

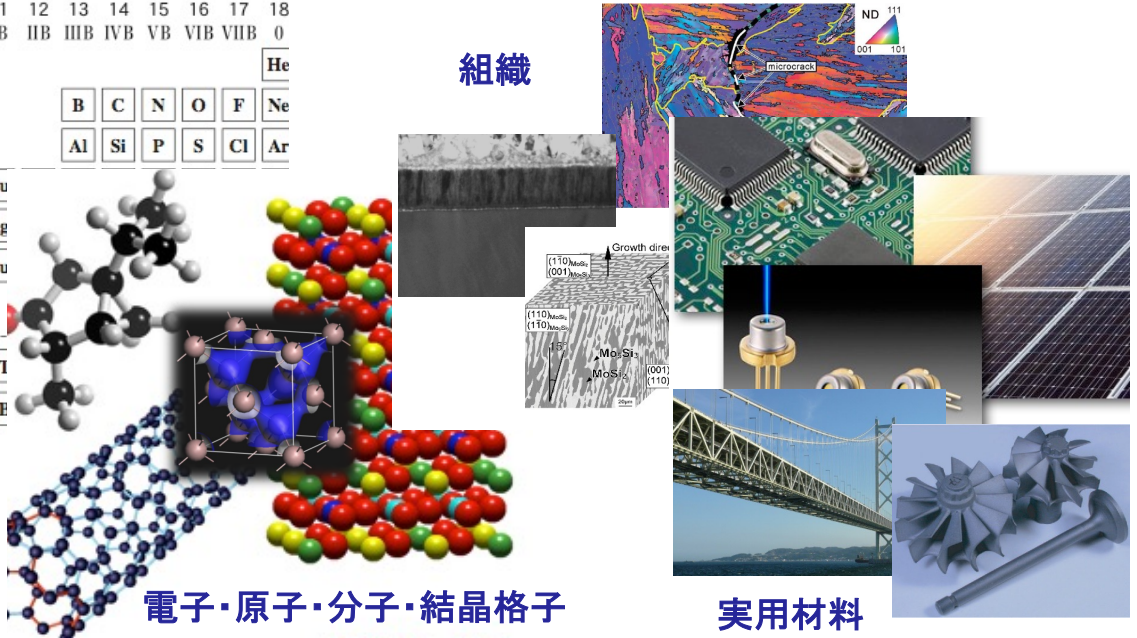
材料科学コース

材料科学コース

「物質」を、電子・原子・分子・結晶格子・組織構造という様々な階層レベルで設計し、新しい「材料」を創造する理論・技術を構築しています。

7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
VIIA	VIII			IB	IIB	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIA	0
He											
元素											
		B	C	N	O	F	Ne				
		Al	Si	P	S	Cl	Ar				
Mn	Fe	Co	Ni	Cu							
Tc	Ru	Rh	Pd	Ag							
Re	Os	Ir	Pt	Au							

Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	I						
U	Np	Pu	Am	Cm	F						



京都大学工学部 物理工学科 材料科学コース

材料科学コース

コースの歴史

120年の伝統

明治30年(1897年)	採鉱冶金学科設立（京都帝国大学の創立と同時に設立）
昭和17年(1942年)	採鉱冶金学科が冶金学科と鉱山学科の2学科となる（鉱山学科は後に資源工学科となる）
昭和36年(1961年)	冶金学科が金属加工学科を新設する
平成6年(1994年)	冶金学科と金属加工学科は改組により、材料工学専攻とエネルギー応用工学専攻になる。材料工学専攻が現在の物理工学科の材料科学コースを兼担する
平成20年(2008年)	国際融合創造センター（旧 メゾ材料研究センター）の2講座が材料工学専攻に加わり、全12研究室に



旧 採鉱冶金学教室

現在の研究分野

材料設計工学

材料設計工学分野
先端材料設計・教育分野

材料プロセス工学

表面処理工学分野
物質情報工学分野
ナノ構造学分野

材料物性学

量子材料学分野
結晶物性学分野
構造物性学分野

先端材料物性学

先端材料物性学分野

材料機能学

磁性物理学分野
材質制御学分野
機能構築学分野

先端材料機能学

先端材料機能学分野

ホームページ

<http://www.s-es.t.kyoto-u.ac.jp/mat/ja>

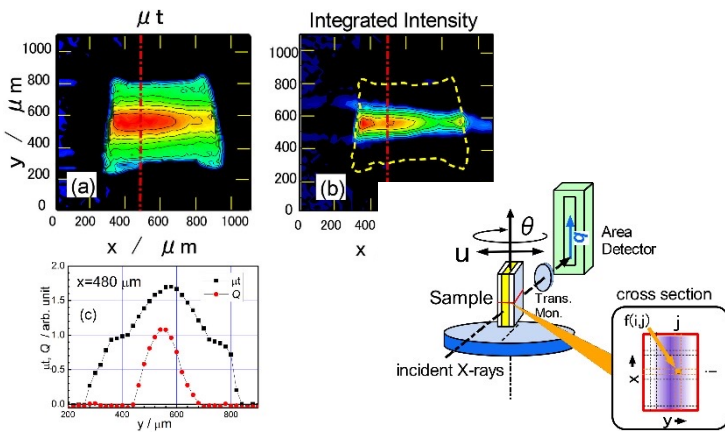


京都大学工学部 物理工学科 材料科学コース

-新規解析手法の開発によるナノ～原子スケールの材料評価-

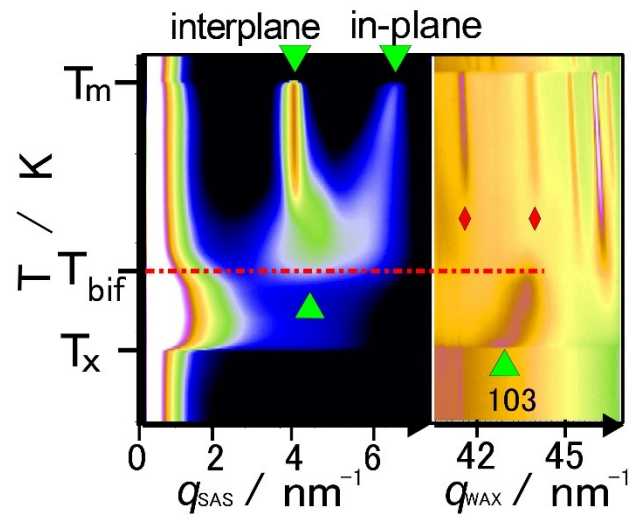
先端材料物性学分野では放射光を用いたナノ構造の制御解析, 走査トンネル顕微鏡 (STM)を用いた原子～ナノスケールの構造の物性評価を行っています。

バルク内部のナノ構造分布をのぞく:
散乱トモグラフィーの実現へ



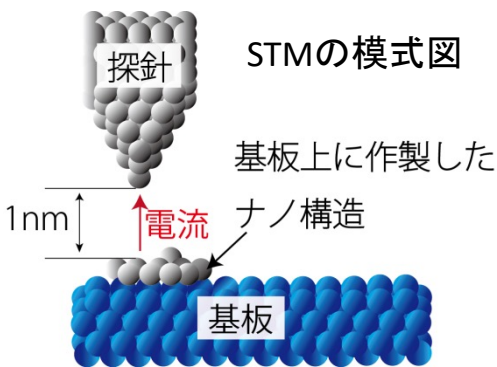
三次元の複合材内部でナノ構造がどのように分布しているのかを非破壊計測する手法を開発しています。複合材を壊さず特性予測する設計評価法につながります。

温度変化中の階層的相転移のリアルタイム計測



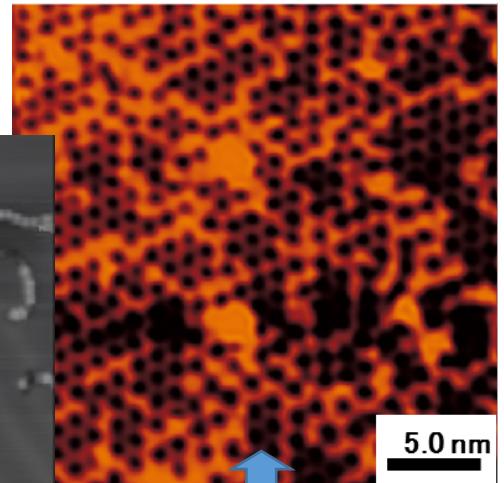
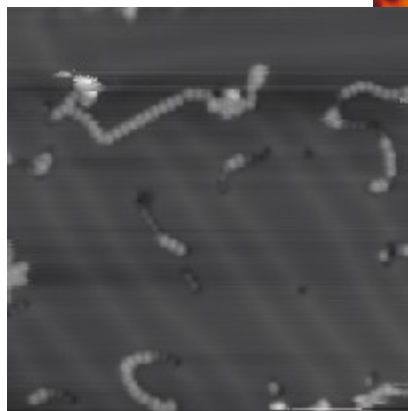
リアルタイムX線散乱回折のデータからは材料内部のナノスケールの構造の情報が得られます。本研究では、「Mg-LPSO合金」と呼ばれる合金内部の組織形成の詳細を捉えることに成功しました。

STMを用いた表面ナノ構造の評価・バルク材料の評価



STMは表面を“なぞる”ことによって原子像を得る手法です。これを用いて、表面に形成されたナノ構造やバルク材料内部の構造の、観察・評価を行っています。

貴金属表面に形成された、新奇炭素ナノ構造の研究



Mg-Zn-YLPSO合金内部のSTMによる組織観察

電気化学・熱力学に立脚した環境に優しい材料開発

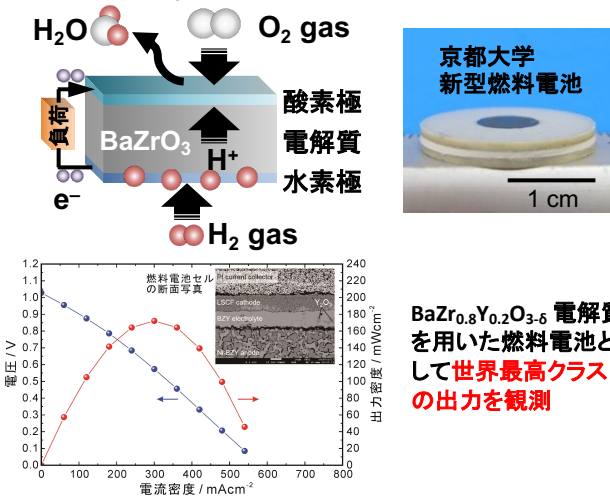
中温型燃料電池

- ・ 火力発電では、燃料のもつエネルギーのうち 35~40%しか使われていない
- ・ 一方、エネファーム型燃料電池では、都市ガス燃料の 87% を有効利用
- ・ 火力発電の代わりに燃料電池が普及すれば原発は必要なくなるが、その普及は進んでいない
それは、燃料電池の価格が高いから！

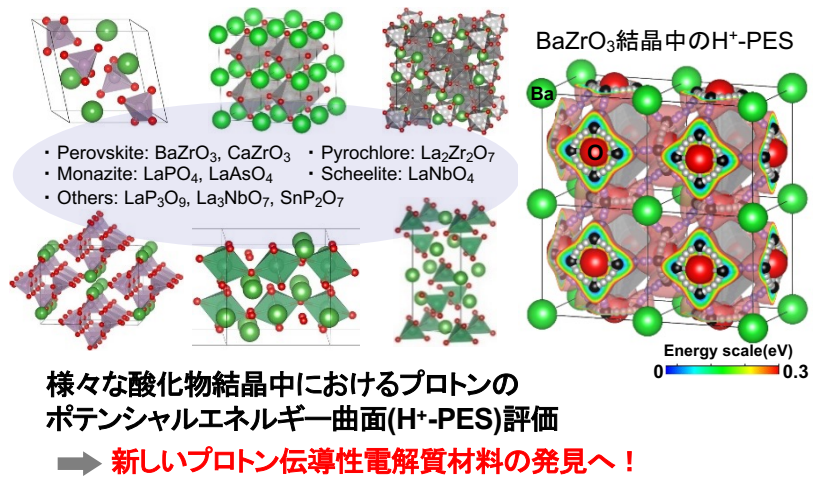
【低コストを実現する新型燃料電池に求められる条件】

- ・ 高価な白金を使わないこと
- ・ 動作温度がマイルド(すなわち 600°C 以下)であること

【BaZrO₃電解質を使用した燃料電池】



【理論計算主導のプロトン伝導性材料の探索】



溶融塩を用いたチタンの新製錬プロセス

【夢の金属チタン】

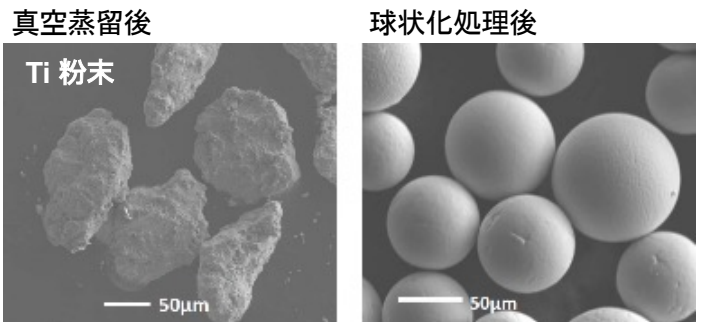
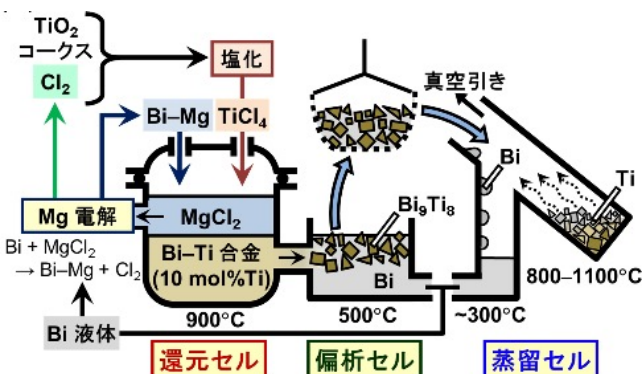
- ・ 資源埋蔵量が豊富
- ・ 重量当たりの強度が金属材料で最高クラス
- ・ 海水中での耐食性が金・白金等の貴金属並みに高い

しかし、チタンの生産量は伸び悩んでいる
それは、チタンの製造コストが高いから！

チタン鉱石からの金属チタンの製造は、70 年前に Kroll 博士が開発した手作業に近い手法のまま！
連続法によるチタン製錬法の革新が必要

【R2 (Reduction and Refining) 連続新製錬プロセス by 京都大学】

チタン化合物 (TiCl₄) を Bi-Ti 液体合金中に還元し、蒸留によって Ti を分離

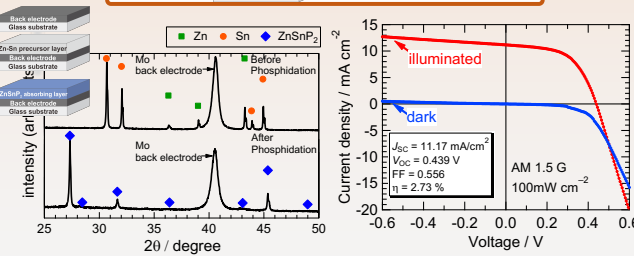
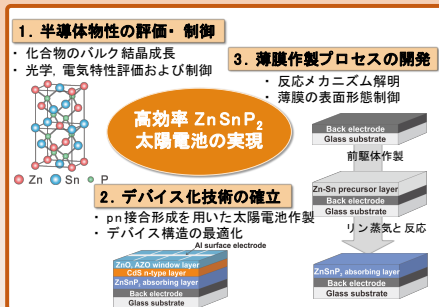


真空蒸留により、Bi-Ti 合金から高純度 Ti 粉末が得られた

エネルギー創成材料の創出・空間の幾何学が繋ぐ構造-物理量

レアメタルフリー太陽電池の開発 —新規太陽電池材料ZnSnP₂—

太陽光発電の更なる普及には、安価で高効率な太陽電池を実現する必要があります。当グループでは、レアメタルフリー太陽電池の実用化を目指して研究を進めています。

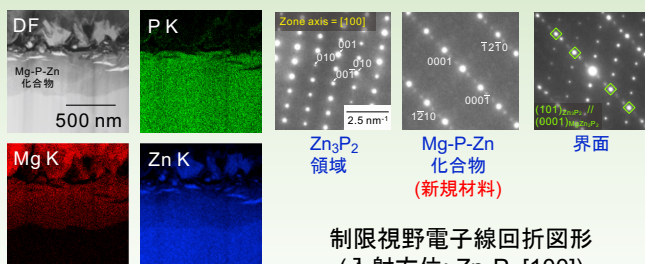


Zn-Sn膜のリン化反応を利用してZnSnP₂膜の作製に成功。ZnSnP₂太陽電池が発電することを世界で初めて確認。

ヘテロ接合界面における構造と特性

デバイスにおけるキャリア輸送は、金属/半導体接合、半導体/半導体接合などの界面反応の影響を強く受けます。当グループでは、平滑な表面が得られるバルク結晶を用いた実験と熱力学に基づく考察の両面から基礎研究を進めています。

Mg(p-Zn₃P₂)太陽電池 (最高変換効率 6%)の断面観察

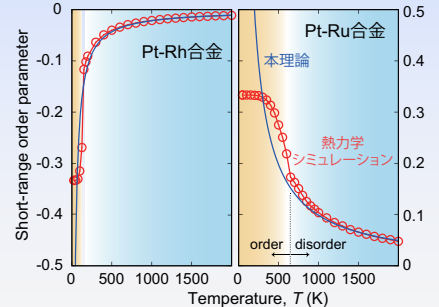
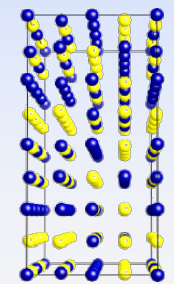
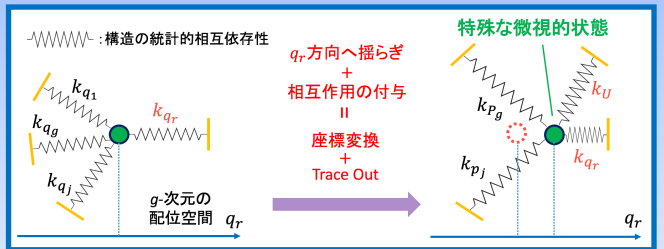


断面 STEM-EDX 測定 (300 °C, 1 h 熱処理後)

熱処理により、Mg/Zn₃P₂ 界面で反応拡散が起こり、これまで知られていなかったMg-P-Zn化合物が形成されることを初めて見出しました。この化合物は、太陽電池の高効率化の鍵を握ると考えています。

平衡状態の性質に対する空間的拘束の役割の解明 -次元の呪いへの挑戦-

平衡状態に対応する微視的状態は、系のサイズと共に指数関数的に増加します。私達は構成粒子に対する空間的拘束(格子等)に着目し、平衡状態の物理量を特徴付ける特殊な微視的状態を解明しました。現在、この理論の応用研究を進めています。

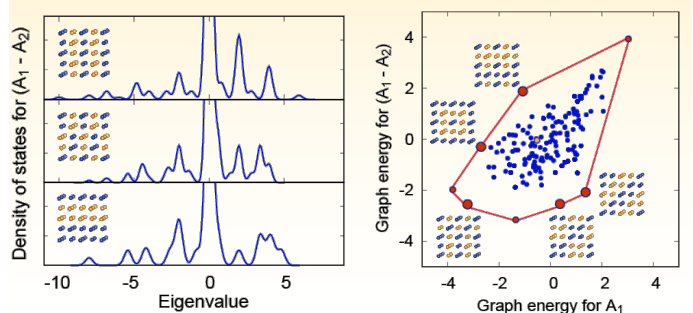
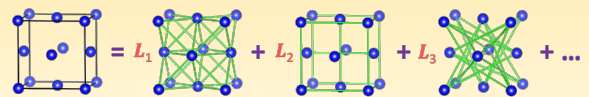


特殊な微視的構造

合金の短範囲規則度の温度依存性

結晶性固体の「固い」空間と「柔らかい」空間の統一 -構造と物理量をつなぐ-

内部エネルギー等を古典系で扱う場合、系の微視的構造は通常部分系のテンソル空間で表します。一方でトポロジーの情報が必要になる物理量も考慮すると、統一的な記述が必要になります。私達は両方の利点・特徴を保持した記述の統一に成功し、物理量を表現する新しい枠組みを構築する基礎研究を進めています。



規則構造のスペクトル表示

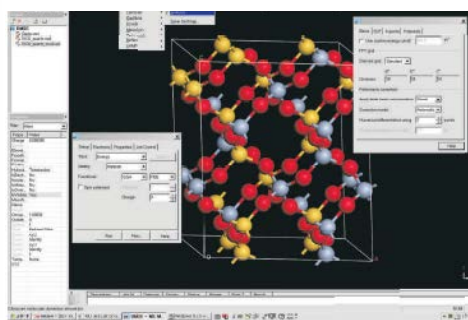
新規記述に基づく特徴構造の探索

コンピュータシミュレーションに基づいた合理的な材料設計

近年、量子論に基づいた計算技法の進歩とコンピュータの演算能力の飛躍的な向上により、元素の組み合わせや並べ方を決めたときにどのような性質が現れるか、実際にその物質を合成しなくてもシミュレーションによって予測することが可能になってきました。目的とする機能を最大限に引き出すための設計図をコンピュータ上で描くことができるようになりつつあり、私たちはこれを量子材料設計法と呼んでいます。合理的かつ経済的な材料探索を可能とする量子材料設計法は、近い将来、材料開発に革新をもたらすこととなるでしょう。私たちはその先鞭をつける仕事をしています。

高速並列処理コンピュータ

量子力学計算ソフトウェア

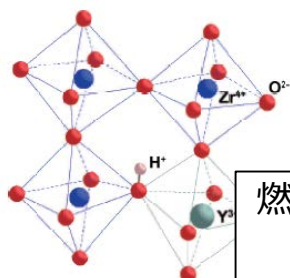


- 量子力学計算
- 分子動力学計算
- 統計熱力学計算
- 機械学習法
- データベース

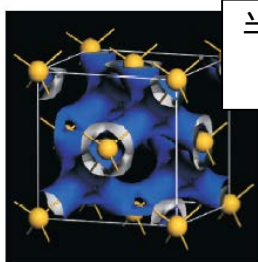
高性能コンピュータを駆使し、材料機能を
原子・電子レベルで設計

先端技術を支える新素材開発へ

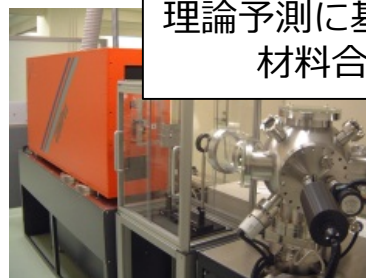
- リチウムイオン二次電池, 燃料電池材料
- 半導体材料
- 構造材料



燃料電池固体電解質中の
イオン伝導



半導体材料中の
電子の分布



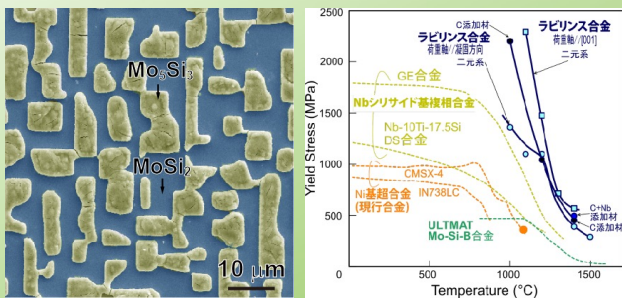
理論予測に基づいた
材料合成

耐熱構造材料等の金属間化合物材料の基礎研究・開発

結晶性材料の特性はナノ・スケールの結晶欠陥により左右されます。このようなナノ・スケール結晶欠陥そのものの特性(Defect Properties)を評価し、それらの構造や配列を制御することによりバルク結晶の特性向上を図る基礎研究(Defect Engineering)をおこなっています。

超高温耐熱構造材料の開発

高熔点、高温強度に優れた遷移金属シリサイドを組み合わせたBrittle(脆性)/Brittle複相材料という全く新規な概念のもと、Ni基超合金などDuctile(延性)相を含む旧来の合金では達成できない燃焼温度1800°C級ガスタービンでの使用に耐える超高温用耐熱材料の開発を目指しています。



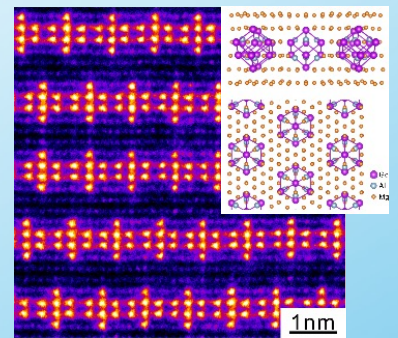
MoSi₂/Mo₅Si₃ラビリンス合金の微細組織 既存合金、競合金をはるかに上回る高温強度特性

世界最高性能の透過電子顕微鏡による原子スケールでの結晶・欠陥構造解析

極めて高い空間分解能(約0.08nm)で原子配列を直接観察することにより、従来構造解析が困難であった非常に複雑な結晶の構造決定に成功しています。



球面収差補正走査透過電子顕微鏡 (Cs-corrected STEM)

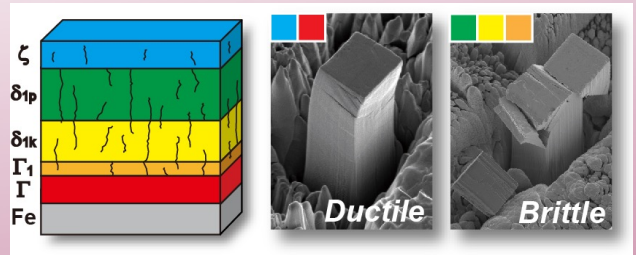


長周期積層構造Mg合金の走査透過電子顕微鏡像

マイクロピラー圧縮試験法による力学特性評価・変形機構解析

近年、新しい力学特性評価・変形機構解析法として、集束イオンビーム(FIB)加工により作製した微小試料を、フラットパンチ型ダイヤモンド圧子を備えたナノインデント装置を用いて圧縮する試験法であるマイクロピラー圧縮試験法が注目されています。

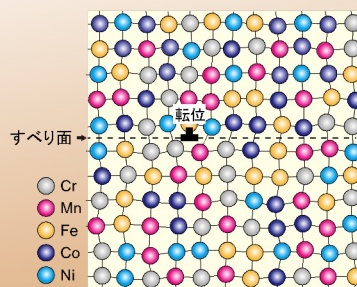
私たちの研究室ではマイクロピラー圧縮試験法を用いることで、大型単結晶の育成が困難な試料や複相材料中の微小単相領域、バルクサイズでは室温において脆性的な性質を示す材料等についての力学特性評価・変形機構解析を行い、これまで明らかにされていなかったさまざまな新しい知見を得ています。



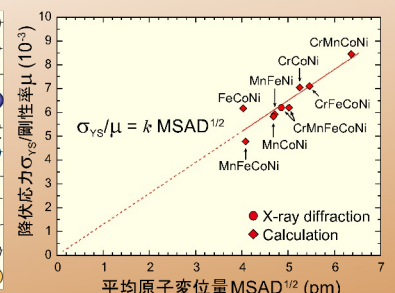
合金化溶解亜鉛メッキ鋼板のメッキ被膜の模式図 圧縮変形後のマイクロピラーの外観

高エントロピー合金

5つ以上の元素をほぼ等原子量含む合金は、大きな混合エントロピー効果により単純な結晶構造(FCC, BCC等)を持つ単相固溶体を形成する場合があります。特異な力学・物理特性を示すことから近年高エントロピー合金として盛んに研究されています。これまでに異なるサイズの原子が混ざり合うことに起因して結晶格子歪が存在し、強度特性に影響を及ぼすことが明らかにされてきました。私たちは結晶格子歪を格子点からの平均原子変位量として定量化し、その値により合金強度を予測する新しいモデルを提案しています。



Cr-Mn-Fe-Co-Ni高エントロピー合金の結晶構造の模式図



等原子量合金における降伏強度と平均原子変位量の相関

教授 辻 伸泰, 准教授 高 斯, 助教 朴 明駿, 助教 吉田 周平
特定助教 崇 巖, 特定助教 黄 錫永, 特定助教 Gholizadeh Reza

研究室HP <http://www.tsujilab.mtl.kyoto-u.ac.jp/ja>

安心・安全で環境にやさしい社会基盤材料の革新

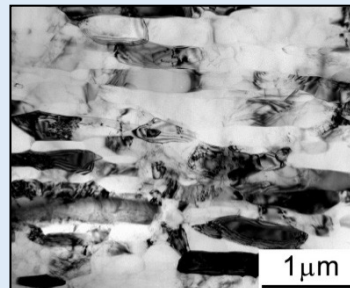


社会の基盤を支え、安全性・信頼性を高めるために、様々な金属材料が用いられています。私たちの研究室では、鉄鋼・アルミニウム合金といった構造物金属材料のナノ・ミクロ組織の形成機構やナノ・ミクロ組織と力学特性の相関に関する基礎研究を行っています。

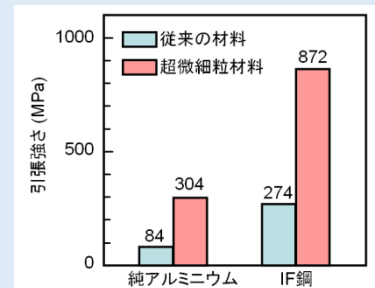
バルクナノメタルの創製とその力学特性

我々は、ARBという大きな塑性変形を施す巨大ひずみ加工プロセスや新しい加工熱処理プロセスを独自に開発し、超微細粒・ナノ組織の創製に成功しています。結晶粒径 $1\mu\text{m}$ 以下のバルク金属(バルクナノメタル)は、粒径数十 μm の従来金属に比べて優れた力学特性を示します。たとえばバルクナノメタル材は同じ化学組成で従来粒径材の4倍にも達する強度を有しています。

我々の研究室では、バルクナノメタルの創製プロセスやバルクナノメタルが示す優れた力学特性の発現原理を明らかにするための研究に取り組んでいます。



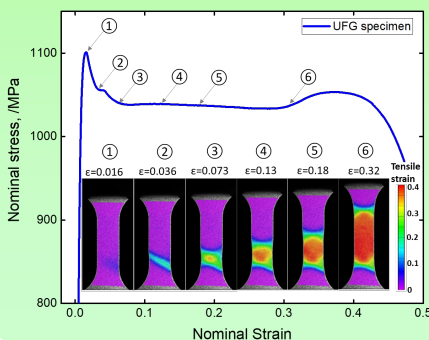
ARB法で作製した超微細粒アルミニウム



合金元素を添加しない単純化学組成で強度が3倍以上に！

局所変形挙動の定量解析

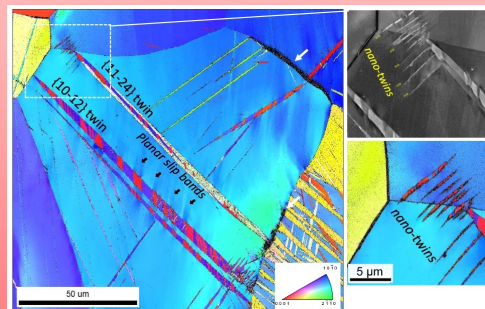
金属結晶の塑性変形は、本質的に不均一です。そうした不均一な変形の重ね合わせの結果として、材料の平均的な強度や延性が決定されます。変形の不均一性は、結晶の構造やナノ・ミクロ組織と強く相関していると考えられます。我々は、引張試験時の二方向その場外形変化測定システムや、画像相関ひずみ解析 (Digital Image Correlation: DIC)法などを駆使して、変形の不均一性とマクロな力学物性との関わりを基礎的に明らかにすることを目的とした実験研究を行なっています。



超微細粒ステンレス鋼の応力-ひずみ曲線とデジタル画像相関法 (DIC) により解析した変形中の材料内の局所ひずみ分布図

金属の加工硬化と変形組織の関係

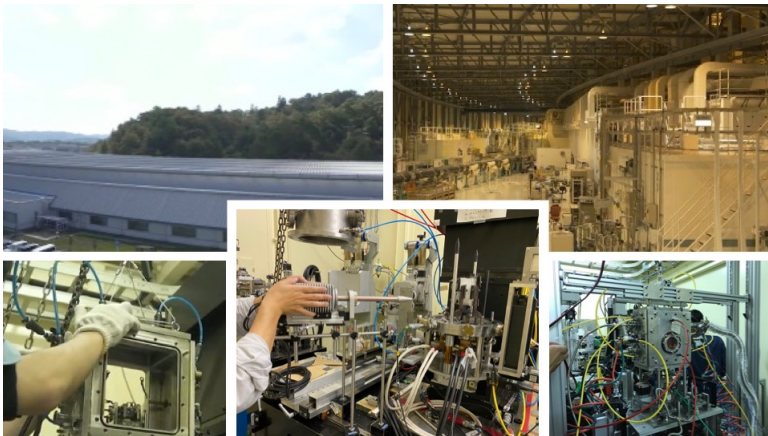
金属材料に塑性変形を施すことで転位等の格子欠陥から成る変形組織が発達します。変形組織は、金属材料の力学特性を決定する最も重要な因子の一つです。我々は、様々な金属材料において発達する変形組織を電子顕微鏡による組織観察や変形中のその場放射光X線/中性子回折測定等により詳細に解析し、変形組織発達メカニズムの解明や、優れた力学特性を有する革新的な新材料設計のための指針獲得を目指して研究を行っています。



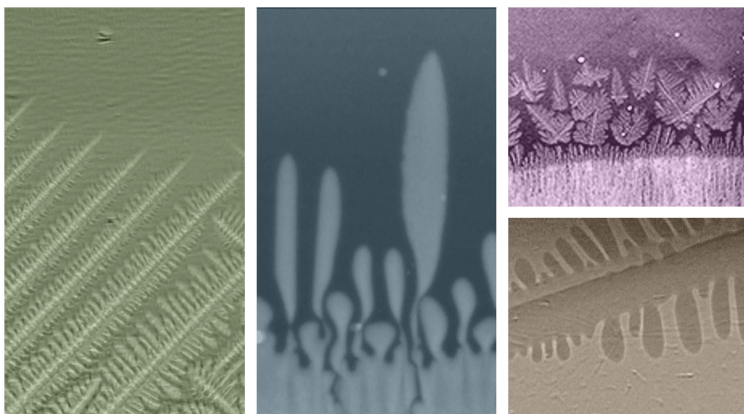
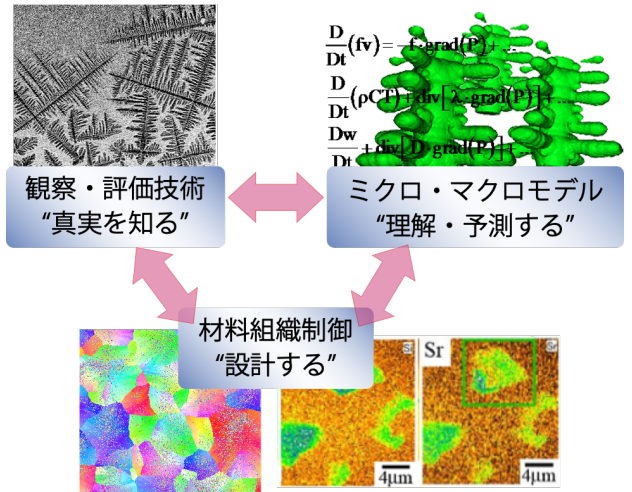
液体窒素温度で引張変形を施したTi-0.3O合金における変形組織。微細な双晶 (twin) が生成している。

実証データに立脚した新しい材料・材料プロセスの開発

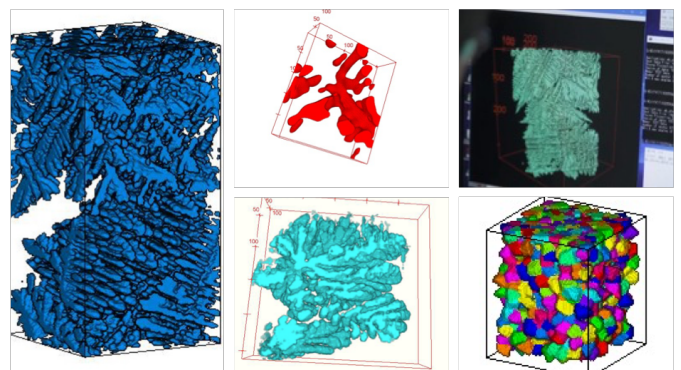
材料を製造するプロセスである融液からの凝固・結晶成長プロセスは、材料の特性を発現させるために重要なプロセスですが、高温，光学的不透明などの理由により未解明の現象が少なくありません。本研究室では、放射光（X線）を用いた時間分解その場観察などの実験手法を開発し、金属合金を中心に凝固組織形成の素過程を実証的に解明し、物理モデルの構築・シミュレーションにより検証を行い、新しい組織制御手法や材料プロセスの開発を目指しています。また、物質の磁場などの外場に対する応答性を顕在化させ、材料プロセスに応用する原理の構築から、結晶が高次に配向した組織などを実現する新しい材料プロセッシングに関する研究を行っています。



SPring-8での実験風景



凝固組織形成の様子（透過イメージング）

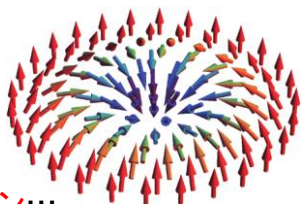


組織形成の3D解析（時間分解トモグラフィー）

新たな磁気材料と新奇磁気現象の発見

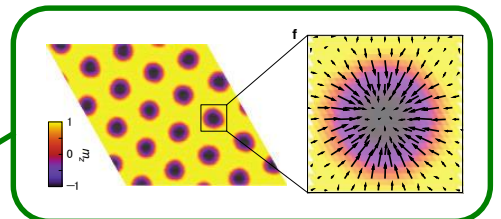
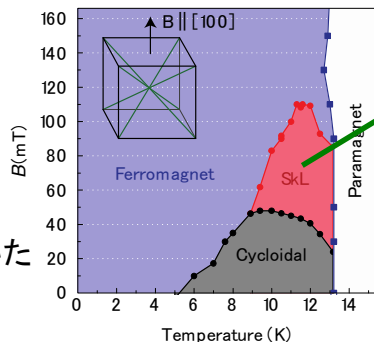
磁石は社会のあらゆる分野で利用される機能性材料です。物質のもつ磁氣的性質は物質を構成している原子やイオンがもつ磁気モーメントの集団の振舞いによって決まり、それを理解するには量子力学と統計力学を駆使する必要がありますが、一筋縄ではいかず、新たな発見が後を断ちません。

基礎的な磁性物理の進歩と磁性材料の機能の開発は車の両輪であり、我々は、新奇な磁気現象の発見とその物理の基礎的理解を通し、新たな磁性材料や磁氣的機能の開発を目指しています。例えば、下に挙げているのはスカーミオンと呼ばれる原子の磁気モーメントが渦状に巻いた特異な磁氣的状態です。我々はGaV₄S₈という物質でこのスカーミオンが出現していることを見出しました。一つ一つのスカーミオンを情報のビットとして利用することが考えられています。また、現在永久磁石材料として広く利用されているM型Srフェライトの性能向上を目指して、単結晶試料を育成して基礎物性の解明を目指しています。



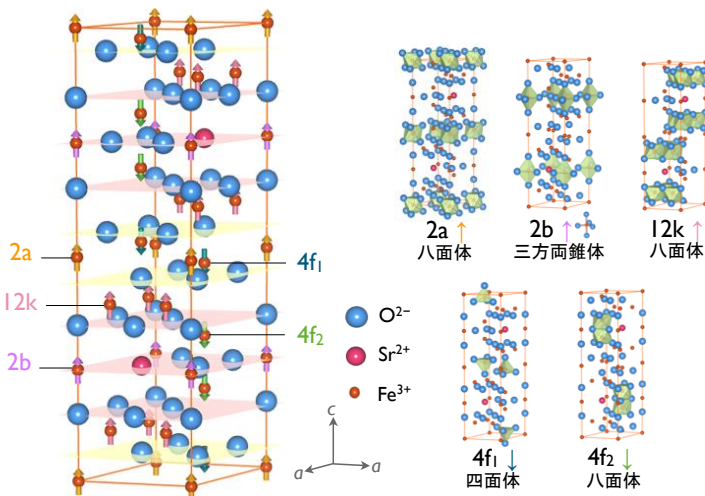
スカーミオン...

原子のもつ磁気モーメントが渦を巻いたように見える配列

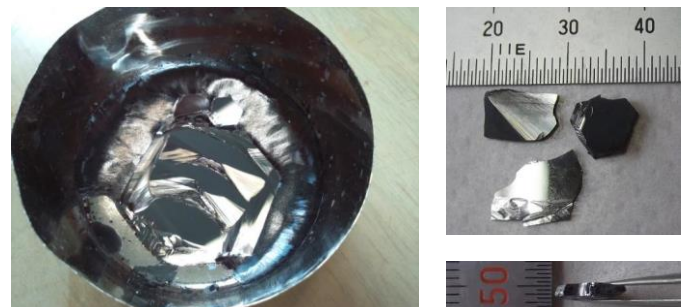


欠損スピネル化合物GaV₄S₈の温度磁場相図

図中のSkLと書かれてある領域でスカーミオンが三角形に並んだスカーミオン格子が実現している



永久磁石材料M型Srフェライトの結晶構造
5つの異なるFeサイトがあり、Fe³⁺イオンのスピンの向きが上向きサイトの下向きサイトがあるフェリ磁性体である

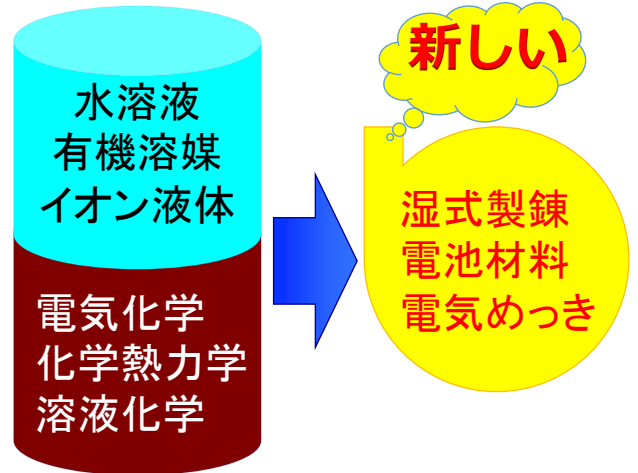


永久磁石材料M型Srフェライトの単結晶の写真
Na₂Oフラックスを使って育成した単結晶試料
これらの単結晶試料を用いてSrフェライトの磁氣的性質を研究している

溶液系の電気化学と熱力学に基づく材料プロセッシング

私たちの研究室では、水溶液や有機電解液を用いて、電気化学、溶液化学、ならびに化学熱力学を学問ベースとする新しい湿式製錬、電池材料、電気めっき法の研究を行っています。

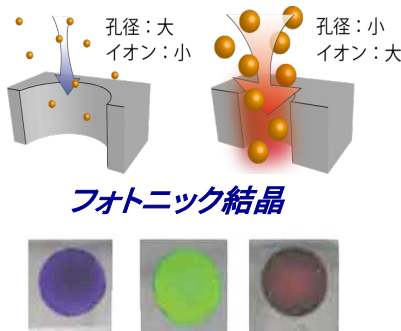
水溶液は安価で工業的に重要です。例えば純度99.9%の金属銅は水溶液を用いた電解製錬により生産されます。私たちは水溶液を用いて、銅製錬の高効率化や、ユニークな光学特性をもつ多孔質シリコン電極、酸化銅太陽電池材料を研究しています。



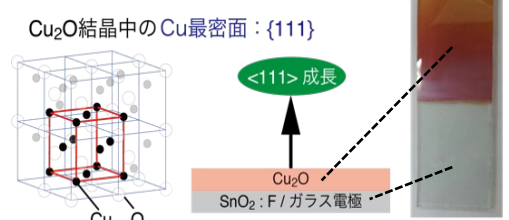
銅の電解製錬の高効率化



多孔質シリコン電極



ユビキタス太陽電池



水溶液からは熱力学的に得られない金属を室温で合成するプロセスも研究しています。金属Mgや金属Alがその例であり、有機溶媒やイオン液体という非水系の電解液を用います。MgやAlの室温合成プロセスは、高い起電力を実現する次世代電池や、さびにくいアルミニウムの電気めっきといった応用につながります。特にイオン液体は、分子性溶媒である水や有機溶媒と異なり、イオンのみからなる新しい液体材料です。揮発しにくいというメリットを活かした、安全な材料作製技術の開発に取り組んでいます。

イオン液体

次世代電池材料

電気アルミめっき

自己集積化とナノ加工 ~微細なスケールで材料を組み立てる~

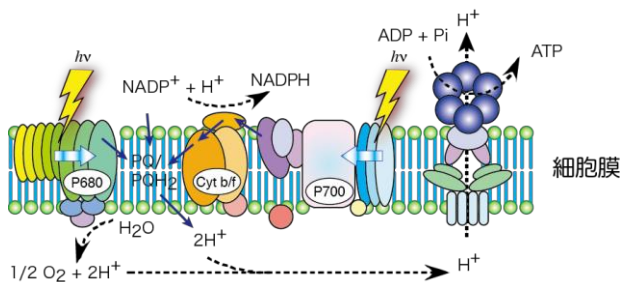
物質の持っているさまざまな性質を、役に立つ機能として取り出すことが、材料開発であると考えています。素材に最適な形状を与えることで、有用な機能をより有効に引き出すことができます。例えば、水を凍らせてブロック状に切り出せば、建築材料になります。LSIはシリコンの微細加工により作られます。

私たちは、目に見える形状だけでなく、目に見えない極微細なスケールでの原子や分子のレベルの形状が、機能を生み出す礎であると捉え、『小さな部品の加工・組立を通して、材料を作り出し機能を発現させる』というアプローチで機能材料の研究に取り組んでいます。

自己集積化による材料の組立

生命に学ぶナノテクノロジーのヒント

分子同士がお互いに引き寄せあう力を利用し、複雑な構造を自然に形作る

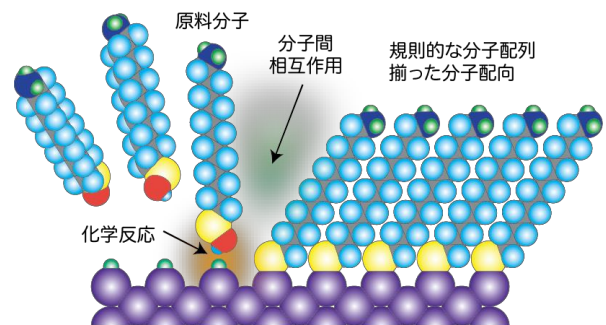


手本となる生体分子システム

生体のさまざまな機能を司る。自己集積化によって作られる『かたち』ある機能材料の典型例

自己集積化有機超薄膜

分子一個レベルで膜厚や構造が制御された有機分子膜。お手本は、細胞膜とその構造、表面処理と微細加工への応用を目指しています。



基板 (金属, 半導体, セラミクス, 高分子, etc.)

ナノ加工技術の開発

分子システムを人工的に構築するには、自己集積化に加えて、優れた工学技術の開発が必要不可欠です。ナノプローブと呼ばれる微細な針を用いてナノメートルスケールから原子・分子レベルに至る究極の微細加工技術の開発を目指しています。

