

# 循環型社会を目指した 材料製造プロセスの研究

Material Process for Circulatory Society



教授 セルゲイ・コマロフ  
Professor  
Sergey Komarov



准教授 吉川 昇  
Associate Professor  
Noboru Yoshikawa

The purpose of our group is to develop environment-friendly material processes to realize a sustainable society. To achieve this purpose, we are trying to break the barriers of traditional materials processing with the help of physical fields and waves. For example, ultrasonic processing is applied to molten metals to improve their mechanical properties and recyclability. Microwave is irradiated to recover valuable metals from the metal industries wastes such as slag and sludge. Electromagnetic force is applied to increase the efficiency of materials fabrication processes. Fundamental studies are performed to clarify the fluid dynamics, heat and mass transport phenomena in single and multiphase flows driven by the electromagnetic and acoustic fields.

## 研究概要

現在、地球規模で人類社会および生態系が直面している問題として、気候変動、資源の枯渇、廃棄物処理などの様々な環境問題が挙げられている。

そこで本研究室では環境維持・負荷低減を目的として材料プロセス学に基づく研究を行い、持続可能な循環型社会の構築に貢献することを目指している。例えば莫大な資源・エネルギーを消費する材料プロセスに対し、省資源やエネルギー利用の効率性の向上や、廃棄物の再利用と無害化、副産物の製造などに関する研究開発を行っている。またこのような観点から新規材料プロセスの設計も行っている。具体的には移動現象や物理的手法を基盤とした環境調和プロセスの開発として、以下に示すテーマの研究を行っている。

## 現行研究課題リスト

- 環境調和を考慮した金属製造プロセス
  - アルミニウムスクラップの再生率の向上を目指した金属間化合物の無害化処理
  - 溶融アルミニウムの脱リンについての基礎研究 (Figs.2,3)
- 超音波プロセッシングの基礎と応用
  - 高温ガス中の亜鉛粒子挙動に対する超音波印加の影響 (Fig.1)
  - 超音波照射におけるキャビテーションと音響流の同時制御についての基礎研究
- 電磁場エネルギー利用環境 / 材料プロセッシング
  - 金属薄膜の高効率アニールプロセス (Fig. 5)
  - 粘土質 (層状珪酸塩) 土壌中セシウムのマイクロ波加熱除去に関する物質工学的基礎研究
  - マイクロ波による瓦礫中のアスベスト迅速処理
  - ディーゼルエンジン由来 PM の迅速燃焼フィルターの開発
  - 非金属融体の高周波誘導加熱攪拌に関する基礎研究 (Fig.4)
- 環境調和型のメカニカルコーティング・表面改質プロセスの開発

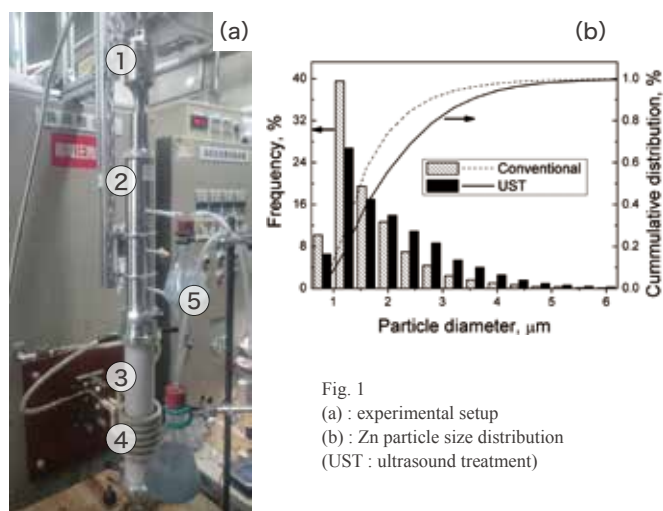


Fig. 1  
(a) : experimental setup  
(b) : Zn particle size distribution (UST : ultrasound treatment)

## 2015年の研究活動

### 1. 高温ガス中の亜鉛粒子挙動に対する超音波印加の影響

従来開発された電気炉ダストからの亜鉛回収プロセス (例えば回転炉床法 RHF) では、酸化亜鉛の還元によって生成された亜鉛粒子の再酸化、ダクト内壁への固着、捕集用バグフィルターの早期目詰まり、捕集効率劣化、寿命低下などの課題がまだ残っている。本研究では、上記のプロセスの高効率化を目指して、高温ガス中に浮遊した亜鉛粒子へ超音波を印加して、亜鉛粒子の凝集、発生量、表面酸化に対する超音波の強度と周波数、高温ガスの成分、温度と流量の効果を実験的に調査する。また、その結果を粒子衝突の理論的アプローチに基づいて解析し、粒子の音響凝集機構に関する基礎的知見を得る。Fig.1(a)には本研究の実験装置を示す。その主要部は超音波振動子①、超音波処理チャンパー②、石英管③、高周波誘導炉④、粒子採取用バブラー⑤である。実験で得た亜鉛粒子の粒径分布の一例を Fig.1(b) に示す。この結果から、亜鉛粒子に超音波を印加すると、通常条件と比べて直径 1.5  $\mu$ m 以下の粒子の個数濃度が減少し、それより大きい粒子の個数が増加することがわかる。それは小粒子が大粒子と衝突し、粒子間凝集が進行するためと考えられる。

## 2. 溶融アルミニウムの脱リンについての基礎研究

今後使用量が飛躍的に増えると予想されている輸送機用アルミニウム部材のリサイクルを実現するためにはアルミニウム中不純物の除去・無害化の技術が不可欠となり、その開発が急務となっている。リンは主にスクラップから混入する、その不純物の一つであり、溶融アルミニウム中に合金成分や温度などの条件によって各種リン化合物を形成すると考えられるが、これらのリン化合物の特性に関するデータはほとんどない。本研究では様々な条件で溶融アルミニウム中にリン化合物を発生させ、凝固後に SEM/EDX 観察 (Figs.2,3)、化学分析などを行い、リン化合物の特性をはじめ明確にした。また、熱力学的データに基づき、リン化合物の生成機構を解明している。これまで、Al,Mg,Ca,Ti,Sr系のリン化合物の化学組成と形態的性質を中心に研究を行ってきた。これからは、それらのデータを踏まえて、リン化合物の除去・無害化技術の開発を目的として、研究を進めていく。



Fig.2 Mg phosphide in Al : SEM view (a)and mapping (b,c)

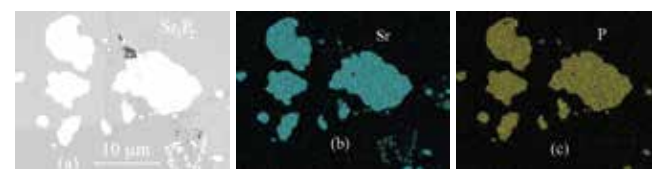


Fig.3 Sr phosphide in Al : SEM view (a)and mapping (b,c)

## 3. 非金属融体の高周波誘導加熱攪拌に関する基礎研究

非金属で室温では導電率が低くとも、高温で溶融すると導電率が上昇し、また粘度が低下すると誘導加熱攪拌が可能になる物がある。一般にその物性値は大きな温度依存性を有し、それらの昇温速度や流動解析は単純とは言えない。本研究においては基礎的な立場から融体の高温におけるインピーダンス測定を行ない、加熱 / 流動に関し、実験的及び数値計算手法を用いて解析を行なっている。この技術は高レベル放射性廃棄物のガラス固化、Si 単結晶の製造、ガラスファイバーのリサイクル、溶融塩の組成均一化等への応用が考えられる。



Fig.4 Photograph of inductively heated NaCl-KCl molten salt by application of RF (400kHz) EM field energy.

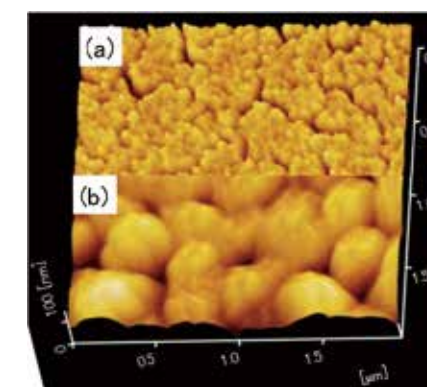


Fig.5 AFM images of sputter deposited Au films (a) as-deposited and (b) annealed at 560°C by microwave irradiation.

## 4. マイクロ波による金属薄膜の高効率アニール

気相析出法等で得られた薄膜は、結晶粒径が小さく結晶性が劣悪であるため、導電率が低い。このため、熱処理 (アニール) が必要である。迅速な昇温と局所的に対象物のみを加熱できるという利点からシングルモードマイクロ波アプリケーションを用いたアニール処理について研究を行っている。この手法によれば、マイクロ波の電場と磁場の位置を分離することが可能であり、マイクロ波磁場により、ナノ厚を有する金属薄膜を短時間で有効に加熱することが可能である。本研究室においては、以下の研究資金や共同研究体制等を有効に活用し、実験研究を行っている。

### 日本鉄鋼協会研究会助成

- 科学研究費 (基盤研究 B)
- 鉄鋼環境研究基金
- 共同研究 (日本軽金属、本田技研、豊田中研等)