

# 力覚フィードバックを用いた電磁気学学習支援システムでの知識定着効果の分析

程 子軒<sup>†</sup> 加納 徹<sup>‡</sup> 赤倉 貴子<sup>‡</sup>

東京理科大学大学院工学研究科<sup>†</sup> 東京理科大学工学部<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

### 1.1 電磁気学教育の現状

高等学校では電磁気学分野を苦手としている生徒が多く、その理由に「場の概念の理解が困難」などがあげられている[1]. これを解決するため、図やシミュレーション映像などの視覚情報を使った教育が行われている. さらに、視覚情報だけでなく力覚情報を加えたシミュレーションによる物理学学習の研究が行われてきた.

### 1.2 電磁気学の体感学習

電磁気学分野に力覚装置を適用した研究では、Magana ら[2]が開発した電場の様子の理解支援システムがあるが、電磁気学の中で初歩的な内容にとどまっている. さらに、力覚装置を電磁気学分野に適用した研究は、力学分野と比較して少ない. そこで著者らは、電磁気学を力覚で直感的に理解することが可能な学習支援システムを開発した[3]. 開発したシステムは、電磁気学現象のベクトルに応じた誘導を行うことによって、体感学習を促すものとなっている. 開発したシステムの利用による学習効果の検証と、力覚情報の電磁気学学習への有用性の確認のため、力覚フィードバック（力覚 FB）とシミュレーション映像を用いる実験群と、シミュレーション映像のみを用いる統制群に分けて評価実験を実施した. その結果、本システムは電磁気学学習に有効であることが示唆された. さらに、電磁気学学習に力覚 FB を用いることで、概念理解の促進が可能であることが示唆された. しかし、著者らが行った実験では、電磁気学学習に力覚 FB を用いることによる記憶の定着効果に関する調査が行われていない.

### 1.3 研究目的

本研究では、実験群と統制群の間で、学習内容の記憶の定着度の違いをみるため、実験後に

再度テストを実施する. その結果を比較することで、力覚 FB を用いることによる知識定着効果について分析する.

## 2. 開発したシステム

### 2.1 システム概要

本システムの UI を図 1 に示す. 実装したシミュレーションは、任意に設定した電流によって生じる磁場・ベクトルポテンシャルのベクトル場を可視化し、ベクトル場のベクトルに従って、力覚装置のスタイラスが誘導される、という内容である. さらに、スタイラスを電流に近づけることで、電流が受けている磁束密度と電流に発生するアンペールの力のベクトルが表示され、そのベクトルに従って、力覚装置のスタイラスを誘導させることができる. このように、本システムを用いることで、学習者は電磁気現象を体感することが可能である. また、本システムでは視点移動することにより、多方面からのベクトル場を観察することができ、その視点と位置に応じた体感が可能な設計となっている.

### 2.2 利用手順と操作内容

本システムのシミュレーションは、電流パラメタの設定後にアップデートを行うことで、画面上に電流パラメタに応じた電磁現象のベクトル場が表示され、力覚装置のスタイラスを通じて電磁現象を体感する、という流れで行う. 設定する電流のパラメタは、電流の3次元の位置座標、長さ、大きさ、方向ベクトルである. 実際にベクトル場を体感するためには、力覚装置のスタイラスのボタンを押す必要があり、ボタンを押している間はベクトル場に従ってスタイラスが誘導される. 磁場のベクトル場であれば、あたかも磁力線を描いているように誘導される.

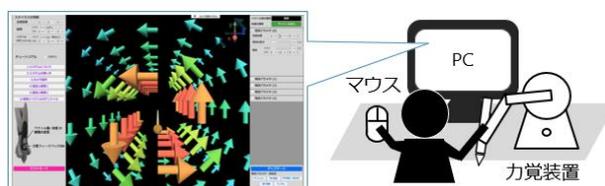


図 1 システム概要

Analysis of knowledge Retention in Electromagnetics Learning Support System Using Force Feedback

<sup>†</sup> Graduate School of Engineering, Tokyo University of Science

<sup>‡</sup> Faculty of Engineering, Tokyo University of Science

### 3. 評価実験

#### 3.1 実験概要

本実験で扱う学習内容は「アンペールの力」と「直線電流の周りに発生する電磁現象（磁場・ベクトルポテンシャル）」とする。実験手順は、事前テスト、システムの利用（30分）、事後テストの順で行う。さらに、記憶の定着度を調査するため、事後テストから13～20日後に最終テストを実施する。本実験の学習効果の評価では、数値算出の成績だけではなく、概念理解について評価する。そのため、本実験のテストでは、2本の直線電流があるとき表1に示した設問について解答させる形式であり、各テストに5種類の直線電流の組み合わせを用意した。また、テストは30分で行う。

表1 問題の種類と設問の内容

問題の種類	設問
数値計算	電流が受ける磁束密度とアンペールの力の大きさ
方向ベクトル	電流が受ける磁束密度とアンペールの力の向き
大小関係	任意の4箇所をベクトルポテンシャルの大きい順に並替え
磁場の描画	周辺の磁場のベクトル場の描画
ベクトルポテンシャルの描画	周辺のベクトルポテンシャルのベクトル場の描画

#### 3.2 実験結果と考察

本研究では、実験群10名と統制群9名の結果について考察を行い、問題の種類ごとに算出した正答率の平均をテストの得点とする。表2にテスト要因ごとのテストの平均を示す。テストの得点と各問題の種類別の得点について、繰り返しのある2元配置分散分析を行った結果、いずれもテスト要因に有意差があり ( $p < 0.05$ )、群要因および交互作用に有意差はなかった ( $p > 0.1$ )。テストの得点について、Shaffer法でテスト要因の多重比較を行った結果、テスト要因間に有意差があった（事前<最終<事後,  $p < 0.05$ ）。このことから、本システムの利用により、学習効果が有意に高まるが、学習から2週間経過した場合に知識が忘却していると考えられたので、さらに分析を進めた。表1の問題の種類のうち、磁場の描画、ベクトルポテンシャルの描画の得点についての多重比較を行った結果、事前・事後テスト間と、事前・最終テスト間に有意差があった（事前<事後, 事前<最終,  $p < 0.05$ ）。図2, 3に示したように、磁場とベクトルポテンシャルの描画の正答率の結果より、事

後テストと最終テストのいずれも、統制群より実験群のほうが高い正答率であることが確認できる。このことから、力覚FBを学習に用いることで、概念理解をより深めることができ、学習からしばらく経過しても、その理解度を維持し続けることが可能であることが示唆された。

表2 テストの得点 (S.D.)

	事前	事後	最終
実験群	23.0 (7.29)	60.2 (14.9)	50.4 (15.3)
統制群	20.0 (16.4)	53.6 (23.9)	51.8 (26.7)

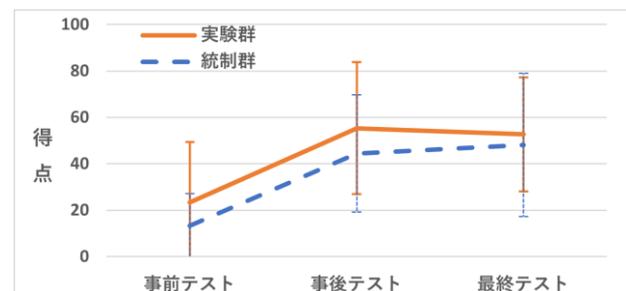


図2 磁場の描画の得点

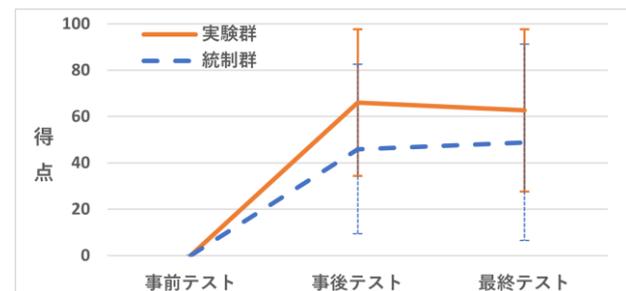


図3 ベクトルポテンシャルの描画の得点

### 4. まとめと今後の展望

本研究では、著者らが開発したシステムを用いた学習時に、力覚FBによる知識定着効果について検討した。本実験の結果から、力覚FBを用いることで、概念理解をより深めることができ、その知識は定着することが示唆された。

今後の展望として、力覚FBを用いた学習によって、より効果的な学習に繋がる学習者特性を明らかにするため、個人特性を中心に分析を行っていく。また、力覚FBの長期的な利用による学習効果と知識定着度の違いについて検討する。

#### 参考文献

- [1] 新村晃司, 石原諭, 庭瀬敬右, “電磁気学における場の概念形成を目指した磁力線解析について (一般研究発表表 (口頭発表)), ” 日本理科教育学会全国大会要項, no.58, p.260, 2008.
- [2] A.J.Magana, S.Balachandran, “Students’ development of representational competence through the sense of touch, ” Journal of Science Education and Technology, vol.26, no.3, pp.332–346, 2017.
- [3] 程子軒, 加納徹, 赤倉貴子, “力覚装置を用いた電磁気学学習支援システムの評価, ” 信学技報, vol.121, no.294, pp.7-12, 2021.