

## TODAY

## 石炭の安定供給、クリーンコールテクノロジーの開発・普及促進にむけて



一般財団法人石炭エネルギーセンター  
理事長 塚本 修

今年の6月に(一財)石炭エネルギーセンター(JCOAL)の新理事長に就任した塚本です。どうかよろしくお願ひいたします。

石炭は、供給安定性と経済性に優れており、わが国ではエネルギーベストミックスを構成する重要なエネルギー資源の一つとして、また、製鉄等の貴重な原料として利用されております。石炭の安定供給のためには、アジア・太平洋地域の新興国を中心とする石炭需要の著しい増大に対応した供給源拡大と環境負荷の低減を図る必要があります。効率よく経済的に石炭を利用する努力を続けていかなければなりません。

本年4月11日に示された国の「新たなエネルギー基本計画」では、石炭エネルギーの位置付けと政策の方向性が明確に示されました。重要なベースロード電源として石炭エネルギーを再評価、クリーンコールテクノロジーの内外での導入展開。また、安定的な石炭資源確保のための日本企業による上流進出の加速、化石燃料の効率的・安定的な利用のための環境整備、戦略的な技術開発の推進等の重要性の指摘がなされております。当センターの使命は、このような石炭を取り巻く環境変化を踏まえつつ、石炭に関する技術開発、技術の普及・移転、新規事業化の支援、人材の育成等を行うことにより国際的な石炭供給の増大と二酸化炭素問題等地球環境問題への対応を図り、わが国における一次

エネルギーの安定供給と産業経済の健全な発展に寄与することにあります。

これまで、当センターではインドネシア、ベトナム、中国、インド等の石炭生産・保安技術の海外研修生の受け入れ、専門家派遣事業等をベースに多くの国と幅広いネットワークを形成してまいりました。また、石炭をいかにクリーンに経済的に有効利用するか、豪州、カナダ、インドネシア関係国と共同でクリーンコールテクノロジーの実証開発を長年にわたり実施してきました。最近では、G7首脳会議・エネルギー大臣会議を踏まえウクライナの経済支援にも当センターが係わっております。ウクライナ国の老朽化した石炭火力発電所の効率向上に向けた火力発電所設備診断、さらには、わが国の高効率な石炭火力発電システムのシステム輸出の関連業務もお手伝いもしております。東日本大震災を経てわが国の原子力発電稼働再開は、きわめて厳しい局面あります。このような状況の中で、来年には第21回目の地球環境締約国会議(COP21)がパリで開催されます。

グローバルなエネルギーの安定供給、二酸化炭素による地球温暖化問題を同時に解決する重要な対応策としてクリーンコールテクノロジーの開発、普及促進は極めて重要な局面に来ております。ビジネスベースでの展開には、技術、市場、ファイナンス等そのハードルは決して低いわけではないと思われませんが、いかにそのハードルを乗り越え克服していくかは今後の大きな課題です。

当センターは、石炭に係わる上下流を通じた専門的知識と経験を有する石炭のワンストップ機関として、石炭の安定供給、クリーンコールテクノロジーの開発・普及促進のキーステーションとして所要の事業を展開してまいりたいと思ひます。関係者の皆様のご支援とご協力をお願ひいたします。

# 高圧水素用高強度高窒素ステンレス鋼の開発 — 水素環境用鋼種拡大に関する研究開発 (1) — 新日鐵住金株式会社 鉄鋼研究所 大村 朋彦

## 1. はじめに

来るべき水素社会構築のため、燃料電池自動車や水素ステーションの実用化・商用化研究が進められている。これらの自動車やステーションに使われる金属材料のうち、高圧の水素ガスに曝される部位には、水素ガスによる脆化（水素ガス脆化）に対する耐久性が要求される。現在、新エネルギー・産業技術総合開発機構（New Energy and Industrial Technology Development Organization, NEDO）のプロジェクトにおいて、参画する各研究機関により高圧水素ガス中の機械試験機を用いた各種金属材料の評価や新規材料の開発が推進されている。

近々商用化が予定されている燃料電池自動車には、航続距離向上のため従来の 35MPa よりも圧力が高い 70MPa 級の水素タンクが搭載される。自動車やステーションに使われる金属材料には、軽量化や高速水素充填の観点から、これまで用いられてきた SUS316L 等よりも、さらなる高強度化が求められている。あわせて、水素ガスの漏洩防止や施工コスト低減のため、溶接ができることが強く望まれている。新日鐵住金（株）は JRCM グループ（JRCM、日本製鋼所、愛知製鋼、新日鐵住金ステンレス、物質・材料研究機構）において、高圧水素ガス用の高強度材料の検討を進めてきた。上記の需要を満たす材料として、窒素による固溶強化を活用した、耐水素ガス脆化特性に優れた引張強さ 800MPa 級の高強度ステンレス鋼を開発した。この新規材料は HRX19® として商品化されており、配管・丸鋼を中心に、各種高圧水素用機器に適用が開始されている。本報ではその概要を報告する。

## 2. HRX19® の耐水素ガス脆化特性

HRX19® の公称化学成分は 0.03% C-5% Mn-13% Ni-22% Cr-2% Mo-0.2% V-0.2% Nb-0.3% N(重量%) である。SUS316L 等の従来鋼に比べ、窒素 (N) 含有量が高いことが特徴である。耐水素ガス脆化特性確保に必要なオーステナイト組織の安定度の指

標として用いられている Ni 当量値<sup>1)</sup>は 32 以上となる。既存の SUS316L 系のオーステナイト系ステンレス鋼において、-40℃で脆化を起さないための必要値 (28.5)<sup>2)</sup>よりも充分に高い。

図 1 に HRX19® の高圧水素ガス中の低ひずみ速度引張試験 (Slow Strain Rate Test, SSRT) の結果を示す<sup>3)</sup>。常温の 85MPa 水素中ならびに大気中で、丸棒平滑試験片を用いてひずみ速度  $3 \times 10^{-6}(\text{s}^{-1})$  で SSRT を行った。図の縦軸は水素中と大気中の破断伸び、絞りの比 (相対破断伸び、相対絞り) である。図中には、HRX19® をベースとした N 含有量を変化させた鋼の試験結果も示した。比較鋼として、既存鋼である SUS316L の固溶化熱処理材・30%冷間加工材の結果もあわせて示した。HRX19® は製品規格範囲の N 量 (0.25 ~ 0.4%) では、引張強さ 800MPa 以上を安定して達成できる。かつ、高圧水素中では相対破断伸び、相対絞りは 90%以上であり、良好な耐水素環境脆化特性を有する。

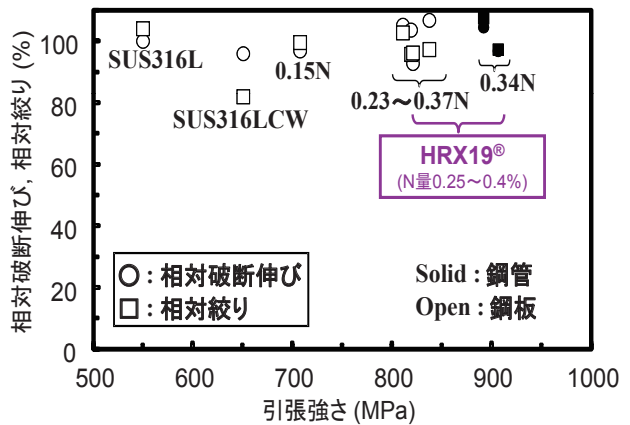


図 1 高圧水素ガス中の低ひずみ速度引張試験 (SSRT) 結果 (85MPa H<sub>2</sub>, 常温)

図 2 には -50 ~ 150℃の広い温度範囲の高圧水素ガス中で SSRT を行った結果を示す。相対破断伸び、相対絞りはいずれの環境条件においても 90%

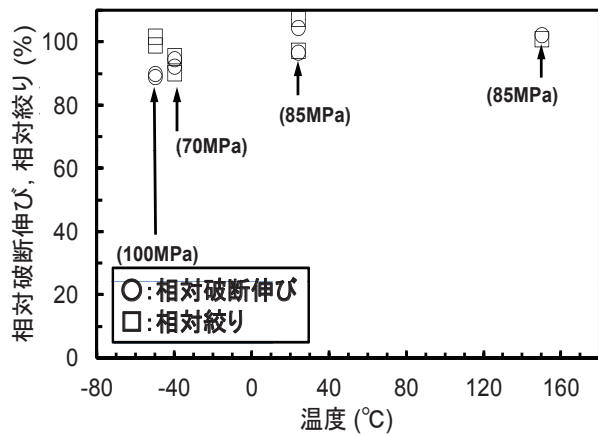


図2 水素ガス脆化特性に及ぼす温度の影響

以上であり、十分な耐水素ガス脆化特性を示す。また、長期使用を想定し、高温高压水素ガス中に試験片を曝露してあらかじめ十分な量の水素を吸収させ（～200ppm）、その後大気中でSSRTを行う評価でも、破断伸びや絞りが水素により低下しない<sup>4)</sup>。

図3に高压水素ガス中の疲労試験の結果を示す<sup>3)</sup>。内面に弧状切欠を付与した鋼管状試験片を用いて、試験片の内面側に高压の水素ガスを一定圧で充填、試験片の外面側に水圧変動により応力を負荷する方法（外圧疲労試験）により評価を行った。図3の縦軸は水素中とアルゴン中の寿命比である。図中にはHRX19®をベースとしたN含有量変化鋼と、SUS316Lの固溶化熱処理材・30%冷間加工材の結果も示した。SUS316L、HRX19®とも水素中の疲労寿命はアルゴン中の疲労寿命に比べてやや低下するが、その度合いは同程度であった。すなわち、図1のSSRTの結果と同様に、HRX19®は

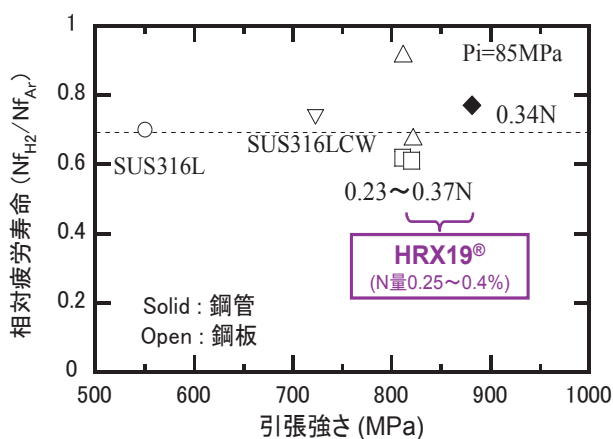


図3 高压水素ガス中の疲労試験結果 (85MPa H<sub>2</sub>, 常温)

既存鋼のSUS316Lよりも高い強度を有し、かつ水素中の疲労特性も遜色無い。

高压水素ガス中の諸特性に関するデータは別の公的機関でも取得されており、いずれも良好な性能を示すことが確認されている<sup>5)</sup>。

### 3. HRX19®の溶接性

HRX19®は窒素の固溶強化を活用した高強度鋼であるため、冷間加工や時効熱処理により強化した材料とは異なり、溶接が可能である。溶接継手の特性を評価した例を示す。15mm厚の素材鋼板を用いて、種々の市販の溶接材料でTIG溶接を行った。用いた溶接材料は、市販の309MoL(0.01C-23Cr-14Ni-2Mn-2Mo)、309Mo(0.1C-23Cr-14Ni-2Mn-2Mo)、308N2(0.07C-21Cr-10Ni-2Mn)、317LN(0.001C-20Cr-13Ni-2Mn-3.6Mo)である。溶接部を中央に含むように丸棒引張試験片を採取し、高压水素中でSSRTを行った結果を図4に示す。いずれの溶接継手も90%以上の相対破断伸び、相対絞りを示し、良好な耐水素ガス脆化特性を有する。

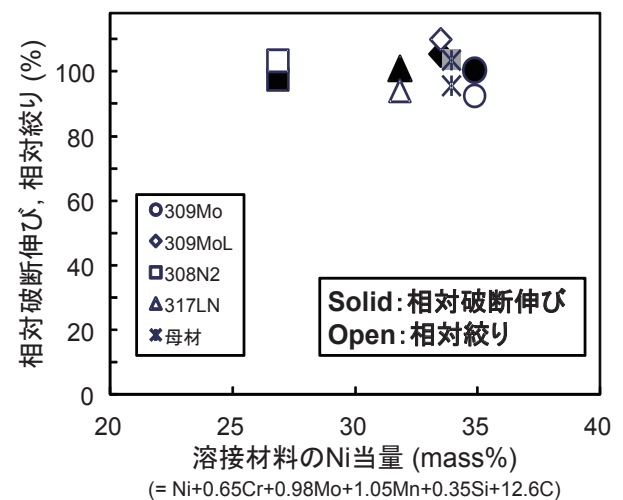


図4 溶接継手の高压水素ガス中SSRTの結果 (90MPa H<sub>2</sub>, 常温)

高窒素ステンレス鋼を溶接する場合、溶接時に窒素が逃散し、溶接金属部の強度が低下する懸念がある。そこで、シールドガス(Ar)中に窒素を混入させ、窒素の逃散とそれに伴う溶接金属の強度低下を抑える手法を検討した<sup>6)</sup>。図5に溶接金属部の窒素含有量に及ぼすシールドガス中の窒素混

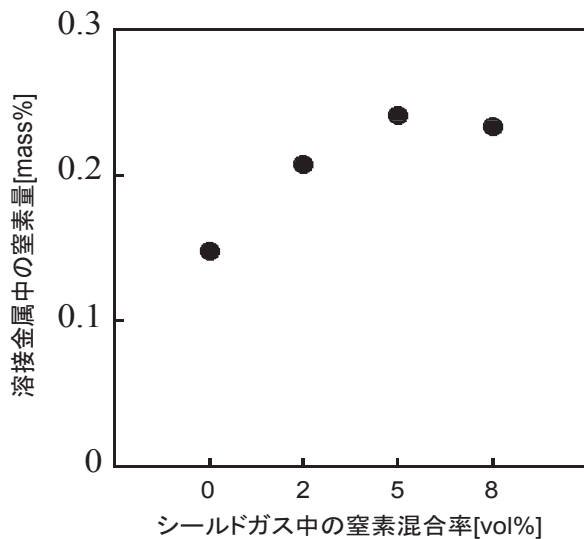


図5 溶接金属中の窒素 (N) 量に及ぼすシールドガスの影響

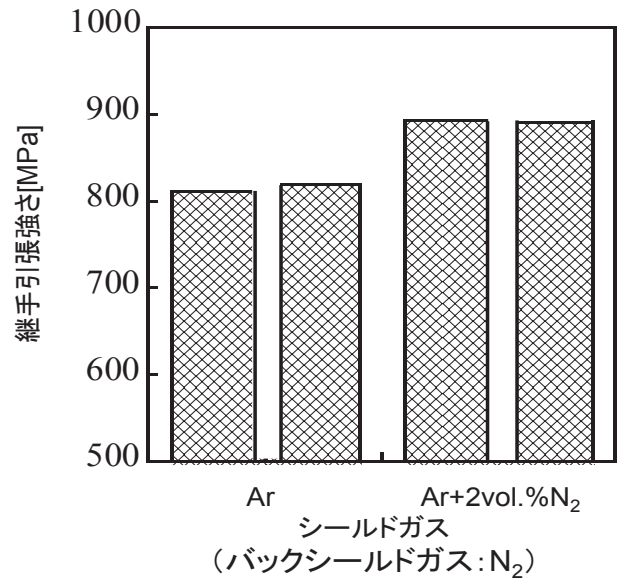


図6 溶接継手の強度に及ぼすシールドガスの影響

合率の影響を示す。溶接材料は 309Mo、バックシールドガスは 100%窒素である。シールドガス中の窒素混合率を高めることで、溶接金属からの窒素逃散が抑制できる。

図6に溶接継手の強度に及ぼすシールドガスの影響を示す。溶接材料は 309Mo、バックシールドガスは 100%窒素である。溶接後の余盛付で引張試験片を採取し、常温大気中で引張試験を行った。シールドガス中に窒素を混合させることで、引張強さ 800MPa 以上を安定して確保できる。

#### 4. おわりに

HRX19® は引張強さ 800MPa 以上の高強度を有し、広い圧力温度範囲の水素ガス中で脆化を起こさず、かつ溶接が可能な材料である。水素ステーション用の配管や機器を中心に採用・適用が進められており、今後さらなる適用の拡大が期待される。溶接法に関しては、今回示した方法は適正条件の一例であり、素材の寸法や形状により最適法が異なる可能性がある。JRCM グループでの基盤研究や客先・他機関との共同研究を通じて、溶接法を含めた利用技術面のデータをさらに蓄積する予定である。

#### <参考文献>

- 1) T. Hirayama and M. Ogirima : J. Jpn. Inst. Met., 34 (1970), 507.
- 2) 山田敏弘、小林英男：高圧ガス 49 (2012), 885.
- 3) Jun Nakamura, Tomohiko Omura, Yusaku Tomio, Hiroyuki Hirata, Masaaki Terunuma, Etsuo Dan and Takahiro Osuki : Proceedings of the ASME PVP2013 (2013) PVP2013-97365.
- 4) 大村朋彦、中村潤、平田弘征、浄徳佳奈、小薄孝裕、照沼正明：CAMP-ISIJ, 「水素脆化の解析と評価」フォーラム「鋼の機械的特性に及ぼす水素の効果とその評価」シンポジウム (2014).
- 5) 井藤賀久岳、松尾尚、織田章宏、松永久生、松岡三郎：日本機械学会論文集 (A 編) 79 (2013) 1726.
- 6) 浄徳佳奈、中村潤、平田弘征、大村朋彦、小薄孝裕、照沼正明：溶接学会全国大会講演概要 第 95 集 (2014) 232.

The Japan Research and Development Center for Metals

JRCM NEWS / 第 337 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 2014 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](mailto:jrcm@oak.ocn.ne.jp)