

帝京大学
自動車技術センター

年報

第1巻
2023年12月

Annual Report of Automobile Technology Center
Teikyo University

Vol.1 Dec, 2023

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、旧オートモビルテクノロジーセンターを改組し、理工学部機械・精密システム工学科5人、航空宇宙工学科1人、情報電子工学科1人の計7人の教員と3人の技術スタッフで発足しました。現在は、基盤・環境エネルギー、安全・快適、AI・自動車運転、そしてアドバンストエアモビリティの4つのグループで活動しています。この4つのグループは、自動車技術センターの整備士資格を持つスタッフと認証工場資格を有する優れた整備と計測機器を活用し、従来の自動車工学分野に加えて、カーボンニュートラルを実現する環境技術と、CASEやMaaSと呼ばれる新たな分野など、社会的ニーズに対応した先進創造研究と人材育成をめざします。

具体的には、

1. 研究活動支援として「100年に一度の変革期」といわれる自動車産業において、宇都宮キャンパスがある栃木県に多く立地している自動車関連企業とタイアップし、経験と実績豊富な所属教員が優れた成果を生み出すことを推進します。
2. 社会貢献と情報発信を目的として、認証工場の設備を利用した実験・実習や自動車工学に関する技術相談および企業、各種団体向けの講演会（シンポジウム）を実施します。
3. 人材育成として、4年次の新卒業研究生を対象とした自動車計測機器や設備メーカー技術者による計測と設備における基礎技術に関するセミナー、また大学院生と企業若手技術者を対象とした本学教員ならびに、自動車関連企業の技術者からの最先端技術に関するセミナーを実施します。

なお、2022年度には公益財団法人栃木県産業振興センター様からの委託を受けて栃木県内の中小企業支援を目的とした電気自動車の分解委託事業を実施するなど実績も上げており、この委託事業は2023年度も継続しています。

上記の背景の下、2023年度の帝京大学自動車技術センター年報はセンターが発足して初の年報として所属する教員の紹介含めて構成いたしましたのでご一読いただければ幸いです。

最後になりますが、地元栃木県を中心に自動車関連企業の皆様、栃木県と宇都宮市及び県内市町の行政の皆様、自動車技術のさらなる発展を目指した活動しています帝京大学自動車技術センターへのご支援とご協力をよろしくお願いします。

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. 帝京モーターショー開催報告書	1
2. 栃木県主催「Honda e 車両技術説明会」開催報告書	3
3. モビリティリゾートもてぎ安全運転講習会開催報告書	5
4. 栃木県主催「Honda e 分解過程解説・部品見学会」開催報告書	6

第二部 所属教員紹介

1. 井上 秀明 理工学部機械・精密システム工学科 教授（理学・工学）	9
2. 加藤 彰 理工学部機械・精密システム工学科 教授（理学・工学）	10
3. 黒沢 良夫 理工学部機械・精密システム工学科 教授（理学・工学）	11
4. 蓮田 裕一 理工学部情報電子工学科 教授（バイオ）	12
5. 蓮田 裕一 理工学部情報電子工学科 教授（理学・工学）	13
6. 牧田 匡史 理工学部機械・精密システム工学科 准教授（理学・工学）	14
7. 福田 直紀 理工学部機械・精密システム工学科 助教（理学・工学）	15
8. 白沢 洋一 理工学部機械・精密システム工学科 助手（その他）	16

第三部 研究ノート

1. STUDY OF NUMERICAL MODELING OF ELECTRIC VEHICLE FOR IMPROVEMENT METHOD OF ENERGY EFFICIENCY Michael Melkior Kanugroho, Yuta Nakane, Taizo Otsuki, Akira Kato	17
2. 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 中根悠太, Enes Muhammed Kaplan, Michael Melkior, Kanugroho, 大槻泰三, 加藤 彰	23
3. 3Dプリンタによる表板作成とヴァイオリンの有限要素解析 岡本朋也, 黒沢良夫	27
4. 音響メタマテリアルにフェルトを積層した防音材の透過損失 岩井大地, 黒沢良夫	33
5. 自動車用トランスミッションカバーの振動音響解析 季 承堯, 黒沢良夫	39
6. Robot design by incorporating mechatronics in information science classes. Muhammad Syahir bin Abdul Ramad, Yuichi Hasuda, Nurul Ain Shalihah binti Ismail	47
7. Proposal and effects of problem-solving lessons using autonomous robots Nurul Ain Shalihah binti Ismail, Yuichi Hasuda, Muhammad Syahir bin Abdul Ramad	57

第一部

活動報告

帝京モーターショー開催報告書

報告書作成日 2022 年 11 月 16 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、本学学生教職員や地域一般来場者を対象に、車を通して交流し親睦を深める場として開催した。

<開催日>

2022 年 11 月 5 日 土曜日 13:30~15:30

<コンテンツ>

車両の展示（以下展示車両一覧）

- ・ 1979 年式カワサキ Z750D1（二輪）
- ・ 1993 年式日産スカイライン GT-R（R32 型）
- ・ 2012 年式三菱ランサーエボリューション X
- ・ 2016 年式アキュラ NSX（ホンダ NSX）
- ・ 2020 年式トヨタ GR スープラ（90 型）

<イベントの様子>

来場者数 計 156 名（一般来場者と本学学生教職員）

多くの方にご来場いただき、各々が気になる車両の見学をしていた。中には車両の持ち主と談話する様子も見られた。学生からの関心も高く、出展者と共にボンネットを開けて車両の構造や機能について説明を受けている場面も見られた。

出展者には愛車との思い出や車両諸元をパネルにして展示をお願いし、車について詳しくなくとも楽しめる空間であった。

<まとめ>

初の試みであったため、どの程度ご来場いただけるか不明ではあったが、多くの方にご来場いただき、大変有意義な時間となった。また、自動車技術センターの機器を見学されている方も多く、センターの紹介の場ともなった。

なお、この度のモーターショーに出展いただいた教職員の皆様に感謝申し上げるとともに、今後も継続して実施することで、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にしていきたいと思う。

以上



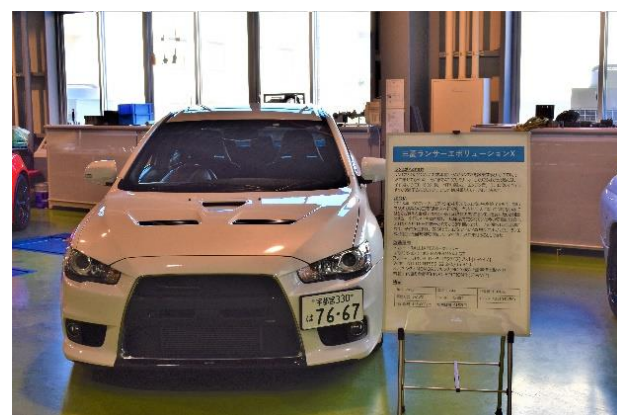
↑ 展示場の様子



↑ Z750D1 の展示



↑ スカイライン GT-R の展示



↑ ランサーエボリューションXの展示



↑ NSX の展示



↑ スープリの展示



↑ 出展者と学生の交流の様子



↑ 出展者の集合写真

令和4（2022）年度次世代自動車研究開発ワークショップ事業 栃木県主催「Honda e 車両技術説明会」開催報告書

報告書作成日 2022 年 11 月 24 日
帝京大学自動車技術センター 簾内 将景

<趣旨>

栃木県は県内主幹産業の一つである自動車業界における世界的な電動化の進展に伴い、部品のモジュール化やグローバル調達など、サプライヤーチェーン構造が変化することによる中小企業の下請構造からの脱却が課題であることを背景に、中小企業の次世代自動車の部品構造に関する理解を深め、自社の技術の活用または他社との協業により高付加価値の部品を開発し、上位メーカーに提案できるスキルの向上を目的として、次世代自動車研究開発ワークショップ事業を展開している。

この度の Honda e 車両技術説明会は、分解・解析を行う前に、事業で使用する Honda e の開発コンセプトや主要技術などについて理解を深めることを目的として開催された。

帝京大学自動車技術センターは、本事業における車両分解の委託を受け作業を進めているが、車両技術説明会においては分解部品の展示や説明会会場の設営等で協力を行った。

<開催日>

2022 年 11 月 16 日 水曜日 9:30~12:15

<コンテンツ>

- 1 講師 本田技研工業株式会社 四輪事業本部ものづくりセンター 完成車開発統括部車両開発二部
コックピット・電装課 チーフエンジニア 佐藤 正 様
- 2 講演概要 司会 栃木県産業振興センター 吉原 正巨 様
開会の挨拶 栃木県工業振興課長 岩田 知也 様
事業概要説明 栃木県産業振興センターマネージャー 岩下 隆 様
講義「Honda e について」 ホンダ 佐藤 正 様
車両見学 自動車技術センター 1F 実習場にて実施
質疑応答、アンケート記入
閉会

<イベントの様子>

参加者数 計 100 名 参加企業数 50 社

講義では自動車技術センター 2F 講義室でスクリーンを使用した講義が行われた。事業で使用する Honda e の開発コンセプトや搭載技術の概要の解説があった。また、事業の内容や今後のスケジュールに関する説明もおこなわれた。車両見学では現物を前にしながら講師の佐藤様に質問する方や、実際に手に取って見物する参加者が見られた。

<まとめ>

この度の説明会においては会場の準備作業が主であったが、参加者数が想定の数倍であったことを受け、中小企業からの関心が非常に高い事業であることを改めて確認した。ATC としては 12 月 8 日に開催される分解過程解説・部品見学会において分解過程解説と部品の展示作業を行うため、栃木県と連携しながら事業参加者のニーズに合った解説・見学会を行えるよう、十分な準備をしていきたい。

以上



本田技研工業株式会社 佐藤様による講義「Honda e について」の様子
場所 自動車技術センター2F 講義室



Honda e 車両・部品見学の様子
場所 自動車技術センター1F 実習室

モビリティリゾートもてぎ安全運転講習会開催報告書

報告書作成日 2022 年 12 月 12 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、交通教育センターもてぎにおいて、急ブレーキやスピン等、一般道路では起きてはいけない体験をもとに、実路での安全運転を目指す。

また、ホンダコレクションホール見学を通してモビリティの歴史と将来について考える場とする。

<開催日>

2022 年 11 月 26 日 土曜日 10:00~15:00

<コンテンツ>

1 モビリティリゾートもてぎ交通教育センター

- ・スキットリカバリー

車がスピン状態になることを回避するトレーニング

- ・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

2 ホンダコレクションホールの見学

<費用>

講習費（8000 円）は個人負担とし、バス代金のみ学校負担

<イベントの様子>

当日参加者数 計 8 名 学生 6 名（機械科 5 名 地域経済科 1 名）引率 2 名

申込学生数は 7 名であったが、1 名はコロナウイルス感染症により欠席であった。

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、トレーニングメニューをこなしていた。途中インストラクターからの質問に答える学生の姿もあり、安全運転の意識向上だけでなく、車両運動性能に対しても理解を深めた。

ホンダコレクションホール見学では、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、談話や記念撮影を行っていた。国内レース車両や F1 車両も展示されており、形状の意味や部品の働きについて話し合う学生の姿もあった。

<まとめ>

今回のイベントは自動車技術センターとして初の試みとして、学科問わず学部 3 年生以上を対象として募集を行った。参加した学生からは、「貴重な体験であった」「今後の運転に役立てたい」といった声が寄せられ、充実した講習会となった。費用負担、募集の開始時期や方法を工夫することで、参加検討の時間確保や参加することの意義を伝えることが可能となり、参加人数の向上が望めると考える。

以上

令和 4（2022）年度次世代自動車研究開発ワークショップ事業 栃木県主催「Honda e 分解過程解説・部品見学会」開催報告書

報告書作成日 2022 年 12 月 12 日
帝京大学自動車技術センター 簾内 将景

<趣旨>

栃木県は県内自動車部品サプライヤーの電動化等の対応に向けた開発力と提案力の向上を支援するため、次世代自動車研究開発ワークショップ事業を展開している。

帝京大学自動車技術センターは、本事業における車両分解の委託を受け作業を行い、この度の分解過程解説・部品見学会では、分解を担当した自動車技術センター小柳出助手と白沢助手がセンター 2F 教室にて解説講演を行った。また、講演後の見学会のために部品の配列を行うとともに、質疑への対応も行った。

<開催日>

2022 年 12 月 8 日 木曜日

<開催場所>

帝京大学自動車技術センター 2F 教室（分解過程解説）、1F 実習場（部品見学会）

<コンテンツ>

1 開会あいさつ

2 Honda e 分解過程解説

帝京大学自動車技術センター 小柳出敏弘、白沢洋一

3 部品見学会

<イベントの様子>

参加者数 計 95 名 参加企業数 38 社

分解解説では、Honda e を分解する過程や、電気自動車の特徴的な部品の機能等について、従来自動車との違いを交えながら、100 名を超える企業参加者に対して、講演会形式で実施した。

講演後には 1F 実習場にて、分解した部品の見学会も開催し、参加者は部品を手に写真撮影や、材質や構造機能について談話し、有意義な時間となった。帝京大学小柳出、白沢両先生は参加者からの様々な質問に対して丁寧に対応していた。

<まとめ>

分解過程解説会における質疑応答の時間には、予定時間を大幅に超過するほどの質問が寄せられるなど、EV 化に対する県内中小企業の関心が高いことがうかがえた。また、テレビ局のカメラが入る等、地球温暖化対策による自動車の電動化への移行に対する注目度の高さを改めて実感した。

ここで得たことを、今後の大学における講義や ATC としての地域貢献、情報発信活動に活かしていきたい。

以上



解説をする小柳出助手



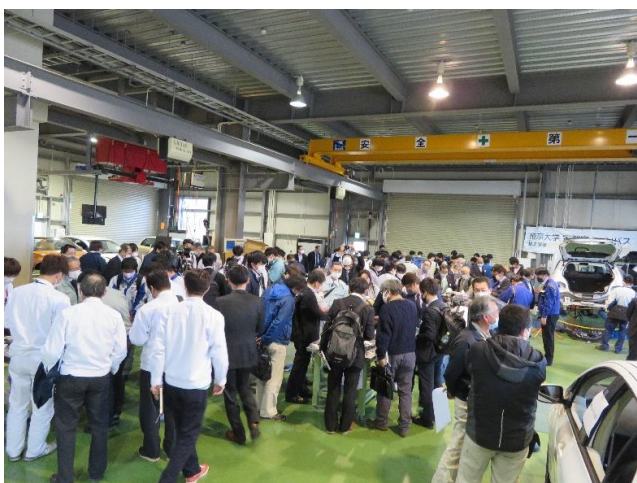
解説をする白沢助手



解説講演の様子



部品見学会の様子



部品見学会の様子



部品見学会の様子

第二部

所属教員紹介

自動運転パーソナルビークルの研究



理工学部・機械／精密システム工学科 教授

井上 秀明 INOUE, Hideaki

URL : https://www.teikyo-u.ac.jp/faculties/science_tech/labo/machine_sys_inoue

理学・工学

宇都宮キャンパス

キーワード：自動運転、パーソナルビークル、高齢者、健康、電動車椅子

SDGs 目標 3：すべての人に健康と福祉を

SDGs 目標 11：住み続けられるまちづくりを

研究の概要

自動運転は、単にドライバーを運転操作から解放させるだけでなく、新たな交通手段としてのモビリティを生み出す。さらには、従来の交通手段をも組み合わせたさまざまな交通システムを生み出し、私たちに新たな生活を提供してくれようとしている。

一方、高齢社会の中で、足腰の弱りかかった高齢者が自動運転に頼り切ってしまうと急激な体力の衰えを招くおそれがある。

そのような状況を見据えて、高齢者を含めた地域内の生活者のために、便利であることと健康を維持向上させることを両立させる自動運転技術を開発している。

具体的には、一人乗りの小型ビークルを活用することによって、単なる自動移動ではなく、楽しくおしゃべりしながら散歩気分の移動ができたり、あるいは場合によっては足腰を鍛えることもできるような、体力や体調に応じて使い分け可能な自動運転パーソナルビークルを研究している。



自動運転機能を活用した健康増進研究



電動車椅子をベースとした自動運転パーソナルモビリティ

実学へのつながり・産業界へのアピールポイントなど

高齢者にとって「歩行」は、筋持久力と呼吸循環器系を強化し、更には脳への血流量の増加から認知症予防にも効果があると言われている等、高齢者が自立した生活をおくる能力を維持向上させるために必要な日常活動と言われている。また、旅行や買い物、あるいは散歩といった外出が高齢者にとっての喜びとなっているという調査結果もある。

一方で、地域における公共交通の課題解決のための自動運転は高齢者にとって移動の自由度は増すものの、「歩行」そのものの頻度が低下する懸念がある。

本研究の「高齢者の健康増進のための自動運転パーソナルビークル」は、高齢社会を乗り越える技術と考えている。

知的財産・論文・学会発表など

- ・「電動車椅子を用いた牽引による歩行負荷低減に関する基礎的実験と考察」2022年 自動車技術会春季学術講演会、20225195
- ・「自動運転の実用化に向けた取り組みと将来展望」安全工学 54(3), 163-168, 2015
- ・「顕在リスクと潜在リスクに対するドライバの運転行動評価指標の検討」(交通・物流部門一般セッション) 年次大会 2011(0), _G180013-1-_G180013-6, 2011
- ・「考えるクルマ」と交通社会の未来」Japan Robot Week 2014 さがみロボット産業特区フォーラム

自動車の実路試験による 環境負荷低減技術に関する研究



理工学部・機械／精密システム工学科 教授

加藤 彰

KATO, Akira

URL: http://www.teikyo-u.ac.jp/faculties/science_tech/labo/machine_sys_kato

理学・工学

宇都宮キャンパス

キーワード: Global warming, Automobile, Engine, RDE

SDGs 目標 7: エネルギーをみんなに、そしてクリーンに
SDGs 目標 13: 気候変動に具体的な対策を

研究の概要

<研究主題>

人類の移動の喜びを実現する自動車を主とするモビリティからは地球温暖化の原因の一つであるCO₂や有害排出ガスを伴います(WtWで考えるとEV車からもCO₂を排出します)。したがって、持続可能な社会を目指して、モビリティからのCO₂や有害排出ガス削減技術に関する研究を行います。

① Real Driving Emissions (実路排出ガス試験) に関する研究

⇒どのような走り方がCO₂と排出ガスを低減させるのか?

② 交通流シミュレーションを用いた実路燃費予測の研究

⇒交通流を最適化し車両の平均車速を上げるには?

③ モビリティの最適化に関する研究

⇒どのようなモビリティが地域にとってCO₂排出削減と生活レベル向上の両立を実現するのか?

④ 電気自動車(EV)の電費向上技術の研究

⇒EVの課題である一充電あたりの走行距離を向上させるには?



完成車を用いた排出ガス計測

実学へのつながり・産業界へのアピールポイントなど

CO₂や有害排出ガスの排出は、その運転状況によって大きく変化します。実際の自動車を用いて宇都宮市内を中心とした実路を走行し、その自動車からのCO₂や有害排出ガスを計測します。この計測結果とアクセルペダル等の運転パラメータを解析することにより、エコドライブ運転を提案しドライバビリティとCO₂低減の両立をめざします。

知的財産・論文・学会発表など

Michael Melkior Kanugroho, et al. "Study of Actual Road Power Consumption Improvement Method for Electric Vehicle using Traffic Flow Simulation", JSAE Annual Congress Spring(2023)

ヴァイオリンの音色と振動音響解析



理工学部・機械／精密システム工学科 教授

黒沢 良夫 KUROSAWA, Yoshio

URL : https://www.teikyo-u.ac.jp/faculties/science_tech/labo/machine_sys_kurosawa

理学・工学

宇都宮キャンパス

キーワード：ヴァイオリン振動音響 FEM（有限要素法）

SDGs 目標 9：産業と技術革新の基盤をつくろう

研究の概要

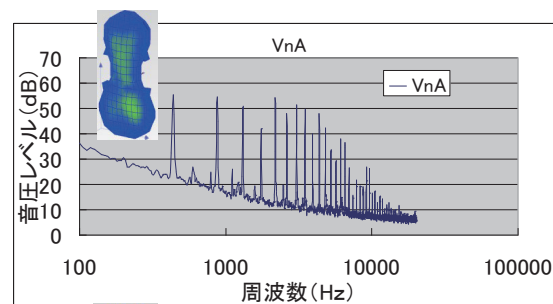
ヴァイオリン等の弦楽器は、職人の勘や過去の経験によって製作・調整されることが多い。弦楽器は従来多くの研究が行われているが、完成品の音響・音色の計測・分析などが多く、形状や材質と振動や音（音色）の関係まで踏み込んだ研究は少ない。そのため、構造（形状・材質）を変更したらどのような振動・音になるか、楽器のどの部分の板が音に影響しやすいのかを実験や有限要素法による計算を用いて研究を行っている。

将来的には、楽器の詳細形状を 3D スキャナを用いて再現し、有限要素モデル化して振動や音を再現し、モデル上で音色の検討が行えるような技術を目指す。

VnA(ヴァイオリンA)



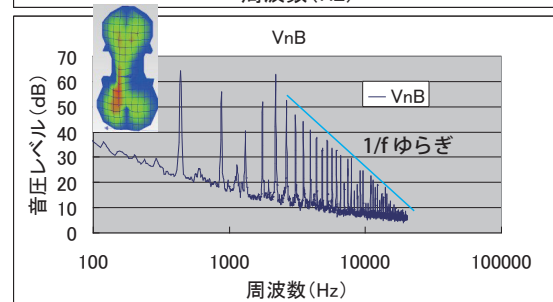
- ・2000年作成 ・重さ428g
- ・膨らみが小さく、板が薄い



VnB(ヴァイオリンB)



- ・1939年作成 ・重さ455g
- ・VnAと比べると膨らみが大きく、板が厚い



実学へのつながり・産業界へのアピールポイントなど

楽器の音の周波数特性を計測・分析することで、物理現象と人間の感覚（音色の感じ方）の関係や傾向を把握する。それにより、楽器だけでなく様々な騒音問題の快音化を可能にする。また、振動特性から音色を再現できるようになれば、様々な機械の騒音を予測・再現可能となる。本研究は、著者が自動車メーカー在籍時に培ったノウハウを活用している。

知的財産・論文・学会発表など

論文（査読あり）

- ・黒沢良夫, Vibration Analysis for the Violin with or without Bass-bar, International Conference on Technology and Social Science 2018 (ICTSS 2018)

学会発表

- ・黒沢良夫, 和真音, 音響楽器シンギング・リンの音響解析によりその有用性を探る, MSC Software 2018 Users Conference

衛生害虫のオートサンプリングマシンの開発とサーベイランス



理工学部・情報電子工学科 特任教授

蓮田 裕一 HASUDA, Yuichi

URL : <https://www3.med.teikyo-u.ac.jp/profile/ja.cf7682d194688307.html>

バイオ

宇都宮キャンパス

キーワード：ヒトスジシマカ、電子制御、サーベイランス、衛生害虫

SDGs 目標 9：産業と技術革新の基盤をつくろう

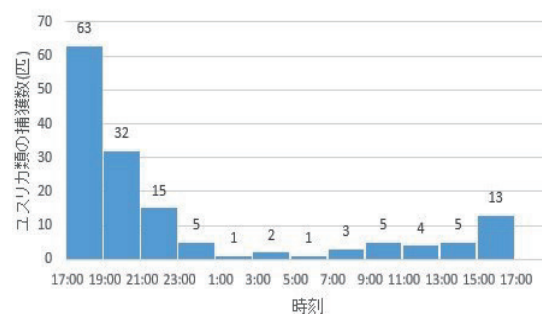
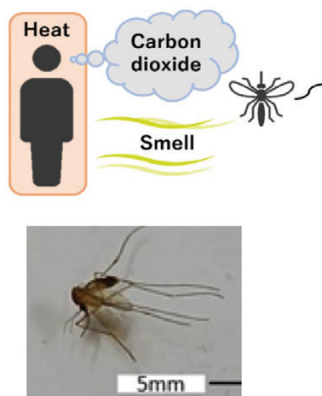
研究の概要

蚊やハエなどの衛生害虫は、感染症を媒介することで知られており、全世界で年間約 70 万人以上が蚊によって亡くなっている。日本でも 2014 年 8 月に、代々木公園で発生したデング熱が急速に広まり、全国で 160 人がデング熱に感染する事例が発生している。デングウイルスを媒介するヒトスジシマカの分布が温暖化に伴い拡大しつつあり、全国で毎年、蚊のサーベイランスが行われている。しかし、調査にはヒト図法が広く利用されており、研究者が感染する危険性が伴う上、連続した調査が課せられるなど、負担が大きい。自動で時間別にサンプリング可能な装置はほとんど開発されておらず、調査の無人化・自動化が強く要望されている。

本研究では時間別に採集可能なオートサンプリングマシンを開発し、衛生害虫のサーベイランスの無人化・自動化を実現している。



炭酸ガス誘引型サンプリングマシン



衛生害虫の日周期発生変動

実学へのつながり・産業界へのアピールポイントなど

開発したオートサンプリングマシンを用いて衛生害虫のサーベイランスを実践している。住宅地でのサンプリング実験ではヒトスジシマカやイエカ類を誘引捕獲しており、河川敷ではユスリカ類やトビケラ類、蛾が多く誘引捕獲することができている。

国や地方自治体が全国で展開している衛生害虫のオートサンプリングを円滑に行えるように同マシンを改良している。さらに、衛生害虫のサーベイランスにおける研究者の負担軽減を図りたい。

知的財産・論文・学会発表など

国際会議発表（最近の研究成果）

1. Yuki ARAI, Shunta ARAMAKI and Yuichi HASUDA, Some Factors influencing the drift rates of mayfly larvae in the artificial stream, International Forum Agriculture, Biology, and Life Science 2018, March 180-190, 2018.
2. Daichi TAKAHASHI and Yuichi HASUDA, Development of Automatic sampling machine for mosquito surveillance, The International Conference on Technology Education 2021, 105-113, 2021

緊急地震速報に連動した減災システム



理工学部・情報電子工学科 特任教授

蓮田 裕一 HASUDA, Yuichi

URL : <https://www3.med.teikyo-u.ac.jp/profile/ja.cf7682d194688307.html>

理学・工学

宇都宮キャンパス

キーワード：緊急地震速報、減災、LPG タンク、店舗商品の保護

SDGs 目標 9：産業と技術革新の基盤をつくろう

研究の概要

近年、日本は大規模な地震の被害を受けており、東日本大震災では液化石油ガス（LPG）タンクが倒壊後、漏洩・拡散した LPG に着火・爆発した。事故が起きた LPG タンクは、検査のために満水状態であり、通常の 2 倍の負荷が支柱にかかっていたことが倒壊の原因である。再発対策として、ガスタンク支柱の補強が進められている。しかし、国内の膨大な数の LPG タンクを補強・完備するには多くの時間を要する。

本研究では新たな解決策として、開放検査中に地震が起きた時に、水を素早く排出し、タンクの倒壊及びガスの漏洩などを未然に防ぐシステムを提案している。緊急地震速報を電子素子 EEWES-2B で受信すると共に、LPG タンクの排水バルブを自動開閉するシステムを開発している。



コンビニなどの商品保護システム



緊急地震速報に連動したLPGタンクのバルブ開閉システム

実学へのつながり・産業界へのアピールポイントなど

気象庁から配信される緊急地震速報を EEWES-2B を用いて受信し、直ちに電磁弁バルブを開閉することを可能にしている。

EEWES-2B を用いた緊急地震速報の受信の応用として、地震発生時に歯科治療中のハンドピース先端のドリル回転を止め、ドリルで患者の口内を傷つける事故を減らすシステムも実現している。

緊急地震速報を受信し、マイコンを介して本振動が到達する 30 から 40 秒前に大きな揺れに備えることは極めて有用であり、新幹線の自動停止や化学プラントでの操業停止、津波早期警報などにも実用化が急がれている。コンビニやスーパーマーケットの商品保護システムも開発する。

知的財産・論文・学会発表など

国際会議発表（最近の研究成果）

1. Yuki ARAI, Chihiro TAYAMA, Yuki TAKAGI, and Yuichi HASUDA, A Braking System of Instruments for Dental Treatments in Case of Earthquake: International Conference on Engineering, Technology, and Applied Science 2018,21-28,2018.
2. Syota ENDO, Chihiro TAYAMA, Yuki ARAI, and Yuichi HASUDA, Emergency Drainage System of LPG Tank Linked with Earthquake Early Warning, International Conference on Education, Economics, Psychology and Social Studies (ICEEPS2019) , pp.201-208.2019
3. Syota ENDO, Keisuke HAMAZAKI, Keigo OZAKI, Mari MATSUBARA and Yuichi HASUDA, The system to prevent falling products in stores linked with earthquake early warning, The International Conference on Technology Education (ICTE2021) .

高齢者の自動車の運転操作能力が向上する 着座姿勢の研究



理工学部・機械／精密システム工学科 准教授

牧田 匡史 MAKITA, Masashi

URL : <https://www3.med.teikyo-u.ac.jp/profile/ja.36fd507dfe2d24dc.html>

理学・工学

宇都宮キャンパス

キーワード：高齢者、身体能力、トレーニング、認知

SDGs 目標 3：すべての人に健康と福祉を

SDGs 目標 8：働きがいも経済成長も

研究の概要

背景

2022 年の日本国内における交通事故の死者数は 2,610 人で過去最少となった。一方で、65 歳以上の高齢運転者の死者数の割合は増加傾向である。その主要因は、①回避行動がとれないことが多い、②高齢者の交差点における急な飛び出しに対する反応時間は、非高齢者と比較して遅れる、③緊急時に十分にブレーキを踏めないことが多い、が挙げられる。これらは、運転に必要な認知、判断（①、②）、操作（③）の加齢による運転能力の低下が原因とされている。

目的

高齢者の交通事故要因①～③に対して、運転能力が改善する着座姿勢を創出すること。

結果と進捗

【③ 緊急時のブレーキ踏力の検討】

高齢運転者と若年運転者の緊急ブレーキ操作の比較検討から、着座姿勢の違いにより（図 1）アクセルペダルからブレーキペダルへの踏みかえ動作から最大踏力発生までのブレーキ操作のパフォーマンスが向上することが示唆された。さらに、高齢運転者の最大踏力が、若年運転者と同等になることが示唆された（図 2）。今後、解析（筋骨格モデル：図 3）により、メカニズムを解明予定。

【①、② 回避行動と反応時間の検討】

医療技術学部と獨協医科大学との共同で、回避行動と反応時間の評価が可能な実験装置を作成予定。

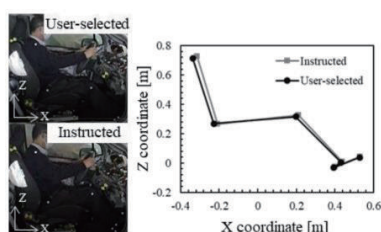


図 1 高齢運転者の着座姿勢違いの実験の様子

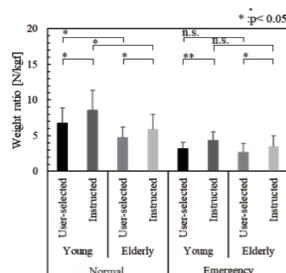


図 2 着座姿勢違いでの最大踏力

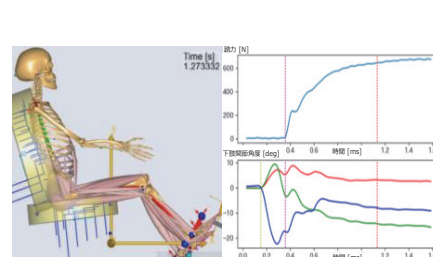


図 3 緊急ブレーキ操作実験再現モデル（高齢者）

論文・学会発表など

・ 牧田匡史、ほか、高齢者の着座姿勢違いにおける緊急ブレーキ操作の踏力と下肢動作の逆動力学解析を用いた考察、自動車技術会秋季大会 学術講演会 講演予稿集、No.20235202、2023 年 10 月 13 日

・ Masashi Makita, Akinari Hirao, Hiroaki Fujii, A Study of the Leg-Movement Characteristics of Young and Elderly People During Emergency Braking in Different Sitting Postures, The International Journal of Automotive Engineering, 2022 Volume 13 Issue 2 Pages 68-73.

ブラシ付き電動機／発電機の信頼性向上に関する研究



理工学部・機械／精密システム工学科 助教

福田 直紀

FUKUDA, Naoki

URL : https://www.teikyo-u.ac.jp/faculties/science_tech/labo/machine_sys_fukuda_naoki

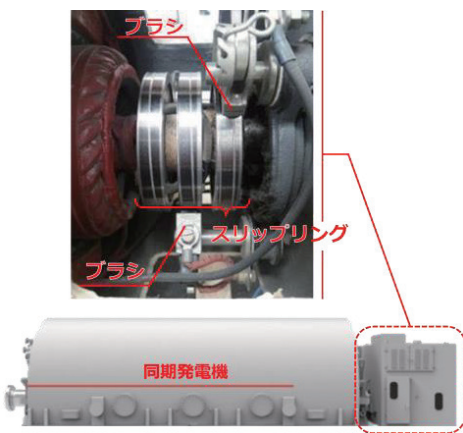
理学・工学

宇都宮キャンパス

キーワード：ブラシ、発電機、電動機

SDGs 目標 7：エネルギーをみんなに、そしてクリーンに
SDGs 目標 9：産業と技術革新の基盤をつくろう

研究の概要

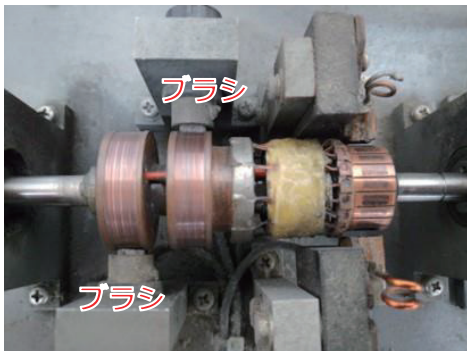


発電機に用いられるブラシ／スリップリング

静止しているものから動いている（回転している）ものに、擦れながら電気を供給する機構を電気摺動接触機構といいます。

電気鉄道のパンタグラフとトロリ線は、その代表例です。この機構は電動機や発電機において、ブラシ／スリップリング（整流子）として用いられ、電動機の回転や発電機の発電を成すための重要な部分です。

すなわち、ブラシの通電性および耐摩耗性の向上は、電動機や発電機の高信頼性に繋がります。



ブラシ摩耗試験機

そこで、ブラシの摺動通電現象を解明するため、摺動試験装置を用いた試験および解析を行っています。

実学へのつながり・産業界へのアピールポイントなど

ブラシは常に接触し、回転によって摩耗し続けます。近年、ブラシを持たない「ブラシレスモータ」が普及しつつあるものの、製造コスト面などから、従来型のモータでなければならない部品や装置が数多くあります。例えば自動車の場合、全モータをブラシレスに置き換えると、製造価格が10倍近く跳ね上がります。また、発電所で使うような大型発電機はブラシレスでは代替できません。そのため現在でも、ブラシの耐久性を高める研究は重要です。

知的財産・論文・学会発表など

福田 直紀、澤 孝一郎、上野 貴博 “鋼スリップリングと銀黒鉛質ブラシの摺動通電におけるブラシ銀含有率変化がもたらす通電メカニズムの相違” 2021 年 141 巻 1 号 p. 7-17

天然素材とプロダクトについて ーモビリティ素材への活用ー



理工学部・機械 / 精密システム工学科 助手

白沢 洋一 SHIRASAWA, Yoichi

その他

宇都宮キャンパス

キーワード：プロダクトデザイン、クラフト

SDGs 目標 9：産業と技術革新の基盤をつくろう

SDGs 目標 12：つくる責任、つかう責任

研究の概要

生活環境において慣れ親しんできた伝統的な紙や木の素材は、より便利で生産性の良い化学繊維や合成樹脂製品に変化してきた。しかしそれらの石油製品の中にはリサイクル効率の良くないものもある。プラスチックゴミの海洋汚染は国際的にも深刻化しており、国内においても簡易包装やリサイクルペーパー利用などの動きが盛んになってきた。本研究対象素材である和紙は、日本家屋の障子や襖に用いられてきたが、住宅の洋風化に伴い採用が減少していった。ところが近年では自然素材への関心がたかまりつつあるように、建材や工芸品以外に日用品などの、工業製品の素材として人気を集めるようになった。

日本の伝統産業は後継者不足や、需要の減少により衰退しつつあったが、近年の動向では環境意識の高まりにより、天然素材の利用や、ものづくりが見直されつつある。一方で世界を牽引する基幹産業の一つでもある自動車産業では経済成長以降、急速に技術力を伸ばし、高性能な工業製品製造において世界をリードするようになり、耐久性や信頼性において品質が評価され、製品は世界に認められてきた。しかしながら近年、自動車は電動化の進展によって異業種の新規参入や、海外新興企業の技術力向上等により、圧倒的な技術差は縮小しつつあるだろう。

脱炭素社会への一つのアプローチとなる自動車産業は、国際的な電動化に向けた過渡期であるが、今後さらに低環境負荷への動向は高まると考えられる。ユーザーの環境意識の高まりと、自動運転化技術の急速な技術進展は、車内空間の快適さが一層求められるのではないだろうか。本研究では自動車内装を、プロダクトデザインや近代工芸・工業を切り口に、自動車（モビリティ）内装材へ天然素材を活用することで、産業の活性化および持続可能性を高め、2050年のカーボンニュートラルへ向けた石油製品使用率低減を目標とする。



自動車内装材へ天然素材を用いた例
Volvo Car Japan HP より引用

実学へのつながり・産業界へのアピールポイントなど

工芸産業が自動車内装を手がけることは、今までに実用例の少ない事象であり新しい方向の発展が期待でき、新たな事業の芽生えとなり産業の活性化が期待できると考える。また自動車という工業製品に使用される材料の一部が、石油製品に変わり天然素材の利用率をあげることで、生産やリサイクルにおける環境ダメージの軽減が期待できる。

知的財産・論文・学会発表など

低燃費競技大会の車両製作におけるものづくり教育と効果

Effect on Manufacturing Education for Vehicles Production of Mileage Contest

白沢洋一 伊藤正則 井上祥寿 篠原誠 古澤利明 日本機械学会 2005年 9月

第三部

研究ノート

STUDY OF NUMERICAL MODELING OF ELECTRIC VEHICLE FOR IMPROVEMENT METHOD OF ENERGY EFFICIENCY

Michael Melkior Kanugroho¹⁾ Yuta Nakane²⁾ Taizo Otsuki²⁾ Akira Kato²⁾

CO₂ and exhaust emissions regulations are becoming stricter year by year. Passenger cars are shifting from ICE Vehicles to BEV (Battery-Electric Vehicles). Concerning the range of electric vehicles that will not have enough battery charge to reach their destination, by using the test cycles and the real driving test vehicle speed data from the experiment, the numerical modeling constructed vehicle model is run and the energy consumption result will evaluate and analyze.

KEY WORDS: EV and HV Systems, State of Charge (SOC), System Technology, Energy Consumption, Real Driving Emission, WLTC, Numerical Modeling, Traffic Flow Simulation (A3)

1. Introduction

Nowadays, the world has to deal with three matters such as air pollution, global warming, and the energy crisis⁽¹⁾. Concerning global warming, to reduce the harmful effect of climate change, COP26 (2021) agreed to maintain the Earth's temperature rise below 1.5°C, and to achieve it, the realization of Carbon Neutral in 2050 is necessary, and one of the ways is the CO₂ reduction in the transportation sector such as automobiles⁽²⁾. Passenger cars are shifting from ICE Vehicles to BEV (Battery-Electric Vehicles), intending to become carbon-neutral by 2050.

In a previous study, we proposed a fuel efficiency improvement method for gasoline vehicles⁽³⁾ and HEV (Hybrid Electric Vehicles)⁽⁴⁾ on real roads using vehicle numerical modeling and traffic flow simulations (SUMO).

In this study, concerning the range of the BEV that will not have enough battery charge to reach their destination, we created a vehicle numerical modeling using Matlab based on the real vehicle used in test cycles and real driving tests. By using the test cycles and real driving test vehicle speed data from the experiment, the simulation is run. Energy consumption results from the simulation will be investigated and analyzed.

2. Experiment and Simulation Method

2.1. Test Cycles and Real Driving Test

BEV as the specification in Table 1 is chosen to use in the experiment. The test cycles used in experiment on the chassis dynamometer are steady speed tests (40, 60, 80, 100, and 120 km/h) and WLTC (Urban, Rural, and Highway). WLTC cycle starts with the SOC (State of Charge) of the HV (High Voltage) battery from BEV being 80%. Experiment on the chassis dynamometer was conducted at room temperatures of 5°C, 20°C, and 35°C with the AC (Air Conditioner) system is ON (set to 25°C) and OFF at each room temperature.

The running resistance value of a, b, and c for the chassis dynamometer experiment is based on EPA (Environmental Protection Agency) data of the used test vehicle. The test vehicle weight is 1530 kg, the 110 kg is added to the vehicle weight on the chassis dynamometer experiment.

For the real driving test, steady speed test, and WLTC, the external diagnosis tool (HDM9000 made by Hitachi Astemo) is used for the real-time measurement method, it is connected to the OBD port of the test vehicle. We calculate the energy consumption of the BEV by using the HV battery electric power divided by the travel distances of the vehicle⁽⁵⁾.

*Presented at the JSAE Kanto International Conference of Automotive Technology for Young Engineers on March 9, 2023

1) Teikyo University, Department of Integrated Science and Engineering, Graduate School of Science and Engineering, Division of Integrated Science and Engineering (Toyosatodai 1-1, Utsunomiya City, Tochigi Prefecture 320-8551, Japan)

2) Teikyo University, Department of Mechanical Precision Systems Engineering, Faculty of Science and Engineering (Toyosatodai 1-1, Utsunomiya City, Tochigi Prefecture 320-8551, Japan)

Also, the real driving tests were conducted on three different driving roads such as urban, rural, and highway around Utsunomiya City (shown in Fig. 1) with two different drivers (Driver A and B). The real driving test was conducted in summer, autumn, and winter. In the summer and winter, the AC system is used and the temperature was set to 25°C, the car will adjust the temperature inside the cabin automatically. In autumn, the AC system is not used. The real driving test starts with the SOC of the HV battery from BEV being 80%.

Table 1 Vehicle Specification

Vehicle Code	ZE1
Motor Type	AC Synchronous Permanent Magnet Motor
Motor Model Code	EM57
Maximum Motor Speed (RPM)	9795
Drive Wheels	Front Wheel Drive
Torque (Nm)	320
Power (PS)	150
DriveTrain	2WD
Battery Type	Lithium-ion Battery
Battery Cells	98
Battery Capacity (kWh)	40
Battery Voltage (V)	350
WLTC Energy Consumption (Wh/km)	155
JC08 Energy Consumption (Wh/km)	120
Weight (kg)	1530
Full length (mm)	4,480
Full width (mm)	1,790
Overall height (mm)	1,540
Wheelbase (mm)	2,700
Number of passengers	5



Fig. 1 Real Driving Road Test in Utsunomiya City

2.2. Vehicle Numerical Modeling

Vehicle numerical modeling is constructed using Matlab, which can perform vehicle modeling, simulation, and analysis in a multi-domain environment⁽⁶⁾. The constructed vehicle model using the Powertrain Blockset from Matlab as we can see in Fig. 2, is a model of the automobile powertrain system. BEV model is selected as a reference model for the test vehicle model. This model includes a driver model, controller, electric motor, HV Battery, etc. BEV model parameters are adjusted based on the test vehicle which was used in the experiment (shown in Table 2).

The experiment energy consumption results from data which is used to compare the simulation results are the steady speed test and WLTC during the temperature of 20°C, and the real driving test conducted in autumn with two different drivers. Regarding the vehicle weight for the simulation parameter of the BEV, in the steady speed test and WLTC, the vehicle weight was set to 1640 kg, and in the real driving test, the vehicle weight of Driver A was set to 1710 kg and Driver B set to 1699 kg to match the driver and passenger weight.

After matching the parameter to the vehicle specifications, the steady speed test simulation is run by using the vehicle speed data from the experiment. Therefore, the aim of energy consumption differences of the vehicle between the simulation and experiment is below 5%. We set a 5% target value because of the chassis dynamo test accuracy.

We can evaluate and analyze energy consumption results at each vehicle's speed using a steady speed test. Adjustment is being made to the parameter of the vehicle model from the simulation to match the experiment results. The adjusted parameters (such as the motor efficiency map, gear ratio, etc.) will be used to run the vehicle in the WLTC and the real driving test. Vehicle energy consumption results from the simulation will be evaluated and analyzed.

Table 3 is a calibrated motor efficiency map. By using the steady speed test motor torque and motor speed data, we calibrated the motor efficiency map in the simulation. The colored columns in Table 3 are the calibrated motor efficiency in percentage. Because we only use the steady speed test to calibrate the motor efficiency map, we can't calibrate all the columns.

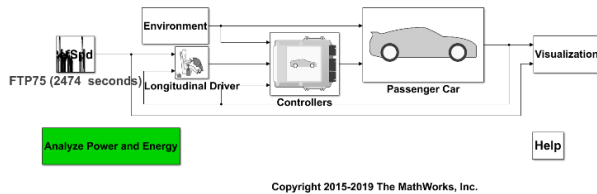


Fig. 2 Powertrain Blockset

Table 2 Adjustment of BEV Model Parameters

	Parameter	Default	Adjustment	Information
Longitudinal Driver	Control Type	Predictive	Scheduled PI	Adjust the dynamic response of the driver
Passenger Car	Motor	Torque (Nm)	254	320
		Power (W)	80000	110000
	Battery	Maximum Capacity (Ah)	66.7	114.29
		Initial Capacity (Ah)	66.7	80
	Wheels & Brakes	Disc Type	Front&Rear: Disc	Front&Rear: Disc
		Wheel Diameter (mm)	530	631.9
	Running Resistance	Pressure & Velocity		Rolling Resistance + Air Resistance
	Vehicle	Gear Reduction Ratio	7.9:1	8.520:1
		Mass (kg)	1200	1640
				1710 (Driver A) 1699 (Driver B)
		Frontal Area (m ²)	2.53	2.585
	Air Temperature (K)	298	293.15	Adjustments to match the experiment condition

Table 3 Motor Efficiency Map

		Motor Torque (Nm)															
		0	10	15	20	50	100	120	140	160	180	200	220	240	260	320	
Motor Speed (RPM)	0	71.8	71.8	71.8	78.4	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	
	1000	71.8	71.8	71.8	78.4	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	
	1500	71.8	71.8	71.8	79.7	87.5	87.5	87.5	87.5	87.5	87.5	87.5	86.5	86.5	86.5	86.5	
	2000	71.8	71.8	71.8	80.9	90	90	90	90	90	90	90	90	88	88	88	
	3000	77.2	77.2	80.9	84.6	92	92	92	92	92	92	92	92	90	90	90	
	4000	82.8	82.8	82.8	82.8	87.9	93	93	93	93	92	92	92	90	90	90	
	4500	82.8	82.8	82.8	82.8	87.9	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	
	5000	85	89.2	89.2	89.2	91.6	94	95	95	95	95	95	95	95	95	95	
	6000	85	89.2	90.1	90.9	92.7	93.9	95	95	95	95	95	95	95	95	95	
	7000	85	88.8	90.8	92.7	92.7	93.9	95	95	95	95	95	95	95	95	95	
	8000	85	88.5	90.2	91.9	91.9	93.5	95	95	95	95	95	95	95	95	95	
	9500	85	85	87.5	90	92	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	

3. Simulation Result

3.1. Simulation Accuracy of Steady Speed Test

The accuracy of the vehicle model built using adjusted parameters of the simulation was verified by comparing the energy consumption from experiment and simulation results. In Table 4, the steady speed test energy consumption shows a good result as the differences are below 5%. Both in the experiment and simulation, the energy consumption increases when the vehicle speed is increased. It is caused by the electric motor using more electric power from the HV battery to run the test vehicle when the vehicle speed increase.

Table 4 Energy Consumption Comparison of Steady Speed Test Between Experiment and Simulation

Speed km/h	Experiment Wh/km	Simulation Wh/km	difference %
40	81.04	81.93	1.08%
60	106.48	106.60	0.11%
80	137.03	137.19	0.12%
100	181.16	181.28	0.07%
120	241.20	241.84	0.26%

3.2. Simulation Accuracy of WLTC

For the WLTC energy consumption results, by using adjusted parameters, we run the WLTC class 3b simulation in urban, rural, and highway. In Table 5, the WLTC result of energy consumption differences between rural, highway, and combination shows below 5% which are a good result. However, the simulation result in the urban area almost reaches a 5% difference. Because it only has a small difference of 0.69%, we conclude the result is still acceptable. In the WLTC, the regeneration braking can be seen in Fig. 3, Fig. 4, and Fig. 5. The HV battery electric power shows negative results at certain points, it can be understood as the regenerative braking process of the BEV.

Table 5 Energy Consumption Comparison of WLTC Between Experiment and Simulation

WLTC Mode	Experiment Wh/km	Simulation Wh/km	Difference %
Urban	118.21	111.84	-5.69%
Rural	114.91	117.01	1.80%
Highway	136.13	139.16	2.17%
Combine	125.71	126.49	0.61%

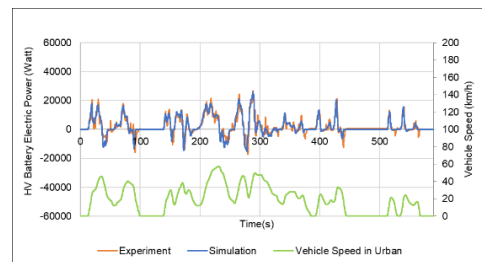


Fig. 3 HV Battery Electric Power Comparison Between Experiment and Simulation in Urban of WLTC

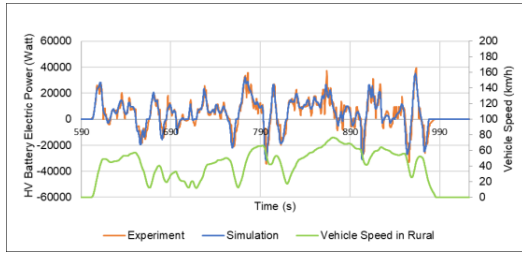


Fig. 4 HV Battery Electric Power Comparison Between Experiment and Simulation in Rural of WLTC

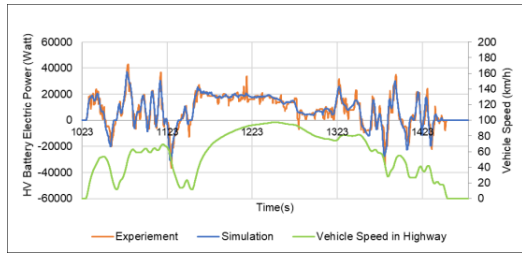


Fig. 5 HV Battery Electric Power Comparison Between Experiment and Simulation in Highway of WLTC

3.3. Simulation Accuracy of the Real Driving Test

For the real driving test energy consumption results, by using adjusted parameters, we run the real driving simulation using vehicle speed data from experiment. The real driving test is performed by two different drivers (Driver A and B). Table 6 is the energy consumption comparison between experiment and simulation of Driver A and Table 8 is the energy consumption comparison between experiment and simulation of Driver B.

The results of energy consumption in a rural area of both Driver A and Driver B show a good result since the differences between the experiment and simulation are under 5%. However, the results of energy consumption differences between the experiment and simulation from urban, highway, and combination of all phases are above 5%. The regeneration braking process during the real driving test can be seen in Fig. 6 to Fig. 11, which is the comparison between experiment and simulation of the HV battery electric power.

Table 6 Real Driving Test Energy Consumption Comparison Between Experiment and Simulation of Driver A

Phases	Experiment Wh/km	Simulation Wh/km	Difference %
Urban	123.86	107.92	-14.77%
Rural	105.08	106.01	0.88%
Highway	142.50	123.06	-15.80%
Combine	127.50	114.23	-11.62%

Table 7 Real Driving Test HV Battery Electric Power Comparison Between Experiment and Simulation of Driver A

Phases	Experiment Wh	Simulation Wh	Difference %
Urban	977.19	848.88	-15.12%
Rural	729.98	737.83	1.06%
Highway	1717.49	1488.75	-15.36%
Combine	3427.04	3075.46	-11.43%

Table 8 Real Driving Test Energy Consumption Comparison Between Experiment and Simulation of Driver B

Phases	Experiment Wh/km	Simulation Wh/km	Difference %
Urban	127.82	114.47	-11.66%
Rural	102.25	104.06	1.74%
Highway	181.43	166.10	-9.23%
Combine	145.13	134.81	-7.66%

Table 9 Real Driving Test HV Battery Electric Power Comparison Between Experiment and Simulation Driver B

Phases	Experiment Wh	Simulation Wh	Difference %
Urban	1008.44	905.06	-11.42%
Rural	713.04	726.94	1.91%
Highway	2179.86	1994.41	-9.30%
Combine	3900.82	3626.41	-7.57%

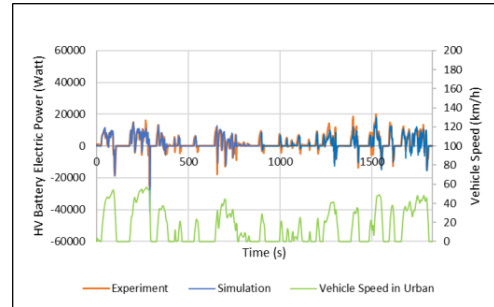


Fig. 6 HV Battery Electric Power Comparison Between Experiment and Simulation in Urban of Real Driving Test Driver A

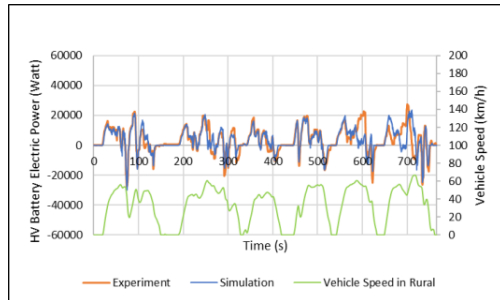


Fig. 7 HV Battery Electric Power Comparison Between Experiment and Simulation in Rural of Real Driving Test Driver A

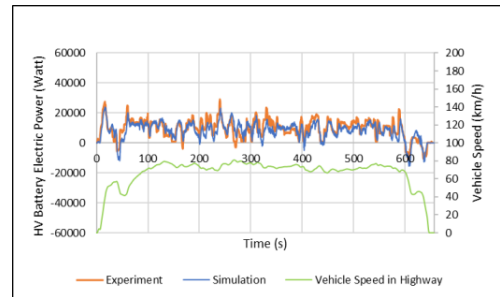


Fig. 8 HV Battery Electric Power Comparison Between Experiment and Simulation in Highway of Real Driving Test Driver A

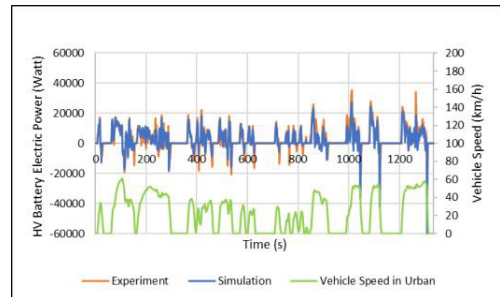


Fig. 9 HV Battery Electric Power Comparison Between Experiment and Simulation in Urban of Real Driving Test Driver B

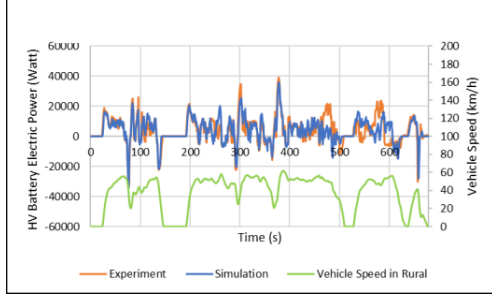


Fig. 10 HV Battery Electric Power Comparison Between Experiment and Simulation in Rural of Real Driving Test Driver B

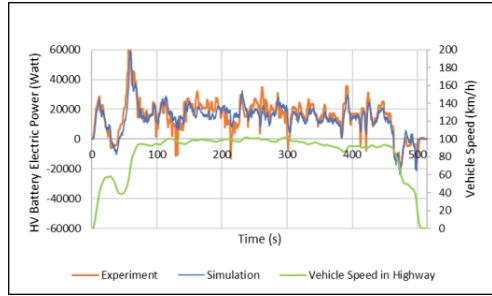


Fig. 11 HV Battery Electric Power Comparison Between Experiment and Simulation in Highway of Real Driving Test Driver B

4. Discussion

The energy consumption and HV battery electric power of real driving test results can be seen in Table 6 and Table 7 of Driver A and Table 8 and Table 9 of Driver B. For urban and highway areas from the HV battery electric power result of simulation is lower than experiment. For the HV battery electric power in the urban and highway areas of Driver A, as we can see in Table 7, the simulation has a difference of -15.12% and -15.36% compared to the experiment. For the HV battery electric power in the urban and highway areas of Driver B, as we can see in Table 9, the simulation has a difference of -11.42% and -9.30% compared to the experiment. The concern comes from the motor efficiency map. Because we use the steady speed test data of motor speed and torque to calibrate the motor efficiency map, only the colored columns in Table 3 can be calibrated. We can't calibrate all columns in the motor efficiency map.

There is also a possibility in urban and highway areas, the simulation was run using only vehicle speed data from the experiment, and doesn't encounter the hill and slope (gradient resistance) in the real driving condition. The gradient resistance in the simulation doesn't calculate which can affect the amount of electric power used by the electric motor. The simulation consumes less electric power compared to the experiment result.

For the highway area (From Kanuma IC to Utsunomiya IC), the slope has a height of 54.9 m, with a distance of 10,791 m, and an angle of 0.29°. By using Eq. 4.1 and 4.2, for Driver A, the gradient resistance result is 85.345 N and energy from the gradient resistance is 255.82 Wh. For Driver B, the gradient resistance result is 84.796 N and energy from the gradient resistance is 254.18 Wh.

If the increased energy from gradient resistance is added to the simulation electric power result, as we can see in Table 10 the difference between experiment and simulation in the highway area of Driver A is 1.55% and Driver B is 3.06%. Table 10 shows a good result since the difference between experiment and simulation is under 5%.

Table 10 Fixed Value using Gradient Resistance of HV Battery Electric Power Comparison Between Experiment and Simulation in Highway of Real Driving Test

Phases	Driver A			Driver B		
	Experiment Wh	Simulation Wh	Difference %	Experiment Wh	Simulation Wh	Difference %
Highway	1717.49	1744.57	1.55%	2179.86	2248.588	3.06%

$$F_{\text{gradient resistance}}(N) = m \times g \times \sin\theta \quad (4.1)$$

$$\text{Energy (J)} = F_{\text{gradient resistance}} \times \text{Distance} \quad (4.2)$$

5. Conclusion

The BEV model was constructed using simulation and the accuracy was verified. As a result of adjusting the simulation parameter based on the test vehicle specification and motor efficiency map, followings are found.

1. The steady speed test energy consumption showed good results since the difference between experiment and simulation is under 5%.
2. The WLTC of a rural, highway, and combine phases showed good results since the difference in energy consumption between experiment and simulation is under 5%. Therefore, the simulation result in the urban area almost reaches a 5% difference. Because it only has a small difference of 0.69%, we conclude the result is still acceptable.
3. The real driving test results in urban and highway areas of both Driver A and Driver B in energy consumption, showed a difference above 5%. The concern comes from the motor efficiency map, which is calibrated only using the steady speed test data of motor speed and torque, all columns in the motor efficiency map can't be calibrated.
4. There is also a possibility in urban and highway areas, the simulation was run using only vehicle speed data from the experiment, and doesn't encounter the hill or slope (gradient resistance) in the real driving condition. Because the simulation doesn't calculate the gradient resistance, the simulation consumes less electric power compared to the experiment result. The calculated energy of gradient resistance has been added to the HV battery electric power of simulation result. The result of the electric power difference between experiment and simulation in the highway is under 5%.

6. Future Plan

1. Considering the real driving test results, the motor efficiency map will be adjusted.
2. The real driving test road will be constructed using SUMO and the model vehicle constructed using Matlab will be connected.
3. The energy consumption result from a combination of Matlab and SUMO will be investigated and analyzed, and represented as an improvement method of energy consumption of BEV.

References

- (1) Tomomori Niisato : Powertrain for Passenger Cars in 2030, Society of Automotive Engineers of Japan Spring Meeting Forum (2019)
- (2) Yasuko Kameyama : COP26 Closing: What Was Decided at the First COP of "Decisive 10 Years", <https://www.nies.go.jp/social/navi/colum/cop26.html> (accessed 2023-1-23)
- (3) Qu Yiqi, Glenn Hizkia A., Akira Kato : Study on Fuel Consumption on Real Road by using Traffic Flow Simulation, JSAE Kanto, International Conference of Automotive Technology for Young Engineers (2021)

- (4) Glenn Hizkia A., Qu Yiqi, Akira Kato : Study of Fuel Efficiency Improvement Method for Small Passenger Cars using Traffic Flow Simulation, Second Report: Hybrid Electric Vehicle, JSAE Kanto, International Conference of Automotive Technology for Young Engineers (2022)
- (5) Michael Melkior K., Yuta Nakane, Otsuki Taizo, Akira Kato : Investigation of Energy Consumption Measurement Method for Electric Vehicles Using External Diagnosis Tool, Japan Society of Mechanical Engineers Kanto Branch Tochigi Block Research Exchange Meeting (2022)
- (6) Mathworks: Powertrain Blockset Automotive Powertrain System Modeling and Simulation, <https://www.mathworks.com/products/powertrain.html> (accessed 2023-1-23)

公益社団法人自動車技術会関東支部の承認を得て掲載

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

中根 悠太¹⁾ Enes Muhammed Kaplan²⁾ Michael Melkior Kanugroho³⁾ 大槻 泰三⁴⁾ 加藤 彰⁵⁾

Study on Energy Consumption improvement method of Electric Vehicles by Mode and Real Driving Tests

Yuta Nakane¹⁾ Enes Muhammed Kaplan²⁾ Michael Melkior Kanugroho³⁾ Taizo Otsuki⁴⁾ Akira Kato⁵⁾

With the goal of achieving carbon neutrality by 2050, the number of electric vehicles sold worldwide is increasing. Regarding the popularization of BEVs (Battery Electric Vehicles), there are issues to be resolved, such as the spread of charging facilities and the amount of power supply. In this study, we conducted a WLTC mode test and actual road driving in Utsunomiya city using a BEV under the conditions of 5°C, 20°C, and 35°C outside air temperature and with or without an AC (Air Conditioner). The purpose of this study is to analyze the effects of different environment temperatures and whether the AC used or not used to the energy consumption of BEV. Therefore, the energy consumption characteristic from experiment will be investigated and analyzed, and represent as improve method of energy consumption.

Key Words: EV and HV systems, state of charge(SOC), system technology, energy consumption, real drive emission, WLTC (A3)

1. まえがき

2050 年カーボンニュートラルの達成に向け、世界の電気自動車の販売台数が増加している。BEV(Battery Electric Vehicle)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。

これまでの研究でガソリン車、2MHV (2Motor Hybrid Vehicle)を用いて試験を行い⁽¹⁾⁽²⁾、ガソリン車では AC オン、オフ時で平均車速と燃費は反比例するが、2MHV では市街地、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、ガソリン車ではクルーズ、加速頻度と燃費に相関がみられたが、2MHV ではすべての走行状態の時間頻度と燃費の関数に相関がみられないことなどが分かった。

本研究では 5°C、20°C、35°C の異なる外気温度、及び AC (Air Conditioner) 使用の有無の条件で BEV を用いて WLTC モード試験と宇都宮市内での実路走行を行った。その結果から、外気温度及び AC 使用の有無が BEV の電費に及ぼす影響について解析し、加えて BEV の電費向上手法を提示することを本研究の目的とする。

2. 試験方法

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⁽³⁾。表 1 に試験車両諸元を示す⁽⁴⁾。

2.2. 計測ツール

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) 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⁽⁵⁾。

2.3. CD 試験

CD を用いて、WLTC モード試験について外気温を 5、20、35°C、また各外気温度で AC オフ、AC オン (設定温度 25°C、外気導入) の条件で試験を行った。車重は自動車検査証に記載されていた車両重量に 110kg を加えた重量で設定した。

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 2 人で同じ時間帯に試験を行い、HDM9000 を用いて各種走行データを得た。図 1 に宇都宮市内の走行ルートを示す。RDE (Real Driving Emissions) 規制におけるルート選定を参考に、赤で示す宇都宮環状線内の制限速度 40km/h 以下の部分を市街地、緑で示す環状線外の制限速度 60km/h 以下の部分を郊外、青で示す高速道路 (東北自動車道) の制限速度 100km/h 以下の部分を高速とそれぞれ定義し、全行程で走行時間約 1 時間弱、走行距離約 27km の実路試験を夏季、秋季、及び冬季に行った。

*2023 年 3 月 9 日自動車技術会関東支部学術研究講演会において発表。

1)・4)・5)帝京大学(320-8551 栃木県宇都宮市豊郷台 1-1)

2)Usak University, Graduate School of Mechanical Engineering(Usak,, Turkey)

3)帝京大学大学院(320-8551 栃木県宇都宮市豊郷台 1-1)

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

Table 2 Energy consumption of WLTC test

temperature (°C)	5		20		35	
AC	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON
Urban (Wh/km)	120	190	118	118	109	201
Rural (Wh/km)	128	151	115	120	110	151
Highway (Wh/km)	148	164	136	138	141	156

Table 3 Energy consumption of steady speed test

Temperature (°C)	5		20		35	
AC	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON
40 km/h (Wh/km)	92	148	81	85	74	128
60 km/h (Wh/km)	120	146	106	106	95	125
80 km/h (Wh/km)	154	168	137	138	126	149
100 km/h (Wh/km)	198	209	181	179	169	189
120 km/h (Wh/km)	257	268	241	240	232	248



Fig.1 Test route of real driving in Utsunomiya

3. 実験結果

3.1. CD 試験

表 2 に WLTC モード試験の電費の結果を示す。

電費について、最も良い結果となったのは外気温 35℃の市街地の AC オフ時で 109Wh/km、最も悪い結果となったのは外気温 35℃の市街地の AC オン時で 201Wh/km であった。外気温 20℃の市街地において、AC オン、オフ時での電費はどちらも 118Wh/km であり同じ結果となった。

表 3 にクルーズ試験の電費の結果を示す。各外気温で車速が上昇するほど電費が悪化した。電費について、最も良い結果となったのは外気温 35℃、車速 40km/h、AC オフ時で 74Wh/km、最も悪い結果となったのは外気温 5℃、車速 120km/h、AC オン時で 268Wh/km であった。AC 使用時の電費を比較すると、すべての車速において冷房使用時よりも暖房使用時のほうが電費が悪い結果となった。

3.2. 実路試験

表 4 に夏季実路試験 (AC オン)、表 5 に秋季実路試験 (AC オフ)、表 6 に冬季実路試験 (AC オン) 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⁽⁶⁾。

電費について、最も良い結果となったのは秋季のドライバ B における郊外での電費で、102Wh/km であった。最も悪い結果となったのは冬季のドライバ A 及び B における高速で、189Wh/km であった。

Table 4 Energy consumption of real driving test on summer with AC ON

Date	2022/8/8	2022/8/22	Average
Driver	A	B	
Weather	Cloudy	Cloudy	
Outside Air Temperature (°C)	32.1	28.3	30.2
Urban (Wh/km)	187	171	179
Rural (Wh/km)	159	148	154
Highway (Wh/km)	166	163	165

Table 5 Energy consumption of real driving test on autumn with AC OFF

Date	2022/10/31	2022/11/1	Average
Driver	A	B	
Weather	Sunny	Cloudy	
Outside Air Temperature (°C)	18.1	18.2	18.2
Urban (Wh/km)	124	128	126
Rural (Wh/km)	105	102	104
Highway (Wh/km)	143	181	162

Table 6 Energy consumption of real driving test on winter with AC ON

Date	2022/12/26	2022/12/27	Average
Driver	A	B	
Weather	Cloudy	Cloudy	
Outside Air Temperature (°C)	6.5	9.1	7.8
Urban (Wh/km)	158	152	155
Rural (Wh/km)	128	120	124
Highway (Wh/km)	189	189	189

4. 解析結果

4.1. 平均車速と電費

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2にACオフ時のモード試験、および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2より市街地、郊外、高速の速度域でのBEVの電費と平均車速の相関は0.74であり、電費と平均車速で正の相関がみられた。また、郊外、高速の速度域での相関は-0.98であり、負の相関がみられた。この結果から、BEVは高速を除いた速度域で平均車速が上昇すると電費が向上するが、高速走行時は車速が上昇すると電費が低下することが分かった。これは過去に試験を行ったガソリン車と同じ傾向である。しかし、2MHVについては、高速走行時は同じ傾向となったが市街地と郊外においては平均車速との相関がみられなかったため、BEVと異なる傾向となった。

以上のことから、市街地及び郊外ではBEVの電費を向上させるには平均車速30~40km/h付近で走行することが有効であり、高速での走行では車速を下げるが有効であることが分かった。

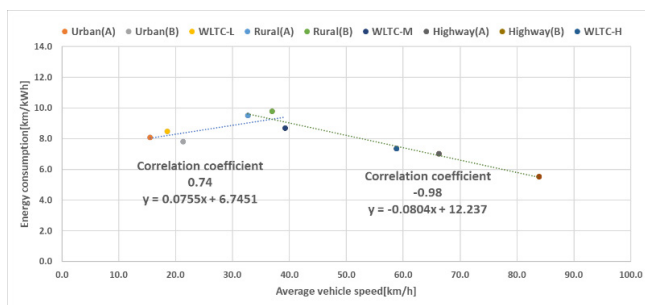


Fig.2 Energy consumption of real driving tests and mode test

4.2. 走行状態と電費

次に加減速時間頻度と電費の関係について解析した。加減速の判定方法は、これまでの判定手法⁽¹⁾⁽²⁾と同様に加速度が0.3m/s²以上場合は加速、-0.3m/s²以下を減速、ブレーキスイッチがオンであり車速が0km/hの場合はアイドル、加速度が-0.3~0.3 m/s²以内であり、車速が1km/h以上の場合はクルーズと定義した。

図3にガソリン車、2MHV、BEVのACオフ時における高速を除いたモード試験および実路試験での加速、クルーズ、アイドルそれぞれの時間頻度と電費及び燃費の相関係数を示す。

加速頻度と電費、燃費の相関について、ガソリン車における相関係数は-0.65であり負の相関がみられたが、2MHV、BEVでは相関がみられなかった。この原因として、2MHVとBEVにおいて加速頻度が増えると相対的に回生ブレーキの使用頻度が高くなり、減速時に電力を回生させることが原因だと考える。

減速頻度と電費、燃費の関係について、ガソリン車における相関係数は-0.75であり負の相関がみられたが、BEVにおける相関係数は0.57であり正の相関がみられた。また、2MHVにおいては相関係数は0.29であり相関がみられなかった。このことから2MHVと比較して、BEVのほうが回生ブレーキによる電費、燃費への影響が強いことが分かった。

アイドル頻度と電費、燃費の関係について、ガソリン車、2MHVでは相関がみられなかったがBEVにおける相関係数は-0.85であり、強い負の相関がみられた。この原因として、停車中にバッテリーとモータの温度調整に電力が使用されたものと推察する。

クルーズ頻度と電費、燃費の関係について、2MHVでは相関がみられなかったが、ガソリン車における相関係数は0.74、BEVでは0.91であり、ガソリン車とBEVで正の相関がみられた。

以上のことから市街地、及び郊外ではBEVの電費を向上させるには停車時間と加速頻度を減らし、一定車速で走行することが有効であることが分かった。

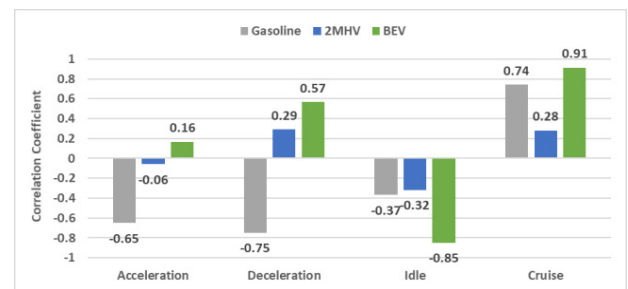


Fig.3 Correlation coefficient of each driving state

4.3. ACの影響

図4に各フェーズにおける外気温20℃、ACオフ時のWLTC試験の電費を基準として比較したときのAC使用による電費の低下率と外気温の関係を示す。冷房使用時の電費の最大低下率は外気温35℃のWLTCの市街地で41%であり、暖房使用時の最大低下率は外気温5℃のWLTCの市街地で38%であった。郊外、高速と比較して市街地でのAC使用による電費の低下率が大きいことが分かった。

また、冷房使用時には電費の低下率は市街地、郊外、高速の順で大きくなったが、暖房使用時には異なる特性を示した。そ

の理由として、BEV において暖房使用時には AC のコンプレッサの作動に加え PTC ヒータが同時に作用するため、冷房使用時と異なる特性を示したと考える。

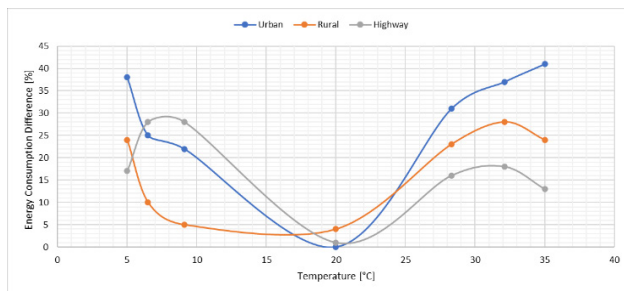


Fig.4 Energy consumption reduction rate using AC

5. まとめ

日本において販売台数が一番多く、一般的と考える BEV を用いて WLTC 試験、および実路試験を行った結果、以下のことが分かった。

(1) AC オフ時のモード試験と実路試験の平均車速と電費の関係では市街地、郊外での相関係数は 0.74 であり、正の相関がみられたが、郊外、高速での相関係数は -0.98 であり負の相関がみられた。このことから、BEV において高速を除いた速度域で平均車速が上昇すると電費は向上するが、高速走行時は車速が上昇すると電費が低下することが分かった。

(2) AC オフ時の高速を除いたモード試験と実路試験における各走行状態と電費の相関について、加速頻度と電費の相関係数について、BEV における相関はみられなかった。この原因として BEV では 2MHV と同様に加速頻度が高くなると、相対的に回生ブレーキの使用頻度が高くなることが原因と考える。

(3) 減速頻度と電費について、BEV における相関係数は 0.57 であり、正の相関がみられた。また、2MHV では相関がみられなかったことから、減速時の回生ブレーキによる電費、燃費への影響は 2MHV と比較して BEV のほうが強いことが分かった。

(4) アイドル頻度と電費について BEV における相関係数は -0.85 であり、強い負の相関がみられた。この原因として、停車中にバッテリーとモータの温度調整に電力が使用されたものと推察する。

(5) 外気温と AC 使用による電費の低下率について、冷房使用時の電費の最大低下率は外気温 35°C の WLTC の市街地で 41% であり、暖房使用時の最大低下率は外気温 5°C の WLTC の市街地で 38% であった。また、冷房使用時の電費の低下率は市街地、郊外、高速の順で大きくなったが、暖房使用時には異なる特性を示した。その理由として、BEV において暖房使用時には AC のコンプレッサの作動に加え PTC ヒータが同時に作用するため、冷房使用時と異なる特性を示したと考える。

したがって、BEV の電費を向上させるには市街地と郊外においては走行車速を上げ、停車時間と加速頻度を減らして一定車速で走行し、高速においては走行車速を下げることに有効であり、外気温が低い、および高い時間は AC 使用を抑えることが有効であることが分かった。

参考文献

- (1) 諸星裕康ら，“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原稿，p. 1-2 (2019)
- (2) 石井信行ら，“ハイブリッド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
- (4) 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，(2023)
- (5) Michael Melkior Kanugroho, Yuta Nakane, Taizo Otsuki, Akira Kato. “Investigation of Energy Consumption Measurement Method for Electric Vehicles Using External Diagnosis Tool”，日本機械学会栃木ブロック研究交流会 (2022)
- (6) 気象庁宇都宮気象台 <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>，Accessed Jan 17，(2023)

謝辞

本研究を進めるにあたり、CD 試験を行っていただいたき本研究に関してご支援、ご助言をいただきました株式会社小野測器様に心からの感謝を申し上げます。

公益社団法人自動車技術会関東支部の承認を得て掲載

3D プリンタによる表板作成とヴァイオリンの有限要素解析

岡本 朋也 黒沢 良夫
(帝京大) (帝京大)

3D printed top plate creation and finite element analysis of violin

Tomoya Okamoto Yoshio Kurosawa
(Teikyo Univ.) (Teikyo Univ.)

3D スキャナで取得したヴァイオリンの表板の形状データを用いて 3D プリンタで表板を作成し、振動解析を行う。また、ヴァイオリンの振動音響解析を有限要素法で行うため、木材の材料データ（ヤング率、密度など）や、1 つ 1 つのパーツの形状データの取得を行った。FE モデルの振動解析結果と実験モード解析結果との比較等を紹介する。

Key words: 木質系材料, 固有モード, 実験解析, モード解析,

1. はじめに

現在製作されているヴァイオリンは職人の手によって作られているものが多い。職人の勘と経験によって製作・調整されているため、ヴァイオリンの板厚等は一つ一つの楽器で異なっており、弾いた際に鳴る音も当然異なる。そのため、構造（形状や板の厚さ）・材料をどのように変更したら音（振動）にどのような影響が出るか、楽器の違いによる音色の違いを実験計測や数値計算を用いて研究⁽¹⁾⁽²⁾し、将来的には、ヴァイオリンの製作技術を数値化することを目指している。

本研究では、ヴァイオリンで使用されている 2 種類の木材の材料データを、実際の部品を作成した際の板の端材から梁を作成し、文献値⁽³⁾⁽⁴⁾を参考に実験結果と FE モデルの計算結果から同定した。また、3D スキャナを用いてヴァイオリンの各部品の形状測定を行い、有限要素モデルを作成した。ヴァイオリンの表板・裏板の実験モード解析結果と FE モデルの固有値計算結果の比較を紹介する。さらに、ヴァイオリンの表板を 3D プリンタを用いて木材のものと同形状で作成した。このパーツの振動実験を行い、木材の部品との結果の差異を比較した。

2. 木材の材料データの同定

初めに、ヴァイオリンの部品を作成した端材（図 3）から梁（図 1、図 2）を作り、振動実験を行った。なお製作した梁は図 3 に示す通り、木目方向と等

しいもの、木目に直角なもの（年輪方向）、そして端材側面の木目方向と年輪方向の計 4 方向の梁を 2 本ずつ製作した。梁の下側の中心を加振し、梁の 4 点の振動をレーザードップラー振動計を用いて計測した（図 4）。計測位置は図 5 に示す。実験で得られた伝達関数を用いて、モーダル解析を行い、一次曲げ、一次ねじり、二次曲げの梁の周波数を同定した。各梁の諸元を表 1 に示す。

Altair HyperMesh にて、梁の FE モデルを作成し（図 5）、論文⁽³⁾⁽⁴⁾から得た spruce, maple の剛性値から計算を行った。論文⁽³⁾に記載されている剛性値の同定時に参考にした値を表 2 に示す。maple のヤング率 E_x は論文⁽⁵⁾より、12.6GPa を用いた。spruce に関しては、論文⁽⁶⁾に記載されている式(1)を用いて E_x を求めた。

$$E = \frac{48\pi^2 l^4 \rho f_n^2}{h^2 \theta_n^4} \quad (1)$$

f_n [Hz]: 共振または反共振周波数, l [m]: 試験片の対応する長さ, h [m]: 厚さ, ρ [kg/m³]: 密度, θ_n : 振動モードとモード次数によって決定する係数である。

FE モデルの計算結果と、実験結果との合わせ込みを行い、spruce, maple の剛性値の同定を行った。合わせ込みにより同定した剛性値の比を表 3 に示す。maple の剛性値の比は、ポアソン比を除く全ての値が文献値より大きくなった。spruce に関して

は、計算で得た比と文献値がおおむね一致した。

また、こうした材料値の変動は、音にも影響を与えていると思われるので、解析を行い材料値と音の関係性も明らかにしていきたい。



Fig.1 Spruce beams



Fig.2 Maple beams

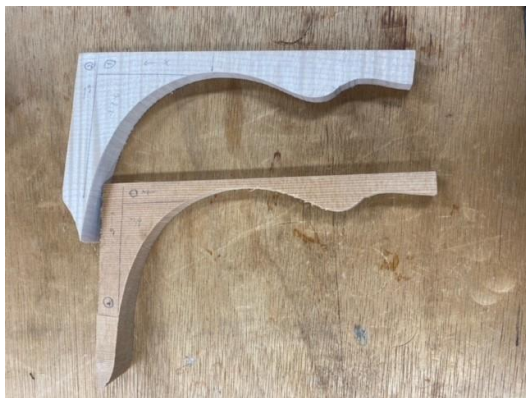


Fig.3 Violin scraps



Fig.4 Beam vibration experiments

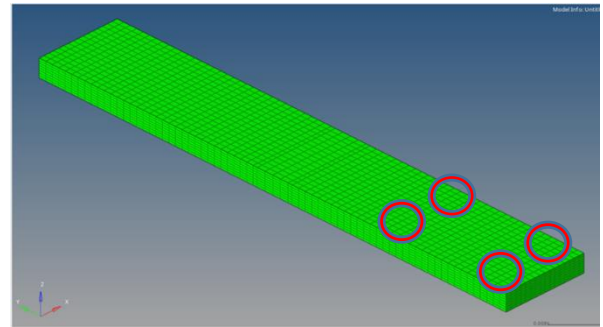


Fig.5 FE model of beam

Table.1 Specifications of beams

	Primary bending (Hz)	Primary torsion (Hz)	Secondary bending (Hz)	width (m)	length (m)	thickness (m)	weight (kg)	density (kg/m ³)
maple①z	1040	3370	5920	1.51.E-02	9.03.E-02	3.01.E-03	2.52.E-03	615
maple②z	453	3010	2610	1.50.E-02	8.98.E-02	3.09.E-03	2.49.E-03	598
maple③y	1090	4820	6240	1.01.E-02	9.01.E-02	2.93.E-03	1.62.E-03	607
maple④x	444	2410	2700	1.00.E-02	8.99.E-02	2.97.E-03	1.68.E-03	626
spruce①z	1430	2680	6020	1.51.E-02	9.04.E-02	3.15.E-03	1.83.E-03	425
spruce②z	428	2050	1650	1.52.E-02	9.00.E-02	3.05.E-03	1.67.E-03	400
spruce③y	1610	4120	5700	1.01.E-02	9.00.E-02	3.01.E-03	1.21.E-03	440
spruce④x	484	1330	2200	1.02.E-02	8.96.E-02	3.11.E-03	1.15.E-03	405

Table.2 Stiffness value and Poisson's ratio of maple and spruce⁽³⁾

Property	maple	spruce
Young's module E_y/E_x	0.132	0.078
E_z/E_x	0.065	0.043
Rigidity modulus G_{xy}/E_x	0.111	0.064
G_{yz}/E_x	0.021	0.003
G_{xz}/E_x	0.063	0.061
Poisson's ratio μ_{xy}	0.424	0.372
μ_{yz}	0.774	0.435
μ_{xz}	0.476	0.467

Table.3 Values for Orthotropic properties for setting in numerical simulation

Property	maple	spruce
Young's module E_y/E_x	0.147	0.078
E_z/E_x	0.072	0.043
Rigidity modulus G_{xy}/E_x	0.124	0.064
G_{yz}/E_x	0.023	0.003
G_{xz}/E_x	0.091	0.052
Poisson's ratio μ_{xy}	0.424	0.372
μ_{yz}	0.774	0.435
μ_{xz}	0.476	0.467

3. パーツの有限要素モデルの作成と振動実験

ヴァイオリンの各パーツを 3D スキャナ(Gom core 200 5M)にて読み込み(図 6), 3D 形状を取得し, Altair HyperMesh で表板(図 7), 裏板(図 8), 側板(図 9), ネック・指板(図 10)の計 4 つの FE モデルを作成した. これらを組み合わせることで, 有限要素モデルのヴァイオリンとする.

表板, 裏板に対し加振器とレーザードップラー振動計による振動実験を行った. 表板, 裏板ともに, 156 点の伝達関数を計測し(図 11), モーダル解析を行った. 図 12,13,14 に表板の一次モード, 二次モード, 三次モードの比較結果, 図 15~16 に裏板の比較結果を示す. 固有振動数と振動モードはおおよそ近い値であることが確認できた. なお, 表板は spruce, 裏板は maple で作成されている.



Fig.6 3D scanner (top plate)

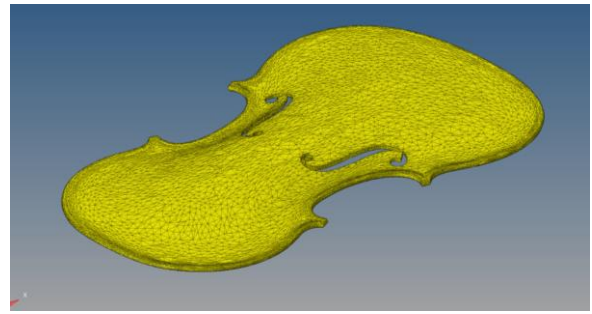


Fig.7 FE model of violin top plate (452972noods)

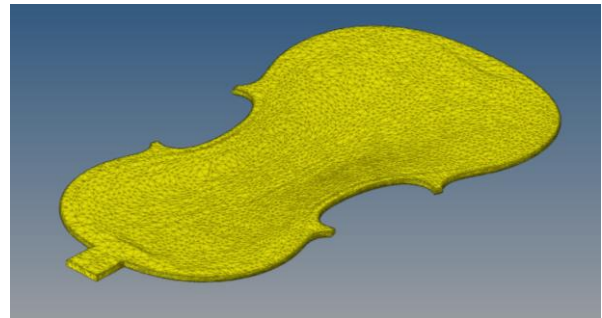


Fig.8 FE model of violin back plate (387624noods)

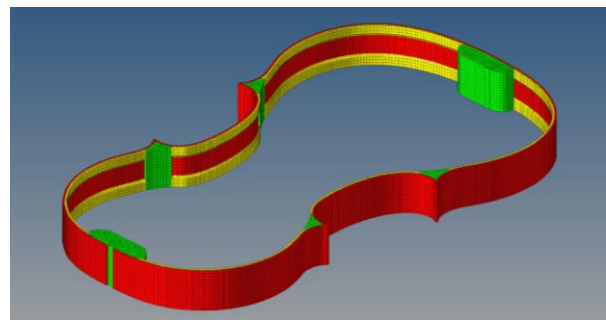


Fig.9 FE model of violin side plate (140932noods)

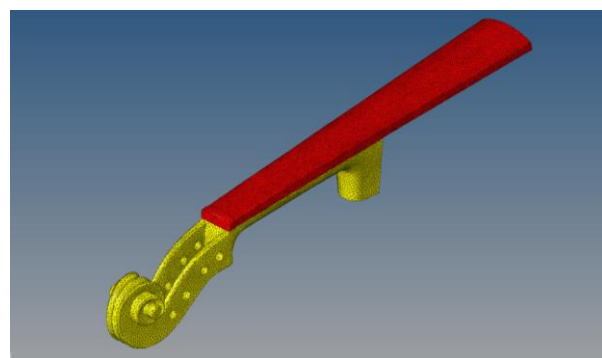
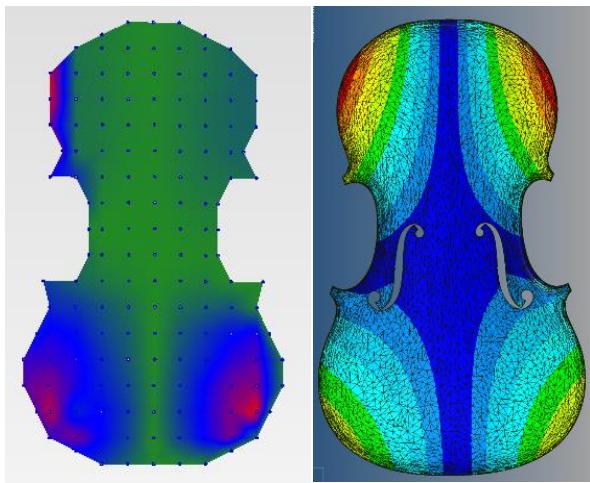


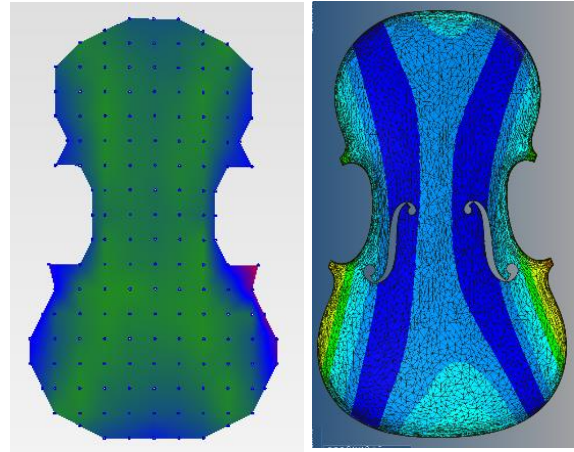
Fig.10 FE model for neck and figure board (986854noods)



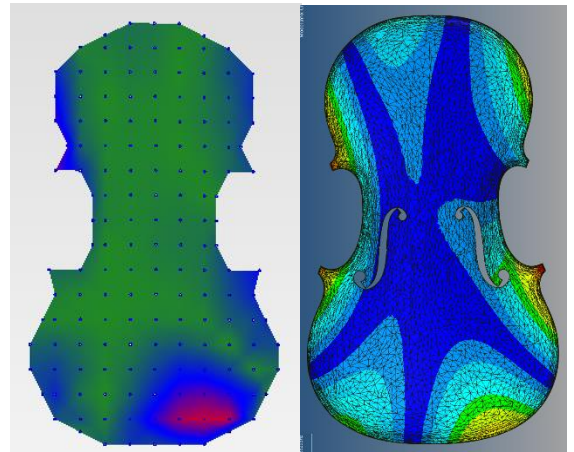
Fig.11 FRF measurement using laser Doppler vibrometer and shaker



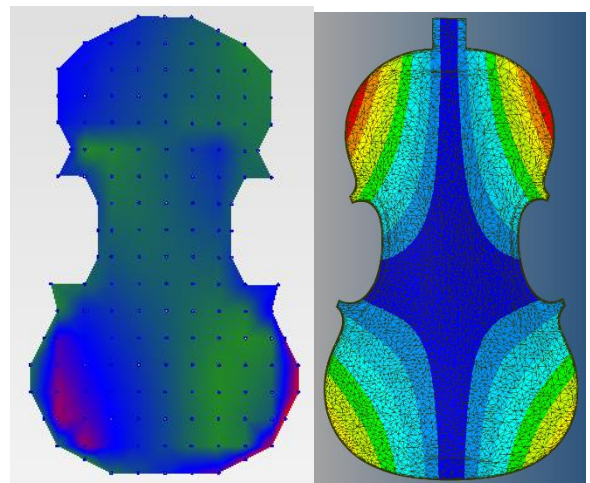
a.modal analysis (98.1Hz) b.eigenvalue analysis (98.4Hz)
Fig.12 Vibration mode① of top plate



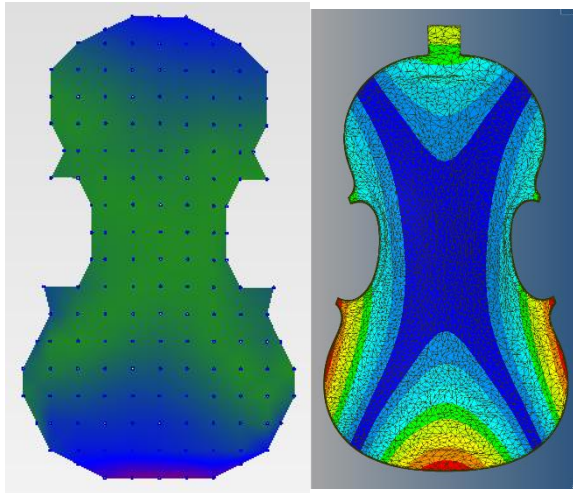
a.modal analysis (173Hz) b.eigenvalue analysis (167Hz)
Fig.13 Vibration mode② of top plate



a.modal analysis (261Hz) b.eigenvalue analysis (259Hz)
Fig.14 Vibration mode③ of top plate



a.modal analysis (132Hz) b.eigenvalue analysis (126Hz)
Fig.15 Vibration mode② of back plate



a.modal analysis (211Hz) b.eigenvalue analysis (201Hz)
Fig.16 Vibration mode③ of back plate

4. 樹脂モデルとの比較実験

栃木県産業技術センターにて、3D プリンタ (formlabs 製 Form3L)を用いて、Clear Resin v4 を材料とした表板を作成した(図 17)。この表板の振動実験を行い、材料を変化させた場合の振動への影響を比較した。Clear Resin v4 のヤング率は 2.8GPa、密度は 1183.3kg/m³である。spruce のヤング率は 12.2GPa、密度は 397.8 kg/m³である。

計測点 10 及び 102 における、spruce と Clear Resin v4 の伝達関数の比較を図 18,19 に示す。なお、計測点 10,102 の位置は図 17 に示す。これらの結果から、材料の変更によって振動は大きな変化が起こることが分かる。

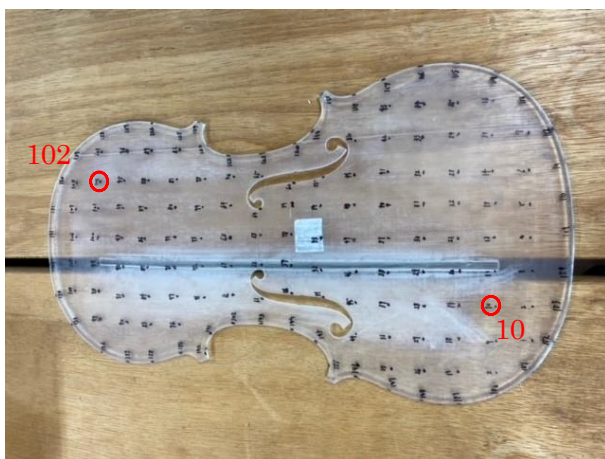


Fig.17 Modal Analysis of Back board

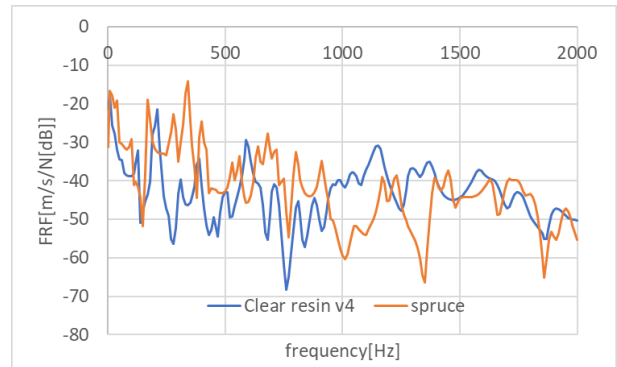


Fig.18 Transfer function of point 10

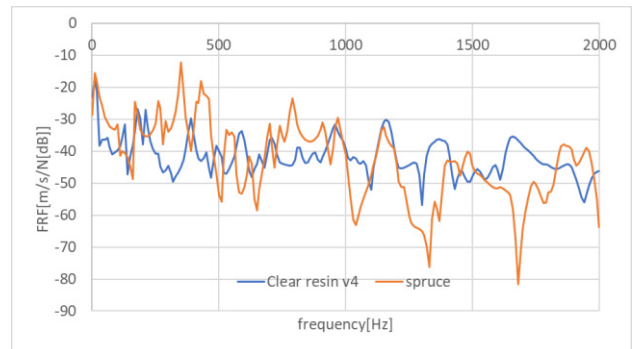


Fig.19 Transfer function of point 102

4. おわりに

ヴァイオリン製作に用いられた spruce, maple の剛性値を同定し、ヴァイオリンを有限要素モデル化した。実際の表板・裏板の実験モード解析結果と FE モデルの固有値計算結果より、固有振動数・振動モードはおおよそ一致できた。また、3D プリンタにて表板を製作し、同形状で材質が異なった場合の伝達関数を比較した。その結果、密度や剛性値の違いで伝達関数が大きく異なることが確認できた。

今回は振動のみであったが、今後は材質変更による振動の変化が音にどのように影響するか解析を行う予定である。

謝 辞

今回実験に使用したヴァイオリンの部品は、伊藤丈晃ヴァイオリン工房に作成頂いた。深く感謝いたします。

文 献

- (1) 黒沢良夫, ヴァイオリンのバスバー有無による 振動・音への影響, 制振工学研究会 2017 技術交流会資料集 SDT17023.

- (2) 黒沢良夫, ヴァイオリンネックの振動解析,
制振工学会 2021 技術交流会資料集
SDT21004.
- (3) 横山真男ほか, 日本音響学会音楽音響研究会
資料 Vol.39, No.5, MA2020-27.
- (4) Gough, C.E. "A violin shell model:
vibrational modes and acoustics" The
Journal of the Acoustical Society of
America 137.3(2015):1210-1225.
- (5) Green, D.W., Winandy, J.D., and
Kretschmann, D.E. "Mechanical properties
of wood. Wood handbook: wood as an
engineering material" Madison, WI: USDA
Forest service, Forest Products
Laboratory, 1999. General technical report
FPL: GTR-133: (1999): 4.1-4.45, 133.
- (6) 岸田雄太郎ほか, クラシックギターの数値モ
デルの構築(構成部材における材料特性の実験的
同定), 日本機械学会 D&D2021, No.311.

※制振工学会 2022 技術交流会原稿より

制振工学会事務局の承認を得て掲載

音響メタマテリアルにフェルトを積層した防音材の透過損失

岩井 大地 黒沢 良夫
(帝京大) (帝京大)

Sound transmission loss analysis of soundproofing material with felt laminated on acoustic metamaterial

Daichi Iwai Yoshio Kurosawa
(Teikyo Univ.) (Teikyo Univ.)

PP をハニカム構造に加工したものの上下にフィルムを貼り、膜振動による吸音効果を持つ音響メタマテリアルを作成した。さらにフィルム部分に小さな穴を開け、ヘルムホルツ共鳴による吸音効果を追加した。自動車トリムへの適用を考慮し、本構造にフェルトを積層したモデルを有限要素法を用いて透過損失を計測・解析した結果を報告する。

Key words: Acoustic, Sound insulation, CAE, FEM, Metamaterial

1. 緒 言

近年、自動車の快適性が重視され、車内騒音の低減（車内静粛性の向上）がすすんでいる。環境問題への対応から、電気自動車やハイブリッド車の割合が増えてきている。これらの自動車では、エンジン騒音が減った分、風切り音やタイヤ騒音が目立つ結果となり、対策が必要となってきた。ドアミラー、ピラー形状、車両外観等の風切り音の音源対策やタイヤ単体での騒音対策にも限界があり、コスト・重量も考慮すると車体側での対策が重要である。また、日本では国連の車外騒音規制への対応もあり設計構想段階から低騒音化が求められている。新たな車外騒音規制では、従来と走行条件が異なり、車外騒音に対するタイヤのパターンノイズの寄与が大きくなっている。そのため、これらの騒音を音響メタマテリアルを用いて低減することを考えた。

メタマテリアルとは人工的に作られた物質という意味であるが、音響で用いる場合は、膜振動や共鳴を持つ小型の微細構造を周期的に配置するものが多い。本研究では1枚のPP（ポリプロピレン）のシートを折りたたみ、六角形の断面形状のハニカムの繰り返し構造を作る。そこにPPやPE（ポリエチレン）からなる薄いフィルムを接着することにより、フィルムの面外振動により音響エネルギーを吸音する音響メタマテリアルを用いた⁽¹⁾。本論文では、フィルムに穴を開けることでヘルムホルツ共鳴による吸音効果を付与した構造⁽²⁾のテストピースについて、自動車トリムへの適用を考慮し、

本構造にフェルトを積層したテストピースを作成した。音響メタマテリアルの上面、下面、両面にフェルトを積層した場合、それぞれ穴なし、上面穴あり、下面穴あり、両面穴ありの場合に遮音性能にどのように影響があるか計測結果を比較した。また、有限要素法を用いてモデルを作成し、遮音性能の解析を行った。計測結果との比較等を報告する。

2. テストピースの計測結果と計測結果

2・1 計算手法

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(3)。

変位・圧力・密度・温度の変動を微小として方程式を線形化すると式(1)～式(3)を得る。

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

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

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

ρ_0 : 空気の密度, j : 虚数単位, ω : 角周波数, p : 音圧変動, μ : 粘性係数, v : 速度変動, κ : 熱伝導率, τ : 温度変動, C_p : 定圧比熱, δ : 密度変動である.

2・2 テストピースと FE モデル

図 1 に今回計測で用いた音響メタマテリアルのテストピースを示す. 1 辺 150mm の正方形にくり抜いたものを準備した. ハニカムは 1 辺の長さが 4.342mm の六角形で, 高さは約 10mm である. 図中赤枠で囲った部分はヘルムホルツ共鳴による吸音効果を付与するためのフィルムの穴を示す. 今回は穴なし, 上面 (音が入射するのと反対側) に直径 0.7mm の穴, 下面 (音が入射する側) に直径 0.7mm の穴, 両面に 0.7mm の穴の 4 種類のテストピースを作成した. 円形の穴を開けたが実際は若干小さめの楕円形となった (図 1 右図).

図 2 に今回用いた音響メタマテリアルの断面図を示す. 図中上下の黒い線は PP, PE, PP からなるフィルムを示す. 厚さは約 0.065mm である. 黄色い部分は PP からなるハニカムを示す. ハニカムの厚さは約 0.15mm である. 青い部分は空気である. 1 枚の PP のシートからハニカム構造を作成するため, 音が入射する下面はフィルムだけの部分とフィルム+PP の部分が交互にあるのが特徴である.

図 3 に今回作成した有限要素モデルを示す. 図 3a. が音響メタマテリアル単体 (図中青色) で, 1 列おきに交互に中央に 0.7mm の穴が開いている. 図 3b. は厚さ 0.8mm のパネル (図中茶色) の上に厚さ 10mm のフェルト (図中白色) を積層し, その上にメタマテリアルを積層したモデルである. 図 3c. は, パネルの上に音響メタマテリアルを積層し, その上にフェルトを積層したモデルである. 図 3d. は, パネルの上にフェルトを積層し, その上に音響メタマテリアルを積層し, その上に同じフェルトを積層したモデルである. それぞれ, 穴なし, 上面穴, 下面穴, 両面穴モデルを作成したので, 計 12 種類の FE モデルを作成した. 両面にフェルトを積層したモデルで約 40 万要素である. パネルの下側からホワイトノイズを入力し, 透過損失を計算した.

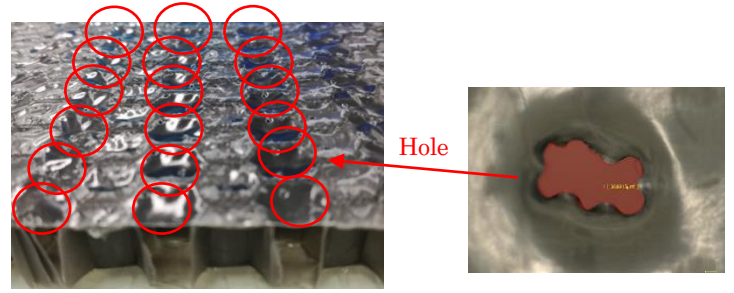


Fig.1 Test piece of acoustic metamaterial

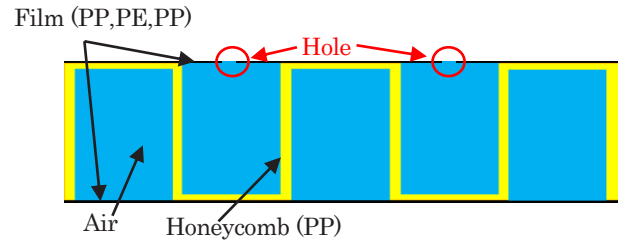
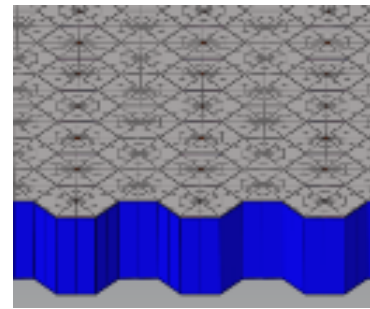
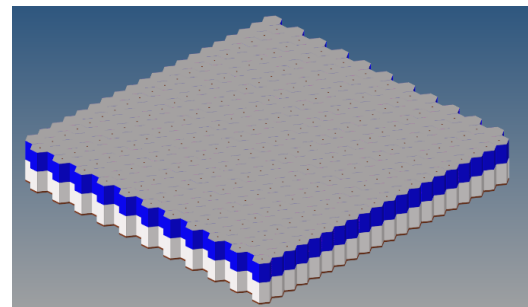


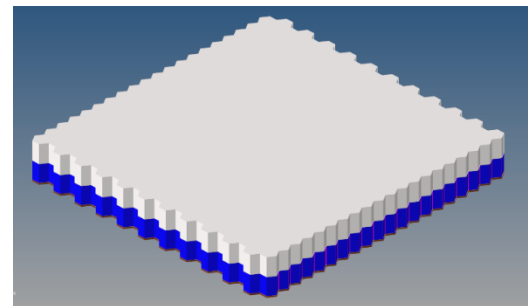
Fig.2 Sectional drawing of test piece



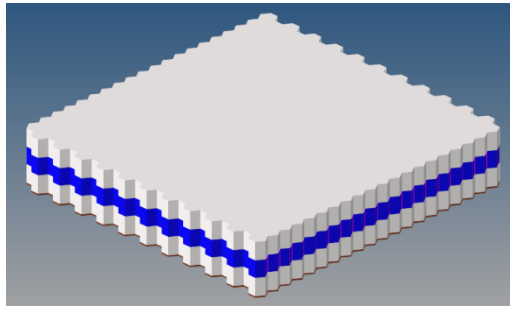
a. Metamaterial



b. Panel + Felt + Metamaterial



c. Panel + Metamaterial + Felt



d. Panel + Felt + Metamaterial + Felt

Fig.3 FE model for test piece

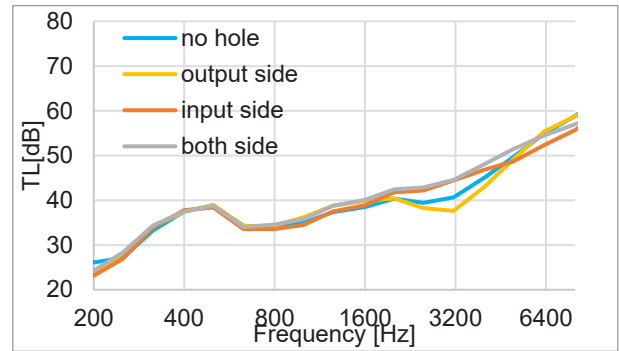
3. 実験結果と解析結果

3・1 同じフェルトの積層位置で穴構造のちがいによる比較

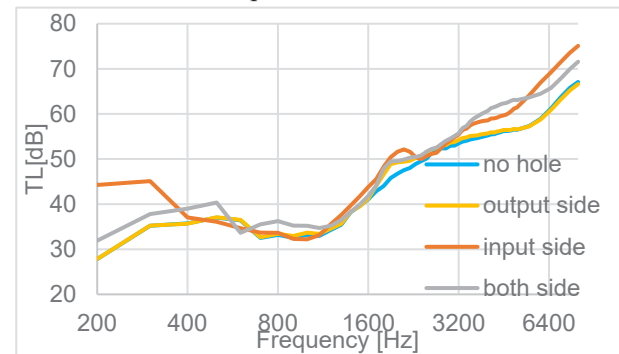
図4に厚さ0.8mmのパネルの上に厚さ10mmのフェルトを積層し、その上に音響メタマテリアルを積層したテストピース(図3b.)の透過損失の実験結果と計算結果を示す。穴なし(図中青線)、上面(音が入射するのと反対側)に直径0.7mmの穴(図中黄色線)、下面(音が入射する側)に直径0.7mmの穴(図中オレンジ線)、両面に0.7mmの穴(図中灰色線)の4種類の比較を行った。実験結果(図4a.)では3200Hzバンドで穴なしと上面穴の計測結果に透過損失の落ち込みがあったが計算結果(図4b.)では3200Hz以降で差がみられた。穴がない面とフェルトが積層されているテストピースであり下面に穴を開けるほうが高性能になる。

図5にパネルの上に音響メタマテリアルを積層し、その上にフェルトを積層したテストピース(図3c.)の透過損失計の計測結果を示す。実験結果(図5a.)は4パターンとも似た傾向になったが、計算結果(図5b.)では1600Hzバンドで穴なしと両穴モデルの透過損失が若干大きくなっている。

図6にパネルの上にフェルトを積層し、その上に音響メタマテリアルを積層し、その上に同じフェルトを積層したテストピースの透過損失の実験結果を示す。穴の有無による性能の変化は見られなかった。

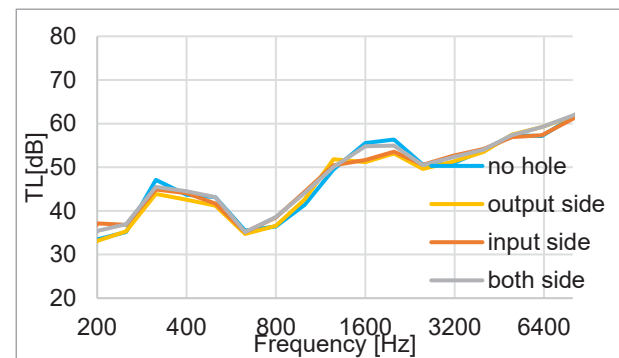


a. Experimental results

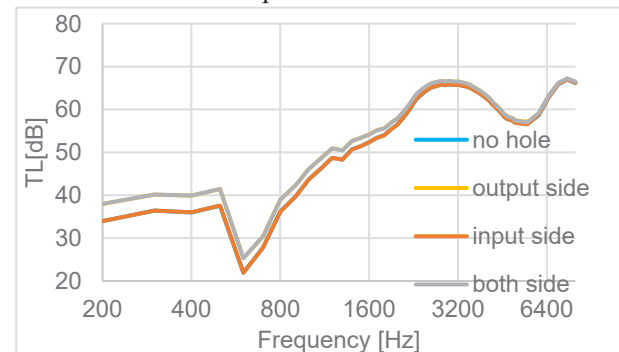


b. calculated results

Fig.4 Comparison of experimental results and calculated results for transmission loss by upper felt

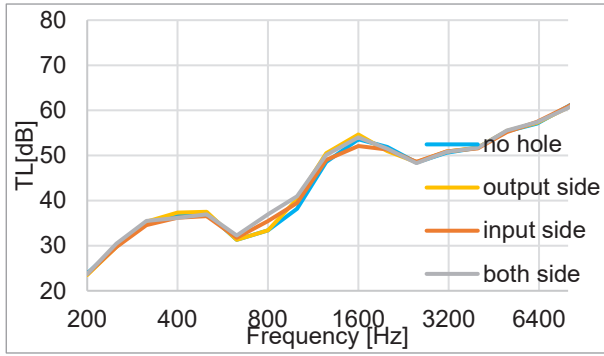


a. Experimental results

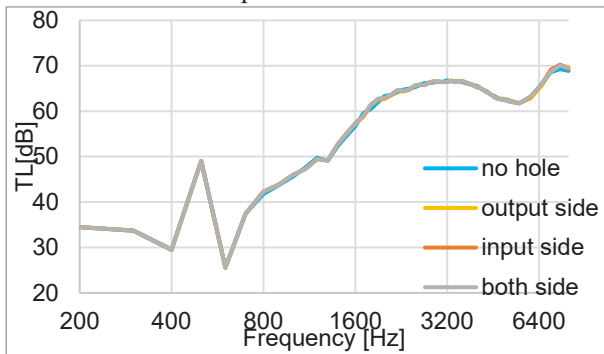


b. Calculated results

Fig.5 Comparison of experimental results and calculated results for transmission loss by lower felt

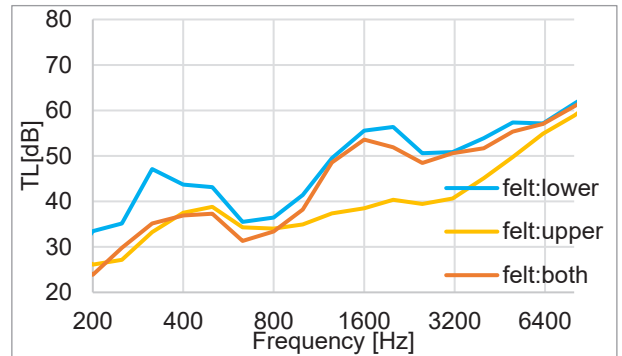


a. Experimental results

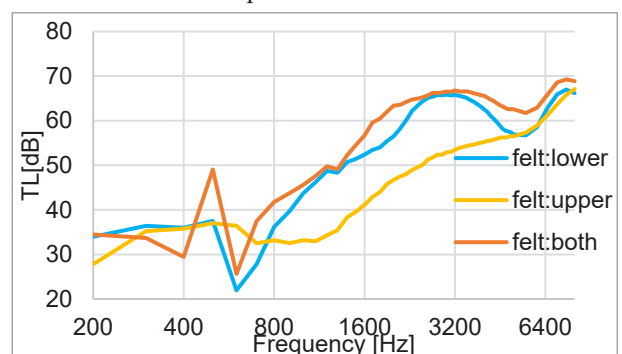


b. calculated results

Fig.6 Comparison of experimental results and calculated results for transmission loss by both felt



a. Experimental results



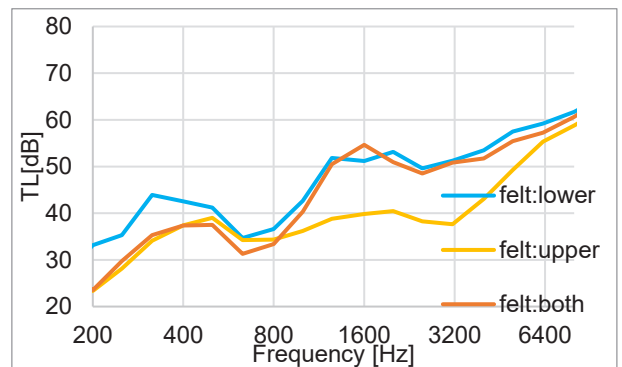
b. Calculated results

Fig.7 Comparison of experimental results and calculated results for transmission loss by no hole

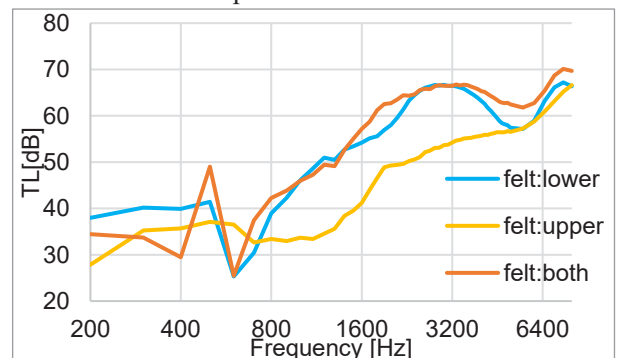
3・2 同じ穴構造でフェルトの積層位置の違いによる比較

図 7 に穴なしの音響メタマテリアルの透過損失の実験結果 (図 7a.) と計算結果 (図 7b.) の比較を示す。下フェルト (図 5b. 参照: 図中青線), 上フェルト (図 5c. 参照: 図中黄色線), 上下フェルト (図 5d. 参照: 図中オレンジ線) の 3 つで比較すると, 実験結果・計算結果とも下フェルトと上下フェルトはおおよそ同程度の性能で, 上フェルトの性能が低くなっている。これはパネルと音響メタマテリアルで 2 重壁遮音構造となるため透過損失の性能が高くなっていると考えられる。計算結果はおおよそ実験結果の傾向を再現しているが, 高周波域は実験結果が低い値となっている。図 7 同様の可能性も考えられる。

図 8 に上面穴, 図 9 に下面穴, 図 10 に両面穴の音響メタマテリアルの透過損失の実験結果と計算結果の比較を示す。穴なしと同様の傾向で, 計算結果はおおよそ実験結果の傾向を再現している。

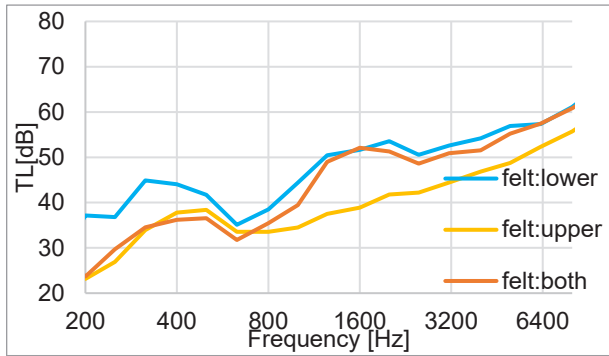


a. Experimental results

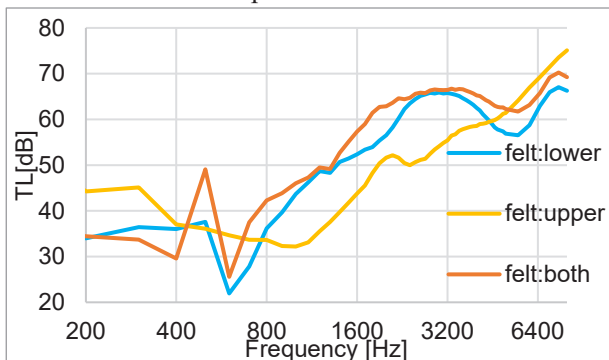


b. Calculated results

Fig.8 Comparison of experimental and calculated results for transmission loss by output side holes

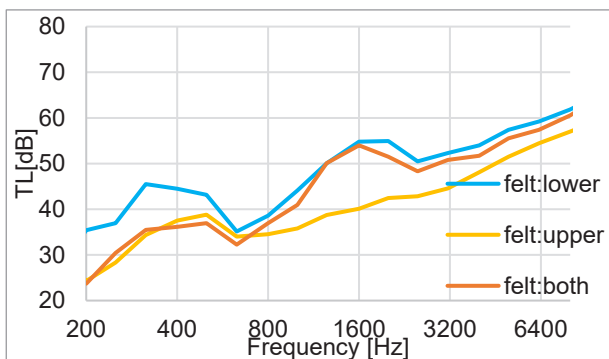


a. Experimental results

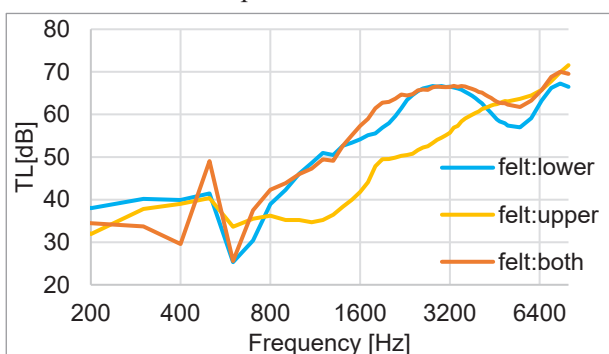


b. Calculated results

Fig.9 Comparison of experimental and calculated results for transmission loss by input side holes



a. Experimental results



b. Calculated results

Fig.10 Comparison of experimental and calculated results for transmission loss by both side holes

4. まとめ

自動車用防音材として用いられる、PP をハニカム構造に加工したものの上にフィルムを貼り、4種類のパターン（穴なし、上面、下面、両面）でセルの中央に穴を開けた音響メタマテリアルのテストピースを作成し、3種類の積層パターン（パネル+フェルト+メタマテリアル、パネル+メタマテリアル+フェルト、パネル+フェルト+メタマテリアル+フェルト）と組み合わせて、計12種類の透過損失の計測を行った。パネルとメタマテリアルで2重壁遮音構造となる積層パターンでは透過損失の性能が高くなることを確認した。穴の影響は吸音に比べると小さかった。また、テストピースと同様のFEモデルを作成し、透過損失を計算した。計算結果はパネル+メタマテリアル+フェルトでおおよそ実験結果の傾向を再現したが、2重壁遮音構造の積層パターンではモデル化の工夫等行い計算精度を向上させることが今後の課題である。

文 献

- (1) 黒沢良夫, 福井一貴, “メタマテリアルの吸音解析” 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2019, No.337(2019), p.1-6.
- (2) 次橋一樹, 田中俊光, 草薙樹宏, “多孔板を含む音場の数値解析法に関する研究 (第2報: 多孔板の音響連成振動を考慮する場合)”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 78, No. 789 (2012), pp.535-545.
- (3) 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.
- (4) 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.
- (5) Beltman, W. M., “Viscothermal wave propagation including acousto-elastic interaction, partI, Theory”, *Journal of Sound and Vibration*, Vol.227 (1999), pp.555-586.
- (6) Beltman, W. M., “Viscothermal wave propagation including acousto-elastic interaction, partII, Application”, *Journal of Sound and Vibration*, Vol.227 (1999), pp.587-609.

- (7) 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.

※制振工学会 2022 技術交流会原稿より

制振工学会事務局の承認を得て掲載

自動車用トランスミッションカバーの振動音響解析

季 承堯 黒沢 良夫
(帝京大学) (帝京大学)

Vibro-acoustic analysis of automotive transmission covers

Chengyao ji Yoshio Kurosawa
(Teikyo Univ.) (Teikyo Univ.)

自動車のトランスミッションには特有の騒音が発生するものがあり、防音材のカバーをつけて低減している。防音カバーはトランスミッション本体に固定されているが、振動伝達により防音カバーの放射音も発生している可能性もある。本研究では、トランスミッションを想定した治具に簡易形状の防音カバーを取り付け、治具を加振した際の振動加速度や音圧レベルを計測した。また、FEMで治具や防音カバーをモデル化し、振動音響解析を実施した。防音カバーのマウント方法の変更、積層構造の変更、極細繊維材の追加、穴を開けた際の影響などを報告する。

Key Words : Automotive , FEM, Biot-allard model, Felt, GW

1. 緒 言

近年、自動車の性能として車内快適性が重視され、さらなる車内の静粛性が求められている。自動車のトランスミッション(ATやCVTなど)には、特有の騒音が発生するものがあり、吸遮音材の防音カバーをつけて騒音を低減している。防音カバーはトランスミッション本体に固定されており、トランスミッションからの放射音を低減(吸音、遮音)しているが、振動伝達により防音カバーから放射される音が影響する可能性もある。本研究では、トランスミッションを想定したアルミ製の治具に簡易形状の防音カバーのテストピースを取り付け、マウント方法を変えて治具を加振した際の防音カバーの振動加速度や、一定距離離れた位置で音圧レベルを計測した。また、FEMで治具や防音カバーをモデル化し、振動音響解析を行った。防音カバーの素材はフェルトやGW(グラウウール)で、Biot-Allardモデル⁽¹⁾を用いて計算した。防音カバーの固定方法やカバーの素材を変更した際の振動加速度や音圧レベルの変化等を報告する。

2. 解析手法

今回は、吸音ダクトで用いたフェルトについて骨格と内部空気を扱うBiot-Allardモデル⁽¹⁾を用いて計算を行った。Biot-Allardモデルは、材料に入っ

てくる入射音とその材料中の多孔質弾性体(ウレタンやグラスウール等)の隙間を通ることで伝わってくる空気伝搬音と、材料の内部を伝わる固体伝搬の変位を予測する理論式である。固体伝搬と空気伝搬音の相互作用を考慮した骨格部の変位: \vec{u}^s 及び、流体の変位: \vec{u}^f を用いて、それぞれ式(1)、式(2)のように表される。

$$\left. \begin{aligned} & ((1-\phi)\rho_s + \rho_e) \frac{\partial^2 \vec{u}^s}{\partial t^2} - \rho_e \frac{\partial^2 \vec{u}^f}{\partial t^2} \\ & = (P-N)\vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{u}^s) + Q\vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{u}^f) \\ & + N\nabla^2 \vec{u}^s - \sigma\phi^2 G(\omega) \frac{\partial}{\partial t} (\vec{u}^s - \vec{u}^f) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} & (\phi\rho_f + \rho_e) \frac{\partial^2 \vec{u}^f}{\partial t^2} - \rho_e \frac{\partial^2 \vec{u}^s}{\partial t^2} \\ & = R\vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{u}^f) + Q\vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{u}^s) \\ & + \sigma\phi^2 G(\omega) \frac{\partial}{\partial t} (\vec{u}^s - \vec{u}^f) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$G(\omega) = \sqrt{1 + j \frac{4a_{\infty}^2 \eta \rho_f \omega}{\sigma^2 \Lambda^2 \phi^2}}$$

ϕ : 多孔度, ρ_s : 多孔質骨格の密度, ρ_f : 流体密度 (本論では空気), ρ_a : 骨格部と流体の相互作用における粘性減衰を考慮した流体の等価密度である. ρ_a について式(3)に示す.

$$\rho_a = \alpha_{\infty} \rho_f \left(1 + \frac{\phi \sigma}{j \omega \rho_f \alpha_{\infty}} \sqrt{1 + j \frac{4a_{\infty}^2 \eta \rho_f \omega}{\sigma^2 \Lambda^2 \phi^2}} \right) \quad (3)$$

η : 固体の損失係数, σ : 流れ抵抗, α_{∞} : 迷路度, Λ : 粘性特性長である. 弾性係数 P, Q, R について式(4)に示す.

$$P \approx \frac{4}{3} N + K_b + \frac{(1-\phi)^2}{\phi} K_f, \quad Q \approx (1-\phi) K_f, \quad R \approx \phi K_f \quad (4)$$

N : 骨格のせん断弾性率 (真空時), K_b : 骨格の体積弾性率 (真空時), K_f : 骨格部と流体の相互作用における熱減衰を考慮した流体の等価剛性である. N, K_b, K_f について式(5)に示す.

$$\left. \begin{aligned} N &= \frac{E(1+j\eta)}{2(1+\nu)} \\ K_b &= \frac{2(1+\nu)}{3(1-2\nu)} N \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$K_f = \frac{\gamma P_0}{\gamma - (\gamma - 1) \left[1 + \frac{8\zeta}{j\omega\Lambda'^2} \sqrt{1 + \frac{j\omega\Lambda'^2}{16\zeta}} \right]^{-1}} \quad (6)$$

γ : 比熱比, P_0 : 平衡状態の圧力, ζ : 温度拡散率, Λ' : 熱的特性長である.

3. 実験結果と FEM 解析結果

3・1 実験結果の比較

図1に今回の実験用に作成した防音カバーのテストピースと治具の寸法を示す. 黒い部分が防音材でできたテストピースで, 寸法は A4 サイズ (210mm×297mm) の板形状で, 四方に取付点用の直径 8mm の穴(ボルト、クリップ用), または直径 16mm の穴(ブッシュ用)を設けた. 下の灰色部分がアルミ製の治具で, テストピースの寸法を長手方向に 53 mm 延長した板形状にテストピースを固定するための高さ 30mm の取付点用の足を 4 カ所設けた. 取付点に 3 つの固定方法(ボルト, クリップ, ボルト+ブッシュ)でテストピースを設置し, ゴムバンドを用いて吊るして無響室で治具の下面中央をハンマーで加振し, テストピースの上面中央を加速度計で振動応答を計測した. また, ハンマー加振時の音圧レベルを 500mm 離れた位置に設置したマイクロフォンで計測した.

図 2 に加速度応答と音圧レベルの計測結果を示す. 今回のテストピースは厚さ 3mm のフェルトで, 3 つの固定方法 (ボルト固定・クリップ固定・ボルト+ブッシュ固定) で比較を行った. 振動応答計測結果 (図 2 a.) では, 一番剛性の高いボルト固定が最も振動が大きく, クリップが若干振動応答が小さく, ブッシュが最も振動応答が小さかった. これはマウント方法による振動伝達軽減の効果であると考えられる. それに対し, 音圧レベル計測結果 (図 2 b.) は 3 つの固定方法で大きな差は見られなかった.

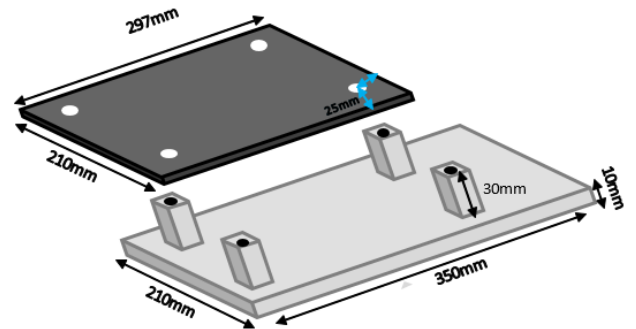
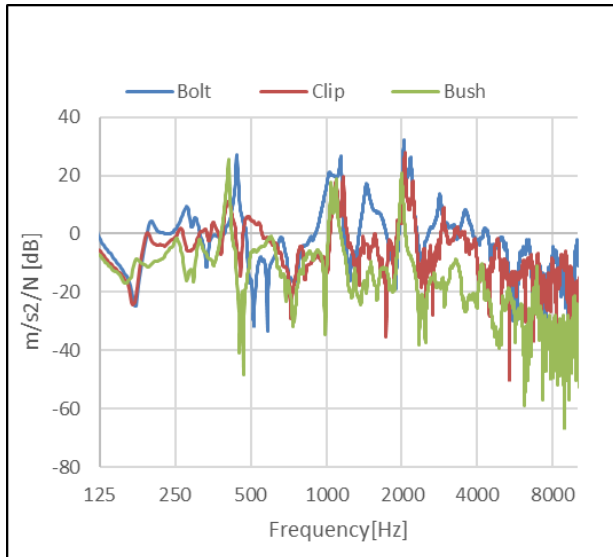
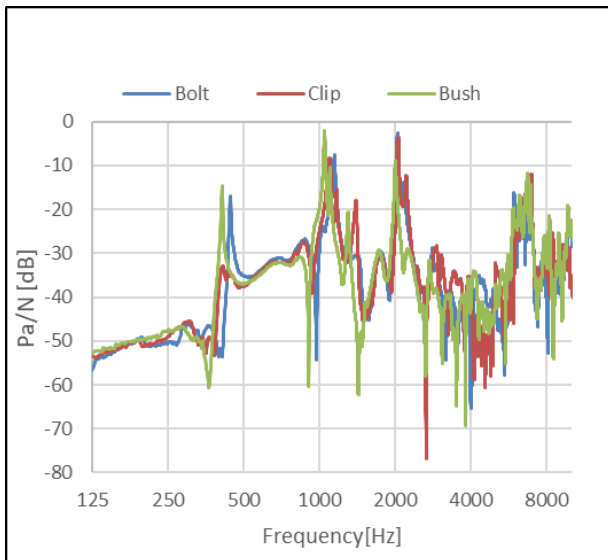


Fig. 1 Test piece and jig dimensions



a. Vibration acceleration response



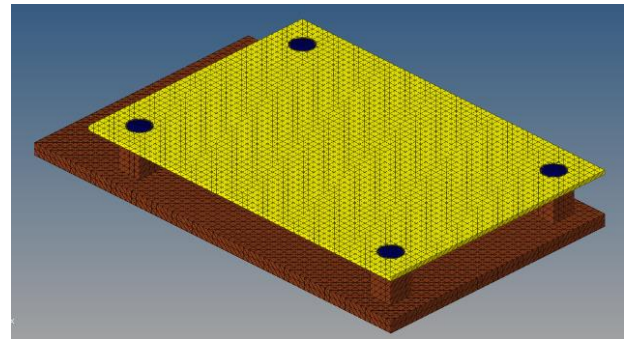
b. Sound pressure level response

Fig. 2 Comparison of 3 types mounting by test piece

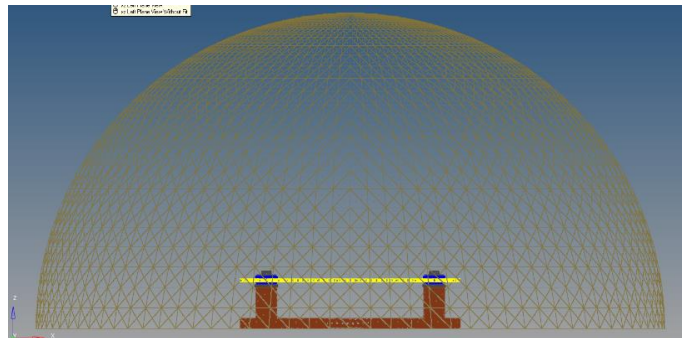
3・2 計算結果と実験結果の比較

図3に今回作成した解析用のFEモデルを示す。ハンマー入力点を中心に半球の空間を作り、球面は無反射条件として実験時の無響室をモデル化した。図4～6に実験結果とFEMによる計算結果の比較を示す。図4にボルト固定の振動応答と音圧レベル、図5にクリップ固定の振動応答と音圧レベル、図6にブッシュ固定の振動応答と音圧レベルを示す。振動応答結果は若干実験結果と計算結果は若干レベル差はあったが、ピーク周波数はおおよそ近い値であり、計算結果はおおよそ実験結果を再現できた。音圧レベルは計算結果は実験結果を再現できてお

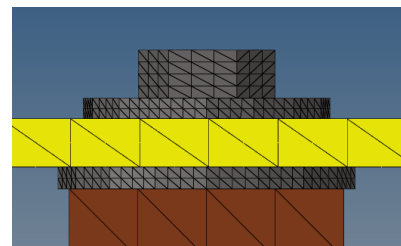
り、振動応答より解析精度は良かったといえる。



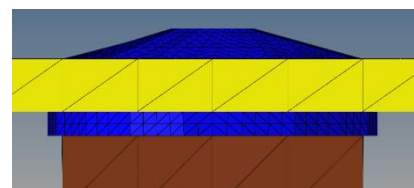
a. Test piece and jig



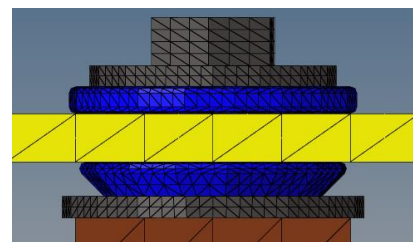
b. Test piece and jig and acoustic space



c. Bolt mounting

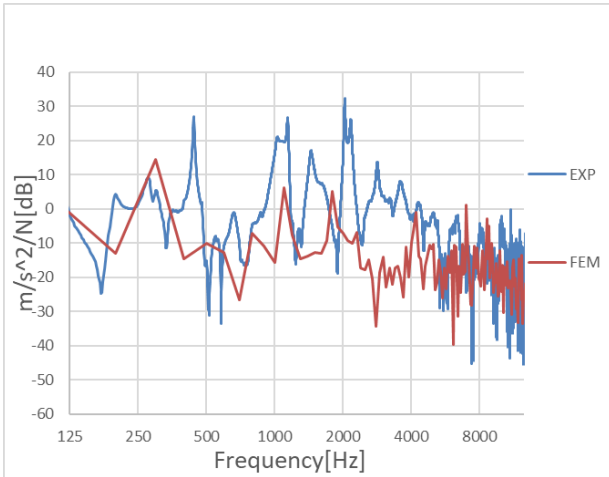


d. Clip mounting

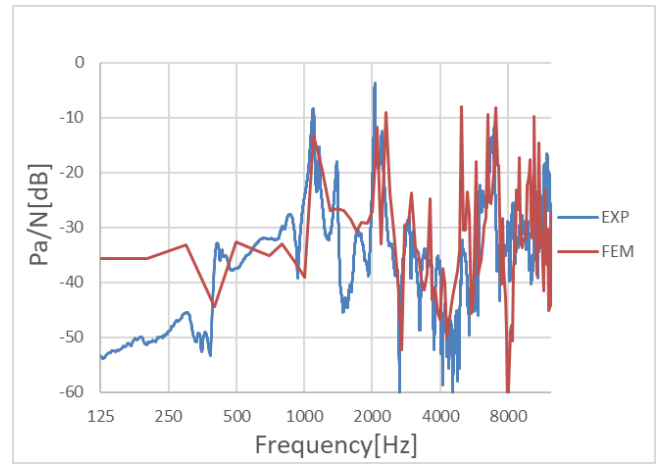


e. Bush (and Bolt) mounting

Fig. 3 FE model

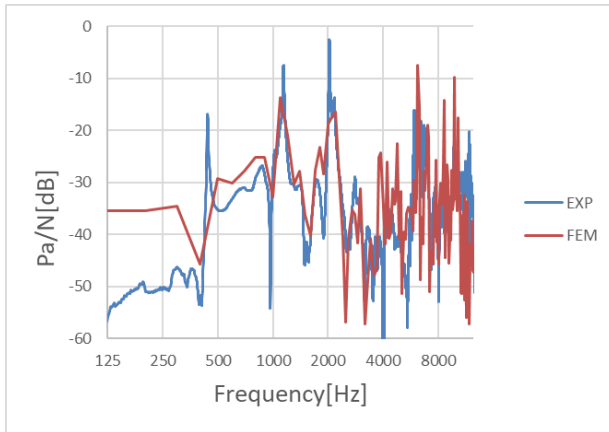


a. Vibration acceleration response



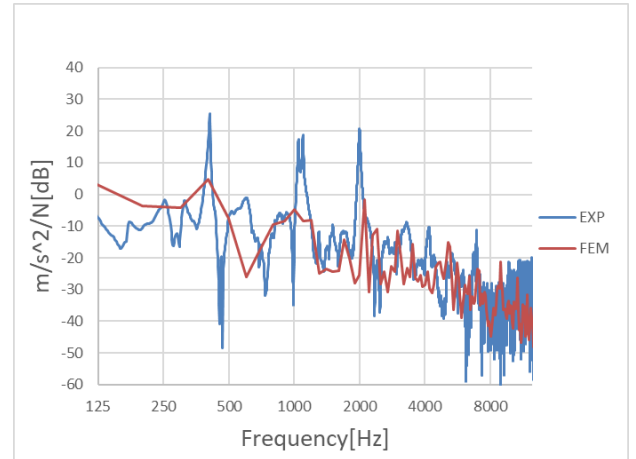
b. Sound pressure level response

Fig. 5 Comparison of experimental results (EXP) and calculation results (FEM) by clip mounting

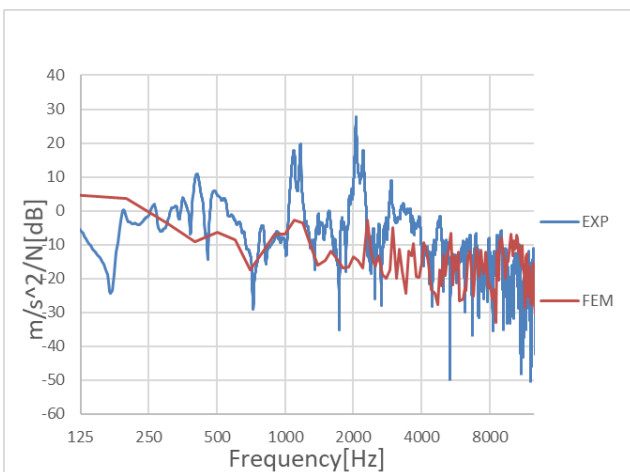


b. Sound pressure level response

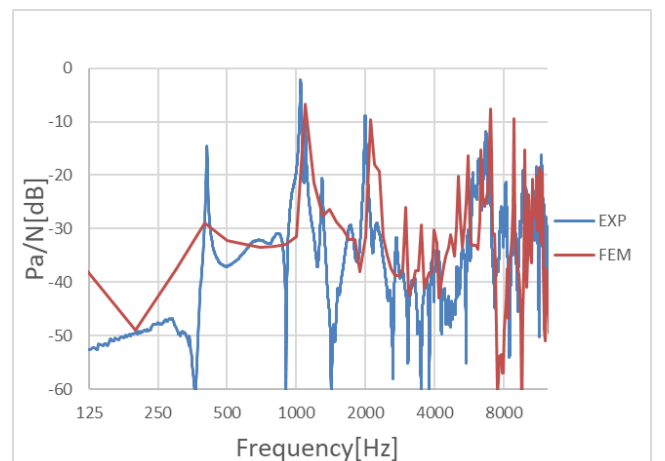
Fig. 4 Comparison of experimental results (EXP) and calculation results (FEM) by bolt mounting



a. Vibration acceleration response



a. Vibration acceleration response



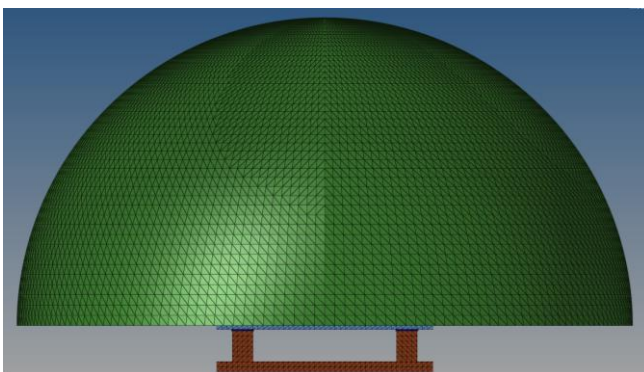
b. Sound pressure level response

Fig. 6 Comparison of experimental results (EXP) and calculation results (FEM) by bush mounting

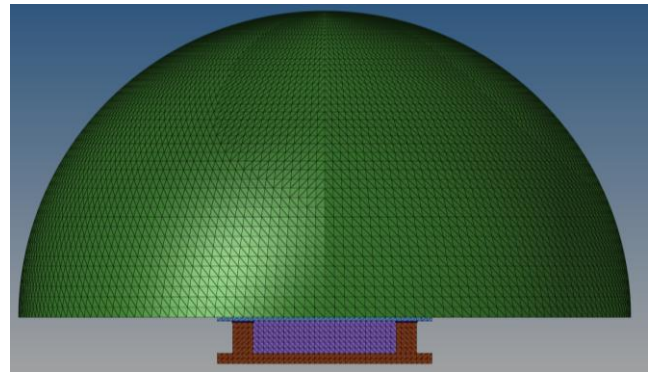
3・3 防音カバーの遮音と放射音

図2の実験結果より、テストピースの振動による放射音は影響が小さいと考え、FEモデルを用いて確認を行った、図7に音響空間を変更したFEモデルを示す。図7a.は、テストピースの上面の中央を中心とした半球を音響空間とした。このモデルでは治具から放射される音は計算されず、治具の振動がテストピースに伝わり、テストピースからの放射音が音圧レベルとして計算されるモデルである。図7b.は図7a.に加えて、治具とテストピースの間にある空間（図中紫色の部分）も音響空間としてモデル化した。テストピースからの放射音と治具から放射された音がテストピースを通り抜けて、テストピースの遮音も計算できるモデルである。イニシャル（図3a.）との違いは、治具から放射された音がテストピースを通さずに回り込む音を考慮していない事である。

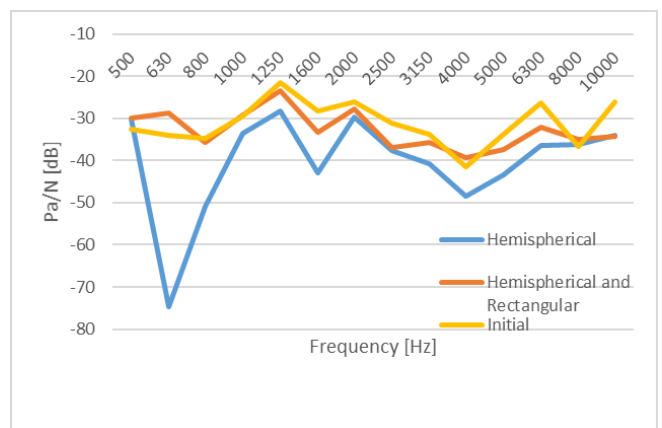
図8に音響空間を変更した場合の音圧レベル計算結果の比較を示す。比較しやすくするため1/3オクターブバンドごとに表示した。図8a.はクリップ固定、図8b.はブッシュ固定の計算結果である。クリップ固定の場合、630Hz バント、800Hz バンドを除き3つに大きな違いはないが、ブッシュ固定の場合、テストピースの放射音を表す青線が明らかに小さい値になっている。これはブッシュにより振動伝達が減ってテストピースからの放射音が小さくなっているが、図8a.とイニシャル同士で比べるとほとんど音圧レベルの差はなく、テストピースからの放射音の影響が小さいことを示している。また、直方体を追加したモデル（図中オレンジ線）とイニシャル（図中黄色線）の値はクリップ固定もブッシュ固定もほとんど差はなく、治具から放射された音がテストピースを回り込む影響は小さい事を示している。



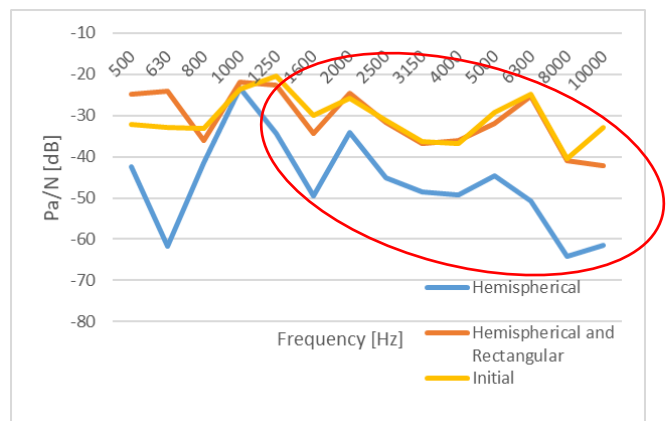
a. Hemispherical acoustic space on top of test piece



b. Hemispherical and Rectangular acoustic space
Fig. 7 FE model with modified acoustic space



a. Sound pressure level by clip mounting

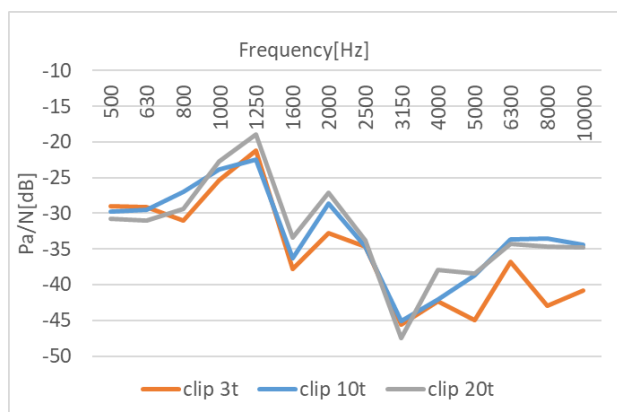


b. Sound pressure level by bush mounting

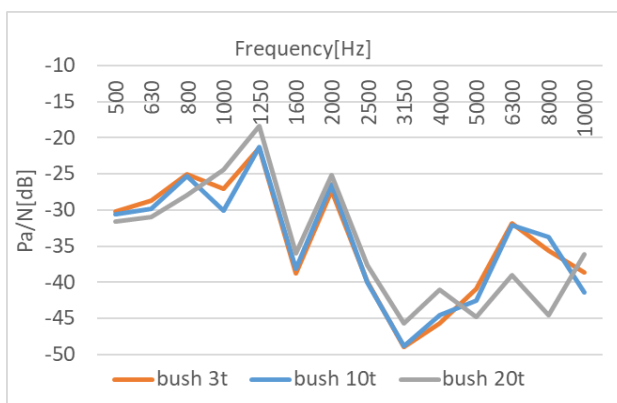
Fig. 8 Comparison of sound pressure level calculation results when acoustic space is changed

3・4 テストピースの厚み変更

パラメータとして、材料がGWの場合に同じ重量で厚さを変更した場合の音圧レベルを計算した結果を図9に示す。クリップ固定とブッシュ固定で異なる傾向となった。



a. Sound pressure level by clip mounting

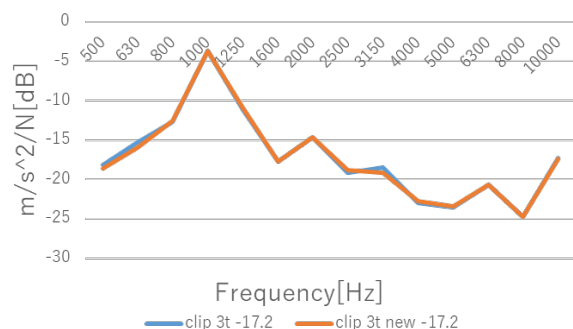


b. Sound pressure level by bush mounting

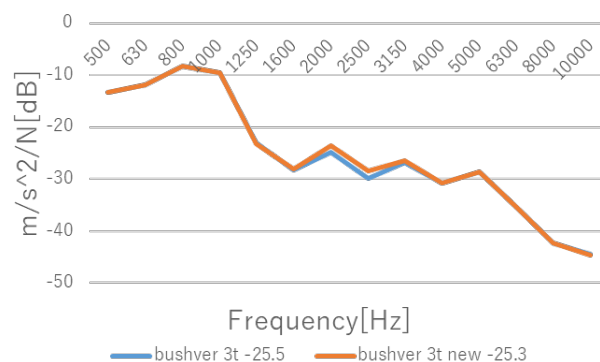
Fig. 9 Comparison of GW sound pressure level calculation results with the same weight but different thickness

3・5 フィルム位置の変更の影響

GW3mm にフィルムを下側（治具側）に積層した場合と、上側に積層した場合の振動レベルを計算した結果を図 10 に、音圧レベルを計算した結果を図 11 に示す。図 10a のグラフがクリップ固定、図 10b がブッシュ固定、青線がフィルム下側、オレンジ線がフィルム上側である。フィルム位置を変更したことにより、振動にはほとんど影響がなかったが、音圧レベルは上側にフィルムを積層した方が若干性能が良い結果となった。

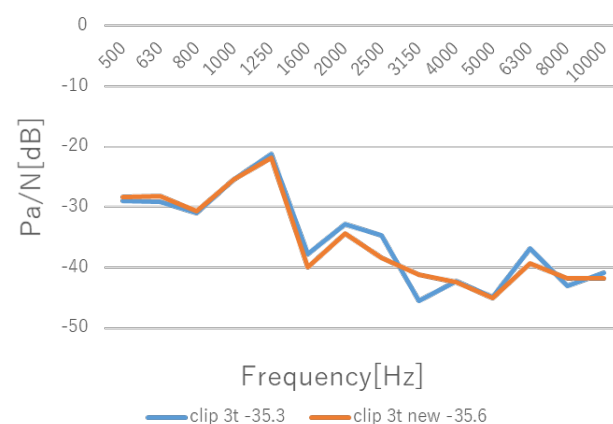


a. Vibration acceleration response by clip mounting

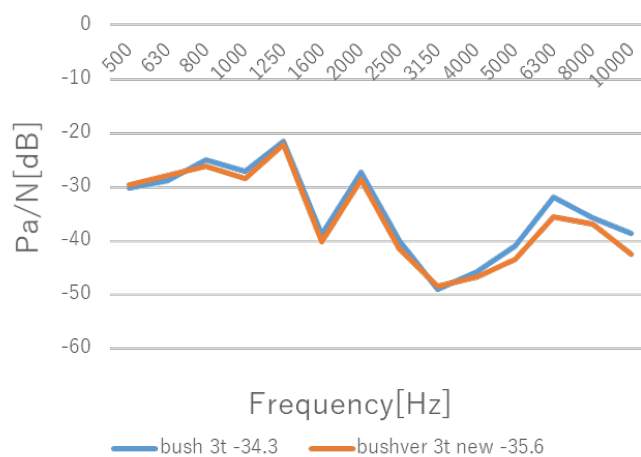


b. Vibration acceleration response by bush mounting

Fig. 10 Comparison of vibration calculation results when film is laminated on the lower side and upper side



a. Sound pressure level by clip mounting



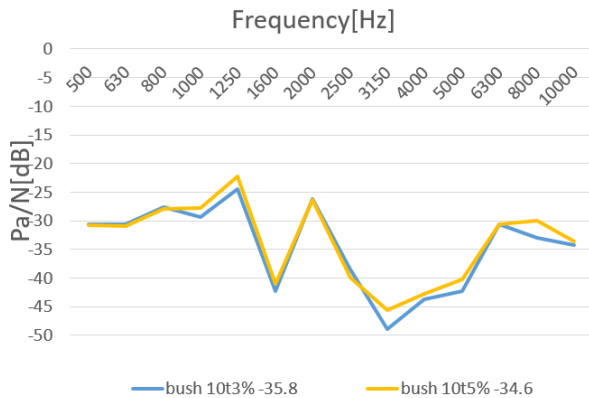
b. Sound pressure level by bush mounting

Fig. 11 Comparison of sound pressure level calculation results when film is laminated on the lower side and upper side

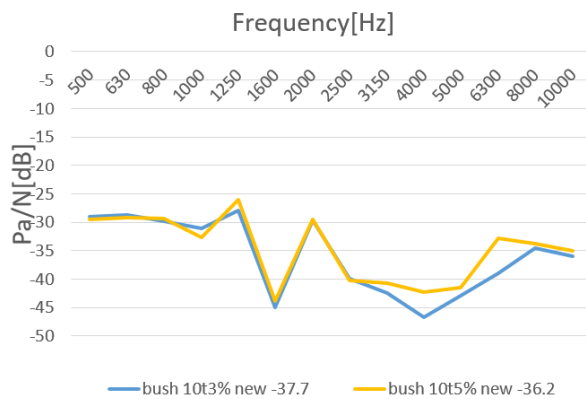
3・6 穴の面積の変更の影響

図 12 に GW10mm の場合でフィルムの積層位置を変更した場合や穴を開けた場合の音圧レベルの計算結果を示す。図 12a のグラフがフィルム下側で、青

線がフィルム下側で3%の面積の穴を開けた場合、黄色線がフィルム下側で5%の面積の穴を開けた場合の計算結果である。図12bのグラフはフィルム上側の場合の計算結果である。穴の面積を変更したことにより、音圧レベルは穴の面積が小さい方が若干性能が良い結果となった。



a. Sound pressure level by bush mounting



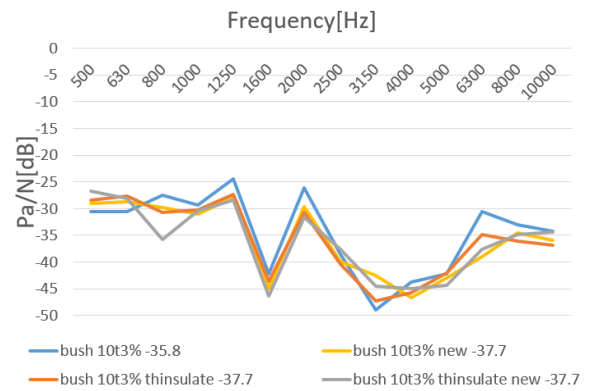
b. Sound pressure level by bush mounting

Fig. 12 Comparison of sound pressure level calculation results when hole area is 3% or 5%

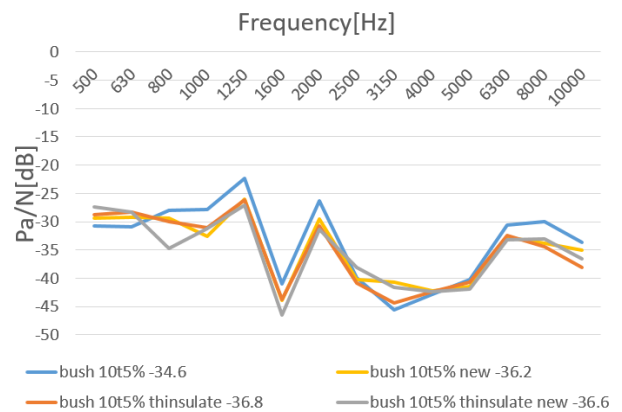
3・7 極細繊維積層の効果

図13にGW10mmの場合でフィルムの積層位置を変更した場合や極細繊維を下側に積層した場合の音圧レベルの計算結果を示す。図13aのグラフで、青線がフィルム下側で3%の面積の穴を開けた場合、黄色線がフィルム上側で3%の面積の穴を開けた場合である。オレンジ線がフィルム下側で3%の面積の穴を開けて極細繊維を下側に積層した場合、灰色線がフィルム上側で3%の面積の穴を開けて極細繊維を下側に積層した場合の計算結果である。図13bのグラフは5%の面積の穴を開けた場合に図

13aと同様に四つの計算結果を比較した。極細繊維を下側に積層したことにより、音圧レベルは極細繊維を下側に積層した方が若干性能が良い結果となった。



a. Sound pressure level by bush mounting



b. Sound pressure level by bush mounting

Fig. 13 Comparison of sound pressure level calculation results

4. 結 語

自動車のトランスミッションの騒音を低減している防音カバーの簡易モデルを作成し、カバーの固定方法（ボルト、クリップ、ブッシュ）の違いについて、ハンマー加振時のカバーの振動応答と音圧レベルを計測した。振動応答計測結果では、一番剛性の高いボルト固定が最も振動が大きく、クリップが若干振動応答が小さく、ブッシュが最も振動応答が小さかった。それに対し、音圧レベル計測結果は3つの固定方法で大きな差は見られなかった。これは、防音カバーの放射音の影響が小さいことを示している。

各積層構造の防音カバーでは、フィルム位置を変更した際に音圧レベルは上側にフィルムを積層し

た方が若干性能が良い結果となった。穴を開けた場合では、音圧レベルは穴の面積が小さい方が若干性能が良い結果となった。また、防音カバーで極細繊維を下側に積層した場合では、音響性能が良い結果となった。

今後はパラメータスタディ等を行い、より音性能の優れた構造や材料特性を検討していく。

文 献

- (1) Allard, J. F. and Atalla, N., “Propagation of sound in porous media”, John Wiley & Sons, Inc., 2009.
- (2) Beranek, L L., “Noise and Vibration Control”, McGraw Hill, Inc., 1971.

※制振工学会 2022 技術交流会原稿より

制振工学会事務局の承認を得て掲載

Robot design by incorporating mechatronics in information science classes.

Muhammad Syahir bin Abdul Ramad¹, Yuichi Hasuda¹, Nurul Ain Shalihah binti Ismail¹

¹ Teikyo University, Japan

Abstract

The Department of Information Electronics Engineering at Teikyo University proposes and implements Project Based Learning (PBL)-style classes in the robotics and mechatronics curriculum, in which students collaborate to find and solve problems in their lives. Students enter contests corresponding to the curriculum of laboratory exercises on robotics and mechatronics, and some of their works have been successful in winning prizes in programming contests and university student invention and ingenuity contests. Opportunities for third-party evaluation, such as at academic conferences, appear to foster problem-solving skills and technological capabilities. For example, the handrail sterilization robot developed by students in a mechatronics-related class has gained attention in the prevention of nosocomial infections, and its ability to sterilize patients and medical personnel alike safely and autonomously has demonstrated significant educational effects. Furthermore, since students present their research results on the development of robotics and mechatronics learned in PBL-type classes at academic conferences and international meetings, this robotics and mechatronics curriculum is contributing to the development of engineers with a global perspective.

Keywords: programming, mechatronics, robot, Project Based Learning (PBL), problem-solving.

1. Introduction

In Japan, high schools and universities continue to draw away from manufacturing field, making it difficult to train and secure excellent skilled workers who have been active in the fields of machinery, electrical and electronics, and architecture [1]. Japanese technical high schools are advancing manufacturing education based on theory and practice in the fields of machinery, electrical and electronics, civil engineering, and architecture, and universities are shifting from teaching education to education in which students themselves think and learn [2]. However, the number of hours of experiential education at universities is not much, and the awareness of manufacturing among university students seems inadequate.

One of the reasons for this may be that there is a tendency to emphasize grades based on written examinations in childhood

education, and instructors lack interest in skills, resulting in fewer manufacturing experiences for children. In September 2000, the "Basic Plan for Core Manufacturing Technology" [4] was formulated based on the "Basic Law for the Promotion of Core Manufacturing Technology" [3]. The "Basic Plan for Core Manufacturing Technology" introduces the enhancement of manufacturing education and plans for universities and other institutions to upgrade their educational content in response to the advancement of technology for the enhancement of science and engineering education. Project Based Learning (PBL) type classes have already been proposed and implemented at some universities [5], where students can seek paths to solve problems and enhance their abilities through manufacturing based on their own thoughts and ideas [6,7].

¹ Biennial International Design and Technology Teacher's Association Research Conference (DATTArc), 7-10 Dec.2022. collaboration with the International Conference on Technology Education (ICTE) – Asia Pacific, Technology Education New Zealand (TENZ), International Technology Engineering Education Association (ITEEA), and 2022 Venue Host, Southern Cross University, Gold Coast Campus, QLD. Editors: Adj. Prof. Kurt Seemann and Prof. P John Williams.

On the other hand, classes utilizing programming will become compulsory in elementary schools in 2020, and information is also being studied as a compulsory subject in junior high and high schools [8,9]. At universities, classes using disassembling and assembling robots have been proposed in engineering departments so that university students can acquire problem-solving skills through manufacturing based on their own ideas [10,11].

As the world faces a declining birth-rate, an aging population, and a shortage of IT engineers, universities must strive to develop human resources through problem-solving, hands-on education. The Department of Information and Electronic Engineering at Teikyo University has created a problem-solving course in the robotics and mechatronics curriculum, specializing in the training of embedded engineers [12]. Three students in the class collaborate to create a work using LEGO MINDSTORMS and give a presentation. Some of their works have been entered in contests, and one of them won the grand prize in a programming contest as well as the Japan Society for Industrial Technology Education's Invention and Invention Contest for University Students [13-18]. We report on the practice and outcomes of our efforts to create robots that improve people's lives using mechatronics in this study.

2. Production of works in mechatronics experiments

From the Table 1, in the first year, students learn the fundamentals of programming as well as the design and fabrication of autonomous robots, and they compete in an in-class robot competition that is always judged by a third party. Beginning in the second year, students conduct basic experiments, and in the third year, they take classes specialized in developing embedded engineers who can develop problem-solving skills through manufacturing.

Table 1: Experimental Exercises on Robotics and Mechatronics

Year	Lecture Topics (Content)
First Year	Fundamental Programming (Processing)
	Project Exercise (robot building using LEGO MINDSTORMS)
Second Year	Fundamental Engineering Experiments (How to use each measuring instrument and measurement of AC voltage, phase, and frequency)
	Experiments in Fundamental Mechatronics (Rectification of diodes, amplification circuits of transistors, design of autonomous robots)
Third Year	Electronics Experiment (Application of various microcomputers such as Arduino)
	Robotics and mechatronics experiments (Planning, designing, and presentation of making things that enrich our lives using electronic circuits)

Students collaborate to create and present works using microcomputers such as LEGO MINDSTORMS and Arduino in the Robotics and Mechatronics Experiment, with the theme of making things that enrich our lives. Students create their works with the help of not only the teachers in charge of the experiments, but also the teachers of the laboratory to which they are temporarily assigned.

As a result, it is common for students to improve their work from the second half of their third year at the laboratory where they are assigned for graduation research in their fourth year, and then submit it to contests sponsored by universities and other organizations.

The class instructors prepare and distribute microcomputers such as Mindstorm and Arduino, sensors, and circuit boards required for the development of works.

⁶ Biennial International Design and Technology Teacher's Association Research Conference (DATTArc), 7-10 Dec. 2022, collaboration with the International Conference on Technology Education (ICTE) – Asia Pacific, Technology Education New Zealand (TENZ), International Technology Engineering Education Association (ITEEA), and 2022 Venue Host, Southern Cross University, Gold Coast Campus, QLD.
 Hosts: Adj. Prof. Kurt Seemann and Prof. P. John Williams.

Students use their newly acquired knowledge and techniques to create their own products through a trial-and-error process. Students' works are evaluated not only by the teacher but also with other students.

3. Development of works in mechatronics experiments

As shown in Figure 1, third-year students temporarily assigned to the robotics and mechatronics experiment take the lead in designing and building their own works. Since many of the students are designing robot for the first time after entering university, they start by designing robots using LEGO MINDSTORMS. NXT and EV3, a type of microcontroller, were used in the design and construction of the robot to understand the functional requirements and the general shape of the robot. Since input and output ports are pre-installed and a battery is built in, connecting the corresponding sensors and motors has the advantage of enabling immediate operation without soldering or other work. In addition, by using LEGO parts together, each part of the robot can be assembled and disassembled. These advantages make it possible to develop and test systems quickly and easily.

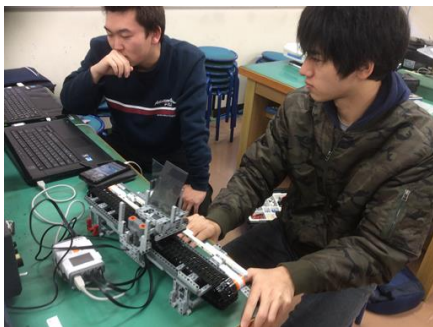


Figure 1: Robot design using LEGO MINDSTORMS in the basic mechatronics experiment

Visual-based programming software is used to control the operation of motors and acquisition of values from each sensor by means of programming blocks and is also used in educational settings. This section

describes the background of the development of some of these works, their innovations, and a review of their production.

3.1 Mail transport robot design and production

People with disabilities and the elderly have difficulty getting to the front door to pick up their mail. They also don't know when the mail will be delivered, so we created an autonomous robot that uses sensors to alleviate the burden on the elderly by eliminating the need to walk to the front door several times to pick up the mail (see Fig.2).

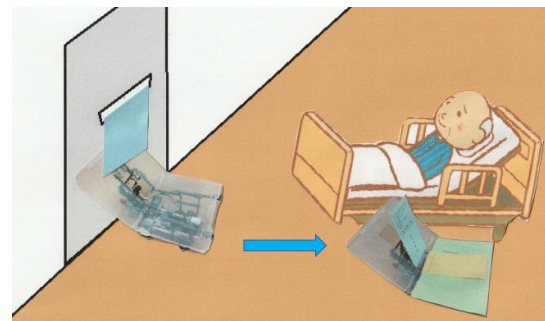
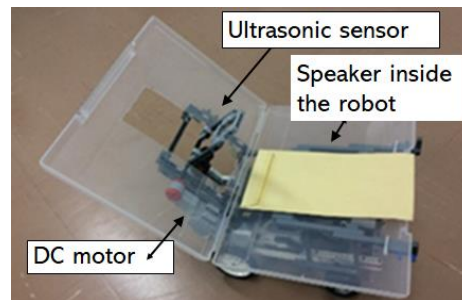


Figure 2: Overview of an autonomous robot that receives and transports emails



(a).Email detection and sound emission by mail robot



(b) Robot with mail stocked.
Figure 3: Robot storing mail

The robot is placed directly beneath a house or room's mail delivery area, and mail falls onto a tray equipped with ultrasonic sensors. The mail is delivered to the resident after the resident is notified that it has been delivered using the process outlined below.

- 1) Ultrasonic sensor on top of the robot detects mail: see Fig.3(a)
- 2) A speaker inside the robot emits a sound to notify the resident that the mail has arrived: see Fig.3(a).
- 3) Stock emails until the sound sensor detects a resident response (sound): see Fig.3(b).

- 4) Convey the mail to the resident's room and use the ultrasonic sensor to detect when the resident removes the mail from the box :see Fig.4.

- 5) Backtracks the way it came and waits for the mail again at the location of the residence's entrance: see Fig.4.

For this mail-transporting robot to play an active role in housing, it must accurately receive mail and improve the transportation route to the resident. Given the rapidly aging society and declining birthrate, the students' perspectives were highly valued.

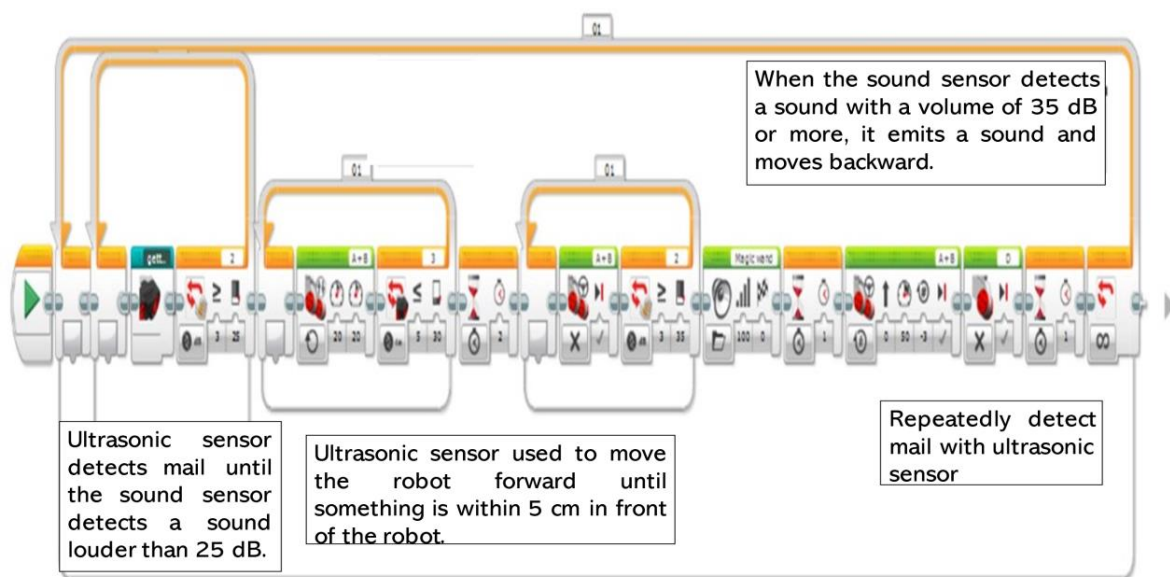


Figure 4: Operation program of the mail transport

3.2 Sanitizing spray robot design and production

Since many students and users enter and exit schools and commercial facilities, hand sanitization is necessary. Due to the recent new coronavirus, special attention has been paid to this issue in the prevention and spread of infections in these facilities. Although alcohol sterilization sprays are installed at school entrances and classrooms, human hands are frequently used to activate the pumps.

As a result, we created a sterilization robot that uses a motor to activate the pump when a sensor detects an object in the position where a hand or finger is held out.

As shown in Figure 5, the robot configuration is simple, with only one DC motor and one ultrasonic sensor each installed in the NXT controller. An arm with a motor is installed on top of a commercially available sprayer, and when a hand is inserted on a plate with a hand shape printed on it, the motor moves 30 degrees based on information from the ultrasonic sensor, and the sterilizing solution is sprayed.

As shown in Figure 6, the robot was installed at the university's entrance and in front of lecture and other event rooms, and it received extremely positive feedback. Especially during the rapid spread of the new coronavirus in Japan, the automatic

sterilization system was not widely used and contributed significantly to infection prevention at the university in the six months before the company developed and marketed the system.

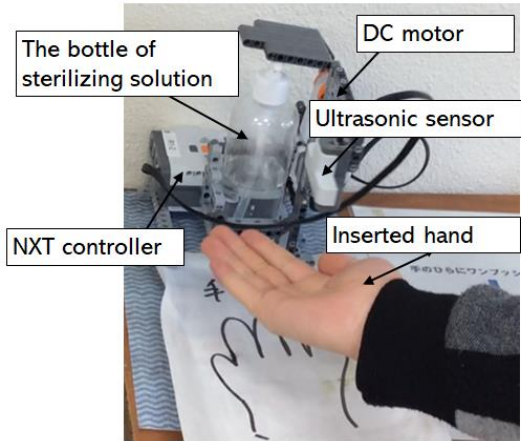


Figure 5: Hand and finger sterilization by sterilization spray robot



Figure 6: Sterilization spray robot machine

3.3 Handrail sterilization robot design and production

Handrail sterilization in hospitals and nursing homes is critical for maintaining a sanitary environment [19]. However, allocating manpower to sterilize handrails is a significant burden for healthcare workers, especially when nosocomial infections occur, and response is difficult due to a lack of manpower.

Although security and sterilization robots have been developed, they are insufficient for sterilization due to the lack of a wiping

mechanism. As a result, as illustrated in Figure 7, we have begun development of a robot capable of wiping and sterilizing handrails while moving autonomously throughout the hospital [20].

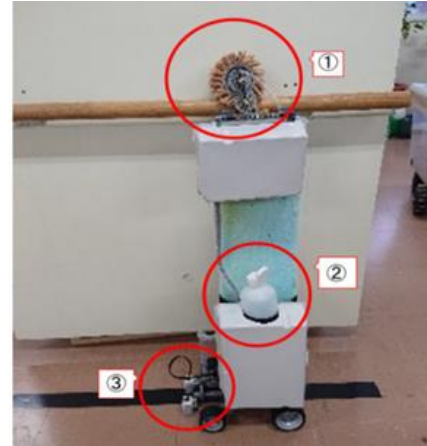


Figure 7: Handrail sterilization robot

3.3.1 Handrail sterilization robot developed and its innovations

The prototype produced in this research includes a motor for the drive part for running the robot and a motor for rotating the brush to wipe off the handrail.

There are two types of EV3 motors: the L motor, which has high torque and is suitable for moving heavy objects, and the M motor, which has low torque but is lightweight [16]. Considering the characteristics of each, the L motor is used for the running part of the robot, while the M motor is used to rotate the brush for sterilization.

Two color sensors are needed for line tracing. The color sensors used are from Hitechnic. This color sensor has an effective range of 10 mm [17], so it can detect even if the sensor is mounted far from the floor, and it is easy to mount on EV3.

LEGO MINDSTORMS Education EV3 Educators Edition was used to create the control program for the handrail sterilization robot. Alcohol is supplied to the upper brush (Fig.7 ①) from an alcohol tank (Fig.7 ②) attached to the robot.

As shown in Image 9, the M-motor rotates the upper brush while the robot runs to

sanitize the handrail. For the robot to run along the handrails on the wall, silver tape is laid on the floor and a light sensor (Fig.7 ③) is used for line tracing [17].

To sterilize the handrail, a sterilizing brush was used with a single motor and gear to wipe from the top and bottom (Fig.8). The brush could not reach the wall side of the handrail, and there were areas where the brush could not reach, so the sterilization of the entire handrail was insufficient.



Figure 8: Sterilizing handrails with a sterilizing brush

3.3.2 First Innovation: Avoid contact with people and use sound and light to alert people

A handrail was installed in the laboratory and the handrail was checked for operation of the sterilization robot (see Fig.9). Through the operation checks, the functions necessary for actual use in the facility became clear.



Figure 9: Checking the operation of the sterilization robot on the handrail

To avoid contact with people or objects near the handrail during sterilization, the robot

stops when it detects a person or object in the direction of travel using an ultrasonic sensor and warns the user with sound and light using LEDs and speakers.

We have also added a system that allows the robot to be stopped urgently by pressing an emergency stop switch by a medical worker in the vicinity.

3.3.3 Second Innovation: Notification of location information and images as a patrolling robot

A camera was installed so that medical personnel could monitor the robot's surroundings and movement status. Furthermore, an IC tag is installed on the wall beneath the handrail that can be read by a tag reader to obtain location information.

Images of the surrounding environment and location data can be transmitted to the user's various terminals via a Wi-Fi router. As shown in Fig.10, the information is displayed in conjunction with a hospital floor plan and can be used as a patrol robot capable of determining the status of the robot's surroundings even from a distance.

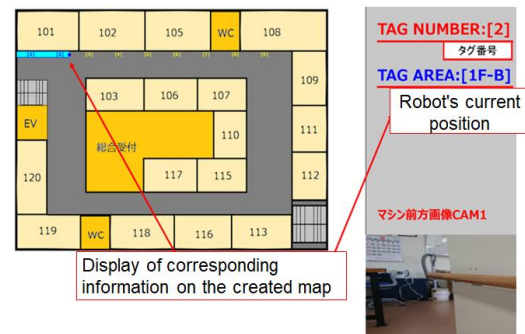


Figure 10: Robot's surroundings information confirmation screen

3.3.4 Preparing handrails and moving the robot

In hospitals and other facilities, handrails are often intermittent due to the presence of doors to patient rooms and toilets. Therefore, the robot adopted a line tracing control system in which a sensor recognizes a line placed on the floor directly below the handrail. Since many hospitals and facilities

have white floors to keep them clean, we used silver tape surrounded by black tape for the line tracing tape, as shown in Fig. 11, to make it easier for the sensor to recognize the tape [21].



Figure 11: Line installed on the floor

3.3.5 Test run of the handrail sterilization robot on the line

In the campus, a vinyl chloride pipe handrail was installed at a height of 800 mm from the hallway floor, emulating the condition of handrails installed in hospitals and nursing homes. The robot is placed on the floor and disinfection begins by reading an IC tag.

The robot then moves along a line trace, reading the IC tag as it approaches a door and alerting the people in the room via voice and electric board. When the robot reads the IC tag while moving, it performs a series of disinfection operations in the facility, such as turning around and heading for the handrail on the opposite side of the room.

We are conducting demonstration tests in hospitals to confirm the effectiveness of sterilization and the ease of use by medical personnel, and we are improving the robot. The cost of production, including the microcontroller and sensors, was around 50,000 yen.

4. Discussion

As shown in Table 1, the curriculum of robotics and mechatronics experiments and exercises where each student finds a problem to enrich his/her life and clarifies the problem to be solved in the project exercise in the second semester of the first year and the robotics and mechatronics

experiment in the second semester of the third year.

Teachers assist students in coordinating schedules and opportunities for presentations (see fig.12), but students are expected to research the technologies required for manufacturing on their own.



Figure 12: Second Year student delivering a presentation

In the project exercise, a robot contest is held in class, and the top group in the contest is awarded. By providing an opportunity for students to evaluate each other's works, the contest motivates students to create better works and supports the creation of better works. Some of the works are improved based on evaluations and feedback from students and faculty and are entered in programming contests sponsored by the department, where they are presented along with senior students.

We believe that the works created in the problem-solving classes are evaluated and improved, and that this fosters the students' technical skills and ability to create things.

Furthermore, students are encouraged to enter various contests and present papers at academic conferences. As an example, the students who developed the work for the 2018 (13th) Invention and Invention Contest won the top prize in the robot contest of the project exercise and the programming contest sponsored by the department in their first year. The students also participated in the World Robot Olympiad in their second year [22], and in their third year, they presented a paper at the ICTE2021 International Conference [23]. In their fourth year, they developed a

⁶ Biennial International Design and Technology Teacher's Association Research Conference (DATTArc). 7-10 Dec.2022. collaboration with the International Conference on Technology Education (ICTE) – Asia Pacific, Technology Education New Zealand (TENZ), International Technology Engineering Education Association (ITEEA), and 2022 Venue Host, Southern Cross University, Gold Coast Campus, QLD. Editors: Adj. Prof. Kurt Seemann and Prof. P John Williams.

disaster mitigation system linked to earthquake early warning systems and participated in the International Innovation Contest World Competition [24].

Thus, the opportunity to enter contests that correspond to the curriculum of laboratory exercises related to robotics and mechatronics and have them evaluated by a third party is one of the factors that may contribute to the development of problem-solving skills and technological capabilities [25]. In the future, we would like to conduct further educational campaigns to motivate students to participate in contests in which they can demonstrate their abilities, and to enhance their socially acceptable abilities such as ideas and ingenuity.

5. Conclusion

In this study we deal with robot design by incorporating mechatronics in Information Science classes. Our proposes in this class are implements Project Based Learning (PBL)-style classes in the robotics and collaborate to find and solve problems in their lives. The main conclusion of this study as follows:

1) Students enter contests corresponding to the curriculum of laboratory exercises on robotic and mechatronics, and some of their works have been successful in winning prizes in programming contests and university student innovation and ingenuity contests.

2) Opportunities for third party evaluation, Such as at academic conferences, appear to foster problem-solving skills and technological capabilities.

3)The handrail sterilization robot developed by students in a mechatronics-related class has gained attention in the prevention of nosocomial infections, and its ability to sterilize patients and medical personnel alike safely and autonomously has demonstrated significant educational effects.

4) Students present their research results on the development of robotics and mechatronics learned in PBL-style classes at academic conferences and international meetings, this robotics and mechatronics curriculum is contributing to the development of engineers with a global perspective.

References

- [1] Takehiko YAMAMOTO. (1986). "High Technology Outflow" and Japan, Worldwide, (489), 15-18.
- [2] Mukaidono MASAO. (2003). A Next Step of Japanese New Manufacturing, Journal of the Reliability Society of Japan Reliability, 25(6), 498-504.
- [3] e-Gov, Digital Agency. (2022). Fundamental Law for the Promotion of Core Manufacturing Technology. <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=411AC010000002>
- [4] Ministry of Labor, Human Resource Development Bureau, Capacity Development Division. (2022). Basic Plan for Manufacturing Base Technology. https://www.mhlw.go.jp/www2/kisya/noryoku/20000901_05_n/20000901_05_n_mokuji.html
- [5] Y. OHBUCHI and T. MATSUDA. (2021). Practice of education program for necessary engineering skill in product development, Journal of JSEE, 69-1.
- [6] M. IYODA, T. UKAI, M. HARAGUCHI, T. HAGA. (2020). Practice of three faculties joint problem-based learning for first grade students, Japan Engineering Research Association (JERA) 2020 Annual Support Group Lecture Series ,148.
- [7] Kumiko TAKAI, Masayuki ARAI, Yuichi HASUDA, Kozo MIZUTANI, Shigeru Sasaki, and HIROYOSHI

- Watanabe. (2018). Design and Class Practice of "Project Exercise" in First Year PBL Course, The 43rd National Convention of The Society for Information and Systems in Education, 2018, pp.419-420.
- [8] K.ONO. (2017). Programming system accompanied by the necessity of programming at elementary school that comparative study and proposal of educational content and teaching materials for education, Proceedings of the Annual Conference of the Japan Society for Digital Textbooks, 6 (0), 31-32.
- [9] T. YABUTA. (2021). Programming education from junior high school for fostering "information use ability" (3), Educational public opinion edited by Nippon Kyoiku Shinbunsha, 1611(3), 8-9.
- [10] Chihiro TAYAMA, Yuki ARAI, Kouki KAWATA, Keigo OZAKI and Yuichi HASUDA, The Practice and Achievement of Creativity Education though Problem-Solving Classes, Annual Conference on Engineering and Applied Science 2018, pp.148-152
- [11] Minami TAMAKAKE, Keita HIRAYAMA, Yuki ARAI, and Yuichi HASUDA, Design and Production of the Robot for National Skills in Japan and Participation in the Competition, International Conference on Education, Economics, Psychology and Social Studies (ICEEPS2019) , 93-200.
- [12] ANBA. (2017). Practice and results of manufacturing education through problem-solving type class, Proceedings of the 29th Kanto Conference of Japan Society for Industrial Technology Education, 66-67.
- [13] Yuku TAKAGI, Shota NISHIMURA, and Kenta MURAKAMI. (2016). "Ma'am, I'm going to turn off the power of the iron - After receiving the President's Award of the Society of Invention and Innovation Division," Journal of Japan Society for Industrial Technology Education, 58(2), 74.
- [14] Yuku TAKAGI, Mai ANBA, Tomohiro TAYAMA. (2017). I won't let you go any further from there! -Winning the Society President's Award for Invention and Ingenuity, Journal of Japan Society for Industrial Technology Education, 59(2), 84.
- [15] Tomohiro TAYAMA, Hiroki ARAI, Mai ANBA, Toshihiko TOKOI. (2018). No key is the key point, Journal of Japan Society for Industrial Technology Education, 60(2), 61.
- [16] Masahiro IIDA and Jia Liu. (2019). Did grandpa finish toileting - A voice call system to prevent elderly people from falling in the toilet -, Journal of Japan Society for Industrial Technology Education, 61(2), 72.
- [17] Shota ENDO, Daichi TAKAHASHI, Masahiro IIDA. (2020). "Fall Prevention System for Store Products Using Earthquake Early Warning", Journal of Japan Society for Industrial Technology and Education, 62(2), 84.
- [18] Natsuki HOSHINO, Yu SAITO, Kosuke SUGAYA. (2021). "Handrail sterilization robot," Journal of the Japanese Society for Industrial Technology Education, 63(2), 126.
- [19] Keiji SATO. (2020). Efficacy of robots as nosocomial outbreak countermeasures: Introduction of ultraviolet irradiation robots to supplement the accuracy of environmental disinfection in infection control and overview of their operation, Monthly New Medical Care, 47(1), 108-113.
- [20] Yu SAITO, Natsuki HOSHINO, Yuichi HASUDA. (2020). "Development of Handrail Disinfection Robot," Proceedings of the 32nd Annual Conference of the Japan Society for

Industrial Technology Education, Kanto Branch, 11-12.

- [21] Natsuki HOSHINO, Yuki ARAI and Yuichi HASUDA. (2018). Investigation of the Accuracy of the Sensors Used for Educational Robots and Effective Exemplification of the Use, Annual Conference on Engineering and Applied Science, 136-144.
- [22] Yukiko HATTORI, Daichi TAKAHASHI, Yuki ARAI and Yuichi HASUDA. (2019). Design and Production of the Robot for WRO International Competition, International Conference on Education, Economics, Psychology and Social Studies (ICEEPS2019), 209-217.
- [23] Masahiro IIDA, Keita HIRAYAMA, and Yuichi HASUDA. (2021). The voice call system to prevent falls of care

recipients in the toilet, The International Conference on Technology Education (ICTE2021), 114-122.

- [24] Keigo OZAKI, Syota ENDO, Keisuke HAMAZAKI, Mari MATSUBARA, and Yuichi HASUDA. (2021). The system to prevent falling products in stores linked with earthquake early warning, Proceedings of The International Conference on Technology Education (ICTE), 2-9.
- [25] Yuki ARAI, Karla Zaragora ZAMORA, Yuki TAKAGI, and Yuichi HASUDA. (2019). The Practice and Achievement of Creativity Education though Problem-Solving Classes, Annual Conference on Engineering and Applied Science 2018, 148-1.

The International Conference on Technology Education (ICTE) 事務局の承認を得て掲載

Proposal and effects of problem-solving lessons using autonomous robots

Nurul Ain Shalihah binti Ismail¹, Yuichi Hasuda¹, Muhammad Syahir bin Abdul Ramad¹

¹ Teikyo University, Japan

Abstract

Recently, the shortage of engineers also has been reported in all over the world. It is estimated that there will be a shortage of up to about 800,000 human resources for IT engineers in Japan by 2030. In addition, not only in IT but job market growth in the mechanical, robotics and electronics industries is also expected worldwide. In the United States, it is expected for much growth in STEM occupations, in engineering occupations and computer and information technology occupations by 2030. The robotics industry in China is also projected to grow, the importance of securing IT human resources becomes clearer. As one of the measures to cultivate IT talent among young people, particularly in Japan, each school type is required to develop qualities and abilities that form the basis of programming thinking through programming education. Therefore, in this research, we planned and implemented problem-solving lessons focusing on designing, manufacturing, and programming of assembly and disassembly type robots in the Department of Electronics and Information at the university. In class, students collaborate to create autonomous robots that enrich people's lives and use Scratch-based programming to move the robots. Through this class, students will acquire "abilities to take action", "analytical skills" and "teamwork skills", as well as gaining communication skills, presentation skills and group discussion experiences. From the results of the questionnaire conducted in class, it was observed that there were educational effects such as increasing students' interest in robots and fostering students' programming thinking through robot production.

Keywords: Autonomous robot, problem-solving lessons, programming education, skills improvement, educational effects

1. Introduction

The shortage of engineers also has been reported in European countries, such as the United States and the United Kingdom. In addition, not only in IT but job market growth in the mechanical, robotics and electronics industries is also expected worldwide. It is expected for about 10.5% growth in STEM occupations in the United States [1], with approximately 6% growth in engineering occupations [2] and 13% growth for computer and information technology occupations by 2030 [3]. The robotics industry in China is also projected to grow by an average of 20% by 2025, which is the demand for robotics engineers could be expected to grow in China [4].

From this, the importance of securing IT human resources becomes clearer [5].

It is estimated that there will be a shortage of up to about 800,000 human resources for IT engineers in Japan by 2030. As one of the measures to cultivate IT talent among young people, particularly in Japan, each school type is required to develop qualities and abilities that form the basis of programming thinking through programming education. Programming class has been a compulsory subject starting from 2020 for elementary school education, from 2021 for junior high school education, and from 2022 for high school education. Like language skill, information literacy is also positioned as "qualities and abilities

¹ Biennial International Design and Technology Teacher's Association Research Conference (DATTArc), 7-10 Dec.2022, collaboration with the International Conference on Technology Education (ICTE) – Asia Pacific, Technology Education New Zealand (TENZ), International Technology Engineering Education Association (ITEEA), and 2022 Venue Host, Southern Cross University, Gold Coast Campus, QLD.
itors: Adj. Prof. Kurt Seemann and Prof. P John Williams.

that form the basis of learning" [6]. Therefore, every school is required to develop the qualities and abilities that form the basis of programming thinking through programming education [7-10]

In this study, we planned and implemented problem-solving lessons focusing on designing, manufacturing, and programming of assembly and disassembly type robots in the Department of Electronics and Information at the university [11,12]. In class, students collaborate to create autonomous robots that enrich people's lives [13] and use Scratch-based programming to move the robots [14,15]. Through this class, students will acquire "abilities to take action", "analytical skills" and "teamwork skills", as well as gaining communication skills, presentation skills and group discussion experiences. From the results of the questionnaire conducted in class, it was observed that there were educational effects such as increasing students' interest in robots and fostering students' programming thinking through robot production.

2. Outline of the proposed class and implementation method

2.1 The main method of the proposed class

In the beginning of the class, students will be explained about robots that have been created and will be asked to examine the programming contents and watch the videos of the actual movements of the robot. The flow of the lessons is shown in Table 1.

Table 1: Flow of the lessons in Project Exercise subject

Lesson	group A	group B
1st	orientation	
2nd - 8th	programming	Robot design and production
9th - 15th	Robot design and production	programming

In the first lesson, 120 students were given an overall explanation about the class flow and were divided into group A and group B, where each group had 60 students. Group A will write program using Scratch and group B will build robots in the first half of the semester. In the second half of the semester, group A will build robot and group B will write programs using Scratch. In addition, every student will work in pair to develop communication skills through collaborative work. Using the provided lesson guide as a reference, each pair was asked to create a robot that will enrich people's lives (see Figure 1) [16,17].

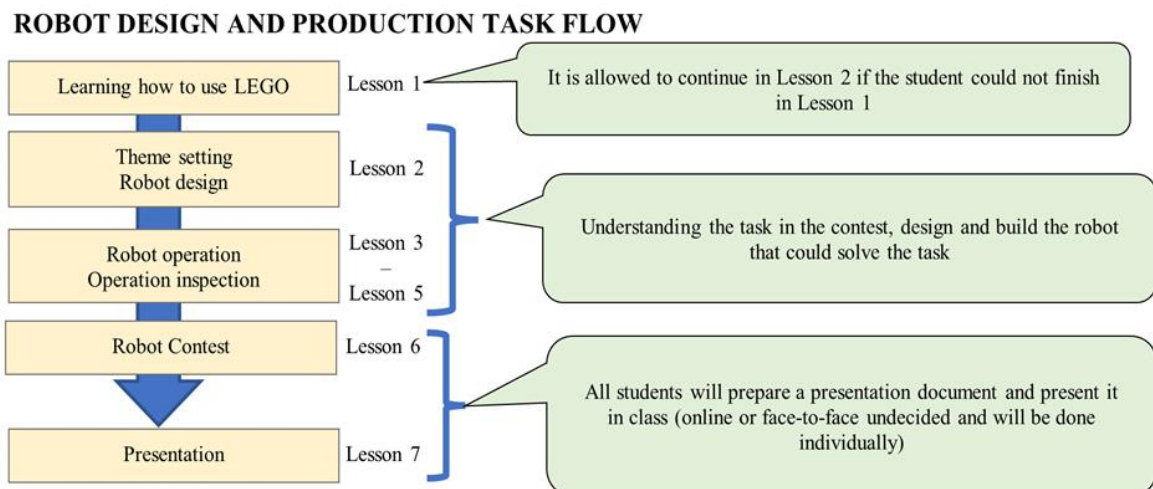


Figure 1: Flow of the lesson of robot design and production

In addition, a questionnaire was conducted before and after each lesson to observe the changes in students' interests in robot design and programming.

2.2 Created robot for class guidance

Students were explained about a smartphone tilting robot, a tabletop cleaning robot, and a robot that picks things in the gaps that were prepared for guidance in class in the first lesson. The smartphone tilting robot is a robot that allows users to comfortably watch animations and videos by tilting the smartphone to their liking when it is placed in a horizontal position (see Figure 2).

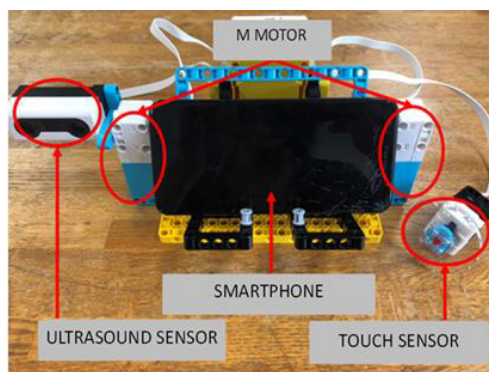


Figure 2: Smartphone tilting robot

The program is based on Scratch, as shown in Figure 3. By pressing the touch sensor, it will rotate by 7 degrees upward, and by holding your hand over the ultrasonic sensor, it will rotate by 5 degrees downward. Students will gain experiences regarding various sensors, loop functions and

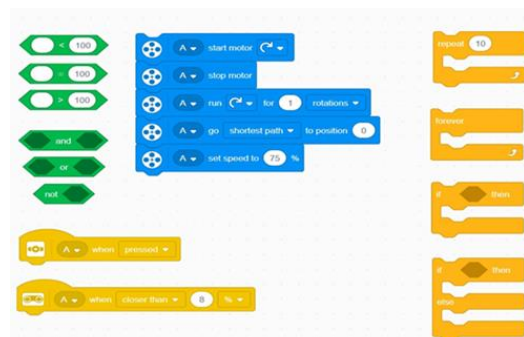


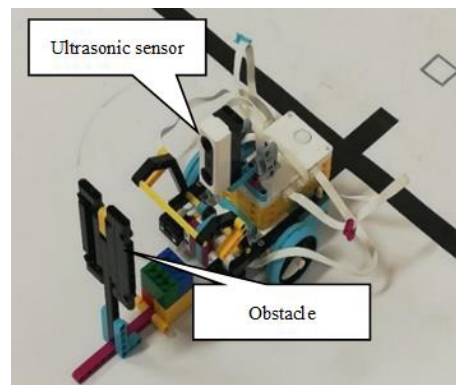
Figure 3: Example of SPIKE Prime programming

switches by observing this robot and experiencing programming [18].

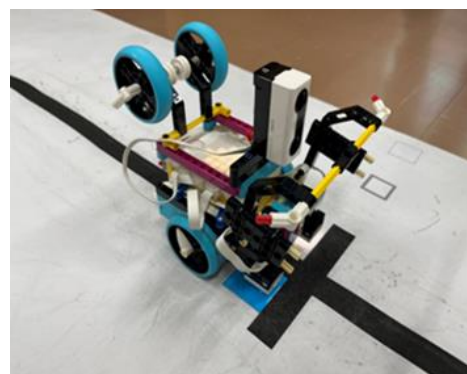
3. Educational practice through robot design

3.1 Design and manufacture of transport robot

After learning how to use and program various sensors, the students were asked to build a transport robot as shown in Figure 4. A line tracing robot contest will be held. The transport robot can control the drive motor with rotary encoders, detect obstacles with ultrasonic sensors, and perform two-point reading line tracing using light sensors



(a) Robot detecting obstacles by using ultrasonic sensors



(b) Robot running by line trace using light sensors

Figure 4: Example of created transport robot

As shown in Figure 5 and Figure 6, the first-year students who is taking the Project Exercise subject class, deepened their interest in robot design and programming

⁶ Biennial International Design and Technology Teacher's Association Research Conference (DATTArc), 7-10 Dec.2022, collaboration with the International Conference on Technology Education (ICTE) – Asia Pacific, Technology Education New Zealand (TENZ), International Technology Engineering Education Association (ITEEA), and 2022 Venue Host, Southern Cross University, Gold Coast Campus, QLD.
 Editors: Adj. Prof. Kurt Seemann and Prof. P John Williams.

while building line tracing robot. In addition, a line tracing robot contest was held in class, the score and time were evaluated, and the winning groups were awarded.

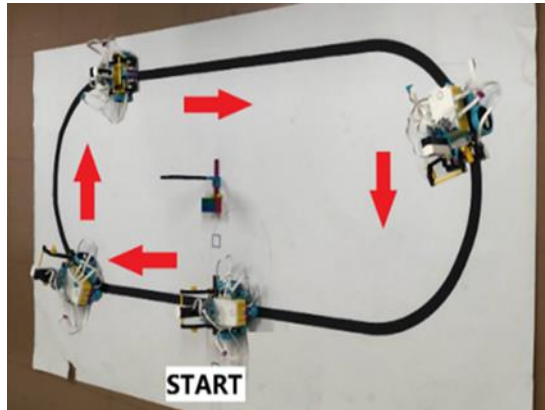


Figure 5: Line tracing robot contest

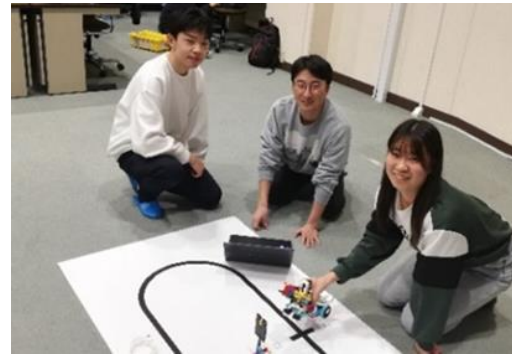


Figure 6: Picture of students enjoying the robot contest

3.2 Presentation and mutual evaluation among students

Students gave presentation in the class at the end of the semester. The presentation should include purpose, the outline of both program and built robot and the summary of the project. A good example of the presentations is as shown Figure 7.

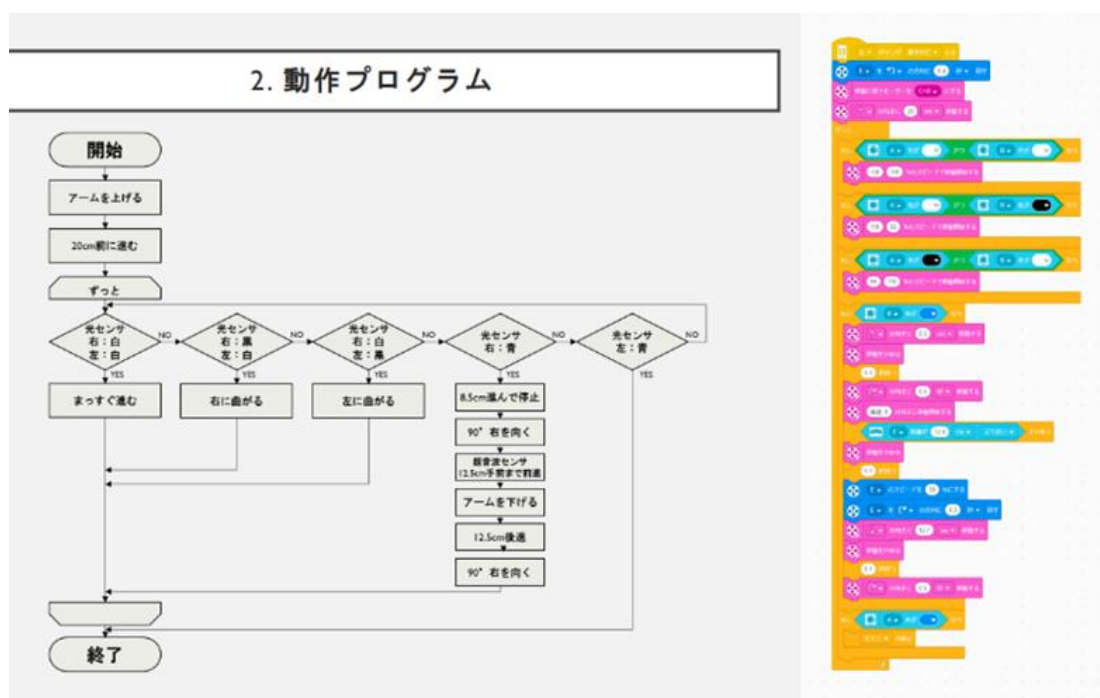


Figure 7: A good example of the presentations

3.3 Awards ceremony

An awards ceremony was held after the robot contest, and certificate of commendation were given to the students according to the result from evaluation. In

addition to the 1st to 3rd place winners, there were also design award, idea award, and department award. As shown in Figure 8, it was found that the award ceremony increased the student motivation.



Figure 8: Picture of awards ceremony for the winners

4. Results and considerations

4.1 Observation of educational effectiveness through questionnaire

Students' interests in robot design and programming were surveyed using the four-point scale method before and after each lesson, and the effectiveness of the educational program using assembly and disassembly type robots was evaluated. The list of questions in the questionnaire is as follows.

- Question 1: I have an interest in building robots
- Question 2: I understand about robots
- Question 3: Building robots is fun
- Question 4: I want to build more robots
- Question 5: I have an interest in programming
- Question 6: I understand about programming
- Question 7: Programming is fun
- Question 8: I want to do more programming

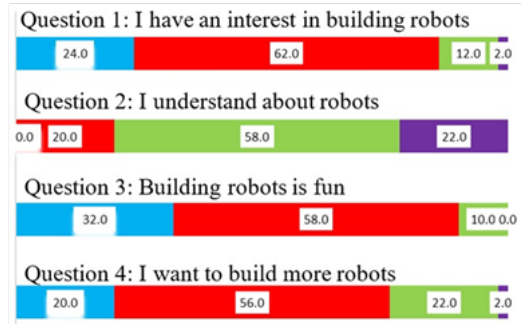
The result of the questionnaire is as shown in Figure 9.

From the four options, [Strongly agree] is quantified as 4 points, [Agree] as 3 points, [Disagree] as 2 points, and [Strongly disagree] as 1 point. From the questionnaire, the number of students who chose [Strongly agree] in all questions related to robots showed a significant increase, especially for question 2, which is [I understand about robots] increased from 0% to 16.8%, and the number of students who chose [Agree] also increased significantly from 20% to 41.7%.

The number of students who found it is fun to build robots in question 3 also increased significantly from 32% in the first lesson to

56.3% in the final lesson. This effect can be seen from the change of the mean value shown in Table 2, with question 1 shows a significant increase from 1.98 to 2.71 and question 3 shows an increase from 3.22 to 3.46.

(a) Questionnaire results at the beginning of the class



(b) Questionnaire results at the end of the class

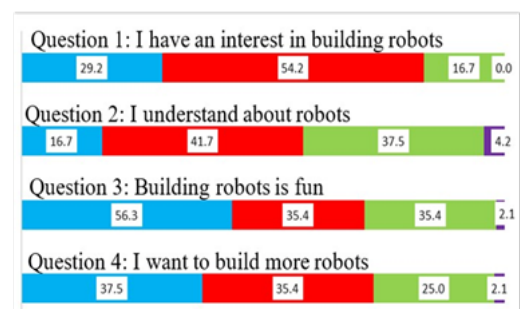


Figure 9: Example of questionnaire results conducted before and after a lesson

Table 2: Average value of student questionnaires

Question	Mean value of group B in before class (50 respondents)	Mean value of group B in after class (48 respondents)
Question 1: I have an interest in building robots	3.08	3.13
Question 2: I understand about robots	1.98	2.71
Question 3: Building robots is fun	3.22	3.46
Question 4: I want to build more robots	2.94	3.08
Question 5: I have an interest in programming	3.62	3.46
Question 6: I understand about programming	2.44	2.73
Question 7: Programming is fun	3.3	3.31
Question 8: I want to do more programming	3.42	3.4

On the contrary, from the results of the questionnaire related to programming, the mean value for the question 6 showed an increase from 2.44 to 2.73. However, there was no significant change could be seen in other questions.

4.2 Free description

The following are some of the answers given by the students in the free description box in the questionnaire. There were many opinions with almost the same content as; I have become more interested in programming. Even if I failed, I tried many times, and when I succeeded, I felt rewarding. Most of the answers given have shown good results from robot production and programming.

- It deepened my interest in programming. Even if I failed, I did not give up and tried many times, and when I succeeded, I felt rewarding.
- I was deeply moved when I finished building the robot because the robot did not work well, and I had failed many times during the production.
- Of course, it is important to make improvement by repeating trial and error process, but I think it is also important look back on the program and improve it.
- I felt a great sense of accomplishment since I created the program from scratch by myself.
- It was a lot of fun to make better things by repeating trial and error process in robot production.

5. Discussion

We planned and designed problem-solving lessons focusing on the design, production, and programming of assembly and disassembly type robots, conducted a survey about students' interests in robots and programming through questionnaire, and inspected the effects of educational programs using assembly and disassembly type robots.

In all questions related to robots, an increase of the number of students who chose [Strongly agree] can be seen, and in particular, [Question 2: I understand about robots] was increased from 0% to 16.7% and a significant increase could be seen for the number of students who chose [Agree] which is from 20% to 41.7%. From this, the effect of robot production experience in increasing students' confidence with their understanding of robots can be seen. Furthermore, the number of students who chose [Agree] for the [Question 3: Building robots is fun] increased significantly in the final lecture compared to the first lecture, which is from 32% to 56.3%. These effects can be seen from the changes in the mean values shown in Table 2, with a significant increase from 1.98 to 2.71 for question 1 and from 3.22 to 3.46 for question 3.

There were some difficulties for students who are learning robots for the first time but the fun and excitement of collaborating and communicating with each other through the process of building robots can be felt. There are also impressions in the free description such as the enjoyment could be felt when the robot moved even the process of building robots was difficult, and it is thought that the problem-solving lessons using the autonomous robot proposed in this research is effective. In addition, it is thought that giving certificate of commendation to the students at the awards ceremony according to the results of the robot competition held in the class has increased student motivation.

As a countermeasure against the shortage of human resources in the IT industry, which is demanded around the world, several plans have been considered such as improving the working conditions of engineers and importing engineers from foreign countries, but training engineers in each country to develop high-level IT engineers is very important. Therefore, high expectations for educational institutions such as universities are increasing, and there

is an urgent need to build an education system to meet those expectations. I think one of the major causes of the shortage of engineers is that educational institutions could not keep up with the rapid changes in the IT industry. As technologies around the world develop rapidly, educational institutions such as universities need to adopt new technologies quickly.

It may be possible to alleviate the shortage of engineers by firmly educating unskilled engineers at educational institutions such as universities as a strategy against the shortage of human resources in the IT industry [19]. It is thought that producing great quality engineers is possible if the university provides appropriate education with systematic knowledge. In addition, it is expected that students will be able to respond to requests and issues from clients by using the knowledges, skills, and communication skills acquired at the university when they become members of society.

It was found that the problem-solving lessons proposed in this study which is centered on robot design, production, and programming not only enable students to acquire the “abilities to take action”, analytical skills and teamwork skills, but also another educational effects such as communication skills, presentation skills and group discussions experiences.

6. Conclusion

In this study, we designed a programming education plan for first year university students and implemented practical approaches in problem-solving lessons using assembly and disassembly type robots. The main conclusion of this study are as follows:

1) We conducted a questionnaire about students' interests in robot design and programming before and after each lesson and observed the impact of an educational

program using assembly and disassembly type robots.

- 2) We built robots for class guidance and conducted practical lessons including methods of using sensors, motors, and programming.
- 3) The number of students who chose [Strongly agree] and [Agree] in all questions related to robots in the questionnaire increased.
- 4) The number of good answers for [I understand about programming] has increased but there was no significant change in other questions related to programming in the questionnaire.
- 5) It was found that the problem-solving lessons proposed in this study help students to acquire various educational effects such as “abilities to take action”, analytical skills, teamwork skills, communication skills, presentation skills and group discussions experiences.

References

- [1] U.S. BUREAU OF LABOR STATISTICS[BLS]. (2022). Employment in STEM occupations. <https://www.bls.gov/emp/tables/stem-employment.htm#2>
- [2] U.S. BUREAU OF LABOR STATISTICS[BLS]. (2022). Architecture and Engineering Occupations. <https://www.bls.gov/ooh/architecture-and-engineering/home.htm>
- [3] U.S. BUREAU OF LABOR STATISTICS[BLS]. (2022). Computer and Information Technology Occupations. <https://www.bls.gov/ooh/computer-and-information-technology/home.htm>
- [4] THE STATE COUNCIL THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA. (2021). China to see breakthroughs in robotics by 2025. http://english.www.gov.cn/statecouncil/ministries/202112/28/content_WS61cafaa4c6d09c94e48a2d59.html
- [5] Mizuho Information & Research Institute, Ltd., FY2018 Infrastructure Development for Data-Driven Society in Japan-Survey on IT Human Resources Supply and Demand-, (2019), p1,
- [6] Lograming Education, Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouho/u/detail/1416328.htm, (viewed June 30, 2021)

- [7] Mori et al., Practice of elementary school programming class using Scratch: Reconsideration of programming education for elementary school students, (2011), Journal of the Japan Society for Educational Technology 34 (4), 387-394
- [8] JYoshitomi et al., Mechatronics education using Lego Mindstorms as teaching materials and its educational effects (2003), Bulletin of Tsuyama National College of Technology 44 (16), 101-107
- [9] Mori et al., Design and practice of elementary school information lessons using Scratch, Proceedings of the 25th National Convention of the Japan Society for Educational Technology, (2009), 671-672
- [10] Takuro Ozaki et al., Examination of introductory teaching materials for programming education in primary education, (2018), Journal of the Information and Communication Society 13 (2)
- [11] Kumiko TAKAI, Masayuki ARAI, Yuichi HASUDA, Kozo MIZUTANI, Shigeru Sasaki, and HIROYOSHI Watanabe. (2018). Design and Class Practice of "Project Exercise" in First Year PBL Course, The 43rd National Convention of The Society for Information and Systems in Education, 2018, pp.419-420.
- [12] Chihiro TAYAMA, Yuki ARAI, Kouki KAWATA, Keigo OZAKI and Yuichi HASUDA, The Practice and Achievement of Creativity Education through Problem-Solving Classes, Annual Conference on Engineering and Applied Science 2018, pp.148-152
- [13] Minami TAMAKAKE, Keita HIRAYAMA, Yuki ARAI, and Yuichi HASUDA, Design and Production of the Robot for National Skills in Japan and Participation in the Competition, International Conference on Education, Economics, Psychology and Social Studies (ICEEPS2019) , 93-200.
- [14] Kenji Miyamoto et al. (2018), Practice and verification of programming lessons using Scratch in elementary school, PP.19-28
- [15] Tomoki Indei (2018), Practice of Programming Education Aiming to Foster Programming Thinking in Elementary School, PP.577-580
- [16] Yuku TAKAGI, Shota NISHIMURA, and Kenta MURAKAMI. (2016). "Ma'am, I'm going to turn off the power of the iron - After receiving the President's Award of the Society of Invention and Innovation Division," Journal of Japan Society for Industrial Technology Education, 58(2), 74.
- [17] Yuku TAKAGI, Mai ANBA, Tomohiro TAYAMA. (2017). I won't let you go any further from there! -Winning the Society President's Award for Invention and Ingenuity, Journal of Japan Society for Industrial Technology Education, 59(2), 84
- [18] SPIKE Prime | STEAM teaching materials for elementary, junior high and high schools | LEGO® Education
<https://education.lego.com/ja-jp/products/-spike-/45678#spike%E3%83%97%E3%83%A9%E3%82%A4%E3%83%A0>
- [19] Cao Jin, Takatsukasa Kondo, Tatsuo Suzuki (2008), A Comparison between East Asia Countries and Global Professional Training in IT Companies, (2008), Journal of the Japan Society for Management Diagnosis 8 (0), 221-226

The International Conference on Technology Education
(ICTE) 事務局の承認を得て掲載

編集後記

自動車技術センターは、2020年4月に新体制で発足し今年で4年目を迎えました。発足時から早期の発刊を目指してきた年報を所属の先生方のご協力と多くの学協会様のご了解を得てようやく刊行することが出来ました。ご協力ありがとうございました。

読者の方々にはこの年報を通じてセンターの活動に興味を持っていただき、センターの目的である社会貢献と情報発信、及び人材育成にご指導とご協力いただければ幸いです。

年報につきましては更に読者の皆様にとって有益な雑誌へと発展させられるように改善していきたいと考えていますので、ご一読後に感想等をいただきたくよろしくお願いします。

(加藤 彰)

教員・スタッフ

センター長	加藤 彰	教授（理工学部 機械・精密システム工学科）
	井上 秀明	教授（理工学部 機械・精密システム工学科）
	黒沢 良夫	教授（理工学部 機械・精密システム工学科）
	蓮田 裕一	教授（理工学部 情報電子工学科）
	米田 洋	教授（理工学部 航空宇宙工学科）
	牧田 匡史	准教授（理工学部 機械・精密システム工学科）
	福田 直紀	助教（理工学部 機械・精密システム工学科）
	小柳出 敏弘	助手（理工学部 機械・精密システム工学科）
	白沢 洋一	助手（理工学部 機械・精密システム工学科）
	簾内 将景	技術職員

帝京大学 自動車技術センター年報 第1巻

2023年12月25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>
