

PLA - 92 - 4

92 / 9 / 22

1 GeV リニアック検討資料

1 GeV LINAC DESIGN NOTE

題目 (TITLE) JHP 1 GeV linac 入射部高周波及びビーム加速テスト案

著者 (AUTHOR) 加藤隆夫

概要 (ABSTRACT)

JHP 1 GeV linac 入射部高周波及びビーム加速テスト案を作成した。本案は、テストスタンド建設の目的が、大強度陽子リニアックの重要な構成要素である入射部の特性の達成にある点を踏まえて立案されている。従って、夫々の構成要素には、優れた特性とそのコントロールが要求されると同時に、常に全体の目的と性能向上を意識した働きが要求される事を強調する。

KEY WORDS:

Ion source, RFQ, DTL, CCL, Magnet, Monitor, Beam Dynamics, Transport, Vacuum, Cooling, Klystron, Low level rf, High power rf, Modulator, Control, Operation, Radiation, General, Others

JHP 1 GeV linac 入射部高周波及びビーム加速テスト案

920129 加藤隆夫

JHP 1 GeV 陽子リニアックの入射部の性能テストを以下の要領で行なう。

本案は、テストスタンド建設の目的が、大強度陽子リニアックの重要な構成要素である入射部の特性の達成にある点を踏まえて立案されている。従って、夫々の構成要素には、優れた特性とそのコントロールが要求されると同時に、常に全体の目的と性能向上を意識した働きが要求される事を強調する。

目的

- 1) イオン源及びLEBTの特性の確認。
- 2) RFQとDTL（リニアックと略）の大電力高周波特性の測定。
- 3) ビームモニター系の確認。
- 4) ビーム輸送系（LEBT, MEFT, HEFT）の確認。
- 5) リニアックの基本的加速性能の確認。
- 6) JHP入射器としてのリニアックの特性の確認。

注) 確認とは、例え基本的性能がその時点で得られなくても、その実現の為に必要な方策が具体的に得られれば良いという意味である。

手順

目的第6項の実現の為に、以下を行なう。

- 1) イオン源+LEBTの特性測定
*電流*エミッタンス*その他
- 2) RFQの大電力テスト
*電場*位相*安定性*その他
- 3) DTLの大電力テスト
*電場*位相*安定性*その他
- 4) ビームモニター系の測定。
*動作、calibration, 精度
- 5) ビーム輸送系（LEBT, MEFT, HEFT）の測定。
*動作、calibration, 精度

ビームテスト

- 6) RFQの単独ビームテスト
- 7) DTLのビームテスト
- 8) 総合ビームテスト

1) - 7) 項は第8項達成のためのプロセスであって、最終目標は第8項にある事を銘記する。この事を常に考慮しつつ、それぞれの作業を進めれば、全体として良い結果が速く達成されるであろう。第8項の総合ビームテストの目的を簡単にまとめれば、

- 1) 設定電流の達成、
- 2) 設定エネルギーの達成、
- 3) 設定エミッタンス (横および縦) の達成、
- 4) ビームの振る舞いがコントロールできて、それと理論との対比ができる事、
となろう。

上記の4項はいずれも重要であるが、大強度1 GeV 陽子リニアックの問題点を考えると、第3、4項が達成される事が特に重要である。ただ単に、ビームを通すだけでは、我々の目的にとっては何の意味も無い事を強調する。

方法

ビーム加速に関係する部分について、多少具体的に方法を述べる。

- 1) RFQ の基本加速性能の確認 1 mA, below 20 Hz
 - 1.1 energy vs (E, Win) E: electric field Win: injection energy
 - 1.2 capture vs (E, Win)
 - 1.3 transverse matching search
 - 1.4 emittance (transverse and longitudinal) vs (E, Win, tuning condition)
- 2) RFQ の高度な性能の確認 ビーム強度を変化させる 最大 20 mA, 50 Hz
 - 2.1 effects of space-charge max. peak current, repetition small
 - 2.2 effects of beam loading
 - 2.3 stability with full power and max. current operation (discharge, temperature, etc)
- 3) beam quality at the end of MEBT 0 - 20 mA, below 20 Hz

RFQ + MEBT の特性は DTL 入射ビームの意味で重要である。

 - 3.1 beam line tuning
 - 3.2 buncher operation
 - 3.3 effects of space-charge
 - 3.4 emittance (transverse and longitudinal) vs (RFQ, beam line tuning, current)

RFQ 関連の 1) - 3) 項のテスト全体を一体として俯瞰して、効率的な実験計画を立てる必要がある。

- 4) DTL の基本加速性能の確認 1 mA, below 20 Hz
- 4.1 energy vs (E, ϕ , Win) E: electric field Win: injection energy
 - 4.2 capture vs (E, ϕ , Win) ϕ : rf phase
 - 4.3 transverse matching search
 - 4.4 emittance (transverse and longitudinal) vs (E, Win, tuning condition)
- 5) DTL の高度な性能の確認 ビーム強度を変化させる 最大 20 mA, 50 Hz
- 5.1 effects of space-charge max. peak current, repetition small
 - 5.2 effects of beam loading
 - 5.3 stability with full power and max. current operation (discharge, temperature, etc)
- 6) 総合試験 ビーム強度を変化させる 最大 20 mA, 50 Hz
- 本項は第5項と重複する部分が多いが、ここでは、全ての可変パラメーターが、出力ビームに対してどのような影響を与えるかを中心問題として、実験計画を策定し、最終的には最適パラメーターを見いだす事を目的とする。

上記のテストを実際にはどのような日程のもとで行なうかは、テストスタンド全体の設計、特にモニターの配置がどのように出来るかに依存する。即ち、総合試験のレイアウトが図1のようになるとすれば、夫々の個別試験では、どのようなデータを蓄積しておけば良いかと考えて、出来るだけ効率的なデザインをしてほしい。

モニター

第6項の総合試験においては、特に、モニターの精度と構成が、全体の性能を決めると言っても過言ではない。従って、1) - 5) 項の各段階においても、常に最終的なりニアックの構成を念頭において、データを蓄積して戴きたい。ここでは、第6項の総合試験において必要なモニターの構成を提案する。

まづ、必要な4つの機能は以下のごとし。

- 1) 適正な精度
- 2) 必要にして十分な情報
 - 2.1) 情報の種類
 - 2.2) 入り口と出口の同時測定
 - 2.3) 横と縦の同時測定

beam dynamics theory と比較出来る為の、情報の精度と種類を得る事が重要である。

(ここでは、将来の実用器の為のテストスタンドを想定しているから、実用器の場合とは、若干考え方が異なる。特に、データの蓄積から、経験的にうまい運転法を導くという方法はここではとらない。)

図1にテストスタンドの構成を示す。なんとかしてbend-1を入れたいという希望がある。なお、バンチモニターはnon-destructive typeであり、バンチ幅と中心位相を測定する。

- 1) RFQ E, ϕ
- 2) buncher E, ϕ
- 3) DTL E, ϕ
- 4) Electro. Qmag B' (I)
- 5) Bend bend1, bend2 (I)
- 6) カレントモニター C1 ---- C6
- 7) エミッタンスモニター EM1, EM2
- 8) バンチモニター B1, B2, B3
- 9) ファラデイカップ FC1, FC2
- 10) エネルギー W1, W2 <----- BE1, BE2
- 11) エネルギー幅 $\Delta W1, \Delta W2$
- 12) ロスモニター for DTL

放射線との関係

1) 最大平均電流 400 μA

必要な最大ピーク電流は 20 mA であり、それ以上は必要としない。
必要ならばパルス長さを延ばす方が、リニアックとしては、無理がより少ないであろう。従って最大平均電流は $20 * 0.0006 * 50 = 600 \mu A$ であるが、rf length が $600 \mu s$ なので、現実的な pulse length は $400 \mu s$ として、400 μA でよい。
最大平均電流を使う実験は、RFQ においてビームロスによる放電を試験する場合であるが、これはエネルギーが幸いにも 3 MeV であるから、問題とならない。
DTL の場合には、ピーク 20 mA の時、繰り返しが、 50 Hz と 20 Hz で試験結果が異なるとは予想しがたいから、全ての試験を 20 Hz で行なってもかまわない。但し、高周波大電力テストは 50 Hz で行なっておく。
逆に考えると、ピーク電流を増やしたい時は、繰り返しを減らせば良いわけだから、最大平均電流を $400 \mu A$ に押さえて困る事は、このテストスタンドでは考えられない。

2) リニアック中のビームロス

2.1 慎重なテストの時 0.8 μA 以下

テストスタンドであるから、全てのパラメーターサーチを行なう。従って、大きなビームロスが予想される。しかしながら、これらの作業を最大電流で行なう事は、ありえない事である。大きなロスが予測される場合には、次の手順で行なわれる。

- 1) ビーム電流 2 mA 減衰 factor 0.1
- 2) 繰り返し 5 Hz 減衰 factor 0.1 (non-storage でも残像が残る)
- 3) pulse length 80 μs 減衰 factor 0.2

従って、全体として、 $0.1 * 0.1 * 0.2 = 0.002$ となる。ビームが全部失われたとすれば $400 * 0.002 = 0.8 \mu A$ となる。

ビームがモニター可能という意味では、 1 mA , 1 Hz , $20 \mu s$ の運転でもよい。この時は、 $0.05 * 0.02 * 0.05 = 0.00005$ 、即ち $0.02 \mu A$ となる。

2.2 全力運転の時 0.4 μA 以下

最大平均電流 $400 \mu A$ の運転が考えられる。この運転があると言うことは、

大成功という意味である。この場合にビームロスを推定する事は殆ど不可能に近い。というのは、この実験をする場合には、殆ど全てのチューニングパラメーターは最適化されている。従って、DTLでビームロスを落とす原因は、入射ビームの縦と横のエミッタンスがアクセプタンスにぎりぎり入る場合である。これは現時点では予測出来ないが、実際にビームのチューニングをする時には、ビームロスリミットを0.1%と設定した時に達成出来る最大電流は、それまでに蓄積されているデータを基礎に予測出来るであろう。従って、問題の設定を変えて、ビームロス0.1%以下の運転を行なう時の最大到達電流はいくらかとなろう。私見では、システムが仕様を満足しているとすれば、ビームロス0.1%の設定ならば、簡単に最大電流400 μ Aが実現出来ると予想される。即ち、ロスをもっと少なく出来ると予測している。

次に注意しておくべき事は、DTLの中のビームロスは、始めの20セル程度の間にかかる事である。その場合、エネルギーは、最大で6MeV程度である。

3) ビームロスの検出

感度の良いロスモニターはファラディカップ、カレントモニターの順である。従って、カレントモニターを加速管の前後に配置して、それらの差を検出すれば良い。この場合の分解能は10 μ A程度となる。これ以下のロスに対しては、radiation検出型が感度が高い。

JHP 1-GeV Proton Linac Test Stand

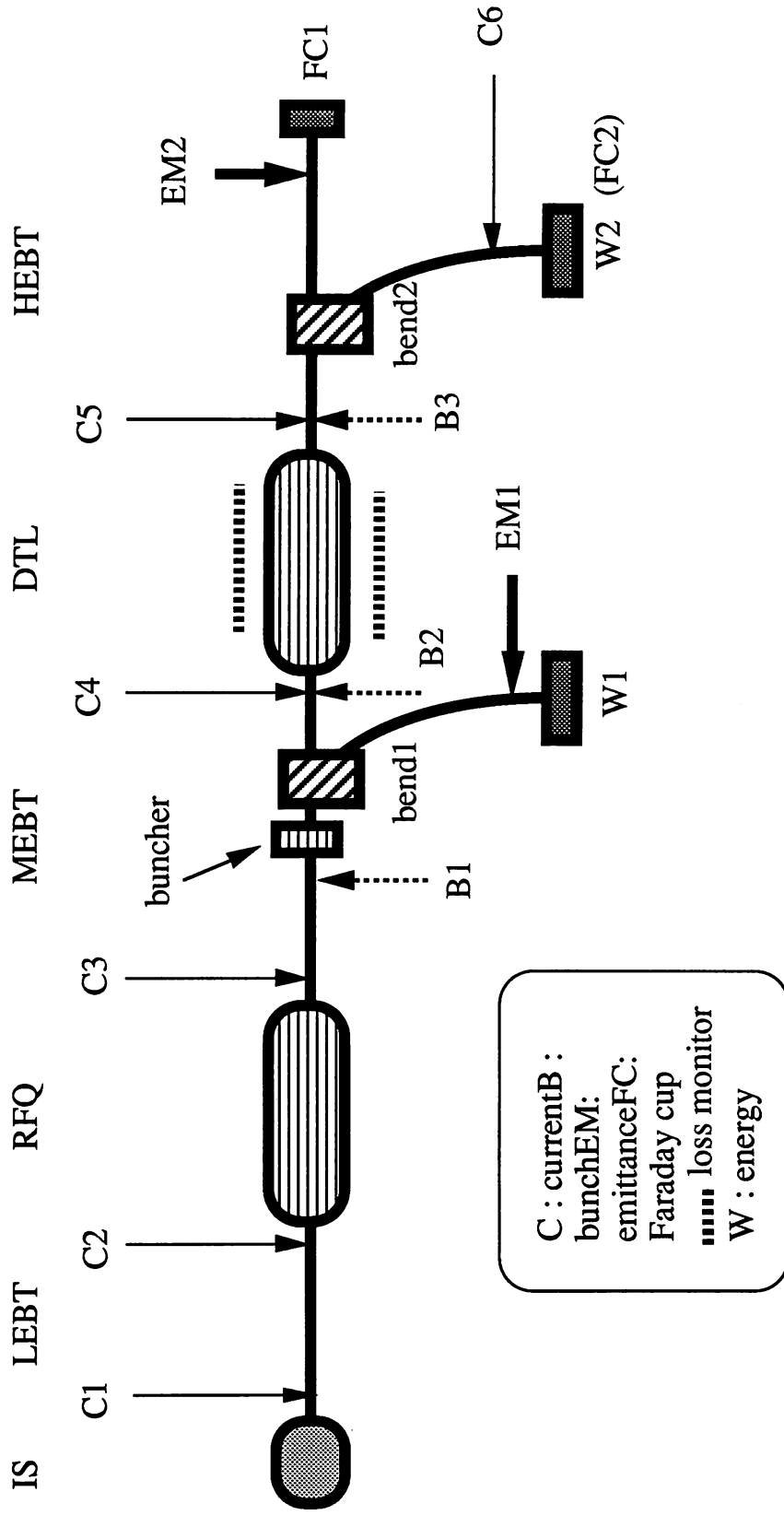


图 1

920203 T. Kato

