

PF リニアック・バンチャー の設計

高エネルギー研 浅見 明, 大沢 哲, 佐藤 勇, 田中治郎

東北大 小山田正幸

1. 設計の方針

PFリニアックの入射器として使用するプレバンチャーおよびバンチャーについて、設計を行っている。プレバンチャーは進行波型で、 $\sim 2\lambda$ の長さを持つ。これは弱いRF電場でゆっくりとバンチを形成しつつ、いくらかの加速も行うもので、こうすることによって、普通使われる単空洞のものよりも質の良い集群を可能にする。バンチャーも進行波型で $2/3\pi$ モードであり、 3λ のバンチャー部と 5λ のレギュラー部から成る。このバンチャーは高電界型で、プレバンチャーで形成されるバンチを急速に加速しつつ、さらに集群するもので、この際、電子軌道がなるべく交差せず、滑かに集群するようにして、大電流でも良質のビームを得ることを目指している。

設計の方針としては、第1に位相を揃えること、第2に集群する効率を高くすることとし、エネルギースペクトルは重視しない。入射エネルギーは 100KV とした。また、バンチャーとレギュラー加速管の間には、分析磁石、Q磁石の外、各種ビームモニターを設置する予定であり、広い空間を必要とする。ここでバンチが崩れないようにバンチャーで充分加速することが必要であり、その出力エネルギーを 5MeV に設定した。

2. 軌道解析

加速管軸を z 軸として、 z 座標をRFの自由空間波長 λ_0 で規格化した長さを ξ とする。電子のエネルギー $m\gamma c^2$ をその静止エネルギー $m_0 c^2$ 単位で測ったものを $\gamma = m/m_0$ 、RFに対する電子の位相を Δ とする。初期位相を細分し、その i 番目に属する電子の運動方程式は、

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\gamma_i}{d\xi_i} &= -\alpha \sin \Delta_i \\ \frac{d\Delta_i}{d\xi_i} &= 2\pi \left(\frac{1}{\beta_\omega} - \frac{\gamma_i}{\sqrt{\gamma_i^2 - 1}} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに $\alpha = eE\lambda_0/m_0c^2$, $\beta_\omega = v_p/c$ で、 E は電場の強さ、 v_p はRFの位相速度である。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

減衰するか、これは

$$\frac{dP}{dz} = -2IP - \sqrt{2\gamma IP} \sum_{k=1}^m J_k \sin \Delta_k \quad (2)$$

によつて表わされる。ここに I は減衰定数、 γ はシャントインピーダンスであり、 J_k は初め k 番目の位相にあった電子の作る電流である。(1) 式の α に含まれる E は (2) 式の P の関数で、従つて i 番目と k 番目の位相の電子が相互に影響するため、(1) 式は m 個の連立微分方程式となる。ただし空間電荷効果は考慮してない。

初めに、 β_0 の値としてはプレバンチャーで 1 段、バンチャーでは 3 段とし、 α は各 i について一定として計算を行い、前述の設計方針に合致するパラメータ値を求めた。その後段数を増して、これらの値をさらに滑かに変えるように試みた。

3. 結果と討論

こうして得られたプレバンチャーおよびバンチャーのパラメータ値を第 1 表に示す。この時の加速特性を第 1 図および第 2 図に示す。第 1 図は、電子がプレバンチャーに入る時の位相と、バンチャーを出る時の位相の関係を示すもので、非常に広い入力位相範囲に対し、出力側の位相が殆ど一定になることを示している。

第 2 図は、バンチャーを出た時の電子のエネルギーを入力位相の関数としてプロットしたものである。

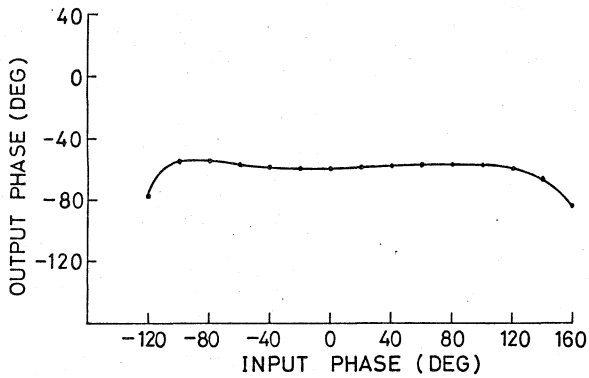
第 3 図は、電子が進行するにつれて、その RF に対する位相が変化する様子を示すものである。プレバンチャーにおいて、速度変調を受けつつ、いくらか加速され、丁度バンチャー入口付近でバンチが形成される。ここではエネルギーがかなり広がっているのだが、バンチャーにおいて急速に加速されるため、余り問題にならない。また、軌道の交差も少ないことがわかる。

第 1 表 バンチャーのパラメータ値

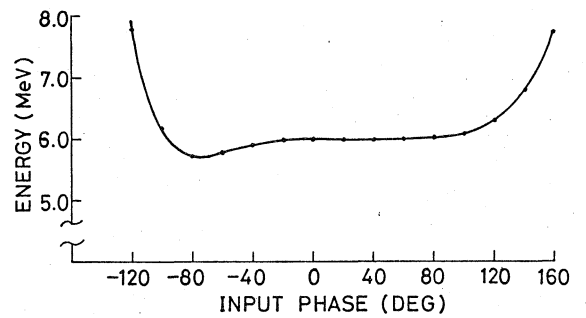
空洞番号	ξ	α	β
1-3	0.58	0.03	0.58
4-6	1.16	0.04	0.58
	2.16	0.0	
7-8	2.66	1.5	0.75
9	2.93	1.5	0.81
10	3.22	1.8	0.87
11-13	4.13	1.8	0.91
14	4.447	1.8	0.95
15	4.773	2.0	0.98
16-21	6.773	2.0	1.00
22-27	8.773	2.0	1.00

この解析の問題点としては、前にも述べたように空間電荷効果を無視していること、お

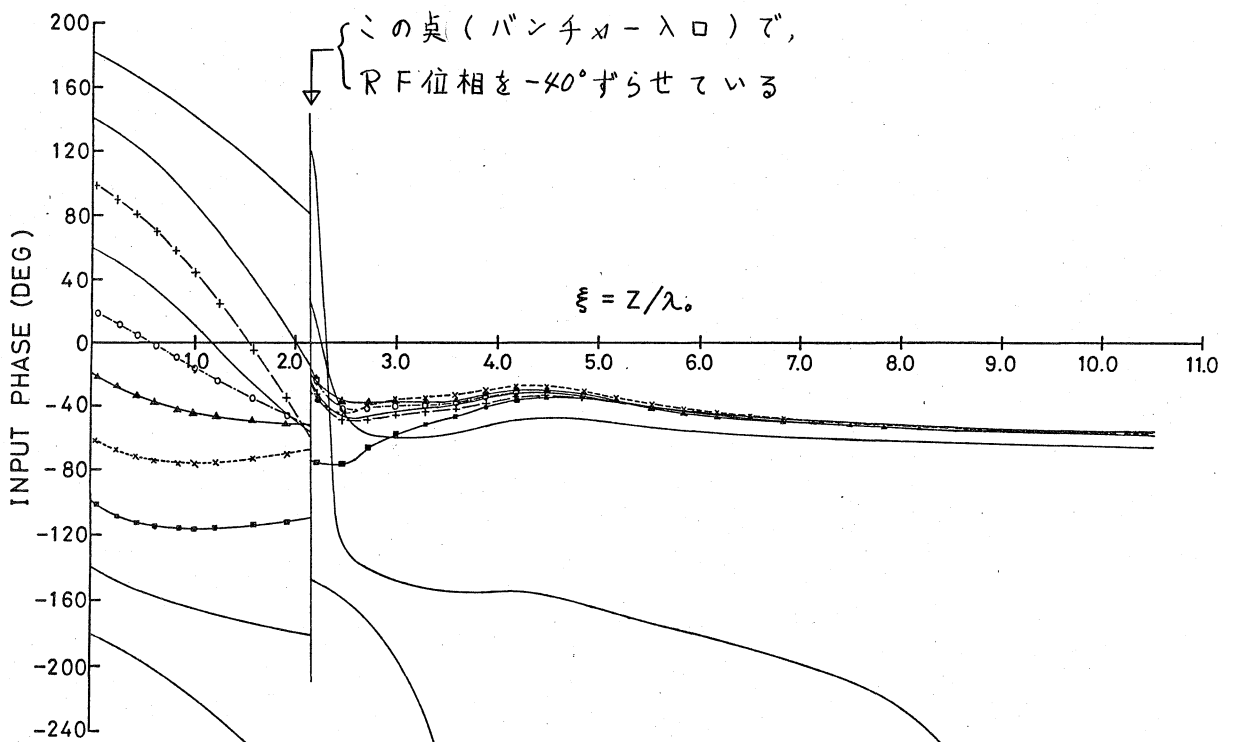
よび、空間高調波 (*space harmonics*) を無視していることである。いずれも低エネルギー部において大きな影響のあることが予想される。このほか、集束系を含めて設計することが必要で、これらの検討を行っている。



第1図 プレバンチャー入口の電子の位相とバンチャー出口の位相との関係



第2図 プレバンチャー入口の電子の位相とバンチャー出口の電子の全エネルギーとの関係



第3図 プレバンチャー入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