

2021年度 新産業創出研究会「研究成果報告書」

「巡回点検・検査のための小型4足歩行ロボットの開発」

[広島大学・教授] [高木 健]

1. はじめに

巡回点検・検査, 物流, 介護・福祉, セキュリティ, 清掃, サービス, 農業分野に渡るまでロボットの活躍が期待されている。一方, これらの分野では, 人間と同程度にロボットも移動できることが求められる。しかし, 現状においてロボットが移動できる範囲は限定的であるため, 上記分野において多くのアイデアが提案されているものの, 適用範囲も限定的となり新産業の創出を阻んできた。限定的となる理由は主に下記の3つがある。

- (1) 移動機構に車輪を用いることが多いが, 少しの段差でも移動が困難(踏破能力不足)
- (2) (1)の解決策としてクローラなどを用いる方法もあるが, 不整地を移動できる機構は多くの場合雑な動きとなり床などの地面を傷つけることも多く, 繊細な動作が困難(環境・作業に不適合)
- (3) 転倒などの不具合が生じたときに, 自力でのリカバリーが困難(リトライ不能)

これらの理由より実用化の障害となっていることをより具体的に述べる。(1)の理由より道路や建造物に段差がないことが求められるが, これは現実的でないことは明白である。(2)はロボットの構造を複雑にすれば改善可能かもしれないが, 構造が複雑になることはコスト高になるだけでなく, トラブルを誘発することになると共に, 複雑なロボットは研究の進捗を鈍化させプロジェクトの継続を困難なものとする。次に(3)について述べる。リカバリーができない場合ロボットには完璧な動作が求められるが, 実世界は雨, 風などにより環境が時々刻々と変化するものであり, そのような環境で完璧に状況を把握し動作を生成することは極めて困難である。つまり, リカバリー動作ができない場合, 必然的に応用できる範囲が極めて限定的なものとなる。これらの問題を解決できるロボットを考えると, 4足歩行ロボットが有力であることが分かる。一見すると構造が複雑であるように思われるかもしれないが, まず, 1脚に着目して頂きたい。一般に1脚には3関節あり, その構造は極めてシンプルである。この脚と同じものを4脚, 本体に取り付けただけである。ゆえに, 共通部品を多く用いているためコスト的にも有利である。また, 一度ハードウェアを開発すると, 踏破できない地面形状が運用中に見つかったとしても, ハードウェアを改良することなく, ソフトウェアのアップデートのみで対応が期待できる。一方, クローラなどを用いた特殊なハードウェアで環境に適応するアプローチの場合, ハードウェアの修繕が不可欠となり, ハードウェアが複雑化し, 複雑化による悪化の一途をたどることになる。そもそも実環境でロボットを運用する場合, 必要不可欠なリカバリー動作まで考えると, 必然的に多くの自由度が必要になってくる。このことを加味すれば4足歩行ロボットの構造は極めて合理的であり汎用性が高いことが分かる。また, 運用面においてもソフトウェアで対応できることを考えると優位性がある。本研究ではこのような汎用性の高い4足歩行ロボットを工場や化学プラントでの巡回点検・検査作業の自動化を目指し開発する。

2. 概要

事前研究として開発した4足歩行ロボットは不整地等も歩行することができるが, 多くの課題が明らかとなった。まず, アクチュエータの出力が小さいこと, 次に歩行ロボットは脚と地面とが常に衝突を繰り返すため減速機は衝突荷重に強いことが求められる。そこで, 本研究ではアクチュエータの出力の問題を解決するために高出力のドローン用のモータをサーボモータとして利用できるモータドライバを開発すると共に, 減速機の問題に対しては, 樹脂は耐衝突性を期待できるため, オイレス(ポリアセタールに潤滑油を充填剤した樹脂)や, Onyx(ナイロンに微小な炭素繊維(短繊維)を加えて強化した樹脂)を用いてトロコイド減速機を開発した。また, ロボットは軽量であることが求められるため, 構造材には Onyx や長繊維の炭素繊維を用いて構成した。トロコイド減速機を CNC フライスにて切削加工を行うためのソフトウェアも開

発した。従来の構成の場合、減速機と構造材は別々に製造されるため、取り付けのためのフランジなどが必要となり重量が重たくなる問題があった。この問題に対して、我々は減速機も構造材も製作する技術を本研究にて確立することができたため、これらを一体で成型することができるようになり、軽量化および部品点数の削減を実現することができた。これらの技術を統合して4足歩行ロボットを設計し、その1脚を製作し動作確認を行った。

3.研究成果

図1に開発したトロコイド減速機を示す。トロコイド減速機は外歯車、内歯車、偏心軸(入力軸)、内ピン(出力軸)から構成されている。それぞれの材料は外歯車には Onyx, 内歯車にはオイレス, 偏心軸には超々ジュラルミン(7075), 内ピンには機械構造用炭素鋼鋼材(S45C)を用いた。また、内歯車と偏心軸とは相対的に高速な運動が行われるためベアリングが取り付けられている。内歯車と内ピン、内歯車と歯車も相対運動を行うが前者と比較して運動が低速となるためベアリングは用いず、オイレスは滑り軸受として用いられる材料であるため、その低摩擦特性にて対応することにした。

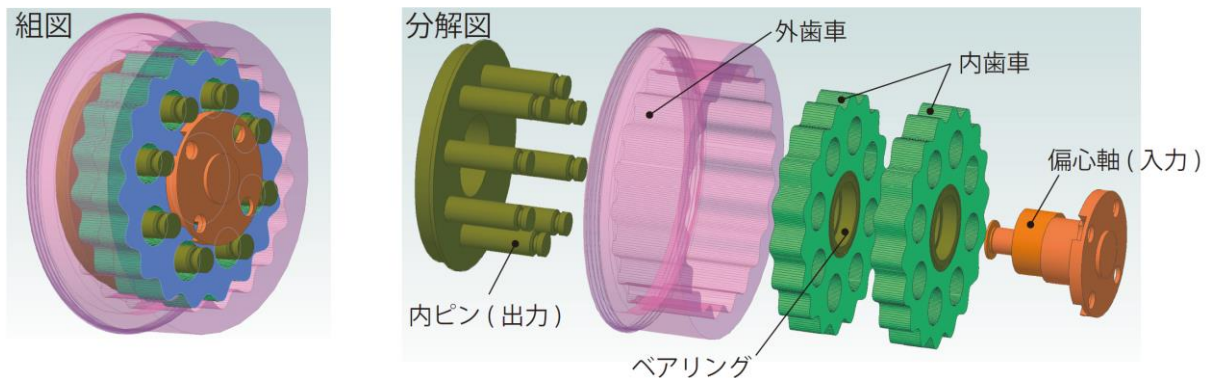


図1 トロコイド減速機

内歯車と外歯車は切削加工にて高精度に仕上げた。そのためのソフトウェアも開発した。たとえば、図2左のように円筒を切削する場合、一般的なツールパスでは同じ高さで外周を一周切削し、その後エンドミルを下げて、再度外周を切削することを繰り返し切削するが、この場合下げる動作で外周に切削痕が付く。この切削痕は歯車として利用する場合、この切削痕の部分で減速機がなめらかに駆動できない原因になる。この問題を解決するためにはツールパスを螺旋にすればよい。そこで、内歯車および外歯車を螺旋に切削できるソフトウェアを開発した。そのツールパスを図2右に示す。

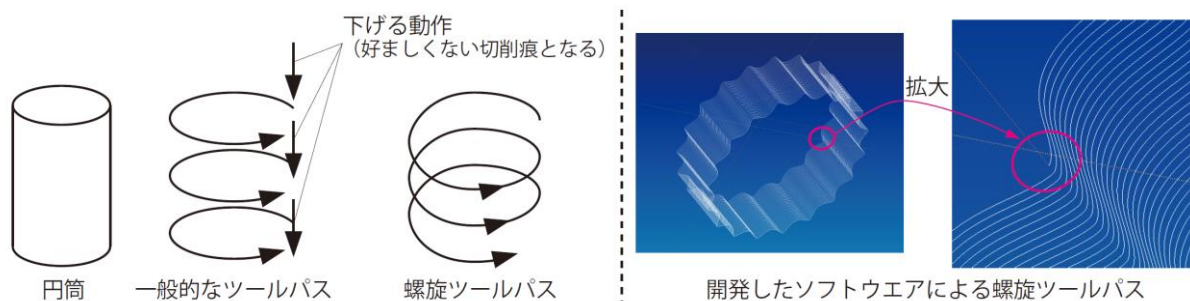


図2 トロコイド減速機を切削加工するためのツールパス

つぎに、開発したモータドライバを図3に示す。1辺が70 mmと小型である。モータドライバを制御するためのマイコンにはルネサス エレクトロニクス製 R5F571MFCDFP を用いており、ブラシレスモータに流す電流は東芝製 TPH4R008NH の MOSFET によりスイッチングする構成となっている。これにより 60 A もの大電流を流すことができる。また、ブラシレスモータを整流するためにはモータの角度を計測する必要がある。そこで角度センサとして Broadcom 社製磁気エンコーダー AEAT-9922-102 を実装している。ゆえに、モータに磁石を取り付け、その上部に基盤を実装すれば、モータの角度を計測することができる構成となっている。

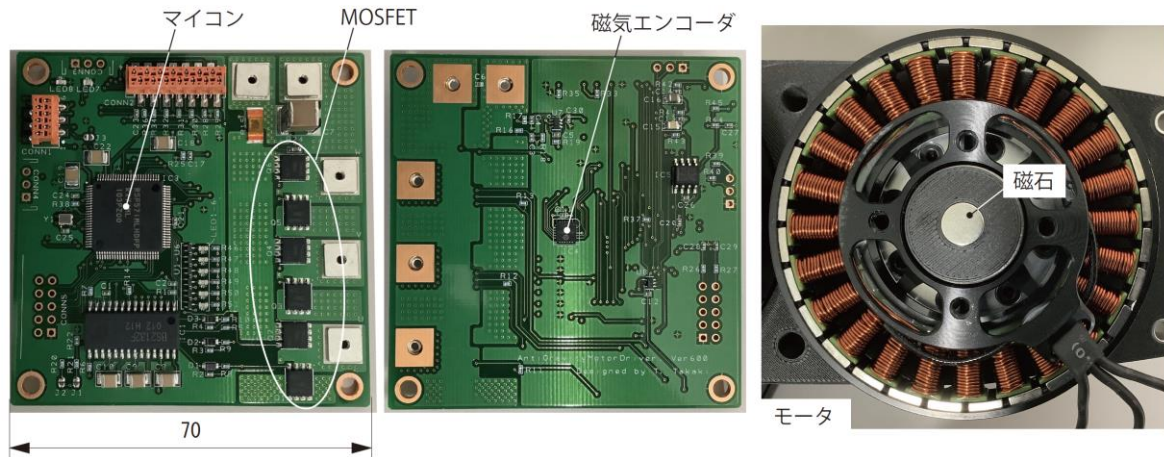


図3 開発したモータドライバ

設計した4足歩行ロボットの3D-CADを図4左に示す。全長は640 mmであり、脚の長さは根元側が228 mmであり、付け根側が243 mmとなっている。また、1脚を取り出した図面を図4右に示す。1脚は3自由度あり、3つのモータが取り付けられている。それぞれのモータの出力はトロコイド減速機により減速され出力される。モータ1はプーリ1を駆動しベルトによりプーリ2に動力が伝達され、軸1を駆動される(図面ではベルトは省略されている)。モータ2はプーリ3を駆動しベルトによりプーリ4に動力が伝達され、軸2が駆動される。また、モータ3は軸3を駆動する構成となっている。

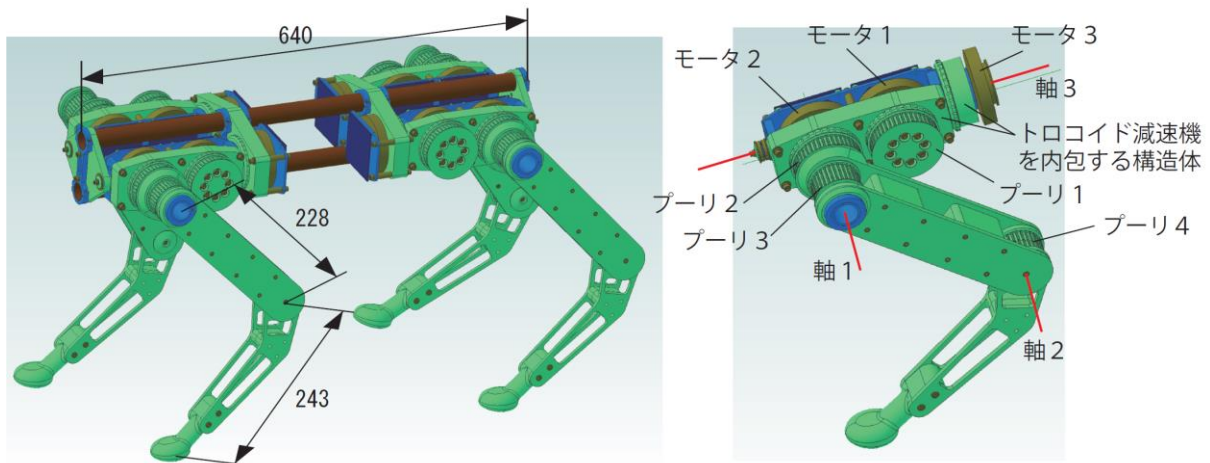


図4 設計した4足歩行ロボットと脚の駆動機構

製作した一脚を図5に示す。構造材とトロコイド減速機が一体で成型ができているため、非常に少ない部品点数で実現でき、質量は1.7 kg (軸3を含まない)と軽量である。1脚で10kgの荷重を支えられるように設計されており、およそ3Hzの周期で足を駆動できることを確認した。



図 5 開発した 4 足歩行ロボットの脚

4. おわりに

4 足歩行ロボットにおいてキーコンポーネントとなる、モータドライバ、減速機を独自に開発する技術を確立することにより、構造材と減速機等を一体で成型することに成功すると共に構造材および減速機などの動力伝達機構に樹脂を積極的に採用することにより軽量かつ少ない部品点数で構成できた。

5. 本研究の今後の計画

現状では 1 脚のみしか製作できておらず、今後残りの 3 脚を製作し 4 足歩行ロボットを完成させ、巡回点検・検査に応用する予定である。

6. その他

(1) 出願特許(タイトル・出願番号・発明者・特許権者など)
特になし

(2) 投稿論文(タイトル・学会名等)
特になし

(3) 本研究会の参加企業・団体名
株式会社テムザック, 株式会社 HIVEC