

ロボット介護機器の力学的効果評価

－ デジタルヒューマンとヒューマノイドを用いた定量的評価 －

吉田 英一 遠藤 維 多田 充徳 吉安 祐介 鮎澤 光 松本 吉央
本間 敬子 梶谷 勇 (産業技術総合研究所)

1. はじめに

経産省「ロボット介護機器開発・導入促進プロジェクト」[1]の基準策定・評価事業では、ロボット技術を利用した介護機器の安全性、性能・効果の基準、評価方法、および倫理審査を含めた実証実験プロトコルの確立を目的としている。その中で、筆者らは特に、新たな製品分野であるロボット介護機器の力学面での効果の検証方法について確立することを目指している。本報では、接触や装着など、使用する人間と直接のインタラクションがある機器について、その力学的な効果を検証するためのツールの研究開発の現状を紹介する。

2. 力学的な効果の検証

本事業において、既報[2]で提案しているロボット介護機器の開発・検証モデル(V字モデル)では、設計において機械的な有用性・安全性を満たすための「性能」を定義し(要件定義)、機器においてこれが充足されているか検証する(妥当性検証)こととしている。V字モデルで、これらの「要件定義」、「妥当性確認」より下流のレベルでは、機械のシステムやハード・ソフト、モジュールの設計・検証を扱っているのに対し、これより上側のレベルでは、新たに人との関係により生じる「効果」の設計・検証を定めている。つまり、ここでは「性能」は機器の機械的な安全性・有用性を示し、「効果」は人間が機器を使うことにより生じるものと位置づけられる。

目標とする効果の定義においては、ICFモデル[2]に基づき、設計においては、生活の中での課題、目標となる「活動」、さらにそれを構成する「要素動作」を明確化する。一方、人がこれらの機器を利用してこのように明確化した「要素動作」を行う際、機器との直接的なインタラクションにより負担軽減効果や接触の影響などの物理的效果が生じることとなる。機械的な性能の「妥当性確認」を行ったロボット介護機器にとって、これが人との関係における最初の接点となる。筆者らは、これらの力学的な効果について、その解析と定量的評価が効果検証の第一歩と考え、そのためのツール群の開発を進めている。

3. 評価ツールの開発

基準策定・評価事業において、産総研ではデジタルヒューマンとヒューマノイドを有機的に活用したロボット介護機器の力学的な効果検証の取り組みを進めている。具体的には、全身のデジタルヒューマンを用いた人間と機器の物理的な接触のモデル化と、それによる関節トルクや着圧等の力学的な効果のシミュレーションを行う。また、介護者や被介護者の動作を模擬する

ヒューマノイドを用い、それぞれ装着型の介護者支援機器による腰部の負担軽減効果や、移乗支援機器が被介護者に与える圧力などを定量的に計測する。(図1)。これらの定量的評価により、主に「要素動作」における効果検証とその標準化、また事業者にとっては設計改良ループの効率化が期待できる。さらに、ロボットによる実験とによるシミュレーションを相互補完的に運用することで、デジタルヒューマンのモデル検証やロボットで再現する人間行動の多様化など、双方にとって有益な成果も想定される。

3.1 デジタルヒューマンによる力学効果シミュレーション

これまで筆者らは、デジタルヒューマンモデル“Dhaiba”の開発を進めており、モーションキャプチャを用いた個人適応のデジタルハンドモデルなどを提案してきている[3]。

本事業においては、これを全身に拡張したモデル(図1)および、機器のシミュレーションによって介護機器の性能評価を行うための手法およびソフトウェアの開発を行ってきた。人体については、被験者に取り付けられた光学マーカ群の軌道をモーションキャプチャを用いて計測した後、得られたデータから個人の寸法・形状をもつ人体モデルおよびその運動を計算機上で再現する手法を開発し、例えば介護者や被介護者の実務上でのさまざまな運動を計算機上で高精度かつ高速に再現することが可能となった。

また、開発された個人モデルの運動再現手法を機器開発企業が容易に使用できるよう、人体シミュレーションソフトウェア“DhaibaWorks”上に本機能を実装するとともに、本ソフトウェアのマニュアル・リファレンス・チュートリアル等の作成を行った。さらに、得られた運動姿勢から、機器利用時の腰部等の負担を推定するため、“DhaibaWorks”上の人体モデルおよびその運動データを、筋骨格シミュレーションソフトウェア“OpenSim”上で利用できるファイル形式として出力し、“OpenSim”上で、運動中の人体の各関節トルクを評価することが可能となった。

さらに、装着型の移乗支援機器を想定し、身体と装着物との接触状態の再現と相対的圧力分布推定手法の開発を行った。まず、バネ-マスモデルを用いた変形シミュレーション法を構築した。既存の自己衝突アルゴリズムを用いて、身体(現状では剛体モデル)と装着物の接触状態を再現する手法を構築した。次に、Wangらの方法[4]を用いて、身体と装着物が接触した際の相対的圧力分布を算出し、定性的に妥当であることを確認した(図2)。

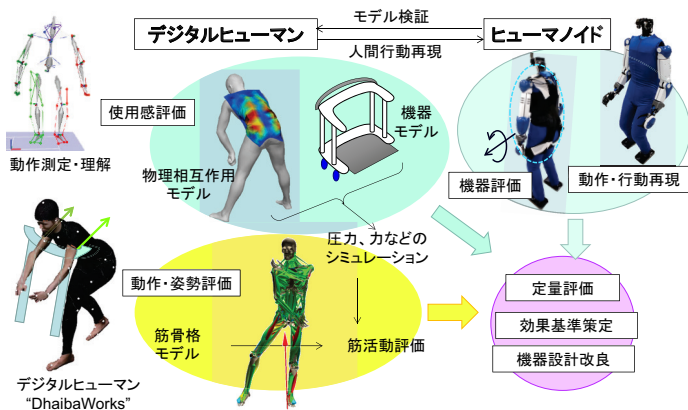


図1 デジタルヒューマンとヒューマノイドを用いた定量的評価

3.2 ヒューマノイドによる力学効果評価

人が機器を使用した際の力学的効果の評価は、これまではモーションキャプチャによる動作測定や筋電等の生理学的測定に加え、アンケート等の官能評価などの被験者実験が中心に用いられてきた。これらの手法はある程度確立されており、有効な指標ではあるが、力学的な効果を評価するには不十分な点もあった。特に、実際の腰部負担等を表す力やトルクや力については、動作や筋電などの間接的な測定からは、測定誤差やモデル誤差等の影響により、正確な評価が困難であった。

そこで、人間と近い構造を持ち、実際の使用状況に近い形で機器を使用できるヒューマノイドに人間の動作を模擬させ、力学的指標をセンサで測定することで、より客観的・定量的な効果の評価を行うことを目指す。本事業では、介護者の動作と高齢者の動作を模擬するヒューマノイドをそれぞれ開発している。ロボットを用いた力学的効果評価には、被験者実験では難しい上記定量的評価に加え、動作の多様性と再現性の高さ、倫理的リスクの回避などの利点も期待される。

介護者動作模擬ロボットは、川田工業社製のヒューマノイド HRP-4 と同様の内骨格構造に、柔軟な外装を施したものである。前述の人間の要素動作を測定し、リタゲッティングと呼ばれる手法によりできるだけ元の動作に忠実にロボットに移植することで、実際に近い機器の使用状況を再現することができる [5]。今後、図3に示すように装着型支援機器（図3では北大開発の「スマートスーツ・ライト」[6]を装着）を装着して、介護活動におけるさまざまな要素動作を再現し、ロボットに装備されたセンサによりモータのトルクや着圧を測定して、腰部負担の軽減や圧迫感等の定量的評価を行っていく予定である。

また、高齢者動作模擬ロボットは、被介護者の動作を模擬する目的で開発されたもので、空気圧アクチュエータにより駆動され、多数の可動関節（可動関節：22、受動関節：22）により、様々な姿勢、動きを取らせることが可能である（図4）。このロボットも柔軟な外装で覆われており、各種センサ（圧力分布、せん断力など）を併用することで、特に被介護者を保持して移乗を支援する非装着のロボット介護機器等による物理的影響や、見守り機器による転落や転倒の検出機能を評価することを目指している。

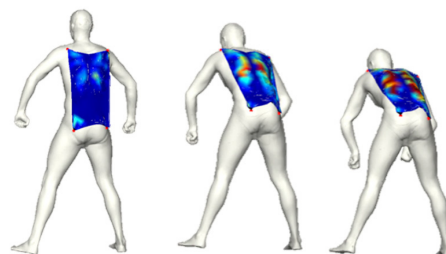


図2 柔軟装着物のシミュレーション

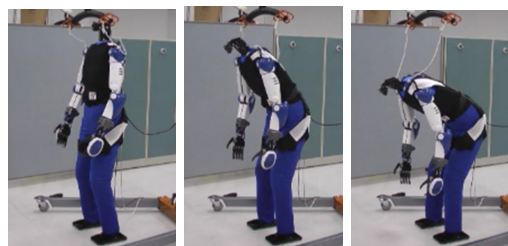


図3 介護者動作模擬ヒューマノイドによる人間動作再現

4. おわりに

本報では、ロボット介護機器開発・導入促進プロジェクトにおける力学的効果評価の手法について紹介した。今後は、介護活動における要素動作の抽出とその測定、デジタルヒューマンへの筋骨格や表皮モデル、また物理インタラクションモデルの統合による高精度化、さらにさまざまな人間動作をより忠実に再現する汎用性の高いリタゲッティング手法の開発を行っていく予定である。これにより、ロボット介護機器の効果を客観的に評価するツール群を提供し、開発企業による機器の改善とともに、ユーザにとって分かりやすい効果評価指標の提供への貢献を目指す。

参考文献

- [1] 比留川他，“ロボット介護機器開発・導入促進事業 - 全体概要-”，第31回日本ロボット学会学術講演会，2013.
- [2] 松本他，“ロボット介護機器開発・導入促進事業 - 効果・性能評価-”，第31回日本ロボット学会学術講演会，2013.
- [3] 遠藤他，“モーションキャプチャを用いた個人別デジタルハンドモデルの構築”，精密工学会誌，79-9，pp.860-867，2013.
- [4] C. Wang and K. Tang, “Pattern computation for compression garment by a physical/geometric approach”, Computer-Aided Design, 42-2, pp.78-86, 2010.
- [5] K. Miura, et al., “Humanoid Robot as an Evaluator of Assistive Devices,” Proc. ICRA, pp.671-677, 2013.
- [6] Y. Imamura, et al., “Motion-Based-Design of Elastic Material for Passive Assistive Device Using Musculoskeletal Model,” J. Robotics and Mechatronics, 23-6, pp.978-990, 2011.



図4 高齢者動作模擬ロボットと圧力分布測定