

## ニューラルネットワークを用いた歩行ロボットの作製に対する一検討

### A Study on Making a Walking Robot Using Neural Network

○武田海希<sup>1</sup>, 佐々木芳樹<sup>2</sup>

\*Minagi Takeda<sup>1</sup>, Yoshiki Sasaki<sup>2</sup>

The purpose of this paper is to develop a quadruped robot using CPG (Central Pattern Generator) to cope with the declining workforce due to the super low birthrate and aging population. We improved the existing leg control network, fabricated actual robot legs using 3D CAD, and confirmed their operation. As a result, we report that we confirmed that the robot legs we created this time are within the range of normal operation in terms of mimicking human walking behavior.

#### 1. まえがき

近年、脳や感覚入力から独立して歩行や呼吸などのパターンを生成する神経回路網 Central Pattern Generator (以下 CPG) を用いた歩行ロボットの研究が進んでいる[1]. しかし、生成された歩行パターンをロボットの歩行動作に変換する際、生体における筋繊維の動作については考慮されていない. 一方で、歩行パターンは制御信号なくロボットの脚機構のみで発現することが可能であることが知られており、速度に応じた歩行パターンの遷移を実現することが可能である.

先に我々は、脚制御ネットワークとして、筋繊維制御ニューラルネットワークを提案している[2]. しかし、筋繊維制御ニューラルネットワークにより制御可能な屈筋および伸筋を有するロボットに対する検討が十分に行われていなかった.

本稿では、筋繊維制御ニューラルネットワークを用いた4脚歩行ロボットを実現することを目的に、大腿部および下腿部の動作をそれぞれ独立した屈筋及び伸筋で制御可能なロボット構成について検討を行い、実機による動作確認を行ったので報告する.

#### 2. 本論

図1に、提案するロボットの脚の模式図を示す. 同図は、人間の脚を参考に設計したものであり、4個のDCモーター、4個のボビン、および筋肉に見立てた4本の糸で構成している. 生体における歩行に必要な筋肉は、大腿部と下腿部それぞれの屈筋と伸筋であり、それらの筋肉が収縮と弛緩をすることで歩行パターンを生成する構成である. そのため、サーボモーターなど回転角度を指定可能なモーターを使用せず、同図に示すようにモーターに取り付けたボビンにより糸を巻き取る方式をとることで、人体の脚における筋肉の収縮と同様の動作を行う構成とした.

また、DCモーターへのエネルギー供給を停止することで、筋肉の弛緩と同様の動作を行うことが可能である. また、DCモーターをニューラルネットワークの出力電圧で制御するため、MOSFETをスイッチとして使用した. なお、ボビンはモーター軸の直径を広げる役割を持ち、糸の巻取り長さを少ない回転数で実現するために用いた. また、モーターに対し糸が絡まらないようガイドとして設計した.

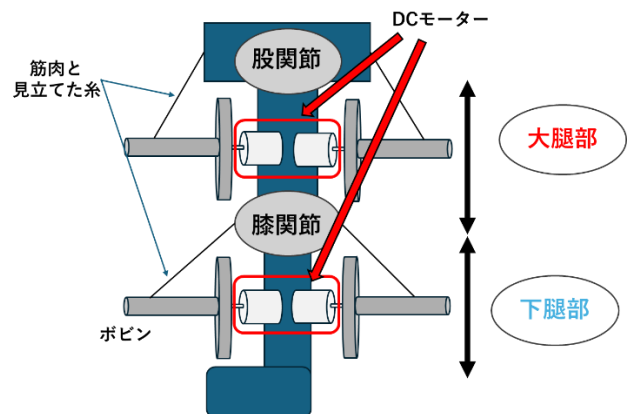


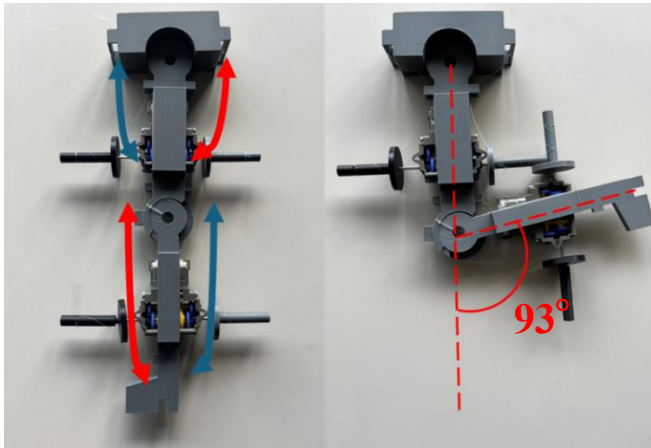
図1 提案するロボットの脚の模式図

図2に試作したロボット脚を示す. 同図(a)は腰関節および膝関節の両方の屈筋及び伸筋を弛緩させた状態を、同図(b)は膝関節の屈筋のみを収縮させた状態を示す. 膝関節の動作可動域は屈曲が $93^\circ$ となり、伸展は $0^\circ$ となる. これは、人間の歩行時における膝関節の屈曲角度の最大値である $61.2^\circ$  [3]に対し、歩行時のひざ関節として正常に動作する条件を満たしていることを示している.

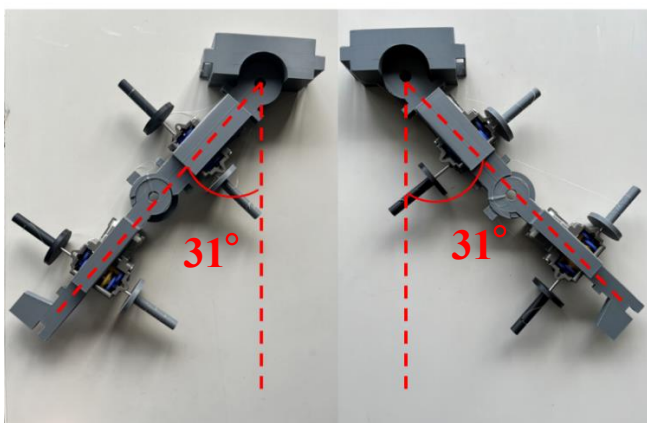
図3に、試作したロボット脚を示す. 同図(a)は屈筋を収縮させた状態を、同図(b)は伸筋を収縮させた状態を示す. 同図に示すとおり、股関節の動作可動域は屈曲と伸展でそれぞれ $31^\circ$ となる. これは、人間の歩行時における股関節の屈曲の最大が $30.13^\circ$  [4], 伸展の最大が $18.86^\circ$  [4]であるのに対し、歩行時の

1 : 日大理工・学部・電子 2 : 日大理工・教員・電子

股関節として正常に動作する条件を満たしていることを示している。また、四足歩行ロボットを動作させることを想定し、モーターに1.5Vの電圧をかけたとき1秒間の回転数について検討を行った。検討方法として、モーターの先端にしるしをつけ、動画撮影したものを確認した。その結果、1秒間あたりのモーター回転数は8回であった。所望の膝角度になるために必要なモーターの回転数を3回とすると、膝関節が変動完了するまでに要する時間は375msである。また、股関節を所望の角度にするために必要なモーターの回転数が2回であることから、股関節が変動を完了するまでに要する時間は250msである。これは、走行状態の最大移動速度に必要な時間である1500msを十分に満たすことが分かる。



(a) 弛緩動作 (b) 収縮動作  
図2 膝関節を曲げた時のロボットの脚



(a) 屈筋:収縮, 伸筋:弛緩 (b) 屈筋:弛緩, 伸筋:収縮  
図3 股関節を曲げた時のロボットの脚

図4に、MOSFETのゲート電圧に対するモーターに供給される電流の特性を示す。同図において、横軸はゲート電圧を、縦軸は電流を示す。測定条件として、MOSFETには2N7000を、モーター用電源として1.5V

電池2つを直列にした3Vを、ニューラルネットワークの出力として直流安定化電源電圧 $V_{gs}$ を使用した。同図に示すとおり、 $V_{gs}=4.7V$ を境にモーターに対し電流が供給されることがわかる。ICチップの電源は1.8Vを想定していることから、ICチップの出力電圧では今回必要となるゲート電圧を満たさないことがわかる。そのため、ニューラルネットワークの出力に対し、外部回路として電圧補償回路を実装する必要がある。

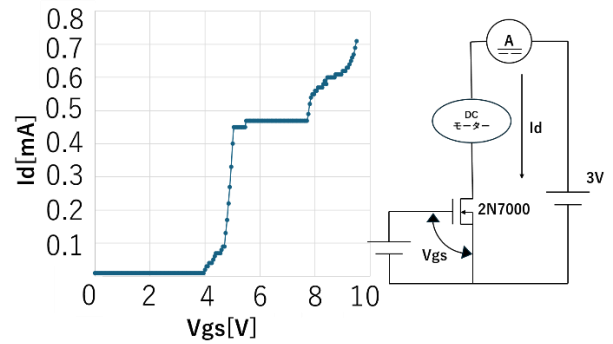


図4 ニューロンとモーターを接続する回路

### 3. まとめ

今回、筋繊維制御ニューラルネットワークを用いた4脚歩行ロボットを実現することを目的に、3DCADを用いて実機を作製し、その動作確認を行った。その結果、今回作製したロボットの脚は、生体における歩行動作の範囲に対して正常に動作する条件を満たしていることを示した。今後は先述したモーターの問題点の改善とICチップの作成を進め、4脚歩行ロボットを動作させる予定である。

### 参考文献

- [1] 孫悠洛, 鎌野琢也, 安野卓, 鈴木茂行, 原田寛信: 「モータ動特性を考慮したCPGネットワークによる4脚ロボットの歩行動作の生成」, IEEJ Trans. EIS, VoL.124, No.10, 2004
- [2] 竹内佑樹, 佐々木芳樹: 「筋繊維制御ニューラルネットワークを用いた四足歩行ロボットに対する一検討」, 令和5年度 日本大学理工学部 学術講演会予稿集, pp.689-690, 2023.
- [3] 山本洋之, 原田泰義: 「歩行立脚期の膝関節角度変化の多様性について」 理学療法科学第26巻2号 pp.269-273, 2011
- [4] 虎岩太郎, 来間弘展: 「股関節内外旋誘導バンド装着中の歩行時股関節角度の検討」 日保学誌 VoL.25 No.1, 2022