

ソルテック1GeV放射光源施設

中村 史朗 岡田 浩一

株式会社ソルテック

SORTEC 1GeV Synchrotron Radiation Source Facility

Shirou Nakamura and Koichi Okada

SORTEC Corporation

Synchrotron radiation is expected to offer remarkable possibilities for many fields of science and technology. In recent years, there are worldwide interests in the field of industrial applications including x-ray lithography.

The major purpose of SORTEC Corporation is to study the application technologies of synchrotron radiation. Therefore, the 1 GeV synchrotron radiation facility at SORTEC is optimized for the production of soft x-rays around 1 nm which meet the lithography requirements.

The construction of the synchrotron radiation source has been completed in the end of March 1989 at Tsukuba Research Laboratory of SORTEC.

The first beam was stored in the storage ring at the design energy on September 28 1989. The stored beam current of 200mA, which is our design goal, has been successfully achieved with the beam lifetime of over 4 hours only one month after the first beam storage. At present, the beam lifetime reached over 8 hours.

This paper gives a summary of the characteristics of the facility and describes the remarkable progress during the initial beam operation.

Moreover, the design features of beam lines for the lithography use installed in the storage ring are also described including the current status.

1. はじめに

(株)ソルテックはシンクロトロン放射光の利用技術を確立することを目的に基盤技術促進センター（出資7割）と関連企業13社（出資3割）の出資を得て、昭和61年6月に設立された会社組織の研究施設である。研究内容は、

- ①高輝度で安定なシンクロトロン放射光源（SOR光源）装置技術
- ②シンクロトロン放射光を効率よく安定に利用施設に導き出すためのビームライン技術
- ③超微細加工のための超精密・高精度アライナ技術

に関するものである。

ソルテックの1 GeV放射光源施設は、これらの研究を効率よく実施していくために建設されたものである。この施設の中核をなす電子エネルギー1 GeVの放射光源装置は、利用技術の研究に最適な光源を早期にかつ確実に実現することを第一の目的として設計・製作されている。同時に、産業用放射光源装置としての基本技術や高度化技術を研究することも目的の一つである。

この放射光源装置の製作は昭和62年12月に開始し、昨年（平成元年）3月末当社の筑波研究所に据え付けを完了した。昨年7月末から実際にビームを使った調整試験を開始し、2カ月後の9月28日には初のビーム蓄積と放射光の発生に成功している。更に、その1ヶ月後には蓄積電流200mA、ビーム寿命4時間以上という本装置の目標性能値を達成した。現時点では、ビーム寿命は更に伸び200mAで8時間に到達している。

本装置から得られた放射光は、波長 10\AA において $40\text{mW}/\text{\AA}/\text{mrad}^2$ という高いパワー密度を持つ安定した光であり、半導体リソグラフィに代表される産業利用技術を研究するうえで極めて有効な光源であると考えられる。

ビームラインについては、平成元年度上期後半から製作を開始し、本年3月末に放射光源施設への設置を完了した。当面4本のビームラインを設置し、2本はリソグラフィ応用研究、1本は基礎的リソグラフィ研究、1本は超高真空材料評価への使用を目的としている。現在、アブゾーバ、ミラーなどの素子の放射光による枯らしを行っている。

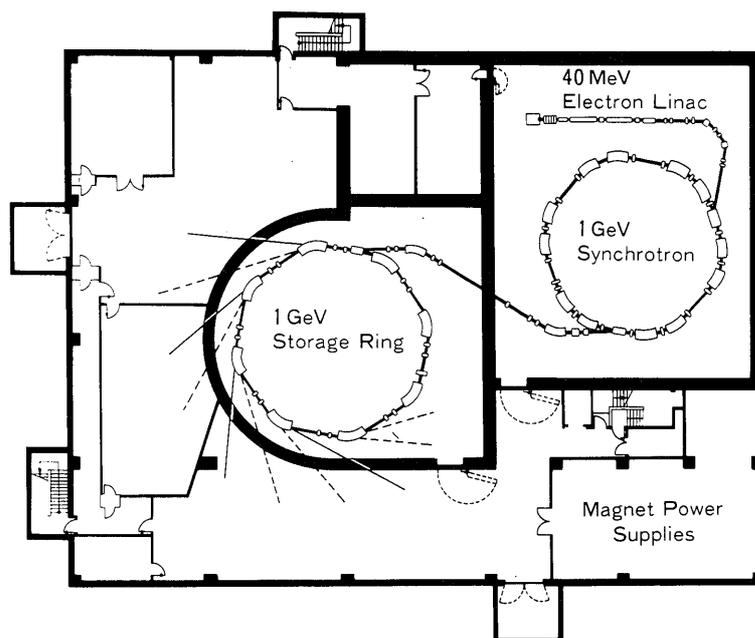
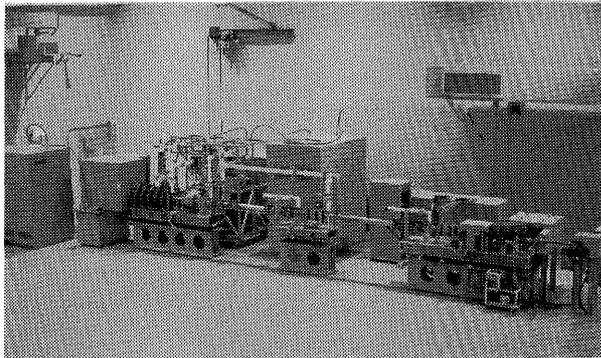


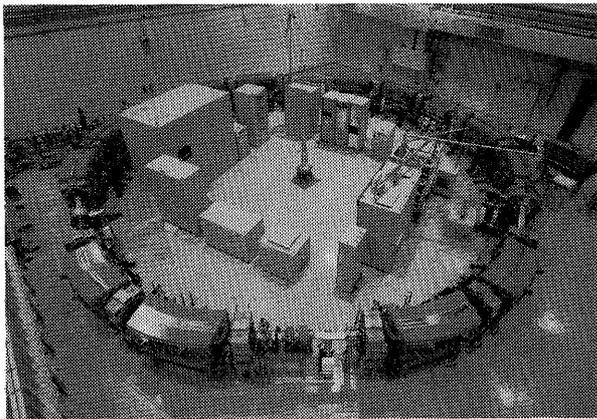
Fig. 1 The layout of SORTEC 1 GeV synchrotron radiation source facility

利用技術の研究のための本格的なビーム運転は、この5月から開始を予定している。

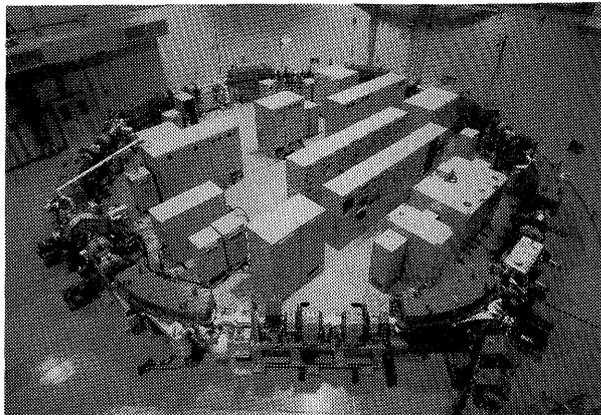
以下では放射光源装置ならびにリソグラフィ専用ビームラインについて、それらの設計方針、装置構成の概要、及びこれ迄に得られたビーム特性や設置状況を中心に現状を紹介する。



(a)



(b)



(c)

Fig. 2 Overview of the synchrotron radiation source:
(a) Electron linac, (b) Electron synchrotron,
(c) Electron storage ring(SOR ring)

2. 施設の概要

図1に、本施設を設置している実験棟(地上1階, 地下1階構造, 床面積: 40m×53m)の地下1階部のレイアウトを示す。

光源装置は図に示したように、40MeVの電子ライナック(前段入射器)、40MeVのビームを1GeVに加速する電子シンクロトロン(入射器)及び、1GeVの電子蓄積リング(SORリング)から構成されている。

電子蓄積リングの周囲には、厚さ1mのコンクリート壁を介して複数の放射光利用実験室が配置されている。完成した4本のビームラインを経由して放射光が利用実験室に導かれている。なお、蓄積リングには図に示すように最大10本のビームラインが取付けられるよう放射光取出しポートが設けられている。この内8本は周囲の実験室に放射光を取出すことが可能である。

運転は、実験棟地上1階部に設けられた制御室から行われる。地上1階には、この他に空調機械室が設けられている。

図2はそれぞれの加速器の外観を示したものである。ライナックの全長は約9.5m、電子シンクロトロンと電子蓄積リングの直径はそれぞれ約14m、約15mである。図3に、制御室に配置されている運転・制御装置の外観を示す。

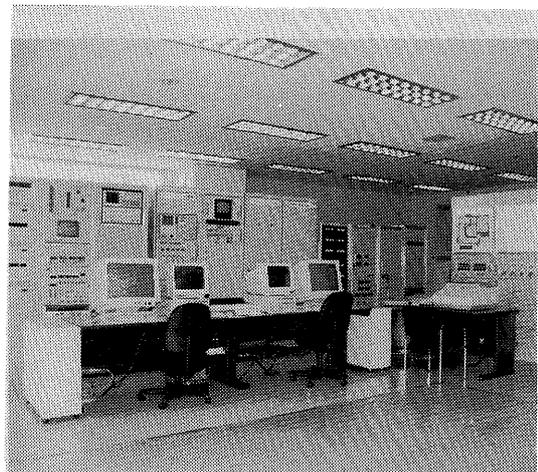


Fig. 3 Overview of the control system

3. 1 GeV放射光源装置

3-1 装置の設計方針

本装置は放射光の産業利用を目指した研究用光源であることから、安定で強度の高い放射光をできるだけ確実に、かつ早期に得ることが必要である。従って、その方式設計においては、専用の入射器を備えて加速と蓄積とを機能別に分離したフルエネルギー入射方式を用いるとともに常電導電磁石方式を採用し、技術的に確実な光源を目指した。

電子蓄積リングのパラメータ設計においては、半導体リソグラフィ応用の観点から必要と考えられる以下の諸条件を満足することを基本とした。

- ①ピーク波長 $5\text{\AA} \leq \lambda_p \leq 10\text{\AA}$
- ②放射光強度 (10Å 中心)
 - $\geq 40\text{mW}/\text{\AA}/\text{mrad}^2$
 - (7~13Å) $\geq 240\text{mW}/\text{mrad}^2$
- ③ビーム寿命 $\geq 4\text{hr}$
- ④電子ビームサイズ (2σ) $\leq 7\text{mm}$

①と②については、蓄積リングの電子エネルギーと偏向磁場及びビーム電流の三つの主要なパラメータを決めれば一意に定まる量である。しかし、逆に波長や強度の条件からそれらを満たす蓄積リングパラメータを決定する過程には十分な考察が必要である。

図4は、蓄積リングの基本パラメータを検討するために作成した図である。横軸に偏向磁場(B)、縦軸に電子エネルギー(E)をとり、得られる放射光のピーク波長(λ_p)、一定の放射光強度を得るために必要なビーム電流値、及び偏向半径(R)とを等高線で表示している。

①の条件からパラメータ選択の範囲が図中央部の太い2本の実線にはさまれる領域に限定されることが判る。更に早期に実現できるように、200mA以下のビーム電流値で②の条件を満足する範囲に絞る。これにより、パラメータの選択範囲は図のハッチ部に限定される。更に、常電導電磁石

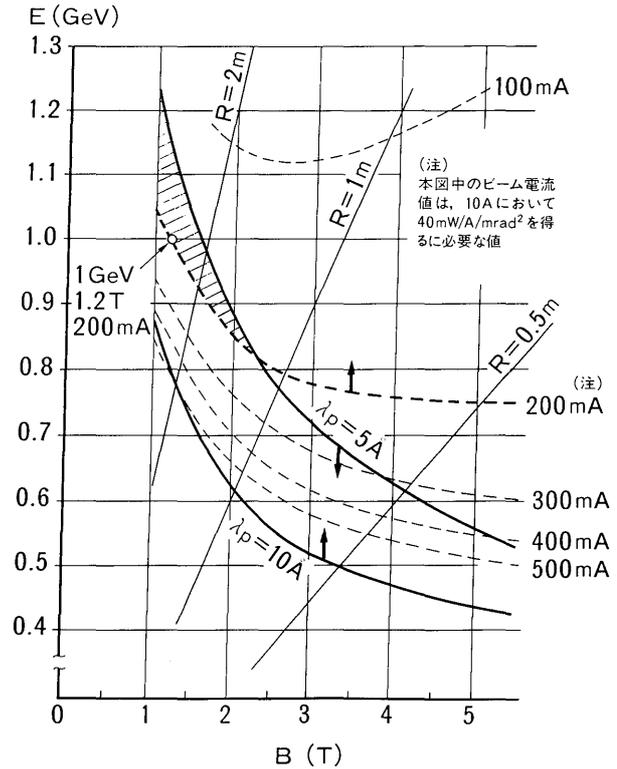


Fig. 4 General diagram giving relations between major parameters of synchrotron radiation source and obtained spectrum

として実績の多い磁場の強さを選ぶと同時に偏向半径が過大とならないことを念頭において最終的な基本パラメータを1 GeV, 1.2T, 200mAと決定した。

図5は、蓄積リングから得られる放射光の波長スペクトルとその垂直方向の空間分布を示したものである。なお、条件②として設定したパワー密度の値は本図で示した垂直方向±0.5mradの範囲の平均値である。従って、ビーム軌道平面上では、その平均値の1.5倍以上のパワー密度(10Åにおいて、64mW/Å/mrad²)となっている。

条件③は、主としてリングの真空設計や高周波系の設計に依存する量であり、値としては実現可能な値である。しかし、従来の同種の装置の実績からみて早い時期にこのビーム寿命を実現することは簡単ではないと考えられる。従って、設計段階では長期的な目標値とみなした。

条件④は、光源点からウエハー面迄の距離を7

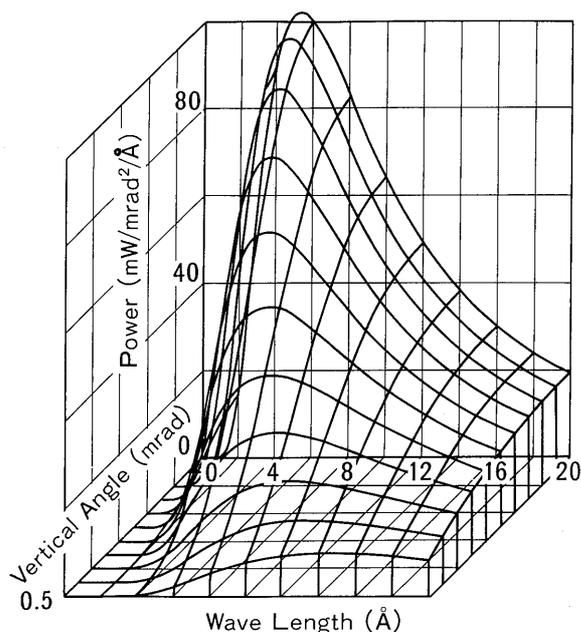


Fig. 5 Spectrum and its spatial distribution

m, プロキシミティギャップを $20\mu\text{m}$ と仮定し、半影ぼけを 20nm 以下とする条件から設定した値である。この値は比較的大きなビームエミッタンスを許容するものであり、低エミッタンスが一般的に要求される大型放射光装置に比べ、リソグラフィ用途の光源の特徴の一つといえる。この数値は、通常の蓄積リングの設計で十分実現可能である。但し、本条件については今後電子ビームの軌道条件や照射面積拡大方式を含めた厳密な解析が必要と考える。

以上述べた設計方針にもとづいて定めた主要パラメータを表1に示す。同表には、設計値と共に初期の調整で得られた達成値（但し、平成元年10月末時点）も併記している。ここに示されているとおり、電子エネルギー、ビーム電流及びビーム寿命の全てが初の蓄積後1ヶ月の時点で設計目標値に到達している。この時期はまた、入射器系を含めたビーム調整を開始してから僅か3ヶ月の時点に相当し本光源装置の搬入を開始してから約1年後、製作開始時点からいけば2年足らずの時期に当たる。更に、この1カ月後にはビーム寿命は 200mA で8時間に到達している。

Table 1 Major parameters of 1GeV synchrotron radiation source with the achieved values as of Oct. 31 1989

	Designed	Achieved
Storage Ring		
Energy	1GeV	1GeV
Dipole Field	1.2T	1.2T
Bending Radius	2.78m	-
Critical Wavelength	15.5Å	-
Peak Wavelength	6.5Å	-
Beam Current	200mA	200mA
Beam Lifetime	4hr	4hr
Circumference	45.7m	-
Synchrotron (Injector)		
Injection Energy	40MeV	40MeV
Maximum Energy	1GeV	1GeV
Dipole Field (maximum)	1.1T	1.1T
Beam Current	30mA	30mA
Circumference	43.2m	-
Linac (Pre-Injector)		
Energy	40MeV	40MeV
Beam Current*	>30mA	60-80mA
$\Delta E/E$	< $\pm 1.5\%$	$\pm 0.67\%$
Emittance	< $3.8\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$	$0.7\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$

*Useful beam current which satisfies values of $\Delta E/E$ and beam emittance

このように従来に例のない短期間のビーム立ち上げを実現できたことは、上に述べた装置設計の基本方針とパラメータ選択の妥当性を示したものといえよう。

以下、主要装置の概要を述べる。なお、これらの装置の製作に関しては電子ライナック、電子蓄積リングについては三菱電機(株)が、電子シンクロトロンについては(株)東芝がそれぞれ担当した。また制御システムについては三菱電機(株)（一部(株)東芝）が担当した。

3-2 電子ライナック^{2), 3)}

前段入射器としてのライナックに対しては、一般に電子シンクロトロンで捕獲することのできる良質のビームをできるだけ多く供給することが要求される。即ち、大電流ビームの加速と同時にエ

ミッタンスやエネルギー分散が小さいビームの発生が課題である。更に、全システムの中でそのエネルギーをどのように選定するかもポイントの一つである。

本装置では、電子シンクロトロン最大のエネルギーが比較的高いこと、全体の装置構成の空間配置との整合性を考慮して、従来から前段入射器としてよく用いられている15MeV~20MeV前後の加速管を2本組み合わせる1台のクライストロンでドライブするライナックとした。加速管の長さは1本約2.3mである。また、ピーク出力35MWのクライストロン(PV-3035)の出力をプリバンチャ2個、バンチャ、及び2本の加速管に分配している。

3-3 電子シンクロトロン⁴⁾

入射用電子シンクロトロンの設計パラメータを表2に、その構成を図6に示す。

電子ライナックからビーム輸送系を經由して導かれる電子ビームは、4台のバンブ電磁石と入射用セプタム電磁石により最大10回転のマルチターン入射が行われる。最大エネルギーへの加速は400

ms,繰り返しの頻度は最大1.25Hz (周期800ms)で設計されている。電子ビームの入射と加速及び出射の一連の動作は、制御システムから送られてくるトリガパルス(1サイクル信号)を基準にして、加速時の電圧・電流パターンメモリ及びタイミング設定器を用いて行われる。この1サイクル信号の周期は可変であるので、繰り返しの頻度は1.25Hz以下の範囲で任意に設定可能である。

出射系は、ファーストキッカー電磁石と出射用

Table 2 Design parameters of the electron synchrotron

Injection Energy	40MeV
Maximum Energy	1GeV
Circumference	43.19m
Bending Radius	3.03m
Lattice Structure	FODO
Beam Current	30mA
Repetition Rate	1.25Hz
Betatron Tune (ν_x/ν_y)	2.25/1.25
Maximum Dipole Field	1.1T
Maximum Gradient of Quadrupole field	4.8T/m
RF Frequency	118MHz
Maximum RF Voltage	60kV
Vacuum Pressure (with beam)	$<1 \times 10^{-6}$ Torr

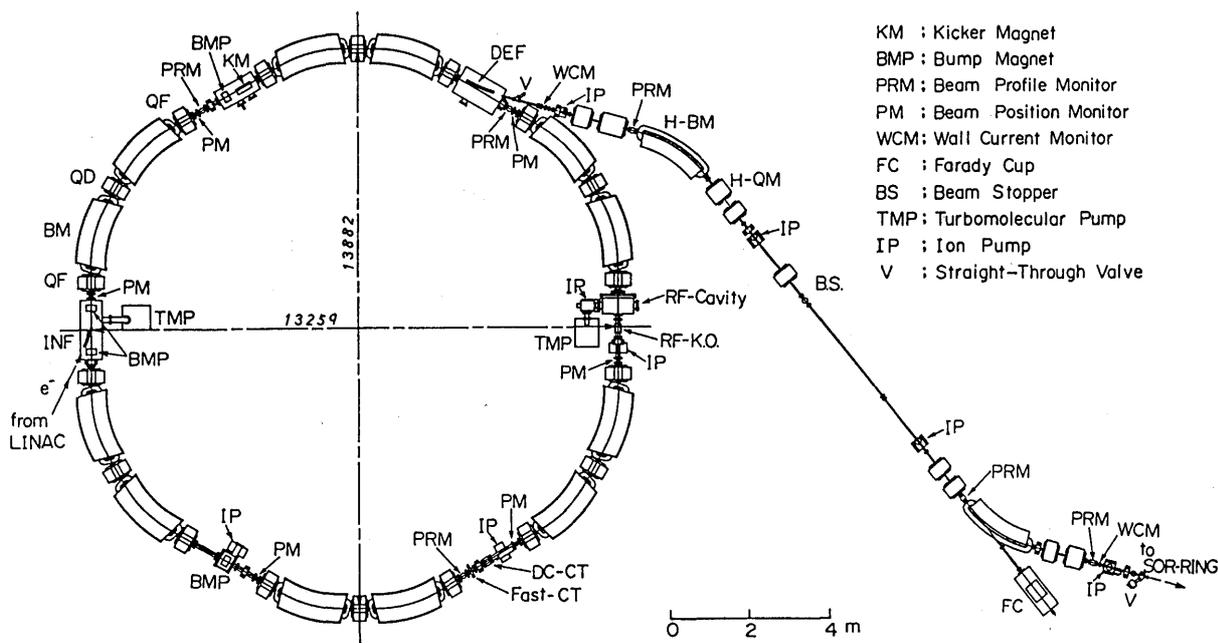


Fig. 6 The electron synchrotron

セプトム電磁石により行われる。偏向電磁石, 4極電磁石の鉄心はいずれも板厚0.5mmの珪素鋼板の積層構造とし, 対応する部分の真空ダクトはベローズタイプとしている。また加速用の高周波空洞は, 周波数118MHz, 銅製でリエントラント型のものを用いている。真空ダクトには偏向電磁石の下流部の1カ所にSRモニタ用のポートを備え, 放射光による電子ビームの計測も行えるようにした。

3-4 電子蓄積リング(SORリング)⁵⁾

電子蓄積リングの設計パラメータを表3に, その構成を図7に示す。リングの直線部長は3.57mとし, 挿入光源を主体とする低エミッタンスリングに比べ, 比較的円形に近い軌道を構成している。更に, ラティスにはFODO形を採用し, 図8に示すようにベータ関数が滑らかに変化するようになっている。

電子シンクロトロンから出射された電子ビームは, ビーム輸送系を經由して蓄積リングのセプタ

ム電磁石部に入射される。入射時には, 3台のバンプ電磁石が用いられる。蓄積リングの真空度は, ビーム寿命の観点から定格ビーム電流値において 10^{-9} Torr程度の値が必要である。真空排気系は, 総排気速度としておよそ26,000L/sの真空ポンプを備えている。偏向電磁石部の真空ダクト

Table 3 Design parameters of the electron storage ring

Beam Energy	1GeV
Circumference	45.73m
Bending Radius	2.78m
Dipole Field	1.2T
Lattice Structure	FODO
Beam Current	200mA
Betatron Tune (ν_x/ν_y)	2.235/2.215
RF Frequency	118MHz
RF Voltage	90kV
Momentum Compaction Factor	0.17
Radiation Loss	32keV/turn
Natural Emittance	0.5mm·mrad
Beam Size (σ_x/σ_y)	2.0/0.7mm
Touschek Lifetime	40hrs

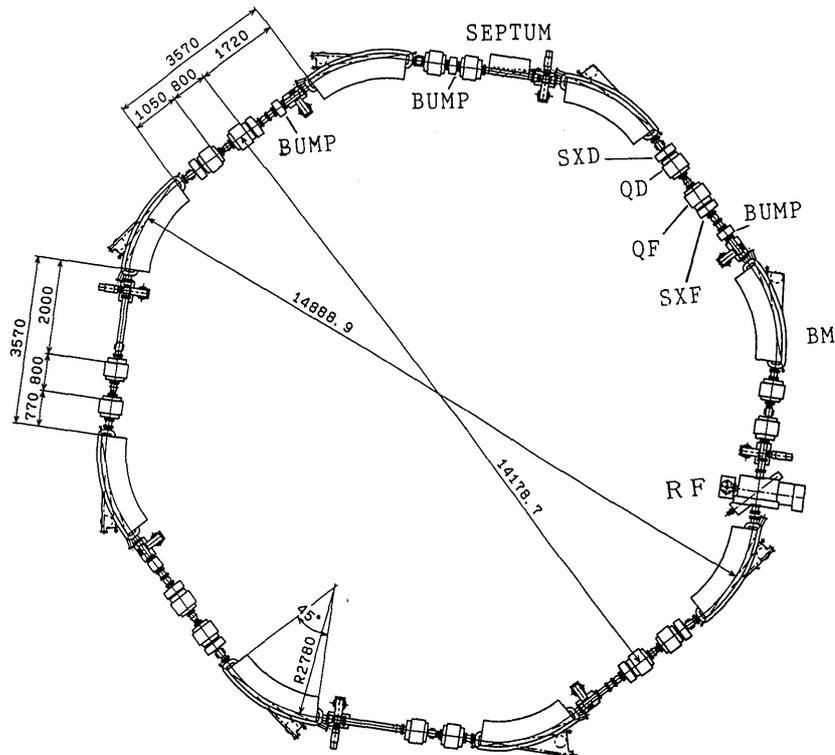


Fig. 7 The electron storage ring

には、1台当り2本の放射光取出しポート（取出し角度： 6° と 28° ）を備えている。また、それらのほぼ中間の位置にSRモニタ用のポートを備えている。

フルエネルギー入射方式のため、偏向電磁石や4極電磁石は直流運転される。従って、後述するビーム補給のための追加入射も比較的簡単な操作で行えるという利点がある。高周波空洞の周波数は電子シンクロトロンと同じ118MHz、リエントラント型で、銅とステンレスのクラッド構造としている。

3-5 制御システム⁶⁾

制御システムは、1台のマスタコンピュータにより全ての機器を統括するとともに、負荷の低減のためにスレーブであるインテリジェントな中継盤を設け下位の機器を制御するシステムとした。

これにより、制御の集中化と自動化が容易に行える。図9に制御システムの構成を示す。また、制御ソフトウェアは、ルーチンオペレーションモード、ビーム調整モード、データ解析モード及びアラーム処理モードから構成されている。ルーチンオペレーションモードは、光源の定常運転時の操作性の向上を念頭におき、1～数ステップのタッチパネル上の操作で電子ビームの入射から蓄積までを自動的に連続して行えるようにしている。

4. 放射光源装置の現状

ビーム調整を平成元年7月26日に開始してからおよそ半年近く初期調整を実施してきた。今後、細部の調整によりビーム特性は更に向上するものと期待されるが、これまでの調整の経過と現時点で得られている主要なビーム特性を以下にまとめた。

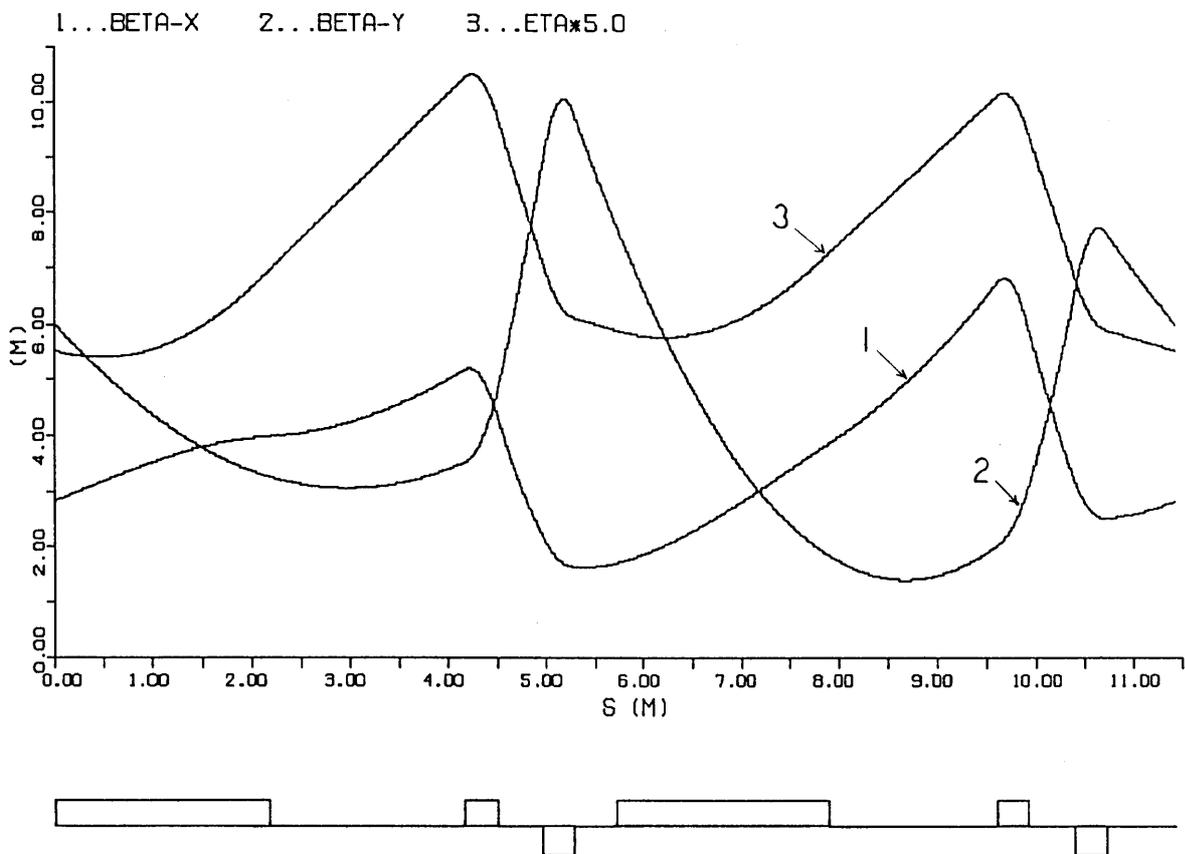


Fig. 8 Lattice and dispersion functions for the 1GeV electron storage ring

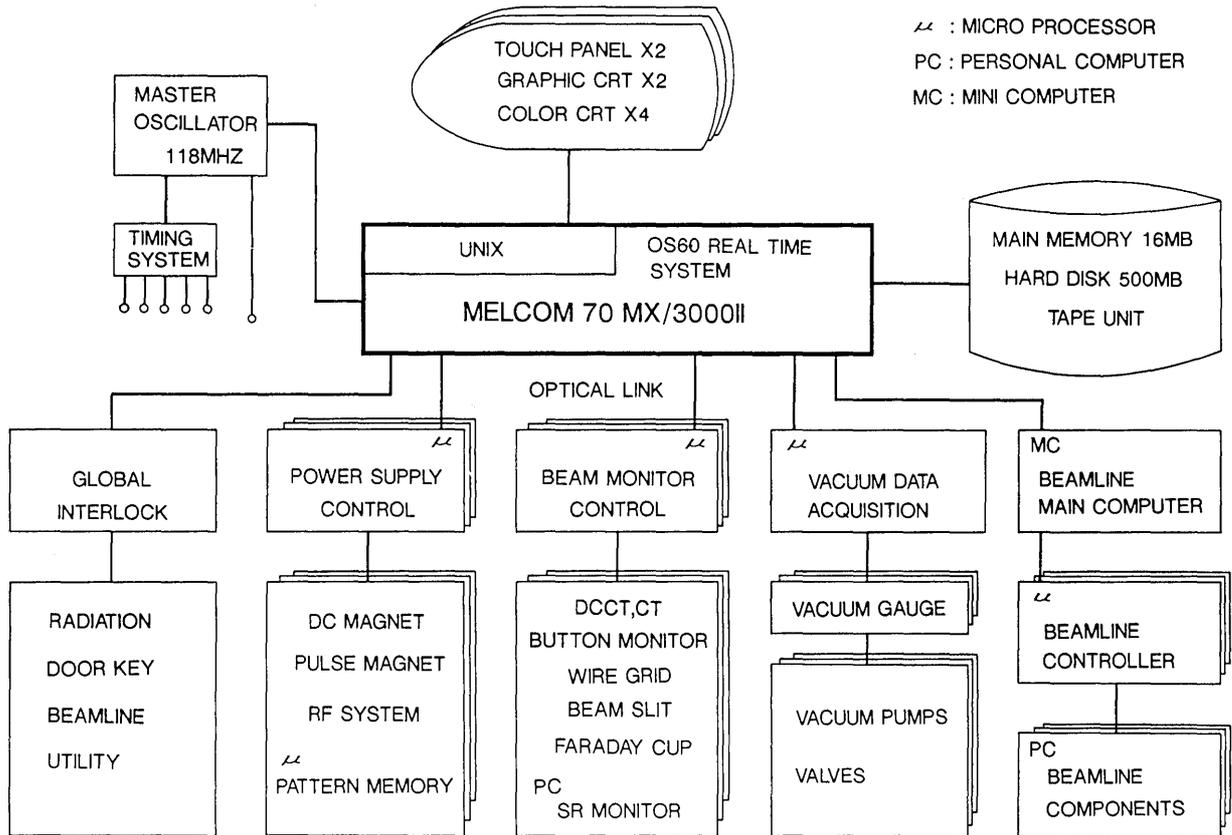


Fig. 9 Block diagram of the control system

4-1 ビーム初期調整の経過^{7), 8)}

まず、ライナックから出射された電子ビームを、電子シンクロトロンに至るビーム輸送系の設計軌道に通すための調整を行った。このとき、ビーム位置・形状、ビーム電流、エミッタンス及びエネルギースペクトルの測定も同時に実施している。このために、ビーム輸送系には各種のモニタが配置されている。

8月の初めに電子シンクロトロンの入射セプトム電磁石部にビームを導入し、以後電子シンクロトロンのビーム調整に入った。入射サイクルは、ビーム初期調整の間は3.2秒に1回としている。最初に1ターンの調整を実施したのち多回転調整に入った。マルチターン入射過程の調整、入射時のチューンの調整及び加速過程での偏向磁場と収束磁場のトラッキング調整の後、9月16日に1 GeVへの加速に成功した。同時に、電子シンクロトロンからの放射光も観測している。

加速に成功後早い時期にビーム電流も向上し、既に9月末には目標とした30mAのビーム電流を定常的に加速できるようになっている。

電子シンクロトロンの出射系の調整と蓄積リングまでのビーム輸送系の調整を実施した後、9月27日に蓄積リングの入射セプトム電磁石部へのビーム入射を開始した。翌28日に、初の電子ビーム蓄積と放射光の発生に成功した。蓄積リングへの初の入射後、電子ビーム蓄積までに要した時間は実質9時間であった。この蓄積時のビーム電流値は、3.5mAであり、故意にビームを遮断するまでの約2時間、放射光は連続して観測された。

初のビーム蓄積後2週間は、およそ60mAのビームによるビームエージングを実施した。これによりビーム寿命は50mAで3時間、80mAでは2時間という値となった。対応するリングのオンビーム時の真空度は、この時点で 1.4×10^{-9} Torrであった。

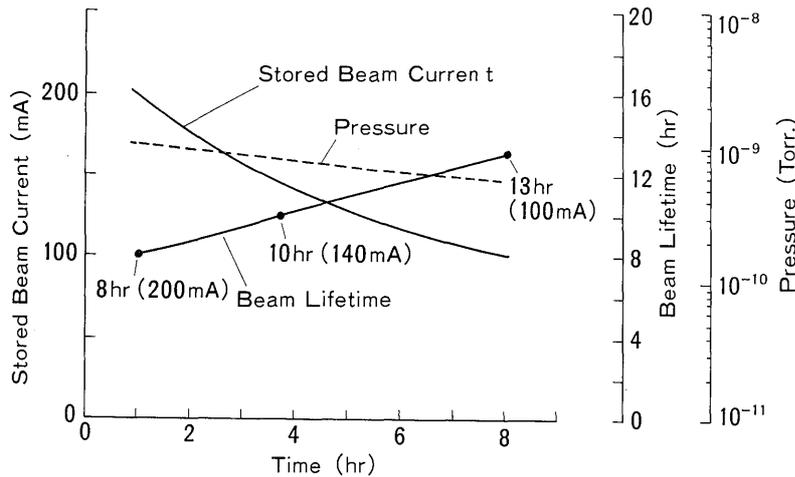


Fig.10 Stored beam current, beam lifetime and vacuum pressure obtained at the end of November 1989

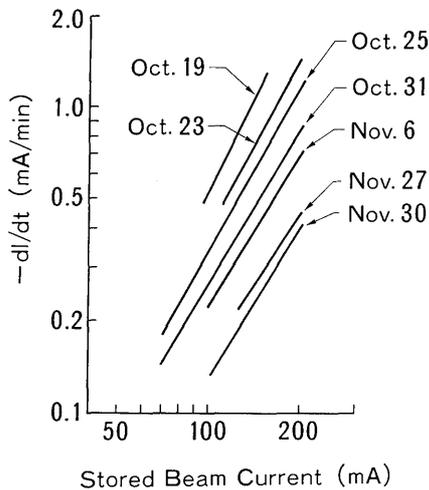


Fig.11 The improvement of the beam lifetime (Decay rate plot)

平成元年10月23日には、本装置における目標電流値である200mAのビーム蓄積に成功した。更に、10月末には200mAにおいてビーム寿命4時間を達成している。

更に、その1カ月後(11月末)に得られたデータを図10に示す。200mAのビーム電流における寿命が、1カ月のビームエージングにより4時間から8時間向上していることが判る。また、100~140mAでは10時間以上の寿命が得られている。

図11は、ビームエージングによる寿命の伸びを

一例として示したもので、ビーム電流の減衰率表示法⁹⁾によるものである。

4-2 ビーム特性の現状

本装置のビーム特性は、先に表1で示したとおりライナック、シンクロトロン及び電子蓄積リングのいずれもが当初設計段階で目標とした値を越えている。この他にも、ビームの入射や出射の効率も当初の想定値を越えている。現時点迄に得られた1ショット当りの入射ビームの最大値は約15mAであり、200mAの電子ビーム蓄積に要した最短時間は、繰り返しの周期が3.2秒の入射運転においても、僅かに1分である。

図12は、一つの試みとして実施したビーム補給のための追加入射運転の結果である。これは半導体リソグラフィ用光源として考えた場合、フルエネルギー入射方式を採用することに伴うメリットの一つと考えられる。通常の運転ではビーム電流値が長い時間スケールで徐々に減少し、光強度もそれに依りて減少する。従って、露光量の調節を行う必要が生ずるが、ビーム補給を行う運転では光強度をほぼ一定に保つことができる。図から判るように、追加入射瞬時にも蓄積ビームの不安定な挙動は全くみられず、長時間安定に一定レベル

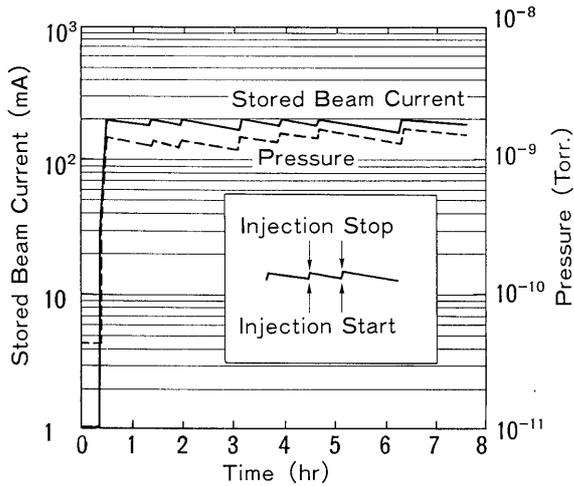


Fig.12 Results of the beam refill operation

以上の電子ビームを蓄積できている。なお、本図では追加入射の開始タイミングに僅かの差が見られるがこれは手で実験的に行ったことによるものである。従って、必要に応じて一定のビーム電流値や一定のタイミングで自動的に追加入射を行うことは容易である。

図13に、電子ビームサイズをSRモニタで測定した結果を示す。図は電子ビームの垂直方向の測定結果であり、 2σ で約1.2mmであった。水平方向は 2σ で約3.6mmと得られている。これらの値は、軌道計算から推定される値とほぼ一致している。

5. ビームライン

5-1 設計方針

ソルテックのビームラインは、放射光を用いたリソグラフィが90年代の後半において実用化されることを念頭において、実用的工業利用の観点から設計を行った。0.25 μ m転写パターン技術として、放射光リソグラフィは最も有力視されている^{10), 11)}。以下に主な設計方針をまとめる。

①集中制御方式ビームラインシステム

ソルテックのビームライン制御には、各ビームラインにおけるローカルな制御に加えて、全てのビームラインについての集中

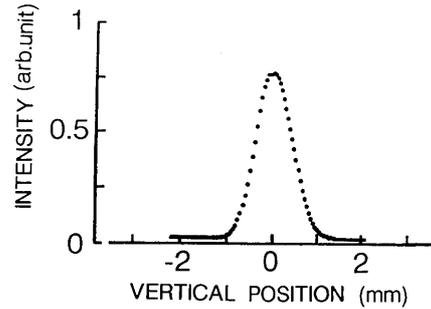


Fig.13 The beam profile obtained from the SR monitor

制御の概念を導入した。

②振動ミラーによる露光面積の拡大

縦方向露光域の拡大方式として、振動ミラーによる方法を採用した¹²⁾。特に新たな方式として、ミラーを固定したミラーチャンバを振動させることとした¹³⁾。

③コンパクトなビームライン

振動ミラーの中心が発光点から2.7m、露光位置が約8mと、振動ミラーを用いたビームラインとしてはかなり短いコンパクトなビームラインとなっている。

④真空保護機構

振動ミラーの下流部に、高速遮断バルブと衝撃波遅延管とから成る真空防御機構を設けた。

⑤超高真空ビームライン

下流部を除くビームラインのほぼ全域で 10^{-10} Torr台(無負荷時)の超高真空ビームラインである。

5-2 構成概要

集中ビームライン制御システムは、ビームライン・メインコンピュータ (beamline main computer) とシーケンサー (programmable sequence controller...PSCと略す) リンクとから成る (図14)。ビームライン主コンピュータからPSCへのアクセスは、各ビームラインのステータスを知るために、PSCリンクを通して行わ

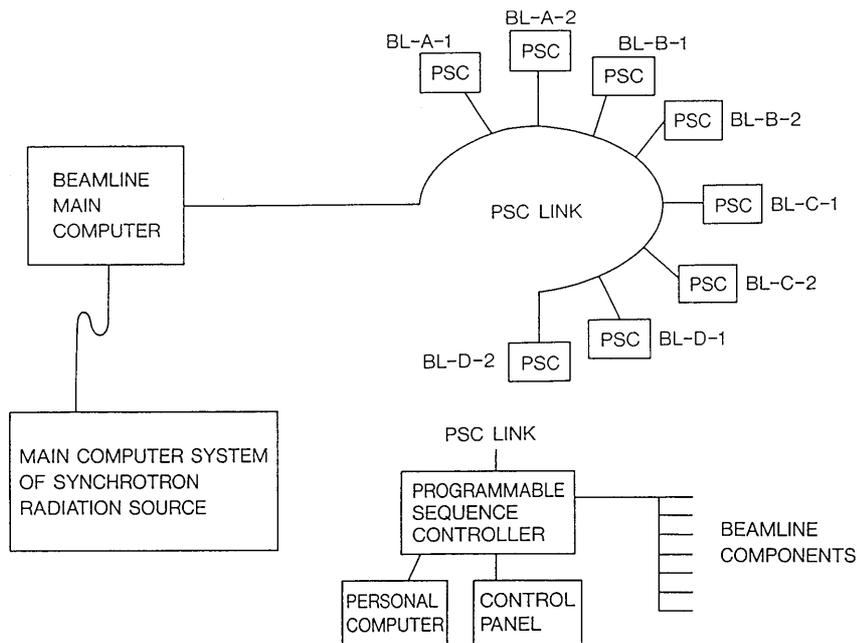


Fig.14 Central beamline control system:

PSC stands for programmable sequence controller

れる。また、ビームライン・メインコンピュータは、各ビームラインの使用記録を保存し、電子蓄積リングのメインコンピュータシステムから、電子蓄積リングのデータを受け取る。

ローカルなビームライン制御システム（例として、BL-B-1）は、PSCと制御パネルとパーソナルコンピュータとから成る。真空バルブ、アブソーバ、ビームシャッタ、真空ポンプ及び真空ゲージなどのビームライン構成素子は、PSCによって制御される。PSCは、コストが安価であること、PSCライン仕様変更などに対する融通性、設操作及びビームライン構成素子の誤動作に備えたインターロックプログラムにおけるメンテの容易さなどの観点より採用した。パーソナルコンピュータは、ビームライン立上げ時のベーキング自動化制御、放射光調整用のパルスモータ制御、ビームライン故障情報などの表示、ビームライン各部の真空度グラフ表示などを行うことができる。

図15と図16に、ビームラインBL-B-1の構成と全容図を示す。放射光の縦方向露光領域拡大の

ために、新たな振動ミラー機構を用いた。ミラーがミラーチャンバに固定され、偏心カムを取り付けたステッピングモータによってチャンバ自体が振動する。軸受けなどの可動部分を全て大気中に設置することで、ミラー駆動機構の信頼性を高めた。真空保護機構として、高速遮断バルブと衝撃波遅延管の組み合わせを用いた。高速遮断バルブとそれに連動するゲートバルブ(V2)をミラーチャンバの下流に設置することにより、Be窓破壊のような最悪のケースにおいても、ミラーチャンバ及び蓄積リングを超高真空に復帰するための被害を最小限に食い止め再立ち上げの時間を短くすることが可能である。

5-3 設置状況

平成元年度上期後半から製作を開始し、本年3月末に放射光源施設への設置を完了した。本年1月下旬に4本のビームラインの搬入・組立てを順次開始した。2月中旬に電子蓄積リングとは真空的に隔離された状態で、サファイア窓を透過した可視光による光軸調整を実施した。2月下旬に大

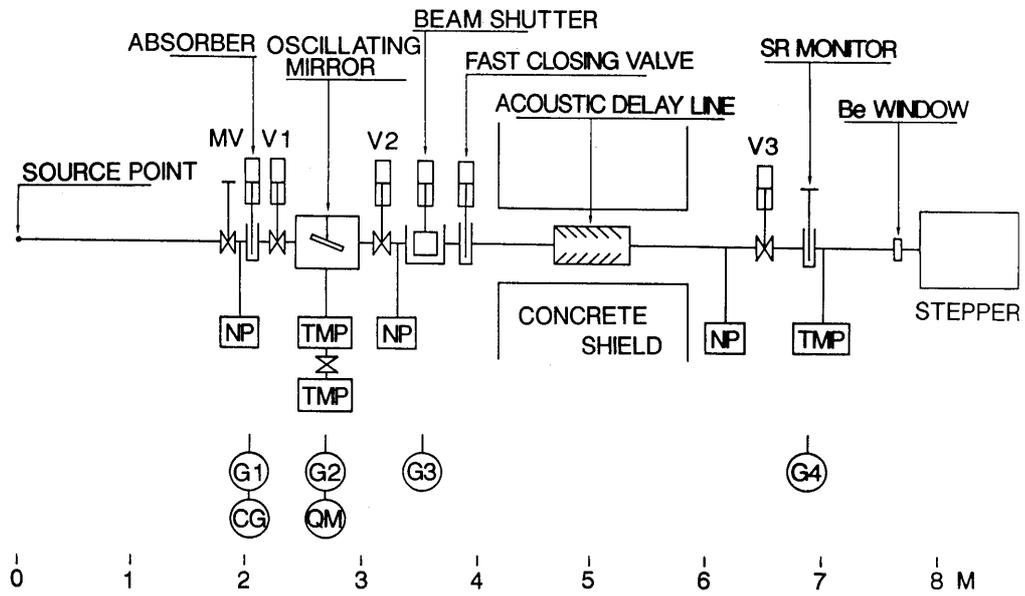


Fig.15 BL-B-1 beamline structure:

V, G, NP and TMP stand for pneumatic gate valve, Bayard-Alpert ion gauge, tripole-type ion pump and turbo molecular pump, respectively

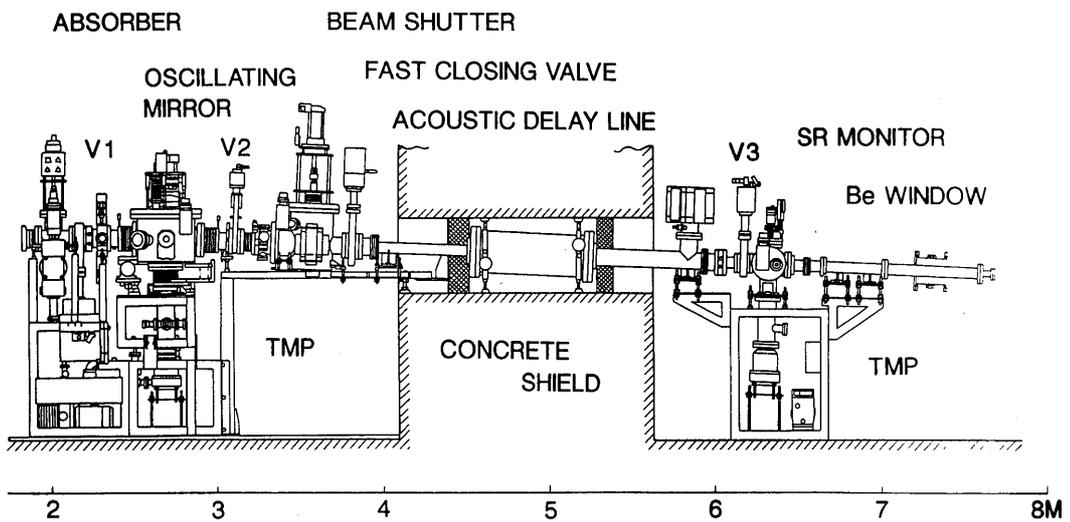


Fig.16 BL-B-1 beamline diagram:

V and TMP stand for pneumatic gate valve and turbo molecular pump, respectively

気導入試験を実施し、高速遮断バルブの性能を評価・確認をした。3月中旬に電子蓄積リングと真空的に結合し、初めてビームライン中に放射光を導入し、蛍光板モニタの発光を観測した。現在、放射光によるアブソーバの枯らしを終了し、引き続きミラーの枯らしを行っている。図17に、アブソーバ枯らしの結果を示した。

6. おわりに

利用技術の研究のための本格的なビーム運転は、この5月から開始を予定している。

光源装置のマシン・スタディもユーザ運転と並行して実施していく予定である。そのターゲットは500mA以上のビーム電流蓄積であると考えている。

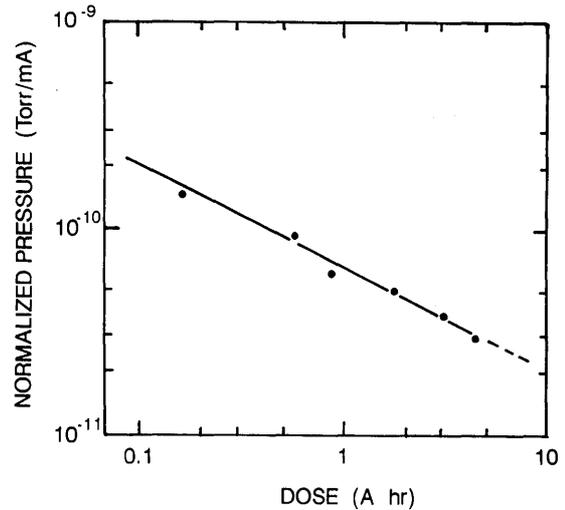


Fig.17 Synchrotron radiation irradiation to the absorber

文献

- 1) 中村・大野・島野・吹田・結石・長戸路・北野・富増：“1 GeV SOR光源装置”，昭62秋季第48回応物学術講演予稿集，20p-G-1，p.477
- 2) S.Nakamura,R.Kitano,M.Shiota,T.Tomimasu：“40MeV Linac for the 1GeV Synchrotron Radiation Light Source(11)” Proc. of the 14th Linear Accelerator Meeting in Japan, Sept., 1989
- 3) M.Shiota,A.Hiraki,M.Mizota,T.Iida,M.Haraguchi,K.Kuno, S.Nakamura, M.Ohno,T.Tomimasu：“Design and performance of the 40MeV Linac and Beam Transport System for the 1 GeV Synchrotron Radiation Source at SORTEC”，Proc. of the 7th Symposium on Accelerator Science and Technology, Dec., 1989
- 4) M.Kodaira,K.Kondo,Y.Yoshiwara,E.Toyoda,S.Kawazu, S.Nakamura, M.Ohno, N.Awaji, S.Nishizawa, T.Tomimasu：“Design and performance of the Electron Synchrotron for the 1 GeV Synchrotron Radiation Source at SORTEC”，ibid.
- 5) M.Takanaka,Y.Yamamoto,Y.Kijima,T.Ohba,H.Tsuchidate, S.Nakamura,M.Ohno,N.Awaji, T.Tomimasu：“Construction and First Operation of the 1 GeV Electron Storage Ring for the Synchrotron Radiation Source at SORTEC”，ibid.
- 6) 淡路・大野・中村・高仲・小峰・飯田・豊田：“ソルテック 1 GeV-SR 光源の計算機制御”，第14回 HISOR研究会資料，1990
- 7) S.Nakamura, M.Ohno, N.Awaji, A.Chiba, R.Kitano, T.Satow, O.Asai,M.Takanaka,T.Iida, Y.Yamamoto,S.Kawazu,M.Kodaira,K.Kondo, T.Tomimasu：“Status of the 1GeV Synchrotron Radiation Source at SORTEC”，Proc. of the 7th Symposium on Accelerator Science and Technology, Dec., 1989
- 8) 中村：“X線リソグラフィ用ソルテック 1 GeV放射

- 光源”, 電気学会電子デバイス研究会資料, DD-90
-39, 1990
- 9) T.Tomimasu, T.Noguchi, S.Sugiyama, T.Yamazaki,
T.Mikado, M.Chiwaki, T.Nakamura, R.Suzuki:
“Estimation of Touschek Effect and Ion Clearing
by the Decay Rate Plot Method”, Rev. Sci.
Instrum. 60 (7), July 1989
- 10) R.P.Healbach, J.P.Silverman, and J.M.War-
laumont: “Synchrotron Radiation X-Ray Lithog-
raphy”, Nucl.Instrum.Methods Phys.Res.222,
291 (1984).
- 11) A.Heuberger: “X-Ray Lithography”, Micro-
electron. Eng. 5, 3 (1986).
- 12) K.Fujii, K.Okada, M.Nagano, and H.Kuroda:
“Precisely Controlled Oscillating Mirror System
for Highly Uniform Exposure in Synchrotron
Radiation Lithography”, J.Vac. Sci. Technol.
B6, 2128(1988).
- 13) 西野・河上・柳沢・岡田: “放射光リソグラフィ用
ビームラインシステムの開発”, 平成2年春季第37
回応用物理学会講演予稿集, 28p-PD-21, p.488

きいわーど

フルエネルギー入射方式 (Full Energy Injection)

入射器であらかじめ蓄積リングのビームエネルギーまで、ビームを加速し、蓄積リングへ入射する方式。蓄積リングのビームエネルギーよりも低いエネルギーで入射し、蓄積リングで更に加速しエネルギーを上げる方式は、低エネルギー入射方式(Low Energy Injection)と呼ばれる。

フルエネルギー入射方式は加速と蓄積の機能を分離した方式であり、ビーム蓄積が比較的容易であることや運転・制御法を単純化できるという長所がある反面、入射器系が大型化するという短所がある。一方、加速と蓄積とを兼用する低エネルギー入射方式は、入射器系をコン

パクトに構成できるという長所があるが、ビーム寿命の短い低エネルギー域で蓄積リングとして必要なビーム電流を全て蓄積し、そのままビームを失わずにエネルギーを上げていく必要がある。この為、リングの設計や制御に高度な技術を要する。

最近、産業用途の光源として開発されているものの殆んどは低エネルギー入射方式を採用している。15~150 MeVのライナックやマイクロトロンから直接リングに入射することで、全体のシステムを小型化するタイプのものに、開発努力が注がれている。