

[2 a - 2]

Measurement of the Emittance and Twiss Parameters of the Electron Beam From the ISIR L-band Linac

Iwase Y., Nakajima Y., Kobayashi H., Kondoh G., Kato R., Isoyama G. and Suemine S.*

Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567, Japan

*Unicon System Co. Ltd.

Abstract

The emittance and Twiss parameters of the electron beam from the ISIR-Linac have been determined by measuring the beam size as a function of the strength of a quadrupole magnet at electron energies of 19, 24 and 30 MeV. The normalized emittance determined in the present experiment is independent of electron energies in vertical direction, but it is not constant in horizontal direction. The normalized emittance in vertical direction measured to be $197 \pm 3 \pi \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ at 24 MeV.

産研Lバンドライナックの電子ビームのエミッタンスとツイスパラメータの測定

1. はじめに

近年、電子加速器からのビームに対する高輝度化の要求が高まっている。電子ビームの輝度とは、位相空間上での電子密度で定義され、電流をエミッタンスで割ったものである。電子ビームの高輝度化のためには、電子ビームの状態を把握しておくことが重要である。そのために産研Lバンドライナックからの電子ビームのエミッタンスとツイスパラメータを四極磁石掃引法を用いて測定した。その結果を用いて位相空間上での電子ビームの強度分布を楕円関数で表した。

2. 実験方法

図1に実験配置の模式図を示す。ライナックからトリプレット四極磁石Q1-Q2-Q3を通り直進してくる電子ビームの横方向の電子分布、すなわちビームサイズを蛍光板（デマルケスト）を用いて測定する。デマルケストはビーム軸に対して45°傾けて設置されている。ビームが通過したときの発光をビーム軸に対して90°の位置に置いたCCDカメラで検出し、その信号をパソコンを使った画像処理装置で電子ビームと同期して取り込む。

ライナックはシングルバンチモード、

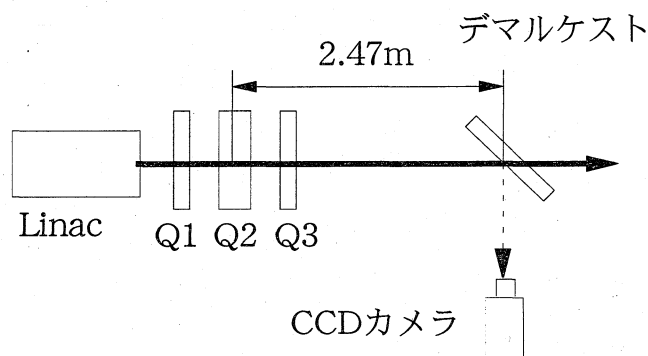


図1 実験配置の模式図

繰り返し30pps、電子銃からの入射ピーク電流1.6Aで運転した。加速管出口のトリプレット四極磁石の両側の四極磁石Q1とQ3の電源を切り、中央の四極磁石Q2の励磁電流と極性を変えて、水平方向(x方向)と鉛直方向(y方向)のそれぞれに対して四極磁石の収束力 $\delta = K \times l = (dB_y/dx) / B \rho \times l$ の関数としてビームサイズを測定した。ここでlは四極磁石の有効長である。また電子ビームの性質のエネルギー依存性を調べるために、電子ビームエネルギー30, 24と19 MeV付近でビームサイズを測定した。

3. 解析方法

画像処理装置を用いて得られた電子の強度分布にガウス分布を仮定して非線形最小二乗法でビームサイズを求めた。ビームサイズの誤差を評価するために同一条件で5回測定を行った。その平均値をビームサイズ、標準偏差を誤差とした。

四極磁石に薄肉近似が成立し、位相平面上の電子の強度分布が楕円形で近似できる場合、ビームダイナミクスの理論よりビームサイズと四極磁石の収束力 δ の間には

$$\sigma^2 = a(\delta - b)^2 + c \quad (1)$$

の関係がある¹⁾。ここで a, b, c は定数である。この a, b, c を用いて電子ビームのエミッタンス ε とツイスパラメーター β と α は以下のように表せる²⁾。

$$\varepsilon = \sqrt{ac} / L^2 \quad (2)$$

$$\beta = \sqrt{a/c} \quad (3)$$

$$\alpha = (1/L - b) \sqrt{a/c} \quad (4)$$

ここで $L=2.47\text{m}$ は四極磁石中心からビームサイズ測定点までの距離である

図2にデータの解析の1例としてビームサイズの二乗を四極磁石の収束力の関数として示す。黒丸は $E=30.6\text{ MeV}$ の実験値である。実線は式(1)に誤差の重みをつけ最小二乗法により実験値に合わせたものである。これより a, b, c の値が求められる。

4. 結果と考察

ライナックで加速された電子ビームの規格化エミッタンス

$$\varepsilon_n = \beta \gamma \varepsilon \quad (5)$$

は理論的には加速された電子エネルギーに依らず一定である。ここで $\beta = v/c$ 、 $\gamma = E_{\text{total}}/mc^2$ である。実験で求めたエミッタンスと規格化エミッタンスならびにツ

イスパラメーター β と α を表1にまとめる。

Q2の位置での電子ビームの位相平面上の電子の強度分布を楕円関数

$$\varepsilon_x = \pi \frac{x^2 + (\alpha_x x + \beta_x x')^2}{\beta_x} \quad (6)$$

で表す。ここでエミッタンス β ならびに α は表1に示す値を使う。

図3に電子ビームが約 24 MeV での y 方向の測定日が異なる3回の測定結果を示す。ここでは2つの良く似た楕円と少し小さい楕円がある。小さい楕円は電子ビームが測定点に達するまでにダクトに当たり一部が失われたものと考えられる。図4と5にそれぞれ x 方向と y 方向の位相平面を示す。両者とも3つの楕円は異なるエネルギーでの測定結果である。図4に示す x 方向の場合、3つのエネルギーでの規格化エミッタンスは異なる値を持つ。また $E=30.6\text{ MeV}$ での楕円は傾きが大きく他の楕円と異なる。図5に示す y 方向の場合、規格化エミッタンスはほぼ等しい。 x 方向の規格化エミッタンスは y 方向のそれに比べて大きい値を持つ。

5. まとめ

四極磁石掃引法により産研Lバンドライナックにより加速された電子ビームのエミッタンスとツイスパラメーターを求めた。鉛直方向 (y 方向) の規格化エミッタンスは電子エネルギーが変わっても一定であるが、水平方向 (x 方向) は一定ではないことがわかった。鉛直方向の規格化エミッタンスより水平方向の規格化エミッタンスは大きい。これらの原因については現在検討中である。

参考文献

- 1) M.Yukishima et al.: Proc. of the 20th Linear Accelerator Meeting in Japan, 1995, p10.
- 2) K.L.Brown: Nucl. Instr. Meth. **187** (1981) 51.

表1 エミッタンスとツイスパラメーターの値

	E(MeV)	α	β (m)	ε (mm·mrad)	ε_n (mm·mrad)
x	19.4	-1.86 ± 0.03	2.60 ± 0.04	7.24 ± 0.11	275 ± 4
	24.3	-2.09 ± 0.04	3.38 ± 0.05	4.82 ± 0.08	229 ± 4
	30.6	-1.24 ± 0.02	5.78 ± 0.07	6.03 ± 0.07	361 ± 4
y	19.4	-3.87 ± 0.05	5.90 ± 0.08	4.51 ± 0.06	171 ± 2
	24.7	-1.75 ± 0.04	4.37 ± 0.07	4.08 ± 0.07	197 ± 3
	30.5	-2.08 ± 0.05	5.73 ± 0.14	3.04 ± 0.07	182 ± 4

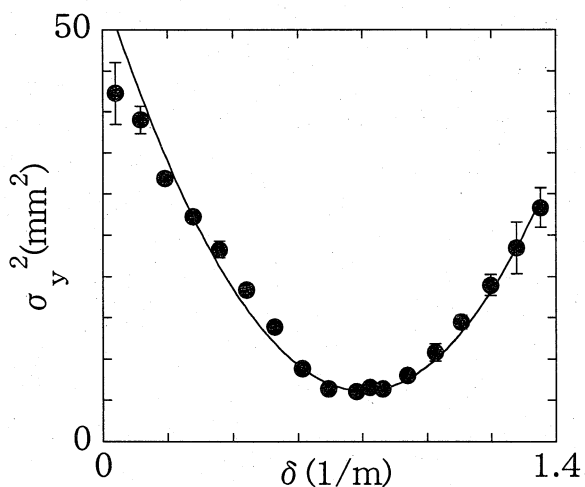


図2. 四極磁石の収束力を変えたとき
ビームサイズの変化

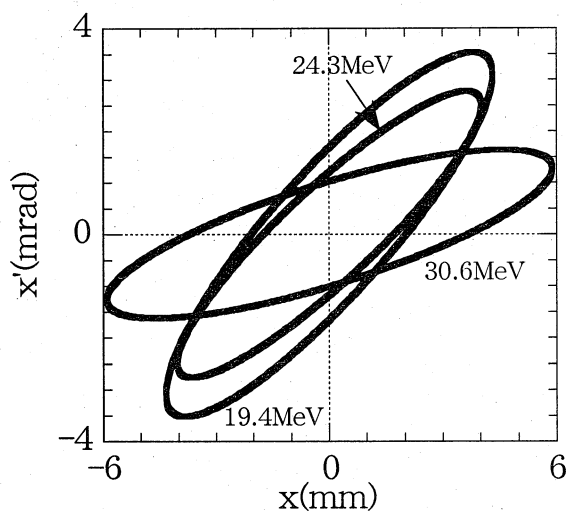


図4. 位相空間上の電子ビーム(横方向)

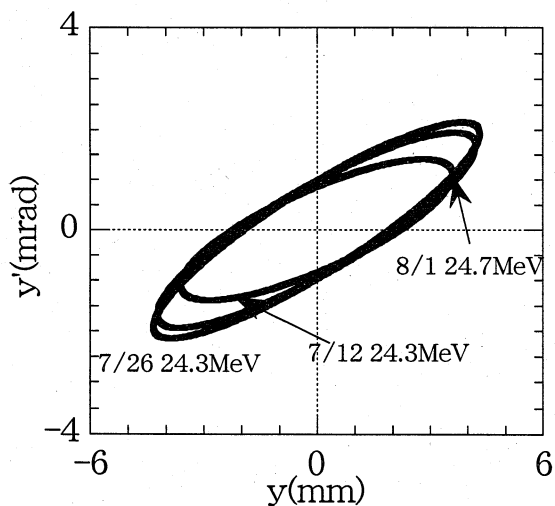


図3. 位相空間上の電子ビーム(E=24MeV)

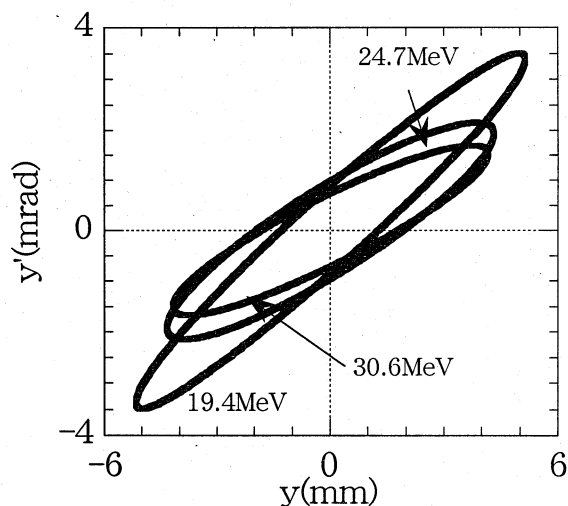


図5. 位相空間上の電子ビーム(縦方向)