

水平方向に「D-F-D（発散-集束-発散）」と「F-D-F（集束-発散-集束）」という2通りについて計算を行った（図5）。一般に、 β_x と η_x は4極電磁石の集束力に対して同じ傾向を示し、 β_y は逆の傾向を示す。D-F-Dの場合、 R_{56} を変化させようとする、例えば β_x は下げられない限界に来ているが、さらに η_x を小さくしなければならない、という様なぶつかり合いが生じ、マッチングが困難となる。これは、旧案では1台だった弧部中央の偏向電磁石を2台に分割し、ドリフトスペースを挿入したことによるもので、旧案では見られなかった困難である。現在のラティスの場合、極性がD-F-Dの場合、 R_{56} の可変範囲は $+0.6m > R_{56} > -0.8m$ であり、4極電磁石の値は連続に変化せず、マッチングも容易ではなかった。一方、極性反転させてF-D-Fとして同様の計算を行った場合、劇的にマッチングが容易になり、また、 R_{56} の可変範囲も $+4m > R_{56} > -3m$ と約5倍に広がる。マッチングは初期値や光学関数の条件付けに依らず、容易に収束し、4極電磁石の値の変化も連続的である。今回の設計においては、弧部の4極電磁石としてF-D-Fという極性を採用することとした。

主LINACを含む直線部と周回部とを繋いだ全体のオプティクス案を図6に示す。これは、on-crest加速、 $R_{56}=0$ の場合である。

5. 今後の課題

線形オプティクスは検討が進んだが、CSRや空間電荷などの集団効果を含む非線形オプティクスは現

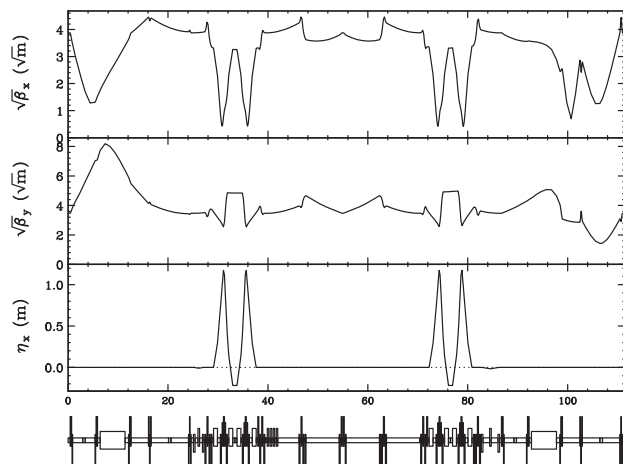


図6：周回部のオプティクス

在のラティスに対しては、まだ検討が進んでいない。また、主LINACだけでなく、入射部についても建設時はエネルギーが下げられる可能性もあり、入射部とのマッチングも今後の課題である。

2012年度中にビーム運転を開始する為には、2011年度中に電磁石や真空系、診断系を製造する必要がある。真空系や診断系の配置もこれからの課題である。

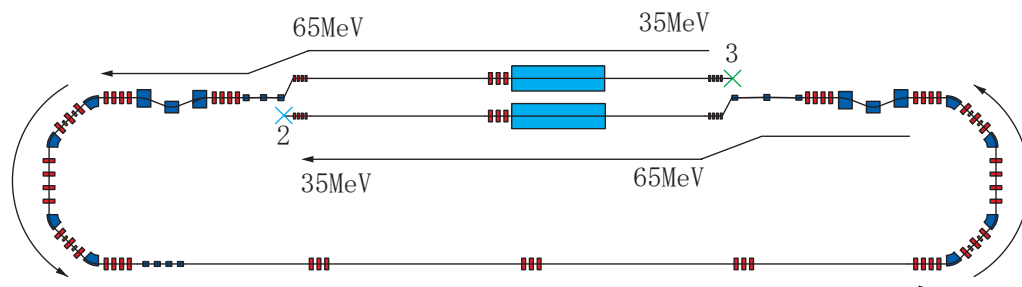
参考文献

- [1] S.Sakanaka, et al., "Recent Progress in the Energy Recovery Linac Project in Japan", Proceedings of IPAC2010, pp.2338-2340, 2010
- [2] R.Hajima et al. (ed.), "コンパクト ERL の設計研究", KEK Report 2007-7/JAEA-Research 2008-032.
- [3] M.Shimada, Y.Kobayashi, "LATTICE DESIGN OF 2-LOOP COMPACT ENERGY RECOVERY LINAC", 第6回加速器学会年会プロシーディング, 2009
- [4] T.Shiraga, "コンパクト ERL 電子ビーム光学系の設計研究", 修士論文, 東京大学, 2009年3月

A. 非対称2ループへのマッチングの拡張

参考として、非対称2ループへのマッチング方法の拡張について述べる。

2ループの場合、主LINAC直線部をビームは4回通過する。ここで検討した1ループのラティスに2ループ目を加えた場合、1回目は入射部からの5MeVビームを35MeVへ加速して内側ループへビームを通し、2回目はそのビームを65MeVまで加速して外側ループへ回す。3回目はそれを65MeVまで減速して内側ループへ戻し、最後の4回目で5MeVまで減速し、ビームダンプへ打ち込むのである。2ループ全体をマッチングして繋ぐ為には、1ループの計算の後で、もう1段階の計算を加えるだけでよい。光学関数を繋ぐポイントは4点で、1ループの場合も2ループの場合も同じである。外側ループを繋ぐの必要な計算は、図A1に示すラティスに対して行われる。（ただし、図に示した様な分岐シケインを含むラティスは旧案であり、現在は敷地の広さの関係で、分岐シケインがない、よりコンパクトなラティスとなっている。）光学関数を繋ぐ為には、内側ループの出入口の光学関数をそのまま適用する必要がある。すなわち、図1の"3"から初めて、"2"に繋ぐことになる。また、主LINACを含む直線部と、分岐偏向電磁石直線までの4極電磁石の値は、内側ループに対する値をそのまま使い、変化させて



図A1：外側ループの追加

はいけない。つまり、入り口の光学関数である”3”点から、分岐が終わる部分までは、外側ループのマッチングに対して使ってはならないということになる。主 LINAC 直線部の 4 極電磁石は、入射ビームや、初段の加速のビームに対して最適化されている為、外側ループのエネルギーが高いビームに対しては影響が少ない。従って、この方針で設計を行う場合、初期値”3”点や終端値”2”点の光学関数の選び方が重要ということになる。4 極がほとんどなくとも外側ループ入り口までうまくビームを転送できる様な初期値が目安である。

全体の方針を含めて検討不十分な面がまだ多くあるが、この方針で設計した旧案に対するオプティクスを図 A2 に示す。図は 245MeV の場合である。

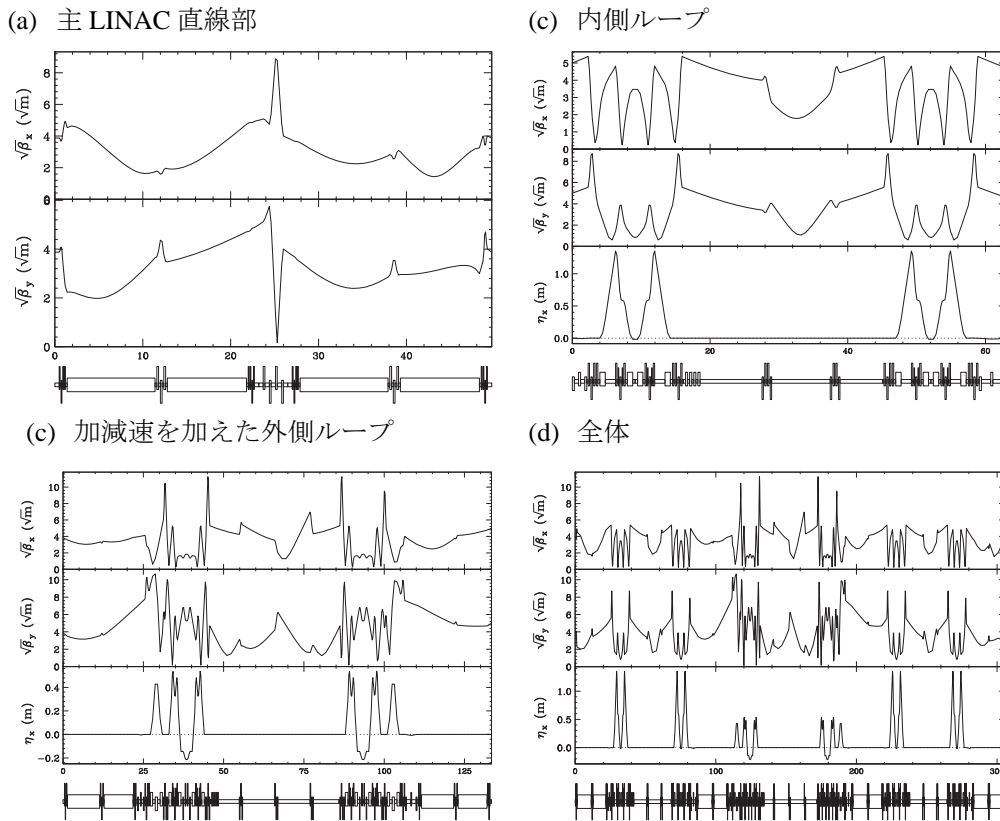


図 A2 : 周回部のオプティクス