

水素対応 金属配管用シール剤 ソリューションと 漏れ防止

SIMONE ZANETTI, Application Engineering, Henkel Italy

MIKE FEENEY, Application Engineering, Henkel Canada

DAVID CONDRON, Product Development, Henkel Ireland

• WHITE PAPER

目次

02	概要	>
03	はじめに — 水素：有望なエネルギーソリューション —	>
06	試験方法 — 水素ガス漏れ防止用金属配管用シーリング剤の試験 —	>
07	結果	>
09	結論	>
10	参考文献	>



概 要

持続可能性とグリーンエネルギーの代替手段の追求がますます重視される時代に、グリーン水素は特に魅力的なソリューションとして浮上しています。しかし、生産から流通までの全ライフサイクルを通じて、漏れを最小限に抑える、または根絶するという緊急課題が迫っており、経済的負担と潜在的な安全上の危険性の両方が生じています。

水素分子の微小なサイズによって生じる課題に対処するには、シールを維持しながら接続を行うのが困難な作業になります。水素関連機器では、ねじ継手が避けられることがよくあります。代わりに、エンジニアはシール溶接やより高価な継手方法の採用など、コストのかかる組み立てプロセスに頼ることがよくあります。この研究では、嫌気性金属配管用シール剤と配管シールコード (=LOCTITE 55) の有効性を、ねじ接合部の漏れを効果的に防止する優れたソリューションとして紹介し、持続可能なエネルギーソリューションの追求におけるグリーン水素のシームレスな統合に極めて重要な貢献を提供します。



はじめに

水素：有望なエネルギーソリューション

水素は、エネルギーを貯蔵および輸送するための便利な手段を提供します。純粋な分子形態の水素（ H_2 ）は地球上で希少であるため、電気分解によって水から、または天然ガスと石炭から生成する必要があります。生成方法によって異なる特定の条件下では、水素は持続可能なエネルギーソリューションとなり、環境に大きな影響を与えるエネルギー源の代わりとなることができます。

RSE のレポート“水素—脱炭素化のためのエネルギー 貯蔵・運搬方法”によると、グリーン水素は 2050 年までにエネルギーシステムを完全に脱炭素化するための主要な選択肢の 1 つです。欧州委員会は、グリーン水素の使用が 2050 年までにエネルギー経済の 13～14% に増加すると予測しています。また、世界的には、国際エネルギー機関は 2030 年までに水素自動車約 250 万台になると予測しています。

この分野の発展は、以下のようにまとめられる水素の固有の特性によって確実に促進されます。

- ▶ 自然界で最も豊富な元素であり（宇宙の物質の 90% 以上が水素でできています）、地球にはこの元素が非常に豊富に存在しています。水の分子 1 つに水素原子が 2 つ含まれています。
- ▶ 非常に可燃性の高いガスであり、 CO_2 を排出せず、燃焼生成物は水と熱です。
- ▶ エネルギー密度が高い（水素：120 MJ/kg。メタン：55.6 MJ/kg、ガソリン：47.3 MJ/kg、ディーゼル：44.8 MJ/kg）。
- ▶ 大量に長期間貯蔵することが可能。

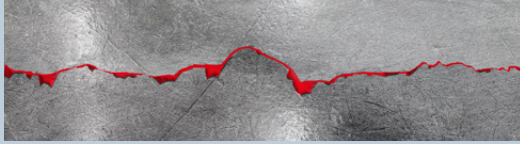
水素には、重工業（鋳造所、鉄鋼、化学、石油化学、肥料、金などの企業）における試薬としての従来の用途から、排出削減が困難な分野（繊維工場や製紙工場など）における工業用熱の生成、発電と貯蔵、大型輸送機関への動力供給まで、膨大な応用可能性があります。前述の RSE レポートでは、2050 年までに水素は従来の用途以外の用途にも導入されることがますます増えると予測されています。

国際エネルギー機関のデータによると、毎年 7,000 万トンの水素が生産されています。

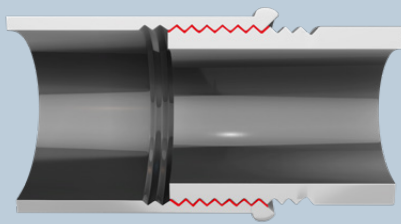
76% は天然ガス、22% は石炭、2% は水電解から生産されています [IEA、2019]。したがって、すべての水素が同じというわけではありません。生産方法に応じて、通常は異なる色で表します。化石資源の燃焼によって生産され二酸化炭素を排出する場合は灰色の水素、化石資源から生産されるが炭素回収システムを使用して生産され、汚染工場からの温室効果ガスの排出を削減したり、大気から直接除去したりできる場合は青色の水素と呼ばれます。次に、再生可能エネルギー（太陽光や風力など）によって生産される場合は緑色の水素、原子力エネルギーによって生産される場合は紫色の水素と呼ばれます。したがって、水素については一般的に語ることはできず、その生産チェーンを研究して追跡する必要があります。

欧州水素戦略では、2050 年までにカーボンニュートラル目標を達成するための優先事項として、長期的には統合エネルギーシステムを促進するグリーン水素を開発し、短期および中期の移行段階では水素製造による排出量を急速に削減し、持続可能な市場を大規模に開発できるブルー水素を開発することを挙げています。明らかに、このプロセスでは、再生可能エネルギー源と水素製造の統合が重要な役割を果たしています。

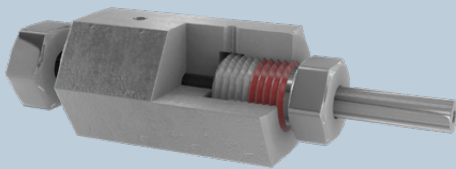




金属材料は、どんなに細かく加工しても表面が粗くなります。そのため、圧入などの精密なめ合いでも、部品間には接触点や隙間が生じます。これにより、特に水素分子などの小さな分子が逃げる経路ができてしまいます。嫌気性接着剤は塗布すると均一に広がり、すべての隙間を埋めて部品間の接触を 100% 確保し、完全で信頼性の高いシールを実現します。



金属製の継手では、部品同士が完全に接触することはありません。接触すると、継手を組み立てることができません。このため、隙間を埋めて完全に密閉し、漏れを防ぐ製品を均一に塗布することが重要です。嫌気性金属配管用シール剤と LOCTITE 55 は、水素などの最小の分子をシールする信頼性の高い耐久性のあるソリューションを提供します。



嫌気性接着剤をねじ継手に塗布すると、組み立て時に接着剤が均等に分散され、完全で均一な接触領域が形成され、安全で信頼性の高いシールを確保します。

再生可能エネルギー、特に風力と太陽光は予測が難しくプログラム可能ではありません。たとえば、ソーラーパネルは日中と夏季のみ効果的に機能し、風力タービンは風がある場合にのみ稼働します。したがって、特定の気象条件がない場合、システムは停止し、エネルギーを生成しません。また、エネルギーの過剰生産が発生する場合もあり、エネルギー貯蔵容量の不足によりエネルギー生産の制限が必要になることがよくあります。したがって、水素は再生可能エネルギー生成の完璧な補完となり、この余剰エネルギーを後で使用するために貯蔵する手段を提供します。

気象に影響する貯蔵の問題を解決する最もクリーンかつ効率的なソリューションは、再生可能エネルギー源からのエネルギーを使用して電気を生成し、それを電解装置で使用して水を水素と酸素に変換することです。生成された水素は、天然ガスネットワークを通じてすぐに配布するか、タンクに貯蔵して電気に戻すことができますが、必要に応じて熱エネルギーにも変換できます。これは自己発電型のクローズドループであり、産業レベルだけでなくスマートシティレベルでも適用できます。

水素貯蔵に伴う課題に加え、輸送も水素への移行における重要な課題の 1 つです。主な理由は、水素の持続可能性を確保する必要があるためです。現在、水素はシリンダー内の圧縮ガスの形で、極低温タンク内の液状で、および水素パイプラインによって輸送されています（パイプラインではどのような形で輸送されるか）。専用パイプラインでの輸送、または天然ガスとの混合物での輸送は、少なくとも理論上は、最も合理的な選択肢のようです。

水素漏れは、天然ガスパイプラインにとって深刻な課題です。水素はメタンよりもさらに小さな穴、亀裂、溶接継ぎ目から簡単に漏れるため、このガスの輸送と最終的な貯蔵は、燃料および原料として広く採用される上で大きな障害となっています。水素の浸透と脆化は、問題をさらに悪化させるだけです。

天然ガスの漏洩率は、すでに環境保護庁の推定値よりも高くなっています。American Journal of Science に掲載された研究によると、2015 年の米国のメタン サプライ チェーンの損失は総生産量の 2.3% で、EPA の在庫推定値よりも約 60% 高かったことがわかりました (Alvarez 他、2018 年)。英国政府の委託を受け、ケンブリッジ大学とレディング大学の科学者らが執筆した白書「水素利用増加による大気への影響」(2022 年 4 月) では、 H_2 分子は CH_4 分子よりも小さいため、水素の漏洩率は高くなる可能性が高いと述べられています。



水素配管のねじ継手向けの コスト効率の高い 金属配管用シール剤ソリューション

これらの理由から、ねじ継手はシール溶接するか、完全に避けることが推奨されることが多いです。ねじ継手の代替としてより高価な部品を使用したり、シール溶接を実行するために熟練した作業が必要になったりするため、システムに多大なコストがかかります。適切なシール剤を使用して、標準化し、すぐに入手できるねじ継手で信頼性の高いシールを作れば、これらのコストを回避または削減できます。米国機械学会（ASME）の水素配管およびパイプラインのコード（B31.12-2023）で提供されるガイドラインでは、ねじ継手が許可されています。テーパーねじジョイント（ASME B.1.20.1 に準拠した NPT）は、製品設計で指定された場合、設計圧力が 20,670 kPa (3,000 psig) 未満から最大 48,280 kPa (7,000 psig) までのシステムで使用できます（米国機械学会、2023）。

嫌気性接着剤は、水素ガスのシーリングソリューションとして最適です。これらは反応性接着剤で、空気のない状態で金属表面と接触すると、急速に硬化して熱硬化性プラスチックになります。

ぴったりとフィットする金属ねじはほぼ完璧な硬化条件を作り出すため、これらの材料は従来のシール方法の多くの制限を克服する理想的なねじシール化合物になります。これらは液体状態でねじに塗布するため、噛み合うねじ間の隙間や欠陥を埋めることができます。金属ねじの間に閉じ込められると、材料を液体状態で安定させるのに十分な酸素がないため、急速な重合により熱硬化性プラスチックを生成し、2つの部材が機械的に結合します。シール性能はねじ間の圧縮に依存しないため、組み付ける場合は最初に任意の方向に配置でき、接続部から押し出された余分な材料は拭き取ることができます。つまり、接続部はきれいな外観になり、振動による緩み、200℃までの温度、ほとんどのシステムの破裂圧力定格までの圧力に耐えることができます。嫌気性金属配管用シール剤と、ガスや液体のシールソリューションを提供するその能力についてのさらなる議論は、McGunk らのホワイトペーパー [7] に記載しています。



試験方法

水素ガス漏れ防止用 金属配管用シール剤の 試験

シーリングソリューションの適合性と有効性を実証するため、ヘンケルは実験を計画し、外部の研究所と契約して、圧力降下法を使用して 3 種類の異なる金属配管用シール剤の低圧水素ガス漏れテストを実施しました。さらに、これらは、世界的に最も一般的なパイプねじタイプである米国規格テーパ管ねじ (NPT) と英国規格管テーパねじ (BSPT) の両方を用い組み付けに使用しました。300 シリーズの合金はガス伝送配管システムで最も多く使用されているため、すべての組み付けは 304 ステンレス鋼を用いました (EUROPEAN INDUSTRIAL GASES ASSOCIATION、2014)。

水素シーラント試験に関する参照標準がないため、ASTM D6396 (パイプ T 字継手におけるパイプねじシーラントの標準試験)、ASTM D1599 (プラスチック パイプ、チューブ、継手の短時間水圧に対する耐性)、LOCTITE STM 772 (以前の 2 つの ASTM に基づく)、EN 751.1 (第 1、第 2、第 3 家庭用のガスおよび温水と接触するねじ付き金属ジョイントのシーリング剤、パート 1。嫌気性ジョイント用の化合物) などの利用可能な標準に基づいて試験の設定を作成しました。

これらの標準に基づいてツールを作成し、試験のパラメーターを定義しました。

テストには、嫌気性金属配管用シール剤 (LOCTITE 577 および LOCTITE 567) と非硬化性ねじシールコード (LOCTITE 55) を選択しました。LOCTITE 577 は、BSPT またはその他のストレート (平行) からテーパ継手に最もよく使用される嫌気性金属配管用シール剤です。一方、LOCTITE 567 は、NPT、テーパからテーパねじ継手に最もよく使用される嫌気性金属配管用シール剤です。

LOCTITE 55 は最も一般的な非硬化性シールコードで、使用前に小さな位置調整が必要な用途でよく使用されます。3 つのシール剤はすべて、天然ガスに関する少なくとも 1 つの地域承認をすでに取得しています。水素を天然ガスと混合して既存の天然ガス インフラストラクチャに組み込むことが検討されているため、これは重要な考慮事項でした。

テストには 2 つの圧力ステップが含まれていました。具体的には、LOCTITE 55 の場合、試験した圧力は 9 bar で、その後 10.3 bar に増加しましたが、LOCTITE 567 および 577 の場合、試験した圧力は 20 bar で、その後 31 bar に増加しました。

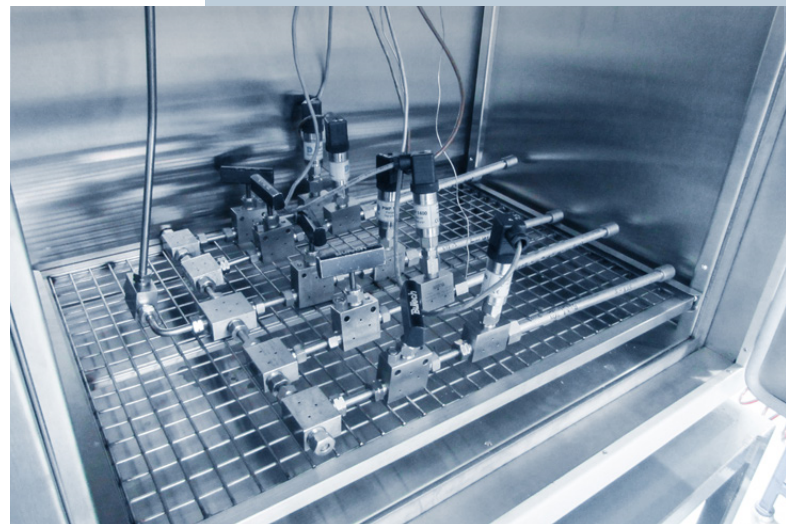


図 1: 試験準備

結 果

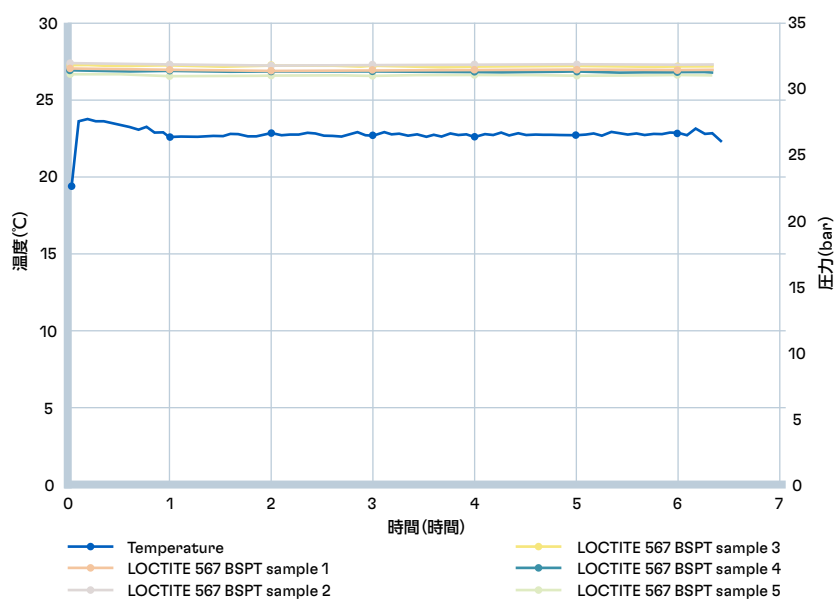
各試験を通じて温度と圧力が記録されました。各金属配管用シール材料の漏れを特定するためにプロットを表示しています。システム内のガスの量は非常に少なかったため、圧力の低下は顕著でした。



LOCTITE 567

BSPT フィッティング サンプルの 31bar 水素圧カリーク テストと比較した圧力と温度のグラフを示しています。圧力の低下は見られず、したがって漏れもありませんでした。

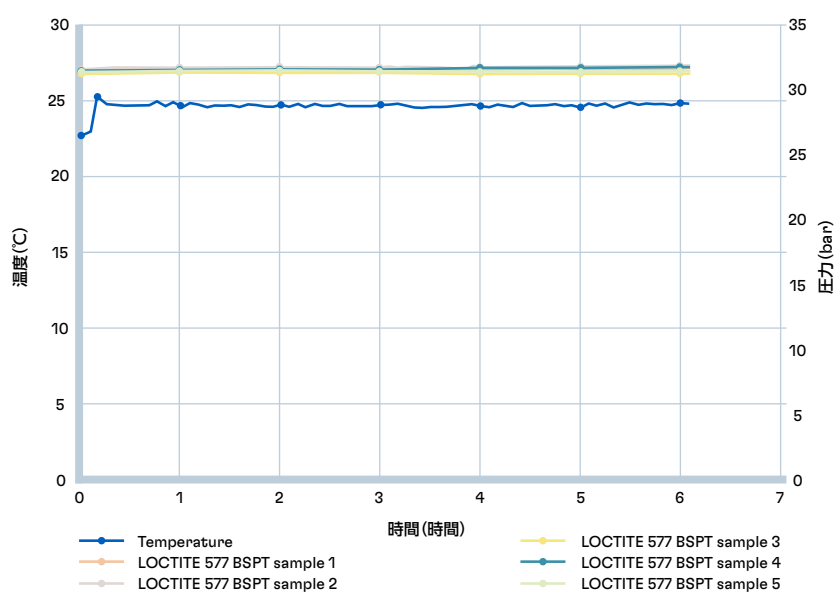
図 2: LOCTITE 567を用いたBSPT継手シールの31bar圧力下における温度・圧力の関係



LOCTITE 577

BSPT フィッティング サンプルの 31bar 水素圧カリーク テストと比較した圧力と温度のグラフを示しています。圧力の低下は見られず、したがって漏れもありませんでした。

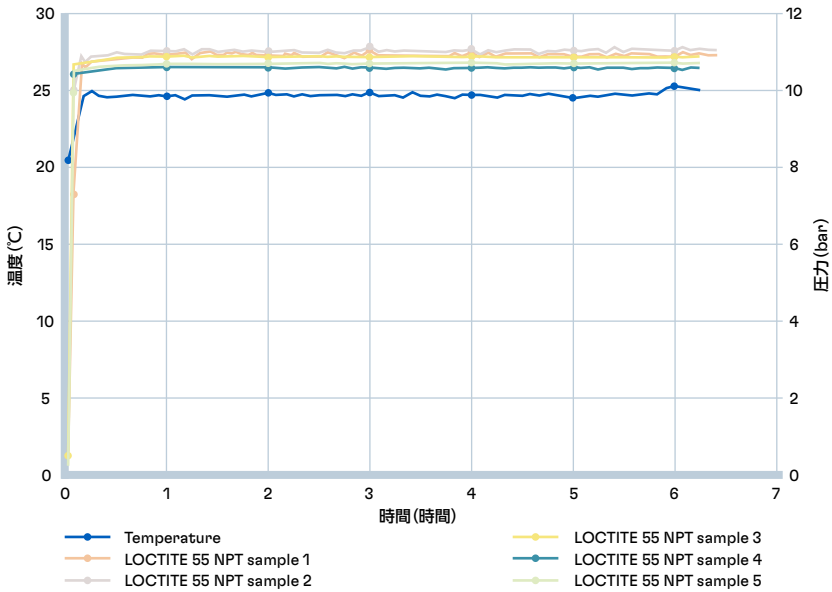
図 3: LOCTITE 577を用いたBSPT継手シールの31bar圧力下における温度・圧力の関係





LOCTITE 55
NPT 継手における 2 番目の圧力 10.3 bar での温度と圧力のグラフを示しています。圧力の明らかな低下は見られなかったため、漏れはなかったと結論付けることができます。

図 4: LOCTITE 55を用いたBSPT継手シールの10.3bar圧力下における温度・圧力の関係



概要表

図 5 は、さまざまな圧力とさまざまなタイプの NPT および BSPT 継手に対する試験圧力 (ステップ1) から得たすべての結果を示しています。

試験項目	金属配管用 シール剤	試験圧力	試験結果	試験圧力 (ステップ2)	試験結果	試験結果
1/4" NPT – 304 ステンレス鋼 ・パイプニップル(10インチ長) ・コネクター ・プラグ	LOCTITE 55	9 bar	✓	10.3 bar	✓	水素
	LOCTITE 567	20 bar	✓	31 bar	✓	
	LOCTITE 577	20 bar	✓	31 bar	✓	
1/4" BSPT – 304 ステンレス鋼 ・パイプニップル(12インチ長) ・コネクター ・プラグ (316ステンレス鋼)	LOCTITE 55	9 bar	✓	10.3 bar	✓	
	LOCTITE 567	20 bar	✓	31 bar	✓	
	LOCTITE 577	20 bar	✓	31 bar	✓	

図 5: 試験結果のまとめ

結 論

- 嫌気性金属配管用シール剤と LOCTITE 55 非硬化性ねじシールコードが、ねじ継手における水素漏れの防止に効果的な金属配管用シール剤 ソリューションを提供する方法を示すために実施しました。
- 圧力トランスデューサーを使用して圧力を測定し、0.05 ~ 0.1 bar の精度で圧力測定値が得られるように校正された電気出力計を使用しました。
- すべてのサンプルの試験に成功しました。試験したサンプルのいずれにおいても、検討したどの圧力でも、大きな圧力低下は発生しませんでした。
- LOCTITE 55 非硬化性ねじシールコードは、NPT および BSPT 継手において最大 10 bar の低圧で水素ガスをシールする事が可能であると結論付けることができます。
- 嫌気性金属配管用シール剤は、NPT および BSPT 継手において 31 bar の圧力で水素ガスを正常にシールしました。これらの製品は硬化して熱硬化性ポリマーを形成するため、さらに高い圧力でもシールできると予想されますが、これは今回使用した機器では試験することができませんでした。
- LOCTITE 570 および LOCTITE 638 とともに、AR 214 に従って水素シール用途向けに KIWA によって試験および認定されています。KIWA NV は試験、検査、および認証市場におけるヨーロッパを拠点とする機関です。
- 水素ガスで使用するねじ継手をシールするための便利で信頼性が高く、費用対効果の高い方法を提供します。嫌気性金属配管用シール剤は、水素ガスに関連する可燃性リスクを考慮すると重要な、自己緩みを防ぐことでねじ継手のシールにさらなる安全性を提供します。
- 嫌気性金属配管用シール剤 ソリューションは、高圧水素用途でも使用されています。当社の嫌気性金属配管用シール剤を水素ねじシール用途で最大 1000 バールで使用している顧客もいます。この論文の執筆時点で、ヘンケルは同様の条件下でラボ試験を実施し、高圧水素環境での使用におけるこれらの製品の全体的な適用性を検証しています。これらの試験結果にご興味がある場合、またはこれらの製品をお客様の用途に活用する方法について詳しく知りたい場合は、ヘンケルの営業担当までお気軽にお問い合わせください。



参考文献

- [1] RSE report 'Hydrogen. An Energy Carrier for Decarbonization', January 2021
- [2] International Energy Agency (IEA) 'The Future of Hydrogen' June 2019
- [3] Ramón A. Alvarez, Daniel Zavala-Araiza, David R. Lyon, David T. Allen, Zachary R. Barkley, Adam R. Brandt, Kenneth J. Davis, Scott C. Herndon, Daniel J. Jacob, Anna Karion, Eric A. Kort, Brian K. Lamb, Thomas Lauvaux, Joannes D. Maasackers, Anthony J. Marchese, Mark Omara, Stephen W. Pacala, Jeff Peischl, Allen L. Robinson, Paul B. Shepson, Colm Sweeney, Amy Townsend-Small, Steven C. Wofsy and Steven P. Hamburg, 'Assessment of methane emissions from the U.S. oil and gas supply chain', American Journal of Science, June 2018
- [4] Nicola Warwick, Paul Griffiths, James Keeble, Alexander Archibald, John Pyle, University of Cambridge and NCAS and Keith Shine, University of Reading, 'Atmospheric Implications of increased hydrogen use', UK government, April 2022
- [5] European Industrial Gases Association (EIGA), 'Hydrogen Pipeline Systems', IGC Doc 121/14, 2014
- [6] American Society of Mechanical Engineers, 'Hydrogen Piping and Pipelines', B31.12-2023
- [7] Ged McGurk, Mike Feeney, Siva Ayadurai, Oliver Droste, white paper 'High pressure leak prevention – improved performance and reliability from anaerobic thread sealing compounds', March 2016





ヘンケルジャパン株式会社

〒235-0017 横浜市磯子区新磯子町27-7
www.henkel-adhesives.com/jp

Webmaster.LJapan@henkel.com

記載されている商品の仕様およびデザインは、2024年11月現在のものです、改良のため予告なく変更する場合がありますので予めご了承ください。

C136-1-2411A (A1)

※無断転載・転用を禁止します。(写真・文章)

本製品をご使用になる前に下記事項をご承諾下さい。

1. 本製品のご使用にあたっては、用途・目的に適合するかどうかを必ずご使用になれる方ご自身で検討いただき、最終判断をして下さい。
2. 本製品の取り扱いに関しては、ご使用になる前にご使用になれる方ご自身が十分に検討し、安全にご使用下さい。
3. 本書に記載されている事項は現時点での最終情報であり、予告無く改定することがあります。
4. 弊社の管理の及ばない製造物、施工物の不具合に関する損害補償は致し兼ねます。