

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11月18日

評価委員：（敬称略、五十音順）

榎 学 東京大学大学院工学系研究科 准教授
 村田 純教 名古屋大学大学院工学研究科 准教授
 山崎 裕文 産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門 リーダー

確定年月日：平成20年12月19日

プロジェクト名	ナノ構造制御による超伝導材料の高性能化
研究責任者の所属・役職・氏名	超伝導材料センター センター長 熊倉浩明
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>「ビスマス系酸化物超伝導材料」、「MgB_2超伝導材料」、「Nb_3Alなどの先進金属系超伝導材料」の三つの有望な超伝導材料に対して、これまでの研究手法に加えて、結晶や結晶粒界、不純物などのナノメートルレベルの構造制御に基づいた線材化研究を行い、高臨界電流密度を有する線材を開発する。このために、線材等の局所的な臨界電流特性を始めとする各種超伝導特性の精密評価技術を確立し、そこで得られたデータを線材の高性能化に役立てる。また、次世代線材のシーズとなる新超伝導物質の探索にもチャレンジする。線材応用として、NMR用の内層コイルを試作し、強磁界NMRシステムを開発する。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) ビスマス系線材、MgB_2線材、Nb_3Al線材の開発においては、それぞれ(30K、3T)、(20K、3T)ならびに(4.2K、15 T)で実用レベルである10万A/cm²のJc（臨界電流密度）の達成を目標とする。 2) 超伝導線材の特性評価では、超伝導電流分布を二次元的に解析する走査型高温超伝導SQUID磁気顕微鏡を開発する。また、微細領域の超伝導関連諸特性を評価する手法を確立する。 3) 新超伝導体の探索では、超高圧、超高ガス圧、ソフト化学等の物材機構の得意な特殊合成環境を活用して、次世代の超伝導線材のシーズとなるべき新規超伝導体を探索・開発する。 4) NMR では、試作した内層コイルを用いた NMR マグネットで、NMR シグナルを検出できることを目標とする。 <p>研究計画概要：</p> <p>MgB_2線材では、パウダー・イン・チューブ法、Mg 拡散法などにより線材化研究を進める。ビスマス系線材では、各種のナノスケールの構造制御技術を検討しつつ、Jc 特性評価結果や微細組織観察結果を線材作製にフィードバックする。Nb_3Al線材では、急加熱・急冷/変態法において、前駆体の Nb/Al 拡散対構造の微細均一化、急冷過飽和固溶体の強加工、などにより Jc 特性の向上を図る。特性評価では、SQUID 顕微鏡等で超伝導材料を評価し、Jc 特性の向上を図るとともに、高性能超伝導材料、機能素子実現のためのナノレベルの加工技術を開発し、新機能の探索を目指す。新物質探索では、ベルト型高圧合成装置を用いた新物質合成ならびにソフト化学合成手法の物質創製への適用を精力的に推進する。NMR では本プロジェクトで開発した線材を用いて内層コイルを試作する。</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）：</p> <p>ビスマス系線材では平行磁界における目標J_cを達成した。長尺線材で高性能化が進み、実用を目指した機器開発に採用され開発に着手している（JST先端計測分析技術・機器開発事業、コンパクト3テスラMRI装置の開発）。また超伝導直流送電についても実用化を念頭においた検討を開始した（NEDOエコイノベーション推進事業 調査研究）。</p> <p>MgB_2線材については、ナノ制御によりJ_cを向上させた。新しいMg外部拡散法により20K、3Tで、目標とする$J_c=10^5 A/cm^2$を達成した。MgB_2線材の応用としてMRIに興味を示す民間企業との連携（資金提供型共同研究）に進展した。</p> <p>Nb_3Al線材では、Nb/Alナノコンポジット前駆体の製造技術を確立し、短尺線材で目標J_cを達成した。また、内層コイルを試作して世界最高レベルの磁場発生に成功した。優れた耐応力ひずみ性が高く評価され、核融合炉用に日本原子力研究開発機構と、次世代高エネルギー粒子加速器用に高エネルギー加速器研究機構及び米国フェルミ国立加速器研究所と、それぞれ共同研究開発が進行中である。</p> <p>特性評価関係では、Bi2212系高温超伝導体に人工的に導入した欠陥（ランダム系、正方格子、三角格子）への磁束線ピンニングで整数及び分数マッチング効果を観測した。また、高分解能STM-SQUIDハイブリッド顕微鏡の開発に成功した。</p> <p>新物質探索では、$Sr_2Cu(Re, Ca)O_6$（強磁性型銅酸化物）、NaV_2O_4（ナノハーフメタル）、$BiAlO_3$（強誘電体）などの興味深い物性を示す新規物質を発見した。</p> <p>超伝導線材の強磁場応用では、種々の要素技術を開発し、Bi-2223線材で製作した内層コイルを組み込んだNMRマグネットでNMRシグナルの測定ができることを実証した。これにより最終目標である強磁界NMRシステムへの道筋をつけた。</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"> ・ほとんどのサブテーマは世界的な、レベルの高い研究である。特にNb_3Al線材の開発と超高磁界NMRの開発は、金属材料技術研究所時代からの超伝導線材開発の長い伝統を引き継いだ優れた研究であり、アウトカムの見通しもある。 ・個々のサブテーマは優れており進展しているが、プロジェクト全体としての統一に欠ける。研究目標はある程度クリアされるであろう。ただそのための今後の研究方針がよく分からない。一つのプロジェクトとして行う必然性が必ずしも感じられない。 ・MgB_2の開発では系統的な解析・評価を線材作製にフィードバックするとあるが、具体的なビジョンがやや見えにくい。 ・MgB_2線材の研究開発は、これまで先導的に高いレベルの研究を行ってきて、臨界電流向上を妨げている要因を明らかにしてきた点は評価できる。ただ、線材化の困難さが次第に明らかになってきており、目標の「20K、3Tで$10^5 A/cm^2$」をコア部分のJ_cとして達成できるかどうかは明確ではない。20KでのJ_c向上への戦略的取り組みを行うか、革新的な線材化方策にチャレンジする等の対応が必要でないか。「20K、3Tで$10^5 A/cm^2$」という目標自体は適切である。 <table border="1" data-bbox="432 1653 1474 2029"> <tr> <td data-bbox="432 1653 592 1912"> <p>評価基準</p> </td> <td data-bbox="592 1653 1474 1912"> <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 1912 592 1989"> <p>各委員の評価点</p> </td> <td data-bbox="592 1912 1474 1989"> <p>7、7、8（順不同）</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="432 1989 592 2029"> <p>平均評価</p> </td> <td data-bbox="592 1989 1474 2029"> <p>7.3（小数第二位以下四捨五入）</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>7、7、8（順不同）</p>	<p>平均評価</p>	<p>7.3（小数第二位以下四捨五入）</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>7、7、8（順不同）</p>						
<p>平均評価</p>	<p>7.3（小数第二位以下四捨五入）</p>						

<p>②研究開発の進捗状況及び進め方</p>	<p>点</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・全体的には当初の計画通りに研究が進捗しているが、個別のサブテーマでは進捗状況に差があるようである。企業でやれる研究内容は技術移転をして、NIMSはコンサルタント的な立場でも良いのではないか。 ・サブテーマ1のビスマス系線材の開発を、民間企業との共同研究を中心として進めている点は理解できるが、NIMSの成果がどこにあるのか、がアピールできていない。 ・サブテーマ5の走査型 SQUID 磁気顕微鏡の開発は、STM と走査型 SQUID を融合するもので、材料評価技術として面白い。しかし、それを超伝導線材の開発に活かすには、少し進捗が遅いようである。 ・これまでに得られたデータや試作を、今後のプロジェクト目標へ発展させるための見通しやビジョンがやや見えにくい。
	<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。：</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>
	<p>各委員の評価点</p>	<p>7、8、7（順不同）</p>
	<p>平均評価点</p>	<p>7.3（小数第二位以下四捨五入）</p>
<p>③論文、特許等の直接の成果、効果・効用、波及効果</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・常勤研究員数を考慮しても、多くの成果（論文）が発表されている。 ・実用化的なものから基礎的なところまで、幅広い成果が得られており、そのレベルも高い。 ・特許については、超伝導は実用化が遠いテーマであるので、実施数が少ないのもやむを得ないかもしれない。
	<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。：</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>
	<p>各委員の評価点</p>	<p>9、8、8（順不同）</p>
	<p>平均評価点</p>	<p>8.3（小数第二位以下四捨五入）</p>

④総合評価	<ul style="list-style-type: none"> ・ 今後実用化される材料が読み切れない現状では、種々の材料に対して幅広く研究を行うのは、やむをえないが、もう少しメリハリをつけて特化することも必要かと思われる。 ・ 材料研究、装置研究など多岐にわたっており、研究者の専門も幅広いと考えられるが、相互の関連を意識して研究を益々進展させてほしい。解析結果をいかに実用化へ反映させるか。解析結果をどう新たな物質の探索へ反映させるか、など。 ・ このセンターの研究は、いずれもレベルが高く世界的な研究である。ただ、超伝導材料は、半導体材料とは異なって実用化が非常に困難な材料であり、真の意味で実用化されているのは、NMR、MRI や高エネルギー物理等に利用されている低温超伝導線材にすぎない。このため、真の実用化につながる大きなブレークスルーをもたらすような研究成果を挙げてもらいたい。 	
	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	8、7、8（順不同）
	平均評価点	7.7（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） ・ 広範囲にわたる研究であるので、時間の制限もあり発表は難しいと思うが、研究の全体像が理解しにくかった。		

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≤X<10, A+:8≤X<9, A:7≤X<8, A-:6≤X<7, B+:5≤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、マネージメント	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
A	A	A+	A