

平成21年3月31日現在

研究種目：基盤研究（C）  
研究期間：2006～2009  
課題番号：18500721  
研究課題名（和文） 身体動作を伴う体験を重視するVR型知的学習支援システムの開発と実践  
研究課題名（英文） Development of VR-based Intelligent Learning Support System with Force-feedback Device  
研究代表者  
松原 行宏（MATSUBARA YUKIHIRO）  
広島市立大学・大学院情報科学研究科・教授  
研究者番号：30219472

研究成果の概要：発見的学習を支援することを指向した、VR技術を用いた新しい学習支援システムの枠組みを検討した。またその基本構成に基づき、初等力学を題材として、2種類のプロトタイプシステム（1. 滑車の題材を用いたシステム、2. 鉛直投げ上げの題材を用いたシステム）を開発した。また、体の動きに連動して視点変更が可能となる機能を追加することで臨場感、没入感を伴った学習が可能となり、発見的学習の枠組みの新しい可能性を示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,500,000	0	1,500,000
2007年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	600,000	4,100,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学

キーワード：教育工学，人工知能，バーチャルリアリティ，反力デバイス，インタフェース

## 1. 研究開始当初の背景

発見的学習の手法は初等中等教育等の教育現場で積極的に活用されており、学習者の自主性や創造性を育成する上で極めて重要である。従来からその考え方にに基づき、学習支援を目的としたコンピュータ科学からの研究アプローチにおいても、発見的学習を促進する、マイクロワールドや ILE 型のコンピュータシステムが多数提案されている。一方、メディア技術の急速な発展により、コンピュータ上で、より現実世界に近い感覚での体験を支援することが可能なバーチャルリアリティ技術が注目されている。また機器の低価格化に伴い、先端的な実験室、研究室環境に

おいてのみならず、一般の教育機関での利用も近い将来可能となっている。

## 2. 研究の目的

そこで上記の観点から、本研究課題では、没入型 VR の学習支援の枠組みを検討し、教育現場で活用可能な基本的システムの枠組みの設計を試みる。また物理教育（特に初等力学）に焦点を当て、実践可能なプロトタイプシステムの構築を行うことを第一の目的とする。その際、VR の機能として、反力をリアルに感じる事が可能な反力デバイスの導入を考えると同時に、没入感が得られるよう、HMD 等の高精細ディスプレイとの併用

を考慮したシステム設計を行う。また、2種類のコンテンツに対応するプロトタイプシステムを整備する。更に、実際の教育に利用し、有効性について検討を行うことを本研究課題の目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 反力デバイス使用を考慮した没入型VR利用学習支援システムの基本システムの設計

次世代の学習支援のスタイルを追及するため、没入型VR利用学習支援システムの要件を整理し、その基本的枠組みを設計する。

#### (2) 滑車の題材を用いた初等力学のVR型学習支援システム

第1のプロトタイプシステムとして、滑車を用いた力学の実験環境の仮想実験室を構築する。滑車には定滑車と動滑車の2種類があり、定滑車は力の向きを変え、動滑車は力の大きさを変えることができる。その両者を実装する。

#### (3) 基本システムの拡張(教材・コンテンツの拡張)

(2)で作成したプロトタイプシステムを基に予備実験を行う。また予備実験を通して、基本的機能の動作確認、有効性を確認する。またその知見を基に、基本システムの拡張を行う。

具体的には、第2のプロトタイプシステムとして、物体の運動のひとつである鉛直投げ上げの題材を扱うシステムを構築する。この題材で学習できる知識には定量的なものや定性的なものがある。前者は投げ上げに関する基本概念の定量的な関係を表した基本公式であり、後者は速度の変化やエネルギーの変換に関する定性的な性質である。これらの知識を図1に示す。

$$v = v_0 - gt$$

$$y = v_0 t - \frac{1}{2} gt^2$$

$$v^2 - v_0^2 = -2gy$$

図1 対象知識

また、システム1(滑車の題材)とシステム2(鉛直投げ上げの題材)を用いて、授業の設計を行い、高等学校で教育実践、および評価実験を行う。高校1,2年生を対象として、反力デバイスを用いたシステムと、マウスによる同等の操作が擬似的に行えるシステムと2種類用意して使用させ、比較を行う。

#### (4) 没入型VRシステムへの拡張(基本システムへの視覚系リアリティ機能追加)

没入型VRの第2ステップとして、反力のリアリティとともに視覚のリアリティ提示機能を追加する。具体的には開発済みの基本システムに高精細型のHMDを追加し、視覚情報のリアリティ化を試みる。また視点変更の容易化も併せて検討する。

### 4. 研究成果

#### (1) 基本システムの設計

システムは、(1) 知的教授モジュール、(2) CAIモジュール、(3) 仮想実験室(知的マイクロワールド)、(4) 入出力インタフェースの4つのモジュールから構成され(図2)、特に、仮想実験室と入出力インタフェースのところで反力デバイス利用の没入型VRの機能を実装した。反力デバイスとして Sensable社製の PHANToM Desktopを用いた。没入型VRを目指した学習支援システムの第1ステップとして反力デバイスを導入したプロトタイプシステム構築を目標としたのは、人間の触覚(力の感覚)に直接訴えかけることが可能であり、現実の事象と同等の体験をさせることが可能であること、ならびにVRのデバイスとして急速に普及し、比較的安価で導入が可能である、という点である。

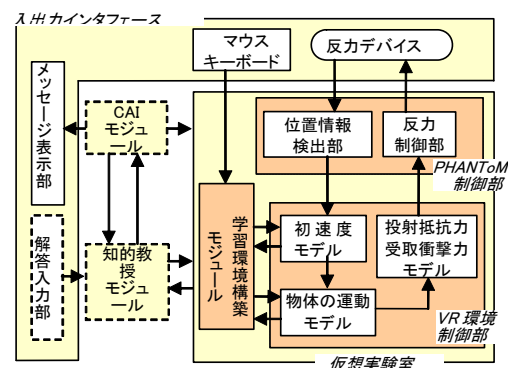


図2 システム構成図

#### (2) 滑車の題材を用いた初等力学のVR型学習支援システム

定滑車にかけた糸の片方に物体を結び、もう片方の糸を引っ張る。この引っ張る操作に反力デバイス PHANToMを使用した。反力デバイスを用いることで、「重さを体感」、「画面内の物体を直接操作」、「学習者の興味を得られる」等が可能になり、直感的かつ直接的な操作が可能になった。さらにVRの特徴である没入感、臨場感、操作感等が得られた。仮想実験室での体験を通し、初等力学の法則である「力のつりあい、仕事、運動方程式」の理解を深めることが可能となった。プロトタイプシステムの実行例を図3に示す。

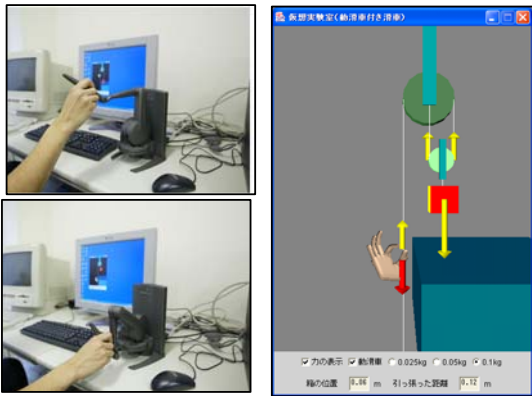


図3 滑車を用いた反力の体験

(3) 基本システムの拡張 (教材・コンテンツの拡張)

本システムでは、学習者が鉛直投げ上げに関する問題に解答し、仮想実験室の実験を通じて確認するプロセスで学習を進める機能を実現した。問題は投げ上げの基本公式から解答が導出できるものであり、初速度は学習者による投げ上げ動作から検出できるようにした。すなわち、学習者が問題作成に関与することが可能となる。学習者が投げ上げた後、ボールを受け取るかどうかやボールの質量を選択できるようにしている。ボールを投げ上げる時は質量に応じた重量感を与え、受け取る時の衝撃力はボールの最高点の位置に応じて変化するようにした (図4)。また、指定時間後のボールの位置やボールの軌跡を表示させることができる。これにより、学習者は主体的に実験環境を設定しながら問題を解くプロセスを繰り返すことで学習することが可能となった。

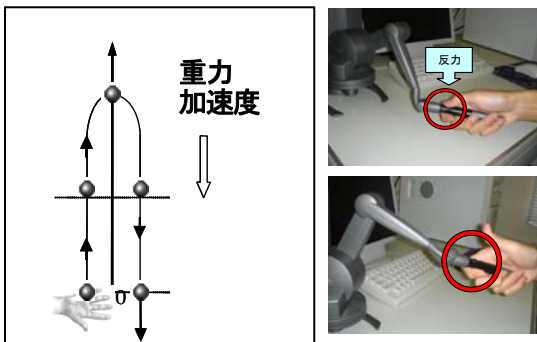


図4 鉛直投げ上げ課題の実施例

(4) 没入型 VR システムへの拡張 (基本システムへの視覚系リアリティ機能追加)

Walkthrough を支援する機能として、身体動作で視点変更、平行移動、回り込み動作 (回転移動) が可能となる入力モデル (図5) を構築した。またこの機能を実現するために、非接触型の入力装置 (Access 製, Tracker2000) を導入した。このモデルと装

置を用いる事により、両手でマウスや反力デバイスを操作しながら発見的学習を行うと同時に、両手がふさがったままでも視点の変更が可能となった。通常のコンピュータ支援学習において両手はキーボード操作やマウス操作で拘束されている事が多いので、この機能を実現する事により、より有効な VR 空間での学習支援が可能となった。

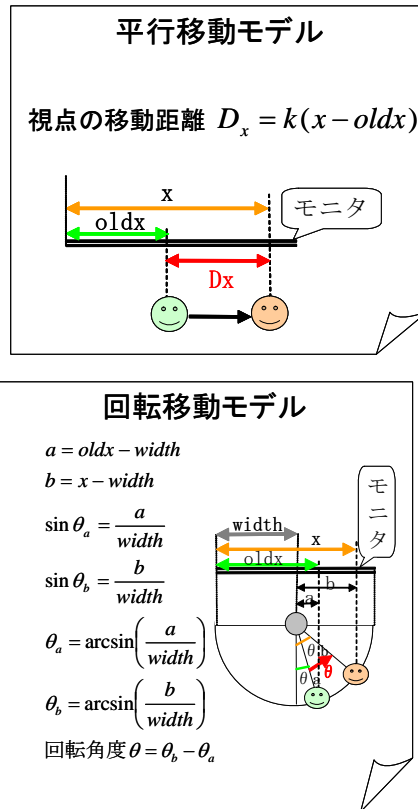


図5 身体動作による視点変更モデル

また具体的には、水平投射されたボールをキャッチするゲームと動きを観察するシミュレーション機能を持たせたシステムを構築した。学習者が体を動かした時、その動きに対応して視点移動する。これにより様々な角度から観察し、軌跡のグラフを描いたり、確認するなどの行為を通して、学習者が水平投射の基本公式の学習をすることが可能となった (図6)。

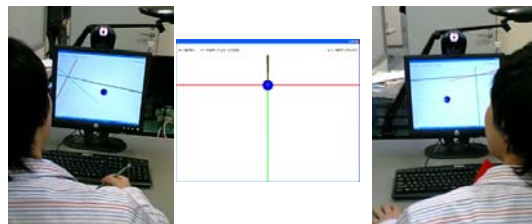


図6 身体動作に連動した視点変更機能を用いた落下運動の学習支援システム

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 9 件)

1. 岩根典之, 岡野郁子, 松原行宏: メンタルローテーション課題の学習のための図形操作インタフェースの構築, ゲーム学会論文誌, Vol. 3, No. 1, pp. 19-26, 査読有, 2009.
2. 神邊篤史, 松原行宏, 石原茂和: PDAを用いた肢体不自由者向けコミュニケーションエイドの開発, 日本感性工学会論文誌, Vol. 8, No. 2, pp. 339-346, 査読有, 2009.
3. 神邊篤史, 松原行宏, 岩根典之: 上肢運動リハビリテーション支援システムのための力覚フィードバック機能の検討, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J91-D, No. 2, pp. 314-323, 査読有, 2008.
4. 上藤恭久, 松原行宏, 岩根典之: 感性評価のための反力デバイスを用いた仮想触感提示手法, 日本感性工学会論文誌, Vol. 8, No. 1, pp. 89-98, 査読有, 2008.
5. 岩根典之, 平山貴美子, 松原行宏: 反力デバイスを用いた落下運動の学習向け仮想実験環境の構築, 日本教育工学会論文誌, Vol. 30, No. 4, pp. 315-322, 査読有, 2007.
6. 岩根典之, 今田絵梨香, 松原行宏: 身体動作に連動した視点変更機能を用いた落下運動の学習支援システム, 教育システム情報学会誌, Vol. 24, No. 4, pp. 242-252, 査読有, 2007.
7. 濱中啓至, 松原行宏, 岩根典之: てこ題材の仮想実験室を共有する初等力学の体験型学習支援システム, 教育システム情報学会誌, Vol. 24, No. 4, pp. 253-264, 査読有, 2007.
8. 岩根典之, 松原行宏, 奥野由美子: 身体ゲームを用いたVR型学習支援システムのための視点変更機能, ゲーム学会論文誌, Vol. 1, No. 1, pp. 27-34, 査読有, 2006.
9. 土屋敏夫, 吉河範彦, 松原行宏, 岩根典之: 事例に基づく決定木の構造学習と人間の状況判断知識獲得への応用, 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol. 18, No. 4, pp. 545-554, 査読有, 2006.

[学会発表] (計 6 件)

1. A. Kanbe, Y. Matsubara: Virtual motor learning environment with function of presenting force feedback for speedy motion, Proceedings of the 16th International Conference on Computers in Education (ICCE2008), pp. 681-688,

2008.10.30 (Taipei, Taiwan).

2. H. Hamanaka, Y. Matsubara, N. Iwane: Virtual laboratory with force feedback device for physics collaborative learning using lever content, Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2007), pp. 870-871, 2007.07.19 (Niigata, Japan).
3. A. Kanbe, Y. Matsubara, N. Iwane: Consideration of force feedback function in the motion training support system for upper extremity, Supplementary Proceedings of the 15th International Conference on Computers in Education (ICCE2007), pp. 41-42, 2007.11.07 (Hiroshima, Japan).
4. A. Kanbe, Y. Matsubara, N. Iwane, K. Hirayama: Developing a vr-based projectile system using haptic device for learning physics, Proceedings of the 14th International Conference on Computers in Education (ICCE2006), pp. 275-282, 2006.12.03 (Beijing, China).
5. 松原行宏, 岩根典之: 体験型学習を志向した反力デバイスを用いた初等力学の実験環境について, 教育システム情報学会技術研究報告, Vol. 21, No. 3, pp. 15-18, 2006.09.15 (東京).
6. 濱中啓至, 松原行宏, 岩根典之: 仮想実験室を共有する初等力学の体験型学習支援システム, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 105, No. 632, pp. 57-62, 2006.03.04 (香川).

[図書] (計 1 件)

1. 松原行宏分担執筆: 情報教育事典編集委員会編 (代表岡本敏雄) 情報教育事典, 17章マイクロワールド, 丸善, pp.715, 2008.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松原 行宏 (MATSUBARA YUKIHIRO)  
広島市立大学・情報科学研究科・教授  
研究者番号: 30219472

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

岩根 典之 (IWANE NORIYUKI)  
広島市立大学・情報科学研究科・准教授  
研究者番号: 60264933