

## トップアップ入射で実現した安定な低エミッタンス電子ビーム運転 - より高度化された利用実験のために -

財団法人高輝度光科学センター 加速器部門  
田中 均、大島 隆、清水 純、依田 哲彦  
大石 真也、大熊 春夫、熊谷 教孝  
財団法人高輝度光科学センター 利用研究促進部門  
高田 昌樹  
独立行政法人理化学研究所 播磨研究所  
高田 恭孝、玉作 賢治

### 1. それは3年前の非難の大合唱からはじまった

2005年9月から開始したトップアップ入射による低エミッタンス電子ビーム運転は、明るい光を安定に供給することに成功し、開始当初から多くのユーザーに賞賛を持って受け入れられている。実験の効率化や新たな実験の可能性を開いたという嬉しい報告も耳にする。しかし、これを遡る3年前には、ビーム寿命の大幅な減少によって、同じ低エミッタンス電子ビーム運転<sup>[1]</sup>がビームラインサイエンティストやユーザーから一度は否定されたのであった。「こんなにビーム寿命が減るとは聞いていなかった」とか、「SPring-8はユーザーのためにあるのに、ユーザーの意向を無視し、実験しづらいこんな運転を何故勝手に導入したのか」というような厳しい意見が百出し、身内の利用業務部からも非難を頂戴した。当時の吉良所長（現理事長）が、「常に新しい事に挑戦し、既存の限界を打ち破っていく姿勢なくしては、革新的な研究は生まれません」という決断をされ、入射部の真空リーク故障が起きる2003年10月までの約1年間、低エミッタンス電子ビーム運転が継続された経緯がある。

トップアップ入射による低エミッタンス電子ビーム運転では、蓄積電流が一定に保たれるので、低エミッタンス化に伴う短いビーム寿命を利用者が直接感じることはない。利用者は低エミッタンス電子ビームの恩恵だけを十二分に享受できるので、「実験できないから低エミッタンスでない昔のリングの状態に戻してくれ」という声は、今では皆無である。そしてこの運転形態こそが、JASRIの加速器部門が目指してきたもの、即ち、光源性能（輝度）の向上を進めながら、電子ビームの安定性を極める運転なのである。殆どのユーザーには、この2年間の加速器部門の取り組みは、水面下での研究開発活動とし

て、あまりお気づきにならなかったと思う。あらためて低エミッタンスの安定運転が達成されたことを報告すると共に、高度化されたこの光源性能を利用実験の高度化に生かしてもらうためにも、真空リーク故障を克服し、どのように現在の驚くべき安定運転を達成したのか、その経緯についてここに述べることにする。

### 2. 安定な低エミッタンス電子ビーム運転を可能にした2つの取り組み

今回の安定な低エミッタンス電子ビーム運転の実現には次の2つの改善が大きく貢献している。低エミッタンス電子ビーム運転を行うにはエミッタンスを如何に低減するかも重要になるのだが、その原理については以前もSPring-8情報誌に書いている<sup>[2]</sup>ので、そちらのほうを参考にさせていただきたい。

#### 2-1. 廃棄電子ビームが引き起こす真空チェンバー損傷に対する対策

2003年10月、低エミッタンス電子ビーム運転の最中に入射部真空チェンバーの真空リーク故障が発生した。この故障は、インターロックによる蓄積電子ビーム廃棄直後に発生し、当初から蓄積電子ビームの廃棄と真空リーク故障の因果関係が指摘されていた。故障の原因を調べるため、入射点から約2m上流のリーク箇所が詳細に調査された。その結果、廃棄された電子ビームが入射部チェンバーの肉厚の薄いSUS部分（0.7mm厚）に当たり、そこで電磁シャワーを起こし、チェンバーを溶融、破壊するメカニズムが明らかにされた。SPring-8の真空チェンバーの基本材質はアルミ合金である。しかし、薄肉部では機械的強度を確保するため、アルミに比べ機械的剛性の優れたSUSが使用されていた。SUSはアルミ

に比べ熱伝導が悪い上に、原子番号が大きく、電磁シャワーによる熱エネルギー密度が高いことも、真空リーク故障の一因になったと考えられる。図1にリークを起こした真空チェンバーの外周とリーク箇所をスライスした断面の様子を示す。8GeVの電子ビームによりチェンバーの一部が溶融、再凝固した痕跡を確認することができる。

何故、蓄積リングの低エミッタンス化を行うことで廃棄電子ビームが入射部チェンバーの特定の場所に当たることになったのであろうか？急遽、蓄積リングの低エミッタンスオプティクスにおける廃棄電子ビームの挙動がシミュレーションにより調べられた。その結果、低エミッタンス電子ビームを得るため、線形ディスパージョンのリング一周に渡る分布を大幅に変えた<sup>[3]</sup>ことが高次の非線形ディスパージョン<sup>[4]</sup>の分布を大きく変え、電子ビームの廃棄位置の変化を引き起こした事が分かってきた。図2は、入射点上流において、RF加速電圧OFF直後からの廃棄電子ビーム水平変位の時間変化を表している。低

エミッタンス化により、廃棄電子ビームの蛇行の様子が大きく変わったことが分かる。RF加速電圧OFFの後、入射点近傍で廃棄電子ビームのリング内側（図中ではマイナス符号）への変位が周回と共に成長していくことが分かる。入射部の水平チェンバー口径は入射電子ビームを受け入れるため、極めて狭くなっており、結果として廃棄電子ビームが入射部チェンバーを最初に直撃する事になった。

起こり得る様々な条件のもとで、より詳細な電子ビームロスポイントのシミュレーションが行われた。このシミュレーションによって、廃棄電子ビームがリーク箇所直上流から真空チェンバー壁に衝突する事が計算機上で再現されたのである。シミュレーションが大きく間違っていない事を確認するため、シミュレーションで得られた電子ビーム廃棄時の蓄積電流の減衰パターンが実験と比較された。図3に示すように両者はよい一致を示している。これにより、シミュレーションの結果をベースに新型チェンバーが設計された。新型チェンバーには、廃棄電子ビームの真空チェンバー進入箇所に電磁シャワー密

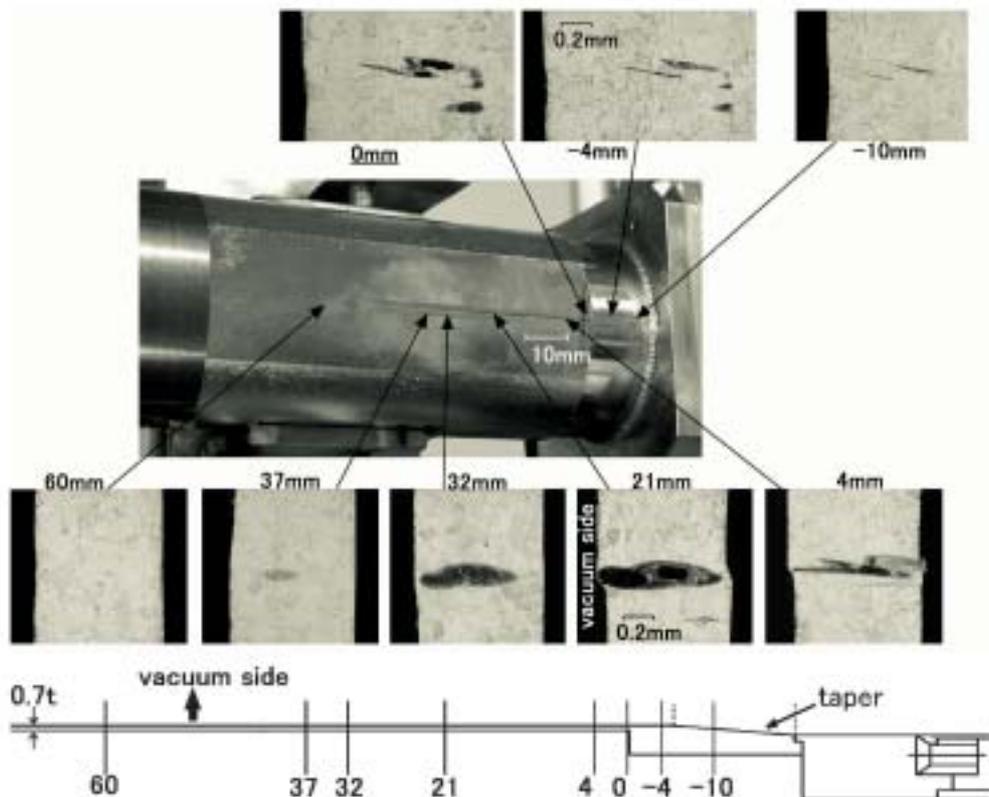


図1 廃棄電子ビームにより損傷した入射点上流の入射部チェンバーと損傷した断面。写真は薄肉部のチェンバー壁断面を薄肉部入射点上流端部を0として、+方向（ビーム進行方向）と-方向の各場所でスライスした損傷部断面を示す。各断面写真の右側が大気中、左側が真空中である。

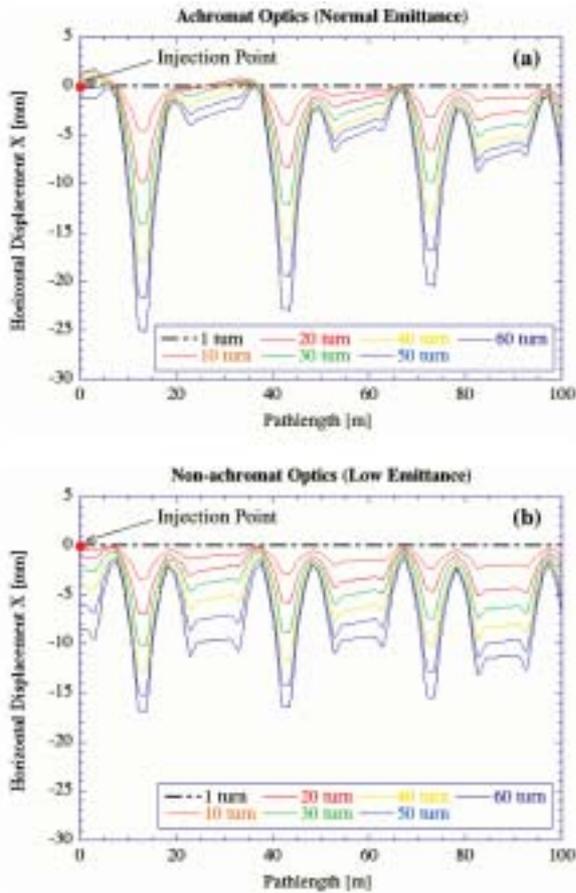


図2 入射点上流における廃棄後の電子ビーム水平変位の時間変化。横軸の原点はビーム入射点を表す。ターン数は計算機上でRF加速電場をOFFした時を0ターンとしてカウントしてある。また、縦軸の正がリングの実験ホール側を、負が三原栗山側を表す。

度の小さいアルミの散乱体（ダンパー）が設置され、発生する熱の密度が低減されると共に、隣接するセプトム電磁石の磁気シールドを許容できる範囲で削減し、リークを生じたSUS薄肉部分の肉厚を0.7mmから最大5mmまで増加する改善策が施された<sup>[5]</sup>。さらに安全を見込み、ダンパーをチェンバーの内側に1mm張り出す構造として、廃棄された電子ビームがダンパーに確実に衝突するように配慮した。新型チェンバーへの交換は、2005年の夏期停止期間に行われ、夏期停止後の加速器調整期間に、ガフクロミック放射線線量測定により新型チェンバーのダンパー付近に廃棄電子ビームが衝突する事が実験的に検証された。

## 2-2. ビーム寿命低下に対する対策

低エミッタンス電子ビームのメリットを最大限引

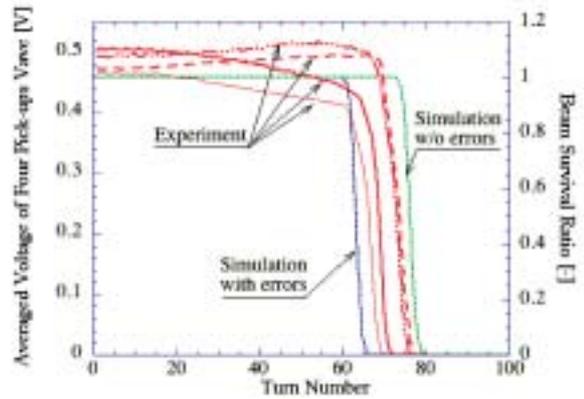


図3 電子ビーム廃棄時の蓄積電流減衰パターンの比較。青と緑の点線はリングの誤差磁場を考慮した場合としない場合にシミュレーションで得られた蓄積電流の減衰パターンを示す。赤い4本の線は、ビーム廃棄実験時の電流減少パターンを同時に異なる4つのビーム位置モニターで測定した結果を示す。ビーム位置モニターの4つの電極の出力電圧の和が蓄積ビームに比例すると仮定しているが、ビーム位置が大きくなることで、この線形関係が崩れる。シミュレーションが予測した電流損失より早い時期で、ビーム電流の緩やかな増加（現実にはあり得ない）や減少が実験値に見られるのは、本当の電流損失ではなく、この線形性の破れにより生じていると評価した。

き出すには、短いビーム寿命が気にならないトップアップ入射の導入が必須である。トップアップ入射では蓄積電子ビームの振動を抑制する必要がある、入射部の6極電磁石の強さに特別の条件が課せられる<sup>[6]</sup>。その条件を考慮し、入射効率とモーメントムアクセプタンスを拡大するよう、低エミッタンス電子ビームを実現するオプティクスに対し、様々な検討並びに6極電磁石の強さの最適化<sup>[7]</sup>が行われた。この結果、入射効率を維持したまま、モーメントムアクセプタンスを拡大でき、セバラルバンチ運転時のビーム寿命の減少を抑制することが可能となった。トップアップ運転なのだから、ビーム寿命はどうでもいいだろうと思われるかもしれない。しかし、現状のトップアップ運転では、入射時の電子ビーム損失積算値に上限が設けられている。ビーム寿命を長くすること（モーメントムアクセプタンスを広げておくこと）が、実はトップアップ運転の自由度を広げる上で重要になるのである。

蓄積リングの低エミッタンス化は、入射点にも大きな線形ディスパージョン関数を発生させるため、入射電子ビームのエネルギー振動が当初問題視された。しかし、見積もってみるとその大きさは蓄積電

子ビームの持つエネルギー広がり比べ、充分小さい事が分かった。このため、これまでのトップアップ入射と同様の調整、蓄積電子ビームの振動抑制<sup>[8]</sup>、高い入射効率実現のための入射軌道、入射パラメータの調整を低エミッタンスオブティックスに対して実施した。図4は低エミッタンス化の前後で蓄積電子ビームの入射時の振動を比較したものである。水平、垂直振動共に、低エミッタンス化以前と同程度まで抑制されていることが分かる。

### 3. 達成されたビーム性能と放射光実験に対し期待される効果

周到な準備と調整を経て、2005年9月からトップアップ入射による低エミッタンス電子ビーム運転（以後、トップアップ低エミッタンス電子ビーム運転）が開始された。低エミッタンス化実施前に得られていたトップアップ運転の安定性<sup>[9]</sup>は基本的に

維持されている。即ち、

- (a) 平均電流値の安定性 ~0.1%
- (b) 孤立バンチ及びバンチトレインの電流値変動<sup>\*1)</sup> < ~10%
- (c) 入射時の蓄積ビーム振動  
水平：ビームサイズの~1/3  
垂直：ビームサイズの~1/2
- (d) 孤立バンチの純度 > 2 × 10<sup>9</sup>

がユーザー運転時に確保されている。その上で電子ビームのエミッタンスをユーザー運転時<sup>\*2)</sup>で6nm・radから3nm・radに下げたことにより約3倍の輝度の増加が達成された。図5に、輝度増加の計算結果と計算とほぼ同一の条件においてBL19LXUで測定された実験値を示す。実験でも輝度の増加は2.7倍となり、計算の予測と矛盾しない結果が得られた。表1に現在Spring-8のユーザー運転で用いられている電子ビームのパラメータを示す。

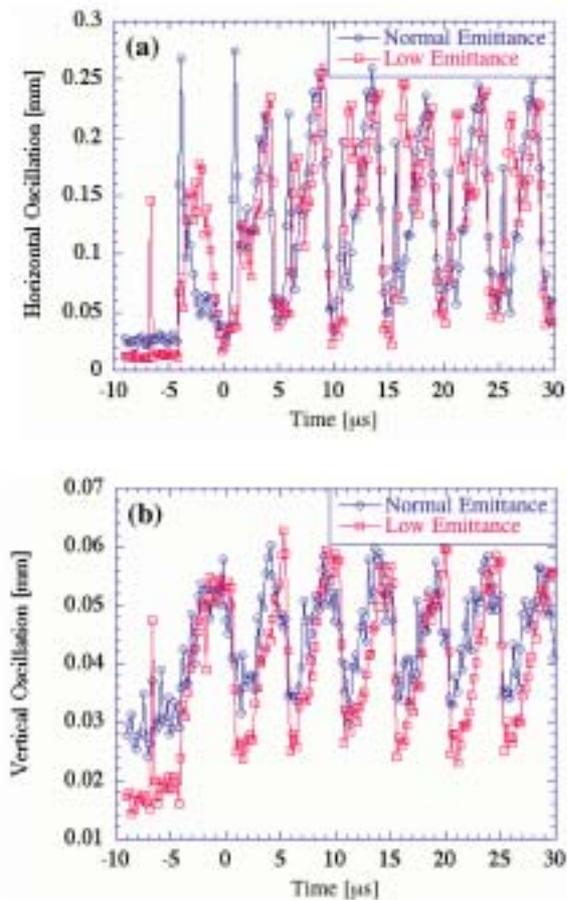


図4 入射時の蓄積ビーム振動の比較。青線と赤線は、それぞれ通常並びに低エミッタンス電子ビーム運転での入射時の蓄積電子ビームの水平振動 (a) と垂直振動 (b) を示す。

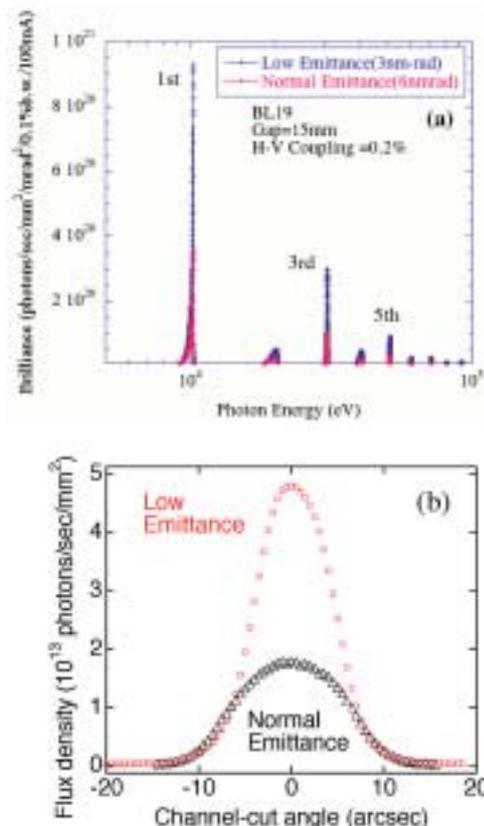


図5 低エミッタンス電子ビーム運転による輝度の増加。SPECTRA7.2で計算されたID19（長尺アンジュレータ）の輝度のエネルギー依存性 (a)。計算はギャップ15mm、光源から30m下流の観測点が仮定されている。BL19LXUの長尺アンジュレータからの光を単色化した後の光束の測定データ（光のエネルギー：10.4 keV、バンド幅：1.4 eV）(b)。

表1 低エミッタンス電子ビーム運転での電子ビームの主要パラメータ

電子エネルギー	8 GeV	
蓄積電流	100 mA	
自然エミッタンス (a) ID全開: 全ての挿入光源のギャップが開いた状態 (b) ユーザー運転中: 全ての真空封止アンジュレータが定点観測ギャップまで閉まった状態	3.4 nm·rad (ID全開)	3 nm·rad (ユーザー運転中)
エミッタンス結合比 ( )	0.2 %	
電子エネルギー幅 ( $p/p$ )	0.11 %	
バンチ長 ( )	13 ps ( ゼロ電流極限 )	
バンチ純度	$> 2 \times 10^9$	
寿命 (a) 多バンチ運転 (b) シングルバンチ	200 時間以上 1 mA : 15 時間以上	
関数 ID (6.65 m直線部) 長尺ID (30 m直線部) B1 B2	水平 / 垂直 22.6 m / 5.6 m 21.7 m / 14.1 m 3.0 m / 25.0 m 2.1 m / 27.8 m	
関数 ID (6.65 m直線部) 長尺ID (30 m直線部) B1 B2	水平 / 垂直 0 / 0 0 / 0 1.22 / - 0.51 0.85 / 0.59	
関数 ID (6.65 m直線部) 長尺ID (30 m直線部) B1 B2	水平 / 垂直 0.044 m <sup>-1</sup> / 0.18 m <sup>-1</sup> 0.046 m <sup>-1</sup> / 0.071 m <sup>-1</sup> 0.83 m <sup>-1</sup> / 0.050 m <sup>-1</sup> 0.83 m <sup>-1</sup> / 0.049 m <sup>-1</sup>	
分散関数 ID (6.65 m直線部) 長尺ID (30 m直線部) B1 B2	0.107 m 0.103 m 0.032 m 0.070 m	
電子ビームのサイズ ( $x, y$ ) ID (6.65 m直線部) 長尺ID (30 m直線部) B1 B2	水平 / 垂直 (3.4 nm·rad) 301 μm / 6μm 294μm / 10μm 107μm / 13μm 114μm / 14μm	水平 / 垂直 (3 nm·rad) 286μm / 6μm 279μm / 9μm 101μm / 12μm 111μm / 13μm
電子ビームの角度広がり ( $x', y'$ ) ID (6.65 m直線部) 長尺ID (30 m直線部) B1 B2	水平 / 垂直 (3.4 nm·rad) 12μrad / 1.1μrad 13μrad / 0.7μrad 56μrad / 0.6μrad 74μrad / 0.6μrad	水平 / 垂直 (3 nm·rad) 11μrad / 1.0μrad 12μrad / 0.7μrad 56μrad / 0.5μrad 74μrad / 0.5μrad
軌道の安定性 (a) fast (0.1 ~ 200Hz) (rms) (b) slow (< 0.1Hz) (rms/week)	水平 / 垂直 ~ 4μm / ~ 1μm 1 ~ 2μm / 2 ~ 3μm	

\* 1) 孤立バンチ及びバンチトレインの電流値変動とは、N個の孤立バンチもしくはバンチトレインの最大電流と最小電流の差を平均電流で規格化したものである。203バンチの場合は、203個のバンチ電流値の規格化最大偏差に、また11-bunch train x 29の場合は、11個のバンチで形成されるバンチトレインの電流値29個の規格化最大偏差になる。この電流値変動はフィリングの種類で変動幅が大き

く異なるが、概ね10%以下におさまっている。

\* 2) SPring-8では、挿入光源からの放射で電子ビームの放射減衰が促進されるため、電子ビームのエミッタンスは挿入光源ギャップの関数になる。ここでは定点観測ギャップ位置まで真空封止アンジュレータのギャップが閉まった条件でのエミッタンスをユーザー運転時のエミッタンスと定義する。

4. 利用実験へのメリットの例 (HX-PESの場合)

今回実現されたトップアップ低エミッタンス電子ビーム運転により、微小な試料上に同じ波長の光を従来に比べ3倍多く集める事ができるようになる。これにより、測定時間を大幅に短縮でき、実験の効率化を図れるだけでなく、新たな実験をも可能にすることが期待される。例えば、ミクロンサイズを切るビーム径の高輝度X線ビーム、すなわちマイクロビームからナノビームへの利用の展開を可能にし、デバイス上のミクロン以下のスケールの領域で、材料中の原子・分子レベルでの構造を解明する事ができるようになると期待される。

現在報告されている恩恵を受けた利用実験のいくつかの例の中から、非常に顕著な例として硬X線光電子分光 (HX-PES) の結果について紹介する。真空紫外 (VUV) あるいは軟X線 (SX) を励起光とする光電子分光に比べてHX-PESの最大の特徴・利点はプローブ深さが大きいことである。これにより軽微な表面の汚染や酸化の影響をほとんど気にせず固体内部 (バルク) の電子状態を調べることが可能になる。またナノスケールの積層膜の埋もれた界面の電子状態の研究も可能になる。これらの利点は光電子分光の分野では広く認知されていたが、一方で励起エネルギーの増大に伴いイオン化断面積が急激に減少し、光電子の信号強度が微弱になってしまうという実験上の困難さがあったためにHX-PESが実現したのは最近のことである<sup>[10]</sup>。SPring-8の高輝度放射光を利用したHX-PESの開発が理研・JASRIを

中心とする共同研究によって行われ、固体物性研究あるいは半導体デバイス・新規機能性物質の評価を行う上で十分なエネルギー分解能とスループットを実現していたが<sup>[11]</sup>、更なる高スループット化が強く望まれていた。浅い (結合エネルギーが小さい) 内殻や価電子帯を測定する場合はその小さなイオン化断面積のために信号強度が弱く、また高エネルギー分解能条件ではアナライザーのパスエネルギーやスリットの設定によってアナライザー自体の検出効率が低下するためである。

6keVもしくは8keVの励起エネルギーで測定を行うHX-PESにおいて信号強度を稼ぐために最も重要な点は、光電子のプローブ深さ内でX線を効率良く吸収させることである。X線の減衰長 (>1 $\mu$ m) は光電子のプローブ深さ (>5nm) に比べてはるかに長いので、試料表面に対して浅い角度で入射させることによって信号強度を増大させることが可能になる。よって、視射角をできるだけ浅くする測定が望まれる。しかし、視射角が浅くなると試料表面上でのスポットサイズが大きくなり、X線のビームサイズが大きいと電子エネルギーアナライザーが光電子を取りこぼしてしまい、結局、信号強度を増大させることができない。BL29XUで行われているHX-PESの実験配置を図6の挿入図に示した。2枚の集光鏡によってアナライザー焦点位置 (試料位置) にX線を絞っているが、低エミッタンス化によって特に水平方向のビームサイズが小さくなり半値全幅 (FWHM) で50 x 50  $\mu$ mの高輝度X線が利用できるようになっ

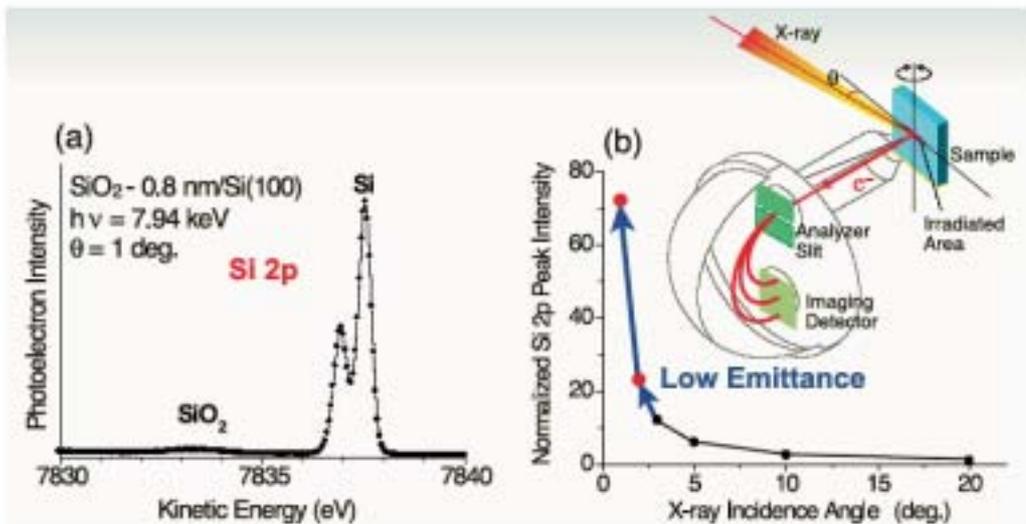


図6 7.94keVの励起エネルギーで測定したSi(100)のSi 2p内殻光電子スペクトル(a)とSiの光電子強度の視射角依存性(b)。挿入図はそのときの実験配置図 (BL29XU)。

た。その恩恵によってX線の視射角を1度にした場合でも、試料表面上での水平方向のスポットサイズは2.9mmになり、アナライザーの取りこぼしのない視射角度の限界がさらに低くなった。これにより信号強度の大幅な増大を図ることができた。その一例として図6(a)に7.94keVの励起エネルギーで測定したSi(100)のSi 2p内殻光電子スペクトルを示した<sup>[12]</sup>。X線のバンド幅を含めた全装置分解能250meVの条件で測定した結果であるが、30秒という非常に短い測定時間で良質のデータが得られるようになったのがお分かりになると思う。Si(100)表面は0.8nmの酸化膜(SiO<sub>2</sub>)で覆われているが、HX-PESのバルク感度の高さによって表面酸化膜の寄与は無視できるほど(<3%)小さい。図6(b)に示したバルクSiの光電子強度の依存性から明らかのように、トップアップ低エミッタンス電子ビーム運転により、表面が平坦な試料に対し非常に浅い視射角度での測定が可能になりスループットが大幅に向上した。これまで十分な信号強度を得ることができなかった価電子帯の測定や、装置分解能90meVでの測定も容易に行えるようになり、HX-PESの電子構造研究における可能性がさらに拡がると期待される。また、分光だけでなく、散乱・回折・イメージング実験においても同様のデータ精度の向上が見られ、SPring-8の利用研究に大きな転換をもたらしつつあるといえる。

#### 5. 今後の課題

SPring-8のトップアップ運転の能力を最大限活用できるように、水平エミッタンス1nm・radを目指したさらなる低エミッタンス化に挑戦していくと共に、孤立バンチの電流値をできる限り増加させていきたいと考えている。前者実現には、より精密な蓄積ビーム振動の抑制手法や独創的なアイデアが、後者の実現にはBunch-by-Bunch フィードバックシステム<sup>[13]</sup>の性能向上等が必要になる。

光源としての加速器の高度化は光を利用するユーザーの声から始まる事が理想であろう。今回は加速器側が主導となった開発ではあるが、ユーザーに光源性能向上の必要性を認識してもらえたのではないだろうか。放射光科学の新たな進展には、先端的なビーム性能や科学技術の積極的利用が今後ますます重要性を増していくと考えられる。ユーザーの方々からも、光源に対する多面的な要望を是非とも積極的に提言していただきたいと願っている。我々は、ユーザーの要望に答えるべく、光源性能の高度化の

可能性に取り組むつもりである。この拙著が、ユーザーの光源性能改善への積極的参加を促す契機になってくれれば幸いである。

#### 6. 謝辞

今回の低エミッタンス運転実現の過程で、加速器部門のスタッフを始め、壽榮松宏仁前部門長、石川哲也部門長のもと、利用促進部門、ビームライン部門のスタッフの皆様、ならびに安全管理室など、多くの方々に御協力頂いた。この場を借りて、感謝いたします。今後も、全所的な取り組みにより、光源と利用が有機的に連携したSPring-8の高度化を推進していきたいと思っている。

#### 参考文献

- [1] M. Takao, M. Masaki, S. Matsui, T. Ohshima, K. Soutome, S. Takano and H. Tanaka : "Progress toward Brightness Improvements at the SPring-8 Storage Ring", Proc. of the 3rd Asian Particle Accel. Conf., Gyeongju, March, (2004) pp. 49-51;  
H. Ohkuma, S. Daté, N. Kumagai, M. Masaki, T. Nakamura, T. Ohshima, K. Soutome, S. Takano, M. Takao, K. Tamura and H. Tanaka : "Beam-Performance Improvement of the SPring-8 Storage Ring", Proc. of the 20th Particle Accel. Conf., Portland, May, (2003) pp. 881-883.
- [2] 田中均、大熊春夫、熊谷教孝 : "SPring-8蓄積リングの低エミッタンス化", SPring-8 利用者情報, Vol.8 No.2 (2003) 84.
- [3] H. Tanaka and A. Ando : "Minimum Effective Emittance in Synchrotron Radiation Sources Composed of Modified Chasman Green Lattice", *Nucl. Inst. and Meth A* **369** (1996) 312-321.
- [4] H. Tanaka, M. Takao, K. Soutome, H. Hama and M. Hosaka : "A Perturbative Formulation of Nonlinear Dispersion for Particle Motion in Storage Rings", *Nucl. Inst. and Meth A* **431** (1999) 396-408.
- [5] T. Yorita, M. Oishi, T. Kumagai, H. Ohkuma, H. Yonehara, J. Shimizu and H. Tanaka : "Study of Damage of Storage Ring Vacuum Chamber by 8 GeV Electron Beam Abort at SPring-8", *J. Vac. Soc. Jpn.*, Vol. **48**, No.3 (2005) 7-9. In Japanese.
- [6] H. Tanaka, T. Ohshima, K. Soutome and M. Takao : "Suppression of Injection Bump Leakage Caused by Sextupole Magnets within Bump Orbit", *Nucl. Inst.*

- and Meth. A* **539** (2005) 547-557.
- [ 7 ] H. Tanaka, T. Ohshima, K. Soutome, M. Takao and H. Takebe : "Optimization of Sextupole Strengths in a Storage Ring for Top-up Operation", Proc. of the 9th European Particle Accel. Conf., Lucerne, July (2004) pp. 1330-1332.
- [ 8 ] T. Ohshima, N. Kumagai, M. Masaki, S. Matsui, H. Ohkuma, K. Soutome, M. Takao and H. Tanaka : "Suppression of Stored Beam Oscillation Excited by Beam Injection", Proc. of the 9th European Particle Accel. Conf., Lucerne, July (2004) pp. 414-416.
- [ 9 ] H. Tanaka, T. Aoki, T. Asaka, S. Daté, K. Fukami, Y. Furukawa, H. Hanaki, N. Hosoda, T. Kobayashi, N. Kumagai, M. Masaki, T. Masuda, S. Matsui, A. Mizuno, T. Nakamura, T. Nakatani, T. Noda, T. Ohata, H. Ohkuma, T. Ohshima, M. Oishi, S. Sasaki, J. Schimizu, M. Shoji, K. Soutome, M. Suzuki, S. Suzuki, S. Takano, M. Takao, T. Takashima, H. Takebe, K. Tamura, R. Tanaka, T. Taniuchi, Y. Taniuchi, K. Tsumaki, A. Yamashita, K. Yanagida, H. Yonehara and T. Yorita : "Top-up Operation at SPring-8 - Towards Maximizing the Potential of a 3rd Generation Light Source", Proc. of the 9th European Particle Accel. Conf., Lucerne, July (2004) pp. 222-224.
- [ 10 ] K. Kobayashi, M. Yabashi, Y. Takata, T. Tokushima, S. Shin, K. Tamasaku, D. Miwa, T. Ishikawa, H. Nohira, T. Hattori, Y. Sugita, O. Nakatsuka, A. Sakai and S. Zaima : "High resolution-high energy x-ray photoelectron spectroscopy using third-generation synchrotron radiation source, and its application to Si-high k insulator systems", Appl. Phys. Lett. **83** (2003) 1005.
- [ 11 ] Y. Takata, M. Yabashi, K. Tamasaku, Y. Nishino, D. Miwa, T. Ishikawa, E. Ikenaga, K. Horiba, S. Shin, M. Arita, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, H. Nohira, T. Hattori, S. Södergren, B. Wannberg and K. Kobayashi : "Development of hard X-ray photoelectron spectroscopy at BL29XU in SPring-8", Nucl. Instrum. Methods. A **547** (2005) 50.
- [ 12 ] Y. Takata, M. Matsunami, K. Horiba, S. Shin, M. Yabashi, K. Tamasaku, Y. Nishino, D. Miwa, T. Ishikawa, H. Nohira and T. Hattori : unpublished.
- [ 13 ] T. Nakamura, S. Daté, and T. Ohshima : "Transverse Bunch-by-bunch Feedback System for the SPring-8 Storage Ring", Proc. of the 9th European Particle Accel. Conf., Lucerne, July, (2004) pp. 2646-2648.
- 田中 均 TANAKA Hitoshi  
(財)高輝度光科学研究センター 加速器部門  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
TEL : 0791-58-0851 FAX : 0791-58-0850  
e-mail : tanaka@spring8.or.jp
- 大島 隆 OHSHIMA Takashi  
(財)高輝度光科学研究センター 加速器部門  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
TEL : 0791-58-0851 FAX : 0791-58-0850  
e-mail : ohshima@spring8.or.jp
- 清水 純 SCHIMIZU Jun  
(財)高輝度光科学研究センター 加速器部門  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
TEL : 0791-58-0851 FAX : 0791-58-0850  
e-mail : jshimizu@spring8.or.jp
- 依田 哲彦 YORITA Tetsuhiko  
(財)高輝度光科学研究センター 加速器部門  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
TEL : 0791-58-0851 FAX : 0791-58-0850  
e-mail : yorita@spring8.or.jp
- 大石 真也 OISHI Masaya  
(財)高輝度光科学研究センター 加速器部門  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
TEL : 0791-58-0851 FAX : 0791-58-0850  
e-mail : moishi@spring8.or.jp
- 大熊 春夫 OHKUMA Haruo  
(財)高輝度光科学研究センター 加速器部門  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
TEL : 0791-58-0851 FAX : 0791-58-0850  
e-mail : ohkuma@spring8.or.jp
- 熊谷 教孝 KUMAGAI Noritaka  
(財)高輝度光科学研究センター 加速器部門  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
TEL : 0791-58-0851 FAX : 0791-58-0850
- 高田 昌樹 TAKATA Masaki  
(財)高輝度光科学研究センター 利用促進部門  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
TEL : 0791-58-0946 FAX : 0791-58-0946  
e-mail : takatama@spring8.or.jp
- 高田 恭孝 TAKATA Yasutaka  
(独)理化学研究所播磨研究所  
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
TEL : 0791-58-2933 FAX : 0791-58-2934  
e-mail : takatay@spring8.or.jp
- 五作 賢治 TAMASAKU Kenji  
(独)理化学研究所播磨研究所  
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
TEL : 0791-58-2933 FAX : 0791-58-2934  
e-mail : tamasaku@spring8.or.jp