

機関番号：57403

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20300279

研究課題名(和文) タンジブルユーザインタフェースを用いた複合現実型実験室
(MR 実験室)の構築

研究課題名(英文) Development of Mixed Reality Laboratory using Tangible User Interface

研究代表者

岩崎 洋平 (IWASAKI YOHEI)

熊本高等専門学校・建築社会デザイン工学科・助教

研究者番号：90442483

研究成果の概要(和文):

本研究では、複合現実技術を利用した MR 実験室を構築した。この実験室では、ARToolKit により複合現実環境を実現し、実験機器や結線を CG オブジェクトとして、現実環境(机上)に重畳表示あるいは液晶ディスプレイに表示する。これにより、安全性の高い実験環境を容易に構築することができる。また、マーカーを操作のためのユーザインタフェースとして扱うことにより、現実の実験と同様に、複数の実験者がグループで協力しながら実験を実施できる環境を提供することが可能となった。さらに、実験結果を仮想的に表現することで、外乱などの影響を受けない状態での結果を、分かりやすく実験者に提示し、効率的な学習のための実験環境を提供することが可能となる。

研究成果の概要(英文):

Mixed-Reality (MR) is placed between real environment and virtual environment. An advantage of real environment is to receive physical information. In the meantime, an advantage of virtual environment is to receive visual information. Mixed-Reality is able to include these advantages. Our group paid attention to Mixed-Reality and developed the system for electric experiment and physical experiment. This research describes development of the Mixed-Reality (MR) laboratory using ARToolKit. Result of this effort, it was able to give a prospect in the development of the MR laboratory.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
20 年度	3,000,000	900,000	3,900,000
21 年度	2,900,000	870,000	3,770,000
22 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	6,800,000	2,040,000	8,840,000

研究分野：教育工学

科研費の分科・細目：科学教育・工学教育

キーワード：ヒューマン・インターフェース, タンジブルユーザインターフェース

1. 研究開始当初の背景

コンピュータの進歩・発展に伴い、コンピュータ内に構築した仮想空間を用いて情報

を提示する VR (Virtual Reality: 仮想現実感) 技術の研究がなされてきた。さらに、仮想空間を現実的なものにするために仮想的

に表現しづらい部分を現実世界の物理データを利用して補うMR(Mixed Reality: 複合現実感)技術の研究も進められている。

現実世界と仮想世界を融合する技術であるMRは、医療・建築・工業製品設計・防災・エンターテインメント分野(ゲームなど)への応用が試みられている。また、近年新しいインタフェースとしてTUI(タンジブルユーザインタフェース: 触れて感知することができるインタフェース)が提唱されている。TUIの考え方はMR技術と相性が良く、組み合わせられて使用されることが多い。

工学教育において必須となる工学実験は、基盤理論や技術的知識の習得を目的として行われている。これらの実験は、現実の実験室(Real実験室)において、現実の計器・機器類を用いる方法と、コンピュータ上のシミュレーション(Virtual実験室)で行う方法により実施されている。

現実の実験では、基盤理論の習得に加えて機器の取り扱いなどの学習も同時に行うことができる。また、グループ実験を行うことにより協調性などを養え、複合的な学習が可能である。しかし、実験環境の整備や、実験に伴う危険性(感電・火傷)などの問題点が存在している。一方、シミュレーションによる実験では、実際には見ることのできない現象やデータの視覚化、理想的な環境での実験が可能となり、効率よく学習できる。しかし、複合的な学習は困難である。

2. 研究の目的

我々は前述したReal実験室とVirtual実験室の中間的な実験環境であり、両実験の長所を取り入れ可能なMR実験室(複合現実環境実験室)の構築を目指す(図1)。

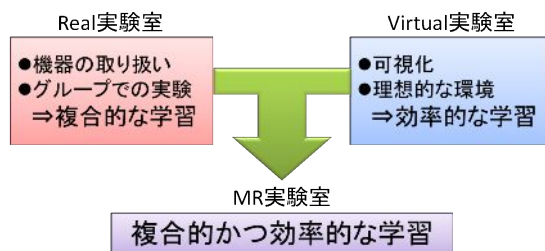


図1 MR実験室の位置づけ

Real実験室(現実環境)での実験は、実際に機器を取り扱ってグループのメンバーが共同で行う。その中で、電気実験の技術的な学習以外にも、体験的な学習を通して協調性やコミュニケーション能力の育成といった複合的な学習を行えることが大きな特徴である。

一方、Virtual実験室(仮想環境下)では、実験機器を分かりやすく表示することはもちろん、例えば電流の流れなど、普段は目にするのできないものを分かりやすく可

視化できる。また、仮想の実験機器は外乱を受けることがなく、故障することもなく、台数を制限されることもなくなるため、実験者にとって理想的な環境で効率よく実験を行うことが可能となる。さらに、高価な機器を用意する必要や、機器の保管場所や整備をする必要もなくなる。

本研究では、複合現実感技術を用いることで、複合的な学習ならびに効率的な学習が可能でそれぞれの環境下での特徴を取り入れ、より効率的な実験や学習を可能とするMR実験室の開発を目指す。つまり、本研究では、複合現実感技術を利用することにより、複合的で効率的な環境下でのグループ実験や体験的な物理実験の学習を可能とする実験環境(MR実験室)の構築を目的とする。

3. 研究の方法

図2に開発を行ったMR実験室の概要図を示す。本システムは、机上に配置されたマーカをUSBカメラで読み込み、そのマーカに関連付けられた実験機器オブジェクトをCGとして重畳表示するものである。

マーカは、それぞれ実験機器(例えば、電気実験であれば電圧計や抵抗といった機器)オブジェクトと対応付けられている。また、オブジェクトを操作するユーザインタフェースとして使用する制御用マーカも用意し、実験機器のパラメータや入力値を制御することで、様々な実験を行えるように設計した。

これらの実験機器オブジェクトや実験の様子は、液晶プロジェクタを通して机上やスクリーンに表示されると同時に、補助表示用液晶ディスプレイにも表示される。実験者は、表示された画像を見ながら機器の配置や接続、実験を行うことができる。

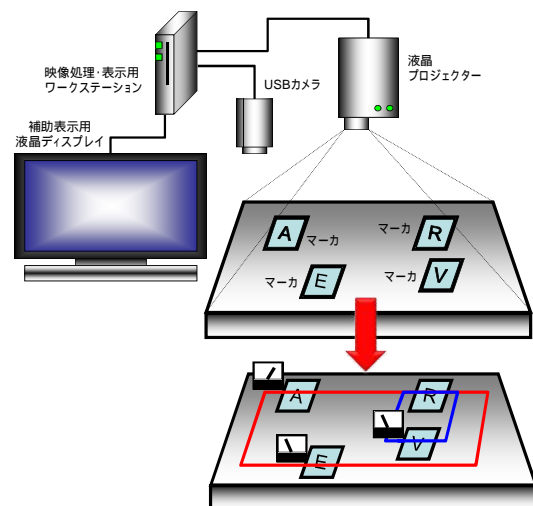


図2 MR実験室概要図

4. 研究成果

研究成果として、開発した MR 実験室用の実験コンテンツである電気実験コンテンツおよび物理実験コンテンツについて述べる。

(1) 電気実験コンテンツの開発結果

電気実験の最も基礎的な内容であるオームの法則の実験を対象としたコンテンツを開発した。まず、オームの法則実験で必要となる実験機器および制御マーカと実験機器オブジェクトを作成した。

開発した MR 実験の例を図 3 に示す。机上に直流電源、直流電圧計、直流電流計、抵抗を示すマーカが並べられ、マーカに対応する実験機器オブジェクトが表示されている。また、それぞれのマーカ（実験機器）は、仮想導線によって直列・並列接続されている。これらの実験機器オブジェクトならびに仮想導線はプロジェクタによって机上に投影（重畳表示）されている。複数の学生がグループで机上のマーカと投影された映像を囲んで、仮想実験装置の配置や結線を行う事が可能となる。

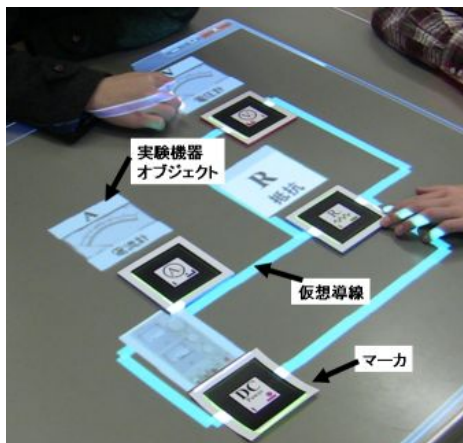


図 3 MR 実験の例（机上への投影）

今回、開発したコンテンツでは電気実験の基礎的なものである「オームの法則」の実験を再現した。実験は次の手順で行う。

まず、システムを起動し、マーカを机上に配置し、認識が成功する（マーカが緑の枠で囲まれる）と、対応する実験機器オブジェクトとその値が重畳表示される。

次に結線を行う。結線には、直列接続マーカと並列接続マーカを使用する。接続マーカを機器マーカに近づけると選択状態（マーカが赤の枠で囲まれる）となる。2つのマーカが選択状態になると、接続マーカに応じて直列・並列接続される。この作業を繰り返すことで、実験回路を結線する（図 4）。

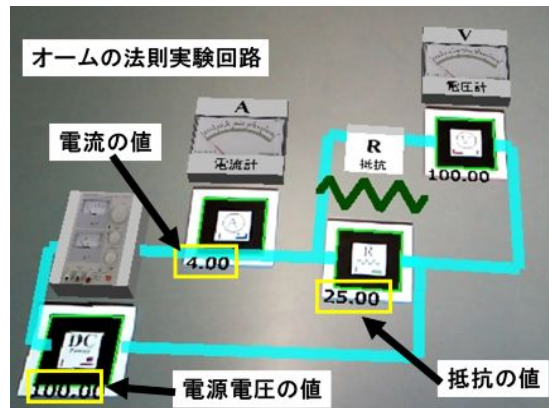


図 4 実験回路の結線の様子

今回は、オームの法則の実験を対象とし、電源を操作して電圧を増減させる操作および抵抗の値を増減させる操作も実装した。コントロールマーカを電源マーカあるいは抵抗マーカに近づけた状態（選択状態）で、コントロールマーカを回転させると、それぞれの値が増減する。増減に合わせてそれぞれの機器の値はリアルタイムで変化し、実験者はオームの法則が成り立っていることを確認することができる（図 5）。

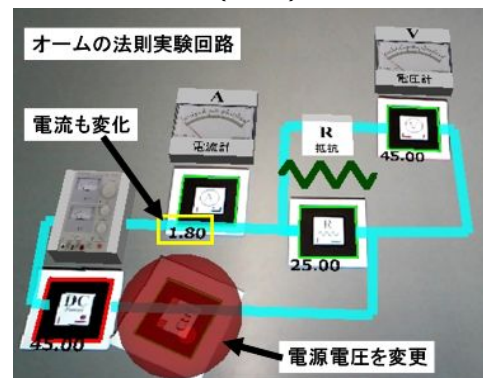


図 5 「オームの法則」実験

本システムは、現実の実験での電気回路作成と同様に多人数で協力しながら、手を動かして実験することができるため、グループでの体験的な学習という利点を失わない。また、外乱のない理想的な状態でオームの法則を確認することができるシステムを実現できた。

(2) 物理実験コンテンツの開発結果

中学校や高等学校の物理の授業などにおいて、横波の伝搬や合成の様子を観察するために用いられるウェーブマシンを MR 実験室で動作するコンテンツとして開発した。

実際のウェーブマシンは、等間隔に並べた鉄棒の中央を薄い鉄片でつないだ装置であり、端にある鉄棒の一端を上下に振ると、その変動が鉄片のねじれによって伝わる。この

とき鉄棒の端点の動きに注目することで、横波の伝搬を観察することができる。また、両側から波を発生させることにより波の合成の様子も観察することもできる。

実際のウェーブマシンは、ある程度の大きさと重さがあり、なおかつ強度が低い部分を持つので、設置の際は注意を要する。また動作は、鉄片のねじれ方や鉄棒の長さなどの点から物理的制約を受ける。そこで、これらの欠点を補うべく、複合現実下で動作するMRウェーブマシンの開発を行った。

開発したMRウェーブマシンの利点を以下に示す。

- マシン本体の物理的破損が起こらない
- 設置、片づけ、保守・管理が容易
- 合成波と合成波を構成する元の波を同時に観測できる
- 実際のウェーブマシンでは発生させられない波形(のこぎり波, 矩形波など)を観察できる
- 波のパラメータ(振幅, 波長, 速さなど)を変えて観測することが容易にできる

MRウェーブマシンでは、発生する波を波オブジェクトと呼び帯状のCGで表現する。波オブジェクトは、平行に並ぶ頂点データから構成されている。この頂点の基準面からのずれを変位とし、マーカの高さによって制御することで波形を入力し、波を表現する。

本コンテンツでは、波の合成を観察するために波オブジェクトを3本平行に用意する。識別しやすくするため、それぞれに青、黄、緑と異なる色をつけている。外側の青と緑の波オブジェクトは単独に操作することができ、それらの動作を合成したもの(合成波)が中央の黄色の波オブジェクトの動作となる。これにより、2つの波の合成波に加えて、それを構成している2つの波を同時に観測することができる(図6)。

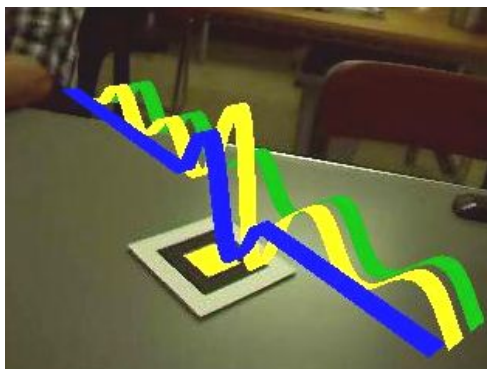


図6 3本の波オブジェクト

本コンテンツでは、波の制御や、CGオブジェクト表示のためのマーカを作成した。CG描画の位置基準を決定するものをCマーカ、青色ならびに緑色の波オブジェクトを制御するものをW1マーカ、W2マーカ、波の

パラメータを制御するCtrlマーカ、Ctrlマーカの制御対象を切り替えるパラメータマーカと呼ぶ。

コンテンツ起動後、Cマーカが検出されると、マーカ的位置を中心として3本の波オブジェクトが平行に描画される。

また同時に、灰色(透過色)の平面がCマーカの上部に描かれる。これは、変位の基準を示す面であり、この面の変位を0として波オブジェクトの動作を決定する。この状態で、W1マーカまたはW2マーカを上下方向に移動させると、その変位に応じた波が発生する。様々な波形を入力した様子を図7に示す。このようにMRウェーブマシンでは、実際のウェーブマシンでは入力のできない正弦波以外の波形も観察することが可能である(図7)。

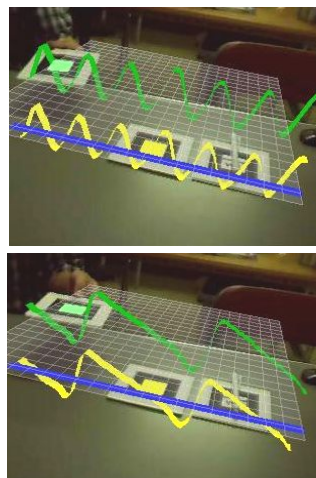


図7 様々な波形の入力

また、ctrlマーカには、波のパラメータを制御する機能があり、Cマーカに近づけたときに制御が有効になる。このとき、マーカ間に赤い線が描画され、制御可能であることを示す。この状態でCtrlマーカを左右に回転させると、パラメータ値は増減する。また、パラメータ値には下限と上限を設けており、Ctrlマーカ上には現在のパラメータが文字情報として表示される。

なお、制御するパラメータ(振幅、波長、速さなど)は、パラメータマーカを一定時間認識させ続けることで切り替えることができる。Ctrlマーカおよびパラメータマーカを用いてパラメータを制御することによって、波の様子をより詳しく観察することが可能である。

次に、波の合成の様子を示す(図8)。W1マーカとW2マーカを用いて2つのパルス波を発生させる。これらのパルス波の位相は逆となっているため、画面の手前と奥から進行してきた2つの波がぶつかり合うことになる。

ぶつかった瞬間を図に示す。中央(黄色)の波オブジェクトが合成波を表し、左右(青

色と緑色)の波オブジェクトがそれぞれ元のパルス波を表している。

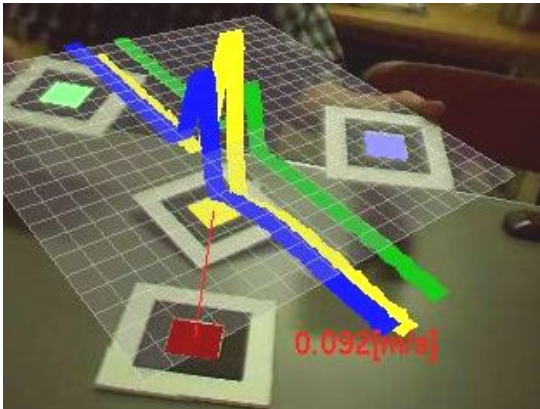


図8 パルス波の合成

このように、合成波とそれを構成する波を同時に観測することで、元の波の変位の和が合成波の変位になっていること(重ね合わせの原理)や、波は重なり合っても互いに影響を及ぼすことはない(波の独立性)ということなどを確認することができる。

(3) 評価

電気実験コンテンツおよび物理実験コンテンツについて、操作性および有用性を検証するための評価実験を行った。

アンケートの対象者は情報・電子を専門とする高等専門学校生 25 名(電気実験:男性 22 名・女性 3 名,物理実験:男性 18 名・女性 7 名)である。

まず、複合現実やコンテンツの操作方法について簡単な説明を行った後、実際に本コンテンツを操作して、アンケートに回答してもらった(表 1 参照)。評価は、それぞれの項目について 5 段階(点数が高いほど良い結果であることを表している)とした。

1 番目の質問より、両コンテンツともに分かりやすい操作を提供できているという結果が得られた。これは、マーカーを用いて、実際に手を動かして実験を体験できることが要因であると考えられる。直感的に分かりやすい操作感を実現できたといえる。

2 番目の質問より、実験の結果を分かりやすく提示できているという結果が得られた。これは、実験の機器や波を CG オブジェクトとして表現したことで、色を変えるなどの表現が可能となり、普段は目にするのできない現象やパラメータを可視化し提示したことがその要因であると考えられる。

3 番目の質問より、本システムおよび本コンテンツにとっても興味をもってもらえたという結果が得られた。実際にオームの法則実験やウェブマシンを使った実験をしたことのある高等専門学校生は、本コンテンツの

利点を強く意識し、興味を示していた。

以上の結果から、複合現実感技術を用いた MR 実験室により、学習効果の高い実験環境を構築できることが確認できた。

表 1 評価結果

MR物理実験コンテンツ

No	question	score
1	操作は分かりやすかったですか?	4.24
2	実験は分かりやすかったですか?	4.52
3	このような装置で実験したいと思いますか?	4.28

MR電気実験コンテンツ

No	question	score
1	操作は分かりやすかったですか?	4.40
2	実験は分かりやすかったですか?	4.36
3	このような装置で実験したいと思いますか?	4.28

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 5 件)

小園和剛, 岩崎洋平, 西村壮平, 相互学習を可能とした仮想実験システムの開発, 平成 22 年電気学会電子・情報・システム部門大会, 2010.09.28

Yohei Iwasaki, Yuichi Hamada, Sohei Nishimura, Kazutake Kozono, Development of the MR Laboratory for Electrical Experiment using ARToolKit, 9th International Conference on Information Technology based Higher Education and Training, 2010.04.29

岩崎洋平, 濱田雄一, 西村壮平, 小園和剛, 複合現実感技術を利用した MR 実験室の構築, 第 9 回 NICOGRAPH 春季大会, 2010.03.26

小園和剛, 岩崎洋平, 西村壮平, 濱田雄一, 複合現実感技術を利用した仮想電気実験システム(MR 実験室)の構築, 日本教育工学研究会(JSET10-1), 2010.03.06

岩崎洋平, 西村壮平, 濱田雄一, 小園和剛, 複合現実感を利用した MR 電気実験システムの開発, 電気学会 A 部門 教育フロンティア研究会(FIE-10-017), 2010.03.03

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩崎洋平(Yohei Iwasaki)

熊本高等専門学校・建築社会デザイン工学科・助教

研究者番号: 90442483

(2) 研究分担者

西村壮平(Sohei Nishimura)

熊本高等専門学校・機械知能システム工学
科・助教
研究者番号：00442484

小園和剛 (Kazutake Kozono)
熊本県立大学・総合管理学部・准教授
研究者番号：30381015

(3)連携研究者
該当者なし