

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
誤り耐性汎用量子コンピュータを実現」
キックオフシンポジウム 2021/3/11



ネットワーク型量子コンピュータ
による量子サイバースペース
Quantum **C**yberspace with **N**etworked Quantum **C**omputer

大阪大学

先導的学際研究機構 量子情報・量子生命研究センター(QIQB)

大学院基礎工学研究科 物性物理工学領域

山本俊

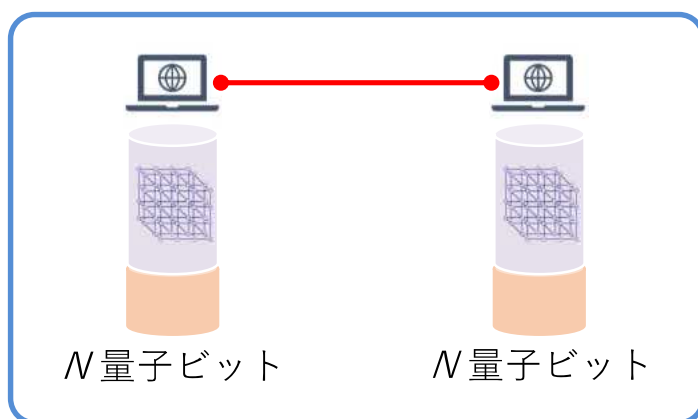
ビジョン

誤り耐性型汎用量子コンピュータにむけた課題

- 100万から1億量子ビット以上必要
- 物理的制約で単一システムでの実現が困難

➡ 量子コンピュータをネットワーク接続

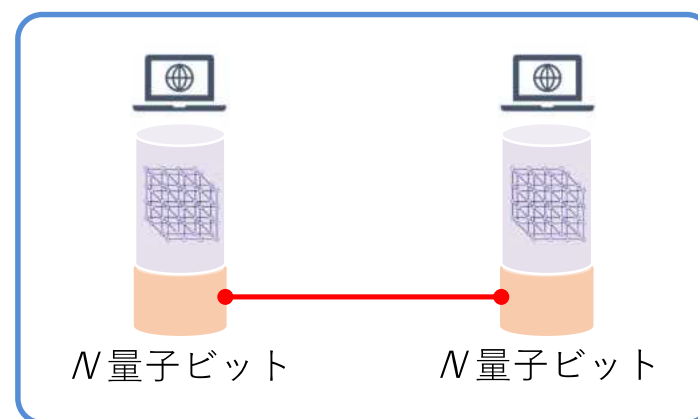
現在のネットワークで接続



せいぜい N 量子ビット

量子コンピュータとしての
大規模化には寄与しない

量子ビットレイヤーで接続



$2N$ 量子ビット

量子コンピュータとして
大規模化

➡ ネットワーク型量子コンピュータ

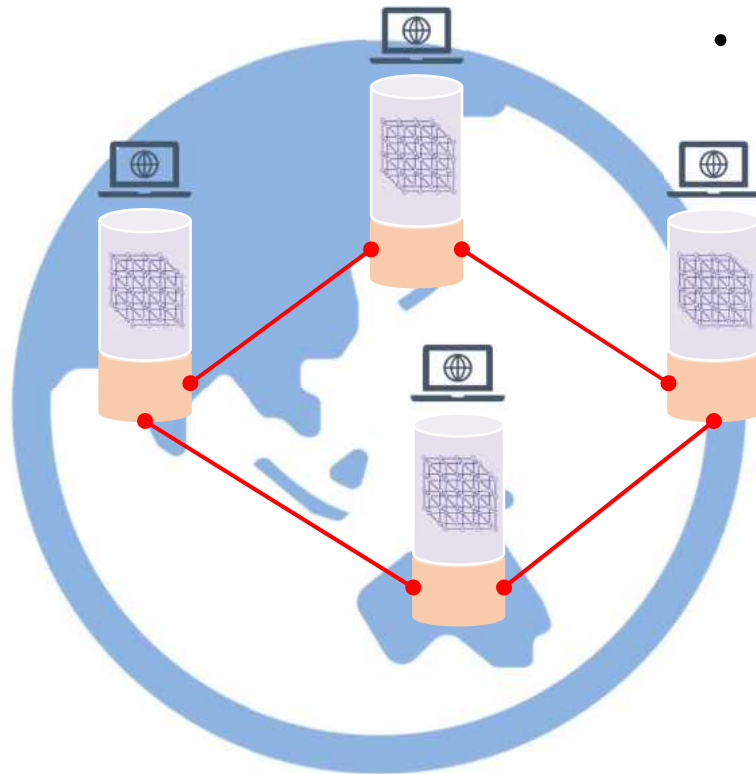


ビジョン

量子コンピュータ利用活用における課題

- 通信セキュリティへの不安
- 量子計算結果の漏洩

➡ 分散化されたネットワーク型量子コンピュータ



- ・ オール量子通信によるセキュリティ通信
- ・ 秘匿量子計算

さらに

- ・ 量子センサーネットワーク
などの応用可能性



あらゆる量子プロトコルを実装する
現在のサイバースペースの量子版

➡ 量子サイバースペース

研究課題

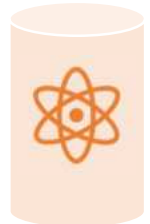
様々な量子コンピュータを接続する手法をオールインクルーシブに研究

原子/イオン



研究開発項目 1 :
原子ネットワーク型技術

・光を介して伝送



研究開発項目 1 -2,3 :
高性能・大規模
超伝導光子検出器開発

半導体



研究開発項目 3 :
半導体ネットワーク型技術

・マイクロ波を介して伝送
・光を介して伝送



光



研究開発項目 2 :
光子ネットワーク型技術

・光子と光子の相互作用

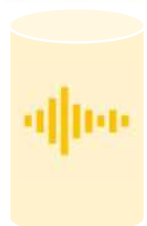


超伝導



研究開発項目 4 :
超伝導ネットワーク型技術

・光を介して伝送



連携



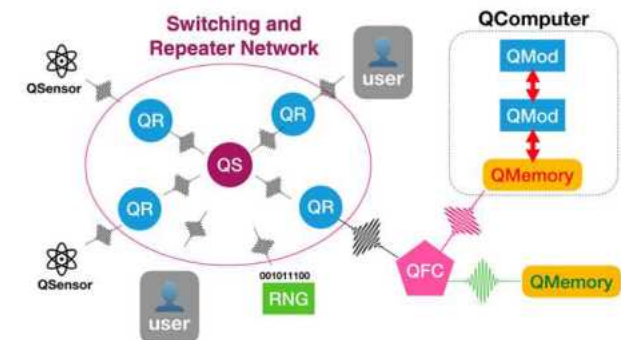
目標6内ハードウェア
外部プロジェクト
理論・ソフトウェア

国外での取り組み例

PRX QUANTUM 2, 017002 (2021)

Development of Quantum Interconnects (QICs) for Next-Generation Information Technologies

David Awschalom,¹ Karl K. Berggren,² Hannes Bernien,¹ Sunil Bhave,³ Lincoln D. Carr,⁴ Paul Davids,⁵ Sophia E. Economou,⁶ Dirk Englund,² Andrei Faraon,^{7,8} Martin Fejer,⁹ Saikat Guha,^{10,11,12} Martin V. Gustafsson,¹³ Evelyn Hu,^{14,15} Liang Jiang,¹ Jungsang Kim,^{16,17} Boris Kozh,¹⁸ Prem Kumar,^{19,20} Paul G. Kwiat,^{21,22} Marko Loncar,^{14,15,23} Mikhail D. Lukin,^{15,23} David A.B. Miller,⁹ Christopher Monroe,^{24,25,26} Sae Woo Nam,²⁷ Prineha Narang,^{14,15} Jason S. Orcutt,²⁸ Michael G. Raymer,^{29,30,31} Amir H. Safavi-Naeini,⁹ Maria Spiropulu,³¹ Kartik Srinivasan,^{25,32} Shuo Sun,³³ Jelena Vučković,⁹ Edo Waks,^{25,34} Ronald Walsworth,^{24,34,35,36} Andrew M. Weiner,^{3,37} and Zheshen Zhang^{10,38}



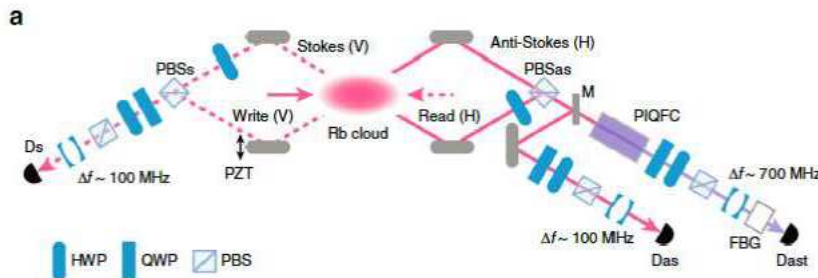
研究開発項目 1：原子ネットワーク型技術

研究開発課題 1：原子・光多重化量子ネットワーク技術
(大阪大学 山本俊 基礎工学研究科・教授)

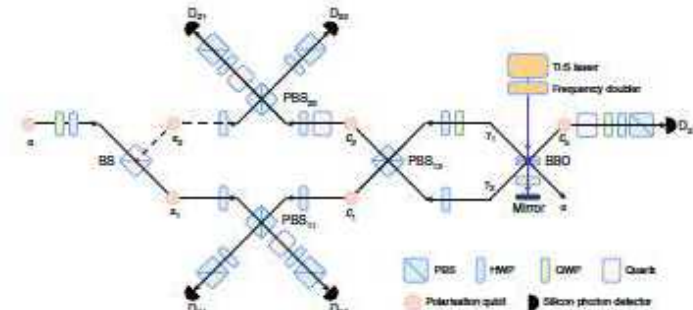
原子/イオン



- ・原子と光子のエンタングルメント生成
Nature Communications 9,1997(2018).
- ・全光量子中継の原理実証
Nature Communications 10, 378(2019).



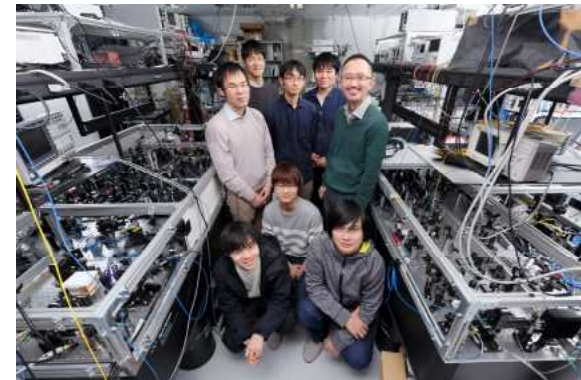
阪大 × NTT × NICT × 東大



阪大 × NTT × 富山大 × トロント大



ネットワーク化された
原子アレイ量子コンピュータ



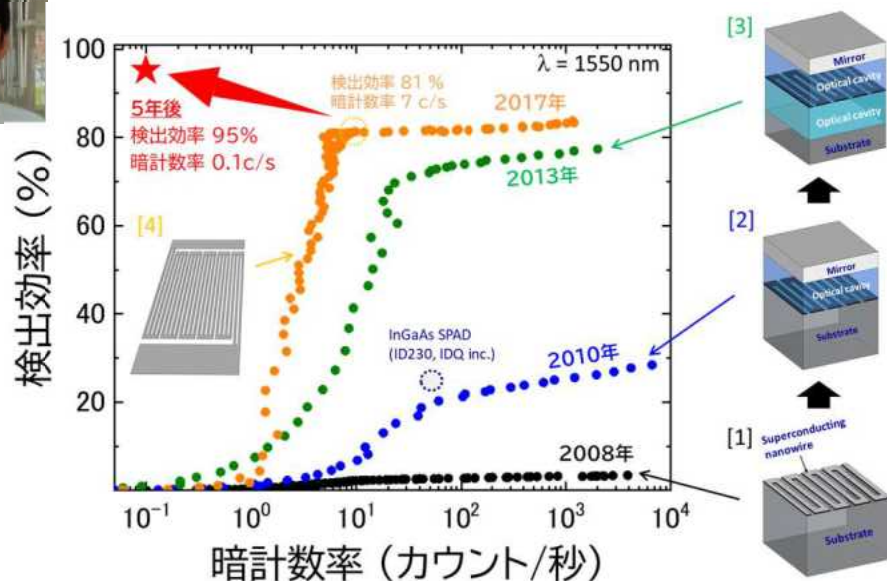
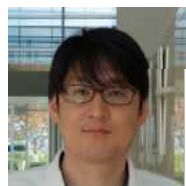
研究開発項目 1：原子ネットワーク型技術

研究開発課題 2：多重化光子検出器開発

(浜松ホトニクス(HPK)：下井英樹、小玉剛史)

研究開発課題 3：高性能光子検出技術開発

(NICT：三木茂人 主任研究員)



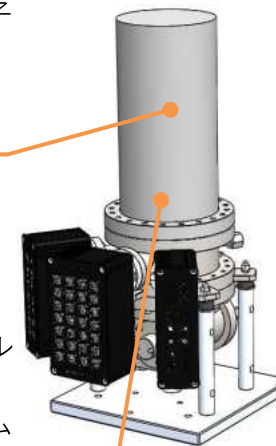
[1] S. Miki et al., APL 2008, [2] S. Miki et al., OL 35, 2133 (2010) [3] S. Miki et al., OE 21, 10208 (2013) [4] S. Miki et al., OE 25, 6796 (2017)

超伝導ナノワイア光子検出器

SNSPD素子



多チャンネル
SNSPD
冷凍システム



- ・高効率化と低暗計数化
- ・高度な実装

➡ 大規模かつ高性能な光子検出技術

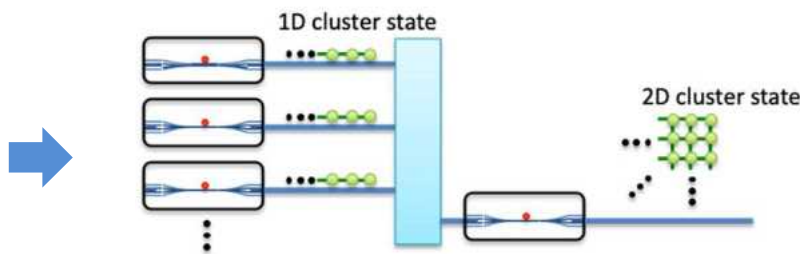
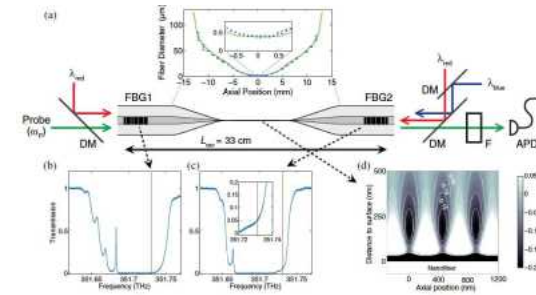
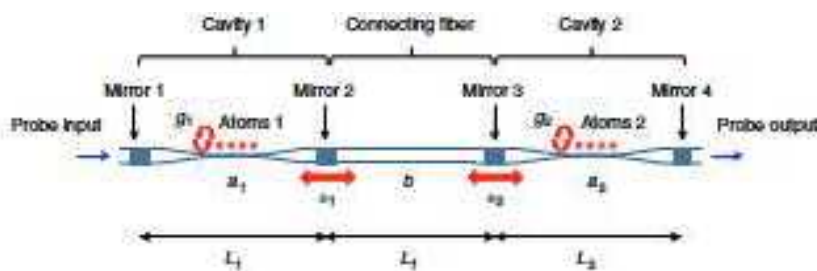
研究開発項目 2 : 光子ネットワーク型技術

研究開発課題 1 : 共振器QED量子ネットワーク化技術
(早稲田大学 青木隆朗 理工学術院・教授)

光



- ・ ナノファイバー共振器QED系の実現
PRL 115, 093603 (2015).
- ・ 全ファイバー結合共振器QED系の実現
Nature Communications 10, 1160 (2019).



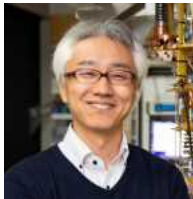
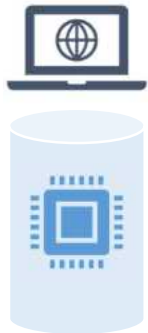
ネットワーク化された
光子アレイ量子コンピュータ



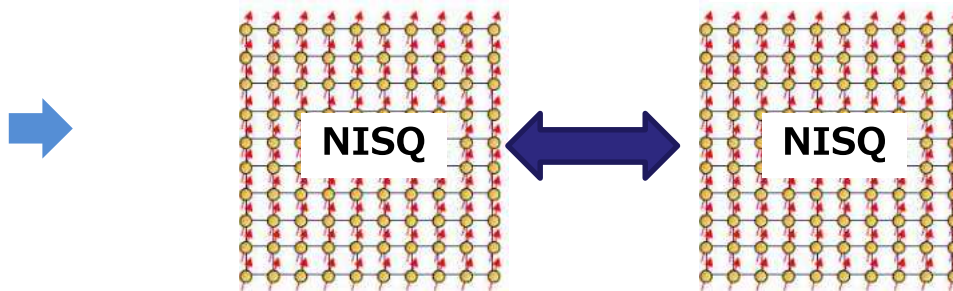
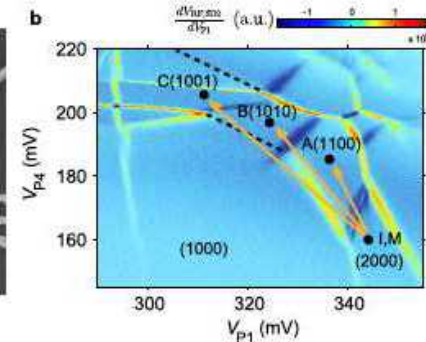
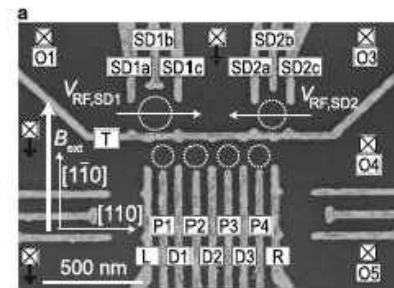
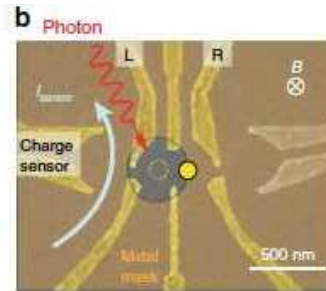
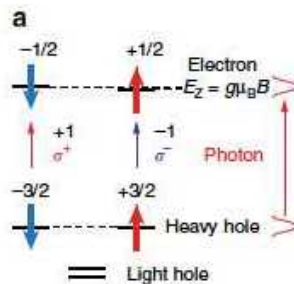
研究開発項目 3 : 半導体ネットワーク型技術

研究開発課題 1 : 半導体量子ビットの量子ネットワーク化技術
(大阪大学 大岩顕 産業科学研究所・教授)

半導体

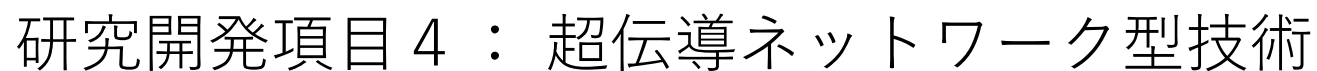


- ・ 単一光子から単一電子スピンへ角運動量転写実証
Nature Communications 10, 2991 (2019).
- ・ 電子スピン状態のシャトリング
npj Quantum Information 3, 22 (2017).



ネットワーク化された半導体量子コンピュータ





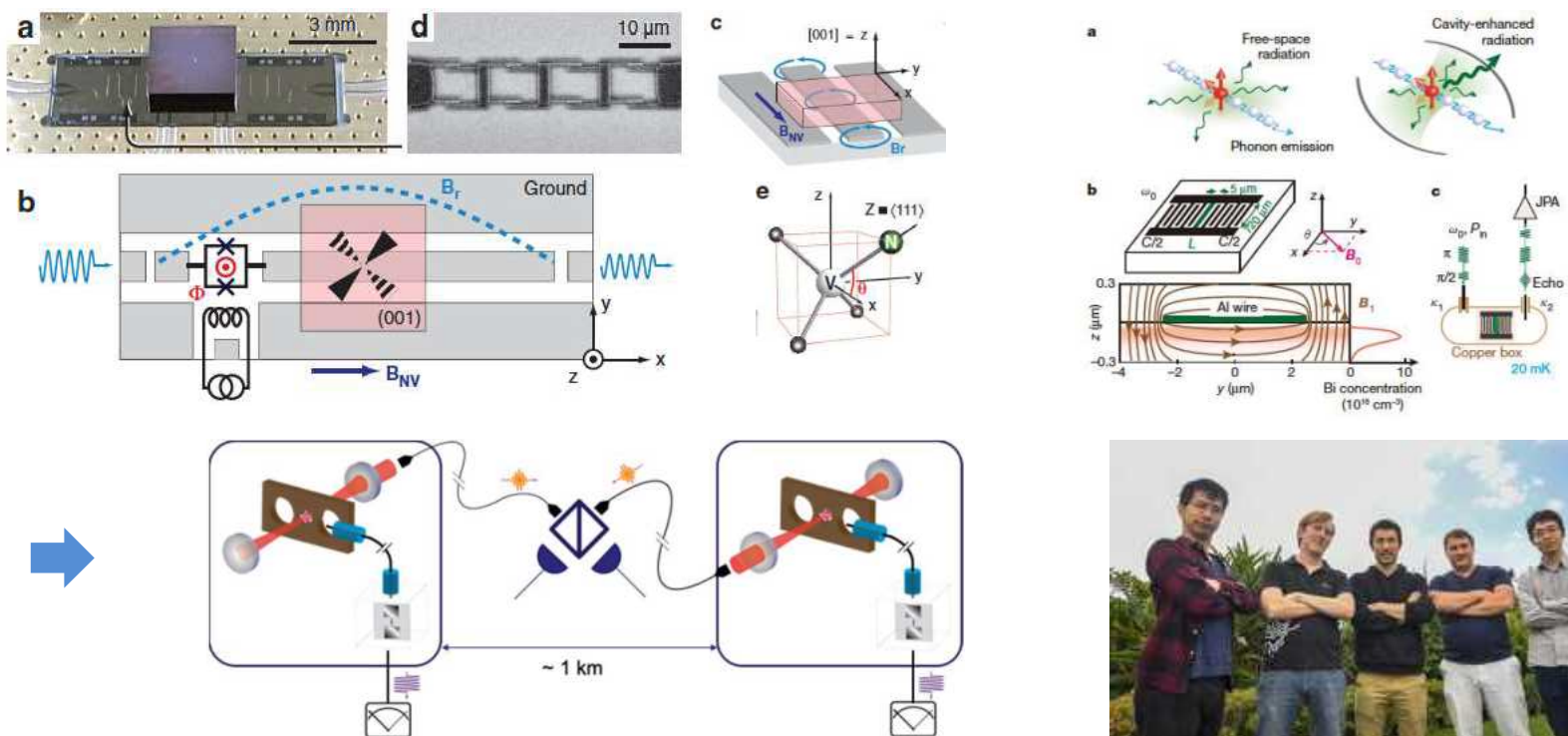
研究開発課題 1：超伝導量子ビットの量子ネットワーク化技術

(OIST 久保結丸 量子ダイナミクスユニット・グループリーダー)

超伝導



- ・超伝導量子ビットとスピン集団のハイブリッド化
Phys Rev Lett **105**, 140502 (2010)
- ・固体中のスピンで初めてパーセル効果の観測
Nature **531**, 74 (2016).



ネットワーク化された超伝導量子コンピュータ



まとめ

- 原子/イオン・光・半導体・超伝導などの量子コンピュータを接続する手法をオールインクルーシブに研究
- 5年目：ネットワーク型量子コンピュータ要素技術のフルラインナップを実現。
- 10年目：モジュール化された量子コンピュータを接続することで大規模化されるネットワーク型量子コンピュータの実現。

[産学官連携] 3月26日 QIQB×QCNQCシンポジウム「光子検出技術」
[アウトリーチ] 3月30日 阪大 QIQB で量子ネイティブになろう
【高校生・高専生・(大学生) 向け】

ご興味のある方は「**QIQB**」を検索

