

[30 a – 8]

CONSTRUCTION OF THE FEL AT NIHON UNIVERSITY

K. Hayakawa, T. Torizuka, I. Sato, T. Tanaka, K. Sato, Y. Matsubara, I. Kawakami, H. Nakazawa, H. Yachi, S. Anami^A, S. Fukuda^A, T. Kurihara^A, T. Kamitani^A, S. Osawa^A, A. Enomoto^A, S. Toyama^B, M. Nomura^B, Y. Yamazaki^B, T. Yamazaki^C, K. Yamada^C, M. Ikezawa^D, Y. Shibata^D and M. Oyamada^E

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

^A National Laboratory for High Energy Physics, 1-1, Oho, Tsukuba, 305

^B Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, 4002, Narita-cho, Oarai, Ibaraki-ken, 311-13

^C Electrotechnical Laboratory, 1-1-4, Umezono, Tsukuba, 305

^D Research Institute for Scientific Measurements, Tohoku University, 2-1-1, Katahira, Aoba, Sendai,

^E Laboratory of Nuclear Science, Tohoku University, 1-2-1, Mikamine, Taihaku, Sendai, 982

Abstract

The construction and development of an UV free electron laser has been started under the cooperation of Nihon U, KEK, PNC, ETL and Tohoku U. at 1994. Two long-pulse pulse modulators are completed since end of 1995. The electron linac approximately completed installation except for the injector. The linear undulator with 24mm of period length were installed by this summer. Experimental production of the rf-gun cavity is completed.

日大 FEL の建設

1. 序

日本大学原子力研究所では、1994 年以来、高エネルギー物理学研究所、動燃、電子技術総合研究所、東北大学との共同開発研究として、理工学部船橋校舎において紫外領域自由電子レーザー施設の建設を進めている¹⁾。昨年までに 2 台のロングパルスパルス変調器が完成しており、20μsec のパルス出力を確認した。また、今年の夏までに

加速管及び立体回路の大部分の設置が完了した。FEL の部分ではウィグラー及びビーム偏向電磁石の設置が完了した。マイクロ波電子銃は試作機の空洞が完成した。第 2 節では加速器及び自由電子レーザーの概要及び仕様を述べる。第 3 節ではパルス変調器、第 4 節ではウィグラーについて、第 5 節では加速器本体部の建設状況に、第 6 節でマイクロ波電子銃について報告する。

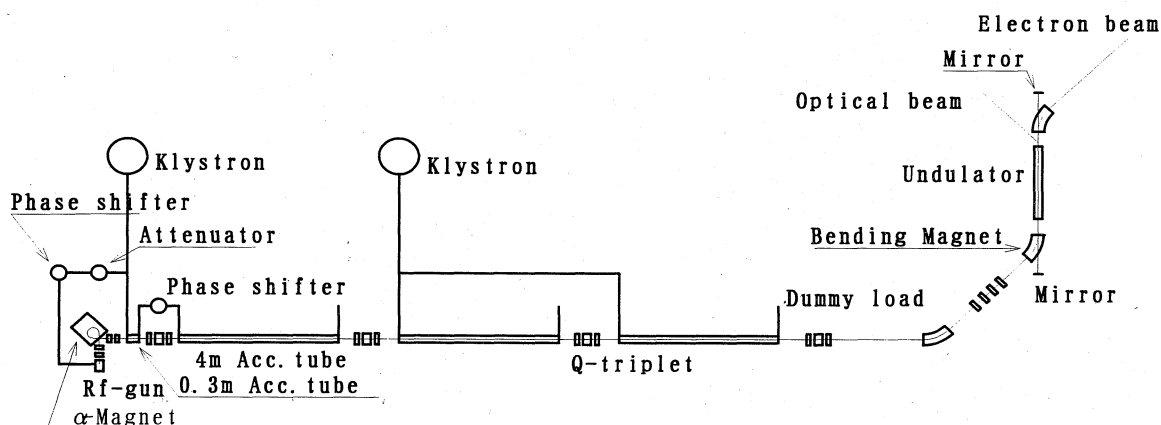


図 1 電子ライナック及び自由電子レーザー概略図

表1 電子ライナック及び光共振器のパラメータ
電子ライナック

エネルギー	60~125	MeV
周波数	2856	MHz
マクロパルス幅	5~20	μsec
マクロパルス繰返し	1~12.5	Hz
マクロパルス平均電流	200	mA
マイクロパルス電流	20	A
マイクロパルス幅	3.5	psec
光共振機		
アンジュレータ周期長	24	mm
アンジュレータ周期数	100	
Kパラメータ	0.75	
光共振器長		m

2. 概要

加速器の構成は前回の報告のとおり、4 m 加速管 3 台と 30MW クライストロン 2 本により最大 125MeV まで加速する。電子銃にはマイクロ波電子銃を用い、高輝度ビームの発生を目指す。アンジュレータは、周期長を 2cm から 2.4cm に変更した。電子ライナック及び FEL の概略を図 1 に、パラメータを表 1 に示す。

3. パルス変調器

パルスライナックで自由電子レーザを発振させるためには、その利得が小さいことから、長いパルス幅であることが要求される。また、クライストロンの印加電圧の変動はマイクロ波出力の位相変動となるため、平坦度の高いパルス変調器が要求される。光パルスと電子ビームのマイクロパ

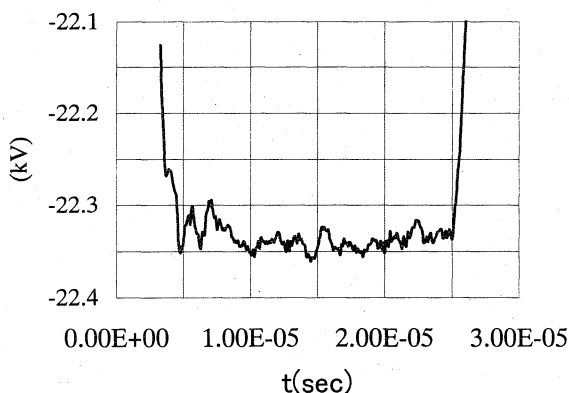


図 2. パルス波形の拡大図、縦軸の一目盛りがおおよそ 0.23% に相当する。

ルスが光キャビティ内で空間的に重なっていないなければならないが、この計画では、バンチ長が 1mm 程度なので、位相の変動はこの 10% 程度にしなければならない。これは電圧変動に換算すると 0.05% 程度となる。この特性を実現するために、PFN を 30 段とし、0.04% の電圧安定度の DC 電源を使用した。また、PFN のインダクタンス調整をすべて遠隔操作できるようにしたため、パルス波形の平坦度が容易に調整できるようになった。パルス変調器の負荷試験は、パルス幅が広いので、クライストロンで行うことが困難であった。このため、ほぼ同じインピーダンスのダイオードを負荷として使用した。この試験に平行して PFN 調整の試験を行った結果の一部を図 2 に示す。これは一次側のパルスの頂上部分を拡大表示したもので、大まかな調整をただけであるが、20μsec のパルス幅で、およそ 0.2% の平坦度が実現している。さらに丹念な調整を行えば目標とする 0.05% に近い値まで達成することができると考えられる。

4. ウィグラー

ウィグラーはハルバックタイプのリニアウィグラーで、磁場の向きは水平方向、すなわち電子は上下に振動する。周期長は 24mm で、周期数は 100、最大中心磁場は 0.9T、ギャップ間隔は遠隔操作で変えることができ、最小ギャップは 11mm である。この場合 K パラメータの値はおおよそ 0.75、従って電子エネルギー 125MeV の時、共振波長は、

$$\lambda_o = \frac{\lambda_u(1+K^2)}{2\gamma^2}$$

より、およそ 310nm となる。永久磁石素材として、熱的には不安定であるが、高い残留磁束密度を確保するために、NdFeB 磁石を採用した。

5. マイクロ波電子銃

紫外領域の自由電子レーザを発振させるためには、非常にエミッタンスの小さい電子ビームが要求される。低エミッタンス電子ビームを発生するために、我々はマイクロ波電子銃の開発を行っている。前回報告した 2 段階では、試作の空洞の形状を決定し、満足できる性能が得られる見通し

が得られた。シミュレーションから得られたビーム特性を表2に再掲する。空洞の設計を行い、現在製作中である。マイクロ波電子銃に LaB₆ カソードを使う場合、カソード部分の熱的絶縁と間げき部分からマイクロ波が導入部同軸部を通過して外部に漏れないようにするため、電氣的にシヨートしなければならない。これを実現するために、空洞壁に穴をあけ、カソードを円柱状ステムの先端に取り付けて挿入し、ある場所でマイクロ波的コンタクトを取り付ける。マイクロ波電子銃の運転時にはカソードの位置を微調整する必要

表2 マイクロ波電子銃の特性

傾き	< 10	mrad
平均エネルギー	200	mA
エネルギー幅	< 250	keV
ビーム半径	< 2	mm
エミッタンス	< 2.5	πmm.mrad
最大エネルギー	1.5	MeV

が生ずるので、コンタクト部で可動構造となっていないなければならない。カソードステムと空洞との間は同軸構造となっているため、マイクロ波がこの部分に侵入し、コンタクト部分の微小な隙間で放電を起こすことが指摘されている。これを避けるため、ここではチョーク構造を採用した。図3に SUPERFISH で解析したチョーク付き同軸線路内の磁場分布を示す。この図でわかるように、同軸線路の空洞への開口部で磁場が最大、すなわちシヨートが実現しており、チョークより外側へはほとんどマイクロ波が漏れていないことがわかる。現在、空洞は完成したばかりで、まだ大電力テストは行っていない。

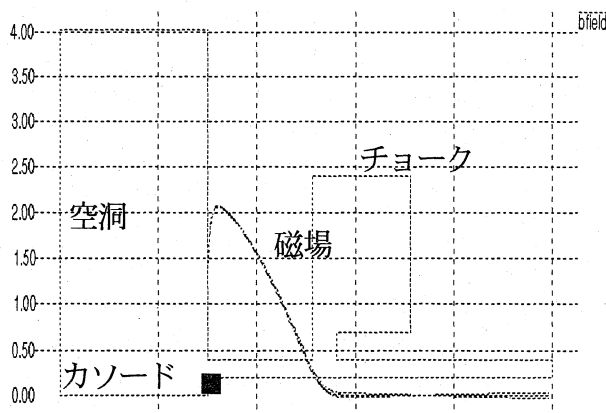


図3 チョーク付き同軸構造内の磁場分布。

6. 加速器本体部

電子リニアック本体は高エネルギー物理学研究所のポジトロン発生用リニアックの一部を移設したものに入射部を付け加えたものである。図1に示すように、入射部は、マイクロ波電子銃、 α 電磁石、30cm 加速管から成り、主加速部は、4m 加速管3本から構成される。下流側の2本の4m 加速管にはクライストロンのマイクロ波出力を2分割して供給する。上流側はクライストロンからの電力の一部をマイクロ波電子銃に供給し、残りの電力を30cm 加速管と4m 加速管に直列に供給するようにしている。このような加速管の構成にするのは、加速の初期段階では電子の速度の変化が大きいため、長い加速管では位相のずれが大きくなり、途中で最適位相からはずれてしまうのを回避するためである。また初期加速をなるべく強い加速勾配で加速したい、立体回路の部品数を減らしたい、等の意味合いもある。

現在までに、加速管の設置と、立体回路のクライストロンへの接続が完了している。クライストロンは定格出力 30MW、通常パルス幅 2.5 μ sec で運転されている球を、パルス幅と出力がどこまで伸ばせるかを試験し、その最大使用で運転を行う。目標は 10 μ sec、15MW である。次のステップとして、定格出力 50MW を用いて、10 μ sec のパルス幅で 30MW 出力、あるいは、20 μ sec、15MW での運転を目指す。

参考文献

- 1) Y. Torizuka, et. al., Proc. 20th Linear Accelerator Meeting in Japan 78(1995)
- 2) K. Hayakawa, J. Hatomi, I. Sato, T. Kamitani, Proc. 20th Linear Accelerator Meeting in Japan 41(1995)