## L3BT デザイン(2) アークまでの直線部 (F9)

## 2002 March T. Kato

## まとめ

L3BT のアーク間での直線部についての、検討結果を示す。

1) Requirements

1.アーク部までのビームの劣化が少なく、アークへのマッチングを達成する。

2. ACS 出力変化に対応できること。即ち、測定が容易にできて、マッチングが達成できる。 2) 手順

- 1. 前項の条件のもとで、良い解を見つける。
- 2. その解が、sc bend に対応できれば、よし。できなければ修正の上、その為の主 ビームラインの劣化を評価する。
- 3) ラインの基本的性質
  - 1. 収束ユニットとしては、いろいろなタイプが考えられが、ACS の収束系を延長 する考え方は自然と思われるので、第一に、これをテストする。
  - 前項の場合、ACS出力ビームの変化に対応して、ラインの入り口付近で横のマッチングが達成できる事が必要。その為の測定が容易であるという視点が必要。
     \*ここまでの評価では、可能と思われる。
  - 3. アークへのマッチングセクションが別途必要。これは第1デバンチャー付近に て行う。

\*ここまでの評価では、可能と思われる。

4) 計算 tools

空間電荷効果を含むラティスデザイン用(bt3d, TRACE3D)、ビームシミュレーション用(lebt, bend)等を併用する。これは、アーク部と同じ。

- 5) これまでの結果
- 5-1) 基本デザイン (design-6)

図1にFDのユニットを示す。TRACE3Dの結果。



図1 直線部収束系のユニット。

図2に5ユニット+デバンチャー直前のマッチングセクション(5 個の Q-磁石による)を つなげたラインを示す(design-6)。最初のユニットはACSのtwiss parameter に合わせて tuning がなされている。このラインでは、各セクションのビームサイズをはかる事により、ミス マッチの程度が判断できると考えられる。



図2 アークまでの直前部ライン (デザインの途中)。

次に、空間電荷効果を取り込んだコード bt3d により図2のラインを再計算してみる。





図3 bt3dコードで計算した beta function.

図 4 ラインチューニングとアーク部 への twiss parameter をチューニングし た(design-6)。

図3に結果を示す。bt3dはTRACE3Dとほぼ同じ結果を与える。

図3のベータ関数の乱れは、空間電荷効果の差によるミスマッチの結果を示していると思われるので、各セクションの収束磁場の値をチューニングする。アークへのマッチングの部分も修正した結果を図4に示す。これを design-6 とする。

5-2) design-7

design-6 は、ラインの終わりの部分が不充分と思われるので、そこを修正した design-7 を図5 に 示す。この結果を再び TRACE3D を使って再計算すると、図6が得られる。bt3d と TRACE3D とでは、出力の twiss parameter (α) にずれが見られる。出力の目標の twiss parameter (アーク部



アクセプタンス)は、図6の中心付 近に desired values として記されてい る。

図 5 design-6 の最後のマッチング部分の構成を変えて、 大きな beta function を修正した (design-7)。



図6 design-7のTRACE3D計算結果。

## 5-3) 粒子シミュレーションの結果

3200 粒子を使用した LEBT コードによる直線部計算の rms ビーム半径の変化を図7に示 す。LEBT コードによる、3200 粒子の計算では、空間電荷効果は大きめにカウントされて いる事が図7からもわかる。従って、精度を期す為には、もう少し細かな配慮が必要であ る。逆に、あるひとつの計算によって得られる twiss parameter の値自体は、多くの仮定の 上で得られているので、確定値という厳密な意味を持たせる事はできないと思われ、それ らをチューニングできるようにラインのデザインをする事が必要と思われる。その上で、 測定と、計算に入れるパラメータの関係を beam study により確立する事になる。Design-6 と7について、アーク部までの粒子シミュレーションの結果を Table 1 に示す。

Table 1 L3BT ビームシミュレーション結果 (規格化 pi-cm-mrad)

	xrms	x99.9	yrms	y99.9
入射ビーム	0.496E-01	0.355E+00	0.502E-01	0.357+00
design-6 straight	0.495E-01	0.353E+00	0.503E-01	0.389E+00
design-6 arc	0.505E-01	0.405E+00	0.505E-01	0.420E+00
design-7 straight	0.494E-01	0.347E+00	0.505E-01	0.392E+00
design-7 arc	0.503E-01	0.406E+00	0.508E-01	0.429E+00



この粒子シミュレーション では design-6 と design-7 と の差は、明らかではない。 アーク部へのマッチングの しやすさという点では design-7 が良いと思われる。 エミッタンス増加が大きく ないので、アークに続く横 コリメータの機能は期待で

図7 横方向の rms ビームサイズ。design-7 の場合の きる。 粒子シミュレーション結果。

6) 縦のハローについて

6-1) ACS ビームを使って

3200 個の ACS シミュレーションにおいて、悪い縦方向の条件(位相±1 度と電場±2%及び入射位 相エラー5 度)を設定した計算結果を図8に示す。Full energy width = 2.62 MeV, rms energy width = 0.34 MeV。この結果は適当なエラー(位相±1 度と電場±1%)を考慮した TDR に示した結果に



比べて、60%の rms width の増加となっている。 この粒子を L3BT 直線部へ入射させた結果を図9と1 0に示す。



この結果より、ACS 出口で全エネルギー幅 2.6 MeV の場合には、第1デバンチャーにより、全幅 0.8 MeV に圧縮でき、この結果から判断すれば、後続のビー ムラインにおいても、dp/p~±0.1%以下を保てると思 われる。

図10 デバンチャー通過直後の縦エミ ッタンス。

6-2)ハロー粒子を加えて

±3MeV までの粒子を加えた 3200 個の粒子集団を作り、第1デバンチャーまでのシミュレーションを行う。入射粒子を図11,出力粒子を図12に示す。

この結果より、ACS 出口において±2 ~±2.5 MeV 程度の広がりを持つビームに対しては、デバン チャーが有効に働くと思われる。これ以上のエネルギーの広がりを持つ ACS 出力が得られる場 合には、リニアックとしてのチューニング等を見直す必要がある。



7) basic design up to the second debuncher

ここまでの検討結果より、縦のコリメーションを採用しない方針とし、アーク部までのデザイン をまとめる。図12にその結果を示す。



図12 L3BT アーク部までの basic design. 150 mA.。

これは、'L3BT デザインとアーク部について(F8)'のアーク部デザイン ver-2 と、本メモ(F9)の直 線部デザイン design-7 を接続したものである。接続の時のマッチングが少しずれているので、ア ーク部は全体として、少し非対称になっている。パラメータをチューニングすれば、見栄えは改 善されると思われる。

本デザインとこれまでのデザインを比較する。

- 1. 縦のコリメーションを採用しないので、ηは小さく押さえられている。
- 2. それぞれの偏向磁石ごとにηを消すので、更に小さなηとなっている。
- 3. 小さなベータ関数となるようにした。
- 4. 同一地点でのβx とβy の比が小さくなるようにパラメータを選んだ。

- 5. ラインの入り口の4台の磁石により、ACS出力のパラメータ変化に対応可能。
- 6. 第1デバンチャーまわりの6台の収束磁石により、アーク部へのマッチングが調整できる。
- 7. ある範囲では、ビームサイズが一定となるか、対称となり、チューニングがビームサイズ測 定でモニターできる。
- 8. 空間電荷効果の変化がηにおよぼす影響は小さく押さえ込まれていると思われる。

Table 2 にラインパラメータを示す。

Table 2 Parameter	s of the bas	sic design.	
MAGNET	50	0	0
MAGNET	25	5 584	1
MAGNET	30	0	0
MAGNET	25	<i>4 4</i> 17	1
MAGNET	240	4.417 0	0
MAGNET	240 50	0	0
NOUSE 2	50	0	0
NUUSE-2 MACNET	25	۶ <u>۵</u> 1	
MAGNET	23	8.0 I	0
MAGNET	30 25	0	0
MAGNET	25	8.0 -1	0
MAGNEI	240	0	0
NOUSE -3			
MAGNET	50	0 0	)
MAGNET	25	8.5	1
MAGNET	30	0	0
MAGNET	25	8.5	-1
MAGNET	240	0	0
NOUSE 4			
MAGNET	50	0	0
MAGNET	25	7.5	1
MAGNET	30	0	0
MAGNET	25	7.5	-1
MAGNET	240	0	Ō
NOUSE -5	210	0	U
100001-5			
MAGNET	50	0	0
MAGNET	50 25	0	0
MAGNET MAGNET	50 25 30	0 8	0
MAGNET MAGNET MAGNET	50 25 30 25	0 8 0 8	0 1 0
MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET	50 25 30 25 240	0 8 1 0 8 -1	0 1 0
MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET NOUSE dobug and	50 25 30 25 240	0 8 -1 0	0 1 0
MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET NOUSE debun and	50 25 30 25 240 arc match	0 8 -1 0	0 1 0 0
MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET NOUSE debun and MAGNET	50 25 30 25 240 arc match 10	0 8 -1 0 0	
MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET NOUSE debun and MAGNET MAGNET	50 25 30 25 240 arc match 10 25 20	0 8 -1 0 4.0	0 1 0 0 1 1
MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET NOUSE debun and MAGNET MAGNET MAGNET	50 25 30 25 240 arc match 10 25 30	0 8 -1 0 4.0 0 0	
MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET NOUSE debun and MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET	50 25 30 25 240 arc match 10 25 30 25	0 8 -1 0 4.0 0 5.0	0 1 0 0 1 0 -1
MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET NOUSE debun and MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET	50 25 30 25 240 arc match 10 25 30 25 150	0 8 0 8 -1 0 4.0 0 5.0 0 0	0 1 0 0 1 0 -1 0
MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET NOUSE debun and MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET	50 25 30 25 240 arc match 10 25 30 25 150 25	0 8 -1 0 4.0 0 5.0 0 7.567	0 1 0 0 1 0 -1 0 1
MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET NOUSE debun and MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET	50 25 30 25 240 arc match 10 25 30 25 150 25 30	0 8 -1 0 4.0 0 5.0 0 7.567 0	$ \begin{array}{c} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0$
MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET NOUSE debun and MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET	50 25 30 25 240 arc match 10 25 30 25 150 25 30 25 30 25 30 25 30 25 30 25 240	0 8 0 8 -1 0 4.0 0 5.0 0 7.567 0 7.335	0 1 0 0 1 0 -1 0 -1
MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET NOUSE debun and MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET	50 25 30 25 240 arc match 10 25 30 25 150 25 30 25 250	0 8 0 -1 0 4.0 0 5.0 0 7.567 0 7.335 0	0 1 0 1 0 -1 0 -1 0 -1 0
MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET NOUSE debun and MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET	50 25 30 25 240 arc match 10 25 30 25 150 25 30 25 250 25 250 25	$ \begin{array}{c} 0 \\ 8 \\ 0 \\ 8 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 4.0 \\ 0 \\ 5.0 \\ 0 \\ 7.567 \\ 0 \\ 7.335 \\ 0 \\ 6.621 \\ \end{array} $	0 1 0 1 0 -1 0 -1 0 -1 0 1 0 1
MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET NOUSE debun and MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET	50 25 30 25 240 arc match 10 25 30 25 150 25 30 25 250 25 30 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25	$ \begin{array}{c} 0 \\ 8 \\ 0 \\ 8 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 4.0 \\ 0 \\ 5.0 \\ 0 \\ 7.567 \\ 0 \\ 7.335 \\ 0 \\ 6.621 \\ 0 \\ \end{array} $	$ \begin{array}{c} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0$
MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET NOUSE debun and MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET	50 25 30 25 240 arc match 10 25 30 25 150 25 30 25 250 25 30 25 25 30 25 25 30 25 25 30 25 30 25 30 25 30 25 30 25 30 25 30 25 30 25 25 30 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25	$ \begin{array}{c} 0 \\ 8 \\ 0 \\ 8 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 4.0 \\ 0 \\ 5.0 \\ 0 \\ 7.567 \\ 0 \\ 7.335 \\ 0 \\ 6.621 \\ 0 \\ 5.659 \\ \end{array} $	$\begin{array}{c} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \end{array}$
MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET NOUSE debun and MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET	50 25 30 25 240 arc match 10 25 30 25 150 25 30 25 250 25 30 25 250 25 30 25 150 25 30 25 150 25 30 25 150 25 30 25 150 25 30 25 150 25 30 25 150 25 30 25 150 25 30 25 150 25 30 25 150 25 30 25 150 25 30 25 30 25 150 25 30 25 100 25 30 25 100 25 30 25 100 25 30 25 100 100 100 100 100 100 100 10	$ \begin{array}{c} 0 \\ 8 \\ 0 \\ 8 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 4.0 \\ 0 \\ 5.0 \\ 0 \\ 7.567 \\ 0 \\ 7.335 \\ 0 \\ 6.621 \\ 0 \\ 5.659 \\ 0 \\ 0 \\ \end{array} $	$\begin{smallmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ $
MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET NOUSE debun and MAGNET	50 25 30 25 240 arc match 10 25 30 25 150 25 30 25 250 25 30 25 250 25 30 25 100 section 1	$\begin{array}{c} 0 \\ 8 \\ 0 \\ 8 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 4.0 \\ 0 \\ 5.0 \\ 0 \\ 7.567 \\ 0 \\ 7.335 \\ 0 \\ 6.621 \\ 0 \\ 5.659 \\ 0 \end{array}$	$ \begin{array}{c} 0\\ 1\\ 0\\ 0\\ 0\\ -1\\ 0\\ -1\\ 0\\ -1\\ 0\\ -1\\ 0\\ -1\\ 0\\ 0\\ -1\\ 0\\ 0\\ 0\\ 0\\ 0\\ 0\\ 0\\ 0\\ 0\\ 0\\ 0\\ 0\\ 0\\$
MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET NOUSE debun and MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET NOUSE ******	50 25 30 25 240 arc match 10 25 30 25 150 25 30 25 250 25 30 25 250 25 30 25 150 25 30 25 150 25 30 25 25 25 240 25 30 25 25 240 25 25 25 240 25 25 25 240 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25	$ \begin{array}{c} 0 \\ 8 \\ 0 \\ 8 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 4.0 \\ 0 \\ 5.0 \\ 0 \\ 7.567 \\ 0 \\ 7.335 \\ 0 \\ 6.621 \\ 0 \\ 5.659 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0$	$\begin{array}{c} 0\\ 1\\ 0\\ 0\\ 0\\ 1\\ 0\\ -1\\ 0\\ 0\\ -1\\ 0\\ 0\\ -1\\ 0\\ 0\\ 0\\ 0\\ \end{array}$
MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET NOUSE debun and MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET NOUSE ****** MAGNET MAGNET MAGNET	50 25 30 25 240 arc match 10 25 30 25 150 25 30 25 250 25 30 25 250 25 30 25 100 section 1 20 30	$ \begin{array}{c} 0 \\ 8 \\ 0 \\ 8 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 4.0 \\ 0 \\ 5.0 \\ 0 \\ 7.567 \\ 0 \\ 7.335 \\ 0 \\ 6.621 \\ 0 \\ 5.659 \\ 0 \\ 0 \\ 4.16 \\ \end{array} $	$ \begin{smallmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ $
MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET NOUSE debun and MAGNET	50 25 30 25 240 arc match 10 25 30 25 150 25 30 25 250 25 30 25 250 25 30 25 150 25 30 30 25 30 30 25 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30	$\begin{array}{c} 0 \\ 8 \\ 0 \\ 8 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 4.0 \\ 0 \\ 5.0 \\ 0 \\ 7.567 \\ 0 \\ 7.335 \\ 0 \\ 6.621 \\ 0 \\ 5.659 \\ 0 \\ 0 \\ 4.16 \\ 0 \end{array}$	$ \begin{smallmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} $
MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET NOUSE debun and MAGNET	50 25 30 25 240 arc match 10 25 30 25 150 25 30 25 250 25 30 25 250 25 30 25 150 25 30 30 25 30 30 25 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30	$\begin{array}{c} 0 \\ 8 \\ 0 \\ 8 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 4.0 \\ 0 \\ 5.0 \\ 0 \\ 7.567 \\ 0 \\ 7.335 \\ 0 \\ 6.621 \\ 0 \\ 5.659 \\ 0 \\ 0 \\ 4.16 \\ 0 \\ 3.75 \end{array}$	$ \begin{smallmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{smallmatrix} $
MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET MAGNET NOUSE debun and MAGNET	50 25 30 25 240 arc match 10 25 30 25 150 25 30 25 250 25 30 25 100 section 1 20 30 30 70 30	$\begin{array}{c} 0 \\ 8 \\ 0 \\ 8 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 4.0 \\ 0 \\ 5.0 \\ 0 \\ 7.567 \\ 0 \\ 7.335 \\ 0 \\ 6.621 \\ 0 \\ 5.659 \\ 0 \\ 0 \\ 4.16 \\ 0 \\ 3.75 \\ 0 \end{array}$	$\begin{smallmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0$

MAGNET	30	3.800	-1
MAGNET	30	0	0
BEND 0.50022 15	.50022 0		
MAGNET	100	0	0
MAGNET	40	2.900	-1
MAGNET	150	0	0
MAGNET	80	2.6635	1
MAGNET	150	0	0
MAGNET	40	2.900	-1
MAGNET	100	0	0
BEND 0.50022 15	.50022 0		
MAGNET	30	0	0
MAGNET	30	3.800	-1
MAGNET	30	0	0
MAGNET	70	3.75	1
MAGNET	30	0	0
MAGNET	30	4 16	-1
MAGNET	20	0	Ô
NOUSE *****	* ection 2	0	U
MAGNET	20	0	0
MAGNET	20	1 16	1
MAGNET	30	4.10	0
MAGNET	30 70	3 75	1
MAGNET	20	5.75	0
MAGNET	30	3 800	1
MAGNET	30 20	5.800	-1
MAGNET	30	0	0
BEND 0.50022 15	.50022.0	0	0
MAGNET	100	0	0
MAGNET	40	2.900	-1
MAGNET	150	0	0
MAGNET	80	2.6635	1
MAGNET	150	0	0
MAGNET	40	2.900	-1
MAGNET	100	0	0
BEND 0.50022 15	.50022 0		
MAGNET	30	0	0
MAGNET	30	3.800	-1
MAGNET	30	0	0
MAGNET	70	3.75	1
MAGNET	30	0	0
MAGNET	30	4.16	-1
MAGNET	20	0	0
NOUSE *****	section 3		
MAGNET	20	0	0
MAGNET	30	4.16	-1
MAGNET	30	0	0
MAGNET	70	3.75	1
MAGNET	30	0	0
MAGNET	30	3.800	-1
MAGNET	30	0	0
BEND 0 50022 15	50022.0	0	0
MAGNET	100	0	0
MAGNET	40	2 900	-1
MAGNET	150	0	0
MAGNET	80	2 6635	1
MAGNET	150	2.0055	0
MAGNET	40	2 900	_1
MAGNET	100	2.900	-1
DEND 0 50000 15	50022.0	U	U
DENDUJUU22-13 - MACNET	20	0	Δ
MAGNET	3U 20	0	0
MAGNET	3U 20	5.800	-1
MAGNET	30 70	0	0
MAGNET	/0	3.15	1
NA AZINI ZP	20	~~~	~
MAGNET	30	0	0

MAGNET 20 0 0