

## 20 MeV 陽子リニアックの電磁石の トラブルが起きた時の収束チューニング法

入射器 加藤隆夫

### 1. 序

PS 陽子リニアックの前半部分の収束用四極磁石は電磁石が使用されている。この夏のシャットダウンの直前に、第 45 番の電磁石の絶縁不良が見いだされた。関係者の迅速な対応により、予め予定されていた入射部のドリフトチューブ (D/T) の交換作業に間に合う形で、第 45 番のドリフトチューブも新しく交換されて、一件落着であるが、同時に、一個の四極磁石が使用できなくなった時の応急運転の方法についても検討が進められていたので、その結果を報告する。この作業により、計算手段の用意が出来たので、万が一の事故に対する対応がしやすくなった。

### 2. 20 MeV リニアックの収束系

20 MeV リニアックの収束系については、建設時に計算がされている (参考文献 1、2)。全部で 90 個の D/T の種々のパラメーターの値が参考文献 1 の Table I, II に与えられている。実際の運転では、経費の節約の為と思われるが、一個のパルス電源に対して、複数の電磁石が縦列に接続されている (表 1) ので、同じ組に属する電磁石の強さは同じになる。しかも、運転の時には、恐らく、入射ビームとのマッチングがとれるようにとの考えから、電磁石のチューニングが行なわれているので、細かなパラメーターは、運転のラン毎に変わる可能性もある。従って、以下の計算にどのようなパラメーターを使うかを第一に検討せねばならない。

実際の運転に対応させる時には、その都度、使用中の電磁石電源の電流値を調べて、磁場の校正表と対応させて、入力データとして使用すべきである。又は、計算結果を実現するように電流を設定しなおしてもよいが、この場合には、LEBT のチューニングが大きく変わるだろう。

#### 計算に使う入力データの検討

今までに、ビームシミュレーションコードの PARMILA を使って色々な計算をしていた (例えば参考文献 3)。transit time factor と加速電場とセル構造のデータを使って、PARMILA は加速タンクをデザインする。収束力もデザインの方式を与えれば磁場勾配の値が計算できるが、普通の計算では、Table II の値を外部ファイルから読み込ませて使っている。そこで、PARMILA の作るタンクのデザインと Table II を比較をしてみよう。なお、PARMILA の入力データはその時点 (1981 年頃) において、Table I, II をなるべく再現するように決めたものである。original design を DATA-1 とし、PARMILA のデザイン結果を DATA-2 とする。

#### 1) タンク全長の比較

DATA-1 (Table 1)	1555.28 cm
DATA-2 (PARMILA)	1553.4 cm

#### 2) セル長さの比較

図 1 にセル毎の長さの差を示す。

図の中に大きなギャップが見られるが、これは、本器の D/T の形状修正による変化を、

DATA-1 が含んでいる為と思われる。

### 3) セル毎の出力エネルギーの比較

図2に示す。縦軸は  $((DATA-2) - (DATA-1)) / DATA-1$  である。図中のセル番号29と57付近のディップは、D/Tの形状の変化を反映していると思われる。PARMILA用の入力データは数箇所のセルの値を使って全体の誤差が小さくなるように近似している。従って、細かな形状の変化に起因する構造は反映されていない。

### 4) MAGICの計算結果の比較

DATA-1, DATA-2を入力としてMAGICを使って、 $\beta$ -functionを計算して、結果を図3と図4に示す。図5と図6に出力エミッタンスの形を示す。入射ビームのエミッタンスの形は、PARMILAで求めたアクセプタンスと同じと仮定している。この結果を見て、両者は良く一致しているのかいないのかは、判断できないが、次のステップの結果から振り返ると良く一致していると言える。

### 5) 電源によるグループ化の効果

MAGICの計算に表1に示した電源の効果(磁石を2個又は4個のシリーズで励振する事)を入れてみる。以後の計算はDATA-2についてのみ行なうことにする。DATA-2には、データの飛びがなくて素直だからである。図7に結果を示す。 $\beta$ が大きくなり、これは、入射ビームのマッチングが大きすぎた事を表している。

### 6) アクセプタンスを見つける

今後の進め方は色々考えられるが、取敢ず一番労力がいらぬ方向で検討する。即ち、出力ビームのエミッタンスを固定して、入射ビームのtwiss parametersを最適化する。結果を図8に示す。

以上の結果をまとめると、

- 1) 電源のグループ化を考慮したビームラインパラメーターは出来た。
- 2) しかし、使用している入射エミッタンスの値はよくない値である。入射部の $\beta$ が大きすぎて非現実的であり、実際のラインを反映していない。
- 3) しかし、故障対策のシミュレーション方法の開発には使えると考えられるので、このまま、エラーのシミュレーションを行なう。

## 3. エラーシミュレーション

第45番のD/Tの四極磁石が地絡して使えなくなると仮定する。この前後の四極磁石のチューニングを行なって、タンクの出口でそれまでと同じビームの形が保たれるようにする。図9にこの付近の四極磁石の配置を示す。

シミュレーションの結果を表2にまとめた。「結果」は、出力エミッタンスが同じ形に再現出来た場合を○とした。この他にも解はあったが、省略する。

予備電源を一個使えばチューニング出来る事があきらかになった。エミッタンスの自由パラメーターは4個であるが、近傍の4台の電源だけのチューニングでは、地絡という劇的な変化には対応しにくい事が示された。又、No.1とNo.6を比べると、 $\beta$ が小さいのでNo.1が優れている。表3に、表2のNo.1,6の場合のMAGICの計算結果を示す。これは、 $gL_q/B\rho$ の値である。(g=field gradient,  $L_q$ =Q-magnet length,  $B\rho$ =rigidity)

参考文献

1. J. Tanaka et al., "Synchronous Phase Law Experiment in the KEK Linac," KEK - 77 - 3 (1977).
2. M. Kobayashi, "Design of the Focusing System for KEK Linear Accelerator," KEK - 73 - 4 (1973).
3. 加藤、福本、" 20 MeV linac のQ-magnet No.6 地絡に対応するリニアック運転モードの計算と結果," ASN-227 (1983).

表1 20 MeV リニアックの収束用電磁石電源と対応するD/T番号

電源番号	D/T 番号	電源番号	D/T 番号
1	1,2	2	3,4
3	5,6	4	7,8
5	9,10,11,12	6	13,14,15,16
7	17,18,19,20	8	21,22,23,24
9	25,26,27,28	10	29,30,31,32
11	33,34,35,36	12	37,38,39,40
13	41,42,43,44	14	45,46,47,48
15	49,50,51,52	16	53,54,55,56
17	57,58,59,60	18	61,62,63,64
19	65,66,67,68	20	69,70,71,72
21	73,74,75,76	22	77,78,79,80
23	81,82,83,84	24	85,86,87,88
25	89,90		

表2 シミュレーションの結果

No	変数にした電源番号	変数数	結果	図	必要予備電源数
1	AA, BB, QD23, E, DD	5	○	Fig. 10	1
2	AA, BB, CC, DD	4	×	Fig. 11	0
3	C, D, CC, DD	4	×	Fig. 12	0
4	BB, QD23, E, DD	4	×	Fig. 13	0
5	C, D, QD23, E, DD	5	×	Fig. 14	1
6	C, D, CC, F, G	5	○	Fig. 15	1

表3 成功した時のチューニングパラメーター

Name	Design value	No.1	No.6
AA	11.542	11.810	
BB	10.778	11.391	
C			4.366
D			6.879
CC	10.109		8.033
QD23		3.498	
E		6.454	
DD	9.518	4.003	
F			5.812
G			2.878

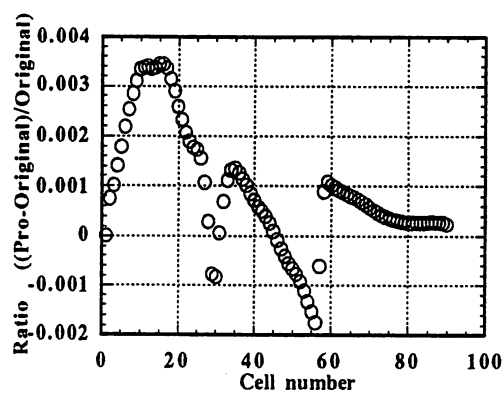
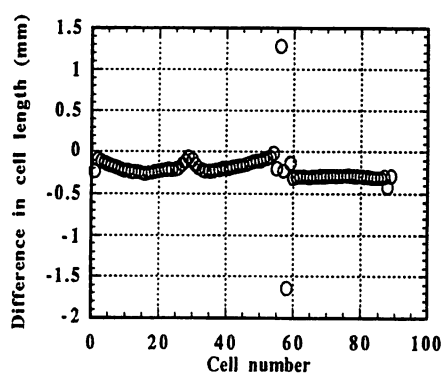


図1 DATA-1とDATA-2のセル長さの差。図2 DATA-1とDATA-2の出力エネルギーの差(相対値)。

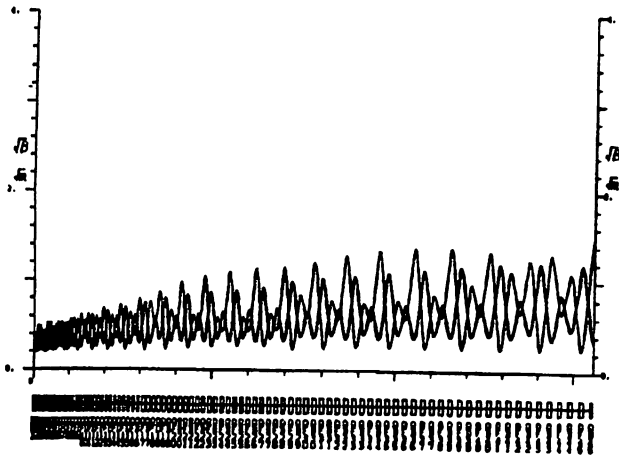


図3 Data-1による $\beta$ 関数。(縦軸は $\sqrt{\beta}$ を表す)

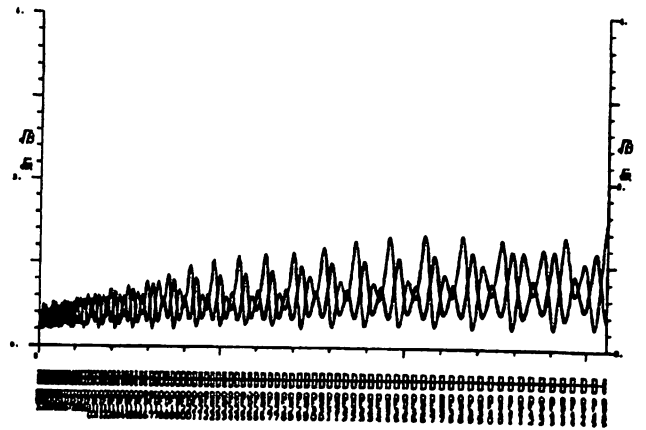


図4 Data-2による $\beta$ 関数。

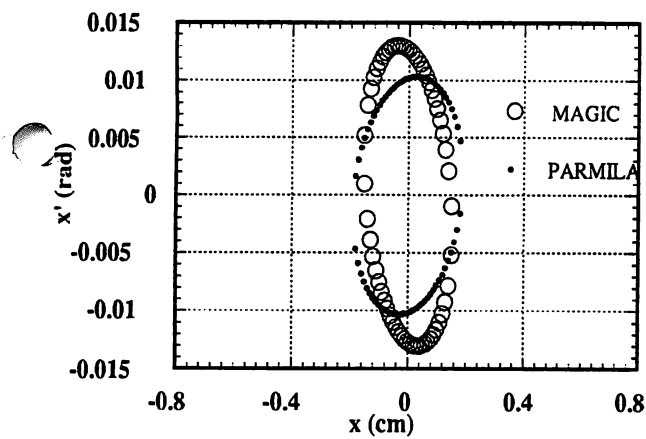


図5 Data-1(MAGICと表示) Data-2(PARMILAと表示)を使用した時のシミュレーションで得られた出力エミッタンス( $x-x'$ )。

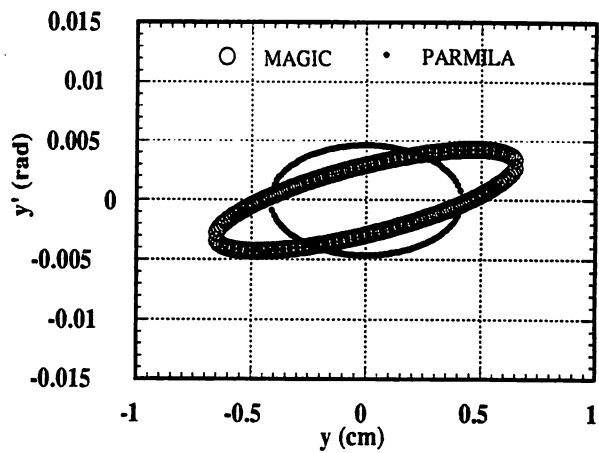


図6 Data-1(MAGICと表示) Data-2(PARMILAと表示)を使用した時のシミュレーションで得られた出力エミッタンス( $y-y'$ )。

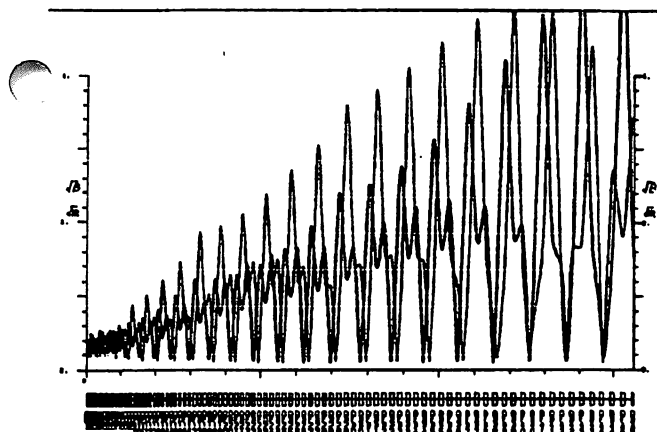


図7 Data-2に電源のグループ化を取り入れた時の $\beta$ 関数。

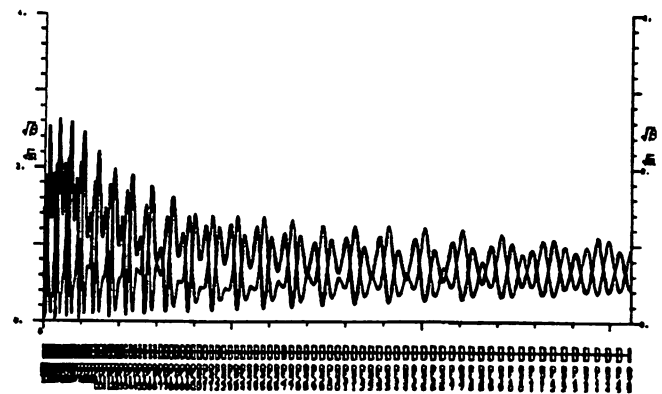


図8 Data-2に電源のグループ化を取り入れて、入射エミッタンスを最適化した時の $\beta$ 関数。

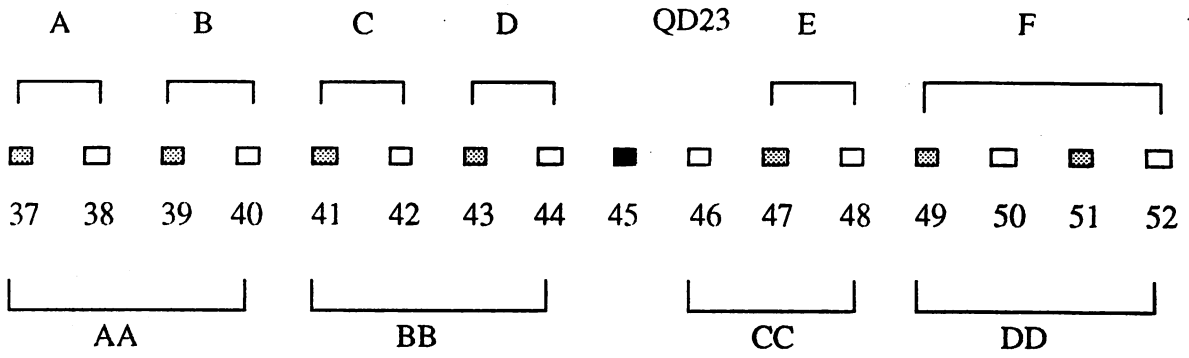


図9 地絡四極電磁石 (No.45) とその周辺の磁石番号。電源のグループ化の方法を英文字で表す。

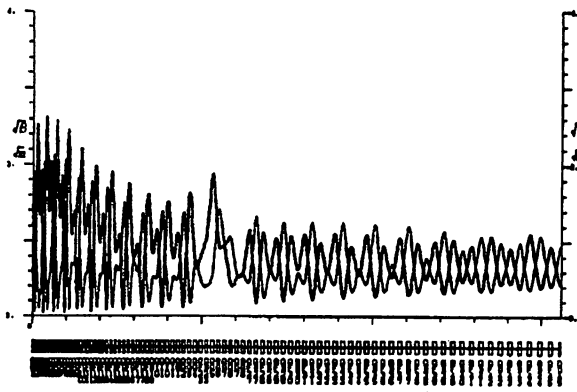


図10 表2 No. 1のβ関数。

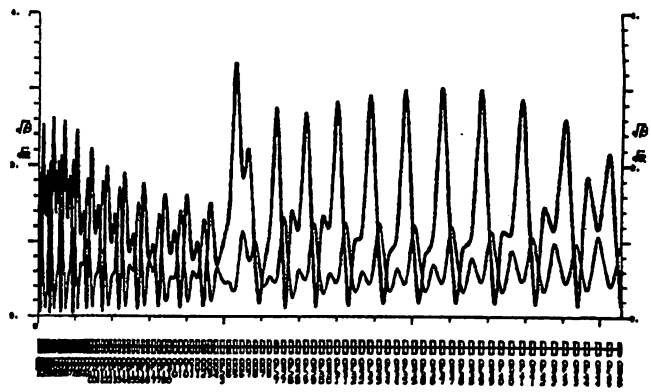


図11 表2 No. 2のβ関数。

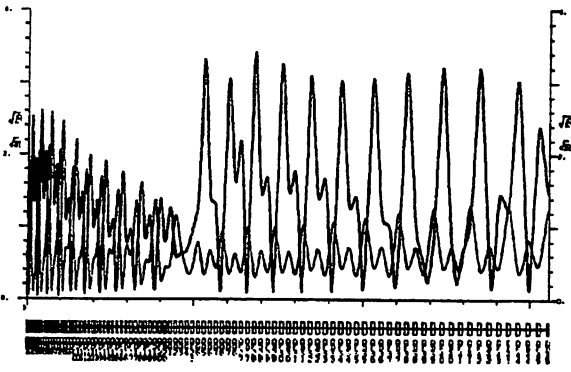


図12 表2 No. 3のβ関数。

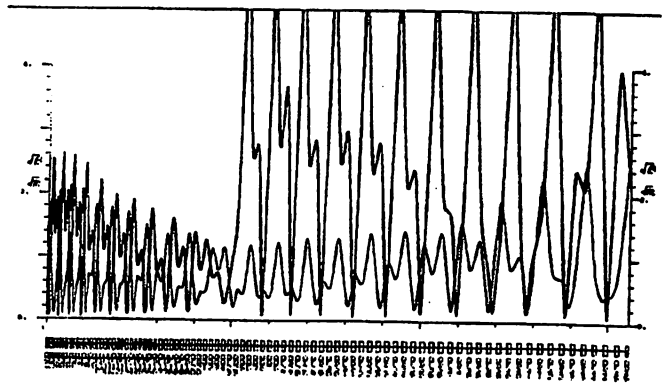


図13 表2 No. 4のβ関数。

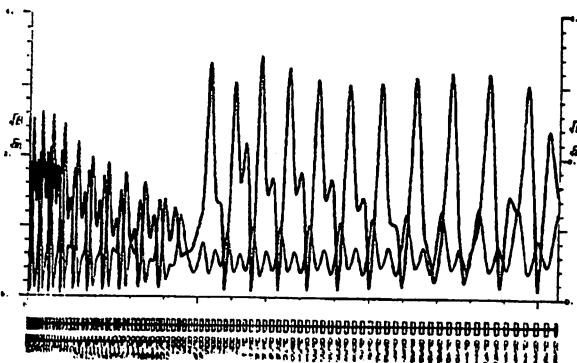


図14 表2 No. 5のβ関数。

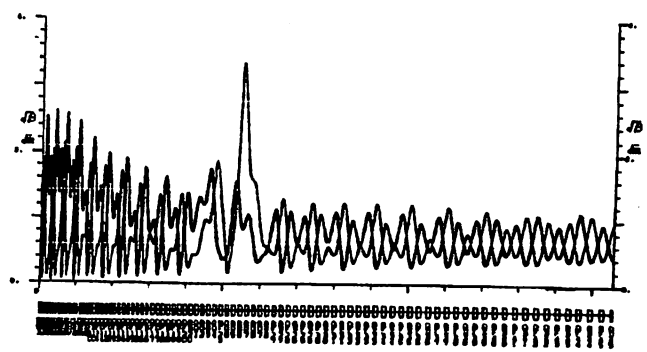


図15 表2 No. 6のβ関数。