

# LATTICE DESIGN OF 2-LOOP COMPACT ENERGY RECOVERY LINAC

Miho Shimada<sup>1</sup>, Yukinori Kobayashi  
 High Energy Accelerator Research Organization, KEK  
 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

## Abstract

Compact Energy Recovery Linac (cERL) is planned to construct in the KEK site as a test facility of 5GeV-ERL project. For achieving the high energy with a limited refrigeration power, the electron beam is accelerated twice by the same super-conducting cavity in a 2-loop design. At the branch of the two loops, a chicane is installed for flexibility of the ratio of the lower energy in the inner loop to higher energy in the outer loop. The angle of merger of the injection is 16 degree. The linear optics of the linear accelerator section is optimized for the two accelerator and two decelerator beams using the “dummy loop”, which is used for determination of the twiss parameters of the entrance/exit of the two loops. Both inner and outer loop are designed to be achromat and isochronous.

## 2ループコンパクトERLのラティス設計

### 1. はじめに

次世代放射光源として5GeVのエネルギー回収型線形加速器 (ERL) をKEK敷地内の建設する計画が進められている。高い加速勾配15MV/mを持つ超電導加速空洞を導入する予定であるが、限られた予算と敷地面積で5GeVのエネルギーを得るために、2ループ型ERLも視野に入れて検討している。2ループERLはコネル大の将来計画などでも掲げられており、非常に有望である一方で、加速空洞に蓄積される高次モード(HOM)や複雑になるビームダイナミクスなどが問題に挙げられている。

そこで、5GeV-ERLの試験機として建設が進められようとしているコンパクトERL (cERL) でも、2ループを採用することになった[1]。この2ループ型のビームダイナミクスの特徴は、同じ主加速直線部に2つの加速ビームと2つの減速ビームが通過し、それぞれのビームについて最適化する必要があることである。本稿では、2ループ型ERLの線形オプティクスの計算手法およびコンパクトERLの計算結果について報告する。

### 2. 2ループコンパクトERLのラティス

#### 2.1 メインパラメーターおよび磁石配列

図1に2ループコンパクトERLのラティスレイアウト例を示す。現在開発中の500kV DC電子銃[2-4] から放出される低エミッタンスの電子ビームを入射部で5MeVまで加速した後、入射合流部(merger)で主加速直線部に導かれる[5]。65MeVまで加速された電子は内側のループを通り、再び125MeVまで加速する。外側のループを通過した後は加速空洞の減速位相に乗せてエネルギー回収を行い、5MeVになったビームはダンプ取り出し口(extraction) でダンプに誘導して廃棄する。全飛行長は291.9m、電子銃・入射部とダンプを除いた周回部の面積はおよそ47 m × 9.3 mである。2つの主加速部の長さは10 mと8 mであり、2つの9セル空洞が入る5mのクライオモジュールを2台並べたものと、4つの9セル空洞が入る8mのクライオモジュールが1台に相当する。最初の段階では1回加速を60MeVを目標としており、将来的に120MeV、2回加速後の最大エネルギー

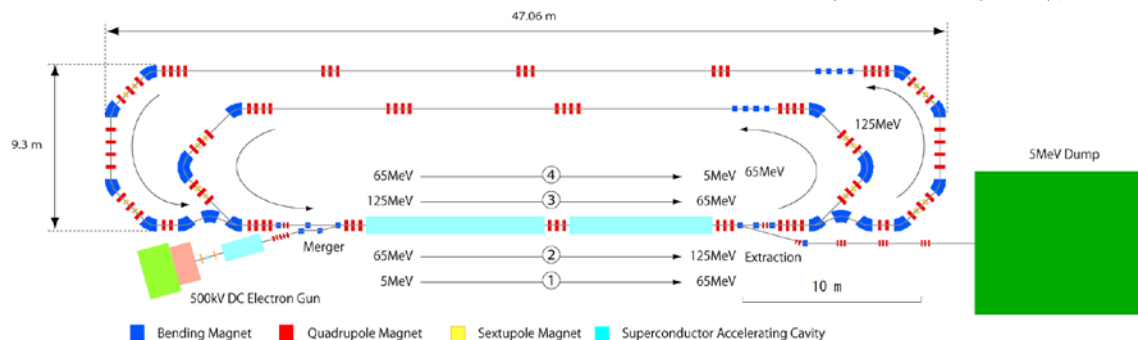


図1: 2ループコンパクトERLのラティスレイアウト

<sup>1</sup> E-mail: miho.shimada@kek.jp

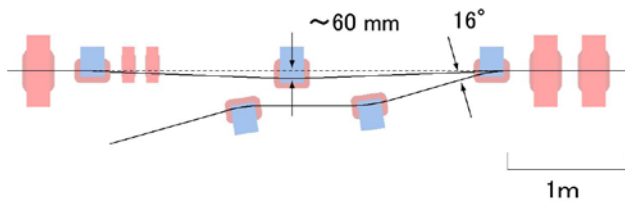


図2：入射合流部付近のレイアウト

245MeVを目指す。図1に1回の加速が60MeVの場合の電子エネルギーを示す。

## 2.2 入射合流部

入射合流部の模式図を図2に示す。電子銃からの電子は3つの偏向電磁石を用いて16度で入射して合流する。一番最後（図中：右）の偏光電磁石では周回部のビームも蹴るために、軌道に戻すためにシケインを導入した。周回エネルギーは入射エネルギーに対して7倍以上を想定しており（35MeV:5MeV）、そのときの最大の軌道のずれは60 mm程度になる。

## 2.3 エネルギー分岐シケイン

1回および2回の加速後のエネルギー比、つまり内側と外側ループを周回するエネルギーの比は入射エネルギーと主加速空洞の加速勾配に依存する。たとえば、1回の加速が60MeVの場合はエネルギー比が65:125、1回の加速が120MeVの場合は125:245となり、エネルギー比が4%ほど異なる。この違いによって外側ループの中心軌道がずれないようにするため、エネルギー分岐シケインを導入した。図3にシケインの拡大図および外側・内側ループの中心軌道を示す。

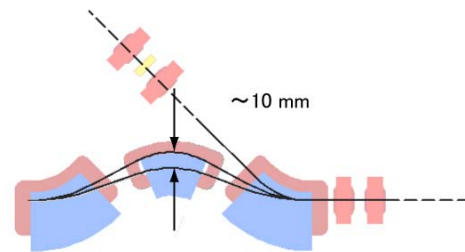


図3：エネルギー分岐シケインと軌道の模式図

図中の外側ループの中心軌道のずれは誇張しているが、このエネルギー比の4%の違いに対して、およそ10 mm程度の中心軌道のずれが発生する。

## 3. 主加速直線部のオプティクス

2つの主加速部を挟むように3つのトリプレットを配置している。ここでは、2つの加速ビームと2つの減速ビーム、計4つのビームが通過し、すべてのビームに対して最適化が必要がある。そのため、主加速直線部の設計は、入射合流部直からダンプ取り出し口までの $\beta$ 関数の全体を確認しながら行った。ここで、2つのループは4極電磁石で構成する仮のループ（ダミーループ）で置き換えた。入射合流部直後のTwissパラメータは $(\beta_x, \alpha_x, \beta_y, \alpha_y) = (13 \text{ m}, -2, 0.7 \text{ m}, 0)$ とした。基本的には、最もエネルギーの低いビームに対してトリプレットの強さを決定し、その他のエネルギーの高いビームに対しては直線部入口のTwissパラメーターを調整して、最適化を行った。

2つのオプティクスの計算結果を図4に示す。図4(a)は主加速直線部のベータ関数を小さくするように最適化したものである。特に加速モードで最適化

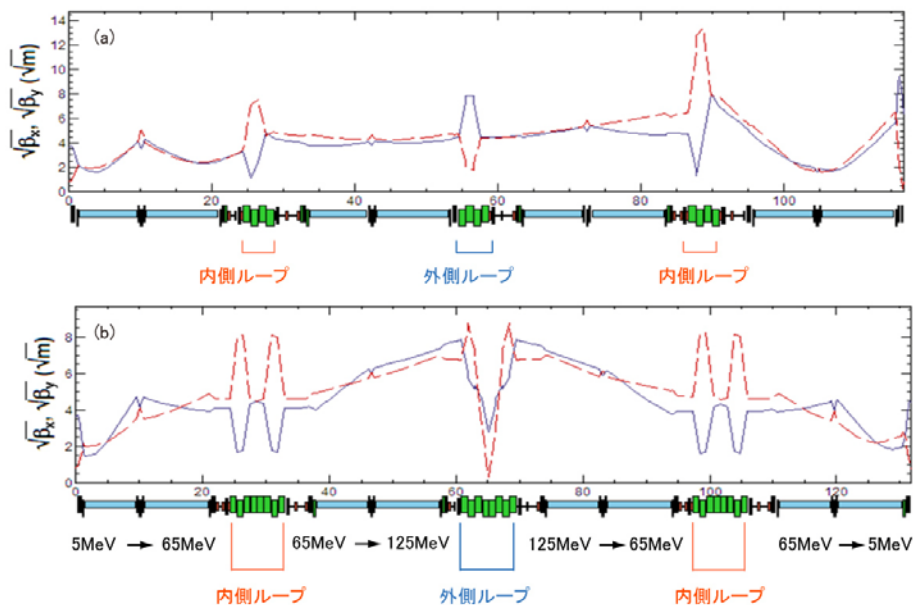


図4：主加速直線部のラティス設計

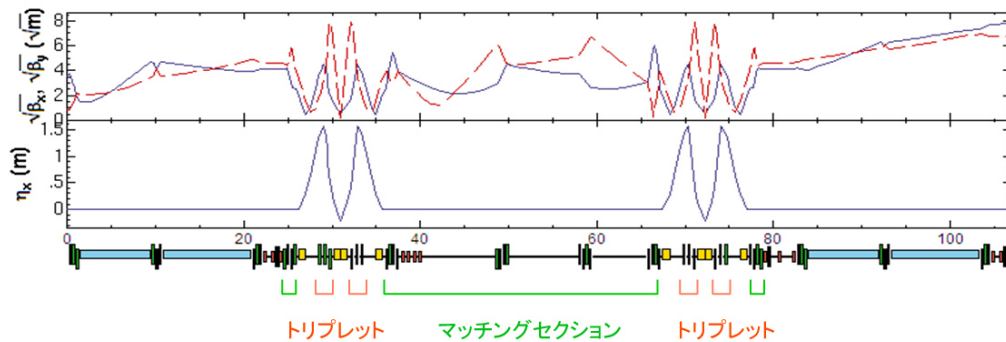


図5：内側ループのラティス設計（水色は加速空洞を示す）

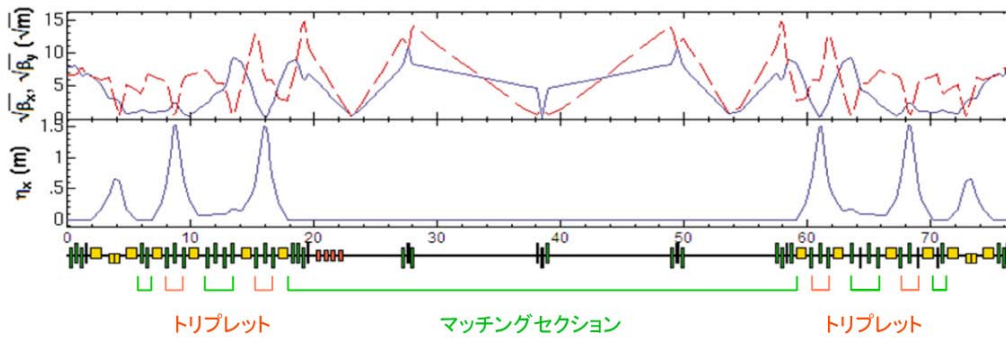


図6：外側ループのラティス設計（水色は加速空洞を示す）

を行ったため、エネルギーを回収する段階になってベータ関数が大きくなってしまった。また、ダンプに導くシケイン直前の最後のトリプレットでベータ関数が90 m近くまで大きくなってしまった。これは、エミッタンスが低い運転では問題にならないが、バンチ圧縮などによってエミッタンスが増大したときには、5MeVダンプビームが横方向に広がってしまう原因となってしまう。図4(b)ではオプティクスを左右対称に近い状態にし、ダンプ直前のベータ関数を20 m以下に抑えることができた。

#### 4. 周回部のオプティクス

2つのループは、直線部の光源利用のためにアクロマットとし、バンチ長を変えないためにアイソクロナス( $R_{56} = 0$ )とした。偏向角度45度の偏向電磁石4つで構成し、バンチ圧縮に備えて $R_{56}$ を可変にしている。外側ループには2章で説明したシケインの後に続いている。各偏向電磁石の間にはトリプレットを挟み、アクロマットおよびアイソクロナスの条件を満たすように調整した。主加速直線部とのTwissパラメータのマッチングは別に設けたダブレットで構成されるマッチングセクションで行った。簡単のために、偏向電磁石のエッジは、シケインではレクタングル、そのほかではセクターとした。

図4(b)で設定したループ出入り口のTwissパラメータに合わせて作成した内側および外側ループのオプティクスを図5および図6に示す。図に示した他にも解があり、オプティクスの設計に余裕があることがわかった。

#### 5. まとめ

2ループコンパクトERLの線形オプティクスの計算結果について第一報を報告した。ERLのラティス設計で蓄積リングと大きく異なる点は、異なるエネルギーの電子が同じ電磁石を通ることであり、これらすべてのビームに対して最適化する必要があることである。今回はダンプ直前でビームサイズが発散させないことに焦点を合わせ、左右対称のラティスを作成することができた。今後はバンチ圧縮やCSR wakeによるエミッタンス増加抑制のオプティクス設計を進めていく予定である。

#### 参考文献

- [1] 小林, et al. “コンパクトERL建設の進捗状況”, in Proceedings of Particle Accelerator Society of Japan, 2009
- [2] 山本, et al. “KEKにおけるERL放射光源用500kV電子銃の開発計画” in Proceedings of Particle Accelerator Society of Japan, 2009
- [3] 永井, et al. “ERL放射光源用500kV-DC電子銃の高電圧印加試験” in Proceedings of Particle Accelerator Society of Japan, 2009
- [4] 西森, et al. “ERL放射光源用500kV-DC電子銃の光陰極準備システムと高電圧真空容器の開発” in Proceedings of Particle Accelerator Society of Japan, 2009
- [5] 宮島, et al. “cERL入射器テストビームラインでのビームダイナミクス” in Proceedings of Particle Accelerator Society of Japan, 2009