

直流と交流の違いを視覚的に学習するための教具開発とその学習効果

山 本 利 一

福井県教育研究所

森 山 潤

信州大学教育学部

青 木 礼 三

福井県教育庁生涯学習課

牧 野 亮 哉

福井大学教育地域科学部

直流と交流の違いを視覚的に学習するための教具開発とその学習効果

福井県教育研究所 山 本 利 一
信州大学教育学部 森 山 潤
福井県教育庁生涯学習課 青 木 礼 三
福井大学教育地域科学部 牧 野 亮 哉

中学校理科や技術・家庭科の電気領域の学習項目である「直流・交流」を視覚的に学習する教具を開発し、実験授業でその学習効果を調べた。

開発した教具は、極性を交互に反転して取りつけた2個の発光ダイオードを一定のスピードで回転させ、その光の見え方で直流と交流の違いを学習するものである。直流電圧をかけた場合は、一方の発光ダイオードのみが点灯し、光は連続的につながって見える。交流電圧をかけた場合は、2個の発光ダイオードの光は交互に点滅して見える。さらに、交流電圧をかけたときには、適切な回転速度に制御することによって、点滅する光は停止して見えるので、その点灯しているダイオードの光の数と回転数から周波数を求める学習も可能である。

本教具と従来の教具を利用した比較実験授業の結果、本教具を利用すると、交流と直流の違いが発光ダイオードの残像によって観察しやすくなり、周波数に関する学習内容の定着率が向上することが明らかになった。

キーワード：直流，交流，発光ダイオード，周波数，教具

1. はじめに

電気に関する学習は、小学校理科の「物質とエネルギー」、中学校技術・家庭科の「電気」領域（以下、技術科「電気」領域と記す）および中学校理科「第1分野」で履修する内容である。その中で、直流と交流に関する学習は、中学校技術・家庭科と理科の両教科において取りあげられている。

理科では、中学校指導書理科編¹⁾において「直流と交流の違いと特徴について観察、実験を通して知ることがねらいである。（中略）例えば、ネオン管、ヨウ化カリウムでんぷん紙、電気ペン、オシロスコープ、発光ダイオードなどでできるだけ分かりやすい方法で観察させる。そして直流と交流の特性が日常生活でどのように利用されているかを理解させる」とされている。また、その教科書^{2),3)}では、屋内配線用のエフケーブルに、2つの発光ダイオードの極性を交互に反転して取り

つけ、直流および交流の3～5Vをかけて、左右に振り、その光の見え方の違いから直流と交流について学習する構成となっている。

技術科では、中学校指導書技術・家庭編⁴⁾において「交流電圧や直流電圧が測定できるようにする」とされ、指導計画の作成と学習指導の工夫⁵⁾では、「電源と負荷の種類について知る」の基本的知識として、直流と交流の違いについて記載されている。その教科書^{6),7)}では、電源の種類として直流と交流が取り扱われている。その中で、発光ダイオードの点灯による実験やオシロスコープによる波形観察が参考として記載されている。また、回路計を用いた交流電圧などの測定が学習内容となっている。

理科の教科書と比較すると、周波数の定義や地域による周波数の違いが技術科の教科書には載っている。つまり、技術科では直流と交流の違いについての基本的知識を踏まえて、実際に測定することが学習の中心となっている⁸⁾。しかし、両教

科とも、直流と交流の違いを視覚的に観察することによって学習するのは同じである。

そこで本研究では、身近にある素材を利用して、単純な構造で視覚的に直流と交流の違いを学習できる教具の開発を目的とした。具体的には、直流・交流の学習に関わって、①学習指導の実態把握、②教具の開発、③実験授業による教具の評価、に取り組んだ。

2. 関連教具に関する現状の分析

従来、直流・交流を学習する教具としては、電磁石を利用したブザー、発光ダイオード、オシロスコープなどが紹介されている。

これらの教具の利用状況を把握するため、1998年12月に福井県下の技術科担当教員10名および理科担当教員10名、計20名に聞き取り調査を実施した。

その結果、全ての教員が直流・交流の学習を実施しているが、オシロスコープの利用は、20名中1名のみであった。技術科担当教員8名、理科担当教員10名、計18名は、発光ダイオードを取りつけた教具を手で左右に振って、その光の残像で学習する方法を採用していた。また、技術科担当教員2名は、ブザーを利用した教具を用いていた。

オシロスコープ以外の教具では、交流の周波数を定量的に測定することができない。また、オシロスコープでは、直流・交流の波形の観察や周波数の測定はできるが、その操作が比較的難しく、ブラックボックス的に扱わざるを得ない。

この問題に対処するために、本研究では、直流と交流との違いを生徒が視覚的に理解すると同時に、交流の周波数を定量的に測定しうる簡易な教具を開発することにした。

なお、聞き取り調査において最も利用頻度が多かった「発光ダイオードを手で左右に振って学習する教具」を「従来型の教具」と呼ぶことにする。

3. 教具の開発

発光ダイオードを交流で点灯させると周期的に点滅する。しかし、1秒間あたりの点滅回数が多く人間の眼の残像効果のために、点滅状態がは

きりと見えない。そこで、発光ダイオードを左右に動かすと、点滅が破線上の光点の列として観察でき、交流の性質が理解できる。これが、従来型の教具の原理である。発光ダイオードを人間の手で左右に動かす従来型の教具では、光の見え方は定常ではない。そこで本研究では、直径210mmの円盤に2つの発光ダイオードの極性を交互に反転して取りつけ、一定のスピードで回転させる教具を開発した(図1)。

本教具の主なねらいは、直流電圧をかけた場合と交流電圧をかけた場合の、回転運動状態の発光ダイオードの光の見え方を比べて、直流と交流の違いを生徒に学習しやすくすることである。この教具に直流電圧をかけた場合は、図2に示すように一方の発光ダイオードのみが点灯して、光は連続的につながって見える。一方、交流電圧をかけた場合は、円盤の回転数を正確に制御することによって、図3に示すように両方の発光ダイオードの点滅が停止して観察される。この状態における光の数、回転数および周波数には、 f (周波数) = N (光の数) \times n (回転数) という関係が成り立つ。この関係式を利用することによって、かけられている交流電圧の周波数を求めることができる。図3は、円盤を1秒間に10回転させた例で、各発光ダイオードの光が6つ見える。したがって、この場合の周波数は、 $6 \times 10 = 60\text{Hz}$ となる。

本教具では、適切なトルクで確実な回転を円盤に伝えるために、スピードコントロールモーターをインバータ制御して適切な回転数を作り出し、さらに、正確に動力を伝えるためにタイミングプーリとタイミングベルトを用いている。これは、簡易的には、直流モーターとその電源装置でも可能である。また、一般に回転体に電源を供給する場合はリード線が巻きついてしまうので、スリップリングを用いるが、比較的高価なので、学校現場でも入手が容易で製作が容易なミニプラグ(直径3.5mm)とミニ中継ジャック(内径3.5mm)を用いて回転体に電源を供給した。軸受には2つのラジアルボールベアリングを利用し、円滑な回転を得た。電源の供給方法は、3路スイッチを用いて直流と交流の切り替えを行い、直流の極性は6路スイッチを用いた。そのため、回転中においても直流・交流の切り替えおよび、直流の極性を切り

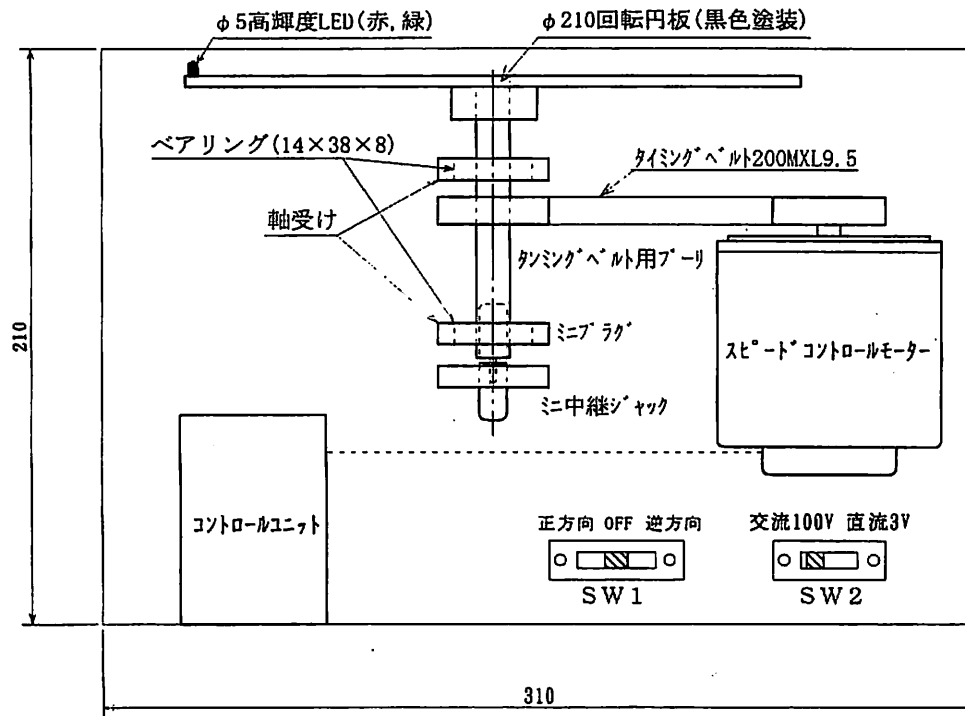


図1 教具の外観

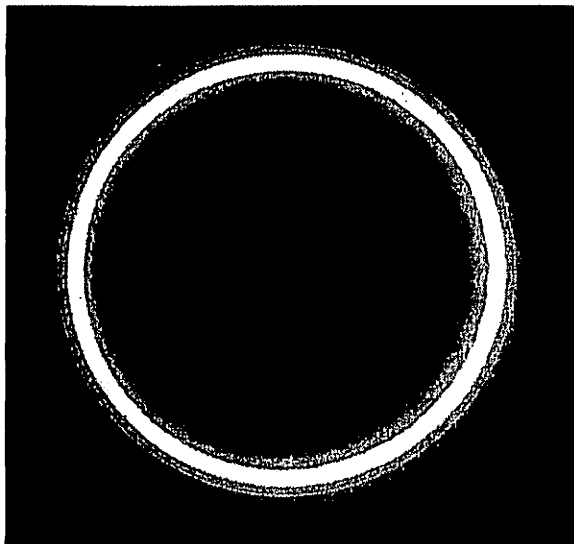


図2 本教具に直流電圧をかけた時の発光ダイオードの光の見え方

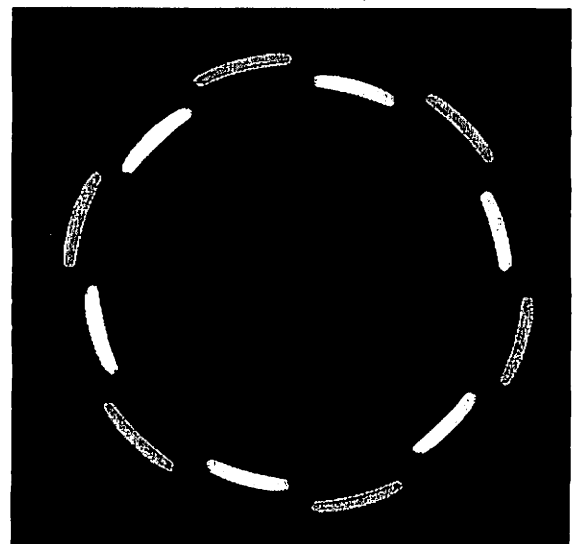


図3 本教具に交流電圧をかけた時の発光ダイオードの光の見え方

替えることができる。図4に本教具の回路図を示す。

4. 実験授業

4-1 調査対象および日時

1999年1月に福井市内の中学2年生男子35名、女子35名、合計70名を対象にして、比較実験授業

を行った。全被験者は、直流・交流の学習を理科、技術科のいずれの教科においても未履修である。被験者をクラス単位で次節の実験条件に基づき、実験群(男子17名、女子17名、合計34名)と統制群(男子18名、女子18名、合計36名)に振り分けた。

4-2 学習課題および実験条件

学習課題は「電源の種類を調べよう」とした。

各群の授業展開は次の通りである。

まず、両群共に、展開1：「乾電池と家庭用コンセントの電源の種類と大きさ」、展開2：「発光ダイオードと豆電球の違い」（発光ダイオードの性質の確認）を設定した。次に、展開3として、開発した教具と従来型の教具にどのような学習効果の違いがあるかを調べるために、群ごとに「直流と交流の違いを視覚的に学習する観察実験」を設定した。実験群では、開発した本教具を用い、直流および交流を流してその様子を観察した。一方、統制群では、屋内配線用のエフケーブルに2つの発光ダイオードを取りつけた従来型の教具に直流および交流を流して、手で左右に揺さぶり、その様子を観察した。その後、両群共に展開4：「地区による周波数の違い」、展開5：「直流と交流のまとめ」をそれぞれ設定した。

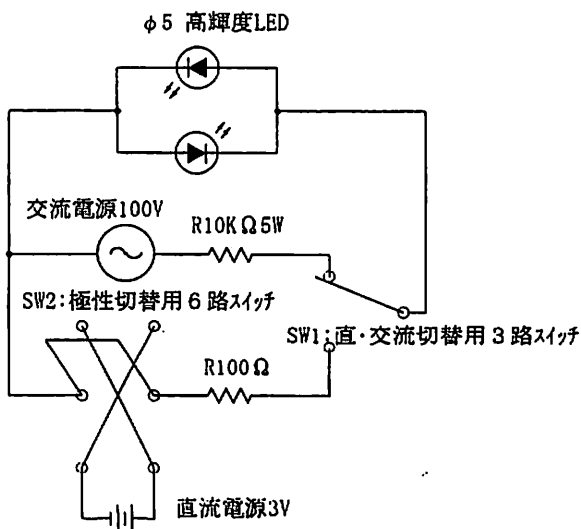


図4 教具の回路図

4-3 質問項目

各群の実験授業における学習効果を判定するために、表1に示す質問項目を設定した。項目1～3は、直流、交流、周波数などが既知の用語であるかどうかを把握するために設定した。項目4～10は、直流、交流、周波数などに対する理解の程度を把握するために設定した。項目11～12は、実験授業における観察実験に対する現象理解の達成度を把握するために設定した。

4-4 調査の手続き

授業に先立ち、質問項目1～10を用いて、授業

前の直流・交流に関する既知事項の事前調査を行った。事前調査終了後、各群共に実験授業を実施した。実験授業は、技術科「電気」領域の学習の中で、1単位時間(50分)を配当し、実施した。実験授業の様子を図5に示す。

実験授業が終了した直後に、質問項目4～12を用いて、直流・交流に関する理解の程度を調査した(以下、これを直後調査と記す)。その後、2週間のインターバルを経て、再び質問項目4～12による調査(以下、これを遅延調査と記す)を実施した。

各調査の結果は、各質問項目ごとに回答の度数を求め、要因間の独立性を検定した。この時、期待値5以下のセルがクロス集計中に20%以上含まれている場合は、イエーツの修正値を用いた。また、観測度数0のセルがクロス集計中に含まれている場合は、フィッシャーの直接確率計算法を用いて危険率を算出した。

5. 結果および考察

5-1 事前調査による生徒の実態

授業前に実施した事前調査の結果、全ての質問項目において両群間に有意な差は認められなかった(表2, 表3)。実験授業前の両群の直流・交流に関する知識の実態は次の通りである。

直流・交流という用語は、90%以上の生徒が聞いたことがあるが、その違いを理解している生徒は3%以下と少ない。乾電池の電源は直流であると理解していた生徒は約60%で、その電圧が1.5Vであると答えられた生徒は50%であった。家庭内のコンセントにきている電源が交流であると答えられた生徒は40%で、直流に比べて少なく、その電圧が100Vと答えられた生徒は約10%と極めて少ない。

このことから、適切な電気の学習をしていない中学生は、直流や交流という用語を聞いたことがあるものの、これらの用語が意味する科学的な概念についてはほとんど形成されていないことが示唆された。

5-2 実験授業における教具の効果

まず、事前調査と直後調査を比較したところ、

表1 直流・交流に関する質問項目

1. 直流という言葉聞いたことがありますか	Aはい, Bいいえ, Cどちらとも言えない
2. 交流という言葉聞いたことがありますか	Aはい, Bいいえ, Cどちらとも言えない
3. 周波数という言葉聞いたことがありますか	Aはい, Bいいえ, Cどちらとも言えない
4. 乾電池の電源は直流か交流かどちらだと思いますか	A直流, B交流, C分からない
5. コンセントの電源は直流か交流かどちらだと思いますか	A直流, B交流, C分からない
6. 普通(単1)の乾電池の電圧は, 何ボルトですか	() V A正解, B不正解, C分からない
7. 家庭のコンセントの電圧は, 何ボルトですか	() V A正解, B不正解, C分からない
8. 福井のコンセントにきている周波数は何ヘルツですか	() Hz A正解, B不正解, C分からない
9. 直流の波形を書いてください	記入 A正解, B不正解, C分からない
10. 交流の波形を書いてください	記入 A正解, B不正解, C分からない
〈授業後および授業終了2週間後には次の項目を付け加えた〉	
11. 教具に直流をかけたときどのような光が見えますか	記入 A正解, B不正解, C分からない
12. 教具に交流をかけたときどのような光が見えますか	記入 A正解, B不正解, C分からない

表2 各群の事前調査における用語の既知率の比較

質問項目	統制群(N=36)		実験群(N=34)		群間における既知率の差の検定
	既知	未知	既知	未知	
1. 用語「直流」	31	5	29	5	$\chi^2(1)$ 修正値=0.01 n. s.
2. 用語「交流」	26	10	25	9	$\chi^2(1)=0.02$ n. s.
3. 用語「周波数」	20	16	20	14	$\chi^2(1)=0.07$ n. s.

表3 各群の事前調査における正答率の比較

質問項目	統制群(N=36)		実験群(N=34)		群間における正答率の差の検定
	正答	誤答	正答	誤答	
4. 乾電池の電源の種類	21	15	20	14	$\chi^2(1)=0.002$ n. s.
5. コンセントの電源の種類	3	33	2	32	$\chi^2(1)$ 修正値=0.16 n. s.
6. 単1乾電池の電圧	19	17	18	16	$\chi^2(1)=0.001$ n. s.
7. 家庭用コンセントの電圧	3	33	5	29	$\chi^2(1)$ 修正値=0.71 n. s.
8. 福井県の周波数	2	34	4	30	$\chi^2(1)$ 修正値=0.87 n. s.
9. 直流の波形	3	33	3	30	$\chi^2(1)$ 修正値=0.01 n. s.
10. 交流の波形	4	32	4	30	$\chi^2(1)$ 修正値=0.01 n. s.

表4 各群の直後調査における正答の増加数

質問項目	統制群(N=36)		実験群(N=34)	
	正答の増加数 ⁺	サイン検定	正答の増加数 ⁺	サイン検定
4. 乾電池の電源の種類	+15	U=4.13 **p<.01	+14	U=3.92 **p<.01
5. コンセントの電源の種類	+28	U=6.34 **p<.01	+28	U=6.34 **p<.01
6. 単1乾電池の電圧	+17	U=4.51 **p<.01	+16	U=4.32 **p<.01
7. 家庭用コンセントの電圧	+25	U=5.88 **p<.01	+24	U=5.72 **p<.01
8. 福井県の周波数	+23	U=5.56 **p<.01	+27	U=6.19 **p<.01
9. 直流の波形	+33	U=7.04 **p<.01	+31	U=6.77 **p<.01
10. 交流の波形	+21	U=5.23 **p<.01	+27	U=6.19 **p<.01

⁺事前調査に対する授業後の正答者の増加数

表5 各群の直後調査における正答率の比較

質問項目	統制群 (N=36)		実験群 (N=34)		群間における正答率の差の検定	
	正答	誤答	正答	誤答		
4. 乾電池の電源の種類	36	0	34	0	フッシャーの直接確率計算法	n.s.
5. コンセントの電源の種類	35	1	33	1	$\chi^2(1)$ 修正値=0.001	n.s.
6. 単1乾電池の電圧	36	0	34	0	フッシャーの直接確率計算法	n.s.
7. 家庭用コンセントの電圧	31	5	32	2	$\chi^2(1)$ 修正値=0.16	n.s.
8. 福井県の周波数	34	2	31	3	$\chi^2(1)$ 修正値=0.28	n.s.
9. 直流の波形	36	0	34	0	フッシャーの直接確率計算法	n.s.
10. 交流の波形	36	0	34	0	フッシャーの直接確率計算法	n.s.
11. 直流電圧を用いた教具の観察	19	17	27	7	$\chi^2(1)$ 修正値=5.51	p<.05*
12. 交流電圧を用いた教具の観察	19	17	27	7	$\chi^2(1)$ 修正値=5.51	p<.05*

表6 各群の遅延調査における学習内容の定着率の比較

質問項目	統制群 (N=36)		実験群 (N=34)		群間における正答率の差の検定	
	正答	誤答	正答	誤答		
4. 乾電池の電源の種類	36	0	34	0	フッシャーの直接確率計算法	n.s.
5. コンセントの電源の種類	31	5	30	4	$\chi^2(1)$ 修正値=0.07	n.s.
6. 単1乾電池の電圧	36	0	34	0	フッシャーの直接確率計算法	n.s.
7. 家庭用コンセントの電圧	28	8	29	5	$\chi^2(1)$ =0.65	n.s.
8. 福井県の周波数	25	11	31	3	$\chi^2(1)$ =5.16	*p<.05
9. 直流の波形	36	0	34	0	フッシャーの直接確率計算法	n.s.
10. 交流の波形	25	11	31	3	$\chi^2(1)$ 修正値=5.16	*p<.05
11. 直流電圧を用いた教具の観察	15	21	27	7	$\chi^2(1)$ 修正値=10.38	**p<.01
12. 交流電圧を用いた教具の観察	15	21	27	7	$\chi^2(1)$ 修正値=10.38	**p<.01



図5 実験授業の様子

両群共に質問項目4～10の正答率が本実験授業後にはいずれも有意に増加した(表4)。このことから、本実験授業が望ましい形で実施され、所与の学習効果が得られていたと判断された。

次に、直後調査における正答率を群間で比較した(表5)。その結果、発光ダイオードの発光の様子(実験結果)を回答させる質問項目11, 12において、群間の有意な差が認められた($\chi^2(1)=5.51, p<.05$)。このことから、本教具は従来型の教具に比べて、発光ダイオードの光の見え方が定常なので、直流と交流の違いを光の残像として観察しやすくなる効果のあることが明らかとなった。

さらに、直後調査と2週間後の遅延調査を比較した(表6)。その結果、福井県の家庭内の電源コンセントの周波数を答えさせる質問項目8において、統制群の正答率が有意に減衰していた(χ^2

(1)=7.60, $p<.01$)。しかし、実験群においては同様の減衰傾向 ($\chi^2(1)=1.11$, n.s.) は認められず、結果として、正答率に群間の有意な差が生じた ($\chi^2(1)=5.16$, $p<.05$)。これは、実験群の展開3において、発光ダイオードの光の数から周波数を求める定量的な学習を行っているため、実験群の方が統制群より、周波数や交流の波形についての学習が深まり、内容の定着率が高くなったものと考えられる。

また、質問項目10においても、質問項目8と同様に、統制群に比べて実験群の水準が維持され、結果として群間の有意な差が生じた ($\chi^2(1)$ 修正値=5.16, $p<.05$)。

これは、展開5「直流と交流のまとめ」の学習場面で、本教具を用いた観察実験の結果が、交流の波形の特徴を効果的に印象づけたためではないかと考えられる。これを裏付けるように、実験群における生徒の本教具に対する感想では、「回転速度を変えることもでき、光が止まるので分かりやすかった」、「回転中に直流の向きや、直流・交流の切り替えができるので、比較しやすい」、「円盤が黒く塗装してあるので、光がはっきり見える」など、直流・交流を視覚的に学習しやすいという意見が多く出されていた。

以上のことから、本教具は、従来型の教具に比べて実験結果を視覚的に印象づけることができ、学習内容の定着を促す効果のあることが示唆された。

6. まとめ

交流の実験では、オシロスコープを用いる方法もある。ブラウン管上で正弦波を観察でき、周波数についての学習も可能である。しかし、オシロスコープは精巧な計測機器で、その原理や内部構造は複雑で、中学生が理解することは一般的に困難である。そのため、実験で利用するときは、機器そのものをブラックボックス化して学習するために、生徒に体感させる実験としては望ましくな

い面がある。本研究で開発した教具は、原理や構造も単純で分かりやすい。また、操作も簡単なために、中学生が直接に操作して発光ダイオードの点灯の様子を確認できる。そのため、身近にある電源の種類について、体験的かつ直感的に学習することが可能である。実験授業の結果、本教具は従来型の教具に比べて、観察しやすく、実験結果を印象づける効果があった。また、このような効果が遅延調査において学習内容の定着をもたらした。そのことを裏づけるように、生徒の感想では、教具の視覚的な見やすさが指摘されていた。しかし、本研究では単純記憶の再生テストを用いているため、形成された知識間にどのような関連づけがなされたかについては定かではない。この問題については、授業過程の質的な分析などを用いた検討が必要であろう。これについては、今後の課題とする。

参考文献

- 1) 文部省：中学校指導書理科編，学校図書，p.46(1989)
- 2) 竹内啓人，他：新訂理科1分野（下），新興出版社啓林館（1997）
- 3) 上田誠也，他：新編新しい科学1分野（下），東京書籍（1997）
- 4) 文部省：中学校指導書技術・家庭編，開隆堂出版，p.22（1989）
- 5) 文部省：指導計画の作成と学習指導の工夫，開隆堂出版，p.42（1991）
- 6) 鈴木寿雄他：技術・家庭（上），開隆堂出版（1997）
- 7) 石田晴久，他：新編新しい技術・家庭（上），東京書籍（1997）
- 8) 亀山 寛，永田健太郎：電気回路の基本概念の教授と電流の微視的モデルシミュレーション，静岡大学教育学部研究報告（教科教育学篇），29号，pp.87-103（1998）

Development and Effect of a Teaching Tool for Visual Learning of the Difference
Between A.C. and D.C.

by

Toshikazu YAMAMOTO

Education Research Laboratory of Fukui Prefecture

Jun MORIYAMA

Faculty of Education, Shinshu University

Reizo AOKI

Lifelong Learning Division, Fukui Prefectural Board of Education

Ryoya MAKINO

Faculty of Education and Regional Studies, Fukui University

A teaching tool was developed to enhance the learning of A.C. and D.C. visually which are parts of the study items in the electricity domains of the Science and the Industrial Arts and Home Making Courses in Junior High School, and its teaching effect was investigated.

The teaching tool developed was constructed by using the following setup: two light emitted diodes (LEDs) are attached to the disk with each polarity reversed mutually and the difference between A.C. and D.C. can be learned by how their emitted lights are observed under the constant rotating speed of the disk. In the case where D.C. voltage is inflicted, one of their sides is only illuminated and therefore their lights are observed with a continuous ring. In case the A.C. voltage is inflicted, each one is observed with on-and-off ring. Moreover, the on-and-off lights can be observed in the stationary state by controlling the disk rotating speed to be proper one in the case of A.C. voltage. Therefore, the lesson is possible to use for finding the A.C. frequency by the number of lights emitted and the number of rotations of the disk.

By comparing the results of trial lesson using this tool and the former one, it became clear that the students could observe and recognize the illumination state of LEDs more correctly by using this tool, and the stability of learned contents about A.C. frequency became higher.

Key words: direct current (D.C.), alternating current (A.C.), light emitted diode (LED), frequency, teaching tool