～迅速な放射能測定のために精密レーザー光で放射性核種を“測る“技術を開発します～

高分解レーザーを利用した 難測定核種分析装置の研究開発

東京大学大学院 工学系研究科　　長谷川　秀一

①研究の背景・意義

原子力発電所の解体によるコンクリート等廃棄物

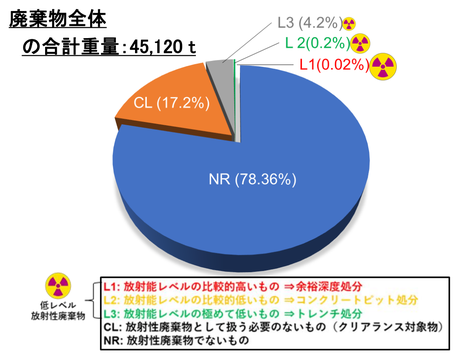
○ **クリアランスレベル**：放射性物質として扱わなくて良い放射能濃度の基準値（放射性廃棄物か、そうでないかの境界）

○ 廃棄物のうち、その殆どはクリアランスレベル以下と推定
⇒ 廃棄物中放射能濃度が**クリアランスレベルより上か下かを、迅速に分析したい**

○ クリアランスレベルは放射性物質（放射性核種）毎に定められており、**それぞれの核種に対応した分析法**が求められる

放射性核種の種類	クリアランスレベル 放射能濃度[Bq/g]
トリチウム（^{3}H）	100
放射性炭素（^{14}C）	1
ストロンチウム-90（^{90}Sr）	1
セシウム-134,137（^{134,137}Cs）	0.1
⋮	⋮

浜岡原子力発電所1,2号機の廃棄物内訳（推定）
中電廃止措置計画全体概要を参考に作成
https://www.chuden.co.jp/publicity/press/_icsFiles/afieldfile/2020/02/13/sankou150316.pdf



放射性ストロンチウム（ストロンチウム90: ^{90}Sr）の分析

○ ^{90}Sr：**半減期28.8年で崩壊し、β線を放出する放射性核種**

○ Caと性質が似ており人体に取り込まれると**骨に沈着して長期的な内部被ばく要因になる**

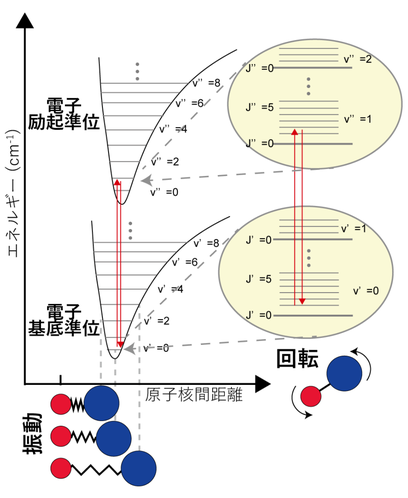
○ **放射線計測による分析手法が一般的**だが分析準備（分離精製などの化学的前処理）を含めると**結果を得られるまでに一か月程度を要する**

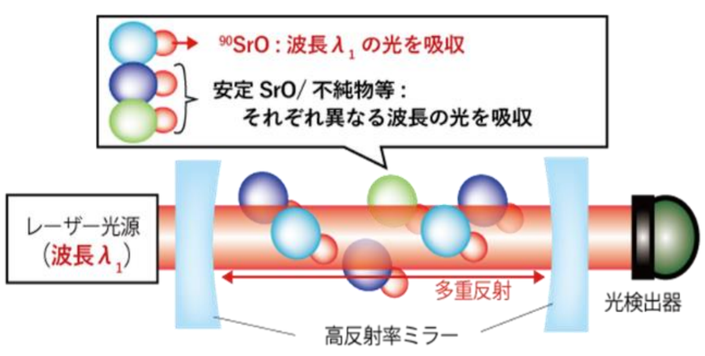
○ **より迅速・簡便で現場に近いところで^{90}Srを分析できる手法**が求められている

⇒ **レーザー吸収分光に基づく手法により^{90}Srを含む分子（酸化ストロンチウム: ^{90}SrO）を測定する新たな分析手法を提案**

その実現のための基礎検討として、**安定な（放射性物質ではない）SrO分子の吸収（波長870 nm付近）を観測する実験**を行った

②高感度レーザー吸収分光法





物質固有の光吸収を利用して測定対象を選択的に分析！ “レーザー吸収分光”

○ 原子や分子などの物質は、それぞれ**固有のエネルギー状態（電子状態・振動状態・回転状態などの組み合わせ）**を有する
⇒ 各状態間の差に相当するエネルギーを持った光を吸収/放出（発光）する

○ レーザー光は波長がそろった光（単一の光周波数、エネルギー）であり、**物質固有の吸収に合わせてレーザー光のエネルギー（光周波数、波長）を精密に制御可能**

光共振器による感度向上で微量物質の光吸収を見逃さず測定！ “光共振器強化型吸収分光法”

○ 吸収分光の感度は“**どれだけの長さ**”測定試料中を光が通過したか（光路長）に依存

○ 向かい合わせに高反射率ミラーを配置し（光共振器）、光を多重反射
⇒ **何度も試料を通過させることで感度を向上　（実効的な光路長は数kmにも及ぶ！）**

③SrOの赤外吸収を利用

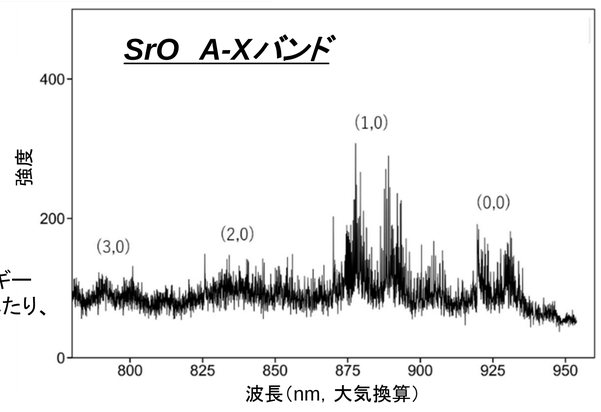
SrO固有の吸収は近赤外域に存在（A-Xバンド帯）

○ 発光分光実験によりSrOの遷移波長※を調査

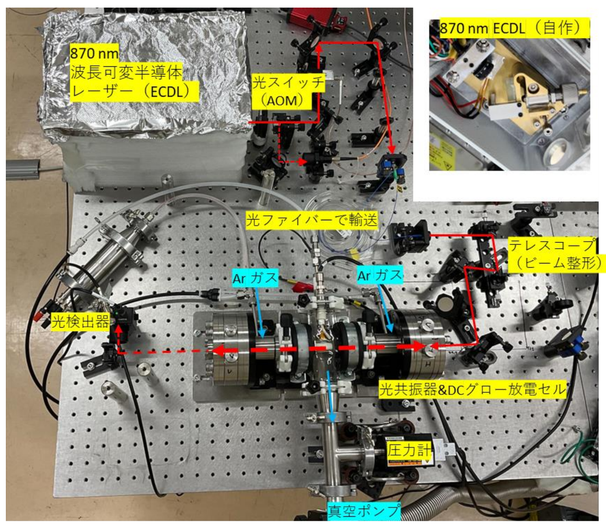
○ **A-Xバンドと呼ばれるSrOのエネルギー遷移**を観測した（既往の報告と一致）

○ (0,0)@920 nm帯～(3,0)@780 nm帯までを観測できた

※ 遷移波長とは、分子の各エネルギー状態間の差に相当するエネルギーを持った光の波長のことで、その波長の光を特異的に放出（発光）したり、吸収したりする



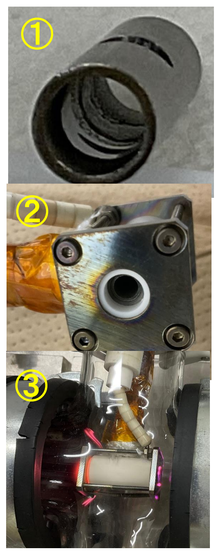
④吸収分光実験系



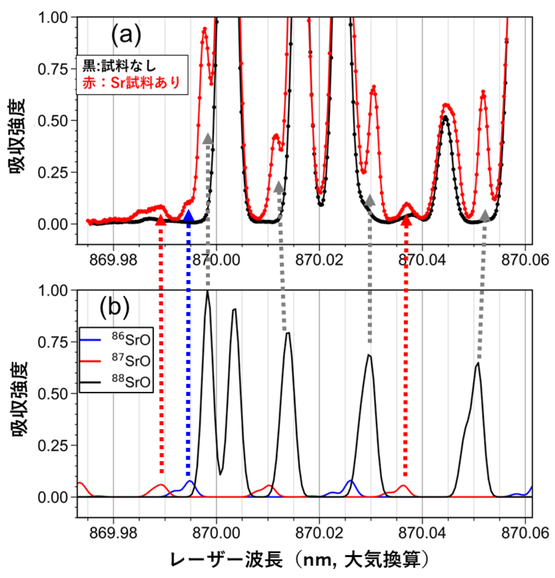
① 硝酸ストロンチウム溶液をチタン管内部に塗布

② 放電セルに挿入し、中央穴にレーザー光を通すように光学調整

③ 放電させて光路上にSrOを生成



⑤実験結果

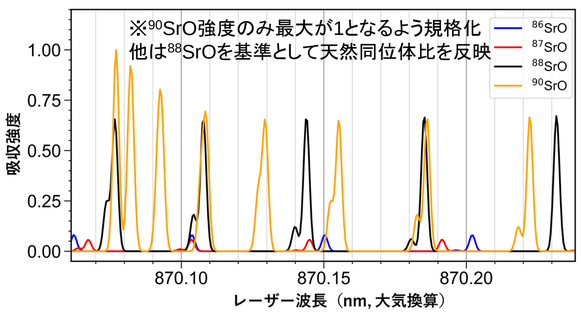


安定Sr同位体（^{88}Sr, ^{87}Sr, ^{86}Sr）を含むSrOの870 nm帯吸収を観測

○ 観測されたSrOの870 nm帯吸収（左上図）は理論計算で予想された吸収位置・形状とおおむね一致（左下図）
⇒ 安定Sr同位体（^{88}Sr, ^{87}Sr, ^{86}Sr）を含むSrOの明瞭な吸収をそれぞれ観測

吸収分光によるSrO同位体分光は世界初！

※ 試料がない場合にも見られているピークについては由来を調査中



^{90}SrO吸収の計算による予測

○ 実験結果をもとに^{90}SrOの吸収波長を**計算により推定**した

○ **安定SrOと重ならない^{90}SrOの吸収を複数観測できる見込み**を得た

⑥まとめ・課題

□ まとめ

○ **安定SrO（^{88}SrO・^{87}SrO・^{86}SrO）の870 nm帯吸収**を光共振器強化型吸収分光により**観測**できた
⇒ レーザー吸収分光に基づく^{90}Sr分析実現に向けて、放射性核種を含む分子の吸収を観測・評価するための技術基盤を確立できた

□ 新規分析法実現に向けた課題

① ^{90}SrO吸収の観測を実証
② 効率的な試料のSrO分子への変換法を開発
③ 「試料導入→試料中SrをSrO分子に変換→吸収分光」の分析プロセス全体を確立