

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 11479 号
------	---------------

氏 名 MARDIAN Rizki

### 論文題目

Swarm Intelligence-Based DNA Computation  
(群知能に基づいたDNAコンピューティング)

### 論文審査担当者

主査	名古屋大学	准教授	関山 浩介
委員	名古屋大学	教授	長谷川 泰久
委員	名古屋大学	教授	新井 史人
委員	名古屋大学	准教授	鈴木 泰博
委員	名城大学	教授	福田 敏男

## 論文審査の結果の要旨

MARDIAN Rizki 君提出の論文「Swarm Intelligence-Based DNA Computation (群知能に基づいたDNAコンピューティング)」は、分子ロボティクスにおけるDNA計算における要素間の相互作用に基づく群知能的計算論が提案されている。

各章の概要は以下の通りである。

第1章では、DNAナノテクノロジーおよびDNA計算に関する技術的背景が述べられている。DNA計算ではこれまで多くの論理回路モデルが構築されており、またDNAを材料とした様々な構造体 (DNA origami) 構築の報告がされている。本論文では、従来ではほとんど論じられていない相互作用を含む進化的計算アルゴリズムのDNA計算による実現を目的として述べている。

第2章では、本論文全体を通して用いられるDNA演算回路における基礎的理論とフレームワークが述べられている。本論文の4つの主要結果は3章～6章であるが、全体の俯瞰的位置づけが述べられている。

第3章では、化学反応ネットワークを基本原理として免疫ネットワークアルゴリズムをDNA計算により構成している。免疫ネットワークは生体の抗原抗体反応を模擬したアルゴリズムであり、問題を抗原とし、その解決案を抗体反応としてボトムアップ的探索を行う準最適化アルゴリズムである。本章では免疫ネットワークの挙動を全てDNA計算の鎖置換反応系で設計し、その動的な挙動と化学反応ネットワークの数理モデルの挙動に理論的対応関係を示しめており、重要な知見である。

第4章では、群知能的最適化手法として知られるAnt Colony Optimization (ACO)をDNA計算モデルで構成している。アリは採餌行動のための移動経路探索において、フェロモンの濃度勾配を強化させて群れ全体の経路を強化していく。本章で扱うACOでは、この原理の数理モデルをDNA計算で実装し、DNA walkerとDNA origamiによるDNAロボットの経路移動モデルを構成している。DNA walkerの探索的移動により、アリのフェロモン相当する移動経路からのDNAシグナルが発生し、より短い距離の経路が確率的に選択される自己組織的行動選択モデルを構成している。環境との相互作用と経験的相互作用の強化モデルがDNA計算モデルで構成されており、有用な知見を与えている。

第5章では、DNA計算により分子ロボットの決定論的な内部状態遷移モデルをPetri Netにより構成している。特に2者間のエージェントモデルで、相互の状態に依存して状態遷移が駆動される相互作用モデルをDNA鎖置換反応系で構成している。DNA分子ロボット群の相互作用モデルの基本形式を与えており、有用な知見を示している。

第6章では、in-vitro に実行されたDNA計算に基づく有限オートマトンの実験結果が報告されている。さらに、分子計算に基づいた確率計算を実現するための確率的DNAゲートの構成結果が報告されている。一般的DNA計算モデルが決定論的な論理計算を扱っているのに対し、確率的挙動の計算モデルの基本を示している点で有用な知見を与えている。

最後に第7章では、結論および今後の課題が述べられている。

以上のように本論文では、将来の分子ロボットの知能制御を実現する上で必要となる相互作用モデルおよび最適化手法をDNA計算の枠組みで構成する手法を明らかにしている。これらの評価方法並びに得られた結果は、現在のロボティクス分野で扱われている計算機知能の手法をDNA分子ロボット上でも実現する上で重要な知見を与えており、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者であるMARDIAN Rizki君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。