

NewSUBARU SYNCHROTRON RADIATION FACILITY

*S.Miyamoto, Y.Shoji, S.Hashimoto, S.Amano, H.Ohkuma, Y.Minagawa, K.Kawata, T.Shinomoto, Y.Takemura
 Y.Tuduki, I.Sasaki, Y.Takahara, S.Kamiue, S.Matsui, H.Kinoshita, K.Kanda
 Y.Utsumi, M.Niibe, T.Watanabe, Y.Haruyama, D.Noda, T.Harada
 Laboratory of Advanced Science and Technology for Industry, University of Hyogo
 1-1-2 Kouto, Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo, 678-1205

Abstract

NewSUBARU is a synchrotron radiation facility consist of 1.0 GeV to 1.5 GeV electron storage ring and nine beam lines for mainly soft x-ray radiations. The facility is constructed in the SPring-8 site and operated by University of Hyogo. Top-up injection beams of 1.0 GeV electron are supplied from SPring-8 linac.

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118m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220 mAでのTop-UP運転が行われている。また約1.5日/週で1.5 GeV利用運転が行われており、1.0 GeVで350 mAまで蓄積後、1.5 GeVまでエネルギー加速を行う。利用運転中はCOD (Closed Orbit Distortion) の連続補正により、ビーム軌道の安定性は水平・垂直共に10 μ m以下に保たれている。



Figure 1: Bird view of NewSUBARU Building.

6つのDBAセル間には約2.5 mおよび14m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に最近のニュースバル放射光施設の航空写真を示す。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、8GeV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。

Table I : Parameter of NewSUBARU ring

Injection energy	1.0 GeV
Storage energy	0.5 – 1.5 GeV
Storage current (max)	500 mA
TopUp operation	1.0 GeV / 220 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

ニュースバル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.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

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

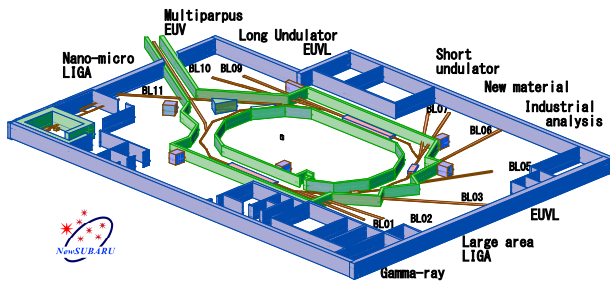


Figure 2: Layout of NewSUBARU experimental hall. BL01: Laser Compton gamma-ray. BL02 : Large area LIGA. BL03 : EUVL research. BL05 : Industrial analysis. BL06 : New material development. BL07 : Short undulator for analysis. BL09 : Long undurator for EUV application. BL10 : Multiparvus EUV. BL11 : Nano-micro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

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で、Ndレーザ(波長1064 nm)、CO₂レーザ(波長10656 nm)等の入射により1.7-40 MeVの準単色・偏極ガンマ線を発生・利用できる。昨年度より、波長可変のTi-Safレーザ(波長750 nm-850 nm)を、Ndレーザと同時入射が可能な光学系としたため、2種のエネルギーの準単色ガンマ線をサンプルに同時照射出来る様になっている。

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。

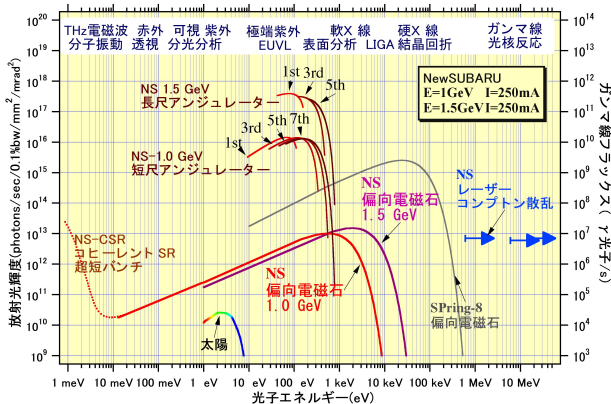


Figure 3: Spectral brightness of NewSUBARU synchrotron radiation. An exsample of SPring-8 bending magnet source is also shown as a reference.

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能である。

Fig.3に偏極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年間運転時間は2009年度の2,544時間に比べ、2010年度は2,606時間と約2%程度増加した。運転時間の内訳をFig. 4に示す。利用運転時間は181時間減少しているが、これは、スケジュール外の利用をスタディ時間として積算しているためである。トラブルにより利用運転が停止した時間は半減している。以下のビームアポート等のトラブルの発生があった。

(1) 落雷による瞬時停電でビームアポート。1 GeV/220mAでトップアップ運転中。

(2) 1GeV電子蓄積中に377mAでアポートなど3回。RF位相チューナーオフセット変更で対処。

(3) 1.5GeV加速直後330mAでアポートなど3回。加速パラメーターの変化が原因と思われる。パラメーターを修正して、発生がなくなった。

(3) 電源内で漏水。応急処置。後日部品交換。

(4) オペレーションミス等による、COD拡大や、フィリングパターンの乱れによるビームの削れ等。現在以下の対処で、ほぼ解決できている。CODの補正を約1分ごとに実行する「自動COD補正」を実施。また、フィリングパターンの保持のため、全198バンチの電流値を計測して、設定したパター

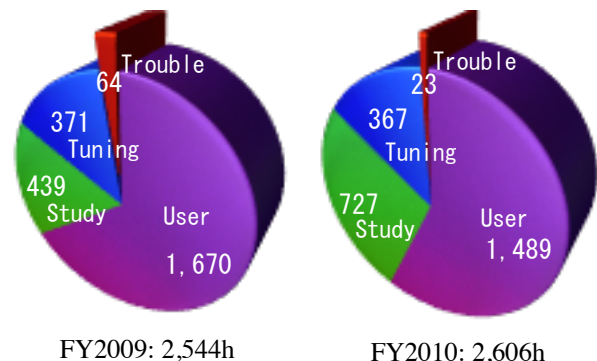


Figure 4: Breakdown of NewSUBARU operation time.

ンに比べ、電流値が小さいバンチから順に入射を行う「バンチ・セレクト入射システム」を稼働させている。

(5)その他、操作ミスによるトラブルが発生した。操作画面(GUI)の改良で、回避できるように対処している。

3. 電子入射、蓄積ビーム、放射光高輝度化と、ガンマ線源開発

- 3.1 ニュースバルの線形ラティスマデル[1]。NewSUBARUの線形ラティスマデルを再検討し、 β 関数がより実機に近いモデルを構築した。
- 3.2 ニュースバルにおける垂直ステアリングのキック力評価[2]。ステアリングの応答関数を測定し、その結果からステアリング電磁石の個性を特定した。それを、OPERA-3Dを用いた3次元磁場分布計算と比較検討した。
- 3.3 ニュースバルの可視光ビームハローモニター[3]。電子蓄積リング「ニュースバル」に可視光を用いたビームハローモニターを導入した。
- 3.4 ニュースバル放射光の高輝度化に向けた研究[4]。垂直ビームサイズおよびビーム寿命のRF shaker power 依存性を調べることで、ニュースバルリングの高輝度化運転を検討した。
- 3.5 ニュースバルの多機能電磁石による性能改善[5]。ニュースバルの長尺アンジュレーターの上流に新たに設置した多機能電磁石(vertical dipole, skew4 極, skew6 極, octupole)を使用して、ビーム寿命や入射効率への影響を調査した。
- 3.6 ニュースバルにおけるCOD補正 [6]。新しいCOD補正では、実測したステアリング応答を使うようにした。これによってCOD補正の収束が早くなった。
- 3.7 ニュースバルに於ける逆偏向電磁石内6極コイルによるタウシェック寿命改善[7]。6極コイルによるタウシェック寿命の改善を、RF電圧依存性で測定した。
- 3.8 レーザCompton散乱ガンマ線源[8, 9]。直線偏極したガンマ線の強度分布をスキャン法により測定した。また、ガンマ線源の利用エネルギー領域の拡大の為に、波長可変Ti-Safレーザを導入した。

4. まとめ

ニュースバル放射光施設は、建設から13年経過し、1.0 GeV/220mA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。今後とも、放射光利用の安定化と高度化に向けて、加速器システムおよび放射光源の改善を実施してゆく予定である。

参考文献

- [1] Y. Shoji, "ニュースバルの線形ラティスマデル", 本年会プロシーディングスMOPS046(第8回日本加速器学会年会, つくば, 2011. 8. 1-3).
- [2] Y. Shoji, "ニュースバルにおける垂直ステアリングのキック力評価 -近隣磁石ヨークによる実効長減少-", 本年会プロシーディングス MOPS047(第8回日本加速器学会年会, つくば, 2011. 8. 1-3).
- [3] Y. Shoji, "ニュースバルの可視光ビームハローモニター", 本年会プロシーディングス MOPS066(第8回日本加速器学会年会, つくば, 2011. 8. 1-3).
- [4] S. Chin et al., "ニュースバル放射光の高輝度化に向けた研究", 本年会プロシーディングス TUPS041(第8回日本加速器学会年会, つくば, 2011. 8. 1-3).
- [5] Y. Minagawa et al., "ニュースバルの多機能電磁石による性能改善", 本年会プロシーディングス TUPS080(第8回日本加速器学会年会, つくば, 2011. 8. 1-3).
- [6] Y. Minagawa et al., "ニュースバルにおけるCOD補正", 本年会プロシーディングス TUPS081(第8回日本加速器学会年会, つくば, 2011. 8. 1-3).
- [7] Y. Takemura et al., "ニュースバルに於ける逆偏向電磁石内6極コイルによるタウシェック寿命改善", 本年会プロシーディングス TUPS082(第8回日本加速器学会年会, つくば, 2011. 8. 1-3).
- [8] Y. Kitagawa, "NewSUBARUにおけるコンプトンガンマ線イメージング", 本年会プロシーディングス MOPS126(第8回日本加速器学会年会, つくば, 2011. 8. 1-3).
- [9] D. Tonaka, "コンプトンガンマ線源の利用エネルギー領域の拡大とその評価", 本年会プロシーディングス MOPS127(第8回日本加速器学会年会, つくば, 2011. 8. 1-3).