

東北大・核理研の加速器の現状

神藤勝啓¹、栗原亮、柴崎義信、高橋重伸、田中拓海、七尾晶士、濱広幸、日出富士雄、宮本篤、武藤正勝
 東北大学大学院理学研究科附属原子核理学研究施設
 〒982-0826宮城県仙台市太白区三神峯1-2-1

概要

東北大・核理研はライナックとストレッチャーブースターリングの2つの加速器を有する。これらの加速器について2000年度の状況を報告する。

1. はじめに

東北大・核理研では、1967年に運転開始以来、今年で35年目を迎えるライナックと1997年10月より運転を開始したストレッチャーブースターリング(STBリング)の2つの加速器が稼働している。この2つの加速器は、教官3名、技官5名、大学院生2名の計10名によって運転・維持・研究されている。

近年のライナックの主な使用目的は、RI 照射実験のビーム源、原子核実験を行うための STB リングへの入射器、コヒーレント放射実験などのパルスビーム実験のためのビーム源としての3つの役割を果たしている。これらの実験のためにライナックは年間2000時間以上の運転を行っている。本稿では、2000年度の運転状況、老朽化に対する諸機器の更新、加速器研究の状況などについて報告する。

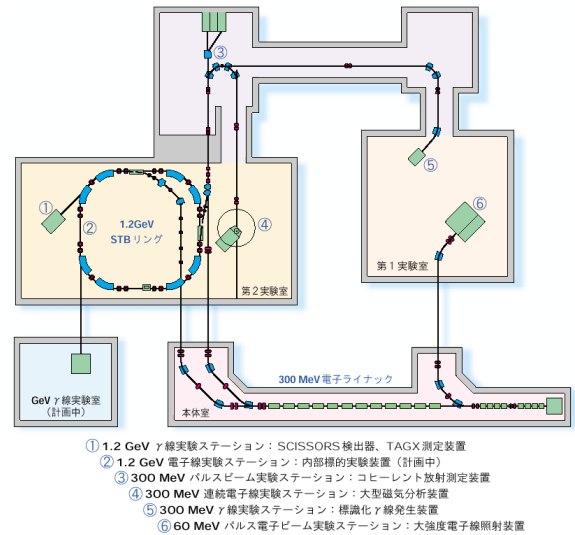


図1：東北大・核理研の実験施設レイアウト

第1表：ライナックの運転パラメータ

	第1実験室	第2実験室
実験種類	RI 照射	原子核・加速器・放射光
ビームエネルギー	20~60 MeV	150~200 MeV
ビーム幅	3 μs	最大3μs
繰り返し	300 pps	最大 300 pps

2. 運転状況

2.1 運転の概要

核理研には、電子ライナックとストレッチャーブースターリングの2つの加速器が図1のように配置されている。ライナックの20本の加速管は5台のクライストロンによって、1台あたり4本の加速管が駆動されている。第1実験室で行われる実験の場合には、前半の8本の加速管を用いてビーム加速を行い、実験室へビームを供給している。150 MeV以上の高エネルギービームを用いた第2実験室で行われる実験の場合には、4~5台のクライストロンを用いて、第2実験室へビームを供給している。ライナックの運転時のパラメータについて第1表に示す。実験の用途に合わせて、第1実験室へはビームエネルギー20~60 MeV、パルス幅3 μs、繰り返し300 ppsのビーム、第2実験室へはビームエネルギー150~200 MeV、パルス幅1~3 μs、繰り返しはブースター運転時の数10秒に1回の場合からストレッチャー運転時の最大300 Hzでビームを供給している。

2.2 共同利用の状況

第2表に最近のマシントイムの実施状況を示す^[1]。'95年度から'98年度まで第2実験室は STB リングの建設及びコミッシュニングのため、ユーザー利用は第1実験室で行われる RI 照射実験のみであった。中性子実験については、STB リング建設のためのシャットダウン時に終了した。'99年度以降、ユーザー実験のための第2実験室へのビーム供給を再開し、現在年間2,000時間以上の運転を行っている。共同利用実験参加者数も、学内学外合わせて年間100人を超えている。今後も運転時間は増加する傾向にあり、STB リング建設以前の200シフト(=2,400時間)以上の運転を実施していくことが予想される。

¹ E-mail: shinto@lns.tohoku.ac.jp

第2表：マシンタイム実施状況
(単位：シフト，1シフト＝12時間)

年度	原子核	中性子	RI	その他	合計シフト数
1991	144	28	37	40	249
1992	108	21	37	39	205
1993	126	22	33	58	239
1994	65	10	28	29	132
1995			16		16
1996			22		22
1997			21		21
1998			27		27
1999	65		28	47	140
2000	126		29	33	188

2.3 マシントラブル

ライナック及び施設の老朽化が進行しているため、様々な箇所でマシントラブルが生じている。

ライナック関係では、プリバンチャーの移相器の故障、ライナック加速管出口のスリット (SDII-X) やパルス実験用コースのアナライザースリット (SAII) が摩耗による機械的な故障や、クライストロンパルサー2号機 (KP#2) のフォーカスコイル電源のトラブルや KP#4内の変圧器1次側導入端子の炭化、ダイオードスタックの破損による整流回路の故障など電気的な故障などがあった。これらの殆どは既に復旧済みであるが、SAIIについては、今年度スリット一式を新たに製作する予定である。ライナック及び実験室へのビーム輸送ラインには、25台のイオンポンプを設置しているが、放射線によって数本の高圧ケーブルが不良になったので交換した。また、イオンポンプ本体も1台故障したため、今年度初頭に交換を行った。その他に大きなトラブルとして、KP#4のクライストロン本体の破損もあった。このクライストロンは、運転時間が約3,000時間と核理研ではかなり短い時間しか使用をしていなかったのであるが、フィラメントの断線が原因と思われる。

施設については、ライナック本体室の非常用インターロックスイッチ回路の一部が地絡した。早急に復旧した。

リング関係では、一昨年9月に原子核実験のγ線取り出し用ポートの付いた真空チェンバーを新たに製作・設置したが、そのチェンバーに製作不良があったため、昨年8月に改修工事を行った。また、放射線によるイオンポンプ電源や高圧ケーブル、ビームモニターのリミットセンサー部回路素子の破損などもあったが、加速器のスタディを進めていった結果、損失ビームによる放射線量を軽減出来たため、以前に比べて機器の破損は格段に減少している。

3. 機器の更新

3.1 ライナック冷却塔の更新^[2]

建設以来30年余りの長期にわたり使用してきたライナック冷却系の冷却塔は昨年8月中旬から約1ヶ月かけて更新設置工事を行われた。またこの工事に伴

い、冷却塔水系の主ヘッダー往還配管の洗浄及びクライストロン変調器の冷却水配管の交換を行った。冷却塔の冷却能力は、これまでの320冷却トンから400冷却トン (200冷却トンを2基接続) になり、新たに凍結防止ヒーター、水位警報、導電率ブロー装置、薬品注入装置の備わった冷却塔に更新された。現在は、冷却塔の水温は 22 ± 1 °C、導電率は $500 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下で運転されている。

3.2 ライナック制御系の更新

昨年度よりライナック制御系には、高エネルギー加速器研究機構と東北大・核理研と核融合科学研究所とで共同開発されてきた制御システムソフトウェア「COACK」を導入した。このソフトウェアで、核理研ライナック5本のクライストロンパルサーの電圧制御、加速管20本のRF出力エンベロープのモニター、ビームロスモニター、エネルギー分析電磁石磁場のモニター、スクリーンモニターの制御などを行っている。ポスター発表「東北大学リニアック制御系改造」(2P-16)^[3]で詳しく報告する。

4. 加速器研究の状況

4.1 STB リングのレベル測量

長期間にわたって、ビーム停止時にはSTBリングのレベルの測量が行われている。この結果については、ポスター発表「STB リングのレベル測量」(2P-30)^[4]で詳しく報告する。

4.2 STB リングでのビーム実験

昨年度はSTBリングを用いた1.2 GeV 加速実験に多くの時間が費やされた。ライナックから、200 MeVのビームエネルギー、約1%のエネルギー幅、 $1.5 \mu\text{s}$ のパルス幅、水平及び垂直とも約300 nmradのエミッタンスのビームを入射している。

STB リングに入射されたビームは1.1秒で最大1.2 GeV まで加速する事が可能であり、加速エネルギーはこの間で任意に決めることが可能である。また、トップエネルギーでのビーム蓄積時間もトランスの容量内で任意に決めることが可能である。

周回ビームのチューン測定には図2に示すようなストリップライン型電極を用いたチューン測定を行っている。核理研では、4つの電極のうち、対角の2つの電極に外部から任意波形発生器を用いて0.5～2 MHzの白色ノイズ(信号)がアンプを介した後に、互いを逆位相にしてそれぞれの電極に印加されて、周回ビームに擾乱を与える。残りの2つの電極より信号をピックアップして、2つの信号の差を取り、スペクトラムアナライザーで、チューンの時間変化を測定している。対角の電極の差信号で測定を行っているので、水平・垂直の両方のチューンを同時に観測出来る。

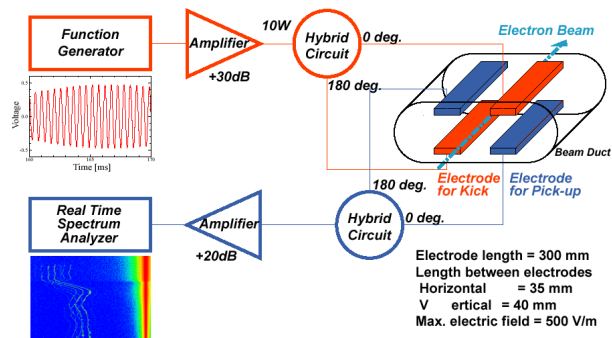


図2：STBリングでのストリップライン型電極を用いたチューン測定システム及びチューン測定結果

ライナックからの入射ビームのチューンは、水平垂直それぞれ(3.24, 1.21)であった。またクロマティシティを測定した結果は、水平及び垂直方向でそれぞれ(〜5.5, 〜4.7)であった。STBリングには、取り出し用の6極電磁石以外には6極電磁石が設置されていないため、クロマティシティ補正は未だ行われていない。将来的には6極電磁石を設置して補正を行う予定である。

昨年度は限られたマシンスタディの中で、1.2 GeV加速時に最大20 mAのビームを周回させることが出来た。現在のところ、ビームのライフタイムは約10分であり、これはリングの真空度で制限されているが、少しずつライフタイムは増加している。

STBリングに入射されたビームが、リング内で加速される間のチューンの変化を、図2のシステムを用いて測定を行った。その一例を、図3に示す。ビーム入射直後で、水平・垂直方向のチューンが、接近して交差していることが観測された。またこの時にビーム損失が生じることも確認されており、カップリングによる差共鳴に当たったためということが分かった。^[5]

5. まとめ

東北大・核理研の2000年度の運転状況、老朽化による機器の更新、加速器研究についての報告をした。ライナックに関しては、これまで30年余り運転を行ってきたために、今後も老朽化による故障・不具合が生じることは明らかである。これらについては出来る限り早急に更新を進めていく必要がある。

Tune Shift @ Boost up (200MeV~930MeV)

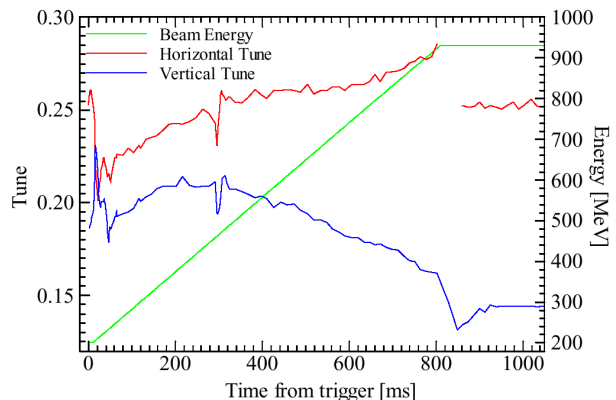


図3：STBリングへのビーム入射時から加速終了時までのチューンの変化の一例(入射エネルギーは200 MeV、加速エネルギーは930 MeVの時)

また、'97年よりSTBリングの運転を開始しているが、リング入射のための入射器としてはリングのアクセプタンスとのマッチングを調べるための装置、手順などが未だ不十分である。ライナックビームのパラメータを測定するためのモニターの設置と共に、加速器特にライナックのスタディを精力的に行い、ビーム損失の少ない効率のよい運転を行う必要がある。

ビーム実験については、今年度は主にストレッチャービーム生成のためのビーム取り出しのマシンスタディを行っていく予定である。ブースター運転についても、加速中のチューンの変動を抑えたりするようにして、更に高強度・高品質ビームの生成、蓄積のために引き続きスタディを進めていく。

参考文献

- [1] A. Kurihara et al., Proceedings of the 25th Linear Accelerator Meeting in Japan, pp1-3 (2000)
- [2] 高橋重伸他, 平成12年度東北大学技術研究会報告集 pp56-58 (2001).
- [3] Y. Shibasaki et al., in these proceedings.
- [4] S. Takahashi, in these proceedings.
- [5] H. Hama et al., Proceedings of the 18th International Conference on High Energy Accelerators (HEACC2001), to be published.