

## 標準課題「発電電力制御システム設計製作課題実習」の実施結果報告

比嘉孝満<sup>\*1</sup>，今園浩之<sup>\*2</sup>

標準課題は、設計から製作、評価までの製品開発の一連の流れを体験する実習である。生産電気システム技術科では、2015(H27)年度の標準課題「発電電力制御システム設計製作課題実習」においてパワーコンディショナの設計製作を行った。教材を開発する上で、安全性を考慮して、パワーコンディショナの仕様を変更し、また、ワーキンググループの運営上、役割分担がしやすいよう装置構成を工夫した。その結果、事故もなく実習を終え、標準課題のねらいである技術の活用、実践力や自己管理能力の向上、チームワークの醸成に一定の成果を収めることができた。

**Keywords** : ワーキンググループ, 役割分担, IPM 駆動回路, DC-DC コンバータ, インバータ。

### 1. はじめに

標準課題は、企業の開発現場を学校内で擬似的に体験するものであり、装置の設計から製作、評価までの開発の一連の流れを体験することができる授業科目である。標準課題「発電電力制御システム設計製作課題実習」では、ワーキンググループにより、パワーコンディショナの設計・製作・評価を行う過程で、技術、技能の活用はもとより、自己管理能力、創造力、コミュニケーション能力の向上を目指す。

### 2. 教材開発のねらい

**2.1 標準課題の目的** 標準課題の目的は、応用課程の考え方[1]に記載されており、下記のように技術の習得以外にも習得すべき要素が多い内容となっている。これらを習得させるためには、学生に納期までに装置を完成させる強い意思と、積極的に取り組む姿勢を持たせるように指導することが大事である。

- (1) 実際にものづくりを体験しながら、個別的に習得した技能・技術要素の活用を図る。
- (2) ものづくりに関連する一連の手順（工程）を体験する。
- (3) ものづくりに関連した企画・設計・製作等を通して創造性を養う。
- (4) グループ内の役割分担による実践力および自己管理能力を養う。
- (5) グループによる問題解決を通して、チームワークの醸成、リーダーシップ、およびコミュニケーション能力を育成する。

**2.2 習得する技術** パワーコンディショナが有する機能、性能の把握と、それを実現するための基本技術の習得を目的とする内容とした。技術習得の他にミーティングや報告書作成等のための時間を設けるため、時間の制約上から装置の機能を絞り込む必要があった。

MPPT 機能や自動連系機能はプログラム制作に多大な時間を要するため、その機能を削除し、パワーコンディショナの基本機能の設計に重点をおいて製作を進めた。ただし、安全上の観点から過電流保護機能は必須であるため、その機能を盛り込んだ。

**2.3 ワーキンググループの運営** ワーキンググループ内で役割分担がしやすいように、制御回路基板を3つに分けて設計した。役割分担を行うことで、各学生に明確な責任を持たすことができ、実践力および自己管理能力を養う機会となるからである。また、修得した各制御回路基板で使われている技術やインタフェースについて、お互いに情報を共有しなければならないので、技術的なコミュニケーションの題材になりうる。

**2.4 安全性の確保** 導入した図1の昭和電業社製パワーコンディショナ実習装置（以下実習装置という）はAC100Vを生成出力する仕様であり[2][3]、学生が実験や設計・製作を行うには電圧が高く危険なため、実習装置の入出力電圧や内部電圧を低く抑えた。具体的には、パワーコンディショナの入力電圧をDC200VからDC18Vへ、DC-DCコンバータの昇圧後の電圧をDC400VからDC30Vへ、出力電圧をAC100VからAC10Vへ仕様を変更し、環境を整え、事故につながる要因を除去した。上記の数値は波形の歪やノイズ、装置の変換効率の特性を測定したところ、これ以下には設定しがたい電圧である。これとは別に、DC-DCコンバータ制御回路や、インバータ制御回路の設計・製作でミスが生じても実習装置のIPM (Intelligent Power Module) が破損され難いように、IPM駆動回路を単体の基板とし、アイソレーション機能、デッドタイム生成機能を付加した。



図1 パワーコンディショナ実習装置

<sup>\*1</sup> 生産電気システム技術科  
(現 沖縄職業能力開発大学校)

<sup>\*2</sup> 生産電気システム技術科

表1 パワーコンディショナ設計・製作工程表

作業項目	10月					11月				12月			
	1週目	2週目	3週目	4週目	5週目	6週目	7週目	8週目	9週目	10週目	11週目	12週目	13週目
体制づくり													
実験装置の特性把握													
盤への機器移設													
制御回路設計製作													
装置全体の組立・調整・評価													
資料まとめ													
筐体への復旧													
筐体復旧後の動作確認													
後片付け・整理													
週間報告書													
① 性能確認													
パワコン実習装置の性能試験													
IPMの機能調査													
まとめ													
② 盤への移設													
機器配置設計													
配置図面作成													
移設実施													
移動後の動作確認試験													
まとめ													
③ IPM駆動回路													
仕様確認													
回路図確認													
部品表作成													
配線パターン確認													
基板製作													
単体動作確認・調整・評価													
まとめ													
④ DC-DCコンバータ制御部													
仕様確認													
回路実験													
回路設計													
部品表作成													
配線パターン作成													
部品配置													
単体動作確認・調整・評価													
まとめ													
⑤ インバータ制御部													
仕様確認													
回路実験													
回路設計													
部品表作成													
配線パターン作成													
部品配置													
単体動作確認・調整・評価													
まとめ													

### 3. 全体スケジュール

パワーコンディショナの開発に費やせる時間は、標準課題10単位180時間に、関連科目の電気設備設計製作実習4単位72時間を加えた合計14単位252時間である。電気設備設計製作実習はⅡ～Ⅲ期に設定されており、前半2単位分(6月17日から9月24日)でパワーコンディショナの事前調査とインバータ回路のシミュレーションを行った。その後、10月2日からパワーコンディショナの設計・製作を行った。

**3.1 パワーコンディショナの事前調査** 下記の項目について1グループ3名で調査を行い、調査結果の発表を行った。

(1)第1回目の調査報告

- ・力率制御機能
- ・最大電力追従(MPPT)制御機能
- ・自動運転停止機能
- ・過不足電圧検出機能
- ・周波数上昇低下検出機能
- ・単独運転防止機能

(2)第2回目の調査報告

- ・パワーコンディショナの回路方式
- ・自動電圧調整機能
- ・直流検出機能
- ・直流地絡検出機能

**3.2 インバータ回路のシミュレーション** 電気回路シミュレーションソフトウェアPSIMで実際に製作するパワーコンディショナの条件でインバータ回路のシミュレーションを行い、各構成回路や入出力波形を確認し、インバータ回路の理解を深めた。

**3.3 パワーコンディショナの設計製作** 1グループあ

たり4名～5名のワーキンググループをつくり、パワーコンディショナの設計・製作を行った。標準課題に加え電気設備設計製作実習の時間を使い10月2日から12月22日までの13週間でいった。開発に先立ち、表1の工程表を学生に提示し、これに沿って開発を進めさせた。全13週の工程の流れは次の通りである。

**3.3.1 実習装置の理解** 2週目までに、班員全員で実習装置の仕様確認と特性を把握することを目的として次の特性確認試験を行う。

- (1) 実習装置全体の特性確認試験
- (2) DC-DCコンバータの特性確認試験
- (3) インバータの特性確認試験

**3.3.2 実習装置の盤への移設** 3週目までに、班員全員で装置構成のより深い理解と、開発しやすい環境の整備を目的として、下記の段取りで実習装置の構成部品を盤へ移設する。

- (1) 部品間のハーネスの長さを考慮し、配置を構想
- (2) 配置図、配線図作成
- (3) 移設作業実施
- (4) 実習装置全体の特性確認試験
- (5) DC-DCコンバータの特性確認試験
- (6) インバータの特性確認試験

図2に構成部品の盤への移設作業風景を、図3に盤に展開した実習装置を示す。

**3.3.3 パワーコンディショナの制御部の設計製作** 10週目までに、実習装置の主回路を制御する制御部の設計・製作を完了する。制御部をIPM駆動回路、DC-DCコンバータ制御回路、インバータ制御回路の3つの回路基板に分け、グループ内で役割分担を行い9週目までに設計・製作を行う。各回路基板の製作後、単体の



図2 盤への移設作業風景

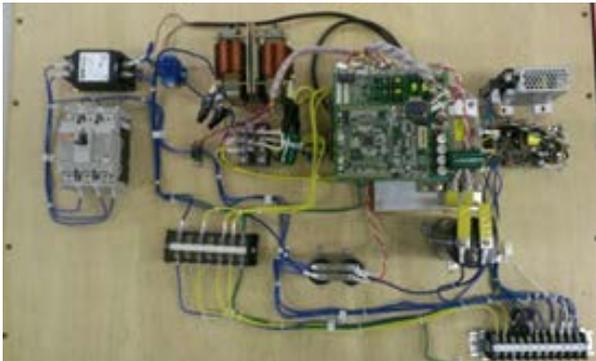


図3 盤に展開した実習装置

動作試験を行った後に、全体動作試験と評価を行う。

3.3.4 報告書作成と完成報告会 11週目は報告書、展示パネルの作成および完成報告会を実施する。

3.3.5 実習装置の復元とまとめ資料提出 13週目は、実習環境を復元させるために次の作業を行い、これと並行してまとめ資料を作成する。

- (1) 実習装置筐体への復元
- (2) DC-DCコンバータの特性確認試験
- (3) インバータの特性確認試験

#### 4. 設計製作内容

パワーコンディショナの制御部の設計に重点をおいて設計・製作を進めた。主回路のIPM、リアクトル、コンデンサなどの大電力用の部品やパワーサプライおよび各センサは、高価なこともあり、新たに購入はせず実習装置に実装されているものを利用した。

4.1 製品仕様 設計・製作するパワーコンディショナの仕様は次の通りとした。

- (1) 太陽電池からの直流電力を交流電力に変換できること。
- (2) 交流系統に接続された負荷に電力を供給できること。
- (3) 余剰電力は電力系統側に逆潮流できること。
- (4) 連系リレーにより電力系統側との接続・遮断が制御できること。
- (5) 安全性を考慮し、連系リレーによる電力系統への接続はパワーコンディショナから電流が出力されていない状態のときに行うこと。
- (6) 系統連系の有無の運転状況が、操作者に分かりやすく判断できるようにすること。
- (7) DC-DCコンバータは昇圧後の電圧が30V一定となるように昇圧回路を制御すること。

- ・入力 太陽電池及び太陽電池模擬電源  
最大直流入力電圧 DC18V  
最大直流入力電流 DC3.0A  
(過電流保護 DC3.3A)
- ・出力 昇圧後の電圧 DC30V  
最大直流出力電流 DC2.0A

(8) インバータの出力は商用電力系統の単相AC100Vを1/10に降圧したAC10Vと同期を取り、連系運転を行うこと。

- ・入力 DC30V
- ・出力 AC10V, 60Hz
- ・最大出力 20W
- ・系統連系 系統AC10Vと位相同期を取り、手動で連系運転に切り替える。

(9) 電力系統への出力電流の実効値を0.7Aから最大値2.0Aの間で設定できるようにする。

(10) 力率制御(同期制御)機能付きとする。

(11) 制御電源は商用のAC100Vとする。

(12) 図4に示す主回路および制御回路は盤の上に組み立てること。

(13) 制御回路と主回路とを接続する信号線は、コネクタで接続すること。

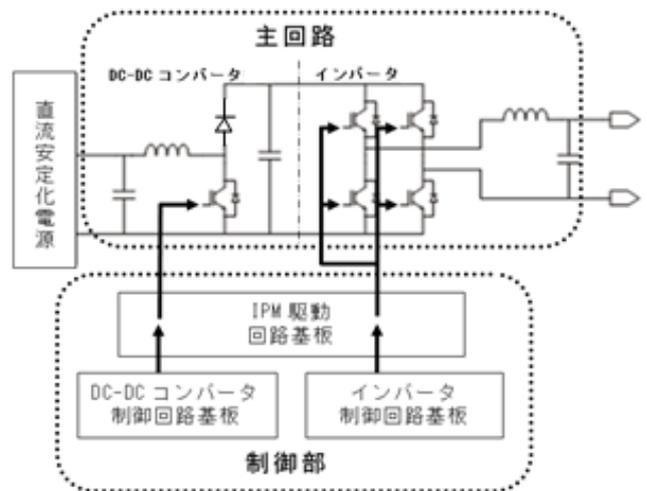


図4 主回路と制御部の構成

4.2 理解すべき基本項目品仕様 設計にあたって理解すべき基本項目は次の通りであり、適宜学生へ説明を行った。

- (1) 交流の基礎(実効値, 最大値, 平均値等)
- (2) 直流から交流への変換原理
- (3) 太陽電池・太陽光模擬電源の特性
- (4) DC-DCコンバータ制御
- (5) センサ入力回路
- (6) IPMの活用
- (7) PWM(Pulse Width Modulation)インバータ制御
- (8) 系統連系保護機能

4.3 制御部の回路基板構成 制御部は次の3つの回路基板に分けて製作し、回路基板間の接続は図5、回路基板の実装は図6の通りとする。

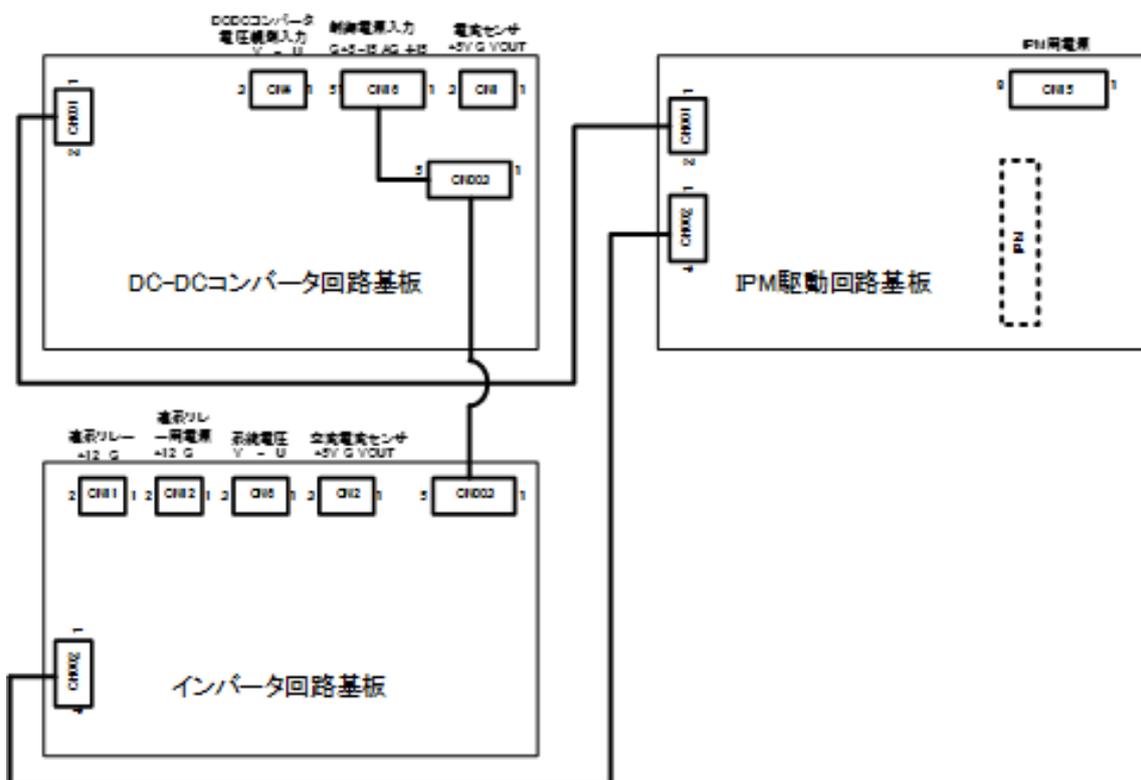


図5 基板間接続

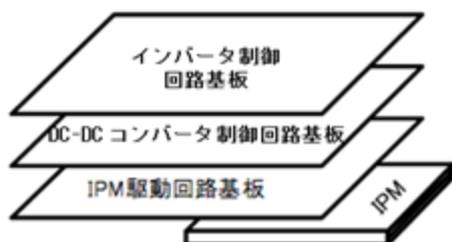


図6 基板実装順

**4.3.1 IPM 駆動回路基板** IPM 駆動回路基板は DC-DC コンバータ制御回路基板やインバータ制御回路基板からの PWM 信号により, IPM を駆動し DC-DC コンバータとインバータの機能を実現する. 装置の安全性を考慮し, フォトカプラでアイソレーションを行い, さらに, IPM 内部で構成されるフルブリッジインバータの短絡防止用にデッドタイム生成機能を設ける. この基板は DC-DC コンバータ制御回路基板, インバータ制御回路基板より先に製作する必要がある.

**4.3.2 DC-DC コンバータ制御回路基板** DC-DC コンバータ制御回路基板は, DC-DC コンバータの主回路を制御するための PWM 信号を生成し出力し, 入力電圧が変動しても出力電圧を一定に保つようフィードバック制御を行う. また, 安全性を考慮し, 過電流保護回路を設けている. PWM 信号の生成には PWM スwitchングコントローラ IC(TL494)を使用し, 電子回路のみで設計する.

**4.3.3 インバータ制御回路基板** インバータ制御回路基板はインバータを制御するための PWM 信号を生成し出力する. インバータの出力電流波形と系統の位相を合わせ, 出力電流の大きさは基板上に配置した可変

抵抗で調整できるようにする. 系統との連系は, 基板上に配置したトグルスイッチにより手動で切り替える.

## 5. IPM 駆動回路基板の設計

IPM 駆動回路の設計条件は以下の通りである.

- (1) IPM 駆動回路はユニバーサル基板で製作する
- (2) IPM 駆動回路基板に IPM を直付けする
- (3) IPM 駆動回路の電源は既設の電源を使用する
  - ・フォトカプラ発光側入力電圧 5V
  - ・IPM 用電源(CN15 相当) : +15V×4 組
- (4) 既設のヒートシンクに IPM を密着させる

学生へ配布したテキストには, IPM 駆動回路の基本方式の説明から完成した回路図面, 配置配線図面, および, 細かな評価試験手順を記載した. これは, 学生が自主的に行動しやすいように配慮したことと, 今後 DC-DC コンバータ制御回路基板の設計製作, インバータ制御回路基板の設計・製作に取り掛かる際, 設計の段取りやまとめるべき項目の参考にしてもらう狙いがある. 図7に IPM 駆動回路基板全体の回路図を, 図8に配置配線図を示す.

### 5.1 IPM 駆動回路基板の構成

**5.1.1 IPM 駆動回路** 実習装置に実装されている IPM (6MBP50RA060-55)の内部には 6 つの IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)が格納されている. それぞれの IGBT の ON,OFF を制御する駆動回路を図9に示す. 駆動回路はフォトカプラ(TLP759)を用いて PWM 信号出力側の回路とアイソレーションを行っている. また, 6 つの IGBT の GND レベルは, 4 つのレベルに分離しなければならないので, 図7では相互に GND レベルが独立するよう設計している.

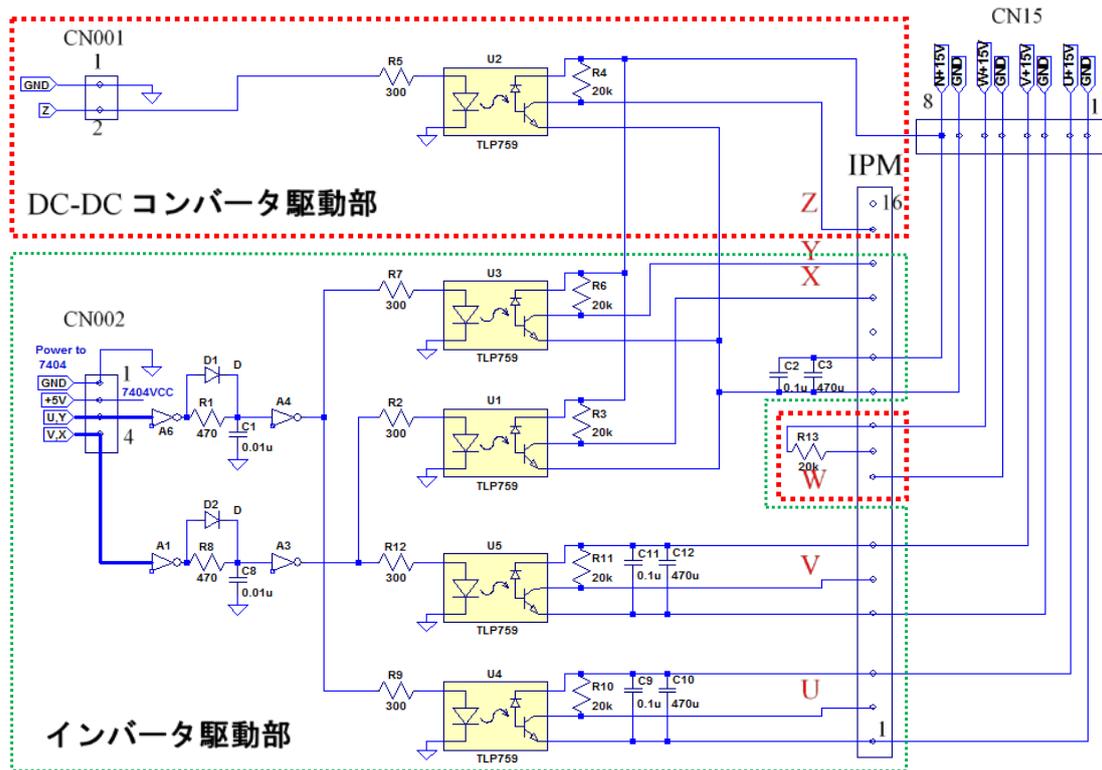
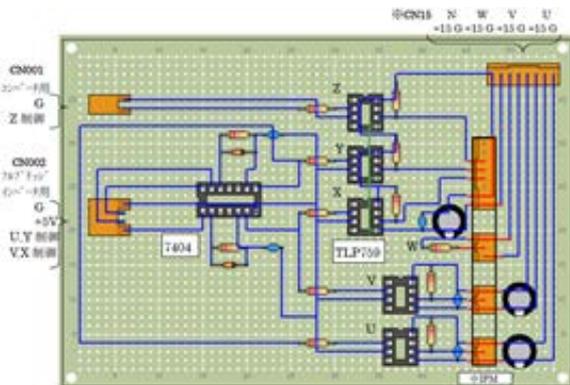


図7 IPM 駆動回路



※IPM用コネクタは裏面に実装  
図8 IPM 駆動回路の配置配線

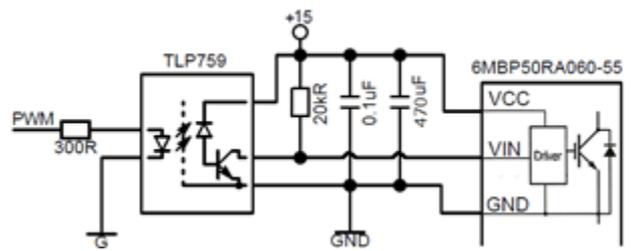
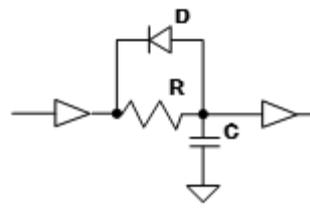


図9 IPM 駆動回路



立上り時の遅延時間  
$$e(t) = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

図10 デッドタイム生成回路

5.1.2 デッドタイム生成回路 図10にデッドタイム生成回路を示す。立上りの遅延時間は図内の式で求められ、今回は $2\mu s$ の遅延が生じるよう設計した。一方、立下りの場合はダイオードDの働きにより遅延しない。

5.2 IPM 駆動回路基板の評価試験 図11に製作したIPM 駆動回路基板を示す。DC-DC コンバータ駆動部とインバータ駆動部はそれぞれ個別に評価試験が行えるように設計している。

### 5.2.1 DC-DC コンバータ駆動部の評価試験

5.2.1.1 Duty 比対出力電圧特性 DC-DC コンバータの Duty 比出力電圧特性を下記のように測定する

- (1) IPM 駆動回路基板と主回路部を接続し、IPM 駆動回路基板の CN001 にファンクションジェネレータを接続する。

- (2) ファンクションジェネレータの出力を 10kHz の方形波にして Duty 比を 20% から 60% の間で変化させ、DC-DC コンバータの出力電圧の変化を測定する。

DC-DC コンバータの Duty 比出力電圧特性の実験結果を図12に示す。これより、IPM 駆動回路基板へ入力した PWM 信号の Duty 比で DC-DC コンバータの出力電圧が制御されていることが確認できる。

5.2.1.2 変換効率測定 DC-DC コンバータの出力電流を変化させ、その都度、変換効率を算出させる。測定の結果、90%の変換効率であった。

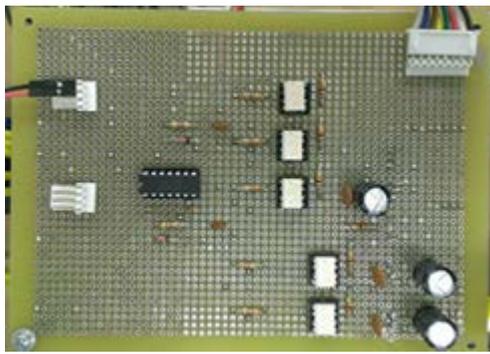


図 11 製作した IPM 駆動回路基板

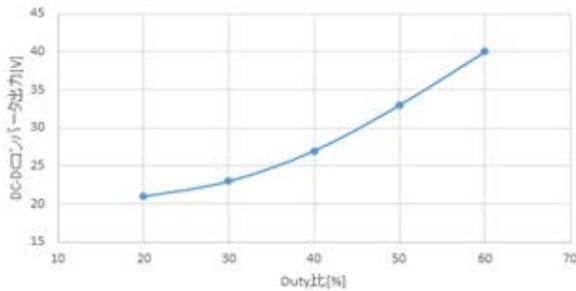


図 12 Duty 比対 DC-DC コンバータ動作特性

5.2.2 インバータ駆動部の評価試験 インバータ駆動部の試験を行う際は、図 13 に示す 2 つの PWM 信号が必要であるが、ファンクションジェネレータがその機能を有していない場合は製作した IPM 駆動回路基板の CN002 の 3 ピン (U,Y 制御用) にファンクションジェネレータを接続し、74HC04 の (インバートされた) 2 ピンの出力信号を 1 ピンに入力することにより代替することができる。

5.2.2.1 デッドタイム測定 IPM 駆動回路基板で U と X を同時に導通、または、V と Y を同時に導通させると電源がショートし、危険な状態となる。これを防ぐためデッドタイムを設けているので、実際のデッドタイムの長さをオシロスコープで測定する。デッドタイムの実測値は図 14 に示すように  $4.0\mu s$  であった。

5.2.2.2 Duty 比対 U-V 間出力電圧特性 Duty 比を 20% ~80% の間で変化させ、U-V 間の出力電圧を測定する。その波形を図 15 に示す。

## 6. DC-DC コンバータ制御回路基板の設計製作

DC-DC コンバータ制御回路基板は出力電圧をフィードバックし、出力電圧を 30V 一定に維持する。また、DC-DC コンバータの入力電流が 3.3A 以上になると DC-DC コンバータを停止させる過電流保護機能を設けた。DC-DC コンバータ制御回路基板は PWM スwitchングコントローラ IC (TL494) を用いて設計し、主回路は実習装置の構成部品を流用する設計とした。

6.1 PWM スwitchングコントローラ IC PWM スwitchングコントローラ IC を用いた DC-DC コンバータの回路構成を図 16 に示す。PWM スwitchングコントローラ IC は出力電圧  $V_{out}$  を常に検知し、あらかじめ設定された電圧から変動した場合、PWM の ON 時間を調整し、設定された電圧になるように振舞う。

5.2.1.2 変換効率測定 DC-DC コンバータの出力電

流を変化させ、その都度、変換効率を算出させる。測定の結果、90%の変換効率であった。

6.2 DC-DC コンバータ制御回路の設計 図 17 に学生に提示した DC-DC コンバータ制御回路を示す。

図 17 の回路は学生に DC-DC コンバータ制御回路の

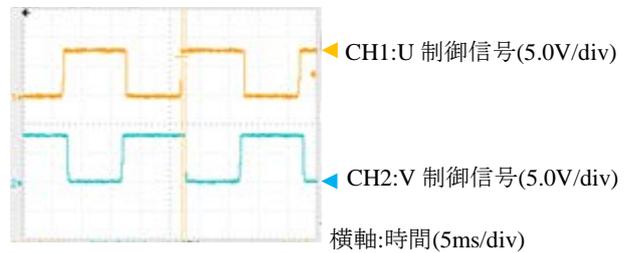


図 13 U 制御信号(CH1)と V 制御信号(CH2)

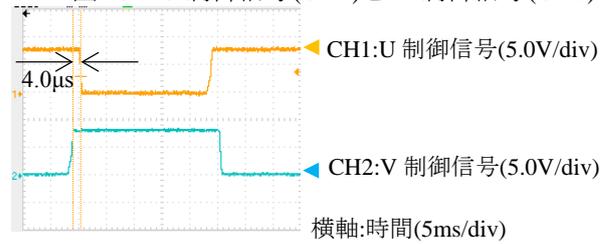
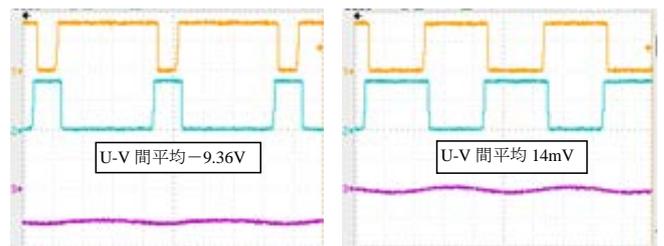
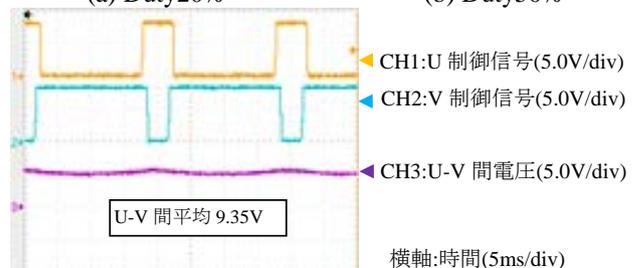


図 14 U,V 制御信号とデッドタイム測定



(a) Duty20%

(b) Duty50%



(c) Duty80%

図 15 Duty 比対 U-V 間電圧波形

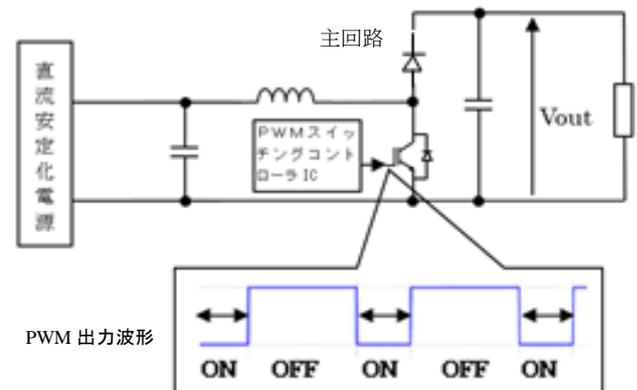


図 16 DC-DC コンバータ

理解を深めてもらうために敢えて不具合を含んだ不完全なものとなっている。それは TL494 のパルス発生回路端子に適切な値の抵抗とコンデンサを接続する必要

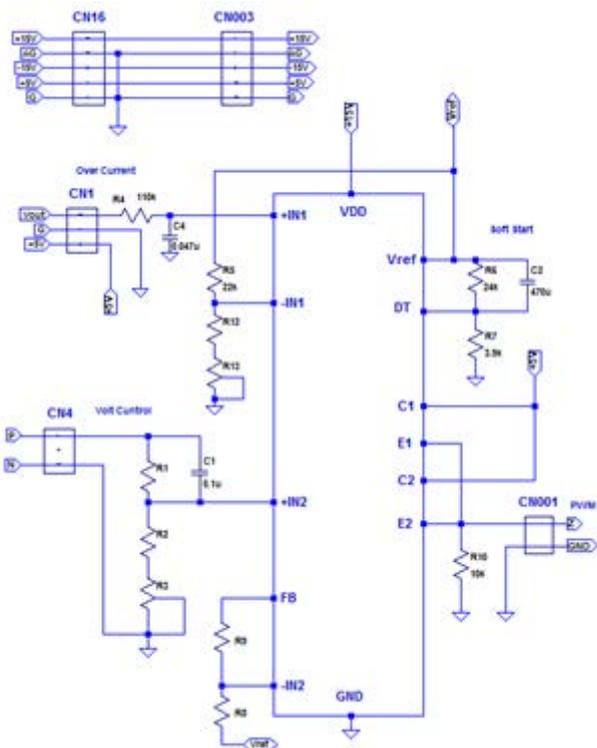


図 17 DC-DC コンバータ制御回路

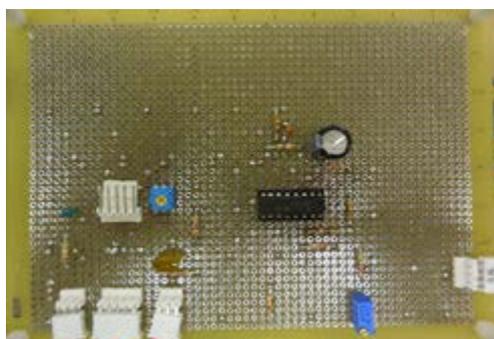


図 18 製作した DC-DC コンバータ制御回路基板

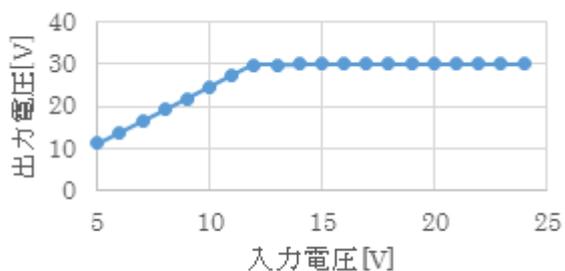


図 19 DC-DC コンバータの部入出力特性

があるのと、DT-V<sub>ref</sub>間の抵抗値が 24kΩ のとき Duty 比の最大値が低く制限される点である。ところで、電源投入時には、出力電圧が昇圧されておらず目標値の 30V に対しかなり低いため、Duty 比が急に高くなりすぎて動作が不安定になる。この対策として、電源投入時に PWM 信号の出力を遅らせるソフトスタート回路

と、Duty 比の最大値を一定の値に抑制する Duty 比抑制回路を付加している。

6.3 DC-DC コンバータの評価 製作した DC-DC コンバータ制御回路基板を図 18 に、DC-DC コンバータの入出力特性を図 19 に示す。入力電圧が 12V から 25V までの範囲で、安定した 30V の出力が得られた。

## 7. インバータ制御回路基板の設計製作

パワーコンディショナでは、インバータを使用して太陽電池からの直流電力を家庭で使う交流電力へ変換して出力する。その出力電圧は常に系統電圧と位相同期をとる必要があり、また、出力電流は高調波含有率が小さくなければならない。

7.1 シミュレーションソフトによる動作確認 インバータ制御回路基板の設計を行うにあたり、シミュレーションソフト PSIM により回路の動作確認を行う。今回利用する実習装置のインバータの主回路は図 20 のようなフルブリッジインバータの構成であり、PWM 信号でインバータの出力電圧を調整する。フルブリッジインバータの IGBT1 と IGBT4 が同時に ON となり、IGBT 2 と IGBT3 が同時に ON となるように制御する。IGBT1、IGBT4 の ON の時間と、IGBT 2、IGBT3 の ON の時間の割合により出力電流  $i_{ac}$  の大きさが決まる。さらに、IGBT1、IGBT4 の ON 時間と IGBT 2、IGBT3 の ON 時間の比率 (Duty 比) を周期的に変化させることにより、交流電流を生成することができる。図 21 は PSIM でシミュレーションしたときの出力であり、図 20 のフルブリッジインバータ回路の IGBT1、IGBT4 のゲートに PWM1 信号、IGBT 2、IGBT3 のゲートに PWM2 信号を入力したときの出力電流  $i_{ac}$  の波形を示している。インバータ制御回路の設計は、基本モデルとして図 22 の構成図と図 23 の回路[4]を学生に提示し、これをもとに設計を行わせた。図 23 で一部の抵抗の値

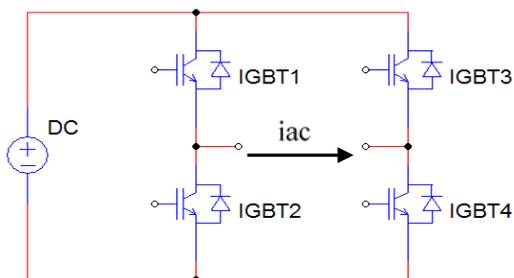


図 20 フルブリッジインバータ回路

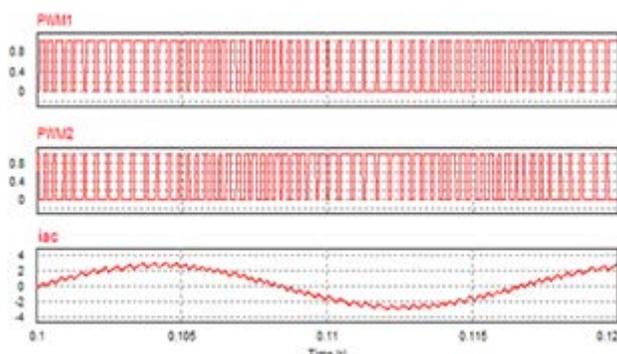


図 21 PWM 信号と出力電流波形

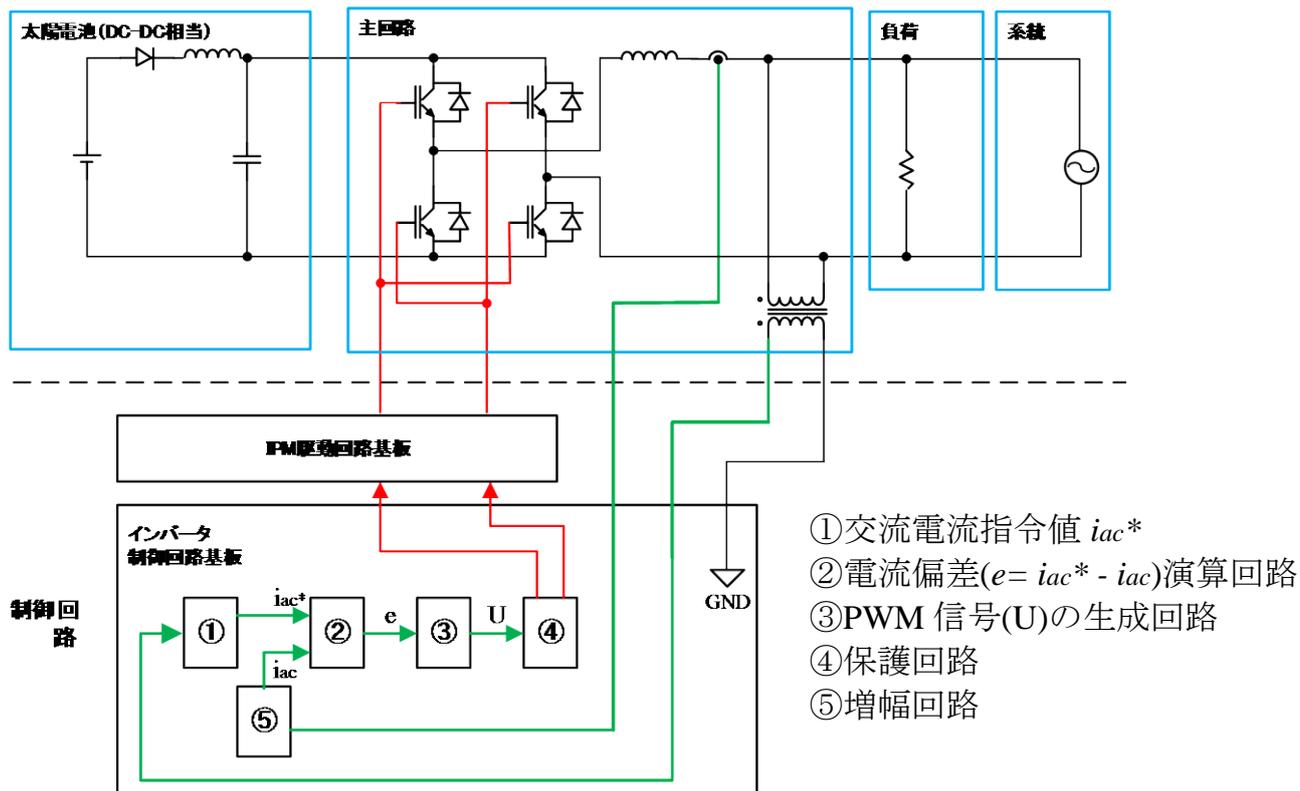


図 22 インバータ制御回路の構成

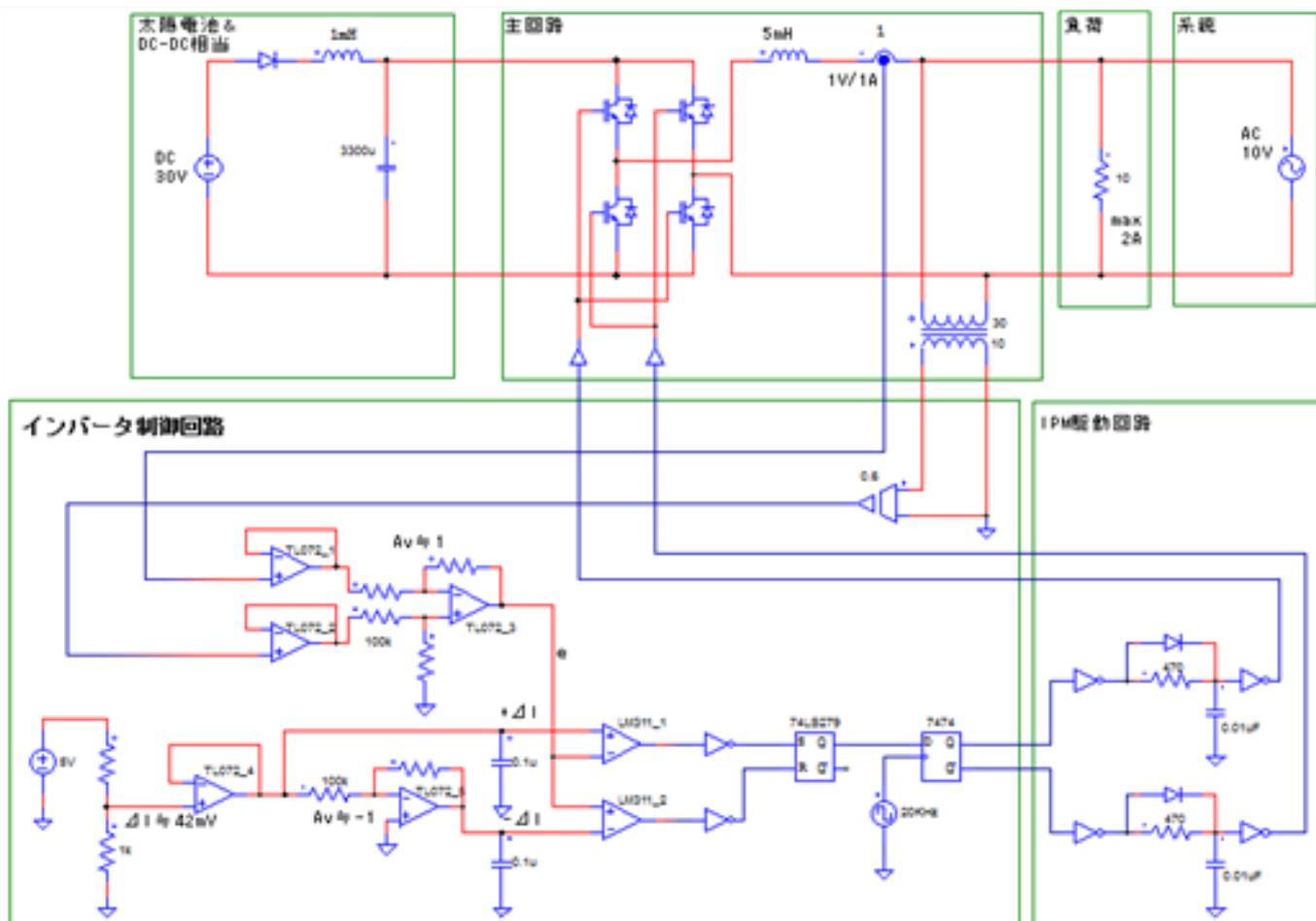


図 23 インバータ制御回路

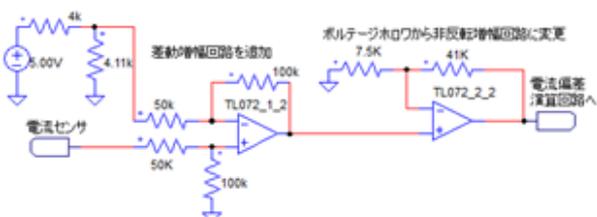


図24 電流センサ増幅回路

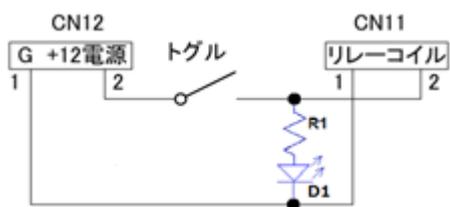


図25 連系スイッチ

が記述されていないのは、学生にその値を求めさせるためである

**7.2 インバータ制御回路の設計** PSIMでのシミュレーションでは、主回路の電流センサ、出力電圧の増幅器、および、インバータ制御回路の20kHzのクロックがシンボルで記述しているので、そのシンボルと同等の働きをする電子回路を設計する必要がある。電流センサは実習装置に内蔵されているHASS50-Sを利用するが、このセンサは計測電流が流れていないときに約2.5Vのオフセットを出力するので、図24の電流センサ増幅回路でこのオフセットを相殺し、かつ、1.0A流れたときに1.0Vの出力となるように調整する。また、システムの電圧を引き込むときはトランスを使用せず、代わりに絶縁アンプ(ISA205SA)を使用してアイソレーションを行った。さらに、インバータから交流電流が出力されていないときに手で図25の連系スイッチを操作しシステムとの連系を行う回路を付加する。

**7.3 インバータの評価** 製作したインバータ制御回路基板を図26に示す。インバータの主回路を製作したインバータ制御回路基板で制御させ、出力電流を2.0Aにしたときのインバータの出力電流波形を図27に示す。図27より、系統電圧とインバータ出力電流の位相が一致しており位相同期が取れているのが分かる。しかし、出力電流波形は1A、20kHz程度で発振しており不安定なため、システムへの連系は行うことができなかった。

### 8. 学生の指導にあたって

学生が自主的に取り組むように、リーダー以外の学生でも、サブリーダー(進捗管理)、物品・安全、記録の各役割において先導的に行動するよう促した。また、当初行うパワーコンディショナ実習装置の特性実験では学生が自主的に行動しやすいようにテキストに具体的な測定内容や実験方法を記載した。はじめから難易度を上げると、理解できる一部の学生のみが実験を行い、その他の学生は作業の指示待ちとなり、積極的にワーキンググループを行うことができなくなる。ワーキンググループ運営当初は、学生も不安を抱えているので、「やればできる」ことの成功体験により学生のやる気を引き起こす必要がある。ワーキンググループ運営当

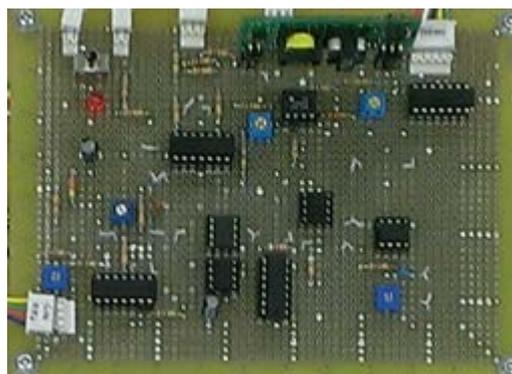
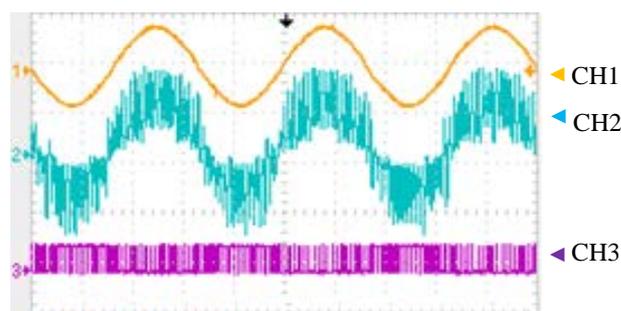


図26 製作したインバータ制御回路基板



CH1:系統電圧(20V/div)  
CH2:インバータ出力電流(2.0A/div)  
CH3:PWM 波形(5.0V/div)  
横軸:5ms/div

図27 インバータ制御回路基板

初に行う作業の技術的難易度を下げることが、グループの目標を装置の完成に向けさせ、ワーキンググループを機能させるためには有効な手法だと思われる。一方、設計・製作する回路は3つの基板に分け、それぞれが単体試験までを個別に行うことができるようにした。これにより、個人の責任を明確にすることができ、また、各自が自立して学習や作業を行い、実施したことは資料にまとめ、グループメンバーへ周知して完結するまでの流れを学生に体験させることができる。メンバー個々が責任を持って取組んでいないとグループ全員で集まってミーティングを行っても建設的な話し合いになり難いため、基板を3つに分け各人の責任を明確にすることは有効な手法だと思われる。設計・製作は基板ごとに行うが、相互に機能やインタフェースを理解しないと設計ができないので、情報交換やコミュニケーションの大切さを実感することができると思う。

**8.1 導入時の指導** 標準課題の目的を理解させ、自主的に取り組むことの重要性を認識させることが後々の学習態度に影響を与えるのでしっかりと標準課題の目的を説明する必要がある。また、納期までに必ず装置を完成させることの意識付けが大事である。

**8.2 グループ活動開始時の指導** リーダを中心にグループでの役割やグループのルールを決めさせ、文章で提出させた。また、学生にはノートを用意させ、連絡事項、グループの議事内容、実験データと日々の作業内容を記述させ、そのノートを毎週週末に提出させた。

**8.3 日程管理の指導** 表1の工程表を学生に提示し、

これを参考にして横軸に実際の日付を記入した大日程表を作成させた。大日程表は進捗状況掲示板に張り出し、日々実績を手書きで記入させた(図 28)。2 週目より週間報告書の作成とグループミーティングを実施した。週間ミーティングは週末に 1 グループにつき 15 分ずつ行い、グループの進捗状況と各個人の作業内容を報告させた。5 週目からは担当する基板に分かれて設計作業を行うので、これにあわせて小日程表を作成させた。小日程表は個人のひと月間の予定を記入するフォーマットとなっており、これを見るという何をしなければならないか具体的な内容が分かるような記述にするよう指導した。大日程表と小日程表を併用することにより、全体の流れから個人のその日の行動予定までを把握することが可能となる。加えて、6 週目には進捗管理表を作成させた。進捗管理表は装置の完成に対し今現在どこまで進んでいるかが視覚的に分かり易くなっているツールである。進捗管理表をグループ活動当初から提示すると、学生が大日程表との差異を理解しづらいのではないかと考え、ある程度製作が進んだ頃合で進捗管理表を作成させた。



図 28 日程表と進捗管理表の掲示状態

**8.4 報告書の指導** 各実験や評価試験のまとめについては必ず検印を押下するようにし、学生へは下記の趣旨を繰り返し教示した。

- (1) 伝えたいことを明確にしてから書く
  - ・資料の目的の明確化
  - ・記述すべき事項と省く事項の整理
- (2) 3ヶ月後に見ても内容が理解できる記述にする
  - ・あらましを記述してから各論を記述
  - ・5W1H で必要な要素が抜けていないかのチェック

**8.5 安全性の確保と指導** 導入した実習装置内部の DC-DC コンバータの出力は最大 400V であり、その電極板が剥き出しになっているので容易に学生が触れることがないよう絶縁テープでカバーをした。また、学生が実験や設計・製作を行う場合は、実習装置の入力電圧を DC200V から DC18V へ、DC-DC コンバータの昇圧後の電圧を DC400V から DC30V へ、出力電圧を AC100V から AC10V へ、電圧を低く抑えた。しかし、電圧を低く抑えた仕様に変更しても、DC-DC コンバータの出力である PN 間に負荷を接続しないと PN 間に 130V 以上の電圧が発生する。PN 間の電極を不用意に素手で触る学生もいたので、常にテスターで電圧をチェックする習慣を持たせることが必要である。ところで、実習装置の端子台は図 29 の通りである[5]。N 端子が 3 箇所あるが、これらの N 端子は電氣的に異なるものなので混同しないように注意を促す必要がある。

## 9. 学生の習得度

本標準課題の終了時に学生の習得度を調べるため学

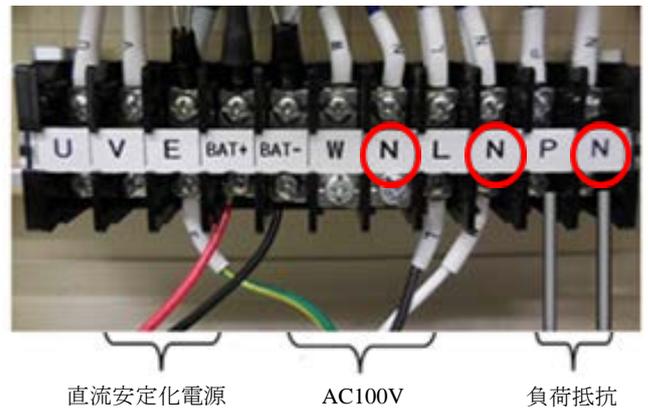


図 29 パワーコンディショナ端子台

生全員 18 名にアンケート調査を行った。その調査項目と結果を図 30 に示す。

技術習得度の項目からは装置全体の方式の把握ができたことがわかる。学生がこれまで経験してきた製作実習に比べ規模が大きく全体を把握するのは容易なことではないと思われたが、予想以上に把握ができていた結果となった。開発当初の装置全体の特性試験は必ず全員参加で行わせ、その後、盤に配置した後、IPM 駆動回路の製作後、元の状態に戻した後も装置全体の特性試験を行わせた。装置全体の特性試験を繰り返し行うことにより装置全体の把握に繋がったと思われる。

日程管理については、期日までに装置を完成させることはできなかったものの、その必要性を認識し日程を意識しながら作業を進めており、日程管理のアンケート結果が良好であったことから、学生にとって良い経験になったものと思われる。グループワークについてはグループ毎に特色はあったものの各学生は自主的、積極的に取り組んでいたことが伺われる。ただし、各役割においてリーダーシップが取れていない学生が 2 割いた。

## 10. おわりに

標準課題でパワーコンディショナの設計・製作に取り組むのは前年度に続き今年で 2 年目である。前年度のインバータ制御回路はマイコンを使ってプログラムを中心に設計したのに対し、今年度はアナログ回路、デジタル回路を中心とした制御回路の設計を試みた。結果として、今年度製作したパワーコンディショナの出力電流波形の発振を抑えることができず、このため、システムとの連系は断念することとなった。しかしながら、アナログ回路、デジタル回路を使用して設計した今年度の方式のほうが一つひとつの動作や働きを確認しながら進めていけるので今年度の学生にとっては理解しやすかったのではないかとと思われる。日程的には予定期日までの完成とはならなかったが、ほとんどの学生が装置の完成を目指し積極的に課題に打ち込んでおり、最終的には全ての班が図 31 に示すようなパワーコンディショナを完成させることができた。改善すべき事項はいくつかあるものの、今回開発した教材は標準課題のねらいに対し一定の成果があったものと思われる。

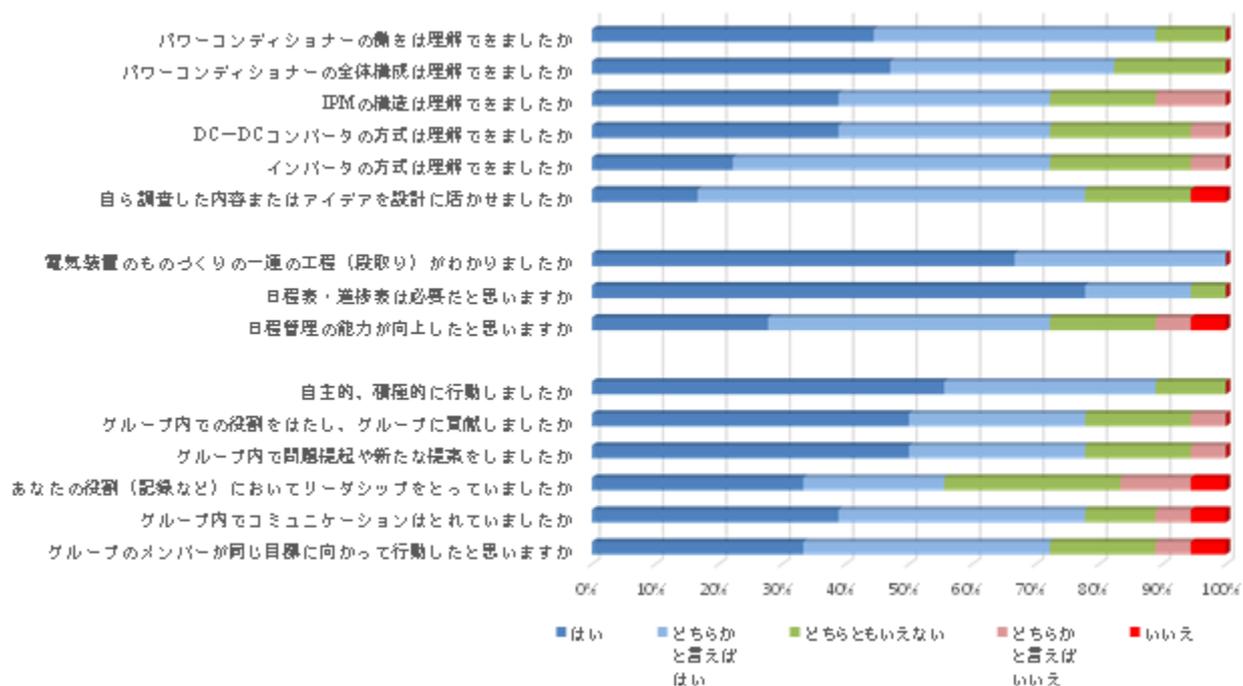


図30 習得度調査アンケート結果

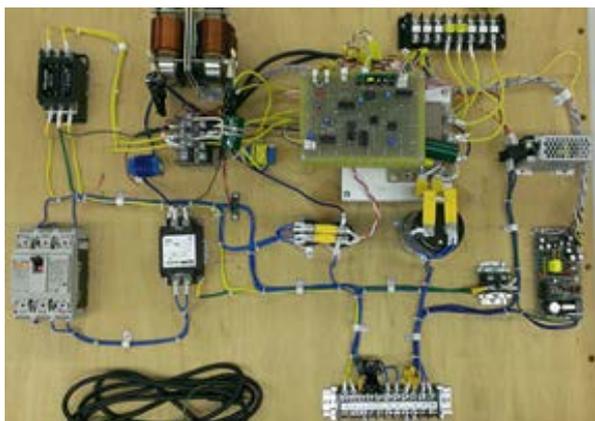


図31 完成したパワーコンディショナ

文献

- [1] 独立行政法人雇用・能力開発機構大学校部：応用課程の考え方, 2009.
- [2] 株式会社昭和電業社：取扱説明書パワーコンディショナー実習装置, p.7.
- [3] 株式会社昭和電業社：職業能力開発総合大学校パワーコンディショナ製作実習装置系統関係インバータ.
- [4] 山本修・清水洋隆：技能と技術, 2010\_04, pp.25-28.
- [5] 株式会社昭和電業社：職業能力開発総合大学校パワーコンディショナ製作実習装置系統関係インバータ全体配線図.

(2016年06月22日提出)