

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 27 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23760229

 研究課題名（和文） 不整地での転倒に対して機構的ロバスト性を有する超対称型探査  
ロボットの開発的研究

 研究課題名（英文） Research and Development of Hyper Symmetrical Configuration Robot  
with Mechanical Robustness in the case of Falling Down on Rough Terrain

研究代表者

多田 隈 建二郎 (TADAKUMA KENJIRO)

大阪大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：30508833

研究成果の概要（和文）：

広範囲を効率よく探査するために、複数台のロボットによる探査や、投擲式の探査ロボットの研究が行われている。我々は、この投擲式ロボットの中でも、機構全体が対称構造のものを提案している。災害現場での不整地における走行を考えた場合、懸架装置や連結作動機構によらず、駆動機構のみに着目した場合、車輪型よりも、クローラの方が走破性が高いと一般的には言われている。そこで、我々は、車輪型を用いた正四面体型（図2）のみならず、移動用駆動機構として、円形断面クローラ（円筒型クローラ）を用いた投擲式探査機を開発し、その有効性を試作機を用いて確認することを目的として取り組んだ。実機を設計・試作し、試作機を用いて提案した実機構造および、投擲型探査の効果・有効性を確認した。

研究成果の概要（英文）：

In this project, we developed the mechanism of the try cylindrical rover for exploration mission such a space exploration, search and rescue, and so on. The features of this mobile robot are the throwable and omnidirectional motion. The whole configuration of this robot is triangular cross-section and has the three cylindrical driving unit; omni-crawler at the each corner. The mechanism of this rover is shown and the basic functions are confirmed through the experiments with the actual prototype model.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：知能機械学・機械システム

科研費の分科・細目：5007

キーワード：機構，移動ロボット，全方向，対称構造

## 1. 研究開始当初の背景

災害時において、被災者を探すのは、72 時間がリミットであるといわれている。その 72 時間を過ぎると、生存している可能性は殆どゼロに近い状態と言われている。このことを踏まえて、災害時において迅速に広範囲をより効率的に探査する方法として、小型の移動ロボットを複数台（数十台規模の台数を想

定）広範囲に分散させて探索活動を行わせる方法が有効である。しかしながら、これまでのレスキューロボットにおいては、転倒したり、転倒した後に起き上がる動作を行うのに、その動作自体を行うために機構的な自由度の付加のみならず、空間的スペースや時間を有するという問題があった[a]。フィールドが不安定な状態で構築されている瓦礫上や瓦

礫内において、転倒などが不意に起こる頻度というものは非常に高い。

したがって、従来のレスキューロボットはレスキュー探査を迅速に行うことを制限するという問題につながっていた。それゆえ、そのような起き上がる空間や、起き上がる動作に有する時間なども必要としない、レスキュー探索ロボットが求められているのが現状である。

## 2. 研究の目的

研究の全体構想として、研究代表者は、全方向移動が可能で、転倒しても走行継続が可能な不整地移動ロボットによる災害後の被災者の迅速・広範囲探査の実現を目指している。本研究の具体的な目的として、申請者らが開発した、全方向移動を可能にする円形断面クローラを搭載し、全体の対称構造にり、転倒しても走行継続が可能な不整地探査ロボットの開発を目的とする。発明的な仕組みを自らが考案して、形にしていくという、世界でも類を見ない極めて独創的な試みである。今回の正四面体型ロボットの発想にいたった経緯として、

1) 「転倒しにくい」というよりも、「転倒」という状態の姿勢が存在しない形状とは何か。

2) 万が一の転倒が起きたときにも、ロボットのデリケートな部分である制御機器などを保護するような構造は無いものかと考え、最終的に、対称的な構造で尚且つ走行時に地面からの反力も吸収可能な形状として「正四面体」という形状を有する移動ロボットという着想にいたったわけである。

研究期間内に何をどこまで明らかにしようとするのかという点として、以下のものが挙げられる。

火星などの惑星上や、地震・テロ攻撃後の瓦礫上といった不整地において、

・転倒しても走行継続が可能な超対称型移動探査ロボットの開発、

・当ロボットを複数台投入する際の効率性の観点からの最適な運用方法・探査法の構築。当該分野における本研究の学術的な特色・独創的な点及び予想される結果と意義として、先行研究として、体全体を回転させながら移動する特殊な歩行ロボットがあるが、これは惑星や災害地などの不整地に投擲投入されて探査活動を行なうような具体的なミッションを見据えているわけではなく、あくまでも歩行ロボットとしての、回転歩行そのものの特異性に注目している研究である。本研究において開発するロボットは、脚構造やクローラ構造に比べてシンプルである車輪を正四面体状に配置したのみのシンプルな構造を有するのが特色であり、これはロバスト性が非常に重視される惑星探査ロボットやレ

スキュー探査ロボットにおいて適したものであると言える。着眼点としては、転倒しにくい、もしくは転倒しても起き上がるという構造ではなく、「転倒という状態そのものが機構上存在しない」構造を持たせた点である。またその構造により、本体内部を保護することも可能であり、3次元的に周囲を覆うのに最小限の個数である4つの球状車輪により構成されるもので、非常に独創的な形状をしている。また、さらに駆動機構を発展させた円形断面クローラ型の場合は、クレバスの踏破も可能である。また、レスキュー探査の活動において、不整地を移動する機体の開発は盛んに行われているが、未だにその決定打になるシンプルな構造で且つ転倒に対して機構的なロバスト性を有する機体が無いのが現状である。この点において、本ロボットはこれまでに存在しなかった形状を有する移動体であると言える。また、人自身が行うことが困難もしくは不可能なことをロボットが行わせることで実現するという点で非常に意義のあるものである。

## 3. 研究の方法

本研究では、を実現するために、以下の手順に従って研究を遂行した。

●超対称型探査ロボット単体の基本機械モデルの構築

●超対称型探査ロボット内部への探査機器の搭載

●超対称型探査ロボットの運用方法の最適化、および複数台が群れとして機能するときのアルゴリズムの構築とその効果の確認試験

## 4. 研究成果

従来、我々が開発した円形断面クローラは直径が104mmであった。今回、投擲式の実機モデルの構築にあたり、投擲する機体用の駆動機構としては、サイズと重量の点で、小型・軽量のものを試作することとした。

試作した駆動ユニットの内部を図1に、また、その外観を図2にそれぞれ示す。単三電池と比較して、そのサイズというものが直観的に理解し易いように撮影・図作成してある。従来のものよりも、直径サイズで1/2の小型化に成功した。また、グローサを小型化すれば、直径34mmの駆動ユニットを実現することができ、その場合の従来機との直径比率は1/3である。

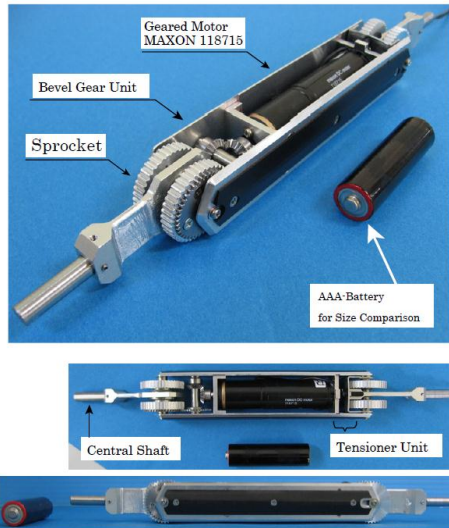


図1 ユニット内部構造



図2 ユニット外観

また、機体全体の構成を図3に示す。前後に動力伝達用の駆動ベルトを配置してある。前後のフレームが平であると、前後が地面に向く姿勢で投擲後に着地した場合に、前後フレームをもって地面に接触してそのまま倒立してしまう場合が着地場所の地形や機体の着地姿勢によっては起こり得る。そこで、機体の前後のフレームに、図4に示すような曲率を有する曲面カバーを搭載させた。これにより、投擲時に前後から着地したとしても、円形断面クローラユニットが地面に接触する姿勢で、着地動作を完了させることができ、走行持続が可能となった。

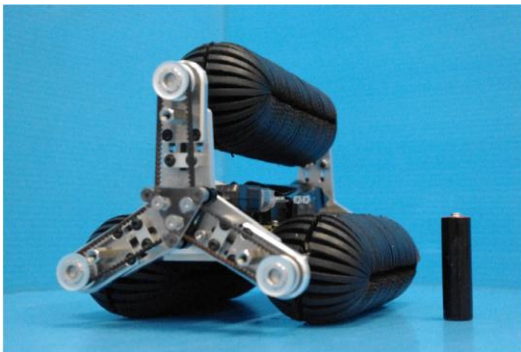


図3 全体構造外観



図4 全体構造外観（カバー付き）

開発した試作機による全方向移動動作を図5に示す。実機が縦方向には約  $68.8[\text{mm/s}]$  で、横方向には  $125[\text{mm/s}]$  で、旋回は  $1.31[\text{rad/s}]$  で走行可能であることを確認した。また、横方向からの着地動作として、開発した実機の横方向からの着地動作を、図6に示す。実機の初期位置としてのブロック上部の高さは、 $190\text{mm}$ と設定した。実験により、対称構造のため、転倒した姿勢においても継続して走行を続けることが可能であることがわかる。

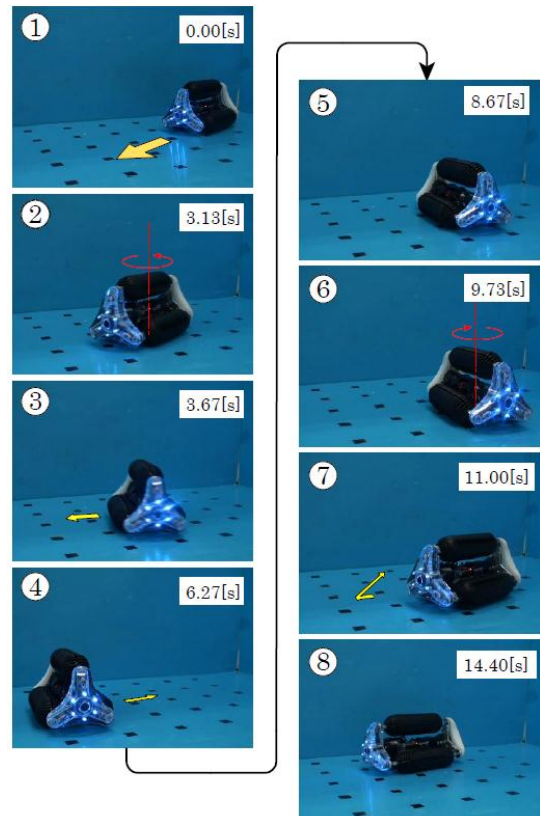


図5 全方向移動動作

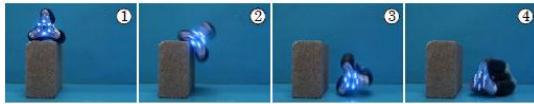


図6 転倒復帰動作（横方向）

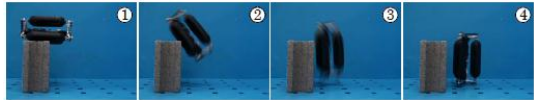


図7 転倒復帰失敗例（縦方向・カバー無し）

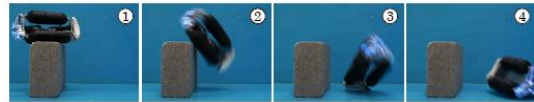


図8 転倒復帰動作（縦方向・カバー有り）

開発した実機の縦方向からの着地動作を、図7に示す。実機の初期位置としてのブロック上部の高さは、横方向からの着地動作実験と同様の190mmと設定した。全部カバーが無い状態では、図に示すように、倒立して走行不能となるが、一方で、前部に曲面カバーを取り付けたものは、一旦は横倒しの着地姿勢と同様の、3つの駆動ユニットのうちの、少なくともどれか一つが地面に接地する姿勢となり、の対称構造のため、転倒した姿勢においても継続して走行を続けることが可能であることがわかる。図に示すように、屋

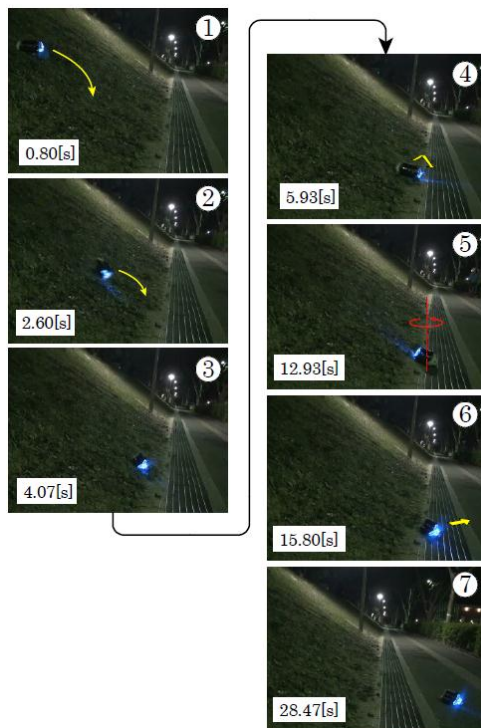


図9 屋外走行試験

外での実験も実施した。斜面から転倒しても、最終的には駆動ユニットを地面に接地させ、走行を継続していることがわかる。以上より、超対称性を備える実機を設計・試作し、試作機を用いて提案した実機構造および、投擲型探査の効果・有効性を確認した。

#### 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 4 件）

①多田隈建二郎，多田隈理一郎，井岡恭平，妻木勇一：全方向駆動歯車機構の研究，日本ロボット学会誌，vol. 30, no. 6, pp611-619, 2012.

② Keiji Nagatani, Hiroaki Kinoshita, Kazuya Yoshida, Kenjiro Tadakuma, Eiji Koyanagi, "Development of leg-track hybrid locomotion to traverse loose slopes and irregular terrain", Journal of Field Robotics, Volume 28, Issue 6, pp.950-960, 2011.

③ "Multi-Leg System for Aerial Vehicles (G-527S)" Takahiro Doi, Kazunori Miyata, Takamasa Sasagawa and Kenjiro Tadakuma, Journal of Robotics and Mechatronics Rb24-1-5118, Vol. 24 No.1, 2011.

④ A Study of Leg-Type Landing Gear for Aerial Vehicles - Development of One Leg Model - Kazunori Miyata, Takamasa Sasagawa, Takahiro Doi, and Kenjiro Tadakuma, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.23, No.2, 2011.

〔学会発表〕（計 8 件）

①K. Tadakuma, R. Tadakuma, K. Ioka, T. Kudo, M. Takagi, Y. Tsumaki, M. Higashimori and M. Kaneko, "Additional Manipulating Function for Limited Narrow Space with Omnidirectional Driving Gear", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2012), 2012. 10. 7 ~ 12, Vilamoura, Algarve, Portugal.

②K. Tadakuma, R. Tadakuma, K. Ioka, T. Kudo, M. Takagi, Y. Tsumaki, M. Higashimori and M. Kaneko, "Omnidirectional Driving Gears and their Input Mechanism with Passive Rollers", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2012), 2012. 10. 7 ~ 12, Vilamoura, Algarve, Portugal.

③K. Tadakuma, R. Tadakuma, K. Ioka, T.

Kudo, M. Takagi, U. Tsumaki, M. Higashimori, M. Kaneko: Study on the Omnidirectional Driving Gear Mechanism, Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA2012), (St. Paul, MN, USA, 2012.5.16), pp.3531-3532.

④K. Tadakuma, R. Tadakuma, K. Ioka, T. Kudo, M. Takagi, U. Tsumaki, M. Higashimori, M. Kaneko: Study on the Omnidirectional Driving Gear Mechanism, Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA2012), (St. Paul, MN, USA, 2012.5.16), pp.3531-3532.

⑤K. Tadakuma, R. Tadakuma, H. Tanaka, T. Fukuda, M. Higashimori, and M. Kaneko: Omnidirectional State-changing Gripper for Various Objects, Proc. of the Sixteenth Int. Symp. on Artificial Life and Robotics (AROB'11), (Beppu, Japan, 2011.1), GS21-5.

⑥ Kenjiro Tadakum, Riichiro Tadakuma, M. Higashimori, and M. Kaneko: Finger Mechanism Equipped Omnidirectional Driving Roller, Proc. of the 2011 Int. Symp. on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS2011), (Nagoya, Japan, 2010.11), pp.475-478.

⑦K. Tadakuma, R. Tadakuma, A. Ming, M. Shimojo, M. Higashimori, and M. Kaneko: Development of the "Omni-Paddle": Amphibious Spherical Rotary Paddle Mechanism, Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA2011), (Shanghai, China, 2011.5), pp.5056-5062.

⑧K. Tadakuma, R. Tadakuma, K. Terada, M. Higashimori, and M. Kaneko: Linear Load-Sensitive Continuously Variable Transmission Mechanism with the Spherical Driving Unit, Proc. of the IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS2011), (San Francisco, CA, USA, 2011.9.30), pp.4048-4053.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
取得年月日 :  
国内外の別 :

[その他]

・ホームページ等  
[http://www-hh.mech.eng.osaka-u.ac.jp/robotics/Omni-Crawler\\_e.html](http://www-hh.mech.eng.osaka-u.ac.jp/robotics/Omni-Crawler_e.html)

・米国大学院学生会にて講演担当  
<http://gakuiryugaku.net/info-session2/2135>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

多田隈 建二郎 (TADAKUMA KENJIRO)

研究者番号 : 30508833

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号 :

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号 :