

# 電子黒板からの操作を可能とした 実物投影機インタフェースの開発

前田智郎<sup>†</sup> 小林信輔<sup>†</sup> 比留間雄大<sup>†</sup> 加藤直樹<sup>†</sup>

**概要:** 今日の学校現場では、実物投影機が整備され、急速に普及している。しかし、現在の実物投影機の操作では本来の役割である学習の理解促進を妨げてしまう問題がある。本発表ではこの問題に焦点を当て、電子黒板上でのタッチ入力によって実物投影機の拡大・縮小、傾き補正や移動の操作を可能とするインタフェースの提案と開発、及び評価について述べる。

## A development of user interfaces that can be operated a document camera from an electronic whiteboard

TOMOO MAEDA<sup>†</sup> NOBUSUKE KOBAYASHI<sup>†</sup>  
YUDAI HIRUMA<sup>†</sup> NAOKI KATO<sup>†</sup>

**Abstract:** Nowadays, document camera is prepared and becoming popular rapidly in field of education. But there is a problem that the current operation of document camera will disturb the promotion of understanding in learning which is the natural role of it. In this paper, we focused on this problem and then suggested, developed and evaluated the interface which can operate the document camera's zooming, tilt correction, and movement by touch input on electronic white board.

### 1. はじめに

学校現場においてプロジェクタや大型モニタなどの拡大表示器、電子黒板や実物投影機等の情報通信技術（ICT：Information and Communication Technology）を活用した学習環境の整備が進み、教師や学習者にとって新しい学びがはじまっている。

文部科学省は学校 ICT 環境整備事業を通して多くの学校の普通教室にデジタルテレビやパソコン、実物投影機等の ICT 機器の普及のために財源を確保し、導入を推進した。そして、平成 26 年度「学校における教育の情報化の実態に関する調査結果」[1]によると、電子黒板の整備状況は前年度より 8,045 台増加して 90,537 台となっており、実物投影機の整備状況は前年度より 18,976 台増加して 178,910 台となっている。電子黒板、実物投影機ともに整備状況は年々増加し、いずれも過去最高の整備台数になっている。また、ICT 活用に関して書かれている教育の情報化に関する手引き[2]において、実物投影機を用いて写真や図形を拡大表示することが効果的であると示されている。このことから、実物投影機での ICT 活用がより身近になり、普及していくだろう。

2020 年度に向けた教育の情報化に関する推進方策である教育の情報化ビジョン[3]によると、情報通信技術を活用

して、一斉指導による学び（一斉学習）に加え子どもたち一人一人の能力や特性に応じた学び（個別学習）、子どもたち同士が教え合い学び合う協働的な学び（協働学習）を推進していく。とあるように、それぞれの子に応じた学習において、適切に ICT 機器を活用することが重要としている。そして、児童生徒に必要な情報を表現したり発信したりするために実物投影機等の ICT 機器が早急に全ての教室で活用できるようになることが必要としている。

堀田らは、実物投影機が教室に常設されている教室環境で日々の授業を行う教員にとって、実物投影機の活用は常態化しており、実物投影機が活用できない場合には数多くの指導困難点が生じると予想しているなど、授業環境として不可欠となっていること確認されたことを報告している[4]。

また、野中は、いくつかの調査結果をもとに ICT の整備状況や活用状況を整理し、日常的な ICT 活用が必要であると述べている[5]。その中で、ICT の常設により使用頻度が高まり、使用頻度が高いほど学力が高いことを示している。実物投影機の重要性を訴え、実物投影機を教室に常設することの必要性を明らかにした。

高橋らは、調査を行い ICT の活用方法や特徴を明らかにした[6]。多くの教員は、授業中に実物投影機を活用することで注目してほしいポイントに児童生徒の視線を集めることで、意見や考えを全体で共有したいことがわかる。

このように実物投影機の重要性が示される中、一方で、

<sup>†</sup>東京学芸大学  
Tokyo Gakugei University

先の調査[2]では、授業中に ICT を活用して指導する能力に関して「わりにできる」若しくは「ややできる」と回答した教員の割合の平均は 71.4%にとどまっている。このことから、教員の ICT 活用がまだ高いとはいえないことがわかる。

本研究では、実物投影機で教科書やノートを提示する授業を対象とする。このとき従来の環境では、教師は教科書やノートを実物投影機がある場所に置き、ズームして電子黒板や大型モニタの幅に合わせて表示し、ノートを回転して傾きやずれを直していた。しかし、電子黒板や大型モニタに写された映像を見ながら手元の実物を動かさず操作は非常に難しいという問題がある。また、教師の視線が児童生徒の視線と一致したうえで説明するのが望ましい(図1, 2)。しかし、重要な部分を次々にズームしながら説明する場合、投影場所と実物投影機の間を行き来することを面倒や時間の無駄と感じ、実物を指やペンで指し示しながら説明することが多い。そのため、視線は手元に行ってしまうのに対して、児童生徒の視線は電子黒板や大型モニタに向いてしまう。加えて、児童生徒の中には提示されている方を見ればよいのか、先生を見ればよいのか迷ってしまう者も出るなどの問題もある。

そこで本研究では、これら授業における実物投影機利用の問題点を解消することを目的とし、電子黒板と共に利用する環境での実物投影機のユーザインタフェースの提案、設計、開発、評価を行う。

## 2. 実物投影機インタフェースの設計

### 2.1 基本コンセプト

本研究では、授業者が実物投影機を電子黒板上で操作できるようにすることを提案する(図3)。従来の実物投影機の操作では、操作中に児童生徒に背中を向けたり(図4)、

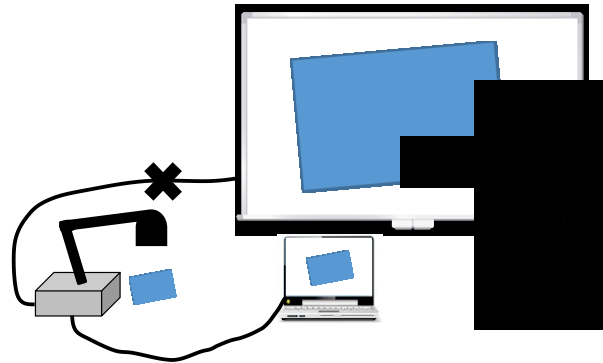


図3 本ツールの想定環境

Figure3 Estimation environment of this tool

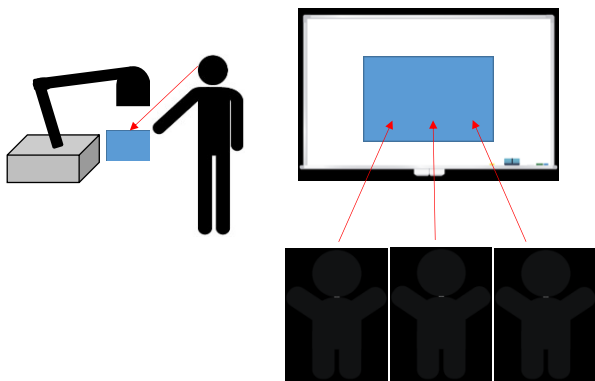


図1 教師と児童生徒の視線が一致しない

Figure1 Teacher and students watch different direction



図4 操作の際に児童生徒に背を向けてしまう

Figure4 Teacher turns a back to the child

when operating the tool

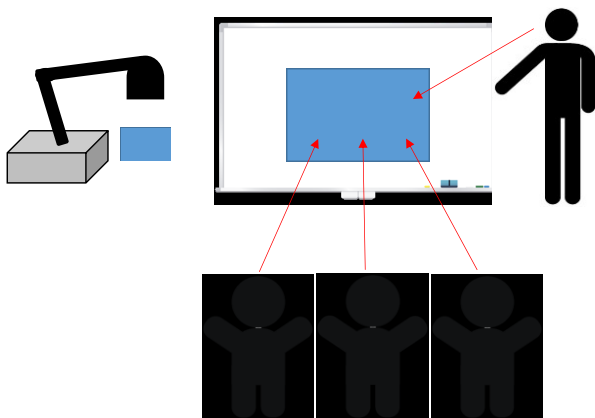


図2 教師と児童生徒の視線が集まる

Figure2 Teacher and students watch same direction

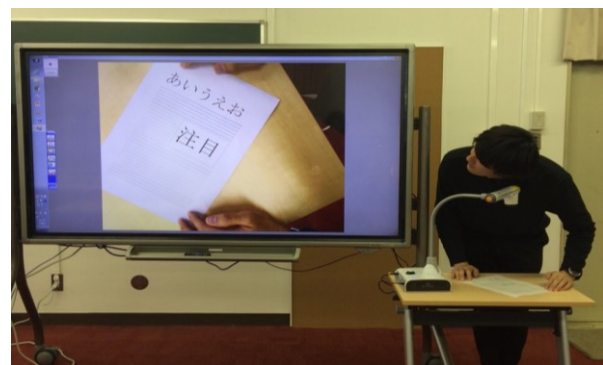


図5 操作の際の姿勢が難しい

Figure5 Teacher feels hard position when operating the tool

操作の際に難しい姿勢にならないといけなくなる場合がある(図5)。この状態は、児童生徒の反応や表情を確認することができないので好ましくない。そこで電子黒板など映像の提示場所から操作できるようにすることで、授業者は実物投影機を操作する際に実物投影機本体と電子黒板や大型モニタの間を行き来する必要がなくなる。また、手元と別の画面を見ながら操作する難しさを解消することで、授業を円滑に進める助けをする。そして、教師の視線は手元に行くのに対して、児童生徒の視線は電子黒板や大型モニタに向くという視線の不一致の問題も解消できる。

## 2.2 機能設計

### 2.2.1 傾き補正機能

本ツールでは、電子黒板上の操作で、投影像を回転させることによって傾きを補正する機能を提供する。

従来の実物投影機はどちらの向きに撮っているのかわかりづらく、電子黒板や大型モニタに表示してみないとわからない。また、表示後に傾きを補正する際に電子黒板や大型モニタに映っている映像を見ながら手で実物を操作するのは難しい。この操作に煩わしさを感じる教師も多い。そのため、ここでの操作を簡単に素早くできることによって、本来の授業に使われる時間を確保することができるだけでなく教師にとって操作上のストレスを少なくすることが期待できる。

### 2.2.2 拡大・縮小機能

本ツールでは、電子黒板上の操作で、投影像の拡大・縮小を行う機能を提供する。

従来の実物投影機では、映しているものを拡大・縮小する際に直接本体を操作しなければならない。また傾きを補正するときと同様に電子黒板や大型モニタに映っている映像を見ながら手元を操作しなければならない。ここでは、そのような操作の難しさを解消することをめざす。

### 2.2.3 ムーブ機能

本ツールでは、電子黒板上の操作で、投影部分を自由に移動する機能を提供する。

拡大・縮小機能を用いて、拡大を行ったときに画面上に映らなくなってしまう範囲が出てきたり、授業中に教師が説明を行う過程で、表示させたい範囲が変わったりすることがある。その都度、教師は実物投影機本体と電子黒板や大型モニタの間を移動しなければならない。このような、実物投影機の操作の手間が時間の無駄につながっている。そこで、本機能では電子黒板上の操作で、表示させる範囲を決めるための機能を提供する。

## 2.3 操作方法の設計

### 2.3.1 基本方針

本ツールは電子黒板上を指で操作することを想定する。使い勝手を向上させるためにボタンを少なくし、直感的に表示されている映像に直接操作できるようにする。

### 2.3.2 傾き補正の操作方法

傾き補正は水平にしたい線を通る2点を指定して行う。

2点を指定するには次の2通りが考えられる。

- ・ 投影像上の2点をタップして指定する。
- ・ 1点をタッチしてそのまま指を移動させ離れた部分を2点目として指定する。

本研究では、この2通りの傾き補正の方法を採用し、傾き補正を行う。

1点目をタップしたとき、もしくはタッチした時、その場所を始点とする。2点目をタップした場所、もしくはタッチを離れた場所を終点とする。そして、表示している投影像を、指定した2点を結ぶ直線と水平になるように回転させ傾きを補正する。

また、投影像の回転の中心を指定するという作業は手間が増え教師の負担になる。そこで、操作をより簡単にし、手間を省くために回転の中心は投影像の中心とする。

### 2.3.3 拡大・縮小の操作方法

拡大・縮小には、ピンチイン、ピンチアウトを採用する。近年のスマートフォンやスマートPC等の普及により、拡大操作にはピンチインやダブルタップ、縮小操作にはピンチアウトの操作が一般的に用いられるようになっている。そのため、本ツールでは拡大・縮小の操作にピンチイン・ピンチアウト操作を採用した。

拡大・縮小の中心はピンチイン時の2本の指の midpoint とし、ピンチインの際の片方の指が差している部分が、ピンチアウト時の指の部分になるように拡大縮小する。

### 2.3.4 ムーブの操作方法

ムーブは、2本指でのドラッグ操作を採用する。ムーブの際に1本指での操作も考えられるが、スマートフォンやスマートPCで1本指での操作は画像を前後に送る際に多く使われるため採用しなかった。

## 3. 試作

### 3.1 ターゲット環境

本ツールの実現可能性を示すために、試作を行った。筆者の所属する東京学芸大学加藤研究室で研究されている電子黒板システム(Digiboard)との連携を想定した。実物投影機は、エルモ社のL-12idを用いた。これをコンピュータと接続し、その出力を電子黒板やタッチ操作が可能な大型モニタ上に表示する環境を前提とした。エルモ社のL-12idはUVC(USB Video Class)規格に準拠したカメラであり、カメラをして映像を表示するだけではなく、逆方向にカメラを制御することが可能である。

### 3.2 開発環境

本ツールは、学校現場では電子黒板用コンピュータとしてWindowsが多く採用されていることから、Visual Studio 2013を用いてMicrosoft Visual C#を使用し、WindowsForm Applicationとして実装を行った。

実物投影機の制御には、Microsoft が提供する API (Application Programming Interface) である DirectShow を利用した。これにより次のカメラ制御とカメラの情報を取得することを可能とした (表 1)。

### 3.3 傾き補正機能の実装

2.3.2 で述べたように傾き補正は投影像の任意の 2 点をタップすること、もしくはドラッグ操作の始点と終点を指定することで行う。

2 点を指定することで 2 点を通る直線と水平方向の直線とのなす角を求めることができる。そして、2 点から求めたなす角を傾きとし、2 点を結ぶ直線と水平になるように間開映像を回転させる。

傾き補正が指定されている段階で、再度傾き補正が指示された場合はこれまでの回転角度に足し合わせたものを補正角度とした。

傾き補正機能における映像や画像の回転は .NET Framework に用意されている Graphics クラスを利用して実現した。Graphics の Graphics.RotateTransform メソッドによって指定したイメージを回転させることができる。傾き補正が指示されている場合、実物投影機から送られてくる映像は Graphics.RotateTransform メソッドによって常に回転させる。

### 3.4 拡大・縮小機能とムーブ機能の実装

拡大・縮小とムーブはハード処理とソフト処理の 2 通りの処理を組み合わせる。ハード処理とソフト処理について次に説明する。

#### (1) ハード処理

ハード処理は、実物投影機本体から送られてくる映像をそのまま原画像として表示する。拡大・縮小もが実物投影

機本体が持つ光学的なズーム機能を用いて行う。

#### (2) ソフト処理

ソフト処理は、実物投影機から送られてくる映像をキャプチャした画像に対してソフトウェア的な処理を加えたものを原画像として表示する方法である。ソフト処理では、拡大の際に画質を落としてしまうが、拡大を限界なく行うことができる。

ハード処理の方が画質劣化が少ないため、ハード処理で可能な場合には積極的にハード処理を利用する。ハード処理とソフト処理を組み合わせる方法を次に説明する。

#### (1) ソフト処理への切り替え

拡大操作によって、ハード処理の範囲を超えたとき、ソフト処理に切り替える。この場合、最大倍率の映像をキャプチャし、それ以上拡大する場合は、その画像に拡大処理、切り出し処理を加える。

また、ハード処理をしている状態でムーブ操作を加え、表示範囲が実物投影機から送られてくる映像の中央ではなくなったときにも、ソフト処理に切り替える。この場合、その時点で実物投影機から送られてくる映像の範囲外を表示しなければならないため、実物投影機からの映像に表示範囲を含む最大倍率にした状態にしてからキャプチャし、その画像から表示範囲を切り出す。

#### (2) ハード処理への切り替え

ソフト処理をしている状態で縮小操作を行い、表示範囲がハード処理の範囲に収まった時にはハード処理に戻す。

また、表示範囲が中央でない (ソフト処理をしている) 状態でムーブ操作を行い、表示範囲が中央に戻った時も、ハード処理に戻す。

なお、上記の操作が行われても、ハード処理に戻る条件にならない時は、表示範囲を含む最大倍率での映像をキャプチャし直し、その画像から切り出し処理を行う。この処理によって、最良の画質による表示が可能になる。

### 3.4.1 ハード処理の実装

実物投影機の制御は DirectShow の IAMCameraControl インタフェースを用いて実現した。IAMCameraControl には次のメソッドが用意されている (表 2)。

ハード処理の状態では、GetRange メソッドによって接続されている実物投影機のカメラプロパティのズームの初期値、最小値、最大値を取得する。次にハード処理を行う準

表 1 DirectShow を用いることで可能となる機能  
 Table1 The function which can be capable  
 by using DirectShow

Pan	カメラを水平方向の左右に動かす機能 パン機能の有無とその範囲
Tilt	カメラを垂直方向の上下に動かす機能 ティルト機能の有無とその範囲
Zoom	撮影の範囲を拡大・縮小する機能 ズーム機能の有無とその範囲
Exposure	光の量を調節する機能 露出調節機能の有無とその範囲
Iris	光を通す穴の大きさを調節する機能 絞り調節機能の有無とその範囲
Focus	焦点を調節する機能 焦点調節機能の有無とその範囲

表 2 IAMCameraControl に用意されているメソッド  
 Table2 The methods in IAMCameraControl

GetRange	カメラプロパティの範囲と既定値を取得する。
Get	カメラプロパティの現在の設定を取得する。
Set	カメラのプロパティを設定する。

備として **Get** メソッドによってカメラプロパティのズームの現在値を取得する。また、**Set** メソッドによってズームの値を、ハード処理を行いながら設定する。

また、ハード処理を行う際に同時に、カメラの焦点を合わせるために焦点調節の範囲の初期値、最小値、最大値を **GetRange** メソッドによって取得する。そして、焦点の調節を自動 (Auto) もしくは、手動 (Manual) で設定することができるため、本ツールでは焦点は自動で合わせるようにした。こうすることで、カメラを制御し拡大・縮小を行っても、ピントがずれることなく表示することができる。

傾き補正機能によって傾きが補正されていた場合には、送られてくる映像を回転させて表示する。

### 3.4.2 ソフト処理の実装

ソフト処理の状態では.NET Framework の Graphics クラスを利用して実現した。Graphics の **Graphics.ScaleTransform** メソッドによって指定したイメージを拡大・縮小し、必要な場合は、**Graphics.DrawImage** メソッドによって切り出しを行った。

また、傾き補正機能によって傾きが補正されていた場合には、画像を表示する前に回転補正し、表示した。

### 3.4.3 拡大・縮小操作の実装

ピンチ操作を行うときの2本指の間の距離をもとに倍率を計算する。2本指の間の距離の大小によって倍率を決める。そして、スタート時の2本指の距離とピンチ操作を行って変化した距離の比から拡大・縮小の比率を求め、ハード処理、ソフト処理ともに投影像の中心からズームさせる。

### 3.4.4 ムーブ操作の実装

2本指の間の距離が大きくなった場合はピンチイン、小さくなった場合はピンチアウトとするため、2本指の間の距離を一定の場合はムーブ操作とする。

## 4. 予備評価

### 4.1 概要

開発したツールの有用性を検証するために予備的な評価実験を行った。対象は東京学芸大学に通う教育実習を経験した大学4年生 (男7名 女3名) の計10名で、時期は2016年1月21日 (木) であった。本研究では3.1に述べたターゲット環境を想定し行った。

### 4.2 方法

本調査は次の2種類の調査を行った。

#### (1) 本ツールを用いた操作時間とそうでないときの比較

本ツールを用いて電子黒板上で実物投影機を間接的に操作し、与えられたタスクを完了するのに必要とした時間と実物投影機を直接操作し同じタスクを完了するのにかかった時間を比較した。

#### (2) 質問紙を用いた評価

質問紙で主観的評価 (五段階, 2から-2の採点) を取得した。大きく2種類の質問を実施した。

一つ目は、実物投影機を直接操作した時の操作のしやすさに関して、また、本ツールを用いて電子黒板上で間接的に操作した時の操作のしやすさに関する質問 (2項目) を実施した。

二つ目は、本ツールの主な機能 (傾き補正機能, 拡大・縮小機能, ムーブ機能) の使いやすさに関する質問 (3項目) を実施した。

また、それぞれの項目は「とてもそう思う」を2点、「まったくそう思わない」を-2点として評価を実施した。

### 4.3 タスク

調査では次のタスクで行ってもらった。

- (1) 本ツールの操作説明をする。
- (2) 10人をそれぞれAグループBグループに5人ずつに分ける。
- (3) Aグループは最初に、本ツールを用いて電子黒板上で実物投影機を間接的に操作し、Bグループは最初に実物投影機を直接操作する方法で行う。

具体的な操作内容としては、A4のプリントをあらかじめ傾けて表示させておく。また、プリントには注目させる範囲を決める。実物投影機を直接もしくは電子黒板上で間接的に操作させることで傾きを補正し拡大することで注目範囲を表示させる。

### 4.4 分析方法

標本数が少ないことからノンパラメトリック手法を用いて検定を行った。

操作時間を計測したことで得られた結果は、直接操作に要した時間と電子黒板上で間接的に操作した場合に要した時間を対応させて検定 (ウィルコクソンの符号付順位和検定) を行った。

質問紙の調査によって得られた結果は、直接操作もしくは、本ツールを用いて電子黒板上で間接的に操作した時の操作のしやすさに関する質問では二つの回答を対応させて差をとり、検定 (符号検定) を行った。また、本ツールの機能の使いやすさに関する質問では項目ごとで検定 (正確二項検定) を行った。

### 4.5 結果

表3は実物投影機本体を操作した際にタスクを完了するのに要した時間と本ツールを用いて電子黒板上で間接的に操作した際にタスクを完了するのに要した時間を比較した表であり、表4、表5は、質問紙評価の点数の結果をまとめた表になる。

本ツールを使った場合の操作時間の平均値は22.90 (分散14.37)、使わない場合の平均値は22.14 (分散22.56) であった。ウィルコクソンの符号付順位和検定を行ったところ、有意水準5%で有意差は認められなかった。

また、それぞれの場合についての操作のしやすさの質問に対する回答は、本ツールを使った場合の平均値が0.90点、使わなかった場合が0.20点であった。本ツールの方が使い

やすかったかどうか（非劣性）を検証するために、符号検定（片側、有意水準 5%）をしたところ、有意差が認められた。

本ツールの三つの操作方法の操作がしやすいかどうかを検証するための質問に対する回答の平均値を表 5 に示す。傾き補正については肯定的、拡大縮小についてはほぼ同等の値となったが、ムーブについては否定的な値となった。肯定的な点数をつけた人数と否定的な点数をつけた人数について、正確二項検定（片側、有意水準 5%）をしたところ、傾き補正について有意差が認められた。

#### 4.6 考察

本ツールを使った場合と使わない場合との比較では、操作時間はほぼ同じであったが、操作のしやすさに対する主観的な評価では優位性が示された。

また、各操作方法のしやすさに対する主観的な評価では傾き補正については肯定的な点数となり、検定でも有意差が認められた。プリントが傾いて表示されている 2 点をタップするという簡単に正確でわかりやすい操作方法が使いやすかったのではないかと考えられる。一方、ムーブ機能は否定的な点数となった。ムーブ操作を 1 本指でなく 2 本指のドラッグにしたことに対して使いにくく感じてしまったことが原因だと考えられる。

#### 5. おわりに

本研究では、実物投影機で教科書やノートを提示する際にも問題点を解消することを目標に、実物投影機をより使いやすくするためのユーザインタフェースを提案、設計、開発、評価を行った。

これまで、USB カメラを表示させるだけのツールは存在したが、本研究では UVC 規格に準拠した実物投影機に共通して使えるユーザインタフェースとなった。

また、使いやすさの評価だけではなく、実際の学校現場

表 3 操作時間の結果

Table3 Result of the operation time

対象者	直接操作で要した時間(秒)	間接操作で要した時間(秒)
1	16.9	23.42
2	30.1	25.72
3	19.52	18.31
4	29.27	28.3
5	15.32	28.1
6	22.03	23.58
7	22.37	18.11
8	23.61	20.49
9	19.76	23.81
10	22.53	19.18

表 4 質問紙の結果①

Table4 Result of the questionnaire survey, 1

対象者	直接操作の使いやすさ	間接操作の使いやすさ
1	0	0
2	-1	1
3	0	1
4	-1	1
5	2	-1
6	0	1
7	0	1
8	0	2
9	1	1
10	1	2

表 5 質問紙の結果②

Table5 Result of the questionnaire survey, 2

対象者	拡大・縮小機能	傾き補正機能	ムーブ機能
1	1	2	0
2	2	2	-1
3	0	-1	-2
4	-1	1	-2
5	-1	0	-2
6	0	2	-1
7	-1	1	1
8	1	1	0
9	1	0	-1
10	1	1	0
平均値	0.3	0.9	-0.08

でも有用性があるのかを実践等を通して検証したい。そして、新たに必要とする機能があるかどうか分析し、本ツールの使いやすさをさらに向上していきたい。

### 参考文献

- [1] 文部科学省:平成 26 年度 学校における教育の情報化の実態等に関する調査結果(2015).
- [2] 文部科学省:教育の情報化に関する手引き(2010).
- [3] 文部科学省:教育の情報化ビジョン(2011).
- [4] 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効果に関する分析, 日本教育工学会論文誌, 第 37 号, pp.153-156 (2013).
- [5] 野中陽一:現実的な ICT 活用のための普通教室の ICT 環境, 日本教育工学会年会論文集, 第 27 号, pp.16-17 (2011).
- [6] 高橋純 堀田龍也:小学校教員が効果的と考える普通教室での ICT 活用の特徴, 日本教育工学会論文誌, 第 32 号, pp.117-120 (2008).