

高圧水素中で使用するための鋼材に関するNEDO事業解説

水素エネルギー部 水素利用推進室

- ◇水素ステーションの高圧水素設備に使用可能な金属材料について規制見直しを図る。
- ◇新たな水素適合性基準の構築を図り、安全性と利便性を両立させた汎用ステンレス鋼の使用可能範囲の拡大に取り組む。
- ◇汎用ステンレス鋼の冷間加工や溶接について高圧水素設備での利用拡大を図る。
- ◇汎用低合金鋼について高圧水素中の使用可能温度上限の高温化を図り、JPEC 技術文書に反映させ利用を可能とする。

1. はじめに

地球温暖化の影響が様々な形で現れている中、様々な国で温室効果ガスの排出量削減の取組みが加速されている。運輸分野に関しては欧州各国や米カリフォルニア州、中国等は期限を設定してガソリン車の新規販売禁止政策を打ち出し、日本においても2050年を目標に二酸化炭素の実質排出量ゼロが掲げられた。エネルギー源あるいはエネルギー媒体としての水素の利活用は二酸化炭素の排出量低減に有効な技術であり、水素に関する日本の取組みは世界に先駆けたもので技術的にもトップレベルである。

ただ、2014年に量産型の燃料電池車（FCV）が国内の一般市場に投入されるなど導入は早かったものの、その後の普及拡大の面では欧米の後塵を拝しているといえる。日本国内では2019年末時点での累積販売台数が3,500台程度であるのに対し、既に北米は約8,000台、韓国では5,000台超の実績があると言われている。なお、北米では自動車より産業用のFCフォークリフトの方が3万台近くと普及が進んでいる。バスやフォークリフトの場合は限られた事業エリア内での運用でよいが、乗用車では不特定の行先や長距離に対応する必要がある。FCVが有する長い航続距離のメリットを活かすためにも広範な地域の水素ステーションネットワークの構築が望まれ、より安価に水素ステーションを整備するための取組みが不可欠である。

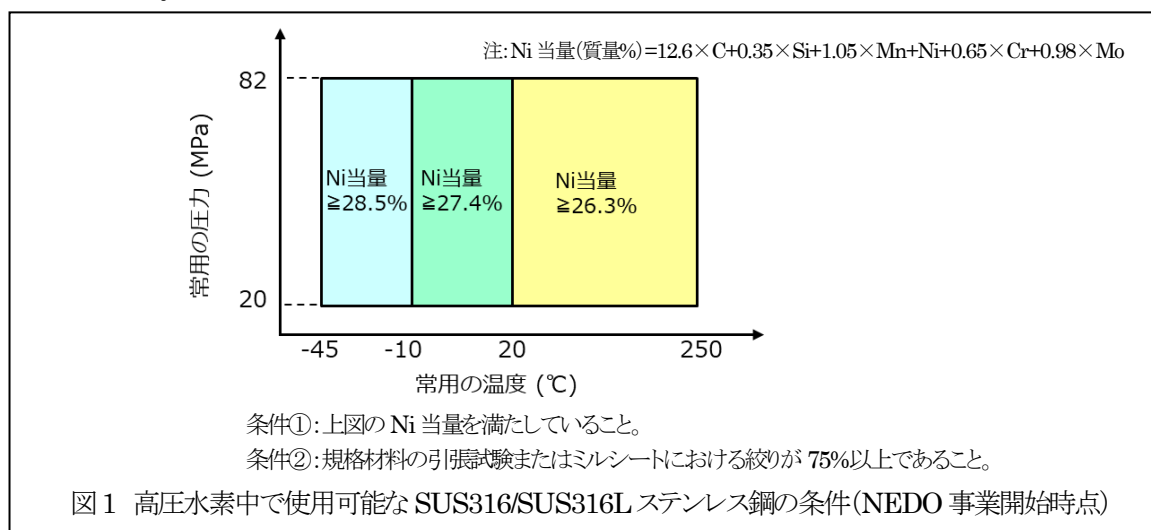
2. 高圧水素設備で使用できる鋼材

水素ステーションにはFCVへの燃料補給をガソリン車並みの時間で完了できることが要求されてい

1. はじめに
2. 高圧水素設備で使用できる鋼材
3. NEDO 事業における取組み
 - 3-1. 汎用ステンレス鋼
 - 3-2. 汎用ステンレス鋼冷間加工材
 - 3-3. 汎用ステンレス鋼溶接材
 - 3-4. 汎用低合金鋼の高温適用
4. 成果の一例
5. 今後の予定

る。現在の 70MPa 級商用水素ステーションは、5 kg 程度の水素（いわゆる満タンまで）を数分で充填できる能力を有する。ここで、水素ステーションでは充填する水素を -40℃ 程度にあらかじめ冷却しておくことにより、急激な圧力上昇による車両の水素タンク温度の過剰な温度上昇を防いでいる。ところが水素は金属に対し、一般的には脆化と呼ばれる悪影響を引き起こし、低温ではさらに助長される性質を持つ。よって水素ステーション用の高圧設備においては上記のような低温・高圧でも水素の影響に耐える材料を使用しなければならない。

一般則例示基準 9.2 にはそのような環境でも使用可能な材料が例示されている。これに記載されている範囲の材料であれば一般申請での使用が可能であり手続きも比較的簡便である。一例として、従来のステンレス鋼の場合について図 1 に示す。使用温度の範囲に応じて、材料成分から計算される Ni 当量値が所定の数値であることと、材料の絞り値が 75% 以上であることが条件であった。先述の水素ステーションの場合は水素温度が -40℃ となるため、Ni 当量が 28.5% 以上でかつ絞りが 75% 以上である SUS316 系ステンレス鋼を使用する必要があった。なお、上記の Ni 当量値も水素中での絞りの挙動を基に決められたものであり、絞りを指標とした基準であるといえる。また、この基準に適合している SUS316 系ステンレス鋼を用いる場合であっても、これを冷間加工して用いることや溶接することは例示基準には記載されていない。



3. NEDO 事業における取組み

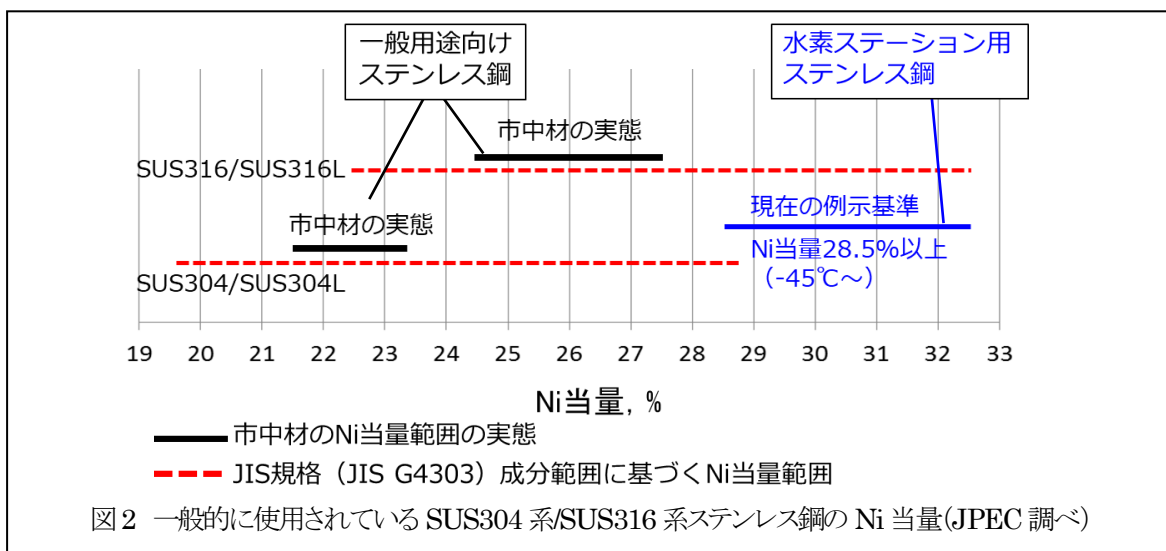
水素ステーションの普及拡大に向け経済産業省発表の水素・燃料電池ロードマップでは 2020 年度までに 160 か所、2025 年度までに 320 か所の整備目標、2020 年代後半には水素ステーション事業の自立化が掲げられている。水素ステーション事業の自立化には整備費・運営費の各種コスト低減が必須であり、汎用材をより広範囲、簡便に利用できる環境づくりも必要となってくる。

そこで、NEDO 研究事業「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業/国内規制適正化に関わる技術開発/新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発」において、汎用ステンレス鋼・低合金鋼の高圧水素中での挙動に関する研究を行っており、規制緩和につながる技術的な成果を期待されている。当センターの他に高圧ガス保安協会、九州大学、一般財団法人金属系材料研究開発センター、日本製鉄

株式会社、愛知製鋼株式会社、株式会社日本製鋼所が参加しており、技術面、各規制との整合、事業者ニーズ等、様々な視点から研究に取り組んでいる。本研究開発事業は4つのサブテーマで構成されており、以下に概要を説明する。

3-1. 汎用ステンレス鋼

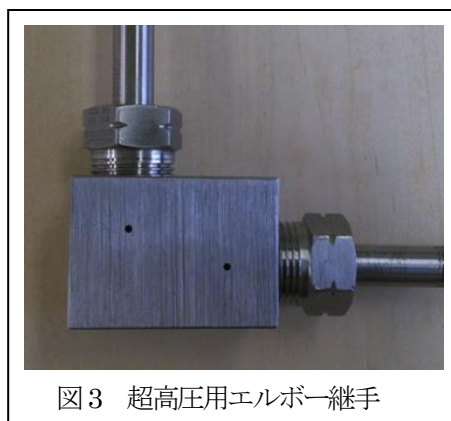
2章で述べた通り、高圧水素設備に使用できるSUS316系ステンレス鋼は絞りを指標としたNi当量と絞り値によって規定された。これに適合する鋼材は高い耐水素性を有するものの、市中で流通するSUS316系ステンレス鋼のボリュームゾーンとは全くかけ離れた特殊な材料となっており(図2)、製造・流通量も少なくなるため調達コストも高くなる。水素ステーションの低コスト化を目指すには材料の使用範囲を拡大し、市中材として流通するレベルの汎用ステンレス鋼でも使用できることが望ましい。そこで、現行の絞り基準に代わる新たな水素特性判断基準について検討し、十分な安全を担保しつつ規制の緩和につながる材料範囲の拡大に向けた取組みを行っている。



3-2. 汎用ステンレス鋼冷間加工材

冷間加工は材料強度の向上、寸法調整のための成形、配管では曲げといった用途に用いられる。冷間加工材の使用によって部品の小型・軽量化が可能となる他、部品製造時の加工ロスの低減や継手の省略等のメリットが見込まれるものの、加工に伴う金属組織の変化が水素適合性に与える影響が深く検討されておらず、一般則例示基準化はされていない。そのため、配管自体は曲げずに使用され、向きを変えるためにはエルボー継手を用いることも行われている(図3)。また、冷間加工材には許容引張応力が設定されていない。

冷間加工材の使用、加工により高められた材料強度を適用するには事前評価申請を行う必要があり、加工後の状態でのSSRT¹による水素適合性の評価も必要である。そこで、当研究開発事業では加工に伴う各種影響や加工後の許容引張応力設定について検討を行い、簡便に冷間加工材を使用でき



るよう基準化に向けた取組みを行っている。特に切削性に優れる SUS305 を適度に冷間加工すると 900MPa 以上の強度が得られるため、良好な水素適合性が確保され許容引張応力を設定できれば高価な SUH660 の代替材料となり得る。

3-3. 汎用ステンレス鋼溶接材

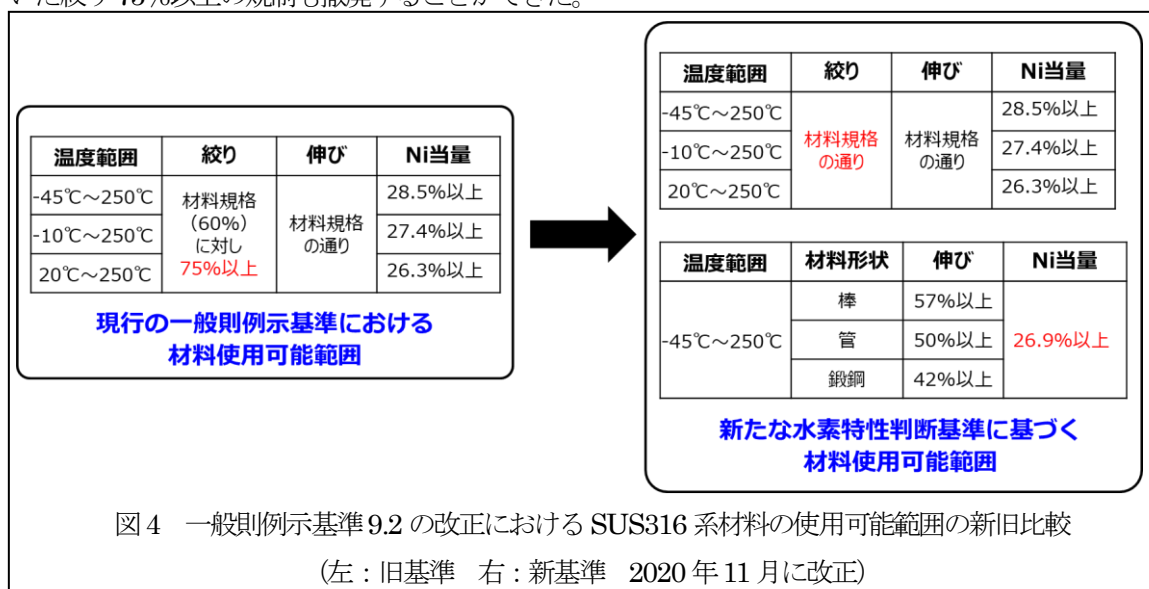
汎用ステンレス鋼を用いた溶接について主に水素適合性を検討し、水素ステーションで汎用ステンレス鋼溶接材を用いる際の技術指針を作成するための検討を行っている。

3-4. 汎用低合金鋼の高温適用

SCM435、SNCM439、SA-723 に代表される汎用低合金鋼は強度が高く、比較的安価な金属である。水素スタンドで使用される低合金鋼製蓄圧器の安全利用に関する技術文書 JPEC-TD0003 にはこれらの材料を高圧水素設備で使用するための技術基準が示されており、水素中の SSRT において最大荷重点を示すこと等の条件が記載されている。この技術基準を満足する汎用低合金鋼は水素蓄圧器には使用できるが、高温における水素適合性が未知のため（上記技術文書における使用温度の上限は 50℃）、水素圧縮機の高圧高温部分には使用することができない。そこで汎用低合金鋼の使用可能範囲の拡大を図るため、水素圧縮機の動作状況を想定した温度・圧力での水素の影響を検討し、JPEC-TD0003 の使用温度上限改正について議論している。

4. 成果の一例

汎用ステンレス鋼の検討では水素適合性の判断基準を高圧水素中での延性と強度が確保できることとし、延性の判断基準には絞りではなく伸びが適用できること、伸びについては水素による影響を許容する代わりに裕度を要求すること、水素中では引張強さが低下しないことを新たな水素適合性の判断基準として確立し、また -45℃水素中における SUS316L 鋼の疲労特性についても実際に確認することによって、一般則例示基準 9.2 を改正することができた。この改正によって、-45℃高圧水素中においても Ni 当量 26.9% の SUS316 系ステンレス鋼の使用が可能となり、Ni 当量の点では汎用の SUS316L の領域まで材料範囲を拡大させることができた。さらに、伸びを基準とすることで、従来の材料に課されていた絞り 75%以上の規制も撤廃することができた。



汎用低合金鋼については、水素圧縮機における圧力・温度サイクルを考慮した図 5 に示す温度・圧力プロファイルによって低合金鋼を高温高压の状態に曝露し、低合金鋼中の水素を飽和させた状態で高压水素中 SSRT 特性、疲労き裂進展特性および水素誘起き裂進展下限値 K_{IH} を評価した。本検討の結果、高温高压水素チャージの影響がないことが確認できたため、JPEC-TD 0003(2017)における低合金鋼の適用温度範囲を改訂した。発行後は水素圧縮機の高温高压部分における汎用低合金鋼の適用が可能となりコスト面や工作性の改善が期待される。

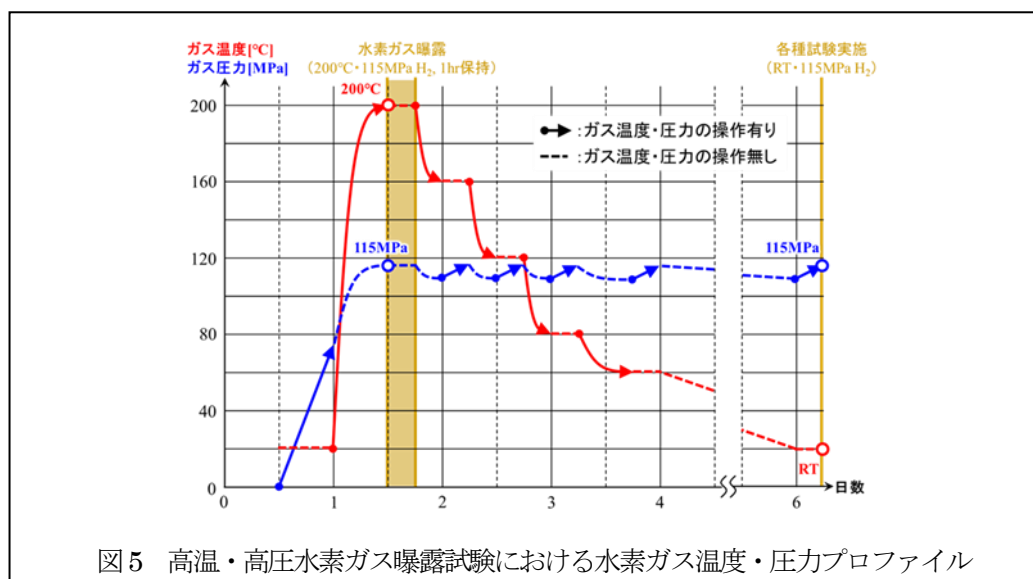


図 5 高温・高压水素ガス曝露試験における水素ガス温度・圧力プロファイル

5. 今後の予定

汎用ステンレス鋼の検討では使用環境に合わせた適材適所の材料範囲の拡大、冷間加工の検討では例示基準化された汎用ステンレス鋼を加工したのものについての基準化や、SUS305 冷間加工材の許容引張応力設定を中心に検討を進め、例示基準化を視野に入れた基準案を作成して高压水素設備における将来の規制緩和に資する研究を継続する。冷間加工材の水素適合性には、汎用ステンレス鋼の検討で構築した伸びを指標とする考え方を採り入れていく方針である。溶接については溶接後熱処理不要で使用できることを前提とした検討を進め、低温（-45°C）の高压水素中で使用できる母材・溶接材料の組合せを明確化し高压水素中での使用に必要な水素適合性の基準等と共に技術指針としてまとめる予定である。

¹ Slow Strain Rate Tensile test の略。低ひずみ速度引張試験。

(問い合わせ先)

一般財団法人石油エネルギー技術センター 水素エネルギー部 水素利用推進室 jrepo-3@peci.or.jp

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務(JPNP18011)の結果得られたものです。無断転載、複製を禁止します。

Copyright 2021 Japan Petroleum Energy Center all rights reserved