

[F16p29]

BEAM CHARACTERISTICS OF FEL LINAC AT NIHON UNIVERSITY

K.Yokoyama*, I.Sato, K.Hayakawa, T.Tanaka, K.Sato, Y.Hayakawa,
I.kawakami, Y.Matsubara, H.Nakazawa*, T.Sakai*,
S.Anami**, S.Fukuda**, H.Kobayashi**, A.Enomoto**, S.Ohsawa**,
S.Yamaguchi** 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, KEK
1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801 Japan

ABSTRACT

Energy spectra of the electron beam from the FEL linac at Nihon University have been measured for different input RF power of a prebuncher. From the result, dependence of the half width of the spectra on RF power fed to the prebuncher has been analyzed. Half width of the energy spread is 1 to 2 percent of center energy, which is consistent with the result of a computer simulation.

日大 FEL 用リニアックの加速ビーム特性

1. はじめに

日本大学電子線利用研究施設では、自由電子レーザー (FEL) の実用化をめざして研究を行っている。FEL では、電子ビームのエネルギー幅が小さく、かつ電流密度が大きいことが望ましい。その上にビームエミッタンスが小さいことが要求される。ここでは、日大 FEL 用電子リニアックの入射部^[1]のパラメータを変えてスペクトルを測定した結果を報告する。

2. 日大リニアックのビームトレース

加速管内における電子の相対論的運動方程式は

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \gamma_i}{\partial Z_i} &= -\frac{eE \sin \varphi_i}{m_0 c^2} \\ \frac{\partial \varphi_i}{\partial Z_i} &= \frac{2\pi}{\lambda_p} \left(\frac{1}{\beta_p} - \frac{\gamma_i}{\sqrt{\gamma_i^2 - 1}} \right) \end{aligned} \right\} \dots \textcircled{1}$$

である。

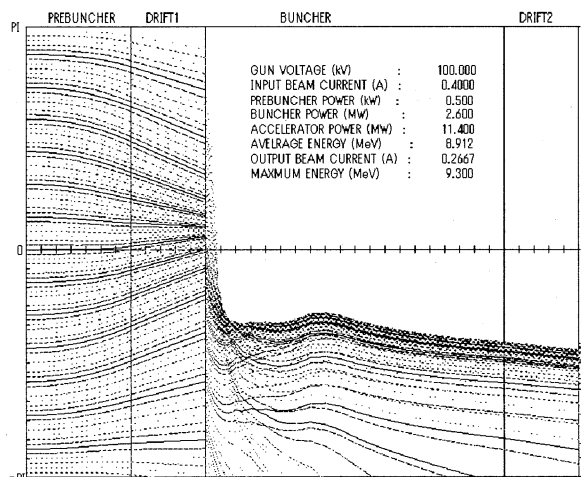
また、RF 電力 P は、加速管壁での熱損失と、ビーム負荷による損失のため、次式のように減衰する。

$$\frac{dP}{dZ} = -2\alpha P - (iE - i^2 r_0) \dots \textcircled{2}$$

ここで、 γ はローレンツ因子、 α は電圧減衰定数 (アテニエーション)、 β_p は v_p/c (c : 光速、

v_p : RF の位相速度)、 λ_p は RF の波長、 P は RF 電力、 i はビーム電流、 E は電場の強さ (V/m)、 r_0 はシャントインピーダンス (Ω/m) で、 $E = \sqrt{2\alpha P r_0}$ である^[2]。

①, ②から、電子が進行するにつれて、その RF に対する入射部での位相変化をシミュレーションすると、第 1 図のようになる。ただし、この計算には空間電荷効果は考慮されていない。



第 1 図 プレバンチャー入り口からバンチャー出口までの RF に対する電子の位相変化

【入射部の主なパラメーター】

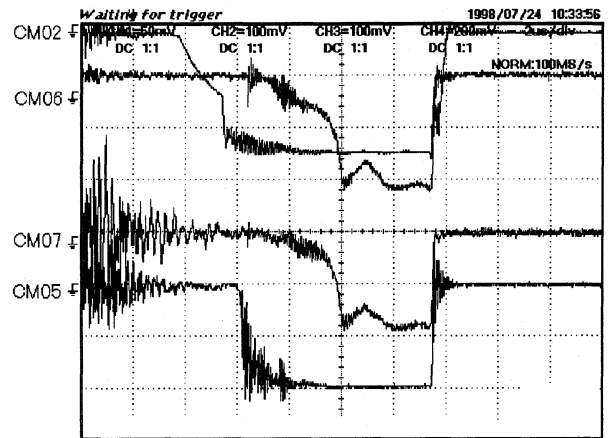
加速周波数	2856.00	MHz
直流電子銃電圧	100.0	kV
ビーム電流	0.40	A
プレバンチャー入力電力	0.5	kW
バンチャー入力電力	2.6	MW
30cm 加速管の入力電力	11.4	MW
4m 加速管の入力電力	26.0	MW

3. 実験の原理と方法

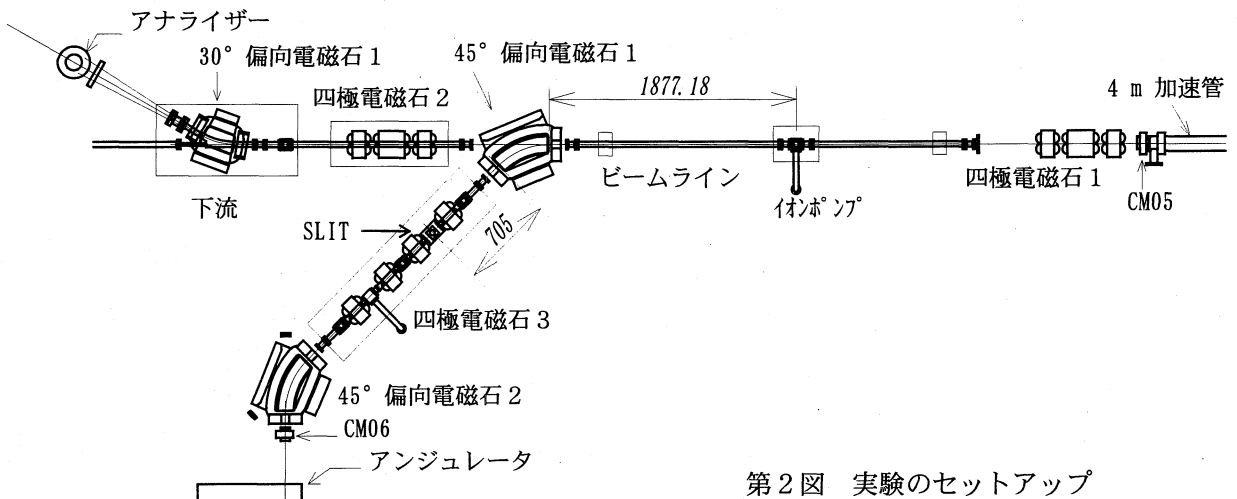
第2図に実験のセットアップを示す。エネルギースペクトルの測定は、まず電子ビームを直進部最下流にある 30° 偏向電磁石 1 で偏向させ、その磁場による分散が見える場所に置かれたスクリーンモニター上でビームプロファイルを観測する。このときのエネルギー幅が、最小になるようにプレバンチャーとバンチャーの位相を調整した。次に、45° 偏向電磁石 1 を励磁し、その下流にあるスリットとコアモニター (CM06) とを組み合わせることでより正確なスペクトルの測定を行った。スリットを通過する電子の運動量は、偏向電磁石とスリットの幾何学的配置と偏向電磁石の磁場の強さで決まり、その運動量分解能は、スリットの幅から求めることができる。今回の実験ではスリット幅は 1.03 ± 0.01 mm とした。これは運動量分解能に換算すると 0.16% に相当する^[3,4]。エミッタンスによるビームの空間的広がりにはスリットの位置で直径 1mm 程度と考えられる。この効果による見かけ上のスペクトル幅の広がりには、半値幅が 1% 程度の時は無視してよい。運動量は、45° 偏向電磁石 1 の電流値を 0.1 A づつ変化させ、コアモニター (CM06) を通過する電流波形をオシロスコープで読み取って測定した。プレバンチャーの入力電力は 最大で約 1 kW であり、その

フルパワーに対して 0 から 100 % でセッティングしやすい値を用いた。このとき、バンチャーの位相は、電流値が最大になるように調整した。スペクトル測定時の加速電流は 40mA であった。

第3図に各コアモニターによる電流波形の例を示す。この波形はアンジュレータ放射光測定時のもので、スリット幅 3.2mm、通過エネルギー幅 0.5% である。CM02 はバンチャー出口に設置されたコアモニターによる波形で電流値 240 mA、CM05 は加速管出口で 80 mA、CM06 はエネルギースペクトルの測定時に使用するもので 40 mA、CM07 はアンジュレータ後方にある 45° 偏向電磁石でビームを偏向させた後のもので 40 mA 弱である。CM05 から CM06 の間で前半部分の電流が失われているのは、電子銃からのエミッション電流の立ち上がりが遅く、この間の加速条件が変化しているためである。



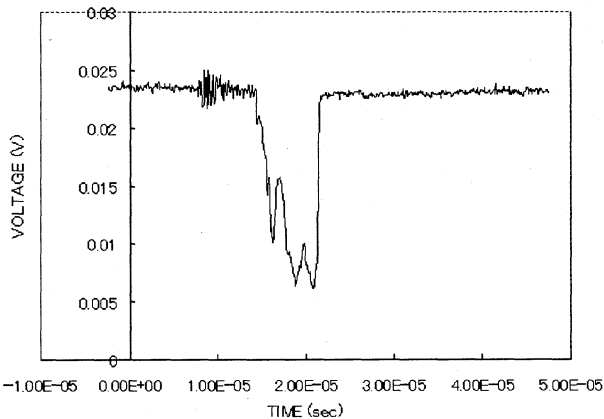
第3図 コアモニターによる電流波形
スケール: CM02 : 100mA/div、CM05 : 40mA/div
CM06、CM07 : 20mA/div、横軸 : 2 μ sec/div



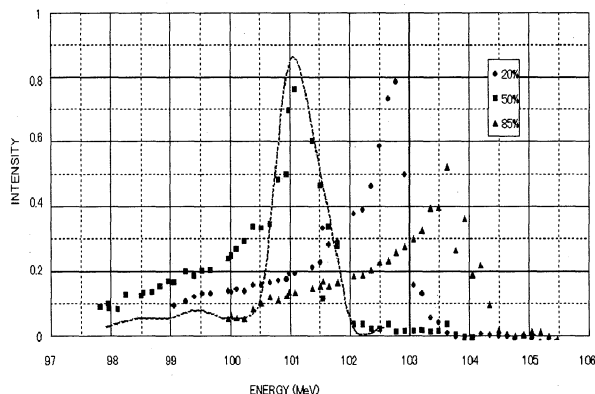
第2図 実験のセットアップ

4. 結果

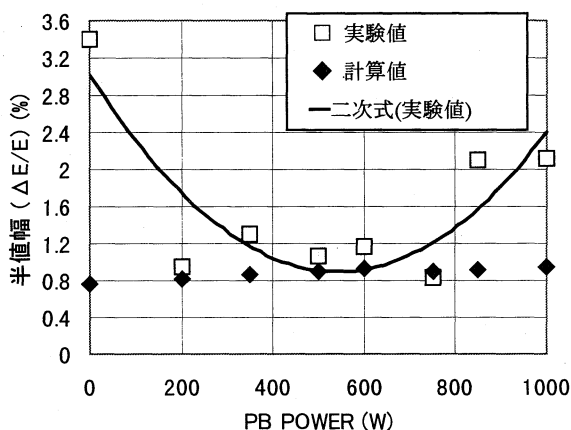
オシロスコープの出力波形の例を第4図に、得られたスペクトルの例として、プレバンチャーの入力電力が200W、500W、850Wのときのエネルギースペクトルを第5図に示す。実線は入射部の出口におけるビームトレースの計算結果(プレバンチャー入力電力:500W)を示す。入射部の出口では $\beta \sim 1$ であるから、位相空間の分散分布が保存される。この図からわかるようにどの場合も似た形をしており、低エネルギー側に3MeV程度のテールを引いている。プレバンチャーの入力電力を変化させたときのビームの半値幅の変化を第6図に計算値とともに示す。これは、第5図にみられるような測定結果をフーリエ解析して得たものである。この図から、エネルギーの半値幅は1から2%位であることがわかる。データを二次関数で近似した曲線からは、50%付近に最適値があるように思われる。



第4図 オシロスコープの出力波形例



第5図 エネルギースペクトル
(実線は第1図のシミュレーションによるもの)



第6図 プレバンチャーの入力電力とエネルギーの半値幅

5. 考察

エネルギーの半値幅の計算では、実験と同じく電子銃からの放出電流を400mAにした。最終的な加速電流は250mAであるが、プレバンチャーにパワーを入れない時はその半分程度である。実験中の電流値は40mA程度なので、加速エネルギーは実験値と比べて約35%低くなっている。計算結果と実験結果を比べると実験値の方が常に小さいが、0Wを除けば両者とも半値幅が1%程度の近い値を示している。第5図に示したように、スペクトルの形状が主にテールの部分で実験と計算で異なっている。このテールの部分の形状は、プレバンチャーのパワーを変化させてもあまり変わらないことから、プレバンチャー以降の調整に依存すると考えられる。実際、計算値に近い形のスペクトルが得られた場合もあった。無論計算値のような形状が望ましい。

6. 今後の課題

シミュレーション結果と実験結果の加速電流には大きな違いがあり、この原因を調べ、電流を増やさなければならない。さらに、マイクロ波の安定化が必要である。計算では、空間電荷効果を無視しているため、この効果を取り入れた計算コードを作り、実験値と比較する。

参考文献

- [1] T. Tanaka et al., Proc. Of this meeting
- [2] A. Asami et al., Proc. of 5st Linear Accelerator Meeting. In Japan, 71 (1980)
- [3] Karl L. Brown., SLAC-75, Rev.3, 104 (1972)
- [4] P. Brunet, X. Buffet, Linear Accelerators (North-Holland Publishing Company), 237 (1970)