

Title	メガガウス磁場生成の新らしい方法
Author(s)	伊達, 宗行
Citation	大阪大学低温センターだより. 2 p.8-p.10
Issue Date	1973-04
oaire:version	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/3848
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

メガガウス磁場生成の新らしい方法

理学部 伊 達 宗 行

現在の人知をもって知り得た最高の磁場は、ある中性子星に存在する 3×10^{12} ガウスとの事である。極限状態で物性研究の名の下に脚光をあびている強磁場がわづかに 10^6 ガウスであることを考えると、われわれが貧者の一燈をともしるとき、自然界は既にミリオンアールである。しかもわれわれは彼女、Mother Nature のかくし財産を全く知らない。人間が“互に消し合うべき生物の輪廻”から脱出して超生物となり、勝手にして尊大な自己主張によって地球を破壊しつつ、それ故にこそ滅亡への道が見えはじめた現在、磁場一つを取ってもかいま見られる自然の深さはわれわれにとって最大の救いではなからうか？

さて仏教的逃避はそこまでとし、物性的回帰をはかろう。超電導電磁石の出現は 10^5 ガウスの磁場を日常化した、といえる。それにあきたらないグループはパルス磁場というハンディはあるが 5×10^5 ガウスまでの磁場を作り、日常化している。後者において用いられている方法は人によって多くの仕様変更があるものの基本となるものは Bitter によって開発されたいわゆる Bitter 型コイルの使用であり、Be-Cu 合金を中心とした高強度良導性合金ソレノイドが骨格となっている。しかしこの方法をより高い磁場に延長しようとするとき大きな困難がまぢかまえてくる。通常材料強度では 7×10^5 ガウスの磁場をささえるのが限度でコイルはこわれてしまう。また電流による発熱がやはりコイルをとかししてしまう。したがって 10^6 ガウスを実現し、それを使用するためには、こわれないコイルというイメージを捨て、コイルがこわれるまでの時間に必要な磁場を作り、所期の測定を終えてしまおう、というのが最近までの通説であった。そしてこの考えにしたがって爆薬を用いた磁場濃縮法、電磁力を用いた磁場濃縮法の2つが主流とみなされるようになり、前者は東北大金研や熊本大で、後者は東大物性研で既に研究が進められている。

筆者は5年程前から上記の考え方にばくぜんとした疑問をもっていた。というのは、爆薬、電磁力による磁場濃縮にケチをつける気は決して無いのだが、どんなコイルも 7×10^5 ガウス付近でこわれてしまうとの判断がどうも単細胞的思考のような気がしてしかたがなかったのである。しかしこの通説は世界的にどうしようもない感じで、たとえば Physics Today の解説 (J. G. Linhart, 1966) にもはっきり書いてある。まあ急にどうという案もなし、そのうちにゆっくり考えるか、と思いながら数年が過ぎてしまった。

たまたま1971年の夏近く、Kurti が日本にやって来たある日、多段式パルス磁場はかなり有効に見える、という話を持ちだした所、彼はかなりの興味を示してあれこれ質問して来た。その場は定性

的な話に終わったが、逆に筆者にとっては自己暗示的な効果があって、これはいける、早急にちゃんとしたものを作ろうという気になり、夏休みから9月にかけて厳密な検討を行った。案の条ねらいはあたっていて 10^6 ガウスはおろか、コイルの破壊なしに原理的には無限大の磁場が出来ることがわかった。

骨子となる考え方はつぎの通りである。今 n 重の多層ソレノイドを考える。但し各層は以下にのべる方式に従って決る条件にあうよう作られるので、普通の多重コイルのように同じ線を同じピッチで巻くのではない。かんたんのために直流を考え、それによる発熱は考えない。またコイルに働く軸方向の力は考えない。これらは別に取扱う。さて n 個のコイルは皆同一材料で作るとする。各コイルはとりあえず無限長単層ソレノイドとし、端の効果は無視しておく。さてこのような条件下でまず外側のコイルに、それがこわれるギリギリまで電流を流したとし、その作る磁場を h_1 とする。そして次のコイルはこの h_1 と自分の作る磁場 h_2 に対してこわれるギリギリまでの電流を流すものとする。するとただちに $h_2(h_1 + h_2) = h_1^2$ となることがわかる。このようにして n 個のコイルを、いずれも破壊ギリギリまでの電流を流すとすればごくかんたんな計算によって中心に発生する磁場、 $h_1 + h_2 + \dots + h_n$ は

$$h_1 + h_2 + \dots + h_n > h_1 \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} \right)$$

となることがわかる。 $n \rightarrow \infty$ としたとき右辺は発散するから、したがって中心磁場は無限大となる、というわけである。

勿論この一本の式がすべてを解決するわけではない。マックスウェルの応力についても軸方向の力を考慮せねばならないし、発熱の問題も解決しなければならない。そして現実のコイル材料についての考察も極めて重要であり、コイルのスペーサー物質もその選択は慎重でなければならない。その話はここでは略する。

しかし上式の最も重要なポイントは、メガガウス磁場を出すとコイルは必ずこわれてしまうという事はもはや過去の俗説にすぎない、という事である。上式は実になんでもない式で、電磁気学の長い歴史で、あるいはだれかが気付いたこともあったらうと思われる。しかしそれはまた長い歴史の中で完全にうづもれてしまったのであろうか。少くとも現在の強磁場研究者の中に全くその根拠はないし、このかんたんな式の理解すら道遠い人が多いことも最近見出した。

しかし筆者にとって何よりも有難いことは、このアイデアを実行しようという関昭雄君(DC卒予定、48年度教務員)がすぐさま仕事にかかってくれたこと、そして第1期の成果(内径2ミリ、長さ3センチ、磁場0.9~1.1メガガウス)が出るか出ないかという時期に、いち早く三菱財団が第2期目標(内径6ミリ、長さ9センチ、磁場0.9~1.1メガガウス)に対する財政援助を決定してくれた事である。当然の事ながら士気大いにあがっており、早ければここ1年以内に第二期目標を完成して広く御批判をいただき、更に将来の発展を期したいと考えている。

所でこの磁場を何に使うかであるが、まずわれわれの実績の延長としてサブミリ波のESRを考えて

いる。H₂O レーザー光を用いると $g = 2.00$ のスピン共鳴磁場は約 0.9 メガガウスとなる。これの実現には本河光博君が鋭意努力中であり、CN レーザーを用いたテストでは既に 0.3 ~ 0.4 メガガウス帯できれいなシグナルを得ている。

なぜサブミリ波帯で ESR をするのか？ それはたしかに ESR が高磁場測定器として最も有効なものの一つであるという面もあるが、筆者はむしろつぎのように考えている。それは ESR のたそがれを見よう！ という事である。ESR の夜明けはよく知られているように Zavoisky によってセンチ波ではじまった。筆者が大学を出たとき、既に夜は明けていた。朝寝坊をしてしまった筆者の目にはかなり多くのものが既に白日の下にあった。やがて研究はミリ波帯に移って行ったが、固体の ESR にはやがて日没がまっている。それは何かというと格子振動の存在である。少くとも固体における ESR は格子振動のくらやみに入るとき、たそがれるであろう。それはサブミリ波に初まる。何も出てこないかもしれない。しかし斜陽に立つとき、その鋭角的な入射光は意外な夕映を集せてくれるかもしれないではないか？ 勿論これまでに日中でもわざわざ暗い地下にもぐった手合いもある。表皮効果の下にもぐった金属の ESR などはそうであろう。そして日没後でもライトをつけてやるような仕事はありうるであろうし、原子分子的な仕事に日没はないかもしれない。しかしそれらはともかく固体 ESR の夕映を見てから考えてもよいのではなからうか？

第 8 回低温研究会から

1 月 19 日に第 8 回目の低温研究会が開かれた。当日の講演は次の通り。

- 白藤純嗣氏（阪大工）：“工学部犬石研究室の研究紹介”と題し、特にフタロシアニンのルミネッセンス、CdTe, ZnTe の格子欠陥、GaP の放射線損傷、III-V 混晶の速度電界特性等について報告があった。
- 古戸義雄、鈴木卓哉氏（古河電工中研）：“超電導ケーブルの現状と将来”と題し、最近脚光をあびているこの分野の研究が紹介され、線材、冷却方法、絶縁等を含めて報告された。

当日の参加者は工学部、産研から 22 名であった。