

令和元年5月16日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00921

研究課題名(和文) パーチャルリアリティ技術を応用した体感型教材の開発 空間図形の場合

研究課題名(英文) Development of learning materials with sensation by using virtual reality technology - in the case of three dimensional figures -

研究代表者

入江 隆 (Irie, Takashi)

岡山大学・教育学研究科・教授

研究者番号：70253325

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)：学習者が仮想空間に呈示された空間図形に対して直感的な操作を行うことで、空間図形の性質を身体感覚として理解できる教材の開発を行った。(1) 基本的な空間図形の性質を体感する教材、(2) 正多面体(プラトンの立体)と半正多面体(アルキメデスの立体)を学習する教材、(3) 正多面体の切頂推移を学習する教材の三つの教材を開発した。いずれの教材においても、呈示された空間図形に対して接触、把持しての移動・回転等の操作、及び3視点方向からの同時観察が可能となっている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

力覚デバイスはバーチャルリアリティ空間を触覚・力覚的に体験するためのツールとして開発された。当初は装置が高額であったため、研究目的あるいは特殊な用途(工業デザイン、医療技術教育など)でのみ利用されてきた。本研究では初等教育及び高等教育における利用を目的とし、生徒・学生が最新技術に触れ、新しい体験とともに学習することのできる教材を開発した。教材の最大のメリットは「実際には触れないものに触ることができる」ことであり、インタラクティブで体感的教材は、特に学習初心者の理解向上に有効であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The learning materials, which allow learners instinctive handling of three dimensional figures in the virtual reality space and offer them the characteristics of those figures through visual and kinematic sense, were developed by using a haptic device.

(1) The material to experience the characteristics of basic three dimensional figures. (2) The material to experience the characteristics of regular polyhedrons and semi-regular polyhedrons. (3) The material to experience the transition of regular polyhedrons by truncation. In all materials, learners were able to contact the figures, hold them, move them, rotate them, and observe them from three directional view.

研究分野：科学教育(技術教育)

キーワード：教材開発 空間図形 パーチャルリアリティ 力覚 体感

様式 C - 19, F - 19 - 1, Z - 19, CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

バーチャルリアリティ研究において、仮想空間に配置された仮想物体への接触ツールとして力覚デバイスが開発された。我々は力覚デバイスの教材利用に早くから着目し、構造力学・材料力学のエッセンスをリアルに体験しながら学習する教材の開発を行ってきた。力覚デバイスを利用した教材の最大のメリットは「実際には触れないものに触ることができる」ことであり、抽象的内容を扱う一方でその理解に身体感覚が重要となる数学は最適な教育分野であった。「触覚体験との親和性」及び「視覚情報に頼った空間図形学習の限界」等の観点から仮想空間に呈示された空間図形に直接触ってその性質を体感的に学習できる教材開発の着想を得た。

### 2. 研究の目的

本研究は空間図形の性質を学習する教材の開発を行う。力覚デバイスを利用することにより、学習者がディスプレイ内に表示された空間図形の存在を体感し、直感的な操作を行うことで、空間図形の性質を身体感覚として理解できるマルチメディア教材の開発を目指す。視覚情報に触覚情報を付加することにより、学習者の体験は極めてリアルなものとなり、学習効果の向上が期待される。

### 3. 研究の方法

開発する教材は PC と力覚デバイスにより構成され、PC のディスプレイに表示される仮想空間及び呈示される空間図形のグラフィクスと力覚デバイスで提示する触覚（反力）制御のためのプログラミングが研究の中心となる。グラフィクス及び力覚デバイスの制御についてはスタンフォード大学が開発した API である chai3d を使用した。

### 4. 研究成果

#### (1) 基本的な空間図形の性質を体感する教材

開発教材を使用する様子を図 1 に示す。学習者はディスプレイ正面に着座し、力覚デバイスは利き腕の前方に設置する。学習者は力覚デバイスのハンドル部を動かすことでディスプレイ内のポインタを操作する。図 2 にディスプレイ画面の一例を示す。円錐の前に球形ポインタが表示されている。現実空間で学習者がハンドル部を前後・左右・上下方向に移動させると、それに応じて仮想空間内のポインタが移動する。ポインタが空間図形と接触すると、ポインタは空間図形内部に侵入することができず、力覚デバイスのハンドル部を介して反力が呈示され、学習者は空間図形の存在を力覚的に体感することができる。ポインタ空間図形と接触させた状態でハンドル部に装着されたボタンを押すと空間図形を把持することができる。ボタンを押したままハンドル部を動かすと空間図形を移動させることができる。また、ハンドル部は回転運動も可能であり、回転角・方位角・仰角を検出することで、把持している空間図形を回転させることもできる。図 3 に空間図形を移動し、回転させている様子を示す。

ディスプレイ画面は 4 つの区分から構成されている。左側の最も大きな区分には空間図形を正面から見た様子が表示されている。右上の小さい区分には同じ空間図形を上側から見た様子、その下の区分には右横から見た様子を表示している。3 視点方向から同時に観察することにより、空間図形の性質の把握が容易となる。右下の区分には表示可能な空間図形のリストを表示している。

表示可能な空間図形は、小学校算数科で扱う球、円錐、正四面体、四角錐、三角柱、立方体、正八面体とした。これらの空間図形に数字を割り振り、キーボードの数字キーを押すことにより空間図形を切り替えて表示できるようにした。



図 1 学習者の様子（右利き）



図 2 仮想空間上に表示される球形ポインタ



図 3 空間図形の移動と回転

(2)正多面体（プラトンの立体）と半正多面体（アルキメデスの立体）を学習する教材

前述の教材は小学校算数科で扱う基本的な空間図形を扱っていたが、これを拡張して高等教育において扱われる正多面体（プラトンの立体）と半正多面体（アルキメデスの立体）を体感的に学習する教材を開発した。ここで正多面体は、すべての面が同一の正多角形で構成され、すべての頂点において接する面の数が等しい凸多面体であり、正四面体、正六面体、正八面体、正十二面体、正二十面体の五種類が存在する。半正多面体は、正多面体ではない凸な一様多面体であり、一様多面体の条件は全ての面が正多角形で、頂点形状が合同なことである。対称性が低い角柱・反角柱・ミラーの立体は除かれ、全部で13種類ある。表1にそのリストを示す。正多面体には数字キー、半正多面体にはアルファベットキーを割り当てている。変形立方体（Snub Cube）と変形十二面体（Snub Dodecahedron）については鏡像があり、ねじる方向によって2つに分かれるため、右方向のねじり（R）と左方向のねじり（L）に分け、計20種類となっている。同表の「キー」をキーボード入力することで、呈示する空間図形を切り替えることができる。

図4に正十二面体（Dodecahedron）、図5に変形十二面体L（Snub Dodecahedron L）を仮想空間に呈示している様子を示す。これらの空間図形に対しても接触、把持しての移動・回転等の操作、及び3視点方向からの同時観察が可能である。

表1 正多面体と半正多面体のリスト

キー	空間図形
1	Tetrahedron
2	Cube
3	Octahedron
4	Dodecahedron
5	Icosahedron
A	Truncated Tetrahedron
B	Truncated Cube
C	Truncated Octahedron
D	Truncated Dodecahedron
E	Truncated Icosahedron
F	Cuboctahedron
J	Icosidodecahedron
H	Rhombicosidodecahedron
I	Truncated Icosidodecahedron
J	Rhombicuboctahedron
K	Truncated Cuboctahedron
L	Snub Cube R
M	Snub Cube L
N	Snub Dodecahedron R
O	Snub Dodecahedron L

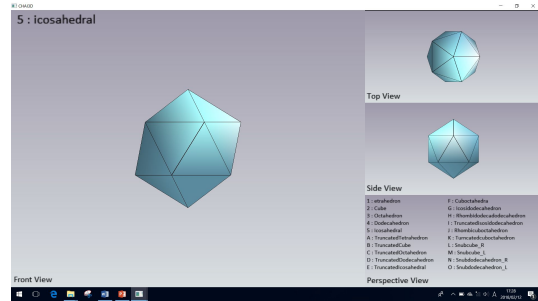


図4 正十二面体

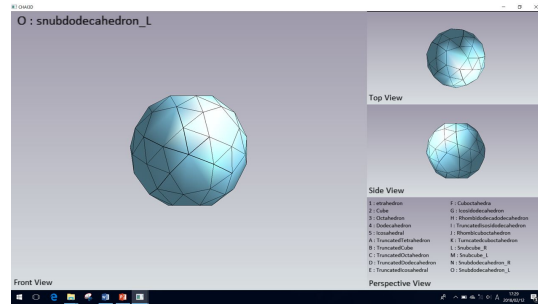


図5 変形十二面体 L

(3)正多面体の切頂推移を学習する教材

正多面体のある規則に従って切断していくと、別の正多面体が切り出される。切り出された正多面体に対しても規則に従った切断を行うと、また別の正多面体を切り出すことができる。必ず頂点を含んで切断することから、この変化を切頂推移と呼ぶ。図6に示すように様々な切頂推移が存在する。この中で正六面体 正四面体 正八面体 正二十面体 正十二面体（再び）正六面体と一巡

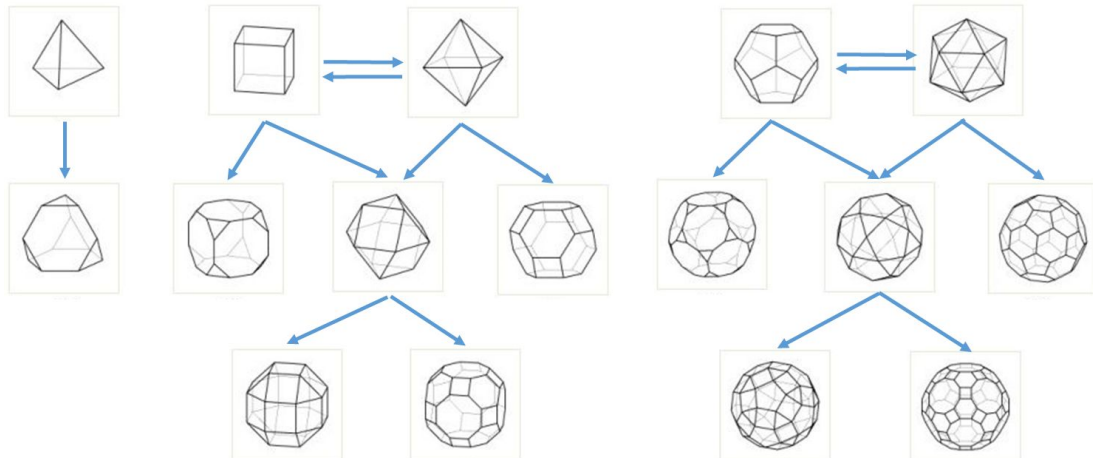


図6 切頂推移

する流れがある。この切頂推移の流れを体感的に学習する教材を開発した。

図7に教材の初期画面を示す。正六面体が呈示されているが、これまでの教材と同様にポイント操作により接触、把持しての移動・回転等の操作、及び3視点方向からの同時観察が可能である。

キーボードの右矢印キーを押すと図8の画面に切り替わる。これは正六面体に対して切頂が行われた状態であり、切断部（パーツ）が赤色、切り出された正四面体を青色で示している。同図では正四面体が内部に埋もれた状態であり、どこから見てもパーツの赤色だけが見えている。この状態においてもパーツと正四面体に対して接触、把持しての移動・回転等の操作が可能である。埋もれている正四面体に接触するためには、パーツを移動させる必要があり、この作業を通してパーツの形状を確認し、どのような切断が行われているのか体感的に理解することができる。もう一度右矢印キーを押すと図9のように、パーツが消去され、切り出された正四面体のみが呈示される。ここで切頂推移を行うと切り出された正多面体は順次小さくなってしまいうため、パーツを消去する際に、埋もれていた正多面体をリサイズ（拡大）している。さらに右矢印キーを押すと次の切頂が行われ、パーツと切り出された正八面体が呈示される。

キーボード操作による切頂の流れを図10に示す。右矢印キーにより正六面体から正二十面体までの切頂推移が行われる。正二十面体 正十二面体 正六面体の推移は未完成である。同図に示すように左矢印キーを押すと逆方向の推移を確認することができる。

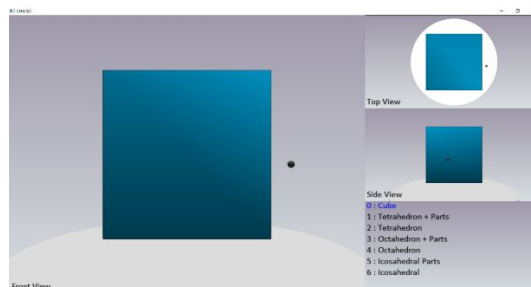


図7 切頂推移の初期画面（正六面体）

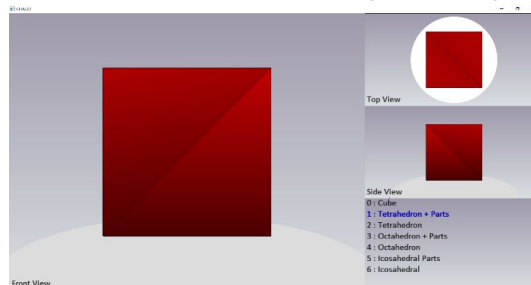


図8 切頂が行われた状態

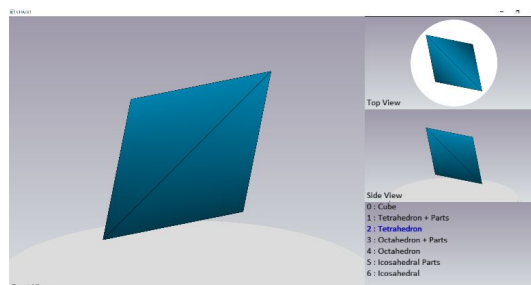


図9 パーツが消去された状態（正四面体）



図10 キーボード操作による切頂の流れ

## 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計2件)

Takashi Irie, Yuta Inoue, Development of an Interactive Learning Material for Truss Structure by using a Haptic Device., The 13<sup>th</sup> International Conference on Technology Education in the Asia Pacific Region, pp.100-101, 2019

井上雄太, 入江隆, 立体図形を体感的に学習するインタラクティブ教材の開発, 日本産業技術教育学会第34回四国支部大会, 2018

〔その他〕

ホームページ等

[https://edu.okayama-u.ac.jp/~gijutu/irie/IRIE\\_Lab\\_HP\\_JP.htm](https://edu.okayama-u.ac.jp/~gijutu/irie/IRIE_Lab_HP_JP.htm)

## 6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：岡崎 正和

ローマ字氏名：OKAZAKI, masakazu

所属研究機関名：岡山大学

部局名：大学院教育学研究科

職名：教授  
研究者番号（8桁）：40303193

研究分担者氏名：中川 征樹  
ローマ字氏名：NAKAGAWA, masaki  
所属研究機関名：岡山大学  
部局名：大学院教育学研究科  
職名：准教授  
研究者番号（8桁）：50370036

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。