

PF リングの NEG コーティングビームダクトの真空圧力履歴

LONG-TERM TREND OF VACUUM PRESSURE AT NEG-COATED BEAM DUCT OF PF-RING

野上隆史^{#,A)}, 本田融^{A)}, 谷本育律^{A)}, 内山隆司^{A)}, 金秀光^{A)}, 佐々木洋征^{A)}

Takashi Nogami^{#,A)}, Tohru Honda^{A)}, Yasunori Tanimoto^{A)}, Takashi Uchiyama^{A)}, Xiuguang Jin^{A)}, Hiroyuki Sasaki^{A)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

Abstract

PF-ring updated undulator U#19 with a new APPLE-II type undulator in summer 2018. The new U#19 beam duct is made of aluminum alloy. The inner surface of the beam duct is coated with Non-Evaporable Getter (NEG). The beam duct was baked and NEG activated after vacuum construction. The PF-ring was operated for 5 years until 2023 and check the long-term trend of vacuum pressure in the U#19 section showed that pressure has been increasing since 2021. Since NEG saturation was thought to be the cause of the reduced vacuum pumping speed, work was performed the NEG reactivate. We report on the trend of vacuum pressure in U#19 and the results of NEG reactivation.

1. はじめに

PF リングでは、2005 年に挿入光源が設置されている直線部の長さを延長する直線部増強改造が行われ、延長した直線部を利用する新しい挿入光源への更新が順次行われてきた。このうち 2018 年夏季停止期間中に更新された挿入光源 U#19 は APPLE-II 型の可変偏光アンジュレーターでアルミニウム合金製のビームダクト内面に非蒸発型ゲッター(NEG)コーティングを施している[1-4]。

U#19 の更新後順調に運転を行ってきたが 5 年後の 2023 年に以前より圧力が高くなっていることに気が付き、U#19 更新時からの圧力履歴を調べてみたところ 2021 年 11 月頃から顕著に圧力が上昇していることが判明した。

NEG コーティングを施したビームダクトの採用は PF リングでは初めてであったため、NEG コーティングの飽和による排気速度低下とそれによる圧力上昇がどのくらいの期間で起こるかという知見がなかった。このため圧力上昇の原因を NEG コーティングの飽和と考え、2023 年夏に NEG コーティングの再活性化を実施した。

また、長直線部に設置された挿入光源 U#16 は 2 台の APPLE-II 型の可変偏光アンジュレーターをタンデムに配置しており、1 台目の U#16-1 は 2008 年春、2 台目の U#16-2 は 2010 年夏に設置された。U#16 ではステンレス合金製のビームダクト側面に副チェンバーを持ちモジュール型の NEG ポンプを設置している。U#16-2 の下流に位置した NEG ポンプのないビームダクト部分での圧力が高い状態であったため、こちらも U#16-1 更新時からの圧力履歴を調べてみたところ 2019 年 7 月頃から顕著に圧力が上昇していることが判明した。

今回、2 つの挿入光源の場所で判明した圧力上昇の状況と U#19 の NEG 再活性化について報告する。

2. U#19 の真空圧力履歴

2.1 U#19 の概要

U#19 のビームダクトはアルミニウム合金の押し出し管で製造されており、両端はクラッド材でステンレスに材質

[#] takashi.nogami@kek.jp

変換した ICF203 フランジが取り付けられ、ビームダクトの全長は 4.1 m である。ビームダクトの断面形状は Fig. 1 のようになっており、ビーム路の内面には Ti-Zr-V の NEG 材が膜厚 1~2 μm でスパッタリングによりコーティングされている。ビームダクトに照射される放射光による発熱はビーム路の両側に設けた冷却水路に冷却水を流して徐熱する。

ビームダクトの両側にはアンジュレーター部の断面形状から 4 極電磁石部の断面形状に変換する形状変換ダクトが接続され、形状変換ダクト下部のポンプポートには真空計(BAG)、希ガス対応のスパッタイオンポンプ(SIP)、粗排気が接続される。また、ポンプポートには ICF70 のカートリッジ型 NEG ポンプ Z200 も備える(Fig. 2)。

U#19 の設置、ビームダクトと各真空コンポーネントを設置の後に真空引きとリークチェックを行い、ビームダクトのベーキング、NEG の活性化を行った。

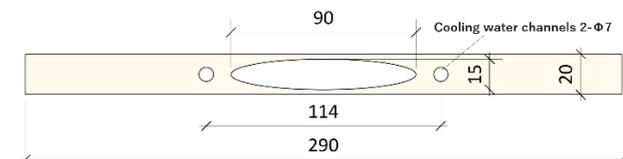


Figure 1: Cross section shape of the U#19 vacuum chamber.

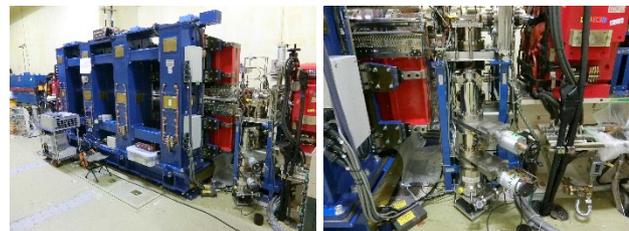


Figure 2: Exterior view of U#19 and vacuum components (BAG, SIP, Z200 cartridge NEG).

2.2 U#19 部分の圧力上昇

U#19 の更新後順調に PF リングの運転を行ってきたが

5年後の2023に以前よりU#19部分の圧力が高くなっていることに気が付いた。そこでU#19更新時からの真空圧力履歴を調べてみたところ2021年11月頃から顕著に圧力上昇していることが判明した。

Figure 3に2017年1月から2024年6月までのU#19部分の真空圧力履歴を示す。BAG181はU#19の上流にある偏向電磁石部の圧力、BAG182はU#19上流のポンプポート部の圧力、BAG183はU#19下流のポンプポート部の圧力である。

U#19更新後の圧力は3か所とも $4E-8$ Pa程度でBAG181とBAG182はその後 $1E-8$ Pa程度まで次第に圧力が低下しているが、BAG182は $3E-8$ Pa程度までしか圧力低下しておらずほぼ横這いで推移している。また、加速器停止時の圧力と運転時の圧力差が次第に小さくなっている。これは放射光の照射による脱ガスが減少しているためで放射光による光焼き出しが行われて真空ダクトが枯れてきていることを表している。

真空圧力履歴を見るとBAG182は2021年11月頃から、BAG183は2022年5月頃から顕著に圧力上昇している。圧力の上昇幅もBAG183よりもBAG182のほうが大きく、2023年7月頃にはBAG182では $8E-7$ Pa、BAG183では $2E-7$ Paまで圧力上昇している。

圧力上昇の原因は定かではないがNEGコーティングの飽和による排気速度低下が起こり圧力上昇した可能性がある。NEGコーティングの排気容量はコーティング表面の単分子層しかなく、早期に飽和が起こりやすいと考えられる。PFリングでNEGコーティングしたビームダクトの採用は初めてであり、NEGの飽和による排気速度低下とそれによる圧力上昇がどのくらいの期間で起こるのか知見がなく、単純にNEGの飽和が原因と考えた。

また、BAG182とBAG183で圧力上昇が始まった時期と圧力上昇幅が異なること、BAG182の圧力低下が横這いであったことについても原因は不明であるが、ビームダクトの上流側のほうがU#19の上流にある偏向電磁石からの放射光の照射が強いことから下流側に比べて早くNEGの飽和が起きたと考えられる。

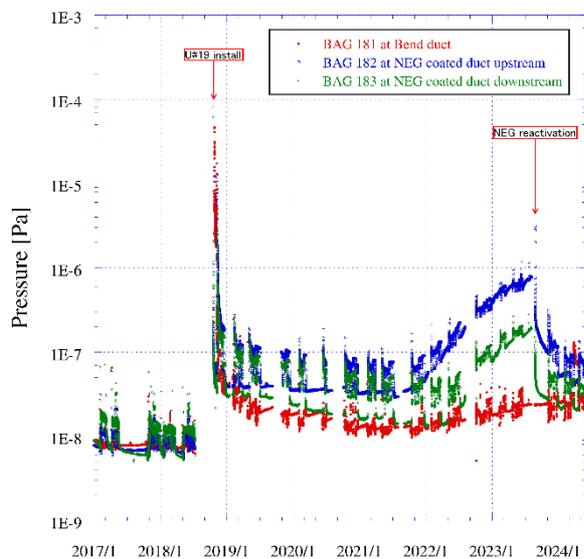


Figure 3: Long-term trend of vacuum pressure at U#19.

2.3 NEGの再活性化

2023年にU#19での顕著な圧力上昇が確認され、その原因がNEGの飽和によるものと考えられたため、2023年夏にNEGの再活性化作業を実施した。

NEGの再活性化後、BAG183の圧力は速やかに圧力上昇前の圧力に近いところまで低下しているが、BAG182の圧力低下の速度が明らかに遅く、10か月かけてようやく圧力上昇前の圧力近くまで低下している。このNEG再活性化後の圧力低下の速度の違いについても原因は不明である。再び圧力上昇が起こらないか真空圧力を継続して注視する必要がある。

3. U#16の真空圧力履歴

3.1 U#16の概要

U#16のビームダクトはステンレス合金製でビーム路の片側に副チェンバーを備えている。副チェンバーにはビーム路まで挿入される放射光アブソーバーが取り付けられ、ビームダクトを放射光照射から守っている。副チェンバーにはBAG、希ガス対応のSIPが取り付けられており、副チェンバー内にはモジュール型のNEGポンプを設置している。タンデムに設置された2台のアンジュレーターU#16-1とU#16-2はどちらも同様の構成となっている。U#16-1上流とU#16-2下流には形状変換ダクトが接続され、形状変換ダクト下部のポンプポートにはSIP、粗排気が接続されている。また、U#16-2下流のポンプポートにはBAGも取り付けられている(Fig. 4)。



Figure 4: Exterior view of U#16 and vacuum components at downstream of U#16-2 (BAG, SIP).

3.2 U#16部分の圧力上昇

U#16の更新後順調にPFリングの運転を行ってきたが2020年頃からU#16-2より下流部分の圧力が高い状態にあった。そこでU#19と同様にU#16更新時からの真空圧力履歴を調べてみると2019年7月頃から顕著に圧力上昇していることが判明した。

Figure 5に2007年7月から2024年6月までの真空圧力履歴を示す。BAG151はU#16-1の上流にある偏向電磁石部の圧力、BAG152はU#16-1部の圧力、BAG153はU#16-2部の圧力、BAG154はU#16-2下流のポンプポート部の圧力である。

U#16-2の下流にあるポンプポート部のBAG154が2019年7月頃から顕著に圧力上昇している。また、2016年7月頃からも圧力上昇しているがこちらは2017年に行われた超伝導垂直ウィグラーVW#14のビームダクト交換後に一旦圧力が下がっていたためこれまで気が付いていなかった。

NEGポンプが設置されているU#16部のBAG152と

BAG153 の 2 つの BAG では圧力上昇が起きていないことから、2 台のアンジュレーター副チェンバーに設置されている NEG の飽和は起きていないことが見て取れる。BAG154 が取り付けられているポンプポートには NEG ポンプはなく、ポンプは SIP が取り付けられているのみであり、この SIP の排気速度が低下しているか局所的に微小なリークが存在するかの 2 つが圧力上昇の原因として考えられる。BAG154 の圧力が U#16-2 設置前後で $4E-9$ Pa 程度から $4E-8$ Pa 程度へと高くなっていることから U#16-2 の設置時に真空作業した場所で微小なリークが存在している可能性が高いと思われる。真空作業後にはリークチェックを実施しているが圧力、リークレートともに十分に低い状態ではないため微小なリークを見逃してしまっている可能性もある。このため今年の夏季停止期間中に再びリークチェックを実施する予定である。

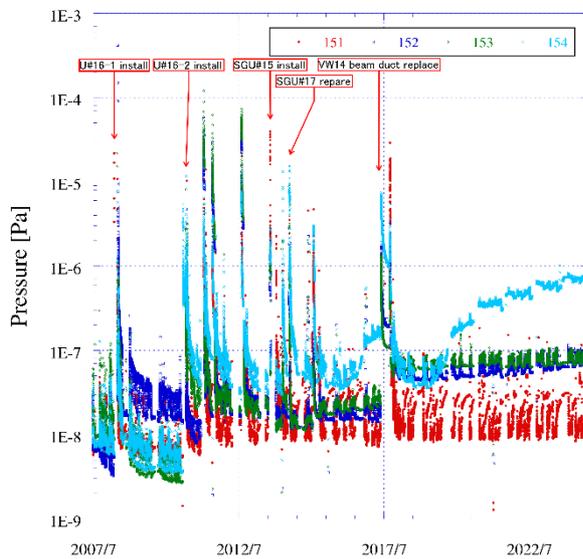


Figure 5: Long-term trend of vacuum pressure at U#16.

4. まとめ

2018 年夏に行われたアンジュレーター U#19 の更新にあたって NEG コーティングを施したビームダクトを初めて採用した。2021 年 11 月頃から顕著な圧力上昇が確認された。U#19 の上流部と下流部で圧力上昇の様子に差があり、その原因について不明な点があったものの、NEG

コーティングの飽和によるものと考えられた。2023 年夏に NEG の再活性化作業を実施しある程度圧力が低下したものの、圧力低下の速度にも大きな差がみられた。

アンジュレーター U#16-2 の下流部の圧力においても 2019 年 7 月頃から顕著な圧力上昇が確認された。NEG ポンプが設置されている 2 台の U#16-1 と U#16-2 の場所では圧力上昇が起きていないことから NEG の飽和が原因ではなく U#16-2 下流部での局所的な微小リークが原因と考えられる。今年の夏季停止期間中にリークチェックを行う予定でいる。

今回、長期的な真空圧力履歴を確認することで顕著な圧力上昇が起きていることが判明した。このようなデータに基づいて圧力の推移を客観的に確認することの重要性を再認識した。今後も真空圧力履歴の確認を継続していく。

謝辞

U#19 の NEG 再活性化作業でのベーク準備や夜間シフトにご協力いただいた KEK 加速器 6 系の宮内洋司氏、田原俊央氏、KEK 応用超伝導加速器イノベーションセンター(iCASA)の山本将博氏、三菱電機システムサービス(株)加速器技術統括部つくば第一事業所光源グループの皆様にご場をお借りして感謝申し上げます。

参考文献

- [1] K. Tsuchiya *et al.*, “Construction of a new elliptically polarizing undulator(U#19) at the Photon Factory”, Proceedings of the 15th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2018), Nagaoka, Japan, Aug.7-10, 2018, pp. 838-840.
- [2] K. Harada *et al.*, “Present status of PF ring and PF-AR”, Proceedings of the 15th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2018), Nagaoka, Japan, Aug. 7-10, 2018, pp. 1281-1284.
- [3] Y. Tanimoto *et al.*, “Design and manufacture of the NEG-coated beam duct for Undulator #19 at PF-ring”, Proceedings of the 15th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2018), Nagaoka, Japan, Aug. 7-10, 2018, pp. 654-658.
- [4] Y. Tanimoto *et al.*, “Vacuum Performance of the NEG-coated Chamber for U#19 at PF- ring”, in Proc. 10th Int. Particle Accelerator Conf. (IPAC2019), Melbourne, Australia, May 19-24, 2019, pp. 1276-1279. doi:10.18429/JACoW-IPAC2019-TUPMP019