

プロジェクト中間評価報告書

評価委員会開催日：平成20年10月7日

評価委員：（敬称略、五十音順）

朝日 透 早稲田大学理工学術院先進理工学部 教授
 財満 鎮明 名古屋大学大学院工学研究科 教授
 藤森 啓安 （財）電気磁気材料研究所 顧問

確定年月日：平成20年11月20日

プロジェクト名	ナノ構造制御による高機能ナノ磁性材料の創製
研究責任者の所属・役職・氏名	磁性材料センター フェロー&センター長 宝野和博
実施期間	平成18年度～平成22年度
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>高度情報化社会に必要な HDD や MRAM（磁気ランダムアクセスメモリ）などのデータストレージ技術のさらなる発展のためのキーマテリアルである磁性材料・スピントロニクス材料を開発し、それらのデバイス展開を検討する。また自動車への応用で需要の増している Nd-Fe-B 系磁石の高保磁力化に資する基礎研究を行う。またこれらの材料のナノ解析を行い、磁気・伝導特性を発現するために必要なナノ構造の制御を行う。具体的な研究目標は以下の通り。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. High-K_u 材料を用いた超高密度垂直磁気記録媒体の開発 2. $H_c > 30$ kOe の焼結磁石設計指針の提案と異方性ナノコンポジット磁石の創製 3. 室温ハーフメタルの探索とハーフメタル薄膜の作製法の確立 4. ハーフメタルを用いて室温で 1000% を超える MR（磁気抵抗）比を発現する TMR（トンネル磁気抵抗）素子の開発 5. ハーフメタルを用いた室温で 30% の MR 比を発現する CCP-GMR（電流狭窄巨大磁気抵抗）素子の開発 6. ハーフメタルを用いた低電流スピン注入磁化反転技術の開発 7. 室温で動作可能なスピントロニクス素子の開発 8. 磁性薄膜・スピントロニクス素子の 3次元ナノ解析を実現するレーザー補助広角 3次元アトムプローブ(3DAP)とデバイス解析のための周辺技術の開発 9. マルチスケール解析による先端ナノ材料の微細組織と特性の因果関係の確立 <p>研究計画概要：</p> <p>高度情報化社会と脱温暖化社会に必要な磁性材料・スピントロニクス材料を試作し、そのナノ構造の解析、構造と磁気特性の因果関係の確立を行うことにより、社会的ニーズの高い磁性材料の開発とそのために必要な基礎研究を推進する。具体的には磁気記録技術への用途を想定して、(1) 次世代高密度磁気記録媒体用磁性薄膜、(2) 次世代再生ヘッド用 CPP-GMR スピンバルブ、(3) MRAM やスピントロニクスを目指したハーフメタルを用いた TMR デバイス、(4) 高保磁力を持つ磁石薄膜とバルク磁石材料の開発を目指す。それを実現するために、レーザー補助広角 3DAP、高分解能電子顕微鏡法 (HREM)、分析電子顕微鏡法などを駆使して試作された磁性材料やスピントロニクス素子のナノ構造を原子レベルまで遡って徹底的に解析し、ナノ構造と磁気・伝導特性の因果関係を解明することにより、材料・素子開発の設計指針を得る。</p>

<p>平成18年度～平成20年度中間評価時までの成果等</p>	<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）： <u>Si基板上FePtグラニューラー薄膜の開発</u>は、これまで停滞していたFePtの超高密度記録媒体材料の研究を飛躍的に発展させ、FePt媒体で1 Tbit/in²級超高密度磁気記録媒体の応用が近い将来に実現する可能性を高めた。 <u>高いスピン分極率を持つCo₂Mn(Ga_{0.5}Sn_{0.5})合金</u>は他のホイスラー合金と異なり、容易にL2₁構造を構成する金属間化合物であり、今後AlO_x/バリアーを用いたMTJ（磁気トンネル接合）でトンネルスピン分極率が実際に高いことが証明されれば、新たなスピントロニクス材料として応用研究が始まると期待される。 <u>Co₂FeSi_{0.5}Al_{0.5}, Co₂MnSiを用いたCPP-GMR</u>はいずれも10%近いMR比を低いRA（面積抵抗積）で発現し、今後のホイスラー合金CPP-GMRが高密度磁気記録用再生ヘッドとして有望であることを裏付けた。 <u>Co₂FeAl_{0.5}Si_{0.5}ホイスラー合金のハーフメタル性の検証</u>により、その高いキュリー温度から今後スピントロニクス応用を目指して、この合金が使われていく可能性が大きい。 <u>HDDR（水素化-分解・脱水素-再結合）磁粉の保磁力メカニズム解明</u>により粒界相の組成制御を行うことで、HDDR粉で30 kOe程度の保磁力が、Dyなど重希土類元素を用いずに実現できる可能性を明確にした。</p>				
<p>【評価項目】</p>	<p>コメントおよび評価点</p>				
<p>①研究開発の目的・目標管理・マネジメント</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ NIMS のキーワード“ナノ科学技術”ならびに第三期科学技術基本計画の True Nano” ナノエレクトロニクス “の方向性に沿っている。 ・ 研究目的及び目標が高く、その達成の可能性も高いと評価できる。 ・ 具体的研究課題は、いずれも世界先端の重要課題である。 ・ すでに、大きな垂直磁気異方性を有する α-Si/MgO/FePt-C ナノグラニューラー薄膜の作製、高分極率 Co₂MnSn_{0.5}Ga_{0.5}および Co₂FeAl_{0.5}Si_{0.5}ホイスラー合金の作製、ホイスラー合金電極 CPP-GMR の作製、HDDR 磁性粉の保磁力メカニズムの解明などの注目成果を挙げており、さらなる価値の高い成果を挙げる事が期待される。 ・ 本プロジェクトは目的基礎研究であるが、NIMS が標榜している”使われてこそ材料”との関係が今のところ見えにくい。期間後半は具体的材料化など実用化につなげる研究も期待する。 ・ 材料科学に基礎を置いた研究スタンスは明確であるが、その結果として社会へのインパクトは見えにくくなっている。但し、解析グループの特徴を生かすことで、NIMS でしかできない研究としての位置付けとなっている。 ・ スピントロニクスグループの補強は適切である。 ・ 3つのグループの連携が有効であり、ミッション達成のため、系統的に展開されている。 ・ 内外連携を含めて問題なくマネジメントされている。ただ、研究職の増員を図る必要はないか。 <table border="1" data-bbox="432 1720 1477 2051"> <tr> <td data-bbox="432 1720 592 1980"> <p>評価基準</p> </td> <td data-bbox="592 1720 1477 1980"> <p>評価点（1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10の10点満点）を、下記評価基準を参考に記入してください。： 9：よく練られており、全く問題ない。 7：優れている。 5：概ね問題はない。 3：修正が必要である。 1：大きな問題がある。プロジェクトを中止すべきである。</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="432 1980 592 2051"> <p>各委員の評価点</p> </td> <td data-bbox="592 1980 1477 2051"> <p>10、9、9（順不同）</p> </td> </tr> </table>	<p>評価基準</p>	<p>評価点（1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10の10点満点）を、下記評価基準を参考に記入してください。： 9：よく練られており、全く問題ない。 7：優れている。 5：概ね問題はない。 3：修正が必要である。 1：大きな問題がある。プロジェクトを中止すべきである。</p>	<p>各委員の評価点</p>	<p>10、9、9（順不同）</p>
<p>評価基準</p>	<p>評価点（1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10の10点満点）を、下記評価基準を参考に記入してください。： 9：よく練られており、全く問題ない。 7：優れている。 5：概ね問題はない。 3：修正が必要である。 1：大きな問題がある。プロジェクトを中止すべきである。</p>				
<p>各委員の評価点</p>	<p>10、9、9（順不同）</p>				

	平均評価点	9.3 (小数第二位以下四捨五入)
②研究開発の進捗状況及び進め方		<ul style="list-style-type: none"> 各グループで興味深い成果が得られている。 材料開発とナノ解析が順調に進んでおり、デバイス応用に役立つ知見が得られている。 ロードマップ・計画・成果に見るように、計画に沿って研究は順調に進んでいるといえる。とくに、独自の $\text{Co}_2\text{FeAl}_{0.5}\text{Si}_{0.5}$ ホイスラー合金による高MRの実現と分極率の解明、HDDR磁性粉の保持力メカニズムの解明などは、今後の超高MRや超強力磁石開発への指針を与えるものとして重要な成果である。 スピントロニクスグループは立ち上げに時間がかかっていることは理解できるが、その分、後半の2年間での研究方針をより明確にすることを期待する。
	評価基準	<p>評価点 (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10の10点満点) を、下記評価基準を参考に記入してください。:</p> <p>9: 極めて順調であり、研究資源の再配分を増やすべきである。</p> <p>7: 優れており、このまま継続すべきである。</p> <p>5: 進み具合は妥当である。</p> <p>3: 進み具合が遅れており、計画の見直しが必要である。</p> <p>1: 大幅に遅れており、研究を中止すべきである。</p>
	各委員の評価点	8, 9, 9 (順不同)
	平均評価点	8.7 (小数第二位以下四捨五入)
③論文、特許等の直接の成果、効果・効用、波及効果		<ul style="list-style-type: none"> 質の高い国際論文誌にタイムリーに成果を発表している。 磁気記録分野にインパクトを与える成果が出てきている。 オンリーワンの解析法を用いて未解決な課題に挑戦し、新しい知見が得られつつある。 優れた成果は得られていると思うが、特許数が少ないことが気になる。但し、有益な成果は得られているので、今後の成果は充分に見込まれると考える。 企業との共同研究が進んでいることは高く評価できる。 デバイスに応用した際の記録媒体の材料設計や構成の提案があればさらに良い。 比較論であるが、これまでの(研究費)/(発表論文数と特許数)は他の2プロジェクトに比して高い。これをもって研究成果の善し悪しを評価するつもりは毛頭ないが、研究者はこのような数値を時々自らも見て、何を意味しているのかを自己評価することは重要ではないであろうか。そして、それだけに価値のある研究をしている、と自負をもって貰いたい。評価者は、すでに指摘したように、当プロジェクトはこれまでに質の高い論文を発表していると高く評価している。後半でも質の高い論文を世界に発信し、現在の磁気物質材料に関する問題解決あるいは新しい科学技術の芽の創造に貢献することを期待する。
	評価基準	<p>評価点 (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10の10点満点) を、下記評価基準を参考に記入してください。:</p> <p>9: 質・量共に世界的水準である。</p> <p>7: 優れた成果・効果が出ている(見込まれる)。</p> <p>5: 平均的水準である。</p> <p>3: 平均より少なく、対応策を練る必要がある。</p> <p>1: 質・量共に大いに問題があり、プロジェクトは中止すべきである。</p>
	各委員の評価点	9, 9, 8 (順不同)

	平均評価点	8.7 (小数第二位以下四捨五入)	
④総合評価		<ul style="list-style-type: none"> ・質の高い研究が展開され、成果も着実に得られている。 ・材料科学に基づいた基礎研究は、NIMSの重要な役割である。特徴ある成果も得られているので、今後応用を目指した展開にも、より注力してほしい。 ・時代の動向を把握し、最先端課題にレベルの高い基礎・基盤研究を展開している。世界一流といえる。ただ、NIMSの社会的立場を考えて、“使われてこそ材料”むしろ“使ってこそ材料”の実践にも努力して欲しい。例えば、応用グループとの連携や関心ある企業の指導などである。 ・他機関との連携も順調である。 ・当該分野の次世代人材育成に期待する。 	
	評価基準	総合評価点(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10の10点満点)を、下記評価基準を参考に記入してください。: 9:すべての点において模範的に優れている。 7:総合的に優れている。 5:平均的なプロジェクトである。 3:期待されたほどではない。計画の見直しが必要である。 1:上記評価項目①～③の評価結果に大きな問題があり、研究を中止すべきである。	
	各委員の評価点	10, 9, 9 (順不同)	
	平均評価点	9.3 (小数第二位以下四捨五入)	
その他 (気になる点、ヒアリングの第一印象など、なんでも) <ul style="list-style-type: none"> ・ヒアリングで研究成果の内容が良く分かり、大変重要な結果であることが改めて分かった。 ・磁石、PtFe、CoFeAlSi ホイスラー合金は、学界や企業へのインパクトは大きいと思う。応用化へ研究を進めてほしい。 ・スピントロニクスグループの立ち上げに苦労したとのことで、当該グループから今後画期的な成果が得られることを期待する。 			

なお平均評価点は、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を併記する。
 評価委員の点数の平均点(小数点第二位以下四捨五入)をXとすると、S: $X=10$, S-: $9 \leq X < 10$, A+: $8 \leq X < 9$, A: $7 \leq X < 8$, A-: $6 \leq X < 7$, B+: $5 \leq X < 6$, (以下同じ考え方)・・・とする。

平均評価点まとめ

研究開発の目的・目標管理、マネジメント	研究開発の進捗状況及び進め方	論文、特許等の直接の成果、効果・効用、波及効果	総合評価
S-	A+	A+	S-