

超高压液化水素（90MPa）拡散燃焼実験について

小林弘明, 成尾芳博, 丸祐介, 竹崎悠一郎, 杉野伸也, 野中聡, 八木下剛, 大門優, 谷洋海, 梅村悠, 武藤大貴, 松本万有 (JAXA), 辻上博司, 宮鍋昂大, 吉野裕, 河村哲 (岩谷産業)

Experiment of high-pressure (90MPa) hydrogen leakage diffusion, combustion, and explosion

Hiroaki Kobayashi*, Yoshihiro Naruo, Yusuke Maru, Yuichiro Takesaki, Shinya Sugino, Satoshi Nonaka, Tsuyoshi Yagishita, Yuu Daimon, Hiroumi Tani, Yutaka Umemura, Daiki Muto, Mayu Matsumoto, Hiroshi Tsujigami, Kota Miyanabe, Yuu Yoshino, Satoru Kawamura

* Japan Aerospace Exploration Agency, Institute of Space and Astronautical Science (ISAS)

Abstract: We carried out the experiment of high-pressure (90MPa) liquid hydrogen leakage diffusion, combustion, and explosion with Iwatani Corporation from 2016 to 2017. Purpose of the experiment is improvement of domestic regulations, international standardization and harmonization for fuel cell vehicles and hydrogen infrastructure. We acquired the data of hydrogen concentration, flame length, and blast pressure using temperature, pinhole diameter, and pressure as parameters. The experimental data was analyzed based on the correlation equation, and obtained the result which contributed the standard proposal. By flow observation with high-speed camera we understood the simulation model peculiar to high pressure liquid hydrogen jet.

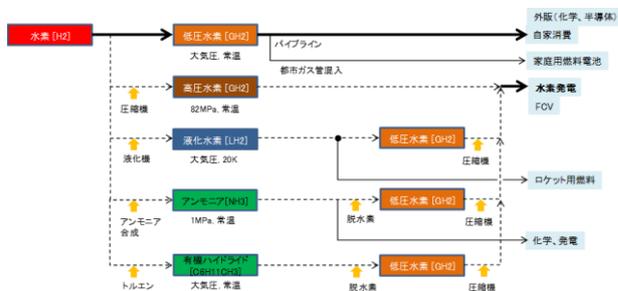
Key Words: Hydrogen, Renewable Energy, In Situ Resource Utilization

1. はじめに

宇宙科学研究所では、ロケットの再使用化・高頻度運用により、宇宙輸送コストの大幅な低減を実現するため、民間の水素エネルギー技術開発との相互交流を積極的に行っている。民間技術導入によるロケット開発・運用コストの低減や、水素社会実現への積極的貢献による燃料・機器コストの低減を目指している。現在の水素利用は、石油精製過程における水素化脱硫や、各種化学プロセス用としての自家消費がほとんど（年間 150 億 Nm³）で、外販は年間 2 億 Nm³ 程度にすぎない。水素発電および FCV の導入によって水素需要が大幅に伸びる見通しで、これに対しては副生水素の有効活用と海外供給により対応する計画となっている。水素は体積あたりのエネルギー密度が低いため、どのように長距離輸送、大量輸送を行うかが課題となっている。現在検討されている大量輸送方式には、①高压水素方式、②アンモニア方式、③有機ハイドライド方式、④液化水素方式などがあり、それぞれ一長一短がある。液化水素方式は、高压ガス方式に比較して貯蔵性に優れるものの、液化プロセスに大きなエネルギー投入が必要なため総合エネルギー効率は高くない。このため、液化水素のポンプ昇圧によって、圧縮仕事を 1/10 程度に削減し、エネルギー効率を改善することが検討されている。

しかしながら、現行の高压ガス保安法では、液化水素ポンプや高压送ガス蒸発器の技術基準が含まれておらず、液化水素の常用圧力も 1MPa 未満に限定されている。そこで、

液化水素の常用圧力を 82MPa まで引き上げることに伴い、水素スタンドで確保すべき離隔距離の決定のために必要なデータを実験により取得した。



第1図 水素の大量輸送方式

2. 実験設備

実験設備は、実際の水素ステーションと同じ機器構成をとる。液化水素をポンプで最大 90MPa に昇圧、高压蒸発器により常温まで昇温させ、蓄圧容器に充填する。蒸発器の手前で分岐し、漏洩実験エリアに高压液化水素を放出する系統を設ける。蒸発器前後のコントロールバルブ調整により、任意の温度・圧力条件の液化水素を供給可能となっている。能代ロケット実験場に 50m×16m の漏洩実験エリアを整備し、周囲を高さ 5m の防風ネットで囲み、風速の影響軽減を図った。

水素スタンドのような高压ガス設備において最も想定される不調は、ねじ接合継手の緩み、バルブのグランド漏れ、

シール材の損傷等の小規模な水素漏洩である。小規模漏洩の開口部を、定められた口径（0.2mm～1mm）の円形ピンホールで代表させ、離隔距離に関する各種データ（水素濃度分布、爆風圧、火炎長、輻射熱）を取得した。取得したデータは、ピンホール漏洩流量の関数として整理した。



第2図 実験設備から高压液化水素が噴出する様子

3. 実験結果

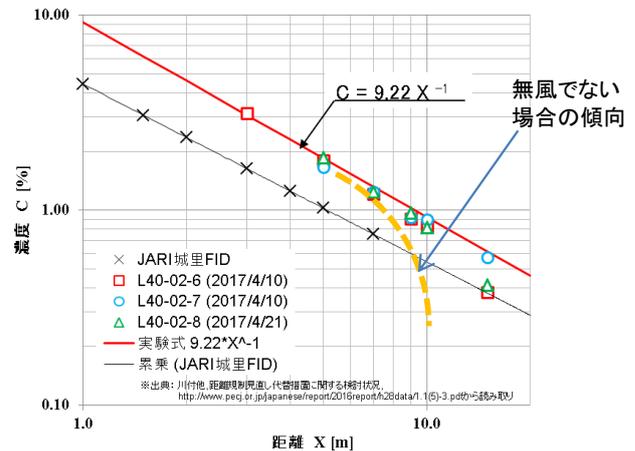
流量計測試験では、水素供給温度を3水準（300K、40K、200K）とり、80MPaまで昇圧した場合のピンホール漏洩流量を計測した。流量計測には、ピンホール下流に接続したコリオリ式の基準流量計を使用した。水素供給温度40Kの条件で、ピンホール漏洩流量が最大となることを確認した。また、ピンホール漏洩流量の評価には、液オリフィス式を用いるのが適当と分かった。40K条件でのオリフィス流量係数は約0.6となる。

現象理解のための可視化試験では、高強度パルスレーザーによる噴流の高速度可視化を行ったところ、水素供給温度40Kの条件で、ピンホール出口近傍において噴流が観測された。一方で200K、300K条件では、観測されなかった。観測された噴流について、噴流温度分布計測データおよび数値シミュレーションにより、現象理解のための分析を進めている。

水素濃度分布計測試験では、口径0.2mmピンホールから、高压液化水素を一定圧力・温度条件で10分以上継続して試験エリアに漏洩させて濃度分布を計測した。各計測点において収録した水素濃度の瞬時値履歴に対し、過去のNEDO事業に倣い平均化処理を行った²⁾。平均化処理した各計測点のデータから、各計測点における水素濃度の最大値を抽出し、さらに、ノズルから等距離にある計測点群の中から、最大の水素濃度を当該距離における代表水素濃度として抽出した。結果、濃度Cは、距離Xに反比例する実験式が得られ、1%濃度距離を評価した。1%濃度距離は、ピンホール漏洩流量の0.5乗に比例する傾向が確認された。1%濃度距離付近では、風速の影響による減衰が著しく、ほぼ無風条件で実施しないと濃度距離の過少評価を招く。逆に、1m/sでも風があると、水素は容易に拡散し、安全性を高めることができる。

爆風圧、火炎長計測のための着火試験では、口径0.2mm～1.0mmピンホールから、高压液化水素を一定圧力・温度条件で定常噴射している状態で、点火プラグにより着火し

たときの爆風圧、火炎長のデータを取得した。圧力波伝播速度を決定する火炎伝播速度を高速度カメラ画像から算出した。爆風圧計測後に、塩水散布を行い、火炎長を計測した。データ評価に客観性を持たせるため、画像処理（画像の平均化、色分割、二値化）によって火炎長を評価した。過去のNEDO事業の結果と同様に、各計測点における最大過圧、および、爆風圧1kPa距離は、ピンホール流量Mに比例し、火炎長はMの0.5乗に比例することが分かった³⁾。



第3図 水素濃度と風下距離の関係

4. 結言

液化水素ポンプ昇圧型圧縮水素スタンドの火気取扱施設との離隔距離・敷地境界距離の技術基準化提案の根拠となるデータを取得する実験を実施した。超高压（最大90MPa）の液化水素をピンホールより定常的に放出し、水素濃度分布や着火時の爆風圧、火炎長、輻射熱などのデータを取得し、質量流量の相関式として整理した。高速度カメラによって超高压液化水素の噴流や着火時の挙動を明らかにした。本実験結果を元に、適正な離隔距離の提案が行われ、現在、高压ガス保安協会により、高压ガス保安法一般則、および例示基準の改訂作業が進められている。

本実験は、NEDOの「水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」における「液化水素漏洩拡散実験、燃焼・爆発実験に関する検討」に関連して、岩谷産業からの委託によりJAXA宇宙科学研究所が実施した。

参考文献

1. 水素の製造、輸送・貯蔵について、資源エネルギー庁燃料電池推進室、平成26年4月
2. 岡林一木他、高压水素ガスの漏洩拡散、安全工学、Vol.44, No.6, 2005, pp.391-397
3. 70MPa水素スタンド技術基準検討委員会報告書、p54、平成24年2月