

リニアックチューニングメモ

990630 T.Kato

本稿はリニアックのチューニングの枠組みについて述べたものであり、第1稿を書き下ろした段階なので完成はしていない。又、前後の関係、内容そのものなど、読み返すと疑問点もあるが、モニターグループを含めた検討会の基礎資料としての意味で、狭い範囲で配布する。

nt : タンク番号

タンク理論電場レベル : $ecth(nt)$ 、理論値 = 1

タンク設定希望電場レベル : $ecop(nt)$: その時の、設定希望レベル、場合により変化する。

タンク測定電場レベル : $ecme(nt)$ 、ビームが来る前のあるタイミングの電場レベル

タンク 設定希望ビーム電場レベル : $ebop(nt)$ 、理論値 = 1、 $ecth(nt) = ebop(nt)$ となるべきである。

タンク測定ビーム電場レベル : $ebme(nt)$ 、ビーム加速中のあるタイミングでの電場レベル

入射ビーム測定エネルギー : $w1me(nt)$ in MeV

入射ビーム理論エネルギー : $w1th(nt)$ in MeV

入射ビーム測定位相 : $phb1me(nt)$ in deg

入射ビーム理論位相 : $phb1th(nt)$ in deg

出射ビーム測定エネルギー : $w2me(nt)$ in MeV

出射ビーム理論エネルギー : $w2th(nt)$ in MeV

出射ビーム測定位相 : $phb2me(nt)$ in deg

出射ビーム理論位相 : $phb2th(nt)$ in deg

出射ビームtof位相 : $phbwme(nt)$ in deg

入射ビームピーク電流 : $j1(nt)$ in mA

出射ビームピーク電流 : $j2(nt)$ in mA

チョッピング比 : $fchop(nt)$

励振理論電力 : $pcth(nt)$ in MW

励振設定希望電力 : $pcop(nt)$ in MW

励振測定電力 : $pcme(nt)$ in MW

全理論電力 : $ptth(nt)$ in MW

全設定希望電力 : $ptop(nt)$ in MW

全測定電力 : $ptme(nt)$ in MW

ビーム理論電力 : $pbth(nt)$ in MW

ビーム設定希望電力 : $pbop(nt)$ in MW

ビーム測定電力 : $pbme(nt)$ in MW

タンク理論位相 : $phtkth(nt)$ in deg

タンク設定希望位相 : $phtkop(nt)$ in deg

タンク測定位相 : $phtkme(nt)$ in deg

タンク測定ビーム位相 : $phtkbme(nt)$ in deg

ビーム透過率 : $trans(nt)$

タンク間理論位相 : $phttth(nt)$ in deg

タンク間設定希望位相 : $phttop(nt)$ in deg

タンク間測定位相 : $phttme(nt)$ in deg

1) 運転モード 6種類設定する。

高周波チューニング rftuning : ビームなしの状態、高周波系チェックを行うためのモード。

位相振幅チューニング pwtuning : 非常に弱いビームを使って、タンクの振幅と位相のサーベイを行い、適切な振幅と位相をさがす。

粗いチューニング ctuning

微細チューニング ftuning

正常運転 noperation

study : このモードでは正常運転時に使われているOK条件を必要ならば撤廃する。

1.1 *運転モード選択

注) *印は人または計算機の動作を表す(コード化する動作)。

1.2 pre-setting

1.2.1高周波系の動作確認

高周波系の位相関係等が、正しく設定されている事を確認し、それを補正する手順をつくっておく事が重要である。

* rftuning

1.2.2チョッピング比 fchop(nt) の算出

チョッパーに与えるパルス幅と、実際のビーム測定から得られている小さな補正からチョッピング比は算出できる。原則として、すべてのタンクのチョッピング比は同じ大きさとする。チョッパー運転のsectionにて詳細を記述する。

2) タンクチューニングモード

2.1 粗いチューニングと微細チューニングの2種類を考える。

粗いチューニング ctuning ではチューニングパラメータはビームパルス内部で1個とする。

微細チューニング ftuning では、ビームパルス内を時系列に分割して、それぞれの分割セグメントに、粗いチューニングの操作を応用する。当初はctuning を考え、必要に応じてftuning を考える。ftuning が必要になるのは、たとえば以下の場合である。

- 1) 入射ビームの性質(電流、エネルギー等)がパルス内で変化する場合に補正する。
- 2) 高周波パラメータがパルス内で変化している場合に補正する。
- 3) パルス内で、ビームの性質を変化させたい時。

2.2 粗いチューニングモードの概要

2.2.1 *タンク番号 nt を選択。

nt を選ぶ場合には次の条件が満たされている必要がある。

2.2.2 *タンクレベル $e(1) - e(nt-1)$ 、1からnt-1まではON(すでに粗いチューニング済み)

2.2.3 *それらのタンクレベルが許容値にあること。

study の可能性もあるので、許容値は大きく設定しておいた方がよいであろう。

$$dpc(nt') = pcth(nt') - pcme(nt')$$

$$dpb(nt') = pbth(nt') - pbme(nt')$$

$$dec(nt') = ecth(nt') - ecme(nt')$$

$$deb(nt') = ebth(nt') - ebme(nt')$$

ビームがある場合だけに限って条件としてもよい。

nt を選択後に次の操作を行う。

- 2.2.4 *タンク設定希望電場レベル $ecop(nt)$ を設定する。
あらかじめ設定されたtableを参照、またはマニュアル入力。
- 2.2.5 *タンクレベル $ecme(nt)$ をタンク設定希望電場レベルに設定する。
 $dec(nt) = |ecme(nt) - ecop(nt)|$ がある値以下になるように、低レベル回路にて入力電力を変える。充分な時間をかける事。
クライストロン所要電力算出には次の量を参考にする。
Pout-Pln Table of the klystron
power loss ratio during transmission line
VSR
shunt impedance of the tank
- 2.2.6 *タンク設定希望位相 : $phtkop(nt)$ を設定する。
入射ビーム測定位相を用いるか、あらかじめ設定されたtableを参照、またはマニュアル入力。
2.2.5 および2.2.6 設定は、全体のチューニングをどうまとめるかに関係するので、細かに設定できるようにする。場合によってはこれらをサーベイして、最適値を決める事がありうる。そこで、それぞれの項目では単純な動作を行い、あとでDO LOOP等でサーチして最適設定が行えるようにソフトを書く。
- 2.2.7 *タンク測定位相 $phtkme(nt)$ をタンク設定希望位相に調整する。低レベル回路にて入力位相を変える。
- 2.2.8 *入射測定ピーク電流 $j1(nt)$ 、チョッピング比 $fchop(nt)$ および 出射ビーム理論エネルギーから、ビーム理論電力 $pbth(nt)$ を算出する。
 $dw(nt) = w2th(nt) - w1th(nt)$ in MeV
 $pbth(nt) = j1(nt) * dw(nt) * fchop(nt) / 1000$ in MW
この値をもとにして、高周波系にビームパワーの設定値を送る。ビームトリガーONの場合、この高周波電力が出力される。
- 2.2.9 *タンクレベル $e(nt+1)$ はゼロに設定する。粗いチューニングの時には、チューニングしているタンクの次のタンクのレベルはゼロに設定して、そのタンク中では、ビームをドリフトをさせる。パンチ中心を測定し、二つの位相差から、エネルギーを算出する。
- 2.2.10 *残り ($nt+2$ 以降) のタンクレベルはどうでもよいが、安全 (放射線) から考えるとゼロがよ

い。どこにビームダンプがあるかにも関係する。

ここまでに必要なデータ

* 入射ビームエネルギー 測定データ $w1me(nt)$ 、または manual 入力にて設定する。

* 入射理論エネルギー $w1th(nt)$

* 入射ビーム位相 測定データ $ph1me(nt)$ 、または manual 入力にて設定する。

* 入射理論位相 $ph1th(nt)$

注) 変数に含まれる 1 は、そのタンクへの入力値、2 は出力値を示す。

* 入射ビームピーク電流 $j1(nt)$

* チョッピング比 $fchop(nt)$

* 入射ビーム測定位相 $ph1me(nt)$ に従って、タンク測定位相 $ph1nkme(nt)$ を設定する。

この意味は、タンクへ正しい位相でビームが入射するように、タンク位相を変化させる。

以上の条件下にて、出力エネルギー測定を行う。

2.2.11 * beam ON とする。

2.2.12 * ビーム電流を測定する。 $j2(nt)$: $nt=1, nt$

2.2.13 * ビーム透過率を算出する。

$trans(nt) = j2(nt)/j1(nt)$: $nt = 1, nt$

これは、異常検出モニターとして使う。

2.2.14 * ビーム位相を測定する。 $phb2me(nt)$ 、 $phbwme(nt)$

何を規準にしてビーム位相をはかるかに注意する。図 1 においては、ビーム位相は、直前のタンクの高周波との位相差として定義している。そして、一般にこの量は、運転中のビームの目安としては、良い量である。しかし、エネルギー測定の場合には、ドリフトをさせるタンク ($n+1$ 番目) の高周波はゼロになるので、この設定は使えない。又、二つのビームモニターの位相差を直接測定する方が、単純な測定となる。したがって、そのような量として $phwme(nt)$ を測定し、平均エネルギー $w2me(nt) = w1me(nt+1)$ を求める。又、 nt タンク出口のビーム位相測定値は 1 個であるが、その値から、タンク-タンク間の距離、モニターの位置等を考慮の上、 nt タンク出口の位相 $phb2me(nt)$ と $nt+1$ タンクの入射ビーム位相 $phb1me(nt+1)$ が計算できる。したがって、 $nt+1$ タンクを励振すれば、 $phwme(nt)$ は別の値に変化するので、意味を持たなくなる。その場合に nt タンクのエネルギーの相対的な規準値としての量は、 $phb2me(nt)$ となる。この $phb2me$ から、実際にバンチ中心が高周波のどの位相に乗っているのかが、推定できる事がのぞましい。これは、 $pwtuning$ の一つの項目として、測定と理論計算との対比から推定する。

2.2.15 * タンクレベルを測定する。 $ecme(nt)$ および $ebme(nt)$

位相設定が正しいとすれば、これらの比較により、ビーム電力 $pbme(nt)$ が適切かどうかの判断ができる。

2.2.16 * 振幅と位相の最適化。

次の process はタンクの振幅と位相とを正しく設定する事である。この点に関しては、何種類かの方法が考えられる。ここでは、 $pwtuning$ により、適性な振幅と位相を確定し、その値を、ビーム負荷が大きいときの規準として使うという方法を採用する。ここには一つの問題が指摘できる。電流値の増加に従って、縦方向のチューンが変化する事である。従って、ビームパラメータは少し変わる可能性が残る。これは、

データを積み重ねる事により、補正項の形で最適化できるのではないかと考える。ビーム損失が許せば、ある程度の大きい電流でpwtuningを行う事も可能である。

a) pwtuningの場合

ここでは、ビームパワーが小さくてすむような、微弱なビーム電流を使用する。これは、ビーム損失がある場合の放射化を少なくするためと、タンクの条件設定を単純にするためである。ビーム電流の増減は、MEBTにて格子スリットを使ってビームを少なくするか、チョッパーを大きく作用させるか、イオン源にて調整する。それぞれ長所短所を持つので、検討の余地がある。ビームコンペンセーションはOFFとする。そのタンクの振幅と位相とをサーベイして、適切な振幅と位相を見だし、以後の加速の基準として使用する。問題点の一つとして、あまりにビームが弱いと測定系の感度又は校正等が実際のビームと変わってくる可能性が懸念される。したがって、ビーム電流は、ある程度弱くし、パルス幅を短くして、測定にはパルスのできる限り先端部分を使うという方法もある。この場合、ビームのタイミングを変える事は新たな問題を引き起こす可能性もあるので、正常運転時の測定タイミングをビームパルスの先頭にもつくとよい（高周波タイミングに対するビームタイミングは固定として、測定のタイミングだけを移動させる）。

注) この方式を使えば、pwtuning と粗いチューニングctuning を、ビームのタイミングを動かす事により、交互に行う事ができるので、ctuningを行う場合には、基準値の参照が容易であるという長所がある。

b) ctuning の場合

pwtuning により、適切な振幅と電場が決まっている事を前提とする。

この場合には、振幅と位相をすべてにわたりサーベイするのではなく、狭い範囲で動かして、出力エネルギーを確認調整すればよい。この場合、ビームがある時のタンクレベルは一定に保つ必要があるので、高周波系の振幅と位相は、フィードバック (FB) を効かせておく必要がある。位相サーベイは、位相フィードバックのレファレンスに加える。最適振幅と最適位相が決まれば、これを新たなFBの規準として設定する。

c) どこが最適かの判断

サーベイの結果のエネルギーシフトパターンとビームシミュレーションからつくったtableとの比較から決める。詳細は別途。

c-1) pwtuning の時の最適振幅と位相の決め方

c-2) 粗いチューニング ctuning の時の最適振幅と位相の決め方

c-3) 正常運転時の監視とフィードバック

以上の項目の詳細を策定する必要がある。

d) 粗いチューニングctuning のどこかの時点にて、ビームタイミングとコンペンセーションタイミングとの調整を行う必要がある。ビームパルス長さがある程度以上長ければ、ビーム立ち上がりとコンペンセーションの立ち上がりとのずれは、後ろの方には影響しないので、その部分をチューニング時の測定に使う。ところが、最初の立ち上げでは、あまり長いビーム幅は、ビーム損失の観点から使いたくないので、ビーム幅を短く設定してチューニングを行いたくなる。したがって、チューニングがある程度進んだ時に、ビーム立ち上がりとコンペンセーションの立ち上がりとのずれの調整をする必要がある。

e) 長パルスの場合

time-of-flight によるエネルギー測定を、測定タイミングをずらして、パルス内の複数個の

タイミングで行い、パルス内でエネルギーのずれが無い事を旨とする。したがって、事前に、正しいエネルギー設定を電流の小さいpwtuningにて決定し、短パルスを用いた調整にて確かめておく必要がある。リニアックが正しく設定されていれば、平均エネルギーは空間電荷効果の影響を受けない。エラーがある場合（実際）には、平均エネルギーの振動がおこるので、これは、見かけ上（タンクレベル上）のコンペンセーションが達成されても、出力エネルギーは、ビーム電流に依存する事になり、系の振る舞いが複雑に見える。従って、低電流加速時に求めた出力エネルギーは、電流を増やしても変化しない（当然位相を保ちながら、ビーム電力を増やす）事が、正しく位相と振幅が選択されている事の証明となる。実際には、理想的でない事が多いので、この振動は避けられないと考える。

f) ビーム電流

前項より、ビーム電流は次第に増加させていく事が望ましい。その方法は(a)に記述。

d) 周波数のdetuning

ビーム電流の大きさに従って、タンクの共振周波数を励振周波数からずらしておく必要がある。これは、測定ピークビーム電流から、計算によりプリセットする。各タンクの共振周波数を一定に保つためのチューナーFBの規準値に加算する。この時、タンク位相も変化するので注意する。

3) 位相測定と振幅測定

3.1 各タンクからの高周波モニターは一つに限定して、それを使い続ける。ほかのモニターについては、いつでもバックアップできる管理をしておく。

3.2. 位相と振幅のモニターは同じモニターから分配する。

3.3 隣あうタンクの距離は、ちょうど 2π だけずれているので、隣あうタンクの位相差をゼロに設定する操作が、第一の規準（近似）となる。この測定は、 n -thと $n+1$ th タンクのモニター信号を直接合わせて位相差を見る。この信号ラインと位相測定器は、変化（温度、経年）が少ないようにつくる必要がある。位相測定の振幅依存性に注意する。二つのタンクからの信号ラインの位相差がゼロ（正確には、二つのタンクの安定位相の差）となるように製作する。

3.4 前項の調整後に、各タンクの規準信号に対する位相差を記憶する。規準信号の位相変化が小さいように製作する。又、規準信号自体の位相変化をチェックできる機能が必要である（入り口と出口の位相差を常にモニターするなど）。この位相差が運転時の nt 番目の高周波システムの固有位相となる。

3.5 各タンクの位相は次のように可変できる必要がある。

3.5.1 各高周波システムの内部でFBできる事。

3.5.2 各高周波システムの内部でOFFSETを設定できる事。

3.5.3 すべての高周波システムに同じ大きさのOFFSETを設定できる事。

たとえば、RFQビームの位相が変わった場合には、それ以降の全高周波システムの位相を同じ大きさだけ変える必要がある。この場合、中央からの同一の指令にたいして、各システムの応答が実際に同じ大きさになる事が重要である。これは、項番3.3の隣り合うタンクの位相差をチェックすれば、確認できる。

3.5.4 チューニング時には、あるタンクのチューニングの終了時点にて、それに続く全ての高周波システムに同じ大きさのOFFSET位相を指令する事になる。これは、ctuningの途中で、タンクをさかのぼっ

でチューニングする必要がある場合に有効となる。

3.6 ここで使う高周波振幅はパワーメータにて測定する。検波器は使わない。パワーメータは自己校正ができる事。精度と桁数が問題となる。検波器を使う場合には、校正と経年変化が大きな問題となる。

3.7 FB 用回路は安定性の確保に注意する。

3.8 324 MHz マスターシンセサイザーには、雑音（振幅および位相）が極力低いものを選定する。これが、最終的な測定精度を決める。

3.9 測定のタイミング、ビームのタイミング、高周波パルスのタイミング等は、コントロールにより、管理できるようにする。その管理している値が正しい事（現実を反映している事）を保証する事が重要である。便利さのために、いろいろな機器の間にパルスの手動遅延回路を入れる事は、全システムの混乱のもとであり、禁止する。タイミング系のケーブル等は最初の設定後は固定し、動かす場合には、その前後にデータを取り、記録する。やむを得ず遅延回路を使う場合には、最終的に固定回路に置き換える。

3.10 タンクの熱的な時定数は大分大きいので、測定にあたり、システムが定常状態にあるかどうかのチェックが必要である。

4) rf tuning

rf tuning を行う時の、位相関係の模式図を以下に示す。

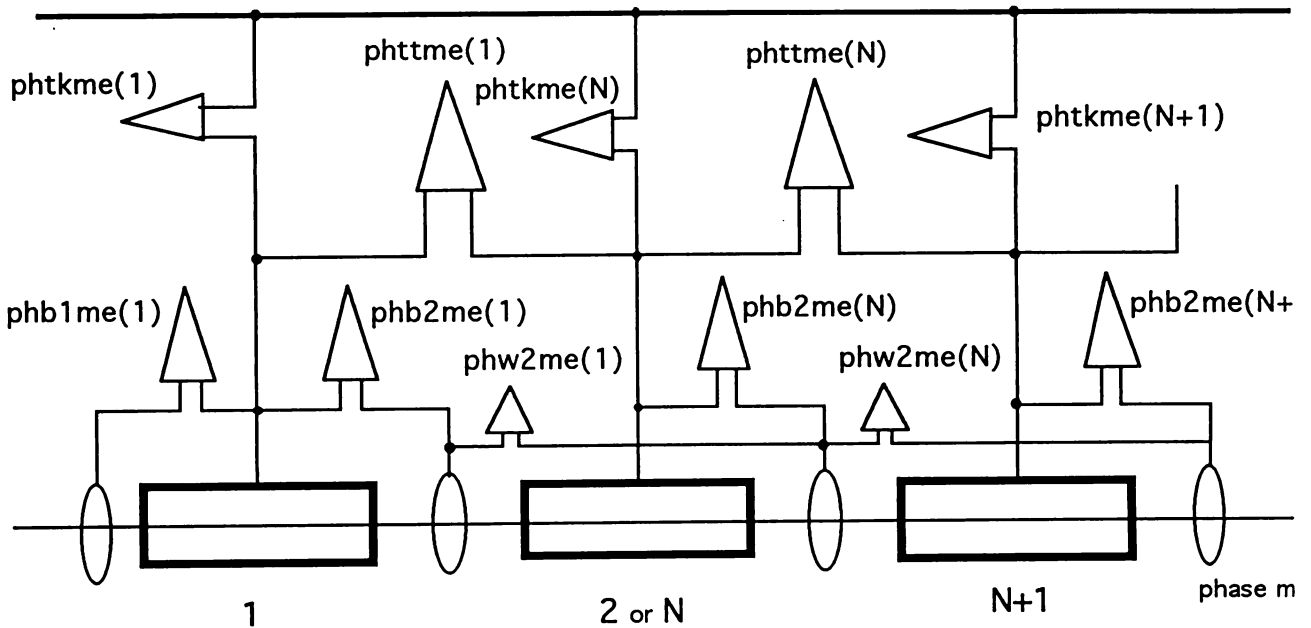


図1 リニアック高周波位相測定ブロック図

4.1 ひとつの位相計までの二つのライン（位相）長さは同じになるように、ビームを使う運転が始まる前に、あらかじめチューニングする。具体的には、配線をほとんど終えた時点（隔離、固定した後の意味）で、高周波モニターのコネクター部分からケーブルをとりはずし、そこに、同位相の高周波を加え、位相計

の出力がゼロになるように片方のライン長さを調整し、固定ラインで置き換える。それ以降、ライン内部のコネクター等の付け替え等、位相を狂わせる原因となる操作は行わない。又、二つのラインは、できる限りまとめて配線する部分が長くなるように、配線を工夫する。位相計の温度特性が重要である。位相計は、入力電圧の広い範囲にわたって、同じ値を示す必要がある。リミッターの入力依存性には工夫が必要である。

4.2 タンクにある程度の電力を入れてから、隣り合うタンク間の位相 $phttme$ を、高周波系の入力に設置されている移相器を使って設定値にする。この場合の設定値は、最初のチューニングでは、タンクの安定位相の差であるが、ラインの安定度に関して信頼性が確保された場合には、次のような設定でよい。すなわち、あるrunを終えて、次のrunの立ち上げ時には、前回のビーム正常加速時に設定されている値とする。低エネルギー側より順次行う。立ち上げ時のこのチューニング課程において、どの程度隣り合うタンク間の位相がずれるかにより、高周波システムの位相に関する信頼性が測定できる。

4.3 前項の時の規準位相とタンク位相との差 $phtkme$ を、そのrunのタンク規準位相として記憶する。高周波システムを操作した場合に、タンク位相とこの規準位相との差が管理の対象となる。又、運転中にも、この記憶された規準位相と、常時測定している $phtkme$ とを監視する。ビームの性質によっては、この両者にずれがある状態が最適なチューニングである事がありうる事に注意する。

4.4 タンクレベルの平坦部の振幅と位相を、測定タイミングを変えて測定し、それぞれ調整する。

4.5 必要ならば入力電力とタンクレベルの関係を確認する。

4.6 チューナー動作の確認をする。これは主として、デチューニングの作用の確認の為である。

4.7 細かい注意事項を述べる。

4.7.1 一度設定したラインには、操作を加えないようにする。操作（コネクターのつけはずし等）をした時には、最初に戻っての校正が必要である。

4.7.2 ラインは、空間的に固定して、動かないようにする。又は、蔽いをかけるなど、別の作業者が、無意識のうちにも、触れる事がないようにする。すなわち、重要なラインは、特別な隔離環境の中に入れる。特に、発熱の大きい電源ケーブルと共存する時には、恒温断熱ダクト内に重要なケーブルを収めるべきである。

4.7.3 温度係数が小さいラインを使う。

4.7.4 基本のライン部分には、アクティブなものを使わない事が望ましい。使う場合には、位相モニター、位相FBとセットにする。

4.7.5 規準ラインは、ラインの最初と最後を同一場所まで配線し、そこで、常時、位相差を監視する。規準ラインの中に、アクティブな素子を入れる場合には、その前後の位相差を常時監視する。必要ならば、そこに位相FBをかける。

4.7.6 規準ラインは、隔離環境の中に入れる。

4.7.7 パッシブな素子は、その基本性能に充分注意する事が必要である。特に、方向性、反射係数、温度特性に注意の事。

5. pwtuning

非常に弱いビームを使って、タンクの振幅と位相のサーベイを行い、適切な振幅と位相をさがす。

ここでは、入射エネルギーおよび出射エネルギーが、バンチの理論平均エネルギーと一致する状態をチューニングの目標とする。実際の運転では、この目標が変わる事がある。それは、特殊な場合の option として設定すればよい。

5.1 チューニングモードの設定

5.1.1 *pwtuning モードを選択

5.1.2 *ビームピーク電流の設定

5.1.3 *rf コンペンセーションOFF

5.1.4 * ビームタイミングの設定

5.1.5 *収束磁石の設定

5.2 *タンク番号選択 nt

5.2.1 *収束磁石の設定

5.3 入射エネルギー測定

5.3.1 *nt タンクレベルゼロ

5.3.2 *nt+1 タンクレベルゼロ

5.3.3 *入射と出射ビーム位相測定：phb1me(nt), phb2me(nt), phw2me(nt)

5.4 nt タンクの振幅と位相のサーベイ

5.4.1 *タンク振幅サーベイ 0.9-1.05 程度か。

5.4.2 *タンク位相サーベイ -180-+180

5.4.3 *それぞれの設定において、位相測定

5.4.4 *エネルギー値とその変化、ビーム出射位相の変化とから、最適振幅、最適位相を決める。

5.5 *最適値運転による確認

5.6 *チューニング結果より、phb2me とタンク高周波位相との絶対的な関係を推定する。

6. noperation

正常運転時の動作

6.1 *モード選択 noperation

6.2 *電流設定確認

6.3 *磁石設定の確認

6.4 *rf コンペンセーション設定の確認

6.5 *タンクレベルの確認

6.6 *関連するタイミングの確認

6.7 *ビームON

6.8 *ビーム電流の確認

6.9 *タンク測定ビーム電場レベル ebme(nt) の確認

6.10 *タンク測定ビーム位相 phtkbme (nt) の確認

6.11 *出射ビーム測定位相 phb2me(nt) の確認

6.12 *修正

6.7-6.11 項がある範囲外になった場合には、それらが設定値に戻るように、振幅と電場の細かい修正を行う。

従って、6.8-6.12 がループとなる。

注) noperation の定常運転では、平均ビーム電流等は強くなる。従って、事故を避ける為には、ビームONをしてから、noperation のビームが設定通り安定に加速されている事が確認されるまでは、ビームパルス数を少なくしておく運転が考えられる。

7. 共通項目

加速器運転に共通に必要な項目は、全ての運転モードが始まる前にチェックする。これらは、重要度に応じて、モードONまたはビームONの条件に入れる場合と、入れない場合に分けられる。たとえば、チョッパーが故障していても、ビームONしてリニアック運転をする事はありうる。

- 7.1 放射線関連インターロック
- 7.2 関係する機器のインターロック
- 7.3 冷却関連インターロック

種類別に Table を作り、複数のTable から運転に採用するTable を選択する。

Table ビームタイミング等設定番号 N

Number of pulse	start	stop	ON/OFF	chopperON/OFF
-----------------	-------	------	--------	---------------

Table rf タイミング設定番号 N

	start	stop	bstart	bstop
--	-------	------	--------	-------

- rf-dt1
- rf-dt2
- rf-dt3
- rf-s1
- buncher-1
- buncher-2
- chopper-1
- chopper-2
- dtq

bstart はビーム負荷補償用電力のタイミングを示す。rf システムの内部には個別のdelay 等が存在する可能性がある（それぞれのテスト運転の為）。しかし、この結果、センターコントロールから指定するタイミングが相対的になってしまい、データの意味が失われる事がある。そうした事がないように、全システムを構成する事が必要である。

Table 高周波振幅と位相設定

	希望振幅 前回 / 理論	測定振幅	希望位相 前回 / 理論	測定位相	測定入力電力
--	-----------------	------	-----------------	------	--------

- dt1
- dt2
- dt3
- rf-s1
- buncher-1
- buncher-2
- chopper-1
- chopper-2

Table デチューニング関連

	Q0	カップリング	ピーク電流	チョッピング係数	df 希望値	df設定値(Hz)
dt1						
dt2						
dt3						

注) df設定値は、df 希望値=0 とdf 希望値とのタンク位相差から計算可能。fitting をしないと精度不足と思われる。デチューニング設定の場合には、たとえばタンクを含めた全システムの位相と振幅のFBをはずして、高周波系だけのFBにするなどの操作が必要となる。変更せずに、全系の振幅と位相のFBのFB量から推定する方法もあるが、二つが組み合わさるので、複雑になる。