

# 令和3年度 未来研究ラボシステム 研究成果報告書

研究種目：共同研究

研究期間：令和 2年10月～令和 4年 9月

研究課題名：マルチモーダル生成モデルによる物理シミュレーションモデル構築を通じた  
柔軟アクチュエータ・センサの環境超適応技術の確立

ラボ長

所属：システム創成専攻 システム科学領域

氏名：堀井隆斗

## 研究成果

### 【研究目的】

環境への適応性向上を目的として柔軟素材を利用したアクチュエータやセンサが多数開発されている。柔軟素材は無限自由度のなじみをもたらす一方で、センサには多様な情報を付与する一方で、素材の持つ特性のばらつきやヒステリシスはアクチュエータの制御性やセンサのパフォーマンスを低下させる。本研究ではこれらの性能を改善し、柔軟アクチュエータとセンサの頑健性を向上させる環境超適応技術を、深層生成モデルをはじめとする機械学習技術によって確立する。

令和3年度は、深層生成モデルと柔軟デバイスの融合に向けて、柔軟アクチュエータの広範囲に埋め込み可能な流路型センサシステムの開発（課題1）と深層生成モデルによるタスク適応新規物体生成技術の開発（課題2）に取り組んだ。課題1では様々な形状の柔軟デバイスに容易に埋め込み可能でデバイスの柔軟性を損なわないセンサシステムを開発する。またその基礎特性評価を実施した。課題2では深層生成モデルによって複雑な形状の物理シミュレーションモデルを構築するための、深層生成モデル構造の探索とその性能評価を実施した。

### 【研究結果】

課題1に関わる研究成果として、図1に示すイオン流体を利用した流路型センサシステムを開発した。このセンサは柔軟デバイス中にイオン流体(図1中の赤色の液体部分)を封入するための流路を形成し、イオン流体のインピーダンスを計測することによって柔軟デバイスの変形や外部からの接触力を推定することができる。流路の長さや形状を変更することで、センサの感度や計測範囲を調整することができる。また流路は自由に設計できるため、柔軟物を造形可能な3Dプリンタによる一体造形も可能である。これにより昨年度の研究課題として開発をするスリーブ-in-システムのプリントパーツに、外形や目的に応じた流路型センサシステムを容易に構築することができる。

流路の入り口と出口を決定することで自由に配置可能なこのセンサは、深層生成モデルによるセンサ構造の生成と探索にも相性がよい。来年度以降は次に示す課題2の成果と組み合わせることでスリーブ-in-システムにおいて様々な形状の流路を組み込んだ柔軟デバ

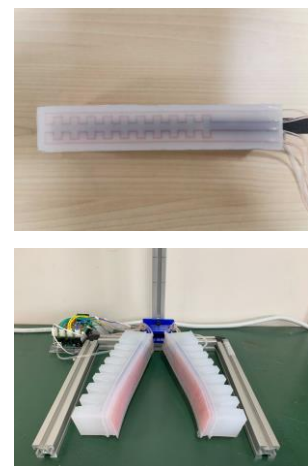


図1. 流路型センサシステムの外観と柔軟アクチュエータへの導入例

イスの構築に取り組む。

次に課題2に関わる研究成果として、深層学習モデルの1種である Generative Adversarial Net (GAN) を用いた物理シミュレーションモデルのための深層生成モデルを構築した。図2にそのフレームワークを示す。一般的なGANでは、Generator (図中のG) と呼ばれるネットワークがデータを生成し、Discriminator (図中のD) と呼ばれるネットワークが生成データと学習データセットのデータを識別する敵対的学習によって生成データの精度を向上させる。しかしこの方式ではデータセットに含まれるデータ空間 (図中 Knowledge) のデータしか生成することができない。つまりGANではデータセットの内挿は可能だが、外挿は困難である。そこで Generator の損失関数  $L_G$  に生成データのエン트로ピー増大を促す項を導入することで、Generator の生成能力をデータセット領域外に拡張する手法を提案した。また Evaluator (図中 E) と呼ばれる生成データに対する評価モジュールを導入することで、特定のタスクに対して有用なデータをより生成する用にモデルの学習を促すことができる。この提案モデルを Deep Creative Model (DCM) と呼ぶ。

提案する DCM の性能を、物理シミュレーション環境である PyBullet における道具生成タスクにおいて評価した。提案モデルと GAN はそれぞれ Shapenet に含まれる 3D 物体データを半分に分割したデータセットにより学習する。図3に道具生成タスクの一例を示す。このタスクでは頭上より落下する球を多く受け止めることを目標としている。初期状態 (未学習状態) ではタスク達成に有用な道具は全く生成することができない。GAN では、データセットを学習に利用することで一定数の球を受け止める道具を生成できたことがわかる。一方提案モデルである DCM では、GAN よりもより多くの球を受け止めることができる道具が生成されていることがわかる。GAN と DCM それぞれのモデルの内部表現を解析した結果を図3下に示す。このグラフはタスクの達成度 (受け止められる球の数に基づく道具の価値) を実現可能な道具を各モデルがどれほど生成できるかを示している。DCM は GAN に比べ、より広い範囲の道具を生成可能な表現を学習していることがわかる。この結果より、提案する DCM が新規のデータを生成する課題において GAN モデルよりも有用であることが示された。今後は実際の柔軟デバイスのデータを学習し、センサやアクチュエータの生成を実現する。

キーワード：生成モデル, 柔軟アクチュエータ・センサ, 物理シミュレーション,

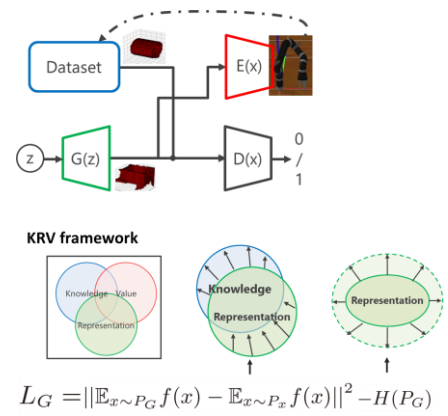


図2. GAN を拡張した深層生成モデル DCM とそのデータ拡張フレームワークの概略図

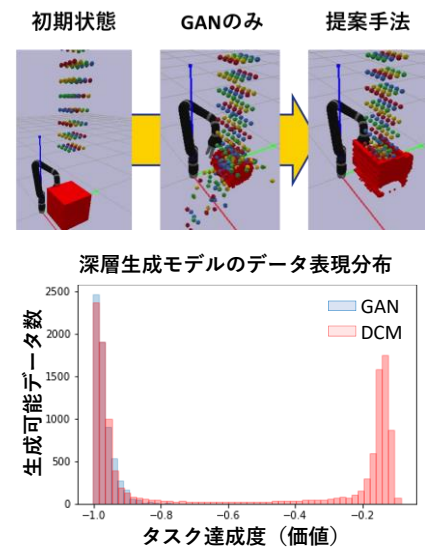


図3. 物理シミュレーション空間での GAN と DCM モデルの生成能力比較実験結果

## 研究経費（R3年度）の内訳

備品費	消耗品費	旅費	謝金	その他	合計
0円	114,624円	30,280円	141,116円	113,980円	400,000円

## 共同研究者等

### (1) 共同研究者（氏名・所属）

川節拓実・大阪大学基礎工学研究科システム創成専攻

## 発表論文等（令和4年3月31日現在）

### [雑誌論文]

【1-1】 Tatsuya Usui, Hiroki Ishizuka, **Takumi Kawasetsu**, Koh Hosoda, Sei Ikeda, Osamu Oshiro, "Soft Capacitive Tactile Sensor Using Displacement of Air-Water Interface," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 332, no. 1, p. 113133, 2021.

【1-2】 **川節拓実**, "磁性エラストマと液体金属を用いた弾性柔軟素材の触覚センサ化," *化学工業*, vol. 72, no. 8, pp. 501-508, 2021.

### [著書]

該当なし

### [学会発表]

【2-1】 徳野将士, 田中悠一朗, **川節拓実**, 細田耕, 田向権, "柔軟接触センサを搭載したロボットハンドを用いたアクティブセンシングによる物体認識," 第39回日本ロボット学会学術講演会 2021年9月10日.

【2-2】 Yi Zhang, Yuichiro Sueoka, Hisashi Ishihara, **Takumi Kawasetsu**, Koichi Osuka, "A Decentralized Approach to Cooperative Object Transportation with Robots Equipped with Flexible Tactile Sensors," 第39回日本ロボット学会学術講演会 2021年9月9日

【2-3】 安田匠利, 大橋ひろ乃, **川節拓実**, 細田耕, "圧力と接触位置のためのイオンゲル触覚センサの開発", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2021 2021年6月7日

### [その他]

【3-1】 **堀井隆斗**, "深層生成モデルによる柔軟デバイスの環境超適応技術", 第6回大阪大学豊中地区研究交流会

## 外部資金獲得状況・申請状況

現在, 本研究で利用している生成モデルに関わる研究課題を科学研究費・挑戦的研究(萌芽)に研究代表者として申請中である. また, 本研究でも利用している柔軟触覚センサを研究課題とした科学研究費・基盤Aが本研究の共同研究者を研究代表者, 本研究の研究代表者を共同研究者として採択された.

### 参考となるHP等

ラボ長所属研究室 HP : <http://www.rlg.sys.es.osaka-u.ac.jp/>

共同研究者 HP : [https://nararobocon.sakura.ne.jp/kawasetsu\\_hp/](https://nararobocon.sakura.ne.jp/kawasetsu_hp/)