

立ち上がり支援機能を有する人間追従移動ロボットに関する基礎的研究

Fundamental approach on human following robot with standing assist function

○河野智大(愛媛大) 柴田論(愛媛大) 山本智規(愛媛大)

Tomohiro KOUNO, Ehime University

Satoru SHIBATA, Ehime University

Tomonori YAMAMOTO, Ehime University

Abstract: It is important to develop robot systems which can encourage social activities of the aged person or the handicapped person. We propose a mobile robot system that follows a human and keep close eye on the human when he or she goes out of home, becomes a chair when he or she wants to sit for break, and assists standing up motion when he or she resumes walking. The mobile robot has arc shaped mechanism to assist standing up motion. In this research, human standing up motion is analyzed from the view point of lateral movement of knee and rotational movement of trochanter, and their movements are modeled mathematically. The mobile robot can assist human standing up motion by controlling the movement of the mobile robot and the mechanism to assist standing up motion to follow the models.

Key Words: Mobile Robot, Following Human, Assist of Standing up, Modelling of Standing up Motion of Human

1. はじめに

近年、高齢社会が急速に進展しているが、高齢化に伴う下肢機能の低下により外出して歩行することがおっくうになり、それが生活空間の狭小化につながる危険性がある。そうすると、生活時間の多くは家の中で過ごし、外出や対人接触といった活動の機会や意欲が減少する状態に陥る。このような閉じこもりは、寝たきり状態になりやすく、中には早い段階で死亡に至るケースもあることが知られている。

このような事態に至ることを避けるため、我々の研究グループは、人間を見守りながら追従し、休憩の際には椅子の役割を果たして人間に着座してもらい、歩行再開のための立ち上がり動作の際には、筋力不足を補う立ち上がり補助運動を実現して負担を軽減することが可能な移動ロボットシステムを提案する。これにより、人間の活動領域を広め、下肢機能の維持、あるいは回復にも役立つ可能性があるとともに、生活行動、健康状態のモニタリングをすることも可能となる。

立ち上がり動作補助に関しては、空気圧を用いた機器に関する研究^{(1),(2)}や、ロボットの開発^{(3),(4)}が種々行われている。しかしながら、人間の歩行を追従しながら見守るといふ本研究で提案した機能を有する者は報告されていない。一方、人間を追従する移動ロボットの研究についても種々の報告^{(5)~(7)}がある。しかし、休憩時に椅子の役割を果たすことや、立ち上りを支援する機能を有したものはこれまで報告されておらず、概念的に新しいものである。

本報告では、提案した移動ロボットシステムの特徴の一つである、人間の座位姿勢からの立ち上がり補助をどのように実現するかについて、人間の自然な立ち上がり動作の特徴を実験的に調べ、その数理解理解を行うことにより検討する。

2. 提案するサポートロボットのイメージ

Fig.1 に本報告で提案する移動ロボットのイメージを示す。移動ロボットは、人間が外出する際、適度な距離を保持して人間を見守りながら追従し、人間が休憩のために座りたいときは、座りやすい位置に移動して椅子の役割を果たし、歩行を再開するときには立ち上がり動作の支援を行い、また歩行を見守りながら追従するというものである。

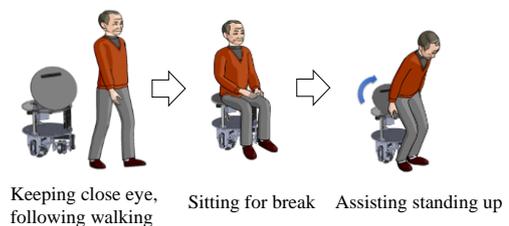
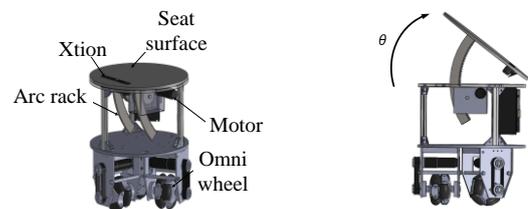


Fig.1 Proposed mobile robot which has ability to follow human and assist standing up motion

Fig.2 に提案する移動ロボットを示す。(a)はロボットの構造であり、足回りには全方向移動機構を有している。また、ロボットの上面は人間にとっての椅子の座面の役割を兼ねており、この座面が(b)のように回転運動することにより人間の臀部を押し上げ、立ち上がり補助を行う。



(a) Structure of the robot (b) Assisting mechanism

Fig. 2 The mobile robot with assisting mechanism

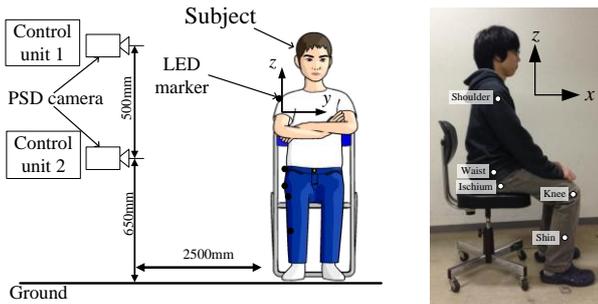
3. 立ち上がり動作の計測

上述のように、移動ロボットは座面を円弧上に押し上げて立ち上りを補助する機構を有している。この移動ロボットが、実際に人間の立ち上がり補助を効果的に行うためには、どのように並進運動、座面の円弧運動を行えばよいかを決定することが必要であるが、ここでは、人間の自然な立ち上がり動作における軌道を実験的に解析してモデル化することを試みる。

3-1 実験方法

人間の自然な立ち上がり動作を計測するために、PSD センサシステムを用いる。Fig.3のように、人間の立ち上がり動作を椅子から 2500[mm]離れた位置に設置された高さ 650[mm]と 1150[mm]の2台の PSD カメラにより計測する。2組の PSD センサシステムによる撮影範囲は縦 1300×横 800[mm]である。

被験者には座位状態からの立ち上がり動作を繰り返し 10 回行ってもらった。ただし、立ち上がりを始める際の臀部の位置と足先の位置はできるだけ同じ位置にするよう指示した。



(a) Measurement using PSD system (b) Measured points

Fig. 3 Experimental conditions

3-2 実験結果

実験により得られた膝位置と坐骨位置の軌跡の代表例を Fig.4 に示す。ただし、図において同じサンプリング時間において膝位置と坐骨位置を直線で結んでいる。

図を見て分かるように、ひざの位置はほぼ水平線上において膝位置の軌跡は前後に動いていることがわかる。また、坐骨位置の軌跡は運動の始点から終点に向かって滑らかな円弧上の曲線を描いている。これらの結果から、膝の並進移動成分を移動ロボットの前後運動により実現し、坐骨位置の円弧成分を座面回転機構により実現することが可能であることがわかった。

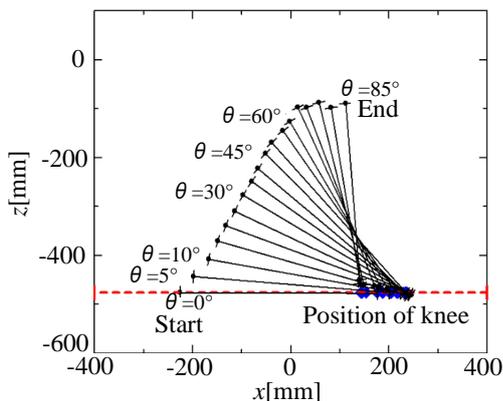


Fig.4 Trajectories of positions of trochanter and knee

4. 立ち上がり動作の解析とモデル化

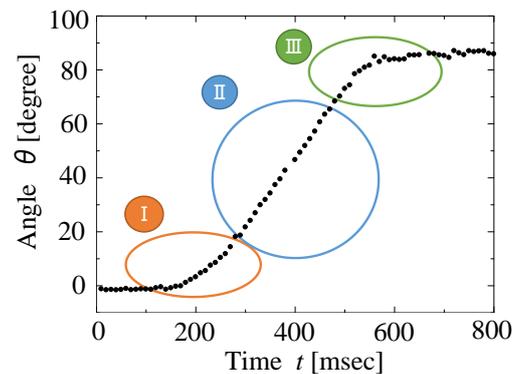
計測実験の結果より、人間の立ち上がり動作は坐骨と膝を結ぶ直線の回転運動と膝の前後運動の2つに分けられる。よって開発する移動ロボットシステムにおいて、ロボット本体の足回りによる前後運動と、座面制御機構による回転

運動にて立ち上がり補助を行うことができる。実際にロボットが立ち上がり補助を行う場合、補助動作に要する時間や座面の移動速度など様々なパラメータを決定し、それに従ったロボットの制御を行う必要がある。そこでそれぞれの運動について解析、正規化を行いパラメータの決定を目指す。

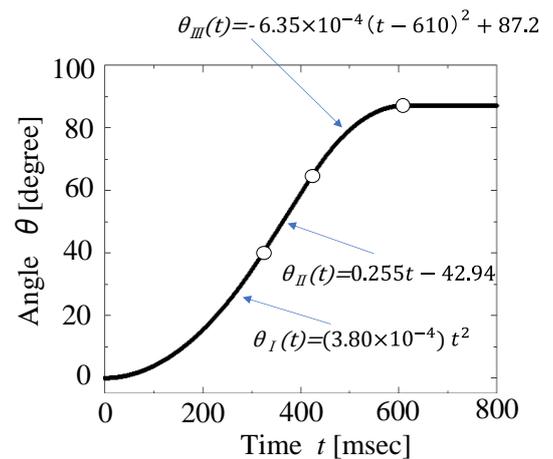
4-1 坐骨位置と膝位置を結ぶ直線の回転運動の解析および数理解析

坐骨位置と膝位置の同時刻の計測点を結ぶ直線を仮定し、この直線と x 軸のなす角を θ とする。この時、坐骨位置と膝位置を結ぶ直線は膝付近を中心とした円弧状の動きとなったが、膝位置を固定した場合の平均軌道を Fig.5(a)に示す。図中の黒点はサンプリングごとの値である。図のように来軌道は3つの区間に分けることが出来、区間 I では加速、区間 II では等速度運動、区間 III では減速を行うことが明らかになった。

次にこの平均軌道に対する数理モデルを構築する。3つの区間それぞれに対し、最小二乗法を用いた関数近似を行う。これにより得られた軌道の関数表現を Fig.5(b)に示す。図を見て分かるように、実験で得られた軌道を滑らかに良好に再現できていることがわかる。



(a) Rotational trajectory of ischium position



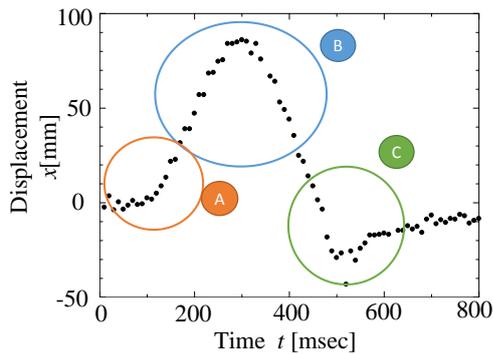
(b) Approximation by mathematical expression

Fig.5 Mathematical understanding of rotational movement of ischium position in standing up motion

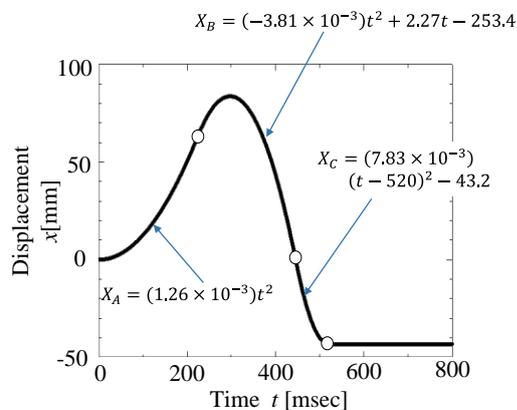
4-2 膝の前後方向運動の解析および数理解

膝位置の水平方向における平均移動軌道を Fig.6(b)に示す。図を見て分かるように、最初膝位置は正方向に滑らかに移動するが、ピークを取った後、滑らかに減少し、初期点よりも負の位置まで移動し静止している。これら速度の観点から考察すると、3つの区間A、B、Cに分けることが出来、それぞれ区間Aでは加速、区間Bでは減速、区間Cでは再加速している。

次にこの平均軌道に対する数理モデルを構築する。3つの区間それぞれに対し、最小二乗法を用いた関数近似を行う。これにより得られた軌道の関数表現を Fig.6(b)に示す。図を見て分かるように、実験で得られた軌道を滑らかに良好に再現できていることがわかる。



(a) Movement trajectory of knee position



(b) Approximation by mathematical expression

Fig.6 Mathematical understanding of lateral movement of knee position in standing up motion

4-3 数理的モデルを用いた人間の立ち上がり運動軌道の再現

得られた数理モデルをロボットの並進運動とラックを用いた座面回転運動に適用した際の、座面に臀部を接触している人間の膝位置と坐骨位置の変化を Fig.7 に示す。図に示されるように、膝位置の前後運動、および坐骨位置の滑らかな円弧運動が良好に再現されており、提案した移動ロボットによる支援動作により、人間の滑らかな立ち上がり動作を実現することが可能であることが示された。

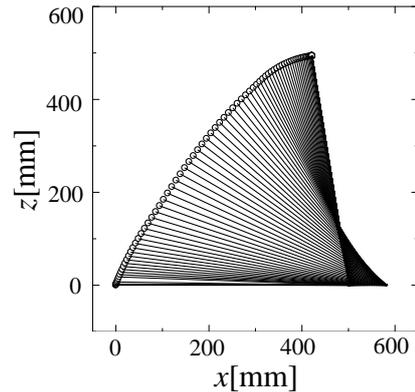


Fig.7 Reproduced movement of positions of trochanter and knee by the mathematical model of knee position in standing up motion

5. まとめ

本報告では、人間を見守りながら追従し、休憩の際の椅子の役割、および立ち上がり補助機能を有する移動ロボットシステムを提案し、滑らかな立ち上がり支援動作を実現するための基礎的アプローチとして、人間の自然な立ち上がり動作の特徴を実験的に調べ、その特徴を数学モデルにより表現した。その結果、人間の自然な立ち上がり動作は膝部の水平方向における前後運動と、膝を中心とした坐骨部の回転運動に分類することが可能であることがわかった。また、それぞれの軌道を簡単な数学モデルで近似表現することが可能であることを示し、それらをロボットの並進運動とラックを用いた座面回転運動に適用した場合に、良好に人間の立ち上がり動作を支援できる可能性を示した。

参考文献

- (1) 河村隆, 榎本祐嗣, 小林俊一, 水上公博, 空気圧制御による立ち上がり補助/下肢トレーニング補助機器の開発, 福祉工学シンポジウム講演論文集, 191-192, 2006.
- (2) 藤原啓輔, 則次俊郎, 高岩昌弘, 佐々木大輔, 杉野 真哉, 空気圧ゴム人工筋を用いた立ち上がり動作支援装置の開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 1P1-K02(1), 2009.
- (3) 独立行政法人理化学研究所, 介護支援ロボットの研究用プラットフォーム”ROBEAR”, <http://rtc.nagoya.riken.jp/ROBEAR/>, 2015.
- (4) パナソニック株式会社, 自立支援型起立歩行アシストロボット, <http://news.panasonic.com/jp/topics/2014/38643.html>, 2014.
- (5) 森岡一幸, 李周浩, 橋本秀紀, 知能化空間における移動ロボットの人間追従制御, 日本ロボット学会誌, vol. 22, no.1, pp.103-111, 2004.
- (6) 奥迫伸一, 坂根茂幸, レーザレンジファインダを用いた移動ロボットによる人の追跡, 日本ロボット学会誌, vol.24, no.5, pp.605-613, 2006.
- (7) 武用吉史, 橋本周司, 距離画像とカラー画像のセンサフュージョンに基づくロボットの人間追従, 情報処理学会第70回全国大会, pp.233-234, 2008.