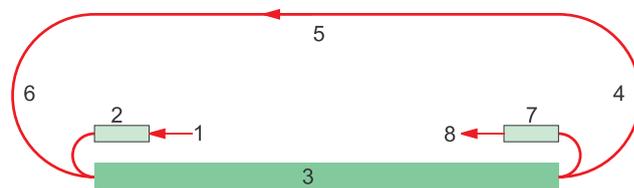


## ERL の設計とビーム力学

高エネルギー加速器研究機構 横谷 馨

ERL ( Energy Recovery Linac エネルギー回収型線形加速器 ) とは、右の図に示すような構造をもった加速器の複合体である。電子銃①で生成された電子は入射器②を経て超伝導線形加速器③で加速され、円周部④⑥および直線部⑤で放射光を出す。さらに③および⑦で減速されたのち⑧で廃棄される。加速の際に③で消費したエネルギーは再び③で減速される際にもどされて、次に来る電子の加速に使われる。したがって、理想的には入射器で消費したエネルギーが放射光に変換されることになり ( 実際には超伝導線形加速器の冷却に必要な電力などがあるが ) エネルギー収支の上から見て非常に効率が良い。一方、電子貯蔵リングでも加速に使われたエネルギーが大部分放射光になるので、効率はよい。ERL は連続運転されるので、この点でも ERL は貯蔵リングに似ている。しかし、電子ビームの質の点で ERL は貯蔵リングよりはるかに優れている。貯蔵リングでの電子ビームの性質 ( エミッタンス、パンチ長、エネルギー幅など ) はシンクロトロン輻射による平衡状態で決り、改善の余地はほとんどない。ERL の場合は、各電子は 1 回周回するだけなので、シンクロトロン輻射の影響をほとんど受けない。このため、電子銃で高品質の電子ビームが得られれば、そのまま高品質高エネルギーのビームが得られる可能性がある。



ERL は連続運転されるので、この点でも ERL は貯蔵リングに似ている。しかし、電子ビームの質の点で ERL は貯蔵リングよりはるかに優れている。貯蔵リングでの電子ビームの性質 ( エミッタンス、パンチ長、エネルギー幅など ) はシンクロトロン輻射による平衡状態で決り、改善の余地はほとんどない。ERL の場合は、各電子は 1 回周回するだけなので、シンクロトロン輻射の影響をほとんど受けない。このため、電子銃で高品質の電子ビームが得られれば、そのまま高品質高エネルギーのビームが得られる可能性がある。

本計画で想定しているパラメータは右表のようなものである。最高エネルギーは、技術的に可能な最小ピッチのアンジュレータで、1Åの光が得られるように選んだ。加速周波数は、超伝導加速空洞技術の完成度の高い 1.3GHz である。加速勾配は最大 20MV/m とした。技術的にはさらに高いものが可能であるが、冷却のための電力の問題で好ましくない。当初は加速勾配 10MV/m、ビームエネルギー 2.5GeV で運転し、後に冷凍施設を増強して 20MV/m、5GeV を達成する予定である。電流、エミッタンス、エネルギー幅、パンチ長などは目標値であり、現在の技術ですぐに達成できるという数値ではない。規格化エミッタンス  $0.1\mu\text{m}\cdot\text{rad}$  は 5GeV でのエミッタンスが 1Åの光の回折極限以下になるように決めたものであるが、現在の電子銃技術で得られる値より 1 桁以上小さい。将来この値が実現されることを期待する。パンチ長の 1ps は

ERL の主要パラメータ

|              |                    |                              |
|--------------|--------------------|------------------------------|
| ビーム・エネルギー    | 2.5~5.0            | GeV                          |
| 入射エネルギー      | 10                 | MeV                          |
| 周長           | 1253               | m                            |
| 最大電流         | 100                | mA                           |
| パンチ電荷        | 77                 | pC                           |
| 規格化エミッタンス    | 0.1                | $\mu\text{m}\cdot\text{rad}$ |
| エネルギー幅 (rms) | $5 \times 10^{-5}$ |                              |
| パンチ長 (rms)   | 1 ~ 0.1            | ps                           |
| 加速周波数        | 1.3                | GHz                          |
| 加速勾配         | 10 ~ 20            | MV/m                         |

問題ないが、0.1ps するには、周回部④⑥での coherent radiation と呼ばれる現象の回避が特に重要な課題となる。最大電流として 100mA を過程しているが、これは主に超伝導線形加速器におけるビーム不安定性現象で決ると考えられる。パンチ電荷の数値はこの電流を 1.3GHz のバケツに配分したものであるが、最大電流を固定してパンチ電荷を上げる ( パンチ間隔を拡げる ) ことも可能である。ただし、その場合、エミッタンス・エネルギー幅などが増加する可能性がある。

ERL は未だ技術的に未完成であり、核心となるエネルギー回収の技術も数 10MeV の領域で実証されたにすぎない。今後、多くの課題を解決して行かねばならないが、ビーム力学・ビーム制御の点からは次のような問題を研究しなければならない。

- 線形加速器内部・周回部のラティスの最適化
- 線形加速器におけるビーム力学、とくに加速空洞・磁石・周回部などの誤差を含むビーム不安定性の研究。
- 入射部・周回部の偏向磁石におけるコヒーレント輻射の効果
- フィードバック系の研究、特にエネルギー回収のための位相・軌道長制御
- ビームハロー生成メカニズム
- 挿入光源によるビームへの影響。( 挿入光源として FEL を使うことも原理的には考えられる。そのビームへの影響はとくに興味ある問題である。)