

立体物映像に直接的な操作を可能とする 実物投影機操作インタフェースの提案

河野友子^{*1} 加藤直樹^{*2}

Proposal of Document camera operation interface that enable direct operation on 3D images

Tomoko Kono^{*1}, Naoki Kato^{*2}

Abstract - In order to present a three-dimensional(3D) object with a real projector in class, it is troublesome because it is necessary to move the camera of the real projector or the 3D object, or to hold it by hand. In this paper, we propose a projector interface that can change the viewpoint of capturing a 3D object by directly manipulating the image of the 3D object displayed on the screen of an electronic whiteboard, and describe design and development a system that implements it, and verification of the usefulness of the interface through evaluation experiment.

Keywords: ICT in education, Document camera, Electronic whiteboard

1. はじめに

平成 29 年に告示された小学校学習指導要領総則では、「情報活用能力の育成を図るため、各学校において、コンピュータや情報通信ネットワークなどの情報手段を活用するために必要な環境を整え、これらを適切に活用した学習活動の充実を図ること。また、各種の統計資料や新聞、視聴覚教材や教育機器などの教材・教具の適切な活用を図ること」とあり、今後の学習活動において情報活用能力の育成と情報通信技術（ICT: Information and Communication Technology）の活用がより活発になってくると予想される。

本研究では ICT 機器の中から実物投影機に着目する。学びのイノベーション事業実証研究報告書[1]に記されている ICT 活用のポイントによると、実物投影機を授業の中で活用することは教育的に有用であるとわかる。

しかし、従来の実物投影機にはいくつかの問題点がある。実物投影機は、撮影映像を表示する大型ディスプレイから離れている場所に置かれることが多い。そのため大型ディスプレイを見ながら拡大表示する操作や被写体の位置を調整する操作が難しいという問題がある。さらに、立体物を投影するためには、実物投影機のカメラ、もしくは立体物自体を動かしたり、手で持ちながら映し出したりする必要があり、煩わしさを感じる。

これらの問題点を解決させるためには、上記のような実物投影機の所で行っていた操作を、撮影映像を表示している電子黒板上で行うことができればよいと考える。筆者の所属する研究室では、この考えをもとに、電子黒

板に表示されている映像への直接的な操作によって実物投影機を制御し、表示されている映像の傾き補正、拡大、移動を可能にするインタフェースの研究を行なった[2]。この研究では、被写体を教科書やプリントを対象としているが、実物投影機では立体物の投影も行う。立体物の場合は、様々なアングルからの撮影を行うことから、提案したインタフェースでは十分ではない。

そこで、教師が実物投影機を用いて立体物を提示するときに、実物投影機やその立体物を直接動かすことなく、電子黒板上の画面に表示された立体物の映像に対して直接操作することで立体物を捉える視点を変化させる実物投影機インタフェースの開発を行った。本稿では、この実物投影機インタフェースの提案と、そのインタフェースを実装したシステムの設計、実装、予備評価を通して行ったインタフェースの有用性の検証について述べる。

2. 基本設計

2.1 基本コンセプト

前田らの研究のコンセプトは、電子黒板に表示された実物投影機の映像に直接的に操作できるようにすることであった。これにより、実物投影機の場所に戻って教科書やプリントを動かしたりする必要がなくなった。また、表示映像を見ながら手元の操作を行う難しさを解消した。本稿では、前田らの研究のコンセプトを引き継ぎ、電子黒板に表示された立体物の映像に対して直接操作できるインタフェースとする（図 1）。

このような操作インタフェースの実現は、多数のカメラを用いて、全方位から立体物を捉えた映像を合成して自由視点映像を作成することでできるが、多数の映像からリアルタイムで自由視点映像を作成するには、高性能のコンピュータが必要である。しかし、学校に整備されているパソコンの性能はそれほど高くない。また、カメ

*1: 東京学芸大学大学院 教育学研究科

*2: 東京学芸大学

*1: Graduate School of Education, Tokyo Gakugei University

*2: Tokyo Gakugei University

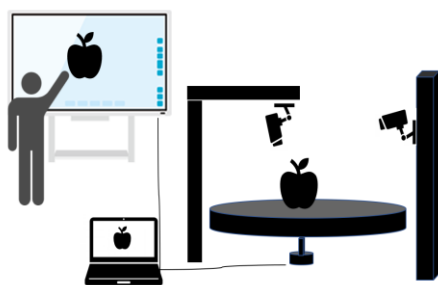


図1 基本コンセプト
Fig.1 Basic concept

ラを多数用いる装置は高価になってしまい、学校に導入することが難しくなる。そこで、最低限のカメラ台数で立体物を見せたい視点で見せるために、カメラの移動と被写体の回転を組み合わせた方法をとる。

2.2 実装方式（実物投影機のハードウェア構成）の設計

基本コンセプトを実装する実物投影機のハードウェア構成の設計を述べる。

カメラは、上部から撮影するものと、立体物を横から捉える二台構成とする。上部のカメラは、プリントや教科書を大型ディスプレイに表示するときに頻繁に用いられるために用意する。その他のアングルをもう一台のカメラでカバーする。そのためには、1)カメラを立体物に対して垂直に移動、2)カメラを立体物に向けた状態での水平周回移動、さらに 3)カメラの上下方向の角度変更が必要である。

今回の開発では、実現の容易さから 2)に関しては立体物を回転することに代替し、また、3)に関してはカメラが立体物を横から全体的に捉えることができることから必要ないと判断し、実装しないこととした。これらを踏まえた構成を示す（図2）。

2.3 機能設計

2.3.1 カメラワーク機能

電子黒板上のタッチ入力によって、2.2 節で記した 1)のカメラ制御と 2)の立体物の水平回転による立体物を捉える視点の移動操作をできるようにする。

2.3.2 カメラ切り替え機能

電子黒板上でのタッチ入力によって、二台のカメラを

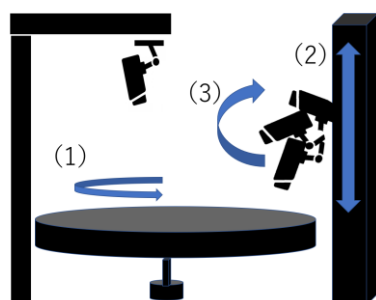


図2 構成図
Fig.2 Diagram

切り替える機能を提供する。2.2 節に述べたとおり、カメラの上下方向の角度変更はしないため、側面カメラで捉えた立体物の側面からの映像と、上部カメラからの映像をスムーズにつなげることができない。そこで、突然繋がりのない映像が切り替わる不自然さをなくすために、二つのカメラの切り替えはカメラワーク機能とは別に用意することとした。

2.3.3 拡大・縮小機能

電子黒板上でのタッチ入力によって、映像の拡大・縮小を可能にする機能を提供する。縮小機能は表示倍率が100%未満にならないように制限をかけている。

2.3.4 ムーブ機能

拡大・縮小機能を用いて拡大しているときに立体物の表示したい部分が画面上から外れてしまうことが考えられる。そこで、電子黒板上でタッチ入力によって、映像を拡大した際における表示部分の移動を可能とする機能を提供する。

2.3.5 リセット機能

拡大・縮小機能やムーブ機能によって電子黒板上の映像を操作したときに、映像を初期の状態にする機能である。他の被写体を電子黒板上の映像に表示させる際、側面カメラの位置、拡大・縮小機能やムーブ機能を初期の状態に戻す作業は煩わしい。そこで、リセット機能を用意する。

2.4 操作方法の設計

本インタフェースでは、映像表示画面からボタン等のUI (User Interface) 要素を極力なくし、NUI (Natural User Interface) 操作であるマルチタッチ入力によって、電子黒板上の表示映像を操作できるようにする。

2.4.1 カメラワーク操作

上部カメラの映像が電子黒板に表示されているときは、立体物を真上から見た映像が映し出されることになる。被写体を回転させる操作に、その回転の動きを表す自然なジェスチャーとして、円を描くイメージで一本指を動かす（ドラッグする）操作を割り当てる（図3）。

立体物の側面を捉える操作として、上部のカメラ映像の操作と同様に、映像の動きを表す自然なジェスチャーでの指示を割り当てる。立体物の側面を回転させる操作には、表示されている映像に対して一本指を横に動かす（スワイプする）操作を、立体物の側面を上下に移動させたい場合は、一本指を縦に動かす（スワイプする）操作を割り当てる（図4）。

2.4.2 カメラ切り替え操作

上部カメラの映像と側面カメラの映像の切り替えは、ジェスチャー操作の種類が増えると操作を覚えるのが負担になるため画面上に表示するボタンを押す（タップする）操作を割り当てる。

2.4.3 拡大・縮小操作

スマートフォンやタブレット PC 等で拡大・縮小操作

をするときにピンチイン、ピンチアウト操作が広く採用されており一般的となっているため、本システムでの拡大・縮小操作でも採用する（図5）。

2.4.4 ムーブ操作

ムーブ操作にはドラッグ操作が自然である。しかし、カメラワーク操作で1本指でのドラッグ操作を採用しているため、本操作には2本指でのドラッグ操作を割り当てる（図6）。

3. 試作

3.1 ターゲット環境

前章で示した実物投影機の構成を実装する上で、二つのカメラは USB カメラの通信方法に関する規格である UVC（USB Video Class）に準拠したものとし、今回は、株式会社エルモ社の L-12id と株式会社ロジクール社の C270n HD Webcam を用いた。

被写体を置く台を回転させる装置には無限回転サーボ

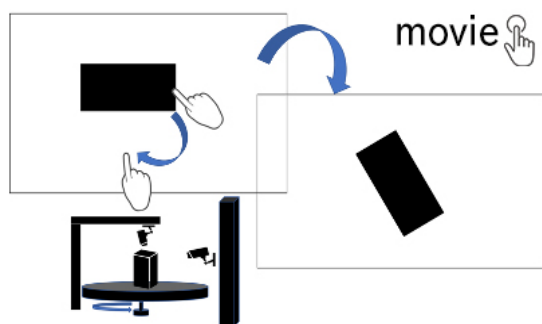


図3 被写体を回転させる操作
Fig.3 Operation to rotate the subject

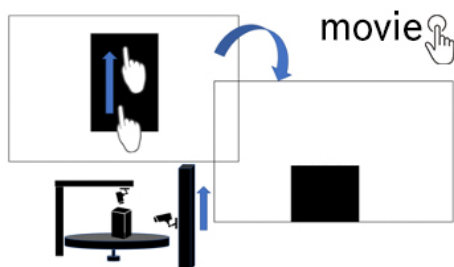


図4 立体物の側面を捉える操作
Fig.4 Operation to capture the side of the subject

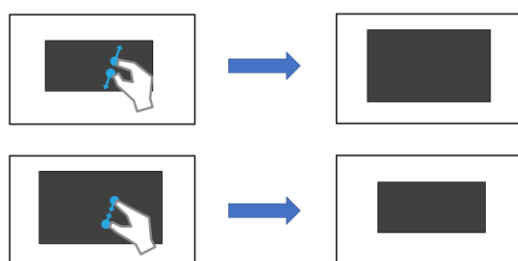


図5 拡大・縮小操作
Fig.5 Enlargement/reduction operation

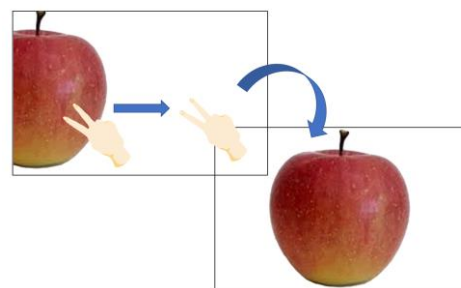


図6 ムーブ操作
Fig.6 Move operation

モーターを、側面カメラを上下に移動させるための装置として電動スライダを使用した。サーボモーターとしては、GEW(Grand Wing Servo-Tech Co., Ltd.)社のローテーションサーボ、電動スライダとしては、ストロークリニアアクチュエータ CNC 鉛スクリューリニアスライドレールガイド42 ステッピングモーターを用いた。ステッピングモーターをマイコンボードで動かすためのドライブレとして、L6470 を使用した。これらを動かすためのマイコンボードとして Arduino UNO を使用した。

また、二台のカメラは、電子黒板用パーソナルコンピュータと USB を用いて接続し、その出力を電子黒板やタッチ入力可能な大型ディスプレイに表示する（図7）。

今日の学校現場では様々な OS が搭載されたコンピュータが取り入れられているが、電子黒板用パーソナルコンピュータの多くは、Microsoft Windows 系の OS を採用している。よってターゲット OS を Microsoft Windows 系とした。

3.2 開発環境

本アプリケーションは、Visual Studio 2017 を用いて Microsoft Visual C#を使用し、WPF（Windows Presentation Foundation）アプリケーションとして実装した。 .NET Framework のバージョンは4.6.1である。

実物投影機のカメラの映像を表示するには、Microsoft が提供する API（Application Programming Interface）である OpenCVSharp3.0 を利用した。

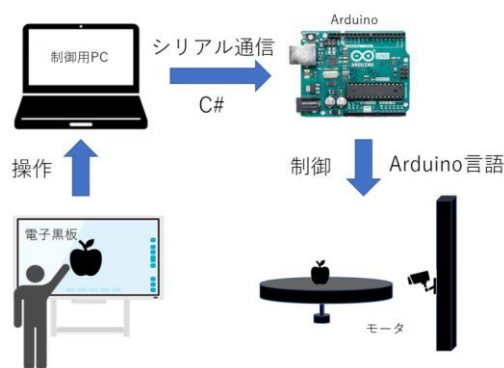


図7 本ツールの流れ
Fig.7 Flow of this tool.

Arduino Uno の開発環境として Arduino IDE で行った。遠隔操作を行うにあたって、Microsoft Visual C# と Arduino IDE 間でシリアル通信をすることで実現した。

4. 評価

開発したシステムの有用性を検証するために予備的な評価実験を行った。被験者は本学に通う教育実習を経験した学部生 11 名、大学院生 2 名の計 13 名である。

複雑な立体物に目印をつけ、被験者には、その目印を画面いっぱいに移動、拡大をして表示させるタスクを、従来の実物投影機と本システムを用いて行ってもらい、システムの使いやすさに関する主観的質問に 1～4 点で回答してもらった。

主観的評価を集計したものを表 1 に示す。

従来の実物投影機の操作のしやすさ（質問 1～3）の平均点が 2.7 点ほどであるのに対して、本システムの操作のしやすさ（質問 4～8）の平均値のほとんどが 3 点以上であり、平均点の比較からは本システムの使いやすさが示される結果が得られた。ただし、カメラワーク機能（質問 5, 2.76 点）とムーブ機能（質問 8, 3.07 点）については評価が低かった。

今回、カメラワーク機能の立体物の側面を捉える操作については、指の上下移動を、カメラを上下に移動に対応させたため、映像が指の動きとは反対に移動することになり、この点に使いにくさを感じたようであった。また、ムーブ機能の操作については、1 本指ではなく 2 本指のドラッグにしたことが要因であり、どちらの機能とも改善が必要である。

5. 関連研究と製品

5.1 書画カメラの有用性に関する研究

これまでに書画カメラの有用性に関する様々な研究が行われてきた。堀田らは小学校教員が実感している実物投影機の活用効果に関する分析を行った[3]。その結果、説明等の理解度の促進、準備の手間の軽減、説明等の時間短縮の順で教員が実物投影機活用の効果を実感したことを示した。また、中尾らは教科指導における実物投影機とコンピュータの活用に影響を与える要因に関する事例研究を行い、実物投影機を活用することで児童の興味・関心を引きやすく、教員にとっても教材準備の短縮や授業のデザインがしやすくなるということが報告している[4]。

書画カメラの開発として、趙らは AR 技術を活用して書画カメラを拡張させた AR 書画カメラシステムを開発した[5]。書画カメラに AR 技術を拡張させ、AR 技術で重畳された立体物を生成や移動、変形などの操作ができる。しかし、本稿で目指している書画カメラの使い勝手の向上に関する研究はない。

5.2 みエルモン

立体物を様々な視点から表示することを容易に行えることを目指した製品として、株式会社エルモ社のみエルモンがある。この製品は、様々な角度から映せる（スイング）2 アームが横に 300 度、縦に 90 度回転し、カメラヘッドも 300 度回転させることができる。

しかし、当然ではあるが、被写体の見せたい視点で見せるために離れたところに表示される映像を見ながらアームの角度を調整しなければならない。さらに、アームを固定するのが難しいため、実物投影機から離れることができないという問題がある。教師は実物投影機から大型ディスプレイを見ながら口頭で説明することになり、指で指し示すことが難しくなり、児童に正確に指示が伝わらない可能性が生じる。

5.3 HoverCam FLX11 ソフトウェア

電子黒板上で実物投影機を操作するためのソフトウェアとしてマネッジ・オンライン株式社の HoverCamFLX11 ソフトウェアがある。このツールでは、電子黒板上に表示されたボタン入力によって映像の拡大・縮小を行うことができる機能がある。これにより、電子黒板と実物投影機の間を行き来する手間を省くことができる。ただし、既存の実物投影機を操作するソフトウェアであるため立体物の側面等、様々なアングルからの映像を自由に映し出すことはできない。

6. おわりに

本稿では、実物投影機で立体物を映し出す上での問題点を解決することを目指し、電子黒板上の映像に直接操作することで、提示したい方向から立体物を捉えた映像を表示できる実物投影機インタフェースを提案し、それを実装したシステムの開発、評価を行った。

予備的評価からは、概ね本システムの使いやすさが示される結果が得られたが、もっとも重要なカメラワーク機能の評価が低めであった。

今後は、この点の改善をはじめとして、今回実装しなかった機能、より使いやすさを向上する機能や操作方法の提案、開発を行うことが課題である。

参考文献

- [1] 文部科学省：学びのイノベーション事業実証研究報告書（2014）
- [2] 前田智郎，加藤直樹：Simple Shoga：電子黒板からの直接的な操作を可能とした実物投影機インタフェース 情報処理学会研究報告，Vol.2017-HCI-175，pp.1-7（2017）
- [3] 堀田龍也，高橋純，山田愛弥，八木澤圭：小学校教員が実感している実物投影機の活用に関する分析，日本教育工学論文誌，37(Suppl)，pp.153-156（2013）
- [4] 鷹岡領：ICT を活用した授業・学習実践の現状と今

後の方向性, 教育システム情報学会誌, Vol.33, No.1,
pp.6-21 (2016)

宮川治: AR 書画カメラの開発, 第 78 回全国大会講
演論文集 2016(1), pp.827-828 (2016)

[5] 趙佗, 岩崎大起, 松田海里, 高野辰之, 小濱隆司,

表 1 アンケート結果の平均値と分散値
Table 1 Average and variance of questionnaire results.

	質問項目	平均値	分散値
Q1	立体物を電子黒板に表示させるときに, 実物投影機での直接操作は使いやすいと感じましたか	2.61	0.69
Q2	被写体を直接操作することは難しいと感じましたか	2.76	0.48
Q3	拡大・縮小機能は使いやすいと感じましたか	2.61	0.85
Q4	本ツールを使って立体物を表示させるときに実物投影機を電子黒板で操作するのは使いやすいと感じましたか	3.00	0.30
Q5	カメラワーク機能は使いやすいと感じましたか	2.76	0.33
Q6	カメラ切り替え機能は使いやすいと感じましたか	3.61	0.39
Q7	拡大・縮小機能は使いやすいと感じましたか	3.30	0.36
Q8	ムーブ機能は使いやすいと感じましたか	3.07	0.53