

# PF-A R 電磁石電源システムの改造

尾崎俊幸、菅原龍平、大沢康伸、加藤直彦、中村達郎、秋山篤美

高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設

〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1

春日俊夫、小林幸則、帯名崇、宮島司

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所

〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1

## (1) 電磁石および回路

### (1a) 絶縁ゴムホース交換

偏向電磁石 (Bmag) において、98年1月にB30 (SE13)、99年10月には、B11 (NW4) のゴムホースが破裂した。この2件から、Bmag 56 台全数のホース交換を実施した。また、4極電磁石 (Qmag) では、2000年5月に、QC5 (NE) のホースが破裂した。これはワイドQ型と呼んでいるマグネット、真空チェンバーの分岐管を挿入できるようなスペースがある。つまり、中央平面にコイルが存在しないために、ホースは放射線を受け易い。破裂した位置はビームの高さであるから、放射線劣化である。これは88年製であり、他のQmagより約6年は新しい。したがって構造に起因すると思われるので、ワイドQ (4台) のホースを交換した。また、ARビーム入射部はビームロスが多いので、この周辺のホースは他の場所より被爆していると考えられる。そこで、QC1 (SE) ~ QC8 (SE) の8台のホースを交換した。

### (1b) プスパー

今回の真空チェンバーの交換作業の際に、天井から下がっている水冷銅パイプの存在は、作業効率を悪くするので全数取り外した。これはプスパーシステムを改良できるチャンスであり、改造を行った。まず第1に、プスパー地絡の危険性を減らす対策をした。地絡は、過去2回起きている。最初は、85年5月で、朝から突然ビームが回らなくなった。インターロックのアラームは出なかった。原因の探索の結果、QD11マグネットの直上で、プスパー両側がパンチングメタルでショートされてしまって、全くマグネットが励磁されなくなったためであった。地絡の2回目は、95年9月で、やはり朝か

らビームが回らなくなった。クランプ電流計で各マグネットの入力・出力電流を測定した所、Bmag (B29) で約10Aがリークしている事が判明した。点検すると天井のパンチングメタルに黒い点があり、その上のプスパーの絶縁テープにピンホールが空いていて、アルミの地肌が見えた。そこから地絡電流が流れたと考えられる。今回のAR改造で、プスパーと接触可能性のあるパンチングメタルを廃棄した。つぎに、すべての水冷銅パイプを1本1本、水漏れピンホールがないかを検査し、14カ所のピンホールを銀ロウで修理した。今までの経験上、水漏れは、ほとんどが電流端子板からゴムホースに接続するカップラー周辺である。今回も同じ場所でリークがあった。このピンホールを完全に修理できた。また、パンチングメタル廃棄により、水漏れの目視点検が容易になった。

### (1c) インターロック・ケーブル

マグネットとトンネル内端子盤の間のインターロック・ケーブルの劣化状況を検査し、約10%に相当する55本を張り替えた。

## (2) 電磁石電源

### (2a) Bmag 電源 (既設)

屋外トランスから電源本体までのCVケーブル (400sq.) が、大変に熱く、しかも既にかなり変色、つまり塩素が抜けて白くなっているが発見された。ケーブルに付いていたサーモシールは80度を越えた事が過去にあるを示していた。このままの状態では、将来、火災や相间短絡の危険があるので、より太い600sq. の3300V 耐圧ノンハロゲン難燃性電力ケーブルに交換した。長さは12~15mで、本数は24本である。

さらに、B電源内パッシブフィルター用電解コンデンサの交換をおこなった。電解コンデンサは、使用始めてから容量が増え、ピークに達した後、それに要した時間の半分あたりからパンクが始まると言われている。過去3回(88年、92年、98年)のデータから、312個の平均値および(標準偏差)が、1343 $\mu$ F(118 $\mu$ F)、1430 $\mu$ F(126 $\mu$ F)、1309 $\mu$ F(109 $\mu$ F)と変化していて、上記の性質と一致し、電解コンデンサのパンクが起り始める時期になったと予想された。また、最小値が平均値から遠ざかる傾向もあった。構造が、直列6段で並列52個から出来ているコンデンサ群であるため、1個のコンデンサ破壊が全数に及ぶ危険もある。因みにTan  $\delta$ の平均値(標準偏差)は、0.046(0.008)、0.038(0.009)、0.069(0.01)と推移している。安全を見込み、電解コンデンサを全数交換した。

#### (2b) Q電源(既設)

QF電源、QD電源、QC1(N)~8(N)電源、QR2~8電源、QC1(S)~8(S)電源からなっている。最初の2台は同型、後者23台は同型である。最大出力は1340Aである。

まず、23台のQ電源のインターロック基板の交換をおこなった。AR改造前の運転で、偽の故障ステータスを出す事が多くなった。さらに、保守点検でも、リレー交換や基板の銀箔やスルーホール修理を要するようになった。したがって最悪、停止機能が働かない可能性がでてきたので、インターロック基板を製作し交換作業を実施した。さらに、インターロックを見直した。

また、今回、電流値の較正を行った。Q電源のDCC Tを点検した所、多くが、約0.5%下がっていた。最大はQC3(S)電源の-0.691%、最小はQC7(S)電源の-0.042%であった。QC1(N)電源のみは+0.416%で、プラス側にあった。DCC T製作から20年経過しているので、経年変化と考えられる。DCC Tのバーデン抵抗の抵抗値を調整し、全電源の電流を合わせた。

#### (2c) Q電源(新規)

予備のQ電源を、NW部のQD電磁石2台用の電源として使うことにした。また、QR5NW電磁石用電源とQR8NW電磁石用電源を新規製作した。この電源は、定格1340A、20Vであり、サイリスター&トランジスタで構成される電源である。冷却は空冷とした。

#### (2d) ST電源

KEKBで開発した補正2極用電源の内の $\pm 10$ A、 $\pm 50$ Vのスイッチング電源をモデルにした。これは、スイッチング周波数が100kHzで、薄型の電源である。重量は約10kgである。KEKBの仕様ほどの安定度を必要としないので、500ppm以内にした。KEKBで試行錯誤した事柄、例えばアースの位置などを整理し、新規の基板に反映した。

この電源の盤面には、交流のon/offスイッチ以外の操作機能は無い。つまり、アークネット通信でしかon/off/resetの操作や電流設定ができない。遠隔操作運転のみを想定している。ただし、on状態などのステータスは、盤面LEDでも見る事はできる。部品の経年変化による電流の変化を、DACのオフセットやゲインのデジタルデータによる補正で修正する事ができる。その他にも、例えば、空冷ファンの交換をワンタッチでできるなど、今までの経験に基づき、種々の保守を考慮してある。

STHマグネット用に10台、STVマグネット用に79台、バックレグ用に56台を使用する。この内で、バックレグ用の電源は、B電源がトリップした場合、Bコイル(1次側)からの誘起電圧が2次側のバックレグコイルに生じる。実際に計測して、6.5GeV運転時にトリップした時には、36Vほど発生した。その時は、電源自身の電圧との和が、規定電圧を超えた時に、電源自身を保護する機能が働く。

#### (3) 制御

##### (3a) アークネット制御

今回、電源のCAMAC制御を廃棄し、アークネット制御とした。新規製作のST電源は、KEKB仕様のアークネット制御である。ST電源は電源制御ボードを内蔵していて、ロケーション(アドレス)が定められている。他方、主電源(B, Q, SX)に関しては、電源本体を改造する事なく、アークネットで制御できるように、主電源制御モジュール(33台(2台はRF用))を製作した。クライストロンも特殊な電源と解釈し、この主電源制御モジュールでRFパターンを制御する。

各電源は、電源制御ボードを持つ。このボードが、上位のVMEモジュールとパケット通信する。通信には、ARCNETによるトークンパッシング方式LANを用いる。トランシーバーICはパルストランスで回線と絶

縁している。このボードはCPU (AM186EM-2 0MHz) を持っている。したがって、例えば、目標値と時間を与えれば、このCPUは計算しながら、電源に指令値を出す。このような自走機能などの種々のインテリジェントな動作もする。

主電源 (B, Q, SX) では、外部の主電源制御モジュールが電源制御ボードを内蔵しロケーションを持っている。この電源制御ボードの出力信号はTTLのHighやLowで、電源が受け取るのはRS422規格やリレー接点信号であるから、信号を変換する回路が主電源制御モジュールにある。

主電源が受け取る信号の中で、電流設定は、16ビットの平行な信号で、出力は、正論理で、100 $\mu$ S間データが有効になる。それ以外の時間はHigh Impedanceである。ストロブパルスは、幅5 $\mu$ Sの正パルスで、16ビットのデータの出力後、10 $\mu$ S経過して出される。電源の操作 (On, Off, Reset) は、0.3秒間、接点を閉にする信号である。電源のステータスやインターロック情報は、電源側の接点信号を読み込みでモニターできる。

実際の運転では、電源制御ボード内蔵の256kバイトのRAM (Areg) にパターンを書き込み、スタートのトリガーを受信後に、ボード内蔵のクロックで、データが進み、出力する。個々のクロック (水晶振動子など) の進みの早さのバラツキの相違を減らすために、使用する部品は同じロットで製作した。水晶の温度係数は、KEKB用ボードの水晶では、100ppm/度以内であるが、50ppm/度以内の水晶にした。さらに主電源制御モジュールを、室温が一定である副制御室に設置した。

モジュールから任意の5台を選び、ARの加速パターン (約20秒) を入れて、スタートのトリガーを入れて、自走させてストップした時刻の差を較べよう試験を試みたが、0.2mSec. 以内に納まった。再現性もこれ以内であった。これは十分に同期がとれていると言える。

主電源の電流設定は、既設のDsub付ケーブルを再利用し、操作信号やステータスやインターロック情報のケーブルは、新規に各電源と副制御室間に敷設した。途中でTB盤を入れて、トラブルの際の検査を容易にするようにした。また、アーケネット通信ケーブルは、カテゴリ5対応のケーブルで、ケーブル長を26cmと

して、RJ45コネクタにケーブルの重みがかからないようにした。このコネクタは、同社製品のペアにしてマッチングを良くした。ターミネ이터は110 $\Omega$ とした。通信のノード数は、VMEモジュールを含めて9とした。

#### (3b) 電源の電流モニター

電源の電流値を監視するための新たな電流モニターシステムを立ち上げた。西棟副制御室にデジボル1台、東棟副制御室にデジボル1台、東電源室のステアリング電源のラックにデジボルが3台ある。これらをGPIBで制御し、各電源の電流を監視する。

#### (4) 総合運転

##### (4a) 主電源の電流の追従速度測定

AR建設時の性能検査 (83年6月) 以来、実電流の電流指令に対する遅れを検査していないので調べた。遅れ効果が無視できると思われる時間、つまり50ms以内にある事を、全数確認した。この検査で、QD電源の制御基板の電解コンデンサがパンクしていて、上記の規定外にあったので修理した。

##### (4b) コミッシュニング運転

2002年1月に、コミッシュニング運転をおこなった。電源制御系が新しくなり、マシンパラメーターの設定や加速パターンの変更がスピーディに実行できるようになった。

ビーム加速では、アルミ真空チェンバーを銅チェンバーに変えた事による影響、つまり渦電流の効果が大きいので、2.5GeVから6.5GeVへの加速時間を、AR改造前は20秒であったが、改造後は60秒で行っている。加速時に、各電源は30ms間隔で電流データを更新している。

コミッシュニング運転以降、改造部には、全く問題は無い。しかし、今回は改造が出来なかった古い電源でのトラブルがあった。残された問題である。

#### 参考文献

(1) Kuninori ENDO : MAGNET AND POWER SUPPLY SYSTEMS FOR TRISTAN ACCUMULATOR RING: KEK Internal 82-19 TRISTAN(A)

(2) アークネット資料: <http://www.smsc.jp/arcnet/>