

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560287

研究課題名(和文) 移動ロボットの軽量化法と対地適応安定化のための機構と制御の開発

研究課題名(英文) Development of structural design and control of a mobile robot for decreasing weight with driving stability on unstructured terrain

研究代表者

岡田 徳次 (OKADA, TOKUJI)

新潟大学・自然科学系・フェロー

研究者番号：60194362

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：移動中の不整地環境変化に車体を柔軟に適応させるため、直交させて車体に固定した二つの単軸傾斜センサからの情報を駆使し、搭乗者から与えられる簡単な指令で自律的に移動する、複数足を備えたロバスト性の高い簡単な構造の機械システムを製作し、有効性を実証した。また、軽量化のために車体基板にサスペンション機能を持たせたロボット構造の設計技術を開発し、路上の凸凹面上でも車体を安定に自立させる4点着地を実現した。さらに、車輪から必要に応じて足を出し、車体基板の撓み量を小さくすることで斜面横切り移動時の車体基板の反りを軽減し、転倒の不安や恐怖を搭乗者に与えない技術をハードとソフトの両面から構築した。

研究成果の概要(英文)：In order to design an electric wheelchair that can move autonomously and adaptively on an irregular terrain by getting simple commands given by a driver utilizing two inclination sensors, we built a robust and simple mechanical mobile robot system having wheels with feet. Also, we demonstrated the usefulness of the system in a practical field. In addition, we showed a method of designing a lightweight chassis for aiming a robot body that takes a role of suspensions too. The method made the robot stand stably with four contacts even when the ground is not even. The robot can press the feet against the ground in need by adjusting the height of a wheel axis position when it traverses a slope, for instance. Thus the robot body is decreased from bending even when the body is elastic and the driving became safe by preventing the robot from falling down. This study clarified technical considerations to make the stable navigation in hardware and software viewpoints.

研究分野：工学

キーワード：知能機械 メカトロニクス 移動ロボット 車いす 有限要素法 サスペンション

1. 研究開始当初の背景

移動ロボットは、運ぶ対象が物、人であっても脚型あるいは車輪型の利点を活かし、高速な演算技術やインターフェイス技術に支えられて発展してきた。車いすには、整地・不整地を問わず、低速・高速のいずれでも移動できる技術が要請されるため、歩行にも走行にも使えるハイブリッド型移動ロボットへの期待は大きい。しかし、未だ障害物に阻まれずに移動できる利便性の高いロボットが実現しているとは言い難い。アッカーマンジオメトリを満たす車両には摩擦損失を小さくする高速移動のメリットがあり、多脚移動ロボットには不整地を安定に移動するメリットがある。いずれにも操舵用の複雑な機構や制御を必要とするデメリットがある。

これに対し、デメリットをもたない手段として、車輪や脚の摩擦力や滑りを積極的に利用して操舵するスキッドステア移動ロボット SSV がある。この種のロボットは、余分なエネルギー消費、タイヤの磨耗を作り出すが、構造を簡単にし、動力学モデルに依らない簡単な速度差制御で不整地移動のロバスト性を高めるメリットをもつ。申請者らはこのメリットに着目し、搭乗者が人の手助けを求めずに着座したまま機械要素などを付け外すことなく、また、衝撃力などを受けることなく脚型と車輪型の移動方式を必要に応じて切替える技術を開発し、車いすのバリアフリー化に有効なハイブリッド歩行いすの設計や制御の指針を見出した。

2. 研究の目的

移動中の不整地環境変化に車体を柔軟に適応させるため、各車輪に取り付ける複数足を常時互いに平行を保って向きを変える運動機構にし、重力センサからの情報を駆使し、制御装置の知能に支援されて搭乗者から与えられる簡単な指令で自律的に移動する電動車いすの実現を目指し、ロバスト性の高い簡単な構造の機械システム作りを目的とする。

とくに、軽量化のために車体基板にサスペンション機能を持たせたロボット構造の設計技術を開発し、路上の凸凹面上でも車体自立を安定化する4点着地を実現する。さらに、車輪から必要に応じて足を出し、車体基板の撓み量を小さくすることで斜面横切り移動時の車体基板の反りを軽減し、転倒の不安や恐怖を搭乗者に与えない技術をハードとソフトの両面から構築する。

3. 研究の方法

車いすの標準仕様をもとに車体を含めた全荷重中心が基板中央から±10cm以内でなくても四隅における最大撓み量を5cm以上にする基板の加工仕様を有限要素法による計算により明らかにする。また、実際にこの仕様を外注により加工し、撓み特性を計測して計算値と比較し、手法の有効性を実証して車いす以外のロボットにも応用可能な技術と

して確立する。

対地適応性の向上に最適な6足を備える6動作自由度4WSSV(四輪スキッドステア移動ロボット)の運動機構の設計では、ロボット上に占める駆動装置と制御装置の領域を小さくすることを重視する。座席確保のために左右の剛部に橋渡す構造材を設計し、足駆動力伝達用の軸をセレーション加工し、足角度キャリブレーションを容易にする。さらに、センサ情報を活用し、移動環境の変化に応じて行動を柔軟に変更できる対地適応性の高い知的プログラムを開発し、搭乗者からの方向指示程度の簡単な指令のみで自律的に移動できることを検証する。

4. 研究成果

車体の姿勢変化を低減する目的で車輪に足を付け、これを車軸位置の高さ調整に用いるのに適した少ない動作自由度数の構造設計について検討した。具体的に、これまでに開発した4WSSV(左右足間67cm、前後車軸間72cm、車体枠の縦87cm、横50cm)を実験機として改修流用し、各車輪の半径に近い長さの足を6本付けるロボットの運動機構と制御法を明らかにした。車体には二つの傾斜センサを直交させて固定し(図1参照)、センサ情報をマイクロコンピュータで処理して路面の傾斜角と横切り角を実時間で算出し、その結果を利用して車体姿勢を柔軟に変更するプログラムを開発した。

これにより搭乗者に求められる細かな指令の負担を軽減し、移動方向程度の簡単な情報のみでロボットを操縦できることを、学内廊下のスロープ箇所(勾配=6°)で確認し、車体姿勢の水平制御動作を実証した(図2参照)。ただし、横切り角は45°である。スロープを横切り移動する実験ではセンサ情報を用いてピッチ角±4.96°、ロール角±5.33°の範囲内で車体面の水平制御を可能にした。6個のアクチュエータには引きずるケーブルを介して駆動エネルギーを供給した。車いすを想定した搭乗者はダミーでこれらを含めた総重量は約40kgである。

また、車体基板を剛から柔の素材に切替えるという新たな発想に基づきロボットのコンパクトな設計に有効なサスペンションレ

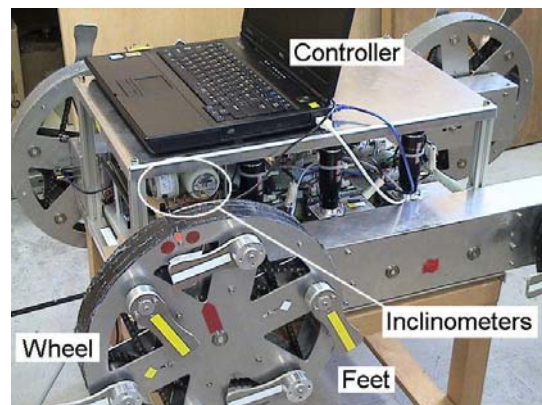


図1 車体に固定した二つの傾斜角センサ

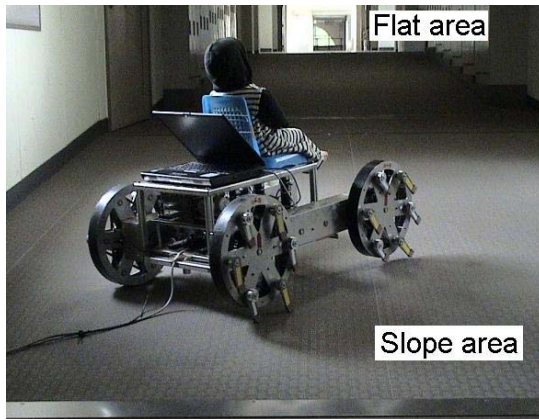


図2 廊下斜面を斜めに上昇する様子

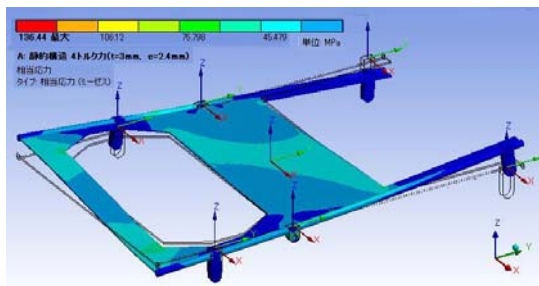


図3 相当応力の計算結果

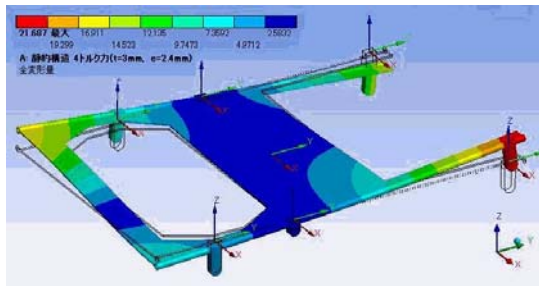


図4 基板変形量の計算結果

ス基板の採用を提案し、基板から切除する長穴パターンを示し、購入した市販の有限要素法解析ソフトANSYS Academic Standards V14.0を使い、基板の相当応力と変形量の解析法を明らかにした。図3は相当応力、図4は変形量に関する計算結果をそれぞれ示す。

弾性基板を採用し、かつ、不要部を切り取ることは、サスペンション機能を生み出すだけでなく車体を軽量化するための有効な対策となることを示した。

成果をまとめた学会発表論文中の複数足を付ける車いすに関する⑥は英国移動技術学会から優秀論文発表賞を、また、④は同学会から最優秀論文発表賞を受けた。

移動ロボットの軽量化法に関し、有限要素法による構造力学解析ソフトを適用するための基板の運動モデルとこれを用いた計算結果は実験結果と比較して論文にまとめ、Journal of Automation, Mobile Robots and Intelligent Systems (JAMRIS)に発表した(雑誌論文中の①)。

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 5 件)

- ① T. Okada, N. Mimura, T. Shimizu : Chassis design of a mobile robot for reducing weight by excluding suspension elements, J. of Automation, Mobile Robotics and Intelligent System, 査読有, Vol.9, no.2, 2015, pp.43 – 52 (DOI: 10.14313/JAMRIS_2 -2015/17)
- ② T. Okada, N. Mimura, T. Shimizu, H. Wada : Mobile Service Robotics, World Scientific (ISBN-978-981-4623-34-6), 査読有, 2014, 全 720 頁中 441-450 頁を分担執筆
- ③ T. Okada, H. Wada, N. Mimura, T. Shimizu, K. Nagata : Nature-Inspired Mobile Robotics, World Scientific (ISBN-978-981-4525-52-7), 査読有, 2013, 全 861 頁中 599 -608 頁を分担執筆
- ④ T. Okada, A. Mahmoud, W. T. Botelho, T. Shimizu : Trajectory estimation of a skid-steering mobile robot propelled by independently driven wheels, J. of ROBOTICA, 査読有, Vol.30, no.1, 2012, pp.123-132 (DOI: 10.1017/S026357471100035X)
- ⑤ T. Okada, S. Tezuka, H. Wada : Adaptive Mobile Robotics, World Scientific (ISBN -978-981-4415-94-1), 査読有, 2012, 全 881 頁中 585-594 頁を分担執筆

[学会発表] (計 6 件)

- ① 岡田徳次、三村宣治、今村 孝 : 足付き車いす車体の対地適応水平制御, 第 32 回日本ロボット学会学術講演会, 2014 年 9 月 4-6 日, 九州産業大学
- ② T. Okada, N. Mimura, T. Shimizu, H. Wada : Chassis design of a mobile robot for reducing weight by excluding suspension elements, 17th Int. Conf. on Climbing and Walking Robots, 2014 年 7 月 22-23 日, Poznan University of Technology, Poznan (Poland)
- ③ 岡田徳次、三村宣治、清水年美、和田博 : ロボットの軽量化に有効なサスペンションレス車体基板の設計, 第 31 回日本ロボット学会学術講演会, 2013 年 9 月 4-6 日, 首都大学東京南大沢キャンパス
- ④ T. Okada, H. Wada, N. Mimura, T. Shimizu, K. Nagata : Hand manoeuvred wheelchair using wheels fitted with feet for enhanced mobility, 16th Int. Conf. on Climbing and Walking Robots, 2013 年 7 月 14-17 日, Univ. of Technology, Sydney (Australia), CLAWAR Association Best Technical Paper Award

http://www.clawar.org/downloads/clawar2013/CLA13_awards.pdf#search='CLAWAR2013'

- ⑤ 岡田徳次、手塚 悟、三村宣治、和田 博：
二つの傾斜センサを用いるロボットの対地
移動状況把握，第 30 回日本ロボット学会
学術講演会，2012 年 9 月 17-20 日，札幌コ
ンベンションセンター（北海道）
- ⑥ T. Okada, S. Tezuka, H. Wada : Smooth walk
of a skid-steering vehicle consisting of
feet jointed to each wheel rim, 15th Int.
Conf. on Climbing and Walking Robots,
2012 年 7 月 23-26 日，Johns Hopkins
University (USA), CLAWAR Association
Best Technical Paper Award (First Prize)
<http://www.niu.edu/clawar2012/Best%20Paper%20Awards/index.shtml>

〔産業財産権〕

- 出願状況（計 1 件）
名称：Wheelchair provided with feet
発明者：岡田徳次
権利者：国立大学法人新潟大学
種類：特許
番号：PCT/JP2012/070972
出願年月日：2014 年 2 月 26 日
国内外の別：外国(欧州)

〔その他〕

ホームページ等
<http://okada.eng.niigata-u.ac.jp>

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・フェロー
研究者番号：60194362

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者