

「見るから測るへ」 電子顕微鏡技術の進化

杉山 昌章

大阪大学超高压電子顕微鏡センター



「見ると測るは科学の原点」と先輩から学んだ。電子顕微鏡に関わる人は最初に新しい現象を見ることができるので、実に楽しいだろう。とも言われてきた。そうかもしれない。同時にそんな見る楽しみに満ちた装置ベースに、構造材料から半導体デバイス、さらに生物・生体まで、本当に幅広い分野の人々が集まること

ができる日本顕微鏡学会の魅力は、一言では語れない。ここでは産業界と大学の両方を渡り歩きながら電子顕微鏡と人生を過ごしてきた一人として、今後への期待を述べさせていたきたい。

今、時代は大きく変わろうとしている。印画紙の時代からデジタルの時代に移り、さらに機械学習や深層学習の進化による画像データ処理技術の進展により、定性的だった電子顕微鏡データが定量的、つまり測る装置へと変貌しつつある。特に、半導体デバイスの世界では、測長 SEM の開発により、見る SEM ではなく測る道具としての SEM が市場を凌駕している。DX 化が進めば、間違いなく TEM の世界にもこの流れが入ってくるであろう。ところで民間企業で構造材料の研究開発に 30 年従事していた経験を振り返った時、解析の専門家として材料を見るだけではなかなか発見はなく、現場の開発技術者と一緒に見たり、また自らが製造ラインに関わりながら材料組織を見ることで、初めて役に立つデータが得られたことが多かった。モノ造り現場の実状を体験しながら見るのがなぜ大切か。自らの電子顕微鏡との関係を振り返る中で考える。

透過電子顕微鏡との出会いは、大阪大学基礎工学部の藤田英一研究室 4 年の時に、非晶質材料を加熱して結晶化してくる晶析物の美しさに感激したのが始まりである。まさかライフワークになるとは思わなかったが、高分解能電顕、電界放射型電子銃の登場、FIB 技術による試料作製技術の革新、そして収差補正透過電顕の開発と、まさに電子顕微鏡技術の革新と共に鉄鋼材料の組織制御技術が飛躍的に進んだ時代を企業の研究者として走り抜けてきた。分析できる析出物の大きさが、100 nm から 10 nm、そして 3 nm 以下となり、製造している鉄鋼材料の強度因子が判然としない時代に、見ることによってまさにその強化機構が解明されていった時代を経験した。いつしか、見学されるお客様方に、「鉄鋼材料は原子

レベルで制御しています」と答えるようになっていた。当然、常に最先端の電子顕微鏡技術に触れる機会を得て、顕微鏡学会でも色々な役割を果たさせていただいたが、惜しむらくは、産業界のこのような電子顕微鏡の活用事例や新たな技術ノウハウはなかなか顕微鏡学会の場での発表に繋がらない。これは材料を製造現場の研究者と一緒に見ることで社内で役立ってしまい、研究は次のフェーズに進んでしまうからである。

他方、学会での技術進展はさらに著しく、次々と原子レベルの解析技術やさらに新しい電子顕微鏡が開発され、干渉像ではなく、実像に近い形で原子の並んでいる挙動や、界面での元素分配などが解明されつつある。これに併せて、計算科学シミュレーション技術も進化し、元素分配やクラスタリング、転位の挙動などが物理現象に基づいて議論できる時代になりつつある。現在の若い研究者は本当に多くの課題があって楽しいだろう、と思うことも多いが、必ずしも材料現象に基づいた分析技術の議論は顕微鏡学会では活発になっていない。これは測る、つまり顕微鏡で定量的な議論がなかなか始まらない所にも問題の一つがあるのではないかと考えている。

半導体デバイス開発が日本でも再び脚光を浴び、遂に最先端半導体デバイスの製造ライン設立に挑戦すると聞く。この線幅が数 nm 長の先端半導体の世界では、デバイス製造時の原子同士の距離やゲート長を正確に計測したいようだ。構造材料においても、破壊や腐食、また加工変形時の転位の挙動など微細組織に対する解析課題は多いが、限界や格子欠陥に対する分析データは、計算科学分野で使われている結晶モデルの正当性を判別できるような定量的なものではない。

これらのニーズに応えながら TEM を測る装置として発展させるためには、試料作製時のアーティファクトなども定量的に理解され、処理方法もルール化される必要がある。TEM 技術の裾野を広げるこのような技術は今までは職人芸に依存する部分が多かったが、昨今の画像処理を活用した FIB 法による試料作製技術の研究は、新たな活路を見出しつつある。筆者らも昨年度より FIB 技術先進システム研究会を立ち上げ、TEM 観察における試料作製技術の重要性を真に議論し始めたところである。これはまさに、薄いところを探して見る時代から、狙った領域を物理的にも正しく薄片化し、アーティファクトの無い状態で TEM データから定量的な知見を得る、すなわち測れる電子顕微鏡へと発展させていくことに対応する。

「測る」という視点で対象材料を越えた技術論を展開することで、産業界にも学界にも役立つ共通的な視点が生まれるのではないかと期待して、一提案とさせていただく。

杉山昌章 (Masaki Sugiyama)

1980 年 大阪大学基礎工学部 物性物理工学科卒業

1985 年 大阪大学大学院基礎工学研究科 物理系物性学卒業
(同年 3 月 工学博士)

1985 年 新日本製鐵 (株) 第一技術研究所 (現先端技術研究所)

2010 年 新日本製鐵 (株) 技術開発企画部部長

2012 年 新日鐵住金 (株) 先端技術研究所 上席主幹研究員 (部長格)

2015 年 大阪大学大学院工学研究科 特任教授 (共同研究講座)

2023 年 大阪大学 超高压電子顕微鏡センター 招へい教授