

# ニチアス 技術時報

# 2013

No.363

4号

## プラント向け販売・工事事業特集

電力  
ガス  
エネルギー

化学  
石油精製  
石油化学

LNGプラント

製鉄  
非鉄金属

環境プラント



ニチアス

## 目次

### 【巻頭言】

- ◆プラント向け販売・工事業集号発刊にあたって ..... 1  
取締役 常務執行役員 基幹産業事業本部 本部長 小出 了

### 【特別企画】

- ◆プラント設備で活躍するニチアス製品・工法 ..... 2

### 【技術レポート】

- ◆ふっ素樹脂系ガスケットを用いたフランジ締結体におけるボルトの増締め効果（常温における長期特性）... 4  
沼津工業高等専門学校 小林 隆志  
三菱化学株式会社 西浦 謙剛  
ニチアス株式会社 平塚 雅章

### 【製品紹介】

- ◆シール材の概要とニチアス製品の紹介 ..... 9  
基幹産業事業本部 基幹製品事業部
- ◆充填材入ふっ素樹脂シートガスケット  
TOMBO No.1133 「クリンシル® クリーン」 ..... 20  
基幹産業事業本部 基幹製品事業部
- ◆溝付メタルガスケット  
TOMBO No.1891 「カンプロファイルガスケット」 ..... 25  
基幹産業事業本部 基幹製品事業部
- ◆ふっ素樹脂ライニング配管材料  
TOMBO No.9940 「ベントスプール」 ..... 28  
基幹産業事業本部 基幹製品事業部

### 【解説】

- ◆PFAライニング配管の寿命診断 ..... 31  
基幹産業事業本部 基幹製品事業部 本田 誠一
- ◆プラントにおけるサーモグラフィによる熱診断 ..... 38  
基幹産業事業本部 工事業部 工事技術部 植原 啓太

### 【技術レポート】

- ◆（寄稿）屋外配管の外表面腐食診断法について ..... 44  
中部電力株式会社 電力技術研究所 金森 道人  
中部電力株式会社 碧南火力発電所 高須 英明

### 【解説】

- ◆PC構造の防液堤を有したLNGタンク [PCLNGタンク] の保冷構造と施工 ..... 47  
基幹産業事業本部 工事業部 工事技術部 塚本 徹

送り先ご住所の変更、送付の停止などにつきましては、下に記載の連絡先までご連絡ください。  
なおその際は、宛て名シールに記載されている7桁のコードを必ずお知らせくださいますよう、お願いいたします。

〈連絡先および本誌に関するお問い合わせ先〉

TEL: 03-4413-1194  
FAX: 03-3552-6149  
E-mail: info@nichias.co.jp

本誌の内容は当社のホームページでもご紹介しております。  
当社ホームページでは、1999年1号から最新号までの内容をご覧いただけます。  
<http://www.nichias.co.jp/>

## 〈巻頭言〉

# プラント向け販売・工事事業特集号発刊にあたって

取締役 常務執行役員  
基幹産業事業本部 本部長 小 出 了



ニチアス技術時報をご愛読いただきありがとうございます。

昨今報道されているとおり、石油精製・石油化学業界においては火災・爆発などのプラント事故が問題となっています。この背景には熟練した技術者の大量退職に伴う技術の伝承不足による人的な作業ミスというソフト面の要因と、プラントの経年劣化によるハード面の要因があります。

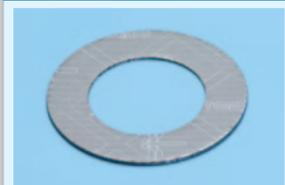
わが国の石油精製・石油化学プラントは高度成長時代に産声をあげ、半世紀経ったいまなお、多くの装置が現役で活躍しております。内需の低迷とグローバルな競争という環境のもと、老朽化したプラントを今後少しでも長く、安全かつ適正に維持していくことがお客さまの関心事となっております。また円安要因などによる燃料価格の高騰を受けて、省エネ対策も課題となっております。これらのニーズを満たすため、プラントの運転を停止させることなく事前に設備劣化状況を察知し、適切な対策を打つことが求められます。

私ども基幹産業事業本部はこの4月に誕生した新組織で、プラント関連のお客さまにガスケット・パッキンや断熱材などを供給する基幹製品事業部と断熱工事・耐火工事などを提供する工事事業部から成り立っております。工事事業においては国内100箇所以上のお客さまの工場内に常駐し、お客様のニーズを満たすため、装置や配管に取り付けられた既設の保温材を取り外すことなく、熱診断や含有水分量の診断で劣化度合を調査し、適切な補修計画を提案しております。今後は基幹製品事業においては、工事の診断技法を応用し、各プラントに収めているベローズ継手やガスケット・パッキン、ふっ素樹脂ライニング、LNG配管に用いるウレタンサポートなどの更新提案も展開してまいります。これまで弊社では、お客さまのニーズ探索から開発、製造・販売という事業領域にとどまっておりましたが、その先にある診断・メンテナンス提案に至る「ONE STOP環境」を構築することで、さらにお客さまのお役に立てるものと存じます。

今後ともニチアス技術時報のご愛読と、弊社製品・工事の一層のご愛顧を賜りますようお願い申し上げます。

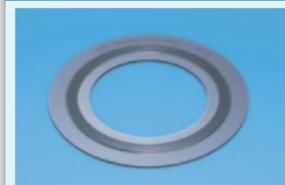
# プラント設備で活躍するニチアス製品・工法

1 膨張黒鉛系ガスケット  
TOMBO No.1210  
グラシール® ガスケット



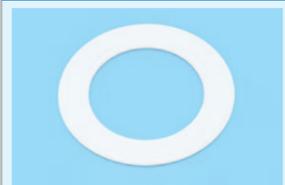
各種産業の配管フランジ、熱交換器、バルブポンネットなどで使用される膨張黒鉛ガスケットです。耐熱性、耐薬品性に優れているため高温・低圧の条件に適しています。

2 うず巻形ガスケット  
TOMBO No.1808  
グラシール® ポルテックス® ガスケット



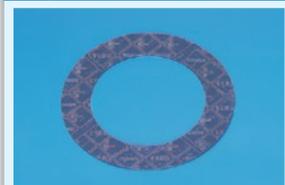
各種配管のフランジ、バルブ、機器などに使用される膨張黒鉛テープフィラークラスのうず巻形ガスケットです。高温・高圧の蒸気やナフサなどの流体、液化エチレンなどの低温流体用ガスケットとして適しています。

3 プロセス用シートガスケット  
TOMBO No.1133  
クリンシル® フリー



石油精製・石油化学製品、有機溶剤、熱油、熱媒ガス、蒸気などに使用されるふっ素樹脂系ガスケットです。耐酸性・耐アルカリ性に優れ、酸・アルカリのいずれにも使用できます。

4 高温用ジョイントシート  
TOMBO No.1120  
クリンシル® トップ



比較的高温の配管のフランジ・バルブ・機器などに使用される黒色のシートガスケットです。耐酸性・耐アルカリ性に優れています。

5 汎用ジョイントシート  
TOMBO No.1995  
クリンシル® ブラウン



比較的低温の配管フランジ・バルブ・機器などに使用されるジョイントシートです。低温・低圧の浅水、水、油、空気などの流体をシールするガスケットとして使用されます。

6 煙突ライニング用不定形耐火物  
トムスタック® SG50



煙突、ダクトの内側に使用される磁気原料を用いた不定形耐火物です。耐酸性、耐水性に優れ鋼製煙突を酸性ガスや熱から守る製品です。

7 不定形耐火物  
トンボ耐火キャスト™



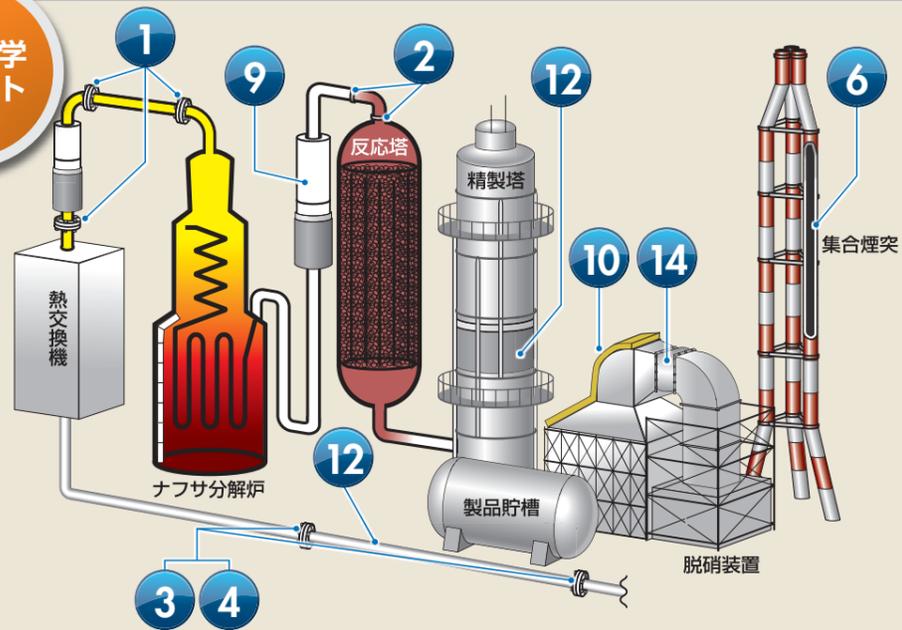
ボイラールーブリの耐火材や耐火レンガのバックアップ材として使用される不定形耐火材です。熱伝導率が低く熱損失が少なく、吹き付けなどの施工によりさまざまな形状に対応できます。

8 セラミックファイバー断熱材  
ファイナフレックス® ブランケット

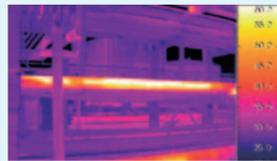


一般高温断熱材、窯炉の天井、炉壁の断熱材として使用されるセラミックファイバー断熱材です。高温排気ダクトの断熱材として使用されます。

## 石油化学プラント

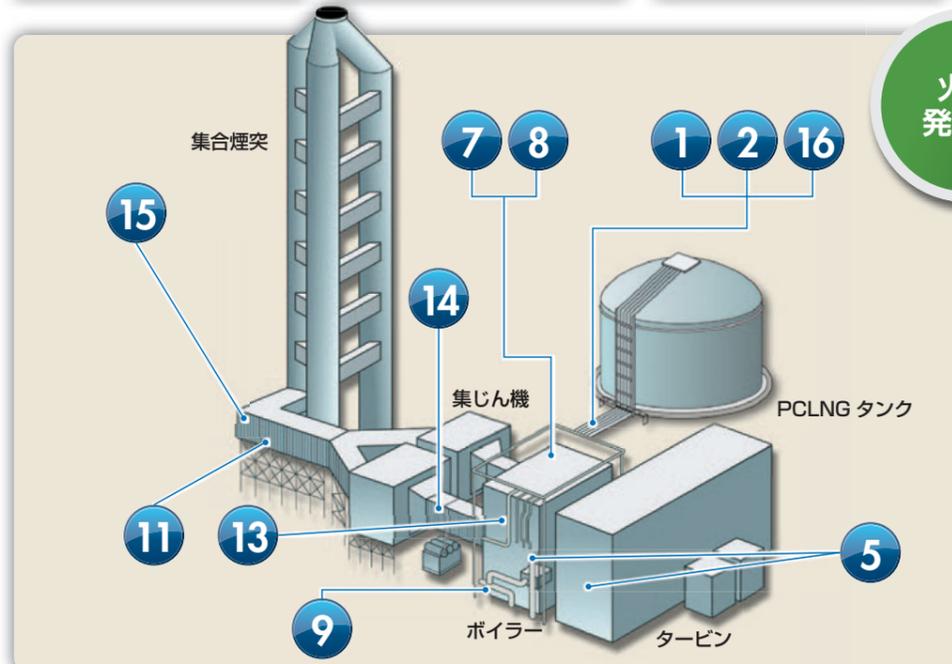


### 保温・保冷材劣化診断 サーモグラフィ熱診断



サーモグラフィにより可視化された保温・保冷外装表面温度より、外装に隠れた保温・保冷材の劣化を診断します。

## 火力発電所



### 保温機能回復工法 e-AIM® 工法



劣化した既設保温材を取り外すことなく、上から保温材を重ね巻きて低下した保温性能を回復させる保温機能回復工法です。

9 けい酸カルシウム保温材  
ケイカルエース・スーパーシリカ®



各種配管・ダクトに使用されるけい酸カルシウム保温材です。施工が容易で機械的強度が大きく耐水性に優れており、1000℃までの高耐熱性で高温部の断熱材として使用されます。  
※「ケイカルエース・スーパーシリカ」は、日本ケイカル(株)の製品です。

10 ロックウール断熱材  
MGワイヤード ブランケット



各種プラントの機器やタンク、空調設備のダクトに使用されるロックウール断熱材です。施工性に優れ、複雑な箇所や曲面への施工が容易です。

11 ロックウール保温材  
MGボード



ボイラールーブリ、集じん機、ダクトの保温・断熱・騒音低減およびセラミックファイバー断熱材のバックアップ材として使用されるロックウール断熱材です。

12 ふっ素樹脂ライニング  
PFA ライニング配管



耐薬品性、耐熱性を有し、また成形に際して可塑性や熱安定剤などの添加剤を使用していないため、純粋性に優れたライニング配管です。

13 着脱式フレキシブル断熱材  
エネサーモ®



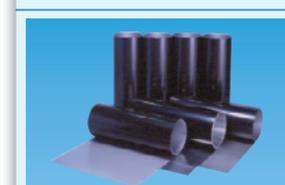
バルブ・フランジ・タービン・ポンプ・ボイラールーブリなどの保温に用いられる着脱自在で断熱性に優れた保温材です。屋外用として防水タイプもあります。

14 非金属製伸縮継手  
NA ベロー® Q



各種配管やダクトなどの煙道に使用される非金属製伸縮継手です。大口径ダクト配管などの熱膨張、振動によって生じる伸縮変位移動を吸収する製品です。

15 制振鋼板  
メタラミネ®



金属とゴムの多層構造により、優れた防音効果を兼ね備えた外装材です。煙道、電気集じん機の外装に使われます。

16 ノンフロン硬質ウレタンフォーム  
フォームナート® TNカバー



LNG 発電所・基地、船舶などの配管、貯蔵に使用される低温特性に優れた炭酸ガス発泡ウレタンフォーム断熱材です。

\* TOMBO はニチアス(株)の登録商標または商標です。  
\* ® が付された製品名はニチアス(株)の登録商標です。  
\* TM が付された製品名はニチアス(株)の商標です。

## 〈技術レポート〉

# ふっ素樹脂系ガスケットを用いた フランジ締結体におけるボルトの増締め効果 (常温における長期特性)

沼津工業高等専門学校 小林 隆 志  
三菱化学株式会社 西 浦 謙 剛  
ニチアス株式会社 平 塚 雅 章

## 1. はじめに

ふっ素樹脂系のガスケットは耐薬品性に優れることから、化学プラントなどの配管系のフランジ締結体に数多く用いられている。ふっ素樹脂系のガスケットはクリープ-緩和特性によるボルト軸力の低下が大きいことが知られており、ボルト軸力の低下によって密封性能の低下が懸念されるとともに、内圧による荷重および地震などによる配管外力により漏えい事故の危険性が高まるので、増締めにより適切にボルト軸力を管理することが必要である。しかし、ふっ素樹脂系のガスケットを用いたフランジ締結体のボルト軸力低下挙動および増締めの効果については、短期間の実験により検討した研究<sup>1)</sup>はあるが、増締めを行うことによりボルト軸力が安定し、長期間にわたって維持されるかどうかなど、増締めの効果に関する文献はみあたらない。

以上のような背景から、2009年より3年間、沼津工業高等専門学校、三菱化学株式会社、ニチアス株式会社の三者により、ふっ素樹脂系のガスケットの常温・高温特性、またこれらのガスケットを用いたフランジ締結体の常温・高温特性の研究を行った。

本稿は、実施した共同研究の成果のうち、ふっ素樹脂系ガスケットを用いたフランジ締結体の常温におけるボルトの増締めの効果<sup>2, 3, 4)</sup>について述べる。具体的には、ふっ素樹脂系のガスケッ

トとして、特殊充填材入りふっ素樹脂ガスケット、延伸PTFE(四ふっ化エチレン樹脂)ガスケットを用いたフランジ締結体を用いて、常温における長期間のボルト軸力の低下および密封性能に与える増締めの効果を検討した結果である。

## 2. 実験装置

図1に示す2組のフランジ締結体(材質SUS304、呼び径50A呼び圧力10K)を準備した。ボルトはM16のスタッドボルト(材質SNB7)4本であり、ボルトには軸力測定のためにひずみゲージを埋め込んだ。実験に用いたガスケットは特殊充填材入りPTFEガスケットTOMBO No. 1133「クリンシル®クリーン」(以下、ガスケットA)および延伸PTFEガスケットTOMBO No. 9096-SGM「SGM®ガスケット」(以下、ガスケットB)であり、いずれも厚さは3mmとした。

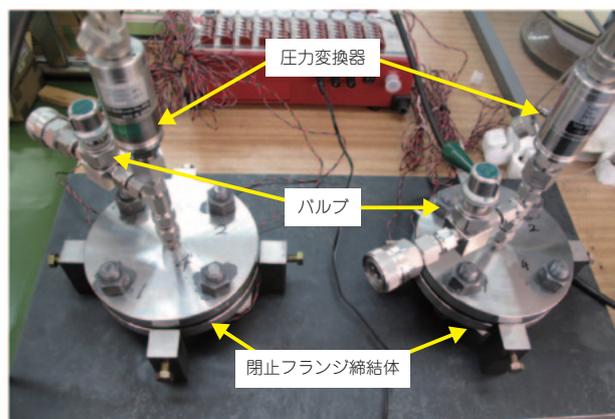


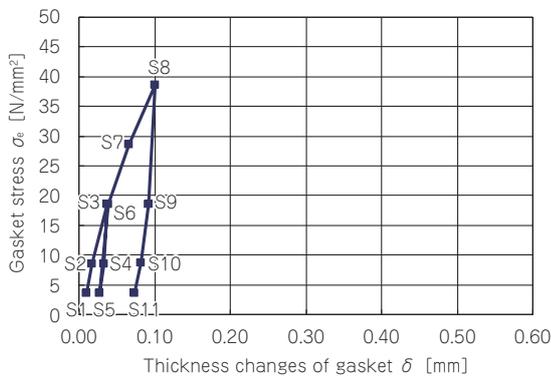
図1 実験装置

それぞれのガスケットについて、ボルトの初期締付け力30kNとし、増締めを行わない場合および96時間で増締めを実施した場合の実験を行った。なお、ガスケットBについては、増し締めのタイミングの影響を調べるために増締めを1時間後、4時間後と変化させた場合についても実験した。フランジ締結体には、ヘリウムにより内圧1.5MPaを作用させた。バルブを閉じた後、内圧降下を圧力変換器により測定し、漏れ量を計算した。試験期間は約2か月である。

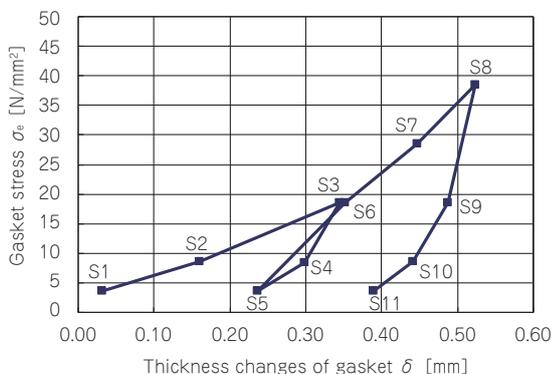
### 3. 実験結果

#### 3.1 ガスケットの変形特性

図2は試験に用いたガスケットの変形特性の比較を示す。試験はガスケット試験方法JIS B 2490<sup>5)</sup>に基づいて実施した。図中のS1~S11はJIS B 2490に規定されている試験シーケンスにおけるガスケット締付けの段階を示している。ガスケットAとBの特性を比較すると、ガスケット



(a) ガスケットA



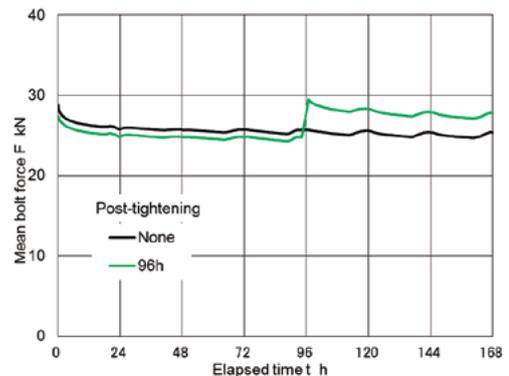
(b) ガスケットB

図2 ガスケットの変形特性

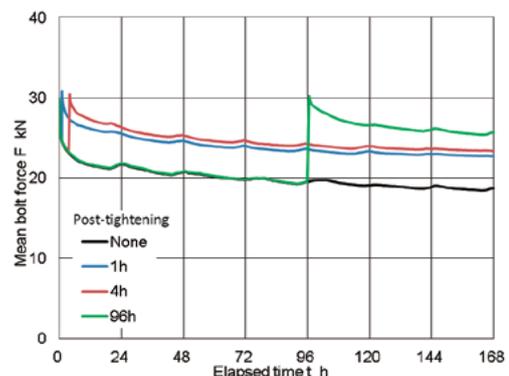
Aは変形能が小さく（剛性が高い）、ガスケットBは変形能が大きい（剛性が低い）ことがわかる。これはガスケット材料の材質と内部構造によるものであると考えられる。ガスケットBは延伸PTFEの内部の空隙によって変形能が高くなっている一方、ガスケットAは充填材の混合により変形能は小さくなっていると考えられる。

#### 3.2 ボルト軸力への増締めの影響

図3は初期締付け後のボルト軸力の変化に与える増締めの影響を示す。測定期間1週間の結果である。ガスケットAの場合、初期締付け直後にボルト軸力の低下が見られるが、24時間程度経過後にはほぼ安定していることがわかる。96時間経過後に初期締付け力と同じ30kNまで増締めすると、その後、増締めをしない場合に比べて高いボルト軸力が維持されている。一方、ガスケットBの場合にはガスケットAに比べて初期締付け直後のボルト軸力低下が大きい。その後、ボルト軸力低下は緩やかになるものの、



(a) ガスケットA

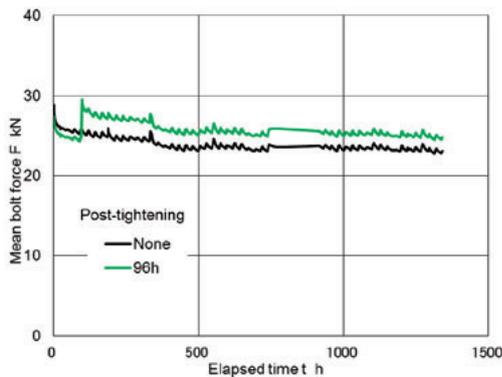


(b) ガスケットB

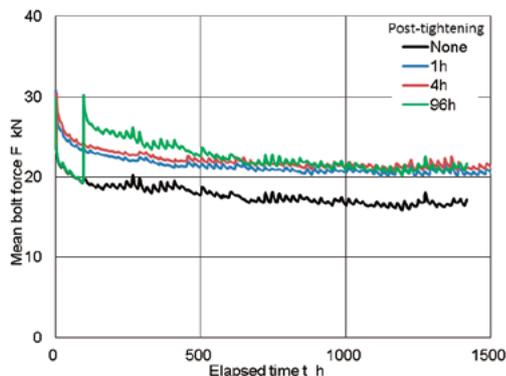
図3 ボルト軸力変化および増締めの影響(測定期間1週間)

増締めをしない場合には1週間でボルト軸力は20kN以下に低下している。延伸PTFEではガスケット内部の空隙部分が締付け力の作用を受けてつぶされることにより、ボルト軸力が大きく低下しているものと考えられる。初期締付けから1時間、4時間および96時間経過した後に、初期締付け力である30kNまで増締めを行った。ガスケットBではガスケットAに比べて、初期の軸力低下が大きいので、増締めによる軸力増加が大きい。増締め後もボルト軸力は低下するものの、増締めによるボルト軸力回復の効果が確認できる。遅いタイミングで増締めをした方が、ボルト軸力は高くなっている。

図4は増締め後約2か月間のボルト軸力の変化を示す。図中の短周期の軸力変動は日中の温度変動によって生じたものである。ガスケットAの場合、初期締付け後、ボルト軸力は約500時間程度まで漸減するが、その後安定している。96時間経過後に増締めすると、増締めしない場合に比べて、高いボルト軸力が維持されている。



(a) ガスケットA



(b) ガスケットB

図4 増締め後のボルト軸力変化 (測定期間2か月)

しかし、初期締付け後のボルト軸力低下自体が小さいので、必ずしも増締めは必要ではないと考えられる。ガスケットBの場合、初期締付け後、ボルト軸力は600時間程度まで漸減した後、安定した。ボルト軸力に与える増締めのタイミングの影響を見ると、増締め後の経過時間が短い時には、96時間後の増締めの場合のボルト軸力が高いが、600時間程度経過すると、増締めのタイミングによるボルト軸力の明確な差は見られなくなっている。増締めを行わなかった場合と比較すると、増締めによりボルト軸力は高い値で安定していることから、増締めの効果が認められる。また、増締めは、タイミングによらず実施することが重要であるといえる。

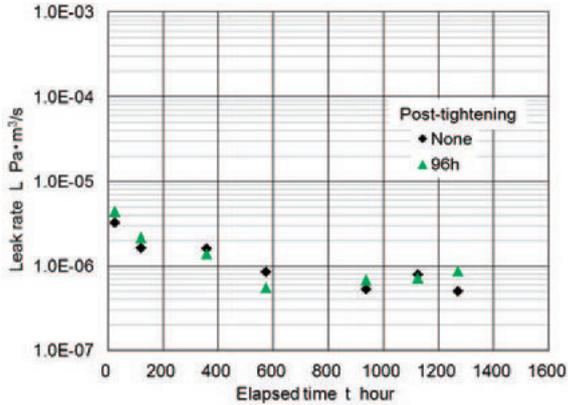
### 3.3 密封特性への増締めの影響

図5は密封特性に与える増締めの影響を示す。測定期間2か月間の結果である。初期締付け時の漏えい量について見ると、ガスケットAはガスケットBに比べて、30分の1程度となっている。ガスケットBの材質は延伸PTFEであるので、ガスケット内部の空隙のために浸透漏えいが多いが、充填材入りPTFEのガスケットAではガスケット内部の空隙が小さいので、浸透漏えいが少ないものと考えられる。

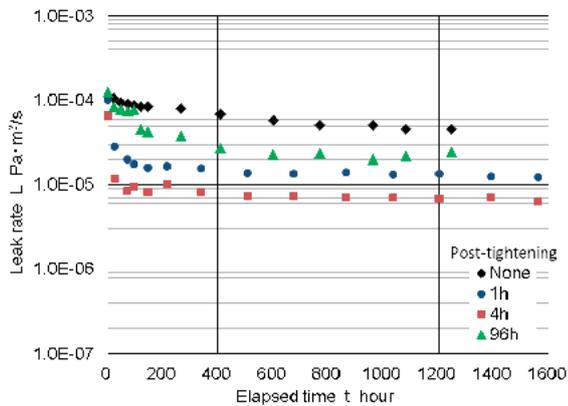
増締めの効果について見ると、ガスケットAでは漏えい量に大きな変化はないことから、密封特性の観点からは増締めは必要ない。一方、ガスケットBの漏えい量は、増締めのタイミングで差はあるものの、いずれの場合にも増締め後に減少していることから、密封特性の観点から増締めは有効である。密封特性の観点から、適切な増締めのタイミングが存在するかどうかについては、今後検討する必要がある。

### 3.4 長期特性 (1年間)

ガスケットBについては、初期締付け後1時間および4時間で増締めを行った場合について、1年間の長期にわたってボルト軸力および漏えい量の測定を継続した。試験は2010年10月に開始し、翌年2011年の10月まで1年間継続した。図6(a)は増締め後のボルト軸力の変化を示す。図4に示したようにほぼ600時間程度で安定したと思われるボルト軸力はさらに2000時間程度まで減



(a) ガスケットA

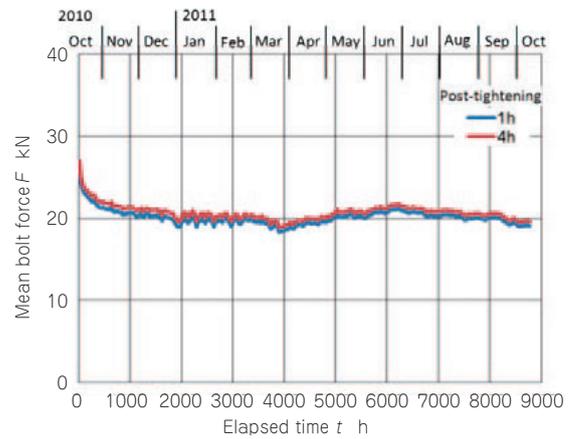


(b) ガスケットB

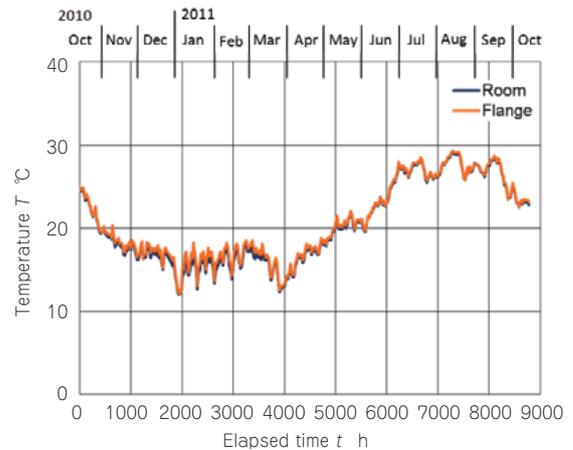
図5 増締め後の密封特性変化 (測定期間2か月)

少を続けている。この理由は、図6 (b) に示す試験期間中のフランジ締結体の温度変化によるものと考えられる。すなわち、ガスケットおよびフランジ (材質SUS304) の線膨張係数がボルト (材質SNB7) に比べて大きいことから、試験開始の10月から12月にかけて、実験室の温度が低下したことによって、ボルト軸力が低下したのではないかと考えている。2011年3月末頃から夏にかけて実験室温度が上昇した際にはボルト軸力は増加している。以上のように、延伸PTFEガスケットを用いたフランジ締結体では、ガスケット-フランジ-ボルトの熱膨張特性により、長期的には環境の温度変化によってボルト軸力は変化するものの、締結初期のガスケットのクリープ-緩和特性による軸力低下はほぼ1か月程度で安定するものと考えられる。

図7は密封特性の長期変化特性を示す。初期増締め付け後1時間および4時間の増締めを実施した



(a) ボルト軸力



(b) 温度変化 (朝5時時点)

図6 ボルト軸力の長期変化特性 (ガスケットB, 測定期間1年間)

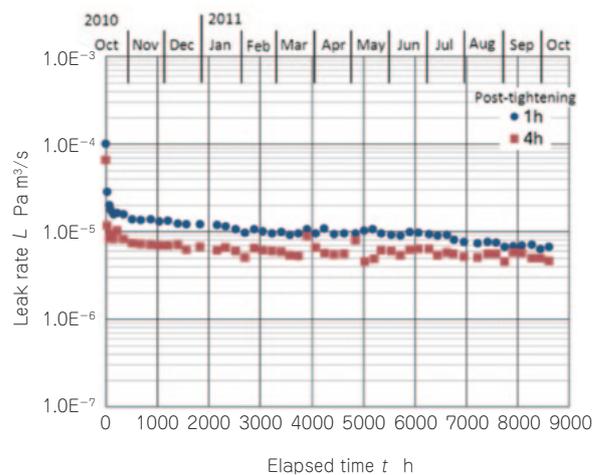


図7 密封特性の長期変化特性 (ガスケットB, 測定期間1年間)

場合の漏えい量を比較すると、両者にはやや差はあるものの、増し締めにより向上した密封性能は、時間の経過とともにさらに向上している傾向がみられる。これは、長時間の間にガスケットのクリープ-緩和が進行し、延伸PTFEの空隙が小さくなったためであると考えられる。

#### 4. まとめ

ふっ素樹脂系のガスケットである、特殊充填材入りふっ素樹脂ガスケット、延伸PTFEガスケットを用いたフランジ締結体の、常温における長期間のボルト軸力の低下および密封性能に与える増し締めの効果を検討した。得られた結果は次の通りである。

1) フランジ締結体のボルト軸力低下は、ガスケットのクリープ-緩和特性によって異なるので、増し締めの要否はガスケットのクリープ-緩和特性を考慮して判断する必要がある。

2) 充填材入りふっ素樹脂ガスケットの場合、初期締付け後の軸力低下が小さいので、増し締めの効果は小さい。増し締めによる密封性能の向上もみられないことから、増し締めの必要性は低い。

3) 延伸PTFEガスケットの場合、初期締付け後のボルト軸力低下が大きいため、増し締めを実施することは有効である。密封性能の観点からも増し締めは有効である。

4) 延伸PTFEガスケットの場合、長期的にみると、増し締めのタイミングは残留ボルト軸力に大きな影響を与えないので、増し締めのタイミングによらず、増し締めを実施することが重要である。

5) 延伸PTFEガスケットの場合、増し締め後もボルト軸力は漸減するものの、600時間程度で安定し、その後ボルト軸力は長期間維持される。なお、ボルト軸力は環境の温度変動の影響を受けて変動する。

本稿では、常温におけるふっ素樹脂系ガスケットを用いたフランジ締結体の増し締めについて述べたが、実際のフランジ締結体ではボルト軸力に与える温度の影響が大きいため、温度の影響を考慮して、増し締めの要否を検討する必要がある。フランジ締結体のボルト軸力への温度の影響については、別の機会に報告する予定である。

- \* TOMBOはニチアス(株)の登録商標または商標です。
- \* クリンシルはニチアス(株)の登録商標です。  
エスジーエム
- \* SGMは日本ゴア(株)の登録商標です。

#### 参考文献

- 1) A. F. Waterland, J. E. B. Frew, 2006, "Determination of Optimum Re-Torque Dwell Period for PTFE Based Gaskets", ASME PVP-2006-ICPVT-11-93088, CD-ROM.
- 2) Hagiri, T., Kobayashi, T., Nishiura, K., Uchiyama, K., "Effects of Post-Tightening on the Residual Bolt Force and the Sealing Performance of Flanged Connections with PTFE Gaskets (Long Term Effects at Room Temperature)", ASME PVP2011-57757, CD-ROM.
- 3) Kobayashi, T., Hagiri, T., Nishiura, K., Hiratsuka, M. and Itoi, K., "The residual Bolt Force and the Sealing Performance of Flanged Connections with PTFE Gaskets (Based on Test Results for One Year)", ASME PVP2012-78694, CD-ROM.
- 4) Kobayashi, T., Nishiura, K., Hiratsuka, M. and Itoi, K., "Deflection of Gaskets and its effect on Tightness of Flanged Connections in Long Term" ASME PVP 2013-97729, CD-ROM.
- 5) JIS B 2490 : 2008, 管フランジ用ガスケットの密封特性試験方法.

#### 筆者紹介



##### 小林隆志

独立行政法人 国立高等専門学校機構  
沼津工業高等専門学校  
機械工学科 教授  
博士 (工学)  
技術士 (機械部門)

#### 筆者紹介



##### 西浦謙剛

三菱化学株式会社  
水島事業所 設備技術部 機械3グループ  
グループマネージャー

#### 筆者紹介



##### 平塚雅章

ニチアス株式会社  
工業製品事業本部  
配管・機器部品技術開発部  
部長

## 〈製品紹介〉

# シール材の概要とニチアス製品の紹介

基幹産業事業本部 基幹製品事業部

## 1. はじめに

シール材は、流体の漏れまたは外部からの異物の侵入を防止するために用いられ、化学プラント、発電所、製鉄所、自動車、家電製品など産業用・民生用部品として、現代の生活になくはないものです。このシール材にひとたび不具合が発生すると、最悪の場合、化学プラントなどでは爆発・火災が発生する恐れもあるために、重要な機能部品と認識されています。本稿では、シール材全体に関する最新の知識・情報を簡略にまとめるとともに、弊社の製品を分類に沿って紹介します。

## 2. シール材の分類

シール材を大別すると、配管用フランジなどのように静止（固定）部分のシールに用いるガスケットと、回転や往復運動などのような運動部分のシールに用いるパッキンに分けられます。このうちガスケットはその材質から、軟質ガスケット、セミメタルガスケット、メタルガスケットに分類できます。

パッキンは、金型を用いて作る成形パッキンや各種の繊維を断面が角形の紐状に編んだ編組パッキンがあります。これ以外にも、オイルシール、メカニカルシール、非接触型のラビリンスシールなどがあります。

代表的なガスケット・パッキンを図1に示します。図1中の弊社製品については、第4章で構造や特徴を具体的に説明します。

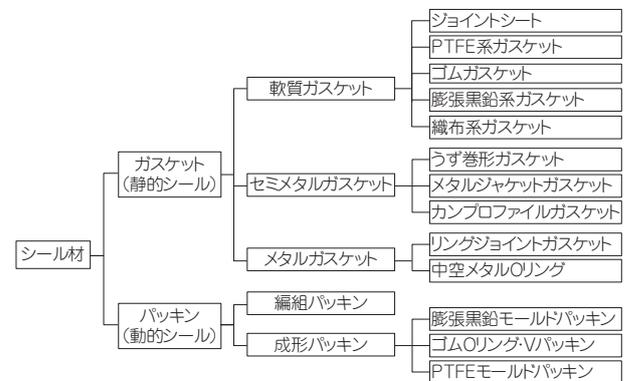


図1 代表的なガスケット・パッキン

## 3. シール材の選定

シール材はシールすべき流体およびその温度・圧力といった使用条件を基本として選定します。

### 3.1 流体区分

JPI規格\*「JPI-7S-81-2005 配管用ガスケットの基準」に示されている流体区分を以下に示します。なお、JPI規格では、以下に示す流体区分ごとに温度・圧力で区画された範囲を決め、この範囲内に使用できるガスケットの種類を記入した選定図を参考として付記しています。

#### (1) 水系流体

・水、海水、温水、熱水、水蒸気など

#### (2) 油系流体

・ガソリン、ナフサ、潤滑油、アルコールなどの石油系炭化水素

- ・ベンゼン, トルエン, 有機溶媒, 熱媒油などの芳香族炭化水素
- (3) 腐食性流体
  - ・酸, アルカリ
- (4) ガス系流体
  - ・ガス系流体 I (空気, 窒素ガスなど)
  - ・ガス系流体 II (ガス系流体 I 以外の可燃性ガス, 支燃性ガス, 毒性ガスなど)
- (5) 低温流体

また, 本稿で紹介するガスケット・パッキンの具体的な流体・温度・圧力ごとの推奨品は, 弊社ホームページカタログ ([www.nichias.co.jp/products/download/](http://www.nichias.co.jp/products/download/)) に掲載する「TOMBO BRAND ガスケット」, 「TOMBO BRAND パッキン」, 「ゴムOリング」, 「エラストマー製品」を参照ください。

\* JPI規格: 石油・石油化学工業用装置関係規格

### 3.2 ボルト締付力

一般に内部流体をシールするために必要なガスケットの締付力としては, 「JIS B-8265-2003 圧力容器の構造—一般事項」に規定される Wm1 (使用状態における必要な最小ボルト締付力), Wm2 (ガスケット締付けに必要な最小ボルト締付力) および Wm3 (シールに必要な最小締付力) があり, この中の最大値以上に締め付けることが必要です。この値を計算するためには, それぞれのガスケットに特有な m (ガスケット係数), y (最小設計締付圧力),  $\sigma_3$  (最小締付面圧) が必要です。これらの計算式と係数は, 後掲の参考文献「ガスケットの基本事項」を参照ください。

## 4. 各種シール材の構造・特徴

各種シール材の構造, 特徴, 使用上の注意を述べます。

### 4.1 ジョイントシート

#### 4.1.1 構造と特徴

ジョイントシート (図2) は, 各種繊維にバインダーとなるゴム, ゴム薬品, 充填材を均一に混合させた材料を加熱ロール上で積層しながら加硫させた後, シート状に切り出した製品です。シート状に必要な形状・寸法に容易に加工でき

るために, 各種のプラントで蒸気や汎用の油・薬品などの流体のシールに幅広く用いられています。



図2 ジョイントシート

#### 4.1.2 種類と使用上の注意

ジョイントシートの種類としては, 100℃以下の水・温水, 油, 空気などで汎用的に使用される TOMBO No.1995 「クリンシル® ブラウン」と 200℃以下の蒸気など高温部で使用される TOMBO No.1120 「クリンシル® トップ」などがあります。

ジョイントシートは構成材料の特性上, 緻密性に欠けるためガス系流体で使用する場合には, ガスケットペーストを表面と内径端面に薄く均一に塗布してください。また, 緻密にするために十分な荷重で締め付けてください。

### 4.2 PTFE系ガスケット

#### 4.2.1 構造と特徴

耐薬品性に優れた PTFE (四ふっ化エチレン) 系ガスケット (図3) としては, PTFE樹脂単体およびこれに充填材を加えたシートを所定形状に打ち抜いた製品, あるいはジョイントシートなどのクッション性のある中芯を PTFE の薄膜で被覆したタイプの製品があります。

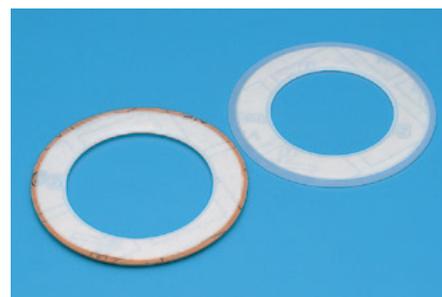


図3 PTFE系ガスケット

#### 4.2.2 種類と使用上の注意

PTFE打ち抜きガスケットとしては、純PTFEを用いたTOMBO No.9007「ナフロン®ガスケット」、およびコールドフロー性や圧縮クリープ性を改善するために各種充填材を配合したTOMBO No.9007-GL, -SC, -LC などがあり、適用流体・温度・圧力などによって選定します。

また、TOMBO No.9007-SC, -LCよりも耐薬品性・耐熱性・シール性を改良したTOMBO No.1133「クリンシル®クリーン」を使用することで、使用条件別に複数のガスケットが使われていた石油化学プラントなどで、ガスケット種の統一化が可能となり誤装着防止やガスケット管理の簡素化にもなります。

詳しい製品内容は本報TOMBO No.1133「クリンシル®クリーン」に記載しています。

TOMBO No.9010「ナフロン®クッションガスケット」も数種類のPTFE被覆形状と中芯がありますので、弊社カタログ「TOMBO BRAND ガスケット」をご参照の上、最適な製品を選定ください。これらの「ナフロン®ガスケット」は、いずれもフローや圧縮破壊を起こす恐れがあるので、許容面圧以上に締め付けないようにする必要があります。

#### 4.3 ゴム系ガスケット

##### 4.3.1 構造と特徴

ゴム系ガスケットとしては、各種ゴム材料を成形加工したゴムOリング、ゴムシート打抜きガスケットなどがあります。これらのゴム系ガスケットは、柔らかくてなじみが良いので、低面圧でもガスシール性が良好という特長があります。しかし、高圧の流体をシールするためには強度が不十分で、また使用可能流体と温度がゴムの種類によって著しく異なるため、ゴムの選定には注意が必要です。

##### 4.3.2 パーフロロOリング

従来、耐薬品性と耐熱性の良いゴム材料としてふっ素ゴムが知られていましたが、この性能をさらに改良した超高性能ふっ素ゴムともいえるパーフロロゴムが開発され、多くの用途向けに種々の製品が上市されています。

このゴムは、炭素・ふっ素・酸素の原子のみ

からなる化学構造を持つため、耐薬品性・耐プラズマ性が優れ、主に半導体・液晶パネル製造装置の中で使われています。さらに、300℃を超える耐熱性やほとんどすべての流体に使用することができるという耐薬品性を活かして、化学プラントでも用いられています。

#### 4.4 膨張黒鉛系ガスケット

##### 4.4.1 構造と特徴

膨張黒鉛系ガスケット（図4）は、天然の黒鉛を薬品および熱で処理して得られる膨張黒鉛のシートを単体あるいは金属製補強板と組み合わせたあと、所定形状に打ち抜いたガスケットです。膨張黒鉛は極低温から高温まで温度の影響による性能の低下がほとんどなく、さらに耐薬品性・柔軟性・耐クリープ特性面からもガスケットとして優れた材料です。このため、膨張黒鉛系ガスケットはLNGなどの超低温配管で多く使われています。

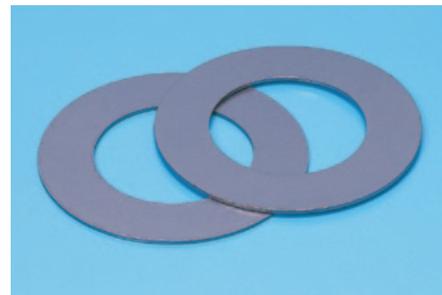


図4 膨張黒鉛系ガスケット

##### 4.4.2 種類と使用上の注意

弊社の膨張黒鉛系ガスケットの種類としては、シート単体のTOMBO No.1200「グラシール®ガスケット」、爪立てSUS鋼板、SUS304平板、SUS316平板と組み合わせたTOMBO No.1210-A「グラシール®ガスケットA」、TOMBO No.1215「グラシール®ガスケット」、TOMBO No.1215-A「グラシール®ガスケットA」があります。SUS316の爪立て鋼板と組み合わせたTOMBO No.1210-A「グラシール®ガスケットA」は、爪高さが低いためフランジへのダメージが少ない、接着剤の劣化や溶出による恐れがない、機械的強度が高いため大口径の製作が可能という特長を有しています。

なお、膨張黒鉛系ガスケットは表面に傷がつきやすいので取り扱いの際に注意する必要があり、また、酸化性酸・塩、一部のハロゲン化合物には使用できません。

#### 4.4.3 エビロン®ガスケット

エビロン®ガスケットは、ゴムのみでできているTOMBO No.9013-EP「エビロン®ガスケットEP」と、接液部をPTFEで被覆したTOMBO No.9013「エビロン®ガスケット」の2種類の製品があります。このうちPTFE被覆品（図5）は、PTFEの優れた耐薬品性・耐汚染性とゴムのなじみ易さを併せ持った製品で、上水・純水ライン用の樹脂フランジなどの強く締め付けることができない配管に使用されます。また、次亜塩素酸濃度の高い電解槽や食品用途などでも使われ、今後多方面での利用が期待されています。



図5 エビロンガスケット (PTFE 被覆品)

### 4.5 織布系ガスケット

#### 4.5.1 構造と特徴

織布系ガスケット（図6）とは、織布にゴムコンパウンドを塗布し、テープ状やマンホール形状に加工したガスケットテープやマンホールガスケットのことをいいます。このガスケットは、排気ガスのダクトやマンホールなどのように、



図6 織布系ガスケット

フランジの口径が大きく歪みがあったり、高い締付面圧がとれない用途に最適です。ただし、気密性が不十分なため、多少の漏れが許容されるところに使用ください。

#### 4.5.2 種類

基材となる織布には、ガラスクロスやセラミッククロスなどが使われています。織布の種類や構造によって最高使用温度が異なりますので、当社の使用温度別推奨品を表1に示します。

表1 標準推奨マンホールガスケット

最高使用温度	マンホールガスケットの種類
400℃	TOMBO No.1374 NA マンホールガスケット
600℃	TOMBO No.1400-TH スーパーマンホールガスケット TH
800℃	TOMBO No.1400-ST スーパーマンホールガスケット ST

### 4.6 うず巻形ガスケット

#### 4.6.1 構造と特徴

ボルテックス®ガスケットは、配管用・機器用として多くのプラントで幅広く使用されているうず巻形ガスケットです（図7）。構造は、フープといわれる金属製薄帯板とフィラーといわれる非金属材料のシール材を交互にうず巻き状に巻き上げ両端を溶接した製品です。配管用には、本体の変形防止やセンタリングなどの目的で金属製の内・外輪を付けて使われることが一般的です。この製品は、このような構造上の特長から高温高圧・極低温・熱サイクルなどのある厳しい条件でも優れたシール性を発揮する高性能なガスケットです。



図7 うず巻形ガスケット

#### 4.6.2 種類

ボルテックス®ガスケットは、膨張黒鉛をフィ

ラーとして使用した製品が中心となっています。当製品は酸化雰囲気では450℃以上では使用できませんので、この条件にはマイカペーパーと酸化防止処理をした膨張黒鉛を組み合わせたGS、GM、GHシリーズの製品を使用します。

また、NAフィラーを用いた製品、さらに耐薬品性に優れたPTFEフィラーを使った製品もあります。

#### 4.6.3 製品番号と仕様

ボルテックス®ガスケットは、各種の形状・フィラーの種類・金属の種類組み合わせにより製品番号が決められています。なお、製品番号の付け方は弊社カタログ「TOMBO BRAND ガスケット」を参照ください。

#### 4.7 メタルジャケットガスケット

##### 4.7.1 構造と特徴

メタルジャケットガスケットは、耐熱性の高い無機質のクッション材を中芯とし、それを金属薄板で被覆したセミメタリックガスケットです。主に熱交換器、圧力容器、塔槽類、機器、バルブに用いられます。この製品は、無機材料を金属で被覆する構造のため耐熱性が高く、熱交換器のように10数mm程度の幅の狭い溝に使用することができます。また、メタルソリッドガスケットなどの金属ガスケットに比べると低い面圧でシールが可能です。逆に完全なガスシールが難しく、微少な漏れも許容できない場合は表面にグラシール®テープを貼った製品をご利用ください。

##### 4.7.2 熱交換器用ガスケット

熱交換器用のガスケット（図8）としては、通常のリング状以外に、熱交換器の仕切板の形状に一致したパスが設けられたガスケットが必要

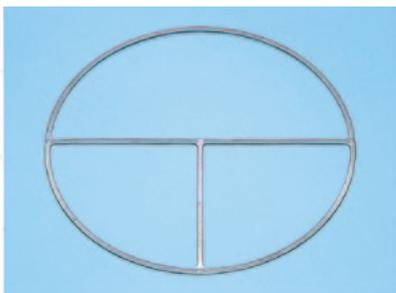


図8 熱交用メタルジャケットガスケット (HE8)

になります。そこで、この形状に対応して弊社では形状記号HE-1~28 (⊖, ⊕, ⊗, ⊙など) 決めていますので、注文の際にはこの記号と各部寸法を指示してください。

#### 4.8 カンプロファイルガスケット

##### 4.8.1 構造と特徴

金属リングの両面に特殊に設計した溝を同心円状に施し、その表面に柔軟性に優れた膨張黒鉛やPTFEを貼り合わせた構造のガスケット（図9）です。



図9 カンプロファイルガスケット  
※表層材の一部を切り除いた写真です

表面に貼った膨張黒鉛やPTFEがフランジ面と馴染むことで低締付力でもシールができます。メタルジャケットと同様にマルチパスタイプの熱交換器や塔槽類などにも使用できます。

詳しい製品内容は本報TOMBO No.1891「カンプロファイルガスケット」に記載しています。

#### 4.9 リングジョイントガスケット

##### 4.9.1 構造と特徴

リングジョイント（図10）は、鍛造により円筒リング状にした軟鋼・ステンレス鋼などから切削加工により製作したガスケットです。代表的な断面形状としては、断面が八角形のオクタゴナル形と、楕円形のオーバル形があります。



図10 リングジョイントガスケット

このガスケットは、石油精製プラントなどの高圧の配管・容器の継手に使用するもので、V形の溝のついたフランジに用います。

#### 4.9.2 種類

フランジのサイズおよび圧力レイティング別使用するリングジョイントおよび溝のサイズが国際的に決められており、これをリングNoと言います。このリングNoに対応する寸法はASME規格\*またはJPI規格の中で定められており、リングNoによっては微妙に数値の異なる場合もありますが、実用上はどちらの規格の製品を使用しても問題ありません。

\* ASME規格：アメリカ機械工学会規格

#### 4.9.3 材質と硬度

リングジョイントに用いる金属の材質は使用流体およびフランジの材質に合わせて決定します。当社では、従来のJIS材に加え、原料の調達先を広げることにより、海外プラントで使われるASTM材も主要材料については用意できるようになりました。

また、フランジの変形を防ぐおよびシール性を確保するために、ガスケットの硬度は常にフランジの硬度よりも低くなるように設定する必要があります。弊社では材質により上限硬度を設定しています。配管設計上この上限値よりも著しく低い硬度の製品を要求されることもあります。これはJPI規格の中でも述べられているように、熱処理により金属組織が粗大化したり破壊されたりして思わぬ欠陥が生じることがあるので、注意が必要です。

#### 4.10 編組パッキン

##### 4.10.1 構造と特徴

バルブやポンプなどの軸の貫通する箇所に用いるパッキンを入れる箱をスタフィンボックスといい、この中に詰めて漏れを止める役目をするパッキンをランドパッキンと言います。このパッキンとしては各種繊維を編組し、潤滑剤を含浸させた後、ロールで断面が角形となるように加工した紐状の編組パッキン(図11)が主流となっています。また、この紐状の製品を所定寸法にカットし、金型でリング状に成形し

た製品もあります。

なお、この編組パッキンには、このような動的シールだけでなく、その柔軟性や高圧縮性を活かして、炉のドアシールのような静的シールとして使われることもあります。



図11 編組パッキン

バルブと回転機器用パッキンの使用用途と要求事項について表2に示します。

表2 使用用途と要求事項

用途	要求事項	許容漏れ量
バルブ	緻密	実用上0
回転機器	柔軟 摩耗に強い 自己潤滑性	漏れを一定量に コントロール

##### 4.10.2 編組方法

パッキンの編組方法のうち、「八編み」は数本の糸を束ねたヤーンを八本使って編み上げたパッキンで、全体として空隙が多く柔らかい構造で潤滑剤の含浸・塗布が容易です。「八編み」は太くなるとパッキンの表面が平滑にならないので、バルブ用・回転機器用ともに主に小口径サイズに使用されます。

「袋編み」は、中芯の回りを管状に編み上げる編み方で、組織が緻密で強度も大きいため、主にバルブ用の大口径サイズに使われます。

「格子編み」はすべてのヤーンが必ず中心を通る編み方で、18, 20, 36本のようにたくさんのヤーンで編み上げられています。このため、サイズが大きくなってもパッキンの表面が平滑になり、またパッキンの表面が摩損しても、パッキン全体がバラバラになりにくいため、主に回転機器用の大口径サイズに用いられます。

#### 4.10.3 パッキンの設計と取り扱い上の注意

パッキンの性能を示す指標としては $\mu k$ 値があり、これは、パッキンの締付面圧がシステムの摺動抵抗に変わる比率を示す係数です。 $\mu k$ 値については、後掲の参考文献「パッキンの基本事項」を参照ください。

また、高温高圧用パッキンの推奨リング数と締付面圧、パッキンの一般的な取り扱い上の注意事項については弊社カタログ「TOMBOBRAND パッキン」を参照ください。

### 5. おわりに

多岐にわたるシール材について、弊社製品を中心に紹介いたしました。紙面の都合などで十分説明できなかつたところもありますが、ユー

ザー殿のシール材に関する理解の一助となれば幸いです。

本製品に関するお問い合わせは基幹産業事業本部基幹製品事業部までお願いいたします。

#### 弊社製品カタログ・資料

「TOMBOBRAND ガasket」

「TOMBOBRAND パッキン」

「ゴムOリング」

「エラストマー製品」

「トンボブランド 全製品ガイド」

「トンボブランドパッキン・ガasket技術手帳」

\* TOMBOはニチアス(株)の登録商標または商標です。

\* ㊤が付された製品名はニチアス(株)の登録商標です。

【参考文献】

# ガスケットの基本事項

## ■ ガスケットの締付基準

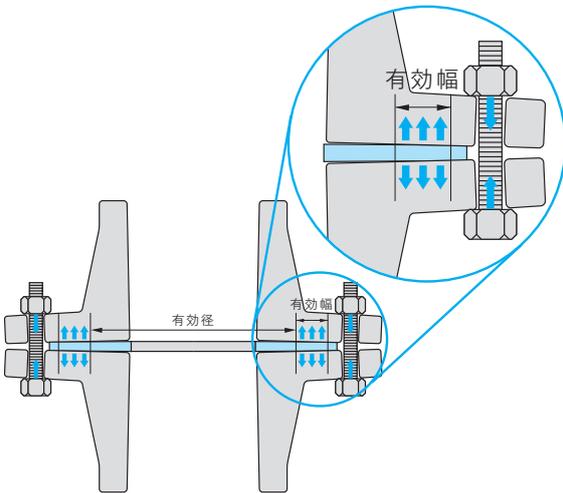
ガスケットを適正な方法、力で締め付けることは、安全にご使用頂くために大変重要なことです。  
 内部流体をシールするために必要な締付力は「JIS B 8265(圧力容器の構造—一般事項)」に規定されている“Wm1”、“Wm2”という数値が一般的に目安として使用されています。  
 しかし流体の種類やご使用条件によっては、この“Wm1”、“Wm2”で計算される締付力では不足することがあるため、ニチアスでは更に“Wm3”という数値を設定しています。  
 ガスケットを締め付ける際は、“Wm1”、“Wm2”、“Wm3”の中で一番大きい数値以上の力で締め付ける必要があります。

## ■ 締付計算における考え方

～ガスケットの有効径、有効幅～

フランジは、ボルトの締め付けや内圧の作用により、図のように若干のたわみ(フランジローテーション)が生じ、凸状に膨らんだ形をしています。  
 そのため、ガスケットにかかる面圧は、外径側が強く、内径側が弱いことになり、内部流体はガスケットの中央部まで浸透してくるとされています。このことを考慮したものが、ガスケット有効径、有効幅です。

- ガスケット有効幅とは：  
実際にシールしている部分のガスケット幅
- ガスケット有効径とは：  
内部流体が浸透してきている所の径



## ■ ガスケットの有効径、有効幅の求め方

- まずは、ガスケットの基本幅(b<sub>0</sub>)を考えます。  
 ガスケット基本幅は、ガスケット座の形状により異なりますが、一般的にガスケット接触幅の半分となります。

$$b_0 = \text{ガスケット接触幅} / 2$$

- ガスケット有効幅(b)  
 ガスケットの基本幅を目安に、有効幅を次式により求めます。

$$b_0 \leq 6.35 \text{ mm のとき } b = b_0$$

$$b_0 > 6.35 \text{ mm のとき } b = 2.52 \sqrt{b_0}$$

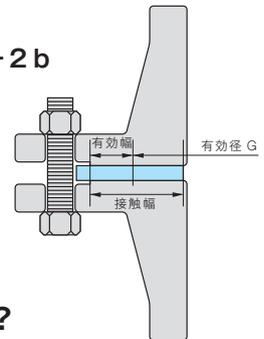
- ガスケット有効径(G)  
 ガスケットの基本幅を目安に、有効径を次式により求めます。

$$b_0 \leq 6.35 \text{ mm のとき}$$

$$G = \text{ガスケット接触面の平均径}$$

$$b_0 > 6.35 \text{ mm のとき}$$

$$G = \text{ガスケット接触面の外径} - 2b$$



## ■ Wm1、Wm2、Wm3とは？

- Wm1とは、内圧でフランジが開かないようにするために必要な最小締付力[N]のことで、次式で計算されます。

$$Wm_1 = H + Hp$$

H: 内部圧力により、フランジを開こうとする力(H)…  
 この力をエンドフォース(内圧反力)と呼びます

$$H = \frac{\pi}{4} G^2 P$$

Hp: 内部圧力Pがあるとき、この流体をシールするのに必要な圧力

$$Hp = 2\pi b G m P$$

Hpは、ガスケット有効面積に対し、内部圧力Pのm(ガスケット係数)倍となり、安全を持たせる意味で、通常2倍したものをHpとして計算する。  
 まとめると…

$$Wm_1 = H + Hp = \frac{\pi G P}{4} (G + 8bm)$$

- Wm2とは、浸透漏れ、接面漏れが生じないようにガスケットを締め付けるのに必要な最小締付力[N]のことで、次式で計算されます。

$$Wm_2 = \pi b G y$$

- Wm3とは、ガスケットの接触面積を加味した最小締付力[N]で、次式で計算されます。

$$Wm_3 = \sigma_3 A_g$$

P = 内圧 [MPa]  
 b = ガスケット有効幅 [mm]  
 G = ガスケット有効径 [mm]  
 m = ガスケット係数 [-] (モレがない最小限の有効締付圧力と内圧の比)  
 y = 最小設計締付圧力 [N/mm<sup>2</sup>]  
 σ<sub>3</sub> = 最小締付面圧 [N/mm<sup>2</sup>]  
 A<sub>g</sub> = ガスケットの接触面積(投影面積) [mm<sup>2</sup>]

## ■ ガasketの締付力

ガスケットの締付力は、「Wm<sub>1</sub>、Wm<sub>2</sub>、Wm<sub>3</sub>」のうち、最大のものとしてください。ただし、圧縮破壊を防ぐため、許容締付面圧以下とする必要があります。



## ■ 締付トルクの計算

Wm<sub>1</sub>、Wm<sub>2</sub>、Wm<sub>3</sub>のうち最大のものを「Wmax」からボルトの締付トルクが計算されます。

$$T = \frac{1}{1000} K \frac{W_{max}}{n} D$$

T = ボルトの締付トルク [N・m]  
 K = トルク係数[-] (通常0.20とする)  
 n = ボルト数[-]  
 D = ボルトの外径[mm]

## ■ JIS B 2251-2008 フランジ継手締付け方法の紹介

ボルトの締め付け方法として、対角位置にあるボルトを順番に締め付けていく“対角締め”が広く採用されていますが、2008年、JIS B 2251 にジョイントシートおよび、うず巻形ガスケットのフランジ継手締付け方法が制定されましたので、以下にご紹介いたします。

### <はじめに>

ガスケットは偏心しないようにガスケット座に正しく装着し、片締めが生じないようにして下さい。また、締付トルクの管理にはトルクレンチを用いてください。

### <仮締付け>

フランジのボルト本数が8本以下の場合は下記の手順に従い、仮締付を行う。ボルト本数が12本以上の場合は表1に従い、仮締付の対象となるボルトを選択し、同様に締付ける。

- ① 図1のように、対角位置にあるボルトを順番に締め付ける。
- ② 締付トルクは段階的に増加させ、(例えば目標締付トルクの10% → 20% → 60% → 100%)均等に締め付ける。
- ③ フランジ面間の隙間をノギスなどで対角に4箇所測定し、片締めしていないか確認する。

※うず巻形ガスケットの場合、仮締付けの最後に、目標締付トルクの50%で時計回りに1周締め付ける(片締め防止)。

※目標締付トルクの設定  
 ボルトが8本以下：指定された締付トルクの100%  
 ボルトが12本以下：指定された締付トルクの110%

図1. 対角締め手順

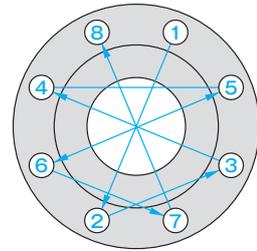


表1. ボルトの選択基準

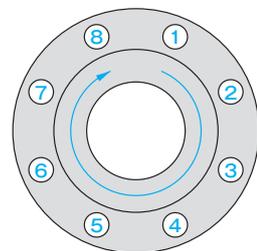
フランジボルトの本数	選択基準
12本以上、24本以下	90度離れて等間隔に位置する4本のボルト
24本を超える	2組の90度離れて等間隔に位置する4本のボルトと、その組のボルトとはそれぞれ45度離れた4本のボルト(計8本)

### <本締付け>

- ① フランジボルトの本数が4本の場合は、目標締付トルク100%の締付トルクで対角締めして締め付ける。
- ② フランジボルトの本数が8本以上の場合は下表に記載した回数で、時計回りに周回して締め付ける。

フランジの呼び径	周回数
~ 250A	4周
250A以上	6周

図2. 時計回り締め付け



### <増締め>

増締めが必要な場合は、本締付け終了から4時間以上経過してから本締付けと同じ手順で1~2周締め付ける。

ガスケット係数と最小設計締付圧力

ガスケットの種類			ガスケット係数 <sup>(1)</sup> m	最小設計締付圧力 <sup>(1)</sup> y N/mm <sup>2</sup>	最小締付面圧σ3 <sup>(2)</sup>		許容締付面圧 <sup>(1)</sup> N/mm <sup>2</sup>
					水・油系流体 N/mm <sup>2</sup>	ガス系流体 N/mm <sup>2</sup>	
セルフシールガスケット (Oリング, 金属, ゴム, その他セルフシーリングとみなされるもの)			0.00	0.00	-	-	-
ゴム打抜きガスケット		TOMBO No.1050 (HS75>)	0.50	1.40	1.50	2.00	14.7
		TOMBO No.1050 (HS75≤)	1.00	1.40	2.00	2.90	14.7
	(布入り)	TOMBO No.1051	1.25	2.80	2.90	- <sup>(4)</sup>	14.7
非石綿 ジョイントシート	(0.8t)	TOMBO No.1995, 1993	3.50 <sup>(*)</sup>	44.8 <sup>(*)</sup>	14.7 <sup>(3)</sup>	34.3	294.2 <sup>(*) (5) (6)</sup>
	(1.5t)	TOMBO No.1995, 1993	2.75 <sup>(*)</sup>	25.5 <sup>(*)</sup>	14.7 <sup>(3)</sup>	34.3	196.1 <sup>(*) (5) (6)</sup>
	(3.0t)	TOMBO No.1995, 1993	2.00 <sup>(*)</sup>	11.0 <sup>(*)</sup>	14.7 <sup>(3)</sup>	- <sup>(4)</sup>	147.1 <sup>(*) (5) (6)</sup>
高温用シートガスケット	(0.8t)	TOMBO No.1120	3.50 <sup>(*)</sup>	44.8 <sup>(*)</sup>	14.7	34.3	294.2 <sup>(*) (5) (6)</sup>
	(1.5t)	TOMBO No.1120	2.75 <sup>(*)</sup>	25.5 <sup>(*)</sup>	14.7	34.3	196.1 <sup>(*) (5) (6)</sup>
	(3.0t)	TOMBO No.1120	2.00 <sup>(*)</sup>	11.0 <sup>(*)</sup>	14.7	- <sup>(4)</sup>	98.0 <sup>(*) (5) (6)</sup>
プロセス用シートガスケット	(1.0t)	TOMBO No.1133	3.50	44.8	14.7	34.3	150
	(1.5t, 2.0t)	TOMBO No.1133	2.75 <sup>(*)</sup>	25.5 <sup>(*)</sup>	14.7	34.3	150 <sup>(*)</sup>
	(3.0t)	TOMBO No.1133	2.00 <sup>(*)</sup>	11.0 <sup>(*)</sup>	14.7	- <sup>(4)</sup>	150 <sup>(*)</sup>
グラシール ガスケット	(0.8t)	TOMBO No.1200	2.00 <sup>(*)</sup>	26.0 <sup>(*)</sup>	14.7	49.0	170.0 <sup>(*)</sup>
	(1.6t)	TOMBO No.1200	2.00 <sup>(*)</sup>	26.0 <sup>(*)</sup>	14.7	49.0	106.0 <sup>(*)</sup>
	(3.2t)	TOMBO No.1200	2.00 <sup>(*)</sup>	26.0 <sup>(*)</sup>	14.7	49.0	79.0 <sup>(*)</sup>
	(0.8t)	TOMBO No.1215, 1210	2.00 <sup>(*)</sup>	29.4 <sup>(*)</sup>	14.7	49.0	294.0 <sup>(*)</sup>
	(1.6t)	TOMBO No.1215, 1210	2.00 <sup>(*)</sup>	29.4 <sup>(*)</sup>	14.7	49.0	167.0 <sup>(*)</sup>
	(3.2t)	TOMBO No.1215, 1210	2.00 <sup>(*)</sup>	29.4 <sup>(*)</sup>	14.7	49.0	98.0 <sup>(*)</sup>
膨張黒鉛貼波形メタルガスケット		TOMBO No.1880-GR	2.00 <sup>(*)</sup>	26.0 <sup>(*)</sup>	14.7	39.2	166.0 <sup>(*)</sup>
うず巻形ガスケット	(NA)	TOMBO No.1804-NAシリーズ	3.00	68.9	34.3	78.4	294.2
	(グラシール)	TOMBO No.1804-GRシリーズ	3.00	68.9	29.4	39.2	294.2
	(ナフロン)	TOMBO No.9090シリーズ	3.00	68.9	29.4	39.2	294.2
	(高温用)	TOMBO No.1806-GM, GS, GHシリーズ	3.00	68.9	34.3	78.4	294.2
	(グラシール)	TOMBO No.1809シリーズ	3.00	58.8 <sup>(*)</sup>	-	29.4~49.0 <sup>(7)</sup>	294.2
カンプロファイルガスケット		TOMBO No.1891-GR, TF	2.25 <sup>(*)</sup>	15.2 <sup>(*)</sup>	29.4	39.2	450 <sup>(*)</sup>
平形メタルジャケットガスケット	(軟鋼)	TOMBO No.1841-SS	3.75	52.4	39.2	101.4	-
	(ステンレス)	TOMBO No.1841-304/-316他	3.75	62.1	49.0	120.4	-
	(銅)	TOMBO No.1841-Cu	3.50	44.8	34.3	76.2	-
	(アルミニウム)	TOMBO No.1841-Al	3.25	38.0	29.4	58.8	-
波形メタルジャケットガスケット	(軟鋼)	TOMBO No.1861-SS	3.00	31.0	-	-	-
	(ステンレス)	TOMBO No.1861-304/-316他	3.50	44.8	-	-	-
	(銅)	TOMBO No.1861-Cu	3.25	38.0	-	-	-
	(アルミニウム)	TOMBO No.1861-Al	2.50	20.0	-	-	-
リングジョイントガスケット	(純鉄)	TOMBO No.1850-C-D/-V-D	5.50	124.2	-	-	-
	(軟鋼)	TOMBO No.1850-C-S/-V-S	5.50	124.2	-	-	-
	(F5)	TOMBO No.1850-C-F5/-V-F5	6.00	150.3	-	-	-
	(ステンレス)	TOMBO No.1850-C-304/-C-316 TOMBO No.1850-V-304/-V-316 他	6.50	179.3	-	-	-
P T F E 打抜きガスケット	(1.0t)	TOMBO No.9007	3.50	24.5	10.8	19.6	39.2
	(1.5t)	TOMBO No.9007	3.20	22.5	10.8	19.6	39.2
	(2.0t)	TOMBO No.9007	3.00	19.6	10.8	14.7	39.2
	(3.0t)	TOMBO No.9007	2.50	19.6	10.8	14.7	39.2
	(1.0t)	TOMBO No.9007-G20	3.50	24.5	12.7	24.5	49.0
	(1.5t)	TOMBO No.9007-G20	3.20	22.5	12.7	24.5	49.0
	(2.0t)	TOMBO No.9007-G20	3.00	19.6	12.7	19.6	49.0
	(3.0t)	TOMBO No.9007-G20	2.50	19.6	12.7	19.6	49.0
	(1.0t)	TOMBO No.9007-LC	3.50	24.5	14.7	-	-
	(1.5t)	TOMBO No.9007-LC/-SC	3.20	22.5	14.7	-SC 29.4	-SC 58.8
	(2.0t)	TOMBO No.9007-LC/-SC	3.00	19.6	14.7	-LC 24.5	-LC 49.0
	(3.0t)	TOMBO No.9007-LC/-SC	2.50	19.6	14.7	-	-
P T F E 打抜きガスケット	(3.0t)	TOMBO No.9007-GL/-FD	2.50	19.6	19.6	-GL 14.7 -FD -	39.2
	(2.0t)	TOMBO No.9007-LP	3.00	19.6	19.6	14.7	29.4
	(1.0t, 1.5t)	TOMBO No.9096-SGM	2.50	19.6	19.6	39.2	117.6 <sup>(*)</sup>
	(2.0t, 3.0t)	TOMBO No.9096-SGM	2.50	19.6	19.6	39.2	78.4 <sup>(*)</sup>
P T F E 包みガスケット		TOMBO No.9010-NA-A, AS-5.6, 7.8	3.50 <sup>(*)</sup>	14.7 <sup>(*)</sup>	9.8	14.7	29.4 <sup>(*)</sup>
		TOMBO No.9010-NA-B	4.00 <sup>(*)</sup>	19.6 <sup>(*)</sup>	14.7	19.6	29.4 <sup>(*)</sup>
		TOMBO No.9010-NA-A, AS-9	3.50 <sup>(*)</sup>	19.6 <sup>(*)</sup>	14.7	19.6	39.2 <sup>(*)</sup>

注(1) JIS B 2205 (1991), JIS B 2206 (1995), JPI-7R-91-2003およびJPI-7S-81-2005による。ただし、(\*)印の値はニチアスで設定した。

(2) ニチアス実験データによる。

(3) 蒸気の場合は、締付面圧29.4 N/mm<sup>2</sup> (\*) 以上を推奨する。

(4) ガス系流体には勧めない。

(5) ガスケットペースト併用時の許容締付面圧は68.6 N/mm<sup>2</sup> (\*) とする。

(6) 防食ペースト併用時の許容締付面圧は58.8 N/mm<sup>2</sup> (\*) とする。

(7) TOMBO No.1809シリーズのσ3はクラス150 : 29.4 (N/mm<sup>2</sup>)、クラス300 : 39.2 (N/mm<sup>2</sup>)、クラス600 : 49.0 (N/mm<sup>2</sup>)

## パッキンの基本事項

### ■ パッキンの摺動抵抗

パッキンは摺動抵抗を表す指標として、 $\mu k$ 値という値があります。この $\mu k$ 値は、実験により以下計算式によって求められ、各パッキンの $\mu k$ 値を表に示します。

(1) ステム往復動抵抗

$$F = \mu \cdot k \cdot \pi \cdot D \cdot H \cdot P$$

(2) ステム回転トルク

$$T = \frac{F \cdot D}{2} \times \frac{1}{1000}$$

$$= \frac{\mu \cdot k \cdot \pi \cdot D^2 \cdot H \cdot P}{2} \times \frac{1}{1000}$$

ここに、F：ステム往復動抵抗(N)

T：ステム回転トルク(N・m)

$\mu$ ：摩擦係数

k：側圧係数

D：ステム径(mm)

H：パッキン高さ(mm)

P：パッキン締付面圧(N/mm<sup>2</sup>)

高温用パッキンの $\mu k$ 値

パッキンの種類	$\mu k$ 値
TOMBO No.2205-P+TOMBO No.2250 低トルク組合せグラシールパッキン	0.03~0.04
TOMBO No.2205-L+TOMBO No.2930 組合せグラシールパッキン	0.05~0.07
TOMBO No.2280 スーパーシールパッキン	0.03~0.04
TOMBO No.2920 高温用バルブパッキン	0.03~0.04

注 実験では、 $\mu k$ （摩擦係数と側圧係数の積）という形で求まりますが、この値は、パッキンサイズ、リング数、締付力の大小、ステム径、ステムの仕上げ精度、温度、内部圧力等多くの因子に左右されるため、絶対値は存在しません。アクチュエーター等の設計の際には、十分な安全を考慮してください。

## 〈製品紹介〉

# 充填材入ふっ素樹脂シートガスケット TOMBO No.1133 「クリンシル®クリーン」

基幹産業事業本部 基幹製品事業部

## 1. はじめに

現在、特に石油化学などのプラントにおいて使用されるシート系ガスケットは、ラインごとにスペックが細分化され、その管理も煩雑になっています。

弊社は従来のシート系ガスケットの性能を大きく凌駕する耐薬品性、シール性、クリーン性、施工性に優れたTOMBO No.1133「クリンシル®クリーン」を開発しました。本ガスケットは、細分化されたシート系ガスケットのスペックを一元化して、施工ミスの防止や在庫・作業管理の簡易化が図れますので、本稿で紹介いたします。

## 2. 製品概要

本製品は、耐薬品性に優れるPTFE（四ふっ化エチレン樹脂）に充填材としてアルミナ粒子を配合し、シート状に圧延成形・焼成した後、所定の形状に加工したシートガスケットです。充填材にアルミナ粒子を使用したことで、耐クリープ特性が改善され、クリーン性があり、ガスケットの色調も白色で、プロセスラインでも使用されています。また、酸・アルカリ性流体に対して幅広く耐薬品性を有するため、pHに応じた使い分けも不要です。

本製品はガスケット係数m値および最小設計締付圧力y値はジョイントシートと同値であるため、締付管理も同様に行え、低面圧でのシール性にも優れ、増し締め性も良好なガスケットです。

## 3. 特長

### 3.1 色調

本製品の色調は白色です。製品外観を図1に示します。

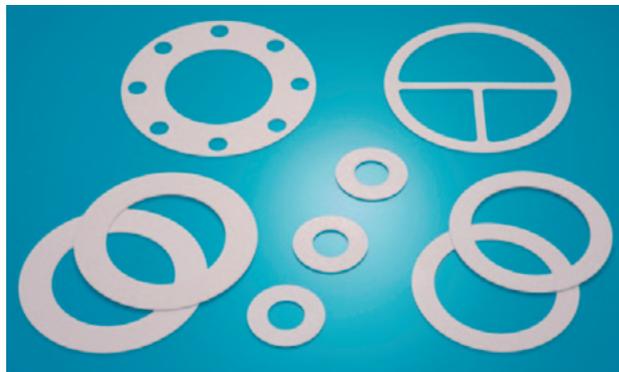


図1 TOMBO No.1133 「クリンシル®クリーン」

### 3.2 耐薬品性

TOMBO No.1133「クリンシル®クリーン」は、広範な薬液に使用可能です。耐薬品性について、表1に使用実績（一例）を示します。

表1 使用実績（一例）

流体分類	流体名
強酸	塩酸
	硝酸
	硫酸
弱酸	酢酸
	蟻酸
	青酸
弱アルカリ	液体アンモニア（液安）
	シアン化ナトリウム水溶液
	炭酸水素ナトリウム水溶液
強アルカリ	水酸化ナトリウム水溶液
	水酸化カリウム水溶液
炭化水素	エチレン
	n-ヘキサン
	シクロヘキサン
芳香族	ベンゼン
	トルエン
	キシレン
極性溶媒	N-メチルピロリドン
	ジメチルホルムアミド
	テトラヒドロフラン
ハロゲンガス	塩素
	臭素
その他	水蒸気
	アクリロニトリル
	スチレンモノマー
	4,4'-ジフェニルメタンジイソシアネート

- ※ただし、以下の条件では使用できません。
- ①水酸化ナトリウム水溶液および水酸化カリウム水溶液
    - ・濃度30%以上かつ温度100℃以上の場合
    - ・濃度30%以下かつ温度120℃以上の場合
  - ②リン酸
    - ・温度100℃以上の場合
  - ③モノマー系流体およびPTFEを侵す流体

### 3.3 シール性

シール性試験条件を表2に、試験装置概略を図2に、ガスケットに負荷した面圧の関係と窒素ガス漏えい量を図3に示します。JIS B2490と同様のプラテンでガスケットをプレスし、窒素ガスを封入したところ、TOMBO No.1133「クリンシル®クリーン」はジョイントシートやその他PTFE系シートガスケットと比較して漏えい量が少なく、特に低締付面圧での漏えい量については、従来品との差が大きく、実使用状態においてボルト軸力が低下しても漏えいしにくいといえます。

表2 試験条件

試料	TOMBO No.1133クリンシルクリーン TOMBO No.9007-LCナフロンPTFEシートガスケット TOMBO No.9007-SCナフロンPTFEシートガスケット TOMBO No.1120クリンシルトップ
試料サイズ	JIS10K 50A-3.0t-FR
試験治具	JISB2490と同様のプラテン
締付方法	ハンドプレス
圧縮面圧	10.0→14.7→…34.3N/mm <sup>2</sup>
内部流体	窒素ガス
内部温度	常温
内部圧力	0.98MPa
漏えい検知	圧力降下（内圧負荷後、圧力変化量を測定）

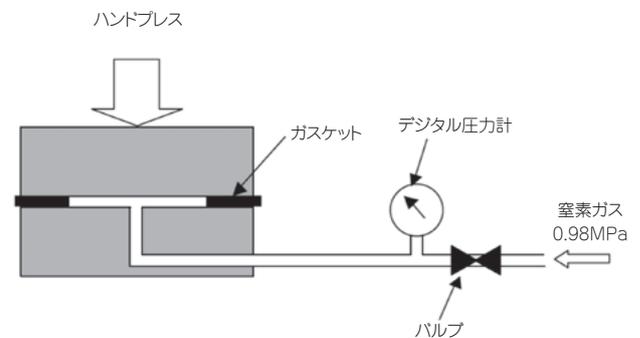


図2 漏えい検知装置概略図

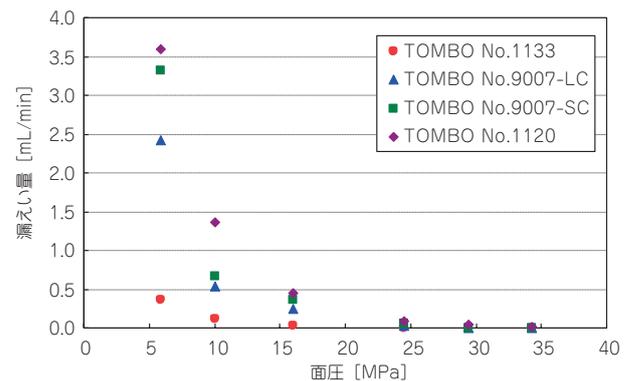


図3 面圧と漏えい量の関係

### 3.4 クリーン性

TOMBO No.1133「クリンシル®クリーン」は、食品衛生法「機器及び容器包装規格試験（合成樹脂）」に合格しております。

### 3.5 耐熱性

#### 3.5.1 加熱サイクルシール

試験条件を表3に、試験装置の概略を図4に、加熱サイクルシール試験結果を表4に示します。

表3 試験条件

試料	TOMBO No.1133 クリンシルクリーン
試料サイズ	JIS10K 25A-1.5t-FR
試験治具	JIS10K 25A-RF フランジ
試験面圧	34.3 N/mm <sup>2</sup>
加熱条件	300℃×15hr×10cycle
内部流体	窒素ガス
内部圧力	0.98MPa
漏えい検知	水中置換
検出限界	0.2mL/min(石鹼水発泡法による検出限界値)

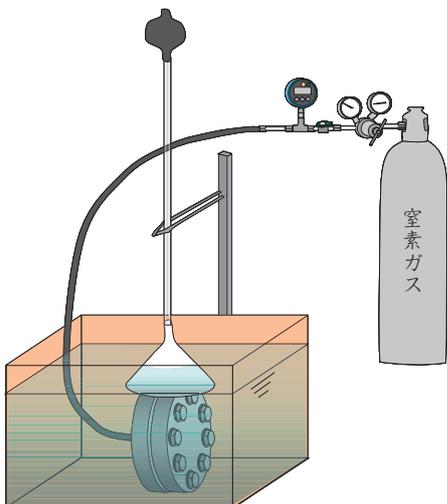


図4 漏えい検知装置概略図

表4 加熱サイクルシール試験結果

サイクル数	漏えい検知
0	検出限界値以下
1	検出限界値以下
2	検出限界値以下
3	検出限界値以下
5	検出限界値以下
10	検出限界値以下

TOMBO No.1133「クリンシル®クリーン」は、フランジに入れてボルト軸力を負荷した状態で300℃まで加熱、常温まで冷却というサイクルを加えても、窒素ガスをシールすることができま

す。TOMBO No.1133「クリンシル®クリーン」は、耐熱性に優れたシート系ガスケットであるといえます。

#### 3.5.2 加熱下長期応力緩和

試験条件を表5に、200℃における応力緩和特性を図5に示します。JIS B3453に準拠した試験方法において、TOMBO No.1133「クリンシル®クリーン」は、PTFE系の中でも加熱下における長期応力緩和率が低いという特長を有します。また、ジョイントシートと比較して応力緩和率の経時変化がほとんどありません。TOMBO No.1133「クリンシル®クリーン」は、ボルト軸力の経時変化が少ないシート系ガスケットであるといえます。

表5 試験条件

試料	TOMBO No.1133 クリンシルクリーン TOMBO No.9007-LC ナフロンPTFEシートガスケット TOMBO No.9007-SC ナフロンPTFEシートガスケット TOMBO No.1120 クリンシルトップ
試料サイズ	JIS B3453に準拠
試験装置	
試料厚さ	1.5mm
試験温度	200℃

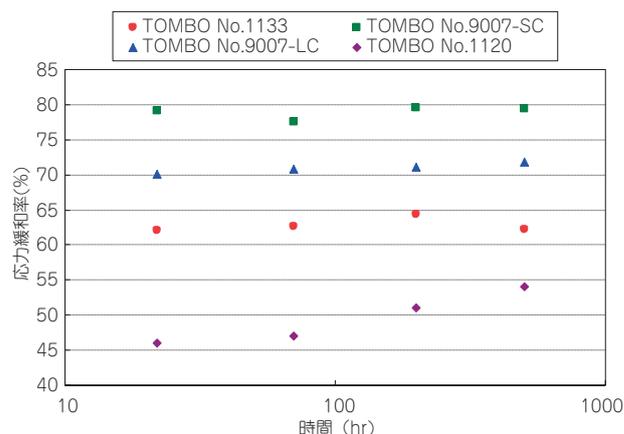


図5 200℃における応力緩和特性

### 3.6 締付施工性

#### 3.6.1 設計基準

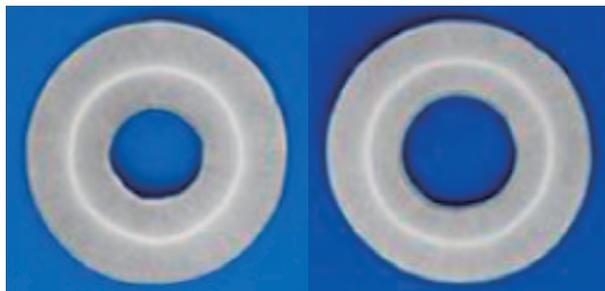
TOMBO No.1133「クリンシル®クリーン」の設計基準は、表6に示します。ジョイントシートとの設計基準と同じ値ですので、締付管理も同様に行えます。

表6 設計基準

項目	ガスケット厚さ	
	1.5 mm	3.0 mm
ガスケット係数 m ( - )	2.75	2.00
最小締付圧力 y (N/mm <sup>2</sup> )	25.5	11.0
最小締付面圧 $\sigma_3$	水・油系流体 (N/mm <sup>2</sup> )	14.7
	ガス系流体 (N/mm <sup>2</sup> )	34.3
許容締付面圧 (N/mm <sup>2</sup> )	150	150

#### 3.6.2 許容締付面圧

TOMBO No.1133「クリンシル®クリーン」を300および150N/mm<sup>2</sup>でプレスした後の外観写真を図6に示します。TOMBO No.1133「クリンシル®クリーン」は300N/mm<sup>2</sup>という過剰な面圧を負荷しても破損しません。しかしながら、変形量から、許容値を150N/mm<sup>2</sup>に定めております。



面圧300N/mm<sup>2</sup>                      面圧150N/mm<sup>2</sup>

図6 プレス後ガスケット外観

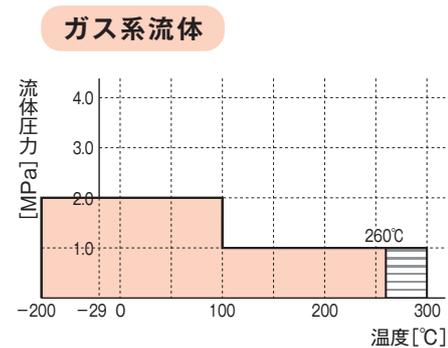
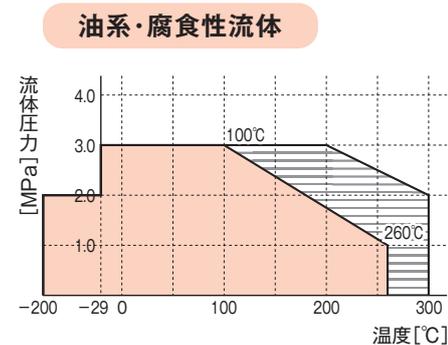
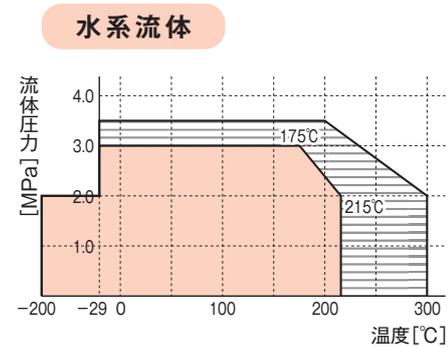
### 4. 用途

TOMBO No.1133「クリンシル®クリーン」は、ジョイントシートおよびPTFE系シートガスケットと比較してシール性・耐熱性・応力緩和特性・締付施工性に優れるため、これらが使用されていた箇所について、同一設計値のまま適用することができます（ただし、本製品が使用できない一部流体を除きます）。

### 5. 使用範囲

図7に、TOMBO No.1133「クリンシル®クリーン」の流体ごとの使用範囲を着色部で示します。

…推奨使用範囲  
…使用可能範囲  
 (使用可能な範囲は条件によります。)



※クリープによる変形量は厚みが厚いほど大きいため、200°Cを超えるガスラインではガスケットの厚さは1.5mmをお勧めします。

図7 使用温度・流体圧力範囲

### 6. 改善事例

本製品は、販売開始から約3年が経過し、これまでに分野を問わず数多くのお客さまからご採

用・ご好評を頂いております。ここで、ガスケットスペックの一元化以外にも、本製品を使用することによる施工性改善について紹介します。

従来のPTFE被覆ガスケットは許容面圧が $29.4\text{N}/\text{mm}^2$ と低く、必要最小面圧との差が小さいため、精度の高い締付管理を必要とし、施工者は細心の注意を払いながら施工する必要があります。一方、本製品は許容面圧が $150\text{N}/\text{mm}^2$ と非常に高く、締付管理範囲を広く取ることができ、施工管理者から管理が容易になったと評価いただいております。

なお、本製品はふっ素樹脂ライニング配管に対しても問題なく使用することができます。さらに、フランジ面を平滑に研磨したガラスライニングフランジに対しても使用可能です。

## 7. おわりに

今回紹介させていただいたTOMBO No.1133「クリンシル®クリーン」は、性能が非常に高いガスケットであるため、シート系のみならず、条件によってはセミメタル系ガスケットの代替とすることもできます。本製品は、管理・施工・経費など、お客さまに対してさまざまな形で価値を提供できると期待されます。

今後とも、お客さまニーズに合った製品の開発・改良に努めていく所存です。本製品を含め、お客さまのご意見・ご要望などをいただけますよう、お願い申し上げます。

\* TOMBOはニチアス(株)の登録商標または商標です。

\* クリンシルはニチアス(株)の登録商標です。

\* 本稿の測定値は参考値であり、保証値ではありません。

## 〈製品紹介〉

### 溝付メタルガスケット

# TOMBO No.1891 「カンプロファイルガスケット」

基幹産業事業本部 基幹製品事業部

## 1. はじめに

日本の石油精製や石油化学などのプラントでは熱交換器や塔槽類などの機器にうず巻形ガスケットやメタルジャケットガスケットが主に使用されています。欧州ではこれらのガスケットに加えて、金属平形ガスケットの両面に山溝加工を施し、膨張黒鉛などの軟質材を貼り付けた溝つきガスケット（カンプロファイルガスケットと呼ばれる）が使用されています。

このガスケットは、JPI規格JPI-7B-88「機器フランジ漏れ防止対策資料」に、高温高压下または温度変化によって漏れやすい時に使用するガスケットとして、膨張黒鉛フィラうず巻形ガスケットと一緒に紹介されています。弊社でも、TOMBO No.1891「カンプロファイルガスケット」（以後、カンプロファイルガスケットと略する）として製品化し、多くのお客さまにご採用いただいておりますので、以下に製品を紹介します。

## 2. 製品概要

「カンプロファイルガスケット」は金属リング（金属基材）の両面に、特殊に設計した山溝構造を同心円状に施し、その表面に柔軟性に優れた膨張黒鉛やPTFEを表層材として貼り合わせたガスケットです。

リング形を基本として、熱交換器などの機器用には図1に示すように枝を取り付けた形状も製作可能です。

配管用のガスケット（クラス150/クラス300）の規格は金属製の外輪つきが標準となります。

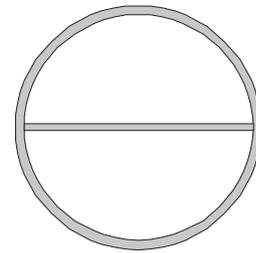


図1 熱交換機用カンプロファイルガスケット

## 3. 製品仕様と設計基準

「カンプロファイルガスケット」には、使用温度・使用圧力により、「GR」と「TF」の2種類があります。

これら製品の標準仕様および設計基準を表1に記します。

表1 標準仕様および設計基準

TOMBO No.	1891-GR	1891-TF
表層材	膨張黒鉛 (グラシール)	PTFE
外観		
最高使用温度	400℃	260℃
最高使用圧力	44MPa (クラス2500)	11MPa (クラス600)
本体材料	SUS304	SUS316L
最大製作寸法	φ 4000	
ガスケット係数 m	2.25	
最小設計締付圧力 y	15.2N/mm <sup>2</sup>	
最小締付面圧 σ <sub>3</sub>	水・油系 流体	29.4N/mm <sup>2</sup>
	ガス系 流体	39.2N/mm <sup>2</sup>
許容締付面圧	450N/mm <sup>2</sup>	

締付管理はこの設計基準にて実施し、標準仕様外（材質、製作寸法）につきましては、ご相談ください。

## 4. 特長

### 4.1 優れたシール性能とフランジへのダメージ低減

「カンプロファイルガスケット」は、表層材の膨張黒鉛シートやPTFEシートがフランジ面とのなじみ性を良好にし、さらに金属基材の特殊溝の間にある山の頂上部をフラット形状にしたことで、山の頂上部に荷重が集中するため、小さな締付力でも優れたシール性を発揮します(図2)。さらに特殊な山溝加工によってフランジ面への傷付を防いでいます。

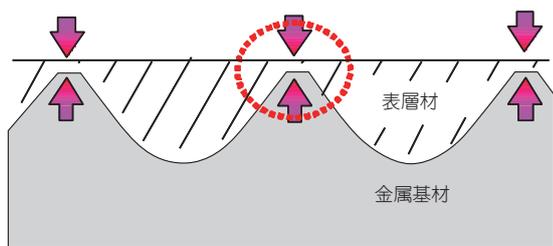


図2 ガスケット構造詳細

### 4.2 大口径・幅狭シールに対応

本製品はリング状の金属本体で形成されシール性がよいため、熱交換機や機器用のガスケット座の幅を狭く設計することが可能です。また、うず巻形ガスケットのようなバラケによる破損の心配がありません。

## 5. 特性

「カンプロファイルガスケット」、メタルジャケットガスケット、うず巻形ガスケットとのシール性能比較結果を以下に示します。

### 5.1 常温シール試験

締付面圧を徐々に上げながらガスケットの種類別にガスシールできる締付面圧を求めました。試験条件を表2に、試験結果を表3に記します。

表2 試験条件

試料サイズ	内径433.6mm×463.6mm
フランジ	JPI-7S-15 300LB 16B
試験流体	窒素ガス
内圧	2.1MPa
ペースト	メタルジャケットガスケットのみ塗布
締付面圧	39.2⇒58.8⇒78.4N/mm <sup>2</sup>

表3 ガスケット別シール開始締付面圧

締付面圧	カンプロファイルガスケット	メタルジャケットガスケット	うず巻形ガスケット
39.2N/mm <sup>2</sup>	○	×	○
58.8N/mm <sup>2</sup>	○	△	○
78.4N/mm <sup>2</sup>	○	○	○

○：漏れなし △：場合により漏れる ×：漏れあり

### 5.2 加熱サイクルシール試験

プラントの運転停止を想定して加熱サイクルを加えた後、ガスシール特性を確認しました。試験条件を表4に、試験結果を表5に記します。

表4 試験条件

試料サイズ	内径61mm×外径81mm	
フランジ	JPI-7S-15 300LB 2B	
試験流体	窒素ガス	
内圧	2.1MPa	
加熱条件	400℃×17h×3サイクル	
ペースト	メタルジャケットガスケットのみ塗布	
締付面圧	カンプロファイルガスケット	39.2N/mm <sup>2</sup>
	うず巻形ガスケット	39.2N/mm <sup>2</sup>
	メタルジャケットガスケット	58.8N/mm <sup>2</sup>

表5 ガスケット別漏れ量

(単位 ml/10min)

	カンプロファイルガスケット	メタルジャケットガスケット	うず巻形ガスケット
締付面圧	39.2N/mm <sup>2</sup>	58.8N/mm <sup>2</sup>	39.2N/mm <sup>2</sup>
加熱前	0.0	0.0	0.0
1サイクル目	0.0	0.1~5.3	0.0
2サイクル目	0.0	0.0~4.0	0.0
3サイクル目	0.0	0.0~0.4	0.0

### 5.3 試験まとめ

「カンプロファイルガスケット」のシール性はメタルジャケットガスケットより優れ、うず巻形ガスケットと同様に初期の段階から安定したシール性能を発揮できることが確認できました。

## 6. 改善例

既設の機器に使われている従来のガスケットから「カンプロファイルガスケット」に代替することによる効果を以下に紹介します。

### 6.1 シール性の改善例

メタルジャケットガスケットは、長年使用すると、なじみ性ではフランジ面の荒れた箇所按要求されるシール性を満足できませんでした。「カンプロファイルガスケット」は表層材のなじみ性がよいので特殊山溝加工により、多くのプラントでシール性が改善しています。

### 6.2 取り扱い性の改善例

大口径うず巻形ガスケットは施工中にバラケによる破損の可能性があります。交換に手間がかかりました。「カンプロファイルガスケット」はリング状の金属本体なので、大口径品の施工中に、バラケによる破損の心配がなく、取り扱い性が改善しています。

### 6.3 施工性の改善例

うず巻形ガスケットやメタルジャケットガスケットは変形させて施工することは出来ませんが、「カンプロファイルガスケット」は、金属が塑性変形しない程度であればたわませることができるため、使用条件が厳しく、作業環境が悪い箇所の機器にも施工可能です。

## 7. おわりに

本稿では、「カンプロファイルガスケット」について紹介しましたが、今後さらに弊社ガスケットのラインアップの充実をはかり、ニーズに合わせた製品の改良・開発に努めていく所存です。ユーザー各位のご意見、ご要望をお聞かせいただければ幸いです。

なお、本製品に関するお問合せは、基幹産業事業本部 基幹製品事業部までお願いします。

\* 「TOMBO」はニチアス(株)の登録商標または商標です。

\* 「グラシール」はニチアス(株)の登録商標です。

\* 本稿の測定値は参考値であり、保証値ではありません。

## 〈製品紹介〉

### ふっ素樹脂ライニング配管材料

## TOMBO No.9940 「ベントスプール」

基幹産業事業本部 基幹製品事業部

### 1. はじめに

ふっ素樹脂ライニング配管は、化学産業、製薬産業、半導体・液晶産業などにおいて、耐薬品性、耐熱性、純粋性を求められる用途に広く使われており、スプール、エルボ、ティースといったフィッティング類を組み合わせ構成されています。しかし、ふっ素樹脂ライニング配管に対する部品点数、フランジ数、コストの削減、さらにフランジ接続部の液溜りを最小にする要望が年々強まっています。

本稿では、これらの市場要求に応えるTOMBO No.9940「ベントスプール」を紹介いたします。

### 2. 製品概要

「ベントスプール」は、チューブを引き込んだ直管をパイプベンダーにて90°曲げ加工を施したもので、エルボと直管の両方の機能を有しています。

製品には一箇所のみ曲げを有したL字型「ベントスプール BL」、二箇所曲げを有したU字型「ベントスプール BU」とS字型の形状「ベントスプール BS」があります。製品の外観を図1～3に示します。



図1 ベントスプール BL



図2 ベントスプール BU



図3 ベントスプール BS

#### 2.1 製品寸法

図4に製品寸法図（製品寸法図は各仕様で共通）、表1に標準品寸法を示します。

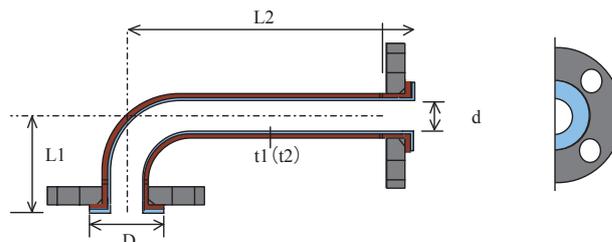


図4 ベントスプール製品寸法図

表1 ベントスプール標準寸法 (単位: mm)

呼び径 (A)	内径 d	フレア 径 D	ライニング層 厚さ <sup>※</sup> t1 t2		製作寸法		
					最小		最大
					L1	L2	L1+L2
15	13	34	1.5	1.5	81.5	342	全長 3000
20	18	43	1.5	2.0	102.5	348	
25	23	51	1.9	2.5	118	333	
40	34	73	3.0	3.0	241	475	
50	45	92	3.3	3.3	299	510	

※t1: 内径統一寸法, t2: HGHW (ヘビーウォール=厚肉仕様) 寸法

2.2 特長

(1) 配管ラインのパーツ点数減少

配管ライン全体で見た場合、表2に示すように一体化によってパーツ総数や備品類（ボルト・ナット、ガスケットなど）の点数が減少し、コストダウンが期待できます。

(2) 液溜り箇所の減少

フランジ数が少なくなるため、内径の段差やフレアの隙間に流体が入り込む液溜り発生箇所も少なくなり、半導体製造装置、食品・医薬品配管ラインなどの洗浄性が求められる用途に最適です。

(3) 配管ラインのコンパクト化

曲がり部でのフランジの干渉などがなくなるため、配管が密接したスペースのない用途に適しています。

2.3 用途

- ・製薬プラント配管
- ・半導体・液晶製造ラインなどの供給配管
- ・化学工業配管、液面計など

2.4 洗浄効果の検証

フランジの減少による洗浄性の効果を確認するため、直管を用いて継ぎ目数と洗浄性の関係

を調査しました。

試験は、図5に示す試験体に、表3に示す3種類の25A直管（PFA-HGライニング配管）に35%塩酸を配管内に満たし、24時間封入後に配管内の塩酸を排出し、配管内に純水を満たし洗浄しました。純水による洗浄はこれを繰り返し、pH7になるまでの洗浄回数を測定しました。

図6に塩酸洗浄性試験結果を示します。

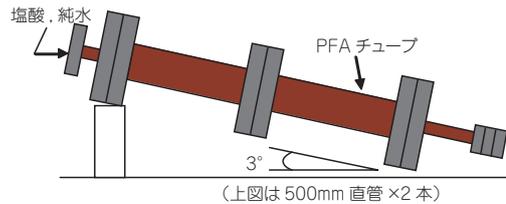


図5 配管洗浄性試験体

表3 試験サンプル直管

長さ (mm)	本数 (本)	フランジ数
1000	1	2
500	2	3
250	4	5

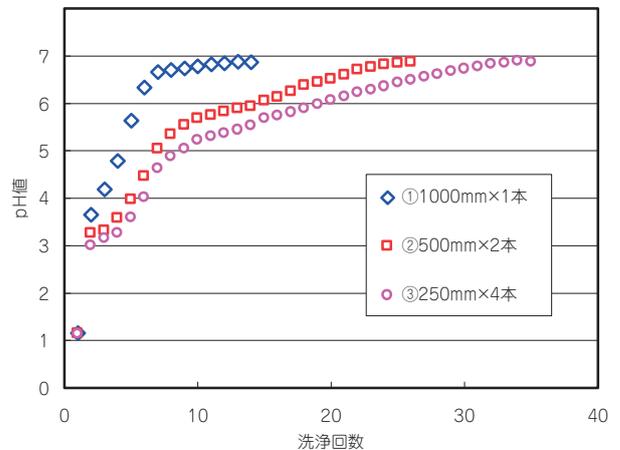


図6 塩酸洗浄性試験結果

表2 ベントスプール配管施工とパーツ点数

フィッティング	従来配管施工	ベントスプールを用いた配管施工			
施工例					
直管 (本)	3	1	0	0	
エルボ (本)	2	0	0	0	
ベントスプール (本)	0	2	2	1	
フランジ (箇所)	4	2	1	0	

継手数を減らすことができるベントスプールは洗浄性に有効であることが分かります。

## 2.5 性能評価試験

配管の性能評価試験として、表3の試験サンプル直管を用い、表4の条件で確性試験を行い、ピンホール、有害なクラック、座屈、ゆがみの有無などを確認しました。

すべての試験項目でピンホール、有害なクラック、座屈、ゆがみなどの異常は見られず、一般配管品（直管・エルボ）と同等の性能を有していました。

表4 確性試験条件

項目	試験条件
加熱試験	260℃ 3h×3回
製品耐圧試験	1.5MPa 0.5h
バキューム試験	150℃ 差圧0.2Mpa
ヒートサイクル試験	蒸気178℃ 0.86MPa×100回

## 3. おわりに

今回紹介したTOMBO No.9940「ベントスプール」は、上述したとおり現行の直管、フィッティング類を組み合わせた配管と比較して多くの優位点を有した製品であり、幅広い配管設計を可能にするものと期待されています。

\* TOMBOはニチアス(株)の登録商標または商標です。

\* 本稿の測定値は参考値であり、保証値ではありません。

## 〈解説〉

## PFAライニング配管の寿命診断

基幹産業事業本部 基幹製品事業部 本田 誠 一

## 1. はじめに

当社はふっ素樹脂ライニングの製造を始めて、約40年が経過し、幅広い分野で利用いただいている。

昨今、設備の予防保全に対する意識が高まり、ふっ素樹脂ライニング材の寿命に関する問い合わせが増えている。

本稿では、当社でのふっ素樹脂PFA（パーフルオロアルコキシアルカン）を使ったライニング配管（以降、PFAライニング配管）の寿命診断について紹介する。

## 2. PFA ライニング配管の特徴・用途

当社のふっ素樹脂ライニングはPFAを使用している。このPFAは炭素鎖の周りがふっ素化された分子構造をしており、耐熱性、耐薬品性、成形性に優れることから、ライニング用ふっ素樹脂として最も広く使われている。

PFAライニング配管は、主に以下の2つの用途に使われている。

- 耐薬品性・耐熱性が求められる石油化学プラントや化学プラントでの各種有機溶剤や塩酸・硫酸・ふっ酸・硝酸などの腐食性の強い薬液用配管
- 可塑剤や充填材を含まない純粋性が求められる半導体向の高純度薬液、医薬・中間体プラント用配管

PFAはFRP、汎用樹脂、ゴム、ガラスなどのライニング材と比較して、非粘着性および酸、

塩類、アルカリ、有機溶剤すべてに十分な耐食性能を持っている。しかし、PFAを含むふっ素樹脂は長期使用では薬液の透過があり、“ライニング材の寿命”に及ぼす影響について考慮が必要である。

## 3. PFA ライニング配管の劣化・損傷形態

ふっ素樹脂の劣化とは、熱分解や特定薬品での化学反応、放射線での分子鎖切断など、分子構造の変化により、高分子材料としての特性を失うことをいう。

PFAライニング配管の劣化・損傷形態の要因には“薬液の透過”、“使用条件”、“応力の存在”、“設置環境”の4つが挙げられる。このうち“薬液の透過・浸透”が事象全体の7割を超えるが、実際には複数要因が複雑に絡み合っただの劣化・損傷が発生する。

以下に交換寿命に至る主な劣化・損傷形態を紹介する。

## 3.1 クラック

クラックとは、図1に示すように“物理的破壊



図1 クラック  
(光学顕微鏡写真)

がある巨視的な亀裂のことで、目視ではっきり割れていると分かるものである。

クラックの中でも、マイクロクラックとは、正確な定義はないが“物理的破壊がある微視的な亀裂”のことで、図2に示すように表面上は亀裂が無くても、断面を顕微鏡レベルで確認すると微細なひび割れがある。

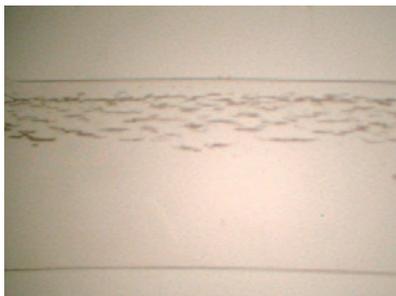


図2 マイクロクラック  
(断面光学顕微鏡写真)

図3に示すように、クラックがさらに貫通クラックに成長すると薬液の漏れにつながるため、配管の交換が必要となる。

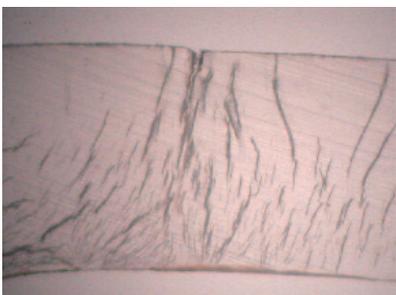


図3 貫通クラック  
(断面光学顕微鏡写真)

### 3.2 ブリスター

ブリスターとは、薬液やガスの浸透による水蒸気拡散現象により生じたライニング表面の“ふくれ現象”をいう。図4に示すように、丸く膨れ上がった箇所が複数個発生することがある。

大きいブリスターは図5に示すように肉厚内部から発生するケースが多く、小さいブリスターは図6に示すように表層付近に発生しやすい。

また、ブリスターはライニング内外の温度差が大きく、温度サイクルがかかる場合に発生しやすくなる。



図4 ブリスター  
(光学顕微鏡写真)



図5 ブリスター  
(断面光学顕微鏡写真)

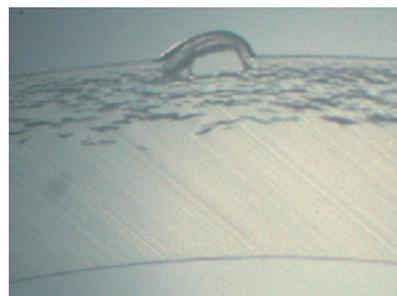


図6 ブリスター  
(断面光学顕微鏡写真)

ただし、ブリスターが発生してもただちに使用不可となるわけではなく、ライニングとしての機能が保持されている間は使用上問題はない。

ブリスターの大きさや数などを定期的に管理し、膨れ部分に割れが発生した場合は、ライニングのクラックに成長する必要があるため配管の交換が必要となる。

### 3.3 クレーズ

クレーズは物理的破壊とは異なり、ライニング表面がスジ状に見える現象のことをいう。

光の屈折により図7のようにスジ状に見えるが、図8のSEM（走査型電子顕微鏡）写真に見られるようにクラックのように割れているわけではないので使用上問題はない。

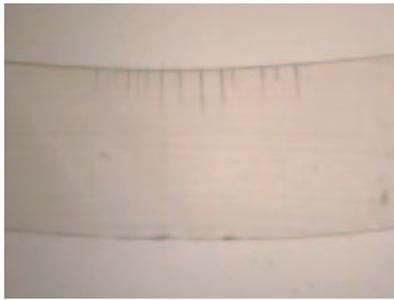


図7 クレーズ  
(断面光学顕微鏡写真)

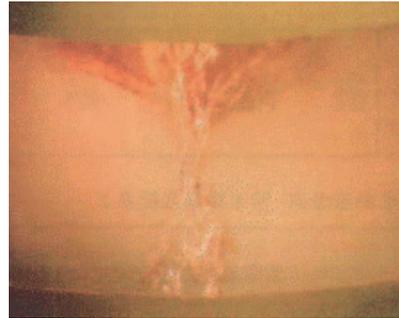


図10 ツリー現象  
(断面光学顕微鏡写真)



図8 クレーズ (断面SEM写真)

### 3.4 絶縁破壊, ピンホール

ふっ素樹脂は絶縁性が高いため、薬液と接触、摩擦、剥離、衝突した際には、ほとんどの場合、マイナス（負）の高い電位で帯電する。

特に、有機溶剤、燃料、粉体、蒸気などの帯電しやすい薬液に使用する場合、ライニング面と薬液との流動帯電により、その帯電量がふっ素樹脂の絶縁破壊強さ（絶縁耐力）以上になると絶縁破壊を起こしピンホールが発生する。

絶縁破壊は、図9および図10に示すように放電破壊現象（ツリー現象）となる。

ピンホールがライニング厚みを貫通した場合は漏れに至るため、配管の交換が必要となる。

ふっ素樹脂の帯電対策としては、溜まった静電気を逃がすためアースを取ったり、物質同士の摩擦による帯電を少なくするため流速を抑えることが有効である。

### 3.5 変形・座屈

ライニング層の変形・座屈は流量確保に影響を及ぼすほか、将来的にライニング層を貫通するクラックが発生する可能性もあり、状況により配管の交換が必要である。

ライニング層が変形・座屈に至るには2ケースがある。

一つは、図11に示すように、ライニング層を透過した薬液ガスにより外装管が腐食し、ライニング層との間に腐食生成物（鏽）が発生し、ライニング材が内面側に押し込まれるケースである。

ライニング材を剥がした状態を図12に示す。

対策としては、ライニング材に耐透過性グレードを用いたり、透過したガスを外部へ逃がすために施工されているベントホール機能のより積極的な活用がある。



図9 ツリー現象  
(光学顕微鏡写真)



図11 ライニング内面

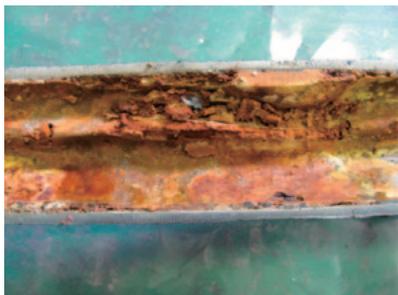


図12 外装管内面



図14 フランジ部の腐食

もう一つは、図13に示すように負圧がかかることでライニング層が内側へ座屈し変形するケースである。

座屈はライニング層の強度不足が原因のため、図13のように3方向からのつぶれる場合が多い。対策としては、ライニング層を厚くすることが最も有効的である。

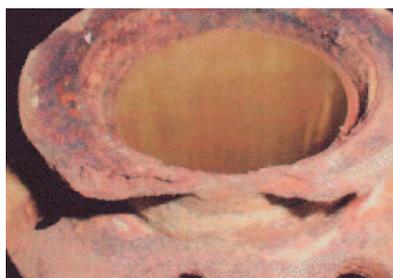


図15 パイプフレア部の腐食

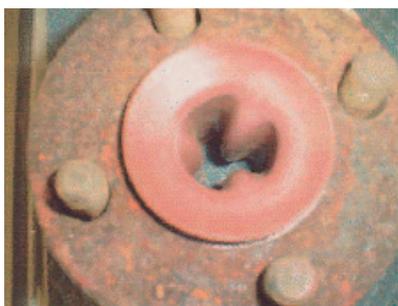


図13 ライニング層の座屈



図16 ベントホール部の腐食

### 3.6 その他

#### 3.6.1 外装管の腐食

外装腐食は雨水、湿気などの浸入口でライニング層を透過したガスが溜まり、液化しやすい次の3箇所に発生しやすい。

- ・フランジ部 (図14参照)
- ・パイプフレア部 (図15参照)
- ・ベントホール部付近<sup>注1)</sup> (図16参照)

注1) ベントホールの役割：ライニング層を透過したガスの逃がし穴、漏れの知らせ穴

図14はパイプフレア部の腐食によりフレア面がシールできないくらい腐食した例である。

対策としては、ベントホールの腐食による閉塞がないようにすることや、配管に断熱材を巻

くことで透過したガスを液化させずにそのまま空気中に放出する方法がある。

また外装管をSUSに変更することも選択肢といえる。

#### 3.6.2 ライニングフレア面のキズ・変形・亀裂

接続部であるPFAライニングフレア面は、配管施工時の当てキズや締付け過剰で変形・亀裂が発生しシールができなくなる。

図17は、金属ガスケットを使用したことによりフレア面の締付け過剰で変形が発生したケースである。

対策としては、配管接続直前までライニングフレア部についている保護板は外さず、かつガスケットはメーカー指定のものを使用することが必要である。



図17 フレア面の変形

### 3.6.3 異物堆積

図18に示すように、重合反応する薬液(モノマー)を使用した場合、透過によりライニング層内部で重合し、ライニング層を破壊して漏れに至る。



図18 異物堆積  
(光学顕微鏡写真)

本用途での使用は推奨できないが、やむを得ず使用しなければならない場合は、ライニング層を厚くして延命効果を図りながら、定期交換することが必要である。

### 3.6.4 磨耗減肉 (エロージョン)

図19に示すように、内部流体がスラリーや粉体で微細な固形物を含んでいる場合、ライニング層の磨耗によって肉厚が減少する。

本用途での使用は推奨できないが、やむを得ず使用しなければならない場合は、ライニング層を厚くして延命効果を図りながら、定期交換することが必要である。



図19 エロージョン

## 4. 寿命診断の取り組み

当社は“PFAライニング配管の寿命診断”を予防保全の観点から、納入後にアフターサービスとして提供している。

PFAライニング配管の寿命を診断するための調査手順と診断内容について、当社における過去の“劣化・損傷”，“寿命・交換”の経験をもとに、以下に説明する。

### 4.1 寿命診断の調査手順

寿命診断の頻度は、PFAライニング層配管設置後プラント定修時にあわせて年1回または2年に1回程度を推奨する。

ユーザーにおいてはライン全体を見渡していただき、配管の外観状態を確認の上、最も損傷があるもの（腐食・液漏れなど）を調査対象配管として1～2本選択いただく。

過去から不具合が生じ易い場所が特定されていればそこを選定するが、そうでない場合は外観状態をメインに、次いで温度・圧力が高いなど使用条件がより厳しい箇所を選定いただきたい。

また、厳しい使用条件の箇所とそうではない箇所を比較調査することもひとつの確認手法である。

### 4.2 診断内容

#### 4.2.1 外観観察

外観確認は、今後の調査の方向性を決めるために非常に重要な作業であり、どの部分を重点的に観るかを図20に示す。

外観確認	観察項目
① ライニング配管 内面	変形・座屈、プリスターの有無、 キズ・亀裂の有無、堆積物・変色、減肉
② ライニング配管 フレア面	コーナー亀裂、面圧による変形、キズ・亀裂の有無 ※必要であればガスケットの調査
③ 外装管	ベントホール液漏れ、ベントホールのつまり、 外装管腐食、フランジ腐食

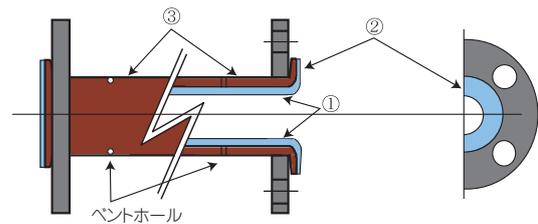


図20 外観観察箇所と観察項目

ライニング配管内面，フレア面，外装管（特にベントホールやフランジ部分）を観察する。

ライニング配管についてはフレアコーナー部は加工時の残留応力が存在し，かつ使用中の熱応力により応力が集中しやすく，クレーズやクラックが発生しやすい箇所のため，注意深く観察する。

外装管については腐食が最も先に発生するベントホール，フランジ（パイプフレア部）が観察ポイントとなる。

また，ベントホールは腐食だけでなく，詰まりや液漏れ痕も確認する。

#### 4.2.2 気密試験・ピンホール検査

気密試験は，ライニング配管の内部にエアールや窒素ガスを入れて，フレアシール面の漏れや，ベントホールからの漏れの有無を確認する。

ピンホール検査は，ピンホールディテクターを用いてライニング表面に高電圧を掛けて，放電箇所がないかを確認する。

気密試験で漏れが確認されても場所を特定するのが困難なため，ピンホール試験で場所を特定する。

この2つの試験で問題なければ，気密性は保持できており最低限のライニング機能は維持していることになる。

気密性が保持できていなければ，PFAライニング配管としては寿命であり，交換という判断になる。

#### 4.2.3 解体・観察

ライニング層断面のクレーズ，マイクロクラック，クラック，ブリスターを観察する。

これらは断面観察でなければどの程度の深さまで進展しているのかが分からないため，ライニング材の状態を確認する上では欠かせない作業となる。

また，偏光顕微鏡を用いて歪や残留応力がどこに残っているのかを確認するケースもある。

図21はPFAライニング配管フレアコーナー部の偏光顕微鏡写真であるが，コーナーの内側／外側にフレア加工時の残留応力が集中しているのが分かる。

成形品のどこに応力が集中しやすいか，またその部分で異常がないかの確認をすることも重要であり，さらに付着異物・薬液の物質同定やSEM観察も必要に応じて行う。



図21 PFAライニング配管フレアコーナー部（偏光顕微鏡写真）

#### 4.2.4 物性評価

表1の測定項目について，使用前の健全な状態の数値と比較し，樹脂の劣化が起きているかを調べる。

表1 物性評価項目

測定項目	目的	劣化評価
機械強度	引張り強度・伸びを測定し強度低下の確認	ライニング配管に薬液浸透や過度の応力が負荷された状態や，ふっ素樹脂の融合不良などの異常がある場合は，値が低下する。
MFR (マルチフロー)	樹脂の熔融時の流動性を測定し樹脂劣化の確認	薬液の浸透によってふっ素樹脂が劣化し，分子鎖が切断した場合に値が上昇する。
比重	比重を測定し樹脂の劣化やクラックによる影響の確認	薬液の浸透透過によりライニング層にクラックが発生した場合，値が小さくなる。
加熱重量減	薬液浸透量の確認（目安）	薬液が浸透し残っている場合は，浸透した分だけ値が大きくなる。透過して揮散した場合は変化しないため，参考値として捉える。

ただし過去の経験上，ふっ素樹脂は耐薬品性に優れているため物性が低下していることはほとんどない。

最終的に各ステップの評価結果に使用条件や使用年数を加味した上で寿命判定を行い，ライニング配管の健全性と交換時期の推定をする。

なお，評価結果はラインの評価をするための指針とするものであり，ライン全体を保証するものではない。

### 5. おわりに

ふっ素樹脂ライニング配管を使用する場合は，採用時に使用条件（流体，温度，圧力，ヒートサイクルの有無など）と期待寿命を明確にし，事前打ち合わせの上でライニング仕様を決定する必要がある。

また、ライニング配管は寿命があると認識した上で採用後も定期的な点検・交換が必要である。(製品施工やメンテナンス方法に関しては、別途、取扱い説明書を用意しています)

昨今、損傷が発生してから対応する対症療法型管理から、損傷の推移を適切に予測し事故の発生を未然に防ぐ予防保全型管理にシフトしており、当社のふっ素樹脂ライニング配管の寿命診断をお役に立てていただければ幸いです。

#### 筆者紹介



#### 本田誠一

基幹産業事業本部 基幹製品事業部

〈解説〉

# プラントにおけるサーモグラフィによる熱診断

基幹産業事業本部 工事事業部 工事技術部 梶原啓太

## 1. はじめに

保温・保冷材は経年によって劣化し、プラント設備にさまざまな弊害をもたらす。このため、プラント内の機器と同様に、保温・保冷材も定期的なメンテナンスが必要である。しかし、保温・保冷材の交換作業には足場が必要となることが多く、またプラント内の広範囲に施工されているため、費用や工期の制約から一度にメンテナンスを行うのは難しい。このため、効率的かつ効果的にメンテナンスを行うためには、保温・保冷材の状態を把握・診断し、メンテナンスの優先順位を定める必要がある。

本稿では、近年さまざまな分野に広く普及しているサーモグラフィを用いた、プラントにおける保温・保冷材の劣化診断とその応用例について紹介する。

## 2. サーモグラフィによる保温・保冷材の劣化診断

### 2.1 サーモグラフィの原理

絶対零度（ $-273.15^{\circ}\text{C}$ ）以上のすべての物質は、その表面から赤外線を放出している。赤外線とは、可視光線の赤色光と電波の間の波長を持つ電磁波全般を指し、その波長は約 $0.7\ \mu\text{m}$ ～ $1000\ \mu\text{m}$ である。

サーモグラフィは、この物体表面から放射される赤外線を検出し、対象の表面温度分布を画像化するもので、非接触で温度測定を行う代表的な測定方法である。保温・保冷材の表面温度を可視化することで保温・保冷材の劣化を分かりや

すく把握することができ、測定対象が離れていたり、高温であっても測定することが可能である。また、対象を面として捉え一度に広い範囲を測定することで劣化の全体像が把握しやすく、接触式に比し測定時間が短縮できるという特長を有している。

### 2.2 熱画像と保温・保冷材の劣化状態

保温・保冷材が劣化した場合、表面温度に異常が生じる。保冷の場合は、保冷材が劣化した箇所の表面温度が設計値よりも低くなり、外装材表面に結露や結氷が生じ、外観上検知できることが多い。一方、保温の場合は、劣化箇所の表面温度が設計値よりも高くなる。保温材の劣化箇所は、高温によって外装材の変色が生じる場合もあるが、一般的には外観上検知できない場合が多い。サーモグラフィによって得られる熱画像は、温度異常箇所を周囲とは異なる色あいで表示でき、外観上目視で発見しにくい保温材の劣化箇所も容易に検知することができる。

サーモグラフィによる保温材診断イメージを図1に示す。

図1 (a) は試験用加熱配管に、けい酸カルシウム保温材の劣化を模し、一部含水したものと目地を空けて施工したものである。

図1 (b) は一般的な現地施工で、(a) に外装材を施工したものである。配管は $200^{\circ}\text{C}$ に加熱しているが、目視によって外装材表面の異常は確認できない。

図1 (c) はサーモグラフィによって得られた(b)の熱画像である。保温材の劣化を模した箇所は

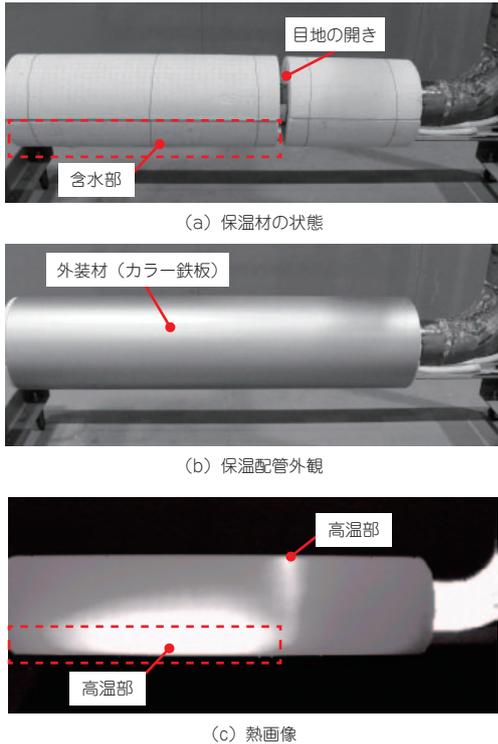


図1 サーモグラフィによる保温材診断イメージ

高温色を呈していることが確認できる。このように、サーモグラフィによって得られた熱画像から、非破壊で保温・保冷材の目地の開きや含水といった劣化状態を推測、診断することができる。

図2にサーモグラフィによる熱画像例を示す。

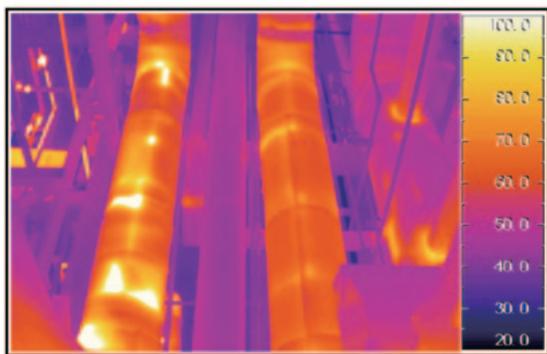


図2 サーモグラフィによる熱画像例

### 2.3 熱画像の解析

熱画像はデジタルデータとして保存でき、熱画像内の最高温度、最低温度、平均温度などの情報を容易に抽出することができる。これらの

情報に加え、内部温度、外気温度、風速などを考慮し熱計算を行うことで、測定対象箇所への熱損失の推測が可能である。さらに、熱損失をもとに、プラントの年間の燃料費に相当する損失金額やCO<sub>2</sub>排出量などを試算することも可能である。これらの試算は、直接的に燃料浪費を判定するものではないが、保温材メンテナンスによる費用面や環境面での効果を数値化することができる。

### 2.4 保温・保冷材劣化マップ

熱画像から、放散・侵入熱量を算出し、保温・保冷材の劣化状態をイメージ化した劣化マップを作成することができる(図3参照)。判定基準の是非は、各プラントの事情に合わせて検討する必要があるが、この劣化マップによってメンテナンス優先エリアを容易に設定でき、効果的かつ効率的なメンテナンスを行うことができる。

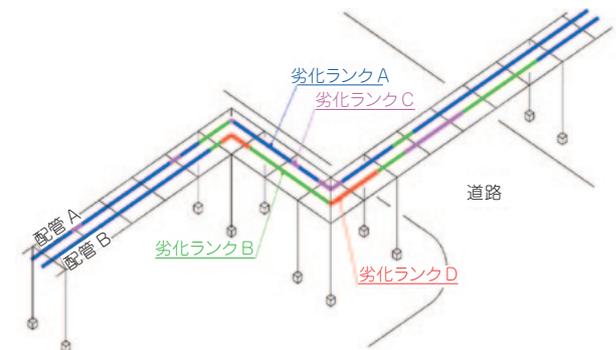


図3 保温・保冷材劣化マップ例

### 2.5 サーモグラフィ使用時の注意点

#### 2.5.1 放射率の補正

あらゆる光を吸収し放射する物質を完全黒体と呼び、同じ温度であれば完全黒体が最も多くの赤外線放射する。完全黒体の赤外線放射量は温度によって定まるため、赤外線放射量を測定することで完全黒体の温度を求めることができる。サーモグラフィは、この原理を利用して物質の温度を求めている。

しかし、現実の物質は完全黒体ではなく、同じ温度の物質でも材質や表面の状態によって赤

外線放射量は異なる。現実の物質と完全黒体の赤外線放射量の比を放射率と定義し、一般に  $\varepsilon$  (イプシロン) で表す。サーモグラフィで正しい表面温度を得るためには、この放射率を適切に設定することが重要である。設定を誤ると実際の表面温度とは乖離したデータが得られてしまうため注意が必要である。

放射率は文献などに記載された値を参考として設定するほか、測定時にサーモグラフィが示す表面温度と接触式表面温度計で得られる表面温度を随時比較し、放射率の設定に誤りがないかチェックする必要がある。

### 2.5.2 放射率が低い測定対象の表面温度測定

鏡面など放射率が低い物質は、表面からの赤外線放射量が少ない一方、外部からの熱や光を多く反射する。このような物質をサーモグラフィで測定した場合、物質そのものからの放射赤外線よりも反射分の赤外線を多く測定してしまい、正確な表面温度を得ることができない。

プラントでの保温・保冷の測定では、無塗装のステンレスやアルミ外装材などが施工された機器・配管がこれに該当する。たとえば、非保温で高温のバルブや電灯が近傍にあり、これらが外装材に写りこんだ場合、それらの温度があたかも外装材の表面温度として撮影される。場合により、測定者自身の熱画像が外装材に写り込むこともある。

放射率が低い測定対象の厳密な表面温度を求める場合、表面に放射率の高い紙などを貼り付け、熱的に安定した後に測定を行う方法があるが、広範囲の配管・機器を測定対象とするのは難しい。現実的には、なるべく周囲の熱反射の影響がないよう工夫し、接触式温度計などで実際の表面温度を適時確認している。

### 2.5.3 保冷材の蓄熱と放熱

屋外の保冷材(外装板)の日射面は、日中のふく射熱によって外気温度以上に温度が上昇し蓄熱する。やがて日が陰り周囲温度が急激に下がると、蓄熱した保冷材(外装板)の表面温度が外気温度よりも高くなり、放熱を始める。夜間など熱的に安定した状態では、保冷材(外装板)の表面温度は外気温度よりも低いため、熱は保

冷材内部に侵入するが、これとは逆の現象になる。これはサーモグラフィに限らず、熱流計や他の温度測定方法でも検知され、発生しうる事象として理解しておく必要がある。従って、保冷の測定の場合は、日射面を避けて測定したり、蓄熱の影響が少なくなる夜間に測定したりする必要がある。

### 2.5.4 熱画像と保温・保冷材劣化状態との整合性

保温・保冷の構造上の理由、たとえば、金属貫通部、保温・保冷材下のリブや突起物などの存在、形状の制約により保温・保冷厚さが十分に確保できないなど、これらの部位の表面温度が周囲よりも高温または低温となる場合がある。しかし、外装材が施工され内部の状態を把握できないため、保温・保冷の劣化を判別し難い場合がある。保温・保冷材の劣化を適切に判断するためには、施工対象の形状やそれらの保温・保冷構造をよく理解しておく必要がある。

一方、先に図1に示した保温材診断イメージのように、熱画像から明らかに保温・保冷材の劣化であると判断できる場合も多い。

熱画像から保温・保冷材の劣化状態を推測するためには、熱画像と保温・保冷材の劣化状態がどのように関連しているかという知見が必要である。保温・保冷材の劣化診断精度を向上させるためには、サーモグラフィの測定に合わせ、部分的でも保温・保冷材の解体調査を行うことが望ましい。

### 2.5.5 内部温度と外気温度の差が小さい場合

内部温度と外気温度の差が小さく、サーモグラフィによる表面温度分布が明らかに得られない場合は、中性子水分計による測定結果を併用することにより、評価精度の向上・補完を行う。

特に、内部温度が100℃以下の領域は、熱的な性能劣化の程度は軽微であり、劣化要因として、含水による影響がより大きなファクターとなる。この温度領域は、CUI (Corrosion Under Insulation: 保温材下の外面腐食) の発生しやすい領域とされており、腐食点検を補完する意味からも中性子水分計の併用がより効果的な診断につながる。

(本報「(寄稿) 屋外配管の外面腐食診断法について」参照)

### 3. 熱診断実施例

#### 3.1 保温保冷性能の劣化診断事例

本例は蒸気配管(40A)を対象に当社e'-AIM<sup>®</sup>工法(パイロジェル<sup>™</sup>XTの増し保温<sup>®</sup>工法)の施工前後の保温性能を比較検証したものである。

e'-AIM<sup>®</sup>工法は劣化した既設保温材を取り外すことなく、上からパイロジェル<sup>™</sup>XTを重ね巻きして、低下した保温性能を回復させる保温機能回復工法で、その概要図を図4に示す。

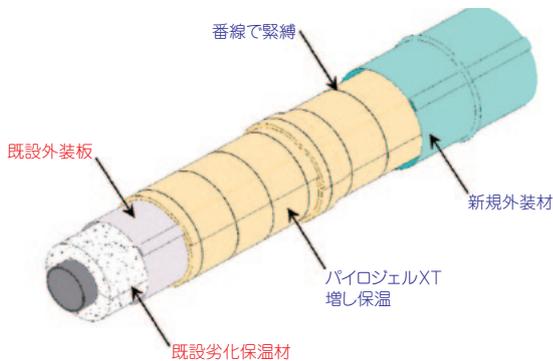


図4 e'-AIM工法概要図

表1は建設時の設計値と測定結果をまとめたものである。建設時の放散熱量の設計値42.3W/m

表1 e'-AIM工法の効果

【設計値】		
対象名称	15S蒸気配管	
配管径	40A	
内部温度	150℃	
環境条件	周囲温度:15.6℃ 風速:1.8m/s	
既設保温材	けい酸カルシウム保温筒1号-15 40mm	
表面温度(℃)	23.4	
放散熱量平均値(W/m)	42.3	
【測定値】		
e'-AIM工法	パイロジェルXT 10mm(増し保温)	
配管長さ	70m	
放散熱量平均値(W/m)	施工前	125.8
	施工後	47.8
	削減効果	▲78.0
年間削減金額*1 参考値	218,500円/年	

\*1: 年間削減金額計算方法

熱量価格: 5円/kWh 稼働時間: 8000時間/年とし計算

熱量金額 = 放散熱量 ÷ 1000 × 5円/kWh × 8000時間 (『保温JIS解説 2006年版』計算例参照)

に対し、e'-AIM<sup>®</sup>工法施工前放散熱量の平均が125.8W/mと劣化が認められるが、施工後には47.8W/m(図5参照)と低減されている。

また、同例の施工前後の熱画像を図6に示す。

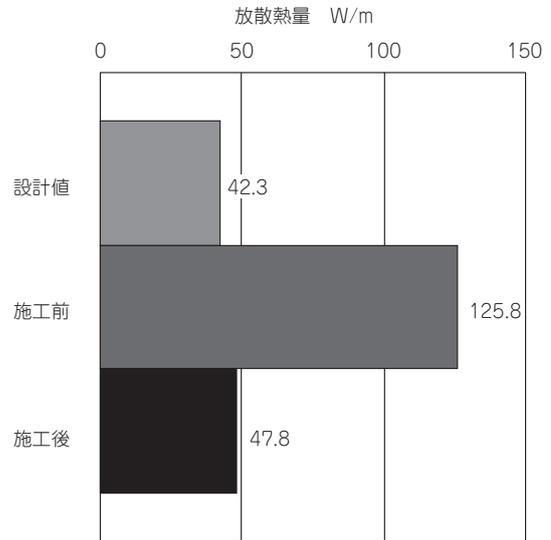


図5 施工前後の放散熱量比較

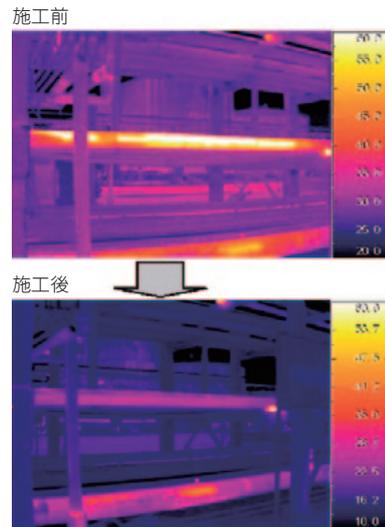


図6 施工前後の熱画像比較

測定結果の評価については、通常、設計値との比較により良否を判定する。また、設計値に対する劣化度合によりランク分けを行い評価基準としている。当社では、劣化度合が設計値の2倍以上の値を標準的な保温更新レベルとしている。

なお、サーモグラフィの測定では、測定時の内部温度、環境条件が設計時と異なるため、得

られたデータを設計値と比較できるように補正している。

このように、サーモグラフィにより放散熱量を数値化することで保温・保冷材の劣化診断が可能となるが、より正確な診断とするためには、前述の通り、使用時の注意点に留意し、外乱要因の排除に努めることが肝要である。

当社での主な診断事例は、次のとおりである。

- 省エネ対策（CUI保全対策）
  - 劣化調査～修繕提案（e'-AIM®工法・他）
- 予防保全1
  - 火力主要設備の夏季（冬季）重負荷前点検
- 予防保全2
  - 定点測定による経年調査／ガスリーク対策
- 劣化マップによる計画修繕提案
  - 大型診断（プラント全体、指定エリア）
- その他
  - 加熱炉など高温機器の劣化調査

### 3.2 非金属製伸縮継手の劣化診断

ここでは、プラント熱診断のもう一つの事例として、ベロー診断を紹介する。

非金属製伸縮継手TOMBO No.9999-NA「NAベローQ®」は、大口径配管ダクトの熱膨張、振動、圧力などによって生ずる伸縮変位移動および応力を吸収し、高強度、耐食・耐熱性に優れたフレキシブルジョイントとして各種プラント装置の配管ダクトに多数使用されている。

非金属製伸縮継手の構造例を図7に示す。

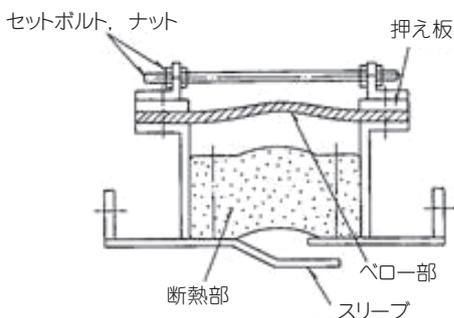


図7 非金属製伸縮継手の構造例

フランジなど金物部を除く部分の基本構造は、内部流体をシールするためのPTFE（四ふっ化エチレン樹脂）シートと補強用の耐熱クロスから

なるベロー部、および内部の熱からベロー部を保護する断熱ブランケットとそれを保護する耐熱クロスからなる断熱部で構成されている。

非金属製伸縮継手の耐用年数は一般的に約10年といわれるが、実際にはプラントの運転状況によりその寿命は変化する。

非金属製伸縮継手に求められる性能は内部流体のシールと配管・ダクトの変位を吸収することであるが、PTFEの連続使用耐熱温度は約260℃で、温度条件はシール材としての寿命を大きく左右する。また、260℃以下の使用条件でも運転状況、使用年数、設置条件などにより劣化度（余寿命）は大きく変化する。断熱材のずれや損傷によりヒートパスを生じるとベロー部は温度上昇により急速に強度低下する。

以下にベロー診断（非金属伸縮継手診断）の標準的なフローを示す。

- 1) 伸縮継手仕様、運転条件、運転履歴の調査
- 2) 運転時における非破壊検査
  - ①サーモグラフィによる表面温度測定
  - ②目視による表面損傷検査
  - ③触手による弾力性調査
  - ④面間寸法、変位量の測定調査
- 3) 劣化度のポイント化
- 4) 伸縮継手の総合評価
- 5) 伸縮継手取替時期の提案

ベロー診断は、サーモグラフィによる表面温度測定を行うことでベロー部が設計温度の許容値内に保持されているかの点検を行うほか、本体外層クロスの劣化度合い、設計伸縮量に対する面間寸法、変位量の点検などを行い、総合的に劣化度評価を行っている。ベロー部表面温度の測定例を図8、9に示す。

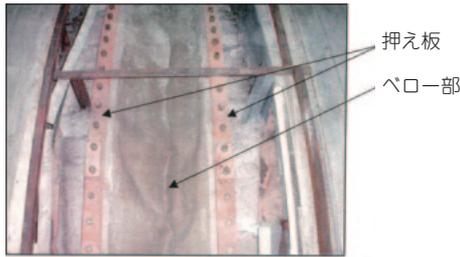


図8 実画像

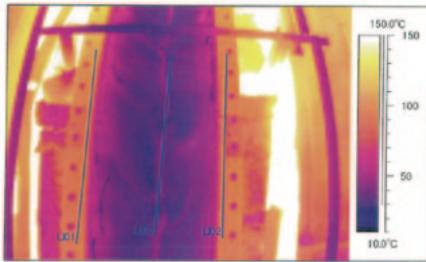


図9 熱画像

なお、これら劣化度の評価基準は、過去の伸縮継手取替工事にて採取した資料（使用済み基材）を随時調査し、その残留引張強度などのデータベースをもとに設定しており、運転状況、使用年数、設置条件なども考慮した上で、最終的な取り替え時期を推奨している。

#### 4. おわりに

近年、環境問題から「エコ」がキーワードとなり産業や業務のさまざまな局面で省エネ対策が求められてきた。さらに東日本大震災の影響による電力供給の問題により、電力使用量の削減が依然として大きな課題となっている。保温・保冷は熱損失を極力抑えるためのものであり、これらを健全に保つことはエネルギーの効率的な利用のために不可欠である。

本稿を参考に、サーモグラフィを用いた保温・保冷材の劣化診断に関する理解を少しでも深めていただき、メンテナンスのお役に立てていただければ幸いである。

- \* 本稿は、省エネルギー誌（2011年10月号）掲載の「熱性能の診断方法」の内容を引用し、加筆修正したものです。
- \* TOMBOはニチアス(株)の登録商標または商標です。
- \* e-AIM, 増し保温はニチアス(株)の登録商標です。
- \* ペロー-Qはニチアス(株)の登録商標です。
- \* パイロジェルはaspen aerogels社の商標です。
- \* 本稿の測定値は参考値であり、保証値ではありません。

#### 筆者紹介



#### 楯原啓太

基幹産業事業本部 工事業業部  
工事技術部 環境対策課

〈技術レポート〉

# (寄稿) 屋外配管の外面腐食診断法について

中部電力株式会社 電力技術研究所 金 森 道 人\*  
中部電力株式会社 碧南火力発電所 高 須 英 明\*

\* 中部電力(株)火力部建設G

## 1. はじめに

火力発電所では、各種設備、配管などの不具合を未然に防止し、発電設備の停止を回避して電力の安定供給を行うこと、および薬剤の漏えいなど社会的影響があるトラブルを起こさないことが重要である。このため、さまざまな点検、診断、修繕が施され、設備の健全性維持に努めているが、設備の老朽化に伴う劣化、腐食による不具合事象を事前に発見することは難しい。

平成21～22年度の当社火力発電所の配管トラブル状況を調査した結果、その半数が屋外配管の保温材への雨水浸入を主因とする外面腐食トラブルであった(図1, 2)。



図1 屋外配管の外面腐食

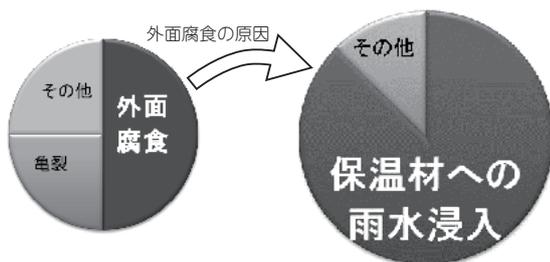


図2 配管トラブル状況と外面腐食の原因

火力発電所1基あたり総延長数kmにおよぶ配管すべての保温材の解体は、膨大なコストと時間がかかることから、これまで、目視点検で雨水浸入が疑われた一部の保温材を解体していた。しかし、外装板と保温材で覆われた屋外配管は、腐食原因となる雨水浸入箇所を的確に発見することは難しく、その対策が望まれていた。

そこで、当社はニチアス株式会社基幹産業事業本部殿の協力を得て、中性子水分計を利用した雨水浸入箇所の探索方法について検討した。

## 2. 中性子水分計の基本特性

図3に屋外配管の断面からみた水分測定イメージを示す。中性子水分計は、中性子線源(カリホルニウム)から高速中性子が照射される。高速中性子は、雨水の浸入により、保温材内部に溜った水(水素原子)と衝突を繰り返して、速度の遅い熱中性子に変化する。水分計の検出

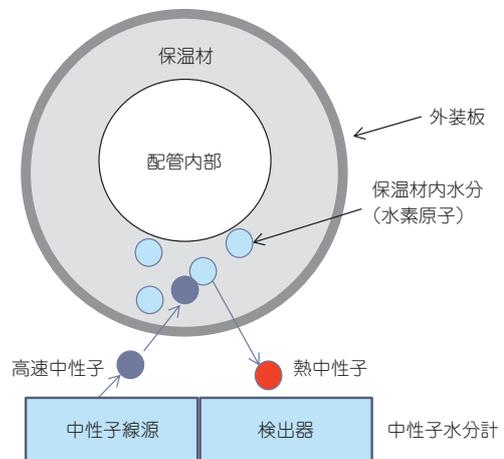


図3 中性子水分計の測定イメージ

器はこの変化した熱中性子数をカウントする。中性子は屋外配管の外装板などの鉄皮（金属）を透過する性質をもつため、外装板と保温材を付けた状態で保温材中の水分が検知できる。1か所あたりの測定時間は、数十秒と短時間であり、結果は、1分間あたりの熱中性子のカウント数（cpm）で表される。

屋外配管の診断の報告例は少なく、当社では、実機での精度や、有効性、信頼性が不明なため、利用されていなかった。

図4に当社発電所構内の実機配管での中性子水分計による測定の様子を示す。測定は、当社の2発電所、配管長約2kmを対象に1m間隔で、延べ1週間程度で実施した。



図4 水分測定の様子

保温材の含水率は、水分計測後、測定箇所の内、93か所を選定して外装板と保温材を解体し、保温材の重量、体積、および比重から算出した。

図5に測定結果と保温材の含水率の相関を示す。含水率が大きいほど、測定値は高くなる傾

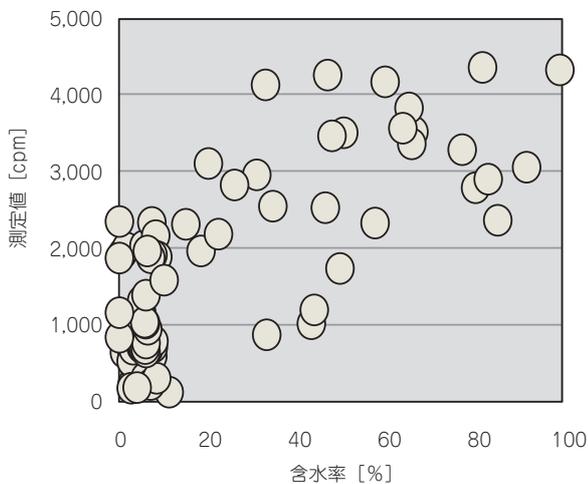


図5 実機の測定結果と保温材含水率

向は見られるものの、ばらつきが大きいことがわかった。例えば、2,000cpm前後の類似の測定値でも、含水率は0%の場合や50%以上の場合があり、測定結果から、直接、含水箇所を判定することは難しいことがわかった。

### 3. 含水判定の精度向上

実機の含水判定精度が悪いことから、模擬配管で、配管内部流体の影響や保温材の厚みの影響を試験評価した。

その結果、保温材の厚みが厚いほど、同じ含水率で測定値は大きくなり、厚みにほぼ比例していることがわかった。

また、配管内部が満水と無しの場合を比較すると、保温材の含水率によらず、内部流体分としてほぼ一定値が上乘せされることがわかった。しかし、実機では内部流体の有無や量は外観からは判別できない。そこで、配管の水平高さ、直線性、傾斜、曲りなどの外観情報を基に、同じ内部流体量が含まれる同一水平高さの配管部分をグループ化して、内部流体量の解析法を検討した。その結果、内部流体測定値（グループの最小値）を差し引くことで、保温材の含水が判別できることがわかった。（補正の考え方のイメージは図8参照）

これらの検討結果から、配管のサイズ、保温材の厚み、および外観情報を複合化したデータ解析プログラムを作成し、所定の閾値を設定して、「含水あり」と「なし」を判定した。図6に

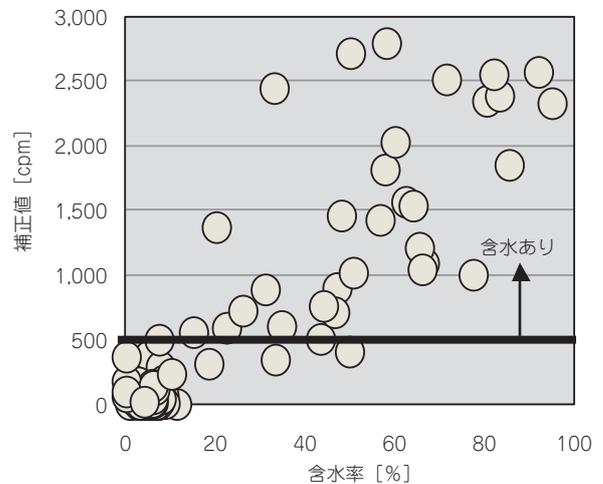


図6 水分計補正值と保温材含水率

補正結果と保温材の含水率の相関を示す。図5と比べて、特に低含水率の箇所が判別できることがわかる。

図7に外観点検と中性子測定法による保温材の含水箇所（含水率20%以上）の発見率を示す。当社の実機調査において、実際に保温材の含水箇所は、33箇所あった。この内、32箇所を判定プログラムで発見することができ、含水箇所の発見率は97%であった。一方、外観の目視点検では、33箇所中7箇所（21%）しか発見できなかった。なお、含水なしの判定は60箇所中、58箇所（97%）で的中した。

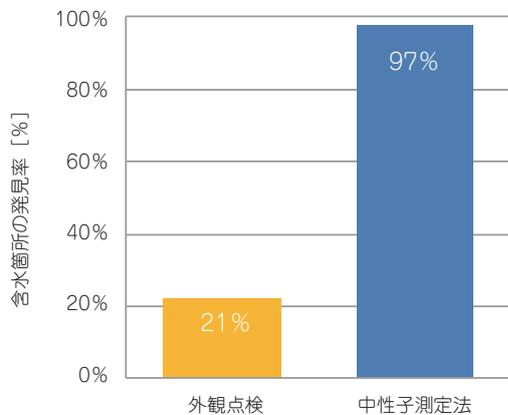


図7 含水箇所の発見率

以上の結果から、中性子水分計の測定値を補正することにより、雨水の浸入箇所を高い精度で発見できることを実機で実証した。

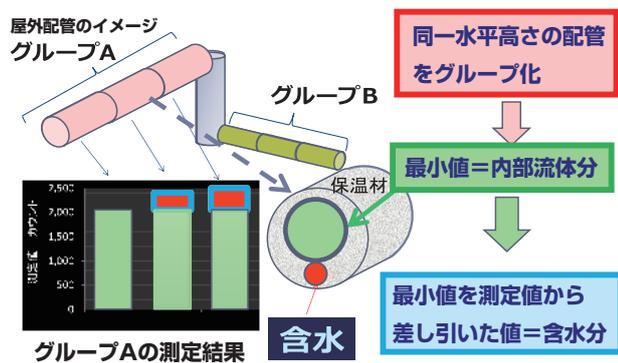


図8 内部流体補正のイメージ図

#### 4. まとめ

実機配管のサイズ、保温材の厚みなどの情報をデータベース化し、中性子測定法による含水箇所の判定精度を高めた雨水浸入診断プログラムを作成し、定点の継続管理が可能な屋外配管腐食診断手法を開発した。

平成22年9月に碧南火力発電所-3号機で、約2kmの屋外配管を対象に、開発した屋外配管腐食診断手法で診断を実施した。結果、含水箇所（保温材解体箇所）を128か所に絞り込み、計62か所で配管の腐食が見つかった。従来の外観点検で発見した17か所に加え、新しい診断法で45か所の腐食箇所を見出し、実運用での有効性が確認されている。また、本法は開発後、平成25年6月までに当社8発電所で、主に定期点検前の屋外配管の保温材解体箇所の絞り込みツールとして活用されている。

本研究の実施にあたってはニチアス株式会社にラボ、実機における水分測定、配管の腐食状況調査および診断プログラムの作成に際して、多大な協力をいただいた。関係者各位に感謝の意を表す。

#### 筆者紹介



**金森道人**

中部電力株式会社 電力技術研究所  
火力チーム



**高須英明**

中部電力株式会社 碧南火力発電所  
技術課

## 〈解説〉

# PC構造の防液堤を有したLNGタンク [PCLNGタンク]の保冷構造と施工

基幹産業事業本部 工事業業部 工事技術部 塚本 徹

## 1. はじめに

天然ガスはメタンを主成分とし、化石燃料の中で最もCO<sub>2</sub>の排出量が少ないエネルギー源として知られる。また、近年の技術革新によって非在来型天然ガスの採掘が可能になったことにより推定埋蔵量が増え、今後も安定した供給が期待されている。国内では、1990年代から石油からの代替が進み、工業用途を中心に天然ガスの需要が拡大してきたが、2011年の大震災以降は電力不足に対応する火力発電所の燃料としての重要性が増している。

こうした状況を背景に、現在国内ではLNG (Liquefied Natural Gas：液化天然ガス) の受け入れ、貯蔵設備の増設、新設が相次いでいる。LNGは、天然ガスを効率良く運搬、貯蔵を行うために液化したものであるが、流体温度は-162℃と極低温であり、LNG設備においてはこの極低温を保つために高度な保冷技術が用いられている。特にLNG貯槽（以降、LNGタンクと言う）では、大容量のLNGを効率良く安全に保管するため、特殊な保冷構造が要求される。

本稿では各種あるLNGタンクのうち、近年の新規建設におけるLNG地上式タンクの主流であるPC (Prestressed Concrete) LNGタンクの保冷構造について解説する。

## 2. PCLNGタンクの特徴

図1に示すように、従来の金属二重殻LNGタンクは、災害時に漏洩したLNGの拡散防止を目

的とした防液堤が、LNGタンクと独立して設置されていた。これに対しPCLNGタンクでは、従来の金属二重殻LNGタンクとPC (Prestressed Concrete) 構造の防液堤を一体化している点が大きな特徴である。

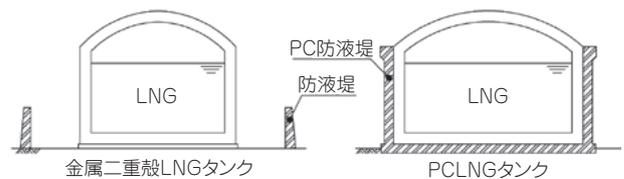


図1 金属二重殻LNGタンクとPCLNGタンク

PCLNGタンクでは、防液堤スペースを削減できることから、従来の金属二重殻LNGタンクと同じ敷地面積でタンクの大型化が可能とされている。このためPCLNGタンクの容量は、従来の金属二重殻LNGタンクから倍増して14万~18万kLのものが一般的となり、今後20万kL級のものも計画されている。18万kLクラスのPCLNGタンクでは、PC防液堤の直径が80mを超える巨大な構造物である（図2参照）。



図2 最新のPCLNGタンク（180,000kL）  
（中部電力㈱殿川越火力発電所）

### 3. PCLNG タンクの保冷構造

PCLNGタンクの基本構造を図3に、タンク底部および側部の保冷構造概略を図4に示す。PCLNGタンクは、円筒形のPC防液堤内面に設置される外槽側部ライナと外槽底部ライナ、およびドーム形状の外槽屋根板から成る金属製の外槽と、その内部にLNGを直接貯蔵する内槽側

板と内槽底板、および内槽屋根板から成る金属製の内槽を持ち、内槽と外槽による二重殻構造を形成している。

内槽と外槽の間にはLNGを $-162^{\circ}\text{C}$ に保ち、BOG (Boil Of Gas : 気化ガス) 発生量を低減させるための保冷層と、LNG漏洩時に基礎版およびPC防液堤を保護するための冷熱抵抗緩和部を有している。以下に各部保冷構造の詳細を述べる。

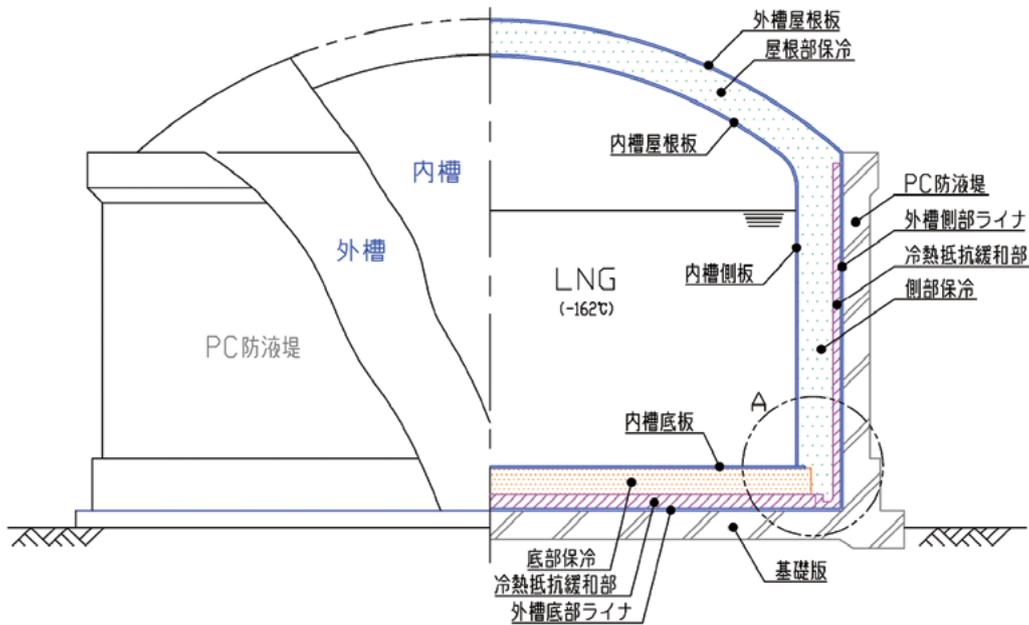


図3 PCLNGタンクの基本構造

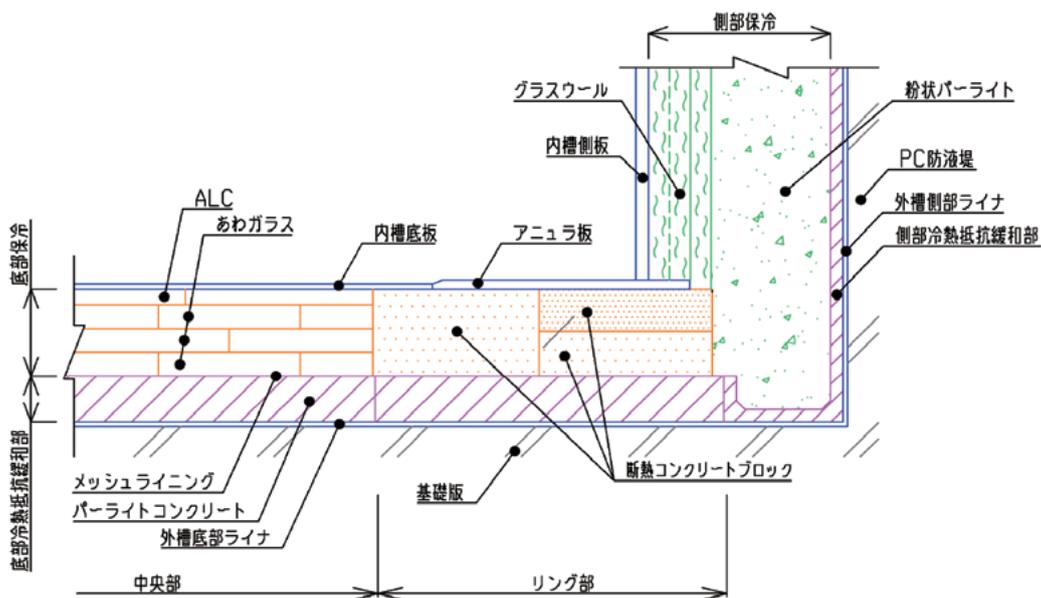


図4 底部・側部保冷構造概略 (図3 A部)

### 3.1 冷熱抵抗緩和部

冷熱抵抗緩和部は、外槽底部ライナと外槽側部ライナ表面に施工されるもので、内槽からLNGが漏液した場合に、基礎版およびPC防液堤をサーマルショックから保護することを目的とする。冷熱抵抗緩和部は、施工部位により以下の二種類に大別される。

#### 1) 底部冷熱抵抗緩和部

外槽底部ライナ表面に施工される範囲を底部冷熱抵抗緩和部と言う。従来の金属二重殻LNGタンクでは、当該箇所には底部保冷施工に先立ちレベルリング材として「パーライトコンクリート」が施工されていた。パーライトコンクリートとは、真珠岩を粉碎・焼成して製造される「粉状パーライト」を骨材とした断熱コンクリートである。

PCLNGタンクでは、LNG漏えい時のサーマルショックに対するひび割れ防止を目的として、パーライトコンクリート表面をガラスメッシュとウレタン樹脂接着剤から成る「メッシュライニング」にてライニングする。このパーライトコンクリートとメッシュライニングを合わせて底部冷熱抵抗緩和部と称している。また底部保冷の区分に合わせ、内槽底板のアンジュラ板下の範囲をリング部、それより内側の範囲を中央部と区分する。

パーライトコンクリートとメッシュライニングから成る底部冷熱抵抗緩和部の厚さは一般的に300mm程度である。底部冷熱抵抗緩和部に用いられるパーライトコンクリートの代表特性を表1に示す。パーライトコンクリートは、現地に専用ミキサープラントを設置し、セメント、粒状パーライト、混和材、水を混練し、打設される。

表1 パーライトコンクリート代表特性

施工部位	リング部	中央部
乾燥密度	900kg/m <sup>3</sup>	800kg/m <sup>3</sup>
圧縮強度	4MPa	3MPa
熱伝導率	0.23W/(m・K)	0.19W/(m・K)

注) 数値は、タンクメーカー、タンク容量によって異なる。

#### 2) 側部冷熱抵抗緩和部

外槽側部ライナ表面に施工されるもので、従

来の金属二重殻LNGタンクでは施工されない。一般にポリウレタンフォーム吹付または現地注入発泡によって施工される。また採用実績は少ないがポリウレタンフォームのパネル工法も存在する。厚さは一般に50mm程度である。

側部冷熱抵抗緩和部に用いられるポリウレタンフォームの代表特性を表2に示す。

表2 ポリウレタンフォーム代表特性

圧縮強度	0.29MPa
熱伝導率	0.023W/(m・K)

注) 数値は、タンクメーカー、タンク容量によって異なる。

### 3.2 底部保冷

底部冷熱抵抗緩和部の上部に施工される保冷層であり、厚さは一般に400~600mmである。底部保冷は施工部位によって二種類に区分される。

#### 1) 底部リング部

底部リング部とは、内槽側板直下、内槽底板のアンジュラ板下の範囲を言う。内槽の重量と地震荷重を支持する必要があるため、断熱性能をある程度犠牲にして強度を高めた「断熱コンクリートブロック」が施工される。図5に示すように、断熱コンクリートブロックは一般にアンジュラ板に沿って同心円状に2列配置される。円周方向のブロック配置ピッチは1m程度であり、18万kLクラスで各列240個前後配置される。

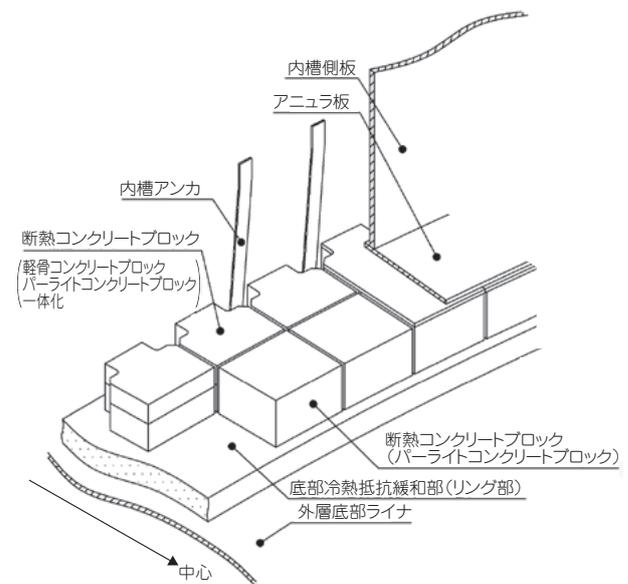


図5 底部リング部概略

各列の断熱コンクリートブロックの構造はそれぞれ異なり、大きな荷重を受けない内周側列には、粉状パーライトを骨材とした「パーライトコンクリートブロック」が用いられる。

一方、内槽側板直下の外周側列には、パーライトコンクリートブロックと、より強度を高めるため人工軽量骨材を骨材とした「軽骨コンクリートブロック」を一体化したものが用いられる。

断熱コンクリートブロックは工場製造品であり、現地施工開始前の半年～1年前から製造が開始される。荷重を支える重要な部材であるため、製造ラインから抜き取られた製品を用いて実体破壊試験を行い、耐荷重性能を確認した後に施工される。

表3に断熱コンクリートブロックの代表特性を示す。

表3 断熱コンクリートブロック代表特性

種 類	内周側列		外周側列	
	パーライト コンクリート	パーライト コンクリート	軽骨 コンクリート	軽骨 コンクリート
乾燥密度	800kg/m <sup>3</sup>	1000kg/m <sup>3</sup>	1600kg/m <sup>3</sup>	1600kg/m <sup>3</sup>
圧縮強度	3MPa	6MPa	40MPa	40MPa
熱伝導率	0.19W/(m・K)	0.26W/(m・K)	0.52W/(m・K)	0.52W/(m・K)

注) 数値は、タンクメーカー、タンク容量によって異なる。

## 2) 底部中央部

底部中央部とは、内槽底板のアニユラ板より内側の範囲を言い、主に液圧のみを受けるためリング部ほどの強度は要求されず、底部冷熱抵抗緩和部の上に断熱性能を優先した保冷材が施工される。PCLNGタンク導入初期は、円筒形のパーライトコンクリートブロックを配列し、空間に粉状パーライトを充填する構造が採用されたが、近年では、図6に示すような「あわガラス」

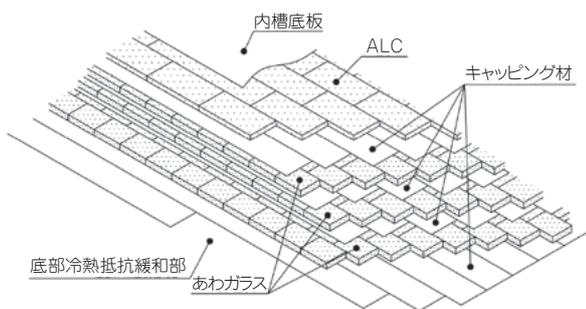


図6 底部中央部概略

を積層する構造が一般的となっている。

あわガラスは、溶融させたガラスを発泡剤によって発泡させた無機質のブロック状の断熱材である。欧米では住宅用断熱材として広く普及しているが、国内では製造されていないため輸入品に頼っている。

あわガラスの上にはALC（軽量気泡コンクリート）の板材が敷設される。あわガラスを保護し底部保冷上での作業を可能とする目的として敷設されるもので、国産の一般的な建築用として供されている板厚100mmのものが用いられている。

表4にあわガラスおよびALCの代表特性を示す。

表4 あわガラスおよびALC代表特性

種類	あわガラス	ALC
標準密度	160kg/m <sup>3</sup>	500kg/m <sup>3</sup>
圧縮強度	1.6MPa	3.9MPa
熱伝導率	0.047W/(m・K)	0.17W/(m・K)

注) 数値は、タンクメーカー、タンク容量によって異なる。

あわガラスの層間、あわガラスとALCの層間には、不陸調整のためのキャッピング材が敷設される。国内では一般にセラミックフェルトをペーパー状に加工したものが用いられ、当社製品では、TOMBO No.5130「ファインフレックス® 1300ペーパー」が多く採用されている。

## 3.3 側部保冷

外槽側ライナと内槽側板との間には約1100mmの空間があり、この空間全てが保冷層となる。外槽側部ライナには、前述の側部冷熱抵抗緩和部としてポリウレタンフォームが施工される。対面する内槽側板には、グラスウールが300～400mm程度取り付けられる。このグラスウールは、タンク稼動時の内槽の膨張収縮に伴う粉状パーライト（後述）の沈降と、粒状パーライトによる内槽への側圧を軽減することを主な目的として設置され、一般的なグラスウールよりも弾性の高い特殊品が使用される。

側部冷熱抵抗緩和部とグラスウール間の空間には粒状パーライトが充填され、側部の主たる保冷層を形成する。粉状パーライトは、前述の通り真珠岩を粉砕、焼成して製造されるもので、側部に充填されるものは、パーライトコンクリー

トに用いられるものと比較して軽量で断熱性能が高いものが用いられる。粒状パーライトの代表特性を表5に示す。

表5 粒状パーライト代表特性

圧密密度	48~80kg/m <sup>3</sup>
熱伝導率	0.044W/(m・K)

注) 数値は、タンクメーカーによって異なる。

粉状パーライトは他の保冷材と比較して圧倒的に使用量が多く、18万kLクラスで屋根部を含め15,000m<sup>3</sup>におよぶ。大型のLNGタンクでは輸送コストを削減するため、粉状パーライト製造用の焼成機を現地に設置して、現地にて粒状パーライトを製造する場合が多い(図7)。この場合、焼成機はタンクの側近に設置される。粒状パーライトは、製造後直ちにタンク屋根部まで輸送管を通して空気圧送され、屋根部に配置されたマンホールから連続的に充填される。この作業は24時間体制で行われる。従来の金属二重殻LNGタンクでは、粉状パーライト充填中にタンク側板にバイブレータを設置し加振していたが、PCLNGタンクではこれを行わず、運転開始から約一年後に粉状パーライトの沈降点検を行うのが一般的である。

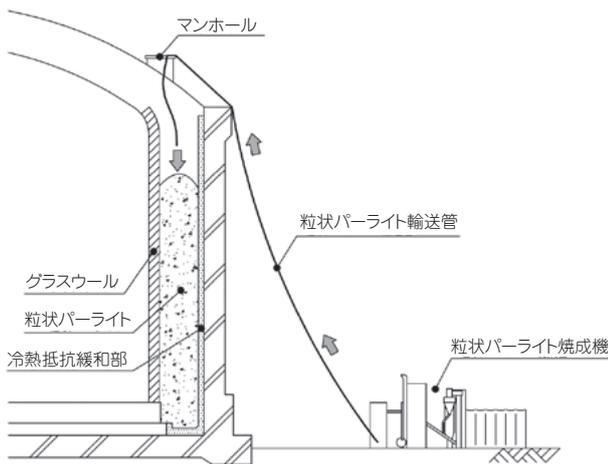


図7 側部粒状パーライト充填要領概略

### 3.4 屋根部保冷

外槽屋根板に設置されたノズル、マンホール類のタンク内部の保冷は、側部保冷の粒状パーライトの充填に先立ち実施される。併せてタンク外部のノズル類の保冷が行われる。

外槽屋根板と内槽屋根板との間には約900mmの空間があり、図8に示すように側部保冷と同様に粉状パーライトの充填を行う。

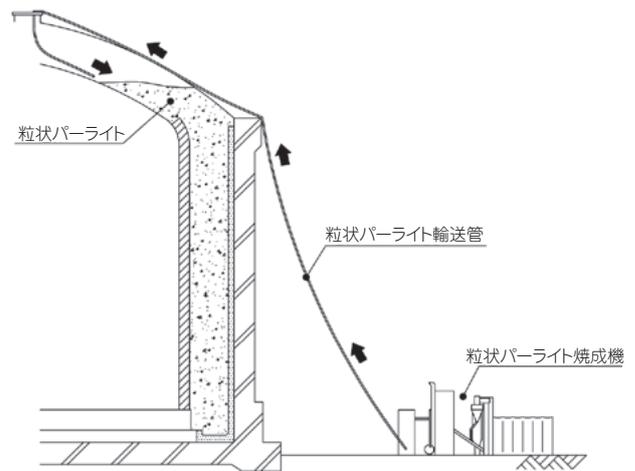


図8 屋根部粒状パーライト充填要領概略

屋根部保冷の完了を持って、PCLNGタンク全体の保冷工事が完了となる。上記に解説した各部位の施工は連続的に行われるのではなく、PCLNGタンク本体の建設期間中に断続的に行われ、現地保冷工事開始から完了まで一般的には2年前後、断熱コンクリートブロック製造を加えると3年前後を要するスパンの長い工事案件である。

#### 4. おわりに

当社は、LNG設備の配管や機器の保冷工事に、その主要材料である硬質ウレタンフォーム保冷材メーカーとしてだけでなく、保冷施工業者として古くから密接に関わってきた。LNGタンクに関しても、大型の地下式LNGタンクの施工実績を多く残しているが、近年では表6に示すように、本稿で紹介した地上式のPCLNGタンクに関しても施工実績を伸ばしており、現在も二つのサイトで建設工事に携わっている。

表6 当社のPCLNGタンク保冷施工実績

設備名称	運転開始	貯槽容量
岡山ガス(株)殿 築港工場	2003年	7,000KL×1基
北海道ガス(株)殿 函館みなと工場*	2006年	5,000KL×1基
台湾中油社殿 Northern LNG Receiving Terminal	2009年	160,000KL×3基
沖縄電力(株)殿 吉の浦火力発電所	2012年	140,000KL×2基
中部電力(株)殿 川越火力発電所	2013年	180,000KL×2基
JX日鉱日石エネルギー(株)殿 釧路LNG基地	建設中	10,000KL×1基
東北電力(株)殿 新仙台火力発電所	建設中	160,000KL×2基

\*側部冷熱抵抗緩和部（ポリウレタンフォームパネル工法）のみ

今後、シェールガス革命によって世界のエネルギー事情は大きく変わると言われており、国内も天然ガスへのシフトがさらに進んで行くと考えられる。当社は、今後も極低温保冷に関する高い技術力を持ってLNG事業に関わり、国内のエネルギー産業への貢献を果たして行く所存である。

\*TOMBOはニチアス(株)の登録商標または商標です。  
\*ファインフレックスはニチアス(株)の登録商標です。

#### 筆者紹介



#### 塚本 徹

基幹産業事業本部 工事業業部  
工事技術部 断熱技術課

---

## 「ニチアス技術時報」《2013 年度目次総録》

### 2013/1 号 通巻 No. 360

- 〈巻頭言〉 建材特集号発刊にあたって
- 〈News〉 エコラックス®の製造技術で平成24年度資源循環技術・システム表彰「経済産業省産業技術環境局長賞」を受賞しました
- 〈特別企画〉 建築物の安全・省エネ・快適性に貢献するニチアスの建材
- 〈解説〉 省エネルギー基準の変遷と今後の法制化の動き
- 〈製品紹介〉 住宅用ロックウール断熱材「ホームマット®」「ホームマット® NEO」  
けい酸カルシウム板 TOMBO No.6458「エコラックス®」  
化粧けい酸カルシウム板 TOMBO No.6462「アスラックス®」シリーズ  
巻き付け耐火被覆材 TOMBO No.5520「マキベエ®」  
芯材付繊維積層煙突ライニング材 TOMBO No.6491「カポスタック® スーパー」  
耐熱性ゾノトライト系煙突ライニング材 TOMBO No.6496「セラスタック®」  
ニチアスのフリーアクセスフロアシステム  
免震構造の耐火材 TOMBO No.5540「メンシンガード®」 TOMBO No.5550「メンシンメジ®」  
折板屋根用断熱材 TOMBO No.4513「スーパーフェルトン® II, III」

### 2013/2 号 通巻 No. 361

- 〈巻頭言〉 自動車部品特集号発刊にあたって
- 〈特別企画〉 環境にやさしく安全な車づくりに貢献する「音」「熱」「シール」部品
- 〈製品紹介〉 排出ガス規制の動向とニチアスの自動車部品
- 〈新製品紹介〉 触媒担体保持材 TOMBO No.5350「エコフレックス™ 高面圧品」  
高剛性軽量遮熱カバー TOMBO No.6600-PA「インサルカバー™ プロカール®」
- 〈技術紹介〉 Biot 理論（弾性多孔質振動伝搬理論）の自動車用防音材への応用
- 〈評価技術〉 自動車部品開発における当社評価技術
- 〈施設紹介〉 自動車部品テクニカルセンターの評価施設

### 2013/3 号 通巻 No. 362

- 〈巻頭言〉 半導体装置関連製品特集号発刊にあたって
- 〈特別企画〉 半導体製造設備で活躍するニチアス製品
- 〈技術レポート〉 FFKM のトリアジン架橋触媒に関する研究  
クリーン性評価の取り組み  
ふっ素樹脂の帯電と絶縁破壊事例
- 〈製品紹介〉 クリーン・導電性チューブ TOMBO No.9003「ナフロン® チューブ」
- 〈新製品紹介〉 ビードレス配管部品 TOMBO No.9023「ナフロン® 溶着チューブ」  
耐薬品性 FFKM TOMBO No.2675-A「プレイザー® Oリング-A」  
半導体・FPD 製造装置向け配管ヒーター TOMBO No.4500-PH-P「エネサーモ®-PH プレノヒータ®」  
分子状汚染物質除去 ケミカルフィルター TOMBO No.8803 ケミカルガード®

次号 2014/1 号 通巻 No. 364 は 2014 年 1 月発行予定です。

# ニチアス株式会社

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

## 【東日本地区】

札幌支店	TEL (011) 261-3506
苫小牧営業所	TEL (0144) 38-7550
仙台支店	TEL (022) 374-7141
福島営業所	TEL (0246) 38-6173
日立営業所	TEL (0294) 22-4321
鹿島支店	TEL (0479) 46-1313
前橋営業所	TEL (027) 224-3809
大宮営業所	TEL (048) 658-2112
千葉支店	TEL (0436) 21-6341
東京支社	TEL (03) 4413-1191
横浜支店	TEL (045) 508-2531
山梨営業所	TEL (055) 260-6780
新潟営業所	TEL (025) 247-7710

## 【中部地区】

富山営業所	TEL (076) 424-2688
若狭支店	TEL (0770) 24-2474
静岡支店	TEL (054) 283-7321
浜松営業所	TEL (053) 450-2200
名古屋支社	TEL (052) 611-9200
豊田支店	TEL (0565) 28-0519
四日市支店	TEL (059) 347-6230

## 【西日本地区】

京滋支店	TEL (0749) 26-0618
大阪支社	TEL (06) 6252-1371
堺営業所	TEL (072) 225-5801
姫路支店	TEL (0792) 89-3241
岡山支店	TEL (086) 424-8011
広島支店	TEL (082) 506-2202
宇部営業所	TEL (0836) 21-0111
徳山支店	TEL (0834) 31-4411
四国営業所	TEL (0897) 34-6111
北九州営業所	TEL (093) 621-8820
九州支社	TEL (092) 739-3639
長崎支店	TEL (095) 801-8722
大分営業所	TEL (097) 551-0237
熊本支店	TEL (096) 292-4035
鹿児島営業所	TEL (099) 257-8769

## 本社 〒104-8555 東京都中央区八丁堀1-6-1

・基幹産業事業本部	TEL (03) 4413-1121
工事業業部	TEL (03) 4413-1124
基幹製品事業部	TEL (03) 4413-1123
プラント営業部	TEL (03) 4413-1126
・工業製品事業本部	TEL (03) 4413-1131
海外営業部	TEL (03) 4413-1132
・高機能製品事業本部	TEL (03) 4413-1141
・自動車部品事業本部	TEL (03) 4413-1151
海外営業課	TEL (03) 4413-1155
・建材事業本部	TEL (03) 4413-1161
設計開発課	TEL (03) 4413-1162

## 研究所

・浜松   ・鶴見

## 工場

・鶴見   ・王寺   ・羽島   ・袋井   ・結城

## 海外拠点

・インドネシア   ・マレーシア   ・シンガポール   ・ベトナム  
・タイ   ・中国   ・インド   ・カタール   ・チェコ   ・メキシコ