

平成 26 年 8 月 8 日



## 理論主導でダイヤモンドを用いた量子コンピュータの実現化へ

今のコンピュータでは手を出せないような問題を解くという、大規模な量子コンピュータの全貌を明示する成果として、情報・システム研究機構 国立情報学研究所(所長:喜連川 優、以下「NII」)の根本香絵教授らと日本電信電話株式会社 物性科学基礎研究所(NTT 物性科学基礎研究所)、オーストリア・ウィーン工科大学が参加する研究チームは、小さなダイヤモンドのかけらを用いた量子コンピュータの基本素子のデザイン、そこからシステムへ組み上げるためのアーキテクチャなど、大規模な情報システムを組み上げられるような素子とシステムの構成に成功し、8月4日に米国物理学会「Physical Review X」に公開されました。大規模化が可能なシステムであるのに加え、これまでにない小型化・集積化のしやすさ、そして大量生産に適している点が大きな特徴です。

### ■ 本研究成果詳細

Physical Review X : <https://journals.aps.org/prx/recent>

Photonic Architecture for Scalable Quantum Information Processing in Diamond

Phys. Rev. X 4, 031022 (2014) – Published 4 August 2014

リンク先 : <http://journals.aps.org/prx/abstract/10.1103/PhysRevX.4.031022>

### 【背景】

微細加工技術や光制御技術などの急速な技術の進歩により、光や固体中の電子など様々なものを使った量子制御が、近年急速に実現されています。それらの量子制御を組み合わせることによって、量子コンピュータの情報単位である量子ビット(ビットの量子版)をコンピュータ素子として制御する方法や、2つの量子ビット上に計算のためのゲート操作の方法が提案されてきました。その一方で、主に理論的な研究から、量子コンピュータの計算結果に信頼性を持たせるための誤り訂正が十分に施されたシステムは、多数の量子ビットを含む複雑なシステムとなることもわかってきました。

これまでの量子素子のデザインでは、素子の中で起こる量子制御のひとつひとつが高精度で行われるように準備され、その原理を実験により検証するのが主流でした。しかしながら、量子コンピュータのような情報システムでは、それぞれの量子制御をアルゴリズムの要求に従い、次々と実行していかなければなりません。量子制御ひとつひとつが高精度で独立に実行可能であっても これらを統合して行う必要のある量子計算を実行するのは困難です。

また、量子コンピュータのシステム・アーキテクチャ(以下、アーキテクチャ)は、トポロジカル量子誤り訂正<sup>\*1</sup>の方法を用いた研究が進み、いくつかのアーキテクチャがこれまでに提案されています。しかしながら、これらを実現する素子や量子制御の方法は必ずしも明らかになっておらず、アーキテク

チャの要請と現実的な素子構成方法とがかみ合わないのが現状です。

### 【今回の研究成果】

実験室での量子制御の実験を、多数の素子からなる複雑な情報システムへと結ぶ方法の解明が、量子コンピュータの実現化上の「鍵」といえます。NIIとその共同研究チームは、この全く性質の異なる2つのハードルをクリアし、大規模な量子コンピュータを実現する素子とシステムの構成の詳細を世界で初めて示しました。

この考えに基づき、ウィーン工科大学では、素子の実現化に向けて、すでに実証実験が進められています。

今回のダイヤモンドを用いた量子コンピュータの構成方法では、誤り訂正にトポロジカル量子誤り訂正を用い、誤り耐性のある量子計算が実行可能であり、単純に素子の数を増やすことにより、より大規模な問題を扱うことが出来るスケールビリティに優れた構成方法となっています。トポロジカル量子誤り訂正を用いることで、アーキテクチャにスケールビリティを持たせ、またダイヤモンドと共振器を用いた素子設計で集積化を可能にしています。

ダイヤモンドは、近年急速に研究が進んでいる材料で、結晶制御や微細加工などが可能になってきました。また、その詳細な量子的性質も明らかになりつつあるなど、量子情報技術で期待のかかる材料です。今回はその中でも特に注目されている、ダイヤモンド中の窒素原子(N)と空孔(V)の対がつくる NV 中心の電子スピンと窒素原子 15 がもつ核スピンを用いています。

今回のアーキテクチャ・素子提案では、量子計算に必要となる素子の量子制御をひとつずつ追い、それらをすべて統合したシステムとしての動作の評価にも成功しています。また、これら量子制御の解析や、システム動作の評価は、タスクが変わっても変化しないので、解く問題に因らず適応できます。

### 【本研究成果の意義】

提案されている素子は、現在の技術レベルで実現化が可能であることが計算上示されており、すでに実現化に向けた実験も進められています。現在の世界最大級の計算機を凌駕するような大規模な量子コンピュータを組み立てるには、精度の改善が必要な部分が一部あるものの、最近の急速な材料や加工技術、光制御の発達からして、十分に現実的な数値となっています。

また、素子の構成が小型化、集積化、大量生産に向くことから、段階的な開発によって将来の大規模化へ拡張が可能な仕組みが出来ていることは、今後の大規模な量子情報処理システムの開発に大きな意義があります。

**【今後の予定】**

今後は、ウィーン工科大学で進められている実現化実験のサポートを継続し、提案の実現化を目指します。同時に、詳細な量子制御の解析とシステムの改良により、実現化へ向けて理論的な改善も行います。

また、本論文が提案する、光を用いて NV 中心の電子スピン間にエンタングルメント共有させる方法によって、量子通信へ拡張が期待できるため、今後はこのような課題にも取り組んでいく予定です。

**【用語解説】****※1 トポロジカル量子誤り訂正**

一定の格子状にエンタングルした量子ビットを用いて、量子誤り訂正符号化された量子ビットを定義します。量子誤り訂正符号と量子計算モデルが一体化されているという特徴を持ちます。量子ビット間のエンタングルメントの共有の仕方によって、トポロジカル量子誤り訂正の次元が変わりますが、2次元と3次元の量子誤り訂正でもっとも研究が進んでいます。本論文の提案では、3次元トポロジカル量子誤り訂正を用いています。

**<<本件に関する問い合わせ先>>**

国立情報学研究所 教授 根本 香絵

E-mail: nemoto@nii.ac.jp

**<<報道に関する問い合わせ先>>**

国立情報学研究所 総務部企画課 広報チーム(担当:坂内)

TEL: 03-4212-2164

E-mail: bannai@nii.ac.jp