

日本の成長戦略の一つに位置づけられた水素社会の実現に向けた取り組みの中で、家庭用燃料電池の普及、燃料電池自動車 (FCV) の市販および水素ステーションの開設がなされてきているが、これらの利用を大きく広げる上で低コスト化を図りつつ安全性の確保を同時に進めていくことが重要である。

燃料電池車 (FCV) は水素と空気中の酸素の化学反応により電気を直接取り出すため、燃料電池に水素を供給するための充填圧力 70MPa^{*1)} にもおよぶ貯蔵タンク、配管、および減圧バルブなどの移送システムについても極めて高い耐圧強度が求められる。さらに水素は分子サイズが小さく透過能が高いため、漏出を防止するためにタンクの内側に敷く樹脂ライナや配管つなぎ目のシール性確保も併せて必要とされる。

当社は、これまで高圧水素タンク破壊試験、タンク樹脂ライナのガス透過試験、シール試験および液圧サイクル試験などを通してこれら部品の耐圧・耐久強度を明らかにすることで燃料電池車の安全性向上に寄与してきた。

本稿では、これら水素貯蔵・移送用部品の耐圧・耐久強度評価に際しての試験方法や試験設備について述べる。



技術本部
機械・プロセスソリューション事業部
構造技術部
すなみ たかまさ
角南 高匡

B-1 耐圧・耐久強度評価

1.1 試験方法

耐圧強度評価は、圧力が加わる部品を対象に行われる評価であり、その一例を第1表に示す。評価試験・方法で分類すると、一定加圧する静圧試験、破壊まで昇圧する破壊試験、繰り返し加圧する疲労試験の3種に大別される。第2表に示す評価分類と試験

分類に応じて、対象部品や試験条件に適した試験装置を組み合わせることで試験を行っている。

1.2 試験装置

試験装置 (加圧装置) は、試験体形状・圧媒・圧力・加圧速度などの試験条件に応じた装置を用いている。

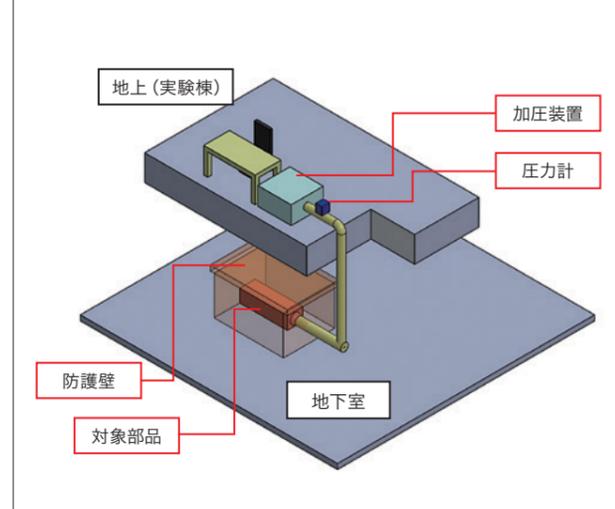
第1表 各分野における評価対象例

分野	評価対象例
自動車、船舶、航空機、宇宙、産業機器、原子力	配管、バルブ、ホース、容器 (鋼製、FRP 容器、水素ポンプ など)、熱交換器、蓄圧器、油圧源、ポンプ、油圧ジャッキ、レール、パイプ、インジェクタ、減圧弁、シール材、海底部品、コネクタ、各種センサ (温度計、圧力計、流量計 など)

第2表 試験分類

評価分類	試験分類
静圧試験	耐圧試験 (1.5 倍圧、4 倍圧 など)、漏洩試験、気密試験、外圧試験、負圧試験、内圧クリープ試験、ガス透過試験
破壊試験	バースト試験、内圧破壊試験、外圧破壊試験 など
疲労試験	内圧疲労試験、交番圧試験、圧力サイクル試験、インパルス試験 (衝撃圧)、外圧疲労試験 など

第1図 静圧・破壊試験装置構成



1.2.1 静圧、破壊試験

静圧、破壊試験では油圧ポンプ・水圧ポンプ・ガスポンプが基本装置となる。第1図に試験装置の模式図を示し、写真1に実際の状況を示す。載荷側ジャッキと増圧器を組み合わせることで、低圧～高圧 (数十 kPa～数百 MPa) の試験に対応し、加圧力は最大 600MPa である。

1.2.2 内圧疲労試験

対象部品へ繰り返し加圧し、部品の耐圧疲労強度を確認する内圧疲労試験では、増圧器と疲労試験機を組み合わせ、繰り返し加圧させる。第2図に試験装置の模式図を示し、写真2に実際の状況を示す。疲労試験機を用いることで、波形 (正弦波・矩形波など)

や加圧速度を部品の要求事項に応じて幅広く対応させ、最大繰り返し加圧力 150MPa や加圧速度 20Hz での試験に対応している。また、対象部品を並列に接続することにより複数の部品へ同時に繰り返し加圧しての疲労強度評価の実績もある。

1.2.3 試験場所

大型部品やガス圧試験時など、破壊エネルギーが大きい部品は、コンクリートに囲まれた地下室 (試験室および吹き抜け開口) にて安全を確保して試験を実施している。写真1に地下室での試験状況を示す。

写真1 静圧・破壊試験状況



第2図 内圧疲労試験装置構成

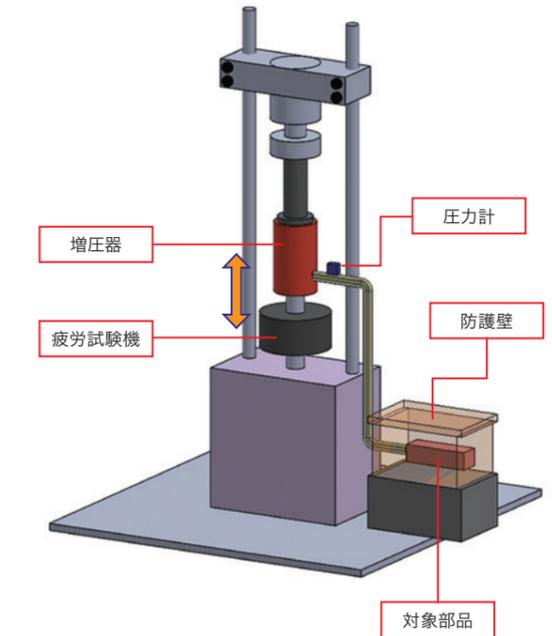
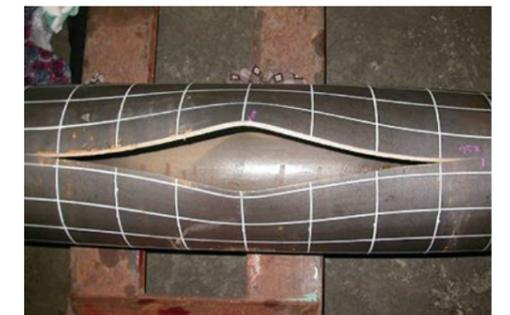
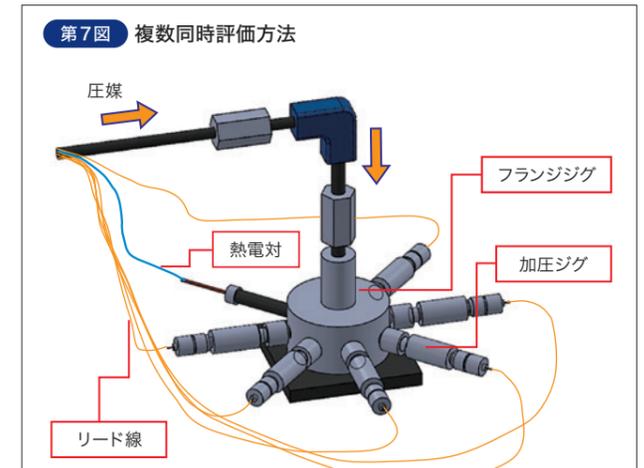
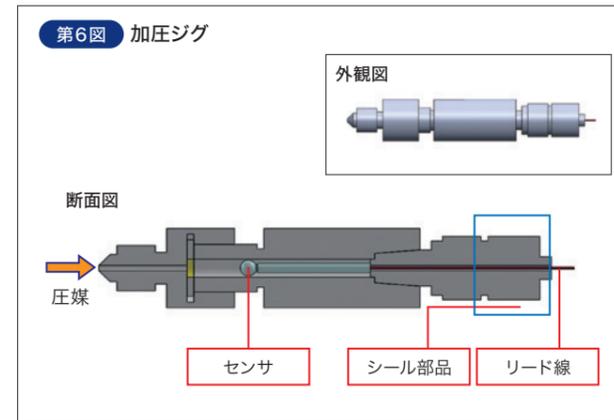
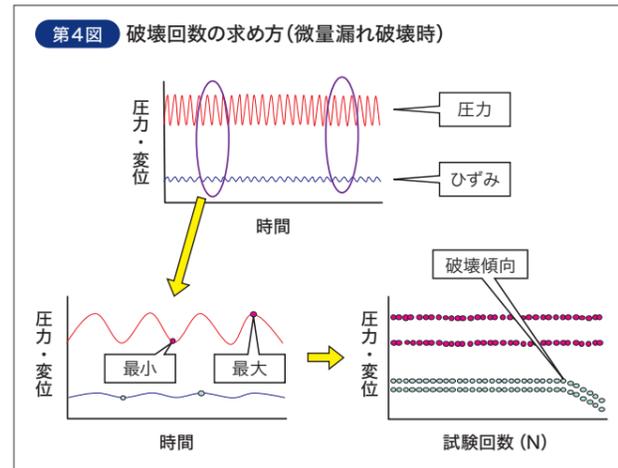
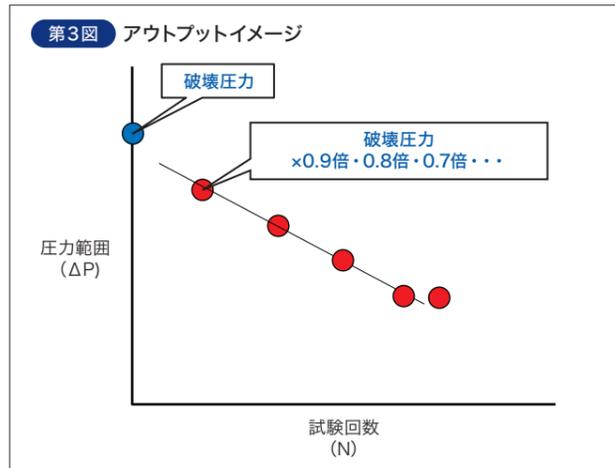


写真2 内圧疲労試験状況



写真3 鋼製タンク破壊状況





1.3 試験結果

破壊試験では、写真3に示すように加圧による周方向応力で胴部がフィッシュマウス状に破壊するのが一般的である。疲労試験は破壊圧力以下の圧力条件を設定し、圧力と破損回数での疲労曲線を求めることが一般的である。第3図に疲労試験での疲労曲線アウトプットイメージを示す。疲労試験での破壊形態は、破壊試験と異なる場合が多く、溶接

部・ロウ付け部・シール部・曲げ部などの応力集中部で発生するケースが多い。バースト圧力の0.5倍以下の条件で、かつ低繰返し回数(10³~10⁴回)で破壊することがある。しかし、微小なクラック発生の場合は、微量の圧媒しか外部へ漏れないこともあり、対象部品の破壊回数が断定しにくい。その場合は、試験中の増圧器変位データ挙動より破壊回数を特定させる方法を用いている。第4図に微量漏れ破壊時の繰返し回数特定方法を示す。

2.2 センサ類を対象とした外圧による圧力サイクル試験

燃料電池車へ搭載されているセンサ類は、低温・高温での環境下で外圧による繰返し加圧を受ける。このようなセンサ類を対象とした外圧による圧力サイクル試験を紹介する。

センサの耐久性能を評価するためには、以下の項目を確認する必要がある。

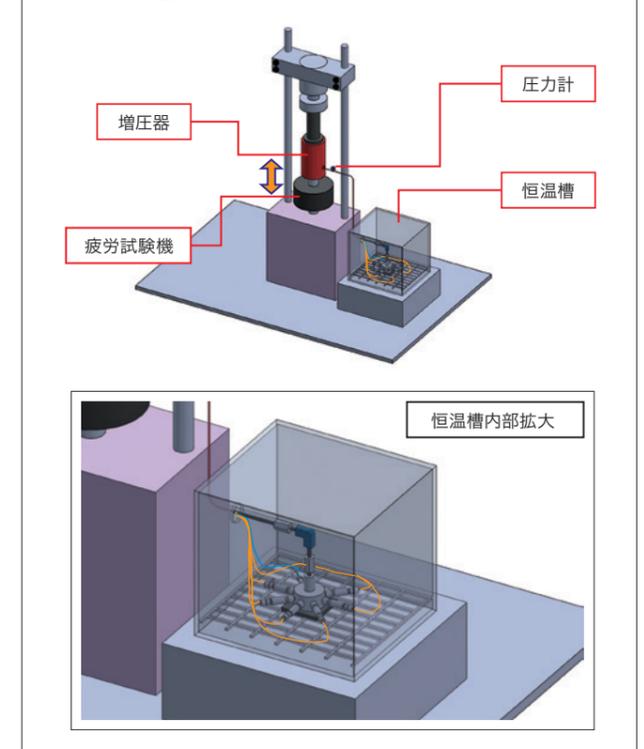
- 1) 破損なきこと
- 2) センサが機能を満足していること

この2つの項目を試験中にリアルタイムでの確認と計測ができるよう第6図に示す加圧ジグを用いた。

ジグ内へ固定したセンサはφ2.4mm穴から圧媒を充填し、外圧が加圧される。センサはリード線と結線し、リード線が外部へ取り出せるよう密封シール部品を採用した。シール部品を使用することにより圧媒を外部へ漏らさず、リード線を取り出すことができる。リード線からセンサの抵抗値を計測することにより、センサ破損の有無と機能低下の有無を確認することができる。また、第7図に示すように加圧ジグをフランジジグの側面へ締結することで複数のセンサを同時に評価することができる。

加圧方法は増圧器と疲労試験機を組み合わせ、繰返し加圧させる。圧力計にて加圧力を監視しながら、熱電対による圧媒温度とセンサ抵抗値を計測する。恒温槽を用いることで低温・高温環境下を再現している。第8図に試験模式図を示す。

第8図 センサ類を対象とした外圧による圧力サイクル試験装置構成



B-2 水素貯蔵・輸送用部品の耐圧・耐久強度評価

燃料電池車には高圧水素ガスを充填させ、貯蔵できるシステムが搭載されており、「高圧水素タンク」・「高圧バルブ」・「減圧弁」・「レセプタクル(充填口)」・「配管」・「温度センサ」・「高圧圧力センサ」から構成されている。^{*2)}

前項で説明した試験装置、方法を用いて、高圧で使用される燃料電池車(FCV)の水素貯蔵・輸送用部品すなわち、「高圧水素

タンク」、「バルブ」、「減圧弁」、「配管」、「燃料電池ケース」などの主要部品に対して耐圧・耐久強度試験を行っている。

燃料電池車へ求められる耐圧性能としては主に以下の2点がある。

- 1) 水素充填時や走行中における高圧下での耐圧性能や耐久性能とシール性能
- 2) 水素脆化による経年劣化での破壊

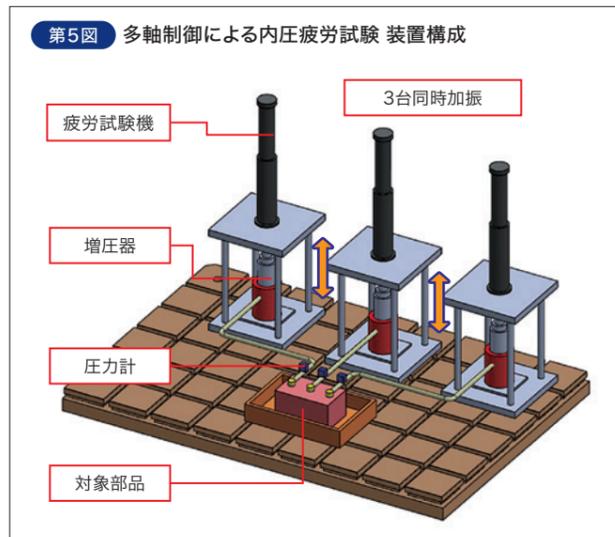
当社は、主に1)の評価を行っており、事例を紹介する。

2.1 多軸制御による内圧疲労試験

燃料電池車には、水素・空気・冷却水を供給する配管部品があり、3カ所の部位から加圧される。3カ所同時に繰返し加圧し、耐久性能を確認した内圧疲労試験を紹介する。

異なる部位から加圧させるため、疲労試験機3台を用いて多軸加振制御による内圧疲労試験を行った。増圧器ならびに対象部品へ圧媒を充填させ、増圧器を疲労試験機で載荷させることにより3カ所同時に加圧させた。

実機搭載時には、加圧箇所それぞれが決まった周期で加圧される。その運転パターンを台上にて再現させるため、疲労試験機は3台を同期させ、実機負荷を再現させた。これにより対象部品内部へ圧力を加圧し、部品の耐久性能を確認することができる。それぞれの加圧箇所へ配置した圧力計で加圧力を監視し、対象部品が破壊して圧媒が漏れた場合は、増圧器変位が下降しリミット停止する機構となる。第5図に試験模式図を示す。



本稿では、内圧試験設備および事例を紹介した。試作・開発段階においては規格に定められていないほかの試験も多く、課題や問題点に対して評価項目を決める必要がある。さらなる高圧化にともない求められる評価技術レベルも高まりつつあり、今後も評価ニーズに応じていく。

参考文献 *1) 大川内栄治ほか: 新型FCV用高圧水素減圧弁の開発, (2015), p.1
*2) 小島実ほか: 新型FCV用高圧水素タンク内温度センサの開発, (2015), pp.1-2