

マイクロ波を利用した省エネルギー焼成プロセス

2.4GHz帯マイクロ波でセラミック材料の短時間・低温焼成を目指す

セラミックスの省エネルギー焼成プロセスを構築するために、マイクロ波に着目している。その基盤技術となるマイクロ波の照射制御による投入エネルギーの高効率化、マイクロ波による短時間・低温焼成プロセスの開発、マイクロ波照射時のセラミックスの加熱メカニズムの解明などについて研究を進めている。

To realize energy saving in the ceramics industry, a microwave sintering process is studied and explored on following issues: 1) improvement of input energy efficiency by controlled microwave irradiation, 2) development of process to sinter at lower temperature and in a short time, and 3) mechanism of sintering during microwave irradiation.

地球温暖化の防止をめざして、産業界では省エネルギー・省資源プロセスの技術開発が求められている。従来のセラミックスの焼成は、成形体を炉内に置き、発熱体（ヒーター）からの熱伝導と輻射によって炉内中心部に1000℃以上の均質な高温定常場を作り、その中で行われる（図1 (a)）。この焼成プロセスで投入されるエネルギーの多くは、炉内全体の加熱や外部への放熱に費やされてしまい、セラミックスの焼成に使用されるのはわずか2%程度である。また、この方法は急速な温度上昇や短い加熱時間では焼成体に加熱むらが出てきてしまい、特に大型部材の場合は製品の良し悪しに大きく影響する。現状では、この問題を解消するのに昇温を遅くしたり焼成時間を延ばしたりしているため、消費エネルギーの増大につながっている。従って、焼成時における

効率的なエネルギーの投入についての研究開発が重要となる。

この研究はセラミックスの焼成プロセスの高効率化を図ることを目的としており、選択された領域の加熱（選択加熱）や超急速の加熱が可能となるマイクロ波による非定常場での焼成技術について研究開発を進めている。マイクロ波による焼結は、マイクロ波の持つエネルギーを対象とする材料の誘電分極時の誘電損失によって熱エネルギーに変換し、焼結を進めている。セラミックスの焼結には主として28GHz帯と2.4GHz帯の波長のマイクロ波が用いられている。28GHz帯の発振器は高価であるが、2.4GHz帯の発振器は安価で低コスト化が図れるため産業的には有利な2.4GHz帯を研究対象としている。

セラミックスの焼成にマイクロ波を適用する上での課題としては、1) マ

安岡 正喜 Masaki Yasuoka
yasuoka-m@aist.go.jp

先進製造プロセス研究部門
先進焼結技術研究グループ 主任研究員

平成元年、通産省工技院名古屋工業技術試験所に入所し構造用セラミックスを中心に研究を行い、微構造制御による高強度・高靱性アルミナ系材料の開発に成功、相反する特性をもつセラミックス（シナジーセラミックス）の開発に大きく貢献した。その後、高効率の焼成プロセスであるマイクロ波焼結の研究を進めている。今後、得られた知見をもとに、マイクロ波焼結技術を単なる高効率製造プロセスとして用いるだけでなく、高機能材料のプロセス技術として用いる可能性も探っている。

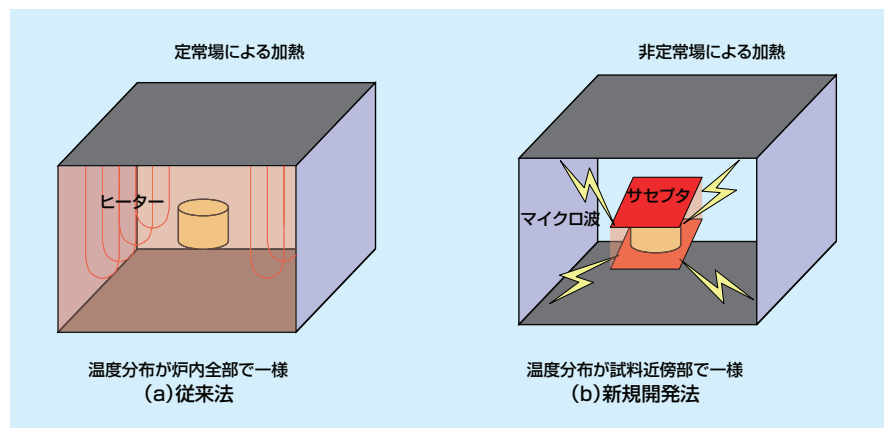


図1 新規開発焼成プロセスの模式図

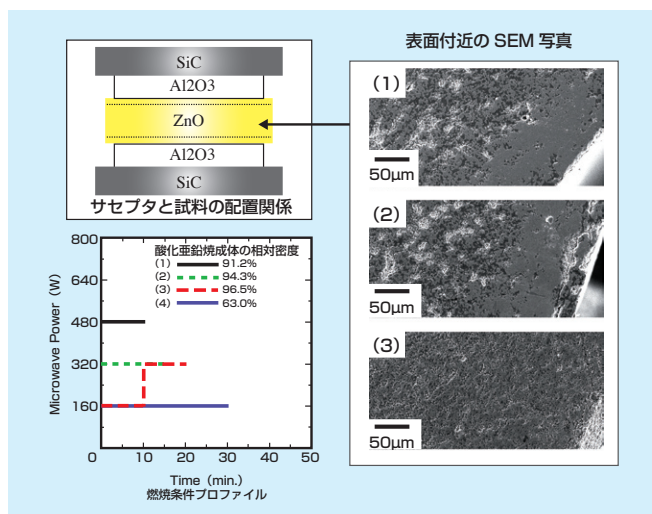


図2 異なる焼成条件で焼成した酸化亜鉛の相対密度と微細構造
 焼成条件 (3) では最も緻密で均質な微構造を得られたのに対し、条件 (1)、(2) では焼成体の表面近傍部は緻密化し、内部は多孔質であった。条件 (4) では緻密化しなかった。

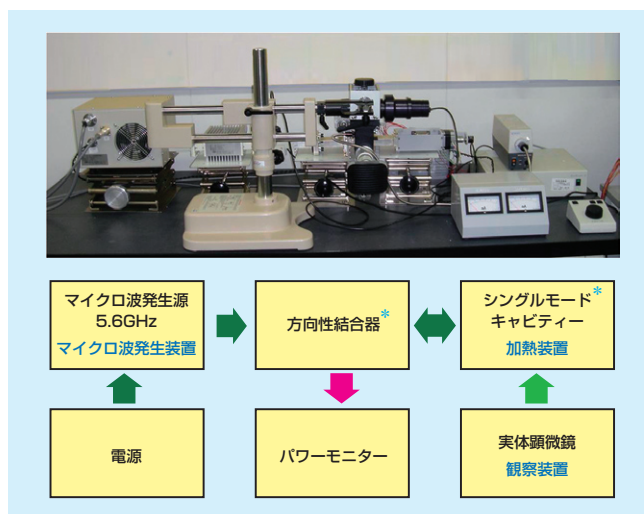


図3 加熱領域直接観察装置のブロックダイアグラム

マイクロ波の照射制御による投入エネルギーの高効率化、2) マイクロ波による短時間・低温焼成プロセスの開発、3) マイクロ波照射時のセラミックスの加熱メカニズムの解明などが挙げられる。マイクロ波による材料の加熱は誘電分極によって起こると述べたが、セラミックスは室温から600℃付近までの24GHz帯域での誘電損失が非常に小さいので、この温度域で自己発熱を促すのに多くのエネルギーを必要とする。そこで、低温から比較的効率よくこの帯域のマイクロ波を吸収して発熱する炭化ケイ素をサセプタに用いて予備加熱を行った (図1 (b))。その結果、対象となる材料を効果的に誘電損失の大きい温度領域まで加熱することができ、焼成時間の短縮が図れた。さらに、このサセプタの配置やマイクロ波の照射量および照射時間を変えることによって、マイクロ波の吸収効率が大きく変化し、焼成体の緻密化や微細構造に影響することを明らかにした (図2)。

短時間・低温焼成への取り組みとしては、セラミックスの低温焼成に有効な手段である液相焼結法と併用する研究を進めている。マイクロ波による焼

結では、誘電損失が材料によって異なることから、誘電損失の大きな物質である液相に着目し、焼結の促進を図った。チタン酸バリウムの焼結では、固相焼結だけで800W以上の電力と焼成時間が50分程度かかっていたものが、液相を組み合わせることによって320Wの電力に抑さえられ、加熱時間も半分程度に短縮できた (表1)。

また、マイクロ波照射による組織変

化を直接観察するため、顕微鏡で、より高倍率が得られる5.6GHz帯マイクロ波発振管、シングルモードキャビティと実体顕微鏡・高分解能カメラによって構成される計測システムを開発した (図3)。得られたデータの解析により、材料に対して有効な照射方法や加熱に有効な材料の配置などに関する指針を示すことができるものと考えている。

表1 焼成条件と相対密度の関係

	マイクロ波焼結と液相焼結との併用	マイクロ波焼結のみ
焼成条件	160w - 10分 320W - 20分 合計 (30分)	800w - 30分 960W - 20分 合計 (50分)
相対密度	94%	96%

マイクロ波焼結法と液相焼結法と組み合わせることによって電力、時間ともに大幅に減少した。

用語解説*

- ◆ 方向性結合器：マイクロ波の一部を測定器へ導入するための隔離、分離または結合するための装置
- ◆ シングルモードキャビティ：電子レンジとは異なりマイクロ波をある一定の空洞で共振させることによって加熱を促進させる装置

関連情報：

- Y. Nishimura, M. Yasuoka, T. Nagaoka and K. Watari : Journal of the Ceramic Society of Japan, Vol.112, S126-129 (2004) .
- M. Yasuoka, Y. Nishimura, T. Nagaoka and K. Watari : Advances in Technology of Materials and Materials Processing Journal. Vol. 6, p. 270-275 (2004) .