

理論と実技を合わせたハイブリッド教育(交流回路) に関する研究の中間報告

Interim report of electronics education that combined theory and practical

石川 智浩¹⁾

Tomohiro Ishikawa¹⁾

Abstract : In this interim paper, I introduce the teaching methods and the versatility of hybrid education (combined theory and practical) of the AC circuit range, it was interim report of educational practice. As a result, understanding of electronics has progressed, students joined to actively learn. In addition, most of the students was able to use the oscilloscope and oscillators.

Keywords : Hands-on, Theory and practice, Hybrid education, Engineering design

1. 緒言

「座学・実習・実験以外の方法でもっと効果的に記憶に残る教育ができないか。」これが本研究の発端である。授業のやり方を改めて整理すると「座学」は理論や知識を培うが経験を養うことは難しい。「実習・実験」は理論と経験が同時に養えるが授業時間確保の関係からコンテンツは限られる。私はその両方の良い点を取った教育として座学中に実習・実験を織り交ぜることを考えた。

この背景から本研究ではその教育目標を「誰もが電子回路が読める・書ける・作れる・測れる・記憶に残る」と掲げ、平成 22 年度より「理論と実技を合わせたハイブリッド教育(直流範囲)に関する研究」を開始したり。通常の座学授業では「作れる・測れる」の目標は入れられない。しかし、ものづくりの実践能力を育てるような教育方針を掲げる学校であれば必須の目標である。本教育の内容は座学中に電子部品やテスターやブレッドボードなどを学生全員に渡し、学生が手を動かしながら理論と実技を半々の時間で行うというものである(私はこれを理論と実技のハイブリッド教育と呼んでいる)。この教育は既に 4 年間通年科目で実践をしており、テストには実技もあるため、最終的には全ての学生が直流の範囲であるが回路組立やテスターでの各種測定ができるようになっている。

その後の課題として挙げられたのが交流回路の範囲である。今までは一般的な教室内で教育を行うことを前提としていたため電池とテスターが使える直流回路の範囲となっていたが、現在は場所を AC 電源が多く箇所から得られるパソコン室に移し、現在 4 年生の電子工学授業でオシロスコープや発振器を用いた交流回路範囲のハイブリッド教育を実践中(2015 年 4 月～10 月)である。過去の研究をみても座学中に実技を多く取り入れる教育研究論文はまだ少ない。これは交流回路の実験に不可欠なオシロスコープ・発振器・直流電源・テスターは実験・実習の共用設備として揃えるもので、座学で利用するイメージがなく、且つ指導体制への不安や道具の維持管理問題などが一因していると推測している。しかし昨今の電子関係の測定器・電源は非常に安価で入手性もよく、まさに 1 名 1 実験セットが実現可能な時代となっている。またこのハイブリッド教育は 1 名の教員が 1 コマの座学時間で実現が可能であることから、実験・実習以外で座学中に実技を多く取り入れたいという大学・高専・高校・工業高校でも実施できる汎用性のある教育手法であると考えている。

本稿では交流回路範囲のハイブリッド教育の教育手法を記述するとともに現在までの教育実践結果を中間報告としてまとめたものである。

1)東京都立産業技術高等専門学校 ものづくり工学科, 航空宇宙工学コース

2. 交流回路範囲のハイブリッド教育の方向性

交流回路は一般的に RLC 直列回路を中心として指導する場合が多い。交流回路を指導するにはいくつかのハードルがあることが授業履修後の学生アンケートからわかっている。例として「正弦波形・ベクトル・複素数・電磁気など急に難しくなる。」「インピーダンスのイメージがぜんぜんわからない。」「三相交流がよくわからない。」などの意見が数多くあった。これらの意見から従来ある実習・実験の時間では十分ではなく、理論中心の座学では伝えきれないことが多く存在すると考えた。

こうしたことから本教育の方向性は交流回路に関係した正弦波形・ベクトル・複素数・電磁気など実技体験できる環境を用意し、それに合わせた指導書を作成することにした。

1. オシロスコープ・発振器・直流電源を2名1セットで用意
2. 交流回路系の電子部品（コイル・コンデンサ・ダイオードなど）の用意
3. Excel ソフトで交流回路系計算をするためパソコンを用意
4. 交流回路系の制御を行うときに良く出てくるマイコンの用意

次に授業内容と実技内容の検討を行った。一般に実験・実習の時間確保はカリキュラムの関係から限られるため、各学校の実験のコンテンツはそう多くは確保できない。むしろ短時間で終わるような実験は例え良い実験内容であっても選択肢から除外される傾向にある。この短時間で終わる実験こそ、本ハイブリッド教育に入れたいコンテンツである。本教育では通常の RLC 直列回路などと織り交ぜて、この「短い実験」を多く入れることにした。

次に要求される授業環境・実技道具を説明する。本教育を実施する場所は教室ではコンセントの関係から不可能であるため、パソコンが1クラス分ある教室で行うこととした。この中にオシロスコープや発振器などを収納する棚が必要である。またパソコンがある机には6つ穴タップコンセントの常設が必要である。教員用にはプロジェクタがあれば授業が可能だが、手元を撮影するビデオカメラがあるとオシロスコープの操作指導などに便利である。パソコン内部には一部だが Excel ソフトでの理論計算も行うためパソコンに Office が入っているとよい。オシロスコープは1万円を切るハンディタイプのものもあったが、より会社・研究室にある環境に近いものとして通常の卓上タイプ（3万円台）とした。発振器は最大200kHzの周波数で発振できる物を購入。直流電源は半分自作で0.8V～5.5Vまで1A出力できる回路を購入し、そこに電圧計を付けケースに入れたものである。またマイコンも半分は自作だが正規品の Arduino 基板と互換性を持つ基板を授業で用いた。上記4点を1つの実験セットとし、その費用総額は5万円以内となっている（図2-1, 2-2）。

続いて、本教育を実践する現在の航空宇宙工学コースの電気系履修状況を説明する。当コースは機械系科目が9割ほどであり電気・情報科目は少ないが、1年基礎電気工学（半期科目）ではオームの法則を中心に習得している。2年生に電気系科目はなく、3年生の電気工学で本教育手法によって簡単な直流回路の理論やブレッドボードによる回路組立、テスターによる測定は行っている。本稿で説明している教育内容はその次段階の4年生電子工学の科目（通年必須科目・座学）で実践する。

上記の検討で得た方向性を統合し、決定した授業内容と実技道具リストを表2-1, 2-2に示す。

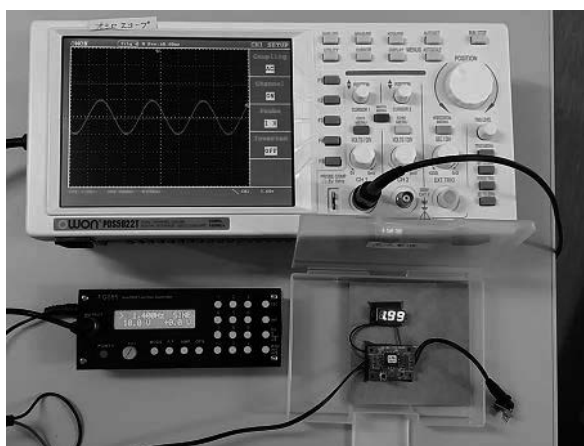


図 2-1 学生たちに配布する実験セット

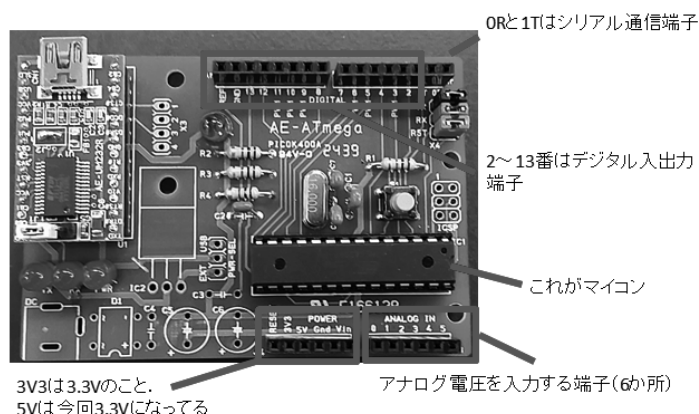


図 2-2 Arduino マイコン基板

表 2-1 直流回路系および交流回路系ハイブリッド授業の内容

直流回路系ハイブリッド授業 (前回研究) ※3年電気工学の授業で現在実施中(4年目)	交流回路系ハイブリッド授業 (今回研究) ※4年電子工学の授業で現在実施中(0年目) ●記号のテーマは実技でオシロと発振器使用
直列回路 並列回路 抵抗分圧回路 抵抗分流回路 スイッチ回路 発光 LED と電流制限用抵抗設計 電池内部抵抗測定と理論計算 抵抗の耐電力設計 可変抵抗+LED+抵抗 タクトスイッチ+LED+抵抗 DC モーター+抵抗 プルアップ、プルダウン抵抗 三端子レギュレータ回路 ロジック IC (AND,OR,NOR) トランジスタ (電流増幅のみ) MOSFET (電流増幅のみ) ラッチ解除付きラッチ回路 オペアンプ (非反転増幅のみ) コンパレータ電圧判別 サーミスタセンサ動作回路 RLC 各周波数特性 保護回路 回路図記述 組み合わせ回路	●オシロスコープの使い方 ●発振器の使い方 ●直流電源 (自作) の使い方 Arduino マイコン使い方 ●マイコン+LED 点滅 ●マイコン+スイッチ+LED ●マイコン+照度センサ+A/D 変換+LED ●マイコン+サーボモーター+距離センサ ●電磁気 (磁界、電界の基礎のみ) ●R、L、C 直列回路と並列回路 複素平面を用いた RLC 回路特性の解法 ●三相交流・回転磁界 ●過渡現象 (コンデンサ充放電特性およびコイル起電圧) ●RC フィルタ回路 ●LC フィルタ回路 BS アンテナ電源供給 ●低周波増幅回路 (トランジスタ使用) 反転増幅回路 非反転増幅回路 差動増幅回路およびブリッジ回路 DC/DC コンバータ動作原理 定電圧回路 定電流回路 ●整流回路

表 2-2 実技機器・部品リスト (直流・交流回路)

3年電気工学の科目で使用 した実技部品 (直流回 路範囲)	ブレッドボードおよび配線 トランジスタ・FET オペアンプ・コンパレータ ロジック IC (AND,OR,NOT) ダイオード、LED 各種抵抗、各種コンデンサ DC モーター 電池スナップ・ワニロクリップ 2次電池(Ni-MH, 7.2V) テスター-MAS838 部品ケース ※テスターと電池除く上記部品はすべてケースに収納
4年電子工学の科目で使用 した実技部品 (交流回 路範囲)	オシロスコープ(PDS-5022) 発振器(FG085) 直流電源 (自作) インダクタ 100mH 手回し充電器 (三相交流) DC 電源プラグ基板 USB ケーブル マイナスドライバー ※上記、直流回路範囲の電子部品も使用することがある。

3. 交流回路に関するハイブリッド教育手法と実技設備の維持

ハイブリッド教育は図 3-1 のように理論と演習問題の間に実技が入る。教員側の理論説明は従来通りの資料を用いることができるが、一部実技の関係からその前後の変更のみ改訂する必要がある。授業のスタンスは理論でも実技でも考える授業となっている。授業中問題を出すときは 2 人 1 組で 3~5 分間の解答を出すまでの時間を設けている。解答してもらったときは無作為に教員から解答するチームを指名するやり方をとっている。次に各種指導内容の手順を表 3-1 に示す。

授業当初はオシロスコープや発振器・直流電源・マイコンを全組に配布し、その使用方法を手元カメラでプロジェクタに投影しながら説明していく。交流回路の理解に必要なオシロスコープや発振器を扱う機会は 1 つの座学で年間 30 回授業がある中で半分の時間を占めており、その使用頻度は実験・実習にも劣らない。年間を通じて 2 回の中 1 回の割合でオシロが授業に出てくれば実験・実習という教育方法よりも長く記憶に定着されると推測している。マイコンも指導範囲として入れたのは電子工学でよく使われる PWM 波形やパルス波の出力源として紹介する目的が強い。また卒業研究でもマイコンは多用されるため導入に踏み切った。しかしマイコンは C 言語プログラムの説明も必要であり、あまり範囲を広げると 1 科目に収まらないため、サンプルプログラムを当初から提供するなどして授業時間の短縮を行っている。マイコンの指導範囲は I/O 制御、A/D 変換、PWM 出力である (図 3-2)。

RLC 回路や過渡現象の実技は一般的な実験・実習で行うような内容を 3 週かけて教える。三相交流は手回し充電器を分解し、三相交流モータから配線を出すことでブレッドボード上に Y 結線することができる。オシロスコープは 2ch 同時にしか見られないが接続方法を 2 パターン変えることで三相交流波形が観測できるように工夫した(図 3-3)。電磁気範囲ではコイルの逆起電力の説明を図 3-4 の回路図を各自で組立てをし、オシロスコープで逆起電力を確認することも行う。また理論説明には Excel 表計算も活用している。このハイブリッド教育で用意した数式はすべて Excel ソフトで計算できるということを学生に示しつつ、一部の理論計算 (RLC 直列回路など) を学生らにさせている (図 3-5)。

授業評価の方法は年 3~4 回の定期テストの結果と授業態度および課題で評価する。筆記と実技の割合は 7:3 で出題される。実技の問題は回路図が与えられ、それを組立て、オシロスコープや発振器で測定を行い、その測定結果を解答に書くことになっている。テストは実験セット 1 つに対し 1 名。23 セットの実験セットがあるため、30 分間のテストで、およそ 60 分でクラス全員が実技を終了する。

実技設備の維持管理は次のように考えておく必要がある。オシロスコープは初期不良や落下破損などで年間 1~2 台の故障が考えられる。発振器は瞬間的な高電圧がかけられる授業内容になっていないが、これも 1~2 台の故障を想定。直流電源は逆電圧・短絡などによる破損は発生していないがこれも 1~2 台の故障を想定すればよい。よく破損があるオシロのプロブだが授業当初に「プロブの配線は髪の毛ほどの配線だから切れやすい。決して縛らないでやさしく丸めて収納して下さい。」と言えば、破損は 1 本もない。実験セットは多少余剰に台数が必須であるが維持費は最悪でも年間 5~6 万円あれば毎年の運用に支障は出ない。

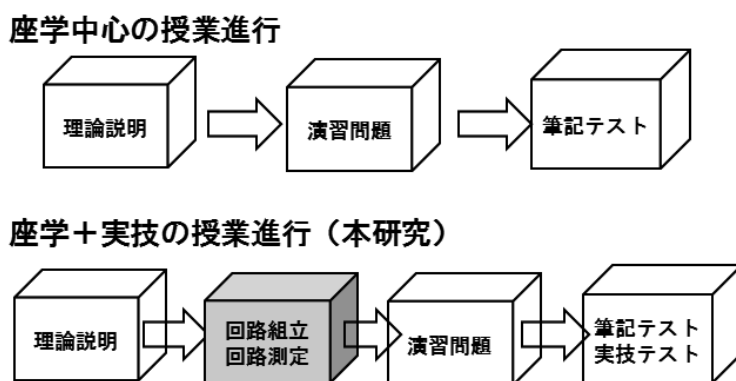


図 3-1 座学と実技のハイブリッド教育手法

表 3-1 ハイブリッド授業の内容 (●はオシロや発振器利用)

番号	指導項目	指導手順
1	●オシロスコープの使い方	①プローブセンサと GND 端子の説明。②電位差測定。③プローブチェック。④電圧・時間レンジ。⑤トリガ。⑥各種自動・手動測定モードの説明
2	●発振器の使い方	①発振器とは？。②出力端子と GND 端子。③短絡時の挙動。④周波数・電圧・DC レベルの変更の仕方。⑤波形変更の方法 ※発振器の出力を見るためオシロ使用。
3	●直流電源 (自作) の使い方	①電源アダプタ接続。②マイナスドライバーで電圧設定 (0.8V~5.5V) ※直流電源の出力電圧を見るためオシロ使用。
4	Arduino マイコン使い方	①マイコンをパソコンに USB 接続。②統合開発ソフトの使い方を説明。③サンプルプログラムは共有フォルダ経由で配布。
5	●マイコン+LED 点滅	①回路組立。②サンプルプログラム配布。③動作確認。④点滅の速度変更。⑤マイコン出力端子の変更 ※マイコン側電圧出力端子を見るためオシロ使用 (パルス波形)。
6	●マイコン+スイッチ+LED	①回路組立。②サンプルプログラム配布。③動作確認。 ※マイコン側電圧入出力端子を見るためオシロ使用。
7	●マイコン+照度センサ+A/D 変換+LED	①回路組立。②オシロで照度センサのセンサ部を指で Close したり Open にしたりしてセンサ回路の出力が変化することを確認。③サンプルプログラム配布。④動作確認。 ※マイコン側電圧入出力端子を見るためオシロ使用。
8	●マイコン+サーボモータ+距離センサ	①回路組立。②サンプルプログラム配布。③動作確認。 ※マイコン側からサーボモータへの PWM 出力と距離センサのアナログ値を見るためオシロ使用。
9	●電磁気 (磁界、電界の基礎のみ)	①理論説明、②途中、コイルの電磁誘導を説明するときに実験。 ※コイルの電磁誘導を見るためオシロ使用。
10	●R、L、C 直列回路と並列回路	①理論説明、②位相を Excel で式からグラフを作成し理解。③RC、RL 直列回路を回路組立し、オシロ・発振器を用いて位相のずれを確認。④RLC 直列回路の回路組立。⑤発振器で周波数をずらしながら共振周波数で振幅がどうなったか確認。 ※RLC 各種電圧を見るためオシロ・発振器使用。
11	複素平面を用いた RLC 回路特性の解法	①理論説明。②振動波形は複素数を使うと表現でき、簡単に波形の四則演算・位相計算ができることを指導。
12	●三相交流・回転磁界	①理論説明。②手回し充電器のモータ出力が三相交流であるため、その出力を抵抗 3 本で Y 結線。オシロスコープで 2 本ずつ観測すれば三相交流が観測できる。③抵抗 3 本とも 10Ω1W に交換するとハンドルが重くなる。 ※三相交流波形を見るためオシロ使用。
13	●過渡現象 (コンデンサ充放電特性およびコイル起電圧)	①理論説明。②RC 直列回路を組み、電池電源を ON にしたとき充電曲線、OFF にしたとき放電曲線をオシロでモニタする。③RL 直列回路を組み、同じ実験を行うが、L 両端の ON 時の波形は AC モードにしなければ理想に近い形で観測できない。また OFF 時の波形は±200V となるため、プローブ抵抗やオシロのプローブ設定を 10 倍にしなければ観測できない。 ※充放電曲線・コイル起電力を見るためオシロ使用。
14	●RC フィルタ回路	①理論説明。②回路組立。③入力波形がある周波数で減衰していることを確認。 ※入出力波形を見るためオシロ使用。
15	●LC フィルタ回路	上記を同じ手順
16	BS アンテナ電源供給	理論説明のみ。
17	●低周波増幅回路	①理論説明、②回路組立。③入力波形 (音) が増幅して出力されていることを確認。 ※入出力波形を見るためオシロ使用。
18	反転増幅回路	理論説明のみ。h パラメータを用いて設計。
19	非反転増幅回路	理論説明のみ。h パラメータを用いて設計。
20	差動増幅回路およびブリッジ回路	理論説明のみ。
21	DC/DC コンバータ原理	理論説明のみ。
22	定電圧回路	理論説明のみ。
23	定電流回路	理論説明のみ。
24	●整流回路	①理論説明、②回路組立。③整流作用をオシロで確認。 ※入出力波形を見るためオシロ使用。

「コイルの起電力実験」、「三相交流電源観測」が挙げられる。マイコンと少しの周辺回路でサーボモータが距離によってピタッと角度制御されることに学生は驚いていた。コイルの逆起電力で通常流れない発光 LED が一瞬だけ点灯する実験は学生からの評判が良かった。また実際に手回し充電器を回すと三相交流波形がオシロでみられるのが学生に好評で、さらに Y 結線の抵抗値を変えるとハンドルが重くなる現象がなぜか考えている学生も多かった。

これら現時点で実践結果（前期末テストや授業中の様子）から得られた知見は座学と比較して次のように挙げられる。実験・実習でやり足りなかった内容を本ハイブリッド教育で補うのも良いだろう。

- 1) オシロ・発振器・直流電源を扱う速度の向上が見られる
- 2) 実技により、コイルの起電力の発生のタイミングと向きがわかるようになる
- 3) 実技により、コンデンサの充電・放電が目で見られる
- 4) 実技により、三相交流電源の理解が深まる
- 5) 実技により、マイコン・A/D 変換・PWM 波形は簡単に操作できるものだとわかる
- 6) 実技により、交流の位相やインピーダンスの理解が深まる
- 7) 実技が頻繁にあることから集中力の足りない学生はいない
- 8) 実技は 2 名 1 組であるため、わからない学生にわかる学生が指導する様子が見られる

5. 結言

本稿では交流回路範囲のハイブリッド教育の教育手法や汎用性を紹介し、教育実践の中間報告を行った。本研究で得られた結果をまとめると、

- ① 理論と実技を融合することで学生の理解が進み、学生が積極的に学びに参加する様子が多く見られた
- ② オシロスコープ・発振器・直流電源・テスターなど一式の装置が使える学生が増加した
- ③ 実験・実習でカバーできない細かい実験ができる教育場となる
- ④ 1 名の教員でも座学中に実施できる汎用性の高い新しい教育手法である
- ⑤ 低コストで実験環境を揃えられるため、従来の実験共用設備ではなく、パソコン室で教育ができる

最後に、ハイブリッド教育はあくまでひとつの教育手法の一つであり、座学や実験・実習の中間的な存在で補完的な役割も持った新しい教育手法である。もし、もっとものづくり教育を通常の授業にプラスしたいと考えているのであれば、このハイブリッド教育を一考に入れるとその検討が進むだろう。今回の結果はまだ教育実践中であることもあり、今後多くの課題・発見が見つかってくるかと思うが結果が集計でき次第また報告したい。

本研究の今後の展望としては、電気工事士の実技などにも対応した教育、電波関係の教育にも発展させるなどハイブリッド教育が可能な範囲をさらに広げていきたい。

6. 参考文献

[1] 石川 智浩, 多田 允建: 理論と実技を合わせたハイブリッド教育(電子工学)に関する研究、実践教育ジャーナル 30(1), 50-53, 2015-03