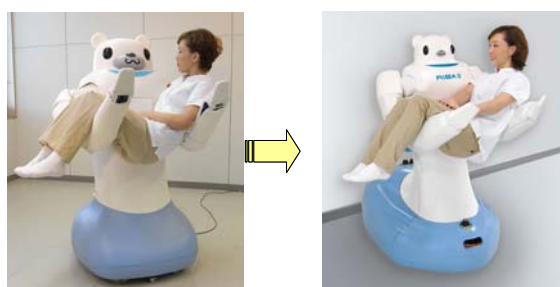


# 介護支援ロボット RIBA-II とスマートラバーセンサの開発

○加藤陽(東海ゴム(株)) 佐藤侑(東海ゴム(株)) 郭士傑(東海ゴム(株)) 向井利春((独)理研)

## 1. はじめに

介護者にとって最も負担の大きい作業は自力で移動できない被介護者をベッドや床から車椅子に乗せかえる移乗介助で、それが原因になって特別養護老人ホームで働く介護士の半数以上が腰痛を訴えている[1]。使い勝手がよく、準備及び作業に時間がかからない、安全な介護支援ロボットの試みとして、東海ゴムと理化学研究所が共同で多関節の双腕型ロボットを研究開発してきた[2-4]。2011年8月に公開した RIBA-II (図1) による床から車椅子へ移乗介助動作の一部を図2に示す。RIBA-IIは人を床、ベッド、車椅子の間で移乗することができ、被介護者の大多数をカバーできる体重 80kg まで対応できる[5]。介護施設では、要介護レベルが3以上の被介護者の移乗を2名の介護者で行うことが多く、ロボットの導入により、2人がかりの移乗介助をロボット1台と介護者1名の協調作業で行うことが我々の研究開発の目指す姿である。人との接触を想定し、関節部も含めてロボットの全身を柔軟な材料で覆い、表皮材料の選定では、汚れをふき取りやすいこと、水に強いこと、触って冷たく感じないこと等を考慮した。外観に関しては、メカニカルなロボットは介護現場にふさわしくなく、人のようなデザインだと、中途半端に人に似ていることの不気味さのほか、認知症患者の誤認を招く恐れもある(被介護者のおおよそ半数が認知症患者[5])。そこで、親しみやすさと清潔感を求めてシロクマをイメージしたデザインとした。



RIBA (2009年8月)  
■ 61kgの人をベッド-車いす  
の間で移乗

RIBA-II (2011年8月)  
■ 80kgの人をベッド-車いす、  
床-車いすの間で移乗

図1 RIBA と RIBA-II

## 2. RIBA-II の概要

RIBA-IIは2009年8月に公開したRIBAの後継機である。特徴としては、新開発したスマートラバーセンサを採用して、触覚によるロボット操作、被介

護者の体重検知を実現し、さらに腰に2個の前後屈曲関節と補償ばねを導入した新機構を採用、抱き上げ重量を従来の約30%増の80kgに向上した。これにより、介護施設で最も重労働である床上で寝た状態の人を抱き上げて車いすへ移乗させることを可能にした。またRIBA-IIは、スマートラバーセンサを採用したことで、触覚によるロボット操作、被介護者の体重検知を実現した。



図2 RIBA-IIによる移乗作業

## 3. 床からの抱き上げへの対応

介護施設では認知症患者をベッドからの落下するのを防ぐため、床上に寝せているケースがある。そのような場合、認知症患者などを車いすに移乗させるのは2人がかりの重労働となり、落下や腰を痛める危険性が高い。RIBA-IIには、姿勢を低くして床上に寝ている人を抱き上げるために、腰に2個の前後屈曲関節を設けた(図3)。これにより、床からの抱き上げとベッドからの抱き上げの両方ができるようになった。さらに、モータの小型化と省電力化のために、腰関節に補償ばねを導入した。その結果、無負荷で前方に屈曲するときはばねを引っ張る力を蓄積し、人を抱き上げるときはその復元力を利用することで、比較的小出力モータで人の抱き上げを可能にした。また腰に左右方向のかしげ関節を設けることにより車椅子に下ろす際にもスムーズに抱き下ろしできる。

さらに部品強度と転倒に対する安全性についても十分に考慮している[5]。

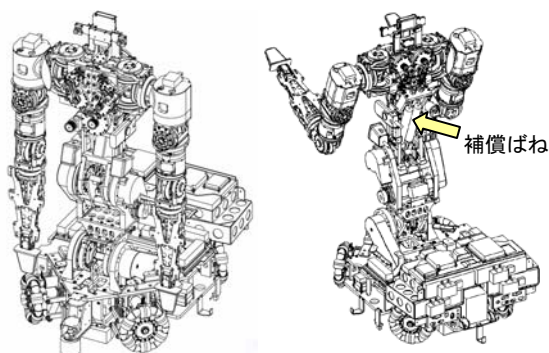


図3 RIBA-IIの機構

## 4. スマートトラバーセンサの開発

### 4.1 スマートトラバーセンサの原理

柔軟な触覚センサは様々なタイプが提案されている[6-9]。その中でスマートトラバーセンサはゴム製の静電容量型面状触覚センサとして世界初であり、印刷製法で成形でき、構成がシンプルで大面積に成形しやすいほか、柔軟、高耐久性などの特徴を持っている[10]。

構成は単純で(図4)、薄い誘電層を両面からそれぞれ複数の一定幅の平行電極を有する電極シートで挟んで作られる。両側の電極が直角に交差するように配置され、2本の電極の交差部分で一つの静電容量型センサを構成し、両サイドの電極本数はそれぞれ  $m$  本と  $n$  本とすると、1枚のセンサシートに  $m \times n$  個の静電容量センサが形成される。このようなセンサ構成は古くから提案されており、金属電極のセンサシートも市販されている[9]。しかし、介護支援ロボット等の福祉機器への応用に際しては、伸縮性不足、コストが高い等の課題があった。そこで、我々は伸縮性のあるゴムシートに導電性ゴムを印刷して電極層を成型する製法を考案し、柔軟かつ伸縮性のある面状センサの製法を開発した。この製法は複雑な形状にも対応でき、安価で大面積のセンサ製作に向いている。我々が新規に開発した、スクリーン印刷に適した柔軟導電性ゴムは50%伸長変形させても体積弾性率が增加しない特性を有する。

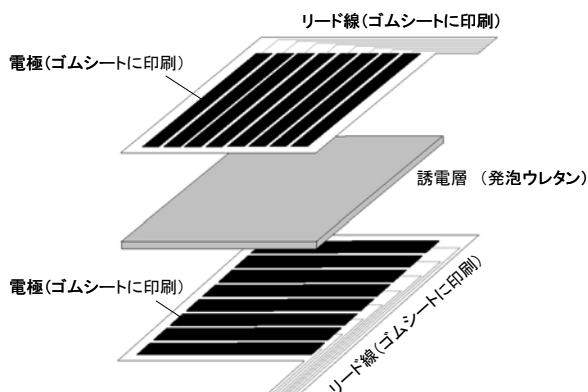


図4 スマートトラバーセンサの構造

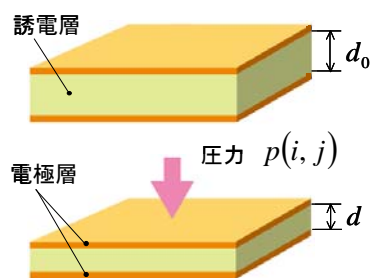


図5 圧力を受けたセンサセルの変形

電極シート片面の  $i$  本目の電極ともう片面の  $j$  本目の電極が交差してできたセルの静電容量  $C(i, j)$  は下式で表すことができる。

$$C(i, j) = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{s(i, j)}{d(i, j)} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

ここで、 $\epsilon_0$  は真空中の誘電率、 $\epsilon_r$  は誘電層の比誘電率、 $d(i, j)$  はセル  $(i, j)$  の電極間距離(誘電層の厚さ)、 $s(i, j)$  は電極面積をそれぞれ表す。両側の電極を順次切り替えながら全てのセルの静電容量  $C(i, j)$  を測定し、式(1)より各セルの電極間距離  $d(i, j)$  を求めれば、

$$p(i, j) = Y \frac{d_0 - d(i, j)}{d_0} \quad (2)$$

より各セルに作用する圧力  $p(i, j)$  を求めることができる。 $m \times n$  個のセル全てに作用する圧力を求めれば、センサシートに作用する圧力の分布が分かる。ここで、 $Y$  は誘電層のヤング率、 $d_0$  は圧力が作用していないときの電極間距離(変形前の電極間距離)をそれぞれ表す。ただし、図5に示すように、圧力が均等にセルの電極に作用し、セルも一様変形すると仮定している。このタイプのセンサは基本的にこの仮定の上に成り立っている。

### 4.2 小型コントローラ基板の開発

介護支援ロボット用の柔軟触覚センサとして、人にやさしい柔軟性と安価で大面積に成形しやすい量産性だけでなく、電磁ノイズに強く、狭い場所に実装できる小型コントローラが必要である。我々はこれまでチャージ方式とインピーダンス方式という2つの方式で検討を進めてきた。2つの方式は一長一短である。高速・高精度な測定ではインピーダンス方式にメリットがあるが、実装面積やコストの点ではチャージ方式にメリットがある。今回後述のようにカスタムICを制作することにより、どちらの方式も同じサイズのコントローラに実装し、互換性を確保することに成功した。

チャージ方式がセンサのキャパシタ部分を通ずる通過交流電流を計測することで比較的回路規模が小さく出来るのに対し、インピーダンス方式は、観測波形（電流）と基準波形（印加電圧）を乗算する乗算回路が必要である。通常、オペアンプなどを用いたアナログ回路を用いるが、計測結果が位相ずれに対して敏感であり、高精度な時間計測回路も必要となるために、高価で、温度補正も広範囲に行う必要がある。そこで、ロックインアンプをデジタル方式で実装し、アナログ部分をワンチップ化することにより小型化・低価格化を図った。インピーダンス方式では観測信号にノイズが混入することがあるため、ロックインアンプを用いて検波し、印加した周波数成分以外のノイズを除去している。

図6に開発した16ch×16ch小型コントローラの写真を示す。多様な用途に適用できるように、50mm×35mmの2段重ねに収まるように設計した。このサイズに回路を収めるためにインピーダンス方式ではアナログ回路部分をセミカスタムICに実装した。またチャージ式も同じサイズに実装し、2段目の基板を交換することで両方式に対応することが可能になった。

センサシートに手のひらを当てて測定した圧力分布を図7に示す。この程度の測定では、両方式の違いが見られない。

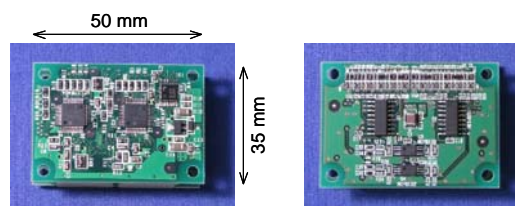


図6 小型コントローラ (16 x 16ch)

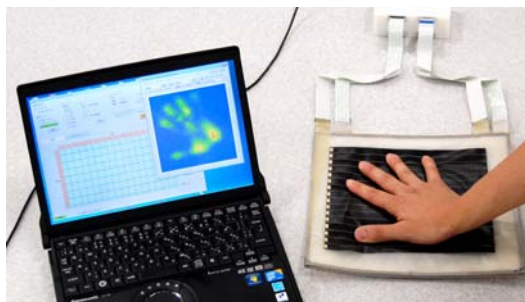


図7 手のひらを当てて測定した圧力分布

## 5. スマートラバーセンサのロボット応用

介護支援ロボットは直接人に接するため、安全確保は非常に重要である。我々はこれまでも触覚センサをロボットの制御に利用してきた[4]。その技術

的蓄積に基づき RIBA-II の安全と機能の実現をスマートラバーセンサによって達成している。

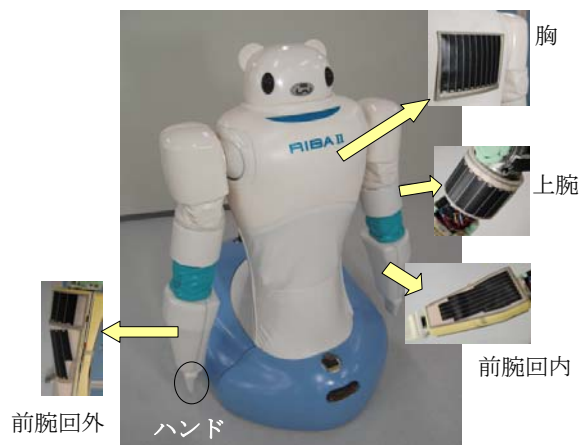


図8 スマートラバーセンサの取付位置

図8に RIBA-II の正面写真を示す。両腕と胸に、スマートラバーセンサを搭載し、触覚による動作誘導および抱き上げ時の圧力検知が可能である。介護施設に入居している人は皮膚が弱っていたり、内出血を起しやすかったりすることが多いので、移乗に際して損傷を与えないように細心の注意が必要である。ロボットの腕に取り付けた触覚センサで圧力をリアルタイムに検出し、所定の値以上になると自動的に作業中止することを設定できる。同時に、被介護者の体重も検出でき、重量がロボットの負荷能力を超えた場合も自動的にアラームを出して停止する。ロボットの操作は介護者が触覚センサにタッチして行う。ロボット操作はリモコンやジョイスティック等も考えられるが、触覚による操作は介護者に対する拘束が少なく、介護者が安全を確認しながらきめ細かい動作誘導ができると考えている[3-5]。

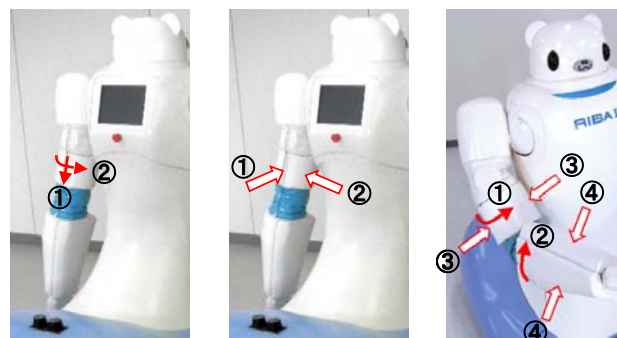


図9 触覚によるロボット操作

図9に触覚によるロボット操作の概念図を示し、台車は、介護者が上腕裏面（ロボットの背中側）を肘関節に向かってなでると、前に進み、逆方向になで



ると、後ろに移動する（図9(a)の矢印①）。上腕裏面を周方向になでると、なでられる方向に台車が横移動する（図9(a)の矢印②）。上腕裏面を押すと、操作者から見て台車が外回りに回転し（図9(b)矢印①）、上腕内側を押すと（図9(b)矢印②）、台車が内回りに回転する。腕の動作も上腕と前腕を周方向になでると、それぞれがその長手方向の中心軸周りになでられた方向に回転する。また、上腕も前腕も押されると、押された方向に曲がる。ただし、移乗介助を行うときは、安全を考慮し、被介護者にチューニングした動作の再生を行うだけで、動作速度は操作できるが、任意の動作誘導ができない。

ロボットは触覚で操作されている間のみ動作し、手が離れるとストップするようになっている。介護者が動作を逆に戻す必要があると判断した場合、前腕の回外を肘関節に向かってなでると、なでている間は動作が逆に戻される。

## 6. まとめ

我々は介護における介護者の省人化と重労働からの解放の実現を目指して、介護支援ロボット RIBA および RIBA-II を開発した。その過程で配線も含めて全てゴム系の材料で成型する面状触覚センサであるスマートラバーセンサを開発した。

介護支援ロボット RIBA-II に開発したスマートラバーセンサを用いることにより、被介護者との接触検出や体重検出、さらに触覚による動作誘導ができるようになった。本ロボットの実用性と安全について、これまでに研究開発者が操作して健常者を対象に実験を行い、確認してきたが、今後、さらに改良し、近い将来、被介護者対象の実証試験を行う予定である。

またスマートラバーセンサは、今後、介護支援ロボットだけでなく、褥瘡予防マットレス[11]など様々な福祉機器や介護用品への応用開発を行って行く予定である。

## 参 考 文 献

- [1] 岩切一幸、高橋正也、外山みどり、平田衛、久永直見、“高齢者介護施設における介護機器の使用状況とその問題点”、産業衛生学雑誌、Vol.49 (2007), No.1 pp.12-20.
- [2] 小田島正、大西正輝、田原健二、向井利春、平野慎也、羅志偉、細江繁幸、“抱え上げ動作による移乗作業を目的とした介護支援ロボット研究用プラットフォーム RI-MAN の開発と評価”、日本ロボット学会誌、Vol. 25, No. 4 (2007), pp. 554-565.
- [3] 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 (2011), pp. 360-369.
- [4] 向井 利春, 平野 慎也, 中島 弘道, 吉田 守夫, 郭 士傑, 早川 義一: "対象と全身接触を行う介護支援ロボットのための触覚情報を用いた繰り動作", 日本機械学会論文集 (C 編), Vol.77, No.782, pp.252-265, 2011.10.
- [5] 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, 2012.5.
- [6] 関 喜一, 下条誠, 佐藤 滋, 高橋 昭彦, 高柔軟性をもつ把持圧力分布センサの開発、計測自動制御学会、Vol.31, No.9 (1995), pp.1528-1530.
- [7] T. Mukai and Y. Kato, “1ms Soft Areal Tactile Giving Robots Soft Response”, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.20, No.3 (2008), pp.473-480.
- [8] Y. Kato, T. Hayakawa and T. Mukai, "Soft Areal Tactile Sensor using Tomography Algorithm", *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.20, No.4 (2008), pp.628-633.
- [9] R. Cork, “XSSENSOR Technology: A Pressure Imaging Overview”, *Sensor Review*, Vol.27 (2007), Iss:1, pp.24-28.
- [10] 白岡貴久、磯部宏、稲田誠生、郭士傑、向井利春、“静電容量型柔軟触覚センサの開発 —計測精度と空間分解能の両立構造検討—”、第 29 回日本ロボット学会 学術講演会 (RSJ2011 AC2L1-3)、2011 年 9 月。
- [11] 高杉紳一郎、古江増隆、深川修司、今西恭子、岩本幸英、御崎 晶嗣、“体圧センシング機能を有するフィードバック制御式エアマットレスの開発”、第 13 回日本褥瘡学会学術集会、シンポジウム 3 「リハビリテーション」、2011 年 8 月。