

2022 Ene-1 GP 参加報告



小 熊 龍
Ryu OGUMA



村 井 隼 人
Hayato MURAI

先端理工学部機械工学・ロボティクス課程 3年
3rd-year student, Mechanical Engineering and Robotics Course

1. はじめに

本記事は2022年7月に開催された電気自動車の大会「2022 Ene-1 SUZUKA Challenge」(以下鈴鹿大会)と、10月に開催された「2022 Ene-1 MOTEGI GP」(以下もてぎ大会)の「KV-40 Div-NEXT」カテゴリに参加した結果と、もてぎ大会参戦マシン製作過程について報告するものである。

これまで龍谷大学は4年生の卒業研究か、サークル活動としてEne-1 GPに参加してきた。一方、今回は有志の3年生でチームを作り、2022年度から先端理工学部3年2Q～夏季休暇(6月中旬～9月上旬)に設定された「R-Gap」期間に活動を行った。なお、有志の3年生チームがEne-1 GPに参戦するのは龍谷大学で初めてである。

2. Ene-1 GP について

Ene-1 GPとは充電式単3電池eneloop 40本を動

力源とする自作電気自動車のレース大会で、2011年に鈴鹿サーキットで初開催され、翌年以後モビリティリゾートもてぎ(旧ツインリンクもてぎ)でも行われ、年2回開催されている。

中でも、今回参戦した「KV-40 Div-NEXT」カテゴリはマシン重量35kg以上という制限があるため、マシン重量によるアドバンテージのないカテゴリとなっている。

3. 鈴鹿大会までの活動

2022年2月に小熊が「Ryukoku Racing」を立ち上げ、鈴鹿大会に向けて活動を開始した。2か月ほどメンバー集めに苦しんだが、春になると機械工学・ロボティクス課程以外の課程に属する学生や2年生が続々と活動に参加し、最終的にチームメンバーは27人となった。

鈴鹿大会は昨年度龍谷大学が参戦したマシンで参加し、その経験を新マシンに反映させてもてぎ大会

に臨むことにし、活動を進めた。鈴鹿大会に向けての活動は、昨年度参戦マシンの構造理解や劣化した部品、電装部品の新規作成・交換、カウルの再製作が主となった。

そして7月31日に開催された鈴鹿大会は、昨年大会で破損し性能が落ちたモータの修理を依頼し、納期の都合で一部部品を株式会社ミツバに貸与して頂くことで参戦できた。

結果は1周目 36'42.993, 2周目 1000 m 進んだ上り坂で停止, 3周目 19'13.317の記録を残し, 総合72位/96台(クラス内6位/6台)という結果となった。鈴鹿大会後の様子を図3-1に示す。



図3-1 鈴鹿大会後の様子

図3-1には鈴鹿大会参戦マシンと、当日サーキットに来ることができたメンバーが写っている。

さて、鈴鹿大会2周目で停止した原因は、出走前にタイヤ交換をした際、ブレーキシューにタイヤが接触し、シュー取り付けボルトが緩み、走行中の振動でシューがタイヤに接触し続けたことである。これにより走行抵抗が大きくなって電池を消耗し、トルク不足の結果停止した。

この経験から、もてぎ大会に臨む新マシンでは、ブレーキ装置の改良を設計上の重要項目とした。

そしてもてぎ大会開催日(10月8日)前にR-Gap期間が終了し、メンバーが就職活動等をはじめることから、もてぎ大会まで活動を継続するメンバーはいずれも機械工学・ロボティクス課程3年の小熊龍・村井隼人・長谷川航大・小川路正・鈴木翔太・

神谷悠の6人となった。

鈴鹿大会後、もてぎ大会に向けて活動を始めようとした矢先に小熊が病に倒れたことから、もてぎ大会用マシンの設計は村井が担当した。

4. もてぎ大会参戦マシン製作過程

4.1 マシン設計

鈴鹿参戦マシンは、元々ソーラーカーのフレームから過剰な補強部材を切除したものであり、長年の使用に伴い歪みが生じていた。さらに、リアタイヤを取り付けるスペースが狭く、ダイレクトドライブのモータを搭載すると、タイヤがマシンの中心からオフセットという問題を抱えていた。これらの問題を解消すべく、Ene-1 GP用の新規マシンが必要であった。

マシンフレームの材質は、剛性面から鈴鹿参戦マシンと同じアルミ溶接のフレームを想定していたが、加工の難しさから断念し、他チームで採用されているベニヤ合板であれば、容易に加工でき、安価に済むことからこれを採用した。

設計に先立ち、インターネットで他チームの木製のマシンを検索したり、Ene-1 GP上位チーム「404 ecorun」のフレーム構造を参考にしたりした。その後、新マシン後部のラフスケッチを行い、大まかな構造を決定した。そののちドライバーの体の大きさから各部寸法を決定、CADで形状を確認のうえ、各部品品の図面を製作する流れで作業を進めた。ベニヤ合板等の主な製作材料は新マシンの構想と並行して7月中に発注し、鈴鹿大会直後から製作に取り掛かれるように準備した。

さて、マシンの設計は3D CADで行った。もてぎ大会に向けたマシン設計で力を入れた点は、鈴ブレイキ装置(ブレーキの取り付け位置)だけでなく、コーナーリング中の横方向の力に耐える足回り、走行抵抗の原因となるねじれに対して強い構造になるようにしたことである。設計段階での完成予想図を図4-1-1に示す。

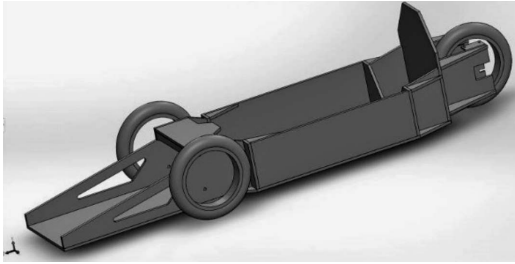


図 4-1-1 マシンイメージ図

図 4-1-1 に示したマシンの主な材料は、軽量で反りにくい 12 mm 厚のラワンランバーコアである。強度が必要な足回りとの接合点は雌ねじが切っている金属製のフランジ付きの金具をエポキシ接着剤でマシンに接着し、金具を介して荷重がフレームに働くようにした。

このマシンにおいてフレームがねじれると側面板が前後に動く運動となり、走行抵抗になり得るため、板が直角に接続する部分においては三角形の板を接着し、前後の運動の方向と木目方向を合わせ、変形を抑えるように配慮した。

さて、鈴鹿大会から重要課題としたブレーキ装置であるが、鈴鹿参戦マシンには、強くブレーキをかけると、シューがリムに噛んで戻らなくなる現象や、ブレーキステーをマシン側に取り付ける穴とボルトの間に隙間があり、ブレーキの位置がずれるといった構造的欠陥があった。鈴鹿参戦マシンのブレーキを図 4-1-2 に示す。

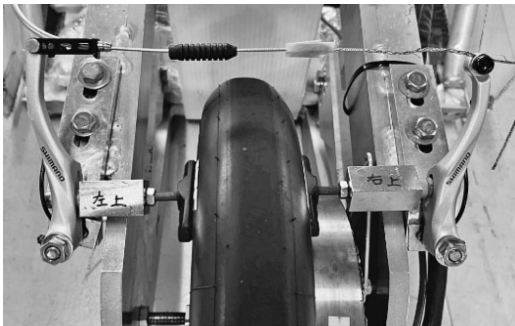


図 4-1-2 鈴鹿参戦マシンのブレーキ

新マシンではブレーキ本体を可能な限りリムに近づけるために、ブレーキを取り付けるステーの最適

な取り付け位置を模索した。使用するモータがダイレクトドライブであるため、ブレーキを取り付ける位置に制限がある。あまり上過ぎるとシューがタイヤに接触し、反対に下過ぎるとブレーキワイヤーがタイヤに接触してしまい、モータとブレーキ取り付けボルトの頭が接触する。さらに、車軸からの距離が近すぎるとブレーキワイヤーがタイヤに接触し、離れすぎるとブレーキシューの端が取り付けボルトを超え、ブレーキを解除してもリムにシューが接触する。このため、段ボールで試作品を製作して形状を確認したり、モータとのクリアランスを確保するために薄頭ボルトを使用したりするなどの工夫を凝らした。

そして、鈴鹿大会後に設計したアルミ合金製のブレーキステーとナックルアーム、モーター一体型リアタイヤの軸を取り付ける部品を製作するため、本大学の工作室に加工を依頼した。その際の図面の一部を図 4-1-3 に示す。

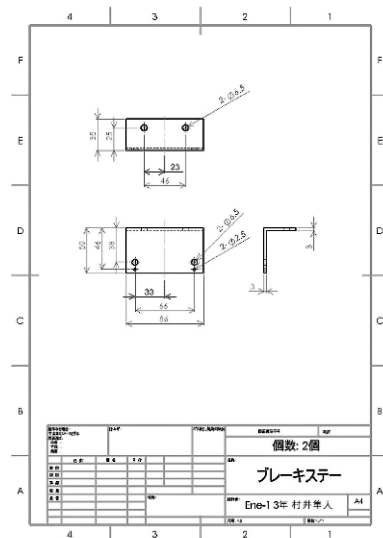


図 4-1-3 アルミ製部品の図面

図 4-1-3 はアルミで製作を依頼したブレーキステーの図面である。

4.2 マシンフレーム製作

マシンの製作作業は村井と長谷川が行った。ま

ず、素材のベニヤ合板2枚に新マシンのケガキを行った。三角定規や長いアルミ板を物差しとして用い、板の端が板同士の接合部分になるように配置した。この時、木目方向も考慮した。ケガキ後、学生が自由に活動できるスペースである「STEAM コモンズ」にて部品の切り出しを行った。その様子を図4-2-1に示す。



図 4-2-1 部品を切り出している様子

図4-2-2のように、作業テーブルにクランプで合板とガイド用のアルミ板を固定し、ガイドに沿ってジグソーで切断した。

切り出した部材をテープで止めて仮組し、STEAM コモンズで保管した。仮組後、マシンの基盤となる背あての部分から組み立てを開始した。その様子を図4-2-2に示す。

組み立ては電動ドリルで2ミリの下穴をあけ、接着面に2液性のエポキシ接着剤を塗布し、接着後にねじ長さのフレキ付きコーススレッドで部品同士を締め付けて固定した。ねじ頭が板に埋まる際、板の表面が割れずに埋まることを期待しフレキ付きを選択した。

マシンの組み立てに際して、3Dプリンターを用いて穴あけ用治具を製作した。製作した治具を図4-2-3に示す。



図 4-2-2 組み立ての様子

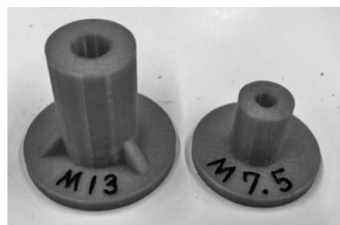


図 4-2-3 3D プリンター製穴あけ用治具

図4-2-3の治具は、一部の部品に金属製の金具を取り付けるための穴を開ける必要があったため、板に対して垂直に穴を開けるために使用した。

9月初めに木製フレームが完成した。完成したフレームを図4-2-4に示す。

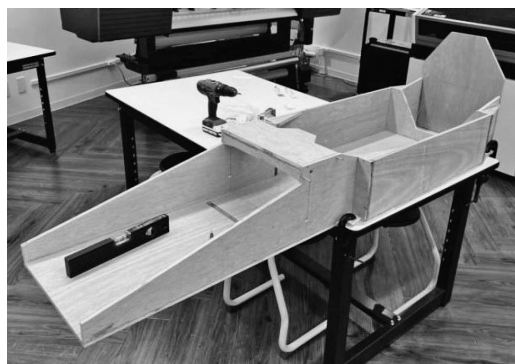


図 4-2-4 マシンフレーム

接着剤が硬化後、接着不良や反りを確認し、ステ

アリングを仮で設置し、乗車姿勢を確認した。その後フレームを工作室に移動させ、ニス塗る下準備としてやすり掛けをして、保護のためにニスを塗った。

新マシンの乗車姿勢イメージを図 4-2-5 に示す。



図 4-2-5 横から見た乗車姿勢

図 4-2-5 のように、ドライバーはマシンに寝そべるように乗車し、首だけ上げて運転する姿勢になる。

4.3 ブレーキとカウルの装着

検討を重ねたもてぎ大会参戦マシンのブレーキを図 4-3-1 に、に使用した薄頭ボルトを図 4-3-2 に示す。



図 4-3-1 もてぎ参戦マシンのブレーキ

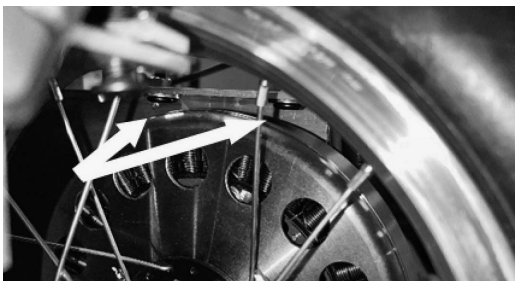


図 4-3-2 薄頭ボルト (矢印部)

次に、ブレーキステアについても断面を L 字型にすることで取り付け位置がずれないようにした。もてぎ参戦マシンのブレーキステアを図 4-3-3 に示す。



図 4-3-3 もてぎ参戦マシンのブレーキステア

新マシン後部は、リアタイヤがマシンの中央に配置でき、車軸の固定用ナットのかかり代が確保できる幅を決定した。そして、脱着が容易にできるよう後部は完全に開放し、車軸を後ろから差し込む形状とした。この形状は 2 つのマシンでほぼ同じである。鈴鹿参戦マシンともてぎ参戦マシンの後輪取り付け部を図 4-3-4、図 4-3-5 に示す。

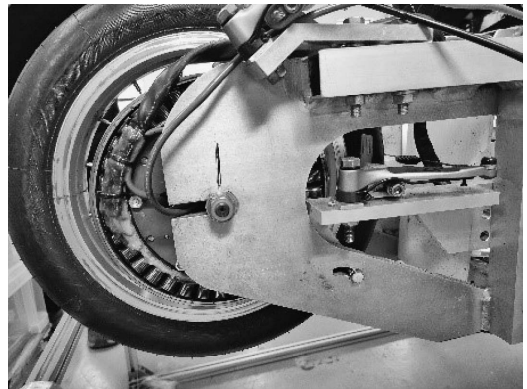


図 4-3-4 鈴鹿参戦マシンの後輪取り付け部

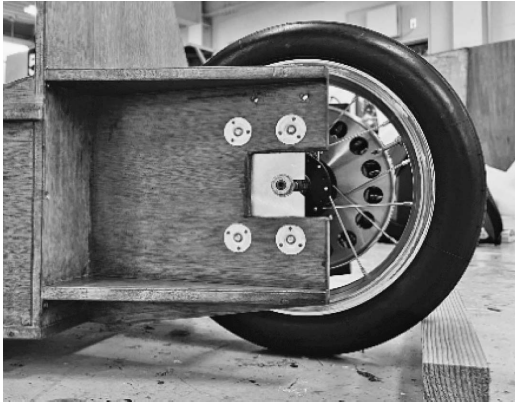


図 4-3-5 もてぎ参戦マシンの後輪取り付け部

補強の同形状の三角板を4か所に配置したが、ブレーキが付く部分にはブレーキをかけた際に大きな力がかかる為、角となる部分でこの力を受けたいと考え、上部の三角板をブレーキステーの位置まで背あてから伸ばした。図 4-3-6 に補強の三角板を示す。

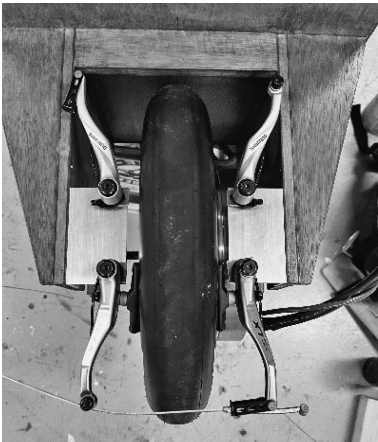


図 4-3-6 上から見た三角板

図 4-3-6 において、ブレーキステーをフレームの角に取り付けることで、ブレーキをかけた際のフレームの変形を抑える狙いがある。下部の三角板については、後輪の車軸を中心として上下対象となる位置に設置した。

次に計測によるバッテリー搭載スペース、ホイールベース、底面の部品の長さ、トレッド、前輪間の

補強の幅とハンドル高さ、背あて高さ、マシンのフレームの横幅の決定に必要な、ドライバーのヘルメット装着時の運転姿勢における、後頭部から肩までの距離、後頭部から重心までの距離、後頭部から足先までの距離、腰の幅、地面から太もも上端までの距離、地面から頭頂部までの距離、肩幅を計測した。前輪間の補強を図 4-3-7 に示す。

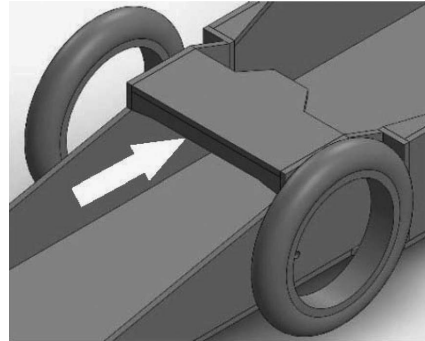


図 4-3-7 前輪間の補強（矢印部）

図 4-3-7 における前輪間の補強はコーナーリング時にフロントタイヤから横方向の荷重を受ける為特に破損しやすい部分であり、補強が必須であった。そして、マシンに実際に乗り込んだ際の視界を図 4-3-8 に示す。



図 4-3-8 ハンドルの高さで前方視界

図 4-3-8 において前輪間の補強直下に太ももが位置するが、それぞれが干渉しないスペースを確保しつつ、ハンドルの取り付け位置を低くして前方視界

を増やすよう考慮した。

マシンのホイールアライメントについては、トー角、キャンバー角は 0° とし、キャスト角は高速域での直進安定性向上を狙い、もてぎ参戦マシンは 2° に設定した。

ステアリングには、コーナーリングの抵抗を最小限に抑えることができるアッカーマン・ジャント方式を採用し、ナックルアームを再設計した。

そして車輪とモータを取り付けた様子を図4-3-9に示す。



図 4-3-9 車輪とモータを取り付けた様子

図4-3-9で確認できる前輪アップライト、ハンドルは鈴鹿参戦マシンから流用したものである。



図 4-3-10 ブレーキマスターを装着した様子

図4-3-10で確認できるブレーキマスターは、図4-1-3に示した図面を基に作られたものである。他に製作したアルミ製部品は、ブレーキの取り付けと、

後輪と直結したモータ（ダイレクトドライブ）を取り付けるために使用した。

ブレーキを取り付け、効きを確認するために試乗し、リムとシューのあたり面を調節した。ここでモータ軸が昨年のレースでの接触により曲がっているのを発見し、販売元の株式会社ミツバに修理を依頼した。

ブレーキを借り取り付けした際にガタがあったので、3D プリントした雌ねじ付きスペーサを取り付けた。本来ブレーキはM8のボルト、ナットで固定されていたが、モータとのクリアランスを確保するために使用した薄頭ボルトが、外径がM8となるキャップ形状の特殊ナットと組み合わせるためにM6であったためである。製作したスペーサを図4-3-11に示す。



図 4-3-11 雌ねじ付きスペーサ

修理が完了したモータのコネクタが丸端子となっていたため、モータ、モータドライバ間の三端子雄コネクタを購入し、既存の雌コネクタと接続できるか確認を行った。

9月25日からマシンカウルの製作を始めた。十分な製作時間が確保できなかったため、ドライバーが乗り降りの際の開閉構造を製作する必要が無く、視界の確保が確実であるとしてドライバーが乗り込む部分以外をカウルで覆う形状とした。

まず、カウルの部品をプラスチック段ボールから切り出し、マシンに仮止めし形状を確認した。

その後、アンダーカウルは損傷した際に交換でき

るよう両面テープで取り付けた。この際、作業の妨げにならないようフロントとリアのカウルはマシンに固定しなかった。大会パンフレット用写真撮影のためにタイヤカバーを含めたすべてのカウルを取り付け、完成イメージとした。マシンの完成イメージを図4-3-12に示す。



図 4-3-12 完成イメージ

図4-3-13のように、マシンにはドライバーを覆うカウルはないため、緊急時の脱出が迅速にできる。また、マシンのデザインはホンダ RA 272 をイメージして日の丸を描くこととした。

9月末、大会事務局に提出する写真撮影のために用意したリアカウルとタイヤカバーを改めて作り直し、配線を仮で取り付け、運転の感覚を確かめるために試走した。アクセル用のスライドボリュームやワットメーターの取り付けは3Dプリンターで製造したステーを用いた。

10月に入り、フロント、リアカウル、タイヤカバーは3DプリントしたL字ステーにマジックテープを貼り付け、着脱できるようにしてマシンに取り付けた。これをもってカウル製作の作業の大部分が完了した。

続いて、木製のフレームが地面と接触して傷がつかないように、アンダーガードとして下部に鉄板をエポキシ接着剤で取り付けた。アンダーガードを取り付けた様子を図4-3-13に示す。

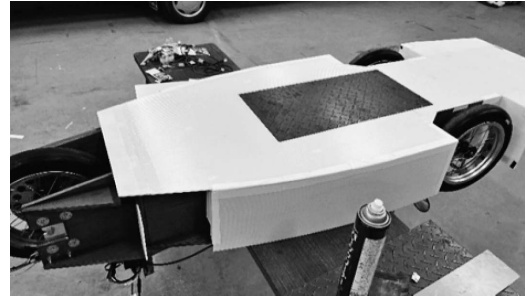


図 4-3-13 アンダーガードを取り付けた様子

図4-3-13において、アンダーガードを取り付ける位置は、3つの車輪に均等に荷重がかかるよう、ホイールベースの前方から1/3の位置と鉄板の重心が一致する場所とした。

そして、大会での走行データを記録するロガーに接続する配線の製作を行い、マシンにステッカーを貼って完成させた。完成したのは大会2日前であり、土日を含めたここ2週間程は村井が一人残り深夜まで作業した。完成したマシンを図4-3-14に示す。



図 4-3-14 ステッカーが貼り終わったマシン

図4-3-14のように、マシンにはRA 272をイメージしてフロントカウル部に日の丸と青字でドライバーの名前を入れた。また、側面には協力・応援いただいた企業や団体のロゴを入れ、多くの人の協力のおかげでマシンができていることを表現した。そしてマシン下部には龍谷大学イメージカラーの龍谷レッドと、モータ修理で協力いただいた株式会社ミツバのロゴをイメージした青のラインを入れ、マシンの印象を引き締めつつ、決勝をドライブする小熊のヘルメットのトリコロールカラーと対応させ、統一感のあるデザインとした。

5. もてぎ大会

5.1 大会の様子

もてぎ大会の様子を図 5-1-1 から図 5-1-4 に示す。図 5-1-1 は予選、図 5-1-2 は決勝レース、図 5-1-3 は大会後の様子である。なお、KV-40 Div-NEXT カテゴリには 20 台が参加し、19 台が出走した。



図 5-1-1 予選走行時の様子

予選は電池を温存して走行したため、19 位となった。このため、決勝は 19 番グリッドからのスタートとなった。



図 5-1-2 もてぎ決勝レースの様子

決勝レースは 19 番グリッドから 13 台抜いて 6 位でゴールした。



図 5-1-3 もてぎ大会後の様子

図 5-1-3 は決勝レース後に撮影したものである。

5.2 もてぎ大会結果

予選は 5'24.796 で 19 位となり 2 ポイント獲得、決勝レースは 16 周を 48'32.710 で走り切り、ベストラップは 11 周目の 2'38.913、決勝 6 位となり 15 ポイント獲得、合計 17 ポイントで Div-NEXT 総合 13 位となった。なお、大学生クラス (Div-NEXT b クラス) においては 4 位であった。

5.3 もてぎ大会で得られたデータ

マシンに搭載した計器によれば、もてぎ大会決勝レースでの積算電流値は 1.639 Ah であった。

もてぎ大会決勝レースで得られたデータを図 5-3-1 から図 5-3-5 に示す。なお、各図における時間は、レース前にマシンの電源を入れてからの経過時間になっており、レース開始は電源を入れてから約 3 分 (およそ 200 秒) 後である。

まず、マシンに搭載した GPS で記録された位置データを図示した走行の軌跡を図 5-3-1 に示す。

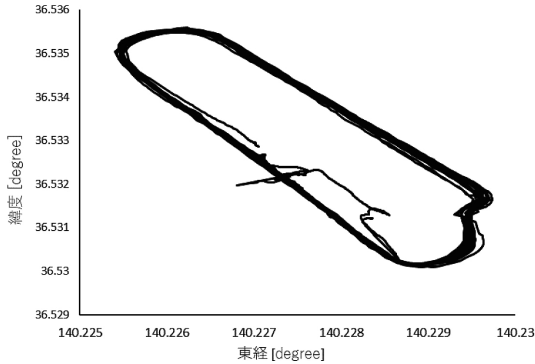


図 5-3-1 GPS で計測したマシンの走行軌跡

図 5-3-1 のマシン走行軌跡は、モビリティリゾートもてぎの西コースになっている。

次に、マシンの GPS データから縦軸に東経、横軸に時間を取った図を図 5-3-2 に示す。

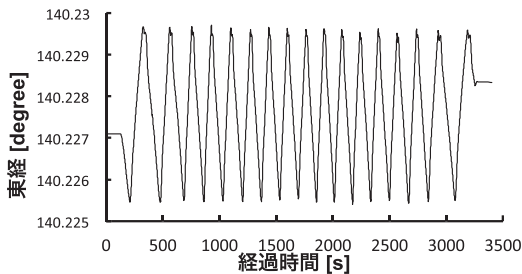


図 5-3-2 GPS で計測したマシンの位置 [deg]

図 5-3-2 において、波線で表されたグラフがマシンの位置を表す。ここで、グラフの 1 周期分がマシンのコース 1 周と対応する。グラフの波の間隔がおおよそ一定であるので、走行ペースもおおよそ一定であったことがわかる。

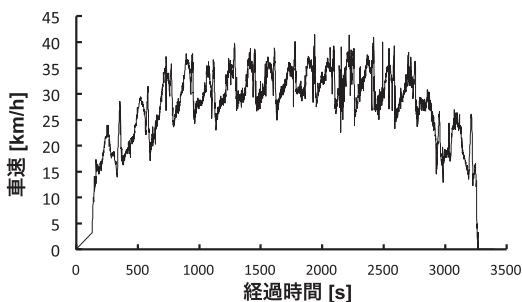


図 5-3-3 マシンの速度 [km/h]

図 5-3-3 はマシンの速度を表している。最高速はマシンの電源を入れてから約 32 分後に記録した 41.472 km/h で、レースを通しての平均速度は 28.2 km/h であった。また、グラフは同じ形が繰り返されていることから、コース各コーナーでの速度が各周回時にほぼ同じであったことがわかる。

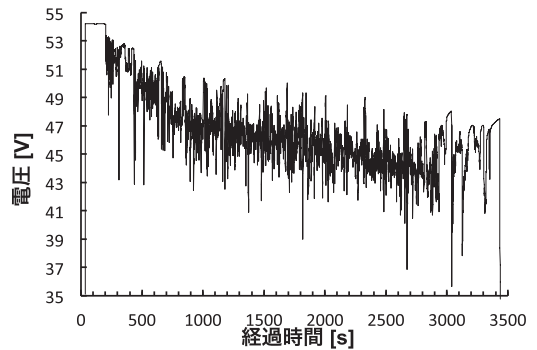


図 5-3-4 電圧 [V] の推移

図 5-3-4 は電圧の推移である。レース前に 54.2 V あった電圧が、波打ちながらも走行を通しておおよそ一定の割合で電圧が低下し、レース後には 47 V 程度に減少した。

グラフ上、2800 秒を超えたあたりでそれまで 43 V 程度だった電圧が 48 V まで上昇した。これはレースの規定時間が終わり、ピットに帰るまでアクセルを弱めた時間と一致するので、電気の使用を抑えると電圧が数ボルト程度復活する可能性を示唆している。

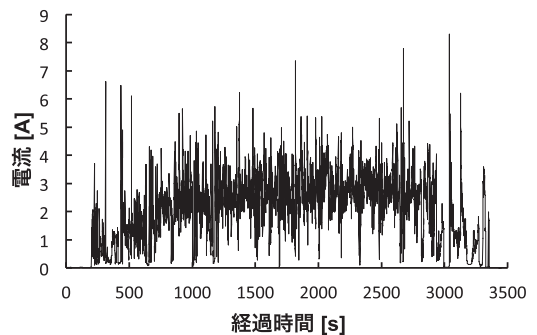


図 5-3-5 電流 [A] の推移

図 5-3-5 はレース中の電流の推移である。電流の

値は最大 8.29 A までの範囲で推移している。電流はドライバーが操作するアクセル（可変抵抗）によって制御できるので、図 5-3-5 はアクセル開度と換言できる。

電流は図 5-3-4 で見られた傾向と同じく、2800 秒を超えてからグラフの推移が変化している。アクセルを弱めたことで一時的に電流の値が小さくなっていく傾向が見られるが、3000 秒を超えたあたりで突然 8.29 A の電流が流れている。これは最終コーナーの上りでマシンが失速し、アクセルを大きく操作したためである。

これはレースの規定時間到達後、アクセルを弱めたことで下り坂で速度が伸びず、16.5 km/h（図 5-3-3）で最終コーナー立ち上がりを迎えることになり、登坂に慣性を利用できなかったため、大きくアクセルを操作する必要があったからである。

6. もてぎ大会後

もてぎ大会後、本活動の成果を本校文化祭「龍谷祭」にてポスター発表した。当日は多くの方に興味を持っていただき、マシンの設計で留意した点や、活動で苦労したことなどの質問を頂いた。

そして、12月21日にはプロジェクトリサーチポスターセッション評価報告・表彰式が行われた。表彰式の様子を図 6-1 に示す。



図 6-1 表彰式の様子

表彰式は滋賀県の企業が多数臨席する中で執り行われ、私達は滋賀県中小企業団体中央会から高く評

価頂き、REC センター長賞（REC：龍谷エクステンションセンター）を受賞した。

7. 次回大会に向けて

もてぎ大会において、大学生クラス 3 位で表彰台に立つためにはあと 6 ポイント必要であった。

仮に予選であと 6 ポイント多く獲得しようとする、予選を 3 分 40 秒台で走る必要がある。これは決勝レースでのペースである。

このため、次回大会で表彰台に立つためには、今大会での決勝レースでのペースで予選を走ることが有効な手段と言える。これを実現するには、大会全セッションを完走できるだけの電気を蓄え、レース中に使える電気がどれだけ電池に残っているかを正確に把握できる必要がある。

次にマシン製作での課題だが、フレームの部品製作時に部品の精度に限界があり、これがマシンのその原因となった。組み立て時には、直角クランプなどを用いて各部品同士の位置決めができるよう、治具の必要性を強く感じた。このため次年度は組み立て治具の製作が必要である。

また、プラスチック段ボール製のカウルは接着剤との相性が悪く、大きな力がかかると徐々に破損していったため、耐久性のあるカウルが必要とされる。また、カウルの形状もより空気抵抗が少ない形状を探る必要があると感じている。

以上の内容と大会での経験を踏まえ、次回大会に向けて以下 7 つの課題を設定した。

1. 組立治具の製作とフレーム部品の精度向上
2. より耐久性があり、空気抵抗の少ないカウルの製作
3. ラップタイムをドライバーが確認できるようなタイマーの設置
4. 記録用オンボードカメラの設置
5. レースでのペース配分の再考
6. マシンの壊れやすい箇所の特定
7. 電池を劣化させにくい充電方法の研究

これらの課題に対して最適解を見つけられるよう努力し、次回もてぎ大会では表彰台に立つことが目標である。

8. 応援いただいた皆様

Ryukoku Racing は以下の方々に応援いただきました。提供いただいたロゴと所在地を紹介します。



株式会社ミツバ
群馬県桐生市広沢町 1-2681



株式会社スピードパーク新潟
新潟県胎内市松波 1013-36



アルビレックス
レーシングチーム



吉原写真館

吉原写真館
新潟県新発田市大手町
2丁目 6-22



御菓子司 金子屋老舗
新潟県新発田市早道場 8



アイポリー画材株式会社
奈良市船橋町 7 番地



株式会社小林モーターズ
Honda Cars 木津
京都府木津川市相楽川ノ尻 101-1



龍谷大学付属
平安高等学校・中学校
京都市下京区御器屋町 30

9. おわりに

本活動は 2021 年の暮れにスタートしたのだが、中々メンバーが集まらず、一時は大会出場すら危ぶまれた。しかし気が付けば 27 人の大所帯となり、鈴鹿大会出場が叶った。もてぎ大会ではメンバーの大きな支えにより、新マシンで参加できた。そして、長期間に亘る活動であったが、機械工学・ロボティクス課程 野口佳樹先生は親身に相談に乗って頂いた。

本活動は多くの方々の協力によって完遂でき、賞まで頂くことができた。協力頂いた全ての方々に感謝申し上げます。