

和歌山大学学生自主創造支援部門（クリエ） クリエプロジェクト

<2025 年度ミッション成果報告書>

プロジェクト名：和歌山大学ソーラーカープロジェクト

ミッション名：シャシダイナモメータを用いた最適エネルギーマネジメント手法の開発

ミッションメンバー：システム工学部 3 年小林寛弥，システム工学部 3 年田中碧，経済学部 2 年前園彩心
経済学部 3 年津本明奈，システム工学部 3 年中村翔太，システム工学部 2 年小泉悠真，システム工学部 2 年板
東大司，システム工学部 2 年山下恭聖，システム工学部 2 年渡邊慶介，社会インフォマティクス学環 1 年港雪
乃 他 8 名

キーワード：シャシダイナモメータ モデル予測制御 効率マップ 最適エネルギーマネジメント

1. 背景と目的

長距離を走行する BWSC では、将来の天候や道路勾配といった走行条件を見通した上で、限られたエネルギーをどのように配分するかを計画することが重要である。この課題に対して、モデル予測制御（MPC）は有効な手法の一つである。MPC は、車両の挙動を表す内部モデルを用いて将来の状態を予測し、その結果に基づいてエネルギー消費が最小となるよう制御入力を逐次決定する手法である。しかし、MPC を適切に機能させるためには、車両の挙動を正確に再現できる内部モデルが必要である一方、実際の試走によるデータ取得では、風などの外乱や条件変動の影響が大きく、安定したデータを取得することが困難である。また、多数の試走には時間やコスト、トラブルのリスクも伴う。そこで本ミッションでは、試走に依存せず、条件変動を抑えた環境で走行状態を再現できるシャシダイナモメータを製作する。これにより、MPC に必要な内部モデル用データを安定して取得し、エネルギーマネジメントの高度化を目指す。さらに、同一条件での繰り返し試験を可能にすることで、理想的な運転操作の検討や耐久走行試験、大会環境の再現にもつなげることを目的とした。

2. 活動内容

2.1 フレーム製作

ホイールベースやトレッドが異なる Nova および YATA の 2 車種に対応するため、筐体は可変構造として設計した。また、ソーラーカーのアクセルを急峻に全開にする最大負荷時にも筐体が歪曲しないよう強度解析を実施し、十分な強度を有することを確認した上で製作を行った。前輪固定具にはラーメン構造を追加して剛性を向上させた。さらに、後輪が接地するローラーについては、金属円柱を基礎とし、外周に 3D プリンタ製ローラーを嵌合して固定する構成とした。また、タイヤの過度な横すべりを防止するため、ローラー外周には両側へ向けて高さが増える曲面形状を設けた。最後に、計測用モータの固定具を含めて全体を組み立てることで、複数車種に対応可能なシャシダイナモメータの筐体を製作した。

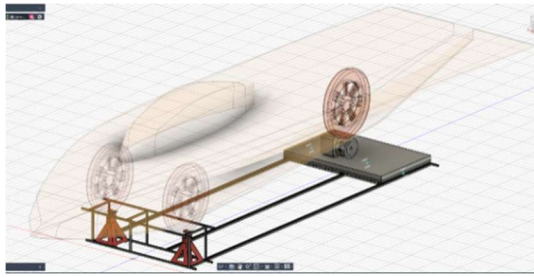


図 1：設計した筐体図

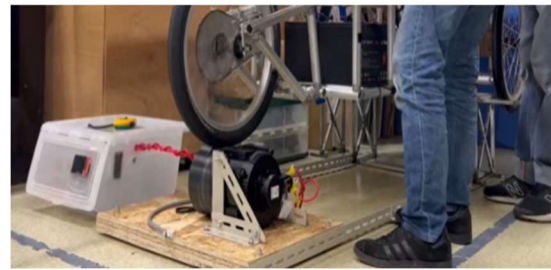


図 2：完成した筐体

2.2 回路作成

ダイナモには安川電機製 2.9kW 級 PMSM モータを用いた。この発電電力を適切に測定することでソーラーカーの機械出力を正確に測定できる。そのため、三相分の電流センサおよびエンコーダ信号を処理し、発電電力を推定するセンサ回路を作成した。回路には LPF, 基準電源 IC, コンパレータ, $\Sigma \Delta$ DAC などを組み込み、測定信号を高精度に処理できるよう設計した。また、実路面負荷を可変に再現するため、ニクロム線による並列負荷と、これを任意に選択可能にする MOSFET 回路を製作した。具体的には、並列接続するニクロム線の組合せを切り替えることで合成抵抗値を変化させ、ダイナモ駆動に要求するトルクを変化させる機構とした。さらに、信号出力およびセンサ信号の受信を行う ESP32 周辺回路や、三相電力を直流として負荷に入力するための整流回路も構成した。発電電力を熱として処理する負荷系では、大電力を安定して消費し、かつ冷却と絶縁を両立する必要があるため、負荷抵抗にはニクロム線を用い、シリコンオイルによる油浸方式を採用した。

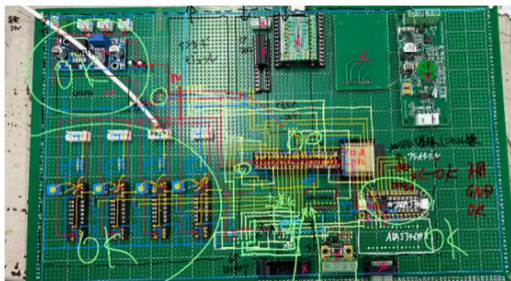


図 3：設計時のセンサ回路図

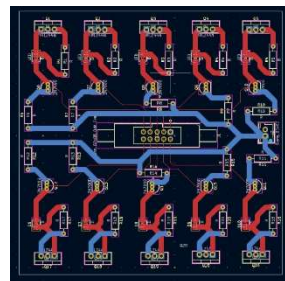


図 4：設計した MOSFET 基板 (左)



図 5：制作途中時の MOSFET 基板 (右)

2.3 プログラム作成

まず、複数本のニクロム線抵抗の各種抵抗値を適切に決定するための設計支援プログラムを作成した。ニクロム線は、線径により許容電流が決まり、これに応じて各枝が受電可能な電力量も決定される。一定速度で巡航する条件では発電電圧が概ね一定となるため、トルク分解能を高めるには、各負荷段のジューメンズが可能な限り等間隔に変化するよう設計する必要がある。この考え方に基づいて抵抗値群を決定し、その負荷構成が十分な路面再現性を有するか確認するシミュレーション (図 6) も実施した。次に、測定系から得られるノイズを含む信号を適切に処理するため、カルマンフィルタを用いた信号処理プログラムを C 言語で作成した。三相電流の合成実効

値とゼロクロス検出による回転周波数から角速度とトルクを算出し、機械入力パワーを推定する構成とした。また、ESP32 側では Wi-Fi によるデータ送信・記録と負荷制御を行うプログラムを作成し、実路面再現モードおよび定常負荷再現モードを選択可能とした。PC 側では、受信データをリアルタイム表示する GUI (図 7) を C#で作成した。

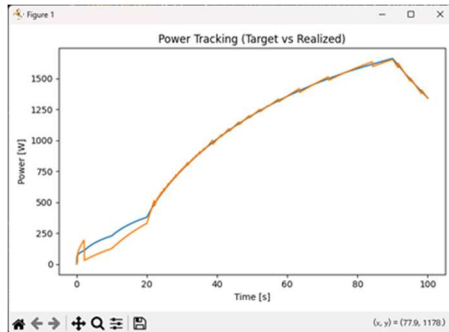


図 6：抵抗制御シミュレーション図
(青線：理論要求負荷，橙色線：実現負荷)



図 7：デモ動作時の GUI 図

2.4 MPC の制作

本ミッションでは、シャシダイナモメータで取得する実測特性を内部モデルとして用いる階層型 MPC (図 8) を構築した。ソーラーカーの駆動系は非線形性が強く、理論式のみでの定式化が困難であるため、モータ、モータコントローラ、バッテリー、ソーラーパネルの特性を効率マップとして扱う構成とした。また、予測制御には車体特性だけでなく、天候予報情報や走行路データも必要であるため、これらを統合して扱う制御器とした。上位層では走行路データと天候予報を用いて速度計画を最適化し、下位層では物理制約を考慮しながら実行可能な速度指令をリアルタイムで生成する。制御器は Python で実装し、ROS2 上で駆動する構成とした。これは、本制御器が車体各部の多様な通信方式のセンサ情報に加え、外部の気象情報も統合的に扱う必要があるためである。

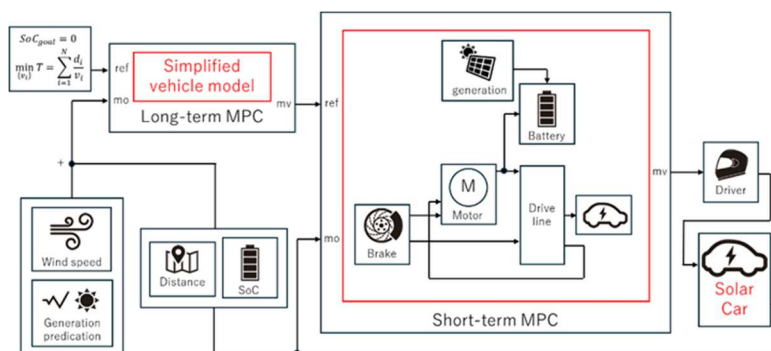


図 8：作成した制御器の概要ブロック図

本制御器の ROS パッケージは以下^[1]より参照可能である。

[1] https://github.com/Hiroya20040928/solar_ws0129

3. 活動の成果や学んだこと

本ミッションでは、屋外試走に依存することなく、条件変動の少ない室内環境で走行状態を再現できるシャシダイナモメータを設計・製作した。筐体は複数車種に対応可能な汎用性を備え、強度解析によって安全性も確認した。測定系については、三相電流計測、負荷制御、信号処理、GUI表示までを一体として構築し、ダイナモ内部損失の測定および簡易な効率マップ取得を進めることができた。

また、ミニソーラーカーを用いた確認では、モータ・モータコントローラ系の一部効率点を取得することができ、今後の本格的な特性マップ取得に向けた基礎を整備した。これにより、従来は実路試走に長時間を要していたデータ取得を、より安定した条件下で効率的に進められる見通しを得た。さらに、MPCについても、実測マップと外部情報を統合して速度計画を生成する基盤を構築し、上位層 MPC の試運転により、制約条件を満たしながら適当なペース配分で走行計画を生成できることを確認した。

4. 今後の展開

4.1 実車 (YATA) 整備後の本検証

今後は YATA の整備を完了させ、シャシダイナモメータ上で以下を実施する計画である。

- ・モータ、コントローラ、バッテリー、パネルの効率マップを測定により再作成する
- ・得られたマップの妥当性を複数負荷条件で検証する
- ・上位層 MPC の出力が SOC 制約や走行可能時間制約を満たすかを定量的に評価する

4.2 シャシダイナモメータの改良

現在のシャシダイナモメータは、動作確認を継続している段階であり、安定運用に向けた改良が必要である。今後は軽微な不具合を修正し、確実に運用可能な機構として整備を進める。また、現状では回生走行の再現ができないため、これに対応するモータコントローラの製作を計画している。さらに、後輪のみが可動である現機構では実走行時の挙動再現に限界があるため、全輪を可動とするベルトドライブ型機構への改良も検討している。

5. まとめ

本ミッションでは、シャシダイナモメータの設計・製作を通じて、ソーラーカーの性能を再現性高く評価できる基盤を構築した。あわせて、実測マップと気象・路線情報を統合する階層型 MPC を作成し、最適エネルギーマネジメント手法の実用化に向けた基盤を整備した。今後は、実車整備後の本格検証を通じて高精度な特性マップを取得し、制御器の有効性を定量的に確認するとともに、シャシダイナモメータ自体の改良も進める予定である。

最後に、予算や安全面で支えてくださったクリエの皆様、技術指導をしてくださった指導教員の雪谷先生、似内先生、先輩方や OB の皆様に心より深く感謝を申し上げる。