

## 機械工学科

## キーワード

焼結プロセス、粉末冶金、組織制御、パルス通電焼結（SPS焼結）、エネルギーハーベスティング、熱電変換材料、磁石材料、透光性材料



教授 / 博士（工学）

井藤 幹夫

Mikio Ito

## 学歴

大阪大学 工学部 材料物性工学科、大阪大学 大学院 工学研究科 材料物性工学専攻 博士前期課程、大阪大学 大学院 工学研究科 材料物性工学専攻 博士後期課程

## 経歴

大阪大学 助手/助教、大阪大学 准教授

## 相談・講演・共同研究に応じられるテーマ

粉末製造プロセス、焼結プロセスおよびこれらにより作製された熱電変換材料や磁石材料をはじめとする各種機能材料・構造材料の特性向上に関するプロセスの開発

## メールアドレス

ito@fukui-ut.ac.jp



## 主な研究と特徴

## 「パルス通電焼結（SPS 焼結）による各種機能・構造材料の創製」

パルス通電焼結（SPS）法は、導電性のダイに粉末を充填し、加圧しながら試料粉末に直接 ON-OFF DC パルス電流を印加し、その際発生するジュール熱により50~200K/minの急速昇温を行い、短時間で高品位の焼結体を得る方法である（図1左）。従来の常圧焼結やホットプレス法に比較して、より微細な結晶粒からなる緻密な焼結体が得られる固化成型手法として様々な材料開発に用いられている。

本研究では、アルミナナノ粉末を原料に、パルス通電焼結を用いて急速焼結を行うことにより、透光性を有するアルミナ焼結体を合成した。図1右側に示されるように、高い透光性を有しながら、空隙のない極めて緻密な焼結体が得られていることが分かる。また、結晶粒は可視光波長より短い300ナノメートル以下のサイズとなっており、同時に結晶粒を成長させた従来の透光性材料の弱点である強度を大きく向上させた、高強度・高透光性ナノ組織構造アルミナ焼結体の合成に成功した。その他、各種金属・酸化物系熱電変換材料やSm系希土類磁石材料の微細組織構造制御や異方構造制御およびそれによる高性能化を実現する粉末合成・焼結固化成型プロセスの開発を進めている。

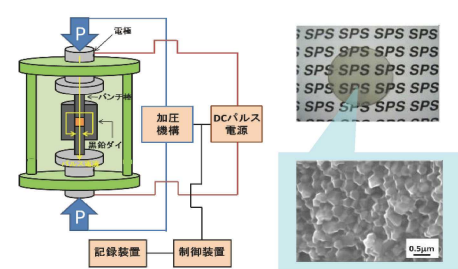
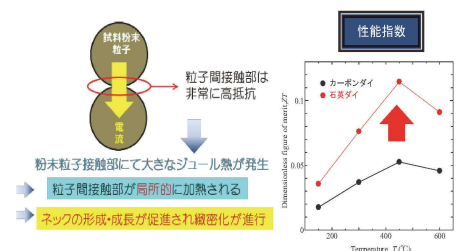


図1. パルス通電焼結プロセスの概略図（左）および微細結晶粒からなる透光性アルミナ焼結体の外観およびSEM写真（右）。

## 「新規な直接通電法を用いた高効率焼結プロセスと熱電材料の高性能化」

導電性粉体のパルス通電焼結において、通常の黒鉛ダイの代わりに絶縁性のダイを用いた新規なパルス通電焼結プロセスを提案している。この場合には、パルス電流はすべて圧粉体試料に流れることになり、圧粉体自身のジュール発熱のみにより加熱が進行することになる。このとき、図2（左）に示すように、圧粉体中の粉末接触部は電気抵抗が極めて高いため、この領域で大きなジュール熱が発生することになり、粉末接触部が局所的に加熱されることが予想される。この局所加熱効果により、粒子接触部でのネックの形成・成長が促進され、従来の黒鉛ダイの加熱による焼結に比較して、より緻密化が促進される効果が期待できる。すなわち、焼結体全体としてはより低温・短時間で緻密化が可能となり、粒成長を抑制した微細結晶組織を有する緻密焼結体を合成できる可能性がある。

本研究では、環境半導体FeSi<sub>2</sub>粉末を本プロセスにより焼結合成することで、緻密でありながらより微細な結晶粒からなる熱電変換材料を合成、その性能指数を図2（右）にあるように大幅に向上させることに成功した。

図2. 直接通電焼結プロセスにおける粒子接触部の局所加熱効果（左）と本プロセスによるFeSi<sub>2</sub>系熱電変換材料の高性能化効果（右）。

## 今後の展望

数々の焼結プロセスの中でも、上に述べたパルス通電焼結（SPS 焼結）は日本発の固化成型技術であり、難焼結材料を効率的に緻密化できる手法として、様々な機能・構造材料の合成に用いられてきた。一方、その緻密化促進プロセスには未だ未解明な部分も多く、本焼結メカニズムの解明は今後の材料合成応用を進めていく上で極めて重要な課題でもある。

テーマ（2）で紹介した直接通電焼結プロセスは、粉末圧粉体に直接パルス大電流を印加する新規な焼結プロセスであり、その通電効果を明らかにするうえでも有用な焼結手法である。その有用性は上記の緻密化促進のみならず、局所加熱効果による反応焼結性の向上効果や、焼結に要するトータルエネルギーも数十分の1以下にできることも明らかにしてきた。これらの詳細な高効率焼結メカニズムの解明を進めることにより、テーマ（1）でも述べた熱電変換材料や磁石材料のみならず、広範な機能・構造材料への適用可能性が考えられ、従来手法では不可能な微細組織構造・反応性制御による高性能化・高機能化を実現することによって、従来の機能・構造材料デザインを革新する新規高効率焼結プロセスとして確立できる可能性が期待される。

## 所属学会

日本金属学会  
粉末粉末冶金協会  
日本熱電学会  
日本希土類学会

## 主要論文・著書

M. Ito and H. Tsunemi, "Synthesis of Sm<sub>2</sub>Fe<sub>17</sub>N<sub>3</sub> compacts by mechanical milling with graphite powder and their magnetic properties", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol.490, (2019), Article number 165471.  
F. Liana, M. Ito, M. Takeda, "Phosphorus doping in n-type  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>/Si composites and its effects on thermoelectric properties", Intermetallics, Vol.108, (2019), 19-24.  
M. Ito, K. Kawahara, K. Araki, "Energy-Saving Sintering of Electrically Conductive Powders by Modified Pulsed Electric Current Heating Using an Electrically Nonconductive Die", Metallurgical and Materials Transactions A, Vol.45, (2014), 1680-1683.