

T. Sakaue, S. Fukumoto, C. Kubota, K. Ito

Y. Mori, A. Takagi and S. Takano

National Laboratory for High Energy Physics

Abstract

The KEK injector linac delivers 9 beam pulses in 0.5 s. No beam is accelerated in following 1.8 s by the linac. The beam emittances are measured for the 1-st, 3-rd, 5-th, 7-th and 9-th of the 9 beam pulses at the entrance of the linac. No systematic change is observed among them. Mean values of normalized 90 % emittances and 80 % emittances are 0.265 and 0.173 $\pi\text{cm}\cdot\text{mrad}$ for the beam current of 300 mA. RMS emittances are also calculated. They are very close to the 90 % emittances. It is found that the emittance is little affected by operation of the buncher. In the past, the emittance in the horizontal plane was about 1.5 times larger than that in the vertical plane. When polarities of all Q magnets are inverted in LEBT, the horizontal emittance is measured vertically and it is as large as the vertical emittance. Thus it seems that the emittance growth is due to transient of the electrostatic chopper which deflects the proton beam horizontally.

リニアックに入射するビームは、その強度のみでなく、エミッタンスの大きさおよび位相空間における形が重要である。高エネルギー物理学研究所(KEK)のリニアックの入口には、図1のように、水平・垂直両方向のエミッタンスが測定できるように、2系統のエミッタンス・モニターが取付けてある。これらのエミッタンス・モニターは、0.1mmの細いスリットを通過した陽子を32チャンネルのマルチセグメント・ディテクターで検出し、増巾・サンプル/ホールドしてマルチプレクサーとバッファ増巾器を通して加速器用計算機MELCOM-70でエミッタンスを計算して図2のようにグラフィック・ディスプレイに表示する。^{1,2,3)}

最近二、三のビームの性質を測定したので報告する。なお測定はすべて垂直方向のエミッタンス・モニターで行なった。

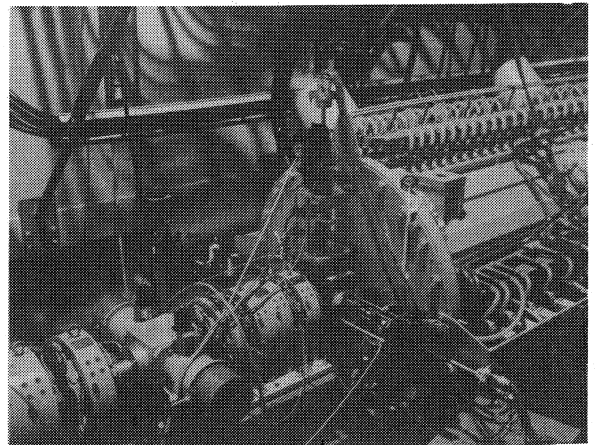


図1. リニアック入口の水平・垂直両方向のエミッタンス・モニター

KEK P8 EMITTANCE ** PRE-INJECTOR ** 78/07/18 11:43:54
 SUM = 5028.14 MAX R-SUM(19) = 122 MAX DOT(35,10) = 100
 CONTOUR LINE 99.72% 61.45%

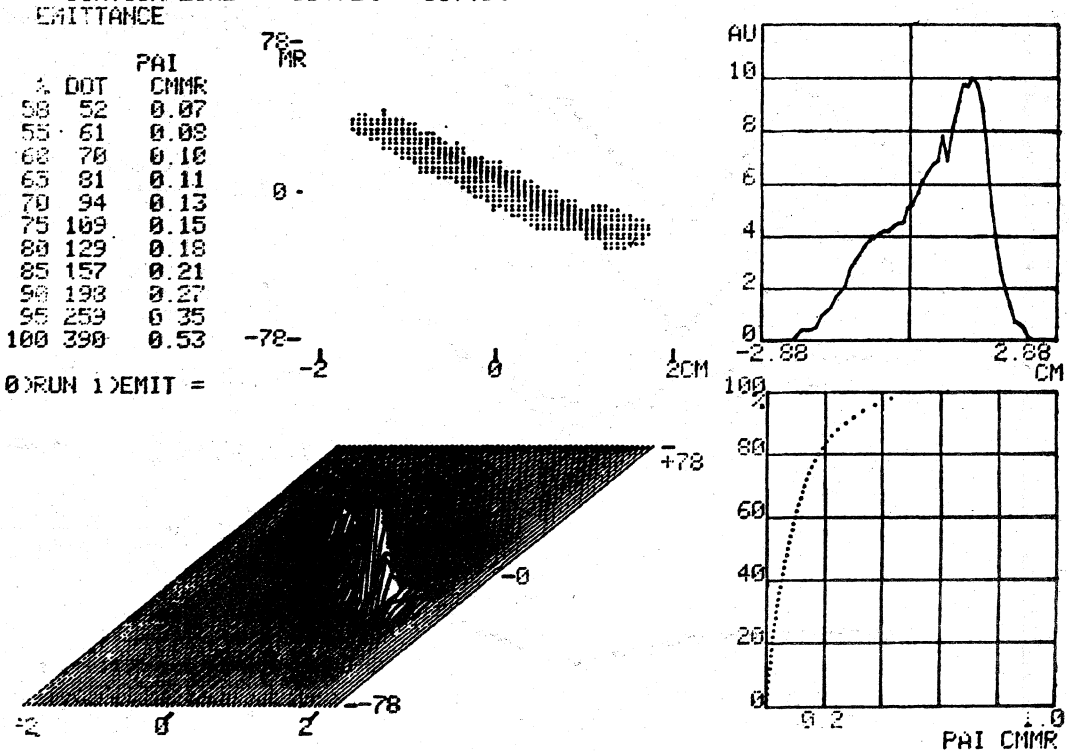


図2. グラフィック・ディスプレイによるエミッタンスの表示

9パルスのエミッタンス

高エネルギー物理学研究所 (KEK) の陽子シンクロトロンは、カスケード方式であるため、主リングの加速の1周期約2.3秒のうち、0.5秒に50msおきに9パルスのビームを入射し、残りの1.8秒はモニター用のビームを1~2パルス加速するだけで、イオン源を放電させずビームを止めている。従って電源の影響によって、9パルスの間にビームのエミッタンスが変化している可能性がある。そこで9パルスのビームのうち、オ1, 3, 5, 7, 9番目のビームのエミッタンスを測定した。図ろに結果を示してある。90%と80%エミッタンスは、位相平面でのビームの占める形には関係なく、それぞれ90%と80%のビームの占める面積に $\beta\gamma$ をかけて規格化したものである。また形がどのように変化したか(またはしなかったか)を図4に示した。ビームが位相空間で円の場合は、

$$r^2 + 2\alpha y y' + \beta y'^2 = \epsilon = \frac{\text{面積}}{\pi}$$

が保存量となり、

$$\beta\gamma - \alpha^2 = 1$$

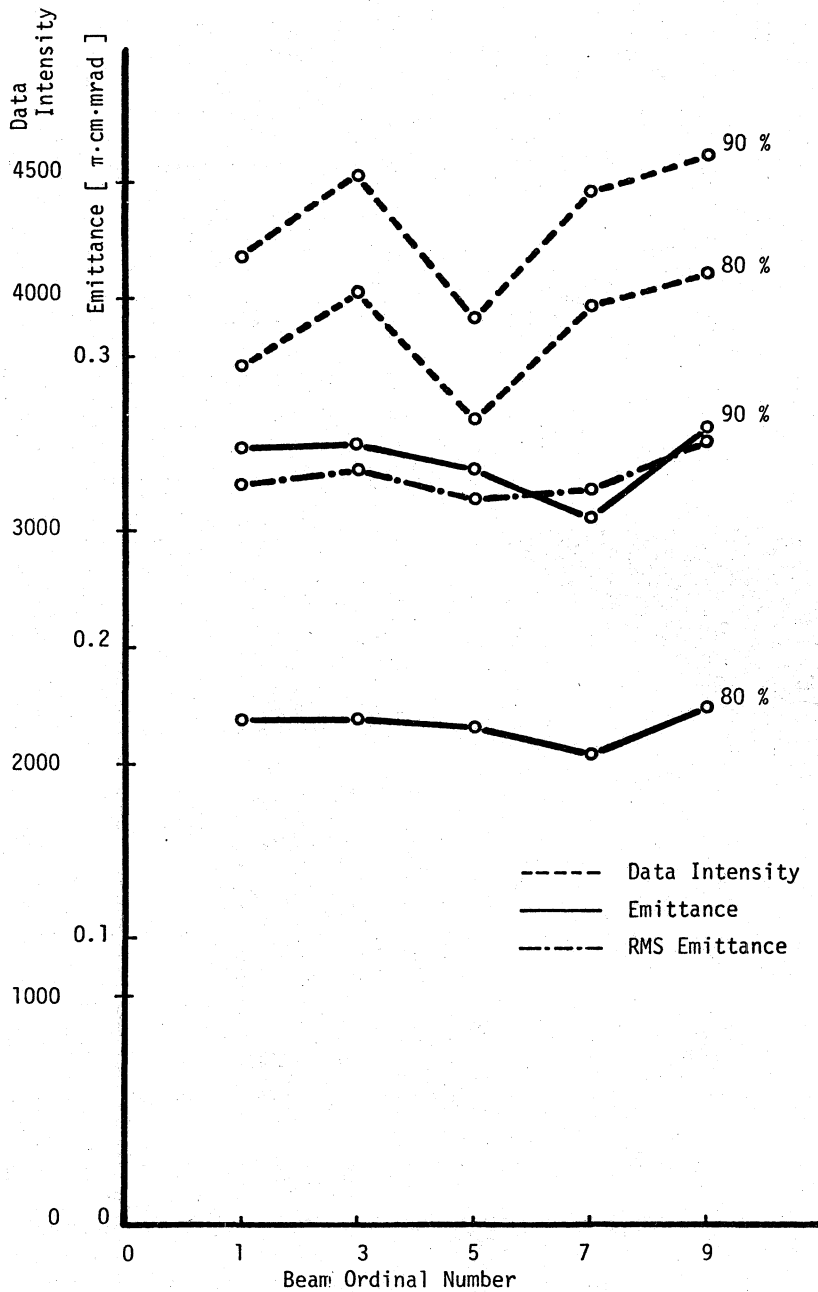


図3. オ1.3.5.7.9番目のパルスのエミッタンスと
 ビーム強度。90%エミッタンスと80%エミッタンスおよび
 r.m.sエミッタンスが示されている。

r.m.s. エミッタンスは、従って位相空間でのビームの形にも関係し、これから α , β , γ を求めることができる。図3にはr.m.s.エミッタンスも示してあるが、90%エミッタンスとほぼ等しい値である。表1には α , β , γ の計算値を示したが、これらから9パルスの間では規則的なエミッタンスの変化は認められなかった。

エミッタンスのビーム強度依存性

エミッタンスはビーム強度によって図5のように変化した。この場合ビーム強度はデ

が成立する。Eと

$$E = [\langle y^2 \rangle \langle y'^2 \rangle - \langle yy' \rangle^2]^{\frac{1}{2}}$$

とすれば、

$$\alpha = -\frac{\langle yy' \rangle}{E}, \quad \beta = \frac{\langle y^2 \rangle}{E}$$

$$\gamma = \frac{\langle y'^2 \rangle}{E}$$

で与えられる。⁴⁾ ここで例え

ば $\langle y^2 \rangle$ は f を分布関数として

$$\langle y^2 \rangle = \frac{\int y^2 f(y, y') dy dy'}{\int f(y, y') dy dy'}$$

測定値は

$$\langle y^2 \rangle = \frac{\sum y_i^2 \Delta I_i}{\sum \Delta I_i}$$

Lapostolleは r.m.s エミッタンス

$\epsilon_{r.m.s}$ と⁵⁾

$$\epsilon_{r.m.s} = 4E = [\langle y^2 \rangle \langle y'^2 \rangle - \langle yy' \rangle^2]^{\frac{1}{2}}$$

とした。ビームがガウス分布を

すると仮定すれば、 $\epsilon_{r.m.s}$ の範

囲に86%のビームが入る。規

格化は $\beta\gamma$ をかけて

$$\epsilon_{r.m.s} = \beta\gamma \epsilon_{r.m.s}$$

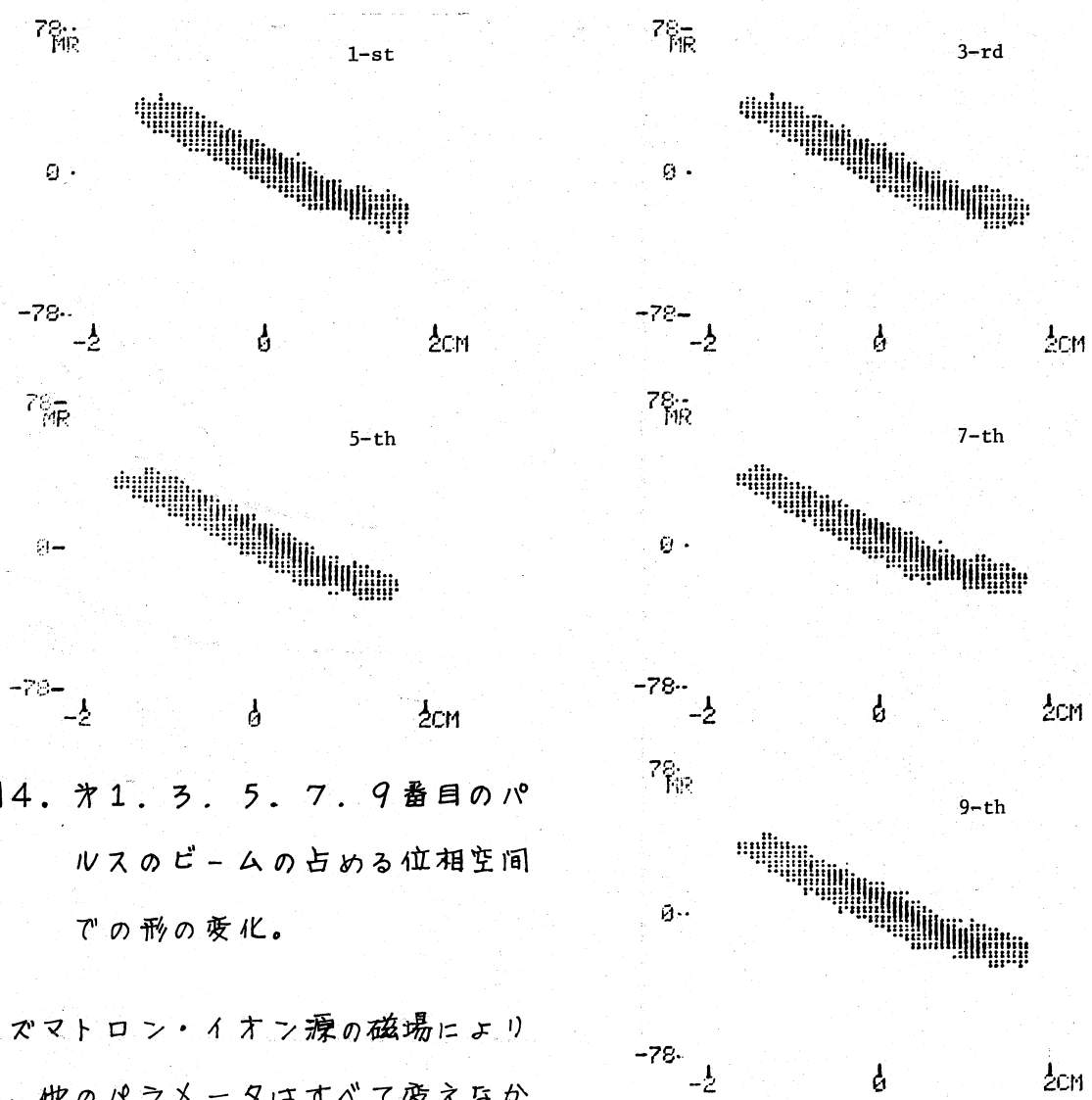


図4. オ1. 3. 5. 7. 9番目のパ
ルスのビームの占める位相空間
での形の変化。

ユオプラズマトロン・イオン源の磁場により
調節した。他のパラメータはすべて変えな
かった。

Buncherの影響

BuncherのRFをONすると、エミッタンスが大きくなることが報告されている。⁶⁾
そこでこれを確かめるために、ON, OFFのエミッタンスを比較した。結果は90%エミッタ
ンスでONのとき $0.262 \pi \text{cm} \cdot \text{mrad}$, OFFのとき $0.249 \pi \text{cm} \cdot \text{mrad}$, 80%エミッタンスでは
ONが $0.175 \pi \text{cm} \cdot \text{mrad}$, OFFが $0.171 \pi \text{cm} \cdot \text{mrad}$ でわずかの増加が認められた。

水平・垂直面のエミッタンス

従来の測定では、水平面のエミッタンス

Beam Ordinal Number	E rms cm·mrad	ϵ rms cm·mrad	α	β $\frac{\text{mm}}{\text{mrad}}$	γ $\frac{\text{mrad}}{\text{mm}}$
1	64.0	2.56	3.70	1.00	14.7
3	65.2	2.61	3.68	1.03	14.2
5	62.8	2.51	3.80	1.00	15.4
7	63.5	2.54	3.95	1.10	15.1
9	67.5	2.70	3.60	1.00	14.0

表1. Y.M.Sエミッタンスと α , β , γ

は垂直面のそれの1.5倍程度大きい値が得られていた。そこでLEBTの電磁石の極性を反転して水平面エミッタンスを垂直方向で測定したところ、80%と90%エミッタンスとして垂直面のそれに近い 0.170 と $0.263 \pi \text{cm}\cdot\text{mrad}$ が得られた。このような差が生じた原因は、ビーム中を決めている静電チョッパーが、ビームを水平面内で偏向させるので、水平面のエミッタンスを過渡的なビームをも含めて測定していたためと思われる。

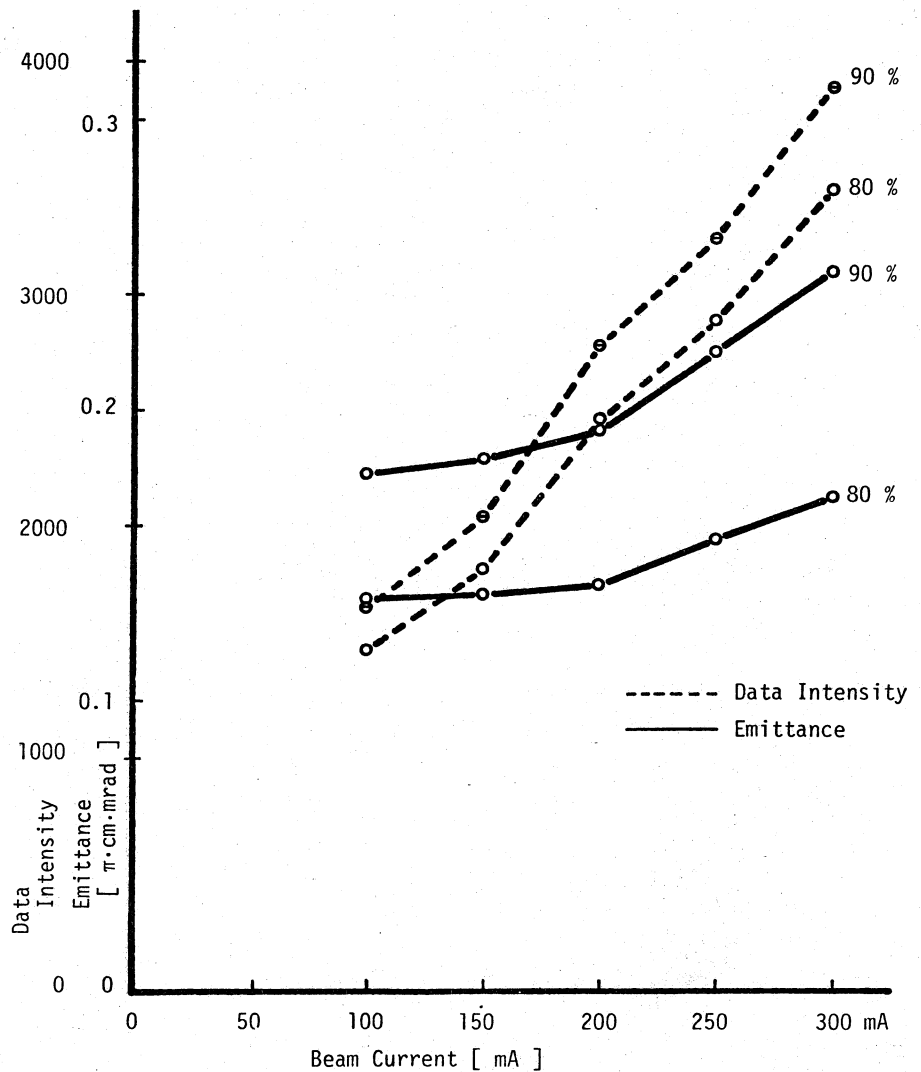


図5. エミッタンスのビーム強度依存性。マルチセグメント・ディテクターで検出した電流の総和も示した

References

- 1) H. Ishimaru, T. Sakaue, K. Itoh, K. Muto and S. Fukumoto, Proc. 1976 Proton Linear Accelerator Conf., 202, 1976.
- 2) K. Ito, T. Sakaue, H. Ishimaru and S. Fukumoto, Proc. 2-nd Symposium on Ion Source and Application Technology, 71, 1978.
- 3) T. Sakaue, K. Ito, K. Muto and S. Fukumoto, Proc. 2-nd Symposium on Accelerator Science and Technology, 105, 1978.
- 4) J. Guyard and M. Weiss, Proc. 1976 Proton Linear Accelerator Conf., 254, 1976.
- 5) P.M. Lapostolle, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-18, 1101, 1971.
- 6) C.D. Curtis, R.W. Goodwin, E.R. Gray, P.V. Livdahl, C.W. Owen, M.F. Shea and D.E. Young, Particle Accelerators, 1, 93, 1970.