

# プロジェクト中間評価報告書

評価委員会開催日：平成25年12月25日

評価委員：（敬称略、五十音順）

天野 浩 名古屋大学大学院工学研究科 教授  
 大塚洋一 筑波大学大学院数理物質科学研究科 教授  
 田中雅明 東京大学大学院工学系研究科 教授  
 山部紀久夫 筑波大学大学院数理物質科学研究科 教授

確定年月日：平成26年2月28日

プロジェクト名	先端超伝導材料に関する研究
研究責任者の氏名・所属・役職	宇治進也 超伝導物性ユニット長
実施予定期間	平成23年度～平成27年度
研究目的と意義	<p>超伝導研究は、電力輸送や超伝導磁気エネルギー貯蔵、核融合炉利用などの高効率次世代エネルギー分野、省電力超高速デバイス（超伝導デバイス）で代表されるエレクトロニクス分野、リニアモーターカーや高効率モーターなどの環境低負荷輸送分野、画像診断や治療用粒子線加速器などの次世代医療分野等、幅広い分野で日本が現在抱える技術的課題を根本的に解決できるポテンシャルを持ち得る一大基幹研究分野である。その一方で、1980年代の銅酸化物高温超伝導体の発見が引き起こした世界的スケールの超伝導研究フィーバー以来、日本は超伝導物質開拓、物性解明、さらに応用研究の幅広い分野で常に世界をリードしてきた実績を持っている。</p> <p>本プロジェクトでは、NIMSの超伝導研究の高いポテンシャルを最大限に生かすため、NIMS組織内で分散していた第一線の超伝導研究者を糾合し、新超伝導物質開発、超伝導機構解明、デバイス・線材応用に関する基礎研究を総合的・包括的に実施する。それにより、日本が現在抱える上記（特に環境・エネルギー分野における）技術的課題の根本的解決に貢献することを目的とする。本プロジェクトはNIMSのスケールメリットを最大限に活用する大規模な超伝導基礎研究であり、本プロジェクト遂行により、現在の日本の超伝導研究の優位性をさらに確固たるものとしたい。</p>
研究内容	<p>本プロジェクトは、下記の4つのサブテーマについて、相互に協力しながら総合的・包括的に研究を実施する。（1）「物質開発と基礎物性評価」では、超伝導研究の根幹となる新規超伝導物質の開発とその基礎物性評価を行い、新規超伝導体の将来応用まで見据えた“材料”としてのポテンシャルを評価する。（2）「電子構造解析と超伝導メカニズム解明」では、超伝導メカニズムの解明を目指し、電子構造の精密解析を狙う。（3）「超伝導磁束量子ダイナミクスとデバイス基礎」では、新規磁束量子現象の発現とそのメカニズム解明を行い、次世代量子デバイス動作原理の提案までを狙った磁束研究を行う。（4）「線材化プロセスと応用基盤」では、省エネルギーに多大な貢献を成し得る超伝導線材応用を目指した基礎研究を行う。</p>
ミッションステートメント （具体的な達成目標）	<p>(1) 超伝導科学の進歩の原動力となる新規超伝導物質を発見する。その基礎物性を評価し、材料としてのポテンシャルを評価する。</p> <p>(2) 磁気量子振動測定等や強相関理論を駆使し、既存・新規の超伝導体の電子構造を精密に決定し、超伝導メカニズムを実験的・理論的に解明する。</p> <p>(3) 新機能を有する超伝導デバイス構造の開発、新規量子機能の探索、次世代デバイス動作原理の提案、そして磁束量子の直接観察による超伝導電子状態の解明を実験的・理論的に行う。</p> <p>(4) プロセス技術の高度化など次世代高性能超伝導線材製造に関する技術開発を行う。これにより、ビスマス系線材の電流輸送能力を現在の2倍に向上させる。また、Nb<sub>3</sub>Al線材の不可逆歪を倍増させる。</p>

<p>平成23年度～平成25年度中間評価時までの主な研究成果（アウトプット）及び研究成果から生み出された（生み出される）効果・効用（アウトカム）、波及効果（インパクト）</p>	<p>1) 主な研究成果（アウトプット）：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・鉄系超伝導類縁物質において初めての超伝導 Sb 化合物を発見した。</li> <li>・上記化合物を含む新超伝導物質を4件発見した。</li> <li>・鉄系超伝導物質のウィスカーの合成 (<math>T_c=33K</math>) に成功した。</li> <li>・鉄系超伝導体等の電子構造を詳細に解明した。</li> <li>・Bi2212 単結晶のナノサイズ加工による超伝導体の磁束量子格子融解曲線の新たな振動を観測し、また、ナノサイズアンチドット導入による磁束量子ダイナミクスを解明した。</li> <li>・急峻かつ実用レベル強度の Bi2212 単結晶からの THz（テラヘルツ）発振の観測に成功した。</li> <li>・ビスマス系超伝導体薄膜で臨界電流密度 <math>10^6 A/cm^2</math>（線材内よりも一桁上）を得た。Nb<sub>3</sub>Al 線の開発において、前駆体線の伸線加工性の大幅な改善に成功した。</li> </ul> <p>2) 研究成果から生み出された（生み出される）効果・効用（アウトカム）、波及効果（インパクト）：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・超伝導 122Sb 化合物の発見は超伝導 122 ニクタイトの系統的理解に資すると期待される。</li> <li>・鉄系超伝導物質のウィスカー合成はジョセフソン素子等の新たな応用の可能性を開いた。</li> <li>・超伝導体の電子構造の詳細な解明は、メカニズム解明に直結する重要な知見であり、新規超伝導開発への重要な指標となる。</li> <li>・磁束量子デバイスへの展開と THz 発振を用いたデバイスの実現へつながる。</li> <li>・超伝導線材の臨界電流特性の向上は、あらゆる超伝導機器において経済性を向上させることにつながり、普及を進める鍵となる。</li> <li>・Nb<sub>3</sub>Al 線材は強磁場特性・耐歪特性から核融合用途で期待されているが、克服すべき課題の一つが伸線工程の難しさである。伸線加工性の大幅な改善は本格的実用化への足がかりとなる。</li> </ul>
<p>中間評価時の進捗状況及び自己点検・評価</p>	<p>中間評価時の進捗状況： 全体として、ほぼ計画通り進捗した。</p> <p>自己点検・評価： （サブテーマ1） 新超伝導物質を4件発見し、鉄系超伝導物質のウィスカーの合成にも成功した。特異な磁束状態を示す銅酸化物 Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>8+δ</sub> やトポロジカル絶縁体を母体とする Cu<sub>x</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> の高品質試料を合成。外部機関と共に物性の解明に貢献している。（ほぼ計画通り）</p> <p>（サブテーマ2） 様々な超伝導体において、量子振動や角度依存磁気抵抗振動等による電子構造の解明や、不均一超伝導の検証が行えた。2次元超伝導で特徴的に起こるポメンランチェック不安定性の理論解析も進んでいる。（ほぼ計画通り）</p> <p>（サブテーマ3） 超伝導体のナノサイズ加工・測定技術開発、THz 発振では予定通り進み、結果が得られている。STM-SQUID（走査型トンネル顕微鏡—磁束量子干渉素子）では予備的な測定に成功している。（ほぼ計画通り）</p> <p>（サブテーマ4） ビスマス系線材特性向上については、予定よりやや遅れて（震災の影響等）おり、加速が必要。Nb<sub>3</sub>Al 線材については、材耐歪性改善は予定通り進歩しているが、今後のスケールアップを限られた予算の中でどのように実現していくかが課題である。（やや計画から遅れている）</p>
<p>【評価項目】</p>	<p>コメント</p>

<p><b>①研究計画、実施体制、マネジメント、連携</b>  (研究開発の方向性・目的・目標の見直し、計画・ロードマップの問題点、実施体制・マネジメントの改善、連携のあり方、ほか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基礎的な材料開発、物性、メカニズム解明、磁束量子ダイナミクスとデバイス基礎、超伝導線材まで幅広く先端超伝導材料に関する研究を行っている。研究開発の方向性・目的としては適切であると思われる。</li> <li>・サブテーマ1について、それぞれの研究者の信念に基づいて研究が行われている。本分野では予測できないことが生まれており、このようなスタイルでもよろしいと思われる。</li> <li>・サブテーマ3とサブテーマ1、2は関係が強いように思われるがサブテーマ4の課題はサブテーマ1、2、3とは異なるため、関連付けが難しい。</li> <li>・独自アイデアの尊重は大変重要であるが、一方でプロジェクトとしての一貫性や相乗効果も期待されている。そのような相乗効果をもたらすサブテーマ間の交流の活性化がもう少しあってもよいと思われる。</li> <li>・各サブテーマで独立した研究を行っているように見えるが、連携をもう少し強めて相乗効果をもたらすことを考えてもよいのではないか。</li> <li>・独自性と連携の兼ね合いにより工夫が必要ではないか。</li> <li>・超伝導自体永いテーマであり難しいテーマであると認識するが、研究者間、サブテーマ間情報交換、さらには公的機関であることを考えると、学術的な情報発信に対する責務をどのように果たしていくべきとされているのかを確たるものとする必要がある。</li> <li>・事前評価結果で指摘のあった若手研究者の育成も意識しつつ研究を実施している。サブテーマ4のような分野でも是非若手育成に努めてほしい。</li> <li>・テーマの難しさが目立つ一方、夢の物質として研究の重要性は理解できるが、学生等の若い柔軟な頭脳を迎え入れるには研究のポイントの分かり易い説明が必要である。それはアイデアをどこに求めるのかを明確にする上でも重要な作業だと考える。</li> </ul>
<p><b>②研究開発の進捗状況及び進め方</b>  (進捗状況の把握、研究責任者の自己点検・評価の妥当性、進め方の見直し(継続・変更・中止等)、研究資源(資金・人材)の再配分、ほか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・個々の研究は大変優れており、総体的には着実に進展しているものと認められる。</li> <li>・各サブテーマで優れた成果が挙がっており、全体として順調に成果を挙げている。</li> <li>・サブテーマ間の関連について、それぞれの知識が相互作用をもたらしているように思われる。</li> <li>・研究責任者の自己点検・評価は妥当である。</li> <li>・情報交換の仕方に、より工夫がほしい。</li> <li>・研究成果の整理と、問題点を明確化してほしい。</li> <li>・サブテーマ2と3の外部資金が少ない。</li> <li>・サブテーマ4は環境エネルギー問題の解決という観点からは中心となるテーマであり、その遅れは深刻である。早急な挺入れが必要であると考えられる。</li> <li>・液体ヘリウム不足は長期的な問題であり、短期間に解決するとは考えられないので、研究に遅滞が生じないように対応が必要である。</li> <li>・ヘリウムの供給等、いくつかの大きな試練を与えられているが、計画の見直しも、必要であろう。また、一時凌ぎでは、今後も課題を残すことから、抜本的な解決策の提案が必要である。アイデア次第では、チャンスかもしれないとの考えでアグレッシブに進めてほしい。</li> </ul>

<p>③論文・特許等の直接の成果（アウトプット）、効果・効用（アウトカム）、波及効果（インパクト） （研究成果の質は世界レベルか、どのような効果・効用あるいは波及効果が出たか/期待されるか、研究タイプを考慮した費用対効果はどうか、セレンディピティー、ほか）</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・世界レベルの成果が挙げられている。特に基礎研究テーマでは優れた成果があり、優れた超伝導材料ができれば基礎と応用の両面でインパクトは大きいと期待される。</li> <li>・サブテーマ1も超伝導およびその関連物質の開発において成果が挙げられている。そもそもロードマップという考えとは相容れない研究課題であるが、セレンディピティーは備えのない場所にはあり得ないことを考え、感覚を研ぎ澄ましてほしい。</li> <li>・サブテーマ2を中心に、優れた研究成果を挙げていると認められる。</li> <li>・特に試料を外部機関に出して共同研究を進めている姿勢は評価できる。</li> <li>・研究分野の特質でもあるが、今回同時に中間評価を行った他のプロジェクトと比べると外部資金および特許取得がやや少ない。</li> <li>・特許戦略が明確でない。</li> <li>・大きなテーマであり、期待値が高いだけに、コンスタントなアウトプットが期待される。平成25年のプロシーディングが激減しているのが、気になる。プロジェクト全体で対処すべきことではないか。</li> <li>・若手研究者について、開発のインセンティブはどのように設定しているか明確でない。</li> </ul>	
<p>④総合評価 （研究全体に対する総合的所見、及び上記評価項目①～③に含まれない、その他の評価ポイント、問題点等があれば追加してコメント）</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全般的に頑張っている印象は受けるが、NIMSならではの材料や取り組みを創出するまでには至っていない。</li> <li>・サブテーマ4を除き理学的色彩の強い研究プロジェクトである。サブテーマ1は道無き開発でありロードマップは描き得ないし、サブテーマ2と3についても環境エネルギー問題の解決を大上段に掲げられる研究ではないのは明らかである。研究責任者の苦労を慮ると共に、基礎と応用のバランスある運営をこれからのNIMSにも期待したい。</li> <li>・若手も含めて各自のアイデアを生かした自由な研究環境をつくろうとしている点は良いと思う。ただし、独立に進めている印象があるので、各サブテーマ、各研究者間の連携がなされ相乗効果を上げる工夫がなされるとさらに成果が挙がるのではないか。</li> <li>・研究責任者の言葉のように、どのような超伝導材料が今後出てくるか予想ができないのはよく理解できるが、本当にそのような取り組みで今後大きな成果が期待できるか疑問である。</li> <li>・試練の中で、頑張っているように思われるが、プロジェクト全体で、方向性やテーマ自体の見直しも、必要であれば、大胆にするべきか。</li> <li>・テーマの継続の見直しというよりも、継続のための見直しが必要である。</li> </ul>	
<p>各委員の総合評価点 （10点満点）</p>	<p>7、8、8、9（順不同）</p>	
<p>総合評価点平均 （10点満点）</p>	<p>8.0</p>	
<p>評価点</p>	<p>評価</p>	<p>評価基準</p>
<p>10</p>	<p>S</p>	<p>全ての点において模範的に優れている。</p>
<p>9</p>	<p>S</p>	<p>計画を変更することなく継続すべきである。</p>
<p>8</p>	<p>A</p>	<p>総合的に優れている。</p>
<p>7</p>	<p>A</p>	<p>一部計画を見直し継続すればS評価になる可能性がある</p>
<p>6</p>	<p>A</p>	<p>平均的なプロジェクトである。</p>
<p>5</p>	<p>A</p>	<p>継続は認めるが、継続する時に、一部計画を見直した方が良い点がある。</p>
<p>4</p>	<p>B</p>	<p>期待されたほどではない。</p>
<p>3</p>	<p>B</p>	<p>計画を見直して継続すべきである。</p>

2	C	プロジェクトの見直し、計画の抜本的な変更が必要である。 大きな問題があり、継続を中止すべきである。
1		