

平成 21 年 5 月 27 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18500696

研究課題名（和文） 仮想実験室システムの開発

研究課題名（英文） THE DEVELOPMENT OF VIRTUAL LABORATORY

研究代表者

井上 祥史（INOUE SHOSHI）

岩手大学・教育学部・教授

研究者番号：00211061

研究成果の概要：

仮想空間の中で疑似体験が可能な環境として、磁場中の導体をマウスで触ってその中の電子の運動の仮想実験、自分の脈拍と同期して動く心臓の表示、GPS を用いて古代遺跡を再現し鑑賞できる仮想現実システムなどを作成し、教育利用に向けての評価を行った。またそれらの作成過程で USB-IO を用いた制御教材および ImageJ を用いた画像解析による運動解析の方法を提案し、教材としての有用性を示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	2,200,000	0	2,200,000
2007 年度	700,000	210,000	910,000
2008 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	390,000	3,890,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学 教育工学

キーワード：バーチャルリアリティ、ミックスドリアリティ、画像解析、科学教育、生体情報

1. 研究開始当初の背景

実体験やものづくりを通して実際に手で触れ感触を確かめることは、直感的な理解を通して考える力を養う契機となり、教育効果が期待される。しかしながら目で確かめることが困難な電場・磁場や原子・分子の様子など人間の感知できない領域をコンピュータを用いて仮想体験できれば、新たな発想や自然観を醸成する可能性がある。既に医療分野では様々なタイプの仮想実習環境が実用化されてきている。例えば手術シミュレータでは手術時に加わる

力を計算して力覚デバイスや立体眼鏡でリアリティを表現しており、初期訓練等に利用され一定の成果を挙げている。このようにコンピュータ利用の仮想体験環境が整いつつあるが、手術シミュレータのようなシステムを手軽に教育現場に持ち込むことはできない。このため学校教育の現場でも簡易に仮想実験ができるシステムを作製し、コンピュータ利用教育に発見的学習を加えながら体験による知識定着の効果を付加する必要があると考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、学校教育の現場でも簡単に扱えるバーチャルリアリティ（以下VR）システムを作成して、仮想的な実験が行える環境を作ることにある。仮想的な体験を通して、対象に興味や関心を持ち、発見的な学習が行える環境の構築を目指した。仮想体験を実現するVRシステムには、映像表現によって没入感覚や視点移動などを行う視覚を通じた仮想体験と、それに加えて力覚や音声出力などによるインタラクティブな疑似体験を行える仮想実験室がある。例えば素電荷や単位磁荷などをプローブとして動かし、電場や磁場の強さや方向を感じることでできるシステムである。このようなシステムを用いて仮想実験ができれば、空間概念を伴う学習項目の理解支援と定着を図ることができると考えられ、その教育的な効果と意義を実証することを目標にした。このために次のステップに分けて研究を行った。

(1) 3次元仮想実験を行う価値のある領域として、ベクトル場の空間、3次元実座標以外の任意の座標空間における勾配力の表示などを選定し、仮想実験のサンプルを選定する。

(2) 仮想空間でのオブジェクトまたはプローブの感じる場の大きさを、ユーザの感覚を刺激する出力方法で表現する。コンピュータとの入出力にはUSB-IOを用い、力、光、音声などを駆動する。

(3) キーボードやマウスに代わる視点移動機能など、扱いやすい入力支援環境を整備する。

(4) 製作した教材による授業実践を協力校で行い、教育効果を評価する。

3. 研究の方法

仮想実験を行う方法として、仮想物体にマウスで触り外部に結果を出力する方法と、マウス以外の外部情報で仮想物体を制御し結果をIOポート出力または画像で観察する方法を扱った。

仮想物体にマウスで触り動かすにはJava3Dのピッキング機能を利用した。またJava3Dのライブラリのsaiga3Dを用いてプログラムの簡素化を図った。マウス以外の入力方法には、ビデオ画像、GPSや光などのセンサを用い、ベースシステムとしてJava3Dとsaiga3Dのライブラリの他にARToolKitを用いた。そして結果の出力には画像とともにTechnoKitのUSB-IOを用いた。USB-IOの制御にはJavaクラスファイルのxyzzおよび制御教材用にVBAで扱うvbausbio.dllを用いた。

作成した教材を用いて複数の小中学校でテレビ会議システムを用いた遠隔仮想

実験を含む教育実践を行った。

4. 研究成果

(1) USB-IO 制御教材

Java3D および VBA で USB-IO の制御環境を整える過程で、いくつかの制御教材を開発した。ベンダーの違いを吸収して簡単なコマンドで USB-IO が制御できるように VBA モジュールを整備した。主に中学校で LED やライントレーサの制御の授業を行い、光や動きを伴う USB-IO 教材によって、直感的にアルゴリズムを理解し容易にプログラミング可能な環境を構成できることを示した。

(2) Java3D による仮想実験

① 仮想空間のプローブ

まず仮想体験システムの実証を行った。CG の球を仮想的プローブとしてマウスでピッキングして動かし、空間構造を検出する仮想実験を Java3D で記述した。空間を領域にわけ、xyzz パッケージで USB-IO を制御してポテンシャル場がプローブに与える力を LED によって表示した。その後 PVT 座標系などに適用した。

② 電子の受ける力の仮想実験

Java3D と saiga3D のパッケージを利用して、磁場中にある導体中の電子1個の受けるローレンツ力の実験を行う教材を作成した。

上下の磁石の間に金属導体を置き、その中の電子を1つのCG球で表した。金属片をマウスでピッキングして任意方向に動かすと、中の電子がローレンツ力を受ける。力を受けた電子は導体の長軸方向に移動し電荷の偏りによって発生した電場で元の位置に戻る。金属片を磁場と直角方向に向けると最も電子の移動が激しくなることを仮想実験で確認することができ、発電の原理を体験できる。磁場の向きは磁石をピッキングして自由に変えることができ、キーボードで視点位置を変えて実験することもできる。

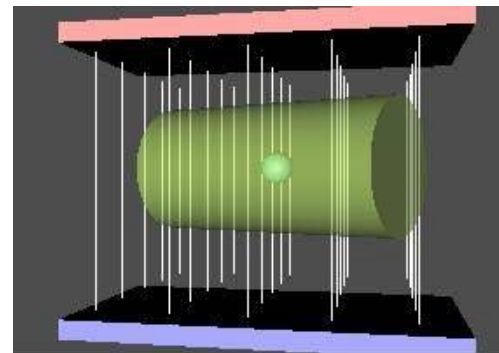


図1. 磁場中の電子の仮想実験室

(3)画像解析

マウス以外の方法で仮想物体をコントロールする方法の1つとして、ビデオ画像の解析を取り上げた。画像解析を行って位置や距離を検出するためにJavaで記述された画像解析ソフトのImageJを用いた。その過程で得られた成果に次のようなものがある。

①ImageJによる運動解析

ImageJの画像解析機能を利用してボールなどの運動体の解析を行う方法を示した。従来の解析手法では透視座標の補正を行う必要がないように遠距離からの撮影を行っていたが、教室など近距離で斜め上方から撮影したビデオ画像を解析して、運動体の3次元位置を決定する方法を示した。

撮影した動画をImageJでRGB分解し、ピクセル値の差分をとって重心位置からボールの3次元位置を決定した。斜め上70cmのDVカメラでバウンドするボールを撮影して解析した例では、重力加速度が 975cms^{-2} となるなど誤差1%以内で運動解析を行うことができる。同様の手法を用いて、ボールの衝突など1次元の運動や水平面内の運動を解析して、衝突における運動量やエネルギー変換過程を評価できることを示した。

ビデオ画像処理における非圧縮化およびインターレース解除はImageJを含めて全てオープンソフトで環境が構築できるため、教育現場での画像計測環境として適している。提案した解析手法は画像処理プロセスが全て画面で確認でき処理内容が直感的に理解できること、Excelのデータ処理で差分から速度加速度を求めることなどを含めて、力学運動の理解と関心が深まることを授業を通して確認した。

②マーカーによる視点決定

USBカメラで4つの赤い円からなるマーカーを撮影し、その配置から画像解析により視点位置を決定する方法を提案した。ビデオカメラからの映像をImageJで画像解析して、マーカーの重心位置を求め線形

化した連立方程式からマーカー上のローカル座標の向きとカメラからの距離の視点情報を求めた。ImageJのマクロ機能を利用して1秒ごとにカメラ視点を決定し、仮想空間にCGを配置した。若干の遅延はあるもののマーカー位置が変わればほぼリアルタイムでCGの表示が変化することを確認した。ベースシステムにはJava3Dを用いた。



図3. 視点決定を行う4点マーカー

(4)ミックスド・リアリティ

仮想物体を制御する方法として、マウス以外の外部情報源にGPSなどのセンサと画像解析を用いる方法を扱った。背景の実映像の中に、センサおよび画像解析で得た位置情報から仮想物体を重量表示するミックスド・リアリティ(以下MR)を作成し、現実と仮想物体との障壁を低くして違和感の少ない仮想体験環境を作成した。

①脈拍検出

赤外線LEDを用いて指先に赤外線を照射すると生体組織で反射された一部が血液中のヘモグロビンで吸収される。脈拍によって血流量が増減すると、吸収量の変動により後方散乱光の強度が変化する。赤外線LEDから2mm離れた位置にフォトセンサを同じ向きに配置して、後方散乱光の強度変化を検出した。得られた信号をUSB経由でコンピュータに取り込み、脈拍として検出した。同等の機能を持つ市販の測定器と比較したところサンプリング間隔が長いところを除いてほぼ波形が一致し、加速度脈波による解析からも市販品と同様の健康状態の傾向を読み取ることができた。

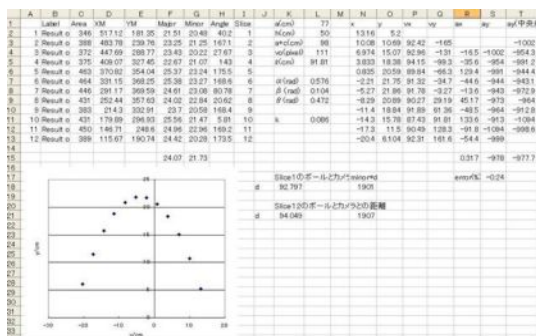


図2. ボールの運動の画像解析(Excel)

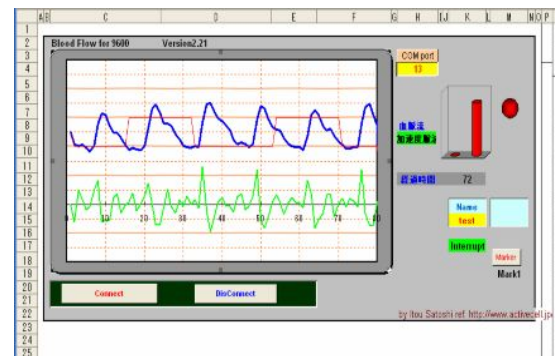


図4. 検出した脈拍のグラフ。
下のグラフは微分波形。

②鼓動する心臓のMR

脈拍センサで検出した信号に応じて鼓動する一連の心臓のCGを切り替えて、マーカー上に脈拍に同期して鼓動する心臓のMRシステムを作成した。CG作成にはMetasequoia, MRシステムにはARToolKitを用いた。

マーカー上に自然な形で心臓CGを描くために、スライダーを設けてCGの位置、大小、上下左右、回転、傾き、照明方向を調節できるようにした。マーカーを動かすだけで観察者は心臓を任意方向から観察できる。(図5, 6)

不特定多数の人に脈拍センサを当てながら鑑賞してもらったところ、全ての被験者が自分の身体情報に同期して動く心臓に興味を示し、表示のしぐみにも関心を寄せるなど、MRシステムが持つ幅広い教材の可能性を確認することができた。

③古代遺跡の再現

GPS, 加速度センサ, 磁気方位センサを用いて自位置および視線方向の決定を行い、背景映像の中に古代遺跡のCGを配置するMRシステムを作成した。センサからの信号を共有メモリに入れてARToolKitから読み込み視点決定を行った。CG作成にはMetasequoiaを用いた。

対象とした遺跡は盛岡市の紫波城古代遺跡で、政庁正殿の建物を盛岡市教育委員会作成のCGを参考にして再現した。



図5. 製作した脈拍検出器(右)とマーカー(左)



図6. 鼓動する心臓MRの実行画面

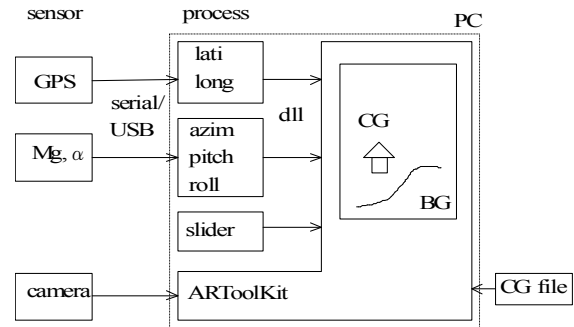


図7. 屋外型GPS-MRシステムの構成

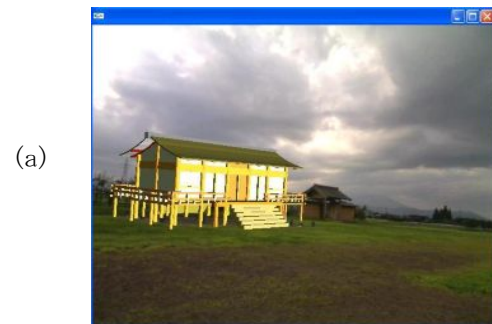


図8. 遺跡MRの実行画面.
歩行しながら遺跡が鑑賞できる。

作成したMRを携帯して、現在は何もない遺跡の周囲を巡ると図8のように遺跡オブジェクトの表示が歩行につれて変化し、再現された古代遺跡を鑑賞することができる。

このシステムはCGオブジェクトの初期位置をカメラの先10mの位置に表示する仕様としたため、スライダーで大きさと位置および照明方向を調整すればGPSで位置確認ができる限りどの場所でも遺跡を再現できるなど操作しやすいことが確認できた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 7 件)

- ①菊池拓己, 伊藤敏, 井上祥史, ImageJ による画像計測法の評価-デジタルカメラやビデオカメラを計測器として活用するために-, 岩手大学教育学部研究年報, Vol.68, 65-70, 2009, 査読有
- ②伊藤敏, 井上祥史, 学習装置をインターネットで共有するプログラミング学習システムの開発, Review of Economics and Information Studies, Vol. 9 No.3,4, 119-129, 2009, 査読無
- ③石澤祐治, 帷子誠, 高橋光広, 伊藤敏, 井上祥史, USB-I0 を用いた制御教材, 日本産業技術教育学会東北支部研究論文集 2007, Vol. 2, 13-16, 2008, 査読有
- ④伊藤敏, 井上祥史, 見て・聞いて・触れるプログラミング教材の開発-Excel でロボット制御, 教育システム情報学会誌, Vol. 25(1), 75-80, 2008, 査読有
- ⑤井上祥史, 伊藤敏, 教育利用を目指した Mixed Reality システム, 岩手大学教育学部研究年報, Vol. 67, 183-190, 2008, 査読有
- ⑥伊藤敏, 井上祥史, 体験型プログラミング学習装置の設計・開発, Review of Economics and Information Studies, Vol. 8 No. 1, 2, 159-170, 2007, 査読無
- ⑦伊藤敏, 井上祥史, 見て・聞いて・触れるプログラミング教材-Excel を通した bit 操作-, 計測自動制御学会中部支部教育工学論文集, Vol. 28, 21-23, 2006, 査読無

[学会発表] (計 15 件)

- ①高城大, 菊池拓己, 井上祥史, 伊藤敏, 血脈流に同期した心臓の鼓動表示, 日本産業技術教育学会第 26 回東北支部大会, 2008. 11, 福島
- ②菊池拓己, 高城大, 井上祥史, 伊藤敏, ImageJ による水平面内の運動解析, 日本産業技術教育学会第 26 回東北支部大会, 2008. 11, 福島
- ③川村英二, 田中稔, 井上祥史, 教材用小型 NC 旋盤製作の教育実践報告, 日本産業技術教育学会第 26 回東北支部大会, 2008. 11, 福島
- ④井上祥史, 伊藤敏, 簡易ミックスド・リアリティによる遺跡再現, 教育システム情報学会第 33 回全国大会, 2008. 9. 4, 熊本
- ⑤伊藤敏, 井上祥史, 血液の流れ観測装置を用いた体験学習教材-小学校での実践, 教育システム情報学会第 33 回全国大会, 2008. 9. 3, 熊本
- ⑥川村英二, 田中稔, 井上祥史, NC 旋盤製作の教材化, 日本産業技術教育学会第 51

回全国大会, 2008. 8. 24, 仙台

- ⑦高城大, 伊藤敏, 井上祥史, 野外におけるミックスドリアリティの試み, 日本産業技術教育学会第 51 回全国大会, 2008. 8. 23, 仙台
- ⑧菊池拓己, 伊藤敏, 井上祥史, 画像解析による力学運動の計測, 日本産業技術教育学会第 51 回全国大会, 2008. 8. 23, 仙台
- ⑨川村英二, 伊藤敏, 井上祥史, GPS による簡易ミックスドリアリティシステムの試作, 日本産業技術教育学会第 25 回東北支部大会, 2007. 12. 2, 仙台
- ⑩伊藤敏, 井上祥史, コンピュータを使った体験学習の教材-Excel で血液の流れを観察-, 教育システム情報学会第 32 回全国大会, 2007. 9. 13, 長野
- ⑪井上祥史, 伊藤敏, 簡易ミックスドリアリティシステムの試作, 教育システム情報学会第 32 回全国大会, 2007. 9. 14, 長野, 9 月 14 日, 2007.
- ⑫白井直, 石川佑加, 福盛田剛, 宮崎眞, 井上祥史, 軽度発達障害児に対する漢字の読み指導-見本合わせ法と刺激内プロンプトを使用した教材の開発-, 日本産業技術教育学会第 24 回東北支部大会, 2006. 11. 26, 山形
- ⑬伊藤敏, 井上祥史, Excel による, 見て・聞いて・触れるプログラミング動機つけ教材-インターネット環境で-, 教育システム情報学会第 31 回全国大会, 2006. 8. 25, 大阪経済大学
- ⑭伊藤敏, 井上祥史, 体で実感できるプログラミング教材の開発, 電子情報通信学会中部支部・教育工学研究会, 2006. 6, 岐阜聖徳学園大

[図書] (計 2 件)

- ①伊藤敏, 井上祥史, 現代図書, 体験型プログラミング-ロボットの頭脳を Excel で作る-, 2008, 67-100.
- ②情報教育学辞典編集委員会, 丸善, 情報教育学辞典, 2008, 211.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井上 祥史 (INOUE SHOSHI)
岩手大学・教育学部・教授
研究者番号：00211061

(2) 研究分担者

伊藤 敏 (ITOU SATOSHI)
岐阜聖徳学園大学・経済情報学部・教授
研究者番号：80130946