

# 圧縮水素容器のくず化処理工程の合理化に関する研究

## －真空引き工程の省略化の検討－

### A Study of the Rational Scrapping Method for Automotive Compressed Hydrogen Cylinders

- Safety evaluation of omitting the vacuuming step -

山崎 浩嗣\*<sup>1</sup>

Koji YAMAZAKI

竹内 正幸\*<sup>1</sup>

Masayuki TAKEUCHI

犬嶋 健\*<sup>1</sup>

Takeshi INUSHIMA

田村 陽介\*<sup>2</sup>

Yohsuke TAMURA

#### Abstract

For the full-scale commercialization of fuel cell vehicles, early effort is needed to develop a work manual for the safe scrapping of end-of-life FCVs. Particularly it is necessary to raise the efficiency of the currently laborious and time-consuming scrapping work for FCV compressed hydrogen cylinders. The present study was focused on the possibility of omitting the vacuuming step for removing residual hydrogen from cylinders to be dismantled. The test results indicated that; 1)a cylinder containing hydrogen removed from a scrapped FCV is left in the atmosphere. 2)difference between the reaching time to flammable limit and the finish time of natural exhausting depends on the diameters and the direction of the cylinder exit remarkably. 3)when hydrogen in a cylinder is within the flammable limit, hydrogen could be ignited. Dismantling workers could be injured in their ears.

## 1. はじめに

2012年9月に圧縮天然ガス(以下、CNG という)自動車の容器くず化作業中に発生した爆発死傷事故は、「CNG 自動車用容器からの残ガス処理及びガス容器くず化要領書」(以下、くず化要領書という)に記載されているガス抜き工程を逸脱した不適切な解体作業が原因であることが判明し、くず化要領書の重要性が再認識されることとなった<sup>1)</sup>。これを受け、2015年以降の燃料電池自動車(以下、FCV という)の本格的な普及に向けて、FCV に搭載される水素容器においても、くず化要領書を作成し、迅速にその方法を整備する必要がある。

Fig. 1 に CNG 自動車の容器くず化要領書に記載されている容器くず化工程<sup>2)</sup>を示す。

容器のくず化処理工程には、容器に残されたガスを処理するため、ボイラーなどで燃焼処理を行った後、真空引きを行い、さらにその後、容器弁を取り外し、容器内を水で置換する工程となっている。このように、くず化処理工程は多くの手間やコスト、時間を要するため、くず化処理工程の合理化を考慮した安全な処理方法の検討が望まれている。そこで本研究では、くず化処理工程の合

理化の一考として容器くず化工程のひとつである真空引き工程に着目し、その工程を省略できるかを検討するために、容器弁を取り外して大気環境下で放置した際の容器内の水素濃度の経時変化および容器内の水素への着火試験を実施し、その影響を評価した。

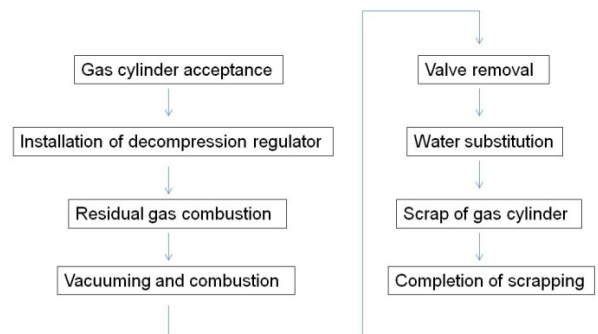


Fig. 1 CNG cylinder scrapping steps<sup>2)</sup>

## 2. 容器内の水素濃度経時変化測定

容器内の残ガスを燃焼処理後、真空引き工程を行わずに容器弁を取り外した際の、大気開放状態にある容器内部の水素ガスの濃度変化を把握するために、大気圧環境下で100Vol.%の水素が満たされた容器内の水素濃度の経時変化を調査した。

\*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)

## 2.1 試験方法

試験を実施するにあたり、容器内のガス置換は充分に行い、容器内のガスの流動を無くすために容器を各条件で設置後30分以上保持した後、水素濃度の計測を開始した。

Fig. 2 に試験外観を、Table 1 に試験条件を示す。

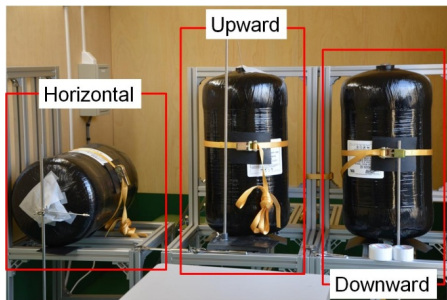


Fig. 2 Appearance of hydrogen concentration measurement setup

Table 1 Test conditions

Boss diameter	1/2inch, 1inch, 2inch
Cylinder	A (26litter, φ280mm, Length 720mm) B (33litter, φ400mm, Length 820mm)
Cylinder set	Horizontal, Upward, Downward
H2 sensor	TCD (Manuf.: ZIROX, Model: WMT)
H2 measurement time	2.5min (Intake: 100ml/min)
Sensor location	Shoulder midpoint opposite to the boss
Room temp.	15 ± 5°C

試験条件は、容器開口部（以下、ボス口という）の口径は1/2, 1, 2インチの3種類を、ボス口向きは横, 上, 下向きの三方向を、容器はA, B容器の異なる2種類を変化させた。

## 2.2 結果および考察

A容器のボス口径1/2, 1, 2インチの場合の水素濃度の経時変化を、それぞれFig. 3, 4, 5に示す。

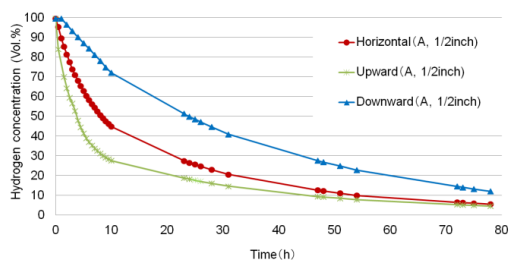


Fig. 3 Time-dependent hydrogen concentration (cylinder A, 1/2 inch)

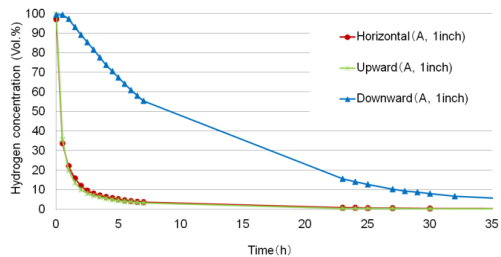


Fig. 4 Time-dependent hydrogen concentration (cylinder A, 1 inch)

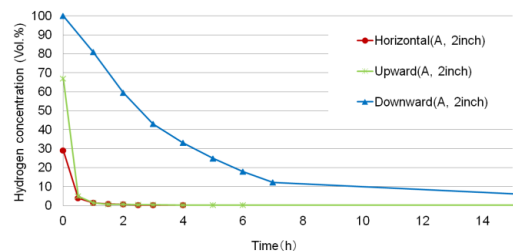


Fig. 5 Time-dependent hydrogen concentration (cylinder A, 2 inches)

いずれの試験条件でも、時間経過により容器内の水素は拡散し、大気中の空気次第に希釈され、水素濃度は低下した。

ボス口の向きが同方向の場合、ボス口径が大きくなるにつれ、容器内の水素濃度の低下は速くなった。また、ボス口の方向を比較すると、いずれのボス口径であっても、下向きがもっとも濃度低下が遅くなった。横向きと上向きを比較すると、1/2インチ口径では濃度低下に差が見られたものの、それ以外の口径では水素濃度の時間減衰はほぼ同程度であった。

Fig. 6に、ボス口径が2インチのA容器とB容器の水素濃度経時変化を示す。

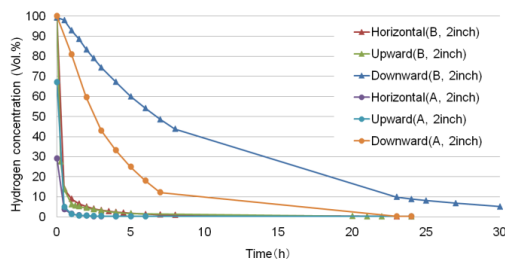


Fig. 6 Time-dependent hydrogen concentration (cylinders-A and -B, 2 inches)

A容器とB容器との比較では、容器容積の大きいB容器の方が、容器内の水素濃度の低下に時間を要した。Table 2に、各試験条件での容器内水素ガスの濃度が75Vol.%以下になる時間および爆発限界範囲(75Vol.%～4Vol.%)内に入っていた時間を示す。

Table 2 Measured time in hours

	Cylinder A						Cylinder B					
	Boss diameter											
	1/2inch			1inch			2inch			2inch		
	Hori- zontal	Up- ward	Down- ward	Hori- zontal	Up- ward	Down- ward	Hori- zontal	Up- ward	Down- ward	Hori- zontal	Up- ward	Down- ward
Time to reach 75vol%	2.8	1.2	9.0	0.15	0.15	3.9	0	0	1.5	0.10	0.10	3.0
Time in explosion limit range	80 hours or more			6.5	5.5	35	0.60	0.60	12	2.4	2.4	33

\* The value calculated by extrapolation.

ボス口の向きが横向きと上向きの場合、ボス口径2インチのA容器では試験開始直後に容器内の水素濃度は75Vol.%以下になり、水素の爆発限界範囲に入った。同様に、ボス口径2インチのB容器は6分後、およびボス口径1インチのA容器では9分後には爆発限界範囲に入った。また、爆発限界範囲の水素濃度から、もっとも速く脱したのはボス口径2インチのA容器の36分であったが、ボス口径が1/2インチになると、いずれのボス口の向きでも80時間以上の時間を要した。A容器のボス口径2インチでボス向きが上向き、横向き以外は容器弁を取り外してから爆発限界範囲に至るまでに速くとも数分の時間を要することがわかった。以上の結果から、ボスの向きを考慮しながら容器弁を取り外し、さらに容器内を爆発限界範囲に至らない水置換作業等を行うことで、容器内への逆火を防ぐことができると考えられる。

### 3. 水素着火試験

次に、真空引き工程を行わずに容器弁を取り外して放置した際、何らかの原因で容器内の水素に着火した場合の周囲への影響を調べるために、容器内の水素濃度と着火時に周囲に与える影響の関係を調査した。

#### 3.1 試験方法

Fig. 7に点火手法を、Table 3に試験条件を示す。

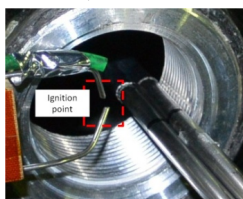


Fig. 7 Method of ignition

Table 3 Test conditions and measuring devices

Boss diameter	1inch, 2inch
Cylinder	A (26liter, φ280mm, Length 720mm) B (33liter, φ400mm, Length 820mm)
Cylinder set	Horizontal
H2 sensor	TCD (Manuf.:NEW COSMOS ELECTRIC, Model:XP-3140)
Sensor location	Cylinder midportion
Blast pressure sensor	Type : ICP, Manuf. : PCB Piezotronics, Inc, Model : 113B21
Noise level meter	Manuf. : RION CO., LTD. , Model : NL-52)
Ignition method	Spark discharge (30mJ, gap length 2~3mm)
Ignition point	boss upside
Room temp.	8 ± 5°C

水素着火試験では、ボス口上部近傍への火花放電で点火した。容器は横向きに固定し、着火直前の容器内中央部の水素濃度、容器内爆風圧、ボス口表面から1m地点の騒音レベルを計測した。

#### 3.2 結果および考察

容器内中央部の水素濃度が40 Vol.%で着火時の赤外線熱画像(表示レンジ:50~150°C,放射率:0.95)と実画像の合成写真をFig. 8に示す。

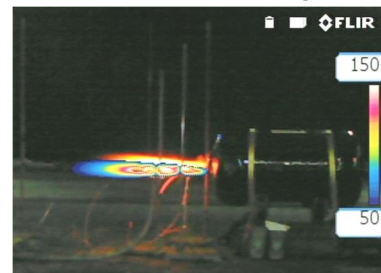


Fig. 8 Ignition scene (at 40vol%)

容器内の水素濃度が15~60Vol.%の場合、Fig. 8のように、一瞬でボス口前方に火炎が噴出した。しかし、水素濃度が80Vol.%以上の場合では、ボス口付近で火炎が約5分以上燃焼し続け、着火による大きな爆風は発生せず、かつ消炎後も何も起こらなかった。また、水素濃度が10Vol.%の場合、ボス口近傍で点火しても、容器内の水素ガスには着火しなかった。

Fig. 9に、容器内爆風圧波形の一例として、ボス口径1インチのB容器、水素濃度40Vol.%の結果を示す。

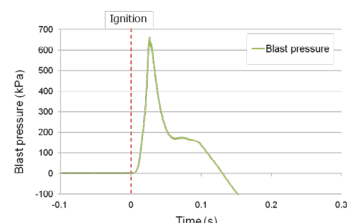


Fig. 9 Blast pressure inside cylinder B (1-inch, 40vol%)

水素濃度が15~60Vol.%において、容器内爆風圧はFig. 9のように着火直後に最大値を示した。次に、各試験で得られた容器内爆風圧の最大値と水素濃度との関係をまとめたグラフをFig.10に示す。

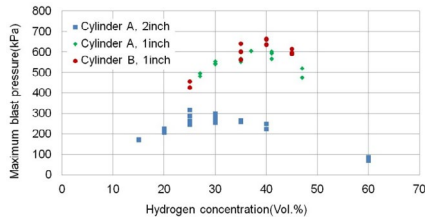


Fig. 10 hydrogen concentration vs. Peak blast pressure

容器内爆風圧の最大値は、A容器よりB容器の方が大きく、また、ボス口径に関しては2インチより1インチの方が大きかった。また、ボス口径が1インチでは水素濃度は35~40Vol.%付近で容器内爆風圧が最大値を示した。これは水素/空気混合ガス爆発特性<sup>3)</sup>と同じ傾向にある。

Table 4に、容器内爆風圧が最大値を示したボス口径1インチ、B容器の容器内爆風圧および騒音の各水素濃度での最大値を示す。

Table 4 Maximum blast pressure and noise (cylinder B, 1 inch)

	H2 conc. (Vol.%)	Max blast pressure (kPa)	Max noise level (dBA)
Cylinder B 1 inch	25	455	112
	35	642	114
	40	664	115
	45	616	115

今回の試験結果は容器内の爆風圧ではあるが、50%の割合で鼓膜破損といわれる 100kPa<sup>4)</sup>を超えていること。最大爆風圧を示した際の容器中心線上1m離れた場所の音圧は最大 115dB であること。これらの結果から、容器近傍 1m以内に作業者がいる場合には、作業者の聴覚に支障を及ぼす可能性が示唆される。

#### 4. まとめ

容器くず化処理工程の合理化を目的とし、容器が大気環境下で放置された場合の影響を評価するために、大気圧環境下での容器内の水素濃度の経時変化および容器内の水素への着火試験を実施した。その結果、容器内に水素ガスが残っている状態で容器弁を取り外して自然放置すると、ボス口径とボスの向きで水素の爆発限界範囲に至る時間

及び脱する時間が大きく異なること。また、容器内の残存する水素が爆発限界範囲にあり、何らかの原因で着火した場合には、容器近傍の作業者の聴覚に支障を及ぼす可能性が、今回の試験結果によって示唆された。爆風圧は、容器の容積とボス口径の組み合わせによって影響することもあわせて、容器内水素の着火による容器近傍の作業員へ与えるリスクを把握するとともに、容器内の残存する水素が爆発限界範囲にならない工程を確立するため、有効な真空引きのあり方、或いは真空引きに代わる水置換の方法について検討を行い、容器くず化の作業工程の合理化に資するデータを蓄積する方針である。

なお、本稿は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託により実施した「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発事業」での一部の成果をまとめたものである。

#### 5. 今後の課題

作業の効率化を考慮したガス置換作業や他の作業工程の見直しを検討し、安全かつ合理的な残ガス処理工程を開発する方針である。

#### 参考文献

- 1) 経済産業省：  
[http://www.meti.go.jp/policy/safety\\_security/industrial\\_safety/oshirase/2012/10/241012-2.html](http://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/oshirase/2012/10/241012-2.html)  
(2014.04.17)
- 2) 一般社団法人 全国高圧ガス容器検査協会:CNG自動車用容器残ガス処理及び容器くず化要領書(2012)
- 3) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構：水素の有効利用ガイドブック, p.669(2008)
- 4) 消防庁特殊災害室:石油コンビナートの防災アセスメント指針, p.51(2013)