

ラウンドビームの生成(と放射光発生)

原田 健太郎

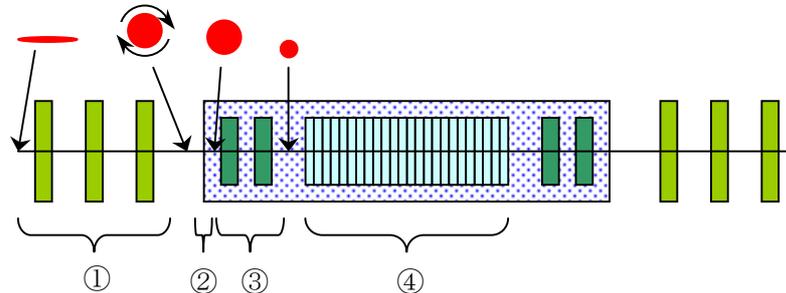
第3世代高輝度光源では、様々な努力を行うことによって、垂直方向の電子ビームサイズを光のエミッタンスに対して必要以上に小さくすることができている。一方で、(波長など様々な条件に依るが)水平方向のビームサイズについては光のエミッタンスに対して依然として大きいままであることが多い。その様な場合、極度に平たい断面形状を持つビームを巧みに丸く変形してやると、垂直方向のビームサイズが大きくなる代わりに、水平方向のビームサイズが小さくなり、両者共に光のビームサイズと同等(以下)になって実質的に光の質を向上させることができる場合がある。その為のビーム変換について述べる。(「将来計画検討資料2004」を参照。)

リングをまわるビームの断面形状は扁平で、垂直方向のビームサイズはほぼゼロであるとする。挿入する変換全体の概念図を下に示す。まず、スクュー4極電磁石を用いたマッチング部で、平たいビームを丸い渦状に変換する。渦状とはすなわち、断面形状が円形で、運動量が接線方向(渦が回転する方向)だけを向いている状態である。その様な状態のビームを適切な強さのソレノイドに通すと、ソレノイドの入り口の端磁場のキックにより、渦の回転をほぼ完全に止めることができる。すなわち、ビームはソレノイド内でほとんど完全に平行となる。ソレノイドの中をまっすぐ通り抜けたビームは、ソレノイドの出口の端磁場によるキックで再び回転を始め、スクュー4極電磁石を用いた逆変換部(ソレノイド手前のマッチング部の逆向き)で再び平たいビームに戻る。必要なソレノイド磁場の大きさと、ソレノイド内でのビームサイズは以下ようになる。

$$B_s = \frac{2B\rho}{\beta}, \sigma_x = \sigma_y = \sqrt{\frac{\beta}{2}(\varepsilon_x + \varepsilon_y)}, \sigma_{x'} = \sigma_{y'} = \sqrt{\frac{2\varepsilon_y}{\beta}}$$

ここで、 B_s [T]はソレノイド磁場、 $B\rho$ [T·m]はmagnetic rigidity、 β [m]はソレノイド入り口のベータ関数(水平垂直とも同じ値)、 $\varepsilon_{x,y}$ [m·rad]は初期エミッタンス、 $\sigma_{x,y}$ [m]はビームサイズ、 $\sigma_{x',y'}$ はビームの角度発散である。ビームサイズを小さくするためにはソレノイドの入り口でベータ関数を小さく絞る必要があるが、それに伴いソレノイド磁場も大きくなる。現実的な磁場で必要なビームサイズを得るためには、ソレノイド内でビームを集束(ベータ関数を小さく)する必要がある。

まだビーム変換自体についての検討を始めたばかりであるが、(新しいことにはつきもの)数々の困難が既に持ち上がっており、実現は(当然であるが)簡単ではない。また、ソレノイド内に設置する挿入光源についても未検討である。



ビーム変換全体の概念図

- ①、スクュー4極電磁石によるマッチング部:扁平なビームを円形の渦状にする。
- ②、ソレノイド端の磁場によるキックで渦の回転を止め、平行ビームを作る。
- ③、ソレノイドの中の追加集束系でビームサイズを小さくする。
- ④、ソレノイドの中の挿入光源から光を発生。