

## STABILIZATION OF NEWSUBARU SYNCHROTRON RADIATION SOURCE

Satoshi Hashimoto<sup>1A)</sup>, Yasuyuki Minagawa<sup>B)</sup>, Takahide Shinomoto<sup>B)</sup>, Kenji Kawata<sup>C)</sup>, Shuji Miyamoto<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> NewSUBARU / 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> JASRI Accelerator Division, 1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198

<sup>C)</sup> JASRI Controls and Computing Division, 1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198

### Abstract

The periodic fluctuations and drifts in optical axis of synchrotron radiation have been observed in the NewSUBARU. Measuring temperatures of air, water, equipments, building and so on, we found that temperature fluctuations in both air in the shielded tunnel and cooling water mainly affect the stabilities of electron beam orbit and optical axis. By optimizing PID parameters of temperature controllers for air and water, the periodic fluctuations almost disappeared. By realizing the automatic COD correction, moreover, the drift in electron beam position could be suppressed. The fluctuations of radiation intensity observed at beam-lines became smaller than they used to be.

### ニュースバル放射光施設における光軸安定化に向けた取り組み

#### 1. はじめに

ニュースバル放射光施設では蓄積電子ビームの位置および放射光の光軸・光量において周期的な変動と日変化ドリフトが以前から観測されていた（図1）。周期的変動の主な原因は遮蔽トンネル内の気温変動によるものであり、これまでに実施された設備の改善等により、いくらか改善されたものの完全な解決には至っていなかった。

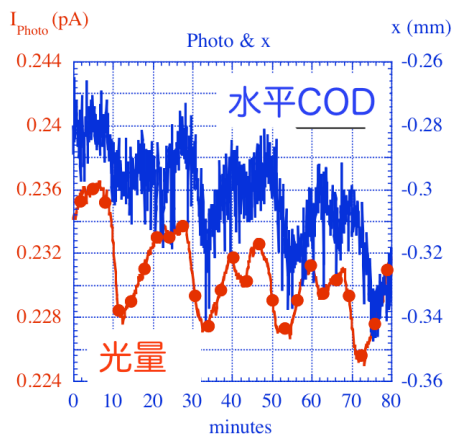


図1. 光軸安定化前の電子ビーム水平位置およびBLで観測した光量の変化

今回、環境データ測定系の増強や温度調節器PIDパラメータの最適化等を行った結果、気温変動幅を

0.1℃以下に抑える事ができ、電子ビーム位置の周期的変動を抑制する事ができた。その他の光源安定化に向けた取り組みとして、(1)冷却水の精密温度調整、(2)搬入扉への断熱カーテン設置による実験ホールの温度安定化、(3)LabVIEWで開発したモニターシステムのSPring-8データベースへの接続、(4)利用運転中の自動COD補正の実現、等を行い、放射光の光軸・光量の変動を十分小さく抑える事に成功した。本発表ではニュースバル放射光施設において実施した放射光の安定化への取り組みとその成果について報告する。

#### 2. 環境データ測定系の増強

施設内の様々な場所における気温、冷却水温度、各種機器の温度、建物や床面の温度、等々を計測するためにネットワーク分散型のデータロガー（日本ナショナルインスツルメンツFieldpoint）を増強して計測点数を大幅に増やした（約60点）[1]。これにより施設内の温度変化の詳細が明らかになり、光軸変動との因果関係の解明に大いに役に立った。測定したデータは制御室内のPC上に集約され、LabVIEWで開発したアプリケーションによってリアルタイムでトレンドグラフを見ることができる。

#### 3. LabVIEW計測システムのSPring-8データベース接続

ニュースバルではLabVIEWで開発したモニター系

<sup>1</sup> E-mail: hashi@lasti.u-hyogo.ac.jp

が多数使用されているが、いずれも SPring-8/NewSUBARUの制御系システムには接続しておらず独立したシステムであった。長期的な温度変動の影響を評価するにはLabVIEWで取得したデータをSPring-8のデータベースに保存できる事が望ましい。

LabVIEW上のデータはPCから専用VMEを経由して、データベースに保存される。VME上ではLabVIEW専用のEM(Equipment Manager)が動作しており、LabVIEWからデータベースへの橋渡しを行う。データベースにアーカイブされたデータを活用して長期的な変動の原因調査が可能になった。

#### 4. 遮蔽トンネル内気温の最適化

蓄積リング遮蔽トンネル内の温度調整は10数台のファンコイルユニット及びカスケード接続した二台の温度調節器(YAMATAKE, SD35)を用いて行われる。初段の調節器ではトンネル内の6カ所で測定した気温の平均値を入力として用いて、目標とするファンコイル冷却水温度を設定する。後段の調節器では測定した冷却水温度が設定値に近づくように三方弁の開閉を制御する。

調節器は離れた場所にある騒音の大きな機械室にあり従来は現場でしか操作が出来なかった為、PIDパラメータの最適化が困難であった。調節器本体とPCがUSB接続できる事から、現場でノートPCを一台ずつ調節器に接続し、ネットワーク経由で制御室内のPCからノートPCを制御する事により、調節器のPIDパラメータを容易に最適化できる様にした。

調節器のPID最適化により、トンネル内の気温変動幅を図2に示す様に、 $0.1^{\circ}\text{C}$ 以下に抑えることができた。これによりトンネル内気温に同期していた光量の周期的変動も消失した。

年間を通じて温度安定性を保つためには、季節に応じてPIDパラメータの最適化を行う必要があり、また冬期よりも夏期の方が調整は困難であることが分かった。

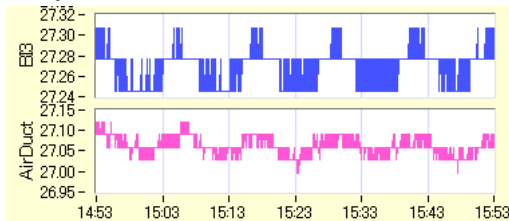


図2. PIDパラメータ最適化後のトンネル内気温

#### 5. 冷却水温度調整の最適化

ビーム軌道や光軸の変動の最大の原因であったトンネル内気温変動が $0.1^{\circ}\text{C}$ 以下に抑えられると、今度はマシン冷却水の微小な温度変動の影響がビーム軌道や光量に見られた。真空チェンバー、電磁石、ビームライン(BL)機器の冷却には施設の冷却水設備が使用されている。温度調節器が旧式であったため、PC接続可能な新式の調節器に交換し、PIDパラメータのリモート調節を可能にした。温調器PIDパラ

メータの最適化により、冷却水の温度変動幅は $0.2^{\circ}\text{C}$ 以下に保つことは出来たが、依然として温度変動に同期して、放射光強度に微小な変動が観測されており、更なる光量安定化にはより精密な温度制御が必要である。

#### 6. 実験ホール気温の安定化

実験ホール気温の1日の温度変化はトンネル内に比べて大きく、特に冬期には昼夜で4度程度の差が生じている。このような大きな温度変化は実験ホール内のビームライン機器に影響を与え、光軸・光量の変化に悪影響を及ぼしていると考えられる。

実験ホール内の気温変動が大きい原因の一つがスライド式の機器搬入扉である。扉一枚を隔てて屋外に接しており、構造上、扉の周囲に隙間が生じ安易に、外気温の影響を受けやすかった。

温度変化を最小限に抑えるために、搬入扉の周囲に断熱カーテンを設置した(図3)。熱画像カメラで観測すると扉の周囲の温度差が抑制されている事が明らかになり、断熱効果が確認された。



図3. 機器搬入扉に設置した断熱カーテン

#### 7. 自動COD補正の実施

トンネル内気温と冷却水温度の安定化により、電子ビーム位置の周期的な変動はほぼ無くなったが、ゆっくりとした日変化ドリフトが依然として観測された。ニュースバルは基本的に夜間の運転は行わず、節電のため電磁石の通電も停止しているが、通電を開始してから機器の温度が一定になるまで10時間程度かかるのでどうしても機器温度の日変化は避けられない。

電子ビーム位置のドリフト対策のため、2009年5月から利用運転時の自動COD補正を開始した。以前は利用運転中のCOD補正を1日に数回程度しか行わなかったが、COD補正プログラムの改造により、1~2分毎にCODを計測し、もし目標値よりも大きければ自動的にCOD補正を行える様にした。自動COD補正中に測定ミスや機器の誤動作等により、誤ってCODが逆に大きくなってしまうと自動補正は自動的に停止する。現在まで自動COD補正の誤作動によるビームアポート、光軸の変動等はなく、安定に動作している。自動COD補正の実施により、電子ビーム位置のゆっくりとしたドリフトはほぼ無くなった。図4に自動COD補正がない場合(左)とある場合

(右)にBPMで計測した水平、垂直方向の電子ビーム位置を示す。自動COD補正がない場合、時間と共に位置はゆっくりと変化し、COD補正を行った瞬間に大きくジャンプする。それに対して自動COD補正を行った場合、位置はほぼ一定に保たれている。

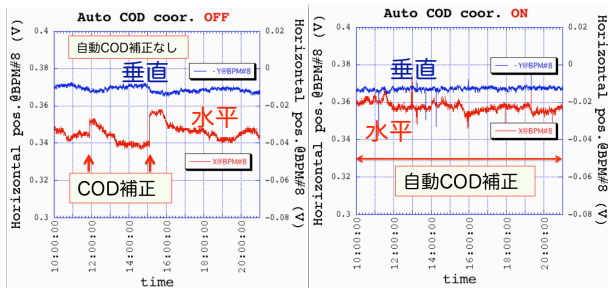


図4. 水平、垂直方向の電子ビーム位置。自動COD補正が(左)ない場合、(右)ある場合。

### 8. ビームラインにおける光量の安定性

ビームラインで実際に観測される光軸・光量の安定性を評価するために、EUVリソグラフィ反射率計測のために高い光軸安定性が要求されるBL10で計測を行った。図5はCOD補正をしなかった場合にビームライン上流部において計測した放射光強度を蓄積電流値で正規化したものである。時間と共に放射光強度が徐々に増大しているのが分かる。この原因として、(1)BLグレーティングミラーの温度変化による位置変動(図5)、(2)水平ビーム位置のドリフト(図6)が考えられる。

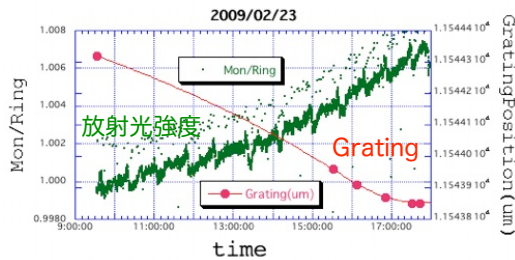


図5. 蓄積電流で正規化した放射光強度とBL grating mirrorの位置(自動COD補正をしない場合)

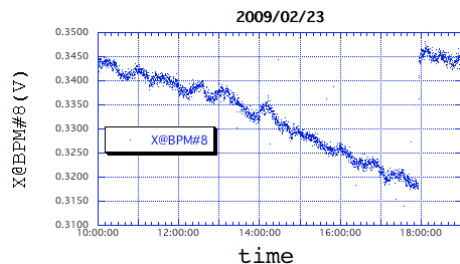


図6. BPMで計測した水平方向の電子ビーム位置(自動COD補正をしない場合)。ただし18時に一度COD補正を実施。

一方、自動COD補正を行った場合は、電子ビームの水平、垂直位置およびBL上流で計測した放射光強度はほぼ一定に保たれており(図7)、自動COD補

正の効果が現れている。しかしBL下流で計測した放射光強度は上流に比べて変動が大きかった。この原因は途中にあるミラーなどのBL機器の温度変動によるものと考えられ、BLにおけるさらなる光量の安定化を目指すにはBL機器の温度安定化が必要である。

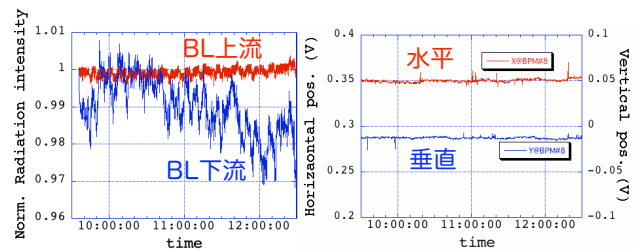


図7. 自動COD補正時の放射光強度と電子ビーム位置。(左)蓄積電流で正規化したBL10上下流における放射光強度、(右)BPMで計測した電子ビームの水平、垂直位置。

### 9. まとめ

これまでニュースバル放射光施設ではBPMで計測した電子ビーム位置及びBLで観測する放射光強度に周期的な変動とドリフトが観測されていた。

周期的変動の主な原因はトンネル内の気温と冷却水温度の変動であり、環境温度計測系の増強と温度調節器PIDパラメータの最適化により、変動をほぼ抑えることに成功した。

ドリフトの原因は、電磁石ヨーク部、ビームライン機器、実験ホール、建物、等の温度の日変化によるものと考えられる。基本的に夜間運転はしないため機器温度の日変化は避けられないが、自動COD補正を実現することにより、電子ビーム軌道はほぼ一定に保つことが可能になり、BL上流部で測定したTop-up運転中の光量もほぼ一定であった。しかしBL下流で観測される光量には依然として変動が観測されており、途中にあるBL機器の温度変化が原因と考えられる。

今後、KEK大学等連携支援事業による光BPMの導入により、光軸の常時計測と更なる光軸・光量の安定化を目指す予定である。

### 謝辞

LabVIEWシステムとSPring-8データベースとの接続ソフトウェアをご提供頂きましたJASRI制御・情報部門の広野等子氏、接続作業にご協力頂きました増田剛正氏、松本崇博氏に感謝致します。またニュースバル光軸安定化の評価にご協力頂きました兵庫県立大学高度産業科学技術研究所の原田哲男氏及びニュースバルBLユーザーの皆様へ感謝致します。

### 参考文献

[1] S.Hashimoto et al., "Stabilization of NewSUBARU synchrotron radiation source", LASTI Annual report vol.10 (2008)