

省エネ型電動自転車の製作

研究者 須坂創成高校 創造工学科 3年 野村治世 勝野翔太

指導教諭 創造工学科 中村賢二

1. はじめに

毎年5月～12月まで、本校の課題研究の時間でモノづくりなどの活動をして、1月の課題研究発表会を行っている。我々は2年前からEne-1大会（充電単三乾電池40本のみで国際サーキットを3周走り、その合計タイムで競うタイムアタック競技）に出場するために、モーターの銅線を巻くことから始めた。昨年は電動自転車（バイク）が完成し鈴鹿大会（図1）と、もてぎ大会に出場した。Ene-1レーしかし生徒の不慣れによるミスなどがあり、電池のプラスマイナスを逆に組んでしまい、電池を燃やしてしまうミスが起こってしまった。そこで、今年の電動自転車（バイク）は昨年の車両をベースに、電池の組み間違いがないように電池のセットをパッケージとして製作し、積載時にモーターの軸が曲がらないようにギヤ比やモーターの搭載を車体の中から位置を変更する改良を今年の製作のテーマとした。

2. 製作の目的

今年の目的は、以下の二つがある。

1.電池のパッケージ化

2.モーターの搭載位置変更

1のテーマは、電池をスポット溶接やはんだで加工し、電気配線や直流回路の配線をすることで、電気回路を計画し、テスターで検査もできることを目的とする。ついでに電子負荷装置を使用して、電力消費量を計測することで、電池パックの容量を確認するスキルや考え方も学習する。

2のテーマは、モーターを後輪の後ろに移設することで、機械加工技術、ギヤ比の計算能力の向上、チェーン駆動の基本を学ぶことを目的とする。

そして、Ene-1もてぎ大会と鈴鹿大会で、高校生部門3位以内入賞を目的とする。

※参考 本校の2024年の成績

鈴鹿大会 賞典外で出走

もてぎ大会 高校生クラス4位/12台 総合16位/34台

3. スケジュール

以下の予定で製品開発を目指した。

1. 5月～8月 電池パッケージ化

電池のパッケージの試行。

スポット溶接とはんだ技術習得。

2. 9月～10月 モーターの移設

モーターの軸を痛めないように車体中央の真下より、後輪の後ろにモーターを移設、テンションロッドなどを新たに製作する。ドリルやタップ、シャーリングなどの加工技術の習得

3. 10月～11月 試走

新たな電池パックと駆動レイアウトで試走して、車両に問題がないことを確認する。レースのシミュレーションも兼ねる。データ収集と解析技術の習得

4. 11月 電池容量の検査

新品の電池パックの電池容量と10回程充電放電を繰り返した電池の電池容量を比較する。

電子負荷装置の取り扱いの習得

5. 11月8日 Ene-1もてぎ大会の出場

設計通り出来たか実証する。別チームの制御部品を組み込む。試験方法の習得

6. 11月～12月 タイヤ交換、電池パックの量産

充電式乾電池が大会の時に支給されるので、新たに電池パックを量産してみる。

7. 12月21日 Ene-1鈴鹿大会の出場

バイクを2台体制で大会に臨む。

8. 12月～1月発表準備

データのまとめとプレゼン資料の作成、データの評価の技術を磨く。

9. 1月 課題研究発表会

課題研究発表会で、1年の成果を生徒がプレゼンをする。プレゼン技術の習得。

4. 製作経過

○電池のまとめかた

Ene-1というエコランレースは、大会規定により、パナソニック製エネルーブという充電式単三乾電池を40本が事前に支給され、そのエネルギーのみを使って走行させる。

今までは、塩ビパイプの中に電池を挿入、5本×8セットで40本の電池を直列につないでいた。（図2）

ところが、毎回電池を一本ずつ充電して、走行前に組むので大会中にパイプに正逆を間違えて組んでしまい、電池が発熱し一部破損してしまったことが起こってしまった。幸い大事には至らなかったが、鈴鹿大会では1本目の計測に間に合わず失格、賞典外として残り2本を走行して貴重な走行データを得た。



図1 2024年 Ene-1 鈴鹿大会の様子

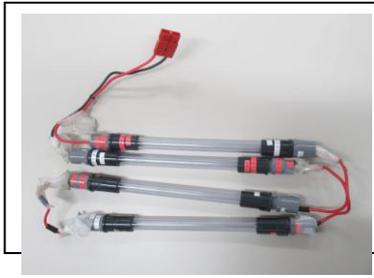


図2 電池を収納する筒（2024年）

そこで、他の強豪チームから電池をお借りしたときに、電池をパッケージ化していたので、今年度は電池をニッケル板でスポット溶接をして直列に接続し、電池パックとして10本ずつのセットを製作することにした。最初には手間はかかるが、出来上がるとまとめて充電、車両に搭載するときもコンパクトなので収納が楽であるなどのメリットが大きい。なにより組み間違えはまず発生しないので採用してみた。(図3)



図3 電池のパッケージ化（2025年）

次に、車両のモーター移設についてだが、モーターはいままで、車体の中央下に配置していた。車輪側のギヤは138t（駆動側ドライブギヤは14t）なので直径が大きく、チェーンが干渉しない場所はここしかなかった。(図4)

しかし、車両を積載時にモーターの軸が押されて曲がってモーターの回転抵抗が大きくなるトラブルがあり、軸を痛めにくい場所に移設したく、後輪の後ろにモーターを移設することにした。

ドリブンギヤは110tに小さくし、ドライブギヤも12tとすることで、ギヤ比はほぼ変わらない。



図4 モーターの位置（2024年）

○電池のパッケージ化

電池を10本ずつ、直列につなぐためには正逆を交互に組んで、ニッケルのプレートで極をスポット溶接で接続、10本直列の最初のプラス、最後のマイナスはコネクタして接続するように製作した。

まずはスポット溶接機でスポット溶接の電流と押し込み力加減を学習しながら、徐々に電池を組むことになった。そのために接続用にSB50というコネクタ、はんだも購入し作業した(図5)。



図5 接続用コネクタなどの製作品

スポット溶接は押し込むまではコツが必要だが慣れると大量に加工ができた。これの極に、正逆間違えないコネクタを接続し、はんだを練習してパッケージと接続ハーネスをくみ上げた。



図6 電池のスポット溶接、ハーネス製作

○モーターの移設

次にモーターの移設作業を行った。シャーリングで切り出したアルミ板に穴を開け、車輪に新たなドリブンギヤを加工し取付けた。

穴位置を出すために精密なケガキ作業が必要であったが、ハイトゲージを使いこなしてケガキを行った。他にドリル加工を行い、モーター取付板のたわみを抑えるためにテンションロッドを新たに製作してたわみを抑えた。



図7 110t ドリブンギヤ



図8 ドリル穴加工



図9 モーター移設後



図10 テンションロッド (ネジ部)

テンションロッドは、右ねじと左ねじと2種類のねじタップを指導し、タップ加工を行い、長さを調整してプレートが横ぶれするのを抑えた。

○電池容量の測定

単三の充電式乾電池40本の容量であるが、過去の走行実績から、70Wh強となっている。大会ではこれでサーキットを3周走るので70Whを三等分して走行するデータ管理する走行と連絡の取り方が求められる。

でも、電池の容量は、充電と放電を繰り返すと容量が減るとされている。なので実際どうなのか確認する必要がある。

そこで、電子負荷装置にて、電流値を一定に設定し、電池容量を新品と充放電を10回行った電池の比較と、電池容量を計測してみた。

一定の電流の設定計算式

電池容量は2000mAh (一時間当たり2Aを取り出せる)
鈴鹿サーキットを16分/周と想定、3周で48分かかる
 $2Ah \times 48 \text{分} / 60 \text{分} = 1.6A$ と想定、電流は1.6A一定とする。

そこで、電子負荷装置は1.6Aに設定し、エネルギーを取り出せる時間を計測する。

この電池の放電終止電圧は1.0Vなので、マージンを取って1.1V \times 40本=44Vなので、40本の電圧が満充電59Vから45Vまで下がると測定終了をする。それまでは1分ずつの電圧降下を記録していった。(図11)



図11 放電試験の様子

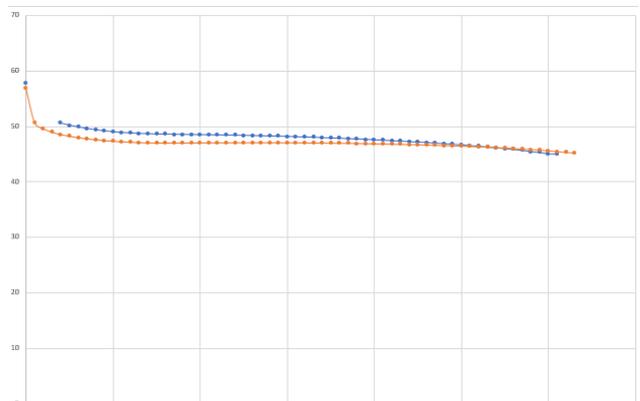


図12 放電試験の測定データ

図12に測定データを示す。

二つの条件で測定した。

新品	電池容量	80.2Wh	64分	で45V終了
充放電10回	電池容量	78.4Wh	61分	で45V終了

新品は10回のものより途中は少し低い、最後に45Vで限界に達する時間が長く、電池容量は若干高いという結果が得られた。どちらも経験的な70Wh強より多いが、これは走行では電流値は常に変動するのと違い、電流値は一定の為に好条件で電圧降下したものと考えられる。

以上の改良やデータ収集を行った車両で、試走を行い、安全を確認した上で、Ene-1もてぎ大会(11/9)と鈴鹿大会(12/21)に臨むことにした。(図13)



図13 車両の完成時画像

5. 試走と効果の検証 (Ene-1 大会への出場)

○試運転

車両の改良を進めながら、10月下旬からもてぎ大会まで3回、鈴鹿大会まで1回、大会の距離15kmを通して走行する試走を行った。場所はドリームモータースクール須坂をお借りして、休みの月曜日放課後に走行を行った。チームのメンバーは、3年生が2名のみの為、ライダーやメカニック要員に2年生を4名メンバーとしてお手伝いしてもらった。走行を通して、機械の不具合がないことを確認、ライダーとメカニックの連携を確認した。

連携とは、電力消費量のメーターを一定間隔でライダーが読み込み、メカニックに連絡をして集計を行うことである。

70Whを使い切るために、1周分の距離5kmを23~24Whで消費させてエネルギーを三等分して走り切るために、必要な作業である。



図 14 試走の様子

○大会出場 (Ene-1 もてぎ大会)

11月8日と9日の土日、Ene-1もてぎ大会に出場してきた。場所はモビリティリゾートもてぎという国際サーキットである。土曜日は練習日と受付で、2周走れるので、本番を想定して走行データを収集し、日曜日に備える。

日曜日は本番で3周を1周ずつタイムアタックして、その合計タイムで競う。

だが、土曜日は天気が晴れ、日曜日は一転して小雨が降り続き、天候に左右された。

前日のタイムがあまり参考にならず、1本目は70Whの1/3、23Whで走るように、1分ごとの電力消費量の累積を確認しながらペースを上げたり下げたりして走り切ったペースのタイムを見て、電力消費量24Whも使ったので、2本目は消費量を抑えるペースとして、ターゲットのタイムを10分台に決めた。

1本目 9分34秒817

2本目は雨が強くなる中、ペースを抑えて消費量を下げた状態で走行した。

2本目 10分33秒365

3本目は、残りの電力をすべて使い切って、ペースを上げるように決め、雨が少し上がった状況で走り切った。

3本目 9分16秒523

3本目で他のチームは電池を使い切って止まる中、わがチームは電池を使い切って無事完走し、チーム結成2年目で初のクラ

ス表彰を獲得できた。

結果 高校生クラス **3位/11台** 総合 **13位/31台**



図 15 Ene-1 もてぎ大会の様子

○大会出場 (Ene-1 鈴鹿大会)

12月20日と21日の土日、Ene-1鈴鹿大会に出場してきた。場所は鈴鹿サーキットである。土曜日は練習日と受付で、2周走れるので、本番を想定して走行データを収集し、日曜日に備える。

日曜日は本番で3周を1周ずつタイムアタックして、その合計タイムで競う。

今回は土曜日から小雨が降り続き、路面抵抗が大きい中、走行を試みたら、1コーナーの後の登坂でエネルギーを消費しており(1周30Wh)、速度も5km/hまで下がって上る状態であった。そこで、電源の配線を変えて、電池40本直列で48V仕様から、電池を20本ずつ並列の24V仕様にした。

電動三相直流モーターは、入力電圧を上げると回転が上がり、トルクが下がり、下げると回転が下がり、トルクが倍増する特性があるので、鈴鹿の登坂を上り切るための処置をした。

日曜日は、1本目から23Whに抑えるために、ライダーは我慢の走行となり、連絡を取り合って電池をセーブしながらの走行を行い、3本で70Whのエネルギーを無事に使い切って完走した。

今回は2台体制で臨んだがもう一台も完走し、貴重なデータを持ち帰った。チームワークで完走できたのは、わがチームにとって良い経験と学習になったようである。(図16, 17)

結果 青号 高校生クラス7位/15台 総合15位/43台
 白号 高校生クラス8位/15台 総合17位/43台



図16 Ene-1 鈴鹿大会の様子



図17 Ene-1の走行データ(上 鈴鹿 下 もてぎ)

○課題研究発表会

1月に、創造工学科の中で課題研究発表会が行われ、3年生の二人は、慣れない説明だが、堂々とレース参戦迄の作業と、レースの報告、データ分析を行うことができた。1年間の成果を発表出来たことは、プレゼン力の向上につながるの、事前に話し方や内容を分かりやすくするように指導してきたが、苦手な生徒はよく頑張った。そして、全校課題研究発表会の代表にも選ばれ、全校生徒の中、堂々と発表出来て成長を感じさせた。(図18)



図18 課題研究発表会の様子

5. 反省

生徒が主体的に作業を行い、少しずつ改良ができたとともに、スキルを身に付けることができ、1年で頼もしくなった。

3年生には、この経験や技術を将来の進路(製造業の就職と技術系の学校への進学)に生かしてほしいと思う。



図19 Ene-1 鈴鹿大会でのバイク2台

6. 来年度への要望

- ・データロガーを新たに製作して、走行時の電圧と電流値を精度よく記録できる体制を整えたい。
- ・鈴鹿サーキットの登坂は、もてぎと違い最低速度が5km/h(もてぎは10km/h)なので、電気エネルギーの余裕を増やすため、より低速トルクを増やしたい。実際の方法としては、モーターを低速使用に巻きなおすか、ギヤ比を低速に減速したい。
- ・低速トルクを増やしたうえで、平地での速度を増やしたい。具体的には、モーターのコアを可動して高速で増速させるか、DCDCコンバーターで電圧を低速と高速で可変にして、高速も可能としたい。