

光ファイバー单一原子分光システム

東京理科大学 理学部第一部物理学科
准教授 佐中薰

2025年11月11日

背景と課題

希少な採取試料について詳細な組成分析を必要とする分野は、以下のように多岐にわたる。原子・分子レベルでの精密分析技術が求められている。

- 小惑星探査機が採取した希少な地球外物質組成
- 人体に有害な放射性物質の同位体比率
- 鉱山候補地におけるレアアース含有量

これらの目的に向けて、採取試料を封入した光ファイバーを延伸してテープー加工する、単一原子分光法を提案する。手順は以下の通り。

- ① 光ファイバーへの希少サンプルの封入・延伸、単一原子・分子化
- ② 単一原子・分子サンプル添加光ファイバーの蛍光分光測定
- ③ 標準データとの比較により元素種、存在比を特定

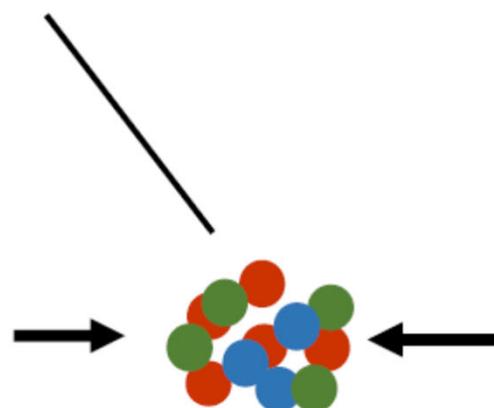
本技術のコアテクノロジー

採取試料の光ファイバーへの封入作業

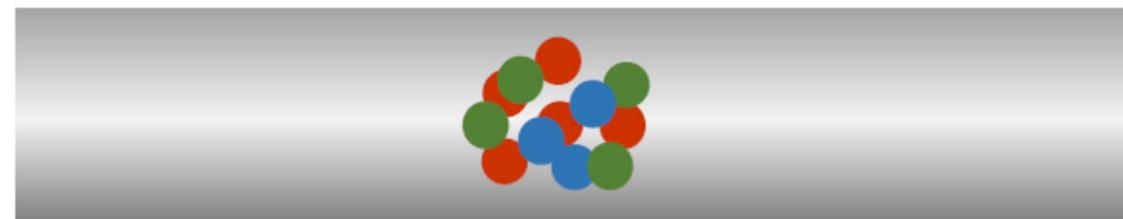
複数の原子(または同位体)を含む希少サンプル

- 原子A
- 原子B
- 原子C

光ファイバケーブル
↓ $\sim 4.4 \mu\text{m}$



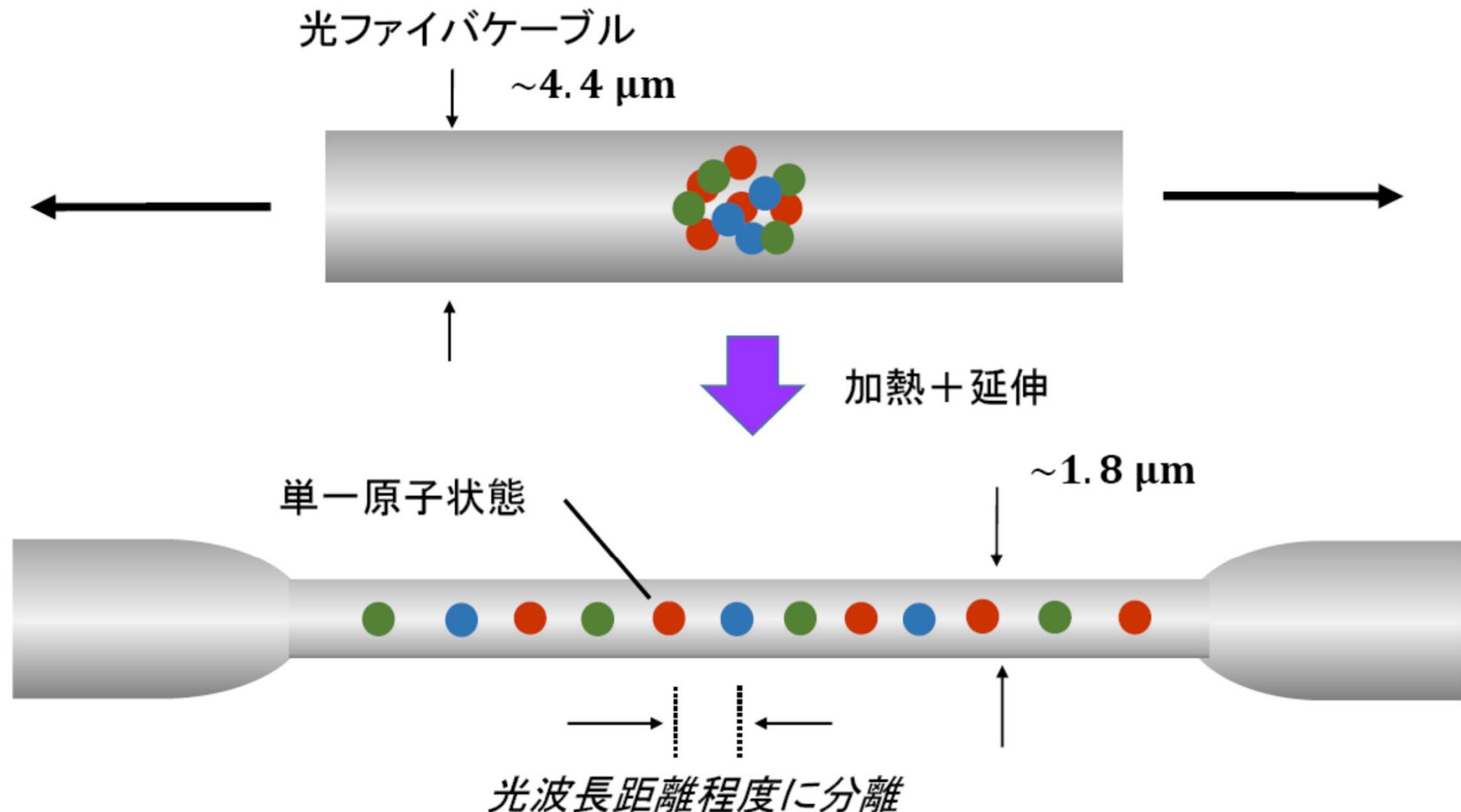
融着装置による結合



* サンプル閉じ込め作業に関してはスパッタリング法などの他の手法も考えられる。

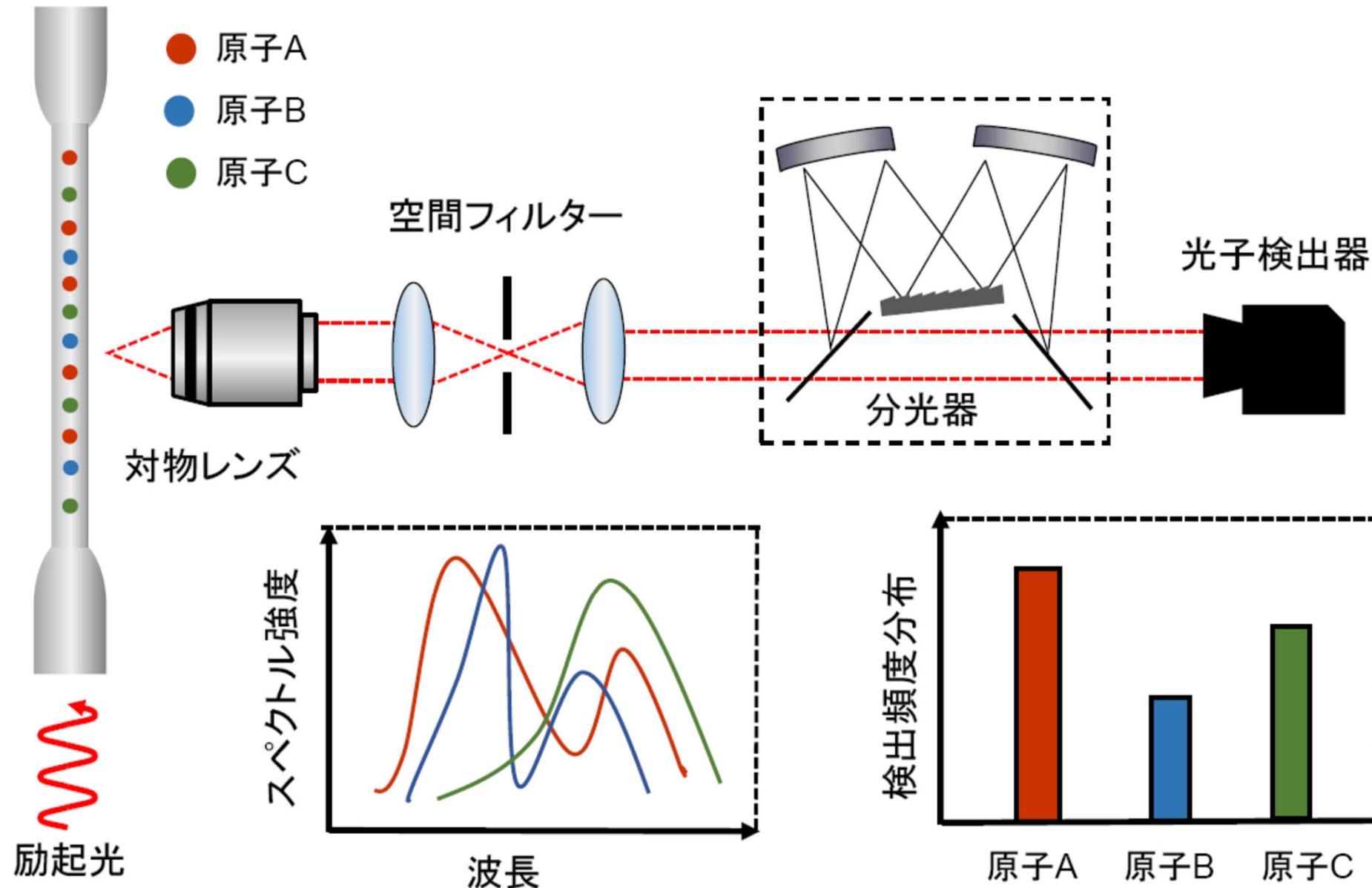
本技術のコアテクノロジー

採取試料を封入した光ファイバーのテープー加工作業



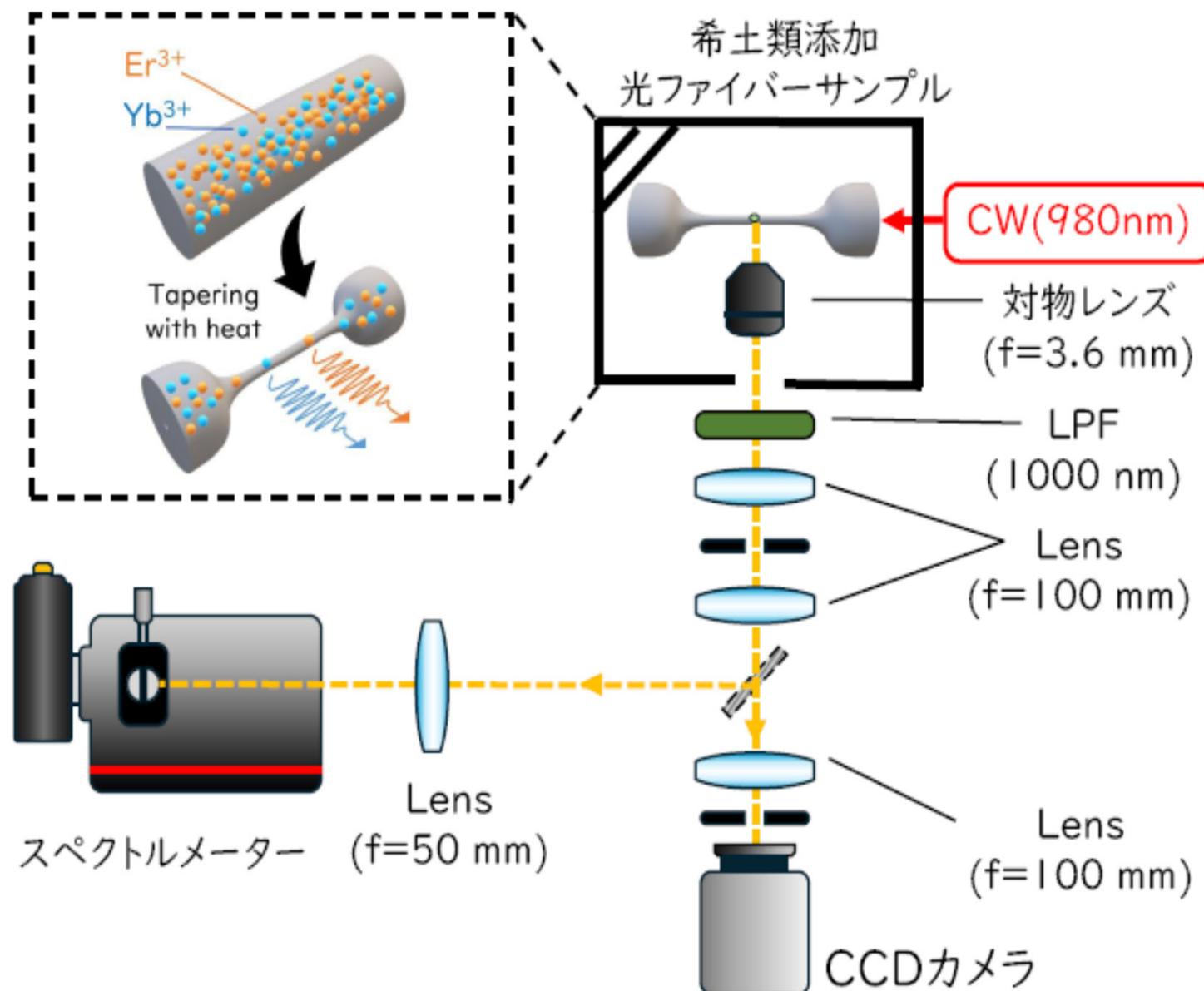
本技術のコアテクノロジー

光ファイバー内採取試料からの分光と組成解析



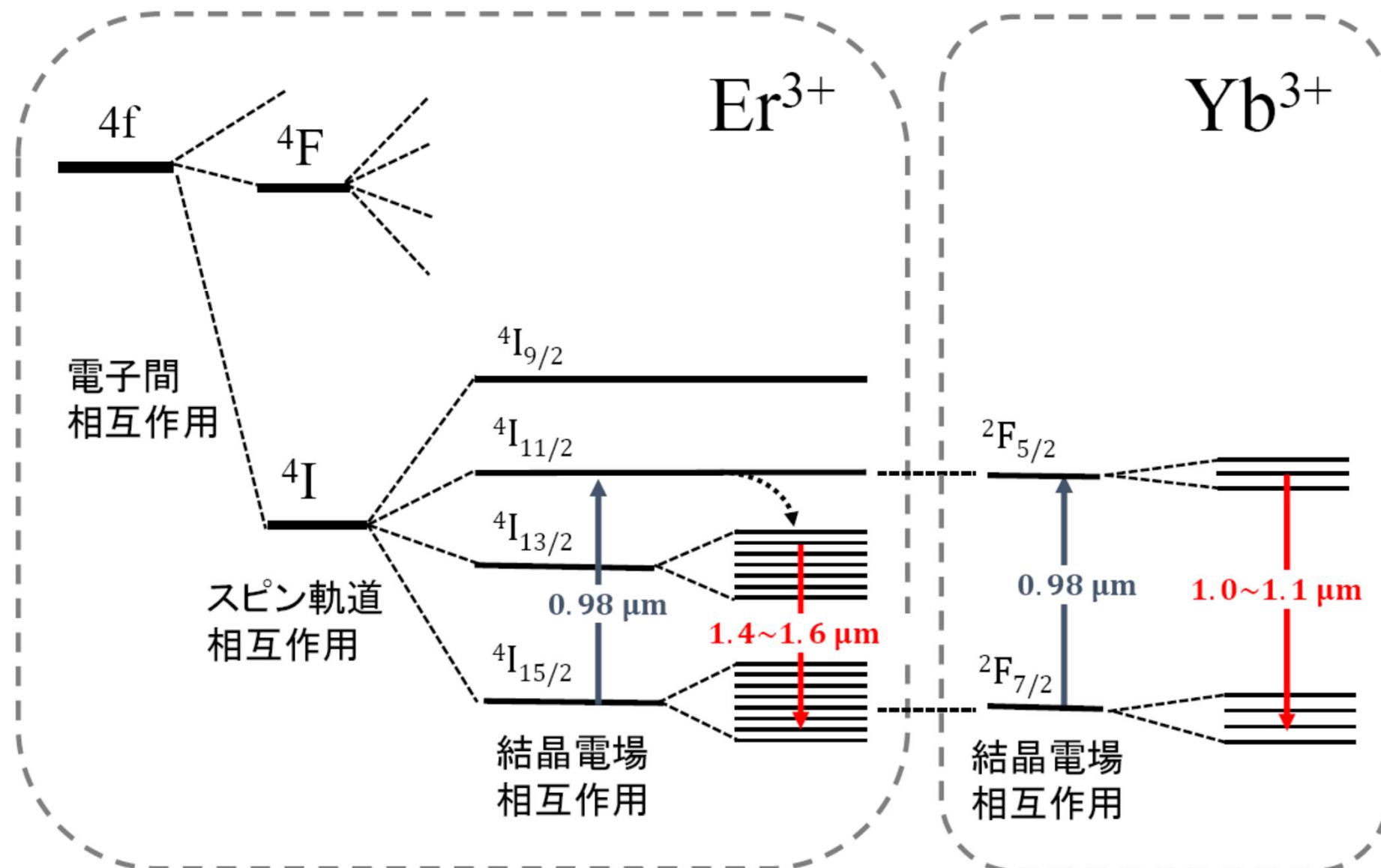
実証実験

2種類の希土類原子(Yb^{3+} , Er^{3+})共添加光ファイバーの分光実験



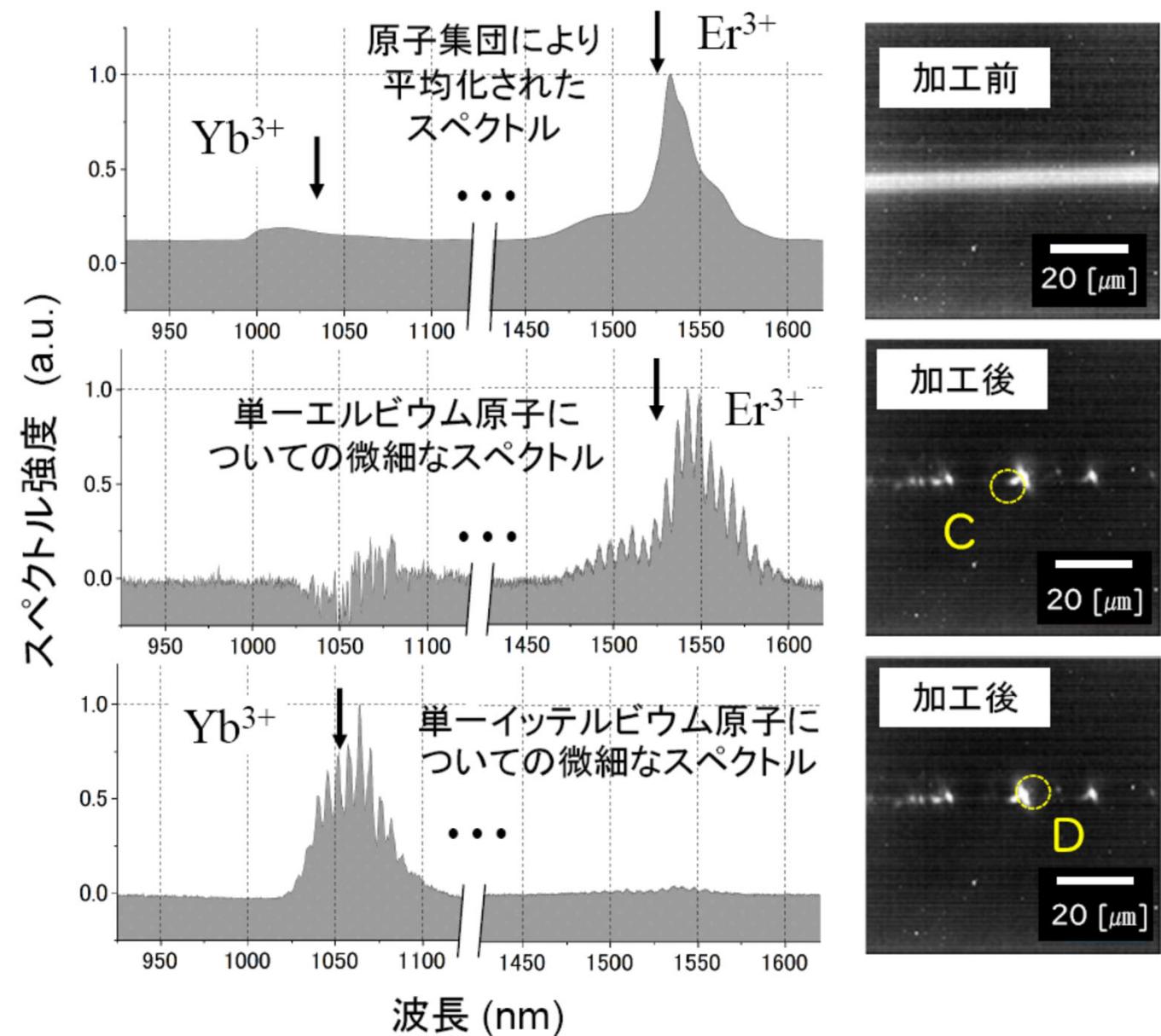
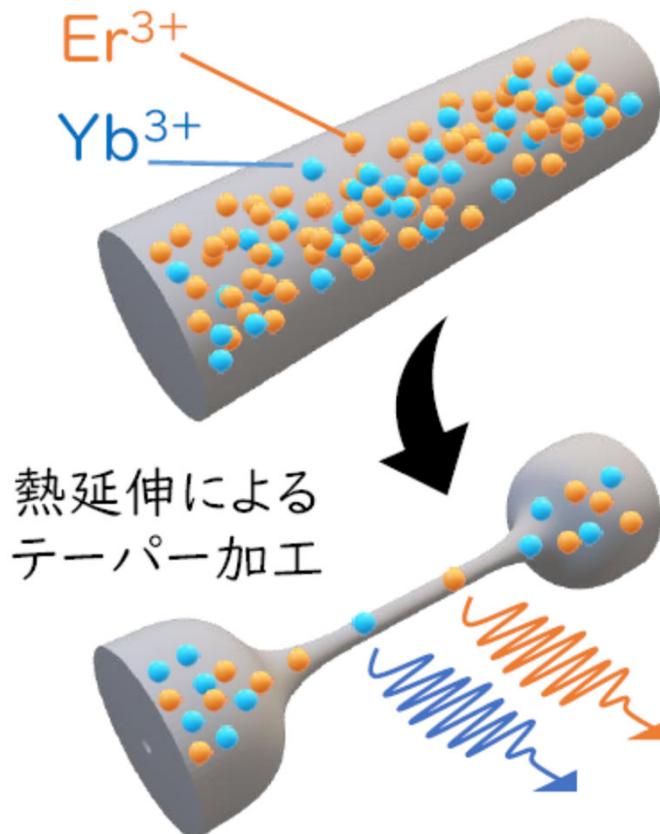
実証実験

2種類の希土類原子(Yb^{3+} , Er^{3+}) の励起エネルギー準位

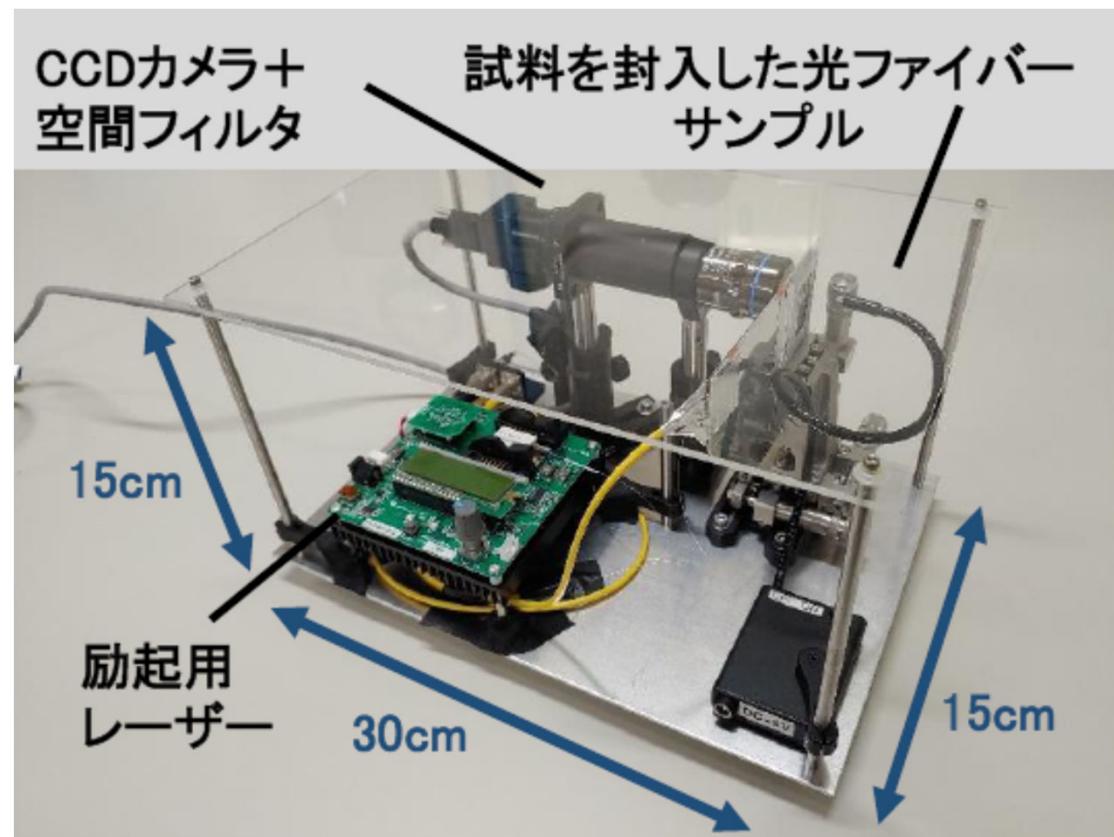
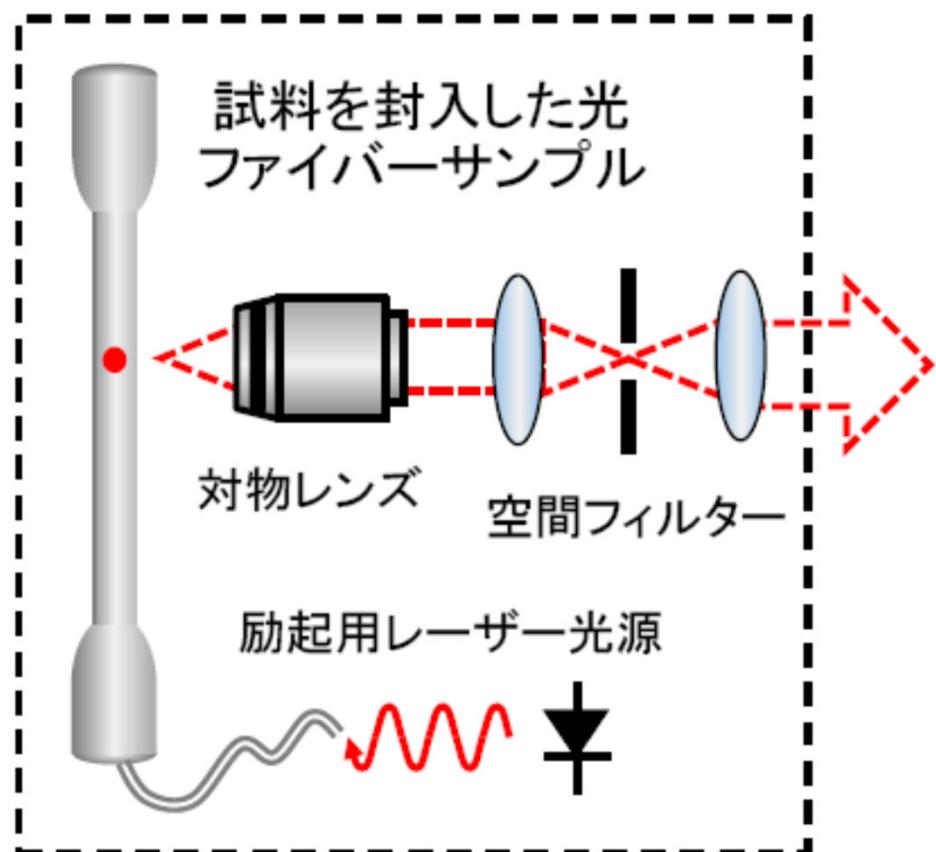


実証実験

加工前と加工後のスペクトルの違いとその発光の様子



コアテクノロジー実装方法



新技術の特徴・従来技術との比較

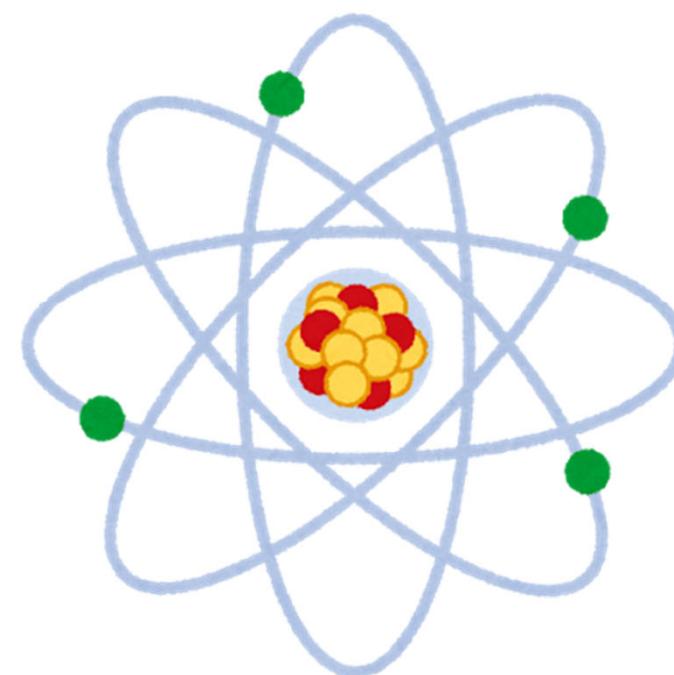
	従来の元素分析	単一原子分光法
コスト	<ul style="list-style-type: none"> ・分析装置が高価 ・ランニングコストが高い 	<ul style="list-style-type: none"> ・低コストで製造可能 ・試料準備が容易で、ランニングコストも低い
必要なサンプル量	<ul style="list-style-type: none"> ・発光/吸光スペクトルを得るには相当量が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・単一原子・分子レベルでの解析が可能で、極めて少量でも分析可能
スペクトル分析の精度	<ul style="list-style-type: none"> ・原子・分子集団のため、平均化されたスペクトルのみ測定可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・単一原子・分子のため、より微細なスペクトルを測定可能
微量成分の分析	<ul style="list-style-type: none"> ・複数種類の原子・分子が混合している場合、相対的に少ない量の物質の分析は困難 	<ul style="list-style-type: none"> ・分離した個々の原子・分子の分析が可能なため、相対含有量が少ない成分の分析が容易

想定される用途

小惑星探査機が
採取した希少な
地球外物質組成



人体に有害な
放射性物質の
同位体比率



鉱山候補地
におけるレア
アース含有量



実用化に向けた技術課題

- ✓ 光ファイバーへの採取資料封入技術
 - 光ファイバー融着装置によりサンプル封入
 - 光ファイバー延伸装置によりテーパー加工

- ✓ 単一原子・單一分子から放出される光子の検出技術
 - 分光器へ通信波長单一光子検出器の導入

社会実装への道筋と企業への期待

- 希少サンプル分析の社会ニーズ発掘
 - 宇宙分野、鉱物・地質調査分野、放射性元素・アイソトープ、バイオ、その他
 - 人体に有害等の理由で、従来の分析手法は実施困難な領域
 - 元素の種類、イオン価等をごく微量な試料で精密に特定したい領域
- 波長領域拡大のための検出器の共同研究
 - 現状の近赤外に加えて、中赤外、遠赤外波長への拡張
- 用途に応じたサンプル封入メカニズムの共同開発
 - (例)サンプル取得からファイバ一封入までの自動化・ロボット開発

企業への貢献、PRポイント

以下のように限られた量の採取試料について詳細な組成分析を必要とする分野は多岐にわたる。

- ✓ 小惑星探査機が採取した希少な地球外物質
- ✓ 人体に有害な放射性物質の同位体
- ✓ 鉱山候補地におけるレアアース含有量
- ✓ その他、従来の方法では困難な分析

テープー加工した光ファイバー内に封入した試料の单一原子分光法では、極めて微量の採取試料で観測スペクトルから試料の組成分布を計測することができるようになり、従来の原子・分子試料を用いた分光法では不可能な、单一原子・分子レベルでの発光スペクトルの測定を可能にする。

本技術に関する知的財産権

出願番号:特願 2025-142772

発明者:佐中 薫

発明の名称: 元素分析装置、光ファイバ、および
元素分析方法

出願日:令和7年8月28日

お問い合わせ先

東京理科大学
産学連携機構

TEL 03-5228-7440

e-mail shinsei_kenkyu@admin.tus.ac.jp