

令和 2 年 7 月 15 日現在

機関番号：32682  
 研究種目：基盤研究(C)（一般）  
 研究期間：2016～2019  
 課題番号：16K01422  
 研究課題名（和文）整形外科手術前計画に役立つ紙ベースのラピッドプロトタイピングシステムの開発

研究課題名（英文）Development of a Paper-based Rapid Prototyping System for Orthopedic Presurgical Planning

研究代表者  
 ディアゴ ルイス・アリエル（Diago-Marquez, Luis Ariel）  
 明治大学・研究・知財戦略機構（中野）・研究推進員

研究者番号：20467020

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：3次元ラピッドプロトタイピングシステム（RPS）は、革命を起こす技術として脚光を浴びている。しかし、RPSは3次元の生成の際、長い時間を要し、コストも高いという欠点も有す。これらの欠点を除くため、紙ベースの実物コピーモデルを作るために二次元に展開した型紙のパターンを作るという新しいP-RPSの開発を実施している [科学研究費基盤 (C) No.26420211:リバースエンジニアリング技術を援用した型紙生成アルゴリズムの研究]。これに対し、本研究の目的は、現行のP-RPS で外科手術計画の適用可能領域を広げるための技術開発である。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、P-RPSを整形外科手術前の計画に拡張した。1) X線画像から3次元データを開発し、2) 折り紙ロボットを開発して、紙モデルを自動的かつ迅速に作成した。骨の3D再構成の精度を向上させるために、ポリゴンメッシュの代わりに陰関数を使用。ファジィ数量化理論を組み込んだホログラフィックニューラルネットワーク（FQHNN）により、人間の操作に基づいて折り紙ロボットに折り方を教える。当初の計画どおり、プロトタイプは作成され、病院環境とは異なる材料でシミュレーションは動作できるようになった。このプロトタイプが、実際に臨床環境に導入される事が本研究の主な目的である。

研究成果の概要（英文）：3D rapid prototyping systems (RPS) has emerged as a revolutionary technique that overcomes the limitations of 2D flat screens for visualizing 3D imaging data by producing graspable 3D objects which can be applied for medical applications. However, the major limitation of RPS is the time and cost spent in generation of 3D objects. So, we developed a new origami-pattern generation algorithm to produce low-cost paper-based copies of physical objects[KAKENHI C -No. 26420211]. The main objective of this research was to extend previous algorithm to the planning of orthopedic surgery. The research solved 1) the generation of 3D digital models from X-ray images and 2) the development of a paper-folding robot to speedup the creation of paper-models.

研究分野：画像工学

キーワード：折り紙工学 機械学習 医療ロボット ホログラフィックニューラルネットワーク ファジィ数量化理論

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。

## 1. 研究開始当初の背景

3D printing or rapid prototyping (RP) has emerged as a revolutionary technique that overcomes the limitations produced by the use of flat screens and 2D drawings for the visualization of three-dimensional imaging data by producing graspable three-dimensional objects which can be applied for surgical planning, training, prosthetics and related applications [Rengier *et al.* "3D printing based on imaging data: review of medical applications", *Int. J CARS* (2010) 5:335-341]. However, the major limitation of RP systems (RPS) lies within time and high cost spent in generation of 3D objects. At present, a widespread use of RPS for surgical planning or individual implant design does not seem to be justified because standard planning procedures or standard implants are sufficient. However, in complicated cases, additional costs of RP may be compensated by reduced operating times and higher success rate of the surgical procedure. The time needed for producing a 3D object also limits its use in surgery to elective cases and makes it unsuitable for emergency cases. In order to overcome above limitations we developed a new Paper-based RPS (P-RPS) that incorporates a new origami-pattern generation algorithm to produce paper-based copies of physical objects [Grant in Aids for Scientific Research (C) No. 26420211:リバースエンジニアリング技術を援用した型紙生成アルゴリズムの研究].

## 2. 研究の目的

The main objective of this research was to extend the use of the previously developed P-RPS to the hospital/medical environment, fundamentally in the planning of orthopedic surgery. To develop the system, two fundamental problems had to be solved: The first was to obtain the 3D geometry of a patient-specific bone from two X-ray projections (in the following called X-ray images). Once the 3D model of the bones is obtained in the computer, it can be used as input to the P-RPS to obtain a 2D origami pattern and the 3D patient's bone can be reproduced by cutting, folding and/or gluing throughout the folding lines of the 2D origami pattern. The second problem is that the time used in manual operations (e.g., cutting, folding and gluing) is twice as long as the time used in traditional 3D printers. Hence, to solve this second problem, we focused on developing a machine or robot to speed up the process.

## 3. 研究の方法

The research focused on 2 fundamental topics, according to above problems:

Topic 1 - Generation of 3D geometry of a patient-specific bone from two X-ray images: Despite the increasing availability of 3D image acquisition methods like computed tomography (CT) or magnetic resonance imaging (MRI), traditional 2D X-ray images are widely used in the clinic for diagnosis or treatment planning in orthopedics. The 3D geometry of a patient-specific bone can be reconstructed starting with a 3D template bone shape included in a database [<http://lifesciencedb.jp/bp3d/>] and traditional 2D X-ray images of the patient by using the following steps: 1) Generating 2D simulated bone projections (in the following called simulated images) from the 3D template, 2) Extracting the silhouette boundaries of the bones in the simulated and X-Ray images and 3) Deforming the 3D template until the silhouette boundaries of the bone in the simulated images matches the silhouette boundaries shown in the X-ray images. In the first step XVIS toolbox [available at <https://github.com/domingomery/Xvis>] and gVirtualXray [available at <https://sf.net/projects/gvirtualxray/>] were used to generate the 2D simulated projections from the 3D templates. gVirtualXray offered better results. Implicit functions are also proposed to represent the 3D templates. We tested the proposed method with the bones of the database ([lifesciencedb.jp/bp3d/](http://lifesciencedb.jp/bp3d/)) and evaluate the results from the comparison with the existing methods based on polygonal meshes [<http://orthocad.iitb.ac.in/xrayto3d/>] using images from a patient in the CIMEQ hospital in Cuba..

Topic 2 - Development of a paper-folding robot/machine: For paper-folding robots, it is still extremely difficult to execute the required manipulations mainly because of the difficulties in modeling and control of the paper. So, current researchers try to transfer the skills from human to robot by direct teaching and task sharing. We developed algorithms for extracting information from videos [KEER2016, JSST2016-1] for use in machine learning and simulation [JSST2016-2]. As it was not clear in the videos, which are the most important parameters to teach the robot how to fold the paper, we tried to discover it by using convolutional neural networks (CNN). CNNs were compared with our proposed

HNNs and the preliminary results were presented at several national conferences [JSME-CMD2016-1, JSME-CMD2016-2]. Since the number of steps and manipulations that must be learned to teach the robot is very high we proposed a new method to generate digital 3D models and crease patterns to create 3D paper models automatically by the robot without learning. The new method creates a pattern from a 3D object that can be represented by a surface in revolution (SR). We developed two machines based on LEGO NXT Technology that allow folding and gluing the paper automatically [ASME2016]. The machines include a new control algorithm based on HNN that reduces the error of the machines and speed-up the creation of the paper models [DD2016, JSST2016, JSIAM2016]. The method was improved and presented at national [DD2017, JSST2017] and international conferences [ASME2017, ICMMA2017], mass media [NHK教育テレビ「オリガミの魔女と博士の四角い時間」<http://www4.nhk.or.jp/origami/>, テレビ東京・News モーニングサテライト-<http://www.tv-tokyo.co.jp/nms/>] and published in proceedings [https://doi.org/10.1115/DETC2017-67821]. However, as SR cannot represent the bones accurately the method was extended to create patterns of 3D objects that fulfill the condition that their axial projections in 2d are star-based polygons [MIMS2018, JSIAM2018, JSME-CMD2018, 7OSME]. A modification of the pattern design methodology based on the opening of the tree structure of traditional origami patterns was developed to obtain a more accurate representation of the surface of the bones (for example, the epiphysis of the proximal and distal femur).

In order to generalize the proposed system within the hospital environment, the development of the prototype was initially planned to work with paper models. However, the research period was extended to use other materials from the hospital environment such as resins and plastics. The developed machines allow the paper and other materials to be accordion folded, however sometimes it gets stuck and it is necessary to supervise its operation. A robotic arm was used to supervise the operation of the machines and reproduce the steps developed by a human to rectify the folds. Models identical to the original robot and origami patterns were created in the simulation environment. The origami patterns were modeled as robots (rigid bodies) whose links are the faces of the pattern and the joints are its valleys and mountains. Proposed pattern design methodology was also used to model and introduce the pattern into the simulation environment from a tree structure (without closed cycles) that simplifies and facilitates the simulation [ASME2019]. The characteristics of the material were selected within the simulation environment by changing the values of mass, inertia and friction coefficients according to the used simulation engine (i.e. Newton, Vortex, ODE, Bullet). Marks were introduced in the patterns used by humans to teach the robot, allowing the tracking and generation of the trajectories of each of the faces of the pattern during human manipulations [JSME2019, JSST2019]. The positions of the marks were used to control the pattern model in the simulation environment and create a database with user demonstrations for robot learning. Open source codes were used (OpenPose and Artoolkit) to track hands and paper; and V-rep was selected as the robotic platform for the modeling, simulation and folding of paper by the robots.

#### 4. 研究成果

Figure 1 shows one example of the 3D geometry of a patient-specific bone generated from an X-ray image. According to CIMEQ specialists, the following two problems had to be solved: Firstly we had to quit the step in Figure 1a) to draw the contour, because it depends on the wrist pressure and that generates errors. Secondly, the initial version of the developed program was not faithful because it obviates some details that are important for guidance at the time of surgery for example the epiphysis in the tibia rod (Figure 1b). In Figure 1c, the printed 3D models were compared with paper models obtained by our previous algorithm in [https://doi.org/10.15748/jasse.3.58]. The preliminary results were presented in two conferences [7, 15]. For the introduction of the system in the clinic it was necessary to develop a prototype of software that allows to create 3D models from X-ray images in an optimal way, by means of the selection of an ROI in each image avoiding drawing the outline of the bones that depends on the pressure of the wrist and generates errors. Figure 2 shows the flowchart of the proposed system for paper folding. Starting from a profile of the bone in Figure 2a, the pattern in Figure 2b is generated by the newly proposed SR-approach [2]. The two machines in Figure 2c are able to fold and glue the pattern in Figure 2b to obtain the 3D paper model in Figure 2d. Figure 3 shows a demonstration of a simple fold performed by a user and the reproduction performed by a robotic arm in VREP simulation environment. The trajectories of the demonstrations are stored in a database that includes operations of valley folding (Va), translation-rotation (Tr), Unfolding (Un), Turning (Tu) the paper among others.

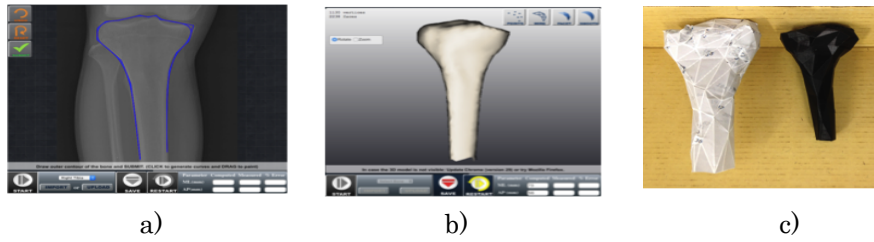


Figure 1. Generation of 3D geometry of a patient-specific bone from an X-ray image: a) Manual extraction of the silhouette of a bone b) 3D bone model generated by Xray23d (<http://orthocad.iitb.ac.in/xrayto3d>) c) Result of proposed P-RPS [1](left) and 3D printer from Cubify.com (right).

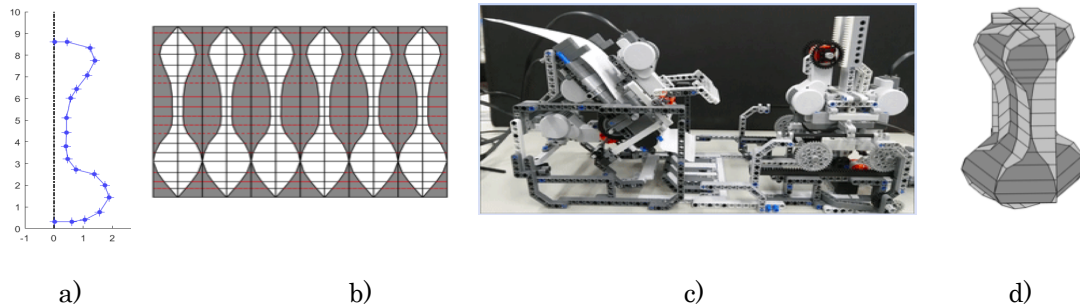


Figure 2. Proposed system for paper folding: a) Profile shape, b) examples of origami patterns generated by newly proposed SR-approach [2] c) “Norigami” machines [2]. d) 3D paper model

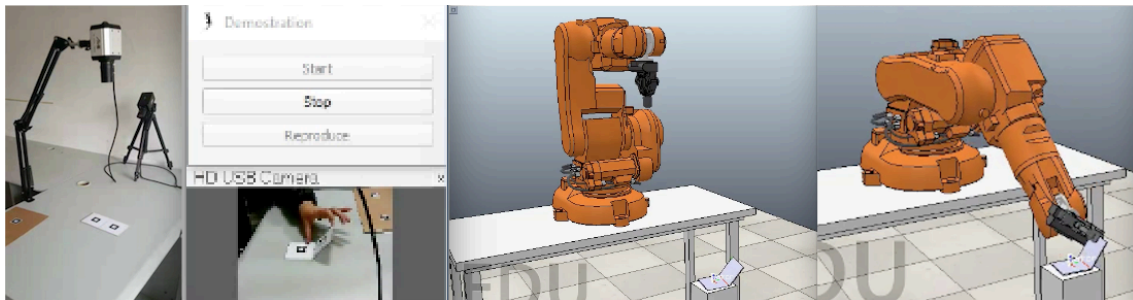


Figure 3. Human demonstration and robot execution of the demonstrated folding in VREP.

There are 3 main research results from the simulations: 1) the development of a system that allows teaching any robot to fold paper in a virtual environment based on the demonstrations made by an expert in a real world. Human demonstrations of origami performing (any pattern with 8 marks) are reproduced by a virtual robotic platform. 2) A dataset of “basic folding” demonstrated by human experts was created and it can be automatically improved by simple origami performing in front of a video camera. 3) Previously developed Fuzzy Quantized Holographic Neural Network - FQHNN was extended to classify folding sequences in real time and to extract robot-learning policies. FQHNN achieved better results than Long-Short-Time-Memory (LSTM)-type deep neural networks for real time sequence classification. The results were presented at 4 conferences: 2 national (JSST2019, JSME2019) and 2 international (IoTAI2019, and ASME2019).

Although the real robot prototype has been built as initially planned, it was only simulated to work with different materials from the hospital environment. The tests in the real environment were planned for the months of January-March 2020 but for different reasons these have not yet been completed. Introducing the prototype in the clinical environment continues to be the main objective of the research. For this, the accuracy of 3D models must continue to be improved by using Meta-heuristics such as those used to obtain 3D models from photographs of 4 orthogonal planes around the object [[https://doi.org/10.1007/978-3-030-34409-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-34409-2_3)] and finish testing the robot with other materials in the hospital environment.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 7件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Martinez Remberto, Tong Marcos, Diago Luis, Lindstrom Jaana	4. 巻 876
2. 論文標題 Learning from Human Behavior to Improve Preventative Health Information Systems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advances in Intelligent Systems and Computing	6. 最初と最後の頁 235 ~ 241
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-02053-8_36	査読の有無 有
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 該当する
1. 著者名 Martinez Remberto, Tong Marcos, Diago Luis, Nummenmaa Timo, Nummenmaa Jyrki	4. 巻 377
2. 論文標題 Fuzzy Simulation of Human Behaviour in the Health-e-Living System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Studies in Fuzziness and Soft Computing	6. 最初と最後の頁 157 ~ 172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-10463-4_9	査読の有無 有
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 該当する
1. 著者名 Romero JA, Diago LA, Nara C, Shnoda J, Hagiwara I	4. 巻 4
2. 論文標題 Norigami Crease Pattern Simplification for Automatic Folding.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 7th International Meeting on Origami in Science, Mathematics and Education (7OSME)	6. 最初と最後の頁 1313 ~ 1328
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 有
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 該当する
1. 著者名 Romero JA, L. A. Diago, Hagiwara I.	4. 巻 5B
2. 論文標題 Norigami Crease Pattern Model Design Based on Surfaces of Revolution.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 INTERNATIONAL DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCES & COMPUTERS AND INFORMATION IN ENGINEERING CONFERENCE	6. 最初と最後の頁 V05BT08A047
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1115/DETC2017-67821	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 [1]Bo Yu, Maria Savchenko, Junichi Shinoda, L. A. Diago, Ichiro Hagiwara,	4. 巻 3
2. 論文標題 Producing Physical Copies of the Digital Models via Generating 2D Patterns for “Origami 3D Printer” system	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 58-77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15748/jasse.3.58	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 [2]L. A. Diago, J. Romero, Junichi Shinoda, H. Abe and Ichiro Hagiwara,	4. 巻 483
2. 論文標題 "A Soft-Computing Approach for Quantification of Personal Perceptions",	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Advances in Intelligent Systems and Computing	6. 最初と最後の頁 199-210
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-41661-8_20	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 [3]J. Romero, L. A. Diago, J. Shinoda, Chie Nara and I. Hagiwara	4. 巻 5B
2. 論文標題 “Norigami Folding Machines For Complex 3D Shapes”	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Volume 5B: 40th Mechanisms and Robotics Conference	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) 10.1115/DETC2016-60580	査読の有無 有
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 該当する

〔学会発表〕 計32件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Luis Diago, Yang Yang, Julian Romero and Ichiro Hagiwara
2. 発表標題 Development of a pattern for folding with an origami robot (折紙ロボットで折るための展開図)
3. 学会等名 日本応用数学会 2018年度年会 JSIAM2018, 名古屋大学 東山キャンパス 2018年9月3日~5日
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安部 博枝, ルイス ディアゴ、萩原 一郎
2. 発表標題 動画から画像抽出する方法の比較検討
3. 学会等名 日本機械学会 第 31回計算力学講演会(CMD2018), 徳島大学 常三島キャンパス、 2018 年 11 月 23 日(金・祝)~25 日(日)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 楊 陽, ルイス ディアゴ, ジュリアン ロメロ、萩原 一郎
2. 発表標題 折紙ロボットで三次元 形状を作る展開図についての考察
3. 学会等名 日本機械学会 第 31回計算力学講演会(CMD2018), 徳島大学 常三島キャンパス、 2018 年 11 月 23 日(金・祝)~25 日(日)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 ルイス ディアゴ, 楊 陽、萩原 一郎
2. 発表標題 NeuroFaceLab:自動運転における乗員分析 のための新しいフレームワーク
3. 学会等名 日本機械学会 第 31回計算力学講演会(CMD2018), 徳島大学 常三島キャンパス、 2018 年 11 月 23 日(金・祝)~25 日(日)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 ルイス・ディアゴ, 楊 陽, 安部 博枝, 萩原 一郎
2. 発表標題 深層学習による顔表情の同定 (Facial Expression Analysis using Deep Learning)
3. 学会等名 第23回日本顔学会、(フォーラム顔学 2018)明治大学 2018 年 9 月 1 日(土), 2 日(日)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安部 博枝, ルイス・ディアゴ, 萩原 一郎
2. 発表標題 顔表情による集中度計測
3. 学会等名 第23回日本顔学会、(フォーラム顔学 2018)明治大学 2018年9月1日(土), 2日(日)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Luis Diago
2. 発表標題 A new method of creating patterns for a robot that builds three-dimensional models of bones on paper
3. 学会等名 MIMS現象数理学拠点共同研究集会「折紙数学と折紙工学を基盤とする産業応用」2018年8月17日(金) - 18日(土) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Luis Diago
2. 発表標題 A study on data acquisition and its processing to construct a rating system of diagnosis ability
3. 学会等名 人工知能の現在と、次世代への実用化 - 医療画像に対する有効な解析手法の開発に向けて -、2018年8月29日(水)10時00分~17時00分、明治大学先端数理科学インスティテュート (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Romero JA, L. A. Diago, Hagiwara I.
2. 発表標題 Norigami Crease Pattern Model Design Based on Surfaces of Revolution.
3. 学会等名 ASME (国際学会)
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 Julian Romero, L. A. Diago, and Ichiro Hagiwara
2. 発表標題 A Norigami Machine for Building 3D Origami based on Rotational Sweep
3. 学会等名 In Proc. JSST2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yang Yang, L. A. Diago, Hiroe Abe and Ichiro Hagiwara
2. 発表標題 Facial expression recognition for autonomous driving with deep convolutional neural network
3. 学会等名 In Proc. JSST2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Remberto Martinez, Marcos Tong and L. A. Diago
2. 発表標題 " Fuzzy Adherence Formula for the Evaluation of Just-In-Time Adaptive Interventions in the Health-e-living System "
3. 学会等名 ISFUROS, Varadero, Cuba (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 安部 博枝, 楊 陽, ルイスディアゴ、萩原 一郎
2. 発表標題 自動運転のための深層学習による負の顔表情分析
3. 学会等名 日本機械学会 第 30 回計算力学講演会(CMD2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 楊 陽, 安部 博枝, ルイスディアゴ、萩原 一郎, 廖 于靖
2. 発表標題 自動運転のための深層学習による FAU 分析
3. 学会等名 日本機械学会 第 30 回計算力学講演会 (CMD2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 ルイスディアゴ, 楊 陽、萩原 一郎
2. 発表標題 自動運転のための深層学習による画像認識に関する一 考察
3. 学会等名 日本機械学会 第 30 回計算力学講演会 (CMD2017),
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Julian Romero, L. A. Diago, and Ichiro Hagiwara
2. 発表標題 New Paper-Folding Robot for Surface of Revolution-based 3D shapes with Gluing Areas
3. 学会等名 International Conference on Mathematical Modeling and Applications Based on Self-Organization (ICMMA 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroe Abe, L. A. Diago, and Ichiro Hagiwara
2. 発表標題 KANSEI evaluation by application of our own deep learning, International Conference on Mathematical Modeling and Applications Based on Self-Organization
3. 学会等名 ICMMA 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Julian A. ROMERO, Luis A. DIAGO, Junichi SHINODA, and Ichiro HAGIWARA
2. 発表標題 Scale House-Model Construction by GA-Based Polygon Matching and Origami Techniques
3. 学会等名 Dynamics and Design Conference 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yang Yang, Hiroe Abe, Luis Diago, Ichiro Hagiwara
2. 発表標題 Analysis of FE for autonomous cars by deep learning
3. 学会等名 日本機械学会 第30回計算力学講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 [4]L. A. Diago, J. Romero, Junichi Shinoda, H. Abe and Ichiro Hagiwara,
2. 発表標題 "A Soft-Computing Approach for Quantification of Personal Perceptions",
3. 学会等名 AHFE 2016 International Conference on Affective and Pleasurable Design (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 [5]J. Romero, L. A. Diago, J. Shinoda, Chie Nara and I. Hagiwara,
2. 発表標題 "Norigami Folding Machines For Complex 3D Shapes "
3. 学会等名 In Proceedings of ASME (IDETC/CIE 2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 [6]L. A. Diago, H. Abe and I. Hagiwara,
2. 発表標題 “Kansei analysis of facial expressions in motivational videos”
3. 学会等名 Kansei Engineering and Emotional Research Conference (KEER2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 [7]L. A. Diago
2. 発表標題 Development of a Paper-based Rapid Prototyping System for Orthopedic Surgical Planning
3. 学会等名 International Conference on Mathematical Modeling and Applications 2016 (ICMA 2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 [8]Luis DIAGO, Julian ROMERO, Junichi SHINODA, Chie NARA and Ichiro HAGIWARA
2. 発表標題 世界初の糊付けまで可能な折紙ロボットの開発Design and Development of “Norigami” Folding Machines using Feedback Error Learning with Paper Spring-back Compensation
3. 学会等名 Dynamics and Design Conference 2016 (D&D2016)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 [9]ロメロ ジュリアン, ディアゴ ルイス, 奈良 知恵, 萩原 一郎.
2. 発表標題 ハニカムパターン設計のための切紙モデル
3. 学会等名 日本応用数学会 2016年度 年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 [10]ルイスディアゴ, 安部博枝, 萩 原 一 郎
2. 発表標題 "Deep Learning the Structure of Iyashi by Holographic Neural Networks " (ホログラフィックニューラルネットワークによる 癒し構造の深層学習による検討)"
3. 学会等名 第 29 回 計算力学講演会(CMD2016)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 [11]安部博枝(明治大), ルイスディアゴ(明治大), 萩 原 一 郎(明治大)
2. 発表標題 多層ニューラルネットワークによる癒し構造 の深層学習による検討
3. 学会等名 第 29 回 計算力学講演会(CMD2016)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 [12]L. A. Diago, H. Abe and I. Hagiwara,
2. 発表標題 " Emotion simulation using emoticons "
3. 学会等名 35th JSST Annual Conference International Conference on Simulation Technology (JSST2016)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 [13]H. Abe, Luis Diago, Ichiro Hagiwara,
2. 発表標題 Extraction of instruction elements that affect the learning motivation
3. 学会等名 35th JSST Annual Conference International Conference on Simulation Technology (JSST2016)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 [14]Julian Romero, Luis Diago, Ichiro Hagiwara
2. 発表標題 Norigami Model Construction for 3D-Shape Structures Using Paper-like Materials
3. 学会等名 35th JSST Annual Conference International Conference on Simulation Technology (JSST2016)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 [15]L. A. Diago
2. 発表標題 ロボットに人間が紙を折る動作・手順を学習させる検討 (Deep Learning for Origami Performing Skill Transfer)
3. 学会等名 MIMS折紙式プリンターと数理の融合量研究講演会 モデルの産業応用研究
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 [16]Julian Romero, Luis Diago, and Ichiro Hagiwara
2. 発表標題 Consideration on Control Method for Folding and Gluing Machine
3. 学会等名 13th JSIAM conference
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	篠田 淳一  (Shinoda Junichi)  (60266880)	明治大学・研究・知財戦略機構(中野)・研究推進員   (32682)	