

## ニュースバル放射光施設

### NewSUBARU SYNCHROTRON RADIATION FACILITY

宮本 修治<sup>#, A)</sup>, 庄司 善彦<sup>A)</sup>, 橋本 智<sup>A)</sup>, 天野 壯<sup>A)</sup>, 皆川 康幸<sup>B)</sup>, 竹村 育浩<sup>B)</sup>  
濱田 洋輔<sup>B)</sup>, 松下 智裕<sup>B)</sup>, 大熊 春夫<sup>B)</sup>

Shuji Miyamoto <sup>#, A)</sup>, Yoshihiko Shoji<sup>A)</sup>, Satoshi Hashimoto<sup>A)</sup>, Sho Amano<sup>A)</sup>, Yasuyuki Minagawa<sup>B)</sup>,  
Yasuhiro Takemura<sup>B)</sup>, Yousuke Hamada<sup>B)</sup>, Tomohiro Matsushita<sup>B)</sup>, Haruo Ohkuma<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Laboratory of Advanced Science and Technology for Industry, University of Hyogo

<sup>B)</sup> Japan Synchrotron Radiation Research Institute

#### Abstract

NewSUBARU is a synchrotron radiation facility consist of 0.5 GeV to 1.5 GeV electron storage ring and nine beam lines. The facility was constructed in the SPring-8 site and is operated by University of Hyogo. Electron beam of 1.0 GeV electron are supplied from SPring-8 linac. Top-up operation mode is electron energy of 1.0 GeV and current of 300mA. After injection of electron into the storage ring, electron energy deceleration down to 0.5 GeV and acceleration up to 1.5 GeV are possible.

#### 1. はじめに

ニュースバル放射光施設は、兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所がSPring-8サイトに設置し、運用している放射光施設である。Fig.1にニュースバル放射光施設周辺の航空写真を示す。上方にSPring-8の蓄積リングの一部、左端にSACLAが見える。右上の細長い建物がSPring-8線形加速器(Linac)で、1.0-GeV電子バンチをSPring-8シンクロトロン(Synchrotron)に入射する。ニュースバル側へ電子を出射する場合は、電磁石でビームパスを切り替え、トランスポートトンネルを介してニュースバルまで伝送する。従来、ビームパス切り替えに10秒程度かかっていたが、短寿命運転モードにも対応できるように、今年度から1Hzでの切り替えに対応した。[1]

ニュースバル放射光施設は周長118-mのレストラック型電子蓄積リングと、9本の放射光ビームラ

インから構成されている。現在、Fig.2 に示すように、1.0-GeV利用運転時には蓄積電流300-mA一定の随時継ぎ足し入射(Top-Up運転)が行われている。また1週間の内1日または2日は1.5-GeVまで加速した高エネルギー利用運転を行っている。高エネルギー利用運転では、1.0-GeVで350-mAまで電子を蓄積後、1.5-GeVまで加速を行う。利用運転中はCOD (Closed Orbit Distortion) の連続補正により、ビーム軌道を水平・垂直共に10  $\mu$ m程度に保っている。

放射光利用では、軟X線領域放射光の産業利用として、極端紫外光半導体リソグラフィ関連研究開発、LIGAプロセスによるナノマイクロ加工、新素材開発・産業用分析等に使われている。また、レーザCompton散乱ガンマ線ビームラインを1本設置しており、1-70 MeVのガンマ線ビームを0.33mW発生できる。[2]

Table IにNewSUBRU電子蓄積リングのパラメータを示す。



Fig.1. Bird view of NewSUBARU Building.

Table I : Parameter of NewSUBARU storage ring

Injection energy	1.0 GeV
Storage energy	0.5 - 1.5 GeV
Storage current (max)	500 mA
TopUp operation	1.0 GeV / 300 mA
Lattice	DBA(6 cell) + Inv. B(6)
Circumference	118.731 m
RF frequency	499.955 MHz
Harmonic number	198
Betatron tune	6.30 (H) / 2.21 (V)
$\Delta E/E$ (1.0/1.5 GeV)	0.047% / 0.072%
Emittance(1.0/1.5 GeV)	37 nmrad / 67 nmrad

\*miyamoto@lasti.u-hyogo.ac.jp

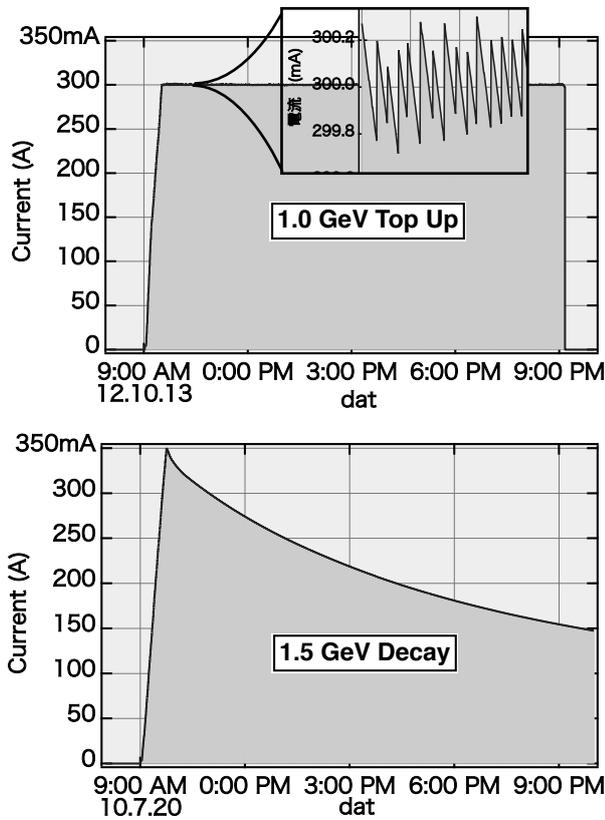


Fig.2. Histry of electron storage current. 1.0GeV top-up operation and 1.5 GeV decay operation.

## 2. ニュースバル放射光施設の現状

NewSUBRU実験ホール内の電子蓄積リングおよび放射光ビームラインの配置をFig. 3に示す。蓄積リングは、遮蔽コンクリートトンネル内に収納されている。収納トンネル外側に9本のビームラインが設置されている。

BL01はレーザCompton散乱ガンマ線源BL[2]で、Ndレーザ(波長1064 nm)、CO<sub>2</sub>レーザ(波長10656 nm)、Ti-Sapレーザ(波長750-nm~850-nm)等の入射により準単色・偏極ガンマ線を発生・利用している。従来のガンマ線照射ハッチ内部の容積が1.5m×1.1m×1.65mHと非常に狭く、大型の計測機器を使うことが困難であったため、新しいガンマ線実験ハッチを、旧ハッチの後方に追加した。

BL02は大面積の深X線リソグラフィBLでLIGAプロセスによる高アスペクト比、ナノマイクロ加工に用いられている。

BL03は極端紫外光リソグラフィ開発BLで、次世代縮小投影露光半導体リソグラフィ用のマスク評価およびレジスト開発に用いられている。

BL05は産業用分析ビームラインで、2分岐BLが同時使用可能で、XAFS、XPSなどの計測でき、利用者支援でシンクロトロンアナリシスLLCと協力している。今年度、分光器を改修して、スペクトル測定範囲を拡大する。BL06は表面改質など、材料のSRプロセス研究BLで、作動排気システムによりガス雰囲気中で1keV程度までの軟X線照射が可能である。BL07は短尺アンジュレーター(2.4m長)BLで、材料照射BLと材料評価BLに2分岐している。

BL09は長尺アンジュレーター(10.8m長)の高輝度光源に、高分解能分光器を備え、吸収分光やEUVL用レジスト開発のための13.5 nm干渉露光に用いられる。BL10は極端紫外光汎用BLで、不等間隔回折格子により多層膜ミラーの反射率やフィルターの透過率を高精度で測定できるシステムを構築している。BL11は集光露光LIGAビームラインでHe雰囲気で大気圧露光が可

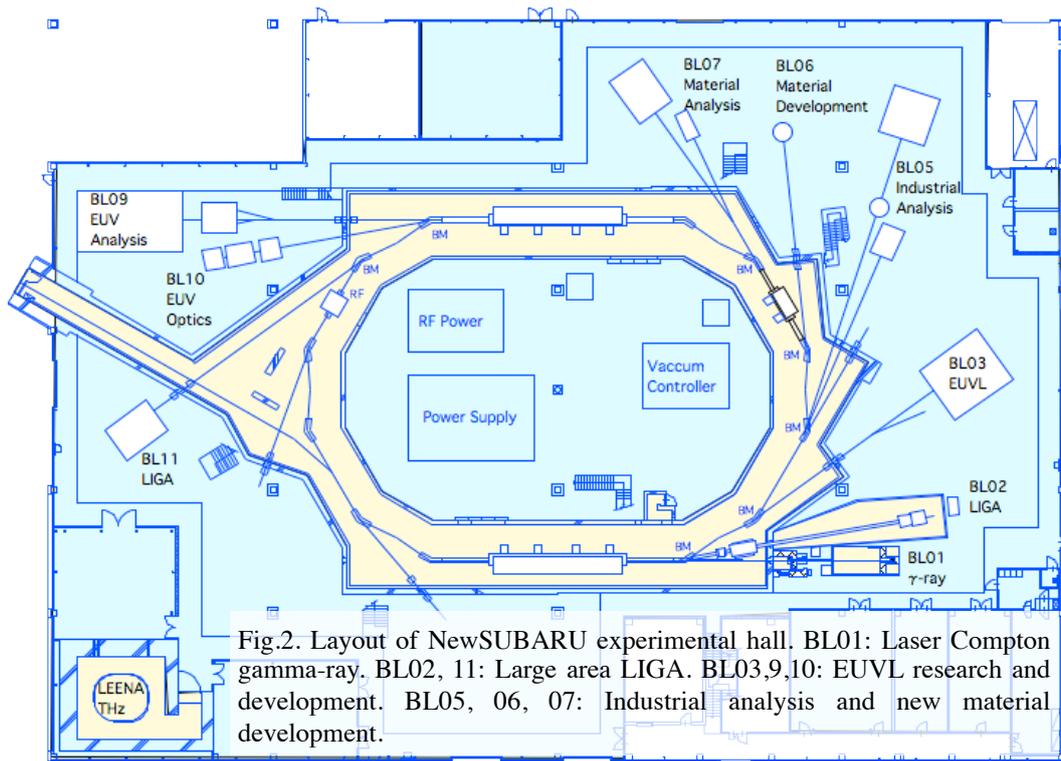


Fig.2. Layout of NewSUBARU experimental hall. BL01: Laser Compton gamma-ray. BL02, 11: Large area LIGA. BL03,9,10: EUVL research and development. BL05, 06, 07: Industrial analysis and new material development.

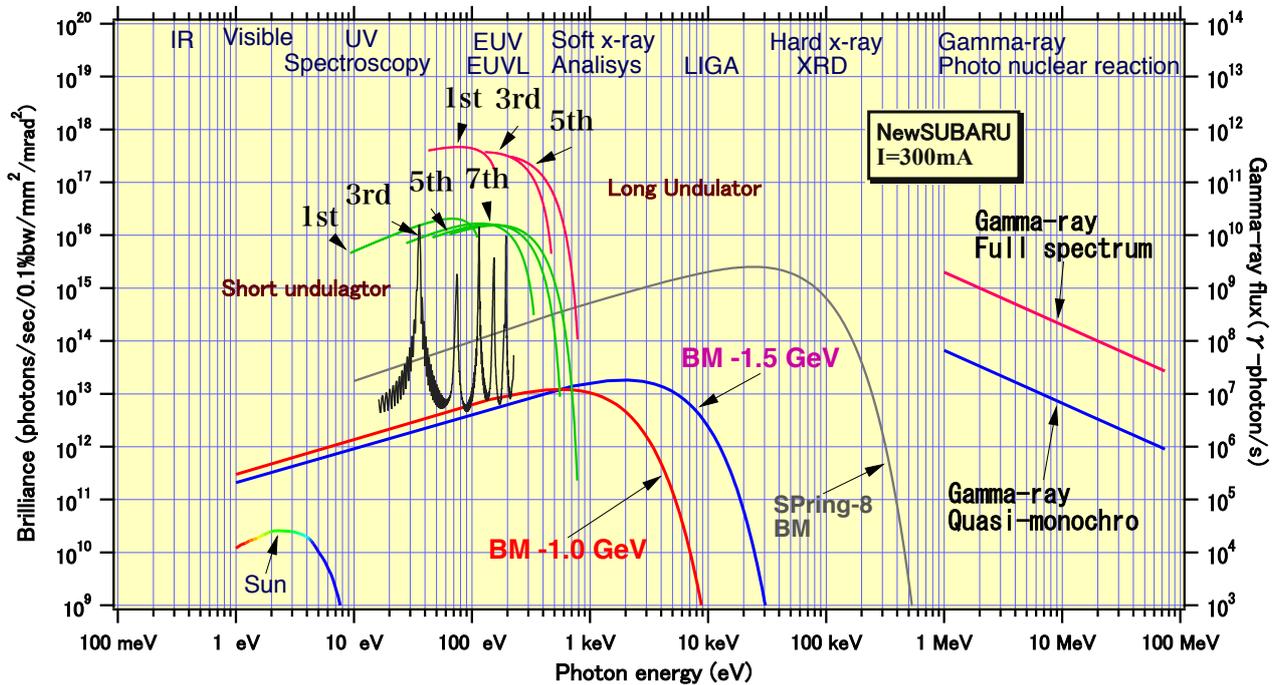


Fig.3 Spectral brightness of NewSUBARU synchrotron radiation facility. An example of SPring-8 bending magnet source is also shown as a reference.

能である。今年度はミラーなどビームライン機器を改造し、大面積露光が可能な、産業用試作加工ビームラインとして高度化を行う。

Fig. 3に偏向電磁石光源およびアンジュレータ光源のスペクトル輝度を示す。

### 3. ニュースバル運転の現状

ニュースバル放射光施設の2011年度および2012年度の年間運転時間の内訳をFig.4に示す。総運転時間は2011年度の2,306時間から、2012年度の2,621時間と約30%程度増加した。利用運転時間は330時間現象した。これは、蓄積リング電子の減速や加速など、特殊な利用、ビーム調整 (Tuning)に含めたためである。また、入射のビーム制御の最適化や、

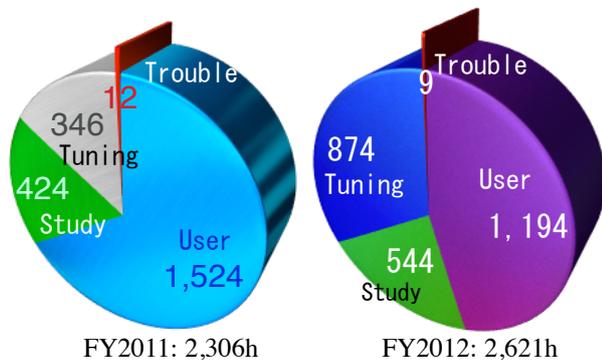


Fig.4. Breakdown of NewSUBARU operation time.

磁場補正の改善で、蓄積電子寿命を改善し、1.0GeVのTopUp運転電流を、250mAから3000mAに上昇した。

2012年度は、以下のトラブルの発生があり、それぞれ対処した。

- (1)ビームアボート。冷却水量インターロック発報や落雷による電圧変動でビームアボート。冷却水漏洩は収納トンネル内SR5モニタ部。
- (2)ビームドロップ。蓄積中、加速中、などに数回発生した。ステアリング設定の変化による入射削れや、チューン変動。
- (3)上流側機器故障による入射停止。LINACモジュレータ交換による、パラメータ変化。
- (4)シンセサイザ故障(サイドバンドにピーク発生。予備品と交換し、シンセサイザー修理。制御系トラブル。
- (5)加速器電源のアラーム発報。自動立ち上げ時に発報して停止が2回発生。リセット+初期化で対応。
- (6)タイミング系モジュールの故障による、入射停止。予備品と交換。修理。

### 4. 関連報告

ニュースバル関連で、以下の報告がある。

- 4.1 「SPring-8線型加速器における高速振り分け入射」  
高速にビームルートを変更できるように改造を行った。その結果、SPring-8シンクロトロン

とニュースバル蓄積リングに、それぞれ最大1Hzでビームを振り分け入射可能とした。<sup>[1]</sup>

- 4.2 「レーザCompton散乱ガンマ線ビーム源特性と偏光ガンマ線利用」  
BL01のレーザCompton散乱ガンマ線源共同研究ハッチGACKOの利用を開始した。核物理研究、非破壊検査等に利用が容易になった。<sup>[2]</sup>
- 4.3 「小型線形加速器LEENAにおけるテラヘルツ光源開発」  
15MeVライナック電子ビームの加速器トランスポート系改修を行い、短パルス化とSmith-Purcell放射によるTHz光発生試験を実施。<sup>[3]</sup>
- 4.4 「ニュースバルにおける六極電磁石追加によるビーム寿命改善」  
六極電磁石追加により、ビーム寿命改善を行った。<sup>[4]</sup>
- 4.5 「レーザCompton散乱ガンマ線ビームによる遮蔽評価法」  
レーザCompton散乱ガンマ線ビーム源を用いて、小サンプルのガンマ線透過率計測を試験した。<sup>[5]</sup>
- 4.6 「ニュースバルへの垂直キッカーシステム導入」  
蓄積リングの多目的R&D用に、垂直キッカーシステムをセラミックダクト部に設置した。パルス幅約500nsのハーフサインパルス。<sup>[6]</sup>
- 4.7 「可視光ビームモニターライン初段ミラーの熱変形補償」  
蓄積リングの可視光モニターにおける、放射光熱負荷によるBeミラーの熱レンズ効果の補償を試験した。<sup>[7]</sup>

## 5. まとめ

ニュースバル放射光施設は、建設から15年経過しているが、必要な保守と改修を加え、現在1.0 GeV/300mAのトップアップ運転と、1.5 GeV/350mA-150mAの電流減衰運転を週間スケジュール配分して安定に運用している。これらのエネルギー

以外での利用は、夜間等を用いた調整運転およびスタディ運転で対応している。準単色ガンマ線利用ビームライン(BL01)では、0.55GeVから1.47GeVの間で、電子エネルギーを変化させた実験を実施した。また、平成25年度は、9本のビームラインの内、5本のビームラインで、利用者の要望に沿った、分光器等装置の高度化改修を実施する予定である。

## 参考文献

- [1] 出羽英紀 他, "SPRING-8線型加速器における高速振り分け入射", 本年会プロシーディングス, MOOS05, 第10回日本加速器学会年会, 名古屋大学, 8月5日 (2013).
- [2] 宮本修治 他, "レーザCompton散乱ガンマ線ビーム源特性と偏光ガンマ線利用", 本年会プロシーディングス, MOOT16, 第10回日本加速器学会年会, 名古屋大学, 8月5日 (2013).
- [3] 橋本智 他, "小型線形加速器LEENAにおけるテラヘルツ光源開発", SSFP06, 第10回日本加速器学会年会, 名古屋大学, 8月3-5日 (2013).
- [4] 皆川康幸 他, "ニュースバルにおける六極電磁石追加によるビーム寿命改善", 本年会プロシーディングス, SAP011 第10回日本加速器学会年会, 名古屋大学, 8月3日 (2013).
- [5] 宮本修治 他, "レーザCompton散乱ガンマ線ビームによる遮蔽評価法", 本年会プロシーディングスSAP029 第10回日本加速器学会年会, 名古屋, 8月3日 (2013).
- [6] 庄司善彦 他, "ニュースバルへの垂直キッカーシステム導入", 本年会プロシーディングス SUP060, 第10回日本加速器学会年会, 名古屋大学, 8月4日 (2013).
- [7] 松本卓也 他, "可視光ビームモニターライン初段ミラーの熱変形補償", 本年会プロシーディングス SUP072, 第10回日本加速器学会年会, 名古屋大学, 8月4日 (2013).