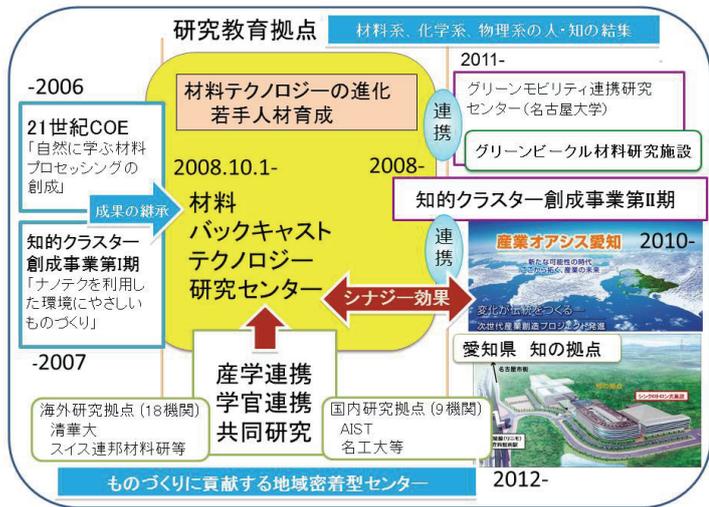


名古屋大学工学研究科 材料バックキャストテクノロジー研究センター



ものづくり産業や太陽エネルギー社会の発展に貢献するため、バックキャスト研究開発理念に基づく環境に優しい材料テクノロジーの進化・発展、および、若手人材育成を狙った産学連携研究拠点活動を実施中。

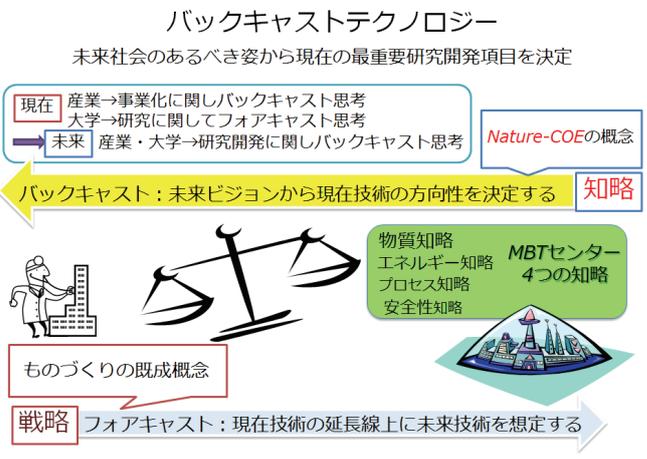


「太陽エネルギー社会」の構築に向けた材料テクノロジーの創出

環境破壊・温暖化・気候変動・地球崩壊を回避して生命力溢れる地球を取り戻すためには、化石燃料依存型社会から一刻も早く脱皮し、原子力エネルギー依存から大きく方針転換して、無限に存在するクリーンな自然エネルギーを最大限活用する「太陽エネルギー社会」の実現を目指さねばなりません。

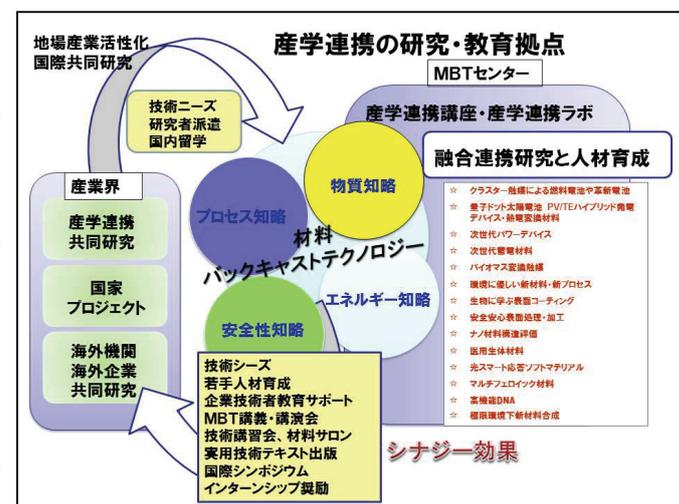
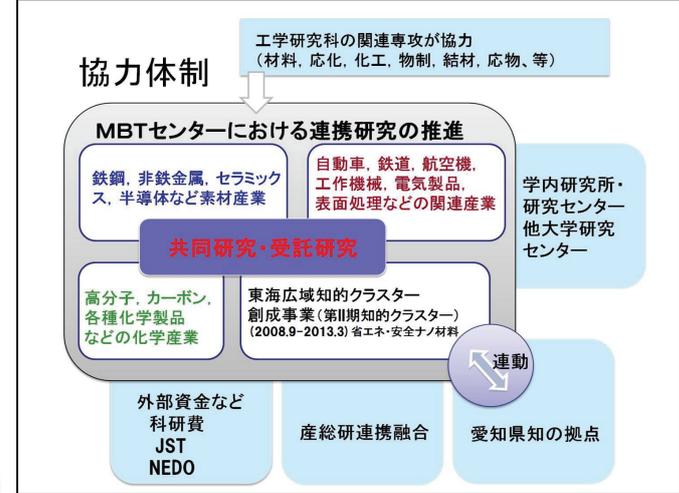
当センターでは「太陽エネルギー社会」を人類が目指す未来の理想社会と位置づけ、これを構築するために必要な「バックキャスト視点」に基づく材料テクノロジーを開拓します。具体的には、

- (1) 光・熱・力学エネルギー変換・貯蔵・輸送技術に資する高機能材料、
- (2) 低環境負荷型物質・材料製造プロセス、
- (3) 高機能代替材料、等の研究開発を先導します。



ものづくり産業との連携、および、大学の頭脳結集

当センターは、①産学官連携センターとしての役割を果たし、②工学研究科の人・知の結集により、幅広い技術課題への対応力を向上し、材料テクノロジーのイノベーションを実現します。



I. 物質創製と先進評価 (物質知略)

電解プロセスによる表面改質 (興戸研究室)

軽量マグネシウム合金の耐食性表面処理

表面処理皮膜には、基板金属との「なじみ」「密着性」と、外界環境に対する「役割」「応答性」が必要。

皮膜の安定性	自己修復性
$C_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ $Al(OH)_3$ $Cr(OH)_3$ $Ca_3(PO_4)_2$ $Sn(OH)_2$ $Zn(OH)_2$ $Mg_3(PO_4)_2$ $Ce(OH)_3$ $CrPO_4$ MgF_2 $Mg(OH)_2$	Ce^{4+}/Ce^{2+} Sn^{4+}/Sn^{2+} MnO_4^-/Mn^{2+} MoO_4^{2-}/Mo^{2+} Cr^{3+}/Cr^{2+}

複合化・相乗効果
 水溶液処理 (陽極酸化、陽極酸化)
 +SAM(自己組織化単分子膜)
 +大気圧プラズマ処理

生産プロセスとして成り立つかどうかの視点

はっ水性表面の形成

未処理 47° → 化成処理 0° → SAM処理 141°

図 Mg表面処理の膜厚と作製速度

図中の注記:
 A:アルミニウム系化成処理
 B:インタロウム系化成処理
 C:陽極酸化
 D:プラズマ酸化
 E:無電解めっき
 F:電気めっき

防食のためには
 ー 陽極酸化を抑制
 ー 不動態皮膜、自己修復
 ー 陽極酸化皮膜
 ー 化成処理 塗装
 ー カソード反応を抑制
 ー 水素過電圧を高める表面処理
 ー 水素発生しやすい不純物除去
 ー pHの上昇

電子顕微鏡による先端材料の微細構造の研究 (田中研究室)

燃料電池材料の微細構造の研究および光触媒材料

シリコン酸化膜界面の高分解能断面TEM像

分解能0.7Åの収差補正TEM/STEM

燃料電池電極上の白金原子のSTEM像 白金触媒の3D像

超高压高温環境及び非平衡準安定状態を利用した新プロセス創成と新材料創製 (長谷川研究室)

高圧力高温プロセス、超臨界流体プロセス、非平衡準安定凝固プロセス、有機-無機変換プロセスなどの様々な材料プロセスを用い、低炭素・炭素固定、クリーンエネルギー、高効率エネルギー変換、ユビキタス元素、リサイクル、無害化などをキーワードとし、材料科学・物理学・化学をベースとした研究者と材料工学・プロセス工学分野のエンジニアが密接に連携する融合共創研究によって、新物質・新結晶の開発を目指す。

<プロセス>

- 高圧力高温プロセス
- 超臨界流体プロセス
- 赤外レーザープロセス
- 結晶成長プロセス
- 非平衡準安定凝固プロセス
- 有機-無機変換プロセス

<材料>

光触媒材料、熱電変換材料、パワーデバイス材料、良熱伝導放熱材料、太陽電池材料、二次電池材料、硬質・軟質磁性材料、超伝導材料、超硬材料、アモルファス・ナノ組織材料、ポーラス材料、制振材料、水素関連材料など

不揮発性・パワーデバイスの創製 (浅野研究室)

ハーフメタル磁性体、マルチフェロイック材料の開発と不揮発性デバイスの創製

ナノ構造体における電子スピンを制御することにより発現する巨大応答現象・量子効果の機構解明と不揮発性デバイスへの応用を目指している。金属と半導体の両方の性質を併せ持つハーフメタル、及び磁性と強誘電性が共存するマルチフェロイック材料の開発や超低消費電力スピンドバイスの研究を行っている。

ダイヤモンド半導体によるパワーデバイスの創製

マイクロ波プラズマCVD法を用いて高品質単結晶ダイヤモンド半導体薄膜の成長技術を確立し、水素終端二次元正孔伝導層を用いることにより1 GHzで2.1 W/mmという、実用レベルの2倍もの高い出力電力密度を有する電界効果トランジスタ(FET)を実現している。

1GHzで2.1 W/mmの出力電力密度 (実用レベルの2倍)

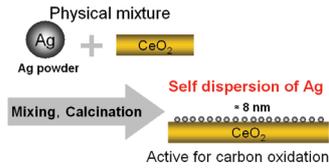
Ⅱ. エネルギー・環境のための材料開発 (エネルギー知略)

環境に優しい化学を実現する固体触媒 (薩摩研究室)

ナノクラスター触媒による自動車排ガス浄化触媒

研究開発の概要

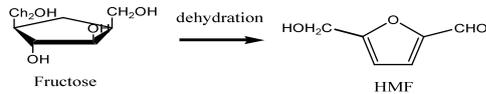
ディーゼル排ガスに含まれるNO_x(窒素酸化物)、PM(粒子状物質)の除去にクラスター化した金属触媒が有効であることを見いだしています。これらは反応条件下で自発的に活性な化学種を形成するため、本質的に耐久性が高く、再生可能な長寿命触媒となります。
Catal. Sci. Tech. 1(2011) 1331.
Appl. Catal., B, 96 (2010) 169.



固体触媒による高効率なバイオマス変換

研究開発の概要

化石資源に変わる再生可能資源として非食物系バイオマスの利用が注目されている。バイオマスの化学原料・燃料への高効率な変換反応の可能性を追求し、固体触媒によるセルロースの糖化、フルクトース(果糖)のHMF(燃焼・化学原料の代替材料前駆体)への変換反応を研究している。
Catal. Commun., 10 (2009) 1849.
Green. Chem., 11(2009) 1627.



世界最高変換効率を目指す次世代パワーデバイス用材料(SiC基板) (宇治原研究室)

低損失SiCパワーデバイスは省エネの根幹



SiCパワーデバイス普及の要は、基板結晶

高コスト(10万円/wafer)と生産能力不足(国内生産基盤が不足)が開発の足かせ。
低コスト(2~3万円)と実用供給(国内に高品質基板供給体制を構築)の実現には、
・ 基板結晶の高品質化
・ 低コスト生産技術
が必須

大本命・次世代型溶液(液相)成長法の開発

- ◎ 現在の主流である昇華法よりも高品質化が可能
- ◎ SiCパワーデバイスの本格実用には本手法が必須
- SiCパワーデバイスでは欠陥密度の低減が実用化のボトルネック。解決する唯一の手法!
- ◎ さまざまな構造・特性を持つSiCの成長可能
- 4H-SiC(パワーデバイスの中核) 6H-SiC(高精度LED基板)
- 3C-SiC(高速スイッチング)パワーデバイス用

産学連携への取り組み
現在、材料関連企業と連携
デバイス関連企業との
連携が今後の課題。
(ご協力ください!)



本開発で発展型溶液成長法を確立 課題解決へ!

溶液法による高品質結晶成長
マイクロバンプ露露
基板面転位 (SPD) 消滅
異変らせん転位 (TSD) 減少

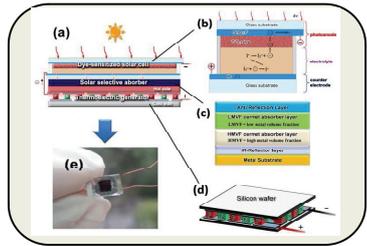
2030年CO2総排出量1.2~2.2%を削減
(自動車、汎用インバータ、CPU電源など、まだまだ伸びしろ有り)

太陽光・熱発電材料及びデバイスの創製 (河本研究室)

PV/TE発電デバイスと高効率熱電変換材料

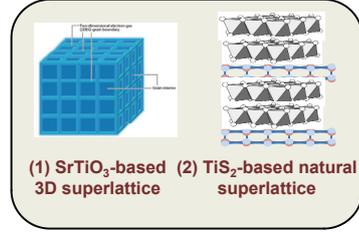
研究開発の概要

- 色素増感太陽電池と熱電変換モジュールを組み合わせたハイブリッド発電デバイスを試作し、原理実証試験においてエネルギー変換効率13.8%を達成。
- 量子効果や界面効果を発現するナノ構造をバルク材料内に埋め込むことにより、大気中300~700Kの低温~中温域で安定に稼動する高効率熱電変換材料を開発中。



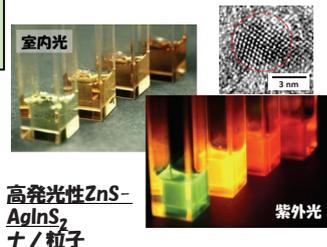
新規性・獨創性

- ハイブリッド発電デバイスは我々の獨創的新規提案(N. Wang, K. Koumoto et al., RSC Energy & Environ. Sci., in press.).
- STOの3D超格子セラミックス(R.Z.Zhang, K. Koumoto et al., J. Am Ceram. Soc., 2010)、TiS₂系自然超格子材(C.L.Wan, K. Koumoto et al., J. Electron. Mater., 2011)はオリジナル提案材料です。



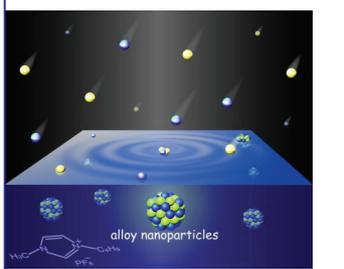
化学的手法による金属・半導体の精密ナノ構造制御と機能材料への応用 (鳥本研究室)

化学プロセスによる新規低毒性半導体ナノ粒子の作製と、発光材料・量子ドット太陽電池への応用



低毒性元素のみからなるカルコパイライト型半導体(AgInS₂, Cu₂ZnSnS₄など)に着目し、化学的手法によるナノ粒子の合成を行う。
AgInS₂とZnSの固溶体からなるナノ粒子は、高効率で発光し、粒子組成によりその発光色を制御できる(右図)。さらに、これら粒子は可視光域に強い光吸収を持ち、量子ドット太陽電池の光吸収層としての利用が期待される。

イオン液体への金属スパッタリングによる金属ナノ複合粒子の作製と電極触媒への応用



イオン液体と真空技術による合金ナノ粒子合成

真空中で静置したイオン液体に対して、金属をスパッタリングすると高分散した金属ナノ粒子を得ることができる(左図)。この手法を利用して、二成分ターゲットからの金属スパッタリングによる新規合金ナノ粒子(AuAg, AuPd, AuPtなど)が容易に作製でき、燃料電池用の電極触媒への応用が期待される。
さらに、酸化されやすい金属インジウム(In)をスパッタリングすると、コア・シェル構造Inナノ粒子や中空構造In₂O₃ナノ粒子などの新規ナノ構造粒子を作製することができる。

Ⅲ. 自然に学び環境にやさしいプロセスの創製 (プロセス知略)

光でならべる、動かす 光スマート応答ソフトマテリアル (関 研究室)

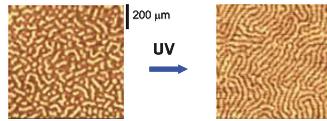
光伸縮と光分子配向

概要
典型的なフォトリソグラフィ分子であるアゾベンゼンを有する高分子の単分子膜において、光照射により世界最高レベルである3-4倍に及ぶ可逆的な面積変化を実現した。この現象を利用して、ブロック共重合体の二次元マイクロ相分離の構造を光で変化させることにも成功した。また、光応答単分子膜あるいは高分子薄膜へ偏光を照射することにより、その上に形成される高分子薄膜やメソ細孔シリカ薄膜の配向を転写、パターンニングする技術も開発した。

産学連携を目指した応用研究
ブロック共重合体が自己組織的に形成する数10nm レベルの規則パターンは光リソグラフィでは多くのコストがかかり、一方で、分子集積法によって作ることも困難なサイズ領域である。これを鋳型として、他の手法では作成困難なサイズの様々な機能材料のパターン形成が可能となると期待される

この研究の新規性・独創性

単分子膜の光伸縮挙動は独自に見出した現象である。最近ではブロック共重合体のマイクロ相分離構造を光で制御しているが、従来マイクロ相分離構造(数10nm レベルのパターン)の制御は、高分子の設計と合成に頼っていたが、外部刺激にてこれを制御するという新たな提案を行った。



ブロック共重合体のマイクロ相分離構造が光で変化する

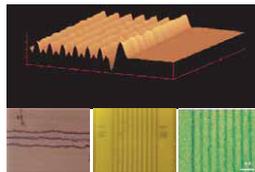
高感度光誘発物質移動

概要
水銀灯光源にて数秒の照射時間にて十分に物質移動を誘起できる世界最高感度の液晶材料膜系を開発した。この現象を利用して色素、高分子、半導体粒子などの機能物質その利用に向けた研究を進めている。この手法でブロック共重合体のマイクロドメイン構造の配向制御とパターンニングも可能となった。

産学連携を目指した応用研究
パターン化露光によって速やかにμmレベルの大きさのレリーフ構造ができるので、その利用したホログラム、液晶配向膜、機能物質のパターン化、形状テンプレートなどへの応用が考えられる。

この研究の新規性・独創性

アゾベンゼン高分子膜における光誘起物質移動現象は1995年にカナダと米国で見出されたものだが、当グループでは、液晶物質の強い協同性に基づく移動機構の全く異なる高感度な物質移動系を見出した。ブロック共重合体のマイクロドメインの配向を光で自由に制御することもでき、数十nmサイズの構造体の光制御への道を拓いた。新たなタイプの光応答機能材料といえる。



光誘発物質移動現象を利用して、色素、共役高分子、量子ドットなどさまざまな昨日物質をパターンニングできる

組織制御に基づいた耐熱金属材料の高性能化 (村田研究室)

効率向上	低炭素化
①高効率天然ガス火力発電 ②高効率石炭火力発電 ⑥超電導高効率送電	③二酸化炭素回収・貯留(CCS) ④革新的太陽光発電 ⑤先進的原子力発電

Cool Earthを支える耐熱金属材料

エネルギー論による組織解析

発電プラントに用いられる先進耐熱鋼のマイクロ組織(ラスマルテンサイト相)。ラスマルテンサイト相のサブブロック構造(V1~V6)の形成要因をフェーズフィールドシミュレーションを用いて初めて明らかにした。ラスマルテンサイト相の安定化が高性能化に重要。

ガスタービン動翼中のガンマプライム強化相(白色)のクリープ中の組織発展を系統的に初めて明らかにした。板状(ラフト)組織の安定化が高性能化に重要。

地球環境との共生のためのセラミックス (北 研究室)

サーマルマネジメント部材とエクセルギー解析

太陽熱や地熱、及び工場廃熱等の未利用エネルギーを有効に利用するにはサーマルマネジメントが不可欠です。当研究室では耐熱耐食性に優れたセラミックスを使ったサーマルマネジメント部材の開発、ならびにエクセルギー概念に基づきライフサイクル全体の有効度を定量化するための研究を進めています。こうした研究を基に、最終的には熱エネルギーを無駄なく使うカスケードリングネットワークの構築を目指します。

研究開発の概要

1. 軽量・高エネルギー密度のPCM (Phase Change Material) を内包したセラミックシェルカプセル構造体の開発を進めています。
2. 新たに開発した低熱伝導材とマクロなデザインとの融合により断熱性が飛躍的に向上した高温槽を試作、性能を実証しました。
3. ライフサイクルでの資源消費をエクセルギー概念をベースに定量化し、セラミックスの有効性を示しました。



新規性・独創性

1. 蓄熱体及び蓄熱方法(北英紀、特許2010-261101)
2. セラミック技術の融合による高温断熱大型容器の開発 (Hideki Kita et al., J. Int'l. App. Ceram. Tech. - in print)
3. ライフサイクルでみたセラミック部材のエクセルギー消費 (Hideki Kita et al., J. Int'l. App. Ceram. Tech. vol.5, No.4, pp.373-381 (2008))

熱のカスケードリングネットワークとサーマルマネジメント部材
=熱を貯める、運ぶ、換える、逃がさない

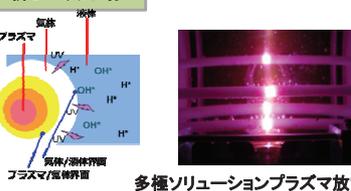
高機能性材料の創製 (齋藤永宏研究室)

ソリューションプラズマが切り拓く次世代蓄電材料

研究の概要

水溶液中のプラズマ(ソリューションプラズマ)を具現化することによって、従来の熱のみによる化学反応よりも高速のプロセスを実現。ナノサイズの触媒粒子の合成に成功し、革新的な次世代リチウム空気電池へ展開している。

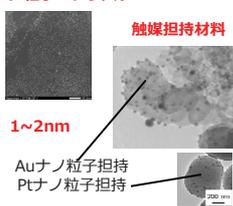
新しい反応場



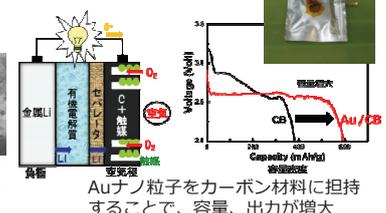
- 特長:**
UV光, 電子, 励起種, ラジカルが従来の溶液化学に参画
- 従来の溶液化学に対する優位点:
 ・低温を維持
 ・高密度の活性種の寄与
 ・活性種の「点」供給で体積処理可能
 ・酸化&還元の両刀使い
 ・酸化剤・還元剤は不要

革新電池へ展開

ナノ粒子・クラスター



リチウム空気電池の構成



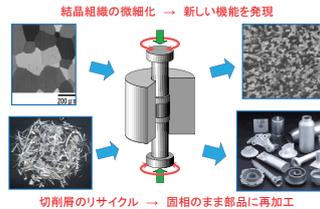
IV. 将来の安心安全社会を支える材料技術 (安全性知略)

地球環境に優しい新材料・新プロセスの開発

(金武研究室)

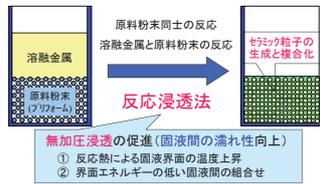
圧縮ねじり加工法による金属材料の組織制御と高機能化

「圧縮ねじり加工法」は当研究室の独自開発で、被加工材の円柱形状を変えずに大きなせん断変形を付与できる、生産性の高い強ひずみ加工法で、形状ではなく組織を創る塑性加工である。金属の結晶や析出相の微細分散制御による高機能化、金属粉末や異種複合粉末の低温緻密固形成形、切削屑など金属チップの固形成形による固相リサイクルなど様々な利用が可能で、金属材料の高機能化、高付加価値化に有効である。



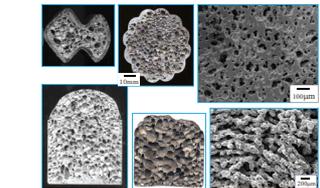
金属およびセラミック複合材料の開発と特性評価

金属/セラミック複合材料およびセラミック/セラミック複合材料を簡単に製造するため、化学反応熱を利用した自発的な複合化プロセス「反応浸透法」を開発し、その応用研究を行っている。「反応浸透法」は反応熱を有効に利用した独自のプロセスで、外部からのエネルギー投入量が少ない。また、反応によりセラミックがその場で生成するので、化学的に不安定な様々な形態のセラミック相を合成可能である。



ポラス金属・ポラス無機化合物の製造プロセスと特性評価

ポラス材料は、超軽量、高比剛性、断熱性、制振性、吸音性、ガス透過性など、緻密材では得られないユニークな特性を有する。材料内部の気孔形態を制御する新しい材料開発の考え方により、各種形態のポラス材料を開発している。発泡剤を添加した金属粉末リカーサを加熱して発泡するポラス金属の開発、強い発熱を伴う化学反応を利用した燃焼合成法によるポラス無機化合物の開発を行っている。

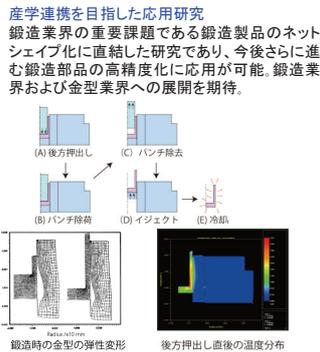


安心安全を支える材料加工 (石川研究室)

冷間鍛造における鍛造品寸法精度予測と制御

概要
室温で加工する冷間鍛造は、高速で加工荷重が高いため、加工中に金型は弾性変形し、材料は自己発熱による温度上昇を生ずる。したがって、型の弾性変形、材料の弾性回復および冷却による熱収縮により加工後の製品の寸法精度は設計通りにはならない。高精度金型製造には、前もってそれを見越した設計が必要であるが、その量はわずかであるので経験に頼っていた。本研究では、それぞれの現象を正確にモデル化し、金型変形量、材料の弾性回復量、熱収縮量を高精度で解析可能にした。

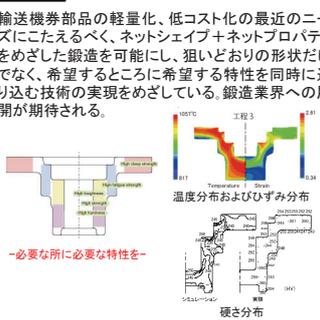
この研究の新規性・独創性
鍛造の開始から終了、冷却まで個々の過程を高精度にモデル化し、統合システムとして実現した。高精度製品を得るための数値シミュレーションを用いた鍛造設計システムの構築を目指している。



熱・温間鍛造における材質予測

概要
加工後の熱処理の省略が可能な低コスト材として期待の大きい非調質鋼の熱間・温間鍛造について、その変形特性、加工後の機械的性質、微細組織を数値予測する研究である。温間(亜熱間)域での加工が結晶粒微細化に有効であることを見出し、その材質予測手法の開発および材質制御を考慮した工程設計システムの確立を狙っている。

この研究の新規性・独創性
組織予測のため、再結晶挙動、結晶粒成長挙動、変態挙動などを現象に合うように極力汎用式としてモデル化した。さらに組織から機械的性質の予測も可能にし、有限要素解析に導入して鍛造の変形解析と同時に材質も予測するプロセスシミュレーションシステムを完成させた。



セラミックスを基材にして生体の組織を修復する

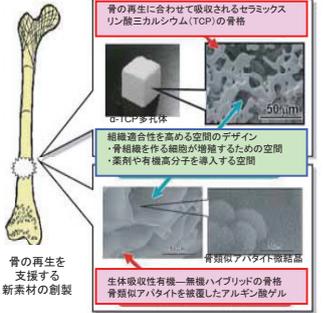
医用材料を創製 (大槻研究室)

高い生体吸収性を持つ骨組織修復材料の開発

概要
本格的な高齢社会を迎えた我が国では、病気やけがで損傷した運動機能を治療する技術の発展は不可欠の課題である。生体活性セラミックスは、骨組織と直接結合する高い生体組織親和性を発現するので人工骨として利用されている。ただし、骨と同じ機械的特性を持つ材料は得られ難く、長期残存した場合の不具合が懸念される。生体吸収性材料であれば、長期残存に伴い懸念されるリスクは小さくなる。本研究課題では、新規な組織修復材料や薬剤徐放システムに活用を目指して、生体吸収性を制御したセラミックスや有機-無機ハイブリッドの多孔体を開発する。

この研究の新規性・独創性
生体内での吸収性は、種々埋植部位、埋植方法によって異なってくる。そこで、種々の吸収挙動に適合する材料の設計を、セラミックスの組成だけでなく、その微細構造の設計、有機修飾の手法で達成する。

産学連携を目指した応用研究
整形外科、形成外科、歯科分野で応用可能な新規な材料開発を進めている。

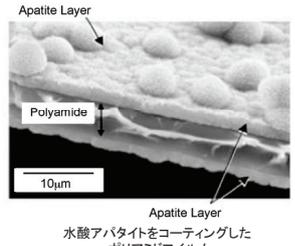


バイオメテックプロセスによる無機薄膜のコーティング

概要
生物は、巧みな有機-無機複合構造をきわめて穏やかな環境で合成している。本研究では、生体内で起こる反応に倣ったバイオメテックなプロセスで新規な複合材料の構築に取り組む。

この研究の新規性・独創性
ヒトの体液に類似した環境を模倣的に作り出し、その中で有機高分子の表面に無機物を形成させる。この手法は、穏やかな条件で高機能な水酸アパタイト(Apatite)の膜を有機高分子基板上に複合化できる。水酸アパタイトと有機高分子の機能性を併せ持つ新素材が創製できると期待される。

産学連携を目指した応用研究
水酸アパタイトの吸着特性を利用したフィルターなどへの応用も期待される。

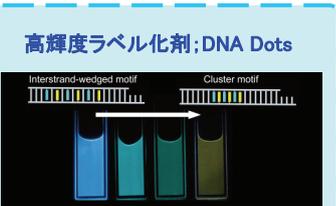
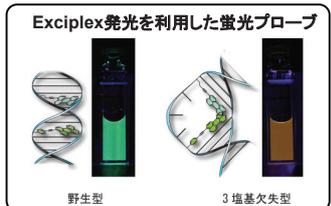
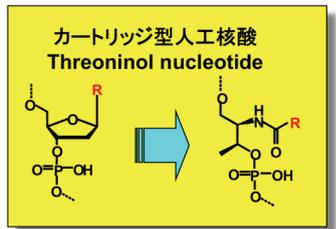


ナノバイオテクノロジーのための人工核酸

(浅沼研究室)

カートリッジ型人工核酸による高機能DNAの開発

当研究室では、非環状ジオールであるD-threoinolに機能性分子を導入したカートリッジ型人工ヌクレオチドが、天然のDNAと非常に高い互換性を持つことを明らかにしてきました。このカートリッジ型人工ヌクレオチドを天然のDNAに疑似塩基として導入することで、1) 遺伝子のわずかな差異を検出する高機能プローブ、2) 生体分子の高輝度ラベル化剤の開発に成功しております。



カートリッジ型人工核酸関連特許
PCT/JP2009/061980, 特願2010-042632, 特願2010-194942, 特願2010-206043