

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	産業応用に向けた3Dプリンタ製ロボット機構部品-第8報: 樹脂製トロコイド減速機の一脚試験機適用-
Title(English)	Mechanical Parts Manufactured by a 3D Printer for Industrial Robot - Part 8 : Application of Plastic Trochoid Reduction Gear to a Leg Mechanism-
著者(和文)	大久保暁史, 大澤来未, 難波江裕之, 遠藤玄
Authors(English)	Akifumi Okubo, Kurumi Osawa, Hiroyuki Nabae, Gen Endo
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2024講演論文集, 1P1-P03, ,
Citation(English)	Proceedings of the 2024 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, 1P1-P03, ,
発行日 / Pub. date	2024, 5

産業応用に向けた3Dプリンタ製ロボット機構部品

-第8報: 樹脂製トロコイド減速機の一脚試験機適用-

Mechanical Parts Manufactured by a 3D Printer for Industrial Robot

-Part 8 : Application of Plastic Trochoid Reduction Gear to a Leg Mechanism-

○学 大久保 暁史 (東工大) 学 大澤 来未 (東工大)
正 難波江 裕之 (東工大) 正 遠藤 玄 (東工大)

Akifumi OKUBO, Tokyo Tech , okubo.a.ad@m.titech.ac.jp

Kurumi OSAWA, Tokyo Tech

Hiroyuki NABAE, Tokyo Tech

Gen ENDO, Tokyo Tech

A prototype plastic trochoid reduction gear was fabricated by 3D printing using the Fused Filament Fabrication (FFF) method, and its performance was evaluated by applying it to an one leg test machine for a quadruped walking robot. Potassium titanate nylon resin, the strongest material for FFF 3D printing, was used as the material. A walking simulation test was conducted with a 6 kg payload on the robot, and it was confirmed that the robot operated for 10,000 steps (7 hours and 13 minutes) without breaking. The motor temperature after 25 minutes of operation was below the glass transition temperature of the resin material.

Key Words: Robot, 3D printer, Reduction Gear, Resin

1 諸言

ロボットに電磁モータを用いる場合、減速機はほぼ必須の部品であり、その性能は重要である。従来のロボット開発においては、許容トルクや回転数、大きさや質量、価格や納期などを考慮し減速機を選定していた。しかし一般に性能の良い減速機ほど、質量が大きく高価な傾向にある。もし減速機を一から試作することができれば、設計自由度は高まり、減速比を最適化することでロボットの性能をより高くすることができる可能性がある。実際、大和らは薄型軽量の減速機を開発し、その詳細な性能を評価している [1]。

ところで、熱溶融積層 (Fused Filament Fabrication, FFF) 方式の3Dプリント技術は近年大きく発達している。特に樹脂材料の強度の向上により、より大きな負荷のかかるロボット機構部品にも3Dプリント造形による樹脂部品が使える可能性が出てきている。減速機を3Dプリンタ造形の樹脂部品で試作できれば、迅速で低コストな開発が可能となり、設計自由度の向上や軽量化も期待できる。武居らは、ダイレクトドライブモータと3Dプリンタ造形の減速比10の樹脂製減速機を組み合わせ、準ダイレクトドライブモータを試作している [2]。

しかしこれらの3Dプリントによる減速機の試作の多くは概念実証にとどまっており、大和らのような詳細な性能評価は行われていない。

本論文では、FFF方式3Dプリンタを用いて樹脂製トロコイド減速機を試作し、四足歩行ロボットの一脚試験機に適用することでその性能を評価した。歩行ロボットの減速機には、高い減速比や繰り返しの衝撃過重に耐えることといった、樹脂製減速機としては高い要求仕様が求められる。また、特に材料に関しては一般的なPLAやABSなどの3Dプリンタ材料でなく、チタン酸カリウム繊維強化ナイロン樹脂のPOTICON NTL34M (大塚化学、以下POTICONと称する) [3]を用いた。

2 材料

材料にはPOTICONを用いた。POTICONとその他の3Dプリント材料の物性を表1[4][5][6]に示す。POTICONは微細なチタン酸カリウム繊維で強化されたナイロン樹脂であり、カーボン長繊維を用いた場合を除き、我々の調べた限りで最も強度の高いFFF方式の3Dプリンタ材料である。また、ミクロ補強性や摺動性に優れており、ウォッチギアなどにも使用されている。

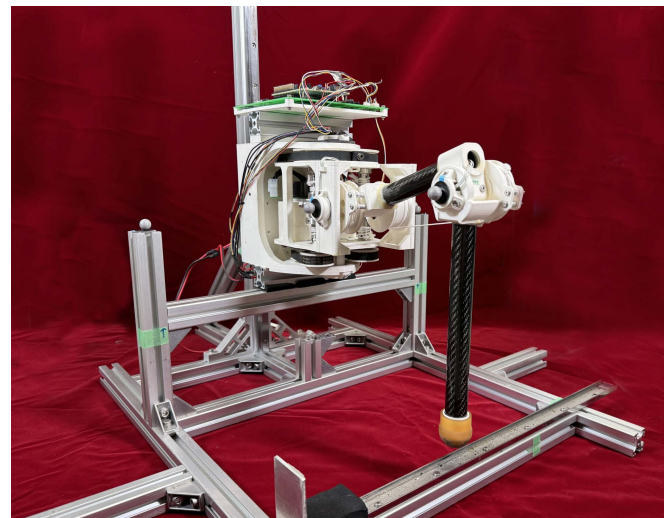


Fig.1 Overall image of 1 leg test machine

Table 1 Mechanical properties of the materials

Material	POTICON	Onyx	ABS	PLA
Filler	Potassium titanate fiber	Carbon fiber	-	-
Tensile strength [MPa]	100	37	38	45
Bending strength [MPa]	167	71	61	92
Flexural modulus [GPa]	6.3	3.0	1.4	2.9
Heat deflection temp. [°C] @0.45 MPa	120	145	87	58

3 トロコイド減速機

試作したトロコイド減速機の概要を図2に示す。モータにはブラシレスDCモータ (EC 45 flat 80W, maxon)を用いた。トロコイド減速機は、偏心軸の回転により遊星歯車が公転し、リングギアと噛み合うことで発生した遊星歯車の自転をピンにより伝達することで減速している。遊星歯車とリングギアの歯数はそれ

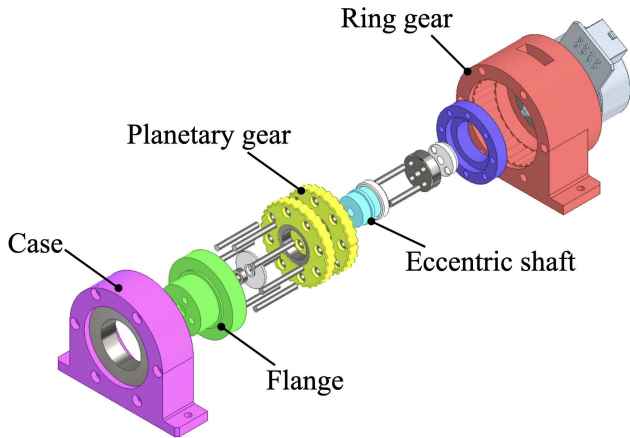


Fig.2 Exploded view of trochoid reducer

Material	POTICON
3D printer	G-ZERO
Slicer	PrusaSlicer
Nozzle diameter [mm]	0.4
Extruder temperature [°C]	270
Pitch [mm]	0.1
Number of shells	2
Number of solid layers (top / bottom)	10 / 10
Fill density / shape	100 % / concentric

Stride length	250 mm
Stride height	100 mm
Velocity in stance phase	200 mm/s
Duty ratio	0.5
(Walking cycle)	(2.6 s)

それぞれ30と31で、減速比は30である。ベアリング、ピン、セットカラー、ネジ、インサートナットは金属製で、その他の部品は全てPOTICON製である。3DプリンタにはG-ZERO(グーテンベルク)を用いた。造形条件を表2に示す。ただしリングギアとケースについては、リングギアの歯周辺とケースのベアリング周辺のみ充填率100%とし、その他の部分は充填率37%、充填形状は三角形とした。実験はグリース(マルテンP AC-N, 協同油脂)を塗って行った。

4 一脚試験機を用いた歩行模擬実験

試作したトロコイド減速機の歩行ロボットへの適用性を調べるため、TITAN-E1[7]の一脚試験機にトロコイド減速機を搭載し歩行模擬実験を行った。TITAN-E1は、Yaw-Roll-Rollの関節配置を持つ爬虫類型4足歩行ロボットである。Yaw軸は減速機の出力からタイミングベルトを介して駆動される。Roll軸は化学繊維ロープを用いたワイヤ干涉駆動で、ロープの巻きついたテンションを減速機の出力からタイミングベルトを介して駆動している。アルミフレームに取り付けた一脚試験機の概要を図1に示す。脚は背面でリニアガイドに固定されており、Z軸方向に直動稼働するようになっている。また、脚先の下にはリニアガイドでX軸に沿って移動可能なL字板が取り付けられており、脚先をこの板の上に乗せることで歩行を模擬した動作が可能となる。一脚試験機の質量は電装部品を含めて3.5kgであり、実験はさらに6kgのペイロードを載せて行った。歩行のパラメータは表3に示す通りである。

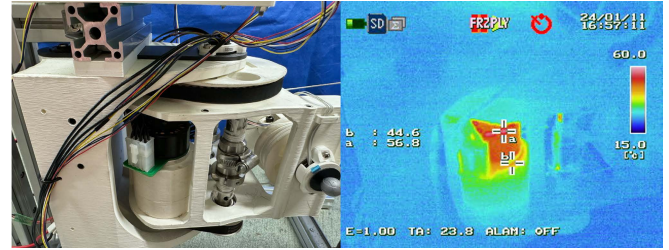


Fig.3 Temperature after 25 minutes of walking

4.1 モータの温度上昇

一脚試験機の関節の内、最も大きなトルクを発生する第二関節について、モータの温度上昇を測定した。測定にはサーモカメラ(サーモギア G100, 日本アビオニクス)を用いた。歩行を始めて約25分後の測定結果を図3に示す。モータコイルの温度は約57°C、リングギアのモータ周辺部は約45°Cとなった。POTICONのガラス転移温度は60°Cであり、樹脂部品の温度はそれよりも十分低いため、25分程度であれば冷却なしで歩行を続けられることがわかった。

4.2 長時間動作による耐久性

長時間の歩行動作による耐久性試験を行った。実験はファンにより冷却をしながら行った。実験の結果、10000歩(7時間13分)壊れることなく動作することを確認した。

5 結言

3Dプリンタ造形による樹脂製トロコイド減速機を四足歩行ロボットの一脚試験機に適用し、6kgのペイロードを載せた状態で歩行模擬実験を行った。その結果、10000歩(7時間13分)壊れることなく動作することを確認した。また、25分の動作後のモータ温度は樹脂材料のガラス転移温度以下であった。今後は実際の四足歩行ロボットに適用し歩行実験を行う。

6 謝辞

本稿執筆にあたり、大塚化学株式会社の材料や情報のご提供、ならびにご助言、株式会社グーテンベルクの3Dプリントに関するご協力やご助言を賜りました。ここに深甚なる謝意を表します。貴重なコメントと議論をいただきました武居直行教授(東京都立大学)太田裕介教授(千葉工業大学)、高木健教授(広島大学)に感謝いたします。

参考文献

- [1] Yamato, H. et al., A Partner Robot Transforming to a Vehicle: CanguRo - Design, Development and Evaluation of Its In-Wheel Drive Unit with Cycloid Gear -, IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII) (2020), pp.1205-1211.
- [2] Iizuka, K. et al., Evaluation of Compliant Robot Arm with Quasi-DD Motor and Gravity Compensation Mechanism, The 7th International Conference on Advanced Mechatronics (ICAM) (2021), pp.88-89.
- [3] POTICON TISMO Reinforced Compound, Otsuka Chemical Co., Ltd., (Online). available from <https://www.otsukac.co.jp/en/products/chemical/poticon/>.
- [4] Markforged, Inc., MATERIAL DATASHEET Composites (Online), available from <https://www-objects.markforged.com/craft/materials/CompositesV5.2.pdf>.
- [5] Ultimaker ABS TDS, Ultimaker (Online), available from <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360012759139-Ultimaker-ABS-TDS>.
- [6] Ultimaker Tough PLA TDS, Ultimaker (Online), available from <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360012759599-Ultimaker-Tough-PLA-TDS>.
- [7] 角田 隆平ら, 熱溶融積層方式による樹脂構造材を用いた四足歩行ロボット TITAN-E1 の開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 (2022), 2A1-Q07.