

第11章 医療支援ロボットの要素技術と将来展望

第1節 介護支援ロボットの要素技術開発と今後の方向性

向井 利春

(独)理化学研究所 ロボット感覚情報研究チーム チームリーダー 博士(工学)

郭 士傑

東海ゴム工業(株) 健康介護事業準備室 室長 工学博士

(株)技術情報協会

2014年5月発刊 「【次世代】ヘルスケア機器の新製品開発」抜刷

第1節 介護支援ロボットの要素技術開発と今後の方向性

はじめに

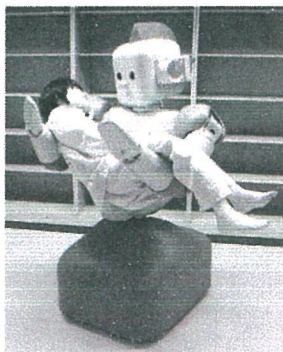
我々、理研一東海ゴム人間共存ロボット連携センターでは、移乗介助を主な目標として介護支援ロボットの研究開発を行なっている。このようなロボットでは人とロボットの間力のやり取りを検出するために、ロボット表面の広範囲に触覚センサが必要となる。そこで、我々はゴム材料をベースにした柔軟な容量型触覚センサを開発した。この触覚センサは介護支援ロボットの他にも介護・福祉機器に広く利用可能である。本稿では、我々が開発を行なっている介護支援ロボットと主要な要素技術である触覚センサ、および、触覚センサを応用した介護・福祉機器の紹介を行う。

1. 移乗介助を行う介護支援ロボット

1.1 背景

少子化と高齢者人口の増加により、介護者不足が大きな社会問題となってきた。これに対しロボティクスへの期待は大きく、これまでもさまざまな介護・福祉用ロボットが開発されている。例えば、要介護者の食事を支援するロボット¹⁾や、精神的な癒しを目的としたメンタルコミットロボット²⁾、筋電義手³⁾、インテリジェント車椅子⁴⁾などが挙げられる。また、介助者や要介護者の動きを補助するための人間装着型ロボット^{5,6)}も提案されている。

介護の中でも、被介護者のベッド-車椅子間などの乗り移りをサポートする移乗介助は身体的負担の大きい作業であり、移乗介助を行えるロボットが期待されている。経済産業省と厚生労働省が2012年に「ロボット技術の介護利用における重点分野」を4分野策定⁷⁾したが、移乗介助はその中の一つに選ばれている。移乗を行うためのロボットとしては、パナソニックのトランスファアシストロボット⁸⁾などいくつか提案されている。我々は、寝ている被介護者の下の空間に差し込みやすいこと、および、多様な抱き上げ動作に対応できる汎用性に注目して、人間のように多自由度を有する双腕を持つロボットによる移乗の研究を行っている。これまでに試作機として、RI-MAN⁹⁾、RIBA¹⁰⁾、RIBA-II¹¹⁾(図1)を製作した。RI-MANで18.5kgの人の抱き上げを行い、RIBAで実際の人(61kgまで)を対象に、多自由度を持つ腕を用いたベッド-車椅子間の移乗を初めて実現した。RIBA-IIでは抱き上げ重量を80kgに増加するとともに、床からの抱き上げも可能とした。



RI-MAN (2006年)



RIBA (2009年)



RIBA-II (2011年)

図1 移乗介助を行う介護支援ロボットの試作機

1.2 ロボットの仕様と特徴

我々の開発したロボットの代表例として、RIBA-IIの仕様を表1に示す。移乗に腕を用いることのメリットとして、小さな空間に腕を差し込むことができ従来の介護リフトに比べて作業時間を短縮できる可能性があること、および、下から腕で支えるので介護リフトに比べて安定感が得られることが挙げられる。一方デメリットとして、被介護者との接

触面積が小さいので、皮膚や皮下組織に損傷を与えたり落下の危険性が増したりなどの可能性が考えられる。したがって、このような欠点を克服することが研究開発のポイントとなる。

介護施設や病院など、ロボットのために作りこまれていない環境では、被介護者の位置・姿勢を検出し、どのような抱き上げが適切であるか、また不測の事態が起こっていないかなどをセンサ情報から確実に判断することは、現在の情報処理技術では困難である。そこで我々は、介護者がロボットの操作者として必ずロボットの側において、被介護者の状態や周囲の安全などの確認と動作選択を行うことを基本コンセプトとしている。つまり、人が状況判断に責任を持ち、ロボットは人の操作のもと、力作業を担当する。

表1 RIBA-IIの基本仕様

サイズ	高さ 137cm, 幅 82cm, 奥行き 103cm
重量	230kg (バッテリーを含む)
可搬重量	80kg
自由度構成	片腕 7, 腰 2, 台車 3 (モータは 4 個使用)
センサ	触覚センサ (上腕, 前腕, 胸), ハンドセンサ, マイクロホン
駆動方式	DC モータ
動力源	ニッケル水素バッテリー
バッテリー駆動時間	標準な抱き上げで 2 時間程度
走行方式	オムニホイールによる全方位移動

我々のロボットは表面の広範囲に触覚センサを持つ。RIBA-IIの触覚センサの設置箇所を図2に示す。この触覚センサは、抱き上げた人の検出に使われるだけでなく、介護者がロボットに判断を伝えるためのインターフェースとしても使われる。ロボットの操作はリモコンやジョイスティックなどを使う方法も考えられるが、ロボット表面の触覚センサを使うことにより、追加の装置を持つ必要がなくなる。また、片手で操作を行えるので、もう一方の手で操作者が患者に触れて安心感を与えたり、ロボットが不得手とする被介護者の頭部をサポートするなどの細かい作業を行ったりすることができる。操作の指示は、人が他人に動作を伝えるときに手取り足取り伝えることを参考に、動いてほしい方向に力を入れたり接触位置をスライドしたりすることで直感的にできるようにした。

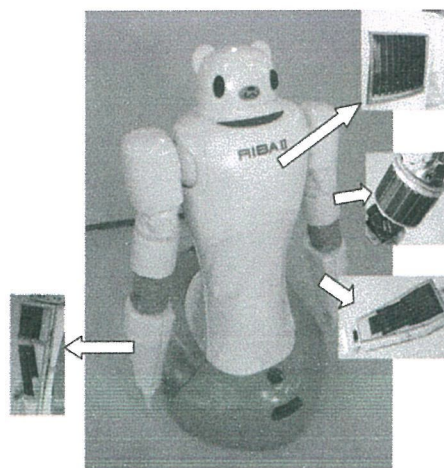


図2 RIBA-IIの触覚センサ設置箇所

1.3 ゴム材料を用いた柔軟な静電容量型触覚センサ

我々のロボットは人と接して力仕事を行うため、接触状態を検出できる触覚センサが重要な要素技術となっている。我々のロボットに必要な柔軟性と低コストを実現するために、新たに触覚センサを開発した¹²⁾。

開発した触覚センサの基本構成を図3に示す。中間の薄い誘電層を両側から2枚のゴムシートで挟み込む構造となっている。ゴムシートの黒色部分は導電性ゴムで作られた電極であり、両側で直交するように配置されている。それぞれの交差部分がコンデンサを構成していて、圧力が加わると誘電層が変形し電極間距離が短くなるので静電容量が変化する。センサコントローラでこの変化をそれぞれのコンデンサごとにスキャンしながら検出することで、2次元的な圧力パターンを検出可能な触覚センサとなる。このようなセンサ構成は古くから提案されており、金属電極のセンサも市販

されているが、介護支援ロボットなどの福祉機器への応用に際しては、伸縮性不足や高コストなどの課題が残っている。そこで我々は、ゴム材料を用いて安価に製造する方法を開発した。

開発した製法では電極まで含めてゴムで製作するので、柔軟な触覚センサとすることができる。また、ゴムシートの電極部分はスクリーン印刷により形成するので、大量生産に向いている。大きな印刷機を用意することで、大面積のセンサも製造可能となる。ロボットに搭載するためにはセンサコントローラも小型であることが求められる。我々の開発したセンサコントローラを図4に示す。大きさは50×35mmであり、ロボットの腕の内部などに収納可能となっている。

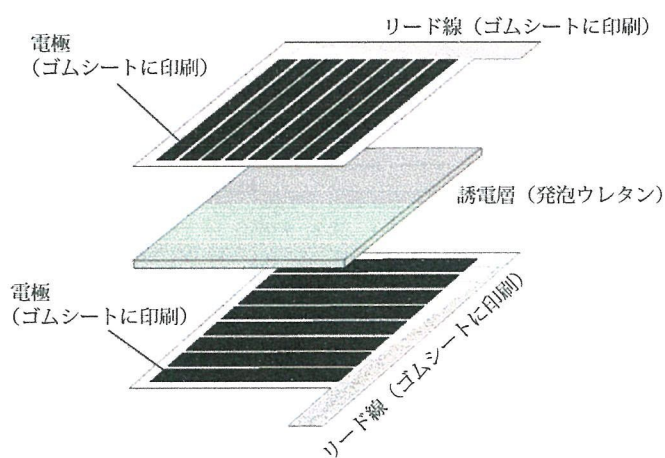


図3 ギュムを用いた静電容量型触覚センサ (SRセンサ) の基本構成

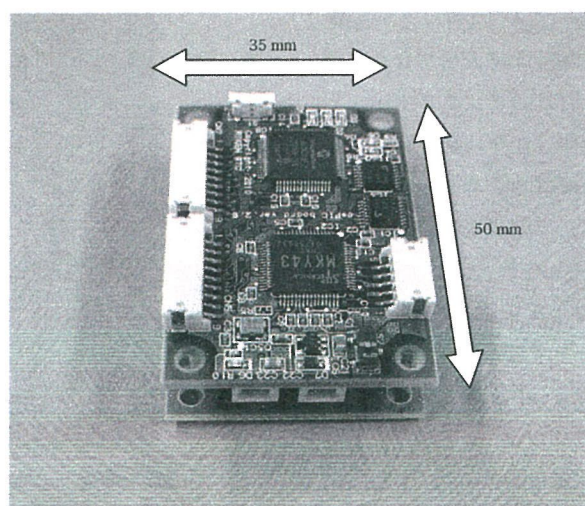


図4 SRセンサのコントローラ

1.4 RIBA-IIによる移乗

RIBA-IIによる、床から車椅子への移乗の様子を図5に示す。被介護者の脚を曲げ膝を立てたり、頭を持ち上げたりするのは操作者の役割であり、そのようにしてできた体の下の空間にロボットの腕を差し込む。その際にも、操作者が安全を確認しながら触覚センサを通した操作でロボットを動かす。

健常者7名に対してRIBA-IIによる移乗の被験者になってもらい行ったアンケートの結果を図6に示す。総じて良い評価だが、「窮屈」「不安」など、心理的な面でやや悪い評価となっている。乗り心地などの改善を行うとともに、今後、実際の患者での試験を行っていく。

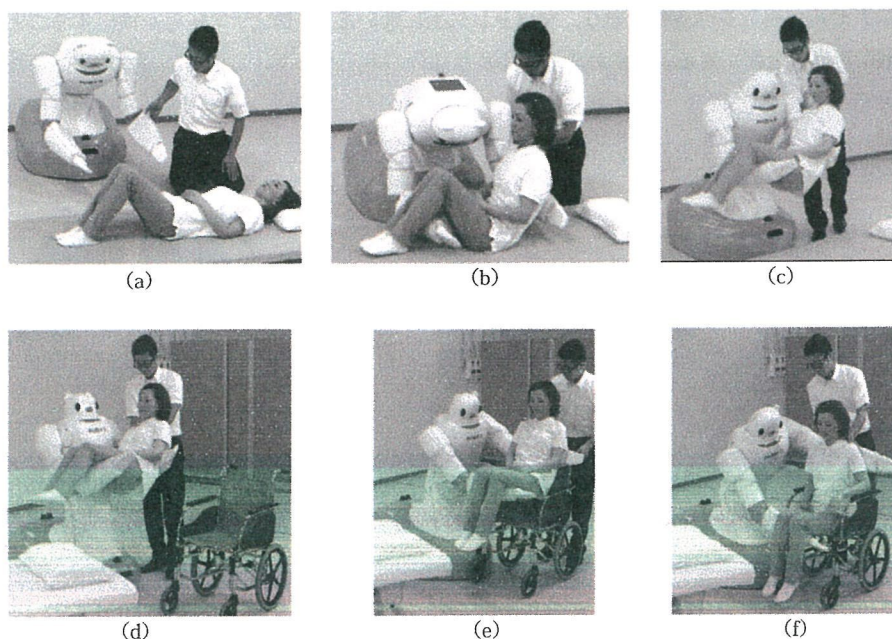
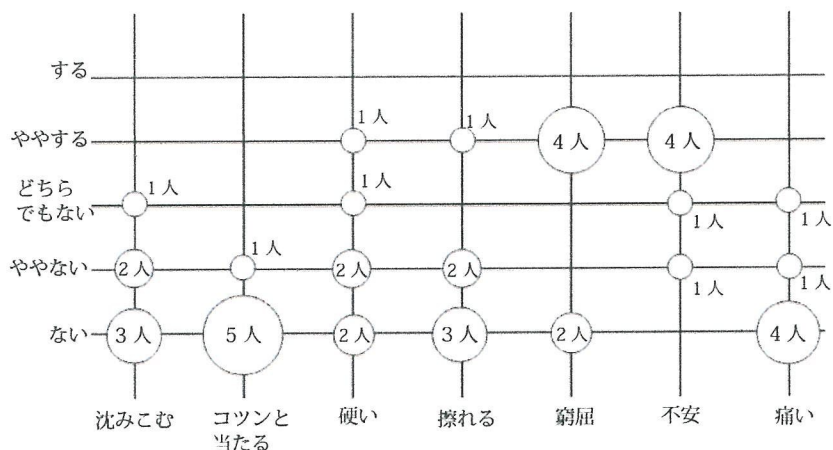


図5 RIBA-IIによる床から車椅子への移乗の様子



総合評価：よい（1人）、ややよい（2人）、どちらでもない（3人）

図6 RIBA-IIによる移乗のアンケート結果

2. 柔軟触覚センサを応用した介護・福祉機器

SRセンサは介護支援ロボットで用いるために開発されたが、その柔軟性、低コスト、大面積の製造が容易などの特徴により、介護・福祉機器に広く応用可能である。我々のグループで行っているSRセンサ応用の取り組みを紹介する。

2.1 床ずれ防止マットレス

一日の大半をベッド上で過ごす寝たきりの患者では、床ずれが大きな問題となる。床ずれは長時間同じ姿勢で寝ているとできやすいので、それを防ぐための手段として体位変換が一般的に行われている。その間隔は基本的には2時間おきであり、介護者にとって肉体的・精神的に大きな負担となっている。

床ずれの原因は単純ではなく多数の要因が関係していることが指摘されている¹³⁾が、圧力は主原因の一つである。

そこで、図7に示すような床ずれ防止マットレスを試作した¹²⁾。マットレス内にはバルブの開閉により圧力を制御することが可能なエアセルが複数並べられており、マットレス上に敷いたSRセンサで圧力を検出することにより、アクティブに体圧分散を行うことができる。床ずれ防止に必要な部分のみ圧力を下げて他の部分は寝返りのために必要な硬さを保つことが可能となっている。

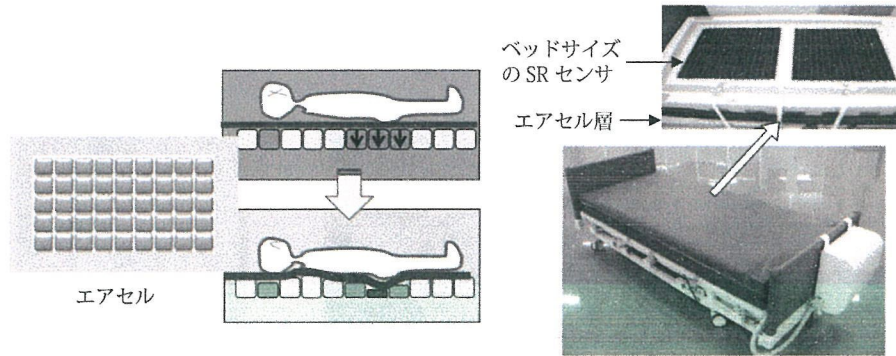


図7 床ずれ防止マットレスの概念図(左)と試作機(右)(九州大学との共同研究)

2.2 呼吸センサ

SRセンサをベッド上に敷くことで圧力のパターンが得られるので、寝ている人の姿勢や体動(寝返り)を検出できる。さらに呼吸や心拍などの生体信号も検出できれば、睡眠状態などのより高度な推定が可能となると期待できる。そこで我々は、ベッド上のSRセンサを用いて無拘束に生体信号を測定することを目標に研究を行っている¹⁴⁾。

現在、ベッド上のSRセンサにより呼吸が測定できることが確認されている(図8)。しかし、心拍は呼吸に比べて圧力変動が小さく、ノイズと明確に分離できる測定精度の実現は課題となっている。今後、心拍を測定可能にし、姿勢、体動、呼吸、心拍などの情報を統合することによるベッド上の人の状態の高度な推定を目指す。

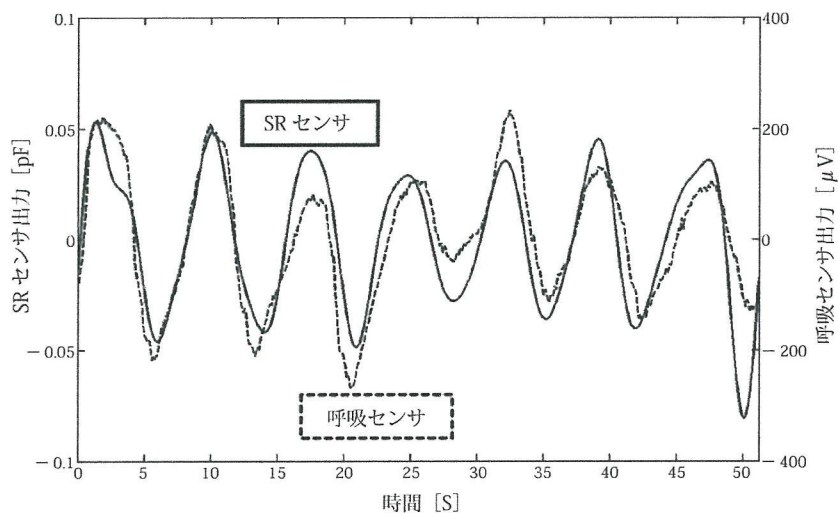


図8 SRセンサと市販センサで行った呼吸計測の比較(仰向けで測定)

2.3 見守りセンサ

認知症の方の徘徊などを防ぐための見守りセンサが必要とされている。現在既に商品化された見守りセンサもあるが、誤検出が問題となっており、認知症の方の見守りは「ロボット技術の介護利用における重点分野」の4分野⁷⁾の中にも含まれている。

我々は、SRセンサをベッド上に敷いて見守りセンサとする方法を提案している。SRセンサによりベッド上に寝ている人の圧力パターンが得られるので、ベッド上の位置や、横になっているか座っているかなども識別可能になり、誤検出を減らせると考え開発を行っている。

おわりに

移乗介助を行う介護支援ロボットとその要素技術として開発した触覚センサ、および、触覚センサの介護・福祉機器への応用の紹介を行った。触覚センサは高価だったこともあり、これまであまり介護ロボットや福祉機器で使われてこなかったが、新しく開発したセンサは低コストで製造が可能なので、今後広く使われるようになることを期待している。

文 献

- 1) 石井純夫, 日本ロボット学会誌, Vol. 21, No. 4, pp. 378-381 (2003)
- 2) 柴田崇徳, 日本ロボット学会誌, Vol. 24, No. 3, pp. 319-322 (2006)
- 3) 陳隆明, 大庭潤平, 日本ロボット学会誌, Vol. 23, No. 7, pp. 773-778 (2005)
- 4) 北川秀夫, 西坂晋, 三好孝典, 寺嶋一彦, 日本ロボット学会誌, Vol. 23, No. 3, pp. 321-329 (2005)
- 5) T. Hayashi, H. Kawamoto, and Y. Sankai, Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp.3455-3460 (2005)
- 6) H. Kobayashi and H. Nozaki, Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp.1769-1774 (2007)
- 7) 厚生労働省, 経済産業省, <http://www.meti.go.jp/press/2012/11/20121122005/20121122005.html>
- 8) 川上日出男, 久米洋平, 中村徹, 本田幸夫, 日本ロボット工業会誌ロボット, No. 188, pp.53-58 (2009)
- 9) T. Mukai, M. Onishi, T. Odashima, S. Hirano, and Z. Luo, IEEE Transactions on Robotics, Vol. 24, No. 2, pp. 505-512 (2008)
- 10) T. Mukai, S. Hirano, H. Nakashima, Y. Kato, Y. Sakaida, S. Guo, and S. Hosoe, Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 5996-6001 (2010)
- 11) 佐藤侑, 郭士傑, 稲田誠生, 向井利春, 日本機械学会論文集 (C編), Vol. 78, No. 789, pp. 1899-1912 (2012)
- 12) 郭士傑, 加藤陽, 伊藤弘昭, 向井利春, SEI テクニカルレビュー, No. 181, pp. 117-123 (2012)
- 13) 那須則子, 田中靖子, 大野かおり, 武田弘美, 平田雅子, 神戸市看護大学短期大学部紀要, Vol. 23, pp. 11-22 (2004)
- 14) 松尾一矢, 加藤陽, 清水厚輝, 郭士傑, 向井利春, ロボティクス・メカトロニクス講演会予稿集, pp. 2A1-C12 (1)-2A1-C12 (4) (2013)