回路基礎科目における in situ 実験の実践と教材開発について

Development and Practice of an Experimental Kit for the “In-situ Experiment”
in Electronic Circuit Related Classes

徳井直樹^{※1}
Naoki TOKUI

森田義則^{※1}
Yoshinori MORITA

上町俊幸^{※1}
Toshiyuki KANMACHI

瀬戸悟^{※1}
Satoru SETO

In our Electrical Engineering department, we have been introducing a new engineering education method called “in-situ experiment” into the specialized subjects since 2009. It is an education method based on simple experiments performing in classroom to check and confirm basically physical laws or rules just after learning them. We confirmed that this education method is effective especially for 1st and 2nd year students in KOSEN (National College of Technology in Japan). In the electrical engineering, the electrical and electronic circuits are fundamental and most important subjects to learn the wide range of specialized subjects relating to the electrical engineering. In our department, 1st and 2nd year students learn the electrical circuits including digital circuits in the classes, which are named “Fundamentals to Digital Circuits” for 1st year students and “Basic Electric Circuits” for 2nd year students. We confirmed a significant education effect on the in-situ experiments into these classes from the improvement of the average scores of the examination. We also conducted questionnaire survey about the “in-situ experiment”. As a result, we received many positive opinions on the in-situ experiment from the students. A further positive aspect by introducing the in-situ experiments reduced by half the number of student who repeat the same classes for 1st, 2nd and even 3rd year students in our department.

Keywords : In-situ Experiment, Digital Circuit, Electric Circuit, Kirchhoff's Law, Thevenin's Theorem

キーワード : In-situ 実験, デジタル回路, 電気回路, キルヒホッフの法則, テブナンの法則

1. はじめに

高専教育の特徴は“早期専門科目の教育”で、低学年から基礎的な内容の専門科目を実施している。ところが、専門科目の学習内容の理解がなかなか進まず、学年が進むにつれてさらに専門科目に興味を持てず留年や退学にいたる学生が存在していた。これは、専門科目の内容が抽象的な面が多いため、理解しにくいことが原因ではないかと考えられた。

そこで、石川高専電気工学科では低学年の専門科目の教育における理解と定着を目指して、授業の内容に合わせて教室内で簡単な実験を積極的に実施する授業方法を平成21年度から導入した。これを“in situ (その場) 実験”と呼んでいる^{1), 2)}。授業で教える専門科目の内容をその場の実験によって確認させて、知識の定着と授業内容への興味を持ってもらう教育方法である。

本報告では、in situ 実験-特に電気工学科の回路基礎科目の in situ 実験の導入方法と事例、およびその教育効果についても報告する。

2. 従来の授業形態とその問題点

石川高専電気工学科では、従来第1学年から主に電気回路やデジタル回路などの専門基礎科目の授業を行っていた。これらの科目の授業は基本的には一般の教室で行われる座学中心であった。

一方、実際の回路などを使った動作確認は第2学年の学生実験科目まで行われなかった。そのため、授業で学んだ内容と、次の学年で実験を行う内容の時間配置の“ずれ”のため、実験の実施効果は高くなかった。また数人で装置を使うため、実験に積極的に参加せず、教員の指示を待って実験を実施する学生、すなわち実験の目的を理解せずに受け身で実験に参加している学生が多くなっていることも問題となっていた。

その結果として、一部の学生は学年が進み専門科目が増えるにつれて専門科目の内容に興味を持てず成績が低迷し、さらに学習意欲が減退するという悪循環に陥っていた。彼らが専門科目に興味を持てなくなった時期を尋ねたところ、低学年の専門導入科目の理解ができなかった頃を原因の1つとして挙げていた。

2017年10月19日受付

※1 石川工業高等専門学校

3. in situ実験の導入

3.1 導入により期待される効果

低学年のうちに、専門科目の学習に興味を持ってもらうためには、手を動かして実際の動作を見てもらうような授業形態が効果的であると考えられる。特に電気工学では目に見えない電気を扱うためにこの授業形態は効果的である。

そこで、石川高専電気工学科では、授業の内容に合わせて教室内で積極的に実験を取り入れる方法を導入した。これを“in situ（その場）実験”といい、授業で習った法則などを教室での実験により、時間的・空間的に（実験室に移動することなしに）その場で確認させて理解を深めてもらうことを目的としている。

この取り組みは、平成21年度大学教育・学生支援推進事業【テーマA】大学教育推進プログラムに採択された。その結果、石川高専では電気工学科だけでなく、全学的に積極的に取り組むようになってきた³⁾。

3.2 導入により発生する問題点

学生に体験させる方法では、教室の卓上で取り扱うことができる小型で軽量の装置が必要である。さらに、実験装置はクラスに人数分を用意する必要がある。また、演示による方法では、小型軽量であることが望ましい。

in situ実験の導入により、授業中の進度が遅くなる傾向がある。必要な部分を中心にカリキュラムを組み立てていくことで解決している。必要な部分は、高専機構において作成されたコア・カリキュラムに合わせている。

図1 “電気工学基礎”の測定実験

図2 “デジタル回路基礎”のin situ実験

4. in situ実験の導入事例

本校電気工学科の学生を対象にした授業で、1年生次の“電気工学基礎”と“デジタル回路基礎”、2年生次の“回路基礎”を行った事例である。

4.1 “電気工学基礎”と“計算機工学基礎（デジタル回路基礎）”

(1) 導入事例

“電気工学基礎”では電気回路と電気磁気学の基礎的な内容の授業を行っている。図1はこの授業における事例の一つで、電気回路に用いる素子を共同で測定しているところである。

また、別の事例である、“計算機工学基礎”は論理代数と論理回路を学ぶ授業である。なおカリキュラム改定により平成23年度からは“デジタル回路基礎”に名称変更された。この授業の例では図2のように、説明を受けた論理回路の動作をICトレーナで作成して確認させている。

この“デジタル回路基礎”では、後期のほぼ毎回の授業でin situ実験を実施している。最初の数回は、装置の操作方法を例示するために、書画カメラを使って教員が配線して動作させる様子をスクリーンに投影している。しかし、学生たちはすぐに操作方法に慣れることがわかったので、最近では教員や技術職員の巡回による指導に切り替えている。

(2) in situ実験への反応

in situ実験導入によるデジタル回路の学習内容の定着は、表1の学年末成績の向上より確認できた¹⁾。

表2は、平成22年度1年生に学年末で実施したin situ実験に関するアンケートの集計結果である。学生も肯定的にとらえていることがわかる^{1), 2)}。

4.2 “回路基礎”

(1) 導入事例と教材開発

2年次で学ぶ“回路基礎”では、電気工学の基礎である、オームの法則やキルヒホッフの法則を学び、それらの応用である重ね合わせの理や風・テブナンの定理を学ぶ。

in situ実験を行うためには、教室の机の上で実験できるスペースを取らない小型軽量の実験教材が必要であ

表1 学年末成績の平均

年度	平均	分散
平成19年度	77.3	11.7
平成20年度	79.2	12.9
平成21年度	80.8	11.5
平成22年度	81.3	13.6

表2 in situ実験に関するアンケート結果

設問	肯定	中間	否定
専門科目への関心の増加	77%	22%	7%
専門科目学習意欲の向上	88%	10%	2%
実験回数の増加の希望	17%	78%	4%
専門科目の理解に役立つ	96%	0%	4%

図3 各自に配布する部品袋

表3 基本部品のリスト

電池ボックス	抵抗 1k Ω × 2
可変抵抗 10k Ω × 1	抵抗 2k Ω × 2
コンデンサ 0.1 μ F × 1	抵抗 3k Ω × 3
リード線	抵抗 4.7k Ω × 1

【演習】左の回路の点線部分を等価電圧源に置き換えたときの、起電力 E_0 および内部抵抗 R_0 を計算せよ。また、風・テブナンの定理を用いて、電流 I および電圧 V を計算せよ。ただし、電源電圧 E_1 には使用する乾電池の電圧測定値を記入すること。

図4 風・テブナンの実験Ⅰ

【実験】左の回路を構成し、テストで E_0 を測定せよ。また、右の回路を構成し、テストで端子間の合成抵抗 R_0 を測定せよ。さらに、測定した E_0 、 R_0 と、(1)で求めた E_0 、 R_0 の理論値とを比較し、誤差率を計算せよ。

図5 風・テブナンの実験Ⅱ

る。特に、電源、信号発生器、測定器を小型化する必要がある。電子回路の試作や実験に用いる配線用基板のブレッドボードと、電圧などを測定するデジタルマルチメータは1年次入学時に購入済みである。共通部品は1回目の授業開始時に部品の入った一袋を配布した(図3)。部品袋には表3の部品が入っている。

その他に使用するものとしてコイルと乾電池がある。コイルは数回しか使用しないので、その都度配布する。電池もその都度配布している。理由は、電池を電池ボックスに入れたまま、終了時に部品袋へしまってしまう、電池ボックスのリード線が短絡し、発熱のため電池ボック

図6 簡易可変電源の回路図

表4 使用部品と単価

簡易可変電源		簡易発振器	
プリント基板	286	プリント基板	289
DC-DC	637	ピンヘッダー	19
ピンヘッダー	23	TR 2SA1162	8
OPアンプ	163	TR 2SC2712	12
抵抗 × 4	2	抵抗 × 3	1
合計 (円)	1,111	合計 (円)	329

スが溶けて壊れてしまうことが複数回発生したため、安全のために毎回配布することにした。

前期は主に直流について学ぶ。主な回路素子の特性を理解し、つぎにキルヒホッフの法則から始まり風・テブナンの法則まで説明する。授業では、例として図4のような演習を行う。その後、in situ実験で確認させている。

風・テブナンの定理をin situ実験するとき問題となるのは、開放電圧を測定し、その開放電圧を持つ電池が必要なことである(図5)。そのため、風・テブナンの定理のための教材を平成27年度に開発した。自由な電圧を有する電池、すなわち簡易可変電源が必要である。組み立てる回路を簡単に分かりやすくするため、簡易可変電源は電池一つで動くことを目標とした。

安定な出力電圧を得るためにOPアンプを用いた。OPアンプ用電源として最低3Vが必要なため、電池一つでは動作させることができない。このため1.3Vから3.3Vへ昇圧するDC-DCコンバータを用いることにした。回路図を図6に示す。また、できるだけ小型にするため、使用する部品はチップ部品を用いた。そのため高精度なプリント基板が必要であり、P板.COMでプリント基板を製造した。部品表と価格を表4左欄に示す。

製作したプリント基板を図7右に示す。使い方は図6左下にあるように電池一つと可変抵抗をつなぐことにより0V~2.4Vの電圧を出力することができ、図4右の E_0 として用いる。

後期は交流の基礎を学ぶ。交流に対する回路素子の特性を学び、インピーダンスや交流のオームの法則を学ぶ。このとき、インピーダンスについてin situ実験を行うための教材も開発した。ここでも卓上で簡単にコイルやコンデンサの特性を理解するためには簡易発振器が必要である。卓上で簡単に交流実験できるような、電池一つで動く実験ユニットを平成28年度に開発した。さらに問題

は、交流のin situ実験を行うためには小型の正弦波発振器が必要であるが、電池一つ1.3Vで動作する正確な正弦波発振器の製作は諦めて、簡単な交流発振器を製作することにした。

設計した回路図を図8に示す。この教材も小型化するためチップ部品を用いたので、P板・COMで専用のプリント基板を作った。部品表と価格を表4右欄に示す。一個当たり合計1,440円で製作可能であり、一人1個ずつの配布が可能になった。

製作したプリント基板を図7左に示す。使い方は図8

右にあるように電池一つとコンデンサと抵抗をつなげば発振する大変簡単な回路となっている。発振周波数は約1.5kHzまでであり、この周波数では周波数が低すぎるためコイルの特性を測ることは難しい。インピーダンスにかかる電圧測定での利用例はこの発振器の出力に抵抗とコンデンサの直列回路を接続し、それぞれの素子の電圧と直列回路全体の電圧を測定することにより、直流と交流の違いを理解することができる。すなわち、正弦波信号を複素数で表記するフェーザ法の理解が可能である。正確な正弦波ではないので、定量的な測定は行えないが、

図7 製作した基板

図8 簡易発振器の回路図

(a) 電気工学に対する興味・関心

(c) 役立つ分野

(b) 専門科目の理解への効果

(d) 授業回数

図9 アンケートの結果

表5 留年および退学した学生の年度平均

学科	学年	導入前	導入後
電気工学科	1年生	0.0名	0.4名
	2年生	1.0名	0.5名
	3年生	2.0名	0.7名
他学科	1年生	0.2名	0.2名
	2年生	0.9名	0.8名
	3年生	1.1名	1.9名

定性的な測定は行える。例えば、周波数が高くなるとインピーダンスは小さくなることや静電容量が大きくなるとインピーダンスは小さくなることなどは実験することができる。

(2) 授業に対する学生のアンケート結果

図9にアンケート結果を示す。アンケートの(a)「電気工学に対する興味・関心は」では「これまで以上に」が、また(b)「専門科目の理解を深めるのに役立つ」では「おおいに役立つと思う」が増加している。(c)「どのような分野に対して役立ちますか」では「法則・定理の理解」が増え、理解が深まっていることが分かる。(d)「このような授業の回数について」に関して「今のままで良い」が多数であり、良いバランスがとれていると考えている。アンケートによると、年を追うごとに良い効果が見られ、in situ実験の効果が確認できる。この理由は、いくつかの教材を開発し、学生の理解をし易くしたこともあるが、教える側の経験が積み重なってきたことも大きいと考えている。

5. in situ教育と効果

in situ教育を平成21年度より学年進行に合わせて導入してきた。この効果は、低学年における留年や退学者数の低下に結びついている。表5は平成19年度から26年度までの電気工学科の1年生から3年生で留年や退学をした学生の年度ごとの平均である。比較のため、石川高専の電気工学科以外の4学科（機械工学科、電子情報工学科、環境都市工学科、建築学科）の年度ごとの人数を4学科で平均した値も示す。ただし、導入開始年度の平成21年度は試行段階であったため、この年度に入学した学生のデータは除いている。したがって、1年生は平成19年度から20年度を導入前、平成22年度から26年度を導入後とした。2年生は平成19年度から21年度を導入前、平成23年度から26年度を導入後とした。3年生は平成19年度から22年度を導入前、平成24年度から26年度を導入後とした。

表5の結果より、積極的に導入した電気工学科ではおおそ留年や退学する学生の数は減少している。それに対して、他の学科では、ほぼ変化はない。この結果からin situ教育によって、専門導入科目の理解定着に大きな教育効果があったと考える。

6. あとがき

in situ教育を平成21年度大学教育・学生支援推進事業【テーマA】大学教育推進プログラムにより、石川高専

電気工学科で実施して以来8年が経ち、確実に成果を上げてきている。in situ授業により抽象的な電気回路の法則の理解の定着に効果があり、低学年での専門科目への興味が増している結果が得られた。そのことは留年する学生の減少からもわかる。また実施方法の試行錯誤による改善にあわせて、教材開発も重要であることが分かった。

今後も実施内容の検討を重ねて、更に教育効果の高いものになるよう改善をしていきたい。

参 考 文 献

- 1) 徳井直樹, 河合康典, 田屋悦子, 瀬戸 悟: 低学年の専門導入科目におけるin situ実験の導入と効果, 高専教育, 34, pp.131-136, 2011
- 2) 徳井直樹, 瀬戸 悟: 専門導入教育におけるin situ実験とものづくり創造教育, 未来材料, 13, pp.54-57, 2013
- 3) S. Seto, N. Tokui, S. Yamada, T. Kanmachi, Y. Kawai: In situ experiment in early-stage engineering education, Proceedings of ISATE 2011 International Symposium on Advances in Technology Education, pp.226-228, 2011

著 者 紹 介

徳井 直樹

1987年長岡技術科大・工・電子機器卒。1989年同大大学院修士課程了。2002年金沢大学大学院自然科学研究科博士後期課程了。博士（工学）。1989年石川工業高等専門学校電気工学科助手、2003年同助教授。信号処理の研究に従事。電子情報通信学会、信号処理学会、IEEE、日本工業教育協会会員

森田 義則

1978年富山大・工・電子卒。1980年同大大学院修士課程了。2004年金沢大学大学院博士課程了。富山大技官を経て、1994年石川高専講師、現在石川高専教授。画像情報処理の応用、センサネットワークの研究に従事。電子情報通信学会、精密工学会会員

上町 俊幸

1995年3月長岡技術科学大学大学院工学研究科博士課程満了。同年4月仙台電波工業高等専門学校助手、1996年4月同講師、2003年1月同助教授。2007年4月石川工業高等専門学校准教授。博士（工学）。電気学会、日本工学教育協会

瀬戸 悟

1983年北海道大学・工・原子工学科卒。1985年同大大学院修士課程了。1993年北海道大学工学研究科。博士（工学）。1985年住友金属鉱山(株)電子材料研究所研究員、1989年石川工業高等専門学校講師、1994年同助教授、2006年同教授。半導体材料の研究に従事。応用物理学会、日本工業教育協会会員