



Title	原子法レーザー同位体分離システムにおける光イオン化特性のモデル解析に関する研究
Author(s)	滝沢, 靖史
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/43495
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、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

氏 名	滝 沢 靖 史
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 6 5 6 5 号
学 位 授 与 年 月 日	平成13年11月28日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科原子力工学専攻
学 位 論 文 名	原子法レーザー同位体分離システムにおける光イオン化特性のモデル解析に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 井 澤 靖 和 (副査) 教 授 高 橋 亮 人 教 授 竹 田 敏 一 教 授 山 中 伸 介 助教授 阪 部 周 二

論 文 内 容 の 要 旨

原子法レーザー同位体分離システムでは、レーザー光と非標的同位体原子との近共鳴相互作用がレーザーパルス伝播速度の低下や空間強度不均一性の成長を誘起し、標的原子のイオン化率を低下させる。本論文は、これまでほとんど研究例のない非標的同位体原子とレーザー光との時間的、空間的近共鳴相互作用までを含めて、標的原子のイオン化特性に及ぼすレーザー光の長距離伝播効果を解析できる簡易モデルの構築をめざして行った研究の成果をまとめたものである。

本論文は6章から構成されている。

第1章は緒論であり、本研究の背景をまとめ研究の意義を明らかにした。

第2章では、非標的同位体原子による近共鳴相互作用の大きさを解析的に評価し、群速度分散によるレーザー光の伝播速度の低下（時間的近共鳴効果）と自己集束効果による空間的強度分布不均一性の成長（空間的近共鳴効果）が重要であることを明らかにした。また、レーザー光の伝播軸に沿っての単位面積あたりの標的原子数を入射光子密度で規格化した規格化伝播距離や非標的原子との近共鳴相互作用の大きさをあらわす近共鳴係数というパラメータを導入してシミュレーションによりイオン化率の伝播距離依存性を解析し、時間的近共鳴効果によるイオン化率の低減は入射レーザーパルス幅に依存しないが、空間的近共鳴効果はパルス幅が大きいほどイオン化率の低減が大きくなることを示した。

第3章では、標的同位体原子のみを含む共鳴媒質中でのイオン化特性を解析できるモデルを構築した。共鳴媒質中を伝播するレーザーパルスの波形変形を、強い飽和吸収に相当する場合と線形吸収に相当する場合の2つの場合にかけてモデル化し、両モデルによるイオン化率の平均値をとることによりシミュレーション結果を精度よく再現しうることを示した。

第4章では、標的原子と非標的原子の両者を含む共鳴・近共鳴混合媒質中において、非標的原子による時間的近共鳴効果を考慮した場合のイオン化特性を解析できるモデルを提案した。共鳴媒質中での2つの波形変形モデルに、近共鳴効果による選択励起段レーザーの伝播速度低下の効果を付加してイオン化率の伝播距離依存性を解析し、シミュレーション結果をよく再現できることを示した。また、規格化伝播距離を用いてイオン化特性を比較したとき、共鳴媒質中と混合媒質中で同じ平均イオン化率が得られる伝播距離が、時間的近共鳴効果により低下する割合を与える簡易公式を導出し、伝播距離の低下率は入射レーザー光強度と近共鳴係数にのみ依存し、レーザーパルス幅にはよらない。

いことを明らかにした。

第5章では、空間的近共鳴効果がイオン化率の伝播距離依存性に与える影響を解析できるモデルについて検討した。時間的近共鳴効果の場合と同じ2つの波形変形モデルに空間強度不均一性の成長を半解析的に重畳し、全体としてのイオン化率を空間強度不均一性のピークと谷におけるイオン化率の単純平均として与えることにより、シミュレーション結果をよく再現しうる結果を得た。また、規格化伝播距離に対して空間強度不均一性の成長率を表現したとき、成長率は入射レーザー光強度や近共鳴係数に依存するだけでなくレーザーパルス幅に比例することを指摘し、イオン化率の低減に及ぼす空間的近共鳴効果の影響がパルス幅の長いレーザーほど大きくなるというシミュレーション結果を説明した。

第6章は結論であり、本研究で得られた成果をまとめ、研究の総括を行った。

論文審査の結果の要旨

原子法レーザー同位体分離システムでは、複数の同位体を含む金属蒸気中を長距離にわたって伝播するレーザー光と非標的同位体原子との近共鳴相互作用が、標的同位体原子のイオン化特性に影響を及ぼす。本論文は、これまでほとんど研究例のない、レーザー光の伝播特性が標的同位体のイオン化特性に及ぼす影響を、時間的、空間的近共鳴相互作用を含めて解析できるモデルを提唱し、その有効性をシミュレーションとの比較により確認した成果についてまとめたもので、得られた成果を要約すると以下の通りである。

- 1) 非標的同位体原子と選択励起用レーザー光との近共鳴相互作用の大きさを解析的に評価し、実用的な原子法レーザー同位体分離システムでは、群速度分散によるレーザー光の伝播速度の低下（時間的近共鳴効果）と自己収束効果による空間的強度分布不均一性の成長（空間的近共鳴効果）が重要であることを明らかにしている。
- 2) レーザー光伝播軸に沿っての単位面積あたりの標的原子数を入射光子密度で規格化した規格化伝播距離や非標的原子との近共鳴相互作用の大きさをあらわす近共鳴係数というパラメータを提案し、これら2つのパラメータが、入射レーザー光や原子蒸気などの条件が異なる場合について分離性能を評価する上での指標となることを明らかにしている。また、シミュレーションによりイオン化率の伝播距離依存性を解析し、時間的近共鳴効果によるイオン化特性の劣化は入射レーザーパルス幅に依存しないが、空間的近共鳴効果はパルス幅が大きいほどイオン化特性の劣化が大きくなることを明らかにしている。
- 3) 共鳴媒質中を伝播するレーザーパルスの波形変形を、強い飽和吸収に相当する場合と線形吸収に相当する場合の2つの場合にわけてモデル化し、イオン化に伴うレーザーエネルギーの減少から、蒸気入り口におけるイオン化の時間発展に関するシミュレーション結果を援用して共鳴媒質中でのイオン化率の伝播距離依存性を解析し、両モデルによるイオン化率の平均値をとることによりシミュレーション結果を精度よく再現しうることを示している。
- 4) 標的原子と非標的原子の両者を含む共鳴・近共鳴混合媒質中では、共鳴媒質中での2つの波形変形モデルに、近共鳴効果による選択励起段レーザーの伝播速度低下の効果を付加することにより、シミュレーション結果をよく再現できるイオン化率の伝播距離依存性が得られることを示している。また、規格化伝播距離を用いて共鳴媒質中と混合媒質中でのイオン化特性を比較したとき、平均イオン化率が時間的近共鳴効果により低下する割合を与える簡易式を導出し、伝播距離の低下率は入射レーザー光強度と近共鳴係数にのみ依存し、レーザーパルス幅にはよらないことを明らかにしている。
- 5) 空間的近共鳴効果に関しては、時間的近共鳴効果の場合と同じ2つの波形変形モデルにリブルの成長を半解析的に重畳し、全体としてのイオン化率をリブルのピークと谷におけるイオン化率の単純平均として与えることにより、シミュレーション結果をよく再現しうる結果を得て、リブルのピークではレーザー光強度が大きくなるものの飽和強度より充分大きな強度であるためイオン化率の増大はピーク強度の増大に比べて小さく、一方リブルの谷ではレーザー強度の減少が大きなイオン化率の減少をもたらす、平均としてのイオン化率の低下を招くことを明らかにしている。また、規格化伝播距離に対してリブルの成長率を表現したとき、成長率は入射レーザー光強

度や近共鳴係数に依存するだけでなくレーザーパルス幅にも比例することを指摘し、イオン化特性の劣化に及ぼす空間的近共鳴効果の影響がパルス幅の長いレーザーほど大きくなるというシミュレーション結果を説明できることを明らかにしている。

以上のように、本論文は原子法レーザー同位体分離システムにおける光イオン化特性を解析するためのモデル解析手法を提唱し、その有効性をシミュレーション結果との比較により実証しており、レーザー工学、ならびに原子力工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。