

TODAY

我が国伸銅業の現況とロードマップの策定

一般社団法人 日本伸銅協会
専務理事 亀井 隆徳
(JRCM評議員)

1. 伸銅業の現況

平成 26 年度の我が国伸銅品の需要は、対前年比 2.5% 増の 81 万 4900 トンの見込みである。リーマンショック以前は 100 万トンの水準にあったが、円高による需要業界の海外移転、部品の軽薄短小化、他素材への代替の進展等により、その後の国内需要回復の足取りは重い。内訳としては、自動車関連、電子・半導体関連等を中心とした板・条製品が 5 割強を占め、続いて建設、住宅、水道等向けの棒・線製品が 3 割強、そしてエアコンやプラント向けが中心の管製品が 2 割弱となっている。最近の円安傾向もあり、平成 26 年度の上記需要のうち 17.5% が輸出関連である。

我が国伸銅業は、中国、米国、ドイツについて世界第四位の規模であり、平成 27 年度は対前年微増の 81 万 6900 トンの見通しとなっている。

伸銅業の経営上の主要な課題を挙げれば次の通りである。

- ・原料である地金価格の変動が激しい。
- ・副原料としてのリサイクル品の安定的確保が必要。
- ・製造コストに占めるエネルギーコストの割合が高く、その上昇が収益に大きな影響を与える。
- ・中国、韓国等との競争が激しい。

2. ロードマップの策定

このような状況の伸銅業の、将来の発展への道筋を明らかにすべく、日本伸銅協会及び会員各社は、ロードマップの策定作業を昨年末から開始した。

ロードマップの内容としては、

- ① 伸銅業の将来ビジョン
- ② 将来の主要な需要分野と目標性能
- ③ 目標性能を達成するための具体的な技術課題と対応策

の三本柱である。

伸銅業の将来ビジョンについては、国際競争力、海外展開等を含めて総合的な検討を行い、将来の産業の姿を明らかにする。

将来の需要については、自動車、電気、電子・半導体、住宅、エアコン等の主要分野に加え、新たに拡大する需要分野の将来予測を行うとともに、将来必要とされるであろう性能スペックの予測を行う。

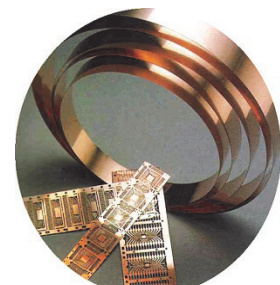
技術課題については、前述の性能スペックを満足するための技術開発課題を明確化し、その解決に向けての具体的アイデアを整理する。

3. 技術開発プロジェクトの実現に向けて

2015 年末の完成を目途にロードマップの策定作業を実施しているが、その結果を踏まえて、伸銅業界が共同で実施する技術開発プロジェクトの立ち上げを想定している。その実現までには次にあげる多くの課題がある。

- ① 伸銅業は歴史的に、技術情報を開示しない傾向が強いため、その壁をある程度崩すことが必要となる。
- ② 日本銅学会などの「学」との密接な連携が必要である。
- ③ 政府の財政的支援を得るためには、政策的優先度を高める必要がある。
- ④ 世界トップ水準の技術開発テーマを構築する必要がある。
- ⑤ 需要サイドとの適切な連携を行う必要がある。

一年後には、本構想が具体化していることを祈念して本稿を終わる。



蓄圧器用部材の水素助長割れ下限界応力拡大係数の評価

株式会社 日本製鋼所 室蘭研究所 柳沢 祐介

1. はじめに

平成 26 年 6 月に経済産業省より、水素社会の実現に向けた取組の加速として、「水素・燃料電池戦略ロードマップ」が示された。このなかで、水素ステーションの整備・運営コストの低減に向けて、規制見直しを推進することが述べられている。水素ステーションは蓄圧器、圧縮機、配管、ディスプレイ、バルブ、安全弁、シール材などで構成され、その多くに金属材料が使用される。しかしながら、現在、水素ステーション用に基準化された金属材料は水素の影響を受けにくい SUS316L などに限定されている。

蓄圧器などの大型機器に SUS316L を用いた場合、極厚となり経済的でないため、Cr-Mo 鋼などの高強度低合金鋼の使用が望ましい。Cr-Mo 鋼は水素の影響によって水素ガス中の引張延性や切欠強度が低下することが知られている¹⁾が、その耐性に応じて最大限使用する手法があれば、ステーションの安全性と低コストを同時に満足する有効な技術となる。

また、水素ステーション用蓄圧器には繊維強化プラスチック (FRP) を用いた複合圧力容器も考えられている。ライナー材として高強度鋼を使用することができれば、ライナーが荷重分担することで炭素繊維の低減化、低コスト化に寄与する。さらに、ライナーの疲労限度以下での使用と確立された検査技術により、高寿命と高信頼性が期待できる。

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」において、(株)日本製鋼所は JRCM グループ (JRCM、新日鐵住金、新日鐵住金ステンレス、愛知製鋼、物質・材料研究機構) に参画し、上記の要望に対して低合金鋼 (特に蓄圧器) の評価方法の基準化、標準化に関する検討を進めてきた。本報ではその概要を報告する。

2. 蓄圧器の安全性評価方法

水素ステーションに用いられる蓄圧器は、燃料電池自動車への充電時の減圧と蓄圧のための加圧が繰り返され、疲労破壊が問題となる。また、蓄圧器からの水素漏洩事故²⁾においては、高压で数日間保持されたことによる遅れ破壊が原因とされており、遅れ破壊に対しても十分な対策を取る必要がある。

蓄圧器の安全性評価として、高压水素ガス中で図 1 に示す各種試験を実施し、疲労評価及び疲労き裂進展評価を行っている³⁾。疲労き裂進展評価は、図 2 に示すように①非破壊検査で検出できる欠陥寸法を基に初期欠陥寸法を設定し、②高压水素ガス雰囲気における疲労き裂進展速度 da/dN と、③き裂進展解析における打ち切り点である限界き裂寸法を用いて行う。限界き裂寸法に到達する繰返し数に安全率を加味して、許容繰返し数が求まる。

大気環境においては、限界き裂寸法の設定に破壊靱性値 K_{IC} を用いる。一方、水素環境では K_{IC} より低い K_I 値 (水素助長割れ下限界応力拡大係数: K_{IH}) からき裂が進展を開始するため、この点をき裂進展解析における打ち切り点 = 容器の破壊限界とみなして、評価する必要がある。

K_{IH} の測定法はいくつか提案されており、本報ではライジングロード法⁴⁾と、定変位遅れ割れ試験法⁵⁾の 2 通りについて比較を行った。

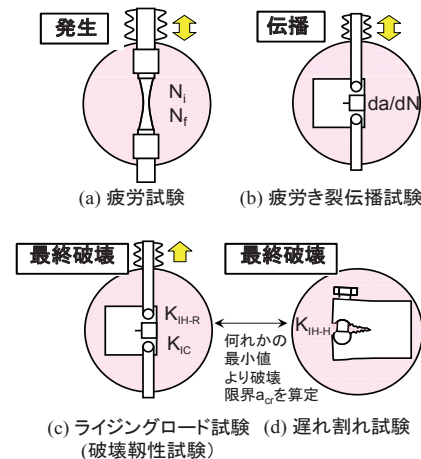


図 1 蓄圧器の安全性評価試験

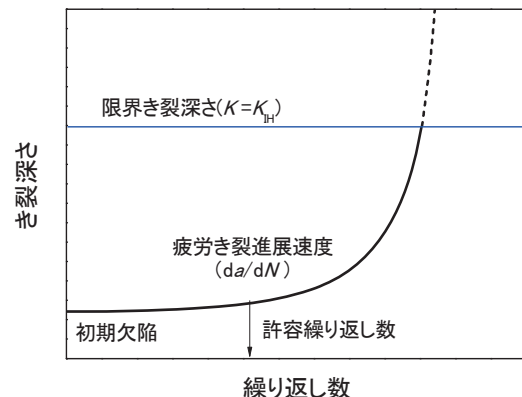


図 2 疲労き裂進展評価の模式図

3. 蓄圧器部材の K_{IH} 評価

試験に用いた材料は JIS SNCM439 鋼であり、850℃で2時間加熱後に30℃/minで冷却し、570℃～650℃で4時間の焼戻しを行った。熱処理後の引張試験結果を表1に示す。引張強さは890～992MPaである。

図3に K_{IH} 測定法の模式図を示す。ライジングロード試験は、低速度で荷重を負荷してき裂の進展開始を評価する手法である。1T-C(T)試験片を用いて、疲労予き裂を導入後に大気中及び90MPa水素ガス中で、開口変位速度が0.0002mm/s ($dK/dt=0.06\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}/\text{s}$)となるように制御して実施した。大気中及び水素中の荷重-変位曲線を比較し、両曲線の分岐点が水素の影響が認められ始める(き裂進展の開始)点と判断し、そのときのき裂長さから K_{IH} を求めた。

定変位遅れ割れ試験は、アメリカ機械学会で制定された高圧水素ガスの輸送と貯蔵用容器に対する特別な要求事項:ASME Sec. VIII Div.3 KD10⁵に採用されている試験法である。1T-MC(W)試験片を用いて、酸素量を0.3ppm以下となるように制御したグローブボックス内でボルトロードにより荷重を負荷した。初期に負荷する K_I 値は70～140MPa $\cdot\text{m}^{1/2}$ とし、90MPa水素ガス中に1000h保持した。保持中にき裂が進展した場合は、き裂進展に伴って荷重が減少し、き裂先端の K_I 値が減少することでき裂が停止する。1000h保持後に試験片のき裂進展を観察し、き裂の進展がそれ以上進まない(止まる)点におけるき裂長さから開口変位量から K_{IH} を求めた。なお、予き裂先端からき裂が進展しない試験片については評価から除外した。

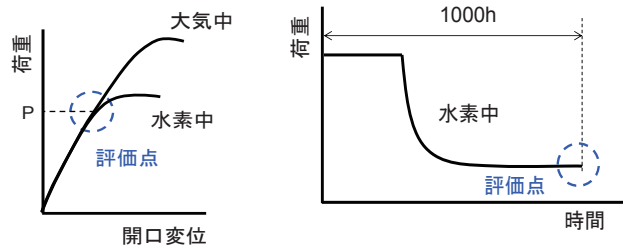
各試験法により測定した K_{IH} と引張強さの関係を図4に示す。高強度材(T.S.992MPa)では両測定法による K_{IH} はほぼ同等であり、 K_{IH} は約30MPa $\cdot\text{m}^{1/2}$ である。大気中における破壊じん性値 K_{IC} は約150MPa $\cdot\text{m}^{1/2}$ であり、大気中に比べて水素中ではより小さい K_I 値からき裂が進展する。両試験法とも強度の低下に伴って K_{IH} は上昇するが、測定法の違いによる影響が大きくなり、ライジングロード試験法は定変位遅れ割れ試験法に比べて K_{IH} が小さい傾向である。

蓄圧器に用いる他の鋼種においても同様の傾向が見られており、ライジングロード試験で得られる K_{IH} を用いることで、より安全な評価ができる可能性がある。

試験方法によって K_{IH} が異なる要因として、ライジングロード試験ではき裂の進展開始時を評価しているのに対して、定変位遅れ割れ試験ではき裂の

表1 供試材の引張特性

Designation	Tempering Temp.(°C)	0.2%Y.S. (MPa)	T.S. (MPa)	EL. (%)	R.A. (%)
T57	570	844	992	15	59
T61	610	813	960	18	64
T65	650	725	890	21	



(a)ライジングロード (b)定変位遅れ割れ試験

図3 K_{IH} 測定法の模式図

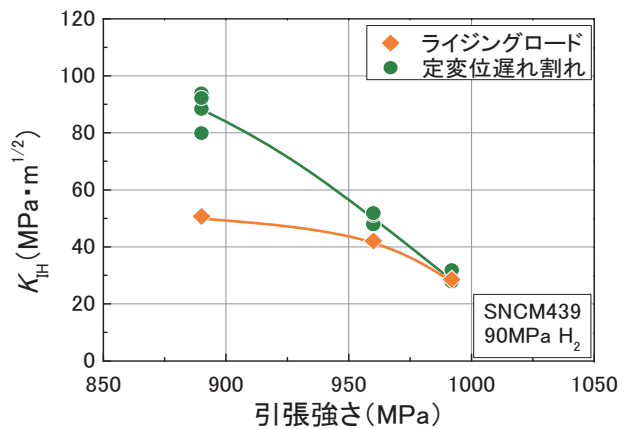


図4 引張強さと K_{IH} の関係

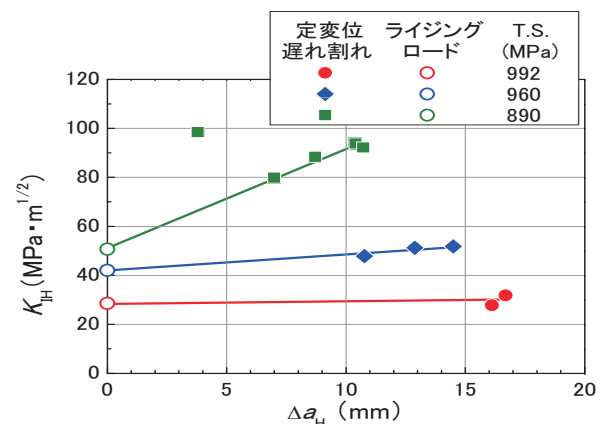


図5 水素中き裂進展量と K_{IH} の関係

進展停止時を評価している違いが挙げられる。進展き裂の評価においては、き裂周りに生じる塑性変形領域が影響することが指摘されており⁴⁾、これらの影響はき裂進展量が大きいほど大きくなると推察される。図5に本測定結果を水素中での進展き裂長さ Δa_H と K_{IH} の関係で整理した結果を示す。 $\Delta a_H > 0$ 領域にプロットしたのが定変位遅れ割れ試験の結果であり、初期に負荷する K_I 値を変えることで、き裂進展量を変化させている。定変位遅れ割れ試験では、き裂進展量の増加に伴って K_{IH} が高く評価される傾向が見られる。 $\Delta a_H = 0$ にライジングロード試験の結果をプロットしている。定変位遅れ割れ試験結果を $\Delta a_H = 0$ に外挿した値はライジングロード試験の結果と一致する傾向であり、これらをき裂進展に伴う影響を含まない K_{IH} と見なせば、ライジングロード試験と定変位遅れ割れ試験は同等の K_{IH} を評価している可能性が考えられる。

以上の結果から、水素蓄圧器の K_{IH} の把握においては、1000h以上かかる定変位遅れ割れ試験ではなく、ライジングロード試験を用いることで評価を簡略化できる可能性が示された。しかし、遅れ破壊挙動についてはよく判っていない点も多く、詳細なき裂進展挙動の把握などが課題である。

今後、燃料電池自動車の普及によって、蓄圧器に要求される寿命も増加すると予想される。上記の疲労き裂進展評価は初期き裂が存在することを仮定した機器の寿命であり、想定するサイズのき裂が存在しても安全を確保できる寿命である。そ

のため、定期的なき裂の検査を行い、検査毎に（検出可能な）き裂がないことを確認して継続的に使用することで、経済性と安全性の両立が可能になると考えられる。

4. おわりに

蓄圧器用部材であるSNCM439鋼を用いて、 K_{IH} に及ぼす試験方法の影響について検討した結果を紹介した。水素蓄圧器の K_{IH} の把握においては、ライジングロード試験を用いることで評価を簡略化できる可能性が示された。

今後も水素環境中における低合金鋼の評価を進め、基準化・標準化に資するデータを蓄積したいと考えている。

参考文献

- 1) 大西敬三ら, 金属学会会報, Vol.8, No.9 (1969), 576
- 2) 経済産業省, 水素充填設備における水素の漏えい事故に係る蓄圧器のき裂貫通原因調査結果報告書, 2015
- 3) 和田洋流ら, 日本製鋼所技報, No.65, 2014
- 4) 日本圧力容器研究会議 (JPVRC) 材料部会水素脆化専門委員会 Task Group V, 日本鉄鋼協会, 1989.10
- 5) ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Sec.VIII Div.3, ARTICLE KD10, 2013

お知らせ

【人事異動】

○平成 27 年 3 月 31 日付け
村木 峰男

[旧] 磁性材料研究部 部長
[新] JFE スチール株式会社

○平成 27 年 4 月 1 日付け
中丸 裕樹

[旧] JFE スチール株式会社
[新] 磁性材料研究部 部長

【新人紹介】

- ① 出生地 ② 生年月日 ③ 最終学歴
④ 職歴 ⑤ 仕事に対する期待 ⑥ 趣味、特技、資格等

中丸 裕樹 (なかまる ひろき)



- ① 東京都三鷹市
② 1958 年 9 月生れ
③ 北海道大学理学部
化学科修士卒

④ 1986 年川崎製鉄
(現 JFE スチール) に入社。技術
研究所表面処理研究室に配属。以
後一貫して、自動車・家電・建材・

容器等、薄鋼板の表面処理技術開発を担当。1993 年より 2 年間英国マンチェスター理工化大学博士課程留学。2012 年より缶ラミネート材料研究部長。

⑤ これまで一企業としての利益に繋がる開発研究に取り組んできた。今回、より広く社会全般に貢献し得る技術開発に関わることにやりがいを感じる。全力で取り組みたい。

⑥ 1995 年学位取得 (Ph.D.)。スポーツ全般と PC-DIY。

The Japan Research and Development Center for Metals

JRCM NEWS / 第 343 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 5 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