

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：32643

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11580

研究課題名(和文) プロジェクションマッピングを応用したデバイスレスな教育・学習環境の研究

研究課題名(英文) A Study for Deviceless Learning Environment Applying Projection Mapping

研究代表者

水谷 晃三 (MIZUTANI, Kozo)

帝京大学・理工学部・講師

研究者番号：30521421

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：1人1台の端末を配備して学校教育の場において活用しようとする取り組みが世界的に進められている。本研究ではこのような取り組みにおけるコストや教育効果などの問題に目を向け、その解決を目指す新しい概念の教育学習環境の実現方法を検討した。ダイナミックプロジェクションマッピング技術に独自の手法を組み合わせたプロトタイプの試作を通じて、提案手法が課題を効果的に改善できる可能性があることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

教育のための1人1台端末の配備は、教育の質の向上だけでなく、高度なデジタル化社会を支える人材を育成するためにも不可欠な取り組みである。この取り組みの効果を得るためには導入から運用に関わる課題や教育上の課題の解決が求められる。本研究で検討した手法には、これらの課題を同時に解決/改善できるだけでなく、教育効果をさらに高める効果がある可能性を示した。また、その実用化のための課題をシステムの試作を通じて明らかにした。

研究成果の概要(英文)：One-to-one computing initiative in educational settings which provides and utilizes a device (such as PC, Tablet) to each student are spreading worldwide. This study focused issues of the initiative such as costs and pedagogical effects, considered methods to realize learning environment with an innovative concept for resolving / improving the issues. It is revealed that the methods able to resolve / improve effectively the issues, through developing prototype system which has a unique technique based on dynamic projection mapping techniques.

研究分野：教育工学，情報システム学

キーワード：教育学習環境 1人1台端末 プロジェクションマッピング Learning Analytics Augmented Reality
デバイスレス GIGAスクール構想

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

学校などの教育の場において、学習者に 1 人 1 台の情報端末を配備する取り組みが世界的に行われている（One to One Computing などともいう）。我が国でも、文部科学省が中心となって GIGA スクール構想が推進されており、1 人 1 台の端末と高速大容量の通信ネットワークを一体的に整備することで、特別な支援を必要とする子供を含め、多様な子供たちを誰一人取り残すことなく、公正に個別最適化され、資質・能力が一層確実に育成できる教育 ICT 環境を実現するための取り組みが行われている[1]。2018 年度からの 5 か年計画では、小中学校の 3 クラスに 1 クラス程度の学習用コンピュータを整備することを目指している。このような取り組みによって情報リテラシーの向上を図ると共に、ICT を活用した教育を推進することにより学びの質が向上するものと期待されている。

教育における 1 人 1 台環境の実現は、インターネットが普及してきた 2000 年以降、特にタッチパネルを搭載したタブレット型端末や機能を限定した安価な PC が登場したころから行われてきた。そしてその知見に基づき、導入から運用に関わる課題、教育効果の評価など、さまざまな視点で議論され今日に至っている。しかしながら、今日においても未解決の問題が少なくない。特に本研究課題では、次に示す問題に着目している。

(1) 問題 1：導入から運用に至るコスト

例えば GIGA スクール構想では、1 人 1 台端末の実現やこれに関する学校ネットワーク環境の整備、自宅でのオンライン学習環境の整備などのために 4600 億円を超える予算が組まれた。そのほとんどは、端末や ICT インフラに関する導入コストであるが、ICT の進歩は早く相対的な老朽化が早いことを踏まえると、導入時の一時的なコストとして無視することはできないほど膨大な費用が今後もかかることになる。また、運用面においても、端末の管理（ソフトウェアのアップデートやセキュリティの保持）、汚損や紛失への対応、ネットワーク環境の保全など、さまざまな対応が必要になる。そのために専任の ICT 支援員を配置するなどしており、コストを押し上げる要因の一つになっている。

同様の問題は ICT 化が進んでいる企業においても生じえるが、例えば VDI (Virtual Desktop Infrastructure) を導入するなど改善のための取り組みが進んでいる。VDI では最小限の機能を持たせた端末（画面を表示するのみの安価な端末が用いられることもある）が配備され、アプリケーションソフトウェアの実行やデータの管理はサーバ内で集中的に行われる。これにより、導入から運用に至るコストの削減、セキュリティの向上などを図っている。つまり、教育における 1 人 1 台端末の配備に対し、企業では逆のアプローチによって問題の改善を図っている。

現状、PC やタブレットなどの端末を配備することは教育における ICT 化を推進するうえで現実的な方法の一つであり、これに伴うコストはやむを得ないものともいえる。しかしながら、中長期的にはこれらを改善する新しい仕組みによって教育の ICT 化を図ることが望まれる。

(2) 問題 2：1 人 1 台端末の教育効果

1 人 1 台端末の導入の事例に対し、その教育効果について十分に明らかになっていないとする OECD の調査結果がある[2]。例えば Karsenti らの導入事例では、端末の操作に意識が向きがちになり、授業に集中できなくなるなどの課題が指摘されている[3]。教育効果を高めるためには端末の操作を制限して授業中の活動に専念できるような環境づくりが不可欠である。

端末操作の制限には MDM (Mobile Device Management) システムが有効であるが、その制限機能は端末の操作ではなく機能の制限が主な目的である。例えば授業中の活動内容に応じて目的のプログラムだけを起動できるようにしたり、端末を使用しなくなったときには強制的にプログラムを終了したりするなど、授業の進行に合わせて制御するような運用は不可能である。そのため、授業中に使用しないときは端末をバッグなどにしまわせておき、必要になったときに起動するように指示して利用するような運用をとらざるを得ないが、バッグから取り出し、アカウント認証を行い、プログラムを起動して目的の機能を使用できるように準備する、というような作業を、教室内のすべての学習者が足並みをそろえて行うには相応の時間を要する。これらの作業中にシステムトラブルが生じてサポートが必要になったりするなど、授業の進行を妨げる要因となる可能性もある。そのため、授業時間中の必要なときだけ端末を使用するという柔軟な運用は困難である。

この問題の改善には、必要な時にプログラムをプッシュ型で起動したり、不要な時は学習者の面前から非表示状態にしたりするなどの制御を、教授者が任意のタイミングで行えるようにする必要があると考えられる。

(3) 問題 3：狭い学習机

特に我が国の小中高校の一般教室で使用されている学習机はおよそ幅 600mm×奥行 500mm の大きさの天板であり、この上に、教科書、ノート、資料集、配布プリント、筆記具などを置くと、PC などの端末を置くスペースはほとんどない。そのため、端末を使用する授業と使用しな

い授業を分けて運用せざるを得ない。狭い学習机は端末を落下させ汚損する要因にもなりえる。

将来、デジタル教科書などすべての教材が1台の端末で完結するようになる可能性もあるが、学習者が携帯できるような端末はディスプレイが小さくて視認性が悪く、複数の画面を同時に表示するような作業は行いにくい。また、教授内容によっては、物理的な道具を用いる方が教育上好ましい場合もあると考えられる。

1人1台端末を使用する授業のための専用の教室を用意し、十分な作業スペースを確保できる大きな机を整備した事例もあるが、ICTを活用した効果的な教育を広く展開していくためには、従来型の狭い学習機の環境下でも1人1台端末と同等のICTが利用できることが望まれる。

(4) 問題4：端末の汚損、紛失、バッテリーの充電

特に小学生は、不注意により端末を汚損したり紛失したりすることが多い傾向があると考えられる。バッテリーの充電忘れやバッテリーの寿命なども配慮が必要になる。何らかの理由で端末を使用できない学習者がいると、その対応が必要となり授業の進行上の妨げとなる。これらの問題を解決しつつ、ICTを活用した教育環境を提供できるようにすることが必要である。

(5) 問題5：Learning Analyticsの促進

学習活動に関する記録を蓄積して、分析することにより、教育改善に役立てたり、学習者の支援に活かしたりするLearning Analyticsの研究が世界的に行われている。1人1台端末の配備により学習活動の情報をより広い範囲で収集できるようになりLearning Analyticsの重要性が高まっている。しかし、学習活動の情報の収集は端末を活用した活動のときのみとなる。端末を使用しないときの学習者の活動についても情報を収集できるようにしてLearning Analyticsを促進する仕組みが必要である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、1. で述べた5つ問題をすべて解決/改善する新しい概念の教育学習環境の実現方法を検討し、実用化のための知見をシステムの試作を通じて得ることである。そのための方法の基本的な方針としてダイナミックプロジェクションマッピングに類する技術を用いて1人1台端末と同等の教育学習環境を実現する方法を検討する。

プロジェクションマッピングは、物体の形状に適応させて映像をプロジェクタなどから投影する技術であり、特に動きのある物体に追従するように投影する技術はダイナミックプロジェクションマッピングとよばれる。また、物体に情報を重ね合わせることで現実世界を拡張する技術をAR (Augmented Reality) とよび、プロジェクションマッピングによりこれを実現するARをプロジェクションベースARとよぶ。

プロジェクションベースAR自体は実績の多い技術であるが、近年のプロジェクタの性能向上と、照明とプロジェクタを一体化した製品が登場(参考出品)しつつある現状を踏まえ、本研究では映像の投影制御に独自の工夫を取り入れる。そうすることで、1人1台端末に代わるデバイスレスな教育学習環境を実現するとともに、将来的なコスト削減効果や教育効果の向上を見込む。

3. 研究の方法

(1) デバイスレスな教育学習環境のコンセプト (Followable Learning Environment)

図1に本研究で検討した教育学習環境の概念を示す。天井に下方へ向けてプロジェクタとセンサを設置する。センサで学習者の机や学習者のジェスチャを捉え、プロジェクタから学習者の机にユーザインタフェース(UI)を投影する。

プロジェクタにより机上へUIを投影して、ユーザの作業環境を拡張しようとする研究は1990年ごろから存在する[4]が、本研究の方式では、1人分のUIを1つのプロジェクタの投影領域の一部分を使って投影する。つまり、1つのプロジェクタで複数名分のUIをそれぞれ投影するための制御を行う点が大きな特徴である。投影領域の一部分を使用するため、残り領域を、UIの移動、回転、大きさや形状の変更のための領域として使用することが理論的に可能である。例えば、学校教育においてはグループワークのために机を移動したり隣り合わせて大きな机を構成したりするなど、机のレイアウトは様々である。利用状況の変化に追従するようにUIを提供できる可能性があることから、本研究では本コンセプトの教育学習環境をFollowable Learning Environment (FLE) とよぶこととした。将来的には、センサやプロジェクタを複数設置して室内全体で使用できるようにすることで、1人1台端末と同等の教育学習環境をデバイスレスに実現できるようになると考えられる。

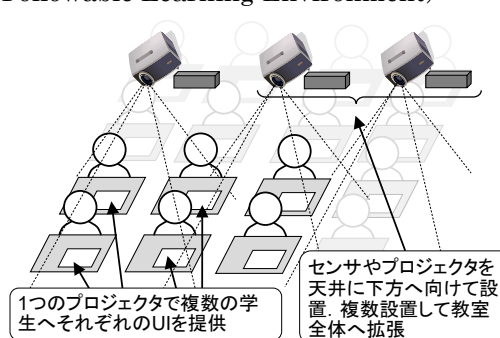


図1 Followable Learning Environment (FLE) のコンセプト

(2) 期待される効果

前述の課題に対し、デバイスレスな教育学習環境では次のような効果が期待できると考えられる。

- ・1人1台端末を配布せずに同等の教育学習環境を提供できる可能性がある。机上にはUIが投影されるが、そのUIを提供するアプリケーションソフトウェアはサーバ内で実行される形となる。すなわち、VDI同等のシステムアーキテクチャになり、運用コストの大幅な低減効果が期待できる（⇒問題1の改善）
- ・アプリケーションソフトウェアはサーバ内で実行するため、学習者へのUIの表示・非表示の切り替えや、表示する内容を教授者側で完全制御することが可能である。各学習者にプッシュ型でUIを表示できるため、授業中の必要になったときにすぐに使用できる環境が実現できる。授業に必要な機能だけを提供できるようになるため、端末操作に意識が向きがちになり、授業集中できなくなるような状況も改善される。（⇒問題2の改善）
- ・1人1台端末を配備する場合のように端末が机上を占有するようなことがない。また、投影されるUIの大きさや形状は自在であり、使用する機能に適した大きさのUIを提供することが原理的に可能である。さらには、机上の教科書やノートに重畳するようなUIも実現可能である。この結果、狭い学習機であっても机上を有効的に使いながらICTを活用した教育を提供できるようになる（⇒問題3の改善）
- ・端末の汚損、紛失、バッテリーの充電の問題は完全に解決できる（⇒問題4の解決）
- ・天井に設置したセンサを活用して学習者の学習状況に関するデータを常時取得可能である。これらのデータを活用したLearning Analyticsが可能になる。（⇒問題5の改善）

また、前述した通り、FLEではプロジェクタの投影領域の一部を使って1名分のUIを投影する。その際に投影されるUIの解像度はプロジェクタ自体の解像度に応じて高まる。また、そのUIを投影できる範囲は、プロジェクタの焦点距離が短い（すなわち広範囲に投影可能である）ほどに広まる。すなわち、FLEを教室全体で使用できるようにするとき、高解像度であり短焦点であるほど、少ない数のプロジェクタでより多くの学習者へUIを提供できるようになる。現在、プロジェクタの高解像度化や短焦点化の技術は、高精度でリアリティの高い映像表現のための手段、設置場所の制約改善のための手段として主に用いられているが、FLEはこれらの技術に対する新しいニーズを示す点でも新規性があり、学術的な意義も大きいと考えられる。

4. 研究成果

(1) FLEのプロトタイプを試作

1つのプロジェクタと1つの深度センサを使用したプロトタイプを試作を行い、技術的な課題の検討を行った。図2にプロトタイプシステムの概要を示す。深度センサにより机を認識し、認識した机の大きさや向きを判定してUI（ダミー画面）を投影する。UIは手を上方から下方へ下げるようなジェスチャにより表示され、下方から上方へ上げるようなジェスチャで非表示となる。その際、ユーザの向きにUIを投影する（図3）。

机の大きさは天板の面積で判断しているため、グループワークを行うときのように隣り合って連続している複数の机がある場合その大きさに応じたUIを投影する（図4）。従来、グループワークを行う場合は、電子黒板システムのような大きな固定のディスプレイを用いることが一般的であるが、グループの人数によっては大きすぎたり小さすぎたりする問題があった。FLEではUIの投影サイズが自在であるため、グループの人数に適応したUIを提供することが可能である。

システムの試作を通じ、机やジェスチャの認識精度、認識やUIの生成に関わる処理速度の改善が必要であることが分かった。とりわけ処理速度に関しては、投影しようとするUIの数が増えるほどに負荷が高まり処理の並列化が不可欠であることが分かった。今後はこの改善に取り組む予定である。

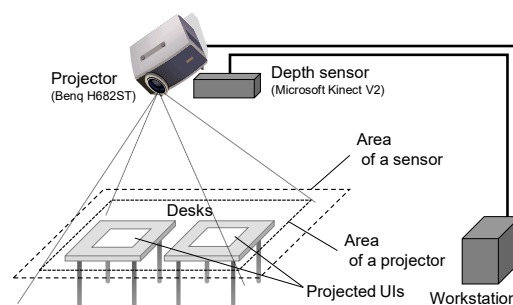


図2 FLEのプロトタイプシステムの概要

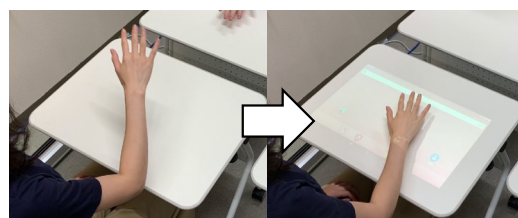


図3 ジェスチャ認識によるUIの表示/非表示制御の例

(2) 複数センサ、複数プロジェクタへの拡張技術の検討

FLE を教室など室内全体へ拡張できるようにするために、複数センサのデータに対する処理方法と、複数プロジェクタからのシームレスな投影方法について検討した。具体的には、図 5 に示すように、各センサにそのデータを処理するための Sensor Node を配置し、投影処理を行う Projector Node に複数のプロジェクタを接続する負荷分散構成のシステムを検討した。

本方式の検討のため、利用者の手に UI を投影する機能を持つ試作システムを実装した。本システムは利用者の手に追従するように UI を投影するシステムであり、技術的には FLE と同様の仕組みを持っている。複数のセンサで環境内のユーザの手を認識するが、利用者の手や体の一部が複数のセンサをまたがる場合がある。その場合でも正しく認識ができるように、Sensor Node 間で認識処理を委譲しあう分散処理方式を導入した (図 6)。

2 センサ、2 プロジェクタで動作検証を行い、センサのセンシングエリアの境界をまたがる場合でも利用者の手を連続的に認識できたこと、プロジェクタのプロジェクションエリアの境界をまたがる場合でも UI を連続的に投影できることを確認した (図 7)。

(3) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト、および今後の展望

前述した通り 1 人 1 台端末の導入が世界的に進められており、その課題の解決/改善をデバイスレスな教育学習環境の実現によって図ろうとする取り組みは本研究独自のアプローチといえる。特に近年、学校が提供した端末が不適切に使用され、ネットいじめなどのトラブルを引き起こしていることが報道されている。本研究のアプローチはこのような問題を解決する手段としても有効であると考えられ、早期の実用化が期待される。

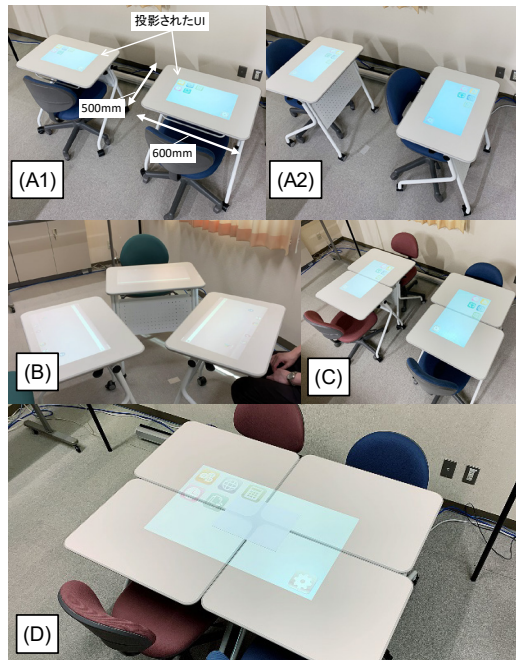


図 4 机レイアウトの認識と UI 表示の例 (A1/A2: 異なる方向の個々の机への投影, B/C/D: グループワークを想定したレイアウトにおける投影. いずれも天井に固定された 1 センサ 1 プロジェクタで実現)

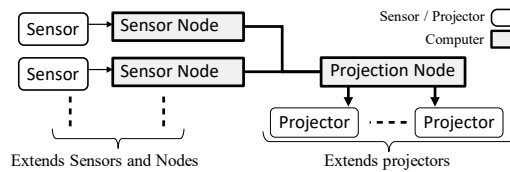


図 5 複数センサ、複数プロジェクタによる並列分散構成の概要

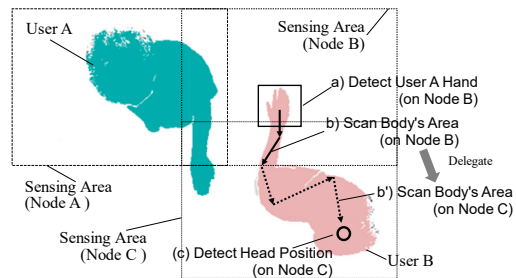


図 6 Sensor Node 間の認識処理の委譲方式

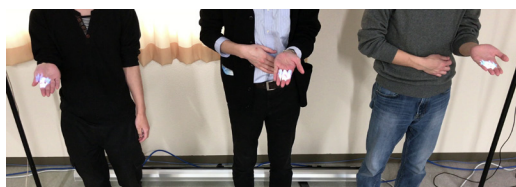


図 7 2 センサ 2 プロジェクタによる実行例

<引用文献>

[1] GIGA スクール構想について, https://www.mext.go.jp/a_menu/other/index_0001111.htm (2022 年 6 月 7 日アクセス)

[2] Valiente, O., "1-1 in Education: Current practice, international comparative research evidence and policy implications", OECD Education Working Papers 44, OECD Publishing (2010).

[3] Karsenti, T., & Fievez, A. "The iPad in education: Uses, benefits, and challenges—A survey of 6,057 students and 302 teachers in Quebec (Canada). Montreal", QC: CRIFPE. (2013)

[4] Wellner, P. (1991), "The DigitalDesk calculator: tangible manipulation on a desk top display", In Proceedings of the 4th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '91), 27-33.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kozo Mizutani	4. 巻 1
2. 論文標題 Proposal for Deviceless Learning Environments Instead of Environments Using Smart Devices	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 27th International Conference on Computers in Education	6. 最初と最後の頁 435-440
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 水谷晃三, 野田雄希
2. 発表標題 デバイスレスな教育学習環境における適応的なUIの提供方法
3. 学会等名 情報処理学会 第84回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野田雄希, 水谷晃三
2. 発表標題 天井から下方に向けて設置したRGB-Dセンサによる指差しポインティングの研究
3. 学会等名 情報処理学会 第83回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 水谷晃三
2. 発表標題 手の動きに追従するUIとその領域拡大のための研究
3. 学会等名 第19回 情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杭陳琳, 岩崎信一郎, 高嶋蘭太郎, 水谷晃三
2. 発表標題 手の動きに追従するUIにおける運動視差による三次元表示方法の研究
3. 学会等名 情報処理学会 第82回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 水谷晃三
2. 発表標題 ダイナミックプロジェクションマッピングによるデバイスレスな教育学習環境の提案
3. 学会等名 教育システム情報学会 第44回全国大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>デバイスレスな教育学習環境の研究 - Mizutani Laboratory https://teikyo.mizutani-labo.com/?page_id=3042</p> <p>Followable Computing~ウェアラブルの次を目指して - Mizutani Laboratory https://teikyo.mizutani-labo.com/?page_id=881</p>

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------