

自動車用圧縮水素容器の静電気特性^{*1}

Static Electrical Propensities of Automobile High-pressure Hydrogen Cylinders

田村 陽介^{*2}
Yohsuke TAMURA三石 洋之^{*3}
Hiroyuki MITSUISHI渡辺 正五^{*2}
Shogo WATANABE

Abstract

A hydrogen gas cycling test is prescribed to prevent any deterioration, such as fatigue cracking or electrostatic discharge, of all composite cylinders with plastic liners (VH4). The surface resistance and discharging static voltage during static charge with a VH4 liner are investigated to propose quick and easy methods of conducting hydrogen gas cycling tests on VH4. The results indicate that if the inside of the liner is electrically charged, the liner is discharged by grounding the end boss and/or the CFRP.

1. はじめに

圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準 (JARI S001) には、プラスチックライナー製複合容器 (以下、「VH4容器」という) の水素ガスサイクル試験が規定されている。この試験では、水素ガスの充填・放出を1,000回繰り返し、その間、ガス漏れがなく、かつ、ライナーとボス間での静電気の放電による損傷やライナーの疲労劣化のないことを確認する。

しかし、ガスの充填・放出は圧縮・膨張仕事などにより熱の出入りが伴うため、容器の温度上昇・低下などの状況を考慮すると、単位時間あたりのガスサイクル数の増加には限界があり、評価結果が得られるまでには1ヵ月以上が必要である。さらに、ガスサイクル試験では、水素ガスを充填・放出させる設備と、万が一の水素漏れや容器破裂時の安全対策が施された非常に大がかりな設備が必要である。そのため、短時間で簡便に評価できる代替の試験方法が望まれている。

この代替試験の検討には、まず第1に、VH4容器に生じるとされている静電気による帯電現象の状況調査、静電気放電による容器の劣化損傷、ならびに熱応力や膨張による破損メカニズムなどの

把握が必要である。

一方、これらの情報は、我々が実施しているVH4容器への急速充填試験や水素消費試験を安全に実施するための対策を講じる上でも、必要なデータとなる。

本研究では、まずはVH4容器の静電気問題を取り上げることとする。以下では、既存の研究から水素ガスによる帯電の可能性を述べ、次にVH4容器 (35MPa, 容積65L) を用いた表面抵抗測定、および帯電試験 (容器カットモデルおよびライナー単体) を実施し、VH4容器の帯電状況やライナーの除電方法に関する知見を得たので報告する。

2. 水素ガスによる帯電

通常、気体は流動するだけでは帯電しない¹⁾とされる。しかしながら、水素ガス、天然ガス、プロパンガスの容器への充填や放出により、容器は帯電し、希に充填ガスを大気へ放出させると、静電気によって放出ガスに着火することもある^{2), 3)}。これらのガス容器に発生する主な帯電要因は、①充填・放出時の温度変化による充填ガスおよび放出部周囲の大気中物質 (たとえば、大気中の水蒸気) の液・固化への相変化による流動帯電³⁾、②配管路内や放出部周囲の塵や錆などの介在による摩擦帯電である^{4), 5)}と考えられる。ゆえに、不純物が介在しやすい放出時のほうが、充填時よりも容器は帯電しやすい傾向がある。また、燃料電池

* 1 原稿受理 2007年7月2日

* 2 (財)日本自動車研究所 FC・EVセンター 博士 (工学)

* 3 (財)日本自動車研究所 FC・EVセンター

自動車に使用される水素ガスの純度は高く、かつ水素の凝縮温度は極めて低いので、前述の帯電要因には当てはまらないことから、燃料電池自動車用の水素ガス容器は帯電しにくい結果になる⁶⁾と考えられる。

しかし、ここでは、何らかの原因によってVH4容器が帯電した場合を想定し、以下の実験を行った。

3. 表面抵抗測定

3.1 試験方法

VH4容器の各部の導電性の有無を把握するため、以下の3ヵ所での表面抵抗を測定した。

- ①プラスチックライナー（40cm間）
- ②CFRP（炭素繊維強化プラスチック、40cm間）
- ③容器両端のエンドボス間（80cm間、未充填）

測定には、MUSASHI製ハイビットメガDI-11Nを用いた。

3.2 試験結果

Table 1に結果を示す。なお、試験環境は24℃、湿度64%である。

プラスチックライナーの表面抵抗は10kVの印可電圧で15.5GΩとなり、極めて抵抗が高い。CFRP層は炭素繊維の方向に沿って測定すれば導電性を有するが、繊維に対して垂直な方向（容器の肉厚方向）で測定すると、測定箇所や測定クランプの接触圧力によって大きく測定値が変動するため、定まった抵抗値を得ることができない。容器両端のエンドボス間では、印可電圧250V以上であればCFRP層を介して導電性を有する。

Table 1 Insulation resistance of a cylinder

Measurement point	Surface resistance	Excitation voltage
Plastic liner	15.5[GΩ]	10[kV]
CFRP layer	Variable	—
Between the end boss	6[kΩ]	250[V]

4. 帯電試験（容器カットモデル）

4.1 試験方法

ライナーの内面（充填ガスとライナーが接触する面）が何らかの理由で帯電したと仮定した場合、容器の接地状態によってどのように帯電電圧が変

化するかを把握するため、以下の3ケースについて試験を実施する。

試験#4-1：非接地の状態でライナーを帯電させ、その後にエンドボスを接地させた場合

試験#4-2：エンドボス部を接地させた状態で、ライナーを帯電させた場合

試験#4-3：非接地の状態でライナーを帯電させ、放置した場合

Fig. 1に試験方法の概要を示す。

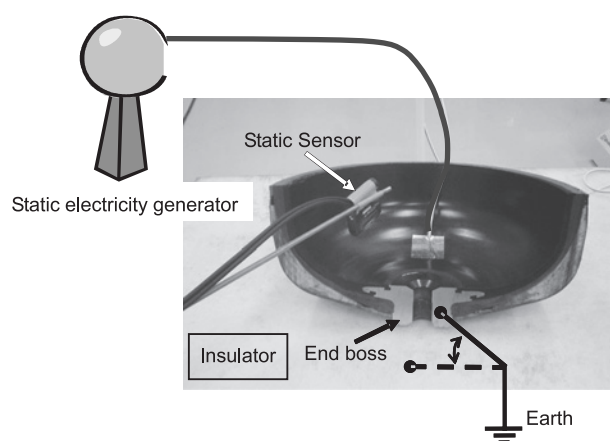


Fig. 1 Schematic of testing diagram

ライナー内面を外部から強制的に帯電させるため、容器のエンドボス側を半分にかットしたモデルを用い、これを絶縁体（Insulator）の上に設置した。ライナー内面にはパンデグラフと電氣的に接続した銅テープ（5cm角）を貼り付け、パンデグラフにより容器を帯電させた。ライナー内面の帯電電圧は、非接触型の静電気センサ（KEYENCE社製 SK-200, Voltage scanning search方式）を用いて計測した。本センサの測定箇所は、強制帯電させた箇所から10cm離れたライナー内面とした。なお、これらの試験は、開始前に除電器を用いて、試験対象物を除電させた後に実施した。

4.2 結果

4.2.1 試験#4-1

非接地状態でライナー内側面を帯電させ（-200秒から帯電開始）、0秒で帯電を停止させると同時にエンドボスの金属部を接地させた。その時のライナー内側面の帯電電圧変化をFig. 2に示す。

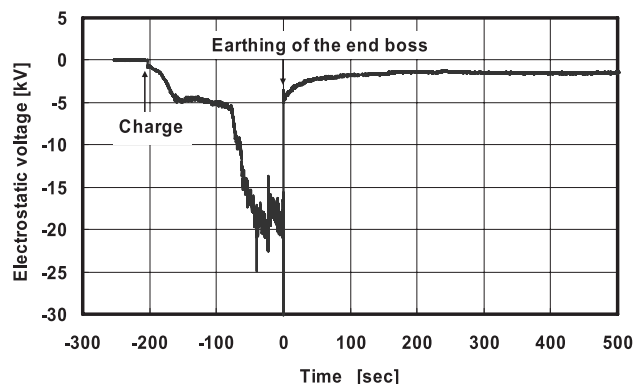


Fig. 2 Electrostatic voltage when the end boss grounded after static charge of liner (TEST#4-1)

ライナー内側面を帯電させると、非接地状態では次第に帯電した。しかし、エンドボスを接地すれば、直ちに帯電電圧は減少した。ただし、接地後、帯電電圧は約-1.5KVを保持した。なお、エンドボスを接地した際に、ライナーとエンドプラグ間での放電による発光や損傷の有無を調べたが、それらは確認できなかった。

4.2.2 試験#4-2

エンドボス部を接地させたまま、ライナー内側面に帯電させた場合のライナー帯電電圧をFig. 3に示す。

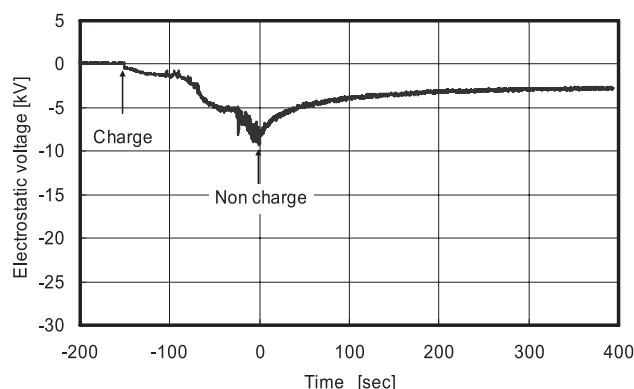


Fig. 3 Electrostatic voltage with being connected to the ground of the end boss (TEST#4-2)

Fig. 2の非接地状態での帯電状況を比較すると、ライナーは極めて帯電しにくくなり、かつ、帯電終了後も緩やかに除電した。

4.2.3 試験#4-3

非接地状態でライナー内側面を帯電し（-150秒で帯電開始）、0秒後に帯電を停止させ、350秒まで放置させた。その後、エンドプラグ部を接地させた。その際のライナー内面の帯電電圧変化をFig. 4に示す。

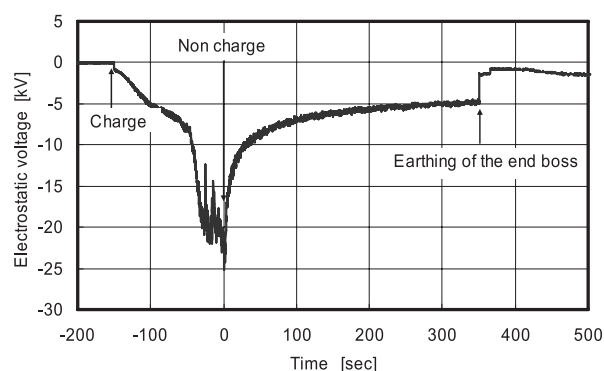


Fig. 4 Discharge voltage when leaving naturally after a liner charged (TEST#4-3)

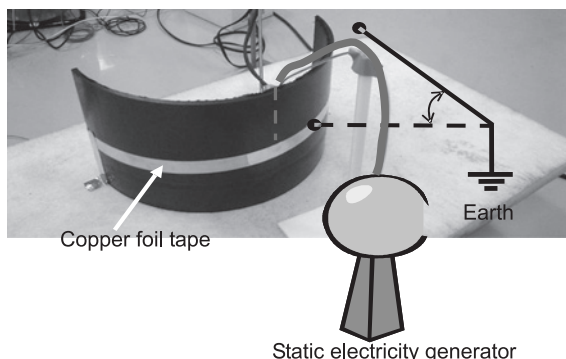
非接地状態であっても、帯電停止後は自然に除電した。しかし、その減衰は緩やかであり、200秒後において-5 kVを保持した。また、350秒後、エンドプラグ部にて接地させると、電位が急激に下がった。このことから、仮に非接地状態でライナーが帯電しても、たとえば、駐車している間に、時間経過とともに帯電は除去されることが推定される。

5. 帯電試験（ライナー単体）

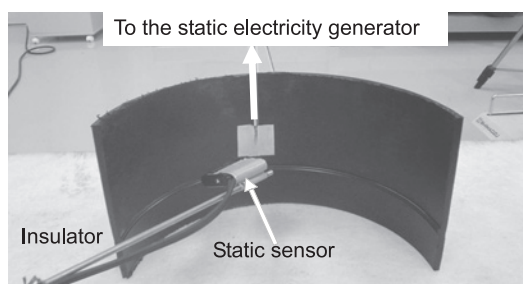
5.1 試験方法

CFRP層がライナー外側面に接していることによりライナー内面が除電されるのかを調査するため、ライナーの外側を接地させた状態のままで、ライナー内面を帯電させた場合の状況を調べた。

Fig. 5に試験方法の概要を示す。容器から半分に切り出したライナー外側面に幅2.5cmの銅テープを貼り、接地できるようにした。ライナーの内面には第4章と同様に、パンデグラフに接続した銅テープ（3cm角）を貼り、強制的に帯電させた。また、静電気センサは、強制帯電させた箇所から10cm離れたライナー内面とした。



(a) Outside of liner



(b) Inside of liner

Fig. 5 Static discharge test of a liner

5.2 結果

帯電電圧の測定結果をFig. 6に示す。

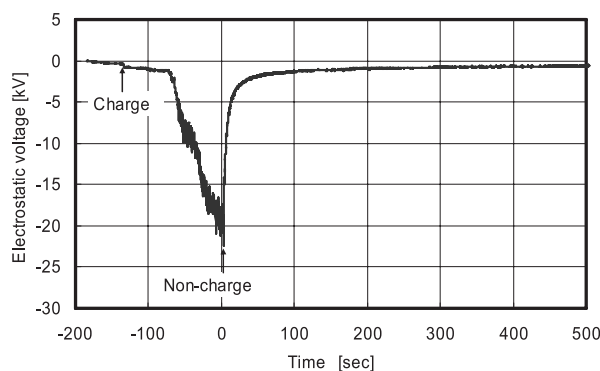


Fig. 6 Discharge voltage with grounding inside of liner

帯電停止後、直ちに帯電電圧は下がり、ライナー外側が接地され続けていれば、ライナー内側も除電した。

6. まとめ

供試VH4容器の表面抵抗測定および帯電試験

(容器カットモデルおよびライナー単体)を実施した。その結果、ライナー内面が帯電しても、エンドボスあるいはCFRP層が接地されれば、ライナー内面は除電されることが明らかになった。

高純度の水素ガスが充填されている燃料電池自動車用圧縮水素ガス容器は帯電しにくいこと。さらに、万が一、その容器が帯電しても、ボスに接続された金属製配管や、容器を車両に固定するジグが電氣的に車体と接続されていれば、タイヤを介してライナーは常に接地されている状態となり、VH4容器特有のライナーとボス間での静電気による放電が発生するほどの帯電は起こらないものと考えられる。

一方、静電気の放電による損傷を評価する方法としての現状のガスサイクル試験を見直してみると、大気放出部での温度や湿度環境、放出流量などの放出方法、水素の純度は規定されていない。そのため、これらの条件が、評価結果の精度や信頼性に影響を及ぼすことが考えられる。今後、これらの影響を調査するとともに、さらに他のVH4容器でのデータ増しを進める予定である。

なお、本報は、(独)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「水素社会構築共通基盤整備事業」での一部の結果をまとめたものである。

参考文献

- 1) 増田閃一：高压ガスの噴出に伴う帯電について，高压ガス，Vol.6，No.5，高压ガス保安協会（1969）
- 2) J.Y.Wong, et al：Evaluation of all composite NGV cylinder, The 4th biennial international Association for natural gas vehicles conference, NGV' 94（1994）
- 3) 川瀬二郎：水素ボンベの発火について，セイフティダイジェスト，第16巻第1号，日本保安用品協会（1970）
- 4) 岩坂雅二ほか：高压水素の噴出による火災発生の危険性，Vol.16, No.7（1979）
- 5) http://www.chuden.co.jp/corpo/publicity/press2004/0330_4.html
- 6) 水素安全利用等基盤技術開発，圧縮水素容器系の高压化要素技術の開発：平成15年度～平成16年度成果報告書，NEDO（2005）