



研究ノート

新? 阪大強磁場

金道浩一*

New? High Magnetic Field Laboratory in Osaka University

Key Words : High Magnetic Field, Magnet, Extreme Condition

1. はじめに

今から遡ること約20年前、本誌の34巻(1982年)第2号の33頁に「阪大強磁場」と題した研究ノートがある。著者は、阪大強磁場の生みの親、伊達宗行大阪大学名誉教授である。そこでは、如何に磁場が重要であるか、強磁場発生が困難であるか、そしてそれを克服する阪大強磁場のアイデアと実際について書かれている。ここでは重複する説明はなるべく避け、重要な事実のみを列挙する。まず、磁場の大きさを表す単位のT(テスラ)で、これで表すと地磁気は十万分の3テスラでしかなく、おもちゃの磁石が百分の数テスラ、鉄心電磁石が1T、超伝導電磁石が20Tとなる。そして、それ以上の強磁場は発生が困難で、ある磁場以上では電磁応力により電磁石が破壊する。すべてを破壊することを前提に、火薬による爆発で磁場を閉じ込めると1000Tもの磁場が作れるが、後に残るのは瓦礫の山である。精密な実験を行うためには、破壊の無い磁場を使うことが必要で、現在、100Tの非破壊磁場を作ることが世界的競争となっている。次に技術的要点を述べると、ここで作ろうとしている磁場は空芯のソレノイドに大電流を流すことによるのみ得られるものであるが、単層ソレノイドで磁場を作るならば破壊が起きる磁場は材料強度によって決まってしまう、スチールを使っても50Tが限界である。その限界を打ち破るにはソレノイドの多層化が有効である。これまでの阪

大強磁場では、マルエージング鋼と呼ばれる高い強度を持つスチールでコイルを作り、それを2層のコイルに組み上げることで、60Tもの強磁場下で精密実験を行えた。しかし、先述したように、90年代半ばから世界のあちこちに出来た巨大な強磁場施設が100Tを目指している競争の中で阪大の60Tは少し色褪せてきた。その頃、幸運(不幸?)にも阪大強磁場は私へとバトンタッチされたのである。ここでは私が七転八倒しながら新しい阪大強磁場を作ろうとして、少しは成功している様子を紹介したい。

2. 新しいマグネットを求めて

まず最初に確かめたことは、既存のマグネットの限界についてである。当時、使用していたマグネットは、高磁場用の2層マグネットと大口径の1層マグネットの二種類で、普段は、1層マグネットによって35Tまでの測定を行い、特別な場合にのみ2層マグネットが使われたのである。と言うのも、2層マグネットでは60T近くの磁場発生を行った場合、最大5回の磁場発生で絶縁物を交換せねばならず、その度にマグネットの組み直しが大変な作業だからである。これらの使用条件の裏付けを取るためにも限界を確かめる必要があった。実際にそれぞれのマグネットが壊れるまで磁場を発生させ限界を確かめたところ、1層マグネットは47Tまで壊れることはなかった。これなら、使用していた磁場では余裕があったわけである。そして、2層マグネットの限界磁場は63Tであると分かった。つまり、2層マグネットの磁場上昇の余地はほとんど残されていなかった事になる。次に取りかかったのが、これより大きな磁場を発生するための3層マグネットの製作であった。しかし、2層マグネットの内側には3層目を入れるスペースがないため、全体を外側に広げなければならなかった。そこで、大口径の1層マグネットをもつ



* Koichi KINDO
1961年11月26日生
1988年大阪大学大学院・理学研究科・
前期課程修了
現在、大阪大学・極限科学研究センター、
助教授、理学博士、磁性
TEL 06-6850-6685
FAX 06-6850-6662
E-Mail kindo@rcem.osaka-u.ac.jp

と大口径にして磁場発生テストを行った。その結果、サイズを広げた大口径の1層マグネットでは十分な大きな磁場を作るためには、かなりの大電流が必要で電源のエネルギーや発熱が問題となることが分かった。このことから、これまでの延長上に多層マグネットを作る事はあきらめ、これまでとは異なったマグネットが必要であると感じ始めたのである。ところで80年代後半に、この研究室では別のタイプのロングパルスマグネットと呼ばれるマグネットが作られていた。これはいわゆる巻線式マグネットで、四角い断面を持った角線を巻いて作る多層ソレノイドであり、2層マグネットに比べて大きなインダクタンスを持つために、ロングパルスつまり磁場発生時間が長くなる事が特徴であった。磁場発生時間つまり電流を流す時間が長くなると言うことは、ジュール発熱を抑えるために線の電気抵抗は小さくないとだめで、電気抵抗が小さな材料は一般的に低い強度を示すため、最高磁場は2層マグネットに遠く及ばなかった。実際に、その時使っていた線はCu-Cr-Zrの合金線で、強度は銅線の二倍程度、伝導度は銅線の80%程度で、最高磁場は41テスラであった。しかしながら多層化マグネットの可能性を模索していた私には、このマグネットが材料強度の弱点を除けば最も簡単な多層化であり、足りない強度は他の物で補えば良いのではないかと、との考えが浮かんだ。そこで、最初に行ったのが高強度繊維による補強であった。理由は、高強度繊維の中にはスチールよりも引っ張り強度に優れたものがあつたこと、そして金属は絶縁の問題や金属に誘起される誘導起電力の問題があつて補強には用いたくなかつたからである。さて繊維による補強は効果はあつたのであるが、引っ張り強度から期待されるほどではなかつた。その理由は応力が一点に集中したとき、繊維だけではカバーしきれない部分があり、繊維と繊維の間をコイル線材がすり抜けてしまうためであろう。つまり応力が集中する部分を面で受け、応力の分散化を図らなければ補強は成功しないと思われる。そこで、補強はやはり金属パイプが一番ではないかと考え直し、研究室に残されていたCu-Cr-Zrの合金線でコイルを作りその外側をマルエージング鋼で補強した。結果は、64Tの磁場発生に成功し、この手法が使えるのだとの感触を得た。その後、強磁場マグネットに適した線材である銅銀合金線が利用可能となり、限界

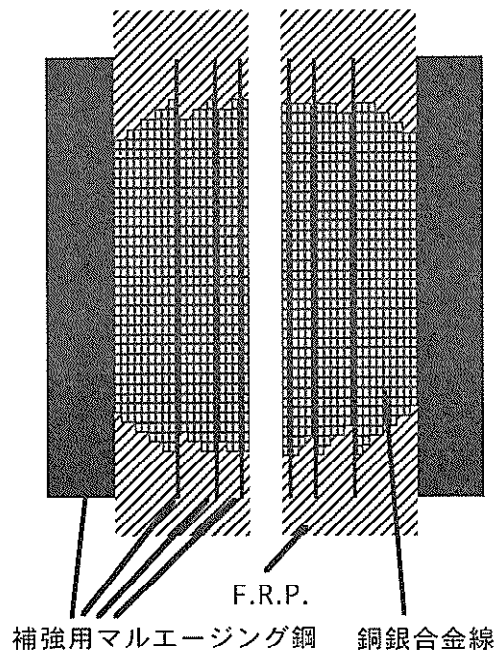


図1 新しい阪大強磁場マグネットの断面図

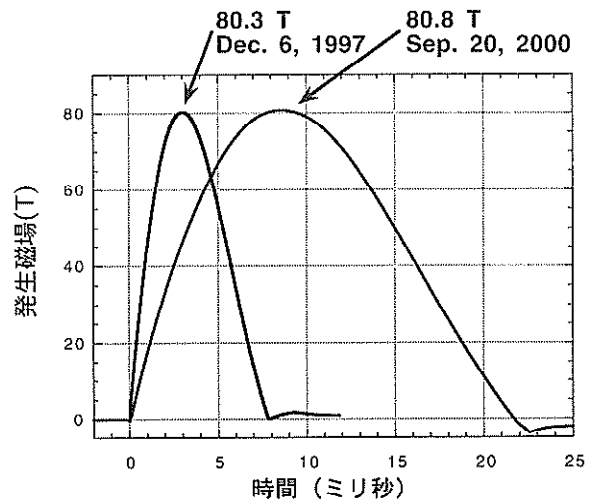


図2 パルス強磁場の波形

磁場は71.3Tにまで上昇した。この合金線は、高強度かつ高伝導度で金属材料技術研究所が中心になって開発されたものである。さらに、1層目だけをマルエージング鋼のパイプで補強したマグネットで80.3Tの世界記録を1997年12月に作り、2000年9月に図1のように補強層を増やしたマグネットで80.8Tと記録更新をした(図2)。この新しいマグネットは補強の有効性を示しており、100Tの実現への可能性も示していると思われる。

3. 新阪大強磁場で出来ること

以上のようにマグネット開発が進み、これまで以上に大きな磁場が気軽に実験に使えるようになった。具体的な測定条件は、温度がヘリウム温度までなら55 Tの磁場で日常的に実験が行え、必要な場合は70 Tまでの実験が可能である。また、極低温が必要な場合は、0.06 Kまで温度を下げる事が出来るが、

このときの最大磁場は60 Tである。圧力下での磁気測定も進んでおり、ヘリウム温度で10 kbar程度までの圧力下の磁気測定を55 Tまで行える。これらの実験条件は、新しいマグネットが開発されれば変わっていくもので、より大きな磁場が日常的に使えるように努力している。また、阪大強磁場はあらゆる人に利用可能なので、ご希望をお持ちの方はご連絡いただきたい。

