

[07-A04]

## THE PRESENT STATUS OF LEBLA IN NIHON UNIVERSITY

I.Sato, I.Kawakami, K.Sato, Y.Matsubara, K.Hayakawa, T.Tanaka, Y.Hayakawa  
 H.Nakazawa\*, K.Yokoyama\*, K.Kanno\*, T.Sakai\*,  
 A.Yagishita\*\*, K.Nakahara\*\*, S.Anami\*\*, S.Fukuda\*\*, H.Kobayashi\*\*, A.Enomoto\*\*, T.Ohsawa\*\*,  
 S.Yamaguchi\*\*, S.Michizono\*\*, T.Suwada\*\*, T.Kamitani\*\*, M.Kato\*\*, K.Tsuchiya\*\*,  
 A.Iwata\*\*\*, M.Kawai\*\*\*, K.Nohmaru\*\*\*, F.Oda\*\*\*

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

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

\*\*High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Oho 1-1, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801 Japan

\*\*\*Kanto Technical Institute, Kawasaki Heavy Industries, Ltd. Futatsutsuka 118, Noda-shi, Chiba-ken, 278 Japan

### Abstract

The present installation in Laboratory for Electron Beam Application (LEBRA) consist of the 125 MeV electron linac and the FEL generator. First commission of the linac was performed on January of 1998 and then succeeded in acceleration of 93 MeV. Spontaneous emission (SE) from FEL system were observed by the use of CCD camera. Continuously, the spectrum of SE was measured by the use of the monochrometer. The characteristics (energy spread and emittance) of the electron beam also were measured. On commissioning, we frequently fell on the breakdown into the oil vessels of pulse transformer with the klystron modulators. It originated in the break down of ceramic window with the klystron. We did not experience any breakdown since the isolation transformer was changed with the improved one. The running time of the linac in 1998 physical year was over 1500 hour. However a large number of it was lost conditioning for klystrons. At present, we proceeded with studies of FEL oscillation of 488 nm in a visible ray. It will discuss progress towards using the linac for application studies due to multi-radiation.

### 日本大学電子線利用研究施設の現状

#### 1. はじめに

日本大学の電子線利用研究施設 (LEBRA)<sup>1)</sup>では、1994年度に電子線形加速器と自由電子レーザー発生装置の建設<sup>2-3)</sup>を開始し、1998年3月に完成した。1998年1月には90 MeV 20mAの最初の電子ビーム加速<sup>4-5)</sup>に成功し、引き続き、2月には電子ビームを自由電子レーザー発生装置に輸送して自発放射光を観測した。放射光の計測効率を上げるため、放射光は制御室まで導かれた。

クライストロン・モジュレーターを稼働し始めてから、パルストランスを収納しているオイルタンク内で時々放電<sup>6)</sup>が起っていた。次第に放電が頻発し、印加電圧が低下した。その原因はクライストロンのヒーター用として使用した絶縁トランスの耐圧低下にあった。1998年末に改良した絶縁トランスと交換した結果、放電は皆無となった。1998年10月、入射部の集束系を強化し、電子ビーム強度は100mAから180mAに増強された。高感度CCDカメラを、モノクロメーターやストリークカメラと連結して自発放射光のスペクトルや電子ビームのパンチ状態をリアルタイムで計測している。制御系やインターロック系も整備されて、電子線形加速器を一人で運転<sup>7)</sup>することが可能となった。

1998年度は1500時間を越える運転を行ったが、その大半はクライストロンのコンデショニングに費やされた。電子ビームのエネルギーと電流に不安定要素があり、自由電子レーザーが発振する条件が整っていない。ビーム不安定性の原因を多方面から追求中である。このように多くの問題点を抱えているが、自発放射光をベースにした利用研究を1999年度の後半から開始する予定である。

#### 2. 運転状況

各年度の運転は下記のような事項で行われた。

1996年度: クライストロンモジュレーターの動作特性

1997年度: クライストロンのコンデショニング

クライストロンの出力電力動作特性

高周波電子銃の高周波空洞

直流電子銃の動作特性、電子線加速

自発放射光の計測

自由電子レーザーの基礎実験

1998年度: クライストロンのコンデショニング

自発放射光のスペクトル

電子線のエネルギー分散

エミッタンス特性

自由電子レーザーの基礎実験

放射線シールド効果測定

過去3年間(1996年度～1998年度)の通電時間、稼働日数、ビーム加速時間、ビーム加速日数を表1に示す。

表1 電子線形加速器の稼働状況

年度	通電時間	通電日数	ビーム加速 時間	ビーム加速 日数
1996	71	8	0	0
1997	559	61	50	13
1998	1617	159	160	40

#### 3. クライストロン運転状況

電子線利用研究施設ではKEKで使用済みになったクライストロン(PV-3030:三菱電機製)の提供を受け、定格を遙かに越えた規格で使用している。非常に過酷な状態で使用

しているために、高周波窓の破損頻度が高い。しかし、PV-3030A2型では、繰り返し2Hz、パルス幅20 $\mu$ Sで高周波電力26MWの成果が得られている。

### 3.1 クライストロンの使用状況

KEKから供給されたクライストロン13本の品名、番号、動作状態、使用した場所を表2に示す。

表2 クライストロンの使用状況

	品名	番号	交換日	動作状態
1	PV3030BI	87514	970225	窓破損 #1
2	PV3030A1	88501		保存中
3	PV3030A1	88516	980207	窓破損 #2
4	PV3030A1	?	980206	真空不良
5	PV3030A1	90503		窓破損 #1
6	PV3030A1	90507	970305	使用中 #1
			990524	再使用 #1
7	PV3030A2	91501	980521	真空不良
8	PV3030A2	91502	980619	窓破損 #2
9	PV3030A2	91503	980619	真空不良
10	PV3030A2	91506	990215	窓破損 #2
11	PV3030A2	92502	980708	窓破損 #2
12	PV3030A2	92503	981210	窓破損 #2
13	PV3030A2	92501	990611	使用中 #2

#1、#2:モジュレーターの番号

### 3.2 クライストロンの運転経過と最大動作例

本研究施設で使用する最大必要電力は70MW $\times$ 12.5Hz $\times$ 30 $\mu$ Sであるがクライストロン(PV3030)はこの電力負荷テストをクリアした。しかし、高周波電力の最大負荷試験は、12MW $\times$ 20 $\mu$ S $\times$ 12.5Hzまで行った。これ以上の負荷試験はクライストロンを破損する可能性があるので行っていない。これまでにモジュレーター1・2号機で運転された各クライストロンの動作状況並びに破損時の最高性能を表3に示す。クライストロン(番号:90507)以外は何れのクライストロンも高周波窓が破損した。高周波窓の破損は、ほとんどがセラミック窓面に垂直方向に電界が加わった放電によるものと推定される。高周波窓が破損するまでの経過(電力 $\times$ パルス幅 $\times$ 繰り返し)にはクライストロンの個体差があった。

表3 クライストロンの最高性能

品名	番号	最高性能
PV3030A1	90507	20MW 20 $\mu$ S 2Hz
*PV3030A2	91506	19MW 13 $\mu$ S 2Hz
*PV3030A1	87514	24MW 20 $\mu$ S 2Hz
*PV3030A1	88516	21MW 8 $\mu$ S 2Hz
*PV3030A2	91501	26MW 15 $\mu$ S 2Hz
*PV3030A2	92502	26MW 20 $\mu$ S 2Hz
*PV3030A2	92503	26MW 20 $\mu$ S 2Hz

\*PV:破損したクライストロン

## 4. 電子線形加速器の構成

電子線形加速器の加速システムは、図1に示すように、電子銃、プレバンチャー、バンチャー、0.3m加速管、4m加速管3本で構成される。この加速システムは、2つのブロック(加速ユニット#1、#2)に分割され、2本のクライストロンから

出力される高周波電力は立体回路によって、それぞれの加速ユニットに供給されている。プレバンチャー、バンチャー、4m加速管3本の加速空洞は $2\pi/3$ 位相シフトモードであるが、0.3m加速管の加速空洞は、 $\pi/2$ 位相シフトモードで構成されている。加速ユニット#1は構成が複雑になっている。

クライストロンの出力電力は方向性結合器で約5:1に分割される。6分の1の高周波電力はバンチャーに、6分の5の高周波電力は0.3m加速管に供給されている。0.3m加速管を通過した電力は大電力移相器を経て更に4m加速管に供給されている。

## 5. デスカッション

### 5.1 ビーム電流の増強

ビーム電流を増強するために、1998年12月、バンチャーと30cm加速管の間のドリフトスペースと30cm加速管に集束コイル(FC2,FC3:図1参照)を強化した。強化後は30cm加速管を通り抜けるビーム電流は約2倍になった。その結果を表4に示す。

表4 ビーム強度の改善 (単位: mA)

計測場所	強化前	強化後
電子銃	400	400
バンチャー出口	280	280
0.3m加速管出口	100	220
入射部出口		180
加速器出口	80	180

### 5.2 加速管セッティング

加速ユニット#2は、図1示すように、4m加速管2本で構成されている。各加速管のビーム負荷と高周波位相の関係を調べた結果、2本の加速管の間は指定寸法より18mm狭く設置されていた。現在、修正作業中であるが、このために、2本の加速管の間に60度の位相差が生じた。#2で得られる加速エネルギーは約15%減少し、予定のエネルギーを得るには、クライストロン高周波電力を約30%増強しなければならなかった。一方、自由電子レーザーシステムは488nmの波長に最適化されている。この波長で基礎実験を行うには、約100MeVの電子ビームエネルギーが必要であった。この条件を満たすため、クライストロン#2は電力増強が要求され、これがクライストロンの高周波窓が破損する原因の1つになったと推定される。

### 5.3 パルストランスタンク内の放電

クライストロン・モジュレーターの運転を開始した当初からパルストランスのオイルタンク内で時々アーク放電が起こり悩まされた。原因を追及した結果、クライストロンのヒーター絶縁トランスの耐圧劣化に起因することが明らかになった。この放電トラブルがクライストロンの高周波窓破損に発展したこともあった。そこで絶縁トランスの耐圧を上げ電界強度を下げる改良を行った。クライストロン・モジュレーターの1号機と2号機の絶縁トランスは1998年12月と1999年2月に改良型に交換された。以後この種類の放電トラブルは起こっていない。

### 5.4 高周波電源に起因するビーム不安定性

加速ビームが不安定になる原因はまだ特定できていな

# 125MeV ELECTRON LINAC

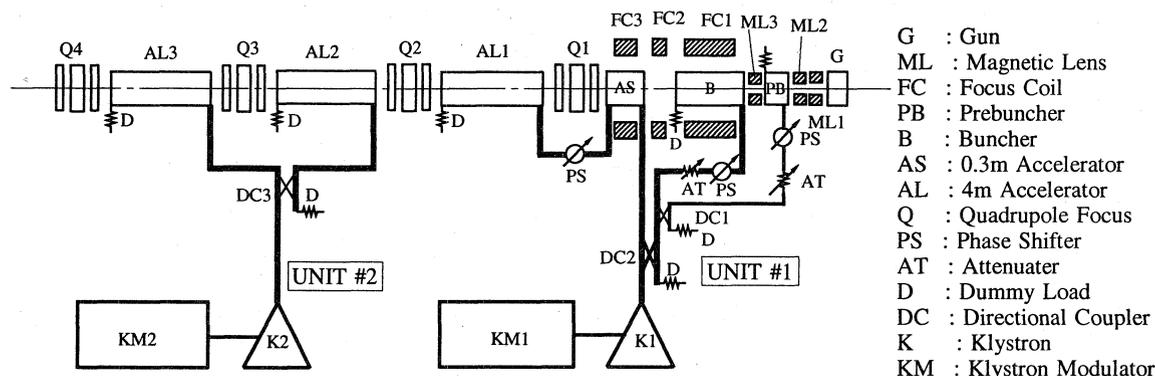


図1 日本大学電子線線形加速器のブロックダイアグラム

い。しかし、高周波出力電力の変動には高周波源の入力交流電圧変動が関連していた。調査の結果、サイクロン・ヒーター電圧を安定化すると変動が緩和されることが明らかになった。

一方、PFNからパルス電力が負荷(クライストロン)に供給された後に1度切れたサイクロンが1パルス持続時間だけ再点火する現象が不規則に発生した。dQ方式を採用していない本施設では、再点火すると次のパルス電圧が変動する。この現象は特にPFN電圧が低い場合に多発した。PFN電圧が低いと負荷抵抗が大きくなり、PFNとの整合がずれる。従って、PFNに電荷が残り、再点火し易くなる。現在、再点火しない回路構成を検討中である。クライストロンの入力電力は800Wパルス高周波増幅器から供給される。この半導体増幅器は20 $\mu$ Sの間に約15度位相がシフトする。これはパルス内でビームエネルギーが少なくとも約1%変動することを意味する。この位相変動を約5 $\mu$ S以内に補償するシステムを開発し動作試験を開始した。

## 5.5 その他のビーム不安定性

0.3m加速管で電子ビームの1部が欠落し、その出口でビーム電流が僅かに変動すると、ビーム輸送(45度偏向)系ではビーム電流が大幅に変動した。この変動はパルス持続時間内でも各パルス間でも観測され、集束系励磁電流や電子銃の安定性に関連していると思われる、その対策を検討中である。プレバンチャーやバンチャーに電子ビームより遅れて高周波電力を供給すると加速ビームが不安定になった。その上、ビームモニターではパルスビームが櫛状になり、ストリークカメラでは歯抜けのバンチビームが観測された。この不安定性はビームパルスの先端部から終端部までどこでも発生する状態であり、原因を追究中である。

## 5.6 自由電子レーザーシステム

低い利得でも発振するように光空洞共振器は反射率の高い誘電体多層膜ミラー(>約99.9%)を用いているので、透過光のバンド幅は狭い。又、多層膜を透過する光は減衰され、取り出し光は光空洞共振器に蓄えられた光の約10<sup>-6</sup>程度となる。自由電子レーザー基礎実験の初期段階では自発放射光を使って共振器の調整が行われるが、この段階の透

過光は非常に微弱であり、ミラー光軸やミラー間隔を微細に調整し最適状態にすることが極めて困難であった。又、光空洞共振器に自発放射光の蓄積を試みたが、同様な理由から、確認することは不可能であった。反射率0.5%程度のビームスプリッターを共振器に挿入して調整(チューニング)することを試みている。

## 6. おわりに

現在、自由電子レーザーシステムを通過する電子ビーム強度(約40mA)は小さく、且つ、不安定である。又、電子ビームはパルス持続時間内でも各パルス間でもエネルギーが不揃いであり、その上、ビーム電流にも同様な不安定要素が潜在している。このために、自由電子レーザーを発振させる状況ではない。しかし、放電トラブルが沈静し、加速システム(ユニット#2)の修正により加速エネルギーが増強され、クライストロンも極限状態の稼働から解放されるつつある。又、ビーム不安定の原因が少しずつ明らかになってきた。一方、自由電子レーザーの基礎実験を継続する環境は徐々に整いつつある。最近、高感度CCDカメラを導入し、モノクロメーターやストリークカメラと連結して自発放射光のスペクトルや電子ビームのバンチ状態をリアルタイムで計測し、ビーム調整に活用できる目途がたつた。この利点を電子ビーム調整にも活用することを考慮中である。

## References

- 1) I.Sato, et al., Proc. of 22nd Linear Accel. Meeting in Japan, 104 (1997).
- 2) K.Hayakawa, et al., Nucl.Instr.and Meth.A375 (1996)ABS25.
- 3) T.Tanaka, et al., Nucl.Instr.and Meth.A407 (1998)II-103.
- 4) T.Tanaka, et al., KEK Proceedings 98-10 Nov. 1998 A722.
- 5) T.Tanaka, et al., Proc. of 23rd Linear Accel. Meeting in Japan, 25 (1998).
- 6) I.Sato, et al., Proc. of 23rd Linear Accel. Meeting in Japan, 22 (1998).
- 7) K.Hayakawa, et al.,Proc. of 23rd Linear Accel. Meeting in Japan, 167 (1998).