

プロジェクト事後評価報告書

評価委員会開催日：平成28年12月13日

評価委員：（敬称略、五十音順）

平山 司 （一財）ファインセラミックスセンター ナノ構造研究所 副所長・主幹研究員
 水木純一郎 関西学院大学理工学部 先進エネルギーナノ工学科 教授
 山口浩一 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 教授

確定年月日：平成29年2月10日

プロジェクト名	先端材料計測技術の開発と応用
研究責任者の所属・役職・氏名	先端材料解析研究拠点 副拠点長 木本浩司
実施期間	平成23年度～平成27年度
研究目的と意義	<p>社会ニーズに応える先進材料の有用な新規機能を担うのは、表界面や表層もしくは内部における構造、組成、組織、（電子、スピン、化学）状態などである。機能発現の根源メカニズムを原子レベルやマルチスケールで解明することが材料研究者から強く求められており、そのようなニーズに応えるためには、表面・表層敏感性とバルク敏感性、単結晶性と非晶質性、ナノスケールとマクロスケールなどの相補性を有する材料評価手法を組み合わせ、世界最高水準の先端材料計測コンビネーションを構築することが重要である。</p> <p>本研究開発プロジェクトでは、国際競争力を担う環境・エネルギー材料や情報通信材料などの戦略的先進材料の研究開発にとってキーとなる、「表面・表層からバルク内部に至る包括的な先端材料計測基盤技術」を開発する。開発手法を直ちに先進材料解析に応用することにより、研究開発を強力に推進すると同時に手法の有用性を実証する。</p> <p>包括的な先端材料計測基盤技術の確立により、多様な材料ニーズへの即応が可能になる。その結果、機能発現や材料創製のメカニズムを世界に先駆けて解明することが可能となり、先進的な材料の研究開発におけるジャンプアップが期待できる。また、最先端の計測装置や手法の開発のみならず、実用的な研究開発にとって不可欠な定量化やデータベース化の研究を推進することにより、国際標準の獲得による産業界への波及効果が期待できる。これらにより、先進材料分野のみならず精密計測技術分野の国際競争力の強化に寄与することができる。</p>
研究内容	<p>本プロジェクトは、先端表面敏感計測、先端表層領域計測、先端電子顕微鏡、強磁場 NMR、強力中性子線、放射光計測に関する開発と先進材料応用の6サブテーマにより構成される。ナノスケール計測、極限的計測ならびに量子ビーム計測とその材料応用技術に関わる研究者とエンジニアが参加する。開発する材料計測手法は、表面/表層/バルク敏感性、ナノスケール/非晶質性などの計測機能を有し、これらを相補的に連携することにより、先進材料の機能発現メカニズムを解明するために必須の、表面から固体内部の構造と状態、物性と機能を解析することが可能になる。材料研究ニーズの抽出に基づくその場計測や個別材料に対応する先端材料計測要素技術を開発し、要素技術の統合とシステム化ならびに標準化を先導し、先進実用材料ニーズへの多面的展開を推進する。</p>
ミッションステートメント （具体的な達成目標）	<p>最表面・表層から固体内部までの深さ敏感解析、多様な相界面におけるナノ計測、原子からマクロまでのマルチスケール解析、非晶質から単結晶までの構造解析、フェムト秒タイムスケール計測、電子～スピン状態解析、環境制御場動的ナノ解析などの相補的なトップレベルの材料計測基盤技術を実現する。社会ニーズの大きな先進材料の研究開発に積極的に応用するとともに、国際標準化や知的基盤整備において指導的役割を果たすことにより、先端材料計測における国際的な中核拠点を構築を目指す。環境場超高感度プローブ顕微鏡、最表面敏感スピン顕微鏡、表層広域3次元ナノ分析、超高速紫外顕微鏡、単原子分析電子顕微鏡、1030MHz-NMR、環境場中性子マルチスケール時分割計測、放射光リアルタイム蛍光X線イメージング等を開発し、先進材料の解析に応用す</p>

	る。
平成23年度～平成27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>1) 主な研究成果(アウトプット) :</p> <p>『物質・材料中における単一原子レベルの多元的状態の計測技術を開発する』という中期計画ターゲットに関しては、最表面敏感スピン計測と状態制御分子線による表面反応の世界初の解明、サブ分子分解能を達成した新規AFM/STM 極限場計測技術発、高安定性 LaB₆ ナノワイヤ電子源の開発、非弾性平均自由行程の世界初の計算法(デファクト標準)の開発、フェムト秒超高速原子運動計測、単原子分析感度電子顕微鏡法による先進材料の点欠陥およびLi定量計測、試料走査型共焦点顕微鏡法による3次元高空間分解能計測、震災復旧等乗り越えて世界最高磁場を更新した1030MHz 固体NMRの開発(各種受賞)と応用、多重極限環境中性子計測による新規物性解明、粉末X線・中性子回折RIETAN-FPソフト、MEM解析3次元可視化VENUSシステム、時々刻々変化を追跡可能な蛍光X線イメージング・数Åレベル膜厚変化リアルタイムX線反射率技術の開発など、世界最高水準の先端計測技術の開発と様々な先進材料への応用を行い、初期の目標を大幅に超える成果を得た。</p> <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> <p>開発技術は、NIMS内外の研究者との共同研究やナノテクノロジープラットフォームにおける内外共用、SIP先端計測事業等で広く先進材料に展開した。最表面スピン計測、状態選別分子線技術、サブ原子分解能STM/AFM計測、試料走査方式共焦点STEM 3次元観察、実時間X線反射率計測などは世界最高水準の独創的な最先端計測技術、RIETAN-FP、VENUSは世界水準のデファクト標準となり得るコアコンピタンス技術となった。開発した先端計測手法はNIMS微細構造解析プラットフォームのコア技術としてアカデミアや産業界へ展開するとともに、新たな企業連携センター、国内外共同研究、GaN評価基盤領域等に発展している。特に、世界最高磁場1030MHz 固体NMRは、NIMS-JEOL計測技術研究センター設立へとつながった。</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>プロジェクトの目標の達成度合い : 目標を超えて大幅に進展した。</p> <p>自己点検・評価 :</p> <p>サブ分子分解能原子間力顕微鏡法、LaB₆ ナノワイヤ電子源の開発、ナノスケール深さ情報の評価精度向上、球面収差補正とモノクロ技術を活用した単原子分析電子顕微鏡、リアルタイムX線イメージング等、目標達成に向けて全サブテーマにおいて、世界トップレベルの独自コア計測技術ならびに新規計測法の開発が大幅に進展した。世界最高磁場1030MHz-NMRシステムの開発に成功し、高温超伝導体の実用的な可能性を大きく前進させ、先進的な材料開発研究に貢献するなど、世界最高水準の先端材料計測技術の有用性を示した。</p>
評価項目	コメント
①研究計画、実施体制、マネージメント、連携 (事前・中間評価の結果を受けて、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)	<ul style="list-style-type: none"> ・日本のみならず世界の先端計測技術をリードする国立研究法人にふさわしい実施体制と計画を持っている。 ・表面から内部に至る構造と特性を高精度に解析する充実した設備と人的資源を有している。 ・研究者、支援技術者が集中しており、日本唯一の物質・材料を基礎から研究するにふさわしい体制ができている。 ・中間評価の結果を反映した課題が設定され、特段の問題は見受けられない。 ・プロジェクト全体のロードマップは適切に設定されている。 ・プロジェクトの前半で、先端計測技術の開発・高度化、後半でそれらを利用した物質・材料研究を展開することは、ロードマップとしてはリーズナブルである。

	<ul style="list-style-type: none"> ・中間評価で指摘されていた NIMS 内での連携がなされているようである。(プロジェクト責任者による説明ではそれがあまり強調されていなかった。) ・国内外のアガデミアや産業界との連携活動も活発に推進されている。 ・プロジェクト運営会議の開催による効率化が図られ、研究成果の発信と普及、シンポジウム等の開催など適切に実施されている。 ・プロジェクトの実施体制には特段の問題は見られない。
<p>②プロジェクトの具体的な達成度 (目標は達成されたか、学術的価値、社会的価値、経済的価値の創造につながったか、技術レベルの向上につながったか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・必要な技術開発を確実に進め、各計測分野で目標を十分達成している。 ・先端材料の計測技術開発の課題に対して、いずれも世界最高水準の技術開発が得られており、本プロジェクトの初期目標を超える成果である。 ・本プロジェクトの先端材料計測技術は、新物質・材料の開発や新規機能の応用の展開に向けた社会的ニーズに応える価値ある成果である。 ・最先端の計測技術開発とその技術を他の研究分野に生かす努力をバランスよく実施しており、学術的価値の創出だけでなく、社会的価値や経済的価値の創造にもつながっている。 ・本プロジェクトで得られた各種メカニズムの解明や詳細構造の観察による知見は、学術的にも価値の高い成果である。 ・NIMS 内連携による成果として、Li-2 次イオン電池の正極電極材料の劣化機構解明、特に Li のオペランド可視化に成功したことが大きい。しかし、連携による NIMS ならではの世界的成果があるだろうから、この点に注目したプロジェクト責任者からの説明がほしかった。 ・それぞれの計測技術は、世界一級、かつ独創性の高いものを開発されており、2011 年の災害を乗り越え、これらを成し遂げられたことに敬意を表する。 ・東日本大震災で甚大な被害を受けた強磁場 NMR 計測システムの復旧そして世界最高磁場の達成により、本プロジェクト研究における技術開発力の高さが示された。 ・NIMS は、SPRING-8 で専用ビームラインを持っているが、その先端計測技術開発、および利用成果が見えないのが残念である。
<p>③研究開発の進捗状況 (研究により得られた成果は、世界レベルで比較して高いか、予算に見合った成果が得られたか、将来の新しい研究の芽が得られたか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・先端計測技術は、間違いなく世界一級である。 ・「世界レベルで見て、十分高い」というよりも、「世界をリードする」レベルの成果を創出していると理解する。 ・このため、新しい研究の芽も次々と生まれていると考えられる。 ・本プロジェクト研究で得られた先端計測技術は世界最高水準に達している。 ・当初計画の通り進められ、多くの成果が挙げられている。予算的にも費用対効果は大きく、適切に計画が遂行されたものと言える。 ・最表面敏感スピン計測法の開発では、2 次元物質のスピン트로ニクス応用への展開が期待される。 ・ただし、中性子の利用は、日本全体の問題があるように思われるので、NIMS が中心の 1 つとなって中性子を利用した物質研究を牽引してほしい。
<p>④見込まれる直接の成果(アウトプット)、効果・効用(アウトカム)や波及効果(インパクト) (質の高い論文・特許が多く出たか、新技術や実用材料につながるか、思いがけない成果があったか、他分野への波及効果はあるか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・開発された各種の先端計測技術が、文科省微細構造解析プラットフォームなどへも共有・活用されることで、国内の物質・材料の技術開発レベルの促進に貢献し、国際競争力を向上するものと期待される。 ・成果がインパクトの高い論文に多く発表されており、間違いなく情報発信源となっている。 ・得られた多くの研究成果は、インパクトファクターの高い Nature シリーズや Physics Review Letters 誌などに掲載され、世界的にも高い評価が得られている。 ・Nature シリーズをはじめとする極めて impact factor の高い雑誌に複数の論文を publish しており、非常に波及効果の強い研究を展開している。 ・このような publication は今後他分野にも大きな影響を与えられらる。 ・本プロジェクトの先端材料計測技術を用いた様々な機能発現機構の解明は、新たな材料設計、構造設計への展開に寄与し、革新的な材料開発やデバイス

	<p>応用への波及効果がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ Li2 次イオン電池の正極電極に関する成果は、今後の電池開発に重要な知見を与える。 ・ 充電した Li 電子の動的観測技術の開発は、産業界へもインパクトのある成果である。 ・ 材料研究との連携により高安定ナノワイヤ電子源の開発がなされ、次世代の高性能電子顕微鏡の開発が期待される成果が得られている。
総合評価点平均 (10点満点)	8.7点 (小数第二位四捨五入)
その他 研究全体に対する総合的な所見、①～④に入らない所見、問題点、あるいはプロジェクトに対する印象など自由にご記入ください	<ul style="list-style-type: none"> ・ 「産業は学問の道場である」を基本思想としているところは、職員の意識ベクトルを導くすぐれた指導方針と思える。 ・ 最先端の技術の研究開発と、他の分野の研究への支援サービス業務を実にうまく両立させている。 ・ NIMS の世界的な先端材料計測技術を継続発展させるために、魅力的な若手人材育成計画とその展開が期待される。 ・ 中性子や放射光などの量子ビームを利用した物質・材料研究は NIMS に期待するところが大きいので、この分野での指導力を発揮していただくことを期待する。 ・ 先端材料計測による大量のマテリアルデータのインフォマティクスを用いた解析による高速化への進展も期待したい。 ・ 各サブテーマにおいて世界最高水準の先端材料計測技術を実現しており、個々の技術レベルと成果は高く評価できる。 ・ 各サブテーマで開発された最先端材料計測技術を組み合わせた複合的な計測とデータ解析法の開発による世界をリードする新展開を期待したい。 ・ 内外の連携によって成果は出ているが、それが見えない説明なのが残念である。

第3期中長期計画プロジェクトの事後評価基準

評価点	評価	評価基準
10	S	全ての点において模範的に優れていた。 多くの点において模範的に優れていた。
9		
8	A	総合的に優れていた。 顕著な成果が出た優れたプロジェクトであった。
7		
6		
5	B	平均的なプロジェクトであった。 一部の計画の見直しが必要であった。
4		
3		
2	C	期待されたほどではなかった。 計画を大幅に見直して実施すべきであった。
1		