

「元素戦略と未来の材料」を拝聴して

東京工業大学 科学技術創成研究院

フロンティア材料研究所 助教 飯村壮史

細野先生は酸化物エレクトロニクスの新分野開拓、セメントを原料に用いた室温大気下でも安定な電子化物の合成とそのアンモニア触媒への応用、鉄系高温超伝導体の発見など、異なる分野を横断しつつ輝かしい成果を挙げられている材料科学者です。本講演では学生および若手研究者に向けて、これからどんな材料を研究したらよいか、についてご自身の成功体験を元に解説されました。

初めに、iPad や有機 EL ディスプレイなどに TFT として実装されている透明アモルファス酸化物半導体 In-Ga-Zn-O (IGZO) についてお話しされました。伝導性アモルファス酸化物については 1995 年ごろからすでに着手していたそうですが、当時の評判は散々なもので、800 件以上の発表が寄せられたアモルファスの国際会議において酸化物に関する発表は細野先生による一件のみだったそうです。「ここは君が来る学会じゃないよ。」と言われたことに対する先生の反発エピソードは場内を沸かせました。しかし、電子構造に着目した明瞭なコンセプト；反結合性バンドを典型金属や Cu、Zn 族元素が持つ *s* 軌道から構成し、アモルファス酸化物でも結晶と遜色ない高い電子移動度を得る、をもとに、2004 年にはプラスチックフィルム上に室温成膜したアモルファス IGZO を用いて TFT を作成し、アモルファスシリコンよりも 10 倍以上高い電子移動度を実証し、酸化物エレクトロニクスという新しい学問分野を切り開きました。IGZO が搭載されたご自身の Surface Pro4 を持ち上げ、「自分たちが作った材料で動くデバイスを用いてその材料に関する講演をするのは、材料科学者の醍醐味である」と述べられ、若い研究者にとって非常に刺激的なお話でした。

また、カルシアとアルミナから成る籠状酸化物 $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ (C12A7) においては、正に帯電した内径 4-5Å の籠中に電子を包接することで 7eV もの大きなバンドギャップを持つ絶縁体を半導体、金属、さらには超伝導体に変換できることを見出されました。籠中の電子は特定のサイトを占有し陰イオンのように振舞うことから、この C12A7 は電子化物と呼ばれ、金属カリウムに匹敵する低い仕事関数 (~ 2.4 eV) を示します。印象的だったのは、C12A7 電子化物を発見された際に、上記の IGZO の流れに沿って透明電極への応用を検討するのではなく、C12A7 のユニークな特性である高い化学的安定性と低仕事関数に着目しアンモニア合成触媒へと研究へと大きくシフトさせた点です。ルテニウム微粒子を担持した C12A7 電子化物は窒素の三重結合が持つ非常にエネルギーの高い反結合軌道に電子を供与して、窒素の解離を容易に引き起こすとともに、従来の Ru 系触媒の問題であった水素被毒をなくし、

安定で高い触媒活性を実現しました。「使われる物質 (= 材料)にはユニークさが必要」とのことで、物質の本質に正面から向き合う細野先生の研究姿勢が垣間見えた瞬間でした。

最後の高温超伝導に関するエピソードでは、従来超伝導とは最も相性が悪いとされてきた磁性金属元素の鉄でも、電子注入によって価数を制御し電子スピンを抑制することで超伝導体化が可能であるというお話をされました。最近の話題として鉄系を用いた超伝導マグネットや100m 超級の線材を取り上げ、産業応用に向けた研究についても触れておられました。

学問分野において材料と聞くと、純度や結晶性の向上、もしくは粒界や他材料との界面制御といったプロセスに重点を置いた工学的なアプローチが一般的です。しかし本講演では、構成元素の選択からナノ構造や価数の制御など結晶学や固体化学、物性物理学など様々な角度からのアプローチを駆使し、いかにして物質を材料に昇華させてきたか、についてご紹介いただきました。最後に本学の学生から「材料の新大陸はあとどれくらい残っているのか」といった質問が出たように、これから材料研究に携わろうとしている若者にとって最大の関心事は、いかにして新材料を見つけるか、にあると思います。細野先生曰く、「新材料の大陸は見ようと思う人にしか見えない。分野を跨ぎ様々な学問に触れ新しい手法を身に着けていくことが大切である。」とのことで、学生や若い研究者は大いに刺激され勇気づけられたのではないかと思います。