

# 環境や生命に調和する材料デザインを求めて

Design of materials harmonizing with environment and life



教授 松原 秀彰  
Professor  
Hideaki Matsubara



准教授 上高原 理暢  
Associate Professor  
Masanobu Kamitakahara



Group Photo

現在、我々は様々な材料を利用して生活を営んでいる。持続可能な社会を構築するためには、環境科学の観点からの材料のデザインが必要である。本分野では、材料と自然・生命現象の相互作用についての基礎学術に立脚し、環境科学の観点から、生命や環境と調和し、さらには積極的に生命や自然に働きかけて新しい調和を生み出す材料のデザインの探求を行っている。具体的には、省エネルギーのための材料、生体を修復するための材料、環境を浄化するための材料の開発、コンピューターシミュレーションの研究を行っている。

Nowadays, we are using many materials to live our daily life. From the viewpoint of environmental science, materials design is required in order to build a sustainable society. In this laboratory, based on the fundamental science of the relationship between materials and phenomena of nature and life, the design of materials that produce harmony with the environment and life is studied from the viewpoint of environmental science. We are developing materials for energy saving, biomaterials to repair our bodies, and materials to clean the environment and are studying computer simulations.

## 省エネのための断熱・蓄熱システムの開発

エネルギー消費を抑え、化石燃料に依存しない暮らしへ移行するためには、自然・未利用熱（地中熱、太陽熱、雪氷、工場排熱等）の利用が重要となる。種々の熱源と蓄熱槽を組み合わせることにより、最小限のエネルギー消費で自然・未利用熱を有効利用するためのシステム構築が可能となる。特に夏の温熱を冬に、冬の冷熱を夏に利用したい場合には、これらの熱を長期間に蓄えておく断熱性能がそのまま利用可能熱量に直結する。本研究室では、季節間の熱利用を行うことを想定し、高性能の新規断熱材料を開発し、断熱（熱保存）性能を評価するとともに、熱を蓄えつつ一定温度で放出可能な槽と複数の熱源を組み合わせた回路によって熱利用システムの効率等を評価している。

## 材料組織形成のシミュレーション

モンテカルロ法、有限要素法、分子動力学法などを用いて、セラミックスや複合材料の組織形成のシミュレーションの研究を行っている。複数の固相、液相、気孔を含む材料の組織変化を、温度と時間との関係で追うことのできるシミュレーションを開発した。WC-Co 超硬合金や Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-glass などの液相焼結によって得られる材料の組織をシミュレーションによって設計する研究を進めている。

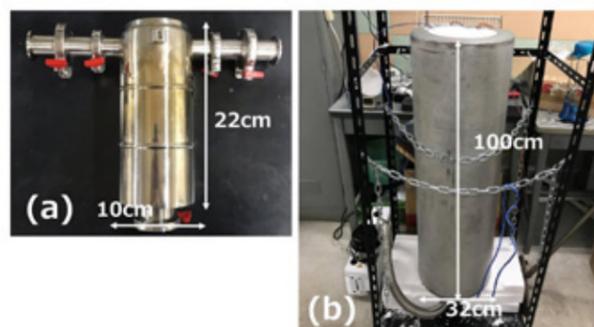


Fig.1 Heat insulation vessel with vacuum wall and porous silica powder. (a) Inner volume is 1 liter, (b) 35 liter.

## Development of a thermal insulation /storage system for energy conservation

In order to reduce energy consumption and shift to a life independent from fossil fuels, it is important to use natural and unutilized heat. By combining heat sources and storage, it is possible to construct a system to utilize natural and unutilized heat effectively with minimum energy consumption. In this laboratory, assuming that heat is used across seasons (summer and winter), we developed a new high-performance insulation material and evaluated its insulation performance. The heat utilization efficiency of the heat utilization system was evaluated by using a circuit combining heat storage and several heat sources.

## Simulation of formation of material microstructure

We are studying the simulation of the microstructure formation of ceramics and composites using the Monte Carlo method, the finite element method, the molecular dynamics method, etc. We developed a simulation that can calculate the change in a material's structure, including several solid phases, liquid phases and pores from view point of the relationship between temperature and time. The microstructure design by computer simulation is studied in WC-Co cemented carbide and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> glass, which are fabricated by liquid phase sintering.

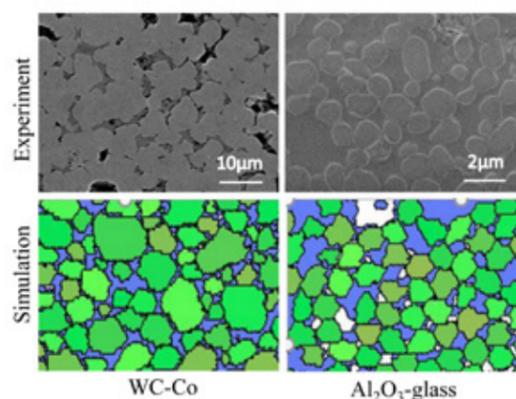


Fig.2 Simulation and experiment of microstructures by liquid phase sintering. (a) WC-Co, (b) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-glass.

## 航空機エンジン用セラミックスコーティングのシミュレーション

現在、航空機エンジンの高温部品には熱遮蔽コーティングが広く適用されており、今後は新規コーティングである耐環境性コーティングの研究が重要になってくると考えられる。本研究では、セラミックスコーティングの組織形成、組織変化、損傷・剥離のシミュレーションを行っている。モンテカルロ法を用いて、特異（柱状晶、羽毛状）な構造の形成と焼結・粒成長による組織変化を再現できるシミュレーション技術を開発し、有限要素法を用いて、焼結による膜の形状変化を再現できるシミュレーション技術や膜の剥離の解析技術を開発した。

## 生体に調和する材料の創製

代謝に組み込まれて生体機能に働きかける骨修復材料ならびに薬剤を効果的に放出できる薬剤担体の創製を行っている。これまでに、生体内で吸収され骨の代謝に組み込まれる人工骨の作製に成功している。さらにこの技術を利用して、適切な部位に適切な量の薬剤を送り込むことにより薬剤の効用を向上させるとともに薬剤の使用量を減らすことのできるドラッグデリバリーシステム (DDS) の担体として、表面がリン酸八カルシウムで内部が水酸アパタイトの複合相からなる顆粒の作製にも成功している。これらの材料の開発は、患者の治療だけでなく、環境低負荷医療の実現に貢献できると考えている。

## 受賞や学会等での活動

<受賞>

- (1) 日本セラミックス協会 平成三十年度東北北海道支部研究発表会 優秀発表賞 (寺坂宗太, ジェットエンジン用耐環境性コーティングに用いられる YbSiO 系の組織変化と性能劣化)
- (2) 粉体粉末冶金協会 平成 30 年度秋期大会 優秀講演発表賞 (二村友佳子, WC-Co 超硬合金の計算状態図と液相焼結挙動)

<学会等での活動>

松原秀彰: 粉体粉末冶金協会理事、同協会硬質材料分科会主査、粉体および粉末冶金編集委員長、日本セラミックス協会エンジニアリングセラミックス部会委員、質材研究会幹事等  
上高原理暢: Associate Editor of Journal of the Ceramic Society of Japan、日本バイオマテリアル学会評議員、日本セラミックス協会生体関連材料部会幹事等

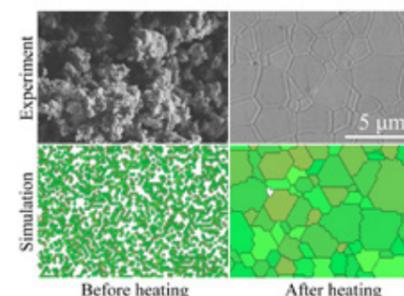


Fig.3 Simulation and experiment for microstructure change in the material (Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>) for the environmental barrier coating.

## Simulation of ceramics coating for jet engines

Thermal barrier coating of ceramics is widely used in high-temperature and high-pressure parts of jet engines. Environmental barrier coatings are considered to be a very important ceramic technology for new jet engines. This study aimed to develop a simulation technique for microstructure formation and change and for delamination/fracture in ceramic coatings. The Monte Carlo method was used for the simulation of deposition and sintering, and the finite element method was used for the simulation of deformation and delamination of ceramic coating.

## Preparation of materials harmonizing with life

Bone-repairing materials that can be incorporated into bone metabolism and activate the biological functions and drug carriers that can release the drugs efficiently are designed. We have succeeded in the preparation of artificial bone, which is resorbed in vivo and incorporated into bone metabolism. As a carrier of a drug delivery system (DDS) capable of improving a drug's utility and reducing its amount by releasing an appropriate amount of the drug to an appropriate site, biphasic granules of octacalcium phosphate and hydroxyapatite were developed based on the knowledge about artificial bones. We believe that the development of these materials contributes not only to the patients' treatments but also to the realization of medicine with a low environmental impact.

## Awards and activities in academic societies

< Awards >

- (1) Best Presentation Award at the 2018 Meeting of the Tohoku-Hokkaido Branch of the Ceramic Society of Japan (Sota Terasaka, Title: Structural change and performance deterioration of YbSiO system used for environmental barrier coating for jet engine).
- (2) Best Presentation Award at the 2018 autumn meeting of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy (Yukako Nimura, Calculated phase diagram and liquid phase sintering behavior of WC-Co cemented carbides).

<Activity in academic societies>

Hideaki Matsubara: Director of Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, Chairperson of Technical Division of Hard Materials Committee of Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, Chief Editor of the Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, Committee Member of Engineering Ceramics Division of the Ceramic Society of Japan, etc.  
Masanobu Kamitakahara: Associate Editor of the Journal of the Ceramic Society of Japan, Committee Member of the Japanese Society for Biomaterials, etc.

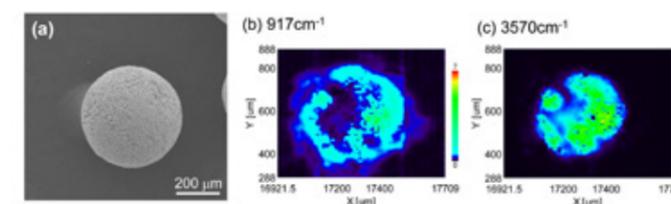


Fig.4 Scanning electron microscopic images of biphasic granule of octacalcium phosphate (OCP) and hydroxyapatite (HA). (a). Fourier-transform infrared spectroscopic images of the cross-section of the granule (b) at 917 cm<sup>-1</sup> (Absorption of HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> derived from OCP) and (c) at 3560 cm<sup>-1</sup> (Absorption of OH<sup>-</sup> derived from HA)