理論と実技を合わせた電子工学ハイブリッド教育 (直流回路分野) に関する研究

Research on Hybrid Education of Theory and Practical Skills

石川 智 浩^{※1}
Tomohiro ISHIKAWA

The practical skills raise theoretical understanding and becomes adaptable fighting potential. However, there are few classes of the practical skills in the curriculum of the university. I have introduced many practical skills into a classroom lecture. The ratio of practical skill is the same as a theory. I call this education the hybrid education of a theory and the practical skills. As a result of this education, more than 85% of students answered it that this education was good. An advantage of this education is to be able to increase the time for practical skills without spending the time for engineering experiment. The contents of this report describe the education technique of this hybrid education and an education result.

Keywords : Engineering Education, Hands-on, Practical Skill, Hybrid Education

キーワード : 技術教育, ものづくり教育, 実技, ハイブリッド教育

1. はじめに

近年, 理工学に携わる者でも「数式は解けるが電子部品など身近に実物の経験がある人」はあまり多くはいない。これは現代の高等教育機関では理論中心の座学が多く, 実験・実習があっても実物に触れる機会がまだ少ないからだと推測している。

こうした教育課題から本研究では平成24年度より, 電子工学の座学授業中に電子部品やテスターなどを学生全員に渡し, 理論と実技を合わせた直流分野の電子工学ハイブリッド教育を行ってきた^{1), 2)}。この研究は座学中に実技を行うことで理論への理解度を高め, 且つ実物に触れる機会も増やすことが目的である。従来の教育では座学・実験・実習の3つが主な教育手法であるが, 本研究では新たな教育手法として座学時間中に行う座学と実技を組み合わせたハイブリッド教育を考案した。

本教育の目標は「誰もが回路図を読める・書ける・作れる・測れる」ようになること。汎用的な教育となるように利用教室や時間割の構成実態を考慮して, 座学中に教員1名で実施でき, 可能な限り普通教室でできるように考えた。

本教育を4年間行ってきた結果, 実技ができる学生の割合は1割未満だったのが約8割と増加しており, また, このハイブリッド教育を支持する学生も8割存在する結果が出ている。また直流分野に絞れば普通教室でも実施可能となった。

座学や実験を分ける従来の授業方法では「作れる・測れる」能力を育てる時間が不足しているため, その評価

が難しいが, 本教育手法では実技テストを行えば明らかになる。

一方, 実技の時間があるため, 授業進行が遅くなりカリキュラム構成によっては本手法の採用が難しいケースがある。本研究では実技時間の確保のため, パワーポイントの活用や資料配布による板書時間の短縮を行ったが, 演習も含め学生の理解度を確認しながら適宜選択することを推奨する。

2. ハイブリッド教育の概要

ハイブリッド教育の意味は通常の教室で行う座学に実技を足した教育で, その比率は座学と実技を1:1で考えた。座学のみとの違いは座学中に回路組立や測定の時間があることで, 実験や実習との違いは通年もしくは半期通して毎週行うことにある(図1, 図2)。これにより, 手作業の経験で理論学習を促進し, それを長期間行うことで技術の定着を狙った。また実技テストも行うことで, 実技能力も評価するようにした(2~3割の成績

座学中心の授業進行

座学+実技の授業進行(本研究)

図1 ハイブリッド教育の授業進行

2016年10月5日受付

※1 東京都立産業技術高等専門学校

座学の利点・欠点	
○授業速度が調整しやすい	
○授業初期費用+維持費は0円	
△工学的感覚が掴みにくい	
×ものづくり技術は身につかない(理論中心なら該当しない)	
工学実験・実習の利点・欠点	
○実技経験ができ、比較的大きな予算で実験を準備できる	
×内容が単発になりがちで、短期的	
×グループで1つの実験装置(やる人とやらない人がでてる)	
座学+実技(ハイブリッド教育)の利点・欠点	
○工学的感覚が身に付く(1名1セット)	
○ものづくり技術・測定技術が直接身に付く(1名1セット)	
△指導者側にもものづくり経験が必要(40名実技を見る指導力)	
△1名1セットの実験道具で初期投資+維持費が必要	
×授業進行は座学より遅い	

図2 座学や実験の利点・欠点

に影響するように設定)。

実技中、教員一人だけではどうしても学生対応が滞るため、学生間で教えあうことを推奨している。学生間交流時には「やってあげるのではなく、どううまくいかなのか教えること」を条件としている。部品の故障や学生間交流でも解決しない問題については教員が十分に指導し、それでも理解しきれなかった学生は放課後に個別指導することになっている。

理論を説明するときに時に特に重視したことは「各部品の用途・感覚的指導・回路図を書く」の3つである。「部品用途説明」は通常行われるものだが、理論中心の座学をすると計算側に気を取られ、用途を見失っている学生が多く見られるため特に時間をかけて説明している。

「感覚的指導」とは「抵抗が小さくなると電流が大きくなる」など単純なことだが、感覚的説明ができるよう

になってから、計算的説明に移行できるように指導した。

「回路図を書く」については課題が多く、座学でも教育手法によるがほとんどの学生が学期末という段階でも書けないという現状があった。本教育では「回路図を書く」問題は毎回テストに出題している。例として、「サーミスタを用いて、温度変化でLEDの光の強さが強弱する回路図を作成せよ」というような問題を出題している。

3. 教育実践の環境と指導方針

教育実践の環境は少し特殊な環境であることを注意していただきたい。今回行った実践の場は高等専門学校で、その航空宇宙工学コースで実践した。当コースは機械系科目が9割ほどであり電気・情報科目は少なく、科目構成は一般的な電子工学科で見られるような構成にできない。

こうした背景から科目構成も限られ、電気・電子関係の科目は高専1年で基礎電気工学が半期、2年からコース分けがあり、2年と3年で電気工学Ⅰ(半期)とⅡ(半期)、4年で電子工学(通年)のみである。どの教科も1コマ2時間連続の授業である。

また本コースはどちらかというと機械が好きな学生が集まっており「電子系は不得意。」と言う学生が多く、元々回路製作経験がある学生は1割に満たない。このような条件の元、本教育を行った科目は2年電気工学Ⅰと3年電気工学Ⅱである。次に授業構成を説明する。

4. 授業構成と実技道具

直流分野のハイブリッド教育を表1に示す。教室内で行えて電池とテスターでできる範囲として授業構成を考

表1 ハイブリッド授業内容

	指導項目	実技指導内容
1	直列回路と並列回路設計	実際に組ませて測定させる。オームの法則や数学への信頼を深める。
2	抵抗分圧・分流	分圧は比で求める方法をメインで指導(式発生の原理を説明)。
3	発光LEDと電流制限用抵抗設計	LEDは電流で変わる可変抵抗として説明。
4	電池内部抵抗測定と理論計算	負荷抵抗なし、ありで電圧測定。理論式の導入も行う。
5	抵抗の耐電力設計	抵抗熱は指で確認。抵抗の大きさは熱処理と関係。
6	可変抵抗+LED+抵抗	可変抵抗の構造を説明し、抵抗可変原理を詳しく説明。
7	タクトスイッチ+LED+抵抗	タクトスイッチに流せる電流を説明。
8	DCモータ+抵抗	DCモータ抵抗はテスターで測定不可。ブラシ付きでノイズだらけで電圧測定にはオシロが必要。
9	プルアップ、プルダウン抵抗	電圧不定の配線を作らないという指導がメイン。
10	三端子レギュレータ回路	まずコンデンサなしで組立。その後発振防止コンデンサと短絡検知用LEDを追加。と説明。
11	サーミスタセンサ動作回路	サーミスタとFETで電子キャンドル回路を説明。
12	ロジックIC(AND, OR, NOR)	真理値表作成。出力電流は50mA程度であるためモータは回せないと指導。
13	ラッチ解除付きラッチ回路	用途中心の指導。各IC端子のH, L状態の変化を説明。
14	トランジスタ(電流増幅のみ)	用途中心の指導。電流 I_B で操作する可変抵抗として指導。
15	MOSFET(電流増幅のみ)	用途中心の指導。電圧 V_{BE} で操作する可変抵抗として指導。
16	オペアンプ(非反転増幅のみ)	用途中心の指導。数式は避け、+-端子の電位差0に制御を説明。
17	コンパレータ電圧判別	出力電圧はH, Lで出力されず、オープンコレクタ出力構造を説明。
18	RLC各周波数特性	周波数に対するインピーダンスを求めるのみの内容。交流回路への移行として実施。
19	保護回路	ダイオードを用いたIC入出力保護。チャタリング防止回路
20	回路図記述	文章で指定の回路を製作させる。回路図採点は減点方式。例として接点がない・記号がない、抵抗数値が過剰などは減点。
21	組み合わせ回路	上記のすべての部品対象の組み合わせ回路製作。

えた。表の1～13番までが2年電気工学Ⅰで残りの内容は3年電気工学Ⅱで実施する。この授業構成から実技で用いる物品は以下のように考えた。

- 1) 2次電池, テスター, ブレッドボードを1名1セット用意
- 2) 電子部品は抵抗, スイッチ, DCモータ, LED, ダイオード, ロジックIC (AND, OR, NOT), 三端子レギュレータ, サーミスタ, トランジスタ, FET, オペアンプ, コンパレータを用意

次に実技環境を説明する。1クラス分学生全員約42名に実技道具を配布する。学生の机に置かれる実技道具を図3に示す。またこの道具は図4のように折りたたみ台車の上にすべて収納できる。

学生への物品配布は授業が始まる前にその台車を教室に運び、学生らに回収させれば時間はほとんどかからない。授業終了時も同手順で学生が行う。

次に実技道具の維持管理について説明する。電源は2次電池を用いた(内部抵抗による電圧降下を指導するため)。そのため学生が電池を短絡させてしまった場合を除いて、3～4週間に一度充電を行う必要はある。しかし充電器10台あれば一回の充電で終わるため手間はかからない。また本電池は006P型Ni-MH電池で、定格7.2V、

300mAh。PTC素子による過電流防止回路入りで、過去に発火・爆発・煙発生の事故は起きていない。

また部品の性能管理のため、部品ケースとテスターと電池には番号シールをつけており、学生らはいつも同じ部品を手にするができる。テスター内のヒューズが切れているかは分解せず、電流モードにして違うテスターで導通チェックすることで定期的に学生らにチェックさせることができる。

学生一人当たりの教材費は表2にあるように2,840円。1クラス予備分も含め45名だとすると約13万円。年間維持費は1万円もかからなかった。毎年使う教材であるため学生負担にすれば、さらに初期費用は少なくでき、且つ自宅学習もできるようになるだろう。

授業中の部品故障の例を挙げると、テスターのヒューズ(200mA)は、再三説明しても誤って切ってしまうため、多めに保管する(ヒューズは年間累積で約30個切れている)。テスターの故障は1年に1、2台程度(電圧値誤差が原因)。2次電池の故障は1年に3個程度(電池セルの劣化)。電池スナップの断線も多い(1本10円、1年に40本交換)。その他抵抗や電子部品ICの足が折れるなどは意外と頻度が少ない。DCモータの配線はすべてブレッドボード配線に交換して作業性を向上させた。ブレッドボード用ワイヤーは安価に揃えるならKQE配線0.5mmでも代用できる。

5. 教育実践の結果

本教育を4年間実施した結果、図5のような回路を約8割の学生が15分以内で組立・動作確認・測定ができるようになった。残りの2割はGNDのつなげ忘れなど一部の指摘を受ければできている。定期テストの点数は4年平均で筆記は70.2点、実技は79.2点となった(100点満点として)。

定期テストは年4回あり、どれも筆記と実技を実施した。筆記は理論計算や式の導出は通常通りあるが部品の用途説明や回路図作成問題を重視して出題した。実技問題は2～3問で全体の2～3割の点数があり実技重視の姿勢を持たせた。

図3 直流回路分野のハイブリッド教育部品(部品ケースは表2の収納箱3にあたるもの)

図4 台車に1クラス分の実技教材を載せた状態

表2 実技道具リスト

収納箱個数	品名	単価 (学生1名)
収納箱1	テスター	1,100円
収納箱2	2次電池 (Ni-MH, 7.2V)	800円
収納箱3	ブレッドボード	300円
	トランジスタ・FET	150円
	オペアンプ・コンパレータ	100円
	ロジックIC (AND, OR, NOT)	150円
	ダイオード, LED	20円
	抵抗, コンデンサ	20円
	DCモータ	100円
	電池スナップ・ワニ口クリップ	30円
	部品ケース	100円
学生1名総費用		2,840円
1クラス42名費用		119,280円

図5 学生が回路組立を行った回路図例（非反転増幅回路）

実技試験の内容はどの問題でも実技試験中に指導教員に動作点検を受け、測定値や手書きのグラフを記入することになっている。実技問題の例を以下に示す。

- 1) 抵抗2本の直列回路を製作し、両抵抗に発生する電圧と電流を測定せよ。
- 2) LED点灯回路を製作し、抵抗とLEDの両端電圧と電流をテスターで測定せよ。
- 3) スイッチを押すとGNDになり、離すと電池電圧になる回路図を書き、そして製作し動作確認せよ。
- 4) ロジックICを用いて2つのスイッチが同時に押されたときのみLEDがする回路図を書き、回路を製作せよ。
- 5) ラッチ解除付きラッチ回路を製作せよ。
- 6) 入力電圧を10倍して出力する回路図を書き、回路を製作せよ。
- 7) 入力電圧が1.5V以上になるとLEDが点灯し、それより下の電圧では消灯する回路を製作せよ。

実技試験で点数が伸び悩んだ学生には以下の共通的なミスがあった。

- 1) 単に接続ミス（接続ロジックがまだ不明）
- 2) 電源・GNDの無接続
- 3) ブレッドボード使用方法の誤り
- 4) ヒューズ切れに気づかない
- 5) 電圧測定箇所の間違い（テスターの当て間違い）
- 6) 段階的な確認の怠り
- 7) ICや抵抗の足が奥まで刺さっていない
- 8) 電池電圧の不足
- 9) 短絡しているのに気が付いていない

などである。上記の作業ミスに対応して、補習を実施し以下のような指導を行っている（上記番号と下記番号は対応している）。

- 1) 接続した配線は回路図中に色を付けさせる
- 2) 「ICにも電源あり」で電源から先に配線させる

図6 座学だけの授業と、座学と実技を併用する授業、どちらが良かったですか？（4択、200名回答）

図7 実技があるとよいと思った方への質問ですが、何がよかったのでしょうか？（5択、複数回答可、182名回答）

図8 各技術分野の5段階理解度（各技術について、理解度1点が低い、5点が高い。200名の回答をそれぞれ総和した）

- 3) ブレッドボード上の導通箇所をわざとLED点灯回路を組ませてブレッドボードの構造を理解させる
- 4) LED回路を組ませて電流測定させるか、他のテスターでヒューズの導通チェックをさせる
- 5) テスター黒リードをGNDに当てて、赤リードは測定したい場所と指導（2点間電位差では別指導）
- 6) 例として三端子レギュレータ5V回路作成後にまず5V出力されているのを確認後に、ロジックICに電源投入する
- 7) 奥まで指すよう指導
- 8) 電池電圧は必ず最初に測定
- 9) 短絡確認用のLEDを付ける

本教育実践後の無記名アンケート集計結果を4年分総計で示す。図6の結果から座学中に実技があることは、88%の学生が良いと答えた。その理由として多くの学生が実物を触りながらアクティブに授業に参加したいからと推測している（図7）。

図8に各教育の理解度を示す。各技術項目で理解度のバロメータを5段階とし、1が低い、5が高いとした。オームの法則は簡単な原理であるため理解度は高いが、回路が複雑になるにつれて実技の難易度も上がり、理解度は悪くなる傾向があった。オペアンプやコンパレータ

図9 授業で行った内容を、授業資料を使って誰かに教えるとしたらどうですか？（3択，194名回答）

は内部構造がわからないことが理解度低下の理由であった。また回路図を書くというのも苦手な学生が多く、各技術を統合するような回路図を要求すると間違いが多くなる傾向にあった。

図9の「授業資料を使って誰かに教えることができるか？」という質問だが、「だいたい説明できるか、説明できる」を合わせて87%となった。この質問は理解度の測定につながり、理解度が浅い人は資料を用いても説明ができない傾向があった。

理論説明で重視した「各部品の用途」は約8割の学生が正確に把握。「感覚的指導」については授業中に学生に質問して確認したが、自信なく答えることが多くこの点は本教育の課題として残った。また「回路図を書く」はテストでのその問題の点数平均は7割ほどでこれについてもまだ改善が必要であることがわかった。教育目標である「誰もが回路図を読める・書ける・作れる・測れる」の内では、簡単な回路図であればどれも、概ね達成できているが一番の課題は「回路図を書くこと」、次に「感覚的指導」であることがわかった。

6. おわりに

本稿では、電子工学の座学中に実技を取り入れるハイブリッド授業の実践方法および教育結果を示した。実技テストの結果、実技ができる学生の割合は当初1割未満から約8割に増加。学生のアンケート結果からハイブリッド教育を支持する学生は8割を超える結果となった。

この結果から座学中に実技を取り入れたことは学生から支持される傾向にあり、それと同時に学生らの実技能力も向上したことがわかった。また直流分野であれば普通教室でも実施可能となった。実技は筆記テストと同日

に行ってきたが授業中にできていた学生が緊張でできなくなる学生もいたため、今後は授業中に評価する方法も考えている。

座学と実験を分けて行う従来の教育内容は長い歴史があり教員側もやりやすい仕組みである。その座学の実技があるとさらに理解度が高まる傾向にあることは4年間の教育結果から明白であった。今後もしカリキュラム再編や授業方針の変更があれば、実技を取り入れた座学授業を一考に入れ検討をしていただきたい。

最後に今後の展望として、交流分野のハイブリッド教育についても平成27年度に開始した。交流電源が必要であることから教室ではなくパソコン教室での実施となる。今後この教育効果を調べ、いずれ報告したいと考えている。

謝 辞

本授業を実際に担当しご意見、アドバイス、アンケート収集にご協力を頂きました本校非常勤講師の多田允建先生に深く感謝いたします。

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), pp.50-53, 2015
- 2) 石川智浩: 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, 東京都立産業技術高等専門学校研究紀要, 10, pp.38-44, 2016

著 者 紹 介

石川 智浩
 2003年 北海道工業大学大学院工学研究科 機械システム工学専攻 博士(工学)
 2003年 東京都立航空工業高等専門学校 電子工学科 助手
 2008年 東京都立産業技術高等専門学校荒川キャンパス 航空宇宙工学コース 准教授
 専門分野: 電子工学, 宇宙工学
 所属学会: 日本航空宇宙学会, 実践教育訓練研究協会