

17 燃料電池自動車の高圧水素容器からの水素ガス放出燃焼実験について

自動車安全研究領域

松島 和男

谷口 哲夫

成 波

関根 道昭

1. まえがき

本実験は当所が実施している「燃料電池自動車実用化促進プロジェクト検討会」において、保安基準および技術基準作成のための課題のひとつである燃料電池自動車用ガス容器の水素ガスの排出基準作成のための資料を得ることを目的に行ったものである。

今回の実験は、車両火災時に高圧水素容器の容器安全弁または圧力逃がし弁（以下PRDベント管という）が作動して放出される水素がどのように燃焼するかを調査したもので、PRDベント管からの放出量、放出方向等の放出形態を変えた場合の燃焼試験を模擬装置および実車両を使用して実施したものであり、これらの実験結果から車両周囲への影響について検討したので、その結果について報告する。

2. 試験方法

2.1. 試験装置

試験装置の概略は図-1に示した通りで、模擬装置または実車両を用い、水素は4本の容器を1台分としてまとめた。

なお、水素容器は試験直前に35MPaまで充填した。1台分を構成する4本の容器の内容積の合計は141リットル、1回の試験で用いられた水素の総重量は3.1kgであった。また、K型熱電対と熱流束計を試験車両の周囲に図-2に示すような位置に配置した。図-3はスタンドに固定された、熱電対と熱流束計である。水素燃焼の様子を、1台の赤外線カメラと、4台のビデオカメラで撮影した。

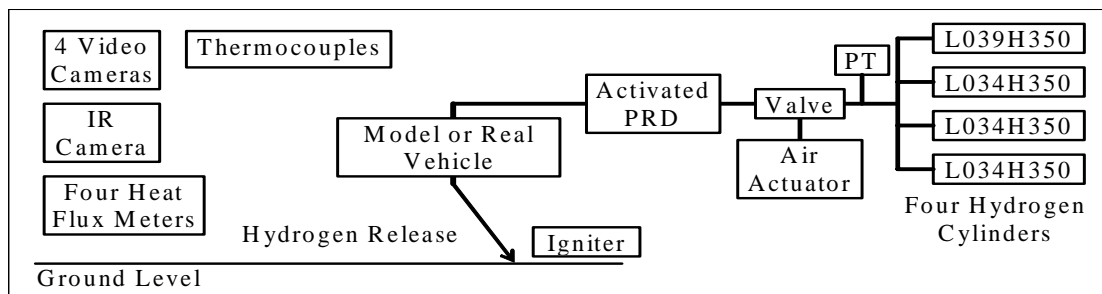


図 - 1 試験装置

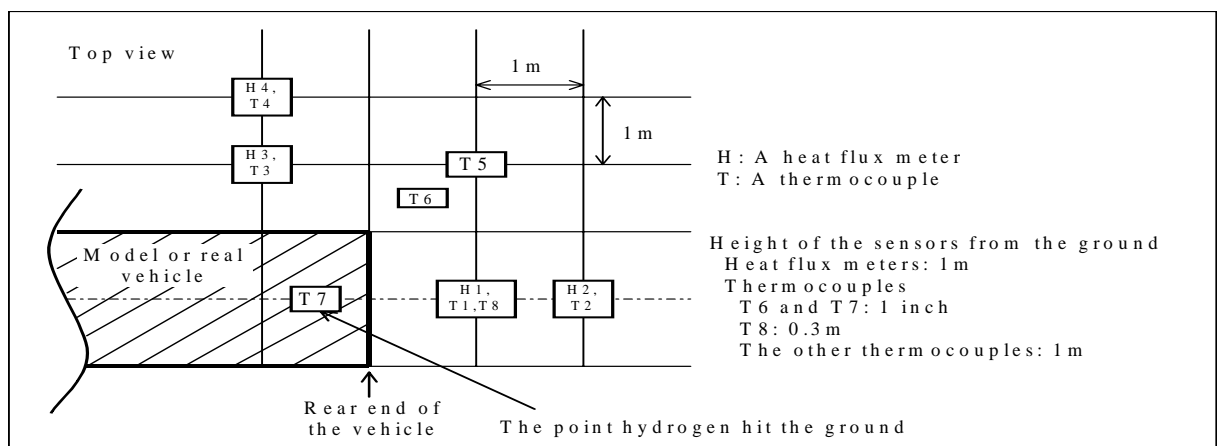


図 - 2 熱電対と熱流束計の配置図



図 - 3 熱電対と熱流束計の固定状況

2.2. 模擬装置による試験

今回の試験に用いる模擬装置を図 - 4 に示す。この装置は実車両を模擬するために、2 m 四方で厚さ 6.3mm の鋼板と長さ 0.3m の 4 本の柱からなるものである。なお、模擬装置の後方に見える白線は火炎の広がり調べるために引いたものである。着火源は、放出された水素の流れが地面に衝突する場所付近に設置した。



図 - 4 模擬装置

2.3. 実車両による試験

2.3.1. セダンを用いた試験

水素放出開始と着火の時間差による燃焼の差をみるために、着火源を後輪のわきにおいた場合(試験車 A・図 - 5)とリアバンパ上に置いた場合(試験車 B・図 - 6)について燃焼試験を実施した。なお、水素は斜め後方に 45° の角度で放出した。



図 - 5 試験車 A



図 - 6 試験車 B

2.3.2. ミニバンを用いた試験

図 - 7 に示す試験車 C を用いた。床下に高圧水素容器 2 本組み込んだ放散箱を 2 個設置し、この放散箱に水素を放出させる。この水素は放散箱の底部の穴を通して車両の下に放散される。なお、着火源は放散箱直下に置いた。



図 - 7 試験車 C

2.4. 試験条件

試験条件は表 - 1 に示すように、12 の燃焼試験を実施した。A1 ~ A6 は、水素の放出方向の影響を調べるため、A2 と B1 は水素放出流量の影響を調べるため、C1 と C2 はノズル先端から車両後端までの距離の影響を調べるため、D1 と D2 は実車両を使って水素放出から着火までの時間差の効果を調べるため、E1 は放散箱の効果を調べるために実施した。

3. 試験結果および考察

3.1. 温度と熱流束

今回の試験毎に、各測定点での試験中の最大温度と最大熱流束の結果をまとめたのが表 - 2 である。

水素の放出方向の影響を調べた、試験 A1 ~ A6 の結果から、地面からの高さ 1 m の位置で測定した、車両後方 1 m および 2 m における温度 (T1、T2) は、噴出方向による顕著な影響を受けない。一方、高さ 1 m の位置の、車両側方 1 m および 2 m の温度は、噴出方向と鉛直方向のなす角度が大きくなるにつれて、下がっている (T3、T4)。最大熱流束の結果 (H1 ~ H4)

も、温度と同様の傾向を示している。熱流束のデータが、Y=0m(鉛直下方噴射)で、著しく小さくなっているが、これは計器の不調によるものと考えられる。

また、地面付近 (0~0.3m) で測定された最高温度 (T7、T8) は数百度以上に達している。

これらの結果から、噴出方向を斜め後方に傾ければ、歩道の安全確保になることがわかった。

水素放出流量の違いによる試験結果 (A6、B1) から、放散流量が小さい場合、地面からの高さ 1 m の位置では車両後方への最高温度は小さかったが、側方および地面付近で測定された結果は同程度の値であった。また、熱流束の結果も同様であった。

車両の前後方向に水素放出位置を変化させた場合の試験結果 (A6、C1、C2) は、最大温度と最大熱流束とも、ばらつきは大きい、熱影響部が前後に移動していることがわかる。

実車両を使用した結果 (D1、D2、E1) を比較すると、ミニバンに放散箱を設けた試験結果 (E1) が車両に近い位置での最高温と最大熱流束はやや高くなり、離れた位置では低くなった。

表 - 1 試験条件

No	放散管 角度	放散 流量	車両後端 からの距離 (mm)	放出口から地面へ の着地点までの距 離 (mm)	放散管出口と 地面との最短 距離 (mm)	着火条件	確認内容	シミュレ ータ
A1	0	大	1000	0	300	直後着火	角度の影響 (0,30,45,60,75)	鋼板式
A2	45	大	1000	300	300	直後着火		鋼板式
A3	60	大	1000	500	300	直後着火		鋼板式
A4	75	大	1000	1000	300	直後着火		鋼板式
A5	30	大	1000	170	300	直後着火		鋼板式
A6	45	大	1000	300	300	直後着火		鋼板式
B1	45	小	1000	300	300	直後着火	流量の影響 (A6 vs B1)	鋼板式
C1	45	大	500	300	300	直後着火	車両端部から の距離の影響 (A6, C1, C2)	鋼板式
C2	45	大	1500	300	300	直後着火		鋼板式
D1	45	大	1000	300	300	着火遅れ (小)	着火遅れの影 響(A6, D1, D2)	実車改造
D2	45	大	1000	300	300	着火遅れ (大)		実車改造
E1	タンクケー スの穴か ら放散	大	300-800	300-800	300	直後着火	類焼、放散方 向に火種あり	実車改造

表 - 2 試験結果

No	最大温度 (°C)								最大熱流速 (W/cm ² *)			
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	H1	H2	H3	H4
A1	131	90	222	165	239	466	1034	-	0.38	0.18	0.06	0.30
A2	97	94	83	106	115	283	1199	-	2.09	3.23	3.24	4.37
A3	45	53	33	30	55	579	1199	-	0.89	4.39	0.75	0.43
A4	1199	93	29	29	35	333	1015	901	0.66	3.56	0.51	0.38
A5	53	54	70	40	285	417	1371	738	1.83	3.69	4.95	2.89
A6	242	148	43	35	151	436	1126	624	2.94	3.04	1.82	0.84
B1	45	50	64	35	98	525	1266	482	1.51	2.59	2.22	1.22
C1	76	135	63	40	110	922	1282	1355	1.60	2.42	3.41	1.82
C2	67	80	110	122	123	561	1308	400	2.41	5.82	4.29	3.38
D1	67	135	34	31	178	508	33	711	5.14	5.19	0.71	0.48
D2	114	70	40	35	165	509	1340	909	3.73	6.97	1.02	0.56
E1	156	61	67	43	55	81	228	123	9.53	4.42	3.56	2.35

このことから、放散箱方式が、地面付近の危険を減らすことに、有利であることがわかる。これは、放散箱方式では、水素がゆっくりと放散されるために、地面付近の水素の流れ著しく弱まるのが原因であると考えられる。今回の試験では、最大熱流束が、水素放散開始直後に測定されたが、最高温度についてはやや時間遅れがあった。これはそれぞれのセンサーの応答時間の違いによるものと考えられる。

3.2. ビデオおよび赤外線カメラの映像

試験の様子を、4台のビデオカメラと1台の赤外線カメラによって撮影した。カメラ映像によると、水素の放出と着火は、ほぼ同時に起こっていた。また、着火直後に、水素火炎が最大に広がるのが観察された。このときの、火炎の横方向、後ろ方向の広がりをまとめたものを表 - 3 に示す。また、放出口から地面への着地点までの距離と火炎の長さについてまとめたのを図 - 8 に示す。この結果によると、水素の噴出方向が後方に傾くと、左右の広がりが小さくなり、後方への広がりが大きくなるのが分かった。鉛直下方へ噴出した試験では前後方向、左右方向とも約 2 m の火炎であった。水素の放出角度を 45° 後方に傾けて噴射した試験 A2、A6 では、左右方向の広がりは約 1 m に半減したが、後方への広がりは約 3 m に拡大した。

表 - 3 火炎の長さ

No	火炎の長さ(m)		
	Right*	Left*	Rear
A1	2.3	1.9	2.0
A2	1.0	1.0	3.0
A3	0.9	0.8	3.5
A4	0.5	0.6	4.5
A5	2.0	2.1	2.5
A6	1.0	1.3	3.0
B1	1.2	1.5	3.0
C1	1.2	1.2	3.0
C2	1.3	1.8	2.5
D1	1.0	0.8	3.5
D2	1.0	1.0	2.0
E1	1.0	1.0	1.5

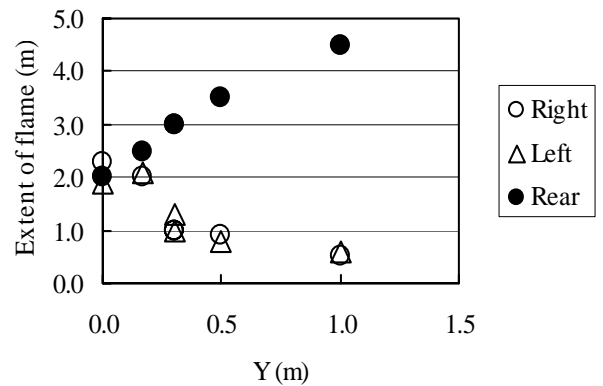


図 - 8 放出口から着地点までの距離と火炎の長さ

水素流量の小さい試験 B1 は、大流量の試験 A2、A6 に比べて、若干幅広がりが大きくなった。

図 - 9 に長手方向の水素噴出位置の影響についてみた模擬装置後端の距離と火炎の長さについてまとめたものを示す。模擬装置後端の距離が 1.5m では、他の距離の試験に比べて、幅広がり若干大きくなり、後方への広がり小さくなった。

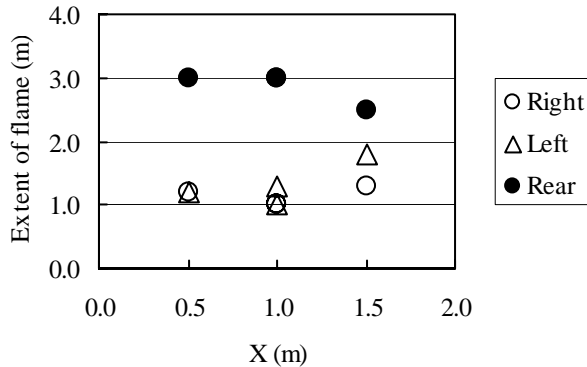


図 - 9 模擬装置後端の距離と火炎の長さ

また、セダンを用いた試験 D1 では、火炎の広がり、模擬装置の試験 A1、A2 とほとんど同じであった。

模擬装置による試験から、実車の現象をある程度シミュレートできると考えられる。

試験 D1 と D2 を比較すると、D2 の火炎の後方広がり、D1 に比べて著しく小さい。D1 と D2 の着火遅れ時間は、ほとんど同じであったが、着火時の水素の分布は違っていたためと考えられる。D2 で最初に放出された水素は、着火する前に拡散したようである。車両の燃焼状況は、図 - 10 および図 - 11 に示したように、D1、D2 とともにバンパーが焼け焦げた程度で軽微なものであった。

拡散箱による放出試験 E1 では、ベント管方式とは、全く異なる結果が得られた。まず、火炎の広がりであるが、後方のほうが小さくなっているものの、横方向は、ベント管方式の D1、D2 とほぼ同じであった。

また、着火直後に、車両下部全体が炎に包まれた。エンジンルームと客室に、侵入した水素によるものと見られる炎が観察された。水素の放出終了直後に、消火作業を行ったが、図 - 12 に示すとおり車両は完全に焼損した。

図 - 10 試験 D1 の燃焼状況



図 - 11 試験 D2 の燃焼状況



図 - 12 試験 E1 の燃焼状況



4.まとめ

以上の結果をまとめると以下のとおりである。

(1)車両を模擬した、地面から0.3mの位置に設置した、2m四方の鋼板を用いた模擬装置の下に、ベント管により、下方に水素を放出して、着火させる試験を実施した結果から、鋼板からの炎のはみ出しは、鉛直下方に放出した場合は、左右方向、前後方向にも約2mであったが、水素の放出角度を45°後方に傾けると、後方に3m。左右側方のはみ出しは1mになった。放出方向を傾けると、模擬装置の前から後ろに、空気の流れができ、側方への火炎の広がりが抑制されることから、水素の放出角度を後方に傾けた噴射の場合、歩道の歩行者保護に効果があることがわかった。

(2)セダンの下に、斜め後方に45度傾けたベント管を設置して、水素を放出、着火する試験を実施した結果から、模擬装置を用いた同じ放出条件の試験と同様、左右側方への車両下部からの火炎のはみ出し量は約1mであった。また、水素が放出されてから、着火するまでの時間も、火炎の状態に影響をおよぼすことが明らかになった。なお、この試験で受けた車両のダメージは、バンパーが焼損した程度であった。

(3)ミニバンの内部に、設置した2個の放散箱の内部に水素を放出し、放散箱底面に開けられた多数の穴より車両下に流出した後に着火した。その結果、ベント管による斜め後方放出に比べて、車両後方への火炎は抑制された。また、左右側方への火炎の広がりは、水素の放出速度が抑制されたため、歩道等への火炎の吹き出しはなく、車両を包むような火炎となった。そのため、火炎によりガラスが割れ、床下の通気口から侵入した水素に着火し焼損した。

参考文献

(1) 燃料電池自動車実用化促進プロジェクト検討会：平成15年度、燃料電池自動車に係る保安基準策定事業に関する調査報告書（平成16年3月）