

X線散乱/XAFS 分析とシミュレーションによる増幅用ファイバ解析

住友電気工業(株) 斎藤吉広

エルビウム(Er)を添加した SiO₂ファイバ(EDF)は、波長 1.55 μm 帯の光増幅器に広く用いられている。EDF では、Al 共添加により増福利得の平坦化と帯域拡大を実現できることが知られているが、その詳細な機構は解明されていない。本研究では、放射光分析とシミュレーションを組み合わせることで EDF の構造解析を行い、更に得られた構造モデルから Er の蛍光スペクトルを計算し、実測との比較を行った。

Al 添加量 0~6.5wt% の EDF に関し、X線散乱と XAFS の測定を行った。試料には、Er が添加されている 15 μm 径のコア部のみを精密エッチングで抽出したものをを用いた。Er 吸収端近傍での XAFS 分析から、Al 添加により Er-O の配位数増加と距離拡大が生じていることが確認された。また、分子動力学(MD)シミュレーションにより作製した EDF 構造モデルは、放射光分析の結果を定性的に再現できることを確認した。更に、構造モデルを用いて Er 蛍光スペクトルを計算した結果(Judd-Ofelt 解析)、Al 共添加による長波長側でのスペクトルブロード化の傾向を再現できることが分かった。EDF の構造と特性の制御においては、Er に対する第二近接原子の性質が重要な役割を果たしていると考えられる。

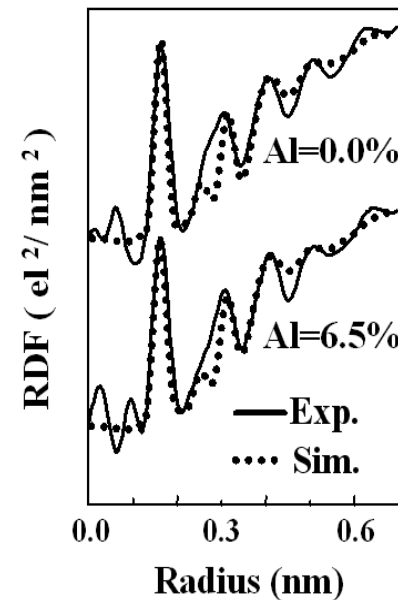


図1 X線散乱と MD シミュレーションによる EDF の動径分布関数

第6回 SPring-8 産業利用報告会

X線散乱、XAFS、MDシミュレーションを用いた 光増幅用ファイバの構造解析

2009/09/03

住友電気工業(株)

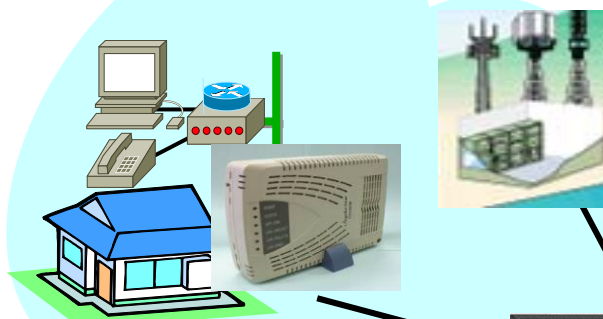
○齋藤 吉広, 飯原 順次, 春名 徹也, 山口 浩司

東京大学 生産技術研究所

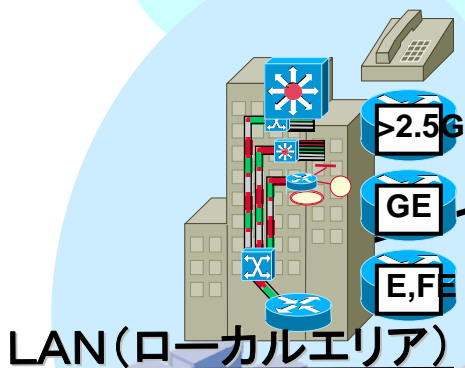
井上 博之

ブロードバンドネットワークと光部品

モバイル基地局

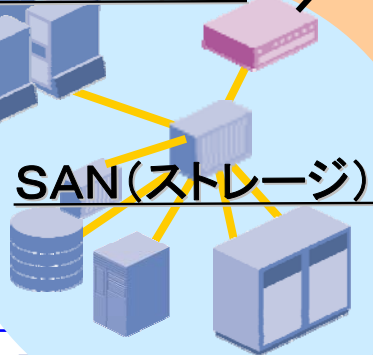


光アクセス



LAN(ローカルエリア)

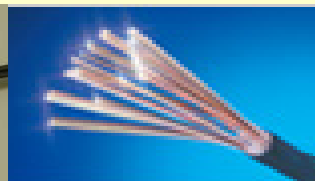
SAN(ストレージ)



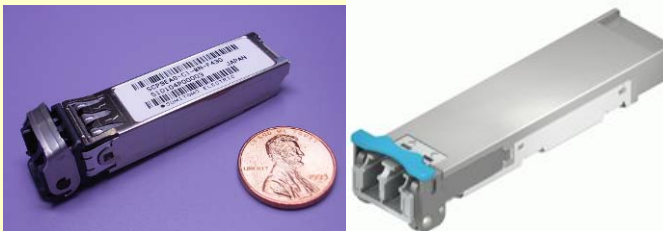
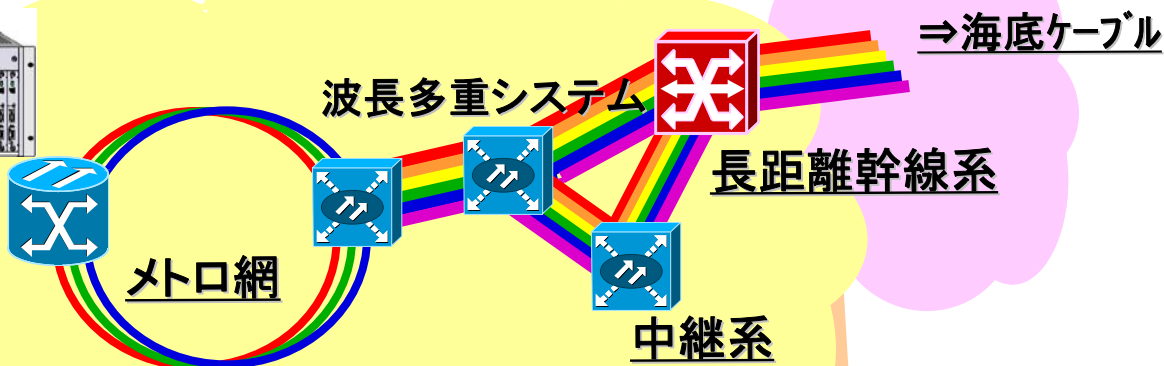
光ファイバアンプ



光カップラ



光ファイバ

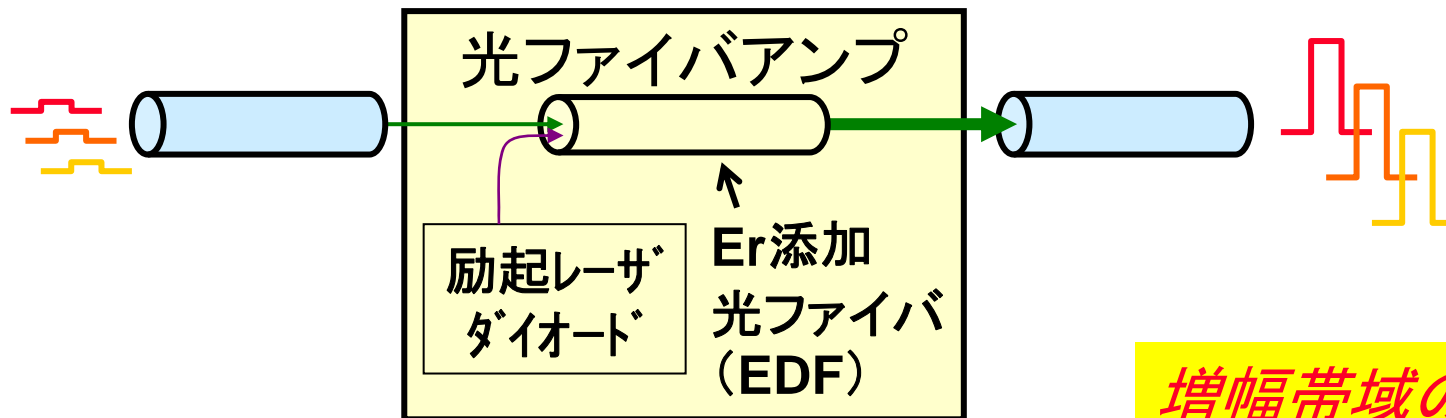


光送受信モジュール



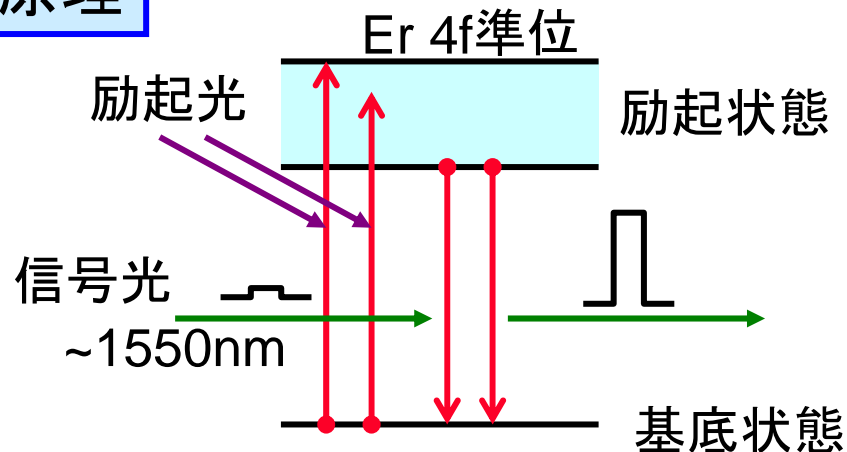
光増幅器とEr添加ファイバ (EDF)

光信号増幅：電気信号への変換が不要 ⇒ 高速伝送が可能

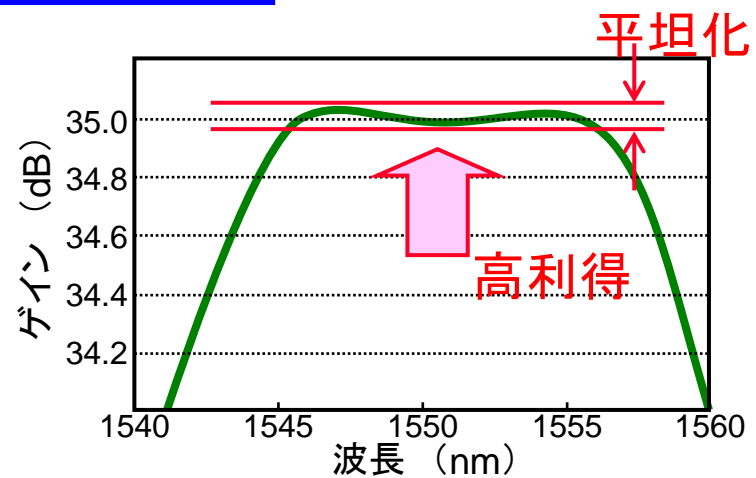


増幅帯域の拡大
⇒ 更なる大容量化

原理

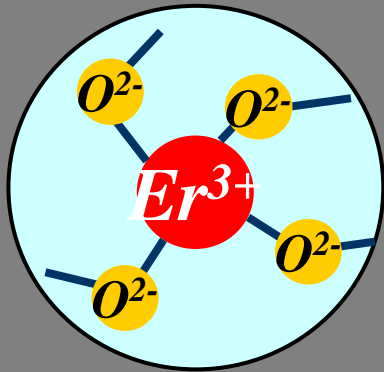


増幅特性

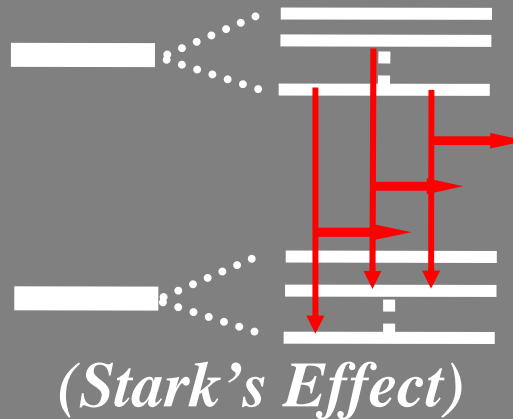


AI共添加⇒EDF帯域拡大に一定の効果

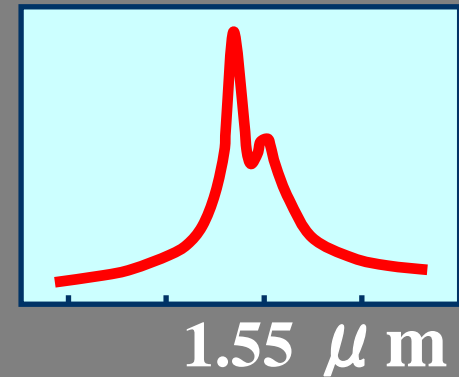
基本的なスキーム



[Er4f Levels]

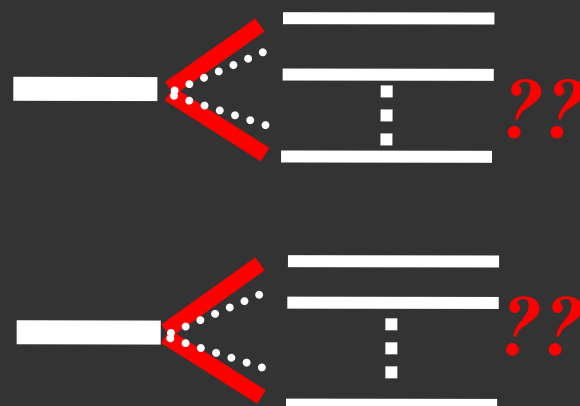
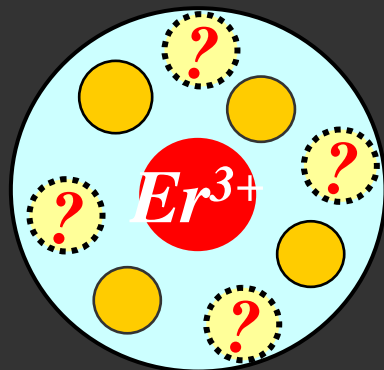


[蛍光スペクトル]

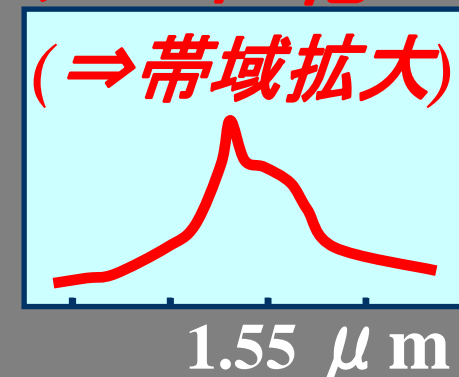


AI共添加

•機構は未解明



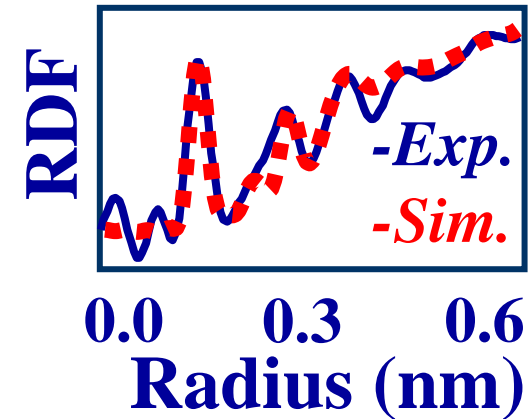
ブロード化
(⇒帯域拡大)



本研究の目的: EDF構造解析⇒機構解明

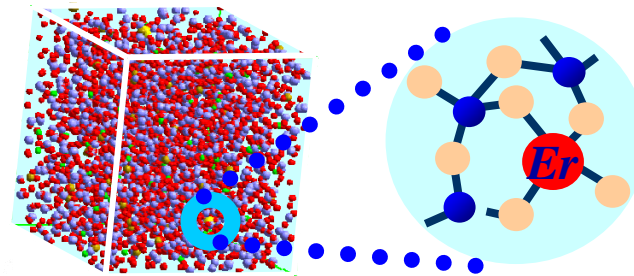
放射光分析

- X線散乱 & XAFS
- 動径分布関数 (RDF)



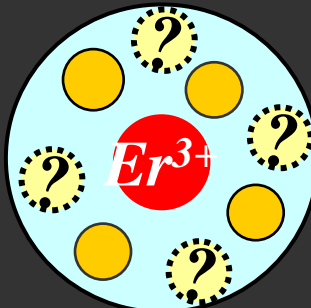
MDシミュレーション

- 構造モデル
- RDF計算, etc



AI共添加

構造変化

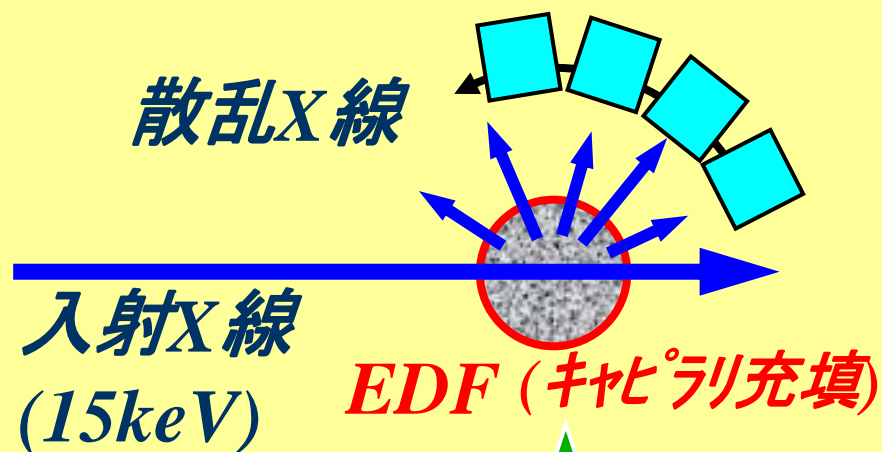


- 何が変化? (What)
- 何故AIで? (Why)

X線散乱測定

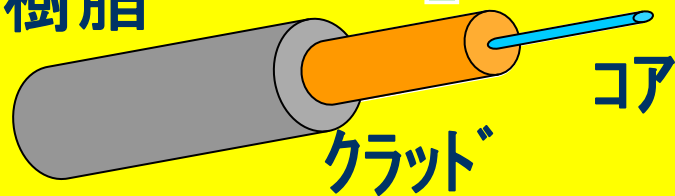
[測定スキーム]

シンチレーションカウンタ (SC)
& ソーラースリット (SS)



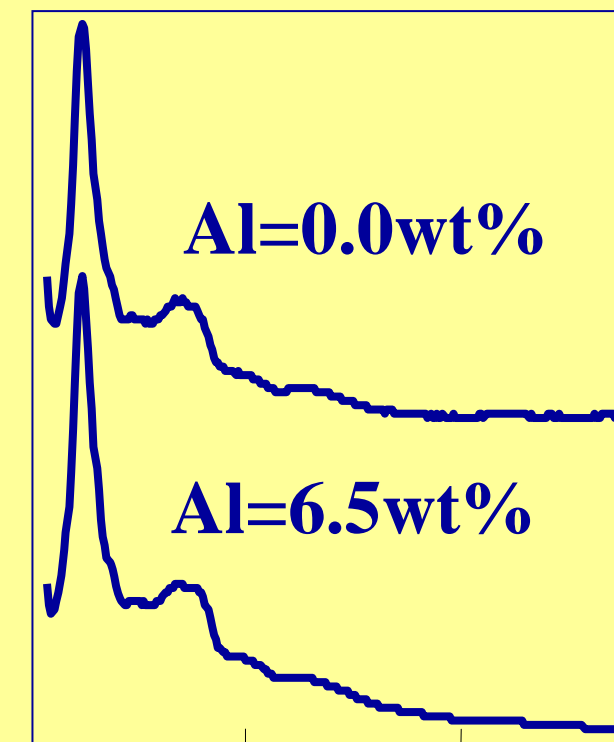
試料作成

樹脂



[散乱スペクトル]

Intensity (arb. unit)

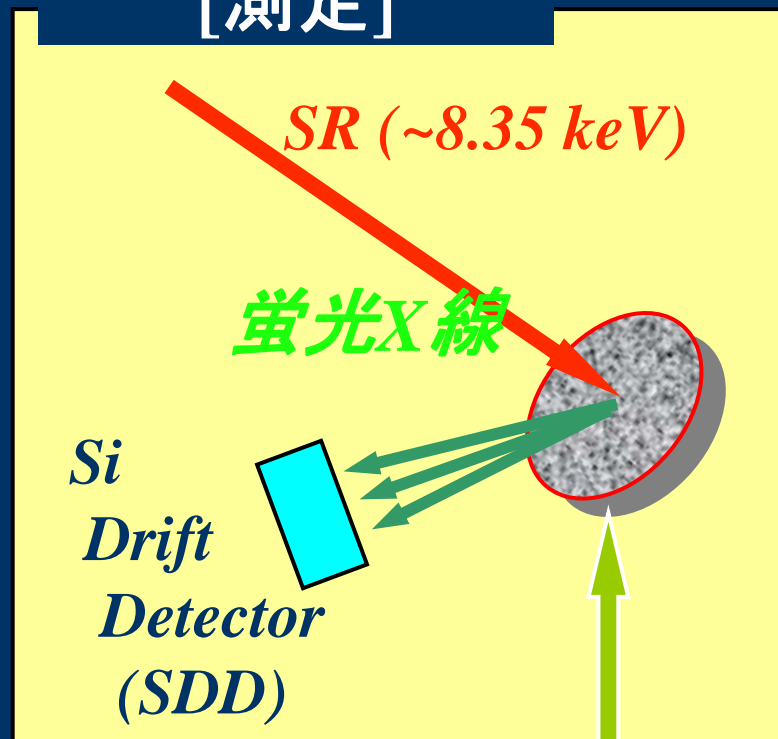


0 50 100

散乱角 (deg.)

XAFS測定 (Er L_{III}-吸収端)

[測定]



EDFコア(ガラス)粉末を
プレート表面に分散

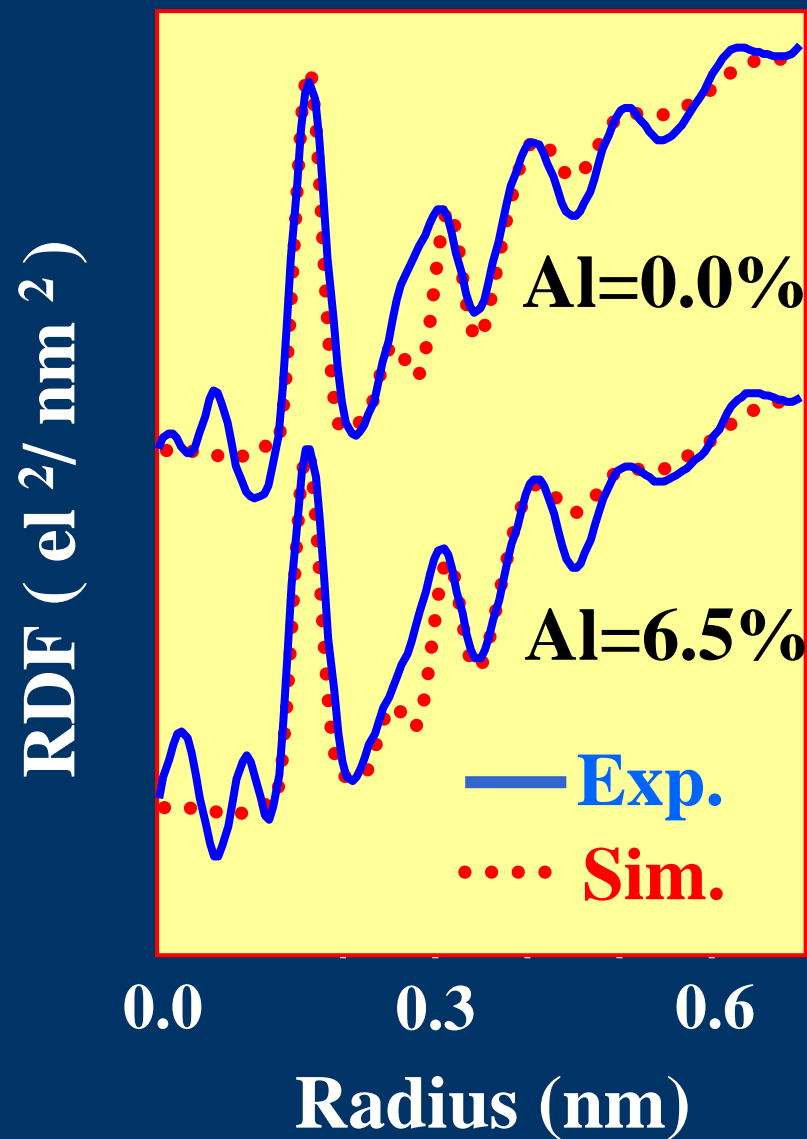
[XAFSスペクトル]

Fluorescent X-ray (a. u.)

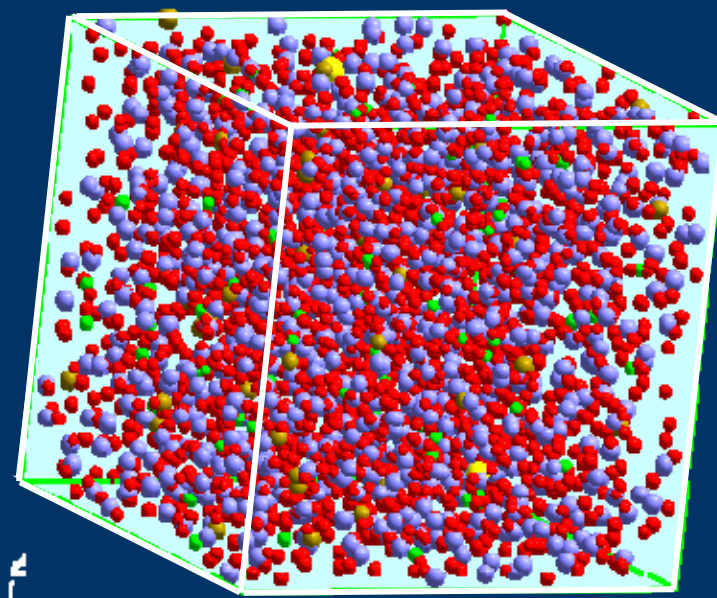


X-ray Energy (keV)

結果 (1) RDF(X線散乱)

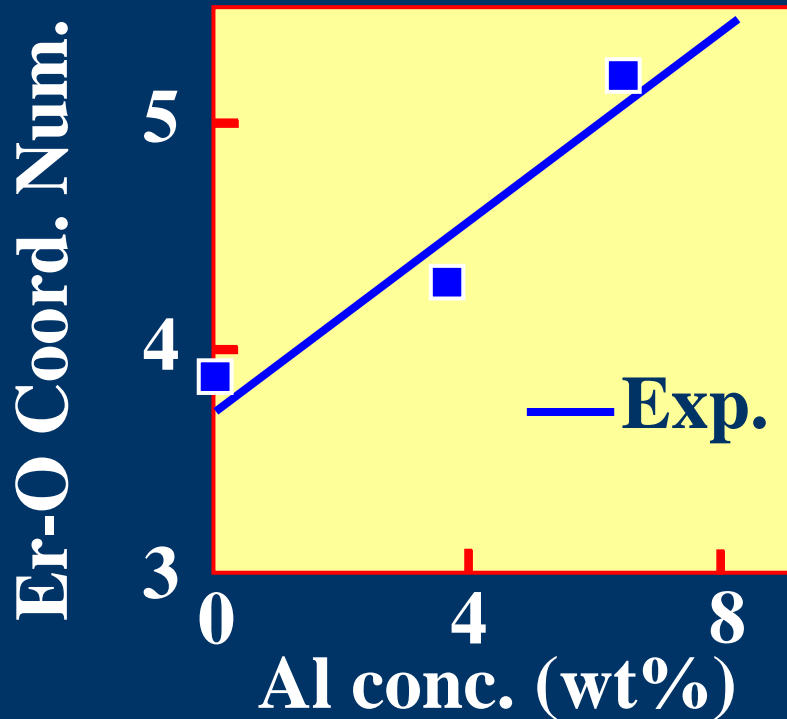


シミュレーションによる
構造モデルの例

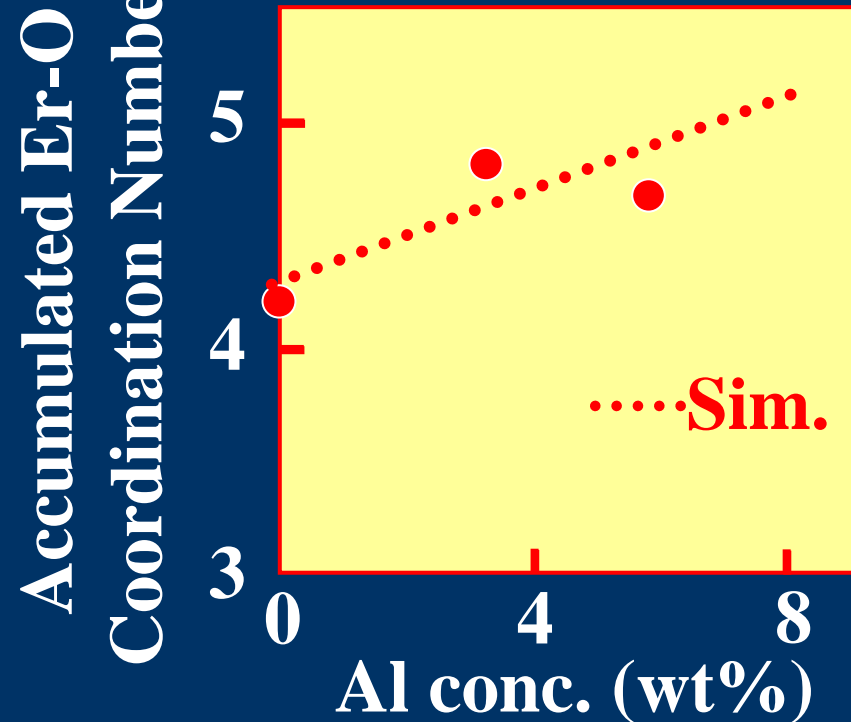


結果(2) Er-O配位数

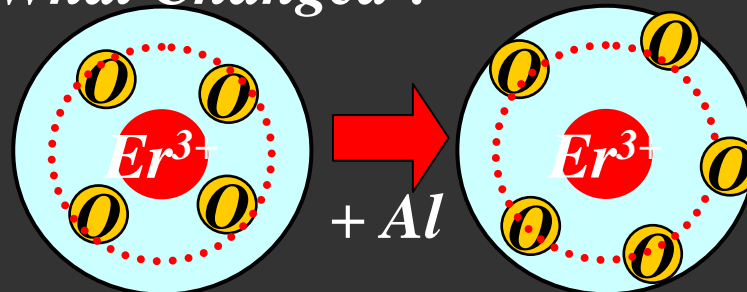
XAFS 測定



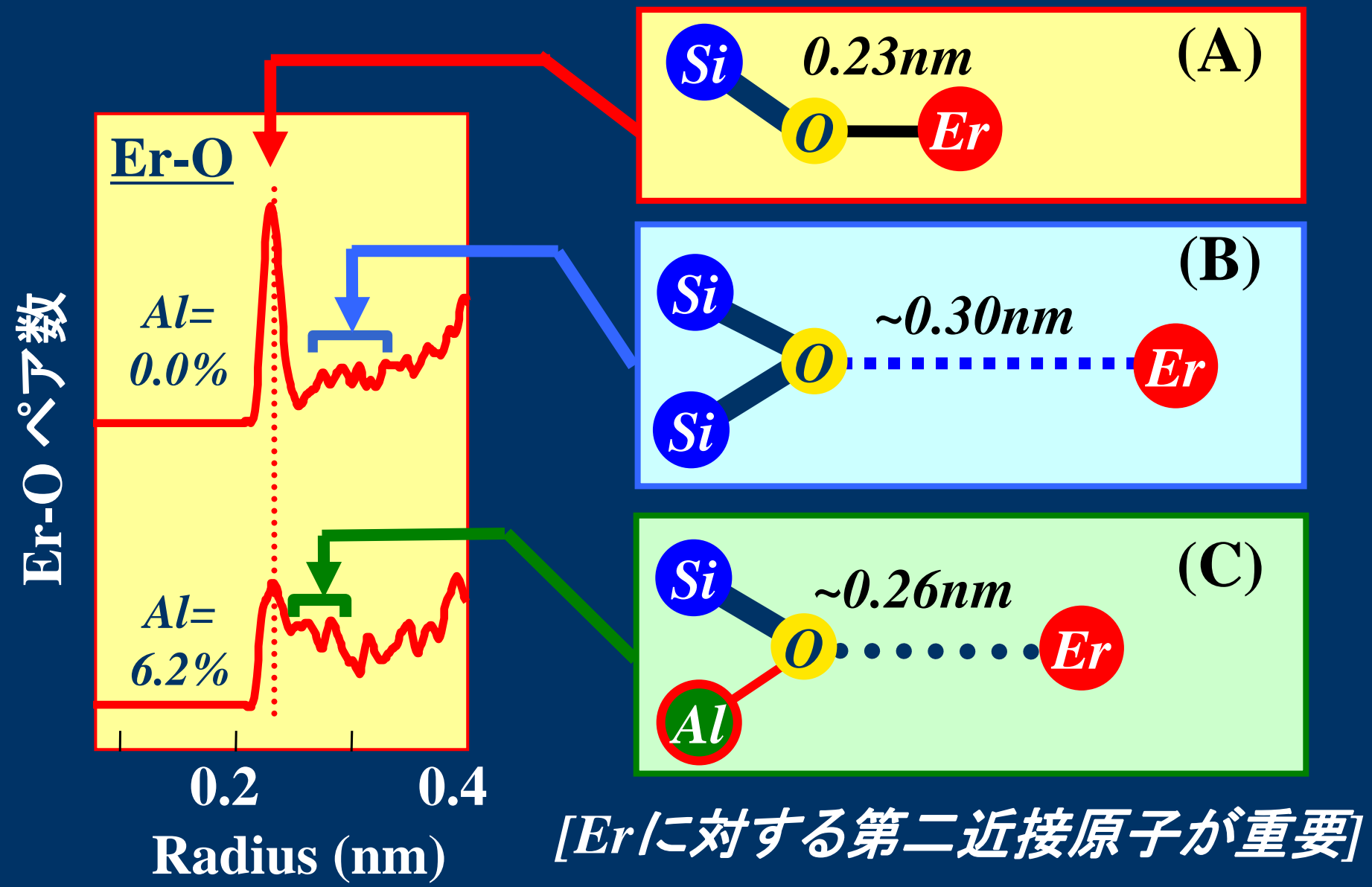
MD シミュレーション



•What Changed ?

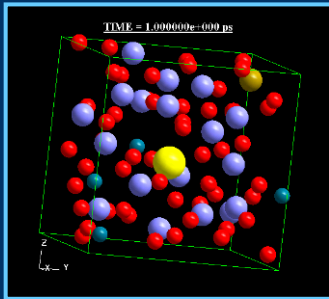


結果(3) Er周囲の局所構造

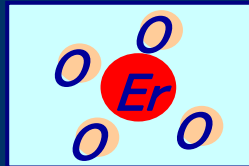


結果(4) Er蛍光スペクトルの計算

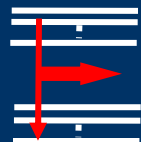
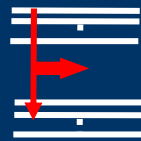
構造モデル



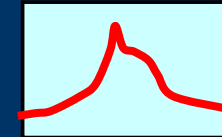
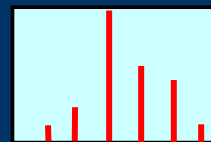
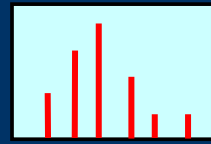
配位構造



Er4f軌道
エネルギー



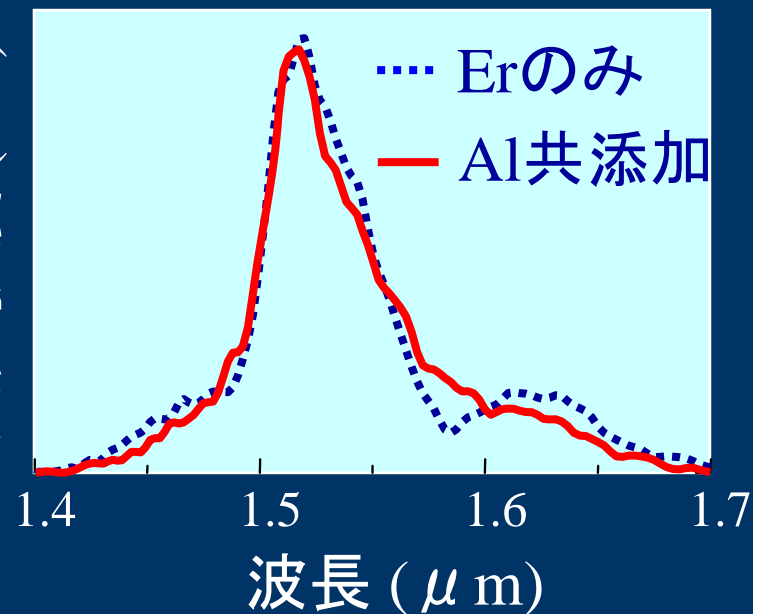
スペクトル



- ・構造モデル→Er周囲の電場
- ・エネルギーと遷移確率計算(摂動法)

Al共添加→蛍光スペクトルブロード化
……シミュレーションで定性的に再現

蛍光強度 (a.u.)



まとめ

放射光分析と分子動力学シミュレーションを組み合わせ、
Al共添加によるEDF構造の変化を解析した:

- (1) EDFコア($\sim 15 \mu\text{m}$ 径)の X線散乱/XAFS測定に成功。
- (2) MDシミュレーション \Rightarrow X線散乱/XAFS結果を定性的に再現。
- (3) Al共添加による構造変化 = Er-O距離の増大、及び、
Er-O配位数の増加であることを確認。
- (4) Erに対する第二近接原子(Si or Al)がEr局所構造に
大きく影響すると考えられる。
- (5) MD構造モデルからEr蛍光スペクトルを計算し、Al共添加
によるブロード化を定性的に再現。