

# 仮想物理世界における機械式論理回路を用いた人工生命モデルの開発

情報理工学研究科 学籍番号:1731081 成見研究室 渋谷 峻

## 1 はじめに

既存の人工生命の研究ではコンピュータ上に構築した仮想環境の中で生命モデルを動作させる手法が取られる [1]. 生命モデルの人工知能 (AI) は仮想環境外からプログラムを与えているため, あらかじめ定義した以上の動作が得られることは少ない. しかし現実の生命現象においては, 知能は環境の中にある. 仮想環境内で AI 部分も実装できれば, 環境の影響を受けて AI が進化するなど想定外の動作が得られる可能性がある.

一方で分子ロボティクスという分野では, 分子そのものの性質をプログラミングすることで, 微細なロボットやコンピュータを作り上げようと試みている [2]. 生体内での計算や診断, 治療, 人工細胞構築, 分子メモリなどへの応用が期待されているが, 「分子がどのように反応しているか確認することが難しい」「制御が難しい」「実験に多大な時間が必要」などの問題がある. コンピュータで仮想的に分子を再現することで, 制御や解析が容易にできれば, 研究の発展に繋がる可能性がある.

先行研究では, 機械式論理回路<sup>1</sup>を仮想物理世界の中で動作させ, 動き回る回路が実装された. 機械式論理回路は, 演算機能に加えて情報や力を伝達する配線としても利用できるため, ロボットの構成要素であるセンサ, アクチュエータ, コンピュータ, 構造の機能の全てを論理回路のみで実現することができる. しかし, 人工生命の構成要素として動き回るという1つの機能だけが実装されただけであり, 動作が不安定であるなどの様々な問題があった.

本研究では歩く回路の動作の安定化や, 先行研究で実現されなかったセンサの実装を行う. 次に, 機械式論理回路が多数ある世界を構築し, 独立した回路同士が接続したり分裂することで新しい構造を作るなど, 生命らしい動作を実現する.

## 2 既存研究

神澤らは, Unity で機械式 NAND/AND ゲートを作成した [3]. 立方体型のブロックには入力面と出力面が存在し, 入力面に物理的な接触があると入力のみなし, 入力の結果に伴い出力面からブロックが伸縮する. 入出力面は引っ込んだ状態と引っ張った状態で 0/1 の値を表現する. このブ

<sup>1</sup>機械式論理回路とは電気信号ではなく物理的な接触や力を情報として演算する論理回路である.

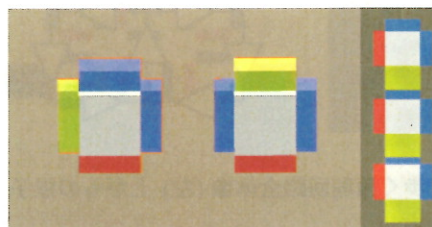


図 1: 配置の異なるゲート (左) ゲート 3 つでできた足 (右)

ロックの出力面と入力面を多数接続することで, 様々な回路を実装できる.

さらに NAND ゲート奇数個からなるリングオシレータを作成し, 足パーツを取り付けることで歩く論理回路を実装した. リングオシレータの動作に合わせて足パーツが上下し, 足パーツが地面を蹴ることで前進する.

組み合わせて動き回る回路を実現したが, 足パーツを別途作成していること, 動作が不安定であるなどの問題がある.

## 3 実現した歩く回路

### 3.1 NAND/AND ゲート

Unity で動作する NAND/AND ゲートを作成した (図 1). 白いブロックの周囲に青い入力面が 2 箇所, NAND の出力を行う赤いブロック, AND の出力を行う黄色いブロックからなる. 入力ブロックに物理的な接触があると 1 を示し, 接触がないときは 0 を示す. 出力ブロックが飛び出すと 1, 引っ込んだとき 0 を示す (表 1).

また, 既存の NAND/AND ゲートは配線するとき必ず 90 度曲げて配置するため, 構造上作れない回路があったが, 図 1 左の配置の異なるゲートを用いることで, 図 1 右のように出力距離を伸ばした回路が作れる. 既存の歩く回路は足パーツを別途作成していたが, 本研究では図 1 右を足とした.

### 3.2 歩く論理回路

作成した NAND/AND ゲートを用いて歩く論理回路を作成した (図 2 左). 6 つのゲートからなるリングオシレータの出力に足を接続する. リングオシレータの回路図は図 2 右となっており, 値の反転を繰り返す.

歩行は次の動作を繰り返して行われる.

1. リングオシレータから出力ブロックが飛び出し足を

表 1: NAND/AND ゲートの真理値表

入力 1(青)	入力 2(青)	NAND(赤)	AND(黄)
0(非接触)	0(非接触)	1(飛び出す)	0(引っ込む)
0(非接触)	1(接触)	1(飛び出す)	0(引っ込む)
1(接触)	0(非接触)	1(飛び出す)	0(引っ込む)
1(接触)	1(接触)	0(引っ込む)	1(飛び出す)

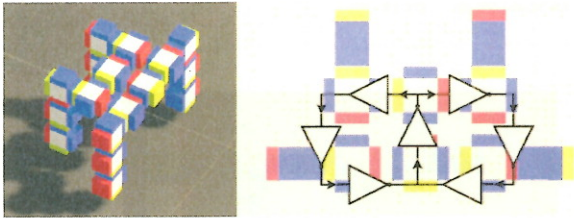


図 2: 作成した歩く論理回路全体像(左) 上からの様子と回路図との対応(右)

押す

2. 接地している足がリングオシレータを押し返し, リングオシレータは出力と逆向きに力がかかる
3. 足が上がるとリングオシレータにかかる力で全体が前進する
4. 足が下りて地面と接触し, 停止する

### 3.3 センサ

先行研究で実装されなかったセンサ機能を RS ラッチを実装することで実現した. RS ラッチは 1 ビットの状態記憶回路で 6 つのゲートを用いて図 3 左のように実装できる. RS ラッチを歩く回路のリングオシレータに取り付けることで障害物と接触したら停止する回路を実現した(図 3 右).

## 4 回路の自動生成

論理回路同士が自然に結合したり, 分裂する機能を実現するため, 図 4 の磁石を取り付けたゲートを実装した. 入力面と出力面にそれぞれ N,S 極の性質を持った磁石を取り付けることで, 同極同士では反発し, 入出力面のみが引き付けあって結合する.

磁石付きゲートを多数箱の中に配置し, ランダムに動かすことで事前に結合する環境を構築した. 各ゲートは自由に結合と分裂を繰り返すことで, 様々な構造が見られた. 図 5 のような想定していなかった結合をする構造も見られ

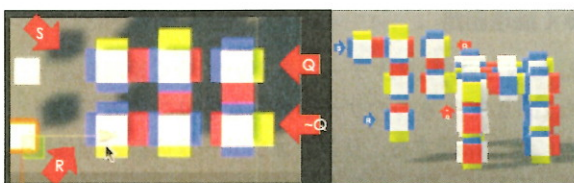


図 3: 実装した RS ラッチとセンサを取り付けた歩く回路

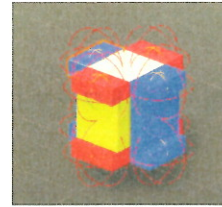


図 4: 磁石を取り付けた立方体型 NAND/AND ゲート

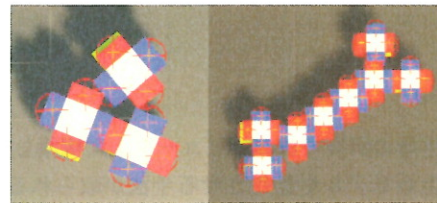


図 5: 想定していなかった構造

たが, リングオシレータのようにひとりでに動き出す構造も観測できた.

## 5 評価

先行研究と本研究の歩く回路の安定性の評価を行なった. 1 歩を踏み出す時間と歩く回路全長分の移動時間を比較した結果, 約 200 倍高速で安定して動作した. 先行研究のものは, 回路同士がめり込むなどの故障が多かった.

## 6 まとめと今後の課題

既存の歩く論理回路を改良し, 足パーツを用いることなく NAND/AND ゲートを組み合わせることで足を作成した. さらに, センサを取り付け障害物と接触したら後退する回路を実現した. 先行研究と比較して, 約 200 倍高速に, 安定して動作することを評価した.

また, 回路が自然に結合と分裂できる環境を構築し, リングオシレータが自然に組み上がる様子を観測した.

今後の課題は大規模化し論理回路のみで AI を実装することや, 自然に回路が組み上がる環境で新たな構造を発見することである. これにより, 自然発生した様々な回路の動作を観察することで, 生命の誕生に関する新たな発見が得られる可能性がある.

## 参考文献

- [1] Jared M. Moore, Anne K. Gutmann, Craig P. McGowan, Philip K. McKinley, Exploring the Role of the Tail in Bipedal Hopping through Computational Evolution, Proceedings of the 12th European Conference on Artificial Life, 978-0-262-31050-5, pp11-18, 2013
- [2] 瀧ノ上 正浩, 生体内で働く分子ロボットの実現へ: 情報媒体としての DNA 分子と DNA コンピューティング, 情報管理 60 巻 9 号 p.629-640, 2017
- [3] 神澤俊, 成見哲, 仮想物理世界で歩く論理回路の実現, 電気通信大学 情報・通信工学専攻 修士論文, 2015
- [4] 赤間世紀, 『人工生命入門』, 工学社, 2010