

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j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j鑄造、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j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、当研究室では実験と数値シミュレーションを利用してキャビテーションや音響流という現象を調査している (Fig.1, 2)。液相中へ超音波を照射した時にこれらの現象が発生する。キャビテーション気泡は超音波によって圧壊するが、そのときに莫大なエネルギーを放出するため、溶融金属中での凝固中の結晶や固体粒子の破壊や分散、排水中での不純物分解に利用される。例えば、超音波は「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生成できる。Al-Bi ベースのフローズンエマルジョンの微細組織の一例を Fig.3 に示す。別のプロジェクトでは、超音波キャビテーションと水中プラズマを組み合わせた影響を調査し、新規高効率排水処理の技術開発を目指している。Fig.4 は様々な実験条件における Rhodamine B の分解効率を示している。

Ultrasonic Processing: Fundamentals and Applications

The effects of ultrasound waves are associated with the ability of ultrasound to propagate through elastic mediums such as gas, liquids, and solids and thus to transfer energy to places where it is needed. Our research investigates ultrasound-related phenomena to develop more efficient and sustainable processes for treating liquid metals, wastewater, and exhaust gases. In particular, we investigate phenomena such as cavitation and acoustic streaming through experiments and numerical simulation (Figs.1, 2). These two phenomena arise when ultrasound waves propagate through liquid phases. When cavitation bubbles collapse, they release huge amounts of energy, which is used for fragmenting and dispersing solidifying crystals and solid particles in molten metals as well as for decontaminating waste water. For example, ultrasound makes it possible to fabricate a new type of composite material called frozen emulsions. An example of the microstructure of an Al-Bi-based frozen emulsion material is shown in Fig. 3. In another project, we are investigating the combined effects of acoustic cavitation and underwater plasma, aimed at developing a new, more efficient technology for wastewater treatment. Figure 4 shows the degradation efficiency of rhodamine B under various experimental conditions.

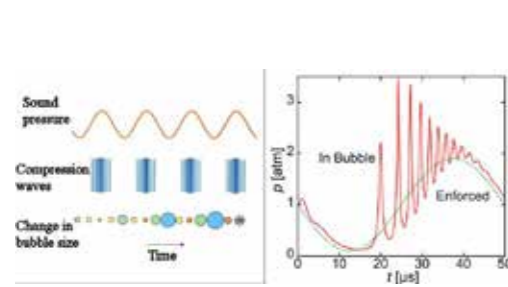


Fig.1 A schematic representation of cavitation (left) and numerically predicted pressure in a cavitation bubble (right)

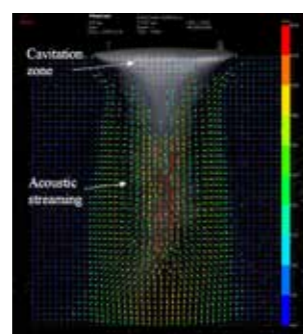


Fig.2 A typical pattern of cavitation zone and acoustic streaming

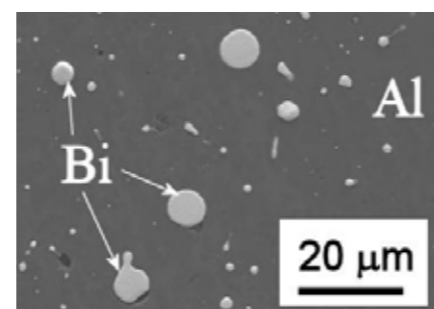


Fig.3 SEM views of Bi particles in aluminum created by ultrasonic frozen emulsification

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。一例として自動車の排気ガス浄化に関するマイクロ波加熱法の特殊利用を紹介する。自動車のスタート時には、触媒担持体の温度が低く、触媒が有効に機能しない。マイクロ波照射によれば、金属微粒子は選択的、および迅速に加熱が生じるため、イグニッションとともに触媒機能を発揮することが期待される。この様な目的で、その基礎研究としてナノサイズを有する金属粒子とセラミックスの複合体を作成し、GHz 領域におけるそれらの誘電率や導電率の測定、およびマイクロ波加熱速度の測定を行なっている。Fig.5 には、現実の触媒金属粒子ではないが、2.45GHz シングルモードキャビティにおいて測定した金属粒子 / セラミックス複合体のマイクロ波加熱速度に及ぼす金属粒子の体積分率依存性を示している。最大速度と体積組成、金属粒子の種類、粒径などの関係について、詳細に調査を行っている。

Application of Electromagnetic Fields to Environment/Material Processing

In our lab, fundamental studies have been performed on the application of high-frequency electromagnetic fields to applications for material processing. One example is the application of microwave heating's selective and rapid heating characteristics to detoxify exhaust gas from motor vehicles. Upon the ignition of a car, the temperature of a ceramic body for supporting metal particles is not high enough, and the catalytic performance of the particles is expected to be high. Microwave heating is expected to immediately heat the particles and realize their function at the cold-start phase.

For these purposes, as the fundamental study, we measure the effective permittivity and electric conductivity of composites consisting of nano-sized metal particles and ceramics. We obtained the microwave heating rates, as demonstrated in Fig.5, which shows the dependence of volume fraction on the microwave heating rate at 2.45GHz in a single-mode microwave apparatus. A detailed investigation is being performed on the influences of the metal species and grain size.

環境調和を考慮した金属製造・加工プロセス

アルミニウムのリサイクル率を向上させることを目的として、リサイクルによって再生された二次地金を利用する割合を高めるための研究を行っている。具体的には、アルミニウム溶湯を機械攪拌することで不純物を吸着させるフラックスを高速に分散させる技術や機械攪拌に伴って発生する酸化物等の巻き込み低減を達成する技術開発のために、水を用いた流動、物質輸送実験、アルミニウム攪拌・鑄造実験、スーパーコンピュータを利用した大規模アルミニウム溶湯攪拌シミュレーションを行っている。Fig.6 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気液界面変形挙動と乱流渦の関係性を解明し、酸化物巻き込み低減のための指針を示している。

Environmentally Friendly Metallurgical Processing

To improve the recyclability of aluminum, there is a need to use more secondary aluminum, which contains many impurities. We are developing novel methods for mechanical stirring of molten aluminum, aimed at better flux dispersion and more efficient removal of impurities. To achieve these purposes, water model experiments are performed to investigate fluid flow and mass transfer during aluminum melt stirring and casting. Additionally, numerical simulation is conducted to investigate transport phenomena in large-scale melting furnaces using a supercomputer. As shown in Fig. 6, the relationship between gas-liquid interface deformation and turbulent vortices during mechanical stirring was investigated by numerical simulation, and directions for reducing the entrainment of oxide film were developed.

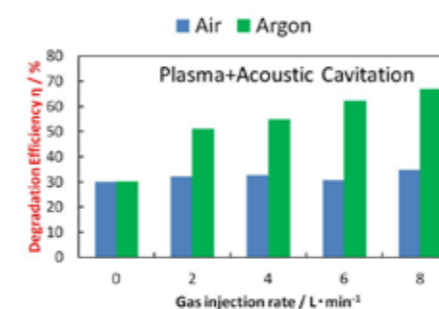


Fig.4 Degradation efficiency of Rhodamine B through acoustic cavitation assisted plasma (ACAP) with gas injection

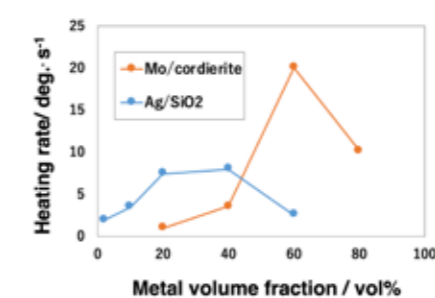


Fig.5 Relationship between volume fraction of metal particles and microwave heating rate of two composite bodies.

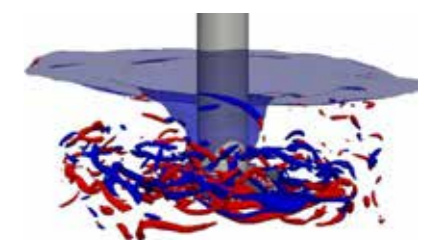


Fig.6 Snapshot of simulated free surface shape and turbulent vortices during mechanical stirring.