

## 1. 研究実施計画

課題名：セラミックスの粒界の評価及び制御による超塑性の発現に関する研究  
研究機関名：独立行政法人 産業技術総合研究所  
任期付研究員氏名：鈴木 義和

### ①. 研究の意義・目的・必要

セラミックスの超塑性現象は、セラミックスの新しい加工方法として期待されているが、その実用化には高速で変形を可能にする事が求められており、それには、粒界の特性を制御し、原子イオンが粒界を通りやすくする必要がある。本研究は、粒界の特性を評価及び制御する技術を開発することにより、セラミックスの超塑性の効果的な発現に資するものである。

### ②. 研究の概要

セラミックスの超塑性発現と粒界の特性との関係を把握するために、粒界特性を粒界に作用する応力の釣り合いから評価する技術の開発を行う。ここでは、粒界に作用する応力として、固相間の電磁気的な相互作用により起こるファンデルワールス力と、粒界が結晶的な構造性のある程度有するために起こる構造障壁力を考える。次に、開発された評価技術を用いて、原子イオンの粒界の移動能力と粒界特性との相関関係を調べる。また、添加物の選択等により粒界特性を制御する技術の開発を図り、セラミックスの超塑性が効果的に発現する粒界の導出を試みる。

### ③. 研究目標

粒界の特性を評価する技術を開発し、セラミックスの超塑性の発現と粒界特性との関係を把握することを目標とする。また、粒界の特性を制御する技術を開発し、セラミックスの超塑性の効果的な発現に資することを目標とする。

### ④. ポンチ絵（研究概要）

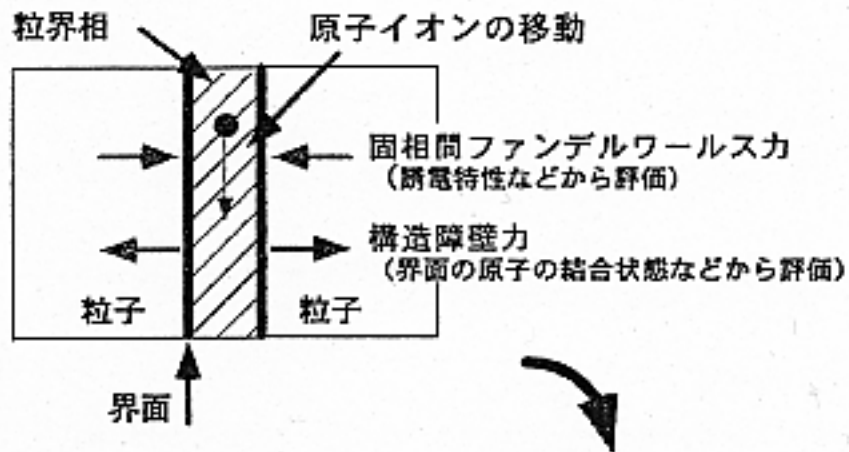
#### 「粒界特性の評価技術の開発」

粒界の結合性や平衡厚みなどの特性を、粒界の形成時に粒界に作用する、固相間のファンデルワールス力と構造障壁力との応力の釣り合いから評価する。固相間のファンデルワールス力は、相対する粒子の相や粒界相の誘電率や屈折率などの誘電特性から導出できるので、これらの誘電特性を調べる。構造障壁力は、結晶粒子と粒界相との界面の原子の結合状態や、相対する結晶粒子の方位の差異などから導出できるので、これらを、極微の電子線回折法による粒界相の構造評価や、接触角による界面エネルギーの評価などにより実験的に推測する。さらに、計算機シミュレーション等による検証を試みる。これらの応力の和を粒界の厚みの関数として表現し、その正負、大小から、粒界の結合性や粒界の平衡厚みなどの導出を試みる。さらに、超塑性の効果的な発現のために、原子イオンの粒界の移動能力と、粒界特性との相関関係を調べる。

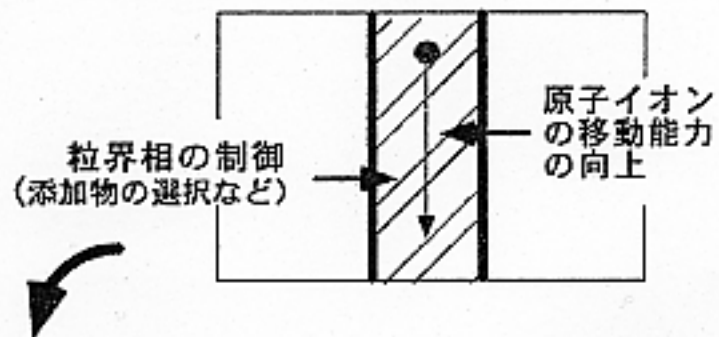
#### 「粒界特性の制御技術の開発」

粒界の特性は粒界相によって大きく変化し、粒界相は添加物の種類と量に依存する。ここでは、添加物を選択することにより粒界相を変化させ、必要に応じ粒界にかかる制御可能な応力（外部応力、熱応力等）を変化させることにより、粒界の結合性や平衡厚みを制御し、超塑性発現に適した粒界の導出を試みる。

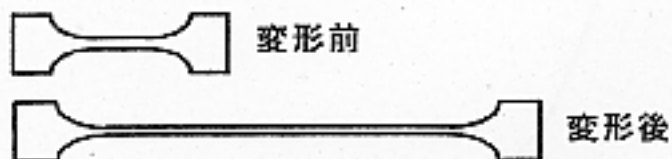
## 粒界特性の評価



## 粒界特性の制御



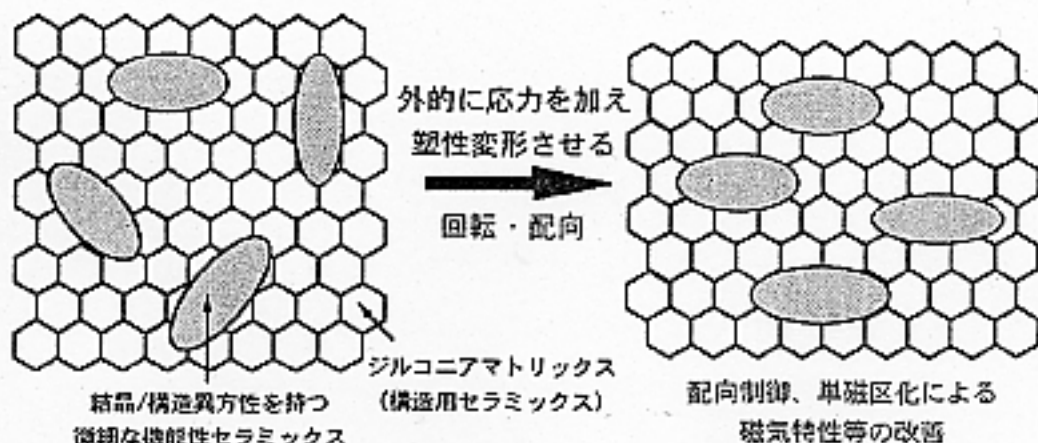
## 超塑性の効果的発現



## 2. 研究成果の概要

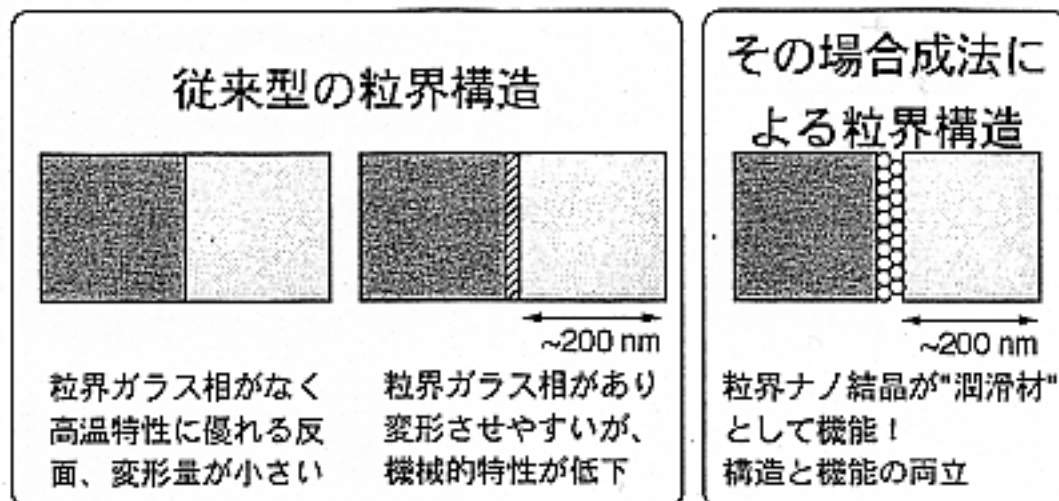
### ①研究成果

超塑性を発現する構造用セラミックスである正方晶ジルコニアに、永久磁石として用いられるバリウムヘキサフェライトを均一に分散させた、新規のセラミックス複合材料を開発した。また、この材料に対して、高温下で大規模な塑性変形を加えることにより、成形加工を行うと同時に、磁性粒子を配向させることによって磁気特性も大幅に改善できることを見いだした（保持力2.7倍、飽和磁化1.7倍）。これは、従来、加工法、あるいは機械的特性の改善法としてのみ用いられた塑性変形・超塑性変形に、まったく新しい可能性を拓くものである。



さらに、反応焼結を用いた「その場合成法」をプロセッシング技術として適用することにより、より均一かつ微細な磁性粒子をジルコニアマトリックス中に分散させることに成功した。ジルコニアセラミックス中で合成されたバリウムヘキサフェライト粒子は、200nm程度の微粒子となり、単磁区構造となることから、非常に優れた磁気特性を示した。また、同時に優れた機械的特性や変形特性を示し、機能と構造が両立した新しい材料を創製することに成功した。

この新規セラミックス複合材料では、バリウムヘキサフェライトとジルコニアの結晶粒界部分に、より微細な10nmオーダーのフェライト粒子が選択的に分散した特異な粒界構造を実現する事ができた。このような粒界構造は、超塑性変形に伴う粒界すべりのせん断応力を低下させることができると考えられ、超塑性変形が効果的に発現すると期待される粒界構造を導出することができた。



## ②波及効果、発展方向、改善点等

研究開始当初の目標は、「セラミックスの超塑性発現と粒界の特性との関係を把握し、セラミックスの超塑性が効果的に発現する粒界構造の導出を試みる」、という、基礎科学的要素が濃いものであったが、研究を進めていく過程で、超塑性を単に加工の手段として用いるのではなく、セラミックスの機能性向上の手段として用いることが可能であることを見いだした。これは、塑性変形・超塑性変形に、まったく新しい可能性を拓くものである。

超塑性変形はこれまで、セラミックスの新しい成形加工法として注目されてきたが、実際には高温処理が必要であり、高速変形が金属に比べて難しいことから、適用範囲が狭かったが、成形加工と同時に機能性を向上させるという付加価値を伴うことで、より広範囲に適用されていくものと期待される。

本研究ではモデル材として構造セラミックス/磁性セラミックス複合材料を扱ったが、同様の手法は構造セラミックス/電子セラミックス複合材料にも適用可能である。たとえば、正方晶ジルコニア中に板状のβアルミナ粒子を分散させ、超塑性変形を加えて配向させることにより、イオン伝導度に異方性がある新しい複合材料を得ることも可能である。

今後の改善点としては、「より高速・大規模な変形の実現」、「他の物質系への適用性の検討」、「ナノスケールでの物質移動の解析」などが挙げられる。