

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	アーム搭載クローラロボットHELIOS IXの開発 -全体構成とトルク制御による対地適応動作 -
Title	
著者(和文)	上田 紘司, Guarnieri Michele, 伊能 崇雄, Debenest Paulo, 滝田 謙介, 程島 竜一, 福島 E. 文彦, 広瀬 茂男
Authors	Koji Ueda, michele guarnieri, Paulo Cesar Debenest, Ryuichi Hodoshima, EDUARDO FUMIHIKO FUKUSHIMA, SHIGEO HIROSE
出典 / Citation	第29回 日本ロボット学会学術講演会, 1B2-8, ,
Citation(English)	, 1B2-8, ,
発行日 / Pub. date	2011, 9
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は日本ロボット学会に帰属します。 Copyright (c) 2011 The Robotics Society of Japan.

# アーム搭載クローラロボット HELIOS IX の開発

## -全体構成とトルク制御による対地適応動作-

上田 紘司 (東工大) Michele Guarnieri ((株) ハイボット) 伊能 崇雄 (E-N 工房)  
 Paulo Debenest ((株) ハイボット) 滝田 謙介 (日本工大) 程島 竜一 (埼玉大)  
 福島 E. 文彦 (東工大) 広瀬 茂男 (東工大)

### 1. はじめに

地震や火災、テロなどで被災した建物内における迅速な情報収集はレスキュー活動における最も重要なプロセスの一つである。しかしながら、建物に倒壊の恐れがあったり、発生したテロが生物・化学兵器によるものであったりする場合、事前の情報なしに人が立ち入ることは危険である。したがって、レスキューロボットにはレスキュー隊員に先行して、遠隔操作により建物内を移動し調査を行うための能力、つまり階段などの障害物を踏破する能力や、ドアの開閉、不審物などの物体ハンドリング能力などが、要求されてきた。

これらの要求に応えるため、これまでに極限環境下で作業するためのロボットが多く開発されている。ロボットの移動機構としては対地適応性に優れたクローラに補助フリッパーを装備したロボット [1], [2] が多く見受けられる。そしてクローラ以外のタイプでは、[3] や [4] に見られるような 1 自由度のリンク機構によるもの、[5], [6] に見られるようなクローラの配置や形状を変化させる機構により不整地踏破能力の向上を図っているロボットがある。またレスキューロボットの作業性という観点からは、文献 [7] のような建物内での探索活動において障害となるドアを開閉するためのアームを有するロボットが報告されている。

一方、筆者らが開発している HELIOS IX (図 1) は高い移動性能と作業性能の両立を目指し、胴体の左右に独立した 2 つのクローラユニットと、その中心部に物資のハンドリングと障害物踏破を補助する 6 自由度マニピュレータを有している。この機構構成により、HELIOS IX は図 2 に示すように多様な形態を選択可能である [8]。また、現実的な運用を考慮し HELIOS IX 1 台ではなく機能を分担する複数台のロボットによって迅速に情報収集可能とするシステムも提案している [9]。これは HELIOS IX とレーザーレンジファインダ、デジタルカメラ、レーザー測量機などを搭載し広域な 3 次元地図を生成する機能を有する数台の補助クローラ (HELIOS Carrier) により構成されている。

本稿は、まず開発している HELIOS IX を紹介し、次いで新たに導入した図 2(b)(e) に示すように HELIOS IX のクローラの角度を独立に制御し対地適応動作を生成する方法と、簡単な不整地走行実験の結果を報告する。

### 2. HELIOS IX

HELIOS IX の概要を紹介する。表 1 に寸法や重量などを示す。

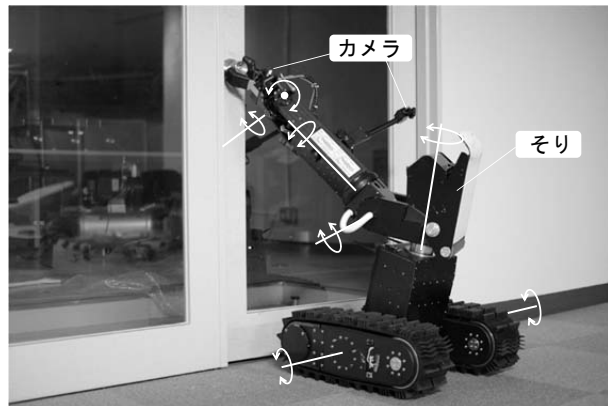


図 1 開発しているクローラロボット HELIOS IX

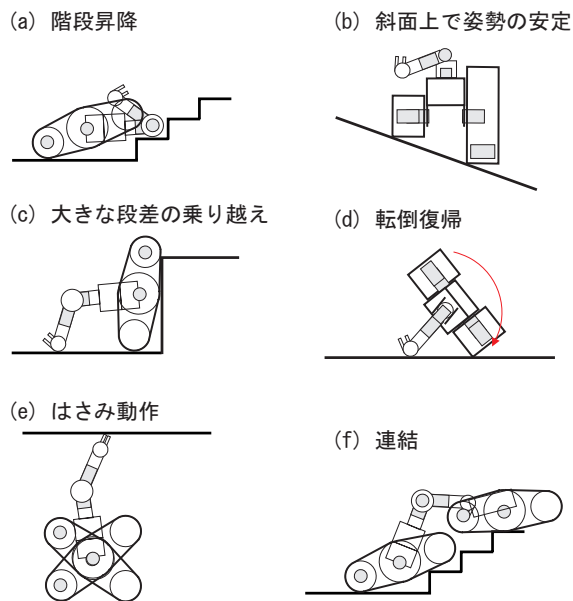


図 2 HELIOS IX の選択可能な動作形態

#### 2.1 移動機構

HELIOS IX の移動機構として、軽量高性能クローラベルト (トピー工業との共同開発) と、筆者らが開発した 200W ブラシレス DC モータと遊星歯車 (減速比 1 : 20) を潤滑油密閉型のケーシング内に組んだアクチュエータユニットで構成したクローラ・ユニットを採用した。このクローラ・ユニットの後方部にアクチュエータユニットを配置し、前方部に電源であるニッケル水素

表 1 HELIOS IX の諸元

重量	44 kg
幅 × 長さ × 高さ	530×570×350 mm
アーム長さ (展開時)	1220 mm
クローラ (幅 × 長さ × 高さ)	160×570×202 mm
平地での走行速度	7 km/h
グリッパーのペイロード	8 kg
バッテリー駆動時間	約 90 分



図 3 階段昇降 (腕を倒し重心を前方に配置)

バッテリー (24V, 4Ah) を内蔵した。そしてクローラ・ユニット側面の中央部をアームのベース部 (能動関節) と接続することとした。

また筆者らは、これまでに尾のような機構を用いて車体長を延長し階段昇降時に転倒を防ぐ手法を文献 [10] で報告している。これと同様に図 1 に示すようにアームの一部をそのような構造とし、それを階段の端部を滑らせて階段昇降を行う。底部にはテフロンシートを取り付け摩擦を軽減し、その上部にはメインのコントローラやアームの駆動用のバッテリー (24V, 10Ah) を配置した。これらの機構を用いて通常の階段の昇降 (図 3) や急斜面の昇降など (図 4) が実現できている。

## 2.2 作業用アーム

HELIOS IX は、2つのクローラの中央に6自由度のアームを搭載しその先端にグリッパハンドが取り付けられている。それらによりドアの開閉、物資のハンドリングが可能である。図 5 のように質量 7kg 以上の中量物のハンドリング実験にも成功している。また、遠隔操作のための2つのモニタカメラ、ドアを開けるときなどにアームにかかる余計な力を逃がすための力センサ、3Dの環境地図を作るためのレーザレンジファインダなどを搭載している。

## 2.3 Shared Autonomy 型遠隔操作系

ロボットと操縦者は無線/有線 LAN を介して通信する方式としている。操縦者は、カメラ画像とロボットの実際の各関節の値や姿勢を反映させた 3D モデルを見ながら操縦する。加速度センサを内蔵して姿勢変化を



(a) 斜面の昇降 (45°)



(b) 斜面の横断 (40°)

図 4 斜面上の移動 (米テキサスの実験施設 Disaster City)



図 5 重さ約 7kg のイスを持ち上げている様子

感知するタイプであることから、安価なゲームコントローラ (任天堂 wii コントローラ) を使用して直感的に 6 自由度のマニピュレータとクローラを操作する構造とした。しかし、例えばドアの開閉する動作では 6 自由度すべてを同時に動かす必要があり、これを全てを手動で行うのは容易ではない。そこで Shared Autonomy [11] と呼ばれる人間とロボットが長所を出し合い自律行動と遠隔操縦でタスクを共有して共同で作業を行いより良いパフォーマンスを引き出そうとする考え方を取り入れた。例えば、操縦者はレーザレンジファインダにより生成した 3D マップ中でドアを判別し、そのドアの平面の 3 点をクリックして平面を定義し、その垂線をドアノブの回転軸ベクトルとなるよう定義する (図 6)。こうすることで容易にドアノブを回転させる動作を生成することが可能となる [12]。

## 3. 対地適応動作

クローラはそれ自体の性質で、多少の地表凹凸であれば自動的に対応するが、階段や配管の敷かれた環境での移動も必要であり、できるだけ振動なく安定して移動で

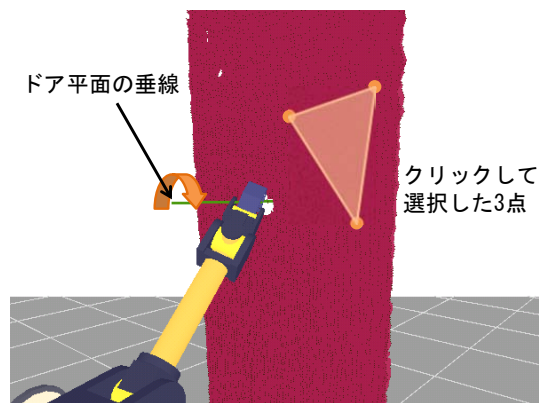


図 6 回転軸の指定

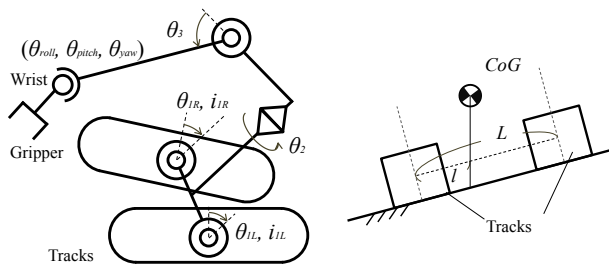


図 7 各関節角度の定義

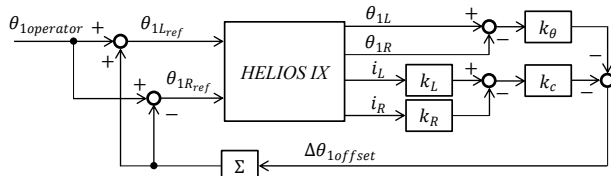


図 8 左右のクローラの角度差とトルクの差をフィードバックする

きることが望まれる。左右のクローラの揺動を対地適応的に制御する方法を提案する。

### 3.1 トルクの計測

上記の目的を達成するためにはクローラが受けるトルクを計測する必要がある。トルクセンサを取り付けた例 [13] もあるが、本研究ではよりシンプルにモータの電流からトルクを推定することとした。クローラを揺動させる関節には、3相デルタ結線の 100W ブラシレス DC モータ (Nidec) にハーモニックドライブ (減速比 1:160) を密閉型のケーシング内に組んだユニットを左右に 2 つ使用している。Hibot 社製のモータドライバを用いて、ホールセンサからの角度情報により矩形波を生成している。ブラシレス DC モータの出力トルクは DC モータと同様に電流にトルク定数を掛けることで推定できる。電流はモータドライバ内に取り付けられた 3 つの電流センサ (Allegro ACS712ELCTR-30A-T) により計測した。

### 3.2 制御系の構成

クローラの揺動させる回転軸はアームの第一関節も兼ねており、アームの自重を補償しながら対地適応的にクローラの角度を制御する必要がある。そこで左右のクローラが受けるトルクの差を減らす方向にクローラを回転させる制御則を取り入れた。また、アームの各関節の角度やロボットの姿勢によって重心の位置が変化し、クローラが受けるトルクも変化する。そのためアームの各節の重量は CAD から、ロボットの姿勢は右側のクローラ内部に取り付けた小型の 3 軸加速度センサ (ADXL345) と、3 軸ジャイロセンサ (ITG3200) を用いて重心の位置を求めた。アームの各関節角度や重心との関係を図 7 のように定義し、左右の目標角度  $\theta_{1Lref}, \theta_{1Rref}$  を以下のようにした。

$$\theta_{1Lref} = \Sigma \Delta \theta_{1offset} + \theta_{1operator} \quad (1)$$

$$\theta_{1Rref} = -\Sigma \Delta \theta_{1offset} + \theta_{1operator} \quad (2)$$

ここで

$$\Delta \theta_{1offset} = -k_{\theta}(\theta_{1L} - \theta_{1R}) - k_c(k_L i_{1L} - k_R i_{1R}) \quad (3)$$

$$k_L = l/L, \quad k_R = (L-l)/L \quad (4)$$

$i_{1L}, i_{1R}$  は左右のクローラのモータに流れる電流、 $k_L, k_R$  は式 4 に示すように重心の位置を考慮した重み係数、 $k_{\theta}, k_c$  は堅さを決定する定数、 $\theta_{1operator}$  は操縦者による角度指令値となっている。図 8 にその流れをブロック線図で示しておく。

目標角度はロボット内部の CPU(SH4) によって 12.5[ms] 周期で計算し、位置制御を行っている左右のモータドライバへ送信している。

### 3.3 走行実験

図 9 のような木製のブロックを用いた段差乗り越え実験を行った。比較のため制御を行わない場合を図 9(左) に、制御を実施した場合を図 9(右) に示す。このとき操縦者は走行速度指令のみを与えている。トルクを制御することで安定した片側段差乗り越えが可能となった。また、左右のトルクの差によってクローラを揺動させるが、アームの操作時には左右のトルクに差は生じにくいいため、トルク制御を行いながらアームの操作が可能である。

## 4. おわりに

本稿では、開発した被災した建物内で情報収集を行うアーム搭載クローラロボット HELIOS IX とそのセンサ系を紹介し、左右のクローラが受けるトルクを制御することで対地適応動作を生成する方法を提案した。今後は階段やさらに大きな段差への対応や、操縦系の改良を行い実用性の高いシステムに仕上げていく予定である。

## 謝辞

本研究は「NEDO 戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト被災建造物内移動 RT システム (特殊環境用ロボット分野) マニピュレータを有する高機能クローラユニットの研究開発」の一環として、NEDO の支援を受けて行われた。

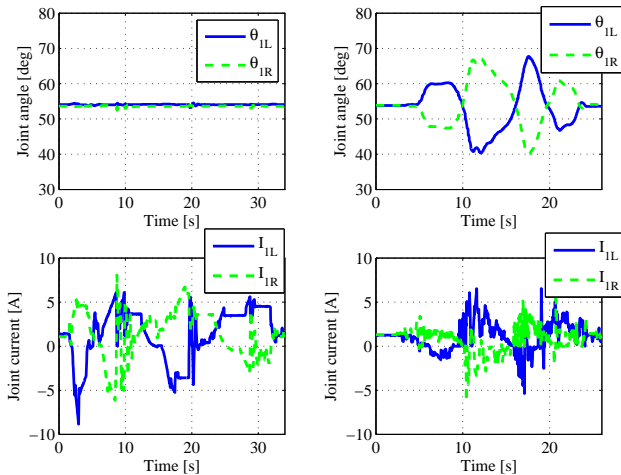
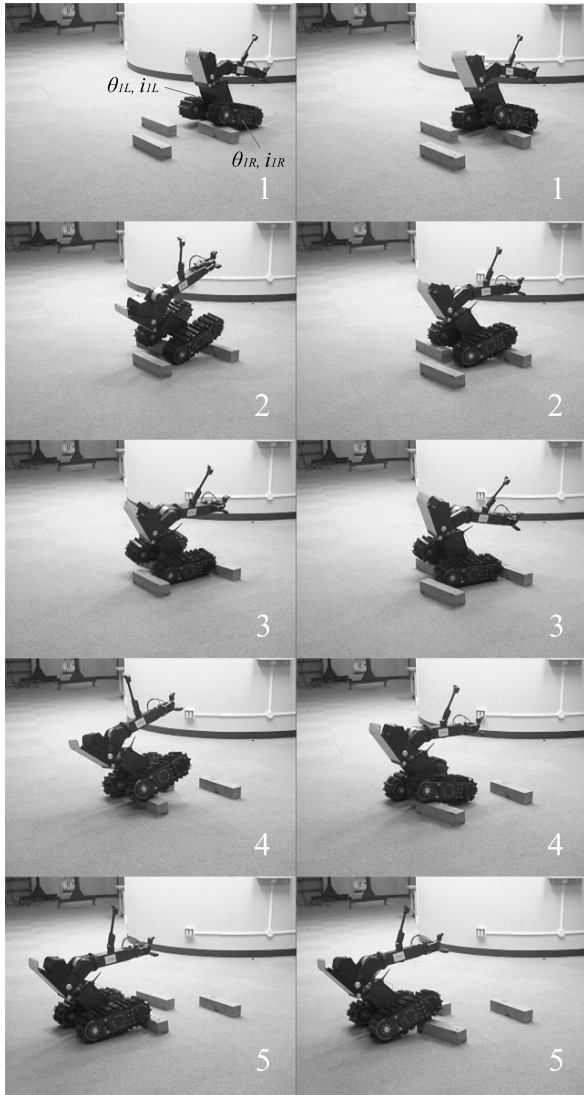


図9 走行実験. 左:位置制御のみ 右:位置制御とトルク制御

#### 参考文献

- [1] W. Lee, S. Kang, M. Kim, and K. Shin, "Rough terrain negotiable mobile platform with passively adaptive double-tracks and its application to rescue mis-

- sions," in *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1591–1596, 2005.
- [2] C. Marques, J. Cristóvão, P. Lima, J. Frazao, I. Ribeiro, and R. Ventura, "Raposa: Semi-autonomous robot for rescue operations," in *Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3988–3993, 2006.
- [3] Y. Chiu, N. Shiroma, H. Igarashi, N. Sato, M. Inami, and F. Matsuno, "FUMA: environment information gathering wheeled rescue robot with one-DOF arm," in *Safety, Security and Rescue Robotics, Workshop, 2005 IEEE International*, pp. 81–86, 2005.
- [4] A. Birk, K. Pathak, S. Schwertfeger, and W. Chonnaparamutt, "The IUB Rugbot: an intelligent, rugged mobile robot for search and rescue operations," in *IEEE International Workshop on Safety, Security, and Rescue Robotics*, Citeseer, 2006.
- [5] Y. Hosoda, H. Yamamoto, M. Hattori, H. Sakairi, T. Iwamoto, M. Oowada, A. Kanno, and Y. Saitou, "SWAN: a robot for nuclear disaster prevention support.," *Advanced Robotics*, vol. 16, no. 6, pp. 485–488, 2002.
- [6] J. Liu, Y. Wang, S. Ma, and B. Li, "Analysis of stairs-climbing ability for a tracked reconfigurable modular robot," in *Safety, Security and Rescue Robotics, Workshop, 2005 IEEE International*, pp. 36–41, 2005.
- [7] S. Kobayashi, Y. Kobayashi, Y. Yamamoto, T. Wata-sue, Y. Ohtsubo, T. Inoue, M. Yasuda, and T. Takamori, "Development of a door opening system on rescue robot for search "UMRS-2007"," in *SICE Annual Conference*, pp. 2062–2065, 2008.
- [8] M. Guarnieri, I. Takao, P. Debenest, K. Takita, E. Fukushima, and S. Hirose, "Helios ix tracked vehicle for urban search and rescue operations: Mechanical design and first tests," in *Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1612–1617, 2008.
- [9] M. Guarnieri, R. Kurazume, H. Masuda, T. Inoh, K. Takita, P. Debenest, R. Hodoshima, E. Fukushima, and S. Hirose, "HELIOS system: A team of tracked robots for special urban search and rescue operations," in *Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2795–2800, 2009.
- [10] M. Guarnieri, P. Debenest, T. Inoh, K. Takita, H. Masuda, R. Kurazume, E. Fukushima, and S. Hirose, "Helios carrier: Tail-like mechanism and control algorithm for stable motion in unknown environments," in *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1851–1856, 2009.
- [11] 平井成興, "Shared Autonomy の理論," *日本ロボット学会誌*, vol. 11, no. 6, pp. 788–793, 1993.
- [12] K. Ueda, M. Guarnieri, R. Hodoshima, E. Fukushima, and S. Hirose, "Improvement of the remote operability for the arm-equipped tracked vehicle HELIOS IX," in *Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 363–369, 2010.
- [13] 広瀬茂男, 青木実仁, and 三宅潤, "対地適応型 4 クローラ走行車 HELIOS-II の開発," *JRSJ*, vol. 10, no. 2, pp. 145–153, 1992.