

# プロジェクトプレ終了評価報告書



評価委員会開催日: 令和5年2月9日

評価委員氏名(敬称略, 五十音順)

黒田 一幸	早稲田大学 理工学術院 名誉教授
柴田 直哉	東京大学大学院 工学系研究科 総合研究機構 機構長・教授
杉山 正和	東京大学 先端科学技術研究センター 所長・教授
原 正彦	東京工業大学 物質理工学院 教授

確定年月日: 令和5年3月10日

プロジェクト名	先進材料イノベーションを加速する最先端計測基盤技術の開発
研究責任者の氏名・所属・役職	木本浩司 先端材料解析研究拠点 拠点長
実施予定期間	平成28年度～令和4年度
研究目的と意義	<p><b>背景・意義:</b> 社会ニーズに応える先進材料の有用な機能を担うのは、表界面や表層もしくはバルク内部の、特徴的な構造, 組成変調, 配向組織, 電子状態, スピン磁気構造などである。マテリアルイノベーションを加速するためには、それらの多様な材料ニーズに対応する、研究開発を主導する先端計測基盤の構築が必要である。</p> <p><b>目的:</b> 世界最先端レベルの計測基盤技術をコアコンピタンスとして開発し、それらを基本として、材料ニーズに応えるサブ原子レベルからマクロな系に至るマルチスケール性を有し、実際に材料が用いられるオペランド計測を実現するとともに、データ科学と融合させたNIMS発の先端計測インフォマティクスを開発する。それらをもって科学・社会への貢献を目指し、先端材料計測をコアとする研究開発プラットフォームを構築し、NIMS内外の物質材料研究開発との連携・展開を図る。</p>
研究内容	<p>世界トップレベルの計測コアコンピタンスを基盤とした、マルチスケール・オペランド・計測インフォマティクスによる研究開発プラットフォーム構築のため、5つのサブテーマ(ST1～ST5)とその連携により研究開発を進める。</p> <p>(ST1)プローブ顕微鏡や分子ビーム、水素顕微鏡等による表面敏感計測、(ST2)光電子分光や計測インフォマティクスによる表層化学状態計測、(ST3)超先端電子顕微鏡法による高感度・ナノ領域物性評価解析、(ST4)強磁場固体 NMR とプローブ開発による非晶質等のオペランド計測、(ST5)高輝度放射光や中性子線などの量子ビームによるマルチスケールのオペランド計測技術の開発。さらに、サブテーマ連携を進め先端計測とインフォマティクスの融合による新たな学理「先端計測インフォマティクス」の構築を目指す。</p>
ミッションステートメント(具体的な達成目標)	<p>サブテーマごとに下記の目標を定め研究を推進する。(ST1)表面敏感計測では多様な環境場における最表面敏感の動的ナノ計測法を開発し、Li 電池・太陽電池・触媒・水素材料への展開を図る。(ST2)表層化学状態計測では、表層領域における状態計測のための情報分離技術を開発するとともに、2D 材料・電池・半導体材料へ適用する。(ST3)先端電子顕微鏡では、単原子感度を有する電子顕微鏡法と複合環境制御電子顕微鏡法を開発し、窒化物半導体・電池・触媒に展開する。(ST4)強磁場固体 NMR では、ワイドボア NMR と特殊高温・低温プローブを開発し、電池・高分子等へ展開する。(ST5)量子ビーム計測では、新規オペランド計測技術・物性構造変化の解析技術の開発と、触媒・ガラス・窒化物半導体への展開を目指す。</p>
プロジェクト実施期間(平成28年度～令和4年度)の見込みを含む主な研究成果(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	<p>【主な研究成果(アウトプット)】世界トップレベルの計測手法の開発として、オペランド水素顕微鏡の開発、ケルビンプローブ力顕微鏡による蓄電デバイス等のオペランド評価、プローブ顕微鏡による化学反応制御と物質創製、ナノワイヤー電子銃の実用化、固体 NMR 用高感度プローブ・高温プローブの開発、XPS による電池材料の評価・解析、世界最高圧力下の磁気構造解析、複合環境その場電子顕微鏡試料ホルダーの開発と触媒評価、トポロジー解析による非晶質構造解析など、世界に先駆けた計測技術の開発</p>

<p>果・効用(アウトカム)、波及効果(インパクト)</p>	<p>を行った。</p> <p>【効果・効用】材料イノベーションへの寄与として、当初予想していなかった解析結果に端を発する GaN 用結晶絶縁層(ST3)や Li 電極の容量劣化機構の解明(ST2, ST4)に至った。解析技術の知見を活かし、新規磁気冷凍材料の提案(ST5)や最高秩序を有するガラス(ST5)など材料イノベーションに寄与した。そのほか、微細構造解析プラットフォーム事業などを通して、実用材料への応用展開を図った。特に中長期計画期間中に新たに始まった GaN や Li 蓄電池関連の国家プロジェクトにおいて、開発中の計測技術をすぐに展開することができ、それらのプロジェクトを先端計測技術から加速させた。</p> <p>【波及効果】計測解析技術の普及として、電子顕微鏡用試料ホルダーや固体 NMR プローブの実用化などを行った。特にオペランド水素顕微鏡の特許ライセンス供与による製品化や、ナノワイヤー電子銃の NIMS 発ベンチャーの創出などにつながった。サブテーマ連携テーマとして提唱した計測インフォマティクスは、その後のマテリアル DX のさきがけの一つとなり、プロジェクトで検討したデータの構造化は、2021 年度から始まった文科省のマテリアル先端リサーチインフラ事業にも一部採用されている。</p>
--------------------------------	---

<p>プレ終了評価時の見込みを含む進捗状況及び自己点検・評価</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ プレ終了評価時の見込みを含む進捗状況 計画以上の進捗</li> <li>➤ 自己点検・評価。</li> </ul> <p>【プロジェクト運営】 プロジェクト企画当初に想定した数値目標(分解能・歪・圧力等)を達成した。開発した技術は数値目標の追及よりも開発計測法の多方面展開を推奨し、当初想定していなかった分野においても計画以上の成果が得られた。中間評価における指摘事項「継続的な先端計測技術の開発の重要性」を活かし、特に中堅以下の研究者による新計測技術の開発で結果が得られた。これらは、次のプロジェクトにつながるコア計測技術になると考えている。サブテーマ間の連携も進み、ナノワイヤー電子銃研究では、表面研究者と電子顕微鏡研究者の共同で研究が進んだ。</p> <p>【アウトリーチ】 期間中 89 回以上のオープンセミナーを実施するとともに、年1回テーマを設定して先端計測シンポジウムを実施した。プロジェクト開始時から、文科省の微細構造解析プラットフォーム事業と連携し共同シンポジウムを開催するなどしたほか、データ科学と先端計測との融合についても関連外部学会との共同開催シンポジウムを行うなどした。</p> <p>【国内外連携】 先端計測技術の開発において、特に国内分析機器企業(NMR, TEM, オペランド水素顕微鏡)との連携なども進めた。プロジェクト担当者が実行委員長となる国内・国際会議なども開催した。</p>
------------------------------------	---

評価結果		
【評価項目・基準】	評価	コメント
<p><b>研究計画・実施体制・マネジメント・連携活動</b></p> <p>【評価基準】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・研究成果の最大化のための研究実施体制や研究開発の進め方(マネジメント)は妥当であったか。</li> <li>・国や社会のニーズに適合しているか。</li> <li>・進捗に応じ、研究計画の必要な見直しを行ったか。</li> <li>・機構内連携や大学・</li> </ul>	<p>s:2 a:2 b:0 c:0</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・NIMS ならではの傑出した計測評価技術が展開されており、学術基盤の構築が非常に強力で推進されている。共同利用やベンチャーを通じた成果の展開も行われており、社会への波及効果も大きい。</li> <li>・同様な組織でいつも問題になる、技術開発と先端研究という両輪のバランスを、非常に良くマネージしながら推進されている様子が伺える。</li> <li>・機構内の連携はもちろんのこと、外部との連携も積極的に展開されているようで、先端計測技術の拠点として、十分機能していると評価出来る。</li> <li>・多岐にわたる分析・計測技術を束ね、成果の最大化に向けて適切な運営が図られており、プロジェクトリーダーの力量を高く評価する。開発の進め方も極めて適切である。社会ニーズに沿った形で成果創出が続いており、産業界との多様な連携(実用化、ベンチャー企業の設立、共同開発など)や官学等との研究連携を通じて科学技術上の高いインパクトの成果が得られている。費用対効果も非常に高いと評価できる。</li> <li>・優れた研究成果や既に社会実装に繋がっている技術などを積極的に創出しており、マネジメントは妥当であったと判断できる。</li> <li>・あらゆる材料研究分野の基盤である計測技術の技術開発を行っており、社</li> </ul>

<p>産業界との連携の取組は十分であったか。</p>		<p>会のニーズに適合している。          ・計測とインフォマティクスとの融合をタイムリーに先導しており、積極的に社会ニーズとリンクしたマネジメントを行っている。          ・外部や内部連携の取り組みは活発に行われていると判断する。</p>
<p><b>研究開発の進捗状況及び目標の達成状況</b></p> <p>【評価基準】          ・設定した目標は達成されたか(または当初目標以上の成果が得られたか)          ・設定された目標以外の成果があるか。</p>	<p><b>s:3 a:1 b:0 c:0</b></p>	<p>・ほぼ計画以上に達成されている。          ・設定した目標は達成されている。もともと設定された目標が高かったこともあり、それらを達成されただけでも高く評価できるが、その他の新しい展開も見られ、非常に優れた成果であると評価出来る。          ・個々の計測基盤技術の目標達成度には目標通りと目標以上が混在しているが、サブテーマ1、2、3、5に示されるように、当初目標を超える成果が数多く得られている。計画通りとされている強磁場固体NMRにおいても新たなプローブ開発と相俟って1 GHzを超える磁場で測定を可能にしたことからこれまで困難とされていた核種の測定に成功しており、この成功による物質科学における貢献は非常に大きく、今後の展開も期待できる。          ・各項目において、順調に成果が出ており、設定した目標は達成されていると判断できる。また、開発に留まらず NIMS オリジナルの解析手法として社会実装された水素顕微鏡やベンチャーの設立に至った LaB 6 ナノワイヤー電子源などは目標以上の成果であると思われる。</p>
<p><b>研究成果の創出等</b></p> <p>【評価基準】          &lt;科学的・技術的視点&gt;          ・世界トップレベルの研究成果が得られたか。          ・対外発表(論文・学会等)の量や質について費用対効果は十分なものであるか。          &lt;社会的・経済的視点&gt;          ・研究成果は新技術や実用化につながるものであるか。          ・得られた研究成果により、優れた効果・効用(アウトカム)や波及効果(インパクト)が得られたか(期待されるか)</p>	<p><b>s:2 a:2 b:0 c:0</b></p>	<p>・オペランド計測や極限環境での計測など、最先端の研究開発を牽引する技術が多く開発され、実際の研究に展開されている。          ・発表論文もハイレベルにあり、研究成果としても費用対効果は十分あったと評価できる。この活動が、より独立して社会に見えるようになるとより良いだろう。特に、大学や企業や他の基盤技術センターとの連携を促進し、その中で、実用化につながる展開が見えてくることを期待したい。          ・いくつかのグループにおける突出した成果は S 評価に相応しいものである。水素の位置情報を観測する顕微鏡の開発、オペランド電位計測技術の開発、高エネルギー分解能 LaB6 ナノワイヤー電子源の開発、固体 NMR プローブ開発、オペランド XPS、中性子による新計測法の開発、非晶質構造解析等々、画期的な成果が続出しており、当初目標を大きく超える成果が出ていると判断される。尚、固体 NMR の成果として粘土鉱物の Cs 吸着が挙げられており妥当ではあるが、よりインパクトのある測定対象があると推測され、開発のインパクトを更に高める試料選定と優先順位にも意を用いて頂きたい。          ・「NIMS でしか測定ができない」といえる測定・分析法は何かを強力に情報発信し、国際的なプレゼンスの更なる向上を図って頂きたい。          ・ハイインパクト論文もいくつか出版されており、レベルの高い研究成果が得られていると判断できる。          ・参加研究者の人数から言えば、もっとレベルの高い論文が数多く出版されても良い。最先端計測はトップサイエンスを牽引する分野の一つであり、もっとハイインパクト論文を出すべき分野であるが、そこまでには至っていない。          ・研究成果から実際の分析装置や電子源が社会実装されている点は評価に値する。          ・研究成果をタイムリーに社会実装し、他の研究者に利用出来る環境・仕組みを整備しており、様々な研究分野への波及効果が出ていると判断できる。</p>
<p><b>総合</b></p>	<p><b>S:2 A:2 B:0 C:0</b></p>	<p>・NIMS の強みを活かした学術基盤が着実に構築されている。引き続き、共同研究やベンチャーなどによる成果の普及に努め、新規参入する研究者への支援も積極的に進めたい。          ・ナノテクの創成期には、国内外で同様な計測技術拠点がいくつか提案され、また創設されたが、本プロジェクトは、その中で最も成功した組織の一つであると高く評価出来る。引き続き、拠点の特徴を活かした展開を期待したい。          ・企業との連携が多くの高レベル成果創出に繋がっており、極めて高く評価される。          ・現在公表不可のデータ・計測結果が多数あるようなので、然るべき時期に過去の経緯を含め公表することで本プロジェクトの真の価値が見えてくると評価する。          ・所外との各種連携も定量的なデータとして示せば更に良いと考える。</p>

	<ul style="list-style-type: none"><li>・世界トップを切り拓く観点から、本グループは非常に分かりやすい特徴を有していることもあり、NIMS を世界拠点としてアピールしていく上で、「計測の最先端研究をするなら NIMS に行かなくては」と世界中の関連研究者が多数訪問するよう、組織を挙げてより注力されることを期待したい。欲を言えば基礎学術へのより多くの貢献を期待したいが、当該プロジェクトにそれを望むのは範囲外となろう。しかし科学技術の大きな飛躍は、質量分析、核磁気共鳴、DNA 解析など分析・計測科学技術の飛躍に基づくものが多くあるので、個々の計測の基礎学理を含む深化も期待したい。</li><li>・先端計測分野は、新しい計測手法開発を通じてトップサイエンスを切り拓く側面と、それを様々な分野で利用してもらい日本全体の研究力を底上げする側面の両義性を有する。この7年間で、そのどちらにおいても一定の優れた成果が得られていることは評価に値するが、世界を大きく先導し日本の国力向上に資するためには、トップサイエンスを切り拓く挑戦的な計測研究開発をもっと果敢に進めるべきであろう。</li></ul>
--	--