

燃料電池バスにおける車両火災時の高圧水素ガス放出方法

自動車安全研究領域
清華大学

廣瀬 敏也
成 波

松島 和男 関根 道昭 谷口 哲夫

1. はじめに

燃料電池バスの高圧水素容器は大型化が想定されるため、万が一の車両火災時に容器爆燃を防止し安全性を担保するには容器安全弁（PRD: Pressure Relief Device）による水素ガスの放出方法の検討が必要である¹⁾。本研究は大型高圧水素容器を用いた水素放出・燃焼実験を行い、PRDの設置方法が作動状態へ及ぼす影響、PRDの放出条件が周囲環境に及ぼす影響等について検討した。

燃料電池バスの高圧水素容器は、小型の燃料電池自動車の場合と比較して、設置位置やサイズ等が多様化すると思われる。例えば、長尺の容器が屋根上に設置されている場合が想定されるため、PRD作動時の水素ガスの放出方向が多様になるものと考えられる。このため、燃料電池バス特有の条件を考慮し、車両火災時におけるPRD作動の確認および放出方向が車両周囲に及ぼす影響を検討する必要がある。本研究では、燃料電池バスの車両火災時を対象とし、高圧水素ガスの放出方法に関して次の2点を検討した。

- (1) PRDの設置位置と作動状況
- (2) 水素ガス放出方向が車両周囲へ及ぼす影響

2. PRDの設置位置と作動に関する検討

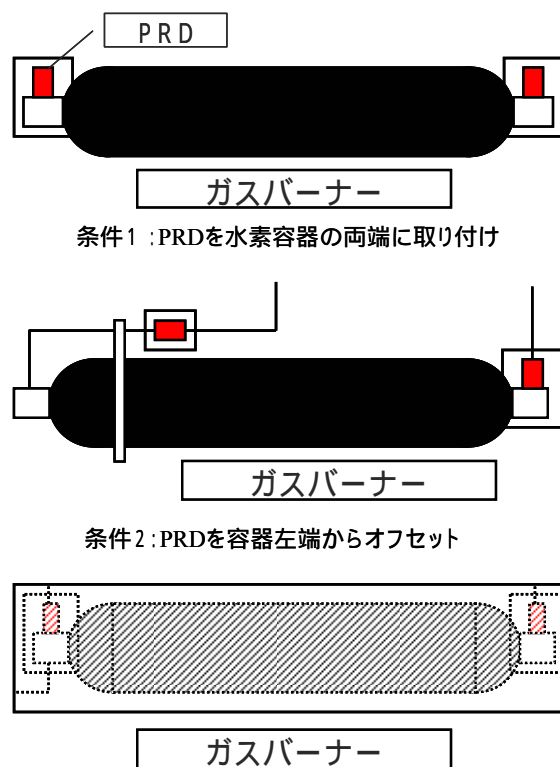
長尺の高圧水素容器の場合は、PRDの設置位置が作動タイミングに影響を及ぼすことが予想される。車両火災時に水素容器の一部が火炎に接したときに、長尺の容器の場合はPRDの温度が十分に上昇しない恐れがあり、爆燃の危険性が高まる。そこで、長尺容器の火炎暴露試験を実施し、PRDの設置位置や容器の設置方法がPRD作動に及ぼす影響を調べた。

2.1 実験方法

図1は、火炎暴露試験における実験装置および条件の概要を示す。実験は、通気孔を有する鋼管内にガスバーナーと試験容器を設置し、鋼管の中で火炎暴露試験を行った。PRDは、CIRCLE SEAL CONTROLS社

製のCS8100を用い、作動温度は104℃であった。PRD作動時には、通気孔を通して水素ガスを大気へと放出した。底面から水素容器を炙る火源の長さは、火炎暴露試験に規定されている1.65mとし、着火は遠隔操作にて行った。水素容器は、容積205L、長さ2.03mのものを用い、35MPaの水素ガスを充填し、条件ごとに2個のPRDを装着した。

条件1ではPRDを水素容器の両端に1個ずつ取り付け、ガスバーナーは容器の中央位置に設定した。条件2では、PRDを水素容器の右端に1個設置し、もう1個を左端から配管によりオフセット（右端から1.65m）させた位置に取り付けた。ガスバーナーは、水素容器の右端に合わせて設置した。条件3では、条



条件3: 容器全体をグラスウールで覆う

図1 水素容器の火炎暴露試験概要

件 1 と同様に PRD を水素容器の両端に取り付け、バーナーを中央位置に設置した。ただし、バーナーの上に厚さ 1/16 インチの鉄板を置き、その上に容器を設置し、さらに全体をグラスウールで覆った。これは、バスにおける実際の設置状況を模擬した条件である。

2.2 結果と考察

条件 1 において 5 分間の火炎暴露を行ったが、容器の内圧の増加が観測されたものの、PRD 作動には至らなかった。条件 2 では、着火後 3 分ほどで PRD が作動し、水素ガスが放出された。条件 3 では、着火後 3 分ほどで PRD が作動し、水素ガスが放出された。PRD 部に設置した温度センサーは、同様な温度上昇を行っており、容器をグラスウールで覆うことにより内部の温度が上昇し、どちらかの PRD が作動したものと考えられる。

大型の容器の両端に PRD を設置した場合、容器中央部のみが炎に接したとしても PRD 部が作動する温度に達しない場合があることが確認された。しかし、PRD 装置を火炎のあたりやすい位置にずらして設置したり、グラスウール等で周囲を覆うことにより作動を促進させる効果があることが確認された。

以上の結果より、実際の車両火災時に PRD が的確に作動する容器の搭載方法を検討する必要がある。

3. 水素ガス放出方向に対する車両周囲への影響

燃料電池バスは車体が大きいため、様々な位置、方向に対して PRD 放出を行う可能性が想定される。本実験では、屋根上から水平方向への放出と車体の底板から斜め下方への放出を想定した実験を行った。

3.1 実験方法

水素容器には容積 150ℓのものを使用し、それぞれに 35MPa の水素ガスを充填した。放出口には 3/8 インチのノズルを用いた。8 本の水素容器により、実際の車両と同程度の量のガスを放出した。条件 1 では、高さ 3m の位置にノズルを設置し、水平方向に水素ガスを放出した。着火源は、温度計測に使用したポールに火花を設置し、水素ガスの放出後即座に着火するようにした。また、車体底板に見立てた厚さ 1/4 インチの 2m×2m の鋼板を地上から 0.3m (条件 2) あるいは 0.6 m (条件 3) の高さに水平に設置し、その中央に設置したノズルから斜め 45° 下方向に水素ガスを放出した。この時の着火源は放出された水素が地面に接する位置に設置した。火炎の範囲、火炎温度、熱流束についてビデオ撮影および温度計測を行った。

3.2 結果と考察

条件 1 では放出口から 8 メートル地点までの温度分布を記録した。地表から 1m の高さの温度はどの地点でもほぼ 35 °であった。観測された最高温度は高さ 2 m における 4m 離れた地点の 185 °であったが、同じ 2 m 高でも 8m 離れた地点では、温度が 1m 高と同じであった。そのため、水素ガスが燃焼しながら上方向に拡散したものと考えられる。

条件 2 では、地表から高さ 0.1 m の温度が放出口に最も近い場所で最高 1264 °に達した。放出口から離れるに従い温度が減少したが、距離 4 m までは 500 °を超える温度が計測された。高さ 1.0 m の場合は、100 前後の温度が観測されたが、放出口からの距離によらず温度変化は小さかった。

条件 3 では高さ 0.1m における温度が条件 2 よりも高く、ノズルから 5m 離れた場所でも 500 °を超える温度が観測された。放出位置が高い場合 (条件 3) は、低い場合 (条件 2) よりも、高温の炎が分布する範囲が広くなることが確認された。

4. まとめ

燃料電池バスの車両火災時における高圧水素ガスの放出方法に関して検討したものである。まず、長尺容器における PRD の作動状況について調べた。また、水素ガス放出におけるノズルの位置と方向が火炎や熱の分布に与える影響について調べた。

その結果、以下の結論を得た。

- (1) PRD を容器両端に設置した場合、容器中央部が炎に接し内圧が増加しても PRD が作動しない。
- (2) 配管により PRD を容器中央部付近へ設置した場合と容器全体が可燃性のカバーで覆われている場合は PRD の作動が促進される。
- (3) 地上 3m からの水平方向の放出において、地面付近 (1m) の高さでは大きい温度変化は観測されず、高さ 3m 以上の温度変化が大きい。
- (4) 車体底板から斜め下方への放出を想定した場合、底板の位置が高い車両 (0.6m 程度) は、低い車両 (0.3m 程度) よりも、高温の火炎を広い範囲に分布させる可能性がある。

5. 参考文献

- 1) 成波, 松島和男, 谷口哲夫, 関根道昭: 燃料電池自動車火災時の高圧水素ガス放出燃焼実験, 自動車技術学術講演会前刷集, 141-05, p.19-22 (2005)