

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：32407

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650564

研究課題名(和文) テレイグジスタンス実験による物理教育支援システム

研究課題名(英文) Physics Education Support System by Telexistence Experiment

研究代表者

佐藤 杉弥 (SATO, Sugiya)

日本工業大学・工学部・教授

研究者番号：00286022

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：物理や科学教育には実験が有用だが、準備の負担や危険性が問題である。本研究では実験装置を新たに開発し、それらを自動化して装置のない遠隔地からでもその場にいるように(テレイグジスタンス)実験を行えるようにすること、また、それらを用いた教授法の開発が目的である。実際にレーザーや放電のような危険の伴うものを含め数種の新規な実験装置を開発し、ネットワークカメラ経由で実験観察を行うことができた。フィジカルコンピューティングを用いた自動化のための手法を考案し、簡易な自動化手法を考察した。また、多様なスケールにおける演示実験の活用について体系化を行った。

研究成果の概要(英文)：Although experiments are useful for physics and science education, the burden and risks involved with preparation is a problem. The aim of this study is developing new experimental devices and automating these devices to allow experiments to also be conducted from remote locations without devices as if the experimenter was actually present in the laboratory(telexistence), and developing teaching methods that use these devices. Several types of new experimental devices, including devices involving risks such as lasers and electric discharge, were developed, and succeeded in monitoring actual experiments with a network camera. Automation techniques using physical computing were devised, and simple automation techniques were investigated. Additionally, an attempt was made to systematize the use of demonstration experiments on various scales.

研究分野：物理教育、プラズマ物理学

キーワード：物理実験 遠隔実験 演示実験

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 理科や科学教育における体験の重要性は高く、初等教育のみならず大学初等レベルでも体験的・発見的理解の必要性が増していた[塚林、他、応用物理教育、vol.31、No.2、2007、等]。この背景は「理科離れ」としてくくられているが、初等教育における教員の経験の低下や人員の不足などの困難が大きな要因で、理科支援事業などをもっていまだ不十分と考える。応募者等は早い時期から講義への演示実験の導入やオリジナルの実験装置の開発を行っていた[塚林、他、応用物理教育、vol.31、No.1、2007]。これらの実践を通して具体的な実験の体験的発見的効果は実感されていたが、その準備の努力は甚大であった。

(2) 初等教育において教員個人の努力で十分な実験授業を行うことは相当の負荷であり、また、危険な実験は教室で行い難い。逆に、簡便に実験を授業に取り入れられればその効果は大きいことが推測できた。ここで、実際の実験の体験性を担保しながら、準備や安全の利便を図るために本研究で提案したのが教員や生徒が遠隔でありながら自ら操作できるテレグジスタンス実験である。一方、1990年代ごろから遠隔操作装置を授業に取り入れる試みがあった[藤井、他、大分大学教育福祉科学部研究紀要、2008等]が、装置の開発に多くの負担がかかるようであり、目的も学生実験の補完といったものが主であった。また、恒常的に開放されているものはほとんどなかった。また、Webやビデオ教材が利用されていたが、実際の体験には及ばなかった。

(3) 一方、ネットワークカメラやコンピュータ制御支援機器の発達は目覚しく、これらを用いて迅速に開発を行うテレグジスタンス実験装置の構築法を確立すれば、初等教育から広く科学教育を援用できると考えた。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、授業の受講者各人がWebブラウザ経由で利用できる、その場にいるような遠隔操作が可能な遠隔物理実験装置群(テレグジスタンス実験装置)を開発し、学校での理科・科学教育授業に適用して効果的な教授法を開発することである。特に実際の実験の準備などが困難な内容を初等教育に提供することを重視して科学教育の支援を図る。具体的には、インターネットカメラやフィジカルコンピューティングのような現代的な素材を用いて効率的に複数台の遠隔実験システムを迅速に開発する手法を確立し、さらにそれらをシミュレーションやWeb教材とあわせてリアリティと興味を強化することを意図して実際の学校等での科学教育の現場に適用して効果を測定しつつ教授法を探求する。

## 3. 研究の方法

### (1) 装置開発

装置は危険性があつたり観察が容易でないものを中心に演示装置として考える。このため新たなタイプの演示装置を考案する。まずプロトタイプ装置を製作して動作確認を行い、次に自動化および遠隔化について研究する。また、製作の負荷や時間についても検討し、普及のために手法の一般化を考える。

### (2) 教授方法

授業等での活用について、ひとつは眼前で実際に実験を行う場合や映像資料などと比較して効果を検討する。このため有志学生や近隣の理科授業支援関係にある小中学校の協力を仰ぎ進める。また、既存授業の評価を行い、有効な活用場面の検討を行う。最終的には模擬授業などを実施して授業シナリオを開発する。

## 4. 研究成果

### (1) 実験装置

最終的に3つの種類の装置を開発した。なお、③の放電装置は当初予定していた液体窒素の実験装置が製作困難なため変更したものである。

#### ① 超音波霧化ユニットを利用したレーザー光による新型光学演示装置(新けむり箱)

けむり箱と呼ばれる光学演示装置は、散乱媒質により光を可視化するものだが、見やすくインパクトを上げるためには強いレーザーを使いたい。安全のためと散乱媒質の均一化のために透明な箱型容器を筐体とし、散乱媒質として従来用いられていたような線香やタバコなどの煙でなく、超音波霧化ユニットを組み込んで用いた。これにより匂いや火の危険を回避でき、より定常的に実験が行えるようになった。また、レーザー光を用いてもより安全になった。攪拌ファンを組み込んで回転数の制御や設置位置の最適化を行い、散乱媒質が筐体内に適度な濃度で均一に分布するようにした。この結果、室内照明のもとでも安定に観察が行えるポータブルな装置ができた。(図1)

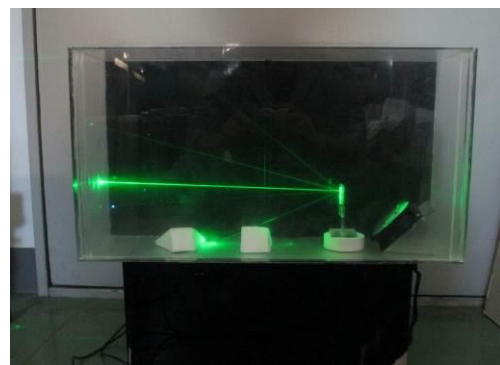


図1. 光学演示装置

## ② 緩斜面を利用したモンキーハンティング実験装置

モンキーハンティングは「木にぶらさがった猿を銃で狙っているが、発射音に驚いた猿は発射と同時に手を話して落下を始める。どこに狙いを定めればよいか？」という力学クイズであるが、実験で行う場合には衝突ありなしという結果のみで途中の観察がし難い。この装置は、従来のものと異なり、よりゆるやかな動きで観察を容易にするために、角度の小さい斜面を利用して開発した(図2)。また、自動化のために発射体と落下体の回収も考えたものである。斜面角度を $5\sim 10^\circ$ 程度に抑えて斜面方向の重力成分を $1/10\sim 1/5$ 程度に抑えることにより、書画カメラでも撮影可能な範囲で、目視により十分な観察を行うことができ、通常のビデオ画像の切り出し写真からでも簡単に解析が行えた。さらにこの装置の開発の過程においては、剛体の運動として扱った場合には発射体と落下体の加速度が異なるという、新たな問題を定義できることがわかった。

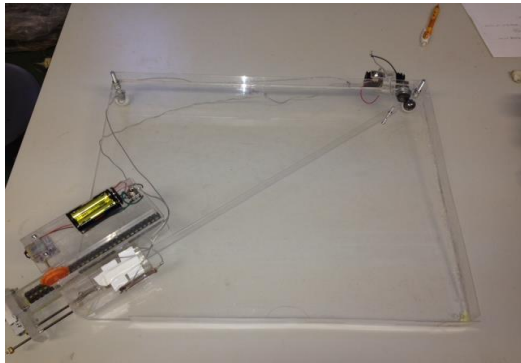
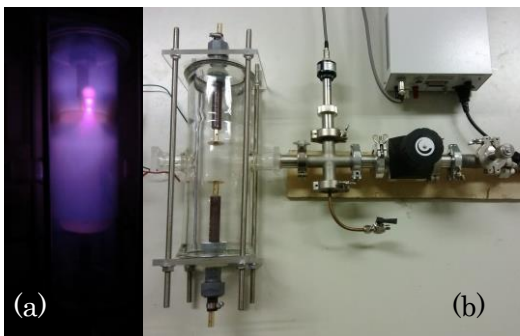


図2. モンキーハンティング実験装置

## ③ 真空放電観察装置

放電の実験は、電気の基礎的理解に有用なものであり、インパクトの大きいものだが、教育現場で火花放電や小型放電管以上のものを扱うことはほとんどなく、ビデオや写真をみるのがせいぜいである。これは高電圧を扱うことの危険性と、真空装置や電源が高価で取り扱いが難しいためである。また、プラズマ物理学などの分野では教育目的でこのような装置が作成されることがあるが、教育専用でオープンに使えるものはない。このた



### 3. 真空放電観察装置

(a) 放図電状態 (b) 装置概要

め、大気圧からグロー放電までを連続に観察できる比較的大型( $\phi 10\text{cm}\times 30\text{cm}$ )の放電装置を作成した。ロータリーポンプを用いて大気圧から数 Pa までの圧力で直流放電を行える。放電ガス圧を機械的にコントロールできるようにするために、マスフローメーターを購入して追加した。

## (2) 装置の自動化と遠隔化、開発負荷

自動化のために必要な点は主にアクチュエータの駆動とスイッチや電圧の制御となる。これらを汎用として行うため、国内で入手が容易になったフィジカルコンピューティングのサポートツールとして高機能で手軽な Arduino マイクロコントローラを用いた。実際に比較的簡単なプログラムでモータ制御や多接点の入出力が行えた。またそのプログラムはコントローラが保持するため装置全体を制御する PC の負荷は非常に軽く、単体で利用することも可能である。また、このような自動化の手法については一般に実験のプロトタイピングにも有効であることがわかった。しかしまだ物理教育分野では普及はしておらず、これについては単振り子や LED オンオフなどのデモンストレーションも用いて学会で報告して高校教員などの興味も引いた。

遠隔制御のためにはコマンド/データ送受信と映像の取得が必要になる。映像については装置ごとにネットワークカメラで取得して観察するようにした。ネットワーク経由で観察した場合と現場で観察した場合を比較して、動きの少ないものでは十分に利用できることが確認できた。動きのあるもの場合はビデオとしてサーバに蓄えて配信することを考えたが、実装にはいたらなかった。

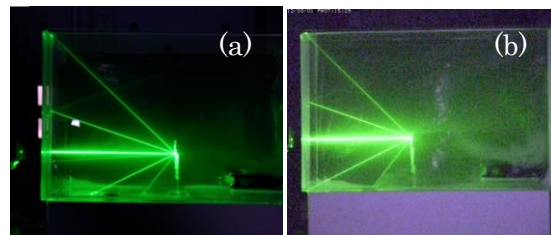


図4. 現場での観察(a)とネットワーク経由での観察(PC画面)(b)の比較(光の回折)

Web 経由での制御インターフェースについては、最終的に機器制御用に用いるマイコンボード(Arduino)にイーサネット機能を加えて、Web ブラウザからコマンドを送る方式が、一般化するためには簡便で適していることがわかった。

装置の開発について、光学演示装置とモンキーハンティング実験装置はそれぞれプロトタイプからのべ3台を製作した。また、プログラミングや電子工作の初心者に Arduino を使わせて進捗をみた。これについてはまとめられなかったが、仕様が確定していれば比較的簡便に製作ができる感触を得た。

### (3) 教育効果、教授法

製作した装置の利用について、実際の生徒らに演示を行って反応をみるため、単純な反射から反射回折による虹の現出までのさまざまな演示実験を実際に小中学生（春日部市立八木崎小学校、杉戸町立杉戸中学校、埼玉県青少年課夢のかけはし事業科学教室）、および所属大学の授業などで試行して良好な反応を得た。ネットワーク越しでの観察・実験はリモートデスクトップと Web カメラの組み合わせで学内のみにしか行えなかったが、現場にある臨場感には欠けるものの、遠隔での様子が見られること自体で興味を引き出せるという感触を得た。

教授シナリオの作成に向けて、実験観察のみでは行っていることの理解が不足するため、サポートの物理開設 Web ページの作成を行った。シミュレーションなども取り入れて実験と合わせて学ぶスタイルを考えている。

また、あるテーマの演示実験がいろいろなスケールで実施されることがあるが、その中での遠隔実験の位置づけを考えるために、モンキーハンティングを例にとって、装置のスケールと学習目標や前提知識を軸にとって考察を行い査読付き紀要として報告した。

最終目的であった Web 経由の授業までは研究期間内に達成できなかったが、素材として十分なものを得ることができた。今後さらに Web サイトで公開し、利用してもらえるよう整備していく。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 1 件）

- ①佐藤杉弥, 塚林功, 物理演示実験の活用と展開 ～モンキーハンティングを例として～, 東海大学紀要 総合科学技術研究所, 査読有, vol. 33, 2014, pp. 42-49  
<http://www.rist.u-tokai.ac.jp/>

〔学会発表〕（計 6 件）

- ①佐藤杉弥, Arduino を利用した物理教材開発, 第 62 回応用物理学会春季学術講演会, 2015 年 03 月 13 日, 東海大学湘南キャンパス (神奈川県平塚市)
- ②佐藤杉弥, Arduino を用いた実験の簡易制御, 第 25 回物理教育に関するシンポジウム, 2014 年 11 月 23 日, 広島国際大学呉キャンパス (広島県呉市)
- ③佐藤杉弥, 服部邦彦, 遠隔実験を用いた授業の試み, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 2014 年 03 月 18 日, 青山学院大学 相模原キャンパス (神奈川県相模原市)
- ④佐藤杉弥, 相澤靖之, 塚林功, "緩斜面を利用したモンキーハンティング", 第 24 回物

理教育に関するシンポジウム, 2013 年 11 月 30 日, 東京理科大学葛飾キャンパス (東京都葛飾区)

- ⑤佐藤杉弥, 超音波霧化を用いた光学演示装置の開発, 第 60 回応用物理学会春季学術講演会, 2013 年 03 月 28 日, 神奈川工科大学 (神奈川県厚木市)

- ⑥佐藤杉弥, 新けむり箱による光学デモンストラクション, 第 23 回物理教育に関するシンポジウム, 2012 年 11 月 03 日, 八戸ポータルミュージアムはっち(青森県八戸市)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐藤 杉弥 (SATO, Sugiya)  
日本工業大学・工学部・教授  
研究者番号: 00286022

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

服部 邦彦 (HATTORI, Kunihiko)  
日本工業大学・工学部・教授  
研究者番号: 90261578