

〔研究ノート〕

機電融合プロジェクト「電気自動車（カート）製作」進捗報告 — 第三報（3年度活動内容） —

飯川 晋作*, 米良 弘樹*, 伊藤 海*, 山崎 壱織*, 渡邊 良太*,
清水 良*, 高木 怜*, 田中 佑典*, 若林 大輔*

*日本文理大学工学部機械電気工学科

Progress Report on Mechanical and Electrical Fusion Project “Electric Vehicle (Cart) Production” — Third Report (Activities in the Third Year) —

Shinsaku IIKAWA*, Kouki MERA*, Kai ITO*, Iori YAMASAKI*, Ryota WATANABE*,
Ryo SHIMIZU*, Rei TAKAKI*, Yusuke TANAKA*, Daisuke WAKABAYASHI*

*Department of Mechanical and Electrical Engineering, School of Engineering,
Nippon Bunri University

1. はじめに

2020年4月より世界的に感染拡大した新型コロナウイルス感染症 COVID-19により、大学ではオンラインによる講義が行われた一方で、対面による活動は行えない状況が続いた。そのような状況が1年続いた中、機械電気工学科において2021年度より学科内プロジェクトとして「電気自動車（カート）製作プロジェクト」を発足させた。講義外の時間を使用し、電気自動車製作を一つの目標とし、講義で得られた知識を実際の物を使用して更に深め実践する。何より学生間及び学生と教員が共に活動する場の提供が当時としては重要な状況であったと考える。

2021年度の活動初年度は、1年生から3年生の有志学生7名と教職員2名の計9名で活動を開始した。市販の電気自動車（一号機と呼称）の組立、構造理解及び寸法計測、3DCADによる設計、モータ・インバータの組立、走行試験等を行い、またグループ内での意思疎通により学生の知識・技能・コミュニケーション力を養い、活動の定着化を図った。この間に、学生による資金獲得

プレゼンテーション（NBU ものづくりコンテストチャレンジ2021、2021年7月1日、日本文理大学内）やオープンキャンパス等のイベントに参加し、技術力だけでなく外部へ発信する力も身に付けようとする学生の態度も見られた。

2022年度は、新1年生及び教員の参加もあり計13名で活動を行った。一号機の知見から同様な車体（二号機）を設計し、学内の設備（切断機や旋盤、ボール盤、溶接等）を用いて学生らの手で二号機を製作した。



図1. 参加メンバー（2023年5月12日撮影）

これまでの活動は学科ブログ (<https://mechanical-electrical.nbu.ac.jp/>) や日本文理大学紀要⁽¹⁻²⁾で公開しており、学内のFD研修会(教育・研究改革推進事業)でも報告した。

本プロジェクトの立ち上げから3年目にあたる2023年度では、4年生2名、3年生2名、2年生3名、1年生2名、教員4名の計13名で活動を行っている。図1は1～3年生の参加メンバーを示す。初年度は教員主導で活動を行ってきたが、2年度より少しずつ学生が自ら考えて実施する活動に移行させてきた。活動3年度では、完全に学生主導で行っている。学生間のコミュニケーションや活動運営が上手いいかないこともあるだろうが、その壁を乗り越え、活動メンバー間で建設的且つ息の長い活動にしてもらいたい意図がある。

参加メンバーも増え、それぞれが行いたい内容も明確化してきたことから、大きく2つのグループに分かれて活動することにした。そのため週に1度は全員集合のミーティングを行い、それぞれの活動進捗を報告する機会を設けた。グループは、機械加工を主とした電動キックボード製作グループ、電気制御を主としたCQEVミニカート・レース大会出場グループである。

本研究ノートでは、本プロジェクト3年目の活動を記し報告する。

2. 電動キックボードの製作

図2は昨年度に製作した二号機の試走風景を示す。初年度で組み立てた一号機(CQEVミニカート)を基に、学生自ら学内にある工作機械を駆使し、素材の加工から製作したものである。強度計算も行いながらフレームやハンドル等はほぼ全ての車体部分を自作している。予め技術習得のための練習を行ってはいるが、実践となると技術や経験、知識不足等により製作が思うように進まないことが多かった。比較的車体が大きくなったことにより作業工程が多くなったことも要因となった。そのような中でも、試走を繰り返すことで不具合の発見や調整を経て、車体は完成した。

2年目の反省も含め、3年目では構造が比較的簡単な電動キックボードの製作を目標とし機械設計の知識・技術の向上を図ることとした。本章では、電動キックボードの設計及び現状での作成モデルの簡易的な解析について報告する。図3は電動キックボード製作グループの議論している様子を示す。



図2. 二号機の試走(2023年2月21日撮影)

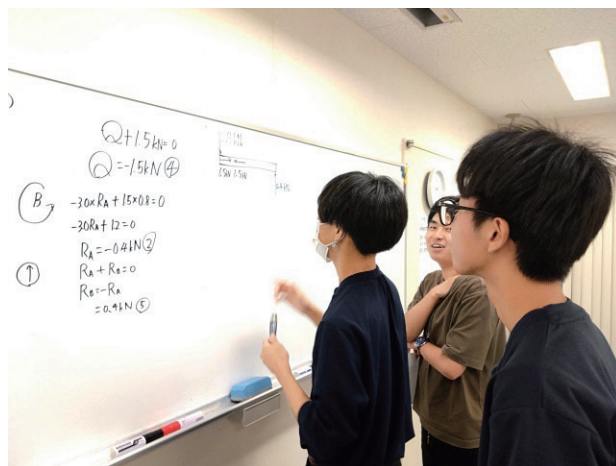


図3. 電動キックボード班の活動の様子

2-1 電動キックボードの設計

図4に電動キックボード設計図を示す。足場(実際に乗る場所)からハンドルまでの高さを1096mmとした。この長さはメンバーの身長から操作しやすい適切な高さ

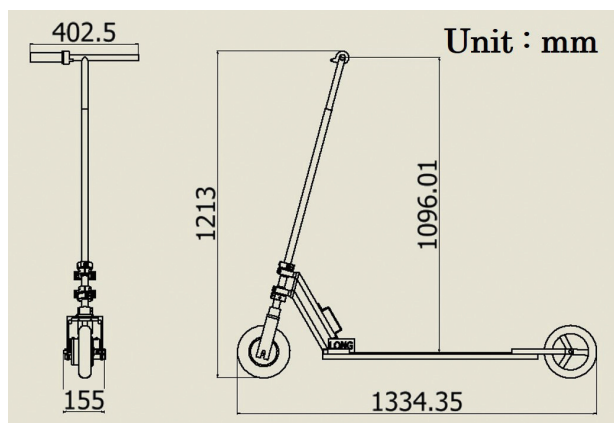


図4. 電動キックボード設計図

として選定した。バッテリーやコントローラはスプロケットやモータの配線を考慮し、足場の前に設けている。実際の作製時にはバッテリー、コントローラはベルト等で固定する。

2-2 作成したモデルの解析結果

本解析では構造解析コードとして Inventor2024を用いた。解析では、前後輪をピン拘束し、人が乗る場所に1000Nの荷重を負荷した。これは、体重100kgの乗員を想定している。部品の材料はABSプラスチック及び鋳鉄に設定した。これは、鋳鉄は金属の中ではもろく衝撃に弱い材料であるため、鋳鉄での解析で十分な安全率が確保できれば、実際に製造するとき材料の選定の幅を広げることができるからである。図5にミーゼス応力 σ_{eq} の分布を示す。図5に示すように、後輪接続部（鋳鉄）に大きいミーゼス応力が生じていることがわかる。最大ミーゼス応力は約471MPaであった。鋳鉄の引張強さ σ_B は $\sigma_B=883\text{MPa}$ であり、安全率 $S_F=\sigma_{eq}/\sigma_B$ は最小で $S_F=1.61$ であった。本解析で対象とした電動キックボードでは、低速での走行及び路面の凹凸が小さい舗装路での走行を想定している。そのため、大きな衝撃が車体に加わらないことを仮定し、 $S_F>2.0$ を満たせば、通常走行では問題ないと考えられる。現時点では、その目標を達成しておらず、特に後輪接続部の設計の見直しが必要であると考えられる。

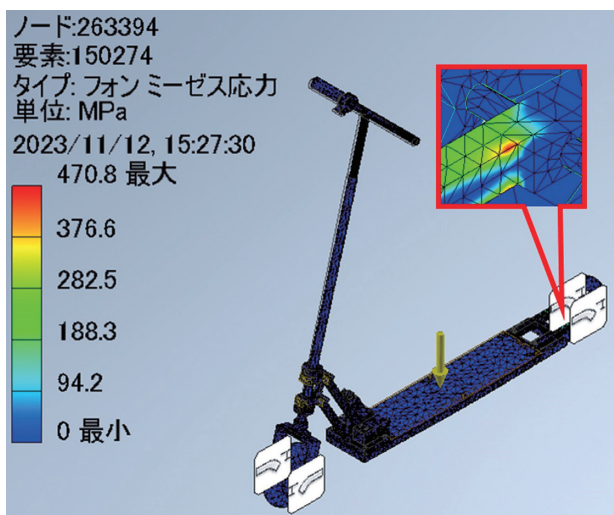


図5. 作成モデルの解析結果

2-3 まとめと今後の展望

電動キックボードの作製にあたり、設計及び応力解析を行った。設計においては、ハンドルの高さに注目し適切な高さを選定した。構造解析から、後輪接続部に大き

いミーゼス応力が発生し、安全率が1.61であった。今後は、まず2-2において設定した、 $S_F>2.0$ を満たすため、後輪接続部の改善を進める。また、セットカラーなどの部品接続部に生じる応力については、その部分におけるメッシュを正確に生成する必要があるため、現時点では厳密な解析が行えていない。そこで、セットカラー等に注目した解析も今後行う必要がある。

3. CQEV ミニカート・レース大会に向けて

もう一方のグループでは、日本電気自動車レース協会（JEVRA）（運営：CQ 出版社）が主催する CQEV ミニカート・レース大会への出場を目指す。CQEV ミニカート・レースは2014年から始まり、2023年は筑波サーキット「コース2000」で開催された⁽³⁾。EV時代を見越し、レースはモータ制御の技術に焦点を当て、モータ駆動回路とマイコンによるモータ制御技術を競うことを目的とし、実際のレースでは「ほぼ同性能の鉛電池または、リチウムイオン電池で30分走行し、周回数を競う」。初年度に組み立てた一号機である CQ 出版社の CQEV ミニカートを使用することができる。しかし、何も実績がなく大分からの出場を考えると旅費の面で出場が困難であった。そのような中、2023年2月に大分県日田市にあるオートポリスレイクサイドコースにてEVミニカート・レース九州大会が開催された⁽⁴⁾。福岡工業大学等計9チームが出場しており、この大会であれば出場可能であり、尚且つ九州内の大学との技術交流を行える機会となることから、この九州大会への出場を目標とした。本グループはモータの巻線に着目し、以下の検討を行った。

CQEV ミニカート・レース九州大会に出場するにあたって、運転速度の向上が必須であった。なぜなら、今年度の CQEV ミニカート・レース筑波大会での優勝者の平均時速が36km/hで走行していたのに対し、現状私たちは乗車した際の最高時速が約18km/hで、2倍ほど速度に差があるからである。ここで、モータ回転数の向上に着目した。モータの回転数はコイルの巻数を減らすことでコイルの抵抗（インピーダンス）を減らし、回転数の向上が可能である⁽⁵⁾。そのため、巻線の巻数を減らし検討を行った。本章では、巻数を減らした際の「巻線の電気的特性」、「磁場分布」、「速度変化」及び「温度変化」について報告する。図6はCQEV ミニカート・レース大会出場グループの実験を行っている様子を示す。



図6. 大会出場班の活動の様子

3-1 モータの巻線の電気的特性について

モータに使用するステータコアは板厚0.5mmの電磁鋼板を使用しており、外径は直径94.7mm、内径33mmである。巻き線は $\phi 1$ mmの銅線を使用し、3直2並で巻いた。巻数はそれぞれ20巻（図7（a））、14巻（図7（b））とした。なお、以後20巻の鉄心を“コア1”、14巻の鉄心を“コア2”と記述する。コイルの特性についてはLCRメータ（HIOKI IM3523）を用いて測定を行った。

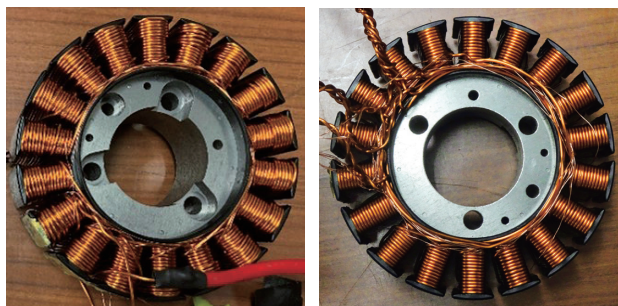
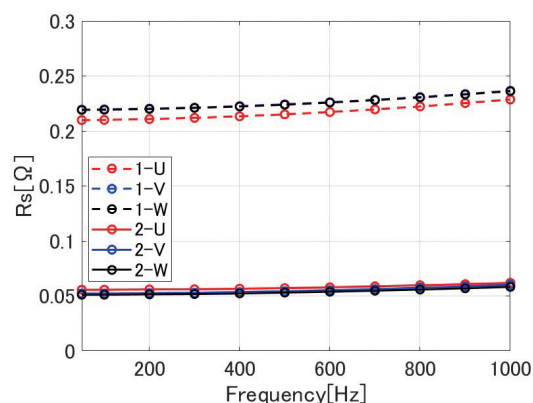
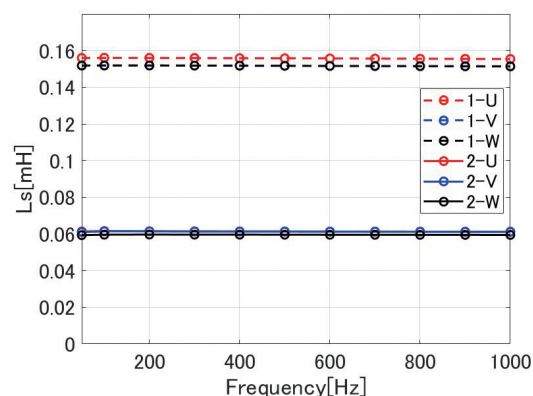
(a) コア1 ($N=20$) (b) コア2 ($N=14$)

図7. コイルを巻いた鉄心

図8にコイルの抵抗 ($R_s[\Omega]$)、図9にインダクタンス ($L_s[H]$) を示す。U, V, W 相、それぞれ周波数に対する特性 (R_s 及び L_s) の変化は同様で大きな違いはない。しかし、コア2の R_s と L_s はそれぞれ、コア1と比較して24.9%, 39.7%程度低くなった。この結果より、コア2は巻数を減らしたことによりコイルの抵抗及びインダクタンスの減少を確認した。

図8. モータコイルの R_s 比較図9. モータコイルの L_s 比較

3-2 磁場分布測定結果

次にステータ部の磁極で生じる磁場の大きさを評価する。磁場分布測定にはテスラメータ（東陽テクニカ5180型）を使用した。図10にコア2の磁場分布測定結果を示す。U相, V相, W相それぞれに直流12V, 1A励磁

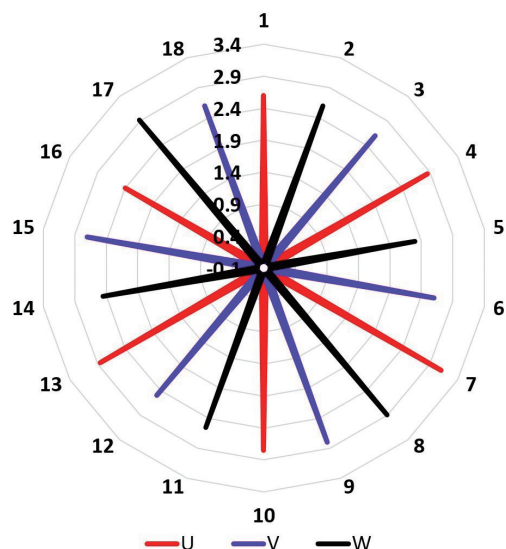


図10. コア2の磁場分布測定結果 ([mT])

した場合、各スロットの平均磁場は2.65mT 程度であった。また、分布図から各ティース部に生じる磁場の大きさはほぼ等しい値であることが分かった。コア2の鉄心について安定した回転が可能になるために必要な各ティース部の磁場が均等に生じることを確認した。

3-3 時間に対する速度変化

図11に40分間無負荷回転した際の速度変化を示す。CQEV ミニカート・レース大会は時間が30分間の走行になる。そのため、実際に30分間駆動可能かを判断するため、余裕を持ち40分間駆動させた。結果より40分間での速度変化は殆どなく一定であった。この際バッテリーの電圧は約2V 程度しか下がっていないことを確認した。ここで、50km/h 回転時には振動が大きくなり運転することは危険であると考えたため、最大でも40km/h での走行試験が現実的である。いずれにしても速度が一定且つ連続で30分間問題なく駆動することが確認できた。

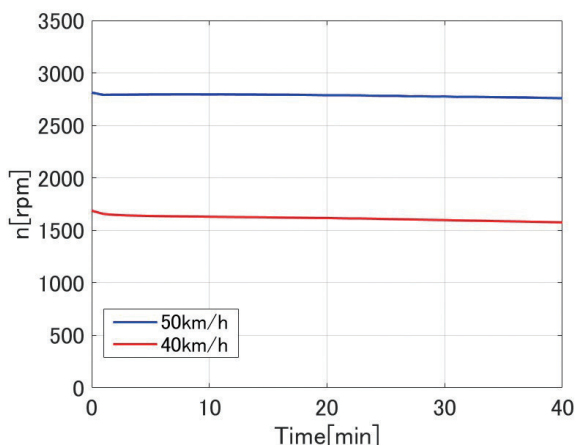


図11. 時間に対する速度変化（無負荷時）

3-4 時間に対する温度変化

図12にモータの無負荷試験状態でのモータ周辺部の熱画像を示す。最大90℃ 近くの発熱を計測し、その発生箇所はコイル部である。図13は前節と同様の条件下のコイルの温度変化を示す。前節でも記述したように50km/h では振動が大きいが、温度変化をみると最大で90℃ 程度でありコイルが焼損することがない範囲であることを確認した。同様に、40km/h で回転させた場合の最大温度は約78℃ であるため焼損することはなく安全であることが確認できた。実際の走行では外気温やモータ周りの空気の流れもあるため、実験結果よりも温度が低くなると考える。

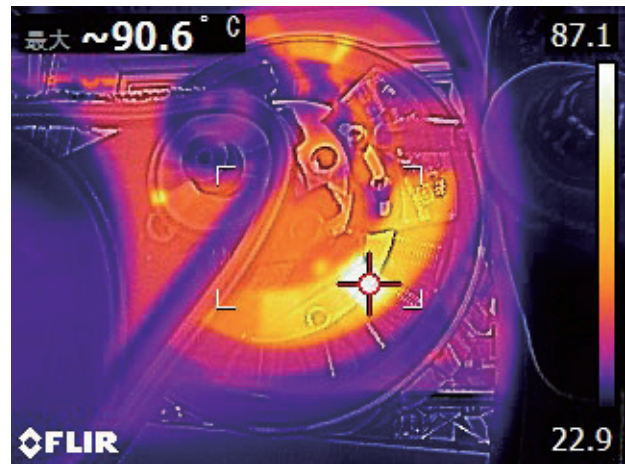


図12. モータの無負荷試験状態の熱画像（無負荷時）

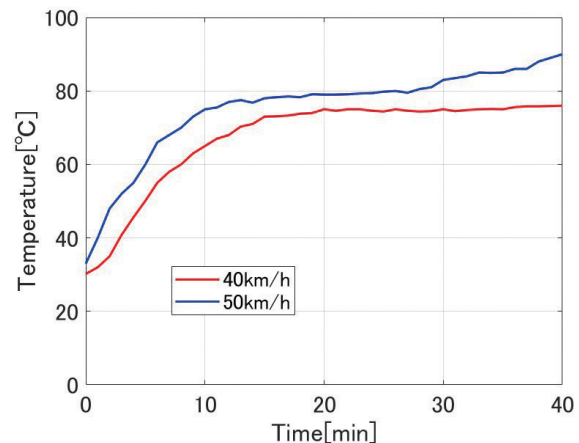


図13. 時間に対する温度変化（無負荷時）

3-5 まとめと今後の展望

CQEV ミニカート・レース九州大会に出場するにあたり、運転速度の向上が必須であり、モータの回転数の向上に着目した。コイルの巻数を20巻から14巻に減らし、その際の巻線の電気的特性及び磁場分布、速度変化、温度変化を確認した。

電気的特性及び磁場分布では、周波数に対する特性の変化はなく、等磁場分布であることが確認できた。また、速度変化及び温度変化では回転速度を向上させることができ、40分間走行を行っても速度は変化せず、コイルの安全性は温度測定により確認できた。今後の展望としては、現状、スロットルを最大に捻ると約70km/h で回転し危険であるので、インバータ基盤の理解及びこれを制御しているマイコンのプログラムの理解を深め、速度調整を図る。また、負荷がかかった状態での速度、温度変化も調査する。

4. おわりに

三年目を終えようとしている本プロジェクトにおいて、初年度から参加してくれた1年生が今やプロジェクトリーダーとしてグループをまとめている。活動の中でしか得られない事柄に加え、活動を行う責任感、物事をやり遂げる力を身に付けようと、また更なる技術向上を目指し行動する学生が現れ始めている。

図14は2023年6月28日に行われた日本文理大学 NBU ものづくりコンテストチャレンジの審査会の様子である。CQEV ミニカート・レース九州大会に出場するにあたり、カートの整備や性能向上等のための消耗品や参加費等が必要となるが、必要経費を学生自らがプレゼンテーションを行い、見事に希望額に近い支援を獲得した。



図14. NBU ものづくりコンテスト2023審査会の様子
(2023年6月28日撮影)

次号では、それぞれのグループの成果（電動キックボード班は製作したキックボードの試走や改良等、大会出場班は2024年2月15日に開催予定の2024年 CQEV ミニカート・レース九州大会出場）を報告する予定である。

謝辞

本プロジェクトに参加し推進してくれた機械電気工学科の田村優汰君、豊東侑樹君、井上一翔君、平木大士君に感謝の意を表します。

また本プロジェクトの一部は令和5年度日本文理大学「教育・研究改革推進事業（教育研究改革予算）」の支援により実施された。

また本プロジェクトの一部はNBU ものづくりコンテストチャレンジ2023の支援により実施された。

参考文献

- (1) 若林大輔, 田中佑典, 機電融合プロジェクト「電気自動車（カート）製作」進捗報告～第一報（初年度活動内容）～, 日本文理大学紀要, Vol. 50, No. 1, pp. 53-59, 2022
- (2) 飯川晋作, 田村優汰, 原田恒迪, 豊東侑樹他, 機電融合プロジェクト「電気自動車（カート）製作」進捗報告～第二報（2年度活動内容）～, 日本文理大学紀要, Vol. 51, No. 1, pp. 63-71, 2023
- (3) CQEV ミニカート・レース大会, URL: <https://it.cqpub.co.jp/tse/202310EV/>, 最終閲覧日: 2023年11月14日
- (4) 2023CQEV ミニカート・レース九州大会結果報告, URL: <https://interface.cqpub.co.jp/202302cqev/>, 最終閲覧日: 2023年11月14日
- (5) 内山英和, EV時代のブラシレス・モータ研究－第10回モータの特性を引き出す2…コイルの巻き数や巻線の径を変えてみる－, Interface, 2022年6月号, URL: https://interface.cqpub.co.jp/wp-content/uploads/if2206_156.pdf

(2023年11月14日受理)