

中間評価報告書

研究課題名: ナノ組織制御による次世代高特性材料の創製

研究責任者: 宝野和博 フェロー・材料研究所ナノ組織解析グループ ディレクター

評価委員会日時: 平成17年1月14日14時～17時40分

評価委員会委員長及び委員名:

藤森啓安 (財)電気磁気材料研究所 理事 (委員長)

堀田善治 九州大学大学院工学研究院材料工学部門 教授

宮山 勝 東京大学先端科学技術センター 教授

宮本欽生 大阪大学接合科学研究所スマートプロセス研究センター 教授

記入年月日: 平成17年2月24日

評価の観点	評価結果
① 進捗状況の把握 (・ 目標の達成度合い ・ 論文・特許等の新しい 知の創出への貢献、社 会・経済への貢献、等)	<p>本研究は、次世代に要求される高特性材料の創製をナノ組織制御に着目して探求しているものである。物質・材料研究機構に特徴のある4つのサブテーマを取り上げ、萌芽材料の創成を目標に基礎研究に重点を置いて進められている。経済への直接的寄与は当面の目標に含めていない。研究は平成14年度に5ヶ年計画で開始されたがその後の本機構の全体計画により4ヶ年に縮小され、平成17年度をもってこれを終了する。なお、本機構では平成18年度から次期プロジェクトを開始する計画があり、本研究の成果の活用が期待されている。したがって本研究の最終年度研究計画はそれを視野に入れたものになっている。</p> <p>以上を踏まえて中間評価を行った。以下に4サブテーマ毎に、①進捗状況の把握、②研究目的・目標の見直しの必要性、③研究開発の進め方の見直しの必要性、研究資金・人材等の研究資源の再配分の必要性、等を評価し、最後に全体を総合的に評価する。</p> <p>I) ナノ組織磁性材料:</p> <p>磁性材料分野の現在の重要課題である希土類磁石、高結晶磁気異方性FePt、Fe系ナノ結晶軟磁性体、巨大磁気抵抗薄膜(GMR)の特性向上をナノ組織化に着目して研究している。高性能3次元アトムプローブ(3DAP)、小角散乱、電子顕微鏡によるナノ組織の精密観測・解析、磁気特性発生のナノ組織的メカニズム解明、特性向上、などにおいて幾つかの成果を得ている。中でも、1) SmCo₅/Feナノコンポジット交換結合磁石で理論限界値を超えるエネルギー積を得たこと、2) バルクFePt磁石の保磁力増大化を液体急冷・メカニカルミリングにより実現したこと、3) 高保磁力FePt磁気記録媒体で自己ナノ組織化スタック法により記録書き込みを容易にしたこと、4) FeCoSiBNbCu系ナノ結晶軟磁性薄帯の高Ku・高Hc化と高周波高透磁率化をCu濃度増加により実現したことは、ナノ組織制御によるユニークな成果として注目される。また、5) PtMn/CoFe/Ru/CoFe基CCP-CPPスピバルブの電流パス・メタルブリッジの直接観察に成功しているが、これは実用化研究に役立つ重要な基礎的知見である。</p> <p>以上の各項目は現在世界的話題となっているものでテーマ選定には特別な新規性はないが、ナノ組織の構造観察を駆使して高特性を得る方法を新提案しているところに独創性があり、世界的に高レベルの成果が出ている。世界トップの幾つかの国際会議から招待講演を受け、論文は多数インパクトファクターの高い学術誌に採択、掲載されている。このように本研究の目的達成度、知的貢献度は高い。ただし、実用化研究は本研究の範疇ではないものの、材料特性改善で注目される知見が得られているので、今後それらの実用化研究への橋渡しを検討すべきである。その際、プロセス開発での工夫が求められる。</p>

II) 高強度ナノ組織金属：

炭素鋼、Al, Mg 合金などについてナノ組織の高精度観測、ナノ組織形成過程、ナノ組織と力学特性の相関解明、特性向上において幾つかの結果を得ている。1) パーライトレール鋼の表面白層における炭素固溶マルテンサイト組織の 3DAP による解明、2) パーライト・メカニカルミリング・ナノフェライト組織の安定化、高強度化に及ぼす炭素原子粒界偏析効果の 3DAP による解析・実証、3) 強歪み加工 Cu-Ag, Cu-Zr 合金における 2 相ナノ組織形成過程の解明と高強度・高導電性合金の可能性指摘、4) 軽量高強度材料 Mg 合金の 3DAP 解析などは興味ある成果である。また、金属ガラスの形成能、ナノ結晶化、相分離のモデル計算を行い組織形成過程の予測に関する知見を得ていることも評価される。

研究結果は多数の著名雑誌に公表されており、国際会議への参加も多数で情報発信は十分に行われている。特許に関しても、本研究が基礎的見地でのプロジェクトであることを考慮すれば十分なものとみなされる。ただし、応用上重要なナノ組織形成プロセス法の研究は不十分である。今後の進展を期待する。

III) 高強度ナノ組織セラミックス：

当初、本研究は高硬度耐摩耗性のナノ組織窒化ホウ素 (cBN) 焼結体の創製を目指してスタートしそれを一年間行ったが、その後予算縮小および担当研究者の移動があったため、2 年目より超塑性・高靱性・高強度のナノ組織窒化ケイ素 (Si_3N_4) の創製に切り替えて、その合成法、組織観察・制御などを研究してきた。そのような経過があったが、1) メカニカルグライディング法およびパルス通電焼結・急速加熱法によるナノ粒子焼結体の合成、2) クエン酸共沈法によるアルミナ添加ナノ SiO_2 粉末の合成、それを原料としたガス還元窒化法による窒化物ナノ粉末 (サイアロン) の合成、3) HRTEM による元素の高分解マッピングとナノ粉末セラミックスの粒界酸素等不純物の同定、などの結果を得ており、とくにナノ粉末 Si_3N_4 の合成などナノ粉体・セラミックスの合成に成果を挙げている。しかし、焼結体の超塑性加工にはまだ手がつけられていない。

成果の公表については、途中で研究計画変更があったものの論文発表、特許出願の努力が認められる。ただし国際学会招待講演を含めて数がやや少ない。最後の 1 年間での努力を望む。

IV) ナノ組織新機能材料：

ナノ組織材料として、サブテーマ I、II、III に含まれていない他の機能性に着目した課題を取り上げている。なお、当初計画した NMR による原子レベル状態分析は中止されている。その結果、1) ナノガラス基板上金属薄膜陽極酸化では、アルミナ穴中への Ni の長尺ナノスケールのメッキ、FePt ナノワイヤー配列構造体の合成、チタニアのナノロッドアレーの合成、2) 固体電解質関連では、導電性の高いナノ高密度セリア焼結体の合成、3) 特異構造超微粒子作製関連では、固体および液体プリカーサー法を用いた高過冷却核生成プロセスによる酸化チタン微粒子合成、などの結果を得ている。それぞれ興味深く、とくに陽極酸化によるナノ組織制御の新たな手法を開発したことは、論文発表も多く注目される。しかし研究が単なる試みに終始しており、既存材料と比べ新機能や高特性発現にまでは至っていない。ナノ組織制御が新材料創製上重要であることは現在では周知のこととなっており、単なる試みの段階から狙いを定めたシャープな目的を設定し、結果の同種既存物質・材料との差異、優位性などの分析が望まれる。

<p>② 研究目的・目標の見直しの必要性</p> <p>・ 目標の妥当性 (科学的・技術的意義 (独創性、革新性、先導性等)、社会的・経済的意義 (実用性等))</p> <p>・ 計画外事象の発生の有無とその対応の適否、等</p>	<p>以下にサブテーマ毎に本項目の評価を述べる。</p> <p>I) ナノ組織磁性材料：</p> <p>これまでの成果を基に、最終年度では、次期プロジェクト「スピニエレクトロニクス・データストレージ用ナノ磁性材料開発」を計画しながら、1) SmCo₅垂直・高保磁力、2) 高性能交換結合ナノコンポジット磁石薄膜、3) 高性能バルクナノコンポジット磁石、4) ハーフメタル巨大TMRを研究することにし、さらに、5) レーザー補助広角3次元アトムプローブの基礎研究を開始するとしている。</p> <p>これらの選定はこれまでの成果から見て妥当といえる。とくに、高密度磁気記録媒体に関して磁性薄膜の構造・物性を評価することは重要である。ただし、世界的競争激化の中、何が問題か、何を解決すべきか、何がブレークスルーかを十分に探究し先導性を発揮することが求められる。重点的に問題を絞って残された短い1年間で効果的に成果を挙げるようにしてもらいたい。例えば、ハーフメタルに関してのアトムレベルの界面構造観察・制御には大いに期待したい。その際、電子構造まで考察した構造制御が重要であると思われるので物性理論家および高精度薄膜作製技術をもつ専門家との連携が望まれる。また、レーザー補助広角3次元アトムプローブは、まさに本研究者らがこの分野の代表的専門家であるので、それに特化することは重要である。世界に先駆けた成功を強く期待する。</p> <p>II) 高強度ナノ組織金属：</p> <p>最終年度は、1) パーライトレール鋼の表面白層組織形成のメカニズム解明、2) パーライト・メカニカルミリング・炭素偏析ナノフェライト組織を応用した高強度・高靱性ナノスチールの試作、3) CuNiP のナノ組織形成と高強度・高電気伝導性合金の加工熱処理プロセスの研究、4) ナノ Cu, Zr 2相組織の加熱によるバルクアモルファスの創製などの研究を継続するとしている。</p> <p>研究は当初の目標に沿って進んでおり、とくに、強ひずみ加工は既存材料の特性向上に新規特性をもたらすプロセス法として注目されているもので、これまでの研究の強ひずみ加工プロセスで第2相粒子のナノ分散制御や異相界面のナノ構造制御が可能になることが示されており、今後のさらなる展開が期待される。また、ARB、加工熱処理プロセスなどナノ組織形成法に関する研究では、目的とする特性以外にも有用な特性が生じる可能性があり、柔軟な対応を望む。</p> <p>なお、高強度ナノ組織金属の中で金属ガラスについては当機構内の別のプロジェクトへ既に平成16年に転換しているが、世界的重要性に照らして適切な処置といえる。他方、本研究の成果を次期プロジェクト「ナノ組織制御による新しい構造材料の開発」に発展させる計画が示されているが、課題をもっと具体化して新規性、独自性を発揮することを望む。</p> <p>III) 高強度ナノ組織セラミックス：</p> <p>Si₃N₄ナノ粉末焼結体の成果をさらに進めて、1) この焼結体の超塑性加工温度を低下させる方法、および、2) 機械特性とナノ構造との関連性を研究するとしている。これはセラミックス材料のさらなる発展上重要である。しかし、目標と実現へ向けての実施方法 (実験手法等) があまり明確でないので、十分な検討が望ましい。とくに、超塑性加工は先例もある上、残された1年間で有意義な結果を得るのは困難と思われるので、窒化ケイ素およびサイアロンナノ高密度焼結体開発を達成し、その機械的・熱的特性および信頼性評価とナノ組織の関係を明ら</p>
---	---

	<p>かにしておくことが望まれる。</p> <p>IV) ナノ組織新機能材料：</p> <p>個々の材料の構造・物性制御に関しては着実に研究が進んでおり、引き続き、</p> <p>1) Si、Al-Si、Ti、Al-Ti の薄膜陽極酸化ないし 2 段陽極酸化による 3 次元ナノ規則構造作製、2) セリアの組成最適化と燃料電池としての物性の検討、3) ナノ粒子表面組成のプラズマ修飾、などの研究を計画しているが、前述したように研究の意義、それに基づく目的、目標、狙いを明確にする必要がある。</p> <p>例えば、上記に加えて、ナノ構造による機能が有効に発現するようなマクロ構造に関しても検討を進めることが望まれる。a) ナノガラス関連ではロッドの規則配列構造に由来する機能（フォトリソニック結晶や誘電体アレイなど）の探索とそのため構造設計やロッド内部のナノ構造制御、b) 固体電解質関連では高導電率電解質の厚膜・薄膜化への展開、などであるが一層の進展を望む。</p> <p>なお、本サブテーマは次期プロジェクト「ナノ粒子焼結による機能性材料」に展開するとしているが、具体的課題の練り上げが必要である。</p>
<p>③研究開発の進め方の見直しの必要性、研究資金・人材等の研究資源の再配分の必要性、等</p>	<p>最終年度の 4 サブテーマ間の予算、人員の配分は、当初計画を 4 ヶ年に短縮し次期プロジェクトへ移行することを考慮して、最終年度の研究を効率化するために設定されたと理解される。それによると磁性材料に重点を置いている。一つの実験である。また、レーザー補助広角 3 次元アトムプローブの研究開始を計画しそれに予算を配分しているが、物質・材料研究機構の一つの特徴であるナノ組織観測・分析・解析を一層深化発展させるための重要な判断といえる。世界先端拠点としての役割を果たしてもらいたい。</p> <p>I) ナノ組織磁性材料：</p> <p>上述のごとく、本磁性材料は重点サブテーマに位置づけられているので最終年度での効果的成果を期待する。それを考えると、②に挙げた個別の小テーマ数が多すぎないか。テーマの絞り込みと人員配置の再考が必要ではないか。ハーフメタル巨大 TMR と 3 次元アトムプローブは緊急度の高い課題である。そのためにも他のサブテーマと調整しつつ予算配分を検討する必要がある。</p> <p>II) 高強度ナノ組織金属：</p> <p>本サブテーマに関しては、研究者はすべて併任職員で進められる予定であり、また予算の配分も他のサブテーマに比してかなり少ない状況にある。本研究計画を的確に進めていく上でこのような人員構成と予算配分でサブテーマ間調整や外部資金調達など再確認しておく必要がある。あるいは、集中すべき優先課題を絞り込む。例えば、次期プロジェクトを視野に入れてその課題を選別することを望む。ナノ組織解析を続けるとともに、より可能性の高いプロセス開発研究は大切である。</p> <p>III) 高強度ナノ組織セラミックス：</p> <p>最終年度はSi_3N_4ナノ粉末焼結体の 2 課題に集中しており、むしろ効率的な研究進展が期待でき計画は概ね妥当である。ただし、予算はそれに見合った調整が望ましい。なお、次期プロジェクト「プラズマによるナノ粒子作製技術」を視野に、ナノ焼結体開発に重点化しその結果により次期プロジェクトに超塑性加工も取り組むか否か判断されたい。</p> <p>IV) ナノ組織新機能材料：</p>

	<p>最終年度に見合った目標を明確にするために、個別テーマを1～2に絞ってそれらに集中してはどうか。ナノ組織構造に由来するユニークな機能が発現できる可能性の高いテーマに絞り、深化していただきたい。研究資金は、これら可能性の高い順に重点配分されたい。</p>			
<p>④総合評価</p>	<p>課題に対する総合的な所見をご記入下さい。(研究に対する助言等がありましたら併せてご記入下さい。)</p> <p>本研究は、物質・材料のナノ組織観察、分析、制御により従来にない優れた特性の発現とその機構解明を行い、その結果を演繹して次世代の高特性材料を提案しようとする萌芽的研究である。この研究戦略は、現在の材料開発研究の世界的共通認識から妥当である。具体的課題と達成目標は物質・材料研究機構が得意とする4サブテーマに設定し、それぞれ専門家による研究が推進されており妥当である。</p> <p>研究開始から中間評価の現時点までに、単に期待感だけでなく、具体的にどのナノ組織に新機能や高特性が期待し得るかが見えてきたといえる。残された最終年度は、各サブテーマの個々の具体的テーマの中で目標達成に近づいている課題を絞り、重点的に研究を仕上げることを期待する。それらの評価、コメントはすでに述べたとおりであるが、繰り返して要約すると、ナノ組織磁性材料に最も充実した成果が見られ、ナノ組織高強度金属では得られたナノ組織解析の有益な情報を材料に活かす有効なプロセス開発が期待される。ナノ組織高強度セラミックスとナノ組織新機能材料でも解明されているナノ組織と新機能・高特性の発現をどのように結び付けるか、さらなる研究が望まれる。論文、解説記事、国内外会議発表、特許をとおしての知、科学、技術的創出の貢献は、各サブテーマで差異があるものの全体ではその努力が認められる。</p> <p>以上よりこれまでの成果を最終年度の進展の期待も込めて総合的に A と評価する。</p>			
<p>⑤右記の S, A, B, F に○を付けてください。</p>	<p>S: 当初の計画以上に成果を上げている。</p>	<p>A: 当初の計画通り成果を上げている。</p>	<p>B: 計画を変更した上で継続すべきである。</p>	<p>F: 計画通りに進んでおらず、計画を中止すべきである。</p>