

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月31日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21300077

研究課題名（和文） ロボットによる触覚フィードバックに基づいた移乗動作実現の研究

研究課題名（英文） Patient Transfer by Nursing-Care Robots Using Tactile Feedback

研究代表者

向井 利春 (MUKAI TOSHIHARU)

独立行政法人理化学研究所・ロボット感覚情報研究チーム・チームリーダー

研究者番号：80281632

研究成果の概要（和文）：

高齢社会の進展に伴い介護をサポートするロボットの必要性が高まっている。身体的負担の大きい介護動作としてベッド-車椅子間などの乗り移りを補助する移乗介助が挙げられる。本研究では、まず、実際に人を対象に移乗を行えるロボットを製作した。ロボットの腕の広範囲には触覚センサが搭載されている。この触覚センサをどのように用いるべきかの研究を行い、操作者の意図を検出するための触覚情報処理方法、被介護者の皮膚に負担をかけずに動作を行えるように触覚情報を用いて動作軌道の修正を行う方法などを開発した。

研究成果の概要（英文）：

With the progress of aging society, the need for robots to support elderly care has been increasing. Transfer assist that helps patient transfer between, for example, a bed and a wheelchair, is one of physically taxing tasks. In this study, we first built a robot that can actually transfer a human. The robot is equipped with tactile sensors covering wide area of its arms. We conducted research how to make use of these sensors, and proposed tactile information processing methods to detect the operator's intention, and tactile sensor feedback method to adjust robot motion trajectory not to hurt the skin of the lifted patient.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	7,500,000	2,250,000	9,750,000
2010年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2011年度	3,300,000	990,000	4,290,000
総計	14,100,000	4,230,000	18,330,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：介護支援ロボット、触覚センサ、触覚フィードバック、触覚情報処理

1. 研究開始当初の背景

日本は急速に高齢化社会に向かいつつあり、高齢者に代表される被介護者の生活をサポートする技術の必要性が高まっている。これに関してロボティクスへの期待は大きく、多くのロボットが研究されている。まず目につくのが、会話などのコミュニケーションにより精神的な癒しを与えることを目的としたロボットである。また、装着型のロボットにより、介護者、または、被介護者自身のパワーアシストを行うロボットも研究されている。さらに、食事の介助を行うロボットも市販されている。

介護で大変な作業として、ベッド-車椅子間の移乗が挙げられる。我々が実際に調査した介護施設では、介護レベル4~5（一日中ベッドの上で過ごし、排泄、食事、着替えにおいて介助を必要とする程度）の患者を扱っているが、一日3回の食事とおやつ、さらに2日おきの入浴でベッド-車椅子間の移乗が必要で、さらに、介護士1人当たり5人程度を見ているため、介護者は1日に40回以上の移乗作業を行っていた。そのため、介護者の半数以上が腰痛を抱えている状態である。

このような力作業こそロボットが担うべきであるが、実際には人と接して力作業を行うロボットはほとんど研究されていないのが現状である。介護者が装着するタイプのパワーアシストは移乗作業にも使える可能性もあるが、実際の病院などの現場では、移乗作業以外にも食事介助、おむつ換えなど他の多くの作業があるため、介護者がバッテリーまで含めたロボットを常に装着して作業するとは考えにくい。また、高負荷に耐えられる装着型パワーアシストロボットは一人で容易に着脱できるものではないので、作業に合わせてその都度装着するのも無理がある。このような理由から我々は、病院内での移乗作業には装着型のパワーアシストとは別の、単体で独立したロボットが必要であると考えた。

我々は、本研究開始以前に、ロボットと人間との力学的インタラクションの研究のためにロボットRI-MANを製作した。RI-MANは、非常にプリミティブな段階ではあるが、被介護者にみたくて人形を抱き上げることができた。発表後、3大新聞やTIME誌などで取り上げられ、老人ホームからの問い合わせもあるなど、大きな期待を寄せられる状況であ

った。しかし、実際の人間の移乗を行うには、パワー、安全性、状況への適応性などに問題があり、抱き上げられたのはあらかじめロボットからの相対位置を定めた18.5kgの人形に限られていた。

2. 研究の目的

ロボットRI-MAN、および、その後継機として本研究で開発したRIBAを用いて、移乗作業時に触覚センサをどのように用いたらよいかを明らかにし、実際に人を対象としたロボットによる移乗を実現しようというのが本研究の主な目的である。ロボットで移乗作業を実現する際の困難として以下の点が挙げられる。

- 1) 操作対象が人であるため個人ごとに体格が違う、
 - 2) 同じ対象者でも、試行ごとに位置や姿勢が変化する、
 - 3) 移乗時に、対象である人自身が動く可能性があるため、それを吸収する必要がある、
 - 4) 安全性と快適性が重要である
- これらについて、触覚センサを用いたフィードバックによる解決を目指す。

移乗にもいろいろな方法があるが、本研究では、ベッドに寝ている人の上に腕を差し込み抱き上げる動作を対象として選択した。現在の技術では、現実的な環境でロボットに自律的にこれを行わせるのはほぼ不可能なので、介護者とロボットが協力して移乗作業を行う状況を考えた。介護施設の現場では、2人または3人で移乗作業を行っていることが多いため、そのうちの1人をロボットに置き換えることで人を減らし、さらに、一番身体的負担の大きい力作業をロボットが担当すれば、介護現場の状況改善に大いに貢献できると考えられる。

抱き上げの際には、実際に抱き上げを開始する前に、まず、抱き上げ可能な位置にロボットを移動させ、次に、抱き上げのためにどこに腕を持っていったら良いかを定める必要がある。これらは、ロボットビジョンである程度は可能であるが、照明が一定な環境以外で、さらに、服を着ている人間に対して、ビジョンで位置と姿勢を安定して特定するのは難しい。一方、人間の認識能力にとってこれらは容易である。そこで、ビジョンによりおおよその位置を決めた後に、介護者がロボットに指示することで最終的に正確な位置を決める手順を考える。その際には音声なども使えるが、それだけでは多自由度を持つ腕を含めたロボットの姿勢を操作することは難しい。そこで、ロボットが広範囲に有する触覚センサを用いて、介護者が「手取り足

取り」ロボットを操作する方法を提案する。これにより、困難として挙げた1) 2)を解決する。そのためには、触覚センサへの接触を通して人の意思を検出し、ロボットの動きを決定する必要がある(テーマ1)。

ロボットの移乗動作の動作軌道は、介護者が行っている動作を参考に、似た動作をロボットに基本動作パターンとして取り入れるが、それに加えて、実際の状況に対応するために触覚センサからの情報を用いて動作を調節できることが望ましい。例えば、触覚センサからの情報を用いて、被介護者のバランスを調節したり、痛みなどが生じないように動作を修正したりすることが考えられる。このための研究を行う(テーマ2)。

上記の2テーマを同時に進め、最終的に2つを合わせて実際の人間で移乗動作を実現すること(テーマ3)を本研究の最終的な目的とする。

3. 研究の方法

実際に人の抱き上げを行う場合、RI-MANではパワー、安全性、状況への適応性などで不十分なので、本研究では、まず、RI-MANの後継機として実際に人を抱き上げ可能なロボットを開発する必要がある。そのため、RIBAを開発した。

本研究では触覚センサを中心的に用いるので、RIBAには外装の広範囲に触覚センサを設置する必要がある。処理負荷を分散させるために、触覚センサ出力はセンサ近傍で処理を行い圧縮した情報をメインPCに送る。触覚センサ近傍で情報処理を行うコントローラは処理能力が限られているため、計算負荷の低い処理方法を用いることが必要である。

実際に製作したRIBAの触覚センサ・タッチセンサ配置を図1に、RIBAを用いて人を対象に実現したベッドから車椅子への移乗を図2に示す。

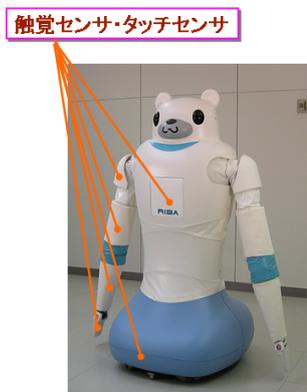


図1 RIBAの触覚センサ

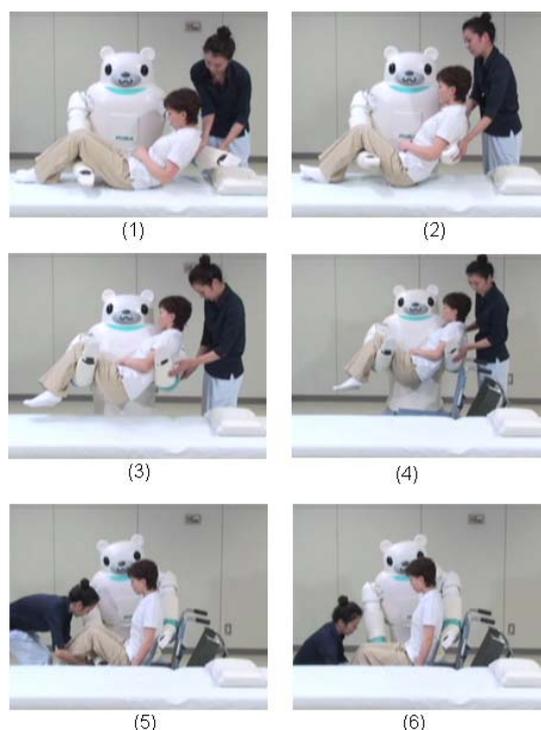


図2 RIBAによる移乗

RIBAを使い、テーマ1～3について、以下のような研究を行う。

テーマ1：触覚によるロボット操作

移乗を行う際に、少し離れたところにいるロボットを被介護者のそばの適切な位置まで移動し、さらに、移乗のためにどこに腕を持っていったらよいかを指示する必要がある。これを操作者がロボットの触覚センサに直接接触れることで行うために、触覚センサから接触者の意図を検出する方法の研究を行う。

まず、触覚センサへの接触から触覚センサ近傍の小型コントローラ(以下、ローカルコントローラと呼称)により操作者の意図を検出する方法の研究を行う。接触部位の特徴量を用いて操作者との接触と被介護者との接触を区別する必要があるので、どのような特徴量を用いるか、また、特徴量抽出を効率的に行うためにどのようなアルゴリズムを用いたら良いかの研究を行う。

次に、ローカルコントローラでの人の意図の処理結果を受け、その意図通りの動きをロボットに行わせるようにホストPCでの動作生成プログラミングを行う。既に予備的に接触による操作を実現しているが、より扱いやすい操作系とするため、①前進後退軌道の追従、②旋回を含む軌道の追従、③腕部を希望角度にする操作、④胴体を含め全身を希望の姿勢にする動作、を行ってもらい、目標とする動作と実際の動作の違いを評価する。そ

の結果を受けて、ローカルコントローラ、および、ホストPC内の処理の修正を行う。

テーマ2：移乗時の触覚フィードバック

移乗動作時の基本動作軌道は介護者の動きなどを参考にあらかじめ与えるが、触覚センサの情報によりその動作を修正する。そのための方法を研究する。

ここでも、まずは操作者との接触と被介護者との接触を区別する必要があるので、テーマ1と同時にこれらを区別する方法を提案する。

その結果を用いて、動作軌道の修正を行うが、何を変えたら良いかは被介護者の意見を参考に決める。具体的な例としては、両腕間の幅を動作時に一定の適切な値にすることや、ロボット腕と被介護者の背中との接触角度の調節が考えられる。

また、被介護者を持ち上げるなどのマニピュレーション時には、被介護者の皮膚を痛めないように、被介護者とロボットの接触部分での滑りはなく、接線方向の応力も小さいほうが望ましい。このような軌道を生成する方法についても検討を行う。

テーマ3：人を対象にした移乗

人を対象に抱き上げの実験を行い、痛みや快適性についてデータをとり、それに基づいて抱き上げ動作の修正を行う。

抱き上げ動作については途中の動作まで含めると自由度が大きすぎるので、本研究では抱き上げが終了した最終姿勢のみを対象とする。抱かれている状態での被験者の負荷がどの程度あるか、あらかじめ決められた抱き上げと被験者に合わせて最適に調節した抱き上げでどの程度快適性が向上したか、最適な抱き上げ姿勢が被験者の特性（身体寸法など）から決められるか、抱き上げ時に被験者の臀部を支える補助部品で抱き上げ快適性が改善するかなどの実験を行う。

データとしては、ロボットと被介護者の姿勢・接触位置、ロボットの触覚センサ出力、被介護者の筋電出力、アンケート結果などを取得する。

4. 研究成果

平成21年度：

実際に人を対象にした移乗が行える介護支援ロボットの試作機 RIBA を製作した。RIBA の製作と同時に、本研究の「テーマ1：触覚によるロボット操作」と「テーマ2：移乗時の触覚フィードバック」についての基礎研究を行い、その成果を適時 RIBA に導入することで、RIBA を用いて、実際の人々がベッドに寝

ている状態からの抱き上げ、ベッドへの抱き下ろし、車椅子に座っている状態からの抱き上げ、車椅子への抱き下ろし、抱き上げた状態での移動、を実現した。

「テーマ1：触覚によるロボット操作」については、触覚センサへ加える力の位置、力の加減、接触位置の移動を組み合わせ、ロボットの移動、ロボットの全自由度を自由に操作し所望の姿勢を作ること、抱き上げおよび抱き下ろしでの動作の進行や腕の位置の微調節、が可能となる手法を開発した。

「テーマ2：移乗時の触覚フィードバック」については、ロボットの情報処理系を分散型の情報処理ネットワークで実現し、ローカルフィードバック制御、および、触覚センサ情報取得をローカルの小型情報処理ボードで実現した。さらに、ネットワークの狭い帯域を通して多量の触覚情報を送るために、触覚情報全体を圧縮する方法、および、全触覚素子の情報を順次切り替えることで送り、ホストPCで全触覚データを取得する方法を開発した。

なお、この年度はテーマ3の研究は行わなかった。

平成22年度：

実際に我々の製作したロボット RIBA を用いて、人間を対象にした移乗の予備実験を行った。ただし、現在の対象は、研究倫理委員会の決定に基づき成人健常者のみとしている。実験結果や介護施設職員の意見をもとに、以下のような研究を行った。

「テーマ1：触覚によるロボット操作」では、被介護者との接触と操作者との接触を区別するために、触覚パターン処理でまず反応素子の隣接性をもとに反応領域を分け、それぞれから圧力中心や接触力などの特徴量を取得する方法を開発した。

「テーマ2：移乗時の触覚フィードバック」では、被介護者を横抱きにしたときに被介護者の快適性を向上するために、ロボット両前腕間の距離を一定にし、さらに、背中に接する前腕の角度を背中と合わせるような軌道生成および触覚フィードバックの方法を開発した。

「テーマ3：人を対象とした移乗」では、実際に抱き上げられた人の意見をもとに、快適性を増すため、大きな力を伴う接触を行う前腕について、接触部分の形状および外装用弾性体の材料の改良を行った。

平成23年度：

「テーマ1：触覚によるロボット操作」では、これまでは半導体圧力センサをベースに

した触覚センサを使っていたが、柔軟性などで限界があったので、新たに柔軟面状触覚センサの開発に着手した。これは、共同研究先の東海ゴムが開発を行なってきた導電性ゴム電極を用いた静電容量型触覚センサの電極をさらに柔軟で伸長可能なものに置き換える方法で製作する。伸長可能にすることにより導電性ゴム電極の抵抗値が増加するので、低抵抗値の伸長性ゴム電極の開発と、抵抗値の影響を排除する信号処理が重要となる。現在までに、30%程度まで伸長可能な16x16素子のセンサが実現できた。

「テーマ2：移乗時の触覚フィードバック」では、ロボット表面の多くの部分で被介護者と接触しながら、被介護者の皮膚に負担を与えないように接触状態を保ちながら操作を行う全身接触マニピュレーションの方法を開発した。

「テーマ3：人を対象とした移乗」では、RIBAを用いて健常者10人を対象に実験を行い、データを採取した。実験では、抱き上げられる際に被介護者の負担がどの程度あり、さらに、ロボットの抱き上げ姿勢を調節したり抱き上げ用の補助部品を追加したりすることでどの程度負担が変化するかを調べている。ロボットの抱き上げ時の関節角度を変えること、および、ロボットの腹部に抱き上げ時に被介護者の臀部を支える補助パーツを加えることで、筋電で見た時の負荷減少とアンケート結果で見た時の抱き心地の向上が一応の結果として出ている。今後、実験方法の改良と有意性を確保するための被験者数の追加を行い、有意性を上げる予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4件)

1. 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*, pp. 360-369, 2011. 6 (査読有).

2. 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 (査読有).

3. 向井 利春, “ロボットRIBAによる人を

対象とした実験の研究倫理審査”, *日本ロボット学会誌*, Vol. 29, No. 3, p. 263-264, 2011. 4 (査読無).

4. 向井 利春, 細江 繁幸, “介護支援ロボット RIBA はアナログな人間をどう扱うか”, *日本機械学会誌*, Vol. 114, No. 1112, pp. 18-22, 2011. 7 (査読無).

[学会発表] (計 4件)

1. T. Mukai, S. Hirano, M. Yoshida, H. Nakashima, S. Guo, and Y. Hayakawa, “Tactile-Based Motion Adjustment for the Nursing-Care Assistant Robot RIBA,” in *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2011, pp. 5435-5441.

2. T. Mukai, S. Hirano, M. Yoshida, H. Nakashima, S. Guo, and Y. Hayakawa, “Whole-Body Contact Manipulation Using Tactile Information for the Nursing-Care Assistant Robot RIBA,” in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2011, pp. 2445-2451.

3. T. Mukai et al., “Development of a Nursing-Care Assistant Robot RIBA That Can Lift a Human in Its Arms,” in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2010, pp. 5996-6001.

4. 向井利春, 平野慎也, 中島弘道, 境田右軌, “介護ロボット RIBA の安全対策と移乗作業の実現,” in *ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010 (ROBOMECH2010)*, 2010, p. 1A1-E24(1)-1A1-E24(4).

[産業財産権]

○ 出願状況 (計 2件)

名称：制御装置、ロボット、制御方法、ならびに、プログラム

発明者：向井利春, 白岡貴久, 郭士傑

権利者：理化学研究所、東海ゴム

種類：特許

番号：特願 2010-228377

出願年月日：平成 22 年 10 月 8 日出願

国内外の別：国内

名称：ロボットシステム

発明者：加藤陽, 郭士傑, 向井利春, 中島弘道

権利者：理化学研究所、東海ゴム

種類：特許

番号：出願番号 2010-257003
出願年月日：平成 22 年 11 月 17 日
国内外の別： 国内

〔その他〕
ホームページ等

<http://rtc.nagoya.riken.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

向井 利春 (MUKAI TOSHIHARU)
独立行政法人理化学研究所・ロボット感覚情
報研究チーム・チームリーダー
研究者番号：8 0 2 8 1 6 3 2

(2) 研究分担者

中島 弘道 (NAKASHIMA HIROMICHI)
独立行政法人理化学研究所・ロボット感覚情
報研究チーム・基幹研究所研究員
研究者番号：3 0 3 6 0 6 0 5

吉田 守夫 (YOSHIDA MORIO)
独立行政法人理化学研究所・ロボット制御研
究チーム・基幹研究所研究員
研究者番号：2 0 4 5 5 3 7 2

平野 慎也 (HIRANO SHINYA)
独立行政法人理化学研究所・ロボット制御研
究チーム・基幹研究所研究員
研究者番号：6 0 4 4 3 0 1 6

(3) 連携研究者

なし