

超高压電子顕微鏡を基軸とした革新的計測分野の創出～産業課題解決を志向した本邦だけが成し得るオペランド・三次元ナノ観察技術開発

① ビジョンの概要

20-30年後に直面する様々な産業課題の解決に必須となるのは、実用材料の動的挙動の根源である反応素過程をナノスケール分解能でオペランド・三次元観察する計測技術である。これを可能とするのは、1ミクロン程度の厚さの物質を透過観察する能力を持つ超高压電子顕微鏡である。装置を保有する国内全機関が連携して研究・計測ネットワークを構築し、技術開発に取り組むことで新しい計測分野を切り拓く。

② ビジョンの内容

脱炭素化社会の実現、電池の次世代技術開発、先端半導体技術の開発などの産業課題解決に共通して求められるのはナノ分解能での三次元観察やオペランド観察である。この要望に応える計測装置が超高压電子顕微鏡であり、厚さ1ミクロン以上程度の試料をナノ分解能で観察でき、表面効果を受けない物質本来の反応素過程を三次元観察できる能力を持っている。超高压電顕を所持する国内全機関が連携して計測技術開発に取り組むことにより、当該計測領域の学術分野におけるヘゲモニーを我が国が握ることとなる。その結果20-30年後に直面しうる様々な産業課題を解決できる強力な手法を、我が国が優先的に活用できる状況が構築される。

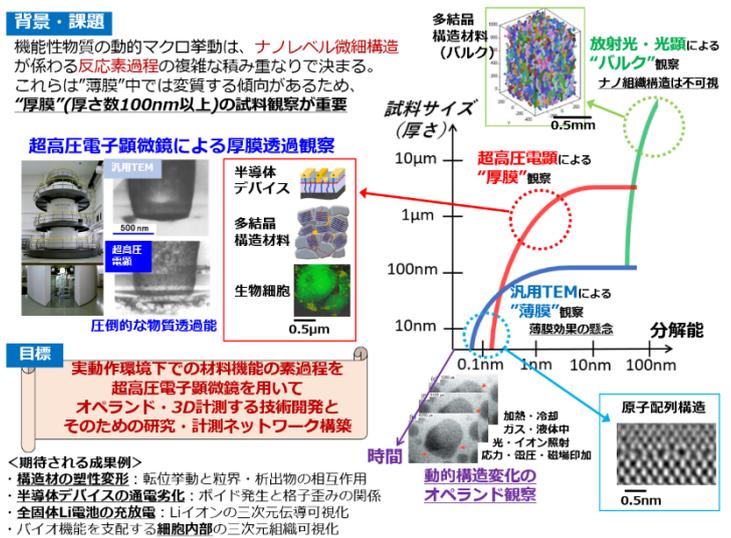


図1 超高压電子顕微鏡によるオペランド・3D計測

③ 学術研究構想の名称

超高压電子顕微鏡研究・計測ネットワークによる学術的深化と共通計測基盤の構築および産業の革新を志向したオペランド・三次元ナノ解析技術の開拓

④ 学術研究構想の概要

電子線と物質の相互作用の学理を追求・深化させることに加え、情報科学的解析も駆使した新しい計測法の開発にも取り組み、超高压電顕の透過観察能力を最大限に引き出した定量的かつ効率的な観察技術を確立する。さらに従来のトモグラフィ計測時間を大幅に短縮する手法開発にも取り組み、材料挙動の反応素過程を観察可能なオペランド三次元計測手法へと昇華する。またアトムプローブ法、高速AFM、放射光計測など近隣の計測手法との連動や新規要素技術の開発にも取り組み、20-30年後の様々な産業課題解決に不可欠となる計測体系の確立を目指す。この実現のために、超高压電顕を運用する国内5機関（阪大、九大、名大、北大、日立製作所）による研究・計測ネットワーク構築を行う。このネットワークを通じて各装置の持つユニークな機能の相補的な組み合わせを図る一方、付属機器等の整備による性能の高度化と共通化を進め、試料とデータの共有、人材交流と若手育成も推進し、我が国にしかできない超高压電顕を基軸とした計測分野の創出を目指す。

⑤ 学術的な意義

従来適切な手段がなく手つかずとなっていた「サブミクロンスケール構造の三次元的解明」、即ち汎用TEMで観察されるナノスケール構造と放射光などで計測されるミクロンスケールのはざまにあり、材料機能に決定的な影響を与える重要なスケール領域の精緻な顕微解析を達成するという学術上の革新を成し遂げる。様々な応用計測を通して、機能性材料の動的現象の素過程を解明するという材料科学的ブレークスルーが期待され、鉄鋼など構造材料の塑性変形や破壊、半導体デバイスの通電劣化、全固体電池のイオン伝導、ナノ触媒によるガス反応、液中での腐食、などの様々な現象の素過程解明や細胞内立体構造解析、などの画期的な研究成果が期待される。これらの成果は現在の様々な産業課題の解決方針を定める重要情報であり、またそれを可能とする計測分野の確立は今後の様々な産業課題解決にも応用可能となる。そのため20-30年後の

技術革新に多大な波及効果を及ぼすと期待され、産業構造の転換を誘起するという意義を持つ。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

超高压電顕は1960年代初頭から60年間にわたり、のべ70台以上が設置・運用されてきたが、200kV級電顕の高性能化が急速に進展し、欧米の研究機関は設備の維持管理の観点で超高压電顕から撤退した。しかしながら、バルクと比肩しうる極厚膜試料の組織観察は依然として超高压電顕のみが可能であり、鉄鋼材料やパワー半導体、高性能電池開発においてその重要性は再び注目を集めている。高性能・超高速カメラや分光器、電子プローブ、デジタル制御など、汎用電顕での技術革新を導入することにより、超高压電顕の高性能化とさらなる発展が期待できる。本邦以外では超高压電顕を用いた最先端研究は実施不可能であり、超高压電顕は伝統に裏打ちされた我が国独自の研究手法であると言える。

⑦ 社会的価値

超高強度な鉄鋼材料、超微細加工の三次元半導体デバイス、高速充電可能な全固体リチウム電池、燃料電池電極用の高機能金属ナノ触媒、バイオナノマシン、などの実現に向けたソリューションを提示することができる。これらの課題以外にも20-30年後の経済的・産業的価値につながる様々な現象の解明が期待でき、SDGsの目標に挙がっているエネルギー効率向上やクリーンエネルギー活用にも貢献できる。

⑧ 実施計画等について

実施計画・スケジュール：初年度に5機関連携の研究・計測ネットワーク構築に取り組み、情報ネットワークを介したデータ集積と共有・リモート観察実験の整備、人材交流による知識・経験・学問的知見の共有を行える体制を整備する。高感度・高速カメラを最初の2年間で配備し、装置制御システム・試料ホルダー・ゴニオメータ規格・プローブ走査機能(STEM)の共通化について4年以内に整備しつつ、観察手法の高精度化・三次元化・高速化の技術開発を並行して行う。産業課題解決につながる計測候補の抽出と必要となる仕様を満たした各種オペランド計測用の特殊試料ホルダーの共同開発を6年目までを目処に行う。同期間に並行してマルチモーダル結合やマルチスケール結合、計測インフォマティクス活用への取り組みも行う。これらによって確立した超高压電顕を基軸とした複合解析手法を用いて、7-10年目に様々な応用計測を進める。またその次の10年間における超高压電顕研究のさらなる飛躍に向けた要素技術開発、および20-30年後の実現を見据えた装置コンパクト化に向けた技術開発の調査研究を行う。

実施機関と実施体制：大阪大学、九州大学、名古屋大学、北海道大学、日立製作所の5機関の連携によって実施する。各機関の運用する7台の超高压電顕はそれぞれがユニークな特長を生かした計測を分担し、大阪大学が全体統括の役割を担う。各機関において博士研究員や技術者を雇用し、次の世代の超高压電顕分野の発展を担う若手人材を育成することを通じて、20-30年後の超高压電子顕微鏡分野のさらなる発展を図り、次世代超高压電顕の開発に備えた装置技術とノウハウを若手技術者に絶やすことなく継承する。

総経費 48億円：高感度・高速カメラの設置およびそれを活用したSTEM機能拡充用装置の設置に約5億円、装置制御システム・試料ホルダー・ゴニオメータ規格・プローブ走査機能の共通化に約10億円、各種オペランド計測用の特殊試料ホルダーと特殊試料作製・制御装置の開発費に約3億円、バイオ観察用位相板、超高速観察用パルス電子銃、コンパクト超高压電顕の調査開発費に約10億円、研究人材・技術人材の雇用費として約10億円(各機関2、3人を10年間)、5機関保有の超高压電顕の保守・運用に係わる費用として約10億円(7装置1台あたり約1,500万円/年)の所要経費を計上する。

⑨ 連絡先

桑畑 進 (大阪大学 超高压電子顕微鏡センター)



図2 超高压電子顕微鏡 研究・計測ネットワーク構想