



# 資源工学 コース

*Undergraduate Course Program of  
Earth Resources and Energy Engineering*



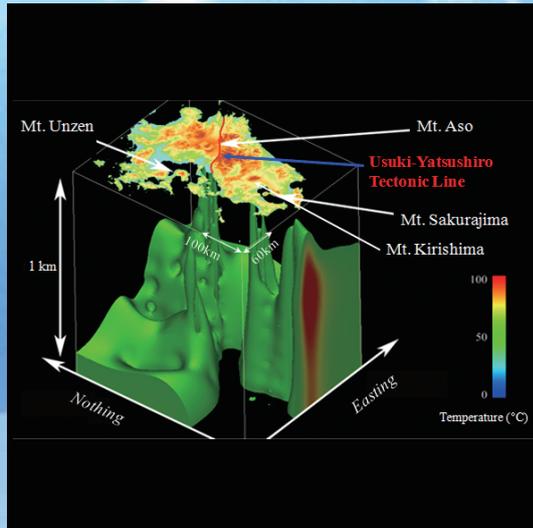
京都大学工学部 地球工学科



# 資源工学は新しい資源エネルギー

今ある資源エネルギーをより有効に取り出すことはもちろん、海洋資源エネルギー活用が不可欠です。これら未来のエネルギーに挑戦するのが資源工学です。

地温の3次元モデリングによる九州地域の地熱資源評価



世界最大級の揚水発電所用空洞



## 資源工学は人々の暮らしと産業の土台を支える「基幹」工学です

人間は、その歴史の中で、石、土、金属などを地球から探し出して材料やものを作り、石油、石炭、水力、ウランなどをエネルギーとして活動してきました。これら人々の暮らしや産業の土台となる資源エネルギーを供給する技術を開発するのが資源工学です。

## 資源工学は人類の持続的発展を担う「調和」工学です

今や人類は、大量生産、大量消費によって、資源エネルギーの枯渇や環境破壊という自らの存亡にかかわる問題に直面しています。この答えを地球と人間の調和から考え出すのが資源工学です。

## 資源工学は地球の恩恵を大切に「総合」工学です

省資源、省エネルギーに徹し、物を長持ちさせ、再利用やリサイクルすることで、地球に負担をかけないことが必要です。地球環境をまもり、資源エネルギーを大切に使う知恵を総合的に考えるのが資源工学です。

## 資源工学は新しい地球空間の利用を考える「創造」工学です

地上はもとより、海洋、地下などこれまで人類が利用していなかったフロンティアを安全に開発することが望まれています。このような新しい地球空間を創造するのが資源工学です。

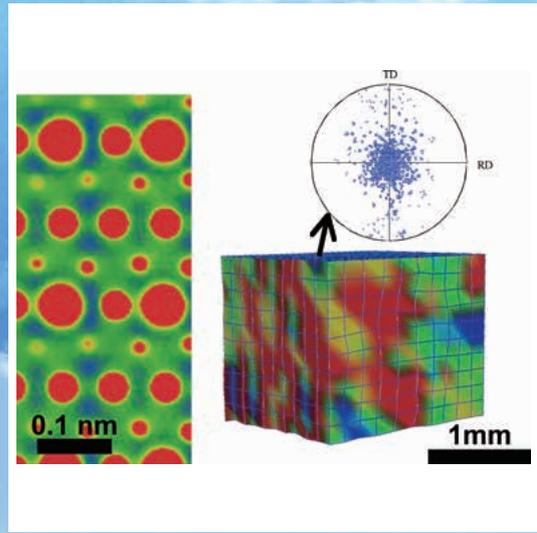
# ギ-に挑戦する「未来」工学です。

ルギー、地熱エネルギー、宇宙資源エネルギーなど新しい資源エネルギーの

日本海海底で採取されたメタンハイドレード



軽量化金属材料のマルチスケールシミュレーション



## 資源工学コースの構成

### 工学研究科・社会基盤工学専攻 (桂キャンパス)

#### 資源工学 講座

- 応用地球物理学分野
- 地殻開発工学分野
- 計測評価工学分野

### 工学研究科・都市社会工学専攻 (桂キャンパス)

#### 地球資源学 講座

- 地球資源システム分野
- 地殻環境工学分野

### エネルギー科学研究科・エネルギー応用科学専攻 (吉田キャンパス)

#### 資源エネルギー学 講座

- 資源エネルギーシステム学分野
- 資源エネルギープロセス学分野
- ミネラルプロセッシング分野

## 研究テーマ (詳細は各分野の紹介を参照)

### ■ 応用地球物理学分野

「地下を診る目」を創るセンシング・テクノロジー

### ■ 地殻開発工学分野

人類の持続的発展を支える地殻開発工学

### ■ 計測評価工学分野

持続的社会に必要な環境調和型資源開発技術の創出

### ■ 地球資源システム分野

資源エネルギーの開発と断層運動の解明のために、地殻の特性を紐解く

### ■ 地殻環境工学分野

地殻環境評価と鉱物・水・エネルギー資源の時空間モデリング

### ■ 資源エネルギーシステム学分野

新エネルギー・省エネルギー技術に関する革新的研究

### ■ 資源エネルギープロセス学分野

マルチスケール計算力学の応用による省資源化、省エネルギー化への貢献

### ■ ミネラルプロセッシング分野

資源・素材・環境に貢献するミネラルプロセッシング

# 応用地球物理学分野

Geophysics

准教授：武川 順一

Assoc. Prof. : Junichi Takekawa

助教：徐 世博

Asst. Prof. : Shibo Xu

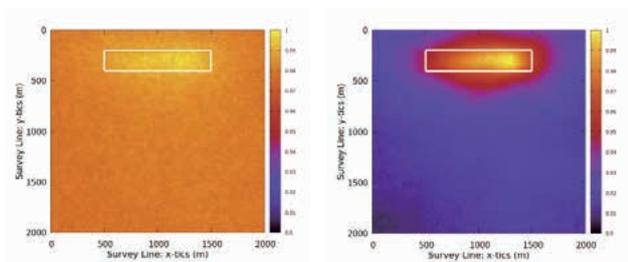
## 「地下を診る目」を創るセンシング・テクノロジー

エネルギー資源開発や地球環境保全など地球に関する諸問題の解決には、地殻構造を探る手段を有する「地下のドクター」の存在が必要不可欠です。本研究室では、地震波や電気、電磁気などの物理現象を用い、地下状態を非破壊で探査する物理探査技術を中心に、波動伝播や物性現象に関する基礎科学を含めた教育と研究を行っています。

### 研究概要

#### 地表における微動の受動的観測による 地下流体流動の推定

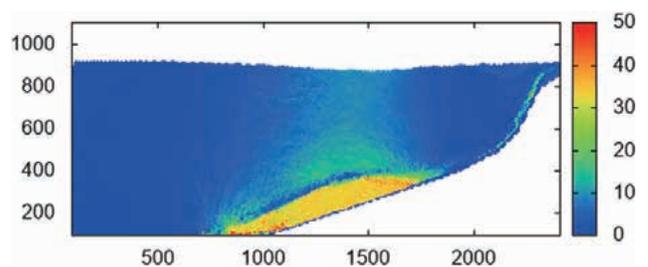
本研究では、地下の貯留層内流体流動に起因する微小な地震動を地表面で観測することで、地下流体流動に関する情報を抽出することを目的としています。過去の研究成果より、地下流体流動によって生じる地震動を長時間観測することで、流体流動位置が推定可能であることが示されました。本研究では、ノイズレベルに対してどの程度の観測時間を設ければ地下を精度良くイメージングできるかを、数値実験により定量的に評価しました。下図にその一例を示します。観測時間が短いときは、貯留層位置（白枠部）が明瞭ではありません。一方、観測時間を長くすると、貯留層をより正確にイメージング可能であることがわかります。このようなイメージング精度の向上を、複数の数値実験から定量的に評価しました。



地下のイメージング結果の一例。白枠が貯留層位置を示す。左：1時間の観測記録から得られるイメージング結果、右：20時間の観測記録から得られるイメージング結果。ともに30dBのノイズを付加している。

#### 粒子法を用いた海底地すべりと津波の 数値シミュレーション

本研究では、粒子法の一つであるSPH法、DEMを用いて、海底地すべりにより引き起こされる津波の関係について調べています。固体部をDEMで、流体部をSPH法で表現し、それらをカップリングさせて海底地すべりと津波を表現しました。海底堆積物の物性値を様々に変化させ、それによって引き起こされる津波波高がどのように変化するかを定量的に評価しました。



海底地すべりシミュレーション結果の一例。コンターは流速を表し、暖色系が高速領域を、寒色系が低速領域を表す。図の下部にある暖色部の塊が海底地すべりを起こした土塊を表す。

#### 光ファイバを用いた地震動計測のための センサー開発

本研究では、光ファイバを用いた地震動の計測技術について研究をおこなっています。光ファイバで地震動を取得することで、高密度な受振記録を安価に取得できる可能性が指摘されています。一方、この方法では光ファイバ軸方向にしか感度が無いため、1成分受振器としてしか使えません。そこで、様々な方向から来る地震波に対して感度を持たせることを目的として、光ファイバを用いたセンサーを新たに開発しています。下図はその一例です。塩化ビニルのパイプで作った枠に光ファイバを巻き付け、各方向に感度を持たせることを目的として作られた3成分受振器です。この他にも、ケーブルに光ファイバを螺旋状に巻き付けたセンサーについても検討しており、理論的・実践的な視点から新しいセンサーの開発を目指しています。



新たに開発したセンサー

## 地殻開発工学分野

Earth Crust Engineering

教授：福山 英一  
Prof. : Eiichi Fukuyama准教授：奈良 禎太  
Assoc. Prof. : Yoshitaka Nara助教：吉光 奈奈  
Asst. Prof. : Nana Yoshimitsu

## 人類の持続的発展を支える地殻開発工学

資源・エネルギー開発や地下空間の有効利用などに代表される岩盤の利用は、人類・社会の将来的な発展において極めて重要です。安全な岩盤の利用のためには、岩盤力学に関する知見が必要不可欠です。本研究室では、岩盤力学に関する知見を基に、人類の持続的発展に欠かせない資源・エネルギー開発やその技術、岩盤構造物の安定性、周辺環境が岩石物性や破壊特性に及ぼす影響などに関する研究を行っています。特に、鉱物・エネルギー資源の効率的な開発、放射性廃棄物の地層処分、地球温暖化ガスである二酸化炭素の地中貯留に関する技術など、多くの岩盤工学に関連するプロジェクトや、それに伴って発生する誘発地震の被害低減に貢献できる研究を行っています。

## 研究概要

大型2軸剪断摩擦試験機を用いた  
岩石摩擦実験とシミュレーション研究

地下深部の岩石は多くの亀裂を有しており、その亀裂の進展が岩盤の不安定を引き起こします。しかしながら、岩盤が破壊するかどうかは、単純に亀裂の進展のみには支配されません。亀裂がずれることによる摩擦の影響も無視できません。地下深くでは高い封圧下にあるため、亀裂が進展したとしても、高い摩擦力のため、亀裂が大きくずれるかどうかは一概に判断できません。本研究室では、図1に示すような、メートルスケールの岩石に法線応力をかけたのち、剪断応力をかけ、剪断すべりを発生させ、剪断すべりの最中の摩擦力の変化を測定し、岩石の破壊安定性の性質を調べています。さらに、図2のような境界積分方程式法などを用いた数値シミュレーションにより、岩石摩擦と実際の剪断破壊との関係を調べます。大型岩石摩擦実験においては、これまで、実験室において簡単には測定できなかったデータが得られており、動摩擦理論構築のための重要な実験データとなっています。さらに、実験室で得られた摩擦の性質を考慮し、計算機上で破壊伝播の再現を行います。特に、既存破壊面(断層)が複雑な形状をしている場合、どこまで断層が壊れるかは、外部から働く力と断層面に働く摩擦力によって決まることとなります。

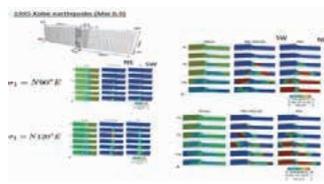
図1 大型2軸剪断摩擦試験機  
(防災科学技術研究所所有)

図2 三次元境界積分方程式法による複雑系断層を伝播する破壊(1995年兵庫県南部地震)

岩石・岩盤の亀裂・空隙の閉塞および  
透水特性に関する研究

岩石の透水特性に関する情報の取得は、各種岩盤工学に関するプロジェクトを行う上で必須と言えます。岩石内の流体の流れは、亀裂や空隙のネットワークで生じます。ゆえに、岩石内の亀裂や空隙が透水特性に及ぼす影響を調べることは極めて重要といえます。そこで本研究室では、鉱物が岩石内の亀裂や空隙を充填する機構の解明を調査するとともに、室内試験および原位置岩盤における透水

試験を行うことによって、岩石・岩盤の透水特性に関する研究を行っています。

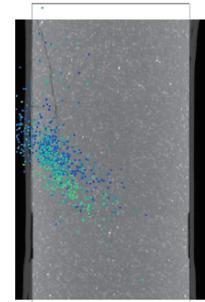
図3に原位置岩盤での透水試験の装置を、図4に粘土を含む水が流れる環境下で生じた花崗岩内の亀裂閉塞の様子を示します。これまでに、鉱物が亀裂や空隙を充填することによって、透水係数が低下することが明らかになっています。



図3 原位置透水試験装置

図4 粘土により閉塞した花崗岩の亀裂  
画像の幅は0.5mm 高さは0.375mm実験による資源採掘場近傍の  
応力・不均質状態の推定研究

鉱山における採掘や石油やシェールガスの採掘に伴う応力変化で地震が誘発されることがあります。誘発地震を防ぐために、採掘がおこなわれる場の応力状態や亀裂の進展過程を知ることが重要です。誘発地震の発生場を直接観測することは難しいため、我々は実験室で地下環境を再現した実験を行っています。媒質にかかる力を可視化することができる光弾性法と呼ばれる手法を使うと、注水時に地下の弱面にかかる応力を視覚的に観察することができます。また、圧縮試験機を使って岩石試料を上下に押し実験をおこなうと、地下の応力状態を再現することができます。圧縮が進むにつれて岩石中では微小破壊が多数発生し、微小な亀裂が生成されます。岩石試料に人工的に弾性波を透過させると、透過波の振幅や速度の増減から試料内に生成される亀裂の増加・連結過程を間接的に推定することができます。また、微小破壊を小さな地震に見立ててその特性を解析することで、自然地震や誘発地震の発生過程の理解を目指しています。

図5 岩石試料内で発生した  
微小破壊の震源分布

## 計測評価工学分野

Measurement and Evaluation Technology

教授：村田 澄彦  
Prof. : Sumihiko Murata

## 環境調和型資源開発技術, 資源開発に関わる計測評価技術, 構造物健全性診断に関わる非破壊検査技術の開発

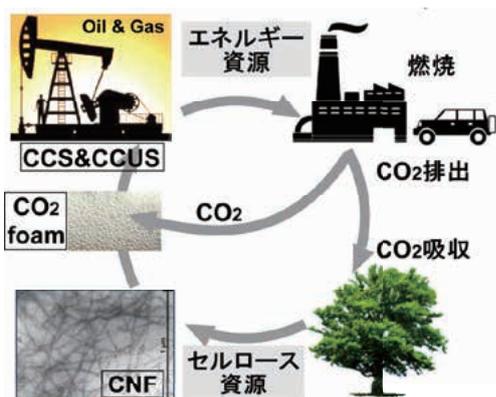
本分野では、各種計測評価技術に基づいた、資源開発における環境負荷低減技術、気候変動問題に対応するCCS/CCUSの高度化技術、様々な構造物に対する先進的な検査・モニタリング技術などに関する研究開発を行っています。

## 研究概要

## 環境調和型資源開発技術

## 環境調和型石油天然ガス開発技術の開発

現在の石油の回収率は高々40~60%であり、まだ多くの石油が既存油田に残されている。石油を資源として未永く使用していくためには、地球温暖化にも配慮した環境調和型の石油増進回収法(EOR)の開発が必要である。また、近年活発化しているシェールガス、シェールオイル開発では、フラッキングに大量の水を使用することやフローバックする有害な水処理が環境問題となっており、出来る限り使用する水の量を削減することが必要である。当研究室では、豊富な木質資源を原料とし、生分解性で環境負荷が低いセルロースナノファイバー(CNF)を用いた石油天然ガス開発技術の開発を行っている。一つは、CNFをナノ粒子化して石油貯留層の卓越流路に送り込むことで卓越流路の浸透率を低下させEOR流体による油の掃攻効率を向上させ、石油の回収率を上げる技術である。もう一つは、CNFを用いて安定な泡状炭酸ガスを生成し、それぞれ炭酸ガスEORおよびシェールガス、シェールオイル開発でのフラッキング流体に用いることで、CCS/CCUSとしての役割も持たせながら、炭酸ガスEORの掃攻効率を向上させるとともにフラッキングで使用する水の量を大幅に減らし、水環境への影響を低減する技術である。下図に示すように、生産された石油・天然ガスの燃焼で排出された炭酸ガスは植物に吸収され、新たなセルロースとして再生されCNFが生産される。このように、本研究はカーボンニュートラルな技術の開発でもある。



CNF含有フォームによる石油天然ガス開発のカーボンニュートラル化

## 岩盤斜面健全性評価技術

## 発破振動を用いた岩盤斜面健全性評価技術

資源開発によって形成される大規模岩盤斜面の安定性を維持することは、持続的な資源開発と環境および景観の保全の観点から非常に重要である。現在、岩盤斜面の安定性は、主にAPSやGPSによる斜面の表面変位モニタリングによって評価されている。当研究室では、これらの方法を補う安価で手軽な方法として、現場で日常的に用いられている発破による岩盤斜面の振動を計測することで、その安定性に直接影響する岩盤の力学特性の変化をモニタリングし、安定性を評価する方法を検討している。



資源開発によって生じる大規模岩盤斜面(武甲山)

## 電磁的手法を用いた非破壊評価技術

## 金属材料に対する非破壊検査手法の開発

供用期間が数十年を経過した吊橋では、橋桁を懸吊するハンガーロープなどで腐食による経年劣化が問題となっている事例がある。当研究室の前任教授により開発された全磁束法と呼ぶ検査法は、国内外の吊橋のハンガーロープに対して10年以上の検査実績を持っている。他にも、様々な金属材料に対してその表面や内部に存在する欠陥を高精度で効率的に検出評価する非破壊検査手法の開発も実施している。

## 地球資源システム分野

Earth and Resource System

教授：林 為人  
Prof. : Weiren Lin講師：石塚 師也  
Lecturer : Kazuya Ishitsuka助教：神谷 奈々  
Asst. Prof. : Nana Kamiya

## 資源エネルギーの開発と断層運動の解明のために、地殻の特性を紐解く

石油・天然ガスや地熱などの地下エネルギー資源を開発する地球工学分野から、科学掘削における地下応力状態の測定による沈み込み帯の断層運動を解明する地球科学分野まで、“地球”、“資源”、“エネルギー”、“断層”、“環境”などをキーワードに、手法・ターゲットともに幅広く研究を行っている。

## 研究概要

地震断層掘削や石油坑井における  
三次元原位置応力状態の解明

南海トラフなどの海底にあるプレート境界や陸上の活断層の活動により、大地震が繰り返し発生している。地震発生のサイクルにおいては、応力が次の地震発生までに震源断層とその周辺に蓄積し、地震時に急激に解放するとされているが、応力と地震の定量的な関係は、いまだに解明されていない。一方、石油・天然ガス等の地下エネルギー資源を開発する坑井においては、坑壁安定性の確保や水圧破砕で造成するフラクチャーの方向制御のために、深部地層中の応力状態に関する情報を知ることが不可欠である。

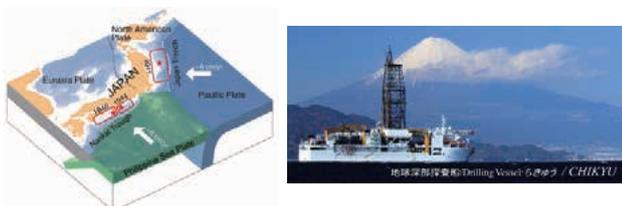


図1 日本列島およびその周辺のプレート構造(左)と世界最高の掘削能力を誇る深海科学掘削船「ちきゅう」(右)

当研究室では地震断層掘削や石油開発の坑井から得られるコア試料や検層データを用いて、地下深部内の三次元応力状態の時空間分布特性を明らかにすることにより、地球科学・地球工学の発展に貢献することを目指している。



図2 応力計測に用いた岩石コア試料

## 岩石の物理的性質の評価

地球資源の探査や開発、断層運動の解明において、岩石の物理的性質の理解は必要不可欠である。特に掘削の岩石コア試料や坑井の検層データを用いた評価は、対象地層の熱物性や比抵抗、弾性波速度といった岩石物性を直接的に理解する最重要な手段である。そのため、当研究室では、岩石コア試料や検層データを用いた物理的性質の評価を通じて、対象地域の地質および地球物理学的特性の解明を行っている。

具体的な研究例としては、熱物性や圧密降伏応力など岩石物性の異方性に着目した物性測定を行い、応力と物性変化の関係を解明することで、地下深部における物理特性のより正確な評価を目指している。また、2016年熊本地震を引き起こした布田川断層を貫通した掘削孔を用いて、温度や熱物性、比抵抗特性等の評価に取り組んでいる。



図3 岩石試料のサンプリングの様子(左)、圧密試験機(右)

## 地熱資源評価のための温度・物性分布推定

地下深部に存在している高温岩体の持つ地熱資源の開発が可能となれば、従来よりも多くのエネルギーを得ることが可能となり、さらには二酸化炭素排出量の削減にも貢献することが可能となる。そのためには、掘削地点の選定のための有望地域における深部地熱資源の定量評価が重要となるが、地質や物理的性質に関する原位置のデータが限られている点、予測される現象に不確実性がある点が課題となっている。当研究室は、地熱地域で取得された検層データや物理探査データ、地質学的知見を基に、機械学習や数値計算等を用いて、より信頼性の高い深部地熱資源評価手法の開発を行っている。また、開発した手法は有望地域に適用し、手法の評価を行っている。

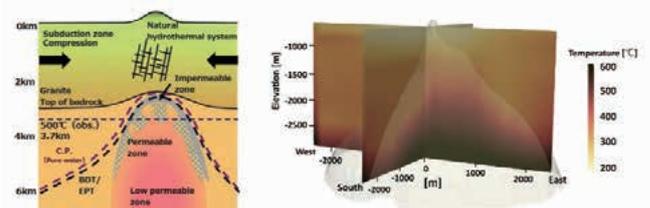


図4 深部地熱システムの概念図(左)、葛根田地熱地域で推定された温度分布(右)

# 地殻環境工学分野

Environmental Geosphere Engineering

教授：小池 克明  
Prof. : Katsuaki Koike

准教授：柏谷 公希  
Assoc. Prof. : Koki Kashiwaya

助教：久保 大樹  
Asst. Prof. : Taiki Kubo

## 地殻環境評価と鉱物・水・エネルギー資源の時空間モデリング

資源と共存し、地球環境と調和した持続的発展社会の構築や地層貯留機能の高度利用などを目的として、地球計測法と数理地質学による鉱物・水・エネルギー資源の分布形態モデリング、地殻ガス・流体の化学的性質と流動現象の解明、地殻の地質・熱・物性の構造推定の高精度化に関する研究を行っています。

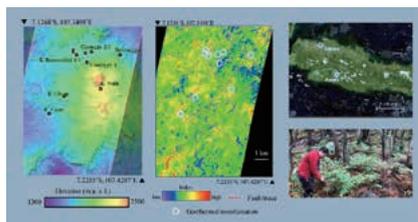
### 研究概要

#### リモートセンシングによる地殻構造と物性の推定技術の開発

鉱物・エネルギー資源の分布を明らかにするには、地質構造、岩石・鉱物の種類、物性、化学組成、地殻変動パターンなど、広範囲にわたる静的・動的な地質情報が必要となります。そのためにリモートセンシング技術を応用し、資源関連の地質・物性の空間分布を推定する手法、および合成開口レーダ画像の干渉処理によって地形変化を高精度に抽出する手法などの開発を行っています。また、リモートセンシング技術を画像解析や地中レーダに応用する試みも進めています。



世界衛星画像データベースを用いた南アメリカ大陸西側の斑岩銅鉱床の有望地域の抽出結果  
斑岩銅鉱床の中心部に位置するフィリック変質帯と粘土化帯の推定位置を赤で示す。

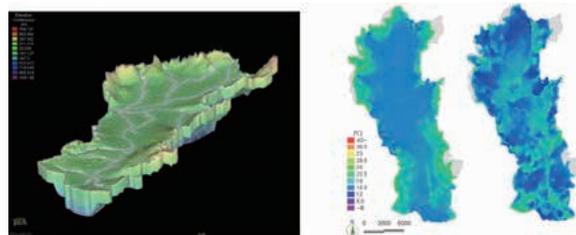


ハイパースペクトル衛星データを用いた植物ストレスと熱水変質鉱物が顕著な場所の抽出(左図の赤)  
インドネシアPatuha地熱地区での地熱資源有望地の推定、および現地調査による検証

#### 地球化学分析とシミュレーションによる地殻流体の流動状態の解明

地殻における流体流動現象の理解は、種々の地球資源を利用したり、効果的な環境問題対策を講じたりする上で重要となります。例えば、重要な水資源である地下水の持続的利用のためには、帯水層の空間的広がりや地下水の涵養・流動・流出状態を踏まえた適切な資源管理が必要となります。また、地熱資源を開発し、持続的に利用するためには、地下の熱水や蒸気といった地熱流体の循環状態の把握が求められます。

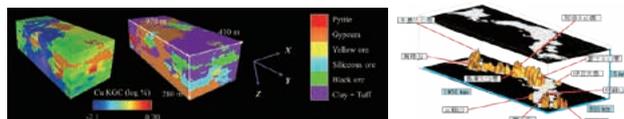
当研究室では、安定同位体、放射性同位体を含む流体の地球化学的指標(環境トレーサー)を駆使するとともに、地球統計学的手法を活用した水理地質構造のモデル化や、地下水流動と水-岩石反応を考慮した反応輸送シミュレーションを行うことで、地殻流体の流動状態とそれに伴う物質循環を高精度に把握・予測する手法の構築を進めています。



京都盆地の水理地質モデルの鳥瞰図(左)と土地利用を考慮しない場合の地下温度分布(中央)  
土地利用を考慮した場合の地下温度分布(右)

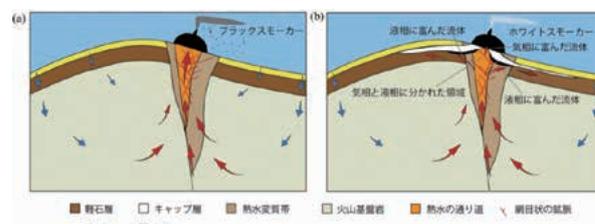
#### 陸・海域での資源分布形態の高精度モデリング

黒鉱鉱床、斑岩銅鉱床、海底熱水鉱床、地熱資源、地下水資源などを対象とし、地球統計学や機械学習を種々の地質情報や計測データに適用することで、陸域・海域でのこれらの資源の有望地、分布形態、品位分布を明らかにしています。これと各種数値シミュレーション、岩石や流体試料の分析、地表地質調査、現地計測調査などを組み合わせることで、資源の形成要因や生成プロセスの解明にも取り組んでいます。



地質を考慮したkrigingによる黒鉱鉱床の銅濃度(左)と地質分布(右)の同時推定

機械学習で推定された国内全域の水の臨界点を越える深部高温域の分布



研究室で明らかにした海底熱水鉱床の生成メカニズム(断面図)。(左)鉱床生成の初期、(右)鉱床生成の成熟期  
ブラックスモーカー:金属成分を多量に含んだ流体、ホワイトスモーカー:金属成分に乏しい流体

# 資源エネルギーシステム学分野

Resources and Energy System

教授：馬淵 守  
Prof. : Mamoru Mabuchi

准教授：袴田 昌高  
Assoc. Prof. : Masataka Hakamada

助教：陳 友晴  
Asst. Prof. : Youqing Chen

## 新エネルギー・省エネルギー技術に関する革新的研究

当研究室では、材料科学や資源地質学等を基礎として、新エネルギー、省資源・省エネルギーおよび近未来における資源・エネルギーの安定供給に関する幅広い分野の研究を行っています。具体的には、新エネルギー・省エネルギーの促進に貢献する金属系ナノマテリアルと超軽量合金、資源開発の基礎となる岩石の間隙構造の解析等に関する研究に取り組んでいます。研究室のキーワードは、エネルギー・資源問題解決に向けた革新的技術開発とそれに挑戦する意欲、です。

For details, please visit our website: <http://www.res.energy.kyoto-u.ac.jp/> !!

### 研究概要

#### ナノ複合・ナノポラス金属に関する研究

本研究室では、近年注目を集めているカーボンナノチューブを使った“金属/カーボンナノコンポジット”，およびナノメートルオーダーの微小孔径を有するスポンジ状の“ナノポラス金属”の研究を行っています。これらナノ材料は今までのバルク材料とは異なる画期的な材料特性（触媒、磁性、酵素固定、力学等）を示すことを確かめました。これらの研究を通じ、新エネルギーや省資源を促進するブレイクスルーを目指しています。

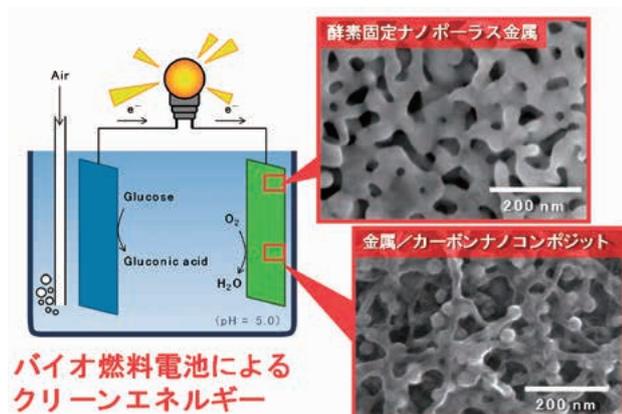
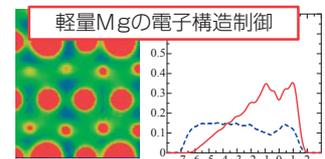


図1 クリーンエネルギーを提供するバイオ燃料電池に向けたナノ金属電極の開発

#### 超軽量マグネシウム合金の開発に関する研究

マグネシウム (Mg) 合金は、超軽量な次世代基盤材料として期待される材料ですが、最密六方格子構造をとることから加工性が著しく悪く、実用化の大きな障害となっています。本研究室では、コンピュータ解析による最適電子構造設計を基に、加工性に優れたMg合金の開発を行い、成果を上げています。



輸送・新エネルギー分野の構造材料

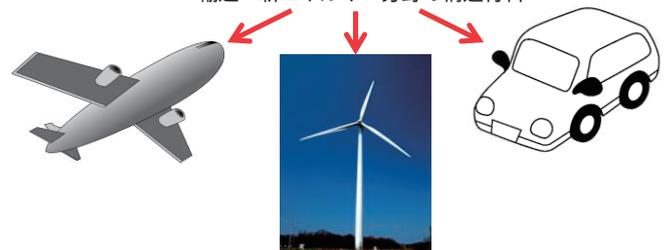


図2 高加工性Mg合金の開発から省エネルギー社会へ

#### 岩石中の間隙の評価に関する研究

岩石中に存在する間隙や割れ目の状況を明らかにすることは、資源開発を含む多くの工学的課題の解決に貢献します。当研究室では、従来認識が困難であった微小な間隙や割れ目を、蛍光剤を用いて可視化し観察することに成功しました。この方法を用いて、石油や天然ガスなどの地下資源貯留層中の間隙の評価や岩石の破壊過程の解析に取り組んでいます。

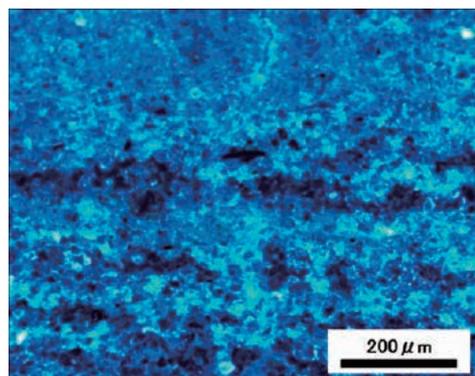


図3 シェールガス・オイルの貯留岩として注目されているシェール（頁岩）中の間隙構造の評価（白色部が可視化された微小な間隙）

# 資源エネルギープロセス学分野

Advanced Processing of Resources and Energy

教授：浜 孝之  
Prof.: Takayuki Hama

助教：宮澤 直己  
Asst. Prof.: Naoki Miyazawa

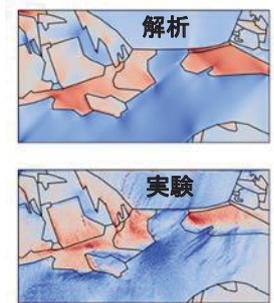
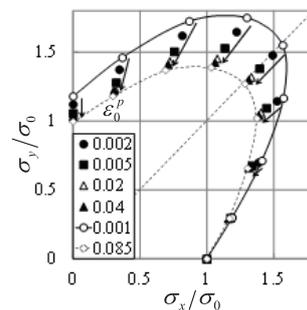
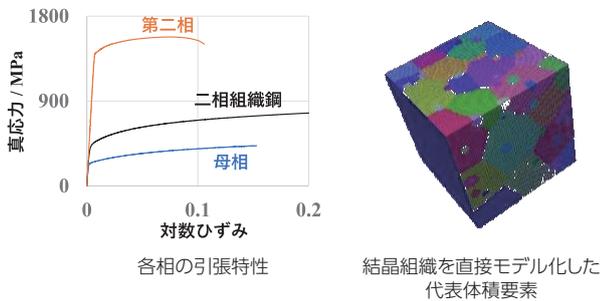
## マルチスケール計算力学の応用による省資源化、省エネルギー化への貢献

持続可能な社会の構築には、素材から製品を加工、利用するまでの一連のプロセスにおいて省資源化、省エネルギー化を促進することが重要です。当研究室では、金属板をはじめとする素材の加工プロセスに焦点を当て、幅広い時空間スケールを対象とした高度な計算力学と実験技術を駆使することで、その実現に向けた基礎的、実用的研究に取り組んでいます。その成果は、輸送機器の軽量化に資する難加工材のモデリングやその成形性の向上、また高い成形性を有する素材の創製などに生かされます。

### 研究概要

#### 二相組織鋼板のマルチスケールモデリング

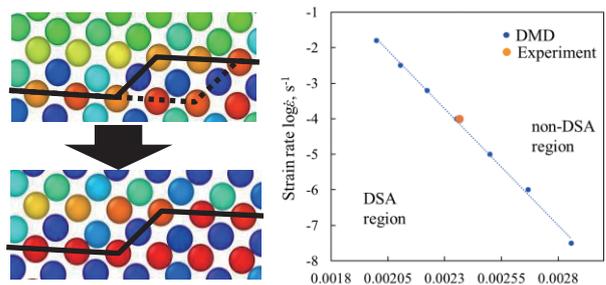
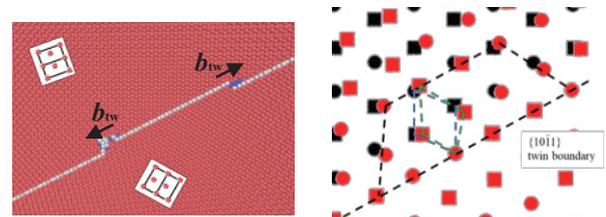
自動車の軽量化には、二相組織鋼板に代表される高強度材料を使用して部材の薄肉化を図ることが有効な手段である。しかし、軟質な母相と硬質な第二相から構成される二相組織鋼では、従来用いられてきた単相鋼とは変形挙動が大きく異なるため、その変形特性の解明が切望されている。本研究室では、各相の変形特性を高精度に評価する実験技術を検討するとともに、複雑な結晶組織を直接モデル化した代表体積要素を用いることで、変形特性の高精度な予測技術の開発や変形メカニズムの解明を進めている。



引張変形時の結晶粒内ひずみ分布の予測

#### チタン合金のミクロスケール変形解析

チタンの異方性の強い変形挙動は、結晶構造レベルの微視変形にも起因している。本研究室では分子動力学解析を駆使することで、チタンの微細組織を原子スケールでモデル化し、微視的塑性変形機構の解明を進めている。例えばチタンの双晶変形機構や、それに転位や溶質が及ぼす影響について原子スケールから明らかにした。最近では異方性の強い変形特性との関係についての調査や結晶塑性との連携を進めている。

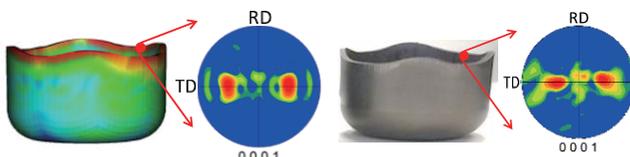


双晶変形に伴う溶質濃度の変化

ひずみ時効の予測

#### 純チタン板のマルチスケールモデリング

工業用純チタンは優れた耐食性や高い比強度を持つことから、航空機や自動車部品、熱交換器などで広く用いられている。しかしながら六方晶金属であることに起因して極めて異方性の強い変形挙動を示す。本研究では、純チタンに関するマルチスケール数値解析技術を開発し、その複雑な異方変形挙動の解明を進めている。最近では実験と数値解析を駆使することで、円筒カップ絞り成形から粗大結晶粒材の単軸引張変形に至るまでの幅広いスケールを対象として、その不均一な塑性変形挙動や異方変形挙動が発現するメカニズムを、結晶粒レベルの微視変形から明らかにした。



カップ成形性の予測(左:解析, 右:実験)

# ミネラルプロセッシング分野

Mineral Processing

教授：藤本 仁  
Prof. : Hitoshi Fujimoto

准教授：楠田 啓  
Assoc. Prof. : Hiromu Kusuda

助教：日下 英史  
Asst. Prof. : Eishi Kusaka

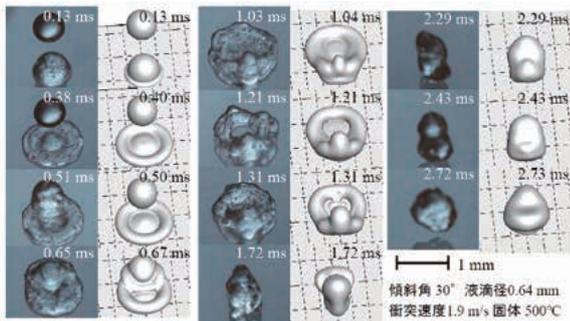
## 資源・素材・環境に貢献するミネラルプロセッシング

人類が今後も安全に暮らしていくためには、地球環境に配慮した素材開発、資源精製・循環プロセス技術の構築、およびそれらの高度化・高効率化が必要です。私たちは、資源・素材さらに環境に関わるさまざまな問題に取り組んでいます。

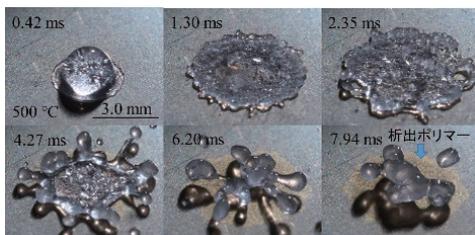
### 研究概要

#### 混相流の物質・熱輸送

一つの空間に複数の流体が存在する混相流は、様々な素材製造プロセスで現れる。金属素材の冷却による熱処理では、数百℃に加熱された素材表面に冷媒を接触させて急冷し、所定の温度で冷却停止することで結晶組織の制御を行っている。水を使用する冷却では、沸騰により液体相と蒸気相および周辺の空気相が混在する流れとなる。また、冷媒が水中に油滴相が分散するO/W(Oil-in-water)エマルジョンでは、水の沸騰に加え、分散相(油)の濃化や相変化が発生する。水溶性高分子ポリマー水溶液を用いる場合は、ポリマーの析出や熱分解も起こる。これらは全て、微小な時空間スケールで発生する過渡現象であり、素材の冷却速度(単位時間当たりの温度降下量)に大きな影響を及ぼす。そのため、冷却プロセスの最適化には相変化を伴う混相流の物質・熱輸送現象の理解が不可欠である。しかし、これには学術的に未解明なものが数多く残されている。本研究室では、液体と高温固体との突然接触により誘起される流動の観察と熱計測手法の開発を行っており、その素過程を基礎実験や3次元コンピュータシミュレーションで解明する研究に取り組んでいる。



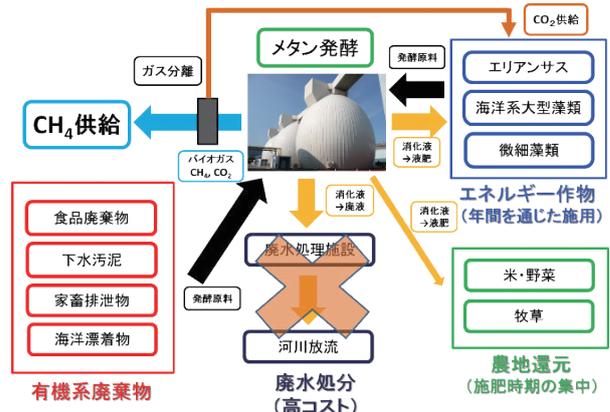
傾斜した高温金属表面に連続衝突する水液滴の挙動  
(左):観察画像, (右):コンピューターシミュレーション。



高温固体面上のポリマー水溶液液滴の変形過程の例。  
析出ポリマーは熱抵抗層として作用し、冷却速度を低減する。

#### メタン発酵によるエネルギー利用型資源循環

さまざまな有機廃棄物を処理しつつ、メタンを回収できるメタン発酵への期待は高まってきている。しかしながら、難分解性有機物の存在もあり、発酵効率の向上が求められている。また、発酵に伴って大量に発生する消化液の処分も大きな課題となっている。そこで本研究室では、前処理によるメタン発酵の高効率化とエネルギー作物への消化液の還元による資源循環システムの構築を目指している。



#### 環境・リサイクリング

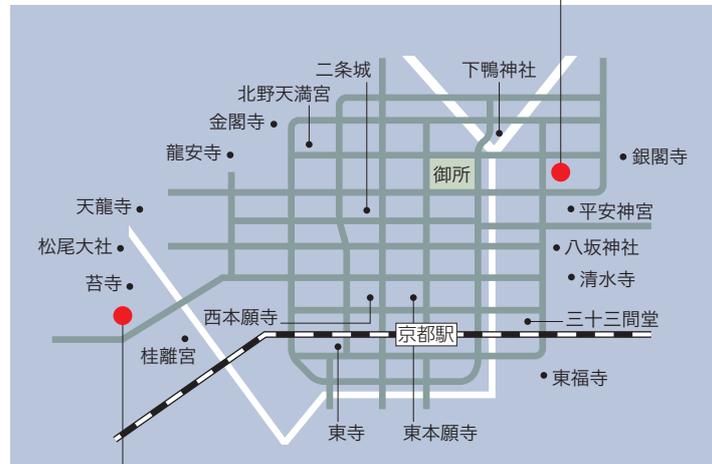
近年の環境規制の強化、資源リサイクリング意識の向上などにより、処理の対象物は複雑化かつ微細化の傾向にあり、これを処理する高度な分離技術開発が急務となっている。この問題を解決する一連の研究として、資源の分野で培われてきた省資源・省エネルギー型の分離技術(放射能汚染土壌の除染・減容化、排水浄化、水資源など)あるいは資源リサイクリング(廃棄物資源循環)などの分野に適用し、その機構解明と応用研究をミネラルプロセッシングの観点から行っている。



(左)新規分離技術(マイクロバブル浮選)の光景  
(右)浮選前後の溶液の様子、左が浮選前

### 吉田キャンパス

工学部 地球工学科 資源工学コース  
大学院エネルギー科学研究科・  
エネルギー応用科学専攻  
〒606-8501 京都市左京区吉田本町



### 桂キャンパス

大学院工学研究科・社会基盤工学専攻  
大学院工学研究科・都市社会工学専攻  
〒615-8540 京都市西京区京都大学桂

# 京都大学

工学部 地球工学科 資源工学コース

〒606-8501 京都市左京区吉田本町

URL <https://www.s-ge.t.kyoto-u.ac.jp/res/ja>