

で100億円規模の売り上げを目指す。

ネクステイの柿原安博社長は、欧米のモビリティ企業は2019年からエヌビディア製「DGX SuperPOD」(HXL)を



100億円規模の事業を目標と

時間を考慮し、最初の1週間は無料。データセンターは、トヨタグループも使用する高度なセキュリティ機能を完備する。LLM(大規模言語モデル)、デジタルツイン/ドメイン

討論している。

基調講演では、京都大学名誉教授の松波弘之氏が講演を行い、自身の来歴と研究の歩みを紹介した。「8インチSiCパワーデバイスの実用化について、白物

には、(株)SCREENホールディングス代表取締役社長、最高経営責任者の廣江敏明氏、サムコ(株)代表取締役会長兼CEOの辻理氏、京都電機機器(株)代表取締役社長の小西秀人氏が

さらに微細化が進むにつれて、洗浄における技術や材料も変化していく。生産増強も含めたサプライチェーン全体の拡大や技術への対応が重要だ」と今後の取り組みの必要性を示した。小

樹脂・金属の精
技術力と最先端設備で求めら

NSD 日本精密
https://www.

が大学を利用することが重要であり、友好的で近い関係構築が必要だ」と廣江氏。関係強化における両者のメリットなどを説明した。氏は、様々な領域での創造的な若い人材の育成

インターネット

2050年までに経済・産業・安全保障を飛躍的に発展させる超伝導型汎用量子コンピュータの実現を目指す内閣府のプロジェクト(PJ)「ムーンスョット型研究開発事業 目標6」のなかで、量子コンピュータネットワーク(量子インターネット)の実現を目指し、量子デバイスの開発に三十余年にわたり挑み続けている横浜国立大学 量子情報研究センターのセンター長で、大

学院工学研究院・先端科学高等研究院教授の小坂英明氏。直近では超伝導光デバイスの開発に挑み始めている。量子業界の現況、課題、見据える未来の景色について小坂教授に話を聞いた。

—量子業界の現況は。

量子もつれ光源・検出器(量子もつれを測る装置)、ダイヤモンド量子メモリ、量子コンピュータをつなぐ光子インターフェース(超伝導量子間の量子接続・量子中継器)の開発に取り組んできている。また約30年間、量子中継という領域で模索してきた。

—量子中継でのこれまでの開発経緯について。

量子もつれ光源・検出器(量子もつれを測る装置)、ダイヤモンド量子メモリ、量子コンピュータをつなぐ光子インターフェース(超伝導量子間の量子接続・量子中継器)の開発に取り組んできている。また約30年間、量子中継という領域で模索してきた。

—量子中継でのこれまでの開発経緯について。

量子もつれ光源・検出器(量子もつれを測る装置)、ダイヤモンド量子メモリ、量子コンピュータをつなぐ光子インターフェース(超伝導量子間の量子接続・量子中継器)の開発に取り組んできている。また約30年間、量子中継という領域で模索してきた。

—量子中継でのこれまでの開発経緯について。

量子もつれ光源・検出器(量子もつれを測る装置)、ダイヤモンド量子メモリ、量子コンピュータをつなぐ光子インターフェース(超伝導量子間の量子接続・量子中継器)の開発に取り組んできている。また約30年間、量子中継という領域で模索してきた。

—量子中継でのこれまでの開発経緯について。

量子もつれ光源・検出器(量子もつれを測る装置)、ダイヤモンド量子メモリ、量子コンピュータをつなぐ光子インターフェース(超伝導量子間の量子接続・量子中継器)の開発に取り組んできている。また約30年間、量子中継という領域で模索してきた。

—量子中継でのこれまでの開発経緯について。

量子もつれ光源・検出器(量子もつれを測る装置)、ダイヤモンド量子メモリ、量子コンピュータをつなぐ光子インターフェース(超伝導量子間の量子接続・量子中継器)の開発に取り組んできている。また約30年間、量子中継という領域で模索してきた。

—量子中継でのこれまでの開発経緯について。

超伝導光デバイス開発に挑戦

量子デバイスへ3次元実装が肝

小坂 量子インターネットに向けて各国が動き始めたのがここ数年の動きだ。

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

横浜国立大学
量子情報研究センター センター長
小坂 英男 氏



小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

小坂PJでの取り組み、開発中のデバイス

量子インターネットへの道

量子情報を相互やり取りできる量子ネットワークの実現に向け、大学や企業で要素技術の開発が進んでいる。東京大学は量子状態を一定期間維持するための素子を開発し、その光学特性を国内で初めて観測した。

日本の活路は中継技術

量子ネットワークで重要な力となるのが「量子中継器」だ。量子情報のやり取りには光の粒(光子)に情報を乗せて送るが、距離が長くなればなるほど信号が減衰するため長距離の伝送は難しくなる。そこで量子中継器で伝えたい光信号を仲介し、ネットワークを構築していく。

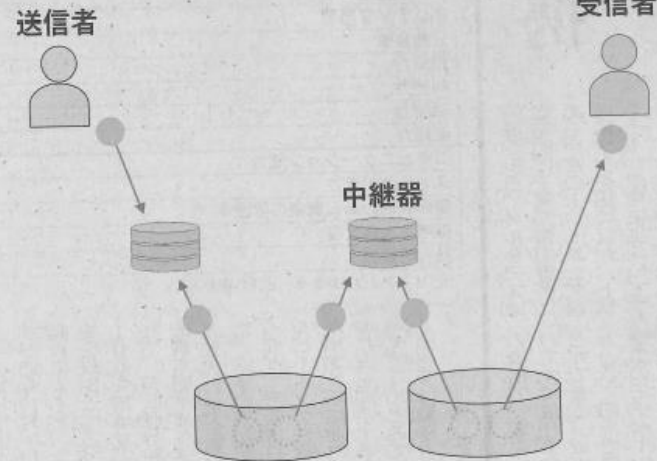
②

器や受信者へ信号を伝達する。この間、光子の情報を受け取るための測定技術(ベル測定)や量子情報(量子信号)に変換する技術(量子インターフェース)、情報を一時的に維持する技術(量子メモリ)など、複数の技術が必要になる。

量子ネットワークの研究が加速

量子ネットワークの実現に向けた研究開発が加速。量子中継器などの要素技術で成果も出てきた
東京大学の研究グループは、量子メモリに必要な共振器のモードの観測に国内で初めて成功
横浜国立大学は、量子コンピューターと光ファイバーを用いて、量子ネットワークの実証実験に取り組む

誤り耐性型、30年目標



もつれ光子源

光子を使って量子情報をやり取りする量子中継器の原理

キーワード

量子インターネット 量子コンピューターを量子ネットワークで量子的に接続した長距離・グローバルの量子コンピューターネットワークのこと。「量子コンピューター」「量子通信」「量子中継」といった技術の組み合わせで実現する。共有するデータやアプリケーションを量子化することで、複数の量子コンピューターによる分散処理が可能になる。



量子インターネットの実現に向けた研究開発が進んでいる。横浜国立大学の小坂氏は量子ネットワークの国内プロジェクトを取りまとめる

求められる。岩本氏は「中継器が非常に高い。また山継器の実現には共振器の加工の1合目にも達していない」と語る。米Harvard Universityの「量子インターネット」プロジェクトを率いる小坂氏は「量子中継器の性能を向上させるには、共振器の加工精度を高める必要がある」と語る。米Harvard Universityの「量子インターネット」プロジェクトを率いる小坂氏は「量子中継器の性能を向上させるには、共振器の加工精度を高める必要がある」と語る。

(NIKKEI Tech Foresight) 日経クレストック 佐藤雅哉 2023年11月28日 公開

量子接続の実証も進む 横浜国立大学大学院工学研究科の小坂英男氏は「量子中継の早期実現を目指す」と語る。小坂氏は「量子中継の早期実現を目指す」と語る。小坂氏は「量子中継の早期実現を目指す」と語る。

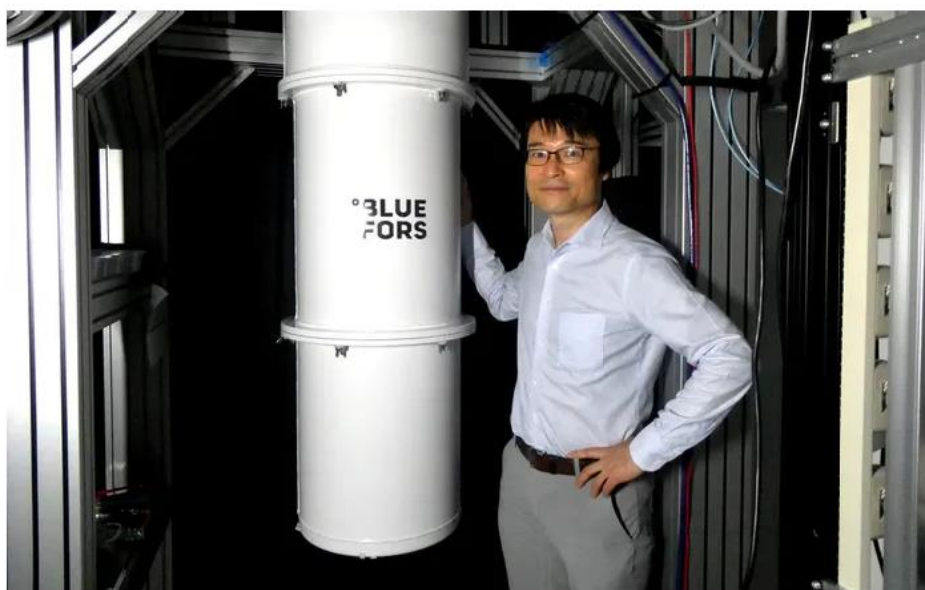
Advertisement for Nikkei Advertising Research Institute (日経広告研究所) featuring the headline 'Today's research, tomorrow's advertisement' and contact information including a website and membership application details.

2023年11月28日 5:00

誤り耐性量子ネット、日本の活路は中継技術 30年目標

量子インターネットへの道（上）

デジタル グローバルトレンド IT 電機 特集 量子



量子インターネットの実現に向けた研究開発が進んでいる。横浜国立大学の小坂氏は量子ネットワークの国内プロジェクトを取りまとめる

量子情報を相互やり取りできる量子ネットワークの実現に向け、大学や企業で要素技術の開発が進んでいる。東京大学は量子状態を一定期間維持するための素子を開発し、その光学特性を国内で初めて観測した。横浜国立大学では量子コンピューター同士を光ファイバーで接続するためのシステム構築を進める。国内外の研究機関や企業も連携することで、研究開発が加速している。

量子ネットワークの研究が加速

量子ネットワークの実現に向けた研究開発が加速。量子中継器などの要素技術で成果も出てきた

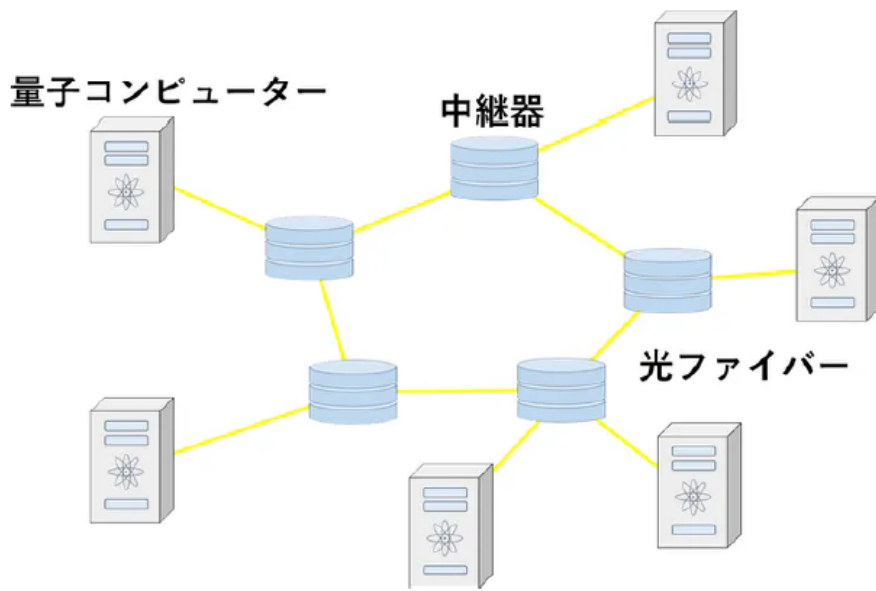
東京大学の研究グループは、量子メモリーに必要な共振器のモードの観測に国内で初めて成功

横浜国立大学は、量子コンピューターと光ファイバーを用いて、量子ネットワークの実証実験に取り組む

量子ネットワークの実現に向けて要素技術の開発が進む

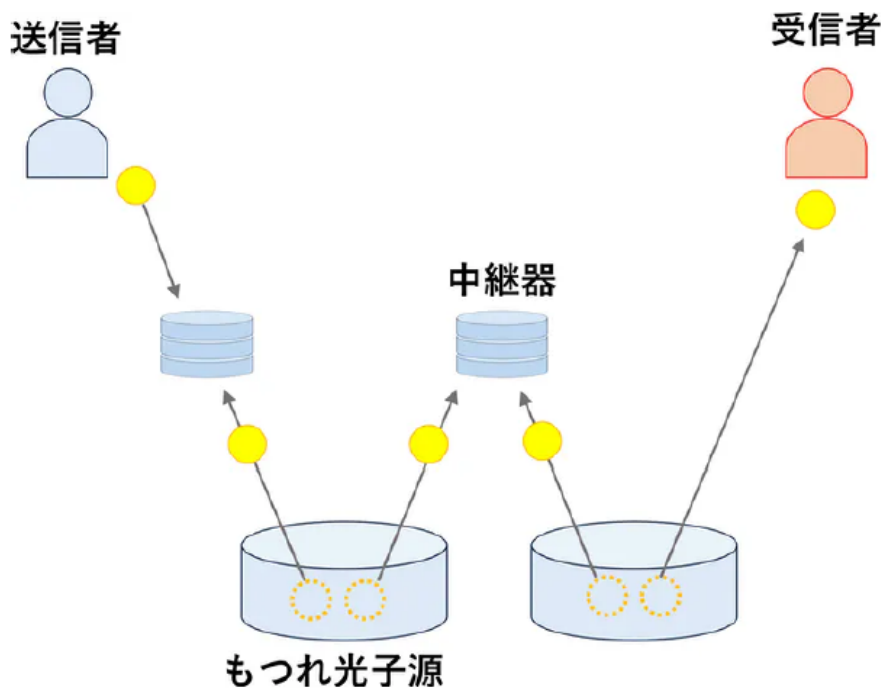
量子ネットワークは、量子コンピューターや量子センサーなどを量子的に接続した「量子インターネット」の実現に欠かせない技術だ。複数の量子コンピューターをつないで分散処理すれば、システム全体の性能を高められる。量子ビットの規模を拡大すれば、量子コンピューターの課題である計算エラーを訂正でき、誤り耐性型量子コンピューター（FTQC）の実現にも貢献する見込みだ。

量子ネットワークで重要なカギとなるのが「量子中継器」だ。量子情報のやり取りには光の粒（光子）に情報を乗せて送信するが、距離が長くなればなるほど信号が減衰するため長距離の伝送は難しくなる。そこで、量子中継器によって伝えたい光信号を仲介し、ネットワークを構築していく。



量子コンピューターなどを接続した量子インターネットで高度な計算能力が実現できる

送信者から送られた光の信号を中継器で受けて、「もつれ光子」と呼ぶ光信号で情報をリレーし、次の中継器や受信者へ信号を伝達する。この間、光子の情報を受け取るための測定技術（ベル測定）や量子情報を光信号に変換する技術（量子インターフェース）、情報を一時的に維持する技術（量子メモリー）など、複数の技術が必要になる。



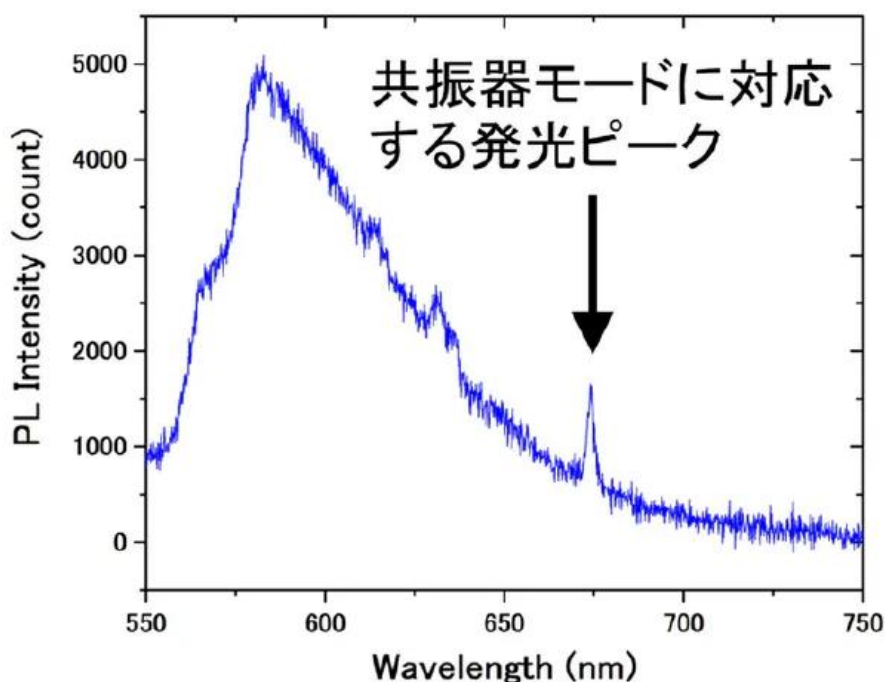
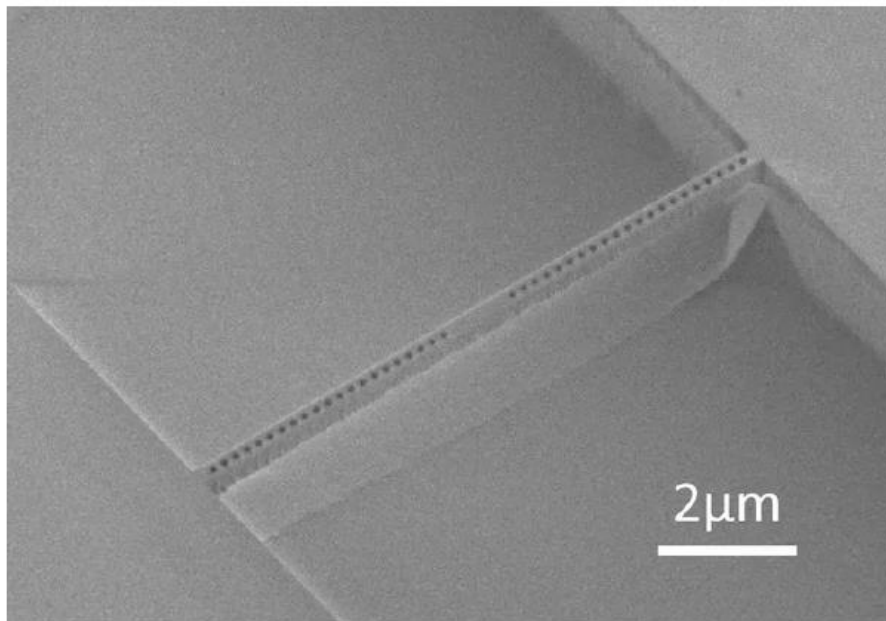
光子を使って量子情報をやり取りする量子中継器の原理

量子メモリーの要素技術を開発

東京大学先端科学技術研究センター教授の岩本敏氏は、量子中継器の核となる「ダイヤモンド量子メモリー」を研究開発する。岩本氏らの研究グル

ープは作製したダイヤモンドフォトニック結晶製のビーム共振器で、閉じ込めた光の光学特性（モード）を観測することに2023年9月に国内で初めて成功した。この技術を応用すれば将来、量子状態を一定期間維持できる量子メモリーを実現できると期待する。

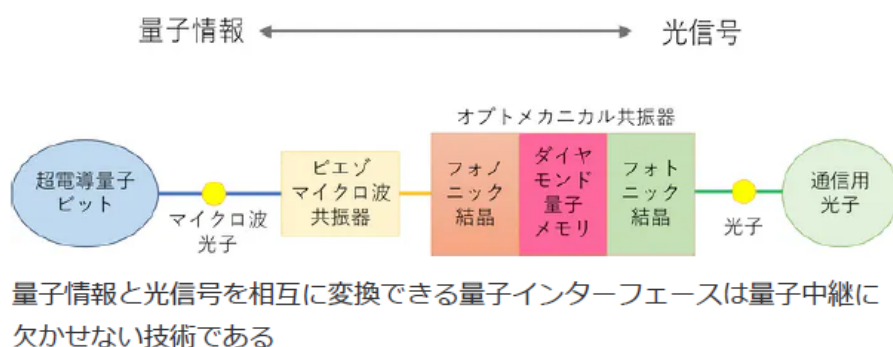
作製したダイヤモンドビーム共振器は、幅約300nm、長さ10 μ mほどの橋状の構造をしており、直径100nm前後の穴が複数空いている。ここに光を照射すると光が閉じ込められ、何度も往復することで特定の波長の光が増幅される。ここに量子ビットを組み合わせて光と結合させることで、相互に変換できる仕組みになっている。



岩本氏は「今後1年半ほどで共振器の中に量子ビットを入れ、光と量子ビットの相互作用を確認したい」と語る。そのためにダイヤモンドビーム共振器の設計や加工精度を改良し、信号の鋭さ（Q値）を現状の10倍程度に高める目標だ。

技術で欧米が先行

このダイヤモンド量子メモリーに「オプトメカニカル共振器」「ピエゾマイクロ波共振器」などを組み合わせると、量子インターフェースを構築できる。これを使えば、超電導量子ビット（量子情報）を通信用の光子に変換でき、量子通信が可能になる。そのため、内閣府の開発プロジェクトでは国内の大学や研究機関が分担しながら開発を進めている。



ただし、ダイヤモンドを微細加工して狙った性能を引き出すには高度な技術が求められる。岩本氏は「中継器の実現には共振器の加工や、光や音波などの高精度な制御など技術的なハードルが非常に高い。まだ山の1合目にも達していない」と語る。米Harvard University（ハーバード大学）やオランダDelft University of Technology（デルフト工科大学）など海外勢は10年以上前からダイヤモンド共振器の研究に取り組んでおり、日本は水をあけられている。

量子接続の実証も進む

横浜国立大学大学院工学研究院教授の小坂英男氏は、内閣府の「ムーンショット型研究開発制度」や総務省の委託事業「グローバル量子暗号通信網

構築のための研究開発」で量子中継技術の開発プロジェクトを取りまとめる。総務省のプロジェクトには、横浜国立大学や東京大学、[東芝](#)、[古河電気工業](#)、産業技術総合研究所などが参画し、量子ネットワーク実現に向けた技術開発を進めている。産官学が密接に連携することで、技術的なハードルの高い量子中継の早期実現を目指す。

小坂氏らが想定する量子中継技術は、ダイヤモンド量子メモリーを使うものの中でも「YNU方式」と呼ぶものだ。欧米の研究機関や企業が採用する「DLCZ方式」や「QuTech方式」と比べて技術的なハードルが高いものの、高い忠実度を維持でき、拡張性が高いという長所がある。

小坂氏らの研究グループは現在、量子コンピューターを光ファイバーで接続して量子通信するためのシステムづくりを進めている。小坂氏らはこれまでYNU方式の量子接続実験としてダイヤモンド中の窒素-空孔中心（NVセンター）を10mの光ファイバーでつなぎ、単一光子をやり取りできることを2023年に確認した。まだ量子もつれを確認するのはこれからだが、現在は10kmの光ファイバーを使った量子もつれ実験に取り組んでいる。

この方法は極低温のマイクロ波ケーブルを使わず、量子コンピューター同士を室温中の光ファイバーで接続できる利点がある。光ファイバーといった既存の通信インフラを活用して量子インターネットを構築するのに役立つそうだ。

ムーンショットプロジェクトでは2030年までに量子インターフェースと量子メモリーを活用して誤り訂正可能な規模の量子ネットワーク接続を実現するという挑戦的なロードマップを掲げる。一方、小坂氏は「量子ネットワークはまだ分からないことが多い」と語り、様々な組織と連携しながら要素技術を開発する重要性を説明する。今後は海外の量子関連企業やコンソーシアムとの提携も視野に交渉を進めているという。

キーワード

量子インターネット 量子コンピューターを量子ネットワークで量子的に接続した長距離・グローバルの量子コンピューターネットワークのこと。「量子コンピューター」「量子通信」「量子中継」といった技術の組み合わせで実現する。共有するデータやアプリケーションを量子化することで、複数の量子コンピューターによる分散処理が可能になる。大規模な量子計算ができるほか、大量のデータを安全に送受信できるので、実現すれば社会を大きく変革する技術になると期待されている。ただ、不安定な量子をいかに制御し、通信に応用するかが課題である。光子を光ファイバーで伝送できる距離は数十kmまでとされ、100km以上の長距離伝送で実現するには「量子中継器」が必要になる。量子中継器には複数の方式があり、忠実度や拡張性などに違いがある。

(NIKKEI Tech Foresight/日経クロステック 佐藤雅哉)

記事・写真等を許可なく複製・転載することはできません。

記事の閲覧にはNIKKEI Tech Foresightの会員登録が必要です。

Nikkei Inc. No reproduction without permission.

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は、日本経済新聞社またはその情報提供者に帰属します。