

帝京大学  
自動車技術センター

年報

第3巻  
2025年8月

Annual Report of Automobile Technology Center  
Teikyo University

Vol.3 Aug, 2025



**帝京大学  
自動車技術センター**

**年報**

**第3巻  
2025年8月**

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

**Vol.3 Aug, 2025**



# 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6年目を迎え年報も第三巻を発行することが出来ました。これも皆様のご支援のおかげと心から感謝申し上げます。

自動車業界は「100年に一度の大変革期」と言われてきましたが、2024年度はそれを象徴するニュースが多い年でした。国内においての一番のニュースは2024年12月末に報道されたホンダと日産の経営統合のニュースではないでしょうか。しかしながら、年が明けた2025年2月には破断となってしまいました。破談に至った経緯は報道各社が報じていますが、やはりホンダと日産の企業文化の違いが大きかったものと思います。スカイラインなどの名車を生産し日本における自動車文化を先導してきた日産が、「技術の日産」を取り戻し早期に業績を回復して生まれ変わることを期待しています。

さて、昨年度の巻頭言にて「日本の基幹産業である国内自動車各社の世界市場での地位の変化が無いことを心から祈っています」と述べましたが、自動車のパワープラント（PP）は日本メーカーが得意とするハイブリッドが主になってきています。BEVはというと、米国トランプ政権の環境政策の変更や、テスラ社イーロン・マスク CEO のイメージによるブランド力低下などにより一部地域を除き販売にブレーキがかかっているのが現状です。地球環境問題への対応からカーボンニュートラル（CN）への施策は待ったなしですが、自動車の電動化に関しては短期的にはハイブリッドを主とした自動車が各社から販売されるものと予測されます。

このように変化が大きい自動車ですが今後の主戦場はSDV（Software Defined Vehicle）に加えて自動運転（AD）や先進運転支援（ADAS）のソフトウェアに人工知能を全面的に使うE2E（End to End）と呼ばれるアプローチに変化しています。しかしながらこの分野でもテスラ社や中国勢などが先行していると言われていますが、ホンダは自主開発したE2Eを活用した新たなADASを2027年以降に量産化する計画を発表していますので、この分野における今後の日本メーカーの動向に注目しています。

最後になりますが、2024年度の自動車技術センターは、これまでの技術講演会開催に加えて「最新自動車技術を学ぼう！」と題して自動車工学基礎講座を自主開催いたしました。詳細は活動報告にて紹介しますが、参加者数は多くはありませんでしたが受講者の満足度の高いイベントになりました。今後も定例のイベント開催に加えて、皆様から期待されるセンターになるべく我々が持つ強みである特定整備の認証を有する優れた設備と、高い技術力を持ったスタッフで皆様の自動車に関するニーズ・課題に対応してまいりますので、いつでもお声がけいただきたく何卒よろしく申し上げます。



# 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. 2024 年度講演会開催報告書	1
2. 第 5 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 2024（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. 2024 年度自動車工学基礎講座開催報告書	9

### 第二部 研究ノート

1. シリーズハイブリッド車の実路エコドライブ手法の検討 加藤 彰, 藤坂世成, 加藤 開, 鐘 一泓	17
2. BEV の実路エコドライブ手法に関する検討 ―ワンペダル走行が電費に与える影響― 加藤 彰, 加藤 開, 藤坂世成, 鐘 一泓	23
3. Kelvin セルを用いたウレタンフォームの吸音解析 黒沢良夫, 北村武輝, 森江奏尊, 石橋圭太, 伊東浩幸, 鈴木啓介	31
4. セルロースナノファイバーを積層したフェルトの吸音解析 黒沢良夫	35
5. Development of Anomaly Detection System for Flight Data using AI Takeshi Okazaki, Yuichi Hasuda	41
6. Detection of Stink Bug Damaging Farm Crops Using the Image Analysis AI Shion AMAGI, Gai KANEDA, Yuichi HASUDA	45
7. Detection of Agricultural Pests Using Object Detection Technology Takuto SAWAMURA, Gai KANEDA, Shion AMAGI, Yuichi HASUDA	51
8. The Apply and Achievement of Creativity Education through Project-based Learning Classes Tomomi TAKANO, Yuichi HASUDA	57
9. スリップリングシステムの摺動速度がブラシ摩耗に及ぼす影響 菅原悠斗, 福田直紀	65



# 第一部

## 活動報告



# 2024 年度講演会開催報告書

報告書作成日 2024 年 6 月 13 日

帝京大学自動車技術センター 簾内 将景

## <趣旨>

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、2024 年度講演会「カーボンニュートラル社会実現に向けたエンジンの役割」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。

カーボンニュートラル（CN）に向けた自動車のこれからについて、株式会社 SOKEN 取締役専務（元トヨタ自動車株式会社部長）友田晃利氏をお招きし、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を実施した。

## <開催日>

2024 年 6 月 6 日 木曜日 16:40~18:10

## <コンテンツ>

- ・講師 株式会社 SOKEN 取締役専務（元トヨタ自動車株式会社部長） 友田 晃利 様
- ・講演タイトル 「カーボンニュートラル社会実現に向けたエンジンの役割」
- ・講演概要

地球温暖化防止のために CN 社会を実現することが必須となり、自動車では BEV 化の動きが急である。しかしながら、発電所の種類により発電時の CO<sub>2</sub>発生量は大きく変わる。また、バッテリー製造時の CO<sub>2</sub>量が大きく BEV 化するだけでは自動車の CO<sub>2</sub>排出量がゼロにならない。インフラが整わない発展途上国ではなおさらである。このような現状から、自動車の CN 早期実現には BEV 化だけでなく HEV に代表されるパワートレインの電動化と、エンジン熱効率向上による低 CO<sub>2</sub>化が必須である。本講演ではエンジンの必要性和最新技術開発について講演する。

## <結果>

当日参加者数 計 38 名 内訳（本学学生、教職員 28 名、一般企業 10 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」と同 3 年生「機械工学特別講義」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、CN に向けたエンジンの役割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、資料にはグラフや図が多く使用されており、BEV の課題や CO<sub>2</sub>排出量低減に対する対策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、73%が「満足」、27%が「どちらでもない」と回答し、「不満足」との回答は無かった。「どちらでもない」と回答した参加者の理由コメントは「内容は素晴らしかったが、時間が長かった」であった。自由記述欄では、「CN について自分なりに考えられる時間となりました」「カーボンフリーなどの環境問題に関する対応にエンジン技術からのアプローチを元トヨタの社員からお話しただけで満足」「e-Fuel をうまく活用しながら製造していくことが大事なのだと感じた」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。

今後も学生や企業人のニーズに合った情報発信を続けていきたい。

以上

## ギャラリー



講演会の様子①



講演会の様子②



講演会の様子③



講演会の様子④



記念品贈呈

## 第5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 2024年9月25日

帝京大学自動車技術センター 簾内 将景

### <趣旨>

自動車技術センターは昨年に引き続き、宇都宮大学主催「第5回宇都宮大学コラボレーション・フェア」のポスターセッションへの参加を行った。

宇都宮大学は、多様なコンテンツを巡ることによる「知の探索と創造」を実現し、企業や自治体など各団体のシーズ(研究成果、技術等)とニーズ(社会・企業課題等)の多様な情報の展示を行い、産学官金連携の場としてコラボレーション・フェアを開催している。

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研究への新たなコラボレーション発見を目的とした。

### <開催日、場所>

2024年9月20日 金曜日 10:00~17:00 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ポスターセッションに参加した。

#### ・ポスターセッション

産学官金の多様なコンテンツを巡る「知の探索」による想定外の出会いや気づき、新たな展開に向けたヒントの獲得が期待できる。

#### ・講演会・セミナー

①講演会「大学におけるスタートアップ育成」

②「地域経営×デジタル」セミナー

③ベルギー醸造家(今井礼欧氏)によるトークイベント

④地域防災セッション「民間組織が担う、地域防災の新展開」

### <結果>

ポスターセッションには展示参加300件(昨年283件)、一般参加者781名(昨年595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、昨年より多くの来場者とコミュニケーションを取ることができた。

### <まとめ>

今回のコラボレーション・フェアでは、昨年と比較して参加者がブースに足を止めてポスターやパンフレットを手にする機会が多かったと感じた。直接説明する機会も増加し、自動車技術センターの活動を多くの方に知っていただく良い機会になった。

今後もこのような機会を有効的に利用して、活動推進に役立てていきたい。

以上

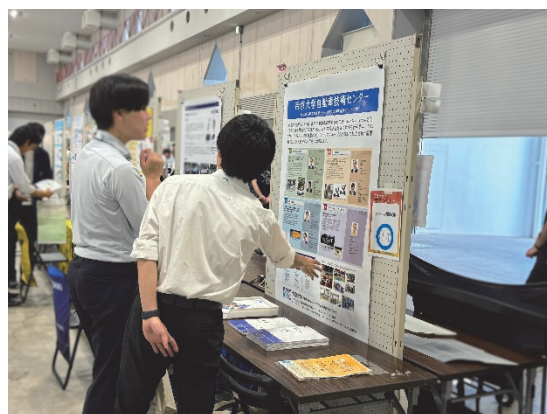
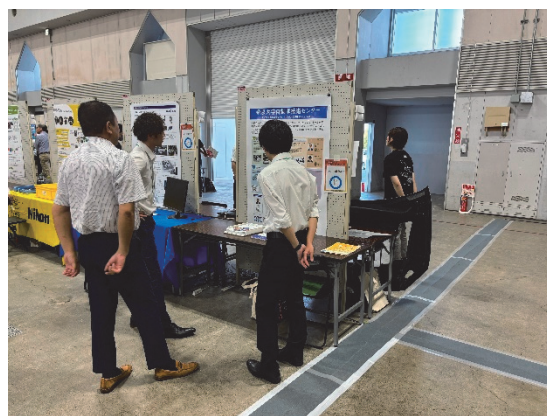
## ギャラリー



会場の様子①



会場の様子②



自動車技術センターのポスターセッションの様子

# 自動車技術センターツアー 2024（学園祭）開催報告書

報告書作成日 2024 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、自動車技術センター保有の施設設備を見学できる場とし、センターを多くの人に知っていただける内容とした。今年は近隣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、今年は学園祭実行委員会の依頼を受け小学生向けイベントを併催し、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>

2024 年 11 月 2 日 土曜日 13:00~16:00

※施設開放と小学生向けイベントは 10 時から開始

## <コンテンツ>

施設設備と車両の展示等

- ・4 輪アライメントテスター、シャシダイナモメーター、エンジンベンチなど
- ・車両の展示 7 台（四輪 4 台、二輪 1 台、実習車 2 台）
- ・木製ソーラーカーを作ってみよう！（小学生向けイベント）

## <結果>

来場者数 計 89 名（一般来場者と本学学生）

木製ソーラーカーを作ってみよう！への参加者 14 名（主に小学生）

終日雨天ではあったが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。

木製ソーラーカーの作成については、ポスターを見て「作ってみたい！」と来場する子供たちが多く、スタッフが組み立てのサポートを行った。

## <まとめ>

毎年好評である車両の展示や施設開放は引き継ぎつつ、小学生向けイベントは新たな試みであった。参加者からは、「楽しかった！」という声を多くいただき、大変好評であり、ものづくりの楽しさを子供たちに伝えることができたと感じている。

宇都宮キャンパス学園祭において一番の賑わいポイントである屋台エリアの配置が変更となり、自動車技術センターまでの動線が分かりにくいと感じた。この反省点は来年以降、実行委員会と相談して改善可能であると考えており、来場者数増が見込める。

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を継続していきたい。

以上

## ギャラリー



車両展示の様子



アライメントテスターの展示



小学生向けイベント  
「ソーラーカーを作ってみよう！」



来場者と語らう小柳出助手



車両展示にご協力いただいた皆様

## 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 2 月 10 日

帝京大学自動車技術センター 簾内 将景

### <趣旨>

モビリティリゾートもてぎ内の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ことを目的に開催した。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と将来について考える場とした。

### <開催日>

2025 年 2 月 8 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ヨーコントロール

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 16 名 学生 14 名(機械科 3 年生 3 名、2 年生 5 名、1 年生 6 名、内欠席者 1 名) 引率 2 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談話を行っていた。国内レース車両や F1 車両、ホンダジェット等が展示されており、部品形状の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 3 年連続 3 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（昨年は 8 名）。これは、参加費用の補助を行い学生の負担が減ったためであると考えられる。

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いただいた（満足度 100%）。理由として、貴重な体験ができたことや参加費用がお手頃であっ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、「車がスピンしたときの対応や感覚を学ぶことができた」、「車両運動に関わる電子制御の優秀さを学んだ」、「運転操作の仕方次第で滑らない運転ができることを学んだ」、「来年も参加したい」との声があり、学生にとって大変貴重な学びの場となっていると感じた。

今後も実施していくとともに、来年度は機械科以外の学生参加者も増加させるべく募集のかけ方や募集の文面、開催時期等を工夫しより多くの学生に安全運転の学びの場を提供していきたい。

以上

## ギャラリー



参加者の集合写真



ホンダコレクションホール見学の様子



ヨーコントロール講習の様子①



ヨーコントロール講習の様子②



スリパーリーコーナリング講習の様子①



スリパーリーコーナリング講習の様子②

## 2024 年度自動車工学基礎講座開催報告書

報告書作成日 2025 年 3 月 18 日

帝京大学自動車技術センター 簾内 将景

### <趣旨>

自動車技術センターでは、研究開発と同時に人材育成や情報発信を行っている。今回の講座は、「最新自動車技術を学ぼう」と題して栃木県内の自動車関連企業に勤務する技術者を対象に、自動車を構成するボディーやシャシ及びガソリンエンジンなどの各種部品の構造・機能の基礎的な知識に加えて、BEV（電気自動車）やHV（ハイブリッド）などの最新の電動車技術に関して、座学と実習を組み合わせることで次世代自動車技術に対応した能力の習得を目指した。

### <開催日>

2025 年 3 月 13 日 木曜日 9:20~16:30

### <コンテンツ>

- ・講師 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 機械・精密システム工学科 助手 小柳出 敏弘  
帝京大学理工学部 機械・精密システム工学科 助手 白沢 洋一

#### ・講座概要

開講挨拶 帝京大学自動車技術センター長 加藤 彰

- 1 時限 自動車の機能と構造における現状と、今後の電動化や自動運転との関連の概説
- 2 時限 ステアリング、ブレーキやサスペンションなどのシャシ部品に関する実習
- 3 時限 従来ガソリンエンジンの構造・機能・作動に関する実習
- 4 時限 BEV、HV の構造・機能・作動に関する実習

アンケート記入

### <結果>

参加者数 計 11 名（本講座は企業技術者が対象）

1 時限目では、スクリーンを使用した座学講義、2～4 時限目は実車を使用した実習講義を行った。実習講義はセンター主催イベントでの実施が初めてであったが、小柳出助手、白沢助手の両名指導の下で安全に実施された。参加者は部品の分解組付けを行い、構造を確認しながら真剣に取り組んでいた。

### <まとめ>

初めての実施であったが、1 日という短い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。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。

反省点の 1 点目は 1 時限目座学の講義時間が足りず時限後半は駆け足での説明となった点である。この点はアンケートで指摘する参加者もいたため、時間の延長や 2 時限分に分けるなど時間配分に対策を講じた。2 点目は参加人数が募集定員（20 名）の約半分となった点である。これは広報のため作成したチラシに記載していた講義内容が概要のみとなっており、参加を検討する上で情報不足であったことが原因と考えている。この点については、今回の実施内容を踏まえてチラシに記載する講義内容欄に工夫を施すことで対策する。

なお、2025 年度は栃木県と協力して類似したイベントを実施予定であるため、今回の反省を踏まえて準備したい。

以上

## ギャラリー



1 時限 自動車の機能と構造における現状と、今後の電動化や自動運転との関連の概説



2 時限 ステアリング、ブレーキやサスペンションなどのシャシ部品に関する実習

## ギャラリー



3 時限 従来ガソリンエンジンの構造・機能・作動に関する実習



4 時限 BEV、HV の構造・機能・作動に関する実習（右図は試乗会の様子）



# 第二部

## 研究ノート



# 研究ノート

加藤 彰



# シリーズハイブリッド車の実路エコドライブ手法の検討

## Study of eco-driving methods for series hybrid vehicles on real roads

○正 加藤 彰<sup>\*1</sup>, 藤坂 世成<sup>\*1</sup>, 加藤 開<sup>\*1</sup>, 鐘 一泓<sup>\*1</sup>  
Akira KATO<sup>\*1</sup>, Sena FUJISAKA<sup>\*1</sup>, Kai KATO<sup>\*1</sup>, and YiHong Zhong<sup>\*1</sup>  
<sup>\*1</sup> 帝京大学 Teikyo University

In this study, we conducted real road tests using a series HV (hybrid) that is popular in Japan, and compared the results with the analysis results of a series-parallel HV that the authors have previously investigated, with the aim of proposing an eco-driving method for series HV on real roads. As a result of a comparative analysis of the fuel efficiency of series HV and series-parallel HV on real roads, we found that the series HV has less change in fuel efficiency in urban areas, rural areas, and on highways compared to the series-parallel HV. In addition, for series HV, there is no correlation between fuel efficiency and driving conditions such as frequency of acceleration and deceleration. Therefore, Series HV is considered to be a system that has little change in fuel efficiency in response to changes in vehicle speed due to traffic flow on real roads and changes in driving conditions such as the frequency of acceleration and deceleration due to driving operations by the driver.

**Key Words** : heat engine, spark ignition engine, fuel economy/efficiency, Hybrid Vehicle, Real Driving Emissions, Eco-driving

## 1. 緒 言

日本政府は 2035 年までに新車販売をすべて電動車とすることが発表したが<sup>(1)</sup>, 電動車にはゼロエミッション車に加え, HV (hybrid vehicle) 車も含んでいる. 現在日本における HV 車には, 軽自動車はマイルド方式, 小中型車ではシリーズパラレル方式の HV 車 (シリパラ HV) とシリーズ方式の HV 車 (シリーズ HV) が販売されている. シリパラ HV は駆動力をエンジンとモータの出力を合成して走行し, シリーズ HV はモータ出力のみで走行する方式である. これまでの研究でシリパラ HV を用いて試験を行い<sup>(2)</sup>, 市街地, 郊外では平均車速が変化しても燃費の変化がみられないことや, 高速では加減速が少なく HV システムによる回生運転が働かないことに加え, モータ及びバッテリー搭載による車両重量の増加によりガソリン車よりも燃費が低下するため, 走行車速を下げるものが燃費向上には有効であることが分かった.

本研究はシリーズ HV で実路試験を行い, シリーズ HV の市街地, 郊外, 高速での燃費特性のをシリパラ HV と比較することにより, 実路におけるエコドライブ手法を検討することを目的とする.

## 2. 試験方法

### 2・1 試験車両

先の研究にて試験を行った試験車両 A (シリパラ HV) と比較するため, 日本において 2022 年度の販売台数が 11 万 3390 台<sup>(3)</sup>と良好な試験車両 B (シリーズ HV) を選定した. 表 1 に試験車両 A と B の車両諸元を示す<sup>(4), (5)</sup>.

### 2・2 使用ツール

モード試験には, CD (Chassis Dynamometer) を用いた. また, 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 (日立 Astemo 製 HDM9000) <sup>(6)</sup>を使用した. 今回の試験では HDM9000 で計測し, インジェクタ開弁時間と走行距離から燃費を算出した.

2・3 CD 試験

CD を用いて、40、60、80、100、120km/h の 5 つの速度設定で各 5 分ずつのクルーズ試験、及び WLTC 試験を AC (Air Conditioner) オフで試験を行った。試験にて測定されたインジェクタの開弁時間と燃費からインジェクタの流量特性 (TiQ) を調べ、実路試験にて計測したインジェクタの開弁時間から燃費を計算した。CD 試験における車重設定は自動車検査証に記載されていた車両重量に 110kg を加えた値とした。

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、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 50km/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 27km の実路試験を秋季に行った。

Table 1 Test vehicles specifications

	A (AQUA) (2020)	B (NOTE e- power) (2023)
Model	NHP10	E13
Drive system	FF	FF
Length (m)	4.050	4.050
Width (m)	1.695	1.695
Full Height (m)	1.455	1.52
Vehicle weight (kg)	1090	1230
Engine model	1N2-FXE	HR12DE-EM47
Engine type	In-line 4- cylinder	In-line 3- cylinder
Total (ℓ)	1.496	1.198
Bore×Stroke (mm)	75.0×84.7	78.0×83.6
Engine maximum output (kW/rpm)	54/4800	60/6000
Motor maximum output (kW/rpm)	45	85/2900-10341
Engine maximum torque (N・m/rpm)	111/3600-4400	103/4800
Motor maximum torque (N・m/rpm)	169	85/0-2900
Fuel consumption rate (km/ℓ)	27.2 WLTC Mode	WLTC Mode Urban 27.8 Rural 31.1 Highway 27.1

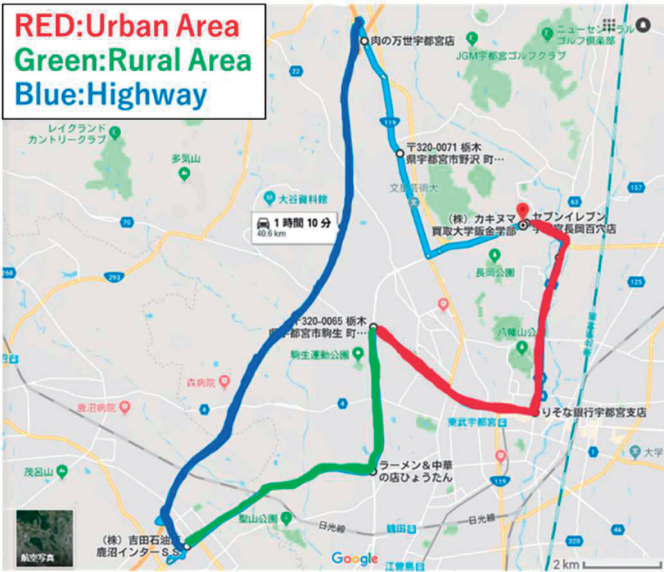


Fig.1 Test route of real driving tests in Utsunomiya

3. 実験結果解析

3・1 実験結果

表 2 に実路試験の各ドライバの区画ごとの燃費を示す。外気温は気象庁が発表している HP 情報から求めた<sup>7)</sup>。

3・2 平均車速と燃費の関係

市街地における3人のドライバの燃費の各平均値を基準にしたシリーズHVとシリパラHVの市街地、郊外、及び高速の燃費を図2に示す。市街地を1とした場合、郊外のシリーズHVは平均1.13、シリパラHVは平均1.31であり、シリーズHVは郊外で市街地より約13%燃費が向上するのに対して、シリパラHVは約31%向上しており、シリパラHVの方が変化が大きい。高速では市街地を1とした場合、シリーズHVでは0.96、シリパラHVでは0.95とほぼ同じである。

また平均車速に対する燃費の傾きは市街地と郊外では、シリーズHVは0.0108、シリパラHVは0.0177であり、郊外と高速の傾きはシリーズHVは-0.0037、シリパラHVは-0.0094である。シリーズHVはシリパラHVよりも高速にて電気エネルギー変換を生じるため燃費が低下すると予測していたが、高速での大きな燃費の低下は認められなかった。

以上により、シリーズHVは市街地、郊外、及び高速の燃費変化がシリパラHVと比べて少ないHVであると考ええる。

Table 2 Fuel consumption of real driving

Driver	A	B	C	Average
Day	2023/10/16	2023/10/17	2023/10/18	
Outside temperature (°C)	20.59	21.8	21.8	
Weather	Sunny	Sunny	Sunny	
Urban (km/L)	25.6	26	27.5	26.4
Rural (km/L)	24.9	31.1	33.6	29.9
Highway (km/L)	24.6	27.2	23.9	25.3
Overall (km/L)	25	27.5	26.8	26.4

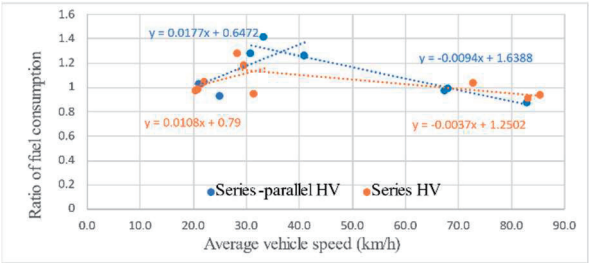


Fig.2 Comparison of fuel consumption between series-parallel HV and series HV

3・3 各走行状態と燃費の関係

加速、減速、アイドル、クルーズの各走行状態とH燃費の相関を調べた。各状態の時間割合を表3に示す。

また、各状態の時間頻度と燃費との相関係数を図3に示す。燃費と加速頻度の相関係数は0.20、減速頻度とは0.27、アイドル頻度とは-0.79、クルーズ頻度とは0.36となり、アイドル頻度以外では燃費との相関が見られなかった。

シリーズHVでは、減速時に電力回生を行うと共に、エンジンを燃費効率の良いエンジン回転数とトルクで発電を行うため、燃費と加減速頻度に相関がなくなると考える。しかしながら、燃費とアイドル頻度の相関が-0.79と負の相関を示した。これはアイドル時にモータとバッテリーを温調するなど電力を使用するため、バッテリーのSOC (State of Charge) が低下し、その後の走行時にエンジン作動頻度が増加したためと考える。

Table 3 Driving state time frequency of real driving

	Driver	Acceleration (%)	Deceleration (%)	Idle (%)	Cruise (%)
Urban	A	13.3	14	33.3	39.4
	B	12.2	12.5	33	43.3
	C	12.8	14.6	30.4	42.2
Rural	A	12.2	14.7	27.8	45.3
	B	9	11.1	25	54.9
	C	15	17.2	24.4	42.4
Highway	A	5.4	7.9	0.1	86.6
	B	4.7	6.6	0	88.7
	C	5.1	5.6	0.1	89.2

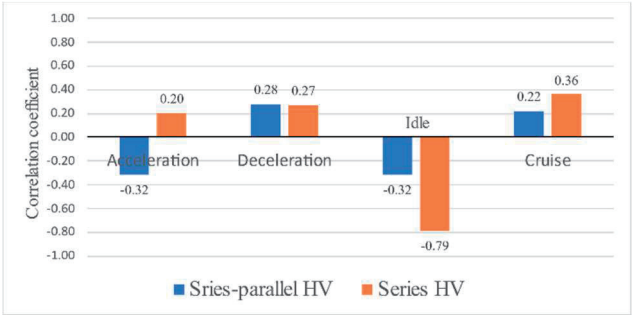


Fig.3 Correlation coefficient of each driving state

3・4 シリーズHVのエンジン作動特性

図4から図6にドライバAの市街地、郊外、及び高速の車速、エンジン回転数、及びエンジントルクを示す。すべての走行でエンジン作動と停止を繰り返していることが分かる。

市街地の場合、エンジン回転数は約 2000rpm とエンジントルク約 71Nm、エンジン回転数約 2375rpm とエンジントルク約 72.5Nm の 2 パターンで作動している。郊外ではエンジン回転数は約 2375rpm で作動しているおり、エンジントルクは約 70Nm で一定である。高速では、エンジン回転数は約 2375rpm で作動し、エンジントルクは約 72.5Nm でほぼ一定である。

エンジン作動頻度（エンジントルクが正の値の頻度）を表 4 に示す。この結果から、市街地、郊外、高速の順でエンジン作動頻度が上昇していることが分かる。エンジンの作動と停止を繰り返すのは、エンジン停止時の走行により、バッテリーの SOC が低下するとエンジンがバッテリーの発電のために作動することが考えられるが、車速の上昇に伴い、走行抵抗が増加するため SOC の低下が早くなるため、車速が増加するとエンジンの作動頻度が上昇するものと考えられる。

以上のことから、シリーズ HV はエンジンの燃料消費の少ない走行負荷に応じた複数の作動点で運転するために市街地や郊外に比べて高速での大きな燃費の低下が生じないものとする。

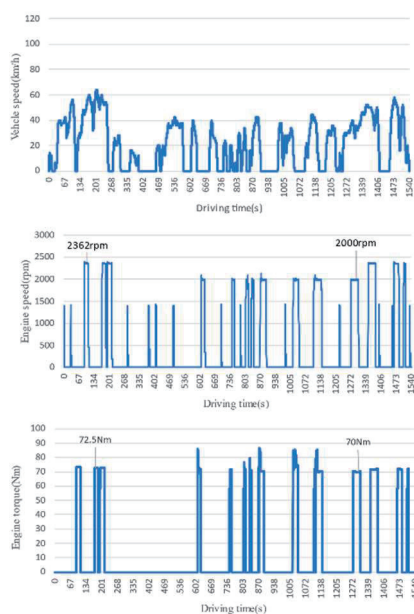


Fig.4 Vehicle speed, engine speed and torque at urban by driver A

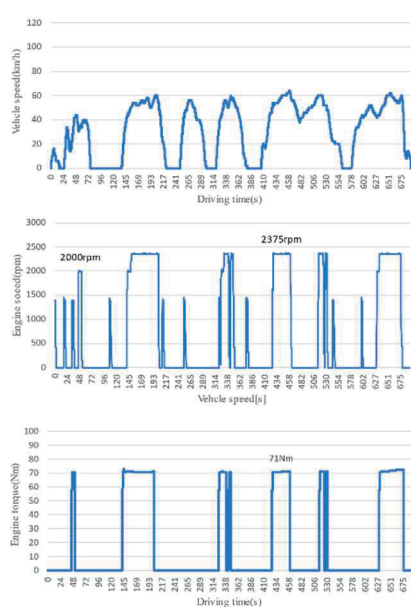


Fig.5 Vehicle speed, engine speed and torque at rural by driver A

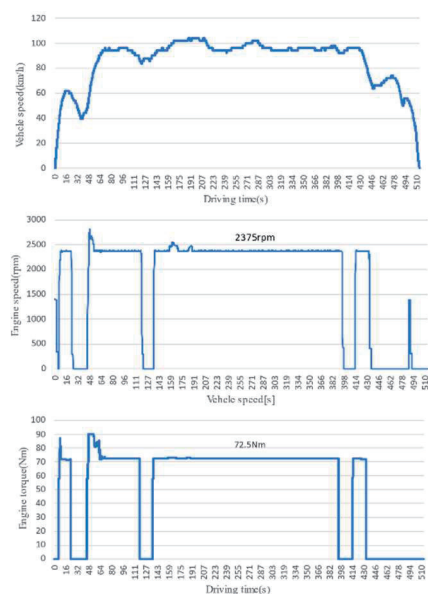


Fig.6 Vehicle speed, engine speed and torque at highway by driver A

	Average Vehicle speed(km/h)	Driver A (%)	Driver B (%)	Driver C (%)	Average (%)
Urban	21.3	17.3	16.8	15.9	16.7
Rural	29.8	26.0	19.5	16.8	20.8
Highway	80.4	71.7	56.0	70.4	66.0

Table 4 Operating rate of engine at each driving state

#### 4. 結 語

シリーズ HV の市街地、郊外、及び高速での燃費をシリパラ HV と比較し解析した結果、以下のことが分かった。

(1) 市街地における 3 人のドライバの燃費の各平均値を 1 とした場合、シリーズ HV は郊外で市街地より約 13% 燃費が向上するのに対して、シリパラ HV は約 31% 向上しており、シリパラ HV の方が変化が大きい。高速では市街地を 1 とした場合、シリーズ HV では 0.96、シリパラ HV では 0.95 とほぼ同じである。よってシリーズ HV は市街地、郊外、及び高速の燃費変化がシリパラ HV と比べて少ない HV であると考えられる。

(2) シリーズ HV において、燃費と加速頻度の相関係数は 0.20、減速頻度とは 0.27、アイドル頻度とは -0.79、クルーズ頻度とは 0.36 となり、アイドル頻度以外では燃費との相関が見られなかった。シリーズ HV では、減速時に電力回生を行うと共に、エンジンを燃費効率の良い走行負荷に応じた複数のエンジン回転数とトルクを用いて発電を行うため、燃費と加減速頻度に相関がなくなると考える。

しかしながら、燃費とアイドル頻度の相関が -0.79 と負の相関を示した。これはアイドル時にモータとバッテリーを温調するなど電力を使用するため、バッテリーの SOC が低下し、その後の走行時にエンジン作動頻度が増加したものと考えられる。

(3) エンジン作動頻度が、市街地、郊外、高速の順で上昇していることが分かった。エンジンの作動と停止を繰り返すのは、エンジン停止時の走行により、バッテリーの SOC が低下するとエンジンがバッテリーの発電のために作動することが考えられるが、車速の上昇に伴い、走行抵抗が増加するため SOC の低下が早くなるため、車速が増加するとエンジンの作動頻度が上昇するものと考えられる。

以上によりシリーズ HV は、実路における交通流による走行車速の変化や、ドライバの運転操作による加減速頻度などの走行状態の変化に対して燃費の変化が少ないシステムであると考えられる。

#### 文 献

- (1) 経済産業省, “2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略”  
<https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005-4.pdf> (Accessed July 16, 2024)
- (2) 石井信行, “ハイブリット自動車を用いた実路走行における燃費に関する研究”, 2020 年度自動車技術会関東支部 学術研究講演会原稿, p.1-4(2021)
- (3) 日産自動車, “2022 年度の国内販売で、「ノート」, 「ノート オーラ」が電動車販売台数 No.1 を獲得”  
<https://global.nissannews.com/ja-JP/releases/230420-00-j#> (Accessed Jan22, 2024)
- (4) 日本車カタログコレクション, “トヨタ アクア DAA-NHP10 型|2011 年 12 月版 カタログ”  
<https://jccc2009.web.fc2.com/japanese/toyota/aqua-nhp10-201112/index.html> (Accessed Jan23, 2024)
- (5) 日産自動車株式会社, “日産ノート諸元表”  
[https://www-asia.nissan-cdn.net/content/dam/Nissan/jp/vehicles/note/2312/pdf/note\\_specsheets.pdf](https://www-asia.nissan-cdn.net/content/dam/Nissan/jp/vehicles/note/2312/pdf/note_specsheets.pdf) (Accessed Jan23, 2024)
- (6) 日立 Astemo 株式会社, “自動車整備用品”  
<https://aftermarket.hitachiastemo.com/ja/automotive/product/diagnostictool/index.html> (Accessed Jan 22, 2024)
- (7) 気象庁宇都宮气象台  
<https://www.jma.go.jp/jma/index.html> (Accessed Jan 22, 2024)

#### 謝 辞

本研究を進めるにあたり、CD 試験を行っていただくとともに、大変貴重なご助言をいただきました株式会社小野測器の皆様に心から感謝を申し上げます。

一般社団法人 日本機械学会の承認を得て掲載



## BEVの実路エコドライブ手法に関する検討

ーワンペダル走行が電費に与える影響ー

加藤 彰<sup>1)</sup> 加藤 開<sup>1)</sup> 藤坂 世成<sup>1)</sup> 鐘 一泓<sup>1)</sup>Study on Real Road Eco-driving Methods for BEV  
- Effect of One-pedal Driving on Electric Energy Consumption -

Akira Kato Kai Kato Sena Fujisaka Zhong Yihong

The number of BEV (Battery Electric Vehicle) is increasing worldwide in order to achieve carbon neutrality by 2050. In this study, we analyzed the impact of one-pedal driving on energy consumption mainly attached to BEV. We conducted a real road test in Utsunomiya City using typical BEV in Japan with and without the one-pedal function in urban, rural, and highway. The results of these tests were analyzed in terms of the frequency of acceleration, deceleration, cruise, and idle, and the effects of one-pedal driving on the energy consumption characteristics of the BEV were investigated.

**KEY WORDS:** EV and HV systems, state of charge(SOC), system technology, energy consumption, real drive emissions, One-Pedal Driving, BEV(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BEV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。

本研究では主にBEVに付帯しているワンペダル走行が電費に与える影響について解析する。ワンペダル走行とはアクセルペダルの踏み加減を調整するだけで発進、減速、停止までコントロールすることができ<sup>(2)</sup>、ユーザーの9.52%がワンペダル走行を使用すると、「電費が向上している気がする」と回答している<sup>(3)</sup>。日本における代表的なBEVを用いて宇都宮市内の実路走行試験を、市街地、郊外、高速に別けてワンペダル機能の有無で実施した。この走行結果を、加速、減速、クルーズ、アイドルの頻度解析の結果からワンペダル走行の有無がBEVの電費特性に与える影響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2010年12月以降約16万7000台と国内のBEVの中で代表的なBEVを選定した<sup>(4)</sup>。表1に試験車両諸元を示す<sup>(5)</sup>。

## 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(日立Astemo製HDM9000)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<sup>(6)</sup>。

## 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27kmの実路試験を秋季に行った。

Table 1 Test Vehicle Specifications

Vehicle model code	ZE1
Drive system	FF
Length (m)	4.480
Width (m)	1.790
Full Height (m)	1.540
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
Energy consumption rate (Wh/km)	155 WLTC Mode
	120 JC08 Mode
Travel distance per full battery(km)	322 WLTC Mode
	400 JC08 Mode

1) 帝京大学(320-8551 栃木県宇都宮市豊郷台1-1)

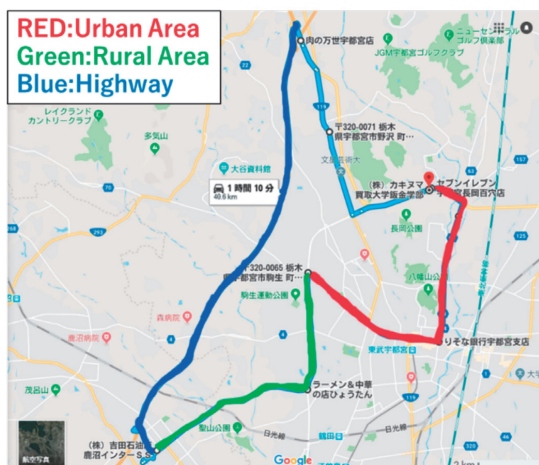


Fig.1 Test Route of Real Driving in Utsunomiya City

### 3. 実験結果

#### 3.1. 実路試験

表 2 にワンペダル無し、表 3 にワンペダル有りの各ドライバの区分ごとの電費を示す。外気温は気象庁が発表している情報から求めた<sup>7)</sup>。また、図 2 から図 4 にワンペダル有無による各ドライバの電費を示す。

電費について、最も良い結果となったのはワンペダル有りのドライバ B における郊外での電費で、97.11Wh/km であった。最も悪い結果となったのはドライバ C における高速で、174.27Wh/km であった。また、ワンペダルの有無による電費の影響で、最も変化があったのはドライバ B における市街地での電費で、ワンペダル有りで 13.13%電費が良くなる結果となった。

Table 2 Energy Consumption of Real Driving Tests  
with One-Pedal OFF

Driver	A	B	C	Average
Date	2022/10/31	2022/11/1	2023/10/13	
Weather	Sunny	Cloudy	Sunny	
Outside air temperature (°C)	18.10	18.20	22.25	19.52
Urban (Wh/km)	123.86	127.82	130.35	127.46
Rural (Wh/km)	105.08	102.25	106.79	104.61
Highway (Wh/km)	142.50	181.43	169.61	175.20

Table 3 Energy Consumption of Real Driving Tests  
with One-Pedal ON

Driver	A	B	C	Average
Date	2023/10/5	2022/10/3	2023/10/6	
Weather	Cloudy	Sunny	Sunny	
Outside air temperature (°C)	19.14	24.96	23.23	22.44
Urban (Wh/km)	119.13	111.03	114.49	116.06
Rural (Wh/km)	98.18	97.11	120.65	113.32
Highway (Wh/km)	139.78	152.48	174.27	162.73

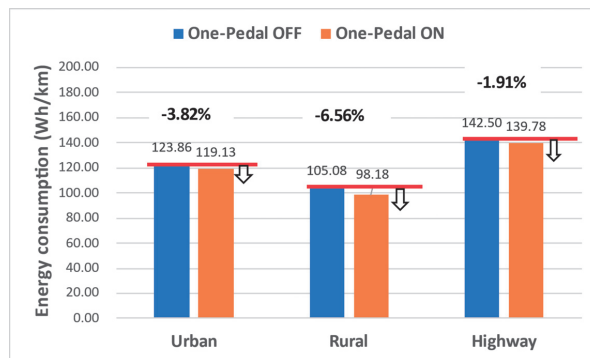


Fig.2 Comparison of Energy Consumption of One-Pedal by Driver A

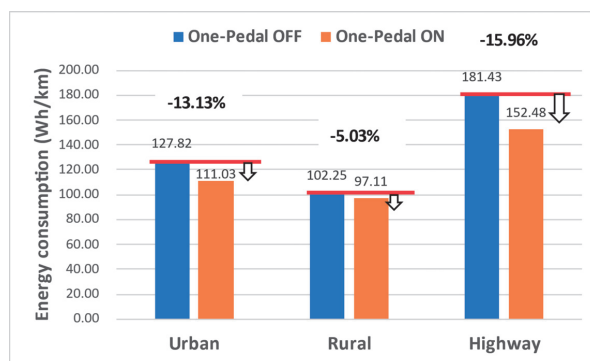


Fig.3 Comparison of Energy Consumption of One-Pedal by Driver B

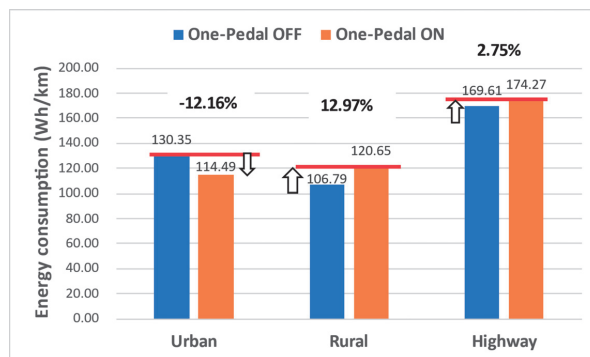


Fig.4 Comparison of Energy Consumption of One-Pedal by Driver C

### 4. 考察

#### 4.1. ワンペダル有無による平均車速と電費の関係について

解析を行うにあたり、電費の単位をガソリン車の燃費の単位にならない Wh/km から km/kWh に変換した。

図 5 にワンペダル有無の実路試験の各走行区分の平均車速と電費の関係を示す。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 5 よりワンペダル無しの時の市街地、郊外、速度域での BEV の電費と平均車速の相関係数は 0.95 であり正の相関がみられた。しかし、ワンペダル有りの時の市街地、郊外、速度域での BEV の電費と平均車速の相関係数は 0.48 であり弱

い相関がみられた。また、ワンペダル無しの時の郊外，高速の速度域での相関は-0.99，ワンペダル有りの時の郊外，高速の速度域での相関は-0.96 であり，負の相関がみられた。

ワンペダル有りの市街地と郊外において平均車速と電費に相関があるとすると，ワンペダル有りにて市街地走行を行った場合，ワンペダル無しに比べ平均車速が約 20km/h で電費が約 14%向上すると考えられる。しかしながら平均車速 40km/h 以上の郊外，高速ではワンペダル有無による電費の向上がほぼみられないため（約平均車速約 80km/h で約 0.60%），ワンペダル走行が電費に与える影響は市街地走行のみと考えられる。

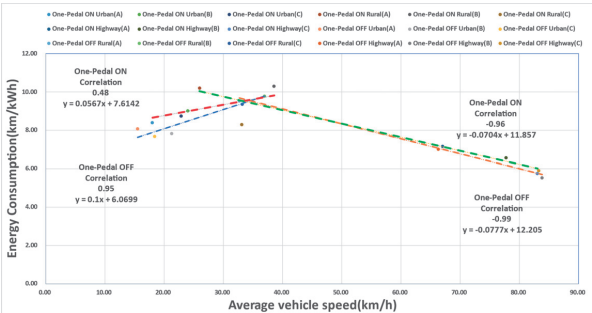


Fig.5 Comparison of Energy Consumption between One-Pedal ON/OFF

4.2. ワンペダル走行による走行状態と電費の関係について

次に加減速時間頻度と電費の関係を解析した。加減速の判定方法は，これまでの判定手法<sup>7)</sup>と同様に加速度が 0.3m/s<sup>2</sup> 以上場合は加速，-0.3m/s<sup>2</sup> 以下を減速，車速が 0km/h の場合はアイドル，加速度が-0.3 から 0.3 m/s<sup>2</sup> 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。各ドライバの加速，減速，アイドル，クルーズの時間頻度を表 4，表 5，表 6 に示す。

また，図 6 に全データの加速，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。図 7 にワンペダル有無別の加速，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，全データにおける相関係数は 0.75，ワンペダル無しでは 0.81，ワンペダル有りでは 0.71 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り，回生ブレーキの使用頻度が高くなるため電費が向上したものと考ええる。

減速頻度と電費の相関について，全データにおける相関係数は 0.83 ワンペダル無しでは 0.89，ワンペダル有りでは 0.77 と他の相関に比べ強い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ものと考ええる。

アイドル頻度と電費関係について，全データにおける相関係数は 0.44，ワンペダル無しでは 0.40 と相関がみられなかつ

たが，ワンペダル有りでは 0.55 と弱い正の相関がみられた。

クルーズ頻度と電費相関について，全データにおける相関係数は-0.63，ワンペダル無しでは-0.64，ワンペダル有りでは -0.65 とそれぞれ弱い負の相関がみられた。

Table 4 Time Frequency of Real Driving Tests with One-Pedal ON/OFF by Driver A

One-Pedal	Phase	Acceleration (%)	Deceleration (%)	Idle (%)	Cruise (%)
OFF	Urban	13.91	12.52	38.44	35.12
	Rural	20.26	17.88	14.61	47.24
	Highway	3.13	4.50	1.47	90.90
ON	Urban	16.67	14.22	28.22	40.89
	Rural	12.28	14.74	18.76	54.22
	Highway	4.72	5.09	0.03	90.15

Table 5 Time Frequency of Real Driving Tests with One-Pedal ON/OFF by Driver B

One-Pedal	Phase	Acceleration (%)	Deceleration (%)	Idle (%)	Cruise (%)
OFF	Urban	14.93	13.23	33.55	38.29
	Rural	14.68	15.62	12.72	56.98
	Highway	7.41	6.65	0.20	85.75
ON	Urban	17.41	18.13	24.93	39.53
	Rural	14.27	15.07	8.57	62.09
	Highway	5.95	7.36	0.20	86.49

Table 6 Time Frequency of Real Driving Tests with One-Pedal ON/OFF by Driver C

One-Pedal	Phase	Acceleration (%)	Deceleration (%)	Idle (%)	Cruise (%)
OFF	Urban	14.41	14.29	43.72	27.58
	Rural	15.41	18.07	23.79	42.73
	Highway	4.72	5.09	0.03	90.15
ON	Urban	17.32	18.63	32.58	31.46
	Rural	17.24	17.73	27.99	37.04
	Highway	4.72	5.09	0.03	90.15

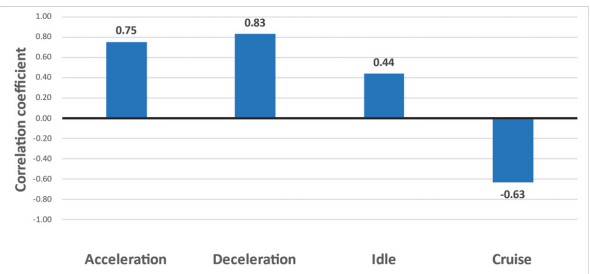


Fig.6 Correlation Coefficient of Each Driving States

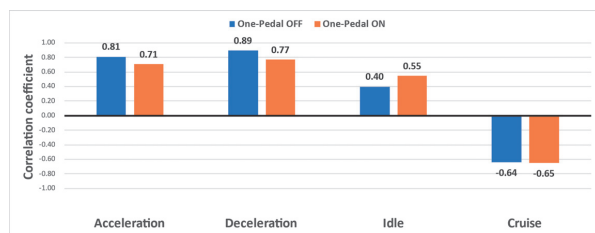


Fig.7 Correlation Coefficient of Each Driving States using One-Pedal ON/OFF

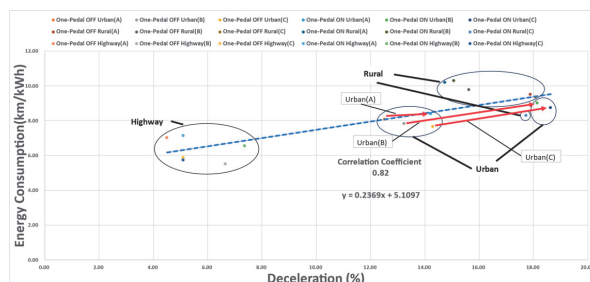


Fig.8 Relation between Deceleration Time Frequency and Energy Consumption on Real Driving Tests

#### 4.3. ワンペダル走行が減速時間頻度によって及ぼす影響

図 8 に減速時間頻度と電費の関係を示す。ワンペダル有りにした場合、ドライバ A は減速時間頻度が 1.70%, 電費が 3.97%向上し、ドライバ B は減速時間頻度が 4.90%, 電費が 15.12%向上し、ドライバ C は、減速時間頻度が 4.35%, 電費が 13.85%向上した、3 人のドライバを平均すると 10.98%電費が向上していることが分かった。また、この図から減速時間頻度と電費の相関係数は 0.82 であり、減速時間頻度が長くなると電費が向上すると考えられる。

そこで、図 9 から図 11 に市街地における各ドライバのワンペダル有無の減速度の時間頻度を示す。減速の判定方法は、これまでの判定手法<sup>(8)</sup>と同様に $-0.3\text{m/s}^2$ 以下を減速と定義し、 $-2.0\text{m/s}^2$ まで 0.1 刻みで解析を行った。図 9 から図 11 によりワンペダル無しの場合は、すべてのドライバが $-0.3\text{m/s}^2$ から $-2.0\text{m/s}^2$ 以下まで使用していることがわかる。これは、減速時にブレーキペダルを使用したため強く減速を行っているためと考える。

また、ワンペダル有りのときは、 $-0.3\text{m/s}^2$ から $-1.4\text{m/s}^2$ 付近に減速度が集中しており、ワンペダル無しに比べ大きな減速がないことがわかる。これは、ワンペダル走行の場合には減速時にアクセルペダルからブレーキペダルに踏み変える必要がなく、ドライバが減速をリニアにコントロールできるからと考える。

図 12 にワンペダル有無による、アクセルペダルの開閉割合と加速度の関係についてのイメージ図を示す。

以上により、ワンペダル走行は市街地の場合、ドライバが減速をリニアにコントロールできるため、減速時間頻度が長くなり回生ブレーキによる回生電力が増加するため電費が向上したものと考えられ、BEV はドライバの乗り方次第で電費が向上できる可能性が示唆された。

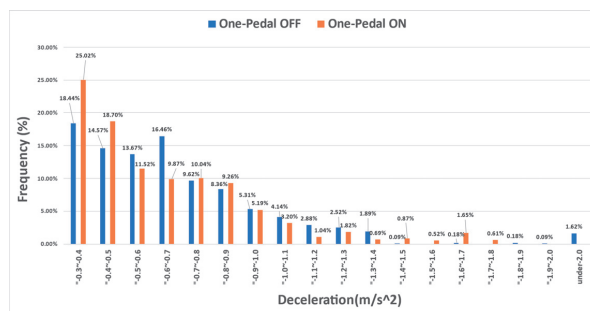


Fig.9 Comparison of Deceleration Time Frequency between One-Pedal ON/OFF by Driver A

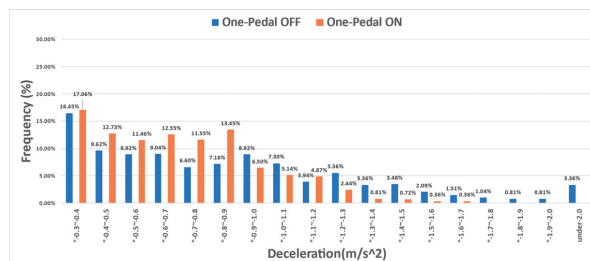


Fig.10 Comparison of Deceleration Time Frequency between One-Pedal ON/OFF by Driver B

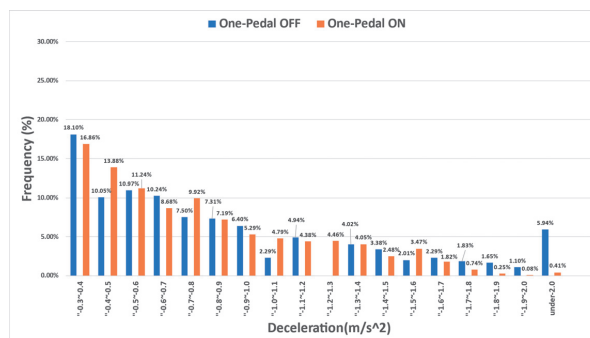


Fig.11 Comparison of Deceleration Time Frequency between One-Pedal ON/OFF by Driver C

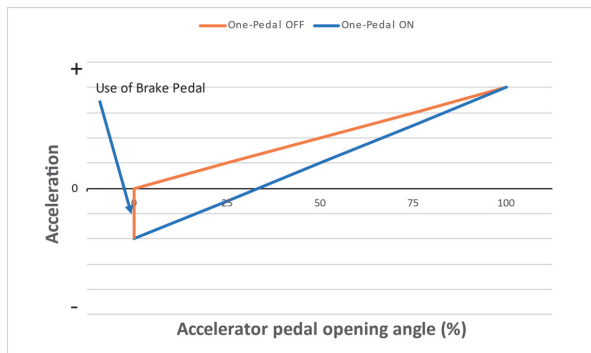


Fig.12 Image of Acceleration Control using One-Pedal ON/OFF

### 5. まとめ

日本において販売台数が多く、一般的と考える BEV を用いて 3 人のドライバでワンペダル走行の有無で実路試験を行った結果、以下のことが分かった。

- (1) ワンペダル走行における市街地走行にて最大 15.12%，平均 10.98%の電費が向上することが分かった。
- (2) 計測した平均車速と電費の関係からワンペダル有りにて市街地走行を行った場合，ワンペダル無しに比べ平均車速が約 20km/h の時，電費が約 14%向上すると考えられる。しかしながら平均車速 40km/h 以上の郊外，高速ではワンペダル有無による電費の向上がほぼみられなかった。したがってワンペダル走行が電費に与える影響は市街地走行のみと考えられる。
- (3) 加速頻度と電費の相関について，全データにおける相関係数は 0.75，ワンペダル無しでは 0.81，ワンペダル有りでは 0.71 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り，回生ブレーキの使用頻度が高くなるため電費が向上したものと考える。
- (4) 減速頻度と電費の相関について，全データにおける相関係数は 0.83 ワンペダル無しでは 0.89，ワンペダル有りでは 0.77 と他の相関に比べ強い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ものと考える。
- (5) 減速頻度について，ワンペダル無しのとき， $-0.3\text{m/s}^2$  から  $-2.0\text{m/s}^2$  以下まで使用していることがわかる。これは，ブレーキペダルを使用し減速を行っているためと考える。ワンペダル有りのときは， $-0.3\text{m/s}^2$  から  $-1.4\text{m/s}^2$  付近に集中しており，ワンペダル無しに比べて大きな減速がないことがわかる。これは，ワンペダル走行の場合には，減速時にアクセルペダルからブレーキペダルに踏み変える必要がなく，ドライバが減速をリニアにコントロールできるからと考える。

以上により，ワンペダル走行は市街地の場合，ドライバが減速をリニアにコントロールできるため，減速時間頻度が長くなり回生電力が増加するため電費が向上したと考えられ，BEV はドライバの乗り方次第で電費が向上できる可能性があることが示唆された。

### 参 考 文 献

- (1) 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”, 2023 年度自動車技術会関東支部学術研究講演会, p. 1-4 (2023)
- (2) 日産自動車株式会社, “e-Pedal イノベーション”  
[https://www.nissan-global.com/JP/INNOVATION/TECHNOLOGY/ARCHIVE/E\\_PEDAL/](https://www.nissan-global.com/JP/INNOVATION/TECHNOLOGY/ARCHIVE/E_PEDAL/) (Accessed Jan 19, 2024)
- (3) 日産自動車株式会社, “電気自動車(EV)総合情報サイト”  
<https://ev2.nissan.co.jp/OWNER/QUESTIONS/DETAIL/1244/> (Accessed Jan 16, 2024)
- (4) 日産自動車株式会社, “電気自動車 (EV) 総合情報サイト”  
<https://ev2.nissan.co.jp/BLOG/766>, (Accessed Jan 13)
- (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 Jan 13, 2024)
- (6) 日立 Astemo 株式会社, “自動車整備用品”  
<https://aftermarket.hitachiastemo.com/ja/automotive/product/diagnostictool/index.html> (Accessed Jan 22, 2024)
- (7) 気象庁宇都宮気象台  
<https://www.jma.go.jp/jma/index.html> (Accessed Jan 16, 2024)
- (8) 諸星裕康, Christian Ivy, 阿部良治, 加藤彰, “モード試験と実路試験による乗用車の燃費に関する研究”, 2018 年度自動車技術会関東支部学術研究講演会, p. 1-2 (2018)

### 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の皆様にご心から感謝を申し上げます。

公益社団法人 自動車技術会の承認を得て掲載



# 研 究 ノ ー ト

黒沢良夫



## C34 C35 D46 E53

## Kelvin セルを用いたウレタンフォームの吸音解析

○黒沢 良夫  
(帝京大)北村 武輝  
(帝京大)森江 奏尊  
(帝京大)石橋 圭太  
(東ソー)伊東 浩幸  
(東ソー)鈴木 啓介  
(東ソー)

Sound insulation analysis of soundproofing materials made by laminating felt and rubber layers on acoustic metamaterials

Yoshio Kurosawa Ibuki Kitamura Kanata Morie 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と空洞からなり、空洞同士は骨格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) を用いて吸音特性の予測計算を行った。空洞部分を有限要素でモデル化し、音響解析を実施した結果について報告する。

Key words: Acoustic, Sound absorption, CAE, FEM

## 1. はじめに

自動車や住宅や家電等の騒音低減のため、吸音用の発泡ウレタンフォームが用いられている。これらは骨格(膜)と空洞からなり、空洞同士はつながっていて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計算する場合、Biot-Allard モデル<sup>(1)</sup> が用いられる。計算で用いられる Biot パラメータは専用の計測機で計測して求めるが、Biot パラメータと実際の材料開発時の諸元(セル径、骨格(膜)の破れ具合、穴径など)とは結び付きにくい。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)<sup>(2)~(5)</sup> を用いて吸音特性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。ウレタンフォームの1つのセルを Kelvin セルとみなし、空洞部分(空気)を有限要素でモデル化し、音響解析を実施した。音響管による垂直入射吸音率(以後吸音率はすべて垂直入射吸音率)計測結果と FE モデルの計算結果の比較、各種パラメータスタディを行った結果について報告する。

## 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<sup>(1)</sup>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、空気の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<sup>(6)</sup>。

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。

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

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

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

$\rho_0$ : 空気の密度,  $j$ : 虚数単位,  $\omega$ : 角周波数,  $p$ : 音圧変動,  $\mu$ : 空気の粘性係数,  $\mathbf{v}$ : 速度変動,  $\kappa$ : 空気の熱伝導率,  $\tau$ : 温度変動,  $C_p$ : 定圧比熱,  $\delta$ : 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<sup>(7)(8)</sup>を用いると計算負荷が低減できる。

## 2・2 テストピースと FE モデル

図 1, 2 に今回作成した音響解析用の FE モデルを示す。図 1 は 1 個の Kelvin セルを示す。大きさは 0.666 mm とした。図中黄色い部分がウレタンの骨格で、厚さは 0.025mm とした。4 つの青い円形部分は穴をモデル化したものである。このモデルの穴の直径は 0.16mm である。図 2 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 1 のモデルを  $22 \times 22 \times 7.5$  個積み上げて直径 15.0mm、厚さ 5.0mm の円柱状にした FE モデルで、約 489 万要素である。このモデルで音響管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比から垂直入射吸音率を計算した。

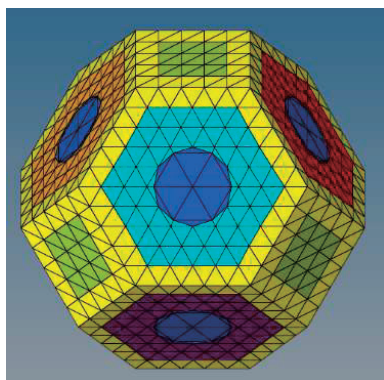


Fig.1 Kelvin cell by FE model

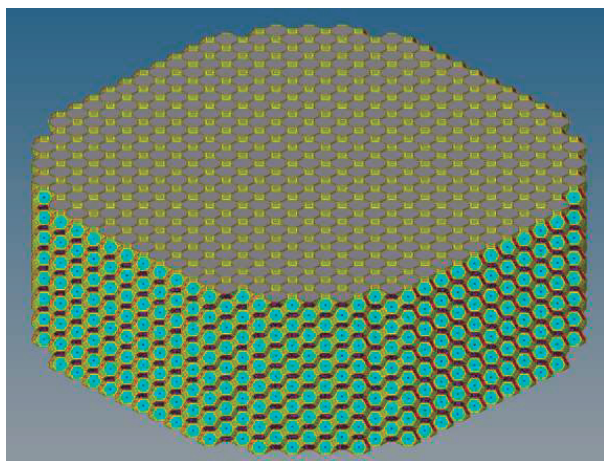


Fig.2 Cylindrical stacked Kelvin cell FE model

## 3. 実験結果と計算結果

図 3 にウレタンフォームの吸音率の計測結果と FE モデルの計算結果の比較を示す。図中青線が計測結果、緑線が穴径 0.08mm(多孔度 0.821)の計算結果、茶色線が穴径 0.16mm(多孔度 0.832)の計算結果である。今回のモデルでは常温状態(気温 22℃)として、空気の音速は 343.5m/s、密度は

$1.205\text{kg/m}^3$  損失係数は 0.001 とした。また、開口率は 39.4% とした。開口率とは、モールド成形したウレタンフォームの表層面の面全面積に対する穴面積の比である。穴径を大きくするとピーク周波数が高周波側に移動し、ピーク周波数以上の周波数域で吸音率が大きくなり計測結果に近づくことが確認できた。

図 4 に空気の損失係数を変更した計算結果を示す。図中青線が計測結果、茶色線が損失係数 0.001、濃い青線が 0.01、緑線が 0.1 の計算結果である。空気の損失係数を大きくすると、ピークの吸音率は小さくなるが、それ以外の周波数の吸音率が大きくなることが確認できた。

図 5 に開口率を変更した計算結果を示す。図中青線が計測結果、茶色線が開口率 39.4%、薄い青線が 48.5%、濃い青線が 53.4% である。開口率を大きくすると、若干ではあるがピーク周波数が高くなり、計測結果に近づくことが確認できた。

図 6 にセルの壁の厚さを変更した計算結果を示す。図中青線が計測結果、水色線が  $25.0\mu\text{m}$ 、オレンジ線が  $5.3\mu\text{m}$  である。壁の厚さを薄くすると、若干ではあるがピーク周波数が高くなり、計測結果に近づくことが確認できた。

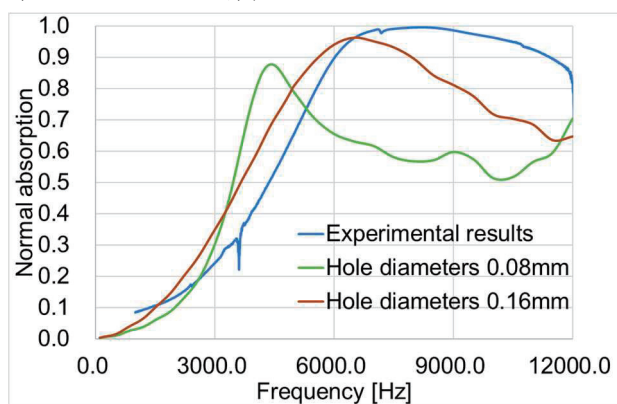


Fig. 3 Comparison of calculation results with changed hole diameters

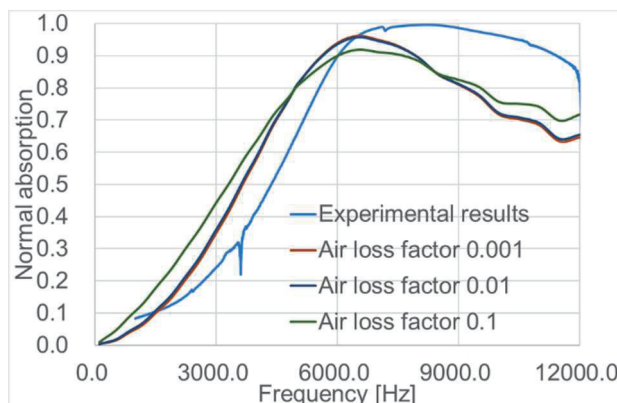


Fig. 4 Comparison of calculation results with changed air loss factor

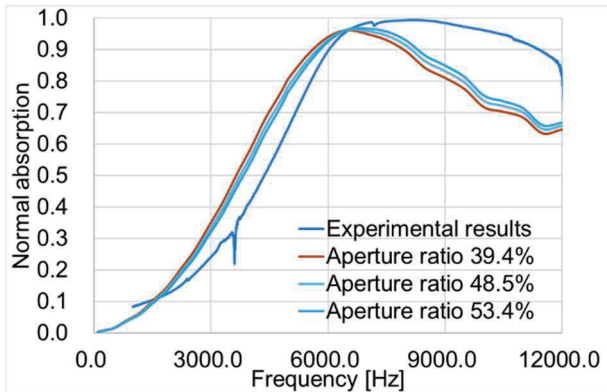


Fig. 5 Comparison of calculation results with changed aperture ratio

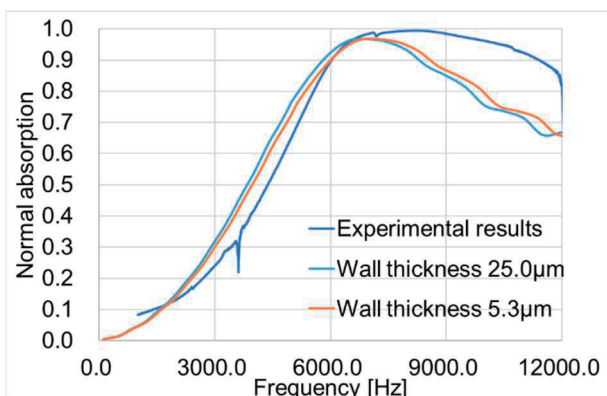


Fig. 6 Comparison of calculation results with changed wall thickness

#### 4. まとめ

Kelvin セルを用いてウレタンフォームの構造を有限要素モデル化し、吸音率を計算した。計測結果と比較し、おおよそ近い値になることを確認した。本計算結果から以下の知見を得た。

- ・穴径が大きくなるほどピーク周波数は大きくなり、吸音率も向上した。
- ・空気の減衰値が大きくなると、高周波域で吸音率が向上した。
- ・ウレタンの表層面での開口率が大きくなると、ピーク周波数は大きくなり、吸音率も若干向上した。
- ・セルの壁厚さを薄くすると、ピーク周波数は大きくなり、吸音率も若干向上した。

今後は計算精度を向上し、広い周波数域で高い吸音率を示す形状の検討や、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, “発砲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, “摂動法を用いた発砲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.

制振工学研究会の承認を得て掲載



# セルロースナノファイバーを積層したフェルトの吸音解析

## Sound absorption Analysis of felt laminated with CNF

黒沢 良夫<sup>\*1</sup>, 〇正

Yoshio KUROSAWA<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> 帝京大学 Teikyo University

In recent years, the number of sound-absorbing materials used in automobiles and other devices has been increasing, in which several materials are laminated instead of one material in order to reduce weight and improve sound absorption performance. In this study, cellulose nanofibers (CNF) were laminated on felt, which is generally used in automobiles, to improve the sound absorption performance. Three types of felts of different thicknesses and densities were laminated with CNF to measure the flow resistance and sound absorption performance. The results of the analysis of the amount of CNF and the changes in flow resistance and sound absorption coefficient are reported.

**Key Words** : absorption, felt, CNF, impedance tube, flow resistivity

### 1. 結 言

近年、自動車などに用いられる吸音材は、軽量化・省スペース化や、複数の種類の材料を積層したりしてより吸音性能の高いものに進化している。今回、セルロースナノファイバー（CNF）をフェルトに積層し、吸音性能や流れ抵抗を計測した。CNF とは、木・パルプをナノレベルまで解繊した繊維である。一般的に、繊維径が細い繊維ほど吸音性能は高く<sup>(1)(2)</sup>、従来のフェルトに追加することで吸音率を向上できると考えた。厚さや密度の異なる3種類のフェルトにCNFを追加し、追加した量と吸音率の変化・流れ抵抗の変化について前報<sup>(3)</sup>に対して新たな計測結果を追加し分析を行った。

本研究では、CNF は日本製紙(株)のセレンピア TC-01A（図1）を用いた。こちらは、繊維幅は約2~4nm、セルロース分子20~30本が規則的に並んだ極細繊維1%が水分散体したゲル状になっており、霧吹きでフェルトに吹き付け乾燥させてテストピースとした<sup>(3)</sup>（図2a）。音響管で垂直入射吸音率を計測したため直径29mmの円柱状となっている。吹き付け前のフェルト（図2b）と比較すると上面が白っぽくなっているのがわかる。これは、上面に乾燥したCNFの膜が形成されたためである。

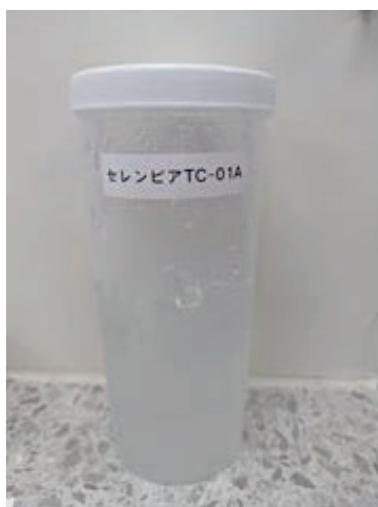


Fig.1 CNF (TC-01A)



a. Felt laminated with CNF



b. Felt before CNF lamination

Fig.2 Test piece used for sound absorption coefficient measurement

## 2. 計測結果

### 2・1 吸音率計測結果

フェルトのみと CNF を積層したフェルトの吸音率の計測結果を比較した。Φ29mm の音響管を用いて垂直入射吸音率を計測した。

図 3 に厚さ約 19.8mm, 密度 86.1kg/m<sup>3</sup> (目付 1630g/m<sup>2</sup>) のフェルトに CNF を積層した際の吸音率の変化を示す。左から目付+25.6g/m<sup>2</sup>, +37.6g/m<sup>2</sup>, +55.8g/m<sup>2</sup> の場合である。CNF を追加すると吸音率のピーク周波数が低周波側にシフトすることが分かる。これは、CNF が積層される事で通気抵抗の大きい層が生成され、密度を大きくした場合と同様の効果が得られていると考えられる。図 4 に CNF の追加による目付の変化と CNF+フェルトの第 1 ピーク周波数のグラフを示す。おおよそ負の相関があることが確認できた。

図 5 に厚さ約 9.8mm, 密度 81.5kg/m<sup>3</sup> (目付 795g/m<sup>2</sup>) のフェルトに CNF を積層した際の吸音率の変化を示す。図 3 のフェルトの厚さ半分のタイプである。上から目付+13.0g/m<sup>2</sup>, +14.0g/m<sup>2</sup>, +14.8g/m<sup>2</sup> の場合である。CNF を追加すると、膜を積層した場合と同様にいくつかの吸音率のピークが発生している。また、CNF の量を増やすと膜の厚さが増えるイメージで吸音率のピーク周波数がより低周波側にシフトすることが分かる。図 6 に CNF の追加による目付の変化と CNF+フェルトの第 1 ピーク周波数のグラフを示す。おおよそ負の相関があることが確認できた。

図 7 に厚さ約 3.8mm, 密度 221.2kg/m<sup>3</sup> (目付 849g/m<sup>2</sup>) のフェルトに CNF を積層した際の吸音率の変化を示す。図 5 のフェルトと同じ目付で厚さを圧縮したタイプである。上から目付+9.6g/m<sup>2</sup>, +16.2g/m<sup>2</sup>, +17.6g/m<sup>2</sup> の場合である。CNF を追加すると、図 5 と同様にいくつかの吸音率のピークが発生している。また、CNF の量を増やすと吸音率のピーク周波数がより低周波側にシフトすることが分かる。図 8 に CNF の追加による目付の変化と CNF+フェルトの第 1 ピーク周波数のグラフを示す。おおよそ負の相関があることが確認できた。

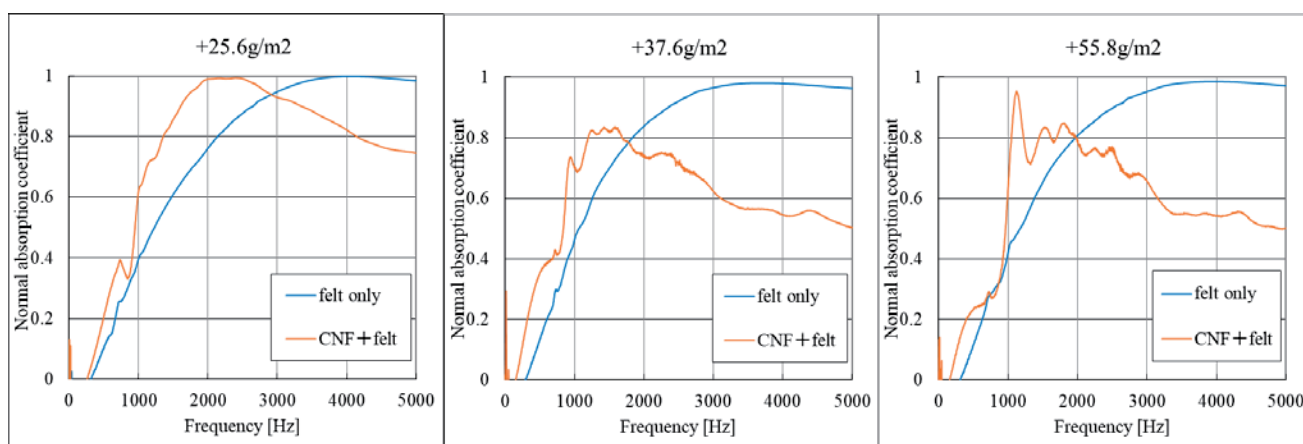


Fig. 3 Sound absorption coefficient measurement results (felt thickness 19.8mm)

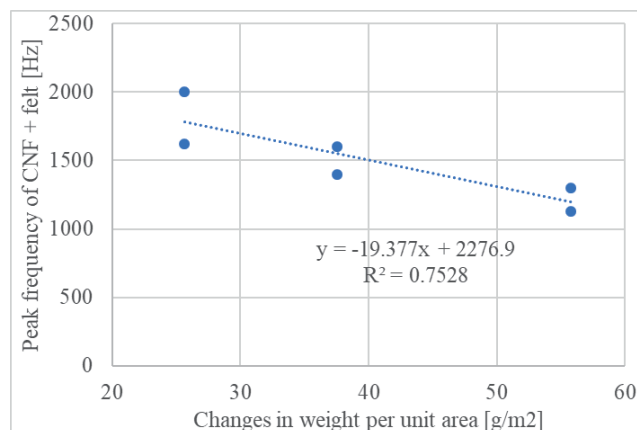


Fig.4 Changes in weight per unit area and peak frequency of CNF + felt

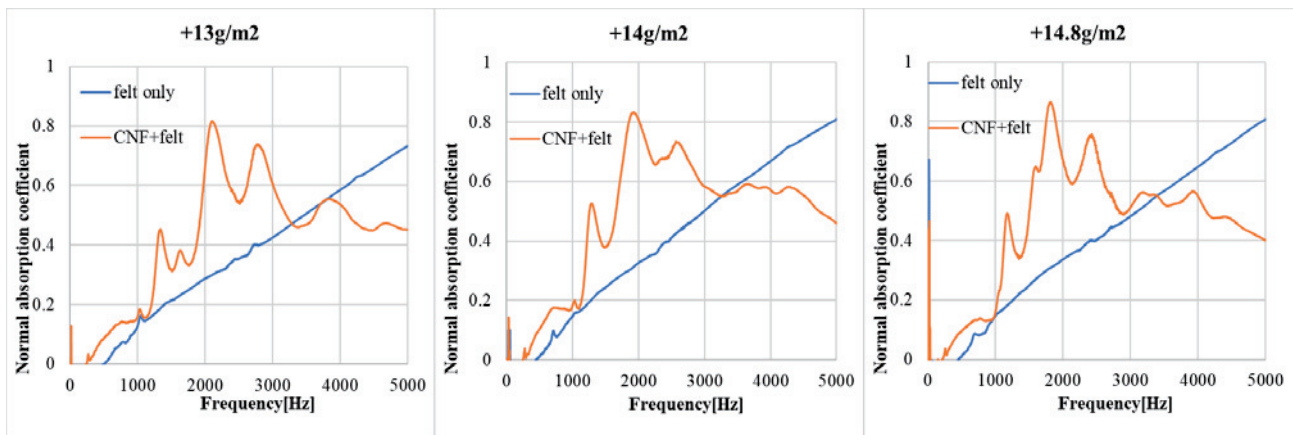


Fig. 5 Sound absorption coefficient measurement results (felt thickness 9.8mm)

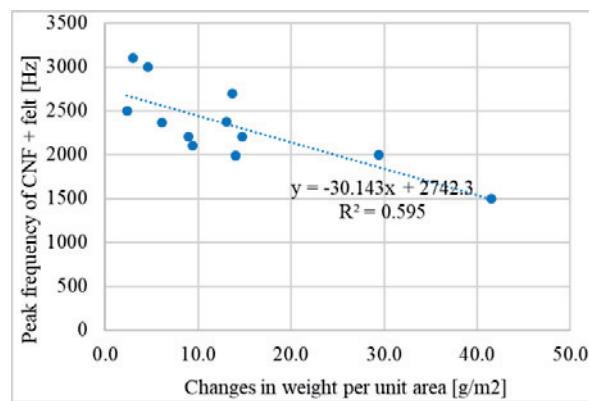


Fig.6 Changes in weight per unit area and peak frequency of CNF + felt

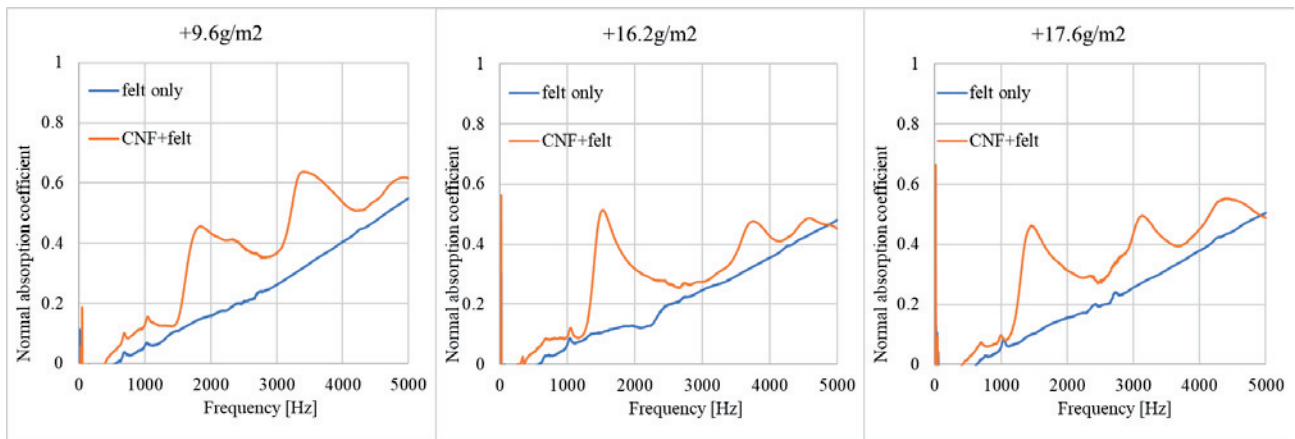


Fig. 7 Sound absorption coefficient measurement results (felt thickness 3.8mm)

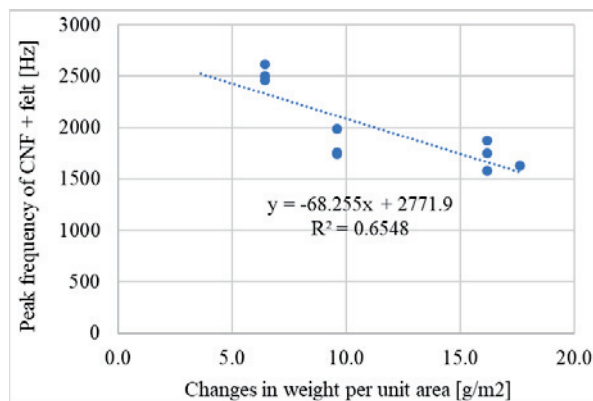


Fig.8 Changes in weight per unit area and peak frequency of CNF + felt

## 2・2 流れ抵抗計測結果

次に、カトーテック製の通気性試験機 KES-F8-API（図 9）を用いて流れ抵抗を計測した結果を示す。図 10 に 3 種類のフェルトについて、積層した CNF の量とテストピースの流れ抵抗値が何倍に変化したかを示す。なお、CNF 積層前のフェルトの流れ抵抗は上から約  $39000[\text{Ns/m}^4]$ 、 $47000[\text{Ns/m}^4]$ 、 $270000[\text{Ns/m}^4]$ であった。目付の変化と流れ抵抗の変化はおおよそ正の相関があることが分かった。流れ抵抗が大きくなり吸音率が変化したと考えられる。



Fig. 9 KES-F8-API

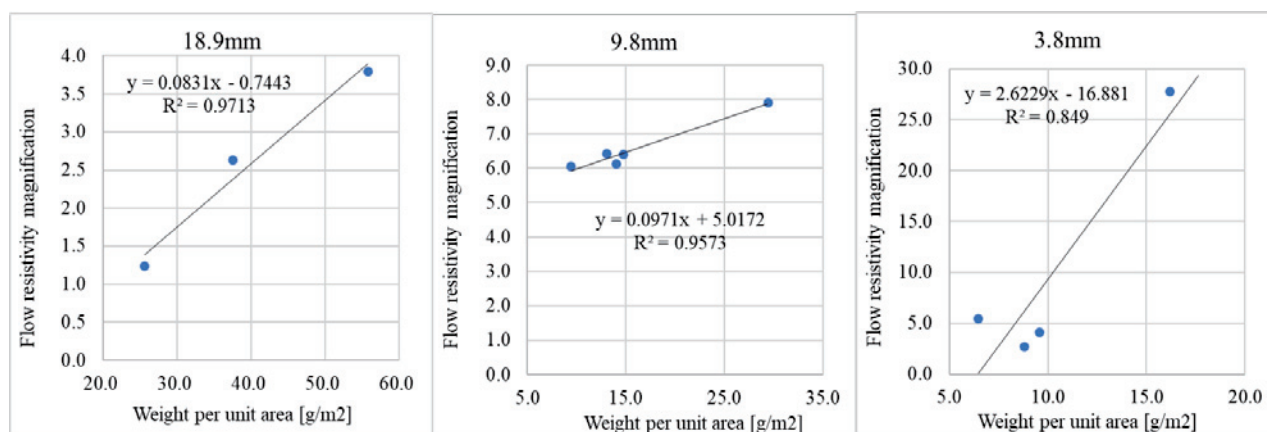


Fig.10 Changes in weight per unit area and flow resistivity

## 3. 結 語

3 種類のフェルトにゲル状の CNF を吹きかけ乾燥させたサンプルの吸音率、流れ抵抗を計測した。ゲル状の CNF は単体で乾燥するとフィルム状になった。フェルトに吹きかけると、フェルトの上面に通気抵抗の高い層が形成された。

CNF を積層すると、3 種類のフェルトとも吸音率のピーク周波数が低周波側に移動した。これは、CNF の層により通気のない（通気抵抗の大きい）フィルムを積層した場合と同様の効果と考えられる。

流れ抵抗は、おおよそ CNF の量に正の相関で大きくなることが確認できた。

今後は、さまざまな密度のフェルトに積層したり、CNF の変化量を大きくし、より詳細な分析や吸音メカニズムについて解析する予定である。

## 文 献

- (1) Shuichi Akasaka, Takahisa Kato, Keisuke Azuma, Yuichi Konosu, Hidetoshi Matsumoto, and Shigeo Asai, “Structure-sound absorption property relationships of electrospun thin silica fiber sheets: Quantitative analysis based on acoustic models”, Applied Acoustics No.152 (2019), pp13–20.
- (2) 黒沢良夫, “極細繊維材の吸音率予測手法の開発”, 日本機械学会論文集 Vol.82, No.837(2016).
- (3) 黒沢良夫, 道下皓佐, “CNF（セルロースナノファイバー）を積層したフェルトの吸音性能に関する研究”, 日本音響学会 10 月度建築音響研究会

# 研 究 ノ ー ト

蓮田裕一



# Development of Anomaly Detection System for Flight Data using AI

Takeshi Okazaki

School of Science and Engineering, Teikyo University  
1-1 Toyosatodai, Utsunomiya, Tochigi, Japan

Yuichi Hasuda

School of Science and Engineering, Teikyo University  
1-1 Toyosatodai, Utsunomiya, Tochigi, Japan

**Abstract**— It is essential for flight safety to support pilot in flight from the ground by air traffic controllers with high reliable IT systems. But such IT system needs huge budget, long developing period, and lacks some flexibility. We developed AI system which automatically configure normal flight pattern by learning the daily flight data, then automatically configure abnormal flight pattern. It can operate independently of existing IT systems. With this system, outlier pattern will be flexibly identified, then you can effectively detect some outlier data with less costs.

**Keywords**— anomaly detection, flight data, CARATS, machine learning)

## I. INTRODUCTION

It is essential for flight safety to support pilot from the ground staffs and ground systems. Currently, these support from the ground is being carried out by the well-trained air traffic controllers 24 hours a day 365 days a year, using various air traffic control information processing systems [1].

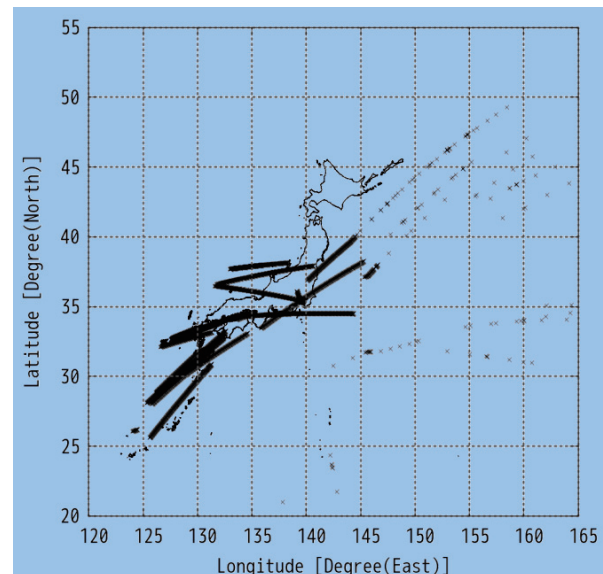
Although these IT systems have very high reliability and many functionalities, it is huge in scale and quite complicated so that it requires long period to develop. In addition, it cannot detect abnormal behavior unless it is pre-defined or pre-programmed in advance. On the other hand, human can monitor with great flexibility and can detect anomalies which are not detected by such systems. But there are some differences in personal skills, and human errors such as oversight cannot be perfectly eliminated.

In this study, we will try to develop a system which utilizes AI to learn flight data and detect abnormal pattern. It automatically learns normal flight data and detects abnormal flight patterns. It will complement the functions and roles of both humans and IT systems with great flexibility, then improves surveillance capabilities.

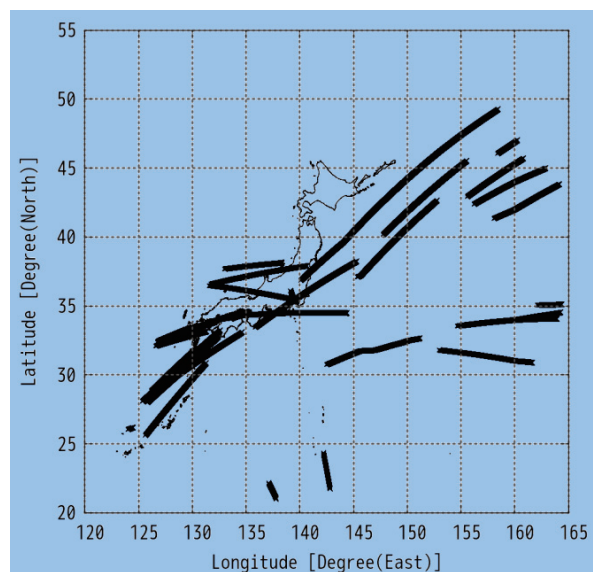
## II. ANOMALY DETECTION BY MACHINE LEARNING

### A. Data for Machine Learning

We have utilized CARATS (Collaborative Actions for Renovation of Air Traffic System) [2] Open Data as nominal flight data for our machine learning. It is the data sets published by the MLIT (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism) Japan for R & D purpose and are used by many researchers.[3] This data consists of both regular airline flight data and weather data.



(a) Unprocessed data



(b) After linear interpolation

Fig.1 CARATS Open Data Example  
(April 20,2020 00: 00: 00 ~ 00: 59: 59 JST)

However, since the data interval can be extremely large in time over ocean area (Fig.1 (a)), we linearly interpolate the data and use them so that the data interval becomes 1 second or less (Fig.1 (b)).

#### B. Algorithm for Machine Learning

When performing abnormal detection in machine learning, there are mainly two ways in terms of the attributes of learning data you can use as described below.

- 1) both normal and abnormal data sets with labels.
- 2) normal data set only.

In most cases, including our research, you can obtain and utilize only normal data. So, it is necessary to learn only from the normal data set then determine abnormalities.

There are some methods for purpose including a method based on Support Vector Machine, a method based on a clustering, and a method based on the nearby distance.[4]

Here, we select four types of algorithms that seems to be applicable for flight anomaly detection and applied them to CARATS Open Data. The selected algorithm names and the application results are shown in table.1.

Table.1 Results of four Machine Learning Algorithm.

Name of algorithm	Outline	Judgment result
One Class SVM [5]	Abnormal judgment algorithm based on support vector machine.	Overall abnormal judgment is possible to some extent. But it is not suitable for the judgment of the flight data which includes the long and parallel shape.
Isolation Forest [6]	An algorithm that detects an isolated value using a determined tree.	Same as above. In addition, the area range determined to be normal tends to spread further than One Class SVM.
Local Outlier Factor [7]	An algorithm that determines outlier from the density of local data, not overall distribution.	It shows relatively good characteristics, but you need to be careful when applying, because the result is strongly affected by the density of the learning data.
K Nearest Neighbors [4]	It detects outliers from the number of nearby data, not from overall distribution.	A good judgment is obtained, and it doesn't affect too much against density changes in learning data. In addition, adjustment of the parameters is straightforward and easy.

Fig.2, Fig.3, Fig4, and Fig5 shows the normal and abnormal area judgement diagram based on the results of learning flight data by using each four algorithms. The green area shows the region which is judged to be normal, and the red area shows the region which is judged to be abnormal. The main parameters set for four machine learning algorithms are shown in table.2.

By adjusting the parameters on each algorithm, the characteristic and shape of the area shown in Fig.2, Fig.3, Fig4, and Fig5 changed to some degree, but there were no major changes in the tendency shown in Table.1.

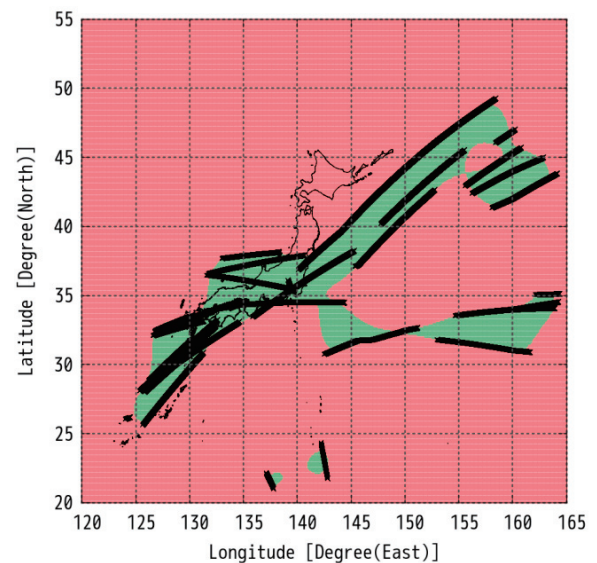


Fig.2 Area Judgment by One Class SVM

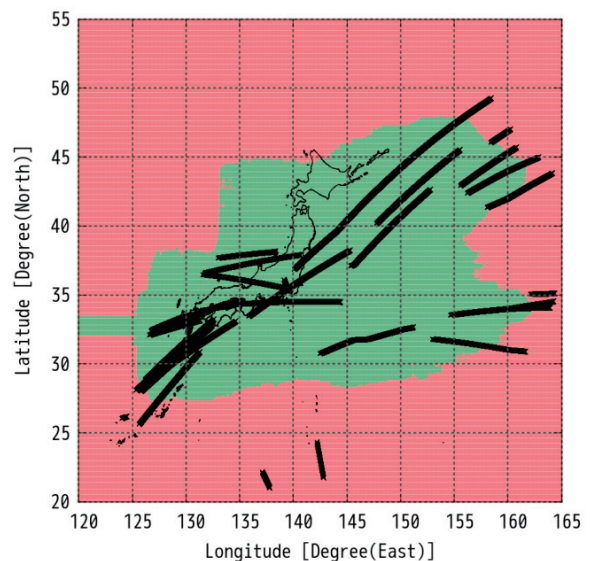


Fig.3 Area Judgment by Isolation Forest

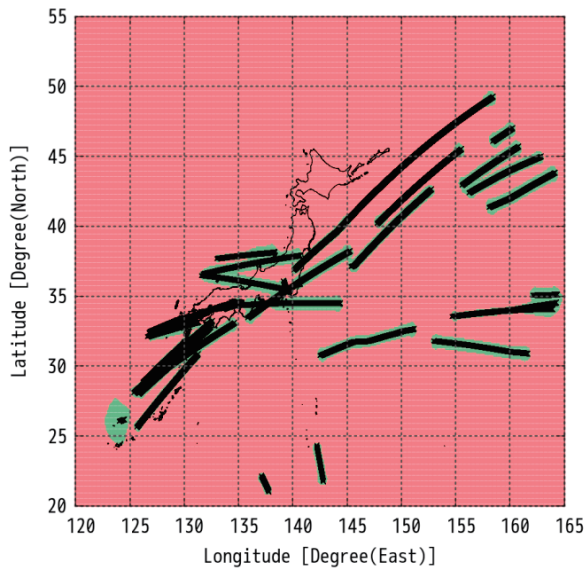


Fig.4 Area Judgment by Local Outlier Factor

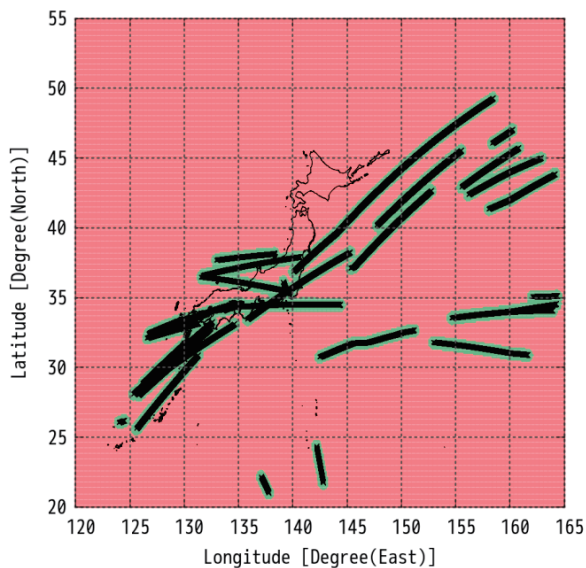


Fig.5 Area Judgment by K Nearest Neighbors

### C. Evaluation of each algorithm for regional judgment

Both One Class SVM and Isolation Forest are not suitable for this decision because the shape of the boundary between the normal area and abnormal areas are not desirable. Further it is difficult to predict and/or control the border shape from the main parameters in advance. Local Outlier Factor changes the shape of normal area depending on the density of the learning data, so care must be taken when using it for this judgment. On the other hand, K Nearest Neighbors has a desirable characteristic because the shape of the normal area is like the flight pattern. Furthermore, it is ideal for this judgment because it is not greatly affected by the density of the learning data, and you can directly control the width of the normal area by adjusting the main parameters.

Table.2 Main parameters for four Machine Learning

Name of algorithm	Main parameters
One Class SVM	kernel = RBF nu = 0.1 / gamma = 0.1
Isolation Forest	n_estimators = 100 contamination = 0.1
Local Outlier Factor	n_neighbors = 200 contamination = 0.0027(3 $\sigma$ )
K Nearest Neighbors	n_neighbors = 5 radius = 0.5

### III. COST PERFORMANCE S

The main ground IT-Systems are TAPS for around airport, TEPS for enroute, and TOPS for ocean area.[1] The estimated cost for these IT-Systems exceeds about 23.8 billion yen for 10 years from 2015. [8][9][10] On the other hand, this system can be configured using only one standard PC and open-source software, The cost of this functionality is extremely small.

### IV. CONCLUSION S

Since regular airline flights goes almost the same pattern, it is considered possible to automatically judge the abnormal flight data, by comparing data at the same time on the previous day or on the previous week and detecting the deviation from there. In this study, it was up to the two-dimensional area decision between normal region and abnormal areas by using machine learning. But in the future, we will try to perform outlier detection by using ADS-B broadcast message receiving from aircraft by using K Nearest Neighbors, which were optimal for our machine learning, then try to three-dimensional machine learning including altitude.

### REFERENCES

- [1] Outline of air traffic control information processing system, <https://www.mlit.go.jp/koku/content/001493947.pdf>
- [2] Long-term vision for future air traffic systems, <https://www.mlit.go.jp/koku/carats/>, 2010 view
- [3] Providing air traffic data (carats Open Data) and utilization for R & D. Japan Aeronautics Society Magazine Volume 68, No. 4 (April 2020) Copyright (C) 2020 Japan Aeronautics Society
- [4] Tsuyoshi Ide (2015). Practical guide by abnormal detection -R by introductory machine learning-Corona
- [5] SkLearn.svm.oneclasssvm <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.svm.oneclasssvm.html>, viewed on November 25, 2024
- [6] Fei Tony Liu, Kai Ming Ting, Zhi-Hua Zhou, Isolation Forest. 2008 Eighty IEEE International Conference on Data Mining (ICDM).
- [7] Markus M. Breunig, Hans-Peter Kriegel, Raymond T. NG, Jörg Sander, Lof: Identify Density-Based Local Outliers, ACM SIGMOD 2000.
- [8] Japanese government procurement of Mitsubishi Electric (MLIT) <https://irbank.net/shotatu/4010001008772?n=2000012100001>, viewed on May 06, 2024
- [9] Japanese government procurement of NTT Data (MLIT) <https://irbank.net/shotatu/9010601021385?n=2000012100001>, viewed on May 06, 2024
- [10] Japanese government procurement of NEC (MLIT) <https://irbank.net/shotatu/7010401022916?n=2000012100001>, viewed on May 06, 2024



**ACEAIT-0299****Detection of Stink Bug Damaging Farm Crops Using the Image Analysis AI****Shion AMAGI<sup>a</sup>, Gai KANEDA<sup>a</sup>, Yuichi HASUDA<sup>a,\*</sup>**<sup>a</sup> School of Science and Engineering, Teikyo University

1-1 Toyosatodai, Utsunomiya, Tochigi, Japan

E-mail address: hasuda@ics.teikyo-u.ac.jp

**Abstract**

Stink bugs are pests that damage crops such as soybeans, cruciferous vegetables, and eggplant. When fruit is sucked by stink bugs, the fruit may deform and fall. In addition, it occurs new leaves, stem bending, and perforation of leaves. Damage to beans and fruit trees occurs every year. Farmers are therefore uncomfortable with stink bugs, and there is a need for early detection of damage caused by stink bugs and early countermeasures. In this study, a pattern recognition model was generated using YOLOv5, a type of deep learning software, and successfully detected stink bugs individually by pesticide spraying robot. Once the robot recognizes the target pest, it sprays chemicals and tries to prevent damage caused by stink bugs.

**Keywords:** pattern recognition, pesticide spraying robot, stink bug, YOLOv5**1. Introduction**

Stink bugs are known as pests that cause damage to various crops such as beans, Brassicaceae, and eggplant <sup>[1-4]</sup>. In case of fruit is sucked by the stink bug, the fruit deform the shape and may even fall off. According to the aggregated data from Ministry of Agriculture in Japan, Forestry and Fisheries, a total of 35 prefectures have issued stink bug advisories for farmers by the end of August 2022, and the damage is spreading widely <sup>[5]</sup>. Furthermore, damage to crops caused by stink bugs is out of Japan, where they breed and spread by mixing with overseas exports. It causes extensive damage to crop in exporting countries. New Zealand and Australia have introduced new import quarantine measures for vehicles and machinery exported from Japan as of September 1st, 2018, imposing seasonal pest inspections on Japan <sup>[6]</sup>. It is necessary to develop a system to detect and eliminate stink bugs attached to crops and machinery products to be exported.

In this study, we attempted to develop an automated and efficient stink bug detection system and a chemical spraying robot by using YOLOv5 to learn the antenna, head, abdomen, and legs of stink bugs, which are pests of agricultural products, and to create a recognition model to detect stink bugs <sup>[7,8]</sup>.

**2. Detect pests using YOLOv5**

It is desirable to be able to detect stink bugs not only on the surface of fruits and leaves of crops, also on the antenna, head, abdomen, and legs of stink bugs since they are often in the shade or only a part of the stink bug body is exposed. We used YOLOv5, an object detection technique, to detect stink bugs by classifying them into classes according to their parts. For training, we prepared 100 images of stink bugs attached to mandarin leaves, and each image was annotated with a stink bug, a fig leaf stink bug, and a red-throated stink bug using Labelling (Figure 1).



Figure 1. Labeling of brown marmorated stink bug

As mentioned above, stink bugs are often found attached to the underside of leaves or exposed some part of their body, so images of stink bugs were classified according to each part of the body, as shown in Table 1. Forelegs, mid-legs, and hind legs were not treated here; all were treated as "legs". These labeled data were trained with 250 epochs and 4 batches to generate a recognition model that detects the species name from each region of the stink bug. Japanese names are used for clarity in research.

Table 1 Class name of each part of stinkbug's body

	antenna	leg	head	abdomen
Halyomorpha halys	kusagi_antenna	kusagi_leg	kusagi_head	kusagi_ abdomen
Piezodorus hybneri	ichimonji_antenna	ichimonji_leg	ichimonji_head	ichimonji_ abdomen
Poecilocoris Lewisii	akasujikin _antenna	akasujikin _leg	akasujikin _head	akasujikin _abdomen

Figure 2 is a photograph taken by the robot's CCD camera from the front of a *Piezodorus hybneri* attached to a mandarin orange branch. Figure 3 shows an example of the detection in Figure 2. The "1 1 1 0" in "ichimonji\_kamemushi:1 1 1 0 : 3" at the top of Figure 3 represents, from left to right,

"the number of antennae of the recognized *Piezodorus hybneri*", "the number of legs of the recognized *Piezodorus hybneri*", "the number of heads of the recognized *Piezodorus hybneri*", and "the number of abdomens of the recognized *Piezodorus hybneri*. The "3" in the last ": 3" represents the total number of each part of the stink bug recognized. The detected class names of the head and antennae indicate that the stink bug is very likely to be a stink bug.



Figure 2. A *Piezodorus hybneri* taken from the front



Figure 3. Pattern recognition of a *Piezodorus hybneri* taken from the front

Figures 4 and 5 show a side view of a stink bug and an example of detection, respectively. The stink bug can be detected when photographed from any direction, and the species name of the stink bug can be identified even when part of the stink bug's body is hidden by leaves.



Figure 4. *Piezodorus hybneri* observed from the side



Figure 5. Pattern recognition of a *Piezodorus hybneri* taken from the side

Figure 6 shows the developed chemical spraying robot<sup>[9,10]</sup>. A CCD camera mounted on the chemical spray robot takes pictures of crops and sprays chemicals. If stink bugs are attached to the crops. The spraying status of the chemical was visually observed, and it was confirmed that the chemical was sprayed on the stink bug and surrounding crops when the stink bug or other insects were detected.



Figure 6. Developed pesticide spraying robot

### 3. Discussion

Study of Binarize stink bugs to identify by size, shape, and other characteristics can monitor the presence and distribution of pests in real time. Furthermore, once set up, image processing and machine learning models can be used continuously and cost-effectively for effective pest management. However, low image quality and resolution from binarization can result in missing information. This can reduce the accuracy of shape and size, also affect identification accuracy. In addition, even within the same species of stink bugs, there is variation in shape among individuals. Therefore, a method of identification using five characteristics such as shape and size has been adopted. However, stink bugs are usually exposed not only on the surface of fruits and leaves, but also in shaded areas or only in some parts, and conventional methods can only detect the entire stink bug. To increase the chances of detecting stink bugs, it is necessary to identify stink bugs by parts. In this study, using YOLOv5 to achieve fast and efficient site-specific detection of stink bugs. Furthermore, it able to reduce the amount of chemicals to use stink bugs when the robot detects and spray. When stink bugs were detected, farmers were able to know the status of their crops and the appearance of stink bugs in real time from their homes without having to go to distant greenhouses via screen displays and voice notification functions. This research can make a significant contribution to the problems of Japanese agriculture, which is facing an aging population and a decrease in the number of workers, by utilizing AI to automate and save labor.

### 4. Conclusion

Create a recognition model by using YOLOv5. The robot learned the head, abdomen, and legs of stink bugs, which are pests of agricultural crops. Furthermore, we developed a robot that can spray chemicals when it detects a target stink bug attached to a crop and can exterminate the bug. Since the damage to crops caused by stink bugs is not only Japan, but also spreads overseas, we will continue to develop a system to detect and eliminate stink bugs attached to crops and machinery products to be exported.

Finally, we would like to express our deepest gratitude to Mr. Shunsuke Ohgane of JA Utsunomiya

Eastern Fruit Sorting Station, Abe Orchard, and Isao Akutsu of Akutsu Farm for their cooperation in this research. We also thank Ms. Tomoyo Ogawa and Mr. Naoya Oide of Teikyo University Utsunomiya Campus for capturing stink bugs and providing them as research materials.

### References

- [1] Tetsuya Koide, Kazuhiro Yamaguchi, Tooru Ohno and Kenji Morimoto. (2010). The situation of distribution of the southern green stink bug, *Nezara viridula* (Hemiptera: Pentatomidae), and its damage on soybean in Aichi prefecture, Volume 52, pp.163-165.
- [2] Shimizu Nobutaka and Takafumi Tsutsumi. (2013). Effects of Insecticides on the Southern Green Stink Bug, *Nezara viridula* (Linnaeus), Collected in Fukuoka Prefecture, Issue 32, pp.6-9.
- [3] SEIKOSTELLA . How to control stink bugs | What are the measures and recommended equipment to protect crops from damage?. Retrieved from <https://ecologia.100nen-kankyo.jp/> ,1 Nov. 2022.
- [4] Kakuichi. The ecology of stink bugs, damage to crops, and countermeasures, Think and GrowRicci. Retrieved from <https://www.kaku-ichi.co.jp/media/wildlife/pestcontrol/bug> , 16 Nov.2022.
- [5] FUJI Evening News. A large number of stink bug damage occurs due to global warming, warning for farmers in 35 prefectures Wintering is also possible, activity is more active. Retrieved from <https://www.zakzak.co.jp/article/20220919-LNGJILOZS5I75DEOAS625QEYQG/>, 17 Nov. 2022.
- [6] Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries. Information on vehicles and machinery exported from Japan. Retrieved from <https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/keneki/bmsb.html>, 25 Nov. 2022.
- [7] Glenn Jocher. ultralytics/yolov5, github, Glenn Jocker. Retrieved from <https://github.com/ultralytics/yolov5>,19 Nov. 2022.
- [8] Aismiley. What is image object detection using deep learning? Introducing models and applications. Retrieved from [https://aismiley.co.jp/ai\\_news/detection-ai-and-deep-learning-model/](https://aismiley.co.jp/ai_news/detection-ai-and-deep-learning-model/), 19 Nov. 2022.
- [9] Yuichi Hasuda, and Keita Hirayama. (2021). Development and Usability Test of Pesticide Spraying Robot for Greenhouse, International Journal of Engineering Research & Technology,10(05),pp.116-121
- [10] Yuichi Hasuda, and Keigo Ozaki. (2022). The Pesticide Spraying Robot Moving in A Greenhouse with A Line-Trace, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 11 Issue 01, pp.304-307

## ACEAIT-0300

### Detection of Agricultural Pests Using Object Detection Technology

Takuto SAWAMURA<sup>a</sup>, Gai KANEDA<sup>a</sup>, Shion AMAGI<sup>a</sup>, Yuichi HASUDA<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> School of Science and Engineering, Teikyo University

1-1 Toyosatodai, Utsunomiya, Tochigi, Japan

\* hasuda@ics.teikyo-u.ac.jp

#### Abstract

Stink bugs are known as pests that cause damage to various crops such as pears, peaches, beans, etc. When fruit parts are sucked by stink bugs, the fruit is deformed and sometimes dropped. The damage caused by stink bugs to agricultural products is out of Japan, where they breed and spread by mixing with overseas exports. It causes extensive damage to crop in exporting countries, causing extensive damage to agricultural products in the countries to which they are exported. Using object detection technology attempting to develop a system that automatically patrols farmland and detects crop pests. When a stink bug is detected, the image, time, and the number of stink bugs are sent as a text message to the user's smartphone or other terminal using Chatbot.

**Keywords:** object detection, pattern recognition, stink bug, YOLOv8

#### Introduction

Stink bugs are known to cause damage to various crops such as pears, peaches, and beans<sup>[1-4]</sup>, and when fruit sucked by stink bugs, the fruit can become deformed and even dropped. According to an aggregate data by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF) in 2022, a total of 35 prefecture. Japan had issued stink bug warnings for farmers by the end of August, but damage is still expanding<sup>[5]</sup>. Furthermore, damage to crops caused by stink bugs is out of Japan, where they breed and spread by mixing with overseas exports. It causes extensive damage to crop in exporting countries. New Zealand and Australia adopted new import quarantine equipment to check vehicles and machinery exported from Japan to imposing seasonal pest inspections in September 2018<sup>[6]</sup>. There is a demand for the development of a system to detect and eliminate stink bugs on machinery products to be exported and agricultural crops. In addition, farmers need to regularly visit their farms to detect pests and spray pesticides at an early detection and improve the product value of agricultural products.

In this study, we attempted to develop a system that automatically patrols farmland and detects crop pests using object detection technology.

#### Damage caused by stink bugs to fruit trees

Pears, apples, peaches, and other fruit trees sucked by stink bugs cause discoloration and deformation of the fruit. It leads to decline the value of the product. Pears sucked by stink bugs have small uneven deformations (Figure 1), and as shown in the cross-section of the sucking area in Figure 2. The deformed area is more than 5 mm in diameter and farmer has to disposal, which is a serious damage to farmers.



Figure 1. Sucking marks of stink bugs



Figure 2. Cross section of a stink bug sucking scar

### Stink bug detection methods and notification

#### 3.1 Summary of Detection Methods

The model was trained to detect stink bugs on pears by YOLOv8. The training data consisted of about 150 images taken in the pear orchard and about 400 images of stink bugs taken in the laboratory. Therefore, the Raspberry Pi was used to control the robot and send images and detect stink bugs from the camera to PC using MJPG-Streamer.

#### 3.2 Configuration of stink bug detection system

This system detects stink bug based on images from a camera mounted on a farmland patrol robot<sup>[7-9]</sup> and notifies the user of the results using a LINE Bot. LINE Bot is chat bot of SNS called LINE. As shown in Figure 3, the video from the camera connected to the Raspberry Pi is distributed via the PC using MJPG-Streamer and received by OpenCV. The image or video of the inference result is

uploaded to Google Drive using YOLOv8, and the file URL on Google Drive is obtained by a Webhook server built on Google Cloud, and then the LINE Bot is activated, and the user is notified.

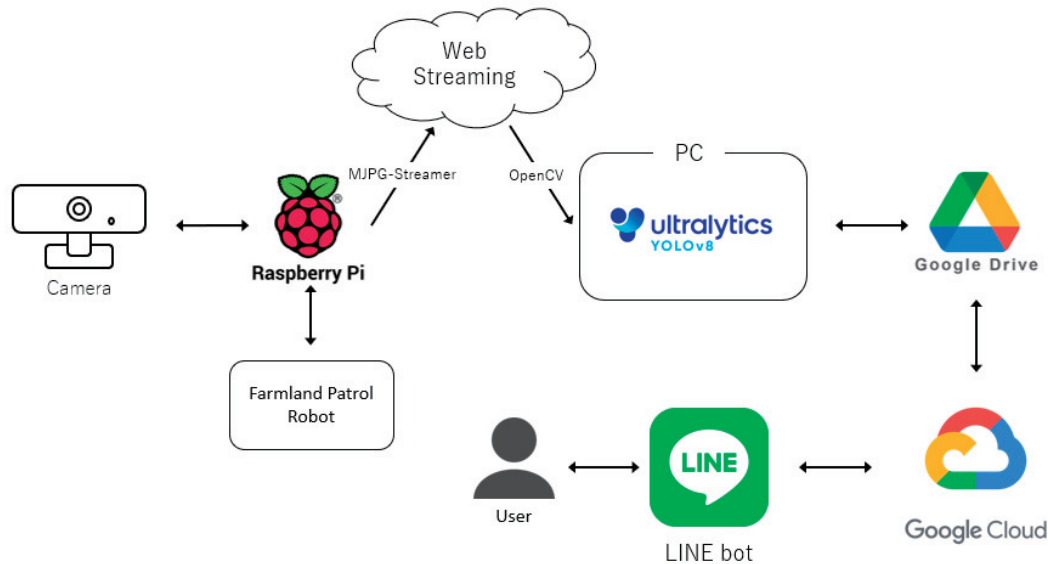


Figure 3. Diagram of the stink bug detection system

### 3.3 Pretreatment and notification of stink bug detection

Detecting small objects is generally difficult. In the past, when attempting to detect stink bugs, leaves, and branches of plants in the background were mistakenly detected as stink bugs, and the stink bugs themselves were sometimes not detected. To address this problem, we restrict the detection to fruit area. The reason is that the fruit part is close to a monochromatic color, so it is easy to extract the features of the detection target, and the possibility of false detection is low.

Figure 4 shows an example of the image and text message sent to the user when a stink bug is detected. When a stink bug is detected, the information of image, time, and the number of stink bugs are sent to the farmer's smartphone or other terminal as a text message.



Figure 4. Example of stink bug detection notification to user

#### 4. Discussion

In order to prevent damage caused by stink bugs, which are a major enemy of crops, research is being conducted to eliminate stink bugs and prevent damage to crops<sup>[10-11]</sup>. Table 1 lists research methods and their advantages and disadvantages. In addition, the research using fungal and bacterial strains, various pheromones can efficiently attract and eliminate stink bugs but may attract other pests. They affect the ecosystem of the subject area.

Both methods of attracting and capturing stink bugs have their drawbacks, and different countries applies different ways. The stink bug detection and eradication system employed in this study focuses on the early detection of stink bugs attached to crops. Leaves and branches of crops are often mistakenly detected as stink bugs but can't detect pests. So the detection was confine to fruit parts. This is because the fruit is close to a monochromatic color, making it easy to extract the features of the detection target and reducing the possibility of false positives. The system identifies the area where stink bugs are detected and sprays chemicals around the area to exterminate. The advantage of this system is that the amount of chemicals used can be significantly reduced compared to the case where chemicals are sprayed for pest control on a constant or regular basis.

**Table 1 Advantages and disadvantages of research methods for each paper**

Research Interests	advantage	disadvantage
Utilizing fungal and bacterial strains to control stink bugs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduction of resistance</li> <li>• Eco-Friendly</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Affects plants and other organisms</li> </ul>
Various pheromones are used to attract and control stink bugs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eco-Friendly</li> <li>• Reduction of resistance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Attracts non-inducement targets</li> <li>• Changing local ecosystems</li> </ul>
Increasing crop resistance and preventing damage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Decrease using pesticides</li> <li>• Preventing the spread of pests</li> <li>• saving resources</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Collapse of Resistance</li> <li>• High resources and costs</li> </ul>
Vibration-based behavior control and pest management	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduction of resistance</li> <li>• Eco-Friendly</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Difficult to implement vibration</li> </ul>
Identify the stink bug from binarize by using size, shape, and other characteristics.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Improved efficiency of stink bug management</li> <li>• Cost effective is expensive</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effect of image quality</li> <li>• Shape Variation</li> </ul>

Furthermore, as shown in Figure 4, when a stink bug is detected, an image and text message are sent to the user, and the date, time of the detection, and the number of stink bugs detected are sent to the farmer's smartphone or other terminal as a text message, so that the farmer can perform extermination appropriately according to the stink bug occurrence situation.

Farmers would be relieved of the arduous task of patrolling under sun and regularly patrolling vast tracts of farmland, which would greatly reduce the need for patrols. With the aging of farmers worldwide, automatic AI-based detection of crop pests will not only increase the value of crops as a commodity, but also improve the working conditions and health of farmers. Farmers can know farm conditions from the comfort of their homes while performing other tasks and it possible to promote to attract agricultural industry.

## 5. Conclusion

When a stink bug is detected using YOLOv8, an image and text message are sent to the user, the farmer automatically, the image, time and the number of stink bugs are notified to the farmer's

smartphone or other terminal as a text message. In the future, we plan to improve processing speed of system. We would like to thank Mr. Shunsuke Ogane of JA Utsunomiya Eastern Selection Station, Abe Orchard, and Akutsu Farm for their cooperation in this research.

### References

- [1] Tetsuya Koide, Kazuhiro Yamaguchi, Tooru Ohno and Kenji Morimoto. (2010). The situation of distribution of the southern green stink bug, *Nezara viridula* (Hemiptera: Pentatomidae), and its damage on soybean in Aichi prefecture, Volume 52, pp.163-165.
- [2] Shimizu Nobutaka and Takafumi Tsutsumi. (2013). Effects of Insecticides on the Southern Green Stink Bug, *Nezara viridula* (Linnaeus), Collected in Fukuoka Prefecture, Issue 32, pp.6-9.
- [3] SEIKOSTELLA. How to control stink bugs | What are the measures and recommended equipment to protect crops from damage?. Retrieved from <https://ecologia.100nen-kankyo.jp/> ,1 Nov. 2022.
- [4] Kakuichi. The ecology of stink bugs, damage to crops, and countermeasures, Think and GrowRicci, Kakuichi. Retrieved from <https://www.kaku-ichi.co.jp/media/wildlife/pestcontrol/bug>, 16 Nov.2022.
- [5] FUJI Evening News. A large number of stink bug damage occurs due to global warming, warning for farmers in 35 prefectures Wintering is also possible, activity is more active. Retrieved from <https://www.zakzak.co.jp/article/20220919-LNGJILOZS5I75DEOAS625QEYQG/>, 17 Nov. 2022.
- [6] Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries. Information on vehicles and machinery exported from Japan, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries. Retrieved from <https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/keneki/bmsb.html>, 25 Nov. 2022.
- [7] Gai Kaneda, Yuki Enomoto and Yuichi Hasuda. (2023). Detection of Crop Diseases Using AI. The 61st Japen Society of Mechanical Engineers Chugoku-Shikoku Branch General Meeting
- [8] Glenn Jocher. ultralytics/yolov5, github, Glenn Jocker. Retrieved from <https://github.com/ultralytics/yolov5>,19 Nov. 2022.
- [9] Aismiley. What is image object detection using deep learning? Introducing models and applications. Retrieved from [https://aismiley.co.jp/ai\\_news/detection-ai-and-deep-learning-model/](https://aismiley.co.jp/ai_news/detection-ai-and-deep-learning-model/), 19 Nov. 2022.
- [10] Yuichi Hasuda, Keita Hirayam. (2021). Development and Usability Test of Pesticide Spraying Robot for Greenhouse, International Journal of Engineering Research & Technology, 10(05), pp.116-121.
- [11] Yuichi Hasuda, Keigo Ozaki. (2022). The Pesticide Spraying Robot Moving in A Greenhouse with A Line-Trace, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 11 Issue 01, pp.304-307.

## ACEAIT-0301

# The Apply and Achievement of Creativity Education through Project-based Learning Classes

Tomomi TAKANO<sup>a</sup>, Yuichi HASUDA<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> School of Science and Engineering, Teikyo University

1-1 Toyosatodai, Utsunomiya, Tochigi, Japan

\* hasuda@ics.teikyo-u.ac.jp

### Abstract

Teikyo University's Department of Information Electronic Engineering students develop new products that enrich our lives through a robotics and mechatronics curriculum. Some of the products have won the President's Award eight times in the Invention and Ingenuity Division of the Invention and Ingenuity Contest hold by the Japan Society for Industrial Technology Education (JSTE). The invented stroller recognizes Braille blocks by using a color sensor and camera to analyze image. If stroller recognize a Braille block is identified while the stroller's hands are off the handlebars, an audible warning alerts the user to the danger and the brakes are applied at the same time. We also devised an anti-lost-and-found device that uses distance and weight sensors to alert the user if he or she forgets an item in a private toilet room. It is a device that alerts the user to the presence of forgotten items by means of light and sound.

**Keywords:** project-based learning, invention and ingenuity contest, mechatronics, robotics

### 1. Introduction

Active learning has been incorporated into university education in recent years, irrespective of the department [1]. PBL (Project-based Learning) is a learning method that aims to help students acquire the qualities and abilities necessary to solve problems through the process of problem solving. Unlike SBL (Subject-based Learning), which is a teacher-led class, students can find problems and learn by themselves. PBL is originated in medical education and "often involves learning to solve problems that are currently occurring in the present situation," whereas PBL originated in engineering education and "often involves learning to solve social problems for the future. These are some of the differences between the two types of learning [2].

Problem-solving classes specializing in nurturing embedded systems engineers are taught in the curriculum of electronics course of the Department of Information and Electronic Engineering, Teikyo university [3,4,5]. In classes, students work together on creating a product using microcomputers such as Arduino and having a presentation [5]. Some products have been submitted to a contest: the creation world of technology education in department of invention and Contrivance

in Invention and Contrivance Contest hold by the Japan Society of Technology Education(JSTE). As a result, the students made achievements: winning first prize in the contest eight times [6]. In this paper, mention about the apply and achievement of creatively education through PBL.

## 2. The apply and achievement of creativity education

### 2.1 Technical education at Teikyo university

Table 1 shows examples of classes on robotics and mechatronics course. First-year students learn the basics of programming and designing and making an autonomous robot, and they also enter programming contests. Students will take basic experiments starting from the second year to raise their expertise. In 3rd year, classes specializing in nurturing embedded systems engineers and developing problem-solving skills are taught through previous experiments.

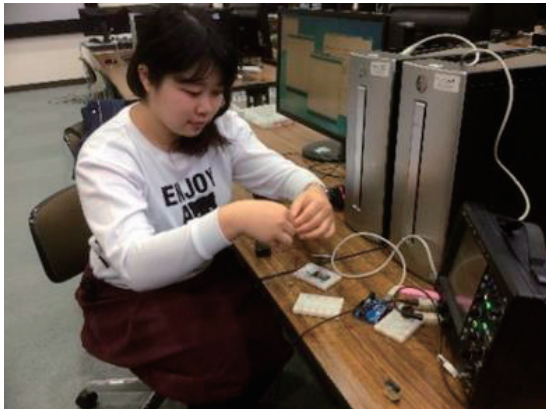
Table 1: The curriculum about electronic control

Term	Course Title (content)
1st year	Programming 1・2 (Processing)
	Project Exercises (Line trace)
2nd year	Laboratory in Fundamental Engineering (How to use measuring instruments and measurement of AC voltage, phase, and frequency)
	Basic Electronics Experiment (Design of electronic circuits system)
3rd year	Electronics Experiment 1・2 (Application of microcomputer such as Arduino and utilization of ESP32)
	Robotics and Mechatronics Experiment (Design of electronic circuits system)

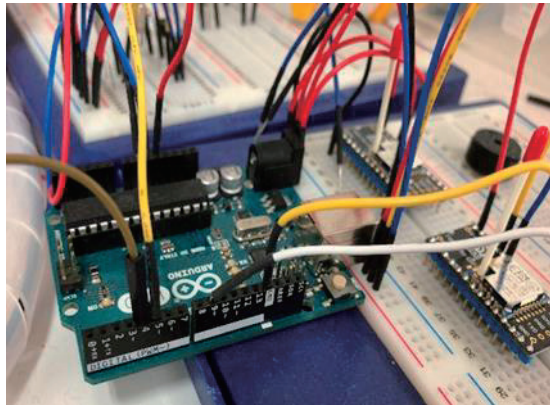
For Practical of microcomputer in Electronics Experiment 1・2, a ray gun using LEDs and photodiodes and experiments using Arduino are carried out. Furthermore, in Robotics and Mechatronics Experiments, around 3 students work together on creating a product using microcomputers such as Arduino and ESP32 and having a presentation.

### 2.2 Experiments of problem-solving

In 2nd year, the knowledge and the techniques that will be needed in the future are acquired, and reconfirming what they have learned from previous lectures through the fundamental experiments (Fig. 1). Students work on the given experimental problem, and the students work together on checking the operation of the electronic circuits and programming. Each student evaluates what they have learned.



(a) Electro circuits with the oscilloscope



(b) Arduino

Fig. 1: Operation check of electronic circuits

In the 3rd year experiment, students spontaneously decide which electronic elements and electronic circuits to use and program the system. By making use of the knowledge and the techniques that students acquired, they create a product by trial and error. At the end of the experiment, the product is evaluated not only by the teacher but also by students for a better quality.

### 3 The examples of the achievement of creativity education

By utilizing the knowledge and techniques learned from 1st year to 3rd year, A CCD camera and a color sensor were attached to a stroller, and a system was the emergency stop function using solenoids works when braille was detected. These products were applied to the 10th and 11th Invention and Contrivance Contest.

We devised an anti-lost-and-found device that uses a distance sensor and a weight sensor to alert the user when an object is left in restroom stall. We developed a device that alerts the user with light and sound when a person leaves an object placed on the device. As a result, the students won the first prize in the contest eight times.

#### 3.1 Title of the product: Stroller equipped with emergency stop

There have been 14 stroller accidents at railway platforms and bus stops within 5 years between 2011 to 2015. A CCD camera and a color sensor were attached to a stroller, and the system was the emergency stop function using solenoids works when braille was detected (Fig. 2). The characteristics are shown as follows [5].

**Characteristics 1 The system can lock the rear wheels completely by using the solenoids**

**Characteristics 2 The system can Detect braille by using the color sensor and the CCD camera**

When the CCD camera and the color sensor detect braille, solenoid cores are inserted between the spokes on the rear wheels to stop the stroller.

### Characteristics 3 It is not necessary to hold the brake releasing lever by using the illuminance sensor

By attaching the illuminance sensor to the handlebar, the users do not need to keep holding the brake releasing lever. However, reliability is greatly impaired on black dirty braille.

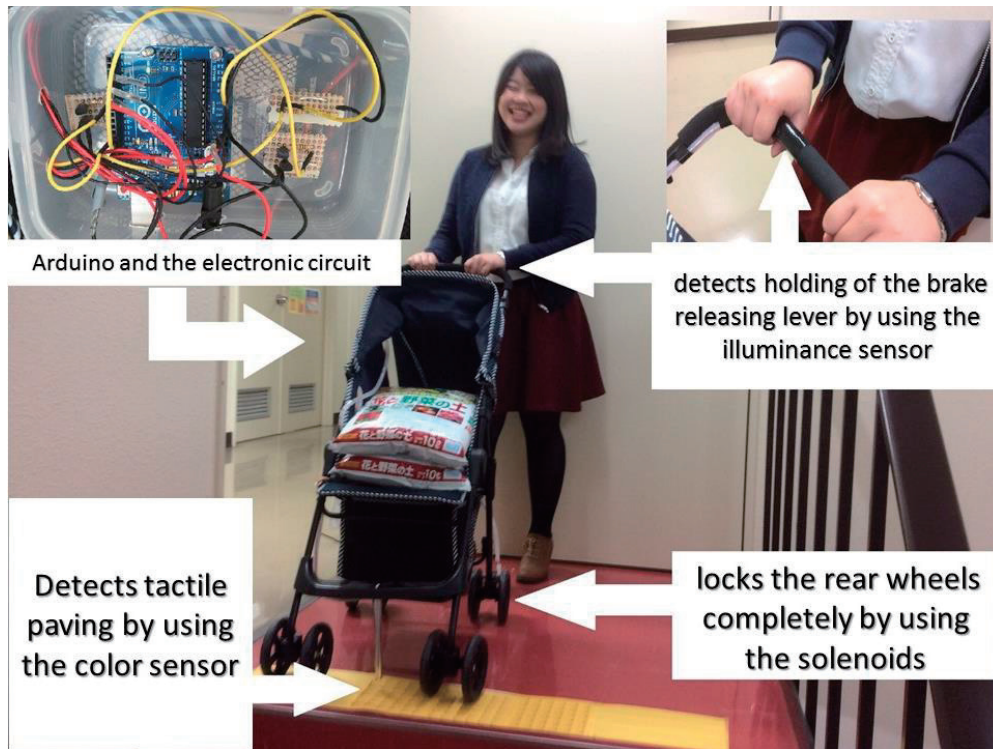


Fig. 2: The function of the stroller

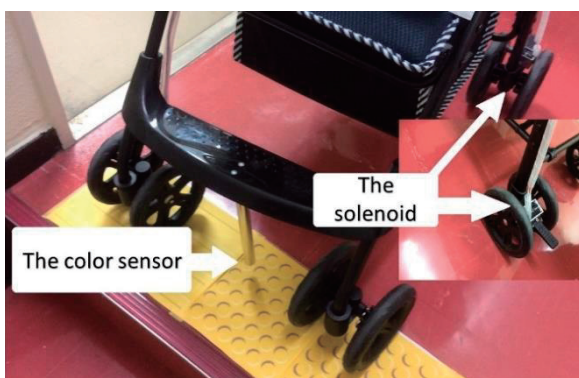


Fig. 3: The color sensor and the solenoids

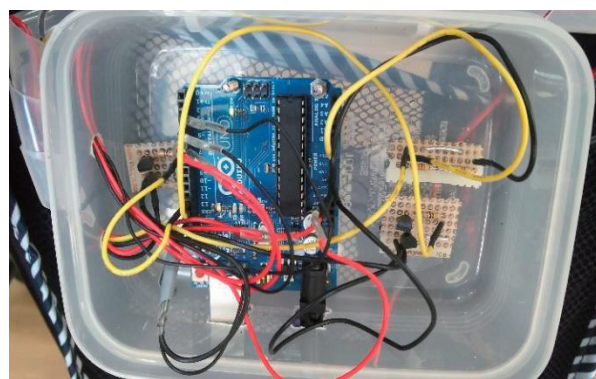


Fig. 4: Arduino and the electronic circuit

### 3.2 Title of the product: Lost-and-found device using light and sound

The number of forgotten items in Tokyo in 2023 is about 4.09 million [7]. To reduce the number of forgotten items in restroom stall, we have developed a device to prevent forgotten items by alerting the user. A weight sensor is used to determine if an object is placed on the device, and a distance sensor is used to detect a person. When a person leaves from the device with an object placed on it,

the system notifies the user with light and sound (Fig. 5,6). The characteristics are shown as follows.

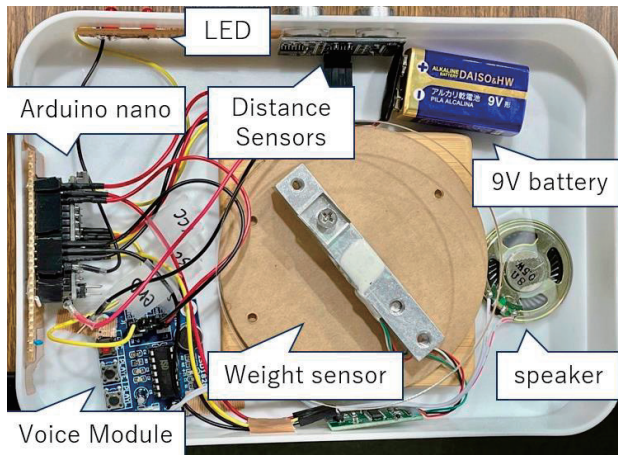


Fig. 5: Internal structure of the developed product

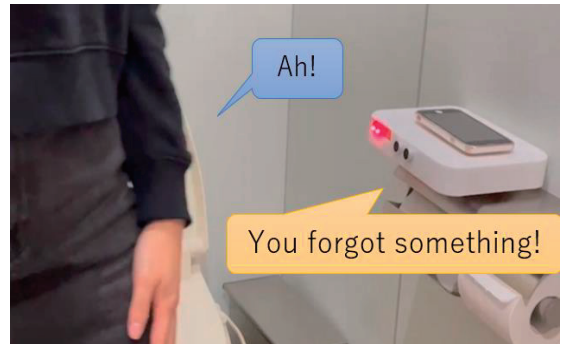


Fig. 6: Lost-and-found device in operation

#### **Characteristics 1 Enables detection of thin and light objects**

Conventional products used infrared sensors, which made it difficult to detect objects thinner than about 10 mm, but the use of a weight sensor solved this problem.

#### **Characteristics 2 Compact enough to be installed in any location**

Can be powered by commercially available 9V batteries and can be installed in existing public and commercial facilities.

#### **Characteristics 3 Alerts users with light and sound**

When an object is placed on the device, an LED light will turn on to attract the user's attention. When the user moves away from the device, a sound alerts the user.

### **4. Conclusions**

Project based learning classes specializing in nurturing embedded systems engineers are taught in the curriculum of electronics course of the Department of Information and Electronic Engineering, in Teikyo university. The main results obtained from this paper are as follows.

- 1) Through the curriculum on electronic control from 1st year, the technics and the ability for making new products, and great achievements can be obtained in contests such as invention devised contests.
- 2) Through Project based learning classes, the ability to do trial and error and work together on creating a product are cultivated.

In the future, we intend to conduct further awareness-raising campaigns to motivate students to participate in contests that enable them to demonstrate their own abilities, and to enhance their ideas, ingenuity, and other skills that are applicable to society.

### References

- [1] Shinichi Mizogami (2007). Practical Issues in Introducing Active Learning. Nagoya journal of higher education, Volume 7, pp.269-287.
- [2] Yasuhumi Yamaguchi (2017). Trends in PBL Research in Japan: Focusing on Practice in University Education. The Japanese journal of regional policy studies, No.19, pp.34-41.
- [3] Yuichi Hasuda, Masahiro Iida, Tomohiro Tayama, Natsuki Hoshino, Shota Endo (2021). Commitment to inventive innovations that enrich people's lives using mechatronics. Technology and Engineering Classroom by Practical Case Studies of The Japan Society of Technology Education, Volume 1, pp.79-86.
- [4] Kumiko Takai, Masayuki Arai, Yuichi Hasuda, Kozo Mizutani, Shigeru Sasaki, Hiroyoshi Watanabe (2018). Design and Classroom Practice of "Project Exercise," A First Year PBL Course. The 43rd National Convention of Japanese Society for Information and Systems in Education, pp.419-420
- [5] Tomohiro Tayama, Yuichi Hasuda, Yuki Takagi, Mai Yasunami (2017). Practice and results of manufacturing education through problem-solving classes. Proceedings of the 29th Kanto Conference of Japan Society of Industrial Technology Education. pp.66-67
- [6] Tomohiro Tayama, Yuki Takagi, Mai Yasunami (2017). We won't let you go any further from there! -With the President's Award for Invention and Ingenuity-. Japan Society of Industrial Technology Education, No.59, No.2, p.84
- [7] Metropolitan Police Department (esp. Tokyo) (2024). Lost and Found Status (2024). Retrieved from [https://www.keishicho.metro.tokyo.lg.jp/about\\_mpd/jokyo\\_tokei/kakushu/kaikei.html](https://www.keishicho.metro.tokyo.lg.jp/about_mpd/jokyo_tokei/kakushu/kaikei.html)

# 研 究 ノ ー ト

福田直紀



## スリップリングシステムの摺動速度がブラシ摩耗に及ぼす影響

## Effect of sliding speed of slip ring system on brush wear

菅原悠斗<sup>1</sup> 福田直紀<sup>2</sup>  
Yuto Sugawara Naoki Fukuda帝京大学大学院理工学研究科総合理工学専攻<sup>1</sup>  
Division of Integrated Science and Engineering,  
Graduate School of Science and Engineering,  
Teikyo University帝京大学 理工学部<sup>2</sup>  
Faculty of Science and Engineering,  
Teikyo University

## 1. まえがき

電機用ブラシは、静止物体と回転物体間の電流伝達を司り、交流機の励磁機や直流機の整流機構等で活躍している。しかし、新たに開発されるブラシについては、これまでの経験や知識に依存した解釈がなされていることが多くあり、ブラシにおける摺動通電特性の明確化は必須といえる。

ブラシの摺動特性は、ブラシと整流子（スリップリング）の材質、ブラシ圧力、周速、電流密度、極性、温度、湿度、雰囲気などの影響を受ける。本研究では、回転速度に注目し、ブラシ摩耗・通電に関する基礎特性取得を行った。

今般は、ブラシの摺動速度による摩耗量を取得し、主としてその結果を報告する。

## 2. 実験条件および方法

ブラシは炭素質ブラシ（接触面積 7mm×6mm）、スリップリングは銅スリップリング（直径 30.0mm、幅 10.0mm）を使用した。摺動面の仕上げはブラシにエメリーペーパー600番、スリップリングにエメリーペーパー1200番を用いた。尚、通電試験のブラシ電流は 2.5A とし、極性は正ブラシ、負ブラシとした。

以上の条件で、まず、5h の摺り合わせを行った。その後、試験へ移行した。試験では、摺動速度を 3.142m/s、2.356m/s、1.571m/s、0.785m/s 各々に設定し、摺動距離を統一するために摺動速度ごとに摺動時間をそれぞれ 25h、33.4h、50h、100h、に設定した。試験前後に電子天秤でブラシの重量を測定し、摺動前と摺動後の差を算出することでブラシ摩耗量を求めた。

## 3. 実験結果および考察

図1に摺動速度ごとのブラシ摩耗量を示す。

いずれの摺動速度でも、正ブラシに比べ負ブラシの摩耗量が大きい傾向を示した。しかし、2.356m/s に着目すると、正ブラシと負ブラシの摩耗量の差が小さい傾向を示した。

また、2.356m/s、1.571m/s において、正ブラシの摩耗量が大きい傾向を示した。

図2にスリップリングの摺動面の比較を示す。その結果、スリップリングの摺動面は、2.356m/s、

1.571m/s において、負ブラシ側で、炭素皮膜がみられた。

一般に正ブラシと負ブラシの摩耗量は、負ブラシの摩耗量が大きく正ブラシの摩耗量との差は大きいと考えられている[1]。

しかし、2.356m/s、1.571m/s では、差が小さくなった。これはスリップリングの摺動面に生成された炭素皮膜の潤滑作用により[2]、負ブラシの摩耗量が小さくなったと考えられる。

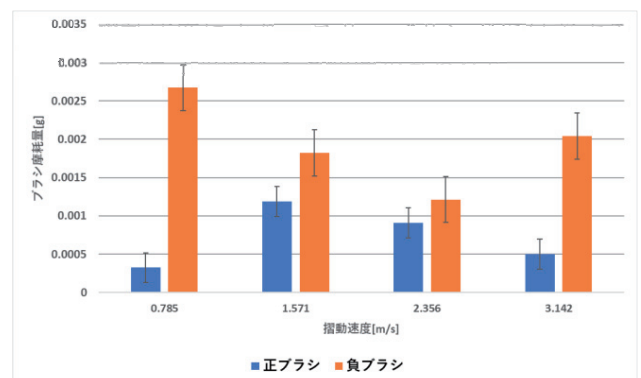


図1 摺動速度ごとのブラシ摩耗量

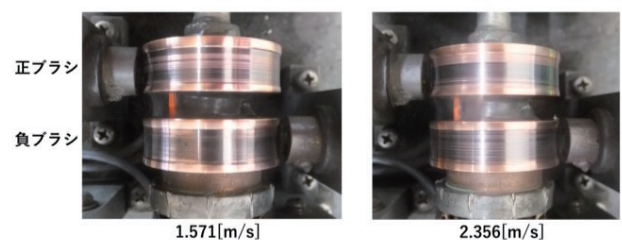


図2 実験後のスリップリング摺動面

## 4. むすび

摺動速度ごとに炭素皮膜の濃さの違いが生じ、潤滑作用の有無によって、正ブラシ、負ブラシの摩耗量に影響がある結果を示した。

## 参考文献

- [1] 鈴木弘茂, 電機用ブラシとその使い方, 日刊工業新聞社, 1976.  
[2] F.P.Bowden and D.Tabor, The Friction and Lubrication of Solids, Oxford, 1954.

## 編集後記

---

自動車技術センター年報 第3巻をお読みいただきありがとうございます。

2024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。今年度は新たな試みとして実習形式のセンター主催セミナーを実施しました。日帰り講習でしたが内容を凝縮して濃いコンテンツをお届けできたのではないかと思います。課題も見つかりましたので次回以降の開催に向けて改善して、より良いセミナーにしたいです！

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3巻

---

2025年8月29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>

---



