

[A16p03]

COMMISSIONING OF FEL LINAC AT NIHON UNIVERSITY

T.Tanaka, K.Hayakawa, Y.Hayakawa, Y.Matsubara, K.Sato, I.Sato, I.Kawakami,
H.Nakazawa*, K.Yokoyama*, K.Nakahara**, S.Anami**, S.Fukuda**, S.Ohsawa** and
T.Kamitani**

Atomic Energy Research Institute, Nihon University
7-24-1 Narashinodai, Funabashi, 274-8501 Japan

*College of Science and Technology, Nihon University
7-24-1 Narashinodai, Funabashi, 274-8501 Japan

**High Energy Accelerator Research Organization
1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801 Japan

Abstract

Design and construction of 125 MeV electron linac at Nihon University was started in 1994 and completed in spring of 1997. Also the beam line for the FEL experiment was completed in 1997. The rf power greater than 20 MW from PV3030A type klystron has been achieved after a long term of aging. The beam acceleration test was started in February of 1998. Measurement of the energy distribution of the accelerated electron beam, the spectrum of the undulator radiation, and the dependence of the wavelength of the undulator radiation on both the undulator gap width and the electron energy, have been performed as a preliminary experiment for FEL oscillation.

日大 FEL 用リニアックのコミッショニング

1. はじめに

KEK、電総研、東北大及び動燃の協力を得、日本大学理工学部船橋校舎において自由電子レーザー (FEL) 用を主目的として 1994 年度から建設が始まった 125MeV 電子線形加速器は、1997 年春にほぼ装置の組み立てが完了した[1]。その後、ビーム加速実験へ向けて真空の立ち上げ、各部の試験運転、RF 系のエージング、制御系と入射部の整備、など準備が続けられた。

この間に、クライストロン電源が故障し最終的な修理に時間がかかったために RF 系のエージングに長期間を要し、またその後電子銃用の 100kV 直流高圧電源の故障が発生したことから、本格的にリニアックの出口までビームを導く加速実験が開始されたのは 1998 年 2 月上旬であった。

現在、リニアックは初期故障などのトラブルが減少し、比較的安定にビームを加速できる状態になりつつあり、ビーム特性の計測[2]や FEL 発振実験に向けたアンジュレーター放射光スペクトルの計測[3]など電子線利用研究のためのビーム供給を開始している。

本報告では、リニアックの立ち上げから電子ビーム利用実験の現状に至るまでの経過について述べる。

2. パルスモジュレータの初期故障

FEL に本格的に使用するためにクライストロン用パルスモジュレータの出力パルス幅は半値幅で 30 μ s ある。このため蓄積エネルギーが大きく、クライストロンで放電が生じたときのモジュレータ保護のためにバックダイオード回路を挿入してある[4]。しかし、当初組み込んであった回路では耐電力不足のためクライストロンで数回放電が生じると破損してしまった。

このため耐電力の高い素子に変えることにしたが、素子の入手に時間がかかり、この交換までモジュレータの運転を数ヶ月間停止した。しかし交換後はクライストロンの放電が起きても全く問題は生じていない。

3. クライストロン周辺の問題

リニアック本体の大部分は、KEK の PF 入射器

系で陽電子発生用に使われていた S バンドリニアックの一部を移転・再構成したものである。

同時に 2 台使用するクライストロンは全て KEK で使用済みの PV3030A を借用している。従って、十分エイジングされ長時間の使用実績があるクライストロンであり、その意味では信頼性の高いクライストロンを使用していることになる。

しかしクライストロン出力 RF はパルス幅 $20\mu\text{s}$ と広く、その上で出力ピーク電力 20MW 以上が要求され、KEK での従来の使い方とは大きく異なる。このため、RF 系の立ち上げの中で最も懸念された問題はクライストロン出力窓の破損であった。

図 1 にリニアック全体を見渡す写真を示す。図 1 の上端左側が入射部、下端右側がリニアック出口側である。

入射部を含むリニアック上流側に使われているクライストロン 1 号機は、最初に RF エイジングと出力試験を行った物がそのまま 1 年以上全く問題なく稼働している。それに対して、リニアック下流側に使用されているクライストロン 2 号機のみが、これまでにエイジング中または使用中に 3 台が使用不能になった。その原因の内訳は

- 1 台目：出力窓の破損
- 2 台目：出力窓の破損
- 3 台目：電子銃付近の真空リーク

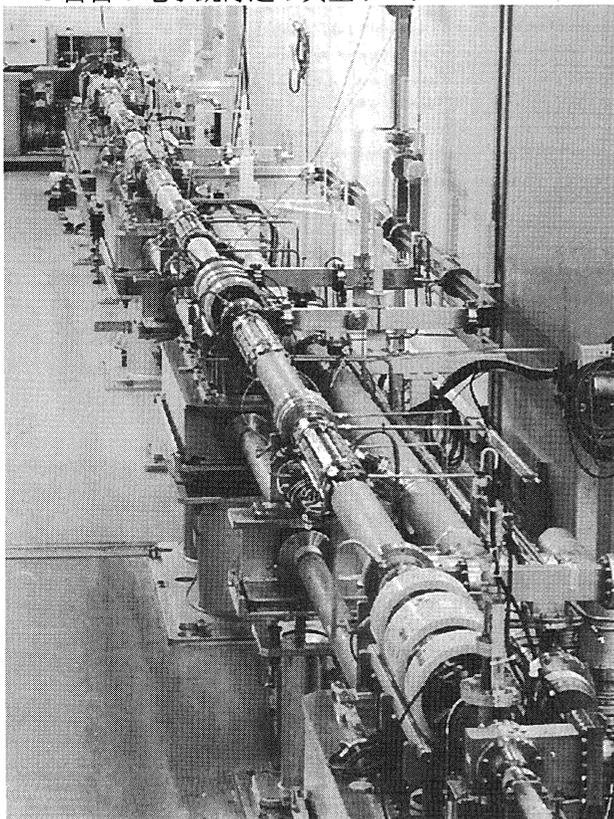


図 1. 125MeV 電子リニアックの全景。上端左が入射部、下端右がビーム取り出し出口。

である。

また、2 号機ではパルストランスバンク内で放電が頻発し、クライストロンヒーター用絶縁トランスが破損したため急遽絶縁トランスを交換した。1 号機でも放電は起きるが頻度は少なく、破損には至っていない。

4. 電子銃の整備と高圧電源の故障

当面 DC 電子銃を使用するため、マイクロトロンに使用していた 100kVDC 電源、高圧ステーション、電子銃の制御・モニターシステムを全て流用している。電子銃カソードには EIMAC 646E を用いている。

ただし、マイクロトロンでは 1mA 程度のピーク出力電流だったのに対し、 1A の出力が必要となること、さらに従来はカソードコモンで使用していたのに対し 646E はグリッドコモンでの使用となるために、電子銃グリッドパルサー回路を始めとして電子銃駆動回路を大幅に変更する必要があった。グリッドパルサーは TTL とトランジスタ回路を使い $2\sim 20\mu\text{s}$ の間でパルス幅可変、パルス立ち上がり $2\mu\text{s}$ 程度である。

また、高圧電源は $\text{DC}10\text{mA}$ の定格なので、パルスビーム取り出しの際の電圧降下を避けるために出カークラウド間に $0.1\mu\text{F}$ のオイルコンデンサーを取り付けた。このままの状態では高圧を 70kV 程度まで印加したときに放電が生じ、コンデンサーの蓄積エネルギーが瞬間的に解放されたために高圧電源が故障した。

そこで、高圧ステーションの放電の際、放電のショックを軽減し高圧電源を保護するためにコンデンサー-高圧ステーション間に 100Ω の抵抗を挿入した。また、出力端子-コンデンサー間にも 500Ω の抵抗を挿入した。蓄積エネルギーが大きいため放電時の音は非常に大きい。改良後の放電では高圧電源の故障は起きなくなった。

5. 制御系の整備

パルスモジュレータの運転は、電源が 2 台のみであることと、制御室とモジュレータ室が隣り合わせであることから、当面はローカル制御でのみ行っている。

冷却装置系は現在、全てローカルに運転を行っているが、冷却系全体の動作をモニターするシステムがなく、一部の冷却系が停止したまま機器を動作させる危険があるため、インターロックも含めて制御室で集中管理するよう整備中である。

リニアックのステアリングコイルと四極電磁石

の電源のほとんどはマイクロトロンに使用したものを流用し、制御とモニターは全てシーケンサーを経由してパソコンで行う方式を採用した[5]。従って制御卓は現在、普通の作業机で間に合っている。

6. ビーム加速試験

1997年末まで数100時間に及ぶクライストロンのエージングの結果、1号機2号機とも繰り返し2Hzでほぼ20MWの出力が得られるようになり、1998年2月には、ビーム加速試験が行えるようになった。

電子銃からの引き出し電流はカソードの活性化が十分でないためピーク電流400mAに制限されているが、リニアック出口では最高値で80mAが得られている。

加速エネルギーはこの電流で100MeVを越えている。出口の直線部に設けられた分析電磁石で偏向されたビームプロフィールをモニターし、ビームエネルギーが揃うよう調整すると大部分が数%以内に集中することが確認できた。

しかし、FELに使用するビームは全幅0.5%のビームであるため、図2に示したFEL用ビームラインに入射されたビーム電流は1/2程度に減少している。さらに、クライストロンに入力しているRFは、まだパルス内の時間で精密に振幅・位相とも制御されていないためにパルス内においてもパルス間においても変動しており、その結果リニアック出口の直線部では一見安定なビームが、FELラインでは非常に電流変動が激しい。このため、今年度中にRFの安定化を計る予定である。

7. 可視FEL発振へ向けた実験

電子ビーム利用の当面の目標は、可視領域でのFEL発振である。従って、ビームの繰り返しはクライストロンに不安があるため2Hzに抑え、RFパルス幅もエージングがまだ十分ではないため、より安定したビーム供給を前提に取り敢えず10 μ s以下で実験を開始している。

アンジュレーターは最小ギャップ11mmから最大200mmまでビームを通しながら任意に変えられる。ギャップの変化に伴うアンジュレーター光の波長変化は、カラーCCDカメラと眼視での観測から、定性的には期待される通りに変化しておりギャップ駆動機構には特に問題がないことが確認された。

これまでに、488nmでのFEL発振実験に向けてアンジュレーター光の波長とスペクトルを測定するなど、光計測系の整備も行っている。

FELラインを通過するビーム電流がリニアックの調整によって大きく変動するため、今後リニアックの運転に熟達することと、ビームの安定化が重要な課題となる。

参考文献

- [1]I.Sato et al., Proc. of 22nd Linear Accelerator Meeting in Japan, (1997) 104.
- [2]K.Yokoyama et al., Proc. of this meeting.
- [3]H.Nakazawa et al., Proc. of this Meeting.
- [4]K.Hayakawa et al., Proc. of 22nd Linear Accelerator Meeting in Japan, (1997) 41.
- [5]K.Hayakawa et al., Proc. of this Meeting.

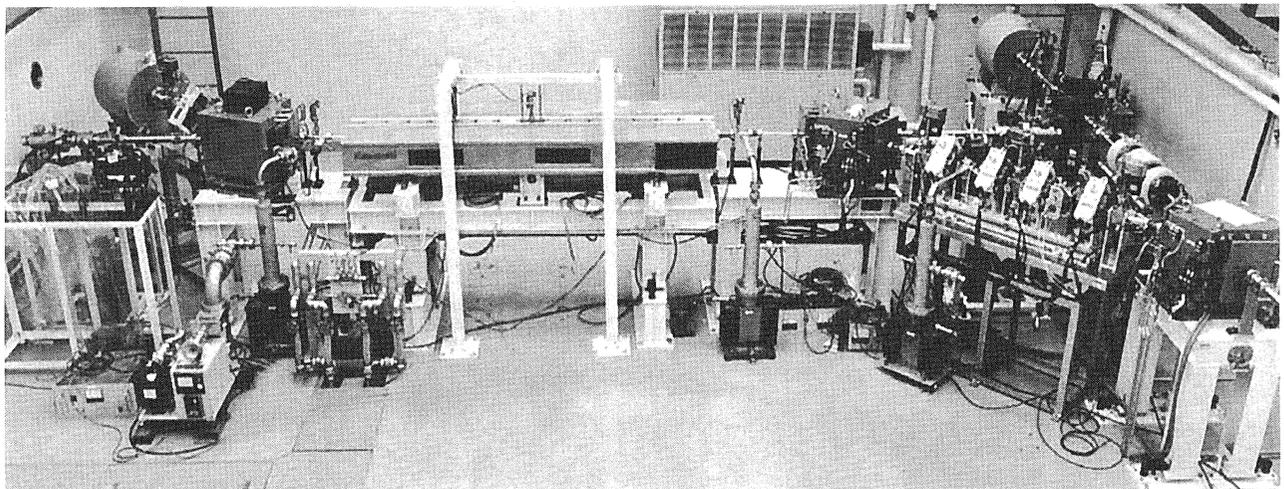


図2. FEL 実験用電子ビームライン。リニアック出口の直線ビームライン（右端手前側）から90°偏向系を経てFEL用アンジュレーター・光共振器にビームが導かれる。