

持ち運びプラズマ装置の開発と教育における活用へ向けて

(教育学部・物理学研究室) 福山 隆雄
(教育学研究科・物理学研究室) 杉原 慶一
(教育学部・物理学研究室) 曾我部 独人

Development of Portable Plasma Device for Education toward the Application in Lesson Practice

Takao FUKUYAMA, Keiichi SUGIHARA *and* Katsuto SOGABE

(平成23年6月10日受理)

要旨

小学校、中学校、高等学校の教育現場や現職教員研修などで、プラズマを活用することができるように、コンパクトで持ち運びが可能な携帯型の教育用プラズマ装置を安価に開発した。さらに、完成した教育用プラズマ発生装置を、大学における授業、公開講座、高大連携事業、科学の祭典、そして、現職教員研修などにおいて実際に活用し、受講者の先端科学に対する興味・関心を高める可能性があることを明らかにした。

1. はじめに

近年「プラズマ・ディスプレイ」の家庭への普及に伴って、一部の専門家の間だけで使われていた「プラズマ」という言葉が、広く社会に浸透しつつある。プラズマ(電離気体)は、ディスプレイのみならず地球上の至るところで私たちの生活と深く関わり合う科学技術であり、また自然の神秘とも深く関わり合い、環境とエネルギー問題の将来の展望について、私たちに遠い将来にわたって希望を抱かせる力を有している。まさに21世紀の科学技術の花形ともいえよう。もし中等、高等教育においてプラズマを教材として取り上げることができれば、生き生きとした最先端の科学技術が持つ魅力を生徒・大学生に伝え、科学技術に対する生徒・大学生の興味を大きく引き出すことができると考えている。プラズマは視覚に訴えるため印象に残りやすく、科学の最先端を分かりやすく教える可能性に満ちた教材であると考えられる。プラズマは、高いエネルギーを与えられた結果、電子と原

子核が電離して固有の挙動を呈するために、固体、液体、気体に続く「物質の第4の状態」といわれる。この物質の第4の状態「プラズマ」は、新鮮な先端科学を受講者に学習させ、科学技術に対する興味を引き出すポテンシャルを秘めていると考えている。

私たちの身のまわりの生活を見わたすと、プラズマ・ディスプレイだけではなく、蛍光灯、空気清浄機、アーク溶接、半導体製作など、多岐にわたってプラズマが利用されてきている。このようにプラズマが活用されている現代、例えば中学校理科や高等学校理科においてプラズマを活用して、科学の魅力を伝えることができれば素晴らしい。しかし、実験を行うには特別な設備や専門的知識が必要とされ、プラズマ発生装置が高価でさらに大規模で持ち運びが困難であるため、学校教育の一定の範囲内でプラズマを発生させることが難しいという現状がある。

2. 研究目的

小学校、中学校、高等学校の教育現場や現職教員研修などでプラズマを活用することへ向けて、コンパクトで持ち運びが可能な携帯型の教育用プラズマ装置を安価に開発することを、本研究の目的とする。

3. 持ち運び教育用プラズマ装置の開発

プラズマを発生させるためには、高電圧電源、真空(減圧)ポンプ、電極を封入した真空容器が必要となる。それぞれについて、軽量で持ち運びやすく、比較的安価で

ハンドメイクが可能であることが要求される。

● 高電圧電源の作製

市販の高電圧電源は非常に高価で、重いという問題がある。そこで高電圧電源について、コッククロフト・ウォルトン回路を基本として改良を加えて作製した。コッククロフト・ウォルトン回路は高電圧を得るための整流回路である。回路では、コンデンサとダイオードを多段式に組み合わせることによって、低電圧の交流を高電圧の直流へ変換できる。コッククロフト・ウォルトン回路は、当初、原子核破壊のための加速器に使用されたことで知られており、現在では、ブラウン管をはじめとしてX線の生成装置、コピー機、オシロスコープなど、様々な用途において利用されている。

本研究における高電圧電源はコッククロフト・ウォルトン回路を基本として設計しているため、コンデンサとダイオードのみで作製することができる。ここでダイオードの耐電圧を考慮して、ダイオードを3個直列につなげて回路を組み立てる。コンデンサおよびダイオードの規格は、それぞれ、高圧セラミック・コンデンサ 1000 pFおよび汎用整流用ダイオードである。高電圧電源は、起電部、インバータ部、昇圧部から構成されている。最初に、起電部は DC 9 Vの乾電池 2本を直列につないで DC 18 Vとする。次に、その DC 18 Vをインバータ（昇圧トランス）に通して、およそ AC 2500 Vへ昇圧する。最後に、コッククロフト・ウォルトン回路を基本として設計したハシゴ型の昇圧回路を通して、およそ DC 25000 Vまで昇圧する。すなわち、元々 DC 18 Vだった電圧が最終的におよそ DC 25000 Vまで昇圧されることになる。使用するにあたって高電圧電源は絶縁体であるペットボトルに封入し、スイッチを取り付け、そのスイッチと放電する電極部分だけを装置の外に出し、コンパクトにまとめる。また当然のことながら、高電圧を発生させるため危険である。起電部は乾電池であり、電流値が非常に小さいために致命傷を負うことは少ないと考えられるが、取り扱いには十分な注意が必要である。装置では高電圧が発生するため、数cm程度の電極間では大気圧放電を観測することができる。図1に昇圧回路、図2に高電圧電源の全体見取り図、図3に完成した高電圧電源を示す。

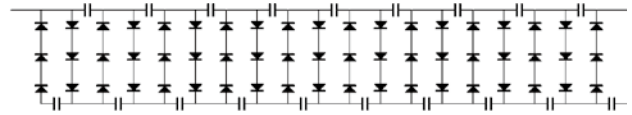


図1：昇圧回路図（高圧セラミック・コンデンサ 1000 pF および汎用整流用ダイオードを使用）

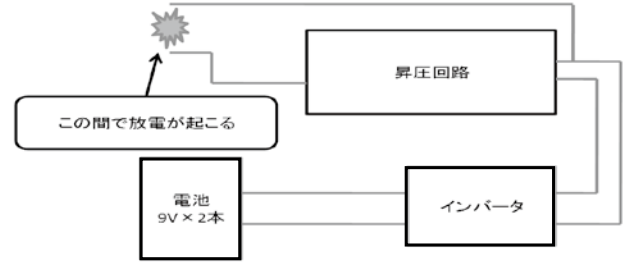


図2：高電圧電源の全体の見取り図

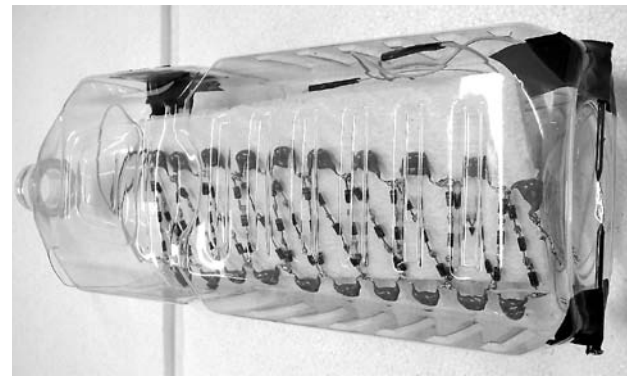


図3：完成した高電圧電源（右端のクギ間で放電している様子が分かる）

誘導コイルやネオントランスなどの高電圧電源は一般的に高価であり、重くて持ち運びが大変なのが難点である。ここで、本研究のように安価なパーツを用いて回路を組み高電圧電源を作製することができると、中学校や高等学校において、静電気や放電の実験など理科実験の幅が広がる。特に、中学校理科の指導内容に「陰極線」が復活して、安価な高電圧電源の必要性が高まっているところである。

● 真空（減圧）ポンプの作製

プラズマを生成するためには、通常、容器内を十分に減圧する必要がある。減圧するためには真空（減圧）ポンプが必要であるが、市販の研究用真空（減圧）ポンプは高価で、重いという問題がある。従って、ハンドメイクな真空（減圧）ポンプを作製する必要がある。

真空（減圧）ポンプの材料として注射ポンプとビニールテープ使用する。図4に示すように、注射ポンプの注射口の上の方に千枚通しなどで小さな穴をあける。ハンダコテで焼きあけてもよいかもしれない。それから、穴をあけたところをビニールテープでふさぐ。また、注射口もポンプの内側からビニールテープを貼りふさぐ。図5において、真空にひく（減圧される）メカニズムについて説明する。ピストンを引くことによって、穴をあけた側のビニールテープはピストンに貼り付き、外からの空気を遮断し、注射口のビニールテープは少し浮き、注射口からは空気が入ってくる。ピストンを押すことによって、注射口のビニールテープは貼り付きポンプ内の空気がでるのを遮断し、穴をあけた側のビニールテープが少し浮き、ポンプ内の空気を外に逃がす。これを繰り返すことで、容器内の圧力は徐々に下がっていく。

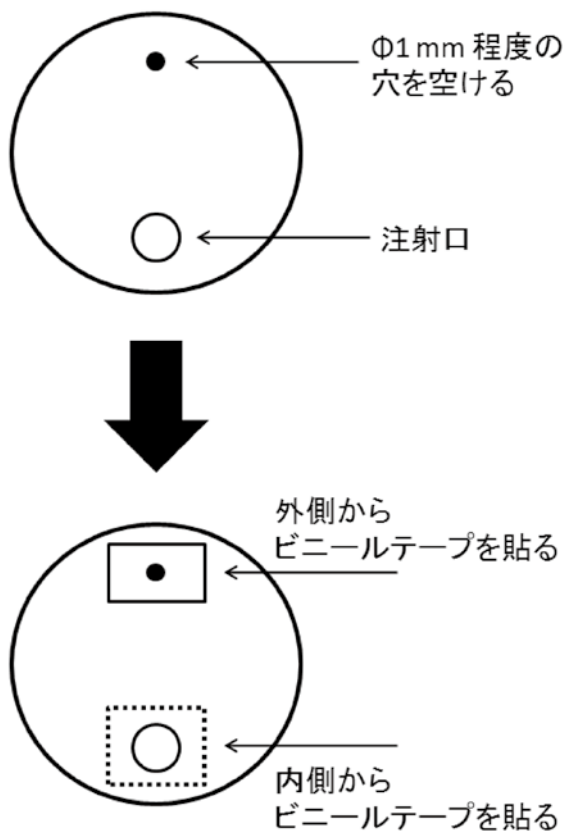


図4：注射ポンプの加工工程

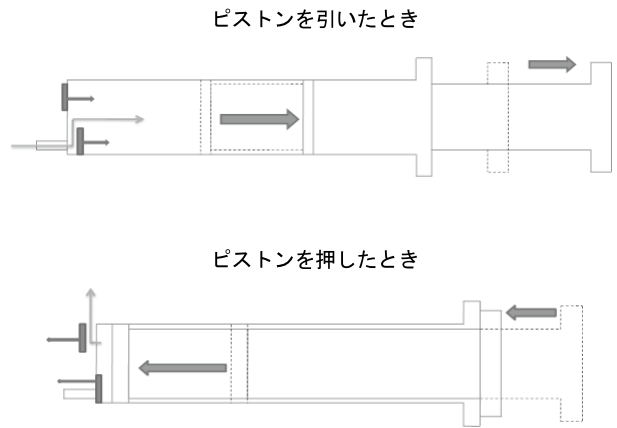


図5：真空にひく（減圧される）メカニズム

● 真空容器の作製

プラズマを生成するための真空容器を作製する。作製にあたって、安価で持ち運びが容易になるように留意した。真空容器を作製するために必要な材料は、アクリル板、ゴム板、プラスチック容器、透明ホース（ビニール管）、釘、ステンレス板、導線などである。

まず、プラスチック容器にフタができるくらい大きさにゴム板を切る。それから、そのゴム板より少し大きめにアクリル板を切る。次に、アクリル板の中心に透明ホースがちょうど入るくらい大きさの穴をあける。最後に、アクリル板にあけた穴より少し大きめの穴をゴム板の中心にもあける。容器が完成したら、アクリル板にあけた穴にビニール管をつなげ、リークが無いようにアラルダイト（接着剤）で固める。ビニール管に真空（減圧）ポンプをつなげ、容器とゴム板、ゴム板とアクリル板の接面に真空グリースを塗ることで真空に引きやすくする。これで真空容器の完成であり、ポンプで引くことにより容器の中が減圧され、また、ポンプをビニール管から取り外すことにより容器の中に空気が入り大気圧に戻る。この真空容器中でプラズマを発生させるために、プラスチック容器中に加工を施す。ビニール管から2本の導線を導入し、プラスチック容器の中に配置する。ビニール管に導線を入れるために空けた穴は導線と一緒にアラルダイト（接着剤）で固定し、そこからリークが無いようにする。2本入れた導線の1本はステンレス板にビニールテープで固定する。残り1本の導線は釘に巻きつけ、ステンレス板の上に配置する。図6に見取り図を示す。

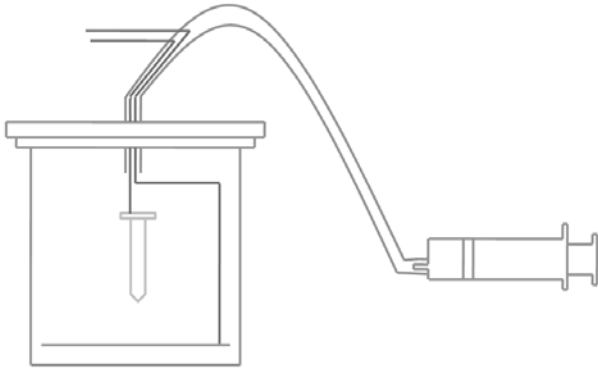


図6：真空容器の見取り図

● プラズマの生成

これまで記した高電圧電源、真空（減圧）ポンプ、そして真空容器を組み合わせることで、持ち運び教育用プラズマ装置が完成する。真空容器中の釘とステンレス板につながっている2本の導線を高電圧電源に接続し、スイッチを入れる。スイッチを入れることで容器中の釘とステンレス板の間で放電が起こる。その状態から真空（減圧）ポンプを使って容器中の空気を抜き、徐々に容器内を真空状態にしていくと図7に示すように、コロナ放電プラズマを発生し、さらに空気を抜いて容器内の真空度を高めていくことでグロー放電プラズマに変化する。真空度についての正確な測定は今後の課題である。図8に、完成した持ち運びプラズマ発生装置を掲載する。

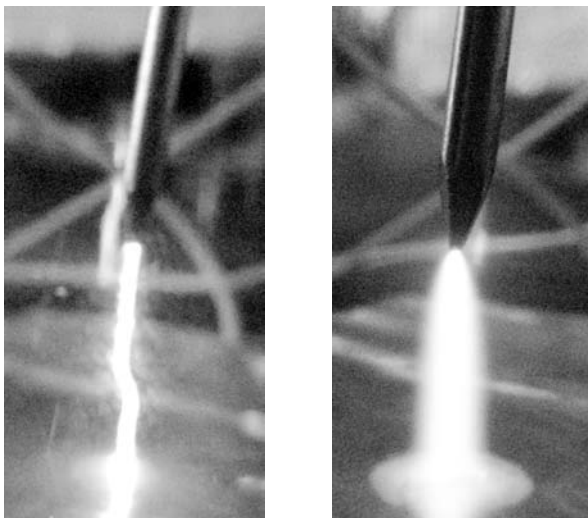


図7：生成されたプラズマ（左：コロナ放電プラズマ，右：グロー放電プラズマ）

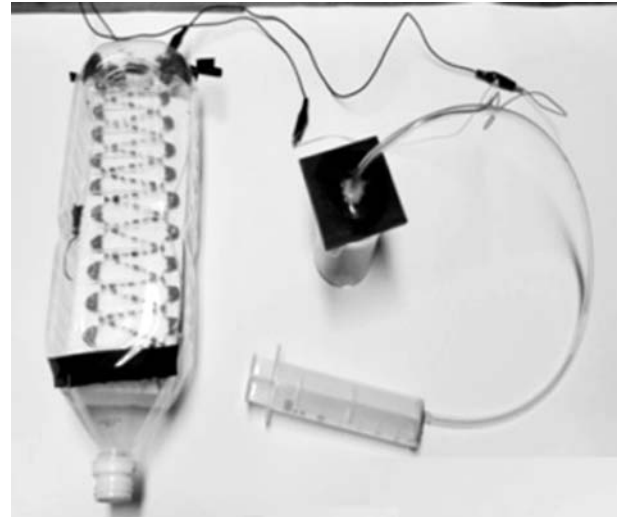


図8：完成した持ち運びプラズマ発生装置

本研究では、教育現場での活用を想定しているため、比較的安価であること、入手が容易であること、シンプルであることが、作製にあたって必要な条件として挙げられる。以上のことをふまえて作製を行い、単純な構造でプラズマを発生させることに成功した。表1に、作製で用いた部品のリストを掲載する。また、本持ち運び教育用プラズマ発生装置は、総額で約3500円と比較的安価に作製できた。

表1：作製に必要な部品のリスト

部品	個数
高压セラミック・コンデンサ (1000 pF)	20
汎用整流用ダイオード (1N4007, 1000 V, 1 A)	60
インバータ	1
アルカリ電池 (9 V)	2
電池ボックス	2
スイッチ	1
導線	適量
ペットボトル	1
クギ	3
発泡スチロール	適量
注射ポンプ (プラスチック・シリンジ)	1
プラスチック容器	1
ゴム板	1
アクリル板	1
ビニール・ホース	適量
ステンレス板	1

4. プラズマの教育における活用へ向けて

開発した持ち運び教育用プラズマ装置をはじめとして、プラズマは教材として様々な場面で活用されてきて

いる。これまで、以下に記したような場面でプラズマが教材として活用されてきている。時系列に従って、以下に記載する。

【公開講座】

第14回青少年のための科学の祭典松山大会（2008年11月）、対象：一般

【教員研修】

理数系教員指導力向上研修会（2009年8月）、対象：高校の現職教員

【教育現場との連携】

松山市立東中学校における“職業科”の担当（2009年11月）、対象：中学生

【公開講座】

第15回青少年のための科学の祭典松山大会（2009年11月）、対象：一般

【公開講座】

“あいだい博”における展示（2009年11月）、対象：一般

【理科研修】

第35回理科教育研修会（2010年3月）、対象：小中高の現職教員および学生

【教育現場との連携】

松山市立東中学校における“職業科”の担当（2010年7月）、対象：中学生

【教員研修】

教員免許状更新講習（2010年8月）、対象：小中高の現職教員

【教育現場との連携】

新田青雲高等学校（2010年11月）、対象：高校生

【公開講座】

第16回青少年のための科学の祭典松山大会（2010年11月）、対象：一般

【理科研修】

第44回理科教育研修会（2011年3月）、対象：小中高の現職教員および学生

【高等教育】

先端科学と生活、対象：大学3年生

【高等教育】

初等教科研究、対象：大学3年生

【高等教育】

コース初歩学習、対象：大学1年生

アンケートの一例として、理数系教員指導力向上研修会（2009年8月）において、受講者である現職教員から得られたコメントを、ひとつ掲載する。

- 高校物理の電磁気や波動分野などと関係が深いプラズマではあるが、授業で実際に生徒に見せることができるなどとは全く考えたこともなかった。今回の研修を受け、高校にある実験機器を使用して工夫すれば、プラズマを見ることができると大変驚いている。そして、実物を見せることの大切さ、自然科学の不思議に感動する素晴らしさを改めて感じた。研修で学んだことを授業で実践し、生徒に自然科学の道に進んで研究する夢を与えたいと思う。

このようにプラズマは、特に高等学校の物理、化学で教材として活用できる可能性を秘めている。今後は、以下の表2に示すような点^[1]に着目して、高大連携や高等学校の授業実践などにおいて「プラズマ」を活用していきたいと考えている。

表2：高等学校（物理・化学）において「プラズマ」につながる分野

物理Ⅰ 電気 生活の中の電気 波 いろいろな波、音と光 運動とエネルギー エネルギー	物理Ⅱ 電気と磁気 電界と磁界、電磁波 物質と原子 原子・分子の運動、原子・電子と物質の性質 原子と原子核 原子の構造、原子核と素粒子
化学Ⅰ 物質の構成 物質と人間生活、物質の構成 粒子	化学Ⅱ 物質の構造と化学平衡 物質の構造

5. まとめ

本研究を通して、小学校、中学校、高等学校の教育現場や現職教員研修などで、プラズマを活用することができるように、コンパクトで持ち運びが可能な携帯型の教育用プラズマ装置を安価に開発した。プラズマ生成装置

を開発するにあたり、2つの部分に分けて作製を進めた。1つ目は高電圧電源である。高電圧電源はコッククロフト・ウォルトン回路を基本として作製した。2つ目は真空（減圧）ポンプと真空容器であり、シンプルな構造で真空に引く（減圧する）ことに成功した。また、約3500円と比較的安価に作成することができ、持ち運びも可能なものになった。さらに、完成した教育用プラズマ発生装置を、大学における授業、公開講座、高大連携事業、科学の祭典、そして、現職教員研修において実際に活用し、受講者の先端科学に対する興味・関心を高める可能性があることを明らかにした。

この持ち運びプラズマ発生装置は、教育現場の授業で使用することを目的として開発したものであるため、現場で使えるのかどうかを確かめたく、科学の祭典に出展した。科学の祭典に来ていただいた、小学生、中学生、高校生、大学生、現職教員の方々に持ち運びプラズマ発生装置で生成したプラズマを見てもらった反応はとてもよく、今後、教育現場の授業の中で活用できる可能性が十分に考えられる。

本研究の一部は、科研費（若手(B) No.20700624)の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 文部科学省，高等学校学習指導要領解説 理科編・理数編，大日本図書，1999