電気磁気学授業における“*In Situ*”型工学デザイン演習の効果

Effects of “*In Situ*” Type Engineering Design Experiment
in the Electromagnetism Education Class

佐 藤 匡^{*1}
Tadashi SATO

In Fukui National Technical College, *In Situ* Type Engineering Design Experiment has been carried out in the “Electromagnetism 2” Education Class. In this experiment, every student prepares all materials except a magnet and a wire by himself and makes up a speaker from scratch. This theme “speaker” was very effective as what teaches a student how theory of magnetism are important in manufacture. In this research, we focused on the change in the consideration of the students before and after experiment. The result of the investigation by the questionnaire technique is analyzed by using the graph with four areas. The change in an affirmative tendency and a negative tendency of the student’s consideration shows that the experiment is effective.

Keywords : Electromagnetics, *In Situ* Type Experiment, Engineering Design

キーワード : 電気磁気学, *In Situ* 型演習, 工学デザイン

1. まえがき

ものづくり教育が難しくなっている原因の一つとして、子どもの理科離れが指摘され始めて久しく¹⁾、学外でのものづくり経験に乏しい学生が年々増加傾向にある。自ら手を動かさなくとも十分に楽しく魅力的な製品が容易に入手可能になった時代背景も手伝ってか、子どもの遊びにもものづくりの要素が乏しく、子どもがものづくりや道具の使用に不慣れであるという調査報告もある^{2), 3)}。これらは工作作業のスキル不足という問題のみならず、理論と実践の意識上の乖離という問題を招く一因になっていると考えられる。

座学中心の授業と実践的学習の実験・実習・演習は高専における工学教育の両輪として有効に機能してきた。しかし近年、授業と実験、つまり理論と実践の関連付けが苦手な学生の存在が指摘されるようになった⁴⁾。このような状況に鑑み創成科目の重要性が指摘されるようになり⁵⁾、福井高専（以下本校）電気電子工学科（以下本学科）においても低学年を中心としたものづくり教育を充実させてきた。従来の実験・実習・演習に比べ、ものづくりの要素をより多く盛り込み、更に複数週に渡って創成活動を行う点に特徴がある。座学と実践の結び付きをより強く印象付けるため

には、創成科目の設置に加え、従来の座学の中に実習・実験の要素を盛り込み有機的に結びつけ、その場で、個々の学生が体験する手法が有効と思われる。講義と演習・実習・実験の一体化に関する事例についてはこれまでも報告があるが⁶⁾、最近の報告では同種の取り組みが“*in situ*”型演習・実験として紹介されている⁴⁾。以下本稿においても“*in situ*”型演習という呼び方を用いる。

本稿では本校本学科3年「電気磁気学Ⅱ」授業内で行う“*in situ*”型工学デザイン演習について報告する。この取り組みは平成23年度で導入後10年を迎えるが、試行錯誤を経て平成20年度に現在の内容が確定している。演習内容について述べた後、演習実施前・後のアンケート調査、自己点検アンケート調査、授業アンケート調査結果の分析を通じて本演習の効果を検討する。

2. 導入経過

多くの電気系学科において、電気磁気学は基礎科目に位置付けられている。わずか4つのマクスウェル方程式にまとめられる美しい学問体系となっている電気磁気学であるが、本校本学科では微積分やベクトル関数を学習途中、あるいは未学習である第3学年で電気磁気学Ⅱを学ぶため、帰納的な学習カリキュラムを組んでいる。すなわち個々の項目毎にポイントとなる法則を理解し、法則を具体的な事例に適用することを積

平成23年3月28日受付

^{*}1 福井工業高等専門学校

み重ねている。一方、学生実験には電気磁気学授業関連のテーマを盛り込んでいる。近年、授業と実験の関連性について十分に理解出来ないという学生の声が増えたこと、ものづくり教育に対する社会的ニーズの高まり等を踏まえ、授業と実験・演習の有機的結合の必要性を感じるようになった。そこで1) 学生一人一人が全て、その場で実験・演習を行ういわゆる“in situ”型実験・演習であること 2) 工学デザイン演習の要素を含むことの2点を条件とした取り組みを平成14年に開始した。この取り組みは試行錯誤を経て平成20年度に現在の形が確定している。次にその経過を示す。

2.1 導入期(平成14年度)

- 実施学級…本校本学科3年(定員40名)
- 実施授業…電気磁気学Ⅱ(3年, 通年必修2単位)
※実施学級, 実施授業は次年度以降も同じ
- テーマ…電磁誘導を利用した装置
- 期間…3週+放課後
- 製作上の制限, 指導法など…製作上の制限なし, 材料の統一なし, 個別の作業指導
- 評価項目…①動作状況, ②課題趣旨の理解度, ③作品の説明, ④作品の出来

本演習における「デザイン」は、JABEEにおける「工学デザイン」の定義、すなわち『デザイン能力とは、単なる設計図面制作の能力ではなく、構想力、種々の学問・技術を統合して必ずしも正解のない問題に取り組み、実現可能な解を見つけ出していく能力』でなければならない。しかし、導入期において本校はJABEE審査を受けておらず、また前述のJABEEによる工学デザインに関する定義も未定であったため、本

演習における工学デザインの意義は曖昧であった。演習内で製作する作品は、電気磁気学の法則を利用していればどのような作品でも可としたため、自由度の高さが逆に学生を戸惑わせる場面も見られた。

2.2 過渡期(平成15～19年度)

- 本演習では、受講学生全員がスピーカー基本部とエンクロージャの製作を行い、期日内に作品化する。作品は評価され、これは電気磁気学Ⅱ評価の一部となる。
- テーマ…オリジナルスピーカの製作
 - 期間…放課後(H15年度), 4～6週(H16～H18年度), 7週(H19年度)
 - 製作上の制限, 指導法の変遷…電磁力応用以外も可(H15年度), 磁石は配布ネオジム磁石のみ使用可, 電磁力応用によるものに統一, リサイクル推奨, シラバスに記載(H16年度～), エナメル線を統一(H18年度～), ボビン製作まで作業指導, 自己点検シート導入(H19年度～)
 - 評価項目…①設計書, ②取り組み, ③独創性, ④技術力, ⑤音量・音質, ⑥リサイクル(H16, H17年度), ①設計書, ②取り組み, ③独創性, ④技術力, ⑤音量, ⑥音質, ⑦リサイクル(H18, H19年度)

平成17年度に本校がJABEE認定を受けたことを契機に、過渡期では演習内容がJABEEにおける工学デザインの定義に沿うように変更を重ねた。全ての学生にとって初めて製作するものであること、全ての学生が基本構造の作成に成功すること、その後の製作過程によって作品の性能が大きく変わることの3点を満たすものが望ましく、これらを満たすテーマとしてオリジナルスピーカ製作を選択した。

2.3 平成20年度以降

創成期、過渡期を経て平成20年度以降は以上の実施内容が確定した。図1に演習の流れ図を示す。本稿では、実施内容が確定した平成20年度のデータで検討を行う。

図2に本演習における作品例を示す。

- テーマ…電磁力の応用：オリジナルスピーカの製作
- 製作・期間…7週(1週は100分)

図1 演習の流れ図

図2 作品例

○製作上の制限、指導法…磁石（ネオジム磁石（円柱状 $\phi 10[\text{mm}] \times 10[\text{mm}] \times 2$ 個））およびエナメル線（ $\phi 0.4[\text{mm}] \times 10[\text{m}]$ ）を配布し、磁石とエナメル線は追加使用不可。磁石、エナメル線以外の材料はリサイクルを推奨し、止むを得ない場合の材料購入は150円が上限。初めに演習の趣旨・概要について説明し、設計書作成と提出を求める。事前アンケートを行った後、ボビン製作からコイル巻きまでは作業指導（その後は個々の進度に合わせ個別指導）。コイル完成時点で音声信号を入力し、動作試験実施。製作工程の中に電磁力、スピーカ基本部構造と動作原理、資源の有効利用に関する講義を挟み、コイルと磁石によるデモ実験を行う。エンクロージャ完成後、全員がプレゼンテーションを行い、相互評価を行う。音量・音質評価は後期期末試験終了後（特別学習期間）に別室で一人ずつ行う。音量評価は1[kHz]正弦波を入力しスピーカ中心軸上1[m]に設置した騒音計で測定。音質評価は参照スピーカ（前年度作品）との比較により実施。評価後に報告書、自己点検アンケート、事後アンケート回答の提出を求める。

評価項目と報告書内容は以下の通りである。

- 評価項目…①設計書、②取り組み、③独創性、④技術力、⑤音量、⑥音質、⑦リサイクル、⑧デザイン、⑨プレゼンテーション（⑧、⑨は学生による相互評価）
- 報告書記載事項
 - ・設計Ⅰ（スピーカ基本部）…工夫したところ、設計図と説明、材料等
 - ・設計Ⅱ（エンクロージャ）…工夫したところ、設計図と説明、材料等
 - ・動作試験結果
 - ・感想、反省など

3. 事前・事後アンケート分析

3.1 アンケート設定

前述のように、平成20年度からデザイン演習実施前後にアンケート調査を行っている。事前アンケートの“質問記号（内容）”は、A（ものづくり演習が楽しいである）、B（スピーカの仕組みを知っており、説明が出来る）、C（設計ができれば、設計通りにものを作ることは難しくないと思う）、D（ものを作る時に、コスト、リサイクル、リユースを考えたことがある）、E（電気磁気学で学んだことを、実際のものづくりのイメージと結びつけて考えることができる）、F（先輩の作品と同程度の音量、音質の作品を作れると思う）、G（ものづくり演習が終わってからも、また何か作ってみたいと思う）、H（電気磁気学Ⅱにもものづくり演習があるのはよいと思う）、J（将来、ものづくりに関係する仕事に就こうと思う）の9個である。

事後アンケートの“質問記号（内容）”は、A（ものづくり演習は楽しかった）、B（スピーカの仕組みを知っており、説明が出来る）、C（設計ができれば、設計通りにものを作ることは難しくないと思う）、D（ものを作る時に、コスト、リサイクル、リユースを考えた）、E（電気磁気学で学んだことを、実際のものづくりのイメージと結びつけて考えることができた）、F（先輩の作品と同程度の音量、音質の作品を作れたと思う）、G（ものづくり演習が終わって、今後また何か作ってみたいと思う）、H（電気磁気学Ⅱにもものづくり演習があるのはよいと思う）、J（将来、ものづくりに関係する仕事に就こうと思う）の9個である。

事前・後アンケート共に「そう思う：5」「ややそう思う：4」「どちらでもない：3」「ややそう思わない：2」「そう思わない：1」の5ポイント評価で回答を求めた。

3.2 データ処理法

演習前・後アンケート調査の特徴は「調査時点における意識の解析」のみならず、演習がもたらす「意識変化」について分析可能な点にある。従ってデータ処理においては「意識変化の表現方法」が最も重要になる。本稿では、意識変化を視覚的に表現するために事前・事後アンケート調査結果に以下の処理を導入した。

データは事前・後回答の組み合わせで分類する。横軸を事前アンケート回答、縦軸を事後アンケート回答（共に5ポイント評価数値）としたグラフを用い、データは2軸の目盛線交点にマーカーでプロットする（図3）。5ポイント評価における1～3の回答は否定的回答であり数値が小さいほどその傾向が強いことを示す。3～5は肯定的回答であり数値が大きいほどその傾向が強いことを示す。従って、事前→事後における

図3 領域

図4 領域 α 、 β

図5 領域Ⅰ～Ⅳ

図6 領域Ⅰ- α 、 β ～Ⅳ- α 、 β

○領域Ⅰ：肯定傾向→肯定傾向で、演習に取り組むモ

データの表記に際し、直観的理解のため数値に応じマーカーの大きさを変えた。また、元図ではマーカー色にも意味を持たせてある。グラフ領域右上から左下を結ぶ対角線上のマーカーを黄色、図4の α 領域を赤、図4の β 領域を青として、境界線からの距離が大きいほど色を濃くした。これら「領域」「マーカーの大きさ」「マ

工学教育 (J.of JSEE), 59-6(2011)

カ色（位置）」で事前・事後の意識変化を直観的に把握することが可能である。

3.3 結果と分析

図7に事前・事後アンケート集計結果を示す。

図7中、マーカー上の数字はその座標の値に回答した学生数である。結果は大きく3パターンに分類できる。

①肯定維持傾向（Ⅰ型）

領域Ⅰに集中するパターンで、今回のアンケート調査結果ではA, G, H, Jが該当する。ものづくり演習が楽しみで（A）、演習後も何か作ってみたい（G）、電磁気の授業内にもものづくり演習があるのは良い（H）、将来ものづくり関連に就職したい（J）という意識はもともと高く、本演習によってその熱意を削がれることもなかったことが判る。更に図6の分類を適用するとA, Jはその意識が高まったことも判る。

②肯定維持+肯定変化傾向（Ⅰ・Ⅱ型）

主に領域Ⅰと領域Ⅱに分散するパターンで、今回のアンケート調査結果ではB, E, Dが該当する。スピーカの仕組みを知っており説明が出来る（B）、電気磁気学で学んだことを実際のものづくりのイメージと結びつけて考えることができる（E）、ものを作る時にコスト・リサイクル・リユースを考える（D）という点で、演習前は否定的な意識を持っていた学生が肯定意識に変化し、もともと肯定意識を持っていた学生は肯定意識を持ち続ける効果があったことが判る。このⅠ・Ⅱ型になった項目全てが、本演習の目的である「理論と実践を意識の上で結び付ける」の関連項目である点は注目に値する。特にEとDは肯定変化傾向の方が多い。更に図6の分類を適用すると、肯定変化傾向集団ではB, Eで比較的緩やかな変化が、Dでは比較的大きい変化が見られた。肯定維持傾向集団ではB, D, E全て評価ポイントが上昇する傾向が見られた。電磁力応用やスピーカ原理に関する授業の理解、ものづくりとコスト・リサイクル・リユースの関連、座学と実践の関連付けに不安がある学生に対し、本演習が効果的であることが判る。

③分散傾向（Ⅰ～Ⅳ型）

全ての領域に分散するパターンであり、今回のアンケート調査結果ではC, Fがこれに該当する。設計ができれば設計通りにものを作ることは難しくない（C）、先輩の作品と同程度の音量、音質の作品を作る（F）という意識と、演習前後での意識変化は個人差が大きいことが判る。

C, Fは設計段階から実際の製造現場への橋渡しや、競合製品との機能競争といったものづくり現場の難しさを考える契機にすべく設定した項目であり、敢えて「このようなことは難しくない」という問いかけにしてある。遣り甲斐があるが難しい取り組みであると初めから判って（予想して）いる学生には「自分にも出来そうだ」との自信を、逆にその難しさが判らない（難

しいと思っていない）学生には「甘くなかった」との反省をもたらすことも演習の目的である。従って領域ⅡからⅣにかけてのマーカー分布を予想していたが、実際は異なる結果となった。

C（設計通り作れる）では領域ⅠからⅢを中心に緩やかに分散し、意識変化の割合があまり大きくなかったことを示している。本演習を通じていわゆるanalysisとsynthesisの違いについて考える契機とする狙いがあったが「設計ができれば」という設問の解釈に差が生じた可能性があり、今後の検討課題である。F（先輩と同程度）では、図4の α 領域を中心として緩やかな分散があり、肯定変化傾向の方が多い事が判る。演習作業前のデモ実験で用いた前年度作品を超えることを作業目標とした学生が多かったため、「弱い肯定変化傾向」になったと考えられる。目標を持たせることでモチベーションを上げることの重要性が判る。

ものづくり演習にはテーマ難易度設定という問題がある。「学生の想定以上の作品を作成可能な難易度に設定し、ものづくりに自信を持たせ、あるいは興味を喚起する」テーマ設定と、「難易度を高く設定し、想定外の困難を経験する事でものづくりを学ぶ姿勢について再考させる契機とする」テーマ設定である。今回のスピーカ製作は、アンケート結果からみて平均的な難易度であったと思われる。

4. 教育効果

本稿におけるものづくり演習は、通常の授業にシームレスに組み込むこと、演習を通じて電気磁気学全体に対する興味を喚起する事を目的としており、従ってその効果を授業全体に関する評価と切り離して論じることはできない。演習には興味を持ったが、授業全体には興味を持てなかったというのでは演習の意味が薄れる。そこで、ものづくり演習の効果を、授業への取り組みとその成果を学生自身がどのように評価したか、授業全体に対して学生がどのような評価をしたかという2点から検討する。

4.1 自己点検アンケート

授業終了後、学生による自己点検アンケート調査を行った。「質問番号（内容）」は、q1（シラバスと授

図8 自己点検集計結果

業の関係を意識していたか?), q2 (授業内容・分野に興味を持てたか?), q3 (授業の内容を理解できましたか?), q4 (電磁気に関する基礎知識について理解できたか?), q5 (ものづくり演習で目標を定め計画を立て作品を仕上げる事ができたか?), q6 (授業の目標(到達目標)を達成できたか?), q7 (授業に満足できたか?) の7つであり, 「そう思う: 5」「ややそう思う: 4」「どちらでもない: 3」「ややそう思わない: 2」「そう思わない: 1」の5ポイント評価で回答を求めた。

自己点検の結果を図8に示す。 “質問番号 (平均ポイント)” はq1 (4.2), q2 (4.7), q3 (4.6), q4 (4.7), q5 (4.5), q6 (4.6), q7 (4.8) であった。特に「授業に満足」「授業内容・分野に興味」「電磁気に関する基礎知識の理解」の項目に対する評価が高い点が注目に値する。授業に対する自らの取り組みとその結果に満足を抱かせ、ものづくり演習を通じて電気磁気学全体への興味を喚起し理解を促進するという点で、本演習の効果を確認する事が出来た。

4.2 授業評価アンケート

本校ではP (Plan) D (Do) C (Check) A (Action) サイクルの一つとして学生を対象に授業・実験に関するアンケート調査を継続的に行っており, その結果を授業改善に活用している⁷⁾。 “質問番号 (内容)” は, q1 (私はこの授業の達成 (到達) 目標を理解していた), q2 (私はこの授業の予習, 復習を十分に行った), q3 (私はこの授業に積極的に取り組んだ), q4 (黒板, OHPなどは見やすかった), q5 (演習問題や課題の量, 内容は適切だった), q6 (教員の説明は良

く聞き取れた), q7 (試験の内容, レベル (難易度) は適切である), q11 (内容に関心, 興味を持った), q12 (内容は理解できた), q13 (内容はシラバスと一致していた), q14 (教員の準備は良くなされていた), q15 (教員は学生の理解度を把握していた), q16 (教員は授業に熱心であると思った), q17 (この授業には総合的に満足である), q18 (この授業の目標を達成した), の15個であり (q8~q10は実験関連項目), 「強くそう思う: 4」「ややそう思う: 3」「あまり思わない: 2」「全く思わない: 1」の4ポイント評価で回答を求めている。 「電気磁気学Ⅱ」授業アンケート結果を, 自己点検アンケート結果と比較し易くするために5ポイント評価に換算し, 図示すると図9のようになった。

無回答は0ポイント, 平成14年度q1, q18は未設である。

本演習の創成期, 過渡期には4ポイントを下回る項目も散見されるが, 内容が確定した平成20年度は1項目を除いて全て, 平成21年度には全ての項目で4ポイント以上になっており, “in situ” 型の工学デザイン演習を取り入れた授業に対する学生の評価が改善されていることが分かる。

4.3 工学デザイン教育としての効果

JABEE基準1 (1) の (e) は「種々の科学, 技術および情報を利用して社会の要求を解決するためのデザイン能力」とあり, 工学デザイン教育には, 学び得た知識や技術を統合して活用することが求められている。スピーカ設計には電気磁気学以外の知識も必要であるが, 高専3年生では専門知識も限られるため, 本演習のみで工学デザイン教育の全てを満たすことは出来ず, 本校工学デザイン教育の一部を担うことを目標としている。

本校ではJABEE基準を本校学習・教育目標に再配置しており, 授業・演習に工学デザイン教育関係項目を割り振り, 全体として一つの工学デザイン教育を施す仕組みになっている。本演習ではそのうち (C③) 新しく出会った課題について, 自ら問題点を発見しようとする意識を持てること, (C④) 既成概念にとらわれない創造性豊かな発想のもと, 課題について多様な観点から検討・考察し, その結果を具体的に示せること, (A⑥) 構造物または製品をデザインする際に, つくる目的を意識し, 機能性・安全性および経済性に加えて, 環境負荷の低減・快適性などを考慮できること, (C⑥) 自ら明確に設定した目標を達成するため, 詳細な計画を立て, それに沿って継続して努力できること, (E①) 与えられた実験・演習課題の工学的意義を理解し, 提示された方法を計画・実行することにより, 定められた期限までに妥当な結果を導けること (項目前の (英字, 数字) は平成22年度本校学習・教育目標より) の5点を満たすことを目的としている。

図9 学生による授業評価アンケート集計結果

従って、どの程度、工学デザイン能力が育成されたのかを評価するためには総合的な「作品評価」だけでは不十分であり、2.3の9項目評価を行っている。演習を完遂した学生の全てが演習に合格していることから、本演習は学習・教育目標を満たす程度に、本校デザイン教育の一部を育成することに寄与すると考えられる。更に報告書の提出を求め、専門知識の活用、環境負荷の低減に関する演習の効果を確認し、演習前の設計書との比較で明らかな意識の向上を確認した。

5. まとめ

電気磁気学Ⅱ授業にものづくり演習を組み込み、継続的に内容の改善を行った。本演習の効果を演習実施前・後に行ったアンケート調査の結果をもとに検討した。その結果、本演習がものづくりに関する興味を喚起すること、理論と実践の関連付けを促すこと、満足感を与えること、電気磁気学全体への興味を喚起すること、工学デザイン教育の導入という役割に関し、一定の効果を示唆する結果を得ることができた。

本演習の特徴は、その場（教室）で、グループでなく個人で全員が作業を行う、いわゆる“in situ”型実験の条件を備えている点にある。本学科では本稿で述べた工学デザイン演習以外に従来型の実験・実習・演習も行っており、ものづくり科学（1年）、アイデアモータ製作（2年）、ライントレースマシン製作（3年）がそれに該当する。更に4、5年における工学デザイン演習導入を検討し、体系的・継続的なものづくり教育カリキュラムの構築を行うことで、「高度な専門知識の統合活用」という工学デザイン教育の理念を具体化するシステムを構築するとともに、従来型の授業、実験に対する“in situ”型実験・演習の位置付けを明らかにしていくことが今後の課題である。

参 考 文 献

- 1) 鶴岡森昭, 永田敏夫, 細川敏幸, 小野寺彰: 大学・

高校理科教育の危機, 高等教育ジャーナル(北大), 1, pp.105-115, 1996

- 2) 鶴山博之, 橋爪和夫, 中野 綾: 子どもの遊びの実態に関する研究, 富山国際大学国際教養学部紀要 4, pp.133-137, 2008
- 3) 長谷川雅康, 豊留由美: 子どもの遊びの変化とその意欲への影響に関する研究, 鹿児島大学教育学部教育実践研究紀要, 15, pp.181-195, 2005
- 4) 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, 平成22年度全国高専教育フォーラム・教育教員研究集会Web論文集セッションV, 論文番号55, http://www.nagaoka-ct.ac.jp/h22kenkyu_s/gaiyou.html, 2010
- 5) 創成教育 特集号, 工学教育, 53-1, 2005
- 6) 前田高雄: 工学部基礎物理学のFDとして一つの試み 講義, 演習, 実験の有機的結合について(高等教育におけるファカルティ・ディベロップメントと教授デザイン-事例研究とFD活動の状況調査Ⅱ-), 放送大学研究報告, 94, 160-165, 1996
- 7) 栗田佳代子: 高専における授業評価の周知方法と評価“後”についての調査, 大学評価・学位研究, 7, pp.87-100, 2008

.....

著 者 紹 介

佐藤 匡

1988年北海道大学大学院修士課程修了。
三菱電機(株)勤務を経て現在福井工業高等専門学校准教授。
制御理論の研究に従事。博士(工学)。
日本工学教育協会、計測自動制御学会、システム制御情報学会各会員