

## 高圧ガス事故概要報告

整理番号 2018-705	事故の呼称 水素ステーションの充填ホースからの漏えい発生による定置ガス検知器発報			
事故発生日時 2018年8月10日(金) 15時30分	事故発生場所 愛知県 安城市	事故発生事象 1次)破裂・破損 2次)	事故発生原因 主)設計不良	
施設名称 圧縮水素スタンド	機器 充填ホース	材質 熱可塑性樹脂(内層)	概略の寸法 内径 6.3 mm、外径 14.8 mm、 長さ 800 mm	
ガスの種類および名称 可燃性ガス(水素)	高圧ガス製造能力 22,874m <sup>3</sup> /日	常用圧力 82MPa	常用温度 -40~10℃	
被害状況(人的被害、物的被害) 人的被害:なし 物的被害:なし				
<p>事故の概要</p> <p>この圧縮水素スタンドでは、100台/月程度の燃料電池自動車(FCV)に水素を充填している。</p> <p>事故当日は13時から営業を開始し、15時30分までに6台のFCVに水素充填した。15時30分に7台目のFCVに充填を開始し、4分後(充填ホース圧力79MPa時)に通常とは異なる「シュー」というガス漏れ音がし始め、充填終了時に「バン」という破裂音を確認した。この時点では、定置ガス検知器は吸引式、拡散式ともに発報していなかった。約5分後に、漏えい確認のためディスペンサー内の残圧を利用し、充填ホースに水素を流した途端、充填ホース先のガス検知器がHH警報を発報し、非常停止した。充填ホースの構造を図1に示す。また、ディスペンサーの短尺充填ホースを図2に示す。</p> <p>以下に事故の概要を時系列で示す。</p> <p>8月10日(金)</p> <p>13時00分 水素ステーションの営業を開始し、15時30分まで6台のFCVに水素を充填した。</p> <p>15時30分 7台目のFCVに充填を始めた。</p> <p>15時34分 通常とは異なる「シュー」というガス漏れ音が聞こえた(充填ホース圧力79MPa時)。充填終了時に「バン」という破裂音が聞こえた。このときガス検知器は発報しなかった。</p> <p>15時39分 漏えい確認のため、ディスペンサーを手動操作して残圧を充填ホースに流したところ、ディスペンサーの充填ホース先のガス検知器がHH警報を発報し、非常停止した。</p>				

18 時 30 分	ディスペンサーメーカーが来所し、現場確認の結果、短尺充填ホースの緊急離脱カプラー側口金具かしめ部から約 4cm の位置で、充填ホースの表皮(外層)が裂けていることを確認した(図 3 参照)。
8 月 11 日(土)	ディスペンサーメーカーの工場にて、短尺充填ホースを内視鏡で観察した結果、緊急離脱カプラー側口金具かしめ部から約 4cm の位置で、2~3mm 長の縦傷(ホース長手方向の傷)と 4 箇所の膨らみを確認した。

#### 事故発生原因の詳細

##### 【ホースメーカーの調査結果】

- (1) 短尺充填ホースは、緊急離脱カプラー側(B 側)口金具の近傍で外層が破裂に至っている(図 4 参照)。漏えい箇所確認の結果、外層破裂箇所(緊急離脱カプラー側)とは逆のディスペンサー側(A 側)内層の微小き裂箇所からの漏えいを確認した(図 5 参照)。外層破裂箇所直下の内層からの漏えいは見られなかった。
- (2) 外層破裂箇所直下付近の内層内面の 4 箇所の膨らみは、微小な凹みであり、外層の破裂の原因ではない。
- (3) ディスペンサー側(A 側)の充填ホース内層の微小き裂から漏えいした水素が補強層を通過して外層の下に流れ込み、緊急離脱カプラー側(B 側)口金具の近傍で外層破裂に至った。
- (4) 内層の微小き裂は、ディスペンサー側(A 側)口金具加締部端から約 15mm の位置で発生しており、内層内側(接ガス側)から内層外側(補強層側)に向かって進展していることを確認した(図 6 参照)。微小き裂の内層内側(接ガス側)の長さは 2 mm、内層外側(補強層側)の長さは約 1 mmであった。なお、微小き裂の内層内側(接ガス側)中央部約 1mm が初期傷発生部と考えられ、初期傷発生部から放射状にき裂が進展していることを破面から確認した(図 7 参照)。
- (5) 内層内側の微小き裂約 2 mmの中央部約 1mm は、長手方向に連続した傷であり、傷の深さは一様ではない。異物が食い込んだ跡およびバリの様相も認められ、外傷による可能性が高いと考える。
- (6) 内層樹脂の常温物性を確認したが、未使用品(同製造ロットホース)と比較し、明らかな物性低下は認められなかった。
- (7) 外層が破裂に至った原因として、充填ホースには透過した水素ガスを外層外側へ放出する微小穴が設けられているが、内層の微小き裂から漏えいした水素ガス量が通常使用時の透過ガス量よりも格段に多かったため、漏えいしたガスが外層微小穴から放出し切れずに補強層と外層の間に溜まり、圧力上昇により外層が破裂した。尚、ホースとして強度を担う補強層に異常は見られなかった。

#### 【ディスペンサーメーカーの調査結果】

定期自主検査においてディスペンサーの分解整備を行っており、その際に充填ホース先端の充填ノズルに窒素容器を接続して、窒素置換作業を行っていた。定期自主検査で使用した窒素容器にフィルター(5 $\mu$ m)を接続し、窒素ブローをした結果、窒素容器内に金属片などの異物が、多数存在していることが確認された(図8参照)。

#### 【圧縮水素スタンド運営者の見解】

この充填ホースは、使用回数 1,000 回または 1 年間の使用期限であるが、8 月 10 日時点の使用実績は 547 回、1 年期限は 2018 年 9 月 21 日を予定しており、圧力サイクル、温度サイクルによる寿命とは考えにくい。

定期自主検査においてディスペンサーの分解整備を行っており、その際に充填ホース先端の充填ノズルに窒素容器を接続して窒素置換作業を行っていた。

窒素容器内に金属片などの異物が多数存在していることが確認されたことから、定期自主検査時に窒素ブローした際に異物が混入し、充填ホース内層内面に衝突して傷をつけ、き裂を発生させる原因になったと考える。

#### 事業所側で講じた対策(再発防止対策)

- ① 新品充填ホースの内層に傷がないことを確認し、交換した。充填時には携帯ガス検知器をディスペンサー付近に置き、水素漏えいの検知を行いながら経過観察を実施する。
- ② 充填ホース交換時の異物混入防止のため、窒素置換作業の際に窒素配管に 5 $\mu$ m のフィルターを取り付ける。

#### 教訓(事故調査解析委員会作成)

- ① この事故の事故分類は、破裂・破損のうちの破裂である。圧縮水素スタンドにおける充填ホースの事故の場合、事故分類の多くは、漏えいである。この事故は漏えいが先行しない破裂であり、設計で要求される破裂前漏えい(LBB)が成立しない貴重な事例を経験した。
- ② 充填ホースの設計において、破裂前漏えいの成立は考慮されていた。気密性を保持している内層を疲労き裂が貫通すれば、水素は気密性のない補強層を容易に通過し、外部へ放出され、破裂前漏えいが成立する。ただし、外層は外部環境を遮断するために、多少の気密性を保持しているので、外層には通気孔が 1 個設置されており、実使用時の透過ガスを外部へ放出は可能な状態であった。この事故は、内層のき裂と外層の通気孔の位置関係から、漏えいした水素が補強層の内部に滞留し、外層の破裂に至った。充填ホースの破裂前漏えいの成立には、外層に設置する通気孔の数と位置の検討が必要である。
- ③ この事故の充填ホースは、2017 年 2 月の製造である。このメーカーの充填ホースは、

<p>事故年月(2018年8月)以前の2018年4月以降の製造では改良され、複数の通気孔が設置されている。充填ホースの破裂前漏えいの重要性について、メーカーとユーザが認識を共有する必要がある。</p> <p>④ 充填ホースのメーカーは異なるが、備考に示すように、充填ホースの漏えい事故を継続して経験している。金属粉(異物)の関与を含めて、内層の疲労強度に及ぼす影響因子を、定量的に検討する必要がある。</p>									
<p>事業所の事故調査委員会</p> <p>—</p>									
<p>備考</p> <p>事故調査解析委員会では、これまで充填ホースの破裂事故について、3件の高圧ガス事故概要報告を作成してきた。それら3件の事故原因を抜粋し、以下に示す。</p>									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>事故名称</th> <th>原因</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(2014-182) 圧縮水素スタンドの充填ホース部から水素ガス漏えい</td> <td>水素、低温、高圧、曲げ(引張側)の複合環境下にさらされた充填ホース内層(樹脂)内面に、き裂の起点があり、繰返し充填試験によって、き裂が内層表面まで進展し、貫通した。</td> </tr> <tr> <td>(2017-101) 圧縮水素スタンドの充填ホース破裂</td> <td>超低温(約-40°C)、超高圧の圧縮ガスにより繰返し加圧、減圧(0MPa から82MPa に昇圧し、一定時間保持後0MPa に減圧する)を受ける環境で、充填ホースのノズル側口金具近傍の最内層(樹脂製、厚さ約1mm)に微小な貫通孔が生じた。  本充填ホースは旧モデル(実証試験用の試作モデル)であり、超低温、超高圧の圧縮ガスにより加圧、減圧が繰返されることに対して、最内層の材料を改良した充填ホース(改良モデル)と比較して、耐久性が充分ではなかった。</td> </tr> <tr> <td>(2017-037, 2017-094, 2017-119) 圧縮水素スタンドディスペンサーからの水素漏えい</td> <td>飛来物(異物)が充填ホース内面に衝突し、その際に生じたきずが起点となって、充填ホースメーカーが想定していた充填(繰返し負荷)回数よりも早い段階でき裂が進展して、貫通したと推定される。</td> </tr> </tbody> </table>		事故名称	原因	(2014-182) 圧縮水素スタンドの充填ホース部から水素ガス漏えい	水素、低温、高圧、曲げ(引張側)の複合環境下にさらされた充填ホース内層(樹脂)内面に、き裂の起点があり、繰返し充填試験によって、き裂が内層表面まで進展し、貫通した。	(2017-101) 圧縮水素スタンドの充填ホース破裂	超低温(約-40°C)、超高圧の圧縮ガスにより繰返し加圧、減圧(0MPa から82MPa に昇圧し、一定時間保持後0MPa に減圧する)を受ける環境で、充填ホースのノズル側口金具近傍の最内層(樹脂製、厚さ約1mm)に微小な貫通孔が生じた。  本充填ホースは旧モデル(実証試験用の試作モデル)であり、超低温、超高圧の圧縮ガスにより加圧、減圧が繰返されることに対して、最内層の材料を改良した充填ホース(改良モデル)と比較して、耐久性が充分ではなかった。	(2017-037, 2017-094, 2017-119) 圧縮水素スタンドディスペンサーからの水素漏えい	飛来物(異物)が充填ホース内面に衝突し、その際に生じたきずが起点となって、充填ホースメーカーが想定していた充填(繰返し負荷)回数よりも早い段階でき裂が進展して、貫通したと推定される。
事故名称	原因								
(2014-182) 圧縮水素スタンドの充填ホース部から水素ガス漏えい	水素、低温、高圧、曲げ(引張側)の複合環境下にさらされた充填ホース内層(樹脂)内面に、き裂の起点があり、繰返し充填試験によって、き裂が内層表面まで進展し、貫通した。								
(2017-101) 圧縮水素スタンドの充填ホース破裂	超低温(約-40°C)、超高圧の圧縮ガスにより繰返し加圧、減圧(0MPa から82MPa に昇圧し、一定時間保持後0MPa に減圧する)を受ける環境で、充填ホースのノズル側口金具近傍の最内層(樹脂製、厚さ約1mm)に微小な貫通孔が生じた。  本充填ホースは旧モデル(実証試験用の試作モデル)であり、超低温、超高圧の圧縮ガスにより加圧、減圧が繰返されることに対して、最内層の材料を改良した充填ホース(改良モデル)と比較して、耐久性が充分ではなかった。								
(2017-037, 2017-094, 2017-119) 圧縮水素スタンドディスペンサーからの水素漏えい	飛来物(異物)が充填ホース内面に衝突し、その際に生じたきずが起点となって、充填ホースメーカーが想定していた充填(繰返し負荷)回数よりも早い段階でき裂が進展して、貫通したと推定される。								
<p>キーワード</p> <p>圧縮水素スタンド、ディスペンサー、充填ホース、破裂、水素、漏えい、定期自主検査、窒素置換、異物、フィルター</p>									

関係図面(特記事項以外は事業所提供)

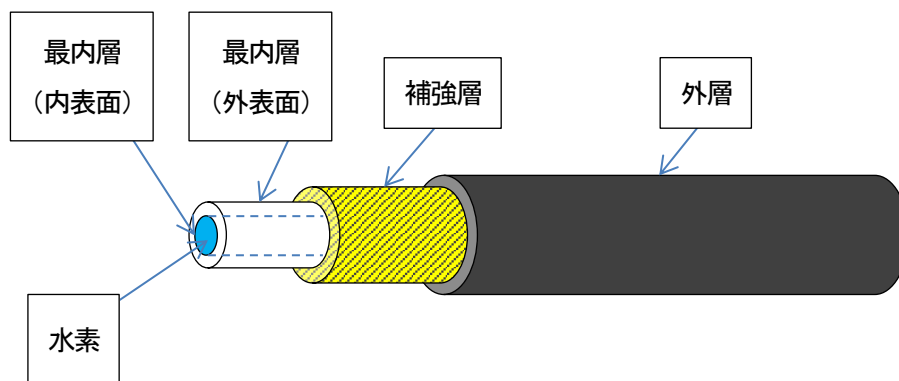


図1 充填ホースの構造  
(高圧ガス保安協会事故概要報告 2017-101 等から引用)



図2 ディスペンサーの短尺充填ホース  
(事故後に撮影)



図3 充填ホース外層からの漏えい(事故直後)

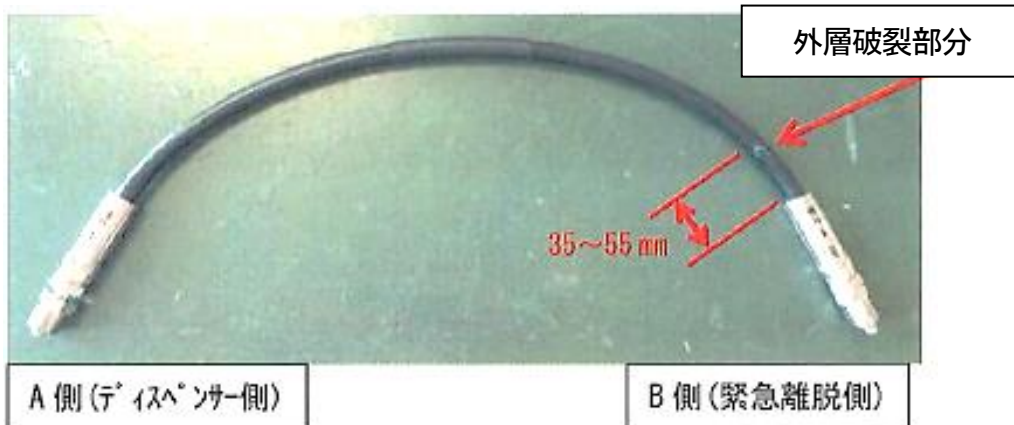


図4 充填ホースの破裂箇所(外層)

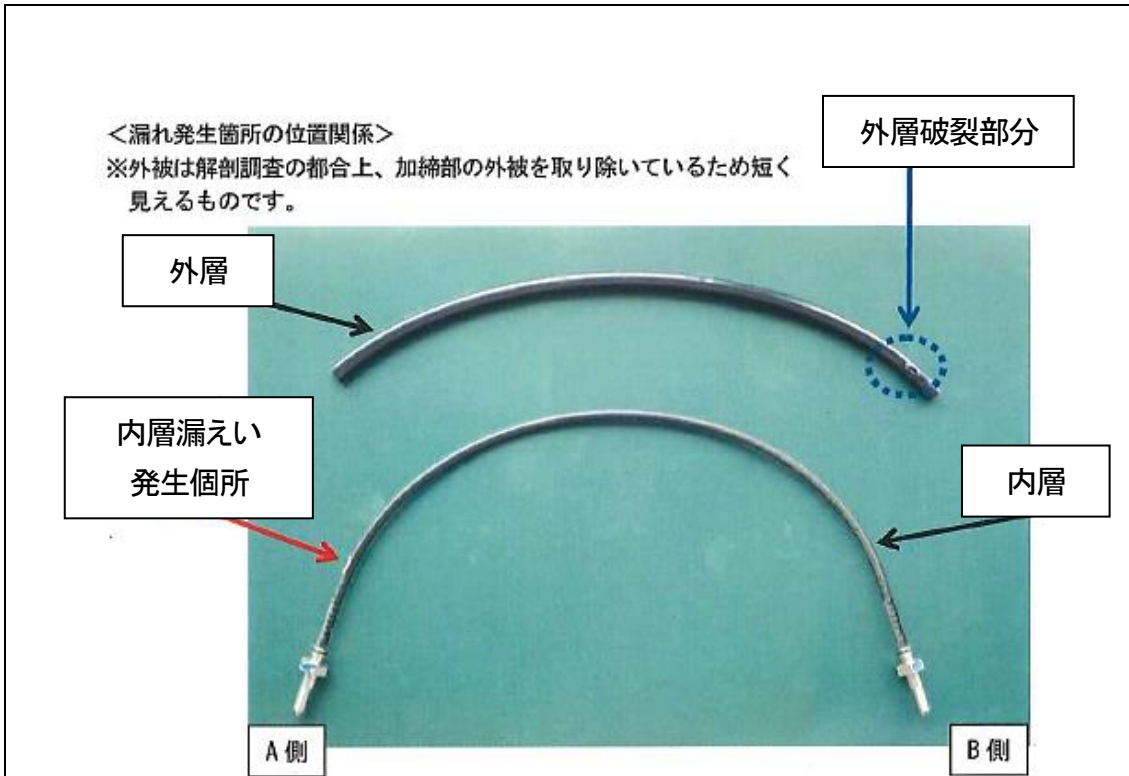


図5 充填ホース外層破裂箇所と内層の漏えい箇所の位置関係

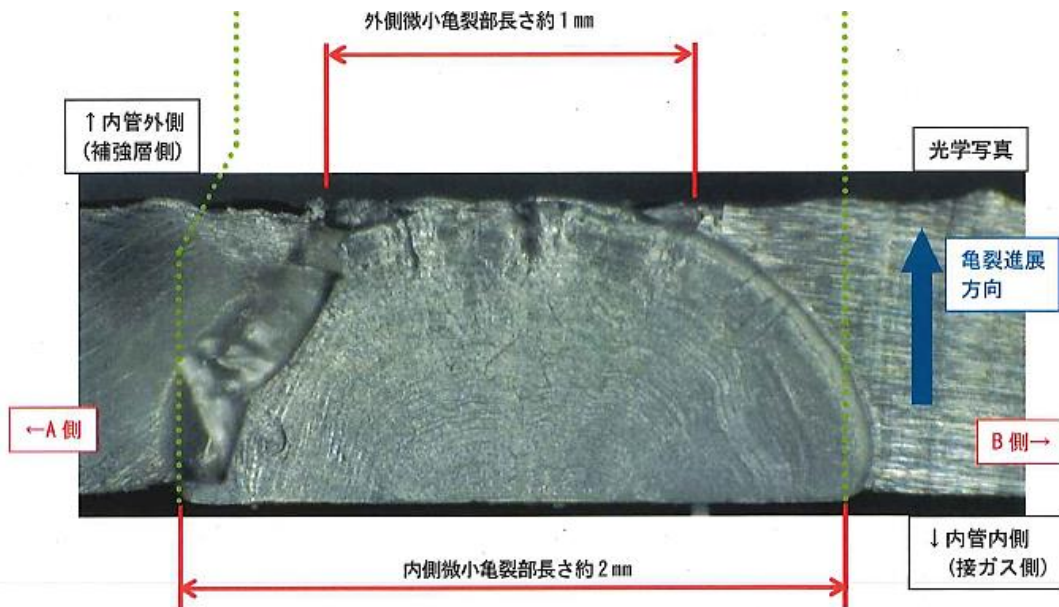


図6 充填ホース内層き裂の破面(光学顕微鏡)



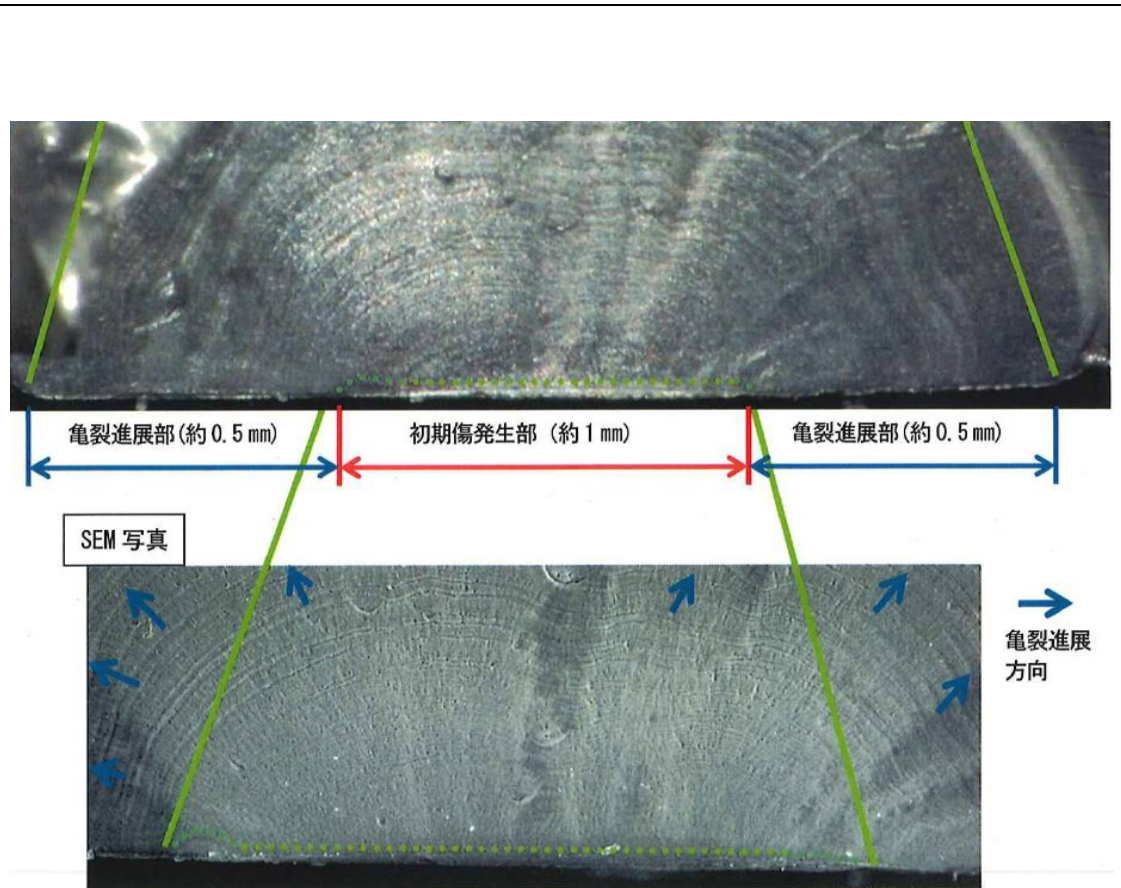


図 7 充填ホース内層き裂の破面詳細(光学顕微鏡・SEM)

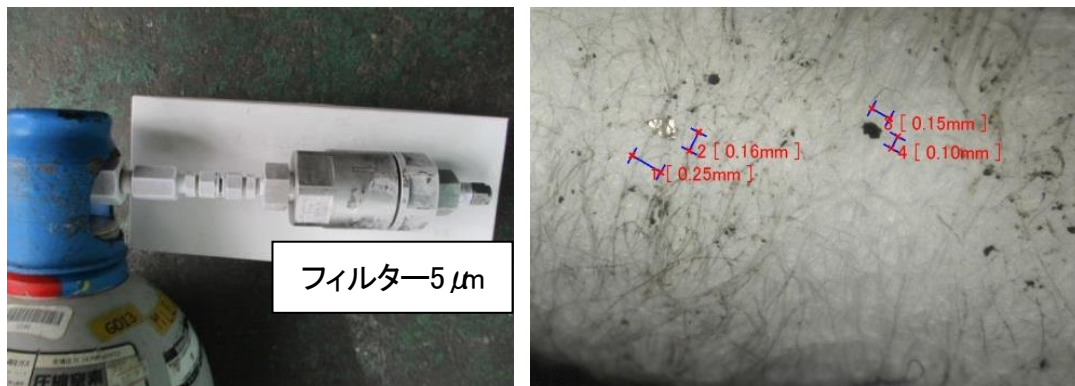


図 8 窒素容器内部の異物の確認状況  
(左: 窒素容器に接続されたフィルター 右: フィルタ入口に存在した異物)