



# 新材料を創る

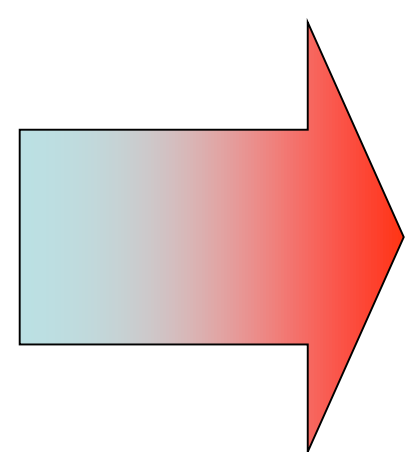
化学研究所  
島川研究室

何故新しい「無機機能性材料」が必要なのでしょう？

「機能性材料の研究」=急速に発展するIT社会を支える基盤技術

将来のエレクトロニクス分野では、  
新しい多彩な機能(特性)が要求されています

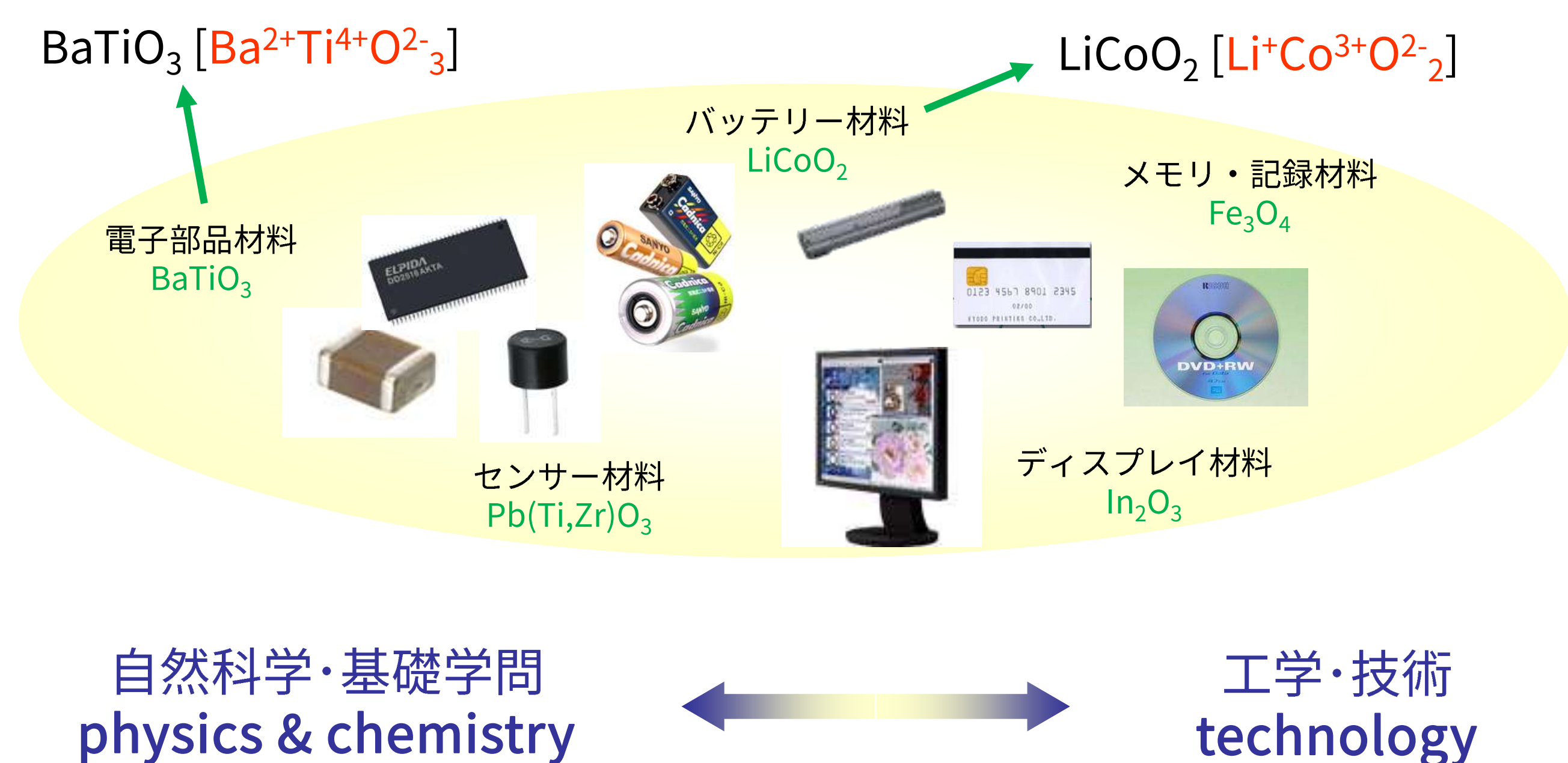
人間の限らない要求(便利さ、快適さ)に応える  
エネルギー・資源問題に応える  
科学技術の進歩に応える



新しい機能性材料の探索・研究  
新しい機能発現のための特性研究

## 無機機能性材料とイオン結晶

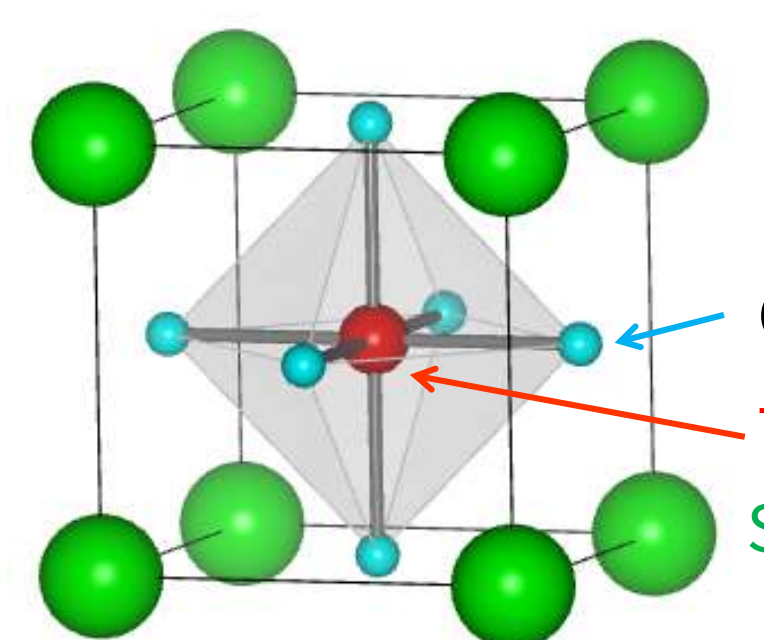
FeやCoなどの酸化物の多くはイオン結晶です  
その特性のいくつかは実用材料の機能として役立っています



## イオン結晶

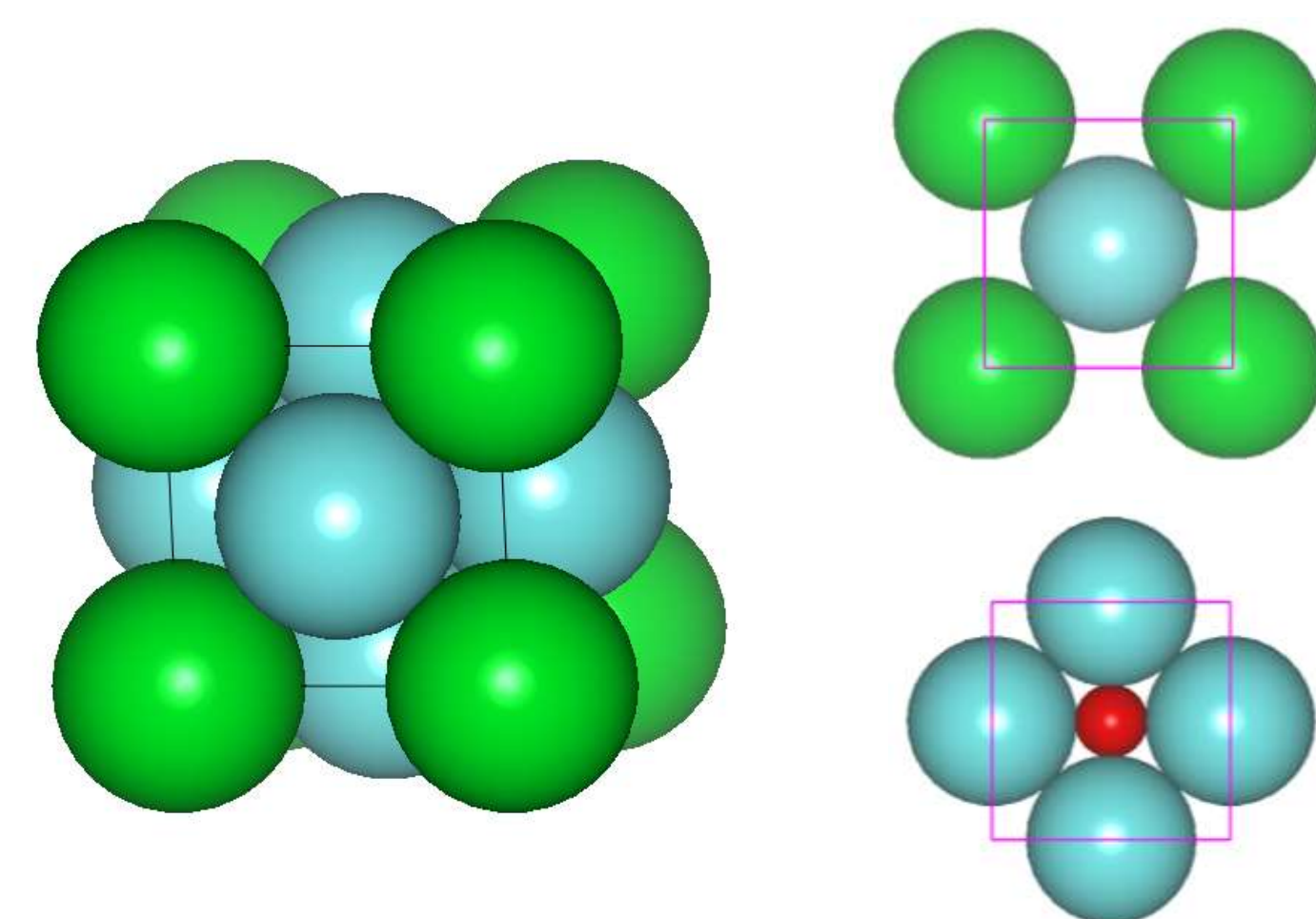
イオン結晶では静電引力が支配的であるため  
陽イオンは陰イオンに囲まれ  
陰イオンは陽イオンに囲まれています

例: チタン酸ストロンチウム  
Sr<sup>2+</sup>Ti<sup>4+</sup>O<sub>3</sub>



ペロブスカイト型結晶構造  
 $a = 3.905 \text{ \AA}$

無色透明な結晶



Sr: [Kr] (5s)<sup>2</sup>  
Ti: [Ar] (3d)<sup>2</sup> (4s)<sup>2</sup>  
O: (1s)<sup>2</sup> (2s)<sup>2</sup> (2p)<sup>4</sup>

Sr<sup>2+</sup>: [Kr]  
Ti<sup>4+</sup>: [Ar]  
O<sup>2-</sup>: (1s)<sup>2</sup> (2s)<sup>2</sup> (2p)<sup>6</sup>: [Ne]

## 酸化鉄:古くて新しい機能性酸化物材料

Fe: [Ar]3d<sup>6</sup>4s<sup>2</sup> + O: [He]2s<sup>2</sup>2p<sup>4</sup>p<sup>2</sup>

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (酸化第二鉄:ヘマタイト)

Fe<sup>3+</sup><sub>2</sub>O<sub>2</sub><sup>-3</sup>

フランス、ラスコーの壁画の赤  
高松塚古墳の魔よけの赤  
ベンガラ



Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (四酸化三鉄:マグネタイト)

Fe<sup>2+</sup>Fe<sup>3+</sup><sub>2</sub>O<sub>2</sub><sup>-4</sup>

人類が見出した最古の磁石  
磁石、磁気記録材料



FeO (酸化第一鉄:ウスタイト)

Fe<sup>2+</sup> O<sup>2-</sup>



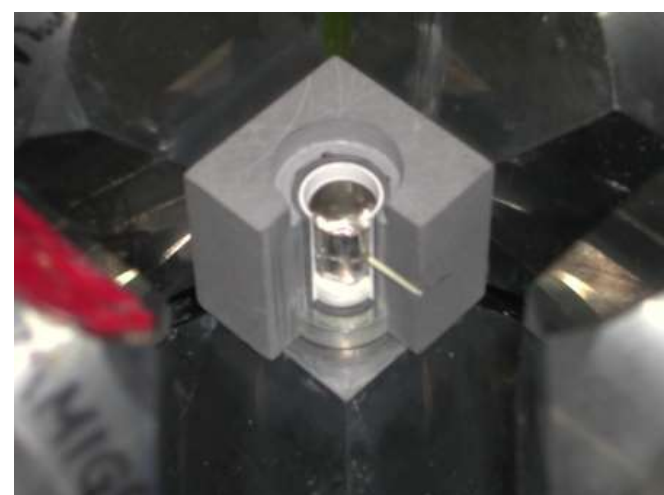
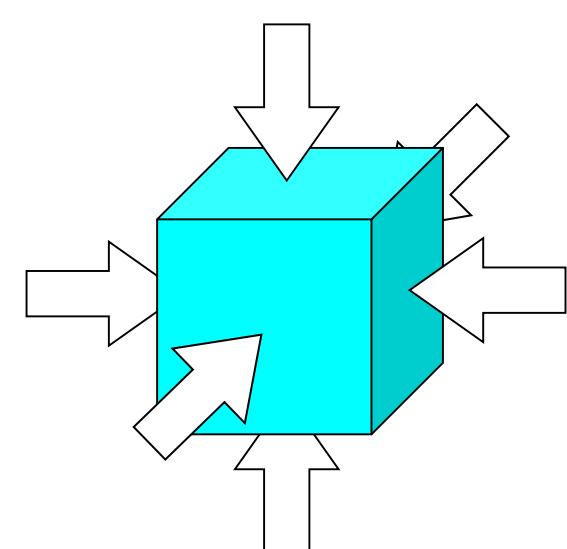
AFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (A = Mn, Co, Ni, Cu, Zn, etc): スピネルフェライト

AFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> (A = Ba, Sr, Pb, etc): 六方晶フェライト

磁気記録材料として多く使われている



## 高压合成



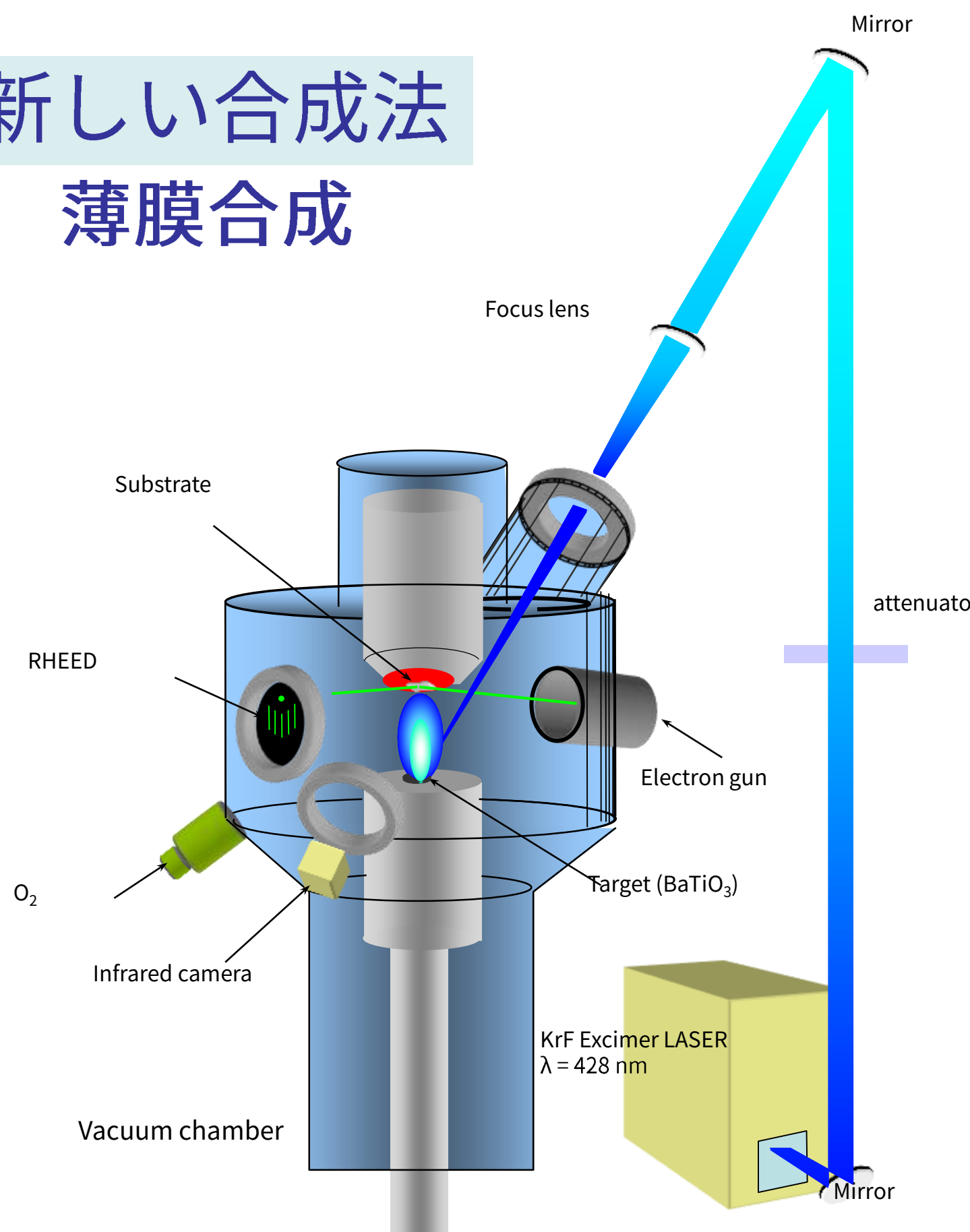
圧力 2~10 GPa、温度 1000~1500°C の  
環境下での物質合成

1 Pa (パスカル) は、1平方メートル (m<sup>2</sup>) の面積につき  
1ニュートン (N) の力が作用する圧力または応力

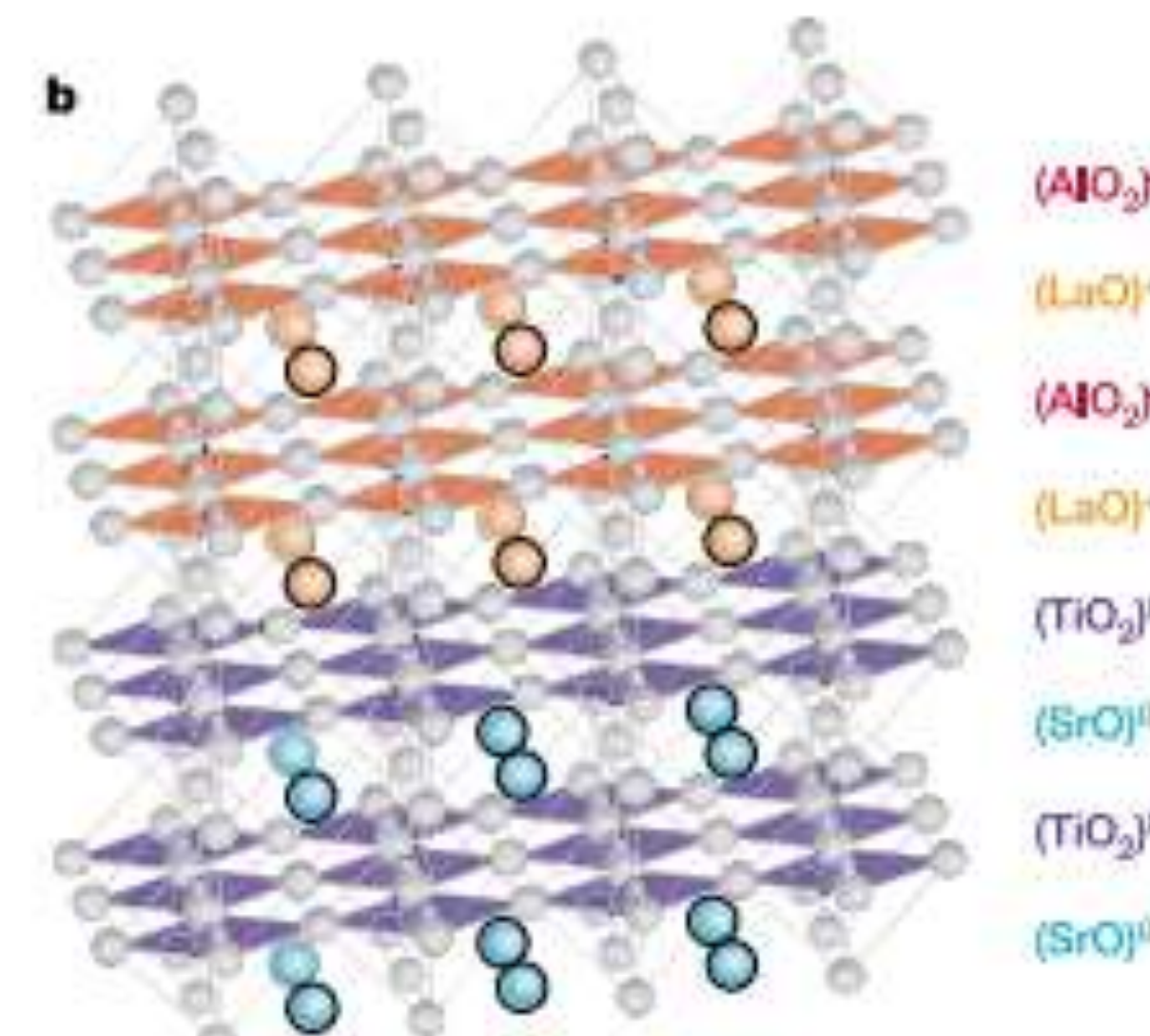
10 KPa: 高さ1メートルの水柱  
180~250 KPa: 自動車用タイヤ  
12 MPa: 体重60kgの女性がハイヒールを履いたとき  
10 GPa: カーボンからダイヤモンドが形成される

## 機能性酸化物の新しい合成法

### 薄膜合成



髪の毛の太さ (~100μm) の  
1/1000~1/1000000 程度の厚さ



A. Ohtomo and H.Y. Hwang, Nature 427, 423-426 (2004)

分子1層ごとに制御された  
人工的なイオンの配列を実現

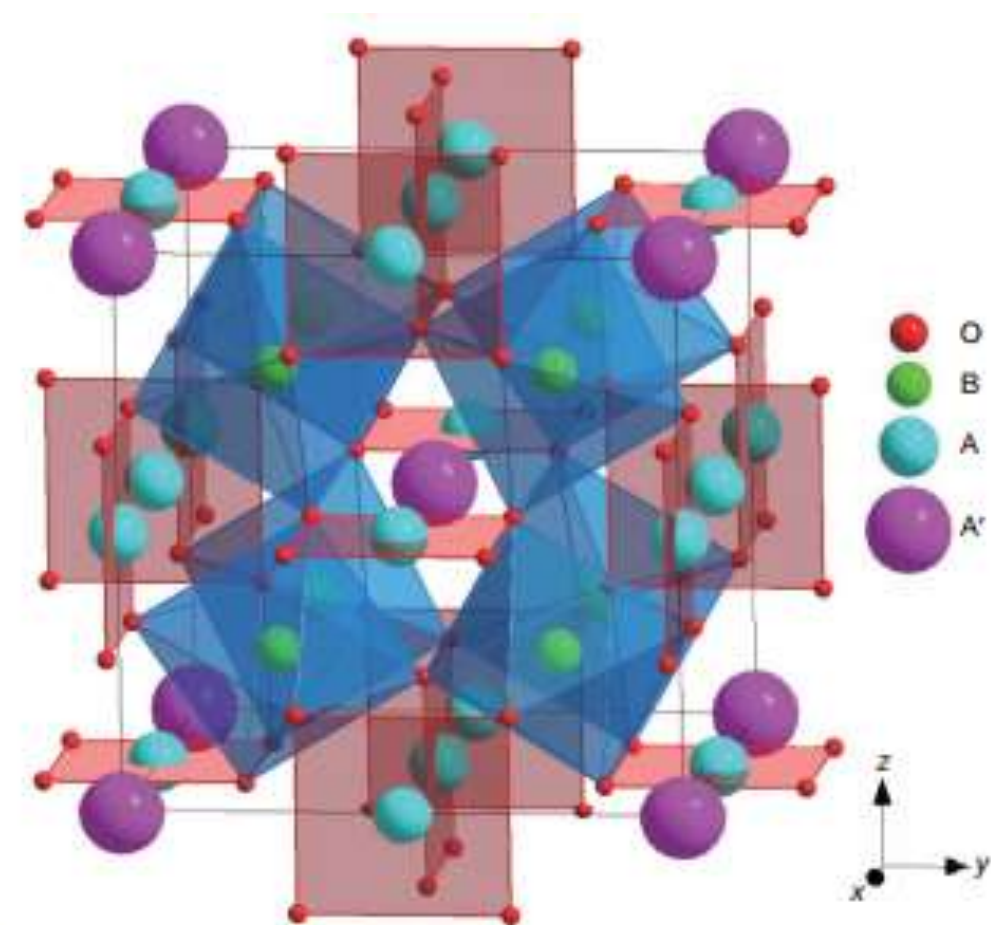
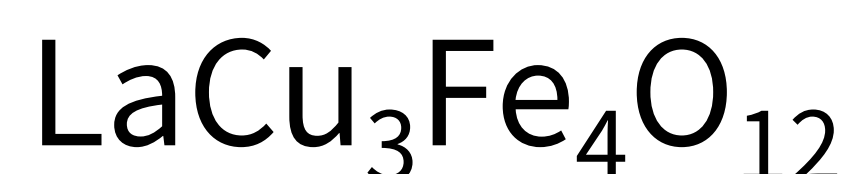


## 研究成果

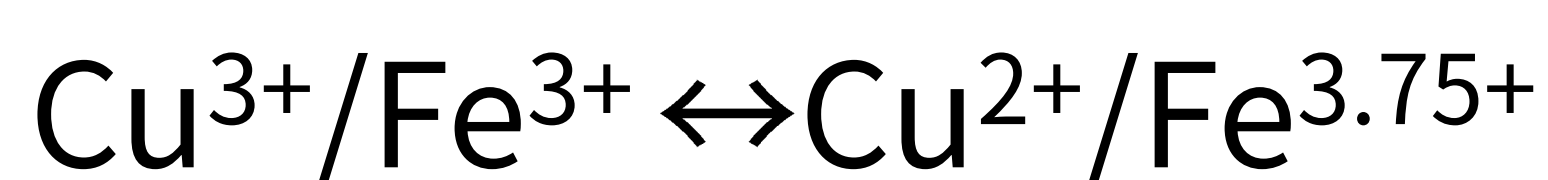
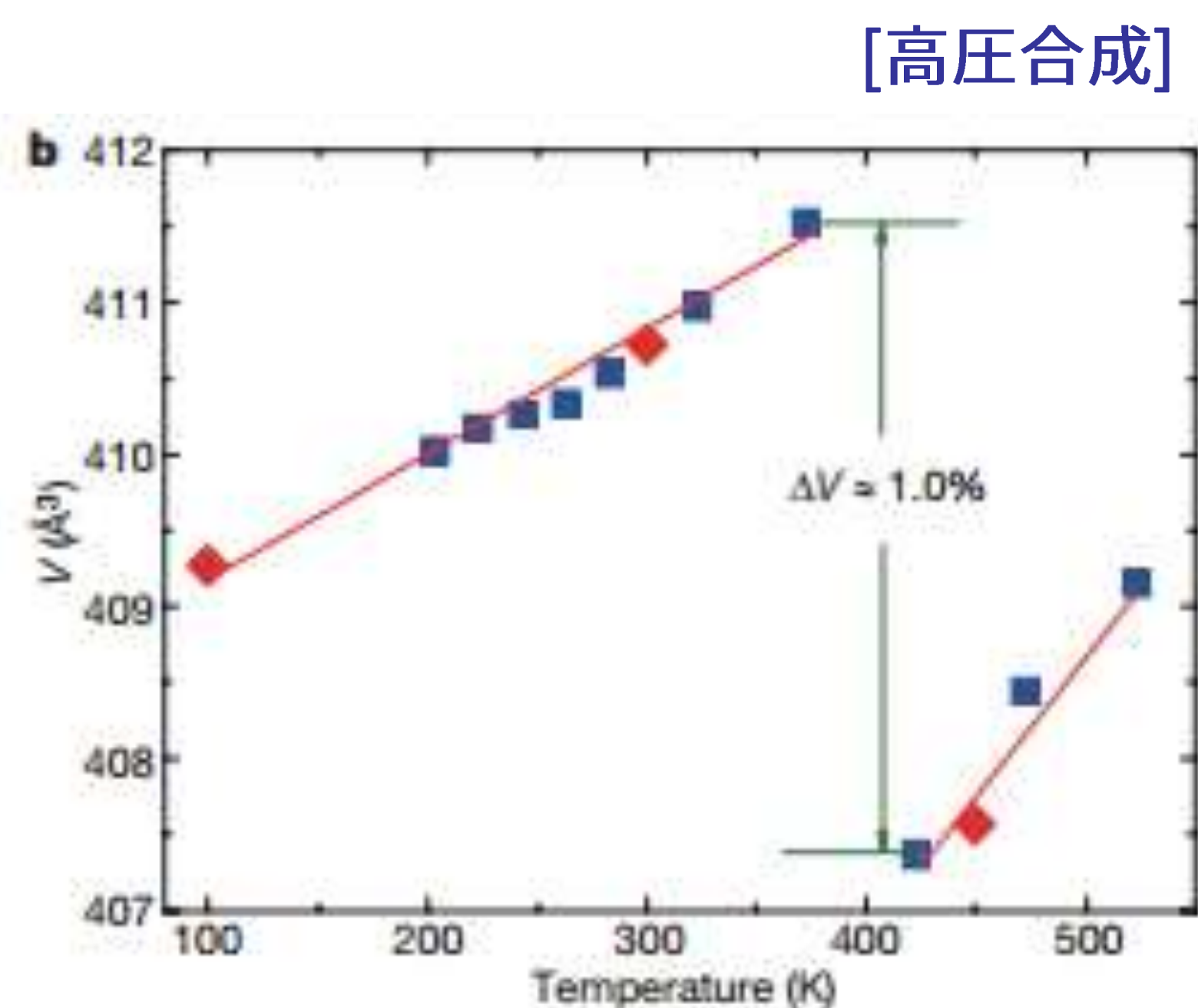
異常高原子価鉄酸化物での電荷不均化と電荷移動

正の熱膨張: 温度が上がると物質は膨張する (通常の物質)

負の熱膨張: 温度が上がると収縮する



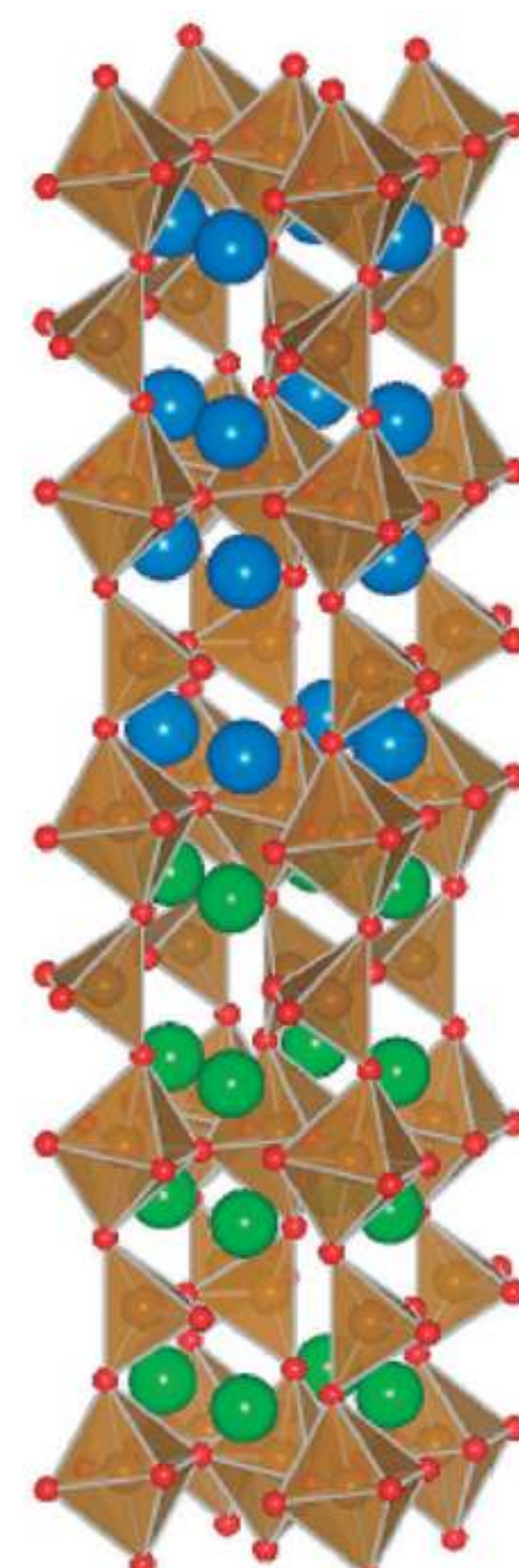
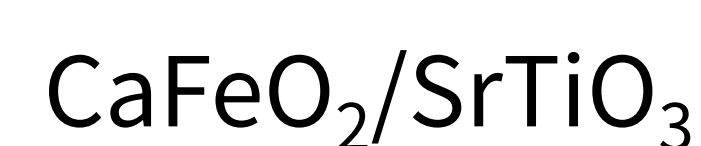
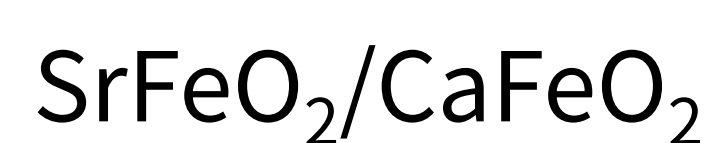
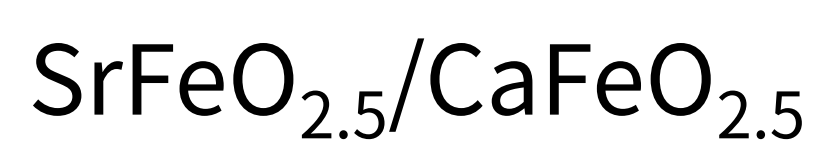
Nature 458, 60–63 (2009)



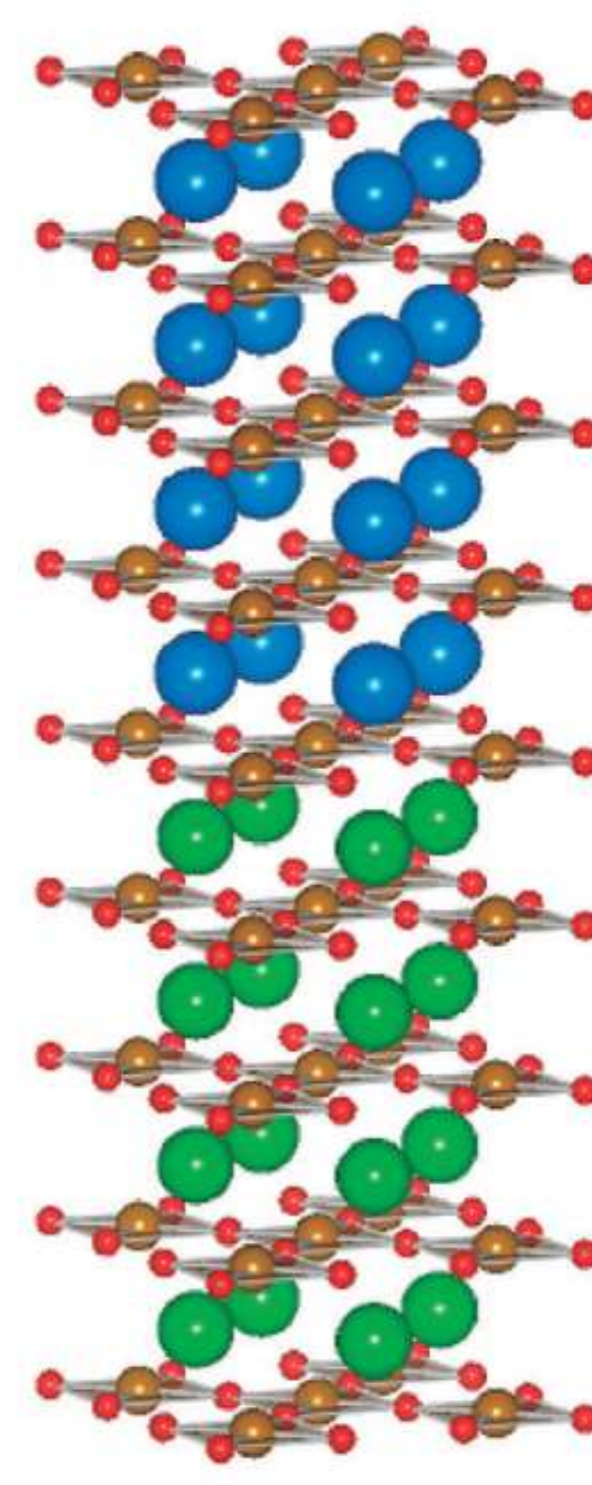
熱膨張問題を解決する新しい仕組み

新しい無限層構造 $\text{SrFeO}_2$ 薄膜と人工超格子での酸素イオン拡散挙動の解明

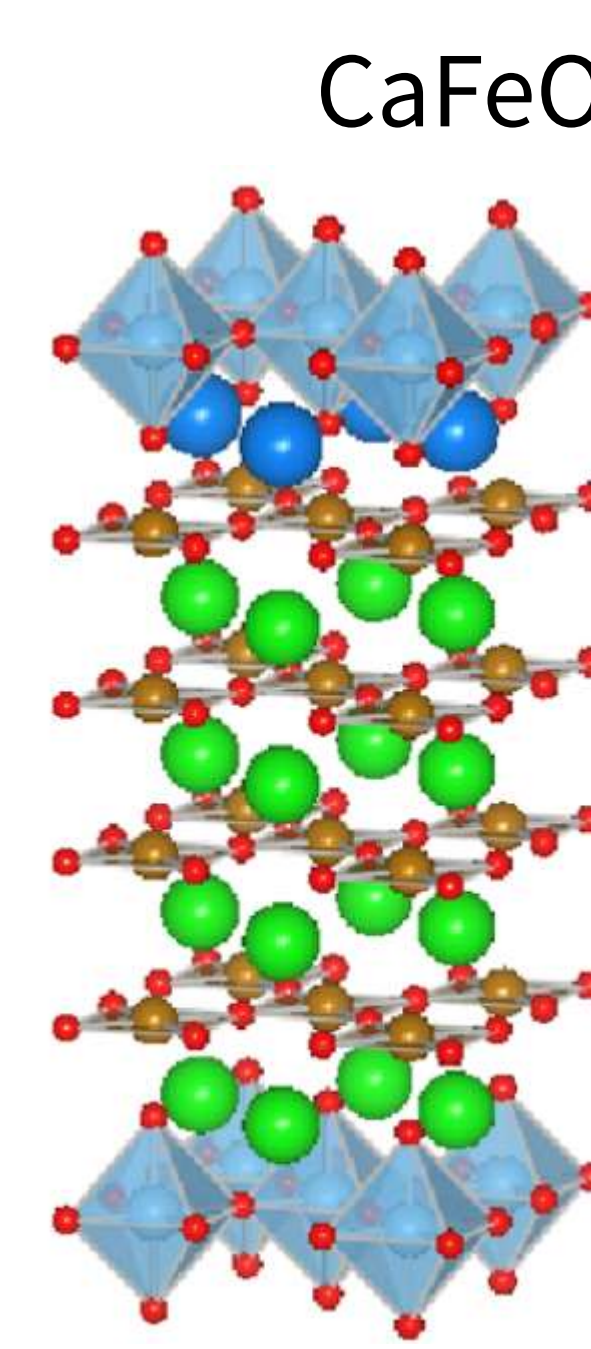
[薄膜合成]



$\text{Fe}^{3+}$   
三次元的  
広がり



$\text{Fe}^{2+}$   
二次元構造



層選択的に酸素イオンが欠損

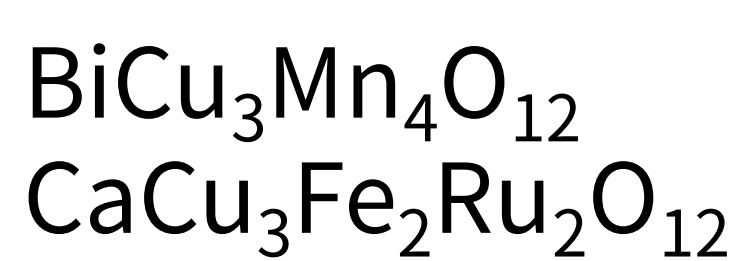
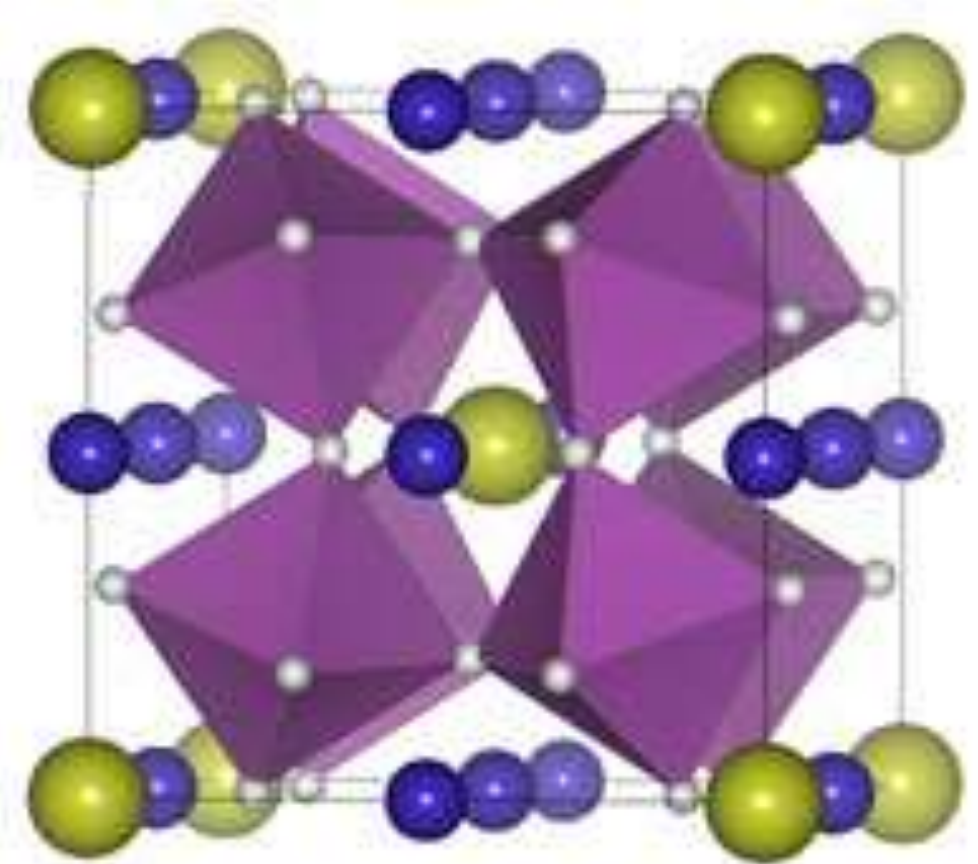
Sci. Rep. 1, 27 (2011)

Appl. Phys. Express 3, 105601 (2010)

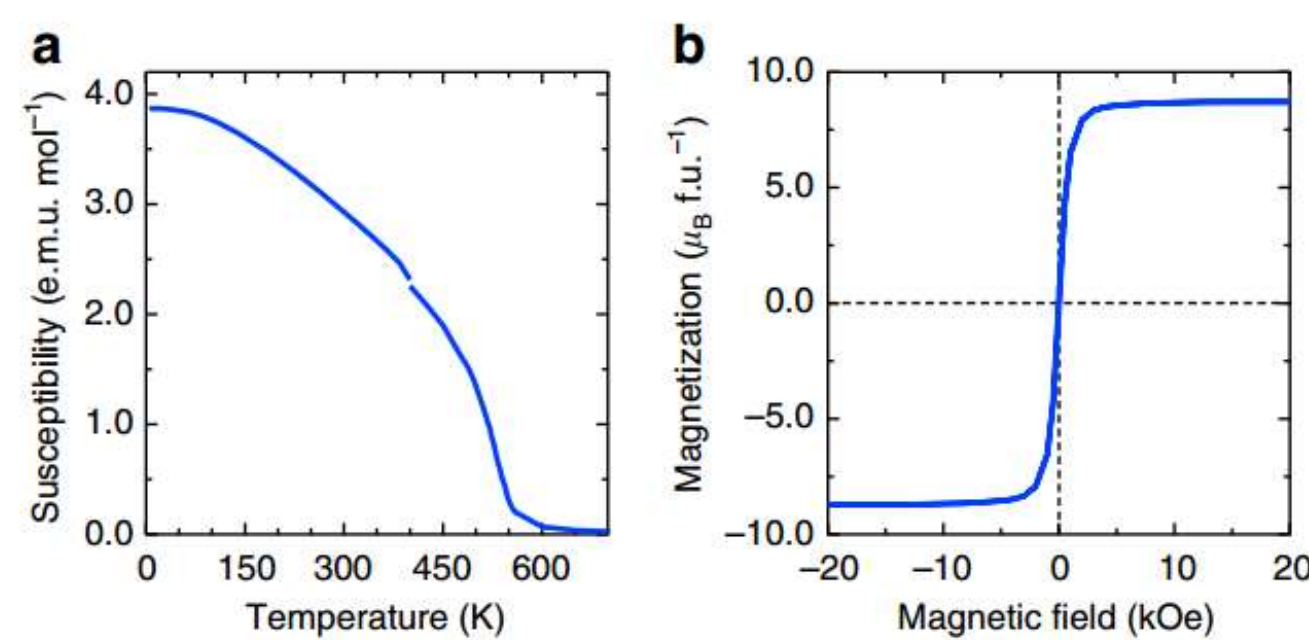
燃料電池(固体酸化物型) への応用が期待

新しいAサイト秩序型ペロブスカイト構造酸化物

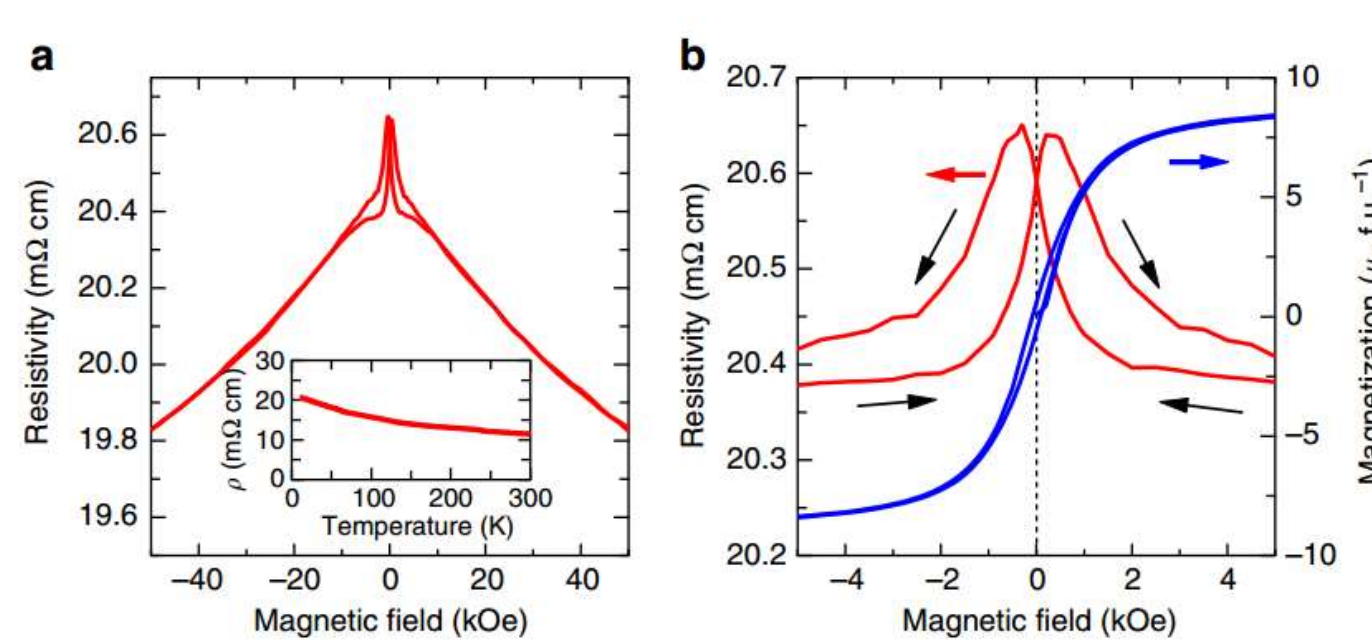
[高圧合成]



電子が持つ2方向のスピンのうち  
1方向のみを選択的に流す  
「ハーフメタル」  
→スピントネル構造において  
大きな磁気抵抗効果

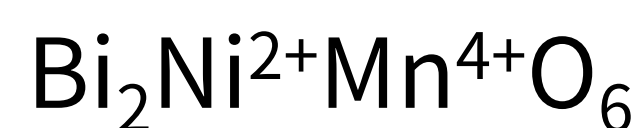
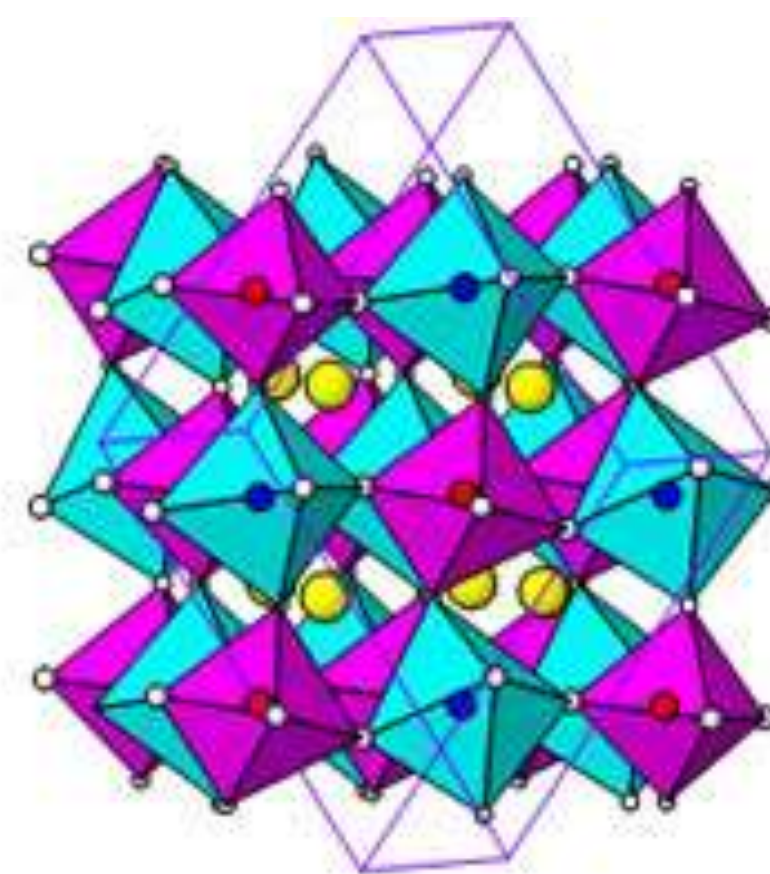


Nat. Commun. 5, 3909 (2014)



マルチフェロイック ダブルペロブスカイト

[高圧合成・薄膜合成]



フェロ- (ferro-): 強的な (秩序状態)

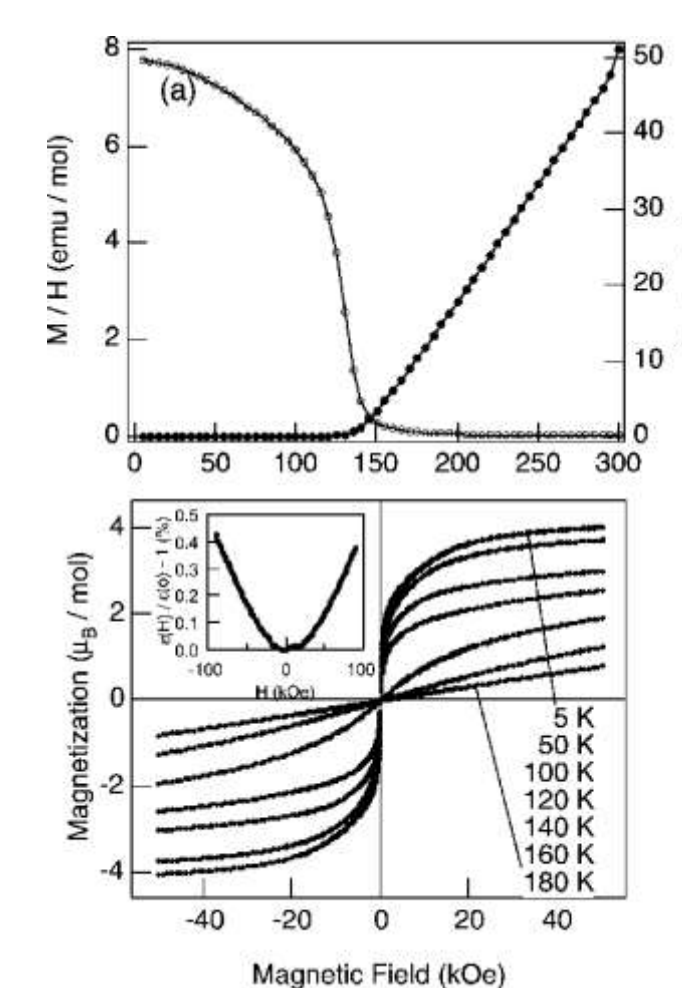
強磁性・強誘電性・強弾性・・・

→ マルチフェロイクスとは

複数の秩序状態が  
一つの固体に存在  
(強磁性と強誘電性、など)

秩序状態間の「交差相関」  
から新しい物性

J. Am. Chem. Soc. 127, 8889–8892 (2005)



新しい磁気記憶材料・スピントロニクス応用

電気で磁石を制御する新しい素子に発展

自然科学・基礎学問に基づいて  
将来に役立つ  
新しい酸化物材料を探しています

