

PRESENT STATUS OF THE ACCELERATOR IN RESEARCH CENTER FOR ELECTRON PHOTON SCIENCE, TOHOKU UNIVERSITY

Masayuki Kawai, Fujio Hinode, Shigeru Kashiwagi, Fusashi Miyahara, Kenichi Nanbu, Shigenobu Takahashi, Yoshinobu Shibasaki, Ikurou Nagasawa, Toshiya Mutou, Yuu Tanaka, Hirotohi Oohara, Hiroyuki Hama
1-2-1 Mikamine, Taihaku, Sendai 982-0826, Japan

Abstract

Research Center for Electron Photon Science was reorganized from Laboratory of Nuclear Science (LNS) at Tomizawa Campus of the Tohoku University in December 2009. The main purpose of this research center is Accelerator Science /Beam physics, Nuclear Physics and Materials Science with Radioisotopes. The center carried on all these electron accelerators from LNS. Moreover, the THz light source program has begun to attract the great attention. Such impressive advances have been supported by advanced developments of beam-delivery and accelerator technologies and by maintenance works for high-reliability operation. The report describes the status of the accelerators and the development of accelerator technologies for the Research Center for Electron Photon Science.

東北大学電子光理学研究センターの加速器の現状

1. はじめに

東北大学電子光理学研究センターは平成 21 年 12 月 1 日に発足、東北大学の学内共同教育研究施設として、電子加速器から得られる様々なエネルギーの電子・光ビームを主要な手段として、原子核物理学、加速器科学、物質科学等の物質諸階層の基礎と応用の研究を推進し、並びに新たな電子光ビームの開発を通じて、未踏研究分野の開拓及び、新研究領域の開拓を目指す。更に、電子光科学分野における研究者、技術者の養成をすることを目的とする。

平成 23 年度から東北大学電子光理学研究センターは文部科学省から「電子光理学研究拠点」の認定を受け全国共同利用施設として更に活動範囲を広げることになっている。

この加速器施設は旧東北大学大学院理学研究科付属原子核理学研究施設（略称：核理研）の加速器施設をそのまま引き継ぐものであり、それまで様々な技術開発、改良がなされてきた。改組にあたり加速器の現状と今後の更なる改善と継続的なビーム供給の基本的な考え方について述べる。

2. 施設設備の概要

本電子光理学研究センターの加速器施設は東北大学理学研究科付属施設（旧：核理研）の 42 年あまりの歴史を持つ施設設備のほとんどを引き継ぐものである。その構成は公称 300 MeV の電子線形加速器 (LINAC) と、これを入射器とした 1.2 GeV のシンクロトロン (Stretcher Buster Ring: STB ring) から成り立っている。図 1 に示す LINAC は“本体室”と呼ばれる地下の放射線遮蔽トンネルに、また図 2 に示す STB ring は半地下の“第 2 実験室”にそれぞれ設置されている。

利用実験室・設備として、“第 1 実験室”におい

ては大強度低エネルギー電子ビームの照射による、放射核化学の共同利用が行われている。“第 2 実験室”には STB ring の他に中性 K 中間子を検出するための巨大なスペクトロメーター (NKS2) がある。また、加速器棟に隣接した別棟の“GeV γ 線実験室”には多重ガンマ線検出器群 FOREST (Four-pi Omnidirectional Response Extended Spectrometer



図 1：稼動中の 300MeV 電子線形加速器 (LINAC, 1967 年建設)

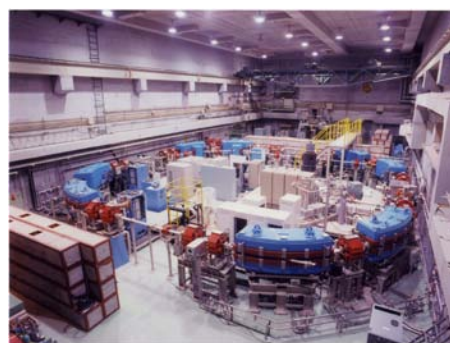


図 2：稼動中の 1.2GeV 電子シンクロトロン (Stretcher Buster Ring: STB ring, 1997 年建設)

#kawai_m@lms.tohoku.ac.jp

Trio) がある。“第 3 実験室”では放射核化学の各種分析のための共同利用設備がある。テストベンチには低エネルギー大強度陽子・重陽子ビームの照射装置がそれぞれ設置されている。平成 22 年 3 月には、加速器ベースのコヒーレント THz 光源開発のための新しい“光源加速器棟”が竣工、現在 RF ガンを電子ビーム源とした加速器の建設を行っている。

3. 加速器技術の最近の取り組み

技術開発の取り組みは 2009 年度実施のクライストロンモジュレータの一部インバータ電源化、及び電子銃のインバータ電源化を実施した。2005 年度から着手した低エミッタンス DC 電子銃については 2009 年度までに実用機としての性能を実証した。老朽化した STB ring 制御システムについては CAMAC から PXI-FPGA (Field Programmable Gate Array) モジュールへの更新を実施した。新たな取り組みとして、加速器ベースの THz 光源開発のための短バンチ RF ガンの開発、THz 光源用のアンジュレータ等の開発を行っている。主な取り組みについて以下に述べる。

3.1 低エミッタンス電子銃

旧核理研開設以来 LINAC の重要要素機器の一つとして使用されてきた DC 電子銃はその形式の古さから予備品の供給が困難となった。現状では完全な予備品は無く、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。

そこで 2005 年から東北大独自の低エミッタンス DC 電子銃の開発に着手した^[1]。このきっかけとなったのは、高エネルギー加速器研究機構が推進している“大学等連携支援事業”の援助が得られたことである。

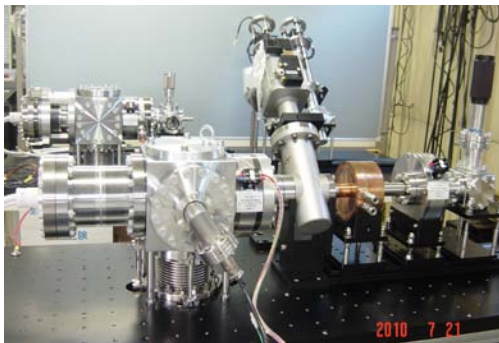


図 3：低エミッタンス DC 電子銃、前方が実装機、後方が試験機

この DC 電子銃は低電圧ながら 3MV/m の高電界による加速、及び大電流密度 ($>50\text{A}/\text{cm}^2$) を得るために単結晶の LaB_6 カソードを用いている。このためカソードの大きさを $1.75\phi\text{mm}$ まで小さくすることができ、低エミッタンスが実現した。またカソードとビーム形成電極との間に 1 kV 程度のバイアス

電圧を印加することでスペースチャージによるエミッタンスの増大をある程度抑制することが出来た。

目標性能であるエネルギー：50 keV、電流： $>300\text{mA}$ 、エミッタンス： $< 2\pi\text{mm mrad}$ について

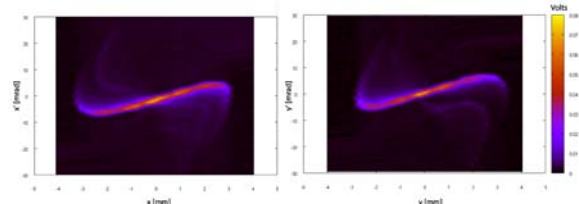


図 4：電子ビームの横方向 (X) と縦方向 (Y) のダブルスリット法による位相空間分布測定結果

は実験的に評価された。実用性能として最後まで残っていた耐久性についても 2010 年 3 月までに 300pps、連続 1,000 時間の運転実績を持って実証した。今後は旧型 DC 電子銃との置き換えを具体的に検討してゆく。

3.2 短バンチ RF 電子銃

この RF ガンは S バンドの独立 2 空洞の構造 (Independent Tunable Cells RF gun) を持っており、それぞれ独立に RF パワーや相互の位相を選ぶことで、ビームの位相空間制御をおこない、短バンチビームを生成することが期待されている^[2]。熱陰極カソードには LaB_6 が用いられている。図 5 に調整中の ITC-RF-gun の写真を示す。現在、空洞のチュウ

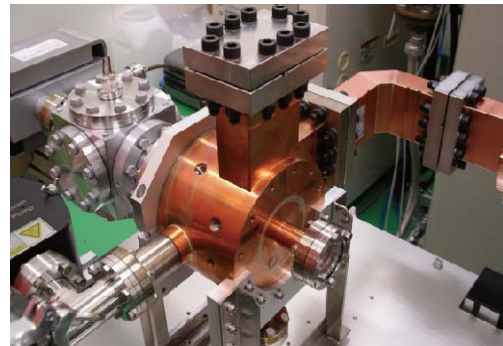


図 5：短バンチ ITC-RF 電子銃

ニングをほぼ終え、 LaB_6 カソードのコンディショニングを行っている。

3.3 THz 光発生用アンジュレータ

発生させる光の波長より短い電子ビームバンチをアンジュレータ磁場で蛇行させることで強力なコヒーレント THz を得ようとするものである^[3]。磁気回路構造は Halbach プラナータイプである。磁場周期は 100 mm、周期数は 25、K 値は最大 3.82 である。磁気回路ギャップは最小 54 mm で、十分な剛性と駆動精度が得られている架台に取り付けられている。図 6 に製作された、アンジュレータの写真を

示す。



図 6 : THz 光発生用 Halbach Planner type アンジュレータの磁場測定状況

3.4 加速器ベースのコヒーレント THz 光源計画

2006 年ころから加速器ベースのコヒーレント THz 光源の開発計画が始まった。短バンチ電子ビームからのコヒーレント放射 (Coherent Synchrotron Radiation: CSR) の原理を用いて THz 領域の強力な光の発生を目指すものである。その構成は短バンチ電子ビームを発生する ITC-RFgun、 α 電磁石と加速管、それに短バンチを保ったまま電子ビームを周回させることが期待されている等時性リング

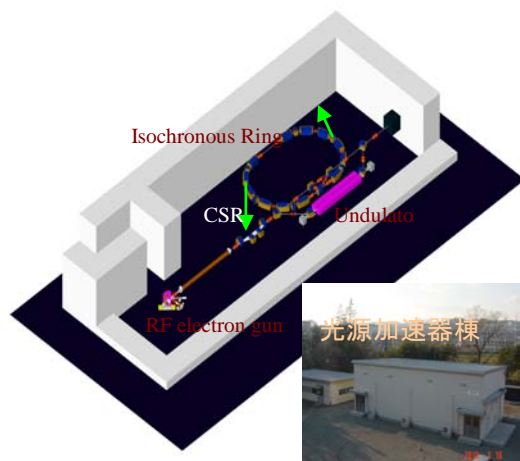


図 7 : 計画中の THz 光源加速器と完成した光源加速器棟

(Isochronous Ring) からなる^[4]。また次のステップとして、前節で紹介したアンジュレータを用いた FEL による THz 光の発生も予定されている。図 7 に光源加速器の完成予想図と、これらの装置が設置される 2010 年 3 月に完成した加速器光源棟の写真を示す。建設場所が埋蔵文化財調査地域に指定されているため調査の必要があったため、施工までに長期間を要した。総床面積 280 m²、一部放射線遮蔽壁で仕切られている。

現在 S バンドの高周波源 (最大出力 40MW、パルス幅 3 μ s) の調整運転を行っている最中で、その性

能確認を急いでいる。また ITC-RFgun についてもカソードのコンディショニングを開始した。

4. 運転状況、体制

現在稼働中の加速器は半期ごとに課題募集を行い、課題採択委員会を経て、運転スケジュールが決定される。運転時間は電気料金、点検・保守の時間を勘案して年間を通じてほぼ限界である。これは拠点化による全国共同利用施設になってもただちに運転時間を増やすことは極めて困難である。また実験によっては施設全体の受電容量を超えそうになることもあり、この点についても、何らかの対策を講ずる必要がある。

基本的には 24 時間連続運ができる体制になっている。各シフトの初日に加速器を立ち上げ、ビーム調整を行い、その日の午前中には利用実験室にビームを供給する。終日 9 時から 17 時までは、技術担当スタッフ 1 名が交代で加速器の運転監視に当たる。17 時以降及び休日は利用者がこの任に当たる。

4. おわりに

これまで長年にわたり加速器の修理が行われてきた。しかしこの間、新しい技術の導入が積極的に行われてこなかった。しかしながら先人の苦勞と努力で 40 年もの長きにわたりビームを供給し続けてきたことも事実である。重故障による長期間の加速器の運転停止の事前回避、重要要素機器については事前検討を行い不足の事態に備える必要が急務である。加速器技術だけでなく技術革新は絶間無く進んでいる。今後の保守の基本的姿勢として古い機器を古いままの状態に復旧するのではなく、新しい技術を積極的に導入して改善を図ってゆくことが慣用と考える。平成 23 年度から電子光理学研究センターは文部科学省から「電子光理学研究拠点」の認定を受け全国共同利用施設として更に活動範囲を広げることになっている。全国共同利用の使命を与えられ再出発することは、如何にビームの安定供給を確保するかは最重要課題であることは言うまでも無い。

参考文献

- [1] K. Kasamsook, K. Akiyama, K. Nanbu, M. Kawai, F. Hinode, T. Muto, T. Tanaka, M. Yasuda, H. Hama, Proc. 4th Asia particle accelerator conference, Indore, 2007)181.
- [2] T. Tanaka, T. Muto, F. Hinode, M. Kawai, K. Nanbu, K. Kasamsook, K. Akiyama, M. Yasuda, H. Hama, H. Tanaka, N. Kumagai, Proc. 4th Asian Particle Accelerator Conference, Indore(2007)178.
- [3] F. Hinode et al., Nucl. Instr. and Meth. A (2010), doi: 10.1016/j.nim. 2010. 02.025.
- [4] H. Hama, H. Tanaka, N. Kumagai, M. Kawai, F. Hinode, T. Muto, K. Nanbu, T. Tanaka, K. Kasamsook, K. Akiyama, M. Yasuda, N. J. of Phys. 8(2006)292.