

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350281

研究課題名(和文) 様々な環境下でリアルな実験学習が可能な実体験追及型VRの開発研究

研究課題名(英文) Development of Experience-Oriented Virtual Reality (XVR) and Application to Education System for Experiments in Various Environments

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) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：ものづくり教育に不可欠である電子回路製作を含む実験教育を、様々な環境で行うことを可能にする新しいバーチャルリアリティ(virtual reality：VR)技術として、実体験追及型VR (experience-oriented virtual reality：XVR)を提案する。このXVRは、立体映像を用いた空間表現法、3Dプリンタによる造形、及びバーチャル計測などの技術を統合することにより、実験材料や実験設備を有していない環境においても、ものを製作して計測する、あるいは分解して内部を観察するといった、実際に実験を行う場合と同等の学習ができるという点で、新規性及び有用性がある。

研究成果の概要(英文)：This study proposes a novel virtual reality (VR) technique, named experience-oriented VR (XVR), and application to educational support system for experiments involving electronic circuit construction. To be applicable to various purposes and environments of users, this XVR system is composed of three dimensional (3D) vision, motion sensing, virtual measurement, and solid shaping using a 3D printer. The educational support system using XVR enables users, lacking environment for an experiment (e.g., equipments and laboratory), to construct, measure and operate various virtual educational and engineering works such as electronic circuits and robots.

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 バーチャルリアリティ 実験教育 電子回路

## 1. 研究開始当初の背景

現在、eラーニング (e-Learning) やモバイル・ラーニング (mobile learning) のように、インターネット環境やモバイル端末を有していれば、いつでも、かつどこでも学習が可能になる教育ツールの導入が試みられている。また、仮想現実 (virtual reality: VR) 技術を用いた教育支援システムを開発することにより、高い教育効果を得ようとする試みも行われている。さらに、3次元画像と他のデジタル・データを組み合わせて処理するシステムにより、従来の VR よりも高い現実感を体験できる技術である、拡張現実 (augmented reality: AR) を教育に応用する試みもある。

しかし、これらの技術は、画像と音声、文字による情報などを組み合わせたマルチ・メディアを用いたシミュレーション的なものであり、実体験 (実際にものを見たり、触れて作業する経験) とは異なり、大きな教育効果を得ることが困難である。特に理工系の教育では、ものづくりのための実験教育が重要であるが、このような従来型の教育支援システムでは、習得できる内容が実体験とは本質的に異なるため、十分な教育効果を得ることが不可能である。

それに対して本研究では、学習者が実際にものを手に取り、作製して計測するなど、実際に実験を行うこととほぼ同等の体験ができる新しい実体験追及型の VR 技術 (XVR) の開発を行う。また、この XVR を用いれば、実験室や実験設備を有しない環境下においても、実際に実験を行うことと同等の教育内容を習得できるため、従来の教育支援システムと比べて、はるかに大きな教育効果を得ることが可能となる。さらに XVR は、実験室や実験設備がない場合のような、様々な環境にも対応しているため、eラーニングやモバイル・ラーニング等に実験教育や体験学習を導入できるという長所を有している。

## 2. 研究の目的

本研究は、ものづくり教育に不可欠である電子回路製作を含む実験教育を、様々な環境で行うことを可能にする新しいバーチャルリアリティ (virtual reality: VR) 技術として、実体験追及型 VR (experience-oriented virtual reality: XVR) を提案し、実験教育支援システムに応用することを目的とする。

この XVR は、新しい立体映像を用いた空間表現法、3D プリンタによる造形、及びバーチャル計測などの技術を統合することにより、実験室や実験設備を有していない環境においても、ものを手で動かしたり、組み立て (製作) して計測する、あるいは分解して内部を観察するといった、実際に実験を行う場合と同等の学習ができるという点で、新規性及び有用性がある。

XVR を実現するために、本研究では以下 (a)~(d) に示す4つのリアリティに関する技術要素を開発し、実験教育支援システムへの応用を試みる。

- (a) 観測的リアリティ：ものを外見だけでなく内部までよく観測し、その構造を調べ理解することができる。
- (b) 操作性リアリティ：実際にものを手に持ち、外見だけでなく、操作や分解して内部構造を調べることができる。
- (c) 製作的リアリティ：ものを組み立てる (作製する)
- (d) 計測的リアリティ：手に持ったもの、または作製したものに対して計測を行う。

## 3. 研究の方法

### (1) 3D-XVR ワークステーションの構築

提案する XVR に基づく教育支援システムの研究を効率よく遂行するために、まず前述 (a)~(d) のリアリティを実現するために必要なハードウェアとして 3D-XVR ワークステーションを開発した。3D-XVR ワークステーションの原理を図1に示す。

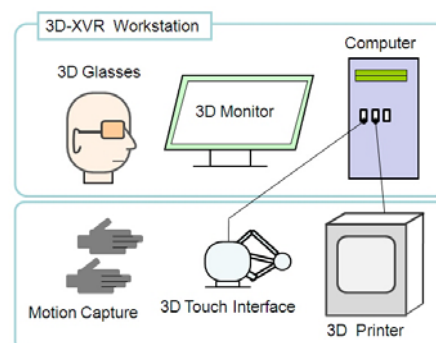


図1: 3D-XVR ワークステーションの原理

3D-XVR ワークステーションにおいて構築する各機能と4種類のリアリティとの関連、及び研究方法を以下①~④に説明する。

### ① 観測的リアリティに関する研究

「(a) 観測的リアリティ」を実現するためには、システムのユーザーに立体映像をリアルタイムで提示する必要があるため、3D ディスプレイを導入する。

### ② 操作性リアリティに関する研究

システムのユーザーが、3D 空間中に立体表示された対象物を手に取り操作したり、分解をして内部の構造を学ぶことができる (操作性リアリティ) 機能を開発した。

「(b) 操作性リアリティ」を実現するため

のハードウェアは、汎用のバーチャル 3D ワークステーションである Leonar3Do を用いて構築した。そして、立体空間中で動くユーザーの手の動きをモーションセンサにより自動認識し、かつユーザーの手の動きに応じて立体ディスプレイに表示されている対象物 (3D コンテンツ) を動かすことを可能にする実時間立体画像認識のソフトウェア開発を行った。

### ③ 製作的リアリティに関する研究

立体空間中においてユーザーが、複数の 3D コンテンツを操作して組み合わせることによって、実際にもものづくりを行っていることと同等の体験ができるように 3D-XVR ワークステーションのソフトウェアを新たに追加し「(c) 製作的リアリティ」の技術を構築した。

さらに、XVR における製作的リアリティをより発展させるための設備として、3D プリンタを導入した。これによって、3D-XVR ワークステーションによる仮想実験で作製したものの (立体映像コンテンツ) の実体モデルを 3D プリンタにより造形することが可能になった。このようなシステムの改良によって、ユーザーは仮想的に作製した (電子回路などの) ものを、現物と同じ大きさや形状の実体モデルとして実際に手にすることができ、ものづくりの体験学習の効果を高めることができる。

### ④ 計測的リアリティに関する研究

電子回路製作を伴う実験教育を支援することができるように 3D-XVR ワークステーションに「(d) 計測的リアリティ」の機能を追加した。そのために、現時点の 3D-XVR ワークステーションに回路シミュレータを組み合わせ、さらに新たなソフトウェア開発を行うことによりバーチャル計測の機能を構築した。この追加機能により、製作的リアリティで造形した実体モデルを用いて、実際に作製した (回路などの) ものに対して測定器を用いた計測を行うこととほぼ同等の学習を可能にすることができるようになり、高い教育効果が得られる実験教育支援システムを構築することができる。

電子回路製作を伴う実験教育において、計測的リアリティを実現するためには、作製した電気回路の動作を XVR 上でシミュレーションし、その結果を 3D ディスプレイ上に表示できなければならない。これらを実現するために、3D-XVR ワークステーションが以下 A) ~C) の処理を自動的に行うことができるように、ソフトウェア開発を行った。

A) 回路認識：システムが、作製した電子回路の画像を撮り込み、画像認識により回路構成 (素子や配線など) を識別する。

B) 回路翻訳：回路認識の結果に基づき、回

路構成を一般的な回路記述言語である SPICE 形式で表現する。

C) 回路翻訳の結果に基づき、回路シミュレータが回路の動作をシミュレーションする。その結果を、3D-XVR ワークステーションのバーチャル計測器に表示する。

### (2) ユーザーの様々な環境への対応

「ものづくり」能力を育成するためには、電子回路製作を含む実験教育が必要不可欠である。しかしながら、実験環境によっては、実験材料や実験設備 (実験室や計測器) が十分でない場合がある。そこで、学習者の様々な環境に対応できるように、これまでのシステムに改良を施した。具体的には、3D-XVR ワークステーションに次の①~③に説明する 3 種類のモードを組み込むことによって、利用者の様々な環境に適応することを可能にした。

#### ① Real Circuit-Making (RCM) mode

電子回路やロボットなどの「ものづくり」に必要な実験材料を有しているが、計測機などの実験設備がない場合に有用な機能である。ユーザーは、(バーチャルではなく) 実物の電子回路やロボットを作製した後、「(d) 計測的リアリティ」を用いてバーチャル計測を行うことにより、実際の計測を行うことと同等の学習を行うことができる。

#### ② Virtual Circuit-Making (VCM) mode

実験環境 (実験材料と設備の両方) を有していない場合には、3D-XVR ワークステーションにおける (a) ~ (d) の 4 つの機能を全て用いることにより、実際に「ものづくり」と計測を伴う実験を行うことと同等の学習が可能になる。

#### ③ Mixed mode

「ものづくり」のための実験材料が不足している場合、RCM mode と VCM mode を組み合わせて用いることにより、不足なく実験学習を行うことができる。また、不足した実験材料を 3D プリンタで造形することによって、実際と同等の「ものづくり」とバーチャル計測を行うことにより、実際の実験と同等の学習が可能になる。

なお、上述①~③の拡張機能は、実験教育の遠隔化を可能にできるという意義からも重要である。

## 4. 研究成果

### (1) 3D-XVR ワークステーションの構築

構築した 3D-XVR ワークステーションを図 2 に示す。この装置は、3D グラスにより実験対

象(3Dコンテンツ)の3次元映像を観ながら、3Dコントローラにより実験対象を動かしたり操作することができる。そして、3D-XVRワークステーションを組み込んだ実験教育支援システムの構成を図3に示す。

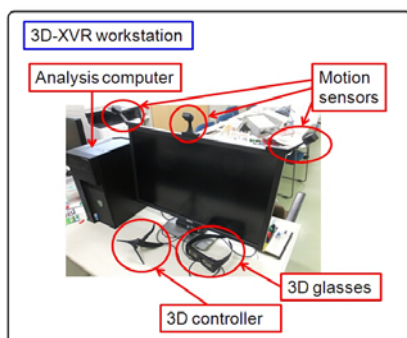


図2 3D-XVRワークステーションの構成

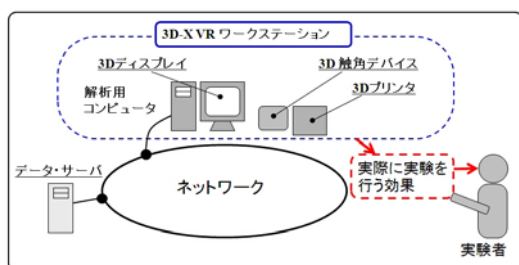


図3: 構築したXVR実験教育支援システム

## (2) XVRを用いた回路製作実験

### ① オペアンプ回路の製作実験

オペアンプを使った電子回路(アクティブ・フィルタ)の製作を含む実験教育にXVRを用いた結果を図4に示す。同図(a)は実験対象の回路の回路図である。図(b), (c), (d)は、それぞれRCM mode, VCM mode, Mixed modeにより作製した回路の例である。VCM mode及びMixed modeにおいて、ユーザーがコンピュータ上で回路を構成する際には、バーチャル回路部品(図5)をネットワーク上のデータサーバからダウンロードする。図(e)は、計測的リアリティにおける回路認識と回路翻訳の結果を示している。そして、計測的リアリティにおけるバーチャル計測の結果を、図(f)に示す。なお、図(b)-(d)は全て同じ回路構成であるため、同じ計測的リアリティの結果[ここでは図(e)及び(d)]がユーザーに提示される。

図4に示したように、ユーザーの実験環境に応じて3種類のモードにより回路回路製作を行い、かつ実際の計測器を必要とせず3D空間中でバーチャル計測を可能にする教育支援システムは、これまでにない新しいものである。

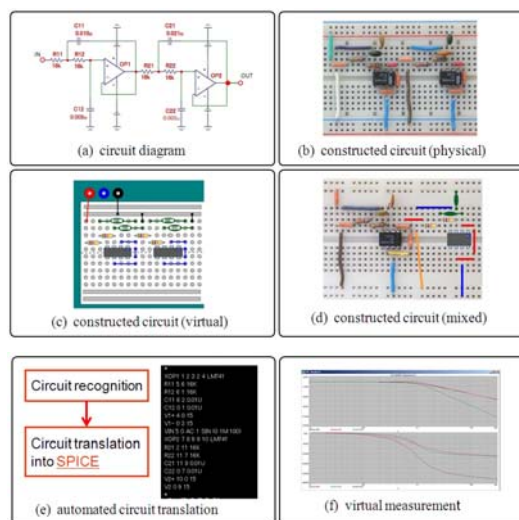


図4: XVRによる回路製作実験の結果(オペアンプ回路)

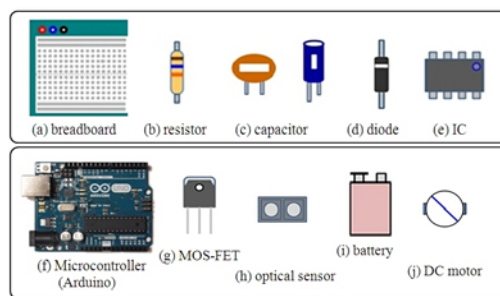


図5: バーチャル回路部品

### ② ロボット製作実験(I)

フォトランジスタを使ったライン・トレーサの製作実験において、XVRを用いた結果を図6に示す。ライン・トレーサとは、床や卓上に描かれた線を検出し、その線に沿って走行するロボットであり、ロボット製作の基本を学ぶための教育題材として一般的である。図6(a)は、実験回路の回路図である。そして、図(b), (c), (d)は、それぞれRCM mode, VCM mode, Mixed modeにより作成した回路の例である。

この回路の計測的リアリティは、回路認識処理によって識別されたDCモータの領域を位置合わせに用いたAR(augmented reality)によってDCモータ(左右の車輪)の動きをシミュレーションすることによって実現できる。このように、実験教育の対象物(この場合は電子回路)に対して、3D空間中での観測(観測的リアリティ)やバーチャル計測(計測的リアリティ)を体験するために、拡張現実感(AR)を用いた教育支援システムは、これまでにない新しいものであり、今後の実験教育支援システムとして有用性が期待できる。

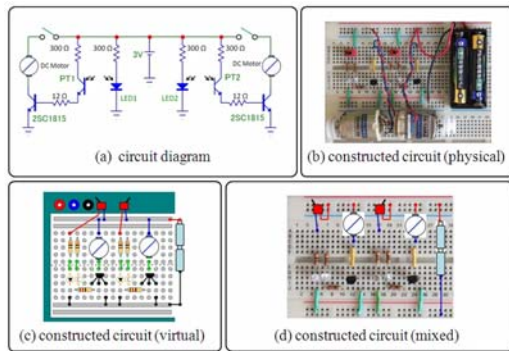


図 6: XVR による回路製作実験の結果 (ライン・トレーサ)

### ③ ロボット製作実験 (II)

汎用のマイクロ・コントローラ (マイコン) として一般に広く用いられている Arduino を用いたライン・トレーサの製作に, XVR を用いた結果を図 7, 8 に示す。作製するライン・トレーサにおいて, DC モータ (左右の車輪) の動きを制御する回路, 及び光の強さを検出する回路の回路図を, それぞれ図 7 (a), (b) に示す。図 8(a) は, VCM mode により作製したライン・トレーサの回路である。次の図 (b) は, Arduino を動作させるためにユーザーが作成したプログラムである。

また, この実験に対して, より教育効果が得られる観測的リアリティ及び計測的リアリティを実現するために, ライン・トレーサの動きをアニメーションによりシミュレートできるように XVR を改良した。具体的には, Arduino を制御するプログラムを, アニメーション・プログラムを比較的容易に記述できるプログラミング言語 Processing に自動翻訳する機能を追加した。この自動翻訳とシミュレーションの結果の例を, 図 8 (b) - (d) に示した。

ここで新たに構築した XVR の拡張機能は, ユーザーは実験環境に応じて選択した 3 つのモードのいずれを用いても, 作製したロボットに組み込んだマイコンを制御するプログラミングを学ぶことができる。さらに, この拡張 XVR システムは, ユーザーが作成したプログラムを自動翻訳し, ロボットの動作をシミュレーションできる点も含めて, VR 空間中で行うロボット製作実験に (a) - (d) のリアリティを実現できるこれまでにない新しい技術であり, 今後の実験教育支援システムとして有用性が期待できる。

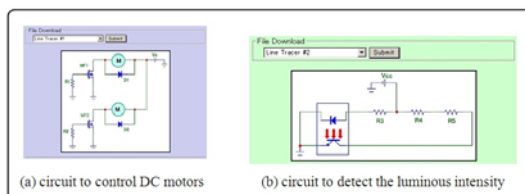


図 7: 回路図 (Arduino を使用したライン・トレーサ)

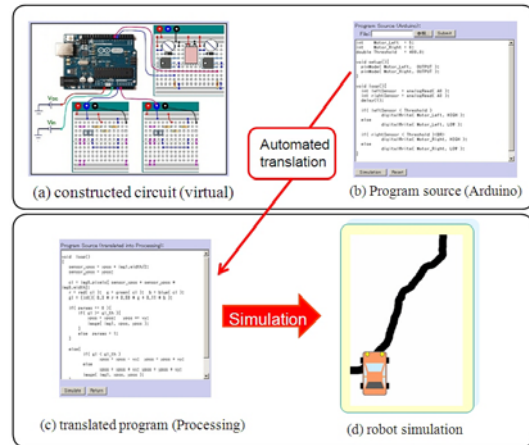


図 8: XVR を用いたロボット製作実験の結果 (Arduino を使用したライン・トレーサ)

## 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 4 件)

- ① A. Takemura, “e-Learning system for learning virtual circuit making with a microprocessor and programming to control a robot,” Proceedings of IADIS CELDA, 査読有, vol.12, 2015, pp. 313-318, <http://www.iadisportal.org/>
- ② A. Takemura, “e-Learning system for design and construction of amplifier using transistors,” Proceedings of IADIS e-Learning, 査読有, vol. 8, 2014, pp. 344-348.
- ③ A. Takemura, “e-Learning system for experiments on circuit construction and robot control,” Proceedings of IADIS ITS 2013, 査読有, 2013, pp. 95-100.
- ④ A. Takemura, “e-Learning system for experiments involving construction of practical electronic circuits,” Proceedings of IADIS e-Learning, 査読有, vol.7, 2013, pp. 403-407, <http://www.iadisportal.org/>

[学会発表] (計 3 件)

- ① A. Takemura, “e-Learning system for learning virtual circuit making with a microprocessor and programming to control a robot,” IADIS International Conference on Cognition and exploratory Learning in Digital Age (CELDA 2015), Oct. 25, 2015, Maynooth (Ireland)
- ② A. Takemura, “e-Learning system for design and construction of amplifier using transistors,” IADIS 8th

International Conference on  
e-Learning, July 17, 2014, Lisbon  
(Portugal)

- ③ A. Takemura, “e-Learning system for  
experiments on circuit construction  
and robot control, ” International  
Conference on Internet and Society  
(ITS 2013), Dec. 13, 2013, Selangor  
(Malaysia)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

竹村 淳 (TAKEMURA, Atsushi)

東京農工大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号: 20297617