

3次元空間での力覚提示装置とフィードバック手法を用いた滑車学習支援システム

Pulley Learning Support System using Force presentation device and feedback method in 3D space

池田 光汰^{*1}, 岡本 勝^{*1}, 松原 行宏^{*1}, 毛利 考佑^{*1}

Ikeda Kouta^{*1}, Okamoto Masaru^{*1}, Matsubara Yukihiko^{*1}, Mouri Kousuke^{*1}

^{*1}広島市立大学大学院

^{*1}Hiroshima City University Graduate School

Email: mg67002@e.hiroshima-cu.ac.jp

あらまし： 本稿では、3次元力覚提示装置とフィードバック手法として力覚・疑似力覚を用いた滑車学習支援システムを提案する。提案システムでは、3次元空間上で実験環境を再現し、滑車構成の紐を引くことで錘を持ち上げる動作を行える。紐に掛かる重さを力覚・疑似力覚フィードバックで提示した。検証実験では、システムでの学習前後で滑車に関する問題を出題し、事後テストにおいて事前テストと比べて点数の向上が見られた。

キーワード： 学習支援, 滑車, 力覚提示装置, 疑似力覚

1. はじめに

中学校理科の学習指導要領では、目標として自然の事物や現象に関わり、理科の見方・考え方を働かせ、観察・実験を行うことで必要な資質・能力を育成する事をあげている⁽¹⁾。また、指導計画についても十分な観察や実験の時間、課題解決のために探求する時間を設けるようにする事が挙げられており、観察・実験を通した学習を重要視している。

河野らは、滑車学習を仮想空間上で行える体験型学習支援システムを提案している⁽²⁾。この研究では、力覚提示装置を用いて錘持ち上げに必要な力を滑車構成にあわせて提示している。このように、理科の実験を仮想空間上で体験可能な学習システムの開発が進んでいる。

本研究では、理科の実験の中でも滑車実験を対象とし、3次元仮想空間上での力覚フィードバックを用いた滑車学習支援システムの開発を行う。力覚フィードバックは、力覚提示装置を用いて、滑車構成の紐に掛かる錘の重さを再現する。また力覚提示に加えて、疑似力覚の導入を検討し、システムの学習効果を検証する。

2. 提案システム

本研究での提案システムでは、3次元空間上での実験環境を用いて、3次元力覚提示装置を用いた滑車学習支援システムを提案する。

本システムのシステム構成を図1に示す。本システムの主要な構成要素は、PCのディスプレイ上に表示される3次元実験環境、力覚提示装置であるTouch USB、ユーザの3つである。力覚提示装置とは、ユーザに力を提示する事が可能な装置のことである。本研究で用いるTouch USBは、図のように土台となる本体部分とユーザが操作するスタイラスで構成されている。ユーザがスタイラスを持つ画像は、ユー

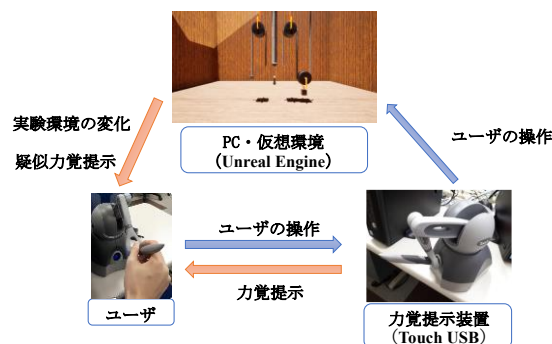


図1 システム構成図

ザの図に示している。ユーザは、力覚提示装置を使う事で仮想実験環境に対し操作を行える。ユーザが行える動作は、ユーザの3次元位置情報を反映したスタイラスの移動と紐を引く動作である。紐を引く動作を行う事で滑車構成内の錘と動滑車を持ち上げる事が可能である。また紐掴み動作中は、紐に掛かる錘の重さを力覚・疑似力覚を用いたフィードバックによって提示される。

本システムの仮想実験環境を説明する。画面中心にある棒状のオブジェクトがスタイラスである。本システムでは、中心部に紐とスタイラスが表示され、左右に滑車構成が表示されており、掴む滑車構成の紐を選択できる。ボタンを押す事で中心部にある紐の先端がスタイラスの位置に移動し、中心部の紐の変化が選択した滑車構成の紐に反映される。掴み動作中の実験環境に表示される変化は、掴まれた紐の動作、錘・動滑車の持ち上がり動作、錘の持ち上げ距離の表示である。持ち上げ距離の表示は、紐を掴んでいない状態から持ち上がった距離を整数で表示するフィードバックである。ユーザは、このシステムを用いて滑車構成を2つずつ比較し、滑車構成の

違いによるフィードバックの変化から学習を行う。滑車問題を解く上で、このフィードバックは重要である。

本研究で用いるフィードバックは、力覚提示と疑似力覚の2手法である。このフィードバックは、ユーザーに滑車構成ごとの紐に掛かる重さを力覚や視覚的に働きかける事で提示するために用いる。力覚提示は、3次元力覚提示装置を用いて滑車構成に合わせた錘の重さを紐の伸縮方向に合わせて力覚フィードバックを提示する。疑似力覚とは、ユーザーの操作を画面上に表示されるオブジェクト(ポインタなど)と入力装置から得られる位置情報との比率を変化させた際に疑似的な力覚が発生する現象の事である。この比率をCD比(Control/Display Ratio)と呼ぶ。疑似力覚を用いる利点として、本来力覚提示装置のような特殊な機械を用いる事なく疑似的な力覚を発生させられるという利点がある。本研究で用いる疑似力覚は、速度に対するCD比⁽³⁾を用いる。速度に対するCD比における、時刻 t の仮想空間上でのスタイラスの3次元位置 p_t^v は、時刻 $t-1$ の仮想空間上での位置 p_{t-1}^v と時刻 t において本来あるべき入力装置から取得された位置 p_t^r 、CD比である CD を用いて式(1)で表される。

$$p_t^v = p_{t-1}^v + (p_t^r - p_{t-1}^v) CD \quad (1)$$

また、速度に対する概念図を図2に示す。図のように、現実の入力装置から得られた位置情報に対して、遅れて追従する形で仮想空間上でのスタイラスが移動する。この手法の利点は、移動範囲に影響しないため、Touch USBなどの移動可能範囲に制限があるような装置において利用しやすい点が考えられる。これにより、スタイラスの動きに差ができ、紐に掛かる錘の重さが大きいほど動作が遅れ、動滑車や錘の動きも遅れるため視覚的に力の変化を確認する事が可能となる。

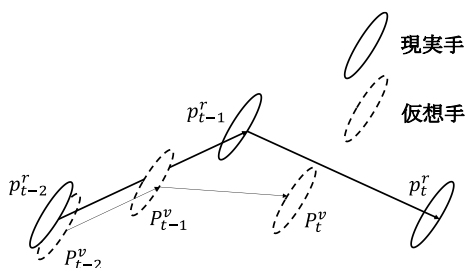


図2 速度に対するCD比の概念図

3. 検証実験

本研究では、システムの学習効果とフィードバック手法の学習効果の差を検証するため、検証実験を行った。被験者を2群に分け、システム学習時のフィードバックを群ごとに変更した。被験者は、8名であり各群の被験者数は4名である。力覚・疑似力覚フィードバックは、それぞれどちらかのみが表示され、それ以外の提示はどちらの群も同様に表示さ

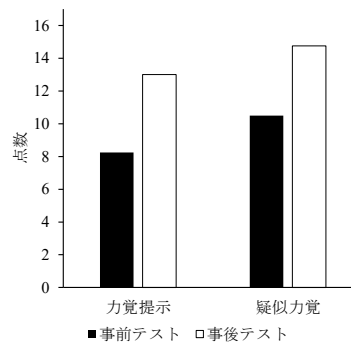


図3 事前・事後テストの平均点数

れている。実験の手順は、はじめに事前テストに回答し、システムを用いた学習を行い、事後テストに回答する。事前・事後テストは、過去の学習歴を問うなどのアンケートと滑車の種類や仕事の原理に関わる錘持ち上げ距離と紐に掛かる重さの関係を問う問題3問を出題している。事前・事後テストの問題は、同一の問題を用いる。この検証実験の結果を図3に示す。この図は、事前・事後テストでの各群の平均点数を示している。満点は、17点である。

この実験結果から、力覚提示では4.75点、疑似力覚では4.25点の点数の向上が見られた。以上より、力覚提示・疑似力覚提示のどちらにおいても点数の向上や高い得点をとる結果が得られた。よって、力覚提示を用いた学習が点数の向上に貢献する可能性が示唆され、疑似力覚においても点数の向上から学習において貢献する可能性が示唆された。

4. おわりに

本研究では、3次元仮想空間上で実験環境を再現し、3次元力覚提示装置を用いた滑車学習支援システムを提案した。また、システムを用いた各フィードバックでの検証実験を行い、力覚・疑似力覚提示で点数の向上が見られ、システムによる学習が滑車実験に関する問題を解く上で学習に貢献する可能性が示唆された。

今後の課題としては、今回のシステムでは紐を引いた距離について扱っていないが、仕事の原理について理解する上でこの情報は重要であるため、紐を引いた距離について検討を考えている。

参考文献

- (1) 文部科学省:“中学校学習指導要領(平成29年告示)”, pp. 78-98 (2017) (2023年1月17日閲覧)
https://www.mext.go.jp/content/1413522_002.pdf
- (2) 松原行宏, 河野貴範, 岡本勝:“疑似力覚提示機能を用いた滑車学習支援システム”, 日本教育工学会論文誌, Vol. 43, No. Suppl, pp. 89-92 (2019)
- (3) 三好康夫, 柏原昭博, 岡本竜:“アルゴリズム理解促進のための疑似力覚提示に関する検討”, 人工知能学会全国大会論文集, Vol. 30, pp. 1C5OS13b1-1C5OS13b1, (2016)