

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20H04140

研究課題名(和文) 障害から超高速に自律復旧するナノスケールネットワークの設計

研究課題名(英文) Design of Nanoscale Networks with Ultra-Fast Autonomous Recovery from Failures

研究代表者

首藤 裕一 (Sudo, Yuichi)

法政大学・情報科学部・准教授

研究者番号：50643665

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、膨大な数の極小デバイスで構成されるナノスケールネットワークにおいて、デバイスの物理故障などの障害によって不安定な状態に陥ったネットワークを高速に復旧するための基盤技術を確立することである。障害発生時に自律復旧を行う頑健なナノスケールネットワークの設計は極めて困難であることが知られており、実用化の障壁となっていた。本研究は、障害が発生していない平常時にもわずかな確率で異常状態に陥る「ゆらぎ」を許容することをアプローチとして、ナノスケールネットワークにおいても超高速かつ頑健なアルゴリズム群を実現することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

膨大な数の微細なデバイスで構成されるナノスケールネットワークにおいては故障耐性の付与が極めて重要である。前研究課題18K18000で、ナノスケールネットワークを表現する典型的な計算モデルである個体群モデルにおいて、様々なタスクを解決するための基軸となるリーダ選挙問題を解く頑健なアルゴリズムの高速化に成功していた。しかし、その実行時間は理論的限界と大きな乖離があった。本研究課題では、理論的限界まで高速化した頑健なアルゴリズムの設計に成功し、また、様々な関連モデルで頑健なアルゴリズムの設計に成功した。これらの成果は、ナノスケールネットワークの頑健性向上をもたらす、実用化に大きく寄与する。

研究成果の概要(英文)：The objective of this research is to establish fundamental technologies for the rapid recovery of nanoscale networks, composed of a vast number of extremely small devices, from unstable states caused by failures such as physical malfunctions of devices. Designing robust nanoscale networks that can autonomously recover from failures is known to be extremely challenging and has been a significant barrier to practical implementation. This research has successfully realized a set of ultra-fast and robust algorithms for nanoscale networks by adopting an approach that tolerates "fluctuations," which are minor probabilities of abnormal states occurring even during normal operation without failures.

研究分野：分散計算理論

キーワード：個体群プロトコル 個体群モデル 自己安定アルゴリズム 緩安定アルゴリズム ゆらぎ リーダ選挙問題

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

本研究の対象は、膨大な数の極小デバイスで構成されるナノスケールネットワークである。ナノスケールネットワークは、無害な極小デバイスを体内に注入して癌細胞の検知や悪性細胞への局所的投薬を行うなど、医療分野をはじめとする様々な分野への大きな貢献が期待できる研究分野である。本研究は、より具体的には、ナノスケールネットワークを表現する代表的な計算モデルである**個体群プロトコルモデル**(英: population protocols; 以下、**個体群モデル**)を研究対象とする。ナノスケールネットワークの特徴は、ネットワークを構成するデバイスの計算能力が極めて貧弱であることである。個体群モデルでは特に、デバイスの記憶領域が極めて小さく、ひとつのデバイスは数十ビット程度の情報しか保存できないことを想定する。これは、現在の通常の計算機(PCなど)の数十億分の1程度の記憶領域で計算を行うことを意味する。したがって、デバイス単独では複雑な計算が行えないため、多数のデバイスが協調動作を行うことで高度な計算を実行する。具体的には、各デバイスは物理的に移動を行っているものと想定し(患者の血液中を流れているなど)、接触時(あるいは極めて近接した際)にデバイス間で情報の交換を行ってメモリの値を更新することでネットワーク全体で計算を進めていく計算モデルが個体群モデルである。個体群モデルは、ナノスケールネットワークをはじめとして実用上の価値を有する多くのネットワークを適切に表現するため、2004年にモデルの定式化が行われて以降、数多くの研究者によってその計算能力や実行時間について盛んに研究が行われている。

一般に、複数の計算機で構成される分散システムに障害耐性を付与する場合には、設計者はシステムに自己安定という性質を持たせることを試みる。自己安定なシステムとは、

【収束性】 障害が発生してもシステムが自律的に正常な状態に復旧する

【閉包性】 以後、新たな故障が発生するまでは正常な動作を継続する

という2つの要件を満たすシステムのことを指す。実用上、ナノスケールネットワークを含む多くの分散システムでは、システムの外部から障害発生を検知および修復作業を行うことは極めて困難であるため、障害耐性のある分散システムを実現する上で、自己安定性を付与することは極めて重要かつ有用である。しかしながら、上記の個体群モデルでは、ほとんどの意味のある計算は、収束性・閉包性の2つの要件を同時に満たしながら実行することは不可能であることが理論的に証明されている。すなわち、個体群モデルで意味のある計算を行おうとする場合、ネットワークに自己安定性を持たせることはできない。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、高い障害耐性を持つ頑健なナノスケールネットワークを実現することである。より具体的には、個体群モデルにおいて、障害発生による異常状態からの超高速な自律復旧を実現する処理手順(=アルゴリズム)を設計することである。上述の通り、本研究の対象とする個体群モデルにおいて、理想的な障害耐性を示す自己安定性を実現することは(ほとんどの意味ある計算において)不可能である。一方で、3節で詳述するように、閉包性の要件を実用上影響がない程度に緩和することで自己安定性と実質的に同等な障害耐性をナノスケールネットワークに付与することができることが研究代表者らのこれまでの研究ですでに明らかとなっている。ここで問題となるのは、障害発生からネットワークが正常状態に復旧するまでの復旧時間(収束時間)である。一般に、個体群モデルにおける計算に要する時間はネットワークを構成するデバイス数 $n$ に依存する。たとえば、研究代表者らが2009年にはじめて提案した障害耐性付アルゴリズムは、障害発生からの収束に $O(n \log n)$ 時間を要するが、膨大な数のデバイスで構成されるナノスケールネットワークでの実行を考えた場合、この収束時間は実用に耐えるとは言いがたい。個体群モデルの時間計算量(実行時間)に関する研究は2015年以降に急速に進み、各種問題に対して理論的境界に近い極めて高速なアルゴリズムが次々と提案されている。一方で、障害耐性付アルゴリズムについては、主に各種問題の計算可能性(可解性)に研究の焦点が置かれ、実行時間に焦点を置いた研究は少ない。本研究の課題は、次の学術的「問い」を明らかにすることである。

個体群モデルにおいて障害発生からの収束時間をどれだけ高速化することが可能であるか。

### 3. 研究の方法

本研究の最大の特徴は、障害の発生していない平常時にも極僅かな確率でネットワークが異常状態に陥る「ゆらぎ」を許容することで、自己安定性と実用上同等の障害耐性をナノスケールネットワークに付与することである。具体的には、自己安定性の要件を次のように緩和した緩安定性の実現を狙う。

収束性	どのような状態に陥っても正常な状態に自律復旧する
閉包性	復旧後、新たな障害が発生するまでは常に正常な状態を維持する

自己安定性は正常な状態への復旧後には正常な状態を常に維持し続けることを要求するのに対し、緩安定性は復旧後に十分長いあいだ正常状態を維持できればそれで良いとする。すなわち、平常時にも異常状態に陥る「ゆらぎ」を僅かな確率で許容するのが緩安定性である。驚くべきことに、この「ゆらぎ」を導入することで、個体群モデルにおいて理論上実現が不可能である自己安定性と実用上同等の障害耐性が実現可能となる。代表研究者らは2009年、この緩安定性の概念を新たに提唱するとともに、リーダ選挙問題と呼ばれる、ただひとつのデバイスにリーダの役割を割り当てる問題を緩安定的に解くアルゴリズム（緩安定アルゴリズム）を提案した。他の多くの問題と同様、リーダ選挙問題を解く自己安定アルゴリズムは存在しないことが証明されている。一方で、この緩安定アルゴリズムが保証する自律復旧後の正常状態維持時間（の期待値）は極めて長いので（デバイス数 $n$ に関して指数関数的）、実用上、このアルゴリズムは自己安定性と同等の障害耐性を持つといえる。

多くの分散システムの計算モデルにおいてリーダ選挙問題は基本的かつ重要な問題であるが、特に、個体群モデルにおいてリーダ選挙の実現は極めて特別な意義がある。リーダ選挙が正しく解かれた場合、選ばれたリーダデバイスが中心となってネットワーク全体を協調動作させることにより、デバイス群に与えられた入力にもとづく広範なクラスの問題（正確にはPresburger 算術で記述可能な述語の計算）が極めて高速に解けることが2006年に証明されている。したがって、リーダ選挙問題を解く高速な緩安定アルゴリズムを提案することは、単にリーダ選挙を頑健に解くことのみならず、個体群モデル全体の障害耐性およびその計算速度を大きく向上させることを意味する。

本研究では、第一に、理論的限界まで高速化した（=時間最適）緩安定リーダ選挙アルゴリズムを設計し、その後、個体群モデルの頑健性を全般的に向上させる研究を行う。

### 4. 研究成果

#### (1) 時間最適緩安定リーダ選挙アルゴリズムの開発

3節に記載した本研究の主目的である時間最適緩安定リーダ選挙アルゴリズムの開発に成功した。具体的には、障害の発生などによりいかなる状況に陥ったとしても対数時間（i. e.,  $O(\log n)$ ）で正常な状況に収束し、以後、任意に大きな多項式時間（ $\Omega(n^{100})$ 時間など）のあいだ正常な状況を維持し続けるリーダ選挙アルゴリズムの設計に成功した。本アルゴリズムは、本研究課題の前課題18K18000（本研究課題20H04140は最終年度前年度申請制度により若手研究18K18000を継承したものである）で設計した緩安定リーダ選挙アルゴリズムの対数多項式時間を、個体群モデルに対する複数の既存研究の技術を巧妙に組み合わせることで $O(\log^3 n)$ から $O(\log n)$ に大きく改善したものである。さらに、本研究課題申請時には予期しなかったことではあるが、本アルゴリズムは空間計算量（各デバイスの状態数）も対数状態（i. e.,  $O(\log n)$ ）に抑えることができた（18K18000の手法は $O(\log^5 n)$ 状態）。この成果は分散計算理論の最難関国際会議のひとつであるDISCに採択された。

#### (2) 平滑評価

上記の時間最適緩安定アルゴリズムを含めて、個体群モデルの研究の多くは、ネットワークを構成するデバイス間の通信発生パターンが理想的な確率モデルにもとづくものであることを仮定していた。本研究では、頑健性は持たないものの、通信発生パターンが理想的な確率モデルから大きく乖離した場合にも高速にリーダ選挙問題を解くアルゴリズムの設計に成功した。これは、上に述べた頑健なアルゴリズムの適用領域を大きく広げることにつながり、ナノスケールネットワークの頑健性向上に寄与する。この成果は分散計算理論の最難関国際会議のひとつであるDISCに採択された。

#### (3) デバイスの接続関係を一般化した個体群モデルの頑健性の分析

個体群モデルの研究では、任意のデバイスが相互に通信可能であるという前提において研究を行うのが主流である。一方で、近年、相互に通信可能なデバイス対を制限し、通信可能なデバイ

ス対を表現するグラフ (=交流グラフ) の形状と各種問題の可解性および計算量の関係が盛んに研究されている。本研究課題においても、個体群モデルの頑健性を高めるため、一般の交流グラフにおける自己安定アルゴリズムに関する研究を行い、2つの研究成果を得た。

第一に、交流グラフの頂点数・辺数に関する事前知識の有無と個体群モデルにおける重要な4つの問題(自己安定リーダー選挙、自己安定ランキング、自己安定次数認識、自己安定近傍認識)の可解性の関係をあきらかにすることを成功した。この結果をまとめた論文はIEEE Transaction on Parallel and Distributed Systemsに掲載済みである。

第二に、交流グラフがリング形状であるときに特化した自己安定リーダー選挙アルゴリズムの開発に成功した。リング形状の交流グラフを仮定したとき、定数状態を用いて自己安定リーダー選挙問題を解く既存アルゴリズムが存在するが、このアルゴリズムは指数時間を要し、工学的には利用不可能なものであった。本研究で新たに提案したアルゴリズムは、対数多項式状態を用いるものの対数時間で収束する。理論上、これ以上高速化することは不可能であることが証明できるため、このアルゴリズムは時間最適である。この結果は分散計算理論の最難関会議のひとつであるPODCに採択された。

(4) 上記(1)-(3)の研究に取り組む過程で、個体群モデルだけでなく、関連する研究モデルにおいていくつかの未解決問題を解くことに成功した。たとえば、ネットワーク上を自律的に移動するモバイルエージェント群を高速に分散配置するアルゴリズムや、単一のモバイルエージェントを自己安定的に永続探索させるアルゴリズム、反復合成と呼ばれる技術を用いてある種の分散グラフ問題を解く自己安定アルゴリズムを設計することに成功した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 DONG Rongcheng, IZUMI Taisuke, KITAMURA Naoki, SUDO Yuichi, MASUZAWA Toshimitsu	4. 巻 E106.D
2. 論文標題 Loosely-Stabilizing Algorithm on Almost Maximal Independent Set	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1762 ~ 1771
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2023EDP7075	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Imoto Soichiro, Sudo Yuichi, Kakugawa Hirotsugu, Masuzawa Toshimitsu	4. 巻 292
2. 論文標題 Atomic cross-chain swaps with improved space, time and local time complexities	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Information and Computation	6. 最初と最後の頁 105039 ~ 105039
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ic.2023.105039	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Kobayashi Hisaki, Sudo Yuichi, Kakugawa Hirotsugu, Masuzawa Toshimitsu	4. 巻 66
2. 論文標題 A Self-Stabilizing Distributed Algorithm for the Generalized Dominating Set Problem With Safe Convergence	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Computer Journal	6. 最初と最後の頁 1452 ~ 1476
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/comjnl/bxac021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Maruyama Syohei, Sudo Yuichi, Kamei Sayaka, Kakugawa Hirotsugu	4. 巻 983
2. 論文標題 Self-stabilizing 2-minimal dominating set algorithms based on loop composition	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 114314 ~ 114314
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tcs.2023.114314	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hirose Jion, Nakamura Junya, Ooshita Fukuhito, Inoue Michiko	4. 巻 -
2. 論文標題 Fast gathering despite a linear number of weakly Byzantine agents	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Concurrency and Computation: Practice and Experience	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cpe.8055	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ashkenazi Yotam, Dolev Shlomi, Kamei Sayaka, Katayama Yoshiaki, Ooshita Fukuhito, Wada Koichi	4. 巻 954
2. 論文標題 Location functions for self-stabilizing byzantine tolerant swarms	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 113755 ~ 113755
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tcs.2023.113755	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Dong Rongcheng, Sudo Yuichi, Izumi Taisuke, Masuzawa Toshimitsu	4. 巻 937
2. 論文標題 Loosely-stabilizing maximal independent set algorithms with unreliable communications	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 69 ~ 84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tcs.2022.09.031	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shibata Masahiro, Sudo Yuichi, Nakamura Junya, Kim Yonghwan	4. 巻 289
2. 論文標題 Almost uniform deployment of mobile agents in dynamic rings	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Information and Computation	6. 最初と最後の頁 104949 ~ 104949
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ic.2022.104949	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shibata Masahiro, Ohyabu Masaki, Sudo Yuichi, Nakamura Junya, Kim Yonghwan, Katayama Yoshiaki	4. 巻 12
2. 論文標題 Visibility-optimal gathering of seven autonomous mobile robots on triangular grids	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Networking and Computing	6. 最初と最後の頁 2 ~ 25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15803/ijnc.12.1_2	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kim Yonghwan, Shibata Masahiro, Sudo Yuichi, Nakamura Junya, Katayama Yoshiaki, Masuzawa Toshimitsu	4. 巻 874
2. 論文標題 A self-stabilizing algorithm for constructing a minimal reachable directed acyclic graph with two senders and two targets	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 1 ~ 14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tcs.2021.05.005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sudo Yuichi, Shibata Masahiro, Nakamura Junya, Kim Yonghwan, Masuzawa Toshimitsu	4. 巻 32
2. 論文標題 Self-Stabilizing Population Protocols With Global Knowledge	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems	6. 最初と最後の頁 3011 ~ 3023
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TPDS.2021.3076769	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 YOKOTA Daisuke, SUDO Yuichi, MASUZAWA Toshimitsu	4. 巻 E104.A
2. 論文標題 Time-Optimal Self-Stabilizing Leader Election on Rings in Population Protocols	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 1675 ~ 1684
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.2020EAP1125	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Gotoh Tsuyoshi, Sudo Yuichi, Ooshita Fukuhito, Masuzawa Toshimitsu	4. 巻 13
2. 論文標題 Dynamic Ring Exploration with (H,S) View	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Algorithms	6. 最初と最後の頁 141 ~ 141
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/a13060141	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sudo Yuichi, Ooshita Fukuhito, Izumi Taisuke, Kakugawa Hirotsugu, Masuzawa Toshimitsu	4. 巻 31
2. 論文標題 Time-Optimal Leader Election in Population Protocols	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems	6. 最初と最後の頁 2620 ~ 2632
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/tpds.2020.2991771	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sudo Yuichi, Datta Ajoy K., Larmore Lawrence L., Masuzawa Toshimitsu	4. 巻 146
2. 論文標題 Self-stabilizing token distribution on trees with constant space	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Parallel and Distributed Computing	6. 最初と最後の頁 201 ~ 211
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jpdc.2020.07.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Shibata Masahiro, Kawata Norikazu, Sudo Yuichi, Ooshita Fukuhito, Kakugawa Hirotsugu, Masuzawa Toshimitsu	4. 巻 822
2. 論文標題 Move-optimal partial gathering of mobile agents without identifiers or global knowledge in asynchronous unidirectional rings	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 92 ~ 109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tcs.2020.04.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -



1. 著者名 Gotoh Tsuyoshi, Sudo Yuichi, Ooshita Fukuhito, Kakugawa Hirotsugu, Masuzawa Toshimitsu	4. 巻 850
2. 論文標題 Exploration of dynamic tori by multiple agents	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 202 ~ 220
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tcs.2020.11.004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tanaka Hideyuki, Sudo Yuichi, Kakugawa Hirotsugu, Masuzawa Toshimitsu, Datta Ajoy K.	4. 巻 29
2. 論文標題 A Self-stabilizing 1-maximal Independent Set Algorithm	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Information Processing	6. 最初と最後の頁 247 ~ 255
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2197/ipsjjip.29.247	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計27件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 24件)

1. 発表者名 Paola Flocchini, Nicola Santoro, Yuichi Sudo, and Koichi Wada
2. 発表標題 On Asynchrony, Memory, and Communication: Separations and Landscapes
3. 学会等名 27th International Conference on Principles of Distributed Systems (OPODIS 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masahiro Shibata, Naoki Kitamura, Ryota Eguchi, Yuichi Sudo, Junya Nakamura, and Yonghwan Kim
2. 発表標題 Partial Gathering of Mobile Agents in Dynamic Tori
3. 学会等名 2nd Symposium on Algorithmic Foundations of Dynamic Networks (SAND 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuichi Sudo
2. 発表標題 Graph exploration by a clumsy agent
3. 学会等名 Moving and Computing (MAC 2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Taisuke Izumi
2. 発表標題 On computational power of mobile agents in node storage model.
3. 学会等名 Moving and Computing (MAC 2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Toshimitsu Masuzawa
2. 発表標題 Crash-tolerant graph exploration by two energy-sharing mobile agents.
3. 学会等名 Moving and Computing (MAC 2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Quentin Bramas, Toshimitsu Masuzawa, Sebastien Tixeuil
2. 発表標題 Brief Announcement: Crash-Tolerant Exploration by Energy Sharing Mobile Agents
3. 学会等名 25th International Symposium on Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems (SSS 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Syohei Maruyama, Yuichi Sudo, Sayaka Kamei, Hirotsugu Kakugawa
2. 発表標題 A Self-stabilizing 2-minimal Dominating Set Algorithm Based on Loop Composition in Networks of Girth at Least 7
3. 学会等名 The 36th IEEE International Parallel & Distributed Processing Symposium (IPDPS 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yonghwan Kim, Masahiro Shibata, Yuichi Sudo, Junya Nakamura, Yoshiaki Katayama, Toshimitsu Masuzawa
2. 発表標題 Gathering of Mobile Robots with Defected Views
3. 学会等名 The 26th International Conference on Principles of Distributed Systems (OPODIS 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohei Shimoyama, Yuichi Sudo, Hirotsugu Kakugawa, Toshimitsu Masuzawa
2. 発表標題 One Bit Agent Memory is Enough for Snap-Stabilizing Perpetual Exploration of Cactus Graphs with Distinguishable Cycles
3. 学会等名 The 24th International Symposium on Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems (SSS 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yonghwan Kim, Masahiro Shibata, Yuichi Sudo, Junya Nakamura, Yoshiaki Katayama, Toshimitsu Masuzawa
2. 発表標題 Brief Announcement: Gathering Despite Defected View
3. 学会等名 The 36th International Symposium on Distributed Computing (DISC 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Daisuke Yokota, Yuichi Sudo, Toshimitsu Masuzawa and Fukuhito Ooshita
2. 発表標題 A Near Time-optimal Population Protocol for Self-stabilizing Leader Election on Rings with a Poly-logarithmic Number of States
3. 学会等名 The 42nd ACM Symposium on Principles of Distributed Computing (PODC 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Keitaro Watanabe, Hideharu Kojima, Yuichi Sudo, Naoto Yanai, Tatsuhiro Tsuchiya
2. 発表標題 Implementation and Evaluation of Leader Election in the Population Protocol Model Using an Emulation Environment
3. 学会等名 The 20th International Workshop on Assurance in Distributed Systems and Networks (ADSN 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 首藤裕一
2. 発表標題 ビザンチンエージェントが混在する環境におけるモバイルエージェントの集合
3. 学会等名 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jion Hirose, Junya Nakamura, Fukuhito Ooshita, Michiko Inoue
2. 発表標題 Brief Announcement: Gathering Despite a Linear Number of Weakly Byzantine Agents
3. 学会等名 The 41st ACM Symposium on Principles of Distributed Computing (PODC 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jion Hirose, Junya Nakamura, Fukuhito Ooshita, Michiko Inoue
2. 発表標題 Gathering Despite a Linear Number of Weakly Byzantine Agents
3. 学会等名 The 14th International Workshop on Parallel and Distributed Algorithms and Applications (PDAA 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuichi Sudo, Ryota Eguchi, Taisuke Izumi, Toshimitsu Masuzawa
2. 発表標題 Time-Optimal Loosely-Stabilizing Leader Election in Population Protocols
3. 学会等名 35th International Symposium on Distributed Computing (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Gregory Schwartzman, Yuichi Sudo
2. 発表標題 Smoothed Analysis of Population Protocols
3. 学会等名 35th International Symposium on Distributed Computing (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Rikuo Nakai, Yuichi Sudo, Koichi Wada
2. 発表標題 Asynchronous Gathering Algorithms for Autonomous Mobile Robots with Lights
3. 学会等名 23rd International Symposium on Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Rongcheng Dong, Yuichi Sudo, Taisuke Izumi, Toshimitsu Masuzawa
2. 発表標題 Loosely-Stabilizing Maximal Independent Set Algorithms with Unreliable Communications
3. 学会等名 23rd International Symposium on Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masahiro Shibata, Masaki Ohyabu, Yuichi Sudo, Junya Nakamura, Yonghwan Kim, Yoshiaki Katayama
2. 発表標題 Gathering of seven autonomous mobile robots on triangular grids
3. 学会等名 23rd Workshop on Advances in Parallel and Distributed Computational Models (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 首藤裕一
2. 発表標題 ビザンチンエージェントが混在する環境におけるモバイルエージェントの集合問題
3. 学会等名 電子情報通信学会 情報理論研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuichi Sudo, Masahiro Shibata, Yonghwan Kim, Junya Nakamura, Toshimitsu Masuzawa
2. 発表標題 The Power of Global Knowledge on Self-stabilizing Population Protocols
3. 学会等名 27th International Colloquium on Structural Information and Communication Complexity (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Junya Nakamura, Masahiro Shibata, Yuichi Sudo, and Yonghwan Kim
2 . 発表標題 Self-Stabilizing Construction of a Minimal Weakly ST-Reachable Directed Acyclic Graph
3 . 学会等名 39th International Symposium on Reliable Distributed Systems ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Daisuke Yokota, Yuichi Sudo, Toshimitsu Masuzawa
2 . 発表標題 Time-Optimal Self-stabilizing Leader Election on Rings in Population Protocols
3 . 学会等名 22nd International Symposium on Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Takahiro Shintaku, Yuichi Sudo, Hirotsugu Kakugawa, Toshimitsu Masuzawa
2 . 発表標題 Efficient Dispersion of Mobile Agents without Global Knowledge
3 . 学会等名 22nd International Symposium on Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Masahiro Shibata, Yuichi Sudo, Junya Nakamura, Yonghwan Kim
2 . 発表標題 Uniform Deployment of Mobile Agents in Dynamic Rings
3 . 学会等名 22nd International Symposium on Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 首藤裕一
2. 発表標題 個体群プロトコルモデルにおけるリーグ選挙
3. 学会等名 令和二年電気関係学会関西連合大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	大下 福仁 (Ooshita Fukuhito)  (20362650)	福井工業大学・工学部・教授  (33401)	
研究分担者	泉 泰介 (Izumi Taisuke)  (20432461)	大阪大学・大学院情報科学研究科・准教授  (14401)	
研究分担者	増澤 利光 (Masuzawa Toshimitsu)  (50199692)	大阪大学・大学院情報科学研究科・教授  (14401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
カナダ	University of Ottawa	Carleton University	
米国	ネバダ大学ラスベガス校		