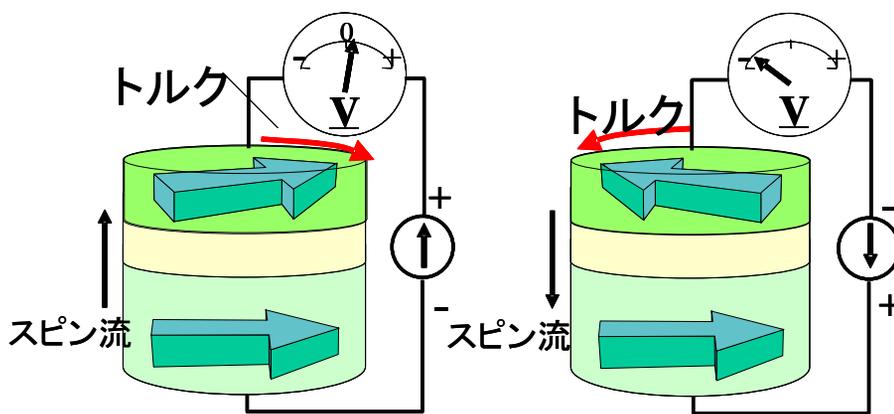


ATI News

第4号



スピントルクダイオード効果の原理

図提供:大阪大学

= 目次 =

・ 巻頭言／研究助成にもPDCAサイクルを	…	1
・ 研究アラカルト／ 金属スピントロニクス of 新しい展開	…	2
トンネル磁気抵抗効果とスピントルクダイオード		
・ ATI国際フォーラム報告	…	7
・ コーヒーブレイク／アヒルのくちばし	…	9
・ 秘められた助成	…	11
・ 2006年度研究助成	…	12
・ 政府系研究開発プロジェクト紹介	…	13
・ ATIフォーラム	…	14

研究助成にも PDCA サイクルを

副理事長 永田一清



最近、“PDCA サイクル”という言葉をよく耳にします。これは本来マーケティング学の用語で、プロジェクトを実行するにあたって、「計画をたて (Plan)、実行し (Do)、その評価 (Check) に基づいて改善 (Action) を行うというプロセスを継続的に繰り返す」仕組みのことです。これをつなげていくと、Plan-Do-Check-Action となり、これを略して PDCA サイクルと呼んでいるのです。このサイクルの特徴は、プロジェクトを流れで捉え、評価をつぎの計画に活かすことによってプロジェクトをより高いレベルにもっていくことができる点にあり、これをスパイラルアップといいます。

PDCA サイクルは、民間企業では典型的なマネジメントサイクルとして、品質向上や経費節減などに一般に広く用いられています。しかし、最近では、行政の施策や大学改革などにもその概念が盛んに導入されるようになってきました。

新世代研究所 (ATI) をはじめ、多くの財団法人では、事業の1つとしてそれぞれ特定の対象に対して研究助成を行っています。このような財団法人の行う研究助成事業にも、この PDCA サイクルの考え方は有効であるように思われます。むしろ、これからは積極的に取り入れていく必要があるでしょう。

研究助成事業の場合、PDCA サイクルでいえば、助成の対象 (研究分野、研究者の年齢等) と募集要項を定めるまでが “Plan” にあたり、定めた要項に沿って募集を実施し、応募者を選考して、選ばれた研究者に助成金を授与するまでが “Do” にあたります。したがって、財団法人が行う研究助成プロジェクトは、Plan-Do という2つのプロセスだけで完結しているのが特徴です。すなわち、このプロセスには研究助成の有効性を確かめる評価 (Check) の仕組みがありません。

財団が行う研究助成にはそれぞれ目的があります。たとえば、ATI が若手研究者を対象として行っている研究助成事業は、「ナノサイエンス・テクノロジー分野における萌芽的研究と次世代を担う若手研究者の研究活動を支援し、延いてはこの分野の学問と応用に寄与する」ことを目的としています。したがって、その目的を果たすためには、研究助成を受けた研究者のその後の研究活動が、この分野の学問的発展にどのように寄与しているかを検証 (Check) し、その結果を後の助成に活かしていく (Action) ことが必要です。それをすることによって、はじめて研究助成は PDCA サイクルによるスパイラルアップが可能になり、その学問分野の発展に継続的に寄与していくことができるのです。

金属スピントロニクス of 新しい展開

– トンネル磁気抵抗効果とスピントルクダイオード –

鈴木義茂

(大阪大学教授・産業技術総合研究所客員研究員)



鉄とコンピューター

鉄の文明は鉄器時代に始まり産業革命で飛躍を遂げた。一方、現代の高度情報化社会はシリコンの時代とも呼ばれている(図1)。これまでの長い人類の歴史において鉄は強靱でありかつ加工性が良いことから構造材料や機械材料として広く用いられてきた。また、鉄は磁石の主要な成分でもある。磁石を代表とする強磁性体はモーターやアクチュエーター、変圧器などのパワーエレクトロニクスの分野で広く用いられており、現在、ますますその用途を広めている。さらに、強磁性体は磁化の向きによって情報を保持できることから記録材料として現代の高度情報化社会を支えている。その発展は目覚しく、最近のハード磁気ディスクの記録密度の増大は年率60%に達している。これは、DRAMのそれ(年率40%：ムーアの法則)をしのごう大変な勢いである。

鉄とシリコンが作るふたつの電子技術はそれぞれ磁気工学と半導体工学としてこれまで独立に発展してきた。磁気工学においては電子が持つスピンを操作することにより情報の蓄積や磁界・磁気力の制御を行う。一方、半導体工学においては同じ電子が持つ電荷の流れを制御することにより演算や記録を行っている。しかし、スピンと電荷は同じ電子の持つ二つの属性であり、これらを、同時に発揮させることによりこれまでない機能や性能を持つ電子素子が得られないだろうか？この答えを求めて発展してきたのが「スピントロニクス」と呼ばれる新しい研究分野である。

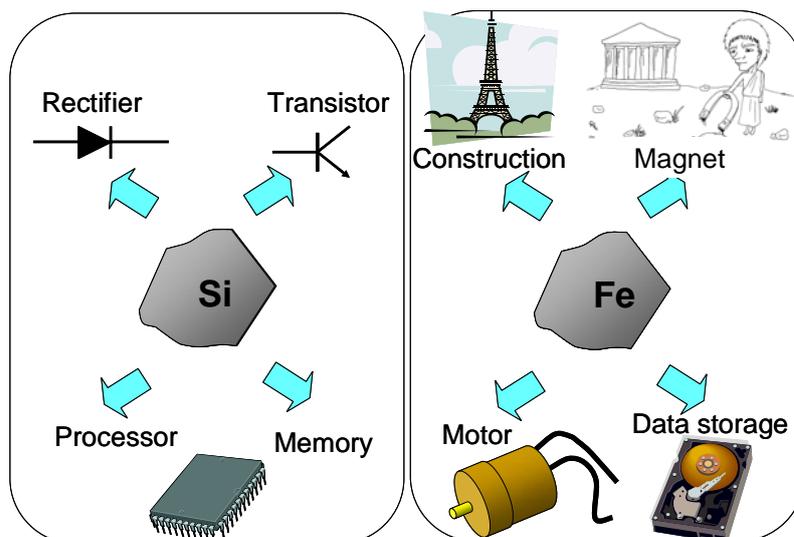


図1. 鉄とシリコン

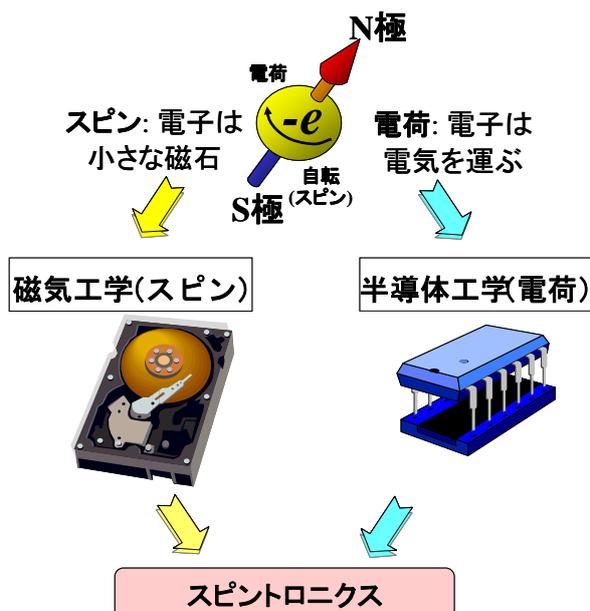


図2. スピントロニクス. 磁気工学と半導体工学の融合がより高度なエレクトロニクスの世界を産むと考えられる。

スピントロニクス素子の4つの機能

金属スピントロニクス素子の代表的な構

造を図3に模式的に示す。Cuなどの非磁性金属(中間層)やMgOなどの非磁性絶縁体(トンネル障壁層)を強磁性層ではさんだ構造をしている。この素子に電流を通電すると、一方の強磁性金属層(スピフィルター層)でスピンの向き(即ち磁石の向き)を揃えた伝導電子が他方の強磁性金属層(フリー層)にスピンを保存したまま注入される(スピン注入)。その際、電子は界面でスピンに依存した散乱を受けたり、また、フリー層内部でフリー層の局在スピン(たとえばd電子のスピン)と相互作用してトルクを生じたり、いろいろな現象を引き起こす。

この結果、これまでに金属スピントロニクス素子には、図4-①, ②, ③に示すような基本的な3つの機能が実現されている。これらは、2つの強磁性層の相対的な磁化配置によって電気抵抗が大きく変化する①巨大磁気抵抗効果[1]およびトンネル磁気抵抗効果[2, 3]、②逆に強磁性層間に電流を通電することにより磁化配置が変化するスピン注入磁化反転[4]、お

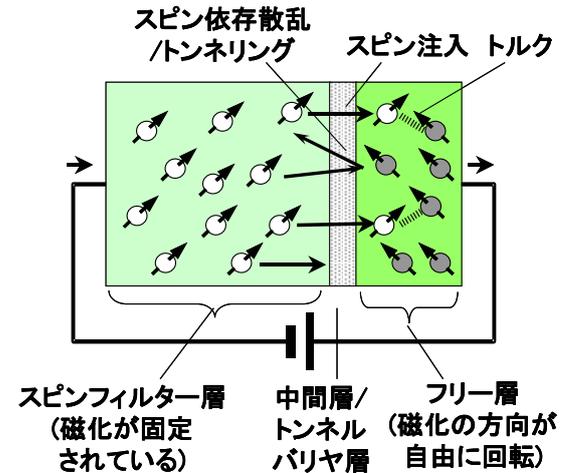


図3. 金属スピントロニクス素子(磁気抵抗素子)の代表的な構造.

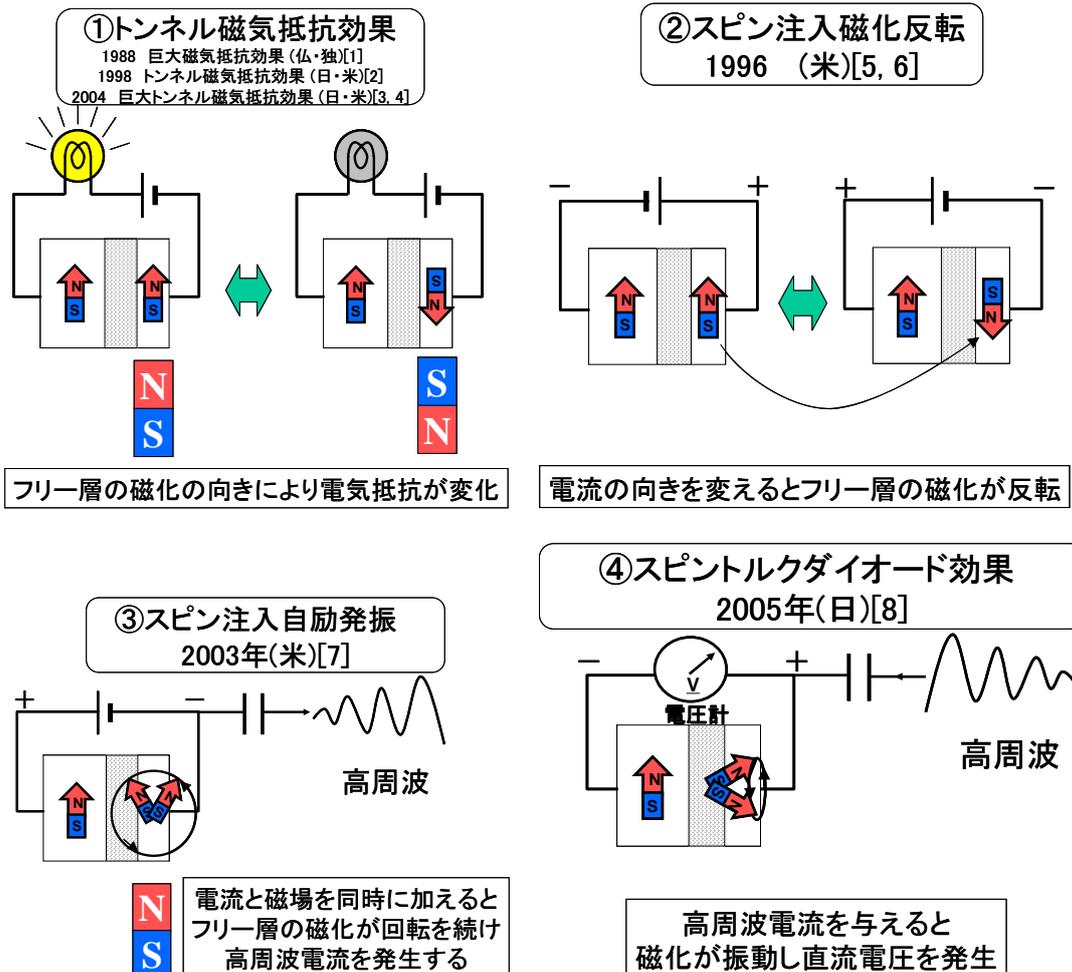


図4. 金属スピントロニクス素子が示す4つの効果. 全て、室温で観測できる.

よび、③電流と磁場を同時に加えたときに生じる磁化の継続的な歳差運動(自励発振) [5]である。

①巨大磁気抵抗効果およびトンネル磁気抵抗効果は、ハード磁気ディスクや磁気RAM(MRAM)の記録の読み出しに利用される。②スピン注入による磁化反転は磁場を用いない省エネルギーなMRAMの書き替え技術となると考えられる。③通電による歳差運動の自励発振はスピントロニクスが新たに高周波エレクトロニクスの分野に広がる可能性を示していると考えられる。ここで、金属スピントロニクスでは、これらの効果が全て室温で得られるために、その成果が応用と結びつきやすいということを強調したい。

スピントルクダイオード効果 これら3つの効果に加えてトンネル磁気抵抗素子には高周波電流を整流する特性があることを産総研・キヤノンアネルバおよび阪大の研究チームが発見した(図4の④) [6]。図5(a), (b)にスピントルクダイオード効果の測定回路および測定例を示す。ここでは、トンネル磁気抵抗素子としてキヤノンアネルバと産総研によって開発されたCoFeB/MgO/CoFeBトンネル磁気抵抗素子[3]が用いられている(図5(a)の中の素子断面図参照)。この素子は、室温で100%を越える巨大な磁気抵抗効果を示す。素子を上部から見るとその断面は約100nm×200nmの楕円である。この楕円柱状の素子はトンネル接合膜の成膜後に電子線描画とイオンミリングにより加工・形成されたものである。素子にはさらに層

間絶縁層と上部・下部電極が設けられている。電極はコプレーナー型に加工されている。

測定は高周波プローバー上で行われた。コプレーナー型(GSG型:Grand-Signal-Grand)のプローブヘッドで素子との接続をとる。発振器はバイアス-T(コンデンサとインダクタで直流と高周波を分離するデバイス)を通して素子に高周波電流を印加する。また、素子には同じくバイアスTを通して電圧計がつながれており素子で発生した直流電圧を測定する。図5(b)に測定結果を示す。図から、特定の周波数の高周波電流を与えると大きな直流電圧が得られることが分かる。

図6にスピントルクダイオード効果の原理を示す。図6(A)では電流を素子の上部から下部に向かって流している。このとき電子は下から上にスピンを伴って流れる。これをスピン流とも呼ぶ。この結果、上部磁性層の磁化は下部磁性層の磁化と平行になる方向に回転する。すると磁気抵抗効果により素子の抵抗が小さくなる。このため一定の電流を流しても素子の両端には正の小さな電圧しか現れない。一方、下部から上部に向かって電流が流れると(図6(B))、先程とは逆に上部磁性層の磁化は、下部磁性層の磁化と反平行になる方向に回転する。その結果、電気抵抗は大きくなり、一定の電流に対して大きな負の電圧が素子の両端に発生することになる。実際に、高周波電流を素子に流した場合、前述した(A)および(B)の状態が高速で繰り返すことになる。すると素子両端には平均的には負の直流電圧が発生する。これが、整流作用である。

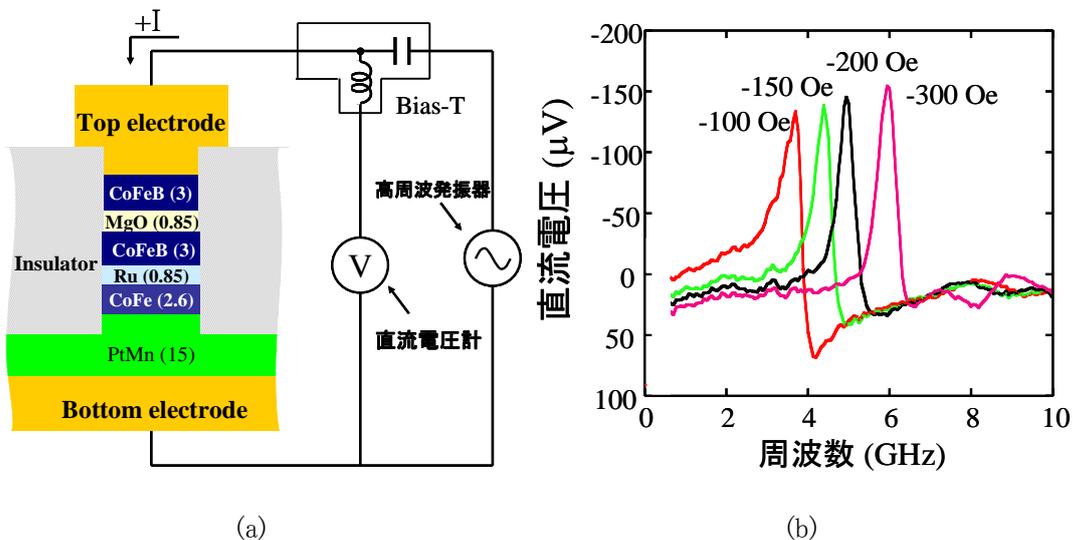


図5. (a)スピントルクダイオード効果を測定する素子と回路. 図中の数字は膜厚(nm). (b) スピントルクダイオード効果の測定例(室温). 外部磁場を容易軸と30度傾けて印加した。

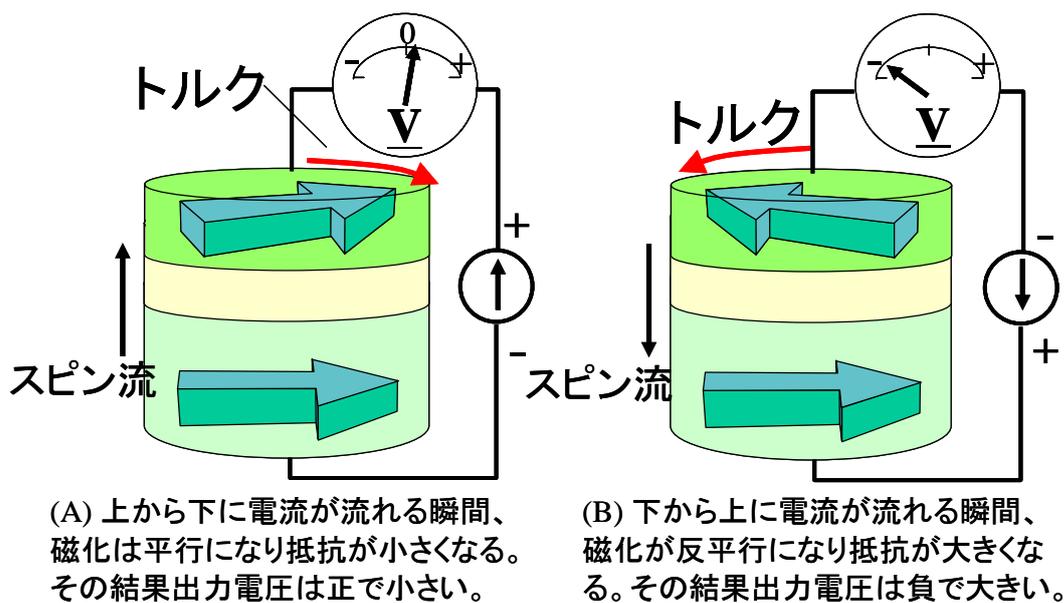


図6 スピントルクダイオード効果の原理。

実際の素子では交流電流が小さい場合、ヒステシスのために磁化はほとんど振動しない。ところが与える高周波電流の周波数がフリー層の磁化の固有振動数(歳差運動の周波数)と一致すると、磁化は共鳴的に激しく振動し、素子の両端には大きな直流電圧が現れる。これが、図5(b)においてある特定の周波数のみで大きな電圧が発生していた理由である。即ち、本素子は周波数選択的に高周波を整流する。

素子に現れる電圧は与えた交流電圧の二乗に比例する。このような整流特性を二乗検波とよぶ。また、整流出力電圧はスピン注入磁化反転の臨界電圧 V_c が小さいほど大きくなる。 V_c が25mV(室温の熱エネルギー)より小さくなるとスピントルクダイオードの特性は半導体ダイオードを凌駕する可能性がある。現在の V_c は約0.5ボルトだ。

まとめと今後 金属スピントロニクス素子でダイオードができたことの意味は大きい。半導体の場合もそうであった様に、今後、3端子化ができればトランジスタ動作が期待できる。巨大磁気抵抗素子では既に高周波の発振が起きていることから原理的に電気信号の増幅が可能と考えられる。強磁性体からできたトランジスタは増幅率と記録特性を併せ持ち「スピントランジスタ」としその実現が期待される。また、2端子素子のままであっても、高周波の検

波以外に、発振、混合(周波数変換)、変調、増幅などの機能が期待できる。これらの関係を図7にまとめた。即ち、スピントロニクスは磁気MRAMやセンサ以外にも高周波応用など新しい応用分野を生み出す可能性があると考えられる。

今後は、本素子の帰還位相特性を制御することにより増幅作用を実証したいと考えている。さらに、3端子化を実現し世界初の室温で増幅率のあるスピントランジスタが実現するのも時間の問題と思われる。これらの発展の鍵は良質な膜の製造と正確な微細加工にある。

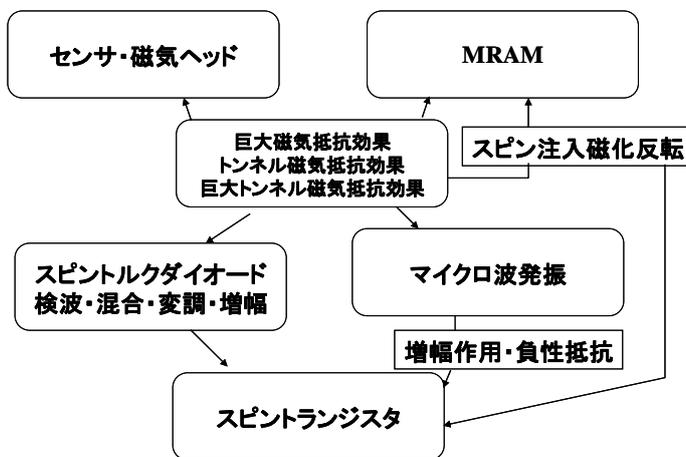


図7 スピントロニクスの発展。

磁性物理学の特徴の一つは基礎物理と工業的応用が近接している点である。最近の研究動向を見渡すと、磁気構造と電気伝導性が関連する現象の研究に顕著な発展が見られ、スピントロニクスと名付けられた新分野の開拓が進んでいる。ATIではこれに対応して、本年度より前川教授を委員長とするスピントロニクス研究会を立ち上げた。

さる8月には前川氏が組織委員長となって、磁性国際会議（ICM）が京都で開催された。この会議は参加者が2000名を越す大きな会議で、磁性全般をカバーするものであるが、最近特に活発な進展を見せている分野としてスピントロニクスには大きな注目が集まった。本号7ページに前川氏によって紹介されているICMFSはICMのサテライト会議であり、ATIの国際フォーラムとしての支援をうけて仙台で開催された。ここではスピントロニクスに関連した討論がより集中的に行われ、多大な成果を挙げる事ができた。この会議では実行委員長の宮崎教授を始め、スピントロニクス研究会のメンバーが中心となって運営にあたり、参加者からは有意義な会議であったとして高い評価を受けた。

最近のスピントロニクス分野では数多くの顕著な研究成果が得られており、新しい発見も相次いでいるが、本号にはその一つであるスピンダイオードについての解説が収録されている。執筆者の鈴木教授はこの現象の発見者であるが、イラストを交えて読者にやさしい読み物にまとめていただいている。



新庄輝也（新世代研究所副理事長）

謝辞： 本研究は産業技術総合研究所，キヤノン アネルバおよび大阪大学の共同で行われた。産総研のTulapurkar Ashwin 博士（現スタンフォード大），久保田均博士，福島章雄博士，湯浅新治博士，キヤノン アネルバの前原大樹様，恒川孝二様，ジャヤプラウィラ・ダビッド様，渡辺直樹様，大阪大学の水口将輝博士に感謝いたします。

参考文献

- [1] M. N. Baibich, J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, P. Etienne, G. Creuzet, A. Friederich, and J. Chazelas, *Phys. Rev. Lett.*, **61**, 2472 (1988).
- [2] T. Miyazaki and N. Tezuka, *J. Magn. Magn. Mater.* **129**, L231 (1995), and J. S. Moodera, L. R. Kinder, T. M. Wong and R. Meservey, *Phys. Rev. Lett.* **74**, 3273 (1995).
- [3] S. Yuasa, A. Fukushima, T. Nagahama, K. Ando, Y. Suzuki, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **43**, L588 (2004), and S. Yuasa, T. Nagahama, A. Fukushima, Y. Suzuki and K. Ando, *Nature Mater.* **3**, 868 (2004), and S. S. P. Parkin, C. Kaiser, A. Panchula, P. M. Rice, B. Hughes, M. Samant and S.-H. Yang, *Nature Mater.* **3**, 862 (2004).
- [4] D. D. Djayaprawira, K. Tsunekawa, M. Nagai, H. Maehara, S. Yamagata, N. Watanabe, S. Yuasa, Y. Suzuki and K. Ando, *Appl. Phys. Lett.*, **86**, 092502 (2005).
- [5] J. Slonczewski: *J. Magn. Magn. Mater.*, **159**, L1 (1996), and L. Berger: *Phys. Rev.*, **B 54**, 9353 (1996).
- [6] M. Tsoi, A. G. M. Jansen, J. Bass, W. C. Chiang, M. Seck, V. Tsoi, and P. Wyder, *Phys. Rev. Lett.*, **80**, 4281 (1998), **81**, 492 (1998) (Erratum), J. -E. Wegrow, D. Kelly, Ph. Guitienne, Y. Jaccard, J-Ph. Ansermet, *Europhys. Lett.*, **45**, 626 (1999), J. Z. Sun, J. Magn. Magn. Mater., **202**, 157 (1999), and J. A. Katine, F. J. Albert, R. A. Buhrman, E. B. Myers, and D. C. Ralph, *Phys. Rev. Lett.*, **84**, 3149 (2000), and E. B. Myers, D. C. Ralph, J. A. Katine, R. N. Louie, and R. A. Buhrman, *Science* **285**, 867 (2000).
- [7] S. I. Kiselev, J.C. Sankey, I. N. Krivorotov, N. C. Emley, R. J. Schoelkopf, R. A. Buhrman, and D. C. Ralph : *Nature*, **425**, 380 (2003).
- [8] A. A. Tulapurkar, Y. Suzuki, A. Fukushima, H. Kubota, H. Maehara, K. Tsunekawa, D. D. Djayaprawira, N. Watanabe, and S. Yuasa, *Nature*, **438**, 339 (2005).

ATI 国際フォーラム報告

前川 禎通

(新世代研究所スピントロニクス研究会委員長
東北大学金属材料研究所 教授)

2006年8月14日-18日に新世代研究所の共同主催である ICMFS が仙台国際センターで開催されました。ICMFS とは、International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (磁性薄膜及び表面に関する国際コロキウム) を略したものです。京都で開催された磁性国際会議 (ICM) のサテライト会議の1つで、いわゆるスピントロニクス (スピントロニクス) 関連の研究者約300名が一同に会しました。この会議はもともと、その会議名が示す通り、磁性薄膜及び表面の物理現象を討論する会議でしたが、最近のスピントロニクス研究の急速な進展を受け、スピントロニクス分野で最も重要な会議の1つになりました。

数ナノメートルの厚さの絶縁体薄膜を2つの強磁性体ではさんだトンネル素子では電子が絶縁体薄膜をトンネル効果によりすりぬけることにより電流が流れます。そして、電流は両電極の強磁性体の磁化の相対的な向きに依存します。すなわち、2つの強磁性体の磁化が平行の方が、反平行の場合よりも電流が良く流れます。この現象をトンネル磁気抵抗効果 (tunnel magnetoresistance, 略して TMR) と呼びます。1970年代後半から1980年代前半にかけて、私はニューヨークにあるIBMの研究所でこの現象を理論と実験の両面から研究しました。しかし、当時は磁性体を微細加工してトンネル素子を作

ることが難しく、大変苦しみました。

1988年に磁性金属薄膜と非磁性金属薄膜を交互に積み重ねた磁性多層膜でも大きな磁気抵抗効果が現れることがわかり、磁性体の薄膜作製技術と微細加工技術が急速に進み、そのおかげで TMR の研究も大きく進展し、技術の進歩が学問の進歩にいかにか大切かを思い知らされました。TMR でもう一つ重要なのは材料開発です。最近、絶縁体薄膜として酸化物 (MgO) が有用であることが明らかになり、TMR 効率が飛躍的に向上しました。現在、TMR は磁気センサーやコンピュータのメモリーに利用され始めています。

このような背景を受け、当会議では TMR 素子における材料とその性能向上が中心課題でした。TMR 素子がナノメートルのサイズになってくると、様々な新しい問題が生じてきます。電極である強磁性金属の磁化の向きをどのようにコントロールするか、ということがまず問題です。今までは、TMR 素子の近くに置いた電線に電流を流し、その電流の作る磁界で磁化の向きをコントロールする方法が取られてきました。しかし、ナノメートルのサイズの TMR 素子では、磁界を作るために流す電流による消費エネルギーが大きくなり、この方法が使えなくなります。そこで、今回登場したのが、電流そのものを使って磁化の向きをコントロールする、いわゆるスピントランスファートルク法です。このよ

うに、電気で磁気を、また磁気で電気をコントロールする手法に関する研究が活発に討論されました。これは、デバイス応用としてだけでなく、物理学としても大変重要な研究課題です。このように、スピントロニクスでは、基礎研究と応用研究が混然一体となって進んでいます。

なお、この会議及び京都での本会議（ICM）のスピントロニクス分野では、当スピントロニクス研究会のメンバーが中心になって会議が進められました。スピントロニクスの将来にとって、当スピントロニクス研究会が世界的にも重要な位置にある、と言

えると思います。

スピントロニクスのもう 1 つの方向は、半導体素子に磁気の効果を加えることです。すなわち、従来の半導体エレクトロニクスでは、電子の持つ電荷（電気）の部分のみが利用されてきたわけですが、それに電子のスピン（磁気）の効果を組み入れようとするものです。このような半導体の分野も大きく進展しています。今回の会議では、新しい試みとして、金属系磁性体を中心とした会議、ICMFS、とスピントロニクスの半導体エレクトロニクスからのアプローチの会議、Physics and Applications of Spin-related

Phenomena in Semiconductors（PASPS）が同じ会議場で平行して開かれ、参加者は自由に両会議の講演が聞けるようにアレンジされました。これは両分野の交流に大変プラスであると好評でした。

なお、8月16日には仙台市博物館でバンケットが開かれ、伊達理事長より伊達家伝来の刀が披露され、会場の話題をさらいました。

最後に当会議は新世代研究所の



写真1：講演会場



写真2：出席者の集合写真

援助を得て、成功裡に終わることができました。この場を借りて、深く感謝申し上げます。

アヒルのくちばし



門脇和男

(筑波大学数理物質科学研究科物性
・分子工学専攻教授)



ソ連の天才物理学者ランダウの高弟、アレクセイ・アブリコソフが第二種超伝導の核心である量子渦とその構造などの解明によって 2003 年ノーベル物理学賞を受賞したことは広く一般に知られている。

しかしながら、かの国は 50~60 年代の共産主義全盛時代、そして 80 年代に顕在化した急速な経済の衰退から、ついに 1991 年に崩壊したが、その激動の時代を生きてきた彼とその周辺の出来事は、共産主義社会における徹底した秘密主義のためにほとんど知られていない。

筆者は超伝導の研究でこれまで長いおつきあいがあり、その過程でかいま見ることになった彼とその一族が歩んできた数奇なドラマに興味を引かれた。その一端をここに紹介したい。

彼の家系は帝政ロシア時代から歴代のロシア皇帝に仕えるほどの有名な商人で、モスクワで菓子工場を営んでいた。そのトレードマークが図の「アヒルのくちばし」という菓子屋(あるいは菓子の名前)である。アブリコソフの父は革命時、財産没収の苦しみなどから逃れようと医学を志し、アカデミー会員を務めるほどのロシアでも有名な医学者となった。どんな時代でも最も必要とされる職業は医学であるという父親の教えは今でも受け継がれている。彼の現妻も医者であり、又その娘夫婦ともに医者

である。アブリコソフ自身は例外であるが、彼の進路において父親の影響が強かったことは明らかである。また、彼の伯父は帝政ロシア最後の駐日大使であったというのも奇遇である。彼はロシア革命の後、身の危険のため本国には帰らず 1925 年まで日本に滞在し、後に密かにアメリカにわたって静かに生涯を終えたのである。

アブリコソフは幼少時代から天才的な頭脳を発揮し、中等教育を卒業する段階で 3 年飛び級をし、15 歳で工科系大学の電力工学科に入学した。やがて物理学に興味に移り、モスクワ大学の物理学科へ移った。ちょうど 1945 年のことで、広島、長崎への原爆投下を機に、物理系の大学でも兵役が免除される様になったことも大きな要因であったという。大学では当初、理論ではなく実験を選んだらしいが、思うように実験設備が整わないことから次第に理論へ傾倒したらしい。そしてカピツァとランダウとの出会いが彼の運命を決定的なものにする。ランダウに知り合ったのはカピツァの薦めであった。1948 年モスクワ大学を卒業するとカピツァ研究所でランダウの指導のもとに 1951 年 Ph.D. (the Candidate of Science) を取得した。

ランダウと研究をともにするためには **theoretical minimum** というものを突破する必要があったことは余りにも有名である。

物理コースで行われている講義の中から 1 章を終える毎に試験を受け、それに合格したもののみが次へ進むことが許されるのである。アプリコソフはすべての試験をほぼ満点で通過した数少ない学生の一人であったという。Theoretical minimum 終了後、ランダウはアプリコソフに対して「これからは自分で研究テーマを見つけなさい」と言って何一つ教えなかったという。それで、トピックスの見つけ方を訪ねると「第1に雑誌を読むこと、第2に私のセミナーに参加すること、第3に実験家と議論することで、これがトピックスを見いだす最もよい方法だ」という答えが返ってきたそうである。その後、ランダウとの切っても切れな縁が、彼が悲劇的な交通事故に遭遇(1962年)し、亡くなるまで続く(1968年)。そしてその間にランダウ研究所の建設に動いていく。



ランダウは弟子に何も教えなかったにもかかわらず、これだけ多くの優秀な物理学者がランダウ研究所から生まれ、ランダウの死後 40 年にもなろうとする現在でも次々と英才がランダウ研究所から輩出してくるのはいったいどういうことなのか？

筆者がケンブリッジ大学でアプリコソフと最初に会ったのが 1989 年だから、もうかれこれ 17 年になる。当時、外出するときはずっと筋骨隆々のボディガード 2 人に囲まれていたのを覚えている。従って話をするのが正直言って怖かったが、こと物理に関する話が始めると全神経が吸い込まれる様な不思議な話術を持っていて、いつも最後には身の毛のよだつほどの感動を覚えるのである。観点の鋭さは今も全く変わっていないことに感嘆させられる。実はついこの間まで、国際会議で 1 週間ご一緒する機会があったが、時折発する小さいが、重々しい口調で厳しい意見をする光景は実に感慨深いものがある。話が実に鋭いのである。一流とは何かをまざまざと見せつけられる光景であるが、日本の若者たちの多くにはそれが実感できないところに深い哀しみがある。

アプリコソフという名はアプリコットに由来するが、アヒルのくちばしというこの菓子はアプリコットのジュースを濃縮し、さらに乾燥させて作った甘みの強い菓子であったそうである。残念なことに帝政ロシアが崩壊し、ソ連邦になるとお菓子の製造工場も国営化されてしまって、この菓子はいよいよ姿を消したのだそうである。その名前が何故「アヒルのくちばし」だったのか、そのわけを筆者は未だ知らない。

秘められた助成



理事長 伊達宗行

丁度 10 年前の事である。新世代研究所の第一期、勝又紘一委員長が主催するスピントクノロジー研究会（平成 5～7 年）がその最終会合を北陸先端科学技術大学院大学で開いた時の事である。私のメモでは平成 8 年 3 月 2 日となっている。当日の趣向は、班員以外のゲストを呼んで視野を広げようというわけで、4 名の招待講演があった。その一人に大阪大学の天谷喜一教授がいた。私とは旧知の間柄であったが、彼はスピン緩和の専門家、という認識だった。

ところが彼の話を聞いて驚いた。いつのまに転向したのか彼は超高圧の専門家になっており、極めてデリケートなダイヤモンドアンビル法を発展させ、世界トップの百万気圧発生技術を完成させていたのだった。

彼の話聞いて納得した。これまでは勘に頼った作業をナノテクまがいの微小组み立て作業に置き換え、高精度のダイヤモンドセルを作り、加圧操作も格段に精密化しているのだった。

「ではこの装置で何を狙うんだ？」と聞くと「あらゆる元素を超伝導にします」というのでまた驚いた。これにはちょっと注釈がいる。物質に圧力を掛けて行くと原子間距離が近くなって行くので電子のバンド幅が広くなり、バンドが互いに重なり合うようになる。そうするとバンドギャップが無くなるわけだから金属化する。たとえばシリコンでは約 15 万気圧以上で半導体から金属になる。だから第一段階として基本的な元素に目を向け、その金属化を実現する。そしてその上で温度と圧力を変え、超伝導になるかどうかを調べるというわけである。色々な理由から初めに酸素でやりたい、ということだった。

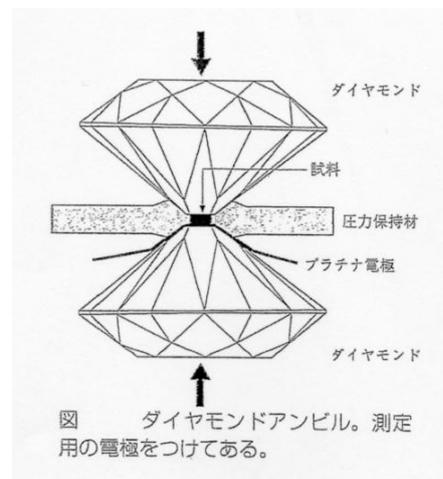
「実験のネックは？」と聞くと「ズバリお金です」という。ダイヤモンドアンビルはちょっとでもミスをすると、ピシツという何とも言えないやな音を立てて割れてしまう。それで数十万円が吹っ飛んでしまうということで、どうしてもこわごとと圧力を掛けるも

のだから腰が引ける。しかし酸素にはどうしても百万気圧は掛けないといけない。それを安心してやるにはダイヤモンドをふんだんに準備しないとだめなのです、ということだった。実験心理とはこんなものである。

そこで次のような作戦を立てた。当時私は日本原子力研究所の先端基礎研究センター長をしていた。そこで天谷氏を客員研究員に採用して予算をつけよう。超高圧は原子力研究にも無縁ではない。かくて彼は数百万円を手にし、ダイヤモンドを心ゆくまで買い入れる事が出来たわけである。

実験は当時助手だった清水克哉氏の協力で順調に進んだ。ダイヤモンドアンビルセルを液体窒素でゆっくり冷やしながら高純度酸素をセルに入れて液体酸素を作り、密閉加圧して固定酸素とする。ご承知のように酸素は青いが、数万気圧下では室温でも固体で、ルビーのような赤い固体となる。さらに加圧すると黒っぽくなって行くが、これは絶縁体から半導体、そして金属へと転移して行くことを意味し、95 万気圧あたりで金属光沢が現れ、98 万気圧で金属転移が確認された。

さてここからである。圧力を 105, 115, 120 万気圧下で温度を下げて行き、電気抵抗とマイスナー効果測定が行われた。そして酸素がこれらの圧力下で 0.6K で超伝導を示すことが確認されたのだった。意外な物質での超伝導発見は世界中から驚きの声が入り、マスコミもこれを取り上



政府系研究開発プロジェクト紹介

新世代研究所の研究会メンバーの方々を中心とする研究グループの政府系研究開発グラントの獲得が相次いでいます。ATIにおける研究活動も含めた研究成果の例として下記に3件のプロジェクトを紹介いたします。

高分解能生体分子プローブ「カンチレバー」の創製による生体認識イメージング技術の開発

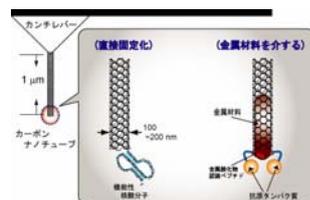
NEDO 産業技術研究助成事業

研究期間：2006年度～2009年度

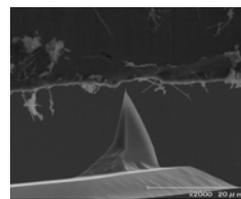
研究代表者：荻野 千秋 氏（旧・プレ研 バイオセンシング研究会リーダー）

研究課題の概要

核酸、タンパク質等の分子間相互作用解析による固定化分子の高精度分析のため、原子間力顕微鏡の触診デバイスであるカンチレバー先端へのカーボンナノチューブ(CNT)修飾、更に、CNT先端への生体分子修飾を行い、新規な“分子認識能とイメージング機能”を備えたバイオセンシングシステム開発を行います。これにより、原子レベルでの分解能を有し、無機材料の表面微細構造解析ツールとして定評ある走査型プローブ顕微鏡技術をバイオ分野へ展開し、バイオチップ等の評価技術確立を目指します。



高分解能カンチレバーの概念



CNT修飾カンチレバー

膜に関連するタンパク質の配列・構造粗視化解析技術

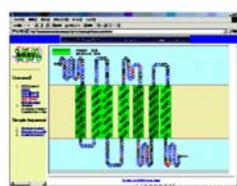
JST 先端計測分析技術・機器開発事業

研究期間：2006年度～2009年度

チームリーダー：美宅 成樹 氏（バイオナノ研究会委員長／評議員）

研究課題の概要

膜に関連するタンパク質の構造・分子認識を推定するためのソフトウェアシステム、および分子間相互作用の情報を与えるフォースカーブ解析手法を開発します。これは任意のアミノ酸配列に対する膜タンパク質高精度構造・分子認識予測システムの大事な要素技術となるものです。本技術要素のポイントは、原子分解能の見方が最も良いという常識を覆し、配列や構造を粗視化することで膜タンパク質の構造形成や分子認識の本質をとらえるという新しい見方にあります。



膜タンパク質構造予測システム



フォースカーブ測定の概念

中性子回折実験データを基にした新しい生体物質結晶構造解析

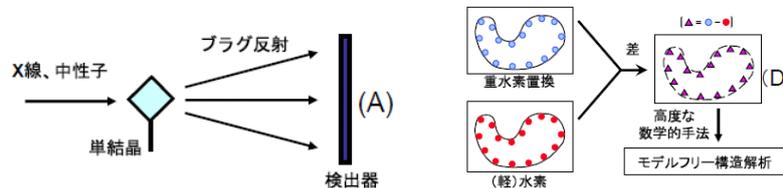
HFSP(ヒューマン・フロンティア・サイエンス・プログラム) 研究期間:2006年10月-2009年9月

共同申請者:新村 信雄 氏 (旧・中性子小角散乱研究会委員長/評議員)

(仏 ゲノム構造生物研究所との共同 研究代表者は米 H.A. Hauptman 教授)

研究課題の概要

X線結晶構造解析では困難であった精度の高いタンパク質分子の構造を決定し、これにより生理機能発現にとって重要な水素原子の位置情報を得るための革新的研究を目指します。仏グループは水素原子を重水素原子に置換したタンパク質の取得、新村グループはタンパク質結晶化と中性子回折実験を担います。米国グループは新しい解析法(直接法)での構造決定手法開発を担当します。



(事務局)

~~~~~

**ATI フォーラム**

新しい科学技術を広く社会に紹介し、科学と文化への知的好奇心に応える第26回ATIフォーラムを開催しました。

開催日: 2006年5月29日 化学会館

① アインシュタインと哲学 —時空とEPR—  
講師: 佐藤 文隆

(甲南大学教授 湯川記念財団理事長)

② 日本の縄文文化 —縄文人の数字認識と社会—  
講師: 藤田 富士夫

(富山市埋蔵文化財センター所長)



佐藤氏



藤田氏

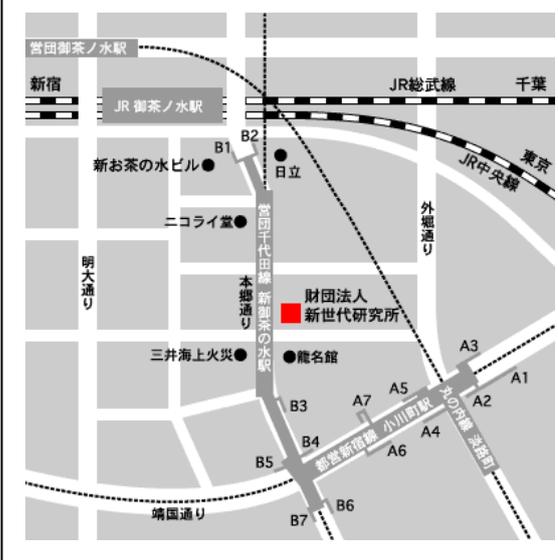
佐藤氏からは、アインシュタインの相対論を生み出した時代背景や当時の哲学との接点についての講演を頂きました。

また藤田氏からは、縄文時代の大型住居には35cmを単位とする「縄文尺」が用いられていたという、縄文人の高い数字認識力に関するお話がありました。

＝編集後記＝

今号の記事の中に伊達理事長の筆による“秘められた助成”があります。ATIの特色ともいえる“姿なき援助”が、春秋に富む方々が直面した壁のブレイクスルーに資した実例のようなケースは、この他にもあるのではないかと思います。ご存じの方がいらっしゃいましたら是非お教え下さい。授受いずれのお立場をも問いません。ご投稿をお待ちしております。

ところで、気体では無色の酸素が、液体では薄青で、固体では紅玉色だそうです。編集子は揚羽蝶が脱皮という大命題を乗り越えて羽ばたいて行く様を思い起こしました。(う)



編集／発行

財団法人 新世代研究所  
東京都千代田区神田駿河台 3-6-1  
菱和ビル 4階 〒101-0062  
Tel : 03-3255-5922 / Fax : 03-3255-5926  
Home page: <http://www.ati.or.jp/>  
E-mail: [info@ati.or.jp](mailto:info@ati.or.jp)

JR 御茶ノ水駅聖橋口 徒歩 3分  
千代田線新御茶ノ水駅  
都営新宿線小川町駅 B3 出口  
丸の内線淡路町駅 徒歩 1分