

Title	レーザ同位体分離におけるウランプラズマの生成・伝播過程とイオン回収に関する研究
Author(s)	西尾, 良司
Citation	
Issue Date	
Text Version	none
URL	http://hdl.handle.net/11094/39373
DOI	
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

氏 名	にし 西	お 尾	りょう 良	し 司
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)			
学 位 記 番 号	第 1 1 4 4 0 号			
学 位 授 与 年 月 日	平 成 6 年 4 月 2 6 日			
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第2項該当			
学 位 論 文 名	レーザ同位体分離におけるウランプラズマの生成・伝播過程とイオン 回収に関する研究			
	(主査)			
論 文 審 査 委 員	教 授 三 宅 正 司			
	教 授 牛 尾 誠 夫 教 授 黄 地 尚 義 教 授 井 澤 靖 和			

論 文 内 容 の 要 旨

原子法レーザウラン同位体分離法は、ガス拡散法・遠心分離法に次ぐ次世代分離法として注目されており、世界各国で開発が進められている。同法の技術開発の最終目標は、経済性に優れた商用プラントの建設・運転であり、そのための課題は非常に多い。本論文では、商用機目標を満たす高効率濃縮ウラン回収系の開発を目的とし、電子ビームで生成したウラン蒸気の中に含まれる蒸気プラズマの生成と伝播過程の解明、およびレーザ光照射によって生成した光電離²³⁵Uプラズマからの²³⁵Uイオンを回収する製品回収電極の開発に関する研究結果を述べている。

第1章では、商用機が必要とする基本性能と、従来研究の成果を比較・考察することにより、本研究の位置づけと課題を明らかにしている。

第2章では、電子ビーム加熱により発生させたウラン蒸気中の荷電粒子の発生源を実験的に検討し、大部分の荷電粒子が蒸気の電離によって生成しており、蒸気プラズマが生成していることを明らかにしている。つぎに、蒸気プラズマの生成過程を、実験で得たプラズマ特性と筆者が提案したプラズマの生成・伝播過程の理論を比較することで検討している。その結果、プラズマの生成過程は、一次電子と二次電子による電子衝突電離過程が主であり、熱電離過程がそれに続く寄与があることを明らかにしている。

第3章では、磁場を横切る蒸気プラズマの伝播挙動を実験的に検討している。その結果、プラズマの流線に沿って電子に関するボルツマン分布が成立することを明らかにし、これが従来のクロスフィールド伝播理論を用いて理解できることを指摘した上で、これを拡張したプラズマの伝播モデル、つまりプラズマ電子の $E \times B$ ドリフトがローレンツ力による分極電場と両極性電場の合成電場によって生じるという新しいモデルを提案している。

第4章では、静電界を用いた蒸気プラズマ除去法を検討している。この結果、除去電位がプラズマ電位より正の場合プラズマ不安定性により蒸気が電離するためプラズマ除去が困難になること、逆にプラズマ電位より負の電位を印加する場合、電極面にはイオンシースが形成され、不安定性は励起されないことを示している。この結果をもとに、商用機規模の大型蒸気回収装置を用いて蒸気プラズマの除去試験を行い、同位体分離領域の蒸気プラズマを十分に除去できることを示している。

第5章では、本研究で提案したM型電極を用いて、光電離プラズマから電極へのイオン輸送を検討している。その結果、M型電極では二種類のイオン回収モードがあることを示している。一つは、“平行平板型イオン回収モード”であり、イオン回収の間に光電離プラズマの中心位置が上昇するが、他方の“M型イオン回収モード”では、プラズマの上昇運動が停止した状態でイオン回収が進行することを明らかにしている。M型電極では平行平板型電極と比べて、電極高さを半分以下にでき、イオン回収時間を $1/3 \sim 1/4$ に短縮できること、また、商用機目標の $50 \mu s$ を達成し、中性原子付着量を極小にできるコンパクトな電極体系を提供できることを示している。M型電極では、蒸気プラズマは電極下部で回収され、レーザーで生成した光電離プラズマからのイオン回収に影響を与えない。さらに商用機での製品回収電極の設計のために、イオンの輸送方程式と電子のボルツマン分布を基礎方程式とし、プラズマと真空の境界におけるプラズマの準中性条件を厳密に解いた二次元プラズマ流体コードを開発している。本コードは、レーザーによる光電離プラズマイオン製品回収電極への輸送を再現でき、商用機用の製品回収電極の設計ツールとして採用できることを示している。

第6章では、本研究で得られた結論を述べている。

論文審査の結果の要旨

原子法レーザーウラン同位体分離技術は、ガス拡散法・遠心分離法に次ぐ次世代ウラン濃縮法として注目されており、世界各国で急ピッチで開発が進められている。同法の原理はレーザー光をウラン蒸気に照射し、蒸気中の同位体ウランを選択的に電離してイオン化し、これを電界によって回収して濃縮ウランを得るというものである。したがって、同位体ウランイオンを高効率に回収する電極体系の開発は、経済性に優れた商用プラントの建設・運転のための最も重要な開発課題の一つである。本論文では、レーザー同位体分離における同位体イオンの回収技術を確認することを目標に、蒸気プラズマイオンの発生・伝播過程を実験的に検討するとともに、蒸気プラズマの除去法とM型電極と呼ぶ新しい高効率のイオン回収系を開発することに成功したもので、その成果の要点は次の通りである。

- (1) 蒸気中に含まれる、二次電子や熱電子およびイオンの量を個別に評価できることを実験的に示し、蒸気プラズマの発生過程として、電子ビーム、二次電子ならびに熱電子による電子衝突電離過程と熱電離過程を考慮し、さらに両極性拡散支配の伝播過程を取り入れた評価法を確認している。これにより、ウラン蒸気時の蒸気プラズマ発生は、電子ビームとその二次電子による電子衝突電離及び熱電離過程に支配されていることを明らかにしている。
- (2) 磁場を横切る蒸気プラズマの伝播挙動を実験的に検討した結果、プラズマの流線に沿って電子に関するボルツマン分布が成立すること、さらに流線に沿ってイオンが加速されることを見いだしている。そして従来理論を拡張し、プラズマ電子の $E \times B$ ドリフトがローレンツ力による分極電場と両極性電場の合成電場によって生じるという新しいプラズマ伝播モデルを提案し、すべての測定結果を矛盾なく説明する事を可能としている。
- (3) 電極面積の適正化に関する簡易モデルを提案し、小型装置を用いた実験により、静電界を用いた蒸気プラズマ除去法としてイオン回収電極の大面积化が有効であることを実証している。そして本方法を商用機のデモンストレーション装置に適用し、商用機条件のウラン蒸気に対しても、蒸気プラズマが除去できることを実証するとともに、電極間の電位配置の適切化により電力損失を最小にする条件を見いだしている。
- (4) 従来研究の結果と理論的な考察に基づき、高効率なイオン回収電極としてM型電極を提案している。この電極を用いて商用機条件でのイオン回収試験を行い、商用機目標である、 $50 \mu s$ 以下のイオン回収時間を達成できることを確認している。さらに、この電極が中性原子付着量を最小にできるコンパクトな電極体系であることを実証している。またこれに加えて、商用機での製品回収電極の設計ツールとしての二次元プラズマ流体コードを開発し、実験結果をよく再現できることを確認している。

以上のように本論文は、原子法レーザーウラン同位体分離法における同位体イオンの回収技術を確認するために、新しい電極体系とプラズマ流体コードを開発することによって、電子ビームによるウラン蒸気時の荷電粒子発生評価法を確

立するとともに、プラズマからの高効率イオン抽出技術の開発に成功しており、生産加工工学・応用高温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。