

OPERATION STATUS OF LNS ACCELERATOR AND DEVELOPMENT

Masayuki Kawai, Fujio Hinode, Akira Kurihara, Shigenobu Takahashi, Yoshinobu Shibasaki, Kenich Nanbu, Toshiya Mutou, Takumi Tanaka, Kittipong Kasamsook, Akiyama Kazushi, Mafuyu Yasuda, Hiroyuki Hama
Laboratory of Nuclear Science, Tohoku University 1-2-1 Mikamine, Taihaku-ku, 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, and it would be hard to replace most of devices with new ones. However, the operational condition in FY2005 was drastically changed due to various improvements. Therefore the total operation time of the linac and the Stretcher Booster ring (STB ring) was about 4,000 hours. New developments have been started. A low emittance DC electron gun test bench has been constructed. An experimental production of sub-ps pulse RF gun has been started. And a higher harmonics cavity for stabilization of STB ring has been tested at of line. And also a novel coherent light source projecta at THz wavelength region has been developing. Operation status of the accelerator complex and the recent developments in FY2005 at LNS will be reported.

東北大学核理研の電子加速器運転および開発研究の現状

1. はじめに

核理研リナックは建設から39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10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きた。最近では、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働している。この様な状況は新しい加速器技術の開発研究への意欲を沸かせ、幾つかの開発研究を活発化させる重要な切掛けとなった。現在行なわれている開発研究は低エミッタンスのDC電子銃、230fsの短バンチのRF電子銃の試作試験段階に入った。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っている。本報告では、2005年度の核理研加速器のビーム供給改善と加速器関連の開発研究の現状について報告する。

2. 加速器の現状

2.1 加速器の運転状況

核理研の300MeVリナックは1967年の完成以来大きな改造や性能向上なしに、主に原子核物理また放射化学物性を研究分野として39年間稼働して来ている。最近の加速器の運用、運転体制は教員3名、技術職3名の計6名で行っている。ユーザタイム中のマシンの監視については、ユーザー自身がこれに当たる。これが可能になったのは後で述べる、マシンの丹念な保守作業により、故障確立が著しく低減されることによるものである。2005年度の年間ビーム供給実績は図1に示されるように延べ4000時間にも及ん

だ。これまでは加速器は運転中に度重なる不調に見舞われ、そのたびに応急措置がほどこされたが、ビーム供給を優先するあまり、積極的な修理には至らなかった。しかし昨年度の加速器学会で報告したとおり、リニアックの真空改善、モニターの整備を積極的に行なった。^[1] その後更にRF電源、電子銃電源の根本的改善を行なった結果、昨年11月ごろから今日にいたるまでほとんど無停止で24時間運転に耐えられる状況に至った。

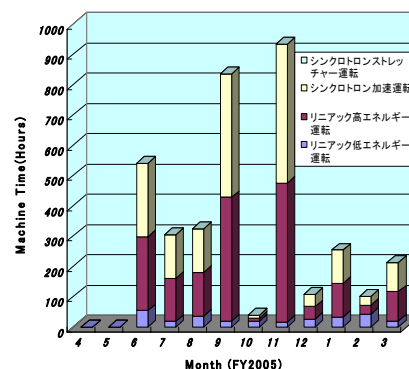


図1 2005年度月別運転時間統計

2.2 加速器の維持管理の課題と対策

開設以来リニアックの重要要素機器の一つとして、使用されてきた電子銃は、その形式の古さから、予備品の供給が難しくなっている。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ない状態である。一方、次章で述べる研究開発において核理研独自の低エミッタンスの電子銃の開発をおこなっているが、安定に利用運転に耐えられる水準に

達するには、まだ多くの時間とノウハウの蓄積が必要とされる。

クライストロンモジュレーターに使われているサイクロトロンについても、同様な供給停止に見舞われ当初より使用してきたものにも変わるCX2410(E2V Technologies 製)、L-4888(L-3 Communications Corporation 製)の適応について試験を行っている。CX2410については、これまでのグリッドパルサー回路では動作が不安定なため、早期の検討を要する。L-4888についても動作試験を行い問題点の洗い出しを行う。

リニアックの運転において、幾つかの不安定要素があった。その一つはモジュレーター内IVR(誘導電圧調整器)の自動制御用のモーターおよびギャボックスが40年もの運転の間に激しく損傷を受けており、フィードバック制御がうまく働かず、一次電力供給がかえって不安定になり、このため各種のインターロックが誤動作していたものと思われる。このため、リニアックが度々停止する事体が発生していた。これについてもギャボックスを分解再調整することで、フィードバック制御が正常に動作するようになり、モジュレーターの安定性が飛躍的に向上した。

高周波輸送用の導波管内の電気絶縁ガスとしてSF₆が長年使われてきた、しかし、いたるところでガス漏れがあり、ガスの補給が数日に一度の割合で行なってきた。かつてガス圧を一定に保つ補給装置も取り付けられていたが、これもガス漏れが激しい状態で使用すると、一ヶ月でボンベ一本程度を消費していた次期もあった。このことは2つの重要事体を引き起こしていた。炭酸ガスに比べ温暖化係数が約23,900倍近くあるといわれている。SF₆容器1本(50kg)を大気放出しますと、炭酸ガス容器に換算すると、約40,000本(約1,195,000kg)を放出したことになります。SF₆は大気寿命が3200年と長く、一度放出すると、大気から取り除けません。

一方加速器の運転については、このSF₆ガス圧の変化は、高周波の位相変化をもたらし、加速エネルギーが変化することになる。これを補正するために運転者はリニアックの最下流の加速管の位相器を常に調整し続ける必要がある。特に深夜の運転において緊張が強いられた。このため徹底した漏れ対策を実施した結果、漏れ量は激減できた。この点においても運転者の負担は軽減されることとなり、この点においても運転者は、ほとんどビームのON/OFFのみの操作となり、長時間従事の負担が激減することとなった。

純水冷却水の水漏れについても深刻であり、老朽化して未使用の機器への給水を停止する、樹脂製の配管等、放射線による劣化が進み水漏れが発生する恐れのある箇所、事前の配管交換など作業に暇がない状態である。

このように数々の不具合を克服してきた結果、一

年程度のスパンで40歳(人間なら100歳ぐらいかもしれない)の加速器をある程度定常的に動かせることが実証された。今後は故障の予測をどのような方策で進めるか、早期に検討し、予防対策を考えて行きたい。

3. 研究開発の現状

3.1 低エミッタンスDC電子銃

現在稼働中の電子銃はエミッタンスが大きく、加速中に電子ビームをこぼしてしまい、過大な放射化を引き起こす要因になっている。そこで、2005年4月から低エミッタンスの熱陰極DC電子銃の開発研究を開始した。図2に開発中の電子銃の写真を示す。基本的な構造はエミッタンス増加を招くグリッドを用いず高電圧パルスのみ印加により、電子ビームを発生させる。目標はこれまでの電子銃と置き換えが可能な仕様とした。加速電圧については全体の小型化を狙い50kVとした。また、エミッタンスについては、これまでに比べて格段に小さくすることを



図2 低エミッタンス熱陰極DC電子銃



図3 Single Crystal LaB6カソード(φ1.75mm)

目標とした。このため極めて小さなカソードを用いることとした。このため必要な電流値300mAを確保するために、放出電流密度の大きなLaB6カソードを採用した。図3にLaB6カソードの写真を示す。低エミッタンス化のもう一つの条件として、引き出し電界強度をできるだけ高くするため、

アノードとカソード間をできるだけ狭く（10-15mm）することでこの条件を満たした。さらに、カソードとウエネルト電極の間に負バイアス電圧（最大1000V）を印加することにより独立にエミッタンスの最適値に補正できるようにした。

高電圧電源、電子銃および評価装置などを備えたテストスタンドが2006年6月に完成、真空排気を開始した。2006年7月には電子銃の高電圧印加、LaB6カソードのコンデショニングを開始した。2週間ほどで、定格の50kVの印加が可能となった。現在加速電流は200mAまで達している。カソードは約1000時間の点灯に耐え安定に動作している。

3.2 短バンチRF電子銃

短バンチ発生のための熱陰極RF電子銃の開発研究を行っている。^[2] このRF電子銃は加速空洞内でバンチ圧縮を効率良く行うことを可能とするためのアイデアを盛り込んだ構造である。この電子銃は2つのセルを持ったもので、各セル間の結合度をほぼ0にして、入力RFの振幅と位相を独立に制御することで短バンチ化を実現しようとするものである。この電子銃をIndependently tunable cell(ITC)-RF gunと呼ばれている。

実機のITC-RF gun 設計はSUPERFISHを用いて共振周波数のなどの空洞構造の決定をおこない、さらに我々が独自に開発した3D FDTD計算コードを用いてトラッキングシュミレーションを行った。これらの結果を元に在試作機の製作を行っている。またこのRF gun 専用のRFパワーソースについても準備を進めている。

3.3 高周調波空洞

STBリングについては、ビームダイナミクスの研究のための高調波空洞の導入を進めている。現在高周波空洞のコールド試験を終了し、STBリングへの設置の準備を行っている。

3.3 アイソクロナスリン

3.2でのべた超短バンチビームの発生目的の一つに、特に近年注目を集めているTHz領域の自発コヒーレント光（CSR）源を目指す将来計画が構想下にある。更にこの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っている。図4に東北大核理研加速器の現状と計画中のアイソクロナスリングの設置予想図を示す。

一般的なリングは一度偏向部で強い放射を行うとこのCSR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本計画のアイ

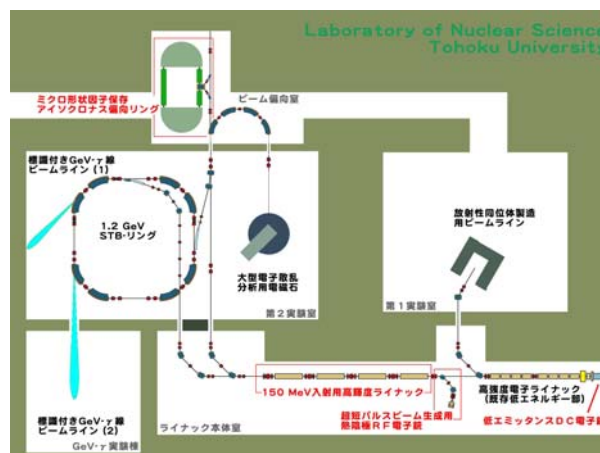


図4 東北大核理研加速器の現状と計画中のアイソクロナスリングの設置予想図

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、機能複合電磁石を用いた、エネルギー分散が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。現在、THz領域で形状因子を保存することを目標に概念設計を行っている。

4. まとめ

2005年度加速器は極めて順調にビームを供給した。この傍ら、行われている開発研究に低エミッタンスのDC電子銃、230fsの短バンチRF電子銃の試作試験段階に入った。高調波空洞の開発の進捗状況、マイクロバンチの形状記憶因子を保存したままTHz光やSASEモードのFEL発振を目指すアイソクロナスリングの概念設計を行っていること等について述べた。

謝辞

低エミッタンスDC電子銃の開発の一部はKEKからの“大学等連携支援事業”の援助によって行なわれている。

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] 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
 [3] H. Hama, et al., Nucl. Instr. And Meth. A528(2004)371.