

プロジェクト事後評価報告書

評価委員会開催日：平成23年12月27日

評価委員：（敬称略、五十音順）

高橋浩之 東京大学大学院 工学系研究科 教授

平山 司 （財）ファインセラミックスセンター ナノ構造研究所 主幹研究員・所長代理

松宮 徹 新日本製鐵（株） 顧問

確定年月日：平成24年3月28日

プロジェクト名	ナノ物質・材料研究のための高度ナノ計測基盤技術の開発
研究責任者の所属・役職 ・氏名	先端的共通技術部門長 （元ナノテクノロジー基盤領域コーディネーター） 藤田大介
実施期間	平成18年度～平成22年度
研究目的と意義	<p>ナノスケールの物質・材料研究を効率的に推進するためには、ナノレベルでの計測解析技術が共通的な基盤技術として重要な役割を果たしている。そのため、表面・表層・固体内部における高度な構造・物性・機能のナノ計測解析技術は新物質・新材料の研究開発におけるキーテクノロジーとして、一層の高度化が望まれている。ナノ物質・材料研究に資する計測技術においては、材料の創製環境や機能が発現する環境におけるその場計測、多面的な物性や機能の計測、個々の原子を識別する能力、3次元的な構造や組成の分布に関する計測、超高速時間分解能を有する極限的な計測、原子の空間的配置や配位構造の精密解析などが要請されており、各々が重要な役割を果たしている。</p> <p>本プロジェクトでは、NIMSにおいて開発されてきた高度な計測解析技術である「極限場走査型プローブ顕微鏡」「高分解能電子顕微鏡」「強磁場固体NMR（核磁気共鳴）」「表面表層精密電子分光」「超高速時間分解計測」などをコアコンピタンス技術とし、表面から固体内部までの世界最高水準のナノ計測基盤技術を開発すること、さらに多様な物質・材料の先端的な研究に応用することを主要な研究目的とする。また、プロジェクトの意義としては、ナノ計測における知的基盤の整備と手法の標準化に取り組むことにより、イノベティブなナノ物質・材料研究の推進に貢献するとともに、グローバルな先端的ナノ材料計測技術の研究開発を先導する。</p>
研究内容	<p>ナノ物質・材料研究にとって不可欠な基盤的計測手法として、表面・表層・内部ナノスケール解析、原子配置計測、超高速計測を選択し、サブテーマを設定した。プロジェクト前半3年間は、個々のサブテーマ目標を達成するために必要不可欠な様々な要素技術の開発（設計・試作）や基礎的データの収集と整備など、実現すべきナノ計測システムのための基盤要素技術の開発に注力する。後半2年間は、基盤要素技術を統合することにより、計測システムもしくは計測手法として完成させ、個々のサブテーマの具体的達成目標の実現に注力する。さらに革新的な物質・材料の先端的な研究に応用し、世界トップレベルの計測データを取得することにより、プロジェクト全体の目標である「表面から固体内部までの世界最高水準のナノ計測基盤技術」の達成を実証する。</p>
ミッションステートメント（具体的な達成目標）	<p>プロジェクトでは、NIMSにおいて開発されてきた高度な計測解析技術をコアコンピタンスとして、表面から固体内部までの世界最高水準のナノ計測基盤技術を開発すること、さらに多様な物質・材料の先端的な研究に応用することを主要な研究目標とする。さらに、ナノ計測における知的基盤の整備と手法の標準化に取り組むことにより、イノベティブなナノ物質・材料研究の推進に貢献する。</p>

<p>平成18年度～平成22年度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"> ・表面ナノプローブ計測では、極低温・強磁場・超高真空の極限環境場STM（走査型トンネル顕微鏡）を開発し、複合極限場としては世界最高磁場（16T）における原子分解能STM/STS（走査型トンネル分光法）を達成、また、世界初の原子分解能応力歪場SPM（走査型プローブ顕微鏡）の開発を達成し、表面ナノ機能の解明に貢献した。 ・表層3次元解析では、固体における電子非弾性散乱データベース及び一般式、高精度角度分解 REELS-FA（反射電子エネルギー損失分光法—因子分析）法、表層領域における複素誘電関数計測法などの開発により高精度電子輸送シミュレーターのフレームワーク開発を達成、実用材料への応用により有用性を実証した。 ・走査型透過電子顕微鏡(STEM)と電子エネルギー損失分光法による原子コラムの可視化(Nature誌、顕微鏡学会賞)、マイクロカロリメーターTEM（透過型電子顕微鏡）用超高エネルギー分解能X線検出器、試料走査型共焦点電子顕微鏡法による3次元計測技術の開発(顕微鏡学会論文賞)に世界で初めて成功、先進ナノ材料研究に貢献した。 ・世界最高磁場の930MHz強磁場固体NMRにより、世界で初めて固体Mg-NMR観測による葉緑素(BChl-c)超分子集積構造の解明に成功するなど、難易度の高い計測ニーズに対応、共同研究を通じて国内外の物質・材料研究に貢献した。 ・原子レベルでの操作と原子識別高分解能計測のための極低温・超高真空での超低振幅ダイナミックモード原子間力顕微鏡の開発に成功した。 <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> <ol style="list-style-type: none"> (1) 材料未知領域への限界突破：世界最高水準の先端計測により、これまで観測できなかった物質・材料の構造・物性・機能を明らかにする効果があった。 (2) 先端材料研究開発の加速：ナノテク・材料基盤におけるイノベーションは、先端ナノ材料の効率的な研究開発の指針を与え、研究開発に貢献した。 (3) 先端計測分野の人材育成：研究者や大学院生がプロジェクトにおいて切磋琢磨することにより、先端計測分野を担う優秀な人材育成に効果的であった。 (4) 外部資金獲得：プロジェクトにおいて見出された関連基礎研究課題は、JSTのさきがけ研究、文科省リーディングプロジェクトなどの外部資金獲得につながった。 (5) NIMSベンチャー企業の認定：強磁場NMRグループが蓄積した固体NMRに関する装置開発の技術を、移転・製品化することを目的として（株）プローブ工房が設立され、「NIMSベンチャー企業」として認定された（平成18年度）。
<p>プロジェクトの目標の達成度合い及び自己点検・評価</p>	<p>プロジェクトの目標の達成度合い：</p> <p>目標を上回る成果を挙げ、世界トップレベルの極限ナノ計測技術を開発した。</p> <p>自己点検・評価：</p> <p>表面・表層から固体内部に至る世界トップレベルのナノ計測技術を包括的に実現し、グラフェン、触媒、強相関物質、新規蛍光物質等の先進材料研究に積極的に応用した。特に、極低温・極高真空・強磁場などの極限物理場環境における原子分解能多機能表面ナノ計測技術、超高分解能の透過型電子顕微鏡計測技術、世界最高磁場による超高感度・高分解能の固体NMR計測技術など、世界最高性能を実現した極限計測技術を開発できた。</p> <p>例えば、原子コラム可視化に成功したSTEM-EELS法、試料走査型共焦点電子顕微鏡法、エネルギー分解能8eV以下のTEM用マイクロカロリメーターなど世界初の計測手法開発により、超高分解能電子顕微鏡計測技術を確立することができた。世界最高水準の強磁場固体NMR技術により、従来は観測不可能だった四極子核元素のNMR計測を達成することができたと評価できる。さらに、世界最高水準の複合極限場ナノプローブ法、表層広域3次元分析技術、超高速現象計測技術等によ</p>

	<p>り、表面・表層を舞台とするナノ機能材料の研究開発に寄与したこと、データベース等の知的基盤整備や表面ナノ計測法の国際標準化に貢献したことも評価すべき点である。</p> <p>以上から、世界トップレベルの成果を挙げており、かつ所期の目標を十分上回ったと評価できる。</p>
【評価項目】	コメント
<p>①研究計画、実施体制、マネジメント、連携</p> <p>(計画はきめ細かったか、ロードマップに問題はなかったか、実施体制は十分だったか、マネジメントの是非、連携の範囲や連携課題、連携の成果はどうだったか、どこが問題なのか、ほか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 極限場走査型プローブ顕微鏡、高分解能電子顕微鏡、強磁場固体NMR、表面表層精密電子分光など、NIMSにおいて培われてきた強力な計測技術を物質・材料研究のためのナノ計測技術として本格的に推進する計画であり、実施体制、マネジメントなども含めて良く考えられている。 ・ 表面～表層～内部に至る総合的でバランスのよい研究体制（組織体制）が作られている。 ・ 前半の3年で要素技術の克服、後半の2年間にアSEMBルしてシステムとして完成という計画、国内外の大学・研究機関との連携、技術の世界ベンチマーキングなど、的確で優れている。 ・ NIMS内部の戦力と外部機関（大学など）との連携により生まれた戦力が非常にうまく調和している。 ・ 国内の大学・研究機関とよく連携して研究を展開しており、それが実際に成果につながっている。国際連携は広く薄い交流が中心のようである。 ・ 獲得した知的財産のうち約1/3が、計測技術ではなく、物質・材料開発に関するものであることも、材料開発者との連携の深さを示していると考えられる。 ・ NIMS 職員の若手メンバーが少なく、人材育成などの観点からはやや懸念される点がある。
<p>②研究開発の進捗状況及び具体的目標の達成度</p> <p>(研究責任者の自己点検・評価を踏まえて、進み具合はどうだったか、目標は達成されたか、目標は具体的であったか、世界レベルで見て目標は高かったか・低かったか、問題点は何か、ほか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 研究が順調に進み、目標を達成する成果が出ていることがよくわかる。特に、プローブ顕微鏡とTEMの成果は世界レベルで誇れるレベルにある。 ・ サブテーマ責任者の退職者が2名あり、プロジェクトメンバーの補充もできなかったが、研究開発は概ね順調に進捗し、16Tの強磁場、0.5Kの極低温でのSTM装置の開発、ポンププローブ分光測定におけるサブ10fsの時間分解能の達成、0.01nm精度の位置検出精度でのSTEM、室温環境下での原子間力顕微鏡による原子操作などの高い目標をクリアし、マイクロカロリメーターによる高分解能EDXS（エネルギー分散型X線分光法）を国内機関と連携して開発しエネルギー分解能7eVを実証するなど、一部では当初の目標を上回る成果を得ている。 ・ 5年後の世界レベルの目標設定が妥当であったので、成果は多くの授賞、特許出願、サイテーションの多い論文を多く出せたことに繋がっている。
<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）</p> <p>(世界レベルの質の成果が出たか、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、問題点は何か、ほか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 質、量ともに十分な成果が出ている。特に、プローブ顕微鏡、TEM関係の Nature, Science は特筆に値する。研究グループの活力が非常によい形で具体的成果になっている。 ・ 論文発表は282件、特許出願35件、受賞39件、プレス発表11件、またNatureやScienceなどの超一流誌への掲載も複数あるなど、質・量ともに極めて高い成果が得られているとともに、新規の装置開発も進み、標準の確立も14件と社会的にきわめて有用性の高い研究が実施されたことがわかる。 ・ 目標をほぼ達成でき、300件に迫る論文（しかもサイテーションされることが多い）、200件を超える招待講演、35件の特許出願、文部科学大臣賞、市村賞を含む多くの授賞に繋がり評価される。また、NMRIはMgの分析を可能にし、かつ、ベンチャー企業が認定される波及効果もあった。 ・ 先進的な計測技術は、プロジェクトの終了後も、物質・材料の構造、物性、機能に関する有用な情報を提供し続けるので、それを活用してさらに高い次元の研究を展開することが見込まれる。

<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があれば追加してコメント)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・非常に高いレベルでの研究が展開された。また、あらゆる角度からみてもアウトプットが出ており、成果としては十分であると考えられる。 ・このグループの高い活性度の理由はもちろんプロジェクトの企画や運営にもよるが、すぐれた人材を持っていることによるところが大きいと思う。益々の発展が期待できる頼もしいグループである。 ・5年後の世界レベルの目標設定が妥当であって、それを前半の3年で要素技術の克服、後半の2年間にアSEMBルしてシステムとして完成という計画で着実に達成させたことによって、その成果は多くの授賞、特許出願、サイテーションの多い論文を多く出せたことに繋がった優れたプロジェクトである。 ・今後はこの技術をナノ物質・材料研究開発に一層合目的に適用して(物質・材料開発に密着して)、多くのナノ物質・材料開発を達成させるとともに、足りないところを補強してより実用上優れた解析技術にして欲しい。 ・今後は、ここで得られた成果をどのように活用し、それをベースにナノ計測技術をさらに充実させていくかという点が重要であろう。このためにも若手の育成に留意されたい。 ・5年後を見据えたターゲットを新たに立てて、先進解析技術開発基礎研究もローリングして進めて欲しい。 	
<p>各委員の総合評価点 (10点満点)</p>	<p style="text-align: center;">9、10、9 (順不同)</p>	
<p>総合評価点平均 (10点満点)</p>	<p style="text-align: center;">9.3 (小数第二位以下四捨五入)</p>	
<p>総合評価点</p>	<p>評価</p>	<p style="text-align: center;">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た。</p>
<p>9</p>		<p>多くの点において非常に優れていた。</p>
<p>8</p>		<p>総合的に優れていた。</p>
<p>7</p>	<p>A</p>	<p>優れたプロジェクトであった。</p>
<p>6</p>		<p>平均的なプロジェクトであった。</p>
<p>5</p>		<p>一部の計画の見直しが必要であった。</p>
<p>4</p>	<p>B</p>	<p>期待されたほどではなかった。</p>
<p>3</p>		<p>計画を見直して継続すべきであった。</p>
<p>2</p>		<p>プロジェクトの見直し、計画の抜本的な変更が必要であった。</p>
<p>1</p>	<p>C</p>	<p>大きな問題があり、プロジェクトを中止すべきであった。</p>