

## 事後評価報告書

評価委員会開催日：平成18年8月29日

評価委員：（敬称略、順不同）

若井史博 東京工業大学応用セラミックス研究所  
 附属セキュアマテリアル研究センター 教授（主査）

藤森啓安（財）電気磁気材料研究所 顧問

中嶋英雄 大阪大学産業科学研究所 教授

新原皓一 長岡技術科学大学極限エネルギー密度工学研究センター センター長・教授

記入年月日：平成18年12月14日

課題名	加工性に優れた高効率先進構造材料の開発に関する研究
研究責任者名及び所属・役職	平賀啓二郎 材料研究所高融点微結晶材料グループ ディレクター （現在：ナノセラミックスセンター 高融点微結晶グループリーダー）
【実施期間、使用研究費、参加人数】	実施期間：平成13年度～平成17年度 使用研究費（期間合計）：運営費交付金：195.3百万円、外部資金：50百万円 参加人数：（平成17年度）12人（専任：7人、併任：3人、ポスドク：1人、外来：1人）
【研究全体の目的、目標、概要】	<p>研究目的及び具体的な研究目標：</p> <p>金属間化合物やセラミックスはエネルギー機器の高性能・効率化の鍵となる材料として期待されているが、難加工性であり、侵入型元素による脆化や疲労・クリープ強度に未解明な点を残している。本研究ではその克服のために、(1)Ni<sub>3</sub>Al箔の加工およびハニカム構造体化技術の開発、(2)600℃以上で使用可能な軽量Ti<sub>2</sub>AlNb材料の開発、(3)10<sup>-3</sup>～10<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>の高速で超塑性を発現するセラミックスの創製、(4)原子レベルでの金属間化合物の脆化機構解明、(5)クリープ損傷の検出および特性予測手法の開発を目指す。</p> <p>研究計画概要：</p> <p>前半の3年間は目標達成のための要素技術開発、後半の2年間は開発技術による材料創製と応用化を念頭にした特性最適化や構造体化を行う。以上の方針にそって、13-15年度は加工・合成手法、特性実現のための組成・組織制御法、分子動力学シミュレーションのための手法構築、欠陥の検出手法の開拓と確立を目指した。H16-17年度は、高温損傷に関する連携を進めるとともに、応用化への距離短縮を念頭に、実用特性（室温延性、高温クリープ強度、高速超塑性の低温化を含む加工性）の評価と一層の特性向上、モデル加工・成形、以上から得た知見の組織組成設計への反映を眼目とした。15年度末のプロジェクト実施体制の変更に伴って、①高温変形・損傷を共通背景として応用展開に距離のある課題（(2)、(3)、(5)）と②Ni<sub>3</sub>Alを対象に応用展開に踏み込む課題ならびにその基盤支援課題（(1)、(4)）とに分け、前者を本研究で継続実施した。</p>
【全研究期間の成果等（研究全体）】	<p>研究成果（アウトプット）、成果から生み出された効果・効用（アウトカム）、波及効果（インパクト）：</p> <p>本研究によって以下を開発ならびに達成した。</p> <p>①薄さ90～23μmに達するγ'-Ni<sub>3</sub>Al箔の作製・加工・溶接技術、          ②元素置換やナノサイズ粒子分散により600℃以上でも高強度のTi<sub>2</sub>AlNb合金、          ③10<sup>-1</sup>～10<sup>0</sup>s<sup>-1</sup>の高速超塑性や2500%の引張延性を示すセラミックス、          ④水素脆化解明のための構造安定性評価手法と原子緩和による破壊機構の解明、          ⑤除荷弾性率法クリープ損傷評価法。</p> <p>ここで、⑤は粒子分散型複合材料に適した有用手法であり、①～④は世界初の成果で高いオリジナリティを有する。</p> <p>得られた成果のうち、①は新素材開発から機器試作までの広い領域をカバーし、水素製造用高温マイクロ化学リアクターへの応用が期待できる（16年度以降</p>

	<p>に新規課題として実施中)される。②は室温延性に乏しい<math>\gamma</math>-TiAlや高比重のNi基合金に代わる軽量耐熱材料として、パワーエンジニアリング機器の効率向上への寄与が期待される。③の高速超塑性材料ならびに開発過程で得た特性・機構・合成に関する知見によって、セラミックスの高速精密塑性成形のための基盤が拓かれた。④は金属間化合物の脆化機構解明と抑制に新たな展開を与え、金属間化合物を軽量高強度材として利用するための基盤を提供している。⑤で開拓の手法は、高比強度材料として期待される粒子分散型複合材料に適した手法であり、クリープ損傷評価と寿命評価への応用が期待される。</p> <p>論文：20+43. 78件*、プロシーディングス：15+20. 75件*、解説・総説：1+11. 45件*、招待講演数：1+23. 25件* (*：+の前の数値は平成13年の数値、+の後ろは研究の寄与率を考慮した平成14-17年の値)</p> <p>特許出願：15件、登録：9件、実施許諾：0件</p>
【評価項目】	コメ ン ト お よ び 評 価 点
<p>マネジメント 実施体制 (サブテーマ間連係、外部との共同研究の有効性)</p>	<p>コメント： 本研究は、金属間化合物やセラミックスの難加工性を、計算材料科学や特性予測手法を援用することにより解決し、これら材料の優れた機械的性質を活かした構造材料等の開発を目指すものである。5つのサブグループからなる研究体制を組織し、NEDO等の外部資金を獲得しながら5カ年間研究を推進してきた。研究の進め方として、最初の3年間に要素技術・基礎解析技術の開発、後半2年間に材料創製と特性評価に特化する方針を立てたことは、目標を見失わないための賢明な方策であった。ただし、サブテーマ間の連携については、サブテーマそれぞれが専門化しているのはやむを得ないこととしても、共通の問題についての積極的・効率的な連携がもっとあっても良かった。ただし、材料開発サブグループに対して計算材料科学サブグループや特性予測サブグループが連携・協力していることはある程度見て取れる。中間評価を基に4年目にグループ再編が行われたが、結果的に、加工性改善という注目すべき結果が得られ、その一部は実用化の段階に至っており、再編が有効に働き、当初の目標はほぼ達成できているように思われる。外部連携については、国内外の外部機関との共同研究が行われているが、サブテーマ数に比べると外部機関数が少なく、今後は外部との連携強化も必要であろう。</p>
<p>*評価点(10点満点)：8 評価基準 9点：研究の効率向上に明確に寄与している 7点：よく考えられている 5点：平均的な体制 3点：もう少し考慮の余地があった 1点：プロジェクト遂行の支障となった</p>	
<p>アウトプット (論文、特許等の直接の成果。費用対効果を考慮)</p>	<p>コメント： Natureに発表した論文を始めとして、この分野に関する最高レベルのジャーナルに多数の成果が発表されている。研究寄与率を考慮しても、十分なアウトプットが出ており高く評価できる。</p>
<p>*評価点(10点満点)：9 評価基準 9点：質・量共に平均的プロジェクトの水準を大きく上回っている 7点：平均的水準より優れる 5点：平均的水準 3点：少ない 1点：問題がある</p>	

<p>目標の達成度 その他アウトカム、波及効果</p>	<p>コメント： Ni3Alの強冷間圧延やハニカム構造体の試作は大きな成果であり、後者は触媒機能や水素製造用マイクロリアクターへの応用が期待される。また高速超塑性セラミックスの開発とその深絞り成型は、世界をリードする画期的成果であった。軽量耐熱構造体に関する一連の研究など、その他のサブテーマでも一定の成果を挙げており、概ね目標は達成されていると言ってよい。本プロジェクトにおいては応用研究に展開可能な新しい基礎知見が得られているので、今後は実用化まで持っていけるように研究を推進してほしい。</p>
<p>* 評価点（10点満点）：9 評価基準 9点：一つの分野を形成した 7点：目標は十分達成され、当該分野に影響を与えた 5点：目標はなんとか達成された 3点：目標の部分的な達成 1点：目標達成にはほど遠い</p>	
<p>総合評価 研究全体に対する総合的な所見を記入。 また上記設定評価項目に含まれないその他の評価ポイントがあれば追加してコメント。</p>	<p>コメント： 金属間化合物やセラミックスの加工性改善には長い歴史があり、国内外の多くの研究者が挑戦している難問題である。本プロジェクトでNi3Alハニカム構造体の試作とAl2O3-ZrO2-MgO・nAl2O3複合新セラミックスの高速超塑性および超塑性を利用した深絞り成形加工ができたことは、大きな進歩である。この研究は金属間化合物、セラミックスという脆性材料を対象とした塑性加工技術に、ブレークスルーをもたらしたと言える。実用化にはまだまだ道は遠いに違いないが、さらなる目的基礎研究、応用研究の積み重ねを期待したい。 今後の課題として、セラミックスの超塑性加工に関しては、応用分野の開発を今後強く求めたい。深絞りやセラミックスネジ等は競合製品とのコスト問題を考え、特殊な応用を狙うのがよいだろう。軽量耐熱材の最適化組織では、粒界に何が析出しているのかを調べる必要がある。 全体の研究計画と研究実施は順調に行われたと言えるが、たとえば、実施体制で示された実験と理論との連携が成果からは十分には見えず、サブテーマに共通する課題を連携研究で解決する配慮に欠けていた感が否めない。今後は連携に配慮したプロジェクト運営が望まれる。</p>
<p>* 総合評価点（10点満点）：9 評価基準 9点：すべての点において模範的に優れている 7点：総合的に優れている 5点：平均的 3点：期待されたほどではなかった 1点：税金の無駄遣いである</p>	

なお評価点は、公表時一般にもわかり易いように、以下のようにS, A, B, Cを併記します。

- 9、10 S
- 8 A+
- 6、7 A
- 5 A-
- 3、4 B
- 0～2 C

評価点まとめ

マネジメント実施体制 (内外連携)	アウトプット	目標達成度、アウトカム 波及効果	総合評価
A+	S	S	S