

## セラミックス超塑性プロジェクト 事後評価報告書

### <評価委員>

木村 茂行 科学技術庁 無機材質研究所 所長

井上 明久 東北大学 金属材料研究所 教授

石川 敏弘 宇部興産株式会社 宇部研究所 無機材料研究部 部長

平成12年3月14日、評価のための会合をJST東京展示館において開催。若井史博代表研究者が評価委員に対し、プロジェクトの終了報告を行った。

若井代表研究者からの報告内容、事前に配布されていた研究終了報告書および成果報告会資料をもとに、各評価委員が評価内容をまとめた。最後に評価委員間の調整を経て、本評価報告書は作成された。

### 1. 研究の内容

本分野は、一部の金属で見ることのできる超塑性（柔らかく延ばすことができる性能）について、若井代表研究者が陶器等に代表される『固い』セラミックスの世界にも存在することを発見したことにより、注目されるようになった。

本研究プロジェクトでは、若井代表研究者のこれまでのセラミックス超塑性における知見と、超塑性の研究においては不可欠な『プレカーサ技術<sup>1</sup>』において世界屈指の研究所である『ドイツ・マックスプランク金属研究所』との共同研究により、これまで発見されたイオン系セラミックスや窒化ケイ素で発見された超塑性の現象が、他のセラミックスにおいて存在するのか、また、存在する場合はどのようなメカニズムで超塑性現象が発生しているのかを解明することを目的とした研究である。

具体的な研究内容としては、高分子プリカーサー法の使用とそれからナノ結晶セラミックスおよびアモルファスセラミックスへの反応過程の解析、得られたナノ結晶セラミックスの超塑性挙動の解明、およびアモルファスセラミックスの高温での粘性流動発現の解明は、高分子、セラミックス、ナノ結晶、アモルファス、超塑性の広い学問領域にまたがる成果であり、研究内容は学際性に富んでいる。

### 2. 研究成果の現状

本研究では、共有結合性セラミックスとして、Si-C-O系セラミックス、Si-C-N系セラミックスならびにSi-B-C-N系セラミックスが主として扱われており、いずれも高分子プレカーサーを出発原料として合成されている。それらの生成過程における構造変化ならびに得られたセラミックスの微細構造について詳細な検討がなされている。これらの研究成果は、他のプレカーサーセラミックスにおける生成過程の解析にも示唆を与えるもので、波及効

果が期待できる。

具体的には、2000°Cを大幅に越えても安定な Si-C-B-N 系混合セラミックスの発見、プレカーサー分子構造とアモルファスへの変換効率やアモルファス相の熱安定性との関係の確立、プレカーサーからセラミックスまでのプロセスの段階毎の詳細な解明、新規な Si-C-O 系セラミックスの発見、アモルファス中間体の結合様式の解明、プレカーサーから形成した Si-C-N セラミックスの焼結とクリープ挙動の解析手法確立、プレカーサーから形成した Si-C-N-B セラミックス中に Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 微粒子が分散したアモルファス相組織を形成させることによる大きな延性の発現、などの成果が得られている。また、SiC 系セラミックスの超塑性現象に派生するものとして、トポロジー変化の計算機によるモデリングから明かにした超塑性と粘性流動の違いが流動単位の違いとして解釈できることの発見、ボロンとカーボンを焼結助剤とすることによる SiC セラミックスの超塑性発現の技術の確立、高温で消える液相を粒界に導入した SiC セラミックスの低温での画期的な超塑性の実現、セラミックスの高温での安定性を左右する粒界相の状態を解析するための電子顕微鏡応用技術の活用による粒界安定性の解明、助剤なしで焼結した SiC セラミックスの粒界が従来考えられていた SiO<sub>2</sub> でなく Si-C 系アモルファス相であることの確定、などの成果が得られている。

なお、外部発表論文が日本とドイツ側あわせて 83 編、口頭発表 119 件からみて、研究成果は十分に得られたものと判断される。発表・掲載論文誌名と題目からみて、この領域へかなり強いインパクトを与えたと思われる。ドイツと日本との共同論文も 6 編出されており、国際共同研究プロジェクトとしてかなりの成果が得られたものと思われる。特許も 3 件出願されており、今後基本特許や革新技术となる可能性を秘めていると期待される。

### 3. 研究成果の科学技術への貢献

本プロジェクトはセラミックスの超塑性と言う、従来のセラミックスの常識にはなかった視点からセラミックスの合成過程を見直していることに、セラミックス科学に対する最大の貢献がある。大きな視点の変化は、ともすれば局所的な新規性に注目しがちであるが、本プロジェクトの成果の大部分はセラミックス研究の表通りを行くものであり、セラミックス科学の基礎を心得ている者にとっては、一つ一つが納得の行くものと言える。単にセラミックス科学に貢献したに留まらず、新しい領域を切り開いた点で本プロジェクトの成果は特記される。これらの成果は、現在セラミックス分野でホットな話題となっているニアネットシェープ技術（焼結後のセラミックスのサイズが焼結前に精密に想定できるプロセス技術）に活用される素地を提供しており、タイムリーでもある。

本研究で得られた成果は、セラミックスの高温クリープ特性や焼結特性を解釈してゆく上でも極めて有用なものである。また、本研究の成果を逆方向に発展させれば、高温での耐クリープ性に優れたセラミックス材料の設計にも多くのヒントを与えられる。すなわち、本研究の成果には、超塑性材料の創出にとどまらず、耐クリープ性に優れた高温構造材料の創出にも貢献できる多くの知見が含まれている。

また、高温での変形・成形加工後、雰囲気制御の下で熱処理を加えることにより、高温実用部材に転換出来る可能性も秘めており、産業界においても今後の応用が期待できる技術と思われる。

#### 4. 相手機関との研究交流状況

本プロジェクトの共同研究先であるマックス・プランク金属研究所は、伝統的にセラミックス構造材料の研究では世界的なリーダーシップを保持している。今回のプロジェクトでは同研究所のオリジナルであるプレカーサー技術が超塑性現象と極めて良いマッチングを示した。アモルファス中間相は超塑性現象に伴い粒界でも特異な挙動を示すので、今回の共同研究は双方に取って大きな利点があったと考えられる。

マックスプランク研究所で開発された高耐熱性材料（プレカーサー法による Si-B-C-N 材料）を用いることにより、当初困難と思われていた SiC 系セラミックスの超塑性現象が効果的に実現されており、これは日本側研究者とドイツ側研究者の親密な交流が行なわれた結果に他ならない。

#### 5. その他

日本と外国の研究機関の互いの特徴を生かして、新しい革新的科学技術を創出する本研究プロジェクトは、真に国際的視野に立って研究課題を企画、立案し、遂行し、成果を挙げ世界に向けて公表し、国際特許化を果たして、世界的視野に立って新科学技術の芽を作り出し、育成する点においてきわめてユニークな事業である。日本発展の研究成果を世界に認知して頂くと共に国際性を高めるためにも、外国の研究者と共同でさらに発展的研究を行い、公表し、特許化することは重要である。また、運営についても知り得る限り適正であると思われる。

ただ、5年間の国際プロジェクトで完全に新しい科学技術の概念や分野の創出が果たされることは困難であり、また産業界に大きな影響を与えることが出来るか否かについても今後の問題である。このような事から、本プロジェクト成果の波及効果の評価を今後何年か後に、再び行うことによりこの種のプロジェクトの真の外部評価が与えられるものと思われる。

JST は、他国の優秀な研究成果と、我が国の優れた研究成果を結び付ける重要な役割を担う組織である。これからは、地球規模での環境問題等、我が国単独では解決しきれない多くの課題が出てくると思われる。特に、化石燃料をエネルギー源として使用する場合の CO<sub>2</sub> 発生の問題やエネルギー源枯渇に関わる課題、例えば代替エネルギーの開発に関わる課題は、人類の存続に関わる重要課題であることから、国際的な共同事業として解決してゆくべき課題と思われる。これらの課題に対して既に幾つかの国際的な共同施策は進められている状況下にはあるが、JST が今後実施される国際共同研究事業の中にも取り入れて行かれることを期待している。

1. プレカーサ技術：前駆体として有機化合物を用いるセラミックスプロセス技術