

フランス国立研究機関CEMESとのグローバルコラボレーション

—共同プロジェクトでハイエンドTEMに収差補正器を搭載—

1. はじめに

株式会社日立ハイテクノロジーズ(以下、「日立ハイテク」と記す。)は、フランスの国立科学研究機関CEMES (Center for Materials Elaboration and Structural Studies: 材料精緻化・構造研究センター) とのコラボレーションにより、ハイエンドFE-TEM (Field-Emission - Transmission Electron Microscope: 電界放出形透過電子顕微鏡) に球面収差補正器を搭載した電子顕微鏡を開発して、2012年にCEMESに納入した。この装置は、世界最高クラスの分解能(磁場フリー位置で空間分解能0.5 nm)^{※1)}を得ている。

本稿では、コラボレーションの成功に至る道筋を振り返る。

2. CEMESからのリクエスト

CEMESは、CNRS (The National Center for Scientific Research: フランス国立科学研究センター) に所属する研究機関であり、欧州でもトップクラスの物質・材料研究所として知られる。また、高い電子顕微鏡技術を有することでも有名であり、1958年には独自の超高压電子顕微鏡を開発し、最近では「暗視野電子線ホログラフィー法」という顕微鏡観察手法を開発している。

CEMESでは、2007年ごろに次世代半導体の研究開発に向けて、新たな電子顕微鏡の開発・導入のプロジェクトを開始した。半導体デバイスに高性能化をもたらす「歪みSi」^{※2)}に対応し、デバイス内部の歪み分布を電子線ホログラフィーによって観察・測定する技術やアプリケーションを開発することが、一つの目的であった。

CEMESはこのプロジェクトへのパートナーとして、日立ハイテクに参画をリクエストした。日立ハイテクは、高輝度・高エネルギー分解能で高い干渉性の電子線が得られて電子線ホログラフィーに適したCold FE電子銃(冷陰極電界放出形電子銃)の技術を持つ。

3. CEMES研究者の熱い思いに応えて

日立ハイテクは、ハイエンド透過電子顕微鏡(TEM)として、Cold FE電子銃を搭載したHF-3300型FE-TEM¹⁾を製品化していた。

CEMESのリクエストは、このHF-3300にCEOS社(Corrected Electron Optical Systems GmbH)のProf. Dr. Max. Haiderらが開発した球面収差補正器を搭載してほしいというものであったが、その実現には多くの壁があった。CEOS社とはすでに、球面収差補正器を搭載した走査透過電子顕微鏡(STEM: Scanning Transmission Electron Microscope) HD-2700の共同開発を行っていた。しかし、このリクエストは既開発の製品に他社装置を組み込むものであり、そのようにモディファイしたものへの性能保証はできないというのが日立ハイテクの品質管理基準のスタンスであった。また、特注案件であり、工場の生産計画や他の製品への影響も懸念され、プロジェクト参画に反対する意見も社内には多くあった。

このハードルを乗り越えさせたのは、CEMES研究者の思いと、それに応えようとした営業・設計部門の熱意であった。

日立ハイテクにとってCEMESへの納入は、今回が初めてとなる。ところがCEMESには、日立ハイテクのFE-TEM HF-2000が2基据え付けられていた。今回のプロジェクトメンバーの一員であるフローレン・オドリエ氏が、2005年に英国とスイスの大学から譲り受けて、自らの手でTEMの解体・輸送・組み立て・調整までを行い、CEMESでの実験・研究に活用していたものであった。これを通じて、CEMESでは日立ハイテクの電子顕微鏡の高度なコア技術を見極めており、プロジェクトへの日立ハイテクの参画を切望していた。このような探究心と行動力を持つオドリエ氏をはじめ、CEMESの研究者たちの思いにぜひ応えたいとの熱意を、日立ハイテクの営業・設計部門は持つに至った。

課題であった性能保証の問題は、CEMES・日立ハイテクをはじめとする関係者でのミーティングを繰り返し、担当部分を細かく定義することで解決した。収差補正の性能

※1) 電子顕微鏡では電子レンズに磁場を用いるため、一般に試料に磁場の影響が生じる。磁性材料の磁区観察などでは磁場の影響を受けないことが必要であり、これが「磁場フリー」である。

※2) Si結晶格子に歪みを与えて、電子・正孔の移動度を高めることで半導体デバイスの性能を向上する技術。半導体製造プロセス管理ではSi結晶格子の歪みの測定・制御が重要になる。



図1 CEMESとのコラボレーションで開発・納入された「I2TEM」

日立ハイテクのTEM (Transmission Electron Microscope) HF3300SにCEOS社の収差補正器を搭載した。干渉 (interference) 縞と、原子レベルの動的観察 (in-situ観察) が可能なことから、2つの「I」を採って「I2TEM」と名付けられた。本体には関係者の思いを込めた「愛2TEM」の文字が刻まれている。

を引き出すには電子顕微鏡本体の機械的・電気的な安定性向上が必要であり、これを実現したHF3300Sに収差補正器を搭載することとした。技術については、日立ハイテク設計部門がCEMESと妥協なく本音をぶつけ合って問題解決に尽力し、時間をかけて信頼関係を築いていった。生産計画への影響についても、CEMESとの協業によって得られるメリットと期待効果を社内で説明し、周囲のサポートも得て、プロジェクトへの参画が承認された。2011年1月には、CEMESと日立ハイテクとの間で正式な契約が交わされた。

ところがその2か月後、東日本大震災により、日立ハイテクの生産拠点である那珂地区 (茨城県) は甚大な被害を受ける。約1か月間の閉鎖を余儀なくされ、予定納期は白紙となった。当時、日立ハイテックノロジーズヨーロッパ会社に駐在していた営業担当者はすぐにCEMESを訪ね、納期遅れを詫びるとともに、復旧・再稼働の正確な状況把握とCEMESに対する誠実な報告に努め、納入計画書を再提出して、この試練を乗り越えた。かくして据え付け・引き渡しを2012年9月に完了し、完成にこぎ着けた。

このCEMESオリジナルのFE-TEMは、干渉 (interference) 縞を観察できるホログラフィー電子顕微鏡であり、原子レベルでの物質変化の動的なin-situ観察を可能にしたローレンツ顕微鏡^{※3)}であることから、2つの頭文字「I」を採って、「I2TEM」と名付けられた (図1参照)。

4. I2TEMワークショップ

CEMESではこのI2TEMの落成式・ワークショップを、2013年6月に2日間にわたって開催した。CEMESで納入

※3) 試料位置で対物レンズの磁場が影響しないように構成された電子顕微鏡。磁性材料の磁区構造の観察などに用いられる。

後に得られた、暗視野電子線ホログラフィー法で観察された半導体の歪み分布や磁性ナノワイヤの磁場分布などのデータが発表され、I2TEMに期待される成果をアピールする場となった。

落成式・ワークショップにはCEMESをはじめCNRSや欧州内から約100名の研究者・関係者が出席した。日本からも日立製作所中央研究所の研究者らが参加した。CNRS Institute of Physicsのディレクター、市長代行・州知事や科学研究部門長らも祝辞を述べ、フランスのル・モンド紙にも取り上げられ、I2TEMがCEMESと日立ハイテクとのコラボレーションによって誕生したと報じられた。

また、2014年9月にCNRS幹部の立ち会いの下、CEMESと日立ハイテクのパートナーシップアグリーメントの調印式が開催され、CEMESと日立ハイテクが電子顕微鏡の研究・開発を連携して行っていく内容が公式に締結された。

5. I2TEMの利用分野

CEMESがI2TEMに期待しているのが、ハイブリッド車や電気自動車の高性能モータに利用される永久磁石の磁場測定である。I2TEMでは、磁場の影響を受けない磁場フリー状態で磁性材料の高分解能観察ができる。この特徴を生かして、CEMESではレアアースの境界磁力を測定し、磁力のメカニズム解明と材料研究に適用していく予定である。

またHDD (Hard Disk Drive) の磁気ヘッド部材の磁場測定により、HDD高密度化・高速読み出しなどへの貢献が期待される。がん治療など医療分野への応用の可能性も模索されており、新材料開発や新たな産業分野・学問領域の開拓が期待される。

参考文献

- 1) 佐藤、外: Cold FE電子銃を搭載したハイエンド分析電子顕微鏡「HF-3300」、日立評論, 90, 4, 350~353 (2008.4)

執筆者紹介



飯田 一志
株式会社日立ハイテックノロジーズ 科学・医用システム事業統括本部
科学システム営業本部 マーケティング部 所属
現在、ヨーロッパ向け輸出営業業務に従事



谷口 佳史
株式会社日立ハイテックノロジーズ 科学・医用システム事業統括本部
科学システム製品本部 電子顕微鏡第二設計部 所属
現在、主にTEMの技術開発と技術指導に従事