

# 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・材料の創製・計測のための量子ビーム基盤技術の開発
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>ナノ物質・材料研究において材料創製・計測等にブレークスルーを得るために、材料創製と材料計測解析において、波動性/量子性、スピンの有無等、互いに相補的な機能を有している、高輝度放射光(SPring-8、PF)、中性子ビーム(J-PARC、JRR-3M) およびイオンビーム(EPF)を総合的に利用することにより、ナノ物質・材料基盤技術を開発することを目的とする。</p> <p>次の時代のナノ材料科学技術の成否は、ツールとしての高度な計測・解析技術をどこまで確立できているか、にかかっている。量子ビームは、そのような先端技術の1つの典型であるが、現に提供されているものは既に確立されている部分であり、その単純な利用による物質・材料研究は、それ自体は有意義であるとしても、本プロジェクトにはあてはまらない。単にそれだけであれば、他のどの研究機関、研究者でもすぐにでも取り組むことのできるテーマであり、わざわざ独立行政法人たるNIMSの中期計画として位置づけるほどの意義は認めにくい。次の時代のために、現時点では未確立の困難な技術課題に取り組み、これまでは提供されておらず、実現されていなかった新たな計測・解析技術を開発し、世に問うことこそが、わがミッションである。</p>
研究内容	<p>高輝度放射光の特徴を活用し、埋もれたナノ構造の新規解析技術を開発するとともに、結晶・非周期結晶の精密構造解析に取り組む。また、中性子と放射光を包含する先導的粉末構造解析ソフトウェアを開発することで計測解析技術の複合的高度化を図る。次に、NIMSの材料創製基盤との組み合わせが物質・材料研究に新たな突破口を開くことを、半導体・光・磁性・超伝導・燃料電池材料などにおいて実証する。さらに、大電流重イオン・レーザー複合技術等を開発し3次元ナノ構造の制御法を確立するとともに、その形成過程や構造を量子ビームで高度解析することで、ナノ量子材料の開発を先導する。</p>
ミッションステートメント (具体的な達成目標)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ X線反射率法等を用いて、埋もれた界面につき、深さ方向0.01 nmの精度で、可視化・微小領域分析やクイック計測方法・装置を考案・実用化する。</li> <li>・ 次世代放射光・中性子粉末回折パターンフィッティング・システムと結晶・電子構造の3次元可視化システムを開発し、公開する。この解析技術を使って、5種類以上のエネルギー・環境材料、量子複雑系材料を開発する。</li> <li>・ 精度10nm級のイオン・ナノパターンニング技術を開発するとともに、ナノ量子材料の創製を行う。</li> <li>・ 準安定He原子線を用いてナノリソグラフィー技術（エッジ分解能10nmレベル）を開拓する。最表面電子スピン計測のためのスピン偏極技術（偏極率20%）を開発する。</li> </ul>

<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"> <li>・ 薄膜・多層膜の刻々変化する表面や埋もれた界面を見るために、試料も光学系もまったく動かさない新技術（クイックX線反射率法）開発に成功した。</li> <li>・ 約100 keVの高エネルギー域に及ぶ広い滑らかな連続スペクトルを持つ白色放射光（SPring-8）を利用することで、10μmオーダーの空間分解能、1反射スペクトルを10秒～2分程度で測定できる迅速計測が可能となった。</li> <li>・ 次世代中性子・X線粉末回折パターンフィッティング・システムRIETAN-FPと結晶構造、次世代電子構造3D可視化システムVESTAの開発に成功し、Webで無償公開した。</li> <li>・ これまで観測の困難であった、鉄鋼材料の遅れ破壊の原因となる微量水素（6ppm）がナノ炭化物に捕獲されている様子を中性子小角散乱技術によって見出すことに成功した。</li> <li>・ イオンビーム技術では、マスクの耐照射性向上による10nm級の重イオンビームによる直接ナノパターン加工、フォトン、応力場との複合技術によるナノ構造創製・制御、独自評価技術確立によるナノ材料の光学非線形性の増大等に成功した。</li> <li>・ OTS-SAM（オクタデシルトリクロロシランー自己組織化単分子膜）を高品位に直接形成して極薄レジストとし、準安定He原子線露光と多段エッチングによってSi(100)基板にエッジ分解能20nmで直接加工する技術の開発に成功した。</li> <li>・ 20%を超えるHe+イオンの偏極度を達成してスピン偏極低エネルギーISS（イオン散乱分光法）を確立すると共に同装置の商品化を完了した。</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>・ クイック反射率計は、既に特許を取得しており、技術移転により、時々刻々変化するナノ物質・材料の埋もれた界面の計測に役立たせる事ができる。</li> <li>・ 当グループにおいて開発された高度な結晶構造解析パッケージ・プログラム群は、単結晶あるいは、単相でさえ得られない材料の解析に適用できることとなり、材料開発に多大な貢献をすると期待される。</li> <li>・ 従来、イオンパターン照射は、軽イオンによるレジスト露光に留まっていたが、今般、重イオン注入のパターン照射に成功し、ナノレベルの機能付与パターンの直接作製に道を開いたことは画期的である。</li> <li>・ SAMを構成する分子サイズに近い加工によりナノデバイスの課題である大量生産に道を開くことができ、有用な生産技術として寄与すると期待される。</li> </ul>
<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： 所期のプロジェクト目標を全て達成するとともに、目標を上回る成果を得た。</p> <p>自己点検・評価： マイクロX線反射率法とクイックX線反射率法の技術開発に初めて成功した。中性子マルチスケール評価技術の高度化を達成した。世界初の10nm級のナノパターンニングを始め、外場との組み合わせ等により構造制御をナノレベルで実現した。スピン偏極イオンは目標をはるかに超える世界最高の偏極度を達成、さらにスピン偏極技術を酸素分子線に適用したところスピン回転状態を100%選別できることを発見し、酸化反応解析の新たなツールを提供する段階に至った。</p>
<p>【評価項目】</p>	<p>コメント</p>

<p><b>①研究計画、実施体制、マネージメント、連携</b>  (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、マネージメントの是非、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"> <li>・異なる種類の量子ビームの特性を考慮し、計画と体制がよく練られている。</li> <li>・放射光X線、中性子ビーム、イオンビーム、原子線等の量子ビームを用いて高度な計測・解析技術を創出するためのビーム利用・ソフトウェア・装置開発を中心とした研究計画であり、実施体制は新規に稼働したJ-PARCによる中性子ビーム利用に重点をおいた配置となっているが、概ね適切であったと考えられる。</li> <li>・NIMS内部の装置と外部の装置両方をうまく活用している。</li> <li>・ロードマップに問題は無く、国内外の連携の成果も挙がっている。</li> <li>・国内連携はビーム共同利用を中心とした形で、ユーザーグループを組織した形で展開されているが、国際連携では若手研究者を派遣して具体的なテーマで研究を進める活動なども行っている。</li> <li>・ジュニア研究員（学生）やポスドクなどの若手の活力もうまく活用して、活性を保つ努力をうかがうことができる。</li> <li>・プロジェクト責任者が最終年度で交代するのは、あまり好ましいとはいえない。既に定年退職が決まっているのであれば、1年前に引き継いでおくべきだったのではないか。</li> </ul>
<p><b>②研究開発の進捗状況及び具体的目標の達成度</b>  (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"> <li>・常に世界レベルを意識し、高い位置に目標が設定されている。</li> <li>・目標に近い達成レベルであったと考える。</li> <li>・X線計測では既に十分な蓄積があるためか具体的な数値目標を掲げるよりも、クイック測定など装置の利用しやすさに重点をおいた目標設定になっていたが、研究開発は十分に進捗したと評価される。</li> <li>・中性子ビームにおいては、放射光・中性子回折パターンフィッティング・システムと結晶電子構造の3次元可視化プログラムとして、標準ソフトウェア開発、新規物質の創製を目標とし、いずれも達成した。</li> <li>・イオンビームでは50nmのナノパターンニングを実現した。</li> <li>・原子線リソグラフィでは20nmの可能性を示すとともに、スピン偏極技術においても20%を超える世界トップの偏極率を得ることに成功している。</li> <li>・それぞれの量子ビームが順調に進歩しているので、今後はその合わせ技としての解析も増えてくると期待する。</li> </ul>
<p><b>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）</b>  (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"> <li>・十分なレベルと量のアウトプットが出ていると考えられる。Nature Materials等、高IF（インパクト・ファクター）の雑誌への論文掲載も複数あり、活性度は高いと評価できる。</li> <li>・幾つかのベンチマーク比較に基づくと、世界的レベルのアウトプットが出ていると考えられる。論文数も263件、プロシーディング176件は十分な数であるし、招待講演が200件を超えていることもレベルの高さを示している。特許出願もまずまず十分な数である。</li> <li>・論文発表は263件、招待講演215件、特許出願34件、受賞7件、プレス発表6件と十分な成果が出ていると思われるが、標準の確立など、社会的な基盤に資する成果ももう少しあってよいと思われる。</li> <li>・高い偏極率を有する原子線ビーム、酸素分子ビームの実現、新規物質の発見など科学的に価値の高い研究が行われた。</li> <li>・中性子・X線結晶構造解析パッケージ群は広く公開され、3次元可視化プログラムVESTAは現在、世界の標準ソフトウェアとして利用されているなど、波及効果は大きい。</li> <li>・クイック反射率法などは短時間にコンパクトなシステムで分析が可能であるため、今後のナノ物質・材料の界面計測の進展が期待される。</li> </ul>
<p><b>④総合評価</b>  (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"> <li>・プロジェクト名が示す通りに、放射光による高速化を特徴とする計測技術、中性子線による透過力、軽元素敏感を活用した計測技術、及び解析ソフトの開発に留まらず、イオンビーム、原子ビームを用いた、材料の創製技術に関しても多くのシーズ技術が見出されており、成果の挙げたプロジェクトだと評価する。</li> <li>・量子ビームを用いた研究では、中性子ビームなど、外部施設に頼らざるを得ないので、NIMS独自でできることと、対外的な関係の中で実現されていくところ</li> </ul>

	<p>があるが、本プロジェクトでは、外部施設においても高度なビーム利用法の研究を行い、適切な成果を得たと評価される。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・優れた人材と装置性能の相乗効果によって、世界レベルで戦う姿勢ができています。</li> <li>・欧米にも強い研究機関があるので、簡単ではないと思うが、我が国の力を示すべく頑張ってもらいたい。</li> <li>・インハウスの量子ビーム開発では、独自の領域で国際的に高い成果が得られている反面、ビーム利用研究との間の横の連携が必ずしもうまくできていない点もある。例えば電子顕微鏡の研究者と量子ビーム研究者の間の連携などを進めることで、より大きな成果が得られるのではないかと考えられる。中性子ビームに関しては、震災の影響があるので、国際連携が重要になりつつある。</li> <li>・第3期中期計画(H23～27年度)プロジェクトでは量子ビームテーマの内の計測の機能についてはナノ計測技術開発のテーマに合流して一本化され、新設のテーマはグリーン・イノベーションの材料・システム開発とより密着して、それに必要な計測技術開発がなされる予定にあるが、その密着した開発を期待する。</li> </ul>	
各委員の総合評価点 (10点満点)	8、8、9 (順不同)	
総合評価点平均 (10点満点)	8.3 (小数第二位以下四捨五入)	
<b>総合評価点</b>	<b>評価</b>	<b>評価基準</b>
10	S	全ての点において模範的に優れていた。
9		多くの点において非常に優れていた。
8	A	総合的に優れていた。
7		優れたプロジェクトであった。
6		平均的なプロジェクトであった。
5	B	一部の計画の見直しが必要であった。
4		期待されたほどではなかった。
3		計画を見直して継続すべきであった。
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った。
1		大きな問題があり、プロジェクトを中止すべきであった。