

介護支援ロボット「RIBA（リーバ）」 による移乗作業の実現

—介護の負担を大幅に軽減可能なロボットによる抱き上げを目指して—

独立行政法人 理化学研究所 理研-東海ゴム人間共存ロボット連携センター

ロボット感覚情報研究チーム チームリーダー 向井 利春

1. はじめに

筆者らが所属する理研-東海ゴム人間共存ロボット連携センターは、介護者不足の問題に対処するためのロボット開発を理化学研究所と東海ゴムのそれぞれの長所を融合することにより共同で行うことを目的として設立された。2007年から2012年までの時限性プロジェクトであり、現在はプロトタイプロボットの研究開発を行っている。最終的には東海ゴムによる商品化につなげることを目標としている。具体的には、介護の中でも特に身体的負担の大きい移乗介助を担えるロボットを目指している。移乗介助とは、自力で動けない人のベッド-車椅子間や車椅子-便座間などの乗り移りを支援することである。筆者らの調査によると、介護施設では介護士1人が1日に30~40回もの移乗介助を行っていた。これは特に腰に大きな負担のかかる作業であり、介護士の多くが腰痛に悩まされている。

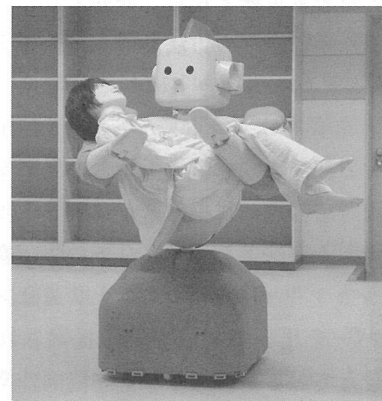
移乗支援機器としては介護用リフトが複数の企業から市販されているが、実際の介護施設での使用割合は床走行式について14.8%、天井走行式について16.0%と決定的である¹⁾。理由としては、使用に時間がかかる、手間がかかる、大きな床面積が必要、患者に吊り下げられることによる精神的・身体的負担があることなどが挙げられる。そこで、移乗介助を行える新たなロボットが期待される。我々は以前ロボット「RI-MAN」を開発し2006年に発表を行った。「RI-MAN」は双腕により人形の抱き上げを行えたが、人間での移乗は実現できなかった。そこで、新たに「RIBA (Robot for Interactive Body Assistance; リーバ)」を開発し、人間を対象にしてベッド-車椅子間の移乗を実現した。本稿では「RIBA」の概要と実現した移乗について紹介する。

2. 「RIBA」の概要

2-1. 「RI-MAN」から「RIBA」へ

「RI-MAN」では人形の抱き上げ(写真1)が実現できた。人間の上半身と同じような構造を持つロボットにより、手先ハンドではなく全身を使う方法で抱き上げを実現したという意味において、「RI-MAN」には大きな意義があったが、実際の人間で移乗を行うには多くの制限があった。まず、抱き上げられた人形の重量は18.5 [kg]までであった。また、ベッドの端に座っている人形の抱き上げはできたが、関節可動範囲の制限のため、抱き下ろしや座っている姿勢以外からの抱き上げはできなかった。抱き上げ動作はあらかじめ決められたものを再現しているだけであるため、人形は「RI-MAN」に対して決まった位置に決まった姿勢でセットされていなければならないという制限もあった。さらに、人間に適用するだけの安全性が不足していた。そこで、「RI-MAN」の成果を引き継ぎ、明らかになった問題点を解決するために多くの改良を加えて、「RIBA」が誕生した。

写真1 「RI-MAN」による人形の抱き上げ



2-2. 「RIBA」のコンセプト

「RIBA」では介護施設のような環境で実際に人間を対象に移乗ができることを目標にした。そのためには、人間と同程度の大きさで、人間の体重を持ち上げ可能で、さらに、介助者や被介護者が受け入れ可能な時間で動作を終了できなければならない。これらはトレードオフの関係にあるが、全てを高いレベルで満たす必要がある。我々は、①可搬重量60 [kg]以上、②幅80 [cm]以下、③前の2つの条件を満たした上で可能な限り速い動作速度、という優先順位をつけて設計を行った。人間程度の大きさで人間の重量を支えるために、ハンドで対象を持ち上げるのではなく、全身を使って抱き上げる方法を採用した。これは全身が人と接することを意味するため、ロボット全身の表面状態が安全性や快適性にとって重要となる。そこで、ケーブルなどは全て内部に収め、外装は突起が無いデザインとし、表面を柔軟な素材で覆うことにした。多様で変化する環境において移乗を行うには、あらかじめ決められた動作の再現だけでは不可能である。しかし、現在の技術では、ロボットが自律的に状況を判断して相応しい動作を選択することは難しい。そこで、移乗の際には必ず介助者が「RIBA」につき添い、状況を判断して相応しい動作をロボットに伝える方法を採用した。「RIBA」のように大きな力を出せるロボットは、逆に細かい動作は苦手である。そこで、介助者がロボット操作を行いながら同時に被介護者に触れ、抱き上げに適するように姿勢を調節することも行うとした。具体的には、寝ている人の膝を曲げたり上半身を少し持ち上げたりすることで、「RIBA」が膝下や背中に腕を差し込むことを補助する。すなわち、介助者とロボットの協調作業によって移乗を行うことを選択した。介助者が判断や細かい作業を行い、身体的に負担の大きい作業はロボットが担当する。介助者が常にそばにいることにより、万一、被介護者が落ちそうになった場合に支えることなども可能となる。介助者がロボットに動作を伝えるために以下の方法を考えた。まず、動作の種類（「ベッドからの抱き上げ」や「こんにちはの挨拶」など）を音声コマンドで与える。「RIBA」は、動作に対応する関節の基本軌道をあらかじめ与えられている。状況対応のために操作者がロボットに動作調節の指示を伝える方法としては、リモコン、音声コマンド、モーションキャプチャ、力/トルクセンサのついた操作レバーを用いる方法などが提案されているが、我々の考えている人とロボットの協調作業には適

していない。我々の考えている状況では、追加装置無しで、介助者が被介護者の傍にとどまりながら、片手でロボットを操作して、空いている手で患者に触れて姿勢を変えられる必要がある。そこで、操作する際に片手でロボットに触れ、押ししたり接触位置を移動したりすることで希望の動作をロボットに伝える方法を開発した。これは、スポーツやダンスを教えるときに、教師が生徒の体の一部を取り直接動かしながら、望ましい動きを伝えるのに似た方法である。これを実現するために、「RIBA」表面の広範囲を触覚センサにおいて覆い、その触覚センサを介して介助者の意志をロボットに伝えることとした。

2-3. 「RIBA」の基本仕様

開発したロボット「RIBA」の関節軸構成を写真2に、基本仕様を表1に示す。関節軸構成やリンク長は、「RI-MAN」での経験とコンピュータシミュレーションをもとに、人の抱き上げに適したものを定めた。腕の関節に関しては、細く軽量な腕で高重量を扱うために、ペアで用いることによってモータの利

写真2 「RIBA」の関節軸構成

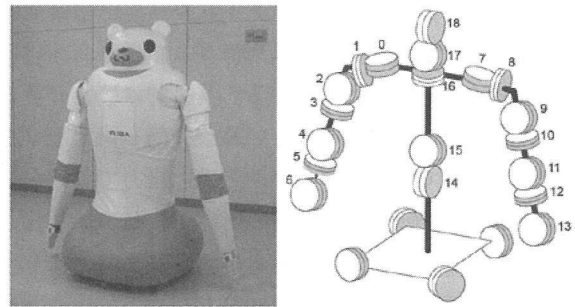
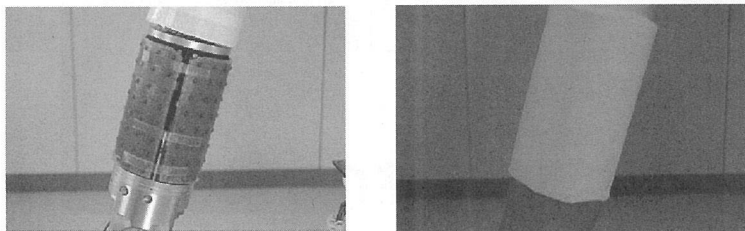


表1 「RIBA」の基本仕様

寸法	幅	750 [mm] (腕を最小幅にたたんだ時)
	奥行き	840 [mm]
	高さ	1,400 [mm]
重量(バッテリー含む)		180 [kg]
モータ数	頭	3
	腕	7(片腕)
	腰	2
	台車	4
走行方式		オムニホイールによる全方位移動
アクチュエータ		DCモータ
可搬重量		63 [kg] (テストを行った値)
動力源		バッテリー(ニッケル水素蓄電池) またはAC接続
駆動時間		1時間(バッテリー使用時)
センサ	視覚	ステレオカメラ
	聴覚	マイクロホン2本
	触覚	上腕(片腕128素子)
		前腕(片腕94素子)
		ハンド(片腕4素子)
		肩パッド(片腕8素子)

写真3 上腕に装着した触覚センサ（左）とそれをカバーで覆った様子（右）



用率を上げる干渉駆動機構を採用している。音声コマンドで動作選択の指示を与えられるように、「RIBA」に音声認識の能力を持たせた。また、視覚に顔認識能力、聴覚に音源定位能力を持たせ、操作者を見つけられるようにした。触覚センサは半導体圧力センサをフレキシブル基板上に2次元的に並べてスキャンできるようにし、弾性体中に埋め込んだものを製作して上腕（写真3）および前腕を一周するように装着した。また、ハンドや肩パッドには、感圧導電性ゴムのセンサを埋め込んだ。これにより、関節部を除いた腕のほとんどの範囲に触覚を備えた。触覚センサは動作調節の際に操作者の接触を検出するために使うほかに、コミュニケーションやセンサフィードバックなどにおいても使うことが可能である。動力源や情報処理系は全てロボット内部に納め、スタンドアローンで動作可能とした。また、多数のセンサとモータを動作させるための計算負荷を軽減し、ケーブル本数を減らし、センサ近傍にコントローラを配置してアナログ区間を減らすことによってノイズ低減を図るために、ホストコンピュータと20枚以上の小型コントローラで構成されるネットワークによる分散情報処理を採用した。なお、モニター用に外部から無線LANで「RIBA」にアクセス可能とした。全身を発泡ポリウレタンやシリコンゴムなどの柔軟素材で覆い安全性と抱かれた際の快適性を確保した。また、メカニカルなロボットは介護現場にふさわしくなく、人に中途半端に似ていると不気味さが生じるため、親しみやすさと清潔さを求めてシロクマのぬいぐるみのような外見とした。さらに、機構の精度を上げたり外装に工夫を加えることで動作音の静粛化を行った。「RIBA」の抱き上げ時の騒音は53.4dB(A)であるが、これは病院の待合室などで許容されるレベルである。「RIBA」が人を抱いている様子を写真4に示す。「RIBA」により、ベッドからの抱き上げ、ベッドへの抱き下ろし、車椅子からの抱き上げ、車椅子への抱き下ろし、人を抱いた状態での移動などに成功した。車椅子は、介護施設などで広く使われているリクライニング機能無しのタイプが使用可能である。

写真4 RIBAが人を抱いている様子



3. RIBAによる移乗介助の実現

3-1. 安全対策などの実験の準備

人間を対象にする前に動力学シミュレーションおよび人間と同じサイズと重量を持つ人形での実験を行い安全性を確認した。また、当研究所内の研究倫理委員会に申請し、実験実施の許可を受けた。

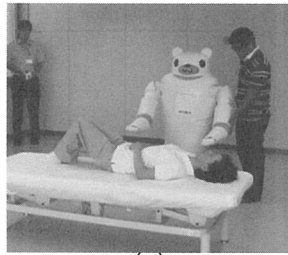
「RIBA」には多くの安全対策を施してあるが、人間を対象とした実験では、さらに、以下の対策をとることによって運用上の安全性を確保した。

- ①万一異常が起こった際に安全に停止できるように、介助者役のロボット操作者に加え、非常停止スイッチを担当する者、抱き上げられている患者役被験者の落下を阻止する者、ロボットが転倒しないように支える者、無線で接続したロボット内コンピュータの操作と監視を行う者などを用意する。
- ②最初はベッドの上での抱き上げと抱き下ろしのみを行い、それが安定してからベッドから離れる。
- ③実験の初期段階では患者役被験者はヘルメットおよび、肘や膝用の保護具を装着する。また、抱いた状態でロボットが移動する際には、落下に備えて床にマットを用意する。

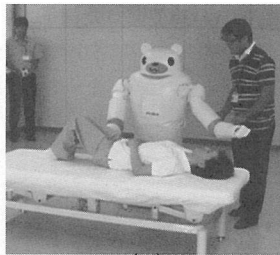
3-2. 移乗実験

これまでに成人10名（男1・女9）によって移乗のテストを行った。ベッドからの抱き上げを写真5に、車椅子からの抱き上げを写真6に示す。それぞれ、時間を逆向きにした動作によって、抱き下ろしにも成功している。いずれも、触覚を介して操作者が「RIBA」に指示を送ることによって、腕を差し込む位置を微調整しながら移乗を行っている。ベッドからの抱き上げでは、写真5(c)に見られるように、操作者は「RIBA」を片手で操作しつつ、患者役の頭を持ち上げる作業をもう一方の手で行っている。また、車椅子からの抱き上げでは、写真6(d)、(e)のように、「RIBA」を操作しつつ足を持ち上げる作業を行っている。抱き上げ状態は安定していて、落ちそうになったことはこれまで一度もなかった。これまで抱き上げた人の体重の最大

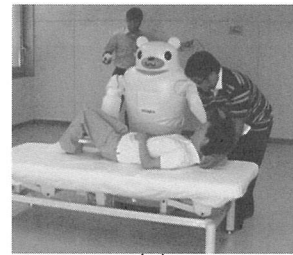
写真5 ベッドからの抱き上げ



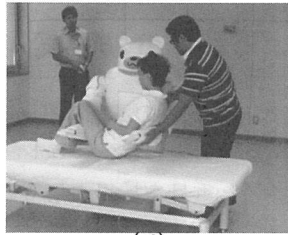
(a)



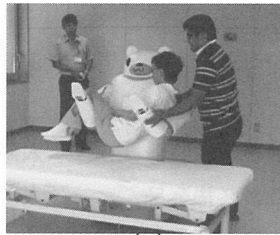
(b)



(c)



(d)

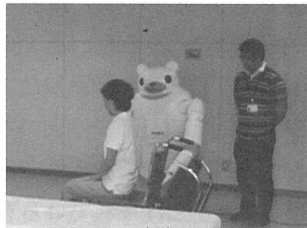


(e)

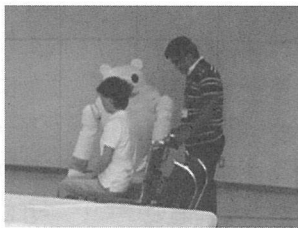


(f)

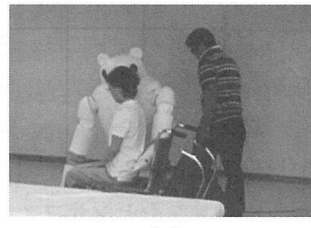
写真6 車椅子からの抱き上げ



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)

値は63 [kg]である。また、両動作とも、所要時間は40 [s]程度であった。今のところ安全のため余裕を見ながらゆっくりと作業をしているため、習熟すればさらに時間短縮することが可能である。

4. おわりに

移乗作業を行うロボットのプロトタイプとして開発した「RIBA」について紹介した。「RIBA」により、人間を対象にしてベッド-車椅子間の移乗を実現できた。このようなロボットが実用化されれば、移乗の際の介助者の負担を大幅に軽減できる。

現在はロボットについて知識を持つ者が複数人注意を払うことにより最終的な安全性を確保しながら実験を行っている。

今後、安全性をより強化し、近いうちに介護施設での実験を行う予定である。

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, no.1, pp.12-20, 2007.
関連WEBページ: <http://rtc.nagoya.riken.jp/RIBA/>

WEB Journal

フィルム・不織布・紙の市場と技術

特集1 サニタリー・介護

高齢者・障害者の自立支援に求められる生活支援ロボット

特集2 メディカル

革新的医療技術の実用化産業基盤整備による成長戦略の推進を目指して

ウェブ・ジャーナル

2010

No.109



世界シェアNo.1 ◆FLIR社のサーモグラフィ

電気設備の重大な事故 加熱／火災を未然に防止
従来手の届かなかった価格がお求めやすくなりました。

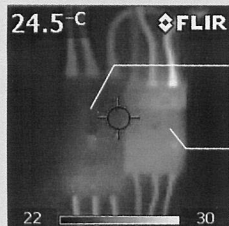
i5j
22万円
希望小売価格(税別)

微妙な温度分布が 一目瞭然

距離60cmで2.22mm²/1画素の判別

電気設備の保守点検に最適！

過負荷、絶縁不良、ボルトの緩み、機器の不良等が活線時に判定できます。



電気的な負荷が
少ないブレーカー

電気的な負荷が
大きく発熱して
いるブレーカー

 タスコジャパン株式会社

<http://www.tascokeisoku.com>

