

水素充填時のノズル・レセプタクル氷結に関する研究

Freezing of Nozzle/Receptacle during Hydrogen Fueling

開 渉 *1
Wataru HIRAKI

山田 英助 *2
Eisuke YAMADA

Abstract

Hydrogen fuel cell vehicles (FCVs), which are expected to play an important role in the future have been significantly researched. To fill FCVs, hydrogen stations conforming to the SAE TIR J2601, which states the effective protocol of hydrogen filling, are being developed. Hydrogen 'fast filling', which is required at hydrogen stations for user convenience, induces a rapid increase of gas temperature inside the tank. Therefore, supplied hydrogen gas is cooled down to approximately -40 °C to restrict the gas temperature rise. However, it is reported that the connection between the nozzle of the hydrogen dispenser and the receptacle of FCVs freezes due to the cooled hydrogen. The freezing of the connection makes it difficult to remove the nozzle from the receptacle. In this study, the effect of water inside the nozzle on the freezing of the connection was investigated. It was found when 500 µl of water is on the inside of the nozzle, freezing is induced.

1. まえがき

国内の商用水素ステーションでは、燃料電池自動車へ安全かつ効率良く水素ガスを充填するための「軽量級水素ガス車両用充填プロトコル」SAE TIR J2601¹⁾に準拠した充填方法が検討され、実証試験が行われている。充填可能な水素ガス量は温度15°C、呼び作動圧力NWP時の水素ガス密度を100%として充填率SOCで表される。水素を燃料タンクに充填すると、圧縮により容器内のガス温度が上昇する。そのため、燃料タンクに水素ガスを短時間で、かつSOC100%を目標に充填するためには、水素ガスを-40°Cに冷却したプレクール充填^{2,3)}が必要である。しかしながら、-40°Cプレクール充填を実証中のステーションにおいて、レセプタクルとノズルが冷却され、結露した水が氷結し、外れなくなる事例が報告されている。商用水素ステーションにおける-40°Cプレクール導入に先立ち、ノズル・レセプタクルの氷結現象の把握

が必要である。さらに、ノズル・レセプタクルの氷結現象に関する評価試験法を、水素充填コネクタの規格である「水素ガス車両充填コネクタ規格」ISO 17268⁴⁾などへ提案することを想定し、試験法の策定に資するデータの取得が必要になっている。

本研究では、筆者らが以前実施したノズル・レセプタクル氷結試験の結果⁵⁾を元に、水分量の定量化試験を試行し、使用ノズルにおける氷結固着発生時の水分量の把握および、水分注入による評価方法の有効性の検証を行った。

2. ノズル・レセプタクルについて

試験に使用したノズルをFig. 1に、レセプタクルをFig. 2に示す。ノズルはSAE J2600⁶⁾の規定に準拠したレセプタクルシール構造である。ノズル内部には逆止弁があり、ノズル上流側に圧力が存在する場合は、レセプタクルとの接続が出来ず、また、ノズルとレセプタクルの接続中には、圧力が残っていると離脱させられない安全機構を備え

*1 一般財団法人日本自動車研究所 FC・EV研究部

*2 一般財団法人日本自動車研究所 FC・EV研究部 博士(工学)

ている。

ノズルをレセプタクルに嵌め合わせ、レバーを引くと、ノズルのスリーブ部がスライドし、チャック部が閉じて、レセプタクルに結合できる。ノズルとレセプタクルが結合した状態をFig. 3に示す。ノズルレバーのロックを解除するとチャック部が開いてスリーブ部が元に戻り、レセプタクルからノズルを引き抜くことができる。



Fig. 1 Nozzle (Neutral(upper), Lock(bottom))



Fig. 2 Receptacle

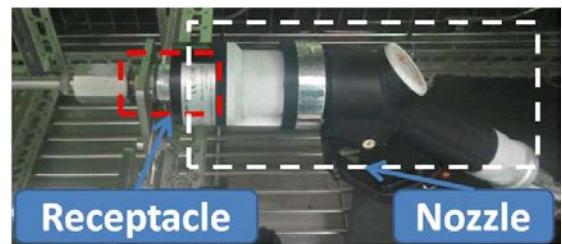


Fig. 3 Connection (Nozzle and Receptacle)

3. 試験装置

試験装置概略をFig. 4に示す。ノズルおよびレセプタクルは周囲の水分量を一定に保持するために恒温恒湿槽内(以下、恒温槽)に配置した。配管内の水素ガス温度は、シースφ1.6 mmのT型熱電対、ノズルおよびレセプタクルの表面温度は、シースφ0.5 mmのT型熱電対を用いて測定した。恒温槽内は安全確保のため窒素ガス雰囲気とした。また恒温槽内の水素ガス漏洩は、ガス検知器(新コスモス電機(株)製 PE-2DC, 検知下限値20 ppm)を用いて監視した。

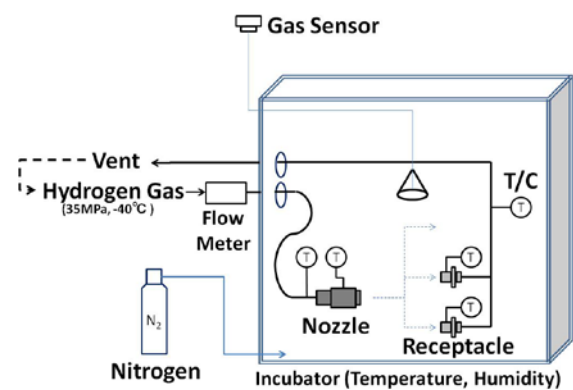


Fig. 4 Schematic diagram of experiment setup

4. 試験条件および方法

試験環境条件は、温度30℃、湿度は60%RHとした。氷結固着が起こる際の水分量を定量化するため、水分量はマイクロピペットにより計量した。水分はイオン交換水を用いた。ノズルへの水分注入箇所をFig. 5に示す。水分は、ノズルチャック部から30°ほど傾斜させたノズルの内部に直接注入した。水分注入後、すぐにノズルとレセプタクルに接続し、水素充填作業を開始した。水素充填前にはノズル・レセプタクルを介さないライン

にガスを循環させて配管の予冷を行った。水素供給は、ガス圧力35 MPa、ガス流量約0.67 kg/分(≒約2 kg/3分)とし、水素供給後はノズル・レセプタクル内に残留している水素を排出した後に手動でノズル離脱可否を確認した。ノズルが手動でレセプタクルから離脱できない場合に、氷結固着が起これたと判断した。氷結固着し、離脱できない場合は、3分間待機した後に再度、離脱可否の確認を行った。各試験間の乾燥は、恒温槽を用いて60℃で実施した。

また、本ノズルにはメーカー純正の潤滑剤の使用が推奨されており、この潤滑剤が氷結現象に与える影響を評価するため、潤滑剤を塗布して試験を実施した。潤滑剤は水素化精製軽質留油を主成分とするエアゾール(Interflon社製 Fin Super (aerosol))を用いた。潤滑剤の仕様書に指示されているノズルへの塗布位置をFig. 6に示す。ノズル駆動部の指示箇所それぞれ2回ずつ潤滑剤を塗布した。なおノズル嵌合部への塗布は、充填ラインに付着しないように実施した。

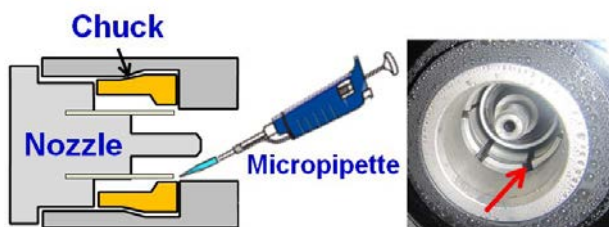


Fig. 5 Water supply position



Fig. 6 Lubricant supply position

5. 試験結果および考察

試験中の圧力、温度の変化の一例をFig. 7に示す。充填前に予冷を行うことで、配管表面温度が20℃付近から-35℃に冷却されていることが分かる。予冷が終わると、充填が開始され、圧力が35 MPaになり、充填中は一定で推移する。充填中の

ガス温度は充填開始から低下し、-40℃で推移することが分かる。充填中はガスによる冷却によって、ノズルおよびレセプタクルの表面温度も低下していくことが分かる。充填終了後、氷結固着の確認を実施し、氷結固着が発生してノズルの離脱が出来ない場合は、3分間待機して、再度離脱の確認を実施した。

試験結果をTable 1に示す。No. 1の結果から、注入した水分量が250 μLの場合は、レセプタクルからノズルを離脱することが可能であった。しかし、No.2の結果から、500 μLの水分を注入した場合は、ノズルに氷結固着が起これ、離脱することができなかった。このことから、ノズル内部に侵入した水分が250 μL以下であればノズルは離脱可能であり、500 μL以上であれば離脱不可能となることが分かった。氷結固着の状態について、氷結固着が発生した場合としない場合のノズル離脱直後の状況をFig. 8, Fig. 9に示す。Fig. 9のようにレセプタクル表面に氷結が発生していても離脱可能なことから、ノズルとレセプタクルが氷結により固着するのではなく、ノズルのチャック部で氷結が発生し、ノズルのレバーのロックを解除しても、チャックが開かず、スライド部が元に戻らないことで離脱が出来ないと推定される。

また潤滑剤による氷結固着への影響について試験した結果をTable 1のNo. 3, 4, 5, 6に示す。No. 5の結果から分かるように、水分の注入がなくても氷結固着が発生したことから、ノズル直近が-40℃程度に冷却されると、水分の有無に関わらず、潤滑剤が水分と同じように凍ることで、ノズルのロック解除ができなくなると考えられる。No. 1とNo. 3を比較すると潤滑剤を塗布することで氷結固着が発生し易くなるといえる。しかしながら、潤滑剤を塗布しても、充填ガス温度を約10℃上昇させて試験した場合(No. 6)は、固着は発生しなかった。これは、潤滑剤の融点が-43℃であることが原因であると推測される。

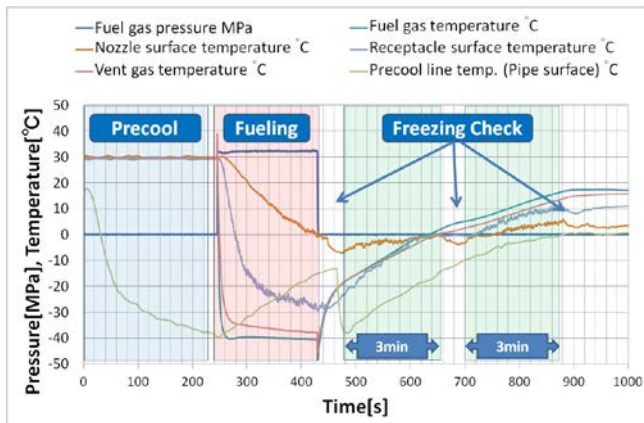


Fig. 7 Temperature during tests (30°C, 60%RH)

Table 1 Test results

No.	Water addition [μL]	Lubricant	Gas Temperature [°C]	Disconnect action		
				Rotate	Unlock	Disconnect
1	250	non	-40	possible	possible	possible
2	500	non	-40	possible	impossible	impossible
3	250	added	-40	possible	impossible	impossible
4	500	added	-40	possible	impossible	impossible
5	0	added	-40	possible	impossible	impossible
6	0	added	-33	possible	possible	possible

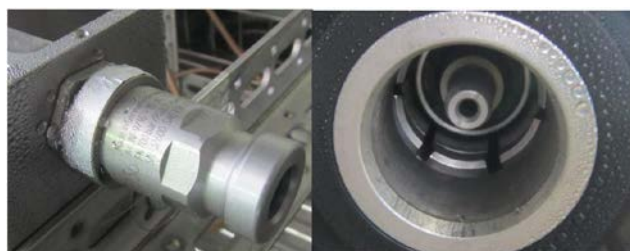


Fig. 8 After disconnect of Nozzle and Receptacle (freezing)



Fig. 9 After disconnect of Nozzle and Receptacle (not freezing)

6. おわりに

ノズル・レセプタクル氷結試験およびノズル・レセプタクル固着条件の抽出により得られた結果を以下にまとめる。

- ・ノズル・レセプタクルに水分付着がある場合

は、ノズルのスリーブおよびチャック部でのロック解除機構が氷結固着することで、レセプタクルからのノズル離脱ができなくなる。

- ・ノズル内部に250 μLを超える500 μLの水分が浸入している条件では、氷結により固着が発生し、離脱が不能となった。

- ・潤滑剤の塗布は、充填する水素ガスの温度によっては、水分の付着とは関係無く、ノズルの氷結固着を発生させる原因となり得る。

今後、ISO 17268などへ提案するノズル・レセプタクル氷結に関する評価試験法の策定のため、ノズル・レセプタクル氷結固着現象について更なる解明が必要であると考えられる。

なお、本報告はNEDO(独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)の「水素利用技術研究開発事業」で実施した成果の一部をまとめたものである。

参考文献

- 1) SAE TIR J2601 -Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles, SAE Fuel Cell Standard Committee, 2010.
- 2) 松野ほか:自動車用圧縮水素容器のガス充填放出サイクルにおける容器内の到達温度,自動車技術会論文集, Vol.42, No.3, p.773-776(2011)
- 3) 松野ほか:自動車用圧縮水素容器の急速充填における容器内温度挙動(第5報)プレクール水素ガスによる急速充填の安全性検証,自動車技術会秋季学術講演会,学術講演会前刷集No.111-12, p.1-4(2012)
- 4) ISO 17268 -Gaseous Hydrogen Land Vehicle Fueling Connectors, 2000.
- 5) 開ほか:水素充填時のノズル・レセプタクル氷結試験,自動車技術会秋季学術講演会,学術講演会前刷集No106-14, p.7-10(2014)
- 6) SAE J2600 -Compressed Hydrogen Surface Vehicle Refuelling Connection Devices, SAE Fuel Cell Standard Committee, 2002.