

5. タスク5 水素燃料タンクシステムの開発

5.1 開発目標

WE-NET 第 期研究開発タスク5「水素燃料タンクシステムの開発」における研究開発目標は、「水素供給ステーションからの供給を考慮した水素燃料電池自動車の水素燃料系システムの要素技術開発を行う。また、水素供給ステーションと組み合わせた技術検証を行う。」ことである。

平成13年度は、上記の目標を達成するため、急速充填法の開発、水素吸蔵合金タンクの安全性評価などを実施した。

5.2 平成13年度の研究成果

5.2.1 急速充填法の開発

(1) 水素吸蔵合金タンクの設計・試作

平成12年度に実施したミニサイズMHタンクの急速充填試験の結果を踏まえて、分割方式とプレートフィン方式の実体タンクを各1個ずつ設計・試作した。試作する実体タンクの有効吸蔵量（タンク放出温度60℃での1.1MPaと0.1MPa（大気圧）での水素吸蔵量の差）を31.25Nm³とした。実体タンクに充填するMHは、吸蔵/放出のサイクルに対する安定性、耐被毒性の観点から希土類系AB₅合金とした。また、その放出特性は、60℃における放出プラトー圧が0.55MPaとした。さらに、前年度の急速充填試験をもとに、冷媒流量125L/min、冷媒温度25℃、水素供給圧力0.8MPaGにおいて有効吸蔵量の80%である25Nm³を10分以内で充填できることを水素吸収条件とした。

分割方式実体タンクについて、前年度に試作した構造の伝熱特性上の利点を持ち、なおかつ製作が容易な新たな構造を考案した。すなわち、容器壁と分割仕切りの交点に冷媒通路を設けることにより、MHと冷熱源との平均距離を短縮した。また、MH充填部温度の均一化のため、充填部には焼結パイプフィルタの中心に伝熱板を放射状に設けた。なお、押出成型の製作工程において強度を確保するため容器の厚みを増加させた。シミュレーションの結果、新規断面形状では水素充填速度は前年度試作品に比べ向上すると予測されたが、目標に対し十分速く、特に問題はない。また、新規断面形状では水素充填中の温度分布はより均一化されていることが分った。前年度に試作したミニサイズMHタンク（有効吸蔵量：1.25Nm³）のおおよそ1.6倍の有効吸蔵量の小タンク（有効吸蔵量：1.95Nm³）を上下に8個ずつ並列に合わせ、31.25Nm³の水素貯蔵量を確保した。実体タンクは、タンク本体、水素および冷媒配管を筐体に収納し、筐体の同一側面に水素、冷媒供給および冷媒戻りの配管口を設置した。

プレートフィン方式では、前年度に試作したミニサイズMHタンクの8.4倍の有効吸蔵量をもつ小タンク3個を並列に組み合わせて、31.25Nm³の水素貯蔵量を確保した。実体タンクは、タンク本体、水素および冷媒配管を保温材で覆った状態で筐体に収納

した。小タンクとミニサイズ MH タンクとは、単位合金量当たりの熱交性能を合わせるようにした。その結果、小タンクはミニサイズ MH タンクの構造を基本とし、合金層を 4 から 7 段に、冷媒層を 5 から 8 段に増加させ、タンク幅が 2.85 倍、タンク長さが 1.81 倍程度大きくなった。

MH の種類は両方式とも希土類系の AB₅ 合金であるが、組成が異なるため、MH の有効吸蔵量が異なり、このため、分割方式の方がプレートフィン方式より MH 充填量が小さい。プレートフィン方式は伝熱特性を重視した構造であるため、伝熱面積を冷媒側、MH 側ともに分割方式よりも大きくした結果、分割方式の方がタンク総質量・体積が小さくなった。

(2) 水素吸蔵合金タンクの性能評価

試作した実体タンクが基本設計仕様を満たすこと、およびミニサイズ MH タンクの性能をどの程度確保できたかを検証するために、水素急速充填試験による性能評価を行った。タンク自体の性能を評価するために、水素ステーションで使用するカプラを取り外した状態で試験を行った。

分割方式実体タンクでは、上記水素吸収条件のもと、25Nm³の水素を充填する時間はおおよそ 7 分と、設計仕様を満たした。また、同等の試験条件において、水素 25Nm³の充填時間が 6.5 分であったミニサイズ MH タンクとは、ほぼ同等の性能であることが分かった。

プレートフィン方式実体タンクでは、上記水素吸収条件のもと、25Nm³の水素を充填する時間は 2.6 分との結果を得た。ミニサイズ MH タンクでは同等の試験条件において、水素 25Nm³ 充填時間が 2.3 分であったことから、実体タンクはミニサイズタンクとほぼ同等の性能であることが分かった。

(3) 水素供給ステーションと組み合わせた急速充填試験

大阪の天然ガス改質型水素供給ステーションでは分割方式実体タンク、高松の水電解型水素供給ステーションではプレートフィン方式実体タンクの急速充填試験を行った。MH 式貯蔵装置に貯蔵されている水素を、ディスペンサーを経由して MH タンクに充填した。水素充填終了後、タンクへ充填した水素を、別途用意した放出用装置で加熱したブラインをタンクに供給して、タンクを暖めながら放出させた。なお、平成 12 年度に実施したミニサイズ MH タンクの急速充填試験、実体タンクの性能評価試験ではいずれも水素供給圧力を制御したが、水素供給ステーションでは水素供給流量を制御した。水素流量が一定流量に制御されているため、水素充填量は時間と共に直線的に増加した。

冷媒温度 5℃、冷媒流量 125L/min、水素供給流量 2.83Nm³/min における分割方式実体タンクの試験の結果、有効吸蔵量の 80%である 25Nm³を充填するのに要した時間は 9.3 分であり、目標とする 10 分以内で充填することが確認された。

冷媒温度 5℃、冷媒流量 125L/min、水素供給流量 2.74Nm³/min におけるプレートフィ

ン方式実体タンクの実験の結果、有効吸蔵量の 80%である 25Nm³ を充填するのに要した時間は 9.1 分であり、目標とする 10 分以内で充填することが確認された。

5.2.2 水素吸蔵合金タンクの安全性評価

(1) 水素吸蔵合金タンクの耐火性評価

平成 12 年度実施した耐火性評価において、ガス圧力の上昇によるタンクの破損を防ぐために、ばね式リリーフ弁を設けて試験を行った。しかし、弁が開放しても、完全に圧力が開放されないため、リリーフ弁の設定圧近傍のタンク内圧力を保った状態で温度が上昇した。タンク材質として使用していたアルミ合金が 150 程度から急激に強度低下するため、それに伴うタンクの耐圧が低下し、破損に至った。そこで、本年度は、加熱によるタンク破損を防止する方策として、ばね式リリーフ弁に加え、温度の上昇により溶けて完全に圧力が開放される溶栓を水素吸蔵合金タンクに設置した場合の状況を確認し、溶栓の作動温度の影響、破損に及ぼすタンク材料の影響を検討するとともに、複数のタンクを組み合わせた実体タンクユニットの試験を実施した。

溶栓の作動温度としては一般的な高圧ガス容器のバルブに取り付けられている溶栓と同じ 105 のもの、および比較検討用として 177 の溶栓の 2 種類を用いた。水素吸蔵合金容器を試験用治具に固定し、タンクの下部に設置したステンレスの容器に満たしたメタノールに着火し試験を行った。メタノールの量は燃焼時間が 50 分程度となるよう約 18 リットルとした。ばね式リリーフ弁はあらかじめ開放圧力を 1.4MPa として設定した。

水素量がフルに充填された状態(H/M=1.0)では、2 分弱でばね式リリーフ弁が作動した。水素量が空に近い状態(H/M=0.2)では、ばね式リリーフ弁が作動するまで 3~4 分かかる。一方、水素吸蔵量が多い場合は、溶栓作動までの時間が長くなる。これは、水素が合金から放出される場合は吸熱反応であるので、タンクの温度が上昇し難くなるためである。また、溶栓の設定温度が高い程、溶栓作動までの時間が長くなる。アルミ合金の強度が 150 から急激に低下することを考慮すると、高圧ガス用として広く使用されている 105 の溶栓が適切と考える。実験の結果、溶栓が作動し、大気圧まで残圧が下がれば、タンクの破裂を防げることが検証できた。試験終了時に破裂、変形は見られなかった。

タンク材質として SUS を用いた場合には、溶栓を設置しなくても破裂は生じなかった。

タンク 5 本をユニットとしたタンクユニット試験を屋外で実施した。安全弁としては、ばね式リリーフ弁と溶栓 105 仕様を用いた。タンクユニットを試験用治具に固定し、タンクの下部に設置したステンレスの容器にガソリンを満たし試験を行った。ガソリンの量は安全弁が十分作動する時間として、燃焼時間が 20 分程度となるように調整した。試験は 2 回行い、燃料のバットの個数および設置位置を変えた。試験 1 は水

素吸蔵合金タンク全体が火炎に包まれた状態で溶栓付近にも直接火炎があたる状況であった。試験2は燃料のバットを2つにして、溶栓付近に直接火炎があたらないようにして試験を行った。試験1においてはタンク内圧は0.8MPa程度で圧力の上昇がとまり、その後、大気圧まで開放している。これは、ばね式リリーフ弁の設定圧力に到達する前に溶栓が作動したためである。それに対して火炎が溶栓に直接あたらないようにして行った試験2においては圧力が1.4MPaまで到達し、ばね式リリーフ弁が作動した後に溶栓が作動した。

両試験ともにばね式リリーフ弁、溶栓の出口から噴出した水素に着火した。高压ガスによる貯蔵の場合にはばね式リリーフ弁が開放してから比較的短時間にガスが無くなるが、水素吸蔵合金の場合には水素の放出反応が吸熱反応のため、水素の放出が長時間かかることが、前年度の試験において確認されている。今回の試験においても、時間の経過とともに炎の大きさは小さくなるが燃焼は試験が終了する間際まで継続していた。火災が継続している間は、水素吸蔵合金の温度上昇に応じて水素の放出が継続することには注意する必要がある。また試験終了後に水素吸蔵合金タンクの形状を確認したところ容器自体に変形は無く、ばね式リリーフ弁および溶栓を併用することにより異常な圧力上昇を防ぎ、容器の変形や破裂を防げることが確認できた。

(2) ミニスケールタンクの変形試験

水素吸蔵放出の繰り返しにともなう水素吸蔵合金タンクの変形には各種要因が影響を及ぼしており、変形と各種因果関係を明確にすることは、タンク変形抑制の観点から重要である。そこで、本年度はさらに、構造的要因にも着目し、ミニスケールタンクを使用して、変形に及ぼす要因の影響度を明らかにすることを試みた。

タンク材料としては軽量化の観点からアルミニウム合金を用いた。フィルタ構造としては、安価で製作の容易なプレートフィルタ及び実体タンクで用いたチューブフィルタの2種類を用いた。また内部構造としては、実体タンクに用いた伝熱促進のためのハニカム及び、合金充填率均一化のための仕切り板の影響度合いを調べるため、上記フィルターと組み合わせた仕様のタンクを製作した。さらに、タンク強度の影響を考察するため、チューブフィルタ構造をベースとしてタンク肉厚を2,3,4mmの3水準変化させた。合金としては、水素吸蔵時体積膨張率約20%の AB_5 ($Mm(Ce=0.5)Ni_5$)及び水素吸蔵時体積膨張率約40%の $BCC(Ti_{20}Zr_5V_{35}Cr_{40})$ を用いた。また充填率としては、従来の経験から合金の膨張によりタンクに応力が生じる限界付近の値として AB_5 については40、45、50%を、 BCC については膨張率が高いことを考慮し、35、40、50%を製作した。

合金充填率の増加に応じて、ひずみ量は増大した。充填率50%では、肉厚2mmの蓋側において、最大1354 μ （マイクロひずみ）のひずみ量が生じた。ばらつきはあるが、全体的にタンク肉厚、即ちタンク強度の向上により、ひずみは低減される傾向にある。肉厚2mmの仕様で、充填率の高い場合、特にひずみ大きい。 BCC のデータは、いずれ

も AB₅ と比較してひずみ量が非常に小さい結果となった。この要因については、かさ密度の違い等が考えられる。

プレートフィルタは、吸蔵放出を繰り返すと、底部の変形が進むことが分かった。次にプレートフィルタと内部構造として仕切り板、ハニカムを組み合わせさせた結果、仕切り板、ハニカムのある仕様は、無いものと比較して、ひずみは小さく、また測定点においては、ひずみ量の進展は見られなかった。しかしながら、タンク肉厚 2、3mm いずれのケースも、プレートフィルタでは、70 サイクルで亀裂が発生した。なお、チューブフィルタでは、亀裂の発生は無かった。

5.3 今後の研究開発課題

5.3.1 急速充填法の開発

本年度に引き続き水素供給ステーションにおいて、水素や冷媒の供給条件を種々変えて MH タンクへの急速充填試験を行う。本年度に実施した急速充填試験では、MH タンクの初期状態としてタンク内には水素が残存しない空の状態からの 80% 充填を行った。実際には充填時に MH タンク内に水素が残存することがあるため、この残存量が充填時間に及ぼす影響について検討することが必要である。

5.3.2 水素吸蔵合金タンクの安全性評価

本年度の結果に基づき、以下の評価を行う。

(1) 水素吸蔵合金タンクの耐火試験

ばね式リリーフ弁の水素に対するシール性の確認や実車搭載規模のタンクユニットの場合の安全弁の配置箇所などの検討が必要である。

(2) 水素吸蔵放出によるタンク変形評価

タンクの強度設計のためには、合金膨張による発生応力の予測技術が必要と考えられる。