

cERL 入射部立ち上げと電子銃および空洞開発の現状

宮島 司

高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設

KEK では次世代光源加速器として、エネルギー回収型線形加速器 (Energy Recovery Linac, ERL) を用いた放射光源加速器の研究開発を進めている。ERL は従来型の貯蔵リング型光源とは異なり、基本的には線形加速器であり、その性質から如何に電子銃・入射器で高品質な電子ビームを生成・加速し、品質を保ったまま輸送するかということが成否のカギとなっている。これらの実現のために重要となるのが、高輝度・大電流の電子ビームを生成するための電子銃と、高い加速勾配を実現するための超伝導加速空洞である。実機の放射光源用 ERL の建設の前に、カギとなるハードウェアである電子銃・超伝導加速空洞の開発試験、および ERL 加速器でのビーム性能を実証することが必須であり、これらの目的のために小型の ERL 加速器、compact ERL (cERL) の開発を進めている。cERL は光陰極を用いた DC 電子銃、入射器超伝導空洞、主加速超伝導空洞、周回部、ビームダンプ部から構成され、ERL を構成する基本となる要素全ての試験が可能となっている。

cERL の建設・ビーム運転は段階的に進められており、2013 年 4 月に入射器 (電子銃、入射器超伝導空洞、ビーム診断ライン、入射器用ビームダンプ) が完成し、6 月までの約 2 か月間に渡り最初のビーム試験が行われた。cERL 入射器のビーム運転での主な目的は、1. 電子銃での電子ビームの生成と大バンチ電荷でのビーム性能評価、2. 入射器超伝導空洞での加速試験、3. ビーム品質を保持したままでの輸送条件の確立である。今回の cERL 入射器運転では、最初のステップとして最大平均電流 $1 \mu\text{A}$ 、最大運動エネルギー 6 MeV (放射線申請での最大性能) での運転となった。今回の運転では、極めて低いバンチ電荷 ($\sim 10 \text{ fC/bunch}$) からビーム運転を開始し、空間電荷効果が顕著に現れる 7.7 pC/bunch までのバンチ電荷でビーム性能評価を実施している。

4 月から 6 月の立ち上げ試験では、電子銃は 390 kV の加速電圧で運転されたが、一度も放電はなく、極めて安定であった。GaAs 光陰極から生成された電子ビームのエミッタンスも測定され、陰極材質と励起レーザー波長から決まる値とほぼ同じであることが確認された。入射器超伝導空洞も約 2 か月間に渡り安定に運転され、 5.6 MeV まで安定に電子ビームを加速できることが確認された。ビーム輸送に関しては、超伝導空洞での加速後にエミッタンスが増大していることがわかり、空洞内でのビームの輸送条件 (位相、空洞内でのビーム位置) の調査を現在進めているところである。

ERL を用いた放射光源の実現に向けては、最終的な ERL 光源として要求される、 100 mA の平均電流 (1.3 GHz 繰り返しで 1 bunch あたり 77 pC/bunch の電荷) を安定に生成・加速し、さらに少なくとも 1 mm mrad 以下の低いエミッタンスを同時に達成可能なことを実証する必要がある、これらを達成するために段階的に開発を進めていくことになる。今回の cERL 入射器の約 2 か月に渡る運転では、平均電流が低かったために、光陰極の再活性化などは一度も行う必要がなかったが、今後ビーム電流を段階的に増強していき、大電流、高輝度、陰極の長寿命化の 3 つを同時に検証していくことが必要となる。また、ERL で重要となる高い加速勾配での加速・エネルギー回収を実証するために、cERL 入射器コミッション運転が終了した翌月の 7 月から周回部の建設を開始し、2013 年秋から cERL 全体でのビーム運転を開始する予定である。

本発表では、2013 年 4 月から 6 月に実施された、cERL 入射器のコミッション運転、特にビーム性能と、電子銃、入射器超伝導加速空洞の現状について報告する。