

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	ローラーウォーカーに関する研究 第14報：3Dプリンタ製樹脂を主要構造材としたRoller-Walker II の開発
Title(English)	Study on Roller-Walker -Development of Roller-Walker II Using 3D Printed Parts as the Main Structural Material-
著者(和文)	大澤来未, 大久保暁史, 難波江裕之, 遠藤玄
Authors(English)	Kurumi Osawa, Akifumi Okubo, 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, 2A2-O01, ,
Citation(English)	Proceedings of the 2024 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, 2A2-O01, ,
発行日 / Pub. date	2024, 5

# ローラーウォーカーに関する研究

## —第14報：3Dプリンタ製樹脂を主要構造材とした Roller-Walker II の開発—

### Study on Roller-Walker

#### -Development of Roller-Walker II Using 3D Printed Parts as the Main Structural Material-

学 大澤来実 (東工大)      学 大久保暁史 (東工大)  
正 難波江裕之 (東工大)    〇正 遠藤玄 (東工大)

Kurumi OSAWA, Tokyo Tech  
Akifumi OKUBO, Tokyo Tech  
Hiroyuki NABAE, Tokyo Tech  
Gen ENDO, Tokyo Tech, endo.g.aa@m.titech.ac.jp

A leg-wheeled robot, Roller-Walker II, was developed using 3D printed parts as the main structural material. Since 3D printed parts are prone to distortion and fracture, metal pipes were inserted and CFRP sheets were installed for reinforcement. In a propulsion experiment to evaluate the performance, a walking speed of 0.11 m/s was confirmed. The maximum speed of 2.87 m/s was achieved in the Roller-Walk which is the propulsion method using the same degree of freedom in walking with passive wheels equipped on the tips of the four legs. This speed exceeded the maximum speed of 2.25 m/s achieved by Roller-Walker in a previous study.

**Key Words:** Roller-Walker, Leg-Wheel Robot, 3D Printer

## 1 緒言

近年、不整地でも移動可能な歩行ロボットの開発が盛んである[1]が、平坦地の場合、歩行ロボットは車輪移動を行うロボットに比べて速度が遅いというデメリットがある。そのため、脚と車輪を併せ持つ脚車輪ロボットがこれまでも開発されてきた[2]。しかし、その多くで脚先に車輪を駆動するためのアクチュエータが付加されており、機構が大きく重くなるという欠点がある。そこで遠藤らは、Roller-Walker[3]という、4本の脚先に足裏と兼用となる受動車輪を装備し、歩行の脚の自由度をそのまま用いて車輪移動を行う脚車輪ハイブリッド移動体を開発した。このロボット特有の受動車輪による推進方法はローラーウォークと呼ばれ、脚先が軽量であることから歩行の性能を落とさずに車輪移動することを可能にしている。そこで、さらなる軽量化・高出力化を目指し、Roller-Walkerを3Dプリンタ製樹脂部品を用いて開発することを考えた。

3Dプリンタ製樹脂部品を使用したロボットはこれまでも多く開発されており、角田らが開発したTITAN-E1[4]もその一例である。しかし、樹脂は金属と比べれば著しく強度が低く、TITAN-E1において、関節の駆動に用いているタイミングベルトやワイヤ干涉駆動用ロープにより大きな張力がかかることで、大きな変形や積層方向に対して層間剥離するような割れが発生した。これが原因で、最終的にはロボットが正常に動作しなくなった。

そこで本研究では、3Dプリンタ製樹脂部品を用いても歪みや割れを生じない、Roller-Walker IIの開発を目的とした。

## 2 Roller-Walker IIの仕様

開発したRoller-Walker IIをFig. 1に、仕様をTABLE 1に示す。このロボットの基本的な構造はTITAN-E1を参考としており、1脚あたり3自由度・全12自由度で構成される。第1関節はタイミングベルトによる駆動であり、第2, 3関節は化学繊維ロープであるφ2.0のイザナス(ハヤミ工産製, DB-96HSL)を用いたワイヤ干涉駆動であり、そのロープが巻き付いているテンシヨナ[5]はモーターからタイミングベルトを介して駆動される。アクチュエータは、定格80Wのブラシレスモーター(マクソン製, 591480)と減速比30の減速機(ハーモニックドライブ製, CSF-14-30-2A-R)を使用した。

最初の試作であるため、脚先には、歩行の場合は点接地となるよう先端が球形のウレタンゴム、ローラーウォークの場合は受動車輪を付け替えることで運用する。車輪には、比較的硬いゴムが使用されているインラインスケート用スベアホイール(RADIUS

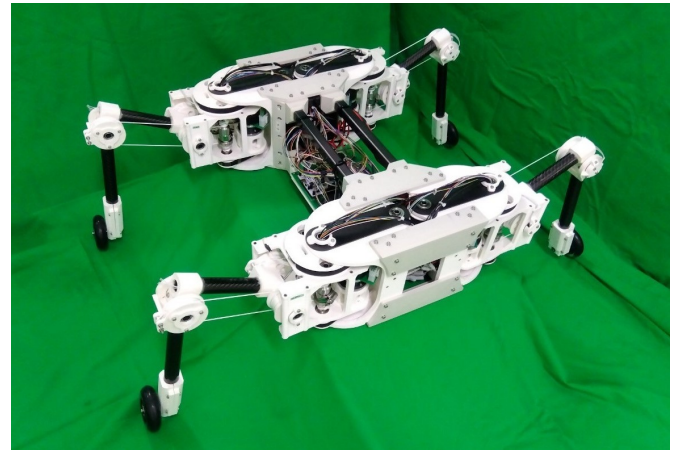


Fig.1 Roller-Walker II

Table 1 specification of Roller-Walker II

Length of the each leg link (in order from the body side)	70.0, 165.4, 250.5 mm
Total mass in walking / Roller-Walk	17.01 kg, 17.20 kg
Mass of the robot with electrical component	16.43 kg
Mass of foot / passive wheel	0.024 kg, 0.223 kg
Mass of all batteries	0.552 kg
Reduction ratio of each joint (in order from the body side)	66.43, 141.84, 141.84

製)を用いた。ローラーウォークは車輪と地面の間の摩擦率を利用し推進するため、摩擦係数の高いゴム材を選択した。

3Dプリンタ製樹脂部品の材料には、チタン酸カリウム繊維強化材料であるポチコン(大塚化学製)を使用した。ポチコンは、炭素長繊維強化を除き、FFF式3Dプリンタ用のフィラメント材料として我々が知る限り最も高強度である。ポチコンの中でも、NTL34Mは耐衝撃性や耐摩耗性に優れていることからほとんどの樹脂構造部品に、RT4Eは耐熱性に優れていることからモーター

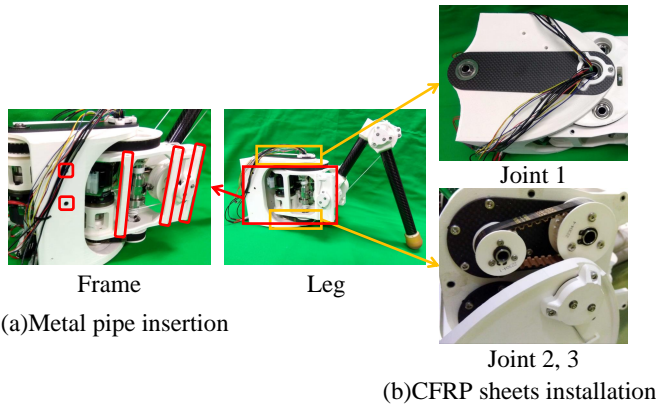


Fig.2 Reinforcement of 3D printed parts

タ周辺の部品に、RT4 はクリープ変形しないことから 4 本の脚を組み合わせるための部品にそれぞれ利用した。3D プリンタには、NTL34M と RT4E は Raise3D Pro2 (Raise3D 製)、RT4 は G-ZERO (ゲーテンベルク製) を用いた。

### 3 樹脂部品の補強

3D プリンタ製樹脂部品の補強として、Fig. 2(a) のようにフレームにおける柱や壁部分に金属パイプを挿入することや、Fig. 2(b) のように 2 つのタイミングブリーを CFRP プレートにより繋ぐことを行った。金属パイプには外径  $\phi 5.0$ 、内径  $\phi 3.0$  の SUS304 パイプを使用し、これを挿入する方法は先行研究によりその有効性を確認済みである [6]。これらの補強により、ワイヤ干涉駆動用ロープやタイミングベルトによる大きな張力が加わっても、樹脂が歪みや割れを起こさなくなった。

また、樹脂部品の造形条件は、充填形状を三角形かつ充填率は 50% 以上とした。これらは、先行研究により強度が高められることが確認されているパラメータである [7]。他には、単純に樹脂の厚みを増したり、リブを付けたりすることで強度を向上させる工夫も実施した。

### 4 歩行およびローラーウォークの推進実験

開発した Roller-Walker II の性能を評価するため、歩行およびローラーウォークの推進実験を実施した。最高速度は、ロボット胴体の移動距離と移動時間を動画撮影したのから求めて算出した。実験の様子を Fig. 3, Fig. 4 に示す。

まず歩行実験では、歩幅 200[mm]、遊脚高さ 100[mm]、デューティ比 0.75 のクロール歩容を用いた。歩行中に、前後 2 本の脚がともに接地している側の方向に胴体を移動させる左右揺動動作を追加することで、より高い安定余裕を確保した。ビニル床シートの上で実験を行った結果、最高速度 0.11[m/s] での推進を確認した。

次にローラーウォーク実験では、脚軌道の式は [3] に記載されたもので、パラメータを  $d_{offset}=100$ [mm]、 $T=1.6$ [s]、 $d_0=130$ [mm]、 $\theta_0=0.15$ [rad]、 $\phi=\pi/2$ [rad] と設定した。製作時の組付け誤差などによってロボットが直進の動作時でも横に曲がってしまうことがあったため、コントローラのジョイスティックを用いて手動による旋回動作ができるようプログラムし、実験中ロボットが直進するように操作を行った。実験は、40[m] の直線距離があり、硬く平坦な地面上で実施した。その結果、最高速度 2.87[m/s] での推進を確認した。これは、Roller-Walker の最高速度 2.25[m/s] よりも高い速度である。一方、ロボットの 5[m] ごとの移動速度を動画から算出すると、10~15[m] の間を 2.59[m/s]、15~20[m] の間を 2.63[m/s]、20~25[m] の間を 2.73[m/s]、25~30[m] の間を 2.78[m/s]、30~35[m] の間を 2.87[m/s] で走行していることが分かった。このことから、現状では加速域が足りずに最高速度まで達しておらず、40[m] よりも長い直線距離のある場所で実験できればさらに高速化できる可能性があると考えられる。

また、ロボットの耐久性に関しては、歩行およびローラーウォークの実験中にロボットが歪みや割れを生じることはなかった。さ

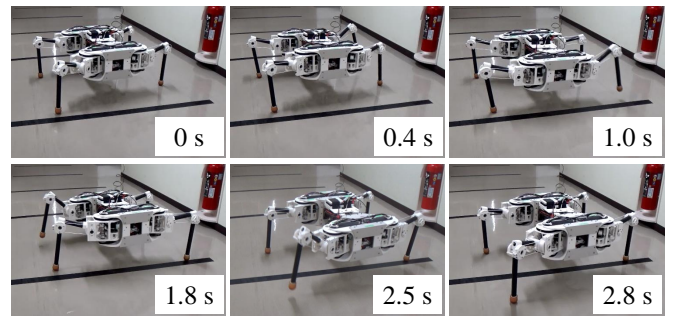


Fig.3 Locomotion experiment in walking

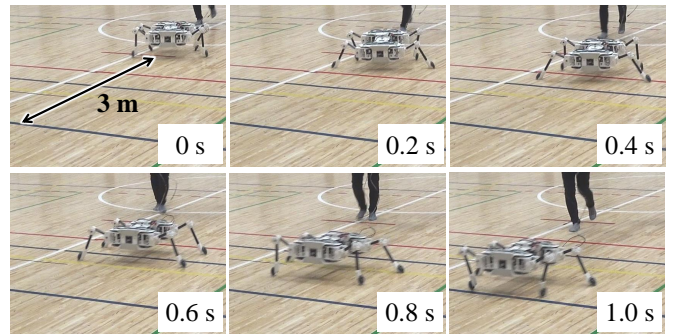


Fig.4 Locomotion experiment in roller-walk

らに、ローラーウォークの実験中には何度かロボットを壁に衝突させてしまうこともあったがロボットは壊れなかった。

## 5 結言

3D プリンタ製樹脂を主要構造材として、脚車輪ロボット Roller-Walker II を開発した。樹脂部品は歪みや割れを生じやすいため、金属パイプの挿入や CFRP 板による補強を行った。性能を評価するため歩行とローラーウォークの推進実験を行った結果、歩行は 0.11[m/s]、ローラーウォークは 2.87[m/s] の最高速度を記録し、実験中にロボットが歪みや割れを生じないことを確認した。ローラーウォークに関しては、先行研究である Roller-Walker の最高速度 2.25[m/s] よりも速い速度を実現できたといえる。

今後の展望としては、トロット歩容による歩行や、長い直線距離のある場所においてローラーウォークを行うことで、さらなる高速化ができると考えている。また、歩行とローラーウォークのモード切り替えを自動で行う、脚先切替機構の開発も進める必要があると考えている。

## 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、株式会社ゲーテンベルクの 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)、太田祐介教授 (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] G. Bleidt, M. J. Powell, B. Katz, J. Di Carlo, P. M. Wensing and S. Kim, "MIT Cheetah 3: Design and Control of a Robust, Dynamic Quadruped Robot," 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 2245-2252, 2018.
- [2] Bjelonic, Marko, "Planning and Control for Hybrid Locomotion of Wheeled-Legged Robots," ETH Zurich, 2011.

- [3] Gen Endo, Shigeo Hirose, “Study on Roller-Walker (system integration and basic experiments),” *Proceedings 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol.3, pp.2032–2037, 1999.
- [4] 角田柁平, 難波江裕之, 鈴森康一, 遠藤玄, “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, 2A1-Q07, 2022.
- [5] 大澤来実, 遠藤玄, “高強度化学繊維によるワイヤ駆動のための基礎的検討 一第 13 報: ワンウェイクラッチとホースバンドを併用した高耐荷重テンシヨナ機構一”, 第 41 回日本ロボット学会学術講演会, 1C3-03, 2023.
- [6] Kurumi Osawa, Gen Endo, “Does Thin-Walled Metal Pipe Insertion Increase the Bending Strength of 3D Printed Parts?,” *2024 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)*, 2024.
- [7] 大澤来実, 遠藤玄, “産業応用に向けた 3D プリンタ製ロボット機構部品 一第 6 報: 充填形状・充填率・造形速度と梁の曲げ強度一”, 第 24 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 1E5-04, 2023.