

STATUS OF ELECTRON LINAC OPERATION AND APPLICATION AT NIHON UNIVERSITY

Toshinari Tanaka^{#,A)}, Ken Hayakawa^{A)}, Yasushi Hayakawa^{A)}, Takeshi Sakai^{A)}, Kyoko Nogami^{A)}, Keisuke Nakao^{A)}, Manabu Inagaki^{A)}, Isamu Sato^{B)}, Atsushi Enomoto^{C)}, Shigeki Fukuda^{C)}, Satoshi Ohsawa^{C)}, Kazuro Furukawa^{C)}, Tsuyoshi Suwada^{C)}, Shinichiro Michizono^{C)}, Masanori Satoh^{C)}

^{A)} Laboratory for Electron Beam Research and Application (LEBRA), Nihon University
7-24-1 Narashinodai, Funabashi, Chiba, 274-8501

^{B)} Advanced Research Institute for the Sciences and Humanities (ARISH), Nihon University
12-5 Goban-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-8251

^{C)} Accelerator Laboratory, High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

The earthquake on March 11 in 2011 has not caused serious damage to the 125-MeV electron linac. The operation of the linac was resumed early in April 2011 after shutdown for three weeks due to power shortage. Charging for use of the linac and the light sources at the Laboratory for Electron Beam Research and Application (LEBRA) has been adopted in April 2011. The annual operation time of the linac was approximately 1750 hours, which is 200 hours less than that in 2010. The free-electron laser resonator mirror with a coupling hole was found to be damaged. However, there has been found no apparent damage to the mirror without the coupling hole. The resonator mirrors has sustained a high performance for more than 3 years since January in 2008.

日大電子リニアックの運転と利用の現状

1. はじめに

日本大学電子線利用研究施設 (LEBRA) の 125MeV 電子線形加速器およびそれを基に発生させた自由電子レーザー (FEL) とパラメトリック X 線 (PXR) の利用が 2004 年度に開始されて以来、これまでに近赤外 FEL と非線形光学結晶を用いたその可視光領域高調波、及び 5~34keV の PXR を光源として主に学内の共同利用が進められてきた[1]。この間、クライストロンヒーター通電時間から換算して最大年間約 2000 時間の加速器運転を続け、利用者には無料でマシンタイムを提供してきたが、2011 年度からは時間単価を設定し有料での利用となった。2011 年度の運転時間は、有料化との関連は明確ではないものの、特に施設外利用者による利用申請が減少したことが影響し、前年度より約 200 時間短い、約 1750 時間であった。この結果、年間利用時間のうち施設内部の利用が多くを占めることとなった。2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震は、幸い加速器本体に顕著な影響を及ぼすことはなかった。電力事情の悪化により 3 月中は運転を控えたが、4 月以降は順調に運転を再開し、FEL の発振にも特に問題は起きず、従来の通常運転における調整の範囲で容易に発振した。このため、2011 年度の運転時間に対する地震の直接的影響は無視できる程度であった。また、2011 年度において深刻な加速器の故障は発生しなかったが、電子銃およびクラ

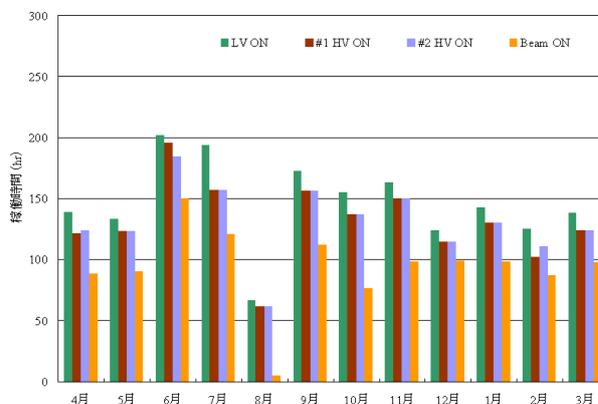


図 1. 2011 年度の月別電子線形加速器運転 (クライストロンヒーター通電) 時間、クライストロン高圧印加時間、ビーム加速時間の推移。

イストロン出力 RF 窓での放電・ガス放出によるビーム加速中断の頻度に関しては従来と大きな変化はなかった。

2. 加速器稼働時間とビーム・光源利用

図 1 に 2011 年度の月別運転時間の推移を示す。各月の左からクライストロン 1 号機および 2 号機の通電時間、1 号機高圧印加時間、2 号機高圧印加時間、ビーム加速時間となっている。例年 8 月は夏期休業が入り、さらにこの時期を利用して時間のかかるメンテナンスや工事を行っているため、他の月よ

tanaka@lebra.nihon-u.ac.jp

り運転時間が特に短くなっている。ビーム加速時間が8月にほとんどなかったのは、大部分を調整運転に費やしたためである。この期間を除くと概ね順調に毎月130～200時間の運転が実施されたことが図から見て取れる。加速器運転日数は175日で、前年度の172日から若干増加しているが、運転時間数は約1750時間で、200時間以上減少している。この違いは、加速器の利用内容に依存して1日の運転時間が大きく異なることが原因である。

図2に利用目的別に実際に利用された時間の割合を示す。2010年度末に、電子銃回路の改造によるバーストビーム引出しとビーム加速試験が可能となったことから、このための実験時間が多く割り当てられた結果、加速器の調整運転時間が全体の約1/4を占めている。また、バーストモードビームによるFEL発振特性の測定も進められたため、FEL調整運転の時間が多く割り当てられた[2]。

バーストモードビームを利用したFEL発振ではバンチ当たりの発振光強度が明らかに高く、非線形結晶を用いた高調波光発生実験において観測された特異な発光現象を詳細に調べる際に、入力光強度の2乗に比例した光出力が得られるため発光の観測が容易になった[3]。さらに非線形結晶による通常の高調波光も同様に強度が増したため、可視光領域での高調波利用が促進しつつある。

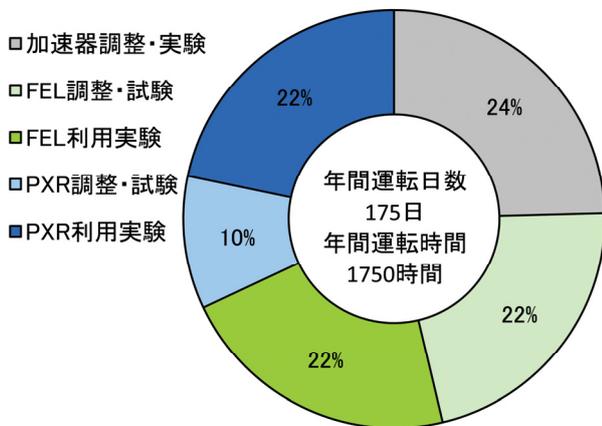


図2. 目的別利用時間の割合

3. 加速器関係の主な故障

2011年度は一般利用者による光源利用時間が少なかったことから、深刻な状況にならずに済んだが、東北地方太平洋沖地震との関連が疑われるものも含め、加速器運転停止が必要な故障が複数発生しており、復旧に数日を要するものもあった。以下に主な故障について述べる。

3.1 分析電磁石系冷却配管の破断

FELアンジュレーターへの90°ビーム偏向電磁石系に設置してあるビーム分析スリットはプラスチックチューブを冷却水配管に用いていたが、スリットに近い部分は長年にわたり強い放射線に晒され続けた結果、硬化が進んでいた。2011年3月の

地震との因果関係は確認できないが、5月中旬の運転中に硬化したチューブが破断し、精密温調系の急激な水位低下が起きたため加速器を停止した。このとき冷却水は約400リットル漏出し、精密温調系リザーバータンクの水位は正常時の1/2まで下がっていた。破断箇所は放射線レベルが高く、鉛ブロックによる遮蔽を施した場所であるため、休日を含め5日間冷ましてからチューブの取り換え作業を行った。さらに、この配管部分での故障再発を防ぐため、夏期工事期間に金属配管に変更した。

3.2 冷却塔分電盤故障

加速器冷却用冷却塔は、モジュレーター室に設置された制御用分電盤から電源を供給しているが、2012年2月に分電盤内の電磁開閉器が浸水により腐食を起こして故障し、加速器冷却が不能となる事態が発生した。浸水の開始時期は不明で、浸水の原因である水が分電盤内に入った経路も即座には特定できなかったが、屋外の冷却塔への電源供給を回復する応急処置として、分電盤内の正常な部品と交換することで冷却能力を回復した。しかし、4月には再び分電盤の電磁開閉器が同じ原因で故障するに至った。この冷却系故障により合計約1週間の加速器停止が生じた。調査した結果、モジュレーター室分電盤上部から冷却塔外部分電盤に配線を通すための金属配管内を通して水が浸入していることが判明した。配管経路の一部は建屋外部で土中に埋まっており、外部分電盤に至る配管全体が経年劣化により腐食が進んでいた。このため、大雨の際には雨水が配管の腐食割れ部分から侵入していたと考えられる。対策として、配管に雨水が入りにくくすることと、電源ケーブルが出入りしている建屋の壁部分でケーブルの周囲をモールドすることにより防水を行った。また、万一この部分から雨水が浸入しても分電盤には伝って行かず排水されるよう水路を新たに設置した。

3.3 RFアンプ故障

クライストロン入力RFアンプが、起動後まもなく温度異常でRFを出力しなくなる故障が2012年2月に発生した。当初、アンプ素子の異常を疑ったが、アンプの冷却ファンが停止していることが分かり、使用していない別のアンプのファンを流用することで正常な動作を回復した。結局、冷却ファンの停止によりRFアンプ素子の冷却が不足していたことが原因であった。その後他のRFアンプおよびRFアンプ電源においても異音を発生するファンが複数見つかったことから、それらも更新した。

3.4 クライストロン収束コイル電源制御装置の故障

クライストロン2号機の収束コイル電源制御用回路が全く動作しなくなる事態が2012年4月に発生した。原因は、単に内部に組み込んであったDC電源の故障であることが判明した。代用可能なスイッチングレギュレーターが手元にあったため、即座に交換作業を開始し、短時間で運転を再開することが

できた。

3.5 クライストロンアセンブリタンク内放電とオイルの汚れ

2011年3月の地震とその後の余震により、クライストロンアセンブリタンク内の絶縁油が揺らされ、タンク内に残留していた気泡が移動し易くなったことが原因と考えられるが、クライストロンアセンブリタンク内放電が頻発するようになった。絶縁油が地震で揺らされ、タンク底部から上昇する気泡が高電界領域を通過した際に発生していたと考えられる。その後、余震の頻度低下に伴い放電も減少した。しかし、頻繁な放電により絶縁油の汚れが進行し、クライストロン電子銃碍子表面への汚れの付着が目立つようになった。2008年には、こうした汚れを放置したことが原因と考えられる碍子の沿面放電が発生し、クライストロン耐圧が極端に低下し使用不能に陥ったことから、沿面放電の発生を未然に防ぐため2011年9月に絶縁油を抜き取り、碍子周辺の清掃を行った後に新しい絶縁油に入れ替えた。その後も頻度は下がりながら、なおタンク内放電が起きており、徐々に絶縁油と碍子表面の汚れが進んでいることから、適時再清掃が必要と考え、タンク内の監視を続けている。

4. FEL 共振器ミラーの劣化

2008年1月に現行のミラー（曲率半径3.7m）に交換して以来、FEL発振の調整でも発振強度においても特に問題なく利用してきた。3～6ヶ月で発振強度に顕著な低下が見られた以前のミラーと比較し、曲率半径を小さくしたことを除けば仕様上の違いはなく、極端に長寿命であった。FEL利用時の光強度の記録を辿ると、2010年後半からは若干強度低下を示唆する傾向が見られるが顕著に発振調整が難し

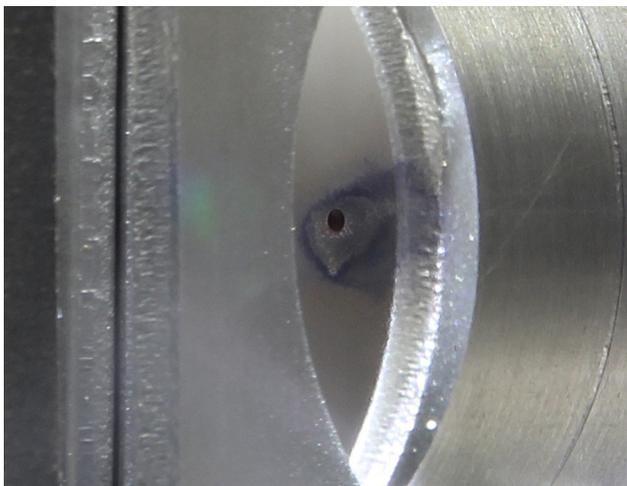


図3. ビューポートを通して見たFEL共振器上流側ミラーの写真。中央の結合孔（直径0.6mm）周囲に傷と汚れが見られる。

くなることはなく、劣化が生じていても深刻な状態ではなかったと考えられる。しかし、2011年末以降では発振強度が従来の1/2を確実に下回り、大幅に低下していることがはっきりした。FELミラーチェンバーに増設したミラー点検用ビューポートを通して状態を確認したところ、図3に示すように、FEL共振器上流側の光取り出し用結合孔（直径0.6mm）が開いているミラーでは結合孔の周囲に表面の損傷が確認された。一方、結合孔のない下流側ミラーにはビューポートから観測した範囲では特に異常は見られなかった。この1年間は、バーストモードビームを用いてFELを発振させることが可能となり、バンチ当たりの光強度が飛躍的に増大したことから、これを利用した実験が主になった。したがって、FEL光の増強が急速にミラーの劣化を招いた可能性が考えられる。

5. まとめ

2011年度は幸い施設の共同利用に深刻な支障をもたらす大きな故障は発生しなかったが、前述したように小さな故障は多発し、さらに運転中のクライストロン出力RF窓や電子銃の放電による真空の悪化に伴うビーム加速の中断やビーム軌道・電流の変動も頻繁に起きている。FELやPXRの利用には加速ビームの安定度が極めて重要であり、利用中に大きな変動が起きると、実験の中断やデータの取り直しを必要とする場合がある。したがって、ビームの欠落や変動を抑制するための対策が今後さらに重要性を増すと考えられる。

参考文献

- [1] T.Tanaka et al., Proceeding of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011.
- [2] K.Nakao et al., Proceeding of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011.
- [3] K.Hayakawa et al., Proceeding of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011.