

# STATUS OF LNS ACCELERATOR COMPLEX AND A FUTURE PLAN OF COHERENT RADIATION FACILITY USING AN ISOCHRONOUS-BEND RING

Hiroyuki Hama<sup>1</sup>, Masayuki Kawai, Fujio Hinode, Akira Kurihara, Shigenobu Takahashi, Yoshinobu Shibasaki, Takumi 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 the accelerator complex in FY2004 at Laboratory of Nuclear Science, Tohoku University is described. Though in FY2003, we had experienced almost no serious failure in both the 300 MeV linac and 1.2 GeV booster synchrotron (STB-ring) and the total operating time reached more than 3500 hours, in FY2004 we suffered a couple of big troubles of the STB bending booster power supplier, a new thylatron in one of the linac modulators and the system of cooling water and heat exchangers for the linac. Everybody can presume it should be a very difficult task to maintain the 38-year-old linac, and it would be hard to replace most of devices with new ones. Particularly the part of vacuum system is very complicate to modify because there is no standard parts used such as ICF flanges, so that a large area of the linac had to be replaced simultaneously. As a first step for future upgrade of the linac, we have put a new beam transport line between a low energy part and a high energy part. In addition, a future plan of new field of application of the electron beam for LNS, a coherent radiation source facility based on production of sub-picosecond short pulse beam is introduced.

## 核理研加速器の現状と、アイソクロナス偏向リングによるコヒーレント放射光施設将来計画

### 1. はじめに

東北大核理研の300 MeV リナックは1967年の完成から大きな改造やアップグレードなしに、主に原子核物理を研究分野にして40年近く稼動して来た。国内では高エネルギー電子加速器の草分けとして、初期の電子線による核物理に様々な成果をもたらした。また1980年代後半には、世界で始めてパンチした電子ビームからの自発コヒーレント放射を観測し、光科学応用分野を更に発展させる契機をつくった。

現在はSTBリングを中心にして、1.2 GeV ビームの制動放射によるGeV域までの線を用いたハドロン物理研究への利用時間が最も多く、しかし、低エネルギー高繰り返し運転による平均ビーム電流が国内最大級の120  $\mu$ Aの高強度ビームを用いたRI製造とその放射化学への応用もレギュラーマシナリティとして消化されている。

40年近くも経て老朽化したマシンがこれだけ多くの時間稼動している例は非常に少ないと思われる。大抵の場合、主要なデバイスは更新されてゆき、10年単位の老朽化対策が施工されているのが一般的な加速器施設であるが、不幸にも核理研では実験成果を優先したままだったため、リナックは非常に原始的な初期のデザインのまま運転されて来た。幸運にも2003年度は大きな故障もなく、順調にマシンタイムの消化が行われたが、2004年度は多くのトラブル

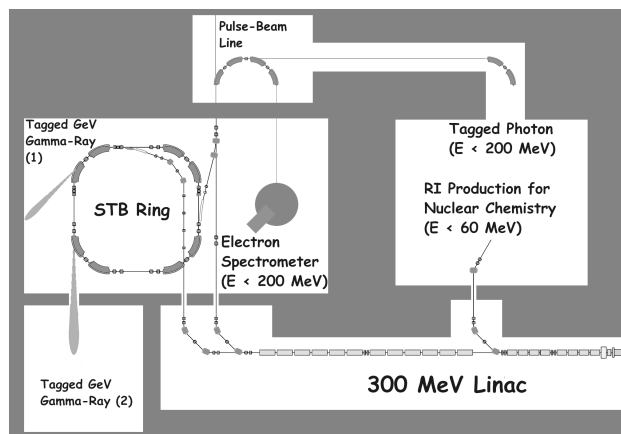


図1：核理研加速器群とビームラインの概略図

に見舞われ、2004年12月下旬から約半年のシャットオフをせざるを得なかった。この最も大きな理由は古いリナックではなく、STBリングのシンクロトロン電源の故障であったことは皮肉なものであろう。

しかしながら、この間かねてから構想を持っていたリナックの低エネルギー部と高エネルギー部の間のビームライン分岐付近の真空ダクトの改造を行った。もともと、真空パージ等を行った時ターボによる荒引きが効率良くできる真空システムでなく、従って、イオンポンプを $10^{-3-4}$  Paという悪い真空度から負担をかけて引くということを繰り返して来た。そ

<sup>1</sup> hama@lns.tohoku.ac.jp, <http://www.lns.tohoku.ac.jp>

のためイオンポンプの寿命は短く、また放電などを起こして真空悪化がおきても、この余分なガスを排気することができなかった。この問題を解決し、またビーム診断装置等もスタンダード規格のものを導入できるように、輸送ラインだけであるが大きな改造を行った。

## 2. 運転モードと統計

図2はFY2004年度の月別の運転モードごとの累計マシンタイムを示したものである。

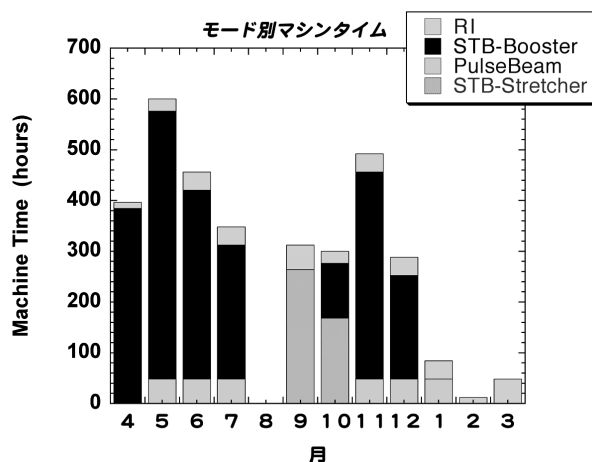


図2：2004年度月別運転時間

リングのマシンタイムが中核を成していることが分かる。2004年に報告したように、新設した2番目の線ビームラインは、制動放射用ターゲットワイヤーの位置が、リングの中でも最も垂直ベータ関数が大きい場所であり、クーロン散乱等でエミッタンスが増加したビームが数ターンするうちにワイヤーホルダーをヒットして線を放出する問題があった。これについてはリングのラティスを無理矢理歪め、この場所のベータ関数をできる限り小さくし、更に無分散であったところであるが非常に大きなエネルギー分散を持ち込み、散乱電子を起因とするバックグラウンドを押さえ込んだ。その結果、新実験棟のビームラインでも実験が可能になり、多くのマシンタイムの消化に繋がった。

ブースター電源の故障は12月下旬に発生し、年度をまたいで復旧できなかった。IGBTを用いたスイッチング電源であるが、異常な過電圧が素子を破壊した。その原因が特定できず修理は非常に大きなロスタイムとなって、2005年6月までリング運転は停止された。この数年来でSTBリングの個性（問題点も含めて）がようやく把握でき、理論計算に

のつとったビーム制御ができるようになったわけであるが、すでに建設から10年近くになり、老朽化の波が忍び寄ってきていることは否めない。今後はリナックのみならず、リングのメンテナンスも大きな課題になっていくと思われる。

## 3. リナック中間輸送路更新

これまで検討して来た将来構想では、リナックはRI製造などの低エネルギー高強度ビーム専用の低エネルギー部と、ブースター入射のための高エネルギー部と機能分離して行く方向性がある。2004年度では、この両者の間のビーム輸送路を、ほぼそっくり更新する計画をたて、CTあるいはスクリーンモニター、将来的には空洞型BPM等も導入できるように、設計した輸送路を製作した。また、これまでオーバースペックであったダクト径を小さくしてQ磁石なども小型軽量化を計った。

特に今回はBelgoz社のインフランチCTを導入したが、これまでモジュレータ等のノイズで殆ど見えなかったマクロパルスの時間分布が非常に綺麗に観測できるようになり、勘に頼っていたリナックの入射部のチューニングが、CT波形を見ながら行えるようになり、大きな改善をもたらした。また、真空立ち上げ時には、これまでで行えなかったターボの荒引きによるイオンポンプのベークが可能になり、真空の改善も格段に進んだ。

図3にリナック低エネルギー部直下流の改造前と改造後の写真を載せた。以前はすべての電磁石が300 MeV対応で造られていたため、装置全体が非常に大きくなり、またビームダクトも損失を気にしてか、非常に太いものであった。今回はここ数年のマシスタディの結果、電子銃の規格化エミッタンスが約200  $\text{mm mrad}$ であること、リナック中の輸送光学関数が概ね把握できたこと等を踏まえ、大幅にコンパクトな経路にした。また将来、リナック入射部のアップグレードを視野に入れ、トリプレットQによる輸送を可能にするため、これまでのダブレットを更新した。また、内部で地絡しているステアリング磁石は廃棄して、新たに小さなステアリングをリナック出口に置いた。

RI製造コース（I系ビームライン）はまだ手付かずであるが、以前と同じビーム強度が標的位置で得られ、2005年6月より共同利用運転を再開することができた。

I系ビームラインはかつて、高エネルギー分解能ビームを用いる実験が行われていたため、偏向後に非常に大きなエネルギー分散をとり、コリメータを用いていた。

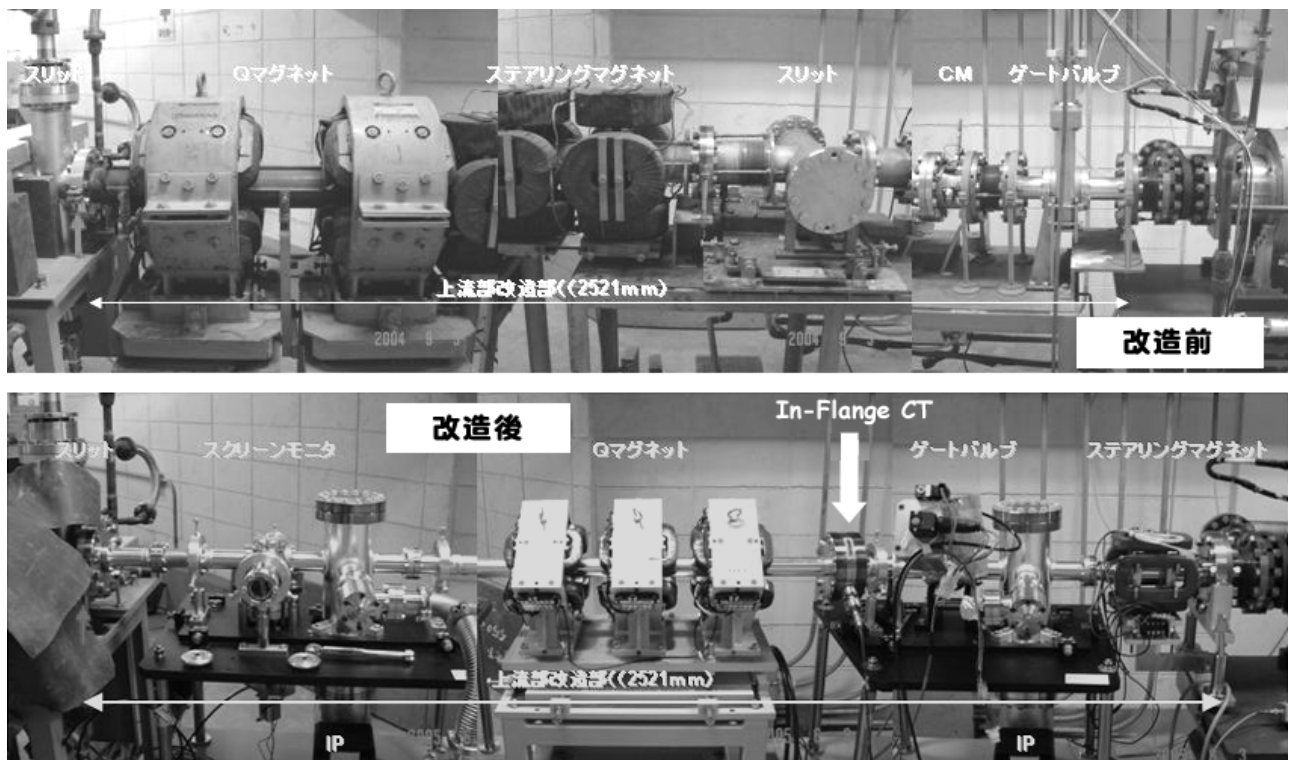


図3：低エネルギー部下流の輸送系。更新前（上）、更新後（下）。

しかし現在は、ビーム強度を必要とするためできるだけ輸送効率を重視しなければ、余計な放射化だけが増加するだけである。そのため、今年度はⅠ系の偏向部のエネルギー分散を押さえる光学系を設計し、できるだけ早期に置き換えることを目標とする。

このような更新は、高強度ビームを用いた新しい電子ビームの応用、食品滅菌あるいは発芽処理、生物のDNAに与える影響などのこれまでの核理研では縁遠かった応用研究を開くことを目標としている[1]。

#### 4．アイソクロナスリングを用いたコヒーレントテラヘルツ放射光源の開発

これまでシミュレーション計算を中心に研究してきた熱陰極高周波電子銃では、ある一定の最適化を行うことによって数十pCながら200~500フェムト秒のマイクロパルスバンチ圧縮などを行わずに、電子銃とエネルギーフィルターのみで実現できる可能性が分かってきた[2]。このような超短バンチビームから、特に近年話題のテラヘルツ領域の波長で強力な自発コヒーレント放射光(CSR)源を目指す将来計画が構想下にある。一度偏向部で強い放射を行うとCSRは自らバンチの電子分布を乱すため、光源として非常に使いづらい側面がある。これを解決し、ま

たプリバンチFELなどの応用、さらには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に着手している。熱陰極RF電子銃についても基本設計が進んでいる。

この計画のアイソクロナスリングは所謂、リング一周で積分した運動量収縮因子(momentum compaction factor)が0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0であるような、無分散リングである。

現在はテラヘルツ領域で形状因子を保存することを目指し、さまざまな概念設計あるいは定量的な評価を行っている。リングの磁場精度およびビーム品質がさらに向上すれば、短波長域に発展させリング型SASE-FELという新たな研究対象を創出したいと考えている。

#### 参考文献

- [1] H.Shinto, et al., Proceedings of the 1<sup>st</sup> Ann. Meeting of Particle Accelerator Society of Japan., Funabashi, Aug. 4-6, 2003, p72-74.
- [2] T. Tanaka, et al., will be published in Proceedings of the Particle Accelerator Conference 2005, Knoxville, TE, May16-20, 2005.