

New Magnet Power Supplies for the PF Ring

Kentaro Harada¹, Yukinori Kobayashi, Shinya Nagahashi, Tsukasa Miyajima

KEK-PF-Mag

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

In the PF ring, the optical family number of the quadrupole magnets is 22 and the 15 power supplies are used for them with the electrical shunt system. In the straight section upgrade, 8 old power supplies are abandoned, 16 new power supplies are introduced. After the upgrade, 23 power supplies are used for the main quadrupole magnets of the 22 optical families.

PFリング電磁石電源増強

1. はじめに

PFリングは周長187m、エネルギー2.5GeVの電子蓄積リングで、1981年に建設[1], [2]され、1982年からユーザー運転が開始された。運転開始当時の電子ビームのエミッタンスは460nm·radであった。

電磁石及び電源関連で比較的予算規模の大きな改造は、今回の直線部増強のほか、現在までに3回行われている。最初の改造は1986年にエミッタンスを460nm·radから128nm·radまで小さくする為に行われた低エミッタンス化改造[3]である。その後、1990年に3GeV運転を可能にするための改造[4]がなされ、1996年にエミッタンスを36nm·radまで下げる高輝度化改造[5]が行われた。今回の直線部増強改造においては電磁石46台と電源16台が新規導入されるが、これにより、PFリング電磁石・電源系で1981年の建設当初から残るのは偏向電磁石本体のみとなり、4極電磁石と6極電磁石本体及び全ての電源は1996年以降に導入されたものばかりということになった。

今回の発表においては直線部増強改造における電磁石電源増強の内容を述べると共に、今まで行われた3回の改造の変遷についても述べる。

2. PFリング ラティス改造と4極電磁石電源増強の変遷

2.1 建設時(1981年)

1981年の建設時のPFリングの1/4周のラティスを図1-(a)に、オブティクスを図2-(a)に示す。当時のリングのラティスは鏡面対称性を持っており、リングを図3-(a)の様に東西南北の線で4分割すると、各部分のラティスは等しかった。エミッタンスは460nm·radであり、4極電磁石のファミリー数は12、電源も12台が用いられていた。電磁石電源の容量を表2-(a)に示す。電源は全て水冷式のトランジスタ電源であった。

2.2 低エミッタンス化(1986年)

1986年の低エミッタンス化改造により、リングのエミッタンスは460nm·radから128nm·radまで小さくなった。低エミッタンス化後のラティスを図1-(b)に、オブティクスを図2-(b)に示す。このオブティクスを実現するため、4極電磁石Q7が廃止され、代わりにQ8とQ9の間にQA電磁石が導入された。電源P2及びPFが改造(1984年)され、新たにサイリスタを用いた電源4台(P2S, P3S, P4S, P6S)が導入された。改造に伴って電源と電磁石の組み合わせの変更が行われた。

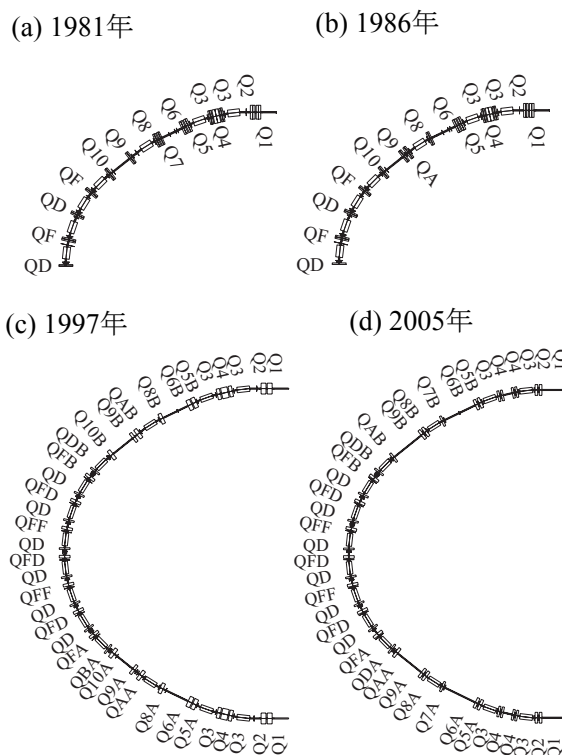


図1 リングラティスの変遷

¹ E-mail: kentaro.harada@kek.jp

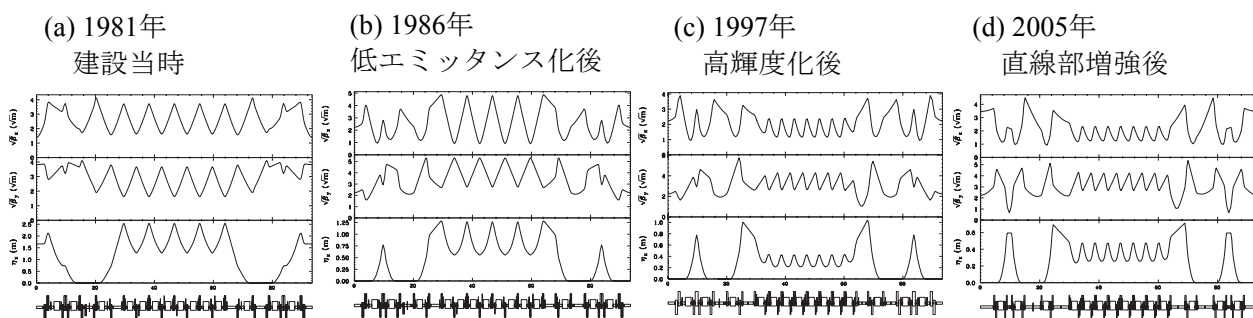


図2 リングオプティクスの変遷

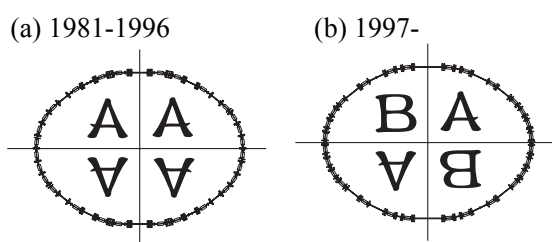


図3 PFリングオプティクスの対称性

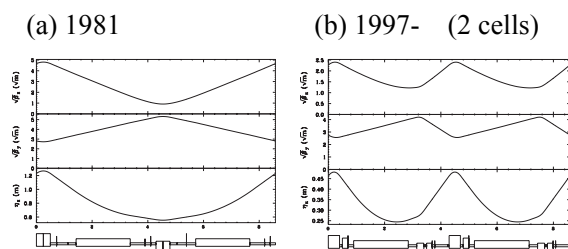


図4 ノーマルセルのオプティクス

2.3 3 GeV運転(1990年)

3GeV運転を可能にするため、1990年にサイリスタ電源がさらに3台(PAS、PBS、PCS)追加導入された。リングのオプティクスに変更はなかった。1986年と1990年の2回の電源増強により、電源は表1-(b)の様になった。

2.4 高輝度化改造(1996年)

リングのエミッタンスを $128\text{nm}\cdot\text{rad}$ から $36\text{nm}\cdot\text{rad}$ に下げたため、リング弧部の大規模な改造が行われた。改造後のリング半周のラティスを図1-(c)に、オプティクスを図2-(c)に示す。図4に改造前後のノーマルセルのオプティクスを示す。ノーマルセルの上下流でオプティクスが異なっており、鏡面对称性が失われている一方、直線部の電磁石配置は鏡面对称のままであるため、オプティクスを整合させるために、弧部の2台を含めて合計7ファミリーの4極電磁石の強さを弧部の上下流で違う値とすることが必要となった。図3-(b)に示すように直線部の電磁石はAファミリーとBファミリーとに分かれているが、電源の増強台数を最小限に抑えるため、改造前と同じくAファミリーとBファミリーの電磁石は同一の電

源に接続され、電子シャントを用いてより電流値の低い側のファミリーの電磁石の電流をバイパスさせることで対応がなされた。また、改造後も改造前とほぼ等しいオプティクスを可能にすることが必須であったため、弧部の集束4極電磁石QF及び6極電磁石SFに対して1セルおきに値を変えられるように2台の電源が用いられた。QFFを集束、QFDを発散とし、QDを励磁しなければ、改造前のオプティクスがほぼ再現可能であった。

この改造により電源台数が大幅に増加し、さらにトランジスタ電源が廃止されて全てサイリスタ電源となった。改造後の電源構成を表1-(c)に示す。

3. 直線部増強計画での電源増強

3.1 概要

直線部の4極電磁石はPFリング建設時(QAのみ1986年)に製造されたものであり、真空ダクトの都合でボア径が大きく、十分な(積分)磁場勾配を得るためには長い電磁石を用いる必要があった。そこで、真空ダクトを新規製作し、4極電磁石のボア径を小さくし、電磁石の長さが短くても十分な磁場勾配が得られるようにした上で、さらに電磁石間の間隔を極限まで切りつめ、直線部を長く、もしくは新たに作り出す、というのが今回の直線部増強改造の概要である。改造後のラティスを図1-(d)に、オプティクスを図2-(d)に示す。この改造の為に4極電磁石46台と電源16台が新規に製造された。



図5 4極電磁石用電源

表1 PFリング 4 極及び 6 極電磁石電源の変遷

(a) 1981年建設当時

負荷名称	電源名称	製造年	最大電流 (A)	最大電圧 (V)	電源容量 (kW)
Q1	P1	1981	350	70	24.5
Q2	P2	1981	350	70	24.5
Q3	P3	1981	350	100	35
Q4	P4	1981	350	100	35
Q5	P5	1981	300	50	15
Q6	P6	1981	300	50	15
Q7	P7	1981	300	50	15
Q8	P8	1981	440	70	30.8
Q9	P9	1981	350	70	24.5
Q10	P10	1981	350	70	24.5
QF	PF	1981	350	100	35
QD	PD	1981	350	100	35
SF			小型電源		
SD			小型電源		

(b) 1990年3GeV運転開始

負荷名称	電源名称	製造年	最大電流 (A)	最大電圧 (V)	電源容量 (kW)
Q1	P2S	1986	440	90	39.6
Q2	P3S	1986	520	150	78
Q3	PAS	1990	620	180	111.6
Q4	PCS	1990	760	180	136.8
Q5	P8	1981	350	70	24.5
Q6	P4S	1986	610	150	91.5
Q8	P9'	1984	370	55	20.35
QA	P3	1981	400	90	36
Q9	P6S	1986	450	80	36
Q10	P10	1981	350	70	24.5
QF	PBS	1990	470	100	47
QD	PF'	1984	400	90	36
SF			小型電源		
SD			小型電源		

(c) 1997年高輝度化後

負荷名称	電源名称	製造年	最大電流 (A)	最大電圧 (V)	電源容量 (kW)
Q1	P2S	1986	440	90	39.6
Q2	P3S	1986	520	150	78
Q3	PAS	1990	610	180	109.8
Q4	PCS	1990	760	180	136.8
Q5A	PBS shunt	1990	470	100	47
Q5B					
Q6A	P4S shunt	1986	610	150	91.5
Q6B					
Q8A	P6S shunt	1986	450	80	36
Q8B					
QAA	PNS shunt	1997	600	130	78
QAB					
Q9A	PMS shunt	1997	700	80	56
Q9B					
Q10A	PIS	1997	450	50	22.5
Q10B	PJS	1997	450	50	22.5
QFD	PHS	1997	900	190	171
QFF					
QFA	PDS shunt	1997	900	150	135
QFB	shunt				
QBA	PES	1997	900	45	40.5
QD					
QDB	PFS shunt	1997	900	250	225
SFF	PKS	1997	450	140	63
SFD	PLS	1997	450	140	63
SD	PGS	1997	450	260	117

(d) 2005年直線部増強後

負荷名称	電源名称	製造年	最大電流 (A)	最大電圧 (V)	電源容量 (kW)
Q1	PQ1	2004	600	110	66
Q2	PNS	1997	600	130	78
Q3	PQ3	2004	800	180	144
Q4	PQ4	2004	800	180	144
Q5A	PQ5A	2004	600	60	36
Q5B	PQ5B	2004	600	60	36
Q6A	PQ6A	2004	600	60	36
Q6B	PQ6B	2004	600	60	36
Q7A	PQ7A	2004	600	60	36
Q7B	PQ7B	2004	600	60	36
Q8A	PQ8A	2004	600	60	36
Q8B	PQ8B	2004	600	60	36
Q9A	PQ9A	2004	600	60	36
Q9B	PQ9B	2004	600	60	36
Q10A	PIS	1997	450	50	22.5
Q10B	PJS	1997	450	50	22.5
QFD	PMS	1997	700	80	56
QFF	PDS	1997	900	150	135
QFA	PPS	2000	700	50	35
QFB	PQS	2000	700	50	35
QD	PHS	1997	900	190	171
QDA	PES	1997	900	45	40.5
QDB	POS	2000	800	50	40
SFF	PKS	1997	450	140	63
SFD	PLS	1997	450	140	63
SD	PGS	1997	450	260	117

いていたが、ビットを詰めて3枚に減らし、クレートの台数を同じに抑えた。

小型電源（リングステアリング、ビームトランスポート電磁石、リング4極補正コイル電源）については、Pentium IIIを用いたVME用ボードコンピュータ3枚を使い、OSはHP-RTからRed Hat Linux 9へと変更、やはりEPICSを用いて制御を行う。オプティクスと挿入光源のチューンシフト補正の両方に対して用いられていた電子シャントは廃止され、代わりに4極電磁石の補正コイル用の小型電源が導入された。ラック、VMEインターフェース、ケーブル類はそのまま電子シャントに用いられていたものを組み替えて用いている。

現在、9月の立ち上げを目指して改造作業中である。

参考文献

- [1] S. Kamada, Y. Kamiya, M. Kihara, "Lattice of Photon Factory Storage Ring", Proc. of PAC 1979, p3848
- [2] "PF Ring Design Handbook", 1979
- [3] 神谷幸秀、木原元央, "PFにおける低エミッタンスラティスの検討", KEK Internal 85-10, 1985年12月
- [4] Y. Kobayashi, A. Araki, Y. Kamiya, "A Test of 3GeV Operation at the Photon Factory Storage Ring", Proc. of EPAC 1992, 483
- [5] 加藤政博、堀洋一郎編, "PFリング高輝度化計画デザインレポート", KEK Report 92-20, 1993年2月
- [6] 帯名崇、朴 哲彦、他, "KEK-PFリング制御システムの現状と更新", 本予稿集(21P035)

3.2 電源増強

新規製造した16台の電源により、4極電磁石の各オプティクスファミリーに対し、それぞれ独立の電源を用いることができるようになった。導入する電源16台のうち、電源POS、PPS、PQSの3台は2000年に先行して製造され、うちPOSは一昨年より順次行われた磁場測定に使われた。なお、新規製作した電源は全て風冷式のIGBTチョップ電源である。電源の写真を図5に示す。出力リップルは $\pm 3.0 \times 10^{-5}$ 以下、8時間安定度も最大電流で同じ値を要求した。R負荷の工場試験では定格性能が満たされていることが確認されている。8月に実負荷にあわせた電源現場調整及び詳しい安定度試験が行われる予定である。

3.3 制御系更新

改造に伴い、電磁石電源制御に用いられているVMEのCPUモジュール4枚とCAMACのクレートコントローラ6枚が更新され、それに伴いソフトウェアが全面的に更新された。(詳細は帯名氏の発表[6]を参照。)

大型電源（リングの偏向電磁石、4極、6極電磁石電源）に対してはVMEのCPUモジュールとしてPower PC750を用いた新しいものを1枚使用し、OSはOS-9からVxWorksへ変更した上、EPICSを用いて制御を行う。電源1台につきCAMACレジスタ4枚を用