

[A16p02]

ADVANCED STATUS OF LABORATORY FOR ELECTRON BEAM RESEARCH AND APPLICATION OF NIHON UNIVERSITY.

I.Sato, I.Kawakami, K.Sato, Y.Matsubara, K.Hayakawa, T.Tanaka, K.Hayakawa,
H.Nakazawa*, K. Yokoyama*, Y.Matsumoto*, K.Kanno*, N.Seki*, T.Tanaka*, T.Sakai*,
A.Yagishita**, K.Nakahara**, S.Anami**, S.Fukuda**, H.Kobayashi**, A.Enomoto**,
S.Ohsawa**, S.Yamaguchi**, T.Kamitani**, Y.Azuma**, S.Yamamoto**, S.Sakanaka**,
M.Kato**, K.Ohmi**, K.Tsuchiya**,
A.Iwata***, M.Kawai***, K.Noumaru***, F.Oda***

Atomic Energy Research Institute, Nihon University
*College of Science and Technology, Nihon University
Narashinodai 7-24-1, Funabashi-shi, 274-8501, Japan
**High Energy Accelerator Research Organization
Oho 1-1, Tsukuba-shi, Ibaragi-ken 305, Japan
***Kanto Technical Institute, Kawasaki Heavy Industries, Ltd.
Futatsutsuka 118, Noda-shi, Chiba-ken 278, Japan

Abstract

The Laboratory for Electron Beam Research and Application (LEBRA) is a facility which was planned in order to use synthetically four radiation beams as electron, free electron laser, spontaneous emission and slow positron. This research facility is advanced in collaborations with KEK and Kawasaki Heavy Industry Ltd., and is even now under construction. Each equipment as required from application programs are under design. First stage of electron linac and free electron laser system were completed tentatively by March of 1998. A commissioning of the linac was begun at the end of January in 1998. A first operation succeeded in accelerating an electron beam at an energy of 90 MeV with intensity of 20 mA. The electron beam were gradually increased by tuning up the linac parameter and reached at 103 MeV and 80 mA. On the operation of February 25, the electron beam was transported from the linac to the free electron laser system, and we were successful in passing it through a small pipe of 7 mm diameter in the undulator of 2.4 m long. Then the radiation from electron beam was observed by means of a CCD camera. After that, we encountered with many troubles as break down of a rf window and an isolation transformer for the klystron heater in an oil tank. New klystron required several hundred hours for conditioning of itself. For the duration of these conditioning, analysis for both qualities of electron beam and radiation were executed respectively by the use of a beam transport system and an optical spectrometer. After long conditioning, rf-power levels from present klystrons (PV-3030A1 and PV-3030A2) have amounted to 20MW and 26 MW with pulse duration of 20 μ s at the operation of 2pps. Optical system in FEL generator has been tuned at wavelength of 488 nm for lasing. When an electron beam in the linac is accelerated stably at 100 MeV with 200mA, its trial will be available.

日大電子線利用研究施設の現状

1.はじめに

電子線利用研究施設¹⁾は、高エネルギー電子線を利用して、自由電子レーザー、自発放射光、低速陽電子を発生させて、この4つの放射線源を総合的に活用して理学、工学、医学を横断する学際的な学術研究を行う研究拠点に発展しつつある。本施設は1994年度に建設を開始し、理工、文理、医学、歯学、松戸歯学、生物資源科学、薬学の各学部の協力と、高エネルギー加速器研究機構、川崎重工との共同研究として、現在も建設を進められている。しかしながら、利用研究を実施する諸

設備が皆無であり、今後の進展に期待を寄せている。低速陽電子発生装置は現在も検討²⁾が進められている。

電子線形加速器と自由電子レーザーシステムの建設の第1段階は制御システム³⁾や入射部⁴⁾の整備が整った1997年3月を以て終了した。1998年1月末、電子線形加速器に於ける最初の高周波ビーム加速テスト⁵⁾を行い、20mA、90MeV加速に成功した。直後、最初のマシントラブルが発生して、運転は一時中断された。マシンのコンデショニングの間、加速器のチューニングを行い、電子ビー

ムは 103MeV、80mA に到った。2月末、自由電子レーザーシステムに電子ビームは輸送され、CCD カメラを使って自発放射光を観測した。その後、多くのマシントラブルに遭遇したが、3月中旬、アンジュレーターの磁極空隙の間隔を変化させて、放射光の波長が変わることを確認した。トラブルが回復する期間を利用して、光空洞共振器の光軸調整、光空洞共振器の光を反射鏡を使って制御室まで導く作業を行った。4月中旬、自発放射光のスペクトルをモノクロメーターを使って計測を開始し、マシントラブルに対処しながら、実験準備を進めた。7月中旬、リニアックのビーム特性⁶⁾、アンジュレーター放射光のスペクトルの計測^{7) 8)}を行った。その結果はこの研究会に報告される。自由電子レーザーシステムの光学系は488nm の波長でレーザー発振するように調整されている。これを実現するには、200mA の電子ビームを 96MeV 以上に安定に加速する必要がある。このためには、約 25MW の高周波電力を安定に 20 μ s 持続させる必要があり、現在、クライストロンのコンデショニングを丹念に行い、1号機と2号機のクライストロン(PV-3030A1, PV-3030A2)は、20 μ s のパルス幅で 20MW と 26MW の高周波電力レベルに達した。図1には1号機と2号機のクライストロンの高周波電力の出力波形を示す。今後、1号機の高周波電力を増強し、次の運転では自由電子レーザー発振の基礎実験が実施される。

2. クライストロンのコンデショニング

クライストロンのコンデショニングの目的は高電圧と大電力に出力空洞、高周波窓、立体回路(導波管)等が真空状態で耐えられるように環境を整えることにある。20 μ s を越える長パルスと 2~3 μ s の短パルスのクライストロンではコンデショニングの様相が異なる。

例えば、高周波窓や立体回路に発生する放電現象はパルス持続時間の終端部から始まり始端部へ広がって行く。パルス持続時間がある値を越えると放電現象は急激に発生し易くなり、パルスが長くなればなるほど頻度が多くなる。これはコンデショニングの時間経過とともにその頻度は少なくなる。短いパルスではこの様な現象は滅多に観測されない。特に、終端部から始まる放電現象では、真空度が急激に悪化する。これは高周波電力の低いレベルが比較的長時間継続するので、マルチパクターリングを誘発するからである。従って、長パルス運転では、コンデショニング終了後も、時々、高周波電力の低いレベルでコンデショニングを丹念に行うことが重要である。

2号機のクライストロン(PV-3030A2)は、2pps の繰り返し数であるが、前半が約 100 時間、後半が約 240 時間のコンデショニングを行った結果、20 μ s のパルス幅で 26MW の高周波電力に達した。高周波窓1個のクライストロンとしては、この電力レベルは世界のトップにある。

3. トラブルとそのドキュメント

電子線利用研究施設では大小様々なトラブルに遭遇した。重いトラブルはパルス持続時間が長いことに起因するものが多かった。前回の研究会でも報告されたように、トラブルはパルストランスのバックダイオード回路の破損に始まったが、これは負荷抵抗を強化する処置により、以後この種類のトラブルは発生していない。

12月末、電子銃のコンデショニングを兼ねて電子ビームの直流加速を行ったが、コンデショニングが不十分であったために、70kV に電圧を昇圧した時、放電が起こり同時に高圧直流発生器(コッククロフト)が破損した。2月初旬、2号機のクライストロン電力を増強する途中、高周波窓が破損した。直ちに、新しいクライストロン(PV-3030A1)と交換し、長時間のコンデショニングの後、クライストロンは順調に稼働した。

3月上旬、高周波電力を増強する途上で、2号機のオイルタンク内の放電が原因で、クライストロンのヒーター回路が破損した。タンクからクライストロンを取り外し、破損部品を撤去して、クライストロンは元に戻された。コンデショニングを数回繰り返したが、以前の状態には復旧しなかった。しかし、2号機のオイルタンク内では時々放電が起こるようになった。5月上旬、加速管の真空が徐々に悪化した。原因はベローズからのリークであった。又、加速管の冷却装置が漏水したので、5月下旬、ベローズと冷却装置を交換する作業を行った。修理作業が終わり、加速管を粗排気したが真空度が仲々良くならなかった。原因は2号機のクライストロン窓の破損にあった。破損した窓に隣接する導波管は酷く汚れフランジにはリークの跡が残っていた。新しいクライストロン(PV-3030A1)に交換し、約2週間のコンデショニングを行い、6月中旬、高周波電力は元のレベルに戻った。しかし、すぐに次のトラブルが控えていた。2号機のオイルタンク内の放電が頻繁になり、やがて、クライストロンに高電圧を印加出来なくなった。絶縁オイルが汚れていたため、新しいオイルと交換した。タンク内がよく見えるようになり、放電の原因はクライストロンのヒーター用トランスの絶縁劣化によるものであることが明らかになった。しばらく加速器を運転したがコロ

ナ放電が確認され、ヒータートランスを取り外し調べると、ガラス繊維エポキシ樹脂板で作られた2次コイル枠の1部は炭化していた。早晚、このコイル枠は使用不能になることは明らかであったので、更に絶縁耐圧の高いトランスの製作を依頼した。新しいトランスが手に入るまでの応急処置として、炭化した部分を削り、再使用することにした。クライストロンを再びタンクにセットして、ヒーターを点火し耐電圧試験を行った。この時、新たなトラブルが発生した。クライストロン内の真空が悪化し、使用不能となったのである。取り外して調べると、絶縁碍子の部分に放電の跡らしきものが確認された。しかし、イオンポンプの制御電源を接続すると、クライストロンは高真空状態に戻っていた。そこで、絶縁碍子とその周辺部の温度を少し上昇させるとリークが始まり、冷やすと高真空状態に戻った。この状態を2~3度繰り返すと真空度は悪化し、高真空度状態には戻らなかった。そこで、新しいクライストロン(PV-3030A2)を設置し、ヒーター回路の接続状態を調べるために、ヒーターを点火した。しばらくして、イオンポンプが接続されていないことに気がついた。その時には、クライストロンの真空が悪化し、既にイオンポンプの動作範囲を越え、イオンポンプの排気作用に期待が持てる状態ではなかった。イオンポンプの印加電圧は低い状態(600V)でイオン電流(6mA)は使用範囲を越えたまま、約1時間経過した頃に、突然、低い印加電圧が更に低下した。諦めて、新しいクライストロンに交換する作業に取りかかる準備を始めた。念のためにイオンポンプに触ると、微かに暖かかったので、紙にアルコールを含ませて、その紙でイオンポンプを冷やした。それを5~6回繰り返し、30分程経過した時、印加電圧を再確認すると、奇跡的にも、電圧が少し上昇し始め、5分後には通常の真空度になった。それから、クライストロンヒーターのオンとオフを繰り返しながら、真空エージングを3日行った結果、クライストロン内の真空は復旧した。その後、クライストロンの印加電圧を徐々に上昇させ、耐電圧エージングを繰り返した。このエージングではクライストロンの管内放電が時々発生した。更に、高周波によるコンデショニングを行い、約2週間後の7月上旬には、20MWを越える電力レベルまでになった。

コンデショニングを継続しながら、ビーム加速を始めようとした時、オイルタンク内で激しい放電が起こった。タンクの中を覗くと絶縁トランスの2次側に巻いてあった絶縁シートが剥がれていた。クライストロンのコンデショニングを行っている間を利用して、入射部に高圧防護壁を設けた。

この耐性テストで強制放電したとき、高圧発生装置(コッククロフト)が破損した。そこで、クライストロンを取り外し、ヒーター絶縁トランスのコイルを新しいコイルに交換した後、再び、クライストロンを設置し、コンデショニングを開始した。高圧発生装置は1週間後には修理から戻ってきた。7月中旬、ビーム加速を再開し、電子ビームや放射光の特性を測定した。

4. 今後の対策

488nmの波長のレーザーを発振させるためには、200mAの電子線を約100MeVのエネルギーに安定に加速する必要がある。そのためには、高周波位相の安定化、プリバンチャーとバンチャーの集束磁場の強化、1号機の高周波電力増強、等が必要となる。位相安定化にはフェーズロックシステムの導入、集束強化には直流電源の増強と集束コイルの増設を検討している。又、1号機のクライストロンを2号機の電力レベルまで増強するには、1号機のクライストロンとヒータートランスを交換する必要がある。1号機のクライストロンはエミッション不足である。

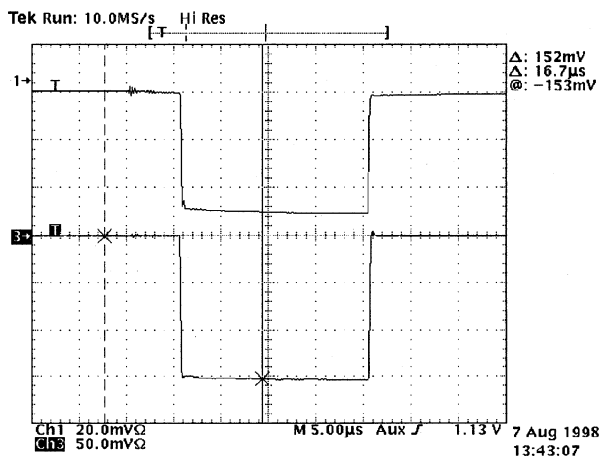


図1 上: 1号機クライストロンの出力電力波形。(20MW)
下: 2号機クライストロンの出力電力波形 (26MW)
横軸: $5 \mu s / div$

- 1) I.Sato et al., Proc. of 22nd Linear Accelerator Meeting in Japan, 104 (1997).
- 2) K.Sato et al., Proc. of this meeting.
- 3) K.Hayakawa et al., Proc. of this meeting.
- 4) T.Tanaka et al., Proc. of this meeting.
- 5) T.Tanaka et al., Proc. of this meeting.
- 6) K.Yokoyama et al., Proc. of this meeting.
- 7) Y.Hayakawa et al., Proc. of this meeting.
- 8) H.Nakazawa et al., Proc. of this meeting.