

「電気パン」実験の教材的意義の考察

内田 隆*

1. はじめに

ホットケーキの素を水などで溶いたものに電極板を入れ、電流を流してホットケーキをつくる、一般に電気パンと呼ばれる実験があり、理科の授業、科学部での活動、科学館等の実験教室などで幅広く行われてきた。この電気パン実験が昭和の時代から現代まで長く親しまれてきたのは、食べられるものづくり実験として楽しく、子供達に人気があることはもちろんであるが、この実験の原理がエネルギーの変換、電解質の性質、電力量などの理科の学習事項と広く重なるため、理科授業で活用しやすいからでもある。本稿では、理科教師や研究者による研究・実践によって積み重ねられた知見を共有するため、電気パン実験に関するこれまでの実践報告や研究結果等を調査し、研究成果及び課題を整理する。そのうえで、新たな知見として、電気パン実験で用いる安全性の高い電極としての放熱グラフアイトシートの利用可能性と、理科教師を志す学生に向けた「理科教育法」の授業における電気パン実験の活用事例と意義について報告する。

2. 電気パン実験

(1) 電気パン実験の方法及び原理

小麦粉、砂糖、食塩、ベーキングパウダー等があらかじめ混合されているホットケーキの素に水などを加えて溶いたものを用意し電気パン作成用の容器に入れる。容器は、繰り返し使用可能な木製容器を作成して使用することもあるが、牛乳パックを加工した容器を使い捨てで使用するのが一般的である。容器内に2枚の電極板を入れて交流100Vの電圧をかけると、パン生地中に電解質である食塩や炭酸水素ナトリウムが含まれるため電流が流れてジュール熱が発生する。温度が上昇すると炭酸水素ナトリウムが熱分解して二酸化炭素が発生するため電気パンが膨らむ。この間、水分が蒸発して減少するため次第に電流が流れにくくなり、電気パンができあがる頃には電流が流れなくなるため、必要以上に加熱しすぎることはない。

電気パン実験は、フライパン等からの伝導熱で焼くのも、オーブン等の赤外線による輻射熱や熱風の対流によって焼くのもなく、パン生地に通電して発熱させることでつくる方法である。

(2) 電気パンの歴史

電気パンは、戦後のまだガスが復旧していなかった頃に、小麦粉や食用粉¹⁾を水で溶いたものを木製の型に入れ、ブリキの板をヤスリでみがいたものや鉄板等を電極板にして作られていた。東京都千代田区九段にある昭和館には、電球のソケットにつなぐ形式の電気パン製造器の実物が戦後の生活を語る一品として展示されている²⁾。この電気パンが、実際にどの程度普及していたのかを示す具体的なデータはないが、以下の3つの事例から、都市部では一定程度普及していたことが推察される。例えば、1946年10月創刊の雑誌『少年工作』に、家庭で使われ始めた電気パン焼き器の

* 東京薬科大学生命科学部教職課程研究室

ヒューズがとぶ事故が多いことから、ヒューズが飛ぶ理由と家庭用パン焼き器の設計について 3 ページわたって解説されていること（表 1-1）³⁾。1997 年 1 月 18 日放送の TBS ラジオ「永六輔の土曜ワイド」で電気パン焼き器が話題になったところ、反響が大きく電話や FAX がひきもきらなかったうえに、現物を保管している家庭から番組中に連絡があったこと。1999 年に和光大学で開催されたシンポジウム「食の戦後史」における岩城正夫の報告で、敗戦後の三種の神器として「タバコ巻き器」「米つき器」と並んで「電気パン焼き器」が挙げられていることである⁴⁾。

一方で、永が「昭和も二十五年、つまり朝鮮戦争の頃には姿を消す」⁵⁾と毎日新聞に書いていることや、岩城が昭和 23 年頃には「私の身边では電気パン焼き器のことは話題にもなくなっていました」⁶⁾としていることから、電気パン焼き器の使用は戦後の短期間だけであったことも窺える。

3. 電気パン実験の教育利用

(1) 電気パン実験の文献調査

電気パン実験の理科授業への活用状況を明らかにするために、雑誌、一般書籍、学会誌等に報告されている電気パン実験に関する研究・実践報告の調査を行った。電気パン実験が記載されている初期の文献には、科学教育研究協議会編集の雑誌「理科教室」の 1984 年 9 月号や仮説実験授業を提唱した板倉聖宣が編集代表の雑誌「たのしい授業」1984 年 11 月号、また、いわゆる面白実験をまとめた実験書の先駆けである愛知・岐阜物理サークル編で 1988 年出版の「いきいき物理わくわく実験」があった。1980 年代は戦後約 40 年を迎えた頃で、実際に電気パンを経験した教師がまだ学校に残っており⁷⁾、科学教育研究協議会、仮説実験授業研究会等の地域の研究会や全国大会等で電気パン実験が共有され、理科授業での活用法等について検討されていたと推察される。以下の表 1 に電気パン実験が記載されている主な文献を挙げる。表 1 に挙げた 31 の文献の内容から、昭和から現代までの長年にわたって、小・中・高校の理科授業や科学部の活動等の様々な校種・機会において、また、児童自立支援施設や科学教室等の多様な場所で電気パン実験が行われていることがわかる。

文献中には実験方法や実践事例だけでなく、工夫例や失敗例と改善方法も報告されている。例えば工夫例には、電源コードがコンセントに刺さったまま電気パン焼き器からはずれてしまったときにショートしにくいように、プラグからワニ口クリップまでの 2 本の電源コードの長さを変える工夫（表 1-3）、また、電極板どうしが触れてショートすることを防ぐために、回路中に消費電力の大きな電気器具やヒューズを接続する工夫（表 1-9）などがあった。失敗例と改善方法では、直流で電気パンを作ると電極が溶出してしまうこと（表 1-4）、ステンレス板と電源コードの接続部分の接触不良によって、その部分が抵抗となってステンレス板自体が熱くなり、接触している部分だけが先に焼けて中央部のパン生地が電流が流れなくなって焼けないことがあること（表 1-11）、電極板を牛乳パック内の 4 面に配置してもうまく焼けず、2 枚向かい合せに配置するとうまく焼けること（表 1-16）、パン生地中の水分が少ないと流れる電流が小さくなり焼けないことや、水分が多いと流れる電流が大きくなり多くの班で実験を行うと理科室のヒューズがとぶ（ブレーカーが落ちる）ことがあること（表 1-15）などが挙げられていた。さらに、2 個の電気パン焼き器を直列ではなく並列につなぐことで効率よくつくる方法見つけた生徒達の工夫事例の報告（表 1-14）もあった。

また、学術的な研究も行われている。電気パン実験では、通電すると次第に電流値が上昇して数

分後に最大値になり、その後水分量の減少とともに電流値が低下するが、実際には電流値の低下後にもう一度電流値が上昇してニコブ型のグラフになることが多い⁸⁾。このニコブの原因がパン生地に含まれるデンプンであること、デンプンが多いほどニコブが顕著になること、また、デンプンの糊化に伴うパン生地の電気伝導率の変化によってニコブ型になることが報告されている(表 1-21)。

表 1 電気パン実験が掲載されている主な雑誌・一般書籍・学会誌等

	書名 (出版社)	発行年月	著者	内容等
1	『少年工作』創刊号, p.14-16 (科学教材社)	1946.10	小林喜通	「家庭用電気パン焼き器の設計」にヒューズの飛ぶ理由とヒューズの飛ばない電気パン焼き器の設計方法を解説
2	『理科教室』No335 (vol.27(9)) p.86 (新生出版)	1984.9	黒田弘行	「たのしくてよくわかる実験・観察 電気パンやき」で実験方法の紹介
3	『たのしい授業』No.20, pp.74-77 (仮説社) ※『ものづくりハンドブック 1』pp.113-116 (仮説社) にも掲載	1984.11	高村紀久男	「電気パン焼き器」で実験方法と原理の説明 ⁹⁾
4	『たのしい授業』No.20, pp.78-79 (仮説社) ※『ものづくりハンドブック 1』pp.117-119 (仮説社) にも掲載	1984.11	長浜勝利	「直流で電気パンを焼くと」で、電気パン実験を交流ではなく直流で行った時の失敗例を紹介
5	『いきいき物理わくわく実験』p.115 (新生出版) 愛知・岐阜物理サークル編	1988.5	長野勝	「パン屋もびっくり 電気パン」で実験方法と原理の説明
6	『ポピュラーサイエンス 化学が好きになる実験』pp.38-41 (裳華房)	1990.10	宮田光男	「カミコップのパン焼き器」で実験方法と原理の説明
7	『楽しい実験室 女子高生のチャレンジ (グラフィック理科実験室)』pp.105-109 (日本教育新聞社出版局) (財)日本私学教育研究所編	1991.9	後藤道夫	「電気パン焼き器でパンを焼く」で実験方法と原理の説明 ・回路に電流計と電圧計を接続して時間を計ってパンをつくり、抵抗・電力量を求める授業実践
8	『イベントを盛りあげる 科学実験 お楽しみ広場』pp.78-79 (新生出版) 本間明信・小石川秀一・菅原義一編	1992.8	高橋匡之	「電気パンをつくろう」で実験方法と原理の説明
9	『おもしろ実験・ものづくり完全マニュアル』pp.21-26 (東京書籍) 左巻健男編	1993.8	杉原和男	「電気パン焼き器」で実験方法と原理の説明。 ・食塩添加量、電極板間距離と焼成時間、焼き上がり状態の関係を実験 ・ショート事故防止用に消費電力の大きな電気器具やヒューズを使用
10	『物理がおもしろい』pp.43-50 (日本評論社) ガリレオ工房 (物理教育実践検討サークル) 滝川洋二編	1995.4	猪又英夫	「物理実験室でパン作り」で実験の紹介と原理の説明 ・時間と電流のグラフを作成して、電力量と仕事率を求める物理「エネルギーの変換」の授業実践
11	『たのしくてわかる化学実験事典』pp.398-399 (東京書籍) 左巻健男編	1996.3	後藤富治	「蒸しパンづくり」で実験方法と原理の説明 ・電極板とリード線の接触不良で電極板が発熱し、電極板付近だけが先に焼けてしまっとうまく焼けない事例を紹介
12	『楽しい理科授業』No.357, pp.10-13 (明治図書)	1996.9	菅原義一	「“イベント仕掛け”の超面白ネタ BEST5」で実験方法を紹介
13	「電気パンとコーヒーの COD 測定」, 『化学と教育』第 45 巻 1 号 p.45 (日本化学会)	1997.1	吉川直和	実験方法の紹介
14	『理科教室』No.504 (Vol40(5)) p.91 (新生出版)	1997.5	宮内主斗	「電気パンを一気に作ろう 一生徒が発見した並列接続」で、中学 3 年生が電気パン焼き器を 2 つ並列に接続して効率よく作る方法を見つけた事例の紹介
15	『たのしい授業』No.188, pp.58-61 (仮説社) ※『ものづくりハンドブック 5』(仮説社) pp.232-235 にも掲載	1997.10	田辺守男 山路敏英	「ものづくり再挑戦電気パン」 ・10 班一斉に実験を行った際にヒューズが飛んだ経験から、パン生地中の水分量が多い方が最大電流が大きくなることを報告
16	「小学校の理科教材の研究と改良－電気でパンを焼こう！－」, 『大阪教育大学理科教育研究年報』第 22 巻, pp.49-58	1998.3	加藤好博 坂本敦子 福田渉子	・電流、温度、塩と炭酸水素ナトリウムの添加量と焼き上がり状態の比較実験。 ・電極板の形や牛乳パック中の位置と焼き上がり状態の比較実験の報告

17	『たのしくわかる物理実験事典』 pp.322-324 (東京書籍) 左巻健男・滝川 洋二編	1998.9	古川千代男	「物に電流を通じると必ず発熱する」で液体に電流が 流れる事例の一つとして紹介
18	『「電気パン」実験に対する電気的特性 の実験的評価と食品としての安全性」, 『日本産業技術教育学会誌』第43巻3 号, pp.161-168 (日本産業技術教育学会)	2001.9	松岡守 他10名	加熱したアルミホイル, アルミ板, ステンレス板で焼 いたパンと, 電極にアルミホイル, アルミ板, ステン レス板を使用してつくった電気パンの焼き上がり状 態の差から, 安易に食用にする危険性を指摘
19	『楽しい理科授業』No.432, pp.44-45 (明 治図書)	2001.11	須川幸弘 野呂幸生	「総合とドッキングモノづくり 私の工夫例」で実験 方法の紹介
20	『おもしろ実験・ものづくり事典』 pp.205-209 (東京書籍) 左巻健男・内村 浩編	2002.2	杉原和男	「電気パン」で実験方法と原理の説明 ・食塩添加量, 電極板間距離と焼成時間や焼き上がり 状態の関係を実験 ・ショート事故防止用に消費電力の大きな電気器具や ヒューズを使用 ・電極板の溶出から極板付近を切り落として少量試食 するよう指摘
21	「電気パンの電流値変化」, 『物理教育』 第57巻2号, pp. 85-90 (日本物理教育 学会)	2009.2	岡田直之	電気パン焼成時の電流値の時間変化のグラフがニコ ブ型になることについて, デンプンの糊化に伴うパン 生地の電気伝導率の変化が原因であると報告。
22	「微小部蛍光 X 線分析法による『電気 パン』の安全性に関する検討」, 『X 線分 析の進歩』第40巻, pp.177-182 (アグ ネ技術センター)	2009.3	原田雅章	電極にステンレス板を使用して作成した電気パンに は鉄, ニッケル, クロムが溶出することを蛍光 X 線分 析によって明らかにし, 食べる際は中心部分を少しの 方がよいと指摘
23	『イラストでわかるおもしろい化学の 世界3 つくる実験』pp.17-20 (東洋館出 版社) 山口晃弘 編	2011.11	宮内卓也	「電気パンをつくってみよう」で実験方法と原理の説 明。電極板付近を食べないように注意がある。
24	「簡単な消費電力量の算出で行うエネ ルギー学習」, 『物理教育』第60巻2号, pp. 151-153 (日本物理教育学会)	2012.4	大野成康	電流と時間の関係を折れ線グラフではなく, 方眼紙の マス目を利用した棒グラフで作成し, マスを数えるこ とで電力量を求めさせた物理の授業実践
25	『高校教師が教える化学実験室』 pp.42-44 (工学社)	2012.8	山田暢司	「電気でホットケーキを焼く」で実験方法と原理の説 明。水の蒸発熱にも言及されている
26	『実験マニア』pp.175-181 (亜紀書房)	2013.4	山田暢司	「ホットいてホットケーキ」で実験方法と原理の説明 水の蒸発熱にも言及 電極板付近を一定量削り取って味見するよう注意
27	『理科教育法 独創力を伸ばす理科授 業』pp.152-153 (講談社)	2014.3	川村康文	「電気パン」で実験方法と原理の説明 ・電極板へのステンレス板使用によるクロム, ニッケ ル漏出の問題を解決するために電極に鉄板を使用。 ・電気パンは塩基性を示すため, 電気パンに紫芋の粉 を入れて緑色に変化させる実験を紹介
28	「児童自立支援施設における理科の体 験活動を通して主体的に学ぶ生徒を育 成する」, 『授業実践鳴門教育大学授業実 践研究』第15巻, pp.91-98 (鳴門教育 大学))	2016.6	廣田将義 他5名	児童自立支援施設内の学校の生徒に対し, 身近な道具 を使った科学の面白さや不思議さの体験を通して, 事 物・現象の仕組みを, 生徒が主体的に活動できる授業 実践のための教材として電気パンを使用
29	「備長炭電極を用いた安全な電気パン 実験」, 『明星大学理工学部研究紀要』 第53巻, pp. 31-38 (明星大学理工学部 理工学部研究紀要編纂委員会)	2017.3	津田裕也 鈴木昇	金属電極板の使用による電気パンへの金属や金属酸 化物の混入を防ぐために, ファインカッターと切断砥 石で備長炭を板状にした電極板を使用する方法を報 告
30	教科書『理科基礎』p.130 (東京書籍)	2002.3 検定済	上田誠也 他12名	「流れる電気・見える電気」の章で電気エネルギーが 熱エネルギーに変換される例として実験方法が記載
31	教科書『科学と人間生活』p.65 (第一学 習社)	2011.3 検定済	中村英二 他9名	「熱や光の科学」の章で, ジュール熱の利用の例とし て実験方法が記載 ※ 電極板付近のパンを食べないことを注意

(2)電気パン実験と理科の学習内容との関連性

電気パン実験が理科教育の場で親しまれてきたのは, 食べられるものづくり実験であるだけでなく, 電気パン実験の原理が理科の学習内容と広く関係し汎用性の高い実験だからである。以下に,

理科の学習内容と関連する主な学習事項を挙げる。

- ・パン生地 of 電気伝導性の原因である塩、炭酸水素ナトリウム等のイオン結合からなる物質の性質
- ・パン焼き器の直列・並列接続や電流・電圧・抵抗等のオームの法則
- ・パン焼き器の電力・電力量・仕事率等の電気エネルギー
- ・電気エネルギーから熱エネルギーへのエネルギーの変換及び保存則
- ・熱分解による二酸化炭素の発生や分解後に塩基性が強くなる等の炭酸水素ナトリウムの性質
- ・炭酸水素ナトリウムの熱分解によって発生する二酸化炭素の物質質量など化学反応式と量的関係
- ・水の蒸発熱等の熱化学

化学や物理分野の広範にわたって、電気パン実験が活用できるため、平成 13 年度大学入試センター試験「物理 I A」では、電気パンが題材の問題が出題されている。また、「理科基礎」の教科書には電気エネルギーが熱エネルギーに変換される例として（表 1-30）、また、「科学と人間生活」の教科書にはジュール熱の利用の例として（表 1-31）、それぞれ電気パン実験が記載されている。

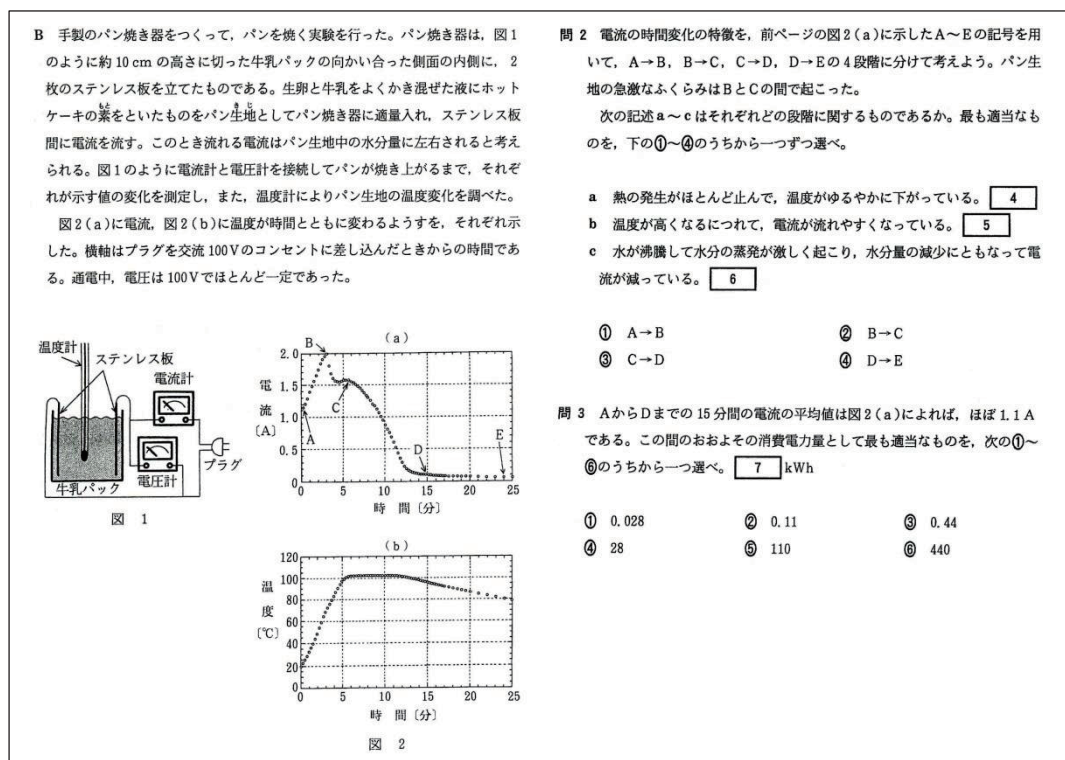


図 1 平成 13 年度 大学入試センター試験 物理 I A 試験問題 第 1 問

4. 電極板に使用される素材の種類と安全性

電気パン実験で使用する電極板は、初期の文献ではアルミホイルを使用するものもみられるが、実際にはアルミホイルではうまくいかないことがあるうえに、アルミニウムの電気パンへの溶出も問題視され、ほとんどの文献で厚さ 0.1 mm または 0.3 mm のステンレス板が使用されている。しかし、蛍光 X 線分析の結果、電極にステンレス板を使用した電気パン中にニッケル、クロム、鉄の溶出が見られたこと（表 1-22）、また、加熱したステンレス板を用いて焼いたホットケーキと、ステンレス板電極を用いて作成した電気パンの変色度や黒い微粒子の存在の差、また、電気パン実験と

同様にステンレス電極を用いてベーキングパウダー水溶液や食塩水に通電したところ黒い微粒子が生じたり溶液が茶色に変色したりしたなどの実験結果（表 1-18）から、電極にステンレス板を使用した電気パンを食用にすることの危険性が指摘されている¹⁰⁾。そこで、ステンレス以外の電極も検討されており、魚焼きやスチール缶の表面のコーティングや塗料を焼いて落とした鉄の電極板や（表 1-27）、ファインカッターと切断砥石で板状にした備長炭の電極板（表 1-29）の使用が報告されている。また、ケニス株式会社からは、電気パン用チタン板が 4 枚 2160 円で販売されている。いずれも安全性に配慮した電極であるが手間や価格面に課題がある。これまで電気パン実験が数多く行われているものの食用による事故が聞かれないことから、近年の文献においても、電極付近を食べないように注意を加えたうえで、ステンレス板を電極に使用しているものが多いのが現状である。

5. 電極板への「放熱グラファイトシート」の使用の検討

放熱グラファイトシートは、高分子フィルムを約 2000℃の高温で焼成して得られる炭素純度 99% 以上のシート状グラファイトである。柔軟性があり熱伝導率が高いので、スマートフォン等の電子機器の熱を効率的に逃がすために内側に貼られて使用されている。放熱グラファイトシートは素材が炭素であるため、電極に使用しても金属や金属酸化物が溶出しない。そこで、放熱グラファイトシートを電極に使用して電気パン実験を行い、安全性の高い電極¹¹⁾としての利用可能性を検討した。

150×150×0.13 mm の放熱グラファイトシート¹²⁾を、牛乳パックのサイズと合わせるために、はさみで 70×100×0.13 mm に切断して電極板 2 枚を作成した。この電極を用いて電気パン実験を行ったところ、電気パン中に金属や金属酸化物の微粒子等は見られず、電極板付近の変色もなかったため、放熱グラファイトシートを電極にして作成した電気パンを食用にしても問題がないと考えられる。しかし、実験に使用した放熱グラファイトシートの厚さは 0.13 mm と薄く、2 回目の実験後に洗っている際に破れてしまったことから、繰り返し使用するには強度面に課題があることが明らかになった。また、432 円のシート 1 枚から電気パン実験 1 回分の 2 枚の電極しかとれないため価格面の課題もあり、現段階では電気パン実験の電極への放熱グラファイトシートの使用は安全性を高めることができる反面、まだ現実的ではないことが明らかになった。しかし、厚いものが安価で入手できるようになれば現実的な電極素材であることから、今後の製品開発が期待される。

6. 「理科教育法」授業への電気パン実験の活用

中学高校の理科授業で効果的な生徒実験を安全に行うには十分な予備実験が欠かせない。例えば、電気パン実験を生徒実験で行うときには、予備実験で以下の①②を検討・確認する必要がある。

①予備実験における検討事項

- ・実験に必要な器具の列挙、準備、製作
- ・安全装置としてのブレーカーや電球等の検討
- ・使用材料の選定や分量の検討
- ・実験所要時間等の検討 等

②安全指導のための配慮事項等

- ・実験中のショート及びブレーカーが落ちたときの対処法
- ・感電事故への対処方法
- ・電気パンを食用にする場合の小麦粉や牛乳等のアレルギーへの配慮

予備実験を行って生徒実験を成立させるための条件を確認した後は、実験準備や時間配分等の実

験設計や実験目的に即した考察の設定など、以下の③を検討して生徒実験の具体化をすすめなければならない。

③実験設計及び具体化

- ・授業時間内に実施するための実験設計（実験準備や時間配分等）
- ・実験目的や手順等の文章化
- ・実験プリントの構成、デザイン等の検討
- ・実験図等の作成
- ・目的をふまえた考察の検討

そこで、「理科教育法」の「物理分野の教材・教具の製作・開発」「化学分野の教材・教具の製作・開発」（90分×2回）において「電気パン実験の生徒実験を行うために、実験目的や生徒に課す考察を検討して予備実験を行い、生徒用実験プリントを作成する」を課題として提示し、理科授業で実際に生徒実験を行うときを想定した、実践的な教材開発の授業を行った。電気パン実験は実験の汎用性が高いため、実験目的が明確でないと授業における実験の位置付けが不明瞭になり、生徒実験の効果が薄れてしまう。そこで、以下の④のどの学習の時に電気パン実験を行うのか検討させ、その位置付けを明確にして実験目的から考察まで一貫するように意識させてから予備実験を行わせた。

④理科授業における電気パン実験の位置付け（実験目的および到達目標等の設定）

- ・イオン結合からなる物質の電気伝導性の理解
- ・物質量の理解および計算法の習得
- ・オームの法則の理解および計算法の習得
- ・エネルギーの変換・保存則の理解
- ・炭酸水素ナトリウムの性質および化学反応式の理解

電気パンの予備実験の実施にあたっては、学生が自由に実験できるように材料・器具・工具等を準備し、3～4名の班で主体的・対話的な環境下で予備実験等に取り組ませた。以下の図2に、学生が作成した生徒実験用プリントの例を示す。

「電気パン」を作ろう ～化学的、物理的に考えよう～

目的

電極の入った牛乳パックにホットケーキミックスを流し込み、電極に電流を流すことで加熱する。すると、ホットケーキミックス中のベーキングパウダーによって、生地が膨張し、ホットケーキが焼ける。このホットケーキが焼ける仕組みを化学的、物理的に考えよう。

実験準備（1班分）

1000mL牛乳パック（高さ13cm）：1個、ホットケーキミックスの粉：150g、牛乳（牛乳がダメな人がある場合は水）：140cc、電源プラグ：1個、ワニ口クリップ付きコード：3本、ステンレス板（縦：13.5cm、横：6.8cm、厚さ：0.5mm、5mmのところで折り曲げた）：2枚、電流計：1台、温度計：1本、ボウル：1個、スプーン：1個、ストップウォッチ：1個、15cm定規：1個、マジックペン：1本

実験操作

- ① ステンレス板2枚とも折り曲げる。牛乳パックに2枚のステンレス板が向かい合うように、折り曲げられた部分をふちに引っ掛ける。
- ② ボウルにホットケーキミックスの粉150gと牛乳（水）140ccを加え、スプーンで混ぜ合わせる。それを牛乳パックの中に流し込む。
- ③ 片方のステンレス板と電流計の5Aの-端子（黒い方）をワニ口クリップ付きコードで挟んで繋ぐ。電流計の+端子（赤い方）と片方の電源プラグの導線部分をワニ口クリップ付きコードで挟んで繋ぐ。繋いでいない方のステンレス板と繋いでいない方の電源プラグの導線部分をワニ口クリップ付きコードで挟んで繋ぐ。右の図1のような回路になるようにする。
注意：金属導線部分が他の導線部分とくっつかないようにする。
- ④ ホットケーキミックスの中に温度計を入れる。
- ⑤ コンセントに電源プラグを挿し、回路に電流を流す。コンセントを差し込んだ時の時間を0分とし、1分ごとに電流計の値(A)と温度(℃)を計測する。【結果(1)】
注意：牛乳パックが高温になるので、触る時には気をつけること。
- ⑥ 電流計の値が0.1(A)以下になったら電源プラグを抜いて、電気を流すのを止める。

図1

結果

(1) 実験操作⑥より、下の表を埋めよ。

時間分	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
電流(A)																
温度(℃)																

(2) (1)の結果からグラフを描きなさい。時間と電流の関係は黒、時間と温度の関係は赤で示すこと。

考察

(1) なぜベーキングパウダーによって、ホットケーキは膨らむのか。化学式反応式から考えよう。

化学反応式：
理由：

(2) なぜ、ホットケーキミックスの粉と牛乳（水）を混ぜ合わせたものには電気が流れるが、ホットケーキが焼きあがると電流が流れなくなるのか。ちなみに、ホットケーキミックスの中には小麦粉、ドライイースト、食塩などが含まれている。

(3) 家庭用電源を100(V)として、実験時の最大消費電力(W)を計算しよう。また、電流と温度の関係を考察しよう。

名前 _____

図2 学生が作成した生徒用実験プリント

学生は、電気パン実験をどの学習内容の授業で活用するのかを設定し、実験目的や考察等を検討したうえで、授業時間内に実施可能な生徒実験を設計した。電気パンの予備実験は、班内だけでなく他の班とも実験結果や解釈を共有して意見交換しながらすすめられ、全学生が生徒用実験プリントを作成することができた。電気パン実験を題材にすることで、電気分野に苦手意識を持つ生命科学部の学生向けに、実験目的や考察の検討、教材の製作、生徒実験の設計、実験プリントの作成等の体験を通して予備実験の意義を体感させることができた。「理科教育法」における実践的な教材開発の授業において、電気パン実験の活用は有効であるといえる。

7. さいごに

現代は、実験方法等をインターネット等で気軽に調べることができる反面、表層的な情報しか掲載されていないために実際に実験する際には戸惑うことも多い。したがって、先人達の研究・実践によって蓄積された知見を整理して共有することは今後も重要である。本稿が、電気パン実験を行う理科教師に適切な情報を提供し、さらなる知見の積み重ねの一助となることを期待したい。

註及び参考文献

- 1) 食用粉はトウモロコシや脱脂大豆等であると、1964 年発行法政大学大原社会問題研究所編「日本労働年鑑特集版 太平洋戦争下の労働者状態」（東洋館出版社）に記載されている。
- 2) 2017 年 8 月現在。
- 3) 本文中の表 1 の中の文献を参考文献として示すときは、表 1 の通し番号を（）内に記載して示す。
- 4) 岩城正夫（1999）「シンポジウム『食の戦後史』・報告 I 『敗戦後の三種の神器－電気パン焼き器・タバコ巻き器・米つき器』」、『和光大学人間関係学部紀要』第 4 号，pp48-54
- 5) 永六輔（1997）「食糧難時代の『電気パン焼き器』」、『毎日新聞』1997 年 1 月 25 日，23 面
- 6) 岩城正夫「懐かしの電気パン焼き器－実演と試食－」
<http://www013.upp.so-net.ne.jp/tukutte-shaberu/010index.html>（最終アクセス 2018 年 1 月 9 日）
- 7) 「使用体験のある同僚の先生の手振りでだいたいのサイズと構造を再現しました」（表 1-9）と、杉原は『おもしろ実験・ものづくり完全マニュアル』に書いている。
- 8) 図 1 の大学入試センター試験の問題中のグラフでもニコブ型になっている。
- 9) いずれの文献も実験の原理について、電解質の存在による電気伝導性、通電によるジュール熱の発生、炭酸水素ナトリウムの熱分解による二酸化炭素の発生などを解説している。文献によってその内容や量に差はあるが、表 1 では以降の文献も実験の原理の説明と記載する。
- 10) 1988 年発行「いきいき物理わくわく実験」には電気パン実験が掲載されていたが、2002 年の改訂時には、安全性に配慮して削除したことが執筆者の運営する以下の Web ページに書かれている。
「ひろじの物理ブログ ミオくんとなんでも科学探究隊」
<https://ameblo.jp/hamgon1971/entry-11949524602.html>（最終アクセス 2018 年 1 月 9 日）
- 11) 製造メーカーは食品への使用を想定していないのでメーカーが安全保証しているわけではない。
- 12) グラファイトシートは業務用が主だが、インターネット上のデンシ電器店で 432 円で入手した。