



Title	レーザー同位体分離における光反応過程に関する研究
Author(s)	足立, 智
Citation	大阪大学, 1991, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3085224
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏名・(本籍)	あ 足	だち 立	さとる 智	
学位の種類	工	学	博	士
学位記番号	第	9 7 3 6	号	
学位授与の日付	平成 3 年 3 月 26 日			
学位授与の要件	工学研究科 電気工学専攻			
	学位規則第 5 条第 1 項該当			
学位論文題目	レーザー同位体分離における光反応過程に関する研究			
	(主査)			
論文審査委員	教授 山中 龍彦	教授 平木 昭夫	教授 井澤 靖和	
	教授 青木 亮三	教授 松浦 虔士	教授 白藤 純嗣	
	教授 村上 吉繁	教授 辻 毅一郎	教授 鈴木 胖	
	教授 加藤 義章	教授 中井 貞雄	教授 黒田 英三	
	教授 中島 尚男			

論文内容の要旨

本論文はレーザー同位体分離の中心的なプロセスであるレーザーと原子の相互作用における光反応過程に関する研究成果をまとめたものであり、次の 6 章より構成されている。

第 1 章は緒論であり、原子法レーザー同位体分離において、高効率、高選択性を実現するに際しての重要な課題を整理し、本研究の意義と目的を明らかにしている。

第 2 章では、レーザー同位体分離の光反応過程をモデル化する上で必要なエネルギー準位の空間縮退や超微細構造の取扱法について考察し、これらの効果を取り入れて新たに開発した 4 波長 3 段階電離スキームの励起ダイナミクスシミュレーションコードと、それを用いて導いた高効率励起を行うためのいくつかの目安について述べている。

第 3 章では、光反応過程における基本的パラメータである同位体シフト、超微細構造、遷移の双極子モーメント等についての測定結果について述べている。特に双極子モーメントの測定では Rabi flopping を利用した新しい手法を開発し、高い精度のデータを取得している。

第 4 章では、励起効率向上を目的として、3 種類の異なる励起法について考察している。まず基底準位と準安定準位に存在する原子を同時に共通の上準位へ励起する場合について考察し、2 光子共鳴条件が成立する場合には population trapping の効果により電離率が低下することを実験およびシミュレーションの両者から明らかにし、population trapping をさけてイオン量を増大させる方法について検討している。

次いで広い超微細構造スペクトルを有する遷移に対して、レーザー光の周波数を掃引し、断熱高速通過を利用して励起する方法が有効であることを示し、2 準位系に対し、安定な反転分布を得るパラメー

タ領域を定量的に示している。

最後に核スピンの有無による遷移の選択則の違いを利用して同位体分離を行う方法について検討し、Gdのように超微細構造スペクトルが他の同位体の吸収スペクトルと重なっている場合にこの手法が有効であることを実験的に確かめている。

第5章では、レーザー光が原子ビーム中を長距離伝播する場合の同位体分離特性について検討している。標的同位体と非標的同位体がレーザー光の伝播特性に及ぼす影響を理論と実験の両面から解析し、3段階電離法に適用し得るレーザー光伝播特性シミュレーションコードを開発し、電離率や同位体選択性への影響を定量的に評価している。

第6章は結論であり、以上の研究で得られた成果をまとめて本論文の総括を行っている。

論文審査の結果の要旨

レーザー同位体分離法は次世代ウラン濃縮法として注目され、その実用化研究が活発に展開されている。レーザー法により効率のよい分離システムを実現するためには、標的同位体のみを選択性よく高効率で励起、電離し得るレーザー光の照射条件を明らかにする必要がある。本論文ではレーザー同位体分離における光反応過程を最適化し、システム設計に対する指針を与えることを目的として、4波長3段階電離法における原子の励起、電離ダイナミクスと、原子蒸気内でのレーザー光伝播特性について、実験、理論両面より行った研究をまとめたもので、得られた主な成果は次の通りである。

- 1) レーザー同位体分離で重要となる同位体シフト、超微細構造、遷移の双極子モーメント等、原子の分光学的データを実測し、準位の超微細構造定数を導出している。双極子モーメントの測定に対しては、Rabi floppingを利用する新しい手法を開発し、測定値の精度を高めている。
- 2) エネルギー準位の空間縮退や超微細構造の効果を含めて4波長3段階電離過程における励起ダイナミクスを解析できるシミュレーションコードを開発し、励起および電離速度の観点から、効率のよい電離を行うためのレーザー光照射条件に対する目安を与えている。
- 3) 基底準位の他に、熱的に励起されている準安定準位をも利用して原子を励起する際、2光子共鳴条件が成立するとpopulation trappingの効果で電離率が低下することを初めて実験により示している。またpopulation trappingを避けるためには2光子共鳴条件からの離調が重要であることを指摘し、必要な離調量の目安を与えている。
- 4) レーザー光の周波数をパルス幅内で時間的に掃引し、高速断熱通過を利用して分布反転を実現する励起法が、広い超微細構造スペクトルを有する遷移に対して有効であることを指摘し、2準位系に対し安定な分布反転が得られるレーザーパラメータ領域を定量的に示している。またこの手法の適用限界についても言及している。
- 5) 核スピンの有無によって、遷移の選択則が異なることを利用して同位体分離が可能であることを、Gdを用いた実験により実証し、 ^{157}Gd を70%まで濃縮している。

- 6) レーザー光が原子蒸気内を伝播する際、非標的同位体により受ける効果をNa蒸気による模擬実験で評価し、自己位相変調によるレーザーの波形変形と周波数変調が重要であることを指摘している。
- 7) 標的および非標的同位体を含む原子蒸気内でのレーザービーム伝播特性を解析するシミュレーションコードを開発し、電離率や同位体選択性に対するビーム伝播効果を評価するとともに、レーザー光の有効伝播長に対する目安を与えている。

以上のように本論文はレーザー同位体分離における光反応過程において、高い電離率や同位体選択性を得るためのレーザー光の照射条件を励起ダイナミクスとレーザービーム伝播特性の両面から定量的に評価しており、レーザー工学・電気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。