

依 頼 論 文

自然やいのちと調和あるテクノロジーの開発

—共生ロボット技術によるヘルスケア—

寺田信幸^a, 窪田佳寛^a, 秋元俊成^b

Development of the technology to harmonize with nature and the life
— Health care with the symbiotic robot technology —

Nobuyuki Terada, PhD^a, Yoshihiro Kubota PhD^a and Toshinari Akimoto PhD^b

抄 録

人の動きや無拘束計測により得られた人の心身状態の情報を基にロボットは移動し、ロボットの色を変化させ、音声合成技術を利用してロボットから話しかけるなど、インタラクティブに対応できる共生ロボットを作製した。共生ロボットが居住空間のインターフェイスとして働き、情報弱者である高齢者や見守りが必要なお年寄りにとって、やさしい生活環境が提供でき、健康管理も十分担えることを検証した。自然やいのちと調和あるテクノロジーの開発を目指して、高齢者および生活習慣病の予防を望む人たちが、無理なく使用できるヘルスケアシステムの開発にロボット技術と ICT を導入し、人にやさしい生活環境の実現を目指した取り組みを紹介した。

キーワード

ロボット技術, 情報通信技術 (ICT), 人とロボットの共生, 生体情報

I. はじめに

近年のロボット技術や情報通信技術 (ICT) の進展は目覚ましく、先端研究から実用化に向けた実証研究まで様々な取り組みがなされ、医療の世界にどんどん取り入れられ、医療そのものを変えようとしている¹⁾。また、超高齢化社会に向かい、生活習慣病対策として日常生活の中で健康を管理するヘルスケアシステムの開発も行われている。しかしながら、健康管理や見守りが必要である高齢者の多くは情報弱者でもあり、その恩恵を受けるに至っていないのが現状である。我々は、高齢者および生活習慣病の予防を望む人たちが、無理なく使用できるヘルスケアシステムの開発にロボット技術と ICT を導入し、人にやさしい生活環境の実現を目指している²⁾。

II. 共生ロボット (シンビオティックロボット) の開発

家庭内に移動ロボットを導入する際には、周りの人間に安心感を持たせ、かつ安全に目的を果たすことが必要である。一方、ロボットは人と共生するにあたり、人の情報と環境情報の取得を行わなければならない。そこで、利用者が移動ロボットに監視されているという不快感を無くすために、カメラではなくレーザレンジセンサをロボットに搭載し、人の検出および追従を行う。人の検出にスキャンマッチングの技術を用いることで、人間検出と環境認識 (地図作成) を平行して行うことを可能にした。また、日常生活において、人は相手の反応や現在の感情を推量する要素として、声の調子を聞き分けている。そこで、音声からの感情解析技術をロボットとのコミュニケーションの中に利用し、ロボットが居住者に対して心理的要因を含んだレスポ

^a 東洋大学理工学部生体医工学科

^b 日本工業大学創造システム工学科

^a Department of Science and Engineering, Toyo University

^b Department of Innovative Systems Engineering, Nippon Institute of Technology

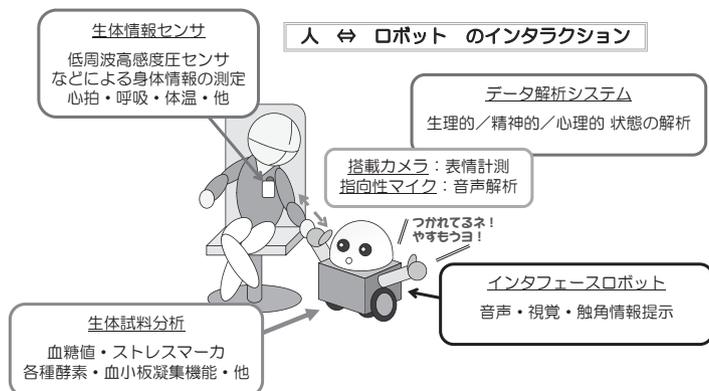


図1 共生ロボットによるヘルスケアシステムの概念

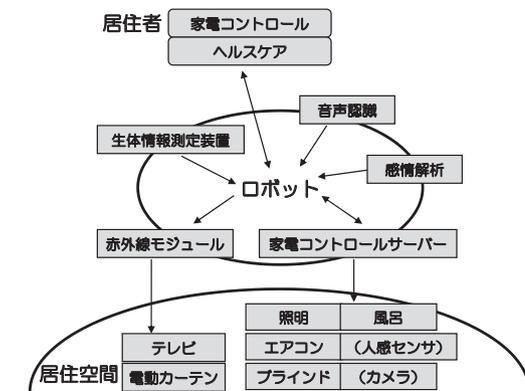


図2 共生ロボットによるヘルスケアシステムの概略

ンスを行えるようにした。居住空間とのインターフェイスとして人と共に暮らす共生ロボットを導入し、そのロボットに様々な機能を搭載することで、総合的なヘルスケアシステムを構築することを目指した。

1. ホーム IT ネットワーク

従来型のスマートハウスでは、システムの主体、つまりホストは居住空間側であり、居住者はそれを利用している。そのため、居住者はサービスの提供者が把握しにくくなり、居心地の悪さを感じてしまう。そこで、機能の主体を共生ロボットへ移行し、音声認識による家電コントロール機能を共生ロボットに搭載し、居住空間とのインターフェイスとして機能させた。居住者は共生ロボットをサービス提供者として認識することにより、システムに話しかけることに違和感を持たなくなる。ロボットは搭載されたマイクが拾った音声を認識辞書に従ってテキスト化する。テキスト化された文章の中から「ブラインド」・「上げ」や「照明」・「つけ」などの言葉の組み合わせを検索し、実行可能な組み合わせの場合には、それに対応したコマンドをホームネットワーク内に存在するコントロールサーバに送信することで音声による家電制御を実現した。

2. 感情認識

日常生活において、人は相手の反応や現在の感情を推量する要素として、声の調子を聞き分けている。これまで、ロボットといえば無機質・機械的なイメージが付随していた。ロボットが家庭の中へと入って行くとき、人とロボットが今まで以上に密な関係を築いていく必要がある。そこで、音声からの感情解析技術をロボットとのコミュニケーションの中に利用し、ロボットが居住者に対して心理的要因を含んだレスポンスを行えるようにした。これにより、居住者のロボッ

表1 抽出される主な感情パラメータ

パラメータ名	意味
Content	満足度 (喜びあるいは幸せ)
Upset	悲しみ度 (動揺あるいは悲しみ)
Angry	怒り度 (怒り)
Stress	ストレス度 (神経質)
Embarrassment	動揺度 (落ち着きのなさ)
Intensive Thinking	強い思考度 (深い考えこみ)
Imagination Activity	想像度 (思い出し)
Hesitation	ためらい度 (発言に対する躊躇・悔い)
Uncertainty	不確かさ度 (発言に対する自信)
Excitement	興奮度 (興奮あるいは怒り)
Concentration Level	集中度
SAF	覚醒度 (話題に対する興味の強さ・深さ)
Anticipation	期待度

トへの感情移入を導き、良質な関係が築けるようになると考えている。

感情解析にはNemesysco社製音声解析ソフト「RobEsense」のライブラリを用いた。RobEsenseは音声の周波数、フォルマント周波数、話すスピード、話の間合い、強さなどの音声成分に分解し、解析することで、特定の感情における特徴的なシグナルを検知し、30段階で評価している。出力されるパラメータは初期設定で13種類だが、任意の組み合わせや、学習をさせる事で増やす事が出来る。初期設定で出力される13の正規化感情の種類と意味を表1に示した。

ロボットは音声解析から得られる感情に応じ、音



図3 共生ロボットハウス（左：外観，右：内部）
白い建物が居住空間で，内部の写真にある白い円柱状の物体が共生ロボット

声を居住者へ返す。今は、怒り・ストレス・活力の3パラメータの状態に応じて色調を変化させ、さらに数サンプルに1度、同じ返答が連続しないように複数用意した応答音声の発話を行うようプログラムしてある。ロボットが居住者の状態に応じた返答をすることで、ロボットという無機物的存在に対して、居住者の感情移入を容易にし、居住者とロボットとの関係を円滑にして共生を実現しようとしている。

3. 生体情報

高齢者を見守り健康管理するシステムや生活習慣病対策として日常生活の中で健康を管理するヘルスケアシステムには、無侵襲かつ人体の自由を損なうことのない生体情報モニタが必要となる。心電図を日常生活の中で取る場合は、一般的に電極を胸に貼り付け、小型心電計に接続する。心電計自体は小型になってきているものの、体に電極を貼り付けることによるかゆみ、かぶれなどが問題で長時間の測定には不向きである。我々は、低周波圧センサにより体振動情報を取得し、リアルタイムに呼吸、心拍に対応した信号を取り出すことに成功した³⁾。センサで得られた計測データを無線によってサーバへと転送し、解析をサーバ側で行い、必要な情報に加工して共生ロボットに返すシステムを構築した。これにより、独居老人や老人世帯の「見守り」ロボットへの展開が可能となった。

さらに、耳栓状の装置を装着し、外耳道の内圧変化を低周波圧センサで検出することにより得られる体振動は、頸静脈変動もしくは右心血行動態を反映している可能性が新たに見出された⁴⁾。この外耳道内圧からの頸静脈圧変動を計測する手法は、高齢者の体液量管理のみならず、透析時の除水管理や重度熱傷など高度救命救急の現場での体液量管理にも活用できると高い評価が得られており、医療現場からの期待が大きい。現在、医療器メーカーとの共同研究を進めており、早期



図4 転倒検出システム

の実用化を目指している。

これらの技術を一台のロボットに搭載し、計測した情報を基にロボットは移動し、ロボットの色を変化させ、音声合成技術を利用してロボットから話しかけるなど、インタラクティブに対応できる共生ロボットを作製した。

Ⅲ. 人の状態に合わせた居住空間

東洋大学川越キャンパスに人が実際に生活できる居住空間としての共生ロボットハウスを建築し、ホーム IT ネットワークの組み込みや転倒検出システム、遠隔管理システムなど居住空間のロボット化を行った。人が高度な IT システムを意識することなく利用できるようにするために、人・情報・機械システムにおける共生を考えた生活支援環境を構築することを目指している。前述の共生ロボットから住宅操作が行えるように住宅の整備を行うと共に、住宅側からロボットへの情報発信も行えるようにした。

1. 転倒検出システム⁵⁾

近年日本国内の死亡事故のうち、転倒や浴室での溺死など屋内事故による死者の数が、交通事故による死者の数を上回り、増加する傾向にある。これらの死亡

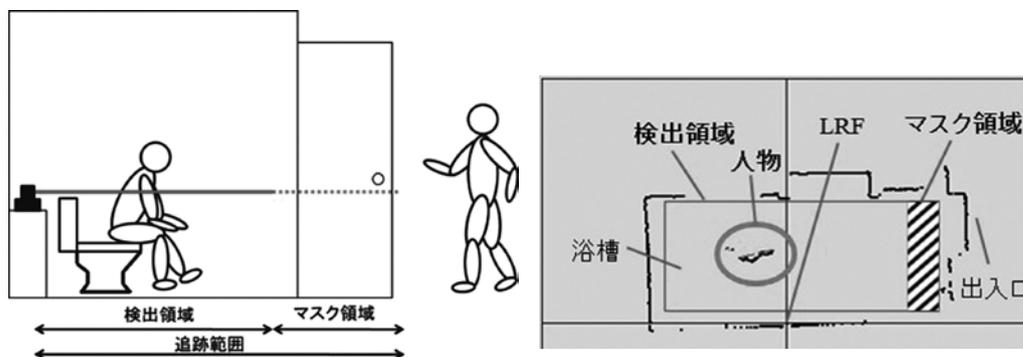


図5 センサの検出範囲(左), 実際の計測画面(右)

事故の大半は老人の一人暮らしか、家族や介護者が留守の間に発生しており、早期に発見することで死に至らずにすむケースが多数含まれている。そこで、お風呂場、トイレにおいて人が転倒した際にロボットに知らせるシステムを開発し、組み込んだ。転倒を検出した際には、共生ロボットから音声による通報を行い、同時にメールを送信し、家族や介護者に知らせる。

転倒検出には北陽電機社製のレーザレンジファインダURG-04LX(以下LRF)、を使用した。LRFは赤外レーザ光により、水平面上の空間を0.36度ピッチで240度スキャンし、検出体との距離と方向を検出できるセンサである。検出結果として0.36度毎の距離データを出力するので、センサ周辺の2次元的な環境認識に利用できる。また、測距原理には、光の飛行時間による位相差方式が使用されているので、検出体の色や表面の光沢の影響が少なく、安定した検出が可能である。LRFを水平に設置することで、一定の高さの水平面の計測を行った。設置したLRFにより計測された壁やドアまでの距離などのデータを遠隔でモニタリングしながら、検出領域とマスク領域を設定した(図5左)。

家庭内においては、通常何も無い空間に移動物体が検出された場合にはその物体を人としてとみなすことができる。このことから、LRFで移動物体を検出することで人の位置を検出し、人の移動追跡を行った。移動追跡を行った結果、マスク領域を通過して追跡不可能になった場合は人が追跡範囲から出て行ったと判断した。検出領域において追跡が不可能となった場合には転倒とみなした。この検出システムをホームITネットワークに接続することで住宅内にあるロボットと通信を行い、転倒を検出した際に通報を行うようにした。通報はまず、ロボットから音声で転倒を伝える情報を発信する。次に、インターネットを介して携帯電話等へ電子メールを送信する。

実際に人が入り動作させた計測結果を図5右に示す。検出した距離データは黒点で表示されているが、データが連続しているの線のように表示されている。領域の設定後、LRFを動作させた状態で通常の入退出を繰り返し、ランダムなタイミングで室内での転倒を行った。検出領域において人物を検出し、時系列で人の追跡ができていたことが確認できた。また、複数の人が同時に入室した際にもそれぞれを追跡することが可能であった。ただし、複数の人が接触した状態で片方の人が転倒してもその転倒を検出することはできなかった。浴室において転倒するとLRFの測定結果が部屋の壁までの距離となり、人の追跡が検出領域で途切れた。この結果、開発したシステムは人の転倒を検出し、ロボットから音声で通報が入ると共に、メールによる通報が即座に行われた。

ロボットが人と共生し、違和感なく機能させる工夫はまだまだ必要だが、共生ロボットが居住空間のインターフェイスとして働き、見守りや健康管理機能も十分担えることが検証できた。情報弱者である高齢者や見守りが必要なお年寄りにとって、やさしい生活環境が提供でき、より総合的なヘルスケアシステムとして発展させられるよう、さらなる取り組みをしていきたいと考えている。

IV. 移乗機能を備えた車椅子ロボット

高齢化による被介助者の増加で、介助者の負担は増加の傾向にある。介護の現場において身体への負担となる行動として挙げられるのが、車椅子とベッド間の移乗動作である。車椅子への移乗により腰痛を発生するケースが多い。移乗のサポート器具として、リフトや立位移乗器などが介護福祉の現場で用いられている。抱き上げによる移乗よりも身体的負荷が軽減されるが、これらの器具で移乗を行うには介助者の助けが必須となる。高齢者の増加によって対応できる介助者

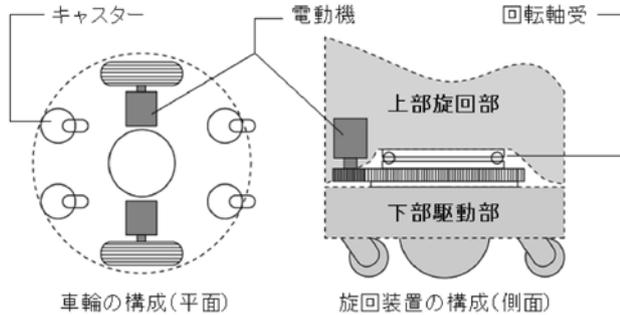


図6 円柱型全方向移動車椅子の構成図

の減少も問題視されており、介助者一人にかかる負担は増加の傾向にある。よって、車椅子利用者の自立した生活が求められている。現在、介助者の負担軽減と被介助者の自立した行動を可能にすることを目的として、高齢者や障害者またはその介助者をサポートする機器の開発が進められている。しかし、車椅子自体が利用者の乗降を補助する機能を持つものはまだ少ない。介助者の負担軽減や車椅子利用者の自立した行動を目指すためには、一人でも体に負担がかからない安全な乗り降りを可能にしなければならない。

また、従来の車椅子は真横に移動する際、毎回車体の向きを変える切り返しを繰り返して移動を行うため、狭い場所での行動に支障をきたしている。そこで、座席の向きを変えずに全方向の移動を可能にすることで、狭所での行動の幅を広げ、移乗機能を使用する際のベッドへの横付けも容易にする全方向移動車椅子の開発を目指した。通常車椅子ではベッドの縁にピッタリと付けるためには数段階にわけて動作を行う。真横の移動を1度の入力で行うことができれば、直進するだけでベッド横に付けることができ、位置調節がほとんどいなくなる。狭所ではさらに有用性が増す。

一般家庭では、襖の敷居など1~2 cmの段差が存在してしまう。全方向移動で一般的に用いられるオムニホイールでは、段差の多い場所での使用は難しい。その問題を解決するために、通常のタイヤを用いた全方向移動機構を開発した。車体を移動したい方向に旋回させ、車体の旋回角度に合わせて座席を反対方向に回転させることで、座席は前を向いた状態のまま、進行方向に車体の角度を向けることが可能である。その2つの動作を同期させて一度に行い、座席の向きを変えずに全方向移動を行う制御を行った。

全方向移動を行うためには、進行方向に合わせて車体角度を変えて前進しなければならない。目標値に向かって車体を旋回させるため、ジョイスティックの入力から求めた目標角度 θ に1°の旋回に必要なエンコー

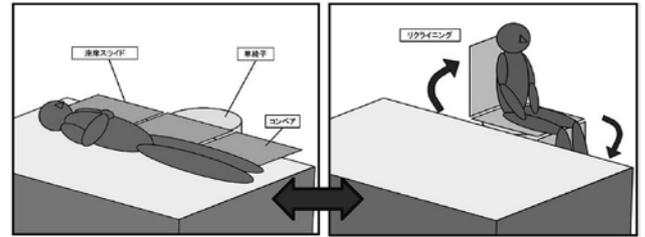


図7 移乗機概念図

ダ値 a を乗算した車体旋回の目標値と、左右のタイヤのエンコーダ値の和 P との差を求めた。目標値とエンコーダ値の差が指定する数値 $\pm L$ の範囲内となったとき旋回を止めて直進動作を行うようにした。旋回動作は両方にプラスの値を入力することで右旋回となるため、 P の値はプラスの値となり、逆に左旋回の場合は P の値がマイナスの値となる。そのため、目標値がエンコーダ値を上回る場合はプラスの入力を行うことで右旋回を行い、目標値がエンコーダ値を下回る場合、マイナスの入力を行うことで左旋回を行い目標値到達まで旋回を行う。このように制御することで指定した目標への車体角度変更を可能にしている。直進動作時は左右のエンコーダ値は同じ数値で逆の符号なので、左右を足した値は0となり、直進中は目標値とエンコーダ値の差に変化は起きない。

1. 移乗機能

今回開発した移乗機は、介助者を必要としないベッドと車椅子の乗り降りを実現することが目的である。座席をベッド上にスライドさせ、コンペアの回転で車椅子利用者を乗せ上げる方法を採用した。介助者の代わりに、モータの力で車椅子利用者の補助を行う。移乗機能を用いる際、車椅子の座席をリクライニングし、仰臥位の状態で移乗を行う。座席は背もたれ、座面、脚部の3つで構成し、背もたれと脚部の上下動作によってリクライニングを行う。仰臥位で移乗することにより、ベッドへ乗り移った後の移動動作がなく、そのままベッド使用の体勢になる。車椅子へ移乗する場合も、体勢を変える必要がなく負担軽減が期待できる。

操作はリクライニングの上下動作、座席スライドの左右移動、コンペアの左右回転が割り当てられたスイッチを押している間動作させる。実際の移乗の様子を図8に示した。

開発した移乗機によるベッド・車椅子間の移乗の動



車椅子からベッドへの移乗

1.リクライニング機能で仰臥位にする。
2.ベッド上に座席をスライドする。
3.コンベアを右回転させて途中で体をベッド上に降ろす。
4.コンベアを右回転させて降ろしながら座席を車椅子上へスライドする。

ベッドから車椅子への移乗

1.コンベアを左回転させながら座席をベッド上へスライドする。
2.座席スライドとコンベアを回転しながら背中へ滑り込ませるように座席に乗せ上げる。
3.体全体が座席に乗ったらコンベア回転を止め、座席を車椅子上にスライドする。
4.リクライニング機能で座位状態にする。

図8 移乗の実際例



図9 共生ロボットと移乗機能を備えた全方向移動車椅子

作検証を行うと共に、従来用いられている床走行型リフトによる移乗を行った。両移乗方法から、移乗における動作範囲と活動時間を比較し、今回開発した装置の優位性を検証した。実験において、移乗を行う人物は脚が不自由であり、上半身は自由に動かせることを想定した。一般の床走行型リフトの使用は、介助者役と被介助者役の2名で実験を行った。体重負荷によるベルトとドライブプーリーに滑りが生じ、動作が不安定になる部分もあったが、身体への負荷が少ない移乗を実現した。車椅子からベッドへの移乗において、今

回開発した移乗機を用いた場合の移乗時間は約2分30秒であった。それに対して、リフトを用いた場合の移乗時間は約4分30秒であった。ベッドから車椅子への移乗では、開発した移乗機で約3分であり、リフトを用いた場合は約5分かかった。開発した移乗機は従来の方法に対して約2分の時間短縮に成功した。また、移乗機は、移乗動作のための位置移動が必要ないため、使用するにあたっての必要動作範囲はベッド横の空間にリクライニング状態の横幅60cmと縦幅180cmのみである。リフトによる移乗は、リフトを動かして角度を変える必要があるため、ベッド横の空間に横幅169cmの範囲が必要であった。

V. 結語

高齢者および生活習慣病の予防を望む人たちが、無理なく使用できるヘルスケアシステムの開発にロボット技術とICTを導入し、人にやさしい生活環境の実現を目指した取り組みを紹介した。居住空間とのインターフェイスとして人と共に暮らす共生ロボットを導入し、そのロボットに様々な機能を搭載することで、総合的なヘルスケアシステムの構築を試みた。今後も、自然やいのちと調和あるテクノロジーの開発を目指して、医療・福祉分野に貢献できるもの創りに取り組んで行きたいと考えている。

文献

- 1) 寺田信幸. 先端医療を支える工学—生体医工学への誘い—. 日本生体医工学会編, コロナ社; 2014, 104-120.
- 2) 寺田信幸, 秋元俊成. 共生ロボットによるヘルスケアシステム. 顎機能誌 2011; 17: 1-7.
- 3) 秋元俊成, 寺田信幸. 空気動圧センサによる高齢者見守りシステムの開発. 日本遠隔医療学会雑誌 2007; 3: 237-238.
- 4) 特許 5585955 号, 寺田信幸, 秋元俊成, 頸静脈圧演算システム及び頸静脈圧演算方法.
- 5) 宮城慶介, 桜井亮太, 秋元俊成, 寺田信幸. 高齢者見守りシステムとしての転倒検出. 日本遠隔医療学会雑誌 2010; 6: 215-218.

著者連絡先: 寺田 信幸

〒350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100

Tel: 049-239-1307

Fax: 049-239-1363

E-mail: terada@toyo.jp