

## 四足ロボットの起立を制御するニューロモーフィック回路の開発 Development of Neuromorphic Circuit to Control Standing of Quadruped Robot

○田邊魁晟<sup>1</sup>, LYU SHUXIN<sup>2</sup>, 森下克幸<sup>2</sup> 齊藤健<sup>3</sup>

\*Kaisei Tanabe<sup>1</sup>, Shuxin Lyu<sup>2</sup>, Katsuyuki Morishita<sup>2</sup>, Ken Saito<sup>3</sup>

**Abstract:** This paper proposes a neuromorphic circuit for a quadruped robot that can stand autonomously cell body model as a neuromorphic circuit. In addition, simulations of neuromorphic circuit confirmed that the oscillation frequency varies with the input voltage, the quadruped robot is equipped with a gyro sensor and a distance sensor. It is equipped with a system that feeds back the values of each sensor to neuromorphic circuit. Conventional control requires the creation of robot-specific programs from time to time. In this paper, we expect the robot to perform autonomous standing movements.

### 1. はじめに

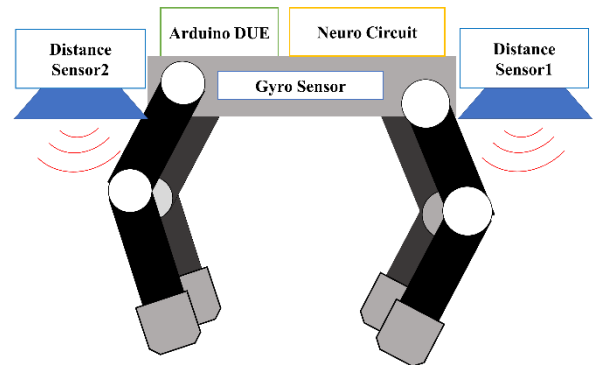
小鹿は、生まれてすぐに自らの4本脚で立つことを試みる。はじめは、何度か立ち上がりに失敗するが、試行錯誤しバランスをとりながら自律して立つことができる。これらの要因として、小鹿の体の構造以外に生まれてすぐに立ち上がることができるように脳の神経による構造が関係しているものと考えられる。そこで、動物の神経細胞を模倣したアナログ回路を用いることでプログラムを用いらずに立ち上がるロボットシステムの開発が可能なのではないかと考えられる。

我々は、他の研究で動物の神経細胞を模倣したアナログ回路であるニューロモーフィック回路を四足歩行ロボットに搭載し、能動的に歩容を生成する歩行ロボットの開発を行っている<sup>[1]</sup>。

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で構成された回路で細胞体モデルは、生物のニューラルネットワークを模倣したアナログ回路の構成要素の1つであり、ニューロンの持つ活動電位、閾値、不応期の特性を再現したパルス波形を出力する発振回路である。シナプスモデルは興奮性シナプスモデルと抑制性シナプスモデルの2種類が存在する。興奮性シナプスモデルは入力を受け取ると出力側の細胞体モデルの発振を促進させる性質を持ち、抑制性シナプスモデルは入力を受けると出力側の細胞体モデルの発振を抑制する性質を持つ<sup>[2]</sup>。

本研究では四足ロボットがジャイロセンサや距離センサの情報を基に姿勢制御をしながら立ち上がるロボットシステムの検討を行いニューロモーフィック回路の開発を行った。開発したニューロモーフィック回路のシミュレーションにて入力電圧を与えた結果、入力電圧の変化に応じて発振周波数に変化が確認できたので報告する。

### 2. 四足ロボットの構造



**Figure 1.** Configuration of quadruped standing robot

Figure. 1に四足ロボットの構造の概要図を示す。四足ロボットには各脚において、肩、肘、股、膝の関節にあたる部分に1つずつ、合計8個のサーボモータを搭載する。各関節の可動範囲をあらかじめ決め、可動範囲以上可動できないように構造とプログラムの両方で制限する。本体上部には各脚につき1個ずつの合計4個のニューロモーフィック回路を搭載する。また、ジャイロセンサ、距離センサ、Arduino DUEを搭載する。Arduino DUEは各脚のサーボモータの制御やセンサの信号取得、ニューロモーフィック回路への入力電圧を生成する為に用いる。ジャイロセンサは四足ロボットの本体の傾きの測定に使用し距離センサは下向きに垂直で取り付け、本体と床との距離を測定する。

### 3. 立ち上がりロボットシステム

Figure. 2に立ち上がりロボットシステムの概要図を示す。ジャイロセンサと距離センサの2つのセンサが取得する情報を基に、ロボット本体がどれくらい地面から離れているのか、本体が水平に安定しているのかを

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

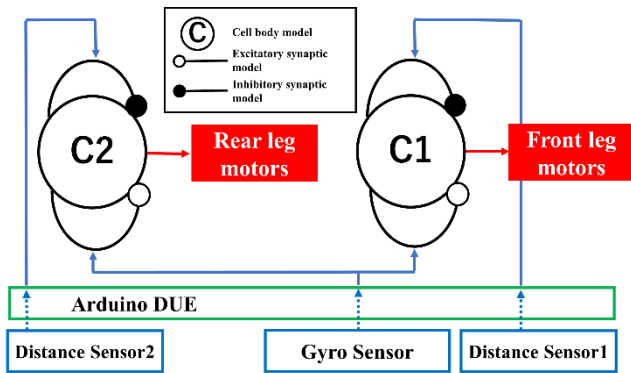


Figure 2. Mechanism of Quadruped standing robot

検知する。ジャイロセンサと距離センサの情報は Arduino DUE によって読み取り、ニューロモーフィック回路へ入力する。サーボモータはニューロモーフィック回路が発振したパルス周期に応じて駆動する。ニューロモーフィック回路は細胞体モデルと興奮性シナプスモデル、抑制性シナプスモデルの3つの構成になっている。興奮性シナプスモデルと抑制性シナプスモデルは、生物の興奮性と抑制性のシナプスを模倣したアナログ電子回路である。興奮性シナプスモデルと抑制性シナプスモデルには、それぞれシナプス荷重が存在する。シナプス荷重の大きさにより興奮や抑制の大きさが決まる。興奮性シナプス荷重が大きくなると、細胞体モデルの発振周波数は高くなる。一方、抑制性シナプス荷重が大きくなると発振周波数が低くなる。

ジャイロセンサの出力信号は Arduino DUE を通して興奮性シナプス荷重に入力される。傾きが大きければ発振周波数が高くなり、傾きが小さければ低くなる。距離センサの出力信号はジャイロセンサ同様に Arduino DUE を通して抑制性シナプス荷重に入力される。床との距離が近ければ発振周波数が高く、遠ければ発振周波数が低くなる。サーボモータの回転速度は発振周波数に応じて変化し、発振周波数が高くなるとサーボモータの回転速度が上がり、発振周波数が低くなるとサーボモータの回転速度が下がるようにする。

起動時の四足ロボットは脚の肘と膝の関節で折り曲げた状態で伏せたような姿勢とする。起動初期はジャイロセンサが検知できる最小限の傾きを与える。本体が傾くことで興奮性シナプスが細胞体モデルに興奮を促すことで発振周波数が高くなり徐々に脚を動かし立ち上がる。立ち上がりの終盤に差し掛かると、脚部が伸びきった状態になり本体と床との距離が遠く水平になる。興奮性シナプスモデルによる興奮がほぼなくなり、サーボモータの回転速度が抑えられ安定した姿勢で立ち続けると考えられる。

#### 4. ニューロモーフィック回路シミュレーション結果

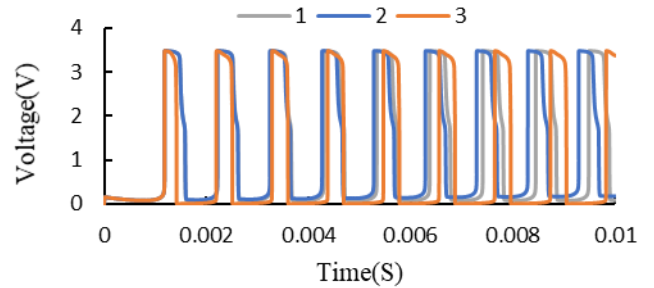


Figure 3. Simulation of neuromorphic circuits

Figure. 3 にニューロモーフィック回路のシミュレーション結果を示す。波形 1,2,3 の3つのパターンのシミュレーションを行った。波形 1 は興奮性と抑制性シナプス荷重に同じ 1[V] を入力したグラフになる。波形 2 は興奮性シナプス荷重に 1.6[V] を入力したグラフになる。波形 3 は抑制性シナプス荷重に 2[V] を入力したグラフになる。グラフの結果から、興奮性シナプス荷重に高い電圧を入力すると発信周波数が高くなり、一方抑制性シナプス荷重に高い電圧を入力すると発信周波数が低くなることが確認できた。

#### 5. まとめ

立ち上がりロボットシステムの検討を行い搭載するニューロモーフィック回路の開発を行った。ニューロモーフィック回路を設計しシミュレーションを行った結果、シナプス荷重の入力電圧に応じてニューロモーフィック回路の出力電圧が変化することを確認した。今後はニューロモーフィック回路を搭載し実際に駆動実験を行う予定である。

#### 6. 謝辞

本研究は、令和2年度日本大学学術研究助成金 総合研究の助成を受けたものです。また本研究の一部は令和4年度日本大学特別研究の助成を受けたものです。

#### 7. 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", Intech Open 2021
- [2] Katsuyuki Morishita, Yu Usami, Iisuke Okuma, Yuki Takei, Ken Saito: "Study on Frequency Characteristics in Pulse-Type Hardware Neuron Model with Wide Oscillation Frequency Range", No. ECT21067 pp.11-14, 2021