

STATUS OF LNS-LINAC AND IMPLEMENTATION FOR A HIGH REPETITION AND INTENSE ELECTRON BEAM LINE

K. Shinto¹, H. Hama, F. Hinode, M. Kawai, A. Kurihara, A. Miyamoto, M. Mutoh, M. Nanao, Y. Noguchi, Y. Shibasaki, S. Takahashi, T. Tanaka

Laboratory of Nuclear Science, Graduate School of Science, Tohoku University, 1-2-1 Mikamine, Taihaku-ku, Sendai 982-0826, Japan

Abstract

Operation status of a 37-year-old 300 MeV electron linac in FY2003 at Tohoku University is presented. Because of the small budget for the electricity, most of scheduled machine times in January and February, 2004 were cancelled. However total user-time had reached 2800 hours (operation-time of machine was totally 3500 hours), which is probably the most longest machine time recorded in these years. A future project to divide the present linac into a new injector linac and a high average intensity linac is also discussed.

核理研線形加速器の現状と高繰返し大電流電子ビームラインの整備計画

1. はじめに

東北大学原子核理学研究施設の300MeV電子リナックは1996年の1.2GeV電子シンクロトロン(STBリング)の完成以来^[1]、おもにリングへの入射器として運転されてきたが、リングのストレッチャー機能を用いる電子散乱などの原子核実験や^[2]、核化学等の分野に用いるラジオアイソトープ生成等の高繰返しモード(300pps)による高平均ビーム電流運転にも、多くの時間をユーザータイムとしてきた。

2001年以降、STBリングの安定な運転が確立したことにより年間運転時間が延びてきたが、リナックの冷却塔の更新、GeV線実験棟の新設などの長期に渡る工事期間があったため、FY2001年及びFY2002年は2500時間程度の総運転時間に留まった。

昨年度(FY2003)はメンテナンス以外のスケジュールされたシャットオフ期間はなかったが、順調なマシンタイムの消化が継続した結果、電気代を中心とする施設運営費が底を突く事態が発生し、結局2004年の1、2月の殆どの運転を取り止めた。心外な事態ではあったが、総運転時間は3400時間に達し、また故障による予定外シャットオフ時間は僅か1.6%であった。

37才になる加速器でこのような長時間の運転ができたことは、メンテナンスの努力と運の良さによるものであって、楽観的な将来があることは全く異なっていることを我々は認識している。原子核物理実験が中心のマシンタイムではあるがその内容も多岐に渡り、核化学を中心としたRI製造など、非常に多くのマシンパラメータを頻りに変えて運転している。運転方法やメンテナンス作業の合理化と加速器全体の特質把握を更に積極的に進め、加速器に過剰な負担を与えない状況を押し進め、将来計画の実現まで漕ぎ着けたいと考えている。

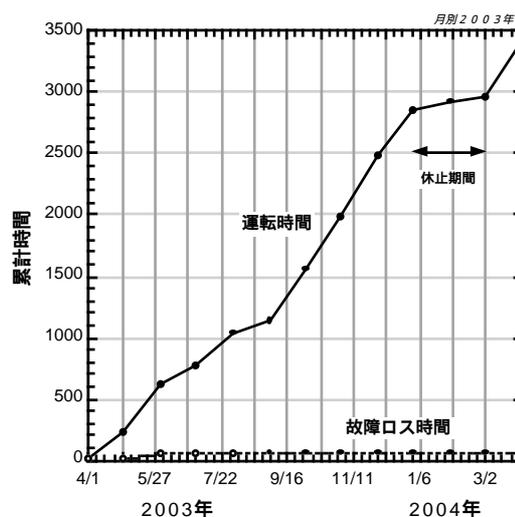


図1: FY2003年の総運転時間及び故障に因るロス時間の推移。

2. 運転モードと統計

2.1 運転モードの概要

図2にFY2003年度のリナックの運転時間の内訳を示した。プースターへの入射タスクが昨年度に比べ飛躍的に延びたが、これは新実験棟での測定システムがかなり整備されてきたことによる。またプースター運転における線生成のビーム運動学的な問題点がほぼ明らかになり、その対策が進んだことも

¹ E-mail: shinto@lns.tohoku.ac.jp

理由の一つである。

ブースター入射のエネルギーが150MeVと200MeVの2種類があるが、これは5台あるモジュレータの1台が何らかの不具合に陥った場合、即座に150MeV入射に切り替える運転手法が確立したからである。リング側のオプティクスやビーム輸送入射のチューニングがこれまでのマシンスタディによって系統的に調べられてきており、リナックの高エネルギー側の3台のモジュレータのどれか1台の故障であれば、1～2時間程度のロスタイムで復帰できるようになった。

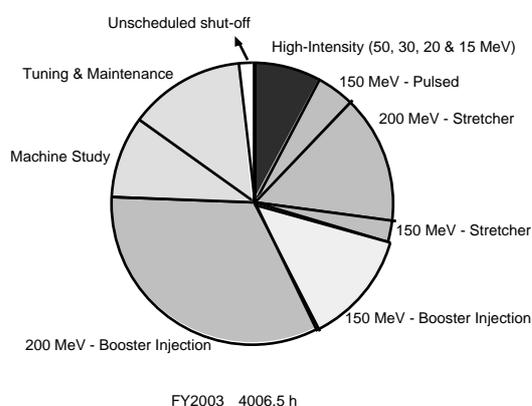


図2：FY2003年の運転時間の内訳。メンテナンスにおけるビームチューニング時間も含む。

ブースター入射では、ビームは加速後一定時間（例えば30秒）ストレージされて制動放射線を生成する。従って、リナックでの負担は非常に軽く、リナックや輸送系でのビーム損失による放射化等の問題も殆どない。

しかしながら、STBリングをパルスストレッチャーとして運転する場合、ビーム取り出しを放射光放出のエネルギー損失によるチューンシフトによって3次共鳴にあてる方法で行っているため、ビームエネルギーとパルス間隔（繰返し周波数）は強い相関を持っており、100%に近いデューティファクターを得るには、200MeVで300Hz、150MeVでは100Hz、140MeVでは50Hzの繰返し周波数にせざるを得ない。200MeVは現在のところ安定にある程度のビーム電流を得られる最大エネルギーであるため、このエネルギーのストレッチャー運転が最もリナックにとって厳しい条件である。

2.2 高平均電流運転（RI製造）モード

更に大きな問題点はHigh Intensityとした低エネルギーでの高平均ビーム電流運転にある。製造するRI核種や実験条件の要請から、非常に様々なエネ

ルギーのビームが要求されている。昨年度は15～50MeVまで4つの運転モードが時期を選ばず供給せねばならなかった。High Intensityモードでは電子銃からバンチャー及び最初の加速管（A1）までを同一のコンディションで運転することになっているので（その都度大きくパラメータ変化させることほど非合理的ではないので）、換言するとモジュレータの1号機がドライブする加速管（A4）までは、最終エネルギーに関わらず同一条件で運転する。このA4加速管を出ると約120mAのピークビーム電流のマクロパルスエネルギーは25MeVになる。

モジュレータ2号機がドライブするA5～A8までの加速管では減速する運転もあれば、そのまま加速する運転まで多様な条件を持つことになってしまっている。

ビーム品質ということ考えると最適化条件から大きく離れたエネルギーでは、良質のビームを望むことは殆ど不可能であることは十分理解されるであろう。従って現在のところ、120μA以上の平均電流を出すだけのチューニングに留まっており、輸送系の最適化やビームエネルギー広がり抑制するような方策はとられていない。しかしながらCOACKをベースに構築された制御システムで運転パラメータのデータベース化とその解析が容易になり^[3]、運転モードの変更とビームチューニングにかかる時間は非常に短縮されてきた。

表1：FY2003年の低エネルギー高平均ビーム電流運転時間の内訳。加速繰返しはいずれも300pps。

Beam Energy (MeV)	Operation Time (h)	Portion (%)
50	68.4	22
30	203.0	66
20	24.3	8
15	13.5	4

3．高繰返し大電流ビームラインの整備計画

3.1 入射部とリナックの機能分割化計画

核理研300MeVリナックは完成以来大きな改造を殆ど行わず、ほぼそのままの形態で運転されてきた。そのため、現在の加速器科学のレベルとくらべ著しく劣っている技術的な問題点や、製造時の情報が失われており、勘に頼ってビームチューニングを行わざるをえない部分も多い。本来加速器は完成した瞬間からスクラップアンドビルドを繰返して行くものであるが、滞りが生じたまま現在に至ってしまったために、小手先の改造などで対処できる問題は殆ど残されていない。

リングへの入射器の機能は十分果たして行かなければならないが、RI製造のための高平均電流運転と常に共存した運転は非常に非合理性を感じるところにある。

多様化したビーム応用や新しい科学分野の開拓に、このままでは立ち向かえない状況にあることは誰もが認めるところである。現状の核理研リナックの運転形態は高エネルギー低平均ビーム電流と低エネルギー高平均ビーム電流という2つのカテゴリーに大きく分類できる。ブースター入射を中心とする高エネルギー運転は現在の低エネルギー部と高エネルギー部の間に熱陰極RF電子銃を配して、低エミッタンスの良質ビームの単独加速が可能になるようにする計画を進めている^[4]。

一方、低エネルギー部からのビームは現在120 μ Aという高電流をユーザーに供給しているが、これは300Hzという極めて高い繰返し運転ができるモジュレータ等の、際立った特徴を活かしたビーム利用と行うことができる。近年になって世界各地で利用されるようになった電子線による滅菌あるいは食品発芽処理などに用いられるリナックは10MeV以下のビームエネルギーで、平均電流をできるだけ高くしたものである。医療器具などの滅菌処理などの高効率化のために電子ビームを広げるあるいは空間的なスキャンを行って、製品をベルトコンベアなどで移動させる「大量生産」方式が中心的な方法である。

核理研においてはこのような営利事業としての電子線滅菌とは異なり、開発途上にあたり、プロトタイプとして製作されたような器具の滅菌を、比較的lowエミッタンスビームで丁寧に形状をなぞるような特殊な滅菌などの研究に用いる利用を将来的に可能にする改造を考えている。

3.2 低エネルギー部の改装計画

現在計画中の核理研リナックの改装は図3に示すような構想である。B-partとした高エネルギー部は熱陰極RF電子銃からの電子を3m加速管4本で

150MeVまで加速してSTBリングへの入射を中心とする運転を行う。またRF電子銃からの高輝度ビームを用いてFELあるいはコヒーレントテラヘルツ光生成などの基礎研究を行う。

低エネルギー部(A-part)も現在そのまま運用を続けることは老朽化の問題が非常に大きい。そこで高繰返し運転の実績がある医療用あるいは滅菌用のリナックをアップグレード的な改良を施し、lowエミッタンスビームの入射器として用いることを考えている。またビーム輸送系も詳細な計算に基づいた集束系の配置を考え、バンチャー部以外での損失を無くし、アーク部についても現在の非常に大きなエネルギー分散関数を、50cm程度まで抑えたオプティクスを設計している。

4. まとめ

核理研300MeVリナックは現在も非常に大きく研究活動に貢献している。しかしながら、40年に渡って全く同様な運転を継続することは、ある意味では研究の停滞とも言える。その意味では、新たな電子ビームを用いた研究分野を開拓して行くよう改良や改装が急務であると強く考えている。

参考文献

- [1] H. Hama, et. al., Proc. The 17th Int. Conf. On High Energy Accelerators, Tsukuba, Japan, (2001).
- [2] T. Tamae, et. al., Nucl. Instr. and Meth., A 264 (1988) 173.
- [3] Y. Shibasaki, et. al., Proc. The 26th Linear Accelerator Meeting in Japan, (2001) pp.282-284.
- [4] H. Hama, et. al., to be published in Nucl. Instr. and Meth. A.

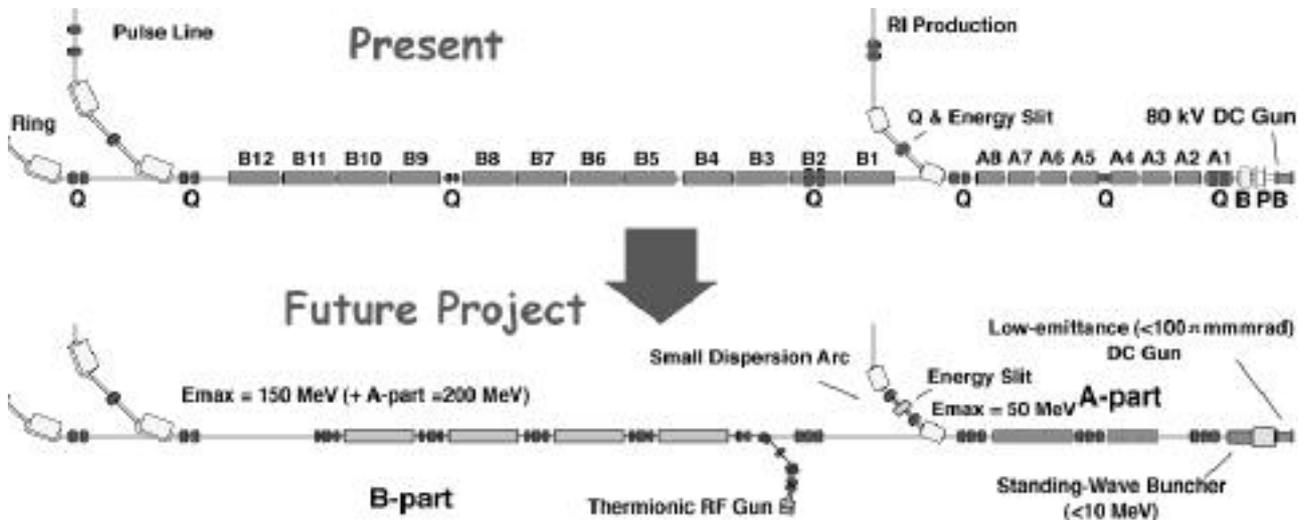


図3：核理研リナックの改装構想。