

解禁時間 (テレビ、ラジオ、WEB) : 2022年7月29日 (金) 午前0時 (日本時間)  
解禁時間 (新聞) : 2022年7月29日 (金) 付朝刊

記者レクチャー 7月27日(水)10時~11時 文部科学省東館12階 記者会見室

# 世界初、光ランダムアクセス量子メモリ の原理実証に成功 ~大規模集積量子メモリや ダイヤモンド量子コンピュータの実現に道~

## 小坂 英男

横浜国立大学(YNU) 教授  
量子情報研究センター(QIC) センター長  
先端科学高等研究院(IAS) 主任研究者

## 関口 雄平

横浜国立大学 先端科学高等研究院 助教



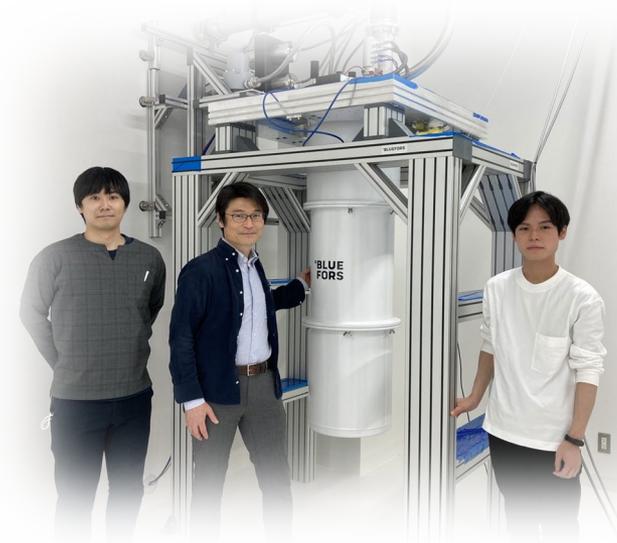
# 横浜国立大学 量子情報研究センター

<https://qic.ynu.ac.jp/>

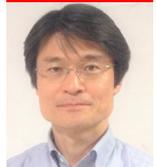


~50名

量子情報研究センター  
Quantum Information Research Center



センター長



助教



助教  
Assistant Professor  
関口 雄平  
Yuhei Sekiguchi

助教



特任教員 (助教)  
Specially Appointed  
Assistant Professor  
黒川 穂高  
Hodaka Kurokawa

助教



特任教員 (助教)  
Specially Appointed  
Assistant Professor  
上牧 瑛  
Akira Kamimaki

准教授



特任教員 (准教授)  
Specially Appointed  
Associate Professor  
藤井 新一郎  
Shinichiro Fujii

研究員



客員研究員  
(知的財産プロデューサー)  
Visiting Researcher  
Intellectual Property Producer)  
熊澤 金也  
Kinya Kumazawa

教授



教授



教授



客員教授  
Visiting Professor  
寺井 弘高  
Hirotaka Terai

准教授



客員准教授  
Visiting Associate  
Professor  
田辺 克明  
Katsuki Tanabe

研究員

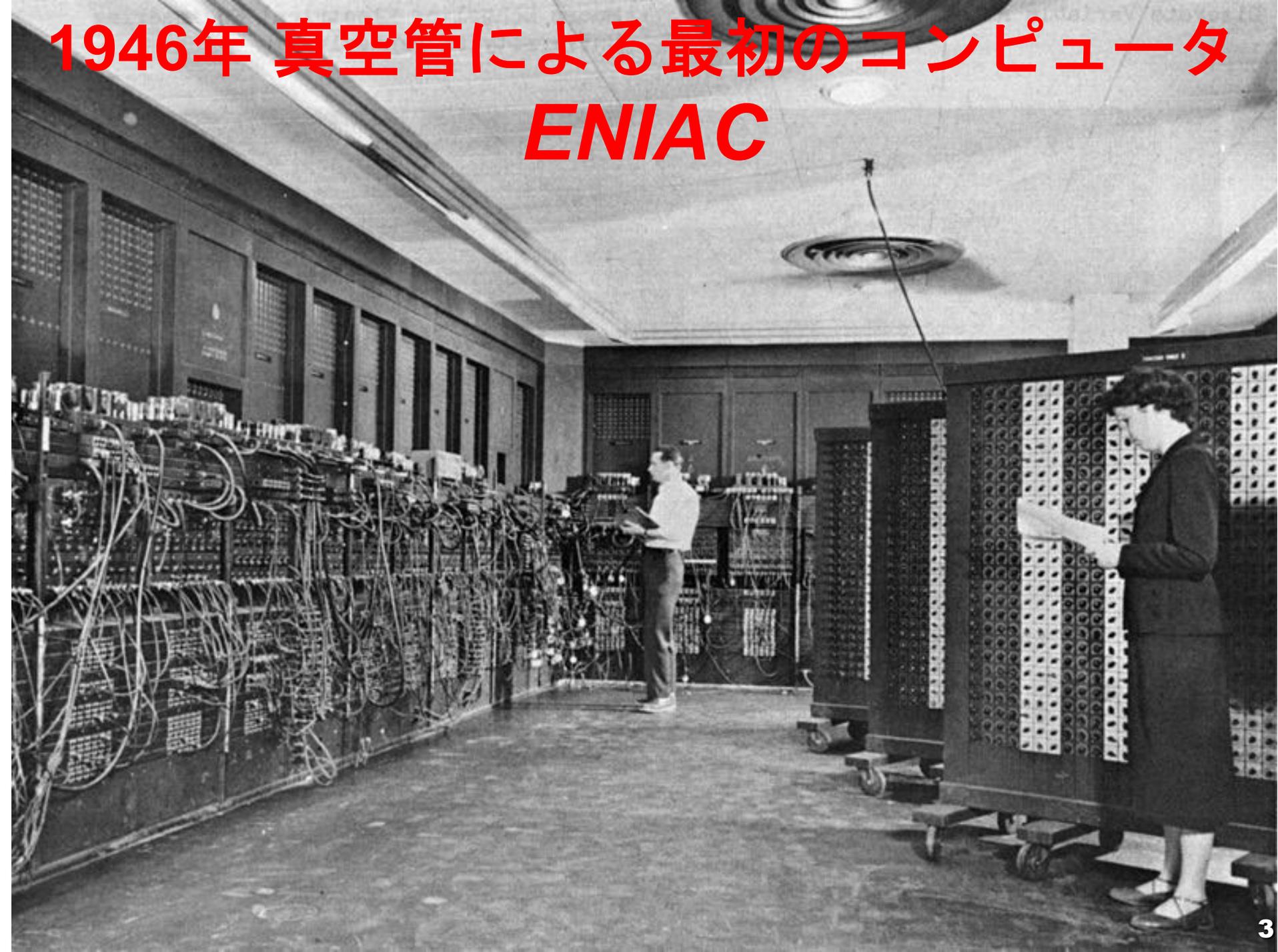


客員研究員  
Visiting Researcher  
佐々木 遼  
Ryo Sasaki

MS全課題推進者6名を客員教員として招聘

その他：技術員5名+秘書6名+学生20名

# 1946年 真空管による最初のコンピュータ *ENIAC*



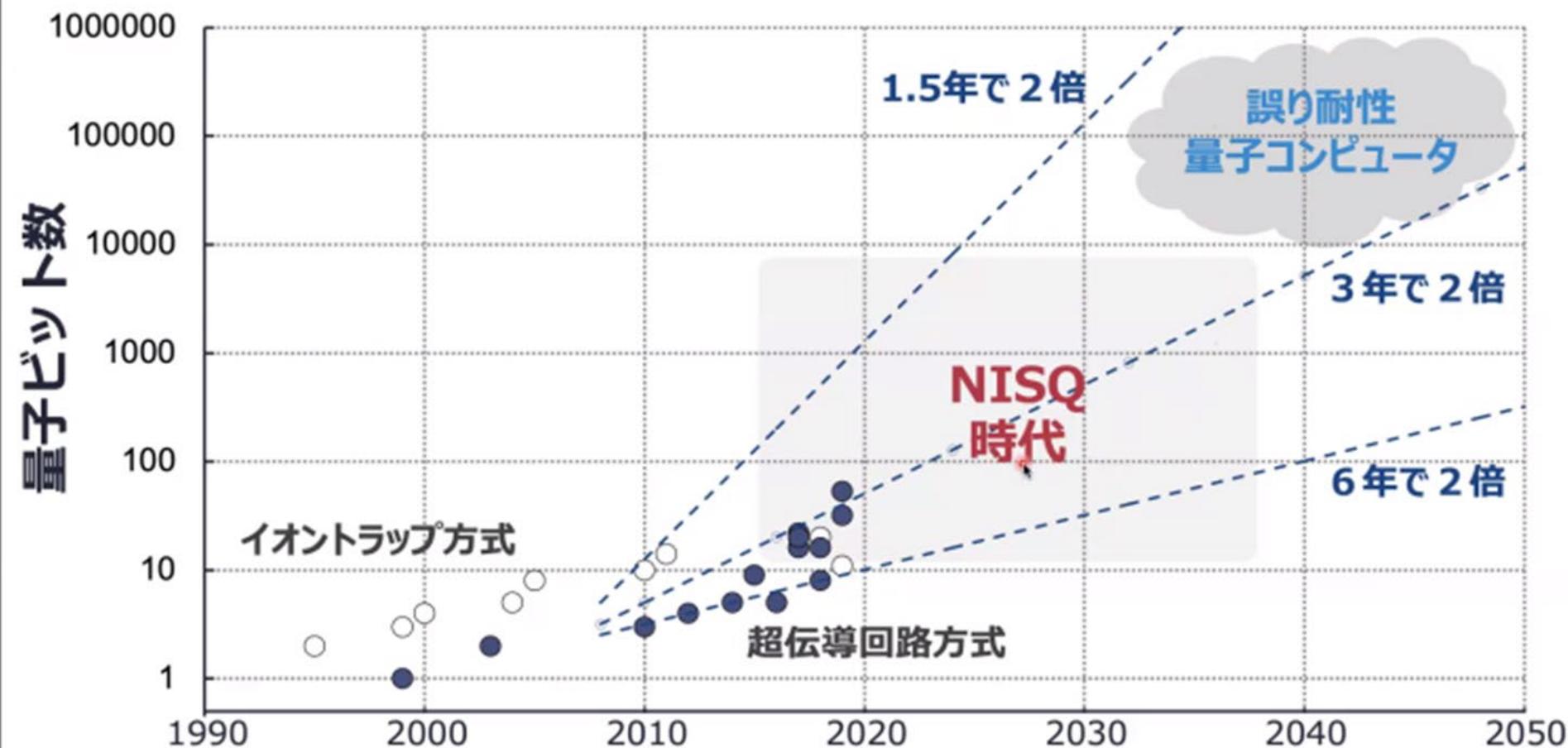
# Google、「量子優位性」を実証

Sycamore

ランダム量子回路サンプリング  
スパコンで1万年（2日？）かかる問題を  
3分ほどで実行



# 量子版ムーアの法則



プログラムディレクター  
北川 勝浩

2050

大規模化を達成し、誤り耐性型汎用量子コンピュータの実現

2040

分散処理型NISQ量子コンピュータの実証  
量子誤り訂正下での有用タスク計算

2030

一定規模のNISQ量子コンピュータの開発と量子誤り訂正の有効性実証

## ネットワーク

量子メモリの開発、光子と量子メモリ間の量子インターフェイス技術の確立

- 光源や検出器
- **量子メモリ**
- **量子インターフェイス技術**

## ハードウェア

量子誤り訂正システムの設計・実装、量子ビット・量子ゲート基盤の確立

超伝導  
量子  
ビット

### ステージゲート

適切で実現可能性のある  
物理系を見極める

光量子  
ビット

イオン  
トラップ

半導体  
量子  
ビット

## ソフトウェア

低オーバーヘッド量子誤り訂正符号や量子アルゴリズムの開発

- 量子誤り訂正理論
- ミドルウェア、コンパイラー
- アルゴリズム、アプリケーション

## 関連する量子技術

- 量子センサ
- 量子マテリアル
- 基礎基盤的な研究



## 量子計算網構築のための量子インターフェース開発

<https://moonshot.ynu.ac.jp/index.html>

### プロジェクトマネージャー (PM)

小坂 英男 (横浜国立大学 大学院工学研究院 / 先端科学高等研究院 教授)



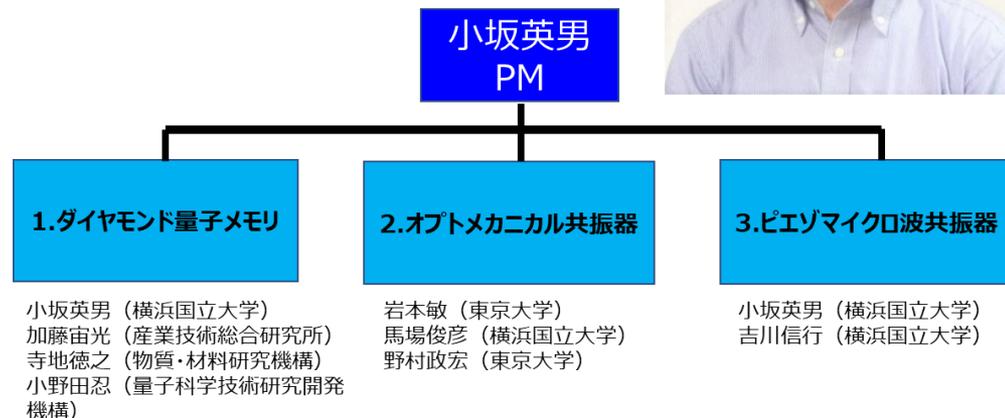
**代表機関:** 横浜国立大学 量子情報研究センター

**研究開発機関:** 産業技術総合研究所、東京大学、物質・材料研究機構、横浜国立大学、量子科学技術研究開発機構

### 研究開発プロジェクト概要

**超伝導量子ビットと通信用光子をつなぐ**  
ため、量子メモリとオプトメカニカル結晶  
を融合した量子インターフェースを開発し  
ます。それにより、2050年には、**大規模な**  
**超伝導量子コンピュータの実現**を目指しま  
す。

細瀬 博



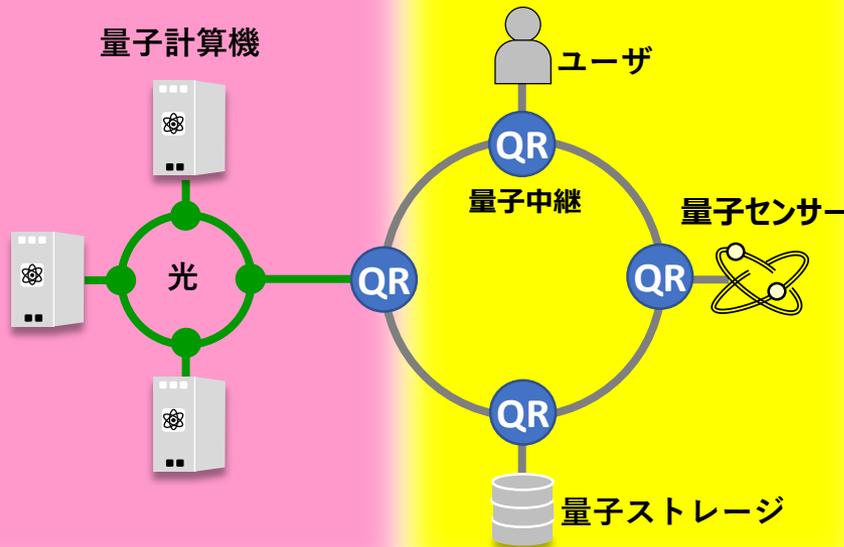
#### 2030年マイルストーン:

**ハイブリッド量子インターフェースと大容量量子メモリの実現により、  
誤り訂正可能な規模のネットワーク接続を実現する**

2025年マイルストーン: 誤り訂正に必要な規模まで量子ビット数の拡張が可能であること  
示すため、**ハイブリッド量子インターフェース**による量子接続を実現する

オールクワンタム・ネットワーク (AQN: All-Quantum Network)

分散量子計算 → 量子インターネット  
秘匿量子計算



ナノテク  
フェーズ

デバイス  
フェーズ

システム  
フェーズ

プロトコル  
フェーズ

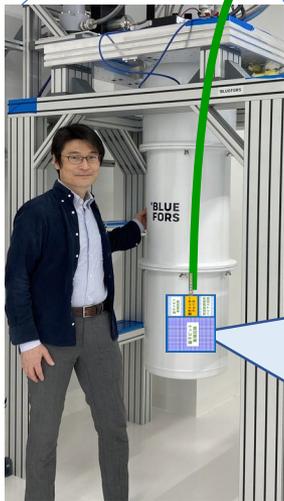
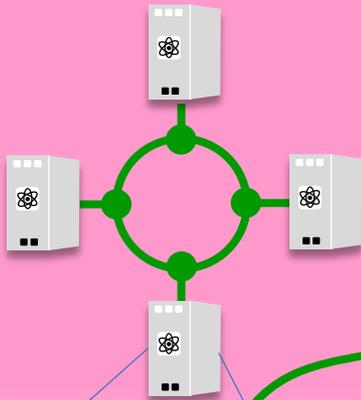
サービス  
フェーズ

10~30年

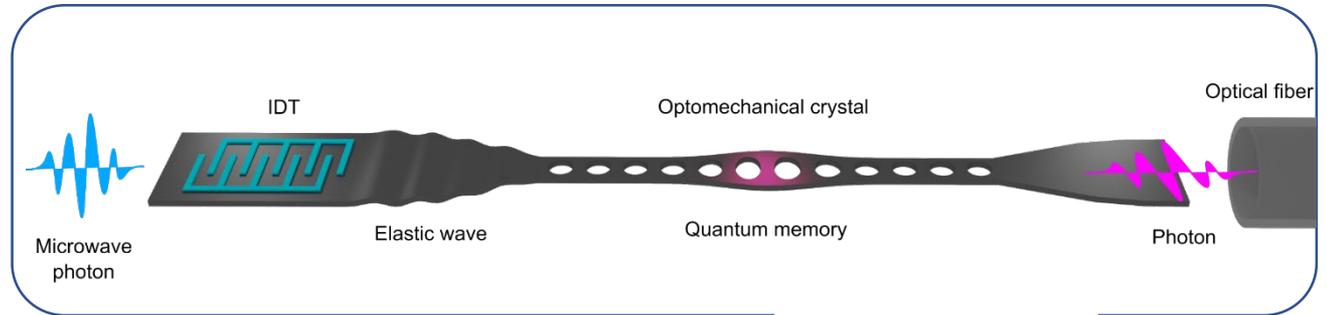
基礎研究

応用研究

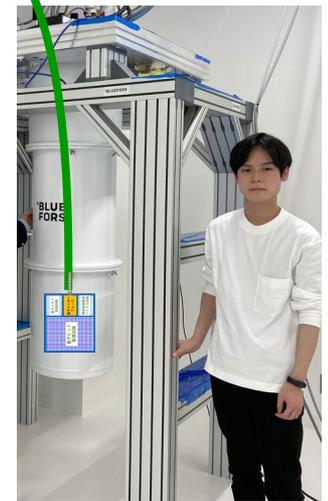
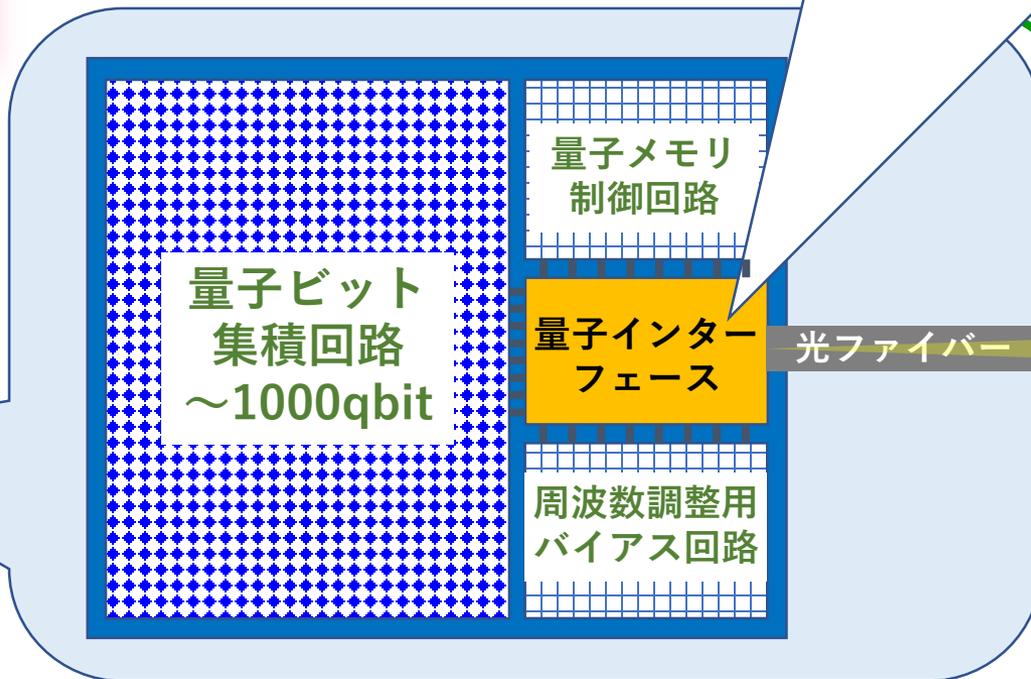
## 量子計算機



希釈冷凍機  
(10mK)



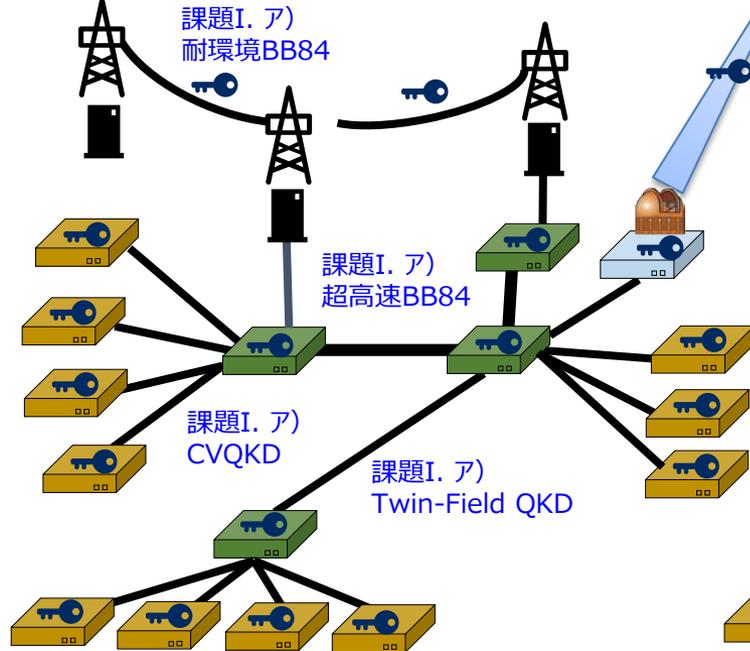
## 光ファイバー (室温)



# グローバル量子暗号通信網

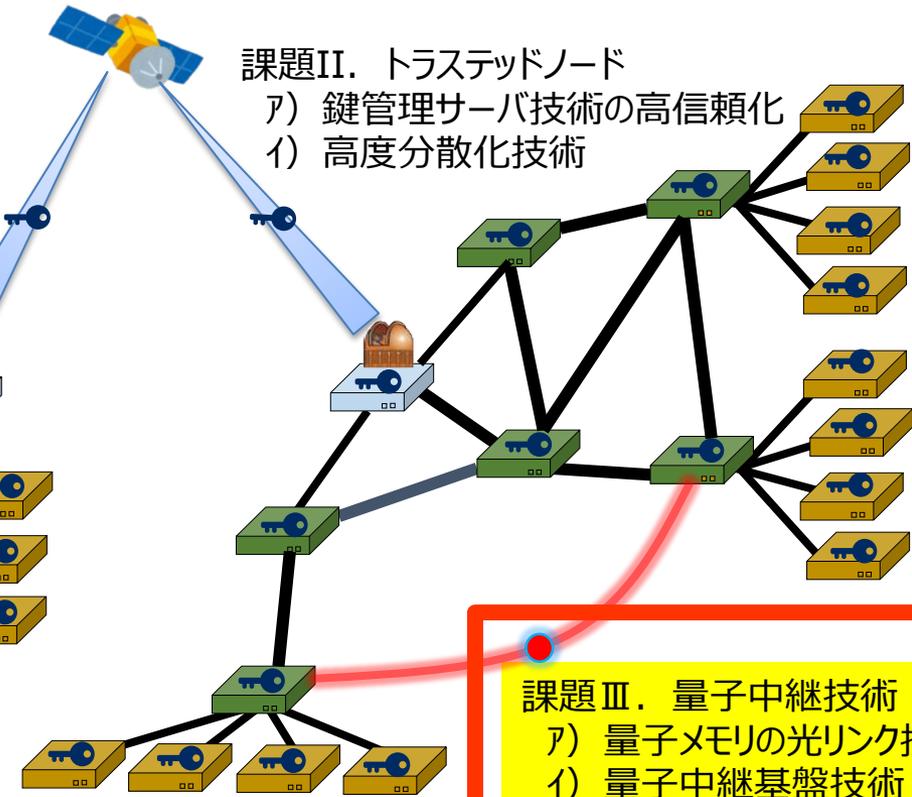
## 課題I. 量子通信・暗号リンク技術

- ア) 量子暗号通信の高性能化技術
- イ) 光子検出技術



## 課題II. トラストドノード

- ア) 鍵管理サーバ技術の高信頼化
- イ) 高度分散化技術



**課題III. 量子中継技術**  
 ア) 量子メモリの光リンク技術  
 イ) 量子中継基盤技術

## 課題IV. 広域ネットワーク構築・運用技術

- ア) ネットワーク制御管理技術



横浜国大、NEC、東芝、古河電工、浜松ホトニクス、NICT、産総研、物材機構、東大、北大など



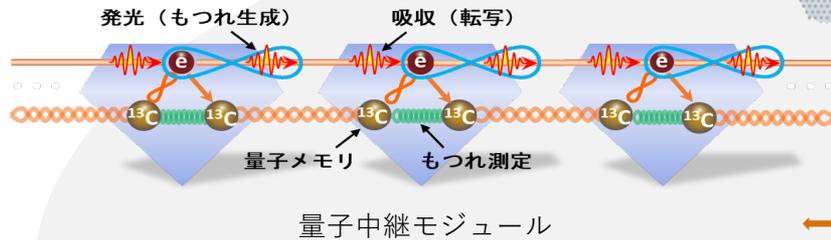
## 量子インターネットへ向けた量子中継に関する要素技術開発 横浜国大が主導、産官学の密接な連携チームを構築



### 取りまとめ

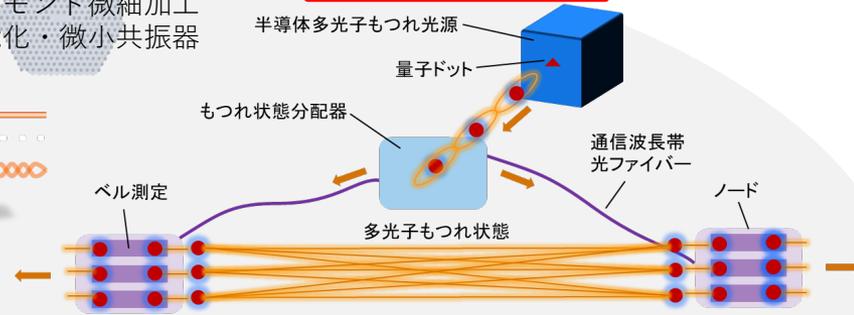
### 量子メモリ量子中継

ダイヤモンド量子メモリ

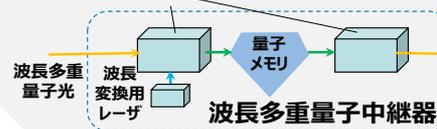


ダイヤモンド微細加工  
高機能化・微小共振器

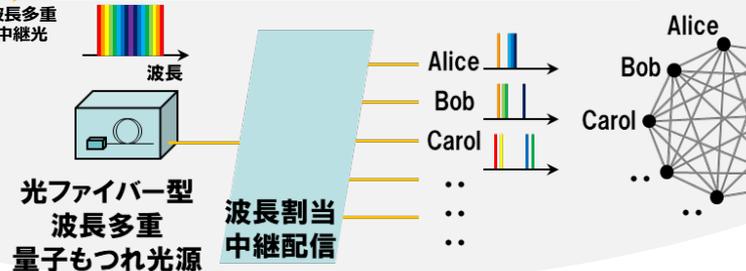
### 全光量子中継



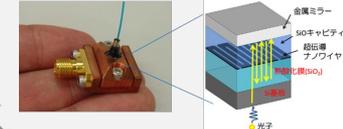
### 量子波長変換モジュール



### 波長多重量子ネットワーク



### 超伝導単一光子検出器



総務省委託事業「グローバル量子暗号通信網構築のための研究開発（課題III量子中継技術）」

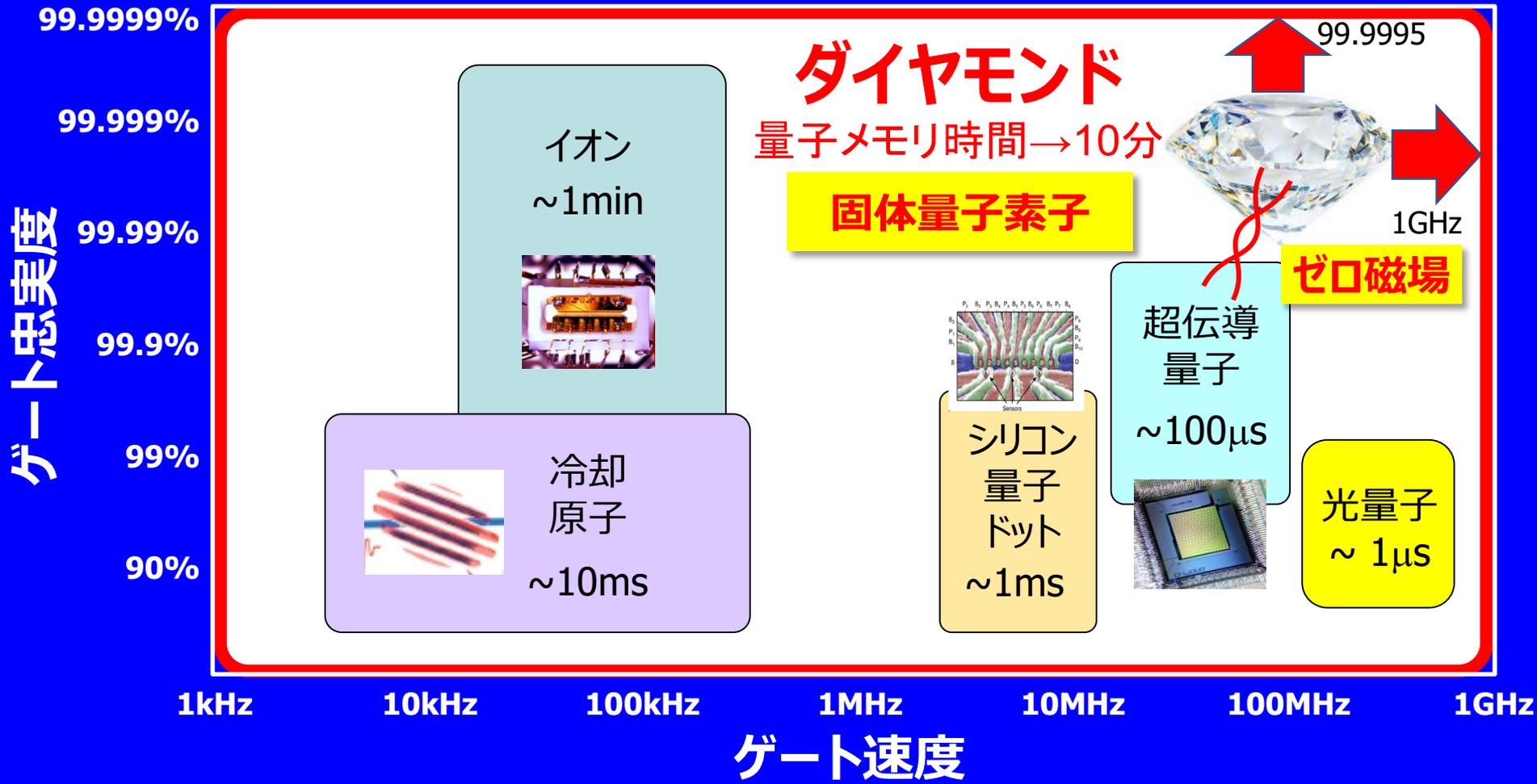
参加機関：横浜国大、東芝、古河電工、産総研、物材機構、東大、NICT

# 量子インターネット = 長距離量子コンピュータネットワーク

量子通信（手段）により長距離の量子もつれ（原理）を共有し、  
様々な量子アプリケーションを実行する社会基盤（サービス）

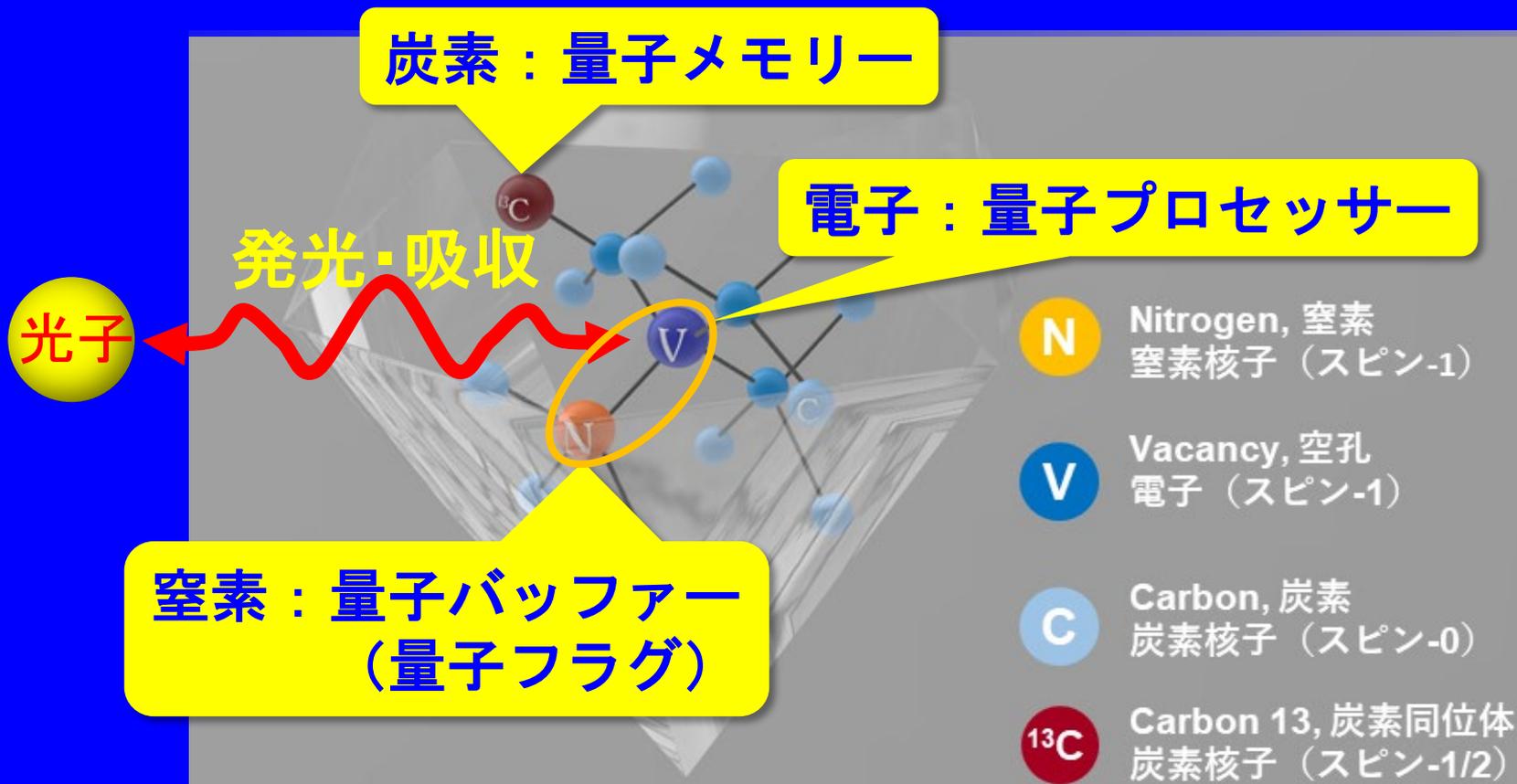


ダイヤモンドは他の計算用量子にも負けないポテンシャルをもつ



誤り耐性のある量子メモリで量子コンピュータの大規模化をサポート

# ダイヤモンドNV-中心のハイブリッド量子システム



・忠実度が高く 高速な量子操作が可能

イオンと同等

99.99999%

0.5GHz

他の量子ビットでは無理！

・集積化が可能な 長時間量子メモリー

半導体と同等

1K~1M

1min

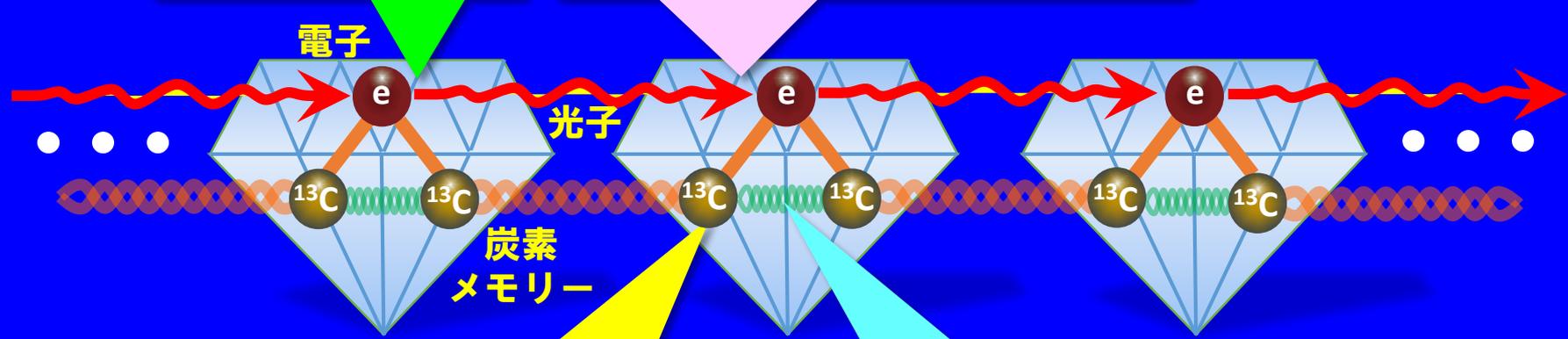
イオンと同等

# ダイヤモンド量子セキュリティ

科研費  
KAKENHI

①量子もつれ発光

②量子テレポーテーション転写



③量子もつれゲート

④量子もつれ測定

+ ⑤量子誤り訂正

機能 全て完全ゼロ磁場にて

実績

要求値

遠隔もつれ生成

- ① 量子もつれ発光
- ② 量子テレポーテーション転写

忠実度	93%	> 90%
忠実度	94%	> 90%

効率向上

局所もつれ測定

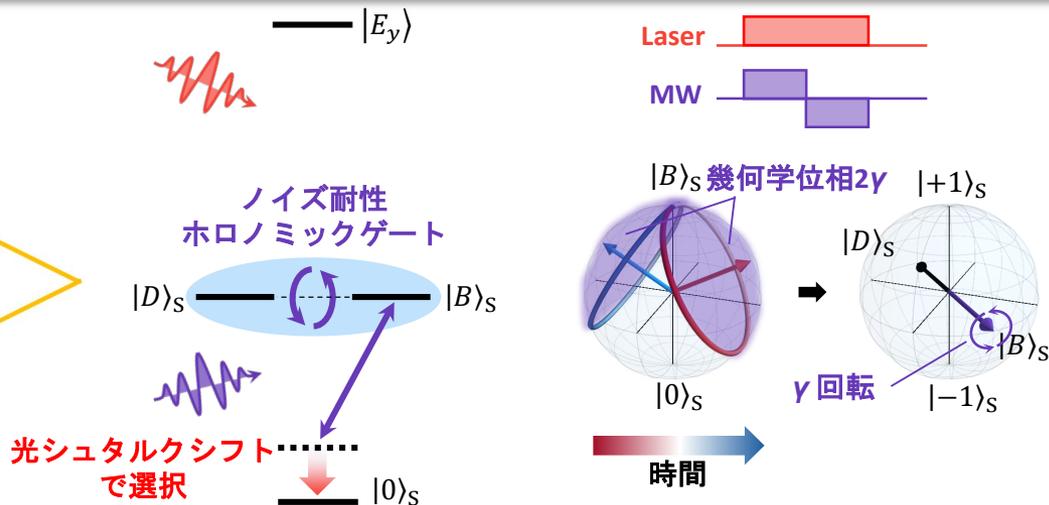
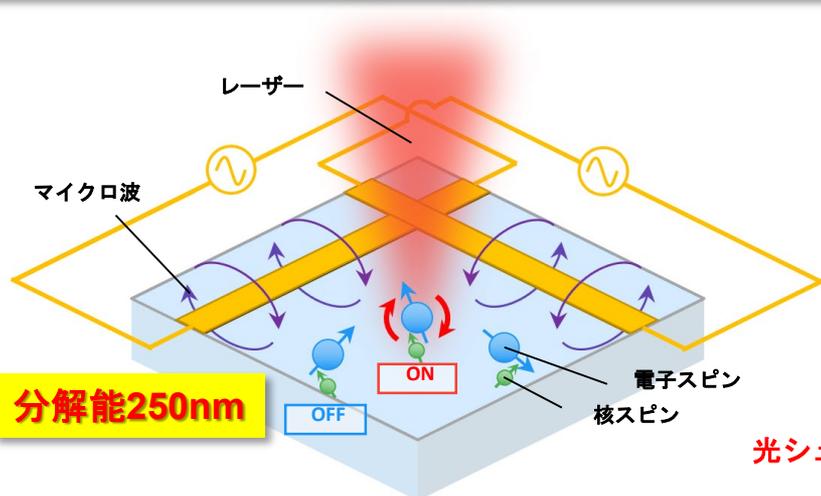
- ③ 量子もつれゲート
- ④ 量子もつれ測定 (完全ベル測定)
- ⑤ 量子誤り訂正

忠実度	99.5%	> 99%
速度	0.5GHz	> 0.1GHz
忠実度	90%	> 90%
忠実度	83%	> 80%

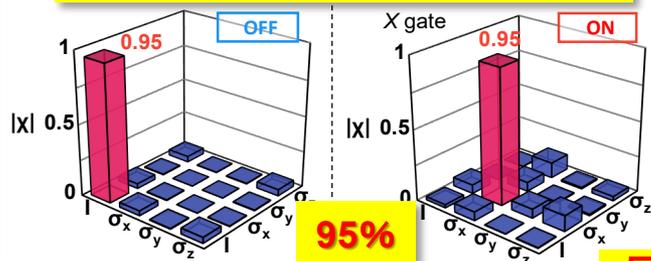
精度向上

# 量子メモリーの大規模集積化に向けて

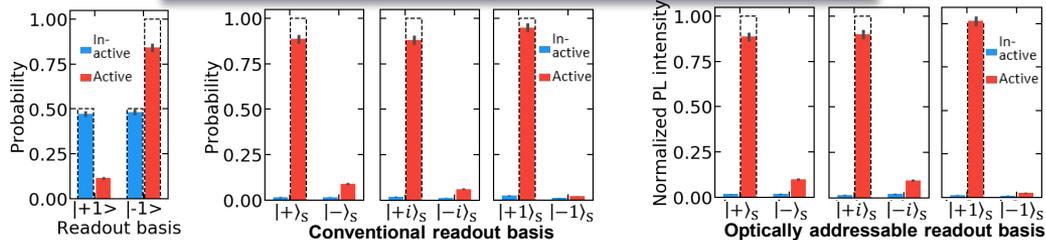
光ランダムアクセス量子メモリー: 光によるサイト選択性とマイクロ波による高精度操作性を両立



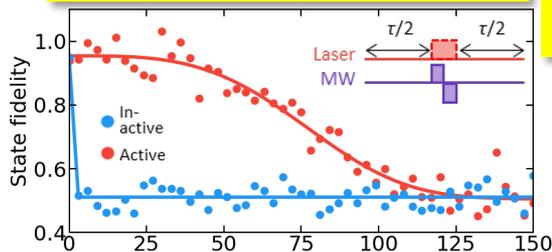
## サイト選択的万能量子ゲート



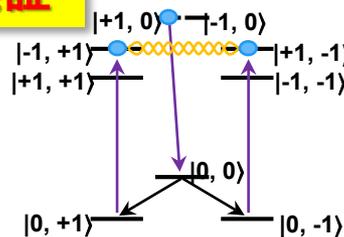
## サイト選択的初期化・準備・読み出し



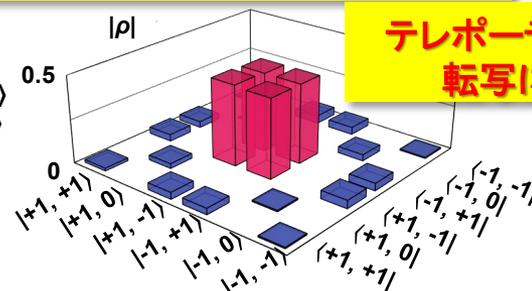
## サイト選択的メモリー保持



## 量子ビットの機能要件を全て実証



## サイト選択的電子-核スピン量子もつれ



## テレポーテーション転写に互換

# 本研究の概要

## 研究のポイント

●ダイヤモンド中のスピン量子ビットを光、マイクロ波およびラジオ波を用いた画期的手法で**高空間分解能**かつ**高忠実度**に制御することに成功。

●誤り耐性型汎用量子コンピュータに不可欠な**大規模集積量子メモリ**や、ダイヤモンドを量子プロセッサとするダイヤモンド量子コンピュータの実現に道。

●量子コンピュータ、大規模量子ストレージ、量子中継器などがネットワーク接続した**量子インターネット**の構築に向けて突破口。

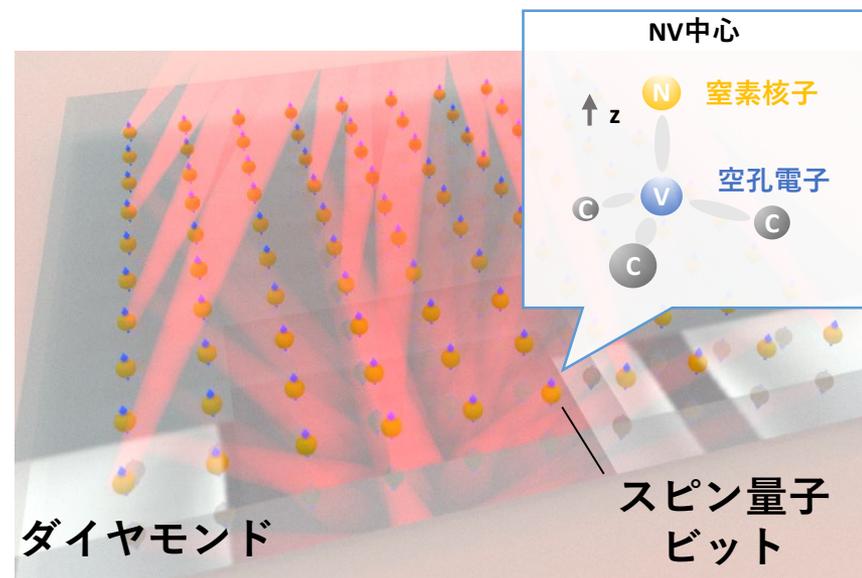
## Nature Photonicsに掲載



## Optically addressable universal holonomic quantum gates on diamond spins

Yuhei Sekiguchi<sup>1,2</sup>, Kazuki Matsushita<sup>3</sup>, Yoshiki Kawasaki<sup>3</sup> and Hideo Kosaka<sup>1,2,3</sup>✉

The ability to individually control the numerous spins in a solid-state crystal is a promising technology for the development of large-scale quantum processors and memories. A localized laser field offers spatial selectivity for electron spin manipulation through spin-orbit coupling, but it has been difficult to simultaneously achieve precise and universal manipulation. Here, we demonstrate microwave-driven holonomic quantum gates on an optically selected electron spin in a nitrogen-vacancy centre in diamond. The electron spin is precisely manipulated with global microwaves tuned to the frequency shift induced by the local optical Stark effect. We show the universality of the operations, including state initialization, preparation, readout and echo. We also generate optically addressable entanglement between the electron and adjacent nitrogen nuclear spin. High-fidelity operations are achieved by applying amplitude-alternating pulses, which are tolerant to fluctuations in microwave intensity and detuning. These techniques enable site-selective quantum teleportation transfer from a photon to a nuclear spin memory, paving the way for the realization of distributed quantum computers and the quantum Internet with large-scale quantum storage.



# アイデア：光アドレス量子ゲート

2種類の制御場を巧みに組み合わせて、量子制御の限界を突破

## レーザー

- ↑ 空間分解能
- ↓ 制御性
- ↓ 軌道の緩和

## マイクロ波

- ↓ 空間分解能
- ↑ 制御性

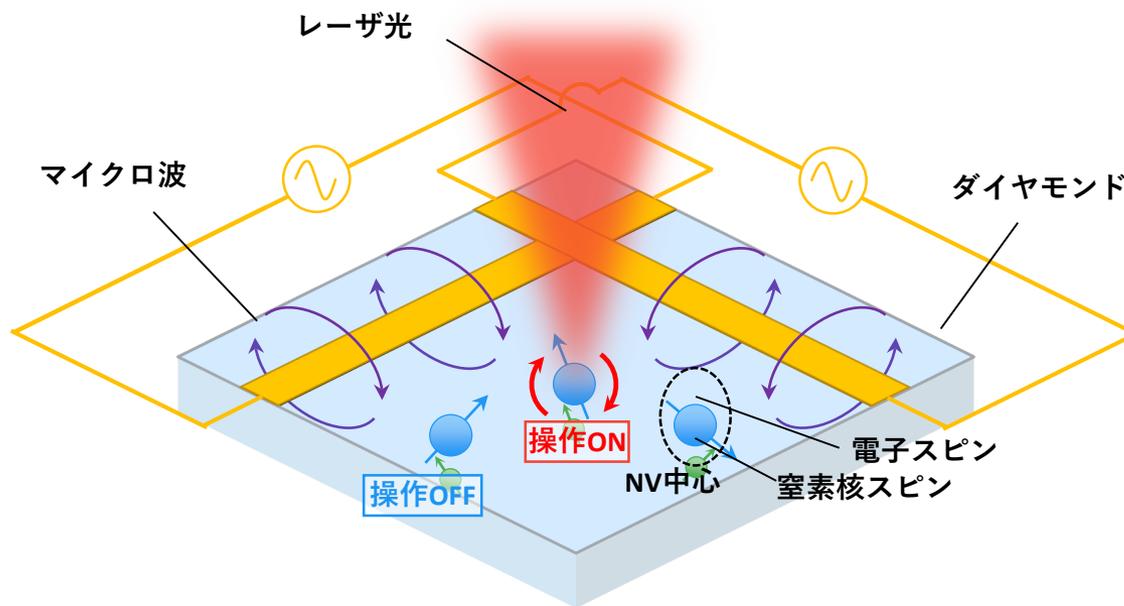
+



光アドレス量子ゲート

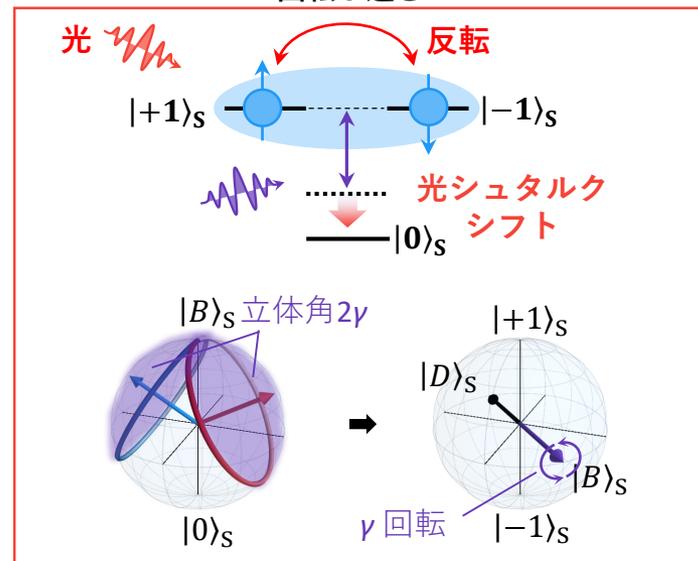
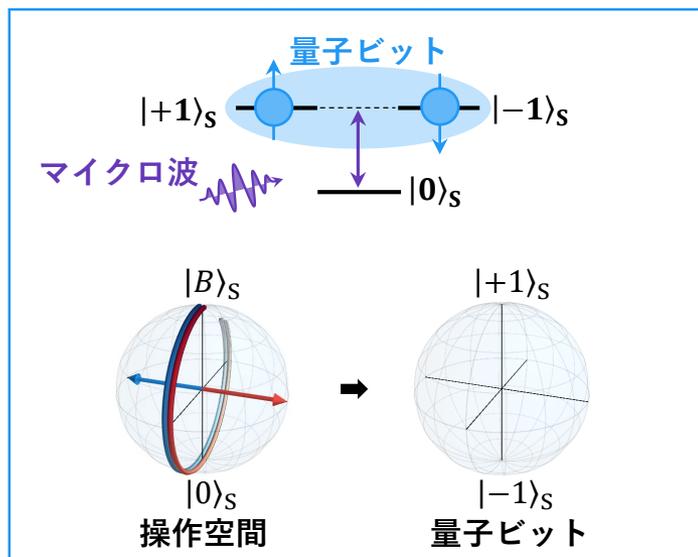
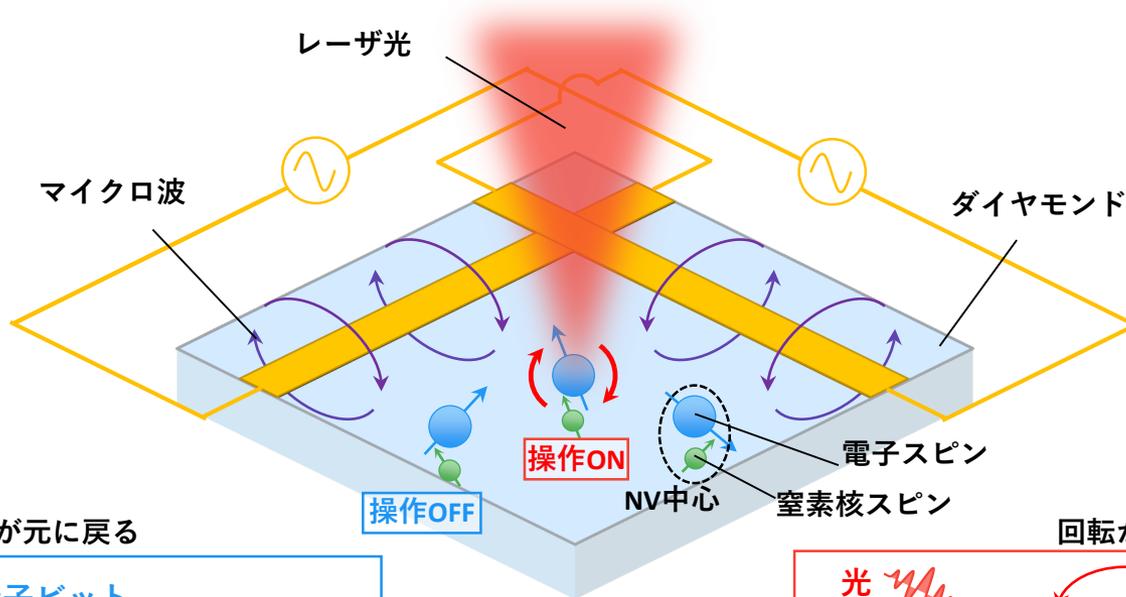
→ 周波数チューニング

→ スピン操作



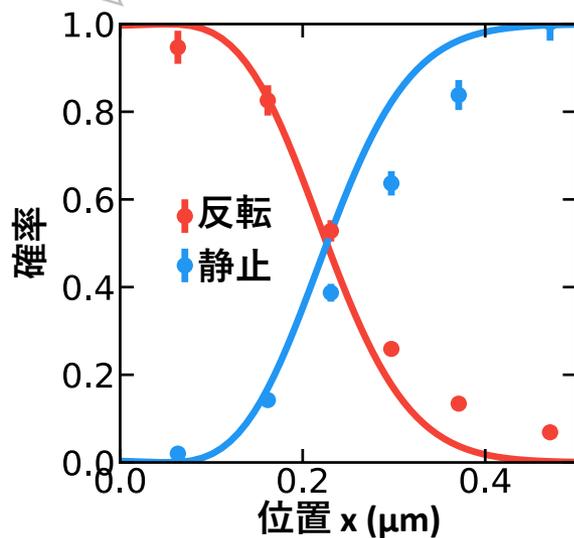
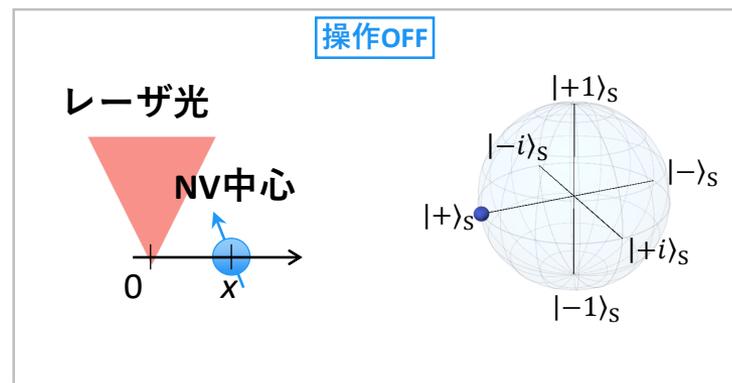
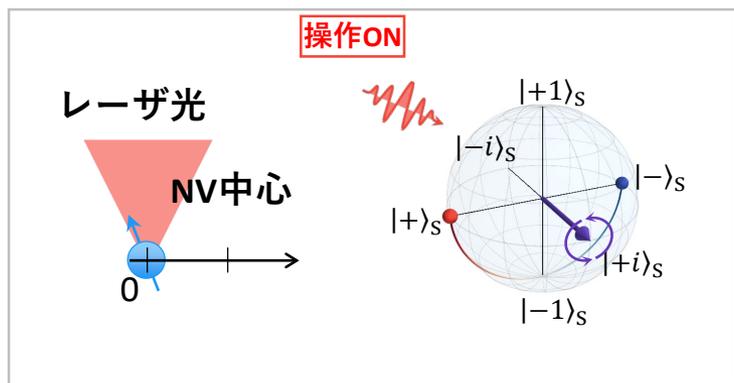
# 操作原理：光シュタルクシフト

2種類の制御場を巧みに組み合わせて、量子制御の限界を突破



# 実験検証：空間分解能

光の回折限界レベルの空間分解能を実証

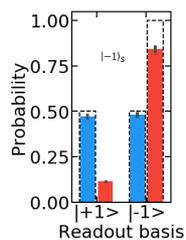


# 様々な量子制御

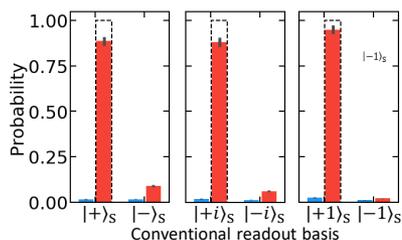
あらゆる量子制御手法との互換性を確認

## 一量子ビット

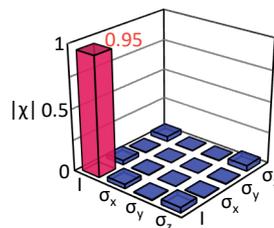
✓ 初期化



✓ 準備

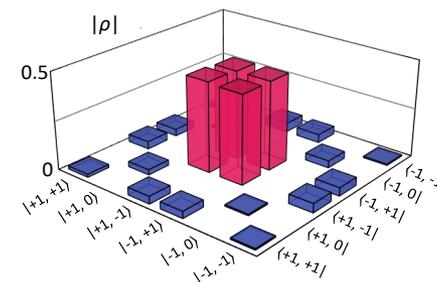


✓ ゲート

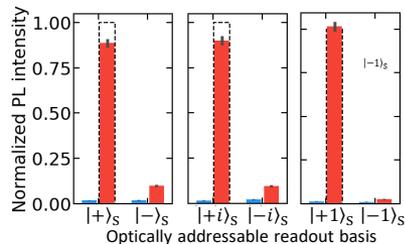


## 二量子ビット

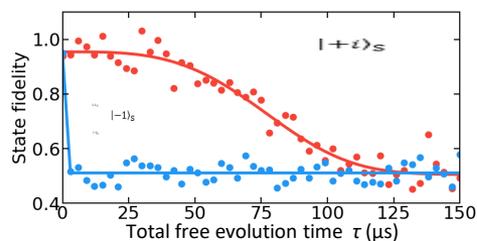
✓ 電子-空素もつれ



✓ 読み出し



✓ エコー



## 本研究の成果

- ・ 光でスピン量子ビットをアクティブ化する新手法を考案
- ・ 高忠実度、高空間分解能、自在な量子制御のすべてを満たすことを実験で実証

## 今後の展望

密集した複数 NV 中心の独立した制御、連動した制御の実証

- ➔ 大規模集積量子メモリ
- ➔ 高速な量子中継技術
- ➔ 量子インターネット
- ➔ 量子暗号通信や分散型量子計算、秘匿量子計算などのアプリケーション

