

K-7

## 馬の骨格を模倣した四足歩行ロボットへのニューロモーフィック回路の実装 Implementation of Neuromorphic Circuit on Quadruped Robot Imitating Horse Skelton

○田澤陸<sup>1</sup>, 勝谷孝一<sup>2</sup>, 武井裕樹<sup>3</sup>, 齊藤健<sup>4</sup>  
\*Riku Tazawa<sup>1</sup>, Koichi Katsuya<sup>2</sup>, Yuki Takei<sup>3</sup>, Ken Saito<sup>4</sup>

**Abstract:** A quadruped animals switches its gait according to the moving speed. The gait is known that the gait is generated by the lower nervous system rather than the upper center like the cerebrum. So far, we have developed a robot system with neuromorphic circuits that imitates the functions of the nervous system in a limited way. A neuromorphic circuit is a circuit in which the period of an output pulse changes according to an applied control voltage. In this paper, we report the development of a quadruped robot implemented a robot system with neuromorphic circuit with a scaled-down body structure based on the scales of a typical horse body as quadruped animals.

### 1. はじめに

哺乳類の大半を占める四足歩行動物は不整地環境における想定外の障害物や段差, 斜面を歩行する柔軟性を持ち合わせている. また, 移動速度に応じて足並みを変え, 消費エネルギーを抑える効率のよさも兼ね備えている<sup>[1]</sup>. 四足歩行動物は歩容として知られるいくつかの歩行パターンが存在している. 歩容は, 大脳のような上位の神経系ではなく, 比較的下位の神経系である脊髄に内包する中枢パターン生成器が生成していることが示唆されている<sup>[2]</sup>.

現在, 歩行メカニズムの解明に向け様々な研究が行われている.

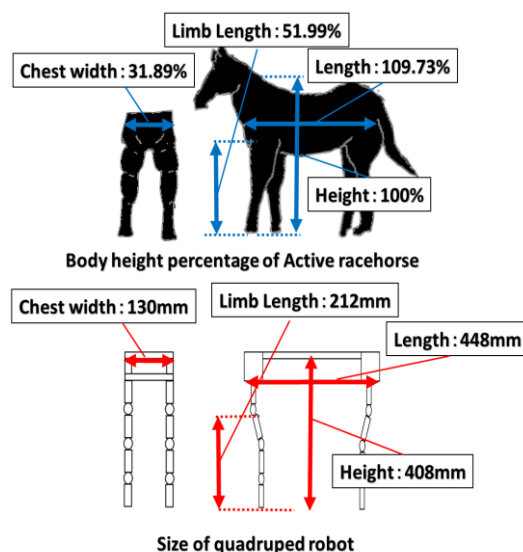
昨今, 東北大学の石黒が振動子間の結合を用いない制御モデルを提案した. これは, 脚先の圧力の大きさがロボットの力学的状態に応じて変化し, 歩容遷移現象を発現するモデルである. そして, これを実装した四足歩行ロボットが, 移動速度に応じて四足歩行動物が示す一部の歩容を生成した. このことから, 動物の身体の構造と力学的状態が, 生成する歩容に大きく関わることが示唆されている.

我々はニューロンをアナログ電子回路でモデル化したハードウェアニューロンモデルを用いてロボットの歩行動作を制御する研究を行っている. これまで, 複数のハードウェアニューロンモデルを結合させて構築した中枢パターン生成器を四足歩行ロボットに実装し, 四足歩行動物と同様の歩容を示す四足歩行ロボットシステムを実現した. しかし, 歩容の生成は受動的であり, 生物のような歩行を可能にするには自身の力学的状態や環境への対応が必要であった. そこで, ハードウェアニューロンモデルをネットワーク化させずに利

用するロボットシステムを開発した. このシステムにより, 四足歩行ロボットが能動的に動物と似た歩容を生成し, 自身の力学的状態と移動速度に応じて歩容を変化することを明らかにした<sup>[3]</sup>. 我々は, 同様のロボットシステムを動物の骨格を模倣した四足歩行ロボットに実装することで, 動物と同様の歩容を生成することができるのではないかと考えた. 本論文では, 同様のニューロモーフィック回路によるロボットシステムを用いて動物の身体的特徴を模倣した四足歩行ロボットを開発したので報告する.

### 2. 開発した四足歩行ロボット

四足歩行動物の中でも代表的な馬に焦点を絞り, 身体的特徴を参考に開発した. Figure 1 に四足歩行ロボ



**Figure1.** Horse percentage and dimensions of quadruped walking robot

ットの設計に使用した馬の測尺値と四足歩行ロボットの寸法を示す。馬の歩行を再現する上で、実際の競走馬の実測値を百分率化し四足歩行ロボットを実験しやすい大きさにスケールダウンし四足歩行ロボットを設計した。アクチュエータにはサーボモータ KRS-2542 HV を使用した。各部位の寸法は、四足歩行ロボットの胸幅部分の寸法を基準に、馬の測尺値と同じになるように設計した。馬の身体は多くの骨から構成されているが、一体となって動くとみなせる骨は近似した。歩行時に重要な役割を果たす関節と、哺乳類の大きな特徴として、肘関節と膝関節とで前脚と後脚が“くの字”で向かい合う構成を模倣した。Figure2 に開発した四足歩行ロボットを示す。自由度は各脚部に 3 箇所設けたサーボモータを使用した関節のみとして、脚の先端には圧力センサを取り付けた。機体上部は四つのニューロモーフィック回路基板と、サーボモータの制御やニューロモーフィック回路に入力する電圧生成をおこなうマイクロコントローラを搭載した。

### 3. 歩容生成メカニズム

Figure3 に四足歩行ロボットに搭載した、ニューロモーフィック回路を示す。また、Figure4 にニューロモーフィック回路が出力するパルス波の一例を示す。ニューロモーフィック回路はパルス状の電圧を出力する回路で、シナプス荷重コントロール電圧に応じ、パルス周期が長くなる。四足歩行ロボットの歩容はマイクロコントローラにプログラムした脚の動きを繰り返させることによって生成した。マイクロコントローラはサーボモータに駆動信号を送り、ニューロモーフィック回路の出力パルス毎に目標角度まで微小に駆動する。また、それぞれの脚に掛かっている圧力に応じてシナプス荷重コントロール電圧を変化させることでパルス周期が変化しサーボモータの駆動速度を変化させる。

### 4. まとめ

ニューロモーフィック回路による四足歩行ロボットの制御システムを用いて、四足歩行動物として代表的な馬の身体の測尺値をもとに馬の骨格を模倣した四足歩行ロボットを開発した。今後は開発した四足歩行ロボットの歩行実験をおこない、馬と同様の歩容の生成や歩容変化が可能か検討をおこなう。

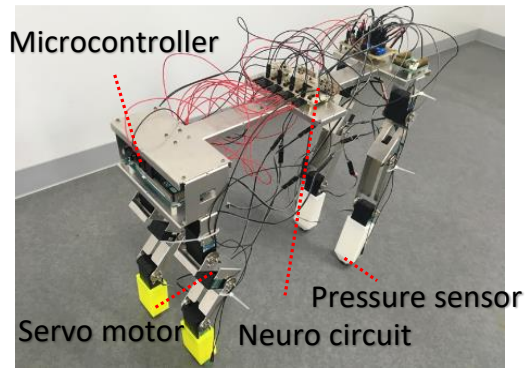


Figure2. Constructed quadruped robot system

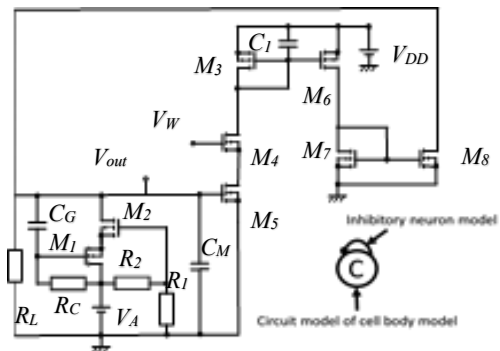


Figure3. Circuit diagram of self-inhibited

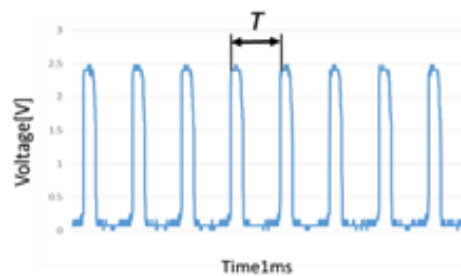


Figure4. Example of output waveform

### 5. 参考文献

- [1] Dai Owaki, Akio Ishiguro : “A Quadruped Robot Exhibiting Spontaneous Gait Transitions from Walking to Trotting to Galloping”, Scientific Reports, 2017.
- [2] T.Graham Brown : “The Intrinsic Factors in the Act of Progression in the Mammal”, Proceedings of the Royal Society B, Volume 84, Issue 572, pp.308-319, 1911.
- [3] Yuki Takei, Katsuyuki Morishita, Riku Tazawa, Minami Kaneko, Fumio Uchikoba, Ken Saito : “Development of Quadruped Robot Generating Animal-like Gaits Utilizing independent Neuro-Circuits”, The 32<sup>nd</sup> Workshop on Circuits Systems in Kitasenju, 2019.