

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：51401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2019

課題番号：16K12771

研究課題名(和文)空間認識能力育成ソフトの開発および高専数学における空間認識能力評価指標の構築

研究課題名(英文) A software development and construction of evaluation indicators of 3-dimensional spacial recognition capability for Kosen mathematical education

研究代表者

佐藤 尊文 (SATO, Takafumi)

秋田工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：40321385

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：カメラで数式を読み取り3次元グラフを表示するソフトを開発した。AR(拡張現実感)技術によって特定マーカ上に表示し、タップやドラッグの操作で大きさや視点を変えてグラフを観察できる。学生の様々な端末に対応する為、Windows版とAndroid版を開発した。カメラで読み取れない場合は、手書き入力によって数式を取り込むことができる。空間図形認識能力を評価する指標の構築を行い、それに基づくCBT(Computer-Based Testing)を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

開発した3次元グラフ表示ソフトは、AR(拡張現実感)技術により、大きさや視点を変えてグラフを観察でき、グラフに対する学生の苦手意識軽減が期待できる。カメラで読み取るだけであり、グラフを表す式の複雑な入力方法を覚える必要がない。多くの学生が持つスマホやタブレットで動作する。以上のことから、能動的学修の推進につながる。全国算数・数学教育研究大会や高専シンポジウムにおいて、本ソフトのデモを行い、実際に使ってもらって好評を得ている。

研究成果の概要(英文)：Our 3D-graph software displays various surfaces in 3-dimensional coordinate system. It captures a two variables function by a camera, and displays the 3D-graph of the function on the predetermined marker by AR (Augmented Reality). Touch gestures such as pinch, tap and flick act as scaling and rotation of the 3D-graph. To support various devices of students, we developed the software for Windows and Android. Handwriting input system is equipped to deal with the case that the function is not captured by the camera. We constructed evaluation indicators of 3D spacial recognition capability, and carried out CBT (Computer-Based Testing) based on the indicators.

研究分野：数学

キーワード：3次元グラフ AR(拡張現実感)技術 主体的な学び 高専教育 工学教育 空間図形認識力

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 高等専門学校などの工学教育において、空間認識能力の育成は必須の条件である。しかし、数学の授業などで 3 次元のグラフを短時間で黒板に分かりやすく描くのは容易ではない。そこで、AR (拡張現実感) 技術を利用したパソコン用ソフトを開発した。カメラで AR マーカを写す作業だけでグラフを表示することができるソフトである。ただし、各マーカに前もって用意された 1 つのグラフを表示することしかできず、汎用性に欠けるものであった。そこで、数式をカメラで撮影し、すぐに 3 次元のグラフを表示することができるソフト (写メって使えるグラフ表示ソフト) の開発を目指すこととした。

現在の学生は、生まれた時から携帯用のゲームなどが身近にあり、2 次元に 3 次元が表示されることに慣れていることから、常に受け身で、空間図形を自分の力でイメージする機会に乏しい。そこで、学生が使い慣れている端末を利用し、直感で使うことができるソフトを開発することにより、空間図形に対する敷居を低くすることができると思う。

(2) (1) のソフトの改良およびソフトを利用した授業コンテンツの開発には、「数式から取得される空間図形の認識力」を評価するような新たな指標が必要と考えた。そのような評価指標を構築した上で、(1) のソフトを利用したアクティブ・ラーニングによる教育実践を行い、その効果を検証する。その検証結果をもとに、高専の数学など空間図形を扱う分野での授業手法を構築する。これらを並行して進め、ソフトの改良と教材開発を行うことを目指した。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究は、学生が普段使い慣れたツールを利用して、マニュアル不要で簡単に使えるソフトの開発を目的としている。既存の 3 次元 (3D) グラフ表示ソフトは、高度な機能を備えているが、それぞれに数式の入力方法が異なり、使い方に慣れるのに非常に時間がかかる。授業で導入する際など、使い方の説明に時間を取られ、即座に能動的学修を促すことは難しい。そこで、数式をカメラで写すだけで、その関数や方程式のグラフをスマートフォンやタブレットなどの端末に表示することができる、3D グラフ表示ソフトの開発を目指す。

さらに、平行移動や回転などを体感することができる機能を装備し、また変更された数式を表示し、抽象的な数式と目に見えるグラフとの関連を学生が容易に理解できるようにすることを目指す。

また、学生の所持する様々な端末に対応する為、複数の OS で動作することを目標とした。

(2) 開発したソフトを、各高専で導入が始まったアクティブ・ラーニングに導入し、その教育的効果を検証することも目的の 1 つである。その効果を測る為、「数式から取得される空間図形の認識力」を評価するような新たな指標 (以降、空間認識指標) を構築する。その検証をもとに、数学などのグラフを扱う分野における教育手法を構築し、高専における数学教育のコンテンツとして、社会へ発信することを目指す。

### 3. 研究の方法

#### (1) ソフトの開発について

ネットワーク環境がない状況でも動作することを方針とした。ネットワーク環境の有無や通信料を気にすることで学生が気軽に利用できなくなり、能動的学修が抑制されることを避ける為である。

数式の取り込みには高機能でマルチプラットフォームに対応している市販の OCR (Optical character recognition) の利用も検討した。いくつかを調べたが、ソフトの完成後、ソフトのダウンロードごとに利用料金がかかるなど、実際に授業で使用する場合のライセンス料が高価だった為、早い段階で断念した。活字の数式をカメラで読み取る機能は実現できたが、学生の能動的学修の為には、手書きの数式も読み取れる必要があった。そこで、カメラでの数式読み取りとは別に、タブレットなどにタッチペンで数式を手書き入力する機能の開発を行った。

はじめに Windows 版の開発を行った。これは、秋田高専にアクティブ・ラーニング用の Windows タブレットが数十台あり、ソフトをアクティブ・ラーニングに導入し、その教育効果を検証するのに適していた為である。続いて、Android 版の開発に取り掛かった。これは多くの学生が所持しているスマートフォンでの利用を考えたことによる。

開発環境については、以下の通り。

OS : Windows 10 Pro 64bit、

IDE : VisualStudio2015, VisualStudio2017, Unity、

開発言語 : VisualC++, C++, C#, RScript、

ライブラリ : ARToolKit, OpenGL, Seshat, R.NET, Vuforia7, AndroidSDK, Math Parser.NET

#### (2) 空間認識指標の構築について

空間認識に必要な知識を分解し、それぞれのレベルごとにルーブリックを設定した。

各々の段階に応じた問題を複数準備し、CBTの形に落とし込んだ。  
CBTは全国の国立高専で利用可能なBlackboardで作成した。  
学校に依存しないよう、秋田高専および鶴岡高専にてソフトの利用前と利用後の違いを計測するようにした。

#### 4. 研究成果

##### (1) ソフトの開発について

Windows版については、以下のような機能を実現した。(a)カメラによる数式の取込、(b)数式の手書き入力、(c)ARマーカ上のグラフ表示、(d)タッチ操作によるフレーム表示への切替、(e)フリック操作による回転表示

(a)については、ある教科書の数式はほぼ読み取れるが、他社の教科書では読み取りの失敗が発生する。具体的には、指数の文字の大きさ・高さ、分数や根号の横線と文字との距離などが出版社によって異なる為、読み取り失敗の原因となる。また、活字になっていない数式については、学生が紙に手書きしたものをカメラで写すことになるが、その読み取り精度を上げるのは簡単ではなかった。機能(a)の精度を上げる作業は保留し、機能(b)を強化することとした。

(b)については、手書き数式認識ライブラリ Seshat を利用し、タブレットに手書き入力された数式を高精度で読み取ることが可能となっている。そもそも手元にタブレットがあるならば、紙に書いた数式をカメラで読み取るより、直接手書き入力するのが自然ともいえる。図1はタブレット端末に数式を手書き入力する様子である。図2および図3は入力結果が正しいかどうかをグラフ表示前に確認する場面である。図4はグラフをARマーカ上に表示している場面であり、マーカに対して角度を変えたり回り込んだりすることで、3次元のグラフを色々な視点から観察できる。



図1 手書き入力

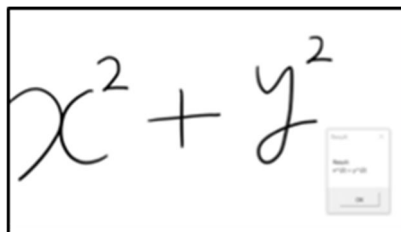


図2 入力結果

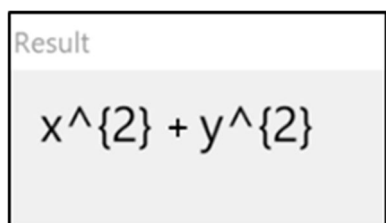


図3 関数認識状況

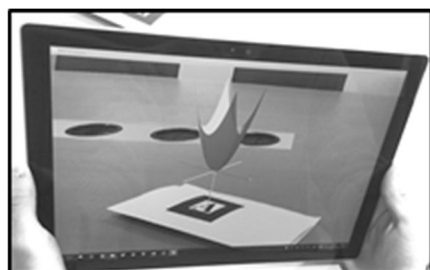


図4 グラフ表示

(c)~(e)については、Windows以外のOSで動作するものの開発を優先したことにより、まだ単純な機能しか装備されていない。今後、様々な機能を追加していく予定である。特に、重積分の授業に関連して様々な断面を表示する機能を追加したい。

Android版については、以下のような機能を実現した。(a)数式のタイプ入力、(b)ARマーカの自由度の拡大、(c)ARマーカ上のグラフ表示、(d)ARマーカによる表示モードの切替

(a)について、Android版では、ペンの動きを保存し取り出す仕組みが解決できず、手書き入力機能の開発を保留した。代替として、数式のタイプ入力機能を装備した。一度生成した3Dデータは手軽に配布可能であり、主な3Dデータはあらかじめ格納しておき、選択できる仕組みもある。

(b)について、Windows版では幾何学的で簡素なマーカであったが、Android版ではマーカの自由度が拡大しており、図5~図9にあるようなものも採用可能である。マーカの自由度が拡大されることにより、教材開発の幅も広がると考えている。

(c)について、Android版では、グラフの表示にUnityを採用しており、Windows版よりも見た目がよくなっている。Unityは多様なプラグインを利用でき、また、OS間の違いを吸収できるものとなっており、Windows版の改良や他OS版の開発が今後の目標である。

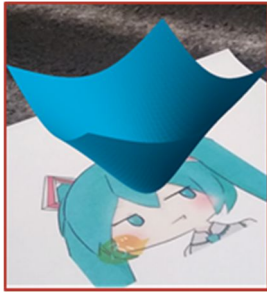


図 5  $\log_2(x^2 + y^2)$

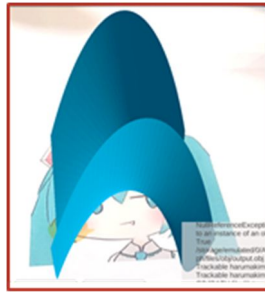


図 6  $x^2 - y^2$

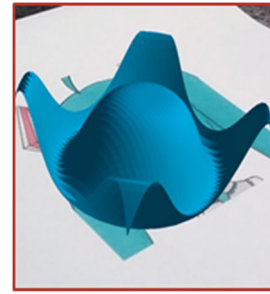


図 7  $\cos(x^2 + y^2)$

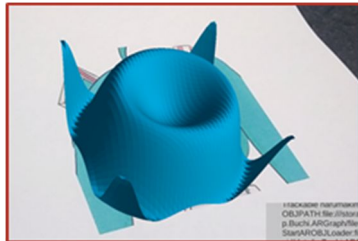


図 8 面表示

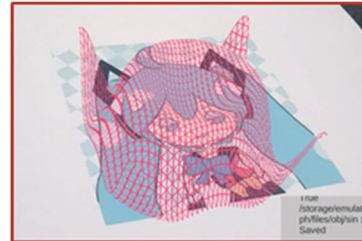


図 9 ワイヤフレーム表示

(d)について、AR マーカの違いにより表示モードを切り替えることができる(図 8, 図 9)。このように、マーカによって動作を変えられることは教材開発の幅を広げると考えている。

## (2) 空間認識指標の構築について

高専数学における空間認識に必要な知識を、空間の座標、式と図形の対応、立体と座標平面の関係、重積分に関する知識、空間ベクトル、の5つに分けて測ることとした。それぞれにループリックを作成し、対応する問題を複数用意した。Blackboard を利用した CBT を作成・実施し、その結果について分析・検討したが、まだあまりよい評価指標となっていない。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 森本真理, 佐藤尊文, 野々村和晃
2. 発表標題 空間認識指標の構築について
3. 学会等名 第100回全国算数・数学教育研究大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松淵勇真, 森本真理, 佐藤尊文, 伊藤桂一, 野々村和晃, 武井由智
2. 発表標題 Android OSで表示可能な3DグラフのARアプリの開発
3. 学会等名 第24回高専シンポジウム in Oyama
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森本真理, 松淵勇真, 佐藤尊文, 伊藤桂一, 野々村和晃
2. 発表標題 ARを用いた関数入力容易な3Dグラフの表示ソフトの開発
3. 学会等名 第23回高専シンポジウム in KOBE
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森本真理, 尾辻健太郎, 伊藤桂一, 佐藤尊文, 野々村和晃
2. 発表標題 ARを用いた数式の3次元グラフ表示ソフトの開発
3. 学会等名 国際会議STI-Gigaku 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森本真理, 尾辻健太郎, 伊藤桂一, 佐藤尊文, 野々村和晃
2. 発表標題 ARを用いた3Dグラフ表示ソフトの開発
3. 学会等名 第22回高専シンポジウムin Mie
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	森本 真理  (MORIMOTO Mari)  (60369923)	秋田工業高等専門学校・その他部局等・准教授   (51401)	
研究分担者	伊藤 桂一  (ITOHI Keiichi)  (20290702)	秋田工業高等専門学校・その他部局等・教授   (51401)	
研究分担者	野々村 和晃  (NONOMURA Kazuaki)  (00413732)	鶴岡工業高等専門学校・その他部局等・准教授   (51501)	