



光量子コンピュータの実用化に向けたNTTの挑戦

AI（人工知能）の普及により計算需要と電力消費が増大する一方、従来のコンピュータでは現実的な時間内に解くことが難しい問題が残されています。量子コンピュータは、こうした課題に対する新たな計算手段として期待されています。NTTは光通信分野で培った技術を活かし、OptQC株式会社と連携して、スケーラブルで信頼性の高い光量子コンピュータの実現をめざしています。本稿では、量子コンピュータ開発の現在地、光方式の位置付け、NTTの研究開発の方向性を紹介します。

キーワード：#光量子コンピュータ、#誤り耐性型量子コンピュータ、#量子ネットワーク

しら い だいすけ
白井 大介

NTT未来ねっと研究所

はじめに

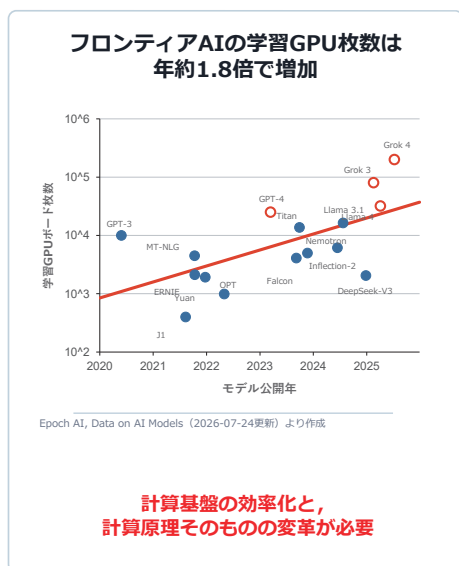
生成AI（人工知能）をはじめとするAI技術は、私たちの仕事や生活を大きく変えつつあります。文章や画像の生成にとどまらず、業務の効率化や研究開発の支援にも利用され始めています。この進展を支えるのが、大量のデータを処理する計算基盤です。一方、AIモデルの高度化に伴って必要な計算資源が増え、データセンタの消費電力も拡大していま

す。プロセッサを増やして性能を高める従来の方法だけでは、将来の計算需要を持続的に支えることは困難です。

また、計算資源を増やすだけでは解決しにくい問題も残されています。例えば、分子や材料の量子的な性質を精密に解析する問題では、対象が大きくなるにつれて計算量が急増します。多数の候補から望ましい組合せを探す最適化問題でも、同様の計算量の増大が生じます。こうした問

題に対応可能な新たな計算手段として期待されているのが、量子力学の性質を利用する量子コンピュータです。ただし、量子コンピュータがあらゆる計算を高速化するわけではありません。量子計算に適した問題を見極め、古典コンピュータと役割を分担させる必要があります。

このためNTTは、IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）やtsuzumiなどの技術開発を通して古典情報処理基盤を継続



NTTのアプローチ

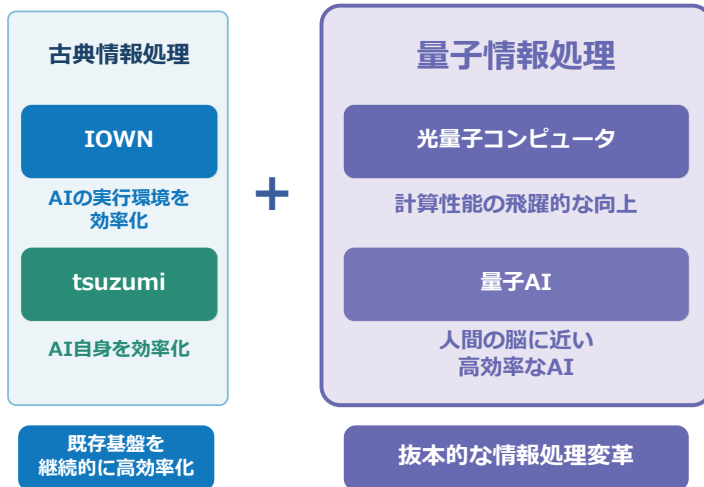


図1 増大する計算需要に対するNTTのアプローチ

的に効率化する取り組みを行いながら、未来の抜本的な情報処理改革をめざし、光量子コンピュータと量子AIの研究開発を進めています(図1)。

量子コンピュータ開発の 現在地と展望

量子コンピュータには、超伝導、中性原子、イオントラップ、光など、量子ビットを実現する物理系が異なる複数の方式があります。各方式では実機開発やクラウドを介した利用が進んでいますが、広範な実用問題を従来のコンピュータより高速かつ安定して解く、汎用的な誤り耐性量子コンピュータは実現していません。

超伝導方式は、超伝導電気回路によって量子ビットを実現します。高速な量子操作が可能である一方、極低温環境と多数の制御配線を必要とします。中性原子方式は、多数の原子を光で配列できることが特長である一方、真空中の原子を高精度なレーザーで安定して制御する必要があ

ります。光方式は常温環境で動作し、通信で成熟したデバイスや多重化技術を活用できます。その一方で、光損失の低減と量子状態の高品質化、非ガウス資源の生成が重要な課題です(表)。

このように、各方式は異なる強みを持ち、解決すべき課題も異なります。現時点で、すべての評価軸において優位な方式は定まっていません。各方式とも、それぞれの強みを活かして誤り耐性型量子コンピュータ(FTQC: Fault Tolerant Quantum Computer)を実現できるかを競う段階にあります。

NTTが開発を進めているのは、光の振幅に量子情報を載せる連続量光子量子コンピュータです。この方式では、スクイーズド光のパルスを時間的に並べ、光回路を通して大規模な量子もつれ状態を生成します。続いて、各光パルスの直交位相振幅を順次測定し、測定結果に応じて後続の測定条件を変えることで計算を進めます。光パルスを時間方向に多重できるため、計算に用いる量子ビッ

トを増やしても、光源数や主要な光回路の規模を同じ割合で増やす必要がありません。

NTTは、2030年に100万物理量子ビット*を持つFTQCを実現する目標に向けて、OptQCとの連携を開始しました^{(1),(2)}。NTTが光通信研究で培った光の生成・伝送・測定技術と、OptQCが持つ連続量光子量子コンピュータの設計・実装技術を融合し、計算規模を拡張でき、長時間安定して動作するシステムの実現をめざします。

光通信技術を量子計算へ ——NTTのアプローチ

光子量子コンピュータでは、量子光源で生成した光から大規模な量子もつれ状態をつくり、その光を順次測定することで計算を行います。測定結果は電子回路で処理され、後続の

* 連続量光子量子コンピュータ内部で扱う物理的な情報単位は、正確には「量子モード」ですが、分かりやすさのため「量子ビット」と表現しています。

表 主な量子コンピュータ方式の特徴と技術課題

方式	量子情報の表現	主な利点	実用化に向けた主な課題
超伝導	超伝導回路の量子状態	高速なゲート操作が可能で、半導体製造技術との親和性がある	極低温環境で、多数の配線と量子ビットを安定して制御する
中性原子	光で捕捉した中性原子の内部状態	原子を柔軟に配列でき、多数の量子ビットを構成しやすい	真空中で多数の原子を保持し、レーザーで高精度に制御する
イオントラップ	電磁場で捕捉したイオンの内部状態	量子ビットの均一性が高く、高精度な操作が可能	演算速度を向上させ、装置間を接続する
離散量光	単一光子の偏光や経路など	常温で動作し、光通信デバイスを利用できる	確率的な光子生成・演算を、損失を抑えながら並列化する
連続量光	光の直交位相振幅	時間・波長多重により、装置規模を抑えて量子ビットを増やせる	光損失を抑え、高品質な量子状態と非ガウス資源を安定して生成する

測定条件に反映されます。制御ソフトウェアは、装置の制御と量子プログラムの実行を橋渡しします。これらの要素が連携して動作するため、計算性能は量子光の品質だけでなく、光回路の損失や測定・制御の性能にも左右されます（図2）。

特に連続量方式では、スクイージングの品質と光損失が計算精度を大きく左右します。量子光源で良質な状態を生成しても、伝送や測定の途中で光が失われると、量子雑音が増えて計算精度が低下します。また、大規模な量子もつれ状態を安定して生成するには、多数の光パルスの位相を高精度に保たなければなりません。これらの条件を長時間維持するには、デバイスの性能に加え、装置全体を安定して動かす設計・制御技術が重要です。

これらの課題には、光通信システムの研究開発と共通する部分があります。NTTは、長距離・大容量通信を実現するため、光信号を低損失で伝送する技術を磨いてきました。

また、光増幅や波長多重によって伝送容量を拡大し、コヒーレント検波と高速デジタル信号処理によって波長当りの情報量を増やしてきました。量子計算では量子雑音を扱う必要がありますが、光を安定して生成し、伝送して測定する基盤技術は共通しています。

例えば、スクイーズド光の生成に利用されている光パラメトリック増幅器は、光通信分野で中継信号増幅や波長変換に用いられてきたものです。また、量子信号の測定前に光パラメトリック増幅を行えば、通信向けの高速な光検出器を活用できる可能性があります。さらに、時間多重と波長多重を組み合わせることで、1つの光路に収容する量子ビット数を増やせます。このような光通信関連技術の応用により、高速化、大規模化をねらえることが光量子方式の強みともいえます。

ただし、量子ビット数を増やすだけでは、実用的な量子コンピュータにはなりません。光損失や有限のス

クイーミングによって生じる誤りを訂正し、計算を継続できる誤り耐性型の量子計算能力（FTQC）の実現が必要です。これまでのNTTの量子誤り訂正の理論研究や、光通信向けの誤り訂正処理の知見を活かすことで、FTQCの実現を加速します。

真の実用化をめざして

量子コンピュータを真に実用化するには、装置の性能向上と並行して、社会課題の解決に結び付くアプリケーションを開発する必要があります。大規模計算能力の実現を待たずして、早い段階から実務上の課題への適用に取り組むパートナーと連携し、量子計算が有効な問題を検証することが重要です。

量子計算の応用先として、分子・材料シミュレーションや組合せ最適化などが検討されています。しかし、理論上は高速化できても、実際の処理全体で古典計算を上回るとは限りません。入力データの準備や計算結

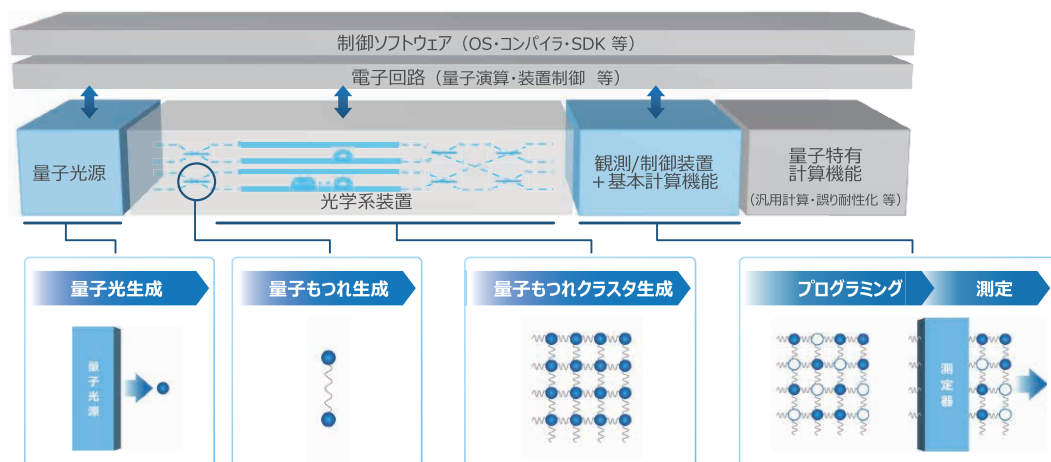


図2 光量子コンピュータの構成

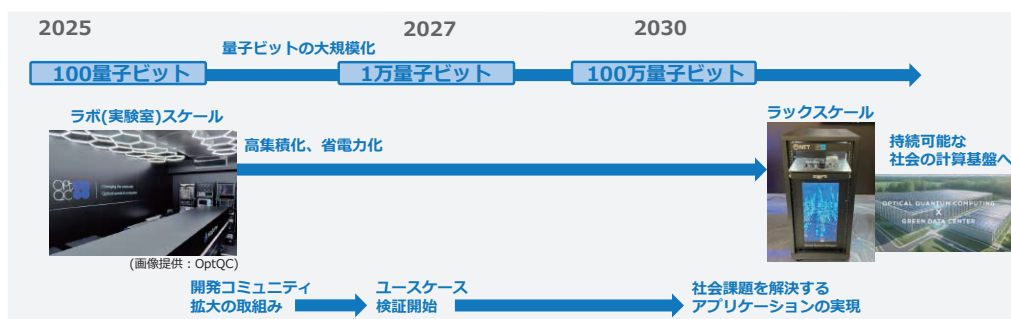


図3 ロードマップ

果の読み出しにも時間がかかるためです。対象とする問題の規模と必要な精度を定め、必要な論理量子ビット数と量子操作数を見積もったうえで、古典計算と比較する必要があります。

NTTはこの検証を進めるため、OptQCに加え、大学、研究機関、パートナー企業との連携を推進します。量子アプリケーションの研究成果の実機検証と、実用的に問題を解くための要件の装置開発への反映を並行し、いち早い真の実用化を図ります（図3）。

また将来の光量子コンピュータは、特殊な条件が必要となる大型装置ではなく、さまざまなデータセンタで安定して運用できる計算資源であることが求められます。このため、ラックスケールに集積化し、省エネルギーかつ安定動作を可能にする技術開発もめざします。また、量子計算はこれ単体では完結せず、問題の分割や結果の処理、データの格納には古典計算資源も必要です。光量子コンピュータをIOWNの光コンピューティング基盤に接続した量子計算アクセラレータとして利用し、必要な

古典計算資源と高速に接続する構成をめざします。

おわりに

光量子コンピュータは、常温で動作し、光通信の多重化のアプローチによる計算能力の大規模化が可能で、NTTが光通信分野で培ってきた技術の活用も期待できます。一方、FTQCの実現には、さまざまな課題の解決が必要です。さらに、実用問題を通じて、量子計算が価値を生む条件を明らかにする必要があります。

NTTでは、大規模化と誤り耐性化の基礎となる、高品質な量子光源デバイス技術と量子信号の高速検出技術から、誤り訂正アルゴリズムの理論研究、応用ソフトウェアの研究まで、光量子コンピュータの実用化に向けた統合的な研究開発を推進しています。また将来の光量子コンピュータネットワークを支える量子通信技術にも取り組んでいます。研究者には、特定の分野に閉じた知識ではなく、非常に幅広い、分野横断的な知見とチャレンジする精神が求められます。

NTTは、光通信の限界を広げるために培ってきた技術を核としながら、この全く新しい量子計算の世界を切り拓こうとしています。何十年も先の未来の技術としてではなく、持続可能な社会を支え、現実の社会課題の解決に資する計算基盤として確立することを目指しています。分野や組織の境界を越え、さまざまなパートナーとの連携を通じて、光量子コンピュータの実用化に挑戦していきます。

参考文献

- (1) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2025/11/18/251118a.html>
- (2) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2026/08/03/260803a.html>



白井 大介

光通信で培った技術を量子計算へ発展させ、持続可能な社会を支える計算基盤の実現をめざします。本特集を通じて、デバイスからシステム、ソフトウェア、量子通信までを一体で進めるNTTの取り組みをご覧ください。

◆問い合わせ先

NTT未来ねっと研究所
フロンティアコミュニケーション研究部