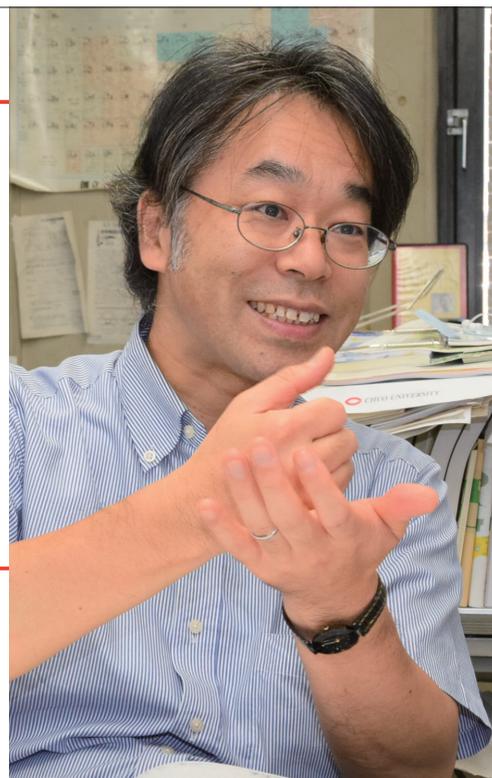


理工学部応用化学科／固体化学研究室
固体化学、材料化学

大石 克嘉 教授

【プロフィール】 大石 克嘉 (おおいし かつよし) ▶静岡県生まれ。1986年、中央大学理工学部工業化学科卒業、東北大学大学院理学研究科化学専攻修士課程を経て、1991年、東北大学大学院理学研究科化学専攻博士過程後期課程修了。理学博士。1991年、株式会社東芝に入社し総合研究所(現 研究開発センター)に勤務。1995年、同社を退職し、中央大学理工学部助教として着任、2007年、准教授、2008年より教授。



ミクロの世界の解析を繰り返しながら 既知の性質を持つ物質の謎を解き明かし、 新たな価値を備えた物質の発見を目指す。

固体を化学的な結合状態や結晶構造など超微細な面から究める「固体化学」。そして、化学や物理の知識を駆使し、これまででない材料の開発に挑む「材料化学」。この分野で研究を続ける大石先生は、新たな定理の発見を目指す基礎研究と実用化を目指した企業との共同研究に、独自の視点で臨みます。物質の性質と、物質を形作る超微細な構造や変化が密接に結びついているからこそ、先生の視線はミクロの世界を突き進みます。超伝導物質の超伝導特性とその物質の構造中の酸素イオンの関係から、近年注目を集めている、二酸化炭素を吸収する酸化物の研究に至るまで、誰もが知らぬメカニズムを明らかにし、まだ見ぬ働きを備えた新素材の創造をターゲットに邁進します。

LSIの熱を逃がすAlNセラミックスを より低温で作出すために

熱を通すけれども電気は通さない窒化アルミニウム(AlN)という「アルミニウムと窒素の1対1の化合物」の合成とそのセラミックス化。これが大石先生の手がける企業との共同研究のなかの一つの重要なテーマです。携帯電話からAV機器まで、現代生活に欠かせない各種機器に使われるLSI(大規模集積回路装置)。その目覚ましい技術革新によって、LSIパッケージの発熱量が上がっているのですが、発生した熱を効率良く外に逃がす(放熱)という問題を解決するためにAlNセラミックスが注目されてきました。

「AlNセラミックスは半導体デバイスの熱を逃がす放熱基板として優れた特性を持っているのですが、AlN粉末から作り出すには、高い圧力と約2,000℃以上の高温が必要です。これではコストがかかり過ぎるので、私の研究室では、AlN粉末がより低温で固まる(焼結する)ための「焼結助剤」の研究を進めて来ました。この焼結助剤をAlN粉末100gに対して約3%~5%足すことで、1,800℃以下の温度で良質なAlNセラミックスを作製可能となります」

電気自動車などに使われる パワーデバイスにも対応

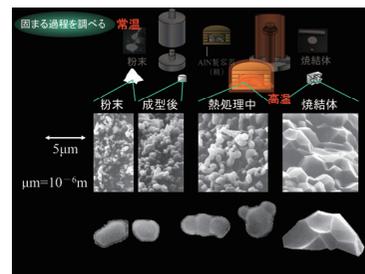
一般企業との共同研究では、実社会の市場原理と競う場面も出てきます。「焼結助剤」の分野では、既に1,800~1,850℃で焼結する材料が実用化されています。「それでもまだまだ高コストなので、

この温度を1,600℃まで下げる目標を掲げています。そのためどんな焼結助剤を使うかが重要になります。ただ、AlN粉末に新たな焼結助剤を加えて粉碎・混合させる際には、極限まで均一になるよう留意する必要があります」

研究室では、自動乳鉢の役割をするマシンで粉碎・混合させた後、焼結させ(セラミックス化させ)、得られたセラミックスの微構造の変化を電子顕微鏡で追いながら、添加する焼結助剤を変え、温度と時間を変えて実験を繰り返します。

「空気が入り込んで空洞ができた状態では熱が逃げいきませんので、構造のチェックは重要です。近年、AlNセラミックスは電気自動車の電力交換を行うパワーデバイス用の放熱基板にも使用されており、大電流化に対応して、発生した熱を逃がす役割を担っています」

小型・軽量化が求められるパワーデバイスの発熱量は今後ますます高まることが予想されます。研究室では、作製プロセスの省エネ化も併せて目指しながら研究を進めています。



▲μm(0.001ミリメートル)の微細な世界で、AlN粉末の焼結の新たな次元を探る。

最近特許として登録された、 固体型CO₂吸収物質とその後の発展

工場や自動車などから排出される二酸化炭素(CO₂)が、地球温暖化の原因物質の一つと予想されている事はよくご存知でしょう。

しかし、そのCO₂の回収・隔離技術についてはあまり知られていません。

大石先生の研究の大きなテーマの一つに「CO₂吸収セラミックス」があります。実は先生は、独自のCO₂吸収材の開発により、新聞各紙で報道されています。

「回収・隔離技術のなかでもCO₂との化学反応を利用した『化学吸収法』は、効率的で安定しており優れた方法です。例えば発電所の排出口からはCO₂を含んだ混合ガスが排出されますが、開発したCO₂吸収材はCO₂とだけ反応します(CO₂のみを吸収します)。従来はリチウムとケイ素を組み合わせていたのですが、私たちの研究では、合成経路を変えてケイ素の代わりにチタンあるいは銅を使った高効率のCO₂吸収材の合成を成功させました。これらCO₂を吸収可能な酸化物に関する特許は、平成24年に無事登録(特許となった)されました」

排出口の温度は高温なので、当初は高温で効果を発揮するCO₂吸収材の研究を進めていました。しかし、廃熱利用が進んで来たため、高温でのCO₂吸収は不要となり、逆に高温ではない場所(常温付近)でCO₂を吸収可能な物質の開発へと時代の要請が変化していったといえます。

「材料を微粒子化することにより常温でCO₂を吸収する方法も開発しましたが、CO₂吸収材のリユースが難しいという欠点がありました。そこで、高温でCO₂を効率良く吸収する研究を進めていた当初の研究に立ち返り、常温下でCO₂を吸収可能な、高温のCO₂吸収材料を考案しました。それを実現するために、“CO₂吸収材自体が発熱する”という発想に切り替えたのです」

この自己発熱する機能をもったCO₂吸収材が、新聞報道され少し注目を浴びました。

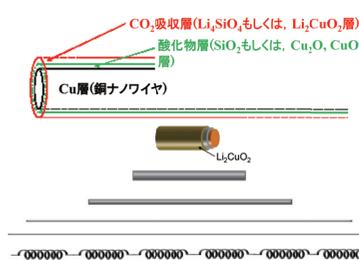
「中心部の発熱体として銅やケイ素を使い、その表面に酸化ケイ素や酸化銅を、さらにその外側にCO₂吸収材(すでに特許を取得している)を使っています。中心部の金属に電流を流すことでCO₂吸収材自身が加熱され温度が上がるプロセスです。この吸収材は、これまでの研究目標のような多量のCO₂を吸収する場合には向いておらず、逆に常温で少量のCO₂を高速に吸収する特性を持っています。このため電気自動車用バッテリーとして研究されている『金属・大気2次電池』での応用が期待されています。このバッテリーは、大気中の酸素を利用して電流を流すタイプの電池ですが、大気中に含まれるCO₂が電解液を壊してしまうのです。そこで、外から酸素を含んだ大気と一緒にバッテリー中に入ってくるCO₂を、この吸収材でカットした後、車が停車時に吸収したCO₂を大気中に戻す仕組みを考案しています。もともと大気中にあったCO₂なので環境に負荷を与えることもありません」

現在、この自己発熱機能を持つCO₂吸収材の本格的な実用に向けて、吸収材の直径や長さの最適化について調べており、より効率的で実用的な改良に向けて研究が継続されています。

まだ分からぬ超伝導特性のメカニズムを追う

これまで述べてきた内容が、どちらかと言えば実用化に向けた応用的な研究成果ですが、大石先生の研究室では、基礎研究にも力を入れています。

「低温で電気抵抗がゼロになる事が超伝導の一つの定義です。



▲電気自動車向けに開発が急がれているバッテリーへの実用化が期待される“発熱する機能をもったCO₂吸収材”。

このため、『超伝導材料』の合成と評価は、リニアモーターカーや大電力の送電・貯蔵など、未来社会の新技术を実現するために重要な位置を占めています。

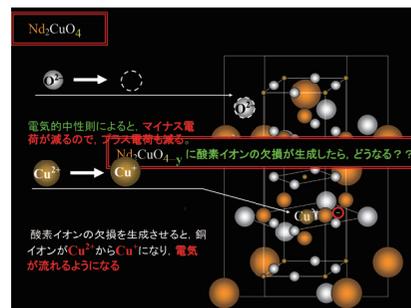
微量のCeを含むNd₂CuO₄構造をもつ銅酸化物があるのですが、

これを900℃の高温まで上げて窒素ガスを流すと一部の酸素が『欠損』して出ていってしまいます。『電気的中性則』(物質は通常の状態ではマイナスとプラスの電気を足すとゼロになる)から、構造中のマイナスの電荷をもった酸素イオンが減った分、銅がプラスの電荷を減らすのです。このとき、電子が生成し電流が流れるようになりますが、そこで超伝導が発現されると予想されています。

ただ、酸素イオンをどの程度減らせばよいか、もしくは酸素イオンが減るとなぜ超伝導状態になるのかに関する明確な解答は得られていません。このため現在でも、X線を使って物質の構造を調べ、構造中の酸素イオンの欠損位置とその量を決めた後、それら変化と伝導性との関係を調べています」

大石先生によれば、基礎研究は「知りたいから」という研究者としての純粋な欲求が原動力になっているとのこと。同時に、企業との共同研究には「視野が広がる。刺激になる」という別の魅力も感じています。

「新しい性質をもった物質を探索するためには、物質のミクロな構造を知るべきだと思います」と語る先生の眼差しは常に、新たな発見を見据えています。



▲Nd₂CuO₄酸化物の結晶構造中の酸素イオンの欠損位置と銅イオンの価数の変化の関係。

Message ~受験生に向けて~

近年、大学進学率の上昇により単に大学を卒業しただけでは価値がなくなりました。また、近隣諸国の学カアップで日本の大学生を取り巻く状況はさらに厳しさを増しています。社会に出た皆さんに求められているものは、まず、自分自身で考える事だと思います。それが出来るようになるためには、大学卒業までに培ったはずの基礎的な力と社会に出てからの日々の努力が重要でしょう。また、研究職につき研究の面白さや興味深さを味わうためには、高校や大学および大学院で学んだ化学や物理に関する理解や知識が絶対に必要だと理解してほしいのです。それなくして研究は遂行できません。皆さんが自由に勉学に励む時間は大学時代にありますが、わずかなものです。この時代を生かすためにも、学部卒で4年間、大学院修了で6年間の時間を大切に使えるように指導していきます。