

産業を支える人材の育成

～パワーエレクトロニクスと DX によるものづくりへの挑戦～

愛知県立愛知総合工科高等学校 電気系学科

教諭 住原 真一

1 はじめに

愛知県教育委員会が策定した「あいちの教育ビジョン 2025－第四次愛知県教育振興基本計画」の中に、AI（人工知能：Artificial Intelligence）や IoT（モノのインターネット：Internet of Things）、ビッグデータ等デジタル技術を活用した新しい価値を生み出すことのできる人材の育成や社会に求められる資質・能力に的確に対応した人材の育成を図ることといった教育課題があげられている。また、愛知県が策定した「あいち DX 推進プラン 2025～デジタルで生まれ変わる愛知～」では DX（デジタルトランスフォーメーション：Digital Transformation）の推進を掲げている。電気系学科では、情報化社会が急速に進んでいく中で、愛知県の産業を支える人材育成の一つとしてパワーエレクトロニクスと DX を融合させたものづくりを考えている。本研究では、科目「課題研究」でパワーエレクトロニクスやデジタルについての知識及び技術・技能を習得し、実践的かつ主体的な学びの育成を図り、時代の変化に対応できる人材育成につなげていくことを目的とする。

2 研究概要

(1) 概要

昨年度、本校で製作した鉄道車両を使用し、そこで生まれた課題に対応する。製作した鉄道車両は VVVF（可変電圧可変周波数：Variable Voltage Variable Frequency）制御や AI 制御による自動運転が実現できる。しかし、車両を複数回運用していく上で、電気制御を行う VVVF インバータ回路内の IGBT（絶縁ゲートバイポーラトランジスタ：Insulated Gate Bipolar Transistor）モジュールが過電流によって破損し、制御不能となる現象が発生した。これによって動作の安定性について課題となった。また、自動運転を実現するためには、センサやアクチュエータといったハードウェアの分野とこれらを制御するソフトウェアの分野を把握する必要があり、デジタル技術について考察することも課題にあがった。課題に対する取組について紹介する。

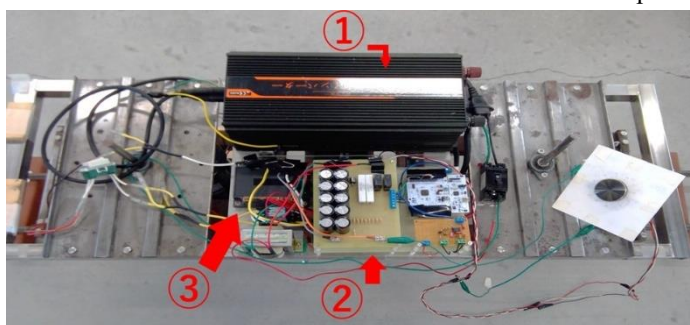
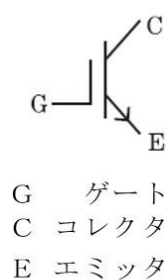


図 1 鉄道車両の電気系統
(① インバータ、② 倍増幅整流回路、③ IGBT モジュール)

(2) 鉄道車輛の電気系統について

昨年度、製作した鉄道車輛の電気系統を図 1 に示す。電源は直流 12 [V] の鉛蓄電池を用いる。電源から DC/AC インバータ (図 1①) によって交流 100 [V] に変換し、倍増幅整流回路 (図 1②) で直流 282 [V] まで昇圧させる。昇圧した電圧は IGBT モジュール (図 1③) を使用して三相交流に変換し、三相誘導電動機へ入力される。



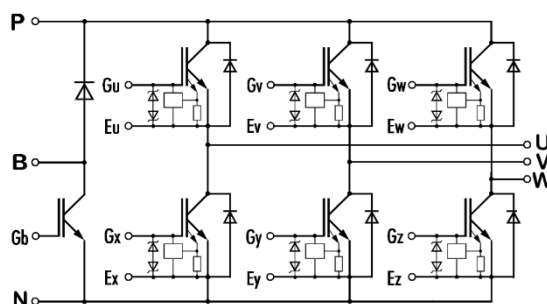
(3) IGBT モジュールによる制御

IGBT の回路図記号を図 2 に示す。特徴は、パワートランジスタよりスイッチング速度が速く、MOSFET より耐圧が高いという特徴からパワーエレクトロニクスの分野で広く活用されている。本研究では、IGBT をベースとしてパッケージ化された IGBT モジュールを使用し、鉄道車両の駆動部に電力変換回路として活用する。IGBT モジュールの回路構成を図 3 に示す。IGBT モジュールによって、直流 282 [V] まで昇圧した電圧を三相交流に変換している。

図 2 IGBT



(a) モジュールの外観



(b) 回路図(富士電機 7MBI100N-060)

図 3 IGBT モジュール

(4) 異常動作の検証

製作した鉄道車輛は、本校の文化祭や中学生向けの学校説明会などのイベントで出展した。レールの敷設、車輛の走行、安全対策は全て生徒たちが協議した上で取り組んでいる。今年度実施したイベントでは車輛の走行を長時間行っており、イベント 1 日あたり 4 時間程度の連続運転を行った。運転中に車輛の加速・減速を行うコントローラが制御できなくなるという現象が発生した。その現象は電源投入後に車輛が勝手に動くという異常動作であった。異常動作後、さらに 20 秒程度観察したところ、三相誘導電動機の回転速度が上昇し、高速回転したため、安全な走行が困難であることが分かった。安全に運転できるようにするためには、異常動作の検証と対策が必要である。生徒たちは、その検証を行うために、3 つの仮説を立てた。

- ① 異常動作が発生する原因は、電解コンデンサの電荷を放電させた時に、その電荷が制御回路に侵入したためではないか。
- ② 車輛の走行中に振動があり、回路に何らかの影響が出ているのではないか。
- ③ 車輛の速度を制御するコントローラが高圧回路の部分と接触し、短絡したためではないか。

これらの仮説をもとに検証を行った。その内容を以下に示す。

- 車両の運用後、電解コンデンサにある残留電荷の放電は抵抗器を用いている。抵抗器の種類や大きさによる違いがあるかを検証する。
- 車両を運用する際、振動による回路への負担を軽減するため、緩衝材などで解決できるかを検証する。
- コントローラと高圧回路との接触を防ぐための絶縁方法について考える。

(5) デジタル化について

鉄道車両の自動運転を目指して、昨年度は AI による LED の信号を読み取って運転・停止を制御するシステム開発に取り組んだ。今年度は、信号機を用いて車両が近づいていることを知らせるシステムの開発に挑戦した。仕組みとして、ある通過点にセンサを設置し、車両が通過したときにセンサの信号を読み取る。読み取った信号はマイコンを介して離れた場所に設置した信号機に送る。その信号機を動作させることで車両が近づいていることを知らせるものである。マイコンは ESP32 (図 4) を使用した。マイコン ESP32 は科目「実習」で活用しており、本研究では授業で学んだことを応用してシステム開発の実現を試みた。ESP32 の特徴は、Wi-Fi や Bluetooth の機能を持ち合わせ、Arduino IDE によるプログラミングが可能であり、比較的簡単にデジタル制御ができるマイコンである。本研究では、Bluetooth を用いて信号機や踏切などが遠隔制御できるシステムを作成した。



図 4 ESP32 シリーズのマイコン

具体的な制御システムの構成を図 5 に示す。Bluetooth による通信を用いて遠隔制御を行うため、マイコンは 2 個用意する。超音波センサを用いて車両の通過を検知し、検知した信号を ESP32 マイコンで読み取る。読み取ったマイコンが Bluetooth の送信側となり、もう一方のマイコンを Bluetooth の受信側として信号を受け取る。受け取った信号によって信号機や踏切などが制御できる仕組みである。実際の制御は Arduino IDE を用いてプログラムを作成し、動作の検証を行った。

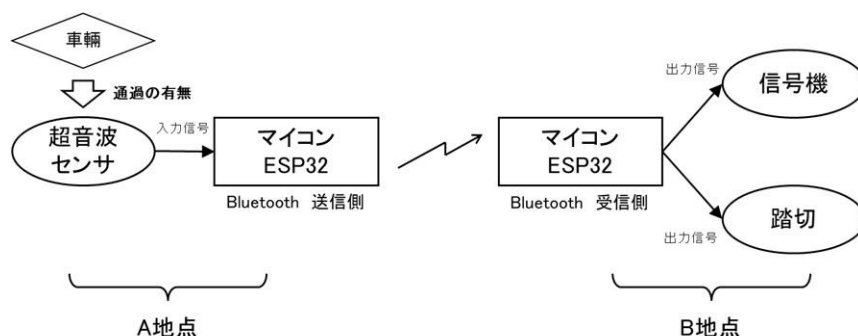


図 5 Bluetooth による遠隔操作のシステム構成

3 研究結果

仮説をもとに検証した結果、電解コンデンサの電荷を放電するときは、セメント抵抗や制動用外部抵抗器など大きな電力でも耐えることができる抵抗器が適していることが分かった。安全に放電はできたが、再度電源を投入しても異常動作は発生してしまったため、違う箇所に原

因があると考えられる。

車輛の走行中は振動が発生するため、回路に影響が出ないように段ボールと気泡緩衝材を挟んで厚みを出して緩衝材を製作した（図 6）。これによって走行中の振動による影響を抑えることができた。

コントローラの部分は配線が露出している状態であったため、高圧部分と接触しやすい状況であり、危険な状態であった。配線が露出している部分を絶縁テープで保護し、コントローラをケースに取り付けて絶縁保護を施した。さらに、ヒューズを接続して短絡したときの回路を保護することで、安全な車輛の操作が実現した。

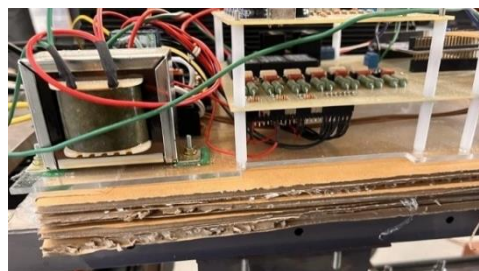


図 6 振動を防ぐ緩衝材（下部）

デジタル化の分野では、マイコンを用いて Bluetooth による遠隔制御のシミュレーションはできた。しかし、製作した信号機の回路とマイコン ESP32 との接続が実現できなかったため、今後の課題となる。また、マイコンによる制御を行うためには、ハードウェアの知識は不可欠であることもわかった。生徒たちは課題解決に向けて主体的に取り組んでいたが、ハードウェアに関連する知識と経験が浅かったため、実現に至らなかったと考える。今後は、電子回路について基本を学習させてから実践につなげていくように計画を立てる必要がある。

4 まとめ

本研究は、3 年生 8 名のチームで、昨年度に続き鉄道車輛を活用してパワーエレクトロニクスと DX 技術に関連させたものづくりについて取り組んだ。生徒の振り返りを以下に示す。

- 仮説を立てて課題解決に取り組むことの大変さを実感することができた。
- 昨年度の車輛を引き継いだが、思うようにすすまず苦勞したが、やりがいをもって楽しく研究ができた。失敗から学ぶことが多く、とても良い経験となった。
- 座学や実習で学べないことを自分たちで考えて実践できた。特にマイコンを用いたデジタル制御はプログラミングなど幅広く学ぶことができたため充実した研究であった。

生徒たちは一丸となって主体性をもって研究に臨み、実践的かつ主体的な学びとなった。パワーエレクトロニクスと DX 技術に関連付け、専門性と実践力を身に付けることができたのではないかと考える。引続き専門性の高い研究ができるように取り組んでいきたい。

5 謝辞

本研究を遂行するにあたり、愛知県立愛知総合工科高等学校校長山口直人先生より終始ご指導をいただいた。また、卒業生の金田翔太郎様、野口幹太様、山内奏汰様、そして内田工業株式会社をはじめ企業との連携によって継続して研究に取り組むことができた。多くの方々による支援があることに深く感謝を申し上げたい。なお、本研究は公益財団法人天野工業技術研究所 2024 年度工業教育研究助成を受けている。

6 参考文献・引用文献

- | | | |
|------------------------|----------|--------|
| (1) カラー徹底図解パワーエレクトロニクス | 赤津 観 | ナツメ社 |
| (2) 初歩から学ぶパワーエレクトロニクス | 安芸 裕久 他 | 講談社 |
| (3) よくわかる最新鉄道の技術と仕組み | 阿佐見 俊介 他 | 秀和システム |