

高圧ガス事故概要報告

整理番号 2021-552	事故の呼称 水素製造装置からの水素漏えいおよび静電気による着火事故		
事故発生日時 2021年12月10日(金) 15時17分	事故発生場所 東京都 品川区	事故発生事象 1次)爆発 2次)	事故発生原因 主)設計不良 副)
施設名称 圧縮水素スタンド 水素製造装置	機器 熱交換器	材質 コイル : NCF800HTB	概略の寸法 コイル:外径 60.3mm、厚さ 3.9mm
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 91,986 m ³ /日(事業所)	常用圧力 82MPa	常用温度 -40~50°C
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>圧縮水素スタンド(都市ガスを原料として水素製造装置で水素を製造するオンサイト型(図1参照))の水素製造装置(B号機)の熱交換器コイル溶接継手から水素ガスが漏えいした。さらに、漏えいした水素ガスが排気煙道へ流出し、静電気により着火して爆発した。</p> <p>以下、事故の概要を時系列で記す。</p> <p>12月9日(木) オペレータは、翌日に行う定期の自主点検のため、水素製造装置(A号機、B号機)を停止し、系内を水素ガス(圧力0.55MPa)で保持した。</p> <p>12月10日(金) AM~ オペレータ立合いのもと、点検業者は、定期の自主点検をした。</p> <p>15時15分 オペレータは、水素製造装置(A号機、B号機)を、起動した。水素製造装置の起動に合わせ、原料圧縮機も、スタートアップ自動プログラムで、起動した。</p> <p>15時17分 空気ブローを起動する点火準備工程において、水素製造装置(B号機)付近で、破裂音がした。</p> <p>15時18分 オペレータは、水素製造装置(A号機、B号機)が、運転を継続していることを確認した。</p> <p>15時20分頃 オペレータは、水素製造装置(B号機)の排気ガス煙突の傘が変形していることを確認した(図2、図3参照)。</p> <p>15時42分 オペレータは、水素製造装置(A号機、B号機)の運転を停止した。</p> <p>15時49分 オペレータは、本社水素ST技術グループに状況を報告した。</p> <p>16時7分 オペレータは、水素製造装置(A号機、B号機)の外観試験、ガス漏えい検知などを実施した。</p> <p>16時50分頃 水素ST技術グループは、行政の高圧ガス担当課に通報した。通報の際、水素製造装置(A号機)は、安全性を確認後、運転許可を得た。</p> <p>17時30分 オペレータは、水素製造装置(B号機)の系内を窒素パージした。</p>			

17 時 39 分	オペレータは、水素製造装置(A 号機)を再起動し、運転を開始した。
<p>事故発生原因の詳細</p> <p>(1) 水素製造装置メーカーの点検</p> <p>事故が発生した翌日から、水素製造装置メーカーが点検を実施した。その結果、原料加熱器コイル下部の突合せ溶接(TIG)継手(No.⑨)内面(図 4、図 5 参照)の裏波の止端部からき裂が発生していることが発見された(図 6、図 7 参照)。き裂部分を切り出し、破面 SEM 観察を行ったところ、疲労特有のストライエーションが観察された(図 8～図 11 参照)。</p> <p>(2) 点検結果から推定される事故に至った過程</p> <p>原料加熱器内に水素製造装置起動に伴うエアブローからのエアが流入した。器内に滞留していた水素ガスが急激に煙道に流出して、静電気が発生し、水素ガスに着火して爆発したと推定される。</p> <p>(3) き裂発生の際緯</p> <p>① 原料加熱器コイル内部での純水の発生</p> <p>水素製造運転の安定時の原料加熱器出口温度は、300℃以上であり、その状態では内部に純水は存在しておらず蒸気として流れている。しかし、製作メーカーとの検討の結果、原料加熱器出口温度が 250℃を下回ると、蒸発しきれなかった純水がコイル最下部まで到達する可能性があると考えた。</p> <p>運転データを確認したところ、復帰工程時、待機移行工程の非定常運転で、切り替えのタイミングにより短時間ながら熱交換器の熱バランスが崩れ、出口温度が低下し、純水が発生することが判明した。</p> <p>② 繰返し応力の発生</p> <p>製作メーカーは高温ガスで加熱される管内に純水が存在した場合に、発生する応力の解析を行った(図 12～図 14 参照)。その結果、熱交換器コイル内面(ガス温度 300℃)での、純水の濡れ乾きによる繰返し熱応力が発生することが分かった。</p> <p>③ き裂部位の要因</p> <p>き裂部位は、コイル形状の中で最も曲げ角度が大きい箇所であり、残留応力が存在していた可能性がある。さらに、内面のため、溶接裏波の止端部を整形することができない。したがって、これらの要因により止端部に応力が集中したことで、き裂発生に寄与したと推測される。</p> <p>(4) 結論</p> <p>上記(1)～(3)から、繰返し熱応力と応力が集中するき裂部位の要因により、疲労き裂が発生したと推測される。</p>	
<p>事業所側で講じた対策(再発防止対策)</p> <p>【き裂発生の防止策】</p> <p>① 水素製造装置メーカーに指示し、原料加熱器出口温度が 250℃を下回らないように改質炉バーナー熱量を一時的に上げるなどのプログラム改良を行った(図 15、図 16 参照)。</p> <p>② 熱交換器のコイルを、同材質の継目なし(シームレス)管に変更した。</p> <p>【追加安全措施】</p> <p>③ 熱交換器の排ガスラインに、可燃性ガス漏えい検知器を設置した。</p> <p>④ 水素を製造する通常運転から、循環させる営業時間外の待機運転時に移行した</p>	

<p>際、系内の圧力保持を監視する保圧間隔監視システムを導入した。</p> <p>⑤ 熱交換器の排ガスラインに、アースボンディングを増設した。</p>
<p>教訓(事故調査解析委員会作成)</p> <p>① 純水が存在し、蒸発を繰り返すと、繰返し熱応力が発生し、溶接継手の止端部などで疲労き裂が発生する可能性があることを認識する必要がある。</p> <p>② 同型の水素製造装置を使用している他の水素ステーションでも、同様の事例が発生する可能性があるため、対策を講じる必要がある。</p> <p>③ 裏波の止端部の整形が困難な形状では、き裂の起点となる可能性があるため、管の成形にシームレスの導入を検討する必要がある。</p> <p>④ 水素はひとたび漏えいすると、容易に着火することを認識する必要がある。通常水素の流入が想定されない箇所であっても、流入する可能性が否定できない場合は対策を講じることが望ましい。</p>
<p>事業所の事故調査委員会</p> <p>—</p>
<p>備考</p> <p>事故後、2022年4月に同じ運転条件(原料加熱器出口温度が250°Cを下回る)となっているA系統の水素製造装置の点検を実施した。その結果、B系統とは異なるコイル下部の位置の溶接継手にき裂が検出された。B系統と同じく、再発防止対策を講じた。その後、不具合は報告されていない。</p>
<p>キーワード</p> <p>圧縮水素スタンド、水素製造装置、熱交換器、コイル、溶接継手、水素、漏えい、爆発、疲労、熱応力</p>
<p>関係図面(特記事項以外は事業所提供)</p> <p>図1 オンサイト型、オフサイト型水素スタンドの構成(概略)</p> <p>出典:資源エネルギー庁 燃料電池推進室「燃料電池自動車について」第3回水素・燃料電池戦略協議会(2014年)</p>



図 2 事故発生直後変形した煙突



図 3 現状の煙突(参考)

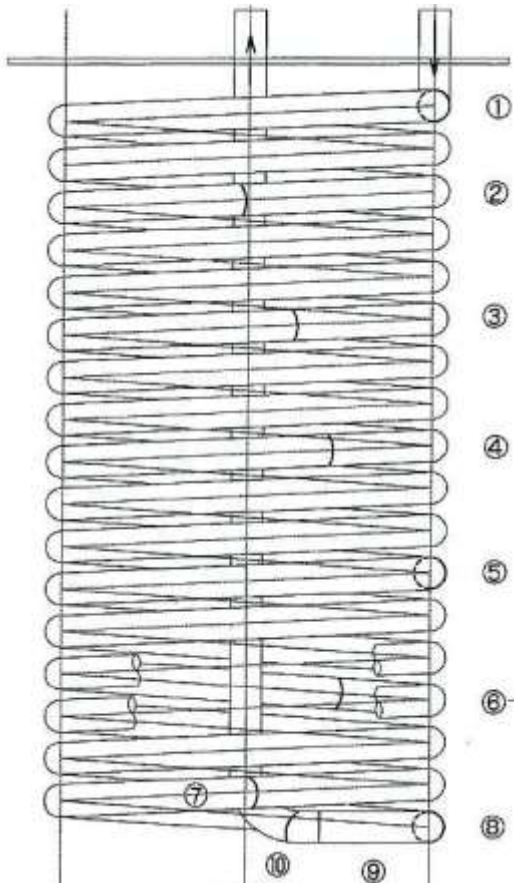


図 4 コイル断面図

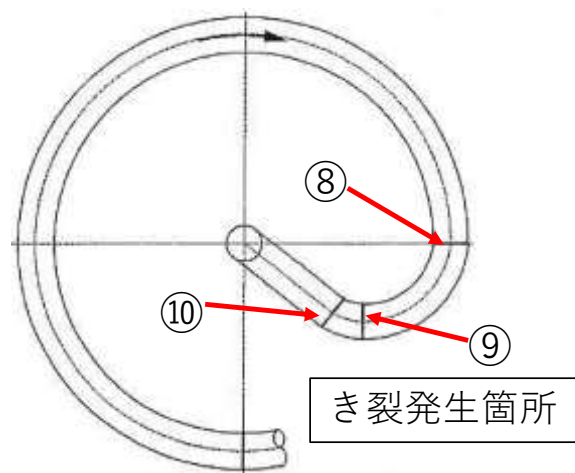


図 5 コイル下部溶接継手位置図

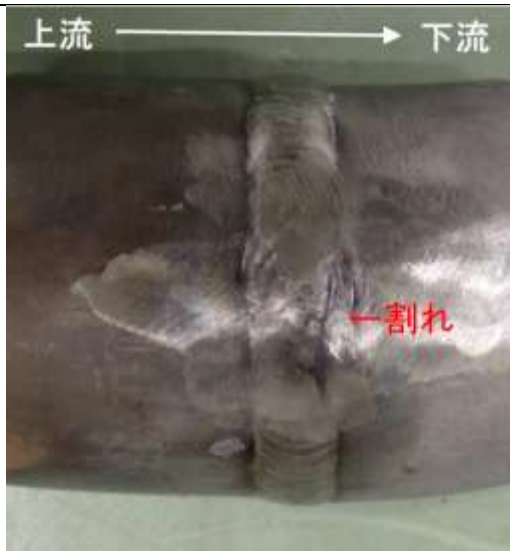


図 6 溶接継手外観

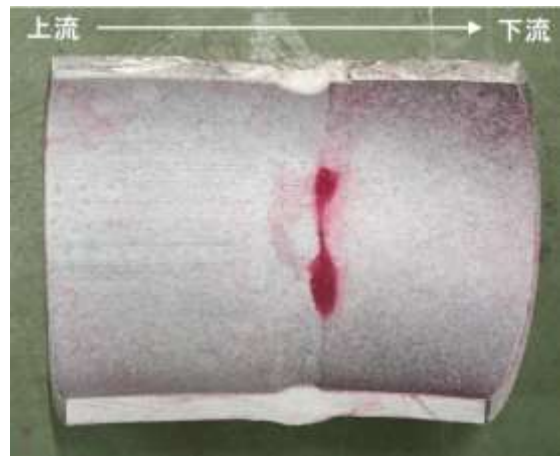


図 7 溶接継手内面 PT 結果



図 8 破面(酸洗浄後)

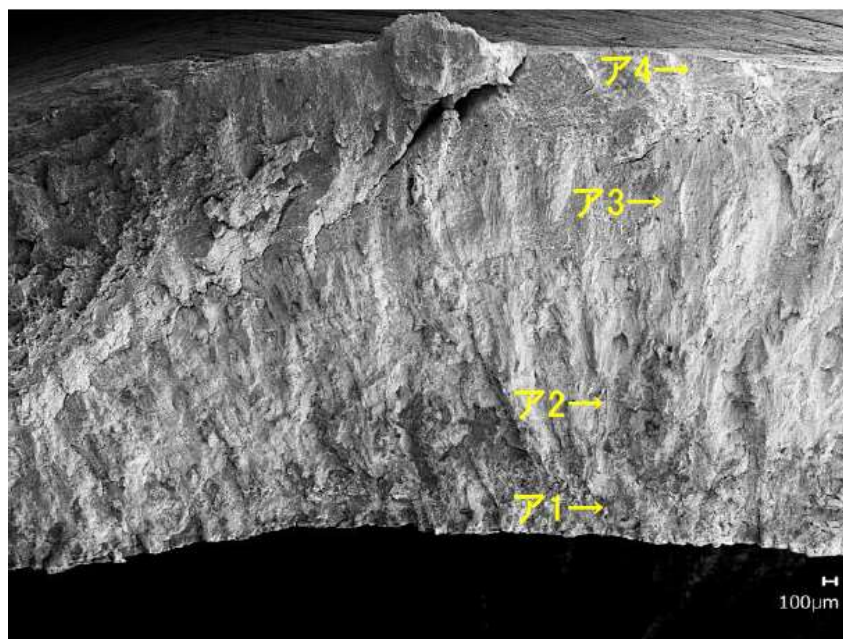


図 9 部位ア SEM 写真

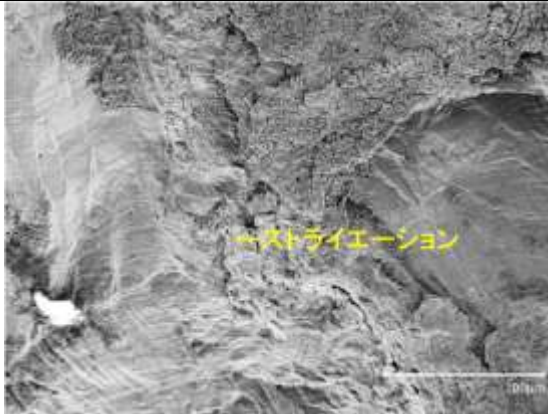


図 10 部位ア 2

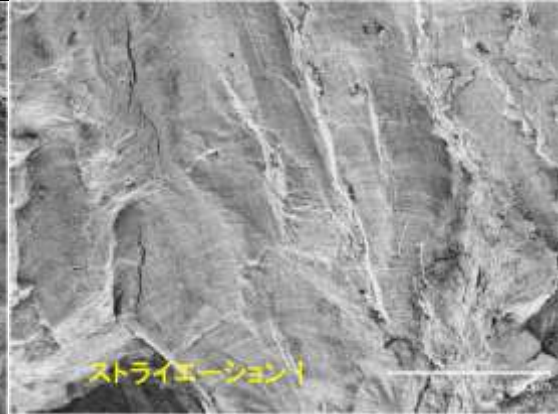


図 11 部位ア 3

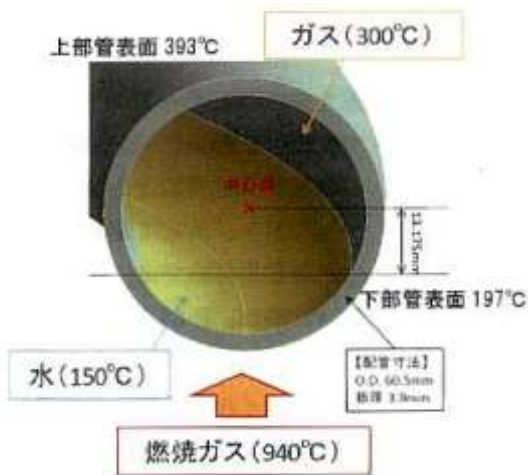


図 12 最下部コイル純水到達時のシミュレーションのモデル

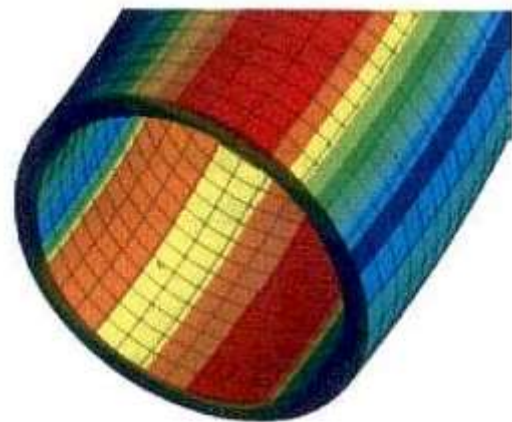


図 13 最大主応力分布図

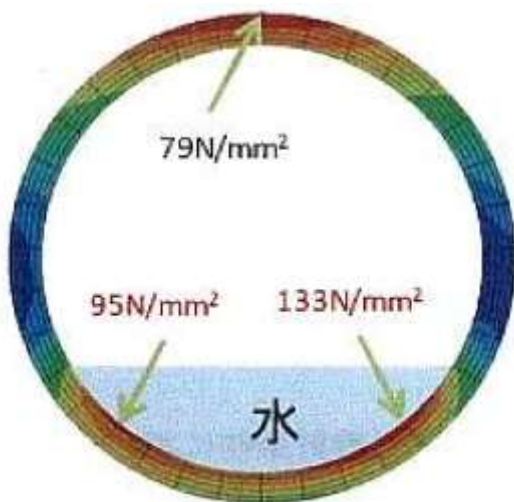


図 14 配管軸方向応力分布図

【0.2%耐力】
200N/mm² (NCF800HTB, 200°C)

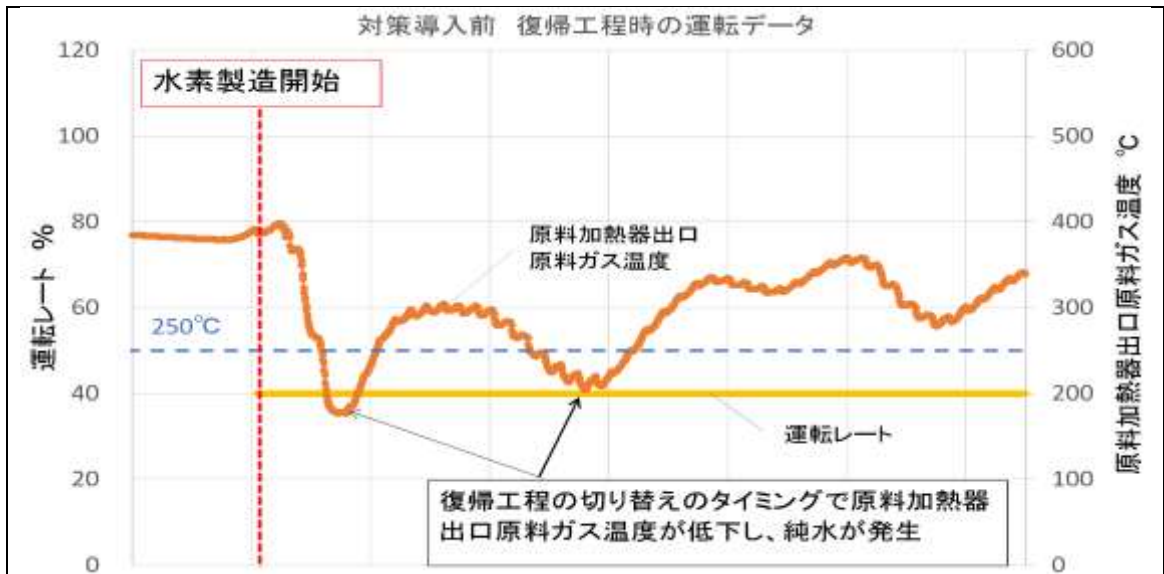


図 15 原料加熱器出口温度(対策前)

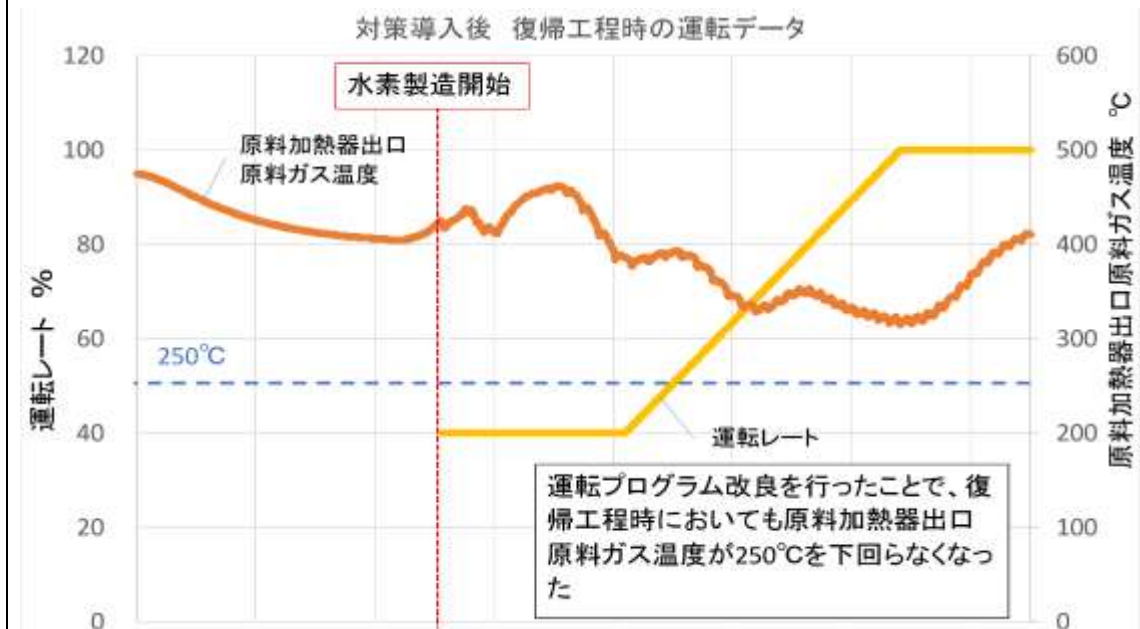


図 16 原料加熱器出口温度(対策後)