

二足歩行ロボットのためのセンサフィードバック信号を用いた CPG モデルの IC 化 IC Implementation of CPG Model Using Sensor Feedback Signal for Bipedal Robot

○坂田将哉¹, 竹前諒也¹, 佐伯勝敏²

*Masaya Sakata¹, Ryouya Takemae¹, Katsutoshi Saeki²

Abstract: CPG (Central Pattern Generator) is a rhythm pattern generator present in the central nervous system in the spinal cord. It is thought that the walking pattern of living organisms is unconsciously controlled by the CPG. The CPG also obtains external environmental information using feedback signals from sensory nerves and vision. It is possible to autonomously select the optimal walking rhythm. In this paper, we report the measurement results of the circuit of a bipedal robot that can control walking using IC-based visual feedback signals. From experimental results, are shown that motion control is possible with sensor feedback signals.

1. まえがき

CPG(Central Pattern Generator)は、脊髄内の中枢神経に存在するリズムパターン生成器である。生物の歩行パターンは、この CPG によって無意識のうちに制御されていると考えられている。また、CPG は、感覚神経や視覚からのフィードバック信号を用いて外部の環境情報を取得し、最適な歩行リズムを自律的に選択することが可能である^{[1][2]}。

本論文では、視覚からのフィードバック信号により歩行運動制御が可能な CPG モデルを IC 化し、動作検証を行った。

2. 本論

図1に今回提案する CPG モデルにより制御可能なロボットの制御システム図を示す。同図は圧力センサおよび光電センサのフィードバック信号により歩行動作制御が可能な回路であり、歩行リズム生成回路、遊脚切り替え回路^[3]、圧力センサフィードバック信号生成回路^[3]、歩行動作開始回路^[4]、両足接地回路^[4]、光電センサ用レベルシフト回路^[4]で構成している。図中において、ロボット脚足裏に装着した圧力センサは、脚の遊脚、接地を判別する役割を担っており、圧力の増加に伴い抵抗値が減少する。またロボット前部に装着した光電センサは、障害物を検知する役割を担っており、赤外線放射部と赤外線受信部を有している。障害物に近づくと放射部で放射された赤外線が反射し受信部で受信する赤外線の量が変化する。受信する赤外線量の変化に伴い、電気的信号を出力する。光電センサによって出力された電気信号を、光電センサ用レベルシフト回路によって、IC チップに入力するのに適した電圧に変換する。圧力センサと基準抵抗で構成した分圧回

路およびボルテージフォロワ回路で構築した圧力センサフィードバック信号生成回路^[3]によって生成したフィードバック信号 V_{sig} と、光電センサ用レベルシフト回路^[4]により出力されるフィードバック信号 V_{feed} を歩行リズム生成回路、歩行動作開始回路、両足接地回路に入力する。 V_{sig} は圧力センサの抵抗値が低下すると大きくなり、抵抗値が増加すると小さくなる。 V_{feed} は障害物がないときは HIGH、障害物を検知すると LOW となる。図中の歩行リズム生成回路は歩行のリズムを生成する回路であり、 V_{sig} 、 V_{feed} により制御する。図中の遊脚切り替え回路^[3]は、遊脚状態の脚を交互に切り替える。図中の歩行動作開始回路^[4]は、歩行のトリガーとなる信号を生成する回路であり、その出力は右足を制御する信号の出力部分に接続した。本回路は、物体を検知していない状態で、両足が接地状態にあるときに動作し、右足を遊脚状態へと切り替える。図中の両足接地回路^[4]は、片足が遊脚状態で物体を検知したときに、急停止せず、両足が接地した状態まで動作を行ってから停止させるための回路である。 $V_{feed}=LOW$ 、 $V_{sig}=HIGH$ で動作する。

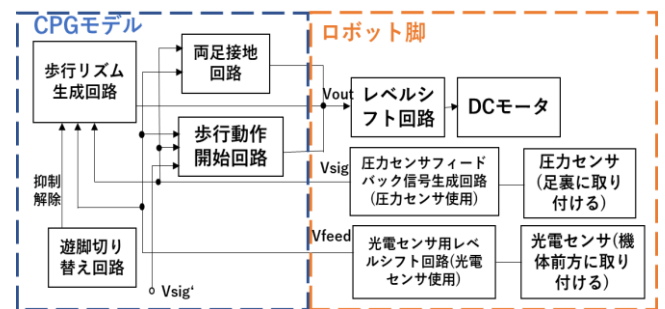


図1 制御システム

図1に示した CPG モデルを、ROHM 0.18 μ m CMOS

1 : 日大理工・院(前)・電子, 2 : 日大理工・教員・電子

デザインルールを用いて集積化し、動作検証を行った。

図2に、抑制されていない場合の歩行リズム生成回路内の細胞体モデルの出力 V_{neuron} を示す。 $V_{\text{feed}}=\text{HIGH}$, $V_{\text{sig}}=\text{LOW}$ の場合、細胞体モデルは抑制されておらず発火波形を示す。以上の結果は、集積化した歩行リズム生成回路が正常に動作することを示している。

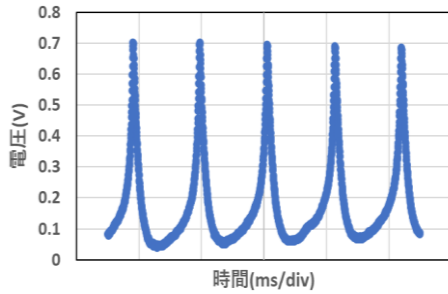


図2 抑制されていない場合の歩行リズム生成回路の測定結果

図3に、抑制された場合の歩行リズム生成回路内の細胞体モデルの出力 V_{neuron} を示す。図中に、 $V_{\text{feed}}=\text{HIGH}$, $V_{\text{sig}}=\text{HIGH}$ および、 $V_{\text{feed}}=\text{LOW}$, $V_{\text{sig}}=\text{LOW}$ の場合の波形を示している。細胞体モデルの出力信号は抑制され、0Vを示している。以上の結果は、集積化した歩行リズム生成回路が、 V_{sig} , V_{feed} により制御可能であることを示している。

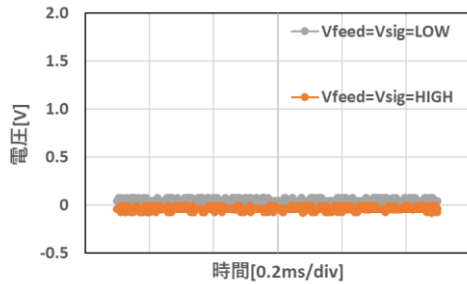


図3 抑制された場合の歩行リズム生成回路の測定結果

図4に、両足接地回路の測定結果を示す。図5に示す波形は、両足接地回路内部の細胞体モデルの出力波形である。 $V_{\text{feed}}=\text{LOW}$, $V_{\text{sig}}=\text{LOW}$ の場合、両足接地回路内部の細胞体モデルの出力は、発火波形を示している。また、上記以外の条件下では信号は出力されない。以上の結果は、片足が遊脚状態で物体を検知した場合、急停止せず、両足が接地した状態まで動作を行ってから停止させることが可能であることを示している。

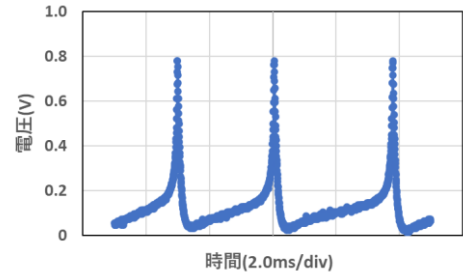


図4 両足接地回路の測定結果

図5に、歩行動作を想定した V_{sig} , V_{sig}' を入力した場合の CPG 回路の出力 V_{out} を示す。 V_{sig} , V_{sig}' は、周波数 1Hz, 波高値は 1.5V である。 $V_{\text{sig}}=\text{LOW}$ で $V_{\text{out}}=\text{HIGH}$, $V_{\text{sig}}=\text{HIGH}$ で $V_{\text{out}}=\text{LOW}$ を示している。以上の結果は、細胞体の発火信号に応じたパルス波形を生成可能であることを示している。

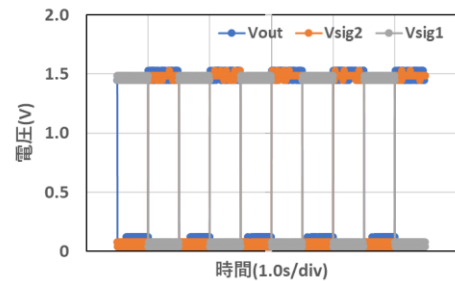


図5 CPG の出力波形

3. まとめ

今回、視覚からのフィードバック信号により歩行運動制御が可能な CPG モデルを IC 化し、動作検証を行った。その結果、センサフィードバック信号により動作制御が可能であることを明らかにした。

今後は、ロボットに IC を搭載し、歩行動作を確認する予定である。

4. 参考文献

- [1] 高草木薫:「歩行の神経機構 Review」,Brain Medical,19 巻4号 307-315(メディカルレビュー社)
- [2] 伊藤宏司:「歩行運動とリズム生成」,日本ロボット誌,Vol.11, No.3,pp.320-325,1993.
- [3] 鈴木克典, 佐々木芳樹, 佐伯勝敏:「二足歩行ロボットのためのフィードバック信号を用いた CPG モデルの IC 化」,電気学会電子回路研究会資料 ECT-21-073, pp.37-42,2021.
- [4] 坂田将哉, 竹前諒也, 佐伯勝敏, 佐々木芳樹:「歩行リズム生成回路とフィードバック信号を用いた歩行制御回路で構成した CPG モデル」,電気学会電子回路研究会,ECT-23-023, pp.45-50,2023.