

高圧ガス事故概要報告

整理番号 2018-428	事故の呼称 水素製造装置からの水素ガス等漏えい		
事故発生日時 2018年8月15日(水) 1時40分	事故発生場所 神奈川県 横浜市	事故発生事象 1次)漏えい① 2次)	事故発生原因 主)検査管理不良 副)
施設名称 水素製造装置改質炉	機器 反応管	材質 KHR35CT (25Cr/35Ni/Nb-Ti)	概略の寸法 反応管の全長 13m
ガスの種類および名称 可燃性ガス {水素(45%),メタン(3%)} 可燃性毒性ガス{CO(10%)} 不活性ガス{CO ₂ (7%)}	高圧ガス製造能力 609,909,972m ³ /日(事業所) 3,249,200m ³ /日(施設)	常用圧力 2.31 MPa	常用温度 904 °C
被害状況(人的被害、物的被害) 人的被害:なし 物的被害:約 9,300 千円/反応管 4 本			
<p>事故の概要</p> <p>製油所で定常運転中の水素製造装置改質炉(図1参照)の1本の反応管出口付近で、プロセスガスが炉内に漏えいした。また、破断に至っていないが、損傷が認められる反応管を他に3本発見した。</p> <p>以下、事故の概要を時系列で記す。</p> <p>8月15日</p> <p>1:40 計器室において改質炉の炉内温度計の指示不良を確認したため、従業員が現地で調査をしたところ、改質炉(2階)反応管の出口付近(1階上部)からガス漏えいを視認した。</p> <p>1:50 計器室より当直に構内119番通報した。</p> <p>1:54 公設119番通報した。</p> <p>1:55 水素製造装置を停止した。</p> <p>3:45 公設118番(海上保安本部)通報した。</p> <p>~8月20日 冷却作業、配管保温材解体および漏えい試験を実施した。</p> <p>8月21日 反応管下部に20cm程度の縦割れがあることを確認した。</p>			
<p>事故発生原因の詳細</p> <p>反応管の過去の検査履歴では、劣化、損傷の傾向は検知されていなかったが(表1および表2参照)、反応管の割れ要因を特定するため、表3の調査を実施した。</p>			

表 1 反応管の過去の検査内容、結果

検査内容		注目点	検査結果
外観観察		鑄肌の粗さ、消失状況、割れ、腐食	問題なし
形状測定		曲がり	問題なし
		膨れ、扁平	問題なし(抜取り検査)
金属組織検査	マクロ組織検査	柱状晶／粒状晶の割合 マクロき裂の有無	外面の組織検査の結果、問題なし(抜取り検査)
硬さ試験		断面の硬さ分布	・ 外面の測定結果、問題なし(抜取り検査) ・ 断面の硬さ測定は、未実施
強度試験	クリープ破断試験	短時間強度、伸び	未実施

表 2 反応管の過去の検査履歴

年	検査内容
1996年	建設
1997年	目視、肉厚測定
1998年	目視、肉厚測定
2000年	目視、肉厚測定
2002年	目視、肉厚測定、 クリープ寿命評価:全寿命 48.9年 ^{※1} (使用年数 6年、消費寿命 12.3%)
2004年	目視、肉厚測定
2005年	目視、肉厚測定
2006年	目視、放射線透過試験、肉厚測定
2007年	目視
2008年	目視、 クリープ寿命評価:全寿命 59.5年 ^{※1} (使用年数 12年、消費寿命 20.2%)
2010年	目視、外径測定、浸透探傷試験、硬さ測定、
2011年	目視、外径測定
2012年	目視、肉厚測定、放射線透過試験、外面溶接線浸透探傷試験、金属組織観察、硬さ測定
2016年	目視、肉厚測定、放射線透過試験、外面溶接線浸透探傷試験、外径測定
2018年	チューブ不具合発生

※1 余寿命評価はラーソンミラーパラメータによる。

表 3 事故後の調査内容、結果

調査内容	調査結果
目視	反応管ボトム側の炉床上 40～220mm に貫通割れおよび膨れが観察された(図 2 参照)。
寸法測定	外径膨れ率 6.99% 内径膨れ率 3.40%
放射線検査	漏えい部近傍およびその他の反応管の肉厚測定のため、放射線検査を実施した。反応管内外面に減肉は認められなかった。
内面PT	漏えい部近傍の管内面側には、複数の線状欠陥(未貫通割れ)が検出された(図 3 参照)。
マイクロ観察	<ul style="list-style-type: none"> ・ 漏えい部近傍には複数の内在した割れ(割れ内部が酸化されていない)が発生していた。 ・ 貫通割れ、未貫通割れ、内在した割れの形態は、粒界割れであった。 ・ 金属組織は、KHR35CT 経年材に見られる 2 次炭化物が析出した組織であった(図 4 参照)。
硬さ測定	153～206HV(平均 187HV)

調査の結果を以下に示す。

- ・ 反応管内外面に減肉は認められない。
- ・ 膨れ(塑性変形)を伴っている。

したがって、腐食減肉、摩耗減肉または材料の脆化ではない。

一方、膨れ(塑性変形)、管内面側からの割れ、内在割れ(粒界割れ)というクリープ損傷の特性が認められたことから、反応管の損傷は、「クリープ損傷」と推定される。

また、反応管は計 104 本あり、今回の割れと同様にクリープ損傷が進行している可能性があるため、全数／全長が検査可能な特殊検査 LEO-SCAN(LASER EDDY CURRENT OUTSIDE SCAN)を適用し、健全性を評価したところ、4 本の反応管にクリープ損傷の傾向が認められた。また、LEO-SCAN の検査結果を検証する目的で、健全管の抜管を実施し、破壊検査を行った。その結果、LEO-SCAN により破壊検査と同等のクリープ寿命評価が可能であることが検証された。

以上より、温度履歴などの運転環境が異なるため、従来の抜取り検査(目視、寸法測定、肉厚測定、SUMP、破壊検査など)では、クリープ損傷の傾向の評価が不十分であったと考えられる。

事業所側で講じた対策(再発防止対策)

反応管の余寿命評価には、全数／全長のクリープ寿命評価が可能な検査技術(LEO-SCAN など)を適用する。事故プラントは、2019 年に全数の反応管を更新後、2024 年に初回検査を予定しており、類似プラントの反応管は、2020 年定期修理時に検査予定である。

教訓(事故調査解析委員会作成)

- (1) 改質炉の反応管(加熱管)は、内外面の温度差による熱応力が大きく、内圧クリープではなく、熱応力クリープが破壊モードになる。したがって、反応管の設計には、公式による設計が適用できず、解析による設計の適用となる。熱応力は、クリープ変形によりリラクゼーションするが、起動停止(加熱冷却)の繰返しでクリープ損傷が累積する。したがって、熱応力によるクリープ損傷の寿命解析の方法を確立する必要がある。
- (2) 反応管の材料 KHR35CT は、遠心鑄造の耐熱鋼で、製造メーカーがクリープデータを所有し、公開されていない。事業者のクリープ解析に際しては、製作時ではなく、最新のクリープデータの蓄積と信頼性に留意する必要がある。
- (3) 反応管の内面にはコーキングが付着し、酸化、炭化などの表面性状の変化が、熱応力とクリープ損傷に影響を及ぼす。余寿命予測には、これらを考慮する必要がある。
- (4) 寿命予測の信頼性を補うために実施されている抜き取り検査に加えて、全数/全長の非破壊検査を適用することは、余寿命予測の精度向上に有用である。

事業所の事故調査委員会

事故発生日から 2018 年 12 月 13 日にかけてトラブル検討会を 3 回開催し、報告書をとりとまとめた。

備考

—

キーワード

水素、水素製造装置、改質炉、反応管、クリープ、非破壊検査、リラクゼーション、熱応力、寿命予測、余寿命予測

関係図面(特記事項以外は事業所提供)

反応管仕様

設計圧力: 2.31MPa
常用圧力: 2.31MPa
設計温度: 904°C
常用温度: 904°C

反応管材質

KHR35CT
(25Cr-35Ni-Nb-Ti)
4列×26本(104本)
OD: 142.4mm
肉厚: 7.7mm

使用開始年

1996年(22年使用)

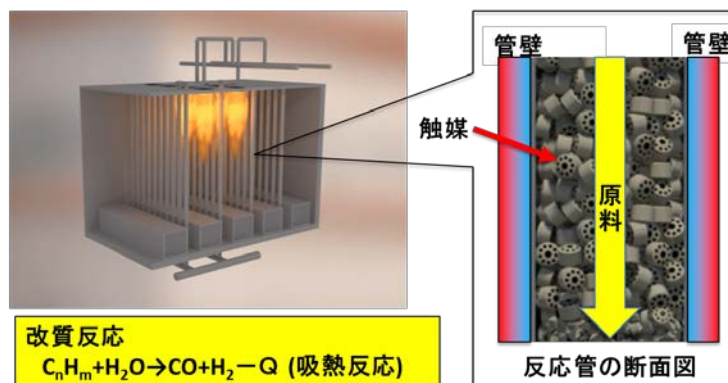


図 1 水素製造装置改質炉の概要

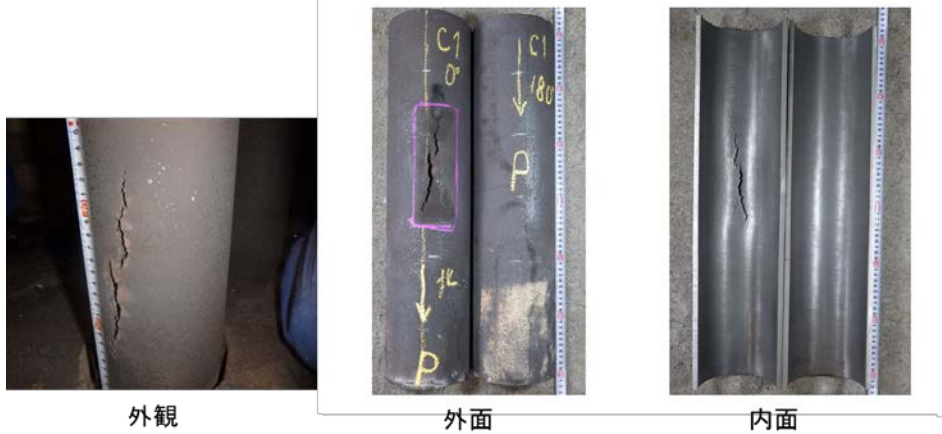


図2 反応管損傷状況

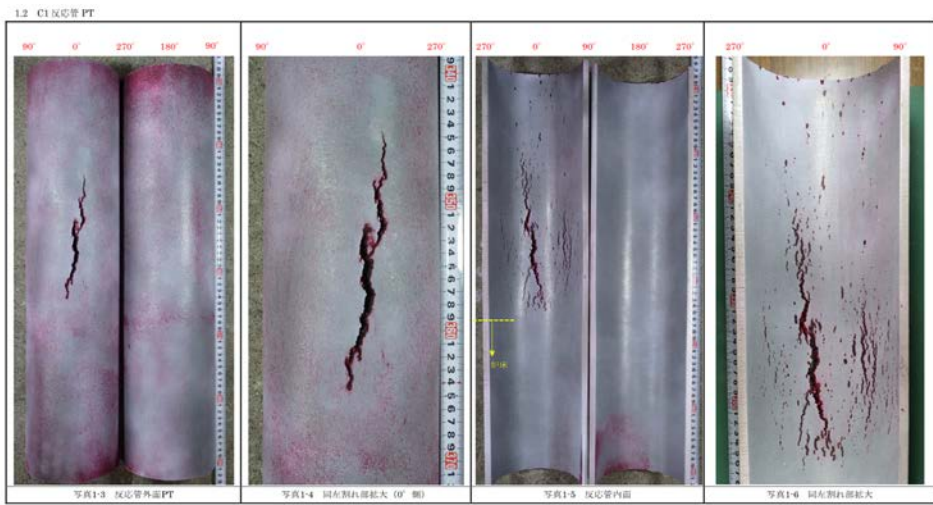


図3 内外面PT結果

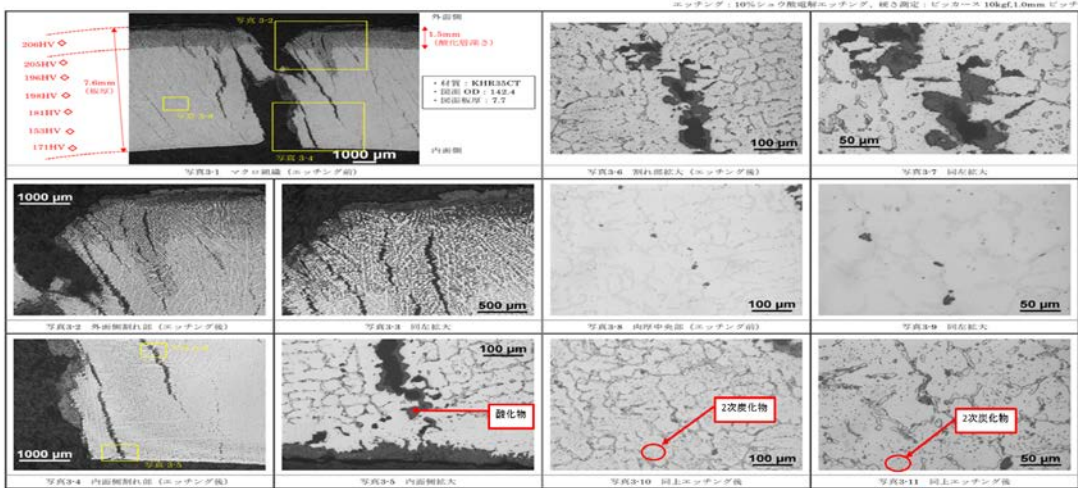


図4 ミクロ観察結果