

強相関電子材料開発における本格研究 遷移金属酸化物の電子相制御

強相関電子材料の特徴

1986年の銅系酸化物における高温超伝導の発見を契機として、遷移金属を含有する酸化物・遷移金属酸化物についての研究が、精力的に行われるようになりました。遷移金属酸化物では、結晶中の電子の間に、半導体の場合と比べて強いクーロン反発力が働いていることが大きな特徴です。このため遷移金属酸化物をはじめとする強相関電子材料では、注入された電子またはホールが、本来、結晶中を自由に動いて金属状態となるはずなのに、電子間の強い反発力のため、それぞれ局在して絶縁体状態となってしまう例が数多くあります。

マンガン系酸化物における第1種基礎研究の経緯

マンガン系酸化物でも上記のような絶縁体がしばしば形成されますが、磁性と電気伝導性の密接な繋がりから、数テスラ程度の磁場をかけると、この絶縁体状態を壊して、強磁性金属状態に変化させることができます。この磁場による絶縁体金属転移では、温度50 K以下のような低温の場合、電気抵抗率が、 10^7 [Ω cm] から 10^{-3} [Ω cm] にまで変化します(図4:左)。当時(1994年)、アトムテクノロジー研究体、十倉研究グループのポスドクだった私が、

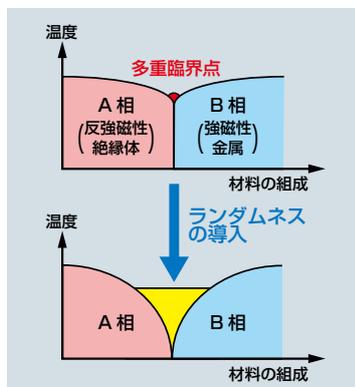


図1 巨大応答現象 / 物質設計の模式図
巨大揺らぎの起こる領域(黄色の部分)で発見する巨大応答現象(Colossal MR; CMR)を探索します。

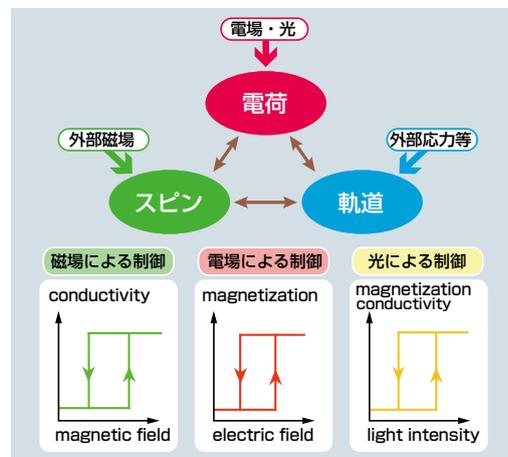


図2 電子相制御の模式図
強相関電子材料に特徴的なスピン—電荷—軌道の繋がりを利用すると、例えば、外部磁場をかけることにより、電荷(電気伝導性)の変化(出力)を引き起こすことができます。

朝光 敦 氏(現東京大学低温センター教授)、守友 浩 氏(現筑波大学大学院数理物質科学研究科教授)とともに見いだした現象で、その後、このようなマンガン系酸化物の示す磁気抵抗効果(CMR; colossal magnetoresistance)についての研究は、さらに活発になりました。

そもそもマンガン系酸化物に注目したのは、当時、グループリーダーの十倉氏(現産総研強相関電子技術研究センター長、東京大学工学部教授)の研究室における、一連のペロブスカイト型3d遷移金属酸化物についての研究によります。また、マンガン系酸化物の材質はセラミックスなので、固相反

応法による多結晶を用いるのが一般的ですが、多結晶では、結晶粒間の影響で材料本来の電子物性が、十分に現れてこない場合があるため、高温超伝導の発見以来発展してきた浮遊溶融法によって単結晶を作製して研究してきました。

第2種の基礎研究にむけて

マンガン系酸化物では、CMR以外に、電場(図4右)^{*1}やレーザー光の照射によっても絶縁体金属転移が引き起こされます(図3)。これに関係して、IEDM2002^{*2}で Sharp Laboratories と University of Houston から、電場をかけることによる抵抗の変化を利用したマンガン系酸化物の不揮発メモリ素子(R-RAM; Resistance RAM)が発表されました。

マンガン系酸化物では、磁場による相転移の駆動が中心的な現象だったので意外な感がありましたが、現在では研究が進み、他の酸化物でも同様の抵抗変化が見いだされ、実は、冒頭に述べたような強相関電子材料に特徴的な電子の状態とはあまり関係がないことがわかってきています。



1994年、東京大学大学院工学系研究科博士課程卒、工業技術院産業技術融合領域研究所に、アトムテクノロジー研究体(JRCAT)研究員として入所、1998年、同主任研究員。
酸化物単結晶の作製については、大学では経験したことがなく、入所してから携わるようになりました。毎日、昼休みにグラウンドに出てサッカーをしています。

富岡 泰秀 (とみおか やすひで)
強相関電子技術研究センター
強相関相制御チーム

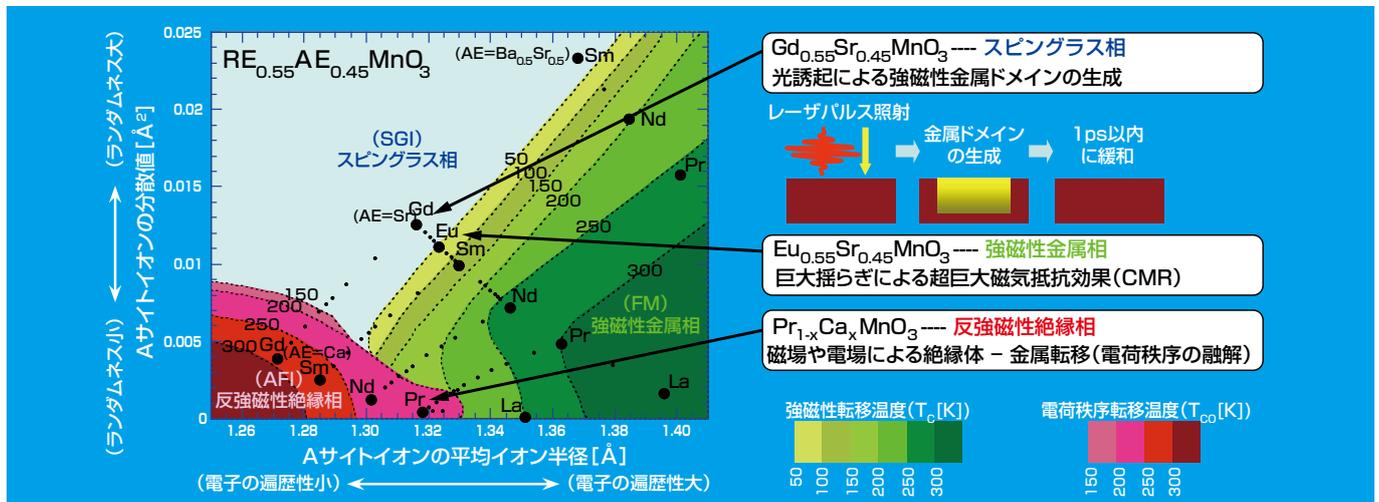


図3 ペロブスカイト型マンガン酸化物の電子相図とレーザーパルス照射による強磁性金属ドメイン生成の模式図
電子の遍歴性（横軸）とランダムネス（縦軸）を用いて整理したペロブスカイト型マンガン酸化物の電子相図（左）と、レーザーパルス照射による強磁性金属ドメイン生成などの電子相制御の例（右）。（磁場や電場による電子相制御（絶縁体金属転移）の例は図4、図5に示されています。）

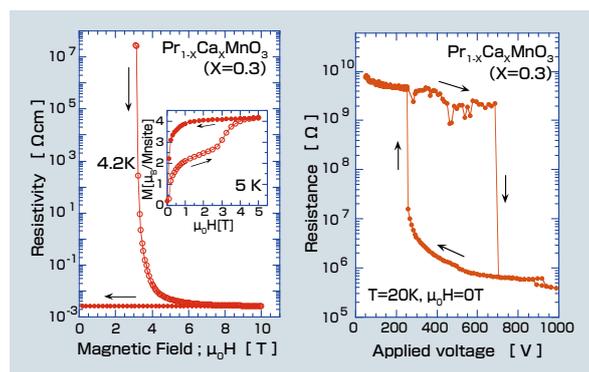


図4 ペロブスカイト型マンガン酸化物の、磁場による絶縁体金属転移（左）と、電場による絶縁体金属転移（右）
磁場をかけるとともに抵抗率が測定限界値以上から 10^3 [Ω cm] にまで減少し絶縁体から金属への変化が起きます。電場によっても同様のスイッチングが起きます。

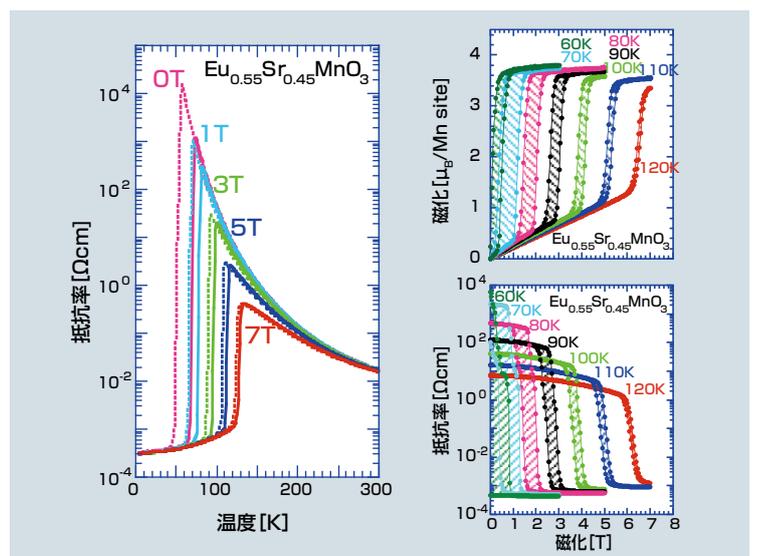


図5 ペロブスカイト型マンガン酸化物における超巨大磁気抵抗効果の一例（CMR）
磁場をかけることによって絶縁体-金属のスイッチングを引き起こします。

しかしながら、マンガン系酸化物に関する研究の流れのなかで、第2種基礎研究への糸口が現れてきたと言えます。

最後に、湯川秀樹博士著「創造的人間」（筑摩書房）の中に、研究することを、科学者と自然との間の囲碁対

局に喩えて、科学者が自然という相手に予想外の手を打たせることができたなら、それ自体が成功である、と書かれている部分があるのですが、このようなニュアンスを抱きながら、今後とも、新しいデバイス開発のシーズとして、強相関電子材料の特徴を生かした革新

的な機能をもった電子材料の構築を目指して、良質単結晶試料の作製による基盤材料の開発を中心に手がけていきたいと思っています。

* 1 A. Asamitsu, Y. Tomioka, H. Kuwahara and Y. Tokura, Nature 388, 50 (1997).
* 2 2002 IEEE International Electron Devices Meeting