

バンチャーの設計

原研 浅見 明, 田村 務, 鹿園直基, 河原崎雄紀, 益子勝夫
 秋山信義, 北島正博
 三菱電機, 小野寺俊男, 家喜洋司

1. 経過

リニアックオ1加速管の性能が劣化したため、新たに製作する必要が生じた。はじめにこの経過を述べる。

昨年夏頃からオ1加速管の導波管窓の破損が頻発した。いろいろ原因を調べた結果、加速管のVSWRが著しく増加していること(中心周波数で ~ 1.12)、スミスチャートでの位相シフトの標準値からのずれが、バンチャー部で著しいことが判明した。

これらの性能低下の主な理由は、ヒートサイクルによる経年変化と考えられる。加速管入力結合器の再調整も行った。使用しているが、このほか導波管窓の破損防止の対策として、窓を加速管から遠ざけ(~ 70 cm)、窓の一方をSF₆ガスで加圧している(~ 2 kg/cm²)。

加速管性能を全面的に回復することは不可能なため、新たに製作することが必要になった。今回の加速管性能劣化の基本的な原因としては、バンチャー部の使用条件が他に較べてずたずたしいことが考えられる。これをオ1加速管の方式を再検討し、従来は1体であったバンチャー部とレギュラー部を分離し、バンチャー部には従来よりも低電力のRFを供給する方式を採用した。これを今回バンチャー部の設計を行った。以下に、設計の方針、運転方式、加速特性と決定したバンチャーのパラメータについて述べる。

2. 設計の方針

リニアックを使用して行っている実験は次の3つである。(1)中性子物理の実験(直進ビーム使用)、(2)放射性同位元素を生成し、これを用いた β - γ 分光等の他各種の実験(5°偏向ビーム)、(3)中性子回折実験(50°偏向ビーム)。これらの実験からのリニアックに対する要求としては、上記実験に対応してこれを(1)短パルス大電流であること、(2)長いパルスでエネルギースペクトルが良く、電流もなるべく大きい、(3)長いパルスで電流が大きいこと、ビーム伝達スペクトルが良いこと。

これらの要求を考慮して、バンチャーに必要な特性として次の3項目を定めた。(1)捕捉効率が高いこと、(2)出口での位相の広りの小さいこと、および(3)大電流加速が可能であること。(1)の捕捉効率はアレバンチャーの特性に依存する。アレバンチャーは自作のものが設けられているが、この設計特性を全面的に信頼することはせず、バンチャーだけでも相当の効率を持つことを目標とした。通常のバンチャーでは、加速エネルギーとエネルギースペクトルが重要であるが、今回はこれらを余り重視しなかった。その理由は、このバンチャーの後に5本のレギュラー加速管があるのでリニアック全体としては充分これらの

特性を満足するためである。パルス幅については、長いパルスを基本的に著し、短パルス大電流の場合は、単に加速器に貯えるエネルギーを大きくするようにつけた。

3. 運動方程式

加速管軸に沿ってZ軸をとり、これをRF自由空間波長 λ_0 で割る。長さを $\xi = z/\lambda_0$ 電子のエネルギー $\gamma m c^2$ を静止エネルギー単位 $m_0 c^2$ で測り、 $\gamma = m/m_0$ 、RFに対する電子の相対的位相を Δ で表わすと、i番目の電子の運動方程式は良く知られているように

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

ここに $\alpha = eE\lambda_0/m_0c^2$, $\beta_w = v_p/c$, $\beta_{ei} = v_e/c$ E は電場の強さ、 v_p はRF位相速度で、 v_e は電子の速度である。RF電力 P は管壁での損失と、ヒーム負荷損失で減衰する。

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

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 は位相 Δ_k の電流で、 $\sum_{j=1}^m J_k$ は全電流である。(1)式の α は(2)の P の函数であるため、 k 番目の電子 Δ_k の電子に影響を及ぼす。ただし、空間電荷の効果は考慮しない。RF入力として8MW、ヒーム負荷として0.6Aを標準とし、また入射エネルギー100kVである。 α , β_w をパラメータとして(1),(2)を解いた。この解が前述の特性を満足するように試行錯誤で、 α , β_w を求めた。

4. 加速特性とバンキヤ-パラメータ

当初、バンキヤ-部の α , β_w を3段階で変え、これに短いレギュラー部を加えた方式について検討した。いろいろ α , β の組合せで期待する特性が得られる。しかしRF特性を検討してみると、 β_w の段差からの反射波が大きいのことがわかった。反射を防ぐためには、 β_w を緩かに変えてゆく必要があるが、そうすると工作が複雑になり高価になる。そこで β_w の段数を増すかわりに α の段数を減すことにした。

こうして決定した α , β の値を表1表に示す。レギュラー部も含めて α が3段、 β_w は7段である。

表1図に加速特性を示す。上の曲線が電子の入力位相に対してバンキヤ-出口での位相をプロットしたもので平坦部が広いこと、出力での位相のずれが小さいことがわかる。下の曲線は出口におけるエネルギーを示す。a, b, cはそれぞれ、負荷電流0.6, 1.2, および1.8Aの場合この範囲の負荷電流では特性は殆ど変わらない。表2図は負荷電流0.6Aの場合の位相と ξ の関係を示すヒーム軌跡である。初期位相 0° 付近の電子は ξ が小さいうちに他と交差するゆえ大電流加速は困難が予想されるが出口での位相は良く合っている。また、

初期位相が60°近辺の電子は他との交差が多が小さい領域ではないので、大電流加算に適している。

最後にディスプレイ口径2αの決定について述べる。先ず適当な2αの値を仮定し、経験的に得られた2αと、Eを求めた。これから $E = \sqrt{2PI}$ の関係を用いてαを計算しこれと設計値と比較して両者が一致するまで同様の計算を繰返した。こうして決定した2αの値αの多に対する変化もβの設計値と一緒に表3図に示す。

あわりに導波管窓破損の対策、バンチャーの設計など全般について、竹腰秀邦京大教授、田中治郎高エネルギー研教授、平川浩正東大助教授にいろいろ助言していただいた。また高エネルギー研佐藤勇助教授にはビーム軌跡の解析について有益な助言をいただいた。ここに感謝の意を表したい。

表1 表 バンチャー(2αRα) α, β 値

ξ	空洞数	α	β
0.500	2	1.55	0.75
0.767	1	1.55	0.80
1.050	1	1.80	0.85
1.930	3	1.80	0.88
2.240	1	1.80	0.93
2.563	1	2.00	0.97
6.563	12	2.00	1.00

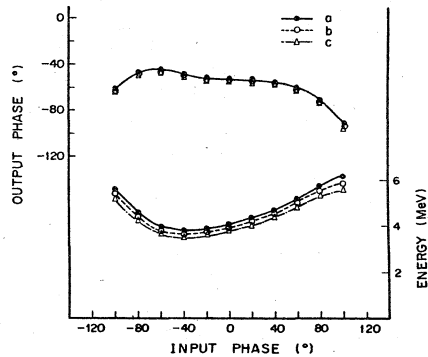


表1図 ホロソの位相(上図)とエネルギー(下図)
a: 束電流0.6A, b: 1.2A, c: 1.8A

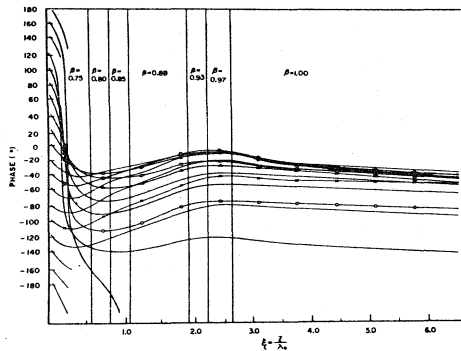


表2図 ビーム軌跡示

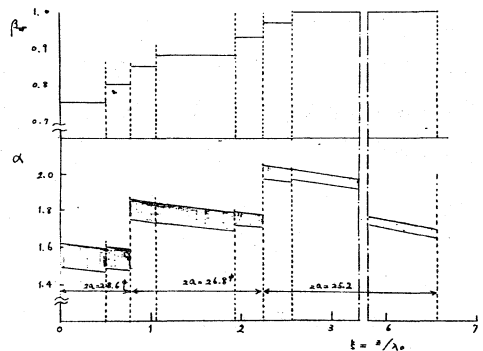


表3図 α, β と 2α の値