



材料で未来を創る—北海道大学工学部 応用理工系学科応用マテリアル工学コース

応用マテリアル工学コース教員一同(代表 岩井一彦*)

「材料・マテリアルで未来を創る」ことを夢見て挑戦し続ける研究者・学生が集った、北海道大学工学部 応用理工系学科 応用マテリアル工学コースをご紹介します。

人口約200万人の大都市札幌の中心にありながら、緑豊かで広大なキャンパスを持つ北海道大学。新しい材料開発研究の拠点となる応用マテリアル工学コースは、1942年(昭和17年)に設置され、70年以上の歴史を持つ伝統あるコースです。応用マテリアル工学コースには、化学系、物理系、機械系、電気系などの基礎から応用まで、さまざまなバックグラウンドを持った研究者が集まっていますが、コース皆の目標はただ1つ、「元素の集合体の構造をよく理解し、緻密に制御することにより、新しい材料・マテリアルを創製し、より豊かな社会を実現すること」です。

応用マテリアル工学コースは、一般的な大学入試のみならず、AO入試や編入学、学士入学など、さまざまな入試制度に対応しており、多様な経歴を持った学生達を受け入れています。コース独自の「講義・演習一体型クォーター(4学期)制カリキュラム」と、「ストーリー型学生実験」をとおして、新しい材料・マテリアルを創製するための基礎的な勉強を行います。大学院修士課程へは学部学生の9割以上が進学する他、口述試験制度などによる他大学・高専専攻科からの入学者も加わり、切磋琢磨しながら研究しています。国内・国際学会の講演発表はもちろん、インターンシップによる企業研修や、提携校・指導教員の研究ネットワークを利用した留学も盛んです。すべての大学院の講義は、日本語だけでなく英語でも開講されており、どちらでも履修することができます。

応用マテリアル工学コースには11研究室が所属しており、世界に挑戦する研究活動を活発に行っています。各研究室の研究内容を、わかりやすく皆様にご紹介します。

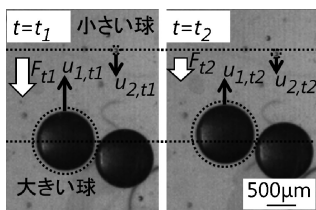
〈電磁・応用プロセッシング研究室〉

教授：岩井一彦，准教授：大参達也，助教：熊谷剛彦

本研究室は、新たな物づくり方法の提案、如何にして良いものを作るかの工夫など、物づくりの研究を行っています。電磁場、超音波などの外場利用プロセス、粉末冶金技術を利用したマイクロリアクター製造に関する研究を行っています。力学的操作等をしたい領域が内部にある場合や特定の相だけを操作したいときに、電磁場、超音波などは威力を発揮します。その例として、混相の制御が挙げられます。絶縁球を入れた導電性液体に交流電磁気力を加えると、絶縁球には電磁気力の反力が作用しますが、運動の向きはと力の向きとはかならずしも一致しません。大きな球と小さな球とで運動の向きが異なっています。これは、球の運動が物性ばかりではなく、その大きさにも依存するためです。これを利用することで、分離、分散、凝集、等の制御が可能です。

一方、化学反応を用いて工業廃熱を物質の化学エネルギーに変換し貯蔵する方策を検討しています。マイクロリアクターは微細流路(マイクロチャンネル)を反応場とする小型反応器で、省資源、省スペース、反応の精密制御等の特徴を有します。さらに、ユニットを並列に配置することで多様な規模の処理に対応することから、工業廃熱の有効利用技術として期待できます。そこで、粉末冶金技術を利用して金属チップ内に任意形状のマイクロチャンネルを形成するプロセスと、簡単な処理によりマイクロチャンネルの内壁を触媒や触媒担体に適した組織・組成に加工するポストプロセス(酸/アルカリリーチング、高温酸化、陽極酸化等)を研究しています。

* 北海道大学教授；大学院工学研究院材料科学部門(〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)
E-mail: iwai@eng.hokudai.ac.jp <http://www.eng.hokudai.ac.jp/course/?c=1030>
2015年8月12日受理[doi:10.2320/materia.54.569]



〈エコプロセス工学研究室〉

教授：鈴木亮輔，准教授：菊地竜也，助教：夏井俊悟

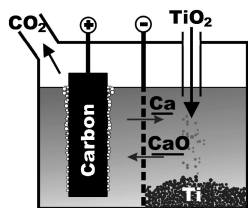
鈴木，菊地，夏井がそれぞれ2006年，2010年，2013年に着任し，研究範囲を広げています。

鈴木は酸化物の熔融塩還元に取り組み，金属製造プロセスの新提案を行っています。また CO_2 ガス分解に挑戦しその電源のための，太陽光を自在に集光するレンズ，熱を電気に変換する熱発電システム，を検討しています。

菊地は電気化学反応を用いて不思議な特性を持つ材料・マテリアルを創製することに挑戦しています。非常に美しく規則配列した微細構造体，レインボーに輝く材料，超高速で水が濡れ広がる表面，逆にとても水をはじく表面，髪の毛が生えたような金属，など風変わりな材料を創りだし，工業的に応用するための研究に取り組んでいます。

夏井は高温素材プロセスにおける流れの解析に取り組んでいます。固気液相が存在する複雑な混相流が研究対象ですが，最近のコンピュータ技術を用いて新たな離散要素型のシミュレーション手法を開発し，従来不可能であった分散相界面の高精度な追跡を試みています。また，酸化物粒子がエマルジョンとして共存する熔融塩中での電解プロセスに着目し，従来よりも高速な還元システム構築を目指しています。

以上，多様なプロセスの反応メカニズムの解明により，最良のプロセスを開発していきます。



〈環境材料学研究室〉

教授：上田幹人，准教授：松島永佳

本研究室は，金属材料の腐食・防食，アルミニウム合金めっきや電池の再生技術開発，水素エネルギー関連(燃料電池や水電解)研究など，環境に配慮した材料に関するテーマを様々な角度から研究しています。

1. 腐食・防食研究

橋やビルなどに使われている金属材料を長持ちさせるた

め，鉄鋼材料の腐食過程の研究や，耐食性材料によるめっき技術についても開発を行っています。

2. 新しい電池の開発

将来の新しい電気エネルギー供給源として，アルミニウムを用いた新型電池(アルミニウム-塩素電池)や，白金のようなレアメタルを使わないアルカリ型の酸素-水素燃料電池の研究開発を行っています。

3. ナノテクノロジー

金属電析の核発生・成長過程の解明ため，従来のものよりもより高速に表面の走査が可能な高速原子間力顕微鏡(Video-AFM)を使い，リアルタイムでダイナミックな金属表面の動きを原子レベルで観察しています。

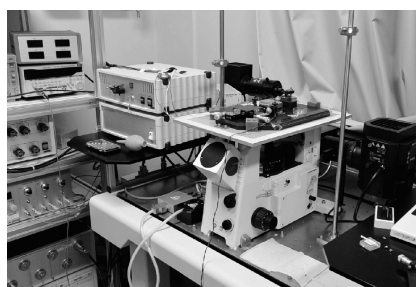


図 高速原子間力顕微鏡の装置。

〈強度システム設計研究室〉

教授：三浦誠司，准教授：池田賢一，助教：滝沢 聡

本研究室は，金属を主体とする物質・材料の強度を中心とした物性を研究対象としています。*in-situ*(その場)での変形や破壊の観察なども含めた複合的な挙動解析を目指した手法開発を一つの柱とし，状態図や組織変化をもう一つの柱として，実験・理論(シミュレーションも含む)の両面から研究を進めています。

種々のパラメータが物性や挙動に与える影響を調べるというオーソドックスな方法を実践するためには，研究対象となる任意の組成の合金を純金属から自前で作製できる体制を維持する必要があります。これにより，マグネシウム合金単結晶や超高融点ニオブ基高濃度固溶体合金，アルミナイドやシリサイドなどの金属間化合物，塑性変形するセラミクスなど，種々の物質を自前で作製し，例えばレーザー顕微鏡やSEM-EBSDでの*in-situ*(その場)観察システムなどを用いて温度と力を加えて変形させたときの振る舞いを微視的な観点から明らかにし関連づけることで，世界で唯一の物質が隠し持つユニークな挙動の原因を解明し，その先にマテリアルサイエンスの新しい地平を拓きたいと考えています。最近の成果としては，マグネシウム合金単結晶の変形双晶挙動の調査から，形が元に戻る(歪回復挙動を示す)マグネシウム合金を見出しました。また，時効生成物を制御したアルミニウム

合金が、強度-延性バランスに優れることを見出し、その特性発現のメカニズム解明に向けて研究を進めております。さらに、長周期積層型規則構造という特殊な結晶構造を有する結晶性材料の力学試験の *in-situ* (その場) 観察より、この構造の変形機構の一つであるキンク変形過程を捉えることに成功し、詳細な解析を実施しております。

〈組織制御学研究室〉

教授：松浦清隆，准教授：大野宗一，
助教：マルタ・ジェムニツカ，徳永透子

私たちは鉄鋼，非鉄金属，セラミックを含む広い範囲の材料を対象に，組織制御を通じた材料開発や材質向上の研究をしています。例えば，鉄鋼連続鋳造スラブの品質向上のため凝固組織や結晶粒組織を改善する研究，熱伝導・電気伝導特性の向上のため銅やアルミニウム中に炭素繊維を一方に配向した複合材料の開発，軽量性と耐食性と超塑性を兼ね備えた新材料の開発のため動的再結晶を利用してマグネシウム合金表面にアルミニウムを薄く貼り付ける塑性加工技術の開発，高温用合金の表面強度と耐食性向上のためセラミックを被覆する技術の開発などの研究をしています。以下に研究成果の一例を示します。下図のように，炭素鋼連続鋳造スラブの表面から内部にかけて大きくて長い γ 結晶粒が形成して製品の性質に悪影響を与えることがあるので，私たちはその形成原因を実験と計算機シミュレーションを駆使して詳しく調べました。その結果， δ 相または液相が残存する微細柱状粒組織から γ 単相の粗大柱状組織へ変化する不連続(異常)粒成長が原因であることを見つけました。さらに，この有害組織の形成を防ぐためには，冷却に伴い γ 単相化温度位置が移動する速度が，粒界が移動できる速度より速くなるような冷却条件を選択すべきであることを明らかにしました。

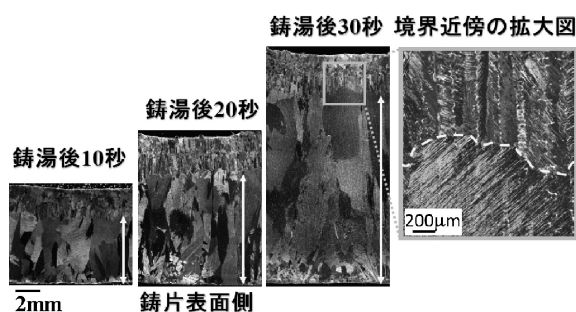


図 鋳片表面から不連続成長する粗大柱状 γ 粒。

〈先進材料ハイブリッド工学研究室〉

教授：米澤 徹，准教授：坂入正敏，
助教：石田洋平，特任助教：グエン・マイ・タン，研究員：塚本宏樹

本研究室は上記の5名の研究スタッフで運営しています。スタッフは全員異なる大学出身でそれぞれ違うバックグラウンドを持っており，バラエティの富んだ研究教育を行っています。学生の出身国も日本以外には中国，イタリア，チェコ，フィリピン，そしてインターンシップ生が台湾，タイ，インド，フランスなどから毎年のように来ているインターナショナルな研究室です。米澤教授は中国 北京大学の訪問教授として中国に滞在したり，所属学生も，台湾，アメリカなどへインターンシップに出かけています。

研究の中心は表面・界面の制御による新規なナノ材料の構築，光触媒などの金属酸化物の機能化，そして金属材料の腐食防食です。

ナノ材料の構築では，特に金属を非常に微細にしたときに得られる量子サイズ効果を応用した蛍光材料の構築に注力しています。非常に量子収率の高い金ナノ粒子を得ることができており，今後の応用に期待が持てます。これらのナノ粒子は，クラスターレベルの非常に小さなものとなって，発光しています。一方で，サブミクロンから数十 nm クラスの比較的大きめの銅ナノ粒子を用いた導電性材料の構築も精力的に研究しています。これはすでに実用化まで考えている材料です。また，本研究室で開発した液中プラズマ法によって，機能性の高い金属および金属酸化物微粒子を得ることに成功しています。特にブラック酸化チタンや金属酸化物へのヘテロ原子のドーピングなどを可能としています。腐食防食分野では，水中の金属イオン種による腐食挙動の違いの詳細解析や，油井管の厳しい環境下での腐食防食について精力的に研究しています。

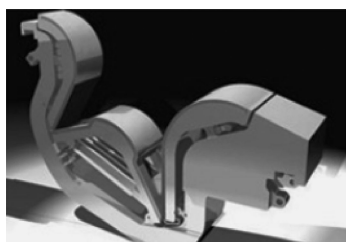
〈機能材料学研究室〉

准教授：橋本直幸，特任助教：磯部繁人，
特任教授：大貫惣明

本研究室では，近未来のエネルギー社会に必要な新材料の開発(・基礎)研究を行っています。未来のエネルギー源の核融合エネルギーでは，太陽での核融合反応を地球上で起こすために高エネルギー・高熱負荷に耐える究極の材料(核融合炉構造材料)が必要です。また，水素エネルギー社会では，水素の製造，高純度化，貯蔵，運搬，供給を安全で効率的に行うための高機能材料(水素吸蔵材料)が必要です。これら特別な材料を作り出すために，材料に潜在する機能と特性を上手に引き出して実用化するため，使用環境での材料の微細構造変化や反応機構に関する研究を重ねています。

1. エネルギー炉用構造材料の開発研究

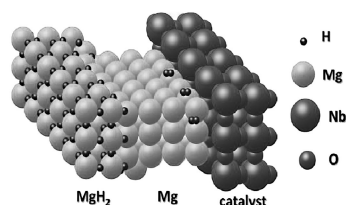
核融合炉用構造材料の研究では、MeV オーダーの高エネルギー粒子で材料を照射し、その特性変化をミクロ・ナノレベルで評価し、また、各種モデリング計算によるシミュレーション解析を駆使し、高温・高エネルギーの使用環境に適応できる高強度材料や高熱伝導性複合材料の創製を目指しています。



高熱負荷を受けるダイバータ板。

2. 水素吸蔵材料の開発研究

水素を安全に利用するために必要な材料、特に燃料電池自動車に搭載可能な高容量水素吸蔵材料の創製を目指しています。高性能の材料を開発するために新規無機材料の探索し、水素・材料反応をナノレベルで観察できる新しいタイプの電子顕微鏡を用いて、反応機構や触媒の基礎研究を行っています。



水素化 Mg の反応原子モデル。

〈先端高温材料工学研究室〉

教授：鵜飼重治，助教：大野直子

酸化物粒子による分散強化は従来から良く知られている強化法ですが、当研究室ではメカニカルアロイングによる酸化物粒子の強制分解・析出を利用して、酸化物粒子を数ナノメートルサイズにまで超微細化した ODS (Oxide Dispersion Strengthened) 合金の研究開発を行っています。

メカニカルアロイングで分解した酸化物が温度上昇に伴いクラスター形成を経て結晶化した酸化物粒子として超微細析出するメカニズムを Spring-8 の放射光を利用して調べています。また、このように析出した酸化物粒子を移動転位が乗り越えて行く過程を電顕内で直接観察することにより、酸化物粒子による分散強化機構を明らかにしています。

1000℃以上の高温では、炭化物や金属間化合物(ガンマブライム等)は母相に容易に溶けてしまうため、材料強化に有

効ではありません。これに対し、酸化物粒子はこのような高温でも溶けずに極めて安定であるため、これを積極的に利用した先進 ODS 合金の開発を進めています。最近のトピックスとしては、軽水炉の事故時安全性を飛躍的に向上させるための国家課題対応型研究開発推進事業(文科省)として、事故時1200℃の高温でもアルミナ被膜による優れた耐水蒸気酸化性能を発揮する Al 添加高 CrODS フェライト鋼を開発し、大学や国の研究機関、企業と協力して1000℃以上での高温強度特性や水蒸気酸化特性を解析し、軽水炉への適用性を評価しています。また、発電用ガスタービン部材への適用を目指して、Ni 基 ODS 超合金の開発を企業と協力して進めています。ここではナノサイズの酸化物粒子だけでなく結晶粒形を制御するため、ゾーンアニーリングによる一方向再結晶技術を開発して、初期数 μm から数十 mm にまで成長した再結晶粒の形成にも成功しています。

〈マルチスケール機能集積研究室〉

准教授：坂口紀史，助教：國貞雄治

本研究室では、材料内部を原子レベルで構造評価するとともにナノ計測技術を駆使し、さらに理論計算とのカップリングにより材料のナノからマクロまでの特性をマルチスケールで解析することを目指し、研究を推進しております。また、北海道大学工学部に設置された超高压電子顕微鏡室と密接に連携し、各種電子顕微鏡を組み合わせた微量元素分析や光学特性測定手法の確立も目指しています。

例えば、金属とセラミックスを複合させることにより、その諸特性を向上させた先端材料の研究を行っています。電子デバイス材料、金属/セラミック複合材料、熱遮蔽セラミックコーティング、触媒材料などは金属とセラミックスの融合を有効利用した例であり、このような複合材料においては金属/セラミック接合界面の機械的強度や物理的・化学的安定性が材料特性に重要な役割を及ぼします。そこで、電子顕微鏡法と計算科学的手法により金属/セラミック接合界面の原子構造および化学結合状態を評価し、高機能な材料設計への指針を得ることを目的とした研究を推進しています。

また、省資源・クリーンエネルギー社会の実現を目指し、耐久性の高い機能材料や高効率な触媒材料の開発も行っています。酸化、偏析、水素脆化をはじめとする材料劣化特性や燃料電池電極等の触媒反応特性を解明するためには、材料表面・界面近傍での電子や原子の振る舞いを理解する必要があります。そのため、第一原理電子状態計算と原子核の量子ダイナミクス計算等に基づく化学反応シミュレーション手法を用い、様々な物理現象を原子・電子論的観点から捉えなおし、素過程から理解するための研究を推進しています。ここから得られる知見を活用し、原理原則に基づいた新規高機能材料の設計を行っています。

〈光・熱エネルギー変換材料研究室〉

教授：渡辺精一，准教授：沖中憲之，特任助教：張 麗華

本研究室では，物質の多様な物性を材料科学の立場から最大限に活用して，高効率で環境低負荷な光エネルギー変換，熱電エネルギー変換のための高度な機能を持つ新しい材料の開発創製研究を進めています．

将来のクリーンエネルギーとして期待される水素を，太陽光を用いて水から直接製造する「太陽光水素製造(水の光分解)」の研究を中心に，光エネルギーを用いて有害物質を分解無害化する「光環境浄化」などのグリーンテクノロジー研究を進め，これらに供する新機能材料システムの開発研究を進めています．

また，水素は燃料電池の燃料となるだけでなく，二酸化炭素や窒素と反応させることにより各種の有用資源へと変換可能のため，次世代グリーン化学応用も期待されています．その他，人工光合成による水分解反応は，無尽蔵の太陽光と比較的安価な光触媒材料を用いて，水から水素を直接製造できる可能性があります．しかし，従来の光触媒材料ではその吸収波長が主として紫外光領域に限られるものが多く，太陽エネルギーの変換効率向上のためには，可視光から赤外光領域の光を利用できるように，光触媒の吸収波長を長波長化することが課題の一つとなります．このため，可視光域の光を多く吸収する光触媒材料を探索すると同時に，光触媒による水分解において水素の発生と酸素の発生を担う光触媒材料を使い分けることで，材料選択の多様性が期待されています．

■主な研究テーマ

- 光反応の材料科学基礎
- 光誘起ナノ材料創製(結晶光合成)
- 光電変換材料のナノ科学
- 微細構造制御による熱電材料の性能向上

〈エネルギーメディア変換材料研究室〉

教授：秋山友宏，特任助教：衣雪梅，能村貴宏

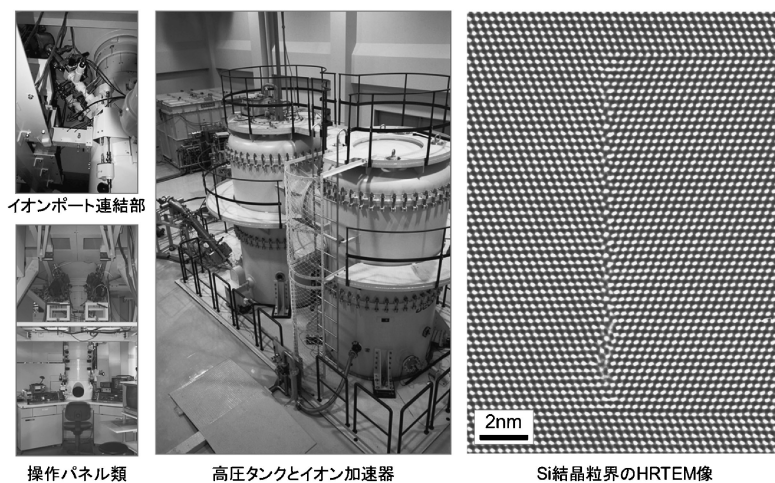
本研究室は，異種分野間が物質とエネルギーで相互に連結され，恒常性を維持するホメオスタシスのエネルギー社会の創成を究極の目的としています．この実現には，エネルギーを高密度に貯蔵，輸送可能な材料，プロセスが必須です．そこで我々は画期的な蓄熱材料，電池材料，及び酸窒化物を開発するとともに，「エクセルギー」の観点から新プロセスを設計・評価しています．

蓄熱材料グループでは，物質の固液相変化潜熱を利用する潜熱蓄熱技術を基盤に，500℃以上の高温域における蓄熱・輸送体系の革新を目指しています．最新成果として，500℃以上の熱を高密度貯蔵・輸送可能な潜熱蓄熱粒子の試作に成功しました．この画期的蓄熱粒子をキーテクノロジーとして，産業排熱回収・次世代太陽熱発電への展開を計画しています．

電池材料グループでは，Li+電池，金属空気電池など各種電池の実用化に向けた正負極活物質材料を開発しています．特に，マイクロ・ナノ構造の制御による機能発現，向上を狙った画期的材料合成プロセスの開発を目指しています．

酸窒化物グループでは，原料粉体間の自己伝播発熱反応を利用した燃焼合成法を基盤に AlN, Si₃N₄, SiAlON 等の超高温構造材料の省エネルギー，大量合成法の確立を目指しています．最新の成果として，高熱伝導性の繊維状 AlN の燃焼合成に成功しました．

エクセルギーとはエネルギーの「質」を意味し，私達は真のエネルギー評価の尺度だと捉えています．私達はこのエクセルギー理論から新エネルギープロセス，エコ・コンビナートを設計しています．また，エクセルギーの観点からプロセス全体を俯瞰することによって得られる，「プロセスからマテリアルの創成する視点」を重要な指針としています．



マルチビーム超高圧電子顕微鏡の外観と多結晶 Si 結晶粒界の高分解能電子顕微鏡像．原子レベルでの材料評価から生体切片の観察など幅広い分野で用いられています．