

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



科学技術振興機構

戦略目標

量子コンピューティング基盤の創出

本戦略目標では、量子力学的な効果を用い、現在の技術では難しいとされている情報処理を高速で行うことができる量子コンピューティング基盤の創出を目指す。

達成目標

- (1) 量子計算アルゴリズムの開発・実装・実証
- (2) 量子ソフトウェアの研究開発
- (3) 量子情報処理システムのアーキテクチャ研究開発

背景

1. 莫大なデータを高速で処理するニーズ

- クオリティ・エネルギー効率・セキュリティの高い社会の実現
- 機械学習, 画像・メディア処理, 組合せ最適化等では大量かつ多種多様なデータを処理

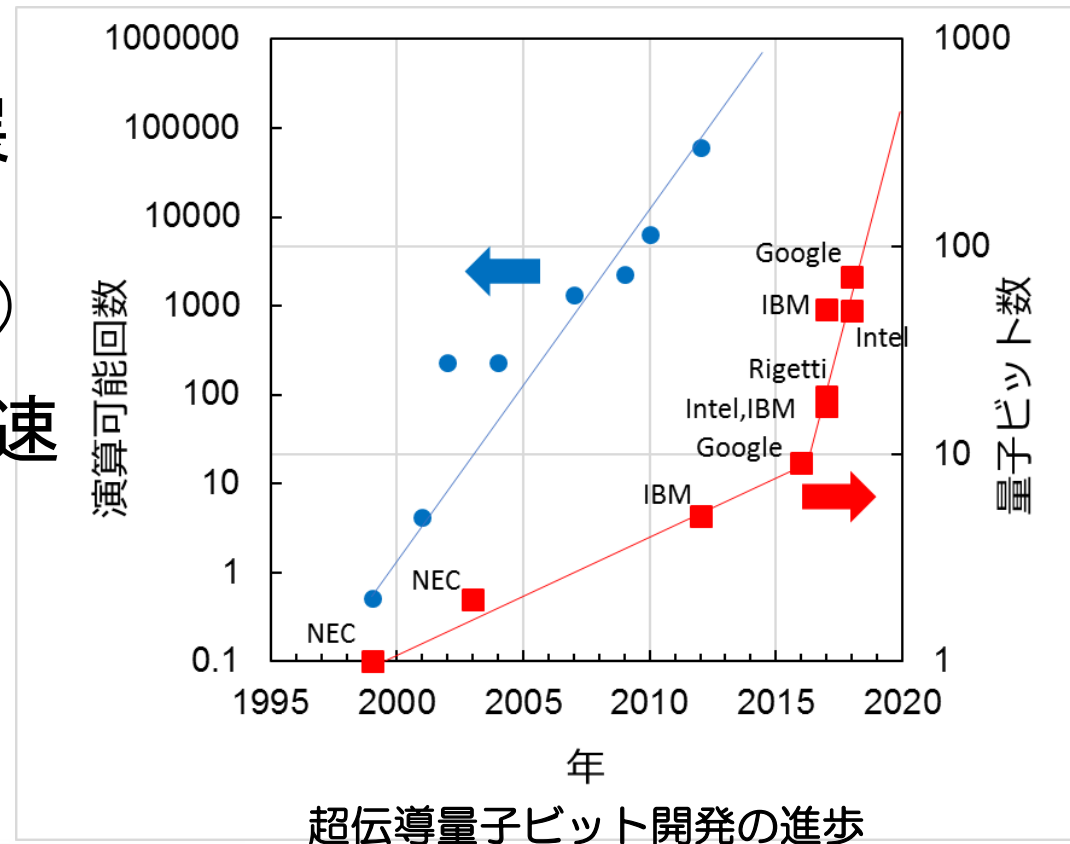
2. ハードウェア開発が進展

- 量子ビット制御(低エラー)
- 集積(100量子ビットクラス)

3. 世界的な研究投資の加速

- 米, 欧, 中の政策投資
- IBM, Google, Microsoft, Alibaba,.....

→ 量子を賢く使う技術

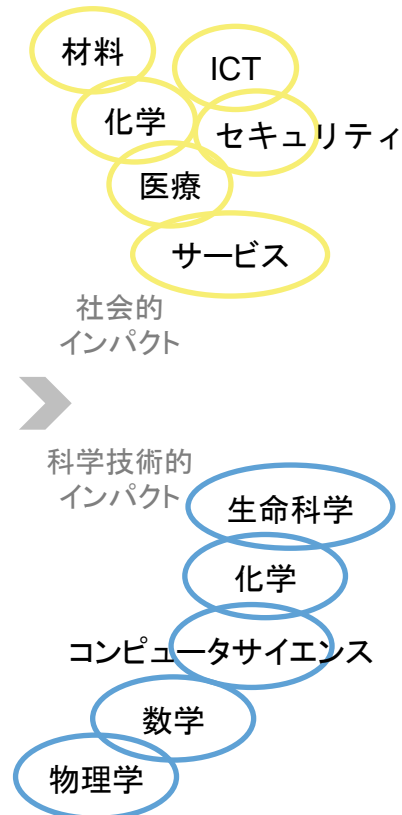


領域概要

研究領域の目標 さまざまな学術領域の融合・協働により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

↑
量子力学の与える制約やリソースの制限を利用し量子を「賢く使う」研究

↕
量子ビットの高集積化により量子コンピュータハードウェアを「作る」研究



研究総括 (富田章久)

NEC 光エレクトロニクス研究所(1984-1998)

光機能素子; 半導体レーザ; フォトニック結晶

NEC 基礎研究所(1999-2010)

– CREST (2000-2005)

「量子暗号の実用化を可能にする光子状態制御技術」
量子もつれの生成と制御

– ERATO (2000-2005) SORST(2005-2010)

「今井量子計算機構」 「量子情報システムアーキテクチャ」
量子プロトコルの量子光学実装

– NICT委託研究 (2000-2010) : QKD装置設計・試作

北海道大学 (2010-)

– NICT委託研究, ImPACT, SIP, 総務省 : QKD安全性・高速化

– 科研費 : QKD長距離化

– (自前で) : 光量子コンピューティング

領域アドバイザー

氏名	所属機関・役職
井上 弘士	九州大学 大学院システム情報科学研究所 教授
門脇 正史	(株)デンソー AI研究部 AIビッグデータ研究室 量子コンピューティング研究課長
金本 理奈	明治大学 理工学部物理学科 准教授
小松崎 民樹	北海道大学 電子科学研究所 教授
高柳 匡	京都大学 基礎物理学研究所 教授
徳永 裕己	日本電信電話株式会社 セキュアプラットフォーム研究所 特別研究員
中島 研吾	東京大学 情報基盤センター 教授 理化学研究所 計算科学研究センター 副センター長
根来 誠	大阪大学 先導的学際研究機構 特任准教授（常勤）
藤井 啓祐	大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授
増原 英彦	東京工業大学 情報理工学院 教授
湊 雄一郎	blueqat株式会社 代表取締役
山下 茂	立命館大学 情報理工学部 教授

領域アドバイザー



井上 弘士 (九大)



門脇 正史 (デンソー)



金本 理奈 (明治大)



小松崎 民樹 (北大)



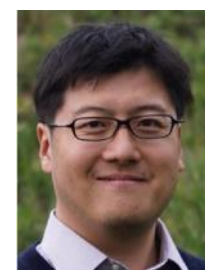
高柳 匡 (京大)



徳永 裕己 (NTT)



中島 研吾 (東大)



根来 誠 (阪大)



藤井 啓祐 (阪大)



増原 英彦 (東工大)



湊 雄一郎 (blueqat)



山下 茂 (立命館大)

量子情報処理技術基盤の創出

量子コンピュータに対する疑問

1. 本当に強力？
 - 効率的な古典アルゴリズムが見つかっていない問題が解ける
 - 一般的な量子状態は古典コンピュータでシミュレートできない
 - 計算量理論の観点から古典コンピュータで解けない問題が解ける（量子優位性）：役に立つ問題がある？
2. 大規模化は可能（スケーラブル）？
 - フォールトトレラント
 - 所要リソース：符号, 量子ビットの品質
 - 誤り訂正符号
 - Magic State
3. いつ使えるようになる？
 - 量子インスパイア(古典)コンピュータ
 - 量子アニーリング
 - NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum)
 - フォールトトレラント量子コンピュータ

疑問への解答 ➡ 研究提案

- (1) 量子情報処理システムのアーキテクチャ
➡ 実装可能な量子コンピュータの作り方
- (2) 量子ソフトウェア
➡ だれでも使える量子コンピュータ
- (3) 量子コンピューティングアルゴリズム
➡ 量子の上手な使い方, 量子優位性
- (4) アプリケーション
➡ 役に立つ問題, 応用

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。

具体的な研究の例

(1) 量子情報処理システムのアーキテクチャ

- スケーラブルな量子計算を可能とする計算原理
- 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
- 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
- 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

具体的な研究の例

(2) 量子ソフトウェア

- 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
- 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
- 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
- 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

具体的な研究の例

(3) 量子コンピューティングアルゴリズム

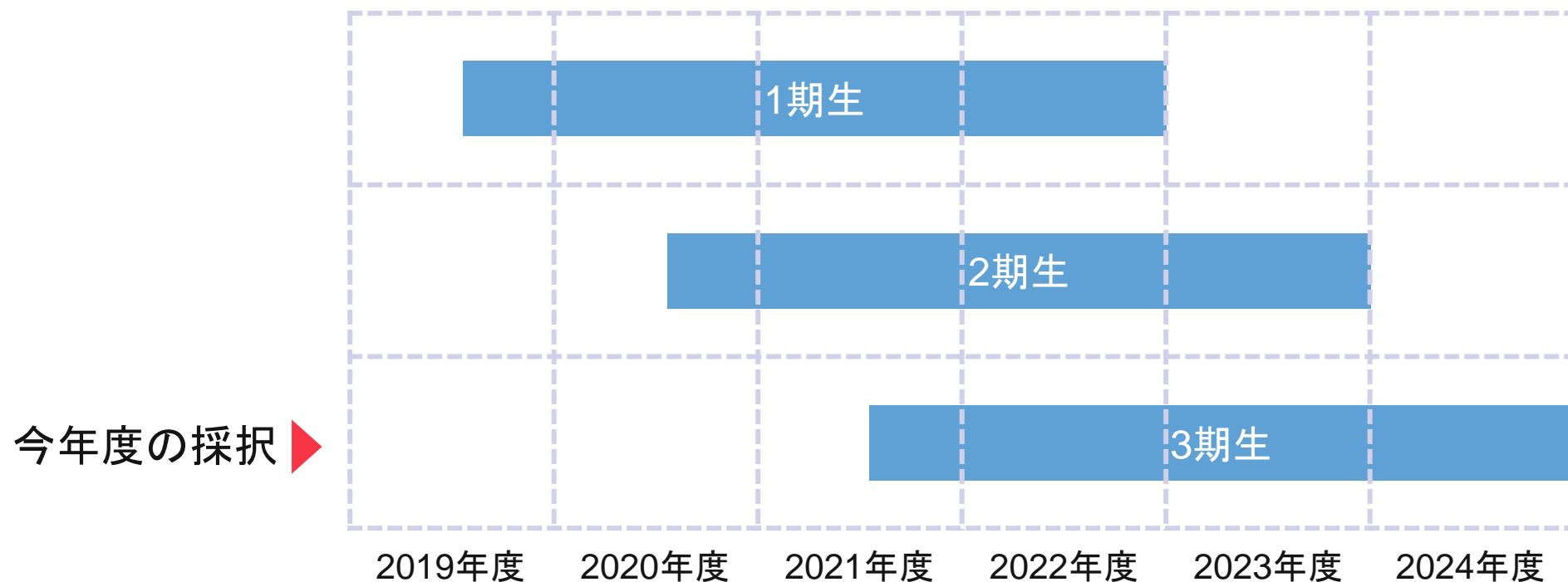
- アルゴリズムの開発・実証
(プラットフォームは量子アニーラ、NISQ、汎用量子コンピュータのいずれも可)
- 分子の電子構造計算やシミュレーションなど、
量子コンピュータの優位性を実証するアルゴリズム

具体的な研究の例

(4) アプリケーション

- 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
- 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
- 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

研究期間・研究費



当初研究費：総額3,000万円（間接経費を除く）を上限

募集・選考の方針

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処理技術基盤の潮流を生み出すことを目指す

- 数理、シミュレーション、実験のいかなるアプローチも可
- 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歓迎
- これまで量子コンピュータ等に関与する研究に従事したことのない研究者の参画も歓迎

申請時のポイント

- さきがけ研究期間の終了時の達成目標を明らかにしつつ、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明示
- 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の場合であっても、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説明
- アプリケーションの提案では、量子計算を使うことの意義や必然性について説得力のある根拠を明示
- 研究提案の学術的重要性や波及効果を異分野の研究者にもわかりやすく説明



理想像



課題（具体化）



アプローチ：何でもよい

2020年度募集 総評

量子情報処理技術としての汎用性と発展性を重視し、将来の大規模量子コンピュータ・量子ネットワークの実現に資することを重要な観点として選考

2021年度の提案への要望・期待

- 量子生命や量子セキュリティ、量子機械学習といった融合領域において、量子計算と古典的計算手法の有効な役割分担を示し両者を結合する提案にも期待
- (特に) 量子情報分野以外からの提案の場合
 - 従来の計算手法を凌駕する可能性を示す予備的な解析、あるいは量子を使うことが本質的に必要であることについての根拠に基づく説明が必要
 - 量子計算を用いることによって新たにどのような系が計算可能になるのか、具体的なキラアアプリケーションを示すことも提案内容次第では重要

令和元年度採択課題



上田 宏(阪大)

「テンソルネットワークによる
量子状態圧縮技術の高度化」



大久保 毅(東大)

「テンソルネットワーク状態を
活用した量子多体系基底状態
計算手法の開発」



倉重 佑輝(京大)

「量子-古典空間分離法を用い
た量子多体系ソルバーの開発」



杉崎 研司(大阪市大)

「量子化学計算の高効率量
子アルゴリズムの開発」



杉山 太香典(東大)

「量子演算の高精度化
基盤技術開発」

令和元年度採択課題



鈴木 泰成 (NTT)
「ヘテロジニアスな設計と
制御に基づく誤り耐性量子計算」



Darmawan Andrew (京大)
「実世界における量子計算
に向けた数値的解析」



平石 秀史 (東大)
「量子ハイブリッド組合せ
最適化アルゴリズム開発」



松崎 雄一郎 (産総研)
「完全秘匿性を実現する量子
IoTアーキテクチャの構築」



水上 渉 (阪大)
「計算化学のフロンティアを拓く
革新的複素数波動関数
量子シミュレータの開発」

令和2年度採択課題



上西 慧理子(慶應義塾大)
「開放系における変分量子
アルゴリズムの解析と開発」



品岡 寛(埼玉大)
「スパースモデリングを用いた
固体の革新的量子計算技術の開発」



曾田 繁利(理研)
「量子計算機による
量子ダイナミクス研究に向けた
技術基盤の創出」



田島 裕康(電通大)
「量子情報幾何に基づく、
対称性・不可逆性・量子性の
統一的理論の構築と応用」



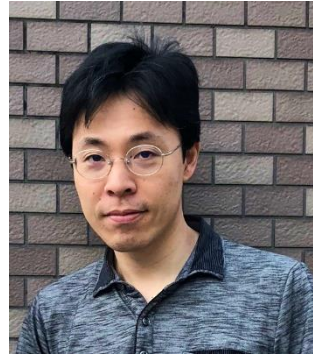
谷本 輝夫(九州大)
「信頼性を持つ
量子コンピュータ・
アーキテクチャの研究」

令和2年度採択課題



土持 崇嗣(神戸大)

「多様な電子状態計算を実現する
包括的量子アルゴリズムの開発」



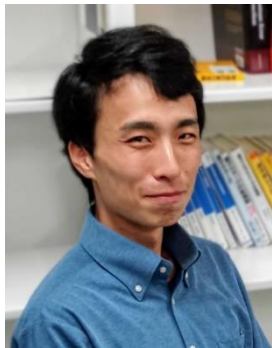
中島 峻(理研)

「リアルタイム制御ソフトウェア
による量子ビット仮想化」



水野 雄太(北大)

「離散的化学反応論の
ための量子計算技術」



御手洗 光祐(阪大)

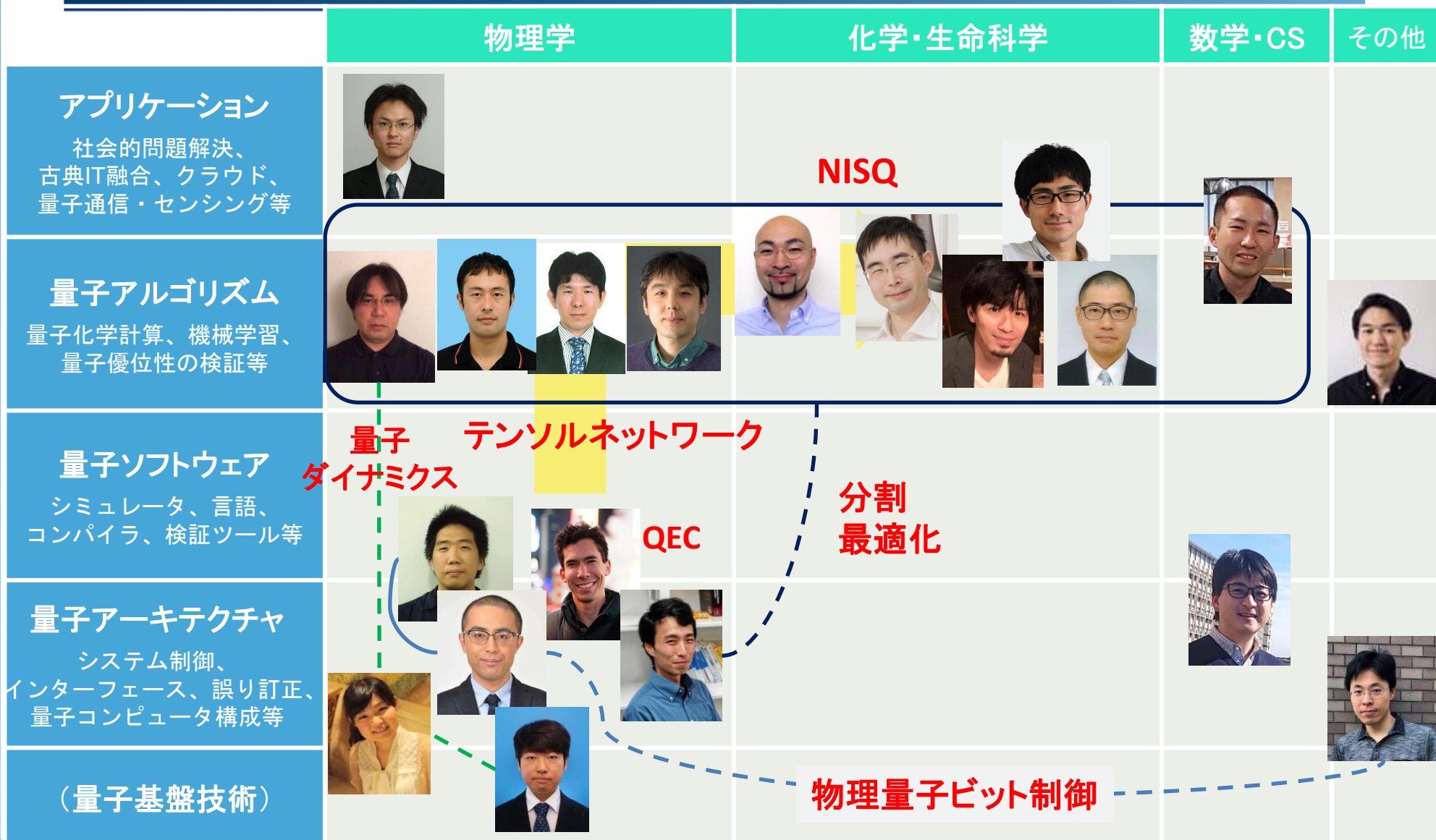
「量子計算における
低レイヤータスク分割技術の
構築」



山崎 隼汰
(オーストリア科学アカデミー)

「高速な量子機械学習の
基盤構築」

採択課題のポートフォリオ



領域運営の方針

- 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を共同で開催
- 国内外の関連する団体を通じ、産業界と連携
- 研究成果の社会実装の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の連携し、現状で利用可能なスケールの量子コンピュータの実機を提供する環境を整備中

〇〇がわからない…

そうだ、領域会議で会ったあの人に聞いてみよう！

おわりに

- 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
- 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
- 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

を待っています。