

STATUS OF OPERATION AND DEVELOPMENT OF ACCELERATORS IN LNS, TOHOKU UNIVERSITY

Masayuki Kawai, Kittipong Kasamsook, Akira Kurihara, Yoshinobu Shibasaki, Shigenobu Takahashi, Kenichi Nanbu, ,
Fujio Hinode, Mafuyu Yasuda, Hiroyuki Hama
Laboratory of Nuclear Science (LNS), Tohoku University
1-2-1Mikamine, Taihaku, Sendai, 982-0826, Japan

Abstract

Laboratory of Nuclear Science (LNS), Tohoku University has been started since 1967. At present, everybody can presume it should be very difficult task to maintain the old linac. However, the operation condition in FY2007 was relatively stable due to various improvements. The total operation time of the linac and Stretcher Booster ring (STB ring) was 3,900 hours. New developments and new project have been started. A test of a low emittance DC electron gun has been done. An experimental production of sub-ps pulse thermionic RF gun has been started as power feed test. And also a novel coherent light source project at THz wavelength region has been started. Operation status of the accelerator complex and the recent developments in FY2007 at LNS will be reported.

東北大核理研における加速器運転と開発研究の現状

1. はじめに

東北大学原子核理学研究施設は300MeV ライナック及び、1.2GeV シンクロトロンを保有し、原子核物理や放射化学、その他の多くの科学分野に電子ビームあるいは、光子ビームを供給している。核理研ライナックは建設から41年を経て現在に至っている。また1.2GeVのストレッチャーブースター(STB)リングについても既に建設から11年を越え、さまざまなトラブルを抱えながらビームの供給を続けている。ここ数年、これまでスタッフが行ってきた地道な保守作業の努力が実り始め、加速器は極めて順調に稼動している。^[1,2]しかしながら2007年度は5台あるクライストロン・モジュレーターのうちの1台が充電部に致命的な故障が発生し、現在復旧に向けて努力中であるが、それでも一部に支障がでているもののビーム供給が継続されてきた。

また現在行なわれている開発研究の一つ低エミッタンスDC電子銃については低エミッタンス化の基本性能が達成され、応用研究を目指している。現在エミッタンスの測定準備に入った。短パルスRF電子銃については試作試験段階に入った。また高調波空洞を用いたSTBリングはバンチ長制御の実験準備を開始した。マイクロバンチの形状因子を保存したままSASEモードでのFEL発振を目指すアイソクロナスリングの概念設計も行なわれている。本報告では、2007年度の核理研加速器のビーム供給の状況と加速器関連の開発研究の現状について報告する。

2. 加速器の運転状況

東北大核理研の300MeVライナックは1967年の完成以来大きな改造や性能向上なしに41年間稼動して

来ている。2007年度のリニアック、STBリングの運転時間を合わせると、年間ビーム供給実績は前年度とほぼ同様の運転時間を維持し、3846時間に及んだ。図1. に2007年度の各運転モードにおける月別統計が示されている。この様な長時間運転を可能にしたのは、スタッフの努力が実り 深刻な故障に見舞われることもなく多くのシフトで連続24時間運転が可能となったためである。しかしながら年度末に5台のクライストロン・モジュレーターの内の1台の充電器部分に障害が発生し一部運転の停止を余儀なくされている。古い高電圧ト

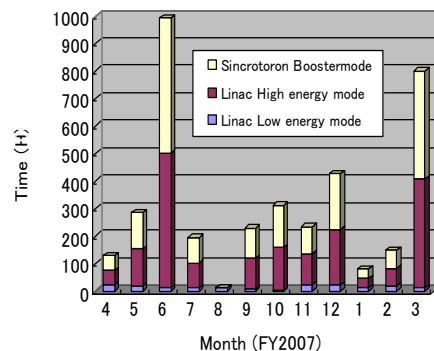


図1. 2007年度加速器運転時間統計

ランスのため修理の可能性は殆ど無いと判断、充電部にインバータ電源の導入を検討中である。しかしこの300MeVライナックは300ppsという非常に高い繰り返しで運転を行うため、現在入手可能なインバータ電源1台では充電パワーが足りないため、複数台の並列運転の可能性を議論している。その他の要素機器については、古くからの規格のた

め交換部品の入手が困難になりつつある。このため電子銃、サイラトロン等は新規格のものに交換できるように改善を進めている。

3. 研究開発の現状

3.1 低エミッタンスDC電子銃のエミッタンス測定

核理研開設以来リニアックの重要要素機器の一つとして、活躍してきた電子銃は、その形式の古さから、予備品の供給が難しくなってきた。現状では、完全な予備品がなく、カソード単体の予備や、古い電子銃本体などを組み合わせて動かし続けるしか方法がない状態である。

しかし、この状況下で核理研独自の低エミッタンス電子銃の開発をおこなっている。^[3,4] この電子銃は低電圧ながら3MV / m以上の強電界による加速、及び大電流密度 (>50A/cm²) を得るために単結晶LaB₆カソードを用いている。このためカソードの大きさを1.75φまで小さくすることができ低エミッタンス化が図られた。またカソードとビーム形成電



図2.低エミッタンスDC電子銃及びエミッタンスモニター、右下に1.75φのLaB6カソード。

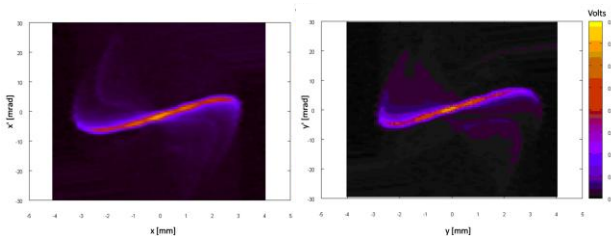


図3. X-Y方向の位相空間分布測定結果
エミッタンス: <math>< 1 \pi \text{ mm mrad}</math>

極との間に、1 kV 程度の負バイアス電圧を印加することで、エミッタンスの増大を抑制することも試みられ、その効果についても検証された。

現在50kV、300mA 以上の目標性能を達成している。更にスリットをもちいたビームサイズ測定、およびエミッタンス測定をおこなった。図2. に開発

中の低エミッタンスDC電子銃とエミッタンスモニターを示す。図2. にダブルスリット法による電子ビームの位相空間分布の測定結果を示す。解析の結果、1-2π mmmradの低エミッタンスであることが示された。このほか、エミッタンスの電流依存性や、バイアス電圧依存性などの基礎的性質を測定し、数値計算結果との比較を行った結果良い一致が得られた。

本開発は実用機の開発を目指すものであり、安定化、長寿命などの解決されなければならない多くの課題も残されている。しかしLaB₆カソードは現在まで8,000時間以上の連続運転に耐え、現在も安定に点灯している。

3.2 RF-GUN 試験用7MW高週波電源

一昨年 Spring-8 より譲渡を受けた7MWブースターモジュレータを格納する、電源建屋が2008年2月に完成、モジュレータを設置した。古い機械であることもあって細部まで理解できる資料に乏しかったが、何とか稼動に漕ぎ着けることが出来、定格の7MWの出力を確認した。このモジュレータは開発中の短バンチ生成用の熱陰極 ITC-RF gun^[5]や、そのほかの高周波機器のハイパワー試験に利用して行く。

図4.にモジュレータの設置状況やモジュレータの動作出力波形を示す。

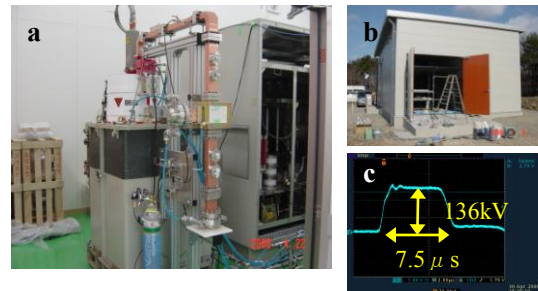


図4.組み上がった7MWモジュレータ(a)、新設の高週波電源棟(b)、パルスランス高電圧パルス出力波形(c)。

3.2 アイソクロナスリングによるTHz光源の開発

現在、非常に高強度なコヒーレント THz高の生成を目指した光源開発の研究を進めている。一般的なリングは一度偏向部で強い放射をおこなうと、このCSR (Coherent Synchrotron Radiation) により自ら電子バンチの分布を乱す。この問題を解決しようとするものがアイソクロナスリングである。この考え方は、リング一周で積分した運動量収縮因子 (momentum compaction factor) がゼロである、従来の考え方のアイソクロナス (等時性) ではなく、機能

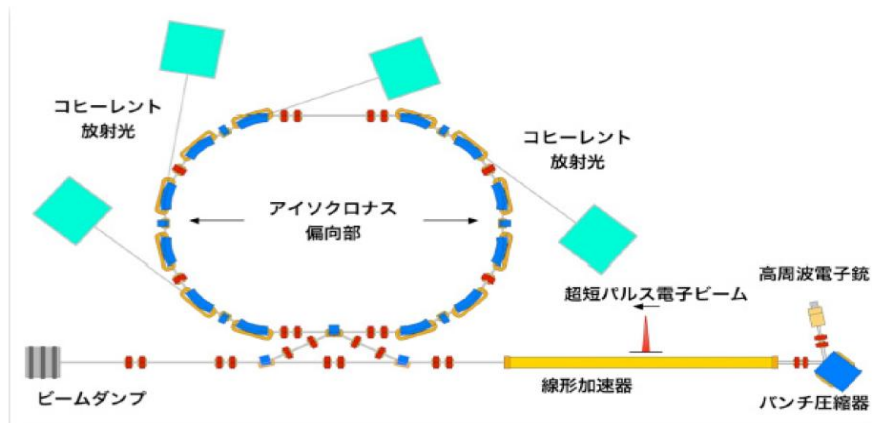


図5.現在東北大学核理研で検討が進められているアイソクロナスリングによるコヒーレント THz光源開の設置予想図。

複合電磁石を用いた、エネルギー分散がアークのどの場所においても殆どゼロであるような無分散リングである。[6]この光源加速器は、100 fs 程度の非常に短い電子バンチを生成し 50MeVまで加速し、そのバンチ長をリング全体において短く保存したままコヒーレント放射光を発生させる。入射器には独立2空洞型の熱陰極RF電子銃とアルファ電磁石を用いたバンチ圧縮機を用い短バンチビームを生成する。この入射器は50MW S-band クライストロンからのRF電力を、RF電子銃と3 m加速管に分配して供給する予定である。現在、THz領域での放射を目指して形状因子を保存することを目標に概念検討を行っている。東北大学核理研において計画中的アイソクロナスリングの設置予想図を図5.に示す。

当初は高次の運動量までの補正することを考慮して、6極電磁石をふくめたTriple Bend Acromat 光学系のバンチ圧縮器を検討してきた。しかし、最近になって、General Particle Tracer や我々の開発したFDTD code を用いたシミュレーションによる検討を進めた結果、2 MeV 以下の低いビームエネルギーにおいては、空間電荷効果によるバンチ伸長やエミッタンス増大が無視できないことが分かってきた。このため、電子銃から出たビームは可能な限り短い距離で加速管に導く必要がある。現在、空間電荷効果を考慮した上で、バンチ圧縮器アルファ電磁石を用いてコンパクトな入射器を構築すべく、設計を進めている。

4. まとめ

2007年度、加速器は極めて順調にビームを供給した。これと平行して行われている低エミッタンス電子銃、短バンチRF電子銃の開発研究の現状について述べた。さらに東北大学核理研が進めているコヒーレント THz 光源について述べた。

参考文献

- [1]H. Hama, M. Kawai, F. Hinode, A. Kurihara, S. Takahashi, Y. Shibasaki, T. Tanaka, Proceedings of the 2nd Ann. Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (July 20-22, 2005 Tosu Japan), p19-21.
- [2] M. Kawai, F. Hinode, A. Kurihara, S. Takahashi, Y. Shibasaki, K. Nanbu, T. Mutou, T. Tanaka, K. Kasamsoonk, K. Akiyama, M. Yasuda, H. Hama Proceedings of the 3rd Ann. Meeting of Particle Accelerator Society of Japan(August 2-4, 2006 Sendai Japan), p284-286.
- [3] K. Kasamsoonk, M. Kawai, F. Hinode, K. Nanbu, T. Mutou, T. Tanaka, K. Akiyama, M. Yasuda, H. Hama Proc of 28th FEL 2006, Berlin Germany(2006).
- [4] K. Kasamsoonk, M. Kawai, F. Hinode, K. Nanbu, T. Mutou, T. Tanaka, K. Akiyama, M. Yasuda, H. Hama Proc of 28th FEL 2007, Novosibirsk,Russia Germany(2007).
- [5]T. Tanaka, F. Hinode, M Kawai, A. Miyamoto, K. Shinto, H. Hama, "Simulation Study of a Thermionic RF Gun for High Brightness and Short Pulse Beam", Proc. PAC2005, Knoxville, TN, USA (2005) pp3499 – 3501
- [6]H. Hama, H Tanaka, N. Kumagai, M. Kawai, F. Hionde, T. Muto, K.Nanbu, T. Tanaka, K. kasamsook, K. Akiyama and M. Yasuda New Journal of Physics 8(2006)292