

不整地での走行を可能にする全方向移動機構の提案ならびに有効性の検証

Proposal of a moving mechanism that can run in all direction and on rough terrain, and verification of its efficiency

知能機械システム工学コース

知能ロボティクス研究室 1225037 種田 健人

1. 緒言

近年、災害地などでの不整地での活躍を目的としたレスキューロボットの開発が盛んに行われている。レスキューロボットにとって懸念されることの一つに地形の起伏によって転倒してしまうことが挙げられる。通常のロボットでは一度転倒してしまうと起き上がるのが困難であるため、それ以降の走行が不可能になり活動に支障が生じてしまう。

その問題を解決するために、先行研究では無方向性四輪車⁽¹⁾の研究開発を行っている。本ロボットの最大の特徴の一つに、転倒という概念がなく、ひっくり返っても走行することができ、転倒により走行不能に陥ってしまうことがない。また、全方向移動を可能にするメカナムホイールが搭載されているが、このメカナムホイールこそが不整地での走行に適していないという弱点がある。

本報告では、従来の移動機構を参照し、全方向移動かつ不整地での走行を可能とした新たな移動機構を提案し、その移動機構の設計、ここでは特にメカニズムについて説明し、試作機の製作ならびに現行のモデルであるメカナムホイールと簡易的ではあるが比較検証を行うことで有効性を検証する。

2. メカナムホイール

無方向性四輪車およびメカナムホイールの外観をそれぞれ図 1, 2 に示す。メカナムホイールとは、車輪の軸に対して 45 度傾いた複数のフリーローラが取り付けられており、このローラの作用により通常の子輪としての動きに加え、斜めの方向への駆動力により様々な動作を可能としている⁽¹⁾。しかし、走行中にこのフリーローラの間隙に砂利などの異物が挟まって、全方向移動の能力を失ってしまう。そして、特に横に移動する際の段差に弱い。ホイールの半径以上の段差を乗り越えることは難しいことと段差に対してホイールが斜めに進入することが原因だと考える。



Fig. 1 Non-direction robot



Fig. 2 Mecanum wheel

3. 提案する全方向移動機構

現在多くのレスキューロボットにも用いられてきているクローラ、そして前後の移動に加え左右にも移動することのできる Liddiard wheel⁽²⁾を参照し提案する、新たに設計した移動機構を図 3 に示す。2つのリムを1つのゴムタイヤで覆うことで、クローラのように走破性が向上し、そのゴムタイヤを内側に回転させることによって全方向移動を可能にすると考えられる。

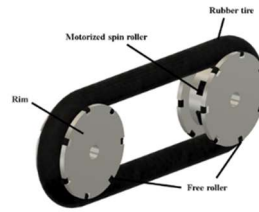


Fig. 3 New moving mechanism



Fig. 4 Construction

進行方向の動きはクローラと同様である。それに加え横移動の際には、Liddiard wheel の動きを取り入れる。

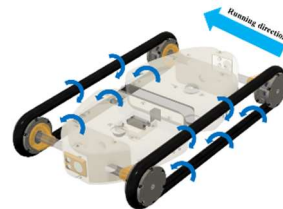


Fig. 5 Lateral Movement

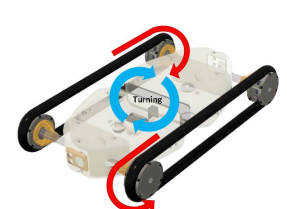


Fig. 6 Turning

1つのリムに対して駆動源が2つ必要となる。1つは駆動軸を中心に移動機構全体を回転させ、無方向性四輪車を前後方向へ移動させるためである(駆動源1)。もう1つはゴムタイヤを回転させ、無方向性四輪車を前後以外の方向へ移動させるためである(駆動源2)。よって合計8つの駆動源を用いることになる。そこで、図7に示すような伝達機構を用いることで、前2つの駆動源、後ろ2つの駆動源をそれぞれ1つの駆動源で制御することができる。

この伝達機構について説明する。まず、駆動源の回転軸1にはギヤ1とギヤ7が固定されている。ギヤ7は摺動軸2の一端に固定されたギヤ8に常時噛み合っている状態である。ギヤ8は、摺動軸2とともにギヤ7との噛み合い状態を維持しつつ摺動軸2の軸方向に移動し、回転軸4に固定されたギヤ9、または回転軸2の一端に固定されたギヤ6のどちらかに選択的に噛み合う。ギヤ8がギヤ9かギヤ6に噛み合うことで2つの出力軸3, 4を同じ方向もしくは反対方向に回転させることができるようになっている⁽³⁾。

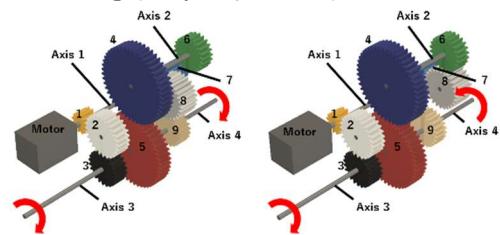


Fig. 7 Transfer mechanism

4. 設計

方向性四輪車では、5mmの木の板を乗り越えることができなかったことから、今回は特に狭い空間での活動を想定して、この5mmを一つの目標と定め、ゴムタイヤの直径は20mmと設定した。まずは試作機を製作していくこととする。

ゴムタイヤについては現時点ではあまり検討できていないので、図 8 のような過程をとることで簡易化を図っていく。高さは現行のメカナムホイールと同じ 164mm とする。この簡易化において、図の②は Liddiard wheel を小型化したようなものとなっている。



Fig. 8 Process

ゴムタイヤを内側に回転させるための機構として必要な要素は、一つのモータで回転軸をゴムタイヤと同じ方向に変換することとゴムタイヤ全体に力が行き渡るように力を分散することである。以下、それらが可能ウォームギヤとかさ歯車を用いた機構を説明する。

4.1 ウォームギヤ機構

ウォームギヤを用いた機構の外観を図 9 に示す。ウォームギヤは本来、ウォームを駆動軸としてウォームホイールを回転させるものだが、セルフロックを解除することでできる逆駆動を採用した。そのため条件として、基準円筒進み角を安息角以上にすることである。検証により安息角が 24 度であると分かったため、28 度に設定した。歯数はウォームが 3、ウォームホイールが 55 とした。しかし、機構全てを組み合わせると、回転させることができなかった、原因として、スラスト力が大きすぎることや、3D プリントを用いて制作したために曲面に凹凸が大きくなってしまったことなどが考えられる。解決策として、製作の精度を上げること、もしくはベアリングを入れることや、基準円筒進み角をより大きくすることが考えられるが、全体のサイズが大きくなってしまふ。

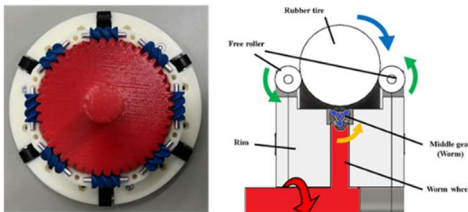


Fig. 9 Warm gear mechanism

4.2 かさ歯車機構

かさ歯車を用いた機構の外観を図 10 に示す。ウォームギヤのときも同じだったが、中心に大きい（歯数の多い）歯車を設置するために、どうしても増速となってしまう。しかし、この機構では歯車を 2 組使用しているため、増速したものを再び減速させることができる。歯数は赤:32, 黄:24, 黒:12, 青:16 とした。今回、減速比は 1 になるが、より減速させることもできる。

歯数が決まれば、モジュールの大きさを変えることによって歯車の大きさを調整することができる。4 つの歯車の中でも最も小さくなってしまふ黒の歯車をできるだけ大きくするためには、黄と青の大きさを同じにすることだと考えた。それから、全体の直径が 164mm になることも考慮してモジュールを設定した。

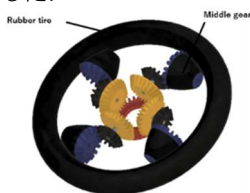


Fig. 10 Bevel gear mechanism

実際に 3D プリントを用いて、機構の一部を製作した。ゴムタイヤには天然ゴム系のスポンジを使用した。モータを取り付け動作確認してみると、5mm の板も乗り越えることができた。



Fig. 11 Prototype

5. 段差乗り越え能力の検証

メカナムホイールのフリーローラが段差に対して斜めに乗り越えるのと、提案した移動機構のゴムタイヤがまっすぐ乗り越えるのではどのような違いが生じるのかを検証する。図 12 のようにそれぞれの検証用移動機構を製作した。それぞれの質量ならびに駆動源の出力 (0.223N・m) は同じで、フリーローラとゴムタイヤの直径は共に 20mm となっている。これらの移動機構が 3mm の板を乗り越えられるかを試す。

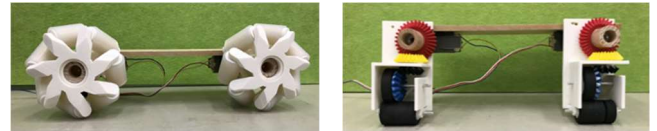


Fig. 12 Prototype for verification

結果として、メカナムホイールでは段差を乗り越えきらずに本体が傾くことでフリーローラが段差に対して正面から乗り越えているような様子が見えた。それに対して、提案した移動機構では乗り越えることができた。このことからメカナムホイール、提案した移動機構それぞれの段差の高さとトルクの関係式が式 (5-1), (5-2) となると考えられる。

$$T_f = \frac{mgr\sqrt{h(2r-h)}}{r-h} \frac{1}{\cos 45} \quad (5-1)$$

$$T_g = \frac{mgr\sqrt{h(2r-h)}}{r-h} \quad (5-2)$$

T : トルク m : 質量 g : 重力加速度
 r : 半径 h : 段差の高さ

6. 結言

本報告では、クローラと Liddiard wheel を参照し新たな移動機構を提案した。ウォームギヤとかさ歯車のそれぞれの機構を用いた 2 つの試作機の製作を行った。ウォームギヤ機構では、大きすぎるスラスト力や製作方法により動力を伝達することはできなかった。かさ歯車機構ではでき、無方向性四輪車よりも高い段差を乗り越えることができた。

今後の展開として、かさ歯車機構の製作の継続、ゴムタイヤに関する詳細および各部位の材質の検討、走行実験をしていきたいと考えている。

文献

- (1) 原口 雅尚, 王 碩玉, 王 義娜: “超音波センサと則域センサを併用した障害物認識法”, 第 29 回 BMFSA2016 ,pp.2, 2016
- (2) PATENTYOG: ”Explainer Video – This is how Liddiard Wheels work”. 2016-7-8. <https://patentyogi.com/william-liddiard/explainer-video-liddiard-wheels-work/>
- (3) 1999-198848 号 全方向移動用車両 - astamuse. <https://astamuse.com/ja/published/JPN/1999198848>