

K-19

ニューロモーフィック回路を搭載した四足歩行ロボットにおける歩容の継続性に対する検討

A Study on Continuation of Gait in Quadruped Robots Equipped with Neuromorphic Circuits

○石田暁久<sup>1</sup>, 伊藝楓斗<sup>2</sup>, 山崎順平<sup>2</sup>, 本間天悠<sup>2</sup>, 森下克幸<sup>3</sup>, 齊藤健<sup>4</sup>

\*Akihisa Ishida<sup>1</sup>, Huto Igei<sup>2</sup>, Junpei Yamasaki<sup>2</sup>, Tenyu Honma<sup>2</sup>, Katsuyuki Morishita<sup>3</sup>, Ken Saito<sup>4</sup>

Abstract: This paper studies the continuation of gait in a quadruped robot equipped with neuromorphic circuitry by performing walking experiments on the robot. The robot is equipped with a system that feeds back pressure of the toes of each leg to neuromorphic circuits. The walking experiment was conducted on a treadmill with the four corners of the robot suspended by strings in order to improve the gait continuation. As a result, no trend of improvement could be confirmed. However, a trend of gait generation was observed, confirming that the system in this experiment is capable of producing gait.

1. はじめに

動物の歩行には歩容と呼ばれる規則的な運動パターンが存在する。動物は歩行速度に応じて歩容を切り替え、効率の良い歩行を行っている。歩容は脳のような上位神経ではなく、脊髄に存在する中枢パターン生成器によって生成されていると考えられているが、歩容の生成原理は未だに明らかにされていない。

我々は歩行ロボットに生物のニューロンをアナログ電子回路で模倣したニューロモーフィック回路を搭載し、動物のようにロボットを自律的に駆動させる研究を行っている。先に我々はロボットの脚先に圧力センサを取り付け、脚先の圧力をニューロモーフィック回路にフィードバックするシステムを搭載したロボットを開発した<sup>[1]</sup>。開発したロボットを用いた実験により我々は動物に似た歩容の生成および移動速度による歩容の変化を確認した。しかし、確認出来た歩容は Walk と Trot の 2 種類だけであり、また、確認出来た歩容の継続時間は短時間であった。原因としてニューロモーフィック回路のばらつきやロボットの機械的な特性が考えられる。そこで我々は、ニューロモーフィック回路のばらつきを回路の集積回路化によって改善し、ロボットへと搭載した。

本論文では集積回路化したニューロモーフィック回路を搭載した四足歩行ロボットに対し歩容の継続性を改善するため、ロボットの四隅を糸で吊るしトレッドミル上で歩行実験を行ったので報告する。

2. 四足歩行ロボット

Figure 1 にニューロモーフィック回路を搭載した四足歩行ロボットを示す。Figure 1 の四足歩行ロボットに搭載されているニューロモーフィック回路は集積回路化したものである。1 つのチップに 4 つのニューロモーフィック回路が存在し、集積回路化することにより

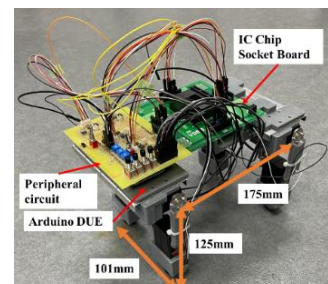


Figure1. Quadruped walking robot with neuromorphic circuits

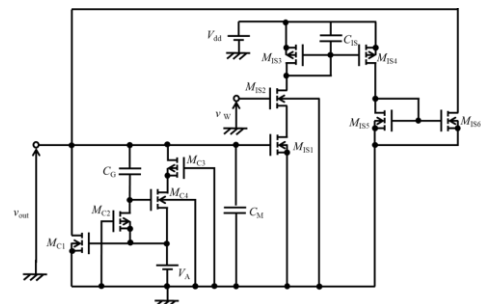


Figure2. Neuromorphic circuit

4 つのニューロモーフィック回路の特性のばらつきを抑制した。さらに、ロボットの各脚の脚先には圧力センサが取り付けられている。

Figure 2 にニューロモーフィック回路の回路図を示す。ニューロモーフィック回路はニューロンが持つ機能の 1 つである周期的にパルスを発生させる機能を模倣した回路である。ニューロモーフィック回路は細胞体モデルとシナプスモデルに分けられ、細胞体モデルでは閾値や不応期の特性を模倣している。シナプスモデルは細胞体モデルの発振を抑制または興奮させる機能を持ち、Figure 1 のロボットに搭載されているシナプスモデルは電圧  $v_w$  に応じて細胞体の発振周期を長くする。

四足歩行ロボットは Arduino DUE を用いて 4 つのニューロモーフィック回路および脚先に取り付けられた圧力センサの出力を読み取り、各脚のサーボモータを

1 : 日大理工・院(前)・精機 2 : 日大理工・学部・精機 3 : 日大理工・院(後)・精機 4 : 日大理工・教員・精機

PWM制御している。また、各ニューロモーフィック回路には脚先の圧力に応じた電圧  $v_w$  を印加し、パルス周期を変化させる。脚はニューロモーフィック回路からのパルス入力ごとに一定角度づつ駆動させ、一定の軌道を描き、脚先の圧力によって振る速度が変化する。各脚は独立して駆動し、他の脚と協調などは行っていない。

### 3. 歩行実験

歩行実験は Figure 3 に示すように、四足歩行ロボットの機械的な特性を改善するため、ロボットの四隅を糸で繋いでロボットを吊るし、ドレッドミル上で行った。トレッドミルの速度は 0.8km/h、ロボットの脚の速度は無接地時で  $4\pi$  rad/s である。歩行実験の結果を Figure 4 に示す。Figure 4 は各脚の位相差を示しており、左前脚を基準とし、他の脚と左前脚との位相差を各脚の位相から左前脚の位相を引くことで求めたグラフである。グラフ中において左前脚は LF、左後ろ脚は LH、右前脚は RF、右後ろ脚は RH である。Figure 4 に示す結果より、各脚の位相差が生じ、25~40[s]間などにおいて歩容生成の傾向を確認し、本実験のシステムでも歩容発現が可能であることを確認した。しかし、目的としていた四足歩行ロボットの機械的な特性改善による歩容継続の傾向は確認出来なかった。原因としては糸の張力やトレッドミルの速度とロボットの歩行速度の差異などが考えられる。

### 4. まとめ

本論文ではニューロモーフィック回路を搭載した四足歩行ロボットに対し、歩容の継続を改善するため、ロボットの四隅を糸で吊るし、歩行実験を行った。結果として、歩容生成の傾向が見られ、本実験のシステムでも歩容を発現させることが可能であることを確認した。

今後はロボットの脚の速度のパラメータや吊るす際の糸の張力などにおいても考慮しながら、歩容の継続性に対する検討を行う予定である。また、現在は完全に独立している4つのニューロモーフィック回路間に弱い結合を組み込むことで歩容の発現を安定化させるネットワークを検討している。

### 5. 参考文献

[1] Yuki Takei, Katsuyuki Morishita, Riku Tazawa, Ken Saito : “Active Gaits Generation of Quadruped Robot Using Pulse-Type Hardware Neuron Models”, IntechOpen, 2021

### 謝辞

本研究は東京大学 d.Lab(旧 VDEC)活動を通して、日本シノプシス合同会社、日本ケイデンス・デザイン・システムズ社、メンター・グラフィック・ジャパン株式会社の協力で行われ、本チップ試作はオンセミコンダクター新潟(株)、凸版印刷(株)の協力で行われたものである。

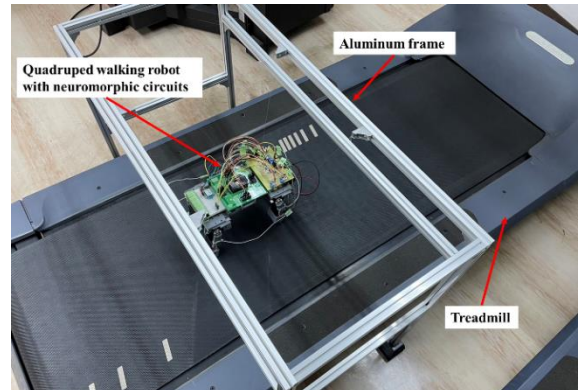


Figure3. Walking experiment overview charts

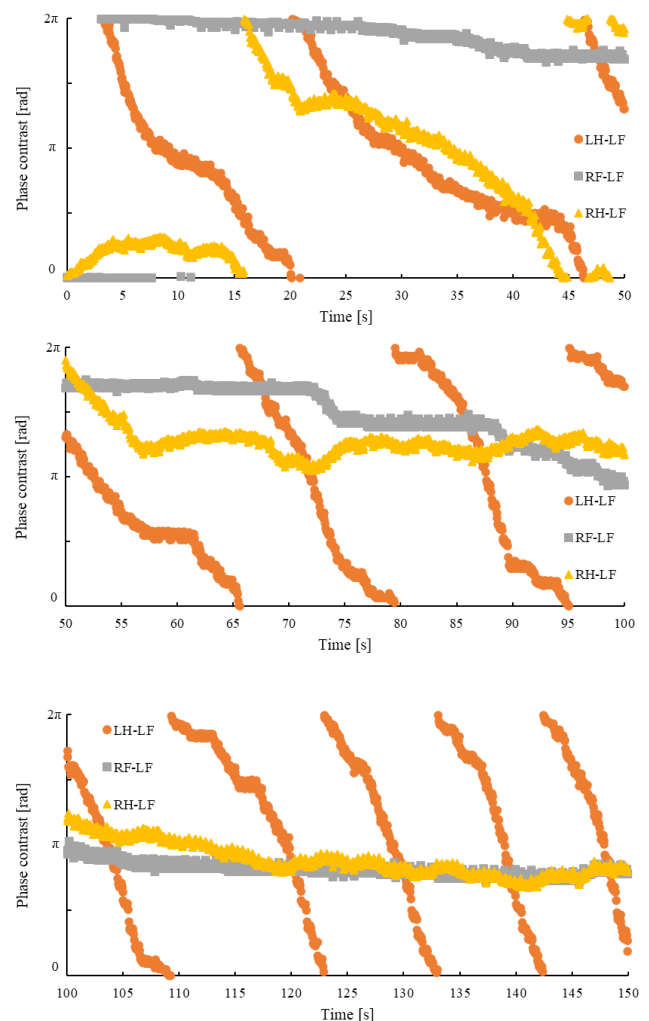


Figure4. Phase difference of each leg