

1. SACLA の現状と高度化

1-1. 運転・加速器

1. SACLA の運転および加速器の高度化

表1に2017年度の運転統計データを示す。秋からBL2/BL3のパルス振り分けが利用運転に導入された結果、全運転時間に占める利用運転の比率は約70%にまで上昇した。独立に運転を行っているBL1のユーザー利用時間を含めれば、全体で5400時間以上の利用運転時間を確保することができた。今後は、通年で振り分け運転の導入が計画されており、利用運転時間はさらに増加するものと予想される。振り分け運転の本格導入に伴い、ビームライン当たりのレーザーパルス数を確保するため、60 Hzのレーザー繰り返し（BL2/BL3で30 Hz/30 Hzの均等分割）を今後は標準とする。2016年度に引き続き、1年を通して高いレーザー強度を安定的に提供することができ、実験時のレーザー利用率もBL1、BL2/BL3共に97%という高い値が得られた。運転の複雑化に伴い、実験に提供する加速器の運転パラメータの種類も増えたことから、毎週月曜日を加速器やビームラインの調整等に割り当てる運転スケジュールの変更を行った。月曜日に、次の1週間に必要なパラメータの作成、定期的なアンジュレータビームラインのアライメント等、必要な作業を実施することとした。

2016年冬期停止期間には、Coherent Synchrotron Radiation (CSR) によるビーム品質の劣化を抑制するDouble Double Bend Achromat (DDBA) ビーム輸送路^[1]（図1）が加速器トンネルからアンジュレータホールにかけて建設された。この輸送路とBL3へのビーム

輸送路をパルス毎に切り替え使用可能な高精度パルス電源^[2]も同時に整備された。パルス電源とそれが駆動する振り分け電磁石を図2に示す。BL2、BL3それぞれ単独でのXFELの再現とユーザー運転の再開までが2016年度内に実施された。

2017年度は、ユーザー運転と並行して、整備したシステムによるパルス毎の振り分け運転試験、振り分け運転の下での各BLのレーザー出力の最大化とビーム制御システムの整備（例えば、各ビームライン毎にRF位相などのパラメータの微調整が実施できるGUI等の作成）、レーザーの再現化手法の確立、振り分け運転を継続しながら、片方のBLの運転パラメータのみを変更する手法の確立等々、ユーザー運転に必要な全ての手続きの確認と整備を夏までに実施した。DDBA ビーム輸送路によりCSRによる電子ビーム質の劣化が抑制できることも実験的に検証された^[1]。これにより、BL3単独運転で使用する10 kAを超える高いピーク電流を有する高密度電子ビームが振り分け運転に使用可能となった。安定性と短パルス性を維持したまま、レーザー強度を、これまでに比べ数倍引き上げることが可能となり、10 keVの光子エネルギーにおいて、パルスエネルギーが初めて0.5 mJ/pulseを上回った。図3にパルス振り分け運転時のBL2/BL3におけるレーザーパルスエネルギーの24時間のトレンドを、BL1と共に示す。

表1 SACLA の運転統計

	FY2017
Total Operation Time per Fiscal Year (Achieved / Planned)	6281.3/6357 hr
Operation Rate	~98.8%
Machine Tuning Time	701 hr
BL Tuning, Preparation & R&D Time	4574(BL2+BL3) hr
User Experimental Time (BL2,3+BL1)	5466 hr BL2,3=4242 hr BL1=1224 hr
Downtime in User Experiments	194 hr (BL2,3) 39.8 hr (BL1)
Laser Availability	~97% (BL2,3) ~97% (BL1)

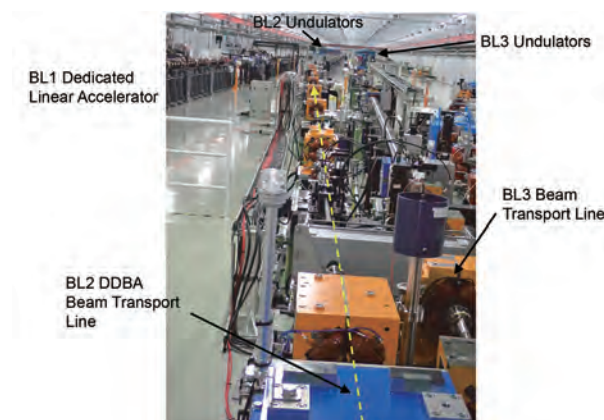


図1 加速器終端とBL2アンジュレータを繋ぐDDBAビーム輸送路

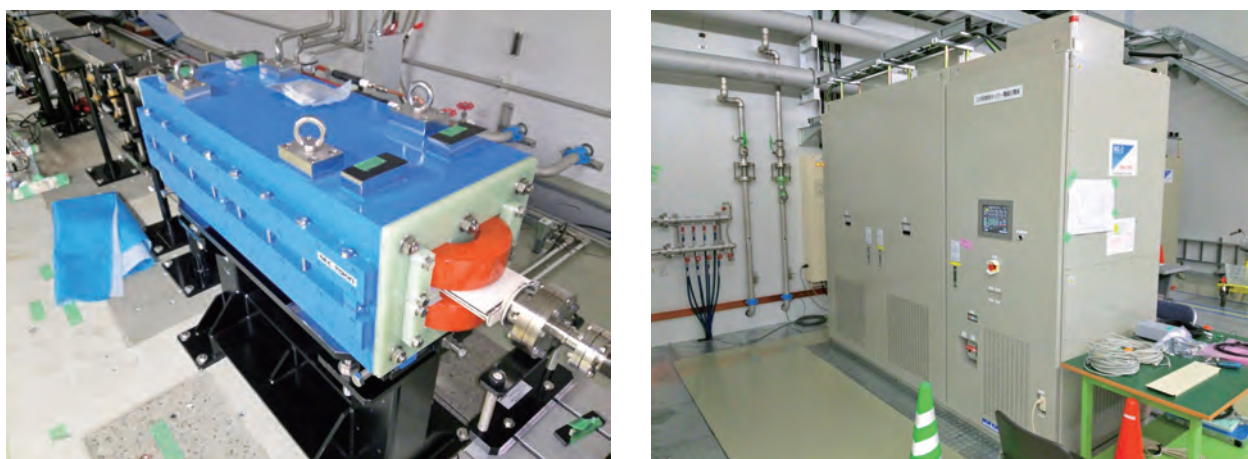


図2 振り分け電磁石 (左) と開発した高出力パルス電源 (右)

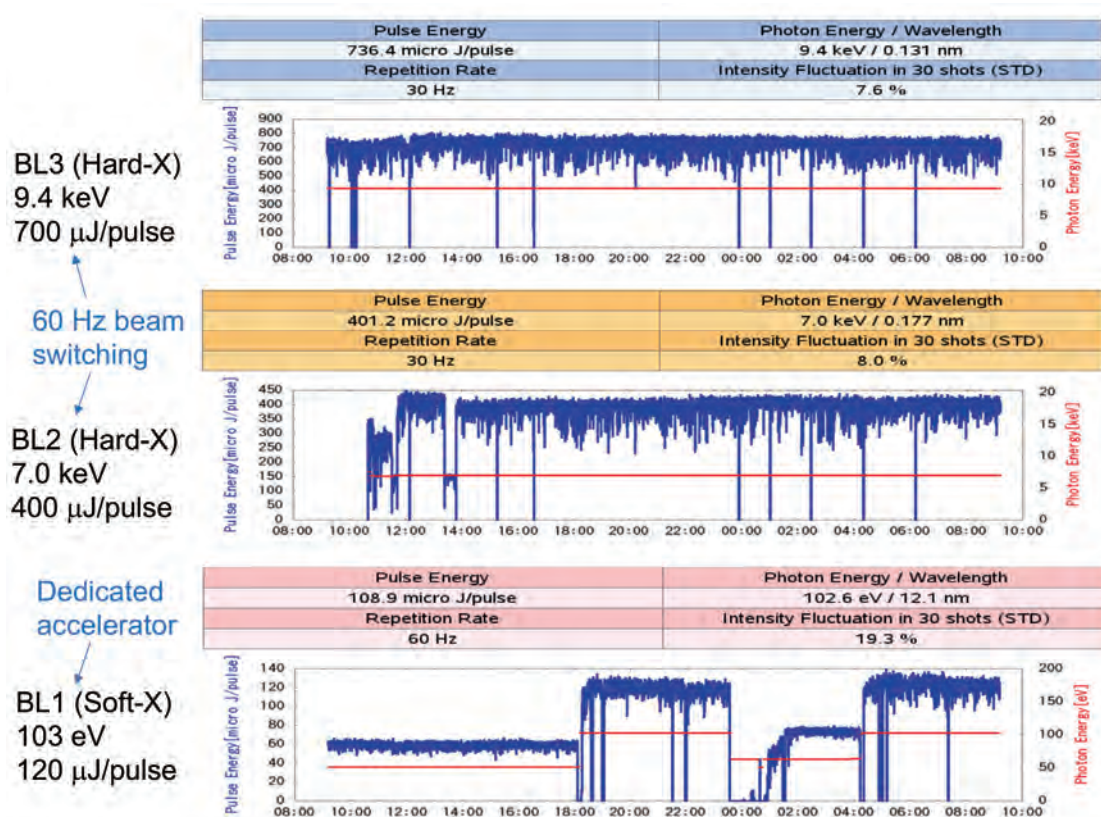


図3 2017年秋のBL1, BL2, BL3の3本のビームラインでのユーザー運転時のレーザー強度のトレンド
2本のXFELのビームライン、BL2 (7.0 keV) とBL3 (9.4 keV) には、振り分け運転により30 Hzの波長の異なるXFELが提供されている。
これとは独立に、SXFELビームラインBL1 (0.1 keV) では60 Hzでレーザーが提供されており、異なる3つの実験が実験ホールにて同時に実施されている。

References

- [1] T. Hara et al., *Proc. of FEL2017*, Santa Fe, NM, USA, pp. 216-218 (2017).
[2] C. Kondo et al., *Proc. of 8th IPAC*, Copenhagen, Denmark, pp. 3404-3407 (2017).

(田中 均)

2. 加速器制御の概要

2017年度はSPring-8とSACLAの制御の統合に向けてSCSS+の制御システムの入力替えを行った^[3]。また、SACLAからSPring-8蓄積リングへのオンデマンドビーム入射スキームを実現するための制御システムの開発を進めた。

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上で問題となっていた。これらを解消するための手

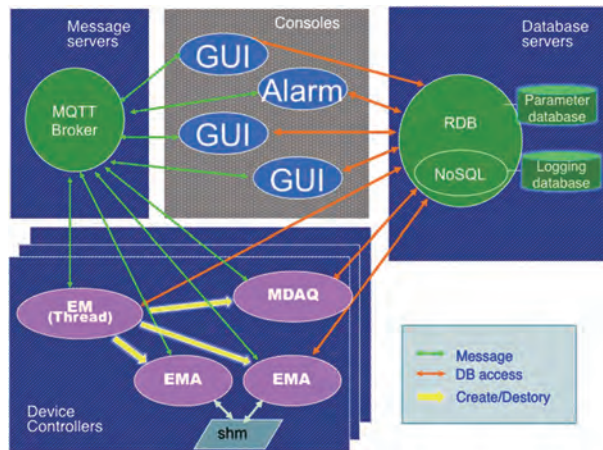


図4 ソフトウェア構成

段として制御システムの入替えを計画し、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た。現在使用しているソフトウェアフレームワークのMADOCAは20年前に蓄積リングのために設計されたフレームワークで当時の貧弱な制御用計算機の性能を前提にしている部分が少なからずある。また、ハードウェアに関してもVMEという規格自体30年以上前に開発されたものである。MADOCAのコンセプトを継承したまま、現代のソフトウェア、ハードウェアに最適化し、今後20年に渡って使用できるものとする必要がある。

ソフトウェアの構成に関しては2017年度末に行うSPRING-8蓄積リングの制御系入れ替えをベースにパラメータデータベースの見直し、蓄積リングの制御に必要なパラメータをデータベース化してSPRING-8のアップグレード後にも対応できるデータベースの構築を行った。以下に新しいシステムの概要を示す。

- プロセス間の通信プロトコルとしてMQTTをベースにしたMessaging Systemを使用する。MQTTはIoTで使われる大量のセンサーからのデータを扱うためにIBMによって開発され、ISOなどで標準化されていて多数の処理系が商用、非商用を問わず提供されている^[4]。
- データベースとして、Online DBとして書き込み性能に優れたCassandraを利用する^[5]。一方、Parameter DBおよびArchive DBとして管理性能、データの操作に優れたMariaDBを採用した^[6]。
- データ収集系として各制御計算機から直接データベースにデータを書き込むMDAQと呼ばれるプロセスを用意した。MDAQおよびフィードバックを行うEMAと呼ばれるプロセスも全てEMから呼び出す形式としたためシステムの立ち上がり時にはEMのみが立ち上がるシンプルな構成とした。

ソフトウェアの全体構成を図4に示す。

SACLAからSPRING-8蓄積リングへのオンデマンドビーム入射を実現するための制御システムの開発を行った。各高周波加速システムとキッカー電磁石電源に目的のビームルートの情報を与えることを想定して、リフレクティブメモリーの利用を前提としたシステムの開発をテストベンチで行い、2017年度末からSCSS+でビームルート切り替えソフトウェア+リフレクティブメモリーのテストを行った。VME上のプロセスのリアルタイム性およびデータ転送速度には限界があるため、プロセス間の通信の最適化などを中心に開発を行った。

References

- [3] T. Fukui et al., “Status of the Control System for the SACLA/SPRING-8 Accelerator Complex”, ICALEPCS2017, Barcelona, Spain, pp. 1995-1999 (2017).
- [4] <http://mqtt.org>
- [5] <http://cassandra.apache.org>
- [6] <https://mariadb.com>

(福井 達)

理研 放射光科学研究センター
XFEL 研究開発部門

田中 均

先端光源開発研究部門 制御情報グループ

福井 達