

# TOMBO™ No.1839R 「グラシール® ボルテックス® ガスケット-L」の 液化水素輸送配管の口径拡大への適用性評価

基幹産業事業本部 プラント技術部 技術サービス課 一 柳 寛

## 1. はじめに

2050年のカーボンニュートラル実現に向け政府が定めたグリーン成長戦略のなかで、水素の利活用が改めて注目されている。水素は、燃焼時にCO<sub>2</sub>を排出しないことに加え、地域的な偏在性が小さく、製造時に再生可能エネルギーを利用できるなどの特長がある。すでに発電やモビリティ分野での利用や合成メタンや合成燃料への活用などの技術開発が進められているが、一方で水素の供給コストが高いことが、商用化・普及へのひとつの障害となっている<sup>1)</sup>。

水素の利活用における供給の低コスト化を可能とする手段のひとつとして、-253℃の極低温で「液化」して「大量輸送」するサプライチェーンの構築が挙げられる。当社でも低温用途に向けた製品をラインアップしており、液化水素を内部流体としたフランジ締結部のガスケットとしてTOMBO™ No.1839R「グラシール® ボルテックス® ガスケット-L」（以下、「GRボルテックス-L」）の適用性を評価し、現在のさまざまな設備で使用されてきた<sup>2)</sup>。一方で、現在の液化水素設備は配管サイズが50A程度の小口径であり、口径がより大きな配管で液化水素を輸送することに対して適用性を評価するに十分な事例がない。そこで、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）の協力のもと、能代ロケット実験場にて200Aサイズの輸送配管を模擬した試験装置に液化水素を通液させ、「GRボルテックス-L」の適用性を評価することとした。本稿では、JAXAで行った実験の

実施結果を報告する。

## 2. 「GRボルテックス-L」の特長

「GRボルテックス-L」の外観写真と構造図を図1に示す。本製品は、テープ状の膨張黒鉛と薄鋼板を交互に重ねたうず巻形ガスケットであり、通常の膨張黒鉛フィラーうず巻形ガスケット（TOMBO™ No.1834R「グラシール® ボルテックス® ガスケット」）、以下「GRボルテックス」と比べてとくにシール面の膨張黒鉛テープが多いこと



図1 「GRボルテックス-L」の外観写真と構造図

で、低い締付面力でもフランジへ高いなじみ性を得ることができる。

ここで、両者の気密試験条件を表1に、気密試験結果を図2に示す。「GRボルテックス-L」は、「GRボルテックス」に比べて低い締付面圧でシール性に優れている。このため、「GRボルテックス-L」はフランジやボルトなどの鋼材としてハイテンション鋼材が使えない極低温用途に適しており、 $-162^{\circ}\text{C}$ の液化天然ガス（以下、LNG）サプライチェーンで600A以上の大口徑配管を含め、多数実績がある。

表1 気密試験条件

寸法	ASMEクラス300 2B (50A)
温度	$23 \pm 5^{\circ}\text{C}$
試験ガス	ヘリウム 4MPa
締付面圧	12.5→25→50 N/mm <sup>2</sup>
漏れ量測定方法	石けん膜流量計およびヘリウムリークディテクター

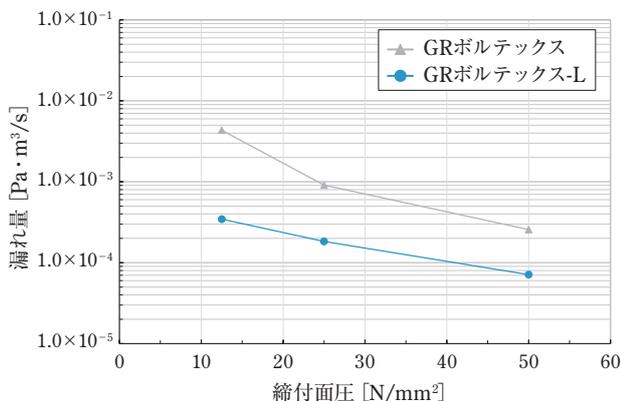


図2 気密試験結果

### 3. 「GRボルテックス-L」の200Aサイズでの液化水素通液試験

実施した試験について以下に説明する。

#### 3.1 試験目的

実際の液化水素配管では、送液時に外部入熱の影響で液化水素が気化するボイルオフガス（以下、BOG）が発生するため、配管内は気体と液体が混ざった気液二相流となる（図3）。BOGは、液化水素に比べて温度が高いため、配管内は上下で

温度差が生じることが想定される。上下で温度差が生じると、フランジの熱膨張差により、ガスケットに加わる締付力が変化する懸念がある。そこで、意図的に液化水素とBOGが半分ずつ流れる試験装置を製作し、これに「GRボルテックス-L」を用いて密封し、液化水素を繰り返し通液させてシール試験を行った。本試験は液化水素配管への「GRボルテックス-L」の適用性を確認することを目的とした。

#### 3.2 液化水素通液試験

##### 3.2.1 試験条件

試験装置の外観写真を図4、構造概略図を図5に示す。試験装置は、配管中央から液化水素を供給し、液面が配管中央まで到達すると、排出口へ流れる構造とした。なお、排出口への液化水素の流通は、排出口側の配管内に設けた測温抵抗体が液化温度（ $-253^{\circ}\text{C}$ ）に到達したことをもって確認した。また、配管およびフランジの上下に測温抵抗体を設けて伝熱状況を確認した。フランジ部



図3 気液二相流のイメージ図

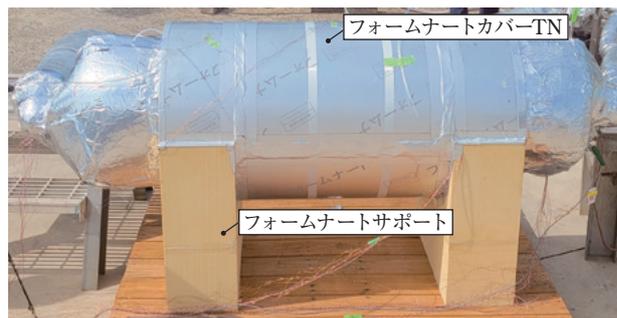
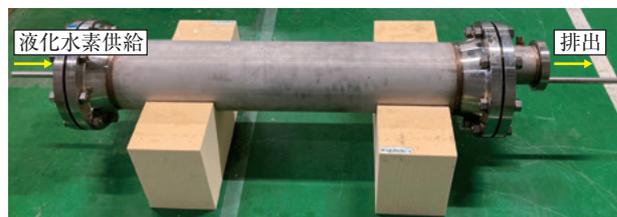


図4 試験装置の外観（上：断熱前、下：断熱後）

には水素ガス検知器のプローブを設置し、漏えいを測定した。

その他の試験条件を表2に示す。なお、試験中の入熱を防ぐために、当社ならではの保冷技術で配管を断熱し、試験系を組み上げた。配管の断熱材はTOMBO™ No.5001-TN（フォームナート® カバー TN）、配管サポートはTOMBO™ No.5010（フォームナート® サポート）を使用した。また、フランジ締結部は、柔軟弾性発泡ゴム保温材を巻き付け、上からアルミテープで目地止めする簡易断熱を行った。

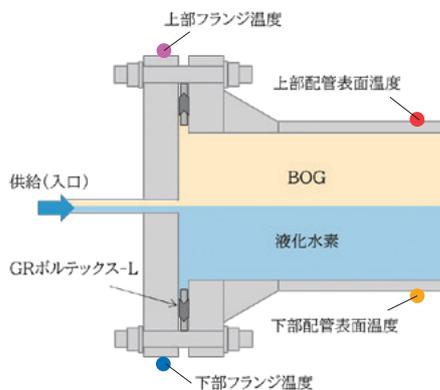


図5 試験装置の構造概略図

表2 試験条件

試料	GRボルテックス-L
試料サイズ	JPIクラス 150 8B (200A) 4.5t
内外輪・フープ材質	316L鋼
配管・フランジ材質	316L鋼
ボルト材質	A193 B8M CL2
内部流体	液化水素
最大封止圧力	1.0MPaG
冷却保持時間	10分
通液回数	10サイクル
漏えい検知	水素ガス検知器 検知範囲：0～100% LEL* 警報設定値：20% LEL
締付トルク	165Nm（最小締付面圧×安全率1.5）

\* LEL：爆発下限値。水素において、100% LEL = 4.0vol% = 40000ppm

### 3.2.2 試験手順

試験手順を以下に示す。

- (1) フランジ部に「GRボルテックス-L」をセットする。

- (2) プリセット型トルクレンチを用い、JIS B2251:2008<sup>3)</sup>の手順で締付けを行う。
- (3) フランジ締結部の簡易断熱を行う。
- (4) 系内のガスを置換した後、開放系のまま液化水素の供給を開始する。
- (5) 水素ガス検知器を起動し、フランジ締結部周辺の水素ガス濃度を連続測定する。
- (6) 系内温度が $-253^{\circ}\text{C}$ に到達した後、系を閉鎖して1.0MPaGまで昇圧し、10分間保持する。
- (7) 系を開放して常圧に戻し、復温させる。
- (8) 以降、(4)～(7)を合計10サイクル繰り返す。

## 3.3 試験結果

### 3.3.1 温度測定結果

温度測定結果を図6、1サイクル目の拡大を図7に示す。まず配管の温度に着目すると、すべてのサイクルにおいて、最初に下部配管表面温度が水素の液化温度( $-253^{\circ}\text{C}$ )に到達したのち、排出口側配管内部温度、上部配管表面温度の順に低下した。これより、冷却過程における配管内部の水素は、以下の状態にあったと考えられる。

- ①供給された液化水素は、配管下部に熱を奪われてBOGとなった。
- ②液化水素の供給がつづき、配管下部が徐々に冷却され、液面が上昇した。
- ③液面が排出口に到達して通液した。

また、フランジの温度に着目すると、配管表面温度に比べて温度が高く、下部は $-200^{\circ}\text{C}$ 付近で下限値に達した。これは、フランジ締結部まわりの空気が液化したためである。さらに、フランジの温度は、配管と同様に下側のフランジが先に冷え、配管よりもその温度差が大きい結果を得た。

### 3.3.2 シール試験結果

シール試験結果をフランジ温度とともに図8に示す。通液開始時点から復温時まで連続してフランジ締結部の水素濃度を検知したが、すべてのサイクルにおいて検知濃度は1% LEL未満であった。

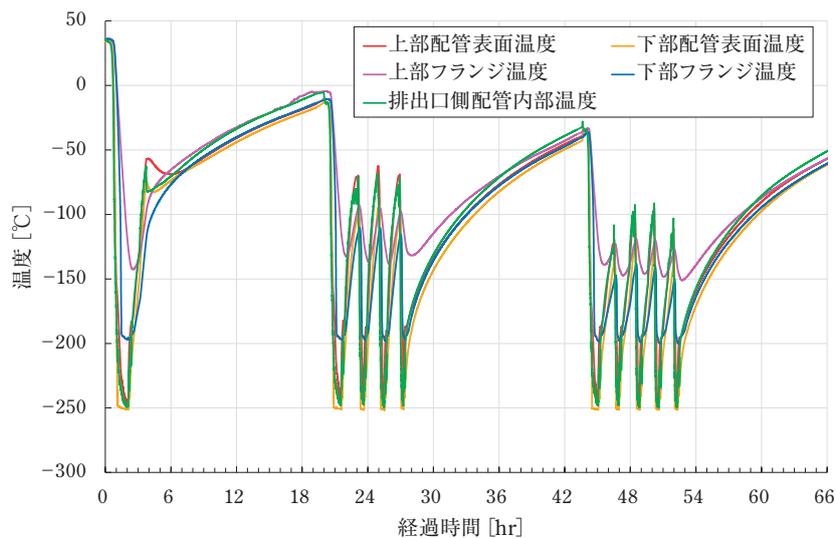


図6 温度測定結果

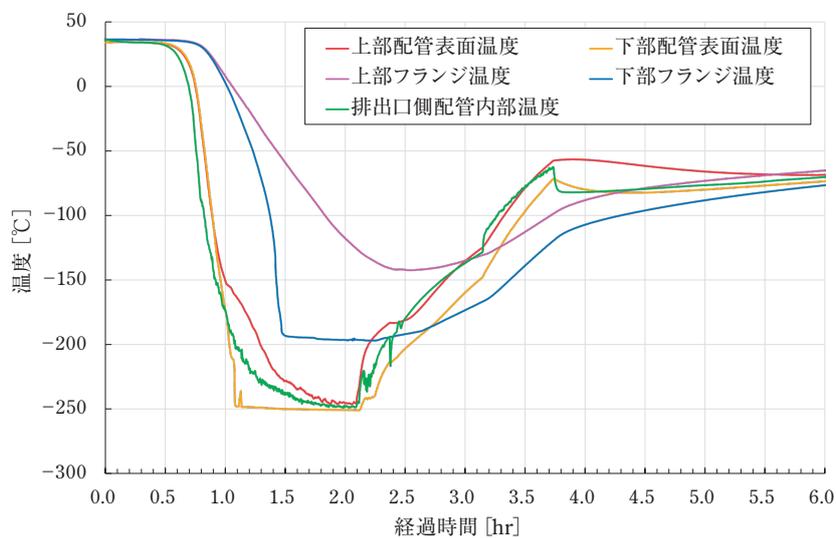


図7 温度測定結果 (1サイクル目拡大)

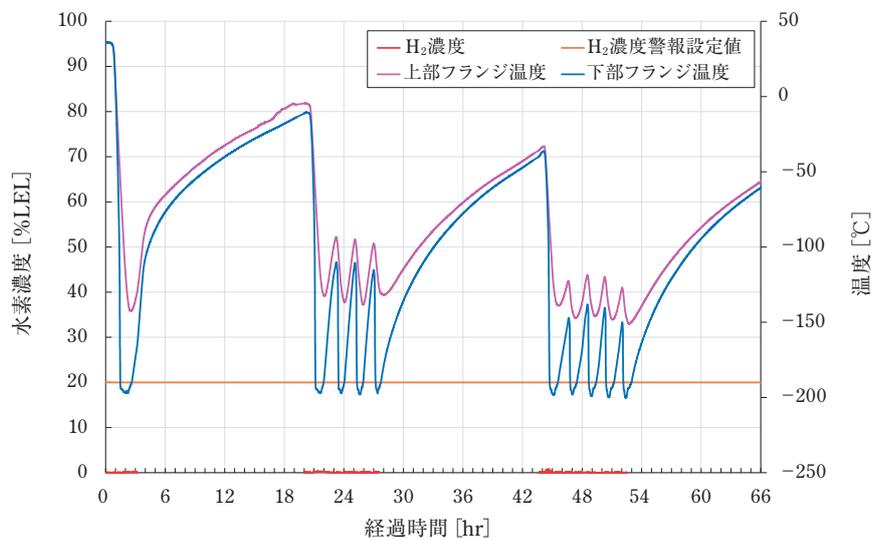


図8 シール試験結果

## 4. おわりに

本稿では、200Aサイズの液化水素輸送配管に対して、「GRボルテックス-L」の適用性を評価した。

本試験により、「GRボルテックス-L」は200Aサイズの液化水素輸送配管に対し、十分な適用性があることを確認した。

また、配管・フランジの温度測定結果から、冷却過程で上下に温度差が生じることがわかった。より長期的な安全操業のため、液化水素の通液におけるフランジ締結部の応力挙動の解明についても検討していく所存である。一方、今後の水素サプライチェーン構築には、LNGサプライチェーンのように輸送配管のさらなる大口径化が必要になると見込まれる。引き続き、大口径化に対する「GRボルテックス-L」の適用性についても、あわせて検討していく所存である。

また本稿の試験では配管の断熱材としてTOMBO™ No.5001-TN（フォームナート® カバーTN）と、サポート材としてTOMBO™ No.5010（フォームナート® サポート）を使用し、液化水素を繰り返し通液させても、健全に断熱機能を維持することを確認した。

引き続き、液化水素の断熱として工法開発・改良を進め、お客さまのニーズに応じていく所存である。

### 謝 辞

このたび、JAXA 能代ロケット実験場のご協力により、試験を実施するに至りました。関係者の皆さまにはご尽力をいただき、深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 水素基本戦略, 令和5年6月6日, 再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議
- 2) 「液化水素使用条件における当社シール材の評価」ニチアス技術時報, No.395, p.6-9 (2021)
- 3) JIS B 2251:2008, フランジ継手締付け方法

\*「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。

\*「ボルテックス」はニチアス(株)の登録商標です。

\*「フォームナート」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、保証値ではございません。

## 筆者紹介



### 一柳 寛

基幹産業事業本部 プラント技術部  
技術サービス課