

【1RF-1702】高温プラズマ中でのレーザー分光を利用した全試料対応型の万能分析法の開発（2017～2018 8,847千円）

研究代表者 桑原 彬（国立研究開発法人日本原子力研究開発機構）

1. 研究実施体制

- （1）高感度・高分解能を実現する同位体分析法の開発（国立研究開発法人日本原子力研究開発機構原子力科学研究所）

2. 研究開発目的

本研究では、試料の形態（固体、液体、気体）に捉われない迅速な同位体分析法の開発を目的とする。そのため、本研究は、航空宇宙分野で用いられるプラズマ風洞を新たに分析に適用し、これまでにないコンセプトの分析法を提案するものである。プラズマ風洞は、従来、惑星探査時の大気圏突入環境のシミュレーターとして利用されるものであり、超音速ノズルを介した圧力差により上流で生成したプラズマを超音速に加速し、ジェットを生成する装置であるが、プラズマ生成部の高温環境（5,000K以上）を断熱膨張により、超音速ノズル上流で加えた熱エネルギーを運動エネルギーに変換することでプラズマジェットを低温（常温以下）にすることが可能であるため、単一装置内で試料の原子化と同位体識別の高精度化を実現することができる画期的なシステムである。また、通常は温度の現象とともに、解離度や励起準位の原子数が減少するが、超音速まで加速することで、超音速ノズル上流の状態を維持したまま（凍結流）、レーザー分光を行うことができるため、検出感度が高温プラズマと比較しても同程度である。

まず、本研究のベースとなるアーク放電を利用したプラズマ風洞（アーク加熱プラズマ風洞）及びレーザー分光システムを開発し、初期検討として、気体状の試料（キセノンガス）に適用した。キセノンは、原子炉内でウランの核分裂で生じる重要な元素の1つであること、安定同位体を9つ有する希ガスであるため、将来的な放射性物質の分析に向けた実証試験に適していると考えられる。また、キセノン同位体の波長シフト量は、重元素よりも小さいことから、今度、ストロンチウム同位体分析を行うにあたっては、指標として適切である。次に、固体及び液体中のストロンチウム分析（安定同位体）を行った。固体試料については、ストロンチウム粉末試料を対象として、プラズマ風洞を用いたレーザー分光を行った。液体試料については、さらなる簡易化・迅速化の検討の結果、グロー放電プラズマを用いたレーザー分光を行った。グロー放電では、プラズマ生成前に予め電極上に液体試料を塗布するだけで同位体分析が可能となるため、他のプラズマと異なり、精密機器である供給装置が不要となり、システムがコンパクトかつ低コストとなる。

3. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

ストロンチウム等は、試料中から元素成分を抽出しなければ検出が困難であったが、本研究の成果により、雑多な元素が共存する試料であっても、複雑な前処理を一切経ずに迅速にストロンチウム同位体の検出が可能となった。本手法は、これまでの分析の考え方と全く異なるアプローチで分析を可能にするものであり、新たな手法の1つとして提案することができる。プラズマを利用したレーザー分光においては、各元素の原子電子遷移の波長を選定するだけで、対象準位のポピュレーションが検出感度を超える限りは、原理上適用できない元素がないことから、元素毎に使用波長をデータベース化しておくだけで、迅速に分析を開始できるようになる。これは、事故・災害時のように迅速に分析な困難な元素・同位体を分析しなければならない場合、多量の試料を取り扱う場合等に、特に有効な方法である。

分光学的見地で考えた場合、これまでに観測できなかった同位体スペクトルが観測できるようになったことで、特に重元素の原子核の状態把握に適用することが可能である。ウラン、プルトニウム、アクチノイドについては、励起状態が複雑であり、特にアクチノイドの原子状態のスペクトル観測例はほとんどないのが現状である。本手法を生かすことで、これまで観測できなかったスペクトルの検出、それに基づく内部励起状態の解明に展開していくことが望まれる。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

環境政策においては、原子力に係る事故・災害時の迅速性が要求される対応の1つとして、環境中に放出・飛散した放射性物質の分析が挙げられる。従来の分析は、時間的・予算的なコストが掛かるのに対し、本手法は両面で従来から大幅にコストダウンが可能となることから、新たな手法として整備が期待できる。具体的には、ストロンチウム分析では、前処理作業に2週間程度を要していたが、本手法では、10min以内の分析が可能となる。

福島第一原子力発電所の事故においては、多量の環境中の廃棄物（除染等に伴って発生した土壌等も含む）については、元素・同位体分析を行い、住民等への健康影響を明らかにし、将来的な安全性を確保した上で取り扱う必要がある。また、土壌等を長期的に環境中に保管しておく場合にあっては、外部被ばく影響だけでなく、内部被ばくリスク評価の観点から分析が必要となる。従来の精密分析だけでは、上記の理由から、早期の安全性の確保は難しいことから、本手法に基づく新たな装置を整備することにより、

事故時等の廃棄物分析に適用していく。

本手法は、上記のとおり、原理上適用できない元素がないことから、有害な金属の分析に適用が可能である。原子力施設の廃止措置又は廃棄物の処理・処分においては、鉛、水銀、六価クロム等の分析に適用できる上、これらは、環境汚染の観点からも重要な元素であるため、原子力分野に限らず、分析法の展開が可能である。さらには、二酸化炭素等のガスには、固体試料をプラズマ化するような高温環境を必要としないことから、特に適用が容易であり、解離度等の考慮することなく検出が可能である。

4. 委員の指摘及び提言概要

チャレンジングな内容であり、新しい技術開発として興味深い成果が得られた。放射能事故のように、多種の元素の分析を迅速に行う上で、従来の分析方法では難しかった問題点を解決できる手法開発を進めた。まだ現実の分析機器としての開発レベルには至っていないが、その原理的な部分は実用化の可能性を強く意識して研究が行われており、若手研究としては十分な成果を挙げたと評価できる。今回の実験では、対象物質を限った時の分光分析結果が得られた段階であり、複数の対象物質が混在する実サンプルでは、他の物質によるコンタミネーションの影響についての検討が必要である。現場の環境行政に役立てるために、さらに一步踏み込んで研究を進めて欲しい。さらに、実サンプルに関する従来法とのパフォーマンスの比較があると、現場での実効性についての評価が容易となる。

5. 評点

総合評点：A