7-8 試料に触れずに直接同位体の組成を調べる -レーザー遠隔分光法による核燃料物質の同位体分析法の開発-



図 7-21 原子密度の高さ方向分布の時間変化

ヘリウムガス600 Pa中で生成した原子雲の密度の高さ分布を、 原子雲発生後4 µsまでの範囲で示した図です。赤線は基底状態の 中性原子、青線は基底状態の1価イオンを表します。縦軸は 各図に共通で、○印の時間と高さで原子やイオンの密度が最大に なることが分かりました。

次世代燃料としてMA含有MOX燃料が注目されていま す。核燃料物質の収支評価や核物質利用の透明性確保に は核種分析が不可欠ですが、含有核種からの強いγ線や 中性子線による分析要員の被ばく、放射線の干渉等によ り、従来の化学分析や中性子による非破壊分析の適用は 困難です。そこでレーザーを利用して、試料に直接触れ ず、中性子も要しない分析法の開発を開始しました。

固体に強いパルスレーザー光を照射すると、表面の一 部が離脱してプラズマ内で単原子やイオンに分解され、 原子雲が作られます。この原子雲に、発振波長を精密に 制御したレーザー光を導入し、着目する同位体の共鳴波 長に同調させると、その同位体のみが光を吸収します。 同調波長を他の同位体に切り替えて吸収量を比べれば同 位体比が決定できます。

高分解能で高感度の分析を実現するためには、密度が 高く、動きの遅い原子雲を観測する必要がありました。 しかし、原子雲中の中性原子やイオンは、エネルギー準 位が基底準位から高い励起準位まで広く分布し、その分 布も逐次変化しながら空間的に移動します。そこで、 レーザーの精密な波長制御機構を開発して、エネルギー



図7-22 吸収スペクトルの観測例(天然及び濃縮ウラン) 図7-21の赤○の条件に合わせて測定した基底状態の中性原子の 吸収スペクトルを密度に換算した図です。²⁵⁸Uのピークの高さは、 %で表した²⁵⁸Uの同位体比に良く比例することが分かりました。 なお、²⁵⁸Uのピークが分裂しているのは核スピンによる効果です。

準位ごとの密度の時間、空間的な変化を測定し、これに よって高分解能でかつ高感度な分析が実現できる条件を 調べました。図7-21はガス中の中性原子と1価イオン の原子密度の高さ方向分布とその時間変化を示していま す。高密度領域は時間とともに膨張するものの、一定時 間後に停止し、脱励起の促進により、過渡的に更に高密 度化する様子が明らかとなりました。これにより最適な 分析条件として、〇印で示した高さと時間が決定できま した。赤〇の条件でウランの吸収スペクトルを測定した ところ、図7-22のように、同位体同士のピークの重な りが小さく、分析に適したスペクトルの観測に成功しま した。天然ウラン程度の同位体比を試料に触れずに分析 できることを初めて示したものです。2500ピークの高 さは、同位体比に比例して変化しており、良好な線形性 を持つことも確認できました。

現在、この方法をMOX試料に適用し、プルトニウム同 位体の遠隔分析の実証を目指しています。

本研究は、文部科学省からの受託研究「低除染TRU燃料 の非破壊・遠隔分析技術開発」及び「次世代燃料の遠隔分 析技術開発とMOX燃料による実証的研究」の成果です。

●参考文献

Miyabe, M. et al., Spectroscopy of Laser-Produced Cerium Plasma for Remote Isotope Analysis of Nuclear Fuel, Applied Physics A, vol.101, no.1, 2010, p.65-70.