



## レアース化合物に磁性が生じる 新たな仕組みを解明

自然科学研究機構分子科学研究所の木村真一准教授および広島大学の高島敏郎教授らの研究グループは、分子科学研究所の極端紫外光研究施設 (UVSOR-II) のシンクロトロン光を用いて、希土類元素 (レアース) を含む化合物に磁性が出現することに関する新たな仕組みを解明した。研究グループは、UVSOR-IIにおいて、1億分の1から1万分の1メートルの波長領域について、セリウム化合物  $CeOs_2Al_{10}$  の電子状態に

着目して分光学的に温度変化を詳細に調べ、反強磁性が出現する際の電子状態変化を明らかにした。その結果、 $CeOs_2Al_{10}$  の電子状態が結晶方向によって大きく異なることが磁性の発現に大きく寄与していることを発見した。この成果は、希土類化合物が従来の理論では説明できない高い温度で磁性を示す仕組みを解明したものである。

希土類化合物の磁性を作り出している4f電子は、原子核近くを周回しているために、隣同士の希土類原子に属する4f電子のスピンの向きを揃える直接的な相互作用は大変弱く、結晶全体にわたって自由に動き回れる伝導電子の助けによるRKKY相互作用と呼ばれる効果が働いている。この相互作用の理論によると、4f電子を1つだけ持つセリウム化合物の磁性が出現する温度は数ケルビンと予想される。しかしな

がら、 $CeOs_2Al_{10}$  では、約30Kという高い温度で反強磁性が出現しており、その起源は既存の概念では説明できなかった。本研究の結果、磁気転移温度より高い温度から結晶の特定の方向に電荷密度波が発生し、その形成に伴って磁性が現れることがわかった。この結果は、大きな磁気能を持つ希土類元素を含む化合物の磁性を高い温度で発生させる可能性を示している。

本研究は、科学研究費補助金のサポートにより行われた。

(自然科学研究機構 分子科学研究所 木村真一 連絡先: 〒444-8585 愛知県岡崎市明大寺町字西郷中38, E-mail: kimura@ims.ac.jp)

URL: <http://www.uvsor.ims.ac.jp/staff/skimura/indexj.htm>

[2011年4月5日原稿受付]

## 銅酸化物高温超電導材料を用いた 超高感度磁気センサを開発

(財)国際超電導産業技術研究センター・超電導工学研究所は、銅酸化物高温超電導材料を用いた超高感度磁気センサを開発した。銅酸化物を主体とするいわゆるセラミックス系の超電導材料は液体窒素温度 (77.3K) を超える約90Kという高い超電導臨界温度 ( $T_c$ ) をもち、低ロス大容量送電ケーブルや高磁場を発生するマグネットだけでなくエレクトロニクス分野への応用も期待されている。超電導現象を利用した電子デバイスの代表として、超電導量子干渉素子 (Superconducting Quantum Interference Device: SQUID) と呼ばれる超高感度の磁気センサがある。極低温の液体ヘリウム温度 (4.2K) で動作するニオブ (Nb) 系低温超電導材料を用いたSQUIDは、人間の脳や心臓の活動に伴う微弱な磁場の分布を計測しイメージング化する装置 (脳磁計、心磁計) として実用化され、一

部の医療現場で疾患の早期診断用に用いられている。セラミックス系高温超電導材料をSQUIDに適用すれば、液体ヘリウムに比べ安価で取り扱いが容易な液体窒素を冷却に用いることができ、装置を小型化できると共にランニングコストを大幅に低減することが期待できる。しかしながら、高温超電導材料は結晶構造が複雑で薄膜成長温度が高いため、低温超電導材料の場合のような複雑な素子構造のSQUIDを作ることができず、磁場感度などの性能が大きく劣るといった問題があった。

超電導工学研究所は、銅酸化物超電導材料と絶縁体の薄膜をその結晶方位を保ちながら何層も積層する独自の集積回路作製技術を用い、Nb系低温超電導SQUIDと同様の複雑な構造をもつSQUIDを開発した。SQUIDにはジョセフソン接合と呼ばれる重要な能動素子が2個含まれているが、プロセスの改良によりジョセフソン接合を再現性よく作ることができるようになった。開発された高温超電導SQUIDは、

液体窒素温度で10fT (フェムトテスラ =  $10^{-15}$  テスラ)/Hz<sup>1/2</sup> の磁場感度をもつことが確認された。これは、心臓磁界を十分計測できる実用レベルの感度であり、さらに素子構造を最適化することで脳磁界の計測が可能な5fT/Hz<sup>1/2</sup> 程度まで感度を向上できる見通しである。この成果は、科学技術振興機構 (JST) 委託のS-Iノベプロジェクトの研究で得られたものである。このプロジェクトでは、このような高感度の高温超電導SQUIDを用い、細胞から生体までの各種バイオセンシング装置や非破壊検査装置の実用化につながる高度センシング技術開発を医療機器メーカーや大学と共に今後行っていく予定である。また、超電導工学研究所では、積層構造をもつ高温超電導SQUIDを利用し、地下数百mにある金属資源探査を可能とする実用装置の開発も石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC) の委託で現在行っている。

[2011年4月15日原稿受付]

## レアース回収で新技術 廃棄物・使用エネ削減

近年、レアースは世界的な需給バランスの逼迫が懸念されており、我が国の持続的発展において、レアース資源の長期的な安定供給確保が重要な課題となっている。また、レアースはレアメタルの中でも特に電気化学的に卑な元素群であり、化学的性質が類似しているため分離・回収を困難にさせている。従来技術として溶媒抽出を利用する湿式法や溶融塩電解による乾式法が存在する。これらの技術の場合、酸廃棄物等の二次廃棄物を伴うことや高温制御による膨大な熱エネルギーの投与を必要とするなど、「廃棄物抑制」および「省エネルギー」という近年の環境調和型技術に必要な要素が未解決であった。

本研究では、従来の水溶液系とは異なる新しい「イオン液体」をレアースリサイクルの回収媒体として利用している。そもそもイオン液

体とは、難燃性・難揮発性など数多くの独自性を持ち合わせた溶液であり、特に新しい環境調和型溶媒としての活用が期待されている。これまでにイミダゾリウム系など多くのイオン液体が開発され、電気化学デバイス方面で実用化が検討されてきた。本研究ではレアースリサイクル媒体に適したイオン液体の開発に向けて、低粘性・耐還元性に優れたホスホニウム系のイオン液体に注目した。

本研究におけるレアース回収プロセスは次の工程で行う。

- (I) レアースおよび鉄族元素を溶解する陽極溶解プロセス
- (II) 鉄族元素等を選択的に回収する電解析出プロセス①
- (III) レアースを連続的に濃縮する電気泳動プロセス
- (IV) レアースを高効率で回収する電解析出プロセス②

これら一連の溶解・分離・濃縮・回収工程は

すべて電気化学的手法で統一されているため、メンテナンスが容易である。また、全工程にレアース回収媒体に適したイオン液体を使用するため、乾式法に比べて格段に低温でのレアース電解およびメタル化を可能とする。さらには、レアース回収においてイオン液体のクローズドサイクルを形成することで、二次廃棄物の発生量を大幅に低減できる。現在、ラボレベルでの研究段階ではあるが、電流効率: 90%以上の高効率回収を達成できている。本研究は平成22年度環境省循環型社会形成推進科学研究費補助金により行われた研究成果の一環である。(横浜国立大学大学院環境情報研究院 准教授 松宮正彦 連絡先: 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-2, E-mail: mmatsumi@ynu.ac.jp) URL: <http://www.matsumiya-lab.ynu.ac.jp/index.html>

[2011年4月17日原稿受付]