

cERL 入射器での低エミッタンスビームのシミュレーション

○宮島 司¹, 羽島 良一², 小林 幸則¹, 坂中 章悟¹, 島田 美帆¹
1 KEK-PF, 2 JAEA

KEK では JAEA を始め多くの大学・研究所と共同でエネルギー回収型線形加速器(ERL)を用いた光源開発を進めている。ERL を用いた光源の特徴は、従来のストレージリング型光源とは異なりビームを 1 ターンあるいは数ターンで捨てるので、ビームの質は放射励起・減衰によって決まる平衡状態には依存しないということである。このことは、入射器で生成したビームを挿入光源までその質を落とさずに輸送することによって、高品質の光を生成可能であるということを示している。すなわち、高い品質のビームを生成し、如何にその質を悪化させずに挿入光源まで輸送するかということが、ERL 光源開発での重要な課題の一つとなっている。

ERL ではビームのエネルギーで区別すると、大まかに二つの領域に分けることができる。電子銃で生成されたビームを周回部の超伝導空洞まで輸送する部分(入射部、ビームエネルギー10 MeV まで)と、加速された後のエネルギーの高い部分(ビームエネルギー60 MeV 以上)である。エネルギーで分けた理由は、空間電荷効果が顕著に現れるかどうかということがビームダイナミクスに対して極めて大きな影響を与えるからである。空間電荷効果は、ビームを構成する電子間に働くクーロン相互作用のことであり、エネルギーが高い領域では空間電荷効果は相対論的な効果によって極めて小さくなりほぼ無視することができる。一方、入射部のようなエネルギーの低い領域ではこの効果が顕著に現れるため、この影響を小さく抑えることがビームダイナミクスの中心的課題となる。また、エネルギーが低いために、ビームは外乱(誤差磁場や機器の設置誤差等)の影響を受けやすく、入射部の設計にあたってはこれらの影響を詳細に検討する必要がある。

現在、ERL 光源のテスト機として、KEK の東カウンターホール内に小型の ERL 実証機を建設し、検証試験を行うコンパクト ERL(cERL)計画が進行しており、そのための入射器の設計も進められている。本発表では、cERL 入射器の設計とビームダイナミクスのシミュレーションの途中経過について報告する。cERL 入射器は、光電陰極を用いた DC 電子銃(500 kV)、ビーム収束のためのソレノイド電磁石、バンチ長圧縮のためのバンチャー空洞、10 MeV 程度までビームを加速するための超伝導加速空洞、そして周回部と繋がる合流部から構成される(図1)。シミュレーションでは空間電荷効果を取り入れた粒子追跡計算を行い、合流部出口でエミッタンスが最小なる運転パラメタの探索を行っている(図2)。また、超伝導空洞やソレノイド電磁石など各装置の設計・製作に向けて、装置の誤差がビームに及ぼす影響をシミュレーションによって見積もっているため、これについても報告する。

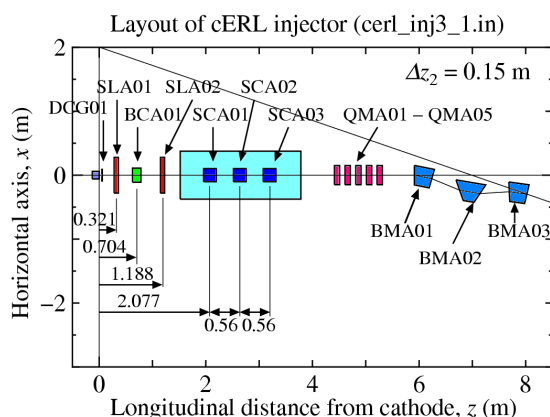


図1: cERL 入射器のレイアウト案(合流角度 16 度)。500kV-DC 電子銃(DCG)、ソレノイド電磁石(SLA)2 台、バンチャー空洞(BCA)、超伝導空洞(SCA)3 台、4 極電磁石(QMA)5 台、合流部(セクター型偏向電磁石(BMA)3 台)。偏向電磁石 BMA03 出口で周回部軌道と合流する。合流部の形式については、本図のセクター型偏向電磁石を使用した形式と、矩形型偏向電磁石を使用した形式の 2 つを比較検討している。

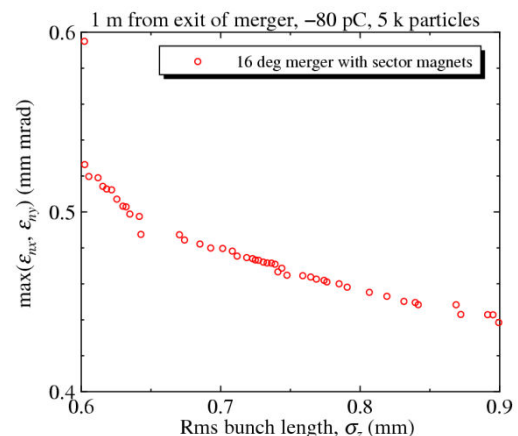


図2: 合流部出口から 1 m の地点で、規格化 rms エミッタンスと rms バンチ長が最小になるように運転パラメタを最適化した結果。縦軸は水平・垂直方向エミッタンスの大きい方、横軸はバンチ長。合流部は図1に示したセクター型電磁石を使用。矩形型電磁石を使用した合流部については現在計算中。バンチ長が短い方が、空間電荷効果が大きくなりエミッタンスも増大する。