

<論文>

## 電気回路学習の実体配線図作成における 生徒のつまずきの分析に基づく学習指導方法の検討

宮川洋一 長野県教育委員会事務局 教学指導課 (兼) 義務教育課

### An Examination of Instructional Method for Electric Circuit Wiring Diagram Based on Analysis of Student's Error in Technology Education

MIYAGAWA Yoichi: Teacher Consultation Division & Compulsory Education Division,  
Secretariat of Board of Education, Nagano Prefecture

The purpose of this study is to examine the effectiveness of an instruction method for making the wiring diagram of electric circuit by analyzing student errors at the junior high school technology classes. False steps in making the wiring diagram were collected from 108 junior high school students and were analyzed qualitatively. Subsequently, students were divided into 3 groups and the effect of the instruction that was given to each group was inspected. The following were found:① There were almost no students who were able to make the wiring diagram of electric circuit without teacher's instruction.②About 70% of correct answer rate was obtained by using color-coded electricity circuit diagram and by reviewing.

【キーワード】 「技術とものづくり」 技術科 実体配線図 回路図 中学生

#### 1. はじめに

本研究の目的は、中学校技術・家庭科技術分野（以下、技術科）の電気回路の学習において、生徒が実体配線図を作成する際に発生するつまずきの実態把握と、指導方法を検討することにある。

技術科における電気回路の学習は、主に内容A「技術とものづくり」(5)「エネルギーの変換を利用した製作品の設計・製作」において、選択的に取り上げる内容として位置づいている。ここでは、中学生の発達段階に応じて、電気回路の設計・製作という一連の過程を問題解決的に展開することが大切である。そして、この学習過程を通して、基本回路の仕組みを理解し、回路を設計するための回路構成力、回路図を実体配線図に変換し、製品の電気回路を完成する結線能力、製品の保守・点検能力の育成をすることが重要である。

しかし、現行の学習指導要領における必修内容では、電気機器の保守・点検に重点が置かれていることや、指導時間数の削減が影響し、既製品の組み立て・点検という体験型技能習得的学習で終わってしまう場合が少なくない。

これまで、中学校技術科を対象とした電気回路の学習指導については、題材開発に関する研究（垣本ら 2006 など）、電気回路を理解させる教材・教具に関する研究（田嶋 1997 など）、授業実践に関する研究（鶴本 2000 など）等が行われている。しかし、回路図から実体配線図への変換、製品の電気回路を完成する結線能力の育成にかかわり、生徒のつまずきを分析した上で、指導方法を考察している研究は、筆者の知る限り存在しない。

そこで、本研究では、電気機器の設計・製作において、多くの生徒がつまづく回路図から実体配線図の変換場面を取り上げ、つまずきの実態把握を質的に行うとともに、教師の指導方法の効果を明確にし、授業改善に向けた基礎的知見を得ることにした。

## 2. 方法

### 2.1 調査対象者

長野県内N中学校の2年生3学級、男子59名、女子56名、計115名の生徒とした。ただし、調査当日欠席をした7名の生徒については、調査対象から除いた。

### 2.2 手続き

#### (1) 群構成の方法と群の初期状態

調査対象者を学級ごとに群分けをし、それぞれⅠ群（男子19名・女子17名）、Ⅱ群（男子18名・女子18名）、Ⅲ群（男子18名・女子18名）とした。実体配線図作成に関する群の等質性を確認するために、問題用紙1（図1）を配布し、回路図と同一の結線となるように指示し、10分間取り組ませた（以下、調査1）。実体配線図作成に関する群の初期状態を表1に示す。調査1の段階において、課題となっている実体配線図の作成ができる生徒は、Ⅱ群の1名のみであった。このことから、実体配線図作成に関して、3群はほぼ等質であると判断した。

#### (2) 調査2

調査1を実施後、問題用紙1を回収し、図1の問題用紙の下部に表2に示した指導内容が記載された問題用紙2を配布し、各群とも10分間取り組ませた。なお、Ⅱ群、Ⅲ群の問題用紙2には、負荷を中心として赤、黒に色分けをしてある回路図を印刷してある。

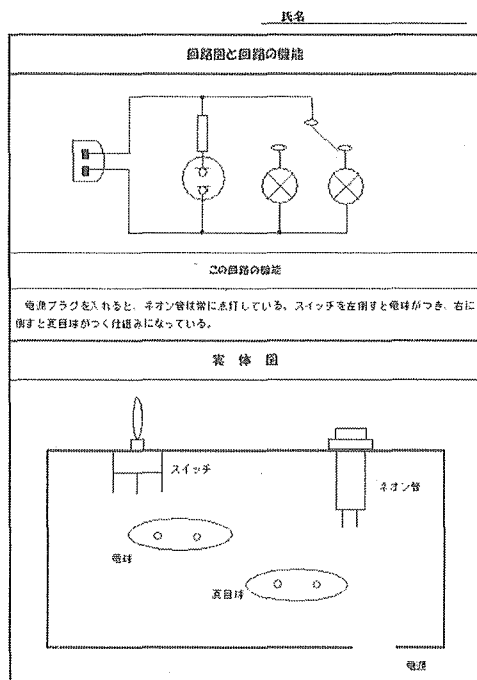


図1 問題用紙1

表1 調査1における各群の  
正解・不正解の度数

	正解	不正解
Ⅰ 群	0	36
Ⅱ 群	1	35
Ⅲ 群	0	36

これらの群分けにより、生徒の学習に不利益が生じないように調査後の指導については、十分配慮した。

表2 調査2において使用する問題用紙2に記載した各群の指導内容

群	問題用紙に記載した指導内容
I群	結線は部品の端子で行うようにする。ただし、1つの端子にコードは2本までとする。
II群	I群の指導内容 + 回路図に示したように赤と黒の色分けをして作成する。
III群	II群の指導内容 + 負荷の各端子には赤と黒のコードがそれぞれつながる。 なお、同じ端子に赤と黒のコードがつかない。

### 2.3 実施時期

調査は、平成17年11月に実施した。指導過程及び調査の位置を表3に示す。

表3 「ツインライトの製作」の展開 (全20時間扱い)

○学習活動 ・予想される主な生徒の反応	◇主な教師の指導・援助	時
①上級生が作成した「技術とエネルギー」に関するレポートを読んだり、ツインライト紹介のWebページを閲覧したりして、ツインライト製作への目標をまとめる。	◇技術とエネルギーの問題に関する興味をわかせる。エネルギー変換の利用という観点から、ツインライト製作への目標をもたせる。	1
②電気回路の基礎を調査ボードで学習する。 ・負荷を同時に使うときには、並列にすること、3Pスイッチを活用した切り替え回路がわかった。	◇回路図の正しいかき方を指導して、グループで調査(並列、切り替え、階段灯の回路)ができるようにする。	2
③ツインライトの回路設計をする。 ・自分で作成したときはあまり自信がなかったけれど、検討会で正しいことがわかってよかった。	◇回路図を用いて回路設計をさせる。グループやクラスの検討会を位置づけ、回路設計を確実なものにさせていく。	2
④部品配置図の作成、ケースの加工をする。 ・部品を取り付ける穴の位置を間違えることなく開けることができた。	◇穴を開ける場所を決め出させる。 ◇卓上ボール盤の仕組みを理解させ、加工できるように配慮する。	4
⑤コードとプラグの接続をする。 ・コードには許容電流が定められているので、中の導線を痛めないことが重要だ。 ・プラグなどの電気器具にも電圧と電流の限界値があるのだ。	◇コードの許容電流の意味を理解させた上で、プラグとの接続をさせる。 ◇電気器具の定格値について説明する。	2

[本研究における調査の位置]		
⑥実体配線図の作成をする。 ・色分けして配線図を作成すると混乱することなくできそうだ。	◇負荷を中心として回路図を色分けし、実体図と対応させていく方法を指導する。	1
⑦はんだづけによる配線を行う。 ・はんだづけは初めてだったけれど、簡単にできた。正しく接続できているのか点検しないといけない。	◇はんだの金属的な性質や不十分なはんだづけに着目させ、方法を指導する。 ◇安全指導を徹底する。	4
⑧回路計による点検を行う。 ・抵抗レンジを応用すると、導通試験と絶縁試験ができる。製作したツインライトを点検しよう。	◇回路計の基本的な使い方を指導し、電圧測定、導通試験、絶縁試験を行うことができるように実習させる。	2
⑨技術とエネルギー、技術と資源との関係について調査したり、環境問題の改善における今後の技術の役割について話し合ったりする。 ・温暖化を解決するために燃料電池という新しい技術の開発が進んでいる。エネルギーや環境問題に関心をもって生活したい。	◇インターネットを活用して「技術と環境、エネルギー問題」について調査活動を行わせ、簡単なレポートを作成させる。 ◇調査内容をもとにして、技術とエネルギー、資源との関係や環境問題について話し合いをさせる。	2

### 3. 結果

#### 3.1 調査2における指導の効果

表4は、調査1で不正解であった調査対象者における、調査2での正解・不正解者の人数を集計したものである。 $\chi^2$ 検定を行った結果、人数の偏りは有意傾向であった ( $\chi^2_{(2)} = 5.600, .05 < p < .10$ )。

残差分析によると、正解欄では、I群の残差がマイナスに有意であり、III群の残差がプラスに有意であることから、III群の正解者数が多いということがいえる。

このことから、調査2においてIII群に与えた指導は、正しい実体配線図を自力で作成させるために有効であることが示された。また、①回路図を単に色分けして実体配線図の作

表4 調査2における各群の解答状況

	評点	正解	不正解
I群	実際度数	14(38.89%)	22(61.11%)
	期待度数	19.2	16.8
	残差	-2.12*	2.12*
II群	実際度数	19(54.29%)	16(45.71%)
	期待度数	18.6	16.4
	残差	0.15	-0.15
III群	実際度数	24(66.67%)	12(33.33%)
	期待度数	19.2	16.8
	残差	1.98*	-1.98*

\*p<.05

成に取り組みさせる指導（Ⅱ群）では、正答率が全体の半数程度であること、②色分けして作成した実体配線図の見返しのポイント、言い換えれば、色分けをする意味まで説明すること（Ⅲ群）により、全体指導レベルで正答率を70%程度にまで上げることができると示唆された。

### 3.2 つまづきの質的分析

3.1 では、調査2における全体指導の内容が有効であるかを、群設定に基づいた調査・分析により検討した。生徒は、本調査を始めるまでに、表3の展開に従い11単位時間（1単位時間50分）の学習をしている。また、理科の学習でオームの法則などの電気に関する諸法則についても学習済みである。しかし、表1に示した通り、製作題材の基本的な回路図を実体配線図に変換することのできる生徒は、全体の0.9%（108人中1人）に留まり、ほとんどの生徒が、問題に示した程度の回路図からその実体配線図への変換ができないという実態が明らかとなった。

次に、指導方法改善に向けた基礎的知見を得るため、生徒のつまづきを分析する。調査1における全生徒の実体配線図について、技術科教員として10年以上の経験をもつ2名で、不正解の図のパターン分けをするための基準を作成した（表5）。表6は、分類カテゴリに基づいて集計した、各つまづきの度数とパーセンテージを示したものである。 $\chi^2$ 検定の結果、人数の偏りは有意であった（ $\chi^2_{(6)} = 25.61, p < 0.01$ ）。表6によると、誤りの多いカテゴリはC6(24.3%)、B(20.6%)、C3(19.6%)、誤りの少ないカテゴリはC5(2.8%)であった。

表5 調査1で生徒が作成した図の分類カテゴリ

分類	略号	定 義
正解	A	正しい結線ができていると認められる図
	B	回路図と同一の結線はできているが、以下のように不完全な図 ・コード同士の結線が部品の端子でおこなわれていない図 ・電源コードが3本以上になっている図
	C1	負荷の接続が1カ所以上直列つなぎになっている図
不正解	C2	負荷に接続されているコードが同一負荷端子の逆に接続されている図
	C3	記入されている部分は正しいが、接続コードが不足している図
	C4	記入してある線が2本以下の図
	C5	回路としては正しいが、別の回路図
	C6	いくつかの間違いが複合している図（誤りが一つとは判断できない図）

表6 調査1で生徒が作成した図の分類カテゴリ別度数及びパーセンテージ

カテゴリ	B	C1	C2	C3	C4	C5	C6	$\Sigma$
度数	22	14	10	21	11	3	26	107
%	20.6	13.1	9.3	19.6	10.3	2.8	24.3	100

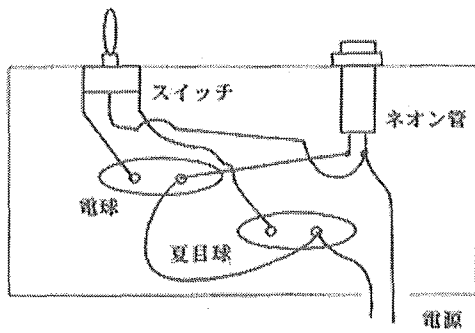


図2 カテゴリ A (正解図の例)

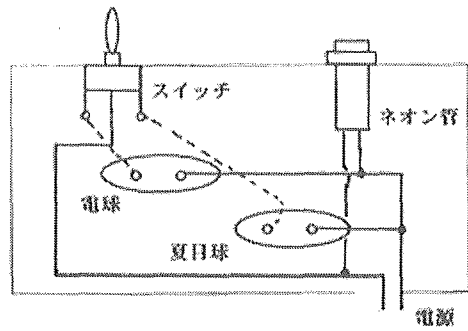


図3 カテゴリ B の例

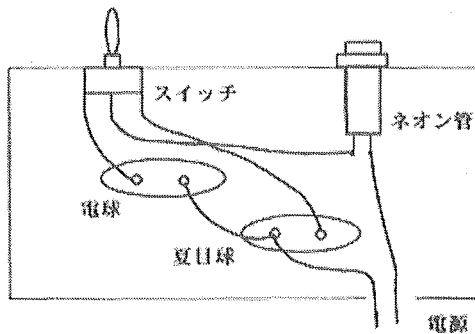


図4 カテゴリ C1 の例

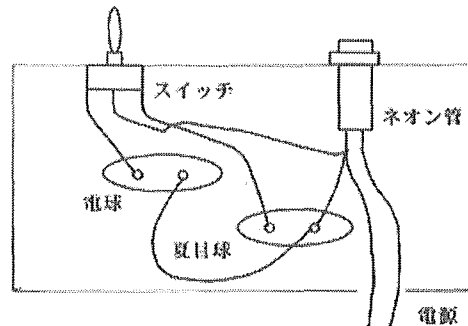


図5 カテゴリ C2 の例

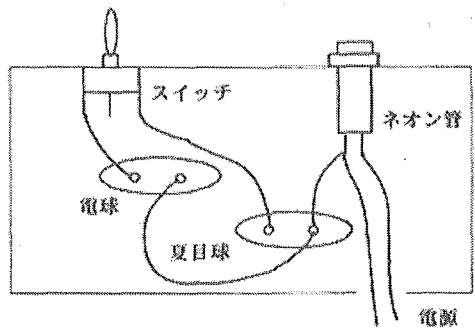


図6 カテゴリ C3 の例

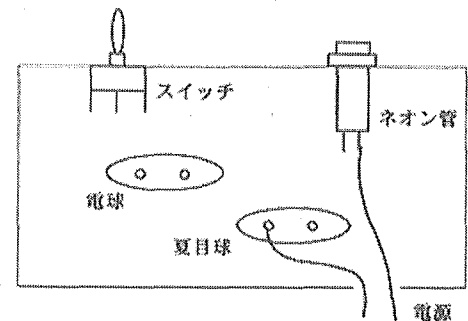


図7 カテゴリ C4 の例

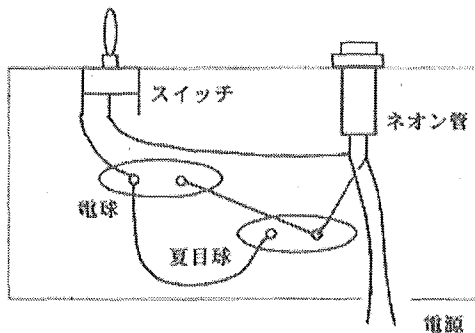


図8 カテゴリ C5 の例

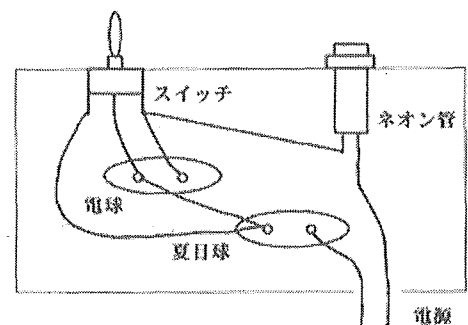


図9 カテゴリ C6 の例

カテゴリ B は、回路図と実体配線図とが一致しているが、コード同士での結線や電源コードの本数が実物より多くなってしまい、このまま配線を行わせると危険な配線、または配線ができない状態になると考えられる図である（図 3）。

カテゴリ C1 は、ネオン管と電球・夏目球の切り替えユニット部との並列つなぎを実体配線図として実現できていないパターンの図である（図 4）。中でも、図 4 のようにネオン管を直列に配線してしまう生徒が多い。

カテゴリ C2 は、負荷に接続されているコードの一部が、反対の電極に接続されてしまっているパターン（図 5）。中でも、図 5 のようにスイッチとネオン管を接続するコードを、ネオン管の電極の反対側に接続してしまう生徒が多い。

カテゴリ C3 は、接続コードが不足していて、不正解となっているパターン（図 6）。中でも図 6 のように、ネオン管とスイッチへのコードが不足している実体配線図をかいている生徒が多い。

カテゴリ C4 は、記入してある線が 2 本以下となっているパターン（図 7）。このカテゴリに属する生徒は、回路が理解できていない、または、実体配線図のかき方が理解できていない可能性がある。

カテゴリ C5 は、回路としては正しいが、問題として提示された回路図とは別の回路になっているパターン（図 8）。図 8 の場合、スイッチによって電球と夏目球を交互に切り替える回路（正解）ではなく、スイッチにより電球と夏目球が同時に点灯・消灯する回路になっている。

カテゴリ C6 は、主に C1, C2 の複合的な間違いをしているパターン（図 9）、必要以上に線が記入されていて、ショート回路ができていようなパターン（図 9）は、ネオン管が直列に接続されていること、スイッチと電球、夏目球との接続に間違いが多数存在する図である。

以上のことから、①生徒のつまずきには、多様な様相がみられるが、ある程度様相が特定できる 6 つのカテゴリ（B, C1～C5）と、様相が複合的である 1 つのカテゴリ（C6）に分類できること、②カテゴリ C では、ネオン管の接続に関わるつまずきが多いことから、生徒にとっては、並列つなぎの実体配線図の作成につまずきの大きなポイントがあるということがわかった。

### 3.3 カテゴリごとの指導内容の検証

実体配線図作成における生徒のつまずきに対して、3.1 で有効性を確認した指導内容の効果をさらに詳しく検討する。3.2 において、生徒のつまずきの様相はある程度特定することができたが、その原因については、カテゴリ B と比較してカテゴリ C は多様かつ複雑であると考えられる。そこで、本項では、カテゴリ C1～カテゴリ C6 をカテゴリ C として統合した上で、考察を進めることにする。

表 7 は、調査 1 における各群のカテゴリ A, B, C の度数とパーセンテージを、表 8 は、調査 2 における各群のカテゴリ A, B, C の度数とパーセンテージを示したものである。

また、調査1において、不正解であるカテゴリ B、カテゴリ C それぞれに属していた各群の生徒が、調査2においてどのカテゴリへ推移したのかを図 10-1 と図 10-2 に示した。

表 7 調査1における各群のカテゴリ該当度数及びパーセンテージ

群	Σ	カテゴリ A	カテゴリ B	カテゴリ C
I 群	36	0 (0.00%)	7 (19.44%)	29 (80.56%)
II 群	36	1 (2.78%)	9 (25.00%)	26 (72.22%)
III 群	36	0 (0.00%)	6 (16.67%)	30 (83.33%)
Σ	108	1 (0.93%)	22 (20.37%)	85 (78.70%)

表 8 調査2における各群のカテゴリ該当度数及びパーセンテージ

群	Σ	カテゴリ A	カテゴリ B	カテゴリ C
I 群	36	14 (38.89%)	0 (0.00%)	22 (61.11%)
II 群	36	20 (55.56%)	0 (0.00%)	16 (44.44%)
III 群	36	24 (66.67%)	0 (0.00%)	12 (33.33%)
Σ	108	58 (53.70%)	0 (0.00%)	50 (46.30%)

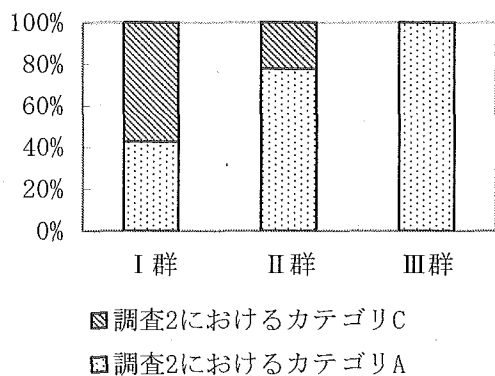


図 10-1 調査1でカテゴリ B に属した生徒の調査2における状況

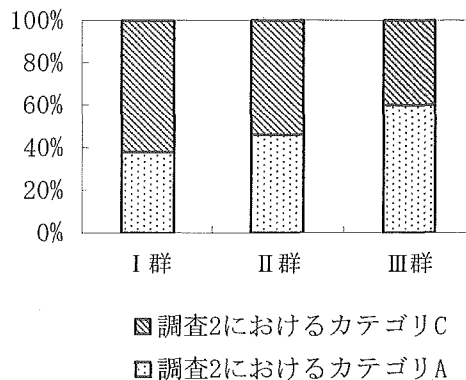


図 10-2 調査1でカテゴリ C に属した生徒の調査2における状況

図 10-1 は、調査1でカテゴリ B に属した各群の生徒（I 群 7 名、II 群 9 名、III 群 6 名）が、調査2においてカテゴリ A、カテゴリ C のどちらかに属するようになったかを割合で示した図である。調査1で、カテゴリ B に属した生徒の内、I 群で 42.9%、II 群で 77.8%、III 群で 100%の生徒が、調査2において正解となるカテゴリ A に属するようになった。このことから、コードの途中で結線してしまう図を作成するような生徒に対しては、回路図



を色分けした上で、①負荷には必ず2色の線が結線されていること、②同一端子に違う色の線は結線されないという見返しのポイントを示す指導（Ⅲ群に与えた指導）がきわめて有効に機能することが示唆された。

一方、調査1でカテゴリBに属した各群の生徒の内、I群では57.1%、II群では22.2%の生徒が、調査2において、カテゴリCに属するようになった。この主たる原因は、これらの生徒が「結線は部品の端子で行うようにする」という問題を解決できなかったことにある。この問題を解決するためには、「端子間に接続されているコードAに別のコードBを接続するためには、コードA上であれば両端子を含めてどこでも同じである」ということに気づく、または理解している必要がある。同じカテゴリBに属していても、調査2では異なる反応を示していることから、両者の間には、回路図から実体配線図へ変換する際の思考過程に大きな違いが存在していたのではないかと考えられる。

図10-2は、調査1でカテゴリCに属した各群の生徒（I群29名、II群26名、III群30名）が、調査2においてカテゴリA、カテゴリCのどちらかに属するようになったかを割合で示した図である。調査1でカテゴリCに属した生徒の内、I群で37.9%、II群で46.2%、III群で60.0%の生徒が、調査2において正解となるカテゴリAに属するようになった。I群よりII群、II群よりIII群という順に正答率が向上することから、カテゴリCの生徒に対しても、回路図の色分けや見返しのポイントを示す指導（II群及びIII群に与えた指導）が有効に機能することが確認された。

一方、III群で与えた全体指導においても、調査1においてカテゴリCに属した生徒の内、40.0%の生徒が正解に至らなかった。このことから、これらの生徒に対しては、教師による個別指導、生徒間の相互作用を生かした指導などの必要性も示唆された。

#### 4. まとめと課題

本研究では、学校現場にて比較的多く取り上げられている「エネルギーの変換を利用した製作品の設計・製作」の中から、電気回路の実体配線図作成に着目し、生徒の実態把握と指導方法の検討を行った。その結果、以下の点が明らかとなった。

- (1) 回路図を使って製作題材の回路設計を行った後の生徒であっても、その回路図を実体配線図に変換することは難しく、調査で扱った難易度の実体配線図を、教師の指導なくして1回で作成することは、ほとんどの生徒ができない。つまり、具体的な指導を学級全体に行った上で、実体配線図作成の実習に取り組みせる必要がある。
- (2) 回路図を色分けすることや、色分けを活用した見返しのポイントを指導しておくことで、調査で扱った難易度の問題で、70%程度の正答率が得られる。また、カテゴリBに分類されるような、コードの途中で結線してしまう間違いや、電源コードが3本以上となつてはいるが、回路そのものを間違えていない生徒については、この指導により正答率をほぼ100%にすることが可能である。

教材研究（広義の「教材化の研究」）では、生徒の実態把握がとても大切となる。本研

究では、実体配線図の作成という具体的な学習場面を取り上げ、3群において指導に差を設けて調査を試み、指導の効果を明確にした。また、生徒のつまずきの実態についてカテゴリ分けをして整理した。経験豊かな教師は、このような結果について感覚的に把握している場合が多い。いわゆる経験やコツというものは、教師にとって重要なスキルである。一方、その多くがそうであるように、経験やコツといわれるものは、直接的な指導を受けなければ、経験の浅い教師や教育実習生へは容易に伝わらない。そのような意味において、本研究は資料的価値があるものと考えられる。

また、本研究では、次の点が課題となった。今後の研究課題としていきたい。

- (1) 全体指導に対する正解・不正解への推移と指導の効果は明らかになったものの、C1～C6各カテゴリに属する生徒の推移傾向はつかみ得なかった。このことを明らかにしていくためには、本研究のように生徒が作成した実体配線図を事後分析する方法だけでは限界がある。さらに詳細な分析を行うためには、生徒の内面を探るプロトコル分析（海保ら 1993）などを実施して、質的な分析を一層進める必要がある。また、同様の方法を活用して、Ⅲ群に与えた全体指導においても正解図を作成することができなかった生徒に対する有効な指導法を検討する必要がある。
- (2) 実体配線図を作成する前段階で、実物から回路図へ変換する学習を2時間行っている。しかし、この学習が、回路図から実体配線図へ変換する学習へほとんど転移していない現実が明らかとなった。このことが、前段階で行った指導方法や指導時間の問題であるのか、もともと2つの学習間には転移という関係が存在しにくいものなのかは、今後検討を要する課題であると考えている。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、調査に協力していただいた生徒の皆さんに感謝いたします。また、本論文をまとめるにあたり、ご指導いただきました信州大学教授 干川圭吾先生、兵庫教育大学大学院准教授 森山潤先生に感謝申し上げます。

## 文献

- 海保博之，原田悦子，1993，プロトコル分析，新曜社，東京
- 垣本徹，井津元世士郎，浅田儀博，2006，白色LEDを用いた手回し発電ライト，日本産業技術教育学会，48(1)，pp.33-38
- 田嶋敬宏，1997，基礎的技術を習得するための教材・教具の工夫とその指導 -実践力を高める「電気」の授業をめざして，日本産業技術教育学会誌，39(4)，pp.265-268
- 鶴本正道，2000，「電気領域」での自ら目的を持って設計し，工夫しながら製作する授業の実践，日本産業技術教育学会誌，42(2)，pp.105-108

(2007年4月30日 受付)

(2007年9月28日 受理)