

## IMPROVEMENT OF AIR-CONDITIONING IN NewSUBARU RING TUNNEL

Yoshihiko Shoji<sup>1A)</sup>, Yuuichi Haruyama<sup>A)</sup>, Takayuki Mitsui<sup>A)</sup>, Yoshinori Hisaoka<sup>A)</sup>, Yoshifumi Ogata<sup>B)</sup>, Norikazu Yamamoto<sup>B)</sup>, Masahide Tsukamoto<sup>B)</sup>, Masakatsu Yamahira<sup>B)</sup>,

<sup>A)</sup> NewSUBARU, LASTI, University of Hyogo, 1-1-2 Kouto, Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo 678-1205

<sup>B)</sup> SPring-8, JASRI, 1-1-1 Kouto, Mikazuki-cho, Sayo-gun, Hyogo 678-1205

### Abstract

Air temperature control system for the ring tunnel of NewSUBARU was improved. A periodic fluctuation of beam orbit, in the range of 10 minutes, disappeared after the improvement.

### ニュースバルトンネル空調設備改造

庄司善彦、春山雄一、三井貴之、久岡義典、緒方芳文、山本典和、塚本匡秀、山平正勝

#### 1. はじめに

放射光用電子蓄積リングでは電子ビーム軌道の安定性は重要な性能の一つである。技術的要素が大きく地味なテーマなので、学会会議で取り上げられる事は多く無い。しかし多くの放射光施設に於いて最大の関心事の一つであり、実際に国際ワークショップ[1]は盛況である。

電子ビーム軌道変動は、様々な周波数領域で起こっており、その原因もまた様々である。ステアリング電磁石を用いたフィードバックの重要性は当然として、もう一方の安定化の王道は、多くの原因の一つ一つを特定し、対策を施していく地道な努力である。フィードバックと原因対策の効果は足し算なので、片方だけでなく、両面の改善が効果的である。

軌道変動の状況を周波数領域で長周期側から考えると、まずは数年単位のグラウンドレベルの変動がある。次いで季節や天候による温度変化と地盤変化、更には日変化となる。電子ビームのエネルギー変更や蓄積電流値変化による変動を除くと、温度調整設備に起因する10分オーダーの周期で起きる軌道変動が確認される事がある。更に高周波では、数Hzから数十Hzの領域で冷却水やコンプレッサーに起因する振動があり、その上は電源リップルなどが原因となる。比較的low周波では電磁石電源リップル、特に一次側周波数の高調波であり、数kHz領域では、クライストロン電源のホワイトノイズに起因するコヒーレントシンクロトロン振動がある。以上は一般論であり、現実の変動原因として、従来から認識されてきたもの以外に、真空チャンバーの振動によるEddy current [2] や、電磁石電源リップルによる周長変化[3] が認識されるようになっている。

ニュースバルでは2003年に、装置冷却水の温度制

御システムをインバーター化し[4]、温度変動を±1度程度から0.1度程度に改善した。これにより軌道変動の改善が得られたが、10分程度の周期の軌道変動が完全に消えたわけではなかった。2005年にこの時間領域の軌道変動の主要原因がトンネル内空調設備にある事を確認した[5]。ここで報告するのは、2006年に行ったニュースバル加速器トンネル内の空調設備の改善である。

#### 2. 空調設備改造

##### 2.1 旧空調設備

改造前の蓄積リングトンネル内空調システムの概略を図1に示す。低温冷却水とファンで空気を冷やす冷房のみのタイプで、12~13台のFan Coil Unit (FCU) で1ゾーンを成す空調設備が3ゾーンあった。図1にニュースバル電子蓄積リングの空調設備のシステム図を示す。作動状態のFCUは常に送風状態であり、各ゾーンのセンサーが設定上限温度を感知すると、そのゾーンのFCUの三方弁が開き、コイルに冷水を供給する仕組みになっていた。これら3ゾーンはそれぞれ独立しており、個々の周期で冷風を出していた。また、蓄積リングトンネル内の空気の流れは、実験ホールから空気を取り入れ、ビームトランスポートのトンネルを通して線型加速器側へ強制排気していた。

改造前のトンネル内室温変化の詳細は既に報告済みである[5]。問題点は、FCUの冷却能力が高い為に三方弁が十分程度に一回短時間だけ開き、それに対応して室温もパルス的に変化する点であった。

##### 2.2 改造案

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

空調改造の基本方針は、オン・オフ制御から連続制御への切り替えである。設計の指針として、

- (1) 目標温度変動幅  $\pm 0.1$ 度/30分、
- (2) 日変化などの長期的変動は許容、
- (3) トンネル内の場所による温度のばらつきは許容とした。長期変動を許容したのは、長期変動に対してはステアリング電磁石による軌道フィードバックが有効と考えたからである[6]。但し現時点のニュースバルでは、一回のCOD測定に20~30秒かかる。20~500 Hz程度の低周波軌道変動の影響[3]を除く為に数回測定して平均をとると、フィードバックループ一周に数分かかり、分単位の変動は許容できない。

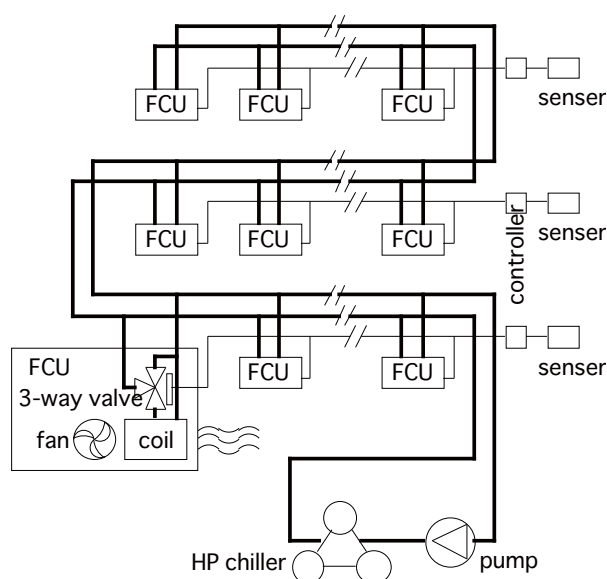


図1：改造前の蓄積リングトンネル内空調システムの概略を示す。

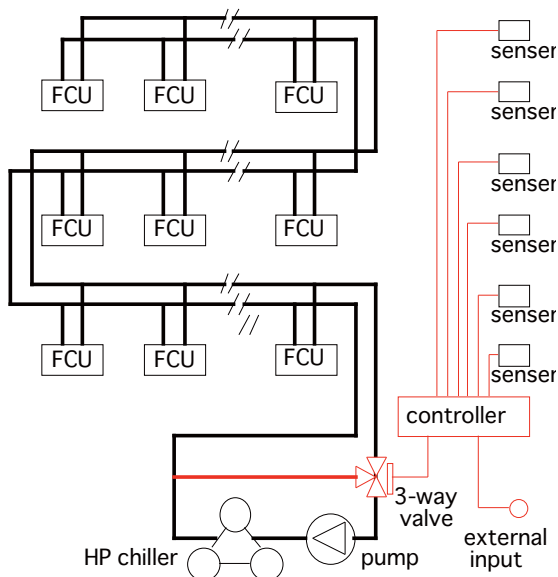


図2：改造後の蓄積リングトンネル内空調システム。変更箇所を赤で示した。

設備設計にあたり、2005年に旧設備でテストを行った。マニュアルで冷却水量を変化させ、トンネル内の様々な場所の室温の応答などのデータを収集した。

改造後の蓄積リングトンネル内空調システムの概略を図2に示す。設計変更は以下の点である。

(a) 3ゾーンに別れた制御を1つに纏める。トンネル内6箇所の温度モニターの平均値をとり、測定精度を向上させる。

(b) 一次冷却水の流量を連続可変弁で制御する事で、FCUの冷却水温度を連続制御する。インバーターポンプを使用しなかった理由は、機械設備室のスペース不足である。

(c) 1.5GeVへ加速する場合など、予想される環境変化に対してフィードフォワード制御を可能とする外部入力をコントロールに加える。

### 3. 軌道変動の改善

改造の前と後の温度変化の比較を図3に示す。測定位置はリングトンネルとビームトランスポートトンネルの継ぎ目付近である。温度センサーは、空調の温度フィードバックに使用されているセンサーとは別で、橋本智を中心とするグループが2004年に設置したものである。改造前は、空調FCUの三方弁切り替えに起因する、約十分周期の温度の振動が見られたが、改造後はこのような振動は見られない。

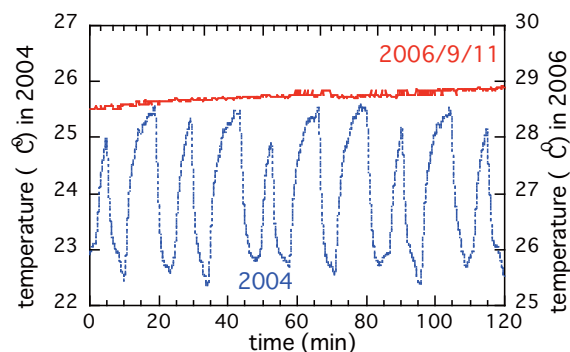


図3 改造前後のトンネル内室温変化。測定点は、リングトンネルと、入射ビームのトランスポートライントンネルの接合部付近。改造後の設定温度が高いのは、改造直後でパラメーターが未確定であった為で、特に意味は無い。現在は、夏期冬期ともに26度に設定している。2006年のデータで、緩やかに温度が変化しているのは、1.5GeV加速直後である為。

軌道変動の改善を示すデータとして、アンジュレータービームラインBL7に設置されたphoto diode出力の時間変化を図4に示す。これは、BL7で分光測定を行う際に、放射光強度変化を較正する為に設置されたシステムで、ビームラインの光軸変動にも感度がある。やはり、改造による十分程度の周期真

藤が消えた事を示している。尚、この測定中はアンジュレーター利用は行っておらず、蓄積リングの軌道フィードバックも行っていない。

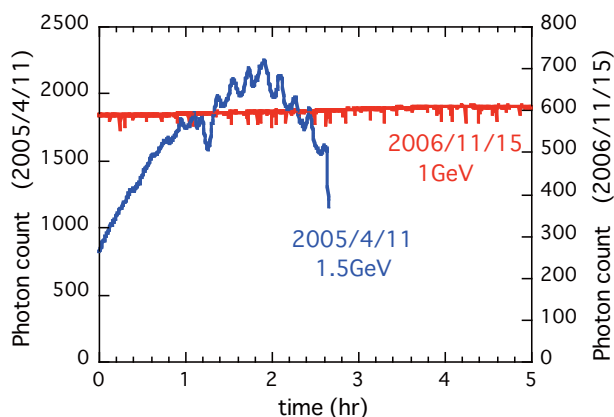


図4 BL7設置のdiode detector出力の時間変化。2005年4月のデータは改造前、1.5GeV加速直後。約10分周期の振動が空調設備に起因する動きである。大きな動きは1.5GeV加速による負荷変動に因る。2006年11月のデータは改造前、1.0GeVトップアップ運転時。小さなスパイクは入射時の起動変動が原因で、温度変化とは無関係。

#### 4. システムの稼働状況

改造を行ったのは2006年夏期であり、上記測定も夏期から冬期である。パラメーター設定が不適切な場合にはスパイクに近い温度変化が残る事がある。その為、気候の変化がある年間を通して運転し、空調フィードバックのパラメーターを最適化しようとしている。

FCU冷却水温度は、三方弁の動きに対して非線形で、完全閉状態から全開状態までを有効に使うわけではない。つまり全開状態と80%開（設定信号）状態では、冷却水温度に大きな差が無い。現状で、強い冷却を必要とする（弁を大きく開く）夏期でも60%開の程度であり、冷却能力には余力がある。

#### 5. 今後の課題

ここまでに述べたように、空調システムの改造により10分程度の時間スケールの軌道安定度は改善された。しかし、先に述べたパラメーター設定の最適化以外にも、フィードフォワードの使用など、設

備を使用する上での課題が残っている。また、トンネル内のみならず、ビームラインが設置されている実験ホールの空調も課題である。

更に空調以外の軌道変動原因の追求も行っていく。より長時間スケールの変動幅は大きく、原因等も明確になっているわけではないからである。

#### 謝辞

トンネル内温度計測には、兵庫県立大学・橋本智助教らが設置したシステムを使用しました。その他、安東愛之輔教授を始め、高度産業科学技術研究所スタッフのサポートに感謝いたします。

#### 参考文献

- [1] International Workshop on Beam Orbit Stabilization, <http://iwbs2004.web.psi.ch/>; <http://www.spring8.or.jp/ext/en/iwbs2002/>.
- [2] S. Matsui, *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys, Vol.42 (32003) pp.L338-L341.
- [3] Y. Shoji, Y. Hisaoka, T. Matsubara, T. Mitsui, “Longitudinal Coherent Oscillation Induced in Quasi-isochronous Ring”, Proc. of 10th European Particle Accelerator Conference, Edinburgh, UK, June 26-30, 2006, pp.1972-1974.
- [4] Y. Shoji, A. Ando, S. Hashimoto, S. Hisao, T. Matsubara, S. Miyamoto, M. Niibe, T. Asaka, H. Ego, Y. Kawashima, H. Kitamura, N. Kumagai, H. Ohkuma, T. Ohshima, M. Oishi, S. Suzuki, M. Takao, T. Takashima, T. Tanaka, “NewSUBARU Storage Ring: Operational Progress in These Three Years”, Proc. of the 3rd Asian Particle Accelerator Conference, Gyeongju, Korea, March 22-26, 2004, pp.550-552.
- [5] 久岡義典、尾崎翠、橋本智、庄司善彦、安東愛之輔、「ニューズバルにおける電子ビーム軌道の変動」、第2回日本加速器学会年会・第30回リニアック技術研究会, July 20-22, 2005, 鳥栖、Proc. pp.570-572.
- [6] Y. Shoji, and H. Fukuda, “Circumference and COD Control algorithm of NewSUBARU”, 第2回日本加速器学会年会・第30回リニアック技術研究会, Tosu, July 20-22, 2005, Proc. pp.573-575.