## PF リング弧部改造計画

原田 健太郎、小林 幸則、中村 典雄、生出 勝宣、阪井 寛志(KEK 加速器)

現在と改造後のパラメータの比較

概要

PF リングは 1982 年、水平エミッタンス約 460nm·rad でユーザー運転を開始した。水平エミッ タンスはその後、1986 年の低エミッタンス化で約 128nm·rad に、1997 年の高輝度化で約 37nm·rad に改善され、現在に至っている。(2005 年の直線部改造ではエミッタンスはほぼ維持。) ここ では、PF リングの弧部を改造し、水平エミッタンスを約 8nm·rad まで下げる案について概略を述 べる。

必要な予算は、加速器要素だけの場合、恐らく高輝度化や直線部改造と同程度の規模と思われるが、当時とは PF の老朽化の度合いが大きく異なり、雨漏りの修理、冷却水系や空調の修理、床面の亀裂や不安定性の改善など、同時に老朽化対策が必要なことが明らかである。また、向上する性能を生かすには、加速器側のモニタや補正系の充実、BL 側の安定性の向上なども必須であろう。加速器のみの改造に必要な期間は、電磁石や真空、モニタ系の準備に約2年、実際の改造作業は半年程度(直線部増強と同程度)と思われる。電磁石と真空について、1 セル分、先行して試作することが必要不可欠であろう。

現在、ラティスとオプティクスに対してシミュレーションを行っただけであり、実現に向け ては、ハードウェアの詳細設計が大きな課題となる。例えば、機能結合型偏向電磁石の難しさ、 現在の10倍以上の強力な6極電磁石が必要となること、電磁石間隔が狭くなって、真空・モニタ 系の設置や維持が簡単でないこと等がある。電磁石の磁場の為、弧部の真空ダクトは現在の約半 分の4cmまで細くする必要がある。さらに、直線部のチューンを非線形力に対して調整している ので、直線部に大きな6極成分があるとアパーチャが劇的に減少する可能性がある。現在、既に いくつかの挿入光源に非線形磁場成分があることが分かっており、場合によっては補正を検討す る必要があるかも知れない。

		PF	new	
		現在	改造後	
エネルギー	E [GeV]	2.5		
周長	C [m]	187.04		
エミッタンス	$\epsilon_o$ [nm rad]	35. 370	8.073	
弧部だけのエミッタンス	$\epsilon_o$ [nm rad]	40. 722	4.561	
エネルギー拡がり	$\sigma_{E}/E$	7.28794E-04	0.00163922	
モーメンタムコンパクション	α	6.56270E-03	0.0043937	
ベータトロンチューン				
水平方向	ν <sub>x</sub>	9.60	12.1	
垂直方向	νγ	5.28	6.2	
クロマティシティー				
水平方向	ξx	-13.432	-17.573	
垂直方向	ξ <sub>y</sub>	-17.314	-25.117	
エネルギー損失	U <sub>0</sub> [MeV/rev.]	0.399	0.5133533	
放射減衰時間				
水平方向	τ <sub>x</sub> [msec]	7. 777	3.03972	
垂直方向	τ <sub>y</sub> [msec]	7.815	6.109351	
縦方向	$\tau_z$ [msec]	3.918	6.170898	
周回周波数	f <sub>rev</sub> [MHz]	1.60253		
R F 周波数*2	f <sub>RF</sub> [MHz]	500.100		
ハーモニック数	h	312		
RF電圧	V <sub>RF</sub> [MV]	1.70		
シンクロトロンチューン	ν <sub>s</sub>	-0.0146751	-0.009430	
バンチ長	$\sigma_z$ [mm]	9.70023	10. 474981	
R F バケツの高さ	$(\Delta E/E)_{RE}$	0.011804	0.0169435	











マッチング部分(弧部と直線部の境界部分)と

## 電磁石強さの比較

	現状(v9_16)					弧部増強(v30 30)				
		L[m]	K	В'/Вр	B'[T/m]		L[m]	K	Β'/Βρ	B'[T/m]
QUAD      Q1        Q2      Q3        Q4      Q5A        Q5B      Q6B        Q6B      Q6B        Q7A      Q7B        Q8B      Q6A        Q9A      Q4A        Q5A      Q9B        QAA      Q9B        QAA      Q0B        Q0A      Q0B        Q0FA      Q6F        Q0F      Q6F        Q6F      Q6F	Q1	0.4	0.6981	1. 7452	14. 5437	Q1	0.4	0.6792	1.6980	14. 150
	Q2	0.4	-0.6929	-1.7321	-14. 4344	Q2	0.4	-0.6373	-1.5933	-13.277
	Q3	0.3	-0. 7582	-2.5274	-21.0618	Q3	0.3	-0.8040	-2.6800	-22. 333
	Q4	0.3	0.8486	2.8286	23.5716	Q4	0.3	0.8649	2.8830	24.025
	Q5A	0.4	-0.7534	-1.8834	-15.6949	Q5	0.3	-0. 7564	-2, 5212	-21.010
	Q5B	0.4	-0.7478	-1.8694	-15.5784					
	Q6A	0.4	0.8531	2.1327	17.7726	Q6	0.4	0. 7918	1. 9795	16. 495
	Q6B	0.4	0.8213	2.0533	17.1106					
	Q7A	0.3	0.3592	1. 1974	9.9780	07		0 5240	1 7920	14 057
	Q7B	0.3	0.3717	1.2390	10. 3249	Q1	0. 5	0.0049	1. 1023	14.00
	Q8A	0.4	-0.9208	-2.3021	-19. 1838	Q8	0.4	-0.9723	-2. 4308	-20. 256
	Q8B	0.4	-0.8475	-2.1187	-17.6561					
	Q9A	0.4	0.8880	2.2199	18. 4993	Q9	0.4	0. 9836	2. 4591	20. 492
	Q9B	0.4	0.8734	2. 1834	18. 1951					
	QAA	0.4	0.4027	1.0068	8. 3899	OAA	0.4	0 2963	0 7407	6 172
	QAB	0.3	0.2753	0.9176	7.6464	0.01		0.2000	01 1 10 1	01111
	QDA	0.25	-0. 5978	-2.3911	-19.9262	(BMA)				
	QDB	0.25	-0.5165	-2.0660	-17.2164					
	QFA	0.4	0.7268	1.8171	15. 1421	QFA1	0.15	-0.1881	-1.2537	-10.44
	QFB	0.4	0.7717	1.9292	16.0770	QFA2	0.2	0.7123	3.5615	29.679
	QD	0.25	-0.4792	-1.9168	-15.9730	BMA	0.647028	-0.9383	-1.4502	-12.085
	QF	0.4	0.7483	1.8708	15.5900	QF	0.15	0.6622	4.4146	36, 788
		L[m]	K	Β''/Bρ	B''[T/m <sup>2</sup> ]		L[m]	K	Β''/Βρ	B''[T/m <sup>2</sup>
SEXT	SF	0.2	7.8484	39.2420	327.0169	SF	0.1	49.4917	494. 9171	4124.309
	SD	0.2	-7.8107	-39.0533	-325. 4438	SD	0.1	-26.9583	-269.5830	-2246. 525
		L[m]	θ[rad]	ρ[m]	B[T]		L[m]	θ[rad]	,o[m]	B[T]
BEND	BM	1.94	0. 2244	8.6636	0.9619	BMS	1.944076	0.2244	8.6636	0.96
						BMA	0.647028	0, 1122	5, 7668	1 445

重視した方がよく回る。逆に、直線部に 6 極を追加する と、全体の6極磁場はかなり小さくできるが、劇的に回 らなくなる。挿入光源の6極成分についても同様の効果 があると思われる。(例えば、13番挿入光源は分散がゼロ でない場所にあるが、ギャップを閉じると色収差が変化 し、垂直色収差が負に転じてビーム不安定性を励起した (弧部6極の調整で解決)。色消し部分の挿入光源につい ては現状では影響が分からないので、今後、スタディ時 に分散有りのオプティクスで運転し、色収差の変化で 6 極成分を測定しておくことが必要かも知れない。) 直線部をビームダイナミクス的に「透明」または「非線 形力打消」チューンにすることで、ダイナミックアパー チャガぐっと広がる。誤差に対する耐性も高く、端数に した場合に比べ、共鳴線がほとんど新たに励起されなく なる。(端数が本当にいけないか、どれだけ端数で耐えら れるかを検討中。) 水平は DBA x 2 セルがあるので、直線部のチューンの自

卵形に近い形状だが、6極は弧部だけに入れ、対称性を

水平は DBA x 2 セルかあるので、 自緑部のナューンの目 由度が小さい。例えば分散関数を漏らさない限り、現状 から±0.5 は変えられない。(現在のオプティクスで偶然 2.8 だったので、3 にすることは容易であった。)

弧部は機能結合型 BM 採用し、直線部はチューン固定となると、運転チューンは事実上完全に決め打ちになってしまい、自由度がない。

- 弧部の4極、6極共に非常に強い。特に6極は現在の約10倍 の強さが要求される。ただし、現在の6極電磁石は磁極間隔 9cmという、古い太い真空ダクト用に製造された電磁石なので、 磁極間隔を狭めれば実現できる。
- 4 極磁場 40T/m、6 極磁場 4500T/m<sup>2</sup>を出す為には、磁極間隔を約 4cm まで狭める必要がある。(cERL 用の電磁石と同じ材質の鉄を使用した場合。) 2 次元計算しか行っていないので、今後、3 次元の磁場計算をして精密に設計を進める必要がある。
- 真空ダクト厚さ2mmとすると、内径(全幅)約3.5cm程度となる。これが現実的な値かどうかは今後の検討課題であり、ハードウェア的に難しい場合は、磁石コア長を伸ばしたり、12極にして4極と6極を統合する等の工夫が必要となる。
- 機能結合型 BM については、例えばボア径 10cm の 0M に 11.5cm のオフセットとつけると代用できる程度の強さであり、磁場強 さと磁極ポテンシャル形状に無理はない。磁極を曲率をつけて 製作するか、直線的にするかが問題だが、製作精度とビームへ の影響の両方を検討する予定である。

- ・ ダイナミックアパーチャと誤差に対する影響の計算結果を示す。
- ・ 誤差として、据付誤差 50µm、強さの誤差 0.05%、回転誤差 100µrad を仮定。(最大誤差は σの 2 倍。) 50 通り計算を行った。
- 入射点のβx=10.25m なので、エミッタンス 8.07nmrad、アパーチャは 80σ で 23mm、60σ で 17mm となる。
- 現在のPFでは誤差無しで24mmなので、誤差あっても同等である。
  (非線形力の最適化が効いている。)
- XY 平面でのアパーチャの計算、チューンダイアグラム上でのチューンシフトの向きと大きさの計算など、特に問題はなかった。
- ハードウェア的な検討はまだ行っておらず、今後、真空やモニタの配置、既存 BL 基幹部の取り合いなど、詳細に検討を進めていく必要がある。

輝度の向上・弧部ビームラインの位置



- ・ 輝度は7~8倍に向上する。(エネルギー広がりがあるので、エミッタンスの現象の効果だけでは決まらない。)
- ・ ノーマルセルの BM 配置の変更で、弧部の発光点が約 80cm 上流側にずれるため、何もしなければ弧部 2.5 度ラインは約 2cm 内側に ずれる。
- 新しい弧部の 2.5° ラインを現在の BL に重ねる為に、弧部入り口の BM を約 10cm 下流にずらし、弧部のラティス全体が 2cm 外側 を回るようにする。そうすれば、既存 BL に向けて光を発生させることができる。ただし、既存の BM の弧の軌道を弦で近道する様 な軌道になるため、それでもなお、周長は約 3cm 短くなる。RF 周波数を約 100kHz 高くする必要がある。