

DEVELOPMENT OF A BEAM TRANSPORT SYSTEM
FOR FEL EXPERIMENTS AT ISIR, OSAKA UNIVERSITY

Katsuji EMURA , Hiroshi TAKADA , Kunihiko TSUMORI* and Shuichi OKUDA*

Electromagnetic Application Systems R&D Department,
Sumitomo Electric Industries, LTD.

*Radiation Laboratory, The Institute of Scientific and Industrial Research,
Osaka University

阪大産研FEL用ビーム輸送システムの開発

ABSTRACT

Beam transport system has been developed for free electron laser experiments. In this design, careful consideration has been made to obtain suitable beam quality for laser oscillation. For instance, doubly achromatic condition is realized at the wiggler line in order to reduce a horizontal beam size. Also undesirable pulse lengthening which is arised by double 45° bend is reduced as possible .

1、はじめに

大阪大学産業科学研究所ではLバンドライナックを用いて自由電子レーザー (FEL) の研究を行う計画がある。¹⁾ その一環として、ライナックからウィグラまでビームを導くビーム輸送システム (BTS) の開発を行っており、その概要を報告する。

2、設計方針

FEL発振のための重要なビームパラメータとして

- (A) ウィグラ中でのビームサイズ
- (B) エネルギー分散
- (C) パルス幅

が挙げられる。これらに対し十分配慮をし設計することが必要である。まず、(A) に対しては、ウィグララインにおいてダブルアクロマティック状態が実現するように設計した。なぜならば、ビームサイズ σ は次式で表され、ウィグラ中で $\eta=0$ にすることによって無駄にビームサイズを拡げないためである。ウィグラ中央部でのビームサイズならびに発散角はライナック出射部での値と同程度になるようにし、目安として1.5倍以内とした。一方、ウィグラライン以外では空

間電荷効果を緩和するためにビームを絞らないように配慮した。

$$\sigma = \sqrt{\varepsilon \beta + (\eta \delta)^2}$$

ε : エミッタンス

β : ベータ関数

δ : エネルギー分散

次に (B) に対しては、FEL発振に寄与しないエネルギーの電子をカットするためにビームスリットを設けた。スリットの材質は放射線による腐食を考慮しステンレスにし、放熱のため水冷とした。次に (C) について述べる。ウィグラインの延長線上に共振器ミラーを配置するためには、ライナックから出射したビームは必ず一度は曲げる必要があるが、今回設計したBTSではダブルアクロマティック実現のために二度ビームを曲げている。ビームを曲げることによって、非同時性によるバンチ伸長が生じる。ロスアラモスでは26ps/%のバンチ伸長がありFEL発振に様々な影響を与えている。²⁾そこで、偏向電磁石の偏向角、偏向半径ならびに配列の最適化によってバンチ伸長の低減を図った。

3、具体的な設計方法

ライナック出射部でのビームパラメータ (初期条件) を表1のように設定した。まずBTSの構成要素を伝送行列で表し、ライナック出射部 ($s=s_0$) からウィグラ中央部 ($s=s_1$) までの合成伝送行列Rを計算する。

表1、ビーム初期条件

エネルギー	20 MeV
ビームサイズ (半値)	1.5 mm
エミッタンス	4π mmmrad
エネルギー分散 (半値)	2 %
パルス幅	20 ps

$$\tilde{X}(s_1) = R \tilde{X}(s_0)$$

$$\tilde{X}(s) = \begin{bmatrix} x(s) \\ x'(s) \\ y(s) \\ y'(s) \\ l(s) \\ \delta(s) \end{bmatrix} \begin{array}{l} \text{水平方向のビームサイズ} \\ \text{水平方向のビーム発散角} \\ \text{垂直方向のビームサイズ} \\ \text{垂直方向のビーム発散角} \\ \text{軌道方向のバンチ長さ} \\ \text{エネルギー分散} \end{array}$$

ダブルアクロマティックを実現するためには、 $R_{16} = R_{26} = 0$ が必要である。また非同時性によるパルス伸長現象の緩和のためには、 R_{56} を極力0に近づける必要がある。さらに無駄にパルス伸長をさせないために、 $R_{51} = R_{52} = R_{53} = R_{54} = 0$ とした。またR行列から5・6行と5・6列を除いた 4×4 行列 R^* を単位行列にすることは、ウィグラにおいてライナック出射部と同じパラメータのビームが得られることを意味しており、単位行列化を目指した。

以上の方針で計算を行い、最適解として図1に示すようなシステム構成を得た。この場合、 $R_{16} = R_{26} = R_{51} = R_{52} = R_{53} = R_{54} = 0$ であるが、 R^* の単位行列化は実現できなかった。ビームサイズならびに η 関数の計算結果を図2、3に示す。結果として、ウィグラ中央部でのビームパラメータはライナック出射部とほぼ同程度 (x が最も大きく約1.3倍) になっており、パルス伸長は2.6ps/%であり、ロスアラモスの1/10である。

4、ビーム計測システム

図1に示すように、このシステムには3台のコアモニタと4台のスクリーンモニタがある。調整の容易さと、FEL実験におけるウィグラー出入口のビームパラメータ把握のため、各直線部とウィグラー出入口にコアモニタとスクリーンモニタを配置した。把握すべき重要なパラメータとして、ビーム電流、ビーム位置、ビームサイズ、エミッタンスやエネルギー分散などがあり、またアクロマティック状態を確認する必要がある。電流計測用コアモニタには高透磁率のフェライトを使用しており、マクロパルスを計測する。真空中での脱ガス抑制のため導線としてセラミック電線³⁾を用いたコアモニタの試作を行っている。ビーム位置とビームサイズの計測にはスクリーンモニタを用いる。酸化クロムをドーブしたアルミナ板の発光をITVで観測する。QM4と5の焦点距離を変化させ、スクリーンモニタSM4でのビーム径の変化を測定することによって、エミッタンスを測定することができる。また、BM1後の η 関数の大きな場所にビームスリットを設置しており、スリット間隔を変化させスクリーンモニタSM3と4でのビーム位置の変化を調べることによって、ダブルアクロマティック状態の確認が可能である。ビームダンプマグネットBM3の出射口に蛍光スクリーンを配置し、エネルギー分析機能をもたしている。これによって、エネルギー分散を測定することができる。

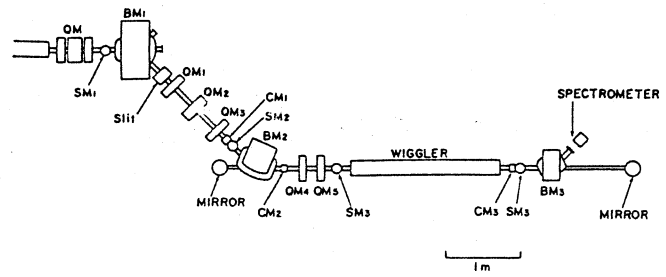


図1、システム構成図
 BM:bending magnet
 QM:quadrupole magnet
 CM:core monitor
 SM:screen monitor

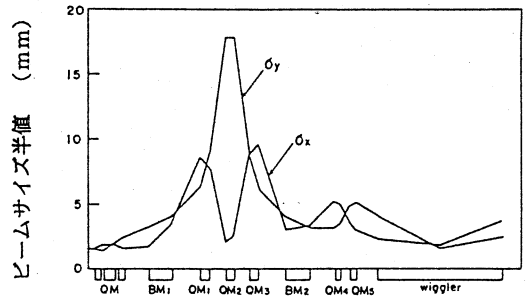


図2、ビームサイズ

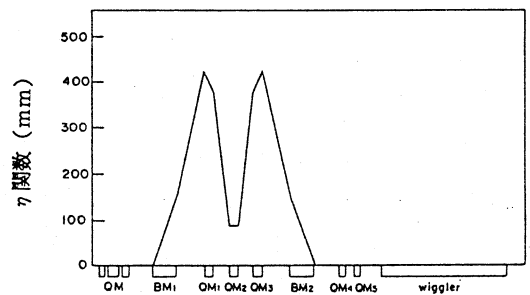


図3、 η 関数

【参考文献】

- 1、奥田修一、他：本研究会報告(11-1P)
- 2、W.E. Stein and R.L. Sheffield: Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A250(1986)
- 3、澤田和夫、他：住友電気、第135号、(1989)