

III-2 DESIGN OF THE FOCUSING SYSTEM OF THE 2.5 GeV LINAC

A.Enomoto, I.Sato, H.Matsumoto, S.Fukuda, S.Anami, and J.Tanaka

National Laboratory For High Energy Physics

Abstract

We report a preliminary design of the focussing system for the 2.5 GeV electron linear accelerator. The problem of beam blowup (BBU) has now been recognized to be important in the design of a long accelerator. First, we are planning to employ a strong focussing system because it may suppress BBU. We discuss the relation between betatron wavelength of the focussing system and BBU threshold beam currents using experimental data. Second, in order not to excite the higher transverse modes, we need not only to make the beam pass through the center of the accelerating tube but also to have the beam profile circular. For the latter purpose we compared the system of quadrupole-doublet to that of triplet. The triplet seems to be preferable.

§1 設計方針

高エネルギー物理学研究所で建設中の電子線形加速器はフォトンファクトリーのための電子貯蔵リング及び将来的にはTRISTANリングへのインジェクターとして設計されている。加速器本体の長さは約400mで2.5GeVまで電子を加速する。

この様な長い線形加速器をつくる時 beam blowup (BBU) によって途中で加速ビームが失われてしまうことへの対策が特に重視されている。BBUはビーム中が数 μ sec、加速電磁波の周波数がS-bandの場合、数十MeV以下の加速器では電流値が数百mA (Peak Current) 以上でないと起こらないのに対し、数GeV以上の長い加速器では10mA程度で発生すると言われている。

BBUの対策としては、一つには加速管の構造に工夫を加えること、もう一つには集束系による対策がある。集束系について言えば、BBU発生の電流のしきい値は集束系によるビームのベータトン波長が小さいほど大きくなることが報告されてい

る。又、加速管に高次モードの波を励起しないようにビームの断面は円形に近いことが望ましく、加速管の中心軸を通すことが重要と思われる。

以上の点から線形加速器の集束系として、1) ベータatron波長を短くし強集束にすること、2) できる限りQ tripletを用いてビームの断面を円形に近づけることを目標にする。

5.2 計算パラメーター

2.5 GeV ライナックのラインアップをFig. 1に示す。30 MeV インジェクターから出たビームは5つのセクターに分けられた160本の加速管で加速される。1セクターの長さは76.8 mである。加速部1.889 mの加速管4本を1ユニットとして用い、約65 MeVの加速をする。8ユニットで1セクターを構成する。Fig. 2にユニット毎にQ tripletを置いた集束系のパターンを示す。ユニット間の109.75 cmの空間に図の様な電磁石を置きその中心でビームの大きさが最大、ユニットの真中で最小となるように磁場の大きさを求めた。このとき30 MeV インジェクターから得るビームは規格化されたエミッタンス ϵ が $5\pi \cdot \text{MeV}/c \cdot \text{cm} \cdot \text{mrad}$ 、 σ の大きさが $\pm 5\text{mm}$ と仮定した。計算にはプログラム TRANSPORTを用い1次の行列演算で磁場をパラメーターとしてフィットを行なった。結果として、磁場傾斜を3 KGauss/cm程度までとすれば、セクター2 (1 GeV) までは、このパターンでの集束が可能とわかった。又、セクター3以後はFig. 3の様にユニットを2つまとめた次の組との間に図の大きさ

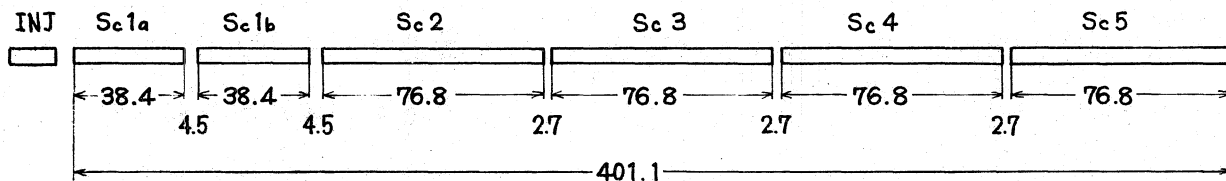


Fig. 1 2.5 GeV ライナックラインアップ

単位 m

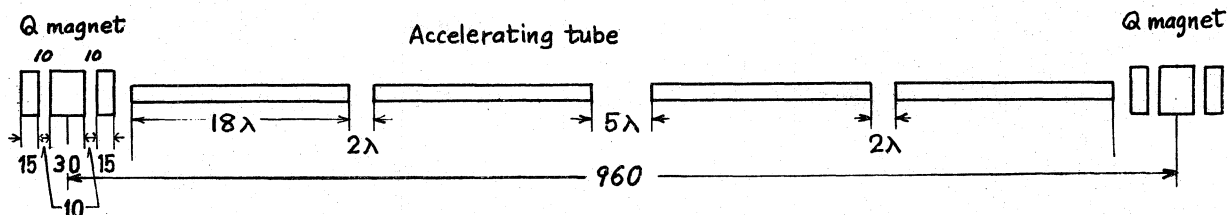
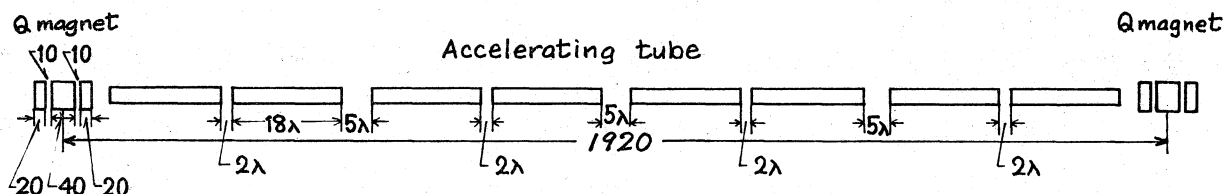


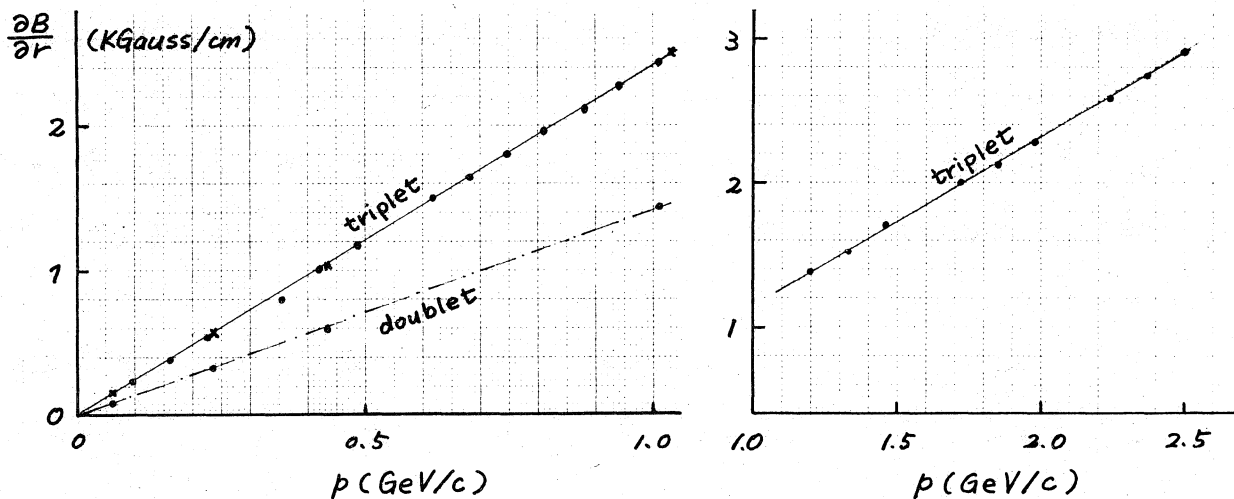
Fig. 2 集束系の典型的なパターン

単位 cm $\lambda = 10.497 \text{ cm}$

の triplet を置けば、だいたい集束可能なことがわかった。才 2 図及び才 3 図に対応するベータatron波長 $\lambda\beta$ は各々約 20 m と 40 m である。これが我々の加速器で可能な最も強い集束系となる。才 4 図に doublet を用いた場合の結果と合わせて必要な磁場傾斜を示す。但し doublet は 30 cm の長さのものを 2 個、間隔 10 cm で用いた。



才 3 図 集束系のパターン (1 GeV ~ 2.5 GeV) 単位 cm $\lambda = 10.497$ cm



才 4 図 集束に必要な磁場傾斜

§ 3 実際的な問題

実際の集束系を決定する際に考慮すべき点は次の点である

- 1) BBU を起こさず、又安定して P. C. 50 mA 以上の beam を得るために必要な最低限のベータatron波長をおさえる。
- 2) 予定されている電力の中で設計する。
- 3) Q-triplet と Q-doublet の各々の得失、特にビームの質を検討する。

マルチセクション型の BBU については Panofsky 等が理論的解析を行なっている。彼等の計算によると磁場による強制集束を無視すれば、BBU が発生する電流値 I 、ビームのパルス中で、加速された長さ L 、加速電場の傾斜 $meC^2(\partial\gamma/\partial z)$ の間

には次の関係がある。

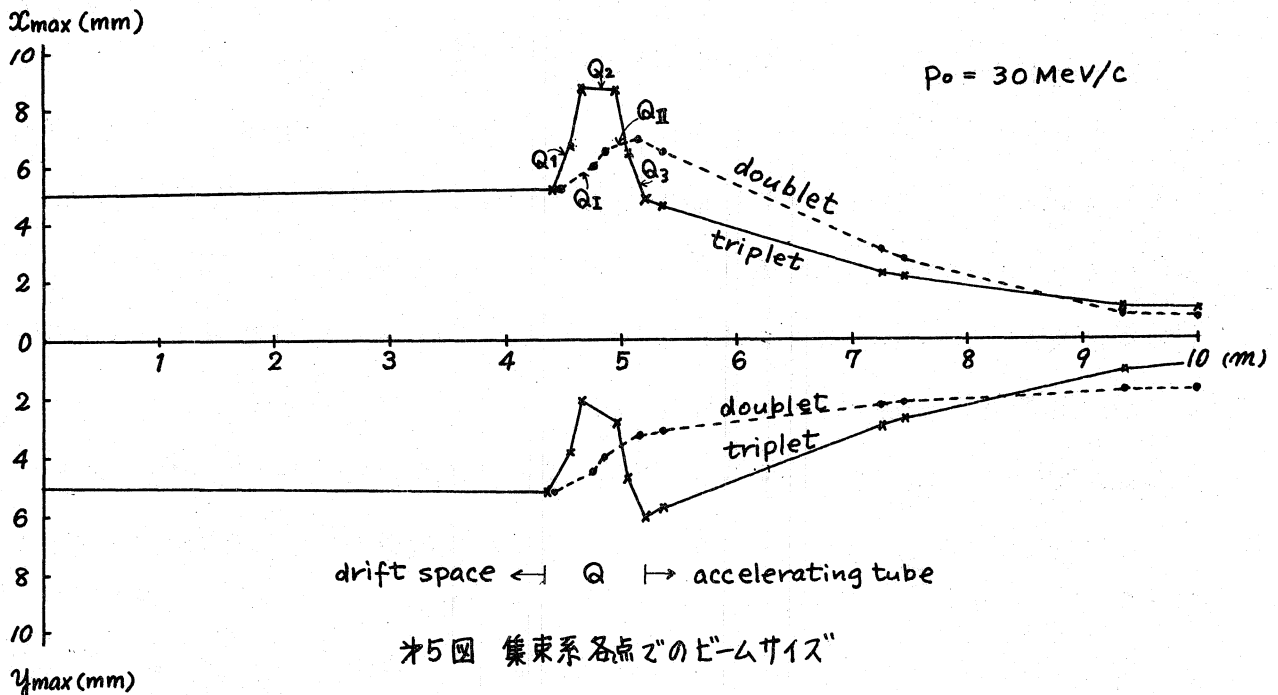
$$\frac{C I \tau z}{\partial x / \partial z} \sim \text{const}$$

$$C = \frac{e \omega_i^2 R_L}{4 m e c^2 L c Q}$$

- ω_i BBU角周波数
- R_L shunt impedance
- L cavity間の距離
- Q quality factor

又弱い集束が存在する場合にも数値的な計算が可能であり、SLACでの実験結果と良く一致することが報告されている。しかし、強い集束系がある場合の理論的解析は今後の課題と思われる。ここではSLACでの実験結果を参考にする。SLACのセクター5 ($z \cong 500 \text{ m}$, $\partial x / \partial z \cong 6 \text{ MeV/m}$)で、 $\tau = 1.6 \mu\text{sec}$ のビームでベータatron波長を500m~150mまで変えてIを測ったデータがある。これによると $\lambda_\beta = 500 \text{ m}$ で $I \cong 100 \text{ mA}$, $\lambda_\beta \cong 150 \text{ m}$ で $I = 150 \text{ mA}$ となっている。加速管の特性の違いなどあり単純に比較できないかもしれないが、100mA以上の電流を、しかも安定して得ようとするならば、最低限 $\lambda_\beta = 100 \text{ m}$ 前後の強い集束系が必要と思われる。

次にQ triplet と Q doublet を用いた集束パターンの一例をオ5図に示す。ビームの質としてはQ triplet を使えば、比較的円形のままbeam envelope が大きくなったり小さくなったりしているが、Q doublet の場合はbeamの断面が円形からずれている。この様なビームはbeam blowup に関するdipole fieldなどの高次のモードを加速管に励起する可能性がある。



オ5図 集束系各点でのビームサイズ

ビームの質以外の得失を比較する。お4回ごせわる様に、doublet の磁場傾斜 (0B/0r) は triplet の約半分余りで済む。従って、電流も半分余りで良く消費電力は約3分の1程度になる。又 doublet の場合、単体の個数も少なく済み、スペースも若干節約できるなど、予算的には有利である。

以上より、消費電力等の予算の許可範囲で強い集束と @triplet を用いた集束を追求して、設計を進める。