

注射器放電管とその教育的意義

井手 義道*・八田 明夫・韓 長明**・王 維佳***

(2005年10月18日 受理)

The Syringe Discharge Tube and It's Educational Significance

IDE Yoshimichi · HATTA Akio · HAN Changming · WANG Weijia

要 約

本稿は注射器放電管の構造，指導方法，教育的意義，授業での感想を述べたものである。この放電管は放電部分に注射器を用いたものであり，注射器内の容積を変化させることで圧力を 1 atm から 0.001atm 程度までを連続的に作ることが出来る。圧力の大きさはボイルの法則 $PV = \text{一定}$ より求める。その圧力に応じる放電の現象を連続的に観察することが可能であり理科教育的に有効な装置である。

Abstract

This paper describes: the structure of the Syringe Discharge Tube; the instruction method; its educational significance; and class feedback from students.

For this demonstration, the discharge tube is a syringe whose pressure is made to vary between 1 atm and 0.001 atm by varying the volume of air within the syringe. The relationship between pressure and volume is governed by Boyle's Law: $PV = \text{constant}$.

This apparatus is an educational device that illustrates the phenomenon of the amount of a discharge being dependent on pressure variation.

キーワード：注射器放電管 (Syringe Discharge Tube) 陰極線 (Cathode-Rays)
 ボイルの法則 (Boyle's Law) 放電 (Discharge)

* 長崎総合科学大学：非常勤

** 中国：東北師範大学理想信息技術研究院

***中国・吉林省教育学院松原分院

1. はじめに

本論文の目的

本論文は放電現象を観察する装置の開発を紹介するものである。この装置は空気の圧力変化に応ずる放電の現象の違いを簡単に観察出来る教育的な実験器具である。この「注射器放電管」は中国の王維佳が開発したものを井手と八田が2005年5月に中国・長春市で王維佳、韓長明から紹介を受けたものである。

この装置の発明で王維佳は、1998年11月に「中国の実用新案」を取得し、また、2000年「(中国)全国第五回自制教具展評会」で第1等奨(賞)を受賞している。

科学教育の方法の一つにその科学現象の発見のプロセスを通して指導する方法がある。歴史的には気体の放電に関しては電極に誘導コイルにより高電圧をかけ陰極線を発見したJ.J.Thomsonの実験がある。本研究は放電現象の原理を簡単な構造で観察できる利点があり、放電現象の研究初期段階の実験器具に近い構造をしている。

この注射器放電管はJ.J.Thomsonの陰極線発見の実験指導方法にもマッチしているし、初期の実験を追試することができる。このような意味でこの注射器放電管は教育的意義がある実験装置であるといえる。

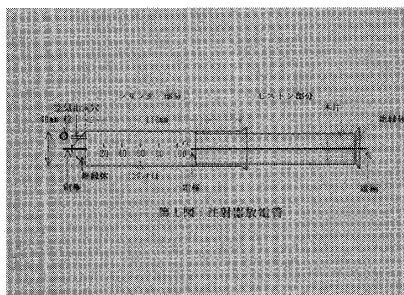
2. 真空放電の研究史

ワインバーグ(1986)によると真空放電に関する研究史は次の様にまとめられている。1709年、ホークスビーはガラス容器の空気を60分の1になるまでひいて、摩擦電気の源に接続して閃光を観測した。1748年にワトソンは「真空」にしたガラスの中の光を記述している。1855年ガイスラーは水銀柱をピストンとして使ったポンプを発明して1000分の数10気圧までさげることができた。このポンプを使い1858-1859年にかけてブリュッカーは陰極の近くに緑色の光(グロー)が現れることを観測した。数年後ゴルトシュタインはこの流れにカソード線(陰極線)と名付けた。

1897年トムソンは荷電金属板で陰極線が曲がる事を観測した。後に彼が実験に使った陰極線管では陰極線粒子の進行方向と直覚な方向に電気力もしくは磁気力をかけている。彼の装置はテレビの受像管(ブラウン管)の原型である。

3. 注射器放電管について

(1) 構造



第1図：注射器放電管の構造の説明図

試験管のピストン（内径=35mm）部分の外側面を切り落としピストン内部に円柱状（長さ3cm）の木片をピストン内部に挿入し密着させる。この円柱状（長さ3cm）の木片の外側に絶縁体でOリング状の突起を作る（第1図：参照）。

この突起部分を外側に引きシリンダー内の体積を増加させる。

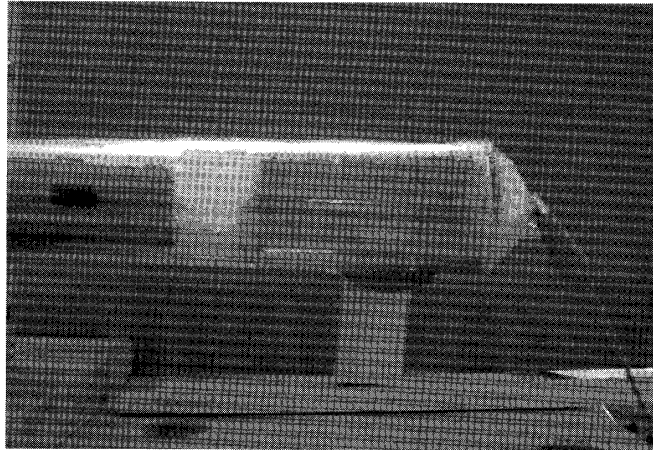


写真1：注射器放電管

（2）使用方法

圧力の計算は「ボイルの法則 $pV=p'v'$ =一定」を用いる。

- 1 注射器の先端に位置する穴は開けておき、ピストンを注射器の先端から1ml移動させる（空気を入れる）。
- 2 次に先端の穴を栓でふさぐ。シリンダー内の圧力は1atmになっている。次にピストンを外側に引きシリンダー内の体積を100mlにするとシリンダー内の圧力は1atmから0.01atmと変化する。このようにシリンダー内の最初の体積とピストンを外に移動した後の体積から圧力の大きさを計算する。
- 3 上記ような方法でシリンダー内の圧力を順次下げていく。圧力を下げたら注射器放電管の電極に誘導コイルから高電圧を加える。
- 4 ピストンの位置を変化させ、それに応じた圧力の真空放電の現象を観測する。
- 5 2つの極板に高電圧をかける場合、不要のX線の発生を最小にするため電圧は低めにする。
- 6 X線を保護するために注射器放電管の前に「保護用の透明パネル」を設置する。

（3）実験

高電圧の発生には、島津理化器械株式会社製のMK-60を用いた。放電極間の距離を4cmとした。



写真2 : 圧力の変化による放電の現象
(圧力 : 0.25atm) (放電現象が台形型)

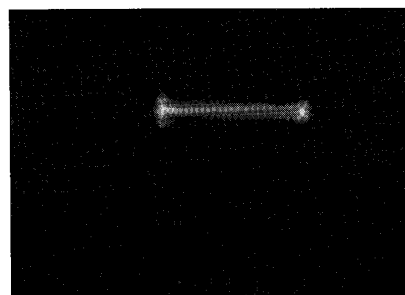


写真3 : 圧力の変化による放電の現象
(圧力 : 0.0125atm) (放電現象が直線的)

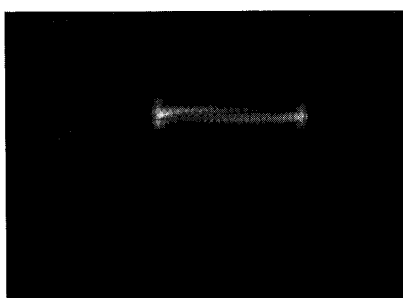


写真4 : 陰極線の磁気による曲がり
(圧力 : 0.0125atm)

説明 : $\phi = 14\text{mm}$ 磁束密度3000Gの磁石による磁場を試験管の外側・写真の先方から加えている。
注射器のシリンダーの壁の厚みが2.5mmであるため磁場の影響が小さいようである。

4. 教育的意義

この装置は真空ポンプを用いず J.J.Thomson が実験した陰極線発生の方法を再現することが可能である。

(1) ピストンの位置を変えシリンダー内の体積を変化させ、それに応じる圧力を連続的に発生させることが出来る。この圧力変化の現象は生徒の前で行うことが出来るので大変極めて教育的である。

(2) 圧力変化はピストンの始めと途中そして終わりの「目盛」と「 $PV = \text{一定}$ 」により求めることが出来る。

(3) ボイルの法則「 $PV = \text{一定}$ 」により試験管放電管のシリンダー内の体積を順次大きくすることにより 1 atm から 0.001atm 程度までの圧力を連続的に変化させることが出来る。この圧力変化に応じて「グロー放電」等がおこり「クルックス暗部」「ファラデー暗部」「陽光柱」など真空放電の様子を観測できる

(4) 試験管放電管の側面から磁石により磁界を与えることにより磁界内でのローレンツ力による電子の運動の様子を観測できる。

(5) 真空度ならびに電圧を上げると「X線」を発生することができる。これは「GMカウンター」で観測できる。

この場合には「防御板」などで「X線」からの被爆を防御する必要がある。

学校における一般的な実験では、普通には真空放電の現象を観測するのに5本程度の真空度が異なる「クロス真空計」または「放電管と真空ポンプ」を用いて観測している。

5. 本器を使用した授業実践

(1) 長崎総合科学大学「工業科教育法」での授業（後期の授業の最初の日）

日時 2005年9月26日(月) 16時30分～18時00分 晴れ

教職課程を履修の学生3年生：27名での授業。

題目 注射器放電管による真空放電の実験

授業の方法・流れ

1) 注射器放電管の構造の説明

ボイルの法則による「シリンダー内の圧力の求め方」の説明

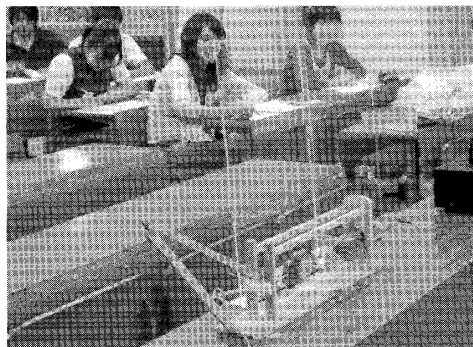
2) 実験の準備

透明アクリル板によるX線の防御のセット；高電圧発生装置の接続

3) 実験開始

注意伝達：注射器放電管から数メートル離れること。その場所でのX線の強さはX線を発生する管からの距離の二乗に反比例することを説明して指導する。

カーテンを閉め教室を薄暗くして実験開始。



写真：5 授業風景

(2) 学生の理解度および感想

授業後アンケート用紙による学生の反応を「理解度および感想」としてまとめた。

アンケート調査 理解度

アンケート項目	よくわかった	わかった	わからなかった	まったくわからなかった
1 装置の仕組	17	10	0	0
2 装置の原理	13	13	1	0
3 圧力変化による放電現象の違い	16	11	0	0
4 ピストンを引いた時の力	13	14	0	0

上の表から分かるように項目1～項目4までのほとんどが「わかった」「よくわかった」の回答であり、注射器放電管が教育的に大変有効な実験装置であると言える。

自由記述（類似の内容もあるが学生がどのように感じたかが分かるので全員の学生のコメントをすべて記述した）

(1) ピストンを引いたときの力に関する表現

（軽く感じ表現）*思ったほど力はいらなかった *思ったより弱い力で引くことが出来た *思ったより楽に引けた *思ったよりも滑らかに引けた *スムーズに引けた *意外に軽い力で引くことが出来た *それほど強くない *そんなに強い力は必要なかった *思ったより弱い力で引けた *オイルが入っているためか思ったより軽かった *エンジンオイルのおかげで引きやすかった

（重く感じ表現）*思ったより力が必要だった *手ごたえを感じた *重かった *重かった *けっこう強かった *なかなか強かった *なかなか強かった *けっこう力がいった *思ったより強い力で引かなければならなかった *けっこう重かった *てこを使って引いてはいるものの、意外と固く感じた

（弾力を感じ表現）*ピストンを引いてみてバネのような感じがした *ばねみたいに弾力があった

（手で引く装置を表現）*エンジンオイルは良いアイデアと思った *実際に手でピストンを引いたからよくわかり良かった

(2) 放電の観察について

（感想）*とても面白かった *面白かった *反発力の感じ *初めて見るのでうきうきしながら見た *よく見えて分かりやすかった *凄と思った。はっきり放電が見えたし、とても良かった *放電の様子がわかった *以前（高校時代）見たものと変わらなかったが色がはっきりでキレイだった *バチバチいってこわかった

（気付いた現象）*圧力が小さい方が陰極線が安定していた *シリンダーの体積変化 20ml～80ml と 0.5ml～70ml を比べて違いがはっきり分かった *ネオン管が古くなった時に出る音が出た *空気量が少し違うだけで全然放電の仕方が違った *圧力が小さい方がきれいに電気が

流れていた *結構よく陰極線が見えてよかった *気圧がかかっていると一直線に近かった
*気圧での違いがよくわかった *放射された電流の動きが違ったのがよくわかった *一直線上
に安定したりふれたりしていた *気圧が小さいほど安定している *圧力との違いで差があるこ
とがおもしろかった *気圧の違いで放電が違っていた *放電管の中の気圧が違くと放電のしか
たがちがっていることがわかった *圧力が小さい方が一直線に陰極線がのびる *圧力が低くな
ると安定した形になっていた *気圧が低くなると、圧力が小さくなり放電の線が真っすぐになっ
た *圧力の違いで放電の違いがあることがはっきり分かった *放散しているのと一直線になっ
ているのかの区別がついてよい

(3) 特に印象に残ったこと

(情緒的感想) *きれいなピンクの陰極線だった *色がきれいだった *陰極線がきれいに見え
たこと *電流の色がきれいだった *きれいな色で放電していた *放電が綺麗だった *放電
の色がきれいだった *きれいだった *陰極線の色が思ったよりピンク色できれいだった *電
流を眼で見る事が出来たこと

(知識理解に関する感想) *目の前で放電しているのは初めて見たので一番印象に残った *この
装置によって放電と圧力の関係が分かった *放電の色が変わったこと *圧力の違いによって電
気の流れ方が変わったことが印象に残った *装置の仕組み *気圧によって放電の現象が全然違
う *放電が見えたこと *圧力が低くなると放電しやすくなる事がわかった *圧力の変化がはっ
きり分かったこと *放電の圧力に違いによって変化した陰極線 *放電のしかたが変わった
*光の関係もあると思うけど、圧力が小さい方が線が濃く見えた *気圧の変化によって放電の線
の流れが違うことがわかっておもしろかった

(その他の感想) *陰極線よりプラグの方が危なく見えてよかった *電気は危険だと感じた

(4) そのほか

(実験に対する感想) *この実験を見たのは初めてだったのでとても良かった *装置にいろい
ろな工夫があってすごいと思いました *この装置は分かりやすくいいと思う *装置の仕組みがよ
く考えられていて面白かった *実験において安全を守ることも大切なことである *学生に気づ
かって安全対策をする事も大事と分かった

(提案) *黒い紙をうしろ側におくと、もっと見やすくなると思います

(自分の知識との関連づけ) *雷でも地上に近いほど散るので気圧に関係あると知っていた *気
圧の関係と陰極線の関係が分かった *空気の量が少し違うだけで全然放電の仕方が違うことに驚
いた *気圧の違いによって放電の違いがよくわかった *ボイルの法則が分かった *圧力によ
って変化する陰極線の違いが面白かった *陰極線のゆれ幅や微妙に色が違うことも興味をそそられ
た *昔授業で見たことがあったけど、気圧の変化は機械(真空ポンプ)等でやっていたような気
がするが、今回の注射器はそのような物がないので手軽に出来ると思った

(更なる課題) *どうして圧力が小さくなると陰極線が安定するのか知りたい

(その他) *どこが実用新案なのかははっきりしなかった *1台7~8,000円とみた

上記のように、学生の自由記述のポイントには実験の効果が良く現れている。放電の観察について、「圧力が小さくなると陰極線が直線状になる」とあり、ピストンを引いたときの力について、ピストンを引く同じ強さの力の大きさでも学生が感じる力の大きさには個人差が大きいことがわかる。

装置については、多くの学生が「装置が簡単であり理解しやすい」と評価している。

授業を実施しての感想を以下のようにまとめることができる。

- (1) 学生が大変興味深く説明を聞き授業を受け、実験を観察した。
- (2) 1本の注射器放電管により任意の圧力の大きさを学生が手で体験することが出来て、その圧力による放電の現象を観察することが可能である。…このことにより圧力と放電の現象の関係を理解することが出来る。
- (3) 真空ポンプを利用した放電の実験では「圧力と放電の現象の関係」を理解することが出来ないがこの装置では簡単にこれが可能である。
- (4) 装置が簡単のために理解しやすく実験準備に時間がかからない。

6. 終わりに

本稿ではこの実験装置を使用しての中国での授業の様子等を述べていない。これに関しては別の機会に述べることにする。

筆者のうち井手も以前に注射器を用いて真空放電を試みたことがあるがしかし失敗に終わった。今、考えてみると原因の一つに注射器内のシリンダー内にエンジンオイルを注入しなかったことがあげられる。このためにシリンダーを外側に引き注射器内の体積を大きくすることが出来なかったことが原因である。

この注射器放電管は放電現象の基本である「圧力と放電現象の関係」を理解するために役立つものと期待している。なおこの装置は「島津理化器械株式会社」から2006年3月に商品化される予定である。

謝 辞

英文アブストラクトのチェックにはイギリス在住の Mr. and Mrs. Marriette にお世話になった。ここにお礼申し上げます。

参考文献

- 物理学史研究刊行会 (1969) : 電子 (物理学古典論文叢書) p.1-28.東海大学出版会
スティーブン・ワインバーグ著 本間三郎訳 (1986) : 電子と原子核の発見 2 電子の発見 p.24-91. 日経サイエンス社