応用磁気の発展に想う

On the Prosperity of Applied Magnetism

川西健次

日本大学理工学部

Kenji Kawanishi College of Science & Technology, Nihon University

私が磁気に係わりをもつようになったのは昭和35年頃であろうか、ちょうど磁気増幅器の研究が各所で始まった頃であった。沢山の文献が出ていて、随分読んだものであったが、文献だけでは面白くない、ひとつ作ってみようという事になってハタと困ったのは鉄心材料であった。外国の文献にはドイツの Permenom-5000 Z が盛んに書かれているけれども手元にはなかった。止むなく硅素鋼板（熱間板）で3脚鉄心を作ってやってみたが、少しも増幅をしない。今度はパーマロイで作ってみて、やっと少し増幅をした。この頃になると東北金属のセンデルタが手に入るようになって、研究の成果も出るようになってきた。今から思えば3脚鉄心は笑い話であるが、経験が必要である事をつくづくと知らされた1st stepであった。数年後、大阪大学の桜井良文教授の研究室にお伺いした折、やはり熱間板で試みられた磁気増幅器が戸棚に展示されているのを見て、お互いに笑ったものである。

ようやく研究も軌道に乗り、私は磁気増幅器の跳躍現象で幾つかの論文を書いている頃、アメリカのGE社からSCR（サイリスタの商品名）のニュースが伝わった。当時は電気学会に磁気増幅器調査専門委員会があったのであるが、このニュースは直ちにその委員会にも伝えられて、早速にSCRと磁気増幅器とどちらが生き残るであろうかと熱心な討議が行われた。その席の空気ではどうも磁気増幅器は生き残れないかも知れないとの不安を抱いている人が何人かは居たように思われた。それから10年くらい経ってから東北金属の若生敏生さんに聞いたら、センデルタの売れ行きは伸びているとの事で胸をなでおろした次第である。どうも磁気を応用する立場からすると絶えず半導体の事が気になるもので、記憶素子然り、直流増幅器然り等々である。当たっているかどうかはわからないが、絶えず半導体を意識しながらよりよい応用をと諸先輩のされた努力が応用磁気の今日の隆盛をもたらしたのであろう。

1963年になってIEEEのMAGグループによって第1回Intermag.が米国のWashington D. C.で開かれた。ちょうど私は大学から海外出張を命じられていたので、この会議に出席することができたのは幸運であった。

学会のセッションでは、磁気増幅器および変調器、磁気と半導体の組合せ回路などが華やかな話題で、更に、東京大学の高橋、後藤両教授の発明になるパラメトロン——特に薄膜パラメトロン、ガラス基板に円形に蒸着したパーマロイ薄膜の記憶への応用やクリープ現象の論文が多く、垂直磁化膜、磁気バブル、非晶質磁性材料などは全く話題にのぼってはいなかった。この出張中は大阪大学の桜井教授と一緒に、米国および欧州の研究を見て歩いた。励振周波数40MHzの薄膜パラメトロンやクリープ現象の研究、ツイスタ、フェライト板の記憶などが盛んに研究されていた頃で、また、パロズではPbとSnを用いた超電導論理素子の研究を盛んに行なっていた。超電導形電子計算機の実現近しの感を深めていたのであるが、今日まで実現していないのは残念である。この見学旅行の結果、桜井教授は、磁気増幅器は研究としてはする事もあまりなくなっていたので、磁性薄膜の研究を決心されたい。今日の広島大学の楠田哲三教授のMnBiの研究や九州大学の小西進助教授のWall dynamicsの研究はこの成果でありましょう。

毎年のIntermag.や3M会議には、わが国から多数の論文が発表された。1965、6年頃であろうか。当時、電気学会の磁気応用調査専門委員会の委員長をされていた早稲田大学の太照完教授は当時の磁気応用分野の研究に物理学者の協力が必要であることを痛感され、東京大学物性研究所の近角聡信教授に同委員会の委員になっていた。ここに始めて応用磁気の分野において理学と工学の協力態勢がスタートしたのである。その頃、日本の学者のIntermag.における貢献のせいで、Yale大学のBarker教授から日本でIntermag.を開催しないかとの話があり、同委員会が中心になって開催の準備をすることになった。Intermag.が広い分野にわたっているので一学会だけの主催では無理という意見で、日本学術振興会の中に応用磁気第137委員会が設立され、隔月1回の研究会でシンポジウムやIntermag.の報告が行なわれると共に1972年京都でのIntermag.の準備をすることになった。委員長は当時KDD研究所長であった大島信太郎博士であった。SpainがJ.A.P.誌上にDTPL (domain tip propagation logic)を発表したのが1966年

の事であるから、当時の computer magnetics の情況が伺えよう。

パーマロイなどの薄膜の水平磁化膜で磁区に情報を担わせて、これの転送を自由に制御したいというのが当時の目標であったと思われる。Bobeckがオーソフェライトで垂直磁化膜の磁区、すなわち磁気バブル、を発表したのが1967年で、それまでは水平磁化膜のものであった。この磁気バブルは世界中の関心を集めることになった。そのうちに1970年になって同じベル研究所のBoyle & SmithによってCCD (charge coupled device) が発表されて、磁気グループは磁気バブルも半導体によってとって代わられるのではないかと不安におののかされた。数回にわたって転送速度、ビット密度、不揮発性について半導体グループと討議を重ね、磁気グループは磁気バブルは完全に不揮発性であることが最も優れた特長であると自負していたようである。今日、両方ともそれぞれ実用化されているのは真に御同慶の至りである。

1972年京都で行なわれた'72 InterMag. では、磁気バブル関係34件、薄膜メモリー11件、core devices 9件、domain tip 3件、光磁気記録17件、記憶、記録およびシステム64件、その他で、時代の趨勢が伺える。この学会の前からベル研究所ではハードバブルがある事を知っていたので、会議の席では複雑な心境であったのではないと思われる。

'72 InterMag. の終る頃、関係者の間では応用磁気137委員会は今後存続することが可能だろうか、各分野はどれほど発展するだろうか、ということについて完全な見通しがあったわけではなかったように思う。せっかく作った工学系と理学系の共同の場としてお互いに恩恵を受けている137委員会を学会として残そうと決まるまでには大分長い時間がかかった。

話は前後するが1971年頃、大阪大学の桜井教授、早稲田大学的小林寛教授および私の三人が相談して、ひとつわれわれも磁気バブルの材料を作ろうではないかということになって、桜井教授はCVD法で、私はLPE法でガーネット膜を作ろうということになった。小林教授はその少し前からフラックス法でオーソフェライトを作っていた。30 cc程度の白金坩堝^{もっほ}では大きいオーソフェライトは成長しなくて、小林教授からいただいたのは、初めてできたマッチの軸ほどの太さで長さ3 mm くらいのものであった。確かに垂直磁化になっているようであるが、方位を決めて切断、研磨することはとてもできな

かった。当時は東北金属、日本電気などではオーソフェライトが作られ、また電々公社武蔵野通研、日本電気、富士通でガーネット膜は作られていたが、作り方については教えてもらうわけにもいかず、独自で作るはめになった。LPE ガーネット膜で直径10 mm くらいのもので100万円以上すると云われていたので、試料をわけてもらうわけにもいかず、自力で作ろうとしたのである。研磨したGGG基板もなかなか入手できず、止むなく400メッシュくらいに磨いたものを入手してサイトンで磨いたが、エッチングするとエッチピットばかりで物にならなかった。暫くして研磨したGGGが容易に入手できるようになったので、もう研磨するのは止めにしたが、研磨も素人から始めると難しいものだなあとつくづく知らされた。

LPEを始めるようになったのは、応用磁気第137委員会でのInterMag. 報告会で、LPE法だとGGGを白金線で吊って15分くらい浸すだけでできる、という見て来られた方のお話があったからである。炬も学生と一緒にやって3ヶ月くらいかかって作った。今までデータがないし、発表されたデータもほとんどない状態だったので、飽和温度を決めるにも苦労した。或る時はGGGを一分くらいつけただけで上げて見るとGGGがなかった。融けたのである。またメルトの組成もデータのないままに始めたのでパラメータの決定に困った。メルト組成を決める R_1 も、後から思えば6くらいから始め、少しずつ変えてやってみたが、くる日もくる日も失敗ばかりであった。遂に卒業まであと2ヶ月にせまった或る日、学生から「先生、僕の卒論は大工仕事だけで終るのでしょいか」と言われた時は本当に情ない思いであった。それから数日たって引き上げた結晶(?)を顕微鏡で丹念に調べていた学生が、「先生、隅の方にストライプドメインらしいものが2~3本見えます」と言った。皆で見て確かにこれはストライプドメインらしい、磁石を近づけて細くなれば間違いないというわけで、磁石を近づけてみると確かに細くなったので、皆で歓声をあげた次第である。早速、早稲田大学的小林教授に電話をして、翌日皆で乾盃をした。一度できるようになると、どうやってもできるもので、それから結晶成長のデータを随分とることができた。Blankの“Kinetics of Crystal Growth”の論文が出る前のことである。

もう暫く私事で恐縮であるが、自分で作れるようになると自分のアイデアを直ぐ試みしてみるのに便利であ

る。早速に GGG-磁性ガーネット膜-GGG-磁性ガーネット膜の三層構造のものを作ることにした。当初の目的は一番上の層の記憶、論理によって得られた結果を他の位置に転送するのに、一度下の層に転写してそれから直線的に転送して目的の位置で上の層に移そうというあいまいなものであった。第2層目の非磁性層の GGG も LPE 法でつけてみようということになって、磁性ガーネットの場合とほとんど変わらない $R_1, R_2, \dots$ のパラメータで試みたところ成功して大いに得意がった。ただし、上記のアイデアは未だできていない。後に日本電気から発表されたデータはパラメータの値がわれわれのものとは大分異なっていた。因みに、現在、私の研究室の学生は日本電気のデータを使用しているようである。

もう1つ試みたのは磁性ガーネット膜の高保磁力化によって光・熱磁気書込みを行なおうというのであった。これは研究室の伊藤助教授と井上助手が担当して 40 Oe 以上のものも作れるようになった。磁気バブルを記憶に使う場合にはでき得る限り低保磁力でなければならないので各会社とも低保磁力の為に努力をされている時に、私の研究室の仕事は世の中に背を向けたような研究であった。多分、この材料は会社の方にもお願いしても一言で断わられただろうと思っている。しかし、これは光・熱磁気記録に役立った。

LPE で磁性ガーネット膜ができるようになった頃、桜井教授から GdCo の非晶質膜ができたとの連絡をいただいた。桜井教授の所もそれまで材料作りに大分苦労されたようであった。数日後、自動車のミラーほどもある非晶質膜を見せられてびっくりしたり、LPE 膜ではこの大きさのはとても無理だろうと思ったりした次第である。IBM の Chaudhari が非晶質垂直磁化膜を発表したのとほとんど同時であったように記憶している。LPE 膜も最近3インチほどの GGG 基板が作れるようになったので、先の非晶質膜とほとんど同じになったと考えてよいと思われる。ただ Chaudhari の文にもあったように、窓ガラスにでもつけられるというのが GGG 研磨でさんざん苦労した人間にとっては羨しい限りである。

この磁性非晶質膜の話題は応用磁気分野に新しい活力を与えた。超急冷磁性材料の研究も盛んになりつつあり、近い将来、大型変圧器に応用されることも夢ではなであろう。最近、通信用電源の国際学会の計画が九州大学の原田耕介教授を中心に進められているのは真に当を得た計画であろう。ご成功を祈る次第である。

最近の話題になっているものの1つに、東北大学の岩崎俊一教授の発明になる垂直磁化の記録があげられよう。磁気ディスクの高密度記録が着実な進歩をしている一方、同じ分野でかかる新しい提案が出るところに応用磁気の限りのない将来を思わせる。

日本応用磁気学会の中に設けられた研究グループで名古屋大学の内山普教授を中心とする磁気分離も最近の話題であろうし、超電導、常電導をめぐる議論のある磁気浮上も1963年当時には全く話題になっていなかったテーマである。

昨年の日本応用磁気学会学術講演会のセッション名をあげて見ても、磁気記録、磁気ヘッド、バブル材料、バブル物理、バブルデバイス、液体急冷合金、微粒子・インバー、薄膜、非晶質材料、磁気応用、光・熱磁気記録、磁気光学、磁気分離、と多岐にわたっているが高硅素薄膜5件、垂直形磁気記録3件などは1963年の Inter-mag. では全く見られなかったものであるし、磁気光学、光・熱磁気記録の内容もすっかり変わっていて、研究テーマの限りのない発展を思わせる。これらのセッションを眺めると、かなり基礎的で理学系と見られるものと、応用面で工学系と見られるものが仲よく同居している様子がよく伺え、理学系、工学系の協同の場としての日本応用磁気学会の姿が示されていて誠に喜ばしい限りである。

先年、近角教授から“Magnetic”という言葉には“魅力ある、親密な”という意味があることを初めて伺った。急いで辞書を引いて見ると、なるほどそうである。学会の会員の皆様が Magnetic な雰囲気の下にとどまる所を知らない分野の発展にご協力くださることを期待しつつ筆をおくこととする。

執筆者の紹介

川西健次 かわにしけんじ

昭20東京大学第二工学部電気工学科卒 現在日本大学理工学部電子工学科教授(工博) 専門磁性材料とその応用(特に磁気バブル、光熱磁気記録)