

## TODAY

## 日本鉄鋼協会百年の歩み

一般社団法人 日本鉄鋼協会  
業務執行理事・専務理事 脇本 眞也

日本鉄鋼協会は大正4年(1915年)2月6日に設立され、本年をもって創立百周年を迎えました。協会創立の時代は、明治34年(1901年)に官営八幡製鐵所が開業し、明治37年(1904年)から38年(1905年)に日露戦争があり、大正3年(1914年)に第1次世界大戦が始まった頃ですが、粗鋼生産量は明治43年(1910年)において約25万トン程度で、鉄鋼材料の多くを輸入に頼っておりました。まさに我が国の経済的自立の意味でも、鉄鋼業の発展に国を挙げて力を注ぐべき時代でした。

当時、野呂景義博士をはじめとする鉄鋼協会設立の主唱者5氏は、「本會ノ目的ハ鐵及鋼ニ關スル學術經濟其他一切ノ問題ヲ研究調査シ本邦ニ於ケル該事業ノ改良發達ヲ期スルニアリ」と規定し、野呂景義博士は初代会長就任後も「製鐵業に関する合同」、すなわち現代の言葉に置き換えれば、わが国鉄鋼業の振興発展のためには産学官連携が必要である旨主張しました。当協会の産学官連携の「顔」であります論文誌「鐵と鋼」は協会設立の翌月に創刊されており、昭和30年(1955年)に「鉄と鋼」に字体が変更され、現在に至るまで百年の長きにわたり情報を発信し続けて来ております。

戦前発行の「鐵と鋼」を閲覧しますと、鉄鋼協会では発足初期の段階から国際的な取り組みに関心を寄せており、大正12年(1923年)には「印度號」すなわちインド特集号、大正13年(1924年)には「支那號」すなわち中国特集号を発行しております。また鉄鋼協会は商工省とも密に連携しており、昭和5年(1930年)には「鐵と鋼」の付録として商工省鑛山局編纂の「製鐵業参考資料」という統計資料が掲載されております。

設立後、順調に活動を拡大してきた鉄鋼協会も太平洋戦争により壊滅的な状況となります。しかしながら、終戦直後の昭和21年(1946年)の「鐵と鋼」には早速、戦後の鉄鋼界再編対策を検討するため「鉄鋼対策技術委員会」の設置が報告されております。さらに協会活動の国際化が強く認識されるようになり、論文誌は日本語のみならず英文でも出版する必要があるとの認識の下、昭和26年(1951年)には英文論文誌 TETSU-TO-HAGANE-ABSTRACTS が発行されるようになり、これが現在の論文誌 ISIJ International に繋がっております。

その後、戦後の高度経済成長期の鉄鋼業界の発展に伴って鉄鋼協会の事業も拡大し、昭和40年代前半には個人

会員数は1万人を超え、維持会員会社も200社を超える規模となりました。この前後、昭和40年(1965年)には、創立50周年記念式典が東京大学安田講堂で開催され、当時の佐藤栄作内閣総理大臣および愛知揆一文部大臣が来賓として出席し、祝辞を述べておられます。また、昭和43年(1968年)には鉄鋼技術について講演・討論する場として「西山記念技術講座」が開講され、現在まで続いております。さらに、昭和57年(1982年)には白石記念技術講座も開始されました。



(写真1) 創立50周年式典で祝辞を述べる佐藤栄作内閣総理大臣(昭和40年(1965年)4月6日、東京大学安田講堂にて)

このようにわが国鉄鋼業の発展とともに協会業務も拡大してきましたが、特に平成の時代に入ってから、我が国の経済動向の変化を受け、鉄鋼業界の経営状況も厳しさを増したことから、協会も業務全体の見直しが必要となり、創立80周年を迎えた平成7年(1995年)には総合企画部門、学会部門、生産技術部門からなる3部体制への移行、事務局業務の活性化と効率化、等を内容とする「リストラ80」計画が策定され、実行に移されました。この計画は単に業務の効率化、縮小を狙っただけのものではなく、新たな会員ニーズへの対応として、平成8年(1996年)には新会報誌「ふえらむ」が創刊されました。

創立90周年を迎えた平成17年(2005年)以降最近10年間を振り返りますと、事務局業務のより一層のスリム化を進める一方、学への助成を充実させ、また論文誌のオープンアクセス化を進める等の改革・改善を推進し、その結果、最近では特に英文論文誌 ISIJ International への投稿数も増大し、インパクトファクターも1.0を越えるなど鉄鋼分野における学術論文誌と

して国際的に認知されるに至っております。また鉄鋼協会を始めとする鉄鋼技術関係者のご努力により国家プロジェクトとして「革新的構造材料等技術開発」が開始される等、研究戦略立案過程での協会の役割も増大してきております。さらに鉄鋼分野の学生の育成のため、企業経営トップによる大学特別講義を各大学で開催するなど育成事業も重点施策として推進しております。これらの関係各位のご努力もあり、ピーク時に比べると個人会員数も減少したものの現在でも 9,000 人を維持しております。

創立 100 周年を迎えるにあたり、記念事業として全 6 巻からなる「第 5 版鉄鋼便覧」の発行、「鉄と鋼」第 100 巻記念特集号の発行、鉄鋼技術史関係書籍「遙かなる和鉄」の出版を行いました。引き続き「鉄鋼材料と合金元素改訂版」の発行、百周年記念国際会議「アジアスチール 2015」を開催する予定としております。

この度、平成 27 年(2015 年)2 月 3 日に開催された創立 100 周年記念祝賀会には、安倍晋三内閣総理大臣、下村博文文部科学大臣、宮沢洋一経済産業大臣のご出席をいただき、祝辞を頂戴するなど、時代が移り変わっても鉄鋼業、鉄鋼技術への期待が大きいことについて鉄鋼関係者一同あらためて認識したところです。特に安倍総理からは「鉄鋼業が日本から無くなると言われた時代もあったが、国内粗鋼生産量は今や連続で 1 億 1,000 万トンという時代を迎えている。さらに付加価値の高い鉄

に変えていく努力をしながら、日本の成長のために大いに貢献してもらいたい。150 周年、200 周年に向けて、発展していくことを祈念している。」との挨拶をいただき、大変印象に残る心強い祝辞でした。

日本鉄鋼協会は我が国鉄鋼業のまさに創成期から発展期へ、そして成熟期への変化と共に歩んできました。今後の協会の役割としては、世界水準の鉄鋼学術論文誌の発行、産学の研究者・技術者の交流の促進、学生及び企業人材の育成、今後の鉄鋼科学技術戦略の企画立案、の 4 点に重点を置いて行く所存です。今後とも関係各位のご支援・ご指導をお願いする次第であります。



(写真 2) 創立 100 周年祝賀会で祝辞を述べる安倍晋三内閣総理大臣(平成 27 年(2015 年)2 月 3 日、経団連会館にて、司会席は筆者)

## JRCM REPORT

# 水素エネルギー用低 Ni 省 Mo 型ステンレス鋼の開発

新日鐵住金ステンレス株式会社 研究センター 秦野 正治

### 1. はじめに

水素をエネルギーの輸送・貯蔵媒体として活用する水素エネルギー社会の構築に向けて、様々な研究開発が推進されている。実際、水素ステーションの建設と燃料電池自動車の市販開始は現実のものとなり、これら用途ではオーステナイト系ステンレス鋼が広く使用されている。中でも、SUS316L (17.5Cr-12 ~ 14Ni-2Mo) や 12%以上 Ni を含有する SUS316 は水素の影響を受けにくい代表的なステンレス鋼であり、高圧水素ガス環境下において様々な材料特性データが採取されてきた。現在、水素の影響を受けにくい SUS316L 及び SUS316 については Ni 当量式を規定して燃料電池自動車や水素ステーション等で使用することが例示基準化されている<sup>1)</sup>。

一方、ステンレス鋼に含まれる Cr と Ni や Mo は、我が国においてレアメタルに指定されており、省資源および経済性の観点から、社会的に適正な利用が要求される元素である。SUS316L や SUS316 は 2%以上の Mo と 10%以上の Ni を基本成分に含む高耐食ステンレス鋼であり、中性塩化物環境から化学、石油関連の様々な腐食環境に多用されている鋼材である。従って、来るべき水素エネルギー社会の構築に向けて、耐水素脆化特性に特化した省資源型ステンレス鋼の開発は社会的なニーズと言える。

水素環境下で使用される耐水素脆化特性に優れた材料の研究開発は(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構のプロジェクトにおいて実施されてきた。当社は、ステンレス専門会社として発足以降(2005 年~)、新日鐵住金(株)(旧新日鐵)との共同実施の下、JRCM グループ(JRCM、日本製鋼所、愛知製鋼、物質・材料研究機構)のプロジェクトに参画し、上述した視点から省資源型ステンレス鋼の研究開発に取り組んでいる。先のプロジェクトでは、Ni の添加量を大幅に削減し、Mo を省略した 15Cr-9Mn-6Ni-2.5Cu 鋼(以下、STH1)や STH1 に 0.2%程度の N を添加して高強度化を指向した STH2 を水素エネルギー用材料として提案するに至った<sup>2,3)</sup>。本稿では、新日鐵住金(株)との共同実施の研究成果として、SUS316L に替わる水素インフラニーズの大きい高強度型 STH2 の耐水素ガス脆化特性について報告する。更に、将来の液体水素による大量輸送と利用を想定した STH1 の極低湿環境下の材料特性について紹介する。

### 2. STH2 の耐水素脆化特性

STH2 (15Cr-9Mn-6Ni-2.5Cu-0.2N) は、SUS316L と比較して、低 Ni 省 Mo 型で N 添加により引張強さを 2 ~ 3 割程度高めている。まず、STH2 の水素ステーション機器への適用を意図して取得した高圧水素ガス中の材

料特性（伸び、絞り）と疲労亀裂伝播特性について述べる。また、鋼材は高圧水素ガス中に長時間曝されると内部に水素が侵入する可能性もあり、高圧水素ガス中で認められなかった延性低下が生じる場合もある<sup>4)</sup>。従って、予め鋼材内部に水素を含んだ状態での内部水素脆化特性についても言及する。

供試鋼は 300kg 真空溶解でインゴットを溶製し、熱間鍛造と熱間圧延により 15mm 厚熱延板を製造した。熱延板は 1100℃ で溶体化処理し、高圧水素ガス中の評価に供した。引張試験は、平行部長さ 35mm、直径 7mm の丸棒引張試験片（L 方向）を作製し、45MPa および 90MPa の高圧水素ガス中と大気中で -40℃～85℃（使用想定温度範囲）において実施した。歪速度は、大気中  $8 \times 10^{-4}$ /s、高圧水素ガス中  $8 \times 10^{-5}$ /s とした。疲労亀裂伝播試験は、12.5mm 厚の 1TCT 試験片を作製し、室温で 45MPa 及び 90MPa の高圧水素ガス中、応力比 0.1、周波数 1Hz にて行った。更に、鋼材への水素チャージは 300℃・45MPa 水素中・200h とし、材料内部まで均一に 70～80ppm の水素をチャージさせて室温・大気中で引張試験を行った。

図 1 は、高圧水素ガス中の伸びと絞りを大気中とともに示している。高圧水素ガス中の伸びは、-40～85℃の範囲において大気中よりも上昇している事が分かる。このような伸びの上昇は、水素脆化を生じない材料で高圧力のガス環境下における静水圧の影響が大きく関与している<sup>5)</sup>。ここで、高圧水素ガス中で使用する SUS316 系ステンレスの選定基準は、75%以上の絞りを有し、大気中で高圧水素ガス中を除いた相対絞り 0.8 以上である<sup>1)</sup>。STH2 は室温で 80%以上の高い絞りを有し、相対絞りは -40～85℃において選定基準の 0.8 を超えている。また、-40℃、90MPa 高圧水素中での絞りのばらつきは、材料

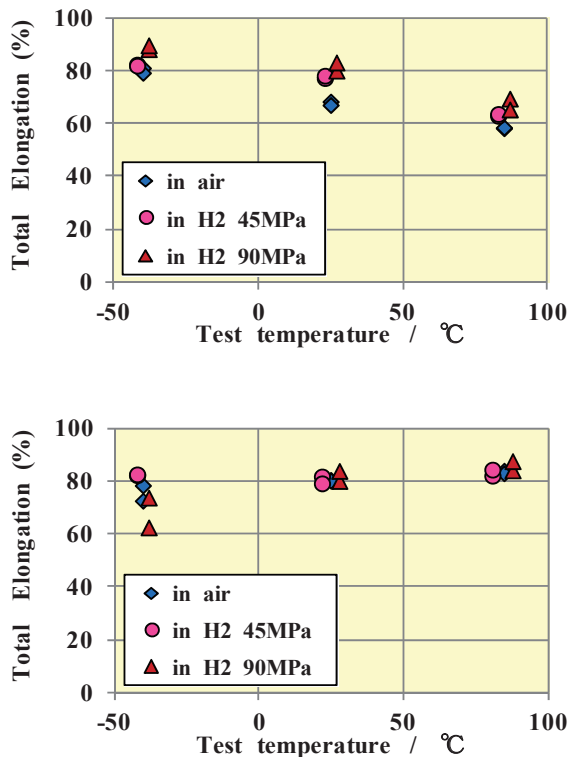


図 1 STH2 の 45MPa 及び 90MPa の高圧水素ガス中引張試験の伸びと絞り

破断直前の破面において、凝固に由来したオーステナイト負偏析部の水素ガス脆化に起因しており、その改善についても明らかにしている<sup>6)</sup>。

以上の結果から、STH2 は、SUS316L と同様に 45MPa 及び 90MPa の高圧水素ガス中において伸びや絞りの低下が極めて生じ難い耐水素ガス脆性に優れた低 Ni 省 Mo 型のステンレス鋼である。

次に、45MPa 及び 90MPa の高圧水素ガス中での疲労亀裂伝播試験結果を図 2 に示す。図中には大気中での SUS316L の試験結果を併記している。STH2 の高圧水素ガス中における疲労亀裂伝播速度は、評価した  $\Delta K$  の範囲において、SUS316L の大気中と同程度であり、高圧水素ガスによる亀裂伝播速度の上昇は認められない。ここで、STH2 で大気中の疲労亀裂伝播速度は  $30\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  より低い  $\Delta K$  の領域で減速していることが分かる。このような亀裂進展速度の減速は、高 Mn 鋼特有の大気中で生成する表面酸化皮膜に由来する亀裂開口に基づくことを確認している<sup>4)</sup>。

以上の結果から、STH2 は、SUS316L と同様に高圧水素ガス中で優れた疲労亀裂伝播特性を有している。

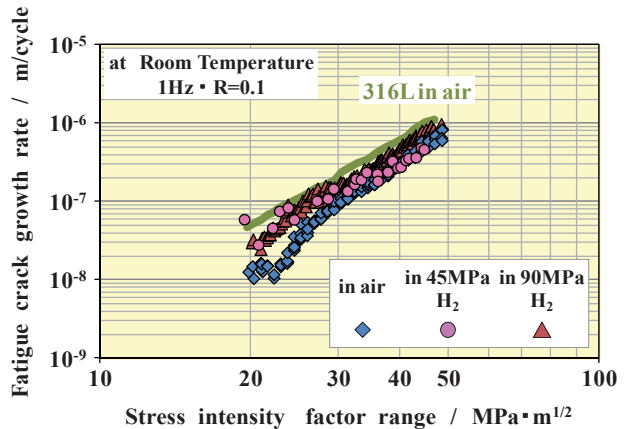


図 2 STH2 の 45MPa 及び 90MPa の高圧水素ガス中疲労亀裂伝播特性

最後に、予め 70～80ppm の水素をチャージさせた STH2 の大気中引張試験結果を表 1 に示す。空時効材は、水素チャージと同じ 300℃、200h の大気中熱処理を施したものである。水素チャージによる伸びの低下は殆ど見られず、高い延性を維持した。絞りは水素チャージにより僅かに低下し、相対絞り（水素チャージ材/空時効材）は 80%となった。過去、同実験条件において SUS316L の相対絞りは 80%であり、STH2 は SUS316L と同等の耐内部水素脆化特性を有していると理解できる<sup>4)</sup>。

表 1 STH2 水素チャージ材の引張特性

	全伸び (%)	平均全伸び (%)	相対全伸び (%)	絞り (%)	平均絞り (%)	相対絞り (%)
空時効材	67	68	-	81	81	-
	69			81		
水素チャージ材 (70～80ppm)	66	65	96	66	65	80
	64			64		

### 3. STH1 の極低温環境下の材料特性

液体水素を含む極低温用途の大部分には、SUS304L や SUS316L に代表されるオーステナイト系ステンレス鋼が使用されている。これらステンレス鋼は、液体水素環境の極低温 (20K) まで、母材に加えて溶接部も良好な破壊靱性を有している。但し、SUS304L は耐水素ガス脆性に課題があり、液体水素から低温水素ガス環境まで考慮した省資源型ステンレス鋼を検討することは意義深い。STH1 (15Cr-9Mn-6Ni-2.5Cu-0.03N) は室温で SUS316L と同等の強度レベルで、耐水素ガス脆性も SUS316L と遜色ない<sup>7)</sup>。ここでは、STH1 において極低温環境下の材料特性を評価した結果について述べる。

表 2 には、STH1 の極低温環境下の引張試験結果を示している。引張試験は、平行部長さ 35mm、直径 7mm の丸棒引張試験片 (L 方向) を作製し、77K 液体窒素、20K 液体水素、4K 液体 He 中にて歪速度  $10^{-4}$ /s 台で実施した。STH1 は、20K 液体水素中で伸び・絞りは最小値を示したが、それでも 38% の高い伸びを有しており、実用上十分な値と考えられる。0.2%耐力は低温ほど上昇し、引張強さは 77K 以下で 1400MPa を超えて 20K 液体水素中が最も高い値を示した。

表 2 STH1 の室温大気中、77K 液体窒素中、20K 液体水素中及び 4K 液体 He 中の引張試験結果

	0.2%PS(MPa)	TS(MPa)	伸び(%)
室温	280	618	74.0
	261	611	73.5
77K	501	1443	59.6
	487	1413	66.7
20K	591	1554	38.7
	595	1476	38.2
4K	599	1487	59.9
	625	1466	63.3

STH1 の液体窒素中 (77K) 及び液体水素中 (20K) の疲労試験結果を図 3 に示す。疲労試験は、平行部長さ 12mm、直径 6mm の丸棒引張試験片 (L 方向) を作製し、応力比 0.1、周波数は 0.1Hz から順次上昇させて最大 5Hz にて実施した。S-N 曲線から、室温、77K、20K とも、繰り返し数  $10^6$  回疲労強度は、0.2%耐力を十分に上回っている。これより、STH2 は 304L や 316L と同様、極低温環境において極めて高い S-N 疲労特性を示している。

以上から、STH1 は、極低温環境下で実用上十分な延性と高い疲労強度を有することが分かった。

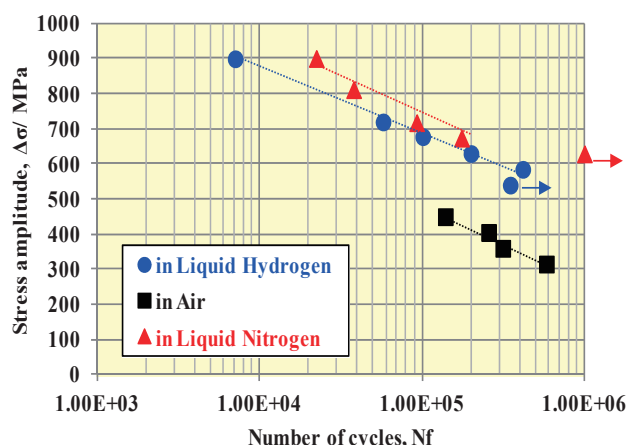


図 3 STH1 の室温大気中、77K 液体窒素中及び 20K 液体水素中の疲労試験結果

### 4. おわりに

本稿では、水素エネルギー用低 Ni 省 Mo 型ステンレス鋼として、STH2 の耐水素脆化特性ならびに STH1 の極低温環境下の材料特性について概説した。これら鋼材は、水素エネルギー社会の構築に向けて、SUS316L や SUS316 からの転換による適用推進が大いに期待される。

現在、JRCM グループでは、水素利用技術研究事業一使用可能鋼材の拡大に関する研究開発を推進中である。STH1 及び STH2 については、新日鐵住金(株)との共同実施、参画メンバーとの共同研究を通じて、高圧水素ガス及び液体水素用途における利用技術面のデータ拡充を推進するとともに、水素環境下での新たな金属学的知見の獲得を目指す。

### 参考文献

- 1) 山田敏弘、小林英男：高圧ガス、vol.49、No.10、29-37 (2012)
- 2) 秦野正治、高橋明彦、松本和久、藤井秀樹、大宮慎一：燃料電池、vol.12、No.4、70-74 (2013)
- 3) 松本和久、秦野正治、大宮慎一、藤井秀樹：MATERIAL STAGE、vol.10、1-3 (2014)
- 4) NEDO「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」H22～H24 成果報告書
- 5) 秦野正治、高橋明彦、藤井秀樹、大宮慎一：日本金属学会誌、vol.77、No.12、593-598 (2013)
- 6) K.Matsumoto, S.Omiya, H.Fujii, M.Hatano：ASME-PVP2013-97656(2013)
- 7) NEDO「水素社会構築共通基盤整備事業」H17～H21 成果報告書

The Japan Research and Development Center for Metals

JRCM NEWS / 第 341 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 2015 年 3 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

T E L (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)