

令和 3 年 6 月 22 日現在

機関番号：53601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K02948

研究課題名(和文) 3Dプリンタを用いた数学教材作成システムの開発とタブレットを併用した授業の設計

研究課題名(英文) Creation of a system for producing mathematical teaching materials with a 3D printer and design of lessons for students using tablets

研究代表者

濱口 直樹 (Hamaguchi, Naoki)

長野工業高等専門学校・一般科・教授

研究者番号：00369977

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：高専や大学初年級の数学教育においては、図形に関する理解が不可欠であり、教員は様々な形式の教材を利用している。2変数関数のグラフなどの空間図形に関する教材はPCを用いてスクリーンに提示されることも多い。我々が開発を進める教材作成支援システムでは、空間図形教材を3Dプリンタを用いて作成することが可能であり、これをさらに更新しながら、手に取って学ぶ教育手法を追究した。また、タブレット上やPCの画面で扱うことのできる図形教材の作成方法も改良し、特別なソフトウェアを用いずに表示することのできるHTML形式のインタラクティブな教材の作成環境を整備した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高専や大学の数学教育においても、ICTを活用した教授法が研究されている。我々は、教材作成支援システムであるKeTCindyの整備を進め、プリントやスライド、タブレットなどに表示されるような図形を含む教材を教員自らが容易に作成できる環境を整えてきた。さらに、3Dプリンタによる空間図形の立体モデル教材の作成環境の改良をすすめ、いくつかの典型的な教材例を作成した。また、空間図形を学生が自身のPCやタブレット、スマートフォン上に表示する際に特別なソフトウェアを必要としないインタラクティブなHTML形式の教材を開発しており、リモート授業やeラーニングでも利用できるものと期待される。

研究成果の概要(英文)：In mathematics classes at the collegiate level, teachers use various types of teaching materials. These materials for spatial figures such as graphs of two-variable functions can be presented on the screen in mathematics classes.

Recently, we can produce physical models for spatial figures using 3D printers. Students, moving these models in their hands, can look at them from any direction.

We improved our systems for producing physical models for spatial figures. We also improved our systems for creating these spatial figure materials presented on tablets or PC without 3D viewing software.

研究分野：科学教育

キーワード：立体モデル教材 空間図形 授業設計 KeTCindy

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

高専や大学初年級の数学教育においては、教員は LaTeX を用いて教材を作ることが標準となっているが、LaTeX には挿図が容易ではないという欠点があった。我々は、挿図用パッケージである KeTpic を開発し、R や Scilab などの数値計算システムに裏付けされた正確さと、単純な線画であるという見やすさを兼ね備えた図形を教材中の思い通りの場所に配置することを可能にした。

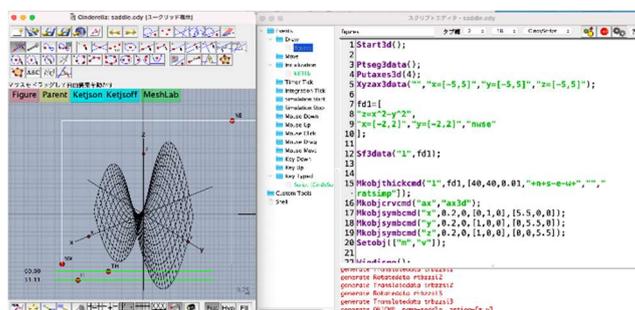


図1 Cindy画面(左)とスクリプト画面

2014年には、動的幾何ソフトである Cinderella を KeTpic のグラフィカルユーザーインターフェイスとした KeTCindy を開発した(図1)。最近では、教材作成の総合支援ツールとして、LaTeX 用の図ファイルのみならず、Meshlab などの 3D ビューアを用いてタブレットや PC で扱える obj 形式の図(図2左)のファイルを生成することができるようになった。また、これらは stl 形式に容易に変換され、3D プリンタによる立体モデル教材(図2右)の作成が可能となっている。



図2 タブレット教材(左)と立体モデル教材

当初の空間図形の立体モデル教材は、その形状のイメージをつかむことを容易にはしたが、数学的情報を併せて持たせることは困難であった。我々はこの観点から、立体モデル教材やタブレット教材に、スライドやプリントを併用して授業を設計し、その教育効果を検証してきた。

安価で十分な性能を備えた 3D プリンタの普及や、ICT を活用した教育研究などが進められる中で、本研究では、教材を手にとって学ぶ、手で扱って理解する教育手法をさらに追究することとした。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、教員による数学教材の作成を容易にし、これらを用いた効果的な授業の設計ができるように、その環境を整備することにある。

国内外において ICT を活用した様々な教育方法が検討され、関数のグラフや図形のための数学教材についても、数式処理システムや動的幾何ソフトを用いた教授法の研究が進められている。ICT を活用した教育手法が普及する中で、特に空間図形などについては、教員自らが容易に教材を作成できる環境が必要であり、その整備を進めることを目的として設定した。

また、これまでの研究において、数学教育で効果的に用いられる典型的な図形も整理されてきており、これらを教材例として誰もが利用できるよう KeTCindy の更新を進めることとした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 3D プリンタを用いた立体モデル教材やタブレット教材の改良に向けた検討

安価であるが十分な性能を持つ 3D プリンタを用いる際には、図形の形状を検討してデータを作成することが必要となる。典型的な空間図形について、それぞれの特徴を整理し、教育効果のあるデザインとなることが求められる。これらを整理し、数学的情報を備えた立体モデル教材、タブレット教材を検討する。

(2) 容易に利用できる空間図形教材の提示方法の検討

ICTを活用した教育の普及やBYOD導入の傾向もあり、教員によるスクリーンへの提示だけでなく、学生の所有するPCやタブレット、スマートフォンへの提示の機会が増加すると考えられる。KeTCindyの機能を更新し、容易に教材が利用できるよう整備を進める。

(3) 教材例の検討および効果の検証

KeTCindyの機能が追加されることにより、これまでにはない新しい教育手法も開発されることが考えられる。これらも含めて、典型的な教材の検討とその充実を図る。

4. 研究成果

(1) 立体モデル教材作成のため、当初は光硬化性樹脂を材料とする光造形方式の3Dプリンタを利用してきた。この方式による立体モデルは、なめらかで精度も高いが、仕上げの段階において洗浄等の後処理が必要である。これまではこの3Dプリンタを用いて、2変数関数のグラフとなる曲面に厚みをつけた立体モデル教材(図3左)を作成し、実際に学生が手に取れるものとして提示すると同時に、数学的な情報はスライドやプリントによる教材を利用して説明を行ってきた。

一方、熱可塑性樹脂を材料とする熱溶解積層方式の3Dプリンタも、最近ではその精度が向上している。一般的には光造形方式に比べて安価で手に入りやすく、本研究期間においては主にこの方式で作成した。

また、KeTCindyが整備され、空間図形に関する処理速度の向上や図形教材のサンプルデータの充実等によって、効果的な立体モデル教材の検討や工夫、改良も進めやすくなっている。当初は曲面のみを作成していたが、これらを改良し、扱いやすい大きさに設定した「定義域」を底面とする柱を考え、上面を2変数関数のグラフとするスタイルで作成をしている(図3右)。

併せてグラフ上や側面に曲線を入れることにより、曲面と平面の交線をイメージすることができるようになった。また、なめらかさを敢えておさえることにより現れる「等高線」が、2変数関数の値についての数学的情報を与えることも利用できる。問題解決に必要な計算のための数学的情報は、最終的にはやはりプリント教材やスライド教材によって提示することとなるが、ある程度的情報を立体モデル教材上に表わすことが効果的であるのは言うまでもない。



図3 光造形方式(左)と熱溶解積層方式

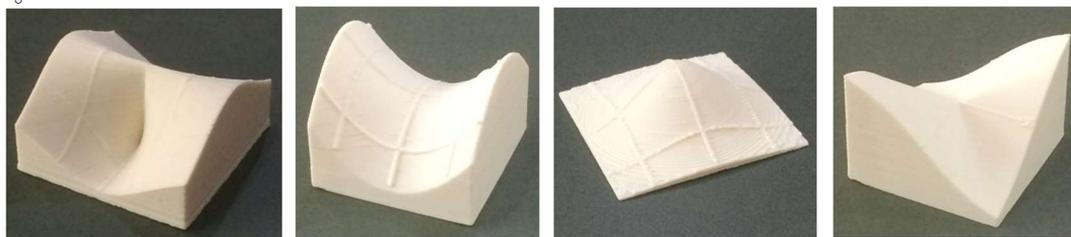


図4 立体モデル教材

実際の授業においては、学生からも「立体モデルがあるとイメージしやすい」「友人と話をしながら理解できるのが良い」などの反応がある。また、個別の質問時においても、特に機器の準備を必要としない立体モデルは、基本的なグラフが揃っていることにより、「その関数のグラフはこの形」などとすぐに提示ができる良さがある。

また、3Dプリンタによる教材の作成は、工学系の学生を中心に興味を持つ様子もうかがわれ、関数の入力から始まる製作の過程についても数学の理解につながる可能性がある。

(2) タブレット教材は、これまで3Dビューアなどのソフトウェアをインストールして利用してきたが、OSの更新にソフトウェアが対応しないこともある。今後は、学生の所有するPCやタブレット、スマートフォンに表示することも多くなると考えられるため、特別なソフトウェアを必要としない教材の提示方法が有効である。

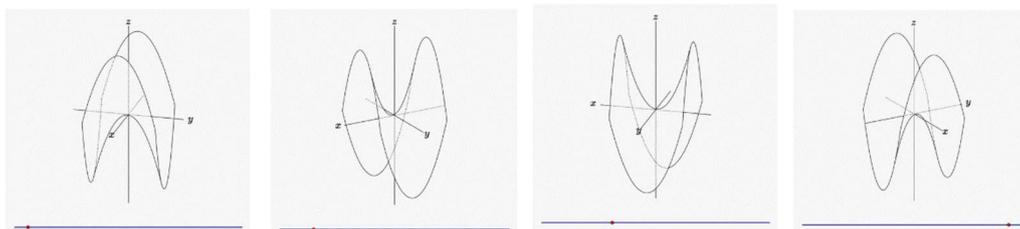


図5 HTML教材

図5は、HTML形式の図形教材であり、一般のブラウザ上で表示が可能である。下にあるスライダーを操作することにより、空間図形を $z$ 軸のまわりに回転させることができる。上記の教材は、学生がPCやスマートフォンの利用できる環境にあるという前提があれば、実際の授業や学生の自学自習、あるいは遠隔授業など、様々な場面で有効に利用できると考えられる。

- (3) 2020年度は多くの高専や大学でリモート授業が実施され、数学教育においても、スライドを用いた教材が準備され、使用されていた。KeTCindyにはPDF形式のスライド作成機能が整備されており、思い通りの場所に図形を配置できる。この機能を用いると、パラパラ漫画のように図形を動かすことができる(図6)。

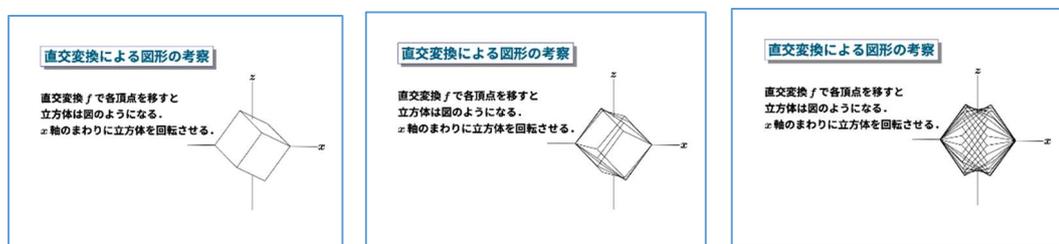


図6 スライド教材

上記は、「直交変換」を用いて「立方体の回転」を考察するというスライド教材であり、新しい図形の提示方法から開発された教授法である。

HTML形式によるインタラクティブな教材の提示についても、スライダーの利用やアニメーション形式など、効果的な方法の検討が新たな教授法の開発につながるものと考えられる。今後も教材例を充実させ、また、教員のアイデアを容易に作成できるシステムとしての整備を進めたい。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 濱口直樹, 高遠節夫	4. 巻 44
2. 論文標題 数学教育における図形教材の提示方法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本科学教育学会年会論文集	6. 最初と最後の頁 203-204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14935/jssep.44.0_203	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高遠節夫, 濱口直樹	4. 巻 2178
2. 論文標題 Web利用の理数教育に役立つ数式送受システムの開発	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 濱口直樹, 高遠節夫	4. 巻 43
2. 論文標題 数学教育における立体モデル教材の効果的利用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本科学教育学会年会論文集	6. 最初と最後の頁 165--166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 濱口直樹, 高遠節夫	4. 巻 2142
2. 論文標題 空間図形教材の作成環境の整備	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 163--168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 濱口直樹, 高遠節夫	4. 巻 2067
2. 論文標題 空間図形の理解を助ける授業設計とその評価 スライド・タブレット・立体モデルの併用	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 170--176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 濱口直樹, 高遠節夫	4. 巻 42
2. 論文標題 立体モデルおよびタブレット・スライドを併用した空間図形教材の教育効果	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本科学教育学会年会論文集	6. 最初と最後の頁 91--92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 濱口直樹, 大島利雄, 高遠節夫	4. 巻 2105
2. 論文標題 多面体からできる回転体の教材作成とその利用について	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 19--25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 濱口直樹, 高遠節夫
2. 発表標題 空間図形に関する動的教材の作成
3. 学会等名 第3回数学教育セミナー「TeXによる教材作成」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高遠節夫, 濱口直樹
2. 発表標題 Web利用の理数教育に役立つ数式送受システムの開発
3. 学会等名 RIMS研究集会「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 濱口直樹, 高遠節夫
2. 発表標題 数学教育における図形教材の提示方法
3. 学会等名 日本科学教育学会第44回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naaki Hamaguchi, Toshio Oshima, Setsuo Takato
2. 発表標題 A teaching material for orthogonal transformations using rotation of cuboid
3. 学会等名 Applications of Computer Algebra 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 濱口直樹, 高遠節夫
2. 発表標題 数学教育における立体モデル教材の効果的利用
3. 学会等名 日本科学教育学会第43回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 濱口直樹, 高遠節夫
2. 発表標題 空間図形教材の作成環境の整備
3. 学会等名 RIMS研究集会「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoki Hamaguchi, Setsuo Takato
2. 発表標題 Effective combinations of several types of teaching materials
3. 学会等名 CADGME2018 - Conference on Digital Tools in Mathematics Education (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 濱口直樹, 高遠節夫
2. 発表標題 立体モデルおよびタブレット・スライドを併用した空間図形教材の教育効果
3. 学会等名 日本科学教育学会第42回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 濱口直樹, 大島利雄, 高遠節夫
2. 発表標題 多面体からできる回転体の教材作成とその利用について
3. 学会等名 RIMS研究集会「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Sample files  
https://hamax5.github.io  
ketcindy - Creating graphics for TeX  
https://ctan.org/pkg/ketcindy  
Samples of KeTCindy  
https://s-takato.github.io/ketcindysample/

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	高遠 節夫  (Takato Setsuo)  (30163223)	東邦大学・理学部・訪問教授    (32661)	
研究分担者	大島 利雄  (Oshima Toshio)  (50011721)	城西大学・理学部・客員教授    (32403)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------