

[13P-28]

Status of KHI-FEL at IR FEL Research Center of Science University of Tokyo

M. Yokoyama, F. Oda, K. Nomaru, H. Koike, M. Sobajima, H. Miura, H. Hattori, M. Kawai, *H. Kuroda

Kanto Technical Institute Kawasaki Heavy Industries, Ltd

*Research Institute for Science and Technology, Science University of Tokyo

Kawasaki Heavy Industries, Ltd.(KHI) has designed and assembled a compact FEL device of a 5-16 μ m light source. The KHI FEL device was installed in the FEL-SUT(IR FEL Research Center of Science University of Tokyo) in March, 1999. It consists of a 40MeV accelerator, a beam transport system with two 25-degree bending magnets, an undulator of 40 periods and 32mm period length, and a cavity mirror system. The operation of the FEL device was started in January, 2000. In this February, spontaneous emission from the undulator was obtained. The beam transport, micro bunch length and cavity length are being tuned.

東京理科大学赤外自由電子レーザー研究センターにおける KHI-FEL装置の現状

1. はじめに

川崎重工業ではリニアックを用いた赤外域の自由電子レーザーの開発を行ってきている。リニアックにはRFガンと α 電磁石を用いた初段加速部と3m加速管の主加速部で構成される MARK-IIIタイプが採用された。[1-3]また、RFガンはエネルギーが約2MeVで空洞の基本構造として、2つの加速空洞の間に結合空洞を持つ On-axis coupled structure (OCS) が採用されている。[4]装置の設計製作は99年度までに完了し、製作された装置は、東京理科大学に開設された赤外自由電子レーザー研究センター (FEL-SUT) に設置された。本年1月よりビームの調整運転を開始している。

表1 KHI-FEL装置基本パラメータ

KHI-FEL		Unit
Accelerator		
Beam macropulse length	6(Max)	μ s
Beam energy from the rf-gun	2	MeV
Beam energy in the undulator	32(Max.40)	MeV
Micropulse peak current	>30	A
Energy spread(FWHM)	~0.5	%
Normalized emittance	11	π mmmrad
Repetition rate	10	Hz
Laser		
Wave length	5-16	μ m
Micro-pulse repetition rate	2856	MHz
Cavity length	3.36	m

2. KHI-FEL装置

ユーザー利用装置として世界で稼動している常電導線形加速器のFEL装置は、二つのタイプがある。ひとつは、RFガンにより低エミッタンスのビームを引き出し α 電磁石系でビームを数psまでバンチ化するとともにエネルギーが大きくなったビームを削ぎ落とし、加速管において主加速するものでアメリカのデューク大学、バンダービルト大学の MARK-III[5-7]と中国 IHEPのB-FEL[8]がそれにあたる。もうひとつのタイプは、低エミッタンスのDCガンから引き出されたビームをバンチャー、ハーモニックバンチャーそして集束コイル等を用いてバンチ化するタイプで、日本のFEL研、オランダFOMのFELIX、フランスのLUREのCLIOがそれにあたる。

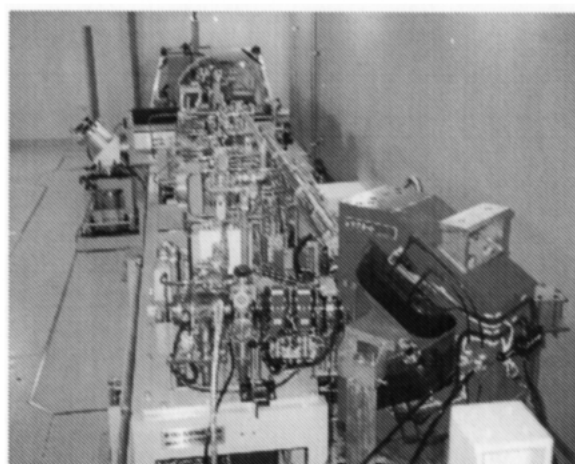


図1 KHI-FEL装置

当社は小型化が可能であることと、コストを低く抑えることが可能であることからMARK-IIIタイプを採用した。[2]表1にKHI-FEL装置リニアックの基本性能を示す。また、製作されたKHI-FEL装置の写真を図1に示す。KHI-FELの特徴は、MARK-IIIやB-FELに比較してエネルギーの高い（最大2MeV）RFガン[4]を採用していることであり、低エミッタンスを保って主加速を行うことが可能である。

RF電源は、東芝製E3729を採用しており、モジュレータは印加電圧315kVでフラットトップ7 μ sでは0.3%以下の平坦度を達成している。繰り返しは10ppsで、RF出力は最大45MWである。平坦度部のRF出力安定性はノイズを含めて0.6%以下(図2)、そして位相安定性は3度以下(図3)と測定された。出力は方向性結合器で4対1の比で加速管入力系とRFガン入力系に装置室内で分けられる。加速管系では減衰器を介して加速管へ接続され、またRFガン系では位相調整器、減衰器、サーキュレータを介してRFガンに接続される。よって、それぞれへのRF入力パワーの調整は独立して行うことが可能である。[3]

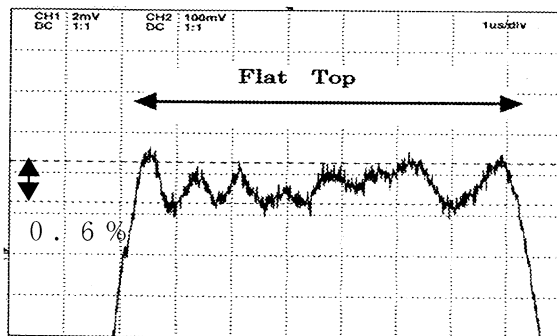


図2 RF出力フラットトップ安定度

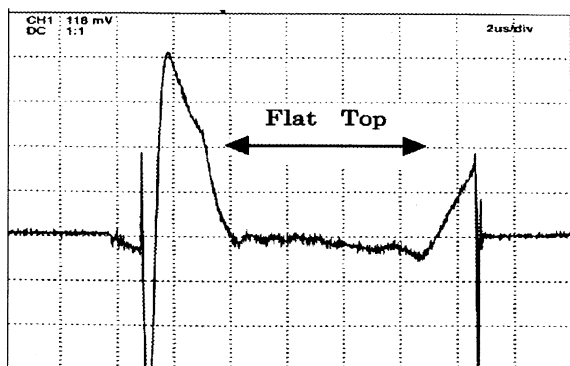


図3 RF位相フラットトップ安定性

加速管は、3mの2/3 π モードのCG管を採用しており、最大電流500mAで40MeVまで加速可

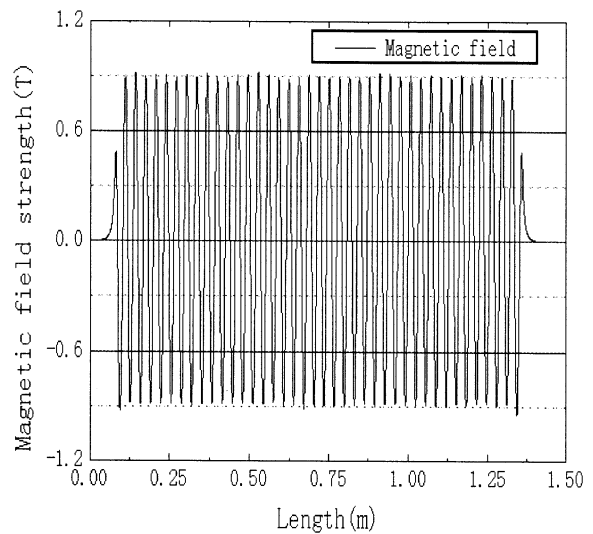


図4 アンジュレータ軸上測定磁場データ

能な設計となっている。

アンジュレータは、ハルバッハタイプの水平型アンジュレータを採用しており、周期数40、周期長3.2cm、最小ギャップ8.5mmで最大磁場強度は0.84Tである。アンジュレータ磁場はビーム軌道軸に沿って磁場の一次積分が100 Gauss \cdot cm以下になるように調整された。図4にアンジュレータ軸上の測定磁場強度分布を示す。

[3]

通常運転ではビームエネルギーは32MeVに固定し、アンジュレータギャップを8.8mm \sim 20mmに変化させることにより5 \sim 16 μ mのFEL光を取り出すことが可能である。

3. 運転現状

昨年12月より、RFガン及び加速管のRFエージングを開始し、約1ヶ月で最大RFパワーをそれぞれ入力完了した。ビーム調整は、本年1月より開始し、1月下旬には、50mAのビームをアンジュレータ下流へ導くことに成功している。そして2月下旬には、アンジュレータからの自発放出光を観測することに成功した。4月中旬にはマクロパルス幅2 μ sで約200mAのビームをアンジュレータ下流までほとんどビームをこぼさずに通すことに成功した。図5に加速管前、加速管後、そしてアンジュレータ後のビーム電流モニタの出力を示す。また、図6にビーム電流に対応した自発放出光の出力(MCT出力)を示す。現在、バンチングのために α 電磁石磁場強度とRFガンからのビームエネルギー

の相関をチェックし調整しながら、ビーム輸送調整を行いつつ共振器長調整を行っている。

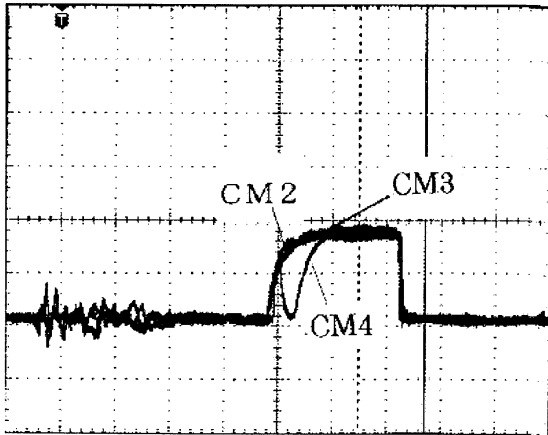


図5 ビーム電流値波形 (CM2 : 加速管前、CM3 : 加速管後、CM4 : アンジュレータ後)

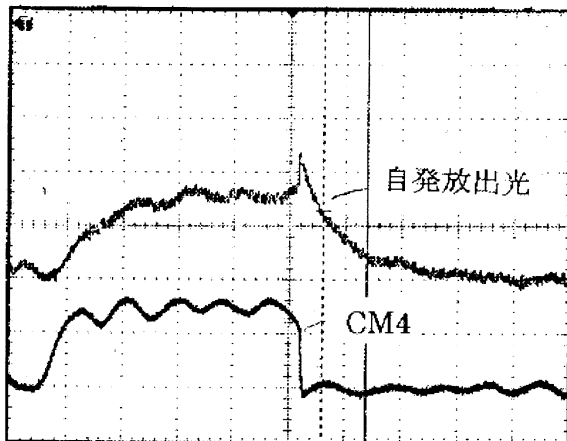


図6 自発放出光波形

4. 今後の予定

早期にFEL発振を達成し、波長の5~16 μ mまでの広帯域化を行う。その後、コンピュータを導入し、現在の手動制御から自動制御に切り替えつつ、FEL出力の安定性を向上していく予定である。

参考文献

- [1]H. Kuroda, A. Iwata and M. Kawai the proceedings of 12th Russian Synchrotron Radiation Conference SR98, Novosibirsk(1998).
- [2] M. Yokoyama, F. Oda, A. Nakayama, K.Nomaru and M. Kawai, Nucl. Instr. and Meth. A429 (1999)269
- [3] M. Yokoyama, F. Oda, A. Nakayama, K.Nomaru and M. Kawai, to be published Nucl. Instr. and Meth. A (2000).
- [4]F. Oda, M. Yokoyama, M. Kawai, A. Nakayama, E. Tanabe, Nucl. Instr. and Meth. A429 (1999)332
- [5] S.V.Benson, J. M.J.Madey, J. Schmaltz, M. Marc, W. Wadensweiler, and G. A. Wesrenskow, Nucl. Instr. and Meth. A250, 39(1986).
- [6]S.V.Benson, W. S. Fann, B. A. Hooper, J. M.J. Madey, E. B. Szarmes, B. Richman, and L.Vintro, Nucl. Instr. and Meth. A296, 110(1990).
- [7]G.A.Barnett, J.M.J. Madey, C. B. Mckee, K. D. Straub, and E. B. Szarmes, Nucl. Instr. and Meth. A375, 97(1996).
- [8]J.X.J. Zhuang, Y.H.S.Zhong, Y. Li, S. Lin, R. Ying, Y. Zhong, L.Zhang, G. Wu, Y. Zhang, C.Chao, L. Li, Z. Fu, J. Su, Y. Wang, and G Wang, Nucl. Instr. and Meth. A 358, 256(1995).