

TODAY

「次の欲しい」を先取りし、
新たな価値を創造する

大山 和伸

高効率モーター用磁性材料
技術研究組合 理事長ダイキン工業株式会社
常務専任役員

モーターが発明されてから 190 年、産業・民生機器の省エネや自動車の EV 化が進む今、モーターが面白い。モーター開発の歴史を振り返ると、新たな磁性材料の発明が、モーター性能の飛躍的向上や新形式モーターの実用化に直結していることがわかる。

1890 年代に、誘導モーター・同期モーターの実用化が急速に進んだ頃、珪素鋼板が発明されている。1930 年代に日本が中心的役割を果たした永久磁石の発明は、様々な形式の永久磁石モーターを生み出した。フェライト磁石の Br が画期的に向上した 1950 年代に永久磁石直流モーターが実用化され、1960 年頃には表面磁石同期モーター (Surface Permanent Magnet Synchronous Motors: 以下、SPM モーターと略す) が実用化されている。

このような中、現在省エネモーターとして有名な埋込磁石同期モーター (Interior Permanent Magnet Synchronous Motors: 以下、IPM モーターと略す) は、一度実用化が諦められたようである。割れやすい磁石を保護する目的で、永久磁石をロータの内部に埋め込むため、使用できる永久磁石の体積が小さくなり、SPM モーターより性能が悪かったからではないかと思う。一方、1970 年代のパワーエレクトロニクスの進展により、モーターの世界が一変した。マイコンやパワーデバイスが高性能化し、モーターを高速かつ高精度に制御できるようになったのである。IPM モーターも同様に、1980 年代になってから新たに高精度な電流制御法に関する研究がスタートしたようである。

モーターを使う立場にいた私が、モーターを開発する方向に転じたのは、ネオジウム磁石が発明されてから 6 年後の 1989 年であった。次なる時代の要請が省エ

ネになると予測した上で、モーターに関する全世界の文献を調査し、翌年、当時の新入社員山際と 2 人で 2 つの新しいモーターの試作を始めた。何もかもが新たな挑戦という強みと、完成後の価値に対する信念を持って、大学の先生方から絶大なる支援を得た。ひとつは、大阪府立大学の武田先生・森本先生と取り組んだ IPM モーター、もうひとつは、長岡技術科学大学院大学の故高橋先生との超高速 SPM モーターである。どちらも、次なる時代の要請と予測した省エネに対する要求が何年経ても陳腐化しないよう、原理原則から超高効率になる本物の技術を指向した。

1996 年 3 月量産を開始した IPM モーターについては、多くを語る必要が無いほど、省エネ性に優れるモーターとして有名になった。古くからある IPM モーターにネオジウム磁石を適用し、インバータで精密に電流を制御すれば、超省エネと言えるレベルに到達すると考えるとともに、産学協同の成果を早い段階から公表することで、多くの情報が集まってくるようになったことが成功の要因だったと思う。一方、もう一つのモーターは、これからが面白い。超高速回転する永久磁石モーターは超小型で超高効率になる。商用電源で駆動されるモーターの何分の一にも小型化でき、画期的な省資源モーターとして有望である。加えて、数 kW クラスのモーターでも 99% を超えるレベルの超高効率化が夢ではない。MagHEM (高効率モーター用磁性材料技術研究組合) で取り組んでいる新たな磁石が実用化されれば、次なる時代の要請に応える本物の技術になると、信じている。

ところで、表題はダイキン工業の経営理念の一番目の項目「社会動向の変化に対する鋭いウォッチングによって、お客様自身も気づいていない " 次の欲求 " や " 夢 " を見つけ出し、具体化することが、私たちの使命であり存立基盤です。(中略) 常に一歩進んだ最高の利便性と快適性をお客様に提供することは当然のこと、お客様に新鮮な驚きと満足を提供し続けます。」のヘッドラインである。モーター開発を振り返ると、まさにこの言葉の重要性を感じる。顕在化した短期の成果を重視しては、短命の技術しか出来ない。社会動向レベルでの「次の欲しい」を企業と大学、さらに、材料技術者とモーター技術者が共有できて始めて、息の長い新たな価値を生む技術が創造できるのではないかと思う。

超高压水素配管用メタルガスケット継手 株式会社フジキン 中浜 隆泰

1. はじめに

フジキンは、昭和5年（1930年）に配管機材、機械工具問屋として創業以来、常に極限に挑戦し、技術の究極を越えることを企業ポリシーとし、宇宙ロケット用、原子力用、半導体製造装置用等特殊バルブ機器のみならず、精密ながれ（流体）制御システム装置の研究開発型のメーカーとして歩み続けてきた。

本稿では、当社が燃料電池自動車水素供給設備の超高压配管用に開発した高性能メタルガスケット継手を紹介する。

2. 超高压水素配管用メタルガスケット継手開発の経緯

超高压水素配管用メタルガスケット継手は、弊社が半導体製造装置のガスを供給する配管用継手として開発したメタルガスケット継手（以下「UPG継手」）の技術を基にしている。

半導体製造において配管、バルブからの外部リークは、きわめて反応活性なガスが工場内に拡散し非常に危険であることは言うまでもない。さらに微少な外部リークであっても逆拡散により配管中に大気成分が混入するため材料ガスの純度低下を引き起こし、デバイスの歩留まりを低下させる要因となる。

同様に、燃料電池自動車に水素を充填するための設備（以下「水素ステーション」）においても、燃料電池自動車に水素を充填する際は、一般の消費者が水素ステーション内にいる状態で82MPaの高压水素を取り

扱うため、設備に使用する配管継手には外部漏洩に対する高い信頼性が要求される。

UPG継手が半導体製造装置配管において高い信頼性を有している実績から、この技術を水素ステーション用配管継手に応用し、超高压水素配管用メタルガスケット継手（図1）として製品化した。

3. UPG継手のシール構造

通常ガスケット継手のシール部は1箇所です。UPG継手は①～④の4段階のステップでシールが行われる構造になっている。すなわち①手締めでスリーブとガスケット接触を接触させる②スリーブ突起がガスケットに喰込み、内側フラット面が密着する③続いて外側フラット面が密着し、スリーブとガスケットが全面密着する④規定回転数を超えた過剰締め付けには、ストッパーが働きスリーブ突起を保護する。（図2）

この4段階のシール構造によりシール性、外力に対する強度が向上する。また、継手締付の過程でスリーブとガスケットの接触面積が変化することにより、締付感の違いが生じ確実・安全な施工ができる。

4. UPG継手のシール性能

UPG継手のシール性能のデータを図3に示す。UPG継手をヘリウムリークディテクタに取付けリーク量を確認しながら締付けを行ったところ、UPG継手のユニオンナットを手締めから4N・m（締付角度40°）付近まで締付けるとヘリウムリークディテクタの最小検出感度以下となり、リークはほぼ測定できない状態となった。弊社施工要領の

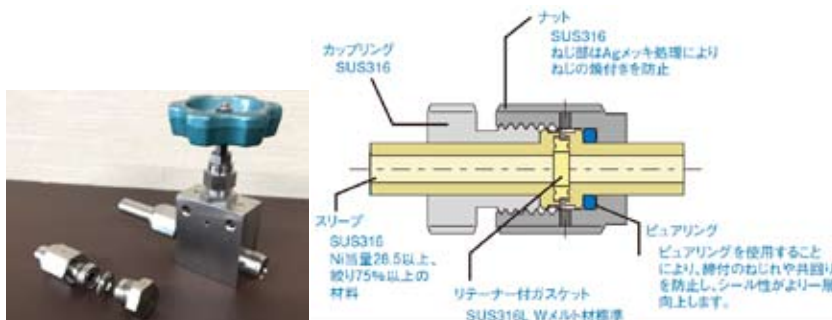


図1 超高压水素配管用メタルガスケット継手 外観と構造

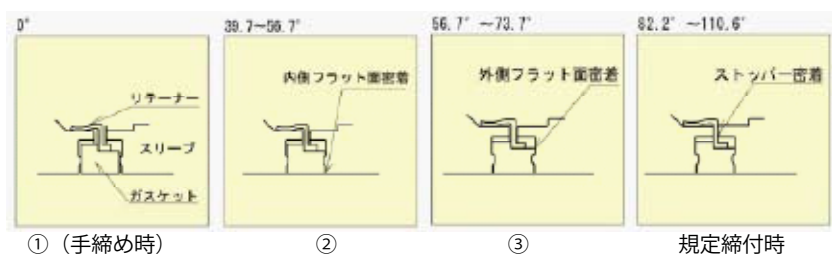


図2 UPG継手の施工完了までのステップ（ナット回転角）

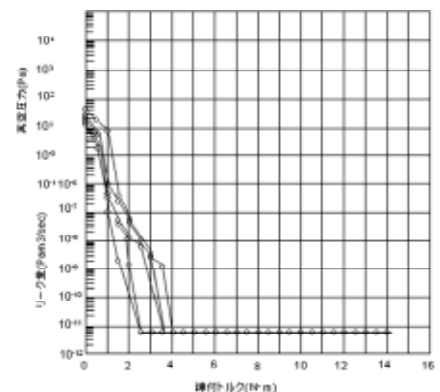


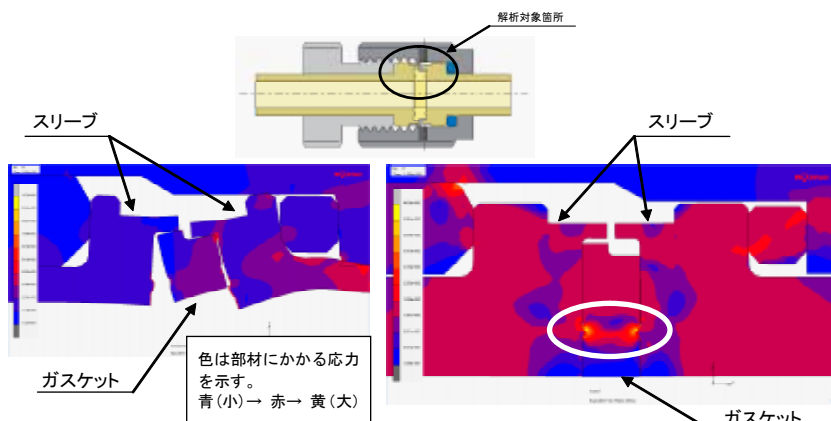
図3 UPG継手のシール性能

規定締付トルクは 11N・m (手締めから更に 1/4 回転締付、締付角度 90°) であるので、規定締付け位置に対して大きなマージンがあり、シール性に対して信頼性の高い継手であることが分かる。

5. 超高圧水素配管への対応

シール性に優れた UPG 継手であるが、最高使用圧力は 21.5MPa であり、そのままでは水素充填圧力に対して高圧ガス保安法が要求している設計圧力 (82MPa) × 1.5 倍の耐圧試験においてシール性を維持できない問題がある。

そこで、継手シール面の突起と構成部品寸法との関係に着目し、継手内径、シール面突起の直径、ガスケット



82MPa 加圧時の応力解析結果：
内圧に負けてガスケットが外れてしまい、ガスケット、スリーブに応力がかかっていないことが分かる。

82MPa 加圧時の応力解析結果：
シール部からガスケットが外れることなく、特にシール部 (○で囲んだ部分) に高い応力がかかっていることが分かる。

図 4 半導体製造装置用 UPG 継手

図 5 超高圧水素配管用メタルガスケット継手

ト内外径による係数から耐圧性を維持できる最適値を導き出し、シール部構造を新規考案した。(図 4、図 5)

新規考案したシール構造の継手を最高使用圧力 82MPa として、評価試験を実施した。

基本性能を確認したシール性、耐圧性評価、施工時を想定したチューブの供回り、着脱の繰返し、配管に生じる振動、及び水素ガスによる加圧サイクル評価を実施した結果、全項目において良好であり、水素ステーション用高圧配管用継手として問題が無い事を確認できた。評価試験結果の一覧を表 1 に示す。

6. 超高圧水素配管用メタルガスケット継手と従来継手との比較

現在、水素ステーションにはコーン&スレッド継手が主に使用されているが、外部漏洩に対する信頼性に乏しく施工性、メンテナンス性にも問題があるため、顧客の満足を得られていない。

また、圧縮水素スタンドの高圧ガス事故においては、漏洩事象が大半であり、その中でも締結部からの漏洩が大きな割合を占めている統計がある。

超高圧水素配管用メタルガスケット継手と従来継手とを製品評価試験項目で比較した結果、シール性、施工性、着脱性において従来継手に対しての優位性が確認できた。(表 2)

表 1 超高圧水素配管用メタルガスケット継手 評価結果

評価項目	試験条件・結果
シール性試験 (82MPa)	試験圧力：82MPa、試験流体：ヘリウムガスにて漏れ試験を行い、シール性に問題が無い事を確認した。
耐圧性試験 (82MPa × 1.5)	試験圧力：123MPa、試験流体：水にて、強度に問題が無い事を確認した。
耐チューブ供回り試験	継手シール面が施工後に回転した場合を想定し、チューブにねじりを加えながら試験圧力：82MPa、試験流体：ヘリウムガスにて漏れ試験を行い、シール性に問題が無い事を確認した。
耐久性試験	継手の着脱を 10 回繰返し、着脱毎に試験圧力：82MPa、試験流体：ヘリウムガスにて漏れ試験を行い、シール性に問題が無い事を確認した。
耐振性試験	JIS D1601 自動車部品振動試験方法に基づく評価として、振動数 67Hz、加速度 4.5G、時間 2Hr で加振後、試験圧力：82MPa、試験流体：ヘリウムガスにて漏れ試験を行い、シール性に問題が無い事を確認した。
耐水素性試験	水素エネルギー製品研究試験センター (HyTReC) 殿にて評価。試験圧力：1MPa ~ 82MPa、試験流体：水素ガスにて、3 分間隔の加圧サイクルを 300 回加えてシール性に問題が無い事を確認した。

表 2 超高圧水素配管用メタルガスケット継手とコーン&スレッド継手の比較評価結果

項目	従来技術 コーン&スレッド継手	超高圧水素配管用 メタルガスケット継手
シール性 (82MPa)	△ 99.9MPa 仕様 但し、施工性に影響され シール性が不安定	○ 95MPa 仕様
耐圧性 (82MPa × 1.5)	○	○
施工性	× チューブにネジ切りと 先端部の追加加工が必要	○ 継手部品には 追加加工不要
施工時のチューブ供回り対策	× 供回り対策なし	○ ナットにスラストベア リング方式の供回り 対策あり
着脱耐久性	× 着脱を繰り返すと シール面が劣化する	○ ガスケットを交換する 事でシール面が健全に 保たれる
着脱性	× 着脱時にチューブを抜く ためのスペースが必要	○ 着脱時のスペース不要
耐振性	△ 耐振機能は 追加パーツで対応	○ 耐振構造が標準仕様

評価結果 ○：優れている △：やや劣る ×：劣る

特に、施工後に配管からの漏れの原因となる振動に対しては、シール部分と外力を受ける部分を分離しシール部に振動が伝わらないUPGシール構造に優位性がある。(図6)

継手着脱を繰り返した際も、ガスケットを交換する事でシール面が健全に保たれるため、長期に渡るシール性の維持が期待できる。



シール部分と外力を受ける部分を分離することにより、シール部に振動が伝わらず、標準の構造で耐振性を有する。

図6 超高压水素配管用
メタルガスケット継手耐振構造

7. 経済性への効果

超高压水素配管用メタルガスケット継手は、施工時にチューブにネジ切りと先端部の追加加工が不要であり、継手の施工にかかる時間を大幅に短縮できる。

また、着脱時に配管引抜きスペースが不要な点は、配管施工時、機器のメンテナンス時の作業性に大きく影響し、メンテナンス時間短縮の面で効果がある。(図7)

加えて、着脱不要な配管分岐部を溶接継手とし、複数のバルブをブロック化すれば継手施工個所の削減と配管スペース縮小の効果が得られる。一例を図8に示す。継手施工箇所は約半数に、配管スペースは約35%削減できる。

8. おわりに

本超高压水素配管用メタルガスケット継手は水素ステーションに採用され始めている。遮断弁、調節弁、手動弁、逆止弁、フィルター用の接続継手として、1ステーションに300ヶ近く使用される。

燃料電池実用化推進協議会(FCCJ)では、今後の水素ステーションの整備目標を2020年までに160箇所、2025年までに320箇所と設定したシナリオを公表している。

当社はバルブ機器メーカーとして、水素社会の実現に向けて、微力ながらお役に立てるよう、信頼性・経済性の向上に継続して取組んでいく所存である。

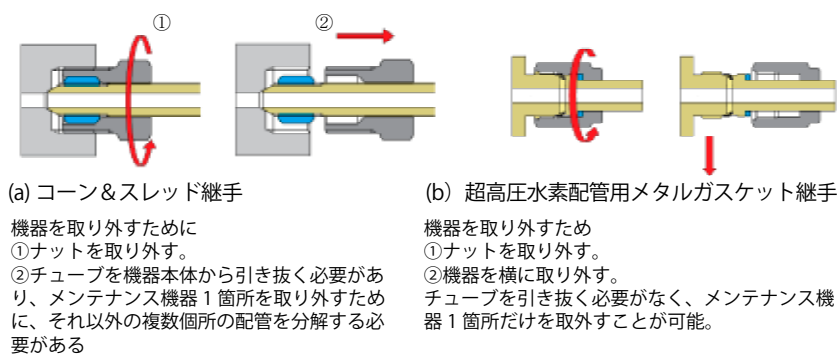


図7 コーン&スレッド継手と超高压水素配管用
メタルガスケット継手との着脱性の比較

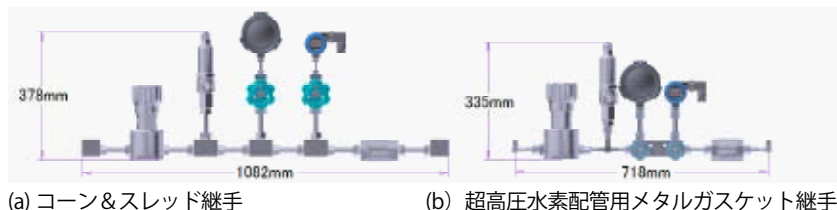


図8 コーン&スレッド継手と超高压水素配管用
メタルガスケット継手との配管例

参考文献

- 1) 燃料電池実用化推進協議会ホームページ
- 2) 高压ガス保安協会ホームページ
- 3) 中村、山路、土肥、西野、池田、篠原「ガス供給系ユニットの高品質化・高性能化」(クリーンテクノロジー Vol.11, No.1)
- 4) 篠原、中浜「高性能継手(UPG)の一般産業への展開」(計装技術 Vol.32 No.4)

西山記念技術講座 開催のお知らせ

「破壊力学」の進展とインフラ・構造物の信頼性
～安全、安心を管理するフラクチャー・コントロール～
第231回(東京)

2017年11月7日(火) 9:00～17:00

大手町サンケイプラザ 3階会議室

(東京都千代田区大手町1-7-2 東京サンケイビル3階)

第232回(大阪)

2017年11月28日(火) 9:00～17:00

株式会社ラソソテ 3階会議室

(大阪市淀川区宮原1-6-1 新大阪ブリックビル3階)

詳細は、日本鉄鋼協会のホームページを御確認ください。

<https://www.isij.or.jp/mubicwtwx>

<講座に関する問合せ先>

(一社)日本鉄鋼協会 育成グループ

TEL: 03-3669-5933 FAX: 03-3669-5934

E-mail: educact@isij.or.jp

The Japan Research and Development Center for Metals
JRCM NEWS / 第373号

内容に関するご意見、ご質問はJRCM総務企画部までお寄せください。
本書の内容を無断で複写・複製・転載することを禁じます。

発行 2017年11月1日

発行人 小紫正樹

発行所 一般財団法人 金属系材料研究開発センター

〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目5番11号 第11東洋海事ビル6階

TEL (03)3592-1282 (代) / FAX (03)3592-1285

ホームページ URL <http://www.jrcm.or.jp/>

E-mail jrcm@oak.ocn.ne.jp