

# 高校物理力学分野学習支援用 RT 教材の設計開発

小川 勝史<sup>1,a)</sup> 鄭 聖熹<sup>1,b)</sup>

**概要:** 「理科嫌い」や「理科離れ」が叫ばれて多方面で問題となっている。高校生が物理に対する意欲・関心を高めながら学力向上を図るために実現可能な教育手法の提案が求められている。その解決案として、ロボット技術がある。広く科学技術に意欲・関心を高める題材としてロボット技術は効果的である。これまでのロボット教材は、情報教育又はものづくり教育用教材、小中学生向けの理科実験教材、また、大学等での PBL (Project Based Learning) 型のケースが多く報告されている。しかし、高校生が従来型の実験より容易に高校物理の理論を体験し、科学的に考察できるように用意されたロボット技術を用いた教材システムは、まだ一般的に普及していないと考える。本研究では、物理現象を生徒自身の五感で体験することの重要性に着目した、物理現象を効率的かつ効果的に学習できる「高校物理学習支援用 RT 教材」の開発を目標としている。本稿では、RT を用いた諸物理量の可視可触化に注目した高校物理力学分野学習支援用 RT 教材の開発について報告する。

## Development of an RT Educational Tool for Mechanics Learning in High School Curriculum

KATSUSHI OGAWA<sup>1,a)</sup> SEONGHEE JEONG<sup>1,b)</sup>

### 1. はじめに

「理科嫌い」や「理工系離れ」が叫ばれて久しい [1][2]。そんな中、高校生の理科に対する意欲・関心が低くなっていることが問題であるとして多方面で大きく取り上げられている [3][4]。理科嫌いの顕著な分野の一つとして物理が挙げられる。大宮, 奥村 [5] は、高等学校での物理離れ・物理嫌いの原因を物理履修者にアンケートを実施することによって調査し、概念の一般化の際に現れる「公式」や「記号」を「暗記するだけ」では物理を嫌いになるという結果を示した。物理学習に対する意欲・関心を高め学力向上を図るために、実現可能な教育手法の提案が必要であると思われる。しかし、それを十分満たすほどの具体的な提案はなされておらず、教員各個人の創意工夫に委ねられている。

#### 1.1 物理教育の現状と課題

現在、高校物理は科学知識を伝える形式の教育が主流で、生徒自らが考え学ぶ形式の授業はあまり行われない傾向がある [6]。ほとんどが講義形式の授業で、概念理解中心である [7][8]。この授業の傾向と物理嫌い・物理離れの関係を考えるため、生徒の持つ物理概念について考える。鈴木は授業後でも非常に強固な物理的に誤った概念が残る生徒がおり、それは原因と結果を結びつける思考の枠組みに過度に縛られるために起こるとしている [9]。例えば、「歩きながら片手にボール持ち、その手を離れたとき、どのようにボールが落ちるか」という問いで、「重力」という原因が鉛直方向の運動をもたらすが、水平方向の運動の「原因」と思いこまれている「歩く人の手」から断ち切れた瞬間、鉛直方向の運動しか持ち得ないと判断し「鉛直に落ちる」という誤概念による回答である。このような誤概念を持った生徒にとって、それを覆すことは講義形式の物理の授業のみでは難しいものである [10]。生徒が物理現象に則した正しい概念を持つためには実験による体験、実感が重要であり、その必要性・有用性に関して多くの研究結果が報告さ

<sup>1</sup> 大阪電気通信大学  
Osaka Electro-Communication University, Japan

a) ogawa@osakac.ac.jp

b) s-jeong@osakac.ac.jp

れている [11][12][13][14][15][16][17][18].

山崎は大学新生を対象に、高校在学時の物理の授業で行った実験についての調査を実施した [19][20]. その調査において、行った実験の平均回数は、全体で 6.08 回であり、特に力学分野では、平均 2.38 回であることがわかった。また、全体の 2 割の学生においては実験を 1 回も経験しなかったことが明らかになった。国立教育政策研究所教育課程研究センターと（独）科学技術振興機構理科教育支援センターが実施した、理科教員の実態調査である「平成 20 年度高等学校理科教員実態調査」[21]によると、高校の物理の授業で実験が実施されない要因は「時間」と「設備・予算」の不足であることがわかった。特に、時間が不足するのは「実務的な忙しさ」と「大学入試対応」が重要な要因である。「物理実験 ≠ 試験対策」という認識があり、大学入試と直接関係しない実験に時間が割けないというものである。準備や片付けの時間と負担は大きく十分な回数の実験が困難であると考えられる。

## 1.2 理科・物理教育の先行研究の動向と課題

現行の理科の学習指導要領 [22] ではコンピュータ等の IT 機器を探究活動等で用いることが推奨されている。また、センサやマイコン等のロボット技術が身近になり、実験授業に用いられた研究報告も多数存在し、いずれも高い学習効果が報告されている。筒井は、PC 計測システムを活用することを試みて演示実験と探究型の学生実験で適していることを明らかにした [23]。また、竹中・山口・稲垣の理科実験でのコンピュータ利用に関する報告 [24] や山崎のセンサを用いたアクティブラーニングに関する報告 [25]、沖野・山岡・松本のデータロガーを用いた即時グラフ化 [26] の教育実践報告のように、いずれも高い学習効果が報告されている。これらの特長は、測定結果の即時表示機能、動力学での衝突などでリアルタイムな実験ができ、学生が短時間で何度もやり直して、グラフの意味を議論ができることなどがある。速度  $v$ 、加速度  $a$ 、力  $F$  などの物理量を相互に関連付けながら概念をとらえることができ、今後、発展的な測定実験として活用されることで実験授業の頻度が高まることが望ましい。しかし、これらの学習教材・教育手法は高額な費用や多大な労力を必要としており一般的な普及の妨げとなっていると考える。

百瀬のロボット教材を用いた情報・通信技術への興味を喚起する取組み [27]、松谷の 2 足歩行ロボット教材を用いたものづくり教育の取組み [28]、加藤の LEGO ロボット教材を用いた理系高校生向けの初級プログラミング教育実践 [29] のように、ロボット教材を用いることにより科学技術に対する意欲・関心が高まるという効果が報告されている。また、岡田の報告のように、大学等でのロボットを題材とした PBL (Project Based Learning) 型で技術力や技術者としての人間力育成を目的とした取組みの事例報

告 [30] も多い。また、これらの報告の「ロボット教材」とは、広く科学技術に関する意欲・関心を喚起する目標としている教材であり、ものづくりやプログラミング・情報教育などの知識や技術・技能を身に付けることが目的であり、高校物理のカリキュラムに沿った学習支援用教材とは異なるものである。

## 1.3 物理実験の具体例による比較

ICT やロボット技術を用いた理科・物理教育の先行研究で、その効果が多数報告されているが、教科書 [31][32] に掲載されている物理実験の具体例と先進的な教材・実験方法の報告事例 [33] を示して比較を行い、それぞれの実験方法に関する現状と課題について考察する。ここで摩擦現象を例に挙げる。先進的報告事例として谷口の報告事例を示す。

### 【教科書記載の実験例】

#### 【目的】

- おもりの質量  $m$  を変え、最大摩擦力  $F$  が垂直抗力  $N$  に比例しているか確認する。

#### 【実験手順】

- 木片に糸をつけ、ばねはかりに糸を結ぶ (図 1)。
- ばねはかりを水平に引き、木片が動き出す力  $F$  を測る。
- 木片に面から加わる垂直抗力  $N$  (おもりの重さ) と最大摩擦力  $F$  との関係をグラフにする。

#### 【現状と課題】

- ひもを引く力  $F$  の計測を運動の様子を観察して行い、実感を伴った考察が可能ではあるが、運動が安定しないのばねばかりの計測が困難である。

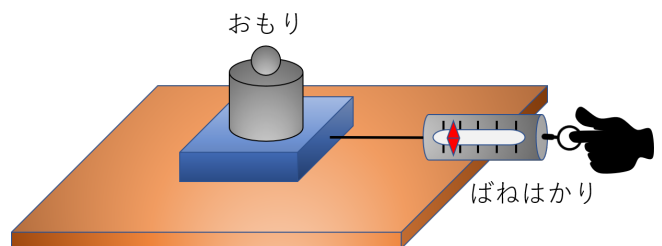


図 1 従来型の物理実験例 (摩擦現象)

### 【センサ等を用いた先行研究の実験例】

#### 【目的】

- 滑走体の質量  $m$  と摩擦係数  $\mu$  を変え、最大摩擦力  $F$  が垂直抗力  $N$  に比例しているか確認する。

#### 【実験手順】

- 滑走体に取り付けた歪ゲージをホイートストン・ブリッジの一部とした回路で力  $F$  の検出計測をする (図 2)。滑走体に加える力  $F$  や速度  $v$  を一定とするため、プーリで糸を巻き取る駆動部と電気制御部を構成。
- 質量  $m$ 、摩擦係数  $\mu$  を変え、摩擦力  $F$  を計測。

(3) 垂直抗力  $N$  と最大摩擦力  $F$  との関係をグラフにする。  
 [現状と課題]

- 引く力  $F$  が一定で運動の観察ができ、安定的な計測が可能。レコーダを用いることによって、最大摩擦力と動摩擦力の両方が同時にグラフの形で得られ、視覚的に摩擦力の変化の様子を観察できる。
- 実験機材の準備や環境の構築に技術力と時間を要するため一般的な普及は困難だと感じる。

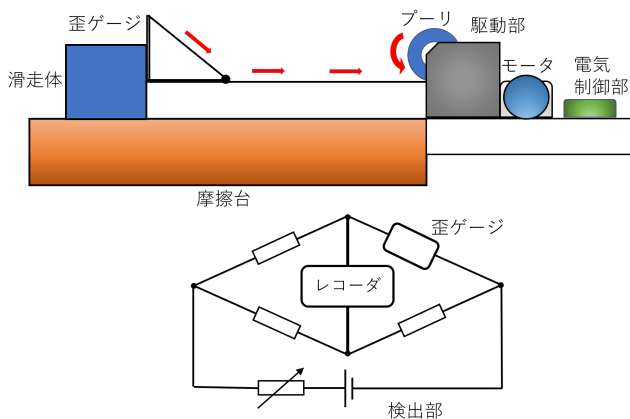


図 2 RT を用いた物理実験例 (摩擦現象)

従来の形式の実験では摩擦現象のように安定した実験が困難、準備や実施等に時間を要する場合があることが授業で実験があまり行われない要因であると考えられる。また、ロボット技術を用いた実験は、希望する箇所にセンサを配置して所望の物理量の計測が容易で、理論とデータの相関関係が一致しやすく、理解が深まる。その反面、計測システムの構築でセンサ・電子回路やプログラムの技術が必要であったり、高額な計測システムの購入が必要である。教材研究時間や設備購入費が不足する教育現場では普及が困難である。この障壁を解消することで、意欲・関心を高め理解の深まる生徒の増加を実現できるのではないかと考える。

#### 1.4 課題への提案

上述のように、高校物理教育が抱える課題としては、物理嫌い・物理離れが叫ばれているが、正しい物理概念を獲得できずにいる生徒に対して効果的であるはずの実験が、授業であまり実施されていないことである。それは生徒の意欲・関心を高めながら学力の向上を図るような高い学習効果のある実験・演習等の指導を実施するには多大な時間と労力が必要であり、十分な回数の実験を実施することが困難であることが要因として考えられる。そのため、効率的で効果的な授業の実施を支援する物理学習教材に対する要求がある。

物理を難しく感じて嫌になる生徒は、教科書の公式を暗記していることがある。各物理量のもつ性質と、それら

の相関関係についての理解が足りず、物理量を公式の中で無秩序に現れる単なる記号として認識し、物理現象を表す様々な物理公式が、単に物理記号が並べられている「計算式」として認識しているためである。その結果、物理公式の中で各物理量を持つ意味とそれらの相関関係が理解し難くなるのである [34]。

これは、物理量や公式と実際の現象のつながりがイメージできていないことが原因であると考えられる。この問題に対して、学習支援の観点から様々な物理量を同一の性質に基づいて分類し、さらに物理公式の中でそれらの関係性が明らかになるように体系化することが有効な手段であると考えられる。また、それぞれの物理量をロボット技術を用いて具体化する、つまり五感を使って物理現象を効率よく学習可能なシステムを開発して物理量の定量化と可触化を合わせて行うことがより効果的であると考えられる。ロボット技術を用いた教材は、生徒の興味を引きやすく、実験に能動的に参加するため、高い教育効果が得られることが報告されている [27][35]。しかし、これまで提案されている RT 教材は、実験できる物理現象が一つに限定された準備や片付けも非常に煩雑なものであり、学習するすべての物理現象に導入することは困難である。本研究では、このような課題に対して効率的で効果的な授業の実施を支援する物理学習教材である「RT(Robot Technology) 教材」を提案する。

#### 1.5 物理量の分類と RT 教材の学習効果

高校物理の力学分野で学習する物理量を、ロボット技術であるセンサによる計測に注目して「計測可能、計測又は計算で算出可能、計算で算出可能」の基準で分類し、特定の物理公式の中でそれらの相関関係が分かりやすく表わすことができる新しい体系化手法を提案した [36]。表 1 にその一覧を示す。表の左端に記述したローマ数字は、物理量の分類を表す。「I」は「基本物理量」を表し、「II」は「複合物理量」を表す。この「I」と「II」をあわせた分類をセンサによる計測が可能な「計測可能物理量」と定義した。また、「III」は「係数物理量」を表し、「IV」は「エネルギー物理量」を表す。この「III」と「IV」をあわせた分類をセンサでは計測できず、他の物理量から算出される「組立物理量」と定義した。分類された各物理量間の相関関係をコンピュータ上で図式化して提示して、各物理量の意味と関係性の視覚的支援学習アプリケーションツールを提案し、その学習効果を検証した [37]。また、この分類を基に摩擦現象の実験を行うために必要なセンサの最少限の組み合わせを選定し設計した RT 教材の具体案の一つの摩擦現象学習支援 RT 教材を開発し、その学習効果を検証した [38]。本稿では、表 1 の全ての物理量を計測を想定して、定量化・情報化に対応可能なセンサ群の選定及び同センサ群を適切に配置した教材ロボットを設計開発する。

表 1 高校物理で学習する物理量と提案分類

物理量と Symbol	単位と Symbol	SI 単位分類
時間 $t$	秒 s	SI
I 質量 $m$	キログラム kg	基本
距離 $l$	メートル m	単位
速度 $v$	メートル毎秒 m/s	SI 組立 単位
加速度 $a$	メートル毎秒毎秒 $m/s^2$	
角度 $\theta$	ラジアン rad	
角速度 $\omega$	ラジアン毎秒 rad/s	
周期 $T$	秒 s	
振動数 $f$	ヘルツ Hz	
II Force $F$	ニュートン N	
遠心力 $F$	ニュートン N	
弾性力 $F$	ニュートン N	
摩擦力 $F$	ニュートン N	
垂直抗力 $N$	ニュートン N	
モーメント $M$	ニュートンメートル Nm	
摩擦係数 $\mu$	--	SI 組立 単位
III バネ定数 $k$	ニュートン 毎メートル N/m	
反発係数 $e$	--	
運動エネルギー $E_k$	ジュール J	SI 組立 単位
位置エネルギー $E_p$	ジュール J	
弾性エネルギー $E_e$	ジュール J	
IV 仕事 $W$	ジュール J	
仕事率 $P$	ジュール毎秒 J/s	SI 組立 単位
運動量 $p$	キログラムメートル 毎秒 kg m/s	
力積 $I$	ニュートン秒 Ns	

コン等を使用してリアルタイムのグラフ表示は可能であるが、公式やその他の概念理解を助けるような表示がなく、また、教材ロボットの機体には表示器が搭載されておらず、本研究で提案する RT 教材における学習効果の期待できる条件を満たしていない。

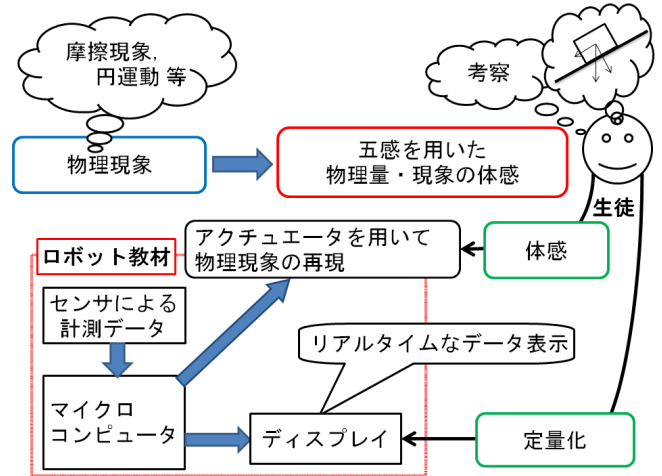


図 3 高校物理力学分野学習支援用 RT 教材の概念図

## 1.6 RT 教材について

本稿で提案する高校物理力学分野学習支援用 RT 教材システムの概念図を図 3 に示す。この教材は、高校物理力学分野のカリキュラムで定められた物理現象をロボット技術を用いて再現し、視覚・触覚等の五感で体感することで関連する物理理論の効果的な学習を支援するものである。センサで計測可能な各物理量をリアルタイムで計測し、その数値やゲージを搭載したディスプレイで表示する。係数やエネルギー等の物理量も理論的に算出して、計測値と共に表示する。そこに理論式も同時に表示して物理現象と物理量や理論式を紐付けして学習できるようにする。搭載するセンサは、上述の分類・体系化手法により、最少構成で最適となるように選定している。モータを制御して運動を再現し、力を手で加えた結果として運動の様子が変化する。その際に、手で力の大きさを感じながら、運動の観察と加えた力の値をディスプレイで目視確認することができる。

ロボット技術を理科教育を目的にシステム化した教材として、LEGO Mindstorms の小中学生向けの理科実験教材による生徒の理科学習に関する意欲・関心を高める試み [39] や、PASCO 社製の SMARTCART ように力学台車にセンサを搭載しコンピュータと連動してグラフ表示可能とした教材の提案 [40] がある。LEGO Mindstorms は高校物理力学分野のカリキュラムに沿ったものではない。また、SMARTCART は搭載センサが一部のセンサに限られており、本研究の物理量の体系化に照らし合わせて、高校物理力学分野を学習するには十分ではない。また、パソ

## 2. 教材ロボットの仕様と設計

### 2.1 計測センサ群と学習する物理現象、物理量の関係

計測センサの選定にあたり、表 1 の組立物理量に分類される「III」係数物理量と「IV」エネルギー物理量は、それら以外の「I」・「II」の計測可能物理量から算出されることに注目すると、搭載すべきセンサ群は、全ての計測可能物理量に対応することで全ての学習物理量の情報化が実現できるのである。その構成をシンプルなものとするために各センサを最少限の個数で設計する。

計測可能物理量に関連する物理現象と、その計測センサを考える。「I」基本物理量、時間  $t$ 、質量  $m$ 、距離  $l$  について考える。時間  $t$  は、制御用マイクロコンピュータのカウンタで計測する。質量  $m$  は、ロボットの上部に設置する力センサで鉛直方向の荷重負荷の変化を計測する。距離  $l$  は、距離センサによって対象物までの直線距離を計測する。また、ロータリーエンコーダで車輪の回転数  $n$  を計測して直線距離だけでなく回転等の移動距離  $l$  を計測する。

また、「II」複合物理量について、ロータリーエンコーダは回転運動における周期  $T$ 、振動数  $f$  や、弧度法における弧の長さ  $l$  と回転角度  $\theta$ 、回転角速度  $\omega$ 、および並進運動での速度  $v$  についてを計測可能である。加速度  $a$  は、加速度センサで計測する。静止や等速運動時、鉛直下向きの重力加速度  $g$  が計測できる。並進の加速度運動の際には並進加速度  $a$ 、回転運動の際には遠心加速度  $a$ 、接線加速度  $a$  が計測できる。重力加速度  $g$  を直交 3 軸の各成分の値からロボットの傾斜角度  $\theta$  を計測することもできる。角速度センサは、角速度  $\omega$  を計測することにより回転運動における姿

勢角  $\theta$  や移動距離から算出し、相対位置  $l$  を計測することができる。また、運動時の加速度  $a$  と力  $F$  の実験時に教材ロボットの水平方向に加わる力  $F$  を計測する力センサが必要である。

以上から、この高校物理の力学分野に関するロボット教材を構成するために必要となるセンサは、タイマカウンタ、力センサ、距離センサ、ロータリーエンコーダ、加速度センサ、角速度センサが考えられる。

## 2.2 計測センサ群の決定

表 1 の「I」と「II」で示した計測可能物理量について、計測に必要なセンサの一覧を表 2 に示す。ここで記載されている数字は、それぞれの物理量の計測に要するセンサの個数である。括弧印の数字は、直接計測するセンサを示す。数字のみで括弧のないものは、理論公式への代入に要する物理量の計測センサとその個数を示す。教材ロボットのセンサ最少構成仕様は、表 2 より、力センサを 2 個、その他のセンサを各 1 個という構成になることが分かる。

表 2 高校物理で学習する物理量の計測に要するセンサの個数

物理量	タイマカウンタ	力センサ	距離センサ	角度センサ	加速度センサ	角速度センサ
時間 $t$ [s]	[1]					
質量 $m$ [kg]		[1]				
長さ $l$ [m]			[1]	1		
速度 $v$ [m/s]	1			[1]	1	
加速度 $a$ [m/s <sup>2</sup> ]	1			1	[1]	
角度 $\theta$ [rad]	1			[1]		1
角速度 $\omega$ [rad/s]	1			1		[1]
周期 $T$ [s]	[1]					
周波数 $f$ [Hz]	1					
慣性力 $F$ [N]		[1]			1	
遠心力 $F$ [N]	1	[1]	1	1	1	1
弾性力 $F$ [N]		[1]	1	1		
摩擦力 $F$ [N]		[1] +1				
垂直抗力 $N$ [N]		[1]				
モーメント $M$ [Nm]		[1]	1	1		
総センサ個数	1	2	1	1	1	1

## 2.3 教材ロボットの仕様構成

教材ロボットの全体形状を図 4(a)、センサの配置図を図 4(b) に示し、その仕様を表 3 に示す。視覚による学習効果を高めるため、操作性も考えてタッチパネルディスプレイをロボットの上部の目立つ箇所に配置している。シス

テム構成図を図 5 に示す。ロータリーエンコーダは各左右のモータからの出力を PIC マイコンで計測し、I<sup>2</sup>C 通信でマスターである Arduino ヘデータ送信する。加速度センサ、角速度センサについても同様に I<sup>2</sup>C 通信でデータ送信する。力センサは、垂直方向の荷重負荷の変化の計測センサを上面に、側面に水平方向に加わる力の計測センサを側面にそれぞれ配置し、また、距離センサを前面に配置して、それぞれのセンサのアナログ電圧出力端子を Arduino の各アナログ入力ポートと接続した。今後の拡張性を考慮して通信や I/O ポート数が充実している Arduino MEGA を採用した。この RT 教材の操作は、ユーザインターフェースとしてタッチパネルを採用しているために実験内容を変更する際の設定変更等は、直感的な操作が可能である。また起動は電源を ON にするのみで特別な操作は必要ない。電源にはモバイルバッテリーを使用おり ON/OFF や充電にも特別な操作方法は必要ない。この RT 教材を使用する際に、コンピュータ、電子回路、プログラミングの熟練した技術や深い知識は必要ない。よって授業を実施するにあたり、教員及び学生には特別なスキルは必要としない。図 6(a) のように学習に必要な公式や物理量のセンサ計測値が表示される。また、図 6(b) のようにロボットに搭載されているすべてのセンサの値を表示することも可能である。

表 3 教材ロボットの仕様

表 3 教材ロボットの仕様	
寸法 [mm]	(H)85 ×(W)187 ×(D)223
ホイール径 [mm]	85
重量 [kg]	1.77
力センサ	FSR-402
加速度センサ	MPU-9250
角速度センサ	
距離センサ	GP2Y0A21YK
マイクロコンピュータ	Arduino MEGA
タイマカウンタ	
モータ	RD0-29BMA
エンコーダ	
モータドライバ	TB6612FNG
タッチパネルディスプレイ	SK-43PT-Pi

## 3. 教材ロボットの設計評価

### 3.1 評価実験について

この RT 教材システムを用いて高校物理で学ぶ代表的な物理現象の実験を行い、各センサ計測値を理論と照らし合わせてその性能を評価する。運動の軌道と力の関係で代表的なものとして、直線運動について実験し評価を行った。計測のサンプリング周波数は、教科書記載の交流記録タイマの使用実績を考慮して 100Hz とした [31][32]。計測データは、Arduino マイコンを PC とケーブルで接続して、マイコン側からデータをシリアル出力し、PC 側でシリアルモニタによって取得した。ケーブルが実験中に運動状態に

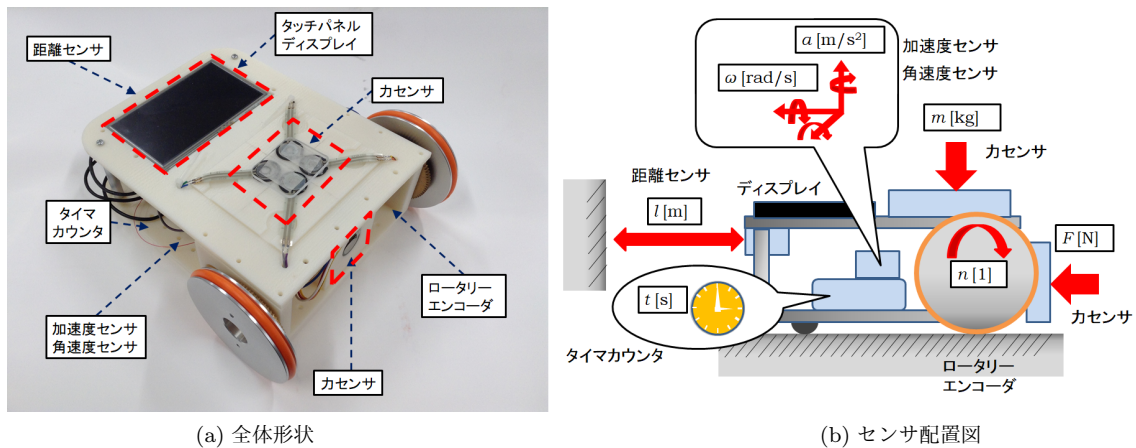


図 4 高校物理学習支援用 RT 教材の全体形状とセンサ配置

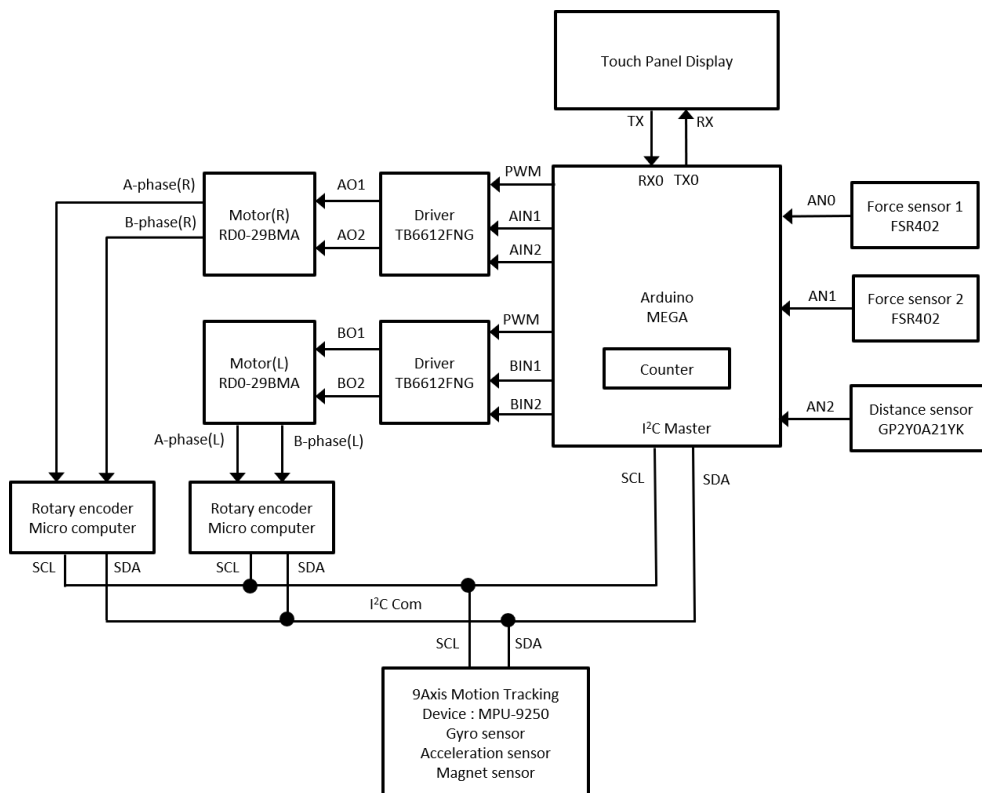


図 5 高校物理学習支援用 RT 教材のシステム概念図

影響を与えて実験に支障を来さないように注意を払った。

### 3.2 直線運動

【実験条件】

初速度  $v_0 = 0 \text{ m/s}$  で左右のモータを同一回転速度で前進し、距離センサで  $0.3\text{m}$  の距離で前方の壁を検知したら、モータを止めて減速して停止した。そのときの全体の移動距離は  $l = 0.5 \text{ m}$  であった。

【計測結果】

距離センサによる計測値、移動距離  $l[\text{m}]$  と時間  $t[\text{s}]$  の関係を図 7 に示す。

$$v = \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad (1)$$

図 7 の結果において (1) 式によって、速度  $v$  を算出し、得られた速度  $v[\text{m/s}]$  と時間  $t[\text{s}]$  の関係を図 8 に示す。

図 8 の線形近似直線は、以下ようになる。

$$[1] \quad t = 0\text{s} \sim 0.9\text{s}$$

$$v = 0.62t \quad (2)$$

$$[2] \quad t = 0.9\text{s} \sim 1.5\text{s}$$

$$v = -0.99t + 1.51 \quad (3)$$

また、加速度センサによる計測値、加速度  $a[\text{m/s}^2]$  と時間  $t[\text{s}]$  の関係を図 9 に示す。図 9 で加速度  $a$  の平均値をとる

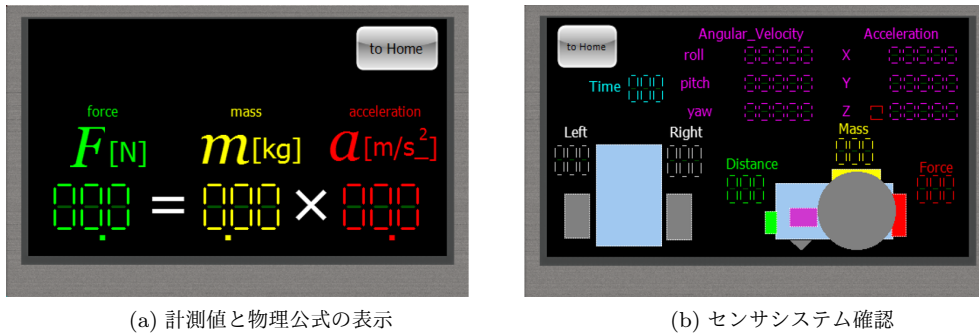


図 6 物理量・計測値及び物理公式の表示とセンサシステム確認画面

と  $t = 0s \sim 0.9s$  で計測値  $a = 0.62m/s^2$ ,  $t = 0.9s \sim 1.5s$  で計測値  $a = -1.08m/s^2$  の値が得られた。

【考察】

図 8 で  $t = 0.9s$  の前後で速度  $v$  の値が増加から減少に変化していることがわかる。これは、壁を検知したことによりモータを停止した現象が反映した値であると考えられる。図 9 においても加速度  $a$  の値が、同様に  $t = 0.9s$  の前後で正から負へ変化しており、その値の推移は一致している。このとき、図 8 の線形近似直線式 (2), 式 (3) の傾きは加速度  $a$  を意味しており、図 9 で得られた加速度  $a$  の計測値と比較すると概ね一致しており、物理現象として等加速度直線運動の様子が確認できる。

以上の結果において図 9 で得られた加速度  $a$  の計測値から、等加速度直線運動の距離  $l$  と時間  $t$  の理論式を求め、図 7 において距離センサの計測値と求めた理論式によって得られた結果を比較した。  $t = 0s \sim 0.9s$  では、初速度  $v_0 = 0m/s$ , 加速度  $a = 0.62m/s^2$  であるので、

$$l = \frac{1}{2} \cdot 0.62t^2 \tag{4}$$

と表される。  $t = 0.9s \sim 1.5s$  では、  $t = 0.9s$  で減速開始、加速度  $a = -1.08m/s^2$ ,  $1.5s$  で停止したことから、

$$l = \frac{1}{2} \cdot (-1.08)t^2 + 1.71t - 0.85 \tag{5}$$

と表される。距離  $l$  と時間  $t$  の実測値と理論式のグラフを図 7 に示す。結果は概ね一致しており、RT 教材で実施した加速度  $a$ , 距離  $l$ , 速度  $v$ , 時間  $t$  の計測実験は妥当だと考える。

4. まとめ

本稿では、高校物理の力学分野で学習する物理現象に広く対応可能なセンサを備えた物理学習支援用 RT 教材の設計と開発について示した。この RT 教材システムは、筆者らが提唱する物理量の分類と体系化に基づいてセンサシステムを設計しており、高校物理力学分野における一部の実験を通して学習する物理量を計測、算出を可能にする計測センサを搭載していることを示した。今後、対応する学習

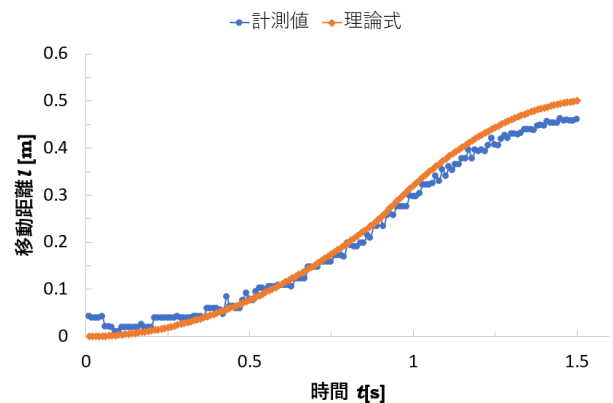


図 7 等加速度直線運動の  $l-t$  グラフ

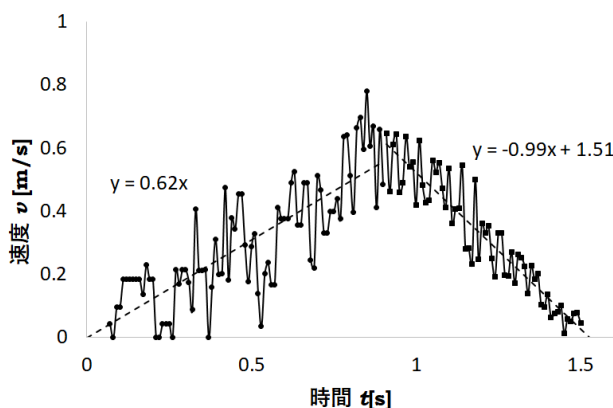


図 8 等加速度直線運動の  $v-t$  グラフ

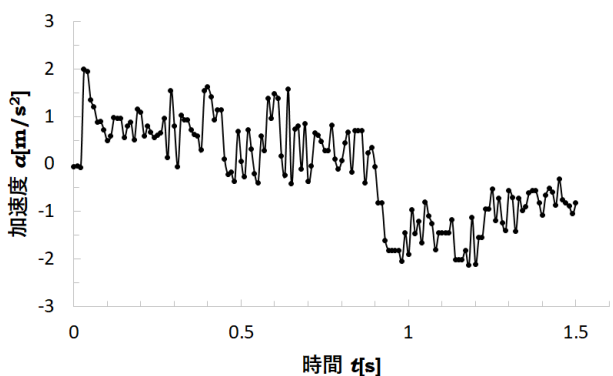


図 9 等加速度直線運動の  $a-t$  グラフ

内容を広げると共に、センサで取得したデータをリアルタイムにインターネットを介して収集することで、実験中の計測結果を即時に可視化できる仕様として、その学習効果を検証していきたいと考えている。

## 参考文献

- [1] 広井 禎：「高校物理履修者の大きな減少」, 物理教育, Vol.31, No.4, pp.240-241, 1983
- [2] 渡辺 正紘：「共通一次試験の難化と高校教育への影響」, 物理教育, Vol.37, No.2, pp.122-123, 1989
- [3] ベネッセ教育総合研究所：「第5回学習基本調査 データブック [2015]」, pp.4-19, 2015
- [4] 文部科学省：「高等学校教育の現状 参考資料 5」, pp.28-35, [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo3/047/siryo/\\_icsFiles/afieldfile/2013/06/14/1334827\\_6.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/047/siryo/_icsFiles/afieldfile/2013/06/14/1334827_6.pdf), (最終参照日 2018年1月14日)
- [5] 大宮 輝雄, 奥村 清：「高等学校における物理嫌いの要因についての一考察」, 科学教育研究 Vol.18, No.4, pp.189-196, 1994
- [6] 川村 康文：「構成主義的理科学習論に基づいた物理授業」, 物理教育, Vol.46, No.5, pp.272-275, 1998
- [7] 松原 静朗：「小学生-中学生-高校生の理科に対する意識」, 化学と教育, Vol.49, No.5, pp.265-267, 2001
- [8] 鶴岡 森昭, 永田 敏夫, 細川 敏幸, 小野寺 彰：「大学・高校理科教育の危機：高校における理科離れの実状」, 高等教育ジャーナル, 北海道大学, No.1, pp.105-115, 1996
- [9] 鈴木 亨：「誤概念を支える因果スキーマ」, 物理教育, Vol.56, No.1, pp.10-15, 2008
- [10] 川村 康文：「大学生にみる物理分野における素朴概念の実態」, 物理教育, Vol.48, No.1, pp.78-82, 2000
- [11] 川村 康文, 子安 増生：「力学法則における高校生の関心・意欲と理解度を高めるための実験演示法の開発」, Vol.22, No.1, pp.32-41, 1998
- [12] 吉野 巖, 小山 道人：「素朴概念への気づき」が素朴概念の修正に及ぼす影響-物理分野の直落信念と MIF 素朴概念に関して」, 北海道教育大学紀要. 教育科学編, Vol.57, No.2, pp.165-175, 2007
- [13] 田中 照久, 定本 嘉朗：「高校における円運動に関する調査」, 物理教育, Vol.50, No.1, pp.8-10, 2002
- [14] 田中 照久, 定本 嘉朗：「円運動に関して生徒を科学的概念に導く教材開発」, 物理教育, Vol.50, No.2, pp.110-114, 2002
- [15] 田中 照久, 定本 嘉朗：「素朴概念の実態を基に開発した円運動教材を用いた授業実践」, 物理教育, Vol.51, No.2, pp.79-84, 2003
- [16] 矢野 淳滋：「普通教室でできる物理の基本実験」, 物理教育, Vol.42, No.1, pp.55-68, 1994
- [17] 石原 武司：「物理教育における実験はどうあるべきか」, 物理教育, Vol.46, No.5, pp.276-280, 1998
- [18] 森本 雄一：「実験を物理教育にどのように取り込むか?」, 物理教育, Vol.57, No.4, pp.334-338, 2009
- [19] 山崎 敏昭, 井上 賢, 谷口 和成, 内村 浩：「高校物理実験の実態：2006年大学新入生からの分析」, 物理教育, Vol.55, No.1, pp.33-38, 2007
- [20] 山崎 敏昭, 井上 賢, 谷口 和成, 内村 浩：「高校物理実験の実態Ⅱ：2009年大学新入生調査の分析」, 物理教育, Vol.59, No.2, pp.101-107, 2011
- [21] (独) 科学技術振興機構 理科教育支援センター, 国立教育政策研究所教育課程研究センター：「平成20年度高等学校理科教員実態調査報告書」, [http://www.jst.go.jp/cpse/risushien/highschool/cpse.report\\_009.pdf](http://www.jst.go.jp/cpse/risushien/highschool/cpse.report_009.pdf) (最終参照日 2018年1月21日)
- [22] 文部科学省：「高等学校学習指導要領解説 理科編」, 2009
- [23] 筒井和幸, 本管正嗣：「高校物理における PC 計測システムの活用方法について」, 大阪教育大学附属高等学校池田校舎 研究紀要, Vol.43, pp.35-40, 2010
- [24] 竹中 真希子, 山口 悦司, 稲垣 成哲：「CSCL：理科教育におけるコンピュータ利用の新しい研究動向」, 科学教育研究, Vol.29, No.2, pp.157-172, 2005
- [25] 山崎 敏昭, 谷口 和成, 古結 尚, 酒谷 貴史, 山口 道明, 岩間 徹, 笠 潤平, 内村 浩, 村田 隆紀：「高校物理に導入したアクティブ・ラーニングの効果と課題」, 物理教育, Vol.61, No.1, pp.12-17, 2013
- [26] 沖野 信一, 山岡 武邦, 松本 伸示：「科学的概念の形成をめざした理科授業開発-作用・反作用の法則に関する指導法に焦点化して-」, 理科教育学研究, Vol.57, No.2, pp.103-114, 2016
- [27] 百瀬 貴暁, 伊倉 良明, 石原 敦, 中原 真也, 鎌田 暁, 新井 健司：「公立中学校・理科連携授業における教材ロボットの利用」, 日本理科教育学会関東支部大会研究発表要旨集, Vol.53, pp.97, 2014
- [28] 松谷 宏明：「2足歩行ロボット教材開発とメールによる継続学習に関する研究」, 日本ロボット学会誌, Vol.31, pp.175-180, 2013
- [29] 加藤 聡, 小谷 猛房, 富永 浩之：「LEGO ロボットとゲーム課題を題材とする問題解決型のプログラミング演習 -事前学習から事後発表までを含む理系高校生への教育実践-」, 情報処理学会研究報告コンピュータと教育, Vol.2010-CE-105, no.5, pp.1-10, 2010
- [30] 岡田 浩之, アツアンヤ 亜伊子, 大森 隆司, 福田 清, 水野 真：「ロボット工房における理科教育・工学教育」, 玉川大学工学部紀要, No.47, pp.11-17, 2012
- [31] 三浦 登：「物理基礎」, 東京書籍, pp.14-110, 2013
- [32] 三浦 登：「物理」, 東京書籍, pp.6-96, 2013
- [33] 谷口 博士, 近森 憲助：「ストレインゲージを用いた摩擦力の測定」, 物理教育, Vol.38, No.2, pp.96-99, 1990
- [34] 大宮 輝雄, 奥村 清：「高等学校における物理嫌いの要因についての一考察」, 科学教育研究, Vol.18, No.4, pp.189-196, 1994
- [35] 石原 敦, 百瀬 貴暁, 伊倉 良明, 中原 真也, 新井 健二：「公立中学校・理科連携授業における教材ロボットの利用?50分のたからもの?」, 日本ロボット学会誌, Vol.33, No.8, 2015
- [36] 小川 勝史, 田中 宏明, 鄭 聖熹：「高等学校教育課程における物理学習に関する RT 教材の開発-物理量計測用センサの体系化-」, 第14回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 3D1-3, 2013.
- [37] 小川 勝史, 田中 宏明, 鄭 聖熹：「高校教育課程における物理量の体系化の有効性検証と物理学習支援ツールの提案」, 工学教育, vol.64-no.2, pp.38-43, 2016
- [38] 小川 勝史, 田中 宏明, 鄭 聖熹：「高校教育課程物理における摩擦現象学習支援用 RT 教材の開発と評価」, 工学教育, vol.64-no.6, pp.99-104, 2016
- [39] LEGO.com エデュケーション サイト：<https://education.lego.com/ja-jp> (参照日 2017年12月18日)
- [40] Asif Shakur, Rainor Connor：「The PASCO Wireless Smart Cart: A Game Changer in the Undergraduate Physics Laboratory」, The Physics Teacher, vol.56, pp.152, 2018