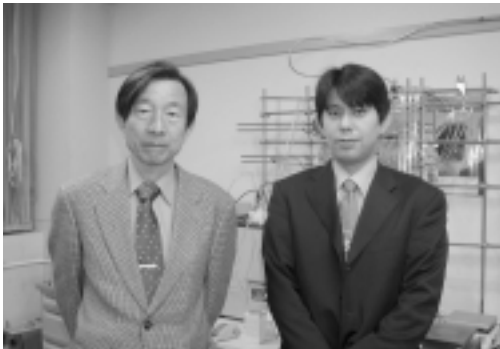




フェライトが拓く未来

阿部・中川(貴)研究室～電子物理工学専攻



阿部 正紀 教授

中川 貴 助教授

皆さんは、フェライトというものをご存知だろうか。フェライトは、磁性体の一種で、強磁性を示すものが大半を占め、磁性材料として広く用いられている。そして、工業的に利用されるフェライトはここ東工大における画期的発明であり、世界中に注目されている。

今回取材に伺った阿部・中川(貴)研究室はフェライトを従来とは異なる方法で生成、利用し、実用化に向けて研究を進めている。ここでは先生が新たな技術を開発するに至った経緯から現在取り組んでいる研究まで幅広く紹介したいと思う。



今なお奥深い磁性材料フェライト

フェライトは今から77年前の昭和5年に東工大の加藤与五郎博士と武井武博士によって発明された。加藤先生と武井先生は、斉藤健三氏および本学卒業生の山崎貞一氏などと共にTDK (Tokyo Denki Kagaku) という株式会社を創立し、フェライトの工業化に尽力した。それによって日本はもちろんのこと世界に通用する電子産業の基礎が築かれたのである。

フェライトは様々な磁性を示すことにより、これまで種々の電子材料・電子部品のほか、ビデオテープ、オーディオテープ、フロッピーディスクなど各種記録メディアに利用されてきた。

阿部・中川(貴)研究室では、フェライトの構造を正確に把握してそれがどういう性質を示すかを明らかにし、実用面で役立てようという試みがなされている。そのような中、六方晶型とよばれる特定の方向に長い結晶構造を持つフェライトは、中川貴先生の研究対象になっている。

中川貴先生は、阪大・名大・東工大の「三大学人事交流プログラム」によって2006年4月に阪大から東工大に着任した。先生は阪大在籍時代からフェライトの磁気構造解析と磁気物質の相関関係

についての研究を進めてきた。また、電磁波吸収体として有望な六方晶Z型フェライトを回転磁場中で成形することで、透磁率を飛躍的に大きくさせることに成功した。

中川貴先生は、現在フェライトの構造解析に力を入れている。フェライトの応用研究を進めるためには、その構造を解析することが欠かせないからだ。先生はその構造解析を従来の材料系の研究で行われる方法だけではなく別の方法でも行っている。



写真1 加藤先生(左)と武井先生(右)

材料の構造解析をする際に必ずといっていいほど用いられるのはX線解析である。X線解析とは、原子の総電子数の違いからX線の散乱の仕方に差異が生じることを利用して原子の種類、位置を特定する方法である。しかし、持っている電子の総数が近い、すなわち原子番号が近い元素を区別するのが難しいという特徴を持つ。フェライトは遷移金属の中ではFeを一番多く含むが、強い磁性を持つにはCo、Ni、Zn、Mn、CrなどのFeの原子番号に近い元素が入っていないなければならない。したがって、通常のX線解析ではそれらを区別することが難しい。

そこで中川貴先生は、その解決策の一つとして解析に中性子線を用いた。中性子線解析は原子核による中性子の散乱を利用することで原子の解析を行う。原子の種類が異なれば中性子線と原子核との間の相互作用が明確に異なるので、原子番号が近い元素を区別することができるのだ。したがってFeとCo等であっても区別することができ、フェライトの構造解析に大きな威力を発揮する。この中性子線解析は、フェライトの応用研究を進める上で必要不可欠である構造解析の一翼を担う技術となるだろう。

◎ 発明は異分野との連携から

近年、電子機器は急速な高速度化のため動作周波数がGHz帯域まで及んでいる。また、ノートパソコンや携帯電話に代表されるように機器自体の小型化・薄型化も進められている。しかし、一方で機器内部で発生する電磁ノイズ（注1）による干渉が問題となっている。動作周波数がMHz帯域に留まっていた頃はバルク（塊）状フェライトなどを電磁ノイズ抑制体として用いることができた。だが、その動作周波数もGHz帯域まで高周波になると電磁ノイズの周波数もそれに応じて高くなっていくため、従来までの抑制技術では対処できなくなっていた。そこで今、大変有望視されているのがフェライト薄膜による電磁ノイズ抑制体である。

フェライト薄膜は、GHz帯域の電磁波に対しても高い透磁率を持つ。このため、フェライト薄膜で回路を覆えば、高周波の電磁ノイズは減衰し、回路に影響を与えない程度の熱エネルギーに変換される。こうして、フェライト薄膜により電磁ノイズが抑制される。

このような電磁ノイズ抑制体の開発に必要な技術は、フェライト薄膜を低温で作製することである。その理由は、基板の多くが耐熱性を持たず、高温の工程に耐えられないからである。また、仮に耐熱性のある基板を用いて高温で作製したとしても、常温に冷やしたときに膜にひずみが生じて

透磁率が下がり、電磁波を吸収する性質が弱くなってしまふ。

これまでのフェライト薄膜を作る方法ではどうしても高温で作らなければならず、低温でフェライト薄膜を作る方法は皆無であった。しかし、阿部先生は水溶液中でフェライト薄膜を作ることで、温度の条件をクリアした。その後、先生はその技術を確認して「フェライトめっき法」と名づけた。

この手法はどのようにして開発されたのだろうか。それは阿部先生の学生時代まで遡る。先生は東工大電子工学専攻のドクターコースで、フェライトの物性的な側面の研究を進めていた。そこでは研究に用いる特殊なフェライトを作る技術が必要であった。阿部先生は、その技術を求めて、東工大でフェライトについて長く研究している化学科の桂敬先生を訪ねた。

桂先生は、企業と協力してフェライトによる廃水処理法を実用化した。それは、フェライトの微粒子を水中で作成し、廃水中の金属をその微粒子の中に取り込み、磁石を用いて回収するという方法であった。

前述のように、基板にフェライトを磁性材料として有効に使うには低温で薄膜にすることが求められていた。そこで、阿部先生は、桂先生の廃水処理法にヒントを得て、桂先生に水中でフェライ

*注1 回路から発生し、他の部位に悪影響を与えるおそれがある電磁波

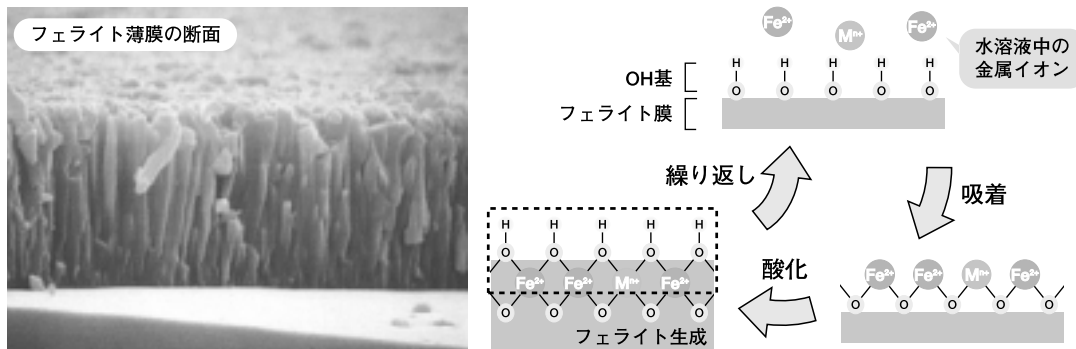


図1 フェライト膜生成の原理

トの微粒子が作れるのならフェライトの薄膜も同じように作ることができないものかと尋ねた。「いや、できるはずだ。微粒子は水中から何らかの固体表面を核にして作られる。ちゃんとした基板を置けばその表面を核とした生成が行われて薄膜ができるはずだから、やっごらん」

その言葉を聞いた阿部先生は、当時桂先生の研究室に所属していた玉浦裕先生（現在、炭素循環エネルギー研究センター教授）と共に基板を作って実験を行った。すると桂先生の言ったようにフェライト薄膜が生成した。このように東工大では異なる分野同士の連携が盛んであり、フェライトめっき法はこの連携があったからこそ開発されたのだ。

フェライト薄膜は図1のようなプロセスで生成される。OH基が表面に出た（またはプラズマ処理等でOH基を出した）基板を Fe^{2+} およびその他の遷移金属イオン M^{n+} ($Mn^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Zn^{2+}, etc.$)を含む水溶液中に浸す。すると、 Fe^{2+} 、 M^{n+} がOH基を介して基板表面に吸着する。ここで $NaNO_2$

や O_2 などの酸化剤を導入して酸化反応を行う。すると、既に吸着していた金属イオン上に再び Fe^{2+} と M^{n+} が吸着しつつ、加水分解をともしながらフェライト生成反応が起こる。この「吸着→酸化→フェライト生成」というプロセスが何度も繰り返されることによってフェライト膜が生成される。

フェライトめっき法は、このようにフェライトが水中で生成されることを利用した薄膜作成技術である。この技術を利用して阿部・中川（貴）研究室では様々な手法が開発された。例えば、平面的な物体にめっきするときにはスピンスプレー法が使用され、立体的な物体のときにはリアクター法が使用されるといった具合である（図2）。しかしいずれの手法も、基本原理は水中でのフェライトの微粒子生成にヒントを得た図1のようなものである。しかも水溶液を用いるこの手法ではいかに複雑な形状の物体でも、その表面を一様にフェライト薄膜でコートすることができる。このように、これまで多くの研究者が思いもよらなかつ

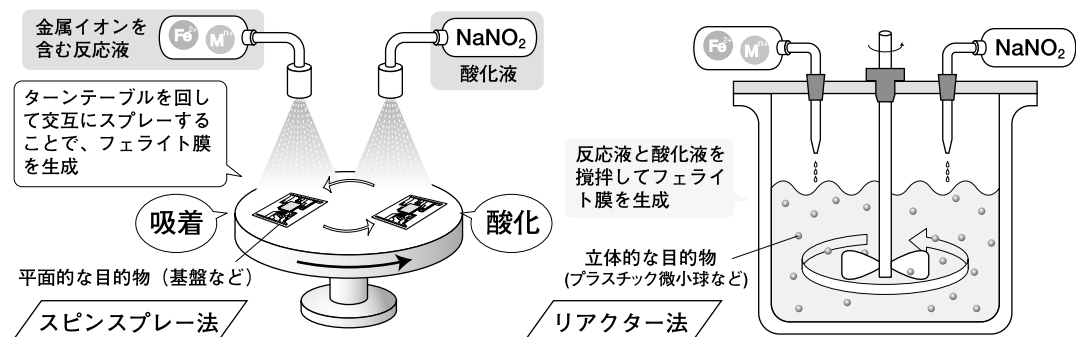


図2 いろいろなフェライトめっき法

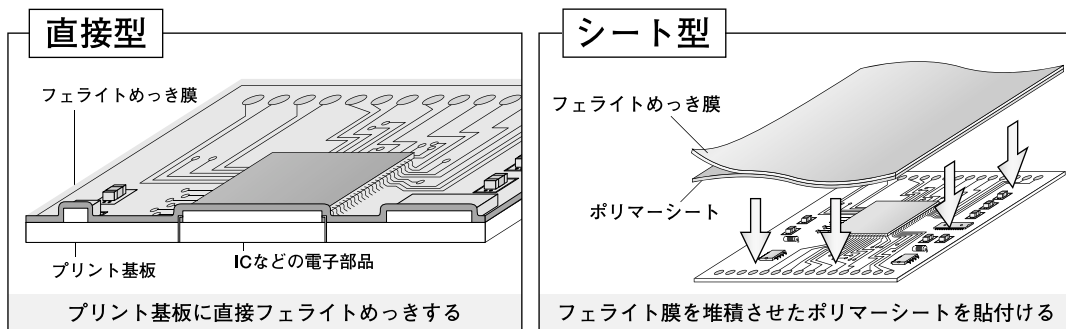


図3 フェライト薄膜電磁ノイズ抑制体

た斬新で、かつ非常に有用な手法を阿部先生は開発したのである。

このフェライトめっき法により、100℃以下という低温で、従来の手法で作られた塊状フェライトをはるかにしのぐ透磁率を持つフェライト薄膜をたやすく作ることができるようになり、電磁ノイズ吸収体としてフェライトを用いることが可能となった。

具体的に回路に適用するには、図3に示すよう

に部品とプリント基板上に直接フェライトをめっきするか、あるいはポリマーシート表面にフェライトめっきしたシート型の電磁ノイズ抑制体を回路にはりつけることによって、回路の各部から放射される電磁ノイズを抑制する。

阿部先生は電磁ノイズの問題を解決するツールであるフェライトめっき膜を用いた電磁ノイズ抑制体を企業と共同で開発し、2007年度中に製品化する予定である。

◎ 広がるフェライト活用のフィールド

水溶液中でフェライトを生成する場合、表面にはOH基が導かれるので、親水性を持つ物質、特に生体物質に対して高い親和性を示す。この特長を生かし、フェライトを医学や生物学の分野に応用する試みが、阿部・中川(貴)研究室で近年なされている。

その試みとは、生体反応を制御する生体レセプターや、新薬の原料になりうる有用な化学物質を高速度で単離・精製する技術(バイオ・スクリーニング)にフェライトを用いようとするものだ。水溶液中で生成されたフェライト微粒子を核とするビーズ(医用磁性ビーズと呼ばれる)を作り、それを単離・精製したい物質を含む溶液に入れる。すると、ビーズに対象となる物質が付着するので、磁性を持つビーズを磁石で回収することにより単離・精製が可能になる。

薬剤に使われる化学物質をビーズの表面につければ、それと選択的に結合する生体レセプターを回収することができる。逆に生体レセプターをビーズにつければ、そのレセプターが受容する化学物質を回収することができる。

阿部・中川(貴)研究室では、この医用磁性ビーズの研究・開発を生命理工学研究科の半田宏教授(注2)と共同で進めている。先生方は学内の委員会でも知り合ったそうだ。そこで半田先生がフェライトの性質に興味を示したので一緒に研究を始めたということだった。フェライトの微粒子を作製する際に、反応液の他アミノ酸やたんぱく質を入れたらどうなるかいろいろ試行した。その結果、カルボキシル基を2つ持つアミノ酸がフェライトによくくっつくということが判明した。このアミノ酸をコネクターにして、ポリマーでコート

*注2 半田研究室に関する記事はLANDFALL42号に掲載されています。また、過去の記事はLANDFALLのホームページからご覧頂くことができます。
URL : <http://www.titech-coop.or.jp/landfall/>

したり、いろいろな生理活性物質をくっつけたりすれば様々な用途に使えるのではないかと。そうして生まれたのが、**図4**のような医用磁性ビーズなのである。粒子をコートするポリマーは、対象物質以外の余計な物質が付着しないことが求められるが、そのようなポリマーは半田研究室で開発された。

従来のような遠心分離法を用いるバイオスクリーニングでは、対象物質のみならず不必要な物質まで回収されてしまう。その点、医用磁性ビーズを用いればその心配はなくなる。また、その径は数十～二百ナノメートルと非常に小さいので単位容積あたりの表面積は広く、対象物質との結合頻度は高くなり、回収の効率が高められる。これらがバイオスクリーニングに医用磁性ビーズを用いる大きな利点だ。

最近の医療では、個人個人の体質に合わせた治療をすることが求められている。そのためには、膨大な量の遺伝子の情報と、その情報に基づき効果的に作用する薬を開発することが必要だ。目的の化学物質や、ある化学物質に特異的に結合する生体レセプターを、ビーズを用いて磁気分離で速く正確に回収する技術は、それら医療の分野において大きく貢献することだろう。

さらに、阿部・中川(貴)研究室では数十ナノメートル以下レベルでも実用面で十分使用できるような医用磁性ビーズの研究も進めている。医用磁性ビーズをより小さいサイズにできれば、単位容積あたりの表面積の増大によって大幅な効率向上が期待できる。また、体内にビーズを入れるこ

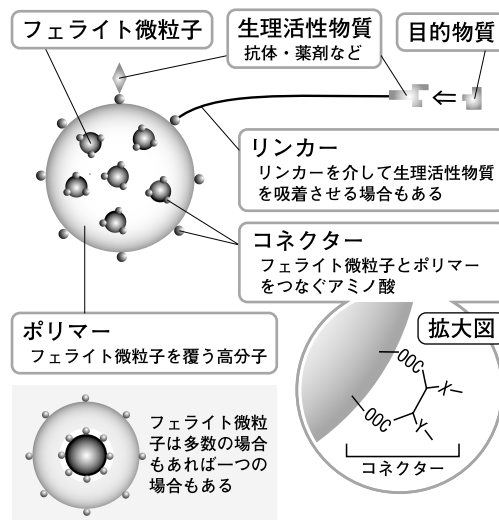


図4 医用磁性ビーズ

とで、磁気によって薬を輸送したり、交流磁場をかけることでフェライトを発熱させてハイパーサーミア（がんの温熱療法）を行ったり、MRI（生体内の情報を画像化する技術）の造影剤に用いたりといったことが現実味を帯びてくる。

東工大におけるフェライトの歴史は長く、現在では開発当初は思いもよらなかった発展を遂げている。それはひとえにフェライトを世界に通用する磁性材料にしようという研究者・開発者たちの熱い思いの賜物である。そして、今もなおフェライトにかける熱い思いによって新たな発明がなされようとしている。

フェライトを発明した加藤先生は後輩の教育にも非常に熱心で、武井先生をはじめとする多くの人たちと共に研究に尽力なさいました。そして、その研究成果を工業化して社会に還元することを目標に生きていました。あくまで大学を研究・創造を实践する場所として考えていらっしやったのです。そして、その結果としてTDKが生まれました。阿部・中川研究室にもそれに通じる姿勢があるといえるでしょう。

今回の取材では阿部先生と中川先生から、フェライトの構造解析に関連して、フェライトの構造や磁性の仕組みについても詳しくお話を伺いまし

た。しかし、私自身の浅学さと、本文でわかりやすく記述するための困難さゆえ、それらについては表面的に触れるのみに留まってしまいました。これは私自身非常に心残りなことであり、また、先生方のお話も十分に生かしきれなかったことをこの場でお詫びいたします。

末筆になりますが、ご多忙なスケジュールの中、幾度にもわたる研究室訪問に快く応じてくださった阿部正紀先生、中川貴先生に厚く御礼を申し上げますとともに、研究室の今後のご活躍を心よりお祈り申し上げます。

(田中 康之)