

# パワーエレクトロニクス実験・実習教材

## その1：誘導モータの制御技術

職業能力開発総合大学校 山本 修・佐々木英世・荒 隆裕

### 1. はじめに

従来，制御機械等の動力源は制御性の良さからDCサーボモータが主として用いられてきた。しかし近年では，堅牢，安価，そしてブラシ交換が不要といった保守面での優位性等から，ACサーボモータが主流となってきている。その背景には，高性能な可変速制御を可能とするベクトル制御理論の確立と，高速スイッチング可能で大容量な半導体素子の開発，およびマイクロコンピュータ技術の発展などがあげられる。このように産業界は急速な転換期を迎える中，それに従事する高度な技術者の育成も急務となっている。

モータの制御技術を含むパワーエレクトロニクスの教材は種々のものが市販されているが，モータの巻線構造からその高性能な制御法までを，一貫した総合的技術として，また実体験として習得できる実験・実習教材は見当たらない。

そこで筆者らは，小容量（定格400 [ W ]）の三相かご形誘導モータの固定子巻線の設計・製作から，ベクトル制御を用いた高性能可変速制御実習までを通じて，電機制御ならびにパワーエレクトロニクスに関連する幅広い知識，実践的な技術・技能を総合的に，かつ柔軟性をもって効率的に習得できる実験・実習教材を開発した<sup>1)~4)</sup>。

今回の報告においては，開発した教材の視点，構成等の全体概略について，第2回目以降は，モータおよびベクトル制御の理論，実際の教材，実験・実

習方法および実験データ例等について順を追って紹介する。

### 2. 本教材の概要

図1は，本教材のシステム構成図である。本教材は，大きくモータユニット，インバータユニット，アナログ・デジタルユニットおよびコンピュータユニットの4つのユニットで構成される。

アナログ・デジタルユニットとコンピュータユニットは，ベクトル制御の演算等が行われるユニットで，ともに同一の機能を有し，それぞれがハードウェアとソフトウェアによって実現されたものである。

各ユニットは配線ケーブルを取り外し，独立して移動させることが可能である。アナログ・デジタルユニットおよびインバータユニットは，アルミ製トランクケースに収納され，持ち運びが容易となっている。したがって，各学習者は，それぞれの作業台上において作業を行うことが可能なため，大学校における実験・実習，セミナー等の集合訓練，複数のコースが並列して実施されるような教育訓練等に幅広く利用できる。

また，本教材は自作テキスト<sup>5)~6)</sup>を用意しており，モータの構造や動作原理といった基本的な学習からベクトル制御といった高性能な制御法まで，理論と実習を対応させながら学習を進めることができる。

図2は，本教材の学習の流れである。

学習者は、実験・実習を主体として各ユニットを段階的に学習することにより、電動機、電力変換、電子回路およびソフトウェア技術といった幅広い専門知識を総合的に習得することができる。

また、各ユニットは単独で完結した形態をとっており、さらにインターフェースを統一していることから、1つまたは選択したいくつかのユニットについてのみの学習をすることもできる。そして、すでに完成されている他のユニットと組み合わせることで、本教材の学習内容の全体像を理解するといった、時間的制約や個々の学習目的に柔軟に対応することも可能である。

このように全体の学習を通じて、電機制御ならびにパワーエレクトロニクスに関連する幅広い技術を総合的かつ実践的に習得することができるとともに、学習者の状況に合わせてフレキシブルな利用法を提供できるのが本教材の特徴である。

### 3. 各ユニットの概要および学習内容

図1に示す各ユニットの概要および学習内容につ

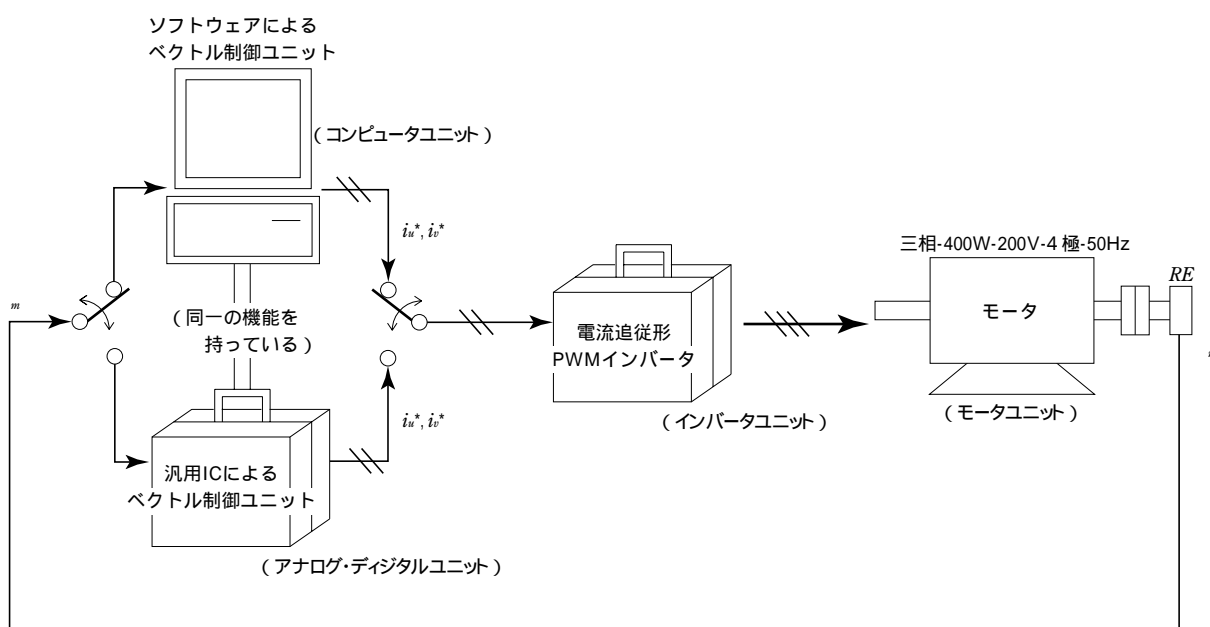


図1 教材のシステム構成

いて述べる。

#### 3.1 モータユニット

モータユニットは、三相かご形誘導モータ（400W-200V-4極-50Hz）およびロータリ・エンコーダ（RE：1000P/R）から構成されている（図3参照）。

モータユニットでは、自作テキストによって各種のモータに関する基礎理論を学習した後、仕様に合わせて固定子巻線の設計および製作を行う。その後は、無負荷試験、実負荷試験および拘束試験を行い、特性算定および等価回路定数の算出を行う。

学習者は、本ユニットの特徴であるモータの固定子巻線の設計・製作・試験の実習を通じて、その基礎的知識、構造および試験法を習得することができる。また、モータの構造が、物理像としてとらえることができるので、その等価回路の理解が容易になる。

#### 3.2 アナログ・デジタルユニット

図4は、アナログ・デジタルユニットの外観で

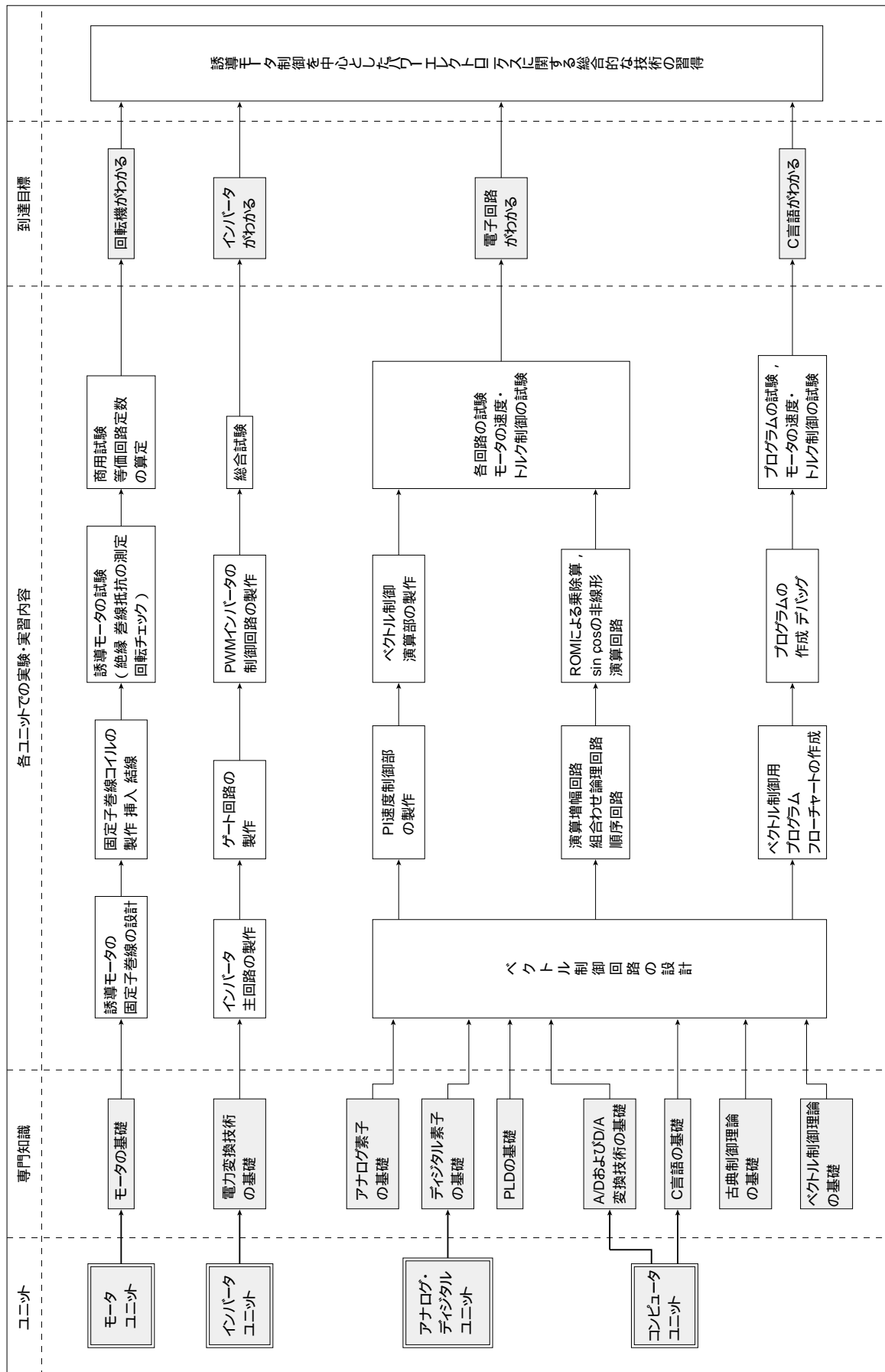


図2 学習の流れ

ある。このユニットは、アルミ製トランク内にブレッドボードが2枚、これらには直流スイッチング電源および電源ブレーカが設置されている。ACアダプタを商用コンセント（AC100V，50Hz）に接続することにより、ブレッドボードにDC±5V，DC±12Vが供給される。

学習者は、モータユニットにおいて自らが製作した三相かご形誘導モータの等価回路定数を用いて、ベクトル制御理論を適用した制御回路を設計する。設計された制御回路は、本ユニットのブレッドボード上に、汎用のアナログ・デジタルICを用いて

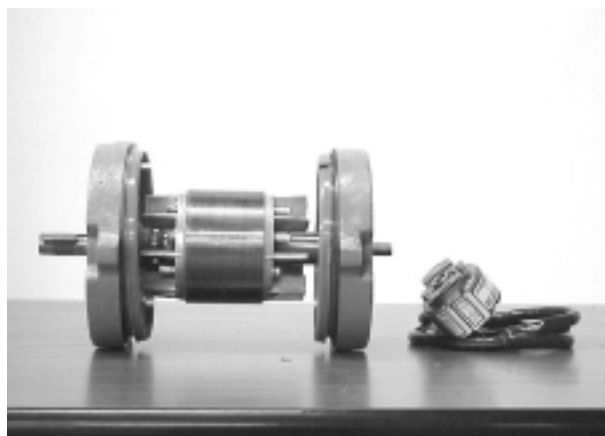
製作される。

本ユニットではベクトル制御理論の理解とともに、電子回路技術の基本となるアナログ増幅回路、A/D・D/A変換回路およびデジタル回路技術について習得することができる。

また、本ユニットにモータユニットおよびインバータユニットを組み合わせた実機運転で、回路各部の波形観測や特性試験を行うことにより、ベクトル制御理論の実際を体得することができる。

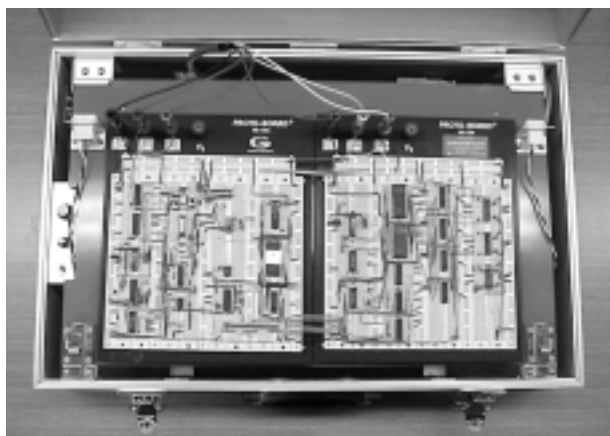


(a) 誘導モータの固定子（左：巻線なし，右：巻線あり）



(b) 誘導モータの回転子とロータリ・エンコーダ

図3 モータユニット

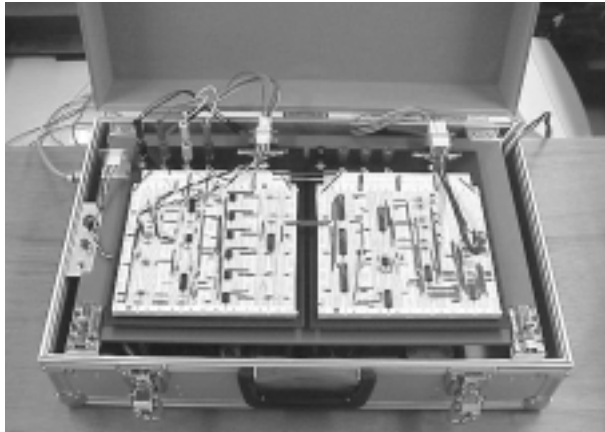


(a) ブレッドボードに製作された制御回路

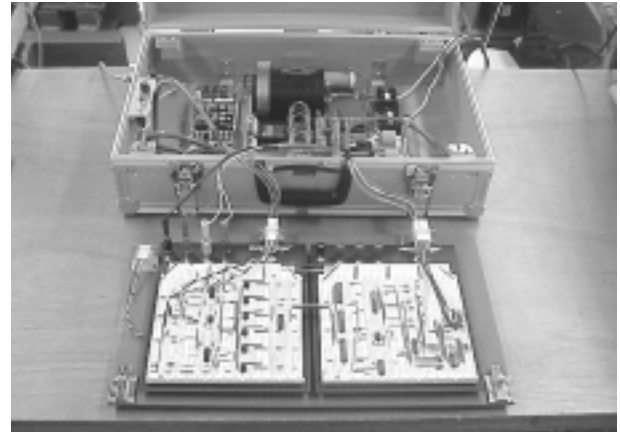


(b) ブレッドボードを取り外した状態

図4 アナログ・デジタルユニット



(a) ブレッドボードに製作されたインバータ制御回路



(b) ブレッドボードを取り外した状態（ゲート駆動回路とインバータ主回路が見える）

図5 インバータユニット

### 3.3 コンピュータユニット

本ユニットは、パーソナルコンピュータ（CPU：Pentium 200MHz、メモリ16MB等）を用いて、アナログ・デジタルユニットと同一の機能を有するベクトル制御理論をソフトウェアによって実現するものである。

インターフェースとして、D/A変換ボード（サイエンスパーク社製）とA/D変換ボード（IBX-3152、インターフェース社製）を装備している。ベクトル制御のプログラムは、C言語（TurboC++、Ver.4、ボーランド社製）により作成する。

本ユニットではソフトウェア技術およびA/D・D/A変換等のインターフェース技術の習得とともに、アナログ・デジタルユニットと同様、モータユニットおよびインバータユニットを組み合わせた実機運転で、波形観測やコンピュータに取り込まれた各パラメータの解析を行うことにより、ベクトル制御理論とその実際を体得することができる。

### 3.4 インバータユニット

図5は、インバータユニットの外観である。本ユニットは、アナログ・デジタルユニットと同様のアルミトランクにブレッドボードが2枚、その下に、IGBTを用いた電圧形インバータの主回路および駆

動回路が収納されている。

学習者は、自作テキスト<sup>6)</sup>によって電力用半導体素子とインバータ回路を学習した後、インバータ主回路とゲート駆動回路を製作する。また、PWMインバータの制御回路をブレッドボード上に製作する。

本ユニットを通じて、IGBT等の各種電力用半導体素子の特性および使用法、インバータ主回路およびインバータの制御回路、ならびにPWM制御法について習得することができる。

#### 参考文献

- 1) 平成7年度全国総合技能展，出展名：「パワーエレクトロニクス実習用教材 誘導電動機の固定子巻線設計・製作・試験からそのベクトル・FAM制御まで」，平成8年1月。
- 2) 平成8年度全国総合技能展，出展名：「パワーエレクトロニクス実習用教材 誘導電動機の固定子巻線設計・製作・試験からそのベクトル・FAM制御まで」，平成9年1月。
- 3) 横須賀テクノフェア，出展名：「パワーエレクトロニクス実験・実習用教材」，平成9年11月。
- 4) 平成9年度全国総合技能展，出展名：「電機制御システム実験・実習用教材」，平成10年1月。
- 5) 荒：「電気機器設計学および電気機器設計・製作実習」。
- 6) 荒・山本：「モータ利用技術 交流モータのベクトル制御」。