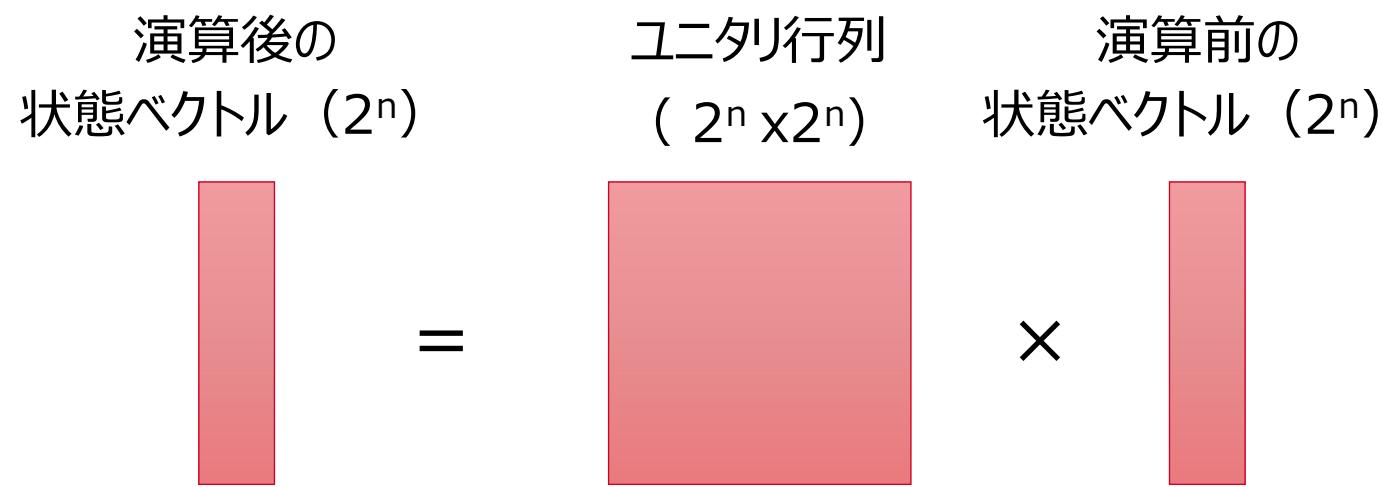


# ABCi-Q：AI・HPC・量子が融合する 次世代ハイブリッドコンピューティング基盤

国立研究開発法人産業技術総合研究所  
高野了成

2025年12月9日 PCクラスタシンポジウム2025 「第2部 量子コンピュータとAI」

- 量子コンピュータとは、ざっくり言うと、「指数関数的に巨大なユニタリ行列の掛け算を高速に実行できる」装置
  - $n$ 量子ビットの状態は、 $2^n$ 次元の状態ベクトルとして表現される
  - 量子コンピュータの操作は、ユニタリ行列を状態ベクトルに作用させることで記述できる
  - 量子の性質（重ね合わせ）により、これらの変換を「自然の物理現象として」同時並行的に行えるため、計算を効率的に実行できる



※実際には巨大なユニタリ変換を一度に実施するのではなく、小さな変換（量子ゲート）を組み合せる

- 量子コンピュータを使えば、あらゆる計算が速くなるわけではない
  - その性質を活かして計算を高速化するには**量子アルゴリズム**が必要
  - 量子コンピュータが従来のコンピュータと比べて指数関数的な量子加速を可能とする量子アルゴリズムは限られている
- 量子コンピュータが実現しても、従来のコンピュータは不要にならない
  - それぞれに得意な計算分野があり、共存が必要
  - 現在の典型的なスパコンが「CPU + GPU」という構成であるように、**アクセラレータ**として量子コンピュータが一体運用されるようになる
  - 量子コンピュータを適材適所で適用できるユースケース探索が重要である

ハードウェア実装方式	計算モデル		
	ゲートベース 汎用量子計算が可能	アニーリング/断熱量子計算 最適化問題に特化	測定ベース (MBQC) 測定を使って計算を進める
超伝導	IBM、Google、Rigetti、IQM、 <b>富士通</b> 、理研、阪大	D-Wave	-
イオントラップ	IonQ、Quantinuum	-	-
中性原子	<b>QuEra (Gemini)</b> 、Pasqal、 AQT、Yaqmo	QuEra (Aquila)	-
光量子	Xanadu、PsiQuantum	NTT	Xanadu (Borealis)、 <b>OptQC</b>
シリコンスピニ	Equal1、Intel、日立	-	-
ダイヤモンドスピニ	Quantum Brilliance	-	-
量子インスペイアド (古典コンピュータ)	-	<b>富士通</b> 、 <b>東芝</b> 、NEC、日立、 <b>Fixstars</b>	-

- 「あらゆる知識を計算可能にする」国家規模のプラットフォーム構築し、10年以内に米国の科学・工学の生産性と影響力を2倍にする目標を掲げる官民連携プロジェクト。
- AI、HPC、量子技術の融合による科学イノベーションを加速。
- これを補完する量子技術の基盤整備として、エネルギー省のQIS (Quantum Information Science) プログラムに625M USDを追加投資。フォールトトレーナント量子コンピュータ (FTQC) を2028年までに実証。

Genesis Mission

A National Mission to Accelerate Science  
Through Artificial Intelligence

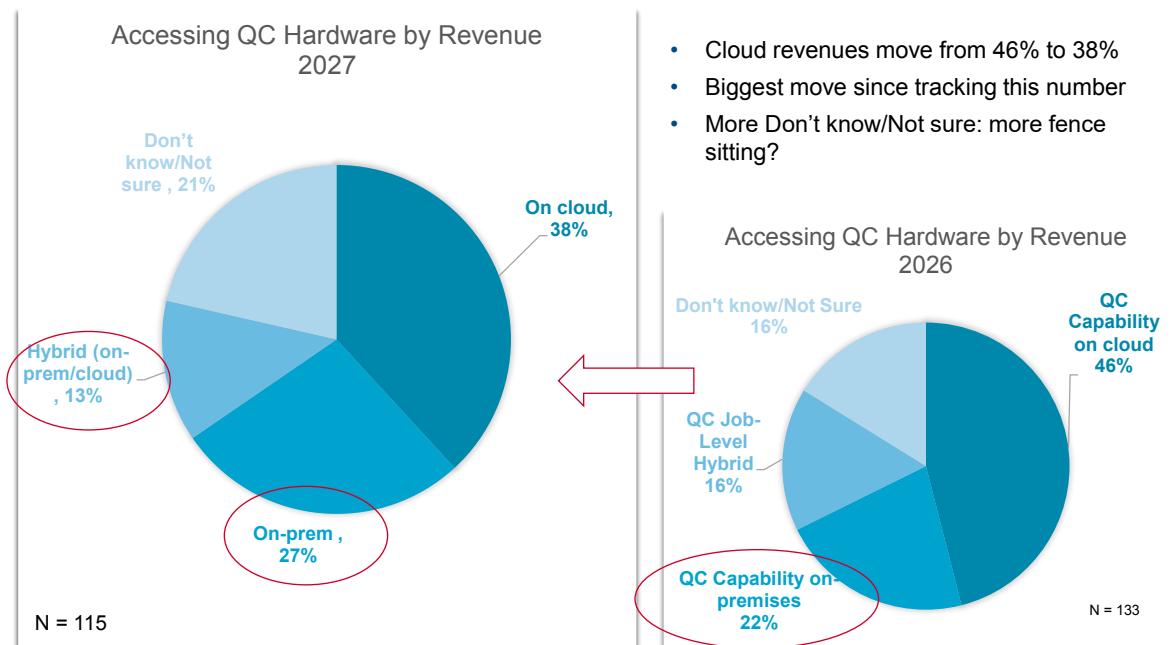
<https://genesis.energy.gov>

- クラウド利用が依然主流だが、オンプレ比率が上昇する予想

## ● なぜ？

### QC Market 2027: Access to QC Hardware

*Cloud continues to dominate but on-prem moving up*



- 経済安全保障上、自国内で制御可能な量子基盤を持つ必要性
- 量子xHPC、量子xAI等の密結合ワークフローの効率的実行への期待
- ビジネスモデルの変化

(source) Hyperion Research, 5th Annual Global QC Market Survey: Continued Progress But Changes in the Air, 2025

- 日本

- 富士通（超伝導）：産総研
- IBM（超伝導）：東京大学、理研
- Quantinuum（イオントラップ）：理研
- QuEra（中性原子）：産総研
- OQC（超伝導）：Equinix

- アジア

- IQM（超伝導）：忠北大学校、NUS、台灣半導体研究所
- IBM（超伝導）：延世大学
- Quantum Brilliance（ダイヤモンド спин）：Pawsey

- 欧州

- IQM（超伝導）：LRZ、JSC、VTT、WUST、CINECA
- Pasqal（中性原子）：JSC、GENCI/CEA、CINECA
- AQT（中性原子）：PSNC
- OQC（超伝導）：CESGA
- IBM（超伝導）：BAQS
- QuEra（中性原子）：NQCC

- 北米

- IBM（超伝導）：Cleveland Clinic、RPI、Quebec
- IQM（超伝導）：ORNL

欧洲ではEuroHPC JUの支援により、HPCセンターへの量子コンピュータの導入が進展

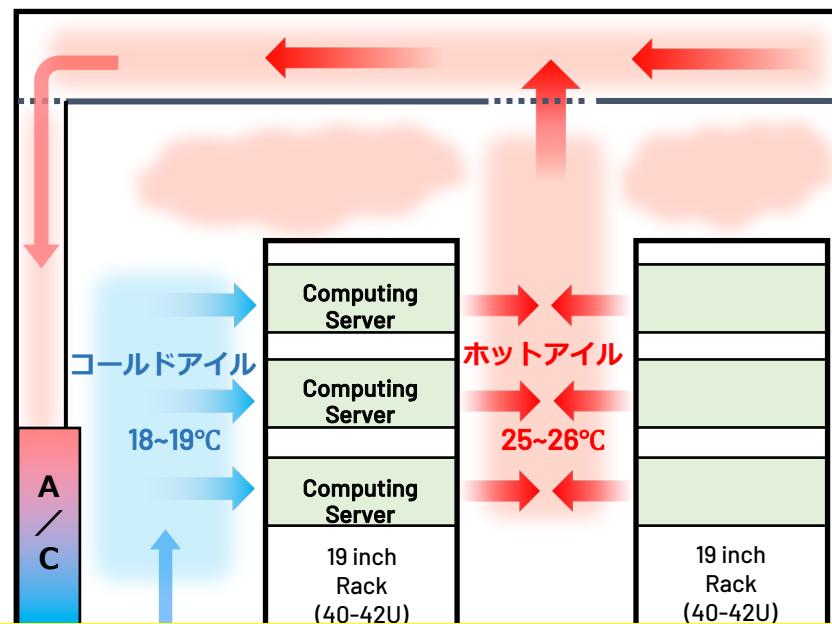
- 量子コンピュータの稼働はノイズ（温湿度、電磁気、振動等）との戦い
- 水冷装置に加え、希釈冷凍機、ヘリウムガス、液体窒素など特殊な物質・装置が必要
- 定期的なキャリブレーションが必要（24時間365日稼働するものではない）
- 専門性の高い研究者や技術者がほぼ張り付いているような状態
- 運用のリファレンスマodelが確立していない
- 本当にHPCの隣に設置する必要があるかは、ユースケースによる

## 温水冷却・高温排気の有効性を多湿な日本で初めて実証（一部拡張により3.0に対応）

### 従来型データセンターの冷却システム

「床吹き出し方式」による全体空調のモデル

年間平均PUE : 1.7~2.0

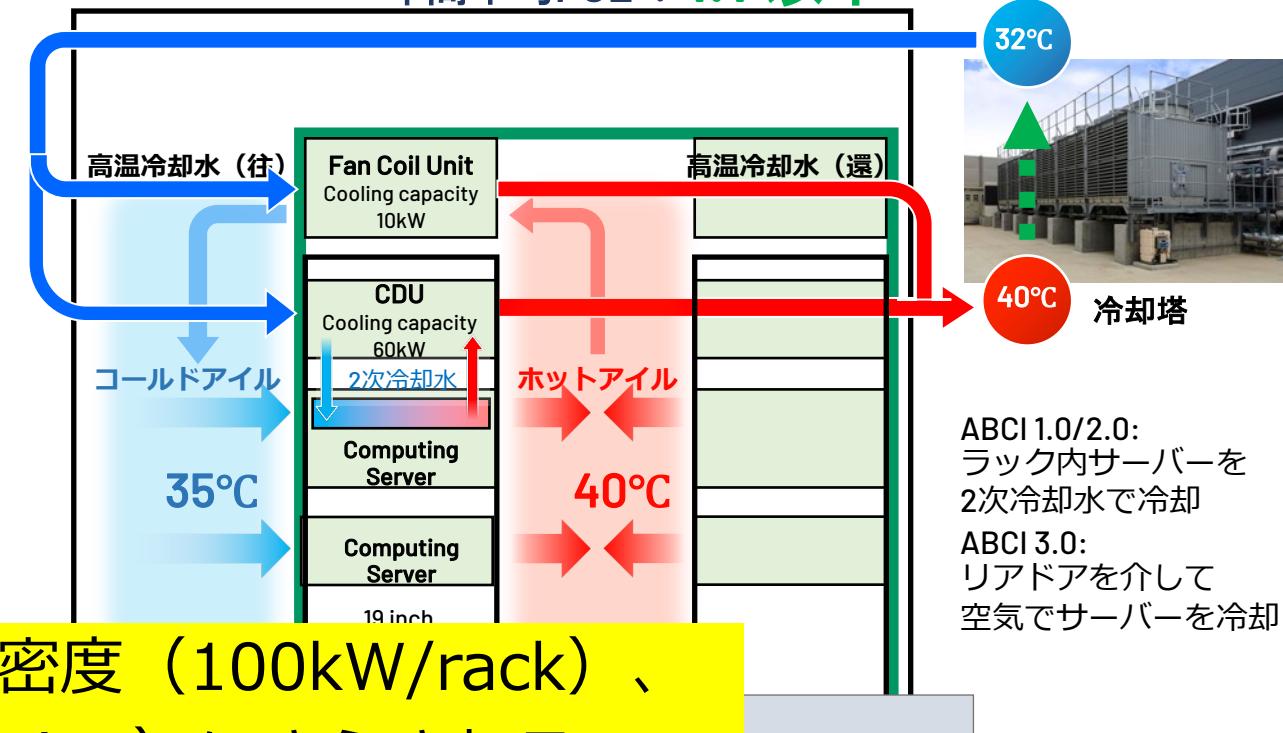


### ABCiの冷却システム

「水冷+空冷のハイブリッド冷却方式」

冷却塔において気化熱を利用して「32°C以下の冷却水」を作り、その水でラック内サーバーと、ホットアイル内の空気を冷却

年間平均PUE : 1.1 以下



生成AI時代のデータセンターは高い電力密度 (100kW/rack) 、  
高い熱密度、大きな負荷変動 (power swing) にさらされる

※PUE (Power Usage Effectiveness)  
データセンターにおける電力効率を示す指標で、1.0に近いほど高効率。  
NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY

## OQC Toshiko in Tokyo

2023年秋より安定稼働中

- Equinix社TY11データセンターに設置
- OQC Cloud（インターネット経由）、もしくはDirect QCaaS（Equinix Fabricによるダイレクト接続）によりアクセス可能
- 超伝導ゲート式（32Qubit）
- OpenQASM、QIR、Cuda-Q対応



Equal1's Bell-1

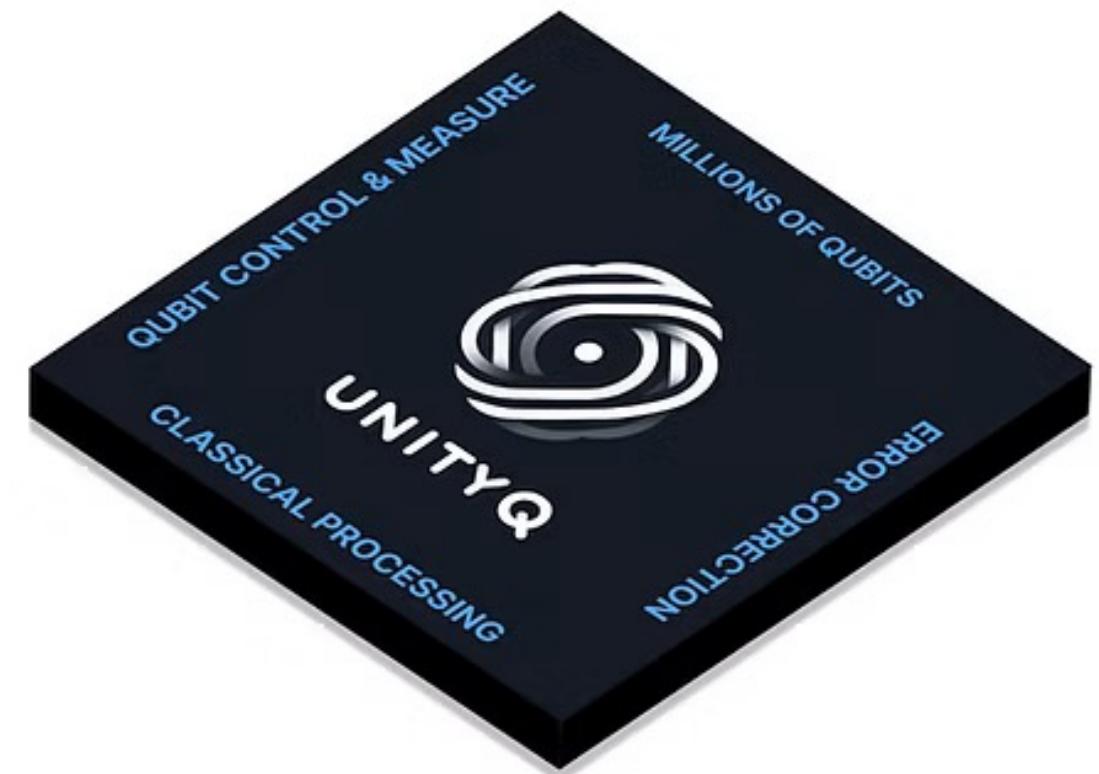
19インチラックに搭載可能。6量子ビット



(source) <https://www.equal1.com/>

Equal1's UnityQ

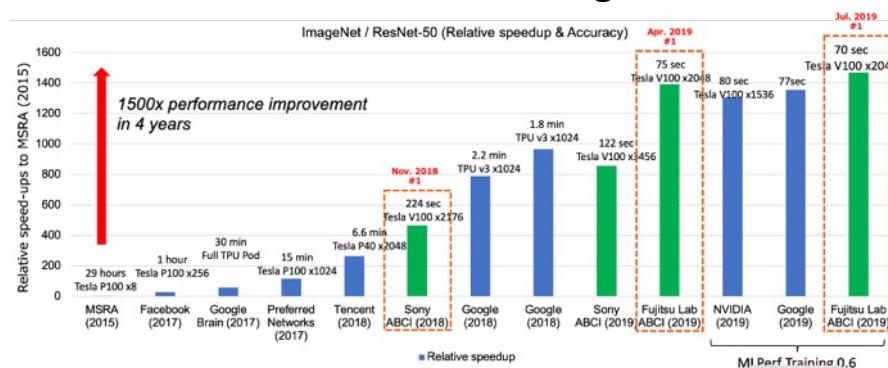
Quantum System-On-Chip (QPU + ARM)



# ABCI-Q: Quantum-AI hybrid computing infrastructure

# ABCIシリーズの歩み

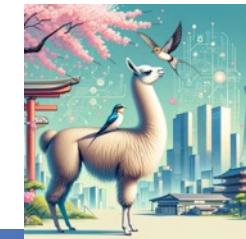
## World records in “MLPerf training” benchmark



## LLM Building Support Program in 2023



ELYZA



2023 QuEra 48 Logical Qubits

2028 ABCI-Q 2.0

2016 ABCI project start

2019 Google Quantum Supremacy

2025.10 ABCI-Q

2015 ResNet/AlphaGo

2017 ATTENTION IS ALL YOU NEED  
2018.8 ABCI

2021.5 ABCI 2.0

2025.1 ABCI 3.0

2022 ChatGPT

2024 Gemini 1.5/OpenAI o1

ABCI 1.0: 0.55 Exa FLOPS  
NVIDIA V100 x4352



ABCI 2.0: 0.85 Exa FLOPS  
+NVIDIA A100 (40GB)x960



ABCI 3.0: 6.22 Exa FLOPS



最新GPUを2020基搭載したスーパーコンピュータを中心に、様々な量子コンピュータを用途に応じて組み合わせができる世界最先端の量子・AI融合コンピューティング環境を構築

## GPUスパコン (システムH)



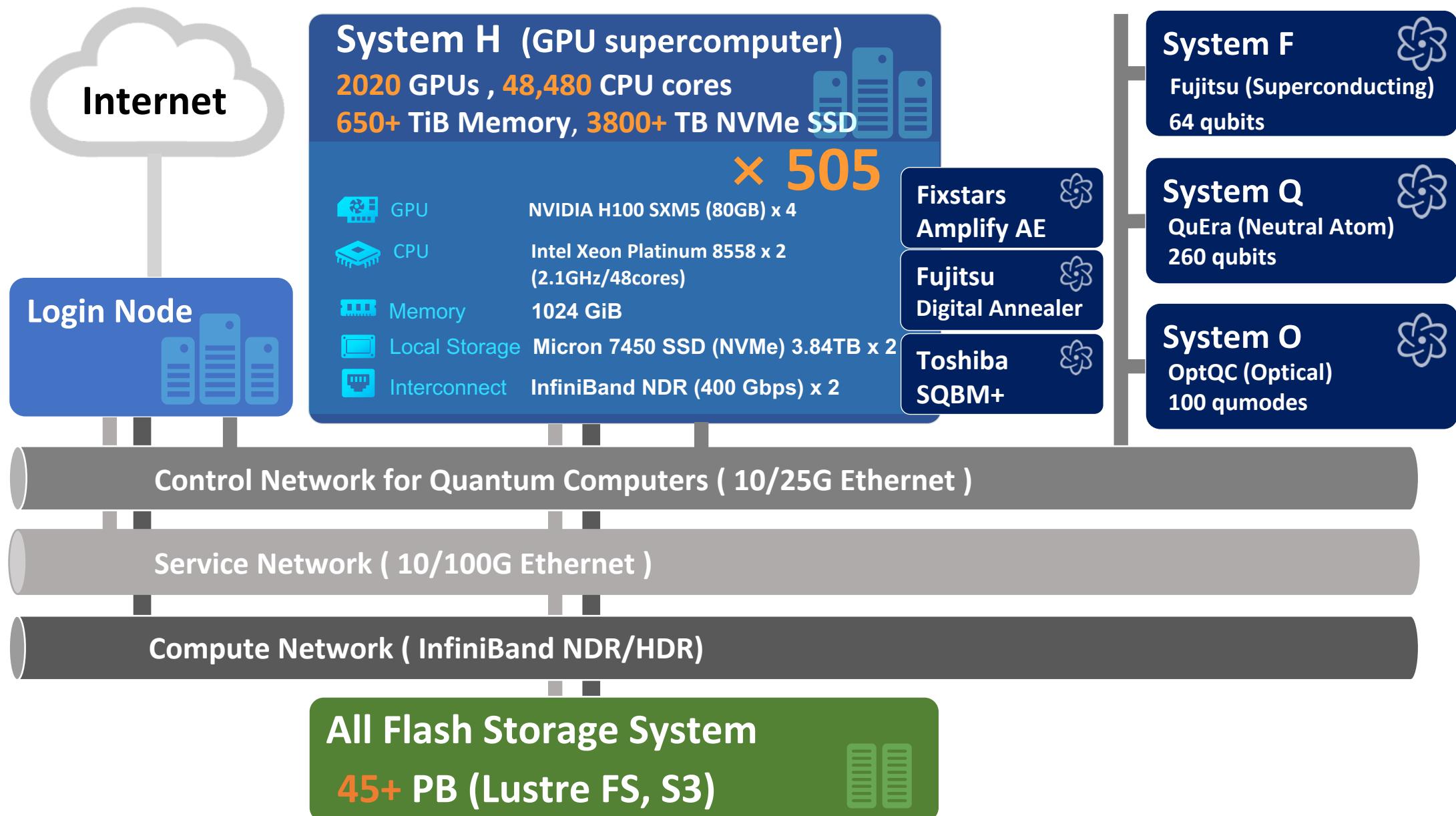
## 超伝導量子コンピュータ (システムF、富士通製)



## 中性原子量子コンピュータ (システムQ、QuEra製)



- システムHはスパコンランキングTop500 に27位（国内5位）ランクインする高性能計算機
- 2025年10月のシステムH運用開始を皮切りに、段階的に量子コンピュータを投入
- 光量子コンピュータ（システムO、OptQC製）を2026年度初頭までに構築





## ■ 特徴

- 富士通製、理研からの技術移転で開発
- 2023年3月から理研、阪大にてクラウド公開されるなどの実績あり
- 国内ベンダによる初の商用機
- 数100量子ビットまで拡張可能な設計

## ■ スペック

- 64 物理量子ビット
- SDK : QURI Parts、Qiskit (他のSDKも計画中)
- 制御システム : OQTOPUS

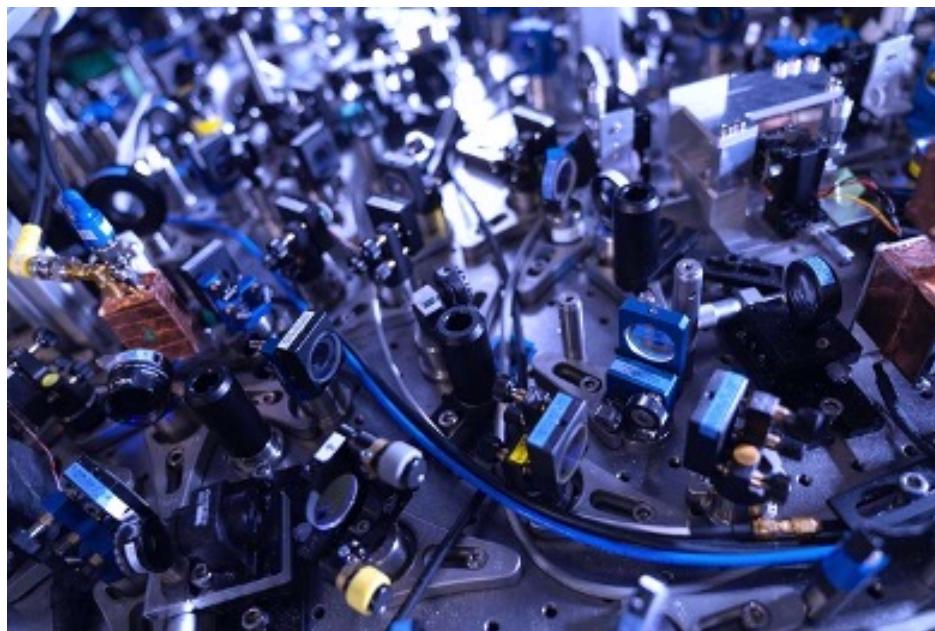


## ■ 特徴

- QuEra製、ハーバード大学、MITの研究を活用
- 最新の中性原子量子コンピュータ「Gemini」を搭載
- 将来的には10,000物理量子ビットを目指し、100個の論理量子ビットを提供

## ■ スペック

- 260物理量子ビット
- SDK : Bloqade、CUDA-Q (計画中)
- シミュレータ (ノイズあり) : Bloqade



OptQC社のWebページから

<https://www.optqc.com/>

## ■ 特徴

- OptQC社製、東大古澤・遠藤研からスピノンアウトした企業による商用利用を視野に入れた実証機
- 測定型量子計算モデル（MBQC）を採用した光量子コンピューティング方式

## ■ スペック

- 100量子モード（連続量での量子ビットのようなもの）
- 動作周波数100MHz
- 常温動作

## ログイン

SSHによるターミナルアクセスに加え、  
ブラウザ上での操作環境を提供

※詳細は「ABCI-QシステムH利用方法説明 Open OnDemand編」  
「ABCI-QシステムH利用方法説明 SSH編」参照。

## ABCI-Q

### System H

量子シミュ  
レータ



Fujitsu  
Digital Annealer



Toshiba  
SQBM+



Fixstars  
Amplify AE



System F  
(Super Conducting)



System Q  
(Neutral Atom)



System O  
(Photonics)



リモート  
ログイン



API呼び出し

## ストレージ

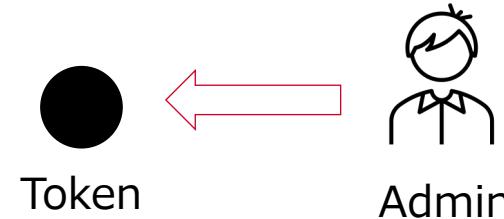
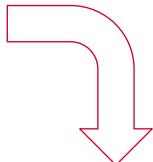
ログインノード、計算ノードで共有するストレージを提供。  
利用者個人のホーム領域、グループメンバー間でのデータ  
共有のためのグループ領域を提供

## ジョブ実行

実行したい計算を「ジョブ」としてシェルスクリプト  
で記述。ノード種別・台数、想定実行時間を指定して  
ジョブをシステム登録。利用状況に応じて実行を開始

# システムHとシステムFの連携動作

Access (SSH, REST API,  
Open OnDemand)



## System H

Compute node



① Submit Job  
(HTTP POST)



⑤ Poll Result

OQTOPUS Cloud



**OQTOPUS**

Open Quantum Toolchain  
for Operators & Users

- User/Job/Datamangement
- REST API



DB

## System F

Control System  
(Fujitsu/Keysight)

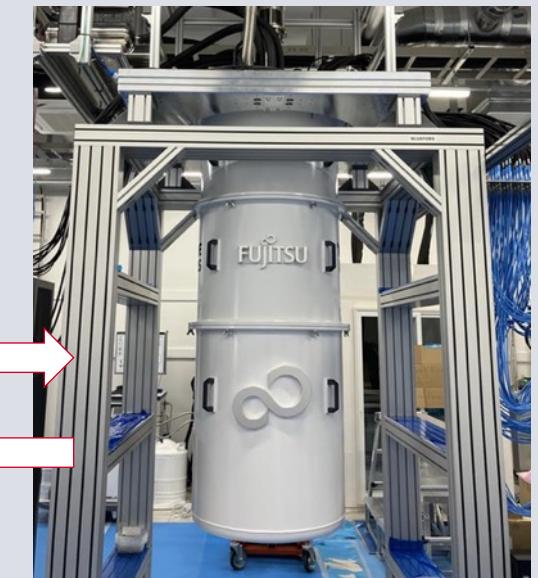
- Scheduling
- Transpile
- Pulse sequencer

② Poll Job  
(HTTP GET)      ③ Job  
Execution



④ Send Result  
(HTTP PATCH)

QPU  
(Fujitsu)



# G-QuAT内の量子x 生成AI研究事例

## GQCO

- ▶ 任意の組合せ最適化を解くための量子回路生成器

Code



**GQCO Web App**

**1. Problem Setup**

Option1: Random Coefficient

Size	5	Seed	1	Generate

Option2: Graph Editor

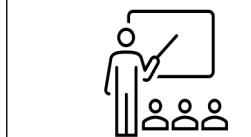
Size 6 Seed 0 Initialize

Histogram

## QuantumBench

- ▶ 量子分野に対するLLM性能評価ベンチマーク
- ▶ 標準的な大学生レベルの問題を収録

Online courses



Free texts



QuantumBench



769 problems across  
9 quantum-related fields

Code

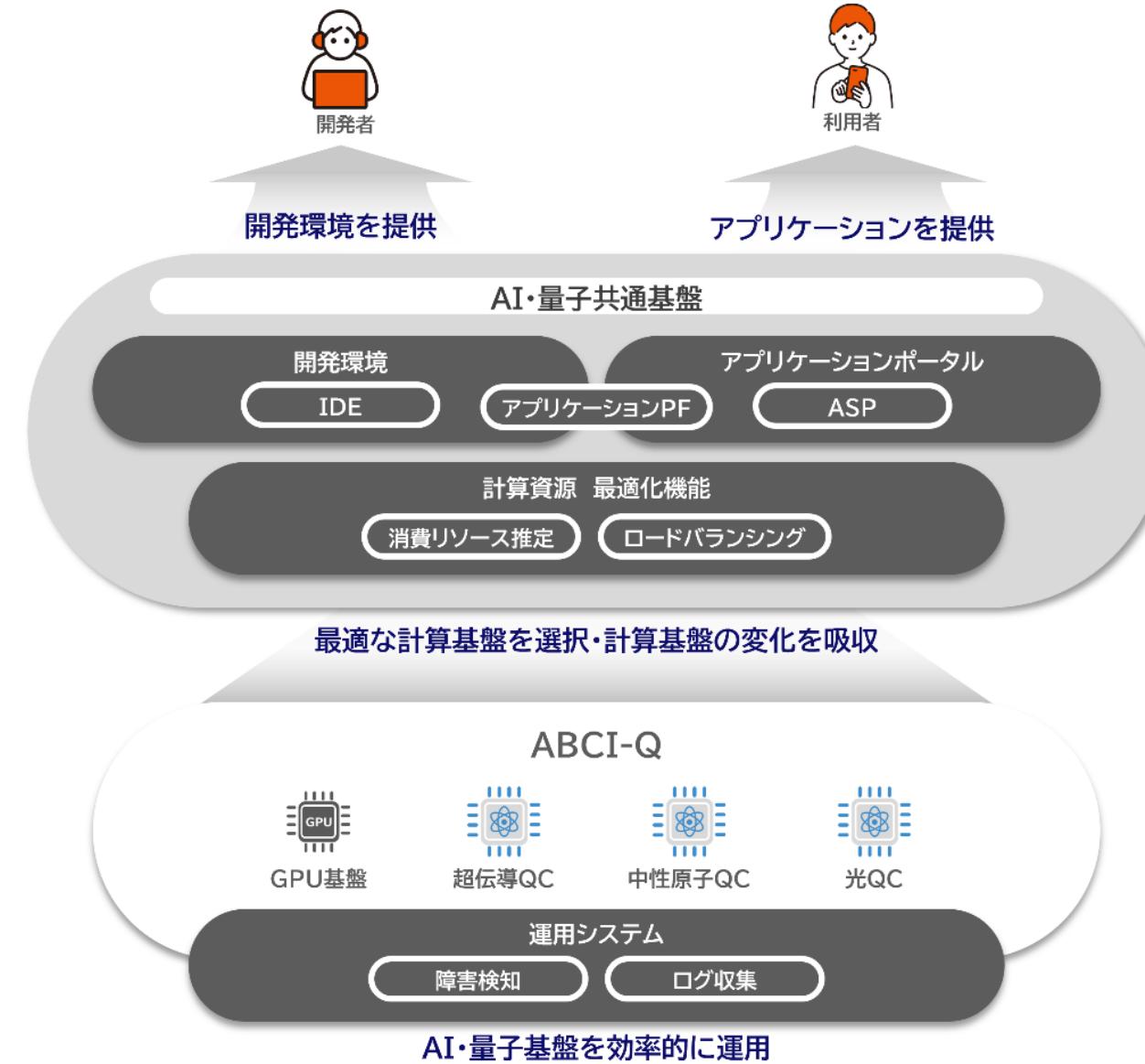


- 目標：量子コンピューター利用の敷居を下げ、さまざまな産業分野で量子技術を手軽に活用できる「AI・量子共通基盤」の構築

- 実施内容：

- 計算資源を最適に割り当てるミドルウェア技術の開発
- 量子コンピューターの運用技術の開発

- 実施者：(代表) KDDI株式会社、株式会社セック、KDDI総合研究所、株式会社Jij、株式会社QunaSys、国立研究開発法人産業技術総合研究所、学校法人早稲田大学、学校法人慶應義塾、国立大学法人大阪大学、学校法人芝浦工業大学



## 取組の概要

日本は、世界に先駆けて量子アニーリングを提唱し、イジングマシンの研究開発において、欧米に比較して、システムからアプリケーションまで高い技術力を有しております。新たなビジネス創出を通じて一大産業へと発展し得る可能性を秘めている。このイジングマシン技術と、次期フラッグシップシステムおよびHPCIシステムとを連携させた次世代計算基盤環境の構築を目的として、ハイブリッド連携運用環境の実現に向けた調査研究を行う。また、並行して汎用量子計算機として量子ゲート方式、特に誤り耐性量子計算機の研究動向及びロードマップ、今後重要な研究開発項目について調査する。

これによって、将来のフラッグシップおよびHPCIシステムを念頭に、加速器との連携、あるいは加速器としてのイジングマシンの活用可能性を視野に入れ、イジングマシン及び汎用量子計算機を組み込んだ新計算原理に基づくハイブリッド連携計算基盤の運用方式および利用環境の在り方、環境構築の計画策定について明らかにする。

## 研究内容

### イジングマシングループ

- ・量子/疑似量子アニーリング、疑似分岐などのイジングマシン技術とそのHPCI連携方法・課題の調査

### 運用・システムソフトウェアグループ

- ・ソフトウェア基盤および運用技術

### 新計算原理ソフトウェアグループ

- ・効率的に利用するためのライブラリ・ツールの調査

### アプリケーショングループ

- ・産業競争力強化、安心・安全の確保、最先端計測によるデータ解析を実現するアプリケーション

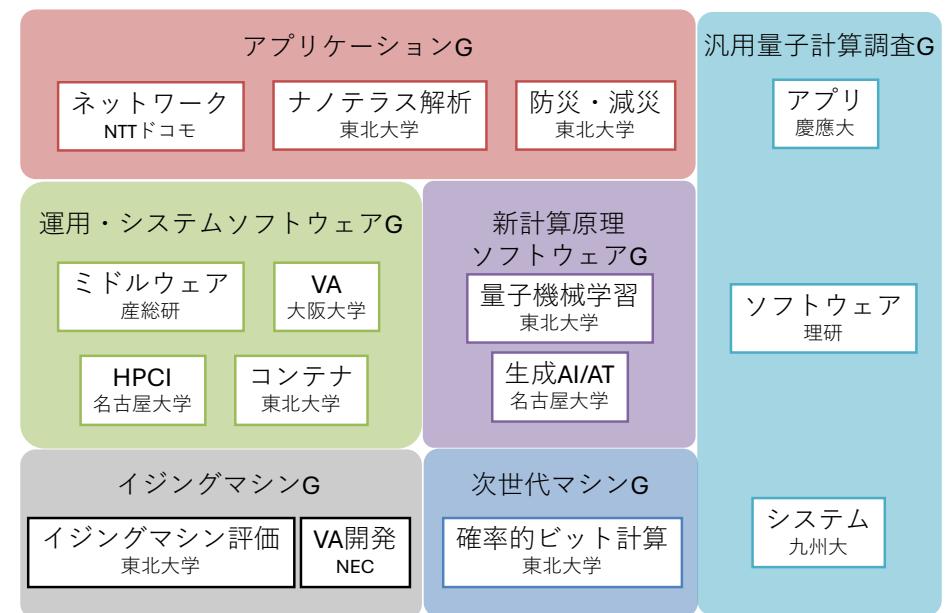
### 次世代イジングマシングループ

- ・次世代のイジングマシンの調査

### 汎用量子計算機動向調査研究グループ

- ・NISQ、FTQCのゲート型量子計算の動向調査

事業代表者：小松一彦（東北大）



- 2030年頃には、100論理量子ビット規模の実用的量子計算が可能になると見込まれる。この新たな段階に備えるためには、現時点で利用可能な技術を活用し、小規模でも実証的な取り組みを早期に始めることが重要である
- 研究者・開発者が自由に試行できるオープンかつセキュアな環境を実現するには、量子コンピュータを「実験室の装置」から「データセンターで運用可能なシステム」へと成熟（民主化）する必要がある
- HPC・AI・量子が融合する次世代計算環境の実現を共に進めましょう！
- その際にはABCI-Qを使い倒してください

(続きはパネルディスカッションで)

ご清聴ありがとうございました



ABCI-Qホームページ

Contact:  
Ryousei Takano <[takano-ryousei@aist.go.jp](mailto:takano-ryousei@aist.go.jp)>

Acknowledgement: A part of this work was based on results obtained from “Development of Quantum-Classical Hybrid Use-Case Technologies in Cyber-Physical Development Project” (JPNP23003), commissioned by the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), and Council for Science, Technology and Innovation (CSTI), Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP), “Promoting the application of advanced quantum technology platforms to social issues” (Funding agency : QST).