

令和 4 年 4 月 22 日現在

機関番号：17101

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K14206

研究課題名（和文）電気・電子回路の設計力育成を目指したハンズオン教材の開発と評価

研究課題名（英文）Development and Evaluation of Hands-on Learning Materials for Developing Ability to Design Regarding Electric and Electronic Circuits

研究代表者

石橋 直（ISHIBASHI, Tadashi）

福岡教育大学・教育学部・准教授

研究者番号：80802842

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,700,000円

研究成果の概要（和文）：学校教育における技術教育で取り扱われる回路設計に焦点化し、生徒がもつ設計力の実態解明や設計力育成のための教材開発を行った。生徒の電気回路の概念理解の程度と設計能力との関連性を調査した結果、接続に関する概念理解が設計力の基盤として働いていることを見いだした。さらに、回路図の部品の位置や姿勢によって生徒の理解度が変化することが明らかとなり、回路図通りの配置で実物の回路を構築できる教材が初学者に求められることが分かった。そのためのハンズオン（hands-on）教材として導電性テープの機能に着目し、はんだ付けを行わずに回路構築できる教材を開発し、小中学生向けの試行授業を通して有用性を実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

初学者を対象とした回路設計学習において、これまで学習者の認知的特徴や学習方略が十分に議論されていなかった。本研究では、設計学に基づき生徒の実態把握を行うことで回路設計に重要な概念を明らかにするとともに、学習に効果的な教材を提案した。開発教材は初学者（児童・生徒）に対して適切なレベルであることが実証され、かつ安価に構成できるため、今後の学校教育における回路設計学習教材のひとつの選択肢になり得ると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to research the students' ability to circuit design and develop teaching materials regarding electric and electronics circuit in technology education. According to the result of the survey, it was found that the concept of connection functions as the basis of circuit design ability. In addition, the placement and rotation of parts on the circuit diagram changes the difficulty of students' understanding. Therefore, there was a need to develop teaching materials for beginners that could be assembled in the same layout as the electric circuit diagram. I focused on the function of conductive tape and developed the hands-on teaching materials. It was shown that the teaching materials can be used for elementary school students and junior high school students.

研究分野：教科教育学（技術科教育学，工業科教育学）

キーワード：技術教育 工業教育 概念理解 電気回路 電子回路 回路設計 設計力 ハンズオン

## 1. 研究開始当初の背景

これまでの技術科や工業科の設計学習に関する研究の多くは、生徒が想起しやすい構造物設計を対象としてきた。一方、電気・電子回路設計(以降、単に「回路設計」)については、学習を支援する教材開発の事例は多数報告されているが、回路設計における学習者の認知面の詳細な解明を試みたものや、設計理論に基づいた教材開発事例が不足していた。2017年に告示された学習指導要領においても回路設計の取組みについて明記されており、その背景には国立教育政策研究所による「条件に応じた電気回路を設計することに課題がある」という指摘があった<sup>1)</sup>。そのため、当該テーマは技術教育における喫緊の課題であった。

## 2. 研究の目的

ものづくりにおける「設計」とは、使用者が要求する機能を満たす製品を製作するために、設計者が経験知や既得の科学概念を操作しながら構成し、最適解(設計図等)を創出する作業である。「設計力」とは、機能要求の整理から最適解導出までの設計に関わる全ての能力をいう。本研究では、設計学習をより効果的に行うための知見を得るために、回路学習における設計力の評価手法を確立し、学習者の認知面を明らかにすることと、回路の設計力育成に効果的な教材を開発することを目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究は3年間の研究期間を計画した。初年度に、設計力の評価に必要なテスト開発と、設計力育成のためのハンズオン教材・学習プログラムの開発を並行して進め、次年度以降に主に中学生への授業実践・評価、設計力の分析と認知面の解明、教材の改良、最終年度に再度教材の活用・評価・改善等を行うこととした。

### (1) 回路概念テストと回路図作成テストの開発について

設計力の評価のために、「回路概念テスト」と「回路図作成テスト」を開発することとした。「回路概念テスト」は、これまで理科教育等で研究されてきた電気回路の捉えに関する各種テスト(例えば、Engelhardt(2004)<sup>2)</sup>)を統合し、電流・電圧・電力・回路(抵抗や接続など)の各概念を総合的に評価するテストへと編集することとした。また、「回路図作成テスト」は、機能に応じた回路図の作成を求めるテストを開発することで、経験知や科学概念の構成力を測定することとした。これらの結果を概念別に詳細分析することで、設計力に影響を及ぼす認知的特徴の解明を試みることにした。

### (2) ハンズオン教材の開発と試行授業について

回路の設計力育成に効果的なハンズオン教材として、粘着面にも導電性のある銅テープの機能に着目し、チップ部品、薄型基板を組み合わせた自作の部品シールを用い、紙に貼り付けるだけで電気・電子回路を構築できる教材を検討した。コンテンツは、中学校理科と技術科の学習指導要領および教科書で取り扱われる回路、電子工作関連書籍に登場する代表的な回路を参考にすることとした。なお、試行授業については、小中学生を対象としたワークショップ事業や、中学校技術科の授業における実施を計画した。

## 4. 研究成果

### (1年目)

初年度においては、回路設計に必要なとなる科学概念を見出すために、工業高校生を対象とした回路概念テストと回路図作成テストを実施し考察した。回路概念テストは DIRECT(Determining and Interpreting Resistive Electric Circuits Concepts Test)に基づき、回路設計と関連性の高い16題と独自作成問題2題で構成した。回路図作成テストは、要求される機能から回路を考え配線描画する7題で構成し、設計学の観点からその内容を回路概念テストの逆写像に位置づくよう設定した。テストの結果、接続に関する概念理解が回路設計力に深く関連していることが明らかとなった一方で、短絡・電流・電圧・電力の概念理解については生徒にとって困難であることが分かった。

教材開発については、汎用のディスクリート部品を紙面に貼り付けることで電気・電子回路を構築できる導電性テープを用いたハンズオン教材を試作し、中学生を対象に試行実習を行った。試行実習では昇圧回路の一種であるブロッキング発振回路を製作させた。中学生は導電性テープを用いた回路製作に対して困難さを示すことはなく、興味を持って取り組んだ。しかし、接着の精度やシートの曲げによって抵抗値に大きなばらつきが生じることから、安定した回路動作を望むには改良が必要であることが分かった。

### (2年目)

回路設計における思考過程を検討するために、教員養成大学の大学生を対象に設計過程のプロトコル分析を行った。接続について尋ねる設計課題では、3つの接続順序パターンが見られ、その発話内容から、電流の流れの意識が接続の正誤に関与していることが推察された。その際、設計時に用いる科学概念を誤った状態で理解している事例が見られた。そのいずれも中学校理

科における電気の学習内容に関連するものだったため、中学校の教科書分析を通して要因を探索した。ここでは、中学校で使用されている教科書に示されているアナロジーモデルを調査し、誤概念の形成との関連性について検討した。その結果、電流と電圧を説明するモデルにおいて、実際の電磁諸量の大小とモデルにおける図的表現の不一致が見られるなど、学習者の誤解を招く可能性があることが示唆された。

次に、回路教材としてのハンズオン教材の開発については、回路製作に用いる導電性テープの不安定性に関する課題が残っていたため、教材に最適な材料の検討を行った。ここでは、部品の接合の際に用いる素材として導電性テープの他に、セロハンテープやステープラーを検討した。荷重試験の結果から、部品を接続する際の各テープ貼付け時の荷重は導電性に影響しないことが分かった。一方で、曲げ試験の結果、曲げに対する導電性の安定性においてはセロハンテープが優れていることが明らかとなった。しかしながら、セロハンテープは回路製作上の制約が多いため、下地を工夫した上で導電性テープを使用することが望ましいという結論に至った。

さらに、開発したハンズオン教材を用いた授業実践を公立中学校にて実施した。1人1セットで設計・製作が行える環境を整備し、技術・家庭科技術分野の授業において試行した。

(3年目)

電気回路設計の能力に関して、これまでに接続に関する概念理解が基盤的に働いていることを見いだした。当該年度ではこの接続の概念理解の詳細を把握するために、中学生を対象に概念理解と配線図の作成能力との関連性について調査した。その結果、回路図に記された部品の配列や姿勢の変化が、接続に関する概念理解の程度に影響することが示唆された。そのため、回路設計学習では、部品配置・姿勢および、それぞれの内理解(「正しい」ものを「正しい」と判定する力)と外理解(「誤っている」ものを「誤っている」と判定する力)の組合せによる難易度の差異に着目した学習活動の順序性を考慮することが重要であることを見いだした。

回路教材としてのハンズオン教材の開発については、これまでに開発した導電性テープを活用した回路製作教材の改良として、チップLED等の半導体部品を用いた部品シールを独自に開発することで、より自由度が高く安定動作する教材を完成させることができた。このハンズオン教材は、地域ワークショップ事業にて小学生を対象に活用することを通して、半田ごてを用いずに短時間で電子回路を構築し、なおかつ部品レイアウトを児童・生徒の発想に基づいて自由に構成できることを実証した。

さらに、学校教育における電気回路学習の取扱いについて学習指導要領および検定教科書を基に網羅的に調査し、電気回路設計学習のための基盤となる知識・技術が、いつ・どのように形成されるかについて調査するとともに、電気を題材とする理科や技術科などの教科間の関連性について整理した。

以上、3年間にわたって中学生および高校生などの電気・電子回路の初学者を対象に、回路設計に関する概念理解や設計の能力について調査するとともに、適切な教材開発を実施してきた。回路設計には、どこに・どのようにつながっているか、つなぐべきかという接続に関する概念理解が極めて重要になることが分かり、この概念理解を促していくことの教育的意義を見いだすことができた。また、ハンズオン教材については所期のコンセプト通りのものを開発できたが、そのコンテンツや教育プログラムは限定的であり、これらの拡張が今後の課題である。

<参考文献>

- 1) 国立教育政策研究所(2019),平成25年度中学校学習指導要領実施状況調査 教科等分析と改善点(中学校 技術・家庭(技術分野)), p.1
- 2) Engelhardt, P.V and Beichner, R.J(2004), Students' understanding of direct current resistive electrical circuits, American Journal of Physics, Vol.71, No.1, pp.98-115

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 石橋直, 森山潤	4. 巻 71
2. 論文標題 技術教育における電気回路設計の学習に関する研究課題の展望 - 中学校技術科および高等学校工業科に焦点化して -	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 福岡教育大学紀要第3分冊	6. 最初と最後の頁 33-63
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 石橋直, 貝澤 世菜, 石川洋平, 森山潤	4. 巻 142,7
2. 論文標題 新学習指導要領に準拠した小学校・中学校の教科書における電気に関する記述内容の調査	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電気学会論文誌A (基礎・材料共通部門誌)	6. 最初と最後の頁 (2022.7刊行予定)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 石橋直, 大日方優太, 伊藤克治	4. 巻 70
2. 論文標題 マイクロビットを用いたインターバル撮影システムの開発	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 福岡教育大学紀要第3分冊	6. 最初と最後の頁 47-54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 石橋直	4. 巻 62
2. 論文標題 工業高校生の電気回路に関する概念理解と回路設計力との関連性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本産業技術教育学会誌	6. 最初と最後の頁 305-313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 石橋直	4. 巻 27
2. 論文標題 電気・電子回路学習のための導電性テープを用いたハンズオン教材の開発と試行実習	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本産業技術教育学会九州支部論文集	6. 最初と最後の頁 45-50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 石橋直	4. 巻 69
2. 論文標題 テキストマイニングによる技術科教員養成における電気領域の修得基準に対する充足度に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 福岡教育大学紀要第6分冊	6. 最初と最後の頁 29-36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 石橋直, 津嶋智将, 石川洋平, 野口卓朗, 清水暁生	4. 巻 69
2. 論文標題 工業高校情報技術系学科における高専・企業連携型インターンシップに関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 福岡教育大学紀要第4分冊	6. 最初と最後の頁 209-219
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 大日方優太, 石橋直
2. 発表標題 工業高校の交流回路学習における体験的学びを実現するための簡易実験装置の開発
3. 学会等名 電気学会教育フロンティア研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大日方優太, 石橋直
2. 発表標題 理論と実習の調和を指向した交流回路学習のための簡易実験装置の製作
3. 学会等名 日本産業技術教育学会第34回九州大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石橋直, 貝澤世菜, 石川洋平, 森山潤
2. 発表標題 小学校・中学校の教科書における電気に関する記述内容の調査
3. 学会等名 電気学会教育フロンティア研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石橋直, 部亜理紗, 森山潤
2. 発表標題 中学生における電気回路の接続に関する概念理解と実体配線図作成の能力との関連性
3. 学会等名 日本産業技術教育学会第64回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石橋直, 尾之上卓人
2. 発表標題 電気回路教材としての導電性テープの性能評価
3. 学会等名 日本産業技術教育学会第33回九州支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大日方優太, 石橋直
2. 発表標題 交流回路学習のための簡易実験装置の製作
3. 学会等名 日本産業技術教育学会第33回九州支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石橋直
2. 発表標題 電気回路学習における不正確なモデルと初学者の誤概念との関連性
3. 学会等名 電気学会教育フロンティア研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石橋直, 甲斐祐成
2. 発表標題 電気回路設計における思考過程のプロトコル分析の試み
3. 学会等名 日本産業技術教育学会第63回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石橋直
2. 発表標題 概念テストと回路図作成テストによる電気回路設計力の評価
3. 学会等名 日本産業技術教育学会第62回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石橋直, 平井智輝崇
2. 発表標題 電気回路教育のための導電性テープの活用に関する研究
3. 学会等名 電気学会教育フロンティア研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石橋直
2. 発表標題 電気・電子回路学習のための導電性テープを用いたハンズオン教材の検討
3. 学会等名 日本産業技術教育学会第32回九州支部大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

日本産業技術教育学会第64回全国大会の学会屋台において、「電気回路の設計・製作に関する教材・実践事例の紹介」と題して、同学会の電気分科会を代表して本研究の成果の一部を発表した。

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件



8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------