

量子コンピュータ研究開発の現状と課題

中村 泰信

理化学研究所量子コンピュータ研究センター



量子コンピュータ実現に向け、ハードウェア・ミドルウェア・ソフトウェア**すべての技術レイヤーを貫いた研究開発**を推進する。

ブレークスルーを目指して基礎から応用まで、実験から理論まで**多様な人材が協働**する。

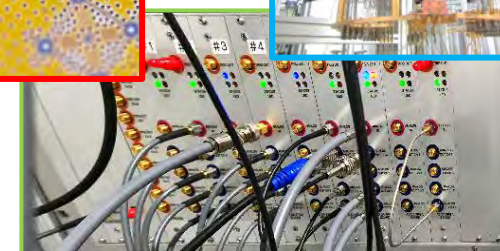
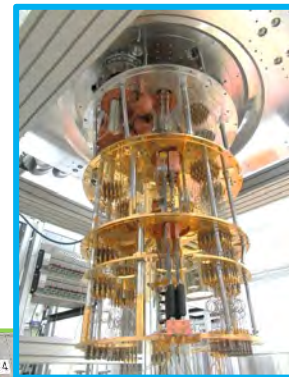
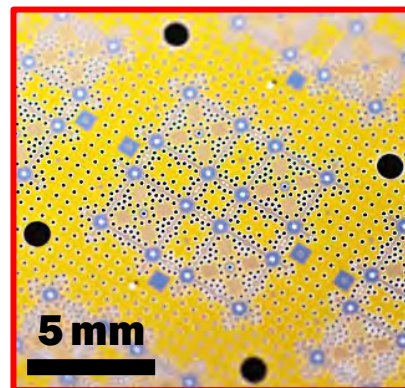
開かれた拠点として、産官学・国内外にわたり広く連携しながら研究開発を進め、社会貢献を目指す。

研究開発を通じて、**次世代の量子技術を担う人材を育成**する。

① 超伝導量子コンピュータの研究開発

超伝導量子コンピュータ実機の立ち上げに向けたハードウェア・ミドルウェア・ソフトウェアを開発する

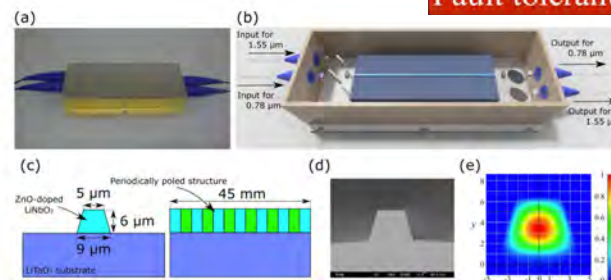
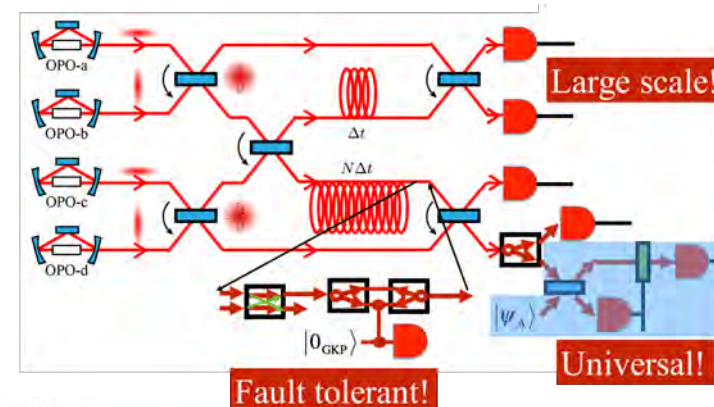
- ・ スケーラブルな超伝導量子ビット2次元集積化プロセス技術
- ・ 誤り耐性量子計算実現に向けた量子誤り訂正符号
- ・ 大規模量子集積回路制御用エレクトロニクス
- ・ 量子-古典ハイブリッド最適化アルゴリズムの実装に向けたNISQ回路



② 光量子コンピュータの研究開発

誤り耐性光量子コンピュータの実現を目指した実装技術開発

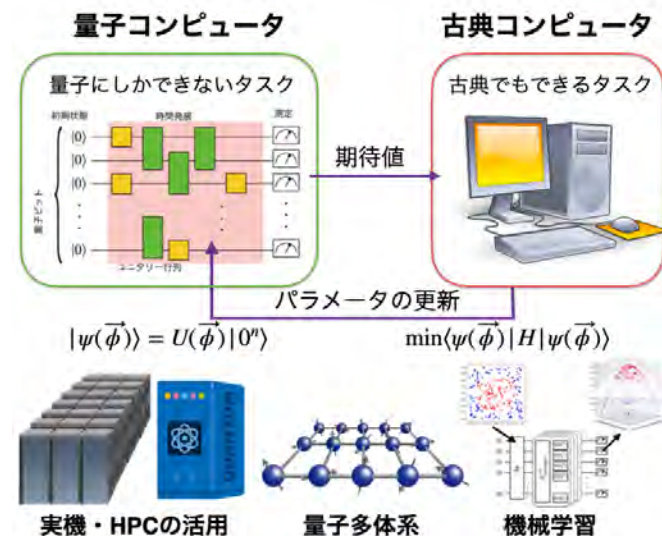
- ・ 連続量量子テレポーテーションの技術に基づく測定誘起型光量子計算
- ・ 光信号時分割モード多重化による大規模化
- ・ 通信波長帯光ファイバー量子光学系構築
- ・ 低損失化・安定性向上



③量子計算理論・量子ソフトウェア研究

近未来に実現する量子コンピュータハードウェア上で実行可能なNISQアルゴリズムの探求と、将来の誤り耐性量子計算の実現に向けた理論研究を行う

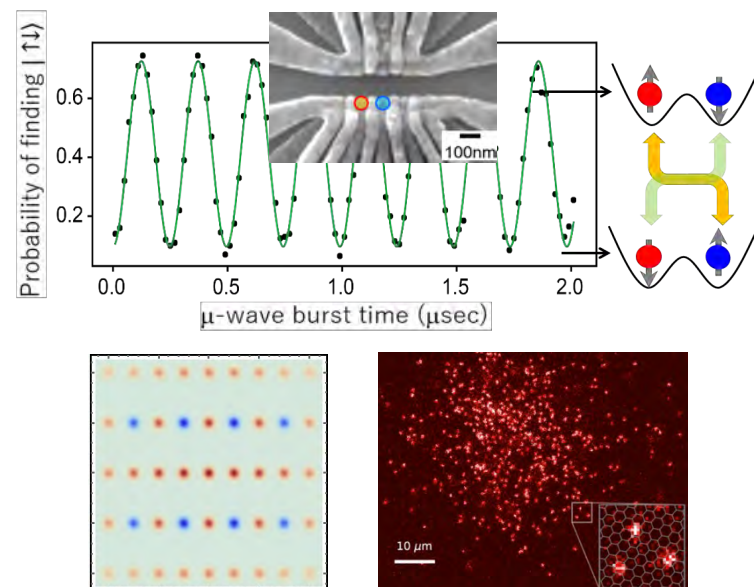
- ・ 誤り耐性量子計算理論
- ・ NISQマシン応用（物性物理・量子化学・機械学習など）のためのアルゴリズム研究
- ・ アルゴリズム性能評価のためのHPCおよび量子コンピュータ実機の活用
- ・ 量子シミュレーションの応用の探求
- ・ 機械学習やAIの量子物理や量子情報科学研究への応用



④量子情報処理のための基盤技術開発

量子コンピュータ実現に必要な不可欠な高精度量子制御および観測技術を様々な物理系において追求する

- ・ 超伝導共振器中の低オーバーヘッドの誤り訂正符号「ボゾニック符号」
- ・ 半導体スピン量子ビット集積化
- ・ ヘリウム液面上の電子スピン状態制御
- ・ 三角格子光格子中の冷却原子量子シミュレーション



量子技術イノベーション拠点

目的

- 「量子技術イノベーション戦略」では、**基礎研究から技術実証、知財管理、人材育成に至るまで産学官で一気通貫で取り組む拠点**として「量子技術イノベーション拠点」の整備を明記
- 国内 8 拠点における各分野での研究開発の取組に加え、Head Quarterを設け、拠点横断的な取組を強化 (※R3.2.26に量子技術イノベーション拠点キックオフ式典を開催)

拠点



Head Quarterの下、各拠点 (領域)が一体的に拠点形成を推進

<活動内容>

- ①国際ワークショップの開催や国際共同研究などの**国際連携の推進**
- ②**知的財産の管理・国際標準化**に関する拠点間での戦略の共有
- ③企業技術者の受け入れによる共同研究などの**産学官連携の推進**
- ④若手研究者の参入や機関・研究分野を越えた**人材育成の強化**
- ⑤研究設備の相互利用や共用といった**研究開発支援の推進**

T
O
K
Y
O

The International Symposium
on Quantum Science,
Technology and Innovation
Tokyo, 7-9 December 2021

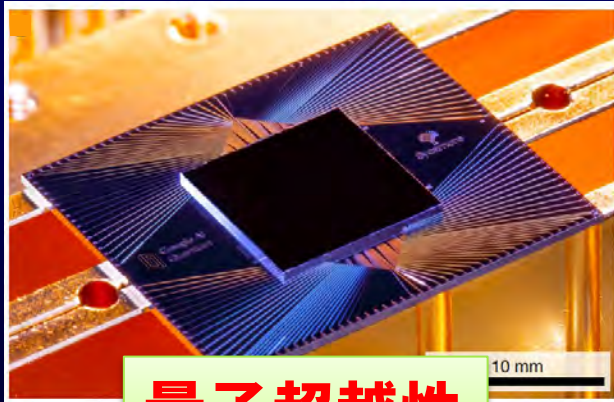


**QUANTUM
INNOVATION
2021**

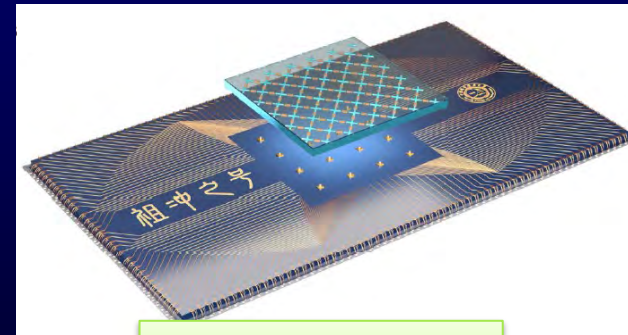
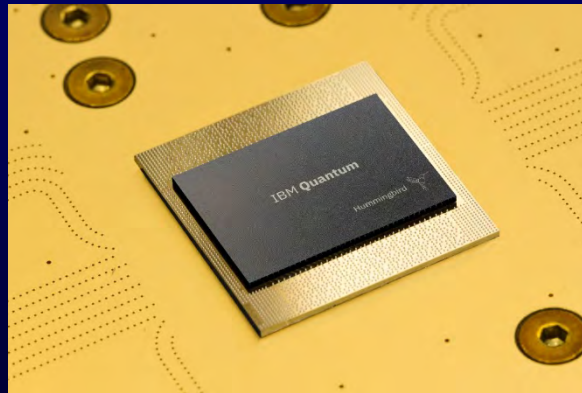
<https://quantum-innovation.riken.jp/>



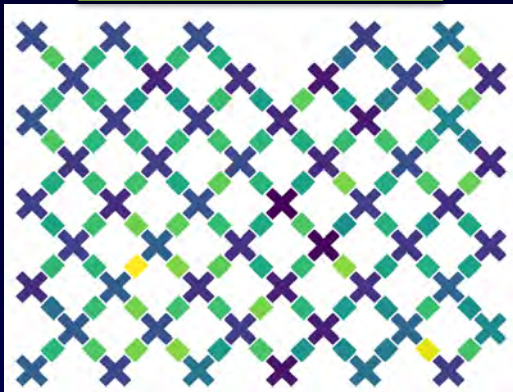
超伝導量子コンピュータ開発状況



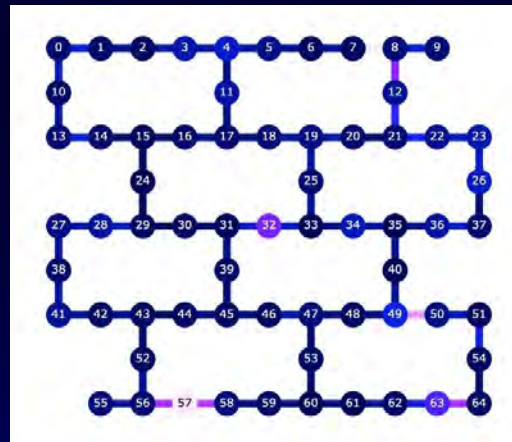
量子超越性



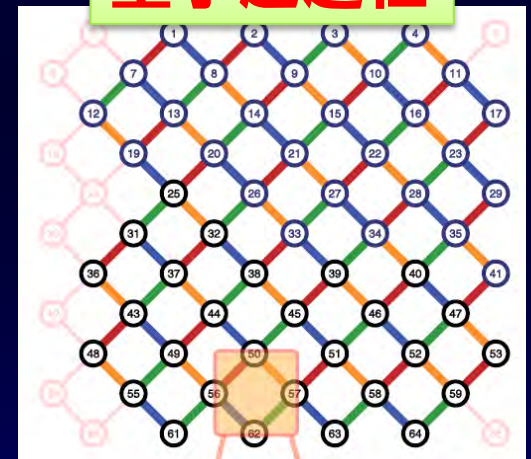
量子超越性



54量子ビット



65量子ビット



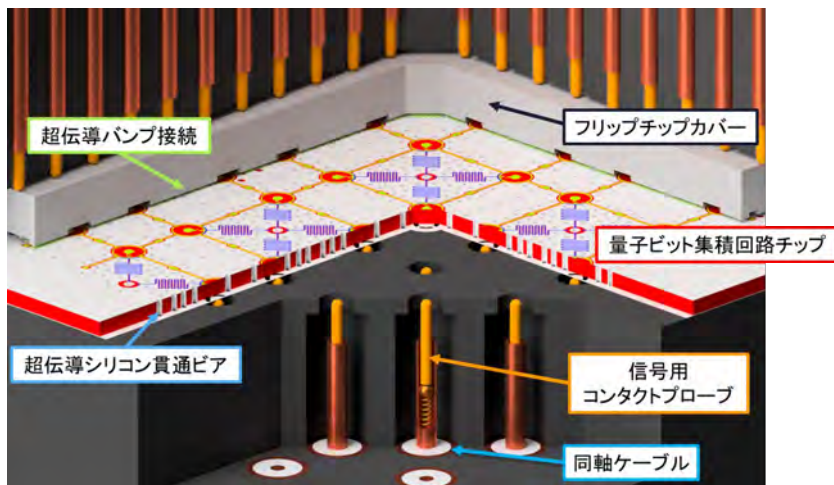
66量子ビット

Google AI Quantum
Nature 574, 505 (2019)

IBM

<https://techcrunch.com/wp-content/uploads/2020/09/IBM-Quantum-Hummingbird.jpg>;
<https://pbs.twimg.com/media/Eg2STiZWkAIPRDX.jpg>

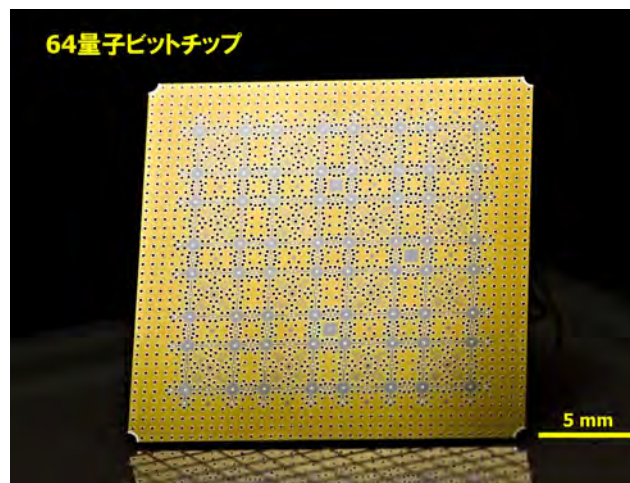
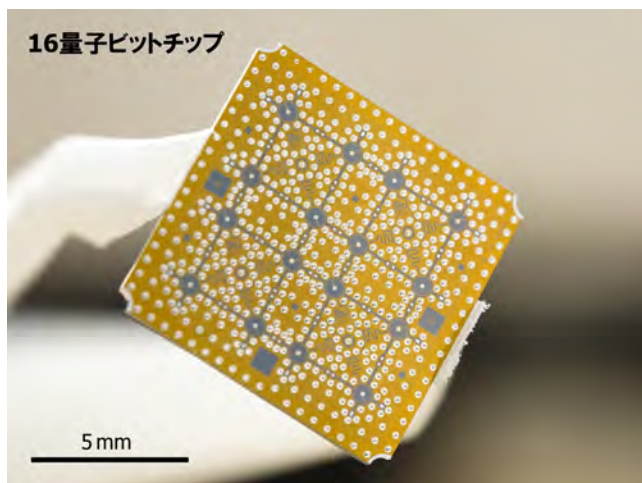
USTC (中国科学技术大学)
Phys. Rev. Lett. 127, 180501 (2021);
arXiv:2109.03494



Q-LEAP目標

50量子ビット以上の実装、高忠実度 (1量子ビットゲート $>99.9\%$ 、2量子ビットゲート $>99\%$ 、読み出し $>99\%$)の制御および観測を実現する。(FY2021)

実機クラウド接続実現 (FY2022)



NISQ応用へのプラットフォームを提供しつつ、誤り耐性量子計算実現への道筋を探求

独自方式 超伝導量子ビット2次元集積回路+垂直配線パッケージ

産業界との連携

受け手となる産業界との連携状況や課題

- Q-LEAPを中心とした幅広い連携
- 理研RQC－富士通連携センター
- スタートアップ起業も将来の可能性
- 課題：企業間連携の枠組み作り

産業界への技術移転戦略

共同研究を進める中で現場のノウハウを共有し、人材育成を進めるとともに技術を展開する。

産業界に期待すること

- 腰を据えた研究開発へのコミットメント
- 人材・資金
- 現場第一主義
- オープンイノベーション
- 応用開拓・顧客開拓



理研RQC－富士通連携センター発足 2021.4.1

今後の政策・施策に期待すること

国際的にアピールできる量子コンピュータ研究開発の推進・加速のためにプロジェクトの充実が重要

重点を置くべき研究テーマ・視点

- 局所最適化でなく、システムとしての全体最適化
- スケールアップのためのブレークスルー技術開発
- 地道な性能向上の積み重ね
- 古典制御エレクトロニクス・ミドルウェアの開発

政策・施策に期待すること

- 科学第一主義 **Science First (by Charles Tahan, OSTP, USA)**
- 長期的な視点と継続的な支援
- ボトムアップによる柔軟かつ機動的な対応を可能にする体制
- 周辺領域からの研究者の参加促進
- 国際連携・人材流動の促進

人類の科学技術の発展に寄与し、世界の社会問題解決に貢献する。