

# 循環型社会を目指した 材料製造プロセスの研究

## Environment-friendly Material Processing



教授 コマロフ・セルゲイ  
Professor  
Sergey Komarov



准教授 吉川 昇  
Associate Professor  
Noboru Yoshikawa



助教 山本 卓也  
Assistant Professor  
Takuya Yamamoto

本研究グループの研究目的は、環境調和型の材料プロセスを開発し、持続可能な社会を実現することである。この目的を達成するために、物理作用や波の効果を利用して伝統的な材料プロセスを変革することに挑戦する。物理場は処理される物質に選択的にエネルギーを供給する。エネルギーを供給する手法が極端に限られた高温プロセスに対しては、このような物理場や波は特に有効である。本研究グループの別の研究は物理モデルと数値シミュレーションである。この分野では、溶湯処理や金属 casting、排水処理といったプロセス内での、単相流、混相流に対する流動、熱、物質輸送を解明する基礎研究を行なっている。

The purpose of our group is to develop environmentally friendly material processes in order to contribute to building 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. Physical fields offer an effective way to selectively supply energy to the materials being processed. Physical fields and waves are especially attractive for high-temperature processes, for which the choice of techniques available for supplying energy are severely limited. Another field of our research activity is physical modeling and numerical simulation. In this area, fundamental studies are performed to clarify the fluid dynamics and the heat and mass transport phenomena in single and multiphase flows in such processes as melt treatment, metal casting, and waste processing.

### 超音波を利用した材料プロセッシング

超音波は気体や液体、固体のような弾性体中での超音波伝播能力や必要とされる場所へ超音波のエネルギーを伝播させる能力に影響される。本研究での目的は、超音波に関連した現象を調査し、溶融金属、排水、排気ガスに対するより効率的で持続可能な処理プロセスを開発することである。特に、当研究室では溶融アルミニウム中で初めて音響流を計測することに成功した。これらの計測をもとにアルミニウム合金の超音波 DC 鋳造を計算できる数値モデルを開発した (Fig.1)。音響キャビテーション、音響流と電磁プロセスを組み合わせることで、“フローズンエマルジョン”と呼ばれる新しいタイプの複合材料を作成する魅力的な技術を開発した。ここで、フローズンエマルジョンとは、微細金属粒子が他の金属、非金属母相中に均一に分散したものである。このような材料は自動車産業や廃熱回収技術に利用できる。水-ガリウムのモデル実験においてハイスピードカメラを利用することで、エマルジョン形成メカニズムを解明する動画を撮影することに成功した。Fig.2 に示すように、キャビテーション気泡は水-ガリウム界面付近で圧壊し、微細ガリウム液滴を形成する。

### Ultrasonic Processing: Fundamentals and Applications

The effects of ultrasound waves are associated with the ability of ultrasound to propagate through such elastic mediums as gases, liquids, and solids and, thus, to transfer energy to where it is needed. The purpose of our research is to investigate the ultrasound-related phenomena and to develop more efficient and sustainable processes for the treatment of liquid metals, wastewater, and exhaust gases. Particularly, we have developed for the first time a method to measure acoustic streaming velocity in molten aluminum. Based on these measurements, we developed a new numerical model to simulate the ultrasonic-assisted DC casting of aluminum alloys (Fig.1). The combination of acoustic cavitation and acoustic streaming with electromagnetic processing provides an attractive technique to fabricate a new type of composite material called “frozen emulsion,” in which fine solidified particles of one metal are uniformly distributed in the matrix of another metal or no-metal. Such materials are useful in the automotive industry and waste heat technologies. Using a model water-gallium system and ultrahigh-speed video camera, we succeeded in taking video images elucidating the emulsion formation mechanism. As shown in Fig.2, cavitation bubbles implode near the water-gallium system, causing formation of extremely fine Ga droplets.

### 電磁場を利用した環境 / 材料プロセッシング

本研究室では、マイクロ波 (GHz) や電磁力 (kHz) 領域の高周波を利用した材料プロセッシングについて研究を行なっている。一例として NiO の炭素還元におけるマイクロ波加熱の影響に関する研究について紹介する。種々の工業製品のプロセスにおいて発生するスラッジなどには有用な金属が含まれている場合が多く、これをリサイクルすることが望まれている。例えばメッキ液やステンレス鋼の酸洗スラッジに含まれる Ni は、これら廃棄物を焙焼し酸化物にした後、炭素による還元を経て金属 Ni の再生を行うことができる。マイクロ波加熱を用いた NiO の炭素還元プロセスでは、1. 炭素がマイクロ波エネルギーを有効に吸収し発熱しやすいこと、2. 金属粒子が生成すると、電磁波との特殊な相互作用を持ち粗大化しやすいこと、3. マイクロ波磁場は NiO の加熱には作用せず、マイクロ波電場の影響が大きいことを報告している。現在、温度計測の検討と共に、更に詳細な研究を行なっている。Fig.3 には、マイクロ波還元した Ni の XRD プロファイルと SEM 像を示す。

### Application of Electromagnetic Field to Environment / Material Processing

In our lab, fundamental studies on the application of high frequency electromagnetic materials processing have been performed. As an example of a microwave heating application, carbothermic reduction of Ni oxide is investigated. It is intended to recycle valuable metals, such as Ni from industrial sludge, from their aqueous solutions; sludges are converted into oxide states after roasting. They are reduced using carbon (graphite). We reported that microwave heating for exciting the reduction reaction has the following characteristics. 1. Graphite has high microwave absorbability and is well heated. 2. Once generated, the metal particles have special interactions with microwaves and are well coagulated. 3. Microwave electric field is more effective to heat NiO than the magnetic field is. Currently, we are performing further detailed investigation on the reduction processes with improving the temperature measurement techniques in microwave heating. Fig.3 demonstrates the XRD profile change by the reduction and SEM image of the reduced metal (Ni).

### 環境調和を考慮した金属製造・加工プロセス

アルミニウムの溶湯処理プロセスにおいてはハロゲン化物を利用して不純物を除去するが、環境負荷低減のためその使用量を低減させる必要がある。この利用量を低減するため、物理的な効果を用いて反応効率を向上させる。具体的には、アルミニウム溶湯処理中のハロゲンガス気泡の微細化メカニズムを解明し、その処理に伴い発生する酸化皮膜の巻き込みを低減する技術開発を行っている。これらは、水モデル実験、アルミニウム攪拌、スーパーコンピュータを利用した攪拌シミュレーションを用いて総合的に研究を行っている。例えば、Fig.4 のように数値シミュレーションを利用することで機械攪拌操作中での巻き込みメカニズムを解明し、基礎メカニズムから酸化物巻き込み低減のための指針を示している。

### Environment Friendly Metallurgical Processing

In the aluminum purification process, halides are used to remove impurities, but it is necessary to reduce the amount of halides and to reduce the environmental impact. To reduce the amount of halides, physical effects are used to improve the reaction efficiency. Specifically, we are clarifying the fragmentation mechanism of halogen gas bubbles during the melt treatment and developing technology to reduce the entrainment of oxide film generated in this process. These studies are being carried out comprehensively using water model experiments, aluminum stirring, and stirring simulations with a supercomputer. For example, as shown in Fig.4, the entrainment mechanism during mechanical stirring is clarified by numerical simulation, and the guideline for reducing the oxide entrainment is created based on the basic mechanism.

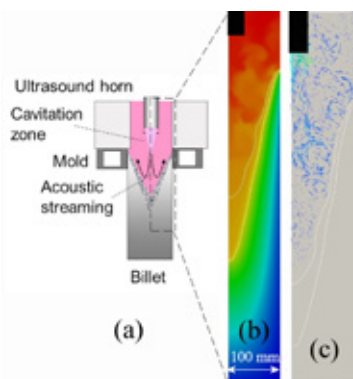


Fig.1 A schematic representation of ultrasonic-assisted casting (a) and numerically predicted temperature (b) and melt velocity (c) distributions

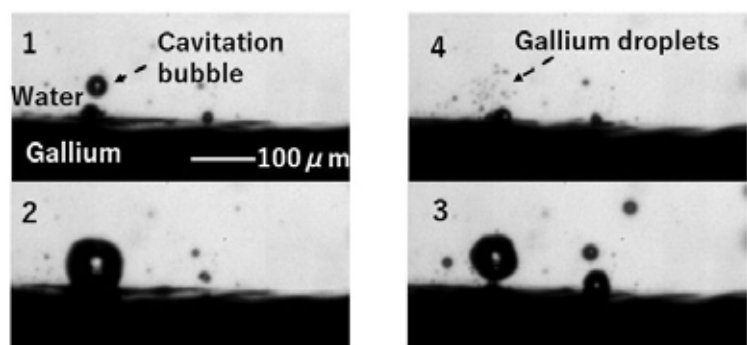


Fig.2 Screenshots of Ga droplet formation in water under the action of cavitation bubbles

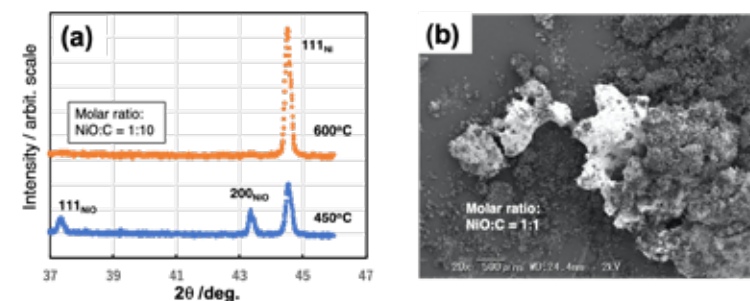


Fig.3 (a) XRD profiles of microwave reduced Ni from NiO+C mixture. (b) SEM image of reduced Ni at 600°C (Switched off after reaching the shown temperature)

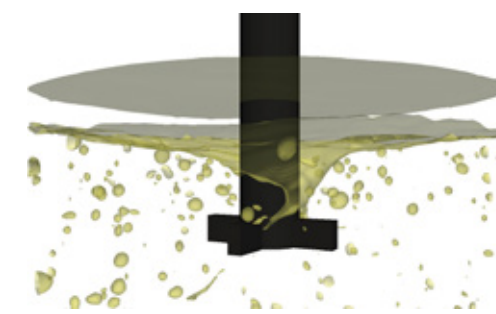


Fig.4 Numerical result of oil layer entrainment on water during mechanical stirring.