

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。具体的には、金属表面へナノ構造の複合層を作製する超音波援用プロセス Fig.1(a) を開発した。本プロセスを UMCA 法と名付け、常温常圧で処理可能、且つ、幅広い材料の組み合わせが可能である。Figures 1(b,c) は Al 基板と Fe₂O₃ 粒子と微細組織の例を示す。また、他の研究として、超音波定在波は気相中のマイクロサイズの粒子凝集に効率的であることを見出した。Fig.2(a) に示すように、粒子は Acoustic wake 効果と放射力によって定在波の節に強制的に移動させる。結果として、粒子は凝集し、チャンバーの下に落下する、もしくは、気流と共に移動し、カスケードインパクトによって捕集される。Fig.2(b) に示されるように処理後に捕集された粒子サイズはより粗大になり、その捕集量も減少した。

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 solid and liquid metals, wastewater, and exhaust gases. Particularly, we have developed an ultrasound-assisted process (Fig.1a) for fabrication of a nanostructured composite layer on metal surfaces. This process, called UMCA, can be realized at ambient temperature and pressure and can be extended to a wide range of material combinations. Fig.1(b,c) shows an example for Al substrate and Fe₂O₃ particles and its microstructure. In another study, a standing ultrasound wave was found to be very effective for agglomeration of micron-sized particles in gas phases. As shown in Fig.2(a), particles are forced to move to standing wave nodes due to acoustic wake and radiation force effects. As a result, particles form agglomerates that fall down the chamber or they are carried out of it with gas and are trapped by a cascade impactor. The results revealed that the size of trapped particles becomes much coarser after treatment and their quantity decreases as shown in Fig.2(b).

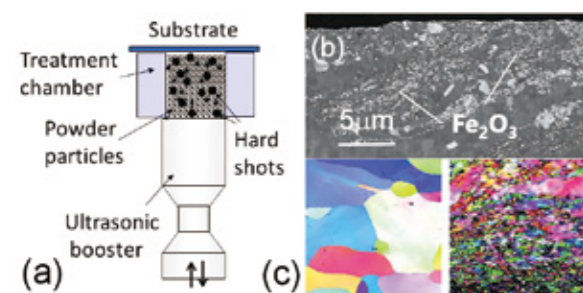


Fig.1 UMCA process. (a) Representation of treatment chamber, (b) Surface composite layer in Al matrix, (c) Microstructure analyzed by EBSD before (left) and after (right) treatment

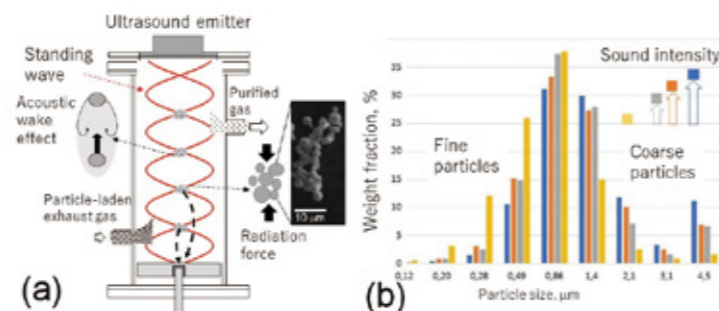


Fig.2 Particle agglomeration in a standing wave. (a) Mechanism explanation, (b) Distribution of trapped particles in weight fraction at different ultrasound intensities

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、kHz から GHz に至る周波数の電磁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。GHz 域 (マイクロ波) プロセッシングの一例として 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。Ni はステンレス鋼の原料、種々のメッキに利用されているが、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、炭素によるマイクロ波エネルギー吸収、金属粒子の電磁波との特殊な相互作用による粗大化などの効果により、有効に還元反応を進行させることが可能である。ところがマイクロ波磁場は NiO の加熱には作用せず、マイクロ波電場の影響が大きいかを報告している。これは NiO の電気伝導度が低く、高温にならないと加熱が起こりにくいことと関係している。図 3 に示す NiO の誘電率損失 (ε_r') の温度依存性により説明することができる。

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。この使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、ハロゲンガス吹き込み処理に代替するプロセス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、水モデル実験を利用することで、図 4 に示す容量物質移動係数を算出することで製造現場におけるスケールアップを提案し、プロセスの制御指針を示している。

Application of Electromagnetic Field to Environment/Material Processing

In our laboratory, we have been studying material processing using electromagnetic waves in the frequency range from kHz to GHz. Here, research on microwave application to carbothermic reduction of NiO is presented. Ni is used as a raw material for stainless steel and various types of plating. Metallic Ni can be regenerated through carbon reduction, after roasting these wastes to oxides. In the carbon-reduction process of NiO using microwave heating, the reduction reaction occurs effectively due to the microwave energy absorption by carbon and the coarsening of metal particles by special interaction with electromagnetic waves. However, we have reported that the microwave magnetic field does not act on the heating of NiO. This is related to the low electrical conductivity of NiO, which makes it difficult to heat NiO unless it is under high temperature. This phenomenon is explained by Fig.3, which shows the temperature dependence of the dielectric loss factor (ε_r') of NiO.

Environmentally 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 developing processing technology to replace the conventional process of halogen gas injection. 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 volumetric mass transfer coefficient is calculated by water model experiment, the scaling law is developed based on this experiment, and the guideline for the process control is created.

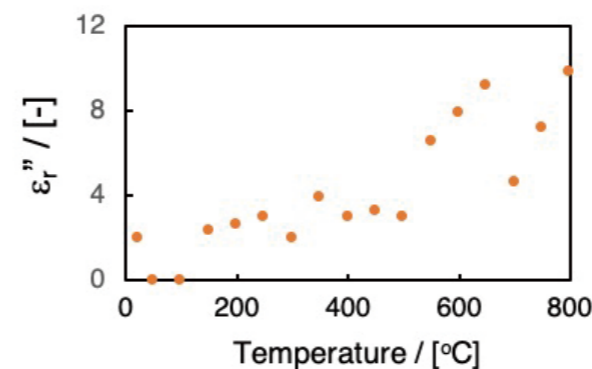


Fig.3 Temperature dependence of dielectric loss factor of NiO at 2.45 GHz.

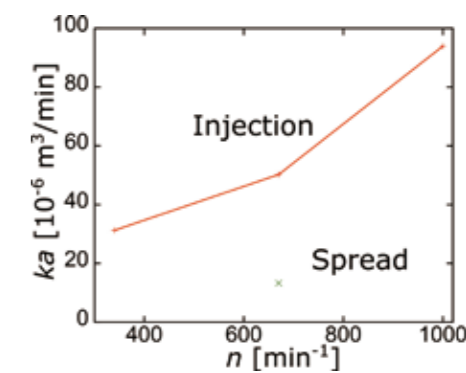


Fig.4 Volumetric mass transfer coefficient in the water model experiment for the rotary flux injection.