

# タブレット端末を用いた力覚提示を伴う滑車の学習支援システム

## Learning Support System for Pulley Learning using Tablet Device with Force Feedback

檜谷 直樹<sup>\*1</sup>, 岡本 勝<sup>\*1</sup>, 岩根 典之<sup>\*1</sup>, 松原 行宏<sup>\*1</sup>  
Naoki HIDANI<sup>\*1</sup>, Masaru OKAMOTO<sup>\*1</sup>, Noriyuki IWANE<sup>\*1</sup>, Yukihiro MATSUBARA<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> 広島市立大学情報科学研究科

<sup>\*1</sup> Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University

Email: lhidani@lake.info.hiroshima-cu.ac.jp

**あらまし:** 本研究では、タブレット端末を用いた滑車を学習題材とした力覚を伴う仮想実験システムを構築した。システムは学習者が配置した画面上の滑車に対し自動的に滑車の組み合わせを構築する。また、タブレット端末用の力覚提示デバイスを用いることで、その滑車にかけられた糸を引き重さを体験できる。検証実験により、提案システムを用いて滑車の組み合わせに含まれる動滑車の個数と重さの関係における知識の獲得可能性を確認した。

**キーワード:** タブレット端末, 力覚提示, 滑車学習, 仮想実験環境

### 1. はじめに

近年、授業の効率を目的とした教育現場へのタブレット端末の導入が注目されている。タブレット端末の利点を応用することで、仮想環境での学習においても学習指導要領との目的に即した実験を一人一台端末上での実現が期待できる。これまでに、沖見らは滑車を題材とした仮想実験環境を構築した<sup>(1)</sup>。このシステムでは実験器具を模したマーカーを配置することで仮想環境内の滑車を配置し、力覚提示デバイスを用いて学習者が仮想環境内に構築した滑車の組み合わせに対応した重さを体験することができる。しかし、沖見らのシステムでは Web カメラやマーカーなどのデバイスを必要とし、タブレット端末単体での運用は実現できない。

そこで、本研究ではタブレット端末を用いた滑車を学習題材とした力覚を伴う仮想実験環境を開発する。タブレット端末用の力覚提示デバイスとして 2 次元力覚提示が可能な SPIDAR-tablet を用いる<sup>(2)</sup>。このデバイスを用いることで、画面上の滑車の組み合わせにかかる糸を引くことで滑車の組み合わせに対応した重さを体験できるようにする。滑車の組み合わせは画面上の滑車を指でドラッグすることで構築する。これによってタブレット端末を用いた滑車の仮想実験環境においても、滑車の組み合わせの違いによる重さの変化を体験することで、滑車の特性を学習できるシステムの構築を行う。

### 2. 提案システム

システムは、定滑車を用いることで力の向きが変わるが重さには影響しない、動滑車を配置することで重さが軽くなるといった滑車の特性を学習することを可能とする。図 1 にシステムの外観を示す。システムはタブレット端末上に SPIDAR-tablet を設置したものから構成される。学習者は図 1 に示す力覚提示部に指をかけながらタブレット端末を操作する



図 1 提案システムの外観

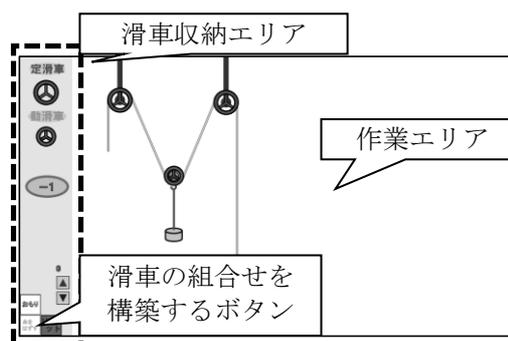


図 2 仮想実験室例

ことで学習者は力覚の提示を受けられる。図 2 にタブレット端末上に表示される仮想実験室例を示す。タブレット端末の画面上には仮想実験室が表示されており、画面上の滑車を指でドラッグすることで学習者の任意の位置に滑車を配置できる。新たに滑車を追加する場合は左の滑車収納エリアから作業エリアへ滑車をドラッグする。この操作によって学習者は作業エリアに任意の個数の滑車を追加できる。滑車を配置した後、ボタンを押すことにより滑車の組

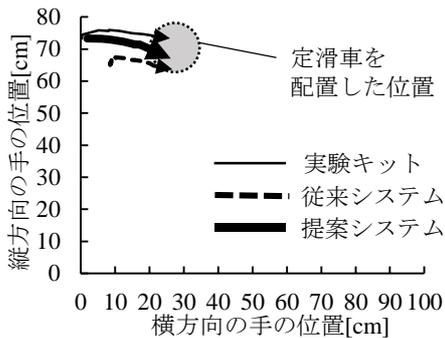


図3 定滑車を配置する軌道

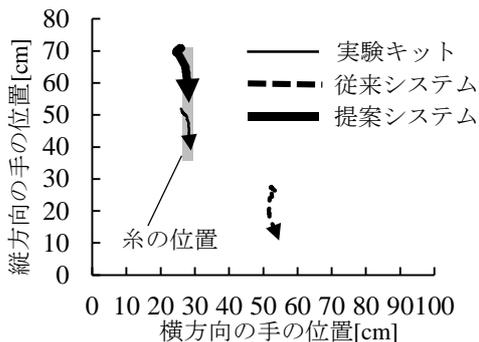


図4 糸を引く軌道

み合わせの構築を行う。システムは学習者が配置した滑車の位置関係から自動的に滑車の組み合わせを構築するため、学習者は滑車を配置するだけで様々な滑車の組み合わせを構築できる。滑車の組み合わせを構築した状態では滑車の組み合わせの左端の糸を引くことができる。指で糸を引く際に、システムはおもりが持ち上がるシミュレーションを行うと同時に滑車の組み合わせに対応した重さを学習者に提示する。これにより、学習者は画面上の滑車をドラッグし配置することにより様々な滑車の組み合わせを構築し、滑車の並びの違いによる重さの変化を比較することができる。

3. 各実験環境における実験動作の比較

タブレット端末を用いたシステムでも実験動作の再現が行えていることを示す実験を行った。比較した実験環境は、実験キットを用いた実験環境、マーカーによる滑車の配置を行う従来システム<sup>(1)</sup>を用いた実験環境、提案システムを用いた実験環境とする。実験キットは、マグネットによって壁に滑車を配置し、糸とおもりを取り付ける。図3に定滑車を配置する軌道を示す。全環境で左から右へ弧を描く軌道となった。図4に糸を引いた軌道を示す。全環境で上から下へ直線的な軌道を描いた。従来システムでは、机上に設置された力覚提示デバイスによって力覚の体験を行うので、配置した滑車の位置に対応した位置で力覚の体験ができない。そのため、離れた位置に軌道がある。提案システムにおいては、画面

表1 被験者の正答率

被験者	事前テスト	事後テスト
A	70.8%	100%
B	95.8%	100%
C	100%	91.7%
D	54.2%	91.7%
E	83.3%	100%
F	100%	100%
G	70.8%	70.8%

上に配置した滑車にかけられた糸に触れて力覚の体験を行うため、実験キットに近い位置で力覚の体験を行えていることが確認できた。これらのことから、提案システムでは定滑車の配置と重さの体験において実物を用いた実験に近い動作で実験を行えていることを確認した。

4. 学習効果の検証

学習者が提案システムを用いて滑車の特性を学習できることを確認する。システムを用いる前後に同様のテストを行い、動滑車の個数によって糸を引く際に感じる重さが変化するという知識を獲得できることを確認する。テストの問題は従来研究<sup>(1)</sup>で行われた知識獲得可能性の検証に用いられたものと同じのテストで、仮想環境内で構築可能な24通りの滑車の組み合わせを、糸を引く際に感じる重さが同じもの同士に分類する。結果として、正答率の上昇した被験者A, D, Eは、システムの利用により動滑車の個数と重さの関係を正しく学習することができた。事前テストにおいて正しく解答していた被験者B, C, Fも、滑車の組み合わせの構築を繰り返し行い重さの比較をすることで自らの知識が正しいか確認している様子が見られた。このことから提案システムを用いて滑車の組み合わせに含まれる動滑車の個数と重さの関係における知識を獲得可能であると考えられる。

5. まとめと今後の課題

本稿では、タブレット端末を用いた力覚を伴う滑車の学習システムを提案した。評価実験により、提案システムを用いた仮想実験では実験の動作を実物実験と同様の動作で行えることを確認した。また、滑車の特性に関する知識を獲得可能であることを確認した。今後の課題として、力のつり合いを示すフィードバック情報などを追加することが挙げられる。

参考文献

(1) 沖見圭洋, 松原行宏: “拡張現実型マーカーを用いた滑車配置実験のための学習支援システム”, 日本教育工学会論文誌, Vol.37, No.2, pp.107-116 (2013)  
 (2) 田村理乃, 村山淳, 平田幸広, 佐藤誠, 原田哲也: “タッチパネルのための力覚インタフェース SPIDAR-tablet とその力覚計算方法の開発”, 日本バーチャリアリティ学会論文誌, Vol.6, No.3, pp.363-366 (2011)