

## 様式 C-19

### 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告

平成 24 年 4 月 5 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560259

研究課題名（和文）段差昇降と滑り解消に有効な車輪を用いる車いすの機構と制御

研究課題名（英文）Study on a mechanism and control of a wheelchair constituting of wheels that are effective in climbing stairs and rolling without slippery

研究代表者

岡田 徳次（OKADA TOKUJI）

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：60194362

研究成果の概要（和文）：

不整地における四輪スキッドステア移動ロボット(4WSSMR)の走行に関する機能と性能の向上を目的とし、足先を1つずつ順番に着地させるための車輪として6個の足関節を車輪外周に配備する車輪機構の設計と制御を新規な技術として明らかにした。前進時に限らず後退時も含めて障害物を乗り越え、あるいは跨ぎ越えるための能力を踏破力として評価し、踏破力と踏破に必要なトルク最小化の2つの視点から移動に有効な制御法を見出した。

研究成果の概要（英文）：

For the purpose of improving mobility and performance of four-wheeled skid-steering mobile robots (4WSSMRs) on rough terrain, we studied a wheel mechanism installing six ankle joints at circumferential positions of a wheel for landing by the toe of each foot one by one. Traverse-ability to evaluate a performance of stepping up/over obstacles concerned with including its reverse motion has been introduced.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工 学

科研費の分科・細目：機械工学、知能機械学・機械システム

キーワード：車いす、段差、特殊車輪、バリアフリー、足、スキッドステア車、  
車輪速度差制御、メカトロニクス

## 1. 研究開始当初の背景

本研究は、脚型にも車輪型にも使えるハイブリッド移動ロボット **PEOPLER-II** の開発成果をまとめる中で、より使い易い車いすはないか？と思案する問題に応える形で始まった。すなわち、車輪型を装置の基本構造とし、これに段差の昇降を可能にし、また、路面での滑りを阻止する技術を付加することで車いすの対地適応性を上げられることを着想するに至った。その戦術は、**PEOPLER-II** の脚を短くすることで回転する脚に爪の役目をもたせることにあり、短くする分だけその駆動に必要なトルクを軽減できる効果にねらいがある。また、進行方向の車輪外周に爪を出して段差や階段等の突端に乗り上げるきっかけが得られ、さらには、路面側車輪外周に爪を立てることで増えるグリップ力を滑り防止に活かせるメリットがある。不要な爪を上に向ければ車輪に変わらない。

車輪外周に爪を出す設計技術はこれまであったが、出す方向を選択的に変えて爪の機能と利用効率を高める車輪の構造と制御に関する発表文献は国の内外に見当たらない。本研究は、このような背景から、対地適応性の拡大に有効な車いすの機構と制御の技術を開発するに至った。

## 2. 研究の目的

これまで取り組んできた移動装置に関する基礎研究の成果である多重軸関節駆動機構を応用し、車輪型移動装置の欠点解消に有効な車輪構造とその制御技術を開発し、広くは車輪型移動装置のバリアフリー化に資する一人乗り用車輪移動技術を確立し検証することを研究の目的とする。

実際に、車輪外周に必要な方向に複数の爪(足に同義)を選択的に出し入れ可能にする運動機構を明らかにし、また、その制御に必要な動力伝達機構の構造や強度に関する最適設計を行う。さらに、搭乗者の手動力、あるいはセンサ情報に基づいて作動するアクチュエータの駆動力のいずれを使用する場合でも、車体の重力方向からの傾き角を入力して車いすの2つ、あるいは4つの車輪外周

から指定される方向に爪の顔を自動的に出すことを実現する。そして、段差乗り上げ、滑り止め、埋没回避、あるいは通常の走行として機能する車輪を装備する車いすを製作し、実用化に必要な技術を構築する。

## 3. 研究の方法

- 車輪外径に依存する爪の適正数とリムへの軸支構造設計を最適化し、1車輪に6個の足を出入りさせる車いすの基本部を外注して製作する。
- 爪の回転軸に固定するスプロケットに半周以上噛みあわせて歯飛びを無くすチェーン経路を定め、かつ、その張力をアイドラーで調節し、複数爪が顔を出す方向を装置本体側の駆動力で制御可能にする。
- 干渉系にある車輪と足の全てがセレーション加工によって動力を効率よく伝え、回転角制御精度を向上できることを実証する。
- 電導液の抵抗変化を検出原理とする2軸傾斜角センサを車体に装着し、これにより車体のピッチ角とロール角を実時間で入力し、これら2つのセンサ情報から路面斜角と進行方向角を推定し、爪を指定する向きに補正するサーボ制御回路を組み、搭乗者の操縦面の負担軽減を可能にする。
- PCカードからセンサ情報を直接読み込むインターフェースを組み込み、角度に関するソフトウェアサーボ回路を設計/製作する。
- 1車輪につける六つの爪の奇数番組と偶数番組を独立させて回転させるチェーン駆動機構を製作し、車輪回転にも干渉されない爪方向角の制御を実現する。
- 足つき四輪車の不整地移動を実現するため、着地グリップ力を変える足の制御、車体の上下動を解消する足と車輪の協調制御、歩幅を制御する足と車輪の協調制御、段差乗り上げに有効な足の協調制御、路上に散在する瓦礫等を突き押し排除する機能を足にもたせる制御、用のプ

プログラムを開発する。

- ・屋外での実験により上記プログラムの有効性を実証し、高齢社会を見据えた実用化に明確な見通しをつける。

#### 4. 研究成果

多重軸関節駆動機構を用いた移動装置に関する基礎研究の成果を応用し、車輪型移動装置の欠点解消に有効な車輪構造とその制御技術を開発し、広くは車輪型移動装置のバリアフリー化に有効な一人乗り用車輪移動技術を開発し、その有効性を実験により検証した。これらの成果は、出入り足をもつ車輪と足の方向制御機構、出入り足を備えた車輪装置、足つき車いす、移動防止装置付き車いすの四つの名称で大学の知的財産として出願した。

また、開発した装置が屋外の段差に乗り上げ、また階段の昇降に成功したことで、考察した運動機構の設計や車輪と足の協調制御の内容を論文にまとめ、内外の学会で発表した。2011年11月16～18日に開催されたシステムコントロールフェア2011（於：東京ビッグサイト）に出展し、研究の成果を公開/実演し、大学・高専研究発表コンテストにおいて特別賞を頂いた (<http://scf.jp/press.html>)。

さらに、開発した移動装置の実用化に関心を示す企業が現れ、この会社と共同研究をする道を開いた。提供できる研究シーズを説明し、この会社と共同研究の合意が得られたのを受け、JSTの平成23年度1回目A-Stepの公募に応募したところタイムリーなことに採択され、平成24年度の9月までの1年の間に顕在化ステージにつなげて、実用化に近づける研究に発展させることができた。

#### 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7件）

- ① T. Okada, A. Mahmoud, W. Botelho, T. Shimizu : Trajectory estimation of a skid-steering mobile robot propelled by independently driven wheels, J. ROBOTICA, 査読有, Vol.30, No.1, 2012,

pp.123-132

- ② 岡田徳次、ボテリオ・ヴァーグナ、清水年美 : 動作自由度数を低減した脚車輪型移動ロボットの駆動機構と歩行および走行の双方向切換え制御、日本ロボット学会誌、査読有、29巻、3号、2011、pp.306-316
- ③ W. Botelho, T. Okada, A. Mahmoud, T. Shimizu : Software and Hardware control of a hybrid robot for switching between leg-type and wheel-type modes, Brazilian J. Control & Automation, 査読有, Vol.22, No.1, 2011, pp.9-22
- ④ T. Okada, W. Botelho, T. Shimizu : Motion Analysis with Experimental Verification of the Hybrid Robot, PEOPLER-II, for Reversible Switch between Walk and Roll on Demand, Journal of Robotics Research, 査読有, Vol.29, No.9, 2010, pp.1199-1221
- ⑤ A. Mahmoud, T. Okada, T. Shimizu : A simulation for estimating a circular trajectory of a four-legged robot on regular terrain, Journal of Cybernetics and Systems, 査読有, Vol.2, No1, 2009, pp.9-16
- ⑥ T. Shimizu, Y. Kobayashi, M. Sasaki, T. Okada : Passivity-based control of a magnetically levitated flexible beam, J. of Robust and Nonlinear Control, 査読有, Vol.19, No.6, 2009, pp.662-675
- ⑦ W. T. Botelho, T. Okada, T. Shimizu : Smooth Switching Phases Control with Simulation and Experimental Verification of a Hybrid Mobile Robot from Leg-type to Wheel-type and Vice Versa, Journal of Cybernetics and Systems, 査読有, Vol.2, No.2, 2009, pp.113-120

〔学会発表〕（計21件）

- ① 岡田徳次、佐々木雄介 : スキッドステア車に付けられた足のセンサ制御、第29回RSJ学術講演会、査読無、2011年9月7日、芝工大
- ② 岡田徳次、杉森圭瑞夫、手塚 悟 : 二本足を含む仮想四節リンク機構の変形による乗

- り上げ動作、第 29 回 RSJ 学術講演会、査読無、2011 年 9 月 7 日、芝工大
- ③岡田徳次、手塚 悟、藤田隆義：複数足をもつスキッドステア車の傾きを低減する構造設計と制御、第 29 回 RSJ 学術講演会、査読無、2011 年 9 月 7 日、芝工大
- ④ T. Okada, S. Tezuka, Y. Sasaki : Sensor-Based Control of a Skid-Steering Mobile Robot Combined with Feet for Moving on All Terrain, 14<sup>th</sup> Conf. on CLAWAR, 査読有, 2011 年 9 月 6 日, Paris
- ⑤岡田徳次、高橋俊介、マモト アビア：四輪スキッドステア車の左右車輪の速度比が走行軌跡に与える影響の実験的考察、JSME ロボティクス・メカトロニクス講演会、査読無、2011 年 5 月 27 日、岡山産業技術センター
- ⑥岡田徳次、手塚 悟、佐々木雄介：足をもつスキッドステア車の対地適応移動制御、JSME ロボティクス・メカトロニクス講演会、査読無、2011 年 5 月 27 日、岡山産業技術センター
- ⑦岡田徳次、日野浩二：整地歩行速度むら脚型スキッドステア移動ロボットの足の改善策について、第 11 回 SICE システムインテグレーション部門講演会(SI2010)、査読無、2010 年 12 月 23 日、東北大
- ⑧ T. Okada, A. M. Mahmoud, W. T. Botelho : Trajectory estimation of a skid-steering mobile robot incorporating free wheels, Int. Conf. on Intelligent Robotics and Applications, 査読有, 2010 年 11 月 11 日, Shanghai
- ⑨ T. Okada, A. M. Mahmoud, W. T. Botelho : Motion analysis of a skid-steering mobile robot and estimation of walking trajectory, Int. Conf. on Robotics and Applications, 査読有, 2010 年 11 月 3 日, Boston
- ⑩岡田徳次、武田透：ハイブリッド型移動ロボットの階段昇降のための一歩行法、第 28 回 RSJ 学術講演会、査読無、2010 年 9 月 24 日、名工大
- ⑪岡田徳次、手塚 悟、星野 真志：足をつける車輪型スキッドステア移動ロボットの機構と制御、第 28 回 RSJ 学術講演会、査読無、2010 年 9 月 24 日、名工大
- ⑫T. Okada, Y. Yoshida, Y. Tomihara : Control of a wheel-driven legged robot for moving uniformly without vertical sway, Int. Conf. on Climbing and Walking Robots, 査読有, 2010 年 9 月 2 日, Nagoya
- ⑬金内勇人、岡田徳次：ハイブリッドロボットの上下動作に有効な姿勢設計、日本機械学会北陸信越支部 第 47 期総会・講演会、査読無、2010 年 3 月 10 日、新潟大
- ⑭井口陽、岡田徳次、清水年美：拮抗二関節筋を持つロボットアームへの適用を目指した動的可操作性楕円体の拡張、第 10 回 SICE システムインテグレーション部門講演会、査読無、2009 年 12 月 24 日、芝工大
- ⑮ A. Mahmoud, T. Okada, W. Botelho : Estimation and Verification of the Trajectory Forms Generated by a Legged Sliding Robot, IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics, 査読有, 2009 年 12 月 20 日, China
- ⑯岡田徳次、モハメド アビア、ボテリョ バージェナ：車輪速度制御車両の路面摩擦係数を考慮した移動軌跡の解析、第 27 回日本ロボット学会学術講演会、査読無、2009 年 9 月 15 日、横浜国大
- ⑰岡田徳次、吉田友也：脚型ロボットの脚回転による車高一定歩行、第 27 回日本ロボット学会学術講演会、査読無、2009 年 9 月 15 日、横浜国大
- ⑱岡田徳次、富原裕士：脚揺動による歩行ロボットの等高高速歩行制御法、第 27 回日本ロボット学会学術講演会、査読無、2009 年 9 月 15 日、横浜国大
- ⑲岡田徳次、阿部康治：足付き車輪の提案、第 27 回日本ロボット学会学術講演会、査読無、2009 年 9 月 15 日、横浜国大
- ⑳T. Okada, A. Mahmoud, W. T. Botelho, T. Shimizu : Trajectory Analysis of an Independently Driven Wheeled Robot and its Experimental Verification, Int. Conf. on Climbing and Walking Robots, 査読有, 2009 年 9 月 9 日, Istanbul
- ㉑ A. Mahmoud, T. Okada, W. T. Botelho , Investigating Motion and Trajectory Forms of a Wheeled Mobile Robot on a Flat Surface with an Inclination Angle, Int. Conf. on Control Automation and Systems

(ICCAS-SICE 2009), 査読有, 2009年8月20日, Fukuoka International Congress

[産業財産権]

○出願状況 (計3件)

①名称: 足つき車いす

発明者: 岡田徳次

権利者: 新潟大学

種類: 特許

番号: 願平 2011-185522

出願年月日: 23年8月29日

国内外の別: 国内

②名称: 移動防止装置付き車いす

発明者: 岡田徳次

権利者: 新潟大学

種類: 特許

番号: 願平 2011-185523

出願年月日: 23年8月29日

国内外の別: 国内

③名称: 出入り足を備えた車輪装置

発明者: 岡田徳次

権利者: 新潟大学

種類: 特許

番号: 願平 2009-119279

出願年月日: 2009年5月15日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計4件)

①名称: 脚型車輪型兼用移動装置

発明者: 岡田徳次

権利者: 新潟大学

種類: 特許

番号: 特許 4590639

取得年月日: 2010年9月24日

国内外の別: 国内

②名称: 走行形態切換え装置および制御方法

発明者: 岡田徳次

権利者: 新潟大学

種類: 特許

番号: 特許 4590568

取得年月日: 2010年9月24日

国内外の別: 国内

③名称: Driving mode switching apparatus and control method therefor

発明者: 岡田徳次

権利者: 新潟大学

種類: 特許

番号: 米国特許 7665748

取得年月日: 2010年2月23日

国内外の別: 国外

④名称: 脚型ロボットの安定歩行法、歩幅制御法、操舵法、およびその装置

発明者: 岡田徳次

権利者: 新潟 TLO

種類: 特許

番号: 特許 4304240

取得年月日: 2009年5月15日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://scf.jp/press.html>

<http://okada.eng.niigata-u.ac.jp>

新聞発表(新潟日報朝刊、2009年12月5日)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡田 徳次 (OKADA TOKUJI)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号: 60194362

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

清水 年美 (SHIMIZU TOSHIMI)

新潟大学・自然科学系・助教

研究者番号: 70377183

(4) 研究協力者