

TODAY

—パリ協定と
地球温暖化対策—東京大学公共政策大学院
客員教授 本部 和彦

2015年12月にフランスパリで開催された「COP21」では、先進国だけが温室効果ガスの削減義務を負いその結果アメリカが離脱した京都議定書と、2013年以降の国際的な枠組みを定めたものの法的な協定とはならなかった2010年のカンクン合意に終止符が打たれ、地球温暖化対策の実施に全ての国が参加する2020年以降の新しい法的な枠組み「パリ協定」が採択された。

パリ協定では、「産業革命前からの地球全体の平均気温の上昇を2℃よりも十分低い水準に抑え、さらに1.5℃に抑えるための努力を行う」という長期目標を設定したうえで、当面目指すべきより現実的な削減の道筋として「なるべく早い段階で、世界全体の温室効果ガスの排出量をピークアウトする」ことが定められている。また、その実現を図るために、先進国が資金提供を継続するだけでなく、途上国も自主的に資金を提供するとともに、全ての国が協力して革新的な技術を開発し、その成果を途上国に移転する協力の仕組みが組み入れられた。

さらに、全ての国が対策の実施状況をまとめ事務局に定期的に報告するとともに、5年ごとに世界全体での進捗状況を把握し総括することを通じ、各国が次の5年間の削減目標作成して提出する仕組みがつくられた。つまりパリ協定は加盟国によるPDCAサイクルを通じて世界全体の削減を目指す協定なのだ。

パリ協定のもう一つの特徴は、削減目標の達成が義務で、未達には罰則があった京都議定書と異なり、目標の達成を義務とせず、目標を提出することを義務としたことである。この結果、「中国と同じ義務でなければ受け入れない」というアメリカ

の参加条件の一つがクリアされることとなった。まさに国際交渉に携わってきた人たちが出した智恵と言えよう。

パリ協定に沿って、日本はこれからどのように対応していく必要があるのだろうか。日本は「2030年において、2013年比で26%削減する」という目標を登録している。その達成方策として、エネルギー基本計画では、産業や家庭での徹底した省エネと再生可能エネルギーと原子力を活用する電源のゼロエミッション化で達成しようとしている。しかし、原子力発電所の再稼働は想定したペースで進んでおらず目標の達成は相当困難な状況におかれている。加えて、民主党政権時代の高額なFIT補助金で設置の容易な太陽光発電に偏った設備導入が進み、国民負担と安定供給の双方に問題が生じようとしている。

こうした中で、既に掲げている2050年までに温室効果ガス80%削減という目標をどう考え達成するかという長期戦略と2020年までに提出を求められている新たな削減目標の検討も、日本にとって大きな課題となっている。

加えて、気候変動に懐疑的な米国トランプ政権の誕生が国際的な不安要因となっている。国連気候変動枠組み条約そのものからの脱退、パリ協定からの脱退、オバマ政権の設定した目標の改訂まで様々な見方があるが、主要幹部の政治任命すら進んでいない現段階でトランプ政権の気候変動政策の動向を性格に見極めることは困難である。ただ、気候変動対策は2030年、2050年を目指した息の長い取り組みであり、当面日本が向かうべき道に大きな変化は無いと考えておいた方がよかろう。

ゼロリスクで発電コストが安く、大量に安定して発電ができる電源は存在しない。当面はリスクを認識した上で、原子力発電の利用を進めるとともに、中長期的には技術開発を進めることで経済と環境のバランスの取れた取り組みを進めることしか道は無い。JRCMの成果が、その中で活かされていくことを心から願っている。

高圧水素用ステンレス鋼 AUS305-H2 の開発

愛知製鋼株式会社

技術本部 技術開発部 窪田 和正

1. はじめに

光速で情報が行き交うネット通販の利便性と、実際に商品を運搬する物流の発達が話題となる昨今、自動車は「移動の自由」を実現する、無くてはならない社会の仕組みであることを改めて認識させられます。今後、自動運転化等の技術が発達することにより、益々便利で安全な社会の仕組みへと進化していくことと思います。

自動車の燃料に着目すると、1970年頃までにおいては、ガソリンエンジン車のノッキング防止とエンジン部品の保護を目的に、鉛が添加されたガソリン燃料が用いられていました。しかしながら、鉛の有害性が課題となり、無鉛ガソリンや軽油を燃料とすべく、自動車はその構造を変えて社会のニーズに対応しました。また、軽油を用いるディーゼルエンジン車においては、排気ガスに含まれるNO_xや微粒子を軽減する観点から、2000年頃において燃料噴射システムや排ガス浄化装置等が技術進化しています。

このように自動車は、人や物を必要な時に必要なだけ移動させる自由を実現しつつも、持続的に発展できる社会の仕組みとなるべく変化しており、これからも変化していくと考えられます。

MIRAI やトヨタ FC バスをはじめとする燃料電池自動車は、車載高圧水素タンクに蓄えた水素ガスを燃料とし、燃料電池を用いて発電し、モーターを回すことで走行します。水素は、化石燃料から再生可能エネルギーまで、様々な一次エネルギーから製造可能であり、液体水素等の形態で大規模に蓄えることができる、選択の自由度が高いエネルギー媒体です。水素ガスを自動車の燃料とすることで、多彩な一次エネルギーの利用、走行により水しか排出しないクリーンな環境性能に加え、数分で燃料を再補給できる利便性を兼ね備えることができます。また、ガソリンエンジン車やディーゼルエンジン車と同様に、走行と燃料補給を繰返しても燃料の搭載可能量（燃料タンクの容量）に変化はありません。

この燃料電池自動車の利便性を支えるのは、自動車向けの水素販売所である水素ステーションであり、燃料電池自動車の普及のためには水素ステーションの整備が欠かせません。燃料電池自動車の普

及と水素ステーションの整備を進めるため、高圧水素用の機器をより簡便に構成するための研究開発が求められています。

JRCM グループ（一般財団法人金属系材料研究開発センター (The Japan Research and Development Center for Metals, JRCM)、新日鐵住金(株)、(株)日本製鋼所、新日鐵住金ステンレス(株)、国立研究開発法人物質・材料研究機構、愛知製鋼(株) 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 (New Energy and Industrial Technology Development Organization, NEDO) のプロジェクト「水素利用技術研究開発事業」に参画し、高圧水素環境にて使用可能な鋼材の拡大に関する研究開発に取り組んでいます。その取り組みの中で、愛知製鋼(株)は、高圧水素用バルブ・継手用材料の省資源化に向けて、高価な Mo (モリブデン) を含有せず、省資源な高圧水素用ステンレス鋼 AUS305-H2 の開発を進めています。本報では、その特性を紹介します。

2. AUS305-H2 の特長

高圧水素用部品の素材として一般的な SUS316L は、高圧水素環境においても大気中と同等の延性を維持できることに加え、冷間加工を加えることで高い 0.2% 耐力と引張強さを両立することができます。そのため、冷間引抜加工を施した SUS316L を素材として用いることで、高圧水素用部品を軽量に製作することができます。しかしながら、SUS316L は一般には耐食用途で用いられている鋼材であり、耐食性を高めるために高価な Mo を 2~3% 含有しています。SUS316L を高圧水素用機器の素材として用いる場合には、耐食性の観点においてオーバースペックになると考えられ、高圧水素用機器の低コスト化が求められる今日において、コストの低減余地があり課題と考えられます。そのような背景のなか、高圧水素用ステンレス鋼 AUS305-H2 の開発は、SUS316L と同等の強度特性と高圧水素環境における延性を備えた、より省資源で安価なステンレス鋼材への置き換えを提案するものです (図 1)。

AUS305-H2 は、SUS305 の成分規格範囲内で、高圧水素用に成分を調整した高圧水素用 SUS305 です。汎用のステンレス鋼である SUS304(18-8 ステンレ

ス)をベースに、低温高圧水素環境においても、大気中と同等の延性を維持できるように成分調整したステンレス鋼と捉えることができます。

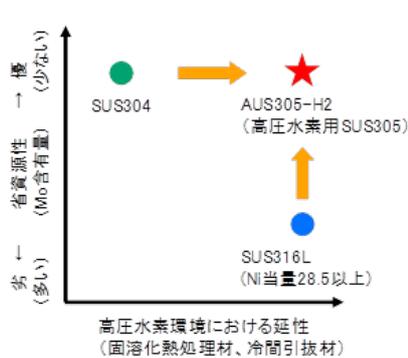


図1 AUS305-H2の特長

AUS305-H2の化学成分の例と、一般例として高圧水素用のSUS316Lの成分を表1に示します。高圧水素環境、とりわけ-40℃程度の低温の高圧水素環境において、大気中と遜色のない延性を維持するためには、加工誘起マルテンサイト変態の抑制が重要であることが、過去のNEDOプロジェクトにおける取り組みの成果として分かっています。高圧水素ガス保安法の一般則例示基準においては、SUS316Lの加工誘起マルテンサイトを抑制するために平山の式¹⁾によるNi当量が用いられています。例えば-40℃、70MPaの高圧水素ガス環境でSUS316Lを用いる場合、Ni当量にて28.5以上が求められています。このNi当量のしきい値は、SUS304、SUS316、SUS316L等のオーステナイト系ステンレス鋼における低ひずみ速度引張試験のデータを基に検討されたものです²⁾。SUS305は、それらの鋼材と隣接する組成であることから、SUS305であるAUS305-H2においてもNi当量28.5以上を満足する成分設計を採用しています。なお、AUS305-H2においては、Moは添加されないため、平山の式におけるMoの項はゼロとなります。

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Ni当量
SUS305 成分規格	0.12 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	10.50 -13.00	17.00 -19.00	-	-
AUS305-H2	0.11	0.95	1.92	0.032	0.006	12.88	18.87	-	28.9
SUS316L	0.021	0.53	1.19	0.032	0.004	13.44	17.02	2.76	28.9

Ni当量(平山の式) = 12.6C+0.35Si+1.05Mn+Ni+0.65Cr+0.98Mo
表1 AUS305-H2の化学成分の例(%)

3.AUS305-H2の特性

図2にAUS305-H2およびSUS316Lにおける固溶化熱処理状態のマイクロ組織を示します。ともに、オーステナイトの結晶を母相とし、若干の炭化物が存在する、オーステナイト系ステンレス鋼のマイクロ組織の様相を呈しています。

表2に機械的性質の例を示します。AUS305-H2は、SUS316Lと同等の強度が認められます。また、冷間引抜材においては、固溶化熱処理材と比較して2.5倍程度の0.2%耐力と1.3倍程度の引張強さが認められます。冷間引抜材は、固溶化熱処理材と比較し

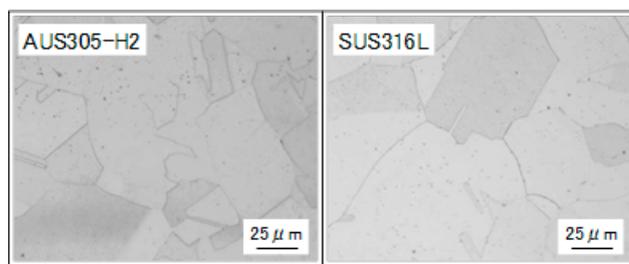


図2 ミクロ組織の比較

鋼種	状態	0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	絞り (%)
AUS305-H2	固溶化熱処理材	272	604	60	76
	冷間引抜材(減面率20%)	708	800	33	71
SUS316L	固溶化熱処理材	265	578	56	81
	冷間引抜材(減面率20%)	690	772	28	75

表2 AUS305-H2の機械的性質の例

て強度に優れることから、より軽量の機器の設計を可能とします。また、部品形状に近い素材断面形状が得られることから、切削加工コストを低減する観点においても優れています。

AUS305-H2の耐食性を示すデータとして孔食電位を図3に示します。孔食電位は、30℃の1mol/Lの食塩水を用い、飽和甘こう電極を参照電極として測定しました。孔食電位は高いほど(貴な電位ほど)、耐食性に優れます。一般に孔食電位は、CrとMoの含有量が多いほど、高い値を示すことが知られています。AUS305-H2は、耐食性を向上させる効果があるMoを含有しないため、SUS316Lと比較して耐食性に劣ります。しかしながら、SUS304と同等程度の耐食性を有しており、高圧水素用機器の素材として用いる場合において、十分な耐食性であると考えられます。

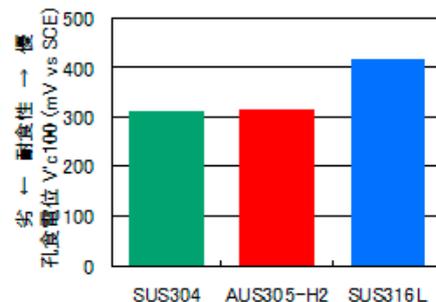


図3 孔食電位の比較

高圧水素環境における延性を示すデータとして、高圧水素中低ひずみ速度引張試験の結果を図4に示します。図4(a)は、汎用のステンレス鋼であるSUS304等の量産工程と同じ製造設備で作製したAUS305-H2の固溶化熱処理状態の圧延丸棒の試験結果です。スクラップ等を原料に50t電気炉を用いて溶解し、AOD(Argon Oxygen Decarburization)による精錬を経て、連続 castingにより鑄片を作製し、丸棒形状に熱間圧延した後、固溶化熱処理を施した鋼材を供試材としています。試験の結果、いずれの高圧水素環境においても、引張強さを示した後、0.8以上の大きな相対絞り(水素中絞り/大気中もしく

は窒素中絞り)を示して破断しており、大気中もしくは窒素中と同等の優れた延性が認められます。

これまでの開発取り組みから、実験室レベルで数十 kg 作製した固溶化熱処理材および冷間引抜材において、高圧水素中においても、大気中もしくは窒素中と同等の優れた延性を示すことが確認できています³⁾。また、VIM 溶解で作製した 2.6t 鋼塊を工場の実機で圧延した鋼材に関し、九州大学殿において、-45℃、106MPa から 120℃、115MPa の高圧水素環境にて低ひずみ速度引張試験を実施して頂きました。その結果、固溶化熱処理材および冷間引抜材において、大気中もしくは窒素中と同等の優れた延性が高圧水素中においても得られることを、確認できています。AUS305-H2 (高圧水素用 SUS305) のこれらのデータの蓄積から、鋼材作製の規模や鍛造方法に拠らない、高圧水素環境における優れた延性が示されています。

丸棒形状等の素材と比較して、より製品に近い形状が得られる熱間鍛造品においても、試験片を採取し、高圧水素中低ひずみ速度引張試験を行いました(図 4 (b))。評価に用いた粗形品は、熱間鍛造後に水冷することで、固溶化熱処理工程を省略する工程を採用しています。試験の結果、高圧水素中においても、大気中もしくは窒素中と同等の優れた延性が確認できており、固溶化熱処理の省略によるコスト削減および鍛造加工を用いたニアネットシェイプな粗形品による切削加工コストの削減が期待できます。

固溶化熱処理材における高圧水素中疲労き裂進展試験の結果を図 5 に示します。試験の結果、高圧水素中にお

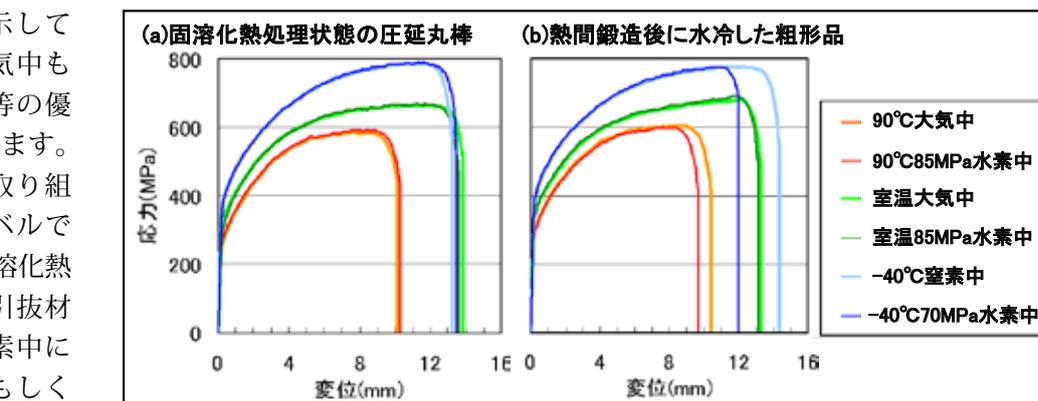


図 4 AUS305-H2 の高圧水素中低ひずみ速度引張試験の結果

いても疲労き裂進展速度の加速は認められず、大気中と同等であることが確認できています。

4. AUS305-H2 の生産性

量産化に向けた技術開発に自社で取り組み、良好な生産性が確認されています。また、品質保証において重要な鋼材の検査工程も、問題なく実施できることが確認されています。

5. おわりに

高圧水素用バルブ・継手用材料の省資源化に向けて、Mo を含有せず省資源な高圧水素用ステンレス鋼 AUS305-H2 の開発を進めています。AUS305-H2 は、SUS305 の成分規格範囲内で、高圧水素用に成分を調整した高圧水素用 SUS305 です。これまでの調査により、AUS305-H2 の固溶化熱処理材丸棒、冷間引抜材、熱間鍛造後に水冷した粗形品のいずれにおいても、高圧水素環境においても大気中と同様の優れた延性が認められます。

工場の実機の量産設備を用いて製造した AUS305-H2 鋼材においても、狙いとする鋼材特性および良好な生産性が確認されています。社会実装が進むことにより、高圧水素用機器の低コスト化に資することが期待されます。

謝辞

本報で示したデータは、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「水素利用技術研究開発事業」の結果得られた高圧水素用 SUS305 (AUS305-H2) のデータを含んでおります。

文献

- 1) T. Hirayama and M. Ogirima: J. Jpn. Inst. Met., 34 (1970) 507-510
- 2) 山田敏弘、小林英男: 高圧ガス 49(2012) 885 - 893
- 3) 窪田和正、渡邊義典: 日本金属学会誌 79(2015) 100-106

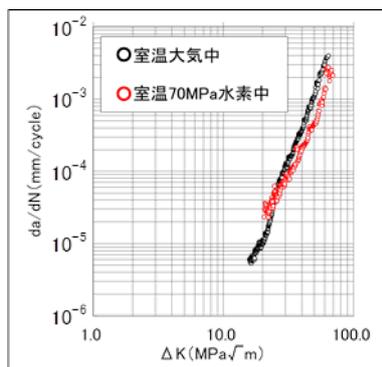


図 5 AUS305-H2 の高圧水素中疲労き裂進展試験の結果

The Japan Research and Development Center for Metals
JRCM NEWS / 第 366 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4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