

人体体表の柔軟さを考慮した介護支援ロボットの動作計画

○丁明¹ 池浦良淳^{1,2} 森友揮¹ 向井利春¹ 細江繁幸¹

¹ 理化学研究所, RTC, ² 三重大学

1. はじめに

本研究センター（理研—東海ゴム人間共存ロボット連携センター, RTC）は介護中に最も介護者の負担となる移乗動作をロボットにより実現するため、介護支援ロボット RIBA（図1）を開発してきた [1, 2, 3]. 介護士の動作解析に基づいて作られたロボット動作は、被介護者を安定に抱き上げ、ベッドと車椅子間の移乗作業を実現した。しかし、被介護者との接触部位で、ロボットからの圧迫より痛みなどが生じ、被介護者に負担がかかる場合もある。

感覚の側面から見ると、痛みとは体に外部から刺激が加わった時や、組織が病変や、神経系などの異常が発生する場合生じるものである [4]. 刺激などによる痛みは侵害受容器など神経を通して感じられる。機械刺激による痛覚（圧疼痛など）は測定部位の受容器の分布状況や圧力の大きさと関係している。同じ外力でも、より柔らかい部位との接触で、局所の圧力を減少し、痛みが生じにくくなると考えられる。

本研究は、抱き上げ時にロボットと被介護者の接触部位の柔らかさを考慮し、より柔らかい部位と接触することにより身体表面の圧迫による痛みを減少し、快適な抱き上げ動作計画を実現する。抱き上げ時にロボットアームと接触する身体表面の柔らかさを測るため、大きい変形でも測定可能な計測センサも作成する。測定されたデータにより、抱き上げ時にロボットアームと接触する身体背部と大腿裏部の平均柔らかさ分布を算出する。筋骨格モデルで計算される被介護者自身の発揮力も同時に考慮し、ロボットが最軟部位から被介護者を抱き上げる動作を算出する。実機実験の計測結果とシミュレーションを比較することで、手法の有効性を検証する。

2. 身体柔らかさの計測

体の周りに皮膚の下には筋肉や脂肪などが柔軟な組織が分布され、体表面を柔らかくし、骨や内蔵などの身体器官の保護にもなる。筋肉や脂肪層の厚さにより、体表の柔らかさも変化する。体表は一般的な粘弾性を持つ柔軟物体と同じ、一定な圧力を加えた時の変形を測定することにより、柔らかさの測定が可能である。

現在、筋緊張による肩こり防止や筋トレのため、体表から筋肉の硬さを測る筋硬度計（NEUTONE TDM-N1/NA1 など）が開発され販売されている。しかし、比較的硬い筋肉の測定が主な目的で、力を入れていない筋肉部やより脂肪層が多い部位の柔らかさを細かく測定するのは困難である。柔らかい体表部でも測定可能にするため、本研究は空気圧シリンダとポテンシオメータを用いて、体表硬度測定するセンサを作成した（図2）。シリンダとポテンシオメータの前端が球面アタッチメントを取り付け、シリンダに空気圧をか

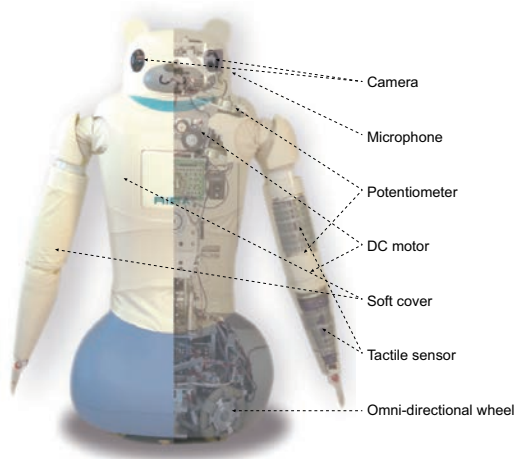


図1 Nursing-care robot: RIBA

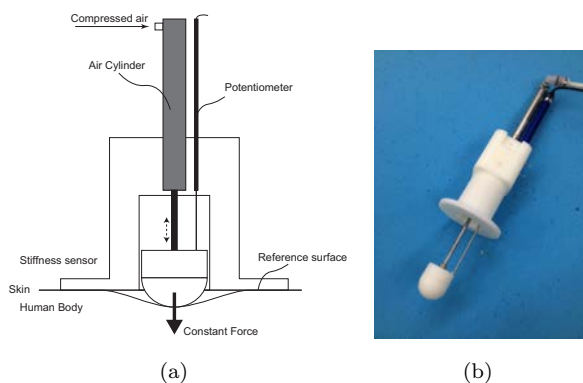


図2 Developed stiffness sensor

けると、体が押されて変形する。空圧レギュレータを使ってシリンダ内の空気圧を一定にし、体表に同じ圧力をかける。球面アタッチメントが基準面から体表に入り込む量をポテンシオメータで計測し、体の柔らかさとして利用する。

本研究で利用する介護支援ロボットが被介護者を抱き上げる時に、両腕により横抱きを行い、移乗などの介護作業を行う。抱き上げ中にロボットアームは主に被介護者の背中と大腿裏部と接触する。なるべく柔らかい部位と接触し、抱き上げ中の痛覚を減らすため、本研究は図3に示すように、人の背中と大腿裏部を身長方向で18等分し、計50ヶ所（赤+）の柔らかさを測定した（背中：10等分36ヶ所、大腿裏：8等分14ヶ所）。

5人の被験者に対してデータを測定した（3回/計測点）。各点の柔らかさにより、体の身長方向の柔らかさを計算した。各被験者の最軟部位データにより計測データを正規化した。図4は計算された柔らかさ分布を示す。「×」マークは各被験者の体表の柔らかさを示

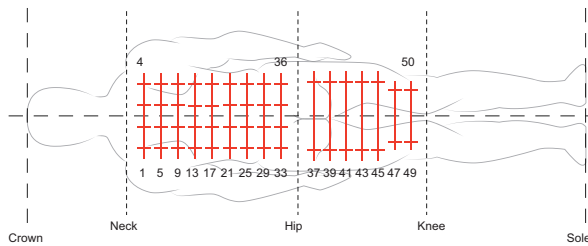


図3 Measuring points

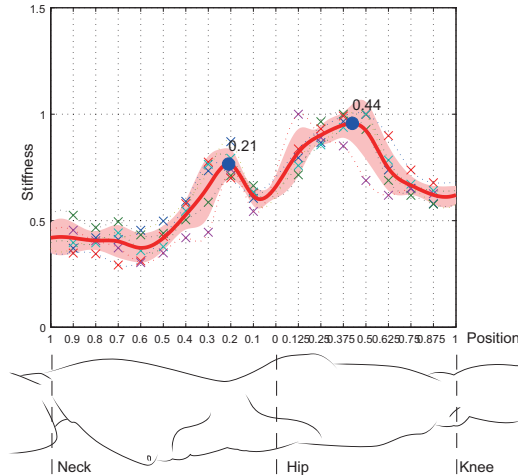


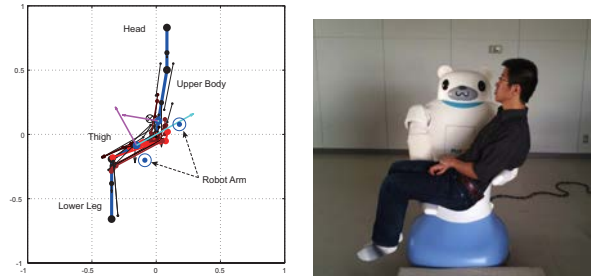
図4 Softness distribution

す。個人差が存在しているが、柔らかさの変化はほぼ同じであった。赤い曲線とピンクの領域は5人の被験者の測定値の平均値と分散を示す。この分布により、背中は腰から上半身長分の0.21、大腿裏は大腿長の0.44になるところが最も柔らかい。

3. 身体柔らかさを考慮した抱き上げ動作

ロボットが人を抱き上げる時に体の最も柔らかいところと接触するようにロボットアームの位置を推定した。ロボットアームと人の接触位置が測定された体表柔軟さの分布により (0.21, 0.44) の位置に固定した。シミュレーションでロボットアームを可動範囲内に設定し、人の姿勢、関節トルクおよび筋力を推定し、全探索により人が最も楽と感じるロボットアーム位置を算出した。計算結果により、ロボットアームと接触する人の上半身と大腿の角度はそれぞれ $80.6[\text{deg}]$ と $209[\text{deg}]$ である。図5(a)は計算されたロボットアームの位置と推定された人の姿勢を示す。

ロボットアームの位置を算出した結果により設定し、実際に抱き上げ実験を行った。図5(b)に示すように、シミュレーションと同じ、被験者はロボットアームの上で最も楽な姿勢まで自分で調整する。調整後の姿勢を記録し、シミュレーションの計算結果(図5(a))と比較した。7人の被験者に対して5回づつ実験を行い、図6は各被験者がロボットと接触する上半身と大腿の角度を示す(5回実験の平均値と分散)。点線はシミュレーションで計算された角度を示す。計測された被験者の姿勢はシミュレーション結果と近かったが、大腿と上半身の角度はそれぞれ平均的に約 $6[\text{deg}]$ と $13[\text{deg}]$ の誤差があった。



(a) Simulation

(b) Experiment

図5 Human posture and robot motion

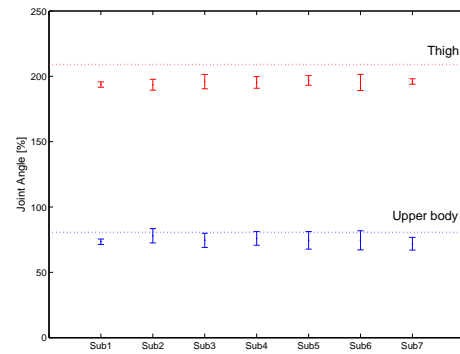


図6 Subjects' joint angle

4. おわりに

本研究は介護支援ロボットを用いて、なるべく被介護者の柔らかい体表と接触するにより、快適なロボットの抱き上げ動作を生成する手法を提案した。身体表面の大きい変形でも測定可能な計測センサも作成し、複数人の被験者に対する測定により、ほぼ同じ柔らかさ分布が計測された。平均的に腰から背中が0.21、大腿裏が0.44となる部位が最も柔らかくなる。これらの部位と接触するように、シミュレーションでロボットの抱き上げ動作を算出し、被験者実験を行った。計測された被験者の姿勢はシミュレーションで算出した姿勢と近いため、提案手法が有効であると考えられる。今後、更に抱き上げ時ロボットアームとの接触力や、人の筋力の計測により、手法を改良し、その有効性を更に検証して行く。

参考文献

- [1] T.Mukai, M.Onishi, T.Odashima, S.Hirano and Z.Luo: "Development of the tactile Sensor System of a Human-Interactive Robot 'RI-MAN'", IEEE Transactions on Robotics, vol. 24, no. 2, pp. 505-512, 2008.
- [2] T.Mukai, S.Hirano, H.Nakashima, Y.Sakaida and S.Guo: "Realization and Safety Measures of Patient Transfer by Nursing-Care Assistant Robot RIBA with Tactile Sensors", Journal of Robotics and Mechatronics, vol. 23, no. 3, pp. 360-369, 2011.
- [3] 佐藤侑, 郭士傑, 稲田誠生, 向井利春: "介護支援ロボット RIBA-II の動作設計と評価実験", 日本機械学会論文集 (C編), vol. 78, no. 789, pp. 595-608, 2012.
- [4] 横田敏勝: 臨床医のための痛みのメカニズム, 南江堂, 1997.