

200826002B

厚生労働科学研究費補助金

労働安全衛生総合研究事業

非石綿ガスケットの高温密封性能の評価と試験方法の開発

平成18年度～20年度 総合研究報告書

研究代表者 辻 裕一

平成21(2009)年 4月

目 次

I. 総合研究報告	
非石綿ガスケットの高温密封性能の評価と試験方法の開発	1
辻 裕一	
II. 研究成果の刊行に関する一覧表	10
III. 研究成果の刊行物・別刷	13

厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）
総合研究報告書

非石綿ガスケットの高温密封性能の評価と試験方法の開発

研究者代表者 辻 裕一 東京電機大学工学部教授

研究要旨 本研究は、非石綿ガスケットへの代替化促進のため、プラント運転時の高温における長期間のガスケットの性能・品質に関する信頼性データの収集・提供を目的とする。ガスケット高温密封性能試験方法の開発を行い、試験方法規格原案を作成し規格制定手続きを進めた。試験シーケンスが、常温における組立て/高温でのガスケットのエージングおよび外乱/シャットダウンという実際のプラント運転状況を想定しているところに特徴がある。試験方法原案に基づき各種の高温用非石綿シートガスケットの120℃、180℃、260℃における高温密封性能データを系統的に収集した。非石綿ガスケットの寿命予測に関しては、非石綿ガスケットの3次元粘弾性モデルから求めたクリープ特性式を非線形有限要素解析モデルに適用することにより、ガスケットの寿命を予測できる可能性を示した。また、ガスケットの接面に発生するボイドの成長の観察結果に基づき、パーコレーション理論を接面漏洩特性の評価に適用することによりガスケットの高温寿命を予測できることを示した。

分担研究者氏名・所属機関名及び所属機関における職名

本田 尚・独立行政法人労働安全衛生総合研究所・産業安全研究所上席研究員

A. 研究目的

各種プラントの配管継手や機器フランジに多用されているガスケットは、高温でのアプリケーションに関して代替化が困難との理由から石綿含有製品製造等の禁止の対象から除外されていた。現時点では代替化の可能性や代替可能な時期が特定され、代替製品によるガスケットの完全非石綿化は最終段階にある。非石綿ガスケットは、プラント運転時における高温環境下での性能および品質の評価が統一されておらず、石綿ガスケットの代替化の障害となっていた。非石綿ガスケットへの代替化促進の鍵は、プラント運転時の高温における長期間のガスケットの性能・品質に関する信頼性データの収集・提供である。

本研究では、標準的な高温ガスケット密封性能試験法の開発・規格化を進める。高温密封性能試験結果を利用し、非石綿ガス

ケットを用いたフランジ継手からの微小漏洩管理を目標に、最適なガスケット係数の表示方法を非線形有限要素解析に基づき検討する。この成果に基づき、非石綿ガスケットの設計係数の決定、代替品選択のための指針の提供を中立研究機関の立場から行う。さらに、統一的試験基準に基づく指針が提供されれば、ガスケットメーカーにとっても性能目標となり、非石綿製品の開発を促す効果が期待される。

B. 研究方法

本研究は平成18年度～20年度の3年計画で、東京電機大学、および独立行政法人労働安全衛生総合研究所で実施する。

まず東京電機大学では、高温ガスケット密封性能試験方法としてJIS B 2490 ガスケット試験法を高温に拡張した試験方法を開発し、日本高圧力技術協会規格として原案を作成し、さらに規格制定手続きを進める。図1に高温ガスケット試験方法のガスケット締付圧の負荷シーケンスを示す。常温における組立て/高温でのガスケットのエージングおよび外乱/シャットダウンと

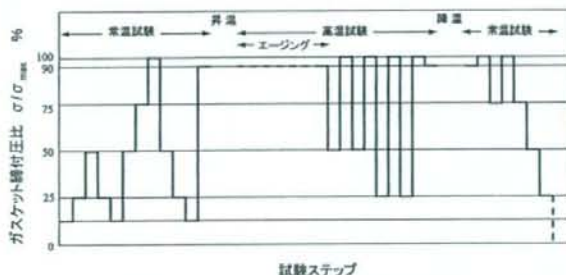


図1 ガasketの負荷シーケンス

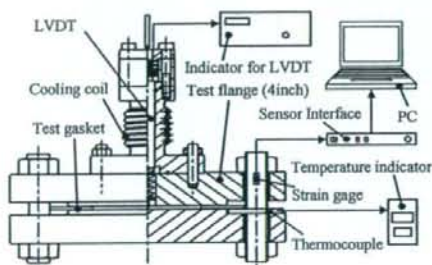


図2 ガasketクリープ試験装置

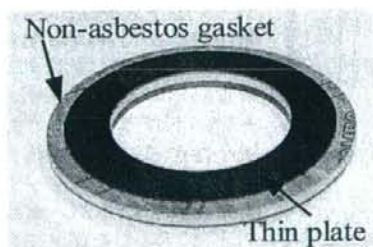


図3 非石綿ガasket/薄板試験体

いう実際のプラント運転状況を想定しているところに特徴がある。

外乱の条件設定等に関して検討を行い、試験シーケンスを確定させる。高温ガasket試験では、常温特性をROTT (pre-ROTT)、高温特性をHOTTにより評価し、その後、常温に戻し再度ROTT (post-ROTT)を行う。負荷シーケンスの前半のpre-ROTTは、HPISガasket試験法のシーケンスに相当する。ガasketを常温状態でPre-ROTTに従って負荷する。その後、ガasketを試験温度まで昇温さ

せ、試験内圧一定で90時間以上放置(エージング)する。エージング終了後、高温のまま外乱に相当する50%及び25%の2段階のガasket締付圧比の除荷・負荷過程を各2回繰り返す。最後にガasket温度を常温に戻し、除荷過程Post-ROTTを行う。高温でのエージング前後の密封性能の変化を常温試験結果の比較により確認できる。

本試験方法に基づき、代替化に課題が多く残されているジョイントシートガasketに関して、ガasketメーカー各社の代表的な高温用非石綿シートガasketの試験を数段階の試験ガasket温度において実施して高温密封性能データを系統的に収集する。

産業安全研究所では、高温下における非石綿ガasketの寿命予測を目的に、常温・高温クリープ特性を3次元粘弾性モデルにより評価し、その有用性について検討する。非石綿ジョイントシートガasketの寿命予測を目的として、1) 非石綿ジョイントシートガasketの常温・高温クリープの評価、2) 非石綿ジョイントシートガasketの高温接面漏洩特性の評価を行なう。1) に関しては、図2に示す4 inchフランジを用いて実施するクリープ試験により得られたガasketのクリープ挙動を3次元粘弾性モデル及び非線形有限要素解析を用いて評価する。さらに、非石綿ガasketの設計係数を決定するための非線形有限要素解析モデルを作成する。フランジ継手中でガasketを長時間使用する場合に、ガasketのクリープ/リラクゼーションによりボルト軸力が低下し、内部流体漏につながることに寿命を評価する。2) に関しては、超音波映像装置(SAT)を使用し、2 inchフランジ試験体におけるガasketとフランジの接触状態を観察する。図3にSAT観察用のガasket/薄板試験体を示す。この試験体を2 inchフランジに挟んで締付圧を与え、180℃の高温環境で曝露させる。非石綿ガasket接面に発生するボ

表1 試験ガスケットと試験温度の一覧

ガスケット型式/メーカー	材質	試験ガスケット温度		
		120℃	180℃	260℃
シートガスケット (A社製)	主に黒鉛とPTFEからなり、耐熱性・耐薬品性に優れる	◎	◎	◎
ジョイントシートガスケット (B社製)	膨張黒鉛を主材料にアラミド繊維で補強	◎	◎	◎
ジョイントシートガスケット (C社製)	膨張黒鉛を主体にアラミド繊維で補強 バインダーに耐油性合成ゴムを使用	◎	◎	◎
シートガスケット (D社製)	延伸PTFE、強度と柔軟性に優れる	—	◎	—

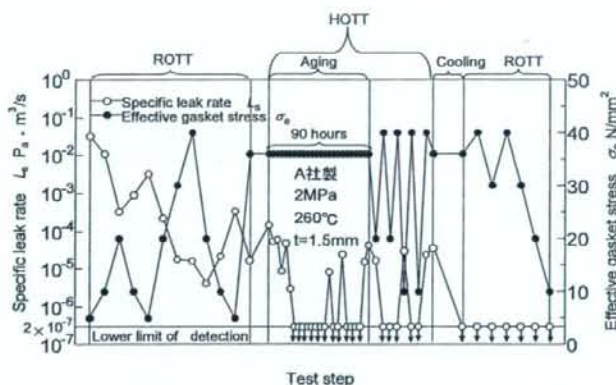


図4 試験ステップ - 基本漏れ量 L_s , 有効締付圧 σ_e
(A社製シートガスケット, 260℃,)

イドの成長を明らかにし、パーコレーション理論に基づきガスケットの高温寿命の予測方法を提案する。

(倫理面への配慮)

本研究の実施によって、生体及び環境へ影響を及ぼすことは無いので、倫理面への問題は無いと考える。

C. 研究結果

1: 高温ガスケット密封性能試験法の検討・試験法の規格化

開発してきた高温ガスケット試験方法は、日本高圧力技術協会規格 HPIS Z 105「高温における管フランジ用ガスケットの密封特

性試験方法」として制定手続きが進められている。

HPIS Z 105 原案のガスケット高温密封性能試験方法に基づき、高温用非石綿シートガスケットの 120℃, 180℃, 260℃における高温密封性能データを系統的に収集した。表1に試験ガスケットと試験温度の一覧を示す。最高使用温度が 260℃以上の高温用非石綿シートガスケットを国内のガスケットメーカー 4 社の製品から選び、供試ガスケットとした。D 社のガスケットのみ最高使用温度が 214℃である。試験ガスケットは呼び径が JPI 80A クラス 150 用であり、厚さ 1.5mm である。試験媒体はヘリウムガスである。

平成 18 年当時に石綿代替化が困難と判断されポジティブリストに掲載された製品の内、使用箇所が最も多い製品は、100℃を超えて使用されている石綿ジョイントシートガスケットである。様々なタイプの非石綿ジョイントシートガスケットが開発されているが、使用実績が十分でないこと、100℃を超えての使用は 1 年以内の交換が推奨されているなど現時点でも完全に代替化が可能とはいえない状況である。

図4にA社製シートガスケットを用いた HPIS 高温ガスケット試験の結果を縦軸に基本漏れ量を対数として、横軸に時間経過 (Test step) として示す。ROTT における漏洩レベルは標準的な密封性能を示している。規格案に従い 2 回の繰返し試験により漏洩レベルの再現性も確認している。プラント運転時の外乱を想定したガスケット応力の除荷過程では漏れ量には大きな変化が見られず 10^{-4} Pa·m³/s 未満の密封性能が保たれている。エージング中及び外乱において

も基本漏れ量が石鹸膜流量計の測定限界 $2 \times 10^{-7} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下になる場合があった。post-ROTT では、漏れ量が全て石鹸膜流量計の測定限界以下となっており、高温でのエージングによる密封性能の劣化は認められない。

2: ガasketの非線形有限要素解析・ガasket係数の指針化

図5に非石綿ジョイントシートガasketの圧縮クリープ試験の試験結果（常温部分）を示す。常温クリープに関しては、締付完了後のひずみ 0.022 が時間の経過に従い増加し90時間後に0.03となった一方で、ガasket応力は38 MPaから34MPaに減少した。同様に180℃における500時間の高温クリープ特性を得ている。

上記の結果から得られる非石綿ガasketのクリープ特性を有限要素モデルに適用した。解析コードはABAQUSである。試験装置の1/16モデルを8節点6面体要素で、要素数8189、節点数10475に分割した。解析ステップは2段階から成り、最初のステップでは、ボルト荷重としてガasketが目標締付け圧に到達する荷重を与え、次のステップでは、最初のステップ終了時でボルトの変位を固定し90時間経過させた。3次元粘弾性モデル及び有限要素解析により求められたガasketのクリープ挙動を比較した。また、ガasketの高温クリープ特性を3次元粘弾性モデルで評価すると、一定のひずみに収束する粘弾性成分と時間の経過とともに増加する体積変化成分に分離することができた。

非石綿ジョイントシートガasketの高温接面漏洩特性の評価に関しては、図6に高温曝露されたガasket試験体についてSATで得られたガasket接面の極性強調画像を示すが、時間経過に伴いガasket接面が分離していることを示す黒色の領域が増加していることが明らかになった。すなわちガasketは高温に曝されることでポイドを形成すると考えられる。また、このポイドはガasketの外径近傍で多く観察され、ガasketの内径近傍では少ない。

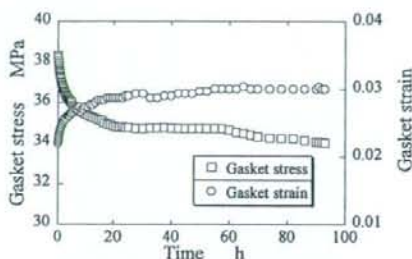
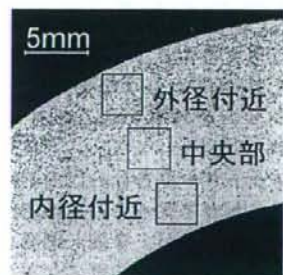


図5 常温クリープ試験結果



(a) 24時間後



(b) 48時間後



(c) 96時間後

図6 非石綿ジョイントシートガasket接面のSATによる観察結果

D. 考察

1: 高温ガスケット密封性能試験法の検討・試験法の規格化

本研究で取り上げた試験ガスケットと試験温度の組合せの全条件において、エージング/外乱/post-ROTT において 10^{-4} Pa・m³/s 未満の密封性能が保たれている。これは、実プラントの検査で実施されている気密試験を合格できる性能である。

図3にC社製非石綿ジョイントシートガスケットの120℃および260℃における高温ガスケット試験後のガスケットの写真を示す。260℃試験後のガスケット内外径の変化が特に大きい。試験後にガスケット厚さが減少しており、エージング中に時間経過に伴いガスケット厚さの減少の進行が認められた。高温ガスケット試験結果からは密封性能の低下は認められなかったが、フランジ継手中で高温環境においてガスケットが長期使用される場合には、ガスケットのクリープ/リラクゼーションによるガスケット締付圧の低下が漏洩事故に結びつく恐れがあるため注意が必要である。フランジ設計に使用するガスケット係数に、本研究で求めた粘性率のようなクリープ/リラクゼーションを考慮できる粘性係数を加えるのがよい。

ガスケットメーカー各社の代表的な高温用非石綿シートガスケットの高温密封性能を系統的に収集したが、今後、開発される新しい形式・材質の非石綿ガスケットの高温ガスケット試験を実施するにあたり、ガスケットの高温変形挙動も把握して、高温密封性能のデータベースを充実させていく必要がある。

2: ガスケットの非線形有限要素解析・ガスケット係数の指針化

1) 非石綿ジョイントシートガスケットの常温・高温クリープの評価

図7に本研究で使用した3次元粘弾性モデルを示す。非石綿ジョイントシートガスケットの常温クリープ試験結果に対し、3次元粘弾性モデルを適用し、体積弾性率 K_g 、ヤング率 E_g 、粘性率 μ_g を決定した。ここ

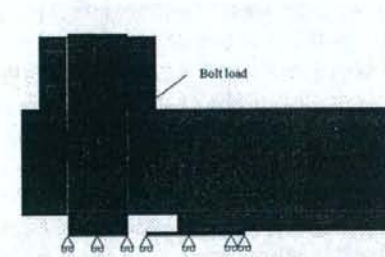
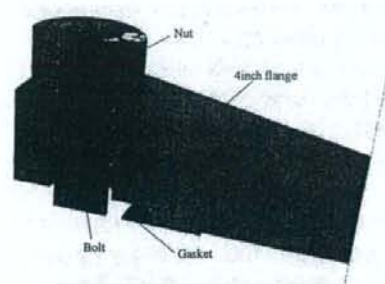
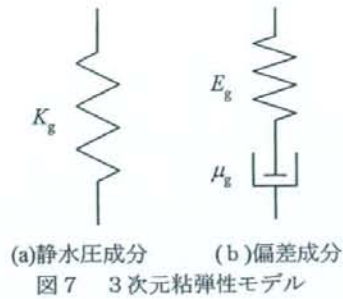
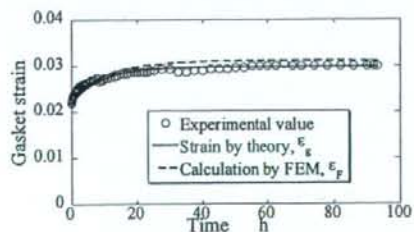


図8 有限要素解析モデル



で図5に示すガスケット応力を最小二乗近似しとて、以下の式が得られた。

$$\sigma_g = -34.37 - 3.86 \exp(-0.113 \cdot t) \quad (1)$$

K , μ , E 及び式(1)で求められた値を以下の式に代入することで、非石綿ガスケットのクリープ特性を表すことができる。

$$\varepsilon_g = \frac{-\sigma_g}{K} \left[1 - \frac{2}{3K E + 2} \exp\left(\frac{-3K}{3K(\mu E) + 2\mu} t\right) \right] \quad (2)$$

式(2)として与えられるクリープ特性を図8に示す非線形有限要素モデルに適用した。図9に3次元粘弾性モデル及び非線形有限要素解析により求められたガスケットのクリープ挙動を示す。3次元粘弾性モデルにより求められたガスケットのクリープ挙動と非線形有限要素解析によるものを比較するとよく一致し、試験結果ともよく一致する。3次元粘弾性モデルでガスケットのクリープ挙動を評価することは妥当である。図10に非線形有限要素解析により求められたガスケットの縮付圧の挙動を示す。縮付圧は時間とともに減少していることから、内部流体の漏洩の可能性が増すと見える。ガスケットの寿命を内部流体の漏洩と定義すれば、縮付圧の低下から非石綿ガスケットの寿命予測が可能である。フランジ設計に使用するガスケット係数に、本研究で求めた粘性率のようなクリープ/リラクゼーションを考慮できる粘性係数を加えるのがよい。

2) 非石綿ジョイントシートガスケットの高温接面漏洩特性の評価

つながりに支配される物理現象に適用されるパーコレーション理論をガスケットの漏洩特性の評価に適用する。二次元の連続系における臨界浸透面積率は $p_c = 0.42$ とされている。すなわち、ガスケットの接面漏洩を連続系のパーコレーションと見なすと、ポイドがランダムに生じる場合に、ポイドの存在する面積の割合が42%に達するとポイドが無限に大きなクラスターを形成し、漏洩パスが形成される。この状態をガスケットの寿命と考えることができる。そこで、ガスケットの外径近傍、

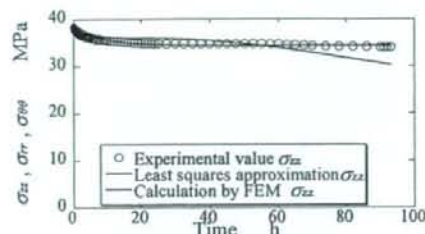


図10 ガスケットの縮付圧

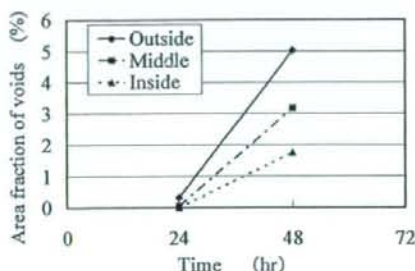


図11 ポイドの面積率と高温曝露時間の関係

ガスケットの内径と外径の中央部、ガスケットの外径近傍に対して、SATの極性強調画像の画像処理により8連結以上の画素をポイドとして面積分率を求めた。

図11にポイドの面積分率と時間の関係を示す。各領域において、時間経過に応じてポイドの面積分率が増加している。ポイドの面積分率の増加率は、ガスケット外径近傍で最も大きく0.196%/hrであり、ガスケット内径近傍で最も小さく0.073%/hrである。パーコレーションモデルから予測される漏洩パスの形成には、ポイドの面積分率の最も小さい領域を考慮すればよい。非石綿ジョイントシートガスケットの180℃における高温寿命は、ガスケットの内径近傍の面積分率の増加率からポイドの面積分率が42%に達するまでの時間を外挿により求めることにより、575時間と推定される。

E. 結論

非石棉ガスケットへの代替化促進のため、プラント運転時の高温における長期間のガスケットの性能・品質に関する信頼性データの収集・提供するための研究を実施し、以下の結論を得た。

JIS ガスケット試験法を拡張した高温ガスケット試験法 (HPIS 高温ガスケット試験法) を開発し、規格原案に基づき規格制定手続きを進めた。ガスケットメーカ各社の代表的な高温用非石棉シートガスケットの高温密封性能試験を数段階の試験ガスケット温度において実施して高温密封性能データを系統的に収集した。

非石棉ジョイントシートガスケットの常温・高温クリープ挙動を実験的に明らかにし、ガスケットのクリープ挙動を3次元粘弾性モデルにより精度よく評価した。また、3次元粘弾性モデルにより得られたひずみ-時間関係を用いて有限要素解析を行うことで、ガスケットの寿命を予測できる可能性を示した。フランジ設計に使用するガスケット係数に、本研究で求めた粘性率のようなクリープ/リラクゼーションを考慮できる粘性係数を加えるのがよい。

高温環境下におかれたフランジと非石棉ジョイントシートガスケットの接面には、ポイドが形成され成長することが確認され、ポイドの面積分率の増加率を求めた。この知見に基づき、ガスケットの高温寿命が二次元の連続系のパーコレーションにおける臨界浸透面性分率から推定できることを示した。

F. 研究発表

1. 論文発表

山口篤志, 本田 尚, 辻 裕一: 非石棉シートガスケットの常温・高温シール性能の評価, 労働安全衛生研究, Vol.1, No.3, 197-203, 2008.

金田 忍, 辻 裕一: フランジ継手への塑性域締結の適用 - 内圧作用時のボルト軸力の挙動 -, 圧力技術, Vol.46, No.6, 370-377,

2008.

金田 忍, 辻 裕一: フランジ継手への塑性域締結の適用によるボルトの小径化, 日本機械学会論文集 A 編, Vol.74, No.742, 909-914, 2008.

辻 裕一: 新規制定された JIS B 2251 「フランジ継手締付け方法」, パルプ技報, Vol.23, No.2, 138-145, 2008.

金田 忍, 辻 裕一: フランジ継手への塑性域締結の適用, 圧力技術, Vol.45 No.5, 264-271, 2007.

辻 裕一: フランジ継手の設計・施工法の最適化とガスケットの石綿代替化の取組み, 配管技術, Vol.49, No.8, 53-59, 2007.

Toshiyuki Sawa, Satoshi Nagata, Hirokazu Tsuji: New Development in Studies on the Characteristics of Bolted Pipe Flange Connections in JPVRC, Transaction of the ASME - Journal of Pressure Vessel Technology, Vol. 128, 103-108, 2006.

2. 学会発表

H. Tsuji, Y. Terui: Application of Bolted Flange Joint Assembly Guidelines HPIS Z103 TR to ePTFE Sheet Gasket, Proc. ASME PVP 2008 Conference, PVP2008-61328 [1-7], 2008.

S. Kaneda, H. Tsuji: Application of Plastic Region Tightening Bolt to Flange Joint Assembly (Downsizing of Flange Joint and Behavior of Bolt Force under Internal Pressure), Proc. ASME PVP 2008 Conference, PVP2008-61454 [1-7], 2008.

A. Yamaguchi, H. Tsuji: Evaluation of Creep Properties of Nonasbestos Joint Sheet Gasket at Elevated Temperature by Three-dimensional Viscoelasticity Model, Proc. ASME PVP 2008 Conference, PVP2008-61468 [1-6], 2008.

金田 忍, 辻 裕一: 塑性域締付けされた大口径フランジ継手の挙動, 日本高圧力技術協会, 平成20年度秋季講演会・講演概要集, 22-23, 2008.

萩原正洋, 山口篤志, 辻 裕一, 本田 尚: 非石綿ジョイントシートガスケットの高温寿命評価方法の検討, 山梨講演会講演論文集, No.080-4, 141-142, 2008.

長谷川 聡, 山口篤志, 本田 尚, 辻 裕一: フランジ継手用ガスケットの常温・高温下における漏洩量評価 (非石綿シートガスケットの J-EHOT 試験), 山梨講演会講演論文集, No.080-4, 143-144, 2008.

渡辺将広, 山口篤志, 本田 尚, 辻 裕一: フランジ継手用ガスケットの高温粘弾性特性の評価 (常温におけるボルト軸力を考慮した場合), 山梨講演会講演論文集, No.080-4, 145-146, 2008.

清水良保, 金田 忍, 辻 裕一: フランジ継手への塑性域締結の適用 (大口径フランジ継手の締付け), 山梨講演会講演論文集, No.080-4, 153-154, 2008.

永田 聡, 金田 忍, 辻 裕一, 澤 俊行: 管フランジ継手用ボルトの塑性域締結シミュレーション, 山梨講演会講演論文集, No.080-4, 155-156, 2008.

照井雄貴, 辻 裕一: JIS フランジ継手締付け方法の適用範囲拡大 (延伸 PTFE ガスケットへの適用), M&M2008 材料力学カンファレンス講演論文集 (CD-ROM), No.08-06, OS0503, 2008.

金田 忍, 清水良保, 辻 裕一: フランジ継手への塑性域締結の適用—大口径フランジ継手の場合, M&M2008 材料力学カンファレンス講演論文集 (CD-ROM), No.08-06, OS0504, 2008.

山口篤志, 本田 尚, 辻 裕一: 3次元粘弾性モデルによるガスケットのクリープ/リラクゼーション特性の評価, M&M2008 材料力学カンファレンス講演論文集 (CD-ROM), No.08-06, OS0505, 2008.

辻 裕一, 萩原正洋, 山口篤志, 本田 尚: パーコレーション理論によるガスケットの高温接面漏洩特性の評価, M&M2008 材料力学カンファレンス講演論文集 (CD-ROM), No.08-06, OS0506, 2008.

辻 裕一, 本田 尚: 平成19年度労働安全重点研究推進シンポジウム抄録集: 非石綿ガスケット—高温密封性能の評価と試験方法の開発, 9-10, 2007.

S. Kaneda, H. Tsuji: Application of Plastic Region Tightening Bolt to Flange Joint Assembly: Behavior of Bolt Preload in Flange Joint Subjected to Internal Pressure, Proc. ASME PVP 2007/CREEP 8 Conference, PVP2007-26442 1-6, 2007.

照井雄貴, 辻 裕一: フランジ継手締付け指針の適用範囲拡大—延伸 PTFE ガスケットへの適用—, 山梨講演会講演論文集, No.070-4, 126-127, 2007.

山口篤志, 辻 裕一, 南雲克也: フランジ継手用ガスケットの高温粘弾性特性の評価, 山梨講演会講演論文集, No.070-4, 151-152, 2007.

長谷川 聡, 山口篤志, 辻 裕一: フランジ継手用ガスケットの常温・高温下における漏洩量評価 (延伸 PTFE ガスケットの J-HOTT 試験), 山梨講演会講演論文集, No.070-4, 153-154, 2007.

澤 俊行, 辻 裕一: ガスケット非石綿化に対応するためのフランジ継手設計法の検討, 日本高圧力技術協会, 平成19年度春季講演会・講演概要集, 32-33, 2007.

近内孝, 本田尚, 辻 裕一, 正司康雅: ミスアライメントを有するフランジ締結体のボルト締付けの FEM 解析 (HPIS フランジ締付け指針による場合), 山梨講演会講演論文集, No.070-4, 122-123, 2007.

山口篤志, 本田尚, 辻 裕一, 南雲克也: 3次元粘弾性モデルによるフランジ継手用ガスケットの高温クリープ特性の評価, 安全工学研究発表会講演予稿集, 195-198, 2007.

T. Kobayashi, H. Tsuji: Evaluation of Sealing Behavior of Gaskets Based on the Test Method HPIS Z104 Proposed in Japan, Proc. ASME PVP 2006/ICPVT 11 Conference, PVP2006-ICPVT-11-93512, 1-5, 2006.

S. Kaneda, H. Tsuji: Application of Plastic Region Tightening Bolt to Flange Joint Assembly, Proc. ASME PVP 2006/ICPVT 11 Conference, 2006, PVP2006-ICPVT11-93553, 1-7, 2006.

長谷川聡, 沖長徹, 中島聡宏, 山口篤志, 齋藤暁洋, 辻 裕一: フランジ継手用ガスケットの常温・高温下における漏洩量評価 (J-EHOT 試験方法の提案), 山梨講演会講演論文集, No.060-4, 217-218, 2006.

澤 俊行, 辻 裕一: ガスケット非石綿化の動向と密封特性試験方法の検討, 日本高圧力技術協会, 平成18年度春季講演会・講演概要集, 32-33, 2006.

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

1. 特許取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし

研究成果の刊行に関する一覧表

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
山口篤志, 本田 尚, 辻 裕一	非石綿シートガスケット の常温・高温シール性能の 評価	労働安全衛生 研究	Vol.1, No.3	197-203	2008
金田 忍, 辻裕一	フランジ継手への塑性域 締結の適用 一内圧作用時 のボルト軸力の挙動一,	圧力技術	Vol.46, No.6	370-377	2008
金田 忍, 辻裕一	フランジ継手への塑性域 締結の適用によるボルト の小径化	日本機械学会 論文集A編	Vol.74, No.742	909-914	2008
辻 裕一	新規制定された JIS B 2251「フランジ継手締付 け方法」	バルブ技報	Vol.23, No.2	138-145	2008
H. Tsuji, Y. Terui	Application of Bolted Flange Joint Assembly Guidelines HPIS Z103 TR to ePTFE Sheet Gasket	Proc. ASME PVP 2008 Conference	PVP2008- 61328	1-7	2008
S. Kaneda, H. Tsuji	Application of Plastic Region Tightening Bolt to Flange Joint Assembly (Downsizing of Flange Joint and Behavior of Bolt Force under Internal Pressure)	Proc. ASME PVP 2008 Conference	PVP2008- 61454	1-7	2008
A. Yamaguchi, H. Tsuji	Evaluation of Creep Properties of Nonasbestos Joint Sheet Gasket at Elevated Temperature by Three-dimensional Viscoelasticity Model	Proc. ASME PVP 2008 Conference	PVP2008- 61468	1-6	2008
金田 忍, 辻 裕一	塑性域締付けされた大口 径フランジ継手の挙動	日本高圧力技 術協会,平成20 年度秋季講演 会・講演概要集		22-23	2008
萩原正洋, 山口篤志, 辻 裕一, 本田 尚	非石綿ジョイントシート の高温寿命評価方法の検 討	山梨講演会講 演論文集	No.080-4	141-142	2008
長谷川 聡, 山口篤志, 本田 尚, 辻 裕一	フランジ継手用ガスケットの 常温・高温下における漏洩 量評価(非石綿シートガス ケットのJ-EHOT 試験)	山梨講演会講 演論文集	No.080-4	143-144	2008

渡辺将広, 山口篤志, 本田 尚, 辻 裕一	フランジ継手用ガスケットの高温粘弾性特性の評価(常温におけるボルト軸力低下を考慮した場合)	山梨講演会講演論文集	No.080-4	145-146	2008
清水良保, 金田 忍, 辻 裕一	フランジ継手への塑性域締結の適用(大口径フランジ継手の締付け),	山梨講演会講演論文集	No.080-4	153-154	2008
永田 聡, 金田 忍, 辻 裕一, 澤 俊行	管フランジ継手用ボルトの塑性域締結シミュレーション	山梨講演会講演論文集	No.080-4	155-156	2008
照井雄貴, 辻 裕一	JIS フランジ継手締付け方法の適用範囲拡大(延伸PTFE ガスケットへの適用)	M&M2008 材料力学カンファレンス講演論文集	No.08-06	OS0503	2008
金田 忍, 清水良保, 辻 裕一	フランジ継手への塑性域締結の適用—大口径フランジ継手の場合	M&M2008 材料力学カンファレンス講演論文集	No.08-06	OS0504	2008
山口篤志, 本田 尚, 辻 裕一	3次元粘弾性モデルによるガスケットのクリープ/リラクゼーション特性の評価	M&M2008 材料力学カンファレンス講演論文集	No.08-06	OS0505	2008
辻 裕一, 萩原正洋, 山口篤志, 本田 尚	パーコレーション理論によるガスケットの高温接面漏洩特性の評価	M&M2008 材料力学カンファレンス講演論文集	No.08-06	OS0506	2008
金田 忍, 辻 裕一	フランジ継手への塑性域締結の適用	圧力技術	Vol.45 No.5	264-271	2007
辻 裕一	フランジ継手の設計・施工法の最適化とガスケットの石棉代替化の取組み	配管技術	Vol.49, No.8	53-59	2007
S. Kaneda, H. Tsuji	Application of Plastic Region Tightening Bolt to Flange Joint Assembly: Behavior of Bolt Preload in Flange Joint Subjected to Internal Pressure	Proc. ASME PVP 2007 / CREEP 8 Conference	PVP2007-26442	1-6	2007
辻 裕一, 本田 尚	非石棉ガスケット—高温密封性能の評価と試験方法の開発	平成19年度労働安全重点研究推進シンポジウム抄録集		9-10	2007
照井雄貴, 辻 裕一	フランジ継手締付け指針の適用範囲拡大(延伸PTFE ガスケットへの適用)	山梨講演会講演論文集	No.070-4	126-127	2007
山口篤志, 辻 裕一, 南雲克也	フランジ継手用ガスケットの高温粘弾性特性の評価	山梨講演会講演論文集	No.070-4	151-152	2007

長谷川 聡, 山口篤志, 辻 裕一	フランジ継手用ガスケットの常温・高温下における漏洩量評価 (延伸 PTFE ガスケットの J-HOTT 試験)	山梨講演会講演論文集	No.070-4	153-154	2007
澤 俊行, 辻 裕一	ガスケット非石綿化に対応するためのフランジ継手設計法の検討	日本高圧力技術協会, 平成19年度春季講演会・講演概要集		60-61	2007
近内孝, 本田尚, 辻 裕一, 正司康雅	ミスアライメントを有するフランジ締結体のボルト締付けの FEM 解析 (HPIS フランジ締付け指針による場合)	山梨講演会講演論文集	No.070-4	122-123	2007
山口篤志, 本田尚, 辻 裕一, 南雲克也	3次元粘弾性モデルによるフランジ継手用ガスケットの高温クリープ特性の評価	安全工学研究発表会講演予稿集		195-198	2007
Toshiyuki Sawa, Satoshi Nagata, Hirokazu Tsuji	New Development in Studies on the Characteristics of Bolted Pipe Flange Connections in JPVRC	Transaction of the ASME · Journal of Pressure Vessel Technology	Vol. 128	103-108	2006
Takashi Kobayashi, Toshiyuki Sawa, Hirokazu Tsuji, Shoichi Shigetome	Evaluation of Sealing Behavior of Gaskets Based on the Test Method HPIS Z104 Proposed in Japan	ASME PVP 2006/ICPVT 11 Conference, 2006	PVP2006-ICPVT-11-93512	1-5	2006
Sinobu Kaneda, Hirokazu Tsuji	Application of Plastic Region Tightening Bolt to Flange Joint Assembly	ASME PVP 2006/ICPVT 11 Conference, 2006	PVP2006-ICPVT11-93553	1-7	2006
長谷川聡, 沖長徹, 中島聡宏, 山口篤志, 齋藤暁洋, 辻 裕一	フランジ継手用ガスケットの常温・高温下における漏洩量評価 (J-EHOT 試験方法の提案)	山梨講演会講演論文集	No.060-4	217-218	2006
澤 俊行, 辻 裕一	ガスケット非石綿化の動向と密封特性試験方法の検討	日本高圧力技術協会, 平成18年度春季講演会・講演概要集		32-33	2006

非石綿シートガスケットの常温・高温シール性能の評価†

山口 篤志^{*1} 本田 尚^{*2} 辻 裕一^{*3}

プラントの配管や圧力容器の接続部に使用されているフランジ継手用ガスケットには、従来石綿製品が多用されてきたが、2006年に施行された労働安全衛生法の改正により石綿を0.1%超える製品の製造及び使用が禁止となった。ここで、主に高温で用いられるガスケットをはじめとした一部のシール製品は代替が困難として2009年まで継続的に使用することが認められている。これら継続して使用が認められているシール製品の代替化において重要なのは、高温におけるシール製品の特性値の解明である。近年、さまざまな非石綿ガスケットが製造されているが、高温下における非石綿ガスケットの特性値はあまり解明されていない。本研究では、常温におけるガスケットの漏洩試験であるJIS B 2490を高温に拡張すること、及び100℃以上のアプリケーションにおける石綿ジョイントシートガスケットの代替化を目的に、プラントの運転時を想定した非石綿シートガスケットのシール性能の評価を行った。その結果、両ガスケットにおける高温シール性能の違いを明らかにするとともに、高温に拡張したシール性能試験の有効性を示した。100℃以上の高温下における両ガスケットの高温シール性能は“漏れがないとみなせるレベル”であった。

キーワード: 非石綿ガスケット, フランジ継手, 漏洩試験, 労働安全衛生法, JIS B 2490

1 緒言

各種プラントの配管継手や機器フランジにはガスケット付フランジ継手が多用され、古くから多くの規格がある。従来ガスケットには、耐熱性、耐摩耗性、耐腐食性、耐薬品性などに優れていることから石綿が多用されてきたが、悪性中皮種を引き起こすことから、その使用規制が厳しくなっている。

日本では、1995年に労働安全衛生法等により、青石綿・茶石綿の製造・使用等を禁止し¹⁾²⁾、その後、いくつかの改正を繰り返し、様々な石綿の規制を行ってきた。中でも2006年9月1日に改正された労働安全衛生法の施行により石綿に関する規制はさらに厳しくなり、代替が困難な一部の製品等を除き、石綿を0.1%超えて含有するすべての製品の製造等は全面禁止としている²⁾。ここで、代替が困難なガスケットをはじめとした一部のシール製品はポジティブリストとしてまとめられており、主に使用条件が過酷なものに対して適用されている。しかし、ポジティブリスト内のシール製品も2009年までに石綿の全面禁止が目標とされていることからシール製品の早急な非石綿化が求められている。

日本工業規格においても、石綿使用禁止の流れを受け、「石綿」という言葉だけを除外し、非石綿ガスケットの使用について対応している³⁾⁴⁾。しかし、フランジの設計係数であるガスケット係数 m , y は石綿ガスケットについて規定されたものであるため、値だけがそのまま残されていることに懸念が出ている。

一方、環境問題を背景に、工業プラント等からの内部流体の漏洩の排出規制が強化されつつある。プラントの配管や圧力容器の継手部は内部流体の漏洩に対して最も重要な個所として挙げられる⁵⁾。今後、漏洩量を管理できる設計係数が必要と考えられるが、現行のガスケット係数 m , y は漏洩量という概念がない⁶⁾。ガスケット付フランジ継手からの漏洩量を継手の設計段階において考慮することが求められる中、現行のガスケット係数 m , y に代わる新しいガスケット係数の導入は重要である。

これを受け、2008年3月にJIS B 2490「管フランジ用ガスケットの密封特性試験方法」⁹⁾が制定されている。この試験法は、ガスケットの系統的な密封特性データを得るために規定されている。この試験法が規定されたことにより、今後多くのガスケットの密封特性に関するデータが収集できるため、漏洩を起こさないフランジの設計を行うための常温におけるガスケット特性値を検討する足がかりになると期待されている。しかし、ガスケットは主に高温のアプリケーションで使用されており、高温下における非石綿ガスケットの特性値が解明されていないことが積極的なガスケットの代替化の妨げとなっている。ポジティブリストに最も多く該当するシール製品は、100℃を超えて使用されている石綿ジョイントシートガスケットである。代替品としての非石綿シートガスケットはいくつか開発されているが、使用実績が不十分であり、国内の機器等の規格等において代替品として安全であるか確認されていないためポジティブリストに挙げられている。

そこで本研究では、管フランジ用ガスケットの基本密封特性試験方法を高温に拡張すること、及び100℃以上のアプリケーションにおける石綿ジョイントシートガスケットの代替化を目的に、常温・高温下における非石綿シートガスケットのシール性能の評価を行ったので報告する。

† 原稿受付 2008年08月07日

† 原稿受理 2008年10月08日

*1 東京電機大学大学院 先端科学技術研究科 機械システム工学専攻

*2 労働安全衛生総合研究所機械システム安全研究グループ

*3 東京電機大学 工学部 機械工学科

連絡先: 〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂

東京電機大学大学院機械システム工学専攻 山口篤志^{*1}

E-mail: yamaguchi@tsujilab.n.dendai.ac.jp

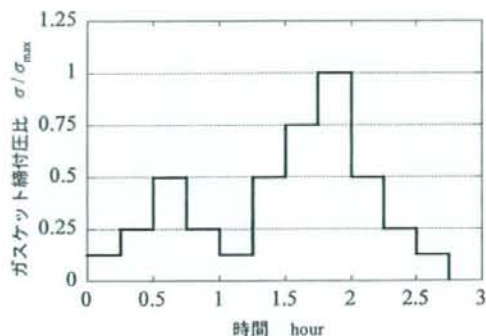


図1 JIS B 2490 管フランジ用ガスケットの基本密封特性試験方法のシーケンス

2 ガスケットのシール性能評価方法

1) 常温のガスケットシール性能評価

常温のガスケットシール性能試験である JIS ガスケット基本密封特性試験法⁰⁾では、ガスケット寸法に依存しない基本漏洩量 L_0 Pa・m³/s を有効締付け圧 σ_0 N/mm² と圧縮変形量 δ_0 mm で評価する。 L_0 は次式で表される。

$$L_0 = \frac{L}{k} \quad (1)$$

ここで、 L : 漏洩量、 k : ガスケット形状係数であり、 k は次式で表される。

$$k = \frac{1}{d_0/d_i - 1} \quad (2)$$

ここで、 d_0 : ガスケットの内径、 d_i : ガスケットの外径である。JIS B 2490 では、基本漏洩量を用いることにより、異なる寸法のガスケットの漏洩量が予測できるといった特徴がある。 L_0 を圧縮変形量で整理すると、 L_0 が一義的に直線関係で表示でき、漏洩量に及ぼす締付け圧の履歴の影響を無くすることができる⁵⁾⁶⁾。

図1にガスケット締付け圧のシーケンスを示す。各ガスケット締付け圧に到達したら15分間その状態を保持してから漏洩量を測定する。JIS ガスケット試験法では試験手順の簡略化及び試験時間の短縮が達成されている。

2) 常温・高温下におけるシール性能評価

図2に常温・高温下におけるシール性能の評価における試験シーケンスを示す。常温試験 A (ROTT_A) → 高温試験 (HOTT) → 常温試験 B (ROTT_B) の順で行い、各試験ステップにおけるガスケットのシール性能を評価する。これは、PVRC の ROTT/HOTT/EHOT の各試験に対応しており、プラントにおけるガスケット付フランジ継手の組立 → 高温下におけるガスケットのエイジング及び外乱 → シャットダウンによる負荷履歴を模擬している。

常温試験 A は、JIS B 2490 である。高温試験は昇温後、試験内圧一定で90時間エイジングし、エイジング後は負荷・除荷過程を行う。常温試験 B はガスケット

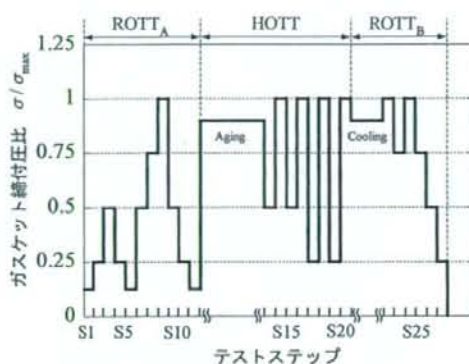


図2 常温・高温下におけるシール性能の評価における試験シーケンス

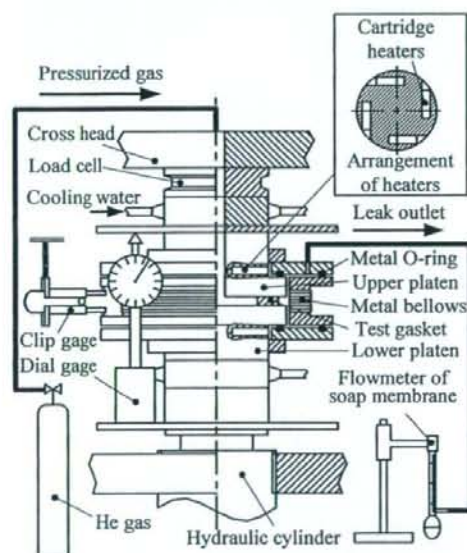


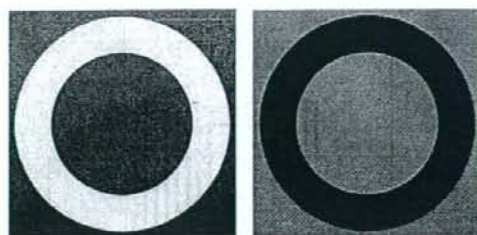
図3 試験装置の構成

締付け圧一定でガスケット温度を室温まで冷却し、除荷過程を行う。

なお、ガスケットの締付け圧は有効締付け圧 σ_0 として以下の式で与えられる。

$$\sigma_0 = \frac{W - \pi d_i^2 P / 4}{A_g} \quad (3)$$

ここで、 W : 圧縮荷重、 d_i : ガスケットの接触面の内径、 P : 試験内圧、 A_g : ガスケットの接触面積である。JIS ガスケット基本密封特性試験法では、ガスケットの最大締付け圧 σ_{max} はガスケットの種類により設定されている。試験内圧は2MPa、高温時の試験温度は180℃及び260℃とする。



(a) 延伸 PTFE シート
ガスケット (b) 非石綿ジョイントシート
ガスケット

図 4 試験ガスケット

表 1 試験ガスケットの寸法・ガスケット定数・物性値
(厚さ $t=1.5\text{mm}$)

ガスケット	延伸 PTFE シート	非石綿ジョイント シート
内径 (mm)	90	
外形 (mm)	135	
ガスケット係数 m	2.5	2.75
最小締付け圧 y (MPa)	19.6	25.5
密度 (g/cm^3)	1.7	1.53
圧縮率 (%)	23	9
復元率 (%)	38	70
引張強度 (MPa)	74	27.5
応力緩和率 (%)	66	25

3 試験装置及び試験ガスケット

1) 高温ガスケット試験装置

図 3 に試験装置の構成を示す。試験ガスケットは上下のプラテンの間に置かれ、油圧シリンダによって均一に圧縮される。なお、ガスケット締付け圧はロードセルによって測定する。プラテンには 8 個のカートリッジヒータが埋め込まれており 450℃まで昇温が可能である。ガスケットの温度はプラテンに埋め込まれたサーモ熱電対により測定しており、PID 制御により $\pm 1^\circ\text{C}$ の精度で制御できる。試験圧力は最大 5.5MPa まで加圧が可能であり、作動流体には He ガスを用いる。試験ガスケット・プラテン周りはメタルベローズとメタル中空 O リングにより密封されており、漏洩した He ガスはメタルチューブを通り石鹸膜流量計へと導かれる。この流量計はガラス体積管内の所定距離内を石鹸膜が移動する時間から He ガスの漏洩量を測定するものである。ガスケットの変形量はダイヤルゲージ及びクリップゲージ(分解能 $10\mu\text{m}$)より測定している。

本試験装置はガスケット締付け圧、ガスケット温度、内圧をそれぞれ独立に制御できる点に特徴がある。また、ガスケット温度は、試験中にガスケット応力またはガスケットの変形量を変化させている際にも一定に保たれる。なお、油圧ポンプで調節することにより完全な応力制御

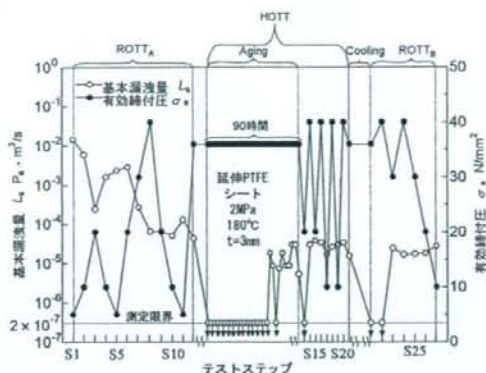


図 5 厚さ 3mm の延伸 PTFE シートガスケットの漏洩量測定結果

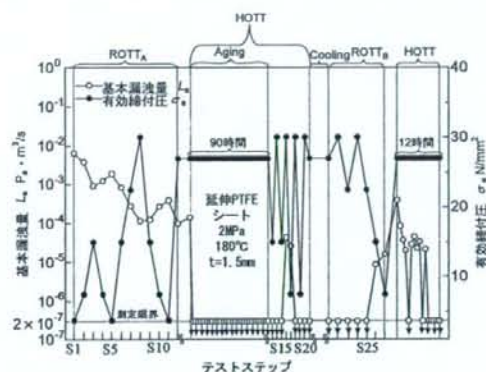
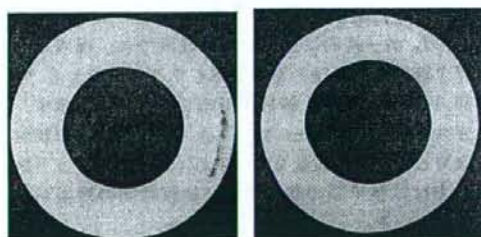


図 6 厚さ 1.5mm の延伸 PTFE シートガスケットの漏洩量測定結果



(a) 厚さ 3.0mm (b) 厚さ 1.5mm

図 7 試験後の延伸 PTFE シートガスケット

表 2 試験後の延伸 PTFE シートガスケットの寸法

ガスケットの厚さ (mm)	3.0	1.5
内径 (mm)	82	82.5
外形 (mm)	148	141
接触面の面積増加率 (%)	51.3	29.1
高温試験中の最大締付け圧 (MPa)	29.2	23.4

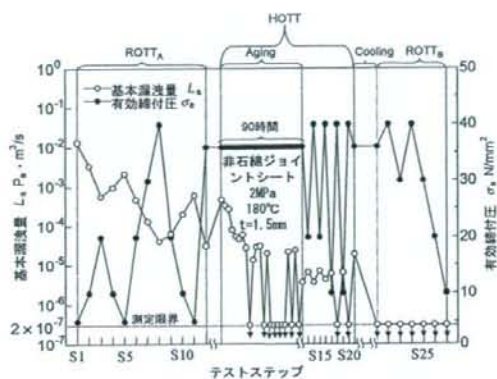


図8 非石綿ジョイントシートガasketの漏洩量測定結果 (高温時 180°C)

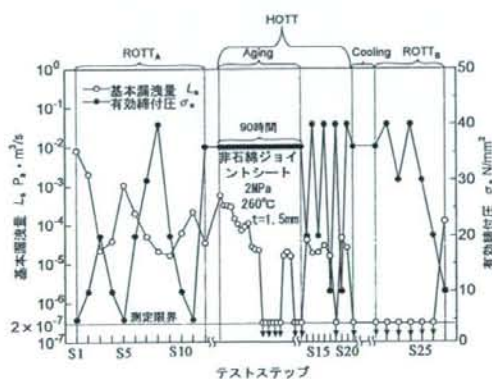


図9 非石綿ジョイントシートガasketの漏洩量測定結果 (高温時 260°C)

状態またはひずみ制御状態でガasketに負荷することが可能である。

2) 試験ガasket

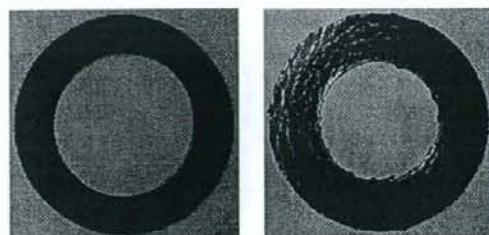
試験ガasketは延伸 PTFE シートガasket(厚さ 1.5mm, 3.0mm)と非石綿ジョイントシートガasket(厚さ 1.5mm)である。

延伸 PTFE シートガasketの推奨使用範囲は、内圧が 3MPa まで、温度が 214°C までである。

一般に、シートガasketの最大締付圧 σ_{max} は 40 MPa であるが、延伸 PTFE シートガasketの締付圧は一般のシートガasketに比べ低く設定されている。そこで、厚さ 1.5mm の延伸 PTFE シートガasketにおいては σ_{max} を 30 MPa とする。

非石綿ジョイントシートガasketは、膨張黒鉛を主成分にアラミド繊維で補強したガasketを使用する。推奨使用範囲は、内圧が 1MPa まで、温度が 260°C までである。なお、非石綿ジョイントシートガasketの σ_{max} は 40 MPa である。

図 4 に試験ガasketを、表 1 に各ガasketのガasket定数及び物性値を示す。



(a) 試験温度 180°C (b) 試験温度 260°C
図 10 試験後の非石綿ジョイントシートガasket

表 4 試験後の非石綿ジョイントシートガasketの寸法

高温時の試験温度 (°C)	180	260
内径 (mm)	89.8	80.6
外形 (mm)	136.5	146.5
接触面の面積増加率 (%)	4.38	47.8
高温試験中の最大締付圧 (MPa)	36.23	27.27

4 試験結果

1) 延伸 PTFE シートガasketの高温シール性能

図 5 にガasketの厚さ 3mm の漏洩量測定結果を示す。常温試験である ROTT_A では締付け工程が進むごとに漏洩量の低下率も大きくなっており、最大締付圧後の漏洩量が 10^{-4} Pa·m³/s 以下である。JIS B 2490 では 1.69×10^{-4} Pa·m³/s 程度を包含すれば管フランジガasketとして実用上要求される漏れレベルを満足できていることから、ROTT_A における最大締付後の漏洩量は“漏れがないとみなせるレベル”である。HOTT、外乱、ROTT_B においても漏洩量は 2×10^{-5} Pa·m³/s 程度の一定のシール性能を示している。

図 6 にガasketの厚さ 1.5mm の漏洩量測定結果を示す。ROTT_A では厚さ 3mm のガasket同様、最大締付圧後の漏洩量が無視できる程度となっており、エージング中は、測定限界 (2×10^{-7} Pa·m³/s 以下) であり、外乱及び ROTT_B においてもほとんど漏洩は見られなかった。ROTT_B 終了後、再び昇温し、ガasketを交換せずに使い続けた場合の漏洩量を評価した。昇温直後の漏洩量を除けば問題ない程度の漏洩であり、測定限界に達するまでは約 10 時間である。このことから、一度高温下にさらされたガasketを再び使用することは可能であると言える。

2) 非石綿ジョイントシートガasketのシール性能

図 8 に高温時の試験温度 180°C、図 9 に高温時の試験温度 260°C の漏洩量測定結果を示す。ROTT_A の試験温度は常温であり、図 8、9 において大きな差が見られないことから基本漏洩量と有効締付圧の関係に再現性があることが確認できる。HOTT においては高温時の試験温度が異なるにもかかわらず、高温シール性能は“漏れがないとみなせるレベル”である。外乱では試験温度 260°C の漏洩量が 180°C に比べ多い。これは図 10 及び

表 4 に示すように、試験温度 260℃ のガスケット面積が著しく増加したため、外乱においては十分な締付圧が得られなかったといえる。HOTT において漏洩量に差がなかったのは、ガスケットの幅が増したことで漏洩しにくくなったものと考えられる。ROTT_B では図 8 においては漏洩が見られないが、図 9 では最後のステップで漏洩が確認された。これもガスケットの面積が増したことにより漏洩を防ぐ十分な締付圧が得られなかったことが原因といえる。

本研究において非石綿ジョイントシートは使用可能範囲外のシール性能を調査したが、内圧 2MPa においても使用可能であることが分かる。

3) 延伸 PTFE シートガスケットと非石綿ジョイントシートガスケットの比較

図 6, 8 のガスケット厚さ 1.5mm、高温時の試験温度 180℃ におけるガスケットの漏洩量を比較すると、ROTT_A においては漏洩量にそれほど差は見られなかった。しかし延伸 PTFE シートガスケットの方が締付圧が小さいことから、延伸 PTFE シートガスケットの方がシール性能がよいといえる。HOTT においても延伸 PTFE シートガスケットの方がシール性能が高く、一般的な見解と一致している。外乱においては、どちらのガスケットの漏洩量も無視できるレベルだが、非石綿ジョイントシートの方が漏洩量が少ない。これはプラテンとの接触面積が非石綿ジョイントシートの方が小さく、ほとんど変形しなかったため十分な締付力が保たれていたためと考えられる。以上のように本研究において 2 つのガスケットの特性の違いが明らかになったと言える。

5 ガスケット変形量による整理

1) 延伸 PTFE シートガスケット

図 11 に厚さ 1.5mm の延伸 PTFE シートガスケットのガスケット変位を示す。ROTT_A では当然のように締付圧に比例して、ガスケットの変形量は大きくなる。締付け工程が進むに従い、同等の締付圧においてガスケットの変形量が大きくなっている。これは締付圧の負荷履歴が影響していると考えられる。また、ガスケットは昇温中に大きく変形しており、エージング中のクリープは見られない。これは高温において化学変化など生じないためである。なお、厚さ 3mm の延伸 PTFE シートガスケットは図 11 と同様の傾向を示したことから省略している。

JIS B 2490 は、ROTT における基本漏洩量を圧縮変形量で整理することに特徴があり、欧米の評価方法に比べて優れていることが報告されている⁷⁾。そこで、本研究では ROTT だけでなく昇温後の基本漏洩量と圧縮変形量を調査した。図 12 に延伸 PTFE シートガスケットにおける基本漏洩量と圧縮変形量の関係を示す。ROTT_A における基本漏洩量と圧縮変形量の関係は JIS B 2490 で示されるように直線関係で表すことができる。ここで HOTT 開始時における基本漏洩量と圧縮変形量の関係を加えたところ ROTT_A の延長線上に値がくるこ

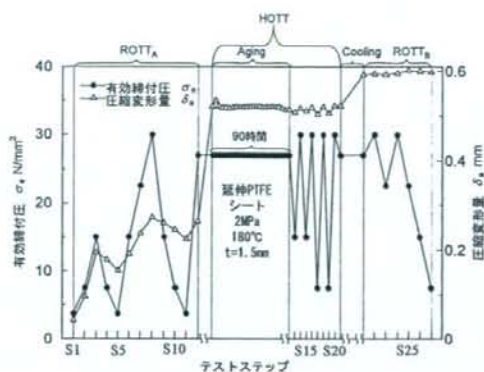


図 11 厚さ 1.5mm の延伸 PTFE シートガスケットの圧縮変形量

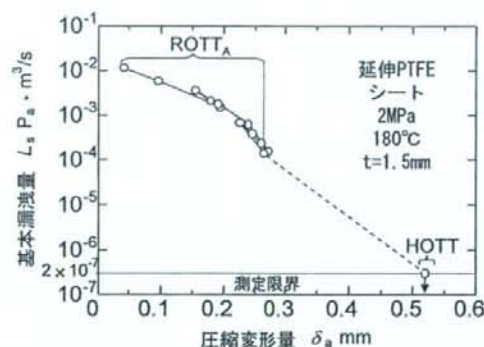


図 12 延伸 PTFE シートガスケットにおける基本漏洩量と圧縮変形量の関係

とから、試験温度に関わらずガスケットのシール性能は圧縮変形量により一義的に表示できる。

2) 非石綿ジョイントシートガスケット

図 13 に非石綿ジョイントシートガスケットのガスケット変位を示す。図 13(a), (b) の ROTT_A では延伸 PTFE シートガスケット同様、締付け工程が進むに従い、同等の締付圧においてガスケットの圧縮変形量が大きくなっている。これは延伸 PTFE シートガスケット同様、締付圧の負荷履歴の影響といえる。また、昇温中のガスケットの圧縮変形量は著しく、HOTT ではエージング中にガスケットがクリープを起こしていることがわかる。特に試験温度 260℃ におけるクリープは著しく、エージング中はクリープが進行し続けている。これは高温においてガスケットを構成するゴムまたはバインダが熱減量⁸⁾を起こしているためと考えられる。

図 14 に非石綿ジョイントシートガスケットにおける基本漏洩量と圧縮変形量の関係を示す。ROTT_A における基本漏洩量と圧縮変形量の関係は延伸 PTFE シートガスケットと同様に直線で一義的に表示でき、再現性も確認される。また、試験温度 180℃ において、HOTT

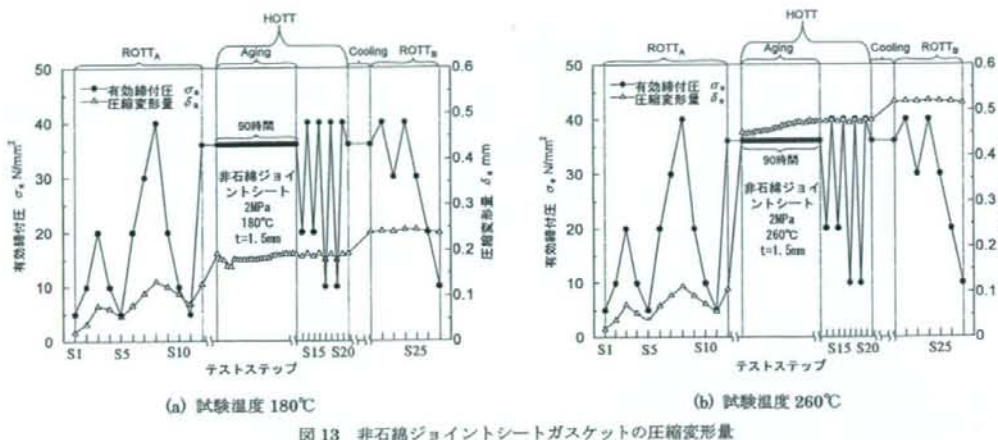


図 13 非石棉ジョイントシートガスケットの圧縮変形量

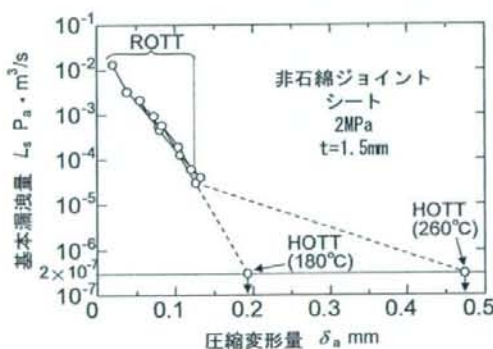


図 14 非石棉ジョイントシートガスケットの基本漏洩量と圧縮変形量の関係

開始時における基本漏洩量と圧縮変形量の関係を加えたところ ROTTA の延長線上に値がくる。しかし、試験温度 260°C では、変形量が大きいために HOTT を含めて直線で表すことが出来ない。

6 結言

本研究では、常温・高温下における非石棉シートガスケットのシール性能評価試験を実施した。得られた成果を以下に示す。

1. 延伸 PTFE シートガスケット及び非石棉ジョイントシートガスケットの高温シール性能を調査し、両ガスケットのシール性能の違いを明らかにしたとともに高温に拡張したシール性能試験の有効性を示した。
2. 各非石棉シートガスケットの高温シール性能を調査したところ、延伸 PTFE シートガスケットではガスケットの厚さにかかわらず高温シール性能は“漏れがないとみなせるレベル”であった。一方、非石棉ジョイントシートガスケットでは使用可能範囲外である試験内圧 2MPa で試験を行ったが、高温シール性能は“漏れがないとみなせるレベル”であった。

3. 各非石棉シートガスケットの圧縮変形量について調査したところ、延伸 PTFE シートガスケットではエージング中にクリープは生じていない。これは高温において化学変化など生じないためである。一方、非石棉ジョイントシートガスケットではクリープが生じている。これは高温においてガスケットを構成するゴムまたはバインダが熱減量を起こしているためと考えられる。
4. 試験温度 180°C においてはどちらの非石棉シートガスケットにおいても、シール性能を圧縮変形量で評価すると一義的に表せることから、この評価方法はフランジ設計に対して有益である。

謝 辞

本研究は平成 18 年度から 20 年度までの 3 年間で実施された厚生労働科学研究費補助金によって実施したものであり、ここに記して謝意を表す。また、東京電機大学大学院 知能機械工学専攻の長谷川聡君には実験に協力いただいたことに感謝する。

文 献

- 1) 厚生労働省. 石綿製品の全面禁止に向けた石綿代替化等検討会報告書. 2006.
- 2) 厚生労働省. 石綿等の全面禁止に係る適用除外製品等の代替化等検討会報告書. 2008.
- 3) 澤俊行, 辻裕一. アスベスト代替製品化検討会の結果と今後について. 配管技術. 2006; 48:13:1-16.
- 4) 辻裕一. フランジ継手の設計・施工法の最適化とガスケットの石綿代替化の取組み. 配管技術. 2007; 49:8:53-59.
- 5) 日本工業規格. 管フランジ用ガスケットの密封特性試験方法. 2008; JIS B 2490.
- 6) 小林隆志. ガスケットの密封特性試験方法と欧米の動向. 第 6 回圧力機器および配管におけるガスケットフランジ締結体のシーリングテクノロジー. 2007; 89-112.