

## 文部科学省と国立大学附置研究所・センター 個別定例ランチミーティング

第37回 東京工業大学 科学技術創生研究院  
フロンティア材料研究所 (2023.3.3)

12:05-12:10(5分) : 研究所・センターの概要  
所長 原 亨和

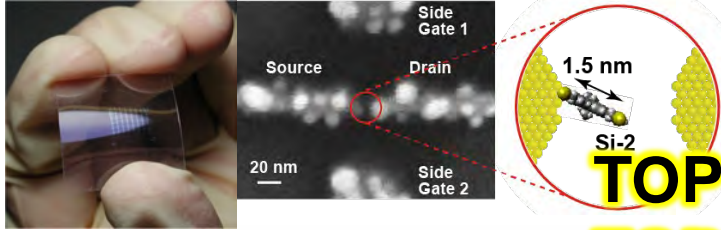
12:10-12:25(15分) : 若手研究者からのプレゼン  
「新しい触媒科学を目指した異分野“越境”型研究」  
准教授 鎌田 慶吾

「未だ見ぬ新規物質の合成を目指して」  
准教授 山本 隆文

12:25-12:45(20分) : 質疑応答

# 先端無機材料共同研究拠点

ナノメートルからキロメートルの材料・構造に新たな価値を



## 元素戦略センター

TOP1%論文: 23報

TOP10%論文: 191報

(2015~2021)



## 震災被害区分・復旧指針 の国家基準策定

**材料科学**  
デバイス・構造材・資源生産

国内外の  
アカデミア

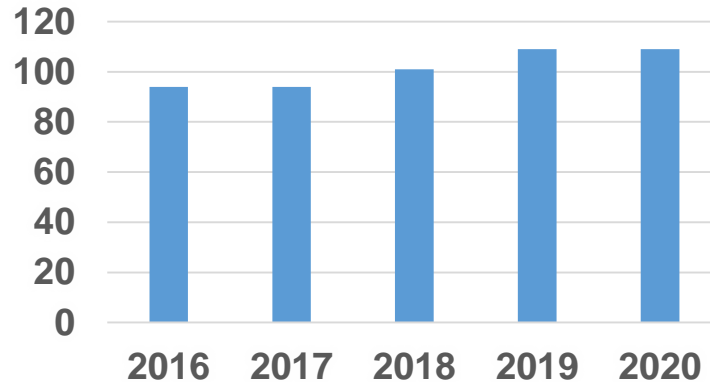
知

技

装

先端無機材料  
共同研究拠点

共同研究採択件数



**建築構造**  
耐震・免振



# 先端無機材料共同研究拠点

ナノメートルからキロメートルの材料・構造に新たな価値を



Tokyo Tech

東北大  
国際共同利用  
共同研究拠点  
GIMRT

早大  
ナノ・ライフ  
創新研究機構

阪大  
無機材料接合技術  
開発拠点

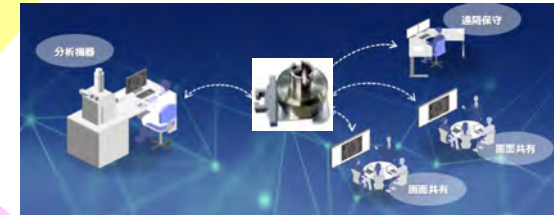
R2第3次補正  
(翌債承認済)  
バイオ複合材料  
機能解析システム  
(全国共同利用・  
共同研究実施分)

国際・産学連携  
インヴァース  
イノベーション  
材料創出  
プロジェクト  
6大学6研究所  
連携プロジェクト

東工大  
先端無機材料  
共同研究拠点

医科歯科大  
生体医歯工学  
共同研究拠点

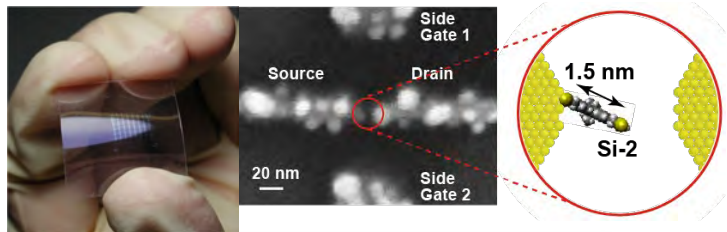
名大  
革新的省エネルギーのための  
材料とシステム  
研究拠点



コロナ禍対応  
試料を大気に晒すことなく  
観察し、遠隔操作により  
SEM像の観察、元素分析、  
元素マッピングが可能

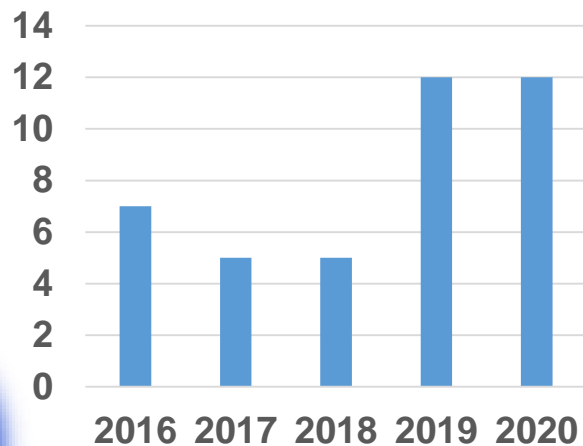
# 先端無機材料共同研究拠点

## ナノメートルからキロメートルの材料・構造に新たな価値を



**材料科学**  
デバイス・構造材・資源生産

### 企業からの採択件数



国内外の  
アカデミア

**Synergy** 民間  
企業

先端無機材料  
共同研究拠点

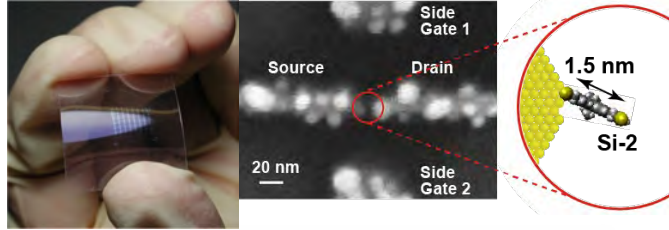


**建築構造**  
耐震・免振



# 先端無機材料共同研究拠点

## ナノメートルからキロメートルの材料・構造に新たな価値を



**材料科学**  
デバイス・構造材・資源生産

国内外の  
アカデミア

**Synergy** 民間  
企業

先端無機材料  
共同研究拠点

日本経済新聞 2021年(令和3年)2月8日(月曜日)

### アンモニア製造も脱炭素

再生エネ活用、原料は空気と水

**秋田・ラオスで実証へ**

世界のアンモニア生産は、化石燃料の原料と、水素の原料を分離して、化石燃料を燃焼して水素を生成する「ハーバー・ボッシュ法」が主流だが、原料に空気と水を用いる「グリーンアンモニア」が注目を集めている。秋田県とラオスで実証実験が行われる。

アンモニアを低い温度・圧力で造る		
ハーバー・ボッシュ法 (現行)	グリーンアンモニア (次世代)	
温度	セ氏400～600度	200度以下
圧力	100～300気圧	50気圧以下
CO2排出	プラント1基当たり年	ほぼゼロ

地方自治体、ODAでの  
CO<sub>2</sub>フリーアンモニア製造



OPERA

大規模都市建築における  
日常から災害時まで安心  
して社会活動が継続できる  
技術の創出

**建築構造**  
耐震・免振

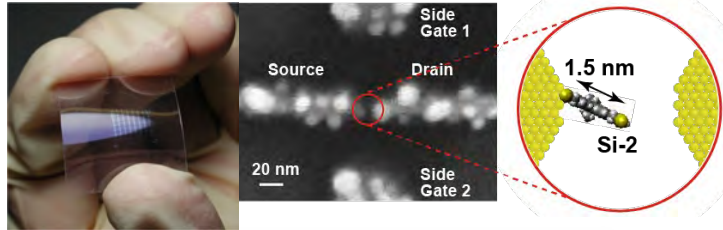


# 先端無機材料共同研究拠点

ナノメートルからキロメートルの材料・構造に新たな価値を



Tokyo Tech



## 材料科学

デバイス・構造材・資源生産

## 若手育成

国内外の  
アカデミア

Synergy 民間  
企業

- ・啓発
  - ・コネクション
  - ・キャリアパス
- 准教授1名  
助教1名  
(2021)



建築構造  
耐震・免振



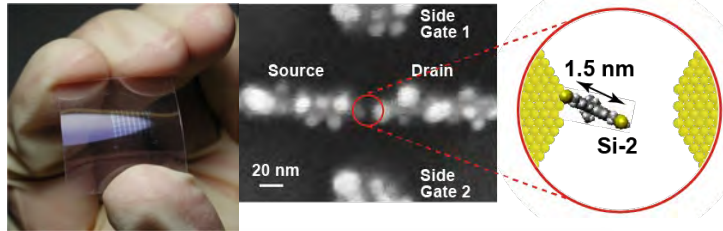
先端無機材料  
共同研究拠点

# 先端無機材料共同研究拠点

ナノメートルからキロメートルの材料・構造に新たな価値を



Tokyo Tech



材料科学

デバイス・構造材・資源生産

国内外の  
アカデミア

Synergy 民間  
企業

先端無機材料  
共同研究拠点



建築構造  
耐震・免振

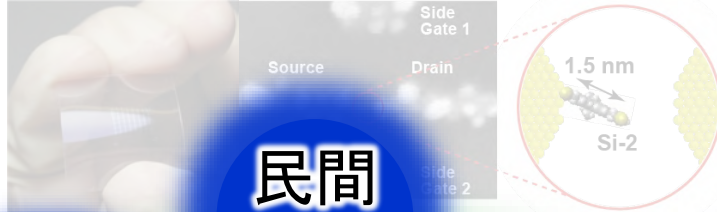


# 先端無機材料共同研究拠点:これからの**挑戦**

ナノメートルからキロメートルの材料・構造に新たな価値を



Tokyo Tech



民間  
企業

民間  
企業

**Synergy  
の増幅**

民間  
企業

民間企業の増加

国内外のアカデミア関係者の幅・厚みを増加

民間  
企業

学内参加教員を増強

先端無機材料  
共同研究拠点

民間  
企業

建築構造  
耐震・免振





# 先端無機材料共同研究拠点:拡大加速計画

## ナノメートルからキロメートルの材料・構造に新たな価値を



### 第4期中期目標・中期計画に向けた取組

#### ○拠点参加学内教員・共通利用機器の増強

- ・拠点人材の幅と厚みを増大
  - ・共通利用機器の増強
- } 共同研究拠点サービスの向上
- 国内外の拠点利用者 →利用者の幅と厚みを増大
  - 拠点利用民間企業 →利用数、サービスの幅と厚みを増大

#### ○産官学の利用者間のシナジー効果の増幅

- ・学術の幅と厚み
- ・ゼロ・ニーズからはじめる産官学連携:社会還元・社会実装の加速
- ・異分野融合の機会増加
- ・コネクションの幅と厚み
- ・若手人材育成

#### ◎コミュニティーのHUBとしての機能を増強



Tokyo Tech



IIR, Tokyo Tech.  
Laboratory for Materials and Structures

# 新しい触媒科学を目指した 異分野“越境”型研究

2023年3月3日、文科省一附置研・センターとのランチミーティング  
東京工業大学すずかけ台キャンパス R3棟1F大会議室

科学技術創成研究院 フロンティア材料研究所、准教授

鎌田 慶吾

# 1. 自己紹介 — 学歴・職歴等 —

## 学歴

2001年 3月	東京大学 工学部 応用化学科 卒業
2003年 3月	東京大学大学院 工学系研究科 応用化学専攻 修士課程 修了
2006年 11月	東京大学大学院 工学系研究科 応用化学専攻 博士(工学)取得 【指導教官:水野 哲孝 教授】

## 職歴

2007年 1月	東京大学大学院 工学系研究科 応用化学専攻 助手(現:助教)
2014年 1月	東京工業大学 応用セラミックス研究所(現:科学技術創成研究 院 フロンティア材料研究所) 准教授
2015年 12月	JST さきがけ研究「革新的触媒の科学と創製」 研究員兼任(~2019年3月)
2023年 4月	東京工業大学 科学技術創成研究院 フロンティア材料研究所 教授

# 1. 自己紹介 – 研究のターゲット –

## “化学品の合成”に関する触媒材料・触媒反応の開発

### 化石資源の改質



原油  
天然ガス → LPG、ガソリン、  
ディーゼルなど

### 化学品の合成

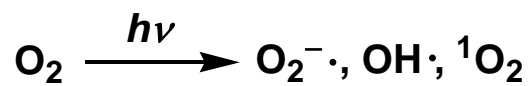
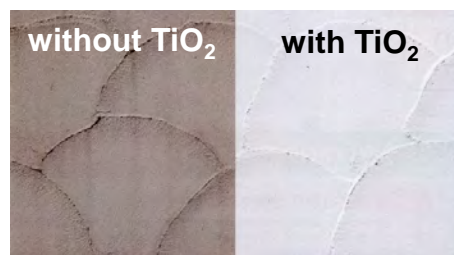


原料 → 基礎化学品、ファインケミカル  
高分子、医農薬品

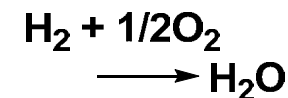
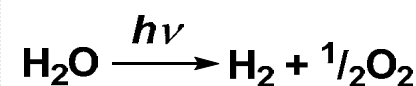
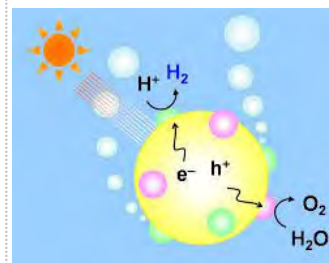
### 環境浄化



NO<sub>x</sub>  
CO  
HC → N<sub>2</sub>  
CO<sub>2</sub>  
H<sub>2</sub>O



### エネルギー

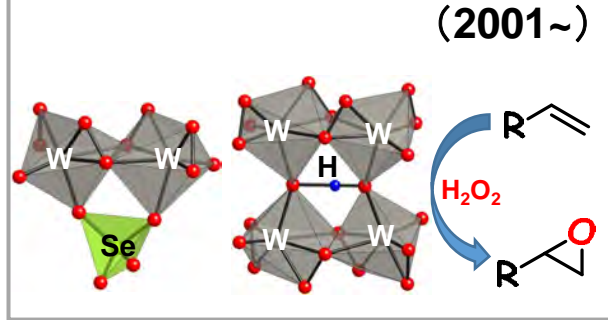
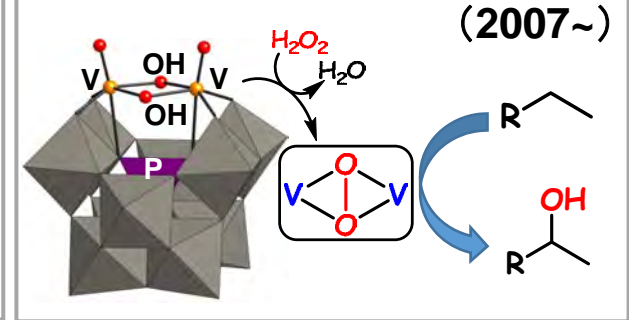
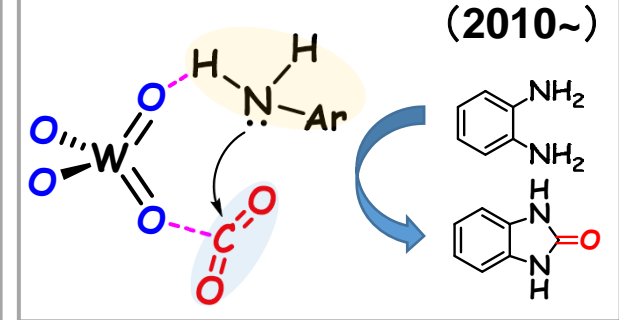


従来触媒の性能を凌駕する新しい触媒科学に挑戦

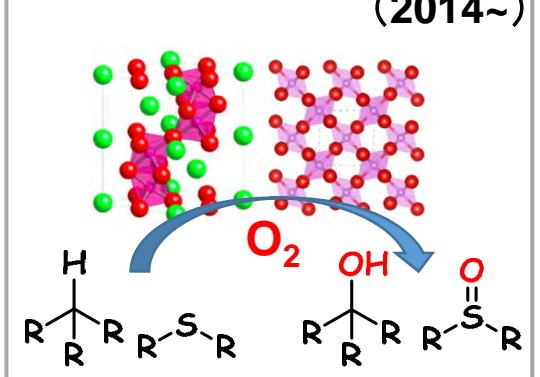
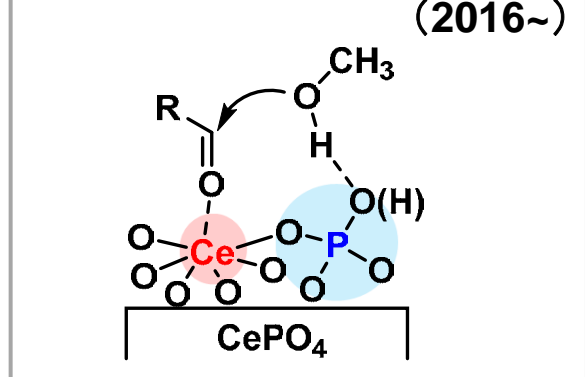
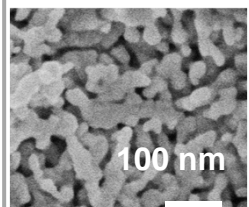
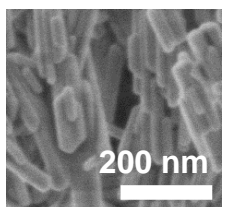
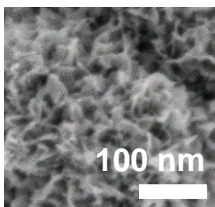
# 1. 自己紹介 – 研究歴 –

## 異動・キャリアに応じて新しい材料・テーマ展開にチャレンジ

### “分子性”金属酸化物に関する研究 (2001~2013 @ 東京大学)

<p>タングステートの高機能化 (2001~)</p> 	<p>多核活性点の協奏触媒作用 (2007~)</p> 	<p>POM強塩基触媒の開発 (2010~)</p> 
---	--	--

### “固体”金属酸化物に関する研究 (2014~現在 @ 東京工業大学)

<p>O<sub>2</sub>酸化触媒の創製 (2014~)</p> 	<p>元素複合化による高機能化 (2016~)</p> 	<p>ナノ構造制御手法の開発 (2018~)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>100 nm</p> <p>ナノ粒子 【0次元】</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>200 nm</p> <p>ナノロッド 【1次元】</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>100 nm</p> <p>ナノシート 【2次元】</p> </div> </div>
---	--	--

# 1. 自己紹介 — 研究歴 —

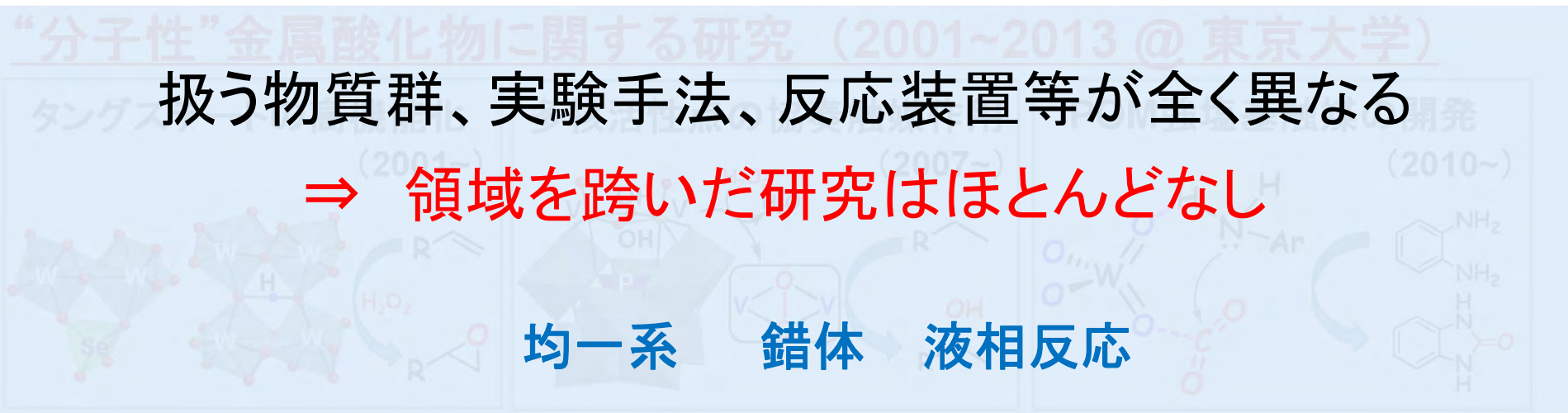
異動・キャリアに応じて新しい材料・テーマ展開にチャレンジ

“分子性”金属酸化物に関する研究 (2001~2013 @ 東京大学)

扱う物質群、実験手法、反応装置等が全く異なる

⇒ 領域を跨いだ研究はほとんどなし

均一系 錯体 液相反応



“固体”金属酸化物に関する研究 (2014~現在 @ 東京工業大学)

不均一系 固体 気相反応

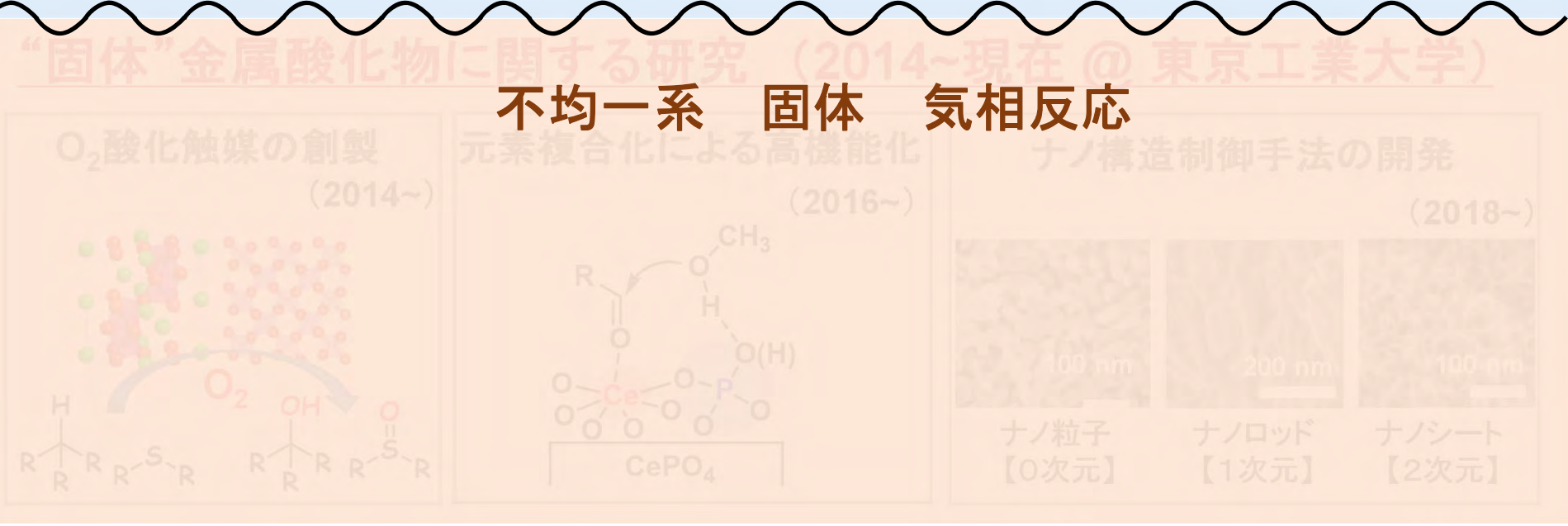
O<sub>2</sub>酸化触媒の創製 (2014~)

元素複合化による高機能化 (2016~)

ナノ構造制御手法の開発 (2018~)

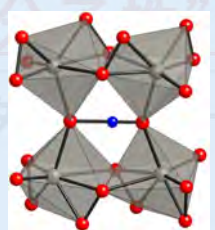
100 nm 200 nm 100 nm

ナノ粒子 【0次元】 ナノロッド 【1次元】 ナノシート 【2次元】

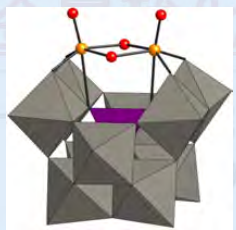


# 1. 自己紹介 — 研究歴 —

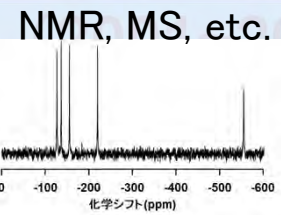
異動・キャリアに応じて新しい材料・テーマ展開にチャレンジ



分子の化学(クラスター)



溶液の化学



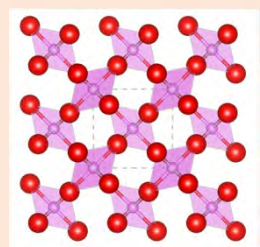
有機合成



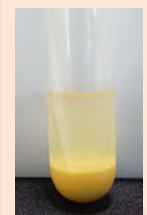
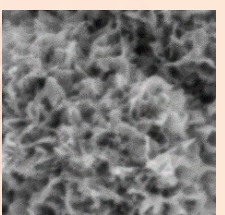
高圧液相反応

“boundaryを超える” 均一系 錯体 液相反応

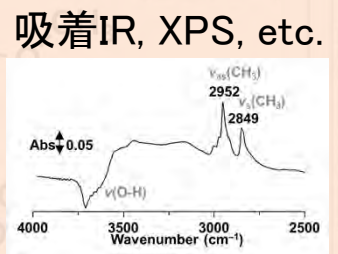
不均一系 固体 気相反応



固体の化学(ナノ粒子)



界面の化学



無機合成

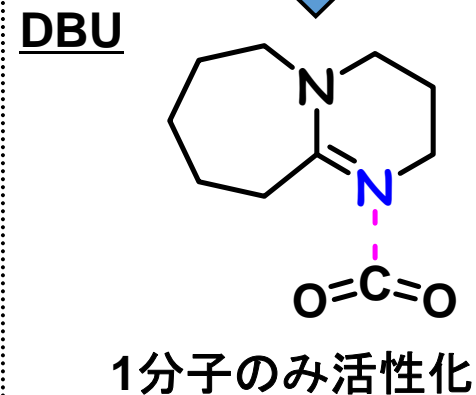
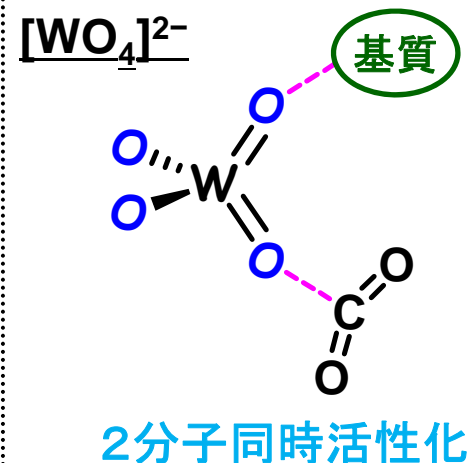
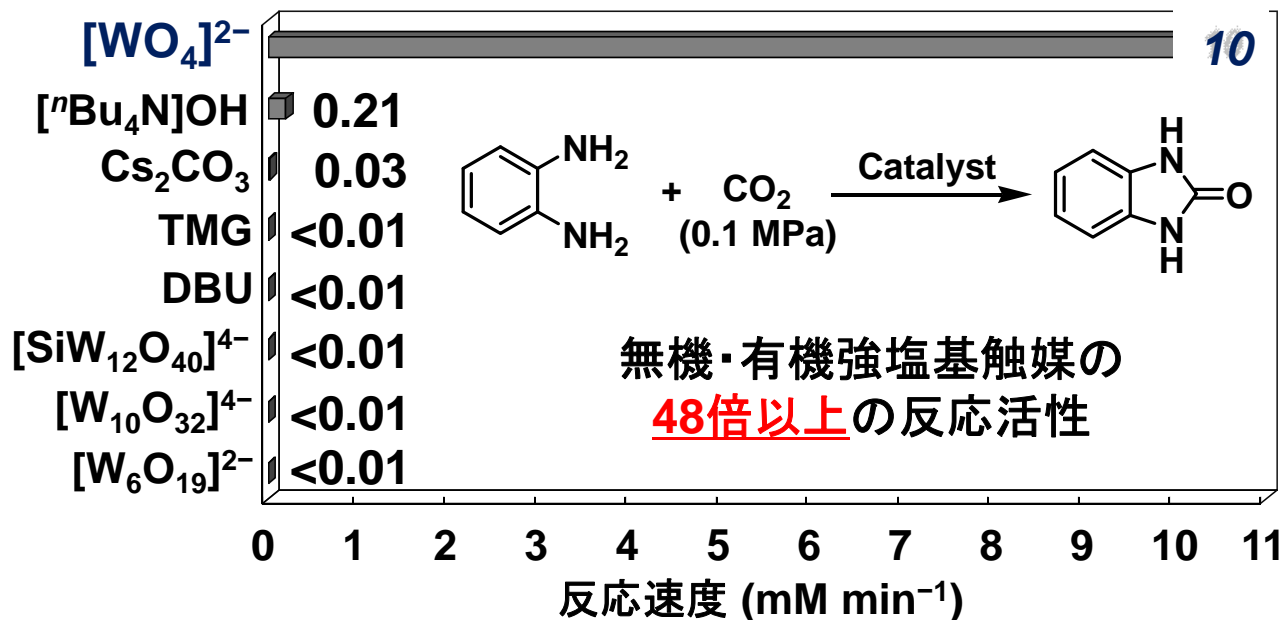
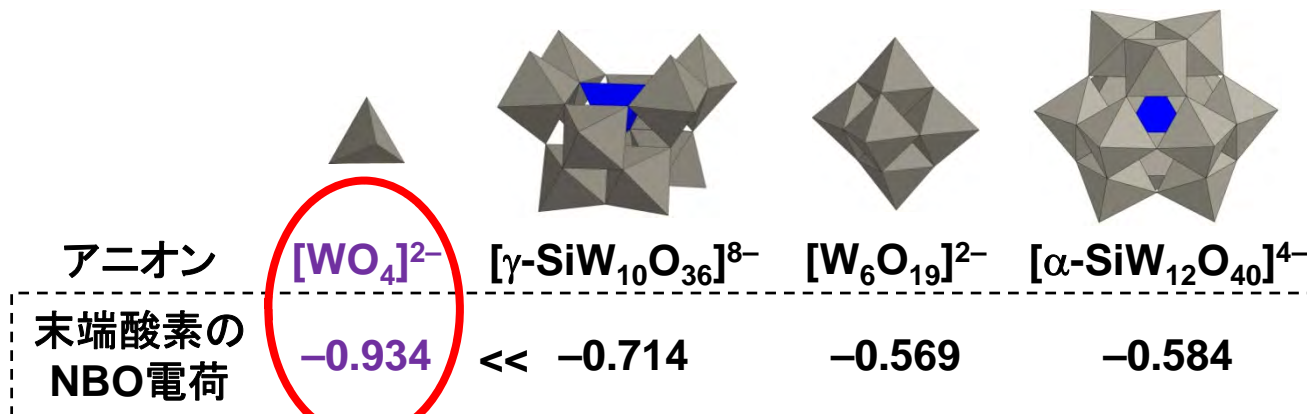


気相反応  
装置設計

# 新しいコンセプトに基づく塩基触媒の創製 —負電荷とサイズによる塩基性制御—



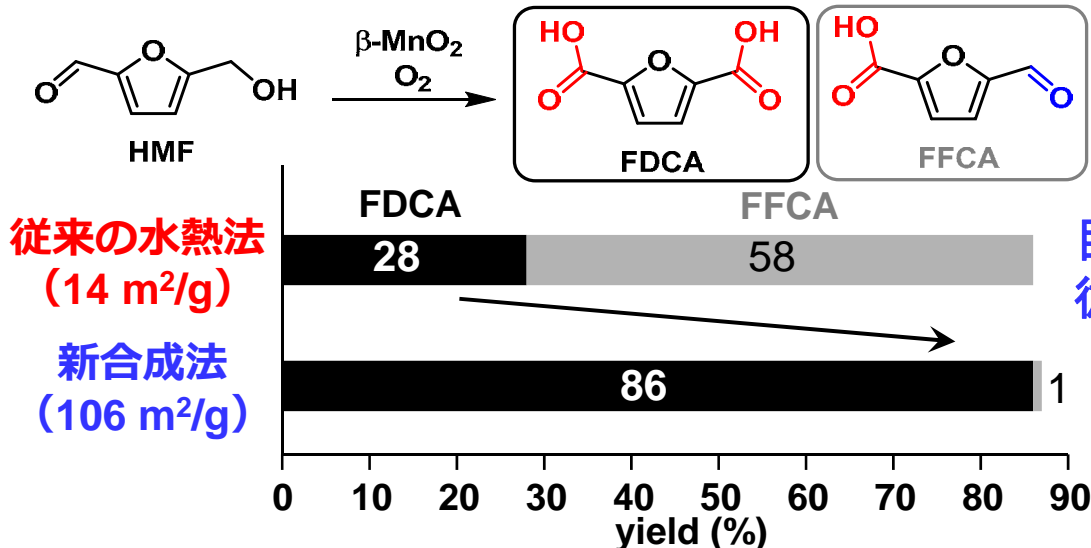
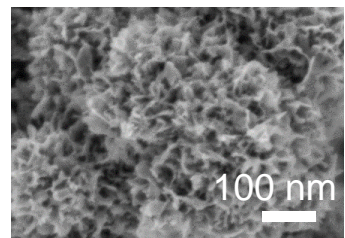
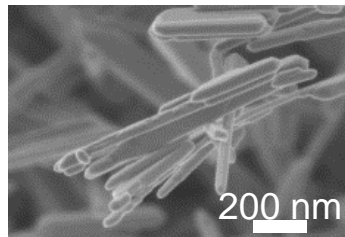
## サイズ当たりの負電荷に着目



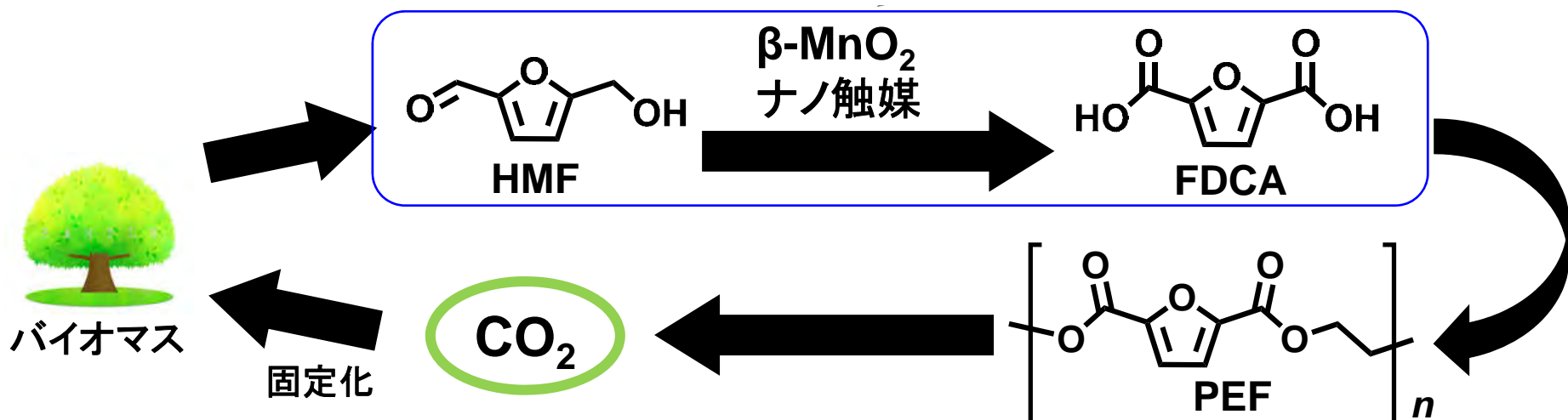
**CO<sub>2</sub>の効率的固定化**



# バイオマス変換触媒の設計・開発 —MnO<sub>2</sub>の結晶構造依存性—



目的生成物の収率が従来法の3倍に向上



実験と理論の融合による  
飛躍的な性能向上に成功

- ・高いガスバリア性
- ・優れた耐熱性・容易な加工性

## 2. これまでの研究成果 — 研究成果・学生の受賞 —

### 研究成果

【2023年2月現在 (Web of Science)】

- Science, Nature Chem., J. Am. Chem. Soc., Int. Ed. 19報を含む計106報



2018 文部科学大臣表彰 若手科学者賞

### 学生の受賞

- 2018 ISHHC “ACS Catalysis Award for Early Career Researcher”
- 第7, 11, 12回GSC Student Travel Grant Award
- 第2, 7, 11回CSJ化学フェスタ優秀ポスター発表賞
- 第119回触媒討論会 学生ポスター発表賞(3名)・・・など
- 直接指導を行った8名中7名の博士課程進学者がJSPS特別研究員あるいは化学人材育成プログラム奨学生として採択



Tokyo Tech

# 未だ見ぬ新規物質の合成を目指して

---

2023年3月3日  
文科省と附置研・センターとの  
ランチミーティング  
@ 東工大すすかけ台キャンパス

東工大 フロンティア研  
准教授 山本 隆文  
[yama@mssl.titech.ac.jp](mailto:yama@mssl.titech.ac.jp)

# 山本隆文



## 経歴

2010年 京都大学 理学研究科化学専攻 修士課程修了  
2012年 京都大学 工学研究科 博士後期課程修了  
2012年 京都大学 工学研究科 助教  
2018年 アメリカ国立標準技術研究所 (NIST) 客員研究員  
2018年 コロラド州立大学 客員教員  
2019年 東京工業大学 フロンティア材料研究所 准教授 (現職)



## 専門・興味

無機固体化学・新物質合成

## 研究職を目指したきっかけ

中・高校生の時(2000-02年)、日本人のノーベル賞受賞ラッシュ  
それらのニュースを見て研究者になりたいと明確に意識するようになった

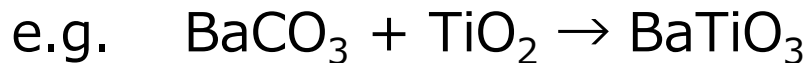
## 海外経験(2週間以上)

2008 7-8月 カナダ コロンビア大学 ( $\mu$ SR実験)  
2015 1月 フランス レンヌ第一大学 (共同研究)  
2016 10月 アメリカ UCデイビス (教育研修)  
2018 6-8月 アメリカ 国立標準技術研究所 (中性子実験)  
2018 10-12月 アメリカ コロラド州立大学 (共同研究)

2018年のアメリカ滞在は、将来のオリジナリティを強く意識して、  
本来の専門と少し異なる共同研究を模索して自身で滞在先を選んだ  
→ 現職への採用や、その後の予算獲得にも役立った

# 一般的なセラミックス材料（主に酸化物）の合成

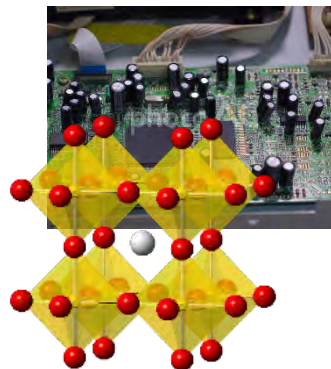
## 高温固相反応(～1000°C)



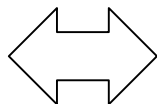
原料粉末を混ぜ合わせて高温で焼成する単純で簡単なプロセス



ただし原料と得られる物質に構造的関係性はない

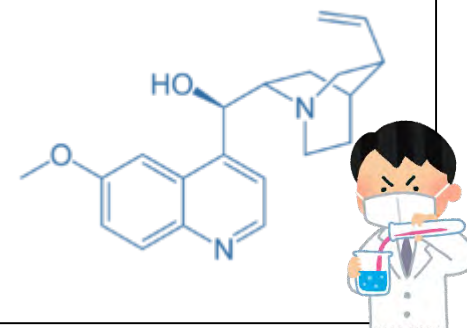


構造を制御できない



- 反応が高温
- 不均一な反応
- 反応に関与する原子が無数 等々

複雑な有機物質を多段階の反応過程を経て設計できる

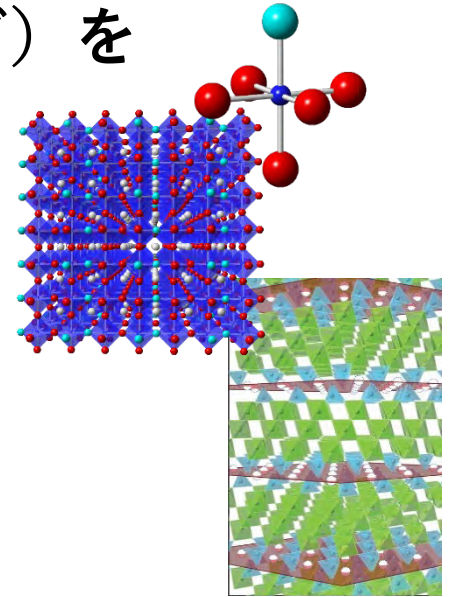


いかに無機固体の反応を理解し、設計性のある合成を進めていくか

# 取り組んでいる主な研究

## ① 複数のアニオン種（酸素、窒素、水素など）を組み合わせた物質設計

- ・ 組み合わせパラメータの拡大
- ・ 単アニオンでは実現できない新機能の発現

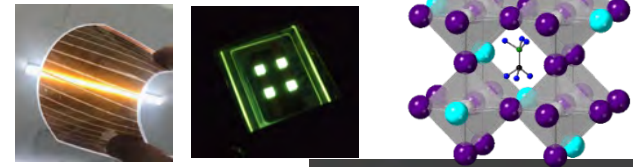


## ② アニオン欠陥の導入による物質設計

- ・ 結晶中の欠陥を自在に配列させることで無限の新物質
- ・ 欠陥の導入、配列によって性質を制御

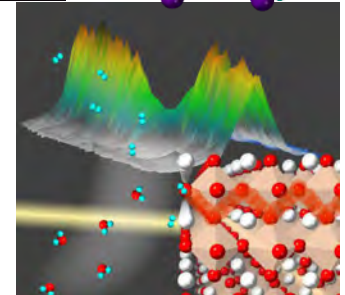
## ③ 有機-無機ハイブリッド化合物の新規物質開拓

- ・ 周期表の枠を超えた物質探索
- ・ 有機と無機の特徴を活かした機能性発現



## ④ 反応の直接観察と反応メカニズム解明

- ・ 大型施設等を利用した先端技術を活用
- ・ 反応メカニズムを理解し、反応設計や最適化へ

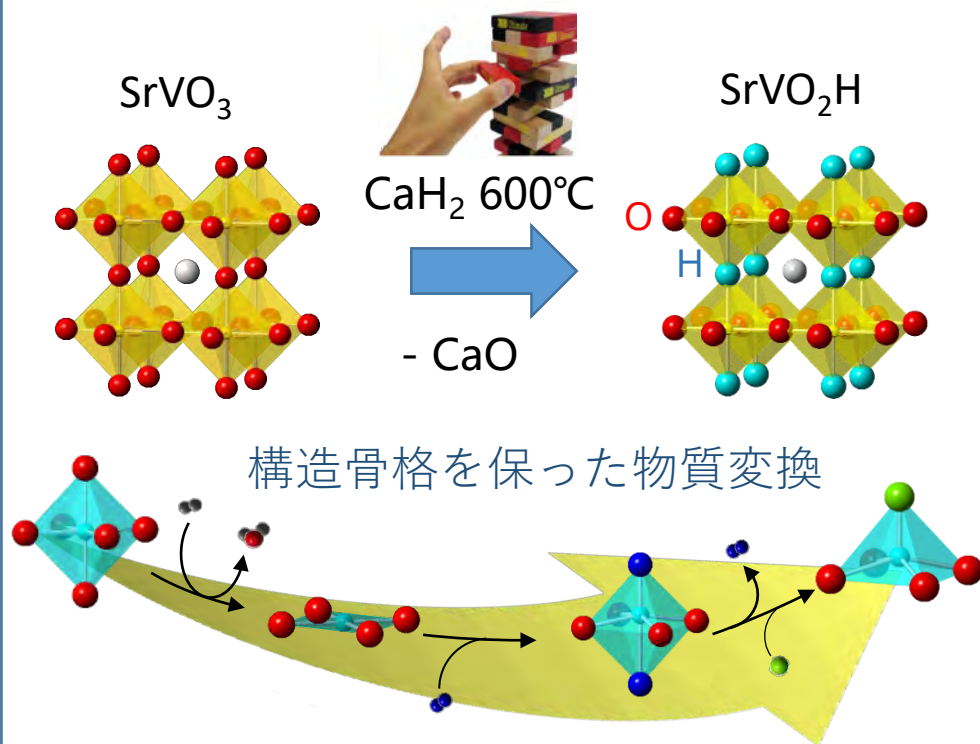


# ① 複数のアニオン（陰イオン）種を組み合わせた物質設計

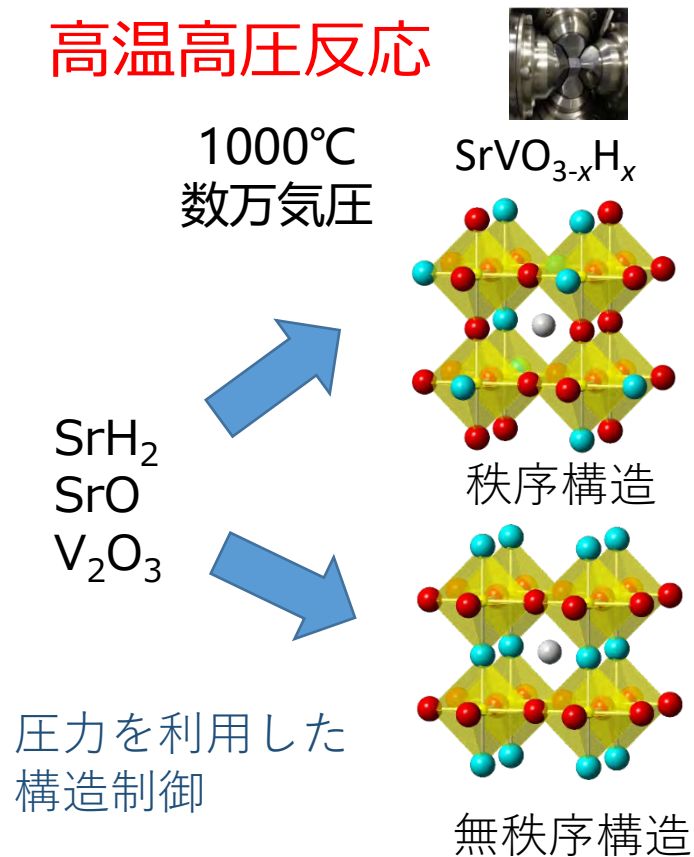
## ・ 酸水素化物 ( $\text{O}^{2-} + \text{H}^-$ )

水素がガスとして揮発していきやすい  
→近年まで合成が難しかった

### 低温トポケミカル反応



### 高温高压反応



合成法、条件（温度・圧力等）を制御することで構造を制御する

電池材料、熱電変換材料、触媒材料等への応用研究も展開

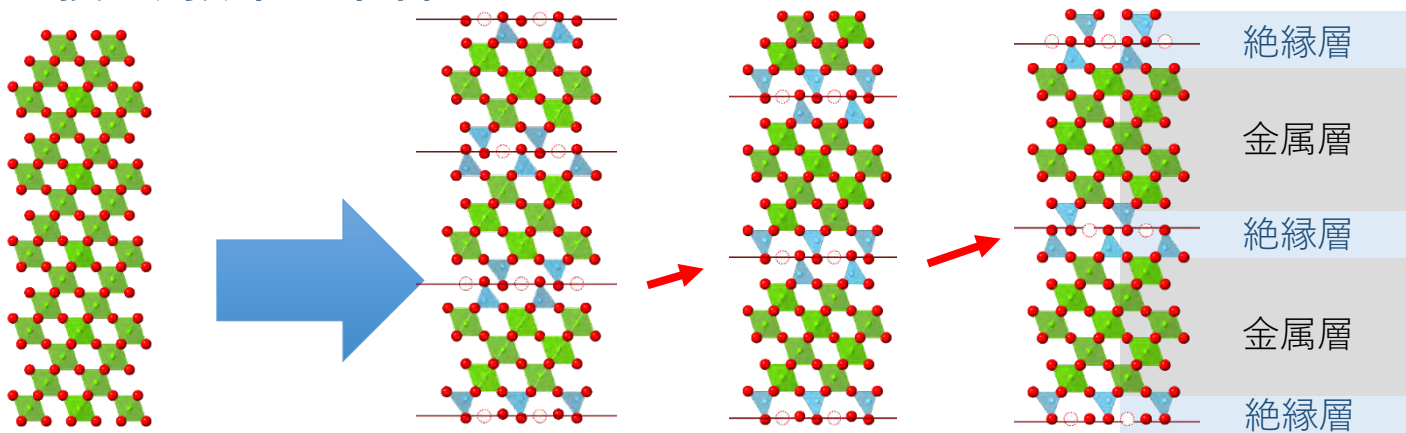
# ② アニオン欠陥の導入による物質設計

新しい欠損秩序構造をデザイン



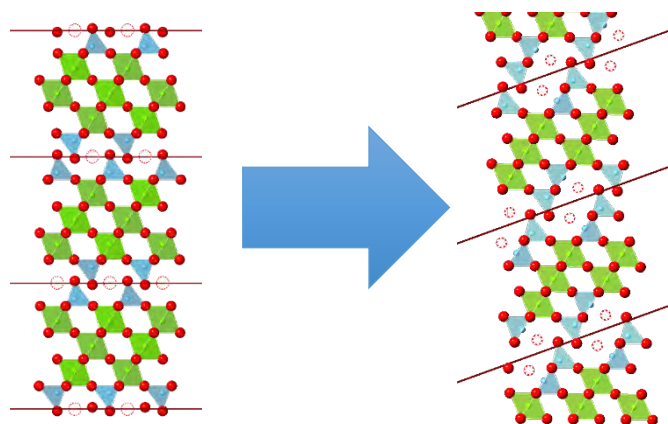
欠損構造に由来する物性の制御  
電子物性・イオン伝導・触媒など

欠損の周期性を制御

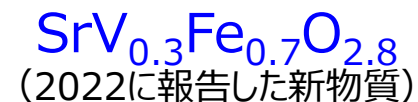
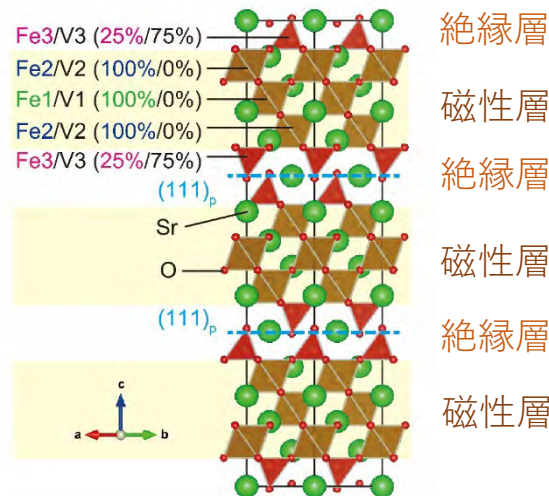


異なる層の  
組み合わせで  
機能を設計

欠損の方位を制御



(2020に報告した新物質, プレスリリース)



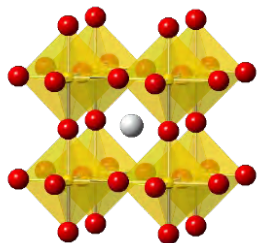
室温で大きな  
磁気抵抗効果

メモリ、磁気センサ

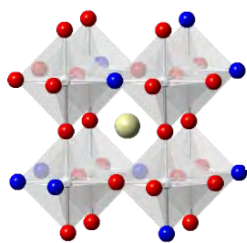


# ③ 有機-無機ハイブリッド化合物の新規物質開拓

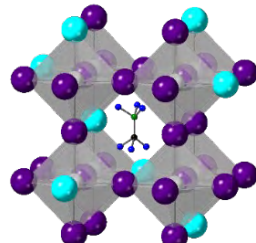
酸化物



複合アニオン

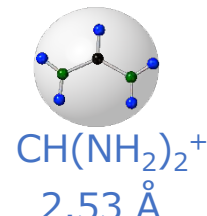
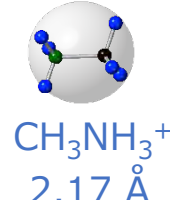
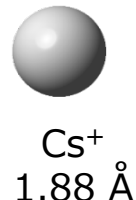
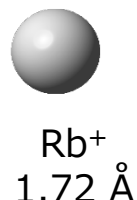
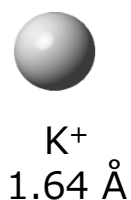
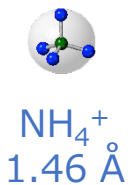
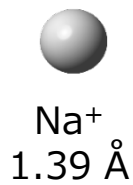


有機-無機ハイブリッド

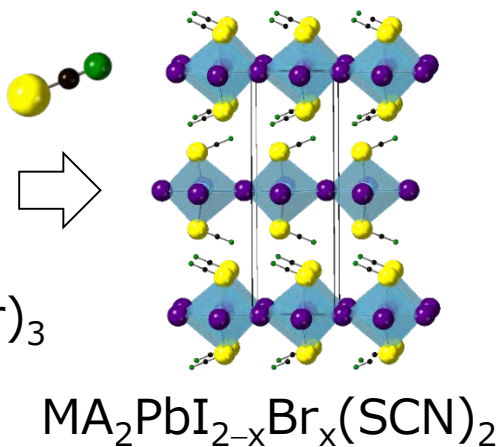
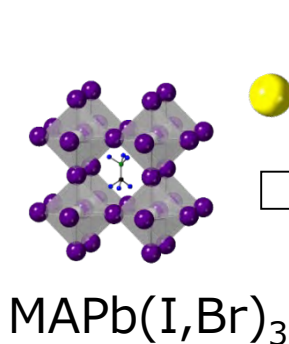
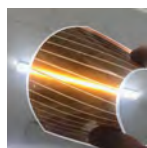


2018留学時に  
始めたテーマ

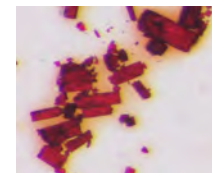
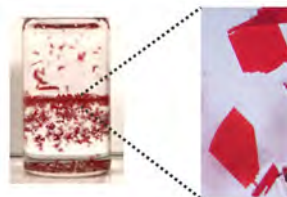
学術変革領域A  
超セラミックスの支援



有機イオンを一つの元素ととらえると、周期表の限界を超えた大きさの元素を扱うことができる



$x = 1.2, 0.8, 0.4, 0.0$



- 太陽電池材料
- 発光材料

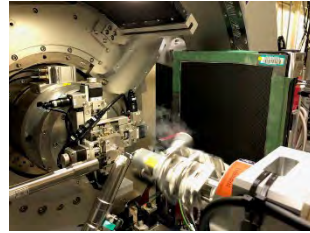
など

# ④ 反応の直接観察と反応メカニズム解明

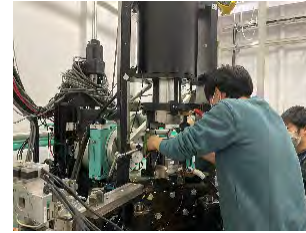
大型施設を利用した先端技術の活用



SPring-8 (兵庫県)

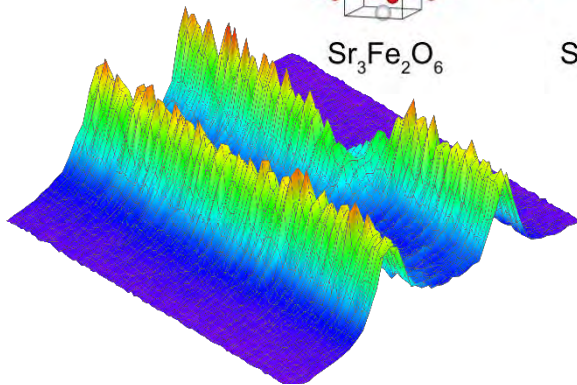
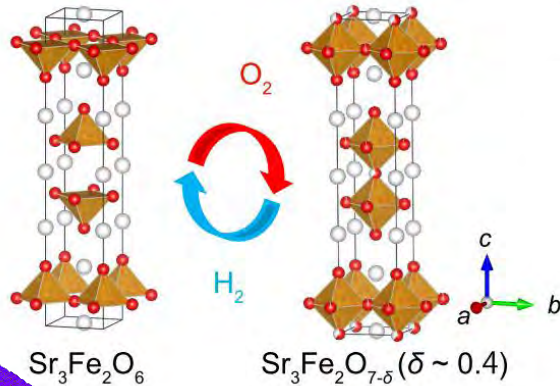


BL02B2ビームライン

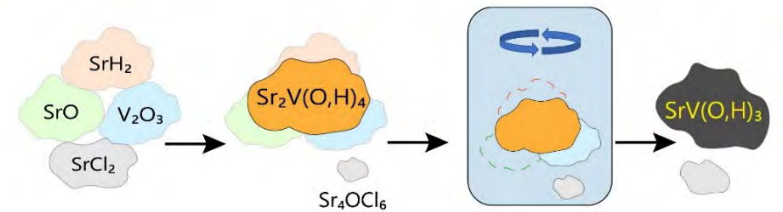
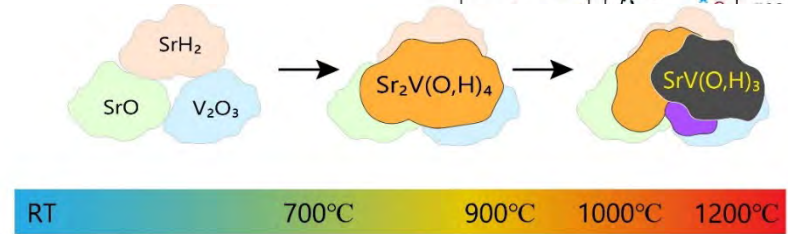
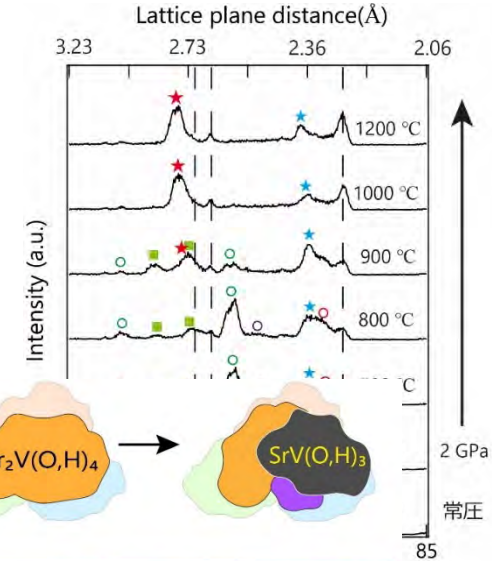


BL14B1ビームライン

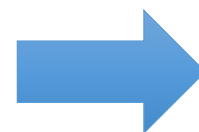
酸素貯蔵材料  
自動車排ガス触媒



瞬きの速度(0.1秒)で連続測定  
これまでとられなかった中間状態を見る



超高压下 (数万気圧) での反応を見る



反応メカニズムを理解し、  
反応設計や最適化へ