# 低学年のディジタル回路関連科目における in situ 実験導入と効果

徳井　直樹[*1]，瀬戸　悟[*1]，上町　俊幸[*1]，山田　悟[*1]，
河合　康典[*1]，東　亮一[*1]，岡本　征晃[*1]，田屋　悦子[*2]，

# Introduction of *in situ* experiments in early-stage subject of digital logical circuit and its teaching effectiveness

Naoki TOKUI, Satoru SETO, Toshiyuki KANMACHI, Satoru YAMADA,
Yasunori KAWAI, Ryoichi HIGASHI, Masaaki OKAMOTO and Etsuko TAYA

This paper reports the progress on a new engineering education method based on *in situ* experiments performing in classroom for the lower college year students in our department. We call this early-stage engineering education method "*in situ* experiment" and have been carrying out it since the second term of 2009. We have also promoted cooperation between the related subjects including the traditional subjects for experiment. In this paper, we discuss the teaching effectiveness of the *in situ* experiment and effects on the traditional subjects for experiment, especially in the case of digital logic circuit as an example.

KEYWORDS: *in situ* experiments, digital logic circuit, active learning, engineering education

## 1．　はじめに

高専教育の特徴は，中学を卒業した段階で専門分野を選択した学生を受け入れ，入学直後からの専門教育を特徴として教育を行なっている．石川高専の電気工学科においても，この "早期専門科目の教育" を実施し，第 1 学年から実施している．内容は主に専門科目の基礎的内容で，授業は基本的には一般の教室で座学中心で行われていた．

ところが，簡単な内容を取り上げて教えていても専門科目の学習内容の理解がなかなか進まず，高学年になっても専門知識が定着していない事例があった．さらには，学年が進んでも専門科目に興味を持てない学生が存在していた．

そこで，石川高専電気工学科では早期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，授業内容の確認やより理解を深めてもらうことを目的としている[1)2)]．本報告では，この教育方法を取り入れたディジタル回路の学習について，その効果や影響について報告する．

[*1]石川工業高等専門学校電気工学科 (Dept. Electrical Engineering, Ishikawa National College of Technology)
〒929-0392 石川県河北郡津幡町北中条タ１　　E:mail:tokui@ishikawa-nct.ac.jp
[*2]石川工業高等専門学校技術教育支援センター (Technology and Education Support Center, Ishikawa National College of Technology)

## ２．　従来の専門導入科目の授業と学生実験の問題点

高専教育の特徴である低学年からの専門科目教育は，石川高専電気工学科でも第 1 学年から実施している．内容は主に電気回路やディジタル回路などの専門科目の基礎的内容である．これらの科目の授業は，基本的には一般の教室を用いて座学中心で行われていた．

電気回路については，第 1 学年の科目『電気工学基礎』で簡単な直流回路について学んでいる．また，ディジタル回路についても，第１学年の前期科目『電気数学』で論理数学を学び，後期科目『計算機工学基礎』で，論理回路と順序回路を座学により学んでいる．実際に回路を使った動作確認は，第 2 学年の学生実験で行っていた．この学生実験では，クラスを 4 グループに分けて，各実験テーマを 3 週ごとにローテーションで行っていた．したがって，実験は，授業で学んだ次の学年で動作の確認を行う時間配置を取らざるを得ないため，学習効果は高くない．また，数人で装置を使うため，実験に積極的に参加しない学生の存在が問題となっていた．

さらに，学年が進み専門科目が増えるにつれ，電気工学科の専門内容に興味が持てない学生が存在し始める．これらの学生は，比較的早くから成績が低迷し，さらに学習意欲が減退するという悪循環に陥っているケースが多い．また，彼らが専門科目に興味が持てなくなった時期を尋ねたところ，第 1,2 学年の専門科目の授業がよく理解できなかったことも原因の一つであるという意見が多かった．

そのため学生の興味を引き出す必要性から，低学年で実施する学生実験は，なるべく少人数のグループできれば 1 人で実施して，それぞれが教材を使って一斉に行う実験形態が好ましい．この一斉実験の形態はグループでテーマを廻しながら実施する実験とは異なり，授業の進度にあわせて実験を実施できる利点があるが，教材や人員の配置の関係から実現は難しかった．

## ３．　in situ 実験の導入

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，なるべく手を動かしたり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．ただし，教室での授業と，動作を確かめさせる実験との時間的な間隔が開いてしまうことで効果が薄れてしまう．また，教室での授業の途中で実験室に移動して実験することは，移動の時間が生かせないため無駄が生じやすい．

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（実験室に移動することなしに）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 年度の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．

この in situ 実験では，学生一人一人あるいは少人数のグループで行い，彼ら自身で実験装置を自ら操作して体験させることが．大事である．しかし，装置の関係で教員が実験を行い，これをプロジェクターによってスクリーンで投影する方法も行っている．

石川高専電気工学科では，in situ 実験の導入にあたって，授業の内容と学生実験の内容を整合について検討を行った．その結果，これまで授業内容を確認するための学生実験の項目は，in situ 実験で確認できるため廃止することにした．それに代わり本来の低学年の学生実験では，これまで学習した内容を応用して，学生自らが考えて実験するテーマを低学年から導入することとした．さらに同じテーマを同時に一人一人が行う一斉実験の方式を出来る限り取り入れることにした．

図１に示すように，低学年から in situ 実験により，確認，検討，計画，実行のスパイラルを経験させていくようにしている．これらのスパイラルアップにより，第 4 学年で実施する問題解決型の創造工学実験や，卒業研究で自主的に行う習慣につなげていくことを目指している．

## ４．　ディジタル回路の学習と in situ 実験

石川高専電気工学科では，ディジタル回路は比較的低学年から学習可能であると考えて，第 1 学年の『電気数学』や『計算機工学基礎』から授業

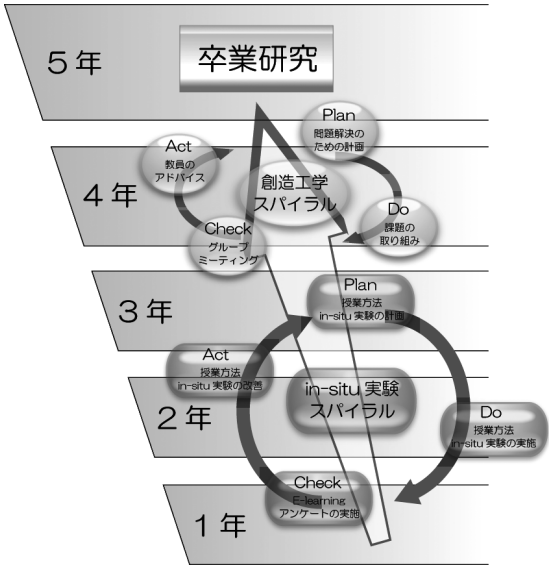


**図1**　in situ 実験と創造工学実験や卒業研究との連携

を設定している．これらは，学年が進むにつれ学生実験でより応用的な内容に取り組んでいる．この in situ 実験の導入によって取り入れた授業の改善点を紹介する．

### ４．１　第 1 学年科目『電気数学』の前期における in situ 実験の取り組み

『電気数学』は第 1 学年の通年科目であるが，前期と後期では内容は大幅に異なる．後期は三角関数や複素数が中心の主に数学に関する内容である．前期は，N 進法，論理代数が主な内容である．これにより，後期科目の『計算機工学基礎』につながるディジタル論理回路の基礎を学んでいる．授業形態は，教室による座学で，例題のプリントを配布して授業中に行っている．論理代数は，論理和や論理積などの簡単な定理から，やや複雑な論理式まで授業で取り上げるが，これまで黒板を使って説明しても理解出来ている学生の割合は低かった．

そこで，シーケンス制御用のトレーナーを用いて，スイッチとランプを使って論理和や論理積を体験させる方法を取り入れた。図２は，その実験風景である．この実験は実験装置と電源が必要なため，特別教室に移動して二人から三人一組で行っている．また，この実験は半期で 1 回実施している．

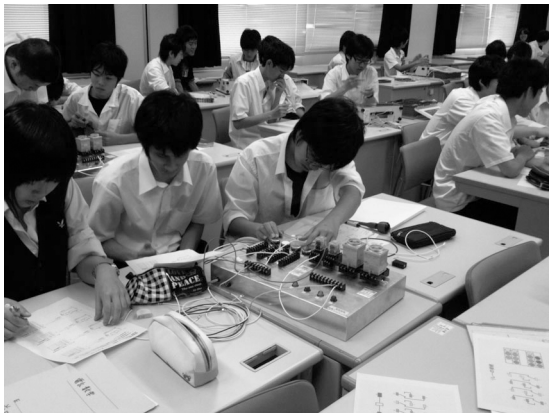

**図2**　『電気数学』でシーケンス制御装置を使った in situ 実験

### ４．２　第 1 学年後期科目『計算機工学基礎』における in situ 実験の取り組み

第 1 学年前期の『電気数学』を内容を引き継いで，後期からは『計算機工学基礎』で論理回路について授業を行っている．基本的な論理代数から，MIL 記号を使ったディジタル論理回路への置き換えや，フリップフロップを使った順序回路を中心に授業を進めている．電子回路分野で取り上げられるマルチバイブレーターやディジタル論理回路用 IC の内部構成については，この授業では取り上げてはいない．

これまでは，論理回路の記号と論理式の対応と，組み合わせによっていろいろな動作をする回路が実現できることを説明していたが，黒板を使った説明では，理解力の向上には限度があった．

そこで，実際にディジタル論理回路用 IC を使って動作を確認させる in situ 実験を挿入している．この in situ 実験は，授業中に教室の机の上で扱うことができる市販のディジタル IC 実験セット[3)]をクラスの人数分導入した．これを図３のように，授業の進度にあわせて，実験セットに学生自身で配線させて回路を作成し動作を体験させている．配線などの指示は，図４のように教卓上で実演して，その様子を書画カメラを使ってスクリーンに投影しながら指導している．

**図3**　ディジタル論理回路の動作確認の in situ 実験

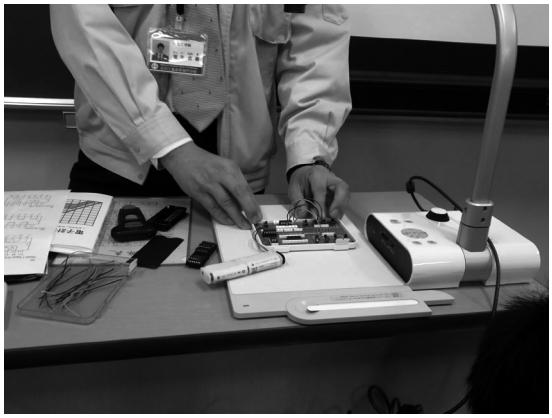

**図4**　教卓でディジタル論理回路の in situ 実験での配線を指導

### ４．３　第 2 学年の学生実験でのディジタル回路の取り組み

従来の第 2 学年の学生実験では，クラスを 4 グループに分けて，各実験テーマを 3 週ごとにローテーションで行っていた．第 1 学年の『電気数学』と『計算機工学基礎』の授業で学んだ内容は，ディジタル論理回路の動作確認とその応用を前期に，フリップフロップの動作確認とその応用を後期に行っていた．実験装置も二人一組で使うため，実験に積極的に参加しない学生の存在が問題となっていた．

**４．２**で紹介したように，基本的なディジタル回路の動作は第 1 学年の『計算機工学基礎』で経験している．そこで，第 2 学年の学生実験について全体的に検討して見直した．実施方法では，ほとんどの実験で全員が同じテーマを行う一斉実験とした．実験内容では，ディジタル回路については第 1 学年の『計算機工学基礎』の in situ 実験では出来ない応用回路とした．また，ディジタル論理回路の動作確認とその応用，フリップフロップの動作確認とその応用の両方を前期で実施し，後期は簡単な課題を回路の設計から実現までを行うテーマを新設した．

これらのディジタル回路の実験では，図５で示した IC トレーナー[4)]を人数分用意し実験室で一斉に行っている．また，学生一人一人が実験するために，学生からの質問などが増えることが予想されたため，担当教員を従来の倍の 4 名体制にした．図６はフリップフロップを使った順序回路の応用回路に取り組んでいる様子である．この一斉実験では，従来のグループ実験と比較して，実験の進行速度のバラツキは大きい．各自が実験を行うため，理解が進んでいない学生や，手際のよくない学生が，全体の進行に取り残される結果となった．これらの学生に対しては，教員が折を見て個別に指導することで対処している．また，進度の速い学生が遅い学生に対して教え合う姿が自然発生的に見られた．全体的に，進度の遅い学生は最大約 1 時間程度の遅れで実験を終了できた．

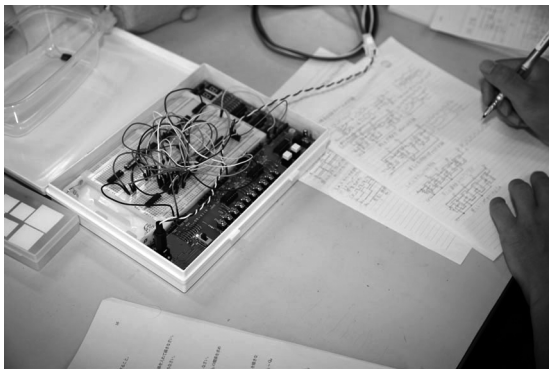

**図5**　学生実験でで使用する IC トレーナー

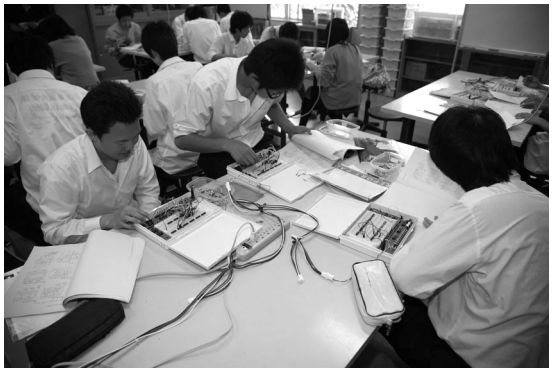

**図6**　フリップフロップを使った順序回路の応用回路実験

### ４．４　第 3 学年の学生実験でのディジタル回路の取り組み

従来の第 3 学年の学生実験では，ディジタル回路の実験はなく，第 4 学年後期で行われる創造工学実験や第 5 学年の卒業研究までディジタル回路に触れないことが多かった．そのため，せっかく勉強した知識が定着せず，卒研などでもう一度基礎から勉強し直すなど無駄が多かった．

そこで，第 2 学年で行っているディジタル回路の実験を受けて，第 3 学年の学生実験内容の見直しを行った．第 4 学年後期の創造工学実験や第 5 学年の卒業研究で用いられる機会が多い，H8 や PIC 等のマイクロコンピュータにつながる内容を加えた．

前期では，第 2 学年の実験に引き続いて，ディジタル回路の設計から実現までの課題を行い，さらにセンサーやマイクロコンピュータを使った実験テーマを新設した．また，実験も第 2 学年同様一斉に実験を行う形式に変更した．

後期では，従来の実験テーマに加え，マイクロコンピュータを使った実験を追加している．従来の実験テーマは，一斉実験が出来ないため，いくつかのグループごと実験を行う形式としている．

図７はディジタル回路設計実験に取り組んでいる様子である．この実験では，与えられた課題を実現する回路を設計し，ブレッドボードで回路を製作し動作確認を行う．そして，動作確認を行った回路をユニバーサル基板に半田付けで製作している．

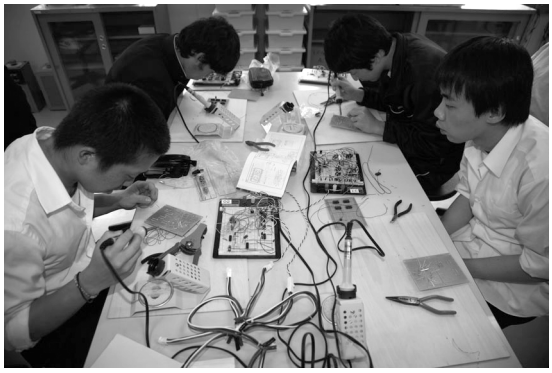

**図7**　ディジタル回路設計実験

## ５．　ディジタル回路の in situ 実験による効果と課題

### ５．１　in situ 実験の効果

**４．２**の『計算機工学基礎』は，積極的に in situ 実験を取り入れている．しかし，導入 1 年目の平成 21 年度は，準備の都合で半期で 2 回しか実施できなかった．2 年目の平成 22 年度は当初からスケジュールを組み，半期の授業回数の半数で in situ 実験を行った．いずれの年度も，in situ 実験開始当初は配線方法をスクリーンで拡大させながら詳しく説明している．しかし，2 年目は授業回数を重ねるうちに回路図を提示するだけで学生自身が配線できるようになった．

実験で用いる装置は小型であるため，IC は 2 個しか搭載できない．そのため，初年度は授業前に教員と技術職員ですべての IC の交換作業を行っていた．これも 2 年目の途中から学生たちに工具の使い方を教えて交換させたところ，すぐに交換出来るようになった．

また，**４．３**の 2 年生の学生実験においても学生の実験に取組む姿勢は積極的になった．その結果，実験の最初に装置の基本的な配線方法を伝えただけで自ら IC を使って実験を進めるようになっている．さらに，**４．４**の 3 年生の学生実験では，設計ミスなどのトラブルに対して自ら解決していく姿勢がうかがえるようになった．

このディジタル回路の学習内容の定着は，『計算機工学基礎』の学年末成績の平均点からも推測できる．表１では，in situ 実験実施前の平成 19 年度と 20 年度より，実施後の 21 年度と 22 年度がわずかではあるが向上している．年度により，学生の差があるため正確な比較ではないが，ある程度の定着効果があると考えられる．

**表1**　『計算機工学基礎』の学年末成績の平均

| 年度 | 平均点 | 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 |

### ５．２　学生からのアンケート結果

表２と表３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．表２の結果からは学習効果に対して肯定的な意見がほとんどであった．実験回数についての設問では，現状通りで良いという意見が大半であるが，これは in situ 実験の実施回数が授業回数の半数強であったため，ほぼちょうど良い回数であったと考えられる．表３の『in situ 実験の利点』の利点に対する設問では,『実際にモノに触れて確かめることが出来ること』に対してポイントが高い結果となった.

**表2**　『計算機工学基礎』の in situ 実験実施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% |

**表3**　アンケート結果『in situ 実験の利点は?』（1 年生 42 名・複数回答）

| 設問 | 人数 |
|---|---|
| 実物に触れること | 24 |
| 習ったことをその場で出来ること | 28 |
| 個人で実験できること | 11 |
| モノを使って学び理解しやすい | 13 |
| 授業時間が短く感じる | 16 |
| 不明な点を自分で調べたくなる | 2 |
| より早く専門科目を勉強したくなる | 8 |
| 授業に積極的に参加している | 8 |
| クラスメートと議論しながら学べる | 11 |

### ５．３　in situ 実験の課題

in situ 実験で動作について確認することで，授業の進度が遅くなる傾向がある．そのため，導入前の授業項目に比べて，その授業全体で教えることができる項目や内容を削減せざるを得ない．これについては，授業内容を精査して，重要な部分や学習の理解に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が必要である.

また，in situ 実験中は実験指導が教員 1 名では，全体に目が届きにくい．そのため，現在は他の教員や技術職員の応援によって対処している.

## ６．　まとめ

低学年に実施する専門科目で教育効果の向上を目指して in situ 実験を導入し，ディジタル回路の学習効果についての検証を行った．本教育方法は，学生一人一人が手を動かして実験することで，授業内容の確実な理解と定着につながることが期待されていた.

授業の成績においても向上がみられ，学生へのアンケートでも好評である．また，in situ 実験を受けた学生が進級し，学生実験での取り組みでも全体的に積極的な姿勢がみられた．これらより，本教育方法の導入によって効果があったことが確認できた.

一方で，in situ 実験の導入により，授業の進度が遅くなっている．そこで，授業全体で教える項目や内容を精査して，重要な部分や学習の理解に必要な部分を中心にカリキュラムを組み立てるように変更している．in situ 実験の指導には，他の教員や技術職員の応援により実施している.

今後，さらに in situ 実験を受けた学生が進級したあとの知識の定着が期待できるかについて追跡が必要である．また，他の専門科目での積極的な学習についても効果があるか検証していきたい.

## 謝辞

本論文は，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『基礎科目を重視した創造教育プログラム』の一環の事業である.

### 参考文献

1) 徳井 直樹, 河合 康典, 田屋 悦子, 瀬戸 悟：低学年における専門導入教育の in situ 授業の導入と効果 -第一報-，平成 22 年高専教育講演論文集，pp.397-398(2010)
2) 徳井 直樹, 河合 康典, 田屋 悦子, 瀬戸 悟：低学年の専門導入教育における in situ 実験の導入と効果，高専教育，34 号，pp.131-136(2011)
3) 「IC トレーナー model CT-312 ディジタル IC 実験セットガイドブック」，サンハヤト（2009）
4) 「IC トレーナー CT-311R 取扱説明書 IC トレーナーの手引き」，サンハヤト（2009）