

2 プロジェクトの概要

プロジェクトリーダー： 藤田大介

2.1 プロジェクトの目的

本プロジェクトは、国立研究開発法人物質・材料研究機構（NIMS）の第三期中期計画（平成23年度～27年度）において、先端的共通技術領域に位置づけられる5つの中期計画プロジェクトの一つである。先端的共通技術領域では、NIMSの先導する物質・材料研究において共通的もしくは横断的に必要となる先端的な基盤技術の研究開発を行う。表面から内部に至る包括的な材料計測を行うための世界最先端の計測技術、物性を高精度に解析・予測するための理論・計算シミュレーション技術、材料の構成要素（粒子、有機分子、ナノ物体など）からバルク材料へと組み上げるための設計手法や新規な創製プロセスの開拓など、共通的に必要となる先端技術でありかつコアコンピタンスとなり得る高度な技術を開発する。研究開発の実施に当たっては、多様な研究課題の解決に対する先端的共通技術の貢献の可能性を常に追求する。同時に、社会への普及過程においては、先端的共通技術の高度化に向けた技術的ニーズの抽出、新たな目標へのフィードバックを行い、先端的共通技術の発展へとつなげていく。

先端的共通技術領域におけるマネジメントについては、まず、領域の5つのプロジェクト間の連携を促進し、Plan-Do-Seeサイクルによる効率的な先端的共通技術開発を推進した（図1）。横断的なシーズ育成連携研究を実施し、中堅・若手研究者が提案する優れたシーズを育成するとともに、共通設備整備を推進し、プロジェクト間の横串的連携を強化した。最新成果の普及と研究者紹介のための年度パンフレット（日英表記）を発行するとともに、国内・国際シンポジウム、オープンセミナーを開催し、異分野融合と産学独連携を促進した。さらに、先進材料研究支援のために最先端計測設備を共用化し、材料イノベーションと飛躍的な知の創出に貢献するとともに、地域ニーズに応えるため空間放射線量率の計測と公開、放射線計測や除染に関するオープンセミナーを継続的に開催している。

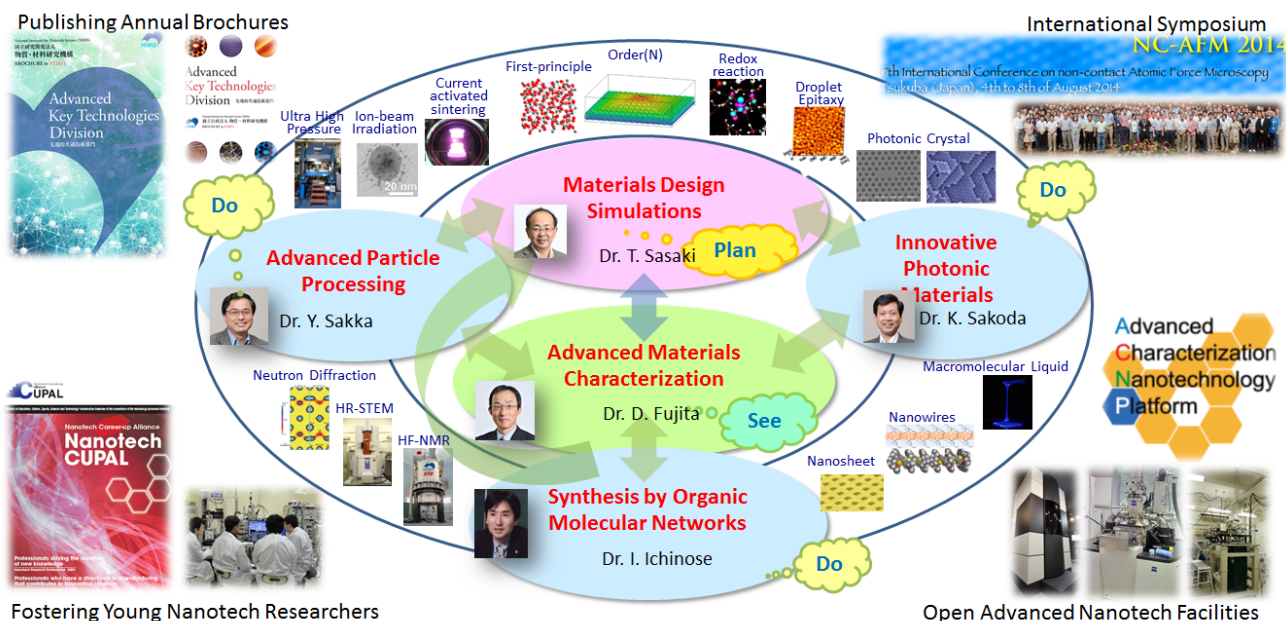


図1 NIMS 先端的共通技術領域における5中期計画プロジェクトのPlan-Do-Seeサイクルによる連携。

“先端材料計測技術の開発と応用”プロジェクトは、Plan-Do-See サイクルにおける See の役割を担当し、社会ニーズに応える先端材料計測基盤技術の開発と先進材料への応用を目的とする。すべての材料は人類にとって役に立つ何らかの機能を有している。環境エネルギー材料や次世代情報通信材料など、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材料内部における構造・組成・組織・(電子・スピン・化学) 状態などである。この観点から、材料開発においては、新規機能が発現する根源的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求められる。そのような先進材料の研究開発からの計測に対する需要や期待に応えるためには、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技術のコンビネーションを構築し、国内外の研究者や技術者へ提供することが重要である (図2)。

本プロジェクトでは、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。NIMS 内の研究部門に属するプロジェクトやユニット、中核機能部門に属するステーションやプラットフォームならびに外部協力機関との連携を密にし、開発された計測手法を直ちに先進材料解析に応用することにより、最先端材料のイノベーションを強力に推進すると同時にその有用性を実証する。

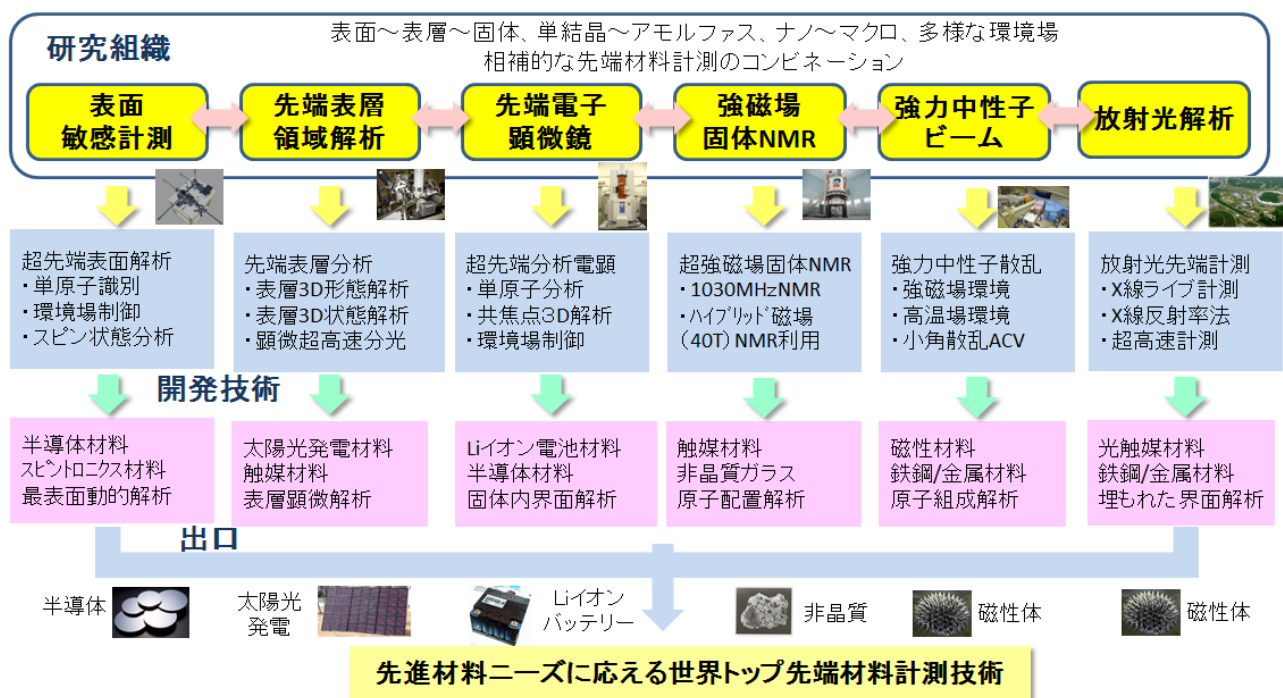


図2 社会ニーズに応える先端材料計測基盤技術の相補的なコンビネーション

2. 2 プロジェクトの最終ターゲットとミッション

本プロジェクトでは、最表面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、原子分子からマクロスケール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、多様な環境場における動的ナノ解析などの相補的かつ包括的なトップレベルの材料計測基盤技術を実現する。開発された計測法を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ける指導的役割を主導することにより、先端材料計測における国際的な中核研究拠点の構築を目指す。最終年度までに達成すべき具体的な数値ターゲットを含む目標は以下の通りである。

- ① 先端表面敏感計測技術の開発と先進材料応用（藤田大介サブテマリーダー）：単一原子レベルの多元的状态を解明可能な超高感度ナノプローブ顕微鏡、サブミクロン空間分解能を有する最表面敏感スピン顕微鏡など、世界最高性能もしくはオンリーワンの表面敏感計測法を平成 27 年までに開発し、先進材料へ応用する。
- ② 先端表層領域解析技術の開発と先進材料応用（田沼繁夫／吉川英樹サブテマリーダー）：表層(0-100nm)かつ広域(100nm² - 1cm²)における元素存在量・化学状態・モルフォロジーの 3 次元ナノ分析、100 フェムト秒時間分解・サブミクロン空間分解を兼備する超高速紫外顕微鏡など、世界最高性能を有する表層領域計測・解析法を平成 27 年までに開発し、先進材料へ応用する。
- ③ 超先端電子顕微鏡技術の開発と先進材料応用（木本浩司サブテマリーダー）：平成 25 年度までに、深さ分解能 10nm の試料走査型 3 次元計測技術と単原子分析電子顕微鏡技術を研究し、手法を確立する。平成 26 年度以降に各種先端材料（触媒関連材料・2 次電池関連材料等）へ適用する。
- ④ 強磁場 NMR 計測技術の開発と先進材料応用（清水禎サブテマリーダー）：実用材料において従来は未観測だった四極子核元素（全元素の 6 割以上が該当）の世界初観測を年 1 核種のペースで実現させ、非晶質材料の局所構造解明に貢献する。1030MHz-NMR システムを平成 27 年度までに完成させ、実用運転を開始する。
- ⑤ 強力中性子線計測技術の開発と先進材料応用（北澤英明サブテマリーダー）：実製造プロセス条件（雰囲気、可変温度（10K～1473K）、高磁場:10T）や動作環境（引張応力場：精度 15MPa）における中性子マルチスケール時分割測定を実現する。データから相組織形成過程や軽元素移動経路などの重要な知見を抽出するために Alloy Contrast Variation(ACV)法や全パターン MEM(WPM)法を開発する。
- ⑥ 放射光を利用した先端計測技術の開発と先進材料応用（桜井健次サブテマリーダー）：時々刻々の化学組成や原子レベル構造の変化を（30～100 ミリ秒レベルで）ライブ計測する X 線動画イメージング及び X 線反射率法の技術開発を行う。

2. 3 プロジェクトの研究計画

プロジェクト全体ならびにサブテマの研究遂行計画（ロードマップ）を年表として表 1 に示す。プロジェクト前半の平成 23 年度から 25 年度は、社会的要請や材料研究者からの多様なニーズに対応した先端的な計測を実現する上で、コアコンピタンスとなりえる基盤要素技術の開発を重点的に行うとともに、先進的な材料研究に応用する。なお、サブテマ 4（強磁場 NMR 計測技術の開発と先進材料応用）に関

表1 年次計画 (マイルストーン)

研究項目	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度	H27年度
Aサブテーマ 先端表面敏感計測技術の開発と先進材料応用	環境場制御その場ナノプローブ技術の開発			先進材料表面への応用	
			単原子レベル in-situ 状態解析の達成		
	スピン偏極ビームプローブ技術の開発			スピン顕微解析環境統合	
Bサブテーマ 先端表面領域解析技術の開発と先進材料応用		高空間分解能(数 100nm)達成		10nm、 500meV レベル達	
	表層分析装置の改良と高度化			3次元状態・形態分析法の開発と応用	
	表層計測の高度化達成			表層3次元分析の達成	
Cサブテーマ 超先端電子顕微鏡技術の開発と先進材料応用	紫外フェムト秒パルス光源開発			顕微超高速分光技術の開発と応用	
	紫外フェムト秒パルス光源達成			顕微超高速分光の達成	
	高感度分析電子顕微鏡法の開発			実用材料への展開	
Dサブテーマ 強磁場NMR計測技術の開発と先進材料応用	被災装置の復旧			機器開発と材料分析応用	
		単原子分析基盤技術の実現		新規四極子核元素の観測	
	3次元電子顕微鏡法の開発			実用材料の高感度3次元計測の達成	
Eサブテーマ 強力中性子線計測技術の開発と先進材料応用		3次元可視化 z軸分解能 10nmの実現			
	極限環境下中性子その場観察技術の開発			実用材料への応用	
	中性子・X線マルチスケール解析技術の開発			パルス中性子 ACV/WPM法	
Fサブテーマ 放射光を利用した先端計測技術の開発と先進材料応用		中性子マルチスケールその場観察法の達成		中性子マルチスケール動的計測法の達成	
	X線ライブ計測技術 (動的イメージング、迅速X線反射率法)				
	秒レベル	100ミリ秒レベル		30ミリ秒レベル	
・総合的推進	ニーズ対応した先端計測・要素技術の開発			包括的な先端計測基盤の確立	
		産学独連携・アウトリーチ		単原子・多元的計測の実現	
			パルス放射光による超高速X線スペクトル計測技術の開発 (ポンプ・プローブ法)	マイクロ秒レベル	10ピコ秒レベル

しては 2011 年東日本大震災により被災した強磁場 NMR 装置（稼働中 1 基ならびに開発中 1 基）の復旧に注力することを最優先課題とすることとなった。プロジェクト後半の平成 26 年度から 27 年度は、基盤要素技術のシステム化により単原子・多元的計測の実現を図るとともに先進的な実用材料へ応用する。さらに、先端計測分野の産学独連携や人材育成を推進し、包括的な先端計測基盤の確立を目指す。

2. 4 中期計画ターゲットに対する達成度

材料イノベーション推進に寄与しうる手法を組み合わせ、世界最高水準の計測技術を開発することがターゲットである。特に、単原子分解能を有する多元的なその場表面計測と表面スピン計測、広域表層高速分析、単原子分析電子顕微鏡技術、実プロセス環境の中性子計測、超 1GHz 級 NMR の開発を行い、先進材料へ速やかに応用展開するものとされている。

プロジェクト全体としては、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、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、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、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、時々刻々変化を追跡可能な蛍光X線イメージング・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。

最表面敏感計測技術開発においては、オンリーワンのコアコンピタンス技術を数多く開発し、多元的表層敏感計測技術の開発を進めた。表層領域計測においては、非弾性平均自由行程等の表層解析データベースの信頼性を向上させた。さらに、単原子感度電顕計測技術による原子分解能マッピングと電池材料のLi状態解析、極限中性子回折によるマルチフェロイックの解明、ナノワイヤ電子源のSEM実装等、世界トップもしくは世界初の顕著な研究成果を得た。世界最高磁場1030MHz 固体NMRは、NIMS-JEOL計測技術研究センターを設立へとつながった。

『物質・材料中における単一原子レベルの多元的状态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サブ原子分解能AFM/STM極限場計測、フェムト秒超高速原子運動計測、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、震災復旧等を乗り越えた世界最高磁場1030MHz-NMR、粉末X線・中性子回折RIETAN-FPソフト、MEM解析三次元可視化VENUSシステム、数Åレベル膜厚変化リアルタイムX線反射率法など、世界トップレベルかつオリジナルの単原子レベル多元的状态計測技術を開発した。

開発技術は、NIMS内外の研究者との共同研究や、ナノプラットフォーム、S I P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である。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研究機関・企業へ展開するとともに、企業連携・国内外共同研究・S I P先端計測・GaN評価基盤領域等に発展している。

自己分析・評価： S

「物質・材料中における単一原子レベルの多元的状态の計測技術の開発」については、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

NIMS 先端材料計測技術の開発と応用

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、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。

(達成度120%)

A: 先端表面敏感計測技術の開発と先進材料応用

- ・ 偏極率約100%のスピンの偏極分子ビームを開発、酸素分子の吸着へのスピンの関与を世界初観測
- ・ 分子軸分布制御酸素ビーム技術を開発、アルミニウム表面酸化の20年論争に決着（2013プレス発表）
- ・ 低速スピン偏極準安定ヘリウムビームを開発、グラフェン伝導電子スピン状態解明（2013プレス発表）
- ・ 高性能LaB₆ナノワイヤ電子源の開発と長期安定性を達成、タングステン陰極の1000倍の電流密度と100倍の輝度を実証、LaB₆単結晶電子源の40年来の常識を覆す（2015プレス発表）
- ・ 極低温超高真空環境における非接触原子間力顕微鏡法の新規高分解能3次元（3D）計測モードの開発と3次元立体分子でのサブ分子分解能AFMイメージングに世界で初めて成功
- ・ 世界最高磁場（16T）複合極限環境での原子分解能走査トンネル分光技術の開発と共用化

B: 先端表層領域解析技術の開発と先進材料応用

- ・ 高感度フェムト秒時間分解過渡反射測定により埋もれた半導体界面の電位分布の定量評価に成功
- ・ 固体表層解析に必要な不可欠な電子の非弾性平均自由行程を導くエネルギー損失関数の精密解析法の開発に成功（2014プレス発表）
- ・ 半導体の電子・格子ダイナミクスの世界トップレベルの高感度計測

C: 超先端電子顕微鏡技術の開発と先進材料応用

- ・ 高エネルギー分解能EELSと電子顕微鏡により、充電したLi電池材料中の不均一なLi分布計測に成功
- ・ 単原子分析電子顕微鏡では、低加速化による高感度・低損傷結晶構造観察と従来不可能だった化学結合状態の原子分解能での可視化に成功、世界最高レベルの空間分解能（50pm）を達成
- ・ 試料走査型共焦点電子顕微鏡技術に球面収差補正・エネルギーフィルター技術を組み合わせ、ナノ粒子立体観察に成功

D: 強磁場NMR計測技術の開発と先進材料応用

- ・ 世界最高磁場1020MHz-NMRシステムを完成させ、物質・材料の分析へ応用し、高温超伝導体および強磁場NMRの有効性を実証（2015プレス発表）、さらにその後1030MHzも実現
- ・ 東日本大震災で被災した930MHz磁石など高磁場固体NMR装置の復旧に不可欠の新技术を数多く開発

E: 強力中性子線計測技術の開発と先進材料応用

- ・ 結晶電子構造3次元可視化システムの開発を進め、パルス中性子実験のためのRIETAN-FP・VENUS統合支援システムの高度化を達成
- ・ 新規の磁気誘電マルチフェロイクスを探索、中性子回折法により強誘電性発現機構を解明（2012プレス発表）
- ・ NIMS開発ハイブリッドアンビルセルによる多重極限環境下（高圧:5GPa、高磁場:8T、低温:1.5K）単結晶中性子回折実験に成功、圧力誘起巨大電気分極を示すマルチフェロイクス（TbMnO₃）の磁気構造決定

F: 放射光を利用した先端計測技術の開発と先進材料応用

- ・非走査で元素マップ可能な蛍光X線イメージング技術を開発、化学パターン形成過程のリアルタイム画像化に成功（世界初）
- ・X線反射率法に時間分解能と空間分解能を付与する技術を新規に開発し、薄膜・多層膜の層構造のミリ秒～秒レベルのリアルタイムの変化を追跡し、約20ミクロンの面内分解能とナノメートル以下の深さ分解能でイメージング可視化することに成功

2. 5 プロジェクトの国際比較

全体としては、表面敏感計測から非晶質固体内部の原子配置計測に至るまでの包括的な先端材料計測を有する NIMS のような研究機関は世界的にも少ない。多くの機関は特定計測手法において世界トップ水準にあるが、表面ナノプローブ、表面電子分光、スピン偏極ビーム解析、透過電子顕微鏡、強磁場 NMR、中性子線計測、放射光解析などの主要材料計測手法を網羅する研究プロジェクトは世界的にも希である。以下、国際的なベンチマーク機関との比較をサブテーマ毎に示す。

A: 先端表面敏感計測技術の開発と先進材料応用

極限場走査型トンネル顕微鏡においてハンブルグ大、IBMアルマデン研究所、コーネル大、東大、高分解能非接触原子間力顕微鏡ではバーゼル大、阪大、ハンブルグ大などがベンチマーク機関である。NIMS は複合極限場原子分解能 STM と高分解能 NC-AFM においてもトップ水準の原子分解能電子状態・元素識別計測、3次元分子内分解能計測を実現している。スピン偏極状態制御分子線・準安定原子線プローブに関しては NIMS が世界に先駆けて開発に成功した技術であり、他の追随を許さないトップレベルのコアコンピタンス技術である。

B: 先端表層領域解析技術の開発と先進材料応用

表層領域計測では、電子分光における電子散乱に関する物理量データベースではNIST、バルセロナ大とならびトップ水準である。電子の非弾性散乱の記述に不可欠な誘電関数の導出法においてもNIMSが先導的な役割を果たしている。世界的に固体材料の超高速分光では、NIMSは世界トップクラスの検出感度および時間分解能を実現している。

C: 超先端電子顕微鏡技術の開発と先進材料応用

先端電子顕微鏡計測に関して NIMS には多くのコアコンピタンスがある。原子コラム可視化研究(Nature, 2007年)や試料走査型共焦点顕微鏡法(APLほか2009年)は世界に先駆けて NIMS が発表した成果である。電子顕微鏡装置整備では、NIMS は国内トップレベルにあるが、世界最先端(バークレー研究所、ユーリッヒ研究センター)は色収差補正装置に移行しつつある。エネルギー分解能は 70meV で常時計測できる NIMS はトップレベルである。試料ホルダーの開発や装置制御・解析ソフトウェアについては、NIMS 独自の取り組みを行っている一方、国内外でさまざまな研究機関やホルダー作製メーカーが行っており、現在は世界的な開発競争中の状況にある。

D: 強磁場NMR計測技術の開発と先進材料応用

強磁場固体NMRでは、NIMS が 2014 年に世界最高磁場となる 1020MHz-NMR システム開発に成功し

NIMS 先端材料計測技術の開発と応用

た。特にこのマグネットは銅酸化物を用いた世界初の実用マグネットであり、酸化物コイルに特有の数々の困難を世界で初めて経験し、それを乗り越え 10 年越しの目標を達成した。また高磁場の特徴を活かした高度な NMR データを取得することにも成功し、NMR のシステム全体に及ぶ開発の技術力・求心力、統括力という点で世界トップであることを実証した。当グループでは 2002 年にも 920MHzNMR で世界最高磁場の記録を樹立したが、2009 年にドイツの 1000MHzNMR に記録を抜かれていた。

E: 強力中性子線計測技術の開発と先進材料応用

世界の各中性子施設では、環境エネルギー材料や構造材料への関心の高まりとともに材料応用に向けたその場観察技術やデータ解析法の開発に力を入れ始めている。この分野は、NIMS が世界にリードしており、例えば、高圧力(5GPa)高磁場(10T)の多重極限環境下での中性子散乱その場計測では世界に先駆け、また、モデルフリーの小角散乱プロファイル解析法 McSAS method は、権威ある学術誌に解説依頼されるなど高く評価されている。NIMS オリジナルの粉末 X 線・中性子用回折ソフト RIETAN-FP、MEM 解析三次元可視化 (VENUS) システムは世界のユーザーに広く使われ、スタンダードソフトとして認知されている。電子密度、原子核密度を三次的に可視化するソフト VESTA は単独で広く用いられている。

F: 放射光を利用した先端計測技術の開発と先進材料応用

NIMS は放射光を用いた全反射蛍光 X 線スペクトルで独自の高効率分光技術を開発、超微量分析応用に成功し、世界最高の検出限界を達成 (2002 年)、また X 線反射率の技術分野では先駆者であり、1980 年代から機器開発、データ解析の経験を蓄積し続けており、ミリ秒～秒レベルのリアルタイム計測(2014 年)にも成功した。X 線自由電子レーザーの利用は既に始まっているので、いくつかの国では超短パルス性を利用した研究も行われているが、そのほとんどは X 線回折測定であり、応用もその範囲にとどまっている。強すぎる光を用いることによる試料の破壊も深刻になりつつある。NIMS は経験豊富な蛍光 X 線と X 線反射率の技術でこの分野にほぼ 1 番乗りで進出する計画である。自由電子レーザー等を用いる蛍光 X 線スペクトルの報告は希ガス等の試料に限られているが、NIMS では試料損傷を避ける点でも有利な全反射法を採りながら限られた信号量の蛍光 X 線を超高効率に取得できる分光器を開発する。

2. 6 プロジェクトの実施体制と国内外との連携

NIMS において、第 3 期中期計画の関連するプロジェクト、WPI-MANA やナノ材料科学環境拠点 (GREEN)、共用基盤部門の計測関連ステーションとの連携を密にし、共同研究等で連携するプロジェクト等におけるイノベーションの創出に貢献する (図 3)。

さらに、国内の大学、研究開発独法、学協会等と連携し、産業界やアカデミアの計測ニーズに対応した先端計測技術の開発を実施する。特に平成 24 年度 (2012 年 7 月) から開始された文部科学省ナノテクノロジープロットフォーム事業における“微細構造解析プラットフォーム”の実施機関ならびに代表機関 (運営責任者: 藤田大介、運営マネージャー: 竹口雅樹) として参加し、国内外の研究者への最先端計測技術の研究支援を推進している。以下に NIMS 内ならびに国内研究機関との連携についてサブテーマ毎に記述する。

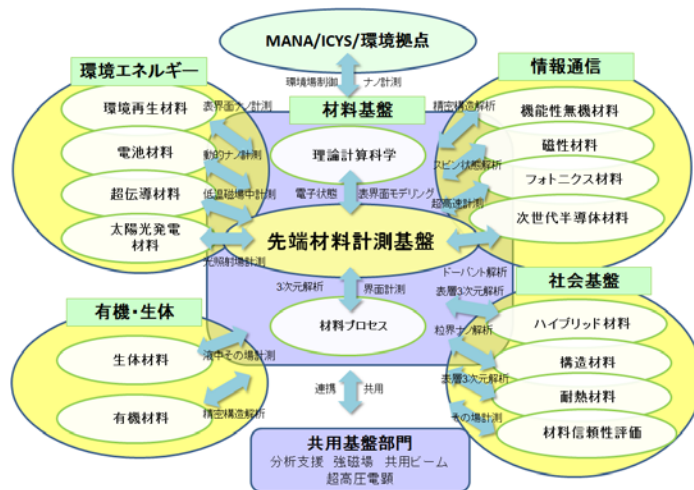


図3 本プロジェクトとNIMS内の研究プロジェクト等との連携関係

A: 先端表面敏感計測技術の開発と先進材料応用

NIMS 内部では、材料機能発現において表面がキーとなる全ての研究所、拠点、センターと連携する。GREEN、構造材料拠点、MANA などの先進材料研究と連携し、次世代太陽光発電材料、革新的構造材料、超伝導材料、次世代二次電池材料などの原子レベルでの解明に資するオペランドナノ計測解析を行う。産総研計測フロンティア研究部門や学振 167 ナノプローブ委員会とはプローブ計測技術における国際標準化などで連携し、産学独からの社会ニーズに十分に対応する。

B: 先端表層領域解析技術の開発と先進材料応用

NIMS 内部では表層領域の薄膜・界面評価が必要な全ての研究拠点・プロジェクトと連携し、対象複合材料の表層領域における元素環境や電子状態の高分解能解析を行う。超高速分光では次世代太陽電池の変換効率を左右する超高速キャリア移動の機構解明に GREEN 拠点等とともに取り組む。阪大や摂南大とは表層領域電子輸送シミュレータ開発で連携する。表面電子分光法の標準化では表面分析研究会および日本表面科学会表面分析研究部会、学振 141 委員会等と連携し、学界、産業界のニーズを取り込む。

C: 超先端電子顕微鏡技術の開発と先進材料応用

次世代二次電池関連試料では、既存のプロジェクトにおいて GREEN や民間企業と連携しており、引き続き協力して行う。開発した計測技術や試料ホルダーなどの独自の技術は、微細構造解析プラットフォームで国内外の研究機関や企業へ展開するとともに、民間企業との個別の共同研究のコアコンピタンスとしても展開する。

D: 強磁場NMR計測技術の開発と先進材料応用

全国の産学独約 20 研究機関 (NIMS 内部含む) との連携を行う。独自に合成した材料を提供し、NMR の成果を材料設計に生かすことにより高性能な材料を開発する。NIMS では強磁場固体NMRの技術開発を行い、NMRによる材料分析へ応用し、提供を受けた実用材料の局所構造などの課題を解決する。

E: 強力中性子線計測技術の開発と先進材料応用

理研、原子力機構との「量子ビームテクノロジーの先導的研究開発に関する研究協力協定」に基づき、燃料電池材料、量子複雑現象に関して共同研究を行うとともに、J-PARC 強力パルス中性子源を利用した装置活用において先導的研究を推進する。鉄鋼、自動車、電子部品メーカーと ACV 法等の中性子応用技術の開発を進めているが、さらに連携を強化し、実用材料ニーズへの多面的展開の基盤とする。

F: 放射光を利用した先端計測技術の開発と先進材料応用

応用物理学会埋もれた界面の X 線・中性子解析研究会、日本分析化学会 X 線分析研究懇談会、学振 19 委員会と連携し、先導的研究を推進するとともに、筑波大学の連係大学院における教育指導を通じて人材育成にも寄与する。

先端計測技術に関する国際的な連携については、まず、海外の国立研究所や大学との共同研究や研究者/院生の相互に受け入れ、機関間での MOU 締結を推進する。先端計測技術の国際標準化に関しては、国際的な共同研究の枠組みである VAMAS (Versailles Project on Advanced Materials and Standards) の場を積極的に活用する。プロジェクト責任者は 2016 年 1 月より VAMAS 日本代表を担っているとともに、サブテーマリーダー等は TWA2 や TWA29 などの国内対応コンタクトパーソンを務めている。一方、国際的な標準制定機関である ISO (International Organization for Standardization) においても積極的に参加し、主導的な役割を果たしている。TC201 (表面化学分析) ならびに TC202 (マイクロビームアナリシス) においては、国内業務委員長をさらに、先端計測に関するワークショップやシンポジウムの開催を通じて国際的な交流と連携を推進する。以下に国外の大学、研究機関や国際機関との連携についてサブテーマ毎に記述する (図 4)。

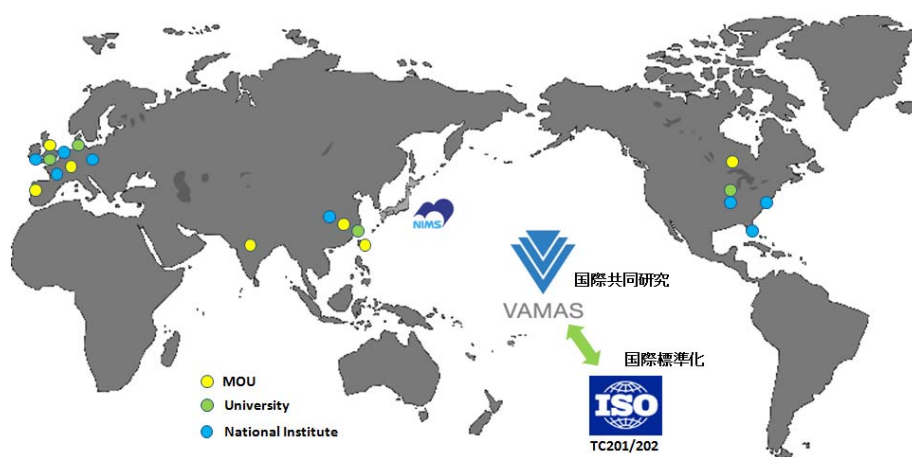


図 4 NIMS先端計測基盤技術プロジェクトと海外研究機関との連携

A: 先端表面敏感計測技術の開発と先進材料応用

次世代触媒材料である金属ナノ粒子等のナノプローブ解析に関して MOU 機関である国際イベリアナ

NIMS 先端材料計測技術の開発と応用

ノテクノロジー研究所(スペイン・ポルトガル)と連携する。超分子系やグラフェン等の先進機能材料の原子レベル解析に関して MOU 締結機関である中国科学技術大学、浙江大学と連携する。標準化に関しては VAMAS や ISO/TC201 を通じて国際共同研究を推進する。

B: 先端表層領域解析技術の開発と先進材料応用

電子分光基礎データベースの高度化では NIST (米国)、物理化学研究所 (ポーランド)、南デンマーク大学と連携する。超短パルス紫外光源の開発に関してピッツバーグ大学と研究協力を行う。分析技術の前標準化では VAMAS や ISO を通じて国際共同試験/研究を行う。

C: 超先端電子顕微鏡技術の開発と先進材料応用

国際連携については、共焦点走査透過電子顕微鏡による 3 次元ナノ立体計測技術の開発に関し、Oxford 大との共同研究 (共同で実験、論文執筆等) を行っている。

D: 強磁場NMR計測技術の開発と先進材料応用

世界全ての強磁場研究所 (米 NHMFL、仏 GHMFL、蘭 HMFL、中 NHMFL) と設立当初からの強い連携 (相互技術提携、交換留学、合同国際会議等) を維持・展開する。

E: 強力中性子線計測技術の開発と先進材料応用

学振「頭脳循環を活性化する若手研究者海外派遣プログラム」(研究代表; 北澤英明)を通して世界有数の大型パルス中性子施設である英国 ISIS、米国 LANSCE、SNS、英国放射光施設 Diamond との国際共同研究を実施している。(a)次世代大容量記憶メモリとして期待される「新奇マルチフェロイクス」、(b)再生可能エネルギー利用が期待される「熱電材料」、(c)低減衰光通信デバイス高輝度ディスプレイ利用が期待される「希土類添加発光材料」がテーマである。希土類添加発光材料研究に関して緊密な共同研究を展開させるためにマンチェスター大 Photon Science Institute (PSI)と MOU を締結した (2011 年)。若手研究者を上記機関に派遣し、最先端量子ビーム共同研究を推進する。

F: 放射光を利用した先端計測技術の開発と先進材料応用

海外 MOU 締結機関 (カナダ原子力エネルギー会社(AECL) チョークリバー研究所、ドイツ物理技術研究所、台湾工業技術研究院 (ITRI) 計測技術センター) 等との連携を強化する。ISO の X線反射率の国際標準化活動にも VAMAS や ISO/TC201 を通じて協力する。

2. 7 まとめと将来展望

第 3 期中期計画期間において、本プロジェクトは、Nature Nanotechnology 誌などの著名な学術誌における論文発表を重ねるとともに、NIMS 主要研究成果にも採択され、NIMS 理事長賞や文部科学大臣賞の受賞、同時に外部学協会等からも権威ある賞を数多く受賞しているなど、プロジェクトの成果や研究人材は国内外で高い評価を受けている。国際標準化においても、ISO/TC201、TC229 や VAMAS における国内業務委員長、プロジェクトリーダー、コンタクトパーソン、国内主査、エキスパート、委員長などを委嘱されるなど、先導的な役割を果たした。

イノベーションに資する先端計測の課題としては最先端計測機器を利用できる基盤の整備があげられる。内外の研究者が最先端計測機器を共用装置として利用できることにより、イノベーションの加速のみならず最先端計測機器の開発と普及を加速する効果が期待できる。先端材料計測プロジェクトは、国のナノテク・材料分野の施策に対応し、オールジャパンでの最先端計測の共用基盤構築が必要と考えている。ナノテクノロジー・材料分野における産学官の研究開発を幅広く底支えし、最先端のナノ研究施設の共用促進により、マテリアルイノベーションを加速する研究基盤拠点（プラットフォーム）の構築が国の施策として推進されている。このような背景から、平成24年度7月から開始された文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業の「微細構造解析プラットフォーム」に本プロジェクトは積極的に参画し、NIMSが開発してきた先端計測施設群の共用化と高度な研究支援を推進している¹⁾。

欧米ではNISTなどの国研や国立大学の拠点ラボが先導して世界最高性能の計測装置の開発を行い、協働ネットワークの構築によりトップクラスの研究を先端計測技術が牽引している。特に、米国ではイノベーションにおける先端計測技術の重要性が認識されている。たとえば、米国標準技術研究所(NIST)は、計測システムの包括的評価を行い、産業分野におけるイノベーションを加速するうえで計測技術が障壁となる事例を抽出し、計測技術開発の重要性を指摘した²⁾。一方、産総研が発行した分析機器産業の国際競争力強化に関する調査報告書によれば、2009年時点での分析機器産業の世界シェアは米国(66%)に次いで日本(14%)は2位であるが、3位ドイツ(13%)の成長が著しい。米日独の分析機器市場における世界シェア(93%)は3カ国の科学技術先進性を示している³⁾。米独は国が先端計測機器の開発を先導しており、我が国にも研究開発独法がリスクの高い先進技術開発を先導すべきである⁴⁾。さらに、先進的な計測技術の世界市場での普及には、定量化と標準化が重要である。標準化においては、国内に閉じた取り組みでは不十分であり、国際標準化機構(ISO)などの国際的スキームで標準化を推進することが重要である^{5,6)}。

上記の諸観点から、本プロジェクトの将来構想としては、先進計測技術の開発、先端計測共用基盤の構築、国際標準化の推進をミッションとする「先端計測における中核的研究拠点」を構築したい。

参考文献

- 1) 藤田大介, “ナノテクと材料研究を支える分析・解析・計測技術 —ナノプラットフォームの利活用—”, 工業材料, 64 (No.9), 26-30 (2016).
- 2) NIST Special Publication 1048, “An Assessment of the United States Measurement System: Addressing Measurement Barriers to Accelerate Innovation”, (2007).
- 3) 調査報告書「日本分析機器産業の国際競争力強化について」, 産業技術総合研究所 (2011).
- 4) 研究を加速させるナノ・先端計測, *NIMS Now*, Vol.11, No.1 (2011).
- 5) D. Fujita, H. Itoh, S. Ichimura, T. Kurosawa: Global standardization of scanning probe Microscopy, *Nanotechnology* 18, 084002 (2007).
- 6) 藤田大介, “走査型プローブ顕微鏡データマネジメントの標準化”, *J. Vac. Soc. Jpn.*, 56, 252-257 (2013).