

## 4. X線自由電子レーザー(XFEL)プロジェクトの現状と進展

### 1. はじめに

2006年度に国家基幹技術として整備が開始されたX線自由電子レーザーは、数多くのトラブルはあったもののそれらを克服して当初予定通り2010年度に完成した。2011年2月には加速器調整を開始し、年度末までに定格の8 GeVに到達し、後はレーザー調整を残すのみとなった。X線ビームライン建設も着々と進められ、2011年度後半の供用開始に向けての準備が進んでいる。

このX線自由電子レーザー施設は公募により愛称を「SACLA(SPring-8 Angstrom Compact free electron Laser)」とすることが決まった。SACLAとSPring-8のX線ビームを同一試料上に導くための相互利用実験施設の建物、実験ハッチ、ビームラインが完成し、SACLA運転開始後の比較的早い段階での運用を可能とする体制が整いつつある。

供用開始後の利用に関しては、SPring-8と同様にJASRIが登録機関としての役割を果たすことになっている。しかしながら、初期の運転はSPring-8とは異なり不確定要素・開発要素が多いため、暫くの間は施設者が責任を持って仕上げることにした。

SCSSIは順調に運転が続けられ、多くの利用者によって利用されている。

X線自由電子レーザー計画合同推進本部

石川 哲也

### 2. X線自由電子レーザー実機建設の進捗状況

#### 2-1 建設計画の進捗状況

XFEL建設も最終年度に入り、加速器およびビームライン主要機器の製作、性能試験がほぼ計画通り進捗した。一部高圧充電器、加速管等で発生したトラブルは、その原因を究明した後、設計変更、改造、再製作等を実施した。建て屋関係では実験研究棟が2010年5月25日に、XFEL-SPring-8相互利用実験施設が2011年3月15日にそれぞれ竣工した。

加速器およびアンジュレータ等機器の据え付けはほぼ9月までに終了し、10月からはSバンド、Cバンド加速管、および入射部の各種空洞システム計71セットの高周波コンディショニングが、1ブロック(約16台)を1ヶ月のペースで、数ブロックに分けて開始され、2月には電子ビームの加速に必要な高周波機器のRFコンディショニング作業をほぼ終了し、Sバンド、Cバンド加速管ともにほぼ当初計画通りの加速電界強度を達成できることを確認した。ま

た、この作業を通して制御システムが所定の性能を実現している事も合わせて確認した。

2011年2月には、XFEL施設を放射線発生装置として運転するための放射線安全インターロックシステムの使用前検査が行われ、2月21日から電子ビームの調整運転を500 keV電子銃から開始した。入射器部、Sバンド、Cバンド、ビームライン、アンジュレータ、8 GeVビームダンプへと順次調整を進め、約1ヶ月後の3月23日には、当初目標であった電子ビームの8 GeVへの加速と波長1 ÅのX線の生成を実現した。しかし出来ればと期待していたSASE-FELの確認は調整時間の不足とビーム診断系の一部未整備により次年度に託されることになった。

一方、SASE-FELの利用に向けた取り組みは、①MPCCDX線検出器システムの開発は、来年度から予定されている供用開始時に実用投入できる見通しがほぼ立ったこと、②実験研究棟の竣工に合わせフロントエンド、光学ハッチおよび実験ハッチ内の各種光学素子の設計製作および据え付けが順調に進んだこと、③利用に向けた各種シンポジウムが開催されたこと、など順調に進展した。

X線自由電子レーザー計画合同推進本部

熊谷 教孝

#### 2-2 加速器建設グループ

##### 2-2-1 ビームコミッショニング

ビームコミッショニングチームでは、2011年春からの電子ビームの調整を想定し、ビーム調整に入る前段階における準備事項の洗い出しとその実施、詳細な検討に基づくビーム調整シナリオの作成、そして2月から3月に掛けては実際に第一段階の電子ビーム調整を行った。

(1) コミッショニングを2つの段階に分ける事とし、2010年度内は加速器システムの基本性だけを確認する第一段階(ラフチューニングと呼ぶ)のみを基本的に行う戦略を取った<sup>[1,2]</sup>。これは、引き続き第二段階、即ち、レーザー増幅を目指した精密調整へ移る前に、実ビームを用いてシステム全体を大まかに確認し、(a)各サブシステムが精密調整を行うレベルに到達しているか、到達可能かの判断、ならびに(b)予想外の問題点をできる限り早期に発見し対処するためである。

(2) コミッショニング検討会の議論を基に、ビーム調整の視点から、モニタや各サブシステムの設計変更・改善を進めた。これと並行し、ビームコミッショニングチ

ームでは以下の2点について改善を行った。(a) 入射部の環境磁場の一様性の回復：試験加速器での経験から、入射部の地磁気はビーム射影エミッタンスを極端に悪化させ、ビーム調整を難しくさせることが分かったので、SACLAの入射部には入射部全体をカバーする補正用の空芯コイルを導入した。このシステムは一樣な環境磁場を効果的に抑制できる。しかしながら機器設置後、環境磁場を測定すると一様性が大幅に乱れている事が判明したため、その原因調査と対策を真空チーム、据付アライメントチームと連携して実施した。結果的には真空排気系機器の漏洩磁場が問題であることがわかり、それらの磁場遮蔽を実施した<sup>[3]</sup>。(b) アンジュレータビームライン入口部の軌道参照区間設定：100 mに渡るアンジュレータビームラインの電子ビーム軌道を正確に制御し、電子ビームを用いたBeam Based Alignment (BBA) を行うためには、ビームライン入口部のショット毎の電子ビームの変位と角度を正確に計測する必要がある<sup>[4]</sup>。この計測においては、電子ビームのエネルギー依存の誤差を排除して計測するため、約7 mの直線区間の環境磁場を地磁気の約1%以下に低減する必要がある。真空チームと協力し、磁気遮蔽のテスト実験等を経て、遮蔽条件等の決定を行い、アンジュレータビームライン入口部に両端にビーム位置モニタを配置する理想的ドリフト空間を実現した<sup>[5]</sup>。

(3) これらと並行して、ビーム調整のための機器・ビーム制御系の構築を進めた。2010年10月から開始された加速器のRFコンディショニングに合わせ、低電力RF系、タイミング系、大電力RF系等の制御プログラムの製作を進め、コンディショニング運転にて使用しながらプログラムのバグだしと修正作業を効率的に押し進めた。それ以外の電磁石系、真空系、モニタ系、運転支援加速器模型、運転パラメータ管理等ビーム調整運転に必要な全てのソフトウェアに関し、電子ビームなしで行えるチェックを可能な限り実施した。

(4) 第一段階の電子ビーム調整は予定を少し早め2011年2月21日から開始した。電子銃から引き出された電子ビームの特性を最初に調べ、規格化エミッタンスに関してはほぼ設計通りの $1 \pi \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ である事を確認した。入射部の調整を経て、3月23日には、7.8 GeVのエネルギーまで電子ビームを加速し、アンジュレータ部を経由して下流の電子ビームダンプまで輸送することに成功した。図1は輸送された電子ビームをダンプ入口の蛍光スクリーンに当てて見えた電子ビームのプロファイルである。さらに、16番目に位置するアンジュレータのギャップを約5 mmまで閉めて自発放射を発生させ、これをXFEL実験ホールの光学ハッチへ導いた。二結晶分光器を用いてX線のエネルギー分布の計測を行った結果、波

長が $0.8 \text{ \AA}$ であることから、アンジュレータのK値1.5と矛盾しない事を確認した。さらにXFEL専用開発された2次元検出器(マルチポートCCD:MPCCD)を用いて、分光されたX線の空間プロファイル観測も行った(図2)。これらの観測結果から、アンジュレータの特性がほぼ設計通りであることが確認できた。

参考文献

- [1] ビームコミッショニングチーム：“2011年の第一ステージビーム調整案(3月分)”，2010年12月13日。
- [2] ビームコミッショニングチーム：“2011年の第一ステージビーム調整時(3月)に使用するモニタ”，2010年12月13日。
- [3] 長谷川太一、家納寛、長谷川照晃、田中信一郎、森永拓也、渡川和晃、備前輝彦、田中均：“入射部環境磁場の一樣化対策について”，2011年1月14日。

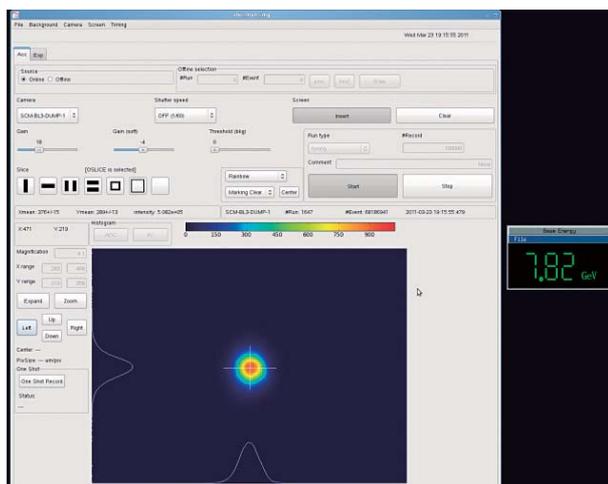


図1 3月23日に観測された電子ビームダンプ入口での電子ビームのプロファイル

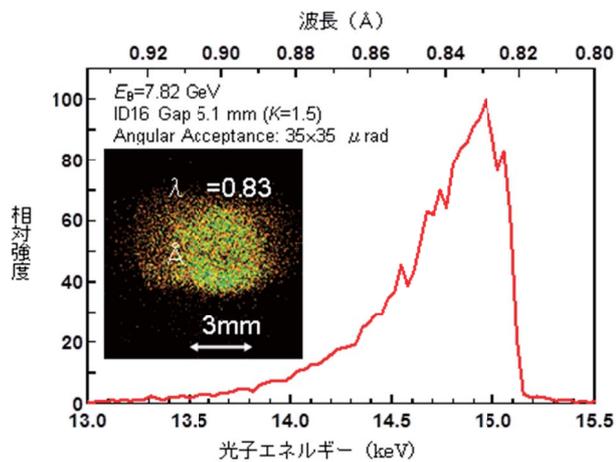


図2 アンジュレータで発生したX線のスペクトルと空間プロファイル

- [4] 田中均、渡川和晃、原徹：“XFELアンジュレータの新たなビームベースドアライメント法”、第7回日本加速器学会年會會議録、姫路、8月4～6日（2010）207.
- [5] 家納寛、長谷川照晃、原徹、渡川和晃、備前輝彦、田中均：“BBAのためのアンジュレータビームライン入口部の環境磁場遮蔽”、2010年12月28日。

加速器建設グループ ビームコミッショニングチーム  
田中 均

### 2-2-2 入射部

入射部では、CeB<sub>6</sub>熱カソード電子銃<sup>[1]</sup>にて高品質の電子ビームを生成し、5種類の加速空洞・加速管によって電子ビームを加速しつつバンチ圧縮し、約30 MeV、100 Aの電子ビームを得る。入射部の機器の設置は2010年5月より行われた。12月には、500 kV電子銃の試験が行われ、500 keV 1 Aのビーム生成を確認した。多段バンチングセクションの各空洞、すなわち238 MHz SHB空洞、476 MHz ブースタ空洞、Lバンド補正空洞、LバンドAPS型加速空洞、そしてCバンド補正加速管のシステムは2011年1月に完成し、直ちにRFコンディショニングが行われた。最も大型のLバンドAPS空洞システムは、図3のように20日で運転予定のRF電界に達し、その後は安定に稼働している<sup>[2]</sup>。

1 MeVのビームを35 MeVに加速するLバンドAPS型加速空洞の励振用立体回路は、SF<sub>6</sub>などの絶縁ガスの使用を避けるため、真空型を採用した。従って空洞からの反射を吸収する回路に使用されるサーキュレータを使用できないが、立体回路は2つの加速空洞からの反射をキャンセルして、クライストロンに反射が返らないよう注意深く設計を行っていた<sup>[3]</sup>。測定の結果、クライストロン出力ポートでのVSWRは1.2以下であり、十分低い値である事を確認した。

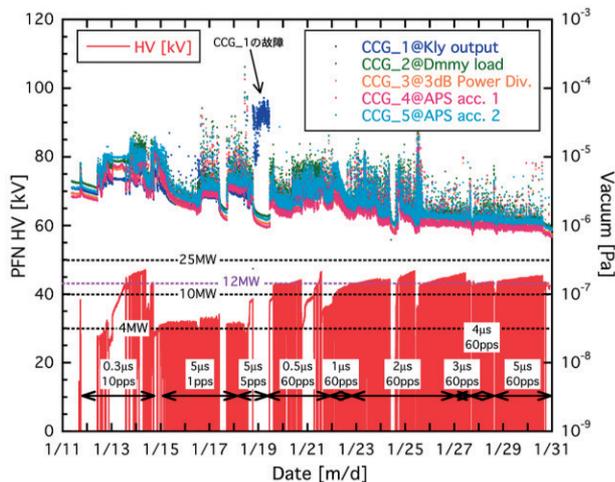


図3 Lバンド加速システムのRFコンディショニング経過

FEL加速器終端でのビームピーク電流の変動を10%rms以下に抑えるためには、電子銃および加速空洞内の電圧は非常に安定でなければならず、振幅は0.01%rms 位相は120 fs rms以下の変動でなければならない。長期のRF変動はフィードバックで抑えることができるが、短期変動は各機器の安定性を出来る限り高めておく必要がある。各空洞を励振するRFの短期変動の測定値は表1の通りであり、ほぼ要求を満たしている<sup>[3]</sup>。

表1 加速RF電界変動の許容値と加速空洞を励振するRF電力の短期変動の測定値

	Tolerance ( $\sigma$ )		Achievement (std.)	
	$\Delta V/V$	$\Delta\phi$	$\Delta V/V$	$\Delta\phi$
Gun	0.003%	-	0.001%	-
238MHz SHB	0.01%	0.01°	-	0.02°
476MHz Booster	0.01%	0.02°	0.013%	0.014°
L-B Correction	0.03%	0.06°	0.026%	0.062°
L-B APS	0.01%	0.06°	0.002%	0.04°
C-B Correction	0.1%	0.1°	0.002%	0.04°

### 参考文献

- [1] K. Togawa et al.: “CeB<sub>6</sub> electron gun for low-emittance injector”, PR STAB, 10 (2007) 020703.
- [2] 安積隆夫, 他: 第8回加速器学会年會, つくば, 2011.
- [3] H. Hanaki et al.: “Construction of Injector System for XFEL SPring-8”, IPAC’10, Kyoto.

加速器建設グループ 入射部チーム  
花木 博文

### 2-2-3 主加速部

主加速部は、電子入射器から入射される30 MeVの電子ビームを、4台のSバンド加速器と64台のCバンド加速器によって8 GeVまで加速し、アンジュレータ部へ供給する。加速管や導波管システム等の設置は、2009年夏より2010年6月にかけて行われた。Cバンド加速器は、35 MV/mという従来の加速器よりも2倍近い高い加速電場で運転される。従って、加速管などの大電力RF機器の製作や設置にあたっては、内面を汚したり傷つけたりする事のないよう慎重な取り扱いがなされた。図4に、完成したCバンド加速器の様子を示す。

クライストロンギャラリでは、クライストロンとモジュレータ（大電力パルス電源）71台の設置が順次行われた。モジュレータはXFELのために新規開発されたもので、絶縁油を満たした鉄製タンクの中に高電圧発生部を納めることにより、従来の電源と比較して画期的な小型化、長期安定化、低ノイズ化を実現している。モジュレータとクライストロンは、隣接するテストスタンド室にて組み立てられ、

連続8時間の動作試験を行った後にクライストロンギャラリに設置される。2009年の動作試験当初に経験した初期トラブルは全て解決され、2010年度に入ってから順調に動作試験および設置が行われた。

モジュレータのPFNコンデンサに充電を行うPFN高電圧充電器は、XFELで要求される加速器の安定性を実現するための鍵を握る装置として、開発が行われてきた。並列インバート方式を採用し充電電圧の帰還制御を最適化することにより、約10 ppm (rms) という従来の電源から2桁近く優れた安定度が達成された。72台の充電器の量産時には、動作試験中に電気部品が破損するトラブルがあり、対策を行ったために設置が当初計画より遅れた。しかしながら最終的には2011年1月には全数の対策が完了し、2月からの加速器の調整運転には全数による運転を開始できた。

2010年10月からは、PFN高電圧充電器等の機器が揃った所から順に、RFコンディショニング運転を開始した。RFコンディショニングとは、加速管や導波管システムにRF (マイクロ波) を徐々に増やし、内部での放電を繰り返すことにより次第に放電を起こしにくくする枯化プロセスである。加速器の各ユニットにはコンディショニング運転用の自動制御システムが用意され、真空度を監視しつつRFの強度を徐々に増してゆく。Cバンド加速器ではおおむね24時間連続運転を約1ヶ月続けてRFを所定の強度まで増し、35 MV/mの加速電場にて運転することが可能となった。Sバンド加速器は、RFパルス圧縮器等の構造が違うためCバンド加速器の倍ほどの期間を要したが、最終的には所定の加速電場17 MV/mにて安定に運転することが可能となった。

こうして加速器の準備が整った後、2011年2月より電子ビームを入射しての調整運転が開始された。Sバンド加速器、Cバンド加速器は想定どおりの加速性能を発揮し、3月下旬には最高7.8 GeVまで電子ビームを加速することに成功した。図5に、Cバンド加速器の各ユニットの加速電場を示す。下流部は機器の設置が1月までかかったためにコン



図4 トンネル内にCバンド加速器が並ぶ光景。

ディショニング運転が十分に行えず、放電頻度を抑えるために加速電場を低めに設定して運転している。それ以外のユニットではおおむね設計どおりの加速電場35 MV/mにて、FEL増幅に向けた調整運転を行っている。現在の標準的な10 Hz、7 GeV運転にて、加速管の放電等による停止頻度は30分に1回程度と、ビーム調整においては許容できる程度である。調整運転を行わない夜間や休日にはコンディショニング運転を行い、加速電場の向上と停止頻度の低減を図っている。

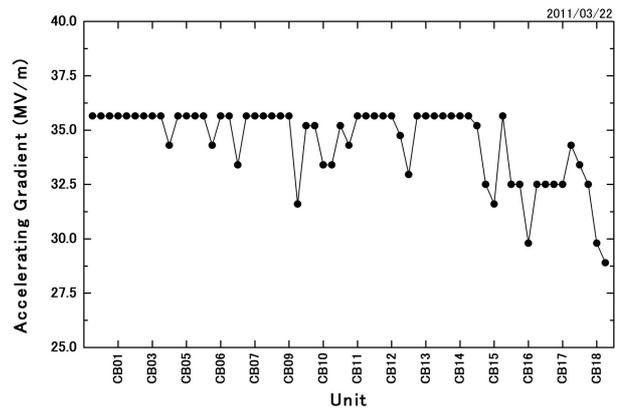


図5 Cバンド加速器の各ユニットの加速電場。3月22日に7.8 GeVまで加速を行った時のもの。

加速器建設グループ 主加速部チーム  
稲垣 隆宏

#### 2-2-4 光源

アンジュレータの製作は2010年8月に完了し、引き続き光源棟への移設、アラインメント及びビームラインにおけるその場磁場測定、真空槽設置などが行われた。9月以降上流セグメントから順次真空排気並びにNEGポンプの活性化を行い、11月末に全セグメントの準備が完了した。このほか、広帯域ビームラインBL1の光源として周期長32 mm、磁石長4.5 mの真空封止アンジュレータ、アンジュレータラインにおけるBPMのアラインメント用に周期長24 mm、磁石長1.5 mの真空封止アンジュレータを加速器棟マッチングセクションにそれぞれ設置した。コンディショニング運転及び加速器調整運転を経て2011年3月に初めて電子ビームをアンジュレータへ導入し、自発光の空間分布並びにスペクトル測定を行い、アンジュレータの性能に大きな問題がないことを確認した。

加速器建設グループ 光源チーム  
田中 隆次

## 2-2-5 ビーム診断

ビーム診断システムでは、1  $\mu\text{m}$ 以下の分解能を持つCバンド空洞型ビーム位置モニタ (RFBPM)、OTR (Optical Transition Radiation) やYAG: Ceを使って数 $\mu\text{m}$ の解像度でビームプロファイルを測定するスクリーンモニタ (SCM)、高速差動CT (Current Transformer) などを使用する<sup>[1]</sup>。また、バンチの時間構造診断のためにCバンドRFデフレクタ (RFDEF)、ストリークカメラ、CSR (Coherent Synchrotron Radiation) モニタも使用する<sup>[2]</sup>。2010年度は10月からの加速器のRFコンディショニング開始に間に合うよう、各機器の製作・据付を進めた。

RFBPM、SCM、CTについては、2009年度中に半分以上の量産が終わっており、加速器トンネル内への据付も始まった。2010年度に入ってもひきつづき量産・据付を行った結果、一部追加増設分とビームダンプ部の機器を除き、RFBPM、SCM、CTとも2010年9月末までに予定通り据付を終えた。9月に間に合わなかったものについても12月のLバンド加速管の工事に合わせて据付を行った。

RFDEFについては、全2本の加速管が2010年3月に一旦納品されたが、4月から加速管をさらに精密調整し、8月に大電力試験スタンドにて高電界試験を行った。2本のうち1本は9月に加速器トンネルに据え付け、もう1本はケーブルの接合部に問題があったため継続調査を行ったあと12月に据付を行った (図6)。その後、2011年2月までに高電界コンディショニングが完了している。

以上のビーム診断機器は2011年2月からのビーム運転開始に間に合わせる事ができ、運転開始後も順調に動作している。ストリークカメラとCSRモニタは2月には間に合わなかったものの、2011年3月末までにコンポーネントの製作を済ませ、4月の短期の停止期間に据付を完了した。このように、ビーム診断システムはXFEL発振に向けて順調に整備された。



図6 RFDEF据付後の写真

## 参考文献

- [1] S. Matsubara *et al.*: "Development and Construction Status of the Beam Diagnostic System for XFEL/SPring-8", Proceedings of IPAC'10, Kyoto, (2010).
- [2] Y. Otake *et al.*: "Bunch-Length Measurements at SCSS Test Accelerator Toward XFEL/SPring-8", Proceedings of BIW'10, Santa Fe, USA, (2010).

加速器建設グループ ビーム診断チーム  
前坂 比呂和

## 2-2-6 タイミング・高周波

タイミング・高周波システム<sup>[1]</sup>は、マスターオシレータからの低ノイズ高周波信号やトリガー信号を光信号に変換して各機器に分配する「光タイミング・高周波分配システム」と、分配された信号からクライストロンなどの大電力高周波機器の励振RF信号を生成したり加速空洞内のRF位相・振幅を検出したりする「低電力高周波システム」から構成される。このそれぞれについて現状と進展をまとめる。

## (1) 光タイミング高周波分配システム

本システムでは、クライストロンギャリ最上流部に温度安定化用の部屋 (マスターオシレータ室) を用意してマスターオシレータと光送信機を設置し、そこからの光信号を水冷恒温ダクト内に敷設された位相安定化光ファイバにて加速器棟・光源棟・実験研究棟の各機器にタイミング・高周波信号を分配する。2009年度中に加速器棟の光ファイバの恒温ダクトと幹線の敷設が完了し、2010年3月にはマスターオシレータ室の建設が始まった。2010年度に入ると、4月にマスターオシレータ室の建設が完了し、8月には内部の機器の据え付けが完了した (図7)。また、光ファイバとそのダクトについては光源棟以降への敷設も行われ、9月には光源棟まで、2011年2月には実験研究棟までのすべての光ファイバの敷設が完了した。これにより、2010年10月からのRFコンディショニングは予定通りマスターオシレータからの信号を使って行うことができた。

## (2) 低電力高周波システム

本システムは、加速RF波形を生成・検出するIQ (In-phase and Quadrature) 変調器・復調器、VMEのD/A・A/D変換ボード、クライストロン励振用の500 W半導体増幅器、低ノイズDC電源と、それらを収納する水冷恒温19インチラックなどから構成され、70ヶ所以上の加速ユニットのそれぞれに設置される。2009年度中に9割以上の構成品の製造・設置が完了しており、2010年度は主に配線と検査が行われた。これらの工事は9月末までにはほぼ完了し、10月から加速管の大電力RFコンディショニングが予定通り始まった。本システムはコンディショニング開始以来ほとんど問題なく動作しており、2011年2月からのビーム運転においても設計通り高精度かつ高安定に加速RFの制御



図7 マスターオシレータ室に設置された光タイミング・高周波分配システム

ができています。

#### 参考文献

- [1] T. Ohshima *et al.*: “Construction Status of Timing & Low Level RF System at XFEL/SPring-8”, Proceedings of the 7th annual meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Himeji, (2010).

加速器建設グループ タイミング・高周波チーム  
前坂 比呂和

#### 2-2-7 電磁石

SACLAで使用する電磁石および電源は、2009年度に製作を終えている。2010年度は据え付け、配線、制御系との接続試験を行い、2010年2月から加速器ビームコミッショニングを開始した。

電磁石関連の据え付けおよび配線は、RFコンディショニング開始前の2010年9月末までに予定通り完了することができた。配線チェック時に数台の電磁石について極性などの配線ミスが見つかったが、それ以外は制御系やインターロックへの接続も特に問題なく完了した。制御系立ち上げ後、実負荷を用いた電源の長期間測定を行い、リップルや温度特性などの安定性や再現性が性能仕様を満たしていることを確認した。

SACLA加速器では、ステアリングを除く電磁石のヨークに純鉄ブロック材を使用しており、ヒステリシス解消のためパターン励磁による初期化が必要である。複数の電磁石を同時に初期化する並列処理制御 (EMA) については、ビームコミッショニング開始までに準備することができなかったため、重要な電磁石について1台ずつ初期化することで対応した。コミッショニング時のビーム軌道の再現性を見る限り、今のところヒステリシスや残留磁場について大きな問題は発生していない。初期化プロセスの並列化に

ついては、早急に実現する予定である[1]。

BC部偏向電磁石やアンジュレータ部四極電磁石など、高い磁場精度が要求される一部の電磁石について、加速器据え付け後の実使用環境下で磁場の再測定を行った。BC部は4台の偏向電磁石を1台の主電源で直列励磁し、各電磁石には個体差を補正するための四象限電源を並列につないでいるが、磁場測定の結果から四象限電源にリーク電流が流れていることが確認され、電源内接地部分の改修を行った[2, 3]。

GUIなどの制御インターフェースについては、ビーム運転開始後実際に使用しつつ、不都合な箇所については改良を行っている。これまでのところ電磁石システムは概ね安定に動作しており、特に問題は発生していない。

#### 参考文献

- [1] Takuya Otake *et al.*: “Magnet power supply control developed for SACLA/SPring-8”, presented in the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society Japan, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011.
- [2] H. Takebe *et al.*: “Four-dimensional power supply system for SACLA bending magnets”, presented in the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society Japan, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011.
- [3] Y. Kano *et al.*: “Energy dispersion correction of electromagnets chicane”, presented in the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society Japan, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011.

加速器建設グループ 電磁石チーム  
原 徹

#### 2-2-8 真空

真空システムの組立、据付、調整、立ち上げ作業を実施した。なかでも特筆すべき事例について記す。

- (1) ダンプ偏向磁石内に設置する真空槽は、長方形断面で側面が2 mm厚、長さが約7 mある。このため剛性がなく、直接クレーンで持ち上げると壊れてしまう。この真空槽を、山梨から磁石メーカーの愛媛へ慎重に移送し、新居浜で真空槽を磁石に組み込み、急激な磁場変化による真空槽変形試験と真空リーク試験を実施した。その後、真空槽を組み込んだまま磁石はXFELへ搬入され据付された。
- (2) 新規参入メーカーの製作した真空部品の洗浄が超高真空用として不十分であることがサンプル品の分析で判明した。現地指導、洗浄試験とガス分析を繰り返し、メーカーが実施できる方法で、超高真空部品として問題のない洗浄方法を確立した。大量に納品された真空パイプの何本かに溶融貫通痕が見つかった。電解研磨

条件が不適切であることが判明し、改善した。バルブ等その他物品も不具合が発見され、そのつど原因究明と品質管理体制について協議した。

- (3) 一部の真空機器には、冷陰極真空計 (CCG) やイオンポンプ (SIP) のように永久磁石が組み込まれている。また鉄製の部材は着磁や、周囲の磁場を吸い寄せることで予期せぬ所で磁場が上昇することがある。これらの磁場はビーム軌道へ影響を与える可能性があり、磁気遮蔽対策が必要となる場合がある。しかしながら、CCGは陰極で発生した電子を磁石の磁界作用でらせん運動させて気体分子をイオン化し、イオン電流から圧力を計測する。このため磁気遮蔽材を安易にCCGに取り付けると内部の磁界が変化し、不正確な圧力値を出力する。試験を行い最適な磁気シールドを開発した<sup>[1]</sup>。
- (4) 上記の開発を踏まえ、挿入光源入口部に磁気シールドを行った。レーザー増幅を十分に得るには、挿入光源の中を通過する電子ビーム軌道を、±数 $\mu$ 以内の精度で直線に定める必要がある。電子ビームを用いたBBA法では、基準軌道を規定するため、挿入光源入口部にBPMが約8 mの間隔で2台設置されている。この区間は地磁気などの環境磁場を1/100程度にまで抑える必要があるが、真空パイプ支持装置の支柱が鉄製であったため、周囲の磁場を引き寄せ、この場所で磁場の上昇が計測された。よって、支持装置を非磁性のSUS316Lで作り直し、SIPやCCGの位置を床面近くまで下げた。さらに、真空パイプに磁気シールドシートを巻き、パイプ内の磁場を1/100程度にまで抑えることに成功した<sup>[2]</sup>。

#### 参考文献

- [1] T. Bizen, et al.: "The present status of vacuum system of XFEL in SPring-8", The 2<sup>nd</sup> International Particle Accelerator Conference, San Sebastian, Spain, September 2011.
- [2] H. Aoyagi, et al.: "Geomagnetic shield for entrance area of undulators at SACLA", The 8<sup>th</sup> Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tukuba, Japan, August 2011.

加速器建設グループ 真空チーム  
備前 輝彦

#### 2-2-9 機器制御

2010年度は、制御系ネットワークの整備を行い、XFEL加速器棟コントロール室に仮想ネットワークを利用してFL-netを集約した。PLCのデータをFL-net経由でデータベースへのデータ収集するためのVMEシステムを構築し、高周波系と真空系、精密温調と低ノイズ電源およびID制御とスクリーン制御に関してそれぞれFL-netカードを共用で使用するためVME側ではSolaris 10のコンテナを利用して仮想環境を立ち上げ、それぞれを独立して管理できる

構成とした。

タイミングおよび低電力高周波系の制御に関しては2009年度の構成をベースに、一部のSolaris 10用デバイスドライバの不具合の修正を行いコミッショニングの立ち上がりにあわせて環境の構築を行った。一部のタイミングおよび低電力高周波系と挿入光源部モニタシステムには新規に開発された238 MHz, 16 bit精度のADCボードを採用したが、制御システムの不安定な部分が存在していたためビーム運転の直前まで調整がずれ込むこととなった。

光伝送ボードはローカルでの操作に関していくつかの不具合の修正を行い、修正されたボードを電磁石電源に組み込み、すべての電磁石の通電を行うことができた。データ収集に関しては光伝送ボードをカスケードしている部分で予想より時間がかかっていることが判明したためデータ収集用のプロセスを増やすこととデータ収集周期を加速器部分に比べて長くすることで対応した。

その他にはファイルサーバ、データベースサーバ、カメラリンク読み出しサーバおよび同期型データ収集用サーバ等の整備を行い、XFELコントロール室にXFEL実機に使用するコンソール用のワークステーションの設置を行った。

加速器建設グループ 機器制御チーム  
福井 達

#### 2-2-10 据付・アライメント

加速器棟においては、2009年度から引き続きCバンド加速部の据付作業を行い、5月からは入射部の据付を開始した。7月には加速器棟のほぼ全てのコンポーネントの据付・アライメントを終了し、そのアライメントの確認を行った<sup>[1]</sup>。その結果、ほぼ全てのコンポーネントが滑らかにつながっている事が確認され、一部修正が必要な部分の再アライメントが行われた。

光源棟のアンジュレータや各種コンポーネントの据付作業も順調に進められ、10月からのRFコンディショニング開始前に光源棟内の90%のコンポーネントの据え付けを終了した。このアンジュレータ部ではX線と電子を同じ軌道で導く必要があり、X線はまっすぐ進むので直線に並べなければならない。単に測量器を使用して高さをアライメントしていくとジオイド (地球の丸み) に沿ってしまうので (100 mで約0.8 mm下がる)、計算で補正しながらアライメントを行った。光源棟の床の変位をモニタするために、アンジュレータ部の床には水連通管 (上下方向) とワイヤーポジショニングシステム (横方向) (どちらも分解能0.1  $\mu$ m) を設置した。12月から2ヶ月間の最終据付期間では、残りのダンプモニター部やフロントエンド部の据付・アライメントを行った他に、横方向のアライメントを最終確認するためにワイヤーをアンジュレータ部の据付基準線上に張り、そのワイヤーと個々の機器の距離を計測した。最終的

に据付精度が必要な電子ビーム位置モニタ・Q電磁石が150 mにわたって上下左右 $\pm 0.2$  mmの精度でアライメントされていることを確認した。

一方、5月末に実験研究棟が竣工し、6月から実験ホールへのBL光軸の延長作業を行い光学ハッチ内の据付作業と実験ハッチ建設が開始された。また、相互利用実験棟へのビーム光軸の延長作業及びSPring-8 BL32XUのビーム光軸の延長作業を2011年1月下旬に行い、据付作業が開始された。XFEL-シンクロトロン棟間電子ビーム輸送部の光源棟内のコンポーネントの据付・アライメント作業を6月から行い、2011年3月には電子ビーム輸送トンネル部とシンクロトロン棟内の電磁石及びコンポーネントの据付とアライメントを行った。

#### 参考文献

- [1] M. Yamashita et al.: “Alignment of Accelerating Structure and Girder for Q-Magnet and BPM in XFEL Accelerator Tunnel”, Proceedings of the 7<sup>th</sup> Meeting of the Particle Accel. Soc. of Japan, Himeji (2010) 1148.

加速器建設グループ 据付・アライメントチーム  
木村 洋昭

#### 2-2-11 電子ビーム輸送系

XFEL線型加速器からの8 GeV高品質電子ビームをSPring-8蓄積リングに導くための電子ビーム輸送系(XSBT)は、2009年度に電磁石、真空チェンバ、モニタなど主要機器の製作を行い、2010年度は電磁石の磁場計測後、据付を実施した。

電磁石の磁場計測はホール素子を用いて三種類の四極電磁石と垂直偏向電磁石各1台、水平偏向電磁石は全台数についておこなった。各電磁石とも測定した磁場強度は計算値と比べて若干低い値となったが、これは使用した材料のB-H曲線と計算に使用したB-H曲線に差異があったためである。ただし、BL積、GL積、磁場強度、磁場平坦度などはビーム運転要求値を満足しており問題がないことを確認した。水平偏向電磁石はリターンヨークの寸法精度に比較



図8 XFEL建屋内の電子ビーム輸送系(左側)とBL3(右側)。下流側から見る。

的大きな個体差があった。このため、9台の全ての電磁石について磁場を精密に測定し、その結果、BL積に $4 \times 10^{-3}$ の有意な差が認められた。ビーム輸送系のオプティクスに対する整合をとりながら1台の電源で複数台の偏向電磁石を直列励磁できるように、各電磁石のBL積を考慮して配置と電源との組合せを決定した<sup>[1]</sup>。

#### 参考文献

- [1] C. Mitsuda, et al.: “Magnet Fabrication Installed in Beam Transport Line from SACLA to SPring-8 Storage Ring”, 第8回加速器学会年会、つくば(2011).

加速器建設グループ 電子ビーム輸送系チーム  
大石 真也

#### 2-2-12 建設

##### (1) XFEL実験研究棟

実験研究棟(2009年3月工事開始)は、実験ホール塗床工事を4月に、外構工事を5月に完了した。設備の試運転調整を実施するとともに各種検査の後、5月25日に竣工検査を実施した。

##### (2) XFEL-SPring-8 相互利用実験施設

相互利用実験施設(2010年7月工事開始)は、杭工事を



図9 XFEL実験研究棟の外観(上)と、XFEL-SPring-8 相互利用実験施設の内部(下)。

9月に完了、底盤コンクリート打設を11月に完了、鉄骨工事、屋根・外壁工事、及び嵩上げコンクリート打設を12月に完了した。建屋工事と並行して実験ハッチを建設するため、実験ホールは2011年1月25日より部分使用を開始した。建屋南側へのアクセスとなるスロープ工事は10月に完了し、10月18日より部分使用を開始した。タイミングケーブル通路は2011年1月に工事を完了し、1月11日より部分使用を開始した。

電気設備工事は1月に機器搬入据付を完了し、1月20日に受電後、試験調整を実施した。機械設備工事は、埋設配管（消火・排水）の切替工事を9月に完了、機器搬入据付を2月に完了後、試運転調整を実施した。諸官庁検査をはじめ各種検査の後、3月15日に竣工検査を実施した。

加速器建設グループ 建設チーム  
板倉 早苗

### 2-3 施設全系制御グループ

施設制御では、2010年度に建設された相互利用実験施設建屋の追加工事ならびにデータ収集系の整備を行った。併せて中央監視用グラフィックパネルの画面を更新し、使い勝手の向上を図った。このグラフィックパネルに加えて、さらに分かりやすくきめ細やかな監視業務が行えるようにワークステーション上で動作する施設監視用GUIソフトウェアの作成も行った。そのGUIに使用するためのX-mateライブラリの移植作業も同時に行った。また瞬時停電等が発生しても施設監視業務が継続できるよう、全てのFL-netネットワークスイッチに無停電電源の設置を行った。

XFEL加速器運転に使用するアラーム表示画面の製作を行った。これはSPring-8で使用しているアラーム表示用画面をベースに、アラームのリスト表示の並べかえ機能の充実などのさまざまな拡張を行ったものである。アラーム表示用画面は、XFELのRFコンディショニング開始に間に合うように製作され、RFコンディショニングやビームコミショニングに活用された。

加速器およびビームラインの試験運転に対応するため、挿入光源制御システムおよびビームライン制御システムの設置と開発環境をセットアップし、GUIからの良好な制御性を確認した。制御ソフトウェアと機器の全点取り合い試験を行い、全系制御システムと連携したデータ収集系の構築を完了した。広帯域データ収集の利用系DAQシステムが要求する広帯域ネットワークインフラやタイミング分配システムおよび計算機設置環境の整備を行い、同期データ収集システムの実機を使った試験運用を開始した。

インターロックチームはXFEL加速器とビームラインの運転のための加速器安全インターロックシステムおよび、ビームラインインターロックシステム、入退管理システムの構築を行った。ビームラインインターロックは光学ハッ

チ1と2、およびビームライン3に対して建設した。これらのシステムは2011年2月に使用前検査を受けて合格した。以降、本格的な運用を開始した。

施設全系制御グループ  
田中 良太郎

### 2-4 安全設計グループ

建屋および加速器、挿入光源装置、光学ハッチ等実験棟設備の完成に伴い最終的な漏洩線量評価を行うとともに、SPring-8/XFEL放射線発生装置使用許可申請の実施、許可を得た。同時に整備したXFEL施設放射線監視モニタシステムを稼働、放射線管理区域の設定を順次行い、制御グループと共同で構築した管理区域内、加速器および光源収納壁内への出入制御を含めたXFEL加速器安全インターロックシステムの確認試験を実施後、加速器の調整運転を問題なく開始させた<sup>[1, 2]</sup>。

放射線防護とともに、アンジュレータに入射する加速電子ビームの拡がり異常を検知し、電子ビーム損失を極力減らし永久磁石の減磁を防止するためのダイヤモンド検出器を用いたビームハローモニタを開発した。また、電子ビーム損失位置等を検知するために2次荷電粒子によるチェレンコフ光を利用したグラスファイバー製ビームロスモニタをSPring-8/XFEL実機挿入光源装置に装着、加速器調整運転時における電子ビーム挙動を100 mを超える範囲でon-line監視できるよう整備した。これら整備した2つのモニタシステムは放射線安全だけでなく、電子ビーム調整運転にも大変有効であるとの評価を得ており、海外からの関心も高い<sup>[3, 4, 5]</sup>。

ALARA（合理的に達成可能な限り低く）精神に基づく客観的評価を得るため外部有識者によるXFEL安全性検討委員会を2回開催し、XFEL放射線安全に関する評価結果および整備された安全設備について最終検証を受けた<sup>[6]</sup>。

### 参考文献

- [1] Y. Asano: "Application of Heavy Concretes to the Shield Materials of Synchrotron Radiation beamlines", Radiation Measurements 46 (2011) p546-550.
- [2] T. Itoga, Y. Asano and Y. Tanimura: "Response Function of a Superheated Drop Neutron Monitor with Lead Shell in the thermal to 400MeV Energy Range", Radiation Protection Dosimetry 146 ncr120 (2011).
- [3] H. Aoyagi, T. Itoga, N. Nariyama, T. Bizen, T. Tanaka, H. Kitamura and Y. Asano: "Measurement of Electron Beam halo with Diamond Detector". Proc. of the 24<sup>th</sup> workshop on Radiation Detectors and Their Uses. KEK proceedings2010-10 (2010) p73-81.
- [4] H. Aoyagi, T. Bizen, N. Nariyama, S. Suzuki, K. Fukami, T.

Aoki, Y. Asano, T. Itoga, H. Kitamura, T. Tanaka: "Diamond-based beam halo monitor equipped with RF fingers for SACLA", DIPAC 2011 Hamburg (2011).

[5] Xavier M. Marechal, T. Itoga and Y. Asano: "Development of a Beam loss Monitor Using a long glass fiber for the SPring-8/X-FEL". Proc. of the 24<sup>th</sup> workshop on Radiation Detectors and Their Uses, p.29-38, KEK proceedings 2010-10 (2010).

[6] Yoshihiro Asano, "Characteristics of radiation safety for Synchrotron Radiation and X-ray Free Electron Laser facilities", Radiation Protection Dosimetry 146 ncr131 (2011).

安全設計グループ  
浅野 芳裕

## 2-5 利用グループ

利用グループは、ビームライン建設チーム、データ処理系開発チーム、SCSS試験加速器利用チームの3チームから構成され、FEL利用に関連するR&D・建設・機器整備を担当している。

本節では、ビームライン建設チームとデータ処理系開発チームの進捗状況を示し、SCSS試験加速器利用チームの報告は第3節に記す。

利用グループは、2007年度より利用ワークショップを継続的に開催し、文科省のXFEL利用推進課題を中心とする利用者・研修者との連携を図っている。2010年度は、5月に完成したXFEL実験研究棟において、2010年7月12・13日、第5回XFEL利用ワークショップを開催した（参加者132名）。施設側のXFEL整備状況の報告、文科省利用推進研究の5課題の現状発表、及び総合討論（公募による10件のショートプレゼンテーションを含む）を行った。会議を通して、多様な分野のXFEL利用研究の提案や、今後の実施体制に関する問題提起がなされ、活発に議論を行った。また、年度を通して、より小規模のユーザーグループとの打ち合わせを多数開催した。

### 2-5-1 ビームライン建設チーム

2010年度は、5月のXFEL実験研究棟の竣工後、BL3のフロントエンド・光学系・輸送系コンポーネントのインストール（図10）、実験ハッチの設置（図11）が行われた。実験ハッチ内及び実験ステーションの機器・装置について設計が進められ、一部は先行して設置も行われた。また、同期レーザーブースの設置とレーザー・タイミング機器のインストールが行われた。さらに、XFELとSPring-8を同時に使う相互利用実験施設内の実験ハッチ及び輸送系コンポーネントの設置も行われた。

さらに、加速器グループとともにコミッショニングシナ

リオの最終検討を進めた。2011年2月にビームコミッショニングが開始され、3月には、光学ハッチ内まで自発放射光（波長0.8 Å）を導いた。二結晶分光器を用いてスペクトルを計測し、さらにMPCCDを用いてスペクトルの各点における空間プロファイルの計測も行った（図12）。特に、長波長側で円環状のプロファイルが観測されたが、これは電子ビームのエミッタンスが優れていることを示唆している



図10 光学ハッチ内にインストールされたビームライン光学系・輸送系コンポーネント



図11 実験ハッチの外観

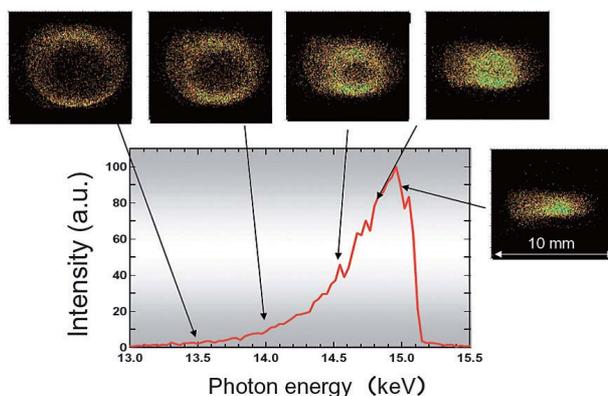


図12 自発光のスペクトルと分光後の空間プロファイル。電子ビームのエネルギー：7.82 GeV；ID16ギャップ5.1 mm（ $K=1.5$ ）；光源から観測点までの距離：105 m

る。さらに、この円環の重心情報を利用することにより、アンジュレータ内の電子ビームの軌道を1  $\mu\text{rad}$ の精度で決定できることがわかった。これは、FEL発振に向けた精密調整において非常に重要である。R&Dとして、散乱型の強度・位置モニターに関する調査がSLACとの国際協力も交えてこれまで行われてきたが、2010年度は、一連の結果が取り纏められた<sup>[1]</sup>。本モニターは、SACLAビームラインにインストールされ、3月のコミッショニングで非常に有用であることが確認されている。

参考文献

[1] K. Tono, T. Kudo, M. Yabashi, T. Ishikawa, T. Tachibana, Y. Feng, D. Fritz and J.B. Hastings: Rev. Sci. Instrum, 82 (2011) 023108.

利用グループ ビームライン建設チーム  
矢橋 牧名

2-5-2 データ処理系開発

本チームは、施設側で提供するX線2次元検出器の開発、および施設側検出器とユーザー持ち込み検出器をシームレスに統合し、データを保存・解析できるデータ収集(Data Acquisition : DAQ)システムの開発を行っている。2009年度は、Multi-port Charge-Coupled Device (MPCCD) 検出器においてセンサーを設計製造し、性能試験も一部終了し、プローブテストによって、設計予測値の歩留まり製造ができていることを確認した。2010年度は、このセンサーのすべての項目について性能検証を行うと共に、量産を行った。さらに実際にカメラシステムに接続し、詳細な性能試験と耐久性試験を行った。その結果、XFELでの利用に必要な性能実現に成功した(表2)。信号電荷を必要だけ分割して読み出す検出方式によってより低ノイズ、高ピーク信号、小ピクセルのセンサーを目指すMulti-via (MVIA) 検出器については、大型の試験センサー(14.5×7.5 mm<sup>2</sup>)を試作し、ピクセル構造およびオンチップ

表2 Multi-port CCDセンサーの仕様、および達成性能

仕様	ピクセルサイズ	50 $\mu\text{m}$ × 50 $\mu\text{m}$ 100 $\mu\text{m}$ × 100 $\mu\text{m}$ (2×2 binning時)
	ピクセル数	1024 × 512
	検出効率	80% @6 keV, 20% @12 keV
	タイル時の不感領域	不感領域が300 $\mu\text{m}$ 幅以下 (2×2 binning時で3ピクセル相当)
達成性能 (typical)	冷却性能(読み出し時)	0 ~ -35°C
	温度安定度 (p-p)	± 0.1°C
	システムノイズ	フレームレート60 Hzにおいて300電子以下 (0.18 ph@6 keV)
	最大信号量	ピクセルあたり4.5×10 <sup>6</sup> 電子以上 (2700 ph/pixel/frame@6 keV)
	フレームレート	外部信号と同期して動作した条件で、60 Hz以上
	暗電流	20°Cにおいて200,000電子/ピクセル/秒以下
	暗電流の均一性	暗電流の標準偏差が暗電流の平均値の±10%以内
	X線照射耐性	12 keVのX線10 <sup>14</sup> 光子/mm <sup>2</sup> 以上

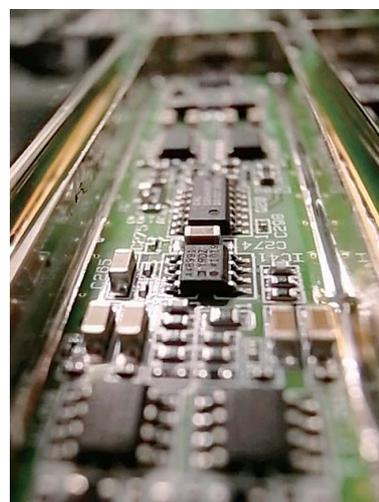
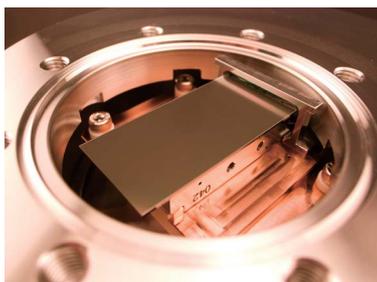
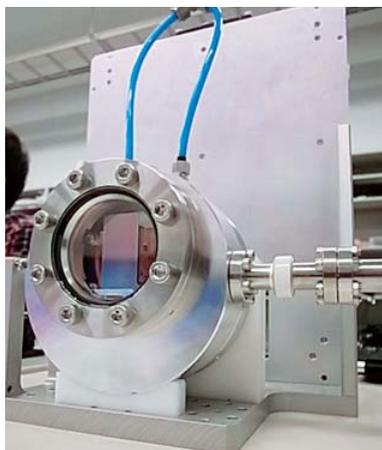


図13 開発に成功したMPCCD-SSD (Multi-port Charge-Coupled Device-Single-Sensor Detector) 検出器 (左) に組み込まれたセンサー収納部 (中) と読み出し回路のCDS信号処理部分 (右)

ブ周辺回路の最適化を行った。

2009年度後半からDAQの要素技術であるデータ前処理技術、データ転送技術、データ保存技術について開発を行った。2010年度は、DAQシステムとして実際に組み上げ動作させた。さらに、光学ハッチの検出器群(ビームモニター用カメラ、強度モニター用フォトダイオード、MPCCD-SSD)をDAQに組み込み運用を開始した。このシステムを利用して、ビームコミッション時のX線ビーム診断を可能とした。

利用グループ データ処理系開発チーム  
初井 宇記

### 3. SCSS試験加速器の進捗状況

SCSS試験加速器は、我が国独自の方式でのコンパクトなXFEL建設の実現可能性評価を目的として2005年に建設された。2006年にレーザー増幅に成功、2007年に極紫外(EUV)領域のSASE-FELの出力飽和を達成した。2007年10月から、EUV-FEL光の試験的利用が行われ、2008年5月から公募による本格的な利用が開始された。EUV-FELの利用目的は、XFEL利用のR&DとEUV領域の新しいサイエンスの開拓である。本節では、SCSS試験加速器の運転状況、シード化実験、利用に関する進捗状況について述べる。

#### 3-1 SCSS試験加速器の運転状況

2010年度のSCSS試験加速器の総運転時間は、2027時間であり、その中で利用実験が906時間であった。ダウンタイムは72時間で、全利用時間の3.5%であった。電子銃カソードからのビームエミッションが2009年度後半から急激に落ちてきており、2010年7月まではヒーターパワーを増加させることで対応したが、所定のエミッションが維持できなくなり、2010年8月にカソードアSEMBリーの交換を実施した。カソード交換作業は、交換作業と調整運転を合わ

せて2週間程度で行った。交換後の加速器は非常に安定に運転でき、FEL光は、前回(2008年1月)の交換直後と同程度での出力で供給が実現できた。

利用グループ SCSS試験加速器利用チーム  
永園 充

#### 3-2 SCSS試験加速器のシード化実験

SCSS試験加速器において、Ti:sapphireレーザーの13次(波長61.5 nm)及び15次(波長53.3 nm)高次高調波をシード光とするシード化実験を行った<sup>[1]</sup>。FELの共振器を持たないSASE方式FELは、動作波長に制限がないため、極端紫外～X線領域において高強度パルス発振が可能であるが、自発放射光の統計的な特性から、発振するレーザー光の時間分布やスペクトルが複数のピークを持つという原理的な課題を抱えている。これを解決するため、外部より時間的・空間的に高いコヒーレンスを有するシード光を入れて増幅を行うシード型FELが提案されているが、これまで実現されたのは深紫外域(160 nm)までであり<sup>[2]</sup>、より短波長域におけるシード型FELの実現が切望されてきた。

図14にSCSSに組み込まれた高次高調波シード光のビーム経路を示す。シード光となる高次高調波はTi:sapphireレーザーを焦点距離4 mの集光レンズでXeガスに集光し発生する。高調波の媒質条件は位相整合条件を満たすように決定している<sup>[3]</sup>。発生後、高次高調波はポンプ光除去用のSiビームスプリッターで反射され<sup>[4]</sup>、2枚のPtコートミラーにより空間形状を調整後、アンジュレータに入射される。光学経路における転送効率はいくらかであり、アンジュレータにはnJレベルのエネルギーを持つ13次(61 nm)、15次(53 nm)の高調波ビームをシードすることができる。図15は、シード光を入射しない場合(a)と入射した場合(b)における連続したショットごとのスペクトルを示している。(b)では、Ti:sapphireレーザーパルスと電子バンチ

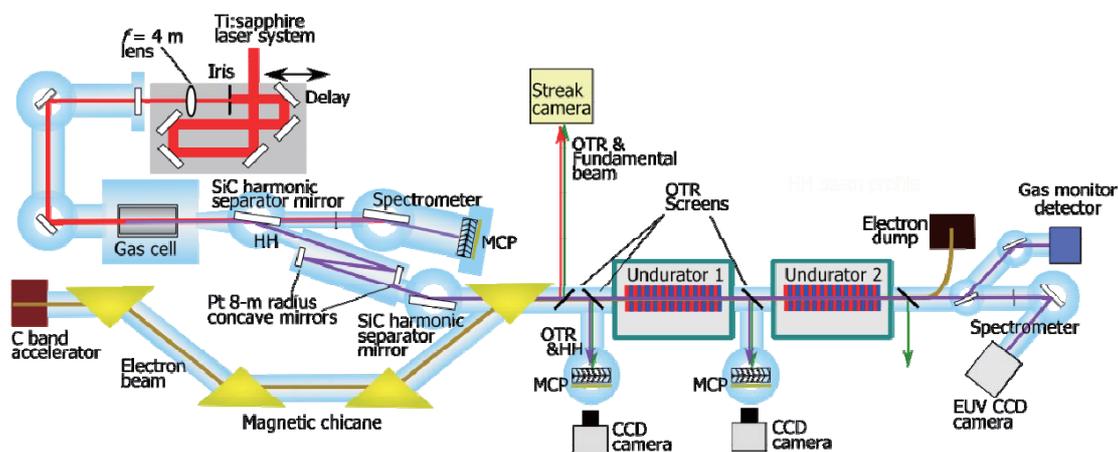


図14 シード型FELの配置図

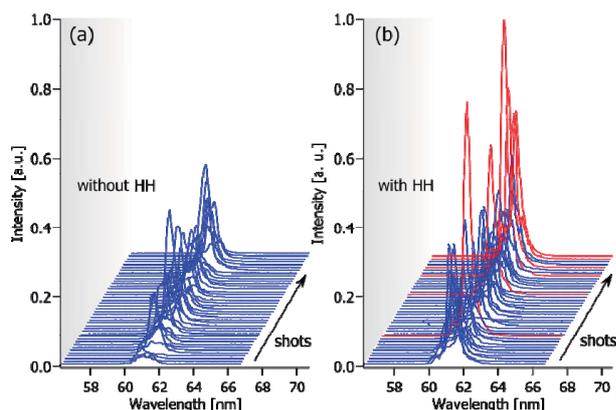


図15 シード光を入射しない場合 (a) と入射した場合 (b) における連続した50ショットごとのスペクトル。(b) では、シード光として13次高調波 (波長61.5 nm) を用いた。

のジッターによる影響で発生頻度は0.1%程度であるが、シード効果によるピーク強度の増加 (赤線) が見られた。また、シード効果のないショット (青線) ではマルチピークであったが、ピーク強度の増加が見られたショット (赤線) ではシングルピークとなり、シード効果によるスペクトル構造の改善もみられた。シード光エネルギー2 nJに対し、シード型FEL出力は1.3  $\mu$ Jであり、入力したシード光に対して650倍の増幅率が得られた。

#### 参考文献

- [1] T. Togashi, et al.: "Extreme ultraviolet free electron laser seeded with high-order harmonic of Ti:sapphire laser" Opt. Exp. 19 (2011) 317.
- [2] G. Lambert, et al.: "Injection of harmonics generated in gas in a free-electron laser providing intense and coherent extreme-ultraviolet light" Nat. Physics 4 (2008) 296.
- [3] E. Takahashi, Y. Nabekawa and K. Midorikawa: "Generation of 10- microJ coherent extreme-ultraviolet light by use of high-order harmonics" Opt. Lett. 27 (21) (2002) 1920.
- [4] E. J. Takahashi, H. Hasegawa, Y. Nabekawa and K. Midorikawa: "High-throughput, high-damage-threshold broadband beam splitter for high-order harmonics in the extreme-ultraviolet region," Opt. Lett. 29 (5) (2004) 507.

利用グループ SCSS試験加速器利用チーム  
富樫 格

### 3-3 SCSS試験加速器の利用

2010年度も公募が3期に分けられ、総計35研究課題 (XFEL利用推進19課題、一般利用16課題) が採択され、その中にはドイツとチェコの海外研究機関も含まれている。2010年度からの新規参入した研究グループは3つあった。

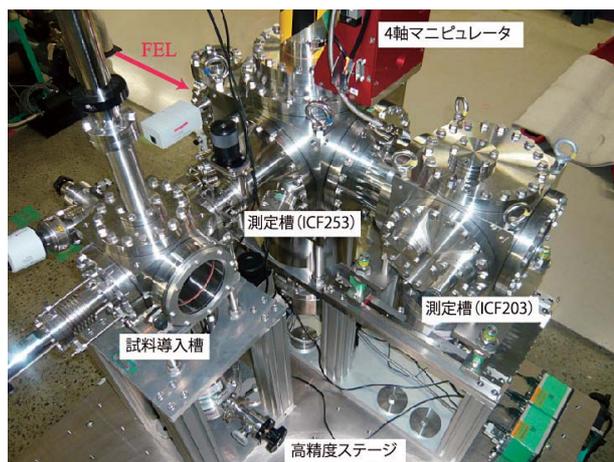


図16 共用実験装置

採択された利用分野は、原子分子分光、基盤機器開発、固体科学、イメージング分野、半導体プロセスとなっている。

ビームライン整備は、汎用集光システムの調整機構の改修、共用実験装置 (図16) の導入、整備を進めた。汎用集光システムは、楕円筒面鏡 (M4) と円筒面鏡 (M5) の2枚のミラーにより、それぞれ水平および垂直方向に集光する。集光調整を容易にするために、これまで手動調整であった、M4のピッチ軸とロール軸とM5のピッチ軸をピコモーターで、M5の面内回転をピエゾモーターで調整できるように改修した。共用実験システムは、測定真空槽、差動排気真空槽と試料導入真空槽が1つの高精度ステージ (XYZ軸+水平面内角度が調整可能) 上に設置されている。測定真空槽は、ICF253キューブとICF203キューブの2つの真空槽があり、どちらか一方、あるいは両方を連結して利用可能である。真空槽のICF253フランジまたはICF203フランジを交換することで、多様な実験系に対応可能である。さらに、どちらの測定真空槽にも設置可能な高精度4軸 (XYZ $\theta$ ) マニピュレータを準備した。2010年度は、5つの研究グループが共用実験装置を利用した。

利用グループ SCSS試験加速器利用チーム  
永園 充

### 4. 広報活動

広報業務は、XFELに対する更なる理解増進を務めるとともに、研究課題の掘り起しや利用分野の裾野拡大、新たな分野における成果創出を目的とした活動を行った。さらに2011年3月には、XFEL施設の愛称とロゴマークを決定し、発表した。

#### (1) シンポジウム・講演会

2010年度は、第6回XFELシンポジウム、第2回市民公開講座および3大学において学生院生のためのX線自由電

子レーザーシンポジウム（講演会）を開催した。

第6回XFELシンポジウムは、“光の不思議から未知の光X線自由電子レーザーまで”と題し、2010年9月4日に大阪梅田センタービルにて開催した。参加者は、一般、企業および研究機関から242名であった（図17）。またシンポジウムと同時に、XFEL施設の機器に係わるメーカー13社にブースを出展して頂き、模型やパネル等を用いて、シンポジウム出席者にXFELについての理解をより深められる形とした。

第2回市民公開講座は、“姫路発～はるか宇宙と電子や原子の旅～”と題して、姫路市と共催として2011年3月26日に姫路市文化センターにて開催した。参加者は、兵庫県外からも含め377人であった。発表は、先ずXFEL計画合同推進本部の北村英男グループディレクターより“X線解体新書Ⅱ～SPRING-8とXFEL～”と題し、X線の歴史からXFEL発振の原理について説明された。次に宇宙航空研究開発機構の川口淳一郎プロジェクトマネージャーより“「はやぶさ」人類初の往復の惑星飛行、その経緯”と題し、惑星探査機「はやぶさ」の軌跡について紹介された。

学生院生のためのX線自由電子レーザーシンポジウム（講演会）は、2010年6月24日に京都大学、10月19日に大



図17 第6回XFELシンポジウムの様子

阪大学、11月19日に九州大学にて開催した。各大学とも学生を中心に100名程の参加者であった。各シンポジウムにおいては、XFEL計画に係る研究者の講演の後、活発な質疑応答があり、参加者のXFELに対する関心の高さが伺えた。

(2) 見学対応、報道発表

2010年度はXFEL施設が完成し、電子銃、加速管、アンジュレータから実験ハッチまで一連の機器や装置を見学する事が可能となり、政府関係、産業界、海外研究機関等における要人から学生、一般の方まで多くの見学者を受け入れた。

また2010年度の報道機関への発表として、表1の5件を発表した。

(3) 刊行物

2007年より発行している「X線自由電子レーザーニュース」は、No.10～12までを、研究機関、企業、自治体等の機関や購読を希望する読者に向けて各号10,000部程発行した。また大学や図書館、科学館等に頒布するとともに、各種イベント等で配布し、XFEL計画への理解促進に努めた。

さらに、地元自治体の上郡町が発行する「広報かみごおり」には毎月、佐用町が発行する「広報さよう」には隔月で連載枠を頂き、XFEL計画に関する出来事やそれらに携わる研究者の紹介も行った。

(4) 愛称、ロゴマークの決定

2011年3月にXFEL施設の愛称を“SACLA（さくら）”とし、ロゴマークも決定した（図18）。愛称は2010年10月から11月にかけて一般公募を行い、その後厳正なる選考を行った。この愛称“SACLA”はSPRING-8 Angstrom Compact Free Electron Laserを略したもので、コンパクトで波長の短いX線レーザーを発振出来る、日本のXFEL施設の特徴を的確に表現している点、また日本語の“桜”

表3 2010年度の報道発表一覧

日付	タイトル
2010年 4月1日	光化学反応の超高速初期過程を自由電子レーザーでリアルタイム追跡 ～FELとフェムト秒レーザーの2つの超短パルス光で一瞬を見る～
2010年 9月22日	XFELの精密なビーム制御を実現する「加速器模型」を考案 ～電子ビームを集団で記述する光学関数により、さまざまな運転条件に対応～
2010年 9月24日	光の「ゆらぎ」で解明：極端紫外自由電子レーザー光による原子の多段階イオン化
2010年 10月8日	試料像をフェムト秒で捉える極紫外線ホログラフィーに成功 ～X線自由電子レーザーを使った超高速現象撮影に道～
2011年 3月29日	わが国初のXFEL施設が完成 ～「XFEL」の愛称は「SACLA（さくら）」～



図18 SACLA (さくら) のロゴマーク

と同じ音であり、日本らしさを想起させる点が評価された。ロゴマークは2006年公募時に選考されたものを基本とし、今回の愛称の決定に伴いデザインを調整し、決定に至った。このデザインは、電子ビームが直線的に加速する様子や、電子がアンジュレータ内で蛇行する様子をイメージしたものである。

企画調整グループ

富松 亮介

以上