

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03079

研究課題名（和文）空中操作が可能な完全無装着型MRの開発とグループ実験教育支援システムへの応用

研究課題名（英文）Development of Mixed Reality Technique Enabling Mid-air Operations without Wearable Devices and Application to Education System for Group Learning on Engineering Experiments

研究代表者

竹村 淳（Takemura, Atsushi）

東京農工大学・工学（系）研究科（研究院）・助教

研究者番号：20297617

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：理工学分野の教育においては、「ものづくり」を含む実験教育が重要であり、ユーザーの様々な用途と環境に適用できるバーチャルリアリティ(virtual reality; VR)の応用が期待されている。本研究は、装着機器を必要せずに空中で実際の実験と同様の体験ができる複合現実(mixed reality; MR)の技術を構築し、グループによる学習を伴う高度な理工系分野の実験教育への応用が可能となるこれまでにない新しい教育システムを提案しその有用性を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現行のVR技術は、装着デバイスが作業の妨げとなる等の問題により、実験教育に応用することが困難である。また、一般に用いられているHMD (Head-Mounted Display) のような装着デバイスは、利用者が周囲環境から遮断されるという問題により、グループによる共同作業を伴う理工系分野の高度な実験教育に利用することができない。このような問題点を踏まえ本研究では、裸眼立体ディスプレイと触覚デバイスを組合せたMR (Mixed Reality) の技術を開発し、グループによる実験教育に応用できる新しい教育システムを実現した。

研究成果の概要（英文）：This study developed the novel mixed reality technique enabling mid-air operation using a 3-dimensional display and haptics device. Moreover, this study verified its applicability to education system for technological experiments involving construction of electronic circuits and robots. The technological novelty of this system are listed as follows: (1) The proposed MR system does not necessitate use of wearable devices which disturb learning and experiments; (2) This system enables a learner to construct virtual circuits and operate virtual equipment with the same motions of his hand as the physical circuit construction and the operations of the real equipment.

研究分野：電子工学，教育工学，画像工学

キーワード：教育支援システム 複合現実 実験教育

1. 研究開始当初の背景

理工系分野の学習では、「ものづくり」の能力を育成するための実験教育が必要不可欠であるが、一般的に実際の教育現場においては、実験設備や指導者数の不足等の問題があることにより、新たな実験教育支援システムの開発が望まれている。以下では、理工系分野の教育で用いられている教育支援ツールの現況と問題点を(1)～(3)に示す。

(1) 現在の「ものづくり」を行う実験教育では、コストや再利用性に優れているという利点からロボット等の製作キットを用いることが多い。しかし、一般的な製作キットは、内部の構造(電子回路等)がブラックボックスであり拡張性に劣る等の問題点があるため、理工系分野の高度な実験教育に活用するには不十分である。

(2) 現在、理工系分野の実験教育においても ICT (information and communication technology) や e-ラーニングの活用が注目されているが、図 1(a) に示すように 2 次元画面に表示されるシミュレーション的なコンテンツを用いた受動的な学習に陥りやすく、「ものづくり」を伴う実験が重視される理工系の教育の用途を十分に満たしているとは言い難い。

(3) 実験設備や指導者数の不足等の実験環境の問題への対応として、仮想現実 (virtual reality; VR) や拡張現実 (augmented reality; AR)、及びそれらを組み合わせた複合現実 (mixed reality; MR) を活用する研究が進められている。しかしながら、図 1(b) に示すように現行の技術においては HMD (Head-Mounted Display) や触覚グローブなどの身体に装着または密着させるデバイスを必要とするため、これらの機器を使用した実験教育では、装着機器が実験作業を妨げ、また安全性にも問題がある。さらに、このように利用者が周囲環境から遮断された状況では、孤立した学習に陥りやすく、グループによる共同作業を伴う高度な実験教育には活用できないという問題点もある。

以上 (1)～(3)の問題点を踏まえ、理工系分野の高度な「ものづくり」実験教育にも対応できる教育システムを実現するために、今後の開発研究によって改善すべき課題点を以下に示す。

- － 装着する機器を必要としない MR 技術を開発し、理工系分野の高度な「ものづくり」実験教育に活用できるシステムが必要である。
- － MR 空間で作製した物(電子回路やロボット)の動作(例：設計どおり動くか)を学ぶことが可能であり、高い教育効果が得られるようにする。
- － 個人の学習のみでなく、遠隔地も含むグループによる共同作業を伴う、高度な科学技術系の実験教育に活用できる新しい技術を開発する。

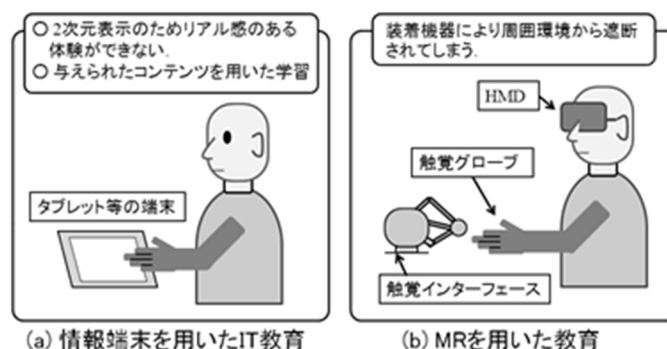


図 1: 現行の教育支援システムの特徴と問題点

2. 研究の目的

前述の背景を踏まえ本研究は、装着デバイスを必要としない完全無装着型の MR 技術を構築し、グループによる共同作業を伴う実験学習を可能とする新しい教育システムを開発することを目的とする。具体的には、次に示す各技術を実現する新しい実験教育支援システムを開発し評価する。

- (1) 完全無装着型の実現： 装着機器を要せず、作業を妨げない。
- (2) 空中操作の実現： 裸眼立体映像に対して、触感を得ながら実際の操作と同様の体験ができる。
- (3) ものづくりを伴う実験への対応： MR 空間で実際の実験と同等の学習ができる。
- (4) グループ学習への対応： グループによる共同作業を可能にする。

3. 研究の方法

前述の目的を実現するために、以下の方法で研究を行った。

(1) 「完全無装着型システム」及び「空中操作」に関する研究

図2に示すように裸眼立体ディスプレイと触覚提示デバイスを用いて、完全無装着で「空中操作」ができるMR技術を構築した。触覚提示デバイスとしては、汎用のモーションセンサを用いて手の動きを識別し、空中に照射する超音波により手に触覚刺激を与える空中ハプティクスを使用した。

(2) 「ものづくりを伴う実験への対応」に関する研究

(1)の研究で構築したシステムと汎用のシミュレータを連携させることにより、バーチャル実験システムを製作し、MR空間での「ものづくり」実験学習を可能にする教育システムを開発した。また、以下①～③の活用形態を可能にすることによって、実験者の様々な要望や環境に対応できるこれまでにない用途の広い実験教育支援システムを構築した。

- ① VR実験：全ての実験をバーチャルで行う。
- ② MR実験：実物の実験材料を使用してものづくりを行うが、計測はバーチャルで行う。
- ③ VR実験とMR実験を組合わせた実験を行う。

(3) 「グループ学習への対応」に関する研究

遠隔地のメンバーを含むグループによる共同作業を伴う実験教育にも対応させるために、ネットワークの対応、及び複数のユーザーが上記①～③を自身の環境に合わせて選択しかつグループでの共同作業ができるようにシステムを拡張する研究を行った。

4. 研究成果

(1) 新しいシステムの構築と「ものづくり」を伴う実験教育システムへの応用

3.(1)に示した研究方法に従い、装着機器を必要としないMR技術を構築した。そして、3.(2)の研究方法に基づき、現行の教育システムでは不可能である、MR空間で作製した物（電子回路やロボット）の動作（例：設計どおり動くか）を学ぶことを可能とし、高い教育効果が得られるシステムを開発した。具体的には、開発したシステムと汎用のシミュレータを連携させる機能を追加し、実際の機器を使用する実験と同様の学習ができるバーチャル計測システムを構築し、以下①及び②の成果が得られた（図3参照）。

- ① ブレッドボードを用いた回路製作、及びユニバーサル基板を用いたはんだ付けと伴う回路製作を、バーチャル空間で触感を得ながら行うことができるバーチャル回路製作システムを開発した。
- ② 実験学習において作製した回路（バーチャル及び実物）を用いた計測を伴う実験を、裸眼立体ディスプレイに表示されるバーチャル計測器を用いて触感を得ながら行う機能を新たに組み込んだ。

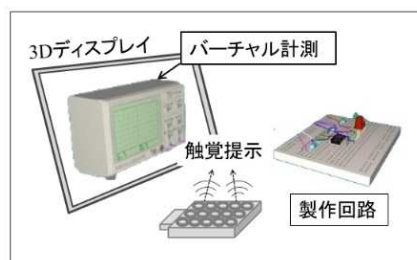


図2: 提案システムによるMR空間におけるバーチャル計測の原理

また、3.(2)の①～③に示したシステムの活用形態を自由に組合せることによって、以下に示すように実験部材や機器の有無によらず実際の実験を行う場合と同様の学習が可能である新しい実験教育支援システムを開発することができた。

- － 製作部材や機器がない場合は、VR実験により実際の実験を行う。[図4(a)]
- － 製作部材があるが実験機器がない場合は、実物で製作を行った後、バーチャル計測により実験を行う。[図4(b)]

- － 製作部材や実験機器が不足している場合は、実物とバーチャルを組合わせて実験学習を行う。
- － 課題どおりの実験を行った後に、より発展した追加実験を希望するが、そのための部材や機器が不足している場合は、バーチャルコンテンツを組合わせた実験学習を行う。

ただし、バーチャル回路の製作やバーチャル計測器を操作する際に提示する触覚については、今後の研究でリアリティを向上させる必要がある。

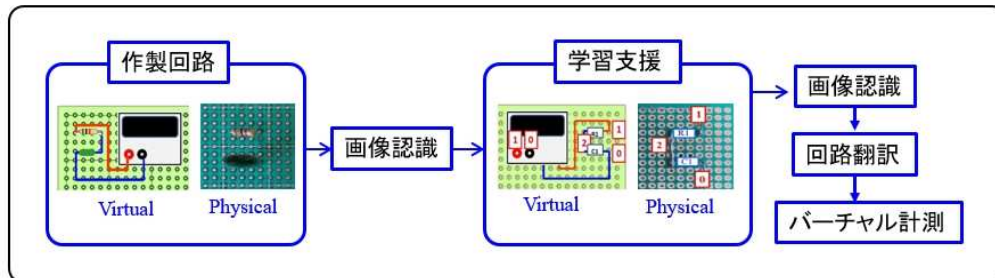
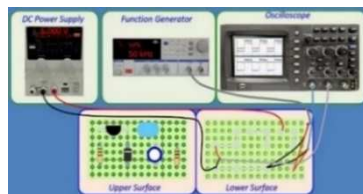
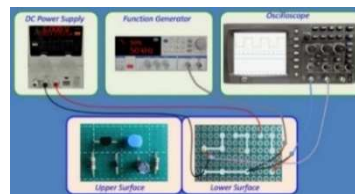


図 3: バーチャルおよび実物の回路製作支とバーチャル計測の原理



(a) VR 実験



(b) MR 実験

図 4: バーチャル計測の例 (2次元ディスプレイによる表示)

(2) 「グループ学習への対応」に関する研究成果

ネットワークにより参加している複数の実験者が、それぞれの環境に応じてシステムの活用形態 [3.2 ①～③参照]を選択して共同で実験できるようにシステムの拡張を行った。このシステムでは、VR 実験を行っている実験者と MR 実験を行っている実験者が協力して実験を行うことを可能にするために、各活用形態の立体映像を組合せて共有できる AR 技術を新たに追加することによって、グループでの共同実験を可能にする新しい教育システムを開発できた。ただし、グループの各メンバーが同じ映像を共有しており、実際の共同実験を行う際のようにメンバーの配置に基づく各メンバーの視点の違いが考慮されていないため、実際のグループ学習と同等になるようにリアリティを向上させることが今後の課題となっている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 A. Takemura	4. 巻 20
2. 論文標題 Mobile system for simulation of physical circuit operation and application to education involving circuit construction	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of IADIS Cognition and Exploratory Learning in Digital Age	6. 最初と最後の頁 433-438
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 A. Takemura	4. 巻 19
2. 論文標題 Learning system using cross reality technique for physical electronic circuit construction and virtual mid-air operations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of IADIS Cognition and Exploratory Learning in Digital Age	6. 最初と最後の頁 295-298
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 A. Takemura	4. 巻 11
2. 論文標題 E-Learning system using virtual reality with mid-air operations and application to experiments of electronic circuits	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of IADIS Internet Technologies & Society	6. 最初と最後の頁 193-196
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 A. Takemura	4. 巻 17
2. 論文標題 e-Learning system for the comprehensive learning of electronic circuits	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of IADIS Cognition and Exploratory Learning in Digital Age	6. 最初と最後の頁 349-354
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 A. Takemura	4. 巻 16
2. 論文標題 Education system for electronic circuit construction involving soldering on a circuit board	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of IADIS Cognition and Exploratory Learning in Digital Age	6. 最初と最後の頁 447-452
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 A. Takemura
2. 発表標題 Education system for electronic circuit construction involving soldering on a circuit board
3. 学会等名 IADIS International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------	---------