

K. Yamada, M. Sugawara, M. Oyamada and Y. Torizuka

Laboratory of Nuclear Science, Tohoku University

Abstract

A proposed recirculation system reaccelerates an output beam of linac by "head to tail" recirculation. The maximum electron energy is expected to be about 3.95 GeV with first recirculation and 5.8 GeV with second recirculation. This paper reports the basic design requirements, magnetic bending systems and calculated beam optics in this recirculation system.

1 はじめに

東北大学次期電子加速器計画ではリサーキュレーション系の導入により、ライナックの出力ビームを再加速しエネルギーを約2倍に高めることを検討している。更に第2期計画ではビームの3回加速を行ない、エネルギーを約3倍に高めよう予定である。ビーム特性の設計値を第1表に示す。ここでは計画している

リサーキュレーション系の概要とビームの軌道解析から求めた電磁石類の配置の様子等を紹介する。

2 概要

本計画ではライナック系とリサーキュレーション系

リサーキュレーション回数	最高エネルギー (GeV)	代表的運転例				
		エネルギー (GeV)	ピーク電流 (mA)	ビーム幅 (μ S)	繰り返し数 (pps)	平均電流 (μ A)
リサーキュレーションなし	2.10	1.75	200	2.4	300	144
リサーキュレーション1回	3.95	3.30	200	1.2	300	72
リサーキュレーション2回	5.80	4.85	200	~1.2	200	~48

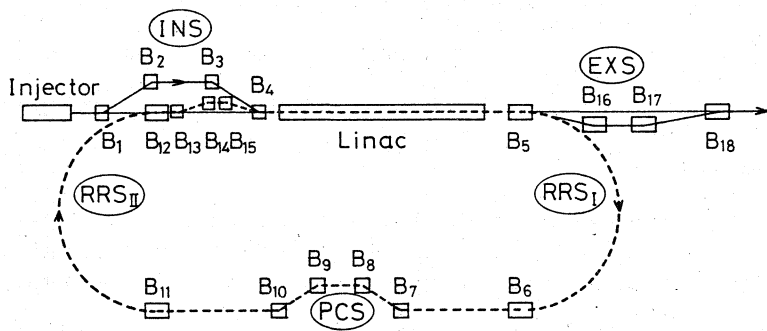
(第1表) 次期電子ライナックのビーム特性

の径路長の和をビームパルス長に等しくし、パルスの終端パンチと再加速される同一パルスの先端パンチが連続的につながるようにする(ヘッド・ツー・テイル方式)。この方式により、再加速ビームによるライナック内下の電流負荷の急激な変動をなくし、エネルギースペクトラムの劣化及びそれに伴うビーム損失を防ぐ。リサーキュレーション系に対する主な要請を以下に列挙する。

- (i) ヘッド・ツー・テイル方式で必要とされる精度の径路長の微調整が、オンビームの状態でも可能なこと。
- (ii) リサーキュレーションに伴うビームのデバンチングが2次の効果も含めて、充分小さいこと。
- (iii) 系を同時に通過出来るビームのエネルギー帯域が、ライナックの出力ビームエネルギー幅に比べて大きいこと。
- (iv) ライナックの加速エネルギーが大幅に異なる場合にもビームの質が劣化しないこと。
- (v) リサーキュレーション径路長はなるべく短いこと。
- (vi) 再入射ビームのエミッタンス調整が可能なこと。
- (vii) 3回加速のためのリサーキュレーション系が将来設置可能な空間的配置であること。

第1図にリサーキュレーション系の模式図を示す。入射器 (Injector) によって初期加速されたビーム (最大 0.25 GeV) は、 $B_1 \sim B_4$ の偏向系を通過しライナック本体に入射される。一方再加速されるビームは、 $B_{13} \sim B_{15}$ 及び B_4 の偏向系によって再入射される。これら偏向系を入射系 (INS) と呼ぶ。再加速されたビームは B_5 による偏向角が小さいため取出し系 (EXS)

を通過し、再加速されるビームは円弧部Ⅰ (RRSⅠ) によって 180° 偏向され、ライナックとは逆進する。このビームは途中で、位相調整系 (PCS) により径路長の微調を受け、円弧部Ⅱ (RRSⅡ) で再び 180° 偏向される。



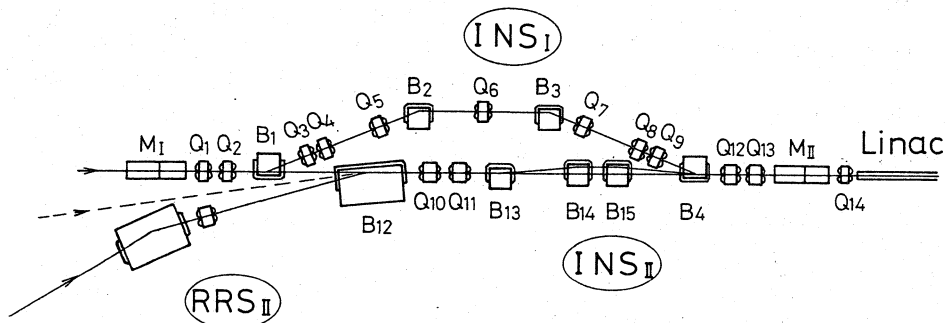
(第1図) リサーキュレーション系の模式図。INS (Injection System), EXS (Extraction System), RRSⅠ, Ⅱ (Recirculation Ring System I, II), PCS (Phase Control System)

3 入射系 (INS)

入射系近傍の電磁石類の配置を第2図に示す。初期加速されたビームの入射系 (INSⅠ) は、

エネルギー無分散系で、しかも径路長がエネルギーに依存しない ($dL/dE = 0$) ように $Q_3 \sim Q_9$ の強さと配置を設計した。再加速ビームの入射系 (INSⅡ) は B_4 によるわずかな偏向を打消すために設置され、 $B_1 \sim B_4$ 及び $B_{13} \sim B_{15}$ は全て同一形状、同一磁場の偏向電磁石を予定している。INSⅠを通過するビームのエネルギーが一定であっても、INSⅡを通過するビームのエネルギーは実験の要請によって大きく変わることが予想される。この場合にはライナック本体に入射する2種類のビーム

のエミッタンス調整が複雑になることが予想される。つまり2種類の要求されるエミッタンスの形状を、 $Q_{1,2}$, $Q_{10,11}$ 及び $Q_{12,13}$ 等の四極電磁石で同時に実現する必要があり。



(第2図) 入射系近傍の配置図。破線は3回加速の場合のビーム軌道。 $M_{Ⅰ,Ⅱ}$ はビームエーター。

4 位相調整系 (PCS)

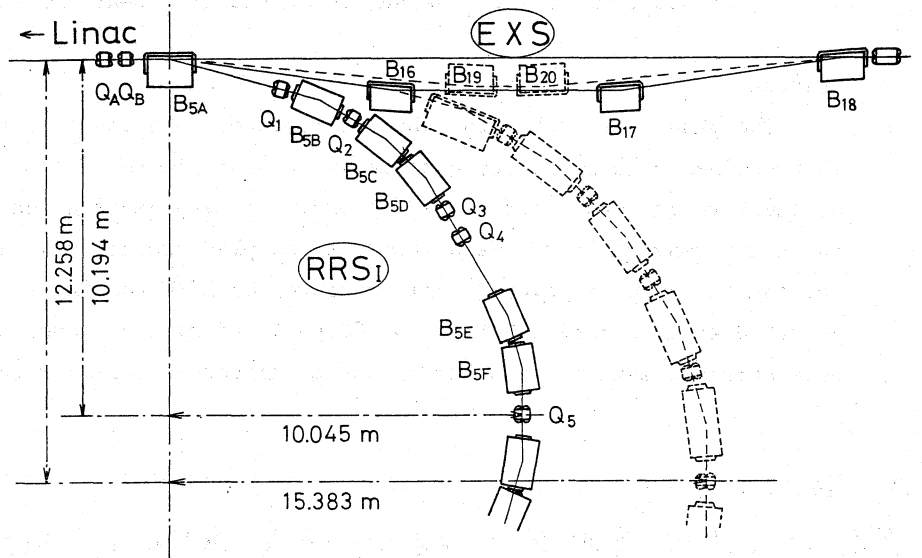
径路長 (すなわち再入射ビームのRFに対する位相) の微調整は、第1図の $B_7 \sim B_{10}$ の磁場の強さを変え、ビームの中心軌道を移動させることにより、オンビームの状態で行なう。要求された調整精度は少なくともビームのパンチ幅程度 (約 2°) と考えられ、磁場変化1%に対し位相変化を 20° と設定すれば、必要な磁場の調整精度は 0.1% となる。PCS内ではエネルギーの違いにより、径路長に差が生じデバンチングが起る。本設計ではエネルギー変化1%に対して、 20.5° の位相変化が生じるが、2つの 180° 偏向系 (RRSⅠ, Ⅱ) で -20.5° の位相変化を起こさせ、系全体としては1次のデバンチングを零にして11る。

5 180° 偏向系 (RRSE, II)

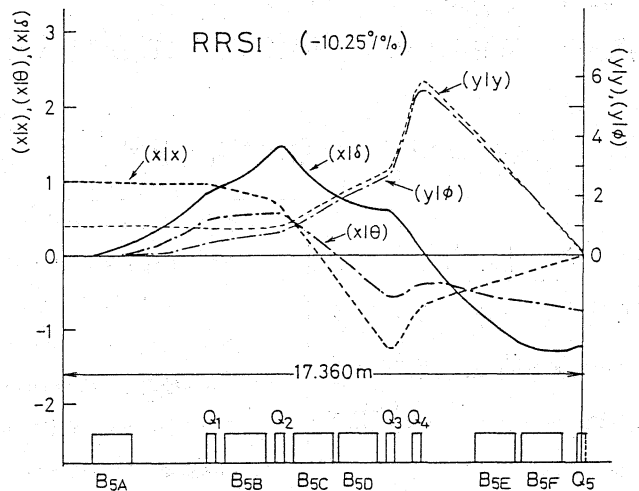
180° 偏向は15°の偏向電磁石15台で行なう。この系では1次の効果によるデバンチングだけでなく、2次の効果も考慮しておく必要がある。第3図にRRSE近傍の電磁石類の配置を示す。破線は3回加速の場合の配置を示している。第4図にはこの系でのビーム軌道の様子を示す。分散関数 (x/δ) の値から、エネルギー幅 $\pm 1\%$ のビームの広がり幅は最大1.5cm程度と予想される。四極電磁石の内直径を10cmとして設計しているの、この系を通過出来るビームエネルギー幅は $\pm 1\%$ 以上あると考えられる。

第3図の配置の円弧部を合わせて360°偏向を行なった場合の2次の効果によるデバンチングの大きさを、計算コード「TRANSPORT」で見積った。その結果入射ビームのx(横),

y(縦)方向の広がり幅を $\pm 1mm$, 広がり角を $\pm 0.2mrad$, エネルギー幅を $\pm 1\%$ とした場合、バンチの広がり設計値($\pm 5.98mm$)に対し、 $\pm 0.24mm$ (位相に換算して $\pm 0.82^\circ$)増加した。このデバンチングにはエネルギーの広がり2次による項 (l/δ^2) 以外に、y方向の軌道が関係した項 $(l/y\phi), (l/\phi^2)$ 等も大きく影響している。デバンチングの大きさがRRSEへの入射ビームの形状に強く依存しないためには、四極電磁石及び六極電磁石の追加等により、これら2次の項を小さくする必要があり、現在、この点を検討している。



(第3図) RRSE及びEXS近傍の配置図。破線は3回加速の場合。RRSEの残りの配置はQ5の中心に対して反転対称。



(第4図) RRSE内でのビーム軌道。縦軸の単位は $(x/x), (y/y)$ は無次元, $(x/\theta), (y/\phi)$ は $cm/mrad$, (x/δ) は $cm/\%$ 。