

2021年3月11日

ムーンショット目標6 キックオフシンポジウム

イオントラップによる光接続型 誤り耐性量子コンピュータ

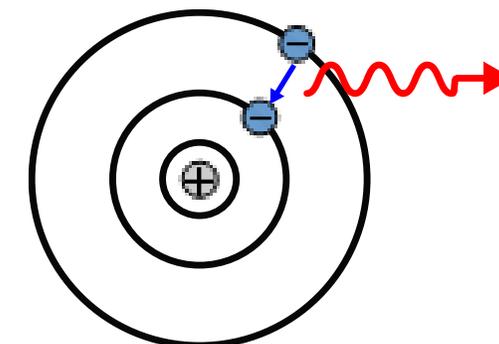
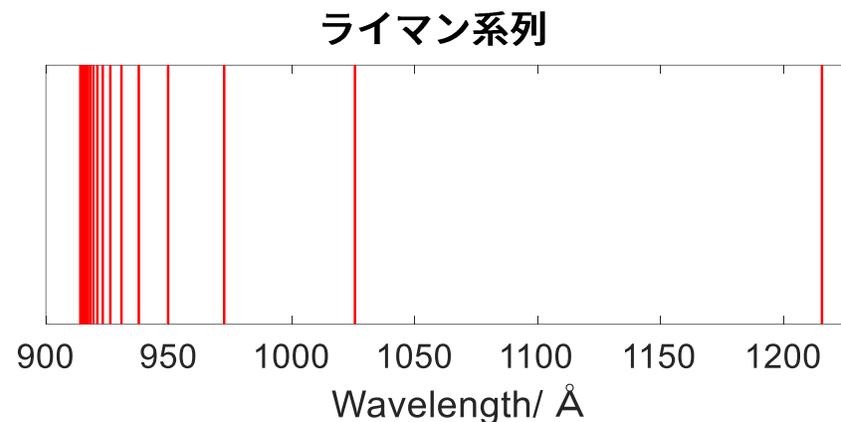
沖縄科学技術大学院大学

高橋優樹

量子力学と原子

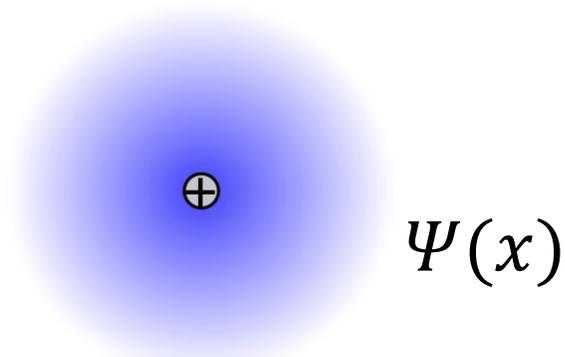
- **水素原子**

20世紀初頭量子力学の発見
シンプルな原子の研究から始まった



ボーアモデル

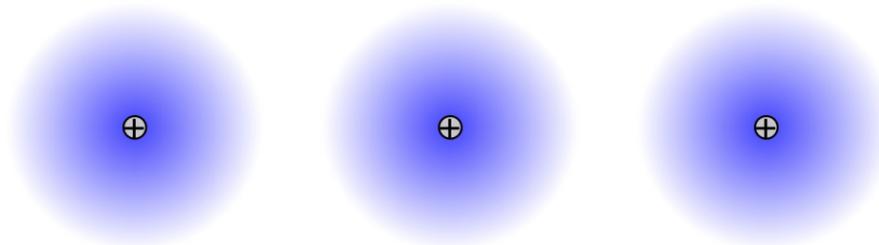
- **波動関数**



波動関数の性質は一般的に原子が多数集まる（固体等）ほど失われやすくなる。

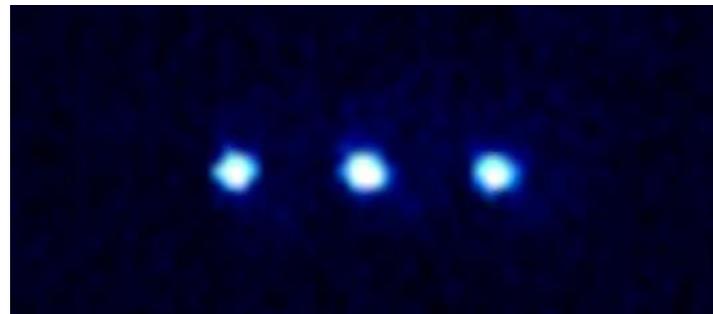
量子コンピュータの作り方？

- 量子コンピュータ → 多数の波動関数をコヒーレントに操作
- 原子を一つ一つ並べられたら？



原子一つ一つを量子ビットとして使用

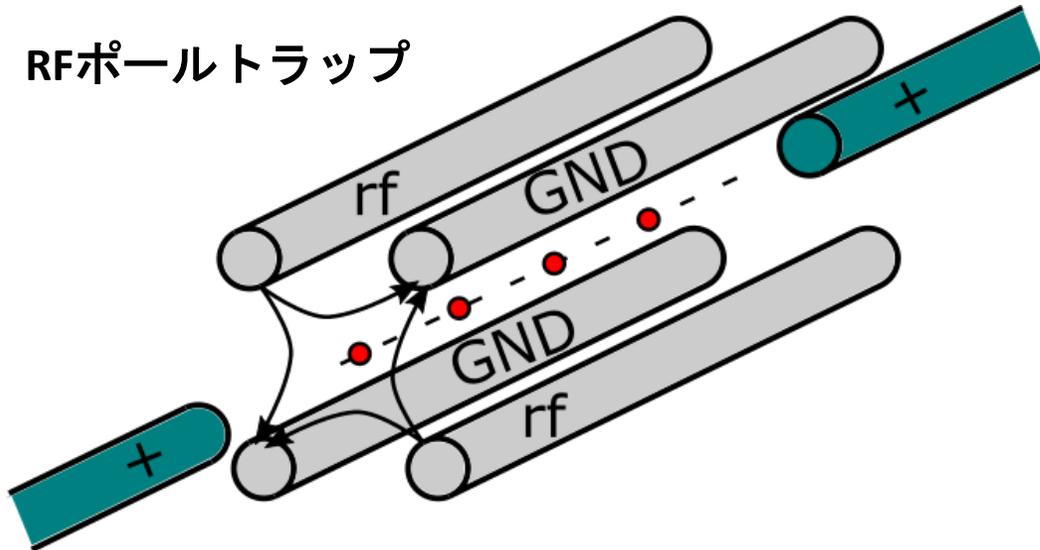
- それを実現するのがイオントラップ！



イオントラップとは

- イオン→帯電した原子
- なぜイオンか→電氣的に運動を制御可能
- レーザー冷却→ $\mu\text{K} \sim \text{mK}$ 温度に冷却可
- 真空中に浮遊→環境からの隔絶

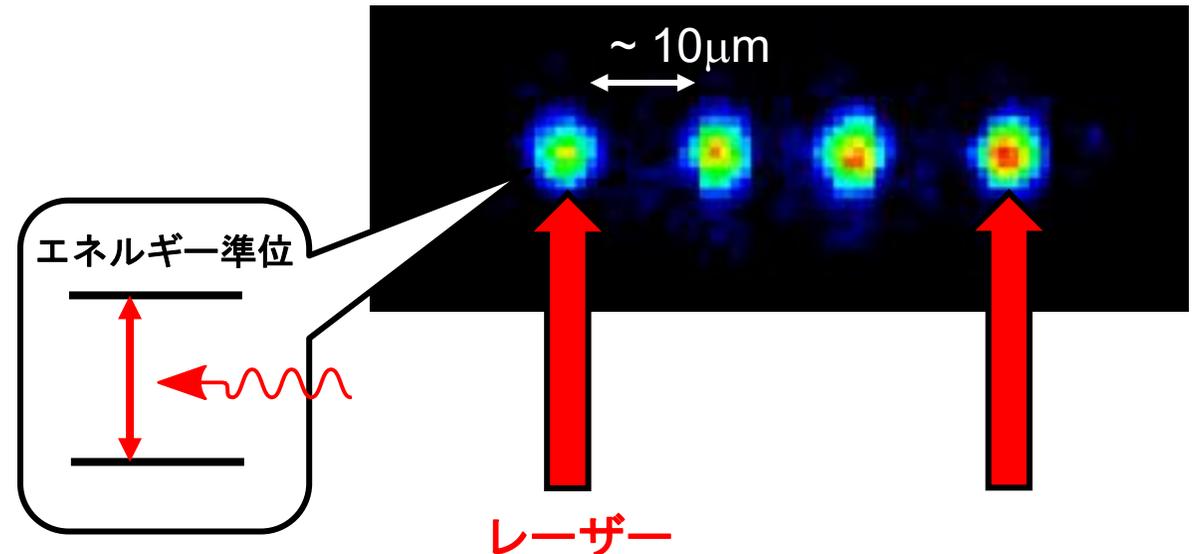
RFポールトラップ



適切に電極に電圧を印加することで複数のイオンを一直線状にほぼ静止状態で閉じ込めることが可能

イオンの量子状態の操作

- 個別イオンにレーザー等を照射して量子ビットをコントロール
- 集団運動の量子状態を経由して任意のイオン間に量子もつれ生成



利点：

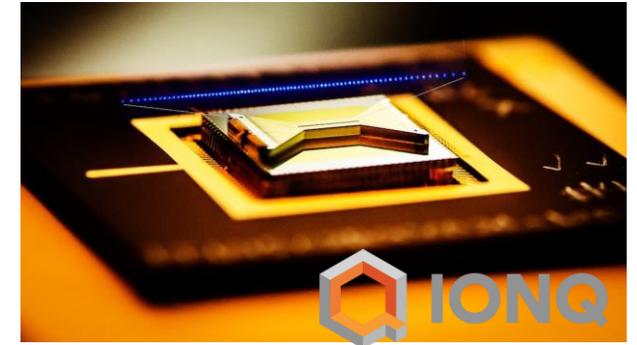
- 高いコヒーレンス
- 原子レベルの均一性
- 全結合性

欠点：

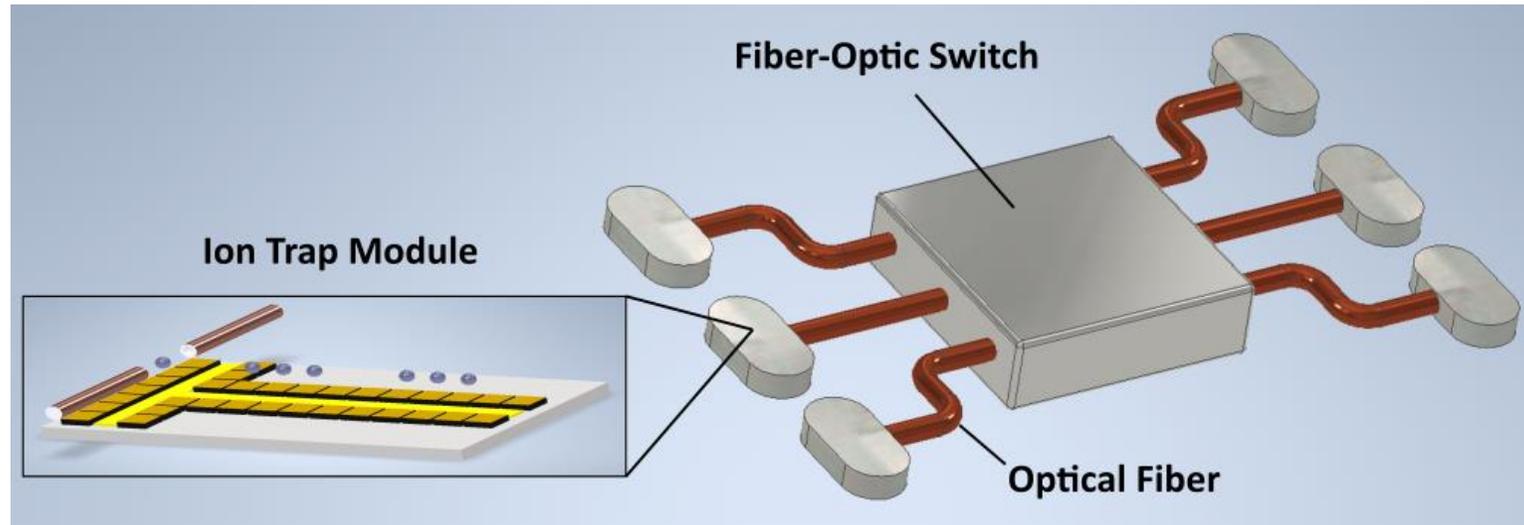
- 量子操作の速度
- 量子ビット数の拡張性

イオントラップ量子コンピュータ開発状況

- **すべての基本構成要素が高い精度で実証済み**
 - 1量子ビットゲート・・・ $F=99.9999\%$
 - 2量子ビットゲート・・・ $F=99.9\%$
 - 状態準備 & 測定・・・ $F>99.9\%$
- **IonQ、Honeywellなどの民間企業の参入。クラウド提供。**
- **課題：量子ビット数をいかに増やすか？**
 - 現状：13イオン (arXiv: 2009.11482(2020))、20イオン (PRX 8, 021012(2018))
 - 単一のイオントラップでイオン数を増やすと振動状態の制御が困難に
 - 現在の技術の延長では不可能→複数のイオントラップをつなぐ技術が必要
- **日本では組織的開発が今までなかった。**
一方で、Breakthroughに通じる先進的研究が存在！



光接続型イオントラップ量子コンピュータ



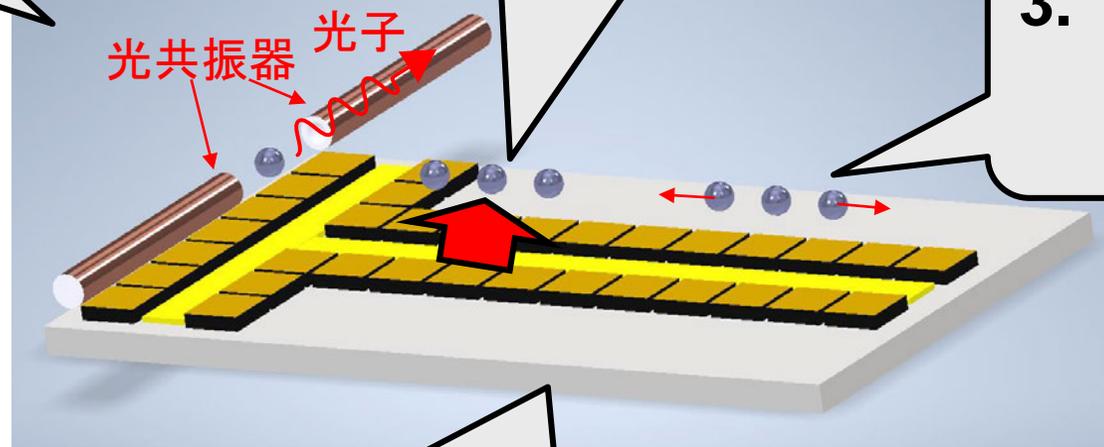
1. **トラップモジュールを光を使って相互接続（量子光接続）**
→ 単一のイオントラップを超えた拡張性
2. **高機能イオントラップモジュール**
→ イオンの自由度（光、MW、振動）を使い尽くす

高機能トラップモジュールの開発

1. 高効率な量子光
インターフェース

2. 超高精度・高速
量子論理ゲート

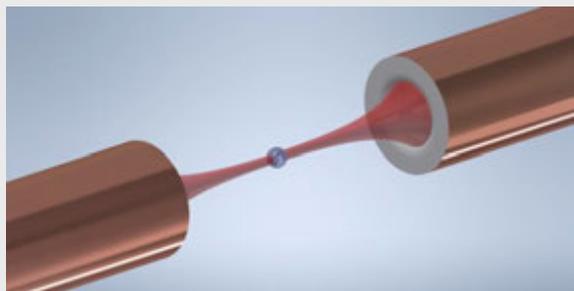
3. 振動状態の量子
制御と誤り訂正
への応用



4-1. 高性能イオントラップ
作製・評価技術
4-2. クラウド化基盤技術

研究開発項目・課題

研究開発項目 1:イオントラップの量子光接続に関する研究開発

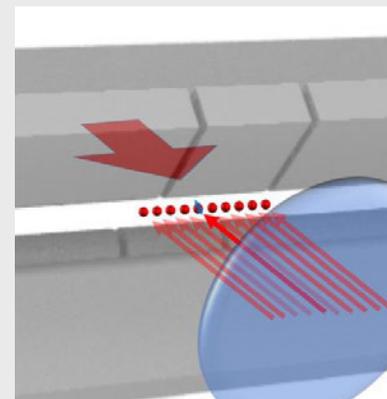


微小光共振器との結合により
光接続効率の大幅な向上！



高橋優樹
(OIST)

研究開発項目 3 :振動自由度を用いた量子誤り訂正符号実装のための研究開発

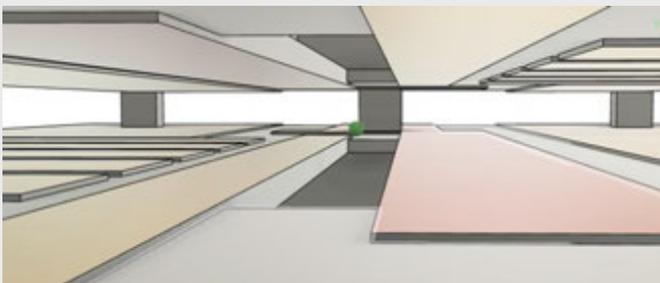


集団フォノンモードの量子制御によりボゾニック符号の実現！



豊田健二
(阪大)

研究開発項目 2:超伝導マイクロ波回路を用いたイオントラップの開発



超伝導共振回路により高速・高精度
・低電力な量子論理ゲートの実現！



野口篤史
(東大)

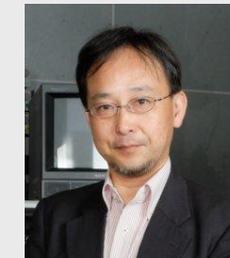
研究開発項目 4 :

4-1. : 高性能イオントラップ作製・評価技術の確立

各PJを支えるトラップ供給
コミュニティ向け汎用トラップ

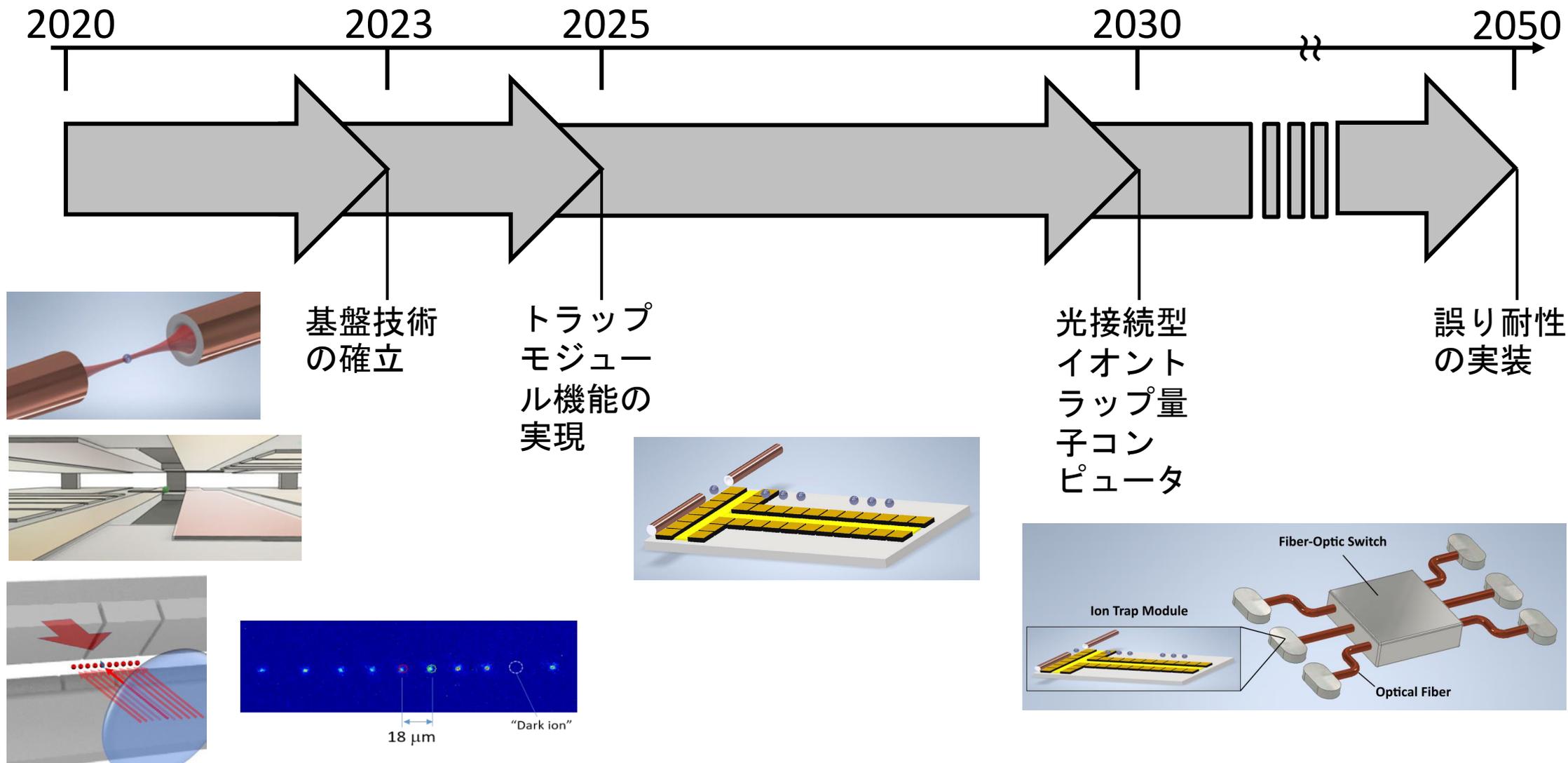
4-2. : イオントラップ量子コンピュータのクラウド化基盤技術 (豊田)

社会実装に向けた基盤技術の検証

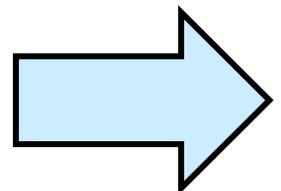


早坂和弘
(NICT)

タイムライン



- 従来のイオントラップにない**革新的機能の実現と融合**
 - 光共振器による**量子光接続**
 - **超伝導イオントラップ**による**超高精度量子論理**
 - **振動量子状態**による**余剰ヒルベルト空間**
- 下支えする**トラップ作製・評価技術**
- **社会実装のためのクラウド化技術**



光接続型イオントラップ量子コンピュータの実現！