



Title	単一Ca <sup>+</sup> イオンの振動基底状態までの冷却に関する研究
Author(s)	澤村, 英幸
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/48846">https://hdl.handle.net/11094/48846</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> 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

氏名	さわむらひでゆき 澤村英幸
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 22113 号
学位授与年月日	平成 20 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 基礎工学研究科システム創成専攻
学位論文名	単一 $\text{Ca}^+$ イオンの振動基底状態までの冷却に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 占部 伸二 (副査) 教授 井元 信之 教授 北川 勝浩

#### 論文内容の要旨

トラップされたイオンを零点振動状態付近まで冷却すると、量子化されたイオンの振動状態を観測することができる。イオンの振動状態と電子状態が絡み合ったエンタングルド状態を発生させることもできるため、量子光学や量子計算への応用も期待されている。しかしながら、イオンを振動基底状態まで冷却するには非常に高度な技術を要する。さらに、冷却に使用するレーザーのパラメーターを適切に選ばなければ、振動基底状態まで冷却することは不可能である。現在ではイオンの振動基底状態までの冷却を達成した報告はいくつかあるが、現実的に最適な冷却条件を指摘したような研究ははまだ報告されていない。

イオンのレーザー冷却については、イオンのエネルギー準位を考慮した冷却の理論が解析され、振動基底状態への冷却が可能であることが示されているが、これらの解析には現実的な実験に含まれているレーザーの線幅やトラップの加熱レートの影響が考慮されていなかった。そのため、解析結果から振動基底状態冷却に最適な実験パラメーターを適用することができず、解析によって到達する最終的な冷却限界温度は非現実的に低い値になっていた。本研究では量子状態制御、量子計算を目的として単一  $\text{Ca}^+$  の振動基底状態冷却を行うための最適条件を数値解析した。この解析には今までの解析にはなかったレーザーの線幅やトラップの加熱レートが含まれている。その結果、レーザーの線幅やトラップの加熱レートはレーザーの離調や Rabi 周波数などの最適パラメーターの値を決定づける重要な要素であることが明らかになった。さらに、実際に単一  $\text{Ca}^+$  イオンの振動基底状態冷却を行い、数値解析との一貫性を明らかにした。

最後に、イオンを用いた量子状態操作を行う上での新しい技術として、RF 磁場をイオンに照射し、基底状態の磁気副準位間の Zeeman 遷移を観測した。今まで Zeeman 遷移を直接観測した例はほとんど報告されていなかったが、本実験では Zeeman 遷移と電気四重極子遷移の二重のシェルビングを利用して Zeeman 遷移の検出に成功した。

#### 論文審査の結果の要旨

本論文は冷却イオンを用いて量子情報処理を行うために必須の技術となるイオンの振動基底状態までの冷却について最適な実験条件の解析およびそれを用いた実験結果について述べたものである。冷却イオンを用いて量子状態制

御、量子計算を実験的に実現するには、周波数の高安定なレーザー、イオントラップと超高真空技術、レーザーパルス制御技術などの技術を確認するとともに、イオンを振動基底状態まで冷却することが必要である。本論文では、まず、振動基底状態を実験的に実現するための予備実験として、単一イオンを用いたマイクロ運動の補正、蛍光検出信号の最適化、ドップラー限界近くまでの冷却について述べている。次に振動基底状態までの冷却法であるサイドバンド冷却についての解析結果が述べられる。現在まで報告されている理論解析では現実的な実験に含まれているレーザーの線幅やトラップの外部的な加熱レートの影響は考慮されていなかった。このため、シミュレーション結果から最適な冷却限界温度や、最適パラメーターを抽出することは困難であった。本論文ではこれらの影響を考慮した数値解析を行い、その結果、レーザーの線幅やトラップの加熱レートがレーザーの離調やラビ周波数などの実験的な最適パラメーターを決めるために重要な要素であることを明らかにした。この解析をもとに単一イオンの振動基底状態までの冷却実験を実際に行い、振動量子数として 0.02 以下というほぼ 100% に近い振動基底状態を実現するとともに、数値解析と比較して一貫性を明らかにした。さらに、イオンを用いた量子状態制御を行う上での新たな方法として、ゼーマン遷移と電気四重極遷移の二重のシェルビングを利用した基底状態の磁気副準位間のゼーマン遷移の観測実験について述べている。

本論文は冷却イオンを用いた量子情報処理の基盤技術である振動基底状態発生について新たな知見が述べられており、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。