

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 24 日現在

機関番号：32407

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350348

研究課題名(和文)CG映像と実写映像を融合した映像教材制作技法と対話型理科仮想実験システムの研究

研究課題名(英文)Development of Virtual Science Experiment system using CG animation with see-through movie mapping technique.

研究代表者

新藤 義昭 (SHINDO, Yoshiaki)

日本工業大学・工学部・教授

研究者番号：40265369

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：理科仮想実験システムの臨場感向上のため実写マッピング技法を開発した。従来技法で炎や煙などの流体を描画するには物理演算プロセッサが必要だった。実写マッピングは、3次元形状モデルに実写映像を巡回投影する。この技法を用いて、炎、蒸気、沸騰、火花等の様々な教材コンテンツを開発した。さらに1枚の画像の一部に、反復移動、反復振動、明暗変化等の処理を施し、自動的に巡回動画を作成するソフトウェアツールも開発した。また3D立体視映像を提示するツールを開発した。これらの機能を組み込んだ理科仮想実験システムを開発し実際に中学校で実験授業を行いアンケート調査等で効果を検証した。

研究成果の概要(英文)：To improve the presence of Virtual Science Experiment, we have developed the See-Through Movie Mapping technique which enables the projection mapping of actual videos or CG animation on 3D shaped models endlessly. By using it, we produced teaching materials including various kinds of fluid animation, which are Fire, Steam or Boiling water for example. Furthermore, we have developed the software which can make endless animation file automatically from just one image file. It performs repeated translation, repeated vibration or repeated changing intensity on specified parts of pixels of image. And we have also developed the 3D stereoscopic CG animation browser which can display 3D shaped models flying out from the front face of the liquid crystal display and students can move or rotate it by mouse and key commands. In order to investigate the effect of it, we have produced science teaching materials for junior high school students and 64 students tried to challenge this experiment.

研究分野：画像情報工学、コンピュータグラフィックス、教育工学

キーワード：実写マッピング技法 理科仮想実験システム CG映像シナリオ記述言語 人間型ソフトウェアロボット 3D立体視映像教材 統合型CG映像制作環境 コンピュータグラフィックス

1. 研究開始当初の背景

現在、中学校では助手や技術員がいないため、危険を伴う実験や複雑な手順の実験を実際に行うのは困難な状況にある。これらの問題を支援するひとつの方法として、パーソナルコンピュータ(PC)やタブレット型 PC で動作する e-Education システムの活用^{①②}が考えられる。しかし教育現場が求めている機能は、単なる教材映像の提示やドリル形式の問題回答型のシステムではなく、生徒たちが実験装置や機械装置を自分で設計して組み立てる仮想実験システムである。実実験を行う方が有効であるという考え方もあるが、実験で重要なのは失敗を多々経験することであろう。仮想実験は失敗しても危険を伴わず、何回でも挑戦できるという利点をもっている。本研究の目的は、これを実現するため 3 次元 CG アニメーション、実写映像、音声合成機能を融合させて仮想教師、実験器具、各種の部品、液体や固体等の材料を臨場感のある映像教材として提示しゲーム感覚で仮想的に実験したり機械を設計して組み立てる機能をもつ対話型 e-Education システムのアーキテクチャを研究開発することである。また、その対話型教材映像を臨場感ある映像にするために、3 次元 CG アニメーションの中に実写映像を融合させる新たな映像制作技法についても研究開発することである。

教材映像を CG アニメーションで制作する一般的な方法は、CG モデラとレンダラを用いて 3 次元 CG モデルと動きを作り画像を 1 フレームずつ時間をかけてレンダリングしてアニメーション化し^③、音声、効果音、音楽をビデオ編集ソフトを用いてデジタルビデオ映像に統合する方法^④である。この映像と WEB プログラミング技術を組み合わせれば映像提示型の e-Education システムを構築できる。しかしリアルタイム映像ではないため受講者が映像と対話したり、操作に合わせて映像を多様に変化させる教材は制作が困難である。学習者の操作に応じて映像を変化させる映像制作技法としては、3 次元 CG モデルの動きを C 言語等のプログラミング言語で記述し数学的な処理で映像を開発する Jack^⑤のような技法もある。しかし高度に訓練された映像制作の専門家による長時間作業を必要とするため開発コストが多額となる。映像制作コストを軽減するために、専用のスクリプト言語を用いて映像を制作する技法として Alice^⑥、MPML^⑦、TVML^⑧、等が報告されている。しかし TVML はニュース番組用に特化しており Alice や MPML は先進的な仕様を提案しているが、実用的な教材コンテンツの制作には適していない。

2. 研究の目的

本研究では、3 次元 CG アニメーション技術と音声合成技術で作った人間型の仮想教師を主役とし、学習者と直接対話が可能なリアルタイム 3 次元 CG アニメーション

を再生する新たな映像メディアシステムと、その映像コンテンツを制作するためのシナリオ型記述言語を開発する。具体的には画面に映し出される 3 次元仮想舞台に人間型ソフトウェアロボットを仮想教師として登場させ、演技させるシナリオを文章で記述してホームページを記述するのと同程度の作業効率で仮想実験システムを実現できる e-Education システムの新たなアーキテクチャを研究開発することである。

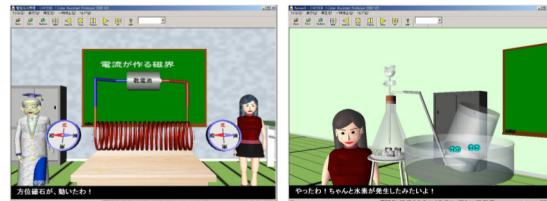


図 2-1 本システムの動作画面

まず従来技法による映像制作技法と大きく異なる点を以下にまとめる。

- (1) 人間型ソフトウェアロボットを仮想教師として配置し演技するための各種の知識データベースを与える。仮想教師は顔の表情を変えながら音声合成で台詞を喋り演技する。
- (2) HTML 言語に類似したハイパーテキスト言語 CPSL3^{⑦⑧}(Cyber Person Scenario Language 3)で映像のシナリオを記述することで映像制作を行う。仮想教師が言語知識データベースを保持しているため仮想教師への表情変化や体演技指示を日本語の平文で記述できる。仮想舞台には様々な小道具や仮想カメラを配置できる。小道具や仮想カメラも日本語の平文で動きを指示できる。また、精密な数値制御で動かすこともできる。
- (3) 仮想教師達の喋りや表情変化、演技、小道具の動き、効果音、音楽などの並行動作のタイムライン制御を行うための時間的な同期(演出)制御をシナリオ内のブロック記述ルールで制御することができる。

さらに本研究の大きな目的は臨場感のある映像を簡便に提示する技法の開発である。昨今の CG 技術の進歩により、映像の美観は大きく進歩しており迫力ある画像を作り出すことができる。しかし炎や煙、火花などの流体映像を実時間 CG で描画するのは簡単ではない。小道具群を、臨場感を高めるために細かく動かそうとすると大量の動作指示を記述しなければならず、シナリオ型のスクリプト言語を用いてもこの問題は解決しない。

そこで、本研究では CG アニメーションの舞台や小道具の中に、実写映像を融合させる新たな映像制作技法として、実写マッピングと名付けた融合技法を開発する。実写マッピングは、従来の CG 映像と実写映像の合成技術とは異なり、CG 技術で作った 3 次元形状モデルに直接実写映像を再生する機能を持たせた画期的な技法である。小道具の形

状を変形させると、実写映像も同期して変形する。この技法を用いて従来は制作に多大なコストを要した映像(燃える炎、沸騰する液体、はじける火花、激しい化学反応、爆発、)を簡便に制作できる技法を開発することである。また、高速掃引型ディスプレイと液晶シャッター眼鏡を用いて、教材映像を3D立体視アニメーションとして提示する3D立体視ブラウザを開発する。3D立体視もよるアニメーション教材の制作も行う。

3. 研究の方法

(1) Cyber Assistant Professor 2(CAP2) と Cyber Person Scenario Language 3(CPSL3)

まず、CPSL3を読み込んでe-Educationシステムとして動作するCAP2ブラウザについて述べる。CAP2は仮想教師、仮想舞台、各種の小道具(3次元形状モデルや画像パネルやテキストパネル等)で構成される。CPSL3は40個以上のTagコマンドで構成されており、CAP2ブラウザはCPSL3シナリオファイルを読み込んで対話型のリアルタイムCGアニメーションを提示する。表3-1にCPSL3の代表的なTagコマンド例を示す。CAP2とCPSL3の詳細は引用文献を参照されたい。

表 3-1 CPSL3 の代表的な Tag コマンド

| Tag | 機能 |
|------------|---------------------|
| <STAGE> | 仮想舞台を作成する |
| <PERSON> | 仮想教師を登場させる |
| <SPEAK> | 仮想教師が喋る |
| <FACE> | 仮想教師が顔表情を変える |
| <SCRIPT> | 字幕を表示する |
| <ACTION> | 仮想教師の関節を動かす |
| <MOTION> | 仮想教師に演技させる |
| <PARTS> | 小道具を登場させる |
| <MOVE> | 小道具を動かす |
| <SOUND> | 効果音を鳴らす |
| <CAMERA> | カメラを動かす |
| <SCENARIO> | 他のシナリオへリンクする |
| <REQUEST> | Answer Target を定義する |
| <ANSWER> | CASE 文の入り口を定義する |

(2) 実写マッピング技法の開発

理科仮想実験システムでは、火花、電光、沸騰する液体、煙や湯気などの流体表現を提示しなければならない場合がある。しかし、実時間表示の対話型3D-CGアニメーションでは流体表示は困難である。流体表現の代表的技法のひとつは、パーティクルシステムの利用であるが、実時間描画で利用するためには、高性能はGPU(Graphics Processing Unit: グラフィックス専用プロセッサ)に組み込まれている物理並列演算プロセッサを使用しなければならない。しかし、一般的なノート型PCや安価なデスクトップPCにはGPUは搭載されていない。この状況を改善するため、実写マッピング技法(See-Through Movie Mapping technique)を開発した。その技法は、次のような手順で実装する。

- ① 実写映像やパーティクルアニメーションによって、流体動画を作成する。
- ② 各動画フレームの背景色(青色または黒色を使用)の画素を透明化処理する。
- ③ 3次元形状モデルにOpenGLのテクスチャマッピング機能[®]を拡張して透過動画マッピングを行う。指定された背景色は透明化する。
- ④ 必要に応じて、貼りつける形状モデルとして、ビルボード[®]を選択することもできる。ビルボードとは、絶えず視点方向に自動的に回転する長方形の回転看板である。
- ⑤ 流体映像を巡回再生する。この際、フレームレートを指定する。
- ⑥ 必要に応じて、映像に揺らぎを与えるために、フレームレートに乱数幅を設定する。

図3-1に実写マッピングの使用例を示す。

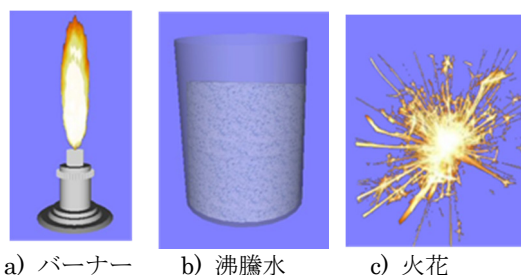


図 3-1 実写マッピングの使用例

実写マッピング技法によって理科仮想実験の臨場感は非常に向上した。図3-2に、「醤油の作り方」という映像教材で使用した火と蒸気の様子を示す。

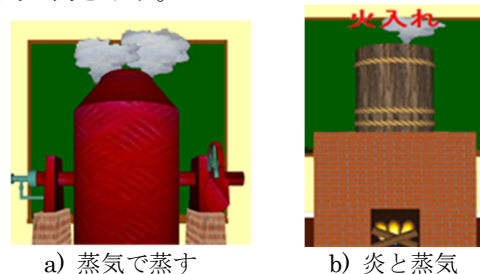


図 3-2 理科仮想実験での使用例

(3) 1枚の実写画像から自動的に動画を作成する動画自動生成ツールの開発

1枚の静止画像(実写でもCGでもよい)から、動画効果、フレーム数、強度というパラメータを与えて自動的に巡回動画を作成する動画自動生成ツールというソフトウェアを開発した。図3-3に動画自動生成ツールの動作画面を示す。

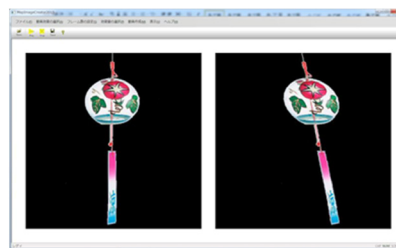


図 3-3 動画自動生成ツールの動作画面

動画自動生成ツールは、1枚の画像（図3-3の左側の画像）から巡回動画を自動的に作成する。その処理手順を以下に示す。

- ① 画像ファイル(jpg または BMP 形式)を読み込む。画像は左側に表示される。
- ② 動画のフレーム数を選択する。
- ③ 動画効果コマンド（表3-2に示す）をひとつ選択する。
- ④ 動画効果の強度（弱く、普通、強く）の中から選択する。
- ⑤ プレビューコマンドを選択して、ウインドウ右側の画像で自動作成された巡回動画を確認する。
- ⑥ 確認した動画ファイルを保存する。

表3-2に動画自動生成ツールの機能一覧を示す。

表3-2 動画自動生成ツールの機能一覧

| 機能 | 数 | 設定オプション |
|-------|----|--|
| フレーム数 | 10 | 4, 8, 12, 16, 24, 32, 48, 52, 64, 128 |
| 強度 | 3 | 強く, 普通, 弱く |
| 動画効果 | 12 | ①上に流れる ②下に流れる ③右に流れる ④左に流れる ⑤下部が左右に揺れる ⑥上部が左右に揺れる ⑦左部が上下に揺れる ⑧右部が上下に揺れる ⑨暗くなる ⑩明るくなる ⑪ピントがぼける ⑫モザイクが段々かかる |
| 開く | 1 | JPG, BMP 画像を読み込む。 |
| 保存 | 1 | 動画ファイルを保存する |

図3-4に、たくさんの風鈴が風に揺れる映像を示す。風鈴の動きには「乱数による揺らぎ」が与えられているので、1つのマッピング動画で、複数の異なった動きをする風鈴を多数描画することができる。

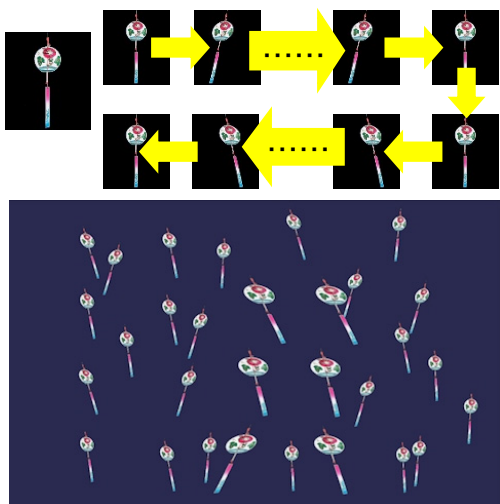


図3-4 風に揺れる多数の風鈴

(4) 3D 立体視アニメーションシステム

理科仮想実験システムの臨場感向上の試みのひとつとして、3D 立体視アニメーションシステムを開発した。当初は、アナグリフ式の立体視を試みたが被験者の拒否感が強く、教育環境には適さないという印象をもった。そこで、高速掃引液晶ディスプレイ(120Hz 掃引)、液晶シャッター眼鏡、赤外線エミッタを用いた 3D 立体視アニメーションシステムを開発した。このシステムは CAP の機能のひとつである VEL 機能によって起動される。受講者は、立体眼鏡をかけてウインドウ内のボタンをクリックして、教材のヒント情報や特典映像を画面から飛び出す 3D 立体映像として閲覧することができる。画面から飛び出した 3 次元形状モデルをマウス操作で移動、回転させて自由に閲覧する仮想現実操作も可能である。図 3-5 に 3D 立体視の仕組みを示す。



図3-5 3D 立体視の仕組み

3D 立体視アニメーションシステムは、指定した教材の 3 次元形状モデルを画面の前に飛び出させ、マウスで移動、回転させて閲覧する仮想現実的な操作も可能である。さらに主にテンキーを用いて表3-3に示すようなコマンドを出すことができる。キー操作により、あらかじめ用意した背景（仮想舞台の 3 次元世界）を選択することもできる。

表3-3 3D 立体視中のキー操作

| キー | | キー | |
|-------|-------------------|----|--------|
| 0 | 停止 | A | 背景1を選択 |
| 2 | ゆっくり | B | 背景2を選択 |
| 8 | 早く | C | 背景3を選択 |
| 5 | 遠近感初期化 | D | 背景4を選択 |
| 6 | 遠近感強く | E | 背景5を選択 |
| 4 | 遠近感弱く | F | 背景6を選択 |
| 9 | 奥行移動距離長く | | |
| 7 | 奥行移動距離短く | | |
| Enter | マウス操作の切替(移動または回転) | | |
| : | 現状設定ログ記録 | | |
| ESC | 終了 | | |

3D 立体視表示の教材作成の準備実験として、約 100 名の生徒に立体視映像の体験実験を行い 3D 立体視に関するアンケート調査を行った。その結果を図3-6に示す。

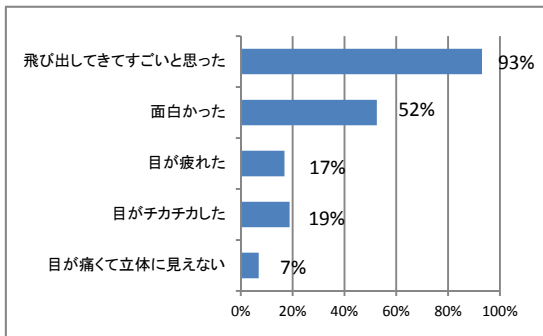


図 3-6 理科仮想実験教材の動作画面例

93%の生徒が立体視に感動し 52%の生徒が面白いと答えたが、17%~19%の生徒が目が疲れたりチカチカしたと回答した。7%の生徒が目が痛くて立体に見えないと回答した。このことから、3D 立体視による教材提示は全ての生徒に有効なわけではないと考えている。このため、この機能の利用は VEL 定義の際の自由選択オプションとした。

(5) Virtual Exploratory Learning (VEL)

受講者が理科仮想実験を行う際に、材料や部品の基礎知識（電子部品や化学物質）が不足していると、実験の成功率が下がってしまう。この状況を改善するために、VEL 機能 (Virtual Exploratory Learning) を開発した。実験の途中に VEL Service という知識探索を行う期間を挿入し、受講者が必要な知識を得られる機能を開発した。受講者が Explore Target と名付けた小道具（3次元形状モデル、画像パネル、テキストパネル等）をクリックすると、CPSL3 シナリオ内で定義された各種アプリケーションが起動する。Explore Target は表 3-4 に示す 5 個のタグコマンドで定義する。

表 3-4 VEL 機能のための TAG コマンド

| Tag | 機能 |
|------------|------------------------------------|
| <INTERNET> | WEB ページを提示する |
| <MPLAYER> | 動画プレイヤーを起動する |
| <EXPLAIN> | CAP2 をもう一つ起動する |
| <SHELL> | 任意のアプリを起動する |
| <EXPLORE> | ESCAPE ターゲットを設定して VEL Service に入る。 |

第 4 節で記述した 3D 立体視アニメーションシステムは、<SHELL>で起動する。詳しい動作の図解は投稿論文^{①②}を参照されたい。受講者が知識探索を必要としない場合には、ESCAPE target をクリックすると実験が進行する。

4. 研究成果

実写マッピングと VEL 機能を搭載した理科仮想実験システムの有効性を確認するため、中学校用の理科仮想実験教材を 3 年間にわたって開発した。開発した教材は、「気体の発生」、「ボルタ電池の組立て」「火花放電発生装置の組み立て」「石鹼の作り方」「醤油の作り方」等である。図 4-1 にその画面例を示す。



図 4-1 理科仮想実験教材の動作画面例

理科仮想実験の成果を検証するため、実際に中学校で理科仮想実験授業を行った。2013 年 12 月と 2014 年 12 月に行った 2 回の仮想実験の結果を示す。対象は計 64 人の中学生である。実験終了後にアンケート調査を行い、5 段階評価で集計した。5 が最高点で 1 が最低点である。結果を図 4-2 に示す。

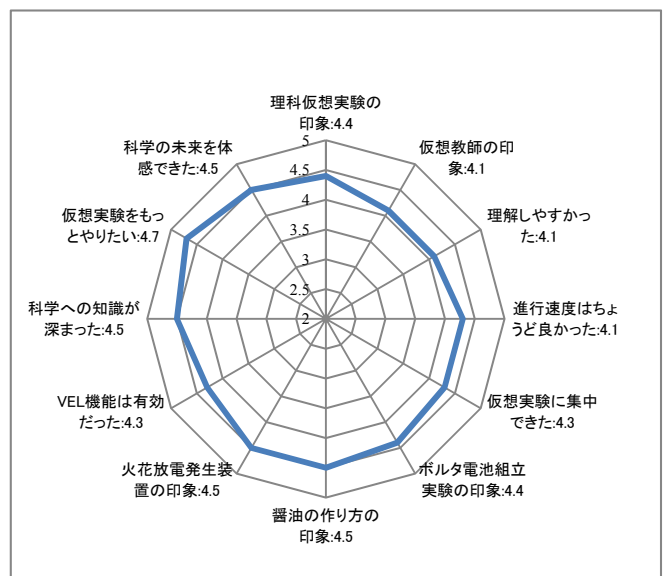


図 4-2 理科仮想実験の印象

「ボルタ電池の組立」が 4.4、「火花放電発生装置の組立」は 4.5、「醤油の作り方」が 4.5 という好成績になった。また、「VEL 機能は有効だった」が 4.3 となった。3D 立体視機能呼び出す VEL 機能は有効であったと思われる。さらに CG アニメーションによる教材提示が理科しやすかったか」は 4.1 となった。実写マッピングを用いた臨場感向上が寄与したものと思われる。また特筆すべきは、「科学への知識が深まった」4.5、「科学の未来を体感できた」が 4.5、「仮想実験をもっとやりたい」が 4.7 という好成績だったことである。理科仮想実験の印象の平均値は 4.4 であった。これらのことから、実写マッピング技法、VEL 機能、3D 立体視機能を組み込んだ中学生用理科仮想実験システムの有効性を示すことができたと考えている。

<引用文献>

- ① Arthur C. Graesser, Xiangen Hu, "Teaching with the Help of Talking Heads", Proceedings of IEEE International Conference on Advanced Learning Technology, pp.460-461, 2001
- ② ssAmy L. Baylor, "Cognitive Requirements for Agent Based Learning Environments", Proceedings of IEEE International Conference on Advanced Learning Technology (ICALT2001), pp.462-463, 2001
- ③ C. Phillips, N. I. Badler, "Jack: A toolkit for manipulating articulated figures", ACM/SIGGRAPH Symposium on User Interface Software., 1988
- ④ Matthew Conway, Steve Audia, Dennis Cosgrove, Randy Pausch, "Alice: Lessons Learned from Building a 3D System for Novices", CHI 2000, 2000
- ⑤ Tsutsui, M.Ishizuka, "A Multimodal Presentation Markup Language MPML with Controlling Functions of Character Agent." Journal of Information Processing Society of Japan, Vol.41, No.4,2000
- ⑥ M.Hayashi, H.Ueda, T.Kurihara, M.Yasumura, "TVML (TV program Making Language) " Automatic TV Program Generation from Text-based Script", Proceedings of Imagina'99, 1999
- ⑦ H.Matsuda, Y.Shindo, "Virtual Science Experiment System using Cyber Assistant Professor (CAP)", Proceedings of The International Workshop on Advanced Image Technology(IWAIT2011), ISBN: 978-602-8944-11-3, 2011
- ⑧ H.Matsuda, Y.Shindo, "Science Virtual experiment with Virtual Exploratory Learning (VEL) for Junior High School students", Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications (EdMedia2010), pp.584-591, 2010
- ⑨ H.Matsuda, Y.Shindo, "Development of e-Learning System which enables Virtual Science Experiment for Junior High School Students based on the Interactive 3D Computer Graphics Animation", Proceedings of The Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications (EdMedia2009), 2009
- ⑩ Poser4 User's guide, Curious Labs.
- ⑪ Adobe Premiere User's Guide, Adobe Systems Inc.(<http://homepage1.nifty.com/SEISYO/index.htm>)

⑫ OpenGL Programming Guide Fifth Edition, OpenGL Architecture Review Board ,2008

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)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① 松田洋, 新藤義昭, The Effectiveness of Virtual Science Experiments, Proceedings of the World Conference on Educational Media, and Technology (EdMedia2016), 査読有,掲載決定済, June, 2016
- ② 松田洋, 新藤義昭, Virtual Science Experiments based on e-Education system, Proceedings of World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare and Higher Education(E-Learn2015), 査読有, pp.1843-1848, 2015
- ③ 松田洋, 新藤義昭, e-Education system for Virtual Science Experiments, Proceedings of International Conference on Computer Science and Information Engineering (CSIE2015), 査読有, 2015
- ④ 松田洋, 新藤義昭, Estimation of e-Education system using Virtual Exploratory Learning, Proceedings of International Conference in Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems (KES2014), 査読有, Vol.35, pp.757-765, 2014
- ⑤ 松田洋, 新藤義昭, Development of e-Education system with Virtual Exploratory Learning, Proceedings of the World Conference on Educational Media and Technology (EdMedia2013) , 査読有 , Vol.2013 , pp.1071-1078 , 2013

6. 研究組織

(1)研究代表者

新藤 義昭 (SHINDO, Yoshiaki)
日本工業大学・工学部・教授
研究者番号 : 40265369

(2)研究分担者

松田 洋 (MATSUDA, Hiroshi)
日本工業大学・工学部・准教授
研究者番号 : 00275843