

物理工学科 材料工学コース

材料の機能と創製プロセスについての基本的原理・法則を理解し、いかなる材料の開発も行うことができるよう、材料全般に関して広く授業は行われます。

どのように材料を有効に利用するか

構造

どのように材料の機能を引き出すか

機能

どのように材料を作り出すか

プロセス

化学
物理学
力学

性能

材料はどのような性質を持っているか

環境

どのように材料を廃棄・再利用するか

材料工学コースの研究紹介

研究は原子レベルで制御する材料創製から宇宙ロケットの材料開発まで多岐にわたり、
キーワードは

新材料・エネルギー・環境・生命
です。

極限構造材料研究

実験と計算機シミュレーションを併用し
ミクロ組織形成の要因を明らかにする。

材料の組織は決定論的には決まらない。
カオス的な要素を含む。



オーステナイト系耐熱鋼



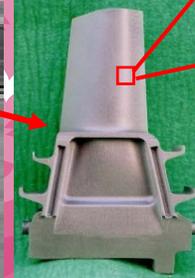
ジェットエンジン用
ニッケル基超合金



フェライト系耐熱鋼



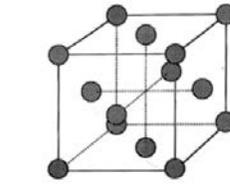
ガスタービン用超合金



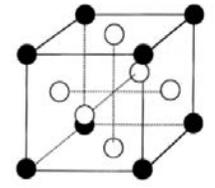
ナノ・
ミクロ
組織

基礎学問に根ざし
て実用構造材料へ

熱力学・物理学

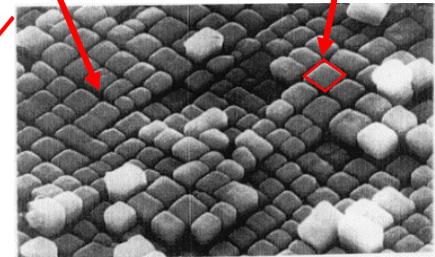


γ 相 (Ni固溶体)



γ' 相 (Ni₃Al型規則相)

○ Ni
● Al



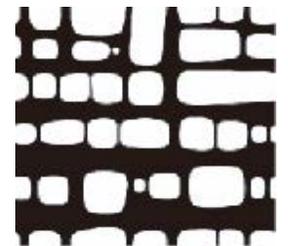
実合金組織

Ni基超合金の例

シミュレーション

$$\frac{\partial c}{\partial t} = M \nabla^2 \frac{\delta G_{\text{sys}}}{\delta c}$$

ミクロ組織の発展方程式

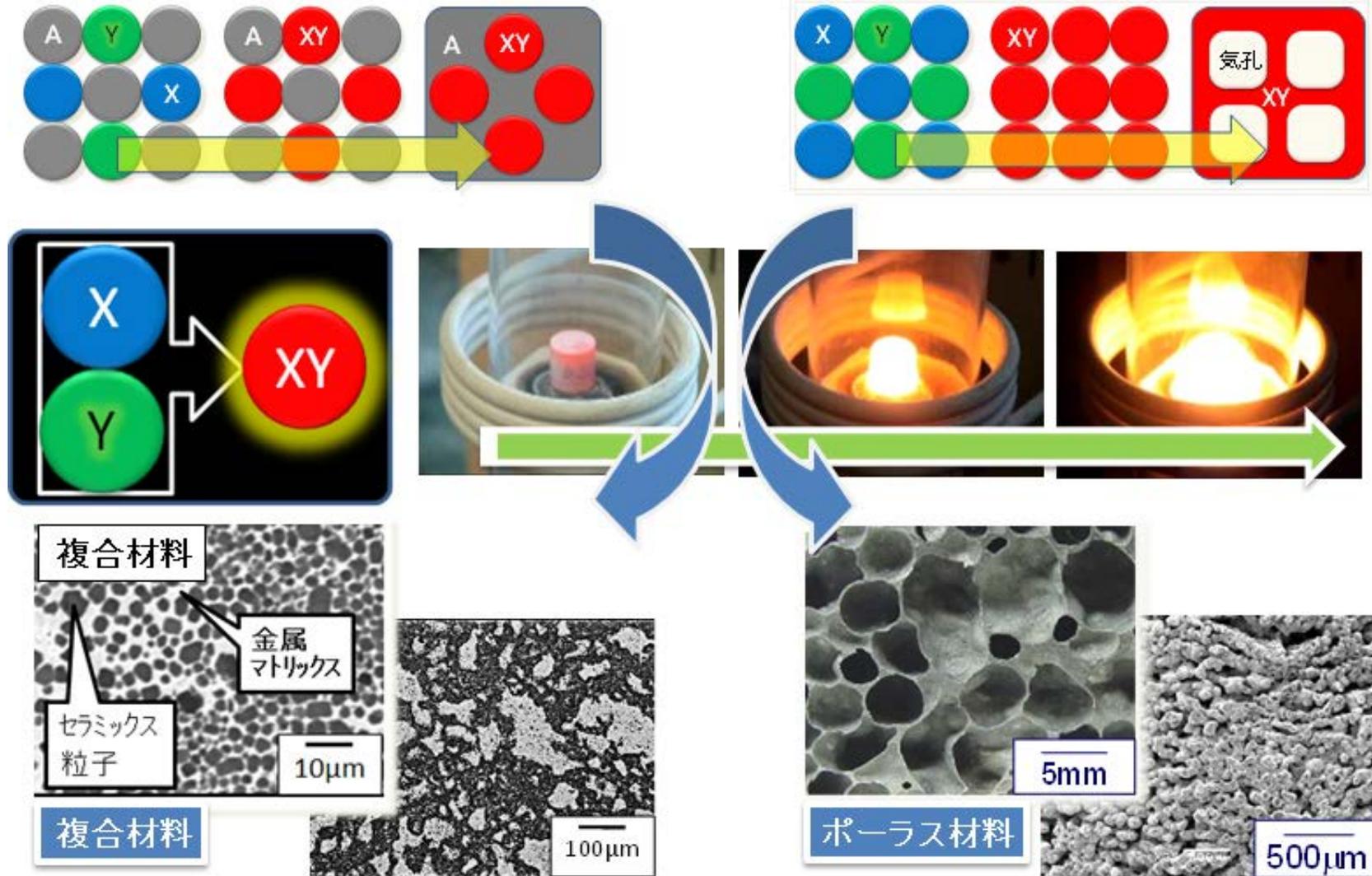


ミクロ組織の再現

材料構造制御 工学研究

化学反応を利用した複合材料・ポラス材料の創製

ミクロの粉末間の化学反応のエネルギーを利用して金属中でセラミックスを合成したり、空間を導入する技術の開発

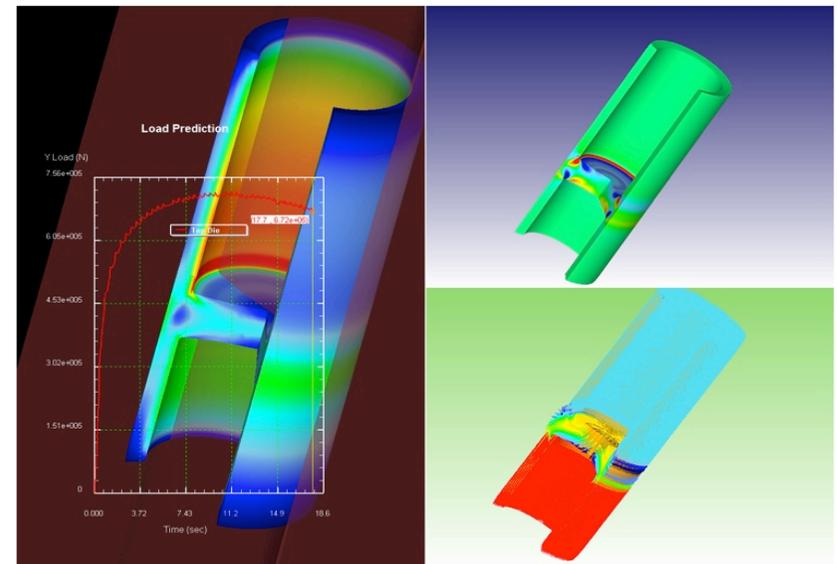


材料加工工学研究

塑性(ソセイ)加工とは、金属などの材料にプレスなどの加工機械を使って大きな力を加え、特性と形状を変化させて目的の形状・機能をもった製品に成形するプロセスです。鍛造、プレス成形、圧延、せん断など様々あり、材料の損失が少なく、成形速度も速いので多くの工業製品に利用されています。研究室では、塑性加工を利用した高精度製品や高機能部品の製造プロセスの開発、特性・欠陥発現メカニズムの解明をCAE(計算機シミュレーション)を積極的に利用して行っています。



サーボプレス



前後方押し鍛造による中空部品の成形
(計算機シミュレーション結果)

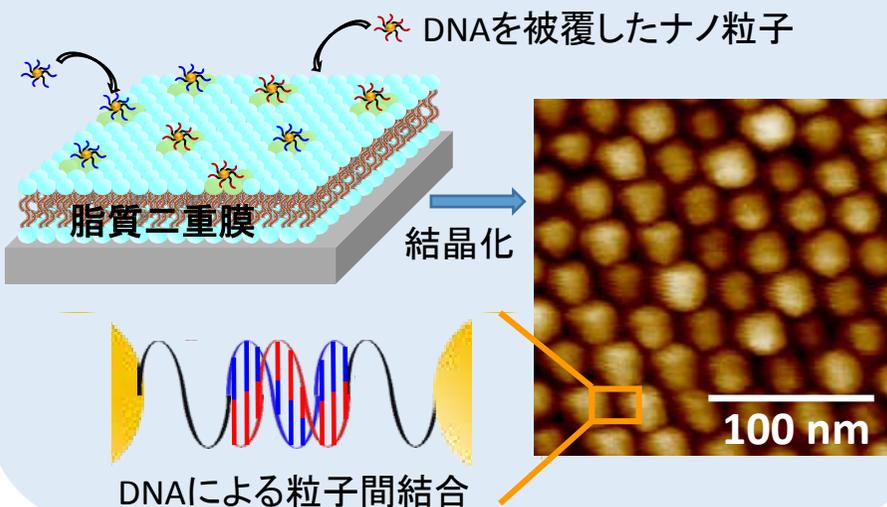
結晶成長工学研究

◇次世代パワーデバイス半導体材料として期待されるSiCの高品質結晶

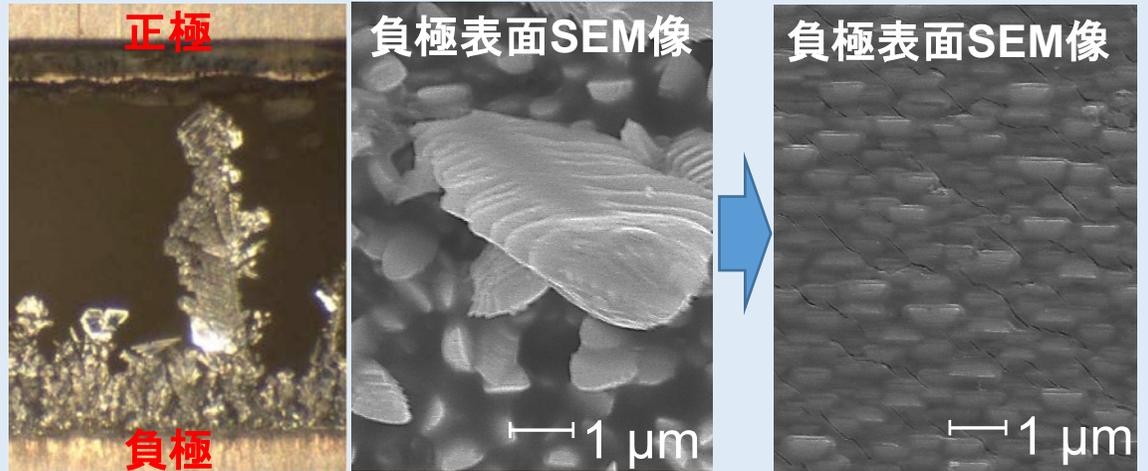


らせん状に成長したSiC結晶

◇生体分子を利用したナノ材料の結晶化



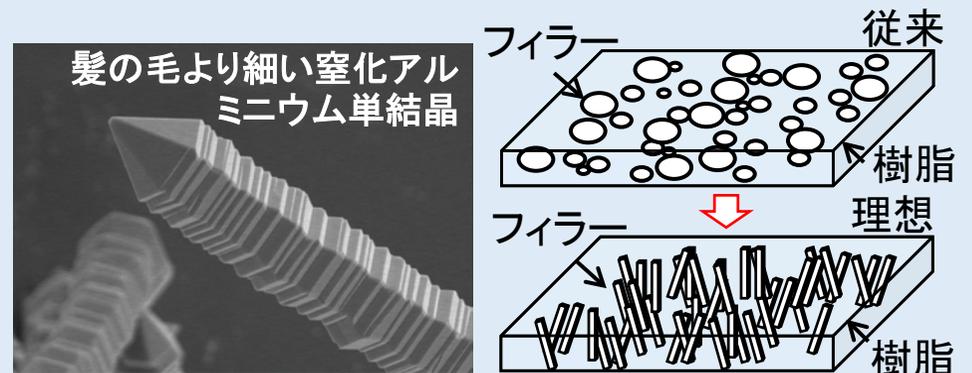
◇金属負極蓄電池の実現に向けたデンドライト抑制



亜鉛の不均一析出の顕微鏡像
(電池の短絡の原因となるデンドライト)

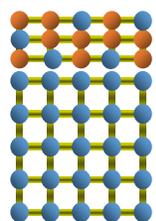
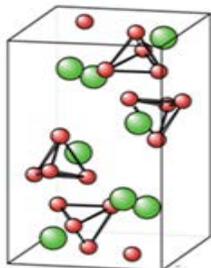
結晶成長メカニズムを
解明し析出を制御する

◇高熱伝導率・高絶縁性の絶縁放熱材料



高アスペクト比のフィラーを使用することでフィラー同士が接触する確率を増加し、熱伝導率を向上させる。

シリコン系新材料創製

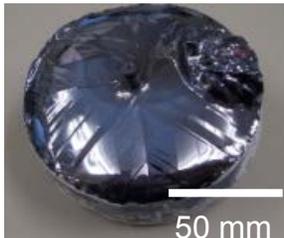
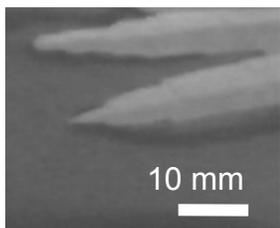


シリサイド関連物質

$Si_{1-x}C_x$

バルク

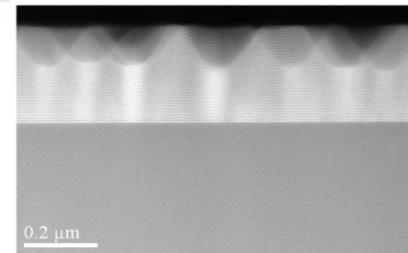
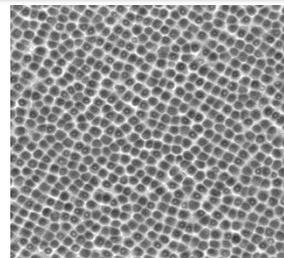
組織・欠陥・不純物・歪みの制御



超高品質シリコンバルク結晶

ヘテロ

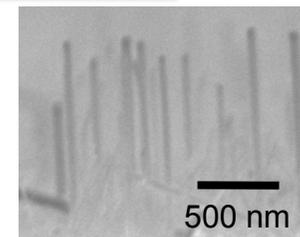
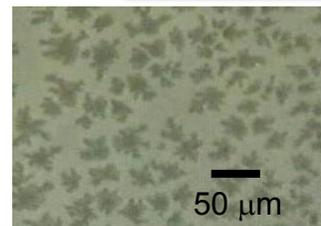
ボトムアップ・トップダウンプロセスの融合



Siベースナノ構造・ナノデバイス

薄膜・ナノ

表面界面の制御



大粒径シリコン薄膜結晶

Siナノワイヤー

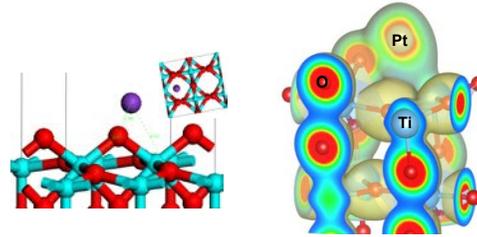
ホモ

資源が豊富なシリコンをベースとする材料イノベーションにより
次世代高性能太陽電池やULSIデバイスの創製へ

材料設計工学研究グループ

当研究グループでは、物質・材料の構造変化やマクロな性質の起源を原子・電子構造のレベルから解明するとともに、それに基づいて、これまでにない新しい材料の設計と開発を行っています。

環境を守る触媒材料

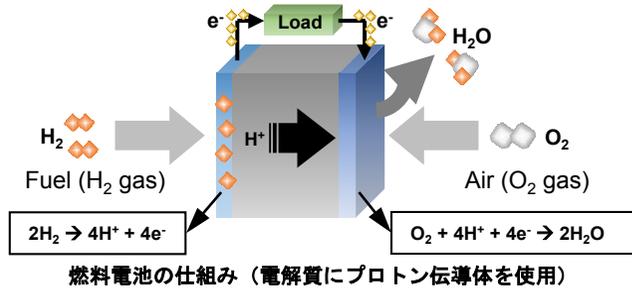


理論計算により得られたTiO₂表面上の活性金属の吸着構造および電子構造

- 酸化チタン表面上における貴金属元素の原子レベル吸着機構解明とその触媒特性

高機能触媒材料の開発により、有害物質の排出量を低減することが可能です。原子・電子レベルでのミクロな視点から材料を捉えることで、機能の発現メカニズムが明らかとなり、さらなる特性向上の指針を構築することができます。

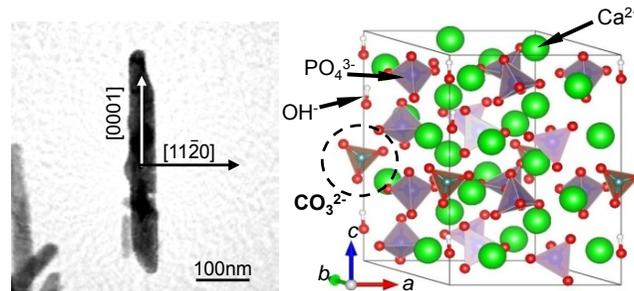
環境に優しい燃料電池



次代のクリーンエネルギー社会へ向けて、燃料電池の高性能化が望まれています。H⁺やO²⁻イオンが高速伝導する電解質は、燃料電池の性能を決める重要因子のひとつです。

- 理論計算に基づく新しいプロトン伝導性材料の設計および探索
- アパタイト型酸素イオン伝導体の伝導経路解析

高齢化社会を担う生体材料

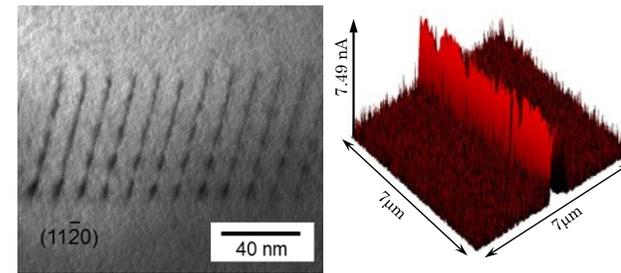


(左) ハイドロキシアパタイト(HAp)のナノ粒子
(右) HAp中への炭酸イオンの侵入形態

来るべき超高齢化社会において、人工関節や人工骨の機能向上は急務です。

- カルシウムリン酸塩中への炭酸イオン固溶機構の解明
- 酸窒化処理チタン中の窒素固溶形態の解明

豊かな未来を作るナノテクノロジー



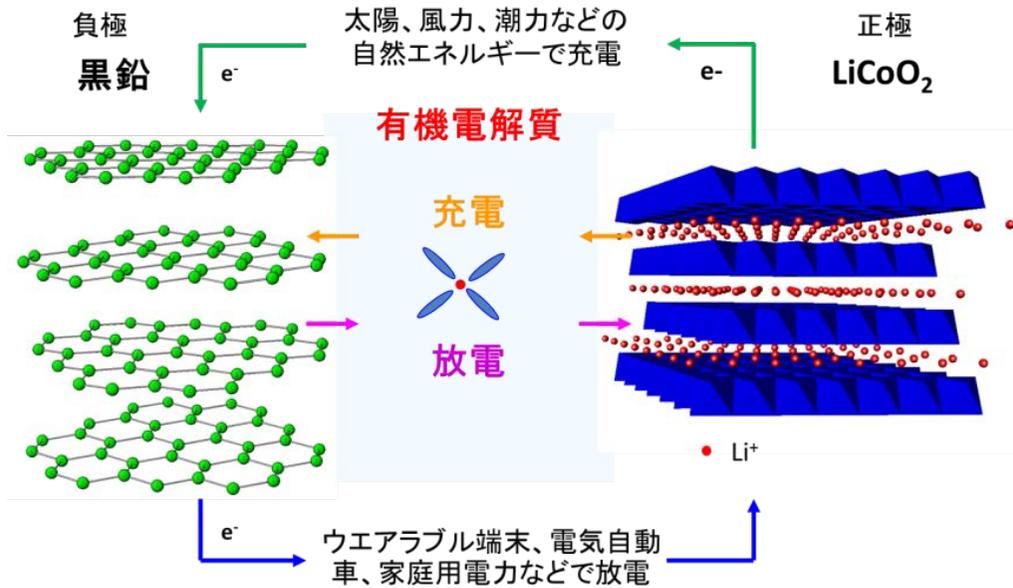
(左) 透過電子顕微鏡で観察したナノ細線
(右) 原子間力顕微鏡によるナノ細線の電気伝導度測定結果

ナノテクノロジーは新たな機能発現の可能性に満ちた魅力ある世界です。

- 点欠陥・転位・粒界などの格子欠陥制御に基づく新奇機能性材料の開発
- 原子間力顕微鏡による局所物性評価

ナノ集積工学研究

新しい電池には、自然エネルギーの有効利用、快適な生活の基盤技術、環境に優しい社会の構築、災害に強い街作り等 様々な分野への貢献が期待されています

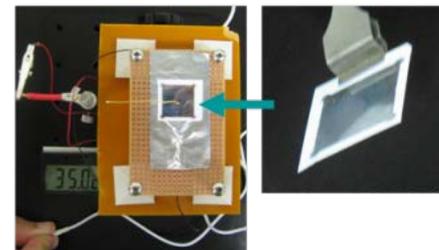


可燃性の有機電解質 → セラミックス電解質へ！
安全・長寿命・高エネルギー密度(電気をたくさんためられる)

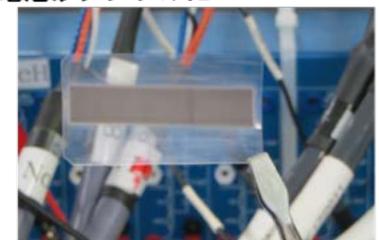


ナノ集積工学で
界面設計と制御
→高性能化！

全固体リチウム二次電池



プラスチック基板にも形成可能！
電池がシンプルに



固体電解質が
新しい電池開発への鍵！

メリットが多い : 不燃性、液漏れなし、長寿命、高エネルギー密度、安全 etc....

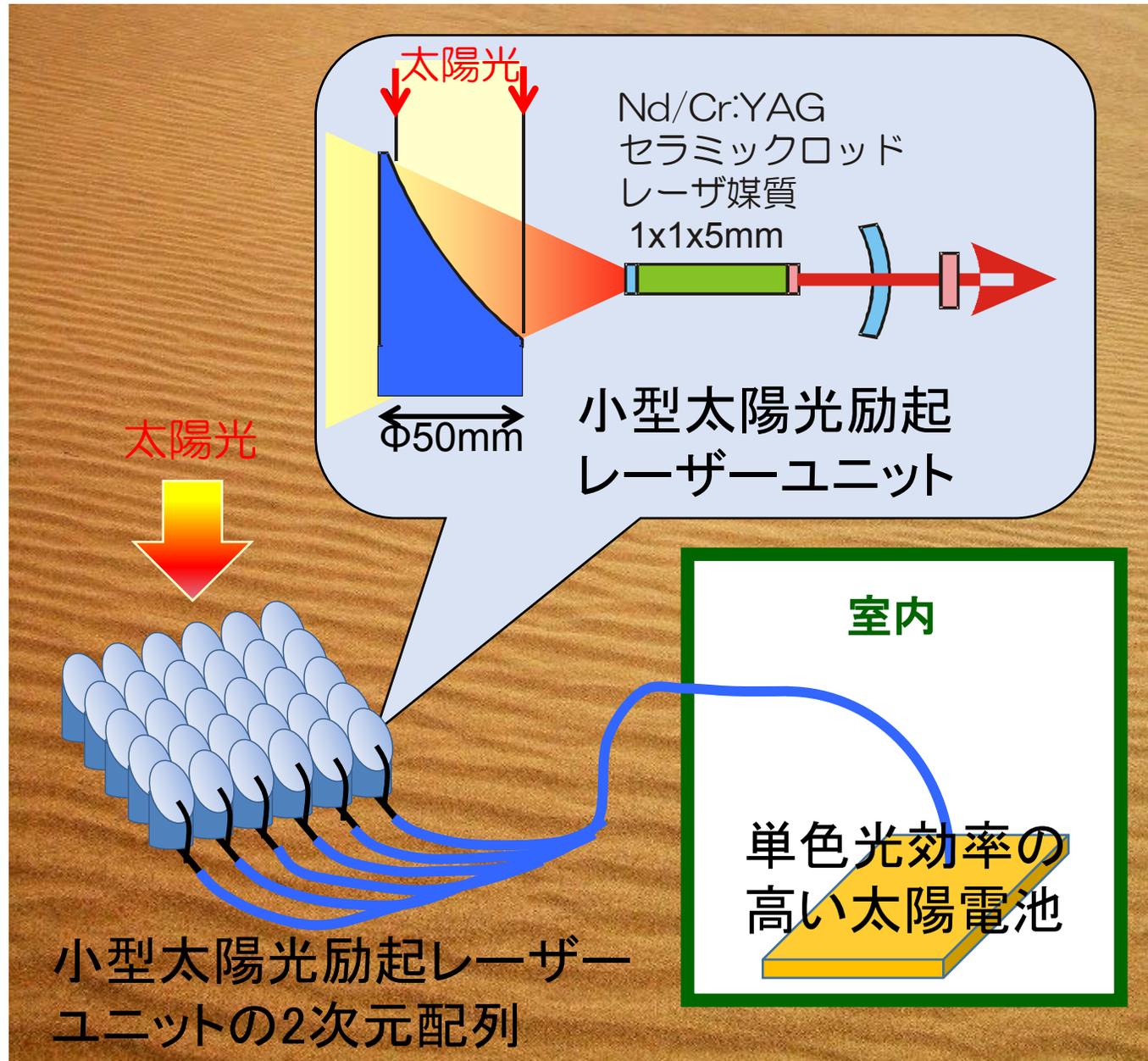
課題が深刻 : 固体-固体界面(電極-固体電解質、固体電解質-固体電解質)での反応抵抗が大きい。また、固体電解質を用いた電気化学現象には不明な点が多い。

研究のターゲット → 全固体リチウム二次電池、金属空気電池、etc

- ・固固界面での反応抵抗を低減する手法の開発。
- ・固固界面で起こる電気化学反応の基礎現象の解明。

エネルギー創生・貯蔵材料研究

長時間発振が可能な小型太陽光レーザーを2次元に配列し、レーザー光の伝送性と小スポット性を活かし、室内などに置かれた単色光特性を強化した太陽電池と組み合わせ、砂漠、洋上など太陽電池の劣化が激しい環境における持続的太陽光発電を実現します。



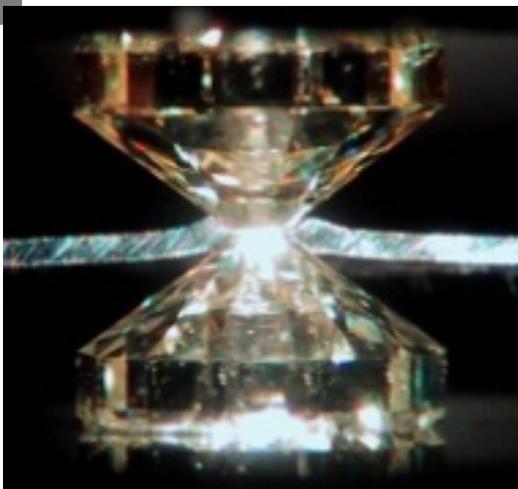
高圧力物質科学研究

◇超高压発生装置

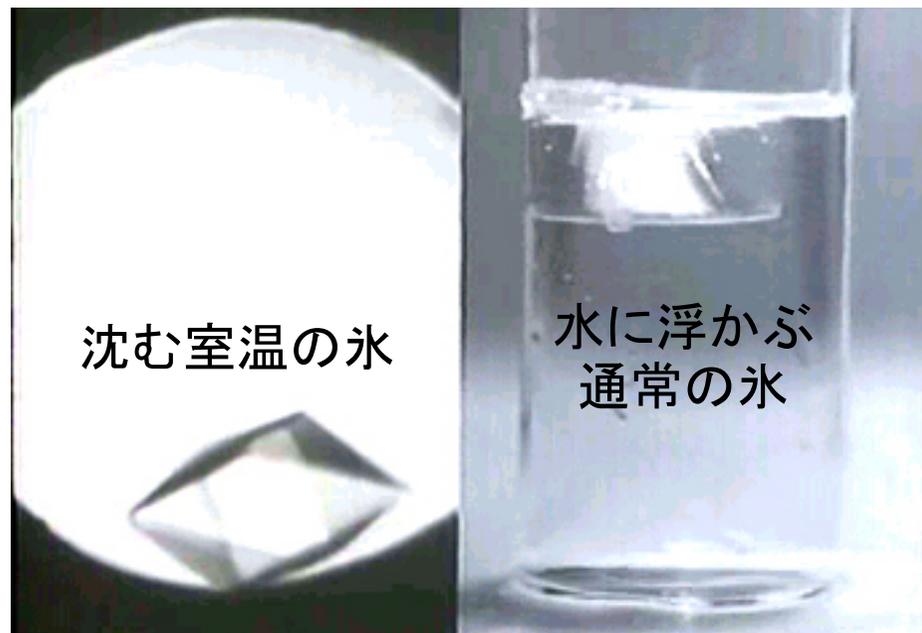


手のひらにのる
100万気圧超
高压発生装置

一対のダイヤモンド
の間に物質を挟み荷
重をかけることで超
高压を発生させるダ
イヤモンドアンビル



◇水より重たい氷

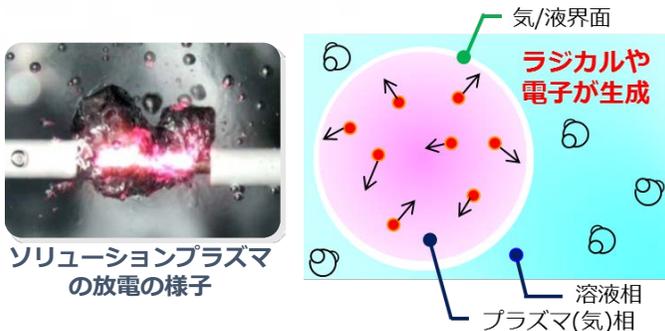


超高压下では水より重たい室温
の氷を作ることができる

反応動力学研究

冷たい液中プラズマ ～反応場と材料合成～

◇ソリューションプラズマ反応場

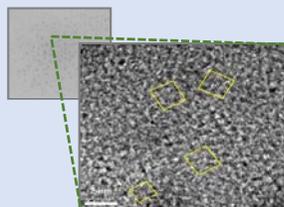


ソリューションプラズマの放電の様子

- 気/液界面での**高密度、高速反応**
- **様々な溶質**との化学反応
- **溶媒のプラズマ化・クエンチ過程**による新規材料合成

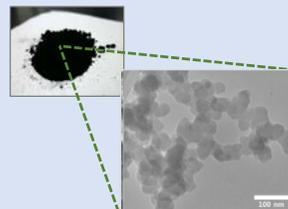
◇材料合成

ナノクラスター



1~2nmのナノクラスター
極限サイズの精密制御

カーボン材料



大口径多孔質カーボン
ナノクラスター担持カーボン一括合成

表面改質



処理前 処理後
CNTs強酸処理 (6h)
-> SP (30min)
環境低負荷、高速処理

バイオ

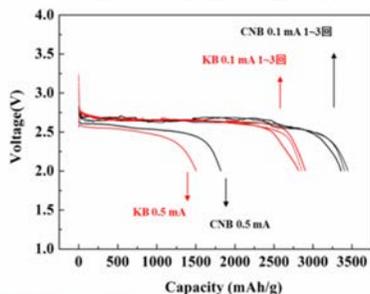


AuNPs/H₂O AuNPs/Alg
アルギン酸塩水溶液中の金ナノ粒子
化学薬品不使用、良分散性

◇応用技術

電池

次世代大容量電池の開発



正極材料
従来材料の
1.5倍の容量



軽量化

分散液を液添することで、
コンポジット材料を作成



溶融混練



吸気マニフォールド

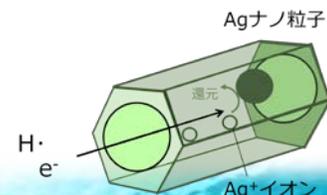


ポリアミド強化樹脂

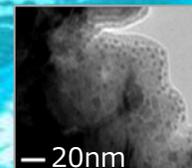
ガラス強化樹脂に対し、
30%程度の軽量化

排気

ガス、CO酸化触媒材料



メソポーラスシリカ内に
Ag触媒を担持



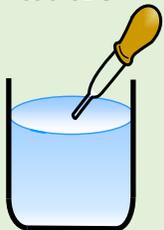
—20nm
ナノ粒子の担持
(内側)



CO酸化触媒材料

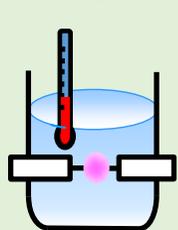
◇ソリューションプラズマのメリット

溶液化学



精密合成
反応速度 遅

SP



グロー放電(低温)
反応速度 速

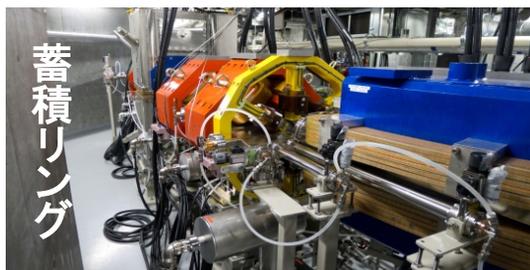
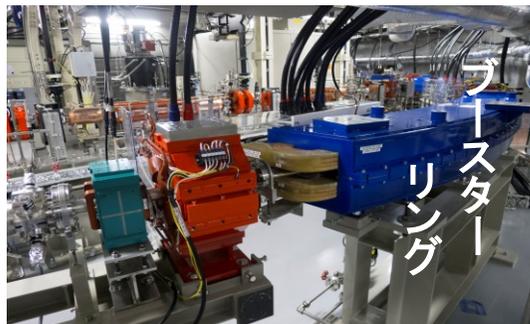
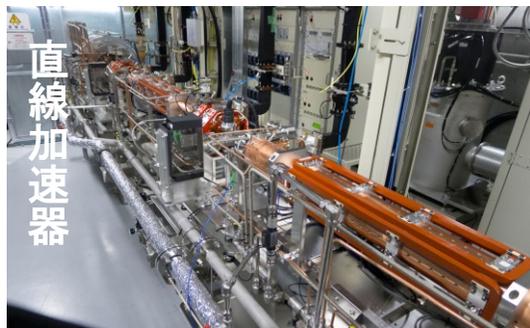
液中放電



アーク放電(高温)
反応速度 速

シンクロトロン光応用工学研究

光源加速器およびシンクロトロン光の利用



電子ビーム生成

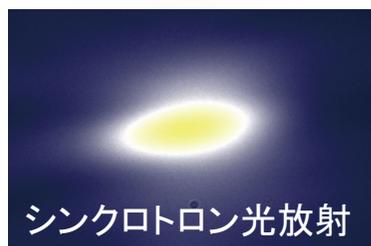
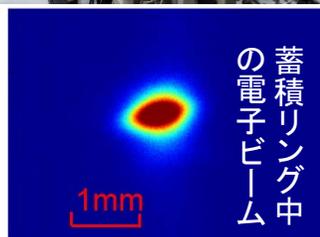
加速

蓄積

シンクロトロン光

発生

利用



鉄系超伝導体の電子状態の研究

計算外の構造発見！

スピンの揺らぎという効果が特殊超伝導を実現する手掛かり

希土類半導体の電子状態の研究

謎の色変化メカニズム
電子状態の違いから明らかに

Sm_{1-x}Y_xS

Sm → Y 置換量

x = 0 x = 0.05 x = 0.17(B) x = 0.17(G) x = 0.33 x = 1

Binding Energy (eV)

Wave Vector k_{ij}

トポジカル絶縁体の電子状態の研究

真空

↑ up spin

↓ down spin

トポジカル絶縁体

新材料の電子状態を決定！

材料物理化学研究

現代の錬金術＝ 廃棄物の安全で安心な再利用



- 分離・分割が困難な混合物・複合物
- 環境に有害で難処理の廃棄物
- 有用資源を含む廃棄物

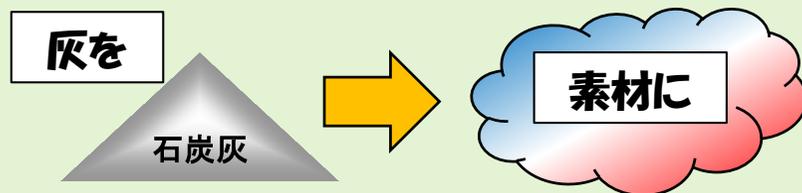
■再資源化・無害化処理プロセスにおける処理条件と材料特性との相互関係に関する基礎的研究、及び処理技術の研究・開発

材料再生プロセス工学研究

廃棄物のリサイクリング？ どうやって？？？



ではどうするか？ ひとつの解決方法として…



廃棄物を鉱石と同じように原料として使う

具体的には、

- ・違う種類の廃棄物同士の化学反応を利用して素材元素を別々に分けて取り出す！
- ・灰(石炭灰, 火山灰)から太陽電池の素材になるシリコンを取り出す！ etc...