SURE 静岡大学学術リポジトリ
Shizuoka University REpository

# 抽象概念を言語活動を通して理解するためのエネルギー変換複合教材用予備課題



| メタデータ | 言語: Japanese<br>出版者: 静岡大学教育学部附属教育実践総合センター<br>公開日: 2016-05-20<br>キーワード (Ja): 言語活動, 認知的負荷, 学習の転移, スキーマ<br>キーワード (En):<br>作成者: 改正, 清広<br>メールアドレス:<br>所属: |
|---|---|
| URL | https://doi.org/10.14945/00009412 |

〈論文〉

# 抽象概念を言語活動を通して理解するための エネルギー変換複合教材用予備課題

改正 清広*

# Supplementary exercise for energy transformation subject aimed for understanding abstraction through linguistic activity

Kiyohiro Kaisei

要旨

新学習指導要領では言語活動を重視した教育がうたわれている．中学校技術教育においては併存する4領域のうち特にエネルギー変換に関する技術の電気の分野は発達段階としては抽象的思考を前提とし，基盤となる科学的知識(理科)の学習が既習でないため理解が難しくなる．そこで知識や技能を効果的に習得する過程に言語活動を活用する予備教材として電気エネルギーのエネルギー変換部品の入出力特性の評価課題を提案することとした．この課題の解決には明確な解が存在せず他の生徒とのグループ学習を通して最適な解決策が模索される．この過程では技術的制約，経済的制約，個人由来の制約等が存在するが，これらを通した問題解決的学習を実践的・体験的に遂行することで本来独立して学ばれる理科や技術科に関する種々の概念を咀嚼して課題解決を行っていくことになるため，知識や技能が定着しやすくなることが期待される．電圧電源は負荷に対して必ずしも一定の電気エネルギーを供給するわけではなく，電源の蓄積エネルギーの低下や乾電池等であれば内部抵抗により出力できるエネルギー(電圧)は変化する．このため通常の電気機器では電圧を安定化する回路が挿入されている．本研究では二つの異なる機能を持つ電圧安定化回路の電気特性を平易な基本的原理であるオームの法則を通して理解でき，機器の設計に生かすことができるような教材とした．その過程でグラフによる言語化等を行うことで抽象概念である電流概念，電圧概念，電気抵抗概念が精緻化される．また，変換素子を抽象化しシステムの入力と出力という枠組みの知識(スキーマ)を獲得させることでできる力として定着させる課題を本論文では提案する．

キーワード：　言語活動　認知的負荷　学習の転移　スキーマ

## 1. 研究背景および目的

平成 24 年度から施行されている新学習指導要領 [1] では，技術・家庭科技術分野に割り当てられている授業時間数は 1, 2 年次で 35 時間，3 年次で 17.5 時間(技術分野相当分)となっており材料と加工，エネルギー変換，生物育成，情報の 4 分野の学習が必修化されている．そのなかでも特にかつては中学生の発達段階では難易度の高かった電気に関する学習についてもその具体的な仕組みを学習する機会が与えられていたものが，現在でも科学的認識を持った上で製作学習をしているというよりも単なる作業として行いがちであることが懸念されている [2]．このような課題は技術教育特有ではなく他の科目でも散見され，新学習指導要領でも言語活動を充実させるよう指導方法の改善が求められている [1,4]．技術教育においては，特に生活における課題を解決するという観点からものづくりに関する様々な語彙の意味を実感を伴って理解する学習活動等の充実が必要となっているが，中学生の学習段階では電気についてのエネルギー変換に関する技術の学習においては同時期に学習される中学校 2 学年で配当されている理科の知識が前提になる [1]．しかし，実質的には小学校で獲得した概念をもとに学習を進めなければならず生徒の理解・習得は難しくなっている．また実際に中学校において理科を，高等学校で物理を学習したものであっても電気に関する概念は十分ではないことが小林らの報告でも明らかになっている [5]．このような背景ではあるが，技術教育上必要な科学的知識としての領域固有の知識が少ない学習者であっても獲得済みの学習方略や自己に関する知識(メタ知識)を活用することができれば必ずしも中学校理科の知識(領域固有の知識)を既習としなくとも電気に関する学習を可能とすることは期待できる [6]．一方，技術教育において理科の学習指導要領で指摘されているものづくりの推進 [1]に合致するような原理や法則などの理解を含められる教材とすれば技術と理科との間で相互に理解を深められる．

単なる作業とならず効果的な学習とするためには，技術教育の視点では電気についてのエネルギー変換に関する技術の分野に限った場合，電圧，電流等の概念を理科の学習の文脈で正確に理解するのではなく，生活における課題を解決するための態度や技能を育成す

* 静岡大学教育学部

るという視点からの理解のあり方が考えられる．これは，技術科教科書に見られるトランジスタの使用とも関係し [7,8]，必ずしも内部の構造や動作原理を正確に理解することを求めず，少なくともその動作方法の基本的事項(使い方の例としてはトランジスタには 3 つの端子があり，電気的なスイッチとして用いることができること)を理解し，適切に使用することが期待されていることを意味する．

そこで本論文では，エネルギー変換複合教材製作前の予備学習として DC-DC 変換電子部品の特性評価課題を提案する．エネルギー変換に関する技術についての製作課題は，学習指導要領に則ると材料と加工に関する技術との関連に配慮するよう述べられているため [1]，電子回路を保護するための筐体として木材加工や金属加工による製作物とともに複合教材となる．一方，電気電子回路の設計については前述の通り生徒の多くは難しく感じ [3]，このような状態で電子回路を製作しても単なる作業となってしまう．これは限られた製作品の製作時間で部品の動作機構を教諭が説明した上で作業を行わせるため，製作作業と電子回路の仕組みの理解を同時に進行し処理していくため，認知的な負荷が大きくなるためである．そこで DC-DC 変換部品の電気的特性の取得を通じて学習される駆動信号という概念をもとに後続する制御信号の概念が学習できるように生徒の認知的な負荷を低減し授業設計が可能な教材として図 1 のブロック線図に示されるような LED 点滅ムードライト教材を設計する．ムードライト教材は，中学校生徒の発達段階で獲得されている性役割に依拠した興味・関心を実現しやすい特性を持つことができるためである．すなわち主として手段的役割を内面化している男子生徒の場合は，ムードライト教材の点滅が例えば視覚的な点滅の速さを競うものとして設計活動に反映できるのに対して，表出的役割を主として内面化している女子生徒の場合は，緊張を緩和するような本来の間接照明的な穏やかな光の明滅として設計活動に反映できるためである．

DC-DC 変換電子部品としては汎用的に利用されている 2 種類の DC-DC 変換電子部品: ステップアップコンバータ，三端子レギュレータを選択した．これはグラフ化やブロック線図，回路図の作成などの言語活動を通した体験的学習を行うために機能の異なる複数の種類のコンバータを選択できるようにすることが求められるためであり，単機能(降圧のみ，昇圧のみ)では機能が選択できる余地を欠く．また降圧，昇圧の概念を獲得を意図していないため，豊富化方略を取ることでの理解獲得が本研究の意図ではないからである．加えて，電子部品の入手性，経済性，必要な付加部品点数，学習の効果として有能感も勘案した．これらの動作特性を実験的に検証する過程を電気に関するエネルギー変換の概念(変換効率も含む)や電圧と電流を実感を伴った理解として実現するための予備実験として行う．ここでは出力特性を得るための電気部品(直列接続や並列接続，またはそれらの組み合わせによる合成抵抗)を自作する過程で計画，実践，評価に関わる学習が行われるのに加え，負荷電流と負荷電圧の関係を示す出力特性をグラフ化するなどの他領域への転移を期待できる言語活動を行う．このような予備実験の繰り返しは佐伯が具体物を伴った方が抽象的な理解は促進されると指摘しているように [9]，電流や乾電池(電圧の前駆体的概念)が小学校理科で初めて獲得された概念であったとしても具体的操作期のような具体物を通した理解の仕方の方が生活にかかわる課題を解決する実践的態度を育むという技術教育の観点からも整合しやすいと考えられる．また本論文の実験結果の産出例は各電子部品のデータシートを参照すればわかる内容である．しかしながら，意味知識としての説明オーガナイザはわかる学力とはなっていてもできる学力に必ずしもつながっていると言えない．効力感を持たせつつグラフ化などの言語活動を通じて課題解決能力の獲得を図らせるということが本研究の新規性である．

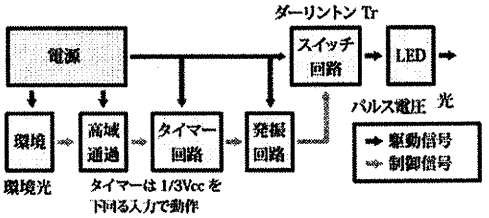


図 1: 駆動信号(動力)と制御信号の伝達経路．

## 2. ステップアップコンバータ/三端子レギュレータを用いた特性評価課題

### 2.1 ステップアップコンバータ/三端子レギュレータ

ステップアップコンバータ/三端子レギュレータは負荷が要求する電圧に電源電圧を変化させて安定化とする電圧安定化回路素子である．ここで着目すべき点は電圧という概念である．通常，電圧は生活概念としては乾電池に代表される正負二端子をもつ電気エネルギー供給装置であり中学校理科においては水車モデルによって直喩的に教授される [10,11]．しかしながら，そのモデルでは負荷(水車)に流れる電流は視覚的には電流量を制限する負荷として機能しておらず現実的ではない．これは電気概念の理解について調査した小林らによっても工学部生の 50 %，教育学部生についても 31 %程度しか電池が定電圧源であるということを修得できていないことと整合する．いずれの中学校理科の教科書においてもこのモデルが採用されていることから，これは何らかの誤概念(電池を電流源とみなす)を形成していることが示唆される結果と言える．本来

水車は理解の足場掛けとして教示され，直ちに科学的知識(オームの法則)に移行する必要があるが，教育社会学的にも科学的知識を理解できる言語能力を持つことができる生徒ばかりではないため [12]，小林らの報告のようになっていると推察できる．この概念の獲得過程においては，実際的には電流は負荷により変化し，端子電圧も過渡的な電流によって，あるいは経時的には生活で利用する乾電池であれば使用によって減少することが学習される．このような学習により電圧や電流といった概念を生活における課題を解決する程度にまで実感を伴いつつ精緻化できると考えられる．

一方，本教材設計の経済性については授業で採用するにあたって部品価格は 500 円程度であり，私費負担を考慮しても適当であり [3]，生徒が自宅に持ち帰り家庭学習をする際にも利用可能である．変換効率としてはより高価な変換素子(単一パッケージの DC-DC コンバータとして MAU106 など)よりも下がるが，部品を組み合わせて実現できる安価な電子部品を選択する方が有能感を高めやすいと考えた．

2.1.1 位置づけ

ステップアップコンバータは低電圧電源の端子電圧を高電圧に上昇させることのできる電子部品である．通常直流電源として用いられている乾電池の端子電圧は実習で用いるような汎用の素子(照明用途として白色 LED で 3.0 V 以上，ロジック IC で 2.0 V 以上)を動作させるためには十分大きいとは言えず，用いる際には直列接続により端子電圧を増加させる必要がある．しかし，乾電池等が増えることで容積，重量，保守点検も含めた使用上の費用等が増し用途によっては最適な選択とは言えなくなる．そこで通常アルカリ乾電池であれば 2 A (3 W)程度の負荷に応えられるもののそのような大きくない負荷(白色 LED であれば 1 本あたり 15 mA, 45 mW)を教材として検討した場合，乾電池 1 本の電圧を所望の端子電圧まで昇圧する回路を採用することが検討できる．しかしながらこのためにはステップアップコンバータを用いて製作する場合，予め製作する電子回路の最大負荷電流の値を求めておく必要がある．単なる作業として製作するのであればこの電気的特性を求める必要はない．ここで使用する部品の仕様書から特性を把握する方法もあるが，仕様書を読解するには知識が必要であり，さらに必ずしも日本語で記述されたものではないことに注意が必要である．

三端子レギュレータは高電圧電源の端子電圧を低下させることのできる素子である．通常直流電源として用いられる乾電池の端子電圧は前述した通り負荷となる電子回路にとっては低く最適ではないばかりか，使用により減少することに注意を要する．したがって，乾電池は直列接続をするなどして所望の電圧を超えるまで公称の端子電圧である 1.5 V の定数倍で増加させる必要があるが，得られた電圧は必ずしも電子部品を駆動させるために適当な電圧ではなく，それらの電子部品が求める電圧に変換する必要がある．このような変換処理について学習することで身近にあるアルカリ乾電池の端子電圧が必ずしも公称値である 1.5 V であるわけではなく，使用初期は 1.6 V 程度であることもあり使用すれば減少するということが理解される．この理解をもとに電圧概念のもととなる生活概念に含まれる乾電池の概念が精緻化され，各種の製品は様々な外乱に対して一定の許容度を持っていることも学習させることができる．また自然界のエネルギー資源を利用した発電システムとしてエネルギーハーベスティングについての課題を導入した場合，太陽電池等が発生する電圧が仮に負荷に加えるべき定格電圧を超えている場合でも電圧を変換し(昇圧・降圧することで)負荷が要求する任意の電圧を負荷回路へ供給することも可能であることを理解させることができる．これらの任意の電圧電源の電圧を希望する電圧にまで降圧するという体験的学習を通してものづくりにかかわる生活における工夫をする実践的態度を育むことができる．

2.1.2 想定される回路

DC-DC 変換器で作った安定化電源の用途として技術科の教科書ではセンサライト付きフォトフレーム [13]やムードライト [7]が挙げられる．また集積回路として 555 タイマーによる LED 点滅回路や多種類のセンサ信号を用いたロジック IC による制御回路へも適用可能である．これらを電気に関するエネルギー変換の学習概念と計測・制御の学習概念の視点から図 1 を見直すと，制御信号と制御信号を変換する回路への駆動信号(動力)の供給は別々に考えなければならないことがわかる．各制御回路への電力の供給も駆動信号によって与えることになるが，このようなエネルギーの利用方法は技術教育特有であり，生徒に理解させることが難しいと考えられるため，駆動信号の電圧変換の部分だけを取り出して体験的学習を行える予備実験教材を本論文では提案する．この体験的学習が生徒の頭のなかではスキーマとなって電圧信号(アナログ信号)概念を把握・利用でき製作品の応用回路部の理解を助けるよう製作品を設計する．

予備実験では DC-DC 変換回路が安定化された電圧(ここでは白色 LED を安定して駆動できる電圧を超えた電圧として 5.0 V とした)で出力できる負荷電流を求めることが学習者には求められる．たとえば図 1 の場合 DC-DC 変換回路によって得られる最大の負荷電流が 200 mA の場合，スイッチ動作を担うダーリントントランジスタ部までで 1 mA の電流を使用するとするとすると，これ以降では残りの 199 mA の電流が消費できるため，18 mA の白色 LED の場合，10 本点灯できることが課題解決を通じて理解できる．

2.2 予備実験

前述の内容を生徒が言語活動を通じて協調的に学習し，ものづくりに関する設計や電気に関するエネルギー変換の概念を獲得するためには課題は十分簡単である必要がある．また前述した通り効力期待を維持するためには課題解決における計画，実践，評価，改善等の過程が容易に実現できるプログラム学習に親和的な教具が最適である．そこで教材についてはブレッドボード(EIC-301，税別 190 円)とジャンパー線を利用し以下に示すような方法で各コンバータの入出力特性を取得する．

2.2.1 入出力特性

入出力特性では，乾電池等の直流電源によって加えた電圧が変換器を通して電圧変換された際の負荷電流の変化による出力電圧の変化を測定する．負荷としては単価が 1 円/本の抵抗器を用いて測定実験を行うものとする．製作品に用いられる直流電源はアルカリ乾電池を想定するが，通常アルカリ乾電池の出力電流は 2 A 程度(模型自動車のモータの直流電源として利用する場合)であるが，この直流電源を直列し，その端子電圧を増やした場合や減らしたた場合でも使用した数に応じて電力(端子電圧を一定としての負荷電流)を出力できるかどうかが課題となる．なお，実験では再現性の観点から乾電池は直流安定化電源で代用した．

2.2.2 入出力特性用回路の作製

抵抗器として定格電力が 1/4 W の炭素被膜抵抗または金属被膜抵抗を用いる．しかし，事前に想定される電流と電圧からそれぞれの抵抗で発生する電力が定格電力以下となるように工夫しなければならない．電気抵抗の組み合わせの例を表 1 に示す．利用抵抗の欄で指定された抵抗を用いて合成抵抗の欄で指定された合成抵抗を枝の欄で指定された接続方法で実現する．枝の欄の説明は後述する．ここで組み合わせ例はあくまで例である．必ずしもこれでなければならないというわけではなく，検証回路を作製するための時間や利用する個数や費用等を勘案する必要があり解がひとつではない．このことを利用して試験用回路図の作成としての言語活動を促すことができる．また保守点検の単元や発展的には状況的学習論に基づいたディレーティング等の製造現場などにおいては絶対最大定格近傍で電子部品等を使用することはないということにも触れることで生田が指摘するような技術に関する学習知識を支える周辺知識が獲得できる[14]．

表 1: ステップアップコンバータ/三端子レギュレータで用いることのできる抵抗の組み合わせの例

| No. | 合成抵抗 | 利用抵抗 | 枝 |
|---|---|---|---|
| 1-1 | 5 Ω | 1.0 Ω | $P(D(1.0,10),2)$ |
| 1-2 | 6 Ω | 1.0 Ω | $P(D(1.0,12),2)$ |
| 2-1 | 20 Ω | 1.0 Ω | $D(1.0,20)$ |
| 2-2 | 22 Ω | 1.0 Ω | $D(2.2,10)$ |
| 3-1 | 80 Ω | 1.0 Ω | $D(1.0,80)$ |
| 3-2 | 94 Ω | 47 Ω | $D(47,2)$ |
| 4-1 | 200 Ω | 100 Ω | $D(100,2)$ |
| 4-2 | 220 Ω | 220 Ω | $D(220,1)$ |
| 5-1 | 2.0 kΩ | 1.0 kΩ | $D(1.0\times10^3,2)$ |
| 5-2 | 2.2 kΩ | 2.2 kΩ | $D(2.2\times10^3,1)$ |
| 6-1 | 20 kΩ | 10 kΩ | $D(10\times10^3,2)$ |
| 6-2 | 22 kΩ | 22 kΩ | $D(22\times10^3,1)$ |

さらに，電気抵抗の接続点では半田付けを行う場合と指で寄り合わせる場合のいずれで接続させるかを選択させ，課題遂行にかける時間を実習初期に与えることで作業効率を含めた課題解決やそのために必要な計画立案能力の育成も課題提示できる．これは生徒の自己概念（自己の巧緻性に関する知識）の形成も促す．この自己概念の形成については，実験後にどのように作業を進めればよかったか，自己概念との関係性を各人で把握することで，将来の課題解決方法をどのように立案すべきか決定できる設計概念習得時の計画立案の手続き的知識の習得に関する教訓帰納にも役立つ[15]．単純な接触とはんだによる電気的接触では特性が異なる．学習能力の高い生徒や作業の早い生徒に対しては接触抵抗の概念や抵抗率の概念を伝えることでより領域固有の知識から抽象的な知識(数式やイメージによる理解)への転換を促すことで理科の学習内容への転移も含め，学習者を高次の学習目標型に移行させることも想定できる．

2.2.3 繰り返し課題および予備課題の経済性

上記の入出力特性の取得実験についてはいずれに対しても行うことで電気電子回路の製作スキルを身に付けられる．特にこれらの操作は簡単な電気抵抗の導出を形式的操作(数式)と具体的操作(実際の炭素被膜抵抗を用いた合成抵抗の作製)を往来するために抽象的理解が実体験により裏打ちされるため，理解の水準が上がることが期待される．たとえば，抵抗は直列に接続すると増加し，並列に接続すると必ず減少することが体験的に理解される．定格電力以上の電力を投入した際に抵抗器が発煙するまで時間について調べた結果を図 2 に示す．この実験では同一ロットの炭素被膜抵抗

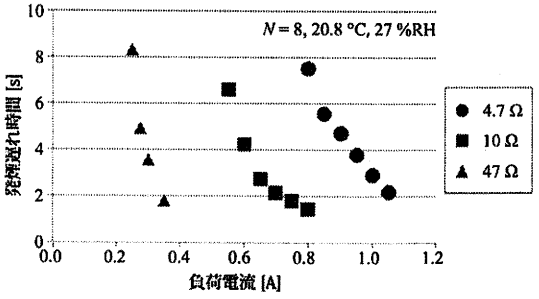


図 2: 電気抵抗の発煙遅れ時間の負荷電流との関係.

に自作の定電流源回路により意図的に過大な負荷電流を加えて炭素被膜抵抗に発煙を生じさせたものである．発煙までの時間 $T$ [s]は，炭素被膜抵抗の絶縁材料を発煙させるために必要な熱量を $W$ [J]とし大気および導線を通じた熱の拡散と抵抗器の温度係数が無視できる仮定すると $W=I^2RT$ として表せるため，

$$T=\frac{W}{I^2R}$$

に近似できる．図 2 は上式の傾向を示していると推測される．この結果を製作時に同時に生徒に示すことで，十分気をつけて作業をしたとしても生じてしまう接続誤りでも本実習の範囲内では抵抗器は発煙する程度で済むことを伝えることにより，効力期待の減退を抑えることも可能である．ただし，抵抗値のカラーコードの読み間違いによる誤りではなく，短絡に近い状況を起こせば数 W でも局所的に加熱され，火災につながることを事前に十分説明しておく．一方，電気抵抗を積極的に損傷できる操作を提示することは，河野が行ったようなシャープペンシルの芯を使った白熱電球における電気に関するエネルギー変換過程の視覚化のように生徒の知的好奇心に知覚的(視覚や嗅覚)に訴えることで教材への関心は高められるものと推測される[3]．また，理解度の高い生徒については発熱による発煙が難燃性の物体(抵抗体)でも生じることを示すことで前述同様理科で学習する概念を他の文脈でも体験できるため転移が期待され理解の水準が高まる．

電気抵抗を用いた予備教材は，上記の場合を例に考慮すると，電気抵抗は大手の電子部品商店から購入した場合，100 円/100 本(税別)となっており，仮に生徒が 100 本使用するような予備実験を自発的に設計したとしても平均的な教材にかけられる私費負担(2,000 円程度)から見て十分許容範囲内である．

## 3. 予備実験結果および考察

### 3.1 ステップアップコンバータを用いた特性評価

#### 3.1.1 入出力特性の評価結果

昇圧用 IC としてステップアップコンバータは HOLTEK 社製の HT7750A を用いた．用いた回路および電気抵抗のリストは図 3 および表 2 の通りである．生徒が産出する電気抵抗のリストを想定した．表中に示された電気抵抗からなる枝とは電気抵抗の接続状態

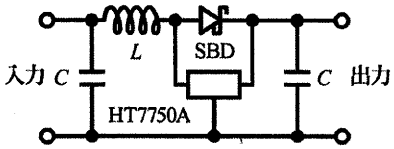


図 3: ステップアンプコンバータ(HT7750A)を用いた昇圧回路．$L$, $C$, SBD はそれぞれ 100 μH のインダクタ，33 μF のタンタルコンデンサ，ショットキーバリアダイオード(1N5819)を用いた．

表 2: ステップアップコンバータ/三端子レギュレータで用いた抵抗の組み合わせ

| No. | 合成抵抗 | 利用抵抗 | 枝 |
|---|---|---|---|
| 1-1 | 5 Ω | 1.0 Ω | $P(D(1.0,10),2)$ |
| 2-1 | 20 Ω | 1.0 Ω | $D(1.0,20)$ |
| 3-1 | 80 Ω | 1.0 Ω | $D(80,1)$ |
| 4-1 | 200 Ω | 100 Ω | $D(100,2)$ |
| 5-1 | 2.0 kΩ | 1.0 kΩ | $D(1.0\times10^3,2)$ |
| 6-1 | 20 kΩ | 10 kΩ | $D(10\times10^3,2)$ |

を示しており $C(X,n)$という記号で表現される．ここで $C$ は枝 $X$ の接続形態として直列接続($D$)または並列接続($P$)が入りその接続数は $n$ で決定される．ここで枝 $X$ は単一の抵抗器または直列接続されるか並列接続される同一の抵抗器からなり，この部分が再帰的に枝 $F(X',n')$であってもよい．たとえば接続 1-1 の場合，1.0 Ω の電気抵抗が 10 本直列接続されたものが 2 組並列接続される．この接続表現では同一の抵抗器を用いて合成抵抗を作製することとしており，1/4 W の定格電力は等分に分配される．電源としてはアルカリ乾電池(1.5 V は 1.5 V のアルカリ乾電池 1 本，3.0 V は 1.5 V のアルカリ乾電池 2 本の直列接続，4.5 V は 1.5 V のアルカリ乾電池 3 本の直列接続)を想定し，実験の再現性を担保するために直流安定化電源で代用した．結果を図 4(a)に示す．この結果から 1.5 V の電圧電源を用いた場合は，負荷電流として 2.5 mA 程度でしか 4.90 V 以上の電圧を保っていないことが調べられる さらに 3.0 V，4.5 V の電圧電源ではそれぞれ 25 mA 程度，60 mA 程度の負荷電流が流せるということが検証でき

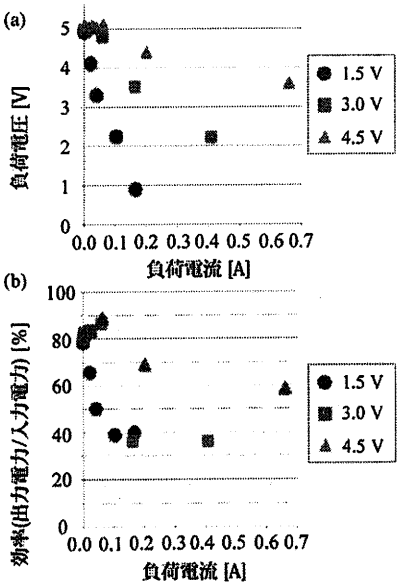


図 4: ステップアップコンバータの入出力特性評価実験の産出例 (ブレッドボードを使用). (a) 負荷電流-負荷電圧特性. (b) 効率(出力電力/入力電力).

る．ここでは図の横軸を線形の負荷電流に取っており，低電流時の特性や全体の特性の把握は簡単ではない．ここで授業設計時の班編成を線形グラフを作成する班と片対数グラフを使用する班に分けることで得られた特性の評価を結果を発表で述べさせることで適切なグラフの産出や使用方法の教示も可能である．

ここで同時に電源側および負荷側において電流および電圧を計測し(負荷側の電流は電圧を負荷抵抗で除した値を用いた)，入出力特性の効率を求めた．この結果を図 4(b)に示す．これらの結果は用いたステップアップコンバータのデータシートに記載の情報とは異なる[16]．これは内部に 200 kHz の高周波回路を含んでおり，ブレッドボード中に含まれる各種の接触抵抗によりコイルの実効的な Q 値 (使用したインダクタは太陽誘電製 LHL13NB101K, Q 値 50, 直列抵抗 0.12 Ω)がブレッドボード端子で発生する接触抵抗により低下したため効率が下がったものと推測される．このためユニバーサル基板を用いて回路を作製したところ図 5 に示すように特性は改善した．このことから製作品への適用においてブレッドボードの利用は控えるべきと考えられるが，家庭に持ち帰った際に製作品を自宅で改良する余地をブレッドボードは持っているため，低負荷を駆動する課題が設定されている場合は私費負担の割合を踏まえいずれを選択するかは現職の教諭の判断に委ねられる．

### 3.1.2 考察

家庭用の交流電源や乾電池の直流電源を変換し，利用できる電圧電源に変換したとしても元々の電力以上のエネルギーは取り出せないことを理解することは重要である．特に「昇圧」という言葉につられて入力電力以上の電力が出力されると誤解することを実験を通して修正できる．これは身の回りにある電気機器が駆動信号と制御信号のふたつを基本的には別々に取り扱っているにも関わらず，生徒自身がこれらを区別するのは難しいためであり，これらの点を明確に理解する上でも有意義である．一方，本課題では，意味知識として合成抵抗の求め方や電圧や電流の知識はあってもそれらを組み合わせて実際の課題解決に生かすこと(体制化された手続きの組み合わせとしてのスクリプトや知的技能の習得)は容易ではないことを実感することができると考えられ，話し合いによる回路図の作成，実験結果のグラフ化，合成抵抗やそれにかかる電力の数式による理解等を通じて計画・評価能力の向上を促す．

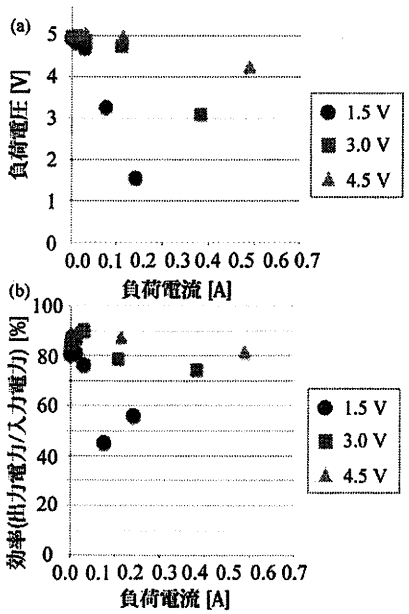


図 5: ステップアップコンバータの入出力特性評価実験結果の産出例 (ユニバーサル基板を使用). (a) 負荷電流-負荷電圧特性. (b) 効率(出力電力/入力電力).

## 3.2 三端子レギュレータを用いた特性評価

### 3.2.1 入出力特性の測定結果

降圧用 IC として三端子レギュレータは Burr Brown 社製の LM2940CT-5.0 を用いた．使用した回路を図 6 に示す．本実験では汎用的な三端子レギュレータではなく変換損失を抑えるために低損失型を選択した．用いた電気抵抗のリストは表 2 の通りである．実際の利用においてはアルカリ乾電池(6.0 V, 1.5 V 乾電池 4 本)とアルカリ乾電池(9.0 V, 1 本)を想定した．結果を図 7(a)に示す．この結果から 6.0 V のアルカリ乾電池相当の電源を用いた場合は負荷電流が 240 mA 程度まで 4.90 V 以上の電圧を保っていることが理解できる．一方, 9.0 V のアルカリ乾電池相当の電源を用いた場合は用いた電気抵抗の範囲内で負荷電圧の低下はなく 5 Ω 相当の負荷の場合 930 mA 程度の負荷電流が流せることが理解できる．ここで同時に電源側および負荷側において電流および電圧を計測し，入出力特性の効率を求めた．この結果を図 7(b)に示す. 9.0 V の方が 20 %程度変換効率が悪いことが視覚的に理解することができ製作品の設計に生かすことができる．

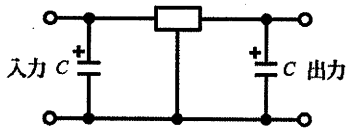


図 6: 三端子レギュレータ(LM2940CT-5.0)を用いた降圧回路. C は 100 μF のアルミ電解コンデンサを用いた.

### 3.2.2 測定結果から想定される考察

繰り返し似たような実験を行い設計・製作を進めていく上で必要となる技能の体制化・自動化を目指すのが本課題の意図であるが，さらに踏み込んで言及する．ここで三端子レギュレータは A オーダの大電流が流

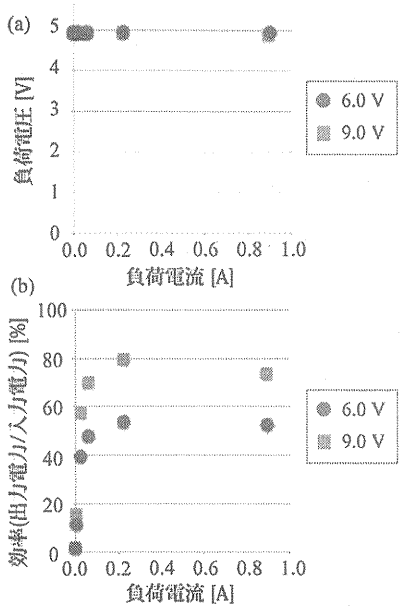


図 7: 低損失型三端子レギュレータの入出力特性評価実験の結果の産出例 (ブレッドボードを使用). (a) 負荷電流-負荷電圧特性. (b) 効率(出力電力/入力電力).

れており，実験の流れから電気抵抗がジュール熱を発生することが理解できていると推察される．前述までの内容で出力特性が評価でき，そこで最大電流はいくらかという課題は一旦は解決されるが，さらに大きな負荷電流を測る場合はどのようにしたらよいのかという発問を生徒に提示することで生徒の学習到達度調査にあるような課題の解決がさらなる課題の解決を導出するという内容にも整合させることができる [17]．本事案の場合，抵抗器の定格電力が 1/4 W であるため，このような作業(電気抵抗の直並列接続)を生徒が疑問を持った際にはセメント抵抗(定格電力が 5 W や 10 W)の使用を提示することでより大きな負荷電流が必要となるようなモータ等を駆動する場合の設計の場においても解決できることを示すことができる．そのような場合に必要となるセメント抵抗の組み合わせを表 3 に示す．この表を提示することで炭素被膜抵抗を用いるより少ない本数で 10 W オーダを超える電力変換素子の特性評価が可能であることを示すことができる．

## 4. 提案課題

本章では提案した予備課題をもとに製作可能な製作品課題を示す．

表 3: セメント抵抗の組み合わせ例

| No. | 合成抵抗 | 利用抵抗 | 接続方法 |
|---|---|---|---|
| a-1 | 0.5 Ω | 5.0 Ω (5 W) | $P(5.0, 10)$ |
| b-1 | 1.0 Ω | 1.0 Ω (10 W) | $P(D(1.0, 2), 2)$ |
| c-1 | 2.0 Ω | 1.0 Ω (10 W) | $D(1.0, 2)$ |

### 4.1 予備課題に対応した製作品課題

電気に関係したエネルギー変換に関する技術の理解の困難さを電気に関する概念の脆弱さにあると想定し，それを考慮した上で電気に関わる製作技能の獲得の第一歩として DC-DC 変換器の出力特性の予備実験を提案した．この予備実験を応用し獲得したスキーマを用いて製作できる回路として次に示す LED 照明教材を提案する．

#### 4.1.1 暗時に一定時間明滅する LED 照明教材

本教材では電気に関するエネルギー変換複合教材として図 8 に示すような暗時に点滅動作を繰り返す LED 教材を提案する．点滅動作を制御することは技術科自体が発達段階における手段的役割を主たる性格として持っていることから女子生徒には共感しにくい科目の特性を持っていることに鑑み，表出的役割に整合するような課題となるようにゆるやかな点滅も実現できるよう配慮することによって性差を取り入れた授業設計が可能となるよう配慮した [18-20]．ゆっくりと点滅を繰り返す様はひとに安らぎを与えるということで性役割と一致すると考える．本課題では CdS セルで受光した照度を通じてトランジスタを入り切りし，それが DC-DC 変換器から供給される電流を制御していることを理解させることできるが，実際に LED に流れる電流や制御に必要な電流が予備実験で得られた負荷電流の範囲内であることが設計段階で考慮されなければならない点が学習される．

#### 4.1.2 集積回路の組み合わせによる仕様の実現

予備実験で得られた電圧変換素子の概念を基礎概念として，直流電力の変換を図 9 のように示す．この枠組みとしての知識(スキーマ)をもとに信号の入力と出力の概念に発展させ，555 タイマーを用いた以下の 2 つの概念をブレッドボードを用いて繰り返し学習する．このような学習は，学習材料の体制化のための概略化方略に相当する [21]．

第 1 回路：オン信号(1/3×電源電圧(5.0 V)を下回る負

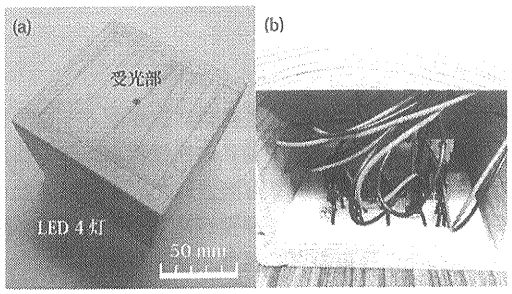


図 8: 暗時にゆるやかに一定時間明滅する LED 照明器具. (a) 外観写真. (b) 内部の電子回路．天頂部に CdS センサを，側面部に白色 LED を 4 灯つけている．背面部の板は木ねじで固定し，内部の電子回路を変更可能としている. 4 本のアルカリ乾電池は背板に固定されている.

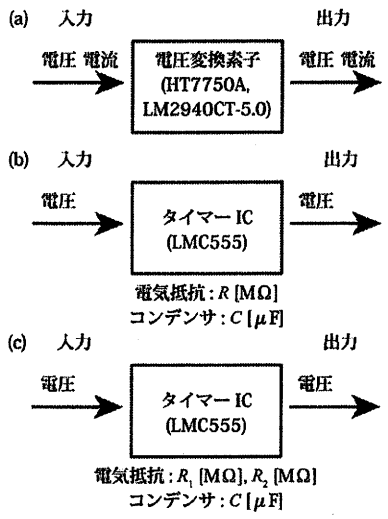


図 9: 電圧変換素子の理解をスキーマとしたときの他の制御要素との対応. (a) 電圧変換素子. (b) 図 1 のタイマー回路部. (c) 図 1 の発振回路部.

トリガ信号)があった際に 555 タイマー回路が指定時間の間オン信号(5.0 V)を出力する.
第 2 回路 : オン信号(5.0 V)がある間 555 タイマー回路が矩形波信号を出力する.

このように入力信号と出力信号を組として対応させ, これらを直列に組み合わせることで照明光の任意の動作が実現できることを学習させる. このような個々の電子回路の動作を分けて捉え全体の機能を実現していく過程は志水が指摘しているような学力問題を解消する上でも有効と考える [22]. また点滅動作および点滅終期を制御する 555 タイマーの動作は同一静電容量の積層セラミックコンデンサを抜き差しすることで変更可能であることが具体的操作を通じて推測検証可能であり体験的学習を実現することができる. また, その結果から 555 タイマーの計時機構が電荷の蓄積(電荷が静電容量と電圧の積の関係を持つことから電圧が制御変数)にあることを気づかせ, 電荷を蓄積する素子としてのコンデンサへの関心(理科の単元)への展開も可能である.

## 5. まとめ

本論文では, エネルギー変換教材製作前の予備学習としての DC-DC 変換電子部品の特性評価課題を提案した. 特に学習指導要領で指摘されている言語活動の重点化を発達段階において学習が難しくなる電気に関する学習内容に技術教育の視点から予備教材を提示し, 合成抵抗の自作等の体験的学習を通じて設計活動に生かせるような教材を開発した.

参考文献

1) 文部科学省 : 中学校学習指導要領 (2012).
2) 文部科学省 : 中学校学習指導要領解説 (2012).
3) 河野義顕, 大谷良光, 田中喜美編 : 技術科の授業を創る, 学文社 (2010).
4) 文部科学省 : 文部科学白書 (2012).
5) 小林翔兵, 伊東明彦: 大学生の電圧概念に関する調査, 宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要 (2013) 209-216.
6) 森敏昭, 岡直樹, 中條和光: 心理学の世界基礎編 2 学習心理学 理論と実践の統合を目指して, 培風館 (2011).
7) 技術・家庭 技術分野, 開隆堂 (2011).
8) 技術・家庭 技術分野, 教育図書 (2012).
9) 佐伯胖 : コレクション認知心理学 2 理解とは何か, 東京大学出版会 (2007).
10) 理科の世界 2 年, 大日本図書 (2012).
11) 新しい科学 2 年, 東京書籍 (2012).
12) 刈谷剛彦, 濱名陽子, 木村涼子, 酒井郎: 新版教育の社会学 <常識>の問い方, 見直し方, 有斐閣 (2000).
13) 新しい技術・家庭 技術分野, 東京書籍 (2012)
14) 生田久美子: コレクション認知科学 6「わざ」から知る, 東京大学出版会 (2011).
15) 市川伸一 : 学力と学習支援の心理学, 放送大学教育振興会 (2014).
16) PFM Step-up DC/DC converter, HOLTEK ,www.holtek.com/pdf/consumer/77xxav130.pdf (閲覧日 : 2014 年 11 月 5 日).
17) 国立教育政策研究所 : OECD 生徒の学習到達度調査 (2012).
18) 住田正樹: 家庭教育論, 放送大学教育振興会 (2012).
19) 稲田結美: 理科学習に対する女子の意識と態度の改善に関する実践的研究-中学校理科「電流」単元を事例として-, 理科教育学研究, 54 (2013) 149-158.
20) 小林万甫子, 松岡守, 山本尚登: ファッションロボット教材の開発, 第 32 回日本産業技術教育学会東海支部大会講演論文集 (2014) 45-46.
21) 辰野千壽: 学習方略の心理学 賢い学習者の育て方, 図書文化 (2010).
22) 志水宏吉: 学力を育てる, 岩波書店 (2005).