

水素ステーション用低コスト仕様蓄圧器

1. はじめに

燃料電池自動車 (FCV) の燃料である水素を供給する水素ステーションの整備が現在進められている。当社は高圧水素ガスを貯蔵する、「水素ステーション用超耐久仕様タイプ1 鋼製蓄圧器」を2013年に上市し、高い信頼性や優れたライフサイクルコストが評価されている。一方、水素ステーションは都市圏を中心に建設されることから軽量化・コンパクト化が求められることや、水素ステーションの建設コストが約4億円であり、既存のガソリンスタンドの建設コスト1億円以下と比較して非常に高コストであることから水素ステーション普及のために蓄圧器の低コスト化が重要である。上記を踏まえて、2014年に設計係数を低減して軽量化した「高耐久仕様蓄圧器」を開発し、現在も主力製品として製造・販売を行っている。今回新製品として更なる軽量化と低コスト化を実現した「低コスト仕様蓄圧器」の開発に成功したので本報にて紹介する。

2. 低コスト仕様蓄圧器の開発経緯

当社の蓄圧器は、ストレート形状のボディーに、両端カバーとグラウンドナットを組み合わせた形で構成され、応力集

中部となるような不連続部をなくした構造を採用している。表1に300リットル鋼製蓄圧器のラインナップを示す。当社の基本設計は、ライフサイクルコストを考慮して、製造時に申請している使用繰返し回数は10万回としている。超耐久仕様蓄圧器は特定設備検査規則に従って製造しており、ボディーの肉厚は設計係数4を確保しなければならないことから、非常に長期の繰返し使用に耐えるが重量は4.7tonと重いものであった。そこで、高耐久仕様蓄圧器は超高压ガス設備に関する基準を適用して設計係数を低減し、経済産業大臣の認可を受けることでボディーを薄肉化して蓄圧器の軽量化を図った。今回開発した低コスト仕様蓄圧器は高耐久仕様蓄圧器と比較して、より軽量化及び低コスト化を重視しており、更なるボディーの薄肉化により2.4tonまで軽量化することが可能となった。ボディーの薄肉化に伴いねじ部の肉厚も低下することから、ねじ部寿命確保のためカバーとグラウンドナット構造の改良を行い、また、鋼製リングによりねじ部の補強を行っている。低コスト化については、ボディー材料として新日鐵住金株式会社殿との共同開発によりクロムモリブデン鋼量産継目無鋼管の適用が可能となり、従来のニッケルクロムモリブデン鋼の中実丸棒鍛製品から製造する場合の性能を維持したまま、大幅に材料費を低減することができた。

表1 300リットル鋼製蓄圧器のラインナップ

	超耐久仕様蓄圧器	高耐久仕様蓄圧器	低コスト仕様蓄圧器
外観			
適用規格	特定設備検査規則	特定設備検査規則 超高压ガス設備に関する基準	特定設備検査規則 超高压ガス設備に関する基準
設計圧力	99MPa	99MPa	99MPa
設計係数	4	2.4以上	2.4
材質	ニッケルクロムモリブデン鋼	ニッケルクロムモリブデン鋼	クロムモリブデン鋼
蓄圧器ボディー外径	φ 480mm	φ 420mm	φ 374mm (胴部)
蓄圧器全長	5060mm	4890mm	5330mm
蓄圧器重量	4.7ton	2.9ton	2.4ton
現行使用繰返し回数	10万回 ^{*1}	10万回 ^{*1}	10万回 ^{*2}
許容寿命	無制限 ^{*1}	30万回 ^{*1}	49万回 ^{*2}

※1 運転圧力範囲 82 ⇔ 35MPa の場合 ※2 運転圧力範囲 82 ⇔ 50MPa の場合

3. 低コスト仕様蓄圧器の特徴

(1) 焼入れ性および耐水素脆性に優れる

クロムモリブデン鋼量産継目無鋼管の適用

当社の鋼製蓄圧器は耐水素脆性や焼入れ性を確保するため高純度のニッケルクロムモリブデン鋼を用いてきたが、低コスト仕様蓄圧器ではより経済的な新日鐵住金株式会社製の焼入れ性に優れるクロムモリブデン鋼量産継目無鋼管（以下、継目無鋼管）適用を検討した。継目無鋼管を蓄圧器へ適用するためには压力容器として必要な強度・靱性とともにより優れた耐水素脆性を確保する必要があり、熱処理条件を検討し最適な材料特性にコントロールした。図1に実機継目無鋼管の大气中および99MPa水素中の疲労試験結果を示す。蓄圧器運転条件（82⇔50MPa）における最大応力振幅の2倍以上の応力振幅（403MPa）で、使用繰り返し回数の200万回で未破断であり、従来の高純度ニッケルクロムモリブデン鋼と比較しても同等の疲労限度であった。疲労試験以外の材料試験でも安全性に問題は無く、継目無鋼管は蓄圧器ボディーとして使用可能であることを確認した。

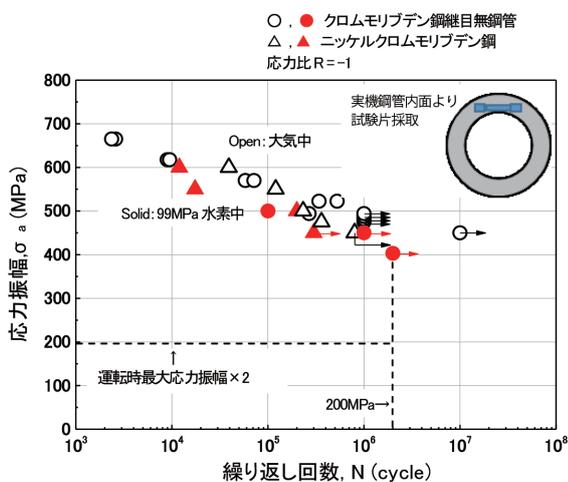


図1 疲労試験結果

(2) 独自技術による高い信頼性

低コスト仕様蓄圧器は設計係数を低減して薄肉軽量化を図っているが、薄肉化することによりねじ部の疲労寿命低下が懸念された。そこで、①ねじ形状改良によるねじ底応力の低減、②カバー・ナット形状の最適化によりねじに掛かる荷重の分散、③ボディー両端を鋼製リングで補強、という対策をとることでねじ部寿命を大幅に向上させることができた。また、蓄圧器ボディー内面は耐水素脆性に悪影響を与えないよう仕上がり表面粗さを厳格に管理するとともに、出荷前にボディー内面全面を検査して有害な欠陥が無いことを確認するための半自動磁粉探傷試験装置を開発し

た。このように低コスト仕様蓄圧器は水素による影響を考慮した設計、製造、品質管理を行っており、従来の当社製品と同等の高い安全性と信頼性を確保した蓄圧器である。

(3) 実体試験による安全性の確認

低コスト仕様蓄圧器の安全性を検証するために実機サイズと同様の蓄圧器を試作し10万回の水圧サイクル試験、1200回の水素ガスサイクル試験を実施した（図2）。いずれの試験も漏れや破損することなく予定の試験回数を完了した。また、試験中は外面のひずみ測定を実施しており、解析と同等のひずみ値が得られていたことから設計通りのねじ部補強効果が得られていることも確認できた。試験後に蓋を開放し詳細な非破壊検査を実施したが、ボディーおよびねじ部に割れや変形は一切認められず本蓄圧器は十分な安全性を有していることが確かめられた。

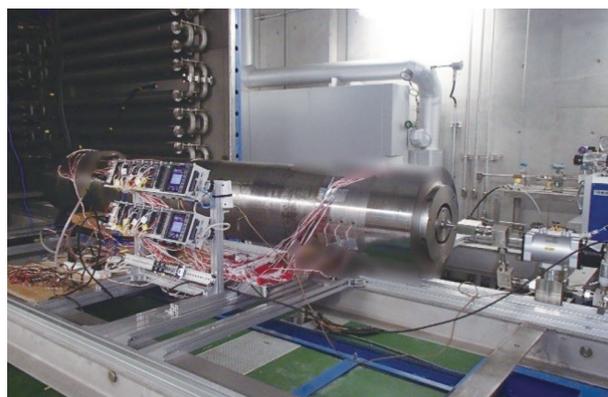


図2 試作器による安全性評価試験
（水素エネルギー製品研究試験センターにて実施。
写真は水素ガスサイクル試験準備中の状況。）

4. おわりに

低コスト仕様蓄圧器は2017年に経済産業大臣特別認可を取得しており、高い安全性と信頼性が認められている。市場の要求に応える低コストで信頼性の高い蓄圧器として製造・販売を進める。今後の製品として、更なる低コスト化を目指した両端絞り構造のタイプ1蓄圧器（2017年度上市予定）、軽さを追求したタイプ2蓄圧器（2018年度上市予定）を開発中であり、これからも水素社会実現に向け水素ステーション普及に貢献する所存である。

謝辞

水素ガス中の材料試験データは、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）の委託業務の結果得られたものであり、感謝申し上げます。