

令和 2 年 7 月 8 日現在

機関番号：13701

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K13957

研究課題名（和文）高圧水素漏えいにおける水素拡散領域縮小と水素滞留防止を実現する障壁の検討

研究課題名（英文）Investigation of enclosure for reduction of dispersion and stagnation in high pressure hydrogen leakage

研究代表者

朝原 誠（ASAHARA, Makoto）

岐阜大学・工学部・助教

研究者番号：40633045

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：「82MPa高圧水素ガス設備における離隔距離8m」の代替措置として、多孔やスリットを有する障壁の噴流遮へい効果を示し、距離規制の代替措置としての有効性を評価した。自由噴流と多孔障壁衝突噴流中において、強制的に着火を試み、火炎影響領域計測した結果、多孔壁およびスリットでは火炎影響領域が著しく狭くなった。また、噴出口から強制着火位置を離れたところ、障壁を設置した場合に、着火領域は狭くなった（火炎影響領域境界と障壁設置位置が一致するのではない点に注意されたい）。多孔壁の場合には、障壁の下流側を沿うように火炎が拡がり、スリットの場合には床にたたきつけられるような火炎構造になることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般高圧ガス保安規則および同コンビナート等保安規則において規定される高圧水素ガス設備の保安距離8mの確保と同等以上の代替措置として、多孔壁やルーバーの設置が有効である。しかし、高圧ガス設備容器の換気口としての使用が想定されるルーバーでは、衝突した水素噴流が地面に沿って広域に拡散する可能性があるため、設置高さに注意しなくてはならないことが明確となった。以上より、本研究は、高圧水素ガスの漏えい事故時における安全性の向上に資する成果を得たといえる。

また、多孔板に衝突する噴流の可視化により、複雑な噴流挙動を示すことができたことは学術的に例が少なく、後続研究の進展に寄与すると考える。

研究成果の概要（英文）：We investigated the flame shape in forced ignition in a high-pressurized hydrogen jet impinging on a porous wall and evaluated a heat-affected region. As a result, it was observed that the high-pressurized hydrogen jet flame impinging on the porous wall was smaller in the horizontal direction than the free jet flame, but spreads in the vertical direction along the downstream wall surface. Furthermore, it was found that the heat-affected region was significantly narrowed by the installation of the porous wall.

研究分野：流体工学、燃烧工学、安全工学

キーワード：高圧水素 噴流衝突 水素漏えい 拡散燃焼 噴流火炎 多孔板 着火 距離規制

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

一般高圧ガス保安規則および同コンビナート等保安規則において、水素設備における公道ディスプレイ距離や敷地境界距離等の保安距離が規定され、82MPa 水素ガス設備の場合、これらの保安距離は8mに定められている。保安距離により、特に都市部における敷地確保が圧縮水素ステーション整備の障害となっているが、保安距離確保と同等以上の代替措置による保安距離の短縮が認められている。代替措置による離隔距離の短縮が可能な場合、圧縮水素ステーションの建設候補地は急激に増加する。具体的な保安距離確保の代替措置例は、一般例示基準に示されており、また、一般財団法人石油エネルギー技術センター(JPEC)によって制定された圧縮水素スタンド・移動式圧縮水素スタンドの距離規制の代替措置に関わる技術基準に具体案が明示されている。

過去の研究において、高圧ガス容器をコンクリートの障壁で囲うことで、ジェット火炎による熱被害領域を縮小する効果が示されている。しかし、障壁を隔てた漏洩側の領域に水素が滞留するため、障壁の設置による壁内側での爆発危険度の上昇が懸念される。そこで本研究では、JPECの技術基準に倣い、さらに火器離隔距離の代替措置にも適応可能な技術として、多孔壁による高圧ガス設備の遮蔽を想定した多孔板衝突噴流の特性理解を目指す。多孔壁に水素噴流が衝突した場合、大漏洩時における水素の移流を遮蔽し、小漏洩時における水素の滞留を抑止する効果が期待される。さらに、水素噴流中で着火し、定在火炎が形成される事態において、熱被害の抑制効果も期待される。

2. 研究の目的

本研究では、多孔壁に衝突する高圧水素噴出における軸上の任意の位置で強制的に着火を試みた場合における火炎挙動を示し、多孔壁の有無による火炎熱被害領域を調査した。

3. 研究の方法

図1に実験装置の概略を示す。レギュレーターを通じて任意のよどみ圧に調整された水素をピンホールノズルから水平方向へ噴出し、多孔壁へと垂直に衝突させた。このような水素拡散場において、イグナイターを用いて強制的に着火し、火炎形状を観察した。多孔壁には、2000mm×1500mm×5mmのパンチングメタルを用いた。パンチングメタルの孔は、予備実験の結果から、孔径10mm、ピッチ13mm(開口率53.6%)を採用した。ノズル近傍では、シャドウグラフにより噴流および火炎を観察し、多孔板近傍では高速度カメラ、赤外線サーモグラフィ、ホームビデオカメラによって火炎撮影した。

表1に実験条件を示す。噴出圧力、ノズル口径をパラメータとして噴流特性を変化させ、噴流火炎長に合わせて多孔板の位置を変えた。さらに、ノズル - イグナイター間距離をパラメータとし、火炎が形成されるかどうかを調査した。

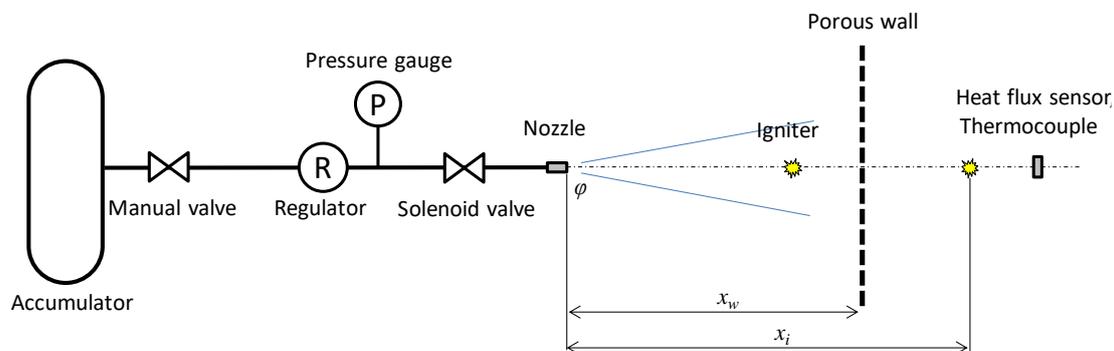


Fig. 1 Schematic image of high-pressure hydrogen jet system.

Table 1 Experimental condition.

Stagnation pressure, p_0	45, 60, 82 MPa
Pinhole diameter, ϕ	0.2, 0.8 mm
Distance from nozzle to wall, x_w	500, 1000 mm

4. 研究成果

水素自由噴流の噴出軸上で強制的に着火を試みた場合、図2に示されるように着火位置によって火炎の挙動が異なる。図中①の領域で着火を試みる場合、定在火炎が形成され、②の領域で着火を試みる場合、火炎が形成されるものの、スパーク停止後に消炎する。③の領域で着火を試みる場合、火炎は形成されない。ここで、①の領域における定在火炎のシャドウグラフの一例を

図 3 に示す. 水素噴流 (図 2(a)) 中において, 電極を用いて放電すると, 火炎が下流および上流へと拡大し, 定在火炎となる.

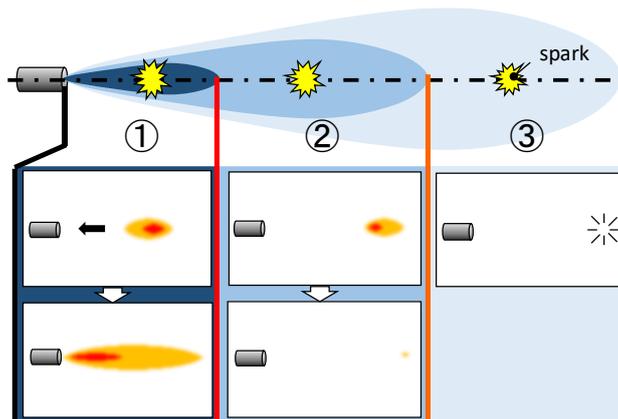


Fig. 2 Relationship between spark point and flame configuration.

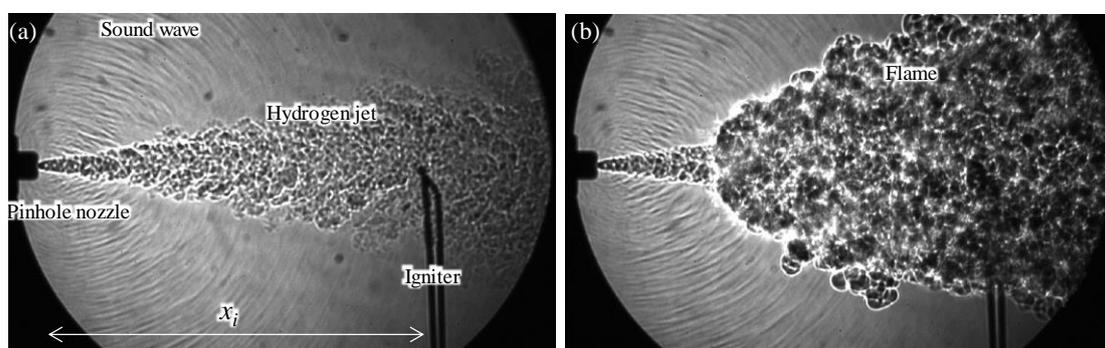


Fig. 3 Shadowgraph of hydrogen jet and diffusion flame near the pinhole nozzle ($p_0 = 82$ MPa, $\varphi = 0.2$ mm, $x_{ig} = 250$ mm).

図 4 に多孔壁無条件と多孔壁有条件の火炎形状を示す. 図中(a)は近赤外ロングパスフィルター (920 nm) を使用して撮影した H₂O 自発光の直接撮影画像を, 図中(b)は赤外線サーモグラフィによって得られた画像を示す. 多孔壁が無い自由噴流火炎では, 遠方にまで高温 H₂O の発光が見られ, ノズルから 2000 mm の位置において火炎曝露 4 s 間で得られた最大温度は 847 K であった. 一方, 多孔壁衝突火炎では, 下流側面に沿うように高温 H₂O の発光が見られた. また, ノズルから 1900 mm の位置 (壁面下流 400 mm) において火炎曝露 4 s 間で得られた最大温度は 306 K (室温との温度差 $\Delta T = 4.5$ K) であった. これは, 多孔壁衝突による噴流の運動量拡散と水素濃度分布の差異による. したがって, 多孔壁により, 噴出 (水平) 方向の運動量を失った高温ガスは, 浮力により上方へと拡散することで, 高温ガスによる水平方向熱影響領域長は短縮される.

続いて, ノズル - イグナイター間距離をパラメータとした場合における火炎形成挙動と着火確率を調査した. 図 5 に $p_0 = 82$ MPa, $\varphi = 0.8$ mm におけるノズル - イグナイター間距離と着火確率の関係を示す. 図 5(a)から, 図 2 に示されるように定在火炎となる領域, 非定在火炎となり吹き消える領域, 着火しない領域が存在し, 非定在火炎となり吹き消える領域において, ノズル - イグナイター間距離が大きくなるにつれて, 着火確率が低下することがわかる(2). 一方, ノズルから 1000 mm の位置に障壁を設置した場合には, 火炎が形成される領域が大幅に狭まる. ここで, 障壁近傍の下流域にイグナイターを設置した場合, 図 6 に示されるように, 多孔壁の下流で形成された火炎が多孔を通じて上流まで遡ることがわかる. これらの結果は, ノズル径や噴出圧力を変化させた場合においても同様な傾向を示し, 多孔壁の下流であっても, 壁面近傍では着火し, 火炎の熱影響を受ける可能性を有することを示している.

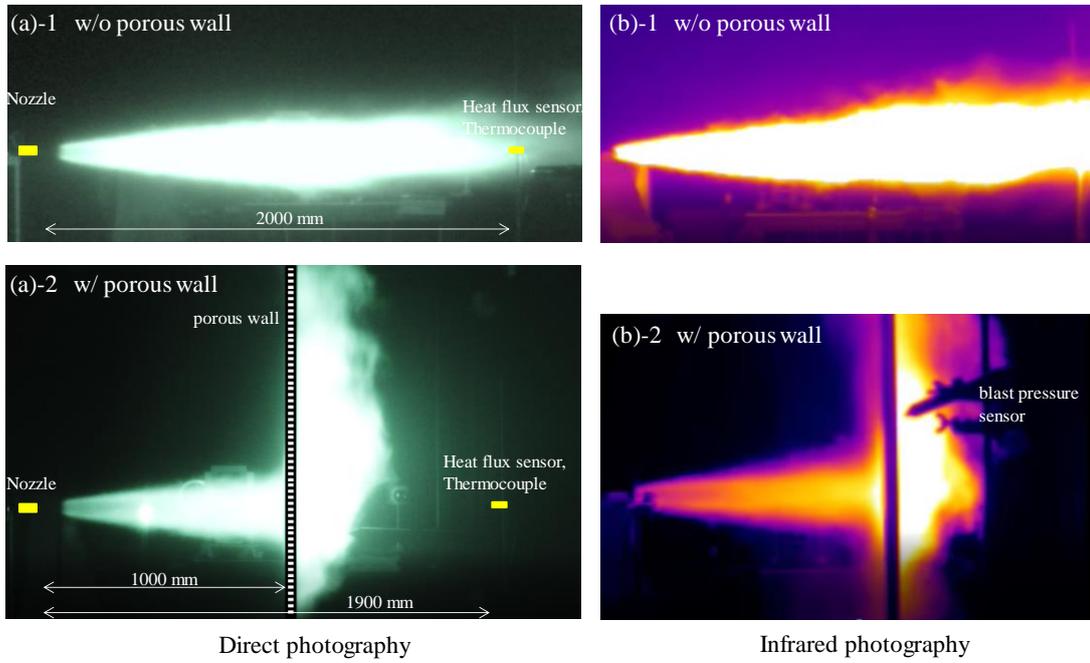


Fig. 4 Flame shape (a) without porous wall and (b) with porous wall ($p_0 = 45 \text{ MPa}$, $\phi = 0.8 \text{ mm}$, $x_w = 1000 \text{ mm}$, $x_i = 400 \text{ mm}$).

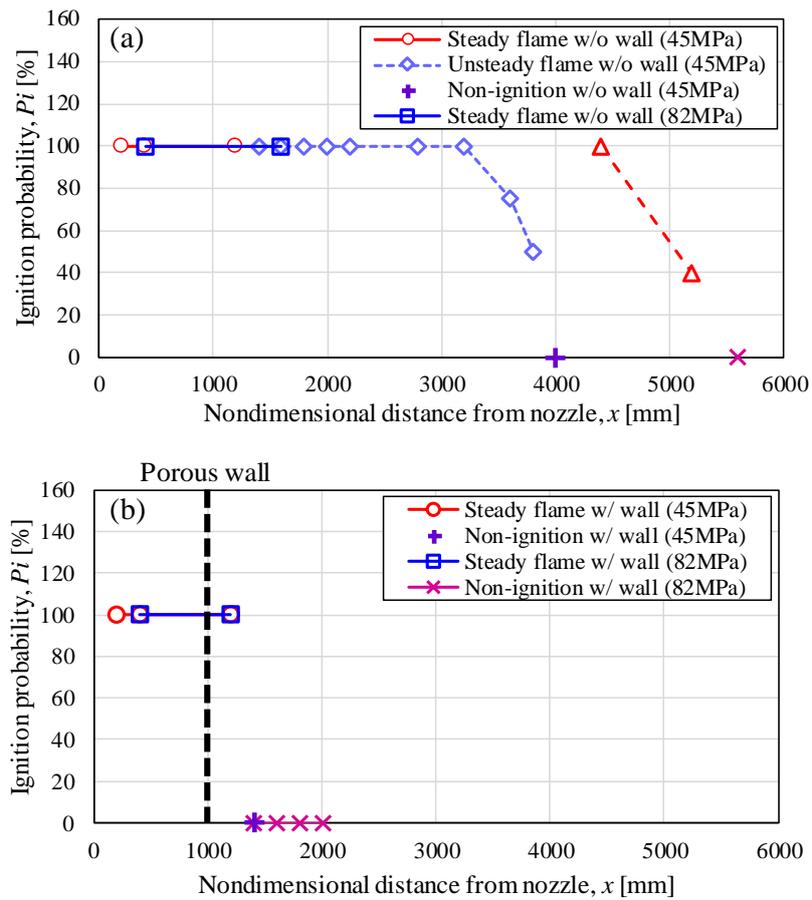


Fig. 5 Ignition probability with nozzle-igniter distance.

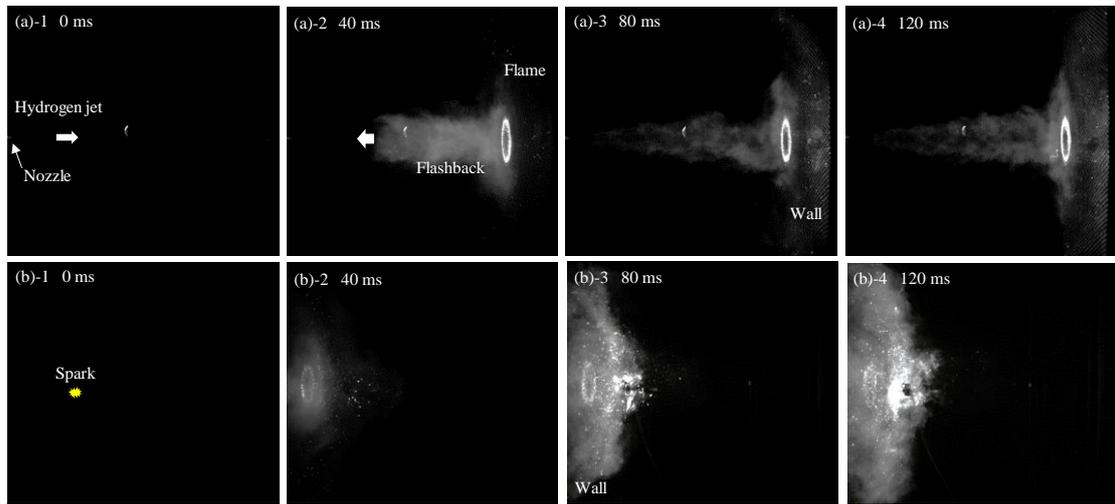


Fig. 6 Flashback by forced ignition at the downstream of the porous wall ($p_0 = 45$ MPa, $\varphi = 0.8$ mm, $x_w = 1000$ mm, $x_i = x_w + 200$ mm).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 akuya Takei, Makoto Asahara, Tei Saburi, Takeshi Miyasaka, Katsuo Asato, Shiro Kubota
2. 発表標題 Characteristics of Hydrogen-Air Premixed Flame in Swirling Flow
3. 学会等名 2nd Pacific Rim Thermal Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshiki Ando, Makoto Asahara, Tei Saburi, Shiro Kubota, Takeshi Miyasaka
2. 発表標題 Propagation behavior of a self-ignited flame in high-pressure hydrogen flow in a tube
3. 学会等名 12th International Symposium on Hazards, Prevention, and Mitigation of Industrial Explosions (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 朝原誠, 安藤俊希, 竹居拓哉, 武藤智大, 宮坂武志, 安里勝雄
2. 発表標題 多孔板に衝突する高圧水素噴流火炎の熱影響
3. 学会等名 第57回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安藤俊希, 朝原誠, 佐分利慎, 久保田士郎, 宮坂武志
2. 発表標題 配管から放出される高圧水素の自己火炎形成における放出圧力と管長の影響
3. 学会等名 第57回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 朝原誠, 宮坂武志, 安里勝雄
2. 発表標題 高圧水素貯蔵設備からの水素漏えいを想定した多孔板への噴流衝突挙動
3. 学会等名 安全工学シンポジウム 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安藤俊希, 朝原 誠, 佐分利慎, 久保田士郎, 宮坂武志
2. 発表標題 配管を通して放出される高圧水素火炎挙動
3. 学会等名 火薬学会2018年度秋季研究発表会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考