

# 電池の内部抵抗に関する実験の物理学実験への導入と 学生の実態調査

板橋 克美\* 上野 賢仁\*\* 天本 徳浩\*\*

## The Introduction of Experiments on Battery Internal Resistance in Physics Laboratories Incorporating Conceptual Surveys

by

Katsumi ITAHASHI\*, Takahito UENO\*\* and Tokuhiko AMAMOTO\*\*

### 要 旨

内部抵抗は工学系や教育現場で使用する機器に内在する重要な概念で、工学系学生や教職を目指す学生にとって理解すべき内容である。本研究では、電池の内部抵抗の実験を考案し、崇城大学2021年度前期の「物理学実験」に導入した。また、実験の前後にアンケート調査を行い、電気に関する概念についての学生の実態調査を行った。考案した実験は起電力と内部抵抗を正確に測定することができ、学生実験でも装置・電池ごとの平均値に差はあったものの、定量的な評価が十分に可能であると示唆された。学生の実態として、電圧概念を形成できておらず、「電池が一定の電流源」といった素朴概念を有していることが分かった。加えて、実験中に学習した内部抵抗の概念を踏まえた電気測定機器の使い方を理解できていないことが明らかになった。

**Key Words** : 内部抵抗、実験、電圧・電流概念

### 1. はじめに

電池、電流計や電圧計には内部抵抗が含まれている。電流計は測定したい箇所に直列に接続するため、内部抵抗の影響により、その箇所における電流値が小さくなってしまふ。その影響を小さくするために、内部抵抗の値は小さく設定されている。一方、電圧計は測定したい箇所に並列に接続するが、電圧計の内部抵抗が大きく設定されていることで、測定電圧を正しく測ることができる。また、電池の内部抵抗は電池の寿命にも関わってくる。このように、実在の

系では内部抵抗が重要な役割を果たしているが、入試問題や演習問題では、問題が複雑になることを避けるために、電池と電流計の内部抵抗を無視することが多い。故に、学習者の中で内部抵抗の概念形成が十分でないと考えられる。実際に、教員養成系の学部での報告によれば、内部抵抗の認知度は理科を主専攻とする学生で半数程度、理科以外の学生で1割程度となっている<sup>1)</sup>。

電池は小学校の第4学年で、電池の直列・並列つなぎによる豆電球の明るさについて学習する場面で初めて登場する。また、電流計と電圧計は中学校第2学年で用いられ、テスターを使用する機会は工学系の現場でも多い。一方、内部抵抗は、高等学校「物理」の「電気と磁気」

\*崇城大学総合教育センター助教  
\*\*崇城大学総合教育センター教授

の単元で学習することになっている。豆電球の明るさと内部抵抗について調べた報告<sup>2)</sup>もあり、学習者は正しく内部抵抗について理解することが必要であると言える。

崇城大学（以下、本学）において、1年次に開講される「基礎物理学」や「物理学」では、電場や電位などの基礎的な事柄について学習するため、この内部抵抗は扱わない。しかし、工学系において内部抵抗は使用する機器に内在する重要な概念であるため、工学系の学生にとって理解すべき内容である。また、上述のように小学校・中学校で教える内容でもあり、教員養成における必要な内容として内部抵抗を教えなければならない。そのため、2年次で開講される「物理学実験」で取り扱う必要がある。内部抵抗を理解することは電流、電圧、抵抗や、それらの関係性を示したオームの法則を理解することにもつながり、1年次の学習を体系的につなげることが可能となる。

本研究では、電池の内部抵抗の実験を考案し、本学の2021年度前期に開講された「物理学実験」に導入した。また、実験前後に学生にアンケートをとり、学生の電気に関する概念についての実態調査を行った。まず2章では、実験方法と結果を述べ、3章で実践の結果について述べる。4章ではアンケートの分析と学生の実態について述べる。

## 2. 実験方法と結果

一般に、電流  $I$  が流れているとき、電池の端子電圧  $V$  は、電池の内部抵抗  $r$  による電圧降下によって、起電力  $E$  よりも小さくなる。このときの端子電圧  $V$  は

$$V = E - rI \quad (1)$$

と表すことができる。

この関係を理解させるための実験を、文献3、4を参考にして考案した。図1には、本実験の回路図を示す。実験に使用する器具は、回路BOX（内部で配線したもの）、スイッチ付電池BOX、可変抵抗器、保護抵抗、デジタルマルチメーター（電流測定用と電圧測定用の2つ）であり、これらを用いて図2の実験装置を構成

した。保護抵抗は、可変抵抗の値が0のときに過電流が流れるため、それを防ぐために使用した。回路BOXは、同じ授業の回で行う「オームの法則を用いた電気抵抗の測定」の実験のものをそのまま用いた。また、学生が配線する際に参照できるように図2の写真を用意した。

実験では、回路内の可変抵抗器の抵抗値を変化させたときの電流計を流れる電流  $I$  と電圧計にかかる端子電圧  $V$  を測定する。測定点に対して(1)式を外挿することで、電流が0のときの電圧（縦軸切片）から  $E$  を、電圧と電流の関係（傾き）から  $r$  を求めることができる。

最初に可変抵抗器の抵抗を最大  $30 \Omega$  に設定してから、電池BOXに電池を入れ、電流と電圧を測定する。その後、 $5 \Omega$  ずつ抵抗値を下げながら、電流と電圧を測定する。電池に新しい単3アルカリ乾電池を使用した結果の例を表1に示す。この測定値をグラフにしたものが図3である。グラフから内部抵抗と起電力の値を求めたところ、 $r = 0.388 \Omega$ 、 $E = 1.58 \text{ V}$ 、および相関係数は  $0.995$  となった。起電力に関して、公称電圧  $1.5 \text{ V}$  との誤差は  $5.33\%$  であった。文

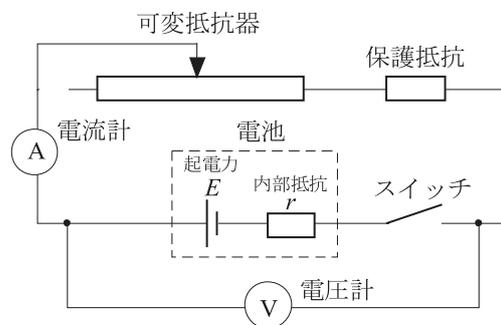


図1 本実験の回路図



図2 実験装置（配線の様子）

献2によれば、単3アルカリ乾電池の内部抵抗の値は $0.398\ \Omega$ であり、この値との誤差は2.51%となった。そのため、本実験は、正確に内部抵抗と起電力を測定できると言える。

表1 単3アルカリ乾電池を用いた測定結果

可変抵抗の値 [ $\Omega$ ]	$I$ [A]	$V$ [V]
30	0.0448	1.565
25	0.0523	1.560
20	0.0630	1.555
15	0.0819	1.545
10	0.1111	1.536
5	0.1733	1.514

相関係数：0.995

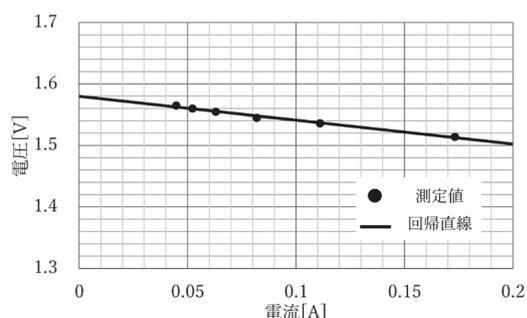


図3 測定結果に対する電流と電圧の関係

### 3. 物理学実験における実践

本実験を、本学2021年度前期に開講された「物理学実験」を受講するナノサイエンス学科、応用微生物工学科、応用生命科学科の42名のクラスと、建築学科と情報学科の44名のクラスで実践した。2021年では、まず4～6名の班に分け、7項目の実験と演習（遠隔）を交互に実施した。1回の講義で1つまたは2つのテーマを1人で実験させた。本実験は同じ授業回に行う「オームの法則を用いた電気抵抗の測定」の後に行った。

新規の実験であるため、使用するテキストとは別に、実験の目的、器具、原理（概要）、装置と方法、測定例を記した資料を配布した。実験の際には、まず資料を用いて説明し、学生が測定を終えて表計算ソフトを用いてグラフを印刷したところで、回路図と(1)式とグラフの関

係について再度説明をした。学生は印刷したグラフから内部抵抗と起電力を求める。

表2に学生が求めた内部抵抗と起電力の平均値と標準偏差を示す。内部抵抗の値が $1\ \Omega$ を超えるデータと装置・電池番号の記録に不備があったデータを除き、全データを43とした。データを総合的に考えるため、全データにおける内部抵抗と起電力の平均値を算出したところ、それぞれ $0.454\ \Omega$ 、 $1.51\ \text{V}$ となった。これを2章の測定例と比較すると内部抵抗は17.0%大きく、起電力は4.43%小さい。文献2の値に対して内部抵抗は14.1%大きく、起電力は公称電圧 $1.5\ \text{V}$ に対して0.667%大きい。

次に学生が実験を行い、定量的な評価を行うにあたり、各装置・電池の実測値について考える。表2に示す通り、起電力に関して、精度よく正確に求めることが可能である。内部抵抗については、全データと比較しても、測定値のばらつきが大きかった。しかし、それぞれの標準偏差は $0.059\sim 0.163$ であり、極端に大きな値ではない。そのため、学生実験において、装置・電池ごとに内部抵抗と起電力について定量的な評価は十分に可能であると考えられる。平均値に差が生じた理由としては、実験中に接続端子の緩みや導線の劣化による接触不良があったことから実験装置による差が考えられる。また、計測機器の誤差も含まれていると考えられる。これらの誤差を学生に検証させることも実験における重要な意義を持つと考える。

電池の劣化による影響については、内部抵抗と起電力の値と実験日との間に明確な関係は認められなかったことから、実験期間中の電池の大幅な劣化はなかったものと思われる。

表2 学生実験による内部抵抗と起電力の平均値と標準偏差

	データ数	内部抵抗 [ $\Omega$ ]		起電力 [V]	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
全データ	43	0.454	0.148	1.51	0.05
装置・電池1	9	0.539	0.149	1.52	0.03
装置・電池2	8	0.371	0.059	1.55	0.07
装置・電池3	15	0.437	0.163	1.48	0.03
装置・電池4	11	0.469	0.132	1.50	0.02

#### 4. アンケートの分析

実験の前と後に、付録に示すアンケートを学生に解答させた。アンケートは文献1を参考に作成した。実験前に解答させた問は、(1)式を表したグラフ、すなわち、起電力を縦軸切片として、電圧  $V$  は電流  $I$  に比例した右肩下がりの直線になるグラフを描けば正解となる。また、古い電池では、内部抵抗が大きくなるため、直線の傾きが大きくなる。この問いに正答できた学生はおらず、ほとんどの学生が原点を通り、 $V$  と  $I$  が比例したグラフ、すなわちオームの法則 ( $V=RI$ ) のグラフを書いていた。対象学科における高等学校「物理」の履修状況は様々なため、この状況は予想の範囲内である。正解のグラフを実験中に書くことができるようになり、電池の起電力と内部抵抗を求めることが本実験の目的である。これは、3章で示したように、達成できていると考えられる。

実験後に解答させた問1と2は、電圧や電流、電圧計、電流計についての問いである。これらの問いの解答文章を、文章を単語に分解して解析するテキストマイニングの手法により、キーワード分析した。図4と5には、問1と2のテキストマイニングの結果により分析したキーワードの出現頻度やキーワード同士の関連を表した共起ネットワークの図を示す。図4の(a)に示す電流に関する共起ネットワーク図では、電子や電気の流れなどのキーワードが多く占めており、電流に関して正しく定義が身につけているものと考えられる。一方、電圧に関する(b)では、電気の流れる圧力や、電子を流す勢いなど、正しい概念とは異なる記述が多く占め、電位差というキーワードを書いた解答は少なかった。一般的に、電圧はイメージをしにくい物理量であることが言われており<sup>6,7)</sup>、本学の学生も電圧について正しく理解できていないと言える。

問2は、電流と電圧を正しく理解し、内部抵抗の概念と組み合わせて、電流計と電圧計の接続方法を理解しているか問うものである。これについて、正しい解答は1名のみであった。解答では、「正しい値を測定できないから」とい

う、内部抵抗の概念や接続方法について考慮していない、不十分な解答が多くを占めた。図5の問2に関する共起ネットワークでも示すように、内部抵抗と、並列や直列の接続方法の2つを組み合わせることはできていない。

問3は豆電球が1個だけの場合と2個を並列接続した場合の電力を問う問題であり、素朴概念調査問題としてよく扱われる問題である。79名中68名、およそ86%もの学生が「A(抵抗が1個だけの場合)の方が、豆電球が明るい」と解答し、その理由でも「Bでは電流が2つに分かれるから、Aの方が、電流が多く流れる」という解答が多数を占めた。いわゆる「電池が一定の電流の源である」とする素朴概念であり<sup>7,8)</sup>、多くの学生がこの素朴概念を保有していると考えられる。この素朴概念は内部抵抗を理解する上でも先に解消すべき概念であると言える。なお、この問いで、学習した内部抵抗を基にAの方が明るくなると解答する学生の存在が懸念されたが、理由に内部抵抗を記述した学生はいなかった。

学生のアンケートの分析から、本学の学生が電圧概念(電池に関する概念を含む)を正しく獲得できていないことが明らかになった。また、実験で学習した内部抵抗の概念と接続方法を正しく組み合わせることができておらず、電気計測器の正しい使い方とその理由を理解していないことが分かった。本科目が数理科目群の1つとして工学系の基盤となる科目や教職に関わる科目であり、その中で使用する機器の使い方等を理解する上でも、内部抵抗の実験は今後も継続していく必要があると考える。その際には、電流、電圧、抵抗の概念や、直列・並列接続の考え方を正しく理解させた上で、実験に取り組みさせることが重要である。今後も実験テキストの改善や実験方法、レポートの内容の検討を行っていく。

#### 5. おわりに

電池の内部抵抗に関する実験を考案し、本学の「物理学実験」に導入した。また、実験前後にアンケート調査を実施し、学生の電気に関す

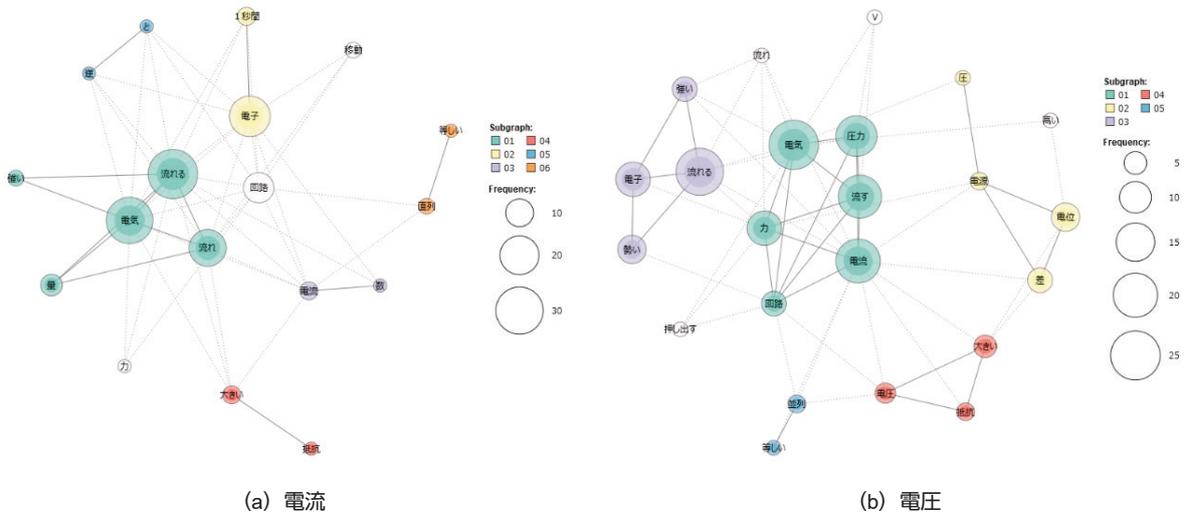


図4 問1に対するテキストマイニングの結果による共起ネットワークの図

(a) は電流について、(b) は電圧についての解答結果であり、解答の数は (a) が57、(b) は73である。色分けはキーワード同士で関連が深くグループ分けされたものを、円の大きさは出現頻度を表す。

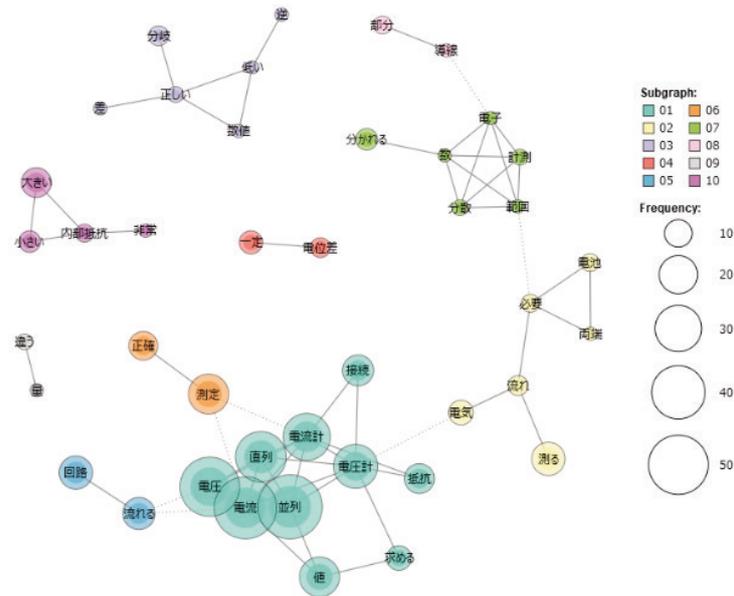


図5 問2に対するテキストマイニングの結果による共起ネットワークの図 解答の数は75である。

る概念の実態を調査した。

考案した実験は起電力と内部抵抗を正確に測定することが可能であると分かった。学生実験では、装置・電池ごとの内部抵抗の平均値に差が見られたものの、標準偏差は大きくなく、学生が測定誤差等も含めて定量的に評価することが可能であると言える。アンケート調査では、本学の学生が電圧概念を形成できておらず、「電池が一定の電流源」といった素朴概念を有していることも分かった。加えて、電気測定機

器の使い方に関して、実験中に理解した内部抵抗を考慮できていないことが明らかになった。今後もこの実験を継続して電気に関わる様々な事柄を理解させていく。特に、学生の概念形成を重要視し、電流、電圧、抵抗の概念および直列・並列接続を理解させた上で実験させるように、授業方法等を検討する。また、学習した内部抵抗概念を応用できるようなレポート課題等を課すことなども検討していく。

## 参考文献

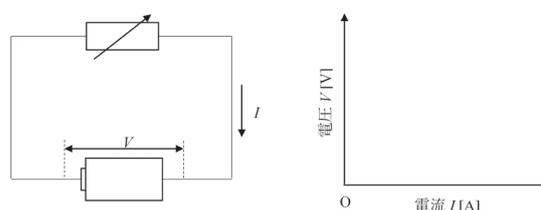
- 1) 磯田誠・宮花昂平 (2014) 「豆電球と乾電池を用いる直流電気回路の小学校教員養成教育」科学教育研究、第38巻、第1号、27-33
- 2) 重松宏武・兼安真也・吉村大介 (2016) 「小中学校理科・高等学校物理における「電池の内部抵抗」の取り扱い I – 並列に接続した豆電球の明るさはどうなるのか –」山口大学教育学部附属教育実践総合センター、第42号、79-88
- 3) 続馨・永嶋誠一・星一以・柳原隆司 (1982) 「工科系の物理学実験《新装版》」学術図書出版社、188-191
- 4) 鹿児島県総合教育センター (2011) 「探究活動を充実させる授業展開の工夫 – 電池の起電力と内部抵抗の測定を通して –」指導資料理科第285号 – 高等学校、特別支援学校対象 –  
Retrieved from  
<http://www.edu.pref.kagoshima.jp/research/result/siryoushidosiryoh23/1709-rika285.pdf> (accessed 2019.12.17)
- 5) 小林翔浜・伊藤明彦 (2013) 「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、第36号、209-216
- 6) 佐々木庸介 (2015) 「電柱・電圧・抵抗の概念形成を目指した中学「電流とその利用」の指導の工夫」物理教育、第36巻、第3号、209-212
- 7) 谷口一成 (2017) 「相互作用型演示実験講義 (ILDs) の展開と課題」物理教育、第65巻、第3号、170-175
- 8) 高木響子・坂田孝久・谷口一成・福島和洋 (2014) 「中学生における物理学誤概念調査とその分析」日本理科教育学会九州支部大会発表論文集、第41巻、90-91

## 付 録

## アンケート

(実験前に解答してください)

問. 下の左図のように、可変抵抗をそれぞれ電池(内部抵抗がある)に接続し、可変抵抗の抵抗値を変えながら、電池の両端の電圧を測定しました。このときに得られる電圧と電池を流れる電流のグラフの概形を下の右図に実線で書いてください。また、この電池を古い電池に変えるとグラフの概形はどうなりますか。同じく下の右図に点線で書いてください。



(実験後に解答してください)

- 問1. 電圧と電流の違いは何ですか。
- 問2. 電流計は直列に、電圧計は並列に接続する理由は何ですか。
- 問3. 下図のAとBのように、電池と豆電球で回路を作りました。このとき、豆電球の明るさが明るいのは、図Aと図Bのどちらですか。また、その理由は何ですか。

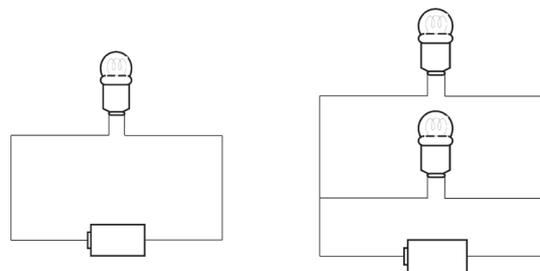


図 A

図 B