センター	65
2. 平成29年度戦略的研究成果報告書	66
3. 講演会・セミナー開催状況	91
(1) 第15回新技術創成研究所公開講演会 ～生命と環境～	
中道 隆広	92
4. 研究所員の研究活動状況	
(1) 学術論文発表	93
(2) 講演・口頭発表	96
(3) 研究紹介新聞記事	97
(4) 外部資金受入状況	103
(5) 特許出願状況	104

別図



1. 研究部門活動報告

(1) 環境・エネルギー部門

21世紀に課せられた最大の課題である持続可能社会実現のための技術革新、具体的にはバイオマスエネルギー、風力エネルギー、太陽電池、二次電池、燃料電池などを中心に、環境・エネルギー関連の産官学の連携プロジェクトを立ち上げ推進する。

現在の各研究員の主要テーマは下記の通りである。

- | | |
|-------|---|
| 大場 和彦 | 農耕地生態系内の物質循環に関する研究。
メタン発酵消化液残渣の農業分野への利用技術に関する研究。
バイオマス資源のエネルギー変換技術に関する研究。
耕作放棄地に新規導入作物の適地性評価に関する基礎的研究。 |
| 蒲原 新一 | 環境情報データの収集と可視化に関する研究。
持続可能な開発にかかわる評価システムに関する研究。 |
| 村上 信明 | バイオマスのガス化発電技術、液体燃料製造技術の研究。
B D F（バイオディーゼル油）の製造技術の研究。 |
| 山邊 時雄 | 高機能性ナノカーボン材料の創製と応用。
リチウムイオン電池。 |
| 平子 廉 | B D F（バイオディーゼル燃料）を利用したディーゼル機関の燃焼研究。
バイオメタンを利用したガソリンおよびディーゼル機関の燃焼研究。 |
| 田中 俊彦 | 家庭・建物内でのエネルギー消費削減に関する研究。 |
| 木村 正成 | アルカン類の直接的酸化によるアルコール生成の研究。
二酸化炭素を用いた炭素固定法の研究。 |
| 坂井 正康 | 草木をエネルギーとした高効率ガス化発電システムの開発。
草木バイオマスからのクリーン液体燃料合成技術の開発。 |
| 中道 隆広 | 高効率メタン発酵技術に関する研究。
廃棄物系バイオマス利活用の研究。
排水処理における有害物質除去法の研究。 |
| 杉田 勝 | リチウムイオン電池、リチウムイオンリサイクル
リチウムイオン電池負極用ナノカーボン、燃料電池電極用ナノカーボン、
金属空気電池、電池リサイクル、電解質除去技術 |
| 吉村 進 | 有機電子材料・グラファイト材料の研究。
環境社会科学と環境材料技術。 |
| 藤井 光廣 | ナノカーボン材料の作製とリチウムイオン電池への応用。
化合物半導体の結晶成長と構造解析。 |
| 辻 史郎 | 導光板方式によるLED面状照明装置の開発。
太陽電池とリチウム二次電池を組み合わせた発電技術の開発。 |
| 石橋 康弘 | 環境改善技術およびバイオマスエネルギー変換技術に関する研究 |
| 宮城 彰平 | バイオマスのガス化・利用技術の研究。 |
| 薄田 篤生 | 下水汚泥処理技術「メタサウルス」から排出される廃液の処理技術の開発。 |
| 下高 敏彰 | 下水汚泥残渣の肥料化と燃料化、発酵処理システムの取り組み。 |

平成29年度新技術創成研究所成果報告書

環境・エネルギー部門 部門長 蒲原 新一

〔Ⅰ〕下水汚泥由来の肥料を用いた藻場再生研究

（１）「自然由来肥料を用いた海藻育成に関する研究」（蒲原、中道）

下水汚泥由来の肥料を用いた藻場再生実験に向けて、水槽内に作った人口海水において肥料の毒性評価実験と海藻の育成実験を実施した。その結果、肥料を活用することについて問題は見つからず、海藻の育成にも効果があることを確認した。

〔Ⅱ〕バイオ燃料活用に関する研究

（１）「バイオ燃料の内燃機関への適用に関する研究」（平子）

カーボンニュートラルの特性を有している廃食油や植物油から製造したバイオディーゼル燃料（BDF）や家畜糞尿や下水から製造したバイオガス（メタン）を内燃機関へ適用することで、不要資源の再生利用と大幅なCO₂削減を目指す研究として次の２点について実施した。

- ① 完全バイオ化を狙い廃食油とエタノール（植物由来を前提）から製造したBDFを、さらに燃料物性を改善するために減圧蒸留による改良BDFの製造。
- ② ディーゼルエンジンには適用できないバイオガスを、①の改良BDFをはじめ各種BDFとのDUAL-FUEL方式にした場合の、ディーゼルエンジン（渦流室式間接噴射式）への適用性について調査・研究。
- ③ バイオガスを①の改良BDFをはじめ各種BDFとのDUAL-FUEL方式にした場合の、最近の主流である直接噴射式ディーゼルエンジンへの適用性について調査・研究。

（２）「過疎地域におけるBDF燃料を使用したコミュニティバス運行実施に向けた研究」（中道）

長崎県大村市をモデルケースとして、過疎地域におけるBDF燃料を使用したコミュニティバス運行に必要な条件や今後の課題について調査を行った。大村市では山間部の過疎化が進み、高齢者が市街地へ出掛けにくい状況となっておりコミュニティバスなどの交通手段の需要が増加する。コミュニティバスを地域の特色や状況に応じた形態で運行する基礎的調査を行った。

（３）「草本バイオマスの高効率・高品質ガス化装置の開発」（中道）

ガス化に関わるバイオマス原料の諸物性、および灰の溶融性について、その評価方法を検討するとともに、代表的なバイオマスについて測定、評価を行った。また、稲わら、葎など６種のバイオマスを対象に、実際に小型実験装置でガス化試験を実施し、生成ガス組成、未燃分量などにつき有用な知

見を4月中に成果をとりまとめた。

〔Ⅲ〕持続可能な地域社会づくりに関する研究

（1）びわ産地の営農環境改善に向けた研究（蒲原）

びわ産地である長崎市茂木の大崎地区の「人・農地プラン」を実現するため、営農環境の整備と人の交流の拡大に向けて、地域と行政、市民活動団体の係わりによるの関係者間の議論を進めた。

以上

(2) 電気電子情報技術部門

世界がグローバル化する今日、情報を入手し、吟味検索し、それを編集し提示することは、その国の存亡に係わっているといっても過言ではない。本部門では、情報を提示するために、バーチャルリアリティやCG、Webの技術を福祉や生活環境や企業経営の改善やコミュニケーションに、より密接に有効利用するための研究開発を行う。また、これらの情報の基盤を支えるハードウェアの高速化、高密度処理、高精密化の専用LSIの開発研究も合わせて行う。

松井 信正 スマートグリッド・エネルギーマネジメント・電力制御に関する研究
医療分野におけるIoT技術に関する研究

佐藤 雅紀 移動ロボットの開発および運動制御に関する研究.
神経回路網を模倣した制御機構に関する研究.

黒川不二雄 高速デジタル制御アルゴリズムおよび回路の開発研究
衛星のエンジン制御システムの開発研究

田中 義人 組込みシステムに関する研究.
電力エネルギー・医療分野におけるICT融合化技術に関する研究.
次世代エネルギーおよびマイクログリッドのシミュレーション的研究.

本村 政勝 自己免疫性神経筋接合部疾患の病態解明と治療法の開発

田中 賢一 ホログラフィによる立体映像表現
映像やゲームにおけるコンテンツ技術
メディアコンテンツや有価証券の偽造防止技術

川添 薫 医療用処置具・内視鏡治療器具に関する研究開発.
内視鏡保管庫用プラズマクラスター除菌消臭発生装置の開発
経鼻内視鏡用前処置具の開発と検証
輸液ライン小気泡除去に関する研究
手術前自動手指洗浄装置の研究開発

日當 明男 Webによるデータベース活用に関する研究開発.
システム同定によるモデル構築に関する研究
システム制御に関する数学的基礎研究.

劉 震 ビッグデータとデータマイニングに関する研究.
情報システムの構築と意思決定支援システムに関する研究.
リハビリロボットに関する研究.

下島 真 データ収集／解析システムの開発・構築.
素粒子物理実験用の新しい検出器の開発.

杉原 敏夫 環境構造変化に適応する需要分析システムの研究
イノベーションの喚起を意識した意思決定支援システムの研究

清山 浩司 視覚情報処理システムと三次元集積化技術に関する研究.
医用電子システムに関する研究.

- 崔 智英 動作改善支援のための生体情報の可視化.
- 梶原 一宏 再生可能エネルギーシステムにおけるデジタル制御電源の研究
- 水野 裕志 医療福祉施設における院内グリッドの最適運用に関する研究
 痩身者にやさしい電子体温計の開発.
 ウェアラブルデバイス・システムに関する研究
- 三田 淳司 セキュリティインシデント事例収集
 民間資格を活用したICT基礎力育成
- 横井 聖宏 心理・生理データに基づく展示演出照明の効果推定
 カメラワークと構図が映像作品の評価に与える影響の分析
 音声データ解析によるプレゼンテーションの質の定量評価
- 池 浩司 医療機器の研究開発, カテーテル型凝血塊破碎吸引装置の研究開発
- 清水 悦郎 内視鏡内部洗浄装置の研究開発
 食道癌ステント留置術に用いる電導型イングロース焼却ステントの研究開発
- 小林 透 ソフトウェア生産技術, 情報セキュリティ、データマイニング、次世代Web技術、及びこれらの要素技術を応用したIoTサービス開発技術
- 江藤 春日 組み込みシステム、エネルギーマネジメント、制御監視装置のシステムエンジニアリング、ソーシャル・ビッグデータ収集・発信基盤の研究
- 鈴木 高宏 次世代モビリティと I T S に関する研究
 モビリティと次世代エネルギーによるスマートコミュニティに関する研究
 先端科学技術の社会実装とそれによる地域活性化に関する研究
- 関屋 大雄 パワーエレクトロニクスの分野で電力変換とその制御の研究
- 村田 明久 諫早スマートシティ構想実現のための研究活動
- 谷山紘太郎 医工連携分野における他大学との新しい共同研究の実現のための研究
- 末次 正 パワーエレクトロニクスの分野で電力変換器の制御に関する研究
- 立石 哲也 生体力学, 生体材料, 再生医療工学.
- 山辺 敏雄 再生医工学並びに幹細胞に関する研究.
 創薬シミュレーションに関する研究.
- 中村 克也 人工心肺等高度管理医療機器開発および開発手法の研究
 近距離通信機能を持った医療デバイスの研究開発
 米国、欧州、日本の医療機規制に関する研究
 医療ソフトウェア品質管理システム構築とその品質保証に関する研究
- 岸川 忠弘 マイクログリッド及びグリーンエネルギーデバイスのモデル化の研究.
- 小柳 光正 三次元ヘテロ集積化技術を用いた積層型立体画像センサーLSIの開発.
- 鈴木 孝 車載ECUソフトウェアの開発手法
- 丸田 英徳 デジタル信号処理の電力変換器制御への応用
- 田中 徹 集積化脳神経プローブを含む生体信号無線記録システムの開発

平成29年度新技術創成研究所成果報告書

電気電子情報部門 部門長 松井 信正

〔Ⅰ〕公共空間で活動する親和性に優れた次世代ロボットに関する研究

1) 次世代ロボット研究会（佐藤、田中(義)、松井）

地元企業と階段昇降アシスト装置に関する共同研究を立ち上げ、画像処理による利用者の姿勢変化の計測を行った。また、試験用階段アシスト装置を用いた実験の結果、利用者の骨格を追従することで姿勢の変化が計測できた。さらに、転倒動作の検出も可能であることがわかった。

2) 農作物収穫ロボットと小型水中ロボットに関する研究（佐藤）

トマトを題材として農作物を収穫するロボットの開発に取り組んだ。これまで開発してきたロボットベースに対して、遠隔操作のためのカメラや、小型コンピュータやマイコンボードの配置・レイアウトについて整備した。実証実験として第4回トマトロボット競技会のシニア部門に参加した。また、小型水中ロボットでは、潮流環境下において活用することを念頭にグライダー型の遠隔操縦ロボットを試作した。

〔Ⅱ〕医療や教育に関するIoT技術の研究

1) 医療分野のIoT技術の研究（松井、水野）

医療分野のIoTサービスと技術への取り組みとして、エネルギーハーベスティングの微小電力を電源とした計測・通信技術の基礎研究をおこなった。

2) 地方における中等教育学校向けのe-Learningシステムの構築（田中(賢)）

中等教育学校向けのe-Learningシステムのあり方について検討し、その構築に向けて、研究環境の整備を行い、科学研究費補助金をはじめとした各種競争的研究資金の獲得へ向けた準備を行った。

〔Ⅲ〕エネルギーマネジメント・再生可能エネルギーに関する研究

1) 医療福祉施設における院内グリッドの最適運用に関する研究（松井、水野）

医療施設の非常用電気設備の電力需給解析を行っている。大病院では、災害や電力系統の事故を想定して非常用発電機EGを有している。院内負荷の実績の中から夏季冬季の最大負荷の期間を対象として、線形計画法を用いて従来の非常用設備に太陽光発電を加えた場合の最適なEGの運用解析を行った。また、システムに必要なバッテリーの最小化手法の提案を行った。

2) 電力変換に関する研究（松井、梶原）

電力システムにおける電源部の制御回路のデジタル化が進む中、AC-DCコンバータの制御方式で主流のデジタル平均電流モード制御に、高い安定性を有するデジタルヒステリシス電流モード制御を提案し、負荷変動に対する出力電圧の収束時間を90%以上改善できた。また、太陽電池の後段に使用されるDC-DCコンバータには最大電力点追従制御MPPTが用いられている。MPPT制御の動作点のDCバス電圧の変動により大きく移動してしまう悪影響を抑圧するために、高速なMPPT制御を提案し、バス電圧変動時の太陽光発電量の減少幅を約80%改善した。

3) 五島市の農林漁業エネルギー活用推進部会（松井）

五島市の農山漁村再生可能エネルギー地産地消型構想支援事業「農林漁業エネルギー活用推進部会」に参画し、エネルギー需給バランス調整システムの導入可能性調査、再生可能エネルギー設備の導入の検討、地域主体の小売電気事業者の設立の検討等を支援するとともに、そのノウハウの蓄積、他地域への普及を進めている。

〔Ⅳ〕医療、医療用計測装置・システムに関する研究

1) 重症筋無力症やLambert-Eaton筋無力症候群の発症機序の研究（本村）

アセチルコリン受容体AChR抗体陽性重症筋無力症MG患者の治療法で、主要免疫原性領域MIRを標的とした免疫グロブリン療法を開発している。今回は、ヒトと動物の共通のMIRに対するモノクロナル抗体の補体結合部位を取り除いた保護抗体を作製し、その抗体による疾患移送、いわゆる受動免疫が予防できるかをin vivo動物実験で行った。現時点では、1つのMIR抗体だけでは、疾患移送を予防出来ないことがわかり、その結果を報告した。

2) 集積化脳神経プローブの研究（清山）

頭蓋内埋込型の脳神経プローブシステムの研究において、集積化脳神経プローブを含む生体信号無線記録システムの開発し、評価した。

3) 痩身者にやさしい電子体温計やウェアラブル型ハイブリッド・メディカルデバイスの開発（水野）

体温計の先端にある測温部に軟性スポンジを取付けることで弱力でも腋窩にフィットできる構造の電子体温計の研究開発を進めている。この研究では、スポンジボール付き電子体温計を試作し、測定で得られる温度変化から数値演算的に体温を算出できるようなアルゴリズムへの検討を行っている。また、頸部に着目した無拘束且つ長期・連続バイタルモニタリングを可能とするウェアラブルデバイスの研究では、体温および脈波測定を可能にし、デバイス機能を拡張させた。

4) 内視鏡的凝血塊破碎吸引装置に関する研究（池）

上部消化管出血における内視鏡治療の視野の妨げとなっている凝血塊の性状や病状を考慮し、凝血塊を迅速に除去可能な専用のデバイスの開発を行っている。内視鏡チャンネルに直接挿入可能なカ

テーテル型凝血塊破碎吸引装置を試作し、人工凝血塊を用いて破碎性能について評価を行った。

〔V〕 ビックデータに関する研究

1) データ科学とビッグデータから情報抽出方法に関する研究（劉）

データ科学が依存する2つの要素は、データの多量性と多様性がある。インターネットの普及と社会情報化により、現代社会の各業種はすべてデータに満ちており、複雑化したデータ型には、伝統的な構造化データだけでなく、テキスト、画像、音声、動画などの非構造化データも含まれている。さらに、ビッグデータの裏側の複雑な関係も無視できない。本研究では、グラフ理論と方法、特にハイパーグラフhypergraphを用いて、サイバースペースcyberspace中のビッグデータにおけるデータ界の特徴と相関関係を明らかにするため、情報の抽出方法を研究している。

以上

(3) 海洋・複合新技術部門

21世紀の国際的大競争時代を生き抜くためには、モノづくりに直結した生産技術の絶えざる技術革新が不可欠である。また、そのためには、従来の基盤的技術と先端的技术分野を複合した学際的な新技術への展開が望まれる。本部門では、機械システム・船舶・海洋機器・建築物等を主体とした各種構造物の構築・生産・運用に係わる生産技術に関して、材料・構造・流体等の多岐の分野にわたり新技術の研究・開発を行う。

- | | |
|-------|--|
| 野瀬 幹夫 | 波浪中における横断面の反りを考慮した縦の全体強度理論および実用化システムに関する研究.
グラフ理論による構造解析用実用化システム概念の構築に関する研究.
造船3D-CADを用いた迅速な初期構造設計システムに関する研究.
高速翼走をめざした人力水中翼船の研究開発.
海洋産業創出のための潮流下稼働可能海中ロボットの研究開発.
初期構造計画時における全体強度解析・実用化システムの構築と最適化に関する研究. |
| 黒田 勝彦 | 車内音低減アイテム開発に向けたインパネリインフォースの高周波NVメカニズム調査に関する研究.
機械構造物の入力パワーの変動を考慮した高精度の音圧予測手法の開発.
自動車の微小騒音に関する研究.
熱音響発電に関する研究.
FEMを用いた振動加振実験によるSEAパラメータ評価に関する研究, |
| 池上 国広 | 多連結浮体システムの研究開発.
海洋エネルギー利用技術の研究開発.
浮体係留装置の研究開発. |
| 木下 健 | 海洋再生エネルギー利用の推進.
海洋構造物の運動,挙動についての研究.
海洋産業創出のための潮流下稼働可能海中ロボットの研究開発. |
| 本田 巖 | 流体/構造連成振動解析法に関する研究.
板厚制御による振動伝搬抑制構造の検討.
振動エネルギー伝搬解析技術の実用化に関する研究.
音響による翼損傷検知に関する研究.
潮流発電機技術調査及び評価研究. |
| 林田 滋 | 潮流発電装置に関する研究.
滑走艇まわりの流体现象に関する研究.
自航試験の精度向上に関する研究.
ペーロン船の抵抗推進性能に関する研究. |
| 影本 浩 | 風波浪中における浮体運動に関する研究.
超大型浮体構造物（メガフロート）に関する研究.
魚の推進に関する研究. |

- 薄 達哉 鉄塔支持型鋼製煙突の渦励振に関する研究.
コンクリート強度の簡易評価法に関する研究.
コンクリート強度推定における新しい微破壊試験方法の開発.
- 堀 勉 渦システムによる造波グリーン関数を導入した定常場力面の数値解析.
空中渦による水面の造波グリーン関数を導入した3D-WIGの空力特性の解析.
移動攪乱源の時間積分に対する停留位相法を適用した旋回する船の起こす波の数値シミュレーション.
Kelvin 波とHogner 波の接続解を用いた旋回する船の起こす波の計算.
- 松川 豊 宇宙輸送機の空力加熱の研究.
超音速流れの研究.
電気流体力学 (EHD) 効果によるマイクロ液圧デバイスの開発.
電気流体力学現象を利用したマイクロポンプの研究.
- 松岡 和彦 船体構造の合理化及び長寿命化に関連する研究.
熟練者技能継承のための匠の技シミュレータシステム開発に関する研究.
オープンソース造船用3D-CADの開発とモジュール化設計による生産性向上.
海を活かす体験型技術教育の研究.
乗務員の就労環境向上を目的とした低騒音型漁船の開発に関する研究.
海洋産業創出のための潮流下稼働可能海中ロボットの研究開発.
- 岡田 公一 溶接構造物の疲労強度評価法の確立に向けた研究.
構造物の最終強度 (終局強度) に関する研究.
- 古野 弘志 海洋産業創出のための潮流下稼働可能海中ロボットの研究開発.
初期構造計画時における全体強度解析・実用化システムの構築と最適化に関する研究.
- 吉田 博久 東長崎地域資源を活用した再エネシステムのFS.
電力自由化に関する地元企業の新事業創出.
- 松尾 博志 潮流発電装置に関する研究.
潮流発電用タービンの設計、およびCFDシステムによる流体性能の評価.
- 副島 勝則 再生可能エネルギーを活用した発電機の研究開発.
充電ステーションの実証事業.
- 金丸 英幸 船舶運航のエネルギー解析および気象・海象下の最適航海制御技術に関する研究.
船陸複合ネットワーク技術を用いたグローバルシステムインテグレーション.
各種リアルタイムシミュレータの研究開発.
計測データの特性解析.
- 石井 和男 ロボット分野の幅広い活用について研究.

平成29年度新技術創成研究所成果報告書

海洋・複合新技術部門 部門長 本田 巖

〔Ⅰ〕次世代型構造物の動的応答に関する研究

1) コンクリート強度推定における新しい微破壊試験方法の開発（薄）

既設の海洋構造物および陸上構造物の維持管理において、重要な構造材料であるコンクリートの強度をより簡単に推定することが求められている。しかし、コンクリート構造物の構造体コンクリート強度を推定する方法としては、構造体からコンクリートコアを採取後、載荷試験をして調べる方法が一般的である。この方法は、コアの抜き取りによる構造体への影響、作業手間およびコストの負担が大きくなる。そのため、本研究では、電動の試験器具や精密機器等を用いず、より効率的にコンクリート強度を推定する試験方法の開発を目的とした。

実験の結果、コンクリート用釘を約4mm貫入して自立させた後に、錘によって釘を打ち込んでも、これまで通り釘の貫入量とコンクリート強度には明確な関係があり、その関係式を明らかにすることによって、コンクリート強度が釘の貫入量から推定できることがわかった。

この成果を2018年3月4日に鹿児島大学で開催された日本建築学会九州支部研究発表会で発表した。

2) 構造変更による振動入力パワーの変動に関する研究（黒田）

機械製品の振動騒音問題の設計面での課題は、構造変更前後において振動入力パワーが変動することで、精度のよい音場の応答予測は難しいことがあげられる。そこで本研究では、単純構造を対象とした構造変更による振動入力パワーの変動を明らかにすることを目的に、1枚の薄板平板とL型構造物を対象に解析SEA（Statistical Energy Analysis）と実験SEAを用いて検討した。主な成果は以下の通りである。

イ) 解析SEAによる振動入力パワーと実験SEAによる加振点振動入力パワーの算出方法を整理した。

ロ) 板厚変動が振動入力パワーの値に影響が大きいことを、実験的に明らかにした。

本成果は、新創研所報にて報告した。

3) 初期構造計画時における全体強度解析・実用化システムの構築と最適化に関する研究（野瀬, 古野）

初期構造計画段階で経験の浅い技術者が構造特性を理解し易い「簡便で統一的な横断面の反りを考慮した全体強度解析の実用化システム（Total-Warps）」の開発を目的としている。

このサブシステムで開発中の「水平曲げ及び振り荷重を受ける船体の振り強度解析の実用化システム（TR-Warps）」の解析法に新しい概念を導入した横部材を有する閉断面版対応の解析法を組み込む。その後Total-Warpsに組み込みVB化し、簡便で高速化した入力システムを開発する。最後に構造最適化手法を導入し、若手技術者が設計ツールとして使い易いTotal-Warpsを開発した。

まず、VB-Warpsと水平曲げ実用化システム（HB-Warps）及びTR-WarpsをVBに言語変換したことにより、初期構造計画システム内のTotal-Warpsシステムへの迅速な連携化への一助となった。次に、初期構造計画システム内の連携2サブシステムから、VB-Warpsサブシステムへ入力する際、以前の手法より、より簡便で迅速な方法を考案した。また、コンテナ船機関室部等の閉断面の取り扱いについては文献調査の結果、最近のセンジャノビッチの握じり剛性手法が有効であり、本研究のTR-Warpsに導入した。

〔Ⅱ〕再生可能エネルギーの開発・利用に関する研究

1) 海洋産業創出のための潮流下稼働可能海中ロボットの研究開発（木下，野瀬，佐藤，松岡，古野）

潮止めでない潮流下においても稼働できる海中ロボットの研究開発を行う。まずこの分野の調査研究を行い、基礎研究として海中ロボットの基本設計を実施し、数例のロボット形状候補案を決定する。海洋試験水槽においてスラスト性能試験、曳航試験及び制御試験を行い、最適な海中ロボットの形状を選定した。

潮流1 m/s下で活動可能な中間ランチャ式自立型海中ロボット（ビークル）を設計した。ロボットの設計にあたり、片持ち梁式スラスト計測装置を開発し、各スラストの性能試験を実施した。スラストを覆うダクトの最適長を決定するため、ダクト長を変化させ、推進効率が最も良いダクト長をスラスト毎に求めた。

〔Ⅲ〕流体解析に関する研究

1) Kelvin波とHogner波の接続解を用いた旋回する船の起こす波の計算（堀）

船の起こす波に対する停留位相法による理論解である、Kelvin波とHogner波を数値的に接続する解を提案することにより、Kelvin角近傍でも波高値を有限に確定させる。次に、Stokerによる移動攪乱源の時間積分に対する停留位相法を適用するに際し、その接続解を用いて、旋回する船の起こす波を計算する、新しい手法を開発する。（2017年度～2019年度の3年計画）

一方、造船学（浮体静力学）の基礎理論に対する新展開を、2件（船のメタセンター半径BMの導出理論、「浮心＝圧力中心」の証明）を試みる。

造船学（浮体静力学）の基礎理論に対する新展開として、下記2篇の論文を公表した。

- ・船のメタセンター半径BMの導出に関する一考察、〈単著：堀 勉〉、

2017年4月、日本航海学会誌 NAVIGATION, 創刊第200号記念号（pp.75～79）

- ・静水圧の圧力積分による船の浮心位置の決定 — 浮心＝圧力中心の証明 —, 〈単著：堀 勉〉、

2018年1月、日本航海学会誌 NAVIGATION, 第203号（pp.88～92）

(4) 基礎科学部門

歴史が物語るように、新技術の創成は、基礎科学を拠り所に行っているものがほとんどである。基礎科学部門では、科学技術の発展を目指し、物理学、化学、生物学、経済学における基礎的な研究を行っている。高エネルギー物理実験分野では、多くの国際共同実験を実施しており、フロントエンド読み取り装置やデータ収集装置の開発を実施してきた。理論化学分野では、新しいかたちの超伝導現象の提案を行い、実験的に検証されつつある。経済物理学の分野でも、新しいプロジェクトチームを結成し、ピケティに迫るような新しい分野の開拓を目指しているところである。

現在の各研究員の主要テーマは、下記の通りである。

- | | |
|-------|--|
| 大山 健 | 高エネルギー物理実験、ALICE実験におけるTPC新型読出しシステムの開発 |
| 加藤 貴 | 理論化学、量子化学、物性物理学、 |
| 濱垣 秀樹 | 高エネルギー原子核物理実験、ALICE実験、量子計測技術 |
| 田中 義人 | 電力エネルギー・医療分野におけるICT融合化技術に関する研究、
ICT街づくり、高エネルギー物理実験、ALICE実験 |
| 下島 真 | データ収集／解析システムの開発・構築、
素粒子物理実験用の新しい検出器の開発
高エネルギー物理実験 ATLAS実験 |
| 澁佐雄一郎 | 素粒子理論、数理物理 |
| 杉原 敏夫 | 経営情報分析、データマイニング、経済物理学
環境構造変化に適応する需要分析システムの研究、
イノベーションの喚起を意識した意思決定支援システムの研究 |
| 奥野 公夫 | 高電場顕微鏡法による半導体－金属界面反応過程、
ダイヤモンド初期成長過程とプラズマガス－基板相互作用、 |
| 長 良夫 | 代数的整数論、単項化問題、単数群、 |
| 上野 誠司 | 英語と日本語の二次述語構文
空間移動構文の分析と記述 |
| 繁宮 悠介 | 動物における体色の色彩多型維持機構の研究、
動物における形態の左右非相称性の進化機構の研究、 |
| 市瀬 実里 | LD・発達症における遺伝的素因に関する研究、
学習症モデル生物の検討、 |
| 池田 裕一 | 経済物理学 |
| 菊森 淳文 | 地域経済マクロ計量分析、経営情報分析（経営戦略・財務・マーケティング）
行政・公企業経営 |
| 志垣 賢太 | 高エネルギー原子核物理実験、ALICE実験MFT計画のDetector Control System開発
および物理解析 |
| 房安 貴弘 | 素粒子物理実験用検出器のための先進的読出し回路の開発研究、
GEMを用いた高効率・大面積ガンマ線イメージング装置の開発、 |

平成29年度新技術創成研究所活動報告書

基礎科学部門 部門長 大山 健

基礎科学部門では下記のような研究活動を行った。

〔市瀬〕

海水生物環境安定化のためにin vitro系の実験装置の作成し、海藻生育を目的とした小型閉鎖循環システムの構築を行った。また、二枚貝や海藻による水質浄化能力の検討のためのパイロット実験を行った。JSPS科研費（若手研究）「生命医科学領域からみた発達障害への早期介入」（18K13232:代表）が採択され、これを推進した。

〔澁佐〕

素粒子の基本理論の中で、重力だけは単純な量子化に繰り込み不可能という問題があることが知られている。そのため、ひも理論などの何らかの形で発散を回避した理論が必要と考えられている。それらは本質的には有限最小長さを持たせることになるが、利便性を考えると従来の場の理論に最小長さを加味した有効理論に需要があると考えられる。最小長さを実現する一般化された不確定性関係を元にした場の理論を、演算子形式での定式化と経路積分形式での定式化の関係性と、相互作用項の可能性について特に注目し、研究した。

〔繁宮〕

新たに始めた研究として、ゴミグモ属2種における交尾行動と配偶者選択行動の実験を開始した。3年計画の1年目として研究手法を確立し、データを蓄積するとともに、2年目からのレーザードップラー振動計を使った求愛時の網の振動を計測する試験を行った。また、前年度からの継続課題として、クモの網に衝突するショウジョウバエの飛翔経路をビデオ画像から再現したほか、2012年度から蓄積したギンメッキゴミグモの親子の体色データから遺伝性と可塑性が季節ごとに変化することを明らかにすることができた。本研究は、JSPS科研費（基盤研究C）「メスの交尾可能回数の種間変異がオスの繁殖戦略に与える進化的影響」（17K07577：代表）と、同じく（基盤研究C）「円網性クモの交尾器破壊を用いたメスの再交尾抑制とその進化」（17K07576）の助成を受けたものである。

〔大山〕

超高温クォーク物質の創造によるQCD物性の解明を目指し、欧州合同原子核研究機構（CERN、本拠地ジュネーブ）のALICE実験に参加し、その検出器の大幅な拡充を推進した。特に本年はJSPS科研費（基盤B）「ALICE実験GEM-TPC連続読出を実現する新データ収集回路の要素開発」（17H02903:

代表)の新規採択を受け、東京大学CNSと共同で、ALICE実験で特に重要となるTPCのトリガレス連続読み出し型DAQの開発を加速させた。また、同様のアイデアをJ-PARC等における次世代実験で応用すべく、日本原子力研究開発機構と協力し、JSPS科研費(挑戦的萌芽研究)「J-PARC重イオン衝突における究極的高速データ収集系への挑戦」(16K13808)を推進した。

〔田中〕

次世代の大規模物理学実験や超広帯域なデータ収集が必要となる分野においては、CPUだけでなく、FPGAやGP-GPUを駆使した新しいコンピューティング手法、即ちヘテロジニアス・コンピューティングの確立が重要な鍵となる。本年度はCERN・ALICE実験の次世代検出器をターゲットに、新しいタイプのDAQ・オンラインデータ処理システムの開発に着手した。本研究は、JSPS科研費(挑戦的萌芽)「ALICE増強における究極的超高帯域データ収集システムの要素開発」(17K18783:代表)の助成を受けたものである。また、大山と共同で、2/7に研究会「異種デバイス高速結合型高密度情報処理システムの展望」を開催した。本研究会では工学系・理学系の研究者が集まり、異種デバイスを用いた新しいコンピューティングについて活発な議論を交わした。

量子計測科学寄付研究部門

光量子等の効率的計測・データ処理技術開発を進め、その成果を高エネルギー原子核物理学実験研究、非破壊検査等への技術応用を目的とする。

寄付

■ サイエナジー株式会社（東京大学発ベンチャー）

研究メンバー

■ 部 門 長：浜垣 秀樹 特命教授（平成28年3月まで東京大学教授）

■ 協力研究員：元田 良一（サイエナジー株式会社代表取締役社長）

■ 協力研究員：越牟田 聡（サイエナジー株式会社）

■ 協力研究員：阿部 圭一（サイエナジー株式会社）

■ 協力研究員：大山 健（長崎総合科学大学新技術創成研究所教授）

開設

■ 2016年4月1日

「量子計測科学寄付研究部門」、この一年

部門長 浜垣 秀樹

当部門は、サイエナジー株式会社の寄付により、3年間の時限付きで、平成28年4月に発足した。これまでの二年間、主に二つの研究を進めてきた。

一つは、高エネルギー重イオン衝突を用いた高温高密度QCD物質の実験的研究である。具体的には、欧州CERN研究所LHC加速器でのALICE実験における国際共同研究を、新総研・基礎科学部門の大山教授と密接な連携を取りつつ進めている。ALICE実験のTPC検出器の高度化に参加するとともに、以下に述べる幾つかのデータ解析を進めて来た。

ALICE実験のデータ解析は、主に東京大学大学院理学系研究科原子核科学研究センターの研究グループ（代表：郡司卓准教授）と連携して進めている。主な研究課題は、（1）陽子+鉛衝突における二粒子相関の研究、（2）陽子+陽子衝突における単光子生成過程の研究、（3）陽子+鉛衝突における J/Ψ 生成の研究、であるが、近年大きな話題となっている「小さな系における流体的振る舞い」を新たな手法を用いて調べることを目標としている。

もう一つは、新総研着任後に始めた、新しいタイプの電子源の研究開発である。将来的にはX線源への使用を見据えて、安定的で且つ任意の区域のスイッチングを可能とする安価な面線源の実現を目指したものであるが、この2年間は半導体技術を用いた実現の可能性を追求した。本研究は、当部門のサイエナジー社からの協力研究員に加えて、大山教授、清山准教授、田中教授らと極めて良い連携をもって共同研究を進めることが出来ている。28年度に電場計算、一回目の試作を行ない、29年度にその評価を進めたが、その主な担い手であった道上涼太（修士院生）くんは、その結果を修士論文[1]に纏めた。また、29年度には二度目の試作を行い、現在その評価を進めつつある。

参考文献：

[1]「集積回路製造技術を用いた電解電子放出型電子源の開発」道上涼太、長崎総合科学大学・大学院工学研究科・電子情報専攻・修士論文（2017年度）

海洋エネルギー研究センター

海洋エネルギー研究センターでは、国内外の研究者と広く連携するとともに、船舶工学、海洋工学に係る教育研究約70年の経験を活かし、海洋産業の基盤となる船舶工学・流体力学・構造工学等を用いた研究開発、新事業形成、人材育成に取り組む。

研究メンバー

- センター長：木下 健 教授
- 研究員：池上国広 特命教授
- 研究員：野瀬幹夫 教授
- 研究員：林田 滋 教授
- 研究員：松井信正 教授
- 研究員：影本 浩 教授
- 研究員：松岡和彦 准教授
- 研究員：佐藤雅紀 准教授
- 研究員：中道隆広 講師

海洋エネルギー研究センター 研究活動報告

センター長 木下 健

当部門は、本学が有する海洋工学に係る教育研究の技術を活かし、海洋産業の基盤となる研究開発、新事業形成、人材育成に取り組んでいる。

今年度は外部資金獲得を念頭に、戦略的研究予算を活用した海中ロボットの研究開発に取り組んだ。開発中の海中ロボットは、潮流環境下において、潮流発電装置など海洋構造物の定期的なメンテナンスや作業を予定している。潮流発電装置などを設置する潮流環境下について調査した結果、遠隔操作型の海中ロボットROV：Remotely Operated Vehicleとし、母船からのケーブルの抵抗を受け持つ中間ランチャ方式を採用する。作業環境は水深50mまでとし、その水圧に耐えうる耐圧容器を設計、製作した。また各種部品の選定、発注をし、3D-CADでシステムのレイアウトや外装の設計をした。購入したスラストに対して、取り付け用のダクト長を変化させ、最適なダクト長を決定した。

今後はスラストを追加し、制御システムを実装する。また、海洋試験水槽において抵抗試験を実施し、潮流環境下に最適な外装の形状を決定する。更に中間のランチャや母船からのケーブル張力の制御などの開発をすすめる。

2. 平成29年度戦略的研究成果報告書

研究課題名	研究者
Kelvin波とHogner波の接続解を用いた旋回する船の起こす波の計算	堀 勉
海洋産業創出のための潮流下稼働可能型海中ロボットの研究開発	木下 健 野瀬 幹夫 佐藤 雅紀 松岡 和彦 古野 弘志
初期構造計画時における全体強度解析・実用化システムの構築と最適化に関する研究	野瀬 幹夫 古野 弘志
内視鏡的凝血塊破碎吸引装置に関する研究	池 浩司 川添 薫 清水 悦郎
コンクリート強度推定における新しい微破壊試験方法の開発	薄 達哉
ウェアラブル型体温脈拍測定デバイスに関する研究	水野 裕志
再生可能エネルギーの地産地消を用いた持続可能な地域づくり	蒲原 新一
「グラバー図譜」の3次元CG化とそれを活用した新たな社会貢献に関する研究	崔 智英 繁宮 悠介 柴田 守
小規模学校向けのラーニング・マネージメント・システムならびに教務事務システムの構築	田中 賢一 大山 健 三田 淳司 横井 聖宏
IoTを活用した見守りシステムの構築	横井 聖宏 田中 賢一 佐藤 雅紀 劉 偉
* 共同研究先との振動実験による実現象の解明	黒田 勝彦
* バイオ燃料（バイオガス，BDF）のディーゼル機関への適用	平子 廉 村上 信明 中道 隆広
* 医療サービスのIoT技術に関する基礎研究	松井 信正 田中 賢一 水野 裕志 横井 聖宏 梶原 一宏
* バイオマス内の有効資源を活用した海岸海域生態系の保全に関する基礎的研究	大場 和彦 蒲原 新一 繁宮 悠介 市瀬 実里 中道 隆広
** 食道癌ステント留置術に用いる電導型イングロース焼却ステントの研究開発	清水 悦郎 川添 薫 池 浩司 (藤原)

* 技術論文として掲載済み ** 論文発表前のため未掲載

Kelvin 波と Hogner 波の接続解を用いた 旋回する船の起こす波の計算

堀 勉

I 事業概要

船の起こす波に対する停留位相法による理論解である, Kelvin 波と Hogner 波を数値的に接続する解を提案することにより, Kelvin 角近傍でも波高値を有限に確定させる。

次に, Stoker による移動攪乱源の時間積分に対する停留位相法を適用するに際し, その接続解を用いて, 旋回する船の起こす波を計算する, 新しい手法を開発する。(2017 年度～2019 年度の 3 年計画)

一方, 造船学 (浮体静力学) の基礎理論に対する新展開を, 2 件 (船のメタセンター半径 $\overline{BM}$ の導出理論, 「浮心=圧力中心」の証明) 試みる。

II 活動状況

今年度 (研究計画 1 年目) の現段階では, Stoker による移動攪乱源の時間積分に対する停留位相法を適用することにより, 旋回する船の波の Kelvin 角外縁近傍を除いた領域では, その縦波成分の波高値を計算する手法を確立している。

また, 直進時に対する定常造波問題では, 後続自由波に対する理論解である Kelvin 波と Hogner 波の数値的な接続解を求めることに成功している。これについては, 2018 年度の後半に, 日本航海学会誌 NAVIGATION に投稿する予定で, 準備を進めている。

一方, 本研究のサブテーマとして, 造船学 (浮体静力学) の基礎理論に対する新展開を試みた。

1 ツ目は, 船のメタセンター半径 $\overline{BM}$ を導出する際, 浮心の移動方向が, 傾斜角の半角の方向に移動すること $\left(\varphi = \frac{\theta}{2}\right)$ を示すことにより, 整合性のある新理論を構築した。

(図 1)

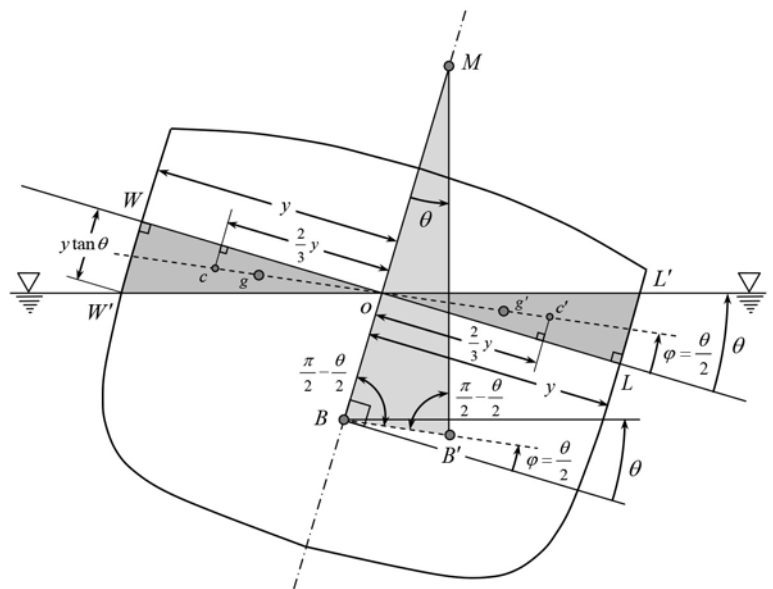


図 1 横傾斜した船の横断面での
メタセンター M と浮心移動 $\overline{BB'}$

2 ツ目は、船体を傾斜させた状態で、静水圧の圧力積分によって、圧力中心の位置決めをした後、傾斜角を $\theta \rightarrow 0$ とすることで、直立時の圧力中心が、従来の浮心位置に等しいことを、矩形断面について示すことに成功し、造船学の未解決課題である「浮心=圧力中心」を証明した。(図 2)

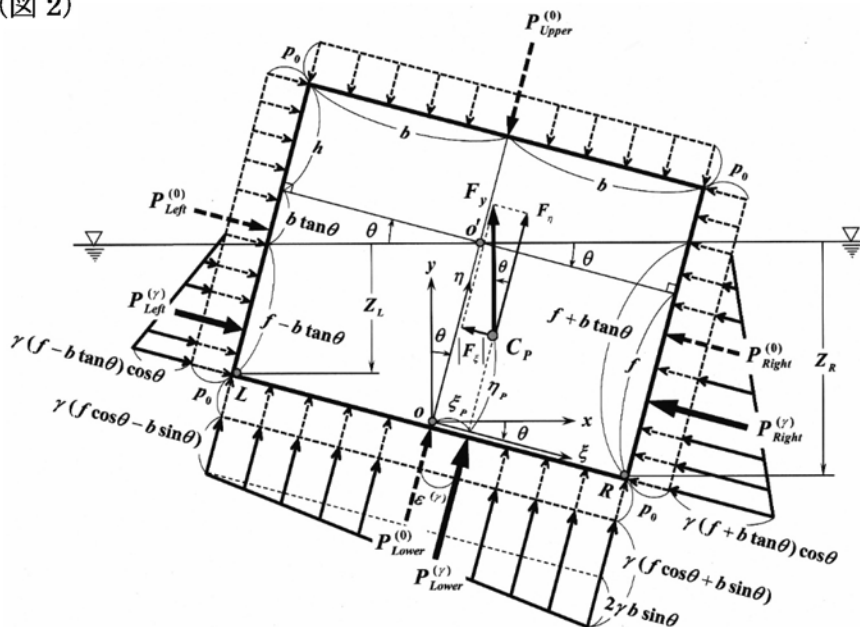


図 2 横傾斜した矩形断面に作用する静水圧の分布と圧力中心

[III] 成果など

造船学（浮体静力学）の基礎理論に対する新展開として、下記 2 篇の論文を公表した。

- ・ 船のメタセーター半径 BM の導出に関する一考察、〈単著：堀 勉〉，

2017 年 4 月，日本航海学会誌 NAVIGATION，創刊 第 200 号 記念号 (pp. 75～79)

- ・ 静水圧の圧力積分による船の浮心位置の決定 — 浮心=圧力中心の証明 —，

〈単著：堀 勉〉，2018 年 1 月，日本航海学会誌 NAVIGATION，第 203 号 (pp. 88～92)

[IV] 今後の課題

停留位相法を用いた旋回する船の起こす波の計算については、船体中心線上での横波成分の波高値が発散する問題が残っているので、それを解決した後、旋回する船の波の波高値を、Kelvin 角外縁近傍を含めて計算できるよう、今年度、既に確立した、Kelvin 波と Hogner 波の数値的な接続解を、旋回する船の波に適用し、本テーマの研究を完結させる予定である。

また、造船学（浮体静力学）の基礎理論に対する新展開では、矩形断面について示した、「浮心=圧力中心」の証明を、任意の断面形状に拡張した理論を、日本航海学会誌 (NAVIGATION, 2018 年 7 月，第 205 号) に投稿する予定である。

海洋産業創出のための潮流下稼働可能海中ロボットの研究開発

木下健，野瀬幹夫，佐藤雅紀，松岡和彦，古野弘志，

[I] 事業概要

潮止めでない潮流下においても稼働できる海中ロボットの研究開発を行う。まずこの分野の調査研究を行い、基礎研究として海中ロボットの基本設計を実施し、数例のロボット形状候補案を決定する。海洋試験水槽においてスラスト性能試験、曳航試験及び制御試験を行い、最適な海中ロボットの形状を選定する。

[II] 活動状況

潮流下において稼働できる海中ロボットの調査研究の結果、発電所排水路に適用された事例があった程度で事例は少ないことが分かった。

次に、海中ロボット（ROV : Remotely Operated Vehicle）の方式を検討し、潮流下において海上の母船からケーブルの抵抗の大部分を受け持つ中間ランチャ方式を採用することにした。ROV は船体内にバッテリーを搭載し、光ファイバーケーブルを介して ROV・中間ランチャ・母船を接続し、内蔵したコンピュータによって運動制御しながら海中を観測する。この開発方針のもと、潮流環境下で稼働できる海中ロボットを設計し、水深 50m 用の耐圧容器を設計し外注した。また、各種部品の選定及び発注した。ここにビークルの鳥瞰図を Fig.1 に示す。ROV の推進力を担うスラストの性能を評価するための片持ち梁式の装置を開発し、メインスラスト 2 台、昇降用スラスト 2 台の推進性能試験を実施し、各スラストに適したダクト長を決定した。

以上の設計及び性能試験の結果をもとに、海中ロボットを製作中である。

[III] 成果など

潮流 1m/s 下で活動可能な中間ランチャ式自立型海中ロボット(ビークル)を設計した。ロボットの設計にあたり、片持ち梁式スラスト計測装置を開発し、Fig.2 に示すように各スラストの性能試験を実施した。スラストを覆うダクトの最適長を決定するため、ダクト長を変化させ、推進効率が最も良いダクト長をスラスト毎に求めた。得られたダクト長は、Fig.3 に示すように非常に興味深い結果となった。

[IV] 今後の課題

今後は、まず不足しているメインスラスト 2 台を購入し、耐圧容器内部を組み立て、ROV の制御システムを開発する。同時に船舶海洋試験水槽にて抵抗試験を行い潮流環境下に最適なカウリングの形状を決定する。更に中間ランチャ及び母船におけるケーブル巻取り装置を開発する。

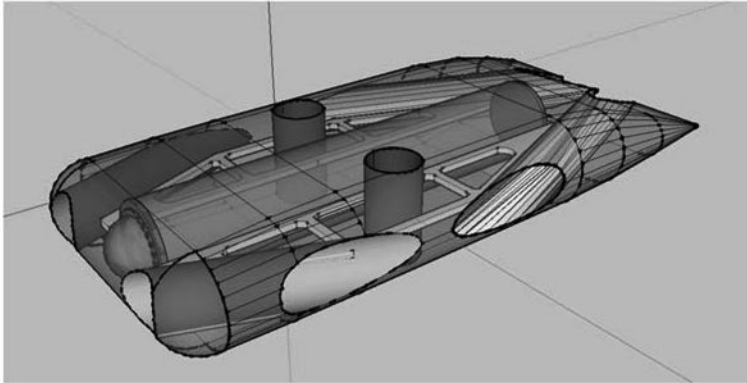


Fig.1 自立型海中ロボット（ビークル）の鳥瞰図

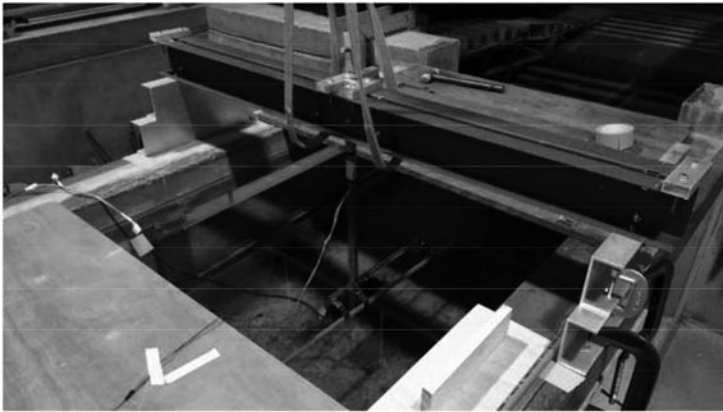


Fig.2 ダクト付きスラスト性能

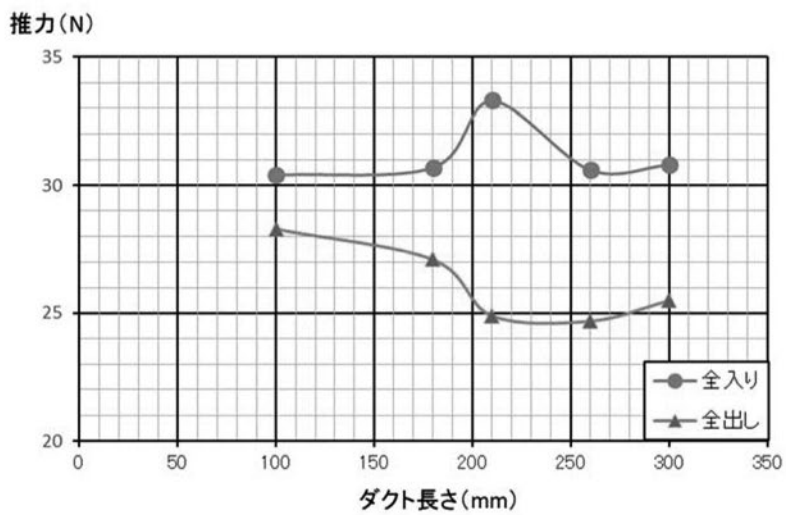


Fig.3 各ダクト長時のスラスト性能試験

初期構造計画時における全体強度解析・実用化システム の構築と最適化に関する研究

野瀬幹夫，古野弘志

[I] 事業概要

初期構造計画段階で経験の浅い技術者が構造特性を理解し易い「簡便で統一的な横断面の反りを考慮した全体強度解析の実用化システム(Total-Warps)」の開発を目的としている。このシステムで開発中の「水平曲げ及び振り荷重を受ける船体の振り強度解析の実用化システム(TR-Warps)」の解析法に新しい概念を導入した横部材を有する閉断面版対応の解析法を組み込む。その後 Total-Warps に組み込み VB 化し、簡便で高速化した入力システムを開発する。最後に構造最適化手法を導入し、若手技術者が設計ツールとして使い易い Total-Warps を開発する。

[II] 活動状況

初期構造計画時に船体形状や構造データを簡便で入力し省力化することが重要であり、本研究室が開発中の初期構造計画システム内の連携 2 サブシステムから、VB-Warps (Vertical Bending - Warping system) サブシステムへ入力する際、以前の手法より、より簡便な方法を考案しシステム開発の一環である。まず、次年度予定のものを前倒しに VB-Warps を Visual Basic (以後 VB と呼ぶ) に言語変換した。この措置は全システムへの迅速な連携するためである。

次に、コンテナ船機関室部等の閉断面の取り扱いについては、他分野の文献調査を行い、断面変形や簡便手法等を検討した結果、最近のセンジャノビッチの研究が有効である事を把握した。更に、最終年度に向けて、構造最適化の勉強会を行い、本研究がどの手法がよいかの検討を行っている。また、西部造船会技術研究会の構造部会および学会の構造研究会に出席し、最新の動向や課題の技術審議を行い、本研究の進展に寄与している。

[III] 成果など

まず、VB-Warps と水平曲げ実用化システム (HB-Warps) 及び TR-Warps を VB に言語変換したことにより、初期構造計画システム内の Total-Warps システムへの迅速な連携化への一助となった。次に、初期構造計画システム内の連携 2 サブシステムから、VB-Warps サブシステムへ入力する際、以前の手法より、より簡便で迅速な方法を考案した。また、コンテナ船機関室部等の閉断面の取り扱いについては文献調査の結果、最近のセンジャノビッチの捩じり剛性手法が有効であり、本研究の TR-Warps に導入した。

[IV] 今後の課題

まず、考案したより簡便で迅速な方法である改良型連携 2 サブシステムを完成させる。次に上記の成果 Visual Basic 型横断面の反りを考慮した全体強度解析・実用化システム (Total-Warps) を連携させて、撒積貨物船に適用させ本システムを検証する。また、撒積貨物船の船体中央横断面に対し、制約条件付き非線形最適化問題における目的関数と設計変数を抽出し、遺伝的アルゴリズム等を本システムに適用して、船体全体強度のパラメトリック最適化を試みる。

内視鏡的凝血塊破碎吸引装置に関する研究

池浩司, 川添薫, 清水悦郎

[I] 事業概要

現在、上部消化管出血における内視鏡治療では、止血薬剤の散布や止血用クリッピング装置などにより止血しているが、静脈性出血による病変部周囲での凝血塊が内視鏡治療時の視野の妨げとなっている。そのため、医師が凝血塊の性状や病状を考慮し、鉗子等の処置具を用いて凝血塊を除去し治療を行っているのが現状であり、凝血塊を除去するための専用のデバイスは開発されていない。凝血塊の性状は食物残渣物や経時変化によりさまざであるため、凝血塊を除去する時間は医師の経験等に左右される。このため、医師の経験に左右されず凝血塊を迅速に除去可能な専用のデバイスの開発が望まれている。

本研究では、内視鏡チャンネルに直接挿入可能なカテーテル型凝血塊破碎吸引装置を試作し、人工凝血塊を用いて破碎性能について評価を行う。

[II] 活動状況

内視鏡チャンネルに直接挿入可能なカテーテル型凝血塊破碎吸引装置を試作し、ヒト血液と人工胃液より作成した人工凝血塊を用いて破碎性能評価を行った。試作したカテーテル型凝血塊破碎吸引装置は、カテーテル（内径 2.8mm、長さ 1370mm）内にステンレスワイヤーを通し、ワイヤー先端部に取り付けたスクリー状の破碎部を回転運動若しくはピストン運動させ凝血塊を破碎するものである。

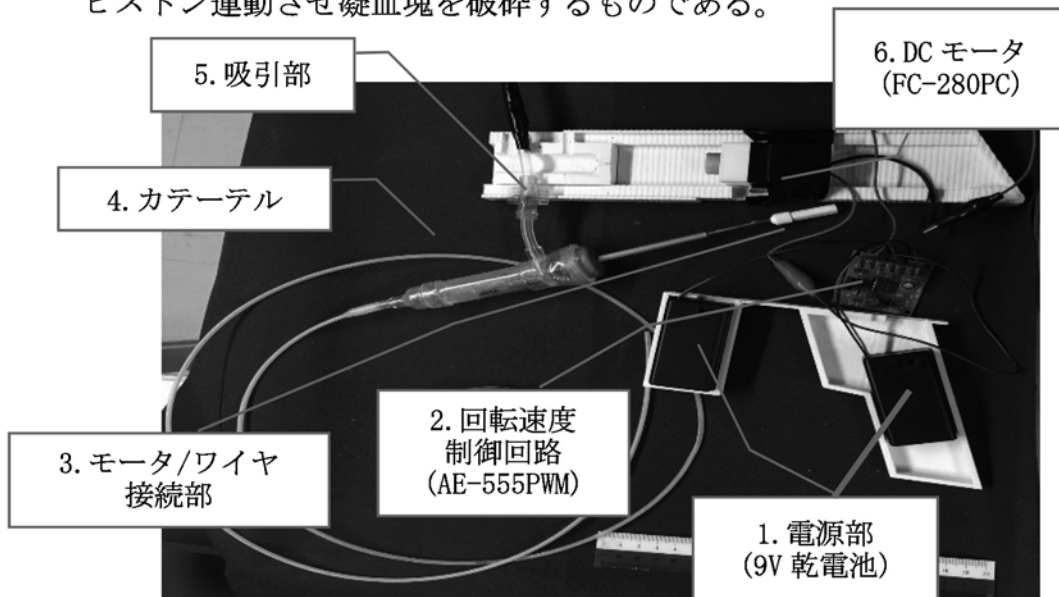


図1 カテーテル型凝血塊破碎吸引装置



図2 破碎部(スクリー刃)

【III】 成果など

破砕性能評価実験から、破砕部を回転運動させた場合、時間経過と共に破砕部に凝血塊の繊維状の成分が絡まり持続的に安定して破砕吸引することはできなかった。一方、破砕部をピストン運動させた場合は破砕部への凝血塊付着はほぼなく、安定して破砕吸引可能であった。また、ピストン運動の振動数を 1000[Hz]、1500[Hz]、2000[Hz]と変化させた場合、低い振動数ほど短時間で凝血塊を破砕吸引可能であった。

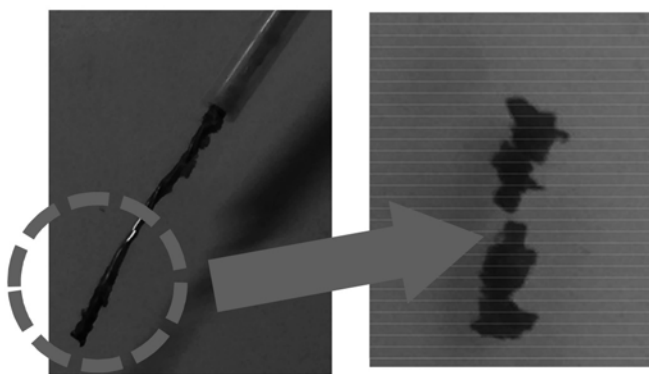


図3 付着した繊維状の凝血塊

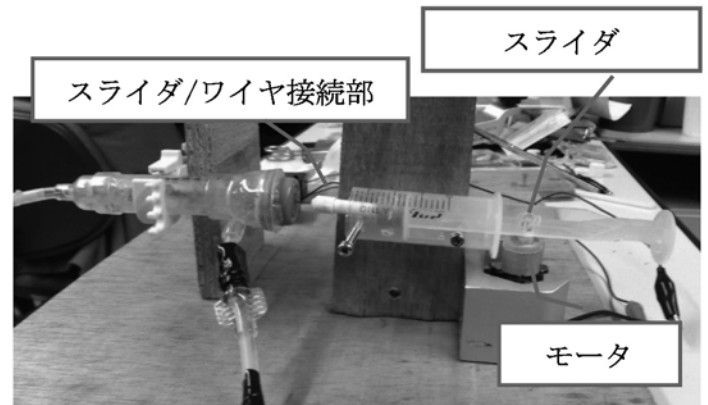


図4 ピストン運動変換装置

表1 カテーテル型凝血塊破砕吸引装置の破砕性能評価結果

破砕吸引装置	回転型	ピストン型					
サンプル No	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
凝血塊の重量	24.5g	21.5g	24.7g	26.9g	22.2g	25.5g	26.6g
吸引圧	-60kPa	-60kPa					
回転数 (振動数)	6000rpm	1000Hz		1500Hz		2000Hz	
注水量	15ml	11ml	10ml	19ml	24ml	25ml	20ml
破砕吸引時間	3分14秒	1分39秒	2分46秒	3分28秒	3分37秒	5分35秒	5分37秒
残量	12.3g	4.1g	4.2g	3.5g	4.3g	3.4g	4.3g

【IV】 今後の課題

現在は、回転運動若しくはピストン運動のみで人工凝血塊の破砕を行っているが、今後は回転運動及びピストン運動を同時に行える装置を開発し、破砕部の形状や材質を変化させた場合の破砕性能評価を実施する予定である。また、人工凝血塊の性状評価なども並行して行う予定である。

コンクリート強度推定における新しい微破壊試験方法の開発

薄 達哉

[I] 事業概要

既設の海洋構造物および陸上構造物の維持管理において、重要な構造材料であるコンクリートの強度をより簡単に推定することが求められている。

しかし、コンクリート構造物の構造体コンクリート強度を推定する方法としては、構造体からコンクリートコアを採取後、載荷試験をして調べる方法が一般的である。この方法は、コアの抜き取りによる構造体への影響、作業手間およびコストの負担が大きくなる。

(図 1、2 参照)

そのため、本研究では、電動の試験器具や精密機器等を用いず、より効率的にコンクリート強度を推定する試験方法を開発する。



図 1 コンクリート壁面のコアボーリング

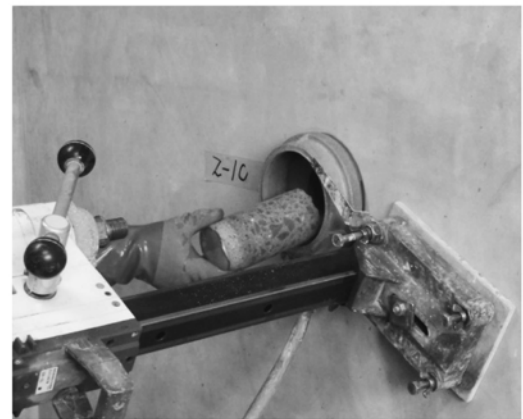


図 2 コンクリートコアの採取

[II] 活動状況

開発する試験方法は、錘の位置エネルギーを利用して釘をコンクリートに打ち込み、その貫入量からコンクリート強度を推定する方法で、これまでに基礎実験を実施して、その成果を 2016 年度日本建築学会全国大会で発表している。

これまでの実験は、床面などのコンクリート水平面に、木製支持治具を用いて釘を打ち込んでいたが、本研究では、壁面などのコンクリート鉛直面も対象とした打撃を考慮して、釘を自立させた状態で打撃貫入するという新たな実験を行った。具体的には、コンクリート用釘をあらかじめ約 4mm 貫入することによって自立させた後に、錘によって釘を打ち込んで、その釘の貫入量を計測した。(図 3 参照)

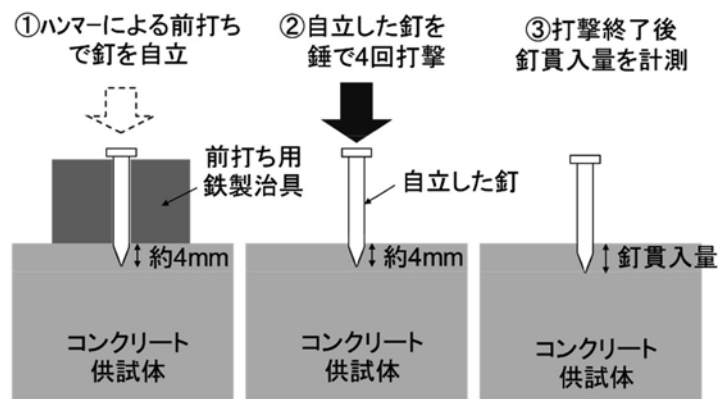


図3 本研究の実験方法

【III】 成果など

実験の結果、コンクリート用釘を約 4mm 貫入して自立させた後に、錘によって釘を打ち込んでも、これまで通り釘の貫入量とコンクリート強度には明確な関係があり、その関係式を明らかにすることによって、コンクリート強度が釘の貫入量から推定できることがわかった。(図4参照)

この成果を 2018 年 3 月 4 日に鹿児島大学で開催された日本建築学会九州支部研究発表会で発表した。発表に対して、コンクリートの研究者より、「大変興味深い。精度の面でシュミットハンマー法より期待できる。」とのコメントをいただいた。

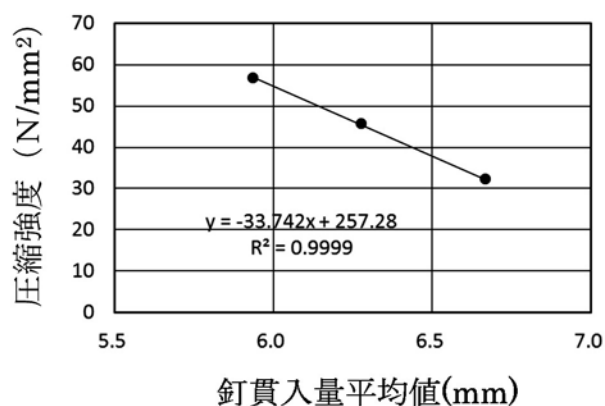


図4 釘貫入量平均値とコンクリート圧縮強度の関係

【IV】 今後の課題

本研究において、コンクリート水平面に釘が自立した状態で、打撃貫入しても問題がないことがわかったので、今後は、コンクリート鉛直面を打撃する装置を開発して、実験データを数多く蓄積する必要がある。コンクリート鉛直面を打撃する装置は、ほぼ完成しているので、実験手順等を新たに作成して、多くの実験を行う予定である。また、コンクリート供試体強度のばらつきを少なくし、作業手間を軽減するために、今後はコンクリート供試体製作を外注することも検討している。

ウェアラブル型体温脈拍測定デバイスに関する研究

水野裕志

【I】 事業概要

介護リハビリ分野において、日常の体重、体温、脈拍、血圧を測定することは患者の状態を知る上で重要である。本研究では、頸部をバイタルサインのセンシングポイントとしたウェアラブルなデバイスの開発を目的とし、無意識無拘束に体温、脈波の同時連続測定を実現させ、且つカフレスの血圧測定の実現に向け各種データの解析を行う。

【II】 活動状況

医療施設における市場性の調査・分析の結果、提案するウェアラブル型頸部バイタルセンサはIoT技術との融合で高齢者の見守りシステムに応用できることがわかった。主な活動状況は、まず頸部をセンシングポイントした無意識無拘束を実現する体温および脈波センサを試作した。次に日常生活下でのモニタリングとデータ解析から有効性を検証した。最後にセンサネットワーク向け、データ通信のための無線モジュールの選定を行った。

【III】 成果など

図1は、試作したウェアラブル型頸部体温測定デバイス(頸部体温計)と脈波測定デバイス(頸部脈波計)の写真である。以下、各種センサの成果をまとめる。

・頸部体温計に関する成果

- (1) 独自の校正技術により最大許容誤差は $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ の高精度を実現できた。これは、JIS T 1140に規格化されている婦人体温計の条件に準拠する。
- (2) 応答特性は、飽和温度 33°C から 43°C の範囲では、平均応答時間 $\pm\text{SD}=14.2\pm 1.5$ 秒であった。これは、30秒以内とされているJIS T 1140に準拠している。
- (3) 日常生活下において周囲環境温度に影響はあるが、即応性の目安として考えられる応答時間について数分での体温変化に追従できる機能を有することがわかった。
- (4) 日常生活動作時において無意識・無拘束で長時間の体温モニタリングが可能であり、日常の体温リズムの解析やデバイスの着脱回数や時間を観察することで、生活習慣病の予防や行動パターンを含めたバイタル解析が可能であることがわかった。

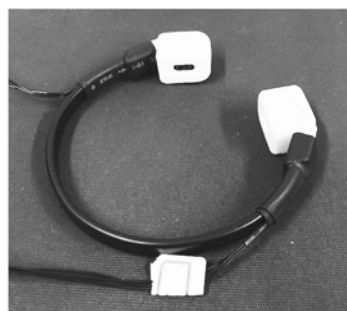
・頸部脈波計に関する成果

- (1) 525nm の波長をもつ緑色光の光源(LED)と受光部(GaAsP フォトダイオード)で構成し、頸部表面への装着性や負荷を考慮し反射型光センサを採用した。光源の散乱光を減少させ外乱光が入り込まないようにLEDカバーやハウジングに工夫を施している。脈波成分を高精度で抽出できるように、 $0.6\sim 6.1\text{Hz}$ 帯域のバンドパスフィルタを形成した。

- (2) 四肢の一定の 2 箇所(頸部-指尖)で測定される脈波の立ち上り点の差から算出できる脈波伝搬時間(Pulse Transit Time :PTT)をもとに動脈硬化の診断指標とされる脈波伝播速度(Pulse Wave Velocity :PWV)の簡易的な測定手法を提案した。既存手法での測定参考値と比較すると、誤差率は 5%であった。
- (3) 得られた PWV を用いて平均血圧値を試算した。試算手法は健常成人 20 代($n=1455$)の PWV と平均血圧値の相関関係を参考にした。結果、運動前では平均誤差率 $\pm$ 標準偏差 $=6.18\pm 2.85\%$ 、運動後では平均誤差率 $\pm$ 標準偏差 $=8.51\pm 5.21\%$ であったため、10%以下の誤差率を達成することができた。



頸部体温計



頸部脈波計



デバイスの装着

図 1 ウェアラブル型頸部バイタルセンサの試作

[IV] 今後の課題

今年度は、ウェアラブル型頸部体温測定デバイスと脈波測定デバイスを試作し、同時測定および血圧測定を実現することで有効性の検証を行った。

今後の課題と展望として、体温測定は、女性の妊娠を支援するバイタル情報としても重要であるため、婦人体温計の精度を実現している頸部体温計を用いた支援デバイスについて調査・分析を行う。また、運転技術にバイタル情報の収集を応用させる研究も進める。脈波測定デバイスに関しては、血圧の試算は誤差率 10%以下を実現できたが、疾患を抱えている高齢者や患者にはさらなる数値解析が必要であることがわかった。脈波測定デバイスを用いて血管機能を簡易的に評価するための手法を提案し、実データをもとに検証する。

今後は、体温や脈波だけでなく環境情報を融合することで、日常生活下のバイタルをより詳細に解析ができるシステムを提案する。また、デバイスを装着した人の健康指標となる生活リズムを診断できるような高齢者の見守りシステムへ発展させる。

倫理面への配慮

本研究のウェアラブル型体温脈波測定デバイスを用いたバイタルモニタリングに関しては、学外の委員を含む「長崎総合科学大学研究倫理委員会」に申請し、研究内容の承認を得て進めている。

再生可能エネルギーの地産地消を用いた持続可能な地域づくり

蒲原新一

[I] 事業概要

都市部への人口流出によって地方の活力が減少していく中で、その地域内での生活や事業活動に必要なエネルギーを外部（九州では福岡県）からの購入だけに頼っているのは地域の活力は減少していくのみである。そこで地域に存在する木質系バイオマスを熱エネルギーとして供給し、近隣において消費することによる環境対策と地域振興を同時に実現するための関係者間のネットワーク構成の手法について検討を行う。

[II] 活動状況

徳島県において先進的に再生可能エネルギーの地産地消に取り組んでいる「一般社団法人徳島地域エネルギー」との情報交換をおこなった。徳島県内において木質バイオマスの供給と熱利用に取り組む地域（地域アライアンス）を訪問し、施策的な手法と熱利用事業者のボイラによる熱の活用事例について視察と研修に取り組んだ。また、施設の化石燃料を利用するボイラを木質バイオマスに置き換える際の経済的、環境的両面からの診断を行うための自動簡易診断シート（Excel）づくりを進めた。

長崎市においては、長崎市（環境政策課、長崎市地球温暖化防止対策協議会、会長早瀬隆司（本学客員教授）、同副会長（蒲原新一））と野母地域の関係者並びに事業者と協議を行い、野母地域における再生可能エネルギーの地産地消に向けた地域アライアンスの構築を進めた。

[III] 成果など

高齢者向けのデイサービス等の施設では温浴サービスが行われており、そのための給湯にかかるエネルギー量が多い。本研究で作成した自動簡易診断シートによって、化石燃料から木質チップへ転換した場合の効果について可視化したデータを示し意見交換を行った。これまでエネルギー利用について意識することはなかったが、今後検討していく必要性を得たことと、そのための情報が得られることに大きな意義があるとの意見だった。

長崎市野母地域における学校跡地を活用した地域エネルギーの利用について、公益財団法人日本環境協会の助成金交付事業「平成 29 年度二酸化炭素排出抑制対策等事業費補助金（再生可能エネルギー電気・熱自立的普及促進事業）の第 2 号事業（事業化計画策定事業）」へ申請を行ったが、採択には至らなかった。（申請は NPO 法人環境カウンセリング協会長崎を主体として行った。）しかし、平成 29 年度再エネコンシェルジュ事業（案件形成支援）に申請し、採択を受け、野母地域における案件形成に向けた支援を受けることができた。

[IV] 今後の課題

野母地域のより詳細な木質バイオマス賦存量、エネルギー需要量の積み上げと地域アライアンスへ参画する地域関係者の掘り出しが必要である。また、再エネコンシェルジュ事業（案件形成支援）のサポートや関係組織との情報交換により外部資金獲得へ向けた申請内容のブラッシュアップを行う。

「グラバー図譜」の3次元CG化とそれを活用した新たな社会貢献 に関する研究—2017年度活動報告と今後の展望

崔智英，繁宮悠介，柴田守

Ⅰ 事業概要～「長崎の歴史的資料を活かしたデジタル水族館」への展開

本研究の開始時の企画案は、(1) 長崎が誇る歴史的資料の1つである『日本西部及び南部魚類図譜』（以下、「グラバー図譜」とする。）¹⁾ に描かれた魚類を最新のデザイン技法を採り入れて3DCG化〔現代的価値の付与〕をするとともに、それを活用して、(2-1) MR（複合現実）の構築に関する基礎的研究を行い〔デザイン資源の活用方法の探求〕、また(2-2) 地元の水族館などとの連携をもとに、地元の小中学校の児童生徒を対象に、生物学を中心とした教育を実際に行い、科学教育の新たな方法について探求する〔社会貢献の方法の探求〕というものである。だが、その後、上記の企画案から発展させた「長崎の歴史的資料を活かしたデジタル水族館」という形を採って、具体的に研究／実践を進めてきた。この意図は、現代的価値を付与したデジタル素材をコンテンツ化して、エデュケーションとエンターテインメントを両立した活用方法を多角的に探求するためであり、「水族館」がその研究／実践の素材や場として最も適切であったからである（その趣旨や構想を学術的に解題したものとして、崔ほか〔デザイン〕, 2018）。

以下では、本研究の開始時の企画案に沿った基礎的な取り組みと、それを発展させた「長崎の歴史的資料を活かしたデジタル水族館」の実践について報告し、今後の展望について示したいと思う。

Ⅱ 活動状況

〔1〕 本研究の基礎的な研究／実践について

「グラバー図譜」に描かれた魚類の3DCG化する過程については、崔が中心となり、崔研究室の学生とともに制作した。崔は、この制作過程において、図譜を制作した当時の地元の絵師5人と同様に、実際の観察、写真や動画を参考にしながら、画像の色彩やアニメーション化などの作業を行い、生態学的特徴を付加した形で制作している。なお、デジタル水族館の映像制作にあたり、実際の魚類の形態や色彩、行動、生態を観察し、CG化の参考にするために、長崎ペンギン水族館を頻繁に視察した。

MR（複合現実）の構築に関する基礎的研究については、崔・繁宮・柴田が、それぞれ学会、研究会、イベントなどに積極的に参加し、最新の動向を調査して、活用できるデバイスなどの検討などを行った。具体的には、博物館における映像の活用方法を調査するために、日本科学未来館（東京都）、軍艦島デジタルミュージアム（長崎市）、および長崎歴史文化博物館の特別展「チームラボアイランド-学ぶ！未来の遊園地-in 長崎」を視察する

とともに、さらに、第 64 回日本デザイン学会春季研究発表大会（於：拓殖大学）、FRONT LINE 2017（於：佐賀大学）などにも参加して情報交換を行った。また、崔は、この分野で先行研究を重ねている、中村俊介氏（(株)しくみデザイン）、松永康佑氏（札幌市立大学）らと情報交換を随時行った。

科学教育の新たな方法の探求については、繁宮が茂木小学校で特別授業を行い、また、繁宮の紹介で崔と柴田がペンギン水族館との連携強化を図るなど、2018 年度以降の教育活動に向けた準備を整えた（なお、本研究／実践の全体的なマネジメント及び社会一般との関係構築に関して、柴田が長崎市内の小学校 18 校・中学校 9 校を回り、校長や教頭等との関係構築を図り、2018 年度に向けた準備を整えた）。また、繁宮と繁宮研究室の学生が、「グラバー図譜」に描かれた魚類を生物学や水産学などの視点から調査して、教育につなげる取り組みを行った。

以上の活動に関する検討や、各専攻分野における先行研究を検討する研究会を立ち上げ、学内で定期的に実施した。

【2】 「長崎の歴史的資料を活かしたデジタル水族館」について

長崎総合科学大学第 54 回造大祭（2017 年 11 月 3 日から 4 日）において、「デジタル水族館 2017—グラバー図譜で楽しむ長崎の海—」と題するイベントを開催した。本イベントは、半年間進めてきた研究／実践の成果を一般の人びと（特に、子ども）が身近に体験できる形にして公開するとともに、その反応を調査することを目的としたものである。特に、デザイン資源の多角的な活用を図り、社会貢献の方法としてよりよい形を実際に来場者の反応を観察して模索することに主眼を置いた。

本イベントでは、展示として、(1) CG 化したグラバー図譜の魚類に動きを与えて壁にプロットし、大画面（W4.8×H2.7m）の海のなかで泳がせる「デジタル大水槽」、(2) ペンギン水族館から借りてきた魚類・甲殻類と 3DCG の魚の映像をコラボレーションさせた「プロジェクションマッピング」、(3) 魚の行動・生態・釣りなどを楽しく学ぶ「魚の生態等に関するアニメーション」、(4) 岩礁や砂浜に隠れる魚を探す「魚探しゲーム」、(5) 電子黒板に映った魚を触ると名前が分かる「名前当てゲーム」、(6) 3DCG の魚を多面体として作成する「ペーパークラフト工作」、(7) タブレットで「グラバー図譜」に描かれた魚に自由に色づけする「デジタルアート体験」を行った（詳細については、崔ほか[実践], 2018）。

【本実践の総評】 今回の展示を総合的に評価すると、当初の目論見どおり、歴史的なデザイン資源を活用して、学問的価値を付加して多角的に楽しめる展示を行い、その展示に対して来場者の生の反応を観察でき、さらなる社会貢献にもつながる下地ができたことが大きな成果であったと考える。多様な提示手法を用いたことで、観覧者の反応を比較することができ、どのようなものに興味を持ち、こちらの意図が伝わっているかどうかを確認できたことは、今後の映像作品作りに大きな参考となった。

CG 化とその活用の点では、画像の色調補正とトリミング、2DCG の立体的な動きの再

現、一部の魚類の3D化とペーパークラフト用展開図の作成手法を確立することができた。これらの手法を他の魚種に適用することで、深海やサンゴ礁など多様な海中環境の再現や、行動や生態の紹介に活用することができるだろう。魚体の動きの再現性の高めるために、3D化した魚体の曲がり方やヒレの動きなどを、実際の観察に基づきアニメーション化したり、群れの動きをアルゴリズムで再現したりするなどの発展が考えられる(Langton, 1989)。今回は2Dであったデジタル大水槽を3D空間として制作できれば、平面に映写する場合でもカメラ位置を動かしながら再生することで臨場感を上げることが考えられるし、ヘッドマウントディスプレイなどを使えばその3D空間に入っていくことも可能となるだろう。

また、各研究室の学生に研究や社会的活動に対する意識づけができたことも大きな成果であった。制作者となった学生にとっては、今回の映像制作が知識獲得と表現力育成の機会となっていた。ものづくりを通して知識を獲得していくという、工学系大学らしい教育システムを、観覧者にも体験してもらうようなワークショップを企画することも有意義だと思われる。

今回の展示では、映像展示専用の部屋では無く、一般の教室を使用して、暗室にしたり、作業用の机を用意したり、プロジェクタを設置する台を用意したりする必要があったが、この経験は、小学校や公共施設など様々な場所で展示を実施する際、その会場設営に応用できるであろう。水族館に限られないという空間の拡張性の利点があると思われる(たとえば、田邊ほか, 2014)。

【今後の課題】 生態学の視点からは、今回の展示を行った結果、期待した反応も得られた反面、どこまで生態学的な知識や面白さが伝わったのかを測定することができなかった。それは、他の博物館で学芸員が感じていることでもある(石田ら, 2010; 山内ら, 2017)。ゲームやクイズを楽しみながら生態学の知見に触れられることを目指したが、そのどちらも発展の余地があり、今後さらに研究する必要がある。科学的な姿勢を育む上で、たとえ楽しめるコンテンツであっても、受動的な情報獲得では限界があり、「自分で見つける、分かる」という能動的な気づきを提供することが重要であると考えられる。また、分かりやすさを追求するあまり、本当の生物の姿をねじ曲げて提示する危険性もある。それは、生態学を分かりやすく伝えようとする研究者が、一般向けに動物映像の編集を行う場合でも、都合良く編集してしまっている可能性が生じるのと同じである(中田, 2010)。デジタル水族館は、CGの魚を使い、完全に人工的な「生態系」を作り出そうとしている点で、それが生態学の学習において良い効果を生むのか検証していく必要があるだろう。

さらに活動の場を広げていく必要もある。11月の学園祭は、4月から始めたゼミ活動の作品作りを完了させる時期として適しており、その完成作品をペンギン水族館や他のイベントなどで展示する機会も作っていく必要がある。観光客向けの公開手段も検討を開始する必要がある。また、小学校や中学校でのCG制作や映像制作の指導など、教材としての活用も考えていくことも必要であろう。

【III】 研究成果など

本研究の学術的解題や、本実践の内容や課題については、本学・地域科学研究所の『地域論叢』に下記の2本の論文を投稿したのでご覧いただきたい。

① 崔智英=繁宮悠介=柴田守「長崎の歴史的資料を活かしたデジタル水族館のデザイン」地域論叢 33号（2018年3月）17頁～22頁

② 崔智英=繁宮悠介=柴田守「長崎の歴史的資料を活かしたデジタル水族館の実践」地域論叢 33号（2018年3月）23頁～38頁

加えて、国際的な学会誌にも投稿することを検討しており、また、2018年に開催されるデザイン工学系の国際学会などで報告することも予定している。

【IV】 今後の展望～2018年度にむけて

【1】 「より実践的」をスローガンとした研究／実践の展開

3か年計画の2年目である2018年度は、「より実践的」をスローガンに研究を進めていく予定である。引き続き、博物館資料としての価値が高い「グラバー図譜」をもとに生態学的特徴を付加した形で魚類の3DCGを制作していくが、それを素材に、2018年度は、特に、長崎の豊かな海の生態系を配置したジオラマをデジタル水槽で構築するということにこだわり、研究／実践を進めていく予定である。「グラバー図譜」は、江戸末期のシーボルトの図譜（日本動物誌）、幕末期の紀州の本草学者栗本丹洲の「栗本氏魚譜」、昭和になって編纂された日本水産研究所の「熊田氏魚譜」と並んで「日本4大魚譜」の1つに位置づけられているものであり（森，2015）、博物館資料としての生物学や水産学的な価値が高いというだけでなく、美術的にも価値が高い（バークガフニ，2005；嘉松，2017）。これに、最新のデジタル技法を活用して生態学的特徴を付加していけば、博物館資料としての価値をさらに高めることにつながるであろう。その上で、地元の豊かな海の生態系を配置したジオラマをデジタル水槽として実現できれば、生態学的知見やその情報の視覚化につながり、水族館学的にも、生物学的にも大きな意味があると思われる。

MR（複合現実）の構築に関する基礎的研究［デザイン資源の活用方法の探求］については、引き続き検討が必要ではあるが、とりあえず、2018年度は、マイクロソフトが2017年のFall Creators Updateで提供を開始したWindows MRの活用を視野に入れて、多角的に研究を進めていくことを予定している。実践に関しては、たとえば、地元の水族館のバルコニーから一望できる橘湾を舞台に、MRの技術を活用して、そこから見える物理的な現実の上に3DCGによって示された（橘湾の）生態学的情報を重ねて視覚化することなども視野に入れている。そして、その先に、「グラバー図譜」に描かれた魚類の3DCGの活用を視野に入れていきたいと考えている。

また、科学教育の新たな方法の探求［社会貢献の方法の探求］については、具体的に、学習コンテンツとして、「グラバー図譜」の魚類の3DCGをもとにした「橘湾のエコロジ

ー」の制作を目標に掲げたいと思う。筆者らが所属する長崎総合科学大学は、橘湾に面したキャンパスを有する大学であり、そのため、「橘湾のエコロジー（生態学的分析）」を伝統的に取り組んできた。2018年4月からは、船舶工学、環境情報学、環境化学の研究者が新たに加わった学際的研究グループに再編して、それを継承・発展させた「橘湾のエコロジーとその視覚化－橘湾の自然環境の保全をめざして」と題する研究を、地元の水族館や漁業協同組合の協力のもとに実施することとしている。この研究では、得た知見を市民の生態学的リテラシーの獲得に寄与し、橘湾の自然環境の保全（資源の管理および活用）に還元することとしており、本研究／実践でも積極的に活用していく次第である。生態学的な学習の効果検証に関しては、地元の水族館や小・中学校と連携をとりながら、教育学的に分析を進めていくこととしたい。

[2] 造大祭などを舞台に研究成果の分析・検証

2018年秋に開催される長崎総合科学大学第55回造大祭においても、2017年と同様にひきつづき、イベント（デジタル水族館）を開催して、研究成果を活かしたデザイン資源の多角的な活用を図り、社会貢献の方法（観光資源）としてよりよい形を実際に来場者の生の反応を観察することを予定している。また、地元の水族館などにおいて観光客向けのイベントとして公開することも視野に入れている。

[3] 今後の研究体制

本研究では、崔（デザイン工学）、繁宮（生物学）、柴田（法学）というこれまでの学際的メンバーに加え、途中から事実上加入していた松岡和彦（船舶工学）を正式にメンバーに迎え、研究の内容の充実と、地域での活動の幅をさらに拡充する予定である。また、プログラミング担当のメンバーも新たに迎えるように調整したいと思う。

謝辞

長崎大学付属図書館には、『日本西部及び南部魚類図譜』（グラバー図譜）の高解像度のデジタル画像の提供を受けた。長崎ペンギン水族館には、頻繁に調査を受け入れていただき、また展示用の生体も貸し出していただいた。本学の渡瀬一紀名誉教授には「名前当てゲーム」の制作においてご協力いただいた。本学のブライアン・バークガフニ教授には図譜の活用に関する多くの助言をいただくとともに、展示会場に設置するグラバー図譜の紹介文を寄稿していただいた。本研究／実践へのご支援・ご協力に厚く御礼申し上げたい。

注

1) 「グラバー図譜」（全34巻）とは、英国製のケント紙（49センチ×36センチ）に、うろこ1枚に至るまで極めて緻密に描かれた水彩画であり、558種の魚を写生した700枚の図譜、ならびに貝および鯨の123枚の図譜（合計823枚）によって構成されたものである（バークガフニ 2003=2011）。西洋の科学的描写法にならない、魚類の形態や色彩のほか、

鱗や鰭条の数もほぼ正確に描かれている（夏莉 2005）。「汽船漁業」の専務取締役であったトーマス・グラバーの長男倉場富三郎（以下、「倉場」とする。）が、地元の絵師5人（小田紫星、萩原魚仙、長谷川雪香、中村三郎、井上寿一）に、1912年から21年ものの歳月にわたり描かせて編纂したものである（原田 2005）。倉場は、ペンシルベニア大学医学部予科で生物学を学んでおり、「グラバー図譜」は倉場の学問的興味がつまったものである（パークガフニ、2003=2011）。

参考文献

- 中田兼介（2010）博物館と生態学（13）『視覚化』と『わかりやすさ』の裏表．日本生態学会誌 60：283-286
- 石田惣，佐久間大輔，釋智恵子，和田岳（2010）博物館と生態学（12）生態学をテーマとした新しい展示室-小学生でもわかるベーツ擬態，島の生物地理学，メタ個体群を目指して-．日本生態学会誌 60：131-135
- 山内暢人，出原立子（2017）水族館におけるアクティビティを促すメディアシステム．第64回日本デザイン学会研究発表大会概要集：48-49
- 森 望（2015）倉場氏魚譜（グラバー図譜）長崎へ帰る： 渋沢敬三の長崎魚への想い．
[https://shibusawakeizo.jp/writing/text_99_001.html]（2018年3月20日最終確認）
- ブライアン・パークガフニ（2005）倉場富三郎の生涯 魚譜は倉場富三郎のライフワークであり，家宝であった．倉場富三郎編纂・長崎大学水産学部監修「グラバー魚譜 200 選～Fishes of Southern and Western Japan」．長崎文献社，長崎，pp.8-9
- ブライアン・パークガフニ（2003=2011）グラバー家の人々．長崎文献社，長崎
- 原田博二（2005）長崎を代表する画家たちの数奇な生涯．倉場富三郎編纂・長崎大学水産学部監修「グラバー魚譜 200 選～Fishes of Southern and Western Japan」．長崎文献社，長崎，pp.10-11
- 夏莉豊（2005）『グラバー図譜』から『魚譜 200 選』まで 長崎大学収蔵の全原画から編纂の過程を読む．倉場富三郎編纂・長崎大学水産学部監修「グラバー魚譜 200 選～Fishes of Southern and Western Japan」．長崎文献社，長崎，pp.12-16
- 嘉松聡（2017）『日本西部及び南部魚類図譜』（通称：グラバー図譜）および図譜描画に関する一考察．文化学園大学・文化学園大学短期大学部紀要 48：61-68
- Langton CG（1989）“Artificial life” Addison Wesley, Redwood City, CA
- 田邊里奈，若林尚樹，政倉祐子（2014）擬似的な体験を通じた学びのためのコンテンツ設計．デザイン学研究作品集 20：108-113
- 崔智英，繁宮悠介，柴田守（2018）長崎の歴史的資料を活かしたデジタル水族館のデザイン．地域論叢 33：17-22
- 崔智英，繁宮悠介，柴田守（2018）長崎の歴史的資料を活かしたデジタル水族館の実践．地域論叢 33：23-38

小規模学校向けのラーニング・マネジメント・システム ならびに教務事務システムの構築

田中賢一，横井聖宏，三田淳司，大山健

[I] 事業概要

近年，初等教育や中等教育に向けた，いわゆる情報科教育が一般化してきているなか，小学校から高等学校にいたるまでの教育機関における情報科教育のために使いやすく教育効果の高いラーニング・マネジメント・システムの構築が急務になっている．加えて，教務事務システムへのシームレス化を図り，学校教育現場における省力化や効率化などに寄与できるシステムの構築も急務な課題となっている．このことから，高等学校における情報科教育のために使いやすく教育効果の高いラーニング・マネジメント・システムの構築からはじめて，教務事務システムへのシームレス化を目的として，事業を展開している．

[II] 活動状況

現時点で，主として，以下のことを行っている．

- (1) アクティブディレクトリによる教務システムのベース部分の構築を行っている．

Windows サーバを導入し，アクティブディレクトリにより，多数のユーザに対応するシステムのベースとなる部分を構築する．

- (2) 教務システムなどを組んだサーバへの不正侵入・アクセスを防ぐためのセキュリティに関する考察を行い，当面 VPN ルータによるセキュリティ対策を取り，簡便なアクセス方法に関する試行を行っている．

VPN ルータによる接続システムは古典的な接続方法ではあるが，比較的簡便なセキュリティ対策が可能であることから，ファイヤーウォールを考えるより簡便であり，ユーザ単位でのアクセス制御が可能となることから，VPN ルータを Windows サーバの前段に配置することとした．

- (3) アクティブディレクトリを用いたインストラクションシステム，具体的には，文書作成ソフトウェアや表計算ソフトウェアの使い方を教示するシステムを一部作ってきた．

現状では，Ikerimiz (活水高等学校) におけるパソコン教示システムを開発し，Microsoft Office の操作法における受講者の初歩段階でのつまづきを少なくするような効果を得ることが可能な見通しが立ってきた．

- (4) タイピングをしていく上での，操作者の疲労対策に関する考察を行い，現況では，撮像素子をキーボードと手元に向けて，キー操作に慣れる方法を思考している．

キーボードを見ずにキー操作を行うことが出来るようになるために，最初の段階で視線

を動かさずに済むような、そして疲労が少なく修得しやすいインストラクションシステムの構築を行っている。

- (5) 受講生の授業を追った理解度や意識などを調査する上で、アンケート調査の手法として、連想法の利用可能性を模索している。
- (6) 教職員のパソコンスキルを考慮したシームレスなシステムについて検討している。教育現場における声を収集して、教育現場の方々にとって使いやすく省力化に寄与するシステム構築のためのコンセプトを考える。

[III] 成果など

上記における(3)については、Microsoft Excel の使用法に関する教示システムを一部開発し、活水高等学校の3年生の生徒に実際に使用しながら理解の度合いなどを観察した。このことから、最初の段階でのつまづきを大幅に低減することが可能であることが明らかになった[1],[2]。また、上記における(4)については、視線の動きが少なく、最初の段階からくせの少ないキー操作を促すためのシステムの試作を行うことができた[3]。他については、ある程度のまとまった結果が整ってから改めて報告する。

[IV] 今後の課題

今後は活動状況(1)～(6)の内容を深め、可能な限り早期に実際の現場での運用に供するシステムを一部でも完成して、多くの教育現場で試行を行って、さらにブラッシュアップをしたいと考えている。

参考文献

- [1] 梅本雄史，田中賢一：“パソコン操作指示システムの開発”，電子情報通信学会技術報告，vol. 117, no. 228, IE2017-61, pp. 107-110 (2017)
- [2] 梅本雄史，田中賢一：“高校生のためのパソコン操作指示システムの開発”，長崎総合科学大学紀要，vol.57, no.2, pp.92-97 (2018)
- [3] 梅本雄史，馬場哲平，横井聖宏：“手元カメラを用いたタッチタイピング支援システムの開発”，日本感性工学会春季大会，TC1-6 (2018)
- [4] 馬場哲平，梅本雄史，横井聖宏：“手元カメラを用いたタッチタイピング支援システムの導入評価”，日本感性工学会春季大会，TC1-7 (2018)

IoT を活用した見守りシステムの構築

横井聖宏，田中賢一，佐藤雅紀，劉偉

II 事業概要

僻地や離島に住む高齢者を多く抱える長崎県では，日常的に高齢者の安否が確認できる見守りの仕組みづくりが急務である．そこで，IoT を活用して遠隔での日常的な見守りを可能にするシステムの構築を行う．

III 活動状況

はじめに，IoT を活用した既存の見守りサービスについて，事例調査とサービス概要説明文に対するテキストマイニングを実施し，利点と課題について分析を行った．

サービス概要	サービス区分※				
	把握方法	連絡方法	通話方法	メール	人
「フレッツ・ミルエネ」は，ご家庭の消費電力を「見える化」するサービスです。離れて暮らす家族などもインターネットを通じて、電気の使用状況を確認できるため、見守られている感覚を与えにくい「ゆるやかな見守り」としても活用いただけます。設定された消費電力量を超えると登録されたメールアドレスに通知する「電力変動お知らせ機能」を使えば、確認の都度、ログインしなくても見守ることができ便利です。			○	○	
トイレや寝室、冷蔵庫などに設置した安否確認センサーが長時間にわたって反応しない場合に、ご家庭の電話回線を一時使用してご家族の方の携帯電話などへ自動的に警告アナウンスを流します。安否確認センサーは無線式ですので、工事無しでご家族の方で簡単に設置できます。緊急通報の際は既設の電話回線を使いますので、別途月々の通通信費、管理費用は不要です。異常時の通報先電話番号は最大5箇所まで登録できます。			○	○	
警備員による非常時の「駆けつけサービス」と、ハンズフリーによる「健康相談サービス」、持病やかかりつけの病院をあらかじめ登録できる「救急情報登録」の3つを基本サービスとし、もしもときの「駆けつけ」からちょっとした体調に関する「相談」まで、ご家族のみなさんの安心をお約束いたします。ご要望により火災やガス漏れの監視、ライフリズム監視等もご用意しております。	○		○	○	○

図1. テキストマイニング対象データの一例

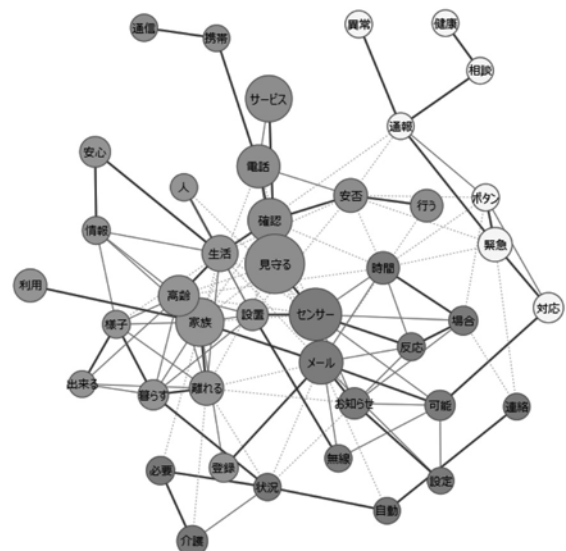


図2. 単語の共起関係を示すネットワーク図

その結果，既存のサービスの多くは，宅内に設置した人感センサーやドア開閉センサーなどの反応が長時間ないとき，または当人から緊急通報があったときに異常と判断するしくみであるため，急病で倒れた場合や転倒事故で大怪我を負った場合など，迅速な救助を要し，かつ当人が通報できない状態にある異常事態の早期発見が難しいことがわかった．

そこで我々は異常事態の迅速な発見と周知を支援する見守りシステムとして，宅内に複数のセンサーを設置して複合的にデータを処理することで異常検出の速度と精度を高め，異常検出時に SNS を活用することで特定のデバイスに依存せず同時に複数人に通知する

ことができるシステムを設計し、実装を行った。

そして、実装したシステムを一般家庭の浴室に試験導入し、浴槽内で見守り対象者が意識を失った状況を想定した動作テストを実施して、異常検出と SNS 経由での通知が可能であることを確認した。テストでは人感センサー2 基を浴室の入口と浴室内に設置した。これらが「(1) 浴室入口→(2) 浴室」の順で反応した場合、つぎに浴室入口のセンサーが反応するまでは浴室に人が滞在しているとみなし、浴室に滞在中かつ浴室内のセンサーの反応がない時間が設定値(今回は 10 分に設定)を超えたとき異常と判断して Twitter のタイムラインに情報を投稿する仕様とした。



図 3. 異常検出時の Twitter タイムラインへの投稿の例

[III] 成果など

研究は当初の計画通り順調に進行し、設計したシステムはプロトタイプを実装して動作テストができる段階にある。また、下記の研究発表講演 1 件、論文発表 2 件を実施した。

【研究発表講演】

1. 横井聖宏, 金柿岳史. 情報機器を用いた高齢者見守りサービスに関する調査 – 共起ネットワークによるサービス概要説明文の分析 –. 第 19 回日本感性工学会大会. 筑波大学東京キャンパス (東京都). 2017 年 9 月 13 日.

【論文】

1. 横井聖宏, 金柿岳史. ICT/IoT を活用した見守りのシステムデザインに関する考察. 学校法人長崎総合科学大学大学院新技術創成研究所所報. 第 12 号, pp.17-21. 2017.
2. 横井聖宏, 金柿岳史. 情報機器を用いた高齢者見守りサービスに関する調査 – 共起ネットワークによるサービス概要説明文の分析 –. 第 19 回日本感性工学会大会予稿集. P-13. 2017.

[IV] 今後の課題

- ・多様なセンサーのデータを複合的に処理して安否推定を行うしくみを実装する.
- ・システムの動作安定性と異常検出の精度を高める.

3. 講演会・セミナー開催状況

●第15回公開講演会

「21世紀の科学技術」～生命と環境～

日時：平成29年11月5日（日）13：00～15：35

場所：平安閣サンプリエール

開会挨拶 木下 健 長崎総合科学大学 学長

基調講演

「iPS細胞とは何か - 基礎研究と医療応用の最前線 -」

齊藤 博英 氏（京都大学iPS細胞研究所 未来生命科学開拓部門 教授）

講演

「工学技術の医療応用 ～人工網膜システムによる視覚機能の回復～」

清山 浩司（長崎総合科学大学大学院工学研究科 准教授）

「これからの食とエネルギーをつなぐ一次産業」

中道 隆広（長崎総合科学大学大学院工学研究科 講師）

閉会挨拶 田中 義人 長崎総合科学大学 新技術創成研究所長

●研究会

「異種デバイス高速結合型高密度情報処理システムの展望」

日時：平成30年2月7日（水）10：00～18：00

場所：長崎総合科学大学 グリーンヒルキャンパス

講演

「粒子物理実験におけるGPUの応用可能性 - ALICE実験 を例に -」

郡司 卓 氏（東京大学大学院理学系研究科 准教授）

「マルチFPGAによるアクセラレーション実現のためのプラットフォームの開発」

長名 保範 氏（琉球大学工学部 助教）

「高位合成コンパイラを用いた3Dステンシル計算のFPGAアクセラレーションと最適化」

柴田裕一郎 氏（長崎大学工学研究科 准教授）

「J-PARC-HI計画におけるコンピューティング」

佐甲 博之 氏（国立研究開発法人日本原子力研究開発機構）

「CERN LHC ALICE実験におけるFPGAを用いた大量並列型データ処理における課題」

大山 健 氏（長崎総合科学大学大学院工学研究科 教授）

「第15回新技術創成研究所公開講演会」報告

環境・エネルギー部門 中道隆広

【公開講演会報告】

本公開講演会は、先端科学技術の紹介を目的とした公開講演会や産学官連携を目的とした公開シンポジウムである。15回目となる今年度は、“生命と環境”をテーマとした公開講演会を開催した。基調講演として京都大学iPS細胞研究所より齊藤博英教授をお招きし、「iPS細胞とは何かー基礎研究と医療応用の最前線ー」をお話ししていただき、約160名の高校生や長崎で再生医療に興味がある一般の方が多く来場していただいた。

基調講演では、齊藤先生からはご自身がこれまで体験してこられた高校時代のエピソードや経験、そこから今の研究へ繋がる閃きがあったことを高校生へのメッセージを送り、ノーベル生理学・医学賞を受賞されたiPS細胞研究所の山中伸弥教授との出会いなどを笑いを交えながら楽しくお話いただきました。iPS細胞の可能性や今の現状、そして今後の期待についてご講演頂き、iPS細胞の利用法の一つとして医療分野で行われている再生医療の研究やiPS細胞研究所で研究者が今取り組んでいる挑戦など、最新の研究を分かりやすく解説していただきました。

基調講演後は、本学から清山浩司准教授（工学部工学科電気電子工学コース）と中道隆広講師（総合情報学部総合情報学科生命環境工学コース）がそれぞれ講演し、失った視力を取り戻す技術として、デジカメの技術を応用した電子網膜（人工視覚）により擬似的に網膜を復元する人工視覚技術や、本学を含めた「東長崎エコタウン構想」で実証実験が進められている、東部下水処理場におけるメタン発酵残渣の肥料化技術を利用した循環型社会に向けたシステムの構築について講演した。

【講演プログラム】

基調講演「iPS細胞とは何かー基礎研究と医療応用の最前線ー」

京都大学iPS細胞研究所 齊藤博英教授

講演1「人工網膜システムによる視覚機能の回復」

本学工学部 清山浩司准教授

講演2「これからの食とエネルギーをつなぐ一次産業」

本学総合情報学部 中道隆広講師

日時：平成29年11月5日（日）13：00～15：35

場所：サンプリエール

主催：長崎総合科学大学 大学院 新技術創成研究所

4. 研究所員の研究活動状況

(1) 学術論文発表 (2017.4.1～2018.3.31)

	著者名	論文標題又は書名	掲載雑誌名又は出版社名	巻・号・頁・発行年月日	単著・共著の別 (共著の場合は共著者名)
1	下高 敏彰 日當 明男 大場 和彦	土壌の貯熱量を示す陽熱負荷量の近似モデルにおける土壌環境補正係数の提案	日本農業気象学会75周年記念大会 (2018年全国大会)	J-6, 2018年3月13日	
2	山邊 時雄 杉田 勝 村上 信明	Naイオン電池 (NIB) の炭素系負極材料におけるNaの構造について	電気化学秋季大会	1D31, 2017年9月	石川 滋
3	山邊 時雄 杉田 勝 村上 信明	Quantum Chemical Study of Sodium Insertion to Hard Carbon Electrode Materials	日本化学会第98春季年会	3PB-008, 2018年3月	石川 滋
4	松井 信正 水野 裕志 黒川不二雄 江藤 春日	GA based Optimization for Configuration and Operation of Emergency Generators in a Medical Facility Using Renewable Energy.	International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)	Vol.8, No.1, pp.200-207, March 2018.	Masaharu Tanaka
5	松井 信正 水野 裕志 田中 義人 黒川不二雄	Estimation of Optimal Capacity of Battery by Combined Use of a Renewable Energy System and Emergency Generators in a Large Hospital	6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)	San Diego, pp. 515-518, 5-8 Nov. 2017.	Teppey Baba, Masaharu Tanaka, I. Colak, and N.Matsui
6	松井 信正 水野 裕志 田中 義人 黒川不二雄	Comparison of Optimum Energy Schedule of Emergency Generators of Large Hospital with Renewable Energy System Using Mathematical Programing Method.	6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)	San Diego, pp. 519-523, 5-8 Nov. 2017	Teppey Baba, Masaharu Tanaka, I. Colak, and N.Matsui
7	松井 信正 梶原 一宏 黒川不二雄	72V DC Bus Output Full-Bridge Converter in Solar Power System for Micro EV.	6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications, (ICRERA)	San Diego, pp. 544-547, 5-8 Nov. 2017.	Sinichiro Hattori
8	松井 信正 江藤 春日 水野 裕志 黒川不二雄	Genetic Algorithm based Optimization for Configuration and Operation of Emergency Generators in a Medical Facility	6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications, (ICRERA)	San Diego, pp. 919-924, 5-8 Nov. 2017	Masaharu Tanaka,
9	松井 信正 梶原 一宏 黒川不二雄	A New MPPT Control for Solar Panel under Bus Voltage Fluctuation	6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications, (ICRERA)	San Diego, pp. 1047-1050, 5-8 Nov. 2017	
10	松井 信正 梶原 一宏 黒川不二雄	Proportional and Integral Gain Changeable Control DC-DC Converter for Improvement of Dynamic Performance	Telecommunications Energy Conference (INTELEC)	2017 IEEE International, pp. 595-598, Oct. 2017.	Yudai Furukawa
11	松井 信正	Stable output current estimation for switching power converter	2017 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)	pp. 5312-5316, Oct. 2017.	
12	松井 信正 水野 裕志	太陽光発電設備を導入する大病院の非常時の電力グリッドの最適運用方法の改善	電子情報通信学会, 信学技報	EE2017-51, pp. 53-58, 2018年1月28日	馬場哲平
13	松井 信正 水野 裕志	院内に太陽光発電システムを導入する場合のバッテリー容量の統計的評価	電子情報通信学会, 信学技報	EE2017-52, pp. 59-62, 2018年1月28日	馬場哲平
14	松井 信正 梶原 一宏 黒川不二雄	太陽光発電システムにおける最大電力点追従制御の応答性改善について	電子情報通信学会, 信学技報	pp. 87-91, 2018年1月	戸村日向
15	松井 信正 水野 裕志	二次計画法を用いた非常用発電機と太陽光発電による異常時の院内グリッドの運用方法	第25回電子情報通信学会九州支部(学生講演会)	D-29, 2017年9月26日	馬場哲平
16	松井 信正 水野 裕志 黒川不二雄	再生可能エネルギーシステムと非常用発電機の併用による異常時の院内電力グリッドのバッテリー容量	電子情報通信学会, 信学技報	EE2017-18, pp. 55-58, 2017年7月27日	馬場哲平, 田中雅晴
17	松井 信正 水野 裕志	環境およびバイタルエクセルギーを活用した電源レスIoTに向けたシステムデザインに関する考察ー移動空間を想定した実証実験の一例からー	創見創新 長崎総合科学大学大学院 新技術創成研究所 所報	第13号, ページ番号	山口祐資
18	松井 信正	Report on the 6th IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA2017)	IEICE Communications Society GLOBAL NEWSLETTER	Vol. 42, No.1, p. 32, March 2018.	
19	佐藤 雅紀 松岡 和彦	軍艦島 (端島) の護岸に関する試験的海中調査	計測自動制御学会第34回センシングフォーラム計測部門大会	2P1-11, 2017	測上和輝, 室田真由子
20	佐藤 雅紀 松岡 和彦	遠隔操作型海中ロボットの開発および堤防壁面の試験的調査	創見創新 長崎総合科学大学大学院 新技術創成研究所 所報	第12号, pp.23-26, 2017	
21	佐藤 雅紀 松岡 和彦	低価格ROVの利用とその可能性	日本船舶海洋工学会秋季講演会	論文番号2017A-GS4-7, 2017	
22	佐藤 雅紀 横井 聖宏	ロボット教材を活用した主体的・対話的で深い学び (第1報) 実践的な講義の概要と試行	日本機械学会技術と社会部門講演会2017年度講演会	142(2pages), 2017	山下詩織, 日高義浩

	著者名	論文標題又は書名	掲載雑誌名又は出版社名	巻・号・頁・発行年月日	単著・共著の別 (共著の場合は共著者名)
23	田中 賢一	パソコン操作指示システムの開発	電子情報通信学会技術報告	vol. 117, no. 228, IE2017-61, pp. 107-110, 2017年10月	梅本雄史
24	田中 賢一	高校生のためのパソコン操作指示システムの開発	長崎総合科学大学紀要	2018年1月	梅本雄史
25	劉 震	Trees with Large Numbers of Subtrees	International Journal of Computer Mathematics	2017, Vol. 94 Issue 2, p372-385	Yuzhi Xiao ,Haixing Zhao, Yaping Mao
26	清山 浩司	Development of integrated photoplethysmographic recording circuit for trans-nail pulse-wave monitoring system.	Japanese Journal of Applied Physics	57 o4FM11(5pages), January 14, 2018	Zhengyang Qian, Yoshiki Takezawa, Kenji Shimokawa, Hisashi Kino, Takafummi Fukushima, Tetsu Tanaka
27	清山 浩司	An Integrated Photo-Plethysmography Recording Circuit for Trans-Nail Pulse-Wave Monitoring System	2017 International Conference on Solid State Devices and Materials	pp.1-2, Sep. 19-22,2017	Z.Qian, T.Tanaka
28	清山 浩司	Wide-range bioelectrical impedance analysis circuit with GIDL-controlled ultra-small current and ultra-low frequency square wave generator	2017 International Conference on Solid State Devices and Materials	pp.1-2, Sep. 19-22,2017	Y.Takezawa, T.Tanaka
29	清山 浩司	三次元積層人工網膜チップのためのラプラシアンエッジ強調機能を有する刺激電流生成回路の評価	第78回応用物理学学会秋季学術講演会	7a-A502-10, 2017年9月	下川賢士, 田中徹, 錢正阳, 竹澤好樹, 木野久志, 福島啓史
30	梶原 一宏 黒川不二雄	Design of Digital Hysteresis Current Control Circuit in AC-DC Converter for Wind Power Generation	IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications	pp. 510-514	Satoshi Kuboyama
31	梶原 一宏 黒川不二雄	Improvement of Transient Characteristics of AC-DC Converter Connected with HVDC Bus	IEEE International Conference on Power Electronics and Drive Systems	pp. 474-478	Satoshi Kuboyama
32	梶原 一宏 江藤 春日 黒川不二雄	An Evaluation of Charging Power Balance of EV Battery for Household Distributed Power System	International Journal of Renewable Energy Research	vol. 8, no. 1, pp. 1-6	Shinichiro Hattori
33	梶原 一宏 丸田 英徳 黒川不二雄	デジタルヒステリシス電流制御電源の過渡特性について	電気学会研究会資料	pp. 27-31	久保山聡之
34	梶原 一宏 黒川不二雄	過渡特性改善のための比例・積分ゲイン可変方式DC-DCコンバータについて	電子情報通信学会技術研究報告	pp. 141-145	古川雄大
35	梶原 一宏 黒川不二雄	デジタルヒステリシス電流制御電源の過渡特性について	電子情報通信学会技術研究報告	pp. 21-25	久保山聡之, 樋口剛
36	梶原 一宏 江藤 春日 黒川不二雄	デジタルヒステリシス電流制御を用いたAC-DCコンバータの過渡特性改善について	電子情報通信学会技術研究報告	pp. 75-79	久保山聡之
37	水野 裕志	Optimum Conditions of Temperature Prediction Mechanism by Thermal Behavior Model Using Electric Circuit	Transaction on Pacific Area Longevity Medical Society (PALMS)	No. 9, pp. 19-26, June 2017.	Kazuhide Okada and Masafumi Matsumura
38	水野 裕志	軟質性ボールを用いた体温計測温部の提案	平成29年第25回電子情報通信学会九州支部(学生講演会)	D-29, 2017年9月26日	山本弘夢
39	水野 裕志	Evaluation and Verification of a Wearable System for Photoplethysmography on Cervical Body Surface	Transaction on Pacific Area Longevity Medical Society (PALMS)	No. 15, pp. 24-35, January 2018	Kouji Kaneko and Masafumi Matsumura
40	黒田 勝彦	FEMを用いたSEA構造モデル構築法に関する研究	長崎総合科学大学紀要	第57巻,pp.33-38, 2017-7	並川修平
41	黒田 勝彦	FEMを援用した実験SEAモデル構築における構造加振法に関する研究	機械学会環境工学総合シンポジウム2017	CD-ROM論文集, 109, pdf, (浜松, 2017-7)	並川修平
42	黒田 勝彦	接触を有する構造物のFEMを用いた振動モデルに関する研究	創見創新 長崎総合科学大学大学院 新技術創成研究所報	第12号, pp.27-32, 2017-8	荒巻聖, 宮入徹
43	黒田 勝彦	Construction of Experimental SEA using FEM on a Mechanical Structure subjected to Displacement Excitation	Proceedings of Inter-Noise 2017	pp.4107-4114, 2017-8 (Hong Kong)	
44	黒田 勝彦	接触を有する機械構造物のFEMを用いたモデル構築に関する研究	日本機械学会年次大会	G1000205.pdf (さいたま, 2017-9)	荒巻聖, 宮入徹
45	黒田 勝彦	基礎励振による構造SEAモデルの構築に関する研究	日本機械学会九州学生会第49回卒業研究発表講演会	B11.pdf, (大分, 2018-3)	久崎敬太, 並川修平
46	黒田 勝彦	SEAによる入力パワーの変動を考慮した構造変更による振動と音圧予測に関する研究	日本機械学会九州支部第71期講演会	pp.343-344, (福岡, 2018-3)	井上朝陽
47	黒田 勝彦	構造の伝達特性に着目した振動低減のための構造変更に関する研究	日本機械学会九州支部第71期講演会	pp.345-346, (福岡, 2018-3)	湯浅那央斗
48	堀 勉	船のメタセンター半径 BM の導出に関する一考察	日本航海学会誌 NAVIGATION	創刊 第200号 記念号, pp.75~79, 2017.4	単著
49	堀 勉	静水圧の圧力積分による船の浮心位置の決定 — 浮心=圧力中心の証明 —	日本航海学会誌 NAVIGATION	No.203, pp.88~92, 2018.1	単著

	著者名	論文標題又は書名	掲載雑誌名又は出版社名	巻・号・頁・発行年月日	単著・共著の別 (共著の場合は共著者名)
50	松川 豊	超音速気流の生成と可視化	創見創新 長崎総合科学大学 大学院 新技術創成研究所 所報	第12号, pp.33-38, 2017	松本航暉, 古賀勇輝
51	松川 豊	イオンドラッグ型EHDマイクロポンプ内流れの 数値シミュレーション	日本機械学会論文集	Vol.84, No.858, DOI:10.1299/ transjsme.17-00358, 2018.	単著
52	松川 豊	イオンドラッグ型EHDマイクロポンプにおける 圧力生成の数値シミュレーション	日本機械学会九州支部第71期 総会・講演会論文集	pp.87-88, 2018	単著

(2) 講演・口頭発表

番号	講 師	講 演 テ ー マ	学 会 名 等	場 所	実施日
1	中道 隆広	これからの資源とエネルギー～ごみが活躍する将来～	NiASセミナー	長崎工業高等学校	2017年12月6日
2	黒川 不二雄	IoTを支えるデジタル制御電源の課題と解決手法	IoT時代に求められる「スマートな電源設計」セミナー	御茶ノ水ソラシティカンファレンスセンター	2017年6月1日
3	田中 賢一	スマートフォンの仕組み	NiASセミナー	長崎南高等学校	2017年10月27日
4	日當 明男	情報って何？ ～コンピュータは何している～	NiASセミナー	鹿町工業高等学校	2017年11月9日
5	日當 明男	情報ってなに？コンピュータは何をしている？	NiASセミナー	宮崎工業高等学校	2017年12月8日
6	清山 浩司	タイトル=集積化脳神経ブロープを含む生体信号無線記録システムの開発	研究成果発表会	半導体理工学研究センター(STARC)	2017年5月25-26日
7	清山 浩司	電気電子系の学びと仕事	NiASセミナー	大村工業高等学校	2017年12月12日
8	水野 裕志	軟質性ボール付き体温計測温部による温度予測の精度評価	平成29年第5回看護理工学会学術集会	金沢大学 宝町キャンパス	2017年10月14日
9	水野 裕志	瘦身者にやさしい電子体温計	平成29年第5回看護理工学会学術集会	金沢大学 宝町キャンパス	2017年10月15日
10	水野 裕志	瘦身者にやさしい体温計測温部の有効性比較	日本福祉工学会第2回九州支部大会2017	北九州国際会議場	2017年11月18日
11	水野 裕志	ウェアラブル型頸部体温計測デバイスの試作と性能評価	日本福祉工学会第2回九州支部大会2017	北九州国際会議場	2017年11月18日
12	水野 裕志	ネックバンド型光電脈波計の試作とPTT計測	日本福祉工学会第2回九州支部大会2017	北九州国際会議場	2017年11月18日
13	横井 聖宏	情報機器を用いた高齢者見守りサービスに関する調査 共起ネットワークによるサービス概要説明文の分析	第19回日本感性工学会大会 ポスターセッション	筑波大学 東京キャンパス	2017年9月13日
14	横井 聖宏	学習時の行動と集中度の関係に関する調査	第19回日本感性工学会大会 ポスターセッション	筑波大学 東京キャンパス	2017年9月12日
15	横井 聖宏	高揚的/抑鬱的な曲の感性的特徴の分析	第19回日本感性工学会大会 ポスターセッション	筑波大学 東京キャンパス	2017年9月12日
16	池 浩司	生体情報の測定とデータ活用法～心電図からわかる疾患～	NiASセミナー	長崎北陽台高等学校	2017年10月23日
17	清水 悦郎	食道癌ステント留置術に用いる電導型イグロー焼却の研究開発	第92回日本医療機器学会大会 学術集会	パシフィコ横浜	2017年7月1日
18	影本 浩	生物多様性を考える	NiASセミナー	長崎北陽台高等学校	2017年10月23日
19	松岡 和彦	船が出来るまで～造船所の仕事～	NiASセミナー	清峰高等学校	2017年10月17日
20	松岡 和彦	海を拓く船、ロボット・IT化船とこれからの船づくり	日本船舶海洋工学会第35回海洋教育フォーラム	長崎大学 海洋未来イノベーション機構 環東シナ海環境資源研究センター	2017年10月22日
21	下島 真	ロボットの科学	NiASセミナー	佐世保工業高等学校	2017年6月22日
22	下島 真	ロボットで遊ぼう	NiASセミナー	壱岐市立石田小学校	2017年7月25日
23	下島 真	工業科若手職員ロボット（EV3）研修会	NiASセミナー	鹿町工業高等学校	2017年8月1日
24	繁宮 悠介	生命の歴史～生命の誕生・カンブリア紀の大爆発・恐竜の繁栄・人の誕生～	NiASセミナー	長崎工業高等学校	2018年1月17日

(3) 研究紹介新聞記事

20170623長崎新聞

日見小4年生 学生と楽しく田植え

長崎市立日見小(宮本昭雄校長、397人)の4年生84人が22日、長崎市宿町の長崎総合科学大シーサイドキャンパス内にある田んぼで、学生と田植えを体験した。

地域連携の一環として2008年から毎年開催。同大は環境に配慮した農業技術の研究に取り組んでおり、田んぼには三菱長崎機工(長崎市)と長崎市、同大が共同研究した肥料を使っている。

総合科学大キャンパス内

子どもたちは稲が育つまでの説明を受けた後、一列に並び、学生にコツを教わりながら苗を植えた。安部ひなさん(10)は「歩くのが難しかったけれど、楽しかった。大きく育ててほしい」と笑顔で話した。

秋には収穫体験も実施する予定。同大総合情報学部1年の中里亮太さん(18)は「米作りの体験を通して、日ごろ口にする食べ物がどのように育てられているかに関心を持ってほしい」と話した。(嶋田嘉子)



田植えを体験する子どもたち
＝長崎市、長崎総合科学大シーサイド
キャンパス

海洋エネ人材育成へ

本県産学官 普及実行委を発足

本県産学官が「海洋再生可能エネルギー普及啓発事業実行委員会」を発足させた。本県が力を入れる海洋エネ関連産業への若者の関心を高めるため、体験型講座や先進地派遣などの事業を展開、人材育成を図る。

県と長崎、五島などの5市町、長崎大、長崎総合科学大、NPO法人長崎海洋産業クラスター形成推進協議会などでつくり、7月27日に発足。会長には経塚雄策・長崎大教授が就いた。直近では今月6～13日、大学生と高校生計4人を「長崎海洋大使」として先進地の英スコットランドへ派遣、研究施設の見学や関係企業の訪問をしてもらう。23、24両日は五島市でペットボトルを使った浮体式洋上風力発電機や簡易的な水中探査ロボットを作る子ども対象の講座を開く。県内で広く展開できるように指導者育成や指導マニュアルづくりを進める。いずれも海への関心を高める日本財団の助成事業を活用する。

関係者が4日、県庁で記者会見した。実行委副会長の松岡和彦・長崎総合科学大准教授は「子どもの関心が海そのものから、海洋エネ技術へと広がるように継



ペットボトルを使った浮体式洋上風力発電機や水中探査ロボットについて説明する松岡副会長（右）
＝県庁

20170808長崎新聞

統的に啓発し、最終的に地元企業で活躍できる人が出てきてほしい。地域の漁協やNPOとも連携していきたい」と展望を語った。
(田賀農謙龍)

20170822長崎新聞

栽培法やIT活用 大学教授らが助言

親和銀・農業者相談会 21日、諫早市内で農業者向けの個別相談会を開き、長崎総合科学大の教授らが農産物の適切な栽培法やITの活用などについて助言した。

地方創生を目的に、同大や県などと連携して初めて開催。県内で農業に従事する個人や法人20事業所が参加した。

会場内には五つのブースを設置。教授らは、肥料の適正な量やまくタイミング、効率良く栽培する方法などをアドバイスした。野菜の栽培と加工販売を手掛ける「しまばら創生」

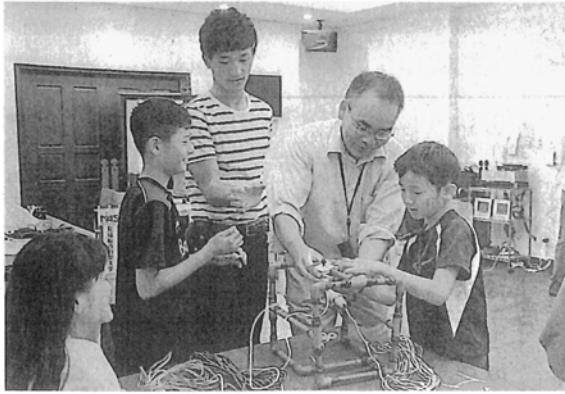
人材の確保や適した栽培法などを尋ねる参加者（右）
＝諫早市高誠町 諫早商工会館



(島原市)の平元洋社長(40)は、生産性の向上について相談。ハウスにセンサーを設置し、温度や土壌内の水分量などをスマートフォンで確認できるシステムの説明を受け、「今後役に立つ情報を得られた」と話した。
(白石彩乃)

20170920長崎新聞

水中探査ロボットできたよ！



水中探査ロボットを組み立て、海の中を観察する教室が18日、長崎市伊王島町であり、地元の小学生在が海洋研究の技術や面白さを学んだ。

日本財団が展開する「海と日本プロジェクト」の一環で、NPO長崎海洋産業クラスター形成推進協議会（坂井俊之理事長）が主催。長崎総合科学大の松岡和彦准教授（46）＝船舶工学＝と学生6人が講師を務めた。

▲松岡准教授（右から2人目）のアドバイスを受けながら水中探査ロボットを組み立てる児童

■長崎市、やすらぎ伊王島

伊王島小児童 海洋研究の技術学ぶ

教室には市立伊王島小の児童8人が参加。児童は塩ビパイプやペットボトルなど身近な部品でロボットの枠組みを作り、スクリーンや防水カメラなどを取り付けてロボットを完成させた。ロボットは近くの漁港岸壁から海へ投げ入れ、カメラで魚などを観察した。

参加した同小5年の石飛晴渚君（11）は「水の中で動くロボットを簡単に作ることができて驚いた。これから海のことにも勉強したい」と笑顔で話した。

（田下寛明）

下水汚泥処理での生成肥料 藻場再生に活用へ

長崎総科大など

長崎総合科学大（長崎市網場町）の客員研究員、薄田篤生氏らが19日、同大で講演。市東部下水処理場（田中町）に設置された下水汚泥処理プラント「メタサウルス」から生成した肥料を、海の藻場再生に活用する研究に着手していることを紹介した。

メタサウルスは、開発した三菱長崎機工（同市）と市、同大の協同研究として国の下水道革新的技術実証事業（B-I DASHプロジェクト）に採択され、2013年から本格稼働している。発生する下水汚泥を独自技術で約5分の1にまで減量し、肥料化に成功している。

講演会で薄田氏は、肥料の中に海藻の生育を促進させる成分が含まれていることから、海洋での活用を検討していると明かした。まずは水槽内で、肥料の投入量や生態に与える影響などを調査していくという。来年以降、海洋での実験を始める。

めたい考え。

このほか、下水汚泥の処理の過程で発生する液体を使った液肥の開発を進めていると報告した。

講演会は、同大を中心に

産学官でつくり、地球環境に優しい地域循環システムの構築を目指す「東長崎エコタウン協議会」が主催。関係者約70人が聴講した。

（白石彩乃）

20170922長崎新聞

20171111長崎新聞

県内の学生製作 電動車両披露へ

地場企業が支援

県内の高校生や大学生らが地場企業の支援を受けて製作した小型電動車両を披露するコンテストが19日、長崎市星取1丁目のあたりに自動車学校で開かれる。学生と企業の接点をつけることで若者の地元就職につなげるのが狙いで、学校や企業関係者の来場を呼び掛けている。



地場企業の支援を受け長崎総合科学大が製作した小型電動車両

接点設け地元就職促す

地場企業や大学など約20団体でつくる実行委が2014年から毎年開いている。長崎市の信栄工業（岡県宮若市）から計12チームが出場する。実行委は10日、県庁で長崎総合科学大の車両1台を披露。同大の学院1年の山本瑠平さん（22）は「設計から材料集め、加工などものづくりを学ぶことができて楽しい。溶接技術も向上した。県内企業を知る機会にもなった」と話した。

（久保景吾）

手作り電動車 技競う

大学や企業など12チーム

小型電動車両の開発コンテストが19日、長崎市星取1丁目のあたりに自動車学校で開かれる。大学、高校、企業など県内外の計12チームが手作りの電動車を走らせ、操作性や機能性を競う。

ものづくり体験を通じて大学生や高校生の地元就職につなげようと、県内の中小企業や大学、高校、県教委などでつくる実行委員会が3年前に始めた「スマコマながさき小型モビリティコンテスト」。毎年、小型電動車両の開発をテーマに開き、県内企業がバッテリーやモーターなどの電動化部品を提供している。

4回目の今年は、四輪車（1人乗り）の開発をテーマに募り、長崎大や長崎総合科学大のチームが開発した。メンバーの山本瑠平さん（22）は取材に「設計から加工まで一連の過程を学ぶことができた。開発を通じて、いろんなものづくり企業を知る機会にもなった」と話していた。

コンテストは午前9時40分～午後3時で、入場無料。問い合わせは実行委員会（095・878・4621）へ。（堀田浩一）

長崎総合科学大学のチームが開発した小型電動車Ⅱ長崎市江戸町



20171117朝日新聞

走行タイムを競う。

長崎総合科学大のチームは、小回りが利く四輪車を開発した。メンバーの山本瑠平さん（22）は取材に「設計から加工まで一連の過程を学ぶことができた。開発を通じて、いろんなものづくり企業を知る機会にもなった」と話していた。

コンテストは午前9時40分～午後3時で、入場無料。問い合わせは実行委員会（095・878・4621）へ。（堀田浩一）

20171203長崎新聞

本当にきれい？



生きものいるかな～？

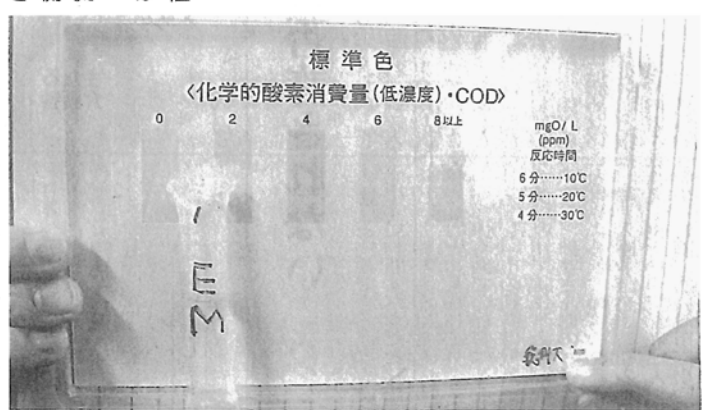
★どんな水質？
水辺の生きものは、きれいな水にすむ種類やよこれた水にすむ種類に分かれる。そいけん、若菜川の生きものは調べれば、水がどんなくらいきれいかか判定できるとき。

11月1日、みんなは、植物や生きものにくわしか長崎大の非常勤講師、宮崎勉先生と川の中流下流に入り、石の裏側などにかくれている生きものば作って川に投げ入れるなど、川の水はきれいにすむウズムシや少しきかない水にすむイシマキガイ、サホコカゲロウのほか、大変きかない水にすむセスジスリカなど、全体的にきれいな方に近い水にすむ生きものが多かったことから、「若菜川の水質は少しよくなっている」といわれる。この中間、つてことが分かった。

山口優心君(10)は「きこれとるか分かるか」といって、6種類の水槽を用意して、3カ月の間の実験をスタート。定期的にバックテストをしながらいとに川の水を入れ、反応は観察するとき。気になる結果は、また教えてはしか。

★バックテスト
長崎総合科学大の繁宮悠介准教授は17日、目に見えないよこの量を調べる方法「バックテスト」をみんなに教えてくれた。薬の入ったスボイトに川の水を入れ、反応は観察するとき。気になる結果は、また教えてはしか。

なない場所に住む生きものもいた。もっときれいな川にしたい」と話した。きれいな水と見えるレベルたいね。



川の水を入れたらうすいピンク色に変わったばい

長崎・茂木小の児童が調べる



長崎市茂木町の市立茂木小(田川雅裕校長、147人)では、校舎から運動場へ行くとき橋はわたるとよ。その橋がかかっているのが若菜川。以前は水がにごっていて、くさいヘドロのおいもしかったとき。

2005年から地域の当にきれいかと? 人と同じ4年生が川は疑問のうかんだらしか。そこで今年初めて、大学の先生といっしょに、川にすむ生きものや水を調べて、科学的に検証することにしたとげな!

メくるんといっしょに出できたこともあつて、「若菜川の水って本行つた人」

松岡佑佳

[illegible][illegible][illegible][illegible]

船舶は歴久富んだ好事
例として「科学技術白
紙」に掲載された。

大学と三菱造船機工株
下生は、下水試験装置
の建造で成功。自然に
おぼろげな数百年ほど前
には、海洋堆積物や土壌
構造を分析するツール
として活用されている。

船長は、
動向を報告口として開
手するなか、マゼラン
氏も長崎で乗組員との
関係性を築き上げた。

同大学の長が新産地
創出の重要な役割を担
ってきたことも過言
ではない。

果ては市のアロジエ
トを遂行

[illegible][illegible][illegible]

（４）外部資金受け入れ状況

１．科学研究費助成事業採択状況

平成29年度 合計 23,010千円

文部科学省

No.	研究課題名	研究者
1	市民ネットワーク活動への参加型評価手法の拡張についての試み	蒲原 新一
2	クォーク物性を解き明かすALICE実験フォトン物理の新展開（分担）	濱垣 秀樹
3	人の視覚と同じ高次情報処理を実現する眼球内完全埋め込み型人工網膜システムの開発（分担）	清山 浩司
4	三次元ヘテロ集積化技術を用いた積層型立体画像センサーLSIの開発（分担）	清山 浩司
5	J-PARC重イオン衝突における究極的高速データ収集系への挑戦（分担）	大山 健
6	ALICE実験GEM-TPC連続読出を実現する新データ収集回路の要素開発	大山 健
7	メスの交尾可能回数の種間変異がオスの繁殖戦略に与える進化的影響	繁宮 悠介
8	小脳失調を合併したランバート・イートン筋無力症候群の血液脳関門は破綻している	本村 政勝
9	頸部体温計測と冷却機能を有した完全ウェアラブル型熱中症予防システム	水野 裕志
10	ALICE増強における究極的超高帯域データ収集システムの要素開発	田中 義人
11	ALICE実験 ジェットと前方光子で探る高温クォーク物性生成の起源（分担）	大山 健
12	円網性クモの交尾器破壊を用いた雌の再交尾抑制とその進化（分担）	繁宮 悠介
13	メッセンジャーRNAの網羅的解析による重症筋無力症クリーゼの病態解明（分担）	本村 政勝

厚生労働省

No.	研究課題名	研究者
1	神経免疫疾患のエビデンスによる診断基準・重症度分類・ガイドラインの妥当性と患者QOLの検証	本村 政勝

２．奨学寄付金新規受入状況

平成29年度 合計 40,265千円

No.	寄付の目的	研究者
1	海流発電装置の開発	林田 滋
2	情報通信システムに関する研究のため	黒川不二雄
3	教育研究運営助成のため	黒川不二雄
4	エネルギーマネジメントに関する研究	松井 信正
5	重症筋無力症とLamvert-Eaton筋無力症候群の発症機序と治療の開発の研究	本村 政勝
6	乗務員の就労環境向上を目的とした低騒音型漁船の開発に関する研究のため	松岡 和彦
7	船舶工学に関連する教育研究の振興	林田 滋
8	研究助成金として	本村 政勝
9	スイッチング電源回路に関する研究	黒川不二雄
10	研究助成金として	本村 政勝

３．受託・共同研究新規受入状況

平成29年度 合計 29,334千円

No.	研究内容	研究者
1	自航試験の精度向上に関する研究	林田 滋
2	国土交通省「海事生産性（i-Shippinn）を推進する革新的造船技術研究開発支援事業」再委託：オープンソース造船用3D-CADの開発とモジュール化設計による生産性向上	松岡 和彦
3	県内企業と大学によるロボット実装に向けた技術開発についての事例研究	田中 義人 佐藤 雅紀

No	研究内容	研究者
4	環境省「平成28年度二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金（低炭素型洋上風力発電低コスト化・普及促進事業）洋上海域動物・海底地質等調査事業」再委託：洋上風力発電施設設置海域における効率的な環境調査のための浮体式環境観測装置の開発	池上 国広
5	船用ガスタービン推進器の排熱回収発電システムに関する研究	松井 信正
6	高効率電源モジュールの設計解析	松井 信正 梶原 一宏
7	長崎産業振興財団「ナガサキ型新産業創造ファンドによる助成事業」ネックバンド型血圧計の設計解析	水野 裕志
8	貝類付着防止に関する研究	影本 浩
9	JST「NexTEP～未来の産業創造に向けた研究成果実用化促進事業～未来創造ベンチャータイプ」再委託：「草本バイオマスの高効率・高品質ガス化装置」の開発	村上 信明 中道 隆弘
10	海を活かす体験型技術教育の研究（ROVワークショップの指導方法など）	松岡和彦
11	デジタル制御電源における故障予測機能の研究開発	黒川不二雄 梶原 一宏
12	振動エネルギー伝搬解析技術の実用化に関する研究	本田 巖
13	階段昇降アシスト手すりの移動時における画像処理による使用の際の安全性及び仕様機能の向上	佐藤 雅紀 松井 信正
14	車載向けECUのモデルベース開発に関する共同研究	田中 義人
15	車内音低減アイテム開発に向けたインパネリインフォースの高周波NVメカニズム調査に関する研究	黒田 勝彦
16	石炭ガス複合発電のガス化炉モデルに関する研究	松井 信正
17	長崎市「共同開発補助金事業」ソーラー電力による足漕ぎアシスト駆動サイクルボートの開発に関する研究	松井 信正 林田 滋
18	長崎県「海洋エネルギー関連産業集積促進事業」洋上風車メンテナンス拠点形成推進のための技術開発の検討	池上 国広
19	人・農地プラン整備計画「茂木南部地区」大崎集落 “日本一のびわ産地”を目指す仕組みづくり	蒲原・大場・繁宮・中道・市瀬
20	車載電源システムのモデルベースに関する研究	松井 信正
21	変圧電流プラントのモデルベース制御設計に関する研究	松井 信正 水野 裕志
22	高周波駆動電源の小型化に関する研究	黒川不二雄 梶原 一宏
23	長崎県「海洋エネルギー関連産業集積促進事業」洋上風車メンテナンス拠点形成推進のための技術開発の検討	本田 巖
24	AIを用いた生産設備パラメータ調整に関する研究	黒川不二雄 松井 信正
25	日本原子力研究開発機構「原子力の基礎基盤研究-黎明研究」J-PARCにおけるバリオン励起状態と高密度バリオン物質の実験手法と理論予測の発展	大山 健
26	監視カメラ画像の解析による火災検知手法の研究開発	黒川不二雄
27	長崎市「共同開発補助金事業」階段昇降アシスト手すりの移動時における画像処理による使用の際の安全性及び仕様機能の向上	佐藤 雅紀 松井 信正
28	火力発電プラントの最適制御設計手法に関する研究	松井 信正 水野 裕志

（５）特許出願状況

No	発明の名称	発明者
16-06	発電装置および発電方法（特願2017-140500）	影本 浩
17-01	集積回路技術を用いた電子生成装置（特願2017-193069）	大山、濱垣、田中、道上
17-02 PCT	機能性コンポジットの製造方法（国際出願）（PCT/JP2017/027662）	大場、薄田、下高、玖須、松永
17-03	バイオフィルター装置及びこれを用いた下水汚泥残渣脱水ろ液処理システム（特願2017-148313）	大場 和彦 薄田 篤生 下高 敏彰
17-04	発酵ペレットの製造方法（特願2018-025098）	大場 和彦 薄田 篤生 下高 敏彰

新技術創成研究所 所報 第13号

新技術創成研究所所長 田中 義人

新技術創成研究所所報 編集委員会

委員長 佐藤 雅紀 (大学院工学研究科電子情報学専攻)

委 員 中道 隆広 (大学院工学研究科環境計画学専攻)

松川 豊 (大学院工学研究科生産技術学専攻)

大山 健 (大学院工学研究科電子情報学専攻)

学校法人 長崎総合科学大学
大学院 新技術創成研究所 所報
(創見創新) 第13号

2018年9月12日発行

編集発行 長崎総合科学大学大学院
新技術創成研究所

所長 田中義人

〒851-0121 長 崎 市 宿 町 3 - 1

TEL : 095-838-5104 (研究所事務室)

TEL : 095-838-3118 (大学院事務室)

FAX : 095-838-5105 (研究所事務室)

E-Mail : grad@NiAS.ac.jp

U R L : <http://www.iist.nias.ac.jp>

印刷製本 株式会社 岩 永 印 刷 所
TEL : 095-821-2341