

2024年6月17日  
株式会社日立製作所

## 日立、量子コンピュータの実用化に向けて 量子ビットの寿命を100倍以上長く安定化させる操作技術を開発

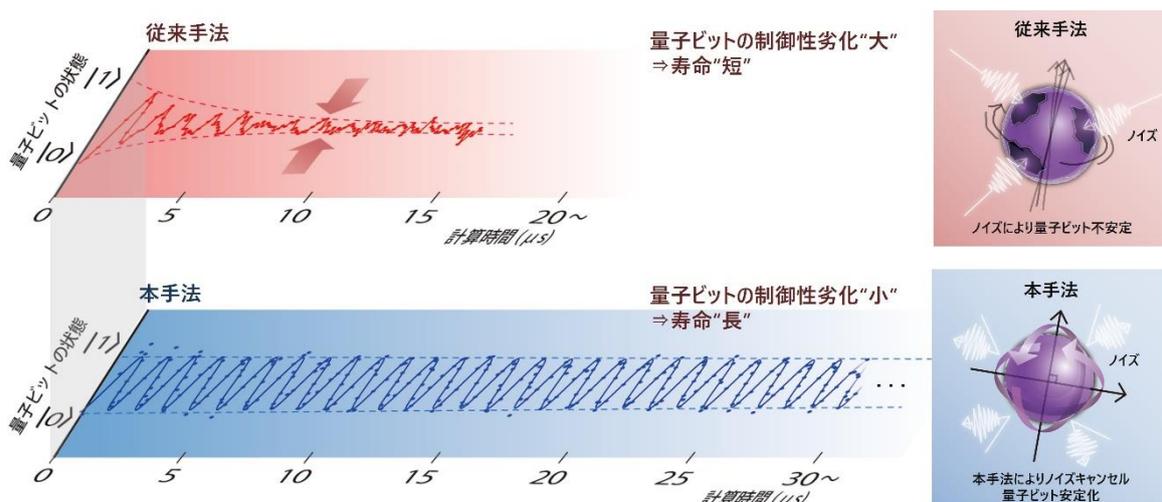
シリコン量子コンピュータにおいて量子ビットにかかるノイズをキャンセルする効果を確認

株式会社日立製作所(以下、日立)は、シリコン量子コンピュータ<sup>\*1</sup>の実用化に向け、量子ビット<sup>\*2</sup>を安定化できる量子ビット操作技術を開発し、量子ビットの寿命(量子情報保持時間、または量子コヒーレンス<sup>\*3</sup>)を100倍以上延伸できることを確認しました。

量子コンピュータによって実用的な計算を可能にするためには、100万量子ビット以上の規模が必要とされており、量子ビットの大規模集積化や、量子ビットを効率的に制御する技術、さらに誤り訂正<sup>\*4</sup>の実装が鍵になると言われています。日立が研究開発を進める「シリコン量子コンピュータ」は、量子ビットの大規模集積化に有利と期待される一方、半導体中の核スピン<sup>\*5</sup>などがノイズとなり、量子ビットが不安定になりやすく、量子アルゴリズム<sup>\*6</sup>や誤り訂正の実装が難しいという課題がありました。

このたび開発した技術は、量子ビットの操作に用いるマイクロ波の位相を変調することで、半導体中のノイズを一部無効化(キャンセル)し、量子ビットを安定化させ、寿命を100倍以上延伸することを可能にするものです(図1下)。本成果は、量子ビットの大規模集積化に加え、量子アルゴリズムや誤り訂正の実装に向けた大きな一歩となるものであり、今後も本研究を加速し、量子コンピュータの早期実用化をめざします。

なお、本成果の一部は、2024年6月16日から20日に米国ハワイ州で開催される「2024 IEEE Symposium on VLSI Technology & Circuits」で発表予定です。



\*1 シリコン量子コンピュータ: シリコン内の電子スピンを量子ビットとして用いる方式の量子コンピュータ。

\*2 量子ビット: 量子コンピュータで利用される情報の最小単位。量子力学の重ね合わせの原理を利用して、0と1が重なり合った状態を表現する

ことが可能。

\*3 量子コヒーレンス: 異なる量子状態の間の「量子重ね合わせ」の度合い。量子ビットの寿命を表す指標となる。

\*4 誤り訂正: 量子計算の過程で発生する誤りを訂正する技術。一つの論理量子ビットを複数の量子ビットで表現し(冗長化)、その冗長量子ビットを利用して誤りを検出・推定する。

\*5 核スピン: 原子核が持つスピン。電子スピンを量子ビットとして用いる場合、核スピンの相互作用が量子ビットの不安定化の原因となる。

\*6 量子アルゴリズム: 量子コンピュータ特有の計算アルゴリズム。通常のコンピュータでは実用的な時間で解くことのできない問題を解くことができるとされる。

## ■研究の背景

量子コンピュータにはさまざまな方式が提案されており、日立が研究開発を進める「シリコン量子コンピュータ」は、成熟技術である半導体技術を活用することができるため、量子ビットの大規模集積化に有利な方式として期待されます。日立はこれまでに、シリコン量子ビットを格子状に配列させることで集積化を可能にする「2次元シリコン量子ビットアレイ<sup>\*7,8</sup>」の開発や、量子ビットを効率よく制御可能な「シャトリング量子ビット方式」の提案を行ってきました<sup>\*9</sup>。2024年には、シリコン量子コンピュータの基本動作を確認しており、2024年3月に米国ミネソタ州で開催された「American Physical Society's March Meeting 2024」で発表しています<sup>\*10</sup>。

\*7 2次元量子ビットアレイ: 量子ビットを2次元状に配列した基本構造。

\*8 N. Lee et al., "16 x 8 quantum dot array operation at cryogenic temperatures," Jpn. J. Appl. Phys. 61 SC1040, 2023.

\*9 [2023年6月12日 日立ニュースリリース「シリコン量子コンピュータの実用化に向け、大規模集積に適した新たな量子ビット制御方式を提案」](#)

\*10 T. Kuno et al. "Adiabatic Electron Spin Resonance Inversion in an FDSOI Quantum Dot Array." Bulletin of the American Physical Society (2024).

## ■開発技術の特長

シリコン量子コンピュータは、シリコン素子中に形成した「量子ドット」と呼ばれる微細構造の中に一つの電子を閉じ込め、その電子の回転(スピン)を量子ビットとして用います。しかし従来、半導体中の核スピンなどがノイズとなり、電子スピンの回転を不安定にするため、量子ビットの寿命が短いという課題がありました。今後、量子アルゴリズムや誤り訂正を実装するには、ノイズの影響を軽減させ、量子ビットを安定化させることで、十分な計算時間を確保する必要があります。

こうした課題に対し、英国ケンブリッジ大学内に設立された日立ケンブリッジラボの研究者と分野を超えた議論を重ねた結果、同ラボで先行的に研究されていた「Concatenated Continuous Driving (CCD)<sup>\*11</sup> 量子ビット操作方式」が外部のノイズを一部キャンセルするために有効との見通しを得ました。そこで、日立製作所研究開発グループの研究チームは、シリコン量子コンピュータの量子ビット操作に用いるマイクロ波の位相変調によって「CCD 量子ビット操作方式」を実現する技術を、世界で初めて開発しました。本技術では、直交する2方向の軸を回転軸として量子ビットを操作することで、外部からのノイズ影響を削減し、量子ビットの寿命を大幅に延伸できます。

本技術をシリコン量子コンピュータに適用することで、量子ビットが安定化し、量子ビットの寿命が100倍以上延伸することを実験で確認しました。以上の結果から、シリコン量子コンピュータが、量子ビットの大規模集積化と量子ビットの安定化を両立する優れた特長を有することが確認できました。日立は今後も、量子ビットの大規模集積化に加え、本研究開発を通じて、量子アルゴリズムや誤り訂正の実装に向けた研

究を加速し、量子コンピュータの早期実用化をめざします。

\*11 A. J. Ramsay et al. "Coherence protection of spin qubits in hexagonal boron nitride." Nature Communications 14,461 (2023).

なお、本研究の一部は、ムーンショット型研究開発事業 目標 6「2050 年までに、経済・産業・安全保障を飛躍的に発展させる誤り耐性型汎用量子コンピュータを実現(プログラムディレクター: 北川勝浩)」の研究開発プロジェクト「大規模集積シリコン量子コンピュータの研究開発(プロジェクトマネージャー: 水野弘之) グラント番号 JPMJMS2065」による助成を受けて行われました。

#### ■謝辞

本結果の一部は、国立大学法人東京工業大学、国立研究開発法人理化学研究所、日立ケンブリッジラボとの共同研究の結果得られたものです。

#### ■日立製作所について

日立は、データとテクノロジーでサステナブルな社会を実現する社会イノベーション事業を推進しています。お客さまの DX を支援する「デジタルシステム&サービス」、エネルギーや鉄道で脱炭素社会の実現に貢献する「グリーンエナジー&モビリティ」、幅広い産業でプロダクトをデジタルでつなぎソリューションを提供する「コネクティビティ&ソリューション」という 3 セクターの事業体制のもと、IT や OT(制御・運用技術)、プロダクトを活用する Lumada ソリューションを通じてお客さまや社会の課題を解決します。デジタル、グリーン、イノベーションを原動力に、お客さまとの協創で成長をめざします。3 セクターの 2023 年度(2024 年 3 月期)売上収益は 8 兆 5,643 億円、2024 年 3 月末時点で連結子会社は 573 社、全世界で約 27 万人の従業員を擁しています。詳しくは、日立のウェブサイト(<https://www.hitachi.co.jp/>)をご覧ください。

#### ■お問い合わせ先

株式会社日立製作所 研究開発グループ

問い合わせフォーム: <https://www8.hitachi.co.jp/inquiry/hqrd/news/jp/form.jsp>

以上

---

このニュースリリース記載の情報(製品価格、製品仕様、サービスの内容、発売日、お問い合わせ先、URL 等)は、発表日現在の情報です。予告なしに変更され、検索日と情報が異なる可能性もありますので、あらかじめご了承ください。

---