

# 安心・安全な分散システムを実現するアルゴリズム

## ■研究者のプロフィール

福井工業大学 工学部  
電気電子情報工学科 教授 博士 (情報科学)

おおした ふくひと  
大下 福仁

TEL : 0776-29-2667

E-mail : f-oosita@fukui-ut.ac.jp

URL : <https://www.fukui-ut.ac.jp/introduction/teachers/electric.html>

自己安定分散  
アルゴリズムの  
動画はこちらから



## 研究シーズの概要

インターネットをはじめとして、世の中のほとんど全てのシステムは、多数のコンピュータ、IoT機器、ロボットなどが協調動作を行う分散システムです。近年、分散システムの大規模化が進んでおり、その構成要素の一部が故障することは避けられません。そのため、システムの一部で故障が発生しても、システム全体では動作を継続できるような、安心・安全な分散システムの実現が必要です。本稿では、筆者がこれまでに行ってきた、安心・安全な分散システムを実現するためのアルゴリズムの研究について紹介します。

### ◆自己安定分散アルゴリズム

筆者は、分散システムで高い故障耐性を実現するために、さまざまな「自己安定分散アルゴリズム」を研究しています。ここで、分散アルゴリズムとは、各構成要素が局所的な情報交換をもとに自律的に動作するタイプのアルゴリズムで、集中制御を行なうことなくシステム全体で大域的な目的の達成を目指します。近年の分散システムでは、集中制御が性能のボトルネックになる場合が多く、分散システムの効率化のためには分散アルゴリズムの開発が必要です。

自己安定分散アルゴリズムとは、故障が発生してシス

テムが異常な状況に陥っても、全体を止めることなくシステムの復旧を実現する分散アルゴリズムです。図1では、小型ロボット「kilobot」で自己安定リーダー選挙アルゴリズムを実装した例を掲載しています。自己安定リーダー選挙アルゴリズムの目的は、全ロボットの中から一つのロボットをリーダーとして選択することです。

kilobotは、その通信半径の狭さから全ロボットと直接通信することができないため、近くのロボットと通信して局所情報のみを用いて動作しています。図1(a)では中央のロボット(水色)をリーダーとして選択しています。このリーダーに故障が発生し、システムから消失したとすると、図1(b)のようにリーダーが不在の不安定な状況になってしまいます。

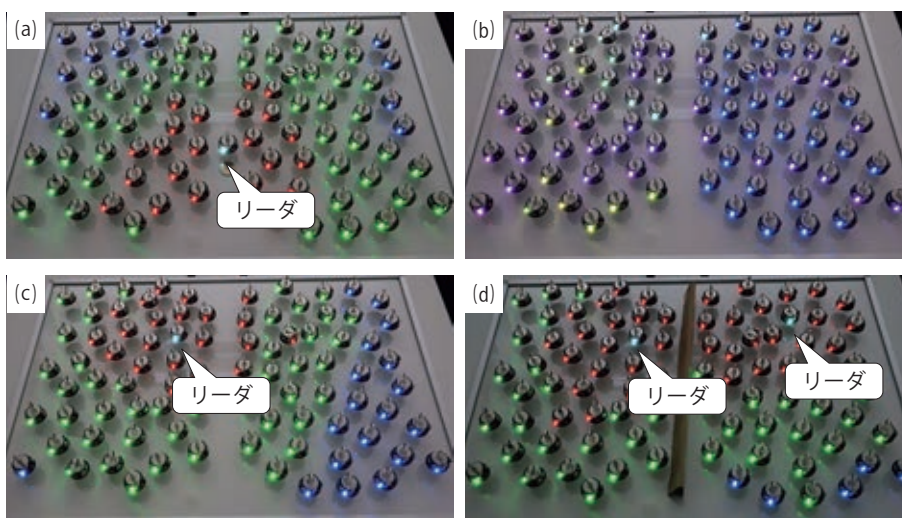


図1 kilobotによる自己安定リーダー選挙<sup>※1</sup>

- (a) 唯一のリーダーを選択 (b) 故障によりリーダーが消失  
(c) 自動的に新たなリーダーを選択 (d) 分断された場合は自動的に各ロボット群でリーダーを選択

※1 図1 kilobotによる自己安定リーダー選挙の動画はこちらから <https://www.youtube.com/watch?v=g6gKKr2dHX4>

しかし、自己安定リーダー選挙アルゴリズムでは、図1(c)のように自動的に新たなリーダーを選択し、目的の状況へ復旧することができます。また、図1(d)のように中央に壁を作ると完全に分断された2つのロボット群となりますが、そのような状況では各ロボット群で1つずつリーダーを選択します。

文献[1]では、「計算機ネットワークで多数のペア(マッチング)を作る自己安定分散アルゴリズム」を提案しており、このアルゴリズムは通信スケジューリングの効率化などに応用可能です。これを拡張し、多数のスター構造(1つの個体が他の多数の個体と星型のようにつながっている構造)を作る自己安定アルゴリズムも開発しています。また、文献[2]では、「個体群プロトコルモデルにおける自己安定リーダー選挙アルゴリズム」を提案しています。個体群プロトコルモデルとは、低性能なモバイルセンサネットワークを表現する計算モデルです。例えば、本モデルは動物の群れの一匹一匹に小型センサノードを取り付けた環境などを表現できます。センサノード間の情報交換は、動物がたまたま近づいたときのみ可能であり、どのような順番で情報交換が起こるかは予測できません。このような環境で群れ全体の状況を把握する際に、個体群プロトコルモデルに対するアルゴリズムを使用することができます。

### ◆モバイルロボットの協調アルゴリズム

近年、工場・倉庫などで、多数のモバイルロボットが協調して物品配送などのタスクを行なっています。現在のシステムの多くは管理システムが全ロボットを制御する集中制御型ですが、ロボット数を増やすためには各ロボットが自分で判断して動作する分散アルゴリズムが必要です。そのため、筆者は、多数のモバイルロボットが自律的に協調する分散アルゴリズムを研究しています。

一例として、文献[3]で提案している、「ビザンチン故障耐性を実現するフレームワーク」を紹介し

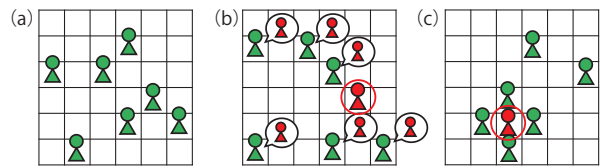


図2 ビザンチン故障耐性を実現するフレームワーク

- (a) 全ロボットが正常にタスクを実行  
 (b) ビザンチン故障を起こしたロボット(中央右の赤いロボット)を検知  
 (c) 故障ロボット(赤)を捕獲し、残りのロボットがタスクを実行

ます。「ビザンチン故障」とは、バグやウイルス感染などにより想定外の動作を行なうようになってしまう故障です。本フレームワークにより、一部のロボットでビザンチン故障が発生しても、システム全体では正しい動作を継続することができます。

図2はその動作の概要です。通常は全ロボットが協調してタスクを行ないます(図2(a))。その途中でビザンチン故障が発生した場合、正常ロボット(緑)が故障ロボット(赤)を検知します(図2(b))。その後、故障ロボットがどのように動いても、正常ロボットでそれを捕獲し、故障の影響がシステム全体に伝わらないようにします(図2(c))。捕獲後は、残りの正常ロボットが協調してタスクを行ないます。

この他に、「観測範囲の狭い低機能ロボットを協調させることで環境探索などの高度なタスクを実現するアルゴリズム」[4]、「ロボットの通行可能な通路が時々刻々と変化する状況でも環境探索を実現するアルゴリズム」[5]などを開発しています。最近では、ロボットがすれ違えないような狭い通路の倉庫において、多数のロボットが連携して物品の配送を行なうアルゴリズムの研究を進めています。本研究では、物品の配送経路の最適化に加え、故障ロボットが通路をふさいだ場合の代替経路の構築方法も検討しています。

#### 文献

- [1] Asada, Ooshita, Inoue, JGAA 2016.  
 [2] Yokota, Sudo, Ooshita, Masuzawa, PODC2023.  
 [3] Ashkenazi, Dolev, Kamei, Ooshita, Wada, CCPE 2020.  
 [4] Ooshita, Tixeuil, Information and Computation 2022.  
 [5] Gotoh, Sudo, Ooshita, Kakugawa, Masuzawa, TCS 2021.

#### 研究キーワード

- ◎ 分散システム ◎ アルゴリズム  
 ◎ 故障耐性 ◎ 群ロボット

#### 利用が見込まれる分野

- ◎ 多数のIoT機器が連携するシステム  
 ◎ 多数のモバイルロボットが連携するシステム

#### 産業界へのメッセージ

筆者は、これまでにさまざまな種類の分散システムに対して、高信頼化・高効率化を目指した分散アルゴリズムを開発しています。論文では代表的な計算モデルを用いて理論的な性能を追求する場合がありますが、実システムの特徴をふまえてアルゴリズムを最適化することも可能です。分散システムに限らずさまざまなアルゴリズムの研究を行っていますので、貢献できることがあればぜひご連絡ください。

産学連携をお考えの方は上記または次の担当部署までお問い合わせください。

- ◎北陸経済研究所 調査研究部 米屋 TEL: 076-433-1134  
 ◎北陸銀行 コンサルティング営業部 地域創生室 山上 TEL: 076-423-7180