



Title	Atom-array system with multiplexed photonic channels towards quantum network
Author(s)	前田, 雄也
Citation	大阪大学, 2026, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/105540
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 (前田雄也)	
論文題名	Atom-array system with multiplexed photonic channels towards quantum network (量子ネットワークに向けた多重光チャネル接続の原子アレイシステム)
論文内容の要旨 遠隔地に位置する量子プロセッサ間を光チャネルで接続する量子ネットワークの実現は、量子計算、量子通信および量子センシングにおける多様なアプリケーションを発展させる極めて重要な基盤技術である。特に、中性原子アレイは量子ネットワークプロセッサの構築に向けた有力なプラットフォームとして期待されている。例えば、誤り耐性量子計算の実現における最大の課題の一つである量子ビット数のスケーラビリティに対し、量子ネットワークによる分散型計算は本質的な解決策を提示するものと考えられる。 一方で、量子ネットワーク間における量子もつれ状態の配送は通信レートおよび忠実度の両面で改善の余地が大きい。通信レートは遠隔量子もつれ状態生成が確率的である性質によって根本的に制限され、配送される量子もつれ状態の忠実度も光子の伝送損失や環境ノイズに起因するデコヒーレンスによって劣化する。これらの問題の解決には、より効率的な量子もつれ状態配送のアーキテクチャの構築とノイズに対して堅牢な通信プロトコルの確立が不可欠になる。 本論文では高性能な量子ネットワークプロセッサの開発に向けて、実験と理論の両面のアプローチによって研究を行った。実験においては、中性原子アレイと10チャネルの光導波路アレイを1対1で結合させた空間多重化アーキテクチャを実装し、量子ネットワークプロセッサ間の量子もつれ配送レートの高速化に向けた研究を行った。さらに、放出された光子の評価を行い、量子通信への適用可能性を実証した。一方、理論面では、表面符号を用いた論理量子もつれ状態生成プロトコルを提案し、数値シミュレーションによってそのパフォーマンスを評価した。このシミュレーションでは、符号のデコード時にエラー推定の結果からエラーの少ないイベントの事後選択を行うことで通信レートと忠実度のトレードオフ関係を定量的に評価した。さらに、空間多重化アーキテクチャを備えた中性原子アレイの量子ネットワークプロセッサでの性能評価を行った。これらの研究結果は、将来のスケーラブルな量子ネットワークの構築に向けた重要な指針となるものである。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (前田雄也)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教 授	山本俊
	副 査	教 授	芦田昌明
	副 査	教 授	藤井啓祐

論文審査の結果の要旨

本学位論文は遠隔地に位置する量子プロセッサ間を光子で接続することで量子ネットワークを構成し、量子計算、量子通信および量子センシングなどの多様なアプリケーションを実装することを可能にする基盤技術に関して、実験および理論の手法を研究したものである。実験では、量子プロセッサとして有望な中性原子アレイを光子で接続する量子ネットワークプロセッサの構築に向けて、中性原子アレイから放出された光子を光導波路アレイに対して1対1で結合させた空間多重化アーキテクチャを実証した。結合したチャンネル数は世界記録となる10チャンネルにおよび、これにより、空間多重による量子ネットワークプロセッサ間の量子もつれ配送レートの高速化の大きな可能性を示した。実証した実験系では、光ピンセットによる光子収集の調整法など、新規な実験手法も示された。理論では、多重に接続された量子ネットワークプロセッサにおいて動作する表面符号を用いた論理量子もつれ状態生成プロトコルを提案した。将来的な実現を見据えて、現実的な数値によるシミュレーション手法を開発し、プロトコルのパフォーマンスを評価した。特に、符号のデコード時にエラー推定の結果からエラーの少ないイベントの事後選択を行う手法を新規に取り入れて、通信レートと忠実度のトレードオフ関係を示し、効率的な論理量子もつれ状態生成条件を明らかにした。さらに、空間多重化アーキテクチャを備えた中性原子アレイの量子ネットワークプロセッサでの性能を示した。これらの研究結果は、誤り耐性のあるスケーラブルな量子計算や量子ネットワークの構築に向けた重要な指針を与える。以上の実験及び理論研究は新規性が高く、学術的に重要なものであり、博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認める。