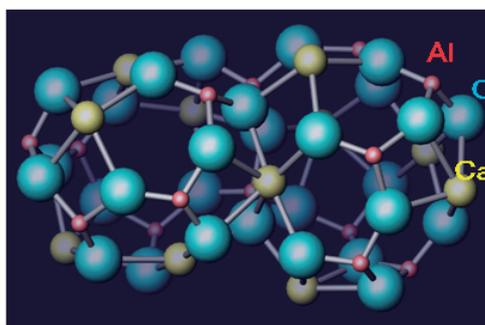
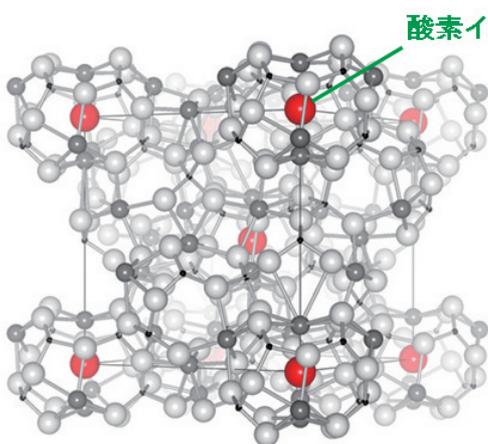


SPring-8 NEWS

2008.9
No.40



セメントの材料であるC12A7の構造。

研究成果・トピックス 2~4

~セメントが金属に変身~ありふれた元素で高性能材料を作る~

行事報告 5

第8回SPring-8夏の学校
高校生のためのサイエンス・サマーキャンプ

SPring-8 Flash 6

SPring-8を利用した研究の受賞情報！
第11回XAFS (X線吸収微細構造) 討論会

SPring-8ホームページアドレス

<http://www.spring8.or.jp/>

独立行政法人 理化学研究所 (RIKEN)
財団法人 高輝度光科学研究センター (JASRI)

研究成果 トピックス

セメントが金属に変身 —ありふれた元素で高機能材料を作る

電気の流れやすさを変える

物質は電気の流れやすさによって導体と絶縁体に区別されますが、その境界はあいまいです。2つの間には電気が少しだけ流れる半導体があり、これは絶縁体に不純物を入れることによって作られます。また半導体には、電子を入れていくことで導体を作り出せるシリコン半導体があります。とすると、絶縁体に何か工夫をこらすことで、半導体を超えて一気に導体を作り出せるのではないのでしょうか。

それを世界で初めて実現したのが、東京工業大学フロンティア研究センターの細野秀雄教授



図1. C12A7 (酸化カルシウム・酸化アルミニウム化合物、 $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$) の粉末。

をはじめとする研究グループです。細野教授らは、セメントの材料である $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ (C12A7、図1) に電子を入れることで、金属に匹敵する電気伝導度をもつ物質を作り出しました。

C12A7金属の作り方は単純

細野教授は、2002年の時点ですでにC12A7を半導体に変えることに成功していました。その後研究を続け、より多くの電子を入れる方法を考案して導体にまで変えることができたのは2007年4月のことです。

C12A7に電子を入れるのは、作業としては実に単純です。「C12A7に金属チタンを加え、 $1200 \sim 1300^\circ\text{C}$ に熱するだけです」と細野教授。チタンは電子を生み出す還元剤として作用します。加熱することで化学反応が起こり、発生した電子が

C12A7の中に入っていきのです。

製法があまりに単純なため、逆に分子の世界で何が起きているのかが気になります。細野教授は、ただ良いものができたというだけでなく、分子レベルの変化を把握することで理論的な背景を探りたいと考え、C12A7の構造解析を行いました。

驚くべき分子の世界

細野教授らは、SPring-8のビームラインBL02B2を使い、C12A7の結晶構造解析をしました。すると、興味深いことがわかりました。

まずC12A7の基本構造は、12個のカゴが組み合わさったものです(図2)。カゴの大きさは約 4.4 \AA (1億分の1センチメートル)で、12個のうち2個にだけ酸素イオン(O^{2-})が入っています。これがチタンを加えて熱することで引き抜かれ、代わりに電子が入ります。

より精密に構造解析をすると、 O^{2-} があるときカゴは図3

この記事は、東京工業大学フロンティア研究センターの細野秀雄教授にインタビューをして構成しました。

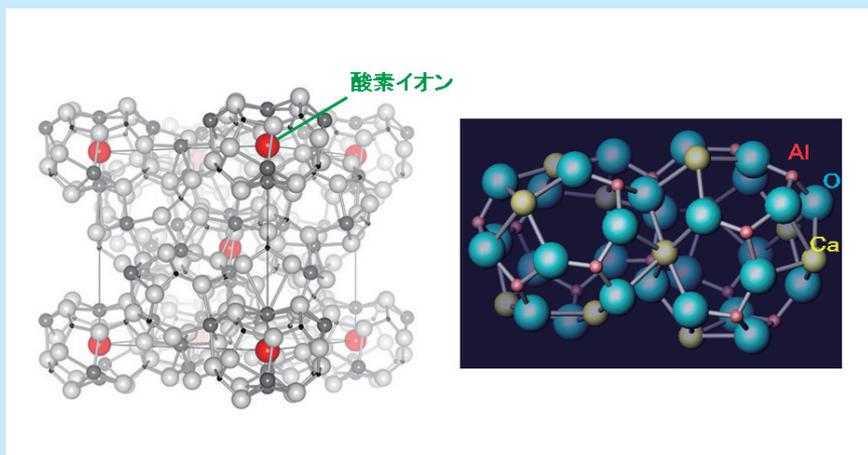


図2. C12A7の構造。右図のカゴ構造が12個集まって左図の最小構造単位を形作る。

左のようにゆがんでしまっていることがわかりました。イオンのマイナスが強いため、カルシウム (Ca) 原子が引き寄せられてしまっているからです。このとき自身も身動きがとれません。O²⁻が電子に置き換わるにつれてカゴのゆがみが解消し(図3右)、きれいに整った通路を電子がスムーズに行き来することができるのです(図4)。

用途は広がる

こうして作り出され、理論的研究も進むC12A7金属ですが、単なる科学的興味だけでは

ありません。実社会での用途はいくつも考えられます。

まず、液晶パネルや有機ELなどへの応用です。C12A7金属は透明なため、電極材料として期待できます。現在、この用途には酸化インジウムスズが使われています。電極としての性能もさることながら、作りやすさの点でこれを超える材料はありません。しかし、インジウムは枯渇が心配される希少金属です。「その点C12A7は、ありふれた元素*だけからできているので、その意味でも有用だと考えています」と細野教授。

教授はまた、化学反応への応

用を期待しています。電子を大量に含むC12A7金属は、還元剤としての能力をもっています。「有機反応に使われている還元剤は水中では使えませんが、この物質は逆です。水に溶ける特徴を生かして、たとえば水中でタンパク質の還元反応を行うことができるでしょう」。

さまざまな分野への影響が大きいと考えられる材料のため、開発競争も激化しています。興味深い性質をもつ材料を作り出したとき、すぐに構造解析ができる環境が必要だと細野教授は考えます。研究室にある自前の解析装置だけでなく、詳細な解析を可能とする高輝度放射光をもつSPring-8は欠かせません。しかし、「材料開発の世界は競争が激しいので、SPring-8を使いたいときにすぐ使えるといいですね」と教授は本音もちらり。

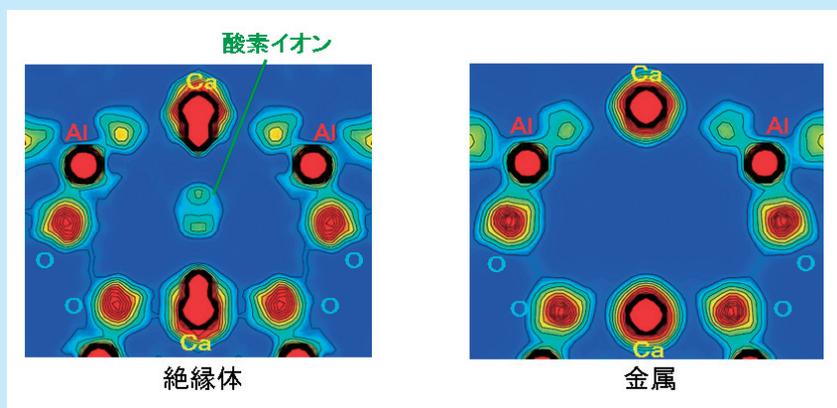


図3. C12A7カゴ構造の電子密度分布。絶縁体のときは中央に酸素イオン (O²⁻) がある(左図)が、金属状態では電子がカゴの中でうすく均一に分布する(右図、密度が非常に低いので電子は無いように見える)。

高機能材料開発の近道

細野教授は、材料研究を始めたころからずっと金属酸化物に

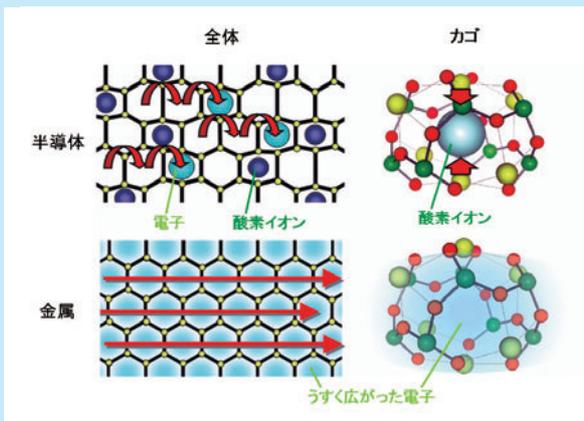


図4. 酸素イオン (O^{2-}) が電子に置き換わるにつれてカゴのゆがみがなくなり、電子がスムーズに動けるようになる。電子の濃度が 1×10^{21} 個/cm³ より高くなると金属状態になる。

注目していました。教授は言います。「ガラスやセラミックスを長年扱っているとわかるんで

な純粋な興味からで、はじめから実用化を考えていたわけではなかったそうです。しかし、

す。これには何かあるな、と」。それに20年ほど前に目にした「電子化物*」の解説記事から、金属酸化物と電子を組み合わせるアイデアが生まれました。

この研究の発端はこのよう

「いまあるものの改良だけでは革新的な材料を生み出すことはできない」という細野教授の姿勢がC12A7金属を生み出し、結果として高機能材料開発の近道となったのでしょうか。

細野教授は、C12A7の金属化からわずか3カ月後には、超伝導体に変化させることに成功しました。これは2007年10月の、鉄系高温超伝導体の発見につながりました。新型超伝導体は、いま世界中で大きな関心を集めています。

コラム

ものづくり日本の復活なるか

細野教授は、日本のものづくりの力が弱くなったと感じています。20年ほど前に銅酸化物高温超伝導体が見つかったとき、日本は理論でも材料探索でも世界をリードしました。しかし、その後解析に注力し精密化が進んだ反面、ゼロから一を生み出すような新規材料開発の力が衰えたと言います。いまや中国が日本を脅かし、「鉄酸化物高温超伝導に関しては、われわれが最初に発見したのですが、その展開は中国が世界を牽引するでしょう」と近い将来を予測します。

日本が再度巻き返すためには、人材育成が最も重要であると教授は言います。細野研究室では学生たちがどんどん成果を挙げています。その秘訣を聞いたところ、「特別な教育をしたということはありません」と謙遜しつつ、「目標が明快で挑戦的テーマが多く、難易度は高いのですが、先輩たちが世界をリードする成果を挙げてきているので、自分たちにもできるのではないかと感じて、学生たちも真剣に取り組むのでしょう」と学生のやる気を出させることがポイントだと語りました。



文：吉戸智明 協力：サイテック・コミュニケーションズ

用語解説

●ありふれた元素

地表付近に存在する元素は、多い順に酸素 (O) 50%、ケイ素 (Si) 26%、アルミニウム (Al) 8%、鉄 (Fe) 5%、カルシウム (Ca) 3%である。C12A7は存在量が1、3、5位のありふれた元素だけから構成されている。

●電子化物

塩素イオン (Cl^-) を含む化合物を塩化物、酸素イオン (O^{2-}) の場合を酸化物というように、解説記事 (『Scientific American』) では電子 (e^-) を含む化合物のことを電子化物とよんでいる。

行事 報告

第8回SPring-8夏の学校

JASRI・兵庫県立大学の共催の「第8回SPring-8夏の学校」は、7月11日～14日の日程で、全国から40名の大学院生および学部生の参加を得て開校されました。初日には4つの基礎講座、2日目と3日目に10本のビームラインを使った実習、4日目に4つの応用講座がカリキュラムとして組まれました。実験ホール・ニュースバル・SCSSの見学も行いました。今年は希望者

の多い蛋白質結晶構造解析とXAFSの実習は2本のビームラインを使って平行して行ったため、参加者の希望通りの実習が行えました。放射光実験はまったく初めてという参加者も多かったのですが、一日の実習が終わる頃にはビームラインの環境にも慣れて、測定や解析を行っていました。また、学校や専門分野を越えた交流は、彼等にとって貴重な経験だったようです。参加者の中から、次世代の放射光分野を担う研究者が育つことを期待します。(利用研究促進部門)



高校生のためのサイエンス・サマーキャンプ

毎年の恒例行事となった「高校生のためのサイエンス・サマーキャンプ2008」は8月6日～8日の3日間の日程で開催されました。このイベントでは、科学に関する体験実習を通じて、科学技術への理解を深めることを目的としています。今年度は兵庫県内の高校生19名が参加しました。

初日は、SPring-8の施設見学と理化学研究所の山下敦子チームリーダーによる「生命を支える精巧なナノマシン・タンパク質」と題する講演でタンパク質の構造と機能に関する最先端の研究にふれた後、屋外での夕食会、西はりま天文台の見学を行いました。食事中に激しい夕立に襲われ、その後の天体観測にも支障があったのが残念でしたが、参加者同志の交流を深めることが出来ました。

2日目は4つのテーマ「光通信の仕組みを調べる」「光や音の不思議な振る舞い」「酵素のはたらきを調べよう」「安全・安心をまもる技術」に分かれ、朝から夕方まで実習を行いました。この実習では体験するだけでなく、その結果を踏まえて自ら考えてまとめを行い、発表することにも重きが置かれています。熱心に課題に取り組み、夜は日付が変わる時刻まで続けました。



「安全・安心をまもる技術」
赤外線分析装置で小さな繊維片の成分を非破壊で調べることができる。

3日目は実習のまとめと発表を行いました。聴衆からはときおり難しい質問も投げかけられましたが、一生懸命説明しようとする姿勢が感じられました。多くの参加者にとっては初めての体験ばかりで疲れも見えましたが、最後の写真撮影では充実感のある笑顔が印象的でした。(利用研究促進部門)

施設見学の申し込み方法

見学のお申し込みについては、電話で広報室までお問い合わせ下さい。また、以下ホームページからお申し込みいただけます。
(財)高輝度光科学研究センター 広報室 電話番号：0791-58-2785 ファックス番号：0791-58-2786
URL：http://www.spring8.or.jp/ja/support/contact/site_tour/

SPring-8を利用した研究の受賞情報！

菅滋正教授（大阪大学）がヘルムホルツ・フンボルト研究賞受賞

2008年のヘルムホルツ・フンボルト研究賞に大阪大学基礎工学研究科の菅滋正教授（62；写真中央）が選ばれました。日本人研究者として初になります。菅教授は、従来の理論（バンド理論）では、その物質の性質が説明できない強相関電子系物質という特殊な物質群に対して、SPring-8の高エネルギー放射光を用いることにより、固体内部の電子状態密度や3次元フェルミ面の直接観測に世界で初めて成功しました。この測定法は、バルク敏感光電子分光と呼ばれ、この新分野を開拓したことは世界的に高く評価されています。同教授は、この研究のため、SPring-8建設当初から、軟X線ビームラインBL25SUの設計・建設をおこないました。このビームラインは、今日までの約10年間、世界最高レベルの性能を維持しています。同教授は、さらに研究を進め、硬X線エネルギーでの光電子分光（HAXPES）にいち早く着目し、ESRFとSPring-8のBL19LXUを利用して世界をリードする研究を続けています。他にも、マイクロ・ナノ磁性の研究に必須となっている光電子顕微鏡（PEEM）についても、同教授とドイツのKirschner教授の共同研究として、完全円偏光が出せるBL25SUで、1998年から2年間にわたり、わが国で初めて研究を行いました。同賞の授賞式は6月24日、ベルリンで行われました。今回同賞受賞は菅教授1名のみ、並行して行われたフンボルト研究賞受賞は30名でした。

ヘルムホルツ・フンボルト研究賞のHP：

http://www.helmholtz.de/en/research/research_awards/helmholtz_humboldt_research_award/



左：アレキサンダーフンボルト財団President Prof. Dr. Helmut Schwarz氏
右：ヘルムホルツ協会Director Prof. Dr. Michael Steiner氏

第11回XAFS（X線吸収微細構造）討論会

8月6日～8日の3日間、第11回XAFS討論会が、兵庫県姫路市のイーグレひめじにて、主催：日本XAFS研究会、共催：姫路市、(財)高輝度光科学研究センターにより開催されました。XAFS（ザフスと読みます）とは、X-ray Absorption Fine Structure（日本語では、X線吸収微細構造）の略で、物質に放射光X線を照射した時に、物質内の特定の元素により、X線がどのくらい吸収されるかを測定することで、物質の原子レベルの構造や化学状態（価数など）を調べる手法です。XAFSは、結晶構造をしていない物質を調べることができるため、放射光を利用する実験の中でも、研究者の数や研究分野が最も大きな測定手法の一つで、産業分野でも広く利用されています。今回の討論会には、141名が参加し、招待講演：3件、一般講演：43件、ポスター講演：23件の研究発表が行われ、最新の研究成果についての討論が活発に行われました。また、各放射光研究施設のXAFSビームラインの現状と将来計画についての報告と、ユーザーミーティングも併せて行われ、施設側と利用者の意見交換が行われました。今回の討論会は、特に産業界から数多くの参加を頂き、XAFSに対する関心が一層高まっていることが分かりました。（利用研究促進部門）



編集 SPring-8 News 編集委員会

発行  **財団法人 高輝度光科学研究センター**
Japan Synchrotron Radiation Research Institute
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1丁目1番1号
TEL(0791)58-2785 FAX(0791)58-2786 E-mail:kouhou@spring8.or.jp

広報室

ホームページアドレス
<http://www.spring8.or.jp/>