

量子コンピューティングへの取り組み



株式会社富士通研究所
ICTシステム研究所
量子コンピューティングプロジェクト
プロジェクトディレクター

佐藤 信太郎

富士通研究所のコンピューティングへの取り組み **FUJITSU**



量子コンピューティング

2019年10月23日

量子超越性の衝撃

Google量子コンピュータ

従来型の
スパコンで

1万年かかる計算
200秒で計算

「ライト兄弟の初飛行に匹敵」

量子コンピュータの分類

動作原理の違いにより、ゲート方式とイジングマシン方式に分類

- ゲート方式では超伝導、シリコン、イオントラップなど様々な方式が提案



量子／量子Inspiredコンピュータの分類

量子ゲート方式

従来のコンピュータのような汎用処理が可能

超伝導回路

Si

イオントラップ

マヨラナ

Google

IBM

Intel

IonQ

Honeywell

Microsoft

イジングマシン方式

組合せ最適化問題に特化

量子アニーリング

レーザー
ネットワーク

論理ゲート

超伝導回路

光パラメト
リック発振

CMOS回路

NEC

D-Wave
Systems

NTT

日立

東芝

富士通

量子コンピュータによる解決が期待される課題

FUJITSU

現在のコンピュータでは原理的に高精度／高速計算が困難な、
量子化学計算や複雑系の計算など

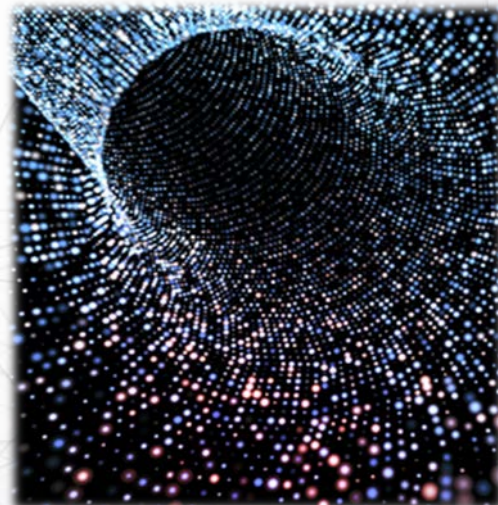
新しい材料や
医薬の発見



金融や経済の
動向予測



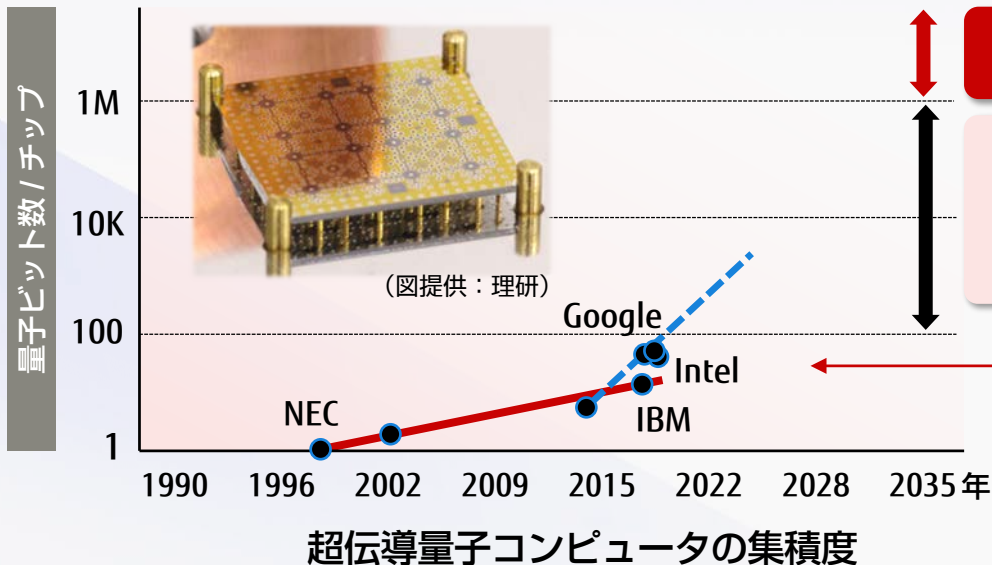
産業を変革する
新原理の発見



量子ゲート方式の現状と課題 (1)

誤り耐性量子計算のためには100万ビット以上が必要

- 量子ビット数は近年向上し、60ビット超となったがまだ不足
- 当面は少ないビット数で特定アプリへの応用を狙う



誤り耐性量子コンピュータ (100万ビット以上)

NISQ*コンピュータ

限定アプリケーションでの有用性に期待

*NISQ : Noisy Intermediate-Scale Quantum

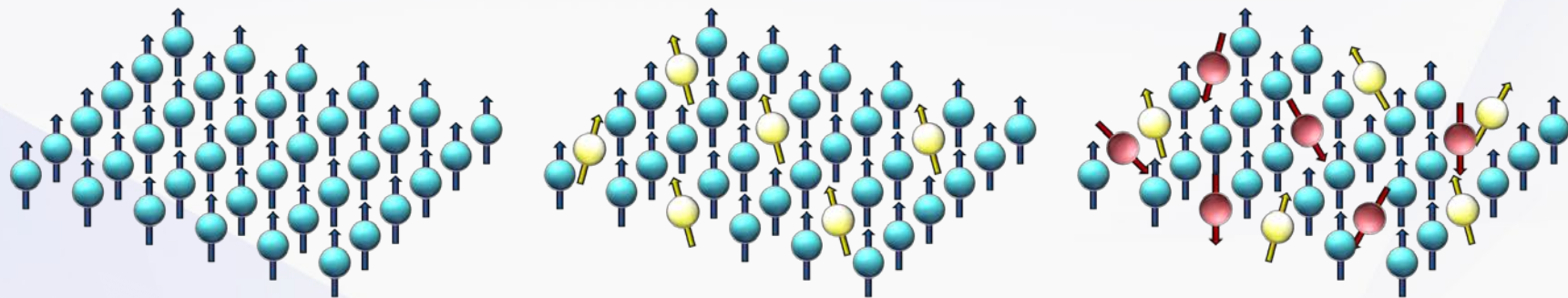
53ビット量子超越性

“1000論理ビットを持つ本格的量子コンピュータの実現には、数百万物理量子ビットが必要になるかもしれない”
Adrian Cho, Science, 2020/7/9

量子ゲート方式の現状と課題 (2)

エラーによる精度低下の改善にはソフトウェア技術が重要

- 量子ビット操作精度は99%超まで向上したが、計算ステップ毎にエラー重畳
- エラー緩和アルゴリズムなどによる精度の向上が必要



計算ステップ毎に、エラーが重畳

計算ステップ

※矢印の向きは理想値からの相対誤差のイメージ

当社の取り組み

オープンイノベーションによる研究推進

国内外との**世界トップレベル**の研究体制

ハードウェア



<https://riken.jp>

<https://tudelft.nl>

理化学研究所・東大

デルフト工科大

超伝導方式
新方式

ソフトウェア



<https://entrance.es.osaka-u.ac.jp>

<https://blog.uwaterloo.ca>

Quantum Benchmark facebook

大阪大

ウォータールー大

Quantum
Benchmark社

量子アルゴリズム
エラー緩和・訂正技術

新たに、理研・東大、蘭デルフト工科大、阪大との共同研究を開始

量子コンピューティングの研究開発

- ▶ 量子デバイスからアルゴリズム、アプリまですべての領域をカバー
- ▶ ハードは幅広く可能性を追求

技術領域

量子アプリケーション

量子アルゴリズム

量子基盤ソフトウェア

量子状態制御

量子デバイス、集積

Quantum Benchmark社 (本年3月発表)

大阪大学

材料、創薬、金融など

量子化学計算、量子機械学習など

エラー緩和技術

エラー訂正技術

制御回路

超伝導方式

理化学研究所, 東京大学

制御回路

ダイヤモンドスピン方式

デルフト工科大学

制御回路

其他方式

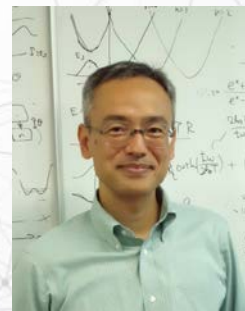
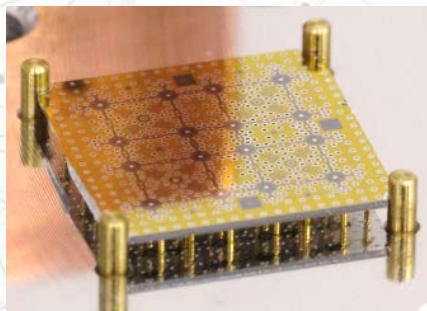
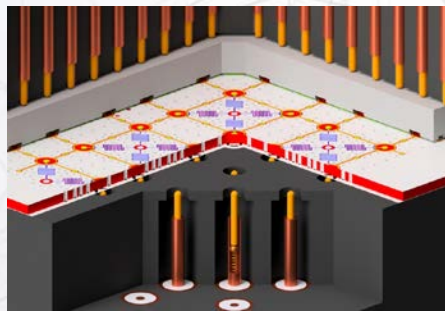
広く検討

ハードへの取り組み：超伝導方式

最先端の超伝導方式でまずは100ビット級に向けた研究開発

第一人者である理研・東大の中村教授とシステム構築

- 超伝導回路が量子化された2準位系人工原子を量子ビットとして使用
- 理研・東大の持つ独自の量子ビット制御・読み出し技術、集積回路方式が武器
- 富士通研の持つ材料、デバイス、回路、システム技術を融合し大規模化を狙う



理研で開発中の超伝導量子ビットチップ (図提供：理研)

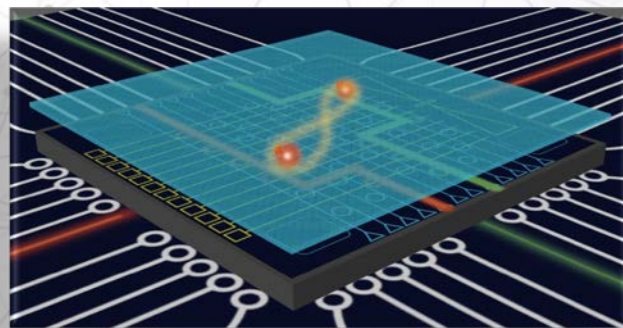
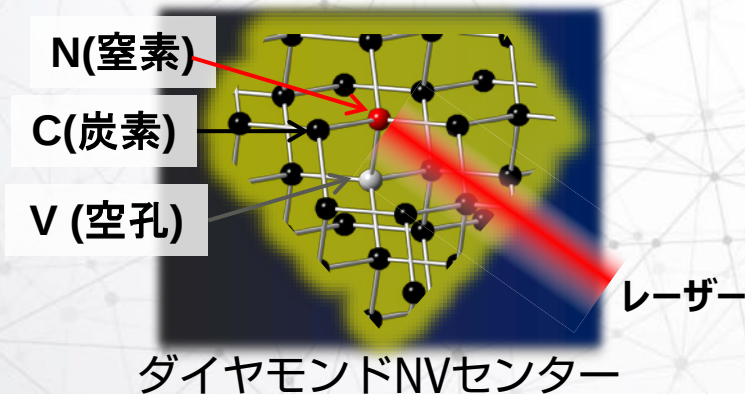
中村教授

ハードへの取り組み：ダイヤモンドスピン方式 FUJITSU

光とスピンを組み合わせて高温(1-10K)動作と大規模化を追求

デルフト工科大と世界初の試み

- 窒素などの不純物導入によりダイヤモンド中にスピン量子ビット形成
- 大型冷却器が不要で、読み取り・制御回路の集積化により大規模化が容易
- 離れた量子ビット間の演算を光を介して行い、ノイズの影響を受けにくい



量子プロセッサのイメージ (図提供：デルフト工科大)

エラー緩和、訂正技術が大きな鍵

- NISQ用のエラー緩和技術「**Randomized Compiling**」と、それを利用したアルゴリズムに関し、カナダQuantum Benchmark社と共同研究開始
(2020年3月プレスリリース)
- 新たに大阪大学藤井教授と、誤り耐性量子計算向けエラー訂正技術・アルゴリズムに関し共同研究開始
 - 効率的にエラー訂正が可能な
新たな訂正符号とその実装法を研究
 - 大阪大学は、エラー訂正に必須な
量子・古典コンピュータの連携に強み



藤井教授

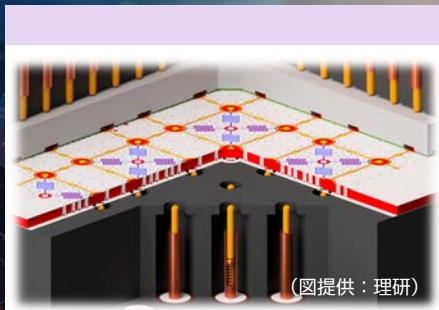


従来は不可能だった課題の解決を目指して

量子コンピューティングの実現を目指し、長期的視点で取り組む



各種アルゴリズム、ハードウェア
各種要素技術開発



(図提供：理研)

数千ビット級・限定用途向け
NISQコンピュータ



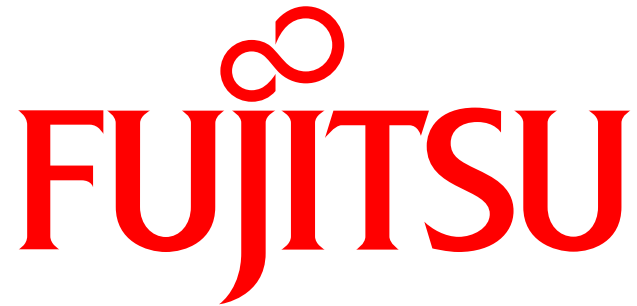
誤り耐性量子コンピュータ

2020年

「量子超越性」

2030年

2040年



shaping tomorrow with you