1．SPring-8の現状と高度化

1-1．運転・加速器

2017年度のSPring-8の加速器の運転状況、及び加速器（線型加速器、ブースター・シンクロトロン、蓄積リング）の概況について報告する。

1. 加速器の運転状況

2017年度のSPring-8の加速器の運転状況は以下の通りである。なお、2016年度より統計を蓄積リング運転時間から加速器運転時間に変更した。理由は、トップアップ運転が基本運転パターンであり、その運転には入射器をフル活用する必要があるため、入射器の調整も含めた加速器運転時間を施設の運転時間の目安とするためである。

1-1　運転期間・運転モード

2017年度の運転期間及び各サイクルのユーザータイムの運転モード（フィリング）を図1に示す。

(a) サイクル数

2017年度は合計8サイクルの運転を実施した。

(b) サイクルの構成

各サイクルはユーザータイム、マシン及びビームライン立上げ調整期間（ビーム調整）、マシンスタディ・ビームラインスタディで構成している。

(c) 運転停止期間

蓄積リングは、4~5月の運転停止の他に夏期点検調整期間、冬期点検調整期間、年度末点検調整期間があり、この期間中、加速器やビームラインに関わる点検等の作業及びユーティリティ設備の各種保守点検作業等を実施した。

(d) マシン及びビームライン立上げ調整期間（ビーム調整）

マシン及びビームライン立上げ調整期間は、点検調整期間中に新規に設置された機器や既設の改造等を行った機器の調整を実施するための期間で、ユーザーへの放射光の提供は行わなかった。

(e) 運転条件等

ユーザータイム中の蓄積リングの運転エネルギーは8 GeV、蓄積電流は100 mAで実施している。トップアップ運転時のビーム入射は、電流値優先モードで行い、マルチバンチの入射間隔を2～3分毎、セベラルバンチの入射間隔を20～40秒毎のトップアップ入射で実施した。

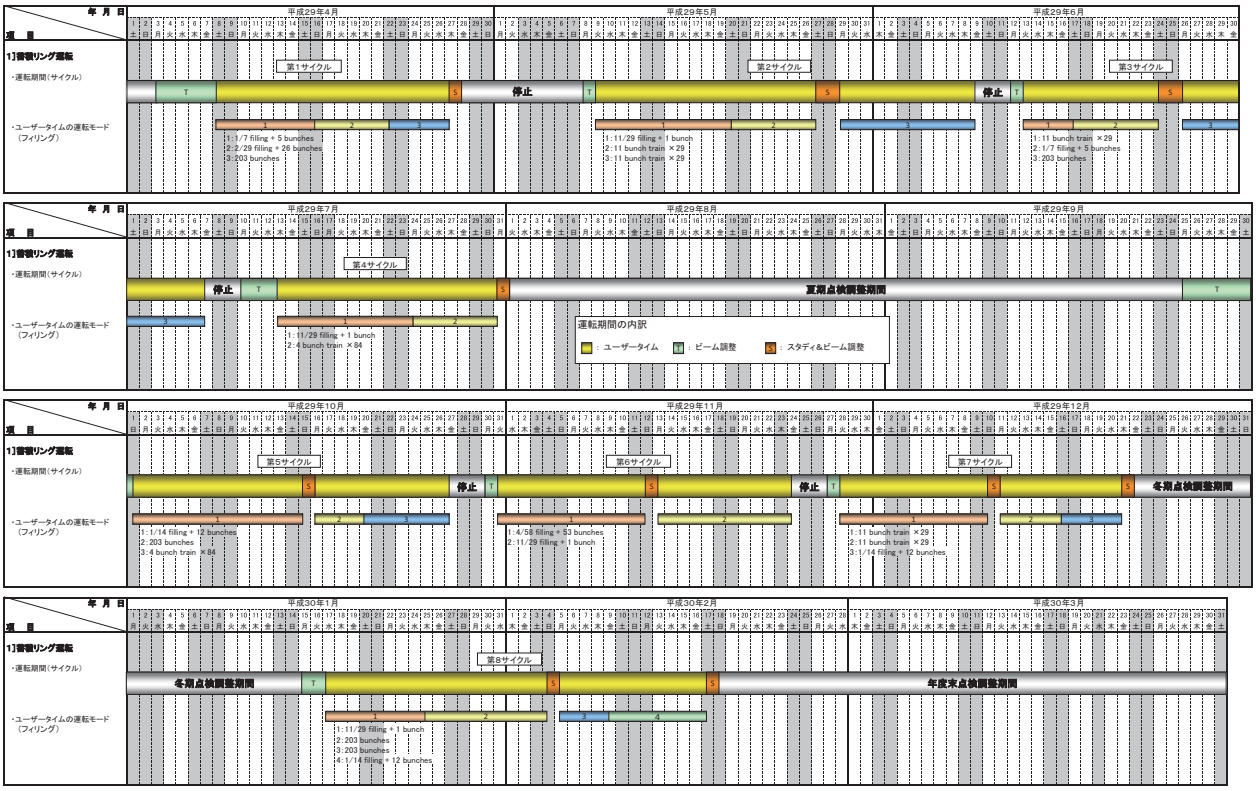


図1　2017年度SPring-8運転実績（期間・モード）

表1　2017年度 SPring- 8 運転実績（運転時間）

サイクル	総運転時間	利用運転時間	ダウンタイム	フィリング変更	スタディ・調整時間等	運転モード
17-1	600:13	453:30	1:13	1:17	144:13	1/7-filling + 5 bunches 2/29-filling + 26 bunches 203 bunches
17-2	768:27	694:11	1:24	0:25	72:27	11/29-filling + 1 bunch 11 bunch train × 29 11 bunch train × 29
17-3	600:30	525:23	2:14	0:23	72:30	11 bunch train × 29 1/7-filling + 5 bunches 203 bunches
17-4	528:38	428:17	3:10	0:33	96:38	11/29-filling + 1 bunch 4 bunch train × 84
17-5	767:41	593:56	5:36	0:28	167:41	1/14-filling + 12 bunches 203 bunches 4 bunch train × 84
17-6	599:53	552:00	0:00	0:00	47:53	4/58-filling + 53 bunches 11/29-filling + 1 bunch
17-7	600:22	527:29	0:00	0:31	72:22	11 bunch train × 29 11 bunch train × 29 1/14-filling + 12 bunches
17-8	815:54	703:56	15:03	1:01	95:54	11/29-filling + 1 bunch 203 bunches 203 bunches 1/14-filling + 12 bunches
合計時間	5281:38	4478:42	28:40	4:38	769:38	

1-2　運転時間

2017年度の運転実績（運転時間）を表1に示す。主な運転実績のまとめは以下の通りである。

運転時間総計（加速器）　5,281時間38分

（内訳）

(1)スタディ・装置調整等　769時間38分

(2)ユーザータイム　4,478時間42分

(3)ダウンタイム　28時間40分

(4)フィリング変更　4時間38分

(5)総運転時間に対するダウンタイムの割合　約0.54%

2. 線型加速器の概況

2004年9月からSPring-8蓄積リングとNewSUBARUの両方同時のトップアップ運転が始まり、現在も継続されている。NewSUBARUでは1 GeVでのトップアップ運転のほか1日1回または2回の入射を行い、1.5 GeVまで加速し利用に供している。1.5 GeV運転は週に1、2回程度である。

トップアップ運転では短寿命のフィリングパターンが増え、入射の頻度が増加している。その対応としてブースター・シンクロトロン/NewSUBARU入射の2 Hz高速切替えを2013年度から実施している。これら機器の高信頼性を確保するため、通常のメンテナンスを重点的に行っている。近年、冷却水の流量変動が顕著に見られるため、浄化装置のフィルター交換やフィルター槽の清掃などを行ったが、大きな改善は見られなかった。今後も施設管理と共に重点的に対策を行っていく必要がある。

2017年7月に第42次変更申請の許可が下り、使用頻度の低かったL3BTを使用許可より外し、運転を停止した。その結果、この部分のメンテナンスが不要となり、また、この部分の機器を予備品に回すことができた。

3. ブースター・シンクロトロンの概況

ブースター・シンクロトロンの運転は概ね順調であり、積み上げ入射、トップアップ運転共に大きく運転に影響を与えることはなかった。しかし、電磁石系と高周波（RF）系において以下に示すトラブルが発生した。

・電磁石及び電磁石用電源系の一次冷却水の温度が設定値の32℃以下となる異常が発生した。原因はPLCのD/Aモジュール故障による二方弁の開度制御が不能

になったためである。ユーザー運転中は手動で2方弁開度を調整し、停止期間にPLCモジュールの交換を行った。

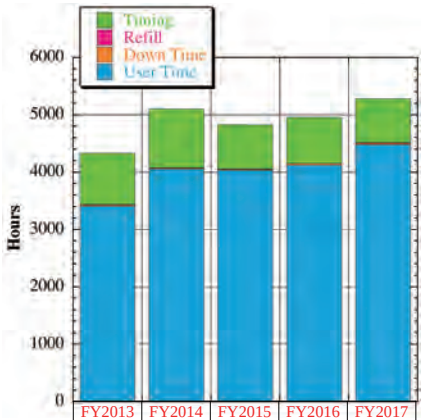
・SSBT系偏向電磁石電源2のIPM（Intelligent Power Module）異常が多発した。この電源は2009年に同箇所についてノイズが原因の異常として修理を行った履歴がある。現在は運転を継続しながら原因調査を進めており、異常箇所を特定後に修理を行う予定である。

・クライストロン2系のコレクタ冷却水の流量低下異常が発生した。流量を増加させて一時的な対処を行ったが、流量のばらつきが大きいため流量計と流量調整弁の経年劣化と判断して1系及び2系ともに交換を行った。

・クライストロン1系のアノード電圧コントローラーからの制御信号が設定値通りにアノード電源に出力されていないため、クライストロン出力が低下する異常が発生した。原因は制御信号モニター用アンプの故障による出力変動であった。このアンプは一時的な監視に使用していたものであり、現在は監視の必要がないため取り外すことで異常を解消している。

4. 蓄積リングの概況

図2に過去5ヵ年度の運転時間の推移を示す。2017年度のSPring-8加速器総運転時間は5281.6時間であった。この時間には、加速器立ち上げ調整時の入射器系加速器の先行運転なども含まれている。2017年度の蓄積リングの運転時間は5270.4時間で、この内4478.7時間（蓄積リング運転時間の85.0%）がユーザータイムに充てられた。2017年度の計画ユーザータイム4512時間に対して利用率としては99.3%となり、過去5ヵ年度を通して99%を超える高い水準を維持した。



	FY2013	FY2014	FY2015	FY2016	FY2017
Acc. Operation Time	4330.0	5099.3	4817.9	4951.7	5281.6
SR Operation Time	4265.4	5080.7	4804.8	4941.1	5270.4
Tuning&Study (Acc.&BL)	898.0	1019.3	767.2	803.1	769.6
Refill	3.5	5.1	5.3	3.4	4.6
Down Time	20.0	17.1	16.8	23.1	28.7
Mean Time between Failures	213.0	163.2	202.8	229.2	194.7
Achieved User Time	3408.5	4057.8	4033.9	4125.5	4478.7
Planning User Time	3432.0	4080.0	4056.0	4152.0	4512.0
Availability (%)	99.3	99.5	99.5	99.4	99.3

図2　過去5ヵ年度の運転時間の推移

トラブルによりユーザータイムを停止しなければならなかった時間（ダウンタイム）は計画ユーザータイムの0.64%に当たる28.7時間であり、23回のビームアボートあるいは計画外のビーム廃棄が発生した。また、ユーザータイム中のバンチ運転（フィリング）モード変更のため、4.6時間（6回）を再入射に費やした。ダウンタイムの内、復旧までの時間が1時間を超えたトラブルが9回（ビームライン：5回、高周波加速システム：3回、瞬時電圧低下：1回）あり、そのうちの主なものとして、2月12日のBL10XUトラブル（3時間23分、トラブル対処後のビーム再入射中に発生した入射バンプ磁石トラブルへの対処時間を含む）、1月22日のBL32B2トラブル（3時間5分、1月20日に発生した入射タイミング系の不具合への対処時間を含む）、2月6日のRF Aステーションのトラブル（2時間44分、トラブル対処後のビーム再入射準備中に発生したシンクロトロンRFトラブル及びBL32B2トラブルへの対処時間を含む）があった。

SPring-8では、積分輝度と光源強度の安定維持のため利用実験中も随時電子ビームを入射するトップアップ運転を行っている。入射器のトラブルなどによるトップアップ運転の中断は極めて少なく、ユーザータイム中のトップアップ入射継続率（トップアップ目標電流値99.5 mAに対し±0.1 mAの範囲にある時間割合）は99.2%に達しており、ユーザー運転時間の計画達成率同様に極めて高い安定度にてトップアップ運転が行われた。バンチ運転モードでは、3種のセベラルバンチモード（等電流バンチ等間隔フィリングモード）と5種のハイブリッドバンチモード（高電流孤立バンチと低電流バンチトレインからなるフィリングモード）が、利用運転のため用意されている。2017年度の利用運転時間に占める割合は、セベラルバンチモードが46.2%（2016年度は58.4%）、ハイブリッドバンチモードが53.8%（2016年度は41.6%）であった。

狭小ギャップとなる多数の挿入光源（ID）を多様なバンチモードの中で運用している現状のユーザー運転を維持する上で、安定な運転条件の見極めが課題となっていた。第4サイクルまでに実施した狭小ギャップIDのビーム運転への影響調査の結果を踏まえて、加速器ビーム調整のベースとする各IDのギャップの値を設定した。第5サイクルの加速器立上げ調整から、ベースとするギャップ条件に加えて、ユーザー運転中のIDギャップの予定に関する情報をもとに、ベースより狭くギャップを閉じるIDについて予定される最小ギャップまで閉じた条件にてユーザー運転の安定性（ビーム寿命、入射効率、ビーム不安定性の有無等）に問題のないことを確認するビーム調整を開始した。

第5サイクルの運転では、10月3日に蓄積リングに4

箇所配置されたRFステーションの中の1つであるAステーションの高出力高周波発生装置「クライストロン」が管内真空悪化を起こして停止し、蓄積ビームの一部が失われた。現場で調査をした結果、クライストロンの重故障（要交換）であることが判明したため、Aステーションの即時復旧を断念し、一旦ビームを廃棄してB~Dステーションの3ステーションで運転する設定に切り替えた。3ステーション運用に切り替えた際、ビーム電流100 mAで運転を再開したが、RF関連のトラブルによるビームアボートが発生したため、RFハイパワー系の負荷低減のためその後は蓄積ビームを70 mAに下げて運転を継続した。運転を停止していたAステーションは、クライストロンを交換した後に立上げ調整を実施し、10月15日より通常通りの4ステーションのRFによる100 mAの運転を復旧させた。

第8サイクルでは、1月20日に入射されるバンチが正しいバンチの一つ後ろのバンチにずれる入射タイミング系のトラブルが発生した。この時、全周の11/29に配置された低電流バンチトレインの対向に1個の5 mA孤立バンチを配置するハイブリッドバンチモード（Hモード）での運転を行っていたが、タイミング系トラブル発生以降は本来の5 mA孤立バンチ部が、一つ後ろのバンチにトップアップ入射が行われることで連続した2バンチとなり、更にその後、この2バンチ部分への入射が困難となった（後日の調査から、ビーム不安定抑制システム（BBFシステム）の設定がバンチ電流により連続した2バンチを含む運転モードと整合しないことが原因と判明した）ため、トップアップ入射が中断した。入射タイミング系の復旧まで100 mAのビーム電流を維持することを優先とし、マルチバンチ部のみに入射を行うトップアップ運転を再開させる対応をとった。故障が疑われたタイミング回路のモジュールを交換した上で入射タイミング系を再調整し、1月22日より通常通りのHモードによる運転を復旧させた。

以下に、蓄積リングを構成する各機器の状況を記す。

高周波系は、2017年度、Low Level RF（LLRF）の更新（デジタル化）の準備を進めた。SPring-8建設期より使用され、老朽化や部品の製造停止が見られはじめている旧来のアナログ型LLRFを2018年度よりMTCT.4ベースの新システムに更新すべく、RFテストスタンドにて試験運転、調整を行った。準備は概ね順調に行われており、予定通り、2018年3月にAステーションのLLRF系をデジタル型に一新し、問題がなかった場合、B~Dステーションにおいても順次更新を行っていく予定である。

電磁石系は、昨今、老朽化に伴う小さなトラブルが散見されている。2017年度も、電源動作不良による電源停止や複数箇所における冷却水配管の漏水などが生じており、特に冷却水配管の漏水については、建設以来20余年の運転の中で冷却水配管（特にゴムホース部）が放射線により劣化し、稀に漏水に達している。放射線劣化が大きいと考えられる箇所から順に配管の交換を行っており、引き続き、長期安定運転に向けた保守作業を行う。

真空系は目立った老朽化もなく、順調に運転に供している。詳細な事象としては、L1冷却水系（真空・磁石用の冷却系）のストレーナにおけるパッキン損傷、及びストレーナ目詰まりを停止時の保守で発見し、ストレーナ交換、フラッシング等の対処を行った。

モニター系では、BBFシステムの信頼性向上のため、長期点検期間毎に擬似信号を用いて入出力信号のタイミング並びに出力信号のレベル等を確認する点検を実施し、不調が疑われたアンプ等の交換を行った。また、BBFシステムの運用を合理化するために、フィードバック用デジタル信号処理回路のゲイン及び遅延時間などの主要設定を加速器制御系から遠隔操作し、設定値の履歴を制御系データベースで管理するための制御ソフトを整備した。

5. 加速器制御の概況

2017年度はSPring-8とSACLAの制御の統合に向けてSPring-8蓄積リング制御システムの入れ替えを行った。2016年度までのSPring-8とSACLAの制御系ではデータ管理の方法や使用するデータベースに相違があり統合するための問題となっていた。これらを解消するための手段として制御システムの入れ替えを計画し、前段階として比較的サイズが小さく作業量が少ないSCSS+の制御システムを2017年度夏期停止期間に入れ替えて、新しいデータベースシステムが加速器制御システムとして適用可能であることを確認した。SCSS+の運用を通して問題点の洗い出しや移行に関する手順を検討し、2017年度夏期停止期間及び2017年度冬期停止期間の2回に渡って制御系移行のためのリハーサルを行い、2017年度末停止期間にSPring-8蓄積リング制御システムの入れ替えを行った。2018年度夏期停止期間にはSACLAの制御システムを入れ替えてSACLA/SPring-8の制御系を統一して相互運用を確立することを予定している。今後の予定として2019年1月をめどに制御系を統一することで中央制御室からSACLA/SPring-8を一つの加速器として扱えるように環境を整備していく。データの管理としてSACLA/SPring-8で使用されているデータベースを各加速器で占有する必要がある部分と共通して使用する必要がある部分にサーバーを分割して運用に合わせた管理ができる環境を構築することを考えている。ハードウエアに関しては2017年12月から2018年3月にSPring-8の高

周波加速空洞の老朽化対策としてLow Level RF制御系を現状のVMEシステムからMTCA.4を使ったシステムの構築を行った。今後はこのシステムをベンチマークとして高信頼と高速・広帯域を兼ね備えたシステムの構築を進めていくことができると考えている。

JASRI 光源基盤部門
鈴木 伸介、青木　毅、高野 史郎
渡部 貴宏、後藤 俊治

理研 放射光科学研究センター
先端光源開発研究部門 制御情報グループ
福井　達

スプリングエイトサービス 施設管理部
瀧元 久也