

SPring-8 計画

上坪 宏道

(財)高輝度光科学研究センター*

SPring-8 Project

Hiromichi KAMITSUBO

Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI)

SPring-8 (Super Photon Ring-8 GeV) is the third generation synchrotron radiation source which consists of a 1 GeV electron/positron linac, an 8 GeV booster synchrotron and an 8 GeV storage ring with a natural emittance of 5.6 nmrad. Total number of beamlines is 61 and 38 of them are insertion device beamlines. The facility was commissioned in March, 1997 and was open for use by users.

1. はじめに

SPring-8 (Super Photon Ring-8 GeV) は日本原子力研究所 (原研) と理化学研究所 (理研) が共同で建設を進めてきた X 線領域の第 3 世代放射光源である。1980年代になって急速に発展した放射光の学際的な利用は、新しい研究領域の展開に強い期待をもたらしてきた。とくに X 線領域では既存の光源に比べて 10^6 倍以上の輝度が実現し、物質の構造・特性の解明や材料の創製・加工に革新的な手法を提供するものとして注目され、新しい放射光源の建設計画が世界各地で進められてきた。さらに、挿入光源と低エミッタンスリングの開発によって放射光源の高輝度化が実現し、いまや光源の輝度が X 線管の 10^{12} 倍以上にも達するようになった。SPring-8 はとくに波長の短い X 線領域に特化して設計された高輝度光源で、放射光ビームの波長範囲、エミッタンスや偏光特性が世界でもっとも優れている。

SPring-8 計画は当初 6 GeV の低エミッタンス蓄積リングの設計研究として始まった。1988年に原研、理研の共同計画として推進することが決まり、共同チームが発足して設計研究と要素技術の R & D を開始した。その結果、1 GeV の線型加速器と 8 GeV シンクロトロンを入射器とし、8 GeV の低エミッタンス蓄積リングを光源とする大型放射光施設計画がまとめられた。蓄積リングの設計では、できるだけ多くの挿入光源を設置できるようにし、ま

た将来、とくに長い挿入光源を設置できる超直線部を持つように配慮した。放射光ビームライン (BL) についても標準型の長さが 80 m までとれるようにし、将来、9 本の BL が 300 m まで、3 本のビームラインが 1000 m まで延長できるようにした。さらにアクチナイドなどの放射性同位元素を含む試料で実験ができる RI (radioactive isotope) 実験ホールを建設し、3 本のビームラインを設置することになっている。

SPring-8 の建設は1990年から始まり、1996年 8 月に線型加速器、12月にシンクロトロンが試運転に成功した。1997年 3 月には蓄積リングの試運転が始まり、3 月 25 日に電子ビームの蓄積に成功、翌 26 日に偏向磁石ビームライン BL02B1 で放射光を観測した。4 月 23 日にはアンジュレータビームライン BL47XU で放射光を観測、引き続いて両ビームラインの調整を行った。さらに 7 月初めには 6 本の BL の試運転が成功した。9 月には 2 本の BL が新たに稼働、10月から10本の BL について共同利用を開始した。

入射器利用の一環として、線形加速器からの電子ビームを兵庫県立姫路工業大学が建設している 1.5 GeV リング「ニュースバル」に提供することになった。「ニュースバル」は1998年秋に試運転を開始し、1999年 2 月から放射光利用を開始する予定である。

SPring-8 は特別な法律によって共同利用施設に指定さ

* (財)高輝度光科学研究センター 〒679-5143 兵庫県佐用郡三日月町三原
TEL 07915-8-0877 FAX 07915-8-0878 e-mail kamitsub@sp8sun.spring8.or.jp

れ、広く内外の研究者に開放されることになった。その供用業務を進めるために、高輝度光科学研究センター (Japan Synchrotron Radiation Research Institute, JASRI) が国から放射光利用研究促進機構に指定された。JASRI はまた、SPring-8 の運転・維持・管理や高度化を行うことになっている。

2. SPring-8 加速器

図 1 に SPring-8 全景の写真を示した。地形の関係上、蓄積リングは標高345 m の小山を囲んで建設され、入射器として蓄積リングより10 m 低いところに線型加速器とシンクロトロンが隣接して建設されている。シンクロトロンからの電子ビームは蓄積リングの下のトンネルを通過して内側からリングに入射される。電子ビームはシンクロトロンでは時計回りに、蓄積リングでは反時計回りに回っている。SPring-8 の主要諸元を表 1 にあげておく。

2.1 入射器

SPring-8 では蓄積リングへのフルエネルギー入射を行うので、入射器は電子（陽電子）線型加速器と 8 GeV シンクロトロンから構成されている。前段加速器である電子線型加速器の設計に当たっては将来の多目的利用を考慮して、加速エネルギーを比較的高くしたうえ、シンクロトロン以外へも電子ビームを提供できるようにしてある。

2.1.1 線型加速器

SPring-8 の設計が始まった時期に LURE や KEK-PF でイオントラップによる不安定性が観測され、多くの放射光施設が陽電子ビームを蓄積することを計画していた。そのため本計画でも陽電子の加速・蓄積を行うことにして、線型加速器の構成を電子銃を含む入射部、250 MeV 大電流電子線型加速器、その後設置された電子/陽電子変換ターゲットおよびその下流の900 MeV 主線型加速器とした¹⁾。その後、ESRF では200 mA の蓄積電流でも不安定性が確認されていないので、SPring-8 では試運転開始後もしばらくは電子ビームを用いることにした。これまでの運転では不安定性の生じる兆候は見られていない。

電子銃はカソードに Y796 (EIMAC) を用い、電子ビームのパルス幅を1 ナノ秒 (単バンチ)、10 ナノ秒 (陽電子多バンチ) と1 マイクロ秒 (電子多バンチ) に変えられるように設計されたが、試運転時にはマルチバンチ運転、シングルバンチ運転とも幅40 ナノ秒の電子ビームを用いている。電子銃から出た電子ビームは引き出し電圧180 kV で加速され、2 台のプリバンチャーと定在波加速管のバンチャーによって高周波加速位相に捕捉、加速される。線型加速器は長さ2.835 m の $2\pi/3$ 進行波型加速管26本からなり、80 MW の大出力クライストロン1 台が2 本の加速管に高周波を提供していて、平均の加速電場勾配は16 MV/m 以上である。パルスモジュレーターはパルス幅5 マイクロ秒、定格出力190 MW で繰り返しは60 MHz である。



Figure 1. An aerial view of the SPring-8 facility. The storage ring is built around a hill. The injectors are built at the level 10 m below the level of the storage ring.

表1 SPring-8 加速器の主要諸元

線型加速器		
Energy	Electron	1.15 GeV
	Positron	0.9 GeV
Repetition Rate		60 Hz
RF		2856 MHz
Total Length		140 m
Electron Gun	Cathod	Y 796
	Voltage	200 kV
Accelerator Columns	Number	26
Klystron	Number	13
	Max. Power (peak)	80 MW
シンクロトロン		
Injection Energy		1 GeV
Maximum Energy		8 GeV
Circumference		396.12 m
Repetition Rate		1 Hz
Number of Cells	FODO lattice	40
Super Period		2
RF		508.58 MHz
No. of Klystrons	1 MW output	2
No. of Cavities	5-cell type	8
Harmonic Number		672
蓄積リング		
Energy		8 GeV
Lattice Type	Chasman-Green	
No. of Cells	Normal Cell	44
	Straight Cell	4
Super Period		4
Circumference		1436 m
Stored Beam Current	Single Bunch	5 mA
	Multi-bunch	100 mA
Harmonic Number		2436
RF		508.58 MHz
No. of Cavities	Single-Cell Cavity	8×4
Revolution Period		4.79 μ sec
Natural Emittance		5.9×10^{-9} mrad
Coupling Constant		<10%
光源点データ		
No. of Straight sections	High β Sections	19
	Low β Sections	15
	Long Sections	4
No. of BM Sources		23
Electron Beam Size ($\sigma_x \times \sigma_y$, mm)	High β Sections	0.35×0.078
	Low β Sections	0.069×0.052
Beam Divergence ($\sigma'_x \times \sigma'_y$, mrad)	High β Sections	0.015×0.007
	Low β Sections	0.073×0.01

線型加速器は1996年8月1日から試運転を開始し、8月8日に最終エネルギーに到達した。

2.1.2 シンクロトロン

シンクロトロンはFODOリングで、その形状は入射用

機器と高周波空洞及び出射用機器を設置するため、2ヶ所の長直線部を持つレーストラック型になっている²⁾。周長が396.12 mで64台の偏向磁石、80台の4極磁石、60台の6極磁石から構成されている。積分磁場強度は全偏向磁石について測定され、そのばらつきは 8×10^{-4} (rms)であった。4極磁石および6極磁石の磁場分布も全数について測定され、0.2 mm (rms)の精度で並べられている。磁石電源は繰り返し1秒で運転されるが、その時間構造は入射に必要なフラットボトムが0.15秒、加速部が0.4秒、取り出しのためのフラットトップが0.15秒、磁場降下部が0.3秒である。

真空チェンバーは加速・減速時に渦電流による磁場分布の乱れを極力小さくするために、偏向部ではリブ付き薄肉ステンレスチェンバーを、直線部では肉厚1.5 mmのステンレスチェンバーを用い、内径は水平方向に80 mm、垂直方向に30 mmとした。高周波空洞は共振周波数が蓄積リングと同じ508.58 MHzで、ハーモニック数は672である。空洞の形状はスロット結合型の5連空洞である。加速空洞の数は8 GeV時に必要な最大加速電圧17.8 MVと、空洞のシャントインピーダンスの値から8台とし、それに必要な高周波電力1.7 MWは定格1.2 MWのクライストロン2台から供給している。なお、1 GeVから8 GeVに電子を加速する間に必要な加速電圧が変化するが、この電圧制御には2台のクライストロンの出力を一定に保ったまま、相互の高周波位相を変えて必要な加速電圧を得る方式をとっている。

シンクロトロンへのビーム入射はセプタム2台とキッカー電磁石2台を用いたon-axis方式で、ビームの取り出しはキッカー電磁石3台とバンプ電磁石を用いたシングルターン取り出しを行っている。蓄積リングを単バンチあるいは少数バンチで運転するときには、シンクロトロンでのRFロックアウトによって単バンチ化された電子ビームを蓄積リングに入射する方法を採っている。

シンクロトロンの試運転は1997年12月10日に始まった。同月16日には8 GeVへの加速に成功し、翌月の27日に8 GeV電子の引き出しに成功した。

2.2 蓄積リング

8 GeV蓄積リングはChasman-Green型の磁石配列(C-Gセル、図2A)44セルと、そのセルから偏向磁石2台を取り去った直線セル(図2B)4セルで構成されている4回対称リングである。しかし、各セルには収束電磁石として10台の4極磁石と7台の6極磁石が同じ配列で並べられており、C-Gセルと直線セルは基本的にはビーム運動学的に同じ性質を持っているので、48回対称リングとして取り扱ってよい。試運転開始後しばらくはこのような運転が続けられる。なお、直線セルは将来収束電磁石を両端に寄せて、中央に全長30 mの挿入光源が設置できる自由空間持つ「長直線部」に変更する予定である(図2C)³⁾。

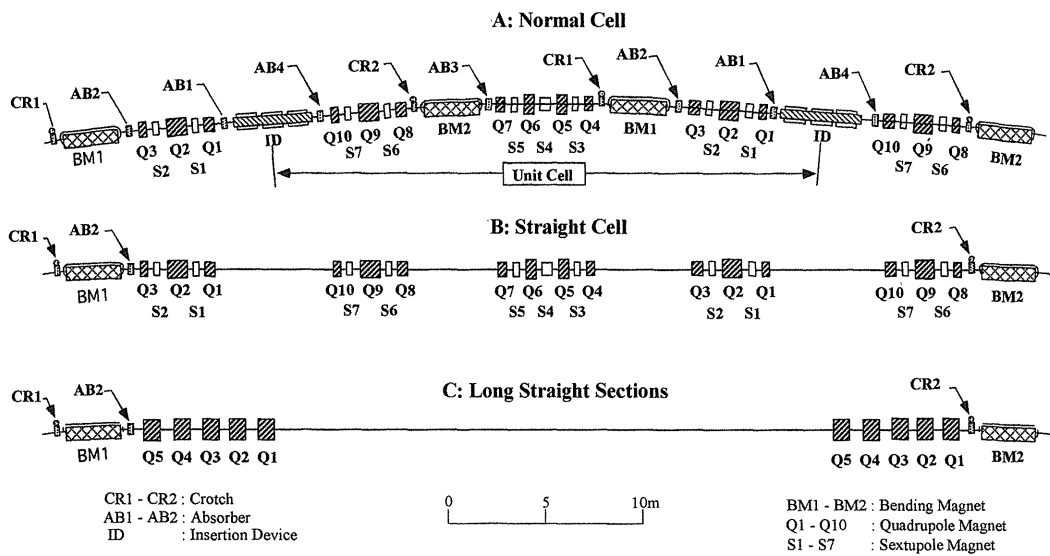


Figure 2. Lattice structure of SPring-8. Figure (A) is a lattice for a normal cell whereas (B) is for a straight cell. Figure C shows an example of a long straight section.

図3にC-Gセル及び直線セルのオプティカル関数を示した。各セルには6m長の運動量分散関数ゼロの自由空間があり、ビーム入射(1ヶ所)、高周波加速空洞の設置(4ヶ所)に使われるほか、主には標準型(4.5m長)の挿入光源の設置に用いられる。SPring-8では34台の標準型挿入光源と4台の長尺挿入光源が設置可能である。

C-G型磁石配列は強い収束電磁石を多数用いて、偏向磁石部分のベータ関数(β_x)と運動量分散関数(η_x)を小さくし、より小さな自然エミッタンスを実現する磁石配列である。そのためにはより強く精度の高い4極及び6極電磁石の製作と精密な据え付けが必要である。SPring-8の場合、磁場の均一度が4極磁石で 5×10^{-4} (rms)以下、6極磁石で 1×10^{-3} (rms)以下である。また磁場中心位置のアラインメントの精度は収束電磁石架台上では $\pm 25 \mu\text{m}$ (rms)以内、オーバーオールには $\pm 100 \mu\text{m}$ (rms)以内になっている⁴⁾。なお、自然エミッタンスの計算値は 5.6×10^{-9} mradである。放射光の輝度をあげるためには電子ビームの水平・垂直運動の結合常数をできるだけ小さくしなければならない。設計時には10%を仮定したが、将来必要ならばskew電磁石などを導入して結合常数を小さくする予定である。なお、試運転では1%に近い値を得ている。

蓄積リングには最終的には4カ所に高周波ステーションを設置するが、試運転開始までには3カ所のステーションを建設し、蓄積電流の増加に伴い残りの1ステーションを建設することにした。各ステーションは8台のベル型空洞とそれを $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 以内に温度制御する冷却システム、空洞に高周波を供給する高周波発生装置と高周波伝送系及び加速電圧や加速位相を制御する高周波励振系で構成されている。加速空洞は共振周波数が508.58 MHzでQ

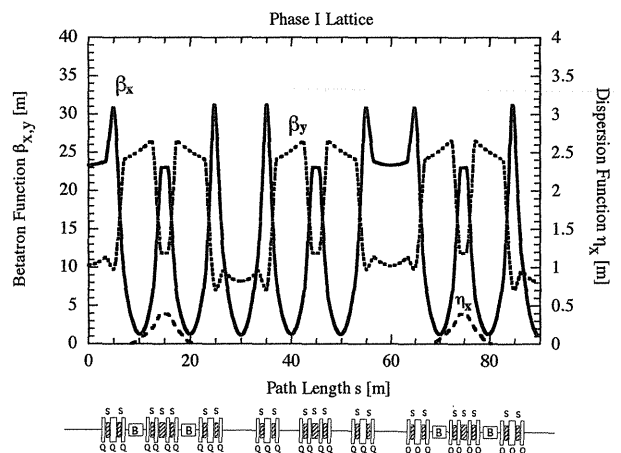


Figure 3. Optical functions (β_x , β_y and η_x) in Chasman-Green and straight cells. B denotes a dipole magnet, Q a quadrupole and S a sextupole magnet.

値が約40,000の単セル空洞で、バンチ結合型不安定性を誘起する高次モードのインピーダンスを低くした⁵⁾。さらに高周波の入力カップラーを4台には水平に、残りの4台には垂直に取り付けてモード分離を行い、また、個々の空洞の形状を僅かずつ変えて製作して、高次モードの周波数が同じ値にならないようにした。このほか可動型チューナー2基とプランジャーで高次モードの周波数のみを変える方法も開発した。この結果、バンチ結合型不安定性の閾値電流は200 mA以上と推定されている。高周波発生装置は定格1.2 MW、周波数508.58 MHzのCWクライストロンで、その高圧直流電源として新しくサイリスタ高圧電源を開発した⁶⁾。

蓄積リングのハーモニック数は2436で、電子の周回す

る周期は4.79マイクロ秒である。従ってマルチバンチ運転ではバンチ間隔が2マイクロ秒になり、核共鳴散乱の研究などには少数バンチ運転が要求される。例えば ^{57}Fe の核共鳴散乱の実験の場合には、21バンチ運転が行われている。単バンチあるいは少数バンチ運転を行うには、入射器と蓄積リングの間で精密なタイミング制御が要求される。線型加速器の電源と蓄積リングは400 m 以上も離れているうえ、ビームの入射・出射を行うパルス電磁石の励磁の時間的精度(ジッター幅)には ± 100 psの精度を要求しているものがある。そこで、信号伝送光ケーブルの実効伝送速度の温度依存性がきわめて小さいものを選び出して用いるなど、精密タイミング系を開発した。

蓄積リングの真空系⁷⁾はセルに共通の真空系、即ち、偏向磁石チェンバー2台、2種の直線部チェンバー計3台、クロッチチェンバー2台、挿入光源設置部のダミーチェンバー1台と、これらのチェンバーの接続部に当たるベロー4台、ゲートバルブ2台などで構成されている。ダミーチェンバーは将来挿入光源が設置されるときには挿入光源チェンバーと交換される。これらのチェンバーは挿入光源チェンバーをのぞいてすべてアルミ合金で製作されており、電子ビームが通るビーム室と高真空排気を行う側室からなっている。主な真空排気装置は側室に設置された非常発型ゲッター(NEG)で、ビーム室と側室の間に設けられた放射光を通すスロットを通して真空排気している。なお、偏向磁石チェンバーには分布型イオンポンプも設置されている。クロッチチェンバーにはNEGを用いた局所型真空排気装置を取り付けて、クロッチで発生するアウトガスを真空排気している。到達真空度はビーム電流ゼロで10 nPa, 20 mA で100 nPa 以下である。

ビーム診断系はビーム位置モニター(BPM)と、電流モニター、チューンモニターおよび入射ビームを観測するスクリーンモニターとそれらに付随した信号処理系で構成されている。BPMは各セルの直線部チェンバーの6極電磁石(C-Gセル中央対称点にあるものを除く)下流側に直接溶接された4個のボタン電極を1組にして、各セルに6組、総計288組が取り付けられている。その信号処理系は、蓄積リング1周の閉軌道歪(COD)を高精度出測定する方式(CODモード)と、周回ごとのビーム位置を測定する方式(シングルパスモード)がともに可能なシステムである。一方、電流モニターとしては、DCCTによる蓄積電流計測システムとパルストランスを用いて1バンチあたりの電荷量を計測するシステムが装備されている。

蓄積リングは全体としてコンクリート遮蔽壁で囲まれたマシン収納部に設置されている。蓄積リング棟は地盤沈下などによる経年変化や冷却ポンプなどで発生する振動の伝達を極力減らすために、堅い岩盤の上に建設されているほか、さらにマシン収納部は縁切りスリットにより構造上他の部分と切り離されている。

2.3 制御系

SPring-8の制御系は⁸⁾入射器制御系、蓄積リング制御系、中央制御系及びビームライン制御系の独立したシステムを100 Mbpsの通信速度を持つFDDIネットワークで結合したシステムで6カ所にFDDIノードが設置されている(図4)。入射器制御系はサーバーDECNetが採用されているため、マルチプロトコルルーターをノードシステムにしてEthernetを介して機器制御インターフェースVMEが接続されている。いっぽう、蓄積リング制御系は4カ所にノードシステム(Ethernet Switching Hub)があり、機器制御用VMEに接続されている。中央制御室では同じノードシステムを介してUNIXワークステーションによって全系の制御が可能になっている。使用しているソフトウェアは上位ワークステーションがUNIX, VMEシステムはリアルタイムOS(HP-RTあるいはOS-9)である。

蓄積リングの試運転は1997年3月13日に開始された。25日にはRF捕獲に成功し、偏向磁石からの放射光をBLフロントエンド(FE)部で観測した。さらに4月17日には当面の蓄積電流値19.6 mAを実現し、23日にアンジュレータからの放射光をFE部で観測に成功した。

3. SPring-8 挿入光源

第3世代放射光源にとって挿入光源の性能は、施設全体の性能を決定する最重要な要素である。高輝度、広範囲の波長可変性、偏光特性、干渉性、マイクロビーム、パルス特性など放射光の持つ優れた特性はほとんど挿入光源からの放射光によって実現されてきた。SPring-8の場合、真空封止型挿入光源の開発で磁極間隙の可変範囲が広がり、また、電子エネルギーが8 GeVであることも加わって、アンジュレータから得られるX線の波長領域が大幅に広がっている。例えば標準型(周期長 $\lambda_0=32$ mm)のアンジュレータからは、図5に示したように、基本光として5.2~18.5 keV、3次光として15.5~51 keV、5次光として26~75 keVのX線が得られ、しかもその輝度は 10^{19} (光子/秒/mm²/mrad² in 0.1% b.w.)を越えている。この結果、よほど高いエネルギーのX線を要求する場合はのぞいてウィグラーは必要でなくなり、光学素子などの熱負荷問題が大幅に改善されてきた。なお、最初の真空封止型アンジュレータの磁場分布から得られた7次光の輝度は理想値の80%である。

SPring-8では新しい型の挿入光源が開発されている⁹⁾。標準的な仕様として全長が1.5 mで、同型3基を組み合わせ、あるいは異なった型の挿入光源を2台組み合わせ、標準長(6 m)の直線部に設置する。もっとも多く用いられている挿入光源は、周期長32 mmと24 mmの縦磁場真空封止型アンジュレータである。この場合、放射光は水平面に直線偏光しているが、実験によっては垂直面に直線偏光した放射光が必要とされるので、水平磁場のア

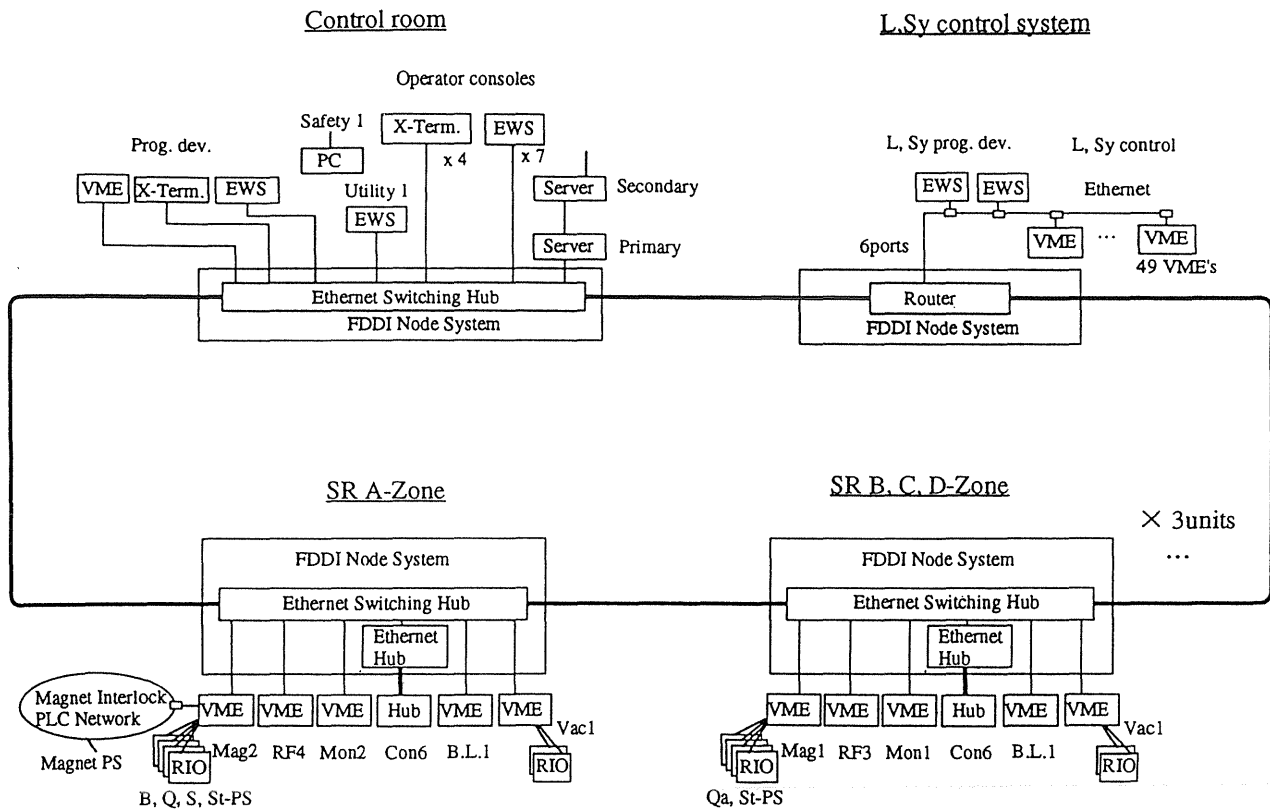


Figure 4. Control system and network.

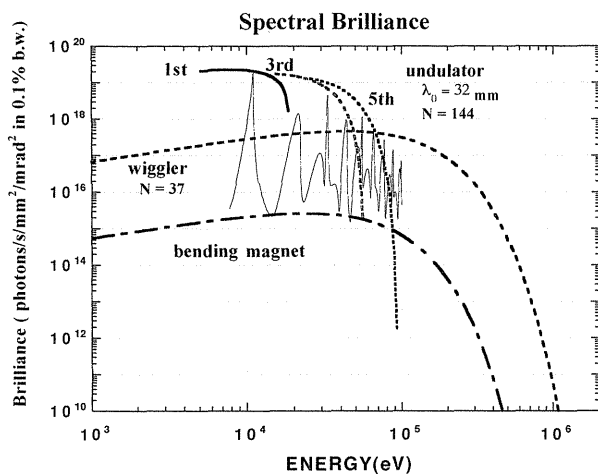


Figure 5. Spectral brilliance of synchrotron radiations from a bending magnet, a wiggler, and an undulator of SPring-8. They are calculated assuming 6 nmrad emittance, 10% coupling and 100 mA stored current.

ンジュレータが開発された。これは真空封止型だから可能になったものである。いっぽう、円偏光の放射光を発生させるために、同じ周期長を持つ縦磁場と横磁場をもつヘリカル型アンジュレータが製作されている。円偏光放射光の場合、挿入光源の光軸上には基本波以外の成分は存在しないので、高次光のバックグラウンドを排除して基本波だけの

高フラックスの放射光を得ることができる。SPring-8では現在ヘリカルアンジュレータからの放射光を光学素子を通さないで引き出して使用する High Flux BL が計画されている。

ヘリカルアンジュレータで磁場強度を高くしてK値が1より大きくすると、基本波の波長が長くなっていく。こうして得られる軟X線は、光軸上には高エネルギー成分がないので、バックグラウンドの少ない優れた特性を有している。SPring-8では500 eVから数keVまでのX線を使用する軟X線BLが建設されている。いっぽう、縦磁場と横磁場の周期長を1:2にすると、電子ビームは右回りと左回りのヘリカル運動を交互に繰り返す軌道を進む。この場合、放射光は光軸上には基本波しか来ないという特性は保存したまま直線偏光になる¹⁰⁾。

真空封止型の大きな特徴は電子ビーム入射時には磁極間隙を大きく開けることで、磁極間隙を小さくしなければならない周期長の短いアンジュレータ(ミニポールアンジュレータ)が実現できる。SPring-8では周期長11 mmのミニポールアンジュレータを製作し、アメリカのBrookhaven国立研究所の放射光施設に設置した。

以上の他、縦磁場と横磁場を同時に発生するように配列された上下の磁極列をさらに2分割し、対角上に位置する2つの磁極配列を1組にして相互の磁場分布の位相を変え、円偏光のヘリシティと直線偏光の偏光面を変えられ

るアンジュレータ (偏光可変アンジュレータ) からのビームラインが建設されている。

4. SPring-8 のビームライン

SPring-8 には挿入光源を設置できる直線部が38ヶ所あり、そのうち4ヶ所が長直線部である。いっぽう、23台の偏向磁石にも BL が取り付けられるようになっており、総計で61本のビームラインが設置できる。4カ所の長直線部に設置される挿入光源は技術開発が必要で、現在その検討が進められている。残りの34本は標準長の直線部に設置される挿入光源で、前節に記した各種の挿入光源が建設されている。

SPring-8 のビームラインは、挿入光源あるいは偏向磁石に接続したフロントエンド (FE) 部、光学素子などを設置するトランスファーチャンネル (TC) 部と実験ステーションからなっている。FE 部はマシン収納部内に設置され、蓄積リングとビームラインの真空を切り離すためのベリリウム窓、放射光のシャッター、スリット、アブソーバーや光位置モニター (XBPM) などから構成されている。これに対して、TC 部と実験ステーションはマシン収納部の外側に建設された実験ホールに設置されていて、鉛板と鉄板のサンドウィッチ構造をした遮蔽体でつくられた

表2 SPring-8 ビームライン

Total Number of Beamlines	61
Classification by Source Type	
Insertion Device Beamlines (BL)	38
BL from normal straight sections (high β)	(19)
BL from normal straight sections (low β)	(15)
BL from long straight sections	(4)
Bending Magnet Beamlines	23
Classification by Users	
Public Beamlines	>30
Contract Beamlines	10~20
JEARI/RIKEN Beamlines	<10
R & D and Machine Study	5

ハッチ (光学ハッチ及び実験ステーションハッチ) に収納されている。FE 部には主にモノクロメータやミラーなどの光学素子が設置されている。TC 部と FE 部と使われている多くの BL コンポーネントは規格化され、建設及びメンテナンスの省力化を図っている。

SPring-8 のビームラインは利用形態によって4グループに分類されている (表2)。第1は SPring-8 が建設し共同利用に供されるビームライン (共用 BL) で、30本が予

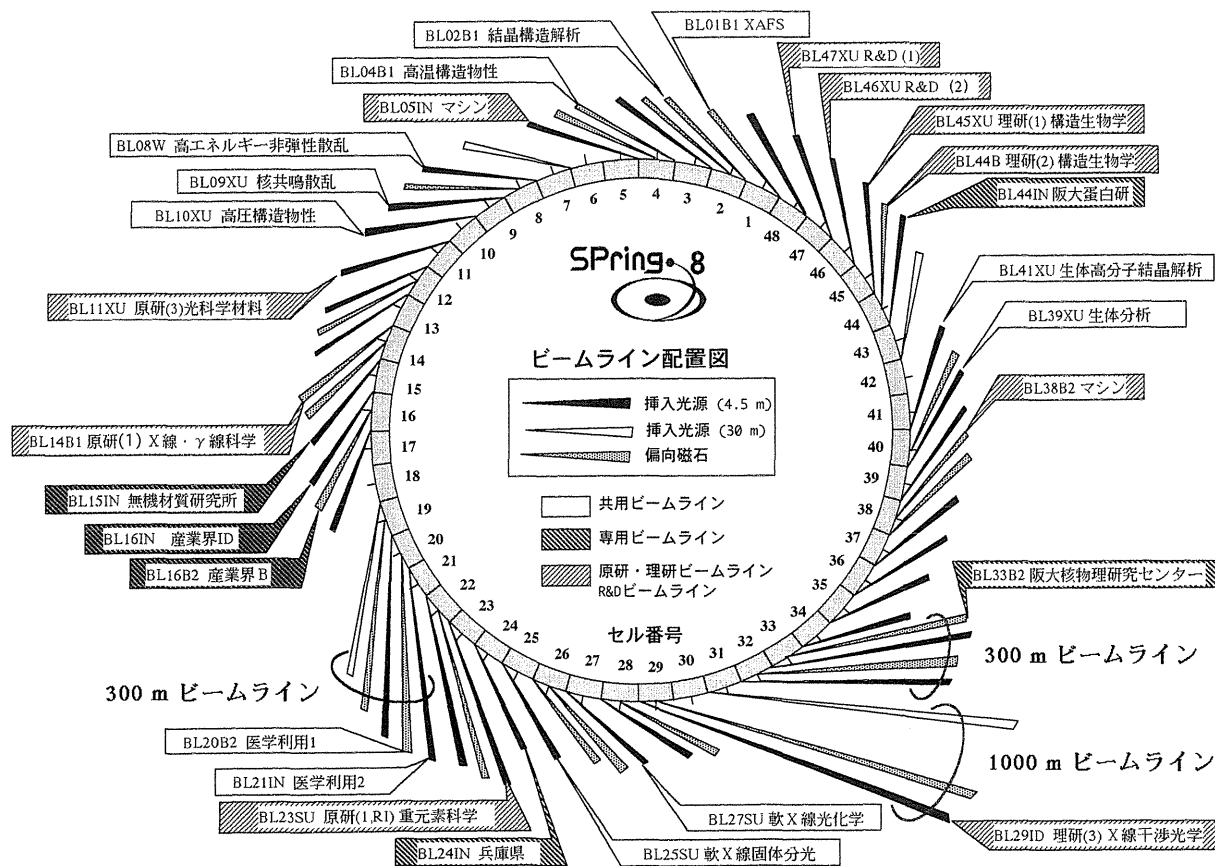


Figure 6. Layout of SPring-8 beamlines.

定されている。既に11本のビームラインについて建設予算が認められ、そのうち10本が10月からの供用開始に間に合うように建設されている。共用 BL は、課題を研究課題採択委員会で審査、採択された実験課題のみが利用できるもので、国内研究者のみならず国外の研究者にも開放されている。いっぽう、ある機関が自己の予算で建設し専用的に利用するビームライン（専用施設）が全体で10~20本設置される予定である。建設計画が専用施設委員会で審査、採択されたもののみが建設されることになっており、約30%のビームタイムを外部の利用に提供する義務を負っている。これまで既に5本の建設が進められているほか、外国から3本の提案が寄せられている。これに対して、原研と理研は計画推進者として独自のビームラインを建設し使用することができ、既に各3本のビームラインが建設中である。また、加速器の性能測定に用いるため挿入光源ビームラインと偏向磁石ビームライン各1本と、光学素子や検出器あるいはマイクロビームなど新しい光学系の開発に利用する2本のビームラインを建設している。レーザー光を電子ビームに正面衝突させ、コンプトン後方散乱により発生する数 GeV 領域の高エネルギー X 線を原子核構造の研究に用いる計画も提案されている。

図6に既に建設中あるいは建設が認められたビームラインの全体配置図を示した。また、表3には建設中の共用 BL と専用 BL 原研 BL, 理研 BL 及び R & D BL の一覧をあげておく。

5. Spring-8 試運転開始後の状況

既に述べたように SPring-8 全体の試運転は1998年3月13日に始まり、3月25日に蓄積に成功、翌日には既に建設が終わっていた偏向磁石 BL (BL01B1) の FE 部で放射光を観測した。この時点では蓄積電流は0.05 mA であった。その後蓄積電流の増加とアンジュレータ BL (BL47XU) の建設を進め、4月17日に当初の蓄積電流目標値 (20 mA) として許可を得た19.7 mA を達成、さらに4月22日にはアンジュレータからの放射光を BL48XU の FE 部で観測に成功した。なお、6月には20 mA での蓄積電流の寿命は30時間を越えた。

3月から7月までの試運転によって、蓄積リングの新しいデータが得られている。まず、COD データのフーリエ解析の結果から、リングの周長が1日に2回延び縮みしていることが明らかになった。これを月および太陽による地球潮汐の結果と比べると、振動の周期及び位相がきわめてよく一致している (図7)¹¹⁾。

その後は放射光によるベーキング、COD と運動量分散関数の補正、軌道安定化のための原因調査などを行うとともに、平行して BL01B1, BL47XU の立ち上げ調整を進めた。7月からは新たに偏向磁石 BL 2本 (BL02B1, BL04B1) と挿入光源 BL が6本 (BL09XU, BL10XU, BL39XU, BL41XU, BL45XU 及び BL08W) の立ち上げ

表3 建設中のビームライン一覧

Beamline Number	Name	Source
Public Beamlines		
ID Beamlines		
BL08W	High Energy Inelastic Scattering	EMPW*
BL09XU	Nuclear Resonant Scattering	U (in-vac)**
BL10XU	Extremely Dense State	U (in-vac)
BL39XU	Physicochemical Analysis	U (in-vac)
BL41XU	Biocrystallography	U (in-vac)
BL25SU	Soft X-ray Spectroscopy of Solid	Twin-Helical
BL27SU	Soft X-ray Photochemistry	Figure-y U
BM Beamlines		
BL01B1	XAFS	BM
BL02B1	Crystal Structure Analysis	BM
BL04B1	High Temperature Research	BM
Contract Beamlines		
BL15IN	WEBRAM (NIRIM)***	ID
BL16XU	Industrial Consortium ID#	U (in-vac)
BL16B2	Industrial Consortium BM	BM
BL24XU	Hyogo Beamline	U (in-vac)
BL44XU	Macromolecular Assemblies (IPR, Osaka Univ.##)	U (in-vac)
JEARI/RIKEN Beamlines		
JEARI		
BL11IN	Surface Science	ID
BL25SU	Actinide Science	Varibly-Polarizing U
BL14B1	High Pressure Science	BM
RIKEN		
BL29IN	Coherent X-ray	ID
BL44B2	Structural Biology II	BM
BL45XU	Structural Biology I	U (in-vac)
R & D and Machine Study		
BL05In	Machine Study I	ID
BL38B2	Machine Study II	BM
BL46XU	R & D II	U (in-vac)
BL47XU	R & D I	U (in-vac)

* Elliptical Multipole Wiggler

** In-vacuum Undulator

*** Wide Energy Range Beamline for Research in Advanced Materials National Institute for Research in Inorganic Materials

Industrial Consortium ID for Materials Research

The Institute for Protein Research, Osaka University

調整が進められている。このうち BL01B1, BL02B1, BL04B1, BL47XU では7月から最初のテスト実験が開始され、データが得られている。

SPring-8 の建設はほぼ終了し、10月から本格的な共同利用が開始される。これまでの試運転の実績から、SPring-8 はきわめて高性能で安定に稼働することが明らかになっている。

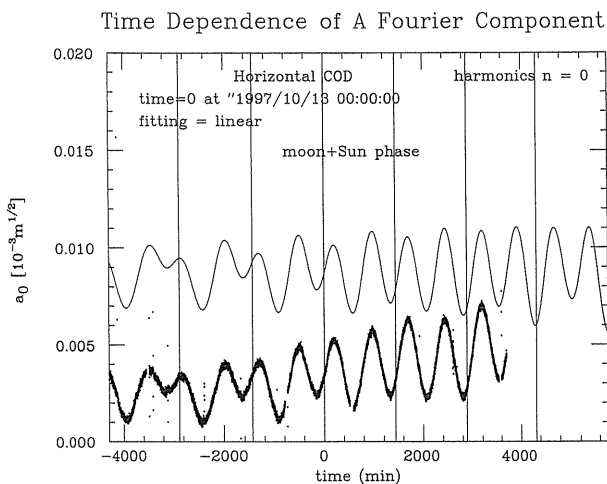


Figure 7. Variation of circumference of the SPring-8 storage ring.

6. 終わりに

第6回放射光装置国際会議 (SRI '97) 以後の成果をここでまとめておく。SPring-8の共同利用が始まった10月以降、2週間を1サイクルとして定常運転を行い、既に5サイクルが終わっている。1サイクルは、月曜日に機器の点検、火曜日から運転を開始し、金曜日午後3時までがマシンの調整とビーム位置の安定化及びマシンスタディに

要する時間として施設者側で使っている。その後ビームタイムをユーザーに開放し、翌週の金曜日夕刻まで24時間連続の運転を行っている。12月の最後には試験的に3週間を1サイクルとする運転を行った。また、核共鳴BLの利用者からの要求に応じて、21バンチ運転を行った。少数バンチ運転時における隣接バンチへのビームのこぼれは 10^{-6} 以下であり、きわめて純度が高い。なお、何らかのトラブルで失われるビームタイムは数%であり、トラブルの大半はXBPMの誤動作である。

文献

- 1) H. Yokomizo et al.: Proc. 15th Int. Conf. on High Energy Accel., p 558 (1992).
- 2) H. Yonehara et al.: Proc. 1993 Particle Accelerator Conference, p 1964.
- 3) M. Hara et al.: Proc. 2nd European Particle Accel. Conference, p 466 (1992).
- 4) 熊谷教孝: 放射光 9, 384 (1996).
- 5) H. Ego et al.: Nucl. Instr. and Meth. A 400, 195 (1997).
- 6) N. Kumagai et al.: Proc. Int. Power Electronics Conference, p 1497 (1995).
- 7) S. H. Be et al.: Proc. 1989 Particle Accel. Conference, 571.
- 8) 田中良太郎: 放射光 9, 193 (1996).
- 9) H. Kitamura: Re. Sci. Instrum. 66, 2007 (1995).
- 10) 田中隆次: 放射光 10, 251.
- 11) 熊谷教孝: SPring-8 利用者情報 vol. 3, No. 1, 8 (1998).