量子ソフトウェア研究拠点

QSRH 量子ソフトウェア研究拠点　QIQB　大阪大学 THE UNIVERSITY OF OSAKA

OUR VISION

量子ソフトウェア共創プラットフォームが拓く
持続可能な未来社会を実現します

VISION達成に向けた３つのターゲットと７つの研究開発課題

TARGET 1
社会課題解決基盤の確立

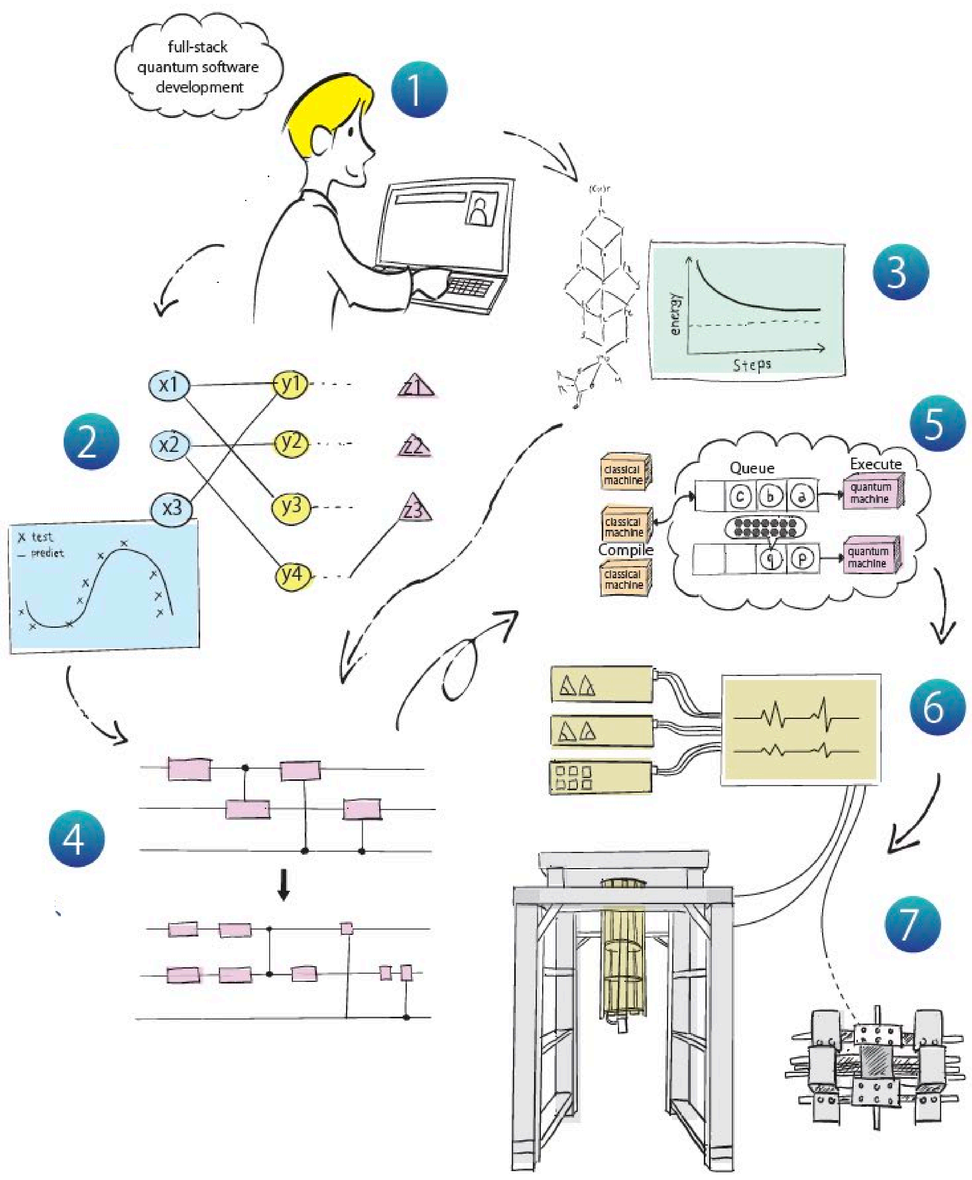
窒素固定や光合成の解析を
可能にする基盤技術の開発

TARGET 2
社会実装と普及

NISQでの活用を含め、
民間企業の参入を促す

TARGET 3
開発プラットフォームの構築

自前の開発環境を整備し、
国際競争力を確保



研究開発課題 1
量子コンピューティング技術の普及とユースケース探索

研究開発代表者　平 和也

大阪大学 QIQB
特任准教授（常勤）

研究開発課題 2
機械学習、数理データ科学、金融分野のアプリケーション研究開発

研究開発代表者　御手洗 光祐

大阪大学大学院 基礎工学研究科
（兼）大阪大学 QIQB 准教授

研究開発課題 4
NISQ基盤技術実装、シミュレーション技術、誤り耐性量子計算アーキテクチャ

研究開発代表者　藤井 啓祐

大阪大学大学院 基礎工学研究科／
京都大学大学院 情報学研究科
（兼）大阪大学 QIQB 教授

研究開発課題 3
材料や化学、物性分野の科学技術フロンティアのアプリケーション研究開発

研究開発代表者　水上 渉

大阪大学 QIQB
副センター長／教授

研究開発課題 5
量子コンピュータと古典コンピュータを統合的に制御するクラウド環境構築

研究開発代表者　猿渡 俊介

大阪大学大学院 情報科学研究科
（兼）大阪大学 QIQB 教授

研究開発課題 6
量子ソフトウェアによって使い方が定義できるプラットフォーム実現のための汎用量子ミドルウェアを開発

研究開発代表者　三好 健文

大阪大学 QIQB
特任教授

研究開発課題 7
プラットフォーム型量子コンピュータテストベッドの開発

研究開発代表者　根来 誠

大阪大学 QIQB
副センター長／教授

当拠点のコンソーシアムで量子分野への第一歩を踏み出しませんか？

	準備フェーズ 知る・学ぶ	探索フェーズ 探索する	共同研究フェーズ 共同研究する	事業化フェーズ 社会実装へ
区分	エントリー会員	準会員	本会員	特別会員
目的	人材育成プログラムを通じて知識を習得	研究テーマやユースケースを探索	テーマに基づく共同研究	事業化に向けた共同研究を実施
詳細	・人材育成プログラムへの参加 ・セミナー・講演会等の聴講 ・会員間のネットワーキング	・研究テーマの情報収集 ・連携可能性の検討 ・学術相談	・本格的な共同研究の実施 ・研究成果の共有 ・研究会等への参加 ・人材育成プログラムの無料枠あり	・事業化を見据えた共同研究 ・個別条件での連携 ・人材育成プログラムの無料枠あり

人材育成プログラムでの学習から学術相談・共同研究まで段階的に取り組める体制が整備されています！

実績
（2021-2026の延べ数）

- 参画機関 84機関
- 共同研究 32件
- 人材育成プログラム受講者数 970名

修了生のうち、
83.2%が、量子分野に何らかの関与
60.2%が、量子分野の研究・業務に従事

関心のある学生・企業の皆様
参加詳細については、お気軽に
お問い合わせください

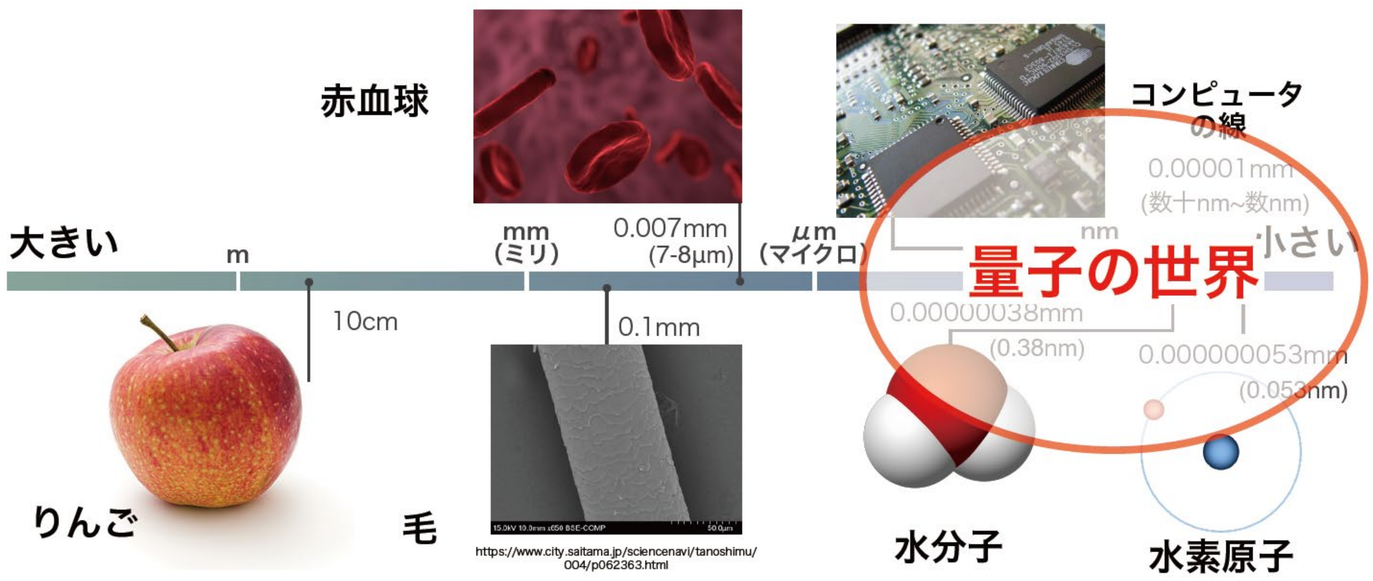
qsrh.jp

量子技術の基礎

QSRH 量子ソフトウェア研究拠点　QIQB　大阪大学 THE UNIVERSITY OF OSAKA

1 量子とは？

ミクロな世界を記述するもっとも基本的な物理法則



量子ビットを実現するもの

超伝導回路・原子・イオン・光・電子　etc．．．

量子状態を保つための環境・装置

超伝導量子ビット → 極低温・マイクロ波配線
イオントラップ → 超高真空・レーザー・電磁場
光量子 → 必ずしも冷凍機は必要ない

量子状態を操作し、読み出すもの

レーザー・電磁場・制御回路・ソフトウェア

2 量子がもつ４つの特徴と、計算への応用

重ね合わせ

複数の状態の成分をもつ。
測定前の状態を振幅で表す

0 ＋ 1

$|\psi\rangle = \alpha\,|0\rangle + \beta|1\rangle$

量子もつれ

複数の量子が、個別の状態に
分けられない相関をもつ



干渉

振幅の位相の関係によって、
強め合い・打ち消し合いが起こる



測定・観測

量子状態に応じた確率で、
１つの結果が観測され
それ以外の情報は失われる

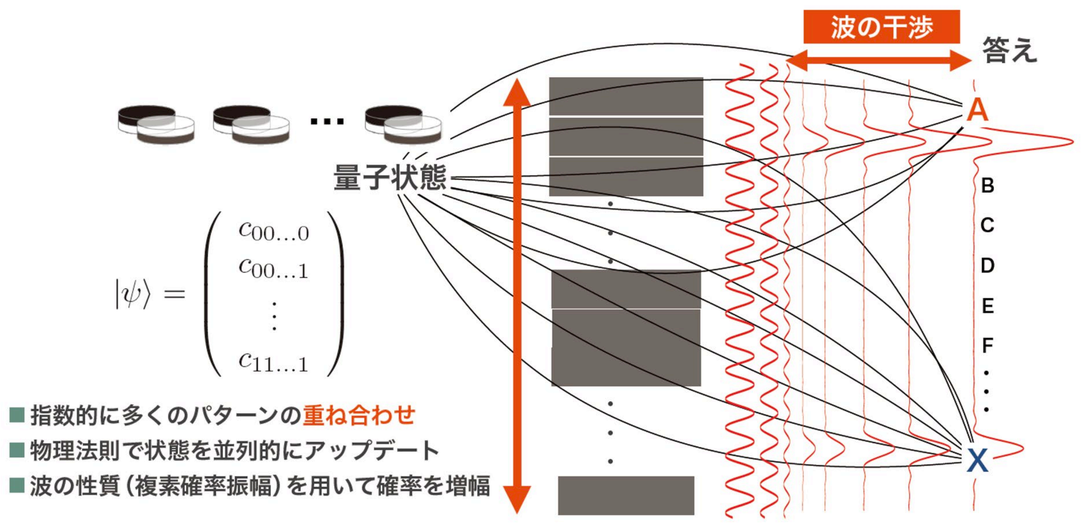


n量子ビットは、 **2^n 通り**に対応する状況を**重ね合わせ**で表せる

ただし、測定で取り出せるのは**１回につき１つの結果**だけ

量子アルゴリズムを用いて、量子状態を並列的にアップデート

波の性質（干渉）を用いて、欲しい結果の**出現確率を増幅**



3 量子計算で計算が速くなる仕組みの一例

①問題を用意

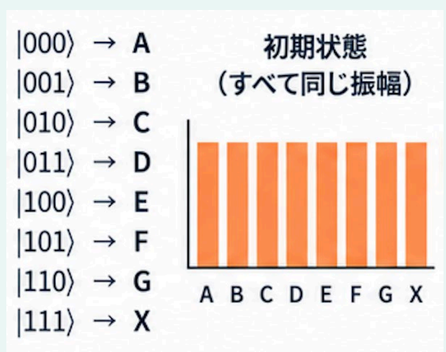
例：８個の候補の中から
”正解 X”を探したい

A　B　C　D
E　F　G　X

古典計算では、
候補を総当たりして、
正解を探す

②重ね合わせをつくる

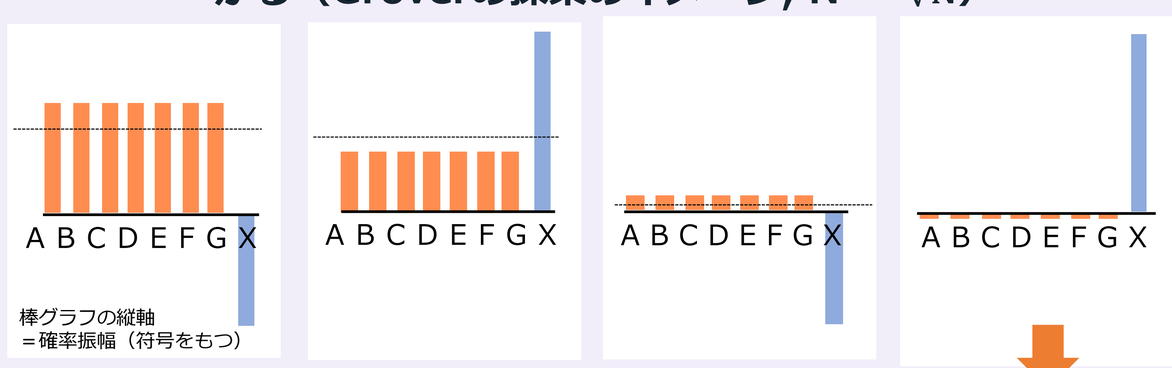
３量子ビット→ $2^3 = 8$通り



１回の測定で、
全て読めるわけではない

③欲しい答えが出やすいように計算を工夫する

以下の例では、X（欲しい答え）の波の向き（位相）を反転させ、平均値で折り返す処理を繰り返すと、Xの出現率が大きく跳ね上がる（Groverの探索のイメージ, $N \to \sqrt{N}$）



特定の答えが出やすい状況にするための
一連の処理を“アルゴリズム”と呼んでいる

答え：X

量子コンピュータとは何か

量子リフトウェア研究拠点 QSRH　QIQB　大阪大学 THE UNIVERSITY OF OSAKA

量子ビットを使い、重ね合わせや干渉などの量子的な性質を利用して計算する装置
古典コンピュータとは情報の扱い方が異なり、特定の問題での高速化や活用が研究されている

1 量子コンピュータで何ができるのか？

量子コンピュータは、特定の問題に対して優位性があるのではないか、と期待されている

化学・創薬
電子状態・触媒・反応機構の解析

材料・物性
磁性・超伝導などの多体現象

機械学習・データ解析
量子回路を用いる学習モデル

金融・確率計算
期待値推定・リスク評価への研究

最適化
物流・生産計画などへの適用研究

暗号・数論
素因数分解など特定問題の計算

①量子力学的な振る舞いを計算する

②数学的な構造（大規模な行列）が量子力学と相性のよい問題の効率化

2 具体的な問題を解くのに必要となる量子コンピュータの規模

代表的なものを２例紹介。他の用途での推計もあるが、いずれも量子コンピュータの発展が必要

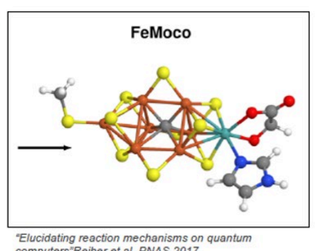
1 量子化学計算

窯素固定

$N_2 \rightarrow NH_3$



窒素は肥料
を作るために必須
燃料としての利用も



"Elucidating reaction mechanisms on quantum computers"Reiher et al, PNAS 2017

○**窒素固定触媒 FeMoco**
空気中の窒素をアンモニアへ変換する酵素の中心的な物質構造
反応に重要な **54電子・54軌道** の量子状態を高精度に計算したい
○**目標精度：0.1–1 mHa**
→ 化学反応を左右する微小なエネルギー差まで計算
○**必要資源の試算**
約 10^{15}回のTゲート※演算
約 **200万物理量子ビット** → 約 **1万論理量子ビット**
計算時間：約 **15日**
→ 窒素固定の仕組みを解明し、新しい触媒設計につながる可能性

※Tゲート；量子コンピュータで計算する際に行う基本操作の１つ。誤り訂正量子コンピュータで計算する際、特にコストが高いとされる

2 素因数分解（RSA暗号解読）

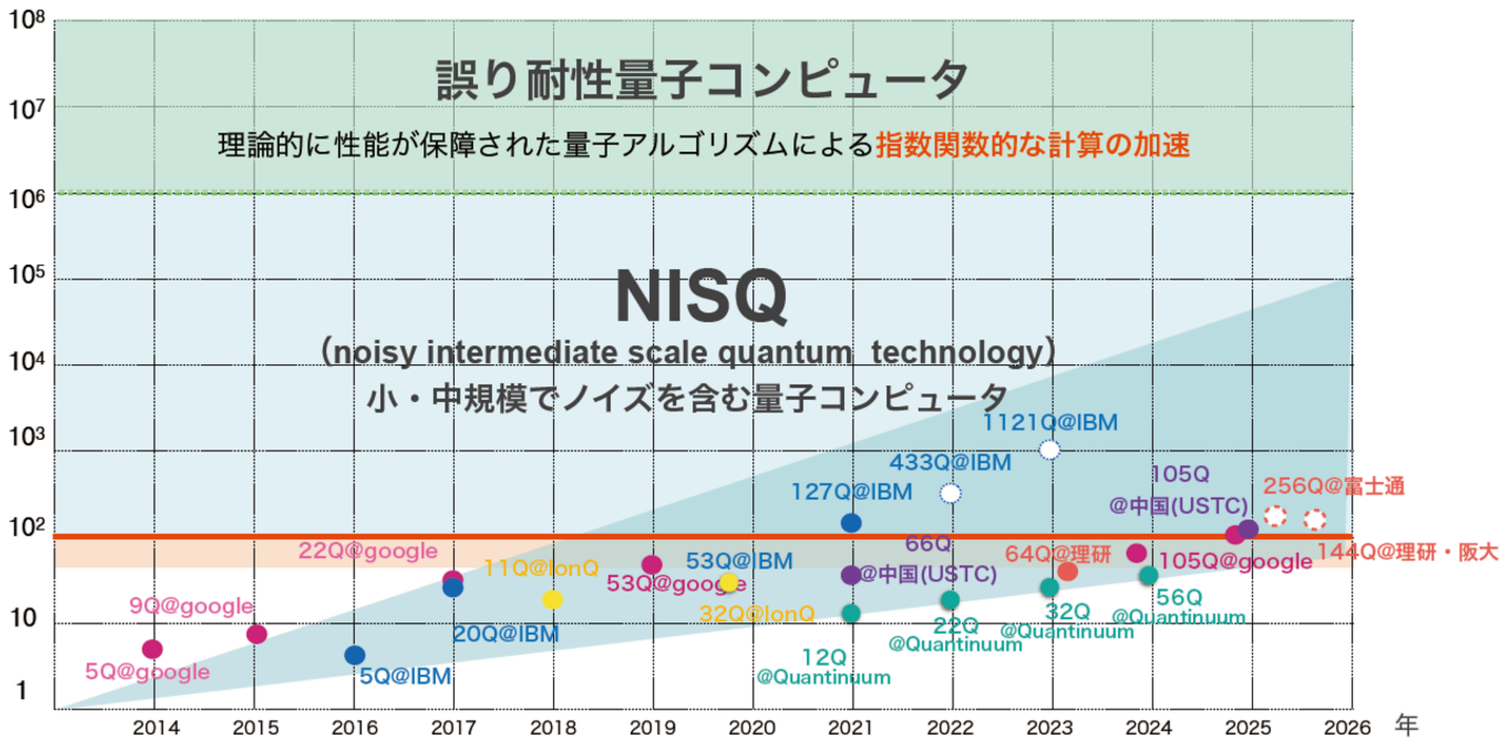


○ **RSA-2048の素因数分解**
RSA暗号の安全性は、非常に大きな整数を素因数分解で解読の困難さを担保
2048ビット（約617桁）の整数を、Shorのアルゴリズムを用いて素因数分解する
○ **必要資源の試算**
約 **2.6×10^9（約26億回）** 回のToffoliゲート演算
約 **2,000万物理量子ビット**→約 **6,200論理量子ビット**
計算時間：約 **8時間**

→ 大規模な誤り訂正量子コンピュータが実現すると、現在広く使われてきた RSA暗号を解読できる可能性

3 量子コンピュータの進化

物理量子ビット数（概数）



※誤り耐性量子コンピュータ（FTQC：Fault-Tolerant Quantum Computer）
誤り訂正と、誤りの広がりを抑える仕組みにより、信頼性の高い計算をめざす量子コンピュータ

- **量子コンピュータは着実に進歩している**
- **実用的な誤り訂正量子計算には数百万～数千万量子ビット規模が必要とする推計もある**
- **ハードウェアの大規模化と高精度化、誤り訂正技術の確立が、FTQC実現に向けた次の大きな壁となる**

量子コンピュータと真空

1 量子コンピュータの５大方式

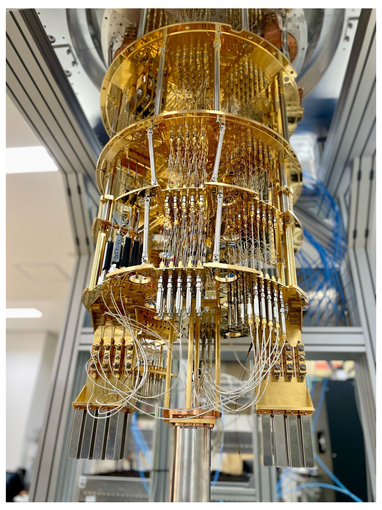
方式	量子ビットの実体	操作・実装の特徴	動作環境	代表的な機関・企業
超伝導	超伝導回路	マイクロ波などで回路を操作	約10mK（希釈冷凍機）	大阪大学、IBM、Google
イオントラップ	捕捉した原子イオン	電磁場で捕捉し、レーザーなどで操作	常温～4K	Quantinuum、 IonQ
中性原子	捕捉した中性原子	光ピンセットで配列し、レーザーなどで操作	常温～4K	QuEra、 Pasqal
光	光子・光の量子状態	光回路で 伝送・干渉・検出	光路は常温 検出器は数K	PsiQuantum、OptQC
半導体量子ビット	半導体中の電子スピンなど	微細加工した構造と電極などで制御	約100mK～1K超	Intel、各国研究機関

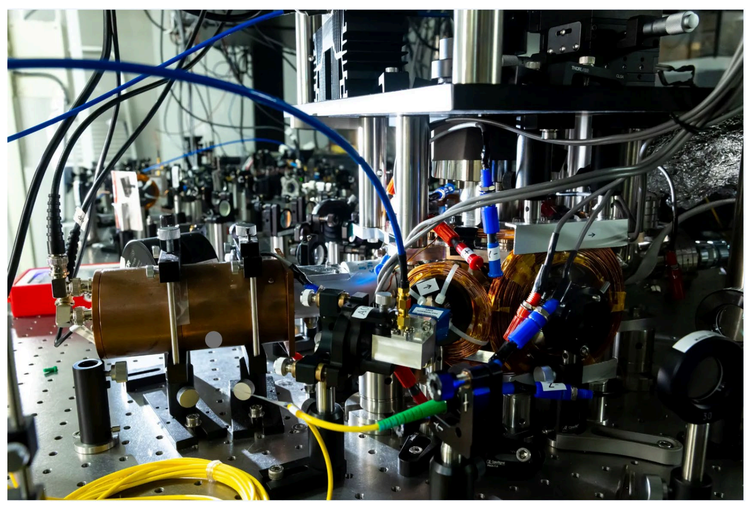
※代表的な構成の整理であり、方式の優劣を示す表ではない。半導体量子ビットは主に電子スピンの方式を扱う

方式ごとの動作温度（対数目盛）









2 なぜ、「冷却」と「真空」が必要？

1 熱によるノイズを減らすために冷やす

- 量子ビットは非常に小さなエネルギーの違いを利用して計算する
- 周囲の熱によって量子ビットの状態が乱され、計算ミスが起こりやすくなる
- 装置を絶対零度に近い極低温（約10mK）まで冷却し、熱によるノイズをできるだけ減らす

主な方式：超伝導、半導体スピン、光子検出器など

2 空気との衝突を防ぐために真空にする

- 量子ビットそのものが**空間に浮かべた原子やイオン**
- 周囲に空気の分子が残っていると、原子に衝突して状態を乱したり、捕まえていた原子が逃げたりしてしまう
- そこで、ほとんど何もない**超高真空**をつくり、原子を長時間安定して保持する

主な方式：イオントラップ、中性原子など

※目的は異なるが、低温面で残留気体を取り込むクライオポンピングなど、組み合わせる技術もある

3 方式や装置によって、特徴と課題は異なる

量子コンピュータは、量子ビットと、それを支える周辺技術を組み合わせて実現する
必要な技術や開発上の課題は、方式や個別の装置によって異なる
つまり、冷凍・真空・レーザー・制御回路など多様な技術の進歩が必要になる

量子コンピュータクラウドの進化

量子ソフトウェア研究拠点 QSRH　QIQB　大阪大学 THE UNIVERSITY OF OSAKA

1 国産超伝導量子コンピュータとクラウドサービスの進化

2023

アクセス開始

クラウド公開

- 理化学研究所、富士通、大阪大学が国産超伝導量子コンピュータを公開
- 基本機能をリリース（サンプリング等）

4–8 / 64量子ビット

2024

協調・共有

機能拡張

- UIデザイン刷新
- SSE(Sever Side Execution)：
- 量子・古典の協調処理の高速化
- 量子マルチプログラミング（手動)：
- 異なるユーザのジョブを並列処理

4–8 / 64量子ビット

2025

高機能化・公開

OQTOPUSをOSS公開

- トランスパイラの選択機能（Tranqu）
- 期待値推定
- エラー抑制
- デバイス・ジョブの管理画面

8-48 / 64量子ビット

2026

大規模・自動化

さらなる進化へ

- 量子マルチプログラミング機能を自動化
- さらなる高度化

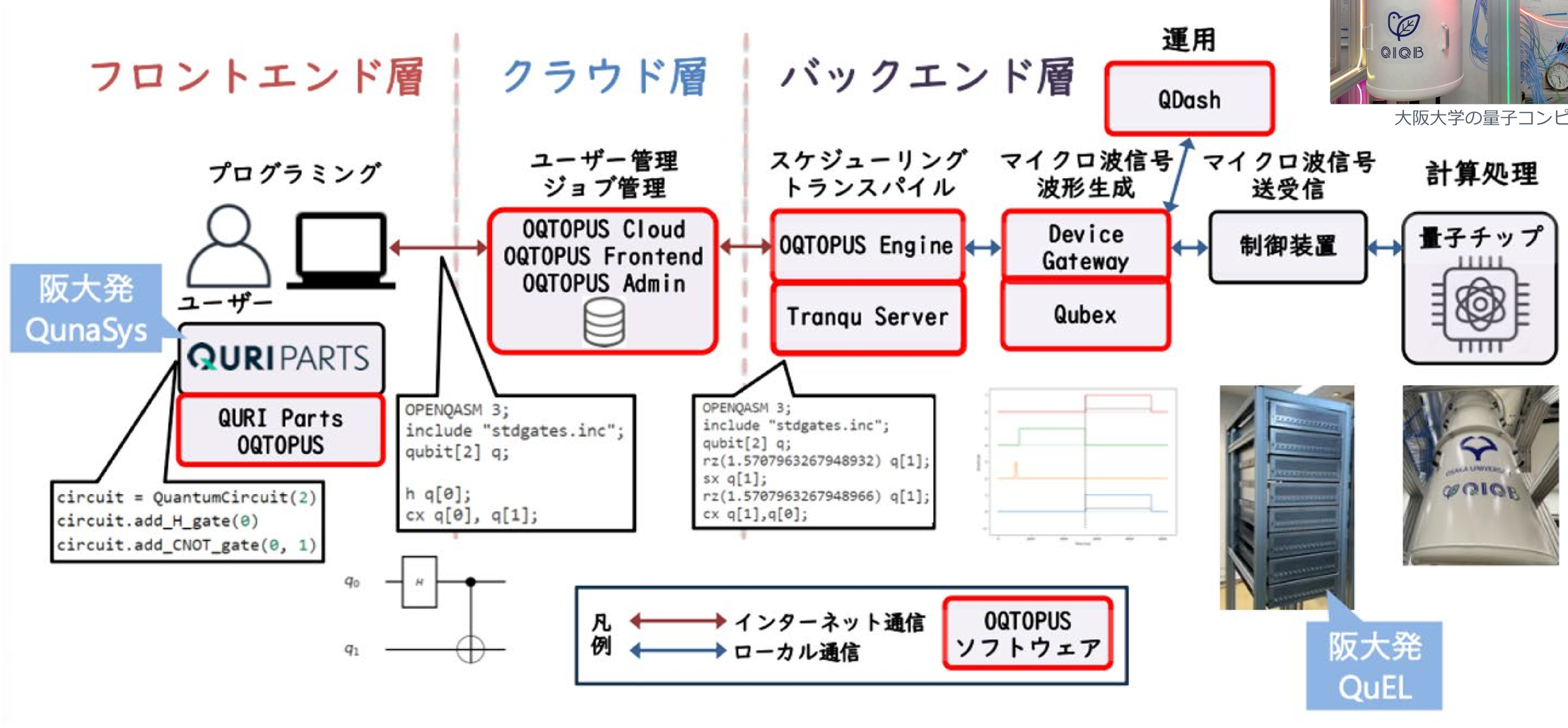
144量子ビット環境を公開

2 OQTOPUSの構成 (Open Quantum Toolchain for Operators and Users)

量子コンピュータのクラウドサービス構築・運用を可能にするオープンソースソフトウェア群の総称です



大阪大学の量子コンピュータ

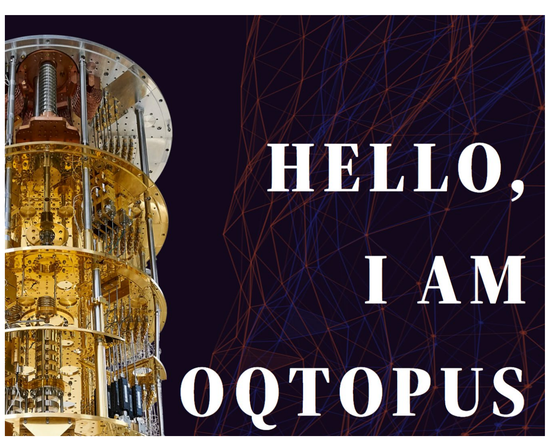


量子プログラミング → ジョブ管理 /スケジューリング → トランスパイル → マイクロ波の波形生成 → 実機実行 +キャリブレーション

3 OQTOPUSがもたらす、3つの価値

OQTOPUS

2025年、大阪大学を中心に富士通・セック・TISIと開発
量子コンピュータの基本ソフトウェアをGitHubでオープンソース公開



OQTOPUS
Open Quantum Toolchain for OPerators & USers

oqtopus-team.github.io

1 クラウド利用を実現
量子コンピュータをクラウド経由で遠隔から利用できる環境を構築

2 運用・実行を支援
ジョブ管理、量子回路の最適化、キャリブレーションなどを包括支援

3 技術開発の裾野を拡大
OSS公開により、開発への参入や機能拡張・共同開発を促進

量子コンピュータの進化は、量子ビット数だけではない
大阪大学では、実機・制御技術・クラウド・ユースケースまで
フルスタックで開発しています！
ご興味をお持ちの方は、ぜひお問い合わせください！

量子コンピュータ　FAQ

量子ソフトウェア研究拠点　QSRH　QIQB　大阪大学 THE UNIVERSITY OF OSAKA

1　量子コンピュータの可能性と現在地

量子コンピュータは、特定の問題で計算を効率化できる可能性を持つ、新しい方式のコンピュータです

Q1. 今のパソコンより速い？

すべての計算が速くなるわけではありません。

- 特定の問題では、従来の方法を上回る高速化が理論的に示されています
- 文書作成や表計算などには、従来のコンピュータが適しています
- 従来のコンピュータと組み合わせた計算方法も研究されています

従来のコンピュータをすべて置き換えるものではありません

Q2. 現在の暗号は破られる？

将来、一部の暗号方式が解読される可能性が指摘されていますが、現時点では現実的ではありません。

- RSA暗号や楕円曲線暗号などへの影響が指摘されています
- 現時点では、これらの暗号を実用規模で解読することは困難です
- 量子計算機による攻撃に備えた暗号技術（PQC）の導入が進められています

量子計算の研究と並行して、情報セキュリティ技術も進展しています

2　量子コンピュータ研究の現在地

性能向上が進む一方、計算規模の拡大やエラーの低減など、実用化に向けた課題も残されています

研究・基礎検証
アルゴリズム／誤り訂正
→ **クラウド利用・PoC**
実機／シミュレータ
→ **限定的な優位**
特定タスクでの検証
→ **本格社会実装**
大規模・高精度・高信頼

現在の中心

実用化時期は一律ではなく、用途・必要精度・ハードウェアと誤り訂正の進展によって変わります

Q3. 量子コンピュータでAIも進化する？

量子計算を機械学習に利用する研究が進められています。

- 量子計算を利用した新しい機械学習手法が提案されています
- 一部の限定的な課題で、研究成果が報告されています
- 一般的なAIで従来手法より優れるとは限らず、比較検証が必要です

量子計算の利点と適用条件は、現在も研究されている段階です

Q4. どのくらい実用化が進んでいる？

研究開発や技術検証を中心に利用が進められています。

- クラウドを通じて、量子コンピュータを利用できる環境が整っています
- 化学・材料、最適化、機械学習などで応用研究が行われています
- 産業課題への有用性は、従来の計算方法との比較検証が必要です

実用的な計算への適用可能性が、さまざまな分野で検討されています

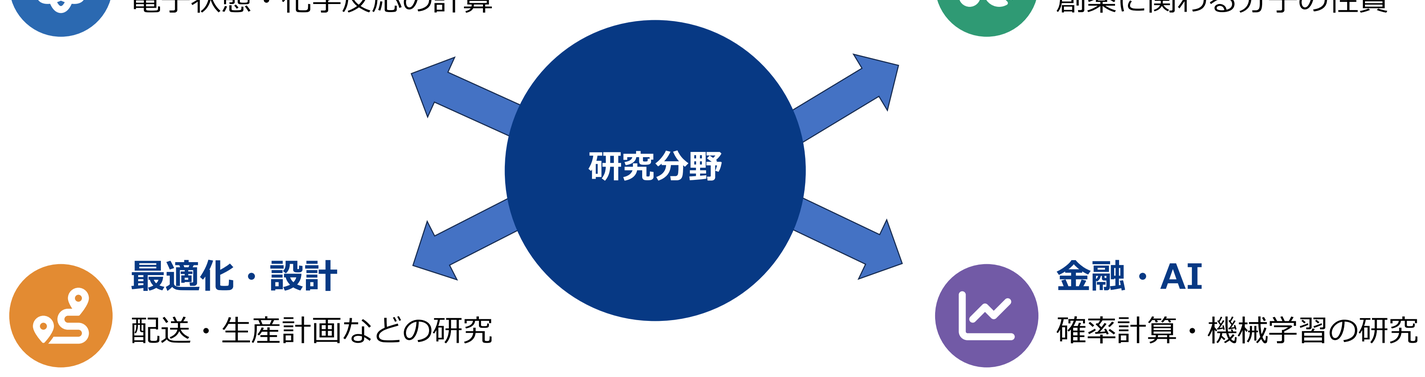
3　応用研究と、産業利用に向けた取り組み

さまざまな分野で応用研究が進められています。実用化には、対象課題に応じた性能検証が必要です

Q5. 将来、どのような分野で利用される？

量子計算の特性を活かし、さまざまな分野で応用が研究されています。

- 化学・材料では、分子や物質の電子状態などを計算する研究です
- 最適化・金融やAIでも、新しい計算手法の研究が進んでいます
- 実用化の時期や優位性は、現時点では確立していません



※ いずれも研究段階を含み、実用化や従来手法に対する優位性を保証するものではありません

産業応用に向けた研究開発

1　応用課題を探索
量子計算に適した問題を検討

2　手法を開発
対象課題に応じた計算方法を研究

3　性能を検証
従来手法と精度・時間などを比較

4　基盤を整備
研究環境の整備と人材育成

量子コンピュータは、従来のコンピュータをすべて置き換えるものではありません
その特性を活かせる問題を探り、実用化に向けた研究と検証が進められています