

帝京大学
自動車技術センター

年報

第4巻
2026年8月

Annual Report of Automobile Technology Center
Teikyo University

Vol.4 Aug, 2026

**帝京大学
自動車技術センター**

年報

**第4巻
2026年8月**

**Annual Report of Automobile Technology Center
Teikyo University**

Vol.4 Aug, 2026

巻 頭 言

帝京大学自動車技術センター

センター長 加 藤 彰

帝京大学自動車技術センターは 2020 年 4 月に発足し、今年で 7 年目を迎えました。また、本年は年報第 4 巻を発行する運びとなりました。これもひとえに皆様のご支援、ご協力の賜物であり、心より感謝申し上げます。

2025 年度も自動車業界では多くの話題がありました。これまで BEV 市場を牽引してきたテスラ社に代わり、中国 BYD 社が世界最大の BEV 生産メーカーとなったことが報じられました。また、ホンダの 2026 年 3 月期決算が赤字となったことも大きなニュースとなりました。これは米国トランプ政権による環境規制緩和を背景とした BEV 市場の減速が主要因とされていますが、日本の基幹産業を支える企業の一つとして、同社の早期の業績回復を期待しています。

さて、この数年で ChatGPT をはじめとする生成 AI は著しい進化を遂げ、社会に大きな変革をもたらしています。教育現場においても教材作成などへの活用が進み、これまでインターネット検索やオンライン辞書で行っていた作業の多くが生成 AI へと置き換わりつつあります。一方で、2026 年 5 月に報道された読売巨人軍阿部慎之助監督の事案にも見られるように、情報の信頼性や著作権、倫理面など、その利用には課題もあります。しかしながら、インターネットが私たちの生活に不可欠な存在となったように、生成 AI も今後ますます社会に欠かすことのできない技術になるものと考えています。

ところで私は大学で自動車工学を中心とした講義を担当する一方、環境・エネルギー問題についても講義を行っています。今年も厳しい暑さが続いています。2026 年には気象庁が最高気温 40℃以上の日を「酷暑日」と命名しました。このような異常高温は地球温暖化との関係が強く示唆されています。しかしながら、近年は世界各国のリーダーから環境問題に対する力強い発信を耳にする機会が少なくなったように感じます。また、ロシア・ウクライナ情勢に加え、中東情勢も依然として不安定な状況が続いています。このような時代だからこそ、環境問題の重要性を改めて訴え、持続可能な社会の実現に向けて世界を牽引するリーダーの登場を期待しています。

最後になりますが、2025 年度の自動車技術センターでは技術講演会をはじめ、多くのイベントを開催し、参加者の皆様から高い評価をいただきました。厚く御礼申し上げます。また、2026 年度からは定例イベントに加え、自動車技術に関する相談窓口を学内向けに開設いたしました。今後も、特定整備認証を有する充実した設備と高い技術力を備えたスタッフを生かし、自動車に関する教育・研究・技術支援を通じて、皆様の期待に応えられるセンターを目指してまいります。引き続き、ご支援、ご指導を賜りますようお願い申し上げます。

帝京大学自動車技術センター年報

目 次

巻頭言	帝京大学自動車技術センター長 加藤 彰
-----	---------------------

第一部 活動報告

1. 2025 年度講演会開催報告書	1
2. 第 6 回宇都宮大学コラボレーション・フェア参加報告書	3
3. 自動車技術センターツアー 2025（学園祭）開催報告書	5
4. もてぎアクティブセーフティ開催報告書	7
5. 2025 年度次世代自動車人材育成講座 開催報告書	9

第二部 研究ノート

1. 軽電気自動車の電費計算モデル精度の検討	加藤 彰, 木村勇稀, 尹 孝娟 … 15
2. BEV の実路エコドライブ手法に関する検討（第 2 報）—軽 BEV の実路電費特性—	加藤 彰, 尹 孝娟, 木村勇稀 … 21
3. ヴァイオリンのニスの影響と FE 解析	黒沢良夫 … 27
4. Kelvin セルを用いたウレタンフォームの有限要素モデル化と吸音解析	黒沢良夫, 金久保 諄, 長谷川涼太, 石橋圭太, 伊東浩幸, 鈴木啓介 … 29
5. 農地巡回ロボットによる果樹カメムシ類の検出	菅谷直樹, 小針健吾, 蓮田裕一 … 35
6. AI を活用した斑点米カメムシ類の検出	福田啓太, 高野知美, 蓮田裕一 … 37
7. オオシロカゲロウ幼虫の巣穴内の行動分析	紺野有哉, 蓮田裕一 … 39
8. AI を活用したヒゲナガカワトビケラ幼虫の食性の解析	松田果恋, 蓮田裕一 … 41
9. 高大連携による DX 教育を通じた人材育成プログラムの開発と成果	石川綺人, 蓮田裕一, 倉持正行 … 43

第一部

活動報告

2025 年度講演会開催報告書

報告書作成日 2025 年 6 月 10 日

帝京大学自動車技術センター 簾内 将景

自動車技術センターの活動目的である人材育成、情報発信の一貫として、2025 年度講演会「日産自動車の 75 年にわたる電動化の歴史と未来への展望」を本学の教職員と学生をはじめ、栃木県内企業の技術者に向けて開催した。日産自動車の電動化の歴史に触れながら電動車の技術やこれからの展望について、日産自動車株式会社 EV システム研究所長 寺地 淳氏をお招きし、宇都宮キャンパス内自動車技術センターの講義室にて対面で実施した。

<開催日>

2025 年 6 月 5 日 木曜日 13:20~14:50

<コンテンツ>

- ・講師 日産自動車株式会社 EV システム研究所 所長 寺地 淳 様
- ・講演タイトル 「日産自動車の 75 年にわたる電動化の歴史と未来への展望」
- ・講演概要

日産自動車の電動化の歴史は 1947 年の「たま」電気自動車の発売から始まり、75 年にわたり進展し、2010 年には量産型電気自動車「リーフ」を発売しました。将来的には、持続可能な社会の実現に向けて、電気自動車の普及を図り、業界を超えた製品やサービスの連携によるエコサイクルを構築。また、電気自動車と電力網を統合する Vehicle Grid Integration の技術開発を進め、社会全体の持続的な発展に貢献したいと考えている。本講演ではこれらの取り組みについて紹介する。

<結果>

当日参加者数 計 47 名 内訳（本学学生、教職員 34 名、一般、企業 13 名）

今回の講演会は、機械・精密システム工学科 2 年生「機械セミナー」を併催した。講義受講者以外の学生の参加や、企業技術者も出席しており、日産自動車の電動化技術に対する関心の高さが伺えた。

<まとめ>

講演では、主にスクリーンを使用して行われ、日産の電動化技術の解説と紹介や EV 普及に関する主要各国の EV の位置づけ等について大変興味深い講演であった。

また、終了時に実施した参加者アンケートでは、86%が「満足」と回答した。自由記述では「EV に対する取り組み、社会全体に対する取り組みが分かり面白かった」「これからのエンジン車や EV 車のことを技術者から直接聞くことのできた貴重な機会でした」などのコメントが寄せられ、学生社会人問わず満足の声をいただいた。また、AI や自動運転技術への関心が高いことも分かったため、これらを参考にして今後も学生や企業人のニーズに合った技術講演会を続けていきたい。

以上

ギャラリー



講演会の様子



記念品贈呈

第6回宇都宮大学コラボレーション・フェア参加報告書

報告書作成日 2025年9月30日

帝京大学自動車技術センター 簾内 将景

昨年に引き続き、宇都宮大学主催「第6回宇都宮大学コラボレーション・フェア」の展示会にてポスター出展を行った。

<イベント趣旨>

宇都宮大学は「地域活性化のエンジン」という使命のもと、産学官金連携の推進による社会課題解決と産業振興を目的に、栃木県内最大級の展示・講演イベントである「コラボレーション・フェア」を開催した。

帝京大学自動車技術センターは、本イベントへの参加を通して、活動の県内産学官金への情報発信と、自動車技術センター所属教員の研究への新たなコラボレーション発見を目的として参加した。

<開催日、場所>

2025年9月18日 木曜日 13:00~17:00 マロニエプラザ大展示場（栃木県宇都宮市）

<コンテンツ>

帝京大学自動車技術センターは展示会へのポスター出展を行った。

・展示会

産学官金それぞれの立場から、事業紹介や、シーズ・ニーズ、連携事例など約300件の展示を通じて、様々な知見に出会う機会を提供し、新たな「知」の創出を目指す。

・講演会

企業・自治体・研究者などを招き、社会・企業課題の解決に向けたデータサイエンスの現場実装について議論を行う。

<イベントの様子>

ポスターセッションには展示参加329件(昨年300件)、参加者780名(昨年781名)が参加し、各ブースでポスターによる説明や、質疑応答が行われた。参加件数は昨年より増加し、終始活発なコミュニケーションがとられていた。自動車技術センターは、センターの紹介を主としてパンフレットや年報を渡しながら来場者に対応した。

<まとめ>

ブースに足を止めていただく参加者に対してポスターやチラシを使用して話しをする機会が多かった。中には自動車技術センターの活動に興味を示し、センターが関係するイベントへの参加や、所属教員によるセミナー実施を希望する参加者もいた。このような声を来年度以降のイベントに反映することで、より地域社会のニーズに応えつつ社会貢献につながると考える。

今後もこのような機会を有効的に利用して、自動車技術センターの活動推進に役立てていきたい。

以上

ギャラリー



会場の様子



帝京大学自動車技術センターのブース

自動車技術センターツアー 2025（学園祭）開催報告書

報告書作成日 2025 年 11 月 13 日

帝京大学自動車技術センター 簾内 将景

<趣旨>

宇都宮キャンパス学園祭「帝祭」のイベントとして、本学学生や地域一般来場者を対象に実施した。今年は学内外（教職員とその関係者、OB）の方にもご協力をいただき実習車以外の車両を展示することで、車を通した交流の場を設け、学園祭を盛り上げる一助となることを目的とした。また、昨年に引き続き子供向けイベントを併催し、来場した子供たちにもものづくりの楽しさを伝える場を設けた。

<開催日>

2025 年 11 月 2 日 日曜日 11:00~15:30

※施設開放と子供向けイベントは 10 時から開始

<コンテンツ>

- ・車両の展示 6 台（四輪 5 台、二輪 1 台）
- ・ゼンマイモビリティを作ってみよう！（子供向けイベント）
- ・エンジン等のカットモデルの展示
- ・自動車技術センターの活動紹介（日産サクラ分解映像の上映）

<結果>

来場者数 計 96 名（一般来場者と本学学生） ※昨年 89 名

子供向けイベント「ゼンマイモビリティを作ってみよう！」への参加者 12 名

昨年より多くの方に来場いただき、各々が気になる設備や車両の見学をしていた。車両の持ち主と談話する様子も見られ、終始賑わいを見せていた。

ゼンマイモビリティの作製については、ポスターや学生助手の声掛けなどで興味を持つ子供が多く、センタースタッフと本学学生が組み立てのサポートを行った。

<まとめ>

車両の展示や昨年好評であった子供向けイベント、センターの活動紹介を実施した。参加者からは、「貴重な車両を見ることができてよかった」や「ゼンマイモビリティ作製が楽しかった」という声をいただき、学園祭を楽しめるイベントの一つとできた。また、子供たちにもものづくりの楽しさを伝えることができたと感じている。

昨年の反省点であった自動車技術センターまでの動線が分かりにくさに対して実行委員会に相談し、動線に張り紙をするなどの対応を取った。また、他のイベントと同様に大型の看板を設置した結果、昨年よりも来場者数を増やすことができたと感じている。

今後も学園祭の盛り上げや宇都宮キャンパスのアピールに寄与できるようなイベントとして来年以降も継続していきたい。

以上

ギャラリー



もてぎアクティブセーフティ開催報告書

報告書作成日 2025 年 12 月 19 日

帝京大学自動車技術センター 簾内 将景

<趣旨>

昨年に引き続きモビリティリゾートもてぎ内、交通教育センターもてぎにおいて、急ブレーキやスピン等、一般道路では起きてはいけない体験をもとに、実路での安全運転を目指す。また、ホンダコレクションホール見学を通してモビリティの歴史や将来、機能について考える場とする。

<開催日>

2025 年 12 月 6 日 土曜日 8:30~16:30

<コンテンツ>

・モビリティリゾートもてぎ交通教育センター

①スキットリカバリー

車のスピン状態を体験しこれを回避するトレーニング

②スリパリーコーナリング

雪道を想定したコースを走行し、適切なペダルワーク、ステアワークを身に付けます

・ホンダコレクションホールの見学

<費用>

昼食代（1,500 円）は個人負担とし、バス代金および講習費は学校負担

<結果>

当日参加者数 計 19 名 学生 17 名（4 年 3 名、3 年 1 名、2 年 6 名、1 年 7 名） 引率 2 名 ※昨年学生 14 名

はじめに、ホンダコレクションホール見学を行った。自由見学の時間とし、学生は各々の興味の引かれた展示車両について学生同士で談話を行っていた。国内レース車両や F1 車両が展示されており、車両下部をのぞき込むなどしながら、設計意図について話し合う学生の姿が印象的であった。

安全運転講習会では、学生は 2 人一組に分かれて乗車し、インストラクターの指導の下でメニューをこなしていた。インストラクターからの問いかけに対し答える学生の姿や、下車後に体験した事象について学生同士で話し合う姿があり、安全運転の意識向上だけでなく講義等で得た自動車に関する日々の学びを実際に体験することができた。

<まとめ>

自動車技術センター発足後では 4 年連続 4 回目の実施となった本イベントであるが、今年度は過去一番の申し込み数があった。また、これまでにほぼゼロであった機械系学科以外の学生の参加があった（情報科学コース、地域経済学科）。

終了後に実施したアンケートの結果、参加者全員から満足との回答を得た（満足度 100%）。理由として、「貴重な体験ができたこと」を上げる学生が多かった。全体に対する感想としては、「車速が 1km/h 違うだけで低 μ 路だと動きが変わることを学んだ」、「スリップ時の車の動きを感じて、対応する方法を学ぶことができた」、「今回学んだことを活かして安全運転につなげていきたい」等の声があり、学生にとって大変貴重な自動車に関する学びの場となっていると感じた。

今後も継続して実施していくとともに、今年増加した機械系学科以外の学生参加者をさらに増加させるべく募集のかけ方や募集の文面等を工夫しより多くの学生に自動車に関する学びの場を提供していきたい。

ギャラリー



ホンダコレクションホール見学の様子



スキットリカバリー講習の様子



スリパーリーコーナリング講習の様子

2025 年度次世代自動車人材育成講座 開催報告書

報告書作成日 2026 年 3 月 5 日

帝京大学自動車技術センター 簾内 将景

<趣旨>

栃木県では、戦略3産業の一つとして位置付ける「自動車産業」を担う人材を育成し、県経済を技術力により牽引する企業の創出を図るため、次世代自動車人材育成講座を開催します

自動車技術センターは県の事業に協力し、保有する施設設備を利用した次世代自動車技術に関連する教育を座学と実習を組み合わせを行い、県内企業の技術力向上の一助となるべくこれを実施する。

<開催日>

2026 年 2 月 24 日（火）25 日（水）9:20~16:30

<コンテンツ>

- ・講師 帝京大学理工学部 情報科学科 教授 加藤 彰
元 帝京大学理工学部 機械・精密システム工学科 准教授 青木 昭夫
帝京大学理工学部 総合理工学科 助手 小柳出 敏弘
帝京大学理工学部 総合理工学科 助手 白沢 洋一

・講座概要

1 日目（2 月 24 日）

- 1 時限（座学）従来自動車の機能と構造について 担当 青木
- 2 時限（座学）電動化や自動運転等の関連技術に関して 担当 青木
- 3 時限（実習）自動車の構造、機能、作動に関して 担当 小柳出、白沢
- 4 時限（実習）従来ガソリンエンジンの構造、機能、作動に関して 担当 小柳出、白沢

2 日目（2 月 25 日）

- 1 時限（座学）自動車の電動化に関する最近の状況について 担当 加藤
- 2 時限（実習）HV の構造、機能、作動に関して 担当 小柳出、白沢
- 3 時限（実習）BEV の構造、機能、作動に関して 担当 小柳出、白沢
- 4 時限（実習）BEV の外部診断機を用いた各種パラメータ確認 担当 小柳出、白沢

<イベントの様子>

参加者数 計 15 名（10 社）

座学ではスクリーンを使用した講義、実習では実車を使用した演習を行った。実習は小柳出助手、白沢助手の兩名指導の下で安全に実施された。参加者は実車部品の分解組付けやシャシダイナモメータを使用した HEV と BEV の作動の見学体験を行い、構造機能を確認しながら真剣に学んでいた。

<まとめ>

昨年は自主開催として 1 日間で行い、今年は栃木県の主催として 2 日間開催した。この 2 日間という時間の中で自動車の基礎を幅広く学ぶことのできる場を提供できたと感じている。終了時に実施した参加者アンケートでは「社内で行っている業務以外のことが体験でき貴重な時間でした」「自動車の構造について少ない時間で良く学べたので満足」などの肯定的なコメントが寄せられ、本講座の満足度調査では、参加者の約 90%から満足との評価をいただくなど、高評価をいただいた。

今後も講演会や講座を通じて、情報発信や人材育成の機会を増やしたいと考える。

以上

ギャラリー



座学の様子



実習の様子

第二部

研究ノート

研究ノート

加藤 彰

軽電気自動車の電費計算モデル精度の検討

Study of energy consumption calculation model accuracy for light BEV

○正 加藤 彰^{*1}, 木村 勇稀^{*1}, 尹 孝娟^{*1}
Akira KATO^{*1}, Yuki KIMURA^{*1}, and Hyo Yeon YOON^{*1}
^{*1} 帝京大学 Teikyo University

In order to achieve carbon neutrality in 2050, sales of BEVs are increasing worldwide, and large number of light BEVs sold in Japan. We believe that it is effective to combine a numerical model of an electric vehicle using Matlab with a traffic flow simulation (SUMO) to study methods for improving energy consumption, with the aim of improving the mileage per charge on real roads. In this study, we created a motor efficiency map using a chassis dynamometer and created a light BEV energy consumption calculation model using Matlab/simulink. We will report the results of verifying the calculation accuracy of energy consumption calculation model by comparing with the results of real road test results in Utsunomiya City.

Key Words : EV and HV systems, state of charge (SOC), simulation/modeling, Energy Consumption, Light BEV

1. 緒 言

2050年のカーボンニュートラル実現に向けてBEVの普及が進められている。日本では軽BEVの販売数が増加傾向にある。軽BEVの試験車両においては、2024年度の販売台数が22,926台と国内のEV販売台数がトップとなっている⁽¹⁾。実路における一充電走行距離の向上を目的に、Matlab/Simulink⁽²⁾を用いた電気自動車の数値モデルと交通流シミュレーション (SUMO) を組み合わせて実路電費向上手法 (エコドライブ) を検討することが有効と考える⁽³⁾。先行研究では、Matlab/Simulinkを用いたBEVの車両モデルを構築し、CD (Chassis Dynamometer) を用いてモータ効率マップを適合した結果、実路走行試験のシミュレーションにおいて道路の勾配抵抗を考慮した電費差は、市街地、郊外、高速にて目標とした5%以下の電費精度を確認した⁽⁴⁾。本研究では、日本において販売台数が増加している軽BEVのエコドライブ手法を検討するために、CDを用いて軽BEVのモータ効率マップを作成しMatlab/Simulinkを用いた軽BEVの電費計算モデルを作成し、その精度検証した結果を報告する。

2. 実験方法

2・1 試験車両

試験車両を選定するにあたり、2024年の日本における販売台数がトップである軽BEVを試験車両 (日産サクラ) に選定した。表1に試験車両の車両諸元⁽⁵⁾を示す。

2・2 使用機器

WLTCモード試験を行うためにCDを用いた。CDは自動車の路上走行時の状態を屋内で再現する為の装置である。また、走行時の各種データを記録するため、外部診断機 (株式会社Astemo製HDM9000)⁽⁶⁾を使用した。

2・3 CD試験

CD試験における車両重量の設定について、WLTCの規定では車両重量+積載可能な重量に積載率を掛けたものを試験車両の重量として設定しているが、今回の試験では実路試験の重量に合わせた設定にするため、JC08モード試験で用いられていた車両重量+110kg (乗員2人を想定した重量) を試験車両の重量として設定し試験を行った。

2・4 実路走行試験

試験ルートを宇都宮市内に設定し、ドライバ3人で同じ時間帯に試験を行い、外部診断機を用いて各種走行データを得た。図1に宇都宮市内の走行ルートを示す。RDE (Real Driving Emissions) 規制におけるルート選定を参考に、赤で示す宇都宮環状線内の制限速度 40km/h 以下の部分を市街地、緑で示す環状線外の制限速度 60km/h 以下の部分を郊外、青で示す高速道路 (東北自動車道) の制限速度 100km/h 以下の部分を高速とそれぞれ定義し、全行程で走行時間約 1 時間弱、走行距離約 30km の実路試験を秋季に行った。また、試験開始時の車載バッテリーの SOC を 90%以下にして試験を行った。

Table 1 Test vehicle specifications

Drive system	FF
Model	ZAA-B6AW
Length (m)	3.395
Width (m)	1.475
Full height (m)	1.655
Vehicle weight (kg)	1070
Battery type	Lithium Ion Battery
Battery Voltage (V)	350
Battery Capacity	20
Motor model code	MM48
Motor maximum output (kW/rpm)	47/2302~10455
Motor maximum torque (Nm/rpm)	195/0~2302
Travel distance per full battery (km)	180 (WLTC mode)



Fig. 1 Test route of real driving test in Utsunomiya

3. 車両モデル

Matlab/Simulink の Powertrain Blockset は、パワートレインシステムモデルとして、ガソリンエンジン、ディーゼルエンジン、ハイブリッド、及び電気自動車などの、組み立て済みリファレンスアプリケーションである。

本研究の車両モデルにはバッテリー、モータ、車体のリファレンスモデルを使用している。また、このモデルには、ドライバモデル、コントローラ、バッテリー、モータ、車体、環境設定などが含まれている。

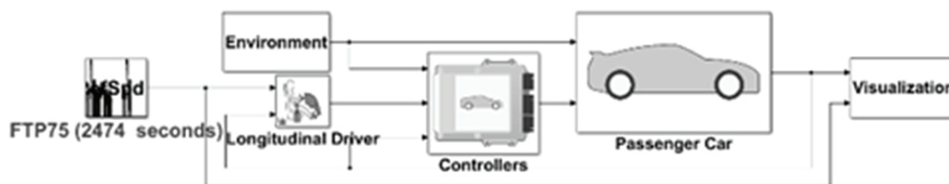


Fig. 2 Powertrain Blockset

4. モータ効率マップ適合試験

軽 BEV の電費計算モデルの構築を目的にしてモータ効率マップを適合するため、試験車両を用いて CD 試験を行った。試験はモータ回転数 500rpm から 7000rpm、モータトルク 5Nm から 140Nm まで条件で試験を行った。モータ効率は式 4-1 を用いて計算した。適合したモータ効率マップを表 2 に示す。このマップではモータ効率をパーセントで表記した。赤字は CD 試験にて適合したモータ効率である。黒字は同列また同行の赤のデータの間値を計算したものである。緑字は一番近い計算したデータと同じ値に設定したものである。

$$\text{モータ効率} = \frac{2\pi TN}{V \times I \times 60} \quad (4-1)$$

T: モータトルク (Nm), N: モータ回転数 (rpm), V: HV (High Voltage batt.) 電圧 (V), I: HV 電流 (A)

Table 2 Motor efficiency map for Light BEV

		Motor Torque (Nm)															
		0	5	10	15	20	30	40	50	60	80	100	120	140	160	180	195
Motor speed (rpm)	0	36.2	36.2	50.1	55.2	60.3	69.9	69.9	69.9	69.9	70.3	69.2	68.9	68.6	68.6	68.6	68.6
	500	36.2	36.2	50.1	55.2	60.3	69.9	69.9	69.9	69.9	70.3	69.2	68.9	68.6	68.6	68.6	68.6
	1000	54.3	54.3	61.7	68.1	74.5	78.3	80.0	80.6	81.2	81.4	80.6	80.4	80.1	80.1	80.1	80.1
	1500	59.9	59.9	67.7	72.7	77.7	80.9	82.3	83.1	83.9	84.6	84.1	84.0	83.9	83.9	83.9	83.9
	2000	65.5	65.5	73.6	77.3	80.9	83.5	84.6	85.7	86.7	87.8	87.7	87.6	87.6	87.6	87.6	87.6
	3000	69.8	69.8	78.0	80.9	83.8	87.0	88.1	88.9	89.7	90.4	91.5	91.8	92.0	92.0	92.0	92.0
	4000	73.0	73.0	79.6	82.6	85.6	89.1	90.1	90.8	91.5	92.4	92.4	91.9	93.2	93.2	93.2	93.2
	4500	74.5	74.5	80.5	83.5	86.6	90.2	91.2	91.8	92.4	93.4	92.9	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0
	5000	76.1	76.1	81.3	84.4	87.5	91.3	92.2	92.7	93.3	94.4	93.4	92.1	90.8	90.8	90.8	90.8
	6000	73.7	73.7	80.2	84.0	87.7	91.1	92.3	93.0	93.7	94.7	91.9	91.2	90.5	90.5	90.5	90.5
	7000	71.2	71.2	79.2	83.5	87.9	91.0	92.5	93.3	94.1	95.0	91.9	91.1	90.3	90.3	90.3	90.3
	8000	68.8	68.8	78.1	83.1	88.0	90.8	92.7	93.6	94.5	95.4	91.9	91.0	90.1	90.1	90.1	90.1
	9500	68.8	68.8	78.1	83.1	88.0	90.8	92.7	93.6	94.5	95.4	91.9	91.0	90.1	90.1	90.1	90.1

5. シミュレーション結果

5・1 WLTC モード走行シミュレーション

シミュレーションのモータ効率マップ以外の変更箇所を表 3 に示す. また, WLTC モード Class3b を用いた走行試験とそのシミュレーションの電費を表 4 に示す. 市街地における試験とシミュレーションの差は 15.87%となり, 郊外と高速, 全体においても目標とした 5%以上の差となった.

Table 3 Changed parameters

		Previous Simulation	New Simulation
Battery Model	Battery capacity(Ah)	114.286	57.143
	Parallel cells	2	1
Motor Model	Maximum output(W)	110000	47000
	Maximum torque(Nm)	320	195
Vehicle Body	Vehicle and Crew Weight(kg)	1600	1180
	Gear ratio	8.52	8.153
	Tire Radius(m)	0.3235	0.2705
	Air resistance coefficient	0.3456	0.3153
	Front projected area(m ²)	2.585	2.2275

Table 4 Comparison of energy consumption between experiment and simulation of WLTC

Area	Experiment (Wh/km)	Simulation (Wh/km)	Difference (%)
Urban	80.00	92.70	15.87
Rural	88.12	95.56	8.44
Highway	109.14	118.12	8.59
Combine	96.31	105.72	9.77

5・2 モータ効率マップ修正

表 2 の全区間に全体電費の差が 5%以内となるように係数 (1.057) をかけた. その後, シミュレーションを行ったが, 市街地の電費差が目標精度に満たなかったため, 表 2 の 0~50Nm, 0~2000rpm にあたる区間に係数 (1.053) をかけて修正した. 修正したモータ効率マップを表 5 に示す. 修正したモータ効率マップを用いたシミュレーション結果を表 6 に示す. 修正後の電費の差は WLTC モードの全ての区間で目標としていた 5%以下となった.

Table 5 Modified motor efficiency map

		Motor Torque (Nm)															
		0	5	10	15	20	30	40	50	60	80	100	120	140	160	180	195
Motor speed (rpm)	0	40.3	40.3	55.7	61.4	67.1	77.8	77.8	77.8	73.9	74.3	73.1	72.8	72.5	72.5	72.5	72.5
	500	40.3	40.3	55.7	61.4	67.1	77.8	77.8	77.8	73.9	74.3	73.1	72.8	72.5	72.5	72.5	72.5
	1000	60.5	60.5	68.7	75.8	82.9	87.1	89.0	89.7	85.8	86.1	85.2	85.0	84.7	84.7	84.7	84.7
	1500	66.7	66.7	75.3	80.9	86.5	90.0	91.6	92.5	88.7	89.5	88.9	88.8	88.7	88.7	88.7	88.7
	2000	72.9	72.9	81.9	86.0	90.0	92.9	94.2	95.3	91.7	92.9	92.7	92.7	92.6	92.6	92.6	92.6
	3000	73.8	73.8	82.5	85.5	88.6	91.9	93.1	94.0	94.9	95.6	96.7	97.0	97.3	97.3	97.3	97.3
	4000	77.2	77.2	84.2	87.4	90.6	94.2	95.3	96.0	96.8	97.7	97.7	97.2	98.5	98.5	98.5	98.5
	4500	78.8	78.8	85.1	88.3	91.5	95.4	96.4	97.0	97.7	98.7	98.2	97.3	97.3	97.3	97.3	97.3
	5000	80.5	80.5	85.9	89.2	92.5	96.5	97.5	98.0	98.6	99.8	98.7	97.4	96.0	96.0	96.0	96.0
	6000	77.9	77.9	84.8	88.8	92.7	96.3	97.6	98.3	99.1	100.0	97.2	96.4	95.7	95.7	95.7	95.7
	7000	75.3	75.3	83.7	88.3	92.9	96.2	97.8	98.6	99.5	100.0	97.1	96.3	95.5	95.5	95.5	95.5
	8000	72.7	72.7	82.6	87.8	93.1	96.0	98.0	98.9	99.9	100.0	97.1	96.2	95.3	95.3	95.3	95.3
	9500	72.7	72.7	82.6	87.8	93.1	96.0	98.0	98.9	99.9	100.0	97.1	96.2	95.3	95.3	95.3	95.3

Table 6 Comparison of energy consumption between experiment and simulation of WLTC using modified motor efficiency map

Area	Experiment (Wh/km)	Simulation (Wh/km)	Difference (%)
Urban	80.00	81.18	1.47
Rural	88.12	84.93	-3.62
Highway	109.14	108.85	0.06
Combine	96.31	95.55	-0.79

5・3 実路走行試験シミュレーション

修正したモータ効率マップを用いて実路走行試験の车速を再現する走行シミュレーションを行い電費を計算した。ドライバ A の電費計算結果を表 7 に、B の結果を表 8 に、C の結果を表 9 に示す。

ドライバ A の市街地における走行試験とシミュレーションの電費差は-3.08%となった。郊外においては 11.33% であり、目標とした 5%以上となった。高速における電費差は 3.83%、全体においては電費差が 1.48%と 5%以下となった。ドライバ B の市街地における試験とシミュレーションの差は 5.44%、郊外では電費差が 14.98%となり 5%以上となった。高速における電費差は 0.18%、全体においては 3.45%と 5%以下になった。ドライバ C の市街地における試験とシミュレーションの電費差は 10.02%、郊外では 17.63%と 5%以上になった。一方、高速においては-0.79%、全体では 4.01%と 5%以下になった。

Table 7 Comparison of real driving test energy consumption between experiment and simulation of driver A

Area	Experiment (Wh/km)	Simulation (Wh/km)	Difference (%)
Urban	92.16	89.32	-3.08
Rural	76.85	85.56	11.33
Highway	109.96	114.18	3.83
Combine	96.78	98.21	1.48

Table 8 Comparison of real driving test energy consumption between experiment and simulation of driver B

Area	Experiment (Wh/km)	Simulation (Wh/km)	Difference (%)
Urban	95.33	100.52	5.44
Rural	86.92	99.94	14.98
Highway	131.49	131.73	0.18
Combine	108.32	112.06	3.45

Table 9 Comparison of real driving test energy consumption between experiment and simulation of driver C

Area	Experiment (Wh/km)	Simulation (Wh/km)	Difference (%)
Urban	83.01	91.33	10.02
Rural	75.13	88.37	17.63
Highway	144.14	142.99	-0.79
Whole	106.58	110.86	4.01

5・4 勾配抵抗を用いた補正

今までの計算は走行試験の车速データのみでシミュレーションを行ったため、実際の走行における道路勾配(勾配抵抗)を考慮して計算していない。鹿沼 IC から宇都宮 IC までの高速の場合、高低差は 54.9m、距離は 10,791m、角度 0.29deg の勾配がある。

式 5-1 と式 5-2 を用いて各ドライバの勾配抵抗と消費電力量を計算すると、ドライバ A の場合の勾配抵抗は 60.61N、勾配抵抗による消費電力量は 181.69Wh、B の場合の勾配抵抗は 60.95N、勾配抵抗による消費電力量は 182.70Wh、C の場合の勾配抵抗は 59.98N、勾配抵抗による消費電力量は 179.79Wh となる。

上記勾配抵抗による消費電力量を高速区間に加えて再計算した結果、ドライバ A の実験値とシミュレーションの電費差は 17.34%となり、全体電費差は 7.64%となった。同じく B における電費差は 11.54%、全体電費差は 8.98%となり、C においては、電費差は 9.42%、全体電費差が 9.53%であった。勾配抵抗を考慮したシミュレーション電費は、考慮しないシミュレーション電費と比較してより悪化した結果となった。

$$F_{\text{gradient resistance}}(N) = m \times g \times \sin\theta \quad (5-1)$$

$$\text{Energy}(J) = F_{\text{gradient resistance}} \times \text{Distance} \quad (5-2)$$

6. 考察

実路走行試験の車速を用いたシミュレーション結果と実路試験との電費差は、勾配抵抗を考慮しない場合は全てのドライバにおいて郊外区間の精度は5%以上となり、勾配抵抗を考慮した場合においても高速区間と全体電費の実路試験との差が5%以上となった。これらの原因として、外部診断機で計測した試験車両のHV出力の検証を行っていないため、実際のHV電圧と電流に差異が生じていた可能性がある。また、シミュレーションにおける試験車両の回生運転開始SOCの確認を行っていないため、実際の回生運転の開始SOCがシミュレーションとは異なっていた可能性があることが考えられる。

7. 結 語

CDを用いてモータ効率マップを作成し、WLTCモード走行試験及び実路走行試験の車速を用いて軽BEVの電費を計算した結果、以下のことがわかった。

1. WLTCモード走行試験とシミュレーションの電費差は目標の5%以上となったため、CD試験で作成したモータ効率マップを修正した結果5%以下の計算精度となった。
2. 実路走行試験における各ドライバの実験値とシミュレーションの電費差は、郊外では5%以上となった。また、B、Cは市街地での電費差が5%以上となった。
3. 高速区間の道路勾配抵抗を考慮し電費計算を行った結果、各ドライバの高速、全体における実験値とシミュレーションの電費差は考慮しないシミュレーション電費差と比較して悪化した。
4. 電費差が目標とした5%以上となった原因として、外部診断機と実際の試験車両のHV出力値の検証を行っていないため、実際のHV電圧と電流に差異が生じていた可能性があること、また試験車両の回生運転開始SOCの確認を行っていないことが原因として考えられる。

文 献

- (1) 読売新聞オンライン, “国内の新車販売ランキング、EVでは日産「サクラ」がトップ”
<https://www.yomiuri.co.jp/economy/20250109-OYT1T50170/>(Accessed January 20, 2025)
- (2) Mathworks, “Powertrain Blockset Automotive Powertrain System Modeling and Simulation”
<https://www.mathworks.com/products/powertrain.html>(Accessed January 19, 2025)
- (3) Michael Melkior Kanugroho, Yuta Nakane, Taizo Otsuki, Akira Kato, ”Study of Actual Road Power Consumption Improvement Method for Electric Vehicle using Traffic Flow Simulation”, JSAE Annual Congress (Spring) (2023), pp.1-8
- (4) 鍾一泓, 藤坂世成, 加藤開, Michael Melkior Kanugroho, 加藤彰, “電気自動車の電費計算モデルの高精度化に関する研究”, 自動車技術会関東支部 2023 年度学術研究講演会(2024), pp.1-4
- (5) 日産自動車株式会社, “日産サクラ諸元表”
<https://www3.nissan.co.jp/vehicles/new/sakura/specifications.html> (Accessed January 9, 2025)
- (6) 株式会社 Astemo, “日立ダイアグノスティックツール HDM9000 製品概要”
https://www.hdm.hitachi-autoparts.co.jp/hdm_bin/topics/362/HDM-9000%E5%8F%96%E8%AA%AC202206.pdf
(Accessed January 9, 2025)

謝 辞

本研究を進めるにあたり、CD試験を行っていただき本研究に関してご支援、ご助言をいただきました株式会社小野測器アイデア実現ラボの皆様にご心からの感謝を申し上げます。また、試験車両を使用するにあたりご配慮いただいた日産レンタカー宇都宮不動前店の皆様にご心からの感謝の意を表します。

BEV の実路エコドライブ手法に関する検討 (第2報)

ー軽 BEV の実路電費特性ー

加藤 彰¹⁾ 尹 孝娟¹⁾ 木村勇稀¹⁾

Study on eco-driving method for BEV on real driving (Second Report) - Energy consumption characteristics of light BEV on road driving -

Akira Kato Yeon Hyo Yoon Yuki Kimura

With the goal of achieving carbon neutrality by 2050, the number of electric vehicles sold worldwide is increasing. Since light BEV sales which started selling in 2022 are increasing until 2023, it is important to consider the practical eco-driving method of light BEV in Japan. We analyzed the energy consumption of light BEV compared to standard BEV conducted until last year. Using light BEV, real road driving tests were conducted in Utsunomiya City in summer and autumn. The results of real road test were analyzed by comparing the energy consumption with standard BEV in urban, rural, and highway, with regard to the correlation between the average vehicle speed, air conditioner on/off, and time frequency of acceleration, deceleration, idling, and cruising, and methods for improving the energy consumption on real road were investigated.

KEY WORDS: EV and HV systems, state of charge (SOC), system technology, energy consumption, real drive emission, Light BEV, Eco-drive(A3)

1. ま え が き

2050 年カーボンニュートラルの達成に向け、世界の電気自動車の販売台数が増加している。BEV の普及に関しては充電設備の普及や、電力の供給量など解決しなければならない課題があり、一充電走行距離も大きな課題の一つである⁽¹⁾。これまでの研究で、BEV の実路電費を向上させる(エコドライブ)には市街地と郊外においては走行車速を上げ、停車時間と加速頻度を減らして一定車速で走行し、高速においては走行車速を下げることで、外気温度が低い、または高い時は AC (Air Conditioner) 使用を抑えることが有効であり⁽²⁾、アクセルペダルのみで走行可能なワンペダル走行は市街地のみ実路電費が向上する可能性があることがわかった⁽³⁾。

2022 年から発売を開始した軽 BEV の販売台数は増加しているため、日本において軽 BEV の実路におけるエコドライブ手法を検討することは重要であると考えます。

本研究では軽 BEV の実路電費について昨年までに実施した普通車 BEV と比較して解析する。軽 BEV を用いて宇都宮市内において実路走行試験を夏季と秋季に実施し、この実路走行結果を平均車速、AC 使用の有無、加速、減速、アイドル、クルーズの各時間頻度と電費との相関について市街地、郊外、高速に別けて普通車 BEV と比較することにより解析し、軽 BEV のエコドライブ手法について検討することを本研究の目的とする。

2. 実 験 方 法

2.1. 試験車両

試験車両を選定するにあたり、日本における販売台数が 2022 年以降 2024 年 12 月時点で約 8 万 7841 台と国内で最も多い軽 BEV を試験車両 A (日産サクラ、走行距離 13,325km) に選定した。また、日本における販売台数が 2010 年 12 月以降 2024 年 7 月時点で約 100 万台以上と国内の BEV の中で代表的である普通車 BEV として試験車両 B (日産リーフ ZE1 型、走行距離 19,483km) に選定した。表 1, 2 に試験車両 A と B の諸元を示す⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

2.2. 計測ツール

走行中の各種データをリアルタイムで記録するために外部診断機 (Astemo 製 HDM9000)⁽⁶⁾を使用した。今回の試験では HDM9000 で計測した HV (High Voltage) バッテリーの消費電力量と走行距離から電費を算出した。

2.3. 実路走行試験

試験ルートを宇都宮市内に設定し、ドライバ 3 人で同じ時間帯に試験を行い、HDM9000 を用いて各種走行データを得た。図 1 に宇都宮市内の走行ルートを示す。RDE (Real Driving Emissions) 規制におけるルート選定を参考に、赤で示す宇都宮環状線内の制限速度 40km/h 以下の部分を市街地、緑で示す環状線外の制限速度 60km/h 以下の部分を郊外、青で示す高速道路 (東北自動車道) の制限速度 100km/h 以下の部分を高速とそれぞれ定義し、全行程で走行時間約 1 時間弱、走行距離約 30km の実路試験を夏季と秋季に行った。

1) 帝京大学(320-8551 栃木県宇都宮市豊郷台 1-1)

Table 1 Test vehicle A specifications

Drive system	FF
Model	ZAA-B6AW
Length (m)	3.395
Width (m)	1.475
Full height (m)	1.655
Vehicle weight (kg)	1070
Battery type	Lithium Ion Battery
Battery Capacity (Kwh)	20
Motor model code	MM48
Motor maximum output (kW/rpm)	47/2302~10455
Motor maximum torque (N・m/rpm)	195/0~2302
Travel distance per full battery (km)	180 (WLTC mode)

Table 2 Test vehicle B specifications

Drive system	FF
Model	ZAA-ZE1
Length (m)	4.48
Width (m)	1.79
Full height (m)	1.54
Vehicle weight (kg)	1490
Battery type	Lithium Ion Battery
Battery Capacity (Kwh)	40
Motor model code	EM57
Motor maximum output (kW/rpm)	110/3283~9795
Motor maximum torque (N・m/rpm)	320/0~3283
Travel distance per full battery (km)	322 (WLTC mode)



Fig.1 Test route of real driving in Utsunomiya

3. 実験結果

3.1. 実路試験

夏季にACオンで試験を行った各ドライバの区分ごとの電費を表3に示す。外気温や湿度等は気象庁が発表している情報から求めた⁽⁷⁾。電費について、最も良い結果となったのはドライバBの市街地で100.49Wh/kmであった。また全区画平均でドライバBが最も良い電費となったため、ドライバBを基準とし、ドライバAとCの全区間の電費を比較するとドライバBとAでは、Bのほうが21.02%良い結果となった。ドライバBとCでは、Bのほうが12.91%良い結果となった。

秋季にACオフで実験を行った各ドライバの区分ごとの電費

を表4に示す。電費について、最も良い結果となったのはドライバCの郊外で75.13Wh/kmであった。また全区画平均でドライバBが最も良い結果となったため、ドライバBを基準とし、ドライバAとCの全区間の電費を比較するとドライバBとAでは、Bのほうが10.66%良い結果となった。ドライバBとCでは、Bのほうが9.20%良い結果となった。

Table 3 Energy consumption of driving tests on summer with AC

Driver		A	B	C	Average
Date		2024/7/29	2024/7/30	2024/7/31	
DAY of the week		Monday	Tuesday	Wednesday	
Weather		Sunny	Sunny	Sunny	
Outside air temperature (°C)		35.00	33.40	32.10	33.50
Energy consumption (Wh/km)	Urban	162.69	100.49	123.52	128.90
	Rural	122.14	107.14	102.73	110.67
	Highway	145.53	125.32	153.29	141.38
	Total	147.19	116.25	133.48	132.31

Table 4 Energy consumption of driving tests on autumn without AC

Driver		A	B	C	Average
Date		2024/10/16	2024/10/15	2024/10/17	
DAY of the week		Wednesday	Tuesday	Thursday	
Weather		Cloudy	Sunny	Sunny	
Outside air temperature (°C)		23.60	24.90	25.10	24.53
Energy consumption (Wh/km)	Urban	95.33	92.16	83.01	90.17
	Rural	86.92	76.85	75.13	79.63
	Highway	131.49	109.96	144.14	128.53
	Total	109.77	98.07	108.01	105.29

4. 考察

4.1. 平均車速と電費の関係について

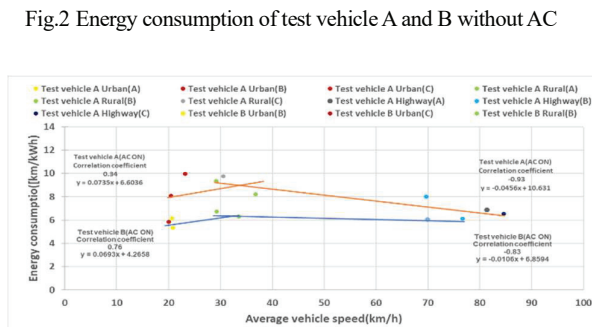
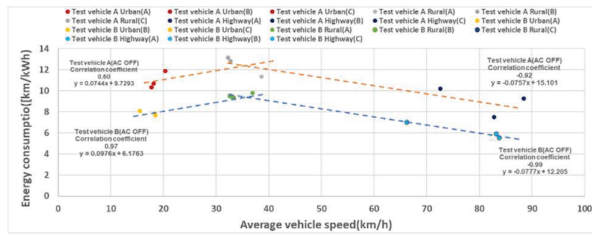
図2にACオフ時の試験車両AとBの各走行区分の平均車速と電費を示す。図3にACオン時の試験車両AとBの各走行区分の平均車速と電費を示す。相関の有無の基準を±0.5に設定し、0.5以上で正の相関、-0.5以下で負の相関があると定義し解析を行った。

図2よりACオフ時の試験車両Aの市街地、郊外、高速の速度域での電費と平均車速の相関係数は0.60であり正の相関がみられた。しかし、Bの市街地、郊外、高速の速度域での電費と平均車速の相関係数は0.97であり相関が強い。また、ACオフ時の試験車両Aの郊外、高速の速度域での相関は-0.92、Bの郊外、高速の速度域での相関は-0.99であり、各車両共に強い負の相関がみられた。

以上のことから、ACオフ時の市街地と郊外、郊外と高速において平均車速と電費に相関があるとなると、試験車両AとBは平均車速に対して同じ山形になっていると考えられる。したがって、市街地及び郊外では電費を向上させるには平均車速を30~40km/h付近で走行することが有効であり、高速の速度域では車速を下げるのが有効であり、普通車BEVと軽BEVは平均車速に対して同じ電費特性であると考えられる。

図3よりACオン時の市街地、郊外、高速の速度域での軽BEVの電費と平均車速の相関係数は0.34であり相関が弱く、普通車

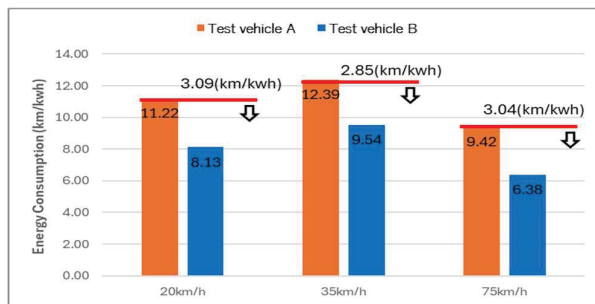
BEV 相関係数は 0.76 であり車両間で異なる電費特性がみられた。



4.2. 試験車両 A と B の電費比較

図 2 から平均車速 20km/h を市街地、35km/h を郊外、75km/h を高速のそれぞれの代表的な車速であるとして設定した。図 4 に各代表車速における試験車両 A と B の電費を示す。試験車両 A と B の各車速における電費の差は 20km/h で 3.09km/kwh, 35km/h で 2.85km/kwh, 75km/h で 3.04km/kwh, 全区間平均で約 3.00km/kwh の電費差が発生した。

前面投影面積は、試験車両 B は 2.48m^2 (諸元値)⁽⁸⁾であり、試験車両 A は諸元値の記載ないためエクセルアプリ⁽⁹⁾にて求めた結果 2.23m^2 である。車両重量は軽 BEV が普通車 BEV より 420kg 軽い。したがって、空気抵抗係数が同じであると仮定すると空気抵抗は試験車両 A は B に比べ 10.08%少なく、転がり抵抗係数が同じであると仮定すると転がり抵抗は、試験車両 A は B に比べ 28.19%少ないことにより走行抵抗が小さくなるため電費差が生じたものと考えられる。



4.3. AC 使用が電費に及ぼす影響

試験車両 A と B の AC 使用による電費の低下率を図 5 に示す。試験車両 B の高速を除いて、試験車両 A の AC 使用による電費低下率は B より平均で 14.90%小さい。試験車両 A の車室内体積を先と同じ手法にて車室内側面積を求めて、車室内幅とから計算にて求めた。この手法による車室内体積は試験車両 A は 2.12m^3 (計算値)であり、B は 3.28m^3 (諸元値)⁽⁸⁾である。したがって電費差は、試験車両 A の車室内体積は B より 35.37%小さいことにより AC 作動負荷が低減されたことによるものと考えられる。

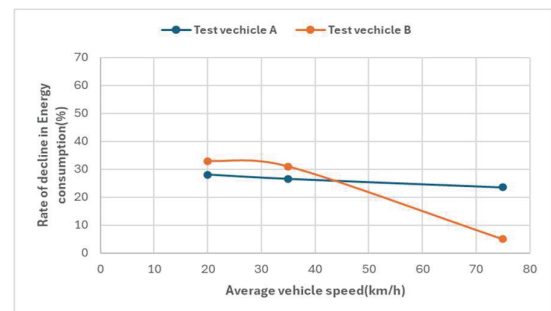


Fig.5 Comparison of energy consumption decline rate between test vehicle A and B

4.4. 走行状態と電費の関係

加減速の判定方法は、これまでの判定手法と同様に加速度が 0.3m/s^2 以上場合は加速、 -0.3m/s^2 以下を減速、ブレーキスイッチがオンであり車速が 0km/h の場合はアイドル、加速度が -0.3m/s^2 から 0.3m/s^2 以内であり車速が 1km/h 以上の場合はクルーズと定義した。図 6 に軽 BEV と普通車 BEV の AC オフ時における高速を除いた実路試験での加速、減速、クルーズ、アイドルそれぞれの時間頻度と電費の相関係数を示す。

加速頻度と電費の相関について、軽 BEV における相関係数は 0.59、普通車 BEV では 0.50 と正の相関がみられた。これは、加速時間頻度が長くなると相対的に減速時間頻度が長くなるため、回生ブレーキの使用頻度が高くなるためだと考える。

減速頻度と電費の相関について、軽 BEV における相関係数は 0.56、普通車 BEV では 0.80 と正の相関がみられた。このことから、減速時間頻度が長くなると回生ブレーキにより電力が回生され電費が向上したのと考えられる。軽 BEV が普通車 BEV より相関が弱くなるのは車両重量の差により運動エネルギーが軽 BEV の方が 28.19%低いいため、回生電力量が少なくなることによるものと考えられる。したがって、普通車 BEV で効果が確認されたワンペダル走行の電費向上効果は少なくなるものと考えられる。

アイドル頻度と電費関係について、軽 BEV における相関係数は -0.71 、普通車 BEV では -0.95 と負の相関が強い。この原因はアイドル時のバッテリー温度調整による電力消費によるもの

のと考えられる。

クルーズ頻度と電費相関について、軽 BEV における相関係数は 0.73、普通車 BEV では 0.90 と正の相関が強い。これは加速抵抗が少なくなるためと考える。

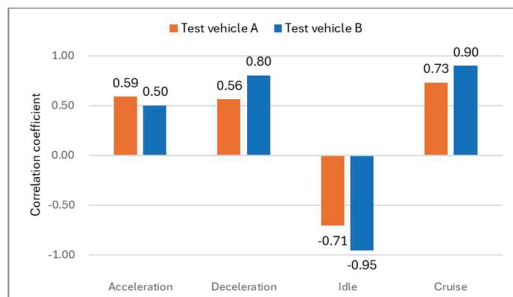


Fig.6 Correlation coefficient of each driving state of test vehicle A and B

5. まとめ

(1) 軽 BEV の AC オフ時の市街地、郊外の速度域での電費と平均車速の相関係数は 0.60 の正の相関があり、郊外、高速の速度域での相関は-0.92 で負の相関が強い。したがって、市街地及び郊外では電費を向上させるには平均車速を 30~40km/h 付近で走行することが有効であり、高速の速度域では車速を下げるが有効であり、普通車 BEV と軽 BEV は平均車速に対して同じ電費特性であると考えられる。

(2) AC オフ時の全区間で普通車 BEV より軽 BEV が平均で約 3.00km/kwh の実路電費が良く、この原因は軽 BEV は普通車 BEV に対して車両重量が 28.19%軽く、前面投影面積が 10.08%少ないことにより、走行抵抗が小さいことが原因と考える。

(3) 高速を除いて、軽 BEV の AC 使用による電費低下率は普通車 BEV より小さい。この原因は軽 BEV の車室内体積が普通車 BEV より 35.37%小さいことにより、AC 作動負荷が低減されたためと考える。

(4) 加速頻度と電費の相関について、軽 BEV における相関係数は 0.59、普通車 BEV では 0.50 と正の相関がみられた。

(5) 減速頻度と電費の相関について、軽 BEV における相関係数は 0.56、普通車 BEV では 0.80 と正の相関がみられた。このことから、減速時間頻度が長くなると回生ブレーキにより電力が回生され電費が向上したのと考え。軽 BEV が普通車 BEV より相関が弱くなるのは車両重量の差により、運動エネルギーが軽 BEV の方が 28.19%低いため、回生電力量が少なくなるためと考える。

(6) アイドル頻度と電費の相関について、軽 BEV における相関係数は-0.71、普通車 BEV では-0.95 と負の相関が強い。この原因はアイドルの時のバッテリー温度調整による電力消費によるものと考え。

(7) クルーズ頻度と電費の相関について、軽 BEV における相関係数は 0.73、普通車 BEV では 0.90 と正の相関が強い。これ

は加速抵抗が小さくなるためと考える。

以上により、軽 BEV のエコドライブ手法としては普通車 BEV と同様に AC オフ時は市街地及び郊外では車速を上げ 30~40km/h で走行し、高速においては車速を下げるが有効であり、また可能な限り AC 使用を抑えることが電費向上に有効であると考え。走行状態と電費の関係については、減速頻度と電費の相関は普通車 BEV より弱く、これは車両重量の差から回生電力量が小さくなるためと考えられ、普通車 BEV で効果が確認されたワンペダル走行の電費向上効果は少なくなるものと考えられる。

参考文献

- (1) 経済産業省：日本の EV 充電の状況と課題
<https://t.ly/IzCK7> (Accessed Jan 08, 2025)
- (2) 中根悠太, Enes Muhammad Kaplan, Michael Melkior Kanugroho, 大槻泰三, 加藤彰：モード試験と実路試験による電気自動車の電費向上に関する研究, 自動車技術会関東支部 2023 年度学術研究講演会, p. 1-4 (2023)
- (3) 加藤開, 藤坂世成, 鐘一弘, 加藤彰：BEV のワンペダル走行が電費に与える影響に関する研究, 自動車技術会関東支部 2024 年度学術研究講演会, p. 1-4 (2024)
- (4) 日産自動車株式会社：日産サクラ諸元表
<https://www3.nissan.co.jp/vehicles/new/sakura/specifications.html> (Accessed Dec 23, 2024)
- (5) 日産自動車株式会社：日産リーフ諸元表
<https://www3.nissan.co.jp/vehicles/new/leaf/specifications.html> (Accessed Dec 23, 2024)
- (6) Astemo アフターマーケットジャパン株式会社
<https://www.aftermarket.astemo.com/japan/ja/automotive/> (Accessed Aug 18, 2025)
- (7) 気象庁宇都宮気象台
<https://www.jma.go.jp/jma/index.html> (Accessed Dec 23, 2024)
- (8) Nissan USA : Nissan leaf brochure
<https://www.nissanusa.com/content/dam/Nissan/us/vehicle-brochures/2018/2018-leaf-brochure-en.pdf>
- (9) Vector : 長さ・面積測定
<https://www.vector.co.jp/soft/dl/winnt/art/se521250.html> (Accessed Aug 18, 2025)

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご支援、ご助言をいただきました株式会社小野測器アイデア実現ラボの皆様へ心からの感謝を申し上げます。

また、試験車両を借用するに当たりご配慮いただいた日産レンタカー宇都宮不動産店の皆様へ心から感謝の意を表します。

研 究 ノ ー ト

黒沢良夫

ヴァイオリンのニスの影響とFE解析*

○黒沢良夫（帝京大）

1 はじめに

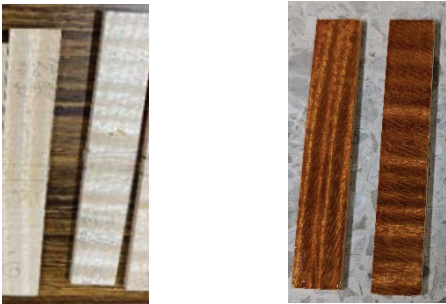
現在製作されているヴァイオリンは職人の手によって作られているものが多い。職人の勘と経験によって製作・調整されているため、ヴァイオリンの板厚等は一つ一つの楽器で異なっており、弾いた際に鳴る音も当然異なる。そのため、構造（形状や板の厚さ）・材料をどのように変更したら音（振動）にどのような影響が出るか、楽器の違いによる音色の違いを実験計測や有限要素モデル (FE モデル) を用いて研究し、将来的には、ヴァイオリンの製作技術・調整技術を数値化することを目標としている。

ヴァイオリンの表板・裏板・側板等には楽器の保護のためニスが塗られているが、ニスの有無によって音色が大きく変わるのは周知のとおりである。本研究では、表板・裏板の作成時の端材から梁状のサンプルを作成し、ニスを塗る前と塗った後による振動特性を比較し、それぞれの剛性値を FE モデルを用いて同定した。また、表板単体のニスを塗る前と塗った後の振動特性を比較し、梁から同定した剛性値を用いた FE モデルの振動特性の計算と実験の比較結果を報告する。

2 木材の剛性値の同定

初めに、ヴァイオリンの表板・裏板を作成した端材から梁 (Fig.1) を作り、振動実験を行った。なお製作した梁は、木目方向と等しいもの・木目に直角なもの (年輪方向) を表板 (spruce 製)・裏板 (maple 製) 2 本ずつ製作し、ニスを塗る前とニスを塗った後について梁の下側の中心を力センサーで固定して加振器で上下加振し、梁の 4 点の振動をレーザードップラー振動計を用いて周波数伝達関数 (FRF) を計測した。また、Altair HyperMesh を用いて梁の FE モデルを作成し、論文⁽¹⁾⁽²⁾から得た spruce, maple の剛性値を初期値として応答計算を行い、実験結果の FRF と合わせこみをして (Fig.2) 剛性値を同定した。同定

した剛性値を表 1 に示す。spruce に関しては、ニス有りの方がおよそ大きい値となったが、maple は方向によって異なる傾向となった。なお、ポアソン比はニスの有無で同じ値とした。



a. before applying varnish b. after applying varnish
Fig.1 spruce beam

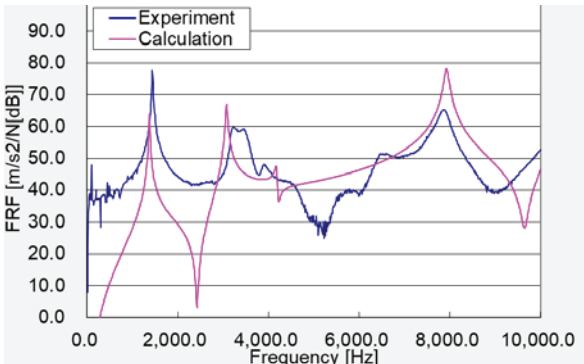


Fig.2 Comparison of experimental and calculated FRF results for spruce with varnish

Table 1 Stiffness value and poisson's ratio of spruce and maple with/without varnish

	spruce		maple	
	without varnish	with varnish	without varnish	with varnish
E_x (Pa)	1.22E+10	1.26E+10	1.13E+10	9.04E+09
E_y (Pa)	9.50E+08	1.24E+09	1.66E+09	1.50E+09
E_z (Pa)	5.24E+08	1.05E+10	8.19E+08	1.23E+09
G_{xy} (Pa)	7.80E+08	5.46E+08	1.40E+09	1.45E+09
G_{yz} (Pa)	7.43E+08	8.18E+08	1.03E+09	8.24E+08
G_{xz} (Pa)	3.66E+07	7.31E+07	2.65E+08	1.32E+09
μ_{xy}	3.72E-01	3.72E-01	4.24E-01	4.24E-01
μ_{yz}	4.35E-01	4.35E-01	7.74E-01	7.74E-01
μ_{xz}	4.67E-01	4.67E-01	4.76E-01	4.76E-01

3 表板の実験結果と計算結果

Fig.3 に今回の計測で用いたニスを塗る前と塗った後の表板を示す。これらを梁と同様

にレーザードップラー振動計 (Fig.4) を用いて FRF を計測した. Fig.5 にニスの有無しの FRF を比較した結果を示す. 800Hz 以下では、ニスにより剛性が Up し固有振動数が高くなっていることが確認できた。800Hz 以上では波形が大きく変化しており、1800Hz までニス有りの方が振動し易い結果となった。Fig.6 にニスありの場合の実験結果と FE モデルの計算結果の比較を示す。計算結果はおおよそ実験結果を再現できていることが確認できた。

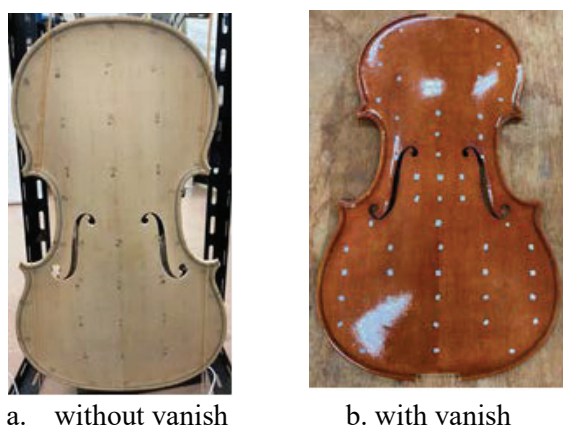


Fig.3 Top plate of violin with/without vanish



Fig.4 Experimental setup of FRF

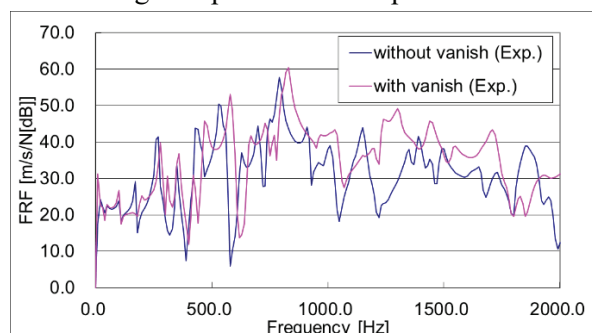


Fig.5 Comparison of FRF experimental results with and without varnish on the top plate

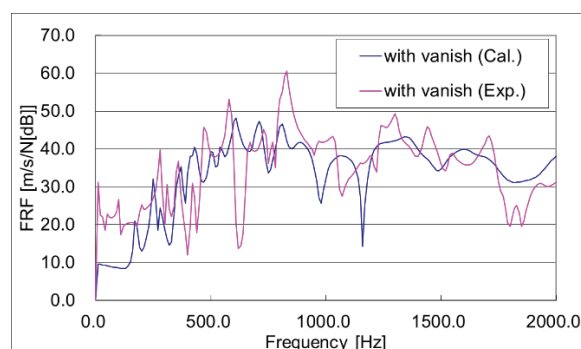


Fig.6 Comparison of experimental and calculated FRF of varnished top plate

4 おわりに

ヴァイオリンのニスの影響を分析するために、表板と裏板の端材から梁を作成し、FE モデルの応答計算結果から剛性値を同定した。同定した剛性値を用いて表板の FE モデルの計算を行い、振動計測結果と比較し、おおよそ再現できることを確認した。

謝辞

今回の研究で用いたヴァイオリンの表板は、伊藤丈晃ヴァイオリン工房に作成頂いた。深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 横山真男, 日本音響学会講演論文集 (春), 1203-1206, 2021.
- [2] Green, D.W. *et al.*, General technical report FPL; GTR-113, 4.1-4.45, 1999.
- [3] 黒沢良夫, 日本音響学会講演論文集 (秋), 3-9-8, 2021.
- [4] 黒沢良夫, 日本音響学会講演論文集 (春), 2-9-2, 2022.
- [5] 黒沢良夫ほか, 日本音響学会講演論文集 (秋), 1-1-7, 2022.
- [6] 黒沢良夫, 日本音響学会講演論文集 (秋), 2-4-9, 2023.
- [7] 黒沢良夫, 日本音響学会講演論文集 (春), 1-5-10, 2024.

C34 C35 D46 E53

Kelvin セルを用いたウレタンフォームの有限要素モデル化と吸音解析

○黒沢 良夫 金久保 諄 長谷川 涼太 石橋 圭太 伊東 浩幸 鈴木 啓介
(帝京大) (帝京大) (帝京大) (東ソー) (東ソー) (東ソー)

Finite element modeling and sound absorption analysis of urethane foam using Kelvin cells

Yoshio Kurosawa Syun Kanakubo Ryota Hasegawa Keita Ishibashi Hiroyuki Itou Keisuke Suzuki
(Teikyo Univ.) (Teikyo Univ.) (Teikyo Univ.) (Tosoh Co.,Ltd.) (Tosoh Co.,Ltd.) (Tosoh Co.,Ltd.)

吸音用のウレタンフォームは骨格（膜）と空洞からなり、空洞同士は膜が破れた穴でつながっているが、構造が非常に複雑である。吸音特性を予測計算できる Biot-Allard モデルでは、計算に必要な Biot パラメータの取得が困難で、実際の材料開発に結び付きにくい。本研究では、発泡系吸音材について Kelvin セルを用いて音響解析を行った。空洞部分と穴を有限要素でモデル化し、吸音特性を計算した。パラメータスタディから得られた知見について報告する。

Key words: Acoustic, Sound absorption, CAE, FEM

1. はじめに

自動車・住宅・家電等の騒音低減のため、吸音用の発泡ポリウレタンフォームが用いられている。図 1 に音響管計測用に切り出した直径 29mm、高さ 5mm の円柱状の吸音用ウレタンフォームの写真を示す。骨格や壁と空洞からなるセル構造をしていて、空洞同士は壁の破れた部分や壁の穴でつながっているが構造が非常に複雑である。一般的にウレタンフォームの吸音率を予測計算する場合、伝達マトリックス法による Biot-Allard モデル⁽¹⁾が用いられるが、計算で用いられる Biot パラメータは専用の計測装置で計測する必要がある。また、計算検討では Biot パラメータと吸音率の関係や、特定周波数の吸音率の最大化等が導き出せるが、実際の材料開発で用いる指標（セルの大きさ、骨格や壁の厚さ、壁の穴あき具合など）を調整することによって Biot パラメータの変更を実現するのは困難である。

本研究では発泡系吸音材の吸音特性について簡易化された微視構造モデル（Kelvin セル）⁽²⁾⁻⁽⁵⁾を用いて、Biot パラメータは用いず FE モデルによる垂直入射吸音率の予測計算を行った。Kelvin セルとは、セルの表面積を最小にして最も効率よく空間を充填できる構造で、正六角形 8 面、正方形 6 面からなる 14 面体である。図 1 のウレタンフォームの 1 つのセルを Kelvin セルとみなし、Kelvin セル内部の空洞部分を有限要素でモデル化し、空

洞の繋がりや穴として音響解析を実施した。音響管による垂直入射吸音率計測を模した FE モデルで吸音率を計算し、Kelvin セルのセルの大きさ、骨格や壁の厚さ、穴の数、穴径を変更した場合の計算結果について報告する。

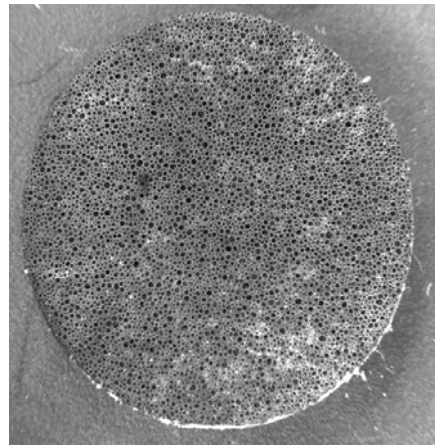


Fig.1 Test piece of urethane foam (φ29mm)

2. 計算手法と有限要素モデル

2・1 計算手法

音響空間の計算は一般的な Helmholtz 方程式⁽¹⁾を用いた。セルとセルの空間がつながっている穴については以下のモデルを用いた。穴音の波長に対して極端に狭い空間では、空気の有する粘性により壁面境界近傍において粘性減衰が生じる。また、音の伝播過程において膨張・圧縮により発生し

た熱は、空気熱容量に比して大きい壁面材料に伝達し散逸する．そのため、微小な空間を伝播する音波については、微小振幅を仮定して線形化した Navier-Stokes 方程式、熱伝導方程式、質量保存則および状態方程式の 4 つの式を基本支配方程式として考えるのが一般的である⁶⁾．変位・圧力・密度・温度の変動を微小として方程式を線形化すると式 (1) ~ 式 (3) を得る．

$$\rho_0 j\omega \mathbf{v} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{v} + \frac{1}{3} \mu \nabla (\nabla \cdot \mathbf{v}) \quad (1)$$

$$\kappa \nabla^2 \tau = j\omega \rho_0 C_p \tau - j\omega p \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{v} + j\omega \left(\frac{\delta}{\rho_0} - \frac{\tau}{T_0} \right) = 0 \quad (3)$$

ρ_0 : 空気の密度, j : 虚数単位, ω : 角周波数, p : 音圧変動, μ : 空気の粘性係数, $\mathbf{v}$: 速度変動, κ : 空気の熱伝導率, τ : 温度変動, C_p : 定圧比熱, δ : 密度変動である．今回は計算負荷を考慮し、管などの断面内で音圧が一定と仮定し、断面内において平均化し 音圧のみを未知数にする計算手法⁽⁷⁾⁽⁸⁾を用いると計算負荷が低減できる．

2・2 有限要素モデル

図 2 に今回作成した音響解析用の Kelvin セルの FE モデルを示す．図中黄色い部分が骨格、赤・茶色・水色・紫部分が骨格の壁、白い部分が壁に空いた穴を示し、穴により kelvin セル内の空気が隣のセルの空気と連続している．セルの大きさは今回は 0.5mm と 0.666 mm とし、ウレタンの骨格と壁は厚さ 2.0 μm , 3.5 μm , 5.0 μm , 16.7 μm とした．図 2a は 1 つのセルにつき 2 つの正六角形の面に穴があいたモデル（裏側も含め穴 2 個）を示す．図 2b は 1 つのセルにつき裏側も含め穴 4 個で穴が斜めに空いているモデル、図 2c は穴 4 個で穴が縦に空いているモデル、図 2d は穴 8 個のモデルである．穴の直径は 0.05mm, 0.08mm, 0.12mm, 0.16mm とした．図 3 は音響管計測で用いたテストピースをモデル化するため、図 2d のモデルを 22×22×7.5 個積み上げて実際の音響管計測で用いたサンプルサイズである直径 15mm, 厚さ 5mm の円柱状にした FE モデルで、約 489 万要素である．このモデルに音響管内部空気の FE モデル化を組み合わせ垂直入射吸音率計測状態をモデル化し、計測同様上側から平面波の音波を入力し、入射波と反射波のエネルギー一比から垂直入射吸音率を計算した．今回のモデ

ルでは常温状態（気温 22℃）として、空気中の音速は 343.5m/s, 空気の密度は 1.205kg/m³, 損失係数は 0.001 とした．また、開口率は 48.5% とした．開口率とは、ウレタンフォームの切断面における切断面全面積に対する穴面積（図 1 の黒い部分）の比である．

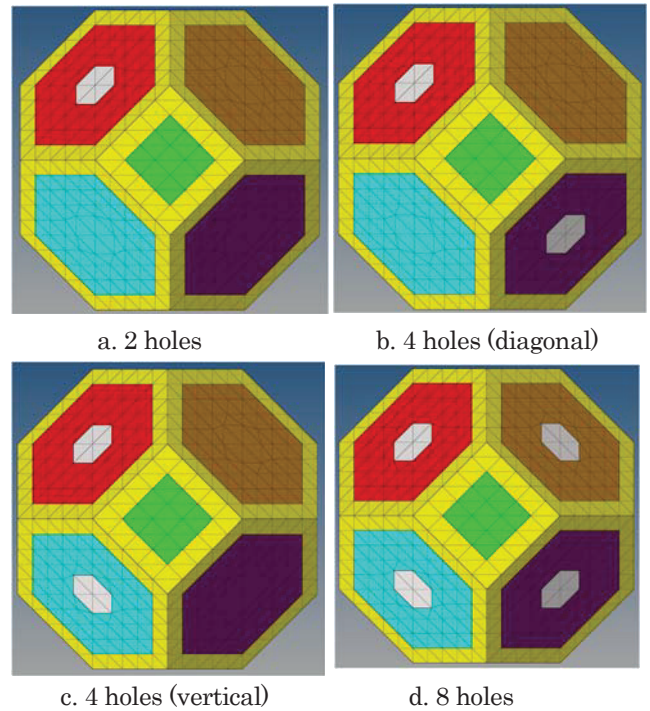


Fig.2 Kelvin cell by FE model

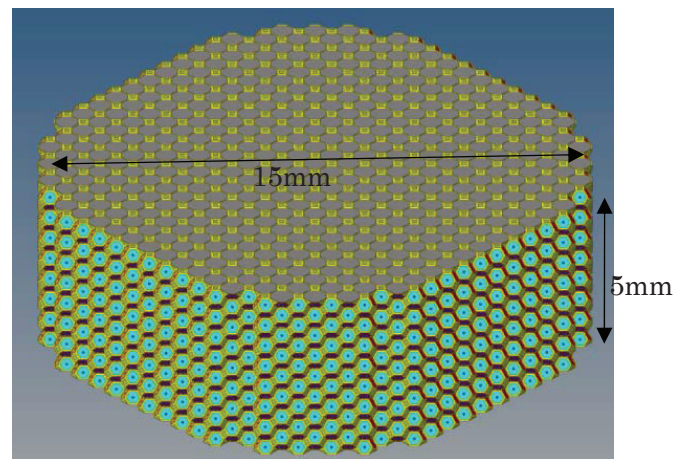


Fig.3 FE model of polyurethane foam for cylindrical stacked Kelvin cell

3. 実験結果と計算結果

図 4 に骨格と壁の厚さ 3.5 μm , 穴の数 8 個, 穴径 0.08mm の場合でセルの大きさを変えた Kelvin cell の吸音率の計算結果の比較を示す．図中紫線がセルサイズ 0.5mm, 緑線がセルサイズ 0.666mm

の吸音率計算結果である。セルサイズを変更すると、セルサイズが小さい方が吸音率が高い結果となった。

図5にセルサイズ 0.666mm、穴の数8個、穴径 0.08mm の場合で骨格と壁の厚さを変えた Kelvin cell の吸音率の計算結果の比較を示す。赤線が厚さ $2.0\mu\text{m}$ 、緑線が厚さ $3.5\mu\text{m}$ 、青線が厚さ $5.0\mu\text{m}$ 、黒線が厚さ $16.7\mu\text{m}$ である。壁の厚さが大きくなるに従って吸音率のピーク周波数が低周波に変化することが確認できた。

図6に壁のセルサイズ 0.666mm、骨格と壁の厚さ $5.0\mu\text{m}$ 、穴径 0.08mm の場合で穴の数を変えた Kelvin cell の吸音率の計算結果を示す。赤線が穴の数2個(図2a)、黄色線が穴の数4個(図2b)、オレンジ線が穴の数4個(図2c)、青線が穴の数8個(図2d)である。穴の数が増えると吸音率のピーク周波数が高周波に変化する結果となった。また、穴の数が同じでも若干異なる吸音率となった。これは、音の通り抜ける経路の違いによるものと考えられる。

図7に壁のセルサイズ 0.666mm、骨格と壁の厚さ $5.0\mu\text{m}$ 、穴の数8個の場合で穴径を変えた Kelvin cell の吸音率の計算結果を示す。黒線が穴径 0.05mm、青線が穴径 0.08mm、オレンジ線が穴径 0.12mm、赤線が穴径 0.16mm である。穴径が大きくなると吸音率のピーク周波数が高周波に変化する結果となった。

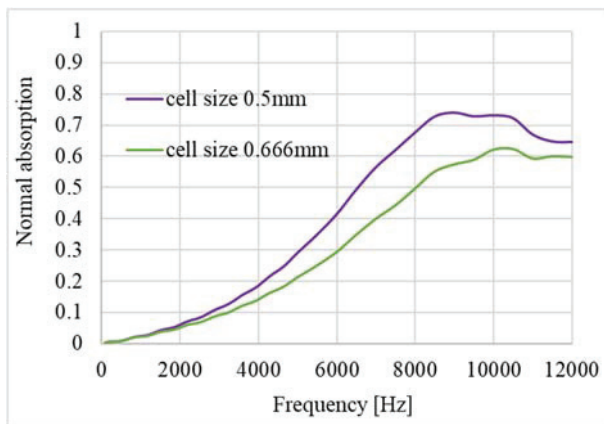


Fig.4 Comparison of sound absorption calculation results due to differences in cell size (wall thickness : $3.5\mu\text{m}$, number of holes : 8, hole diameter : 0.08mm)

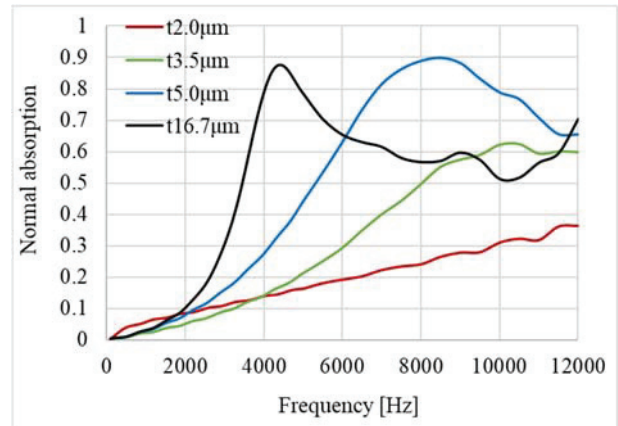


Fig.5 Comparison of sound absorption calculation results due to differences in wall thickness (cell size : 0.666mm, number of holes : 8, hole diameter : 0.08mm)

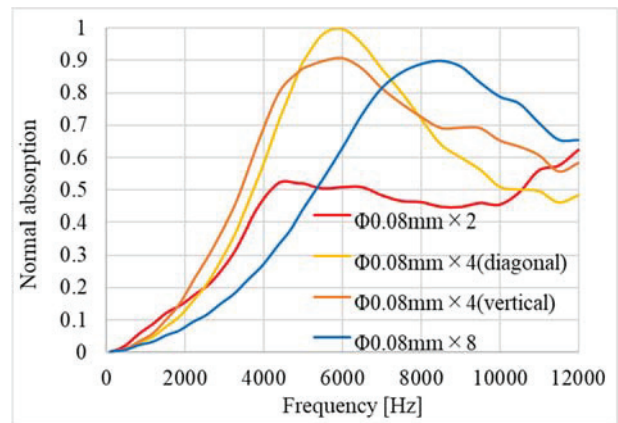


Fig.6 Comparison of sound absorption calculation results due to differences in number of holes (cell size : 0.666mm, wall thickness : $5.0\mu\text{m}$)

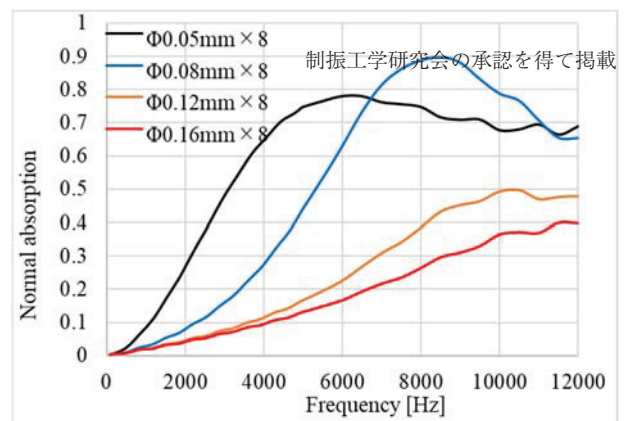


Fig.7 Comparison of sound absorption calculation results due to differences in hole diameter (cell size : 0.666mm, wall thickness : $5.0\mu\text{m}$)

4. まとめ

Kelvin セルを用いてポリウレタンフォームの構造を有限要素モデル化し、垂直入射吸音率を計算した。セルの大きさ、骨格や壁の厚さ、穴の数、穴径のパラメータスタディを行い、以下の知見を得た。

- ・セルサイズを変更(0.5mm→0.666mm)すると、セルサイズが小さい方が吸音率が高い。

- ・壁の厚さが大きくなると(2.0 μ m→3.5 μ m→5.0 μ m→16.7 μ m), 吸音率のピーク周波数が低周波に変化した。

- ・穴の数が増えると(2個→4個→8個), 吸音率のピーク周波数が高周波に変化した。また、穴の数と同じでも若干異なる吸音率となった。これは、音の通り抜ける経路の違いによるものと考えられる。

- ・穴径が大きく(0.05mm→0.08mm →0.12mm →0.16mm) になると、吸音率のピーク周波数が高周波に変化した。

今後は、今回の Kelvin セルと流れ抵抗の関係について検討を行う予定である。また、今回は空洞部分のみの FE モデル化であったので、今後は骨格や壁の FE モデル化を実施し、本構造検討で得られた知見を実際のウレタンフォームへの高吸音化へ役立てる予定である。

文 献

- (1) Allard, J. F. and Atalla, N., Propagation of sound in porous media, John Wiley & Sons, Inc., 2009.
- (2) 朝倉由貴, 山本崇史, “発泡系吸音材の低周波域音響特性の向上検討”, 自動車技術会関東支部学術研究講演会, 2023.
- (3) 廣澤邦一, 村上駿, 石川覚志, “多孔質弾性材料のユニットセル形状と膜の有無が Biot-Allard モデルのパラメータと吸音性能に及ぼす影響への数値解析的検討”, 2023 年春季大会学術講演会公演予稿集, 2023.
- (4) 高橋秀俊, 山本崇史, 山川啓介, 桂大詞, 遊川秀幸, “摂動法を用いた発泡系吸音材の吸音特性ばらつき予測”, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2023, 2023.
- (5) 山本崇史, 李知桓, “独立気泡を混在した多孔質材による低中周波域吸音材の向上検討”, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2023, 2023.
- (6) Kampinga, W. R., Wijnant, Y. H. Boer, A., “Performance of several viscothermal acoustic

finite elements, Acta Acustica united with Acustica, Vol. 96 (2010), pp.115-124.

- (7) Beltman, W. M., Hoogt, P. J. M., Spiering, R. M. E., Tijdeman, H., “Implementation and experimental validation of a new viscothermal acoustic finite element for acousto-elastic problems”, Journal of Sound and Vibration, Vol.216 (1998), pp.159-185.

- (8) 山本崇史, 黒沢良夫, “微小音響空間の粘性減衰と熱散逸を考慮したモデル化と等価特性の検討”, 日本機械学会論文集, Vol. 81, No. 830 (2015), pp.1-16.

研 究 ノ ー ト

蓮田裕一

農地巡回ロボットによる果樹カメムシ類の検出

○菅谷 直樹¹⁾, 小針 健吾²⁾, 蓮田 裕一¹⁾

1)帝京大学情報電子工学科, 〒320-8551 栃木県宇都宮市豊郷台 1-1

2)キャノンメディカルシステムズ(株)

要旨

本研究では、近年大量発生している果樹カメムシ類を駆除するために、RTK-GNSS と物体検出技術を組み合わせ、高精度に農地を巡回しながら農作物の害虫を検出するロボットの開発を試みた。YOLOv9 を用いて検出モデルを作成し、roboflow でデータ拡張し、Raspberry Pi 上で推論を行う。RTK 測位を用いて自己位置推定を行い、高精度に農地を巡回しながら害虫を検出するロボットの開発を試みた。

キーワード

果樹カメムシ, 物体検出, AI, GPS, ロボット

1. 緒言

令和6年には果樹カメムシ類が全国各地で大量発生し、38都府県で注意報が発表された^[1]。カメムシ類の餌となるスギ・ヒノキ球果量が多く、かつ暖冬の影響で越冬した個体数が増えたため、大量発生に至ったと推測されている^[2]。栃木県でも令和6年5月13日に果樹カメムシ類の注意報が発令された。果樹カメムシ類は、梨やリンゴ、かんきつ類などの果実を吸汁し、変形や変色を引き起こすので、農家の方々は広大な果樹園を定期的に、巡回しなければならない。

近年の日本では農業従事者の数が減少傾向にあり、高齢化も顕著である。このような背景から、負担を軽減するため、ロボティクスとAIを活用した農作業の効率化が求められている。RTK-GNSS と物体検出技術を組み合わせ、高精度に農地を巡回しながら病害虫を検出するロボットの開発を試みる。

2. カメムシによる吸汁被害

果樹カメムシ類による吸汁被害は、果実の変形や変色など、商品価値を大きく低下させる。図1は、吸汁被害による変形や変色を引き起こした梨である(同図左)。内部にも5mm以上の変形が見られ(同図右)、奇形や吸汁痕のある果樹は廃棄の対象となり、農家に多大な損害を与える。



図1 カメムシの吸汁による変形と吸汁痕

3. 農地巡回ロボットの概要

3-1. ロボット本体およびハードウェア構成

広大な果樹園を定まった順路で精度よく走行することは困難である。そこで、本研究ではGNSSを利用した測位方式であるRTK測位を用いて高精度な自己位置推定を試みた。図2に開発した農地巡回ロボットの外観を示す。Raspberry Piに接続したカメラを用いてカメムシの検出を行う。



図2 開発した巡回ロボット

3-2. RTK-GNSS を用いた位置推定

RTK-GNSS を利用するために自前の基準局 (Base Station) を設置し、Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP) を利用して、移動局 (Rover) へ補正データを配信するシステムを構築した。図 3 に、基準局・NTRIP Caster・移動局の構成を示す。NTRIP は、GNSS に関する RTCM 形式のデータをインターネット経由で中継するプロトコルであり、センチメートル級の測位精度を実現することが可能である。NTRIP サーバとしてジオセンス社の geortk.jp を利用し、オープンソースプログラムパッケージである RTKLIB の str2str 機能を用いて基準局から補正データを配信している。

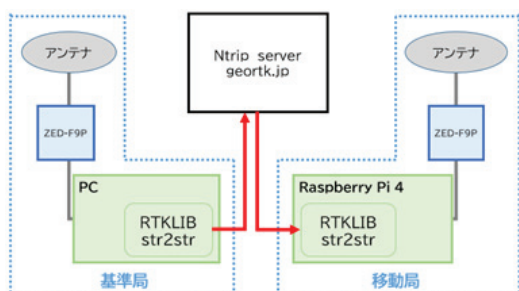


図 3 基準局・NTRIP Caster・移動局の構成

3-3. Navigation Program

自律走行を実現するためには、ロボットが走行すべき経路情報 (ウェイポイント) をあらかじめ与える必要がある。本研究では、ウェイポイントを事前に作成するため、ロボットを手動操作しながら位置座標を取得する方法を採用した。具体的には、Nintendo Switch Pro コントローラを Bluetooth 経由で農地巡回ロボットに搭載した Raspberry Pi 4 と接続する。そして、Robot Operating System (ROS) 上で動くノードを用いてロボットを遠隔操作できるように設計した。左ジョイスティックの横軸 (axes[0]) はステアリング制御、右ジョイスティックの縦軸 (axes[3]) は速度制御として利用する。入力値をマッピングしてパルス幅を決定し、pigpio ライブラリを介してサーボモータや ESC を制御する。

マニュアル操作を行うプログラムと同時に GNSS データ取得のプログラムを実行する。A ボタンで入力することで、その位置の latitude (緯度)、longitude (経度)、fix_quality (測位モード)、num_sat (使用衛星数)、altitude (海拔高度)、time_utc (算出時の UTC 時間) が CSV 形式で出力される。

3-4 ウェイポイント走行 (自律走行)

GNSS データ収集プログラムで取得した位置情報を用いて自律走行を行う。本プログラムは、緯度、経度のデータがあれば動作ができるため、様々な農地、果樹園での転用が可能である。

4. AI を活用した果樹カメムシ類の検出

害虫の検出を行うため、YOLOv9 にて果樹カメムシ類を検出するモデルを作成し、約 5000 枚の画像データを用いて学習を行った。画像のアノテーションは computer vision annotation tool を用いて、roboflow にてデータ拡張を行った。作成したモデルを Open Neural Network Exchange (ONNX) 形式に変換し、Raspberry Pi 上で ONNX Runtime を用いて推論を行った。図 4 にツヤアオカメムシの検出例を示した。

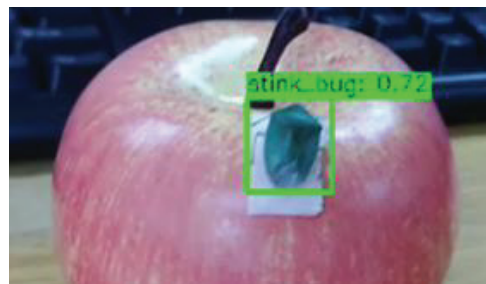


図 4 果樹カメムシ類の検出

5. 結言

本研究では、農地巡回ロボットの開発と害虫検出システムの構築を試み、以下の結論を得た。

- ・市販の RC カーをベースに RTK-GNSS を組み合わせ、高精度に農地内を自律巡回するロボットを開発した。
- ・ロボットに接続したカメラ映像からリアルタイムに果樹カメムシ類を検出するシステムを構築した。

これらのシステムに通知機能や農薬散布機能を組み合わせることで、農業従事者の病害虫監視・防除作業の効率化が期待できる。今後は、果樹園での調査を進めるとともに、センサの増設や農薬散布機能の実装、通知システムの連携を目指すことで、実用性の高いシステムへ発展が期待される。

6. 参考文献

- [1] 農林水産省, 令和 6 年の果樹カメムシ類の注意報の発表状況(61 件(38 都府県)), <https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/gaicyu/yosatu/attach/pdf/index-68.pdf> (2025/3/13 最終閲覧)
- [2] 栃木県農業環境指導センター, (防災ニュース速報 No.7), <https://www.pref.tochigi.lg.jp/g59/boujo/2022/documents/2022sokuhou7.pdf> (2025/3/13 最終閲覧)
- [3] Kengo KOBARI, Shion AMAGI, Yuichi HASUDA(2024), Development of a Farm Patrol Robot Using RTK Positioning for Detection of Pests and Diseases, 14TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF ASIA-PACIFIC FEDERATION FOR INFORMATION TECHNOLOGY IN Agriculture
- [4] 金田凱・榎本祐樹・蓮田裕一(2023), AI を活用した農作物の病気の検出, 第 61 期日本機械学会中国四国支部総会

AI を活用した斑点米カメムシ類の検出

○福田 啓太¹⁾, 高野 知美²⁾, 蓮田 裕一¹⁾

1) 帝京大学情報電子工学科, 〒320-8551 栃木県宇都宮市豊郷台 1-1

2) 日本信号㈱

要旨

最近の地球温暖化に伴いカメムシの大量発生が全国的に問題となっており、全国各地で例年の 10 倍以上の個体数が確認されている。日本の農業従事者の減少や高齢化が進行する中、人手に頼る従来のカメムシなどの害虫の発生状況の確認と駆除には限界がある。そこで、本研究では農地巡回ロボットと AI による物体検出技術を組み合わせ、カメムシを自動検出するシステムを構築した。検出システムは Raspberry Pi に接続したカメラで映像を取得し、MJPG-Streamer を介して Web 配信する。OpenCV を利用し、カメムシを検出後、Discord の Webhook で農家の方々のスマートフォンや PC 通知する。

キーワード

斑点米カメムシ, 物体検出, AI, YOLO

1. 緒言

全国各地でカメムシの大量発生が問題視されている。2024 年 11 月中旬までの農林水産省の統計によると、日本国内では延べ 39 道府県で斑点米カメムシ注意報を発令しており¹⁾、広範囲に被害が拡大している。栃木県内においても既に例年の 10 倍以上のカメムシが確認されている²⁾。

農業従事者は農作物の商品価値の維持・向上のため、定期的に農場を見回り、病害虫による被害を抑えるために早期の農薬噴霧を行う必要がある。また、日本国内の農業従事者の減少や高齢化問題が深刻であり³⁾、ロボティクスと人工知能 (AI) による農作業の効率化が求められている。

本研究では物体検出技術を用いて、ドローンなどの農地巡回ロボットを活用し、斑点米カメムシ類を検出するシステムの開発を試みる。

米が黒く変色する⁴⁾。米の等級を決める際には様々な基

準があるが⁵⁾、等級が格下げされる主な理由の中で着色粒が 3 割を占めている。さらに着色粒の原因の 97% がカメムシによるものである。



図 1 稲に付着するカメムシ

2. カメムシが米に与える被害

斑点米カメムシ類と呼ばれるカメムシが実のなっただばかりの若い稲穂を吸汁し、吸汁された跡から細菌が入り、

3. 学習モデルの作成

2024 年 7 月下旬から 9 月上旬に両親が管理している田

んぼや周辺の草むらで斑点米カメムシを捕獲し撮影を行い、学習データ用の様々な写真を集めた。YOLOv8を用いて斑点米カメムシ類の学習を行った。図2に示したように、カメムシの種類ごとにクラス分けをし、roboflowを用いてアノテーションを行った。そして、図3のように学習したモデルの検出試験を行い、学習通りに検出されることを確認した。検証用の学習データには約2200枚の画像を用意した。



図2 斑点米カメムシのクラス分け

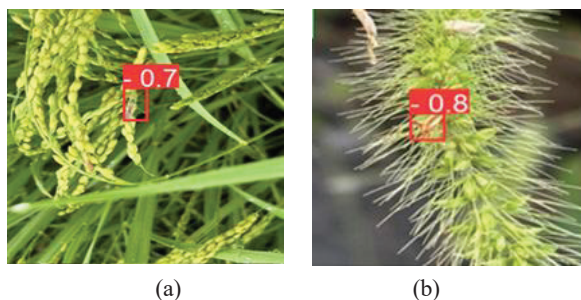


図3 検出された斑点米カメムシ

(a)イネに付着しているクモヘリカメムシ (b)田んぼ周辺のイネ科の雑草に付着しているアカスジカスミカメ

4. カメムシ検出システムの概要

本システムは農地巡回ロボットへの搭載を前提に開発した。図4に示すように、農地巡回ロボットに搭載するRaspberry Piに接続したカメラからの映像をMJPEG-StreamerでWeb配信する。DesktopのOpenCVで映像を受け取り、物体検出モデルであるYOLOv8を用いてカメムシの検出を行う⁶⁾。検出した結果はDiscordのWebhookを利用し、Discordアプリを用いてユーザーに通知するシステムである。

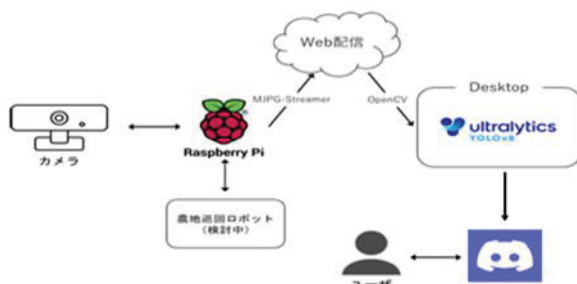


図4 カメムシ検出システムの構成図

既報7)は、LINEを用いていたが、システム構成を簡略化するためDiscordに変更した。LINE botを利用するには画像URLが必要であり、検出結果画像を一度Google Cloudにアップロードし、Google Driveを用いて画像URLを送信する必要があった。しかし、Discord内のWebhookサーバーを用いることで、外部のクラウドサービスを使用せずに検出結果をユーザーに通知することができる(図5参照)。



図5 ユーザーへのカメムシ検出通知例

5. 結言

農地巡回ロボットへの搭載を前提とした米に付着するカメムシを検出し、Discordを用いてユーザーに通知するシステムを開発した。カメムシを検出することで農薬を効率的に散布することができ、農業の効率化に貢献することができた。

引用文献

- 1) 病害虫発生予察情報(農林水産省) <https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/gaicyu/yosatu/index.html> (2024/12/19 最終閲覧)
- 2) 令和6(2024)年 病害虫発生予察情報 害虫誘殺データ(栃木県農業総合研究センター) <https://www.pref.tochigi.lg.jp/g59/boujo/yosatsu.html> (2024/11/20 最終閲覧)
- 3) 農業者の激減 先進技術で生産性向上(日本農業新聞), <https://www.agrinews.co.jp/news/index/163537>, (2024/06/12 最終閲覧)
- 4) 斑点米カメムシ類の発生動向に注意しましょう!(栃木県農業環境指導センター) <https://www.jpnpn.ne.jp/tochigi/file/yosatu/2023/sokuhou/2023sokuhou5.pdf> (2024/11/12 最終閲覧)
- 5) 玄米の検査規格(農林水産省) https://www.maff.go.jp/j/seisan/syoryu/kensa/kome/k_kikaku/ (2024/11/12 最終閲覧)
- 6) 金田凱・榎本祐樹・蓮田裕一(2023), AIを活用した農作物の病気の検出, 第61期日本機械学会中国四国支部総会

O-A11

オオシロカゲロウ幼虫の巣穴内の行動分析

*紺野有哉（帝京大学・理工）、蓮田裕一（帝京大・理工）

1. はじめに

オオシロカゲロウ幼虫は河川底にU字型の巣穴をほり生息するカゲロウの一種であり、毎年9月に大量発生することが知られている。しかし、幼虫期は流水の底に巣穴を掘り生活しているため、その生態には未解明な点が多い。そこで、本研究では、AIによる画像検出技術を用いて、オオシロカゲロウ幼虫の巣穴内における行動を分析した。

巣穴内の滞在エリアと反転行動をAIで検出し、それらのデータをグラフ化することで、どのエリアで、どのような行動を行っているのか、また、巣穴内での反転後の行動を明らかにした。

2. 研究方法

2.1. エリア判定と反転検知システム

エリア判定は幼虫が作ったU字型巣穴を、流水の上流側(upstream)、最深部(bottom)、下流側(downstream)の3つエリアに分けた。AIモデルであるYolov8を用いて幼虫の頭部(head)と尾部(tail)を検出し、頭部の位置座標に基づいて、滞在エリアを時系列で記録した¹⁾。さらに頭部(head)と尾部(tail)の位置関係(x座標)が逆転した瞬間を「反転行動」として検知した²⁾。

2.2. データ分析

上記の手法で得られた滞在エリアと反転行動のデータを統合し、時系列グラフを作成した。このグラフを用いて、特定のエリアにおける滞在時間の長さや、反転行動が発生するエリアと頻度を可視化・分析した

3. 結果

AIによる画像解析から得られた、オオシロカゲロウ幼虫の巣穴内における滞在エリアと反転行動の時系列変化を図1に示す

グラフの横軸は時間、縦軸の各色は幼虫が滞在していたエリアを示す。青色はdownstream、緑色はbottom、赤色はupstreamを表す。グラフ上のマークは反転後の行動を示しており黒丸(●)は捕食、黄色三角(▲)は巣のメンテナンスを表している。

幼虫のエリア滞在には、upstreamエリアで長時間過ごす傾向がみられた。3個体全体の平均滞在時間の割合はupstreamエリアが63.9%、bottomエリアが18.7%、downstreamエリアが17.8%であった。

全反転行動のうち71.6%が捕食行動に繋がっており、その多くはデトリタスや石に付着している藻類を捕食していた。その内、upstreamエリアが68%、bottomエリアが11%、downstreamエリアが21%であった。また、捕食直後に排泄し、その糞を巣穴の壁のメンテナンスに利用する特異な行動も見られた

参考文献

- 1) 山口修平他(2024),AIを用いたオオシロカゲロウ幼虫の巣穴内の行動分析,日本陸水学会88回大会,B07
- 2) 多賀楓真他(2024),オオシロカゲロウ幼虫の巣穴内での反転の自動検出,日本陸水学会88回大会,B10

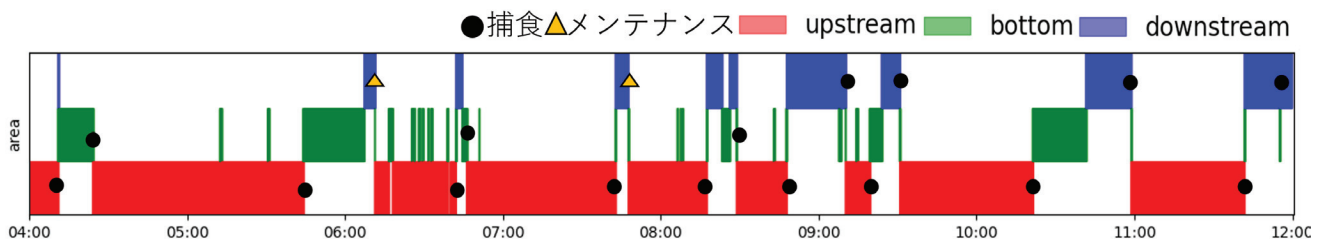


図1 エリア滞在と反転行動の時系列グラフ

O-A220

AI を活用したヒゲナガカワトビケラ幼虫の食性の解析

*松田果恋（帝京大・理工）、蓮田裕一（帝京大・理工）

1. はじめに

河川に生息するヒゲナガカワトビケラ幼虫は、小石の間に網を張って巣を形成し、そこに漂着する藻類やデトリタスを摂食すると考えられている¹⁾。新名(1995)²⁾は、ヒゲナガカワトビケラ5齢幼虫の消化管内容に24.9%の動物質が含まれることを報告しており、本種の多様な摂食行動が確認されている。さらに、蓮田(2024)³⁾は観察ロボットを駆使してヒゲナガカワトビケラ幼虫が生きたモンカゲロウ幼虫を襲い食べることを報告している。

本研究では、AIを用いてヒゲナガカワトビケラ幼虫の「頭(head)」および「口(mouth)」を検出し、巣周辺の3つの要素「網(net)」、「小石(rock)」、「巣(burrow)」との位置関係をもとに、食性の解析を試みる。

2. 物体検出とエリア判定

人工水路内で飼育しているヒゲナガカワトビケラ幼虫はほぼ休みなく摂食行動を示す。検出されたheadあるいはmouthの矩形中心座標が、net、rock、burrowのいずれかの領域内に位置するかをもとに、幼虫が摂食している可能性の高いエリアを判定する。なお、headとmouthの両方が検出された場合は、摂食に直接関与するmouthの矩形中心座標を優先的に用いる。図1に、ヒゲナガカワトビケラ幼虫のheadおよびmouthの検出と巣周辺の要素を示す。

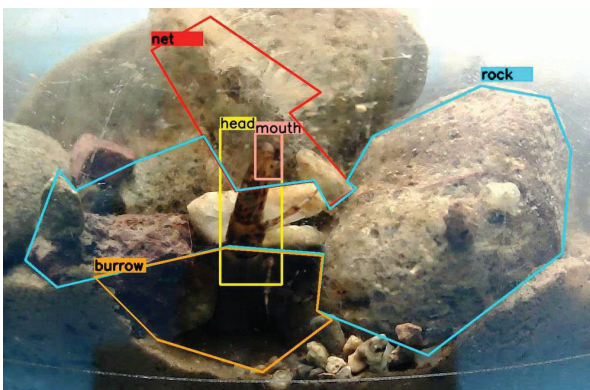


図1 AIによる幼虫の物体検出と巣周辺の要素

図1において、net、rock、burrowの領域は赤色、青緑色、橙色の多角形で描画されており、AIにより検出されたheadおよびmouthは黄色、桃色の矩形で表示した。この手法により、幼虫のheadやmouthが巣周辺のどのエリアに位置しているかを視覚的に認識しやすくした。

3. ヒゲナガカワトビケラ幼虫の食性

ヒゲナガカワトビケラ幼虫の食性を解析するために、2025年5月および2023年11月に撮影された映像を用いてエリア判定を行った。図2に、headまたはmouthの矩形中心座標が属したエリア(net、rock、burrow)の割合を円グラフで示す。

2025年5月には、水路内に流下藻類のみを与えた。図2(a)に示すように、net71.9%、burrow17.2%、rock10.9%の割合となり、幼虫は主にnetに漂着する藻類を摂食していた。一方、2023年11月の映像には、幼虫に稚魚を与えたところ、その稚魚を襲い巣内に運び込み食べる様子が記録されている。図2(b)に示すように、burrow85.1%、rock13.7%、net1.2%の割合となった。headおよびmouthの矩形中心座標がburrowに集中しており、巣に引き摺り込んだ稚魚の捕食に時間を費やしていたと思われる。

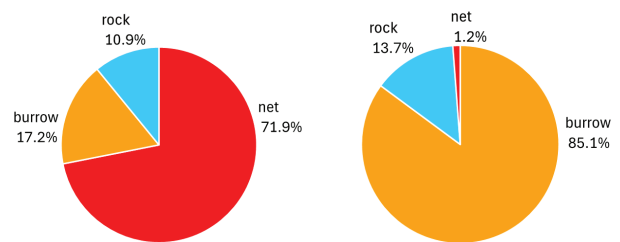


図2 ヒゲナガカワトビケラ幼虫の食性エリア

4. おわりに

本研究では、AIを用いてヒゲナガカワトビケラ幼虫のheadおよびmouthを検出し、巣周辺の要素との位置関係をもとに食性の解明を試みた。

人工水路内で飼育したヒゲナガカワトビケラ幼虫はほぼ休みなく摂食行動を示した。エリア判定の結果、幼虫はnetに漂着する藻類を摂食していることが確認でき、従来の認識を支持するデータ¹⁾が得られた。稚魚を捕食しているときは、burrowに居続けることから、栄養素の高い食料が得られたときは、netに付着した藻類を摂食しないことも確認できた。この行動は、ヒゲナガカワトビケラ幼虫が肉食性を発揮することを示しており、新名(1995)の報告と整合している。

参考文献

- 1) 西村登(1964)兵庫生物,4,pp.219-221.
- 2) 新名(1995) 平成6年度文部科学省研究補助金報告書:pp.60-69.
- 3) 蓮田(2024)日本陸水学会年次大会, P-34

高大連携による DX 教育を通じた人材育成プログラムの開発と成果

帝京大学 ○石川綺人 蓮田裕一

栃木県立宇都宮工業高校 倉持正行

1 はじめに

日本は IT 技術の進化の中、それらを扱える人材が不足する問題を抱えている。経済産業省の IT 人材需要に関する調査では、2030 年には約 79 万人の IT 人材不足になると推測されている¹⁾。文部科学省は、IT 人材確保のために、2024 年度から高等学校 1000 校を対象に、グローバルな視点や多様な価値観への理解等を活かした課題設定を行い、探究的・文理横断的・実践的な学びを支援している²⁾。

本研究では、2024 年度から高等学校 DX 加速化推進事業(DXハイスクール)の支援対象となった宇都宮工業高校と高大連携による DX 教育に取り組み、ロボット・AI 技術を用いた生美を実践している。特に、生徒の DX に対する理解を深め、未来のデジタル人材の育成と新たなキャリア形成の実現を試みる。

2 DX 教育の授業内容

2024 年度は、その年に入学した 1 年生全体 321 名を対象に、DX 教育の出前授業を計 3 回実施した。第 1 回は DX の概要や技術について授業を行い、第 2 回では AI による物体検出の方法や活用事例を取り上げた。第 3 回では、高性能なグラフィックボードを搭載した PC を使用して、実際にアノテーション、機械学習、物体検出の体験学習を行った。

2025 年度は学科ごとに生徒が社会問題を調査し、ロボット・AI 技術を用いて課題発見・問題解決を図った。以下に主な事例を示す。

2-1 PBL 形式授業による社会問題の解決能力の育成

環境設備科及び環境土木科の 2 年生を対象に、PBL 形式の授業を行い、グループワークを通して AI 技術の特性や可能性について理解を深めるとともに、学んでいる分野における課題解決への応用方法について考察してもらった。考案されたアイデアの一例として、架線のメンテナンス問題に対して、カメラを設置することで業務効率や検査頻度を向上させるシ

ステムなど、実現性のある提案が挙げられた。

2-2 トンネル内に発生したき裂の検知システム

2012 年の山梨県の笹子トンネルで、天井板のコンクリート板が落下し、走行中の車 3 台が下敷きとなり 9 名が死亡した事故が発生した。その事故以降、全国各地に存在するトンネルの老朽化が深刻な問題として認識されるようになった。生徒から、トンネルの老朽化による事故を未然に防ぐことを目的とした、メンテナンスを効率的かつ安全に行えるロボット・AI システムの開発が提案された。

図 1 は作成したトンネル模型と、その中のき裂を検知するロボットである。Raspberry Pi に接続されたカメラモジュールから取得した映像を、Wi-Fi を介して PC に送信する。EV3 はロボット本体の走行を制御するとともに、カメラを搭載したアーム部分をモーターで可動させる役割を担っている。これにより、コンクリート壁面に沿って走行しながら、き裂や欠けの検出を行う。

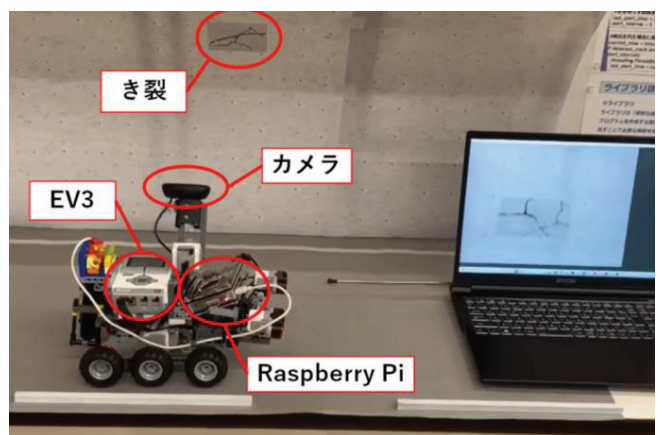


図 1 トンネル模型とき裂検知ロボット

トンネル内のき裂を検知するため、YOLOv8 を使用してモデルの学習を行った。き裂の学習には、高校生が実際のコンクリートを撮影した画像をもとに 100 枚を元に、Roboflow によるデータ増強を行った 300 枚の画像を使用した。

図2はYOLOv8で学習した結果を用いて、き裂を検知するpythonで作成したプログラムコードの一部である。カメラがき裂を検出した際に信頼度が0.4以上の場合に、その周囲を四角で囲むとともに、音声でき裂の存在を知らせるように設計している。

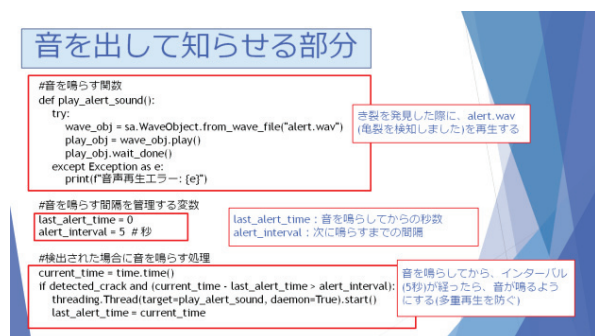


図2 き裂を検出するプログラム例

このトンネル内に発生したき裂の検知システムを2025年8月24日に行われた世界最大のロボットコンテストの一つであるWRO日本大会決勝で発表した(図3参照)。審査員に対して、ロボットの開発経緯や作成したプログラムコードの内容、さらに実際の動作の様子を見せながら説明した。高校生によるロボット・AI技術に対して、大会のスポンサーであるダイダニから特別賞が授与された。



図3 WRO日本大会でAI物体検出を発表

- 1:AIについて興味がある
- 2:AIについて理解している
- 3:AIを使ってみたい
- 4:画像解析について興味がある
- 5:画像解析について理解している
- 6:画像解析をしてみたい
- 7:ロボットについて興味がある
- 8:ロボットについて理解している
- 9:ロボットをつくらしてみたい
- 10:プログラミングに興味がある
- 11:プログラミングを理解している
- 12:プログラミングをしてみたい
- 13:ものづくりについて興味がある
- 14:ものづくりが楽しい
- 15:AIやプログラミングを活かした仕事に興味がある

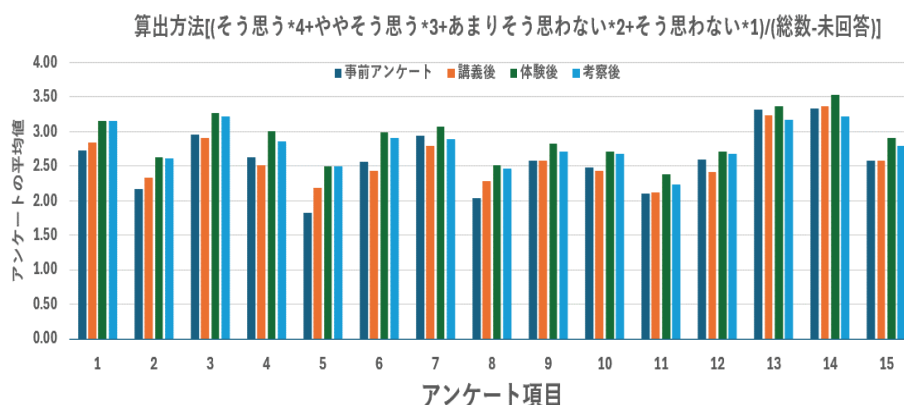


図4 アンケート調査の平均値の推移

3 アンケート結果

図4は、アンケート調査における平均値の推移を表したものである。4検法を用いて、AIや画像認識、ロボット、ものづくりに関する計15項目について調査を行った。アンケートは、出前授業を行う前、第2回授業後、第3回授業後、第4回授業後で実施した。推移の流れを見ると、すべての項目で事前アンケートの結果よりも向上しており、高い水準で維持されていることが確認でき、本取り組みが有用であると考えられる。特に、1・2・3のAIに関する項目では生徒の興味・関心に大きな向上が見られた。

4 おわりに

今後は、2025年度に入学した1年生を対象に出前

授業を実施する予定である。授業の前後にアンケート調査を行い、生徒の興味・関心の変化を測定するとともに、2024年度のデータと比較して、その傾向や関連性を分析していく。今後もDX教育の取り組みを支援できるよう尽力していきたい。

参考文献

- 1) 経済産業省, IT 人材需要に関する調査, https://www.meti.go.jp/policy/it_policy/jinzai/houkokusyo.pdf, (2025/10/06 最終閲覧)
- 2) 文部科学省, 高等学校 DX 加速化推進事業, https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/shinkou/shinko/1366335_00009.htm, (2025/10/06 最終閲覧)

編集後記

自動車技術センター年報 第4巻をお読みいただきありがとうございます。

2025年度も多くの方々からのご協力をいただきながら、様々な活動を行うことができました。この場を借りて感謝申し上げます。

本年度は栃木県の依頼を受けて実施された講座がありました。2日間実施して座学に加えて実習もあり、参加した皆様から好評をいただきうれしく思います。私も自動車技術の動向をチェックしつつ学び続けて時代に置いて行かれないように努力したいです。

最後になりますが、本書発刊に際してご協力いただいた皆様にお礼を申し上げます。そして今後ともよろしくお願いいたします。

(簾内 将景)

教員・スタッフ

センター長	加藤 彰	教授 (理工学部 情報科学科)
	黒沢 良夫	教授 (理工学部 総合理工学科 機械・航空宇宙コース)
	蓮田 裕一	教授 (理工学部 総合理工学科 ロボティクス・AIコース)
	米田 洋	教授 (理工学部 情報科学科)
	牧田 匡史	准教授 (理工学部 データサイエンス学科)
	福田 直紀	助教 (理工学部 総合理工学科 機械・航空宇宙コース)
	小柳出 敏弘	助手 (理工学部 総合理工学科 機械・航空宇宙コース)
	白沢 洋一	助手 (理工学部 総合理工学科 機械・航空宇宙コース)
	簾内 将景	技術職員

帝京大学 自動車技術センター年報 第4巻

2026年8月28日発行

編集・発行 帝京大学自動車技術センター
〒320-8551 栃木県宇都宮市豊郷台1-1
帝京大学宇都宮キャンパス
電話 028-627-7010
Fax 028-627-7296
e-mail: autotech@teikyo-u.ac.jp
URL: <https://www.teikyo-u.ac.jp/affiliate/laboratory/atc>
