

これが測定の中心コイルとなる。バックリングコイルは半径 15mm と半径 44.63mm を長さ 2.1m で 2 ターン巻かれている。このコイルはロングコイルの 4 極成分を打ち消す時に使われる。ショートコイルは半径 5mm と半径 50mm の間に、軸方向に 3 ヶ所(中央に 200mm 長コイル、両端に 650mm 長コイル)巻かれている。

長尺ボピンは、長さが 3.5m にも達するので AFRP を使っても設置した時の中央部の撓みが大きくなるという問題がある。特に内部に GFRP の板を入れると、それが重りとなりさらに撓みが大きくなりほとんど実用にならない。そこで長尺ボピンは外側にコイルを巻くタンジェンシャルハーモニックコイルを検討している。

ハーモニックコイルは安定に回転することが必要で、ボピンの回転による振れや振動を極力軽減する必要がある。そこでボピンの芯直性、真円度等の工作精度と形状の安定さが求められる。芯直性を、高めるために AFRP を使い、円筒の厚さを 5mm とし可能ながぎり重量を抑え、ボピン中央部の撓みを抑えた。短尺ボピンの場合計算上 140 μ m となっている。真円度については、軸受により支えられる端部は特に重要であり、10 μ m の精度で加工されている。

図 2 にハーモニックコイル磁場測定装置の全体図を示す。滑らかな回転の為に、軸受けにはエアースピンドルを採用した(図 2 の (2) (両側))。エアースピンドルは、電磁石からの漏れ磁場の影響を受けないようにセラミック製となっている。ボピンの両端部にはそれぞれモータとロータリーエンコーダが取り付けられている。エアースピンドルの位置調整は、その下部にある三軸の調整機構で行われる。

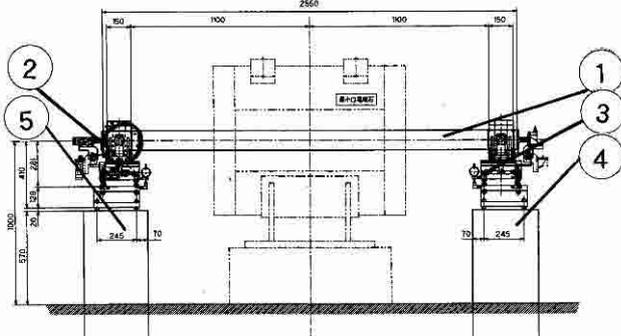


図 2 回転コイル全体図(短円筒)

最下部の支持台(図中の(4)、(5))は 0.1 μ m の非焼成のセラミックを含有した高密度コンクリートで作られている。これはボピン回転中の架台振動による測定への影響を避けるため、組立形状の構造を避け重量と剛性を高めるために採用した。

2 データ処理システム

図 3 中一番上が FF コイル、一番下がハーモニックコイルを示す。ハーモニックコイルは短尺ボピンと、長尺ボピンを入れ替えて使う。ボピン内の五つのコイルの出力はボピンからでたところで 2 線式の 4 \times 8 マトリックスの切り替え器(スイッチングボード)に結線されている。

測定の中心となる積分器は、FF コイルからの信号とスイッチングボードを経由した回転コイルからの信号を切

り替えて計測する。ハーモニックコイルの時には、エンコーダからのパルス読み取りで回転角位置も計測する。これらの測定機器は、GPIB を通してパソコンで制御する。制御のソフトウェアの開発環境として Labview を使っている。

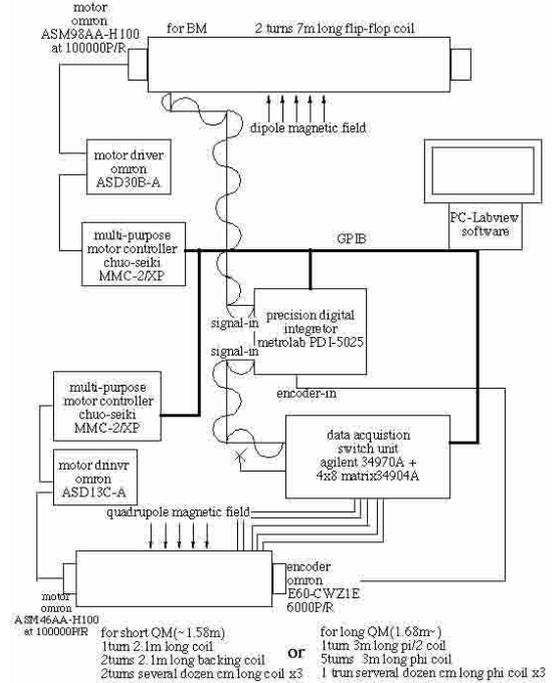


図 3 mass measurement system セットアップ図

3 測定結果

3.1 測定結果と雑音対策

FF コイルの測定系の大半ができ、動作試験を行なっている。図 4 は BM を 801A(約 0.6T) で励磁した時の測定結果の一例である。CW と CCW は回転用モータ側からみて定義している。

図 4 では CW,CCW および CW と CCW の和を示している。

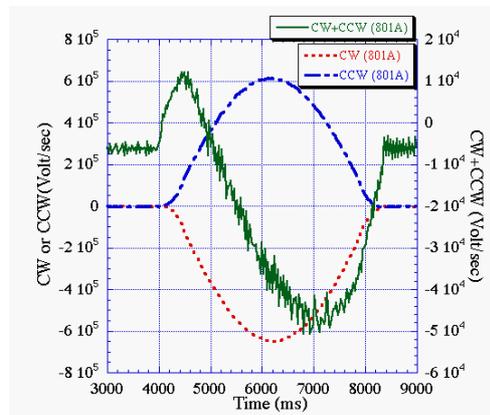


図 4 回転方向の違いによる出力比較

CW と CCW のデータは、大きさが同じで、回転方向により符号が逆になるはずなので、差が BL 積の大きさを示し、和は 0 になるはずである。しかし図 4 では 0 になっていない。CW が CCW に比べて 7% 程度大きく又 CW と CCW が非対称になっている。

この非対称は、なんらかの雑音に影響していると思われる。種々調査の結果、実際電磁石用電源の VCB を入れるとコイルからの信号に雑音のがのることがわかった。電源と電磁石をつなぐケーブルをはずしても雑音が出るため、これは IGBT の電源が出す基本周波数 128kHz とその高調波による放射ノイズが原因であろうと考えられる。

コイルからの出力をスペクトロアナライザで周波数解析により、電源の VCB を入れると、100kHz 以上で広域にわたる雑音のがのる事がわかった。

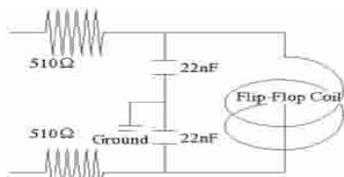


図 6 LPF 回路図

そこでローパスフィルター(LPF) をコイルの出力端に入れた。フィルターの時定数は、波形を歪ませないように可能な限り高い周波数で、かつ CW と CCW の非対称性が充分小さくなるように検討し 11.2μsec とした。(図 6) これにより、(CW-CCW)/(CW+CCW)は 0.005% 以下となった。

雑音が軽減されたところで、励磁電流を変えて NMR 測定器で磁場を参照しながら測定した。NMR 測定器は BM 軸方向の中心に置かれている。図 7 は測定した BL 積 (CW+CCW) と磁場を、電磁石鉄芯中の磁場が飽和していない 20GeV 相当の 1105 A で規格化したものと、その差である。磁場が飽和してない 1500A 以下では、磁場の強さのカーブとよく一致している。

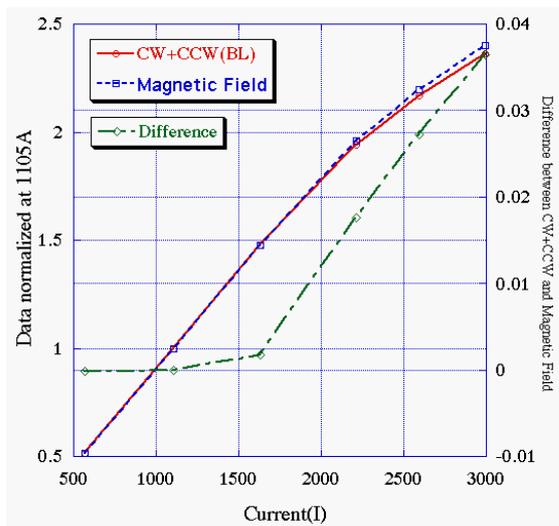


図 7 BL 積(CW+CCW) の Excitation Curve

飽和がおこっている領域では、BL 積が小さくなっている。この様子はホール素子と NMR 測定器で測定した磁場

分布から求めた BL 積とよくあっていた。電磁石の飽和が進むに連れ、電磁石端部からの漏れ磁場が次第に大きくなっていく影響と思われる。

3.2 安定度と再現性

測定器の長時間安定性と設置毎の再現性を見るため、12 時間の連続励磁による BL 積の測定と電磁石へのコイルの待避・挿入を繰り返しその都度測定する再現測定を行った。

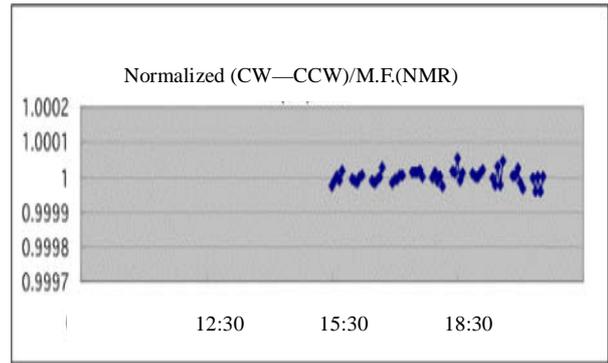


図 8 NMR で規格化した FF コイルの出力

図 8 は NMR で規格化された BL 積の安定度の様子を示す。NMR を含めた測定は 6 時間であったが、測定値のばらつきは $\sigma = 1.56 \times 10^{-5}$ であった。これが FF コイルの測定系の分解能と考えられる。又再現測定でもほぼ同様の結果が得られた。

4 今後の予定と課題

測定システムの完成には、まだ幾つかの設計、製作が残っている。現在製作中の短尺ボビンのコイルを、架台に取り付け、動作試験を行ない、正確性、安定性等を高めて行く。それと平行して、長尺ボビンの設計、製作も進めなければならないが、長いボビンは、その長さゆえに製作の精度を達成するのがより困難になっている。

一方、測定にこぎつけた FF コイルも、多数の電磁石を複数の人が測定する事となるので、測定結果に個人差が出るのをふせぐ必要がある。そこで測定器の設置やプログラム操作を、誰でも簡単におこなえてミスが起らないようにしなければならない。設置方法とプログラムの、簡略化とマニュアル作成等をおこなう必要がある。磁場測定システムの完成を急いでいる。

参考文献

- [1] KEK Report 2002-13 ACCELERATOR TECHNICAL DESIGN REPORT FOR J-PARC, March 2003.
- [2] M.MUTO, *et al.*, Proceedings of the 13th Symposium on Accelerator Science and Technology, Osaka, Oct. 29-31 2001, p277.
- [3] CERN ACCELERATOR SCHOOL MAGNETIC MEASUREMENT AND ALIGNMENT, CERN92-05, 15 September 1992.
- [4] K.NIKI, *et. al.*, This Proceeding