

## AR 技術の板書表現への利用に関する研究 2

奥村 英樹

### A Study of Expression of Writing on the Blackboard with AR Technology 2

Hideki OKUMURA

#### ABSTRACT

The purpose of this study is to explain the extendibility of writing on a blackboard with AR technology. In this paper, I describe the overview and features of three software programs using AR technology which I developed, and reveal the considerations on the use of AR technology for blackboard representation.

I developed the following three kinds of teaching-materials software.

- 1) Software that facilitates the presentation of AR teaching materials
- 2) An AR teaching material to present a virtual object with accelerated motion in front of the blackboard
- 3) An AR teaching material to present a three-dimensional phase of Venus

The main findings obtained as a result of the development are as follows.

- 1) It's possible to provide an environment in which teachers can develop AR teaching materials without programing.
- 2) Some effective learning situations with AR technology exists.
- 3) To use AR technology in the classroom, it is necessary to further increase the recognition rate of the marker.
- 4) To view a large three-dimensional object, it is necessary to devise its location and the position of the markers.

KEYWORDS : augmented reality, software development, teaching materials development, writing on a blackboard

#### 1. はじめに

カメラの映像にCGを合成して閲覧するAR (Augmented Reality) 技術は、既に一般的に利用されるだけでなく、一般のプログラマーでも比較的手軽に開発ができるようになってきている(橋本 2008, 谷尻 2008)。近年のAR技術の教育利用については、生徒自身がマーカー付きの器具を操作する化学実験シミュレータ(江木 2010)や地図上のマーカーを通して各地点の史跡の写真等の情報を得る地図学習(小杉 2011)などが多数提案されているが、多くは学習者が個別あるいはグループで学ぶ用途として利用されている。これは、ARが将来的にも「個人における」情報収集を支援する技術と考えられるためである。しかし、情報を効果的に受け取るためには、提示される情報のデザインとその文脈が重要

である。学校教育においては、板書を伴う一斉授業においてこそ、学習に関する情報が効果的に子ども達に受け取られなければならないと考えられる。

筆者はこれまで、次の3つの仮説をたて、AR技術を利用した教材開発を通して板書による提示でのAR技術の利用の可能性について論じてきた(奥村 2012, 奥村 2012b)。

仮説1 : タブレットPCを用い、マーカーを検出して提示する技術であっても、板書時に有効な利用方法が存在する

仮説2 : ARは、電子黒板やプロジェクタ、情報端末(PC)と異なる教育的利点を持っている。

仮説3 : AR技術を利用した教材(以下AR教材と呼ぶ)の作成において、板書用の教材には、机の上や教科書を拡張提示する教材にはない技術上の

特性が存在する。

その結果、各仮説に対して以下の結論を得ている。

「仮説1」については、3Dモデルやアニメーション、シミュレーション教材などを板書内容の一部として提示することで、学習内容のイメージ化等に寄与する可能性が示された。

「仮説2」についても、解像度や視聴の継続性(長時間の視聴)に問題はあるが、板書された学習内容との接続性の点では、ARの方が教育的であることが示された。

「仮説3」についても、オブジェクトの提示角度やサイズ等、いくつかの課題のあることが示された。

本稿では、新たに作成したAR教材について、その概要と特徴を述べるとともに、開発に際して得られた板書用のAR教材の開発上の留意点を整理する。

## 2. 本稿で扱うAR技術と利用環境

本開発においては、次のような技術的制限と利用環境であることを前提としている。

### 1) 生徒によるタブレットPCを用いた閲覧

既に報告している通り、文部科学省や経済産業省などの主導で行われているさまざまな教育へのICT活用のプロジェクトの中には、学習者全員にタブレットPCを配布し、日常的に利用する実践的研究が行われている。従って、1人1台のタブレットPCを用いた閲覧は、この数年で一般的な学習環境になる可能性が高い。なお、本稿で利用するタブレットPCは、液晶画面の反対側にカメラが備え付けられているものとしている。これにより、板書に対してタブレットPCをかざすことで、実物とタブレットPCで提示された画面を比較して閲覧することが可能となる。

### 2) マーカーを用いた位置認識

様々な教材を作成し、提示する上で、顔や手書き

文字、手書き図形の認識に比べて、特定のマーカーを利用した認識の方が誤作動する可能性が最も少ない。現在では、マーカーレス(黒い枠のマーカーを使わない手法)で画像を認識する開発用ライブラリもあるが、認識率の低下が予想されるため今回はこの方法に留めた。

## 3. 開発した教材の種類

AR技術を利用した板書の拡張など、新しい技術を教育に利用する際に問われるのは、「新しい技術を利用してできる教育」ではなく、「新しい技術でないと実現できない教育」を明らかにすることである。

従って、本研究では開発の方向を次の2点に絞っている。1つは、誰もが新しい技術を利用した授業を試せる環境の構築である。これにより、新しい技術を利用した教育方法の実践例が増え、より広く深い議論が可能となる。2つめは、「新しい技術でないと実現できない教育」を実現する教材ソフトの開発である。

本研究では、上述の2つの方向性のもとに以下の3つのAR教材を作成した。最初のソフトは、前述の誰もが利用できる環境の実現を目指したものであり、残りの2つは「新しい技術でないと実現できない教育」を実現する教材ソフトの開発を目指したものである。

### (1) 汎用AR提示ソフト

3DのCGオブジェクトを制作する技能があれば、すぐに授業で利用できる汎用提示ソフト。従来のARソフトは、プログラミングの技能を必要とするため、開発環境とプログラミングの知識を必要とした。

### (2) 加速度運動シミュレーション

大きな空間を必要とする加速度運動の疑似実験をするソフト。従来の教師実験による提示では、運動する物体を視認しづらく、加速度を自由に変更できないうえ、実時間で提示のみであった。また、電子黒板やパソコンによるシミュレーショ

ンでは、加速度運動のスケール感が認識しづらいものとなっていた。

### (3) 金星の満ち欠けシミュレーション

立体的な金星の満ち欠けのイメージを疑似体験するソフト。太陽と金星、地球の位置関係を、平面的な作画よりもよりダイナミックに提示することが可能となっている。

## 4. 汎用 AR 提示ソフトの概要と考察

### 1) 背景と目的

先述の通り、AR 技術の教育利用を検討するためには、実践しやすい環境を作る必要がある。本ソフトでは、AR 技術による板書の拡張を、プログラミングの技能や開発環境がない先生でも手軽に利用できることを目的としている。

### 2) 開発要件

開発に際しては、以下の点を要件とした。

- ・マーカーの制作と登録が不要である
- ・マーカーの記号は、教師や学習者にも理解可能なものである
- ・教材製作にプログラムのコンパイルが不要である
- ・提示できる CG オブジェクトは、一般的に使われているデータ形式を採用する
- ・提示内容を、各学習者が座ったままでも任意の角度で閲覧できる
- ・利用の際は、学習者がタブレット PC を手で持ち撮影することを前提とする
- ・タブレット PC を長時間持たなくてもすむ
- ・拡張された提示内容を見ながらノートをとれる

### 3) ソフトの概要

本ソフトは、マーカーを数字とし、汎用性を高めた上で教師や生徒も簡易に識別できるようにした(図1)。また、提示可能な CG オブジェクトのデータ形式は、「メタセコイア(.mqo)」、「VRML(.wri)」、「2D 画像 (.bmp)」の3種類とした。更に、これらの CG データは、拡張子以外のファイル名を、マーカーの番号に変更し、特定のフォルダに保存するだ

けで良いようにした。

ソフトを起動し、画面サイズを設定すると、すぐに利用可能となっている(図2)。提示に際しては、次の3つのモードを用意している。



図1 汎用のマーカー例



図2 汎用 AR 提示ソフトの画面例

#### (1) 画面モード (ライブ/静止)

タブレット PC を手に持って映すと、手ぶれのため CG オブジェクトをじっくり閲覧することができない。また、カメラの動画撮影上の性質のため、例えばタブレット PC を固定してもドット単位で画像がわずかに動き、認識したマーカーの角度が逐次ずれることになる。そのため、ソフトが認識するマーカーの方向もずれることにより、CG オブジェクトの描画角度が常にぶれることになる。机上などマーカーに近い場合は問題ないが、板書の場合は遠くにある小さなマーカーを認識するため、角度のずれは大きくなる。ここでいう「ライブ」は映像を逐次認識する通常の表示であるが、「静止」は映像を静止画にして固定するものである。これにより、マーカーのずれがなくなる

ほか、タブレット PC を机に置いても同様の画像が提示されたままであるため、ノートに書き込む作業もしやすくなる。

#### (2) 表示モード (オン/オフ)

板書された画像と、AR による拡張された画像を比較する際に利用するモードで、「オン」が通常の CG オブジェクトが提示される表示なのに対し、「オフ」は CG オブジェクトを非表示とするものである。

#### (3) 回転モード (オン/オフ)

立体の CG オブジェクトであっても、タブレット PC に提示された時点で 2 次元表示となり、立体物を見ている感覚は半減してしまう。回転モードが「オン」の場合は、マウスや指先によるドラッグに合わせて、CG オブジェクトが回転し続けるようになっている。

また、提示された CG オブジェクトに対しては、以下の操作が可能となっている。これらの操作は、複数のマーカーが画面内にある場合は、映像内のマーカー部分をタップ (あるいはマウスの左ボタンでクリック) することで区別し、個別に操作できるようになっている。

##### (1) 拡大・縮小

ソフトのコントロールパネル上のボタンをクリックするか、画面の上部と下部のタップで拡大・縮小を操作できるようになっている。

##### (2) 回転

回転モードがオフの場合は、ドラッグした方向と距離に応じた角度で、オブジェクトが回転し静止する。ただし、マーカーに垂直な方向を軸とした左右の回転については、マウスの右ボタンによるドラッグで実現している。さらに、コントロールパネルのスライダーを操作することでも、XYZ の各軸に応じた回転をするようになっている。

##### (3) 画像の保存

現在の CG オブジェクトの表示状態で、板書の内容とともに画像として保存する。文字入力による操作の中断を避けるため、ファイル名は保存日時となっており、保存用のダイアログは表示され

ない。

#### 4) 考察

本開発により、CG モデルの制作のみで AR の授業での利用が可能となった。しかし、今後の利用のしやすさから、以下の点での更なる検討が必要となる。

##### (1) マーカーが認識しづらい場面が多い

光の加減や撮影位置により、マーカーを認識できない場面も多数生じた。全ての学習者が同じ情報を確実に得られなければ、一般の教員が気軽に利用できる環境とは言えない。

##### (2) 四角いマーカー枠が板書内容の視認性を下げている

現状では、板書に際しては四角い枠のついたマーカーを利用している。そのため、AR による拡張表示がされていない板書では、マーカー部分が意味不明なものとなっている。AR による拡張表示がされていなくても板書として成り立ち、拡張表示によって更に高度な情報を得られるようにする工夫が必要となる。

### 5. 加速度運動シミュレーションの概要と考察

#### 1) 背景と目的

中学校や高等学校の物理分野では、数式による学習が増えてくるのに比例して、その数式 (公式) が現実にはどのような現象となるか理解することが難しくなっている。特に運動力学の場合、加速度運動など、仮定や理想的な状態での定義は知識として理解できても、現象としての物体の運動のイメージを持たせることは教師による提示実験でも難しい場合が多い。一方、物体の運動のイメージはシミュレーションソフトを使って PC の画面上に表示することも可能であるが、全てが CG で提示されるため、距離感やスケール感を持たせることはかなり難しい。

#### 2) 開発要件

開発に際しては、以下の点を要件とした。

・物体の加速度運動を教室内の空間でシミュレート

できる

- ・ 加速度は、学習者が自由に設定できる
- ・ 学習者が、何度でも加速度運動を確かめられる
- ・ 単位時間ごとの目盛りをもとに、加速度運動での距離を確かめられる
- ・ 運動範囲を広くとれる（2 m 以上）

### 3) ソフトの概要

従来は直線上に単位時間ごとの物体の位置を黒板やノートに記すことで、加速度運動の現象を説明していたのに対して、アニメーションで提示できるようにしたものである。

この時、2 m を超える長さの運動であるため、マーカーが認識できる距離まで近づくと、タブレット PC のカメラの撮影範囲の制限から、運動開始位置から運動の終端までの物体の運動の様子を見ることは難しい。そのため、マルチマーカーという手法を使い、特定の区間で複数のマーカーを配置することで、運動開始位置から終端までをカメラをパンしながらでも閲覧できるようにした（図 3、図 4）。

本ソフトでは、加速度運動のシミュレーションとして、次のような機能を持っている。

#### (1) 加速度のパラメータの変更

キーボードの数字キーを認識し、 $[m/s^2]$  を単位とした 1 桁までの加速度運動をシミュレートできるようにになっている。

#### (2) 加速度運動の開始指示

画面をタップすることで、運動のアニメーションが見られるようになっている。

#### (3) 目盛りの表示・非表示

画面の隅をタップすることで、目盛りの表示・非表示を切り替えられるようになっている。これにより、単位時間での運動位置を白板（黒板）上に転記することも可能となっている。

### 4) 考察

AR を使うことで、現実の空間イメージの中での物質の運動を体験することが可能となっている。また、マルチマーカーを使うことで、電子黒板よりも大きなサイズでリアルな物理現象を提示することが

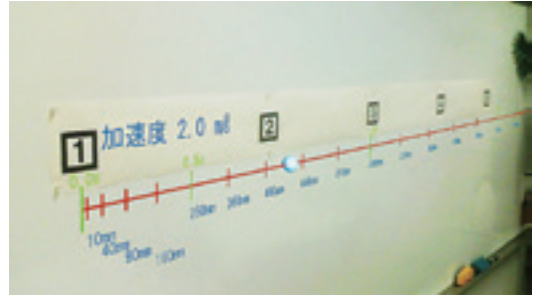


図 3 加速度運動のシミュレーションの例（運動の開始位置）



図 4 加速度運動のシミュレーションの例（運動の終端位置）

できた。

今後は、以下の点での改良が望まれる。

#### (1) 更に大きな空間イメージでの利用

重力加速度など、加速度の値が大きい現象の場合は、より大きな空間でないとその特徴を理解できない。

#### (2) マーカーの配置方法の検討

マルチマーカーでは、マーカーが多いほどより広い空間を利用できるが、板書の際にそれらのマーカーを逐次設置するのは現実的ではない。

## 6. 金星の満ち欠けシミュレーションの概要と考察

### 1) 背景と目的

金星の満ち欠けでは、教科書や板書、ノートでの表現の制約から、反時計回りで公転する様子を示す俯瞰図による描画で表現することが多い（図 5）。この場合、天体の動きを動的に表現できないだけでなく、太陽と金星、地球の正しい縮尺での位置関係

や星のサイズまで認識させることは難しい。



図5 金星の満ち欠けの作図例



図6 俯瞰による金星の満ち欠け

## 2) 開発要件

開発に際しては、以下の点を要件とした。

- ・太陽と金星，地球の位置関係と，満ち欠けの原理を立体的な空間で表現できる
- ・天体の正しい縮尺イメージも表現できる
- ・学習者の席からの視点に左右されないで，モデル図が提示できる

## 3) ソフトの概要

本ソフトでは，次の2つのパターンでの提示が可能となっている。

### a) 俯瞰図的な提示

図5に示された説明図を，ARによりそのままの見え方で提示する(図6)。中央の太陽が見えやすいよう，マーカーは自動的に隠すようになっていいる。また，金星は公転軌道上を反時計回りに回転するアニメーションとして提示してあり，地球から見える方向が線で示されている。地球の左側には，地球から見える金星の大きさと満ち欠けが提示されている。

なお，太陽は金星の公転半径から算出した正しい半半径で提示しているが，金星と地球をこの縮尺で提示すると1ドットにも満たない。また，教室の横側から閲覧した場合には，CGオブジェクトが白板に張りつくように提示されるため，金星の公転を斜め

左から見ることになってしまう。

以上から，本ソフトでは，画面の静止やCGオブジェクトの表示/非表示などに加えて，次のような機能を用意した。

#### (1) 画面拡大

CGオブジェクトの内容を詳細に閲覧できるように，カメラで撮影された画像の特定部分のみを拡大させる。

#### (2) 金星・地球のみ拡大・縮小

太陽光による金星と地球の陰影を肉眼で読み取れるよう，公転軌道はそのままに金星と地球のみ拡大表示する(図6)。

#### (3) 正面表示

マーカーを斜め方向から見た場合にも，学習者に対して正面を向くように提示する(図7)。

#### (4) 説明表示

太陽と金星，地球の名前と，金星と地球の倍率を提示する。

### b) 立体感のある提示

金星の満ち欠けの様子を，金星の公転軌道面上の地球側の視点から提示する(図8)。

この場合，教室の端でなおかつ下側(着席状態)で閲覧すると，先の俯瞰図の下側から見ることになる。しかし，「正面表示」を利用すると，どの席か

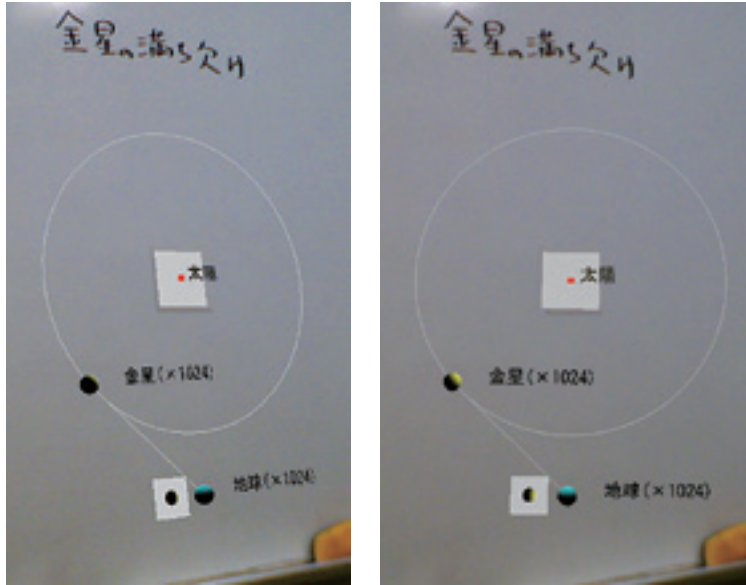


図7 俯瞰による金星の満ち欠け (斜め左下からの閲覧と正面モード)

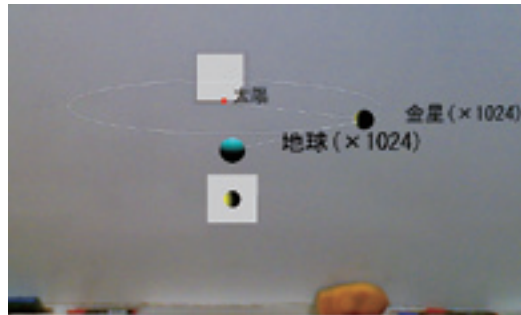


図8 地球方向からの金星の満ち欠け

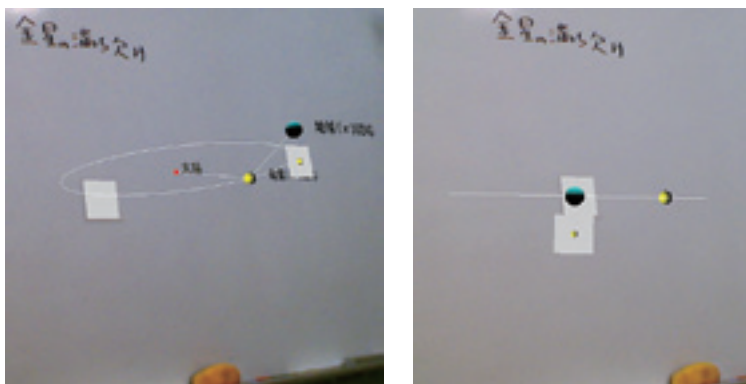


図9 地球方向からの金星の満ち欠け (斜め左下からの閲覧と正面モード)

らでも地球方向からの見え方を確認することが可能となる(図9)。

更に、より詳しく満ち欠けを観察できるよう、以下の機能も追加した。

#### (1)地球視点表示

地球方向からの金星の見え方を確認するため、カメラ位置が地球になるように提示する(図10)。

#### (2)回転

地球方向からの視点では、公転軌道と太陽が同一平面上にあるため、重なることになる。そこで、斜め上方向の視点でも閲覧できるよう、ドラッグでCGモデルを回転できるようになっている(図11)。



図10 地球方向からの金星の満ち欠け(地球視点)



図11 地球方向からの金星の満ち欠け(地球視点での縦方向の回転)

#### 4) 考察

本ソフトにより、俯瞰図による簡単な描画を立体的に表現し、惑星間の位置関係や見え方を提示することは可能となった。しかし、奥行きのある立体表示については、以下の点で今後の検討が必要となる。

##### (1)白板を突き抜ける表示

このシミュレーションでは、「俯瞰図的な提示」と同様に「立体感のある提示」に際しても、当初

はマーカー位置を太陽の場所とした。しかし、金星が太陽の背面にある場合、白板を突き抜ける表現となるため、立体視がしづらくなる。

##### (2)複数のマーカーでの位置関係の指定

(1)の対応策として、本ソフトのようにCGオブジェクトの全てを白板の手前側で提示した場合は、複数のマーカーを利用した際に操作性が悪くなる。

##### (3)マーカー認識範囲の拡大

立体感を持たせるために、白板の手前側で提示した場合、オブジェクトの細部を確認しようと視点をずらすとマーカーが撮影範囲から外れてしまう可能性が高い。特に白板から大きく飛び出している場合は、撮影範囲に白板が入らないことも考えられる。したがって、マルチマーカーを配置できない場合は、重力加速度センサーなど、他の手段の利用を検討する必要がある。

## 7. まとめと今後の課題

本開発研究により、以下の知見を得ることができた。

### 1) 誰もが新しい技術を利用した授業を試せる環境の構築について

誰もが新しい技術を利用した授業を試す環境の構築にあたっては、次の点で概ね実現したと考えられる。

- ・マーカーを固定化することで、CGオブジェクトの制作のみですぐに利用できるようになった。
- ・マーカーを数字にすることで、教師の操作性は向上した。
- ・一般に3DCGの制作によく使われるメタセコイア形式とVRML形式、BMP形式を採用することにより、AR利用の敷居を下げることができた。
- ・学習者が着席する位置により見え方が変わる問題も、拡大・縮小・回転などの機能を追加することで、より詳しく学習者がCGオブジェクトを確認できるようになった。
- ・手持ちによるプレについては、静止画モードを作ることにより学習者は落ち着いてCGオブジェク



トを閲覧できるようになった。更に、閲覧しながらのノートへの記入も可能となった。

その一方で、以下の点については今後の検討が必要となった。

(1) 教室の後方でも認識可能なマーカーの適切なサイズ

こちらについては、タブレット PC のカメラの性能の向上と合わせて検討する必要がある。

(2) 電灯の反射などへの対策

マーカーを十分な解像度でとらえても、光の反射などにより解析が十分できない場合も多くあった。全ての学習者に AR による CG オブジェクトの閲覧が保証されるためには、マーカーの材質だけでなく、多様な解決方法を模索していく必要がある。

(3) マーカーレスでの利用の検討

CG オブジェクトを教師の意図した場所とタイピングで提示するためにはマーカーを利用する必要があるが、現行の四角い枠がついたマーカーでは対応しづらい学習内容も多数存在する。従って、四角い枠を必要としない認識方法の導入も必要となる。

(4) 開発したソフトの配布とサポート

今回開発したソフトについて、ネット上で公開・サポートすることにより、AR の利用者を増やす必要がある。

2) 「新しい技術でないと実現できない教育」の開発について

AR 技術の利用でないと実現できない教育として、加速度運動のシミュレーションと金星の満ち欠けのシミュレーションの2つの教材を作成した。これにより、以下の点で AR 技術を有効に利用した教育になりうると考えられる。

- ・大きな空間を対象とした物体の運動のイメージをとらえやすくする擬似的実験

- ・立体的な教材モデルについて、複数の視点で立体的・動的にとらえやすくする擬似的実験

ただし、以下の点で今後更に検討が必要となっている。

- ・比較的大きな教材モデルを白板を突き抜ける形で表示させる場合の、立体的に見やすい視覚的な方法の検討

- ・白板の手前で表示させる場合の、個々のオブジェクトの位置指定の方法の検討

- ・白板の手前で表示させる場合に、マーカーが視界から外れることへの対処

今後は、より具体的な教材の作成と実践例の蓄積に努める必要がある。

## 謝 辞

本研究は、平成24年度文部科学省科学研究費補助金 基盤研究(C) (課題番号：23501124) の助成を受けています。記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 橋本直, 2008, ARToolkit 拡張現実感プログラミング入門, (株)アスキー・メディアワークス: 232ページ.
- 谷尻豊寿, 2008, ARToolkit プログラミングテクニック, (株)カットシステム: 296ページ.
- 江本啓訓ほか, 2010, 化学実験の安全学習を支援するスマート実験室の構築, 日本教育工学会第26回全国大会講演論文集, 301-302
- 小杉大輔ほか, AR 技術を用いた小学校社会科地図学習教材の開発, 日本教育心理学会総会論文集(51): 236
- 奥村英樹, 2012, AR 技術の板書表現への利用に関する研究, 四国大学紀要 Ser.A 人文社会科学編-No. 37: 69-76.
- 奥村英樹, 2012, AR 技術の板書表現への利用に関する研究, 日本教育工学会第28回全国大会講演論文集, 日本教育工学会: 575-576.

(奥村英樹: 生活科学部児童学科教育工学研究室)