

# Valqua Technology News

バルカー技術誌

2003年 春号

No.6 SPRING 2003

●技術論文

- 大断面径トライバック®の長期性能評価…………… 1  
研究開発部 事業部研究グループ 野々垣 肇

●技術論文

- チタン成形ベローズの機械・真空特性…………… 6  
バルカーセイキ株式会社 西場 健博  
川原 政春  
佐藤 央隆

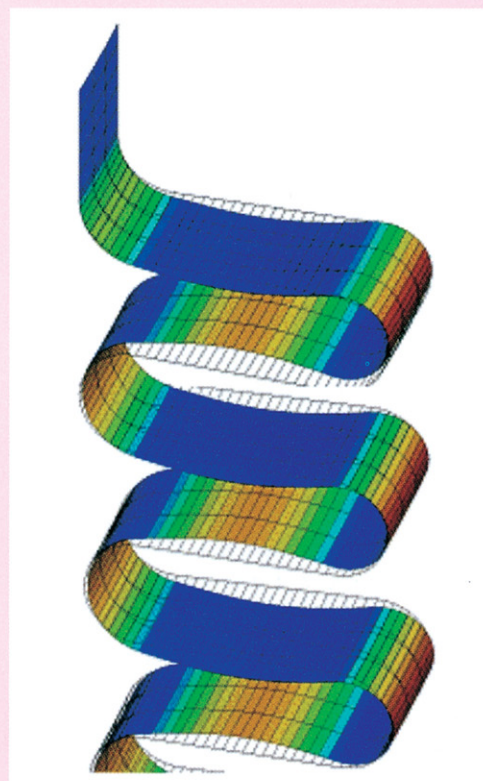
●新製品紹介

- 300℃耐熱パーフロロエラストマー  
「FLOURITZ®-HR」…………… 10  
日本バルカー工業(株)事業統括部プロダクトグループ  
高機能ふっ素ゴム担当 木村 卓広

●新製品紹介

- ポンプ・回転機器用ノンアス®グランドパッキン  
バルカー No. 6 2 3 4…………… 12  
日本バルカー工業株式会社  
事業統括部プロダクトグループ (G P 担当)  
プロダクトマネージャー 岡田 勝志

●用語の豆知識…………… 15



有限要素法解析によるベローズ表面の応力分布例



日本バルカー工業株式会社

<http://www.valqua.co.jp>



# 大断面径トライパック®の長期性能評価

## Long-term performance evaluation of TRYPACK

研究開発部 事業部研究グループ

野々垣 肇

R&D Division, R&D Group

Hajime Nonogaki

### 《Summary》

In the storage cask, the gasket with the more large diameter of a section is examined more for the purpose of improvement in a long-life life and reliability bearing in mind the transportation after more nearly prolonged storage and more nearly prolonged long-term storage.

Based on the evaluation result of the relaxation and the sealability, the examination result of an seal performance is outlined about the TRYPACK of 10mm of diameters of a section over a long period of time.

【Keyword】 TRYPACK, storage cask, relaxation

### 1. はじめに

トライパック®は、メタルガスケットの中でも比較的低い締付力と、その優れたシール性能によって、真空、航空宇宙、原子力関連分野等において、厳しい要求性能を満足し、実績を残している。例えば原子力関係において、使用済燃料貯蔵キャスクのシール材として採用された実績を持つ。

ところが近年、貯蔵キャスクにおいて、より長期間の貯蔵や長期貯蔵後の輸送を念頭において、より長寿命かつ信頼性の向上を目的に、より断面径の大きいガスケットが検討されている。

こうした状況を踏まえ、本稿では断面径10mmのトライパック®について応力緩和特性および気密特性の評価結果をもとに、長期気密性能の検討結果を概説する。

また、コイルスプリング材質において従来のインコネルと同様、高ニッケル基合金であり、さらに耐熱性の優れるナイモニックについての検討結果も紹介する。

### 2. トライパック®の長期性能評価

ガスケットの長期性能評価、特に高温下における長期

性能評価方法は未だ確立されたものではなく、非常に難しい課題を残している。しかしながら、トライパック®のようなメタルガスケットを溝締切型で使用する場合、文献<sup>(1)</sup>にて示された手法がガスケットの寿命を推定する方法として有効なようである。すなわち高温下における応力緩和特性をもとに、締付力が気密限界応力まで低下する時間を算出し、その時間までは気密性能に問題が生じないとする方法である。

本稿でも同じ手法を用いて長期性能評価を実施した。ただし気密限界応力については、高温下ではガスケットとフランジとの密着性が向上し、かえって気密性が向上することが分かっており、本稿ではあえて常温下における初期密封性能にて評価した。

### 3. 試験方法

#### 3-1 試験試料

トライパック®二重被覆品（単列）を評価した。図1にその構造図を示す。

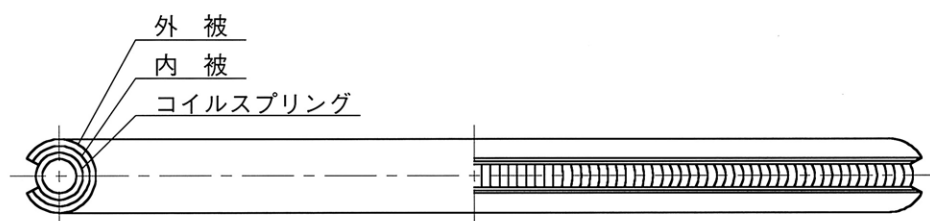
試料寸法は、内径176mm、断面径10mmとした。

また、構成材料は外被がアルミニウム（A1050P）、内

表1  
コイルスプリング  
材料の特性表

| 合金名             | Inconel X-750                                                          | Nimonic 90                                                     |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 主要化学組織<br>(wt%) | Ni73.0, Cr15.5, Fe7.0<br>Ti2.5, Al0.7, Nb+Ta1.0                        | Ni57.5, Cr19.5, Co16.5, Fe1.0<br>Ti2.5, Al1.5                  |
| 一般特性            | 析出硬化型のNi-Cr合金で耐食性ととも<br>に約700℃までの耐酸化性・引張強<br>度・クリーププラプチャー強度に優れて<br>いる。 | 析出硬化型のNi-Cr合金で920℃まで<br>の高温において耐食・耐酸化性とク<br>リーププラプチャー強度に優れている。 |
| 用途例             | ガスタービン・ロケットエンジン部品<br>、航空機・原子炉部品、圧力容器、耐<br>熱スプリング、ファスナー、熱間加工<br>工具      | 陸上・船舶用内燃機関用排気バルブ、<br>ガスタービン部品（ブレード、リング<br>、ディスク）               |

図1 トライパック®構造図



被がインコネル (Inconel 600)、コイルスプリングはイン  
コネル (Inconel X-750) およびナイモニック (Nimonic  
90) の2種類を比較評価した。コイルスプリング材料で  
ある Inconel X-750 および Nimonic 90 の諸特性を表1に  
示す。

### 3-2 圧縮復元／気密試験（常温）

常温において、トライパック®の圧縮復元試験、および  
気密試験を実施し、気密開始点 $S_0$ （荷重負荷時において  
ガスケットが気密を開始する最小締付力）および気密限  
界点 $S_1$ （荷重除荷時においてガスケットが気密を保持し  
うる最小締付力）を確認した。試験装置図を図2に示す。

フランジ間にガスケットおよびリテーナーを設置し、  
圧縮試験機により荷重を段階的に負荷し、締切状態（上  
側フランジとリテーナー間の隙間がなくなった状態）に  
達した後、今度は荷重を段階的に除荷した。

各荷重段階における歪量をダイヤルゲージにて読み取  
り圧縮復元曲線を確認した。

また、同時に各荷重段階ごとの漏洩量をヘリウムリー  
クディテクターにて測定し、気密開始点 $S_0$ および気密限  
界点 $S_1$ を確認した。

なお、気密の基準は漏洩量がヘリウムリークディテク  
ターの感度限界である  $1 \times 10^{-11} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$  以下であること  
とした。

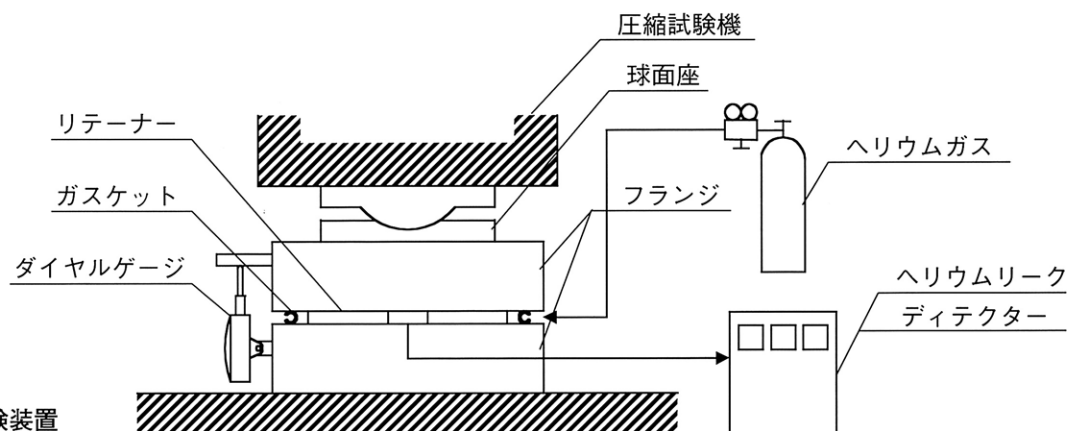
### 3-2 応力緩和／気密試験（200℃）

200℃において、トライパック®の応力緩和試験を1000  
時間にわたり実施した。またその間の気密性能を確認し  
た。試験装置図を図3に示す。

試験フランジ間にガスケットを装着し、締付フランジ  
を締付ボルトにより支柱に締切った。このときガスケッ  
トの歪量と締付けによる荷重計自体の歪量の合計を締め  
付けられるよう、支柱長さおよび試験フランジ厚さをあ  
らかじめ調整しておいた。

次に装置全体（動歪計やヘリウムリークディテクター  
等の測定系は除く）を断熱材で覆い、ヒーターにより200

図2  
圧縮復元／気密試験装置



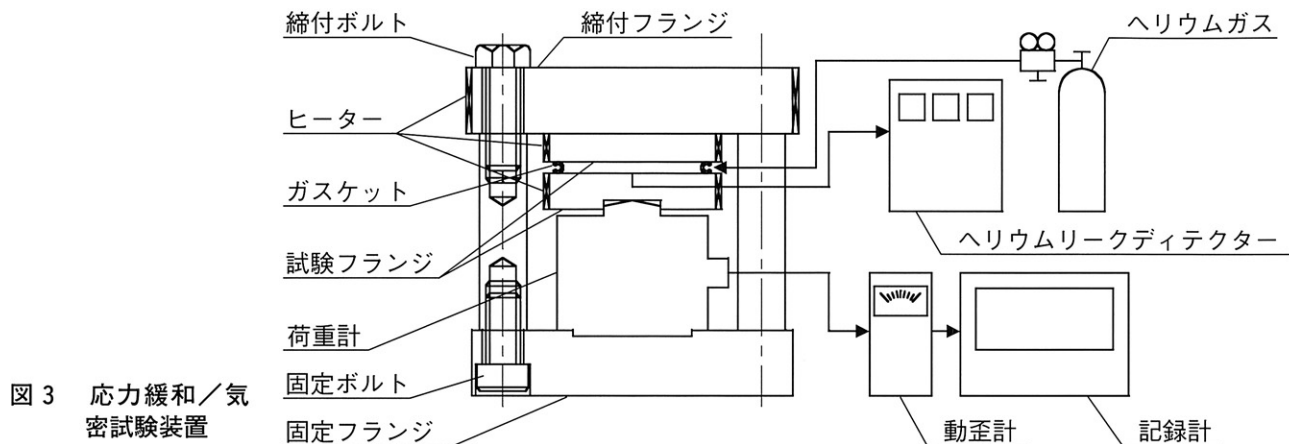


図3 応力緩和/気密試験装置

℃に加熱した。温度は試験フランジに取り付けた熱電対にてモニターした。

200℃にて安定した時間を0時間として、1000時間までの締付荷重の経時変化を荷重計にてモニターし、1000hにわたる応力緩和を測定した。

また、その間の漏洩量をヘリウムリークディテクターにて測定した。なお、気密の基準は漏洩量がヘリウムリークディテクターの感度限界である  $1 \times 10^{-11} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$  以下であることとした。

表2 常温気密性能

| 試料                        | 気密開始点 $S_0$ [kN/m] | 気密限界点 $S_1$ [kN/m] |
|---------------------------|--------------------|--------------------|
| $\phi 10$ -Inconelバネ      | 140                | 30                 |
| $\phi 10$ -Nimonicバネ      | 180                | 30                 |
| $\phi 5.6$ -Inconelバネ(参考) | 100                | 40                 |

## 4. 試験結果および考察

### 4-1 圧縮復元/気密試験結果

圧縮復元/気密試験結果を図4に示す。比較として断面径5.6mmのトライパック®(インコネルバネ)もあわせて記載した。

圧縮復元曲線については断面径についての差が現れている。圧縮時において、断面径5.6mmのものは塑性変形が開始される締付力が小さく、溝締切り状態で十分な塑性変形がなされているものと思われるが、断面径10mm

のものは塑性変形領域には入っているものの、完全に変形しきっていないようである。

実機においてはガスケット断面径の寸法公差、およびフランジ溝の寸法公差により圧縮量に幅がある。断面径5.6mmの場合は圧縮量の差が締付力にはほとんど影響しないが、断面径10mmの場合は締付力にも幅が出るものと考えられる。

なお、溝締切に要した締付力は、断面径10mmのもので約400kN/m、断面径5.6mmのもので約350kN/mであった。

一方、復元時において、溝締切状態から気密限界点  $S_1$  までの有効復元量(溝締切状態から気密限界点  $S_1$  までの復元量)は、断面径5.6mmのものが約0.1mm程度であるのに対し、断面径10mmのものが0.2～0.25mm程度

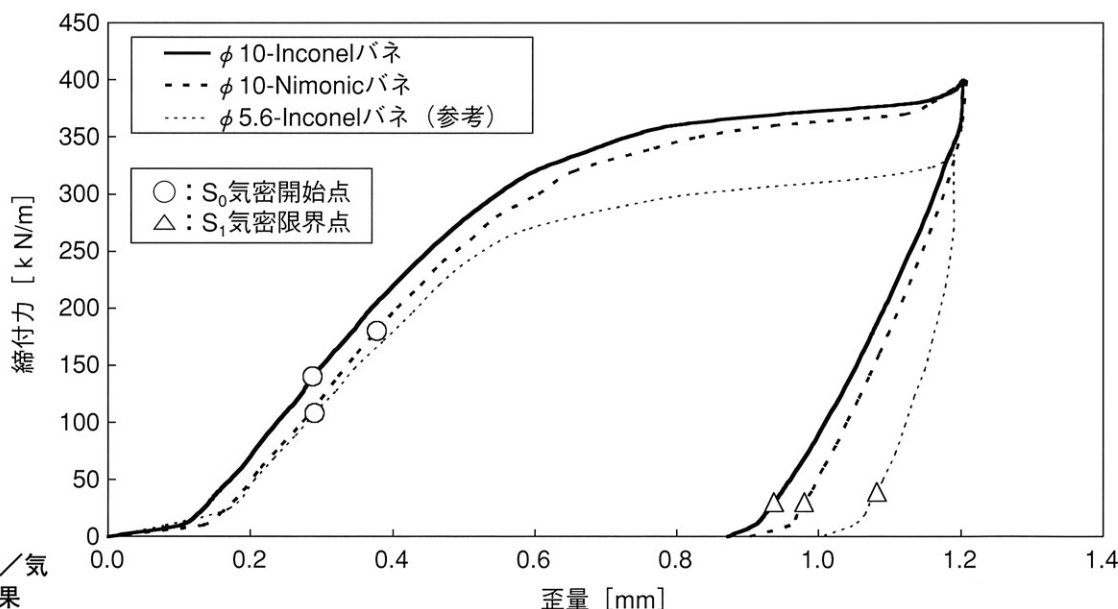


図4 圧縮復元/気密試験結果



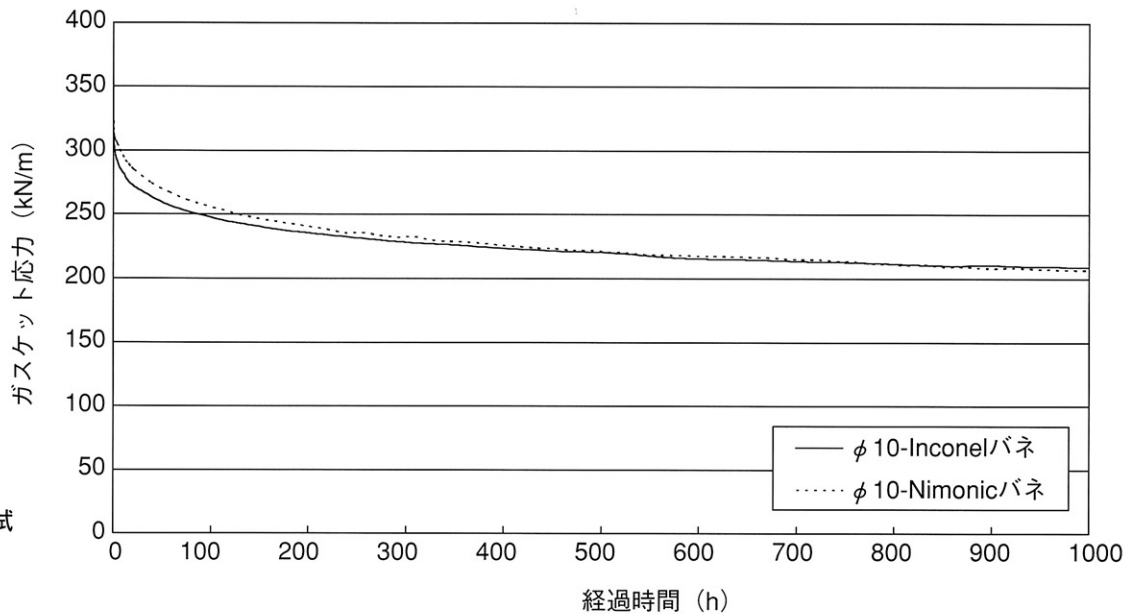


図5 応力緩和試験結果

と大きく、これは落下などの衝撃などでフランジ面間が開いた場合の追従性に優れるものと考えられる。

気密特性を比較すると、気密開始点 $S_0$ および気密限界点 $S_1$ に多少のばらつきはあるものの、ほぼ有意差なしと判断しても差し支えないものと考えられる。常温気密試験結果を表2に示す。

また、コイルスプリング材質について、インコネルバネおよびナイモニックバネを比較しても、圧縮復元特性、および気密性能に有意差は見られず、常温においてはほぼ同等の特性を有しているものと考えられる。

#### 4-2 応力緩和／気密試験結果

応力緩和試験結果を図5に、気密試験結果を表3に示す。なお、図5においてグラフ横軸の経過時間はガスケットが200℃で安定した時点から0時間としている。

図5に示すようにコイルスプリング材質について有意差は見られない。また両者とも200℃×1000hの熱履歴を与えた後も漏洩は発生しなかった。

確かにインコネルとナイモニックを比較すると、ナイモニックの方が耐熱性に優れる材料であるが、インコネルも約700℃までの耐熱性を有した材質であり、200℃程度では両者に有意差が生じなかったものと考えられる。

むしろ外被材料であるアルミニウムのクリープがトラ

表3 高温気密性能

| 試 料            | 気 密 性 能       |                    |               |
|----------------|---------------|--------------------|---------------|
|                | 初期締付時<br>(常温) | 200℃加熱時<br>(1000h) | 加熱終了後<br>(常温) |
| φ 10-Inconelバネ | 感度以下          | 感度以下               | 感度以下          |
| φ 10-Nimonicバネ | 感度以下          | 感度以下               | 感度以下          |

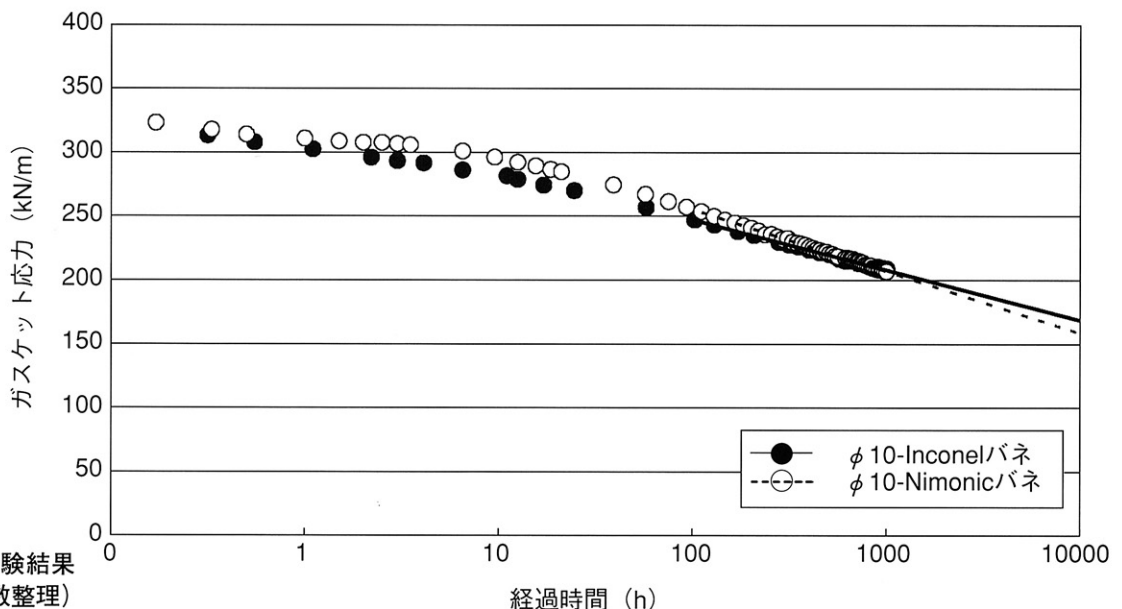


図6 応力緩和試験結果  
(時間軸対数整理)

表4 寿命推定結果

| 試料                   | 関数式                              | 気密限界点 $S_1$ | 推定寿命                                                |
|----------------------|----------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------|
| $\phi 10$ -Inconelバネ | $\sigma = -17.07 \ln(t) + 325.8$ | 30          | $3.35 \times 10^7 \text{h} \div 3820 \text{ years}$ |
| $\phi 10$ -Nimonicバネ | $\sigma = -21.03 \ln(t) + 352.1$ | 30          | $4.48 \times 10^6 \text{h} \div 512 \text{ years}$  |

イパックとしての応力緩和の主たる原因であると考えられる。

すなわち、コイルスプリング材質は十分な耐熱性を有した高ニッケル基合金であれば問題はなく、コストや入手のしやすさなどから選定すればよいと考える。

### 4-3 長期性能の推定

応力緩和を検討する場合、本来ならマックスウェル緩和理論の観点から、横軸に時間、縦軸に締付力の対数をとったグラフにて整理されるべきであるが、横軸に時間の対数、縦軸に締付力として整理し、経験的に直線関係が得られることが分かっている。本稿でもその手法により長期密封性能の推定を行った。

時間軸を対数としたグラフを図6に示す。緩和の安定した100時間以降は直線関係が成立しているものと判断し、さらに1000時間以降もこの直線関係が成立するという予測のもと、1000時間以降の締付力を推測するために、図6のプロットから最小二乗法により関数式を、インコネルバネおよびナイモニックバネそれぞれについて求めた。

さらに、気密限界点 $S_1$ まで締付力が低下する時間を求め、ガスケットの寿命を推定した。表4に寿命推定結果を示す。

インコネルバネの場合

応力緩和特性からの推定式

$$\sigma = -17.07 \ln(t) + 325.8 \dots \dots \dots (1)$$

気密限界点

$$S_1 = 30 \text{ [k N/m]} \quad (\text{表2 参照})$$

$$\sigma = S_1 (30) \text{ として時間 } t \text{ [h] を求めると、}$$

$$t = 3.35 \times 10^7 \text{ [h]}$$

$$= 3820 \text{ [years]}$$

ナイモニックバネの場合

応力緩和特性からの推定式

$$\sigma = -21.03 \ln(t) + 352.1 \dots \dots \dots (2)$$

気密限界点

$$S_1 = 30 \text{ [kN/m]} \quad (\text{表2 参照})$$

$$\sigma = S_1 (30) \text{ として時間 } t \text{ [h] を求めると、}$$

$$t = 4.48 \times 10^6 \text{ [h]}$$

$$= 512 \text{ [years]}$$

この結果を見ると、一見インコネルバネの方が長寿命のように感じるが、これは時間軸を対数として外挿にて

評価しているため、わずかなデータのバラツキが大きな差異として現れたものと考えられる。

また、文献<sup>(1)</sup>にて示された断面径5.6mmのトライパック®の200℃における寿命は82年と推定されている。これは、この評価に用いられたトライパック®のコイルスプリングおよび内被がステンレス材（SUS 304）であり、インコネルやナイモニックといった高ニッケル基合金に比べて耐熱性に劣る材料であるため横並びの比較はできないが、いずれにしても、冒頭に述べた貯蔵キャスクへの適用については、十分な寿命を有しているものと考えられる。

## 5. おわりに

本稿では使用済燃料貯蔵キャスクへの適用を念頭に、断面径10mmのトライパック®の長期性能評価を検討した。

その結果、従来の小断面径のものより優れた長期気密特性を有していることが確認された。しかしながら、大断面径化に伴い締付力の増加が生じ、またそれによる貯蔵キャスク側の設計変更、コストアップなどの問題が生じることが予想される。トータルバランスによる選定が必要であろう。

また、コイルスプリング材としてインコネルとナイモニックとの比較評価を実施したが、両者に有意差はなく、ともに十分な性能を有しているものと判断されるため、これもコストや入手性等で選定されることが望ましい。

最後に、本稿では推定の域を超えない部分を多く有し、また考察不足である部分も多々あったことをお詫びするとともに、今後の更なる検討を進める所存である。各位のご指導、ご鞭撻を賜れば幸いである。

### 〈参考文献〉

- (1) 堀井 賢二、トライパック®の長期性能評価、バルカーレビュー、35-3(1991)、7-13



# チタン成形ベローズの機械・真空特性

## Mechanical and Vacuum Properties of Hydroformed Titanium Bellows

バルカーセイキ株式会社

西場 健博

川原 政春

佐藤 央隆

Takehiro NISHIBA

Masaharu KAWAHARA

Hisataka SATOH

VALQUA SEIKI Ltd.

### 《Summary》

Titanium is expected as a material of the hydroformed bellows. We investigated mechanical and gas desorption properties of titanium and conventional stainless steel bellows. The titanium bellows has much flexibility, that spring constant is 20 to 30% lower than that of the stainless steel one. The endurance test shows that the fatigue life of the titanium bellows is roughly equal to that of the stainless steel one with the same stroke. The gas desorption rate of the titanium bellows is about 43% of the stainless steel one.

キーワード：チタン、成形ベローズ、軽量化、バネ定数、疲労寿命、ガス放出速度

### 1.はじめに

ベローズは真空環境を保持するためのシールや継ぎ手として用いられる重要な構成部品である。半導体や液晶、これからの成長が期待されるマイクロマシン産業のほか、加速器や核融合炉などのビッグサイエンス分野にも欠かせないものとなっている。

最近、ステンレス鋼にかわり軽量で可とう性に優れ、放射化しにくく磁性が低いベローズ材料が要求されている。

ステンレス鋼成形ベローズは、フランジを含めると数十kgの重量となり、取り扱いが容易ではない。また、脱着時にベローズを伸縮させる必要があるが、バネ反力が高いため扱いにくい。

我々はこのような要求を満たす材料として、チタンに着目した。

表1にチタン<sup>(1)</sup>とステンレス鋼<sup>(2)</sup>およびアルミニウム<sup>(3)</sup>の物理的・機械的性質を示す。チタンはステンレス鋼よりも軽量で可とう性、耐腐食性に優れ、線膨張係数や透磁率が低く加速器や核融合炉用材料として適している。また、アルミニウムよりも耐力や硬度が高いため、過負荷時のつぶれに強く傷がつきにくい。さらに放

射能化した場合、長寿命の同位体元素が生成されないため、残留放射能が早く減衰する<sup>(4)</sup>利点がある。

ここでは、チタン成形ベローズ（以下：Tiベローズ）の

表1：各ベローズ材料の物理的・機械的性質

|                         | チタン<br>JIS 1 種       | チタン<br>JIS 2 種       | ステンレス鋼<br>SUS316L     | アルミニウム<br>3003        |
|-------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 4.51                 | 4.51                 | 7.94                  | 2.73                  |
| ヤング率 (GPa)              | 106                  | 106                  | 186                   | 68.6                  |
| 引張り強さ (MPa)             | 323                  | 446                  | 675                   | 107                   |
| 耐力 (MPa)                | 210                  | 329                  | 394                   | 39.2                  |
| 伸び (%)                  | 46                   | 40                   | 50                    | 30                    |
| 線膨張係数                   | $8.4 \times 10^{-6}$ | $8.4 \times 10^{-6}$ | $16.6 \times 10^{-6}$ | $23.2 \times 10^{-6}$ |
| 硬 度                     | 138HV                | 166HV                | 166HV                 | 28HB                  |
| 加工硬化指数                  | 0.148                | 0.145                | 0.48<br>(SUS304)      | 0.243<br>(純アルミ)       |
| 塑性異方性                   | 5.28                 | 4.27                 | 1.0<br>(SUS304)       | 0.62<br>(純アルミ)        |
| 比透磁率                    | 1.001                | 1.001                | 1.01                  | 1.0001                |

機械的特性および真空特性について、ステンレス鋼成形ベローズ（以下：SUSベローズ）との比較を交え、紹介する。

## 2. Tiベローズの機械的特性

### 2-1 成形性

板厚が等しいチタン J I S 1 種（以下：Ti 1 種）およびステンレス鋼（以下：SUS316L）の冷間圧延材にて、内外径と山数が同一な成形ベローズを製作した。フランジも同一形状で製作した。SUSベローズのフランジは同一材料のSUS316L、Tiベローズのフランジは、シール面の傷付きを防ぐため、硬度がSUS316Lと同等である Ti 2 種にて製作した。

表 2 に、製作したベローズの重量と寸法を示す。Ti と SUS ベローズの重量比は、材料の密度比と同じ 57% であった。自由長（無負荷時のベローズ全長）の差は 5% 以内に収まり、内外径も等しく、Tiベローズの成形性は SUSベローズに劣らなかった。

表 2：ベローズの重量および形状

|                 |             |             |
|-----------------|-------------|-------------|
| ベローズ材料          | Ti JIS 1 種  | SUS316L     |
| フランジ材料          | Ti JIS 2 種  | SUS316L     |
| 重量（フランジ含む）（g）   | 121         | 212         |
| 自由長（フランジ含む）（mm） | 42.0        | 40.0        |
| 内径×外径（mm）       | φ44.2×φ57.9 | φ44.2×φ57.9 |

※ベローズ寸法：

内径44mm×外径58mm×板厚0.2mm×8山

※フランジ寸法：

外径66mm×板厚8.5mm

### 2-2 バネ特性

TiおよびSUSベローズをそれぞれ引張・圧縮試験機に据え付け、一定の変位速度でベローズの軸方向に荷重を加え、収縮させた。一連の変位量（縮み量）と荷重の関係を記録し、ベローズのバネ定数およびヒステリシスを

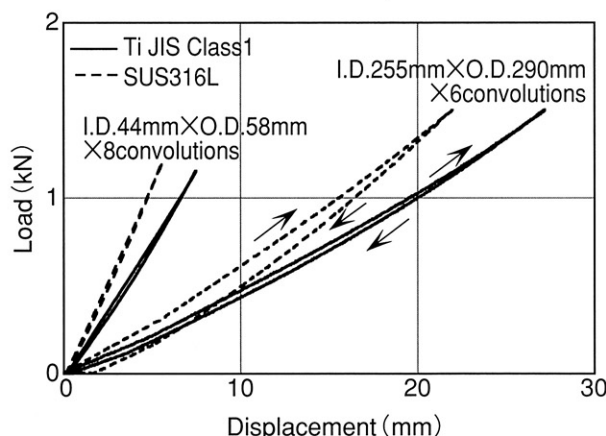


図 1：ベローズ一山あたりの荷重と変位量の関係

求めた。

図 1 にベローズの変位量と荷重の関係を示す。ベローズの寸法にかかわらず、Tiベローズのほうがグラフの傾きで表されるバネ定数が低い。また、ベローズ寸法が大きくなっても、SUSベローズと異なり、Tiベローズのヒステリシスは大きくならず、良好な線形性を保っている。

表 3 に、図 1 より得た Ti および SUS ベローズ一山あたりのバネ定数の測定値を示す。有限要素法解析ソフトウェア ANSYS により求めた計算値も合わせて記載した。

SUS ベローズの計算値と測定値の差は 30～40% と大きいのにに対し、Tiベローズの計算値と測定値はほぼ等しく、設計どおりのバネ定数を有するベローズであることがわかる。

これはTiベローズは成形による板厚の変化が小さいため<sup>5)</sup>、設計したバネ定数を有するベローズを安定して量産することが可能である事を示す。

表 3：ベローズのバネ定数

| ベローズ寸法<br>(mm)     | 一山あたりのバネ定数 (N/mm) |         | SUS316Lに対する<br>Tiのバネ定数の比 |       |
|--------------------|-------------------|---------|--------------------------|-------|
|                    | Ti JIS 1 種        | SUS316L |                          |       |
| 内径 外径<br>44 × 58   | 測定値               | 154     | 213                      | 72.3% |
|                    | 計算値               | 148     | 254                      | 58.3% |
| 内径 外径<br>255 × 290 | 測定値               | 55.6    | 70.2                     | 79.2% |
|                    | 計算値               | 60.7    | 114.4                    | 53.1% |

※計算値は有限要素法解析ソフトウェア ANSYS により求めた。

### 2-3 疲労寿命特性

小口径（内径 44mm × 外径 58mm × 板厚 0.2mm × 8 山）の Ti および SUS ベローズに繰り返し変位を与え、疲労寿命を測定した。試料を耐久試験機に取り付け、ベローズ内部を真空引きし、内部の圧力を 10Pa 以下とした。その後、大気圧の影響を考慮した設計上の変位比率、すなわち圧縮方向に 60%、引張方向に 40% となるような正弦波変位を繰り返し与えた。ベローズが破損し大気が入り込み、内部の圧力が上昇した時点の回数を疲労寿命回数とした。ストロークを 6～12mm の範囲で負荷条件

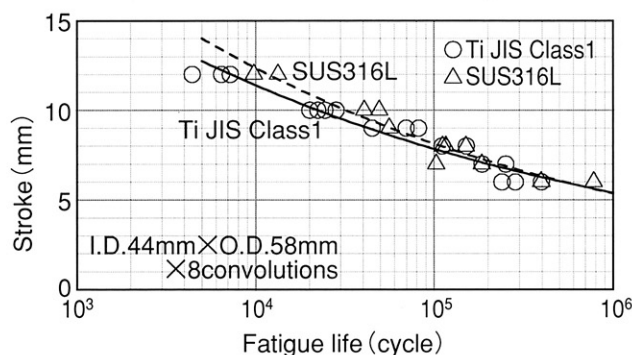


図 2：ベローズの疲労寿命曲線

を変え、各ストロークでの疲労寿命回数を測定した。

図2に測定結果を示す。TiベローズとSUSベローズは、同等の寿命であった。

## 2-4 耐圧性

ベローズ内部を真空に引くと、大気圧による荷重がベローズに加わる。ベローズの機能を保持するため、この荷重に対して耐える強度が要求される。

ベローズ内外の圧力差（差圧）により生じる材料表面の応力は、ベローズの形状と差圧の大きさに依存し、材料によらない<sup>6)</sup>。よって耐力がSUSの約半分しかないTiベローズは、同一形状のSUSベローズよりも低い差圧（応力）で塑性変形に至るため、設計時に注意を払う必要がある。

また、ベーキングにともなう材料の強度変化にも配慮しなければならない。温度上昇によるTiベローズ材料の強度変化を把握するため、Ti 1種ベローズ材料の0.2%耐力の温度依存性を調べた。板厚0.2mmの材料をJIS Z2201 13B号試験片形状に打ち抜き、試験片を加熱しながら引張試験を実施し、0.2%耐力を測定した。図3に測定結果を示す。Ti 1種ベローズ材料の0.2%耐力は、150℃で室温時の半分にまで低下した。

以上の事実を踏まえ、我々は図4に示すような有限要素法による応力解析を設計に活用することにより、ベーキング温度での耐圧性を満足し、かつ可とう性に優れたTiベローズの製作を可能とした。

## 3. Tiベローズの真空特性

Tiベローズの真空特性を評価するため、ベローズ表面からのガス放出速度を測定した。

Ti 1種およびSUS316Lにて同一寸法の大口径ベローズ（内径255mm×外径290mm×板厚0.2mm×3山）を製作し、脱脂洗浄を施した。化学研磨等の表面処理やベー

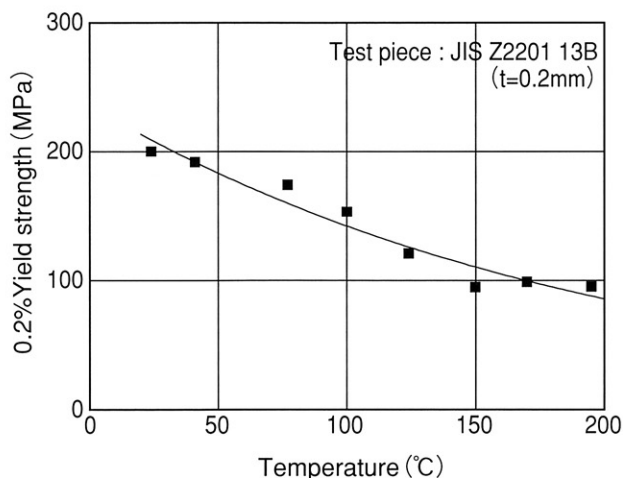
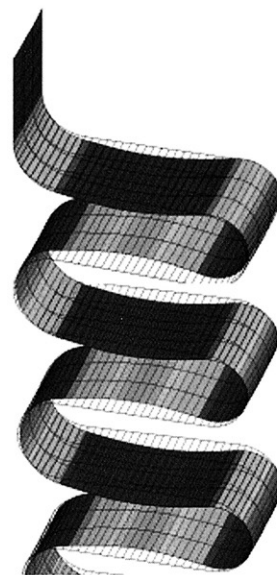


図3：Ti 1種ベローズ材料の0.2%耐力温度依存性

図4：有限要素法解析によるベローズ表面の応力分布例



キングは施さなかった。試験前に室温22℃、相対湿度45%の室内に24時間曝露したのち、図5に示す測定系にベローズを取り付け、スループット法により室温下でのガス放出速度の変化を測定した。なおベローズを除く測定系はあらかじめ200℃ベーキングを300時間行った。

つづいて製品として出荷されたベローズを使用する状況を再現し、真空特性を調べた。脱ガスのためベーキングを施したベローズを荷姿の状態で保存した。1ヵ月後開封し、24時間大気暴露ののちガス放出速度を室温下で測定した。梱包前のベーキング（プリベーキング）には、10<sup>-6</sup>Paを保持する超高真空熱処理炉を使用し、ベーキング温度150℃にて24時間実施した。真空中で徐冷させ炉からベローズを取り出したのち、ガスの透過を遮るナイロン袋の中に乾燥窒素と吸湿材とともに入れ、密閉し荷姿とした。大気暴露は室温22℃、相対湿度45%の雰囲気にて実施した。

図6にベーキングを行わない場合と、プリベーキングを実施した場合のガス放出速度の経時変化を示す。ベーキングなしの場合、排気開始後100時間でTiベローズのガス放出速度はSUSベローズの43%となり、良好な真空特性を示した。

プリベーキングの有無によるガス放出速度の違いを比

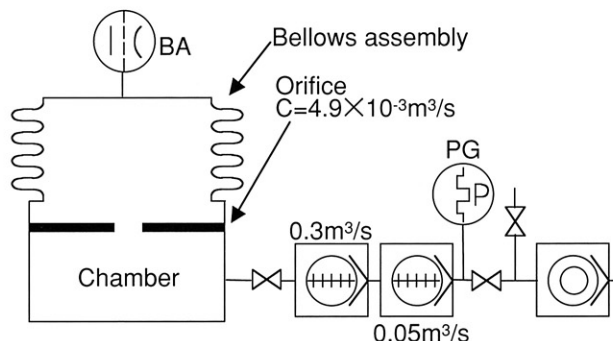


図5：ベローズのガス放出速度測定系



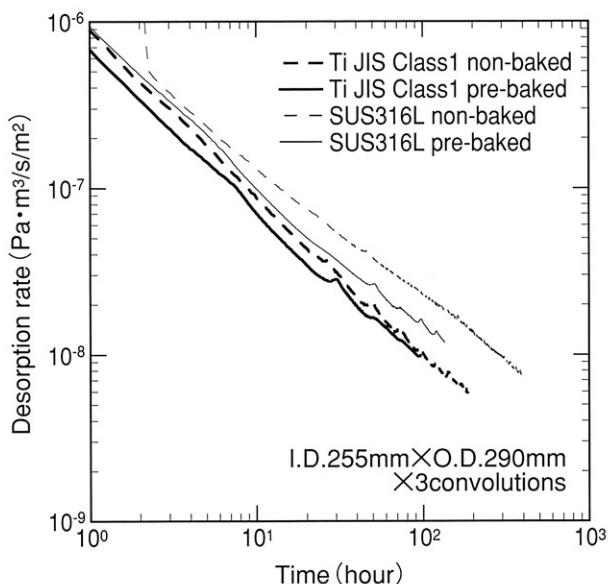


図6：ベローズのガス放出速度

較すると、Tiベローズにおける差異は僅かであり、プリベーキングなしでも高い真空特性を示していることがわかる。一方、SUSベローズの場合、プリベーキングによりガス放出速度が33%低下し、良好な真空特性を得るためにはプリベーキングが必要であることが明らかになった。

これはTi材料の製造過程において形成された緻密な酸化膜が材料内部からのガス放出を抑制している<sup>7)</sup>との報告がある。Tiベローズはこの酸化膜により、ベーキングを行うことなく低いガス放出速度が得られたものと考えられる。

#### 4.まとめ

- 1) チタンベローズの重量はステンレス鋼ベローズの約半分となり、大幅な軽量化が可能である。
- 2) チタンベローズはステンレス鋼ベローズと同等の成形性を示し、安定した寸法品質を有する。
- 3) チタンベローズのパネ定数はステンレス鋼ベローズの70～80%であり、寸法が大きくなってもヒステリシスは小さく、良好なパネ性を示した。
- 4) チタンベローズは、ステンレス鋼と同等の疲労寿命を示した。
- 5) チタンベローズのガス放出速度は、ステンレス鋼ベローズの43%となり、プリベーキングを行わなくても良好な真空特性を示した。

#### 5.おわりに

チタンは真空部品の材料として扱われ始めて10年を経過おらず、機械・真空特性に関しては未だ不明な部分が多い。本稿ではチタン成形ベローズの機械・真空特性に注目し、ステンレス鋼成形ベローズに替わるベローズと

して期待できることを明らかにした。

チタン成形ベローズは、半導体・液晶分野においては装置の軽量化によるメンテナンス工数の低減に、また、優れた物理的性質は加速器や医療機器において発揮され、さらに低温下における脆性が低いため、低温環境に用いられるベローズとして期待できる。

弊社ではこれらの様々な市場に対応するため、表4に示す寸法のチタン成形ベローズを用意している。ステンレス鋼成形ベローズに替わる、優れた特性を有するベローズとしてご活用いただければ幸いである。

表4：チタンベローズの標準寸法

| 呼び寸法 | ベローズ内径<br>(mm) | 呼び寸法 | ベローズ内径<br>(mm) |
|------|----------------|------|----------------|
| F34  | φ34            | F110 | φ110           |
| F40  | φ40            | F120 | φ120           |
| F44  | φ44            | F135 | φ135           |
| F52  | φ52            | F157 | φ157           |
| F60  | φ60            | F200 | φ200           |
| F70  | φ70            | F255 | φ255           |
| F80  | φ80            | F305 | φ305           |
| F90  | φ90            | F355 | φ355           |
| F100 | φ100           | F400 | φ400           |

※ご用命時は、材料をチタンとご指定ください。

#### 〈参考文献〉

- (1) (社)チタニウム協会編：チタンの加工技術，(日刊工業新聞社，1992)
- (2) ステンレス協会編：ステンレス鋼データブック，(日刊工業新聞社，2000)
- (3) (社)軽金属協会編：アルミニウム技術便覧，(軽金属出版，1985)
- (4) R. Thomas and G. R. Stevenson: Radiological Safety Aspects of the Operation of Proton Accelerators, (Technical Report Series No.283, IAEA Vienna, 1988) p.107.
- (5) 西場健博、原田洋祐、川原政春、能勢正章、齊藤芳男：真空 45 (2002) 590.
- (6) Expansion joint manufacturers association: Standards of the expansion joint manufacturers association, Inc., (1980)
- (7) 伊藤好男、湊道夫：真空40 (1997) 248.

## 300℃耐熱パーフロロエラストマー

## 「FLOURITZ®-HR」

Heat-Resistance Type Perfluoroelastomer FLOURITZ®-HR

日本バルカー工業(株)事業統括部プロダクトグループ

高機能ふっ素ゴム担当

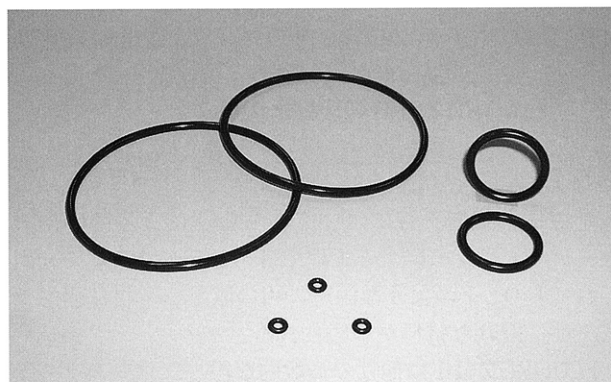
木村 卓広

## 1. はじめに

各種産業分野の技術革新は日々発展しており、ゴムシール材に要求される特性はますます過酷になっている。半導体製造装置や、精密分析機器等の分野においては、耐熱性・耐薬品性・耐プラズマ性など過酷な環境での使用にかかわらず、ゴムシール材からの各種成分の放出を低減した仕様が求められている。

パーフロロエラストマー（FFKM）は、ふっ素ゴムの中に分類される材料であるが、分子構造が炭素、ふっ素、酸素原子のみで構成されつつ、一般のゴム材料と同様に架橋構造を有しているためゴム弾性を示す。ふっ素ゴム（FKM）と異なり分子構造中に炭素－水素結合を持たず、構造のほとんどが結合エネルギーの大きい炭素－ふっ素結合で構成されているため、ふっ素ゴムより広範囲の耐薬品性を有しふっ素樹脂同様に化学的安定性に優れている。

弊社では、2001年10月にパーフロロエラストマーFLUORITZ®-SB（標準黒色タイプ）の販売を開始した。しかし、現在の最先端技術において耐薬品性、耐プラズマ性に加え、より過酷な温度条件にも対応した製品が求められており、汎用のパーフロロエラストマーでは対応で



きない仕様も存在している。そのような分野のニーズに対応すべく独自の材料設計技術、加工技術を用いてパーフロロエラストマーの開発を行っており、このたび高温用途に適したパーフロロエラストマーFLUORITZ®-HRを上市したので紹介する。

## 2. FLUORITZ®-HRの特長

## 2-1 基本特性

表1にFLUORITZ®-HRの基本特性を示した。

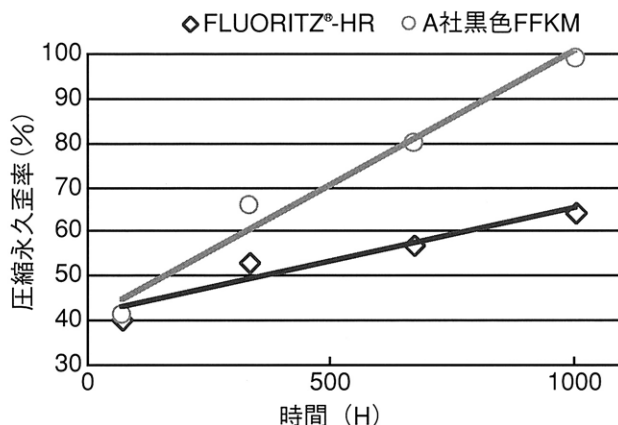
## 2-2 耐熱性

FLUORITZ®-HRの特長は、耐薬品性が求められる環境やゴムからの放出成分の低減が求められる環境下で使用可能というパーフロロエラストマーが持つ性質に加え、汎用品では使用が困難な300℃という高温条件下でも使用が可能な材料ということである。図1に300℃条件下での圧縮永久歪率を示す。一般的にその値が80%になるとシール性能を失うといわれている。他社のパーフロロエラストマーと比較した結果、他社のシール材では672時間で80%に達しているのに対し、FLUORITZ®-HRは1008時間でも64%となりシール性を保っている。計算上では80%に達する時間は1600時間と考えられ

表1 FLUORITZ®-HRの基本特性

|                   | FLUORITZ-HR | A社FEKM |
|-------------------|-------------|--------|
| 外 観               | 黒色          | 黒色     |
| 硬 さ (ShoreA)      | 83          | 83     |
| 引張り強さ (Mpa)       | 11.4        | 14.4   |
| 伸 び (%)           | 150         | 130    |
| 100%モジュラス (Mpa)   | 8.2         | 7.2    |
| 圧縮永久歪 (%)         | 64          | 99     |
| 300℃×1008時間,25%圧縮 |             |        |
| 使用温度範囲の目安 (℃)     | 0~300       | 0~300  |

る。その結果、高温である300℃の条件で使用した場合、他社のシール材よりシール性を長期間保つことが可能である。



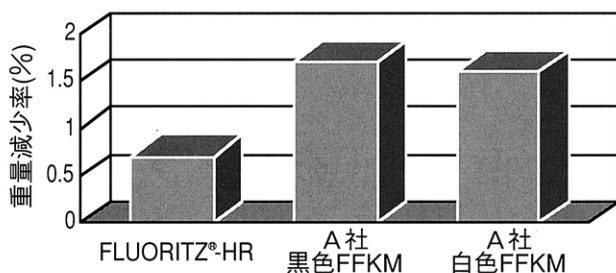
[試験条件] 試料:AS568A-214 Oリング、圧縮率：25%、温度：300℃

図1 FLUORITZ®-HRの圧縮永久歪

## 2-3 耐プラズマ性

半導体の製造工程においてCVD法による薄膜形成や、ドライエッチングの工程では、プラズマがよく利用されており、そのような箇所に用いるシール材は耐プラズマ性に優れた材料が求められる。

FLUORITZ®-HRは他社の一般的なパーフロエラストマーに比べても、重量減少が少なく、耐プラズマ性に優れている結果を示す。図2にプラズマ照射後の重量減少率を示した。



[試験条件] 試料:  $\phi 3.5 \times 50\text{mm}$  Oリング断片  
装置:  $\phi 300$  平行平板プラズマ処理装置  
出力: RF500W  
ガス:  $\text{O}_2 + \text{CF}_4$ 、照射時間: 3時間  
照射方法: 直射

図2 プラズマ照射後の重量減少率

## 2-4 非粘着性

非粘着性に優れていることは、Oリング着脱時の作業性を改善することや、固着による動的シール部での動作不良など、固着により生じるトラブルを低減できるということに結びつく。固着力の測定方法を図3に、固着力の測定結果を図4に示す。FLUORITZ®-HRは他社製のパーフロエラストマーよりも固着力が少なく、非粘着性に優れたシール材であることがわかる。

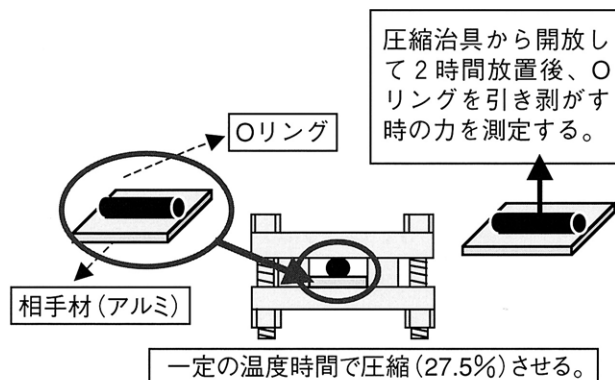
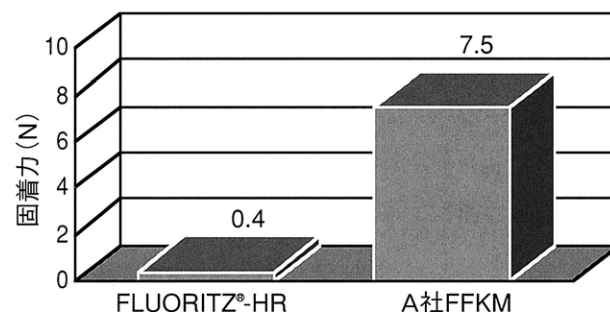


図3 固着方法概略図



[試験条件] 試料:  $\phi 3.5 \times 50\text{mm}$  Oリング断片、圧縮率: 27.5%、  
相手材: アルミ、温度、時間: 250℃×72h

図4 アルミに対する固着試験結果

## 3. FLUORITZ®-HRの用途

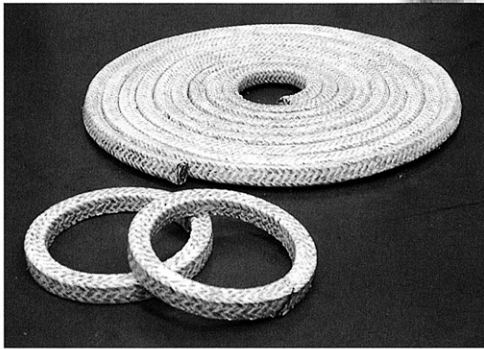
FLUORITZ®-HRは高温での圧縮永久歪や、耐プラズマ性に優れており、FLUORITZ®-SBと同様にほとんどの化学薬品、ガスに対して化学的安定性を示している。

そのため、半導体製造分野をはじめ化学工業、石油化学、分析機器、自動車、エネルギー、航空宇宙、食品分野などの耐薬品性が要求される用途や、半導体・液晶分野の耐プラズマ性が要求される用途の中で、特に耐熱性が要求される箇所での使用に適している。

製品形状は、Oリングをはじめ各種形状に加工することが可能である。



# ポンプ・回転機器用ノンアス®グラندパッキン バルカー No. 6 2 3 4



日本バルカー工業株式会社  
事業統括部プロダクトグループ（GP担当）  
プロダクトマネージャー  
**岡田 勝志**

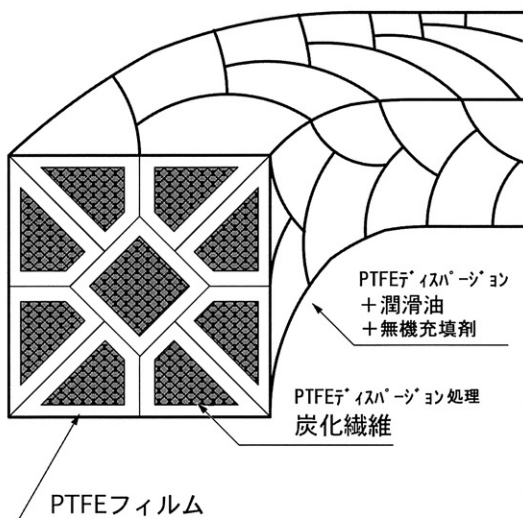
## はじめに

従来、ポンプ・回転機器用のノンアス®グラندパッキンは、汎用品として炭化繊維にPTFEディスパージョンと潤滑油を含浸し、編組したタイプのものが主流であった。

今回開発したNo. 6 2 3 4は、炭化繊維にPTFEディスパージョンを含浸し、これにPTFEフィルムで被覆した糸を断面角形に編組し、PTFEおよび潤滑油と特殊無機充填材による表面処理を施したものである。

本製品は、提携関係にある企業が持つ、「繊維をPTFEフィルムで被覆する」という特許と、自社開発した「特殊表面処理剤」の特許を組合せる事によって初めて可能になった製品である。

なお価格は、生産工程の省力化等を行う事によって、従来製品と同等レベルに抑えた。



## 特 長

### 1. 繊維摩耗粉の抑制

従来品では、使用時に軸との摩擦によって発生する炭化繊維の摩耗分を、抑える事が難しかったが、本製品は炭化繊維をPTFEフィルムで被覆することによって、大幅に抑制することができる。

### 2. 扱い易さの向上

従来品では、限界付近での運転時に挙動が不安定になり、漏洩量の調整に高度の熟練を要したが、本製品は潤滑油と特殊無機充填材による表面処理の効果によって、限界付近の挙動変化が緩やかになり、熟練者でなくとも調整作業が簡単に行える程に取扱いが容易になる。

### 3. 耐久性能の向上

従来品では、潤滑剤として使用されていた油脂分が短期間で流出・消失し、長期に渡って安定した性能を得る事が難しかったが、本製品の表面処理に含まれる特殊無機充填材が、湿潤状態で効果的な潤滑特性を発揮する上に、短期間で流出・消失することがないため、耐久性能が向上する。

### 3. 環境への配慮

ノンアス®(アスベスト未使用) 製品である。

|           |                                          |
|-----------|------------------------------------------|
| 温度限界      | 200℃                                     |
| 適用pH範囲    | 2～12                                     |
| 許容PV値     | 11.7MPa・m/s                              |
| 周速限界      | 15m/s                                    |
| 圧力限界      | 0.98MPa                                  |
| 製作寸法(mm角) | 6.0、6.5、8.0、9.5、10.0、11.0、12.5、14.5、16.0 |



## 平成 15 年度 H P I 科学技術奨励賞受賞

当社は、このほど、社団法人 日本高圧力技術協会より、平成 15 年度 H P I 科学技術奨励賞を受賞致しました。本賞は、日本高圧力技術協会より、平成 14 年中発表論文などの中から、平成 15 年度の有望若手研究者に授与されるものです。

本研究の漏洩量測定実験は、日本高圧力技術協会の第二次フランジガスケット委員会（委員長；澤俊行）で行われました。その受賞論文については、次号に掲載予定です。

### 〈対象論文〉

内圧作用下での渦巻き型ガスケット付き大口径管フランジ  
締結体の F E M 応力解析と密封性能評価

### 〈筆 者〉

山梨大学工学部 澤 俊行、尾方 尚文  
日本バルカー工業株式会社 西田 隆仁、山中 幸

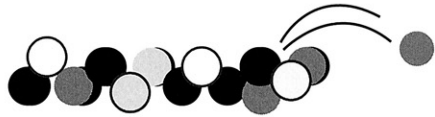
### 〈科学技術奨励賞受賞者〉

山梨大学工学部 尾方 尚文  
日本バルカー工業株式会社 山中 幸

### 〈概 要〉

近年、米国機会学会 (ASME: American Society of Mechanical Engineering) 内の PVRC (Pressure Vessel Research council) にて、ボルト荷重の設計に用いられる従来のガスケット係数  $m$ 、 $y$  に変わる新ガスケット係数 ( $G_b$ 、 $a$ 、 $G_s$ ) が提案されている。これらは主に呼び径の比較的小さい管フランジ締結体を対象とし、評価を行っており、従来より、比較的叫び径の大きな管フランジ締結体の漏洩評価などについて、扱った研究事例は少ない。

そこで、本研究では、呼び径の比較的大きな管フランジ締結体 (呼び径 20 インチ) について、内圧作用時のガスケット接触応力分布を、ガスケットの非線形性とヒステリシスを考慮して、有限要素法を用いて解析し、3 インチ管フランジの場合と比較を行い、管フランジ呼び径がガスケットガスケット接触応力分布などに与える影響を明らかにするとともに、内圧作用時のガスケット残留応力をより正確に推定することにより、より正確な漏洩量評価が可能であることを示した。



## 《用語の豆知識》



### 1

#### 使用済燃料貯蔵キャスク

原子力発電所の使用済み燃料は、再処理するまでの間、場合によっては数十年間貯蔵することも必要になる。放射線遮蔽や冷却機能を併せ持つ、貯蔵用金属容器を貯蔵キャスク（乾式キャスク）という。

### 2

#### 応力緩和とクリープ

応力緩和（relaxation）は、一定変形を与えたときに、時間の経過とともに材料の応力が減少していく現象をいう。

クリープ（creep）は、材料に一定の応力が加わったときに歪が時間とともに増加していく現象をいう。

### 3

#### バネ定数

自由長 $L$ のバネを長さ $x$ だけ伸縮させる時、バネの復元力はフックの法則により $x$ に比例し、 $-kx$ と表現される。この比例係数 $k$ をバネ定数と呼ぶ。

ペローズのバネ定数は、その断面形状と板厚、材料のヤング率に依存する。

### 4

#### ガス放出速度

固体を真空中におくと、その表面から気体が放出される。これをガス放出と呼ぶ。放出される気体は、固体の表面に吸着されていたものと、固体内部に吸蔵されていたものである。ガス放出を表す値として、ガス放出速度が定義されている。単位面積、単位時間あたりの気体の放出量を意味し、単位は $\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ となる。真空容器の最終到達圧力 $P$ は、真空ポンプの排気速度 $S$ と真空ポンプの到達圧力 $p_0$ 、および真空容器の表面積 $A$ とガス放出速度 $q$ を用いてあらわされる。排気速度 $S$ を大幅に増すことは物理的に困難でありコストもかさむため、超高真空を実現するためには真空容器のガス放出速度 $q$ を低減するのが最も有効な手段となる。

### 5

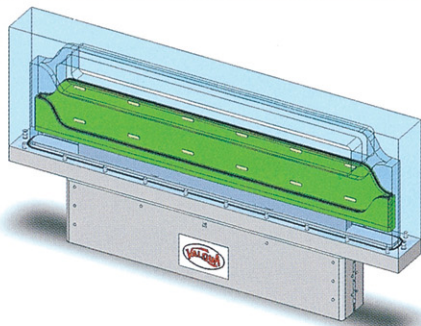
#### ベーキング

真空容器表面に吸着している気体分子を加熱により取り除く手法。表面に吸着した気体分子の表面滞在時間は加熱により短くなり、吸着分子を取り去ることが可能となる。さらに加熱は、固体内に吸蔵されている気体の表面への拡散を促進し、より脱ガスを進める。加熱は大気側に設置したヒーターにより行われることが多く、ステンレス鋼製容器では $200^\circ\text{C}$ 程度を目安に24時間以上加熱するのが望ましい。なお、ベーキング前に油脂等の汚れを除去しておくことが重要である。



新製品

# F P D 装置用 大型矩形ゲートバルブ



## 標準仕様

|                     |                                                            |
|---------------------|------------------------------------------------------------|
| 材 質                 | アルミニウム                                                     |
| 開口寸法 (Height×Width) | 標準開口寸法表参照                                                  |
| 内部リーク               | $< 1 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ |
| 外部リーク               | $< 1 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ |
| 耐久回数                | 100万回 (但しシール材は除く)                                          |
| 軸シール                | フッ素ゴム                                                      |
| 開閉スピード              | 80mm/s                                                     |
| シリンダ操作圧力            | 0.4MPa                                                     |
| ゲートシール材             | フッ素ゴム                                                      |

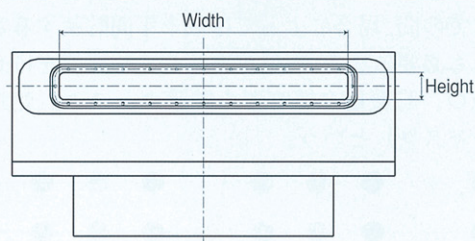
## 特 徴

- ・シングルアクション機構
- ・シンプルな構造
- ・当社独自のシール材転動防止機

## 標準開口寸

単位 [mm]

| Height \ Width | 600 | 1000 | 1300 | 1500 | 1700 |
|----------------|-----|------|------|------|------|
| 50             | ○   | ○    |      |      |      |
| 100            | ○   | ○    | ○    | ○    |      |
| 130            |     | ○    | ○    | ○    | ○    |
| 150            |     | ○    | ○    | ○    | ○    |



| 〔事業所名〕 | 〔電話番号〕            | 〔F A X 番号〕        |
|--------|-------------------|-------------------|
| 本 社    | (03) 5325-3421(代) | (03) 5325-3436(代) |
| 東京事業所  | (03) 3560-0701(代) | (03) 3560-0727(代) |
| 大阪事業所  | (06) 6443-5221(代) | (06) 6448-1019    |
| 仙台営業所  | (022) 264-5514(代) | (022) 265-0266    |
| 福島営業所  | (0240) 34-2471(代) | (0240) 34-2473    |
| 日立営業所  | (0294) 22-2317(代) | (0294) 24-6519    |
| 横浜営業所  | (044) 223-1381(代) | (044) 210-0410    |
| 豊田営業所  | (0566) 77-7011(代) | (0566) 77-7002    |
| 名古屋営業所 | (052) 671-6251(代) | (052) 682-7264    |
| 京滋営業所  | (077) 581-3201(代) | (077) 514-3346    |
| 岡山営業所  | (086) 460-1181(代) | (086) 460-1182    |
| 松山営業所  | (089) 974-3331(代) | (089) 972-3567    |
| 北九州営業所 | (093) 521-4181(代) | (093) 531-4755    |
| 中国営業所  | (0827) 81-0230(代) | (0827) 81-0250    |
| 宇部駐在所  | (0836) 31-2727(代) | (0836) 32-0771    |
| 長崎営業所  | (095) 861-2545(代) | (095) 862-0126    |
| 熊本営業所  | (096) 364-3511(代) | (096) 364-3570    |

## VALQUA TECHNOLOGY NEWS

春号 No.6  
SPRING 2003

発行日・・・2003年4月28日  
編集発行・・・日本バルカー工業株式会社  
研究開発部研究企画グループ  
〒107-0052  
東京都港区赤坂1丁目9番13号  
三会堂ビルディング5階  
TEL:03-3560-0706  
FAX:03-3560-0730  
E-mail:y-tsuda@valqua.co.jp  
制作・・・創言社

# 日本バルカー工業株式会社



VALQUA の登録商標は VALUE と QUALITY を意味します。

<http://www.valqua.co.jp>

本誌の内容は当社のホームページにも掲載しております。