

# 手技療法を再現するフィジカルケアロボットシステムの設計

## Design of a Physical Care Robot System Reproduces Professional Manipulative Therapy

原田 直弥<sup>1\*</sup> 高橋 正実<sup>2</sup> 北崎 充晃<sup>3</sup> 田崎 良佑<sup>1</sup>

Naoya Harada<sup>1</sup>, Masami Takahashi<sup>2</sup>, Michiteru Kitazaki<sup>3</sup>, Ryosuke Tasaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 青山学院大学

<sup>1</sup> Aoyama Gakuin University

<sup>2</sup> マサミデザイン

<sup>2</sup> MASAMI DESIGN Co., Ltd.

<sup>3</sup> 豊橋技術科学大学

<sup>3</sup> Toyohashi University of Technology

**Abstract:** This research aims to understand the human physical conditions and emotions through measurement and analysis of the human body state, plan robot motion based on this information, and propose a prototype design for social implementation. We analyzed the treatment motion and finger pressure force by an expert in order to reproduce the pressure motion of the professional manipulative therapy using a robot arm and hand. We have designed a physical care robotic bed system that integrates a robotic arm and a bed and aim to implement a system that allows users to receive the expert-like treatment in the future society.

## 1 緒言

厚生労働省が公開している病気や怪我などの自覚症状に関する国民生活基礎調査結果では、腰痛、肩こりの有訴者率が1, 2位となっており [1], 多くの人が日常的に筋骨格系の痛みを経験している。慢性的な痛みを解消する方法としてマッサージがあり、少子高齢化、心理社会的ストレスなどの影響により、マッサージの需要が高まっている、しかし、あん摩マッサージ指圧師による施術は施術者の負担、施術者の不足などの問題がある。そのため、人間に代わってマッサージを行うマッサージロボットに関する研究が行われている。

マッサージや理学療法などによるフィジカルケアは、エキスパートによる最適施術で効果を増大できるが、そのメカニズムはまだ明らかになっていない。そこで本研究では、力覚情報を用いることで被施術者の状態に対応する適応的施術とエキスパートによる施術に基づく施術動作設計を組み合わせることでエキスパートによる施術を再現することを目的とした、エキスパート施術の再現制御システムの構築を目指す。また、社会実装を目指したプロトタイプ機のデザインを発表する。

## 2 施術動作の設計

エキスパートによる施術を再現するためにはエキスパートの施術動作に基づいた施術動作を設計するとともに、その施術動作の効果を最大限発揮するために被施術者の状態に対応した適応的施術を行う必要がある。

### 2.1 エキスパート施術師の動作解析

エキスパートによる指圧の動きを解析することでエキスパート特有の動作特徴を抽出する。複数名の熟練施術師の共通点を基礎動作とする。また、施術師ごとの差異を抽出することにより各施術師ごとの特徴を明らかにし、特定の施術師らしいマッサージを行うことが可能となる。

エキスパートによる施術における施術プラン、手技動作、加圧力といったデータを記録するための計測システムの概略図を図1に、実験風景を図2に示す。このシステムにはモーションキャプチャと圧力センサを用いる。モーションキャプチャにより施術プランや大きな施術動作などの全身の動き、指圧リズムや手技動作などの手先の細かな動きを計測する。圧力センサを指先に取り付けることで加圧力を計測する。被施術者

\*連絡先： 青山学院大学  
〒 252-5258 神奈川県相模原市中央区淵野辺 5-10-1  
E-mail: c5621167@aoyama.jp

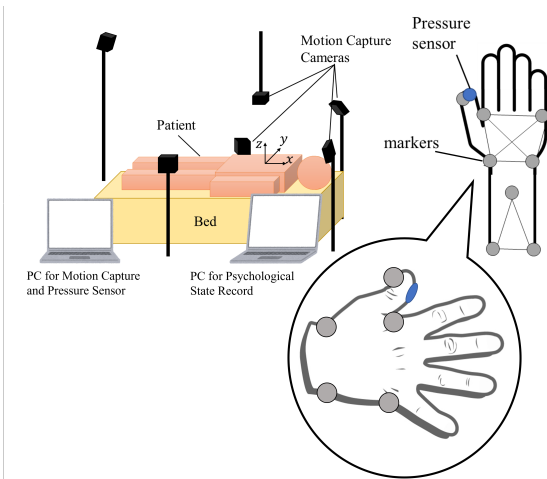


図 1: エキスパート施術計測システム.



図 2: 実験風景.

の感情を PC のタッチパッドを操作することにより提示、記録する。

エキスパートによる施術の結果として、被施術者の腰を指圧した際の加圧力を図 3 に示す。指圧力は約 70N、周波数は約 0.3Hz であり、一定の指圧力で押す矩形波に近い形となった。

## 2.2 繰返し制御による目標指圧力追従

指圧力に対して垂直な方向の動きのみを対象とした力制御および追従制御を行う。図 4 のように圧力センサを取り付けた棒をリニアアクチュエータに取り付ける。指圧棒で指圧試験片に対して垂直負荷力を加え続ける。マッサージにおける被施術者の動きを想定し、独立した制御でカムを動作させることで指圧試験片が周期的運動をする。カムの回転中心からフォロアまでの距離が最小である 50mm の時を  $0^\circ$  とし、回転中心からフォロアまでの距離が最大である 100mm となる  $180^\circ$  とする。この運動に対応して目標圧力を加え続け

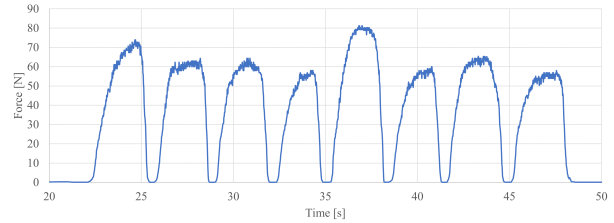


図 3: エキスパートによる腰に対する指圧力.

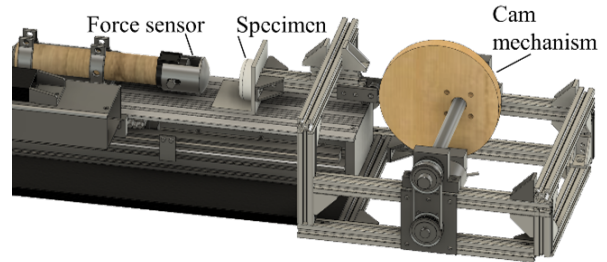
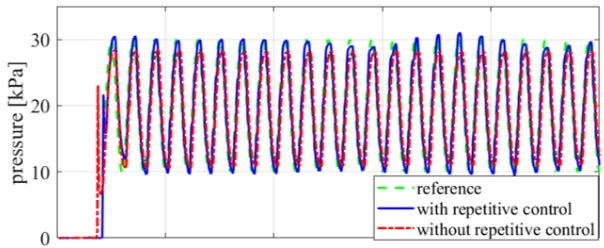


図 4: 1 軸力制御システム.

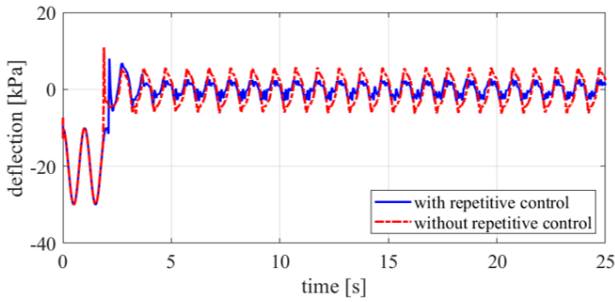
る。また、指圧試験片の運動および目標圧力の周期を変更し、様々な条件下で目標圧力を加える。目標圧力は一定圧力 30kPa の条件と振幅 10kPa バイアス 20kPa で周波数を 5Hz, 8Hz とする単振動の 3 つの条件。3 つの目標圧力の条件それぞれに対して、指圧試験片が固定されている条件とカムにより周波数 0.5Hz, 0.8Hz の並進運動を行う条件で実験を行う。

設定した条件において、繰返し制御を用いた適応的加圧力追従制御実験を行う。繰返し制御とは、一定もしくは周期的に変動する入力に対して 1 周期前の偏差を足し合わせることで偏差を収束させ、精度を向上させる制御である [2]。繰返し制御により目標加圧力が大きく向上した結果として、指圧試験片が固定されており、目標圧力が 1 Hz で変動する条件の結果を図 5 に示す。繰返し制御動作初期状態と時間経過した状態を拡大し比較したものを図 6 に示す。指圧棒と指圧試験片との非接触状態が複数回発生した結果として、指圧試験片が 0.8Hz で周期的に移動し、目標圧力が 1Hz で変動する条件の結果を図 7 に示し、繰返し制御動作初期状態と時間経過した状態を拡大し比較したものを図 8 に示す。偏差の最大値、二乗平均平方根 (RMS) を用いて評価を行う。指圧試験片が固定されており、目標圧力が 1Hz で変動する条件の実験結果における評価を表 1 に、指圧試験片が 0.8Hz で周期的に移動し、目標圧力が 1Hz で変動する条件における実験結果の評価を表 2 に示す。

偏差の最大値や RMS の評価解析により、繰返し制御系を導入することで目標圧力への追従性能が大幅に向上されることを確認した。

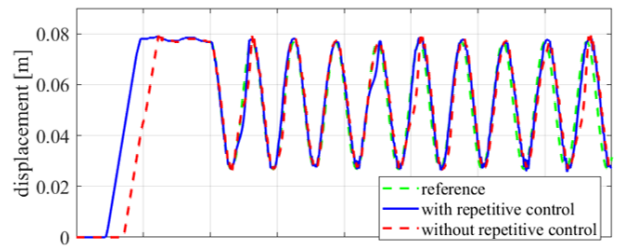


(a) 加圧力.

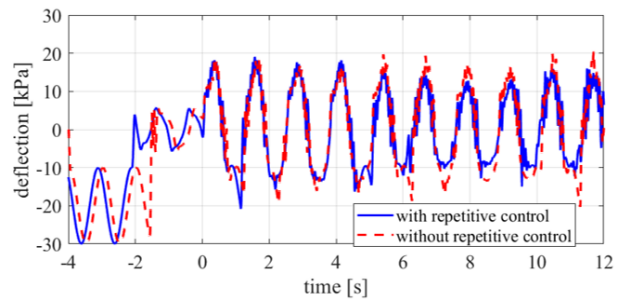


(b) 偏差.

図 5: 指圧試験片固定, 圧力周波数 1Hz における加圧力と偏差.

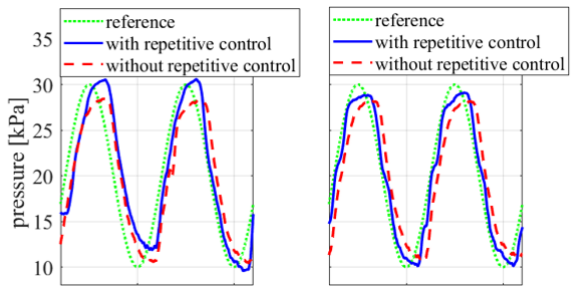


(a) 加圧力.

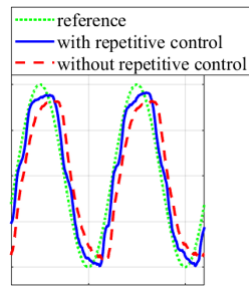


(b) 偏差.

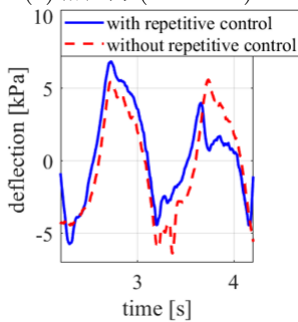
図 7: 指圧試験片の移動周波数 0.8Hz, 圧力周波数 1Hz における加圧力と偏差.



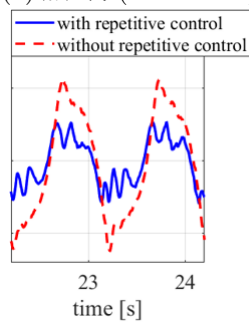
(a) 加圧力 (2.2~4.2s).



(b) 加圧力 (22.2~24.2s).

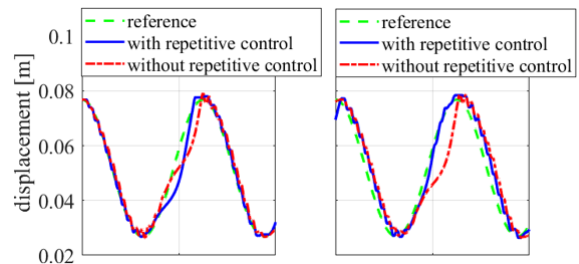


(c) 偏差 (2.2~4.2s).

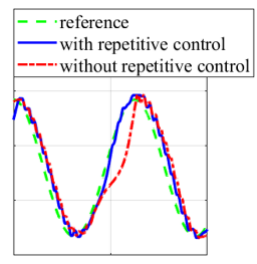


(d) 偏差 (22.2~24.2s).

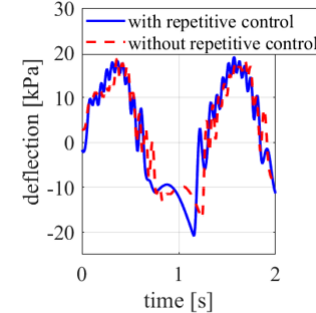
図 6: 指圧試験片固定, 圧力周波数 1Hz における加圧力と偏差 (拡大図).



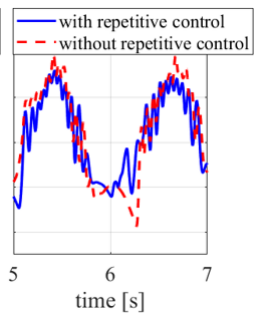
(a) 変位 (0~2.0s).



(b) 変位 (5.0~7.0s).



(c) 偏差 (0~2.0s).



(d) 偏差 (5.0~7.0s).

図 8: 指圧試験片の移動周波数 0.8Hz, 圧力周波数 1Hz における加圧力と偏差 (拡大図).

表 1: 指圧試験片固定, 圧力周波数 1Hz における偏差.

	繰返し制御無し	繰返し制御あり
最大値 [kPa]	6.32	3.27
RMS[kPa]	3.64	1.62

表 2: 指圧試験片の移動周波数 0.8Hz, 圧力周波数 1Hz における偏差.

	繰返し制御無し	繰返し制御あり
最大値 [kPa]	20.46	46.45
RMS[kPa]	11.18	8.69

### 3 ロボティックマッサージベッドの新デザイン

フィジカルケアロボットシステムにおけるプロトタイプ機を設計, 製作, プラットフォームシステムを構築する. システムの全体図を図 9 に示す. ロボティックマッサージベッドはベッド, ロボットアーム, ロボットハンドから構成される. ロボットアームを身体の上方に吊り下げる様に設置することロボットが上から身体にアプローチする. このように設置することで被施術者の全身に対してロボットの自由度が高い状態でロボットハンドの指による力だけでなくロボットアームの動きによる力も用いて加圧を行うため, マッサージに必要となる加圧力を被施術者に与える.

ロボティックベッドは, 日本庭園にみられる枯山水をイメージしたフィジカルケアの空間に存在させる. 枯山水の中に寝そべると無限の空間とつながるイメージの (池よりも川よりも広がりのある海や宇宙らしい不思議な) 新しい世界をそこに創ることで, 日常社会と生活から極めて遠い場と体験を連想することができる. 枯山水に存在するロボティックベッドを図 10 に示す. また, 新デザインのロボティックマッサージベッドによって, 実際に人を対象とした有用性評価を実施する. ここで, 本グループで研究開発を進めている非接触身体計測法を導入し, 3次元画像から筋骨格および接触対象筋の位置を高精度に推定する. ロボットハンドの指腹部分に筋疲労計測機能を備えることで, リアルタイムの人の筋疲労度を計測してロボット動作にフィードバックするとともに, 回復度を数値的にモニタリングする. さらに, 触れられている人の心電, 脈拍, 呼吸, 皮膚電位などの複数のバイタル情報を解析することで, 心身状態の向上効果を確認する. 本学会発表においては, 上述した心身状態の計測・制御結果についても報告する.

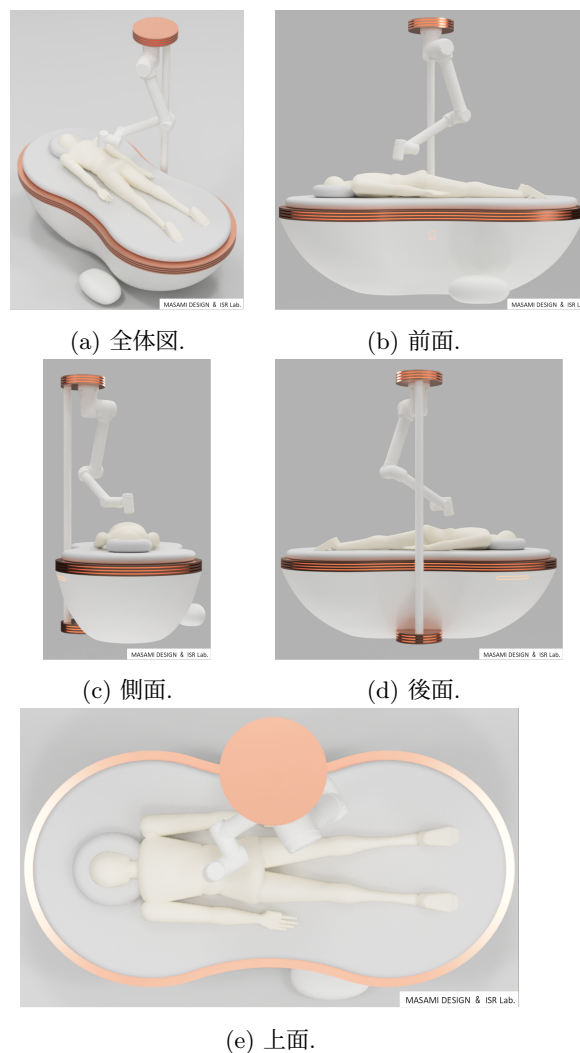


図 9: ロボティックベッド.

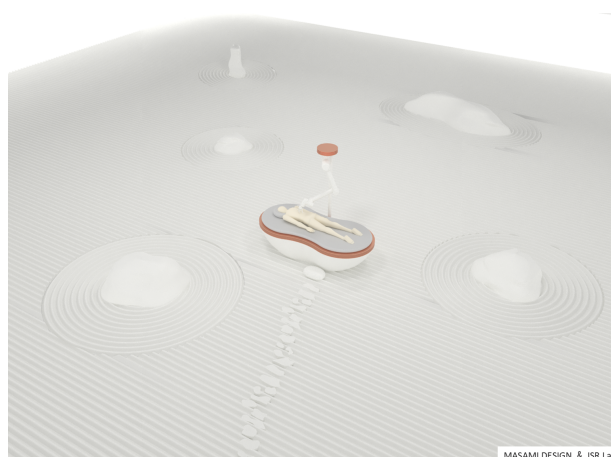


図 10: 枯山水に存在するロボティックベッド.

## 4 結論

フィジカルケアロボットの施術動作設計としてエキスパート施術師の腕と指の動き，加圧力を計測する施術計測実験と動作解析を行い，指圧方向のみに限定した条件における繰返し制御を用いた特定筋および指圧力追従制御を行った．また，繰返し制御により目標加圧力追従性および対象物追従性が向上することを確認した．フィジカルケアロボットシステムにおけるプロトタイプ機を設計した．

今後は，エキスパートによる施術動作の解析を行い，熟練施術者に共通する施術動作の解明，ロボティックマッサージによる施術再現を行う．

## 参考文献

- [1] 厚生労働省: 生活基礎調査の概況 (2016)
- [2] 井上憲, 中野道雄, 久保田忠志, 松本啓, 馬場斉: 陽子シンクロトン電磁石電源の繰返し運転における高精度制御, 電気学会論文誌 C, Vol.100, No.7 (1980), pp. 234-240.