

Development of Vacuum Sealing Devices for J-PARC Hadron Beamline

Yutaka Yamanoi¹, Keizo Agari, Hiroaki Watanabe, Masaharu Ieiri,
 Yoji Kato, Yoshinori Sato, Yoshihiro Suzuki, Minoru Takasaki, Kazuhiro Tanaka,
 Hitoshi Takahashi, Akihisa Toyoda, Hiroyuki Noumi, Erina Hirose, Michifumi Minakawa
 Hadron Beamline Group,
 Institute of Particle and Nuclear Studies,
 High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

A large diameter is necessary for the vacuum pipe of the beam transportation in J-PARC. In order to avoid the enlargement of the connected device, the metallic gasket of low compression power has been developed for a large diameter flange. The He-leak rate was satisfied enough though the compression power was lowered to 12%. Moreover, it has been understood that the surface coating of the MoS₂ is effective for the corrosion control to the sea air and the nitric acid atmosphere. The pressurized history of the diaphragm has effected on the He-leak rate of the large pillow seal.

J-PARCハドロンビームラインのための真空シール機器

1. はじめに

現在、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) と日本原子力研究開発機構 (JAEA) は、茨城県東海村に大強度陽子加速器施設 (J-PARC) を建設している。原子核素粒子実験施設は、この加速器実験施設の中の一つであり、ハドロンビームラインはこの実験室に最大50GeV-15μA (750kW) の一次陽子ビームを輸送するための施設である。

このビームを輸送するためには、(1) 口径を大きくし、且つ、高真空度を維持してビームロスを小さくすること、(2) ビームラインに設置する機器要素が放射線劣化に対して強いこと、(3) 保守機能はシンプルにして短時間に行えることが重要である。ハドロンビームライングループでは、12GeV-PS時代からヘリコフレックス社製のメタルガスケットを使用したV型リーナーの自動化装置 (1990) や有効口径250mmのピローシールの開発 (1989) を行ってきた¹⁾。当時から“大きな口径” = “大きなガスケットの使用” は、そのガスケットの圧縮を行うために締結装置が大型、大重量物になる傾向があり、設置空間の制限と競合する難しい問題であった。

本発表では気密性能に着目し、低圧縮力用に試作したメタル中空ガスケットの特性とピローシールの金属面間の特性について述べる。

2. 低圧縮力-メタルガスケット

多数の接続箇所を自動化し、建設コストを抑えるためにも軽量化した接続装置開発は重要な課題である。そのため、より低圧縮力で真空気密が保てるへ

リコフレックス型のメタル中空ガスケットを開発し、その特製を測定した。

2.1 メタルガスケットの仕様

ハドロンビームラインで実際に使用する真空フランジの口径は有効内径260mm、310mm、390mm、450mmの4種類である。試験用に内径φ136mm、断面径4mm、外被はアルミニウムA1050Pである。スプリング材質はSUS304であり、今回はこのスプリングの弾性特性を変更することで使用する圧縮力を制御することとした。新たに製作したスプリング弾性力は、市販品を100%とするとき、88%、80%の2種類である。

2.2 測定結果

使用推奨値0.9mmを圧縮するために必要な単位長さ当たりの圧縮力を図1に示す。図中のw0、w2、w1はそれぞれ真空気密性能が1.0E-10Pa・m³/sを満たす状態、圧縮量0.9mmに達する状態、圧縮動作を止めたときにバックラッシュ (Backlash) によって気密性能が1.0E-10Pa・m³/sを満足出来なくなる状態である。0.9mmを圧縮するのに、通常品、88%品 (S0.88)、80%品 (S0.8) でそれぞれ200N/mm、140N/mm、110N/mmであった。また、このタイプのガスケットの特性として圧縮荷重を増加させていくと外被が断面直径方向に圧縮され塑性変形し機密性能が発揮される状態w0になる。約0.6mmからは内部のスプリングの変形が始まり、荷重に比べて圧縮量が増加しない様子が分かる。また、図2に面圧とHeリーク量の関係を示す。

¹ E-mail: yamanoi@post.kek.jp

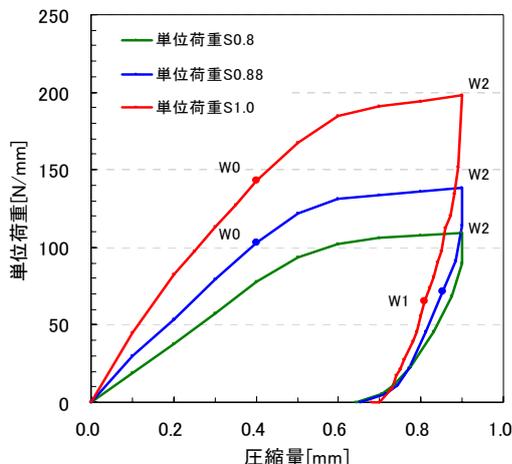


図1 圧縮量と単位荷重

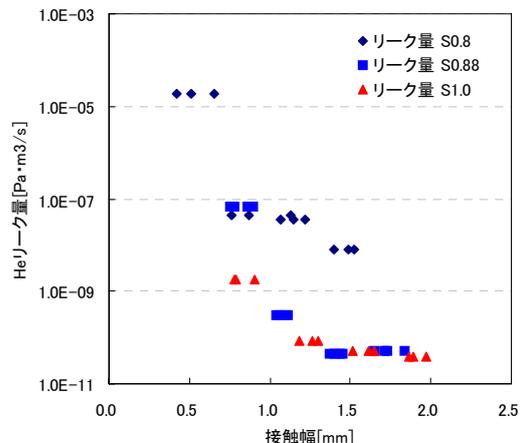


図3 接触幅と気密性能

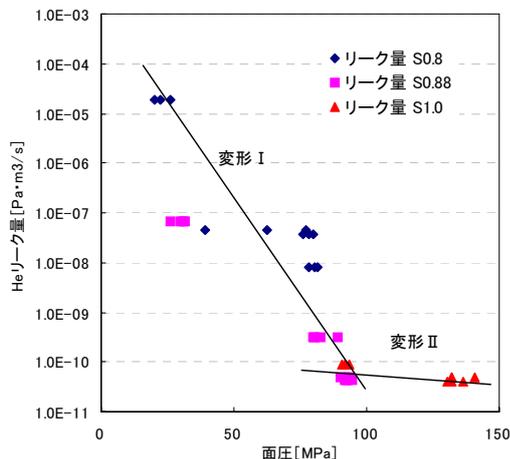


図2 面圧とHe気密性能

図2で変形 I は主に外被の変形が進む範囲、変形 II はスプリングが主に変形する範囲である。スプリングの弾性80%(S0.8)のものは接触面圧が大きく出来ないことから十分な気密性能が発揮できない。

前回の第二回加速器学会での報告^[2]で述べたように気密性能すなわちリーク量QはコンダクタンスCを記述するRothの経験式^[3]から、次のような関係がある。

$$Q=C \Delta p=34A^2(L/w)\exp[-3F/(LwR)] \cdot \Delta p$$

A : 面粗度 (Ra)

L : ガasket周長

w : ガasket接触幅

F : 押し付ける面圧

R : ガasket材質の塑性変形特性

Δp : 内外の圧力差

図3に接触幅wと機密性能との関係を示す。およそ1.2mm程度の接触幅は必要であるが、それ以上については主に接触面圧が気密性能を良くするために影響があると考えられる。

3. 耐腐食処理

ビームライントンネルは常時空調されているが、容積が大きく、設置機器が減圧仕様でないことを考慮すると、極端な減圧やNOxの発生原因となるN₂やO₂を濃度0%に近づけることは不可能である。

そのためビームロスの発生する付近は、大気中の窒素、酸素からNOxが生成され、装置外壁面に硝酸が付着し腐食を起こす。また、本施設は太平洋に面しており、ビームライン装置の保守に伴い、作業者ととも塩分を含んだ大気が入り、塩水腐食の対策も必要である。

使用するアルミニウムの外被はこれらの使用雰囲気に対して弱く、ガスケットに安価に防食処理できる方法として二硫化モリブデンの焼付け塗装を行った。以下に示すような二種類のコーティングを施し、その耐久性を確認した。

- 本体 : U-タイトシール
- 内径 : φ96
- 断面径 : φ4.0
- 外被材質 : アルミニウム (A1050P)
- コーティング : MoS₂系被膜
- A : DEFLIC405は、常温乾燥、膜厚2 μm
- B : DEFLIC HMB-4Aは、焼付け乾燥仕上げ
- スプリング材質 : SUS304

塩水噴霧試験は、JIS Z 2371により以下の条件で実施し、結果を図4に示す。

試験装置スガ試験機 (SST-12L (2号))

塩水溶液の条件

塩の種類 : JIS特級 塩化ナトリウム

水の種類 : 蒸留水

塩水濃度 : 50 ± 5g/L

暴露条件

温度 : 35 ± 2°C

噴霧圧 : 0.098 ± 0.010MPa

噴霧量 : 1.5 ± 0.5mL/80cm²/h

硝酸浸漬試験は、想定されるビームライン環境から条件を設定した。結果を図5に示す。

試験装置 スーパーテンプオープン
硝酸水溶液の条件
硝酸濃度：0.06845g/L (pH5相当)
硝酸水溶液：pH5~6
暴露条件 温度：60°C

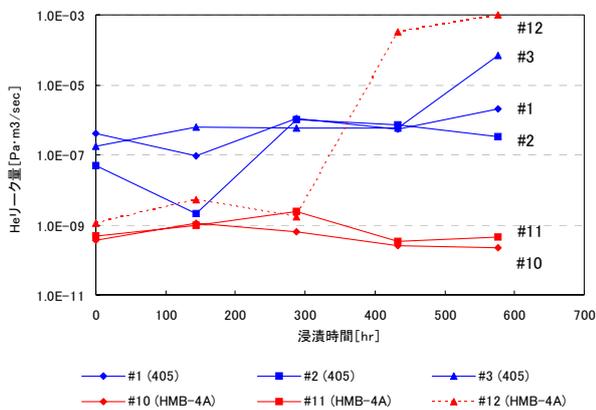


図4 塩水噴霧時間と気密性能

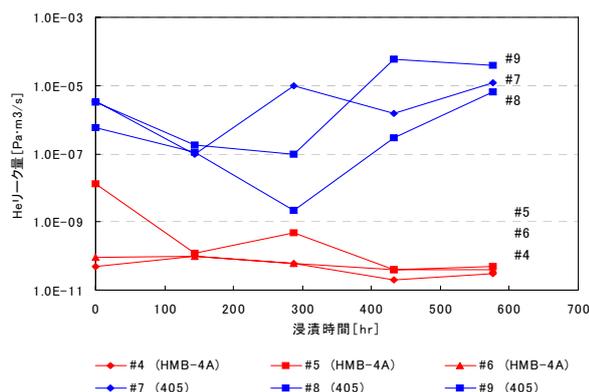


図5 硝酸浸漬時間と気密性能

常温乾燥したDEFLIC405は、塩水、硝酸ともに、時間経過に伴いリーク量が増加し、シールの劣化が見られたが、焼付け乾燥したDEFLIC-HMB4Aは、塩水噴霧、硝酸浸漬ともに、時間経過によるリーク量の増加はない。以上より、焼付け乾燥した二硫化モリブデンの皮膜が塩水、NOx環境下で耐腐食処理として有効と考えられる。また、チェーンランプのVブロックなどの潤滑材としてこれらが有効な処理として利用できる。

3. φ500ピローシール

有効径φ500mmのピローシールについても気密性能に関して、接触幅と接触圧力について試験を実施した。図6はダイヤフラムの加圧圧力とダイヤフラムの膨らみ高さの関係である。

図6では0.0MPaから0.4MPaまで一旦加圧し、その後、0.0MPaと0.4MPaの間を繰り返し加圧した様子を示す。これよりダイヤフラムは最大圧力(0.4MPa)で塑性変形してしまうが、それ以降その

圧力以下では同じ膨らみ高さを再現している。この結果ダイヤフラムの弛みは戻っていないことが推測され、実機での使用では最大加圧履歴が重要であるといえる。加圧圧力と気密性能を測定した結果、弛みが無くなる0.25MPa以上では接触面幅が一定以上再現されるため気密性能は大きく変化しない。むしろ、プレスケールによる接触面圧分布の測定から接触面圧はダイヤフラム加圧圧力と等しく、加圧することでダイヤフラム接触面の幅が変化して、気密性能を良くするのではなく、加圧圧力による面圧の増加が気密性能に影響していると推測される。

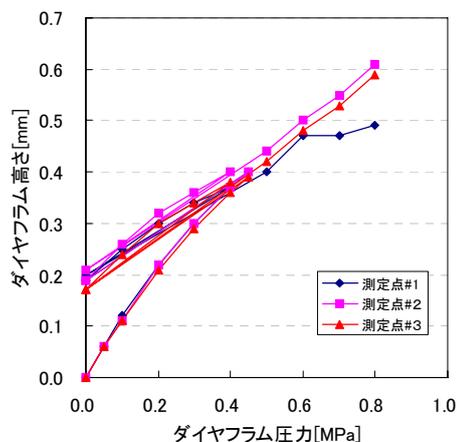


図6 ダイヤフラム加圧圧力と膨らみ高さ

4. まとめ

スプリング弾性力を12%落とした低圧縮力のメタルシールを製作し、周長単位長さあたり140N/mmで従来と同じ気密性能を満たした。また、接触面圧は100MPa程度、接触幅は約1.2mm程度必要であることが分かった。また、二硫化モリブデンの焼付け塗装が耐腐食対策に有効であることが分かった。

5. 謝辞

本研究は、日本学術振興会 科学研究費補助金、基盤研究(A) No.17204019、基盤研究(A) No.18204026によって支援されている。

参考文献

- [1] 田中万博他、大強度陽子加速器施設原子核素粒子実験施設建設グループハドロンビームラインサブグループ第2次中間報告書、KEK Internal 2004 - 3 (2004)
- [2] 山野井豊他、第2回日本加速器学会年会報告 pp736-738(2005)
- [3] A. Roth, Vacuum technology, Fourth impression (1998), ISBN0-444-88010-0(Elsevier)