

平成 28 年度 修士論文

放電現象を題材とした
科学的探究の基礎を養う授業の開発

京都教育大学大学院 教育学研究科

教科教育専攻 理科教育専修

向山 昌俊

指導教員：谷口 和成

指導教員：沖花 彰

目次

第1章	緒言	3
第2章	科学的探究のプロセスに関する調査	7
2.1.	調査問題の概要	7
2.2.	事前調査問題の実施	9
第3章	放電現象を題材とした授業の開発	11
3.1.	放電現象を探究する意義	11
3.2.	放電現象を題材とした授業実践例	13
3.3.	実験装置の製作	13
3.3.1.	佐藤の簡易放電実験装置の概要 ^[5]	13
3.3.2.	簡易放電実験装置の製作	15
3.4.	簡易放電実験装置を用いた予備実験	16
3.5.	簡易放電実験装置を用いた授業案	18
3.6.	まとめ	21
第4章	京都教育大学附属高等学校における実践	22
4.1.	実施概要	22
4.2.	授業の目的	22
4.3.	授業実践の方法	23
4.3.1.	授業実践の日時・対象	23
4.3.2.	授業実践の評価方法	23
4.4.	授業における生徒の反応	24
4.5.	実践成果および考察	27
4.5.1.	調査問題の事前事後分析	27
4.5.2.	授業の振り返りの分析	30
4.6.	まとめ	32
第5章	放電を題材とした探究活動の改善と提案	33
5.1.	授業案・ワークシートの改善・課題点	33

5.2.	教材の課題点と製作.....	34
5.2.1.	放電管・電極部の製作.....	34
5.2.2.	改良した管放電実験装置の実験	36
5.3.	まとめ	38
第 6 章	結言	40
参考文献		42
謝辞		43
付録		44

第1章 緒言

子どもたちが自然科学に対する探究心を高めたり、理解を深めたりするにあたり、理科教育における実験・観察は大変重要な役割を担う。国立青少年教育振興機構の「高校生の科学等に関する意識調査」^[1]によると「自分で実験をすること」に対して、72.9%が好意的な解答（とても好き：30.4%，まあ好き：42.5%）であった。しかしながら、教室や理科室を使った実験の経験に関する質問では、「よくした」、「時々した」と解答した生徒はそれぞれ12.8%，30.5%にとどまった。このことから、生徒は理科の授業において実験を求めているにもかかわらず、実験が満足に実施されていないことが示唆される。

また、同調査において、理科の自由研究（学校の授業以外に、自分で観察や実験を行い、結果をレポートや論文などにまとめる活動）の経験の有無についての質問で「ある」と答えた者の割合は日本が、米国、中国、韓国を含めた4カ国の中で最も高かった。しかし、理科の自由研究をした学年については図1-1に示すように、日本は、小学校では高い比率となっているが、中3で大きく下がり、高校に入ると自由研究をほとんどしなくなっている。その理由を尋ねる質問では、「興味がなかったから」と解答する生徒の割合が52.9%と非常に高くなっており、科学的に探究することに対する動機づけが低いことが示唆される。また、それに次いで「どうしてもいいか、わからなかったから」という解答が多く（26.6%）、自分で科学的な現象について探究する計画を立てたり、探究の方法を考えたりすることが難しいと感じていることがわかる。

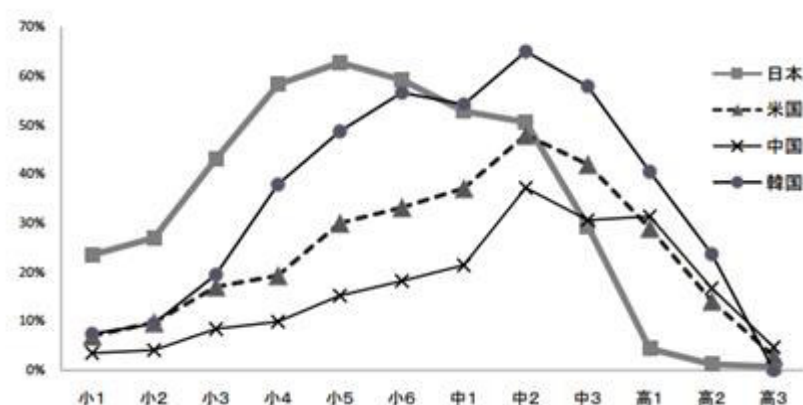


図 1-1 「理科の自由研究」をしたことがある学年（複数回答）

我が国の子どもたちが自由研究を含め科学的現象を探究する方法がわからないという現状は、諸調査においても明らかになっている。中学校第3学年を対象とした平成27年度全国学力・学習状況調査²において、実験結果を表したグラフや表を分析して解釈することは良好であるが、予想や仮説を設定し、検証する実験を計画する能力を問う設問の正答率が低く、実験を計画することに課題があることが示された。これは、理科の実験の授業の中で、実験前に仮説を立てたり、実験計画を立てたりする活動が少ないことが原因であると考えられる。その実態は、同調査の質問紙調査でも明らかになっている。学校質問紙調査において「自ら考えた仮説をもとに観察、実験の計画を立てさせる指導を行いましたか」という質問に対して、「よく行った」「どちらかといえば、行った」と答えた学校はそれぞれ16.1%、49.7%であった。これは、考察の指導に関する質問において「よく行った」「どちらかといえば、行った」が31.2%、59.9%と解答していることと比較すると、実験を計画する活動は少ないといえる。また、表1-1は「仮説や予想をもとに観察や実験の計画を立てる活動」について、「よく行った」「どちらかといえば、行った」と解答した学校の中の生徒の取り組み意識を表している。表1-1より、教師が実験計画を立てる活動を実施していると考えていても、生徒の約4割は計画を立てる活動をしたと認識していないことがわかる。これは、「観察や実験の結果を分析し解釈する活動」についても、同様の傾向があり（表1-2）、教師が実験の結果を分析し解釈する活動を実施していると考えていても、生徒の約3割は計画を立てる活動をしたと認識していないことがわかる。これらの結果から、中学校の理科の学習では、実験を計画する活動が少ないという現状、実験の計画する活動や実験結果を分析し解釈する活動において、教師の実施状況と生徒の取り組み意識との間に大きな差が生じているという現状が示された。

表 1-1 「観察や実験の計画を立てる活動」の学校の実施状況と生徒の取組意識

生徒の回答 学校の回答	生徒の回答			
	当てはまる	どちらかといえば、当てはまる	どちらかといえば、当てはまらない	当てはまらない
よく行った	21.5%	38.5%	30.1%	9.6%
どちらかといえば、行った	18.4%	36.6%	33.1%	11.5%

表 1-2 「観察や実験の結果を分析し解釈する活動」の学校の実施状況と生徒の取組意識

生徒の回答 学校の回答	当てはまる	どちらかといえ ば、当てはまる	どちらかといえ ば、当てはまら ない	当てはまらない
よく行った	31.8%	39.7%	21.0%	7.0%
どちらかといえば、行った	27.0%	39.05	24.4%	9.1%

一方、平成 21 年に「生きる力」の育成，基礎的・基本的な知識技能の獲得，思考力・判断力・表現力等の育成のバランスをとることをねらいとして，学習指導要領が改訂された。そして，自然を探究する能力や態度を育て，創造的な思考力を高める観点から，理科の新たな科目として「課題研究」が設定された。高等学校学習指導要領解説理科編^[3]において「理科課題研究」は「生徒自らが科学に関する課題を設定し，探究活動などで用いた探究の方法を活用して個人またはグループで研究を行わせ，科学的に探究する能力と態度を育てるとともに，創造的な思考力を養うことを意図した科目」，「高等学校理科で学習した基礎的・基本的な知識や技能を踏まえて，これらを活用して探究的な活動に取り組む科目」と記されている。したがって，課題について探究するためには，これまでの科学的な知識や実験の技能を活用するだけでなく，生徒自らが科学的プロセスを意識しながら，目的意識を持って実験を計画，実行し，実験データを解釈することが大切である。しかしながら，先にも述べたように，高校における実験活動が少ないこと，実験活動の中で仮説を設定し，実験を計画する経験が少ないことから，生徒自らが探究活動を行うのは困難であると考えられる。ゆえに，理科課題研究の授業では，初めから生徒に科学に関する課題を設定させて研究を行うのではなく，ある課題に対して目的意識を持って実験計画を立て，その実験を実行し，得られた実験データについて科学的に分析し解釈・推論するという一連の流れを経験することが必要であると考え。そこで，本研究ではこれらの背景をふまえ，①仮説を立てながら，それに基づいた実験を計画する力を養うこと，②得られた実験データを正しく評価し，多様な解釈をする力（考察力）を科学的探究の基礎的な能力と位置づけ，それを養うことを目的とし，科学的探究の基礎を養う授業を開発する。

その題材として，本研究では放電現象に注目した。放電とは，電界を加えることによって，気体中の原子・分子が電離し気体中に電流が流れる現象^[4]である。コンデンサーのように正

や負に帯電した物体が導線を通して電荷を失うことも放電という言葉を用いるが、本論文における放電は一貫して前者を指すこととする。放電が起こる電圧（火花電圧）は気体の種類や電極によって変わるが、ガス圧と電極間距離の2つに関係する。つまり、「ガス圧」と「電極間距離」を生徒自身が操作できる実験装置があれば、放電の起こりやすい条件を調べる実験を計画し、実行することが可能である。生徒が自ら実験を計画、実行し、得られた実験データについて解釈することで、科学的探究の方法を体験的に学ぶことが期待できる。このような放電の性質を利用した授業は、佐藤⁵⁾が京都教育大学附属京都中学校第2,3学年（40名）を対象に行っている。佐藤は「ガス圧」「電極間距離」を自分で設定できる生徒実験用の簡易放電実験装置を開発しており、その装置を用いた実験において生徒は放電の特性について実験的に理解し、さらに電子が粒子であることを認識した。

本研究では、佐藤の研究で用いられた簡易放電実験装置を参考に教材を製作し、高校生が科学的探究の方法を意識できるような授業展開で実践を行う。

第2章 科学的探究のプロセスに関する調査

2.1. 調査問題の概要

第1章において、日本の高校生は学校の授業以外での自由研究の経験が少なく、その要因のひとつとして「探究の方法が分からない」ことが挙げられることを述べた。その背景として、平成27年度全国学力・学習状況調査の質問紙調査において、中学校における実験活動で、仮説をもとに実験の計画を立てる活動が少ないことを示した。また、実験を計画する活動や実験結果を分析し解釈する活動において、教師の実施状況と生徒の取り組み意識との間に大きな差が生じているという現状を示した。

そこで本研究では、科学的探究における基礎的な能力と位置づけた「実験の計画を立てる能力」「実験データの解釈のしかた」の調査を行うため、図2-1に示すような調査問題を作成し、実施した。実際に用いた調査問題用紙は付録を参照する。

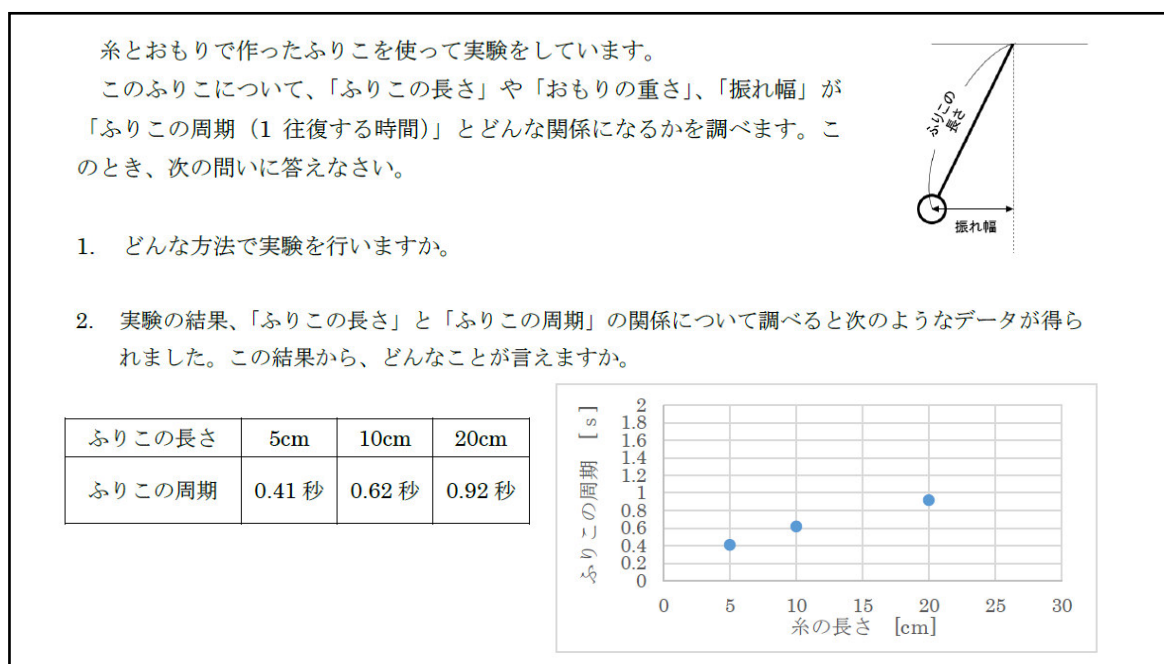


図 2-1 調査問題（問題部分のみを抜粋）

この調査問題は、振り子の規則性を題材として作成した。設問1は、「振り子の長さ」「おもりの重さ」、「振れ幅」の3つの変数と「振り子の周期」の関係性を見出す実験を計画する課題である。ここでは、変数が3つあることを認識し、それらを制御することを意識しながら実験計画を立てる能力について調査する。調査結果は、A～C群に分類し、A群はさらにA1群とA2群に分類する（表2-1）。それぞれの分類基準は、A群を「1つの統制群をつく

り、それに対して対照実験の計画が立てられている生徒」、B 群を「変数を設定し、すべての組み合わせを列挙するような総当たり実験を計画した生徒」、C 群を「変数を制御した実験計画の記述が見られない生徒」とする。さらに、A 群については、A1 群と A2 群に分け、A1 群は「3 つの変数すべてについて制御した実験計画を立てられている生徒」、A2 群は「制御した変数が 1 つないしは 2 つだけの生徒」とした。B 群の総当たり実験は、対照実験を計画しているとみなすことができるが、厳密に実験データを評価することができる反面、評価すべきパターンが非常に多くなってしまう。ここでは、「長さ」「重さ」「振れ幅」の諸条件と「ふりこの周期」の関係性を調べる実験なので、統制群をつくり、そのうちの条件を 1 つずつ変える実験方法で十分である。したがって、ここでは総当たり実験を計画した生徒は A 群とは別の B 群として分類している。この基準をもとに、設問 1 では実験の計画を立てる能力を評価する。

設問 2 では「ふりこの長さ」と「ふりこの周期」の関係について得られたデータの解釈のしかたを問う課題である。この課題では、ふりこの長さを 5, 10, 20cm に設定して実験したときのふりこの周期の実験データを表とグラフにまとめて提示しており、グラフの見方によっては、この 3 点は正の一次関数にも、指数関数にも見えるようになっている。ここで、得られた実験データから、結論を断定してしまうと、この現象に対して誤った解釈をしてしまう可能性がある。したがって、実験データから「ふりこの長さ」と「周期」の関係性について傾向を読み取りつつ、それは結論ではなく、推測に過ぎないことを考慮する必要がある。このように、実験データから傾向を分析し、かつそれを結論として断定せず、多様な解釈ができることを考慮する力を本研究では「考察力」と定義し、設問 2 では「実験データに対する考察力」を問う。そこで、設問 2 では、表 2-2 に示すように、記述 A～C の視点で評価を行う。記述 A は「糸が長いほど、周期は長くなるが、もっと糸を長くしたデータがないとわからない」や「この実験の範囲では、糸が長くなるにつれて、周期も大きくなる」のように、ふりこの長さとの関係性は読み取れるが、下線部に示すような結論として断言はできないことに言及したものである。また、記述 B は、「もっと細かく、また多く測定を出さないと関係がつかめない」のように、関係性の不確かさは言及しているが、傾向は読み取れていないものである。記述 C は、実験結果について結論を断定している記述である。

なお、「ふりこの長さ」と「ふりこの周期」の定量的な関係性は、高等学校「物理」の「単振動」で初めて扱うため、この設問において知識で答えることはきわめて少ないと考えられる。

表 2-1 設問 1 の分類基準

	分類基準
A1 群	3 つの変数すべてについて制御した実験計画の記述が見られる。
A2 群	1 つ，ないしは 2 つの変数について制御した実験計画の記述が見られる。
B 群	総当たり実験を計画した記述が見られる。
C 群	変数を制御した実験計画の記述が見られない。

表 2-2 設問 2 において評価する記述

	記述内容
記述 A	「長さ」と「周期」の関係性は読み取れるが，結論として断定できない。
記述 B	実験データが少なく，結論として断定できない。
記述 C	結論として断定している。

2.2. 事前調査問題の実施

作成した調査問題を，2016 年 9 月 13 日に京都教育大学附属高校第 1 学年 156 名を対象に実施した。以下，設問 1，2 の調査結果について記述する。

① 設問 1 の結果

設問 1 (変数制御を意識した実験計画) の結果を図 2-2 に示す。図 2-2 からわかるように，調査対象の生徒のうち，A 群は 90%弱を占めており，多くの生徒が変数制御の考え方を持っていることが分かる。しかし，3 つの変数すべてを制御した実験計画を立てることに絞ると，全体の 70%に満たない。また，B 群に属する生徒のうち，2 つの変数が制御できている者のほとんどは，振れ幅と周期の関係性を調べる実験が記述されていなかった。与えられた変数すべてを認識できない，あるいは変数と値の関係性があることを前提として実験計画を立てる生徒が一定数いる。このことから，条件制御の考え方を持っているにもかかわらず，それが実験計画として有効に使えていない生徒も一定数いることが確認できた。C 群に含まれる生徒の回答はいくつかあるが，「ふりこの長さや重さを変えていったら関係性がわかる」や「いろいろなパターンを調べて関係性を見つける」など，実験方法に関しての記述が

あいまいで、具体的な実験計画を立てることができていないものが多かった。

はじめに条件制御の能力を育成することに重点が置かれるのは、小学校第 5 学年であるが、高等学校第 1 学年において、条件制御を意識した実験を完全に立てることができる生徒は 7 割に満たない実態が明らかになった。このことから、理科の課題研究を行うにあたり、生徒が自ら実験を計画し、実行する経験が必要であるといえる。

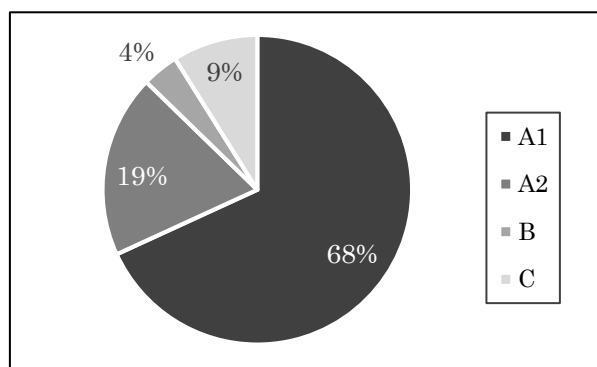


図 2-2 設問 1 における生徒の実態 (N=156)

② 設問 2 の結果

設問 2 (実験データの解釈) の結果、156 名のうち、記述 A に分類される生徒は 4 名、記述 B に分類される生徒は 5 名であり、その他の多くの生徒は、「長さと周期は比例の関係である」のように、少ないデータから、結論を断定していることがわかった。このことから、提示された実験データが少ないにもかかわらず、そこから 2 数の関係性を結論付ける傾向が強いことが明らかになった。

以上の調査問題の結果から、対象とした集団の特徴として

- ・ 大半の生徒が、変数制御の考え方をもち、それに基づいた実験を考えることはできるが、与えられた変数すべてを認識できない、あるいは変数と値の関係性があることを前提として実験計画を立てる生徒が一定数いる。
 - ・ 少ない実験データから、結論を断定する生徒が非常に多い
- ということがわかった。そこで、科学的探究の基礎を養うために、生徒が自ら実験計画を立て、得られた実験結果に対して考察する活動を行い、その活動を省察する授業実践を行うこととした。

第3章 放電現象を題材とした授業の開発

本章では、放電現象を題材とした授業を行うため放電現象について探究する意義について述べた後、先行研究を参考に製作した簡易放電実験装置の概要および予備実験の結果を示す。

3.1. 放電現象を探究する意義

放電は、雷やドアノブに手を近づけると火花が飛ぶ現象など、日常生活の中で遭遇することがあり、蛍光灯などの照明器具やアーク溶接など産業的にも放電の原理は応用されている。さらに放電という現象を詳しく見ると、気体中の原子・分子が、強い電界によって加速された電子により衝突電離を起こしプラズマが生成される。放電によるプラズマはその反応性の高さからドライエッチングや金属や高分子材料の表面改質などに応用される。

放電について、生徒は中学校理科および高等学校物理で学習する。中学校学習指導要領^[6]によると、放電については「第1分野 (3) 電流とその利用 ア 電流 (エ) 静電気と電流」において取り扱われる。具体的には、高電圧発生装置（誘導コイルなど）の放電やクルックス管などの真空放電の観察から電子の存在を理解させ、電子の流れが電流であることについて理解させる。また、高等学校学習指導要領^[3]では「物理 (4) 原子 ア 電子と光 (ア) 電子」で取り扱われている。具体的には、クルックス管を用いた実験を演示して、電子の発見に関する歴史的な実験にも触れながら電子の電荷と質量について理解させる。ここからわかるように、放電は電子の存在に着目する手段として取り扱われることが多い。しかし、放電現象そのものに着目し、探究していくような実験や授業はまれである。

放電において、ガス圧を p 、電極間距離を d とすると、一定のガスと電極状態のもとでは、放電開始に必要な電圧（火花電圧） V_s は pd 積のみの関数で表すことができる（パッシェンの法則）^[4]。図 3-1 に示すように、 pd 積はある一定の値で火花電圧 V_s が最小値をとり、それを境に 2 つの領域に分けることができる。図 3-1 に示す①の領域では pd 積が小さくなるにしたがって V_s が大きくなる。これは pd 積が極端に小さいと、電子が気体粒子に衝突し電離を起こす確率が極めて小さくなるためである。②の領域では、 pd 積が大きくなるにしたがって V_s が大きくなる。これは、衝突が多すぎて電子が十分なエネルギーを持つまで加速されないためである。これはつまり、 pd 積がある一定の値で放電が最も起こりやすく、それより大きすぎても小さすぎても放電は起こりにくくなるということである。

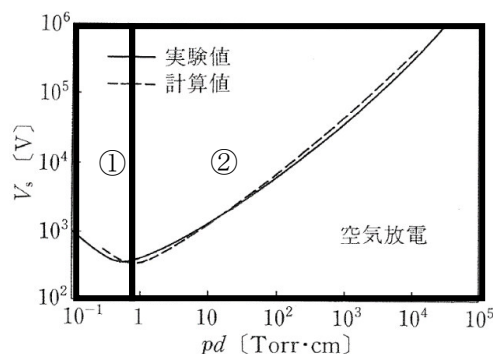


図 3-1 空気放電における V_s と pd 積の関係

ただし，図 3-1 からわかるように火花電圧が最小値をとるのは， pd 積が 1 Torr・cm 程度であり，①の領域のような現象は，電極を数 cm の間隔で実験する場合，1 Torr 以下の非常に低いガス圧にしなければ観測することは出来ない。ゆえに，ロータリーポンプのような高真空を保てるような真空ポンプを用いない限り，②の領域の現象「ガス圧が低く，電極間距離が短いほど放電は起こりやすい」と結論づけることとなる。本実践では，図 3-1 の②の領域の実験を生徒が行い結論を出した後，①の領域の演示実験を指導者が行うことで，生徒の結論と反する現象を導入する。この活動によって，生徒が実験結果，結論に対して他の可能性を見出すことになり，実験データの解釈の幅を広げることにつながると期待できる。

ここから，放電現象を探究実験の教材として用いる意義は以下の 2 点が挙げられる。

- I. 火花電圧に関わる変数が 2 つ存在することから，条件制御や条件設定のしかたを意識した実験計画を立てることを目的とした授業を展開することができる。
- II. 出した結論（ガス圧が低く，電極間距離が短いほど放電は起こりやすい）を否定する現象の導入によって，得られた実験結果に対して解釈のしかたを広げることが目的とした授業を展開することができる。

このことから，放電現象を探究活動の教材として取り入れることで，前章で述べた生徒が抱える課題を解消することが期待できる。

3.2. 放電現象を題材とした授業実践例

中学校の理科，高等学校の物理の授業において放電を題材とした実験は行われているが，前節でも述べたとおり，放電は電子の存在に着目する手段として用いられることが多く，放電現象を探究するような実践は少ない。放電現象を題材とした学校での探究的活動はいくつか行われている^{[7][8]}が，本研究では佐藤^[5]の授業を参考に授業実践を行った。佐藤は研究において，「ガス圧」「電極間距離」を自分で設定できる簡易放電実験装置を開発している。その実験装置を使った中学生を対象とした授業実践において，生徒が自ら「放電管内の空気が少ないほど，あるいは電極間距離が短いほど放電が起こりやすい」という結論を導き出すことができた。また，どうしてそうなるのかを指導者がアニメーションを用いて説明することで，生徒は放電のしくみについて理解するとともに，電子が粒子であることを認識した。しかし，実験では条件が重複しないように，指導者があらかじめ実験条件を1班あたり2点ずつ指示する展開で行っていたため，2回とも放電が起こらない可能性があり，生徒のモチベーションを下げるかもしれない点，順番を待っている時間に何もすることがない点が反省点として挙げられていた。これらは，生徒自身が実験条件を設定し，得られた実験データを考察することを実験の試行と同時間に行うことで緩和することができると考えられる。そこで，本研究においては，佐藤の開発した簡易放電実験装置を参考にさらに改良を加え，放電を題材とした探究的な実験の授業を提案する。

3.3. 実験装置の製作

3.3.1. 佐藤の簡易放電実験装置の概要^[5]

実験装置の製作にあたり，まず佐藤が製作した簡易放電実験装置の概要を，①放電管部，②電極部，③排気部に分けて紹介する。

① 放電管部

放電管部は，外径 21mm，内径 17mm，長さ 200mm のアクリルパイプが主管として，外径 10mm，内径 7mm，長さ 50mm のアクリルパイプが側管として図 3-2，図 3-3 のように接合されている。主管は側管が接合できるよう，側管の外径と同じ大きさの穴があけられ，その接合部は真空用接着剤（Torr Seal）で接着されている。側管は主管の端から 30mm の位置に取り付けられている。



図 3-2 放電管部（写真）

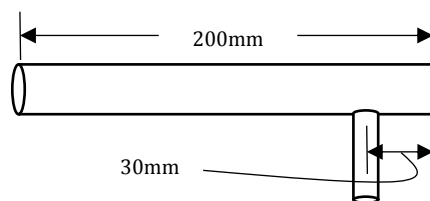


図 3-3 放電管部（概略図）

② 電極部

電極部は、図 3-4、図 3-5 のようにステンレス製の電極と、電極の固定および放電管内のガス圧保持のためのシリコン栓によって構成されている。

電極は、図 3-5 のようにステンレスパイプの一端がステンレス釘によってふたをされ、もう一端は円形のステンレス板が、L 字型に加工された長方形のステンレス板と溶接されてきている。ステンレスパイプとステンレス釘の間は Torr Seal によって空気の入りがないように接着されている。

シリコン栓は東京硝子器械の IMG シリコン・ライト栓が使用されている。このシリコン栓は形を容易に変えることができ、アクリルパイプの内径より大きいサイズでも押し込むことが可能である。



図 3-4 電極部（写真）

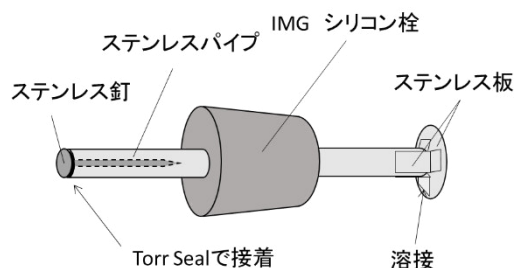


図 3-5 電極部（概略図）

③ 排気部

排気部の概略図を図 3-6、図 3-7 に示す。排気部はシリンジを引くことによって放電管内のガスを排気するが、その際に排気部に付属する 2 つの空気の逆流防止弁が重要な役割をする。図 3-7 に示すように、シリコンチューブの一端に逆流防止弁が接続されており、もう一端はシリンジの吸入口と接続されている。この構造により、シリンジを引くことで放電管部の空気を抜くことが出来る。もうひとつの逆流防止弁は、シリンジと直接接続されており、シリンジを押すことで排気した空気を外に出す役割を果たしている。なお、逆止弁は

Torr Seal によりシリンジにあけた穴に固定されている。この構造から、シリンジのピストンを出し入れすることにより、放電管内の空気を抜くことができる。

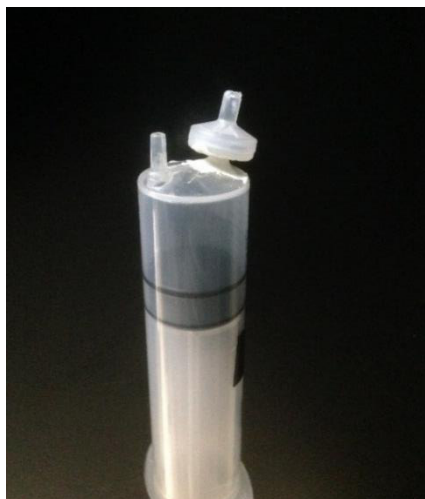


図 3-6 排気部（写真）

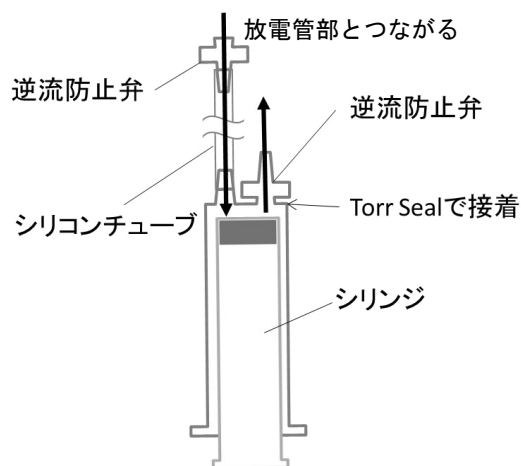


図 3-7 排気部（概略図）

ただし、この放電実験装置では、真空用の特殊な接着剤（Torr Seal）を用いている。教育現場で利用するためには、できる限り特殊な材料を用いずに教材を作成することが求められる。また、接着された放電管部の副管や排気部の逆流防止弁は、生徒実験や持ち運びの際に破損しやすい。さらには、接着部への衝撃や経年劣化により放電管内の圧力を維持できなくなることもある。

このような課題点を踏まえて、学校現場でより製作しやすい教材を目指して製作した実験装置について紹介する。

3.3.2. 簡易放電実験装置の製作

本項では、佐藤が製作した簡易放電実験装置を参考に、特に破損しやすい排気部に改良を加えた簡易放電管について説明する。

排気部で用いた材料を表 2-2 に示す。また、本研究で用いた排気部の写真を図 3-8 に示す。排気部の構造は、表 2-2 の材料を図 3-8 に示すようにつなぎ合わせたものである。図 3-8 に示す逆流防止弁は、写真の矢印の方向のみ空気が流れるようになっている。そのため、シリンジのピストンを引くことで左側の逆流防止弁のみ空気が流れて放電管内の空気を排気し、ピストンを押すことによって右側の逆流防止弁のみがはたらき、シリンジ内の

空気が排気される。これにより、接着剤を使用していないため破損しにくく、製作しやすい簡易放電実験装置を製作することができた。

表 3-1 排気部の材料

材料	規格	個数
① シリンジ	30ml 用	1
② 逆流防止弁	適合チューブ内径 5mm	2
③ T 型チューブコネクタ	最大外径 6mm	1
④ シリコンチューブ	内径 5mm, 外径 9mm, 長さ 50mm	2
⑤ シリコンチューブ	内径 4mm, 外径 28mm, 長さ 50mm	1
⑥ シリコンチューブ	内径 8mm, 外径 12mm, 長さ 30mm	1

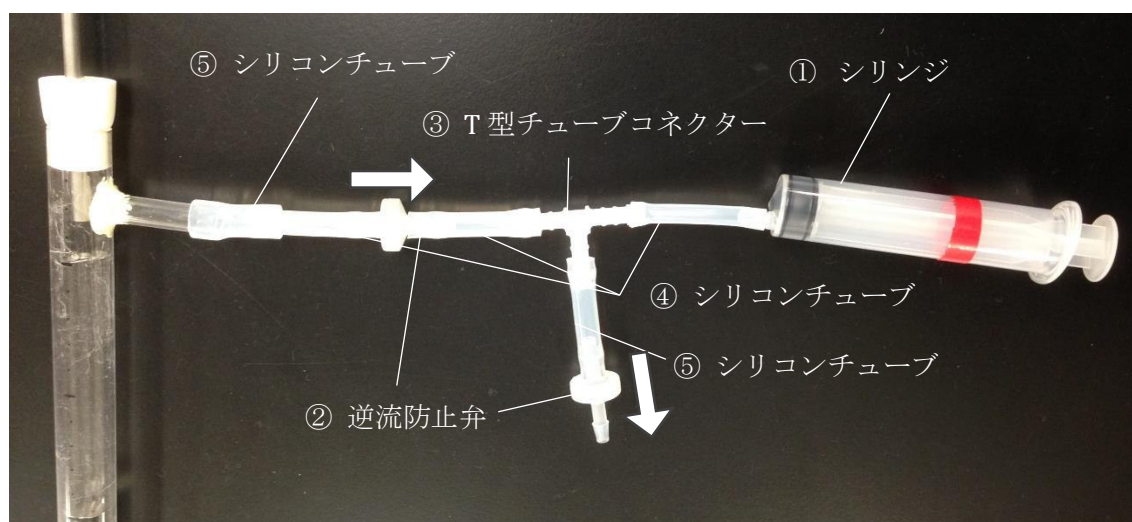


図 3-8 改良した排気部

改良した簡易放電実験装置を用いた実験によって、シリンジを引く回数および電極間距離が、放電の起こりやすさと関係していることが分かることが、授業実践において重要である。そこで、改良した簡易放電実験装置を用いた予備実験を行い、放電が起こる条件を調査した。以下、実験方法および実験条件を示す。なお、放電を起こすための高圧電源装置は、本研究室が所有する放電管用高圧電源装置（ウチダ）を使用し、その出力電圧は DC 約 20000V である。

・実験方法

1. 簡易放電実験装置のシリンジを引く回数と電極間距離を実験の条件に設定する。
シリンジを引く際は、図 3-9 に示す 2 つの矢印の箇所が一致するところまで引く。
2. 簡易放電実験装置の 2 つの電極に放電管用高圧電源装置をつなぎ、電圧をかける。
3. ○：放電の火花が観察された、△：途切れながら放電が起きた、×：放電しなかった、の基準で評価する。

表 3-2 実験条件

シリンジを引く回数 [回]	0 ～ 10 回
電極間距離 [cm]	2 ～ 10 cm (1cm 間隔)

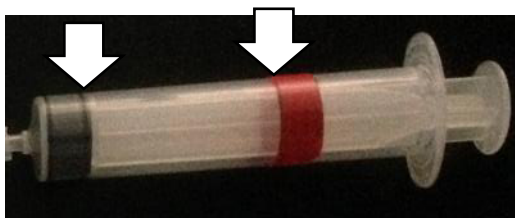


図 3-9 排気部のシリンジ

表 3-3 予備実験の結果

		電極間距離 [cm]								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
シリンジを引く回数 [回]	0	○	△	×	×	×	×	×	×	×
	1	○	○	△	×	×	×	×	×	×
	2	○	○	○	△	×	×	×	×	×
	3	○	○	○	△	△	×	×	×	×
	4	○	○	○	○	△	△	×	×	×
	5	○	○	○	○	○	△	△	×	×
	6	○	○	○	○	○	○	△	×	×
	7	○	○	○	○	○	○	○	△	×
	8	○	○	○	○	○	○	○	△	△
	9	○	○	○	○	○	○	○	○	△
	10	○	○	○	○	○	○	○	○	△

表 3-3 は、予備実験の結果である。表 3-3 から、シリンジを引く回数が多いほど放電しやすく、電極間距離が短いほど放電しやすくなることがわかった。

以上のことから、この教材を用いて放電現象を題材とした、授業を行うことが可能であることがわかった。

3.5. 簡易放電実験装置を用いた授業案

製作した簡易放電実験装置を用いて、科学的探究の基礎を養うため、課題研究の三次構成の授業案を作成した。ここでは、授業展開の特徴について述べた後、大まかな授業の流れを示す。本節で示す授業案は「計画」と「データ解釈」の 2 つが大きなテーマであり、それぞれについて特徴的な授業展開となっている。

「計画」に関しては、2 つの特徴がある。第一に、実験回数が限定されている点である。本実践における実験の変数は 2 つ（放電管内の気圧と電極距離）あるため、放電のしやすさにかかわる条件を調べるためには、最低 3 回の実験（①：基準となる実験条件，②：①の条件から気圧のみを変えた実験，③：電極間距離のみを変えた実験）が必要である。そのため、本実践では 3 回の実験を生徒に許可し、その回数の中でどのような実験計画を考えて実行したのかを評価することとする。第二に、3 回の実験を終え、全体共有したのち、さらにもう 1 回実験条件を変えて実験を計画し、試行できる点である。3 か所の実験では、図 3-10 (a) に示すように、ある条件の関係性がはっきりしない可能性がある。そこで、もう一度実験の機会を得ることで、関係性を見出す実験を行うことが可能になり、自分たちの実験を振り返りながら、調べたい条件を吟味することになる。また、図 3-10 (b) に示すように 1 回目の実験で結論が出せた場合でも、あと 1 か所の実験を計画することは、何か新たな目的を考えながら実験を計画することになる。つまり、この活動は目的意識をもって実験を考えることをより強化する位置づけとなりうる。これらの 2 回の実験計画を立てる活動により、目的意識を持って、課題研究に取り組む姿勢を養うことが期待できる。

また、「データ解釈」に関する特徴は、実験で出した結論が否定される現象が導入される点である。具体的には、簡易放電実験装置を用いた実験において、放電が起こりやすくなる条件は「放電管内の気圧を低くすること」「電極間距離を短くすること」であることが生徒実験の結論として導かれる。しかし、ロータリーポンプを用いて放電管部を数十 Pa 程度にまで下げると、電極が短い方が放電しづらくなる現象が見られる。この現象を演示することにより、実験で得られたデータは実験の範囲内での結果であり、その範囲外で適用する際は

仮説として進めていくことになる。この価値観を持つことが、科学的現象についてより広い視点を持って解釈することにつながることから、本実践ではこの活動を取り入れる。

		電極の距離[cm]								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
引く回数	0									
	1		×							
	2									
	3									
	4		○			○				
	5									

		電極の距離[cm]								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
引く回数	0									
	1		×							
	2									
	3									
	4		○						×	
	5									

図 3-10 実験の試行例

(a) 引く回数による関係性が見えにくい (b) 2 変数とも関係性が見出せる

<授業の大まかな流れ>

第一次（目的意識を持った実験の計画・実行）

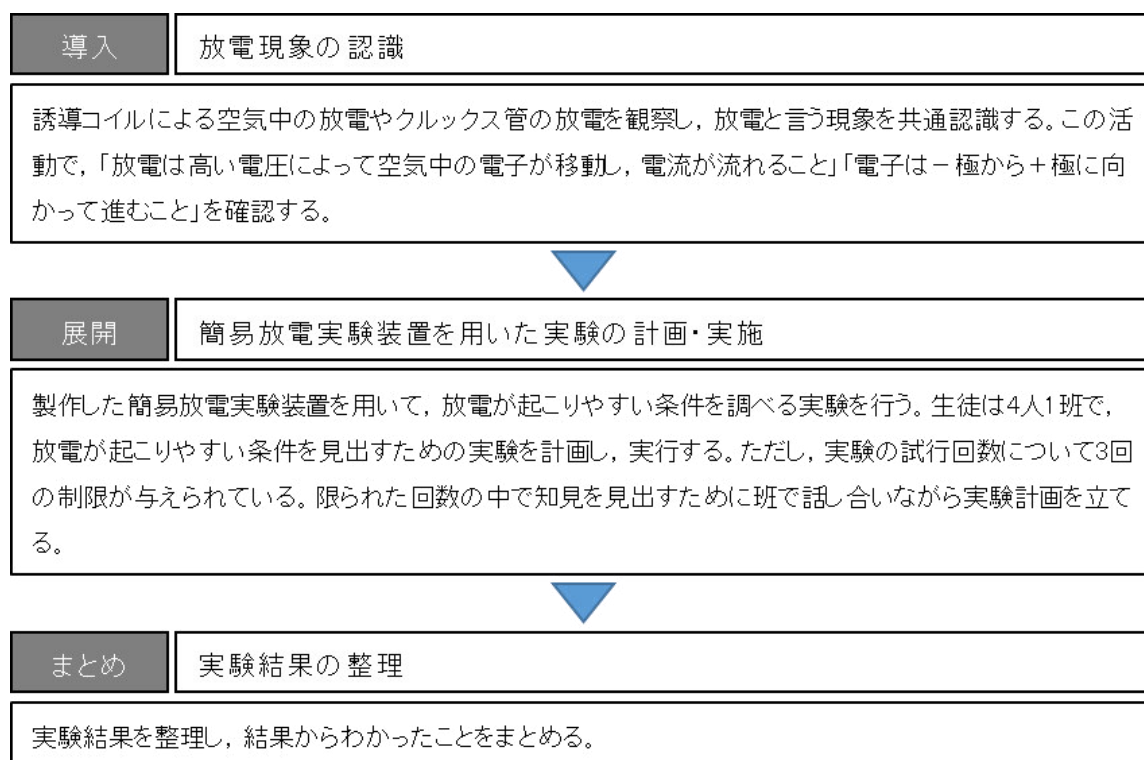


図 3-11 第一次の授業展開

第二次（実験結果の全体共有と追加実験）

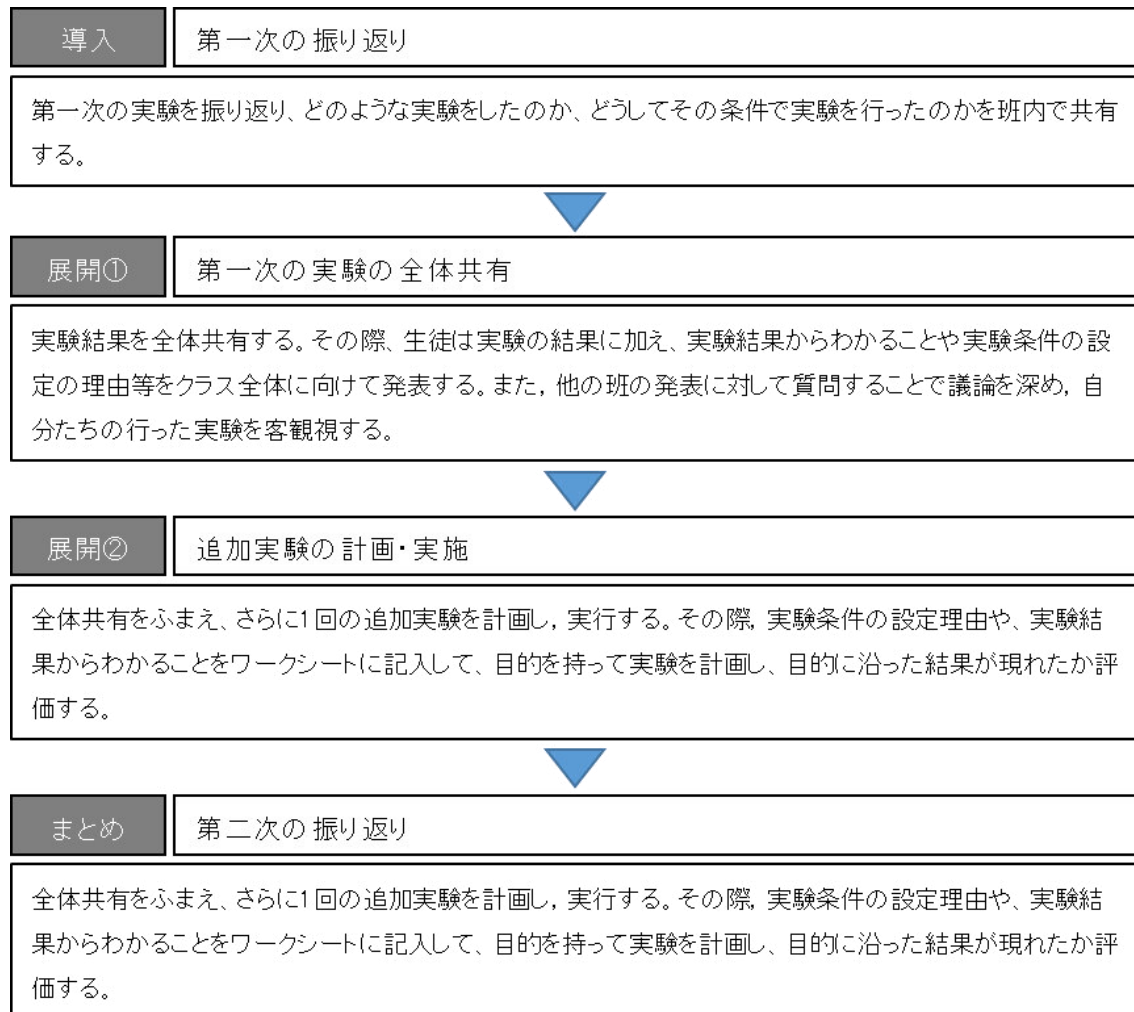


図 3-12 第二次の授業展開

第三次（追加実験の全体共有と結論が否定される現象の導入）

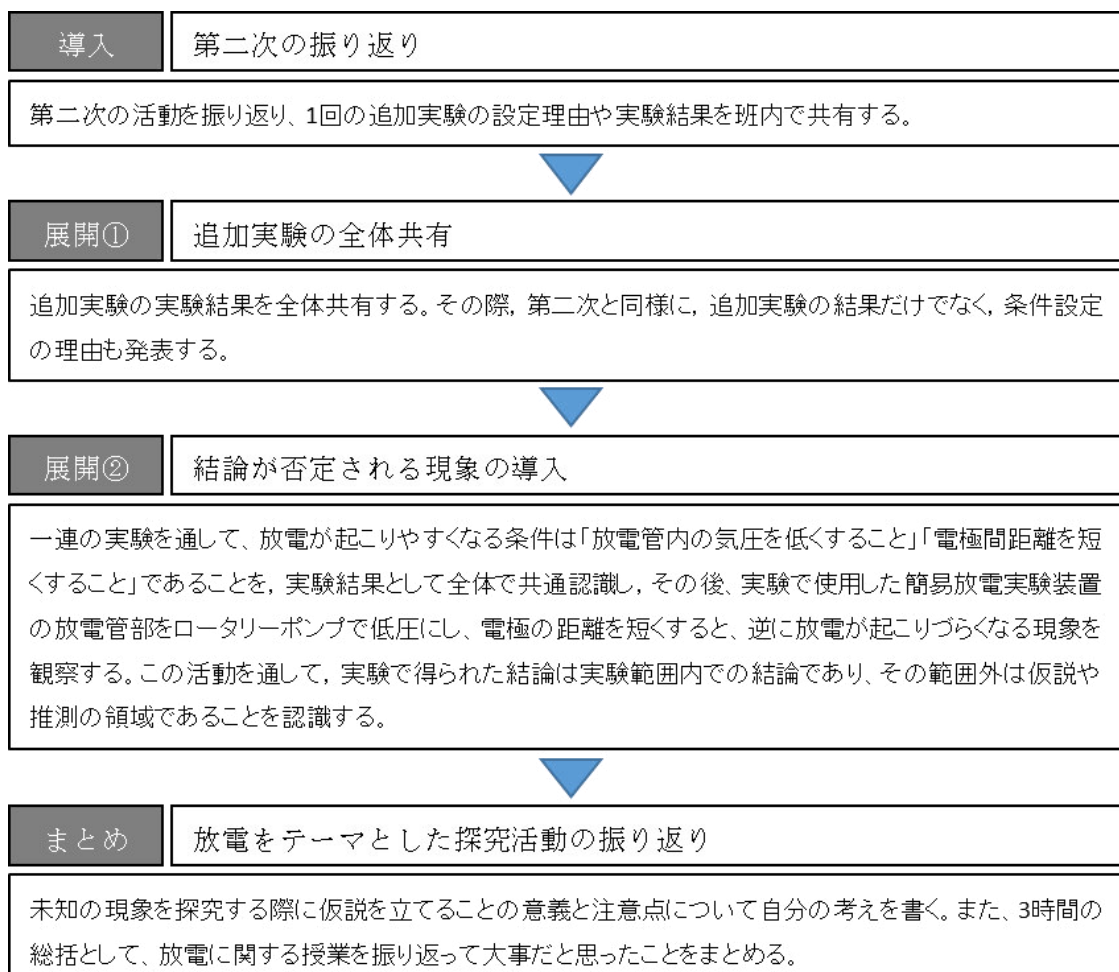


図 3-13 第三次の授業展開

3.6. まとめ

本章では、まず初めに放電現象を題材とした授業を調査した。その結果、放電を題材とした授業は、電子の存在を確認するために行われていることが多く、放電現象そのものの探究を行う授業はほとんどないことがわかった。

そこで、佐藤による先行研究を参考にして、排気部に改良を加えた簡易放電実験装置の作成を行った。その結果、接着剤を用いずに排気部を製作できたため、壊れにくく、製作も簡単な教材作成ができた。その作成した簡易放電管を用いて予備実験を行った結果、シリンジを引く回数および電極間距離が、放電の起こりやすさと関係していることが示すことができた。そして、この簡易放電実験装置を活用した授業案を作成した。

第4章 京都教育大学附属高等学校における実践

4.1. 実施概要

第1章でも述べたとおり、高校における実験活動が少ないこと、中学校における実験活動の中で、予想や仮説をもとに実験を計画する経験が少ないことから、課題研究等の活動において生徒自らが探究活動を行うことは困難であると考えられる。また、第2章で述べた京都教育大学附属高等学校（以下、附属高校）第1学年を対象に行った調査問題から、変数を制御した実験計画を立てることはできるが、すべての変数に着目できておらず、また、得られた少ない実験データから、結論を断定する生徒が多いことがわかった。そこで、附属高校第1学年を対象に、探究のプロセスを意識した授業を開発し、その実践を行った。附属高校は文部科学省よりスーパーサイエンスハイスクール（SSH）の指定を受けており、その取り組みの1つとして、第1学年の授業科目に学校設定科目「ベーシックサイエンス」を設置している。この科目では、身近に存在する科学的現象についての探究や様々な計測機器の原理や使い方の学習の中で、科学的に探究する能力を養う。さらに、大学や附属小・中学校と連携した活動も行われており、より発展的に思考する能力や科学的かつ平易に表現する能力の向上も期待される。

本研究では、科目「ベーシックサイエンス」において9月から10月にかけて放電をテーマとして授業実践を行った。具体的には、第3章で述べた気圧と電極間距離が可変の簡易放電実験装置を用いて、4人1班単位で、シリンジを引く回数や電極の距離を変えながら、放電が起こりやすい条件を調べる課題である。その活動の中で、生徒が自ら実験を計画・実行する能力を身につけること、実験データの解釈の幅を広げることを目指す。さらに、班討論や全体発表を通じて、実験データについて客観的な視点での考察を促す。

4.2. 授業の目的

本研究における授業の目的は以下の2つである。

- ① 放電管内の「気圧」と「電極間距離」の2つの変数が存在する実験において、探究活動の見通しを持つために、目的意識を持った実験を計画する力を身につける
- ② 実験データを正しく評価するために、得られた実験データに対して多様な解釈ができることを認識する。

4.3. 授業実践の方法

4.3.1. 授業実践の日時・対象

第2章にて述べた簡易放電管①を用いて、平成28年9～10月にかけて京都教育大学附属高等学校1年1組(41名)、2組(40名)、4組(40名)、5組(40名)を対象に、科目「ベーシックサイエンス」にて授業実践を行った。本実践の授業者とベーシックサイエンスの担当教員は同一であり、1、5組は執筆者(向山)、2、4組は附属高校勤務の古川豊教諭により授業が行われた。授業時間は、授業案では3時間を予定しており、5組は予定通り進めることができたが、1、2、4組は『第二次の【展開①】』において議論に要した時間が予定より長くなり、「第二次の【展開②】の実験と【まとめ】」が3時間目の導入部へシフトし、「第三次の【展開②】以降」が、次時の20分にシフトした。したがって、5組は50分×3コマ、1、2、4組は50分×3コマ+20分の実践となった。校時は1組、2組、4組、5組の順にそれぞれ第5、6、7、4校時である。

表 4-1 各クラスの校時と授業者

組	1組	2組	4組	5組
校時	第5校時	第6校時	第7校時	第4校時
授業者	向山	古川	古川	向山

表 4-2 授業実践の日程

	5組	1, 2, 4組
9月20日	第一次の活動	第一次の活動
10月4日	第二次の活動	第二次【導入】【展開①】
10月11日	第三次の活動	第二次【展開②】【まとめ】 第三次【展開①】
10月25日		第三次【展開②】【まとめ】

4.3.2. 授業実践の評価方法

本研究では、実践した授業を評価するために「調査問題の事前事後分析」「授業の振り返りの分析」「授業記録、ワークシートの分析」を行った。「調査問題の事前事後分析」では、授業後に第3章で示した調査問題を行い、授業前の調査と比較することで、授業による生徒の変容を見る。また、「授業の振り返りの分析」では、ワークシート④(付録)の質問「3

時間の授業を通して大事だと思ったことは何ですか。」に対する生徒の自由記述について、テキストマイニングの手法を導入し、階層的クラスター分析を行うことで、授業実践による生徒の課題探究に対する意識を明らかにする⁹⁾。さらに、振り返りの記述の分析と授業中の生徒の反応との関連を「授業記録やワークシートの分析」によって明らかにする。

4.4. 授業における生徒の反応

・第一次（目的意識を持った授業の計画）

第一次の主なる活動は、実験条件を 3 つ決めて放電が起こりやすい条件を調べる実験を計画し、実行することである。生徒が行った実験は、表 4-3 に示すように、大きく 3 つのパターンに分けられた。パターン A は、「放電管内の気圧」と「電極間距離」の条件を決めて 1 回実験を行い、残りの 2 回は、2 つの変数についてそれぞれ対照実験を行っている実験である。パターン B は、1 つの変数のみに着目し、もう一方の条件を変える実験である。パターン C は、基準とする実験条件から、変数を 2 つとも変えた試行が存在する実験である。4 クラス計 40 班の実験パターンの内訳は表 4-3 の括弧に示すとおりであった。このことから、2 つの変数に着目できている班は多いが、そうでない班も見られた。ただし、パターン B の実験の中には最低 3 点取らないと傾向は見ることができないということから、意識的にパターン B で実験している生徒も存在している。同じ実験のしかたでも、生徒によって認識が違ふ場合があることは留意しておく必要がある。

表 4-3 生徒の実験パターン

パターン A	変数について 2 つとも調べる実験	(29 班)
パターン B	1 つの変数のみ調べる実験	(9 班)
パターン C	変数制御できていない試行が存在する実験	(2 班)

実験の様子では、1 回目は、「おー」や「すごい」などの感嘆の声が多かったが、2 回目、3 回目の実験では、「やっぱり」や「これは放電しないでほしい」など、放電が起こるかどうかを予想して実験している様子が見られた。このことから、3 回という限られた回数で行うことによって、明確な目的をもって実験を行うことができる様子が確認できた。また、放電の色が明るいや、放電の線が太いなど、放電の様子を観察している様子も見られた。ただし、「放電の起こりやすさ」と「放電の形態」は別物としてとらえることは留意しておく必要がある。

第二次（実験結果の全体共有と追加実験）

第二次では、第一次で行った実験の結果および計画をクラス全体で共有する。その討論の様子を表 4-4 に示す。表 4-4 は、3 つの実験条件を決めて実験を行い、その実験結果と実験方法について 5 組の 7 班と 3 班が討論をしている場面であり、図 4-1 は 7 班と 3 班の実験結果を表している。なお、便宜上 [○回、○cm] は [シリンジを引いた回数、電極間距離] を表すこととする。

表 4-4 実験計画のしかたにおいて変容が見られた発話事例

発話者	発話事例
T	どういう意図でこの 3 つにしたん？
A	一番まんべんなく散らばっている
T	あー、なるほど。この 5cm を取るときにまんべんなく散らばろうと思ったら、ここ[0 回, 5cm]と、ここ[5 回, 5cm]と、ここ[10 回, 5cm]にした。と言ったはりますがなんか質問とかある？ ＜中略＞
T	じゃあ、なんで 5cm って決めたん？
A	2～10(cm)の間の中で、とりあえず何も影響がわからんから、とりあえず間とろうかなと思った
T	あー、なるほど・・・ ＜中略＞
T	3 班さん何か質問とかない？
B	自分たちの班は 0 を取ったんじゃないくて、0 から 4 の平均の 2 を取ったんですけど、それはどうですか？ アドバイスな。
T	アドバイスでもいいよ。 自分たちは 5cm を取ったのは確かなんですけど、そこから 0 と 10 じゃなくて、0 から 4 の平均を取って 2 と、6
B	から 10 の平均を取って 8 をやりました。 ＜中略＞
T	何でこんな実験をしたん？
B	まず(実験の様子が)分からないんで 5(cm)をとったのは確かで、そこからとりあえず 0(回)から 4(回)の平均とかを取っていきました。
T	なるほど、7 班さん今の意見を聞いてどうですか。

A	うーん、確かに平均を取る方法もありやと思うけど、僕らはあまり 1 点に集中すると、その間だけの傾向しかつかめないと思うんで、決められた回数の中で一番散らばるように 0 と 10 にした方が全体としての傾向はつかめるとあって 0 と 10 にしました。
---	---

T は授業者、A、B は生徒、() は発言の補助を表す

		電極の距離[cm]								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
引く回数 「回」	0				×					
	1									
	2									
	3									
	4									
	5				○					
	6									
	7									
	8									
	9									
	10				○					

		電極の距離[cm]									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	
引く回数 「回」	0										
	1										
	2				×						
	3										
	4										
	5				○						
	6										
	7										
	8				○						
	9										
	10										

図 4-1 7 班と 3 班の実験結果

この表○では、2 つの班が、自分たちの実験の方法について説明を行っている。図○と図○より、3 班と 7 班は、調べたい変数は同じだが、実験の方法が少し異なる。7 班は、広い範囲に取っており、3 班は狭い範囲で実験を行っていることがわかる。

表○の発問を見てみると、生徒 A は初めの説明で、一番散らばるように点を取ったという説明だけを行っており、なぜその点を取ったのかという説明は行っていない。

その説明を受けて、生徒 B が「平均を取って・・・」という発言を行っており、かつ図○のように、7 班の結果よりも、狭い範囲で実験を行っていることがわかる。その説明をうけた生徒 A は、「0 と 10 にした方が全体としての傾向がつかめる・・・」といったように、自分がなぜそのような実験を行ったのか、理解し始めているような発言を行っている様子が見られた。

つまり、生徒 A は、初めは、自分たちの行った実験の理由があいまいな認識だったが、他者の意見を聞いたことで、自分の考えと比較し、その実験を行った理由を、再認識できるように変化している可能性があることがわかる。

一方、ワークシートを確認すると、生徒 A の意見を聞いた生徒 B が、反省点として、「ちりばめた方が考えやすい」といった記述をしていることから、生徒 B は、生徒 A の意見を参考に、自分たちの実験の欠点を認識し、A の意見に賛同するように変容していることがわかった。

第三次（追加実験の全体共有と結論と異なる）

得られた実験データに対する考察力に変容が見られた場面は、第三次の展開②の活動であった。ここでは、簡易放電実験装置の放電管部にロータリーポンプを接続し、数十 Pa という低ガス圧下では、電極が短すぎると放電が起こらなくなるという現象が見られた。この、演示により、生徒は自分たちの実験から出した「結論」とは異なる現象が導入され、自分たちの実験は「結論」ではなく、「仮説」に過ぎなかった。少ない実験で結論を決めつけてはいけないと考えるようになっていた。

4.5. 実践成果および考察

4.5.1. 調査問題の事前事後分析

授業実践後に実施した調査問題を図 4-2 に示す。調査問題は、第 3 章で示したのと同じものである。設問 1 は、実験の計画を立てる能力の調査、設問 2 は実験データの解釈のしかたの調査を目的とした設問である。ここでは、2016 年 9 月 13 日に実施した事前調査と比較し、それぞれの設問について生徒の変容を調査することで、本実践の評価を行う。なお、調査は 2016 年 10 月 25 日に実施しており、5 組は授業冒頭で、1, 2, 4 組は第三次【展開②】【まとめ】を行った後、調査を実施した。また、事前事後分析では、事前事後両調査を受けた生徒のうち、全 3 次の授業を受けた生徒、計 150 名を対象に評価を行った。

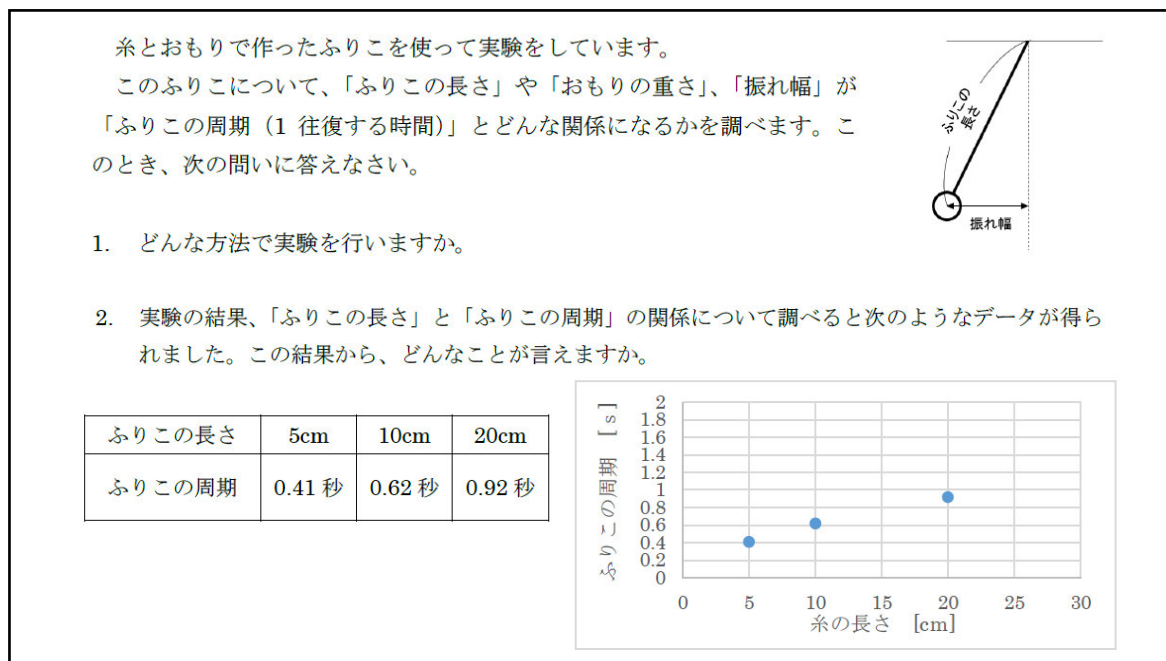


図 4-2 調査問題（問題部分のみを抜粋）

① 設問 1 の事前事後分析

設問 1 は、「ふりこの長さ」「おもりの重さ」、「振れ幅」の 3 つの変数と「ふりこの周期」の関係性を見出す実験を計画する課題である。この課題について表 4-5 に示す基準で分類した。その割合について事前事後の比較を図 4-3 に示す。

表 4-5 設問 1 の分類基準

	分類基準
A1 群	3 つの変数すべてについて制御した実験計画の記述が見られる。
A2 群	1 つ, ないしは 2 つの変数について制御した実験計画の記述が見られる。
B 群	総当たり実験を計画した記述が見られる。
C 群	変数を制御した実験計画の記述が見られない。

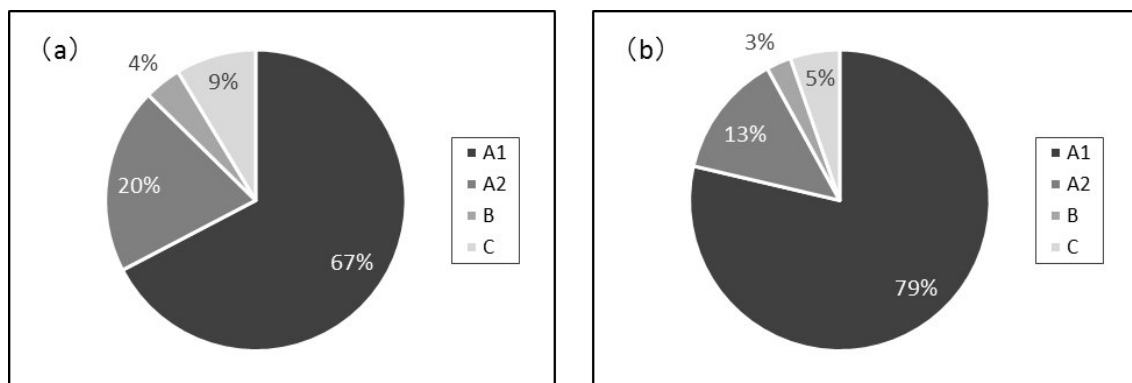


図 4-3 設問 1 の事前事後調査結果 (a) 事前調査, (b) 事後調査 (N=150)

表 4-6 設問 1 の事前事後調査結果のクロス集計

全体		前				
		A1	A2	B	C	計
後	A1	92	17	2	7	118
	A2	5	11	2	2	20
	B	2	0	1	1	4
	C	2	2	1	3	8
	計	101	30	6	13	150

図 4-3 より、授業の実践前後で、A2 群、B 群、C 群が減少（20%→13%）し、A1 群が増加（67%→79%）している。このことから、全体として実験における変数とそれに対応する値を認識して実験計画を立てる能力が向上したことがわかる。表 4-6 から、A2 群から A1 群に変容する生徒（30 名中 17 名）が多いことから、変数を正しく認識し、実験計画を立てることができることがわかる。また、C 群 13 名のうち、7 名が A1 群に変容していることから、実験計画について具体的に立てられなかった生徒が、変数制御を意識した実験計画を立てることができるようになったことがわかる。しかし、A1 群から A2 群、B 群、C 群に変容した生徒も数名いる。A1 群から A2 群に変容した生徒の回答のひとつには、実践した授業のように、2 変数についての表を作成して実験を計画するものがあった。このことから、本実践によって、3 つの変数について制御した実験計画を立てづらくなる可能性もあることが明らかになった。

② 設問 2 の事前事後比較

設問 2 は「ふりこの長さ」と「ふりこの周期」の関係について、得られたデータの解釈のしかたを問う課題である。ここではデータの解釈のしかたについて、表 4-7 に示す記述 A、B の内容を記述した生徒数の変化を調べた。その結果を図 4-4 に示す。

表 4-7 設問 2 において評価する記述

	記述内容
記述 A	「長さ」と「周期」の関係性は読み取れるが、結論として断定できない。
記述 B	実験データが少なく、結論として断定できない。
記述 C	結論として断定している。

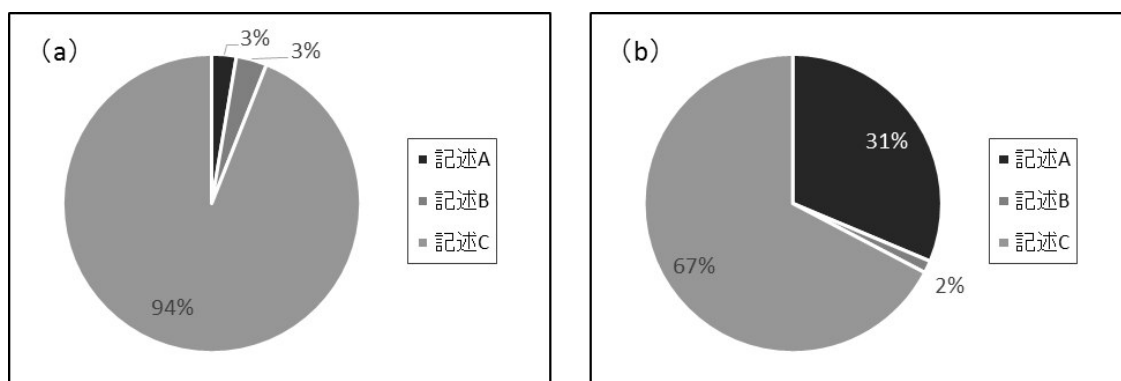


図 4-4 設問 2 の事前事後調査結果 (a) 事前調査, (b) 事後調査 (N=150)

図 4-4 より、得られた実験データから、ふりこの長さや周期の関係性を明確にしつつ、それが結論であると断定しない（記述 A）生徒の人数が大幅に増加（3%→31%）している。このことから、この授業によって、生徒が実験データから読み取れる傾向は真実ではなく、推測であるという価値観を持つことができたといえる。しかし、依然として 67%の生徒は結論を断定していることから、継続的にはたらしかける必要があると考えられる。

4.5.2. 授業の振り返りの分析

ワークシート④の質問「3 時間の授業を通して大事だと思ったことは何ですか。」の自由記述の分析をした。分析にはテキストマイニングの手法を導入し、階層的クラスター分析（方法：Ward 法、距離：Jaccard）を行うことで、生徒が授業において大事だと思ったことを探った。分析の手順は、生徒がワークシートに書いた自由記述について、誤字の推敲を行った後、副詞、助詞を除く単語に区切り、クラスター分析を行った。さらに、質問内容から各クラスターに共通する単語は消去して分析を行った（消去例：大事、大切、思う）。クラスター数は語彙の広がりから 5 つが適当と判断し、単語の最小出現数を 18 回としてクラスター分析を行った。

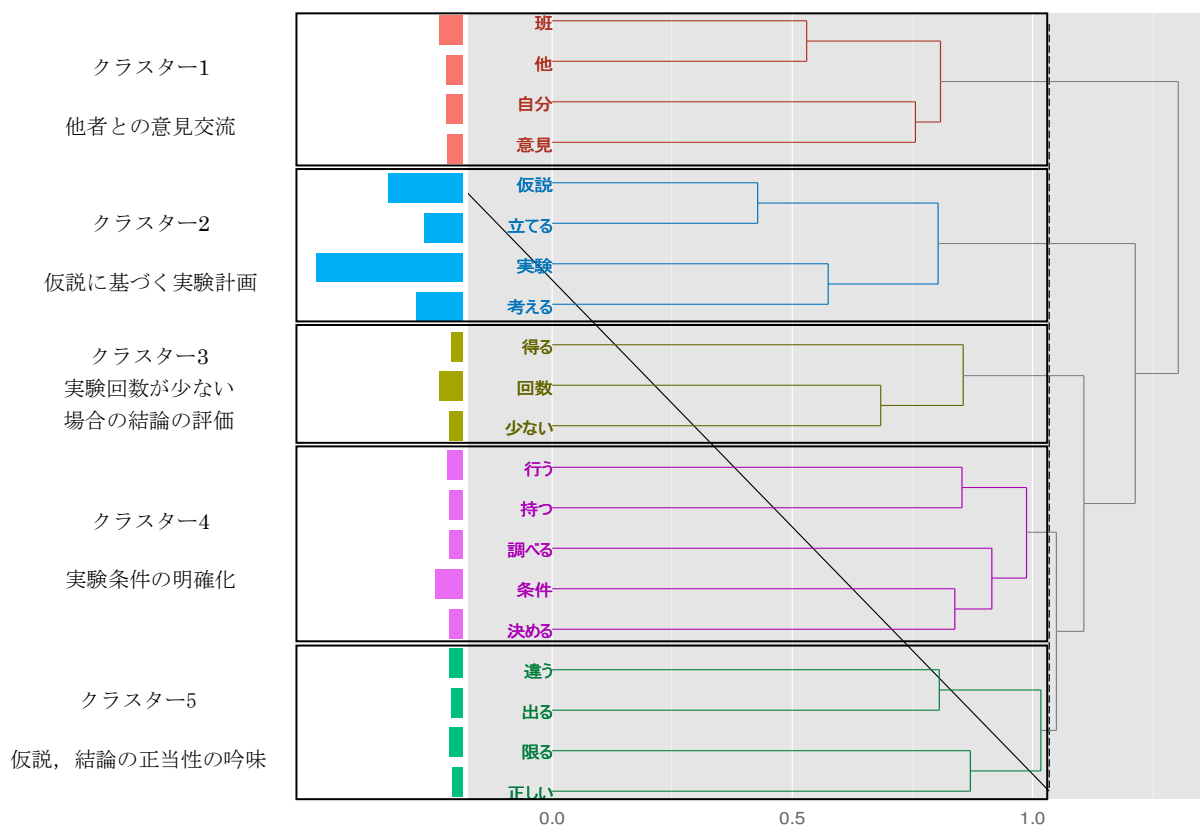


図 4-5 授業の振り返りについてのクラスター分析と記述内容

3 時間を総括した振り返りの記述のクラスター分析の結果を図 4-5 に示す。クラスター1 に出現している単語は「意見」「自分」「班」「他」であった。実際の記述には「自分たちの班の結果だけでなく他の班と自分たちの班を比較することによって、よい部分が分かったりよくない部分が分かったりすると思うので、他人の班を聞くことは大切だと思う」が確認された。ここから、探究活動を行う上で、自分の意見だけでなく、他の人や班の意見を出しあうことに意義を見出していたことが分かった。クラスター2 に出現している単語は「仮説」「立てる」「実験」「考える」であった。実際の記述にはここから、探究活動では、仮説を立ててから、実験の方針を考えることが大事だと認識していることが分かった。この解釈と関連する記述例として「実験をする前に予想・仮説を立て、計画的に実験することが大切だと思った」が確認された。クラスター3 は「得る」「回数」「少ない」であった。ここから、少ない実験回数で結論を得ることやその結論の評価のしかたについて重要性を見出していることが分かった。この解釈と関連する記述例として「仮説を立て実験をすることで少ない回数でも実験をできることができる。しかし、少ない実験では、わかりきれないことがあると思いました。」が確認された。クラスター4 は「行う」「持つ」「調べる」「条件」「決める」であった。ここから、調べたい条件を決めて実験を行うことが大事だと感じていることがわかった。「何を調べたいのかを明確にして、それを調べるために実験方法を決めること」が確認された。クラスター5 は「違う」「出る」「限る」「正しい」であった。ここから、探究活動において、立てた仮説や出した結論の正当性を吟味することが大事だと認識していることがわかった。この解釈と関連する記述例として「仮説と全く違う問題も出てくる。仮説が結果から正しいと考えられることでも正しいとは限らない。」が確認された。

これらの解釈および実際の記述例から、この授業を通して大事だと思ったことは「他者との意見交流」「仮説に基づく実験計画」「実験回数が少ない場合の結論の評価」「実験条件の明確化」「仮説・結論の正当性の吟味」であったと言える。これより、生徒は探究活動では、「仮説を立て、実験条件を明確にしてから実験計画を立てること」や「得られた実験結果をもとに出した結論の正当性について考察すること」が大事で、その際に「他者との意見交流」を行うことも重要だと感じていることが考察でき、本実践の目的が達成されていることが分かった。

4.6. まとめ

本章では、開発した科学的探究の基礎を養う授業を、附属高校第1学年を対象に行い、その実践の方法と成果について述べた。成果については、授業実践前後の生徒の変容を知るため「調査問題の事前事後分析」を行った。また、生徒が探究活動において大事だと思ったことを「授業の振り返り」から分析した。「調査問題の事前事後分析」において、設問1では、実験の変数をすべて認識し、それらを制御した実験計画を立てられるようになった生徒の割合が増えていることから、目的を持った実験計画を立てる力が身についたことが明らかになった。設問2では、ふりこの長さと言周期の関係性を明確にしつつ、それが結論であると断定しない生徒の割合が増加していることから、得られた実験データに対する考察力が向上したことが明らかになった。また、「授業の振り返りの分析」を行った結果、「仮説を立て、実験条件を明確にしてから実験計画を立てること」や「得られた実験結果をもとに出した結論の正当性について考察すること」が大事で、その際に「他者との意見交流」を行うことも重要だと感じていることがわかった。これらのことから、本研究で行った授業実践によって、子どもたちが科学的探究のプロセスに基づいて実験を行う能力が向上したと言える。

第5章 放電を題材とした探究活動の改善と提案

本研究における実践で、生徒は目的意識を持って実験の計画を立てる能力および、得られた実験データに対する考察力に変容が見られた。しかしながら、変容が見られなかった生徒や、逆に下がってしまった生徒も見られる。また、5組は予定していた3時間で授業を進めることができたが、1, 2, 4組は時間超過している。したがって、本実践で行った授業展開やワークシートの改善が必要であると考えられる。また、簡易放電実験装置の放電管部や電極部が破損することがいくつかあり、第三次【展開②】の放電管をロータリーポンプで低圧状態にする演示実験において、「電極間距離が短過ぎると放電が起こりにくくなる」現象を演示できなかった例があった。生徒実験で再現性を取るためにも教材の改良は必要である。そこで、本章では「授業案・ワークシートの改善」および「教材の改善」について述べる。

5.1. 授業案・ワークシートの改善・課題点

① 第一次（目的意識を持った実験の計画・実行）

第一次で用いたワークシート②（付録）の振り返りの記述について、改善点を示す。実践で用いたワークシートの記述欄は、実験データからわかることとその根拠についてしか聞いておらず、第一次の目的である実験計画に関する振り返りが無い。したがって、図○において下線を引いた(2)の質問を「どうしてそのような実験を行いましたか」に変更する必要がある。

(1) 班の実験結果からわかることは何ですか。

(2) どうして(1)のようなことが言えますか。



(2) どうしてそのような実験を行いましたか。

② 第二次（実験結果の全体共有と追加実験）

本実践では、本節①で提案した(2)の質問を、第二次の冒頭で行ったが、第一次から2週間が空いて忘れていたことから、時間を多く割いた。それにより、本実践ではその後の活動が数分ずつ後退した。したがって、第二次では、導入の振り返りの時間を短くすることで、時間を調整する必要がある。

③第三次（追加実験の全体共有と結論が否定される現象の導入）

第三次ではワークシート④の記入欄について検討する必要がある。Q()では、探究活動における仮説の「意義」と「注意点」に関する認識を問う。しかし、欄が一つしかなくスペースも狭いため、意義と注意点のどちらかしか書かない生徒が確認された。したがって、意義と注意点を分けて問うワークシートにする必要がある。

また、ロータリーポンプのような特殊な装置が学校現場においてあることはまれである。また、仮にあったとしてもロータリーポンプを操作することに、専門の知識や技能が必要になる。したがって、この活動は導入することは難しいと思われる。したがって、この活動に代わって、「気圧が低いほど放電しやすい」「電極間距離が短いほど放電しやすい」ことを絵を使って説明する活動を取り入れるなど、出した結論に対して科学的な根拠や論理的な説明をする活動を行うことができると考えられる。

5.2. 教材の課題点と製作

本実践で用いた簡易放電実験装置は、排気部以外は真空用接着剤を使っているおり、授業実践中に衝撃によって、接着部分が取れてしまうという問題があった。したがって、接着剤不使用の、耐久性のある簡易放電実験装置の製作を行う必要がある。そこで、放電管・電極部にも改良を加えた。

5.2.1. 放電管・電極部の製作

放電管・電極部で用いた材料を表 4-8 に示す。また、放電管・電極部の写真を図 4-6 に示す。電極は 2 種類あり、ひとつはシリコン栓に鉄釘をさしただけの電極、もうひとつは排気口を兼ねた電極である。ここでは便宜上、前者の電極を電極Ⅰ、後者を電極Ⅱとする。

表 4-8 放電管・電極部の材料

材料	規格	個数
① アクリルパイプ	外径 32mm, 内径 29mm, 長さ 150mm	1
② 鉄釘	太さ 5mm, 長さ 150mm	1
③ ステンレスパイプ	内径 3.5mm, 外径 6mm, 長さ 100mm	1
④ IMG シリコン・ライト栓	上径 35mm, 下径 28mm, 高さ 35mm	2
⑤ ステンレス板	厚さ 0.1mm (5mm×15mm の長方形に加工)	3
⑥ ステンレス板	厚さ 0.3mm (直径 17mm の円形に加工)	1



図 4-6 放電管・電極部

・電極Ⅰの製作

1. シリコン栓の中央にコルクポーターで 4mm 程度の穴をあける。
2. 鉄釘を，図 4-6 のように釘の先がシリコン栓の半径が小さい側に出るようにさす。

・電極Ⅱの製作

1. シリコン栓の中央にコルクポーターで 4mm 程度の穴をあける。
2. 図 4-7 のように，ステンレスパイプに長方形のステンレス板を 3 枚溶接する。このとき，長方形のステンレス板は，図 4-8 のように 5mm，10mm の L 字型に曲げておき，3mm 程度ずらして溶接する。これは，電極が排気口も担っており，空気を排出するスペースをあけるためである。



図 4-7 ステンレス板の溶接

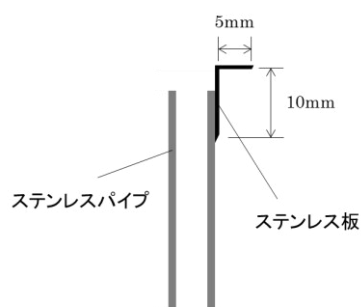


図 4-8 L 字型加工したステンレス板

3. さらに，図 4-9 のように円形のステンレス板を溶接する。

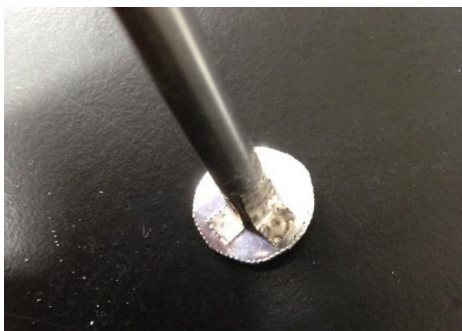


図 4-9 円形ステンレス板の溶接

4. 2，3 で製作した電極を 1 のシリコン栓にさして完成。

放電管、電極部に改良を加えることで、Torr Seal を用いることなく、簡易放電実験装置を製作することが出来た。これにより、教材製作の手間を省くことができるとともに、装置が破損するリスクも少なくすることができた。また、この装置は、接着剤を使用していないため、装置の分解、組立が非常に容易である。それにより、図 4-10 のように非常にコンパクトにすることができ、持ち運びもしやすくなった。なお、図 4-10 のケースの寸法は、100mm×180mm×高さ 40mm である。



図 4-10 分解した簡易放電実験装置

5.2.2. 改良した管放電実験装置の実験

この新しく開発した教材が、3 章で述べた簡易放電管装置と同じように、シリンジを引く回数および電極間距離が、放電の起こりやすさと関係していることが分かるのかを調べるため、実験を行い、放電が起こる条件を調査した。

実験方法

1. 簡易放電実験装置のシリンジを引く回数と電極間距離を実験の条件に設定する。
シリンジを引く際は、図○に示す 2 つの矢印の箇所が一致するところまで引いた。
2. 簡易放電実験装置の 2 つの電極に放電管用高圧電源装置をつなぎ、電圧をかける。
3. ○：放電の火花が観察された、△：途切れながら放電が起きた、×：放電しなかった、の基準で評価する。

表 4-9 実験条件

シリンジを引く回数	0 ～ 10 回
電極間距離	1 ～ 9 cm (1cm 間隔)

表 4-9 に、予備実験の結果を示す。表 4-9 から、3 章で述べた放電管と同じく、シリンジ

を引く回数が多いほど放電しやすく、電極間距離が短いほど放電しやすくなることがわかった。

以上のことから、この教材を用いて放電現象を題材とした、授業を行うことが可能であることがわかった。

表 4-10 改良した放電管の実験結果

		電極間距離 [cm]								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
引く回数 [回]	0	○	△	×	×	×	×	×	×	×
	1	○	○	△	×	×	×	×	×	×
	2	○	○	○	△	×	×	×	×	×
	3	○	○	○	○	△	△	×	×	×
	4	○	○	○	○	○	△	△	×	×
	5	○	○	○	○	○	○	△	△	×
	6	○	○	○	○	○	○	○	△	×
	7	○	○	○	○	○	○	○	△	×
	8	○	○	○	○	○	○	○	△	△
	9	○	○	○	○	○	○	○	○	△
	10	○	○	○	○	○	○	○	○	△

次に、接着剤を用いずに作成した本教材について、①シリンジによって、真空管内を真空状態に近づけることができるのか ②真空度が維持されるのか 以上 2 つを調べるため、真空計を用いて、シリンジを引く回数と放電管内の気圧の関係の実験を行った。

図 4-10 に示すように、製作した簡易放電実験装置に真空計を接続し、放電管内の気圧とその経時変化 (0~30s) を測定した。真空計は大気圧を基準とし、それより低い圧力を圧力差として測定する差圧計を用いた。実験条件は、シリンジを引く回数を 0~10 回とし、実験結果は絶対圧ではなく、差圧計で読み取った値を記入する。また、計測値は 5 回の測定の平均値である。



図 4-11 簡易放電実験装置と真空計

表 4-11 シリンジを引く回数と放電管内の気圧の関係

引く回数	0s	10s	30s
1	−0.0206	−0.0202	−0.0193
2	−0.0353	−0.0348	−0.0337
3	−0.0473	−0.0466	−0.0455
4	−0.0560	−0.0555	−0.0543
5	−0.0633	−0.0627	−0.0614
6	−0.0692	−0.0685	−0.0673
7	−0.0735	−0.0729	−0.0715
8	−0.0761	−0.0756	−0.0745
9	−0.0791	−0.0787	−0.0777
10	−0.0816	−0.0810	−0.0796

単位：メガパスカル[MPa]

表 4-11 より、引く回数を増やすことによって気圧を下げるができることが確認できるとともに、低圧状態の維持も可能であることが確認できた。

5.3. まとめ

本章では、授業案、ワークシートの改善、課題点とさらなる教材の改良について述べた。

授業案については、

また、実践で用いた簡易放電実験装置が実践中に破損することがあったことから、さらに装置に改良を加えた。その結果、装置の接合部に接着剤を使用する必要がなくなり、破損のリスクが軽減されるとともに、分解・組立が容易であるため、持ち運びの際にも便利になった。また、製作した簡易放電実験装置の予備実験において、放電が起こる条件について明ら

かにすることができた。また、シリンジを引くことによる放電管内の気圧の減少、および放電管内の気圧の維持についても明らかにすることができた。以上のことから、製作した簡易放電実験装置を本研究の実験教材として用いることが可能であることがわかった。

第6章 結言

高校生の科学等に関する意識調査や平成 27 年度全国学力・学習状況調査より、高校における実験活動が少ないこと、中学校における実験活動の中で、予想や仮説をもとに実験を計画する経験が少ないことが示されている。そのため、子どもたちが探究活動において、目的意識を持って実験を計画・実行し、実験データを正しく評価することは困難であると考えられる。一方、高等学校では、平成 21 年の高等学校学習指導要領改訂を受け、理科の新たな科目として「課題研究」が設定された。中学校までの理科の取り組みを考慮すると、理科課題研究の授業では、初めから生徒に科学に関する課題を設定させて研究を行うのではなく、ある課題に対して目的意識を持って実験計画を立て、その実験を実行し、得られた実験データについて科学的に分析し解釈・推論するという一連の流れを経験することが必要であるとする。そこで、本研究では、生徒が「仮説に基づき目的意識を持った実験計画を立てる力」「得られた実験データについて正しく評価し、多様な解釈をする力」を身につけることを目的に授業の開発、実践を行った。

授業の実践にあたり、附属高校第 1 学年を対象に「目的意識を持って実験を計画する力」「得られた実験データに対する考察力」を問う調査問題を作成した。その調査において、大半の生徒が、変数制御の考え方をもち、それに基づいた実験を考えることはできるが、与えられた変数すべてを認識できない、あるいは変数と値の関係性があることを前提として実験計画を立てる生徒が一定数いることが明らかになった。また、少ない実験データから、結論を断定する生徒が非常に多いことも明らかになった。

そこで、本研究では、放電現象を題材とした科学的探究の基礎を養う授業を開発した。放電現象の特徴として、火花電圧 V_s （火花放電が起こる電圧）がガス圧 p と電極間距離 d の 2 つの変数が関係していること、またそれらが正の相関の領域と負の相関の領域の両方が存在することが挙げられる。したがって、放電を題材に探究活動を行うことで、「変数制御や条件設定のしかたを意識した実験計画を立てること」「出した結論（ガス圧が低く、電極間距離が短いほど放電は起こりやすい）を否定する現象の導入によって、得られた実験結果に対して解釈のしかたを広げること」を目的とした授業を展開することができる。そして、放電を題材とした探究的実験を行うため、佐藤の研究を参考に放電管内の気圧と電極間距離を実験者が操作できる簡易放電実験装置を製作した。その際、学校現場への導入を目指し、真空用接着剤等の特別な材料はできる限り使用しないことを意識し、接続部は管とチューブによる接続にした。その結果、最終的に真空用接着剤を用いることがなくなり、教材製作

の手間を省くことができるとともに、装置が破損するリスクも少なくすることができた。また、装置の分解、組立が非常に容易であり、持ち運びもしやすくなった。

製作した簡易放電実験装置を用いた附属高校第1学年を対象に行った授業実践では、「目的意識を持った実験を計画する力を身につけること」「得られた実験データに対して多様な解釈ができることを認識すること」を目的とした。3回という決められた実験回数で実験を行うことで、1つ1つの実験が貴重になり、予想したり仮説を立てながら実験を行っている様子が見られ、1回の追加実験において、さらに明確に目的意識を持って実験を計画する様子が見られた。また、実験から導いた結論とは異なる現象が導入されたことにより、多くの生徒が得られた実験データを結論として断定せず、推論や仮説であると認識していることがワークシートから明らかになった。その結果「調査問題の事前事後分析」において、設問1では、実験の変数をすべて認識し、それらを制御した実験計画を立てられるようになった生徒の割合が増えていることから、目的を持った実験計画を立てる力が身についたことが明らかになった。設問2では、ふりこの長さと言周期の関係性を明確にしつつ、それが結論であると断定しない生徒の割合が増加していることから、得られた実験データに対する考察力が向上したことが明らかになった。また、「授業の振り返りの分析」を行った結果、「仮説を立て、実験条件を明確にしてから実験計画を立てること」や「得られた実験結果をもとに出した結論の正当性について考察すること」が大事で、その際に「他者との意見交流」を行うことも重要だと感じていることがわかった。これらのことから、本研究で行った授業実践によって、子どもたちが科学的探究のプロセスに基づいて実験を行う能力が向上したと言える。このことから、本実践は科学的探究の能力を養う授業として有効であり、今後の課題研究における探究活動においても、その成果が生かされることを期待したい。

参考文献

- [1] 国立青少年教育振興機構（2014）『高校生の科学等に関する意識調査報告書 ―日本・米国・中国・韓国の比較―』
- [2] 文部科学省 国立教育政策研究所（2015）『平成 27 年度全国学力・学習状況調査 報告書』
- [3] 文部科学省（2009）「高等学校学習指導要領解説 理科編」
- [4] プラズマ・核融合学会編（2004）『プラズマの生成と診断』 コロナ社
- [5] 佐藤幸恵（2008）『理科教育におけるプラズマを用いた総合的な学習の提案』 京都教育大学教育学部卒業論文
- [6] 文部科学省（2008）『中学校学習指導要領解説 理科編』
- [7] 西田哲也（2013）『簡易真空放電装置の製作』 平成 25 年度東レ理科教育賞受賞作
(pdf) 〈http://www.toray.co.jp/tsf/rika/pdf/h25_07.pdf〉
- [8] 早川雅浩（2008）『電子ビーム励起プラズマ源のプラズマプロセスの応用に関する実験的研究』 京都教育大学大学院教育学研究科修士論文
- [9] 樋口耕一（2004）『テキスト型データの計量的分析：2 つのアプローチの峻別と統合』
理論と方法 Vol. 19, No. 1, 101-115

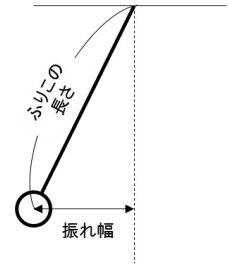
謝辞

本研究を進めるにあたり，アドバイス等を下された大学院生の田上智之さん，青木海仁さん，伊豆蔵功己さん，齋藤孝さん，角野善秀さん，山口諒さん，研究生の松谷佳樹さん，学部生の真田敦志さん，田中克典さん，惠幸菜さん，吉田拓斗さんには深く感謝します。そして最後に，本研究の遂行ならびに本論文の作成にあたり，終始丁寧なご助言，ご指導を賜りました谷口和成准教授に感謝の意を表します。

付録

糸とおもりで作った振りこを使って実験をしています。

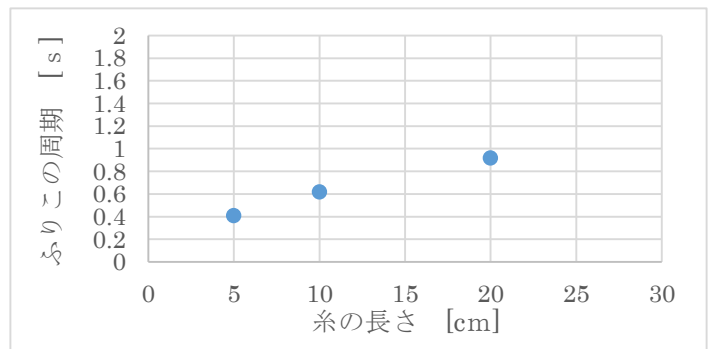
この振りこについて、「振りこの長さ」や「おもりの重さ」、「振れ幅」が「振りこの周期（1 往復する時間）」とどんな関係になるかを調べます。このとき、次の問いに答えなさい。



1. どんな方法で実験を行いますか。

2. 実験の結果、「振りこの長さ」と「振りこの周期」の関係について調べると次のようなデータが得られました。この結果から、どんなことが言えますか。

振りこの長さ	5cm	10cm	20cm
振りこの周期	0.41 秒	0.62 秒	0.92 秒



・あなたは身の回りでどんな放電現象を知っていますか。

・放電はどんな現象ですか。知っていることを書きましょう。

放電の予備知識

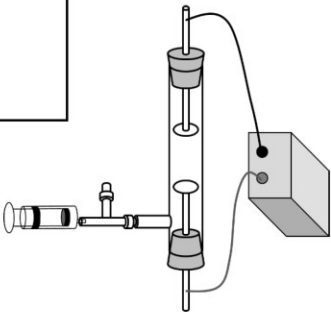
- ・ _____によって、_____し、
電流が流れる。
- ・ 電子は_____極から_____極に向かって進む。
(電子は_____の電気を持っている)

放電が起こりやすくなる条件を調べよう

() 組 () 番 () 班 氏名

実験の概要

右図のように簡易放電管に電圧をかけて放電を起こす。
この実験では、放電の起こりやすさにはどんな条件が関係するのかを調べる。

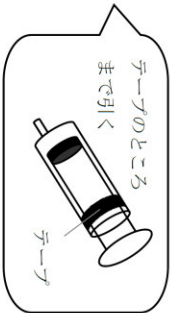


予想

どんな条件が放電の起こりやすさに関係するだろう？
考えられる条件を書いてみよう。

実験方法

1. どんな条件で実験を行うのか、班で話し合う。
2. 班で一一致した条件に電極の位置を合わせて、高圧電源装置のあるところまで持ってくる。
※シリンジはまだ引かない。
3. 高圧電源装置を **ON** にする直前に班で決めた回数だけシリンジを引く。
※シリンジは引く前に必ず押し込む。
4. 放電管に電圧をかけたときの様子を、次の視点で評価して結果の表に記入する。
○：放電した △：微妙に放電した ×：放電しなかった
5. この実験を合計 3 回行う。



結果

電極の距離 [cm]									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
引く回数 [回]	0								
	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
	7								
	8								
	9								
10									

[回]

考察

(1) 班の実験結果からわかることは何ですか。

(2) どうして(1)のようなことが言えますか。

放電が起こりやすくなる条件を調べよう

() 組 () 番 () 班 氏名 _____

I. あと 1 ヶ所だけ実験できるとすればどこにしますか。行う実験条件のマスを色ペンで囲みましょう。

II. その箇所で実験をするのはどうしてですか。

--

III. この実験からどんなことがわかりましたか。

--

この授業で大事だと思ったことは何ですか。

自分たちの実験を振り返って、反省する点をあげましょう。

放電が起こりやすくなる条件を調べよう

() 組 () 番 () 班 氏名

- ・ 1ヶ所決めた実験を振り返って、自分たちの班と違う考え方はありましたか。
具体的に書きましょう。

- ・ 実験を通して、放電はどうすれば起こりやすくなると考えられるだろうか。

Q. ()

- ・ 3時間の授業を通して大事だと思ったことは何ですか。