

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：58001

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16254

研究課題名(和文) 数学を主体とする論理的思考力育成および就業意識向上のための科学技術教材の開発

研究課題名(英文) Development of educational materials on science and technology to enhance the mathematical logical thinking ability and improve the employment consciousness

研究代表者

安里 健太郎 (Asato, Kentaro)

沖縄工業高等専門学校・機械システム工学科・講師

研究者番号：10610321

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、「数学を主体とする論理的思考力育成」と「就業意識向上」を目的として、科学技術教材の開発を行った。本教材開発においては、「制御工学」を学習テーマとして選定し、3つの研究課題に分類して研究を遂行した。その中で、「学習機器の開発」および「学習法の考案」においてはおおむね計画どおり達成することができたが、「教材を使った教育の実践」においては、想定した学習対象者による検証を行うことができなかったため、今後の課題として実施していく予定である。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed educational materials on science and technology to enhance the mathematical logical thinking ability and improve the employment consciousness. In the development of educational materials, study subject was divided into three steps and carried out systematically. The development of learning devices and learning methods was achieved smoothly. However, verification of the availability of the developed educational materials was sufficient.

研究分野：制御工学

キーワード：科学技術教材開発 論理的思考力育成 就業意識向上 制御工学教育 数学応用学習

### 1. 研究開始当初の背景

現在沖縄県では、科学技術を基盤とする、地理的優位性を生かした産業創出や自立的経済発展を目指して、「知的・産業クラスター推進事業」や「産業高度化・事業革新促進計画（産業イノベーション計画）」といった取り組みが盛んに行われている。これらの実現のためには、地元の人材育成、とりわけ、「科学技術に精通した人材の育成」が重要な課題となっており、その一環として、本県ではこれまで、「沖縄サイエンスキャラバン構築事業」や「ALLやんばる科学と教育のまちづくり事業」などの科学技術教育活動が行われてきた。これらの活動内容の多くは、実験や観察をとおして自然現象を体感・学習したり、工作教室でものづくりを体験したりするもので、「科学技術について楽しく学ぶ」をコンセプトに、幅広い年齢層を対象としている。

このような取り組みは、科学技術に対する純粋な興味を引き出すのに広く貢献しているが、「楽しい科学技術」から「将来携わっていくものとしての科学技術」へと意識を移行させることを目的とした教育活動は少ないのが現状である。また、実験や観察を主体として自然現象を“五感で捉えて経験的に学習する”といった内容のものが多く、科学技術においても一つの重要な観点である「論理的思考の必要性」をテーマとして扱っているものは非常に少ない。現象の経験的な理解だけではなく、現象を論理的に捉えることによって科学技術の有用性・可能性の高さを認識し、そのイメージを就業意識につなげていくことも、科学技術教育において重要な課題の一つであると考えられる。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、『数学を主体とする論理的思考力の育成』および『就業意識のさらなる向上』を目的として、利用価値の高い科学技術教材の開発を目指した。

これらの目的に適合するものとして、本研究では、「制御」を題材とした教材開発を行っていくこととした。これは以下の理由による。すなわち、制御の応用問題は、一般に「数学の問題」に帰着され、それを解くことで制御目標が達成されるため、前者の目的達成に適しているといえる。また、制御は一般に図1の「フィードバック」という考え方に基づいて達成されるが、この概念は自然現象や生物の行動などにも遍在して見られ、工学系に限らない幅広い分野において通用する考え方である。そのため、後者の目的達成においても有用であると考えられる。

そして本研究では、目的に照らし合わせて、“将来を意識した進路選択が行われる重要な年代であること”、“数学を主体とする論理的思考の育成を科学技術教育に取り入れるにはある一定の数学知識が要求されること”を考慮し、「中学3年生以上」を学習対象者として教材の開発を行っていくこととした。

$r$  : 目標値 (望ましい状態)  
 $e$  : 偏差 ( $r - y$ )  
 $u$  : 操作量 (望ましい状態への操作)  
 $y$  : 制御量 (現在の状態)

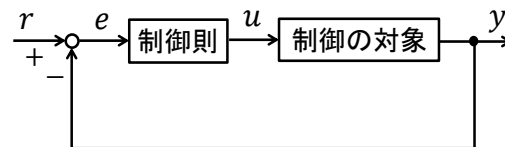


図1 フィードバック制御

### 3. 研究の方法

研究目的の達成に向けて、本研究では研究課題を「学習機器の開発」、「学習法の考案」、「開発教材を利用した教育の実践」3つに分類し、それぞれの課題解決を行っていった。以下、その具体的方法について述べる。

#### (1) 学習機器の開発

本研究では、利用価値の高い学習機器(図1における制御の対象)として、「磁気浮上装置」、「倒立ロボット」、「球体位置決め装置」を開発した。これらは、その動作原理に基づく論理的考察の結論として得られる「制御則」(制御するための規則)によって、能動的に干渉していかないと制御目標(望ましい状態)が破綻してしまう。その意味で「不自然な対象」である。この「不自然な対象」を教材として用いることで、学習対象者は(数学に基づいた)論理的思考の重要性を認識し、科学技術の有用性・可能性の高さを実感することができるものと考えられる。また本研究では、これらの開発にあたって、研究目的達成に向けて以下の要件を満たすことを目標とした。

- 【要件 1-1】 学習者が理解しやすいように、システム構成をなるべくシンプルにすること
- 【要件 1-2】 システムが簡易な数式モデルで表現でき、動作原理が論理的に考察できること
- 【要件 1-3】 広く活用できるように、低コストであること
- 【要件 1-4】 扱いやすく、コンパクトで可搬性が高いこと

以下では、これらの開発について具体的に述べる。

#### ① 磁気浮上装置の開発

これは、「電磁石の吸引力により浮上体を一定距離で浮上させること」を制御目標とする機器である。この機器開発においては、とくに【要件 1-3】および【要件 1-4】を満たすために、新たな浮上体の変位センサの開発が不可

欠である。そこで本研究では、ホール素子を利用した変位センサ（ホール素子変位センサ）の開発を検討した。また、このセンサにおいては、浮上体変位を適切かつ正確に計測できるように、ソフトウェアでの対策を検討した。

### ②倒立ロボットの開発

これは、“二輪車のロボットを倒立させること”を制御目標とする機器である。この機器開発においては、[要件 1-1]～[要件 1-4]を満たすために、適切なモータと姿勢センサ(IMU)の選定が必要となる。また本機器では、後述するように制御ユニット（センサからの信号取り込みや制御則にしたがって操作量を計算する処理装置）として Arduino Uno を採用しており、制御プログラム実装後も柔軟に設定変更できるようなインターフェース実装の検討を行った。

### ③球体位置決め装置の開発

これは、“レールの上を転がる球体を任意の位置で停止させること”を制御目標とする機器である。この機器開発においては、[要件 1-1]～[要件 1-4]を満たすために、レール上の球体位置を検出するセンサとしてリニアポテンシオメータを利用することを検討した。しかしながら、リニアポテンシオメータの利用においては、断続的に位置を検出できない状態が発生する可能性があることから、この問題をソフトウェアにより解決する検討を行った。

## (2)学習法の考案

研究目的を達成するための具体的な学習法の考案は、学習機器の開発と密接に係るため、その進行と連携させながら検討した。学習法の考案に関しては、以下の要件を満たすことを目標として学習内容および学習環境の構築を行っていった。

- [要件 2-1] 学習対象者が修得済みの基礎的な数学知識で学習できる内容であること
- [要件 2-2] 学習機器の動作原理を数学で捉えることの重要性が学習できること
- [要件 2-3] 制御問題を数学の問題に帰着し、論理的に考察していく過程が学習できること
- [要件 2-4] 初学者でも扱いやすい学習環境であること

以下では、これらについて具体的に述べる。

### ①学習内容の構築

まず、具体的な学習内容として、次のように3つの段階を踏んで構築していくことを検討した。

はじめに、“学習機器の動作原理を数学で捉

えること”について学習する。この段階では、五感のみで現象を捉えることの限界を学び、数学で本質を理解することが重要性であることを学習する。つぎに、“制御問題を数学の問題に帰着すること”について学習する。動作原理を数学で捉え、その本質を論理的に考察していくと、“望ましい状態になるにはどのように操作すればよいか”の道筋が見えてくることを学ぶ。この段階では、問題解決における数学の役割について学習する。さいごに、“帰着された数学の問題を解いて制御則を導くこと”について学習する。この段階では、望ましい状態への道筋が見えてくると、その論理的帰結として、制御目標を達成するための「制御則」が導かれることを学習する。

本研究では、「安定性」をキーワードに、「PD制御」と「状態フィードバック制御」の2手法に基づいて、上記各段階における具体的学習内容を構築することを検討した。これら手法の厳密な理解には、微分・積分の知識が要求されるが、微分を「平均変化」、積分を「足し合わせ」の考え方で近似することで、学習対象者が平易に理解できるように配慮することとした。

### ②学習環境の構築

効率的な学習が行えるように、初学者でも対応可能な学習環境を構築することを検討した。具体的には、煩雑なプログラミング等を避けるため、制御システム設計・検証ソフトウェアとして、Scilab/Xcos を利用する学習環境の整備を検討した。また、学習機器（ハードウェア）の制御において、制御プログラムの作成が学習の妨げにならないように、制御ユニットとしてマイコンボード Arduino Uno を採用した。Arduino Uno の制御プログラムは、Scilab/Xcos での制御システム設計および検証結果から自動的に生成できるように検討を行った。

### (3)教材を利用した教育の実践

そして本研究では、開発した教材による科学技術教育活動の実践についての検討を行った。この実施においては、まず、沖縄工業高等専門学校（以下、沖縄高専）において、学習対象者と同年代の学生を対象に、講義内の実習課題として実施することを検討した。また、そこで得られたアンケート結果等を反映させ、学習内容の改善を行っていくことを検討した。そして、沖縄高専の学生以外の学習対象者に実施することを目指し、教育効果の検証を行っていくことを検討した。

## 4. 研究成果

平成 27 年度～29 年度の期間において、3つの研究課題「学習機器の開発」、「学習内容の構築」、「開発教材を利用した教育の実践」に関する研究を実施した。以下、それぞれで得られた研究成果について述べる。

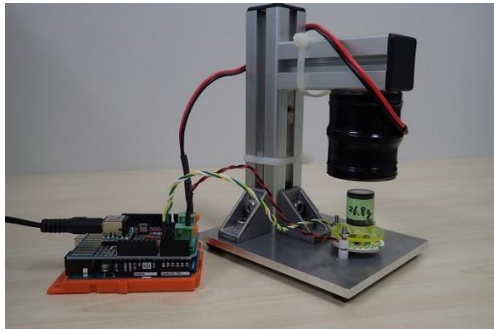


図 2 磁気浮上装置



図 3 倒立ロボット

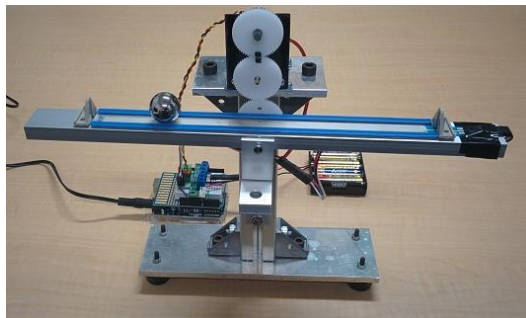


図 4 球体位置決め装置

(1) 学習機器の開発における成果

当初の計画どおり，[要件 1-1]～[要件 1-4]を満たす「磁気浮上装置」，「倒立ロボット」，「球体位置決め装置」を開発することができた．実際に開発したこれらの学習機器を図 2～図 4 に示す．また，それぞれの学習機器における主な構成要素と仕様について，表 1～表 3 にまとめる．

「磁気浮上装置」の開発においては，新たにホール素子を利用した変位センサの開発を行った．このセンサは，ニューラルネットワークとカルマンフィルタの適用によって高精度変位センサとしての利用が可能となっており，機器製作コストの大幅な低減化が達成できた（1 台あたり，1 万円弱で製作可能）．また，電圧駆動のシステムへと改良を行うことで，機器構成をコンパクト化でき，9[V] AC アダプタ電源 1 つで駆動できるなど，高可搬性も達成することができた．

表 1 磁気浮上装置の主な構成機器・仕様

項目	構成機器・仕様
制御ユニット	Arduino Uno
変位センサ	ホール素子変位センサ A1324LUA-T 他
電磁石	鉄心：SS400 (長さ 500mm, 直径 20mm) 巻線：0.6mm エナメル線 (約 1100 巻)
電圧アンプ	Power MOSFET 2SK4017
電源	9[V] AC アダプタ

表 2 倒立ロボットの主な構成機器・仕様

項目	構成機器・仕様
制御ユニット	Arduino Uno
IMU	ITG3200/ADXL345
モータ	RA250015-58Y91
モータドライバ	Pololu DRV8835
タイヤ	TAMIYA NARROW TIRE
電源	1.5[V]アルカリ電池 4 本

表 3 球体位置決め装置の主な構成機器・仕様

項目	構成機器・仕様
制御ユニット	Arduino Uno
位置センサ	SOFTPOT 200mm
角度センサ	SH16K4B102L20KC
レール	アルミチャネル (30cm)
モータ	TAMIYA Planetary gear
モータドライバ	Pololu DRV8835
電源	9[V] AC アダプタ 1.5[V]アルカリ電池 4 本

「倒立ロボット」の開発においては，主に機器構成の簡略化と，ゲイン調整用のインターフェース検討を重点に行った．具体的には，表 2 に示す構成部品をロボット内部に収めることができるよう，IMU とモータドライバをシールドとしてまとめ，制御ユニットである Arduino とモータ駆動の電源をアルカリ電池 4 本（計 6[V]）のみで供給するシステムとすることでコンパクト化することが可能となった．また，3 つのボタンによって，制御プログラムを書き込み後もある程度柔軟にゲイン調節が可能となるように工夫した．本学習機器

においてもコストを抑えることが達成できており、1台あたり約1万2千円程度で製作可能となった。

「球体位置決め装置」の開発においては、主に球体の位置を計測するためのセンサの検討を行った。検討の結果、安価で球体の正確な静的位置を計測することができるリニアポテンショメータ SOFTPOT を採用することとした。しかしながら、このセンサは球体の動的位置計測において、計測値の欠陥が生じてしまうため、Arduino のプログラム上でローパスフィルタを設計し、その欠陥を補償する対策を施した。また、機器構成の簡略化を図るため、レールを直接駆動させることで角度制御を行う方式を採用した。本学習機器においてもコストを抑えることが達成できており、1台あたり1万円弱で製作可能となった。

### (2) 学習法の考案における成果

本研究の目的である『数学を主体とする論理的思考力の育成』および『就業意識のさらなる向上』を達成するために、開発した各学習機器を活用した学習法を考案した。

まず、学習内容の構築について、当初の計画どおり安定性のみを考慮し、「PD 制御」と「状態フィードバック制御」の2手法による制御を中心に学習項目の選定を行った。安定性のみを考慮するとき、「磁気浮上装置」の制御においては、入力を電流とするシステムとみなすことで、制御問題を2次関数の解を求める問題に帰着することができる。また、「倒立ロボット」においては姿勢角度の制御のみを想定することで、「球体位置決め装置」においては遅れなく指令通りにレールの傾き角を制御できると仮定することで、同様に2次関数の解を求める問題に帰着することができる。この結果に基づいて、学習機器の制御に関する学習テキストを作成した。そのサンプルを図5に示す。

そして、学習環境の構築においては、グラフィカルなプログラミングによって制御シミュレーションの検証が可能な Scilab/Xcos を利用することとした。このソフトウェアは、図6に示すように、図1と同型のブロック図を描くことで、制御シミュレーションを行うことが可能となっている。そのため、文字ベースのプログラムに比べて直感的に作成できるという利点があり、効率よく本質的な学習を行うことができる。また、実際の学習機器を制御するためには、Arduino 用の制御プログラム(文字ベース)を作成する必要があるが、Scilab/Xcos 上であらかじめ用意したプログラムを実行することで、それが自動で生成されるシステムを構築した。自動で生成された Arduino 制御用プログラムのサンプルを図7に示す。

### (3) 教材を利用した教育の実践における成果

開発した教材を活用した科学技術教育として、まずは沖縄高専機械システム工学科の専

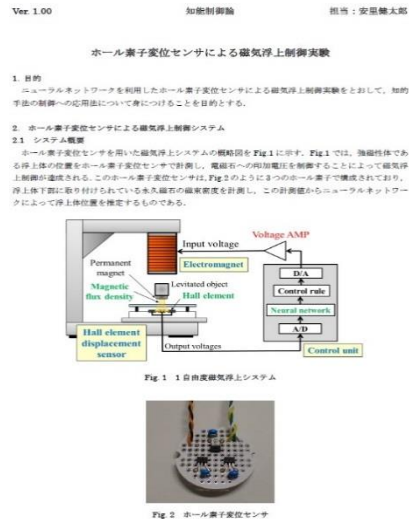


図5 学習テキストのサンプル

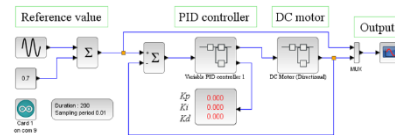


図6 Xcosプログラムのサンプル



図7 Arduinoプログラムのサンプル

門科目「知能制御論」において、実習形式で実施した。学習対象者は、すでに制御工学の講義を受講しているが、実習形式での学習はほとんど経験がない学生である。そのため、機器の制御や制御プログラムの作成の知識に関しては、初心者とほぼ同等であった。教材を使った実習を行った後に感想を聴取したところ、論理的に制御を達成していく過程を学ぶことがおおむねできたことが分かったが、安定性の概念と2次関数の解を求める問題との関連性が初学者には難しいのではないかとの意見があがった。これは、今後の課題として解決していく必要がある。

なお、当初の計画では、沖縄高専外の学習対象者に本教材を使った教育を実施する予定であったが、時期的な問題もあり、近隣の中学校や高等学校との調整が困難であったため実施できなかった。そのため、平成29年度の「沖縄高専オープンキャンパス」や平成30年2月に開催された「第40回沖縄青少年科学作

品展」において動作デモを実施し、制御するための原理を解説するのみにとどまった。これについては今後の課題として検討していきたいと考えている。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

(1) 安里健太郎, 照屋孔明, 長堂勤, 玉城史朗:「科学技術教育のための磁気浮上システムの開発: ニューラルネットワークを利用したホール素子変位センサによる磁気浮上制御」, 電気学会論文誌 D, Vol.136, No.10, pp.744-752 (2016), 査読有

DOI : 10.1541/ieejias.136.744

(2) 安里健太郎, 長田匡司, 玉城大暉:「ハイブリッド電磁石を用いた教育用磁気浮上システムの開発: 最適レギュレータおよびカルマンフィルタによる制御システム設計」, 独立行政法人国立高等専門学校機構沖縄工業高等専門学校紀要, Vol. 10, pp. 1-11 (2015), 査読有

<http://hdl.handle.net/20.500.12001/19263>

[学会発表] (計 24 件)

(1) 安里健太郎, 長堂勤:「ホール素子変位センサを用いた磁気浮上システムの開発: Arduino による電圧駆動制御システムの実現」, 平成 30 年電気学会全国大会, 2018 年 3 月 16 日

(2) 平川貴一, 安里健太郎:「科学技術教材の開発—開発した Ball & Beam 実験装置の動作検証—」, 電気学会次世代産業システム研究会, 2017 年 3 月 9 日

(3) 安里健太郎:「論理的思考の重要性が実感できる科学技術教育: 制御の観点から科学技術を学ぶ」, 平成 28 年度第 3 回日本科学教育学会研究会, 2016 年 12 月 3 日

(4) 安谷屋卓矢, 安里健太郎:「科学技術教育に適した 2 輪倒立ロボットの開発—低コストなロボットの製作および動作検証—」, 電気学会次世代産業システム研究会, 2016 年 3 月 10 日

(5) K. Asato, K. Asato, T. Nagado and S. Tamaki: “Development of low cost educational material for learning fundamentals of mechatronics”, International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences 2015, 29 Nov. 2015

(6) K. Asato, K. Asato, T. Nagado and S. Tamaki: “Development of a Hall Element Displacement Sensor with Artificial Neural Network for Magnetic Levitation Control”, International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences 2015, 28 Nov. 2015

(他 18 件)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

安里 健太郎 (KENTARO ASATO)

沖縄工業高等専門学校・機械システム工学  
科・講師

研究者番号: 10610321