

○戦略目標「量子コンピューティング基盤の創出」の下の研究領域

革新的な量子情報処理技術基盤の創出

研究総括：富田 章久（北海道大学 大学院情報科学研究院 教授）

研究領域の概要

量子ビットの集積と制御技術によって量子コンピュータハードウェアを「作る」研究に対し、本研究領域では量子を「賢く使う」研究を行います。「賢く使う」とは、量子力学の与える制約や制限されたリソースを巧みに利用した情報処理技術、現実的な物理環境下での大規模量子計算など、何らかの制約の中でも実行可能である、あるいは逆に制約を活用する技術を創造することを意味します。

研究内容としては、フォールトトレラント量子コンピュータを実現するための量子アーキテクチャや量子ソフトウェアから、古典的手法よりも効率よく問題を解く量子アルゴリズム、量子センサと量子コンピュータを統合した高度な量子情報通信技術、量子技術と古典IT技術とを融合した情報処理システム、量子アルゴリズムを利用して社会的問題を解決するアプリケーションまで、ハードウェア開発以外の広範なテーマを対象とします。

さまざまな学術領域の融合・協働により、こうした革新的な情報処理手法の研究開発を進め、社会実装可能な量子コンピューティングを実現するための技術基盤を作り上げることを目指します。

募集・選考・領域運営にあたっての研究総括の方針

1. 背景

近年量子ビットの集積と制御技術が進展し、量子コンピュータハードウェアの実現に向けた研究開発が盛んに行われています。これに伴い、ハードウェアを使いこなすためのソフトウェア開発の重要性も高まり、世界的な開発競争が始まっています。

量子計算がさまざまなフィールドで実践され、その優位性を発揮しうる問題も発見されつつありますが、誤り耐性や実装環境などの問題から、大規模量子計算への道はまだ完全には明らかではありません。今後、大規模な実問題を高速で安定に処理する汎用的な量子コンピュータを実現するには、量子情報処理システムの各階層の技術の高度化と、アーキテクチャレベルでのアプローチによるシステム全体の最適化が不可欠です。また、古典IT技術とも協働し、量子計算の効果を最大限に発揮する実用可能な情報処理システムを構築するこ

とで、高速で安全な、価値ある高度情報処理の実現に貢献できると考えられます。

2. 募集・選考の方針

本研究領域では、量子情報処理技術の将来を世界レベルでリードする新しい研究分野、研究課題を開拓し、これからの量子情報技術基盤の潮流を生み出すことを目指します。さきがけ研究の3年間にとどまらず、量子情報処理技術を活用する社会の実現を見据え、量子情報処理技術のあるべき姿を探求していくような提案を募集します。

研究内容としては、スケーラブルな量子コンピュータを実現するための量子演算の原理、量子アーキテクチャや量子ソフトウェア、量子アルゴリズム、量子情報通信、社会的問題を解決するアプリケーションまで、汎用的な量子コンピュータの実現を見据えた提案はもとより、量子アニーリングやそれをデジタル回路で模倣するシミュレーテッドアニーリング等の研究も対象とします。「量子を賢く使う」ことにより量子情報処理技術の足腰を強くし、大規模量子コンピュータや量子ネットワークの実現に資するような提案を期待します。

そのアプローチは、数理、シミュレーション、実験のいずれでも構いません。特に、具体的な物に立脚した物理学と、情報の最適な取り扱いを与える計算科学との協働や、古典計算科学と量子コンピューティングとの協働といった、従来の学術領域の枠組みにとらわれない提案を期待します。特定の量子物理系や実証システムを念頭に置いた研究提案も歓迎しますが、その方針や概念が他の系にも展開可能な一般性をもつことも示してください。

量子コンピューティングの社会実装には、社会的問題を解決するアプリケーションの研究も含め、分野を越境した研究開発が不可欠です。そのため、これまで量子コンピュータ等に関与する研究に従事してこなかった研究者の参画も大いに歓迎します。融合領域を含む新しい分野からの研究提案で、量子コンピューティングの新しい可能性を拓いてください。その場合は、量子を使うことの意義や必然性について説得力のある根拠も示してください。

さきがけ研究期間の終了時の達成目標は明らかにしつつも、目先の成果にとらわれず、量子情報処理の本質を突くことを期待しますので、研究の広がりや量子情報処理技術全体における位置づけを意識した提案をおこなってください。既存の概念や提案にこだわることなく、量子情報処理技術の抱える制約を理解し、それを克服あるいは活用していく、独創的で挑戦的なアイデアに基づいた提案を待っています。

具体的な研究の例を以下に示しますが、これらに限定されることなく、評価者が驚くような観点からの提案を期待します。

(1) 量子情報処理システムのアーキテクチャ

- ア スケーラブルな量子計算を可能とする計算原理
- イ 計算・情報処理に対するアーキテクチャ最適化（既存モデルの改善、新モデルの開発）、設計方法論の検討
- ウ 許容エラー率や結合度等の面で実装容易度の高い新符号の開発、トポロジカル符

- 号の高速実行プログラム開発
 - エ 量子・古典あるいはデジタル・アナログのインターフェース最適化、量子ビット読出し・制御・エラー訂正操作の実装方法開発
- (2) 量子ソフトウェア
- ア エラー率・ばらつき・ノイズ・量子ビット結合密度等を反映できるシミュレータの開発、ハードウェア最適化ツールの開発
 - イ 量子プログラム言語、実際のマシンにマッピング・最適化するコンパイラの開発、リソース推定・最適化手法・ツールの開発
 - ウ 量子化学計算や機械学習等のための変換・前処理の手法開発、既存フレームワーク・ソフトウェアへのアドイン開発
 - エ 量子コンピュータの動作を様々なレベルで評価・検証するための方法論の確立とツールの開発
- (3) 量子コンピューティングアルゴリズム
- ア アルゴリズムの開発・実証（プラットフォームは量子アニーラ、NISQ、汎用量子コンピュータのいずれでもよい）
 - イ 分子の電子構造計算やシミュレーションなど、量子コンピュータの優位性を実証するアルゴリズム
- (4) アプリケーション
- ア 社会的な課題を解決する量子コンピューティングを用いたアプリケーションとその実現のためのシステム設計、量子コンピューティングと古典的 IT 技術を融合した情報処理技術の開発
 - イ クラウド量子コンピュータの動作検証やセキュリティ確保のためのプロトコル開発
 - ウ 量子通信、量子計測・センシングにおけるプロトコル・情報処理手法の開発

3. 運営の方針

領域運営においては、将来社会的に意義をもつ大規模量子情報処理技術の確立につながる世界的な潮流を形作り、その先頭に立っていく若手研究者の成長を支援することを目指します。

量子コンピューティングの基礎研究から社会実装を見据えた技術開発まで、関連する CREST、さきがけ等の研究領域との連携推進を図り、必要に応じて、領域会議やワークショップ等の開催を共同で行います。また、学术界のみでなく、産業界との連携に関しても国内外の関連する団体との連携を図りながら進めていきます。

研究提案には新規量子アルゴリズムの開発等が想定されますが、理論の提唱にとどまらず実現可能性についても検討できるよう、ハードウェアを所有する関連団体と連携し、現状で利用可能なスケールの量子コンピュータ等の実機を提供する環境を整えています。

4. 研究期間と研究費

本研究領域の期間は、2019 年度から 2024 年度まで（予定）です。

今年度募集する研究提案の研究期間は、2021 年度から 2024 年度（3.5 年以内）とします。

また、当初研究費は総額 3,000 万円（間接経費を除く）を上限とします。