

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25330437

研究課題名(和文)幾何学的曲面を用いた視覚楽器の研究

研究課題名(英文)Study of Visual Instruments Based on Geometric Surfaces

研究代表者

松浦 昭洋(Matsuura, Akihiro)

東京電機大学・理工学部・准教授

研究者番号：50366407

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、人が巧みに操ることで豊かな視覚的表現が可能な装置・道具を「視覚楽器」と呼び、視覚楽器の体系的理解と新たな視覚楽器の創出を目指し、既存の視覚楽器と呼びうる装置・道具の分類、幾何学的曲面を用いた視覚楽器とその操作法の考案・開発、操作時の視覚楽器の運動の数理的・物理的解析とシミュレーション、実演方法の開発・修得・実践、視覚楽器のマルチモーダル化、視覚楽器の教具・組立玩具等への応用について研究し、成果を得た。

研究成果の概要(英文)：In this study, we call the instruments that make us create rich visual expressions as visual instruments and explored the following themes for systematic understanding of visual instruments and creation of new instruments: Classification of existing visual instruments; development of visual instruments based on geometric surfaces and their manipulation methods; mathematical and physical analysis of the movements of created visual instruments and their simulation; development of demonstration and performance methods, their mastery, and the actual demonstrations and performances; development of multi-modal systems based on the proposed visual instruments; and applications of visual instruments for teaching materials of mathematical concepts and construction toys.

研究分野：数理情報学、インタラクション

キーワード：視覚楽器 幾何学的曲面 分類 転がり 運動解析 マルチモーダル インタラクティブシステム 組立玩具

1. 研究開始当初の背景

人が巧みに操り、受けとる人の感覚を刺激する表現が可能な装置・道具として、聴覚的・音楽的表現が可能な「楽器」が知られ、その考案・開発、楽器の操作・演奏、表現の創作(作曲)鑑賞や批評、学術的研究など、様々な方向での取り組みがある。しかし、他の感覚に関しては、これまで、触覚楽器の概念と試作品は提示・検討され、さらに視覚・触覚・味覚・味覚等の感覚を刺激する情報提示装置・ディスプレイの研究は進展しているものの、人が巧みに操作し感覚を刺激する表現を行う、楽器に対応する装置・道具やその表現方法の考案・開発・体系的な研究は乏しいのが実状である。

本研究では、五感の中で特に視覚に焦点を当て、人が巧みに操ることで豊かな視覚的表現が可能な装置・道具を「視覚楽器」と呼ぶこととする。既存の視覚的・操作的表現の中で視覚楽器と呼びうる装置が用いられるジャンルとしては、新体操、大道芸、太神楽、サーカス、ジャグリング、マジック、遊具や玩具、身体自体も装置と考えればダンスなどが挙げられる。しかし、これらのジャンルにおいて多くの装置の多くは旧来より知られており、創造的な考案・発明・利用等がなされる場合も、断片的な装置に関するものであったり、既存の装置を用いた技や演出の考案・工夫の場合が多い。視覚楽器全体の包括的理解や新たな楽器やアート・エンタテインメントジャンルの創出のためには、従来の視覚楽器と呼びうる装置の体系的な理解とともに、数学、物理学、情報科学、アート、デザイン、エンタテインメント、パフォーマンスアート、分類学など様々な分野間の横断的な取り組み、融合が必要とされるが、そのような研究は著者らの知る限り、ほとんど行われていない。

2. 研究の目的

本研究では視覚楽器と呼びうる装置・道具の体系的な理解と新たな視覚楽器の創出を目指し、次の事項の解明、開発等を行う。

視覚楽器の分類

幾何学的曲面を用いた視覚楽器と操作法の開発、運動の数理的・物理的解析とシミュレーション

実演方法の開発・修得・実践

視覚楽器のマルチモーダル化

視覚楽器の教具・玩具への応用

3. 研究の方法

研究の進め方として、視覚楽器の分類では、視覚楽器と呼びうる既存の装置・道具の蓄積および適切な分類方法の検討を行い、分類法を考案した。視覚楽器の開発、運動の数理

的・物理的解析およびシミュレーションは、複数の楽器に関して助成期間中並行して行い、試作とシミュレーション結果から、視覚楽器として優れた審美的価値や運動性・操作性をもつものを探求した。視覚楽器の実演方法の開発は、製作した楽器に対して行い、実際に技術を修得した後、国内外の会議やデモ・展示発表会で実演を行った。マルチモーダルな感覚楽器への拡張は、シリンダー状の凸曲面を複数並べた視覚楽器に対して行い、曲面と棒をデバイス化し、曲面装置を曲面ディスプレイとし棒をインタフェースとするインタラクティブシステムを開発した。最後に、視覚楽器開発の過程で、装置の幾何学的形状や操作法が教具や玩具に適すると考えられたものは知育玩具として開発し、使用方法とその数理的性質を検討した。

4. 研究成果

2章、3章に述べた課題を踏まえ、下記五点に関し成果が得られた。

(1) 視覚楽器の分類

視覚楽器の分類基準を考案し、既存の装置・道具類を分類した。使用した最上位の基準は、道具が操作される身体部位に拘束されるか否か(拘束系・非拘束系)と、道具の動きが動的か否か(運動系・静止系)の二基準である。それらの禰掛けにより、四つのカテゴリーに分類し、さらに、運動系の道具は、運動の種類や道具形状で細分した。その結果、検討した既存の装置・道具が、本分類により、いずれかのカテゴリーに含められることを確認した。

(2) 視覚楽器と操作法の開発と運動解析

シリンダー状凸曲面を用いた視覚楽器
シリンダー状凸曲面を複数並べた装置や円筒面装置上で棒を転がす視覚楽器を製作し、さらに、棒を様々なリズム、パターンで転がす操作法を開発し、一人で四本までの棒を同時に転がし操作することが可能であることを確認した。また、棒を両端に質点のついた線分と見なし、曲面上で線分を転がす物理モデルを構築し、運動方程式を立て、棒の角加速度の厳密解を導出した。さらに、本式を用いて、凸曲線として楕円、放物線、懸垂線等を使用できる2D、3Dの物理シミュレータを構築し、棒の回転運動や軌跡の可視化を行った。動作中のシミュレータ画面を図1に示す。

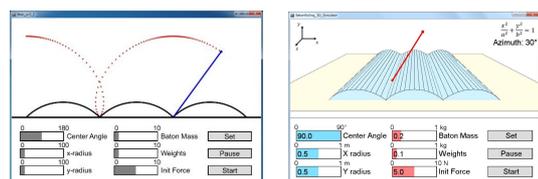


図1 棒回転シミュレータ(2D, 3D)

負の曲率をもつ曲面を用いた視覚楽器
 上記における棒の運動は平面的だが、棒によるより多様な運動や表現を許容するため、棒の転がりやすい双曲放物面的曲面を複数個円弧状に配置し、棒を連続的に転がすことが可能かを、実際に石膏等で装置を試作し、検討した。その結果、連続する四曲面上で棒が滑らかに転がるものを発見した(図2)。



図2 四曲面上での棒の回転

続いて、連続した転がり可能な曲面を網羅的に探索するため、3DCADソフトを用い、曲面や棒のさまざまな幾何学的・物理的パラメータ(曲面の曲率、棒に与える荷重や方向、棒や曲面の剛性、摩擦係数等)を変更しながら、曲面の3Dモデル上で棒回転のシミュレーションを行い、適切なパラメータを決定する探索手法を考案し、助成最終年度に、転がる複雑な曲面と棒の条件の発見を目指した。その結果、一曲面上で棒が滑らかに転がる条件は発見できたが、複数曲面上を連続して転がる条件は発見できなかった。その要因としては、曲面の3Dモデルや棒・曲面の剛性、摩擦係数等の自動変更による探索の自動化が実現できなかった点が大きく、その実現と曲面の発見は今後の課題である。

羽根形状視覚楽器

凸形状の羽根(葉)の部位をいくつか有し、手に持って操作する視覚楽器で、独立した二装置間でバランス操作や転がり操作を行う視覚楽器を開発した。三つ羽根をもつ視覚楽器の例を図3に示す。本装置は、一つの装置をもう一つの凹部または別の部位上に載せバランスさせる(左図)、バランス後に上部装置を投げ上げ、下部装置のいずれかの部位で受けとめバランスさせる、さらに、一つの装置をもう一つの凹部に載せてバランスさせた後、下部の装置を中心周りに回転させ、下部装置の隣接する凹部で上部装置の羽根先端部を受けとめ、再びバランス状態に入る(右図)などの基本的な操作方法をもつ。これらを両手、両回転を考慮し、技を組み合わせた全身を用いたバリエーションを考案することで多様な技を実現できる。



図3 三つ羽根をもつ視覚楽器の操作例

また、上記操作法で装置が回転するとき、二装置の接点がどのような軌跡を描くかを羽根が円弧からなる場合に詳しく調べた。曲線が全て中心角60°の円弧であるときの軌跡の描画シミュレーションの結果を図4に示す。左図で左側の円弧(青線)は下部装置のものであり、右側の円弧(赤線)は上部装置の最下部の羽根の左側のものである。左側の円弧が時計回りに回転を始めると、右側の円弧は反時計回りに回転し始め、最終的に右図の位置関係となる。S字の曲線が接点の軌跡を表す。

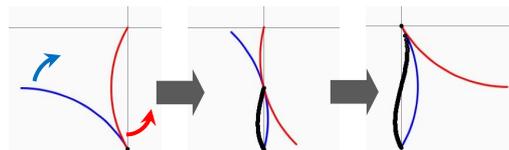


図4 三つ羽根回転時の接点の軌跡

(3) 実演方法の開発・修得・実践

上記(2)、に述べた視覚楽器については実演ルーチンを開発し、操作技術を修得し、国際会議 Bridges、形の科学会、形の文化会等で実演発表した。

(4) 視覚楽器のマルチモーダル化

(2) のシリンダー状凸曲面と棒は回転運動中常に一点で接するため、それを曲面への入力と捉え、曲面をその上部に電磁誘導方式平面センサを設置してタッチ入力可能な曲面ディスプレイとし、棒をインタフェースとしたマルチモーダルなインタラクティブシステムと、その上で動作する風船を割るミニゲーム、仮想鍵盤楽器、ドロツール、デジタル絵本などを開発した。図5左にシステム全体像を、図5右に大きな絵本を模した改良版の装置上で動作するデジタル絵本コンテンツを示す。本システムはゲーム開発者会議 CEDEC2014 でインタラクティブセッション大賞を受賞し、ヨーロッパのVR展示会 Laval Virtual 2015 で Le Monde をはじめ複数のメディアに掲載された。

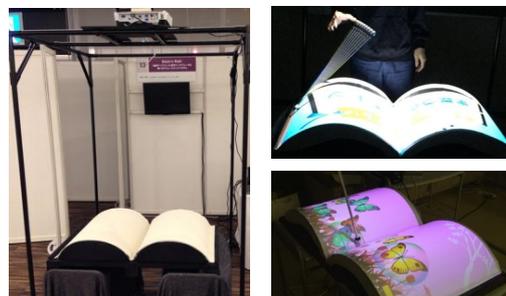


図5 曲面ディスプレイ上で棒を転がすインタラクティブシステム

(5) 教具・玩具への応用

二つの同一径の円を、同一径の90度の円弧二つで連結した、図6左の平面図形を柱状に伸ばした立体形状を、当初同一形状の周上

を転がす視覚楽器として検討していたが、立体同士が様々な積み重ね方や嵌合方法をもつなど組立ブロックに適した形状であることが明らかとなり、組立ブロック群と操作方法の開発、作例の蓄積・検討を行った(図7)。本ブロックの三次元構造体は、日本図学会デジタルモデリングコンテストで優秀賞を受賞するとともに、特許登録された。その他、正20面体の表面に僅かに曲率を与えた多面体で、目視や触ることで正20面体とほとんど区別がつかないが、正20面体に対してよく転がる多面体の製作も行った。

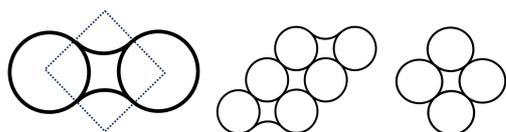


図6 同一円弧からなる平面図形と組合せ

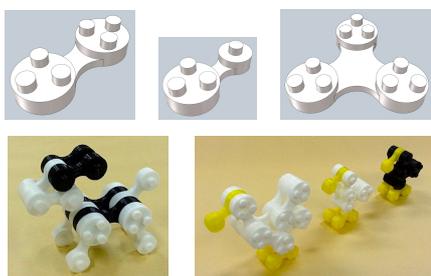


図7 主な組立ブロックの3Dモデルと作例

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/国際会議論文〕(計4件)

Akihiro Matsuura, Yuki Yamada, Baton Rolling on a Series of Curved Surfaces, Proceedings of Bridges 2016: Mathematics, Music, Art, Architecture, Education, Culture, pp.489-492, 2016, 査読有.

Shunsuke Akimoto, Akihiro Matsuura, Geometric Visual Instruments Having Pinnate Forms, Proceedings of Bridges 2015: Mathematics, Music, Art, Architecture, Culture, pp. 411-414, 2015, 査読有.

Akihiro Matsuura, Takayuki Matsukawa, Haruka Ohshima, Hidenori Kurihara, Hiroki Oriono, Stick'n Roll: A Playful Stick Interface for Curved Display, Proceedings of ACM Virtual Reality International Conference (VRIC 2015), Article No. 20, 4 pages, 2015, 査読有.
DOI: 10.1145/2806173.2806194

Akihiro Matsuura, Jyunki Hashimoto, Kento Okuno, Geometric Visual Instruments Based on Object Rolling, Proceedings of Bridges 2013: Mathematics, Music, Art, Architecture, Culture, pp. 303-310, 2013, 査読有.

〔学会発表〕(計18件)

Akihiro Matsuura, Masato Ohno, Hiroki Tone, Stick and Roll: A Physical Interactive System Using Curved Displays and Rolling Batons, ACM SIGGRAPH Asia 2016, Poster, 2016/12/05-08, Macao (China).

Yuki Yamada, Akihiro Matsuura, 3D Simulator of a Rolling Baton on Cylindrical Surfaces, NICOGRAPH International 2016, Poster, 2016/07/06-08, Hangzhou (China).

松浦昭洋, 視覚楽器の分類について, 2016年度形の文化会総会・研究発表会, 2016/05/29 I-site なんば (大阪市).

戸根 弘貴, 大野 聖人, 松浦昭洋, 曲面ディスプレイを用いたデジタル絵本システム, 映像表現・芸術科学フォーラム 2016, 2016/03/09, 東京工芸大学(東京都中野区).

松浦昭洋, 大橋拓海, 転がる/転がらない20面体, 日本図学会主催第9回デジタルモデリングコンテスト(展示・ポスター), 2015/11/28-29, 大阪大学(吹田市). 造形部門優秀賞

山田優貴, 松浦昭洋, 凸曲面上のバトンの転がりの物理解析, 第80回形の科学シンポジウム, 2015/11/21-23, 東京電機大学(埼玉県比企郡).

松浦昭洋, 秋元俊輔, 羽根形状をもつ視覚楽器, 第80回形の科学シンポジウム, 2015/11/21-23, 東京電機大学(埼玉県比企郡).

松浦昭洋, 大野聖人, 戸根弘貴, ころがる! まほうのバトン, 第4回デジタルえほんアワード(国際デジタルえほんフェア2015), 2015/08/29-30, 渋谷 TOD ビル(東京都渋谷区). 審査員特別賞

松浦昭洋, 白根弘士, 複数の円形上を含む組み立てブロックとその数理的性質, 第79回形の科学シンポジウム, 2015/06/12-14, 千葉工業大学(習志野市).

Akihiro Matsuura, Takayuki Matsukawa, Haruka Ohshima, Masato Ohno, Hiroki Tone, Hidenori Kurihara, Hiroki Oriono, Stick'n Roll, Laval Virtual ReVolution 2015, 2015/04/08-12, Laval (France).

大島悠, 松川孝幸, 松浦昭洋, 曲面ディスプレイを用いたシステム Stick'n Roll 上のコンテンツ開発, 映像表現・芸術科学フォーラム 2015, 2015/03/14, 早稲田国際会議場(東京都新宿区). CG-ARTS 協会・企業賞

片寄晴弘, 福地健太郎, 寺田努, 松浦昭洋, 橋田光代, 『魅せる』の工学, 情報処理学会第106回音楽情報科学研究会・第35回エンタテインメントコンピューティング研究会合同研究発表会, 2015/03/02, 甲府富士屋ホテル(甲府市).

松浦昭洋, 大島悠, 栗原秀典, 折小野嘉輝, Stick'n Roll: 曲面ディスプレイ上で棒状インタフェースを操作するコンピュータシステムとその応用, 情報処理学会第34回エンタテインメントコンピューティング研究会, 2014/12/19, 九州大学(福岡市).

松浦昭洋, 白根弘士, 近藤悠馬, ひょうたんブロック, 日本図学会主催第 8 回デジタルモデリングコンテスト(展示・ポスター), 2014/11/29-30, 東京藝術大学 (東京都台東区), 造形部門優秀賞

松浦昭洋, 大島悠, 松川孝幸, 折小野嘉輝, 栗原秀典, Stick'n Roll: 曲面ディスプレイと棒状インタフェースを用いたアミューズメントシステム, コンピュータエンターテインメントディベロパーズカンファレンス (CEDEC2014), 2014/09/02-04, パシフィコ横浜 (横浜市), インタラクティブセッション大賞

松浦昭洋, 奥野健斗, 山崎裕介, 図形の転がり可視化ソフトウェアの開発, 第 77 回形の科学シンポジウム, 2014/06/13-15, 埼玉県立大学 (越谷市).

Akihiro Matsuura, Geometric Surfaces as Visual Instruments, Gathering for Gardner 11, 2014/03/20-23, Atlanta (USA).

松浦昭洋, 幾何学的曲面を用いたパフォーマンスの生み出す形, 第 59 回形の文化会フォーラム, 2013/11/30, 八王子セミナーハウス (八王子市).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 2 件)

名称: 組立構造体
発明者: 松浦昭洋, 近藤悠馬
権利者: 東京電機大学
種類: 特許
番号: 特許第 6005711 号
出願年月日: 2014 年 12 月 9 日
取得年月日: 2016 年 9 月 16 日
国内外の別: 国内

名称: 組立構造体
発明者: 松浦昭洋, 白根弘士
権利者: 東京電機大学
種類: 特許
番号: 特許第 6025807 号
出願年月日: 2014 年 11 月 27 日
取得年月日: 2016 年 10 月 21 日
国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ

<http://www.matsulab.rd.dendai.ac.jp/>

メディア掲載 (Stick'n Roll)

La génération VR s'expose au salon Laval Virtual, Makery, 2015/04/14.

<http://www.makery.info/2015/04/14/la-generation-vr-sexpose-au-salon-laval-virtual/>

Voler à Laval: la réalité virtuelle pour tous, Le Monde.fr, 2015/04/10.

http://archives.lesclesdedemain.lemonde.fr/innovation/voler-a-laval-la-realite-virtuelle-pour-tous_a-54-5008.html

Laval Virtual et l'avènement de la réalité virtuelle, Le Lab SQLI, 2015/04/09.

<https://lelab.sqli.com/laval-virtual-realite-virtuelle/>

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

松浦 昭洋(MATSUURA, Akihiro)

東京電機大学・理工学部・准教授

研究者番号: 5 0 3 6 6 4 0 7