

2. 研究の詳細

プロジェクト名	電気回路設計の基礎的能力に関する研究		
プロジェクト期間	平成 30 年度		
申請代表者 (所属講座等)	石橋 直 (教職教育院)	共同研究者 (所属講座等)	
<p>1. 研究の背景と目的</p> <p>問題解決能力や論理的思考力の育成を目指した効果的な取組みとして、近年ではSTEM(Science, Technology, Engineering and Mathematics)教育やプログラミング教育が注目されている。これらの教育活動を深化させるには、現実的な問題・課題に対し、製作あるいは制作、つまり工学的な“ものづくり”を通して解決を図ることが求められる。その“ものづくり”の過程には、電気回路の設計を伴うことが多々あるため、学習者には電気回路設計の能力が必要となってくる。しかし、学校教育で展開されている電気の学習においては、電気回路設計を取り扱う場面は極めて少ない。例えば、中学校の理科や技術・家庭科技術分野（以降「技術科」）では、電気の諸現象の理解や機器の仕組みの理解が学習の中心的な内容を占めている。また、実験や製作においては、あらかじめ準備された電気回路を構築・観察するものが多く、学習者が主体的に設計する場面がほとんど無いため、工学的な知識・技能を育成する機会が失われている。したがって、電気回路設計に必要な基礎的能力を解き明かし、その能力獲得のための効果的な教育方法を開発することは、今後の学校教育の質の向上のために重要なことである。設計という行為は創出と最適化を目指した概念操作を伴う知的な活動であり、電気回路設計能力には設計者のもつ電気回路概念が深く関連している。しかし、これらの関連性については明らかにされていない。そこで本プロジェクトでは、(1)電気回路概念が電気回路設計能力に及ぼす影響を調査し、(2)その能力育成のための効果的な教育方法を電気工学の専門教育機関の教育活動から見出し、さらに(3)その教育方法（教材・カリキュラム含む）を確立することを目的とした。</p> <p>2. 研究内容と研究計画</p> <p>本プロジェクトは前述の研究の目的に照らし、次の3点で構成した。</p> <p><u>(1)電気回路設計能力と電気回路概念の関連性を調査するテスト（質問紙）の開発・実施</u></p> <p>設計における思考の展開について、畑村[2000]¹⁾は、機能要求にはじまり、それを分析・分解して機能を得て、それを回路図などの機構へと写像し、展開・統合することで構造を得るものと定義している。従来から存在する電気回路概念テストを「機構（回路図）から機能を見出す写像」と捉えたとき、機能から機構を得る作業は逆写像とみなすことができる。本プロジェクトでは、この機能から機構への移行課題を設計と位置付ける。この能力測定のために、主として物理教育で用いられている回路概念テストをもとに、要求機能を実現する回路を考え記述するための回路図作成テストを開発し、教員養成大学の学生を対象にプレテストを実施のうえ改良し、電気技術を専門に学ぶ工業高校生約 240 名を対象に実施する。</p> <p><u>(2)電気回路設計能力の育成に効果的な教育活動の調査</u></p> <p>工業高校における質問紙調査結果に基づき、電気回路概念や設計能力をカテゴリ化し、電気回路概念と設計能力の関わりについて明らかにする。さらに、工業高校の教育内容がそれぞれのカテゴリに関する能力に影響を与えているかについて、その関連性を調査する。調査対象の工業高校で取り扱っている教科書の内容だけではなく、指導計画、実験・実習項目の詳細、資格取得に向けた指導内容、課外授業の内容などから総合的に考察する。</p> <p><u>(3)電気回路設計能力の育成に効果的な教材・指導法の開発</u></p> <p>電気回路設計能力の育成に効果的な教育活動を検討し、新たな教育方法を開発する。「電気回路概念の獲得」から「電気回路設計能力の育成」までつなげていくための、指導法、教材、カリキュラムを構築することを目指す。</p>			

3. 平成 30 年度実施による研究成果

(1) 「電気回路設計能力と電気回路概念の関連性を調査するテスト（質問紙）の開発・実施」について

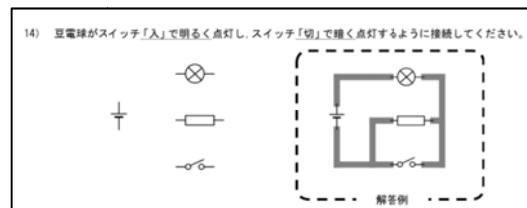
テスト（質問紙）は、Engelhardt & Beicher[2004]²⁾

による DIRECT(Determining and Interpreting

Resistive Electric Circuits Concepts Test v1.0)を参考

に、電気回路設計に関連性の高い問題を抽出し構成した。従来型の概念テストを 26 題，設計能力の測定を試みるための電気回路作成テストを 16 題設定した。

大学生(N=51)に対する電気回路概念テストの結果，多くの学生は電流概念について良好な理解を示したが，回路・抵抗概念，電力概念，電圧概念の理解に課題が見られた。また，回路図作成テストでは，配線と機能の関係を視覚的に結びつけやすい回路・抵抗概念については良好だったが，電力，電流，電圧のように数値を操作対象とする設問の正答率が低いことから，機能として量的なものを要求される問いに困難さを抱くことが分かった。さらに，回路図作成テストでは，短絡回路を構成したり，電源の極性を正しく接続できなかつたりといった誤りも見られた。このテストは同一概念を複数の設問から測定するものが含まれており冗長であったため，回路概念について 18 題，回路図作成については 7 題に改訂し，これを県立 A 工業高等学校の電気科生徒 231 名を対象に調査を実施した。調査結果は分析の途中であるが，回路概念テストと回路図作成テストのいずれにおいても正答率が低く，設計能力とその育成に係る教育活動との関連性についての特徴を見出すには至らなかった。



回路図作成テストの例

回路概念テストおよび回路図作成テストの正答率(N=51)

	回路概念テスト	回路図作成テスト
抵抗・回路	0.52	0.65
電力	0.49	0.53
電流	0.68	0.39
電圧	0.37	0.27

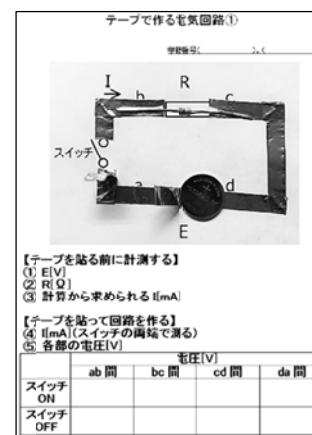
(2) 「電気回路設計能力の育成に効果的な教育活動の調査」について

前述の調査結果から，設計能力とその育成に係る教育活動の関連性を見出すことが困難と考えられたが，ここでは，その要因について教科書分析を通して探ることを試みた。工業高校で取り扱っている教科書「電気基礎 1・2」「電気機器」「電力技術 1・2」「電子回路」「電子計測技術」（いずれも実教出版に掲載されている）の演習問題を調査したところ，回路内の電気諸量や用語を回答させるもので占められており，本研究の回路図作成テストのように，求められる機能を実現するための配線を考えさせるような設問は無い。これらのことから，電気技術を専門的に学ぶ工業高校生の生徒は，回路図内における電気諸量を数値計算的な処理を通して求めることはできるが，電気回路の振る舞いを直観的に捉えたり，目的に合った回路を創出したりすることに十分に組み立てていないことが分かった。このことは，学習指導要領の各科目の取扱いに「計算方法の取扱いに当たっては演習を重視し」とあるため，この文言を受けた教科書の設問が計算問題中心のものとなっていることが要因であると推察される。しかしながら，工業科の目標には「工業と社会の発展を図る創造的な能力」を育てるとしているため，創出を指向した設計学習を展開していく必要があるだろう。

(3) 「電気回路設計能力の育成に効果的な教材・指導法の開発」について

① 回路基礎教育用の教材開発について

電気の理解には，実際に回路を製作し動作を確かめる，いわゆる「つくることで学ぶ」取組が有効と考えられる。ここでは，電気回路を理解するとともに電気回路を構想し設計を具体化する能力の育成を指向した教材として導電性テープに着目し，試行授業を通して，導電性テープの活用方法や効果について検討した。教材として使用した導電性テープは(株)タカチ電気工業の CUS-8T であり，8mm×2m の銅箔テープである。金属粉入りの粘着剤で接着させる仕組みのため，粘着面にも導電性を有する。電気回路を実際につくる学習活動としては，クリップリードを使用するものや，ブレッドボードを使用するものが挙げられるが，これらは回路図から実体配線への移行において困難さを伴うことが懸念される。そのため，回路図の配置・配線どおりに回路を構築できるツールが望ましいが，この導電性テープはその条件を満たしているものといえる。試行授業は，電圧概念に着目したものとし，大学 1 年生 12 名を対象に，回路を構築し，各点を実測することを通して電圧につ

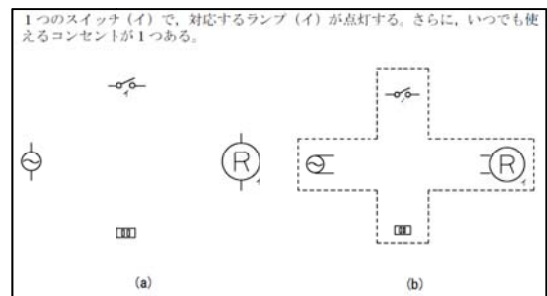


導電性テープを活用した回路シート
(試行授業の学習者による製作)

いての理解を深めるものとした。DIRECTに基づく概念テストの事前・事後を対応のある t 検定により比較したところ、電圧概念の理解に関して、事後テストの正答率が事前テストに比べて有意に高かった ($t=2.42$, $p<.05$) ことから、教材に一定の成果が認められた。

②配線の指導法について

配線に関する能力については、電気工事における複線図の作成に着目しその指導法について検討した。複線図の作成にあたっては、例えば、電線がジョイントボックス間を経由しなければならないことや、器具間には渡り線を使用しなければならないことなど、配線ルートが限定されることによって配線ミスを起こすこと、接地側や非接地側など、使用する電線の色が指定されたり、あるいはされなかったりすることの理解が困難であることが明らかにされている³⁾。複線図は決められた作業手順の通りに実行するだけで完成するため、電気回路の動作を意識することが少なく、手順の意味を理解できずに作業にあたっていう課題がある。そこで、電気回路の振る舞いを意識させながら配線に取り組みさせるために、I：配線ルートを限定しない回路図の作成、II：配線ルートを限定した回路図の作成、III：複線図の作成、といった作業手順を設定した。この指導によって、誤結線がどの程度縮減されるかについて、試行授業を通して検証した。ここでは、大学2年生を対象に、従来型の指導法（統制群、 $N=14$ ）と、本研究の指導法（ $N=13$ ）を実施し比較したところ、誤結線の数は実験群の方が有意に低く、指導法の効果が示唆された ($t=2.12$, $p<.05$)。電気回路の配線を指導する際は、なぜそこに繋ぐのか、そこに繋ぐと回路の動作がどのように変化するかを推論させることが重要であり、その思考を促すことが誤結線の低減に効果があることが確かめられた。



「II：配線ルートを限定した回路図作成」の演習問題の例

4. 研究の今後の展望と予想される成果

本プロジェクトで開発したテストの実施を通して、回路の理解を目指す際に働く思考と、回路の設計・創出の際に働く思考が異なることが示唆された。今後は、設計における思考過程や学習者のものづくり経験などが設計能力にどのように影響するかについて、プロトコル分析や新たな質問紙を作成し調査することを通して明らかにし、回路設計能力を構成する要素を探っていく必要がある。

本プロジェクトを通して、電気回路のグラフに関する概念（主として回路・抵抗概念）が、配線と機能を視覚的に結びつけやすいことから保持しやすく、回路図作成においても有効に機能することが示唆された。このことは、電気回路設計の基礎教育に関わる指導者にとって有用な知見になるものと考えられる。特に、中学校技術科の新学習指導要領に示されている「電気回路又は力学的な機構等を構想して設計を具体化する」学習の題材・教材開発に役立てられることや、電気回路の基礎教育を実施している工業高校電気科などにおける設計学習に寄与することが期待される。

5. 主な学会発表及び論文

- 石橋直(2018), 電気工事複線図作成の指導法に関する研究, 日本産業技術教育学会第61回全国大会
石橋直(2018), 教員養成大学の学生がもつ電気回路概念に関する研究, 電気学会教育フロンティア研究会,
FIE-18-017, pp.7-12
石橋直(2019), 回路図作成テストによる電気回路概念の実態調査, 平成31年電気学会全国大会
その他, 工業高校生対象の調査結果については日本産業技術教育学会第62回学会全国にて発表予定

[参考文献]

- 1) 畑村洋太郎(2000), 設計の方法論《設計系III》, pp.13-19 岩波書店
- 2) P.V.Engelhardt and R.J.Beichner(2004), "Students' understanding of direct current resistive electrical circuits", American Journal of Physics, Vol.71, No.1, pp.98-115
- 3) 石橋直(2018), 電気工事の複線図作成における初学者のつまずきに関する研究, 日本産業技術教育学会九州支部論文集, 第25巻, pp.1-6