

リニアックコミッショニングと運転に必要な重要点

2003.3.19 T. Kato

リニアック全体設計の立場から、リニアックのコミッショニングと運転に必要なとなる重要案件についてまとめた。

ビームロスについて

L3BT 横ビームスクレーパ :	2 kW
400 MeV beam :	140 kW
許容ビームロス :	1.42 %

L3BT のチョッパー過渡ビームパワー

SDTL スクレーパあり : 420 W ~ 0.3%

SDTL スクレーパなし : 1.9 kW ~ 1.3%

横エミッタンスの外側縁部分

1%とすれば、1.4 kW

現状不確定につき、ビームスタディ結果に依存する要素

1. MEBT スクレーパの切り方のマージン

計算では、normal beam と chopped beam のセパレーションを広めに仮定している。

2. Transient chopped beam のすべてが L3BT スクレーパにかかるわけではない。いくぶんかは、4 pi-mm-mrad の中に入る。

3. L3BT スクレーパアクセプタンスの設定変更の余地あり

4. Halo formation は、加速管の出来具合、整列誤差、チューニング等に依存するので、正確な予測は難しい。

+と-のマージンが考えられるが、いずれにせよ、全ての部門が最良の製作を行い、且つ、厳しいチューニングを行って、満足できる要求仕様と考える。

1. イオン源

現状：

- 1) Cs を使わないで RFQ より安定に 30 mA の加速電流を得た。
- 2) IS からは 39 mA の出力を得ている。
- 3) 速い 10% 程度のランダム振幅変調がある (図 1)。
- 4) 繰り返し周波数を変化させるとビームの性質が大きく変化する (図 2)
- 5) RF タイプでは 15% の RF 周波数の振幅変調がある。これはチョップ周波数に近いので、重大な障害となる。

今後：

- 1) 第 1 目標として、60MeV にて使用している現イオン源の 39 mA のビームを 50 mA 以上に増加させるために努力を集中する事は、現実的な選択と思われる。必要な特性は
(ア) 高い電流、
(イ) 電流安定度の改善、
(ウ) 寿命。
- 2) RF 周波数を高くした RF イオン源を新たに開発する場合には、前もって、RF 振幅変調がどの程度になるかを、信頼できる方法で評価する事が必要。イオン源開発には相当のコスト、時間等がかかるので、そうした事をせずに、資源を配分する事はリスクが大きい。

2. LEBT

現状：

- 1) 十分な steering 磁石あるいは入射補正機能を持たないので、相当の RFQ 入射エラーがある場合があり、これが、運転条件あるいはメンテナンスにより変化する。一般に線形加速器では入射エラーによるビームの劣化が大きな問題となる。RFQ も例外ではないと思われる。
- 2) イオン源の状態により MEBT のビームの性質が大きく変化する。
- 3) 25 Hz ビームを間引くための設備が無いので、繰り返し周波数をイオン源によって変えざるをえない。この時、ビームの性質が大きく変化する。

今後：

- 1) RFQ 入射エラーを補正するための装置を組み込む
イオン源位置を微調整できる構造にするか、あるいは steering 磁石を補強する。
- 2) 25 Hz ビームをまびくための設備（例えば静電チョッパー）を入れる。
- 3) イオン源から LEBT までについて、精度の高いシミュレーション法を開発して、その部分のデザイン方法を確立する。

3. RFQ

現状：

- 1) 30 mA ビームを安定に、高い透過率で加速している。
- 4) RFQ タンクレベルを変えると出力ビーム位置および傾きの変動がある。

今後：

- 1) さらに大強度ビーム加速をして、現 RFQ の性能を見極める事が、第一に重要である。
- 2) 入射エラーの補正を含めて、安定にビームを供給できる事が必要である。
- 3) 第 2 RFQ の建設は以下の問題の決着がついてから行う。
 - (ア) 第 1 RFQ では不十分であることがビーム実験により判明する。
 - (イ) シミュレーションと実験結果が一致すること。そうでない場合には、その原因を探究し、第 2 RFQ のデザインと製作に反映させなければならない。
 - (ウ) 加速電場により出力ビームの位置が変動する現象は、入射エラーの改善により減少することが判明する事。そうでない場合には、RFQ 空洞固有の問題点に帰着するので、第 2 RFQ のデザインあるいは製作法に反映する必要がある。

4. MEBT

現状：

- 1) 29 mA のビームを高い透過率（~98%）で輸送している。
- 2) DTL への最終的なマッチングパラメータの決め方が縦横とも明確

ではない。

- 3) チョッパーとプリチョッパーの連動テストがなされていない。
- 4) プロファイル測定が不十分である。
- 5) スクレーパーの最大負荷テストが行われていない。

今後：

- 1) マッチング状態は DTL 加速ビームと関連させて行う。
- 2) チョッパーとプリチョッパーの連動テスト。
- 3) スクレーパーの最大負荷テスト。
- 4) RFQ と MEBT の整列状態について、データを積み重ねる必要がある。

5. RF

現状：

- 1) 安定に電力を供給している。
- 2) 電圧、位相の取込みがされていない。
- 3) 低周波の振幅のゆらぎが見られる。
- 4) FB のチューニングがまだ常に最善ではない。

今後：

- 1) 低周波ゆらぎの原因追及
- 2) 安定な FB チューニングの実現
- 3) DTL-1 の phase scan (部分的)
- 4) チューナーコントロールの方法
- 5) デチューニングの方法
- 6) 各タンクの振幅と位相の取込み
- 7) 各タンクの間位相差の測定
- 8) 新しいチョッパー-low level driver のテスト
- 9) 各セクション相互の位相基準の関係

6. モニター

今後：

- 1) 位相測定用の FCT 系
- 2) 位相測定用のシステム

- 3) チョップビームの CT 測定
- 4) スペアナによるバンチ幅測定法の確立

位相測定用（タンク電場決定用）の FCT 系は、システムとして自動化する必要がある。各 RF システムにつき 2 時間の測定時間が必要ならば、全体で 84 時間必要となる。

7. 空洞

- 1) シャントインピーダンスの精度のよい測定法
- 2) ピックアップモニターの精度のよい校正法

8. 制御

- 1) 各グループの運転に必要な制御項目のまとめ
- 2) コミッショニングに必要な制御項目のまとめ

9. アラインメント

- 1) 昨年 7 月のビームテストでは、第 1Q 磁石の y 方向のステアリングを 2.8 mrad 振ると、ビームの透過率とエミッタンス増加が著しく改善された。1 月のテストにおいては、第 1Q 磁石のステアリングの効果が顕著でなくなっていた。この間に、RFQ チューナー改善工事、LEBT の修正工事等が行われている。MEBT では、プロファイルモニターの取り付け工事、ターボポンプ故障があった。
- 2) レーザーアラインメントについては、現在行っている DTL-1 設置の経験を踏まえて、検討を行う。

RFQ-MEBT アラインメントについては、現在行っている DTL-1 設置工事にあわせて再測定を行っている。この事例から考えても、定期的に整列状態を確認する事は、重要と思われる。

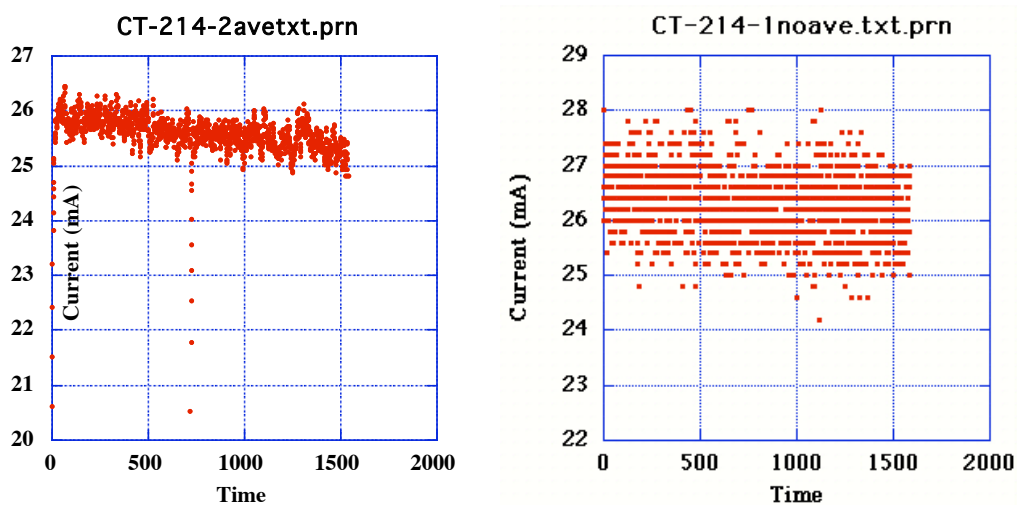


図1 MEBT CT 測定 (~ 20 min). 左図：平均 (10 回程度)，右図：平均なし

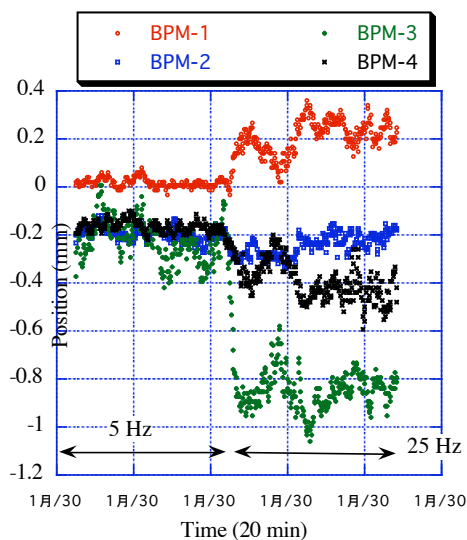


図2 MEBT BPM (ビームポジションモニター) 出力。途中でビームの繰り返し周波数がかわっている。最上部の赤線は、MEBT の第1 Q磁石の中に組み込まれた BPM 出力であり、BPM-1 は RFQ 架台と一体である。したがって、RFQ からの出力ビームの横方向位置が繰り返しの変化により 0.2mm 程度ずれた事を示しており、RFQ と MEBT の整列状態とは無関係な現象である。これは、以下のような深刻な問題を提起している。実際の運転時には、MR 行き、あるいは RCS 行きのビームパルス的一方だけを止める運転パターンが予想される。あるいは RCS の各ユーザーへ供給するパルスを選択的に止める事も予想される。イオン源動作を変更して、これに対処しようとするれば、イオ

ン源の状態の変化により **MEBT** への入射ビームが大きく変わる事になる。安定するのに約 30 分程度必要となり、リニアック全体の調整が必要になる可能性もある。不安定な状態で大強度のビームを続ける事は難しいので、イオン源が安定化してリニアックビームのチューニングが終了するまでは、ユーザーへのビーム供給を止めて、リニアックモードで運転すると思われる。高崎教授が唱えるように、その都度、**MEBT** のビーム軌道補正を行う事で対処する方法は、実際には、以上述べたように、ユーザーへのビーム供給を止め、多くの時間と労力をその都度必要とする事を意味している。**MEBT** において、性能が良い自動位置補正システムを構築する事も考えられる。しかしながら、このようなビーム位置変化には、その他のビームの性質も変化を伴う事はおおいにありうる事と予想する。**MEBT** だけのチューニングで **OK** とすれば、幸運というべきと思われる。結論として、イオン源の動作状態は一定にしておき、その他の方策により、ビームの繰り返し数を変更する事が、もっとも簡便と考える。

コメント：**RFQ** への入射補正について、すでに十分補正しているという考えを、前段グループは表明しているが、本図が示す現象は、**RFQ** への入射が適切にチューニングされていないから起こっていると考えられる。**RFQ** ダイポールモードの変化により、**RFQ** 出射ビームの位置が変化するという理由は、本図においては適用できない。本図の動作範囲では、**RFQ** の空洞電圧は変化していないからである。更に、**RFQ** のダイポールモードの励起を押さえる為に、**PISL** が導入されて、モードセパレーションは十分な大きさである。また、製作上の不具合により 4 本のベインが非対象であり、ダイポールモードが励起されたとしても、第一には、チューナーにより、補正が可能であり、次には、ビームを適切に入射させる事で、効果を押さえる事ができる。その意味でも入射補正が重要なのである。**PISL** を使い、4 個の **quadrant** の電場分布をチューナーでチューニングしているにもかかわらず、このような現象が観察されるという事は、入射にミスマッチがある事を示している。**PS DTL** でタンクレベルの変化により（ダイポール電場により）ビームの出射位置が変わる現象があると高崎教授が繰り返していわれ

るが、第一には、入射エラーを疑うべきものと考ええる。この場合、DTLでは、収束磁場中心と高周波中心（高周波デフォーカス中心）は一致していない事、これにたいして、RFQでは、収束力の中心位置は高周波中心である事に注意する必要があると思われる。なお、DTLでは、two feed drive法により、ダイポールモードの励振を押さえる方法を採用している。

2003年2月査定へのコメント

リニアック全体設計は、ビームに関係する事は、デザインおよび製作について、検討を行う事になっています。この2月の予算見直しに関する資料を昨日入手したので、本日の話と関連する事項を中心として意見を記します。これらは、本来全体設計打ち合わせにて検討する事項ですが、現在、全体設計とリニアックコミショニングは合同で LCG を行っていますので、本日の議題を補完するコメントといたします。

1. RF イオン源については、その振幅変調が重大な問題となる可能性があるため、それを採用すべきかどうかについてさらに検討を要す。
2. 中間パルス歯抜けに関しては、イオン源電流増強後、MEBT スクレーパーのテストを行った上で、イオン源電源に必要かどうか決める。現時点では必要性は低いと予想する。加速器リーダー会議において要請があったとあるが、それはいつの事か。記憶によれば、リニアック全体設計では、そのパワーからみて、チョッパーの動作変更で対処可能と述べているはずである。
3. 50 mARFQ については、その必要性に関する検討が不十分であり、見切り発車は必要でない。

なお、PISL の不具合、pre-chopper ノイズに関しては、初段グループにたいして次回の LCG にて報告を求める。

4. 25 Hz のまびきの方法は、イオン源、RFQ 等の性能を損なわない方式かどうか。
5. 各タンクのチューナーFB はどのようになっているか。
6. バンチ長測定のスぺアナは？
7. L3BT のアナライザー磁石は、設置要求の経緯、およびその活用性から考えても、リンググループが請け負うのが適当と思われる。

全体的には、初段グループに大きな仕事がありすぎるので、持っている力

が分散化されてしまうと思われる。そうした大予算の弊害の例として、プリチョッパーRFのノイズがあげられる。既に、昨年までのRFイオン源テストにおいてノイズが問題であるとの指摘がされていた。プリチョッパーにおいても、高周波ノイズが問題であるとして、その対策費として相当額を要求している。これは、同時に多くの仕事を抱えている等の故に、必要な対策がなされなかった事をうかがわせる事例と思われる。このような状態で、「RFイオン源周波数をあげればうまくいくはずである」程度の見積りのもとに、新たな開発を始める事は、リスクが高すぎる。

現時点で、当初のビームの質に大きな影響をあたえ、運転の効率を決める重点項目は、アラインメント、モニター、RF low level と考えられる。この中で、運転開始以後でも、仮に欠点がみつかった場合に、比較的容易に改良が積み重ねられるものと、運転後の改良が難しいものとの区別を行い、予算を重点的に配分する事が効率的と思われる。