

Ⅲ 加速器/ビームライン等の現状

1 加速器

1. 光源加速器の概要

加速器は周長75.6mの1.4GeV電子蓄積リングと入射用255MeVリニアックから構成されている。低エネルギー入射方式を採用しており、リニアックから蓄積リングへ255MeVの電子ビームを入射後、蓄積リング電磁石の励磁電流を連動して増大させ1.4GeVに加速する。現在の蓄積リングの状況を図1に示す。蓄積リングは対称に繰り返される8つの磁石配列単位(セル)から構成されている。セルは、偏向電磁石2台とその両側のダブレット4極電磁石(QF1、QD1)及び中央の収束型4極電磁石(QF2)から成る。セル間は約2.5mの長直線部となっており、このセクションに挿入光源や入射系、高周波空洞等が設置されている。現在、ユーザー利用のための光源として、偏向電磁石6台、挿入光源3台を運用している。挿入光源としてAPPLE-II [1]型可変偏光アンジュレータLS3U、プラナーアンジュレータLS4U(佐賀大)及びハイブリッド型3極超伝導ウィグラーLS2W[2-4]が設置され、定常的に運用されている。偏向電磁石(1.46T、臨界エネルギー2keV)と超伝導ウィグラーLS2W(4T、臨界エネルギー5keV)により、1GeV級の中型蓄積リングとしては、利用で

きる光子エネルギー範囲は広く、数十eVから35keVにわたる。また数十eV~数百eV領域では、アンジュレータによって偏向磁石光の 10^3 倍程度の高輝度光を提供している。

2. 加速器運用状況

一週間の運転は、月曜マシンスタディ、火曜~金曜ユーザー運転、土日停止のサイクルで行われる。入射は1日1回行われ、終夜のユーザー運転は行っていない。ユーザー利用開始の定刻は10:30、ユーザー運転時間は定刻から10.5時間である。通常定刻以前に入射調整は終了し、その時点でユーザー利用開始となる。ユーザー利用開始時の蓄積電流は300mAである。現状のビーム電流と寿命の積($i \tau$ 積)は1500mA/h程度である。

2011年度の加速器のユーザー運転時間は1543.5時間であった。2008年に実験ホール拡張工事のため運転時間が1040時間であったことを除けば2006年開所以来、例年1500時間前後で推移している。2006年開所以降ビームアポート率(加速器原因によるユーザー運転中断時間÷ユーザー運転実施時間)は低下傾向にあり2009年度、2010年度は1%以下の水準に達していた

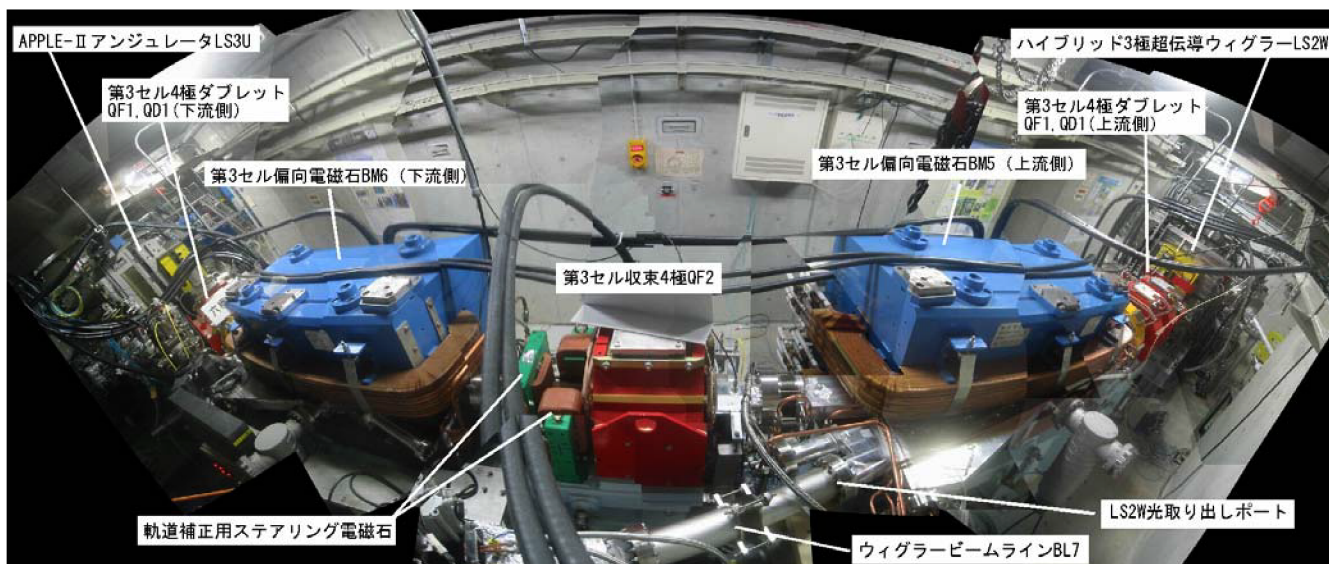


図1 蓄積リングの状況。蓄積リング外側第3セル中央 BL7 ポート付近より撮影。

が、2011年度は後述の高周波空洞系トラブルがアボート率を決め、4.8%となった。



図2 分解中の蓄積リング高周波空洞系。中央の三角形の構造が漏水を起こしたサーキュレータ。

2011年度の加速器の故障としては、2012年3月の蓄積リング高周波空洞系の漏水が最も大きなトラブルとなった。ユーザー運転日にして7日間放射光利用が中止となった。トラブルはユーザー運転日の3月7日、1.4GeVへビーム加速中に発生した。加速中の蓄積リング高周波空洞系クライストロン(E3774)内の急激な真空悪化によってインターロックが発生、クライストロンの出力が停止した。複数回の試験でクライストロンが75kW程度の特定の高周波出力で急激な真空悪化を起こしたことから、当初E3774内部の放電が疑われ、出力試験によるエイジングを試みた。しかしその後低い出力パワーで空洞のRF反射が発生し、低電流でもビーム加速が不可能となった。さらに高周波空洞系の冷却水設備のリザーバタンク水位の若干の低下、サーキュレータからの少量の漏水が発見されたことから、サーキュレータ周辺の分解調査を決定し、建設以来初めてサーキュレータ周辺の500MHz導波管を分解した(図2参照)。その結果分解した全域にわたって導波管内部の底部は水びたしで上部は多量の水 droplet がついた状態であることが判明した。またクライストロン出力窓の導波管側及びダミーロード内部も水びたしの状態で、空洞につながるピット内に配置された導波管底部も空洞近くまで濡れた状態であった。サーキュレータ本体を分解した結果、中央部冷却配管のロウ付け部分のピンホールが漏水箇所として特定された。漏水により導波管内サーキュレータ周辺に漏れた水が、導波管内の高周波パワーによって水蒸気となり拡散し、環境温度である導波管壁面で結露するというメカニズムで、導波管でつながった全域にわたって水浸しになったと考えられた。サーキュレータ修理と平

行し、クライストロン窓の乾燥、導波管及びダミーロードの分解乾燥を行った。ピット内部の導波管は分解が困難であったため、空洞カプラー部の冷却用ブロワーの空気出口をふさぎ、導波管内にブロワーの風を誘導し、乾燥させた。再組み立て後、配管つなぎこみ、冷却水エア抜き等作業完了後、高周波空洞系単体での高周波出力試験を行い問題のないことが確認された。ビーム入射を行い、ビーム蓄積試験を経て復旧した。

3. 研究開発

ハイブリッド型超伝導ウイグラーLS2Wは、中小放射光施設では利用困難であった20keV~35keV領域のハードX線を安定に提供することを目的に開発された。2010年度の試験運用を経て、2011年度はユーザー利用が本格的に進められた。液体ヘリウムを使用しない伝導冷却方式で、メインポールのみ超伝導としサイドポールは常伝導というハイブリッド構成を採用した[2]。LS2Wの放射光スペクトルは物質科学、材料開発等で重要な中重元素のK端をカバーしている[3]。またLS2Wはハイブリッド構成及び比較的低い磁場強度を採用したことで、エミッタンスやビーム負荷増大といったビームへの影響が抑えられ[4]、既設の他ビームラインに対しLS2W設置以前と同等の光源性能を維持している。ユーザー運転では、蓄積リングの1.4GeV加速終了後、蓄積ビームを保持のまま、ウイグラー磁場を15分間で0Tから4Tに励磁する。励磁完了後、LS2Wによるベータトロン振動数、ベータトロン振動結合度、ビーム色収差等の変化を補正後、ユーザー利用を開始する。加速器運転終了時は15分で消磁する。2011年度のウイグラーが原因となったLS2W用ビームラインBL7の運用停止は、2回のクエンチによる2日(21時間)のみで、BL7のLS2W原因によるアボート率は1.4%であった。またクエンチ発生時にはウイグラー磁極の冷却を待ちつつ、これと平行してビームの再入射を行い、他のビームラインには通常通り放射光を提供し、施設全体の放射光利用への影響は抑えられた。これまで国内の中小放射光施設において一年を通じて10²台のアボート率で超伝導ウイグラーが運用されたことはなく、本ウイグラーは当初の構想どおり安定

に運用されている。

蓄積リング長直線部LS8において、ビーム研究及びガンマ線応用を目的にCO₂レーザーによるレーザーコンプトン実験を進めている[5、6]。レーザー波長10.6 μm、ビームエネルギー1.4GeVで3.5MeVのγ線を生成する。生成ガンマ線の特性測定、蓄積リングパラメータ測定への応用[7]等を進めた。現在達しているガンマ線強度は蓄積電流300mA、レーザー出力10Wに対し $\sim 10^7$ γ/secである。

入射用リニアックでは、ビームロスの少ないかつバンチ単位の多様なバンチフィリング制御を目的に、これまで蓄積リングRF系と独立であったリニアック入射タイミング系の同期化を進めている。完全同期化に向けて段階的にスタディを進めており、蓄積リング高周波空洞系(500MHz)、電子銃グリッドパルサー系及びリニアッククライストロンモジュレータ(商用60Hz)との同期試験に成功した。これによりRFノックアウト方式に比べ、ビームロスの少ない高効率なバンチパターン制御が可能となった。

蓄積リング、ビームラインの熱的安定性の向上及び放射光の積分フラックス増強を目的にフルエネルギー入射用ブースターシンクロトロンの開発可能性について検討を進めている[8]。開発コスト及び建設に伴う運転停止期間についての制約が非常に厳しく、安価かつ短い工期がデザイン上の最大の課題になっている。現時点での検討では、入射器は現状のリニアック初段部を利用、ブースターの電磁石は蓄積リング室通路床面に設置する可能性を検討している。ブースターから蓄積リングへの入射にはパルス4極による入射を検討し、原理的には可能であることがわかった。また既設の低エネルギー入射系を残すことで運用上の冗長性を持つことを考えている。

4. まとめ

SAGA-LS加速器は定期的な運転サイクルに則ってユーザー運転を行っている。挿入光源として新たに加わったハイブリッド型超伝導ウィグラーは、これまでSAGA-LSでは困難であった20keV~35keV領域のハードX線の提供を可能とし、かつ高い運用安定性を実現した。加速器運転維持と平行してレーザーコンプ

トンによるγ線生成実験、リニアックの同期入射系開発、フルエネルギー入射用ブースター実現可能性の検討を進めている。

参考文献

- [1] S. Sasaki, “Analyses for a planar variably-polarizing undulator”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A347, 83-86, 1994
- [2] S. Koda, *et al.*, “Design of a Superconducting Wiggler for the Saga Light Source Storage Ring”, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 21, 32 (2011).
- [3] 江田他, ” SAGA-LSにおける超伝導及び常伝導マグネットから成るハイブリッド型3極ウィグラーの開発と運用状況”, 放射光学会誌「放射光」, 24, 141 (2011).
- [4] S. Koda, *et al.*, ” Effects of a hybrid superconducting three-pole wiggler on the stored beam at the SAGA-LS storage ring”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 682, 1 (2012).
- [5] T. Kaneyasu, *et al.*, “Generation of laser Compton gamma-rays in the SAGA light source storage ring”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 659, 30 (2011).
- [6] T. Kaneyasu, *et al.*, “High-flux Gamma-ray Generation by Laser Compton Scattering in the SAGA-LS Storage Ring”, Proceedings of IPAC2011, San Sebastian, Spain, 1476 (2011).
- [7] 金安他, ” SAGA-LSにおけるレーザーコンプトンガンマ線の生成試験とモーメントコンパクションファクター評価への応用 “, 第24回放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム予稿集, つくば, 77 (2011).
- [8] 江田他, ” SAGA-LSにおけるフルエネルギー入射用ブースターシンクロトロン検討の現状”, 第25回日本放射光学会予稿集, 鳥栖, 72 (2012).

加速器グループ
江田 茂