



# 介護練習用ロボットにおける VR フィードバックシステムの提案

Proposal for a Virtual Reality Feedback System in a Care Training Assistant Robot

遠藤 優貴<sup>1)</sup>, グエン チートウン グエン<sup>1)</sup>, 細田 侑也<sup>2)</sup>, 李 周浩<sup>2)</sup>

Yuki Endo, Nguyen TriTung NGUYEN, Yuya HOSODA, and Joo-Ho LEE

1) 立命館大学大学院 情報理工学研究科 (〒 567-8570 大阪府茨木市岩倉町 2-150, ritsume.ac.jp)

2) 立命館大学 情報理工学部 (〒 567-8570 大阪府茨木市岩倉町 2-150, ritsume.ac.jp)

**概要:** 本論文では, 人間の四肢を再現した介護練習用ロボット (Care Training Assistant Robot, 以下 CaTARo) を用いて, 仮想空間上で介助訓練を体験できるアプリケーションを提案する. 本アプリケーションでは, CaTARo の動きに合わせて高齢者を模した 3D モデルの表情や動きを動かすことで, 介護者が被介護者の状態を認識しやすい VR フィードバックシステムを提供する. また, Unreal Engine と MetaHuman を用いて, 自然な表情変化を達成する.

**キーワード:** 介護訓練, 上肢ロボット, 仮想現実, 表情生成

## 1. 緒言

65 歳以上の高齢者の割合が人口の 14% を超える高齢社会である日本では, 介護士の需要が高まっている. 介護士の養成学校では, マネキンを用いた練習方法あるいは生徒同士の練習方法で介護技術を習得する. ただし前者の手法では, マネキンが実際の高齢者の身体的特徴を模倣していない点や価格が高額なため導入できる学校に限られている点が課題である. 一方で後者の手法では, 生徒の身体特徴は高齢者と異なり, 抱きかかえなどの動作で無意識に体が動く点が課題である.

これまでに我々は, 高齢者の身体的特徴を再現した介護練習用ロボット CaTARo[1, 2] を開発している. CaTARo では, 角度や圧力センサを埋め込むことで, 介護動作をリアルタイムで計測することができる. 実際に, 介護士を対象とした主観評価実験では, 関節可動域訓練 (Range of Motion Training, 以下 ROM 訓練) において効果的な練習方法が実現することが報告されている [2]. しかし, CaTARo が再現する身体的特徴は肘あるいは肩しか対象としていないため, 実際の人間を相手にしている感覚が得られないという意見が得られている.

本研究では, 実際の患者を対象にした介護訓練を仮想空間上で体験できるアプリケーション (Virtual Care Training Assistant Robot, 以下 V-CaTARo) を開発する. アプリケーションでは, 実際の介護現場の環境や被介護者の状況を仮想空間上で再現することで, 効率よく現実感のある訓練を提供することを目標とする. 本論文では, CaTARo の動作に合わせて仮想空間上のモデルの表情などを変化させることで, 人間に対して介助している感覚を増幅させるフィードバックシステムを導入する.



図 1: CaTARo [3]

## 2. 先行研究

図 1 および図 2 は, 先行研究 [3] で開発した CaTARo と, それを仮想現実にも拡張した V-CaTARo を用いた介護訓練アプリケーションの様子を示す. まず, CaTARo の連結部分に取り付けられたポテンションメータを用いて, 肘関節の角度を取得する. そして, その角度と一致するように仮想空間上の人モデルの腕の動きを制御する. これらのアプリケーションは Unity で処理され, 実行映像は Meta Quest Link を介して被験者のヘッドマウントディスプレイに投影される. 被験者は, 横たわる人モデルの動きを見ながら CaTARo を用いた介護訓練を体験できる. 実験では, CaTARo のみを用いた場合と, V-CaTARo を用いた場合を比較して, ROM 訓練における「被介護者に対して訓練を行っているように感じたか」という項目について主観評価を検証した. その結果, ヘッドマウントディスプレイを装着して被介護者の全身モデルを見ながら ROM 訓練を実施する方が, 二倍以



図 2: V-CaTARo を用いた介護訓練アプリケーションの様子

上高い評価値を記録した。したがって、視覚補助により、介護訓練アプリケーションがより効果的に実施可能であることが示唆された。

先行研究 [4] では、肘関節の動きの再現だけでなく、その角度に応じて痛みを表現するように顔の表情を制御する機能を搭載した。図 3 は、使用した人モデル (SMPL-X) を示す。また、被験者に経皮的電気刺激を与えたときの表情データ [5] を参考にしてモデルの痛み表情を作成した。図 4 は、SMPL-X を用いたときの表情変化の様子を示す。関節角度が 75 度である状態を平常時として、0 度あるいは 150 度に近づくと痛みを表現するように表情が変化する。実験では、三つのパターンで表情を生成して、表情変化がない場合を含めた四つのパターンを用意して、感情や感覚の変化を定性的に評価した。実験結果では、表情変化があるパターンすべてで「被介護者に対して訓練を行っている感覚」に関する項目で、ない場合と比較して二倍以上高い評価を得た。また、訓練動作を実施しているときに表情変化がある方が、「ユーザ自身が痛みを与えている」と介護者が感じて訓練動作を慎重に実施するように意識することが確認された。一方で、表情変化を感じ取れる部分が瞼の閉じ加減と口の開閉のみしかなく、表情の変化がわかりにくいという意見も受けた。そのため、より人間に近い表情を自然に生成することが課題である。

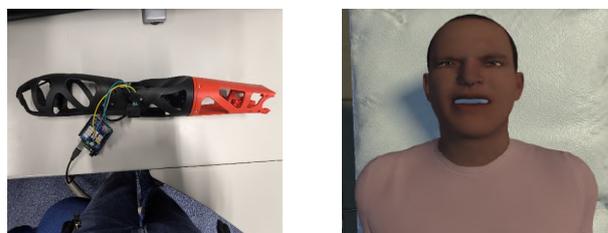
### 3. Meta Human を用いた V-CaTARo の実装

#### 3.1 ハードウェア構成

本研究では、先行研究 [3] と同様に CaTARo を用いて介護訓練アプリケーションを設計する。人間の腕を再現するために、CaTARo の全長は 48.2 cm であった。また、完全に伸展しているときの関節角度を 0 度とし、屈曲しているときを 150 度とした。CaTARo の構成は、前腕部、上腕部および手首で分かれている。このとき、肘関節の関節可動の状態を計測するために、アクチュエータ (MX-64; DYNAMIXEL) を前腕部と上腕部の接続部に挿入している。ポテンシオメータの回転軸をアクチュエータの回転軸の延長線上に装着した。最終的に、Arduino Uno で CaTARo を屈曲あるいは伸展したときのアナログ電圧の値を計測する。



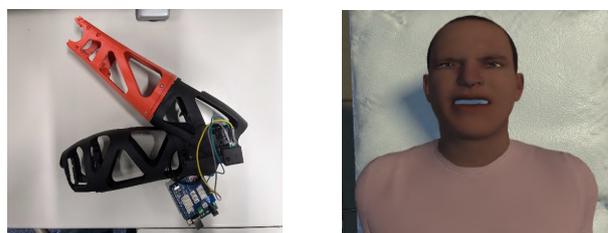
図 3: SMPL-X



(a) 関節角度 0 度



(b) 関節角度 75 度



(c) 関節角度 150 度

図 4: 関節角度に応じた表情変化の様子 (左: CaTARo, 右: SMPL-X)

#### 3.2 ソフトウェア構成

V-CaTARo のシステム概略図を図 5 に示す。本論文では、より人間らしい表情を作成できる Meta Human を用いて人モデルを作成する。Meta Human とは、Unreal Engine 上



図 5: V-CaTARo システム概要図

で利用できるリアルなデジタルヒューマンを作成することができるツールである、関節や筋肉を制御するリグが搭載されており、豊富なパラメータで多様な表情を作成することが可能である。本研究では、Arduino で得られたアナログ電圧の値をシリアル通信で Unreal Engine に送信して、その値に応じて表情を生成する。ただし、ポテンションメータの計測値にはノイズが含まれているため、事前にローパスフィルタにかけている。また、肘関節角度は 0 度から 150 度までであるため、Arduino Uno で正規表現に変換している。シリアル通信には、Unreal Engine5 のプラグインである SerialCOM を使用した。Bytes 型に変換して送信された関節角度の値を Unreal Engine5 で受信したとき、float 型に変換して CaTARo の肘関節角度を取得する。最終的に、取得した肘関節角度の値を MetaHuman の人モデルの前腕部の Z 軸の角度に設定する。

本論文では、先行研究 [4] の実験で被験者が最も痛がっていると感じた表情パターンを参考にして、歯を食いしばりながら痛みを表現する表情パターンを生成した。このとき、肘関節角度の値に応じて、線形的にモデルの表情が変化するように設定した。また、各表現パラメータの最小変化値は 0.01 である一方で、まぶたのコントロールの変化範囲は -1 から 1、唇や眉などの位置を制御するコントロールの変化範囲は 0 から 1 であった。そこで、それぞれに適した正規表現を設定して各表現パラメータを制御した。

#### 4. 実験

本実験では、肘関節の角度が 0 度であるときに、平静を保つ表情を、150 度に近づくにつれて痛みを表情に表すように設計している Meta Human における人モデルの表情変化の様子を図 6 に示す。CaTARo の肘関節の角度に応じて、人モデルの左腕が屈曲して痛みの表情が強く表れている。図 4 に示す先行手法と比較すると、本システムで作成した表情では歯を食いしばって耐えて、眉間にシワを寄せている様子が分かりやすくなっている。Meta Human の導入で現実的な表情生成が実現することが示唆される。ただし本来の拘縮では、ある閾値を越えてから患者は痛みが開始することが一般的である。そのため、関節角度に応じて表情が変わるのではなく、離散的な表情変化の仕組みを導入することが今後の課題である。また、関節角度が 115 度を超えると人モデルの腕が胴体にめり込むだけでなく、ユーザーカメラがモデルから近い位置にあると眉毛などのマテリアルが表示されないという問題点を抱えている。そのた



図 6: Meta Human を用いた表情変化の様子（左: 全身像 / 右: 顔）。上段から順に、CaTARo の肘関節の角度が 0 度、75 度、115 度、150 度であるときの様子を示す。

め、より現実感のある介護訓練を実現するために、3D モデルの描画条件について見直さなければならない。

#### 5. 結言

本研究では、CaTARo を用いた介護訓練アプリケーションにおける VR フィードバックシステムを提案した。Meta Human を用いて人モデルを設計することで、肘の関節角度に応じて現実感のある痛みの表情を描画することを達成した。今後は、3D モデルの描画条件や痛み表情の生成システムを見直して、主観評価実験を実施することに取り組む。

## 参考文献

- [1] Kodai Murata, Hirokawa Yamazoe, Min Gyo Chung, Joo-Ho Lee: Elderly care training robot for quantitative evaluation of care operation - Development of robotic elbow joint to imitate elderly people's elbow, Proc. in IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), pp.1028-1033, 2017
- [2] Miran Lee, Ko Ameyama, Hirokawa yamazoe, Joo-Ho Lee: Necessity and feasibility of care training assistant robot (CaTARo) as shoulder complex joint with multi-DOF in elderly care education, 日本機会学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2020), 2020
- [3] 遠藤優貴, 藤井康之, チャンディントゥアン, 李周浩: VR 空間を用いた介護訓練ロボットの訓練能力向上, 日本機会学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2024), 2024
- [4] 遠藤優貴, 藤井康之, チャンディントゥアン, 李周浩: VR 空間を用いた介護訓練ロボットのユーザビリティ改善, 第 25 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2024), 2024
- [5] Miran Lee, Dinh Tuan Tran, Joo-Ho Lee: Pain Expression-based Visual Feedback Method for Care Training Assistant Robot With Musculoskeletal Symptoms, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System(IROS2021), 2021