

遠隔実験装置の開発

—陰極線の実験装置の遠隔操作—

藤井弘也*・芝原雅彦*・軸丸勇士*・山下茂*

佐藤元宏**

【要 旨】 陰極線管を利用した電子の性質を見る実験装置をインターネット経由で制御し、観測して実験結果を得るシステムを開発し、その実用性を調べた。その結果、動画像のスムーズさや観測に必要な解像度など、従来の装置と比較して十分であることがわかった。ここではこの装置を使つてのシステムの構成と特徴について詳説する。

【キーワード】 遠隔実験 陰極線管 比電荷

I. はじめに

ICT (Information and Communication Technology) の教育活用については、教育工学分野で研究が続けられ、多くの報告がなされており、筆者らもこれまでいくつかの提言を行ってきた。そのなかでコンピュータによる実験装置制御の方法としては気柱の共鳴実験装置¹⁾、光の回折実験装置²⁾について装置開発を行い報告をしてきた。今回は電磁気分野でテーマを選ぶことにした。

高等学校の教科書では、電磁気分野の中で陰極線は「電子と原子」のように後半の現代物理学の範囲として扱われており、電子の基本的性質の電荷と質量を知る実験として、ミリカンの実験と共に位置づけられている。これらは荷電粒子が電場や磁場から受ける力を取り扱う教材として古くから用いられてきた。しかし、大分県下の高等学校で陰極線の実験装置を所有している学校は少なく、また高電圧電源を必要とすることから、あまり実験が行われていないのが実情である。

ICT 活用を考える上で、現在ネットワーク (インターネット) の利用が一番重要視されている。実際の利用法としては学校間の交流授業があげられる。このインターネットの利便性は、「どこでも、だれでも利用出来る」、「距離と時間を短縮できる」という点である。そこで、交流授業のような形以外で、学校間の距離を短縮して対面でリアルタイム、双方向にコミュニケーションをとるという利便性を活かす方法がないかと考えた。上述のように実験機器のコンピュータ制御については取り組んできていたので、これを組み合わせて、実験装置を遠隔で制御し、その結果を遠隔地から直接観測し、実験を行うという方法に関する研究に取り組むことに

平成 19 年 10 月 31 日受理

*ふじい・ひろなり、しばはら・まさひこ、じくまる・ゆうし、やました・しげる 大分大学教育福祉科学部

**さとう・もとひろ 臼杵市立臼杵小学校

した。この種の研究については、すでに筆者らは斜面の実験装置についての開発実証結果を報告した経緯がある³⁾。そこで、今回は遠隔制御と映像による観測を同じプログラム上で行う陰極線実験装置の開発を行ったのでその結果を報告する。

II. 原理と理論

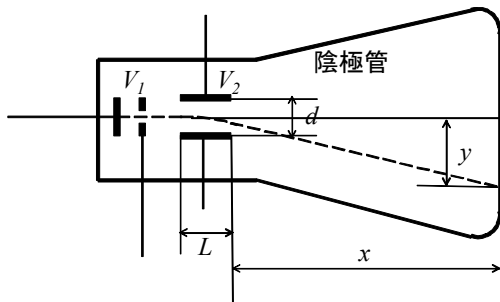


図1 偏向板入り陰極線管

陰極線管の中で、熱電子をカソードに生成しこれを陰極として、アノードを陽極として加速電圧 V_1 [V] を加え、電子線を陰極線管内に映し出す。偏向板に偏向電圧 V_2 [V] を加えると、電子線は電場によって力を受け軌道を曲げる。図1のようにこのときの偏向板間距離を d [m]、偏向板の幅を L [m]、偏向板の端から陰極線管面までの距離を x [m]、偏向電圧を加えない場合の管面上の位置から加えたときの位置までの距離を y [m]、電子の電荷量を e [C]、

電子の質量を m [kg]、加速された電子の速度を v_0 とすると、

$$v_0 = \sqrt{\frac{2eV_1}{m}}, \quad y = \frac{eV_2 L(L+2x)}{2mdv_0^2}$$

の関係式が成り立つ。このことから実験では V_2 を変化させながら y の値を測定すれば、電子の比電荷量（電荷量／質量）が求められる。

III. 陰極線実験装置

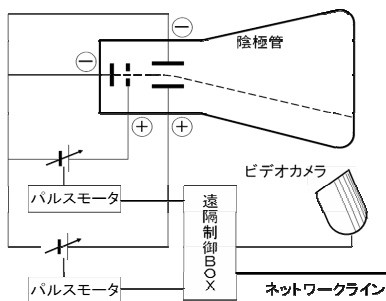


図2 装置概念図

図2に示すように、陰極線管（中村理科製 I E-A）に直流可変安定化電源2台、ヒーター用トランス（図2には示していないが、加速用の陰極に接続）を接続して電子の方向を曲げる役目を持たせる。電源の内1台は電子線の加速に用い、他の1台を偏向板に接続する。直流電源には GP-IB などのインターフェースによって電圧制御を行うことのできるものもあるが、今回はインターフェースを持たない比較的安価な直流電源を使用した。

ネットワークを通して、遠隔制御 Box に制御信号が送られると、遠隔制御 Box に装備されている汎用パラレル IO からパルス信号をパルスモータドライバユニットに送る。ドライバユニットは送られてきた信号に従いパルスモータ

タを正または反転させる。ここでは直流可変電源の電圧可変つまみにパルスモータを直結し、パルスモータの回転を制御することによって電圧を変化させる方法を採用した。

同時に遠隔制御 Box はビデオ入力を持っており、ビデオカメラからの映像をネットワークを通じて配信することができる。今回使用した Box は NTSC 信号入力を持っているため、NTSC 出力を持つビデオカメラであれば接続可能である。

IV. 遠隔制御

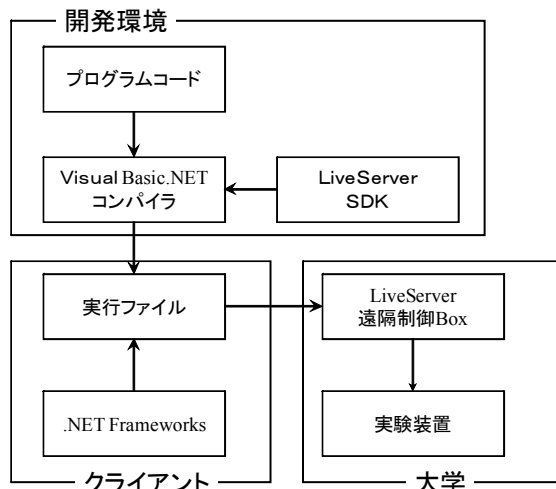


図3 開発環境と実行環境

遠隔制御 Box は九州エレクトロニクスシステム社製の

LiveServer LsBox-S を使用した。この機器の利点は小型の 1 Box でビデオサーバ機能を持つ点と汎用パラレルインターフェースを持ちパラレルインターフェースの入出力をネットワークを介して制御できるようになっている点である。制御プログラムは図3に示すように Microsoft Visual Basic.NET など Microsoft 系の開発言語を使用し、ユーザーが開発することができる。そのために必要なライブラリ集 SDK が用意されている。コンパイラによって作成した実行ファイルはアプリケーションとして

クライアント側で実行する。アプリケーションはネットワークを通じて LiveServer と動画像の受信とパラレルインターフェースへの信号の送受信を行う。

このシステムの特徴としては Web アプリケーションのようにサーバーサイドプログラムではなく、Windows アプリケーションをクライアント側で動作させる点である。クライアント側にアプリケーションを配布する必要があることから、どこでもだれでもネットワーク環境があれば使用できるという利便性はないが、逆にアプリケーションを持っているものだけが使用可能という利用者制限が可能となる。今回の遠隔実験装置への利用では、不特定のユーザーを対象としておらず、目的に合致しているといえる。もちろん画像サーバであるため、固定 IP を割り当てる必要がある点は従来のものと同じである。（今回は撮像した動画について録画をしないようにプログラムしているが、機能としては録画機能を有している。）

また、今回使用した LiveServer は動画像の転送フォーマットとして KAM Codec（圧縮方式）を使用している。この圧縮方式の特徴は高い圧縮率と画像中の動きのある部分のみ解像度を上げて表示するという点であり、0.6～3Mbps と比較的低帯域であるため、現在県内の学校に整備されている高速ネットワーク網の学校情報ネットワークの帯域占有を最小限に抑えることができる。

V. 制御プログラム

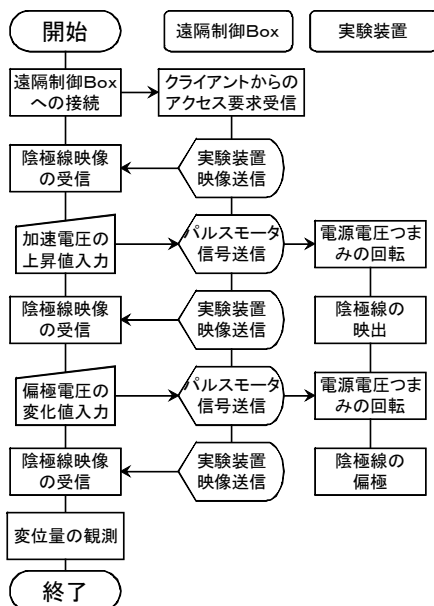


図4 処理のための流れ図

プログラムのフローチャートを図4に示す。左のフローがユーザー側のプログラム処理の流れで、中央のフローが遠隔制御 Box の処理の流れ、右が実験装置の処理の流れである。ユーザー側からのアクセス要求を受けて遠隔制御 Box はビデオカメラの映像を送信する。ユーザーは加速電圧を必要な値に設定し送信する。遠隔制御 Box はパラレルインターフェースからモーターを回転させるパルスをもータードライバに送信し、指定の電圧になるように電圧つまみを回転させる。電圧の印加により陰極線が映出され、その画像がユーザー側に送られる。次に偏向電圧を同様の手順で印加し、その様子をユーザー側で観測し、軌道の変化量をビデオ画像から読みとって実験結果とする。加速電圧と偏向電圧の条件を変えいくつかのデータを取り、与えられた数値と実験結果から電子の比電荷量を求める。

VI. 実行画面と装置写真

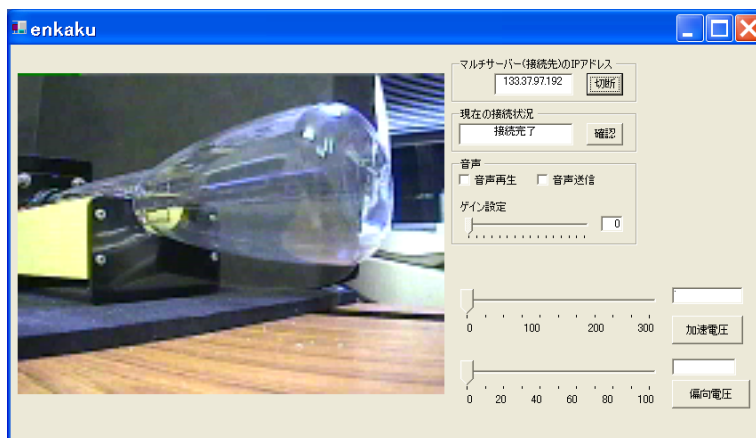


図5 実行画面

図5に実行画面を示す。左側にビデオ画像が表示され、右上に接続ボタンが配置してある。右中段に加速電圧の設定値を入力するテキストボックスと設定ボタン、メータ表示ウィンドウが配置してある。右下段には偏向電圧の設定をする枠が設けられている。

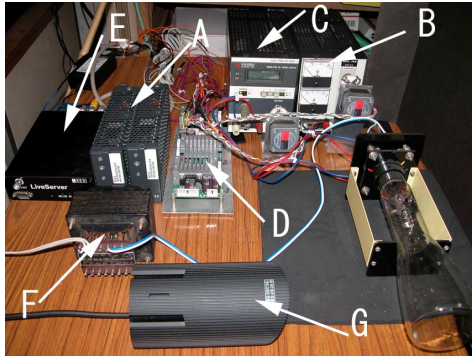


図6 遠隔操作による陰極線実験

る。今回はカメラに固定タイプのものを用いたが、ズームやチルト、パンのできるタイプを取り付けると、これらの機能を遠隔で制御することができるようになっている。

VII. 遠隔実験による測定結果

表1 実測値と計算値

加速電圧(V)	偏向電圧(V)	実測変位(mm)	計算値(mm)
20	200	12.5	12.2
30	200	18.0	18.3
40	200	25.0	24.4
50	200	31.0	30.5
20	300	8.0	8.1
30	300	12.0	12.2
40	300	16.0	16.3
50	300	19.0	20.3
60	300	24.0	24.4
70	300	28.0	28.5

実際にこの実験装置を使用して遠隔で画像を見ながら測定した実験結果を表1に示す。

今回の陰極管のそれぞれの部位の値は、偏向電極の幅 23mm, 偏向電極間距離 11.5mm, 偏光板のエッジから管壁までの距離が 110mm であることから、変位 y を求める式は、

$$y = \frac{1}{4d} \frac{V_2}{V_1} L(L + 2x) = \frac{V_2}{V_1} \times 0.122$$

となる。この式から計算した計算値を表1右側に示す。

今回ビデオ画像から十分な精度を得るために、管面に最小目盛り 1mm スケールを貼り付けている。これにより、実測データの精度は 0.5mm まで得られている。

VIII. 考察

今回の実験装置では一つの実行画面に制御パネル部と映像部が配置できているため、以前報告したプロトタイプで作成したコンピュータ制御プログラム³⁾と比べて格段に操作性が上がっている。また、実際にインターネット経由で操作、観測を行ったが、帯域の不足によるコマ落

ちや遅延もなく、実験装置の制御も全く問題なかった。特にモーター制御用のパルスを送信する場合にパルスレートを早くした場合パルス落ちを起こす可能性が危惧されたが、全くこのような問題は生じなかった。今回使用したカメラおよび LiveServer の KAM Codec による動画像の解像度は今回の観測を行うには十分であり、必要な測定精度を得ることができた。現在は学内でのテスト実験のみであるが、本学には県内の学校と直接つながるインターネット回線が配線されており、県内の高等学校の授業での実践研究を行うことを計画している。また、このシステムを応用して他の遠隔実験装置を開発中であり、それについても成果報告を予定している。

今後はシミュレーションによる教材を使用して授業を行った場合と、この遠隔実験装置を使用して授業を行った場合とを比較して教育効果、理解度の差を検証する調査を行い、改良を加えると共にどのような教材にこのシステムが効果的かなどの研究を行う予定である。

参考文献

- 1) 藤井弘也他：大分大学教育学部教育研究紀要 13 359 (1991)
- 2) 藤井弘也他：大分大学教育学部教育研究紀要 16(2) 423-428 (1994)
- 3) 軸丸勇士他：特定領域研究「新世紀型理数科教育の展開研究」
Web ベースで遠隔操作可能な中等教育での理科実験教材の研究
39-42 (2003)

Development of the Experimental Equipment by Remote Control

—Remote-Controlled Operation of the Experimental Equipment for Cathode Rays—

FUJII, H., SHIBAHARA, M., ZIKUMARU, Y., YAMASHITA, S. and SATO, M.

Abstract

We developed the system for controlling and/or observing the experimental equipment for cathode rays by means of the Internet; and studied the practical use of the system. We got good results such as the smooth motion of animation and the resolution good enough to observe it. Here we made a detailed explanation of the construction and characteristics of the system.

【Key words】 Experiment by remote control, Cathode rays, Specific charge