

## 災害救助と林業支援を目指した多目的ロボットの開発

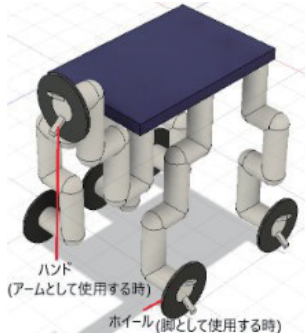


図1 機体のコンセプト

実施担当者 長野県諏訪清陵高等学校  
教諭 小口 直喜

### 1 はじめに

近年の自然災害の激甚化に伴い、救助活動に従事できるロボット(以下レスキューロボット)の開発が様々な研究機関で進められている。しかし、その多くは災害時のみの使用を想定しており、平時に活用することが難しいことが問題であると考えた。レスキューロボットの高い移動能力を、高い移動性能が求められる現場に活かすことができれば、レスキューロボットのさらなる普及につながる考えた。今回は、そのような現場として林業を想定し、災害救助と林業支援の両立のため、(1)高い走破性、(2)効率的な移動の能力、(3)高い作業性、の3つを持つロボットの開発を目的に本研究を行った。3つの目標の実現のためには、腕、車輪、脚の3つの機能を統合したロボットアームが必要と考え、その開発を行った。

### 2 先行研究

移動や作業を実現する機構として、代表的に次の3種がよく用いられている。

(1)脚(2)ホイール(3)ロボットハンド

脚は高い走破性、ホイールは効率的な移動、ロボットハンドは作業能力を特徴とする。1台のロボットでこれらのうち2つの機能を実現することを目指し、脚車輪型ロボットや腕脚統合ロボットなどが研究されてきた。特に脚車輪型はUnitree社から商品として発表されている(図2~4)。本研究では、この3つの機能すべてを実現できる機構の実現を目指した。

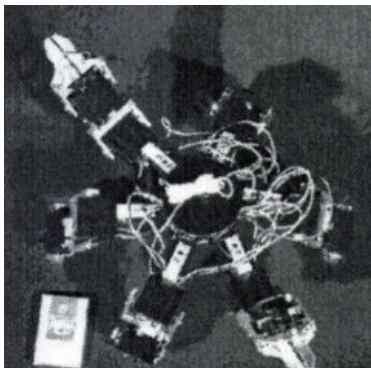


図2 腕脚統合型ロボット

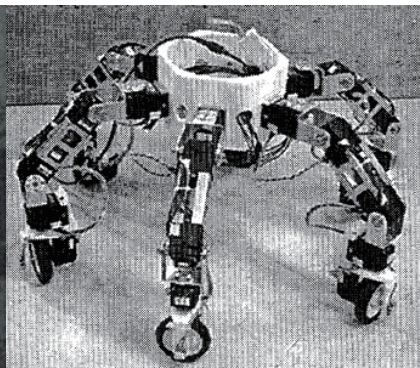


図3 脚車輪型ロボット

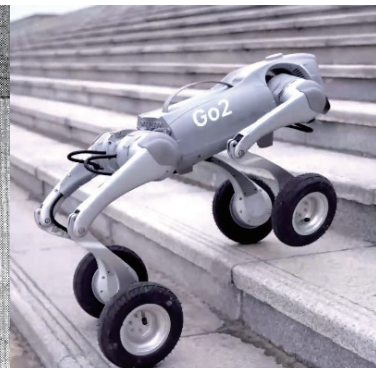


図4 Unitree go 2w

### 3 機体のコンセプト

製作するロボットのコンセプトを図1に示す。特徴は次の通り。

- ・高い走破性を持たせるため脚ロボットとする。
- ・先端のホイールで平地を効率的に走行する。
- ・脚にロボットアームとしての機能を持たせ、止まった際には多くのアームでの作業を実現する。(以下、脚、アームの部分は「アーム」で統一)

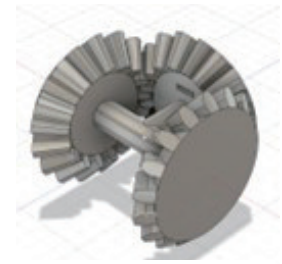


図5 差動機構

### 4 研究手法

本研究は、次のステップに沿って研究を行う。

- (1) アームの設計開発
- (2) アームの試作、評価、改良
- (3) ロボット全体の設計、開発
- (4) ロボット全体の評価、改良

本論文は、主に(1)と(2)について論じる。

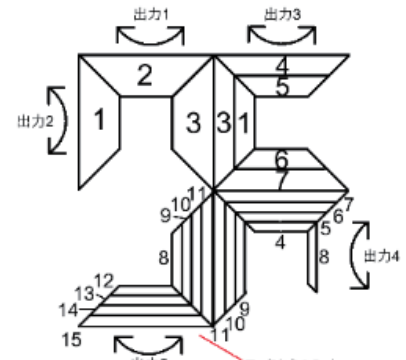


図6 5関節差動機構

### 5 アームの設計、開発

構想で示したアームでは、手首の関節でホイールを回すため、関節の無限回転が必要であった。そのため、差動機構(図5)を用いることを考えた。出力1~4は差動機構により制御し、根元の出力5にはモータを直結して独立で制御する5関節差動機構(図6)を考えた。一体成型でつながっているギアは同じ番号で表記した。図6の機構に対して、それぞれの関節の回転速度を計算した。それぞれの出力の角速度を $\omega_{oi}$ 、ギアの角速度を $\omega_{gi}$ と定義する。また、 $\omega_{o5}$ に対する入力値を $\omega_{g16}$ とする。

$\omega_{o1}, \omega_{o2}, \omega_{g1}, \omega_{g2}, \omega_{g3}$ について、  
 $\omega_{o1}, \omega_{o2}, \omega_{g1}, \omega_{g2}, \omega_{g3}$ について、

$$\omega_{o1} = \omega_{g2} \dots (1) \quad \omega_{o2} = \frac{\omega_{g1} + \omega_{g3}}{2} \dots (2)$$

$$\omega_{g2} = \frac{-\omega_{g1} + \omega_{g3}}{2} \dots (3)$$

$\omega_1, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7, \omega_{o3}$ について

$$\omega_{o3} = \frac{\omega_{g4} + \omega_{g7}}{2} = \frac{\omega_{g5} + \omega_{g6}}{2} (4)$$

$$\omega_{g3} = \frac{-\omega_{g4} + \omega_{g7}}{2} \dots (5) \quad \omega_{g1} = \frac{-\omega_{g5} + \omega_{g6}}{2} \dots (6)$$

$\omega_{g4} \sim \omega_{g11}, \omega_{o4}$ について

$$\omega_{o4} = \omega_{g8} + \omega_{g4} \dots (7) \quad \omega_{o4} = \omega_{g9} - \omega_{g5} \dots (8)$$

$$\omega_{o4} = \omega_{g10} - \omega_{g6} \dots (9) \quad \omega_{o4} = \omega_{g11} - \omega_{g7} \dots (10)$$

$\omega_8 \sim \omega_{16}, \omega_{o5}$ について

$$\omega_{05} = \omega_{16} \dots (11)$$

$$\omega_{05} = \omega_{g12} - \omega_{g8} \dots (12) \quad \omega_{05} = \omega_{g13} - \omega_{g9} \dots (13)$$

$$\omega_{05} = \omega_{g14} - \omega_{g10} \dots (14)$$

$$\omega_{05} = \omega_{g15} - \omega_{g11} \dots (15)$$

以上の式から $\omega_1 \sim \omega_{11}$ を消去して各関節の角速度の式

$$\omega_{01} = \frac{-\omega_{g14} + \omega_{g15}}{2} \dots (16) \quad \omega_{02} = \frac{-\omega_{g13} + \omega_{g15}}{2} \dots (17)$$

$$\omega_{03} = \frac{-\omega_{g12} + \omega_{g15}}{2} \dots (18)$$

$$\omega_{04} = \frac{\omega_{g12} + \omega_{g13} + \omega_{g14} - \omega_{g15} - 2\omega_{g16}}{2} \dots (19)$$

を得た。

## 6 アームの試作

図 3 および図 4 で示した機構を、実際に製作した。試作と改良を繰り返しながら製作を行ってきたため、各バージョンに分けて記載する。

### Ver. 1 (図 7)

3D プリントと BB 弾を使用したベアリングによって関節の 1 ユニットを試作した。機構の実現のため、上下に傘歯車がついたパーツ(図 8)が必要であったが、3D プリントの造形のしやすさを考慮し、上下で分割し、組み立てる方式とした(図 9)。ベアリングによってなめらかな回転を実現したが、分割印刷したギアの接合部分でガタが生じ、機構全体としてガタが大きいものとなった。

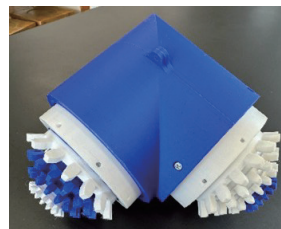


図 7 Ver. 1

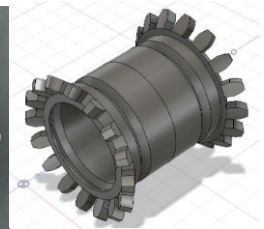


図 8 上下に傘歯車がついたパーツ

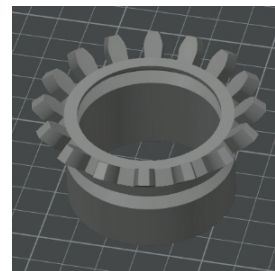


図 9 分割して印刷



図 10 Ver. 2

### Ver. 2 (図 10)

主に Ver. 1 における「ガタ」という問題の解消のため図 10 のような関節を製作した。ギアパーツを一体造形とすることでガタの減少を目指した。3D プリントの特性の中で、下向きのギアに求められる精度を実現するために、特殊な材料である、PVA(水溶性サポート材)を使う工夫をした。ガタは改善したものの、回転のなめらかさが失われる結果となった。



図 11 Ver. 3

### Ver. 3 (図 11)

基本構造は Ver. 2 を踏襲しつつ、回転をより滑らかにすることを目指して製作した。着目点は以下の 2 点。

- ベアリングのバックラッシュを調整する。
- Ver. 2 の際的设计ミスを修正する。

上記の 2 点により、Ver. 2 に比べ、主観的な評価ではあるがなめらかな回転が実現できた。

## 7 アームの制御回路

アームを電子制御によって制御するため、図 1 2 のような回路を製作した。回路は図 1 3 のような構成になっており、STM32 マイコンによってそれぞれのモータを制御する。

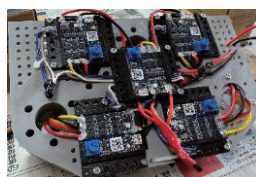


図 1 2 回路

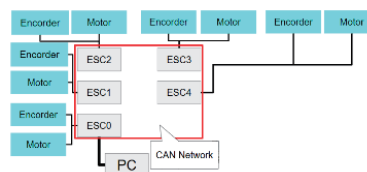


図 1 3 回路の構成

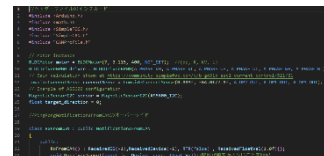


図 1 4 プログラム

## 8 制御のためのプログラム

モータを制御するため、プログラムを作成した。その一部を図 1 4 に示す。プログラムには SimpleFOC や SimpleCANlib を利用した。

## 9 動作試験

製作した機構、回路を用いてロボットの動作試験を行った。

(16)～(19)式の通りに制御できることを確認した。一方で、バックラッシュの大きさやトルクの不足が課題として残った。(図 15)



図 1 5 動作試験の様子

## 10 今後の展望

- ・トルク不足やバックラッシュを改善し、軽量化を行う新たなアームを製作する。
- ・実際に 6 つのアームをまとめて 6 脚ロボットにし、動作試験を行う。

## 謝 辞

研究費を助成いただいた公益財団法人中谷財団、多くの指導と助言をいただいた信州大学の村松浩幸先生、公立諏訪東京理科大学の藤原大佑先生、本校物理科の小口直喜先生、そしてこの研究にかかわってくださったすべての方に感謝申し上げます。

## 参考文献

- ・千葉工業大学未来ロボット技術研究センター『Quince 開発コンセプト』<https://www.furo.org/ja/works/quince/index.html> (2025/9/26)
- ・TechShare『Unitree Go2-W』<https://techshare.co.jp/product/unitree/go2-w/> (2025/9/26)
- ・FabScene 編集部(2025/10/22)『英警察がロボット犬をテスト、武装事件での偵察活用目指す』<https://fabscene.com/new/news/uk-police-robot-dog-test/> (2025/10/30)
- ・Sat のロボット工房(2022/9/1)『3D プリンタと BB 弾でベアリングを作る』[https://sat-robotics.com/3d\\_printed\\_bearing/](https://sat-robotics.com/3d_printed_bearing/) (2025/11/23)
- ・前泰志 高橋裕也 新井健生 井上健司 小谷内範穂(2024/4)『腕脚統合型ロボットの全方向移動』日本ロボット学会誌 Vol.22 No.3 pp329～pp335 2004
- ・田窪朋仁 吉岡健伸 新井健生 前泰志大 原賢一(2009/11)『脚車輪ハイブリッド動作を用いた多脚ロボットの不整地移動』日本機械学会論文集(C編)75巻759号(2009-11)

以上