

日本機械学会環境工学部門ニュース

# 環境と地球

アメニティ空間の創成

No.35 April 2024



## 2024年度部門長 就任挨拶 2024年度の活動に向けて

**戸井 武司**

2024年度 部門長

(中央大学 理工学部 精密機械工学科、一般社団法人スマートサウンドデザインソサエティ)

### 1. はじめに

2024年度の環境工学部門の部門長を拝命いたしました中央大学理工学部の戸井です。身近な音に着目し、機械など構造物から発生する騒音を心地よい音に変える快音化や、音と人との関連に着目し感性工学に基づく快適かつ機能的な音環境を創成するスマートサウンドデザインの研究に従事しています。音は有益な情報を有しており、その場の雰囲気を形成する重要な要素でもあり、環境基準を満たす単なる低騒音化でなく、料理の旨味成分のようにあるべき音環境の構築が望まれます。環境工学には環境負荷の低減による環境保全と同時に、人が快適に生活するアメニティ空間の創成を両立する統合的な視点が重要です。環境工学部門の活動および活性化に邁進する所存ですので、1年間よろしくお願ひ申し上げます。

さて、生活空間における典型7公害である大気汚染、水質汚濁、土壌汚染、騒音、振動、地盤沈下および悪臭の中で、総務省の統計による苦情件数では1位：騒音、2位：大気汚染、3位：悪臭、4位：水質汚濁で10年程推移しています。この4種の公害で全体の9割以上を占め、騒音は全体の4割弱とアメニティ空間に与える影響は多大です。音は気づきやすく、誰でもコメントしやすいので、インターネット上の口コミが多く、機能/性能や価格などが横並びであっても、騒音や異音などの悪いコメントで売上げが急激に変化する昨今です。生活が豊かになり音への関心が高まり、着目される機会が増えているので、音性能を担保して製品価値を高め、環境調和する音創りや、空間価値および体験価値を高める取り組みがなされています。

住宅、オフィスや自動車における快適性の要求は年々高まり、大きな騒音の“もぐら叩き”による低騒音化は、必ずしも適切な音環境となりません。近年は静粛な環境に小さな騒音が存在する状態であり、更なる騒音の低減ではなく、人に必要な音情報を活用するスマートサウンドデザインが求められています。

国内ではエネルギー不足と脱炭素社会を見据え、音の快適性に加え機能性を有する機能音が活用されています。一例として、エアコンは温熱環境や風調整が主機能ですが、音響特性は体感温度に影響を与えます。エアコン動作音の高周波音の増加で涼しく、低周波音の増加で暖かく体感温度は変化し(特許第6161055号)、音温度となります。暖色系で温かく、寒色系で涼しく感じる色温度に、音温度を組み合わせた複合刺激により室温は一定でも体感温度を効果的に変化できます。身体へ穏やかに作用するばかりでなく、省エネを実現する機能音は、世界規模の活用により脱炭素社会に大きく貢献します。日本の温室効果ガス排出は、年間およそ12億トンですが、政府は2050年までに実質ゼロにするカーボンニュートラルを掲げています。我々の生活様式の転換、産業構造や経済活動の変革が必要であり、環境対応技術が求められています。

### 2. 環境と地球

2024年1月1日の令和6年能登半島地震は、石川県内で最大震度7が観測され、地震や津波による建物の損壊や地面が約4m隆起して海成段丘の形成など人がなす術もない自然の脅威を目の当たりにしました。被災された方々には心からお見舞い申し上げます。また、

1日も早く平穏な生活に戻られることを心よりお祈りいたします。また復興にご尽力されている皆様には安全に留意され、ご活躍されることを祈念いたします。

一方、環境は我々の知恵と努力で保全や有意義に活用することが可能であり、次世代のためにも規範となる仕組みを構築すべきです。本ニュースレターのタイトル「環境と地球」を常に考慮することが必須となっています。環境工学部門では毎年、環境工学総合シンポジウムの他、講習会、見学会、夏休み親子向けイベントなどを開催して環境技術の普及や討論の場を提供し、人材育成にも貢献しています。更に環境工学の魅力と必要性を伝えると同時に、この分野のリーダーシップが期待されています。

環境省は、移動に関する脱炭素化として太陽光、風力、水力、地熱などの再生可能エネルギー電力による電気自動車 (EV)、プラグインハイブリッド車 (PHEV) または燃料電池自動車 (FCV) を活用したゼロカーボン・ドライブを目指しています。従来のガソリンやディーゼルによる内燃機関自動車から世界的な EV シフトが急速に進展しており、同時に自動車の車室内外の動作音も大きく変化しています。安全・安心に貢献し環境負荷の軽減に繋がる音創りが求められています。

既に、限定された地域を走る短距離かつ低速の運送車や小型バス、観光船や建設機械の一部などで EV 化が進んでいます。利用者および地域住民に対する 3 大公害である騒音、排ガスによる大気汚染および悪臭がなくなり、音環境を考慮した地域のサウンドスケープが重要となっています。

### 3. 第 34 回環境工学総合シンポジウム 2024

環境工学部門における最大の行事であり、40以上の学協会に協賛頂いている環境工学総合シンポジウムは、2024年7月17日(水)～7月19日(金)[7月17日(水)は見学会のみ]に開催します。今年度は平安時代のはじめに空海(弘法大師)によって、開かれた真言密教の聖地である高野山(和歌山県伊都郡高野町)にある高野山大学にて開催します。高野山での開催企画は、2020年度部門長の栗田健氏と実行委員会にて2019年より入念な計画と周到な準備をされていましたが、COVID-19パンデミックの影響により止む無く中止になりました。その後、感染状況は落ち着きましたので、2024年度の開催地は高野山を選定しました。

高野山は2004年にユネスコの世界遺産「紀伊山地の霊場と参詣道」として登録され、豊かな自然環境、歴史的伝統の中で、人と環境および文化を理解するには最適な地です。また昨年は弘法大師御誕生1250年であり、「いのちよ輝け～大師のみこころと共に～」をスローガンに記念大法会が執行されました。近年では国内外から多数の参拝者が訪れています。

環境工学総合シンポジウムでは、自然環境と調和する安全・安心な快適環境を実現するための情報提供、および専門家による最先端の研究および技術開発成果の発表と討論を行います。高野山で開催するこの機会にぜひご参加頂き、サステナブル社会へのブレークスルーのきっかけを見出して頂ければと存じます。

さて、開催初日の7月17日(水)は、4代目新型車両の南海鋼索線(高野山ケーブルカー)の巻上室の見学会を実施します。ケーブルカーは1本の長いケーブルの両端に1編成ずつ車両が取り付けられ、井戸のつるべのように片方の車両を引き上げると、もう片方の車両が下りる仕組みです。その太いケーブルと巨大な巻上機の回転を目前でご覧頂くことができます。

開催2日目の7月18日(木)午前は、各種表彰、および高野山大学 学長 添田隆昭氏により基調講演「千の風になる前に知っておくべき事」や、参加者全員による阿字観という瞑想に耽って頂く時間を設けています。また、エクスカッションとして、空海が承和2年(835年)に入定した高野山奥之院のガイドツアー、静寂な寺院にて写経、宿坊にご宿泊頂くと朝勤行へご参加頂くことが可能です。いずれも Web サイトからの事前申し込みが必要ですので、お早めにお手続き、および各種の体験をお楽しみ頂ければと存じます。

一方、連携企画として7月16日(火)午後に第4回法工学・環境工学連携セミナーをオンライン開催いたしますので、奮ってご参加下さい。環境工学総合シンポジウムにて最先端の研究および技術開発の成果発表や最新情報の収集および討論のみならず、日本の誇る真言密教の総本山である高野山の歴史と文化、および貴重な体験もお楽しみ頂ければ幸いです。宿泊は高野山の宿坊、または近隣のホテルと送迎バスを用意しています。会期中は真の環境調和型社会や持続可能社会にじっくりと向き合い、今後の研究や業務に思いを馳せる時間をお取り頂ければと存じます。現在、実行委員会が一丸となり準備を進めておりますので、ぜひとも参加登録をよろしくお願い申し上げます。

<https://www.jsme.or.jp/env/symp/sympo-info2024/>

### 4. おわりに

SDGsの目標達成に向けた地球規模の環境保全には、日々の生活様式の転換、産業構造や経済社会の変革が必要であり、環境工学の広い視点と総合力が求められます。環境工学部門は、第一技術委員会「騒音・振動評価・改善技術」、第二技術委員会「資源循環・廃棄物処理技術」、第三技術委員会「大気・水環境保全技術」、第四技術委員会「環境保全型エネルギー技術」があります。今後は、これらの先端技術を駆使した活動のみならず、他部門、他学協会、産業界や国内外と連携した活動が益々重要となります。皆様の更なるご協力、ご支援をよろしくお願い申し上げます。



## 環境工学部門 2023 年度の活動を振り返って

### 神原 信志

2023年度 部門長

(国立大学法人東海国立大学機構 岐阜大学工学部 化学・生命工学科)

#### 1. 振り返り

2023年度第101期環境工学部門長を拝命してすぐに新型コロナウイルス感染症が2類から5類となり、コロナ前の日常におそるおそる戻していく一思い出せばそんな雰囲気が始まった1年でした。部門活動のスタートは2023年7月開催の国際会議 International Workshop on Environmental Engineering 2023 (IWEE 2023) および第33回環境工学総合シンポジウム (SEE 2023) でした (会場：くにびきメッセ (島根県松江市))。久しぶりの遠距離移動と宿泊、そして対面での学会・懇親会・見学会等への参加で、大いにリフレッシュされた方も多かったのではないのでしょうか。

コロナ禍で当たり前になったオンラインミーティングは、旅費や移動時間の節約の面で非常に利便性が高いことから、5類移行後でも部門総務委員会はすべてオンラインで行いました。ただし、年度末に行う新旧合同総務委員会は、ハイブリッドで行う予定にしています。特に新任の委員におかれましては、ぜひ対面での参加をお願いいたします。

各技術委員会の活動は、コロナ前に回復したようで、各種講習会、法工学との連携セミナー、夏休み親子向けイベント、見学会が予定通り行われました。また第3技術委員会では、動力エネルギーシステム部門との連携企画「低炭素社会実現に向けた最新技術」講習会をオンライン開催しました。これは、初の部門間交流企画です。次年度以降も引き続き部門間連携の講習会、講演会、セミナーの企画を行っていただき、環境工学部門の活性化と参加者の拡大を継続していただきたいと思います。

2023年年次大会では、機械力学・計測制御部門・流体工学部門と合同でオーガナイズドセッション (OS) 1件を実施しました。また、技術と社会部門との合同で市民フォーラム「新☆エネルギーコンテストって何だ？」を実施しました。盛会だったとのこと、関係各位に御礼申し上げます。機械学会としては、年次大会を発展の場として重要な位置づけとし、環境工学部門としても2024年から主催OSを企画する方針としています。各技術委員会からの多様な研究成果発表や提案をお願いいたします。

表彰委員会 (2022年度) では、部門賞4名 (功績賞1名、研究業績賞1名、技術業績賞1名、国際交流賞

1名)、優秀講演論文表彰4名、若手優秀講演フェロー賞2名を第33回環境工学総合シンポジウム 2023の場で表彰しました。

#### 2. 部門ポリシーステートメント

学会部門評価委員会から、2023年度から2025年度までの3年間の重点活動項目の設定とその目標を記すポリシーステートメント作成の依頼がありました。これをもとに、部門に対する評価が2025年度になされる予定になっています。皆様におかれましては、重点活動項目を意識した企画・活動を行っていただきたく、ここにその概要を紹介します。

##### 1) 部門タイプ

環境工学部門は「ML部門 (中大規模部門)」に分類されています。他に、S1部門 (小規模、既存分野) とS2部門 (小規模、新規分野) があります。

##### 2) 重点活動項目

ML部門は、必須項目として「部門間交流」が指定されています。選択項目として「年次大会への貢献」「学術への貢献」「産業界への貢献」「国際連携活動」「他学協会との連携」を選択できます。また、自由な項目設定も可能です。必須項目を含め合計4項目を重点活動項目として設定します。

##### 3) 環境工学部門の重点活動項目と目標

2023年、「部門間交流」「国際連携活動」「他学協会との連携」「一般社会への啓発活動 (自由設定項目)」の4つを設定しました。以下、各項目の目標概要を示します。全文については部門長にお問い合わせください。

###### ①部門間交流

環境工学と熱工学は密接な関係があること、また、持続可能な新エネルギーの供給・利用に向けて、動力エネルギーシステム部門との連携も不可欠である。両部門の研究者や技術者が協働することで、より効果的なエネルギーシステムの開発や運用が実現できる。一方、環境工学の領域では、法的な規制や規範の重要性が高まっており、法工学専門会議の専門家との協力を通じて、環境に関する法的な問題や課題についての情報共有や意見交換を行なう。

###### ②国際連携活動

国際環境工学ワークショップ (IWEE) を3年ごと

に開催し、世界各国から基調・招待講演者を招聘し、国際交流を促進する。世界各国の研究者や技術者との交流と最新の研究成果の共有により、環境工学部門の発展に寄与する。

③他学協会との連携

日本学術会議環境工学連合講演会や空気調和・冷凍連合講演会については、引き続き環境工学部門で担当し、他学協会との密接な関係を築く。また、環境工学部門のメンバーが他学会で活躍していることを活かし、他学協会との共催を積極的に行い、環境工学への理解や関心を高める。

④一般社会への啓発活動

夏休み親子向けイベントとして、企業や科学館、他学会などとタイアップした啓発活動を継続する。

デジタル技術も活用して、幅広い地域からの参加者を得る。子供向けイベントは地域とのつながりも強く、将来の理系人材育成、会員増強に有効である。

3. おわりに

2023年は、地球沸騰化と言われるほど平均気温が高く、食料や生態系の異変、山火事等の災害が相次ぎました。また、2024年新年、能登半島地震が発生し、未だ大震災に対して人間は無力であることを思い知らされました。

このまま地球崩壊に進んでしまうのではないかとという不安感も拭えませんが、環境工学部門はあらゆる分野の環境問題解決のため、研究に邁進しなければなりません。

## 部門賞 受賞者の紹介



### 環境工学部門功績賞を受賞して

齋藤 潔  
早稲田大学 基幹理工学部  
機械科学・航空宇宙学科

この度はこのような賞をたまわり、誠にありがとうございます。ふとしたお誘いから、環境工学部門の第4技術委員会に入会させていただき、その後、第4技術委員会委員長を経て、2017年度には、部門長として、多くの活動に参加させていただきました。

思い出に残っているのは、この年に自身が生まれ育った浜松の地で第27回環境工学総合シンポジウムを開催できたことです。当時井伊直虎で浜松が有名に

なったときでもあり、印象深いものがありました。

この間、環境と機械工学との在り方についていろいろと考えさせられました。環境保護への配慮は、機械工学の世界では、当たり前時代となりましたが、当たり前なことがなかなか進んでいかないのが現状です。

私が長年専門としてきたヒートポンプ技術では、冷媒問題は、オゾン層破壊問題に端を発し、一旦はその問題をクリアしたのですが、地球温暖化物質と認定され、温室効果の低い冷媒へと改めて転換が求められることとなってしまいました。

このように環境問題の解決は容易ではありませんが、まだ長く残された研究者人生において、引き続き、機械工学によって、地球環境保護のために尽力していきたいと思っております。まずは、ここまでの私の実績を評価いただけたことに心より感謝申し上げます。



### 環境工学部門研究業績賞を受賞して

吉田 恵一郎  
大阪工業大学 工学部  
電気電子システム工学科

小職が環境工学部門にお世話になり始めたのは2006年の環境工学総合シンポジウムからで、以来ほぼ毎年このシンポジウムで研究発表をして参りました。個人的に最も関わりが深く思い入れのある部門だけに、環

境工学部門研究業績賞を賜ったことを大変光栄に感じております。

私は、非熱プラズマおよび静電気の応用を軸に、主にディーゼルエンジン排ガス中に含まれる窒素酸化物、微粒子の除去を目的とした研究に取り組んでおります。近年は、イオン風アクチュエータや微小物体の静電的マニピュレーション、表面処理といった方面にも手を伸ばしており、シンポジウムで議論させていただくことを楽しみにしております。

今後とも研究に邁進してまいりますので、何卒よろしくお願い申し上げます。



## 環境工学部門技術業績賞を受賞して

山崎 展博  
鉄道総合技術研究所 環境工学研究部

この度は、環境工学部門より技術業績賞を頂戴し、大変光栄に存じます。ご推薦いただいた方に厚く御礼申し上げます。また、これまでの研究活動に対して貴重なるご意見、ご指導を賜りました方々に、この場をお借りして重ねてお礼申し上げます。

これまでの鉄道騒音、特に空力音に関する研究活動

を評価していただいたことで、改めてこの分野に対する社会的な関心の高さを認識しております。鉄道は旅客一人あたりの輸送エネルギー消費量や二酸化炭素排出量が少なく、効率的で環境に優しい交通機関であると言われております。一方で環境保全の観点から、鉄道騒音の低減はますます重要な課題となっております。

在来線から高速鉄道まで鉄道騒音は発生箇所あるいは発生メカニズムが多種多様であり、効果的な低減対策を打ち出すためには、異なる研究分野からの横断的なアプローチが重要となります。今後も、より環境負荷の小さい鉄道システムの構築に資するような研究を続けてまいる所存です。引き続き皆様からのご助言をいただきますようお願いいたします。



## 環境工学部門国際交流賞を受賞して

佐藤 岳彦  
東北大学 流体科学研究所

この度は、環境工学部門国際交流賞を賜りましたこと、大変光栄に存じます。ご推薦ならびに今まで支えて来て下さった関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

国際交流で思い浮かぶのは、IWEE2019の開催です。できるだけ多くの方に参加してもらうため、海外でも知名度があり風光明媚な沖縄を開催地に選定し、会場も九州・沖縄サミットが開催された万国津梁館を選定しました。

選定に当たって、現地視察を行い複数箇所検討しましたが、美しいエメラルドグリーンのに囲まれ、サミットが開催されたプレミア感満載の場所の魅力は抜群で、担当者共々見た瞬間に決めたことを思い出します。また、バンケットでは琉球舞踊や沖縄料理を楽しんで頂き、OIST・美ら海水族館バックヤード・オリオンビール工場の見学なども組み込み、300名を超える参加者の多くの方々に喜んでもらえたものと感じております。

国際会議もIWEE2019を機会に5年から3年毎に開催するようになり、コロナを乗り越えIWEE2023も開催されるなど、ますます海外の研究者との交流が深まる環境が醸成されてきたように思います。今後も、環境工学部門の国際交流がさらに発展することをお祈り申し上げます。

## 技術委員会の活動報告と計画

### 第1技術委員会の活動報告と計画

委員長：朝倉 巧  
東京理科大学

第1技術委員会は、人間が生活の中で身体的・精神的に様々な影響を受ける騒音・振動に関する諸問題を扱います。

産学の研究者を中心に30名近いメンバーで活動をしています。感染症の影響を引き続き受けてオンラインも活用しつつ、対面での活動も再開しております。今後も対面とオンラインをうまく併用しながら活動を進めることによって、より多くの方にご参加いただけるような参加形態を模索いたします。

#### (1) 技術講習会

委員各位のご協力により例年通り2回開催することができました。1回目は6月9日(金)に「静粛設計のための防音・防振技術」と題して、2回目は10月18日(水)に「空力音・流体音の静粛化」と題していずれも中央大学後楽園キャンパスで現地とオンラインのハイブリッド形式で実施しました。1回目33名、2回目56名の参加者がありました。

#### (2) 手作りで音を楽しもう

一環境にやさしい夏休み親子向けイベント—  
株式会社東芝のご協力のもと例年実施しているイベ

ントです。ここ数年の間はオンラインで実施してきましたが、昨年より対面での実施に切り替えており、今年度は8月8日(火)に実施しました。親子合わせて39名が参加しました。

### (3)「音・振動快適化技術と新しい評価法」研究会

今年度1回目は10月20日(金)に、岡山振動音響技術研究会との共催にて、岡山県工業技術センターのご

尽力により、ハイブリッドで開催し、48名が参加しました。2回目の2月28日(水)は日本音響学会騒音・振動研究会、機械学会の共催という形で鉄道総合技術研究所のご協力を得てハイブリッドで開催予定です。

今後もオンラインあるいはハイブリッド開催ならではの魅力ある活動を周知し、柔軟で活発な活動を維持できればと思います。皆さまのご協力をこれからもどうぞよろしくお願い致します。

## 第2 技術委員会の活動報告と計画

委員長：藤木 隆史  
新明和工業株式会社

### 1. 活動報告

第2技術委員会は、資源循環・廃棄物処理技術分野を対象とし、サステナブル都市実現にむけた課題解決に取り組んでいます。今年は延期されていたIWEEの開催や、第2技術委員会が計画した見学会を1件開催することができ、COVID-19で制限された学会活動も復調の兆しが見えてきました。

IWEEでは新たな取り組みとして、学生と企業の懇親の場が設けられ、採用活動とはまた違った角度での学生と企業のマッチングが期待される所です。

見学会は、2023年10月12日に開催し、13名の参加がありました。最新の焼却炉とそこに中継輸送する中継施設をめぐることで、ごみ処理の広域化とそれに伴う輸送距離の増加という課題に対する一つの解決策について学ぶ場となりました(詳細は別掲載記事を参照)。

### 2. 計画

新しい技術によって生活が便利になる一方で、新たな問題も顕在化しています。

第2技術委員会では問題点にもスポットを当てて考えるきっかけとすることで、よりよい技術の進歩を実現できるよう取り組んでいきます。

## 第3 技術委員会の活動報告と計画

委員長：浦島 邦子  
名古屋大学

第3技術委員会は、大気や水環境分野を扱う研究者や技術者で組織されています。コロナ禍による行動制限が徐々に解除され、少しずつオンライン以外での委員会の活動も増えています。今年度はシンポジウムのほか、見学会と講習会を企画、実施しました。

第33回環境工学総合シンポジウム(2023年7月25~28日)では、「大気・水環境保全技術分野」のセッションにおいて8件の研究報告がありました。また期間中にIWEEも開催され、第3委員会関係は国内外合わせて14件の発表がありました。このように国内で開催される国際会議は、英語での発表の場として学生にとっても貴重な経験になったと思います。

また、2023年11月10日には、見学会「東京スカイツリーにおける研究設備と構造」を実施しました。東京スカイツリーは、日本を代表する電波塔として、耐震や雷害対策などがされています。本見学会では、ログスキーコイル(雷観測)、心柱構造・耐震設備、送信機室内・塔体外部など、通常では入ることのできない場所の見学もでき、当日はあいにくの天気でしたが、

行程終了後には、各自で天望回廊・天望デッキの見学もしました。定員40名は会告とともにすぐに埋まり、大盛況のうちに終了しました。今回の参加者の三分の二は環境工学部門以外に所属している方々で、こうした見学会の実施により、他部門の方々との交流を通じてより環境工学部門の発展につなげることができるのではないかと感じました。見学会終了後のアンケート結果から、こうしたイベントは再度企画してほしいという要望がたくさんありました。

2023年11月21日(火)13:20~17:00にオンラインにて、「低炭素社会実現に向けた最新技術」と題して、講習会も実施しました。他部門の方々も講師として迎え、カーボンニュートラルに関する取り組み事例として、廃棄物処理、排ガス処理、電池開発などの研究開発状況について説明がありました。会告が少し遅かった影響もあり、想定よりも多くの方に参加していただけなかったことが反省点です。

今後も見学会や講習会といったイベントを企画し、新たなイノベーション創出に貢献できるような活動を実施してまいりますので、引き続きご支援ご協力お願いいたします。

## 第4 技術委員会の 活動報告と計画

委員長：鄭 宗秀  
早稲田大学

第4 技術委員会では、再生可能エネルギーの開発、エネルギーのための熱交換器やヒートポンプの技術開発、エネルギーの有効利用のためのヒートポンプの活用、エネルギーシステムの最適化等の分野に関する研究者が集まり、環境保全型エネルギー技術を主なテーマとして挙げ、活動しています。

2023 年度では、技術委員会と親子イベント、講習会、見学会、研究会を実施した他、空気調和・冷凍連合講演会、環境工学総合シンポジウムのオーガナイズドセッションとして研究報告を行いました。

### (1) 夏休み親子向け行事「熱を体験してみよう」

次世代を担う児童たちに工学や機械、エネルギーに興味を持ってもらうために、夏休み親子向けイベント「熱を体験してみよう」を開催しています。

本イベントは2011 年から開催しており、13 回目を迎え、夏休みの恒例行事となっています。

コロナ禍のため2020 年度よりオンライン開催となり、2023 年7 月の開催では、日本各地から15 名の小中学生の子供たちとその親の方に参加していただきました。体験キットを用いて参加者が実際に手を動かすことで、身近にあっても目に見えない「熱」の性質を体験していただきました。

### (2) 講習会「プログラミングで学ぶ熱物性推算」

熱・エネルギーシステムや流体機械など様々な機械工学分野において、正確な流体物性値の利用が要求される中、より実践的な知識の習得を目的とし、「プログラミングで学ぶ熱物性推算」の講習会をオンラインで開催しました。昨年度の大盛況の経験を踏まえて、2023 年10 月に基礎編と11 月にステップアップ編のプ

ログラムを実施し、100 名を超えるたくさんの方々に参加していただきました。2024 年度以降も、多くの方々が参加できるように企画し実施したいと思います。

### (3) 見学会「気象庁」

日本国内の気象データの収集、予測、警報、および気象情報の提供を行う気象庁（所在地：東京都港区）の見学を2023 年12 月に行いました。気象防災オペレーションルームと地震火山オペレーションルームを案内され、災害の防止・軽減、災害発生時の応急対策、二次災害発生防止などに必要なさまざまな防災気象情報を、国・地方公共団体などの防災関係機関に提供する役割として気象庁を理解できる良い機会となりました。

### (4) 第56 回空気調和・冷凍連合講演会

空気調和・冷凍連合講演会では、毎年「環境保全型エネルギー技術」のオーガナイズドセッションとして参加しています。第56 回空気調和・冷凍連合講演会が2023 年3 月27～28 日に東京海洋大学で開催され、7 件の研究報告を行い、活発な議論が行われました。

### (5) 第32 回環境工学総合シンポジウム

環境工学総合シンポジウムでは、毎年「環境保全型エネルギー技術分野」のオーガナイズドセッションとして参加しています。2023 年度には、7 月25 日に鳥根県松江市のくにびきメッセでIWEE2023 の国際シンポジウム（2023 年7 月25～28 日）と同時開催されました。「環境保全型エネルギー技術分野」セッションでは、32 件の研究報告があり、活発な議論が行われました。

その他、第4 技術委員会の委員を中心とした研究会が開催されました。NEE 研究会、サーモインフォマティクス研究会、計2 つの研究会が活動しています。

2024 年度にも、引き続き2023 年度の行事を推進しながら、他の技術委員会や研究会、他学会からも継続してご参加いただけるような様々な分野の横断的研究交流を計画いたします。

## 研究会の紹介と活動報告

### 先進サステナブル都市・ロードマップ委員会の活動報告

委員長：小野 義広  
日鉄エンジニアリング株式会社

#### 1. はじめに

環境工学部門の4 つの技術委員会の横断的活動として「先進サステナブル都市・ロードマップ委員会」が組織されており、日本機械学会の部門横断的な直轄委

員会である「技術ロードマップ委員会」の環境工学部門としての対応を行っています。2023 年度は、①年次大会にて技術ロードマップ委員会特別企画ワークショップを開催、②学会誌ロードマップ特集号への投稿を行いました。

#### 2. 特別企画ワークショップ

「地球環境再生に向けた持続可能な資源循環の実現」をテーマとして行われました。第1 部では招待講演者

(日立ハイテク／山崎美稀氏、名古屋大学／荒井政大教授、東京大学／鹿園直毅教授、熊本大学／中西義孝教授)による話題提供を行いました。第2部では講演者によるパネルディスカッションが行われ多様な分野からの専門家が意見を交換し、持続可能な環境へのアプローチや議題に関する深い洞察が共有されました。

### 3. 学会誌ロードマップ特集号への投稿

『人間と自然、都市と地方、個人とコミュニティが長く共存される社会』と題して、日本機械学会の22部

門の中から、このテーマに密接に関連する環境部門を含む7部門の代表が集まり意見交換や議論を行いました。そのうえで、日本機械学会が2050年に目指す社会像の在り方、およびそこまでに到達するためのロードマップを取り纏め学会誌への投稿を行いました。

詳細は機械学会ホームページの「技術ロードマップ委員会」のページで紹介させて頂いておりますので、ぜひご参照ください。

## 「音・振動快適化技術と新しい評価法」 研究会の活動報告とお誘い

主査：川島 豪  
神奈川工科大学

2023年は2回の研究会を開催しました。

1回目は2月9日(木)に日本音響学会 騒音・振動研究委員会との共催により日立システムプラザ勝田にて、39名の参加申し込みをいただき、久しぶりに現地での聴講を含むハイブリッドで開催しました。濱川先生(大分大学)による「孔を通過する平均流があるときの多孔板の吸音特性に関する研究」、朝倉先生(東京理科大学)による「水中超音波を利用した巣穴形態計測手法の開発」、武藤氏(日立)による「多目的ベイズ最適化を用いた積層吸音材の最適設計」、榎本氏(JAXA)による「インパルス応答法を用いた数値解析による航空エンジン用音響ライナの研究」の4件の講演を聴講し、日立製作所勝田地区の音響研究設備を紹介していただきました。最後に意見交換会を開催し、両研究会の交流を深めました。

2回目は10月20日(金)に、岡山振動音響技術研究会との共催により岡山県工業技術センターにてオンライン聴講を含めて49名の参加申し込みをいただき、ハイブリッドで開催し、眞田氏(岡山県工業技術センター)による「8マイクロホン法広帯域垂直入射吸音率測定法」のご講演と、加藤氏(倉敷化工)による「防振ゴムで連結された二重はりの振動解析と防振ゴムを用いた振動発電」、丸田氏による「ポンプと関連装置の静粛化事例の紹介」、高野先生による「矩形空間内の音響共鳴を利用した斜め入射吸音率の数値解析手法の検討」の3件の話題提供を聴講しました。最後に工業技術センターの音響・振動設備を見学させていただき、場所を移して意見交換会も開催しました。

このように多くの情報交換が期待できる研究会です。皆様の積極的なご参加をお待ちしています。参加ご希望の方は川島(kawashima@eng.kanagawa-it.ac.jp)、江波戸幹事(akihiko.enamito@toshiba.co.jp)、もしくは、池田幹事(ikuma@ishikawa-nct.ac.jp)までご連絡ください。

## NEE 研究会の活動報告

主査：添田 晴生  
大阪電気通信大学

2023年11月17日、NEE研究会第27回講演討論会を対面とオンラインのハイブリッド形式で開催した。NEE(Numerical Environmental Engineering)研究会は環境分野で数値計算を用いている研究者・技術者が幅広く集う場所の提供を目的として、年1回開催される研究会であるが、最近では、数値計算に限定せず、環境分野全般をテーマにして研究会を開催している。

第27回研究会では「持続可能な海洋生物資源利用の技術開発」をテーマとし、兵庫県環境研究センター 古賀佑太郎氏、環境農林水産総合研究所 辻村浩隆氏、

近畿大学 澤田好史先生に講演をいただいた。

古賀氏からは兵庫県の瀬戸内海における栄養塩類管理計画について、辻村氏からは大阪湾におけるキジハタの栽培漁業についてそれぞれ講演いただいた。最後に澤田先生からは日本と海外における水産物供給の現状について、さらには将来必要となる養殖技術と今後の課題について講演いただいた。今回の参加者は対面とオンライン合わせて約30名程度であった。

NEE研究会では今後も環境分野における講演を企画しており、多くの方の参加を歓迎いたします。NEE研究会のこれまでの活動については下記サイトで確認できます。

<http://www.see.eng.osaka-u.ac.jp/seeea/seeea/NEE/J-NEE2.html>

## 「サーモインフォマティクス研究会」 活動報告

主査：宮崎 隆彦  
九州大学

本研究会は、地球温暖化やエネルギー資源に関連する諸問題に対して、エネルギーの最終形態である「熱」と「情報学」との融合によって既成概念を超えた革新的発展を追求することを目的に、2020年11月に活動を開始しました。

2023年10月に第1期3年間の活動を終了し、同年11月から第2期として、主査を電気通信大学・榎木光治先生、幹事は第1期から引き続いてご担当いただく電気通信大学・清雄一先生に、福岡県工業技術センター・大内崇史氏とJAXA・金城富宏氏を加えた3人体制で新たに活動を開始しました。2024年3月27日には、第1期から通算で第6回目となる研究会を開催

しました。本研究会はコロナ禍に立ち上げたので過去5回の研究会はすべてオンライン開催でしたが、今回は電気通信大学で会場をお借りして初の対面開催としました。佐賀大学・エドガー サンティアゴ ガリシア (Edgar SANTIAGO GALICIA) 先生からは機械学習を用いた熱伝達予測について、また、九州大学学生・江口順紹さんからは機械学習によるヒートポンプサイクルのCOP予測について話題提供をいただき、対面ならではの雰囲気でも活発な議論を行うことができました。

2024年度も引き続き研究会の活動を実施します。

「熱」と「情報学」の融合に興味をお持ちの方は、新主査の榎木先生 (enoki.koji@uec.ac.jp) までご連絡ください。

[研究会ウェブサイト]：

<https://www.thermoinformatics.lab.uec.ac.jp>

## 手作り音を楽しもう

—環境にやさしい夏休み親子向けイベント—

第1技術委員会 土肥 哲也  
一般財団法人 小林理学研究所

第1技術委員会では、環境に関する身近なテーマである「音」に興味をもつていただくことを目的として小学生向けのイベントを行いました。

この企画は、毎年夏休みに実施しているもので、内容は音の原理や仕組みの説明、工作、ゲームなどで身近な「音」の性質を楽しみながら知ってもらう体験型イベントです。15年目を迎えた今年は、東芝科学館において対面形式で開催しました。

今年度は、8月8日の午後に開催し、小学校1年生～4年生の子供を含む親子合計39名にご参加いただきました。

1時間目の「音の話」では、音ってなんだろう？をテーマに、色々な音を聞いてもらうことで、音の高さや大きさなどの音の性質を体感してもらいました。

2時間目は、超音波スピーカを使用した音のデモンストレーションなどを行い、特定の方向にしか伝わらない「特別な」音を体験して貰いました。

3時間目の「工作」は、アフリカの民族楽器であるボンゴラピアノの工作キットを用いて楽器を作る内容で、音が出る仕組みや、音程の調整の仕方を学ぶことで、自分で楽器を作る楽しさを体験してもらいました。工作後は皆の前で演奏してもらいました。

最後の時間は、身のまわりの音の大きさをビンゴの数字に置き換えた音ビンゴゲームを実施しました。子供達が楽しんでいる会場の雰囲気は、対面開催ということもあり肌で感じることができました。

今回のイベントでは、騒音計の前で大声を出して貰う代わりに、低い騒音レベルの値を目標にして声を出して貰うなど、コロナ禍対策としてコンテンツを一部変更しました。

今後も音を身近に感じて貰い、理系に関心を持って貰うべく活動を継続したいと考えています。

最後に、15年間に渡りご協力頂いた東芝科学館、環境工学部門所属（東芝、千代田化工、中央大学、山梨大学、東海大学、理科大学、日立、JAXAほか）関係者各位に感謝いたします。



## 見学会 「エコクリーンピアはりまと 播磨町可燃ごみ中継センター」

第2技術委員会 藤木 隆史  
新明和工業株式会社 環境システム本部

2023年10月12日(木)に環境工学部門第2技術委員会が企画する、播磨町可燃ごみ中継センターおよびエコクリーンピアはりまの見学会に参加しました。

### ①播磨町可燃ごみ中継センター

処理対象：兵庫県加古郡播磨町の可燃ごみ

処理方式：コンパクト・コンテナ方式

処理量：40t/日（1日5時間稼働）

施設の説明は、施設建設にも携わった若手技術者の前田様から解説をいただきました。

まず、中継施設とは、ごみ処理の広域化が推進されるなかで生じる輸送距離増加の解決を担う施設であること。本施設の場合、バッカー車20台分のごみをコンテナ車4台分に圧縮することで、車両の総移動距離の低減が可能。これにより移動に必要な時間と排気ガス削減などの効果が期待できる。また、集積場に長時間ごみを放置しないという住民サービス維持を達成。

ほかに、ごみの受入れから圧縮・詰替えまでが完全自動化されており、衛生的かつ安全、効率的な施設となっていました。

### ②エコクリーンピアはりま

処理対象：2市2町（加古川市、高砂市、稲美町、播磨町）可燃ごみ、不燃ごみ・粗大ごみ

処理方式：回転ストーカ炉3基他

処理量：可燃ごみ429t/24h 他

エコクリーンピアはりまは、広々とした見学スペースと機械を見せる配置により、回転ストーカ炉や12,000kWの発電能力を有する蒸気タービン、不燃ごみから鉄類・アルミ類を効率よく選別・分別・回収する設備の見学が可能でした。

また、小学生の社会科見学先になっていることから、随所に子どもたちが退屈しない工夫が盛り込まれています。施設クイズは子ども向けかと思いきや、大人でも少し考え込んでしまうような難易度があり、老若男女が学べる施設となっていました。

施設はバリアフリー化も進んでおり、福祉団体の見学なども増えているようです。

さらに、啓発施設では、環境学習リサイクル講座として、月に複数回、様々な催しを開催しています。大人も子どもも楽しみながら学べる体験型の講座や再生品のレンタル貸出など、何度でも楽しめる施設でした。

最後に見学に際し、協力いただいた施設の皆様、ご説明をいただいた方々には、本紙面をお借りし感謝の意を申し上げます。



参加者集合写真

## 見学会 「東京スカイツリー®における 研究設備と構造」

第3技術委員会 吉田 恵一郎  
大阪工業大学

第3技術委員会の企画として日本を代表する電波塔である東京スカイツリーの見学会が2023年11月10日(金)に実施された。

見学会には「構造ガイドツアー」が含まれ、普段は一般公開されていない東京スカイツリーの構造や特徴を知ることができた。

機械学会会員からの関心が高く、募集締め切り一か月前には、定員40名が満たされた。

東京スカイツリーは三本脚であるため、その断面は地面に近い部分では三角形、円形の天望デッキに近づくとつれて円形に変化する。

その結果、シルエットは「むくり」と呼ばれる膨らみと「そり」と呼ばれる内に向かって引き込まれた形状の両方を示す。また、構造として心柱制震システムが備わっており、五重塔の心柱の名前になぞらえたものとなっている。これらの特徴が東京スカイツリーを世界的に見てもユニークなものとしている。

セキュリティ上の問題から、構造ガイドツアーの内容を一部だけご紹介する。脚の接地部分に取り付けられた巨大なロゴスキーコイル（落雷観測用、図1）や心柱の底部は印象的であった。

心柱は積層ゴムに載せられている。したがって心柱の下に幾分スペースがあり、ここに潜ってみる見学者が多かった。一種のパワースポットである。また、上部の観測施設では大気成分の分析機器などを興味深く拝見した。

見学後は、東武タワースカイツリー株式会社の担当者の方々から説明があり、質疑応答がなされた。

2003年に建設プロジェクト発足・2012年竣工であること、東日本大震災の揺れでも建築途上の工作物はまったく無事であったこと、骨格とは固有振動数のことなる心柱を持つことにより、揺れを大きく低減できることなどが説明され、非常に感銘を受けた。

事後に実施したアンケート結果からも、よい企画だったという意見が多く、満足感のある見学会となった。



図1 脚の接地部分にあるロゴスキーコイル

## 夏休み親子向けイベント企画 「熱を体験してみよう」

第4技術委員会 永田 淳一郎  
三機工業株式会社

次世代を担う児童たちに工学や機械、エネルギーに興味を持ってもらうために、2023年7月29日に夏休み向け親子イベント「熱を体験してみよう」を開催しました。身近にあっても目に見えない「熱」の様々な性質を体験キットにより知ってもらう体験型イベントです。本イベントは2011年から開催しており、今回は12回目となります。

コロナ禍を期に現地開催からウェブ開催に移行しており、幅広い地域からご参加頂きました。今年度は14組、15名の小中学生の子供たちにご参加頂きました。

冒頭挨拶から、スライドによる解説およびヒートポンプ体験キット、エコカイロを使った体験学習を通じて、高温から低温へ熱が移動すること、空気が圧縮・膨張したときに温度が変化すること、物質が相変化（凝固・融解）するとき熱を放出・吸収すること等について学習しました。

体験キットを用いて参加者が実際に手を動かすことで、身近にあっても目に見えない「熱」の性質を子供たちばかりでなく保護者の方々にも楽しみながら理解してもらうことができました。また、身近な工業製品が、体験学習で学んだ「熱」の性質を利用して製作されていることも、理解してもらうことができました。

「ヒートポンプ体験キットに水を含ませるとどうなるか」「相変化の熱はエコカイロの他にどのような用途があるか」等、核心をついた質問も複数挙がりました。ウェブ開催のため、やりとりに制限もある中、子供たちの積極的に取り組む姿勢に助けられ、無事にイベントを終了することができました。

今年の反省点や改善点を生かしつつ、今後も本イベントを継続していきたいと考えております。最後に、ヒートポンプ体験キットをご提供頂いた一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター様、およびご協力頂いた関係者各位に感謝致します。





# オノマトペの音象徴性を活用した製品音の音質設計

## 宮入 徹

東京都立産業技術研究センター

### 1. はじめに

科学技術の進展に伴い、周囲環境の静音化が進んでいる。しかしその一方で、構造上の理由から騒音対策の限界に達している製品も存在してきており、今後は静音化に頼らない「快適さ」や「高級感」といった感性価値の創出に向けた音質設計が求められる。そのような音質設計を行うためには、主観評価実験から「快適さ」や「高級感」等の印象と音質を構成する物理量の対応を明確に把握する必要がある。このとき、実験手法としてはSD法等の形容詞を用いた手法が採用されることが多い。ところが、これらの実験手法にも課題が存在する。それは、「事前に設定した形容詞以外の印象を把握し得ない」、「形容詞自体は物理量と絶対的な関係がない」といった問題点である。そのため、繊細な音質設計を行う上で、より直感的かつ定量的に印象と物理量の対応を把握する評価手法が望まれる。

ところで我々は、身の回りの音に対して、その印象を言葉で表現する際「カタカタ」や「ゴロゴロ」といったオノマトペ（擬音語、擬態語）を用いることが多い。オノマトペは、その言葉の響きに物理的な意味合いを持つとされ、このような現象は音象徴性とよばれる<sup>(1)(2)</sup>。

そしてオノマトペは、この音象徴性を有しているが故に、他者とイメージを共有しやすくとされる<sup>(3)</sup>。そのため、この音象徴性を利用し、オノマトペの語の響きと物理量の対応を明確に把握できれば、直感的かつ定量的な音質設計に活用し得る可能性があると考えられる。

本稿では、オノマトペの活用による製品の音質設計手法の提案を目的として、ロータリースイッチの操作音を事例に、その音質を構成する物理量と印象を表すオノマトペの対応について検討した研究を紹介する<sup>(4)</sup>。

### 2. 音の大きさを表すオノマトペ

本稿では、ロータリースイッチの操作音の音質を構成する物理量のうち「音の大きさ」および「音の甲高さ」を対象とする。実験用の刺激として、ロータリースイッチ操作時の収録音を用いて図1のように1秒間に15クリック配置した刺激を作成し、これらを被験者にヘッドホンから提示することで実験を行った。

はじめに、音の大きさの異なる操作音刺激 ( $L_{Aeq} = 40 \sim 65 \text{ dB}$ ) を用い、聴覚から得られる印象を表すオノマトペに関する評価実験を実施した。被験者はヘッドホンから提示されるスイッチ操作音に対して、その印象をオノマトペによって自由回答した。被験者から得られたオノマトペは1モーラごとに分割し、最初の2モーラ分を分析対象として計量テキスト分析を実施した(例: 回答「カチカチ (/ka-tʃi-ka-tʃi/)」⇒分析対象語「カ (/ka/)」「チ (tʃi)」)。

図2に、操作音刺激と語の同時布置による対応分析の結果を示す。これより、音量の小さい刺激 ( $40 \sim 50 \text{ dBA}$ ) が布置する1軸の負の方向には「ズ (/dzu/)」、「プ (/pu/)」、「ル (/ru/)」などの母音 /u/ を含む語が多く確認できる。したがって、音量の小さい刺激に対しては母音 /u/ を含むオノマトペが用いられる傾向にあることがわかる。また、音量の大きい刺激 ( $55 \sim 65 \text{ dBA}$ ) が布置する1軸の正方向には「ギ (/gi/)」、「ガ (/ga/)」、「ブ (/bu/)」などの濁音を含む語が多くみられ、音量の大きい刺激に対しては濁音を含むオノマトペが用いられる傾向にあることがわかる。

このように、音の大きさによってスイッチ操作音の印象を表すオノマトペを構成する音韻が異なることを見出した。

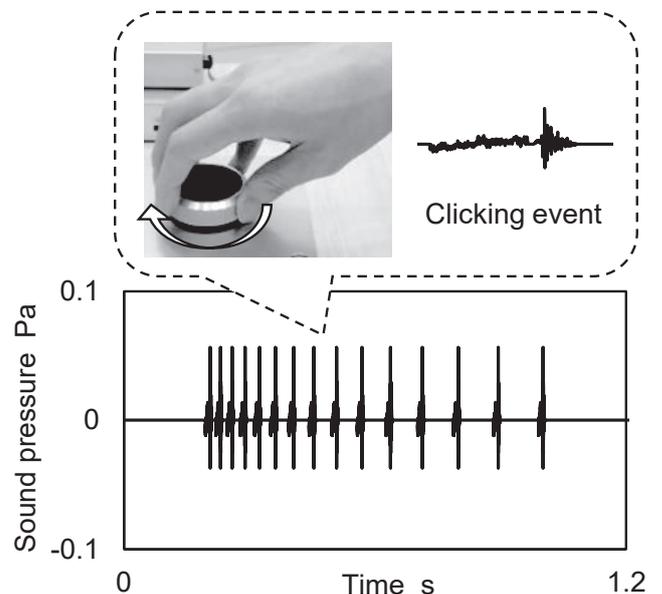
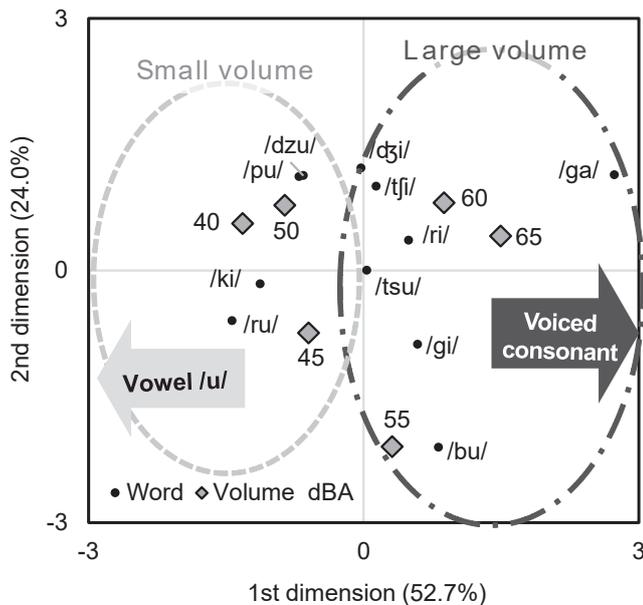
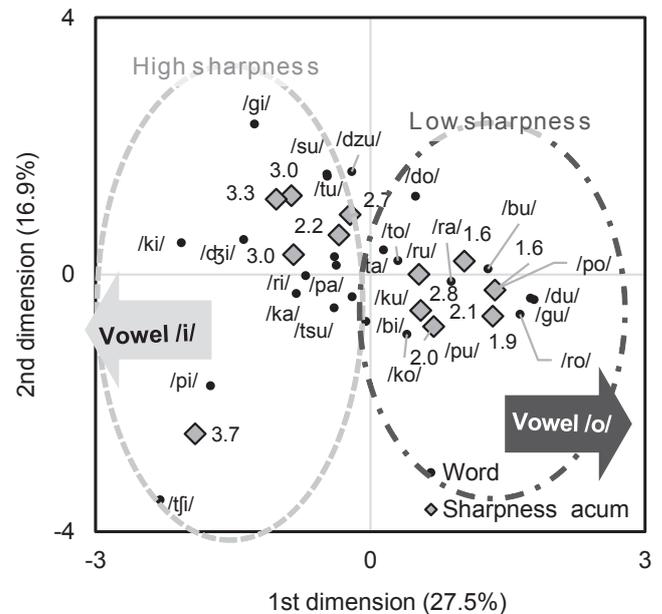


図1 実験に用いたスイッチ操作音の一例

図2 対応分析結果：音の大きさを対象とした場合<sup>(4)</sup>図3 対応分析結果：音の甲高さを対象とした場合<sup>(4)</sup>

### 3. 音の甲高さを表すオノマトペ

続いて、音の甲高さの異なる操作音刺激に対して評価実験を実施した。ここでは、音の甲高さの指標として心理音響評価量の一つであるシャープネスを用いた。実験方法は2章と同様であり、被験者から自由回答で得られたオノマトペに対して計量テキスト分析を実施した。

図3に、操作音刺激と語の同時布置による対応分析の結果を示す。シャープネスの低い刺激が多く布置する1軸の正の方向には「ポ (/po/)」、「ド (/do/)」、「ロ (/ro/)」などの母音 /o/ を含む語が多く確認できる。また、シャープネスの高い刺激が多く布置する1軸の負の方向には「キ (/ki/)」、「ピ (/pi/)」、「ジ (/dʒi/)」などの母音 /i/ を含む語が用いられる傾向にあった。

このように、操作音刺激の甲高さに応じて音象徴性を反映したオノマトペが用いられることを把握した。これより操作音の音質について、その印象を表すオノマトペの音韻から定量的に表現し得る可能性を示した。

### 4. おわりに

本稿では、ロータリースイッチの操作音を対象として、聴覚に関連する物理量とオノマトペの対応に関して検討した事例について紹介した。これより、音の大きさ、音の甲高さを表す物理量変化に応じて、音象徴性を反映したオノマトペが用いられることを示した。ここでは詳細な説明は割愛するが、ラフネスや変動強度といった時間変動に関する音質においても、オノマトペの音象徴性の存在を確認している<sup>(5)</sup>。これらのことは、オノマトペの音象徴性を用いることで、音質を定量的に設計し得ることを示唆する。

他者とイメージを定量的に共有できることは、定性的な印象を定量的に製品設計に反映する上で有用であろう。

なお、ここではロータリースイッチを事例として印象と物理量の対応について検討したが、得られた知見の多くは他の分野においても広く応用し得る可能性がある。例えば、機械製品から発せられる異音をオノマトペとして把握し、異音の種別ごとに類型化することで、異音判別に活用できるだろう。これらの知見が製品設計に有効に活用されることを期待する。

### 謝辞

本稿の内容は中央大学、アルプスアルパイン株式会社との共同研究成果から得られたものである。ここに謝意を表する。

### 【参考文献】

- (1) S. Hamano, The Sound-Symbolic System of Japanese, CSLI Publications, 1998.
- (2) 荻原直行, 感性のことはを研究する — 擬音語・擬態語に読む心のありか, 新曜社, 1999.
- (3) 田守育啓, ローレンススコウラップ, オノマトペ — 形態と意味 —, くろしお出版, 1999.
- (4) T. Miyairi, T. Shirasaka, H. Shimomura, T. Toi, “Understanding the relationship between onomatopoeic expressions and sound quality for rotary switch operating sounds”, Proceedings of INTER-NOISE 2021, 263(5), 1062-1071, 2021.
- (5) 宮入徹, 下村尚登, 白坂剛, 大友貴史, 戸井武司, “クリック数に着目したロータリースイッチ操作感覚のオノマトペによる評価”, 日本音響学会研究発表会講演論文集 (秋季), 1552-1554, 2022.



# 電磁波による加熱技術を利用した炭素繊維強化プラスチックからの炭素繊維の分離回収

小林 潤

工学院大学

## 1. はじめに

炭素繊維強化プラスチック (CFRP) は軽量、高強度、高弾性な材料であり、近年航空機分野等でその利用が急速に拡大している<sup>1)</sup>。CFRP そのものの開発も急速に進行しており、熱可塑性樹脂をマトリックスに使用したCFRP (CFRTP) の生産も増加傾向にあるが、現時点で世界的に製造されているCFRP用マトリックスの8割以上は熱硬化性樹脂が使用されている。

この様にその利用範囲を拡大しているCFRPであるが、使用済みCFRPの処理については具体的な検討が始まったところであり、材料の性質も相まってリサイクルのみならず一般的な焼却処理自体も困難な状況にあり、大半のCFRPは直接埋立処分されているのが現状である。

しかし、CFRPの製造時におけるエネルギー消費量は自動車用圧延鋼板よりも多く<sup>2)</sup>、今後のCFRPの大量廃棄が予想される中、CFRPのマテリアルリサイクル、特に炭素繊維を分離回収し有効活用するための技術の確立は急務となっており、様々な研究開発が行われている。<sup>3,4)</sup> この中でも熱処理による炭素繊維の回収プロセス<sup>5,6)</sup> は一部実用化されており今後さらなる展開が期待されているが、加熱条件が回収される炭素繊維の機械的特性へ影響を考慮する必要がある。

マイクロ波や高周波を用いた加熱の原理は、極性に起因する誘電損失、磁性に起因するヒステリシス損、導電性に起因する渦電流に基づくジュール損に大別される。ここでは、炭素繊維の導電性に着目する。炭素繊維間では、金属などの導体と同じように電磁場と同相で進行する渦電流が材料に誘導されるものと予想される。渦電流が誘起されると、材料の電気抵抗によりジュール熱が発生し発熱する(図1参照)。CFRPの処理手法にこの様な誘導加熱技術を用いることで、材料中の炭素繊維のみが選択的に加熱され、材料内部の温度が常に高温に保たれるようになると期待され、外部加熱処理の際に想定される伝熱律速や顕熱損失を抑えることが可能となり、短時間で高効率な処理が可能になると考えられる。

当該研究者らは、これまで異なる積層構造を有するCFRP試料に対して電磁波を利用した直接加熱を行い、CFRPの加熱挙動、熱硬化性樹脂の熱分解分離除去特

性および回収された炭素繊維の材料強度特性について評価を行ってきた。本稿では、これまでに得られた結果を加熱手法ごとに簡潔にまとめ、当該技術の実用性について述べる。

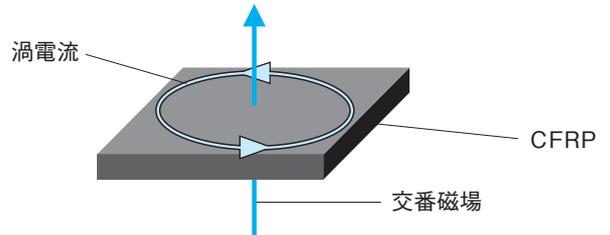


図1 誘導加熱原理概念図

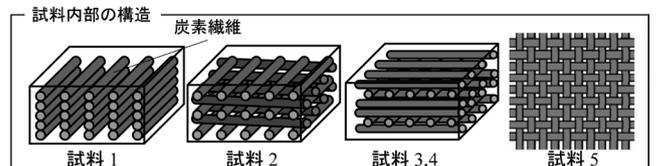
## 2. 電磁波加熱によるCFRPの加熱特性

### 2-1 CFRP 試料

本研究に使用したCFRP試料の概略を表1にまとめた。CFRPはプリプレグ(樹脂をあらかじめ炭素繊維束に含浸させシート状に成型したもの)と呼ばれる基本構造を積層させることで一つの構造物を形成させるため、プリプレグの積層方法により様々な種類が存在する。また、プリプレグ自体の構造も炭素繊維が同一方向で統一されているもの(UD材)や織布のような構造を有するもの(Cloth材)等が存在し、さらにプリプレグに使用されている炭素繊維の種類も様々である。本研究ではUD材の積層構造を変化させた3種類(試料1~3)、試料3と同様の積層構造で厚さの異なる試料(試料4)およびCloth材を用いた試料(試料5)の5種類を用いて電磁波加熱特性を評価している。

表1 CFRP 試料概略

試料番号	1	2	3	4	5
プリプレグ内の炭素繊維	同一方向				クロス
試料板面積 [mm <sup>2</sup> ]	20×20			15×15	20×20
試料厚さ [mm]	1			5	1
プリプレグの積層時の角度 [°]	0	交互 0/90	交互対称 0/90	交互対称 0/90	0
炭素繊維含有率 [wt%]	67				56
樹脂含有率 [wt%]	33				44



## 2-2 マイクロ波照射における加熱挙動

本研究では、数百 kHz の周波数帯の高周波および 2.45 GHz のマイクロ波を用いて CFRP の加熱特性を評価しているが、本稿では特にマイクロ波照射による結果について示す。

試料 1 (UD 材) へのマイクロ波照射の結果の一例として、加熱前後の試料外観を図 2 に示す。なお、今回の実験ではシングルモードおよび定在波モードのマイクロ波を使用しているが、いずれの場合においても照射場に形成される磁場の構造と炭素繊維の方向との関係により加熱挙動に大きな差が生じることが分かっている。本図より、条件が整えば 1kW のマイクロ波を 30 秒間照射すると CFRP 内の樹脂のおよそ 9 割が取り除かれ、容易に炭素繊維が回収できることが明らかとなった。

マイクロ波加熱では、条件を調整することでどのようなプリプレグの積層構造であっても樹脂を分離除去することができ、炭素繊維の回収が可能であることを確認しているが、高周波加熱では Cloth 材のみ樹脂の分離が可能であり、UD 材への適用は極めて困難であることも実験的に確認している。

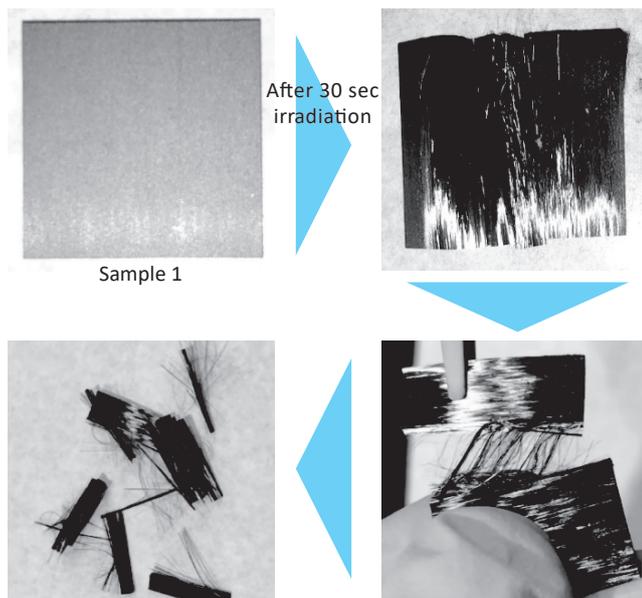


図 2 マイクロ波加熱前後の CFRP 試料外観

## 2-3 回収された炭素繊維の強度特性

上述の結果において回収された炭素繊維の引張強度および引張弾性率を測定した結果を図 3 および図 4 に示す。なお、炭素繊維の引張試験は JIS 規格 (JIS R 7606) に準拠して実施し、引張強度は 20 回の試験結果をワイブルプロットに基づき解析した結果となっている。また、比較のため様々な雰囲気下において 500℃にて 14 分間電気炉で加熱して回収される炭素繊維の引張強度および引張弾性率を併せて示す。

図 3 より、今回の処理条件では引張強度は原料炭素繊維と比較して若干強度が低下するものの遜色のない

値を示すことが明らかとなった。また、500℃にて外部加熱にて処理することで回収される炭素繊維と比較しても大きな差は確認されなかった。各試料の処理時間を比較すると、電気炉を用いた外部加熱では 14 分間の加熱が必要であったのに対し、マイクロ波加熱では 30 秒の照射で同様の結果が得られることが明らかとなり、エネルギーやコストの点においてマイクロ波加熱が優位であることが示唆された。

引張弾性率については、マイクロ波加熱処理により回収された炭素繊維は原料炭素繊維とほぼ同等の値を示すが、外部加熱処理により回収される炭素繊維は引張弾性率が低下することが明らかとなった。特に空気や水蒸気など酸化性成分を含む条件では値の低下が顕著であり、炭素繊維表面での酸化による欠損などにより回収された炭素繊維が原料よりも伸びやすくなったものと考えられる。

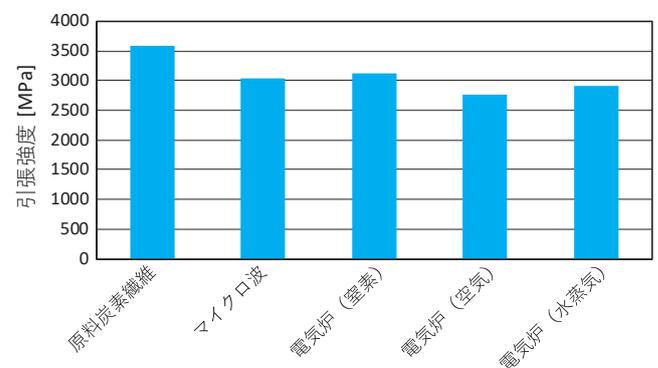


図 3 回収された炭素繊維の引張強度

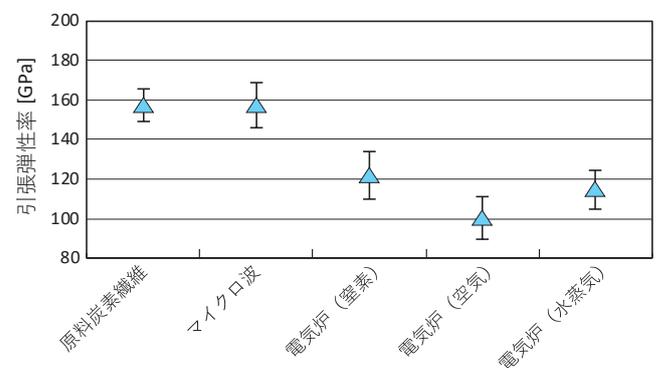


図 4 回収された炭素繊維の引張弾性率

## 【参考文献】

- 1) Saeki, T. et al., J. Environmental Sci., vol.27, no.2(2014), pp.84-92.
- 2) 高橋 淳, 複合材料講座・FRP構成素材入門, 日本複合材料学会誌, 第34巻, 第6号(2008), pp.251-255.
- 3) López, F. A. et al., J. Analytical Applied Pyrolysis, vol.104(2013), pp.675-683.
- 4) Yamaguchi, K. and Kitano, A., Materials, vol.57, no.7(2008), pp.747-752.
- 5) Yang, J., et al., J. Analytical and Applied Pyrolysis, vol.112(2015), pp.253-261.
- 6) Kamo, T. et al., J. Waste Resource Circulation (Japanese), vol.29, no.2(2018), pp.133-141.



## 最新のプラズマ脱硝技術

山崎 晴彦

大阪公立大学

### 1. はじめに

高温でものが燃える際に発生する窒素氧化物 ( $\text{NO}_x$ ) は、人体や環境に有害な粒子状物質 (PM) や光化学スモッグを発生させるだけでなく、酸性雨の原因にもなるため、大気に放出される前に処理 (脱硝) を行う必要がある。現在の主な  $\text{NO}_x$  排出源としては、ボイラー、溶解炉、火力発電所、ごみ焼却炉、船舶用ディーゼルエンジンなどが挙げられる。代表的な脱硝技術として、選択的接触還元法 (SCR 法) や吸着法、湿式脱硝法などが挙げられる。その中でも SCR 法は、排ガス中にアンモニアを注入し、触媒層を通過することにより、触媒上で  $\text{NO}_x$  を選択的に反応させて、窒素に還元する方法である。また大容量の排ガス処理を行えることから最も実用化が進んでいる方法である。SCR 法は優れた方法であるが、現在の脱硝触媒は  $300\sim 400^\circ\text{C}$  以上の反応温度を要する。そのため燃焼器の直下に設置する必要があり触媒劣化を招く。またごみ焼却炉排ガスは低温であるためにヒーターによる加熱をしなければならないため余計にエネルギーを有する。その他にも、高い硫黄氧化物 ( $\text{SO}_x$ ) 下では、酸性硫酸による触媒被毒や触媒層閉塞が引き起こされるため、脱硝性能が低下する問題がある<sup>(1)</sup>。そのため広く普及しているが、現在においても、反応温度の低温化を実現する新規触媒の研究が行われている<sup>(2)</sup>。一方、プラズマ脱硝法は、電気エネルギーで生成したプラズマにより  $\text{NO}_x$  の主成分である一酸化窒素 ( $\text{NO}$ ) を二酸化窒素 ( $\text{NO}_2$ ) もしくは硝酸 ( $\text{HNO}_3$ ) にする方法であり、生成した  $\text{NO}_2$  は湿式または半乾式プロセスで  $\text{N}_2$  に還元し、 $\text{NO}_x$  を除去する。この方法では、触媒を用いないため、 $\text{SO}_x$  や PM による  $\text{NO}_x$  除去率の低下を招かないだけでなく、方法により同時に除去することが可能となる。プラズマ脱硝技術はプラズマを排ガスに注入する間接法と排ガスを直接プラズマリアクター内に通過させる直接法がある。本稿では、著者の研究グループで行われているプラズマ脱硝法について紹介する。

### 2. 間接プラズマ脱硝法

間接プラズマ脱硝法は、排ガス中にプラズマリアクターで生成したオゾンを注入することにより、 $\text{NO}$  を  $\text{NO}_2$  へと酸化し、 $\text{NO}_2$  を湿式、半乾式反応塔で除去す

る方法である。反応塔では、亜硫酸ナトリウム水溶液や水酸化ナトリウムなどのアルカリ性水溶液を用いて、 $\text{NO}_2$  を  $\text{N}_2$  に還元する。従来の間接プラズマ脱硝法<sup>(3)</sup>では、ボイラー等の排ガスはエコノマイザーなどの熱交換機を用いて  $150^\circ\text{C}$  以下まで減少させる必要があった。この理由として、 $150^\circ\text{C}$  以上の高温場にオゾンを注入すると、オゾンは直ちに自己分解し、 $\text{NO}$  酸化効率が減少するためである。湿式反応塔を用いる場合には、問題とならないが、半乾式反応塔では、温度を減少させることは困難である。この課題を解決するために、オゾンと同時に冷却水を高温排ガス中に噴霧することで、排ガス中に  $150^\circ\text{C}$  以下の局所冷却域を形成し、効率的に  $\text{NO}$  をオゾンにより  $\text{NO}_2$  へ酸化させる方法が提案された<sup>(4)</sup>。図 1 に概要図を示す。

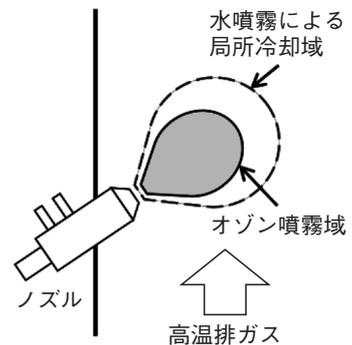


図 1 間接プラズマ脱硝

この方法では、排ガス配管に直接ノズルを挿入するだけ済むため、大規模な工事が不要である。オゾンはプラズマオゾンナイザーで生成するため、原料ガスである酸素供給減とプラズマオゾンナイザーおよび電源装置が外部設備として必要あるが、容易に設備導入が可能である。

間接プラズマ脱硝法をガラス溶解炉排ガス処理に適応した例を紹介する。システムの概要図を図 2 に示す。ガラス溶解炉排ガス処理システムでは、ガラス原料由来の粘着性ダストや高濃度  $\text{SO}_x$  等が触媒被毒となるため、SCR 法の導入は困難であり、現状として排煙脱硝装置が設置された事例がほとんどない。そのため従来の排ガス処理設備として、反応塔 (脱硫塔) と PM 除去のための電気集塵機とバグフィルターが設置されている。間接プラズマ脱硝法では、既設の反応塔に図中

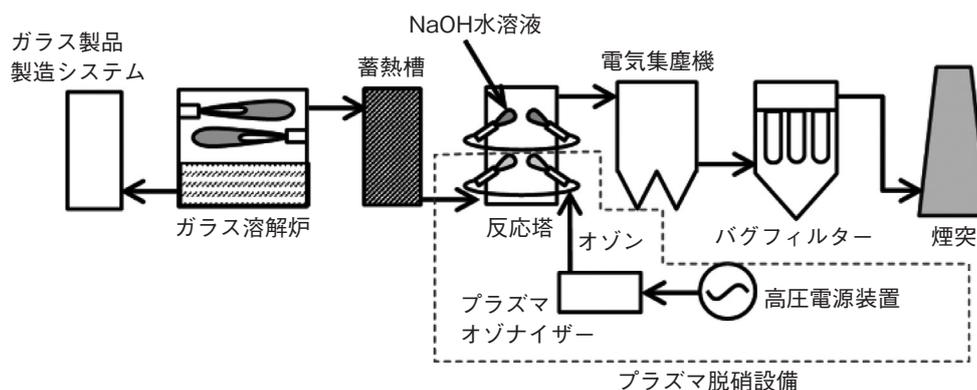


図2 ガラス溶解炉排ガス処理システム

の点線で示すオゾンノズル、プラズマオゾナイザー、高電圧電源装置が設置されたシステムにより脱硝を行う。このシステムでは、反応塔上流側にオゾンノズル、下流側にNaOH水溶液噴霧ノズルが接続される。反応塔に流入する排ガスは約400℃と高温のため、オゾンノズルではオゾンと冷却水を同時に噴霧する。排ガス中のNOはオゾンによりNO<sub>2</sub>へと酸化される。ガラス溶解炉排ガス中には高濃度SO<sub>2</sub>が存在するため、SO<sub>2</sub>はNaOH水溶液にて亜硫酸ナトリウムへ中和処理する。その際、亜硫酸ナトリウム水溶液へ変化する。亜硫酸ナトリウム水溶液は、NO<sub>2</sub>をN<sub>2</sub>に還元させ、硫酸ナトリウムへと変化する。このようにプラズマ脱硝装置を既設の反応塔へ導入することにより、NO<sub>x</sub>とSO<sub>x</sub>の同時除去が可能となる。実機における脱硝実験の結果、最大で39%の高い脱硝効率を達成した<sup>(5)</sup>。

間接プラズマ脱硝法は、実機スケールの研究において、ガラス溶解炉排ガス処理の他、半導体製造排ガス処理システム<sup>(6)</sup>への適応が行われており、高い脱硝性能を有する技術であることが証明されている。またこの方法は比較的容易に設備導入可能なことから、近い将来の燃料置換に伴い増大するNO<sub>x</sub>排出の削減にも期待ができる。

### 3. 直接プラズマ脱硝法

直接プラズマ脱硝法は、排ガスを直接プラズマリアクターに導入し、除去する方法であり、湿式、乾式プラズマリアクターの二種類の方法がある。湿式プラズマリアクターでは、リアクター内に水を導入することで生成するOHラジカルによって、NOおよびNO<sub>2</sub>をHNO<sub>3</sub>と亜硝酸(HNO<sub>2</sub>)として、イオンとして水に水溶させ、除去する方法である。この方法では低い電力で高い脱硝効率を得られる<sup>(7)</sup>。廃液処理を行う必要があるがこの方法ではPMとSO<sub>x</sub>も同時に処理できる利点がある。

乾式プラズマリアクターを用いた方法では、ディーゼル排ガスへの適応が検討されている。ディーゼルエンジンからの排ガスには、炭化水素(HC)や煤(C)が

含まれており、プラズマリアクター内において、NOとNO<sub>2</sub>がHCとCによってN<sub>2</sub>に還元される。またHCとCはプラズマリアクター内で酸素ラジカルやオゾンによって酸化され、一酸化炭素(CO)や二酸化炭素として除去することが可能である。生成するCOはNOとNO<sub>2</sub>を還元することができる。最新の研究結果では、ディーゼル発電機からの排ガスをプラズマリアクターに導入することにより、NO<sub>x</sub>、PM、HCをそれぞれ70%、98%、67%の効率で同時に除去することが可能であった<sup>(8)</sup>。

### 4. おわりに

本トピックスでは、最新のNO<sub>x</sub>除去技術として、プラズマ脱硝法について紹介した。間接プラズマ脱硝法は、すでに実機スケールでの実証実験が完了しており、これからの普及に期待ができる技術である。直接プラズマ脱硝法は、実機スケールでの実証はまだ行われておらず、これから検討していくことが必要である。

この技術が実現できれば、尿素水の輸送などの問題を抱えるディーゼルエンジンにおけるSCR技術に代わる技術として期待ができる。

### 〔参考文献〕

- (1) 政次満, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 43(2008), 877-881.
- (2) Y. Inomata et al., *Applied Catalysis B: Environmental*, 328(2023), 122536.
- (3) H. Fujishima, et al., *Applied Energy*, 111(2013), 394-400.
- (4) H. Yamamoto et al., *IEEE Transactions on Industry Applications*, 55(2019), 6295-6302.
- (5) H. Yamasaki et al., *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 42(2022), 51-71.
- (6) H.J. Kim et al., *IEEE Transactions on Industry Applications*, 54(2018), 6401-6407.
- (7) H. Yamasaki et al., *IEEE Transactions on Plasma Science*, 49(2021), 1860-1870.
- (8) K. Kawakami et al., *Journal of Hazardous Materials*, 462(2024), 132685.



# デマンドレスポンス対応が可能な 再エネ稼働型植物工場の開発

坂東 茂

一般財団法人 電力中央研究所

## 1. はじめに

電力ネットワークによるカーボンニュートラルな電力供給に向けて、大量の再生可能エネルギーが導入されることが期待されているが、再生可能エネルギーの出力変動の補償は不可欠であり、システムの柔軟性を確保することが極めて重要である。特に、離島では、電力需要と供給の規模が小さく、再生可能エネルギーの導入による不安定性の問題が、大規模システムよりも早く直面する。

一方で、高温多湿な南方の離島では、台風の接近時から、通過して海の状態が落ち着くまで、海上輸送をストップすることがあり、食の供給に影響が及ぶことがある。例えば、2023年の台風6号は1週間近く沖縄県付近にとどまり続け、宮古島の小売店では、生鮮食品が品薄になった状態が新聞等でも報道された<sup>[1]</sup>。

このようなエネルギーと食の問題の解決を目指して、筆者の所属する電力中央研究所では、株式会社ネクstemズ、沖縄電力株式会社、佐賀大学と共同で、宮古島にてレタスを栽培するコンテナ型植物工場の実証試験設備を構築した。

## 2. 植物工場プロジェクトの内容と特徴

人工照明を使用した植物工場（PFAL）の内部環境は天候に影響されないため、露地栽培ではレタスが育ちにくい温暖な地域においても新鮮な野菜の安定供給に適している。また、従来型の植物工場では、栽培室が植物の成長に最適な環境で維持され、電力供給源は主にグリッド電力を利用するのが一般的だが、このプロジェクトでは、図1に示すように、植物工場に取り付けられた太陽光パネルと蓄電池を使用して工場内の



図1 宮古島に設置した植物工場の概要

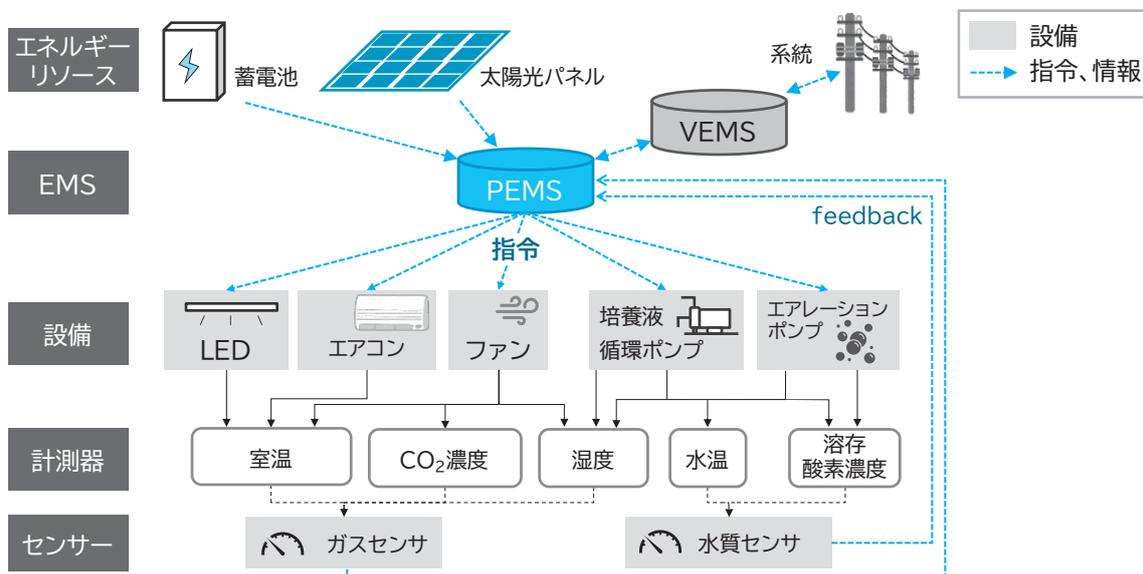


図2 植物工場用エネルギーマネジメントシステム（PEMS）の開発

全ての電力消費を再生可能エネルギーでカバーすることにより、ゼロエミッション植物工場を実現することを目指した。

本プロジェクトにおける、PFALの最大の特徴は、小規模系統における電力ネットワークの安定運用に貢献することを目指して、電力ネットワーク側の要請により需要を上下させるデマンドレスポンス (DR) にも対応可能なPFAL用エネルギー管理システム (PEMS) を開発したことであり、野菜の成長に悪影響を及ぼさない範囲内で、照明や空調などの需要を一時的に上下させることができる (図2)。



(a) 光量不足による徒長 (b) チップバーンの発生  
図3 レタスの成長障害の例

図3に示したのは、光量不足による徒長(とちょう)や、高温によるチップバーンといった、成長障害を起こしたレタスである。プロジェクトにおいては、度重なる試験により、このような成長障害が起こらないことを制約条件として、電力需要増減の大きさと、その時間長さを同定し、制御ロジックとしてPEMSに組み入れ、植物工場によるDRへの対応を可能にした。主なPEMSの機能を図4に示す。

### 3. ゼロエミ・エネルギーによる運用は可能だったか？

図5に、2023年3月下旬における、植物工場のエネルギー需給の状態を示した。

グラフ中の青色は電力ネットワークとの電力のやり

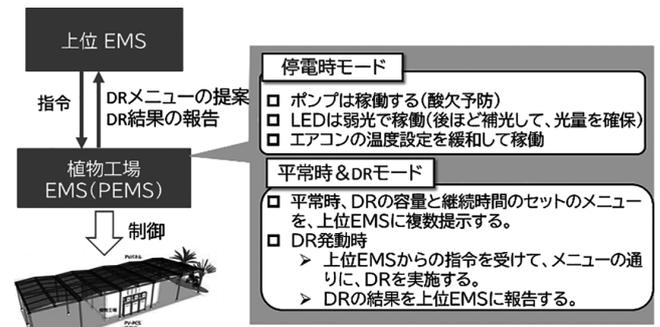


図4 開発したPEMSの機能

取りを示しており、正の方向の青色は、電力の購入を表している。3月27日や28日の夜中には、電力を購入しており、ゼロエミ・エネルギーによる運用ができていないことが分かるが、昼間の日射が多く得られた3月29日、30日にかけての夜間に電力を購入しておらず、この一日に関してはゼロエミ運用ができていたと判断できる。宮古島では、4月から9月までは日射が強い時期が続くのに対し、11月から2月までは雨季となる。野菜を安定的に供給できることと、ゼロエミ・エネルギー運用の両立は、夏季はかなりの日数で可能であるが、冬季の運用が課題である。

本プロジェクトでは、エネルギー供給の面において、ゼロエミッションを達成することを目指したが、葉から蒸散した水の再利用なども引き続きの課題である。

### 謝辞

本稿で触れた研究は、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託事業 (JPNP14004) として進めた。ここに謝意を示す。

### [参考文献]

[1] 宮古毎日新聞：“食料品の品薄続く”，(2023/8/5)

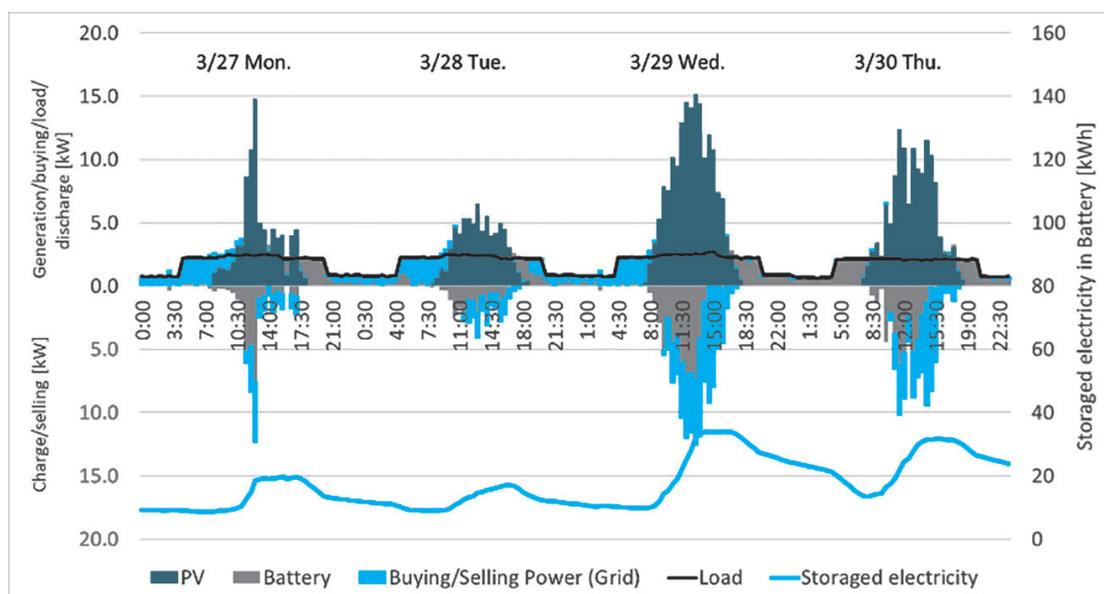


図5 植物工場実証設備におけるエネルギー需給の状況

## 第34回 環境工学総合シンポジウム 2024のご案内

- 企画：環境工学部門
- 開催日：2024年7月17日(水)～7月19日(金)  
[7月17日(水)は見学会のみ]
- 開催地：高野山大学  
[和歌山県伊都郡高野町高野山 385]
- 開催趣旨：日本機械学会環境工学部門を構成する騒音・振動評価・改善技術、資源循環・廃棄物処理技術、大気・水環境保全技術、環境保全型エネルギー技術などの先端技術を駆使することにより、自然環境と調和する安心・安全な快適環境を実現するための情報提供、および専門家による最先端の研究および技術開発成果の発表と討論を通してサステナブル社会へのブレークスルーのきっかけを見出して頂くことが目的です。皆様の積極的なご参加をお待ちしております。また、各種表彰制度により、環境工学の発展を加速する機会にもなっております。奮ってご参加下さい。
- 連携企画：7月16日(火) 第4回法工学・環境工学連携セミナー（オンライン開催）
- 見学会：7月17日(水) 高野山ケーブルカー巻上室（各回12名、計36名）  
南海鋼索線（集合場所：高野山駅）  
また、会期中に高野山にてエクスカーションを実施します。Webサイトからの事前申し込みが必要です。
  - ・ 奥之院ガイドツアー
  - ・ 写経（普賢院）
  - ・ 朝勤行（各宿坊）
- 基調講演：7月18日(木)  
「千の風になる前に知っておくべき事」  
高野山大学 学長 添田 隆昭 氏
- 参加登録期限：（早期登録）6月21日(金)  
<https://www.jsme.or.jp/env/symp/sympo-info2024/>
- 問合せ先：日本機械学会 環境工学部門  
（担当職員：橋口公美）  
E-mail：kankyosympo2024@jsme.or.jp  
TEL 03-4335-7615

戸井 武司

（中央大学 理工学部 精密機械工学科）

### 編集後記

環境工学部門では、「騒音・振動改善技術」、「資源循環・廃棄物処理技術」、「大気・水環境保全技術」、「環境保全型エネルギー技術」といったそれぞれの分野の問題解決のために、4つの技術委員会が精力的に活動を行っています。本部門では研究会、講演会、見学会等、各種イベントを開催しており、その活動の様子の一部をこのニュースレターでご体感ください。各技術委員会の推薦でご執筆いただいた「トピックス」、研究会や見学会の報告など、環境工学部門の活動の最新の情報を得られる内容になって

おります。過去の「環境と地球」も、環境工学部門ホームページから閲覧できますので、職場などの身近な方々にもご紹介ください。また、紙面を通してだけでなく、「環境工学総合シンポジウム」などの講演会会場、見学会等のイベント、各種研究会の場でお会いできることを楽しみにしています。

最後になりましたが、本ニュースレターの発行に際して、ご協力いただいた執筆者ならびに関係の皆様がこの場を借りて御礼申し上げます。

（永田 淳一郎：三機工業株式会社）

### 環境と地球 編集室

環境と地球 No.35 2024年4月10日発行  
日本機械学会環境工学部門 広報委員会  
〒162-0814  
東京都新宿区新小川町4番1号 KDX 飯田橋スクエア 2階  
電話 03-5360-3500/FAX 03-5360-3508  
部門ホームページ：<http://www.env-jsme.com/>  
©2024 一般社団法人 日本機械学会

委員長  
佐藤 岳彦（東北大学）

副委員長・ニュースレター編集長  
永田 淳一郎（三機工業(株)）

委員  
渡部 眞徳（(株)日立製作所）  
森田 拓之（川崎重工業(株)）