

# 量子コンピューティング： 現状と産業化への課題

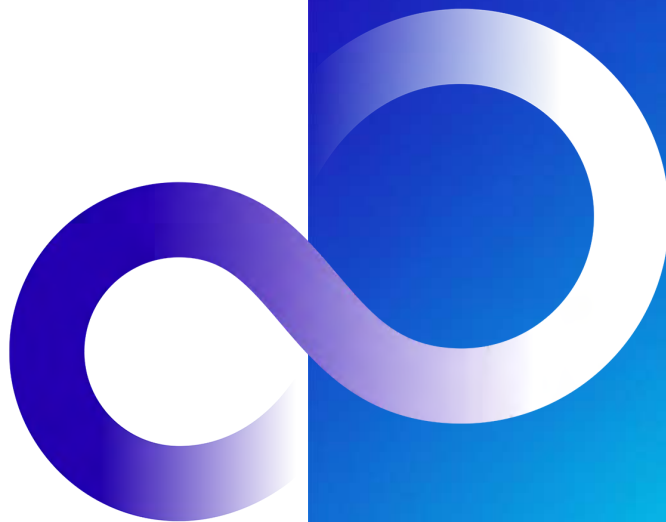
(量子技術の実用化推進WG第3回資料)

2022/12/6

富士通株式会社

富士通研究所 量子研究所

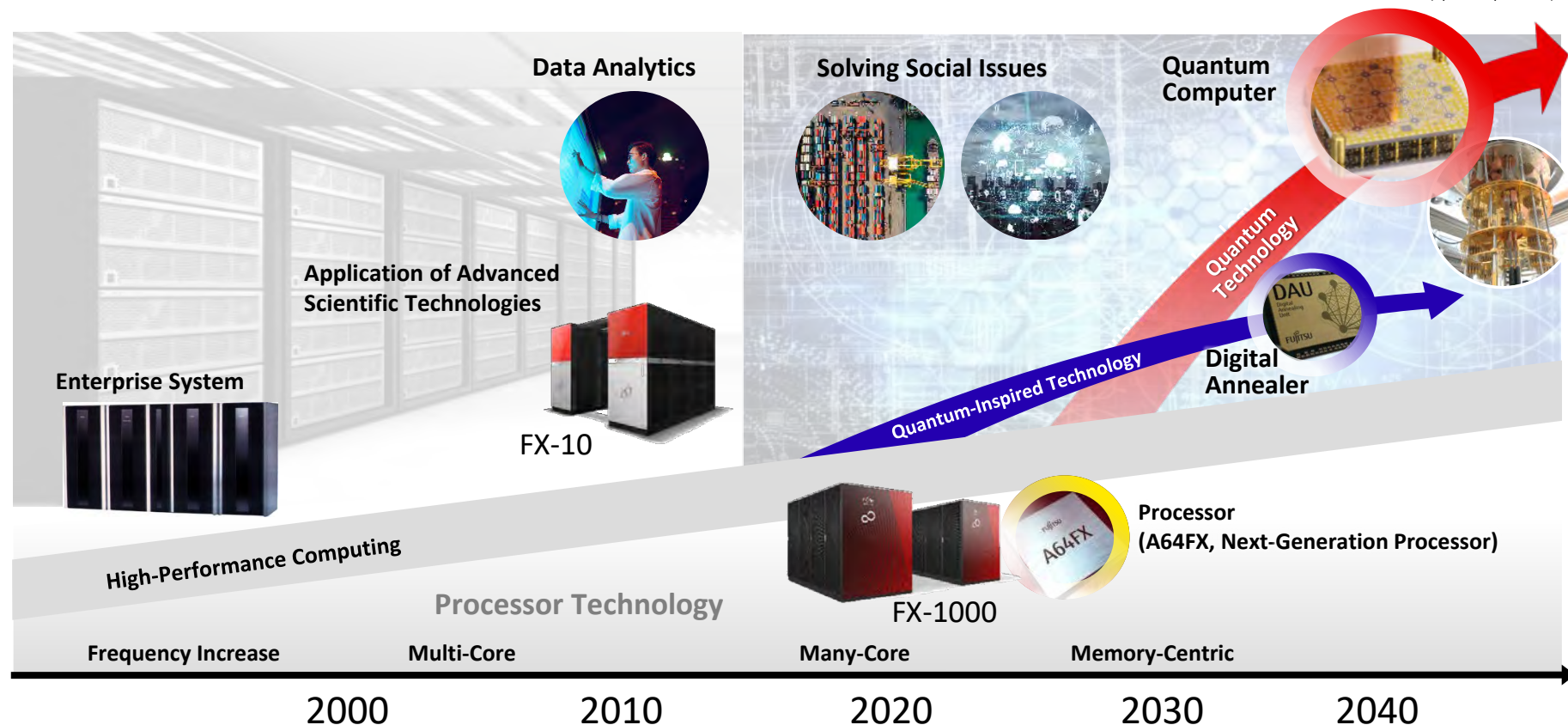
佐藤 信太郎



# 富士通のコンピューティングへの取り組み



(By courtesy of RIKEN)



# 量子コンピュータにより解決が期待される課題



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

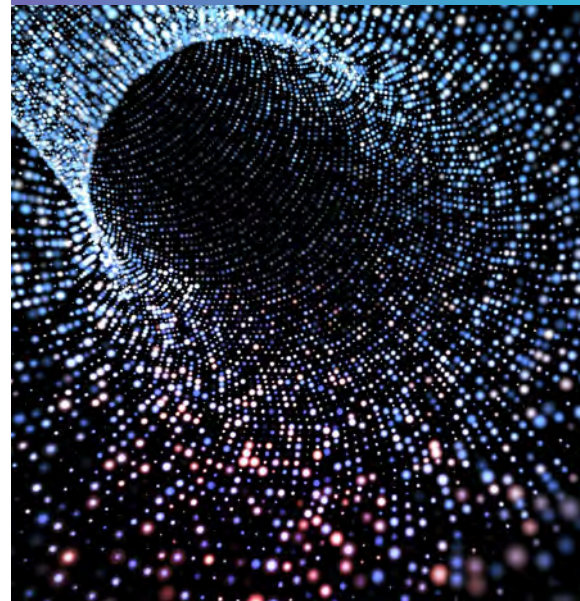
新しい材料や医薬の発見



金融や経済の動向予測



産業を変革する新原理の発見



# Computing as a Service Vision



アプリケーション



プラットフォーム



Available on  
Public Cloud  
(Amazon Web Services  
/ Microsoft Azure)

ミドルウェア

OS

ハードウェア

## High Performance Computing (HPC)

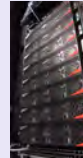


A64FX Technology

## Quantum-Inspired Technology



Digital  
Annealer



Quantum  
Simulator

## Quantum Technology



Superconducting Qubit  
Diamond Spin Qubit

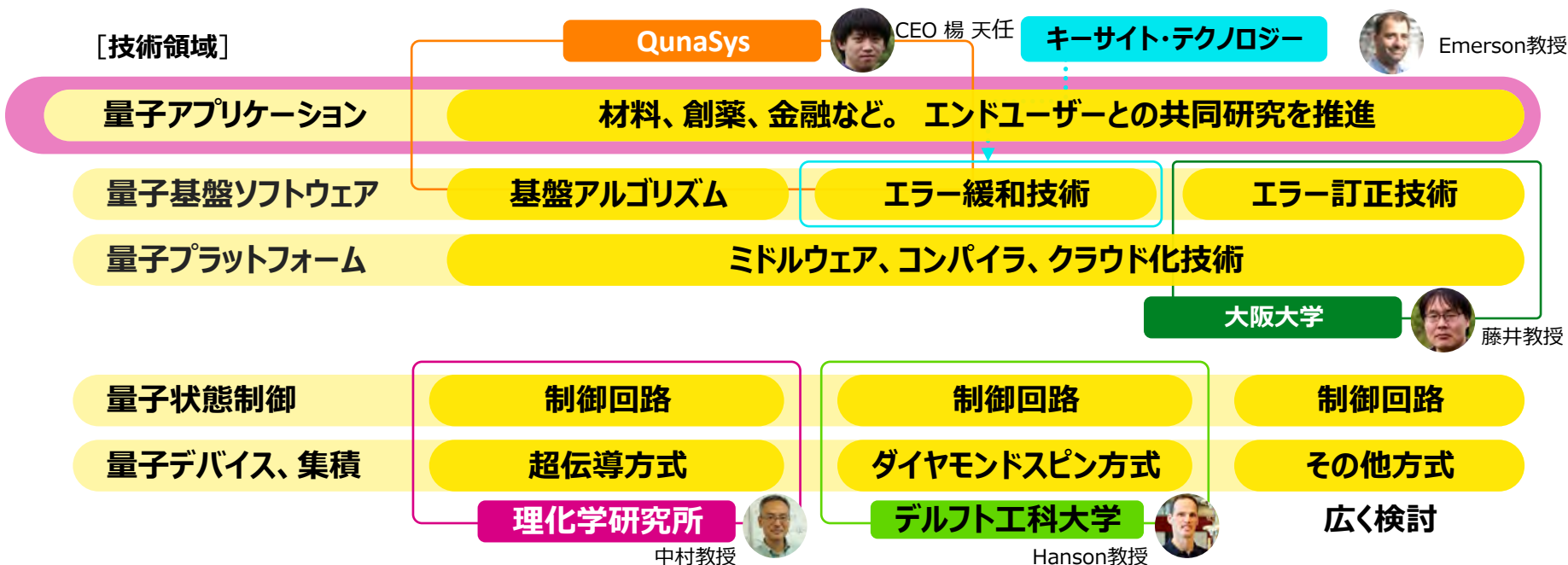
写真提供：理化学研究所

© 2022 Fujitsu Limited

# 富士通の量子コンピューティング研究開発戦略



- 量子デバイスから基盤ソフト、アプリまですべての領域に、世界有数の研究機関と取り組む
- ソフトウェア技術に注力する一方、ハードは幅広く可能性を追求
- 量子シミュレータを活用し、エンドユーザーと早期からアプリケーション開拓に取り組む





# ハードへの取り組み： 超伝導方式とダイヤモンドスピン

## 超伝導

理研RQC－富士通連携センターを設立

2021 / 4 / 1

### ミッション：量子コンピュータ実用化に向けた基盤技術の確立

- 1000量子ビット級の大規模化を可能にするハードウェア、ソフトウェア技術
- 試作する実機を利用した、エンドユーザーを巻き込んだアプリケーション開発



中村教授

## ダイヤモンドスピン

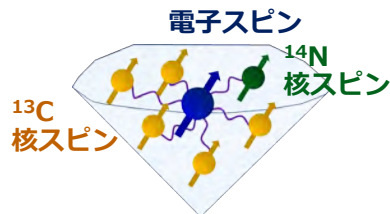
デルフト工科大学と共同研究

### ダイヤモンド中の窒素-空孔複合体（NVセンター）のスピンを物理量子ビットとして利用

- 超伝導に比較し高温動作（1-10K）が可能
- 光を使って量子ビット間の接続が可能であり、大規模にも期待
- 本量子ビット技術を使ってエラー訂正を実証、Natureに掲載（2022年5月）

*"Fault-tolerant operation of a logical qubit in a diamond quantum processor,"*

Abobeih, et al., *Nature* **606**, 884–889 (2022)



ダイヤモンドスピン量子モジュール

# ソフトウェアへの取り組み

## 量子ビットのエラー対策が重要

NISQ用のエラー緩和技術「Randomized Compiling」などと、  
それを利用したアルゴリズムに関し、カナダQuantum Benchmark社  
(現キーサイト・テクノロジー社)と共同で研究開発



Emerson教授

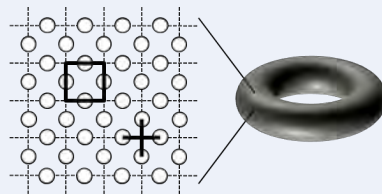
## 大阪大に「富士通量子コンピューティング共同研究部門」を設置

2021 / 10 / 1

誤り耐性量子計算を実現するためのソフトウェアを  
共同で研究開発

表面符号での量子エラー訂正のシミュレーションを  
デジタルアニーラを用いて効率的に行うことに成功

J. Fujisaki *et al.*, Physical Review Research 4, 043086 (2022)



量子エラー訂正向け  
トポロジカル表面符号



藤井教授

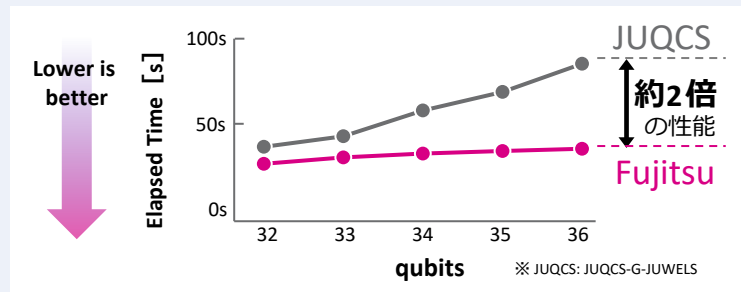
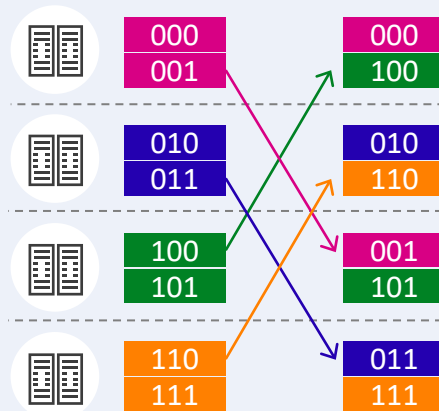
# 世界最速の量子シミュレータの開発に成功

## スーパーコンピュータ「富岳」のプロセッサA64FXの高速性を活かし、 世界最速レベルの36量子ビットの量子コンピュータシミュレータシステムを開発 (22/3)

- 他機関の主要な量子シミュレータの**約2倍の性能**を実現し、世界最高の処理速度を達成  
量子シミュレータを活用して**量子アプリケーション**を先行開発。富士フイルム様と材料分野で共同研究を開始
- この9月には、さらに大規模な**世界最大級の39量子ビット**のシミュレータを開発

### 量子計算に合わせた データ再配置技術

量子計算の実行順序に  
合わせて並列計算機上の  
データを再配置して  
通信時間を削減



JUQCS (GPU向けシミュレータ) と  
比較し、最大約2倍の速度を実現



# シミュレータを活用し、量子アプリケーション開拓を加速

材料、製造、金融などの各種領域でシミュレータを活用した共同研究を展開

## アプリケーションユーザー

FUJIFILM  
製造関連企業  
金融関連企業



FUJITSU



富士フイルム様をはじめとする  
計算化学領域で共同研究や、  
各種製造、金融領域での  
共同研究を開始

## 量子シミュレータ・ソフトウェア



FUJITSU

Qamuy



QunaSys様との提携により、  
同社の量子化学計算ソフトウェア  
の利用による高速な量子化  
学計算の実現を目指す

## 将来 量子コンピュータ実機



FUJITSU



将来的には、理研RQC-富士通  
連携センターで開発中の  
量子コンピュータ実機の利用に  
つなげる

写真提供：理化学研究所

# Computing Workload Broker: ユーザの要望の範囲内でベストな結果を取得

2022 / 11 / 8  
Press Release

FUJITSU

## ユーザの要望



希望終了時間



希望コスト上限

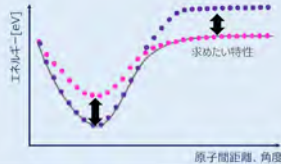
## 現在のジョブ予約情報



写真提供：理化学研究所

技術  
1

## 精度判別技術



## 要望を満たす量子・HPC振り分け技術

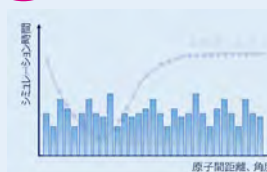
要望を満たすように実行可能な範囲内で精度が最善となるように量子とHPCの振り分けを探索する



Computing Workload Broker

技術  
2

## 時間推定技術



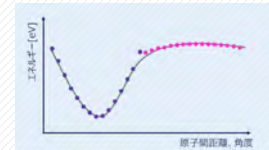
## 時間・予算の範囲内で最適なジョブを投入し、ベストな結果を出力



写真提供：理化学研究所

量子シミュレーションの特性に合わせたジョブを投入

ベストな結果



39量子ビットシミュレータを活用し、技術検証を開始

# 富士通の研究開発スケジュール



将来の社会課題解決を目指し、大規模シミュレータ・実機を順次公開

2022.9

世界最大級の39量子ビット量子シミュレータ公開  
その規模と高速性によりアプリ開発を加速

FY2023

理研RQC-富士通連携センターにおいて、  
超伝導量子コンピュータ公開（64量子ビット）  
量子アプリケーションの実機検証を開始

FY2024~

理研RQC-富士通連携センターにおいて、  
さらに大規模な超伝導量子コンピュータ公開  
（100量子ビット以上） & エラー訂正技術の実装

FY2026~

1000量子ビット超の超伝導量子コンピュータ公開



FY 2020

2030

- 量子コンピュータの産業化のためには解決すべき課題が多く、長期的な取り組みへの覚悟が必要。基礎研究と産業化技術を両輪とした腰を据えた取り組みが必須
  - 実機国産化は必須事項。国産化により様々な関連技術育成が図れると共に、HPC・量子ハイブリッド技術開発のためのハード、アーキテクチャについての深い理解が得られる
  - 量子ハードの最終形態はいまだわかっていない。そのためハード開発には大きなリスクがあり、公的開発支援策も必要
  - 周辺部品の開発促進には、極低温下のテスト環境の構築支援や、公的機関によるテスト環境構築と一般利用も必要
  - 理研、産総研などの公的機関の連携は必須
- 産業化に不可欠なアプリケーション開拓の観点では、HPCとの連携を前提に、どの部分に量子コンピュータを使うと計算を加速できるか、という視点が必要
- 人材活用・育成という点では、産業化に向けて関連する他分野（ソフトウェア、AI、半導体デバイス・実装・設計など）からの人材取り込みが重要

**Thank you**

