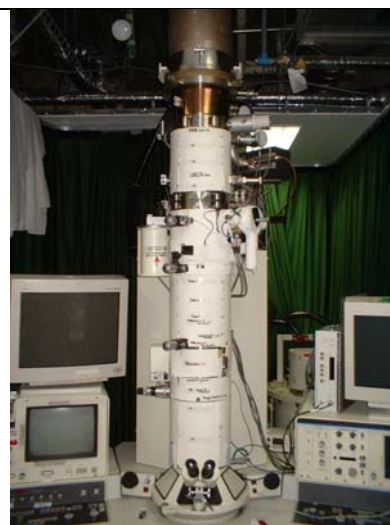


ディビジョン番号	10
ディビジョン名	分析化学

大項目	1. 分析化学
中項目	1-12. 顕微鏡
小項目	1-12-1. 電子顕微鏡

概要（200字以内）

電子顕微鏡は、光学顕微鏡の限界である、サブマイクロメートルの構造から、原子レベルの構造まで観察できる技術である。現在、その最高分解能は 0.5 Å を超え、原子内部の構造を観察できるとともに、電子線エネルギー損失器などによる元素分析も可能である。一方、FIB を始めとするナノ加工技術との組み合わせをはじめとして、半導体などの材料、デバイス開発、ナノテクノロジーや生命研究など発展とともに、その場で直接観察が可能な電子顕微鏡技術の必要性が増している。クライオ電子顕微鏡技術による電子線による試料損傷の低減により導体でない生物試料や有機分子の精密な観察、3次元構造観察手法の開発など進展が著しい。



現状と最前線

■高分解能撮影：0.5 Å を超える観察、超高圧電子顕微鏡、電解放出型電子銃

電子顕微鏡は、1000keV を超える電圧による電子線の加速（超高圧電子顕微鏡）と高輝度の電子銃（電解放出型電子銃）が相まって、高分解能化が進んでいる。外村ら（日立・基礎研）が開発した電子顕微鏡は、世界最高分解能として 0.5 Å を超え、原子の内部構造の詳細を議論できるまでになった。電子線の波長からの分解能の理論限界は更に2桁上であり、原子の100分の1にあたる。収差の補正、電子顕微鏡技術の向上により、更なる発展が期待できる。この超高圧電子顕微鏡技術は、車でいえばF1にあたる。この技術が下流の電子顕微鏡に波及することにより、電子顕微鏡観察技術そのものが向上することが期待される。

■STEM（走査透過電子顕微鏡）：分解能の向上と元素マッピング、加工技術との統合

各電子顕微鏡メーカーが、球面収差補正レンズの開発を行ったことにより、電子線を 0.15nm 程度の点に、高輝度で収束することが可能となった。この電子線を走査することにより、高分解能のSTEM像が得られるようになった。この手法は、微小領域での元素分析が可能である電子線エネルギー損失分光器やX線分析装置と組み合わせることで、高い検出感度と空間分解能をもつ元素分析（**元素マッピング**）が可能となった。透過電子顕微鏡では、試料を薄層にすることが必要であるが、**FIB（収束イオンビーム）**と呼ばれるナノ領域加工装置と組み合わせることで、観察したい領域を加工し、挿入されたバルクの試料の観察も可能となった。

■SEM（走査型電子顕微鏡）：高分解能化と廉価版の開発

SEMは透過電子顕微鏡と異なり、バルクの表面構造をそのまま観察できる利点があり、電子デバイスの観察や細胞などの表面構造を観察することに向く。STEMと同様に、電子線プローブが小さくなったことにより、1nmをはるかに超える分解能が実現できるようになった。

更に、500万円～1000万円程度の小型・廉価版のSEMの開発（1万倍程度）により、電子顕微鏡が身近な存在となった功績は大きい。教育現場における科学技術への興味向上はもちろんのこと、研究開発の現場でも、手軽に通常のナノテク（100nm以下）技術を観察できることで開発を加速するだろう。今後、ナノテクを支える観察技術となりえる。

■その場観察：

無機材料では、たとえば、800度などの高温条件での反応場における反応過程の観察が行われている。近年、中村ら（東大・理）は、飯島らの発見したナノチューブの内部に有機分子を細くすることで、有機分子の動きを電子顕微鏡で捉えることに成功した。ナノ構造の動態を理解する上で重要となろう。

■クライオ電子顕微鏡法：電子線損傷の低減

生体分子や有機分子のような不導体の構造観察において、電子線による試料の損傷は大きな問題である。藤吉ら（京大・理）は、液体ヘリウム温度の極低温観察可能な電子顕微鏡を観察することにより、膜タンパク質・2次元結晶での原子レベルの構造解析に成功している。開発された電子顕微鏡は世界的にも評価が高い。観察している試料の真の動態を理解するには、電子線損傷の低減は避けられない。

■3次元構造観察：

電子線トモグラフィーの発展は、2次元観察を主体としてきた電子顕微鏡法に、3次元情報を与えることとなった。古い技術ではあるが、計算機の発展もあり、手軽な手法となりつつある。他の手法、例えば、光散乱による粒子径の測定には仮定が必要であるが、その仮定の妥当性などを検証するには、直接像を観察できる電子顕微鏡法が適している。

将来予測と方向性

- ・5年後までに解決・実現が望まれる課題
球面収差・色収差補正レンズを用いた電子顕微鏡技術の廉価装置への普及
電子線損傷に配慮した電子線トモグラフィーに適した電子顕微鏡装置の開発
低倍（100倍）から高倍（100万倍）に至るシームレスな観察が可能な電子顕微鏡開発
- ・10年後までに解決・実現が望まれる課題
電子線損傷に配慮した電子線エネルギー損失による3次元元素マッピングの開発
光学顕微鏡、X線散乱などの他の観察技術とのハイブリッド電子顕微鏡の開発

キーワード

電子顕微鏡、ナノテクノロジー、その場観察、3次元構造観察、元素イメージング