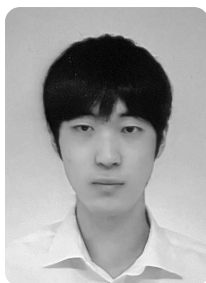


2023 Ene-1 GP 参加報告



小 熊 龍
Ryu OGUMA



村 井 隼 人
Hayato MURAI



小 川 路 正
Michimasa OGAWA

先端理工学部機械工学・ロボティクス課程 4年
4th-year student, Mechanical Engineering and Robotics Course

1. はじめに

本記事は2023年7月に開催された「Ene-1 SUZUKA Challenge」(以下鈴鹿大会)と、10月に開催された電気自動車の大会である「Ene-1 MOTEGI GP」(以下もてぎ大会)の大学・高専・専門学校部門「KV-40 Div1」カテゴリに参加したマシン製作過程と、大会の結果について報告するものである。

2. Ene-1 GP について

Ene-1とは充電式単3電池「eneloop」40本を動力源とする自作の電気自動車の大会で、毎年夏に鈴鹿サーキット、秋にモビリティリゾートもてぎで開催されている。

鈴鹿大会はサーキット3週の合計タイムで順位が決まり、もてぎ大会は規定時間でコースを何周できたかで順位が決まる。

3. 前回大会以降の活動

私たちがEne-1大会に参加する活動は2022年にプロジェクトリサーチの企画として発足した「Ryukoku Racing」に端を発する。

それから1年が経ち、プロジェクトリサーチの補助期間外になったことで、活動にかかる費用を学生が集めなければならなくなった。学生が用意できる資金にも限りがあることから、6月にクラウドファンディングを実施し、活動にかかる資金を集めた。そして、ソフトバンク株式会社様をはじめとする企業のみなさまにも応援いただき、2023年の活動ができた。

昨年のもてぎ大会を終え、新マシン製作の構想を練った。主なコンセプトは、よりドライバーの体形に合わせたフルカウル型のマシンである。前回大会が終わってから、走行データの分析と2023年マシンの3Dモデルを作成し、新マシン製作の準備を進めた。

4. 大会参戦マシン製作過程

4.1 新マシン製作に至った経緯

昨年度はもてぎ大会に向けてマシンを1から製作したが、今年度も新たに製作したマシンで参戦する事にした。その理由は大きく3つある。

- ①昨年度に製作したマシンは私どもにとって初めて製作したものであり、試作の意味合いが大きかったこと
- ②新たに導入予定のホイール用のシャフトが既存のフレームに取り付けできなかったこと
- ③ドライバー乗車姿勢にやや無理を強いたこと

①については、昨年製作したマシンのフレーム(以下旧フレーム)は、設計を除き製作期間2ヵ月という短期間で製作した為に、各部の構造に完成度の低さを感じていた。特にねじれ剛性が低く、改善するためにフレームの構造を改めて見直した新フレームを製作することにした。

新たなマシンはフロントにディスクブレーキを使用して全輪にブレーキを装備し、昨年のマシンフレームと同じラワンランバーコア製フレームにプラスチック段ボール製のフルカウルを装着するものとした。

4.2 フレームの再設計

4.2.1 改善点の洗い出し

フレームの構造を見直すうえで、まず旧フレームからの改善点を盛り込んだ形状を考えた。

構造的な改善点は、主に3つあった。

- ①ねじれ剛性の低さ
- ②乗車姿勢において首が急角度で曲がることでドライバーの負担が大きいこと
- ③誰でも乗れるという設計コンセプトであったためにマシンの横幅が大きく、空力的に不利であること

そして、具体的な形状の決定には、以降に記す模型によるフレームの構造の検討と、モックアップによる具体的な寸法の決定という2つの行程を繰り返し、試行錯誤しながら形状を煮詰めた。

4.2.2 フレームの構造の見直し

厚紙とセロテープを用いて簡易ながら1/10スケールの模型を製作し、手で変形させた様子を観察し形を変えて繰り返し作り直すことでフレームの構造を検討した。製作した1/10模型の内の1つを図1に示す。

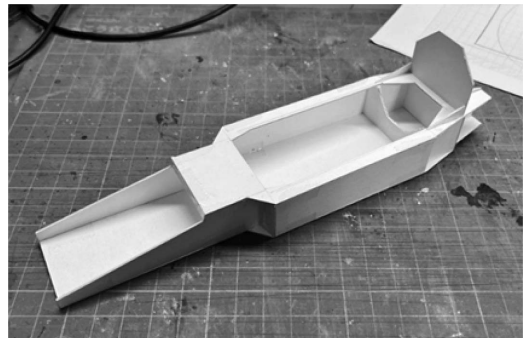


図1 製作した1/10模型の例

まず、旧フレームと同形状の模型では、手でねじった際に図2、図3に黒丸で示した箇所に大きな変形がみられた。

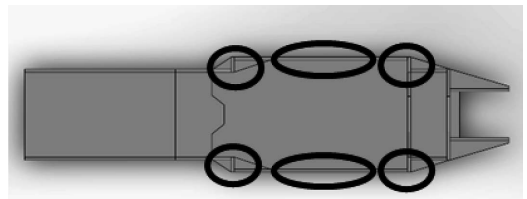


図2 主要な変形箇所(上面より)

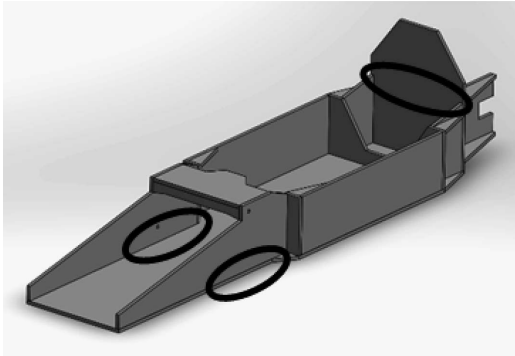


図3 主要な変形箇所（側面前方より）

図2、図3より、フレームの断面積が変化する箇所は応力集中により変形が大きくなっていること、板が直角に組み合わさっている箇所には補強が必要であることがわかった。そして、ドライバーの上半身が収まる開口部には、補強としてリブを設けた。図4に追加したリブを示す。

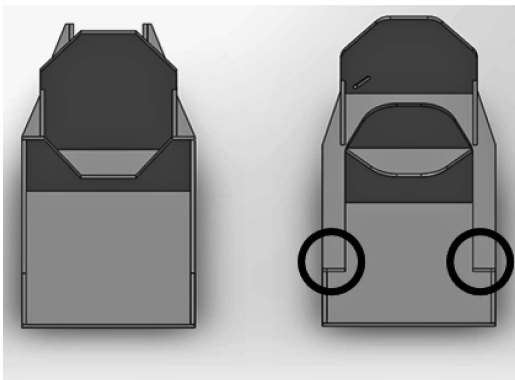


図4 追加したリブ

結果として、フレーム上部には前輪取り付け部から後端まで、切り抜いた一枚の板材を貼り合わせる構造とした。新旧フレームの比較を図5と図6に示す。この時、ドライバーの前方視界を狭めないよう、できるだけ上面の板の位置が低くなるよう試行錯誤した。

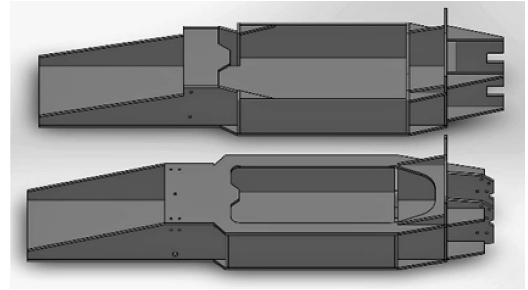


図5 新旧フレームの比較（側面上方より）

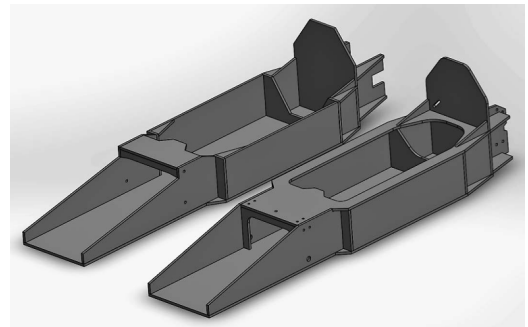


図6 新旧フレームの比較（側面前方より）

4.2.3 各部寸法の決定

旧フレームの寸法を参考にしつつ、段ボールで実際に人が乗り込める実物大の模型であるモックアップを製作した。製作したモックアップに人が入った様子を図7に示す。



図7 モックアップ

このモックアップは検討に必要な部分のみ製作した。検討の結果、肩の位置と背面の板の間隔を50mm延長することで首への負担が軽減される結果を得た。したがって、ホイールベースも50mm延長されることとなった。変更箇所を図8に示す。フ

レームの横幅は、これ以上狭める事ができないと判断し、変更しないこととした。

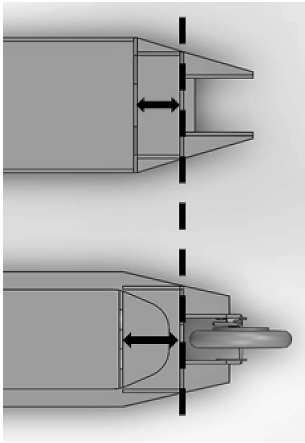


図 8 変更箇所（上が旧フレーム）

4.2.4 フロントアップライトの設計

次に、足回りの部品が取り付けられるアルミ製のフランジ付きナット、フロントの車軸やブレーキキャリパーが取り付けられるアップライト、ステアリングを構成する部品を設計した。

アップライトに関して、各部品の取り付け位置は、部品の各寸法を測定後に SolidWorks のスケッチ機能を用いて作図して検討した。図 9 に作図した様子を示す。

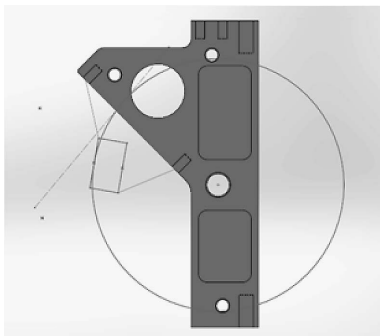


図 9 取り付け位置検討時の作図の様子

なお、材料は大学が所有する ZDP 製のキットカーを参考にしつつ SolidWorks の Simulation で強度を検討し、アルミ合金の A2017-T4 材を選定し

た。そして熱処理のなされていない 15mm 厚の板材を入手し、空気炉にて 500℃ で 90 分間加熱した後急冷し、96 時間の自然時効を行ったことで目的の機械的性質を得た。しかし加工に失敗し、鈴鹿大会まで時間的余裕が無かったため、やむなく A 7075 材で代用した。炉にて焼き入れ処理を行う様子を図 10 に示す。



図 10 A2017 材の焼き入れ処理の様子

ステアリングを構成する部品は SolidWorks のアセンブリ機能で干渉の確認を行った後に製作した。ロッドはターンバックルになっており、アライメント調整が容易になっている。図 11 に完成品を示す。

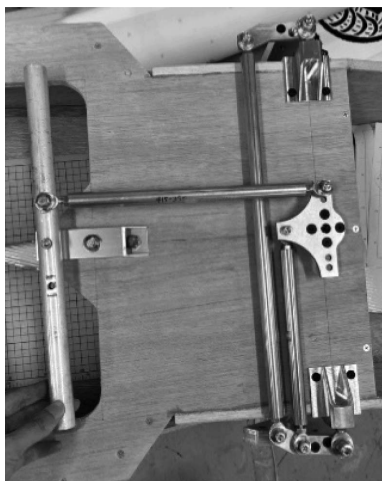


図 11 完成したステアリング周り

4.3 フルカウル製作

4.3.1 カウルデザイン

Ene-1 大会では、より少ない電力で走行距離を稼ぎたいので、空力 6 分力のうち、抗力が小さいことが特にカウルに求められる性能である。

マシンのフレームをすっぽりと覆いつつ、抗力が小さくなるようなフルカウルを取り付けることとし、空気抵抗の低減を狙ってカウルのデザインは、前方が丸みを帯び、後ろがすぼまった形となるようにした。

車高 40mm としてデザインしたカウルを流体解析ソフト「Ansys Discovery」で、40km/h (11.1m/s) で走行している際のマシンまわりの流れの様子を、メッシュ粗さ 0.012m で流体解析した結果を図 12 に示す。

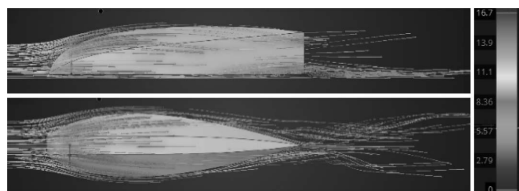


図 12 カウル周りの流れの様子

図 12 より、カウルの前面に当たった風はカウルに沿って後方に流れている。カウルの後ろには幅方

向に広がる流れがあるが、カウルの左右に分離した流れが合流する際に発生しているといえる。

ただ後方 1/4 あたりで流れの剥離が見られ、その後ろの小さな渦はカウルに接触している部分も見受けられる。その様子を図 13 に示す。

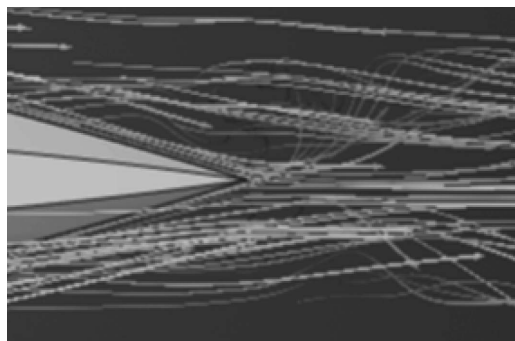


図 13 最後尾で渦が発生している様子

図 13 のように渦が発生すると、渦のもつ粘性でマシンが後方に引っ張られるような力を受けるため好ましくない。ただし今回は渦の再付着の程度は小さく、流線はおおむねカウル表面に沿っているため、後方および後方下面、地面近傍を除いては良好な流れと見え、カウル形状はよいと評価する。さらなる改良を行うとすれば、発生した渦がカウルに触れないよう、渦を遠ざけるような工夫を盛り込むことである。

さて、空気の慣性力と粘性力の比であるレイノルズ数は密度 ρ [kg/m³], 速度 V [m/s], 代表長 L [m], 粘度 μ [Pa · s] とすれば

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu} \quad (1)$$

で計算できるので、この解析条件でのカウル底面の側面長さ 2887mm を代表長さとして気温 20℃ のときの空気の物性値 ($\rho = 1.166$, $\mu = 1.822 \times 10^{-5}$) を用いて (1) 式でレイノルズ数を計算すると 2.05×10^6 となる。

また、流体解析によれば 40km/h で走行中、空気から受ける進行方向の力は 1.71N である。空気か

ら受ける力 F [N] (空気抵抗) は密度 ρ [kg/m³], 前面投影面積 A [m²], 速度 v [m/s], 抗力係数 C_d を用いて

$$F = \frac{1}{2} \rho A v^2 C_d \quad (2)$$

で計算できる。(2) 式を C_d について変形すれば

$$C_d = \frac{2F}{\rho A v^2} \quad (3)$$

となる。(3) 式に $F = 1.71\text{N}$ と気温 20°C のときの空気の物性値を代入して計算すると 0.0825 である。ここに面積を乗じた $C_d A$ 値はマシンの空力性能を表す指標のひとつになる。40m/s で走行中の C_d 値を用いて計算した $C_d A$ 値は 0.0238 となる。数値はとてもよい結果に見えるが、比較対象がないため他チームとの相対評価はできない。

ただ、この数値流体解析の結果の妥当性について、本来なら模型を作成して風洞実験を行うなどのプロセスが必要であるが、時間の都合で実施できなかった。

4.3.2 カウル製作

カウルの主材料には加工が容易で軽量のプラスチック段ボールを選定し、カウルを支える下面にはベニヤ板、スクリーン部分には 1mm 厚のポリカーボネート板を用いた。このため、必然的に平面を組み合わせた形状となった。製作手順としては、Solid-Works 内でフレームやタイヤに干渉しない形状で設計し、各面を展開した後に実寸大に拡大して、STEAM コモンズの大型インクジェットプリンターにて印刷し、材料に直接張り付けて型紙とした。型紙の線に沿って切ることによって、設計通りの正確な形状を実現することを期待した。型紙を材料に張り付けた様子を図 14 に示す。

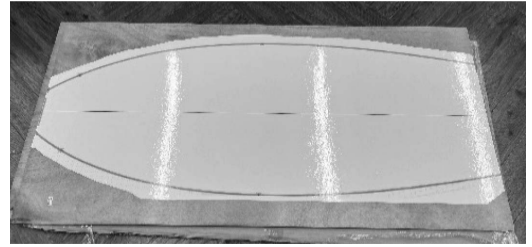


図 14 カウルの型紙を張り付けた様子

なお、材料の長さが足りないところは継ぎ足して製作したが、継ぎ目をギザギザした形状にして組み合わせ、テープで固定することで、プラスチック段ボールを自然な曲面でたわむようにした。継ぎ目の様子を図 15 に示す。



図 15 カウルの継ぎ目

組み合わせたカウルの前面部を切り取り、ポリカーボネート製の板を貼ってスクリーンとした。完成したフルカウルを図 16 に示す。

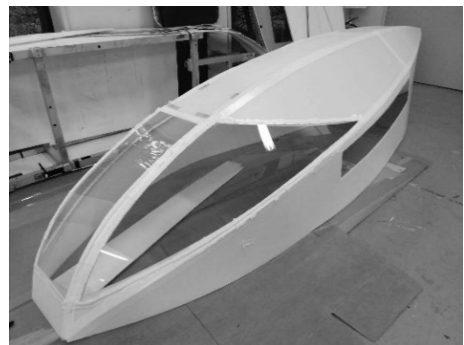


図 16 完成したカウル

このカウルをフレームに装着し、ステッカーを貼って完成したマシンを図 17 に示す。



図 17 完成したマシン

昨年のマシン名は RE22A と RE22B であったので、今年のマシン名はそれに倣って RE23A とした。

5. 鈴鹿大会

鈴鹿大会の KV-40 には 100 台がエントリーし、98 台が出走した。中でも重量制限のない大学・高専・専門学校クラス (Div1 b) には 15 チームがエントリーした。

鈴鹿大会でのタイムアタックの様子を図 18 に示す。



図 18 鈴鹿大会での様子

図 18 は鈴鹿サーキット逆バンク手前を走行している様子である。

5.1 鈴鹿大会の結果

各タイムアタックの結果は、1 周目 11'30.483, 2 周目 11'16.615, 3 周目 13'23.669, 合計タイム 36'10.767 で総合 37 位, 大学・高専・専門学校部門

(Div1 b) 2 位になった。表彰式の様子を図 19 に示す。



図 19 表彰式の様子

また、合計タイムが 36 分に最も近かったチームとして、パワーアカデミーから 36 分賞も受賞した。パワーアカデミー賞受賞の様子を図 20 に示す。



図 20 パワーアカデミー賞受賞の様子

さて、今年鈴鹿で記録したタイムは 2022 年の鈴鹿大会においては大学生カテゴリ 6 位に相当する結果である。

私たちが表彰台に立てたのは、上位チームがリタイアしたことに起因するが、エネルギーマネジメントができたことで、電池切れにならず、完走できたことが結果に繋がったと考えている。

5.2 鈴鹿大会で得られたデータ

走行データはマシンに搭載した計器で収集する予定だったが、ネット環境の不調により収集しなかった走行データが取れなかったため、マシンに搭載した計器に表示される値を、あらかじめ指定したポイントでドライバーが読み上げ、通話を繋いだピットクルーが記録してデータを集めた。これにより、電圧の値は昨年よりもサンプリングの幅が広がり、粗なデータとなってしまった。

図 21 に走行距離と電圧の関係を示す。横軸は各周での走行距離を合計した距離になっており、縦軸はドライバーが読み上げた値である。

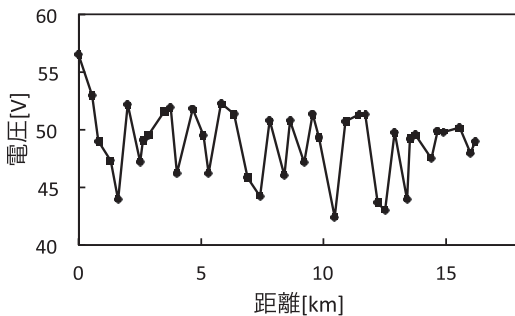


図 21 走行距離と電圧の関係

図 21 において、電圧が 47V あたりを中心に上下しながら変化し、走行距離を重ねるとやや電圧が減少していく傾向が見られるが、おおむね横ばい推移していることがわかる。

車載のメーターによれば、レース前に電圧は 56.5 V あったが、3 周走行後は 49V と約 13% 低下していた。

続いて、鈴鹿大会での 3 周トータルの積算電流値は 1.318Ah であった。図 22 に横軸に各週の走行距離、縦軸に積算電流値を取ったグラフを示す。

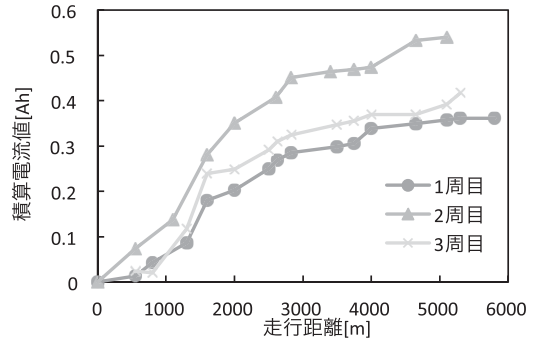


図 22 各週の積算電流値の推移

図 22 において、各走行距離において 1 周目が最も積算電流の値が小さくなっている。2 周目での値が 3 周のうち最も大きいのが、これはドライバーが 1, 3 周目と異なることで、アクセルの入れるポイントやスロットル開度が異なるためと予想される。3 周目は 1 周目と似た推移をしている。積算電流の値は 1 周目より多いが、タイムは 1 周目より遅い。これは、1 周目よりも電圧の値が下がったことが影響していると考えられる。

続いて、タイムアタック 1 周目と 2 周目の速度の違いについてである。縦軸に速度、横軸にスタートからの経過時間を取ったグラフを図 23 に示す。

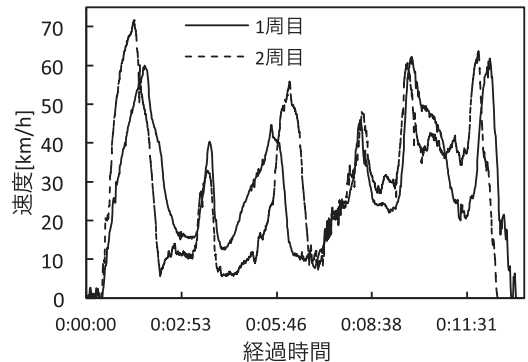


図 23 1, 2 周目のスタート経過時間と速度

図 23 より、2 周目の方が全体的に速度が大きい傾向にあることがわかる。これはタイムにも表れているが、1 周目と 2 周目は 15 秒差ある。しかし、2 周目の積算電流値は 1 周目の 1.50 倍であるので、サーキットのどの場所でアクセルを ON/OFF する

べきかといったドライビング方法についてはまだ検討しなければならない。

6. もてぎ大会

もてぎ大会は10月14日にフリー走行、翌15日に決勝レースが行われ、Div1 b カテゴリには12台が出走した。フリー走行の天候は晴れで、1周2分40秒台で走行できたが、決勝当日は午前中が雨で、午後から雨が止むも路面が濡れている中でのレースになり、3分10秒台で1周を走行した。

決勝では雨に対応すべく、溝のついたタイヤを使用し、視界確保のためにカウルのスクリーンを切り取って走行した。

6.1 もてぎ大会の結果

13周走行し、出走46台中27位、Div1b クラス8位/12台でゴールした。決勝で走行している様子を図24に示す。



図24 もてぎ大会決勝で走行している様子

6.2 もてぎ大会で得られたデータ

もてぎ大会では、鈴鹿大会同様にネット回線の不調によりデータロガーによる情報収集が意図したように行えず、短い時間間隔での電圧・電流の値は採集できなかった。

そこで、積算電流と電圧の値は鈴鹿大会同様にマシンに搭載したメーターの値を読み上げて記録を取った。

大会前日のフリー走行と決勝での周回数ごとの積

算電流の推移を図25に示す。

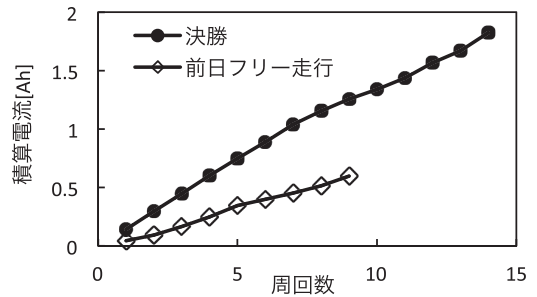


図25 もてぎ大会における積算電流の推移

図25より、決勝の方がより多くの電気を使用していることがわかる。周回数を重ねるごとに両者の差が開いており、9周目で比較するとフリー走行時に使用していた積算電流値は決勝の52%である。これは雨対策のために溝付きのタイヤを使用したことによる転がり抵抗の増加が要因と考えられる。他には木製フレームが水を吸ったことによる重量増加や、カウルスクリーンを取り外したことによる空気抵抗の増加も要因に挙げられる。空気抵抗に関しては走行スピードが20km/h程度であったことから、その影響はタイヤによる抵抗よりも少ないと考えられる。

続いて、昨年のもてぎ大会決勝レースの積算電流の推移をプロットしたものを図26に示す。

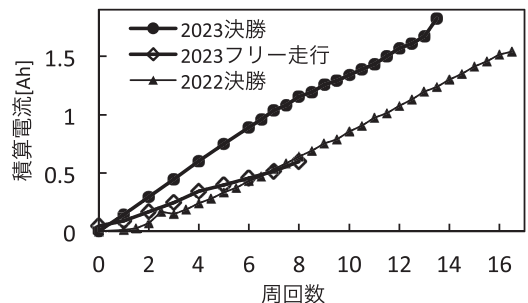


図26 2022年と2023年の積算電流の推移

図26において、2023年のフリー走行での積算電流の推移は似ているものの、6周目以降で昨年の値を下回っている。昨年の決勝と今年のフリー走行は

ともに晴れのコンディションであったので、今年のマシンが昨年より少ない電気で走行できていたと考えられる。

またこのデータは、次回もてぎ大会が晴れた場合、積算電流の推移をベースに考えれば、溝のないタイヤを使用することで今年以上の距離の走行が可能であることを示唆している。

晴れのコンディションでどれだけ走れるポテンシャルがあったかを概算してみる。周回数を整数値 x とし、積算電流値を y として今年のフリー走行での積算電流の推移を線形近似すると、 $y = 0.0701x + 0.037$ となる。ここで、今回使用した 1.822Ah 以下で最も近くなる x を求めると $x = 25$ となることから、理論上 25 周できるポテンシャルがあると言える。

次に周回数と電圧の推移を図 27 に示す。

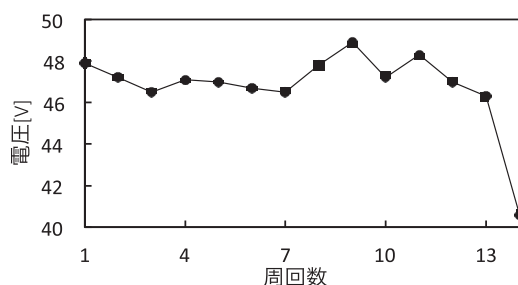


図 27 もてぎ大会周回数ごとの電圧

図 27 はコントロールラインでドライバーがある瞬間の値を読み上げたものであるため、各値には数 V の幅があると思われるが、7 周目まではほぼ横ばいに電圧が推移している。そこから 11 周目まで電圧が上下して下降傾向になり、13 周走行後に 40V 台まで大きく電圧が降下している。なお、急激な電圧降下後、マシンが加速しなくなった。

電池を使い切ると急激な電圧降下が起こることから、今大会では充電した電気を使い切ったといえる。実際に、充電した電気 1.829Ah 分に対し、使用した積算電流値 1.822Ah と、充電した量の 99.6% に相当する。

今年のもてぎ大会で収集した積算電流値から、晴

れのコンディションであれば 25 周できるという予測ができたが、2022 年のもてぎ大会は晴れであり、そこでの大学生クラス (Div1b) 決勝の 1 位チームは 20 周している。余裕を持ってタイムアタックに必要な電気を計算しても、3 周分相当の電気をタイムアタックに使える。

今年のフリー走行でのベストラップは 2 分 24 秒で 0.075Ah 使用した。このタイムは、昨年のタイムアタックでは大学生 1 位チームに 20 秒上回り、全体で 7 位相当、14 ポイント獲得にあたる。

タイムアタックでは 2 周分走行するので、0.15Ah 使用したとして今年と同量の電気が使えれば、残り 23 周が走行可能なはずである。昨年の結果で言えば 23 周走行は 6 ポイント得られ、合計 20 ポイントで大学生 1 位、総合 10 位相当である。

また、厳しく見積もって、今回フリー走行でコンスタンスに記録できた 2 分 44 秒をタイムアタックで記録しても、大学生 1 位で 9 ポイント相当、60 分耐久で 20 周できれば 1 ポイント獲得で 10 ポイント、大学生 1 位、総合 17 位相当である。

したがって、昨年の結果をベースに考えると、晴れさえすれば今年のマシン (RE23A) はもてぎでも表彰台を狙えるポテンシャルがあると言える。

7. 次回大会に向けて

今年はネット回線の不調により、思うように電圧・電流の値が採取できなかったため、データ収集システムの改善が必要である。

フレームの製作関連では、CAE を適切に使用できるよう知識と経験を積み、車両の軽量化につなげたい。また、破損時の安全性を考え、木ネジを使用しない組み立て方法の採用や、精度を重視した組み立て手順の検討や治具の準備を行いたい。

カウル関連では、さらなる耐久性と剛性の向上、早急な雨天時の曇り対策が必要と考えている。

次回は鈴鹿・もてぎ共に今年のタイムを上回り、もてぎでは 2022 年に記録した 16 周を越えることを目標にしている。

8. おわりに

今年は資金調達に苦勞した年であった。クラウドファンディングの準備は相当な負担となり、資金を集める大変さを痛感した。だからこそ、支援くださった方々に応えなければいけないという想いも一層強くなった。

鈴鹿で大学生全国2位の結果を得たことは素晴らしい経験となり、資金を集めたプロセスも相まって、大変貴重な財産となった。

謝辞

本学先端理工学部機械工学・ロボティクス課程 野口佳樹先生は昨年に引き続き、活動を指導頂きました。

同課程の森正和先生は部品製作に協力頂くだけでなく、困ったときは親身に相談に乗って頂きました。

同じく機械工学・ロボティクス課程の大津広敬先生は日ごろから活動を気にかけてくださり、温かく応援して頂きました。

知能情報メディア課程の芝公仁先生には、マシンの諸データ収集技術を提供頂きました。

龍谷大学工作室の森岡様、本田尚義先生には部品製作で多大なご協力を頂きました。

そしてクラウドファンディングでご支援いただいた方々、多くのご縁とご協力によって2023年の活動を終え

ることができました。応援頂きました全ての方に深く感謝申し上げます。

最後に、本年 Ryukoku Racing を応援頂きました企業のみなさまをご紹介します。

 **SoftBank** ソフトバンク株式会社



吉原写真館

吉原写真館



株式会社小林モータース
Honda Cars 木津



ハタイタ製作所

株式会社ハタイタ製作所



松本鉄平税理士事務所
Teppei Matsumoto Tax Service Office

松本鉄平税理士事務所

Challenge farm

株式会社チャレンジファーム



HEIAN

龍谷大学付属
平安高等学校・中学校

京都府京都市
御菓子司 金子屋老舗

 **金子屋老舗**

御菓子司 金子屋老舗

