

第 126 回定例研究会 資料 V

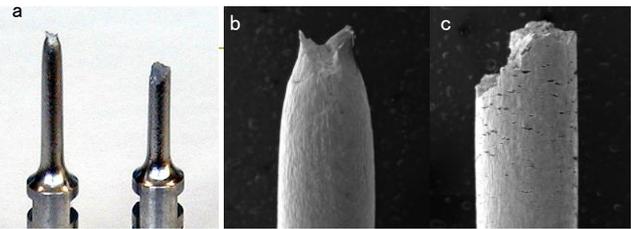
## 高圧ガス設備・容器の 材料規制と課題

---

平成20年10月30日  
高圧ガス保安協会  
高圧ガス保安研究室  
竹花 立美

1

### 高圧水素ガス中で問題となる現象の例-2



**SUS316**オーステナイト系ステンレス鋼の水素環境脆化の外観

a: 破断した試験片のマクロ写真  
左: 70MPaアルゴン中破断、右: 70MPa水素中破断

b: 70MPaアルゴン中破断  
c: 70MPa水素中破断

2

### 高圧水素ガスに関する材料規制

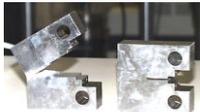
高圧ガス保安法関係 (2008.9現在)

- 容器関係 車両搭載用容器、水素輸送用容器  
 例示基準 JARI S 001 / S 002 JIGA-T-S/12/04 / S/13/04  
 オーステナイト系ステンレス鋼 **SUS 316L**  
 Al-Mg-Si系アルミニウム合金 **A6061-T6**
- 高圧ガス設備関係 配管・バルブ・流量計等
  - 一般高圧ガス保安規則 第7条の3  
 例示基準 9.ガス設備に使用する材料 使用してはいけない材料  
 将来 ⇒ 高圧水素ガス環境で使用できる材料
- 特定設備関係 貯槽等 例示基準未整備
- **製造者・使用者の責任で材料を使用**

3

### 水素ガススタンド基準に係る技術検討委員会 燃料電池用水素容器技術検討委員会 報告書 (H14)

- 既存データの調査
- 試験片による構成材料の高圧水素雰囲気における材料試験
- 試験用設備/容器による構成材料の耐水素性実証
  - 引張試験 (SSRT試験を含む)
  - 疲労試験 (軸荷重疲労試験)
  - 遅れ割れ試験
  - 破壊靱性 (CT試験片)
  - 疲労き裂進展試験 (CT試験片)
  - シール材料の耐久性
- 長時間にわたる試験、動的試験の方が影響が出やすい  
(水素による劣化は時間依存性がある現象)



4

### 高圧水素雰囲気における既存データの調査 (海外:2003年)

- アメリカ/カナダ
  - NASAの資料 69MPaデータ有り 試験結果が不自然
  - SANDIA国立研究所 スチールが中心  
100MPa以上の静的試験は今後実施される予定
- 欧州
  - MPA(State Materials Testing Institute のドイツ名称)  
液体水素、20MPaまで 70MPaは検討中
  - TUV 20MPaまで 70MPaは検討中
- 国内におけるデータ採取が必要
- 2008年現在 TWI(英国)等において実施可能

5

## 金属材料試験 (国内)

### □ NEDO WE-NET タスクII (JRCM実施)の成果

WE-NET : 水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術研究開発  
 タスクII : 低温材料の研究開発

- Al-Mg-Si系アルミニウム合金 6061-T6
- オーステナイト系ステンレス鋼 SUS 316L

### □ WE-NETの成果を基に材料試験を実施

- SSRT試験 (Slow Strain Rate Test)
- 疲労試験
- 疲労き裂進展試験 (CT試験片)

6

## 材料試験に関する基本的な条件 車両搭載容器の例

### 1) ガス組成: 水素以外に劣化成分は存在しない

- ・燃料電池は高純度の水素が必要
- ・不純物は燃料電池の作動自体に問題が生じる
- ・露点管理を行う

### 2) 最高温度: 85℃

- ・85℃を上回るようなら、充電時間を制限し温度上昇を防ぐ (車両側の要求)
- ・温度が高い方が金属材料に水素が進入しやすい

### 3) 水素ガスの純度 99.99999%

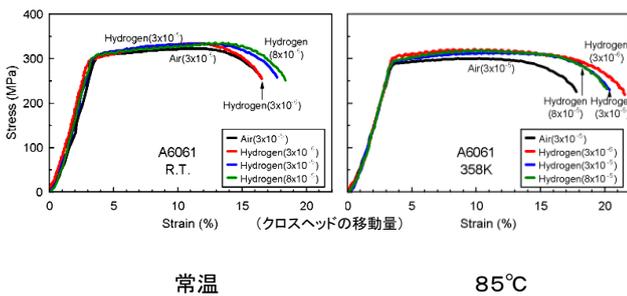
### 4) 試験圧力: 45MPa/90MPa

- ・35MPa×125%/70MPa×125%

7

## A6061-T6 SSRT試験結果

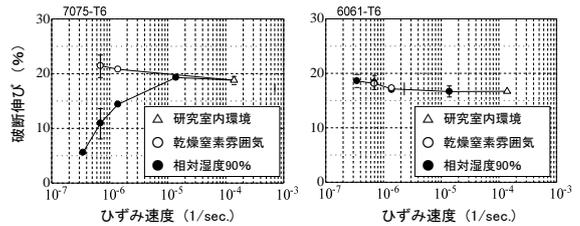
大気中の特性と高圧水素中の特性に大差は見られない



8

## A7075 常温SSRT試験結果 試験速度と破断伸びの関係

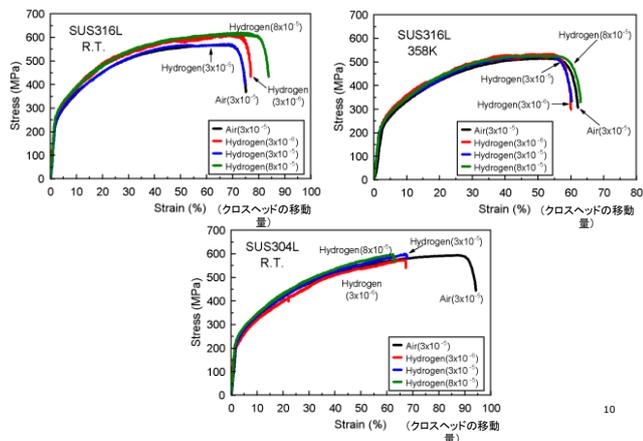
相対湿度が高く、ひずみ速度が遅くなると破断伸びが短くなる



水蒸気中のSSRT試験では、引張りによる新生面が水分子の酸素と反応し、残った水素がアルミ中に拡散する。この拡散は、45MPaの高圧水素雰囲気より(極めて)大きいとされるが、定量的には評価できていない。

9

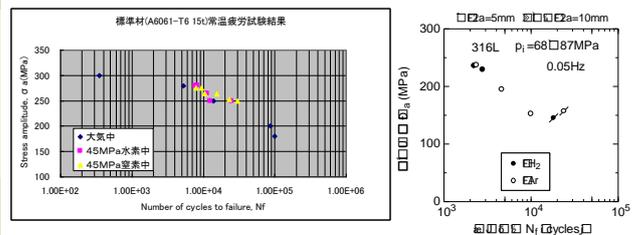
## オーステナイト系ステンレス鋼SSRT試験結果



10

## A6061-T6 SUS316L 疲労試験結果

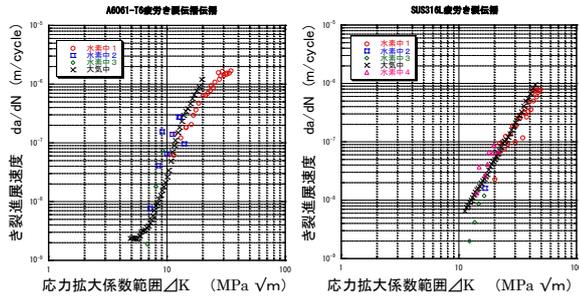
大気中の特性と高圧水素中の特性に大差は見られない



11

### 疲労き裂進展試験結果

大気中の特性と高圧水素中の特性に大差は見られない



12

### 高圧水素雰囲気中の試験結果

#### 1)高圧水素雰囲気における金属材料のSSRT試験

- 高圧水素雰囲気ではA6061及びSUS 316Lは劣化の傾向を示さない
- SUS 304、A7075は水素による劣化の傾向が見られる

#### 2)高圧水素雰囲気における金属材料の疲労試験

- 高圧水素雰囲気におけるA6061は高圧窒素雰囲気下及び大気中と優位な差は見られない。
- 高圧水素を充てんしたSUS 316Lパイプの外圧疲労試験の結果は高圧アルゴン中と優位な差は見られない。(水素充てん圧力 68MPa~87MPa)

#### 3)高圧水素雰囲気における金属材料の疲労き裂進展試験

- A6061及びSUS 316Lとも大気中のき裂進展速度と大きく変わらない。

13

### 車両搭載用容器に関する 高圧水素雰囲気試験結果からの結論

- ☆ 45MPa、85°Cの高圧水素雰囲気における材料特性が大気中との差のない材料を選択 A6061及びSUS 316L
- ☆ 天然ガス自動車用の例示基準を大幅に採用可能
- ☆ 劣化の傾向を示す材料は、採用しない  
どのような設計手法及び設計確認試験を採用するか議論未了
- ☆ 現時点では、安価な材料及び高強度材料が使用できない
- 金属材料(ライナー等)は使用中に塑性変形を生じない肉厚と使用方法を盛込む
- 容器はFRP複合容器のうちフルラップ容器のみとする(LBBを考慮)

14

### 今後必要とされる材料特性

特定設備容器と容器則容器の違い

(イメージ)

#### 特定設備

(Design by Rule)

- 地盤面から移動しない容器
- 設備毎に構造・寸法使用条件が異なる
- 設計計算により強度確認
- 使用温度と材料強度  
設計温度における許容応力
- 溶接部  
溶接施工法で確認
- 製作時検査  
設計検査、工程中検査、耐圧試験、気密試験
- 供用中検査  
一般則 保安検査基準

#### 移動式容器

(Performance based Standardに近い)

- 地盤面に対して移動する容器
- 同じ型式の容器を大量生産
- 型式毎に設計確認試験
- 使用温度と材料強度  
使用温度上限40°C(一般則)
- 溶接部  
破裂試験、サイクル試験等で確認
- 検査  
設計検査、耐圧試験、気密試験(必要なもの)、パッチ毎の破裂試験
- 供用中検査  
容器保安規則 告示

15

### 特定設備容器と容器則容器の違い (要求寿命)

#### 特定設備 別添1

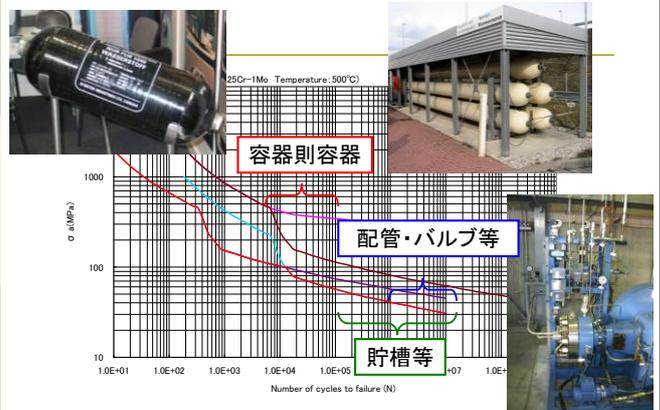
- 安全率 4 疲労限の1/2
- 寿命 無期限 保安検査で判断
- 特例 (Design by Analysisに近い)  
特定設備検査事前評価 (例示基準によらない場合)  
特別認可(特定則によらない場合)
- 保安検査 毎年  
非破壊検査又は耐圧試験  
特例の審査を受けたものは保安検査の方法もこれによることができる

#### 移動式容器 別添1(継目無し)

- 安全率 2.7 Cr-Moの例
- 寿命 無期限  
容器再検査で判断  
最高充てん圧力で 80,000回  
又は耐圧試験圧力で 12,000回  
高強度鋼及びISO 9809で要求
- 特例 容器検査等事前評価(例示基準によらない場合)
- 再検査期間 5年毎  
外観検査+耐圧試験(恒久増加)

16

### 高圧ガス設備・容器の設計の概念



17

## 問題点と課題 -1

- 評価できた材料が少ない
  - オーステナイト系ステンレス鋼 SUS316L
  - Al-Mg-Si系アルミニウム合金 A6061
  - 安価な材料、高強度材料、溶接部等 未実施
- 評価した圧力と温度が少ない
  - 45MPa、90MPa、常温、+85℃
- 材料試験が困難
  - 高圧水素雰囲気で試験できる装置の数が少ない
  - 装置の稼働率が低い
  - 長期間のデータが取りにくい(高圧の摺動部分があるため)
- 劣化の機構と材料強度の関係がまだ明確ではない

18

## 問題点と課題 -2

- 高圧水素で劣化する材料の扱い
  - 劣化の挙動を明らかにすれば使用可能
  - 設計方法、検査方法等を新たに作る (新たな例示基準等)
- 例示基準
  - 現在は容器保安規則のみ
  - 特定設備等 未整備のものが多い
- 高圧水素雰囲気における材料データがさらに必要
- 材料特性を得る研究者・設計者・基準化を行う者の連携が必要

19