# ニューロ回路を実装した四足歩行ロボット

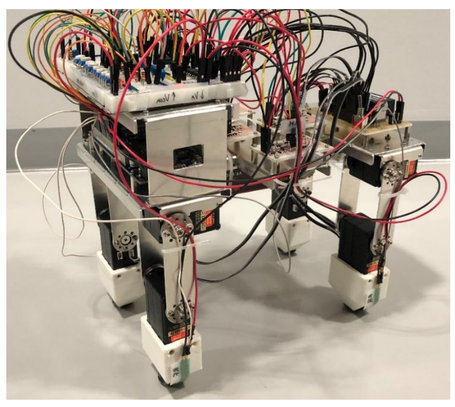
理工学部　精密機械工学科　助教　金子美泉、准教授　齊藤健、教授　内木場文男

## 研究背景

◇動物のように歩行するロボットの実現

動物は歩行運動を脳ではなく脊髄で生成しており、そのパターン”歩容”を切り替えることで効率よく移動が可能

⇨ 脊髄のニューロンを模倣しロボットに搭載することで歩容を能動的に生成する4足歩行ロボットを開発



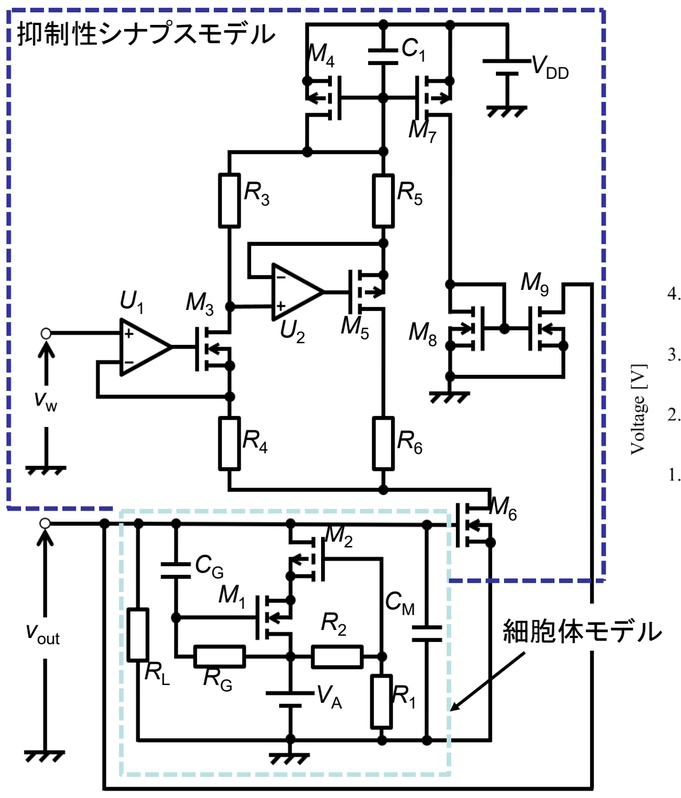
動物のように歩行するニューロロボット

◇研究目的

- ニューロ回路により能動的に歩容を生成する4足歩行ロボットシステムの開発
  - ニューロンの機能を模倣したニューロ回路を利用することで歩行運動を生成するシステムを構築
  - 感覚器として足先の圧力センサを用いる
  - 搭載したニューロ回路間は結合せず、ロボットの身体を通した各足先にかかる圧力差を利用する

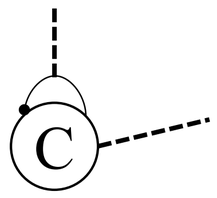
## ニューロ回路

◇基本構成要素

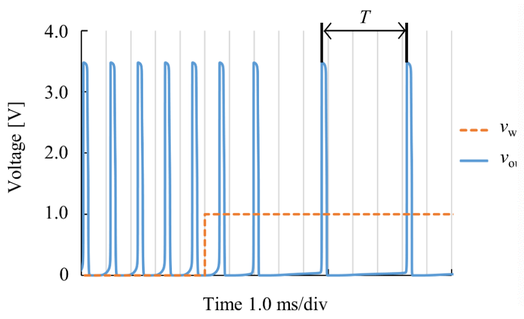



ニューロ回路

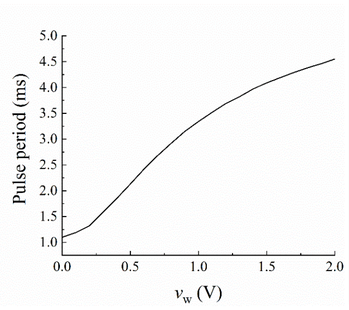
抑制性シナプスモデル：パルス生成を抑制




細胞体モデル：
周期的にパルスを生成




ニューロ回路の出力波形



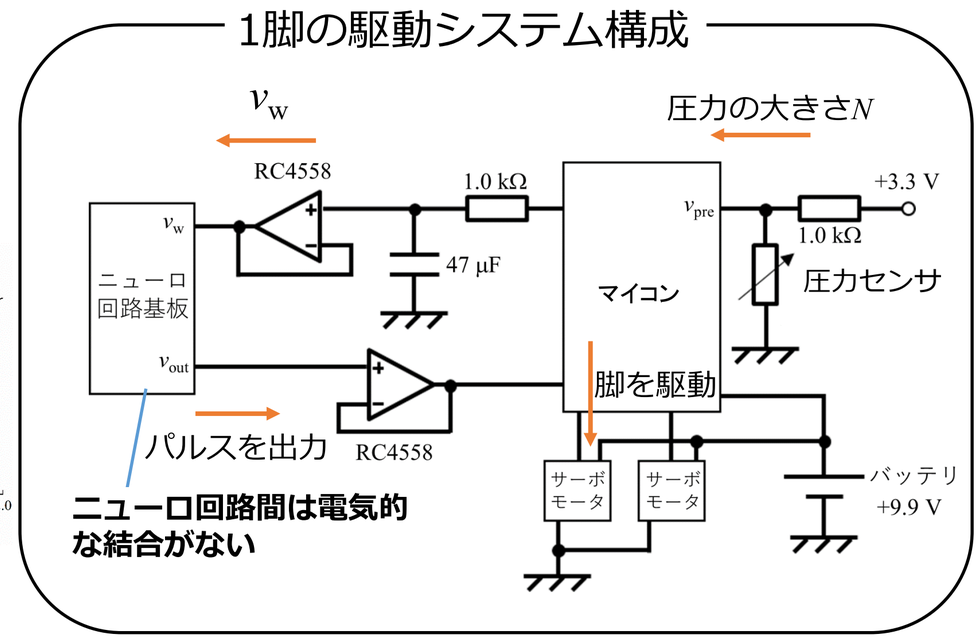

パルス周期の変化

シナプス荷重コントロール電圧$v_w$に応じてパルスの生成を抑制

⇩

パルス周期$T$が延長

◇脚部の構成



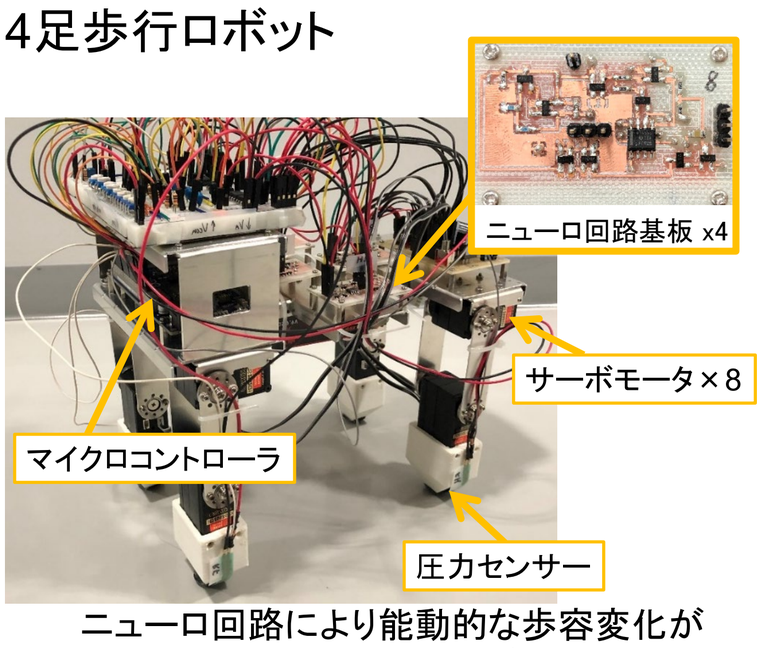

・圧力の大きさに応じて電圧$v_w$をニューロ回路に印加

・パルスが入力される度、一定角度サーボモータの角度を変更

同様に4脚の駆動システムをロボットに実装

## ロボットへの実装

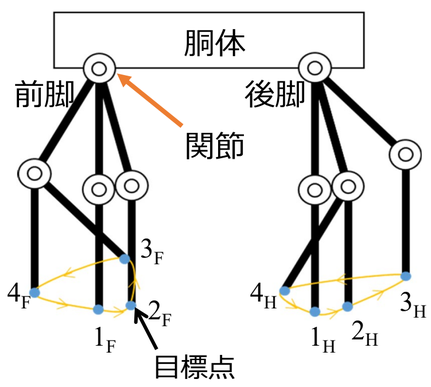
◇歩容を能動的に生成する4足歩行ロボット

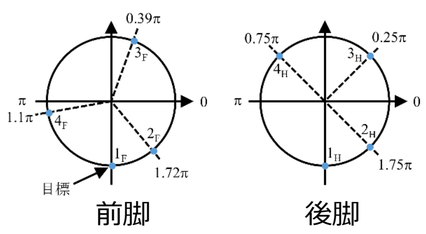



ニューロ回路により能動的な歩容変化が可能な4足歩行ロボット

**歩容生成メカニズム**

- 足先の圧力に応じて脚を振る速度を変化
- 各脚は独立して制御
- 各脚は2つの関節からなり軌道は固定
- 4つの目標点に向って駆動し軌道を生成




各目標点の位相

**脚を振る速度の式**

$$v_i\,[°/\mathrm{s}] = \frac{\theta[°]}{N_i \cdot \sigma \cdot f_{\mathrm{nc}} + T_0[\mathrm{s}]}$$

$$v_{wi} = N_i \cdot \sigma$$

・パルスが入力されるたびに一定角度$\theta$位相を進める(脚を駆動する)

・圧力センサからの入力$N_i$により$v_w$が変化

⇩

パルス周期が変化

⇩

時間あたりの脚を振る角度＝速度が変化

**動物のような歩容を能動的に発現**

## まとめおよび期待される応用分野・用途

- ニューロ回路を利用し、足先の圧力に応じて脚を振る速度を変化する四足歩行ロボットシステムを開発し、歩行実験により能動的に歩容を生成することを明らかにした
- 将来的に動物のような自律行動が可能なロボットの開発や、動物が歩行運動を生成するメカニズムの解明が期待できる

自主創造 日本大学 NIHON UNIVERSITY

日本大学産官学連携知財センター（NUBIC）

〒102-8275　東京都千代田区九段南4-8-24　日本大学会館
Tel: 03-5275-8139　Fax: 03-5275-8328　E-mail: nubic@nihon-u.ac.jp　http://www.nubic.jp

# マイクロ脊髄チップとロボットへの活用

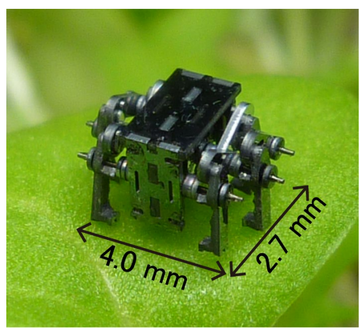
理工学部　精密機械工学科　助教　金子美泉、准教授　齊藤健、教授　内木場文男

## 研究背景

◇柔軟さをもつロボットの実現

ロボットの活躍の場が増えた中、より柔軟な制御や機構を備えたロボットが必要となる

⇒ 生物のすぐれた機能に着目した“バイオミメティクスロボット”を開発することで柔軟さを実現




昆虫の歩行を模倣したマイクロロボット

◇研究目的

- 生物の脊髄反応を模倣した小型回路を開発
  - 人工ニューラルネットワークをアナログ回路でモデル化することでIC化
- 昆虫サイズで歩行動作を可能とするマイクロロボットの開発
  - シリコン微細加工技術により機械部品・機構を小型化

## マイクロ脊髄チップ

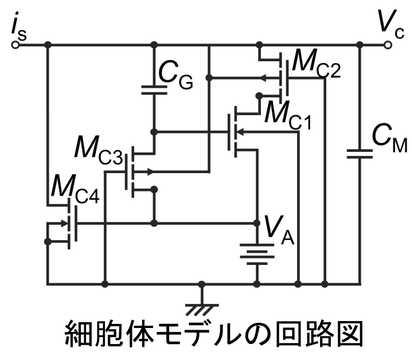
◇生物における脊髄の働き

- 脳とは独立して感覚を受けとり反射運動のために信号を発する
- 脳への信号伝達を行う

⇒ IC化することで運動を促す電気パルスのリズム発生を連続的に行う制御システムの小型化

◇基本構成要素

細胞体モデル

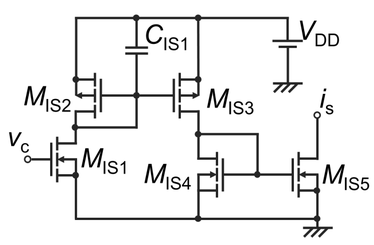



細胞体モデルの回路図

生物の細胞体と同様に発振し、パルス波形を出力する

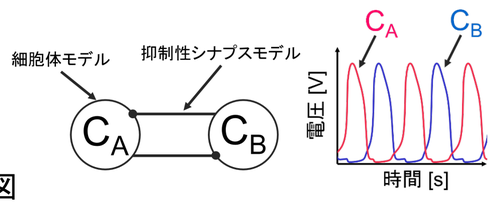
細胞体の特徴である不応期、閾値、活動電位をもつ

抑制性シナプスモデル

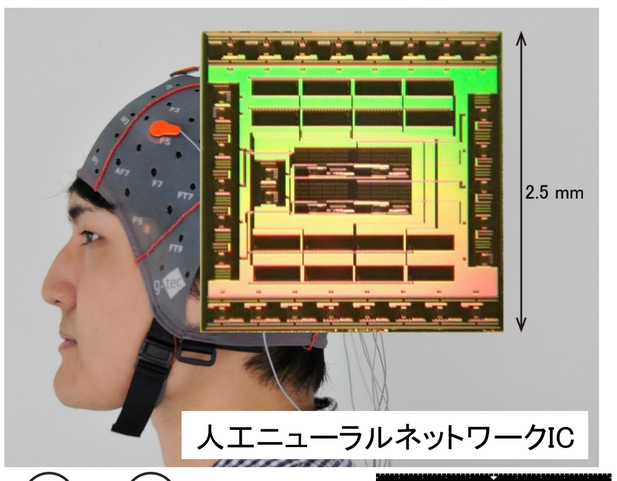


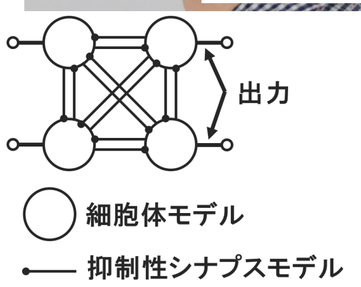

抑制性シナプスモデルの回路図

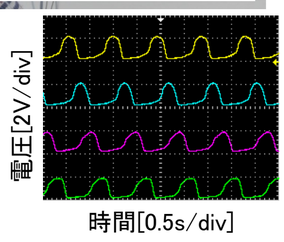
細胞体モデルを相互結合すると逆相同期現象を示す




◇CPGモデル



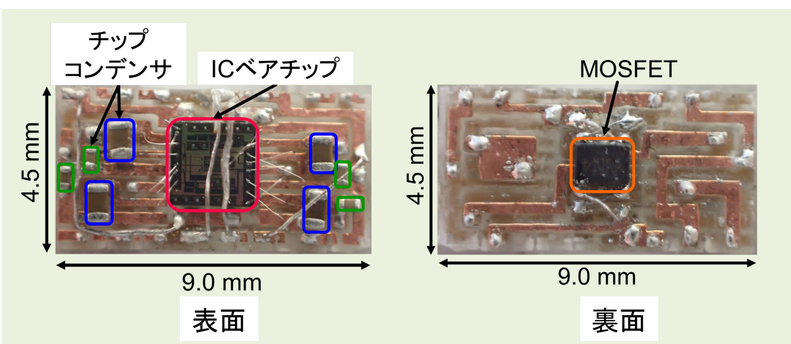



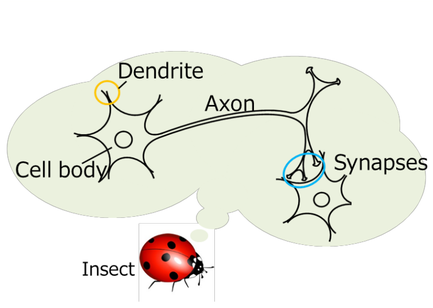

CPGモデルの出力例

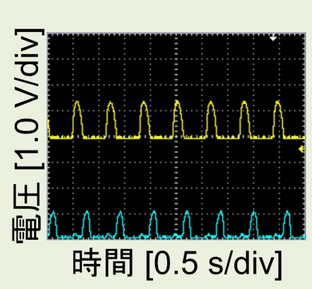
**4つの細胞体モデルと16の抑制性シナプスモデルを相互結合**

◇ロボット搭載回路




マイクロ脊髄チップを搭載したマイクロロボット用制御回路



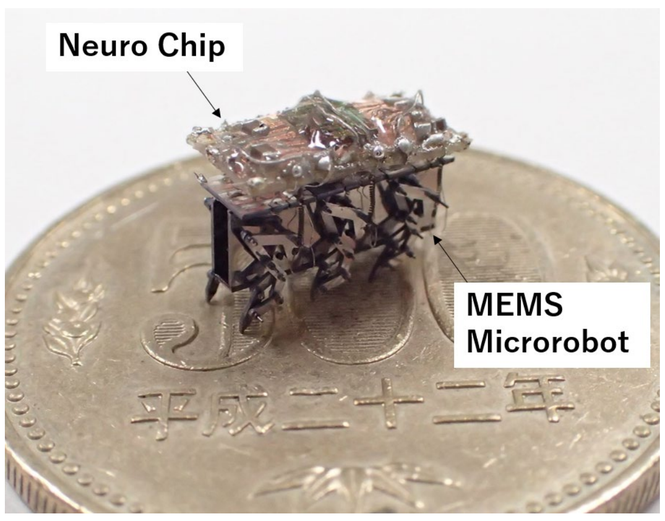




搭載回路の出力例

**マイクロロボットの歩行生成のための波形を出力**

## ロボットへの活用

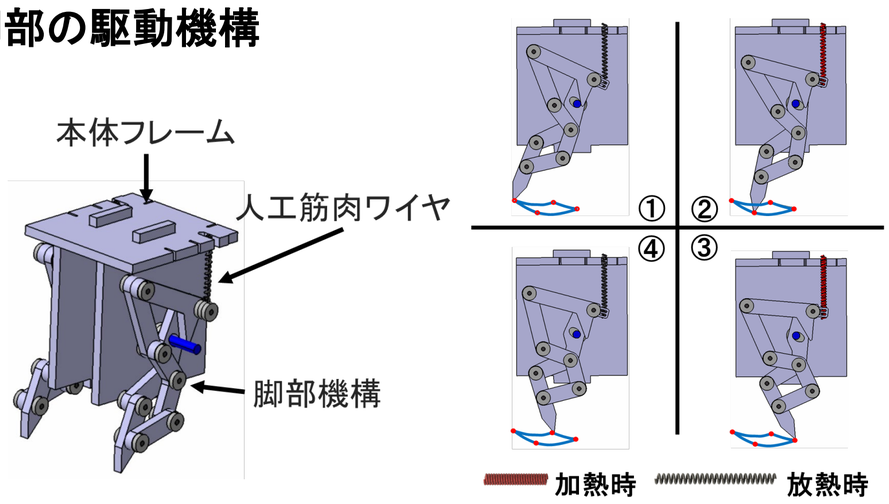
◇マイクロ脊髄チップを搭載したマイクロロボット




マイクロ脊髄チップを搭載した昆虫型マイクロロボット

- シリコン微細加工技術による小型機械部品の作製
- 人工筋肉ワイヤ(形状記憶合金アクチュエータ)とリンク機構を用いた脚部の駆動
- 生物の脊髄反応を模倣したマイクロ脊髄チップによる歩行制御
- 体長：9.0mm（長さ）、4.6mm（幅）6.4mm（高さ）
- 重量：162mg

**脚部の駆動機構**




マイクロロボットの脚部モデルと駆動模式図

常に3本接地するように逆相同期で歩行動作を制御

## まとめおよび期待される応用分野・用途

- **脊髄の働きをアナログ回路でモデル化しIC化することで、機構・制御において生物を模倣したロボットを開発した**
- ロボットの運動生成に関してプロセッサにより集中制御を行っている部分をマイクロ脊髄チップで代替可能となる
- ロボットの小型化が制御回路と合わせて実現することで、作業困難な空間での活用が可能となる
- 生物群の利用による資源収集といった新たな産業への活用が期待できる

自主創造 日本大学 NIHON UNIVERSITY

日本大学産官学連携知財センター（NUBIC）

〒102-8275　東京都千代田区九段南4-8-24　日本大学会館
Tel: 03-5275-8139　Fax: 03-5275-8328　E-mail: nubic@nihon-u.ac.jp　http://www.nubic.jp

Nubic