

最強の蓄積リング型光源を目指して

原田健太郎

KEK 加速器7系(光源) 第1(電磁石・軌道)グループ

物構研には PF、PF-AR、低速用電子発生用 LINAC、cERL という電子加速器がある。KEK/物構研/加速器施設では、その時々でベストと思われるスペックの加速器を建設し、さらにその後も継続的に改造、改善を行ってきた。

PF リングは建設時、エミッタンスは 420nmrad であったが、改造を繰り返し、現在では 37nmrad である。6カ所の色消し直線部があり、4カ所の真空封止挿入光源用の低垂直ベータの短直線部がある。第3世代並というには物足りないが、まだまだ活躍中である。PF-AR は世界的に珍しいシングルバンチ運転専用の光源で、エネルギーに対して周長が非常に短い。6.5GeV のユーザーランの為に、21セルの APS 空洞が6台使われている。多セル結合型空洞の利用は場所の節約になる一方、不安定性が深刻になる。2017年の直接入射路完成までは 2.5~3GeV で入射し、5~6.5GeV まで加速してユーザーランを行っていたが、不安定性の抑制が長い課題であった。空調、水温をきちんと制御することでリング起因の不調は激減し、さらに放電の原因となる高電圧の真空排気系の利用を止めることで急落も大幅に減らした。2018年よりトップアップ入射による運転が行われる予定である。

放射光の将来計画としては、大本命の KEK-LS 計画の他に、PF リング弧部改造案、PF-AR の DQBA ラティスへの置き換えなどを提案するとともに、PF リングの 1GeV 運転(エミッタンス 5.7nmrad と第3世代並になり、SX 領域までは輝度が桁で上がる)、AR の 3GeV 運転(空洞を単セルに変更、PF と同等のスペックのビームラインの増加、運転経費の激減)など、様々な案を検討している。

さて、長い将来を考えた時、蓄積リングは単独で考えるのではなく、半導体レーザーや FEL との組み合わせが重要となる。半導体レーザーは直接の光源利用としても短波長化が進んでおり、6eV 程度では光束も十分、500eV 程度まで短パルス利用が進んでいる。さて、挿入光源内でレーザーと電子ビームを相互作用させることで、発振した FEL の様にマイクロバンチングした(バンチ内の電子密度に、光の波長で濃淡ができた)状態を作り出すことができる。そうすると、回折限界や蓄積電流の限界を超えた輝度、光束を作り出せる。かなり昔から短バンチの不安定性を利用したその様な提案があったが、最近、蓄積リングのパラメータ、市販のレーザーで無理なくできそうな案が提案されるようになった[1,2]。まだ 250nm の入射レーザーで 13nm という EUV を取り出す案であるが、もっと短波長のレーザーがコンパクトに実現されれば、蓄積リング内の電子を媒質として光を増幅できる可能性も広がる。逆に、蓄積リングからの自発挿入光源光は高繰り返し FEL のシードとしても適している。今後も蓄積リング型光源は利用され続けるであろう。

参考文献

[1] 本田洋介, 7系研究交流会

[2] Feng Chao, Zhao Zhentang, "A Storage Ring Based Free-Electron Laser for Generating Ultrashort Coherent EUV and X-ray Radiation", Scientific Reports 7, Article number: 4724 (2017)