

## 単原子スペクトロスコピー

<sup>a</sup>産業技術総合研究所, <sup>b</sup>九州大学

末永 和知<sup>a</sup>, 松村 晶<sup>b</sup>

### 【研究目的】

生体や物質に含まれる元素を、原子ひとつひとつの精度で全てを分析する技術は、広い範囲の研究分野で望まれている。九州大学では世界に先駆けて検出立体角が1ステラジアン級のエネルギー分散型X線分析 (XEDS) 装置を開発して、収差補正高分解能電子顕微鏡に装着している。本研究では、この高感度XEDS・STEMシステムを活用して、単原子からのX線検出を試み、XEDSによる原子同定の新たな可能性を明らかにした。

### 【成 果】

研究に用いた試料は図1(a)のように、エルビウム (Er) 原子 (赤で表示) が炭素で構成されるフラーレンとカーボンナノチューブ(SWCNT)に二重に内包されたピーポット構造を持つ (炭素原子のネットワークはグレーで表示)。図1(b)に示した、走査透過電子顕微鏡暗視野 (HAAADF-STEM) 像で特に明るく見えるところがEr原子である。図1(b)中の黄色矢印で示したEr原子に、およそ0.2 nmに細く絞った電子線を照射し、そこから得られたXEDSスペクトルを図2に示す。このとき、炭素原子からなるピーポッドを壊さないために、電子線の加速電圧は60 kVとした。図2で、およそ1.4 keVと7.0 keVに現れているのが、図1(b)中で黄色矢印で示したEr単原子が励起され発生した特性X線 (それぞれM線、L線) である。0.3 keVには、構造体の炭素に由来する特性X線のピークも現れている。このようにEr単原子の特性X線の検出に成功した。XEDS法は、幅広い範囲の元素の極微量検出に応用できるため、物質に関わるさまざまな研究分野の発展に大きなインパクトをもたらす。いままで困難であった重金属原子を個々の精度で検出できれば、例えば、白金や金などを触媒とする燃料電池や抗がん剤の機能解明など、グリーン/バイオテクノロジー分野の大きな貢献が期待される。さらに装置開発の面でも、広角SDD検出器の有効性を世界でいち早く示すものであり、大きなインパクトをもたらした。実際に本プラットフォームも含めて多くの研究機関で、本XEDSシステムの導入が予定されている。なお、本研究で得られた成果の一部は、*Nature Photonics*, **6**, 545-548, (2012)に発表した。

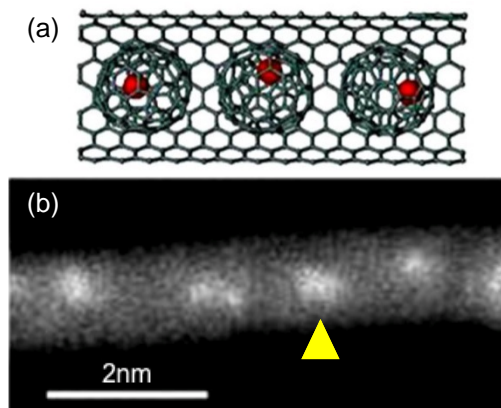


図1：エルビウム原子を内包したピーポット(a)とそのHAAADF-STEM像(b)

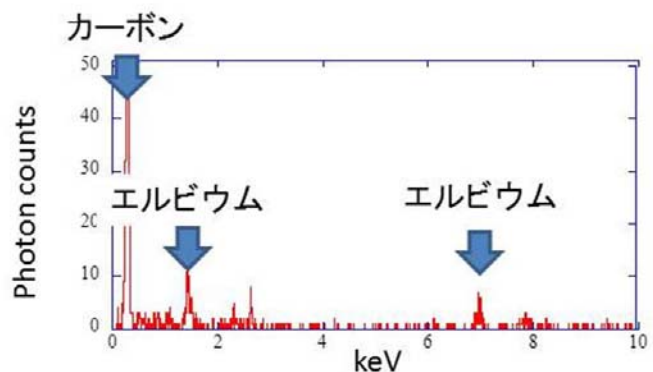


図2：エルビウム単原子から得たXEDSスペクトル。図1(b)中の黄色矢印の原子から得た