

PFリニアック・サブハーモニックバンチャーの設計

東北大学核理研 小山田正幸

高工研 佐藤 勇, 浅見 明, 田中治郎

PFリニアック(2.5 GeV放射光実験施設入射器)は当面の目的はその名が示すように2.5 GeV SORリングの入射器であるが、将来計画に於ては他のエネルギーのSORリングの入射器として、および電子ビームの直接的利用が考えられておる。更にトリスタン計画のアクムレーターリングへ電子、陽電子を供給することも念頭に置きながら本リニアックシステムの検討、設計、建設が進められている。

以上の目的のため定常パルスビームの加速の他に超短パルス大電流加速が必要とされ、これを實現する方式としては他の研究所¹⁾²⁾³⁾でも採用されている格子付電子銃とサブハーモニックバンチャーの組合せが最もスマートである。

現在の技術で達成される格子付電子銃の最短パルス幅、RF電力増幅管、リニアックの原発振周波数等を考慮して、サブハーモニックバンチャーの基本周波数として加速周波数(2856 MHz)の $1/6$ である476 MHzを採用する。第1図にサブハーモニックバンチャーの概念図を示す。ビームの集群特性の検討には空間電荷効果をディスクモデルによって取入れた。電子ディスクの運動方程式は次のように与えられる。⁴⁾⁵⁾

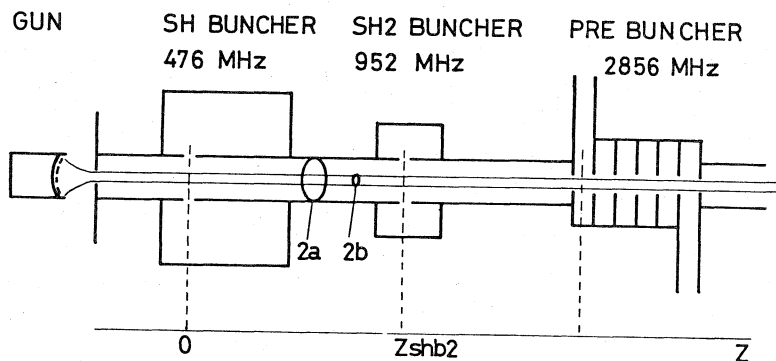
$$\frac{d\delta_i}{d\xi} = -\alpha \sin \Delta_i + \frac{ze\lambda_0^2 \eta}{m_0 c^2 b^2 \pi} \cdot \frac{I_0}{M} \sum_{j=1}^M \sum_{r=1}^{\infty} \left[\frac{J_1(\frac{\beta_{or} \cdot b}{a})}{\beta_{or} J_1(\beta_{or})} \right]^2 \times \frac{1}{\gamma_j^2} \exp \left[-\frac{\beta_{or} \beta_{wi} \lambda_0}{2\pi a} |\Delta_i - \Delta_j| \right] \times \text{sign}(\Delta_i - \Delta_j) \quad (1)$$

$$\frac{d\Delta_i}{d\xi} = 2\pi \left(\frac{1}{\beta_{or}} - \frac{\gamma_i}{\sqrt{\gamma_i^2 - 1}} \right) \quad (2)$$

上記の微分方程式を2M元連立一次微分方程式として解いた。変数の意味は

M: 1波長当りのビーム分割数
 i, j : ディスクの番号
 δ_i, Δ_i : i 番目のディスク内の電子のエネルギー及び位相
 V_0 : 入射ビーム電圧

$\xi = z/\lambda$
 z : ディスクの位置
 λ_0 : 自由空間波長 63 cm
 I_0 : 入射ビーム電流 (5 A)
 V_g : 最大変調電圧



第 1 図

$$\mu = eE\lambda_0 / m_0 c^2$$

e/m_0 : 電子の比電荷

C : 光速

E : 最大加速電界強度 (ドリフトスペース内では0)

$$\eta = \sqrt{\mu_0 / \epsilon_0} = 120\pi \text{ 自由空間インピーダンス}$$

a : ドリフトスペースの半径 (3 cm)

b : ビームの半径 (0.5 cm)

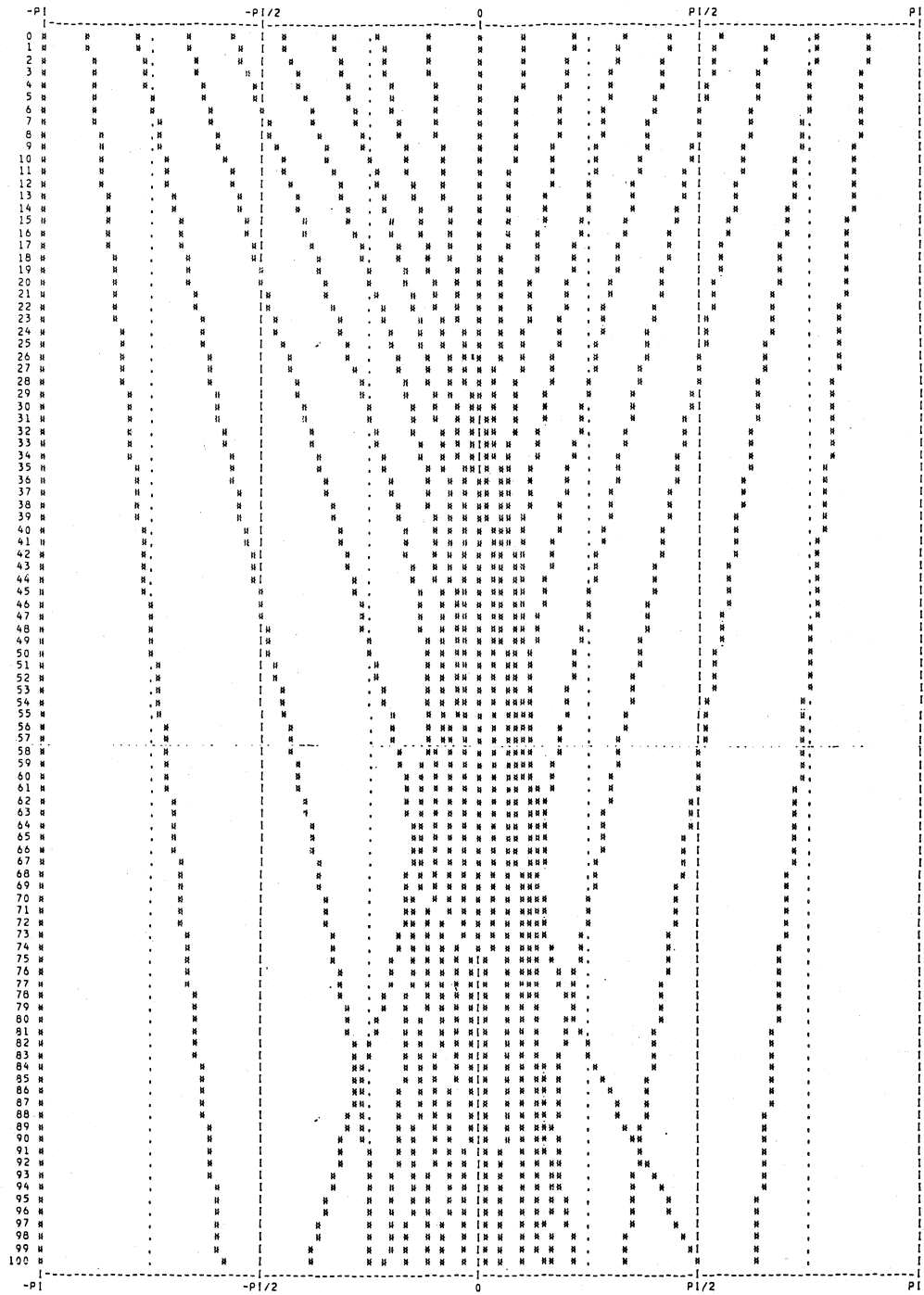
$\beta_{or} J_0(x) = 0$ の r 番目の根

電子銃から電圧 V_0 で入射された電子はサブハーモニックバンチャーにより最大変調電圧 V_g で速度変調を受けた後、ドリフトスペース内を進む。今回の検討では入射電流 5 A, ビーム径 0.5 cm, ドリフトスペース内径を 3 cm とした。

第2図に入射電圧 100 kV とし、変調最大電圧を 30 kV とした時のドリフトスペース (長さ 2 波長) 内の電子の位相軌道を示す。集群効果を見るために電子の相対密度を第3図に示した。縦軸はエンハンスメントを表す。横軸は加速周波数の一周分に対応する $\pm 30^\circ$ 分だけが示してある。この図から解るようにせっかく集群した電子は空間電荷の斥力により再び離散していく。変調電圧を上げて集群効果の向上は小さく急激な離散を伴う。(第4図) 空間電荷効果の悪影響を軽減するには入射電圧を上げることが効果的である。入射電圧を 250 kV とし、それに伴って変調電圧を 75 kV にした場合の計算結果を第5図に示した。この図から入射電圧を上げるとは集群作用に良い結果を与えることが解るが、実際設計時には新たに電子銃部の絶縁をどうするかという問題が発生する。

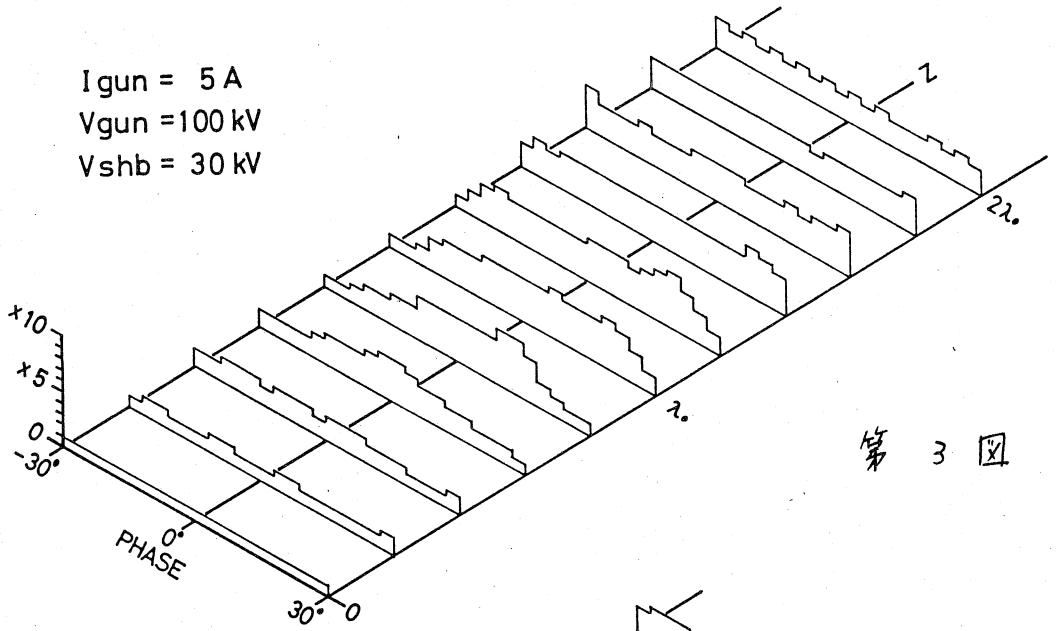
入射電圧を上げないで集群効果を上げるにはドリフトスペースにサブハーモニックバンチャーをもう1台追加することが考えられる。既にかなり集群した位置に入れるのであるから、周波数は1番目のサブハーモニックバンチャーの2倍の 952 MHz とする。

VGUN = 100.0 KV VSHB = 30.0 KV I0 = 5.00 A 2A = 3.00 CH 2B = 0.50 CH



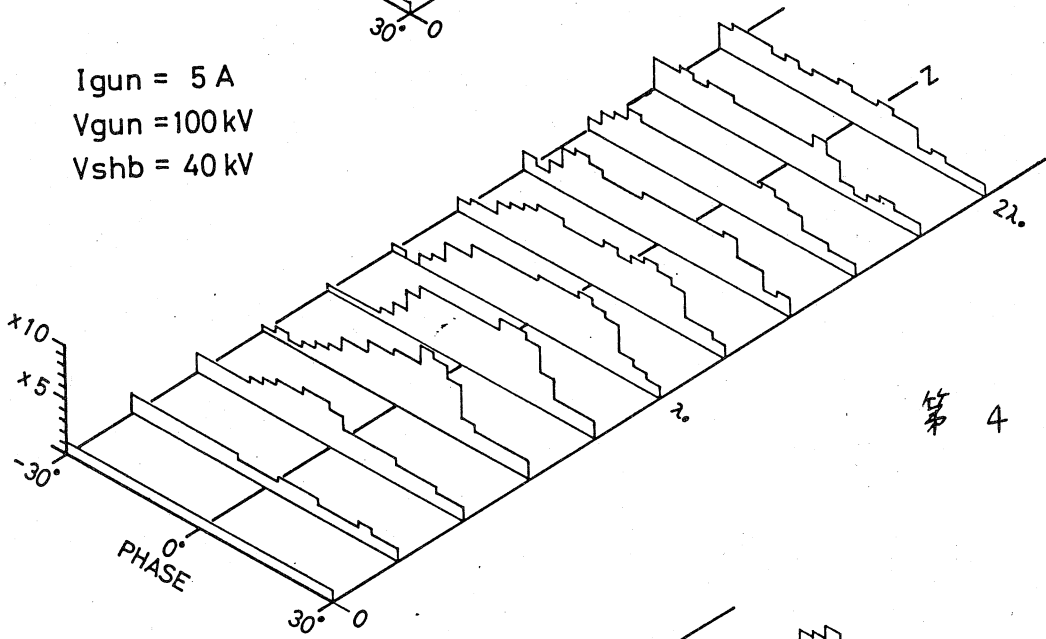
第 2 图

$I_{gun} = 5 \text{ A}$
 $V_{gun} = 100 \text{ kV}$
 $V_{shb} = 30 \text{ kV}$



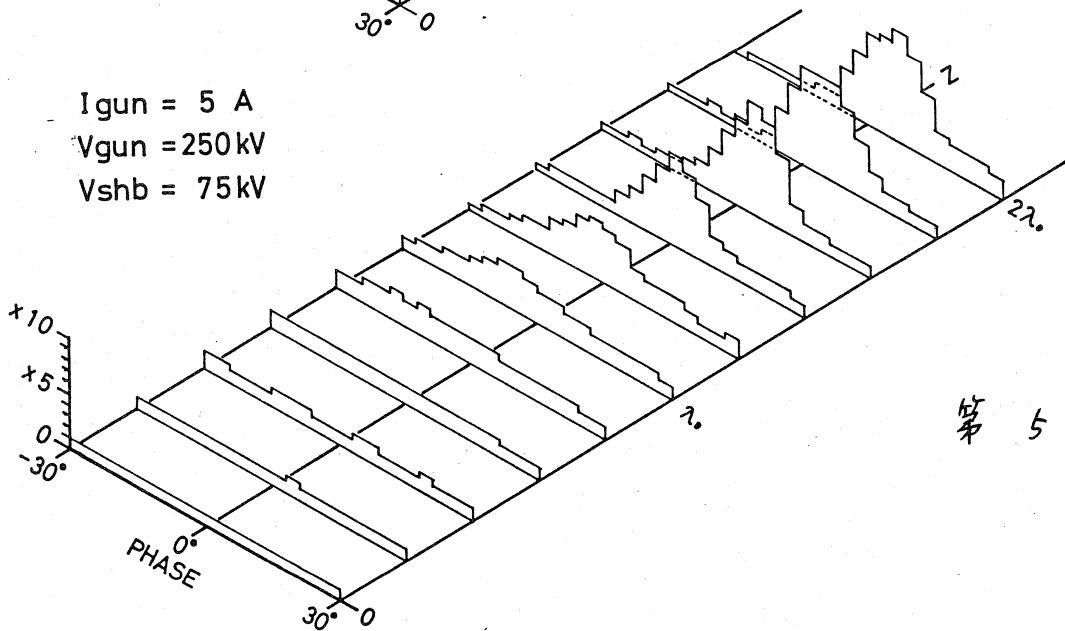
第 3 图

$I_{gun} = 5 \text{ A}$
 $V_{gun} = 100 \text{ kV}$
 $V_{shb} = 40 \text{ kV}$

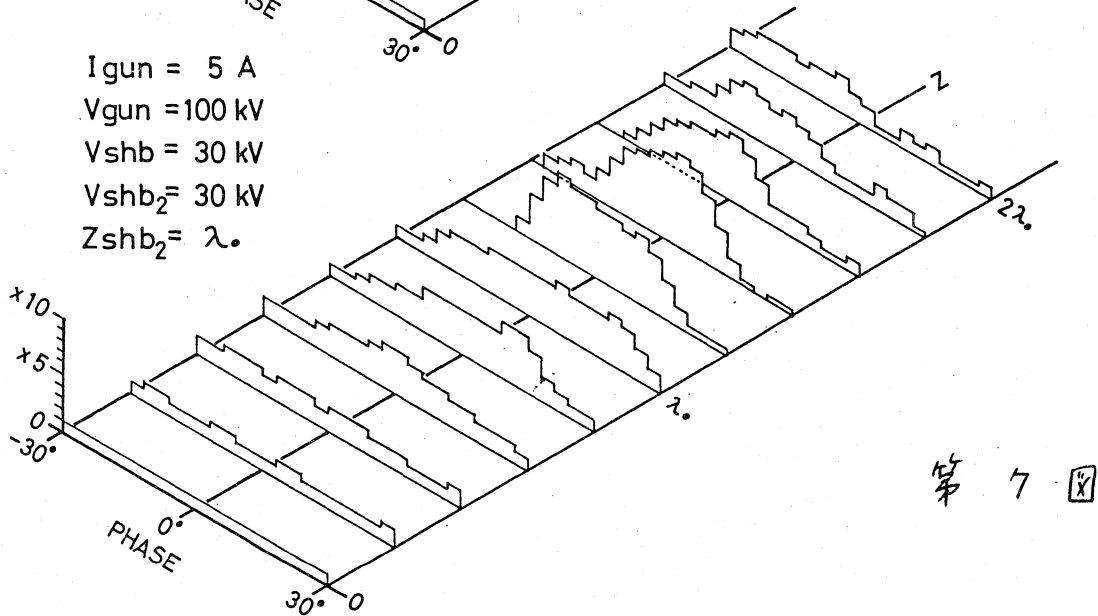
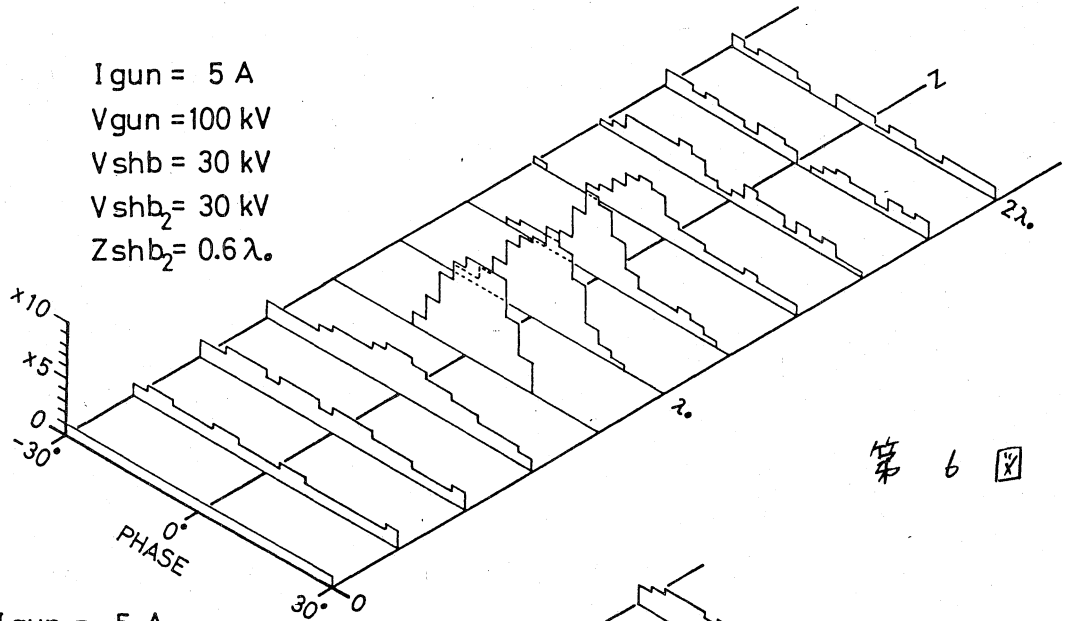


第 4 图

$I_{gun} = 5 \text{ A}$
 $V_{gun} = 250 \text{ kV}$
 $V_{shb} = 75 \text{ kV}$



第 5 图



入れる場所としては、単一サブハーモニックバンチャで最も集群する場所の前と後が考えられるが、それぞれの結果を第6図と第7図に示した。これらの図を第3図と較べて見て一定の効果が上がっていることが解るが、一方RFシステムの複雑化は避けられない。

空間電荷効果による制限に抗して大電流超短パルスビームを得るためにサブハーモニックバンチャは有効であり、入射電圧を上げた単一サブハーモニックバンチャにするか、入射電圧は100kV前後に止め、ダブルサブハーモニックバンチャにするかはシステム設計上の選択の問題である。

参考文献

- 1) N. J. Norris et al. : IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-16(1969) 323
- 2) G. Mavrogenes et al. : IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-20(1973) 919
- 3) 藤田 彪太 他 : 日本原子力学会誌 21(1979) 662
- 4) C. B. Williams et al. : IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-14(1967) 581
- 5) G. W. Petersen et al. : IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-16(1969) 214