

## 6脚マイクロロボットの歩容変化が可能なマイクロブレインチップの検討 Study on Micro Brain Chip with Switchable Gait Pattern for Hexapod-Type Microrobot

○宇佐見雄<sup>1</sup>, 佐々木拓郎<sup>2</sup>, 黒澤実花<sup>2</sup>, 小原正也<sup>2</sup>, 武井裕樹<sup>3</sup>, 金子美泉<sup>4</sup>, 内木場文男<sup>4</sup>, 齊藤健<sup>4</sup>

\*Yu Usami<sup>1</sup>, Takuro Sasaki<sup>2</sup>, Mika Kurosawa<sup>2</sup>, Masaya Ohara<sup>2</sup>, Yuki Takei<sup>3</sup>, Minami Kaneko<sup>4</sup>, Fumio Uchikoba<sup>4</sup>, Ken Saito<sup>4</sup>

Abstract: The authors are studying micro brain chip generates gait pattern of hexapod-type microrobot. Micro brain chip mimics biological neural networks. In previous research, the microrobot was succeeded in walking. However, the microrobot only performed a tripod gait pattern. In this paper, we developed micro brain chip IC which generates different gait patterns. Besides, the IC chip which generate different gait patterns are fabricated and measured. Comparison with simulation results was performed. As a result, two types of gait patterns were generated: a tripod gait pattern and a ripple gait pattern, similar to the simulation results. IC chip generated a ripple gait pattern stably compared to the simulation results.

### 1. はじめに

マイクロロボットは小さなサイズを活かし、配管内のメンテナンスや災害現場での逃げ遅れた人の発見など狭小な場所での活躍が期待される。しかし、従来のマイクロコントローラを使用したものは作製が簡単であるがプログラム通りにしか動かないため未知環境への対応や、リアルタイム処理が難しい。

一方、蟻など昆虫はゆっくり歩く時と速く歩く時で歩き方が異なる。この歩行パターンの事を歩容とよぶ。生物のニューラルネットワークを人工的に模倣することにより小型で自律的な制御が期待できる。

我々は生物のニューラルネットワークを模倣したマイクロブレインチップの研究をしている<sup>[1][2]</sup>。これまでに、マイクロブレインチップによる制御でミリメートルサイズの6脚ロボットの歩行に成功した。しかし、現在のマイクロロボットは単一の歩容しかできず環境に適した歩行ができていない。これまでに出力パターンの切り替えにより歩容を切り替えるハードウェアニューラルネットワーク(Hardware Neural Networks:以降HNN略記)モデルを開発し、シミュレーションによって異なる歩容が出力されるのを確認した。

本論文では、開発した出力パターンの切り替えが可能なHNNモデルを集積化したチップの測定結果と、シミュレーション結果を比較した。さらに、このICチップを利用することで6脚マイクロロボットの歩容が変化可能か検討をおこなったので報告する。

### 2. HNNの構成要素

Figure 1に今回開発したHNNモデルの構成要素を示す。Figure 1(a)は細胞体モデルであり生物の細胞体のように閾値、不応期といった基本特性をもつ。また発振

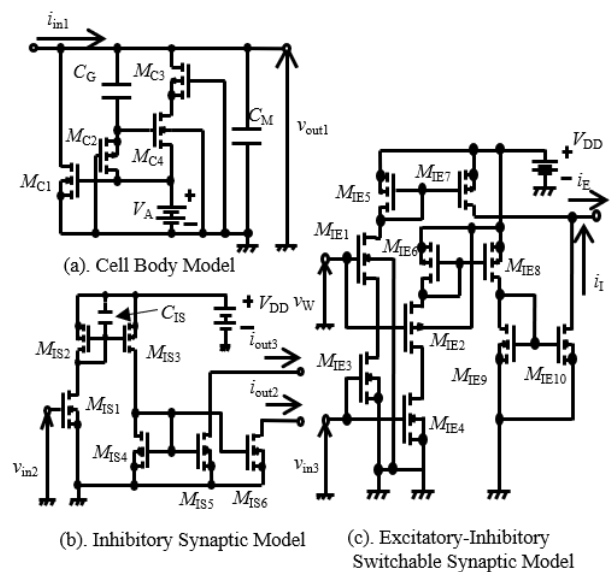


Figure 1. Component of micro brain chip

周期は  $C_G$ ,  $C_M$  に依存する。Figure 1(b)は抑制性シナプスモデルであり細胞体モデルの発振を抑制する。Figure 1(c)は興奮抑制シナプスモデルであり細胞体モデルの発振を制御する。また結合強度  $v_w$  を変化させることで、 $v_w = 1.0$  [V]以上の時は興奮性シナプスモデル作用し、 $v_w = 1.0$  [V]以下の時は抑制性シナプスモデルとして作用する。

### 3. 6脚マイクロロボットの歩容変化が可能なマイクロブレインチップ

Figure 2に今回測定した(a)マイクロブレインチップの回路図と実際の(b)ICチップを示す。6脚マイクロロボット駆動用マイクロブレインチップは6個の細胞体モデル、10個の抑制性シナプスモデル、2個の興奮抑制シナプスモデルで構成されている。ICのペアチップは縦2.5 [mm], 横2.5 [mm]である。Figure 3(a)はシミュ

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

**Table 1.** Relationship between Gait Pattern and synaptic weight  $v_w$

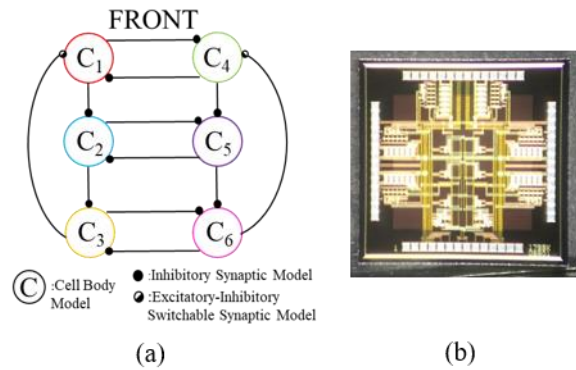
(a). Simulation result

$v_w$	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.0	-1.5	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5	-4.0
Gait	T	T	T	T	T	T	T	U	U	U	U	R	R	R	R	R	R

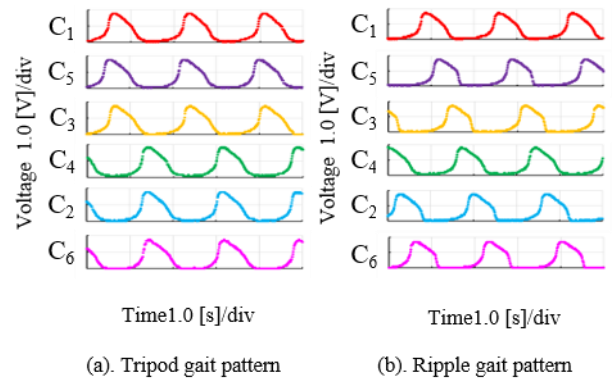
(b). IC Chip

$v_w$	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.0	-1.5	-2.0	-2.5	-3.0	-3.5	-4.0
Gait	T	T	T	T	T	T	R	U	U	U	R	R	R	R	R	R	R

T: Tripod gait pattern      R: Ripple gait pattern      U: Unstable

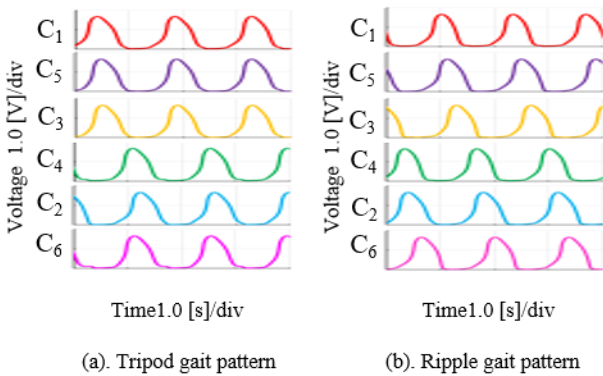


**Figure 2.** (a) Circuit diagram of HNN with switchable gait pattern (b) IC Chip



**Figure 4.** Output waveforms of micro brain chip

出力波形が生成された. Figure 4 に  $v_w = -3.0$  [V],  $3.0$  [V] における測定したリップル歩容とトライポット歩容の出力波形の一例を示す. Figure 3 と Figure 4 を比較し同様の歩容の出力波形がみられることが分かった.



**Figure 3.** Output waveform in Simulation

レーションにおけるトライポット歩容, (b)はリップル歩容の出力波形の一例を示す. 興奮抑制シナプスモデルの  $v_w = 3.0$  [V]を印加するとトライポット歩容の出力波形を示す. また,  $v_w = -3.0$  [V]を印加するとリップル歩容の出力波形を示す.

#### 4. ICチップの測定結果

Table 1 にマイクロブレインチップのシミュレーション結果と ICチップの測定結果を示す. シミュレーションの場合は  $v_w = 4.0$  [V] ~  $1.0$  [V]はトライポット歩容,  $v_w = -1.5$  [V] ~  $-4.0$  [V]はリップル歩容の出力波形を示した. ICチップの場合は  $v_w = 4.0$  [V] ~  $1.5$  [V]はトライポット歩容,  $v_w = 1.0$  [V],  $v_w = -1.0$  [V] ~  $-4.0$  [V]はリップル歩容の出力波形が生成された. ICチップの場合はシミュレーションと比較し安定してリップル歩容の

#### 5. 結論

本論文ではシミュレーション結果と作製した ICチップの測定の測定結果の比較をおこなった. その結果 ICチップでもシミュレーション結果と同様な  $v_w$  においてトライポット歩容とリップル歩容の出力波形がみられた. これにより歩容変化可能なマイクロロボットの作製が可能である.

今後は今回作製した ICチップをマイクロロボットに搭載し, 歩行実験をおこなう予定である.

#### 6. 参考文献

- [1] Ken Saito, Akihiro Matsuda, Katsutoshi Saeki, Fumio Uchikoba, and Yoshifumi Sekine, "Synchronization of Coupled Pulse-Type Hardware Neuron Models for CPG Model" The Relevance of the Time Domain to Neural Network Models, pp.117-133, 2011.
- [2] M. Ohara, M Kurosawa, T Sasaki et al., "Development of Hardware Neural Networks IC with Switchable Gait Pattern for Insect-Type Microrobot", 2019 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), Paris, France, pp.663-668, 2019.