

受賞業績

ナノ構造を活用した画期的な無機電子機能物質・材料の創製

細野秀雄 博士

1953年9月7日生まれ(62歳)
東京工業大学元素戦略研究センター長
同大学応用セラミックス研究所 教授

概要

新たな材料の発見は、産業や社会を変革する大きな力になります。細野秀雄博士の挑戦は、まだ誰も成し遂げていない領域で新たな機能性材料を創り出すことでした。例えば、ガラスのような「透明な酸化物」は、電気を通さないため電子機能材料には向かないとされていましたが、博士はそのナノ構造を研究することで「透明アモルファス酸化物半導体」を開発。現在では液晶や有機ELディスプレイなど幅広く世の中で役に立っています。そのほか、超伝導物質にはならないというのが常識とされていた鉄系化合物で高い超伝導転移温度を達成したり、典型的な絶縁体と考えられてきた物質のナノ構造を改変することで「電気を通すセメント」を開発するなど、画期的な無機電子機能物質・材料を次々と生み出しました。

電子の振る舞いに注目 社会が求める材料開発に挑戦

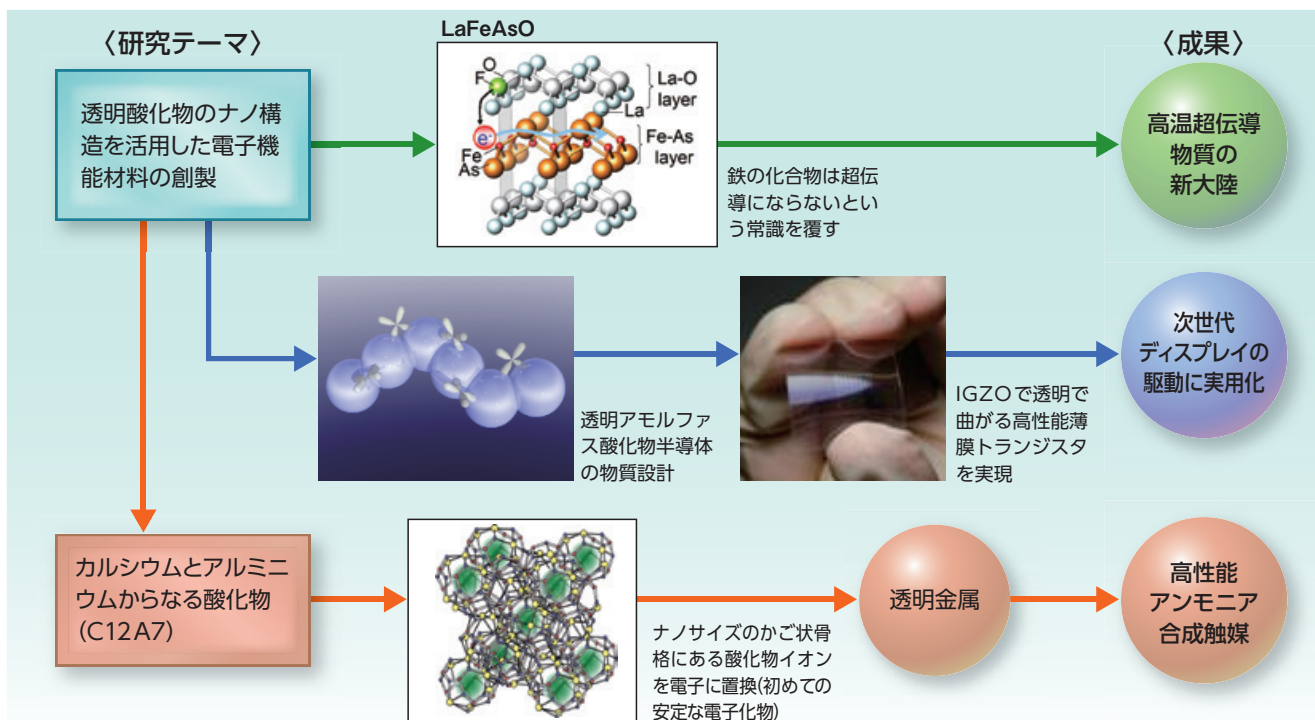
「社会が必要としている課題を解決するような材料開発に携わりたい」

高等専門学校時代に『ナイロンの発見』（井本稔著、東京化学同人）という本に感銘をうけ、東京都立大学で化学を専攻したという細野秀雄博士は、1982年から名古屋工業大学で助手として研究生活をスタートさせました。当時の研究テーマは、高純度シリカガラス（二酸化ケイ素）の光学的性質と微細構造の解明、およびガラスから作るセラミックスでしたが、やがて博士が挑戦したのは、「ガラ

スなどの酸化物だけでいろいろな電子機能を持つ材料群をつくる」というテーマでした。

無機材料の色や電気的特性は、そのなかの電子の振る舞いによって異なります。ガラスのような酸化物は、専門家が「ワイドバンドギャップ」と呼ぶ電子の性質があるため色は透明か白。基本的に絶縁体なので電子的にアクティブな機能が乏しいと考えられてきました。しかし、1986年に銅の酸化物を用いた超伝導物質が発見されるなど、当時、材料研究の可能性が大きく広がっていました。博士自身も、本来、白色にしかならない酸化物のナノ構造に変化が起こると、色を帯びるようになるという実験結果などを発表。透明な酸化物の可能性に注目していました。

細野博士が挑戦した研究テーマと主な成果



研究のカギとなるのは電子です。後年、専門誌のインタビューに応え、博士は「僕としては、固体のなかの電子に関する性質しかやっていないんです。出口は半導体だったり、超伝導体だったり、あるいは触媒だったりしますが、どれも固体中の電子をどううまく利用するかということだけなんです」と答えています。

ありふれた元素で 電子特性の優れた材料を

1993年に東京工業大学工業材料研究所(現在の応用セラミックス研究所)の助教授に就任した細野博士は、研究の基本テーマを「ガラスのような透明な酸化物を使った電子機能材料の創製」と定めました。

「透明酸化物」は電気を通さないから、電子機能材料には向かないという通念に対し、あえてガラスという「透明」な研究対象を選んだ背景には、「まだ誰も手をつけていないフロンティアで仕事をしたい」という博士自身のこだわりもありましたが、同時に大きな社会的ニーズも存在していました。例えば、液晶ディスプレイに使うトランジスタや太陽電池の開発においては、電子材料としての優れた特徴はもちろん、光を通す半導体が不可欠だったのです。当時、この要求を満たす材料としては、スズを少量含む酸化インジウムがありました。しかし、インジウムは地球にわずかしかな存在しないレアメタルで材料コストが高く、量の確保も困難でした。

博士の戦略は、透明な酸化物のナノ構造を改変し、ありふれた材料を使って社会のニーズに合った素材を生み出すことでした。そして、1994年に透明導電性材料の研究開発を開始。酸化物のナノ構造とそこにおける電子の振る舞いの研究から、「透明導電性酸化物では電子伝導を担う金属イオンの電子軌道に空間的な広がりがある」ことなどを見だし、それらを設計指針として数多くの酸化物半導体の開発に着手しました。そして、1997年には、恩師の川副博司博士とともに世界で初めて「p型透明酸化物半導体」の開発に成功しています。この研究は後に世界初のpチャネル酸化物薄膜トランジスタという電子デバイスとしても実を結びます。

博士の取り組みは、やがて国内外から注目されるようになり、国の研究助成プログラム「ERATO(戦略的創造研究推進事業・総括実施型研究)」にも、博士が提案した「透明電子活性プロジェクト」が選ばれました。そして、このプロジェクトをきっかけに、博士の挑戦は一つひとつ実を結んでいきました。例えば、博士が挑戦したテーマは多岐にわたりましたが、実用技術として世界に広がったのは「電子の移動度が大きな透明アモルファス酸化物半導体(TAOS)」です。

博士の研究がきっかけになってTAOSは半導体研究の主要な分野の一つとなりましたが、なかでも博士が世界で初めて創製したIn-Ga-Zn-O系薄膜トランジスタ(IGZO-TFT)は、結晶中のように原子がきれいに並んでいないに

もかかわらず電子の移動度が大きく、透明性が高く、省エネルギーなデバイスとして実用化されました。現在では、PCモニター、タブレットPCなどの液晶ディスプレイにおいて、アモルファスシリコン半導体から置き換わりつつあります。また、最近では大型有機ELテレビにも実装が開始されています。

電気を通すセメントや 鉄系の超伝導物質に挑戦

また細野博士には、透明酸化物の半導体および光材料の開発以外にも追求したいテーマがありました。それはセメントの材料であるカルシウムとアルミニウムの酸化物C12A7の電子機能の探索でした。セメントは幾つかの化合物から構成されており、もちろんどの化合物も代表的な絶縁体です。博士は、C12A7の構造が、ナノサイズのかご状の骨格から構成されていることに注目しました。「かご」のなかにフワッと入っている酸化物イオンを電子で置換することにより、エレクトライド(電子化物)と呼ばれる新しい物質を創製。金属のように電気をよく通し、低温にすると超伝導を示すことを見だしました。エレクトライドは、絶縁体であるセメントのイメージを一新する新物質となりました。またエレクトライドが電子を放出しやすく、しかも化学的に安定というユニークな性質を利用して、さまざまな化学反応の触媒としての可能性も考えられました。細野博士は、それまで高温高压が必要であったアンモニア合成が、エレクトライドの触媒なら常圧でも高効率で行えることを実証してみせました。アンモニアは、肥料や火薬をはじめ、人類に不可欠な多くの物質に改変が可能な万能化学物質であり、持続可能社会の実現に大きく寄与すると期待されています。

電気をよく通すセメント。いかえればナノ構造を改変することで「セメントを鉄にした」といえます。こうした材料の特性への挑戦は、細野博士の研究領域をさらに広げることにつながりました。なかでも、世界を驚かせたのが鉄系高温超伝導体の発見です。鉄はそれまで、磁性元素であるため超伝導を妨げると考えられてきましたが、細野博士は鉄(Fe)をリン(P)やヒ素(As)と反応させて層状の結晶構造を形成することで、電子の働きを制御。鉄系化合物(LaFePO)が超伝導となることを2006年に発見しました。そして、超伝導転移温度26 KのLaFeAsOを2008年に発表するやいなや、世界中の注目を集めることになりました。

細野博士の研究により従前の銅系に加えて鉄系超伝導体が生まれたことで、超伝導体物質探索の新たな領域が広がりました。鉄系超伝導体は臨界磁場が高く、特性の異方性が小さいことから、超伝導磁石などに用いる実用材料として期待され、応用研究が進められています。

独創的な視点を持ち、物質のなかの電子の振る舞いに注目することで成し遂げてきた細野秀雄博士の研究は、これからも社会を変革する材料を生み続けると期待されています。