

PF-AR Q電源システムの更新

UPDATE OF QUADRUPOLE MAGNET POWER SUPPLY SYSTEM AT PF-AR

尾崎俊幸^{#, A)}, 長橋進也^{A)}
Toshiyuki Ozaki^{#, A)}, Shinya Nagahashi^{A)}
^{A)} Accelerator Facility, KEK

Abstract

At PF-AR the almost power supplies for quadrupole magnets were updated. The commissioning data between the new and the old power supplies are compared. For the remained 8 power supplies the DCCTs were exchanged to maintain the long-term current stability. The update of the magnet interlock system is under way.

1. はじめに

PF-AR は、1983 年からビーム運転に入り、30 年以上が経過した。Q 電源は 25 台が制作された。主電源 2 台とローカル Q 用の電源 23 台から構成されている。

2011 年 QF 電源を更新した^[1]。この QF 電源は、定格 170V 1340A であるから、25 台のいずれかに重故障が発生しても、旧 QF 電源が、すべての Q 電源の予備として役に立つと判断したからである。

2013 年、QD 電源、東棟 Q 電源 15 台を更新した。

2014 年、残りの西棟 Q 電源 8 台に対して、DCCT 交換をした。

2. 主電源

主電源は、QF 電源と QD 電源からなる。新旧とも、回路はサイリスタ・プレレギュレーターによるトランジスタ電源である。既設の設備を利用するので、構造も回路も、旧電源と類似にした。

旧電源では電磁石群の midpoint をアースにした。今回は新電源内部で出力電圧を抵抗分割で midpoint を作り、そこをアースにした。トリスタン時代に、アースについて議論があったが、表 1 を見る限り、有意な差はない。

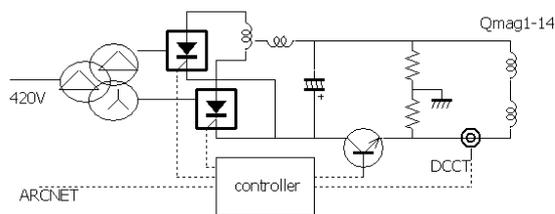


Figure 1: Schematic view of QD magnet power supply.

[#] ozaki@post.kek.jp

2.1 QD 電源

新 QF 電源と、ほぼ同じ構成である。新 QF 電源で、冷却水用にゴムホースを採用したが、並列本数が多いために絶縁抵抗が下がり、また表面の状態に依存して絶縁抵抗が変動することが判明したので、シンフレックスチューブに変更した。

2000 年の改造で、負荷の電磁石数は 16 台から 14 台に変更された。2 台は新たな QD2 電源の負荷になった。さらに、2011 年に QD2 電源を更新した^[2]。

新旧電源の性能を以下の表 1 で比較する。旧 QD 電源の電流安定度は仕様 ±100 ppm を満たすが、旧 QF 電源と比較しても極めて悪い。製造バラツキがある。パターン遅れは速くなっている。

Table 1: Comparison of the Performance Between the New and the Old Main Q Power Supplies

性能	旧 QF	新 QF	旧 QD	新 QD
電流安定度 ppm	25	14	115	14.7
リップル ppm	3.7	3.23	3.9	3.27
パターン遅れ m sec	31	2.4	47	4.47

3. 東棟ローカル Q 電源の更新

PF-AR の西棟と東棟に電磁石電源が設置してあるが、東棟のみ更新することになった。

施設設備との取り扱いにおいて、電気能力、冷却水能力を超えるものであってはならないが、旧 Q 電源で経験したトラブルや保守で不便に感じたことを、できる限り是正することにした。旧 Q 電源は背面が鉄板カバーであり、点検や故障時には、鉄板を取り外す作業が手間であった。今回は扉として、即座に点検が可能になった。また、旧 Q 電源ではトランジスタ・バンクが上部の独立した箱の内に収められていた。点検のほどに上面の鉄板を取り外す作業をした。過去に水漏れが数回あり、箱に水が溜まることもあった。これを背面に上部に置き、背面扉を開け

れば水漏れの点検ができるようにした。

3.1 電気設備との取り合い

与えられた受電能力での更新が必要条件である。図2の上図は、6.5GeV 運転時の直流電流を流した場合の旧 Q および新 Q 電源の消費交流電流を示している。全ての電源において1割程度の省エネが達成できている。

この理由を調査するために、新旧の QC3 電源で使用 DC 電流に対する AC 電流を測定した。図2の下図が示すように、電流がゼロ状態でも相違がある。そのオフセットだけの平行線となっている。つまり、トランスの無効電流が相当に減っている。これは、トランスコアの材質の相違によると思われる。30年前は、無方向性のハイライトコアを使用し、最近は方向性のオリエントコアを使用している。材料の進歩に起因していると思われる。

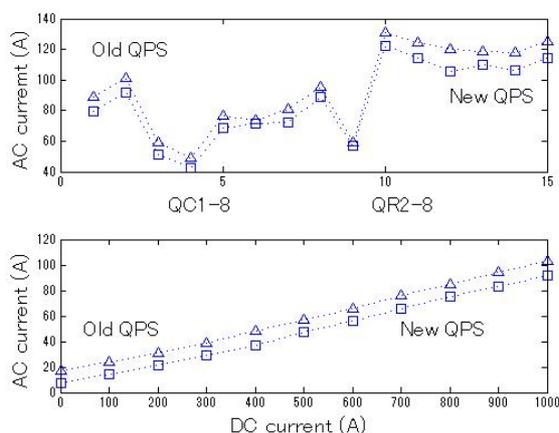


Figure 2: Comparison of the consumption electric power between the new and the old power supplies.

3.2 冷却水設備との取り合い

旧 Q 電源の解体・撤去に先立ち、個々の電源の水量を測定した。最低が QC1 電源で 20.0 リットル毎分で、最大が QR5 電源で、26.0 リットル毎分であった。総流量は 354 リットル毎分であった。

新 Q 電源に 25 リットル毎分ほど供給できるように電源入り口バルブで調整した。施設から流量は 21 リットル毎分ほど増したが問題はない。個々の Q 電源のインターロックは、20 リットル毎分以下に下がったら停止するようにした。この数字は 15 台で同じとし、管理基準とした。

この後に 1000A 通電時の電源内部の発熱分布を確認した。

3.3 高精度回路

Q 電源は、図1に示すような回路構成である。加速器用電磁石電源の性能は、DAC と DCCT によって

決まる。

AR 立ち上げ時には、DATEL 社の DAC169B を使用したが、種々の問題が出てきて、1988年に、Burr Brown 社の DAC701SH に変えた。今回は、同社の DAC701LH を採用した。これらの性能を表に示す。旧 Q 電源は設定温度を 50 度にして加熱と自然冷却にして恒温にする。新 Q 電源の恒温槽の設定温度は 25 度で、ペルチェで加熱・冷却を制御している。

Table 2: Comparison of the Performance of the DACs

IC	Linearity	Gain Drift
DAC169B	±0.005 %	±15 ppm/° C
DAC701SH	±0.003 %	±7 ppm/° C
DAC701LH	±0.0015 %	±10 ppm/° C

DCCT は、KEKB で採用したタイプである。ここでは、電流出力タイプを採用している。

3.4 性能評価

新電源を設置後、性能試験（8時間安定度試験、電流リップル測定、加速パターン追従時間）をした。旧 Q 電源の性能は、1983年の現地試験報告書から拾い出した。図3に示すように、性能について旧 Q 電源ではバラツキがあったが、新 Q 電源ではそれが無くなった。

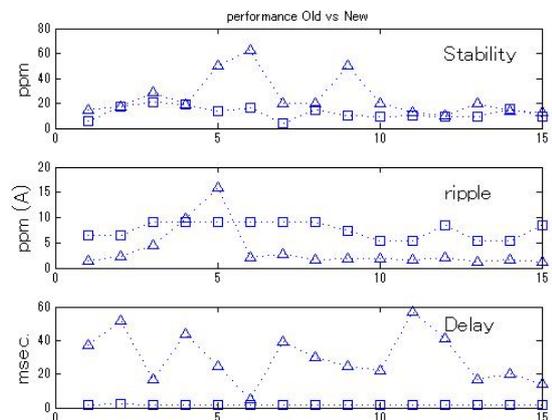


Figure 3: Comparison of the performance between the new and the old power supplies. The \square shows the new power supplies and the \triangle shows the old.

電流リップルとパターン追従遅れ時間は、相反する性能であり、単純な比較にはならない。なぜならば、応答速度を速めるようにフィードバックの増幅利得を大きくすると、電流リップルまで増幅してしまう。図3はこれを示している。

負荷である電磁石を以下に示す。ここで IQ は衝突実験に用意された大型の4極電磁石である。IQ のインダクタンスは 13.3mH である。NQ は標準タイプで、インダクタンスが 5.8mH である。

QR5,8 は、当初は負荷が 4 台の電磁石であったが 2000 年の改造の際に変更された。電流リップルや遅れ時間のデータの相違が、負荷に関係していることが図 3 から分かる。

Table 3: Loads of the Updated Power Supplies

電源名	電磁石	電磁石設置場所
QC1,2	IQ 2 台	南直線部の両端
QC3,4,5,6,7,8	NQ 2 台	南直線部の両端
QR2	NQ 2 台	東 1 台、西 1 台
QR3,4,6,7	NQ 4 台	東 2 台、西 2 台
QR5,8	NQ 3 台	東 2 台、西 1 台

3.5 電流精度

新 Q 電源の電流精度の検査として、外付けた較正用 DCCT で測定した。電流設定値として 70.0% (High) と 30% (Low) をビットで決めた。

拡がりは High で 0.0043%、Low で 0.014% 程度である。旧 Q 電源では、0.1 % の経年変化があれば、DAC や DCCT を調整することで維持管理をしてきた。今後の電流管理に対する初期データである。

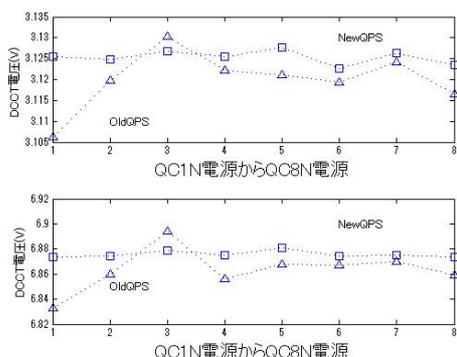


Figure 4: Current accuracy between the new and the old power supplies.

4. 西棟 Q 電源の老朽化対策

4.1 DCCT 交換

DCCT の老朽化が目立ち、これを交換した。旧 Q 電源の内部での交換であり、電圧出力型の DCCT を選択することになった。

交換以前に電流ビット (high=0x5000, low=0xB000) を決めて、外部 DCCT で測定した。DCCT を交換した後で、同作業をした。その結果を図 5 に示す。当然ながら、古い DCCT のバラツキが大きい。

4.2 管理

既に廃品になった部品は数多くある。今回、東棟旧 Q 電源から取り出し、西棟 Q 電源の一部修理をした。廃棄した Q 電源の電解コンデンサの容量を測定した。20 個の平均は 7480 μ F、標準偏差 147 μ F だった。

設計値 6800 μ F を充分に超える数値である。このように、保管した東棟旧 Q 電源で西棟 Q 電源を管理していく方針である。

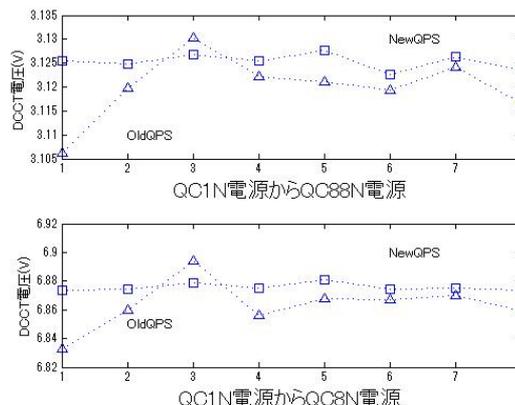


Figure 5: Current measurements by the external DCCT before and after the internal DCCT exchange.

5. インターロック更新

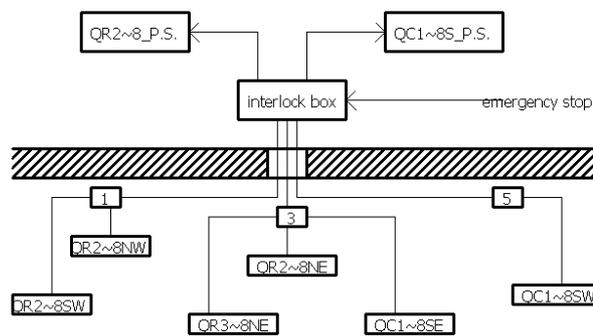


Figure 6: Schematic view of the magnet interlock system in the east area of the PF-AR.

トンネル内に 6 台の信号中継箱がある。電磁石の冷却水不足信号や温度異常信号は、この箱を経由する。旧中継箱の隣に新中継箱を設置した。

西棟の電源へは中継箱(2),(4),(6)を経由して接続され、東棟の電源へは中継箱(1),(3),(5)を経由して接続される。後者を図 6 に示す。その信号はインターロック・モジュールで集合信号になり電源停止をする。今回、このモジュールを制作した。現在ケーブル敷設や接続などの作業を継続している

参考文献

- [1] Toshiyuki Ozaki et al. "Update of Main Magnet Power Supplies at PF-AR", Proceeding of IPAC'10, Kyoto, Japan, P.P.3233~3235.
- [2] 尾崎俊幸 他: "PF-AR 電磁石と電源の現状" 第 8 回日本加速器学会年会プロシーディングス、つくば、2011 年 8 月 P.P.396~398.