

テオ・ヤンセン機構ロボットのための
歩容切り替え可能なハードウェア CPG モデルに対する一検討
A Study on Hardware CPG Model with Switchable Gait Pattern
for Quadrupedal Robot with Theo Jansen Mechanism

○竹前諒也¹, 鈴木克典², 佐々木芳樹³, 佐伯勝敏³

*Ryoya Takemae¹, Katsunori Suzuki², Yoshiaki Sasaki³, Katsutoshi Saeki³

Abstract: In this paper, we propose gait pattern switching circuit for the CPG model. As a result, it is shown that four different gait patterns reproduce using the switching circuit. Furthermore, we construct bipod for a quadruped robot using the Theo Jansen mechanism which is one of the linkage mechanisms.

1. まえがき

生物の歩行や遊泳、飛行等といった基本的なリズム運動は、生体の脊髄部に存在する CPG(Central Pattern Generator)という神経回路網によって制御されていると考えられている^[1]。CPG を回路的に模倣することで、地面の状態に合わせて様々な歩容を選択し移動する機能を有したロボットを作製することが期待されている。

先に我々は、CPG モデルの構成要素として介在細胞集団モデルを提案した^[2]。本論文では、介在細胞集団モデルを用いて四足歩行動物の歩行を想定したハードウェア CPG モデルのシミュレーションを行い、4種類の歩容を切り替え可能な回路について検討を行った。次に、本モデルを搭載する四足歩行ロボットの脚部を作製し、動作確認を行ったので報告する。

2. 本論

図1に、ハードウェア CPG モデルの構成図を示す。図中の白円は介在細胞集団モデルであり、白円内の LF, RF, RH, LH はそれぞれ四足歩行の左前脚, 右前脚, 右後脚, 左後脚に対応している。また黒点は抑制性シナプスモデルを示している。各脚の介在細胞集団モデルを抑制結合することで、対応する各歩容が生成される。

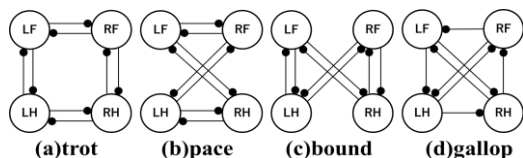


図1 各歩容における CPG モデルの構成図

図2に、今回提案する介在細胞集団モデル一段分の回路図を示す。同図は、CMOS プロセス 0.18 μ m デザインルールを用い設計したもので、細胞体モデルとシナ

プスモデルによって構成している。今回、介在細胞集団モデルの段数は9段としており、2段目の二重インバータ部 Vout から信号を出力している。図中、電源電圧は、Vdd1=1.8V, Vdd2=0.5V とした。また、MOSFET の素子値としてアスペクト比 W/L を、Mn1~3=2.8, Mn13~15=2.8, Mp1, 2=2.8, Mp7~9=2.8, Mn4~7=5.6, Mn8~10, Mp4=0.55, Mn11=1, Mn12=50, Mp3=0.28, Mp5, 6=0.22, Mp10=0.1 とした。初段の細胞体モデルは自励振、2段目以降の細胞体モデルは他励振とし、最終段と初段は抑制性シナプスモデルを用いて接続した。図中上部では、自励振細胞体モデルの発火波形が積分部によって立ち下がり時間を引き延ばし、二重インバータに入力する。その後興奮性シナプスモデルが動作を始め、次段の他励振細胞体モデルへ電流を供給して発火を促す。図中下部の Vin1, Vin2 には、図1に示した歩容に基づき他脚の介在細胞集団モデルから出力信号をそれぞれ入力する。Vin1 もしくは Vin2 を入力することで介在細胞集団モデルの動作を止める。これにより介在細胞集団モデル同士で歩行パターンに基づいた抑制を行い、歩容を生成する。

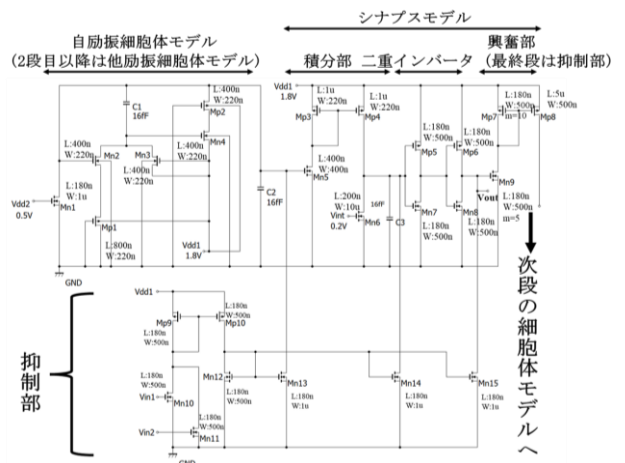


図2 介在細胞集団モデル(一段分)

1 : 日大理工・学部・電子, 2 : 日大理工・院(前)・電子, 3 : 日大理工・教員・電子

図3に、介在細胞集団モデルとインバータを用いた歩容切り替え回路を示す。MOSFETの素子値として、アスペクト比 W/L はいずれも5.6とした。各インバータは他脚の介在細胞集団モデルの入力 V_{in1} , V_{in2} に接続されている。trot, pace, bound, gallopのうち、生成したい歩容に応じて図中のピン V_{tt} , V_{pc} , V_{bd} , V_{gp} の入力電圧を変化させる。生成したい歩容のピンに0Vを、それ以外のピンに1.8Vを入力することで、0Vを入力したピンのインバータのみが動作し、任意の歩容の生成が可能である。

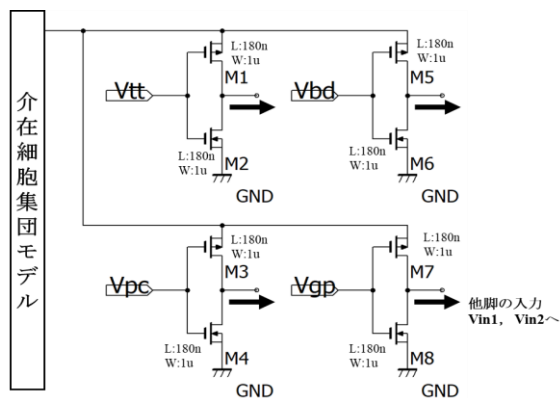


図3 歩容切り替え回路

図4に、一例としてgallopの歩容を生成した波形を示す。同図の縦軸は電圧を、横軸は時間を示す。同図に示す通り $LF \rightarrow RF \rightarrow RH \rightarrow LH \rightarrow LF \rightarrow \dots$ の順に発振している。これは、本モデルを用いることでgallop歩容を生成可能であることを示している。また、図3中のピンの入力電圧を変えることで、その他の歩容も生成可能である。従って、本モデルにより4種類の歩容の切り替えが可能である。

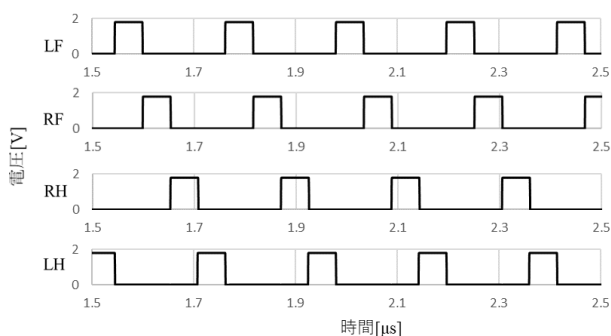


図4 gallopの歩容

図5に、本モデルの制御対象となる四足歩行ロボット脚部の設計図を示す。脚部の接地面が描く軌跡の確認には、シミュレーションソフトのLinkageを用いた。図

中の黒線は歩行動作時の足裏部分の軌跡である。各リンクの長さは、 $a=15\text{mm}$, $b=50\text{mm}$, $c=61.9\text{mm}$, $d=55.8\text{mm}$, $e=40.1\text{mm}$, $f=41.5\text{mm}$, $g=39.4\text{mm}$, $h=39.3\text{mm}$, $i=36.7\text{mm}$, $j=65.7\text{mm}$, $k=49\text{mm}$ とした。同図に示した脚部を実際に3Dプリンタで2足分作製し、地面を蹴る動きを確認した。一方で、接地の際には脚部の動作が不能となり、自重や、動作に必要なトルクが大きかったことが原因と考えられる。

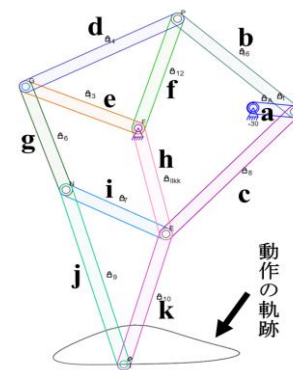


図5 テオ・ヤンセン機構と動作の軌跡

3. まとめ

今回、四足歩行ロボットのためのハードウェアCPGモデルを用いた歩容切り替え回路について検討を行った。その結果、今回提案した回路を用いることで、任意の歩容が出力可能なことを明らかにした。次に、テオ・ヤンセン機構を用いたロボット脚部を作製し、地面を蹴る動作を確認した。

今後はピンの入力電圧を、歩行速度や接地面の状態によって自動的に切り替える機能について検討する予定である。また、実際の歩行に適した動作周期を生成可能な回路構成を検討する予定である。さらに、脚部の各リンク長を調整し動作に必要なトルクを小さくするとともに、胴体部に腰可動機構を追加し、方向転換が可能な構造を作製する予定である。

4. 参考文献

[1] 伊藤宏司 “歩行運動とリズム生成”, 日本ロボット学会誌, Vol.11, No.3, pp.320~325, 1993
 [2] Katsutoshi Saeki, Daisuke Nihei, Tatsuya Tatebe, Yoshifumi Sekine, IC implementation of interstitial cell-based CPG model, An International Journal, Analog Integrated Circuits and Signal Processing, Vol.81, No.3, pp.551-559, June 2014.
 [3] 葛西紘貴, 辻順平, 山内翔 “テオ・ヤンセン機構を持つ生物を模した歩行機械の試作”, 電子情報通信学会技術報告, MVE2014-8, pp.107-108, 2014