

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：62615

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K13467

研究課題名（和文）開放量子系としての量子計算機モデルと、それに基づく量子アルゴリズム

研究課題名（英文）Quantum computer models as open quantum systems, and quantum algorithms based on them

研究代表者

添田 彬仁 (Soeda, Akihito)

国立情報学研究所・情報学プリンシプル研究系・准教授

研究者番号：70707653

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：量子計算機を、外部から操作可能な量子系と見なす場合、元から存在するダイナミクスを目的とする時間発展に変更する必要が生じる。また、元のダイナミクスにたいして完全なる知識を所持しない状況でダイナミクスを変更する場合や、ダイナミクスごとに操作方法を変更するコストを削減したい場合に存在する課題を解決する必要があるが、我々の研究成果はそのような状況下において、変更対象となる元のダイナミクスがユニタリ時間発展として見做せる場合（多くの量子計算機に 응용が検討されている量子系においては妥当な仮定である）において、元のダイナミクスを複数回利用するという新しい観点より量子アルゴリズムを研究した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

量子計算は現在、多くの分野で大きな影響を持つと予想されている。新たな量子計算の手法が開発されれば、問題解決に向けた新しい道筋を提供する可能性がある。当研究は量子計算の領域で新しい視点を提供している。研究の結果として提出された新しい視点は、量子ダイナミクスの利用について、特に元のダイナミクスがユニタリ時間発展として見做せる場合についての理解を深める。これは、量子計算機を外部から効率的に操作する方法を理解するために重要なステップであり、量子計算の能力を最大限に引き出すための新しい手法を提供する可能性がある。

研究成果の概要（英文）：When considering quantum computers as quantum systems that can be manipulated from the outside, there arises a need to modify the intrinsic dynamics for a time evolution aimed at the original objective. Furthermore, there is a need to resolve issues that arise in situations where changes are made to the dynamics without complete knowledge of the original dynamics, or when there is a desire to reduce the costs of changing operational methods for each dynamics. Our research results under such circumstances have studied quantum algorithms from a new perspective of utilizing the original dynamics multiple times, particularly in cases where the original dynamics can be viewed as unitary time evolution - a reasonable assumption in many quantum systems where quantum computer applications are being considered.

研究分野：量子情報

キーワード：量子情報

1. 研究開始当初の背景

量子計算を物理学的に解釈すれば、計算という情報処理を実現するために、量子系の時間発展法則(物理学で言うところのダイナミクス)を外から操作することである。研究開始当初、有意義な量子アルゴリズムが前提とする精度および規模で、時間発展法則が操作可能な量子系は存在していなかった。開始時点で存在する量子情報デバイスを考えると、量子情報デバイスは必ず外界からの影響を受ける開放系であり、予見可能な将来においてもその点は不変であると思われた。一方で、量子アルゴリズム研究の多くは、標準的量子回路モデルを前提としたものであるが、標準的量子回路モデル自体は研究開始時点での量子情報デバイスを反映したモデルではなかった。また、量子計算機として使用される量子系が、独自の時間発展法則をすでに持っていることを前提とした制御方法(量子操作)が求められていたが、そのような量子操作の実装は、その基礎理論の部分で未解明の部分が多く存在した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、量子アルゴリズムを設計する際に、標準的な量子回路モデルを前提するのではなく、量子計算機が独自の時間発展法則を持った量子系であることを考慮したアルゴリズム設計ならびにその基礎理論の発展である。

3. 研究の方法

本研究計画では、独自の時間発展法則を有する量子系を操作し、有意義な情報処理を実現する量子アルゴリズムの構築に貢献すべく、独自時間発展法則を変換する技術を追求する。このような変換は、数学的には「高階量子写像」を実現することになるが、その実現可能性を含めて解析するための数学的手法を同時に整備する。従来の量子操作は、量子系の状態を変換することを目的としているが、量子系独自の時間発展法則は、それ自体が何らかの量子操作とみなせるため、独自時間発展法則の変換は「量子操作を操作する」ため、「高階量子操作」とみなして研究を進めた。

4. 研究成果

1) ユニタリ量子操作を入力量子操作に依存しない方法で逆操作を実装する量子アルゴリズム

量子計算機は複数の量子情報デバイスを連結させて実現される蓋然性が高い。特に、大規模な量子情報処理を実現するためには、量子コンピュータネットワークを介した分散型の情報処理にて実現する可能性が高い。その場合、各量子情報デバイスが他の量子情報デバイスの状態をすべて把握することを前提するのは情報処理の規模が拡充すると破綻するであろう。そのため、ネットワーク上の一部を「未知の挙動をする」量子情報デバイスとみなしても、実現できる量子操作が求められる。また、量子情報デバイスは、未知ではあるが、ユニタリ時間発展していると仮定するのは妥当である。

そのような独自の未知な挙動を「抑制」する方法として、ユニタリ操作の「逆操作化」が考えられる。この逆操作化とは、未知の d 次元ユニタリ量子操作を施すことが保証されているブラックボックスがあるとき、ブラックボックスが本来実装するはずのユニタリ操作ではなく、その逆変換を実装するように量子回路を設計する問題である。

これまでの先行研究では、「正確」かつ「決定論的」な逆操作化は、入力とされるユニタリ量子操作を1回使用する範囲では不可能であることが知られていた。しかし、我々の研究により、入力量子操作を複数回利用することで、確率的ではあるが正確な実装が可能なが判明した。今後の量子アルゴリズム設計において、この「複数回利用」は高階量子操作の実装可能性を広げる可能性を有することを支持する。なお、本研究において、逆転化させる万能プロトコルは、たとえ確率的な実装であってもかならず $d-1$ 回入力ユニタリ操作が必要なことを証明し、我々のプロトコルは利用回数において最適であることが示せた。

2) ユニタリ量子操作を複数回利用することで、入力量子操作に依存しない方法で、正確に高階量子操作を実装する量子アルゴリズムに関する一般理論

k 個の d 次元入力ユニタリ操作を別のユニタリ操作に確率的(かつ伝令付き)で変換する万能量子回路を設計する問題を考えた。まず量子回路を次の三種類に分けた: 1) 入力量子操作を同時に利用することができる並列型回路、2) 入力量子操作を段階的に用いることができる段階型回路、3) 入力量子操作間に因果順序を設定しない一般型回路。これら三種類にたいし、最大成功確率を与える量子回路を半正定値法を用いて数値的に導出する手法を開発した。この手法を用いて、ユニタリ操作の「転置化」、「複素共役化」、および「逆変換化」を詳細に解析した。転置化および逆変換化については、与えられた次元 d に対し、段階型回路は並列型回路に対し利用個数 k について指数関数的に変換性能が高いことが示された。また、複素共役化と逆変換化について、利用個数 k が $d-1$ より小さくなる時、成功確率はゼロにしかならないことを証明した。さらに、因果順序が不確定な量子回路を用いた場合と、確定した量子回路を用いた場合の差を解析し、前者の後者に対する優位性を示したとともに、入力量子状態遅延型量子回路の概念を発見した。

また、一般に確率的な高階量子変換を用いたとき、失敗した場合には入力量子状態が失われる。そのため、入力量子操作を複数回用いたとしても、確率的な高階量子変換の成功確率を上げることはできない。本研究ではこのような確率的な高階量子変換において、失敗した場合にも入力量子状態が保存する構造として、成功・引分け型の高階量子変換を提案し、定式化した。特に入力をユニタリ操作とする確率的な高階量子変換があった場合に、入力のユニタリ操作を複数回用いることによって、成功・引分け型にすることが可能であることを証明した。成功・引分け型の高階量子変換では、引分け(失敗)となった場合には入力量子状態が保存されるため、成功するまで同じ高階量子変換を実行することが可能となり、成功確率が 1 に指数関数的に近づく。また成功・引分け型の高階量子変換では、同一の構造を繰り返すことによって成功確率を上げられるため、比較的単純な量子回路による実現が可能であることが期待される。

3) 実装可能な高階量子写像への完全 CP 保存性による制約

高階量子写像を指定するには、入力となる写像の集合と、出力となる写像の集合を設定し、それらの間の対応関係を設定する。高階量子写像を実装するための高階量子操作であるが、実装対象の入力写像の集合と出力写像の集合を、量子系の何で実装するかは任意性が残る。また、ある高階量子写像を実装するための高階量子操作が、別の高階量子写像の実装になっていることもある。一般に、入力写像の集合が小さい方が、実装しやすくなる。

高階量子操作を含むあらゆる量子操作は量子力学の法則に従わなければならない。そのため実装できる高階写像には制限が生じる。どのような高階量子写像ならば実装可能かを理解することは、量子情報処理に高階量子写像を使いこなすためにも重要となってくる。実装可能な高階量子写像の多くが満たす条件として、完全 CP 保存性がある。現時点では、完全 CP 保存性は量子情報処理を考える上で、ほぼ自動的に要求される性質とみなされている。

量子スイッチは高階量子操作の一種であり、量子スイッチのユニタリ操作に対する作用は、異なる順序による実行の重ね合わせを生成するという意味で、物理的に自然な定義になっているが、量子スイッチをユニタリ操作以外へと拡張した場合には、同様の物理的な解釈がならずとも可能ではない。本研究では、量子スイッチのユニタリ操作以外に対する定義を、ユニタリ操作に対する定義から導き、特にそれが一般に使われている定義に一意的に定まることを証明した。具体的には、量子スイッチのユニタリ操作に対する定義以外に、入力に対する線形性と、高階量子変換が物理的に実現可能な必要条件である完全 CP 保存性を仮定し、それらの仮定のもとで量子スイッチの定義が一意的に定まることを証明した。

この研究により、完全 CP 保存性は、入力写像集合の縮小による利点を無効化できるほどの強い制約であることが判明した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Sakai Ryosuke, Soeda Akihito, Muraio Mio	4. 巻 1
2. 論文標題 Transferring Quantum Information in Hybrid Quantum Systems Consisting of a Quantum System with Limited Control and a Quantum Computer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Hybrid Quantum Systems	6. 最初と最後の頁 315 ~ 347
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-16-6679-7_14	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 Soeda Akihito, Shimbo Atsushi, and Muraio Mio	4. 巻 104
2. 論文標題 Optimal quantum discrimination of single-qubit unitary gates between two candidates	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 22422
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.104.022422	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 Yokojima Wataru, Quintino Marco Tulio, Soeda Akihito, Muraio Mio	4. 巻 5
2. 論文標題 Consequences of preserving reversibility in quantum superchannels	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Quantum	6. 最初と最後の頁 441 ~ 441
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22331/q-2021-04-26-441	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 Qingxiuxiong Dong, Marco Tulio Quintino, Akihito Soeda, and Mio Muraio	4. 巻 126
2. 論文標題 Success-or-Draw: A Strategy Allowing Repeat-Until-Success in Quantum Computation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.126.150504	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 Quintino Marco Tulio, Dong Qingxiuxiong, Shimbo Atsushi, Soeda Akihito, Murao Mio	4. 巻 100
2. 論文標題 Probabilistic exact universal quantum circuits for transforming unitary operations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 62339
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.100.062339	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 Sakai Ryosuke, Soeda Akihito, Murao Mio, Burgarth Daniel	4. 巻 100
2. 論文標題 Robust controllability of two-qubit Hamiltonian dynamics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 42305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.100.042305	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 Wakakuwa Eyuri, Soeda Akihito, Murao Mio	4. 巻 122
2. 論文標題 Complexity of Causal Order Structure in Distributed Quantum Information Processing: More Rounds of Classical Communication Reduce Entanglement Cost	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 190502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.122.190502	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 Quintino Marco Tulio, Dong Qingxiuxiong, Shimbo Atsushi, Soeda Akihito, Murao Mio	4. 巻 123
2. 論文標題 Reversing Unknown Quantum Transformations: Universal Quantum Circuit for Inverting General Unitary Operations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 210502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.123.210502	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 Miyazaki Jisho, Soeda Akihito, Murao Mio	4. 巻 1
2. 論文標題 Complex conjugation supermap of unitary quantum maps and its universal implementation protocol	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 13007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.1.013007	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 Dong Qingxiuxiong, Quintino Marco Tulio, Soeda Akihito, Murao Mio	4. 巻 99
2. 論文標題 Implementing positive maps with multiple copies of an input state	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 52352
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.99.052352	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 -

[学会発表] 計41件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 29件)

1. 発表者名 Satoshi Yoshida, Akihito Soeda and Mio Murao
2. 発表標題 Universal construction of decoders from unknown encoders
3. 学会等名 21th Asian Quantum Information Science Conference (AQIS 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yutaka Hashimoto, Akihito Soeda and Mio Murao
2. 発表標題 未知ユニタリチャンネルのcomparison
3. 学会等名 第45回量子情報技術研究会 (QIT45)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Satoshi Yoshida, Akihito Soeda and Mio Murao
2. 発表標題 未知のエンコーダーを逆変換化するユニバーサルなプロトコル
3. 学会等名 第45回量子情報技術研究会 (QIT45)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yutaka Hashimoto, Akihito Soeda and Mio Murao
2. 発表標題 Comparison of unknown unitary channels
3. 学会等名 25th Annual Quantum Information Processing conference (QIP2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Timothy Forrer, Akihito Soeda and Mio Murao
2. 発表標題 Entanglement assisted LOCC implementation of bipartite non-local unitary operations
3. 学会等名 25th Annual Quantum Information Processing conference (QIP2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kosuke Matsui, Jun-Yi Wu, Akihito Soeda and Mio Murao
2. 発表標題 An algorithm for reducing entanglement cost required for distributed implementations of quantum circuits
3. 学会等名 25th Annual Quantum Information Processing conference (QIP2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Satoshi Yoshida, Akihito Soeda and Mio Murao
2. 発表標題 Probabilistic exact implementation of an inverse map of black box isometry operations
3. 学会等名 25th Annual Quantum Information Processing conference (QIP2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Satoshi Yoshida, Akihito Soeda and Mio Murao
2. 発表標題 Universal construction of decoders from encoding black boxes
3. 学会等名 YITP international workshop Quantum Information Entropy in Physics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Satoshi Yoshida, Akihito Soeda and Mio Murao
2. 発表標題 高階量子演算における因果順序の古典制御
3. 学会等名 第66回物性若手夏の学校
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Satoshi Yoshida, Akihito Soeda and Mio Murao
2. 発表標題 未知の量子操作を反転する高階量子演算について
3. 学会等名 2021年度量子情報関東・関西合同Student Chapter
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 W. Yokojima, M. T. Quintino, A. Soeda, and M. Murao,
2 . 発表標題 Consequences of preserving reversibility in quantum superchannels
3 . 学会等名 Young Researchers Forum on Quantum Information Science 2020 (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 W. Yokojima, M. T. Quintino, A. Soeda, and M. Murao
2 . 発表標題 Consequences of preserving reversibility in quantum superchannels
3 . 学会等名 Q-Turn 2020 (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 W. Yokojima, M. T. Quintino, A. Soeda, and M. Murao
2 . 発表標題 Consequences of preserving reversibility in quantum superchannels
3 . 学会等名 The 20th Asian Quantum Information Science Conference (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 W. Yokojima, M. T. Quintino, A. Soeda, and M. Murao
2 . 発表標題 Consequences of preserving reversibility in quantum superchannels
3 . 学会等名 The 24th Annual Conference on Quantum Information Processing (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 Qingxiuxiong Dong, Marco Tulio Quintino, Akihito Soeda, and Mio Murao
2. 発表標題 Success-or-draw: A strategy allowing repeat-until-success in quantum computation
3. 学会等名 The 24th Annual Conference on Quantum Information Processing (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 添田彬仁
2. 発表標題 学際領域としての量子情報
3. 学会等名 豊田中央研究所セミナー (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Marco Tulio Quintiono, 董青秀雄, 新保淳, 添田彬仁, 村尾美緒
2. 発表標題 量子回路を用いた未知ユニタリゲートの逆変換の実装
3. 学会等名 新学術領域ハイブリッド量子科学?第9回領域会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横島亘, Marco Tulio Quintiono, 添田彬仁, 村尾美緒
2. 発表標題 因果律を緩和した高階量子演算の構造
3. 学会等名 新学術領域ハイブリッド量子科学?第9回領域会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名	Qingxiuxiong Dong, Jisho Miyazaki, Mio Murao, Shojun Nakayama, Atsushi Shimbo, Akihito Soeda, Marco T?lio Quintino
2. 発表標題	Higher order quantum operations of blackbox unitaries
3. 学会等名	International Symposium on Hybrid Quantum Systems 2019 (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Qingxiuxiong Dong, Shojun Nakayama, Akihito Soeda and Mio Murao
2. 発表標題	Controlled quantum operations and combs, and their applications to?universal controllization of divisible unitary operations
3. 学会等名	23rd Annual Conference on Quantum Information Processing (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Marco Tulio Quintino, Qingxiuxiong Dong, Atsushi Shimbo, Akihito Soeda and Mio Murao
2. 発表標題	Adaptive circuits exponentially outperforms parallel ones for universal unitary inversion
3. 学会等名	23rd Annual Conference on Quantum Information Processing (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Marco Tulio Quintino, Qingxiuxiong Dong, Atsushi Shimbo, Akihito Soeda and Mio Murao
2. 発表標題	Reversing unknown quantum transformations: A universal quantum circuit for inverting general unitary operations
3. 学会等名	Quantum Information Structure of Spacetime HKU workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名 Marco Tulio Quintino, Qingxiuxiong Dong, Atsushi Shimbo, Akihito Soeda and Mio Murao
2. 発表標題 Reversing unknown quantum transformations: A universal quantum circuit for inverting general unitary operations
3. 学会等名 Topical Conference on Quantum Communication and Security 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Marco Tulio Quintino, Qingxiuxiong Dong, Atsushi Shimbo, Akihito Soeda and Mio Murao
2. 発表標題 Reversing unknown quantum transformations: A universal quantum circuit for inverting general unitary operations
3. 学会等名 Japan-France Laboratories of Information (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村尾美緒, 坂井亮介, 添田彬仁, Daniel Burgarth
2. 発表標題 2 量子ビットのハミルトニアン動力学系におけるロバスト動力学制御
3. 学会等名 新学術領域ハイブリッド量子科学?第10回領域会議
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Marco Tulio Quintino, 董青秀雄, 新保淳, 仲山将順, 添田彬仁, 村尾美緒
2. 発表標題 量子計算機による量子ダイナミクスの変換アルゴリズム
3. 学会等名 新学術領域ハイブリッド量子科学?第10回領域会議
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Qingxiuxiong Dong, Marco Tulio Quintino, Atsushi Shimbo, Akihito Soeda, and Mio Murao
2. 発表標題 Inverting unknown quantum operations
3. 学会等名 International Conference on challenges in Quantum Information Science 2018 (CQIS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Qingxiuxiong Dong, Marco Tulio Quintino, Akihito Soeda, and Mio Murao
2. 発表標題 The Cost of Implementing Non-Completely Positive Linear Maps: How to Construct "Forbidden" Quantum Operations and Supermaps
3. 学会等名 International Conference on challenges in Quantum Information Science 2018 (CQIS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryosuke Sakai, Akihito Soeda, Mio Murao, and Daniel Burgarth
2. 発表標題 Robust control of two-qubit gates in Hamiltonian systems
3. 学会等名 International Conference on challenges in Quantum Information Science 2018 (CQIS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akihito Soeda and Mio Murao
2. 発表標題 Universal complex conjugation of quantum states and unitaries: Implementation algorithm and implications
3. 学会等名 International Conference on challenges in Quantum Information Science 2018 (CQIS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jisho Miyazaki, Akihito Soeda, and Mio Murao
2. 発表標題 Universal complex conjugation of unitaries
3. 学会等名 The 13th Conference on the Theory of Quantum Computation, Communication and Cryptography (TQC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Atsushi Shimbo, Akihito Soeda and Mio Murao
2. 発表標題 Equivalence determination of unitary operations: "Quantum learning" of quantum objects
3. 学会等名 Workshop on Quantum Software and Suantum Learning (QSQL 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Marco Tulio Quintino, Qingxiuxiong Dong, Akihito Soeda, and Mio Murao
2. 発表標題 Reversing unknown quantum transformations: A universal protocol for inverting general unitary operations
3. 学会等名 Modern Topics in Quantum Information (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Qingxiuxiong Dong, Marco Tulio Quintino, Akihito Soeda, and Mio Murao
2. 発表標題 Implementing positive maps with multiple copies of an input state
3. 学会等名 The 18th Asian Quantum Information Science Conference (AQIS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Marco Tulio Quintino, Qingxiuxiong Dong, Akihito Soeda, and Mio Murao
2. 発表標題 Reversing unknown quantum transformations: A universal protocol for inverting general unitary operations
3. 学会等名 The 18th Asian Quantum Information Science Conference (AQIS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryosuke Sakai, Akihito Soeda, Mio Murao, and Daniel Burgarth
2. 発表標題 Robust control of two-qubit gates in Hamiltonian systems
3. 学会等名 The 18th Asian Quantum Information Science Conference (AQIS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akihito Soeda Shimbo Atsushi, Akihito Soeda, and Mio Murao
2. 発表標題 Equivalence determination of unitary operations
3. 学会等名 The 18th Asian Quantum Information Science Conference (AQIS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akihito Soeda
2. 発表標題 Higher-order quantum operations on unitary operations with multiple calls
3. 学会等名 2018 International Workshop on Quantum Information, Quantum Computing and Quantum Control (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 添田彬仁、宮崎慈生、村尾美緒
2. 発表標題 Universal complex conjugation of unitaries
3. 学会等名 新学術領域「ハイブリッド量子科学」第7回領域会議
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 添田彬仁、Marco Tulio Quintino、董青秀雄、新保淳、添田彬仁、村尾美緒
2. 発表標題 未知ユニタリゲートの 逆変換化を実装するユニバーサル量子アルゴリズム
3. 学会等名 新学術領域「ハイブリッド量子科学」第8回領域会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 添田彬仁、キンチーノ・マルコ=トゥリオ、董青秀雄、新保厚、添田彬仁、村尾美緒
2. 発表標題 ユニタリ操作を複数回利用し、その逆操作を実装する
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019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
---------	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------