

## 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6月9日現在

機関番号：26402

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21300212

研究課題名（和文）：自立高齢者生活支援のためのインテリジェント歩行車の開発

研究課題名（英文）：Development of an intelligent mobile robot for support of independent elderly people

研究代表者：王 碩玉（WANG SHUOYU）  
高知工科大学工学部教授

研究者番号：90250951

研究成果の概要（和文）：要介護人口の急増とそれに伴う若年者の相対減少により、高齢者の自立生活を支援する安全な知能ロボットの開発が強く求められている。そのためには、本研究は、要介護レベル2までの高齢者を使用対象として、ADL（Activities of Daily Living 日常生活動作）における移動動作である坐位、立ち上がり、立位、歩行などを安全・安心にサポートするメカニズム要素技術と知能化法、さらにロボットシステムを開発した。

研究成果の概要（英文）：With a rapidly increasing number of elderly who require nursing care and a decreasing number of young people to provide that care, an intelligent robot is required to safely support the elderly so that they can maintain their independence. In the present study, mechanical engineering and intelligent technology, have been used to develop a robot system for support of elderly patients who require nursing care up to level 2, Patient security and safety as well as assistance in activities of daily living including sitting, rising, standing and walking, can be provided by this robot.

交付決定額

（金額単位：円）

|        | 直接経費       | 間接経費      | 合計         |
|--------|------------|-----------|------------|
| 平成21年度 | 5,500,000  | 1,650,000 | 7,150,000  |
| 平成22年度 | 5,200,000  | 1,560,000 | 6,760,000  |
| 平成23年度 | 2,200,000  | 660,000   | 2,860,000  |
| 年度     |            |           |            |
| 年度     |            |           |            |
| 総計     | 12,900,000 | 3,870,000 | 16,770,000 |

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学 リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：健康・福祉工学

- ① 生活支援技術 ②生活支援 ③介護予防 ④支援技術 ⑤ロボット  
⑥ 移動 ⑦移乗 ⑧立ち上がり

## 1. 研究開始当初の背景

近年、要介護人口の急増とそれに伴う若年

者の相対減少により、高齢者による高齢者の介護、すなわち老老介護が大きな社会問題と

なっている。そこで、高齢者の自立生活を支援する安全な知能ロボットの開発が強く求められている。そのためには、確かなメカニズム要素技術の開発および高度知能化理論体系の構築が必須である。

## 2. 研究の目的

本研究は、要介護レベル2までの高齢者を対象として、ADL (Activities of Daily Living 日常生活動作) における移動動作である坐位、立ち上がり、立位、歩行などを安全・安心にサポートするメカニズム要素技術と知能化法、さらにロボットシステムを開発したものである。

## 3. 研究の方法

### (1) 全体構想について

要支援から要介護レベル2までの高齢者は使用することを前提として、最初では図1に示すようなロボットを構想した。まず構造上では転倒など危険性は絶対がないことを保証する。次に、異なる身長や立ち座り動作に適応するために、図2に示すように、アームレスト・フレームを上下に可動できるようにする。狭い屋内では任意の姿勢で任意の方向へ自由自在な移動を実現するために、新型オムニホイールを開発する。さらに、使用者の方向意図理解知能を備えることにより、図3～図6に示すように、施設や狭い住宅内において、坐位、立ち上がり、立位、歩行を伴う自立生活のための多様な動作を支援できる。

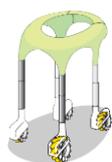


図1



図2



図3



図4



図5



図6

### (2) 要素技術、試作、実験、試験について

① 狭いスペースへの対応：コンパクトなオ

ムニホイール。

- ② 立ち座り動作、異なる身長への対応：本体を電動式で自由自在に高さ可変にする。
- ③ 経路・軌道制御精度の確保：非線形システムの適応制御法と加速度制御法。
- ④ 高齢者の方向意図同定：分離規則を満たす距離型ファジィ推論法。
- ⑤ 経路計画及び軌道計画：曲率半径と加速度パターンを設定。
- ⑥ 高齢者の運動機能の考慮：ニューラルネットワーク学習法による制御器のパラメータ修正。
- ⑦ 本ロボットシステムの試作：個々の要素技術を用いてシステムを構成する。
- ⑧ 実験と試験：まずロボットシステムを用いて実験を行う。次にバーチャル介護空間で移動・移乗・立ち上がりに関する試験を行う。

## 4. 研究成果

### (1) 全体システムの完成状況について

自宅の配置状況、エレベータ乗りや個室収納などから円形状よりも四方形のほうが使いやすいということで、完成した日常動作支援ロボットは写真1と写真2示すとおりである。老人ホームや高齢者自宅にて調査した結果、よりフレンドリー的なシステムにするために、素材を樹脂から木材に変えた。写真1と写真2を比較すれば、本体の高さを変えられ、移乗や立ち上がり支援が可能となった。高低の調整は電動式で制御される。また、アームレストは水平レベルより下方傾斜ができ、アームレストと駆動フレームとの連結機構、すなわち上下可動機構は、左右方向へ可動になるため、立ち上がり支援が容易できる。



写真1(a)



写真1(b)



写真2(a)



写真2(b)

(2) 各々の要素技術について

ハンドリングは写真3と写真4に示すとおり2種類があり、それぞれ移動時と、立ち上がり・移乗の際に使用する。操作は、マニュアル・モードとアウト・モードがあり、マニュアルモードでは、写真5に示す操作パネルの下方にあるジョイスティックを使用する。赤いプッシュボタンは非常停止ボタンである。アウト・モードでは、写真7に示すアームレストの下に設ける4個のロードセル(移動方向同定)、あるいは無線コントローラ(本体を呼び戻しや指定場所への移動)を使用する。充電やサーボ制御プログラム更新や非常停止ボタンは写真6に示すように本体正面の下方に設ける。写真8に示すように、全方向移動オムニホイールはコンパクトであるため、十分な歩行スペースを確保する。ノート PC は容易にデバックを行うには、写真8に示すように収納用引出を設ける。



写真3



写真4



写真5



写真6



写真7



写真8

狭い屋内で高齢者の移動動作をサポートするには、キー技術としてよりコンパクトな低速・高出力の全方向移動型アクチュエータを新たに開発する必要がある。本研究では、新手法として、図7に示すアイデア、すなわち樽を斜めに配置することと、通常のコモータと違ってモータの外輪を回転させるメカニズムを開発することと、モータをホイールの中に組み込むことで、新型メカナムホイール

の創出をチャレンジした。繰り返して実験により完成した新型メカナムホイールを写真9に示す。寸法は勿論のことであるが、回転速度や出力トルクを設計仕様に満たすために構造上を工夫した。実際にフレームに取り付けた様子を写真10に示す。写真10に示すように、全方向移動オムニホイールはコンパクトであるため、十分な歩行スペースを確保できていることが分かる。

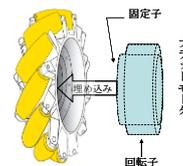


図7



写真9



写真10

知能化法として個人差対応可能な制御法と個人の方向意図同定法に大きく分けられる。まず高齢者の個人差に応じて、制御器のパラメータを調整することが必要である。本研究では身長や体重や歩様の違いにとり生じる重心のずれをサーボ制御の課題として適応制御の考え方を導入することにした。具体的にリアルタイムで重心のずれを同定しながら、理想経路を追従する非線形適応制御法を開発した。シミュレーションおよび実験により有効性を示し、IEEE ICMA 2010にてBest Paper AWARDを受賞した。さらに異なる経路・軌道に対して、ニューラルネットワーク学習法により最適な制御パラメータを得ることができた。

次に、被支援者の方向意図を伝える手法としては、軽度な歩行障害者はタッチパネルとジョイスティックを使用できるので用意した。やや重度な歩行障害者の場合では、方向を直接に入力するときに、操作時に片手をアームレスト部から一時的に離す必要が生じるため、高齢者の場合では、バランスを取れず姿勢を崩してしまう恐れがある。したがっ

て、ジョイスティックやタッチパネルは使用できない。一方、方向認識装置としては、利用者の筋電、脳波などの生体信号から方向意図を理解する方法が考えられ盛んに行われている。しかし、生体信号から方向意図と理解する方法の場合、利用者の身体に生体信号計測デバイスを装着する必要がある、大変不便なうえ、コストが高く現場への普及には適していない。そこで、写真7に示すように、本研究では被支援者の肘を支えるアームレストの中に荷重センサーを埋込み、アームレストにかかる荷重を計測することで、方向意図の同定法を考案した。本同定法は、次の利点がある。(1)方向指示装置の操作は特に意識する必要がなくなり、歩行の安全性が高まる。(2)脳波など生体信号測定デバイスは使用せず、コストが低減される。(3)歩行訓練機のアームレストに荷重センサーを組み込むことで、一機が二機能すなわち歩行訓練と歩行支援を実現するので、老人ホームや施設などではマルチ・ユーザに効率よく利用されることが可能となる。方法同定法は、代表申請者のオリジナルな距離型ファジィ推論法および距離型図形推論法に基づいて開発されたアルゴリズムであり、シミュレーションおよび実験によりその有効性が示されている。

### (3) 走行試験・移乗試験・立ち上がり試験

健常者を対象として、狭い空間での全方向移動、部屋から仮想食堂や顧問スペース空間への移動、ベッドやトイレやソファから立ち上がり歩行支援車への移乗、台所やテーブル前での横移動をしながら作業支援等各々の支援動作において、開発したインテリジェント歩行支援機およびその知能化制御法の有効性があることについて確認された。

移動支援の様子は写真11に示す。写真11(a)では、軽度な障害者を想定し、パネルに取り付けられているジョイスティックを操作しながら歩行している様子である。写真11(b)では、つまり自分ではジョイスティックやパネル操作できない重度な歩行障害者を想定し、アームレスト中に内蔵した荷重センサーから、障害者のかかる重心の位置により方向意図を同定しながら、歩行支援を行

っている。直線方向移動では精度よく同定できるが、方向転換の際に感度は少し鈍くなることが判った。今後、予測アルゴリズムを導入すれば、改善されると思われる。



写真 11(a)



写真 11(b)

立ち上がり支援の様子は写真12と写真13に示す。写真12では、軽度な障害者を想定し、棒状ハンドルを握り自分自身でハンドルの先端に付けられているボタンを操作しながら、立ち上がっている様子である。写真13では、つまり自分では操作できない重度な歩行障害者を想定し、アームレストの後方に取り付けられるクローズ・ハンドリングを握り、アームレスト中に内蔵した荷重センサーから、障害者のかかる重心の位置情報により方向意図を同定しながら、立ち上がり支援を行っている。要支援者の身体状況を考慮した立ち上がる速度パターンの適切な設定法は開発されれば、スムーズに支援ができると考える。



写真 12(a)



写真 12(b)



写真 13(a)



写真 13(b)

移乗支援に関しては、自宅や老人ホームなど施設では、個室からリビングやCOMMONスペースへの移動過程を想定する。具体的には、個室にあるベッドから立ち上がり、廊下を移動し、リビングやCOMMONスペースにある椅子に座らせる、といった一連の動

作を支援する。その可能性について確認するために、写真14に示す実験を行った。写真14(a)は、本インテリジェント支援機がベッドあるいはソファから立ち上がり動作を支援する様子である。立ち上がったから移動支援を行うが、全歩行移動できるのが特徴としている。すなわち、平面上では、任意の向きで任意の方向に向かって移動できるので、狭い自宅や多様なレイアウトでも移動可能となる。例えば、真先向きで右横方向に移動している様子を写真14(b)に示す。



写真 14(a)



写真 14(b)



写真 14(c)



写真 14(d)

椅子の近くに来ると、椅子の上方までにバックしてから、少しずつ腰を下ろして、最終的には座らせる。それぞれの様子を写真14(c)と(d)に示す。その後、本インテリジェント支援機は邪魔にならないようにするために、リモコンを設けており、無線で本インテリジェント支援機を指定場所に待機させる。ただし、リモコンを操作するのが困難な高齢者は、本インテリジェント支援機に自律走行機能を持たせれば、ボタン押しだけで、待機場所に自動的に移動できる。これは今後発展的課題となる。

以上のように、本研究プロジェクトは、日常生活において最も重要とされている、立ち上がり、立位、移動、移乗などを支援するインテリジェント歩行車を開発することができた。仮想的介護空間にて、健常者ではあるが、立ち上がり、立位、移動、移乗など支援動作について可能性があることが示された。全方向移動など要素技術と知能化法は、他の生活支援ロボットにも適用できる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 21 件)

- ① Yina Wang, Shuoyu Wang, Rengpeng Tan and Yinlai Jiang, Adaptive Control Method for Path Tracking of Wheeled Mobile Robot Considering Parameters Changes, International Journal of Advanced Mechatronic Systems, 査読有, Vol 4, No 1, 2012, 41-49.
- ② Rengpeng Tan, Shuoyu Wang, Yinlai Jiang, Kenji Ishida, Masakatsu G. Fujie, Nonlinear Adaptive Controller for Omnidirectional Walker Dynamic Model, ICIC Express Letters, 査読有, Vol.6, No.3, 2012, 611-615.
- ③ Yinlai Jiang, Shuoyu Wang, Kenji Ishida, Takeshi Ando, Masakatsu G. Fujie, User Control Intention Recognition of an Omnidirectional Walking Support Walker: Considering Both Directional and Rotational Intentions, ICIC Express Letters, 査読有, Vol.6, No.2, 2012, 479-484.
- ④ Yina Wang, Shuoyu Wang, Rengpeng Tan, Yinlai Jiang, Kenji Ishida, Masakatsu G. Fujie, Motion Control for an Intelligent Walking Support Machine, ICIC Express Letters, 査読有, Vol.6, No.1, 2012, 145-149.
- ⑤ Rengpeng Tan, Shuoyu Wang, Yinlai Jiang, Kenji Ishida and Masakatsu G. Fujie, Motion Control with Parameter Optimization by Genetic Algorithm. ICIC Express Letters, 査読有, Vol.5, No.8(B), 2011, 2779-2784.
- ⑥ Yinlai Jiang, Kensuke Tanaka and Shuoyu Wang, Knowledge Acquisition of Human Control Strategy in a Ball-into-Goal Game on an Omnidirectional Robot, ICIC Express Letters, 査読有, 2011, Vol.5, No. 8(A), 2705-2710.
- ⑦ Rengpeng Tan, Shuoyu Wang, Yinlai Jiang, Kenji Ishida, Masakatsu G. Fujie, Masanori Nagano, Adaptive Control Method For Path Tracking Control of an Omnidirectional Walker Considering Center of Gravity Shift and Load Change, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 査読有, Vol. 7, No. 7 (B), 2011, 4423-4434.
- ⑧ Yinlai Jiang, Shuoyu Wang, Kenji Ishida, Takeshi Ando and Masakatsu G. Fujie, Directional Intention Identification for Running Control of an Omnidirectional Walker, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 査読有, Vol.14, No.7, 2010, 784-792.

- ⑨ Shuoyu Wang, A new Omnidirectional Wheelchair and its Motion Control Method, ICIC Express Letters, 査読有, 2009, Vol.4, No.1, 289-294.

(他、12件)

[学会発表] (計74件)

- ① Yinlai Jiang, Shuoyu Wang, Kenji Ishida, Takeshi Ando and Masakatsu G. Fujie, Control of an Omnidirectional Walking Support Walker by Forearm Pressures, Proceedings of The 33rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2011.8.31, USA
- ② Yina Wang, Shuoyu Wang, Renpeng Tan and Yinlai Jiang, Car-like Mobile Robot Oriented Digital Acceleration Control Method, Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Aug. 2011.8.9, China
- ③ 王碩玉：歩行リハビリテーション～社会背景，機器開発，臨床試験，歩行脳～，2011.8.6，招待講演，計測自動制御学会中国支部講演会，広島
- ④ 王碩玉，姜銀来，石田健司，榎勇人，藤江正克，永野敬典，新型歩行訓練器の運動制御，2010.9.23，第28回日本ロボット学会学術講演会，名古屋
- ⑤ 王碩玉，石田健司，藤江正克，単体多機能型自立生活支援ロボット，2010.9.18，生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会，大阪。
- ⑥ Renpeng Tan，Shuoyu Wang，Yinlai Jiang，Kenji Ishida and Masanori Nagano，Adaptive Controller for Motion Control of an Omni-directional Walker, Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, 2010.8.5, China  
(IEEE ICMA AWARD for ICMA 2010 Best Paper in Automation)
- ⑦ 王碩玉：全方向移動型歩行訓練器～構想，実験・試験，実用化～，2010.3.5，日本機械学会中国四国支部第48期総会・講演会，広島
- ⑧ 王碩玉，石田健司，藤江正克，重度な患者も使用可能な新型歩行訓練機，2009.9.25，福祉工学シンポジウム，高知
- ⑨ 王碩玉，石田健司，藤江正克，室内移動補助も可能な新型歩行訓練機，2009.9.14 日本機械学会年度年次大会講演会，盛岡
- ⑩ 王碩玉：ロボティクスは高齢社会に貢献できるのか？ 日本機械学会ロボメック部門主催講演会，2009.3.12，特別講演会

「ロボメカ技術の医療福祉分野への応用」，特別講演，岡山

(他、64件)

[図書] (計2件)

- ① 片岡万里：正木治恵，真田弘美編，南江堂出版，国際的視野からみた老年看護学：老年看護学概論，2011，375.
- ② 石田健司，王碩玉，岸孝司，運動療法（担当章節：運動器不安定症，編集者：黒澤尚），2009，300

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称：歩行訓練機

発明者：王碩玉，石田健司，永野敬典，猪野真吾，藤江正克

権利者：高知工科大学

種類：PCT/JP

番号：2010/64849

出願年月日：2010, 8, 10

国内外の別：国際

[その他]

ホームページ等

<http://www.lab.kochi-tech.ac.jp/robotics/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

王碩玉 (WANG SHUOYU)

高知工科大学・工学部. 教授

研究者番号：90250951

(2) 研究分担者

井上喜雄 (INOUE YOSHIO)

高知工科大学・工学部. 教授

研究者番号：50299369

石田健司 (ISHIDA KENJI)

高知大学・医学部・准教授

研究者番号：10274367

片岡万里 (KATAOKA MARI)

高知大学・医学部・教授

研究者番号：40273792

藤江正克 (FUJIE MASAKATSU)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：20339716

江丸貴紀 (EMARU TAKANORI)

北海道大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：30440952