

# NewSUBARU SYNCHROTRON RADIATION FACILITY

S.Miyamoto<sup>\*A)</sup>, Y.Shoji<sup>A)</sup>, S.Hashimoto<sup>A)</sup>, S.Amano<sup>A)</sup>

Y.Minagawa<sup>B)</sup>, Y.Takemura<sup>B)</sup>, K.Kawata<sup>B)</sup>, Y.Hamada<sup>B)</sup>, H.Ohkuma<sup>B)</sup>, Y.Asano<sup>C)</sup>

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

1-1-2 Kouto, Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo, 678-1205

<sup>B)</sup>Japan Synchrotron Radiation Research Institute, <sup>C)</sup>RIKEN, Harima

1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198

## Abstract

NewSUBARU is a synchrotron radiation facility consist of 1.0 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. Top-up injection beams of 1.0 GeV electron are supplied from SPring-8 linac. LEENA, a compact 15 MeV linac, was installed in the NewSUBARU experimental hall and is used for testing the accelerator and developing a THz radiation source.

## ニュースバル放射光施設

### 1. はじめに

ニュースバルは、兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所が設置・運用している放射光施設で、軟X線領域放射光の産業利用（極端紫外光半導体リソグラフィ、ナノマイクロ加工LIGA、新素材開発・産業用分析等）およびレーザーCompton散乱ガンマ線源など新光源開発とその利用を目的とした周長118-mのレー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。ニュースバルへ入射される1.0-GeV電子ビームはSPring-8線形加速器から供給され、現在、1.0-GeV利用運転時には蓄積電流250-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。

6つのDBAセル間には約2.5-mおよび14-mの直線部があり、電子ビーム入射用機器、高周波加速空洞、および挿入光源が設置されている。偏向電磁石（BM）からの放射光は偏向角度10度の点から、挿入光源放射光は0度方向へ取り出される。

Fig.1は最近のニュースバル放射光施設の航空写真である。上方にSPring-8の蓄積リングの一部が見えている。右上のかまぼこ状建物がSPring-8線形加速器（Linac）で、1.0-GeVに加速された電子バンチはSPring-8シンクロトロン（Synchrotron）に入射され、8-GeVまで加速して、蓄積リングへ入射する。ニュースバル側へ電子を射出する場合は、切り替え電磁石で、電子をニュースバル方向へ向け、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される。Table IIにニュースバル電子蓄積リングのパラメーターを示す。

ニュースバル実験ホール内の電子蓄積リングお



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 / 250 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

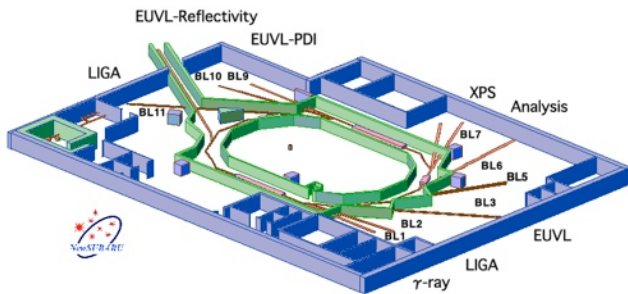


Fig.2. Layout of NewSUBARU experimental hall. BL01: Laser Compton gamma-ray. BL02: Large area LIGA. BL03: EUVL research. BL05: Industrial analysis. BL06: New material development. BL07: Short undulator for anarysis. BL09: Long undurator for EUV application. BL10: Multipurpus EUV. BL11: Nano-micro process by LIGA.

よび放射光ビームラインの配置をFig.2に示す。蓄積リングは、緑色の遮蔽コンクリートトンネル内に収納されている。(図ではトンネルの天井を表示していない。) トンネルの外側に9本のビームラインが設置されている。

BL01はレーザーCompton散乱ガンマ線源<sup>[1]</sup>で、Ndレーザー(波長1064 nm)、CO<sub>2</sub>レーザー(波長10656 nm)<sup>[2]</sup>、Ti-Safレーザー(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、昨年度末に、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<sup>[3]</sup>。

新ハッチは、4.0m×2.4m×2.6mHのサイズで、今年度後半から利用可能となる見込みである。

BL02は大面積の深X線リソグラフィー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ー開発BLで、次世代縮小投影露光半導体リソグラフィー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。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で1keV程度までの軟X線照射が可能である。B107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能である。

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

## 2. ニュースバルの現状

ニュースバル放射光施設の2010年度および2011

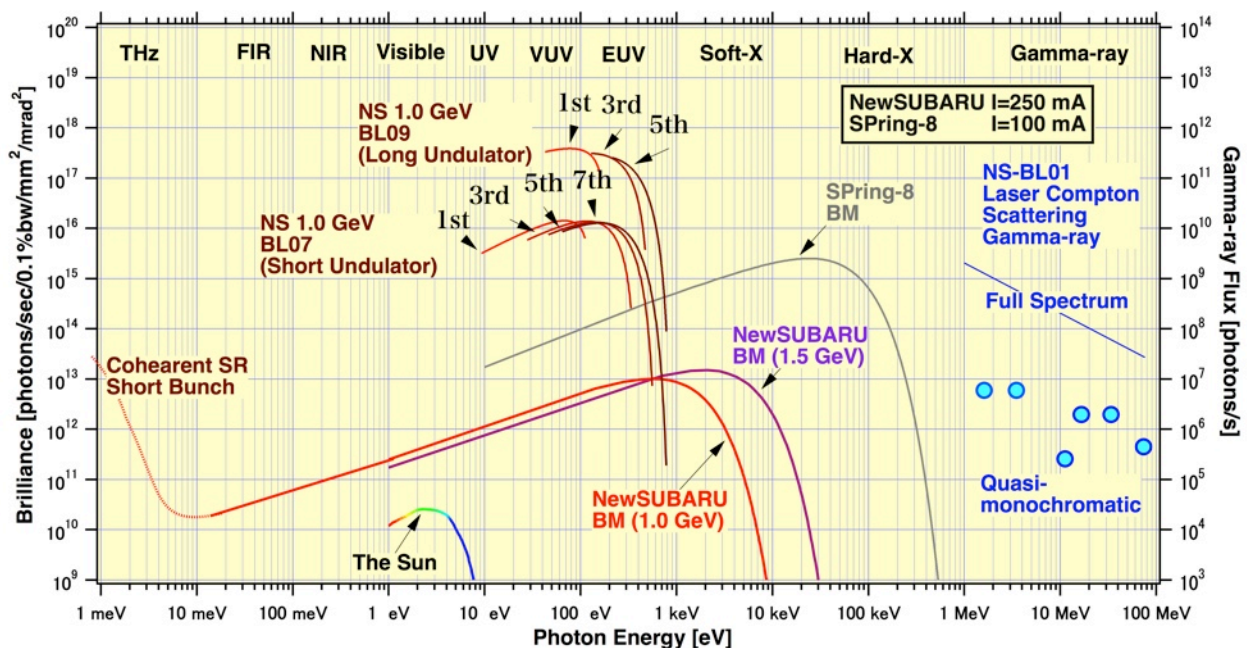


Fig.3 Spectral brightness of NewSUBARU synchrotron radiation facility. An exsample of SPring-8 bending magnet source is also shown as a reference.

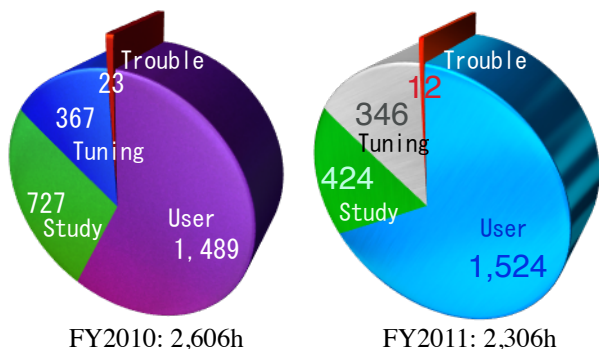


Fig.4. Breakdown of NewSUBARU operation time.

年度の年間運転時間の内訳をFig. 4に示す。総運転時間は2010年度の2,606時間から、2011年度の2,306時間と約12%程度削減したが、利用運転時間は35時間増加した。これは、スタディ時間の効率よい使用と、調整時間およびトラブル停止時間の減少による。また、入射のビーム制御の最適化や、磁場補正の改善で、蓄積電子寿命を改善することができ、1.0GeVのTopUp運転電流を、220mAから250mAに上昇した。

2011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) ビームアポート。落雷と操作ミス(スタディ時)で、2度発生した。
- (2) ビームドロップ。蓄積中、加速中、などに6回発生した。ステアリング設定の変化による入射削れや、スタディ後の設定ミスなどによる。
- (3) プレ・トリガーパルス送出トラブル。電子入射器へ送る、プレ・トリガー発生NIMモジュール故障により、入射が停止。故障品は交換した。
- (4) 終了処理や復帰処理のミスなどで、自動立ち上げ中の異常停止が3度発生。
- (5) ビームライン側真空度の悪化による電子寿命低下。ビームライン周辺の真空度悪化。運転停止して、スローリーク部の応急処置を実施。
- (6) 制御系トラブルによる入射停止等。データベーストラブルによる自動パンチ選択入射の停止やCOD自動補正停止等が発生した。

### 3. 電子入射、蓄積ビーム、ガンマ線源開発、小型線形加速器によるTHz光源

ニュースバル関連で、以下の報告がある。

- 3.1 「ニュースバルにおけるエネルギー差を使った入射<sup>[4]</sup>」有限分散部入射では、入射ビームのエネルギーを蓄積リングから外す事により、ベータatron振幅をシンクロトロン振動に移し、入射効率を改善できる。有限分散ラティスにおいてtop-up運転が可能な試験を行った。
- 3.2 「ニュースバルにおける加速器性能改善<sup>[5]</sup>」入射電荷量に対する放射線安全上の制限のため、入射ビーム調整による入射効率改善と多極磁場補正

によるビーム寿命改善を行い、蓄積電流の増加を行った。

- 3.3 「ニュースバル偏光ガンマ線ビームライン<sup>[1]</sup>」レーザ・コンプトン散乱ガンマ線源の偏光特性を利用した応用研究のため、新実験ハッチを設置し、1.7MeVから76.3MeVの偏光ガンマ線を高フラックスで発生できるよう改造した。
- 3.4 「レーザコンプトン散乱ガンマ線源用フラックスモニタの開発<sup>[6]</sup>」ガンマ線イメージングや、磁気コンプトン散乱計測に不可欠な、リアルタイムガンマ線フラックスモニタの開発。標準標的からのコンプトン散乱を用いる。
- 3.5 「兵庫県立大学電子線形加速器LEENAの現状と性能向上<sup>[7]</sup>」テラヘルツ光源開発のため、LEENA小型電子線形加速器(S-band、15MeV)の性能改善。加速器制御系、電子輸送系改良によるビーム電流増大とテラヘルツ放射減開発の現状報告。
- 3.6 「小型線形加速器LEENAを用いたテラヘルツ光源開発<sup>[8]</sup>」小型電子線形加速器LEENAによるスミス・パーセル放射テラヘルツ光の観測。

## 4. まとめ

ニュースバル放射光施設は、建設から14年経過し、1.0 GeV/250mAのトップアップ運転と、1.5 GeV/350mA-150mAのディケイ運転を週間スケジュール配分して安定に運用できている。本年までの数年間で、クライストロン、制御系計算機システム、入退室管理システム、加速器安全インターロックシステム、冷却水流量計、電源電解コンデンサ、制御電源など、主要な機器の更新を行ってきた。

## 参考文献

- [1] 宮本修治 他, “ニュースバル偏光ガンマ線ビームライン”, 本年会プロシーディングス, FRLR17(第9回日本加速器学会年会, 大阪大学, 2012. 8. 8-11).
- [2] 原子力研究開発機構との共同研究による。
- [3] 甲南大学との共同研究による。
- [4] 庄司善彦 他, “ニュースバルにおけるエネルギー差を使った入射”, 本年会プロシーディングス WEUH05(第9回日本加速器学会年会, 大阪大学, 2012. 8. 8-11).
- [5] 竹村育浩, 皆川康幸 他, “ニュースバルにおける加速器性能改善”, 本年会プロシーディングス THPS043(第9回日本加速器学会年会, 大阪大学, 2012. 8. 8-11).
- [6] 北川靖久 他, “レーザーコンプトン散乱ガンマ線源用フラックスモニタの開発”, 本年会プロシーディングス THPS121(第9回日本加速器学会年会, 大阪大学, 2012. 8. 8-11).
- [7] 橋本 智 他, “兵庫県立大学電子線形加速器LEENAの現状と性能向上”, 本年会プロシーディングス THPS010(第8回日本加速器学会年会, つくば, 2011. 8. 8-11).
- [8] 陳 彩華 他, “小型線形加速器LEENAを用いたテラヘルツ光源開発”, 本年会プロシーディングス THPS045(第8回日本加速器学会年会, つくば, 2012. 8. 8-11).