



研究ノート

阪大強磁場

伊達宗行*

1. はじめに

磁場、あるいは磁界と呼ばれる物理量は重要で基本的なものの一つであり、その応用機器もわれわれの周辺を見渡して見ると無数と言ってよいほど存在している。しかしながら人類が生成し得る磁場というものには限界があっていくらでも強い磁場を作るという事は出来ないし、当然ながらその応用にも一定の上限がある。磁場強度を表す単位でガウスがよく用いられるからここではこの単位で話を進めるが、 10^4 ガウスを1テスラとも言って最近多用される傾向にあることを附記しておこう。いづれにしても地磁気が0.3ガウス、オモチャの磁石の作る磁場は数百ガウス、鉄心磁石で約 10^4 ガウス、超電導磁石で約 10^5 ガウス、と常識的に記憶しておくとう便利である。そして現在の实用レベルにある磁場生成はここまで、というのがこれまでの常識であった。これに対して今われわれが作っている实用磁場は 10^8 ガウス、と一桁アップされた強力なものである。よくケタちがいの、と言うが1ケタ強い電磁石の出現はその真の利用価値が定まるまでには当然いろいろな試みをしての後の年月を経ないといけないであろう。そこでここでは阪大ではじめて開発されたこの新方式磁場生成装置についてのわかりやすい解説と将来の応用についての見通しをのべる事とし、将来定まるべき実用的評価を占う資料としたいわけである。

2. 強磁場生成のむつかしさ

磁場生成の基本は電流にある。たとえ鉄やフェライトを用いたとしても基本的にはそれらの

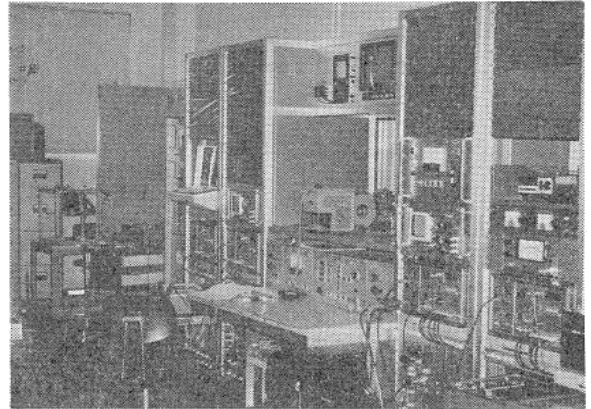


写真1 超強磁場実験施設の磁場制御室

磁気も電流に還元出来る。そしてまた磁性体を用いたとしてもそれらは飽和磁化という現象があつてある程度($\sim 10^4$ ガウス)以上の磁場を作ろうとすればそれらはかえって邪魔になる。したがって、コイルに大電流を流す、という手法が唯一であり、すべてである。そこでこの場合に技術的限界となる最大の問題は

- (1) コイルにおけるジュール熱
- (2) コイルに働く電磁力

の2つである。前者はたとえば超電導線材を用いれば問題はなかり、と思われるかもしれないが、超電導には固有の特性、すなわち磁場が強くなると超電導が破壊され、常電導になるという性質があつてこのためにある程度($\sim 10^5$ ガウス)以上の磁場を作る事が出来ない。勿論、 10^5 ガウスはかなりの強磁場であり、これの応用としては核融合炉、磁気浮上新幹線や、巨大コイルによるエネルギー貯蔵などがあげられる。しかしその生成磁場上限値のために、更に強い磁場を作るためには別の方法を考えなければならない。通常の金属を用いてコイルを作り、その発熱を大量の冷却水で処理する、という方法がMITで開発され、 2×10^5 ガウスの磁場が作られたのが1960年頃である。これはしかしながら10メガワットという大電力を必要と

* 伊達宗行 (Muneyuki DATE), 大阪大学, 理学部, 物理学科, 教授, 超強磁場実験施設長, 理学博士, 物性物理学

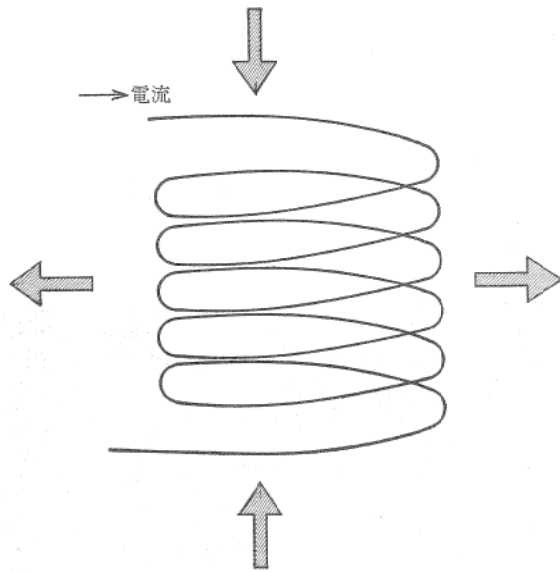


図1 コイルに働く電磁力

するわりには生成磁場が超電導マグネットの2倍以下、という事もあるがあまり決定的なメリットをもっていない。そこで最近ではこれのまわりに超電導電磁石を置いて、 3×10^5 ガウス(30テスラ)の磁場を作ろう、という動きがあり、MITがその第1号機を完成させ、つづいてオランダのナイメーゲン、フランスのグルノーブル、日本の東北大金研があとを追っている現状である。

一方、コイルの発熱問題、あるいは巨大な電源を必要としないやり方としてパルス強磁場という考えが最初にカピッツアによって試みられた。1925年頃であるが彼はパルス電流を直流発電機のショートによって得るという方法で約 3×10^5 ガウスの磁場を作った。これはパイオニアワークとして長く歴史に残るものである。やがてこの電源はより扱いやすいコンデンサーの利用と変わり、またマグネット用コイルもMITなどで改良され、磁場も実用 4×10^5 ガウスくらいまで行くようになった。パルス幅は約1ミリ秒である。

しかしここで重大な困難が表面化した。それは前記のべたコイルに働く電磁力である。図1のようにコイルに電流が流れるとコイルの軸方向には圧縮力、コイルの径方向には膨張力が働きコイルを破壊しようとする。その力はコイル内生成磁場の2乗に比例し、その大きさは磁場が 10^6 ガウス、つまり1メガガウスの時に400

kg/mm^2 となる。これはたとえばスチールの引張強度が約 $100\text{kg}/\text{mm}^2$ である事を思い出せばとてつもない力があり、かりにスチールでコイルを作っても磁場の最高限度は約 5×10^4 ガウスという事になる。

しかし科学、技術が進歩してくると、より強い磁場を用いた研究があちこちで強く要請されるようになって来た。そこで次のアイディアは、たとえコイルがこわれても、ほんの一瞬でもよいから強い磁場が出来ないか、という事になった。そしてパルスコイルで磁場を発生させておき、次にこれを火薬などで爆発的に圧縮し、1マイクロ秒程度の時間ながら $3 \sim 5 \times 10^6$ ガウスの磁場を作る試みが行われてきた。しかしこの方法は極めて荒っぽいやり方であり、精密な研究にはあまり有効ではない。さてなんとかよい方法はなかるうか、という事になった。これが1960年代の終りの事である。

3. 阪大強磁場のアイディアとその実現

1970年、われわれはつぎのような方法を用いると、実は原理的には無限大の磁場をコイルを破壊すること無しに作る事が出来るという定理を発見した。その核心はつぎの通りである。

第一に1つのコイルで作る最高磁場を出したとする。大体 5×10^5 ガウスである。つぎにこのコイル内に2番目のコイルを考え、それに電流を流して外側のコイルに働く力と同じ限界まで磁場を作る。当然ながらこのコイルの電流密度は外側のコイルより小となる。なんとなれば既に外コイルで作られた磁場からくる力が加味されるからである。しかしこのようにして第3、4…… n とコイルを内側に向けて追加して行くと中心の磁場は増加して行き、 $n \rightarrow \infty$ とすれば中心磁場は無限大となることが証明される。この定理に基づいたコイルが試作され、4重コイルで 1.07×10^6 ガウスの磁場がコイルをこわさずに作る事が出来た。この成功により世界の強磁場生成法は新たな手法を得る事となった。そして1975年に2—5億円で初の阪大式強磁場生成装置が完成し、物理学の各分野に対する応用を中心とした研究が行われるようになった。パルス幅は1ミリ秒程度であり、極めて広

い温度領域で自由に使うことができるなどの利点があり、現在、内外の多数の研究グループに開放されている。現在学内は勿論、学外から年間20件程度のユーザーがあり、また外国からのユーザーもすでに数件出ている。この実績をふまえて1980年からは理学部附属の実験施設となり、その運営規模も更に一般化している。測定室の一部が写真-1に示されている。

装置の核心部であるマグネットコイルの断面図を図-2に示す。これは2層コイルの場合で、Aが内側のコイルで荒いピッチ、すなわち粗な電流密度をもったコイルであり、Bが外コイルである。斜線はマイカ等の絶縁物である。コイルと言っても強度を高めるために円板状のヘリックスとなっている。A、Bを直列に接続し、数十万アンペアの電流を 10^{-8} 秒流すことでコイ

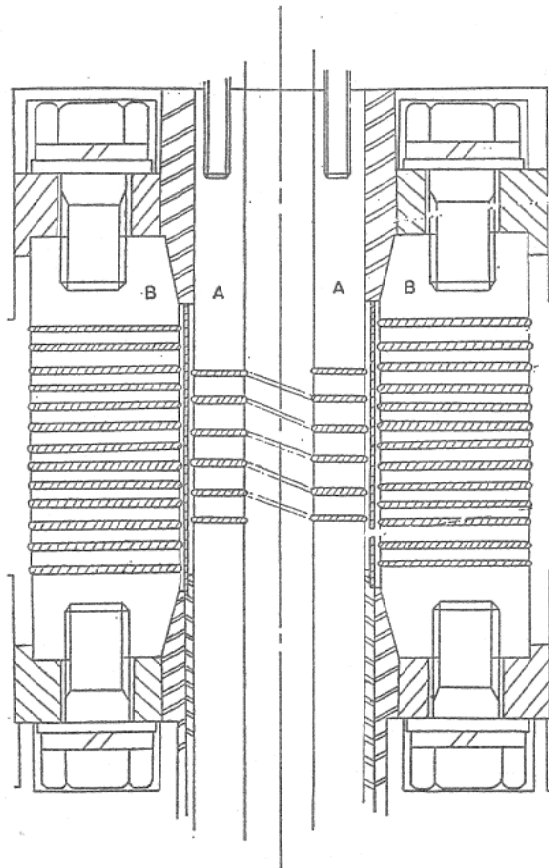


図2 コイル断面図

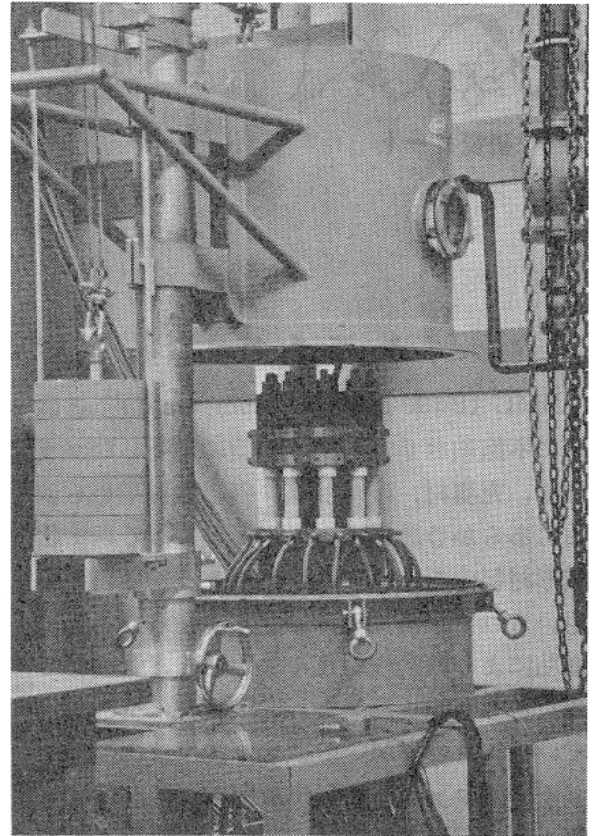


写真2 マグネット設置の例

ル中心（図のほぼ中心部）に強磁場を作り出す。その内径は2センチである。なおコイル材料はマルエージング鋼と言って高い強度をもつ特殊鋼である。このコイルをセットした様子が写真-2に示されている。中央にコイルがあり、リード線がタコの足のように出ているのがわかる。上方にあるのは防爆カバーで、万一の事故にそなえてある。

現在、その応用範囲は物理学、とくに物性物理学が主であるが、しかしその有効性は化学、生物学、更に工学分野にも広がるものと思われる。実験施設の詳細については、学内出版として、阪大強磁場 NO. 1, 2 が発行されており、これに詳しい。興味をもたれる読者があればいつでも提供出来るので御連絡いただきたい。なお将来の夢物語の一つを巻末のコラム、夢はバラ色、にのべてあるので参照されたい。