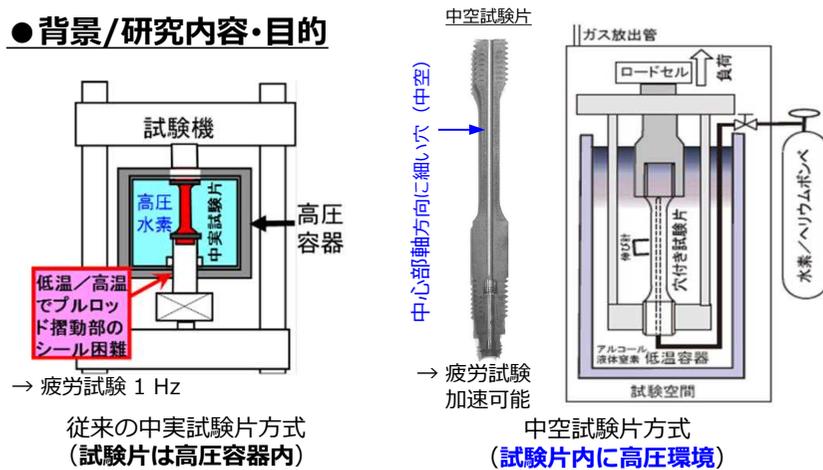


●背景/研究内容・目的



高圧水素中材料試験費用の低減及び試験期間の短縮のために標準的な試験方法として**中空試験片高压水素中材料試験法 (SSRT・疲労)**を確立する。

●研究目標

実施項目	目標
(I) 中空 SSRT	① 試験片形状及び試験条件の標準化に関する研究 ・試験条件の最適化を行う (2020年度) ・ラウンドロビンテストを行う (2020年度) ・中空試験の簡素化を図る (2022年度)
	② 中実試験片との相関確認 中空と中実試験片間のデータの相関関係を明らかにする (2020年度)
	③ 規格化に向けた調査研究 規格案を作成する (2020年度) 簡素化附属書案を作成する (2022年度)
(II) 中空疲労	① 試験片形状及び試験条件の標準化に関する研究開発 保持時間や繰り返し速度等の影響評価を行い、中空試験片での疲労試験条件を確定 (2022年度)
	② 中実試験片との相関確認 中空と中実試験片間のデータの相関関係を明らかにする (2021年度)
	③ 規格化に向けた調査研究 規格案を作成する (2022年度)

●これまでの実施内容/研究成果

(I) 中空SSRT

- ・中空内表面仕上げ状態の異なる中空試験片でSSRTを実施。中実試験片データと比較した結果、中空内表面は原則として研磨仕上げとすることを確定。
- ・内径/外径寸法の異なる中空試験片でSSRTを実施し、中実試験データと比較した結果、中空試験片平行部の外径は原則として4~8mmの範囲、内径は1mm~2mmの範囲とする目処をつけた。
- ・中空試験片高压水素中低ひずみ速度引張試験(SSRT)法の原案と解説案を作成。**規格原案に基づき、三機関でラウンドロビン試験を行い、同様の試験結果を得ることができるとを検証した。**

◎日本高压力技術協会 (HPI) への提案

- 提案説明： 2021年4月22日のHPI理事会 (Web会議)
 審 議： HPI内に臨時専門委員会を設置することが承認された。
 * ISO/TC164 (金属材料の機械的試験) SC1 (単軸試験) への提案
 中空試験片SSRTは2024年に規格発行見込み。

(II) 中空疲労

- ・105MPa水素ガスを中空に封入した上で室温、10Hzで引張-圧縮疲労試験を実施し、中空試験片による疲労試験への適用可能性を確認した。
- ・**SUS316L, SNCM439の室温試験において、中実データとほぼ同等の結果が得られ始めている。**

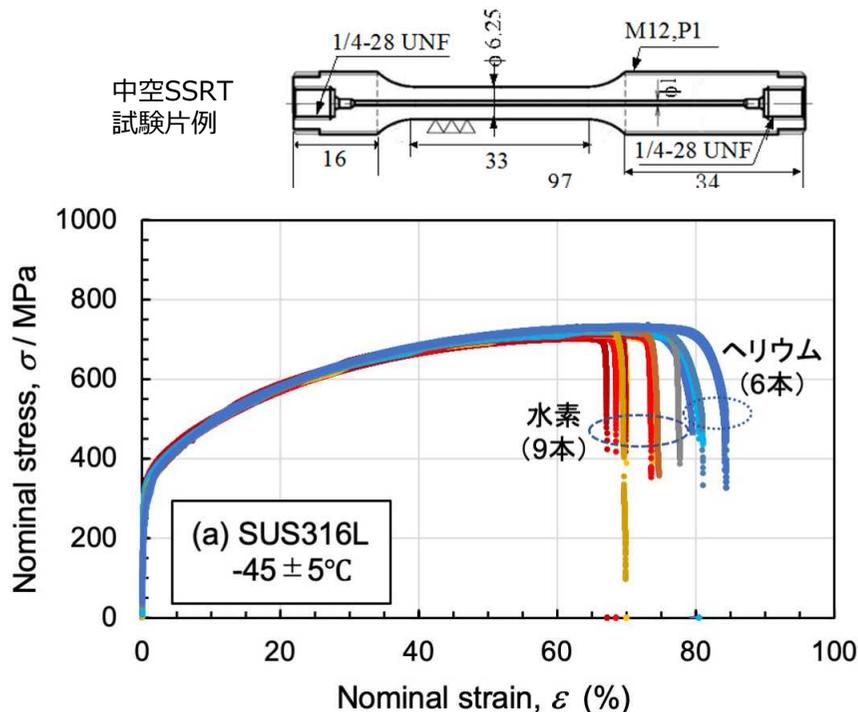
●今後の課題

- ・中空試験片形状の許容範囲は、低温データに基づいた検証も行った上で決定する必要がある。
- ・疲労試験では、中実試験片データとの比較を行うとともに、繰り返し速度の影響等検証するためのデータ取得・蓄積が重要。

→ 規格案の作成

連絡先
 国立研究開発法人物質・材料研究機構
 E-mail: ONO.Yoshinori@nims.go.jp
 TEL: 029-859-2335

中空低歪み速度引張試験(SSRT)ラウンドロビン試験結果 - SUS316L -



RRTの全試験片の公称応力-公称ひずみ線図（以下、応力-ひずみ線図）
 公称ひずみ(%)は、①低ひずみ側は伸び計のデータをもとにひずみを算出、
 ②高ひずみ側は100×(ストローク/平行部長さ(33 mm))をひずみとし、
 ①と②を繋ぐ部分では、②を①側にオフセットした。

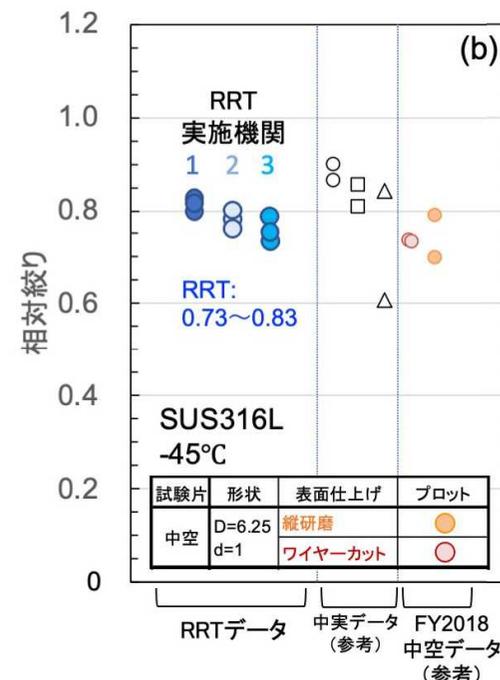
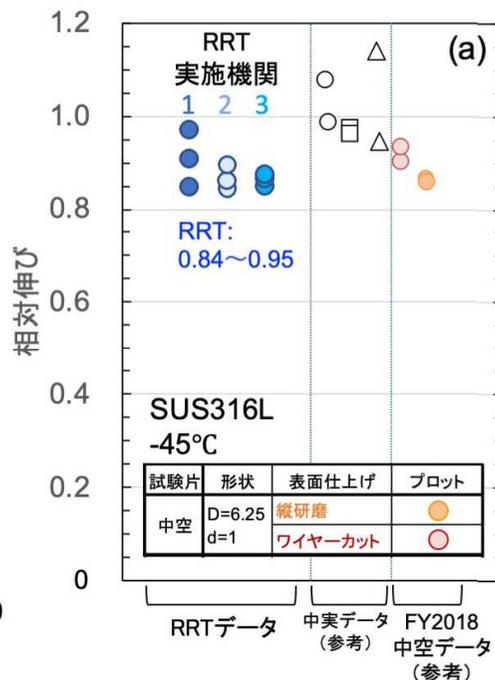
SUS316Lでは、引張強度付近までは、試験機関、試験片によらず、ほぼ同じ応力-ひずみ線図が得られた。

ヘリウム (He) 環境に比べて水素 (H₂) 環境では**早期破断**が起こり、この現象はどの機関でも確認された。

He: 伸びは74~78%、絞りは77~80% ばらつき小

H₂: 伸びは63~73%、絞りは57~66%

Heに比べて**ばらつき大**

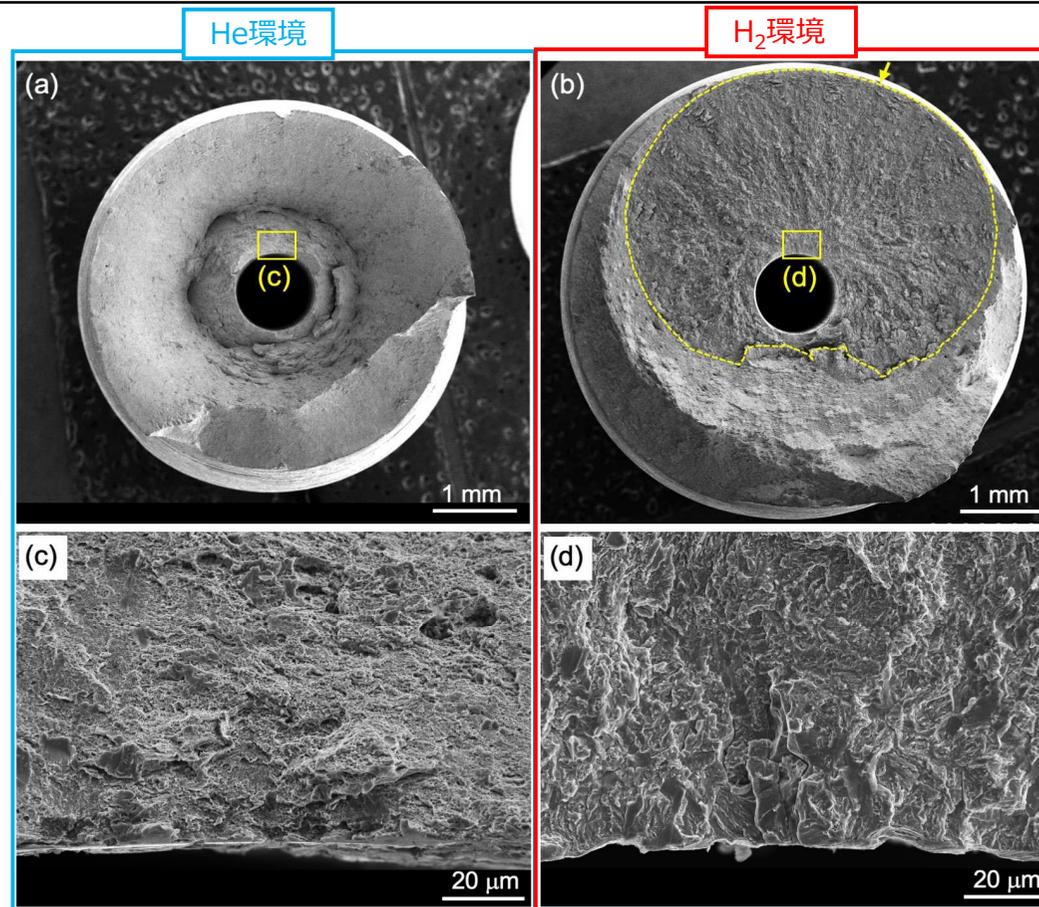
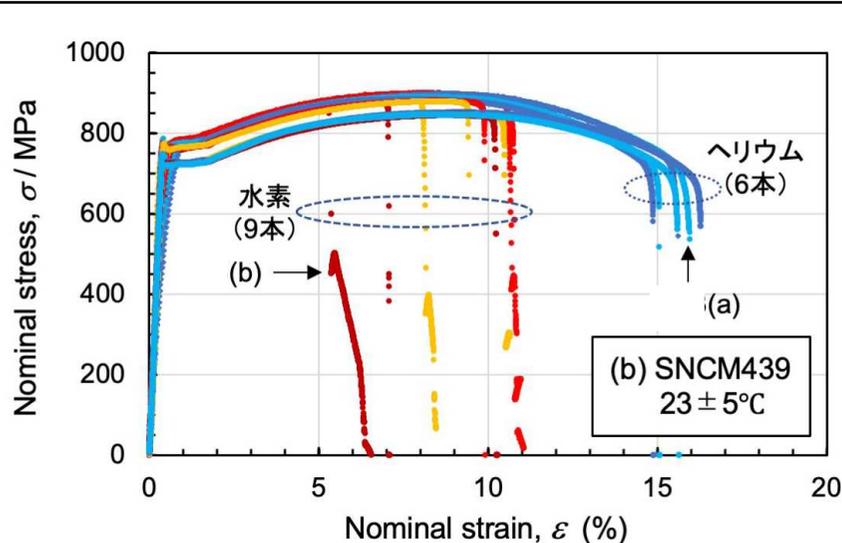


相対伸び(a)と相対絞り(b)を示す。「新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発」の事業で、同じ材料について中実試験片、高圧H₂環境で取得されたデータ、および本事業で、2018年度に中空試験片で取得したデータを示す。

RRT試験のデータは、相対伸び、相対絞りともに、**中実試験片のデータに比べて低く、厳しめ（安全側）の評価。**

中空試験片のデータは、全機関でほぼ同等の相対値。2018年度のデータも含めて再現性を確認できた。

規格原案に基づき、SSRT試験を行えば、異なる試験機関でも同様の試験結果を得ることができることを検証できた。



どの機関でも、ほぼ同じ応力-ひずみ線図が得られた。

He: 伸びは16~18%、絞りは50~56%。

H₂: 伸びは7.5~13%、絞りは24~34%。

H₂ で早期破断が起こり延性低下。一部極大値を示さずに早期破断。

中実試験片では室温、高圧水素環境の応力-変位線図で、極大値を示す。

中空試験片 **H₂** 早期破断の理由は今後検討。

He: 中空側から破壊して外側にシアーリップ → カップアンドコーン型破面(a)。中空付近は浅いディンプル(c)。

H₂: ①き裂が中空表面から発生し、外側表面に向かって進展(b)。破線で囲んだ領域は擬へき開破面 (d)。

②(b)中の黄色矢印付近でき裂が試験片表面に到達し**H₂**ガスは漏洩。破断していない破線外側領域は大気中で延性破壊し、シアーリップを形成。応力-ひずみ線図はこの破壊過程に対応して変化。

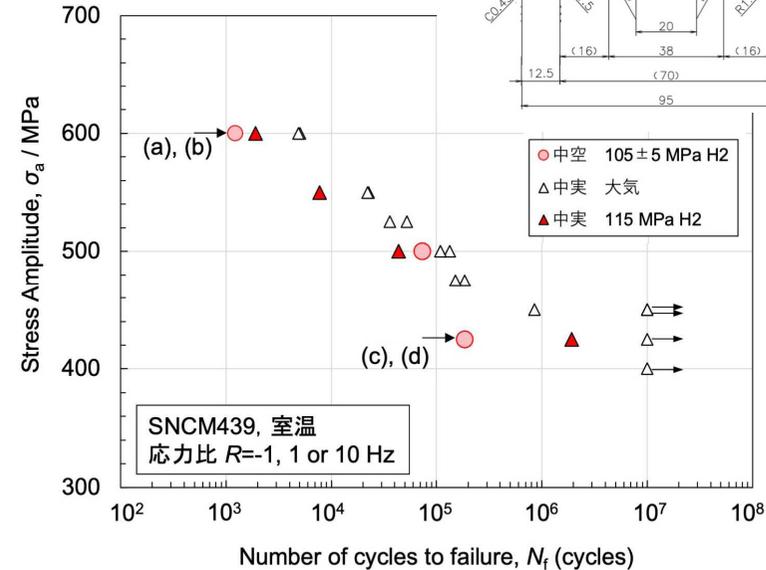
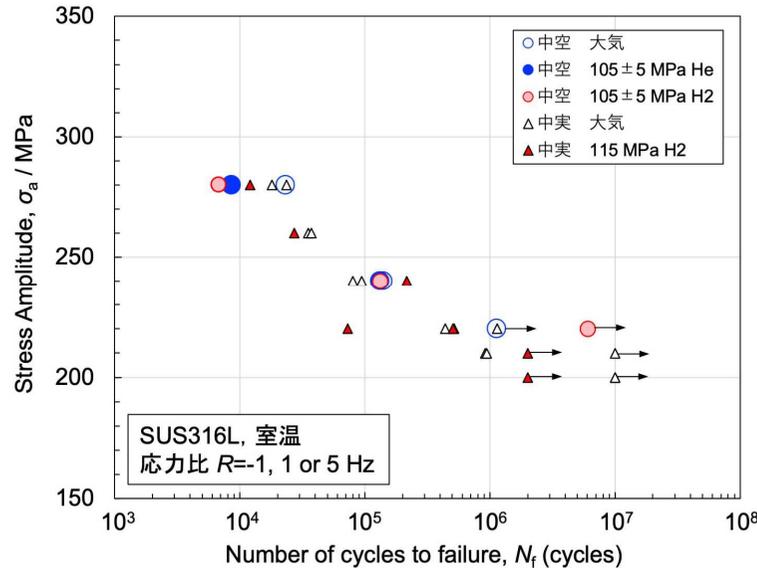
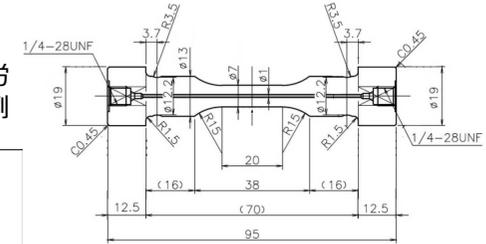
①で応力が低下し、②で一旦応力が上がった後破断。破断前にガスが漏洩した試験片に関して、伸びの評価でリーク後の変形量を考慮すべきかどうか検討。SUS316Lのように水素適合性が高い材料では、リーク後の変形量を考慮する必要はない。

絞りは、水素脆性を安全側で評価するため、破断部における最大径を使って算出した方がよいことが確認された。

中空疲労試験結果



中空疲労試験片例



「新たな水素特性判断基準の導入に関する研究開発」事業で、中実試験片で取得されたデータも示す。

「水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発」事業で、中実試験片で取得されたデータも示す。

○SUS316L

$\sigma_a = 280, 240$ MPa、大気中、He、 H_2 で大差無。中実試験片と同等。
 $\sigma_a = 220$ MPaにて、中実試験片では大気中、 H_2 環境とも有限寿命域。
 中空試験片では現状未破断のまま試験中。引き続きデータ取得。

○SNCM439

H_2 で、 $\sigma_a = 600, 500$ MPa、1 Hzでは、中実試験片データと同等。
 $\sigma_a = 425$ MPa、10 Hzでは、中実試験片データに比べて寿命が短い。

- (a) $\sigma_a = 600$ MPa 破断試験片では、中空表面からき裂が発生。
 - (b) 起点部付近は、いわゆる表面破壊。
 - (c) $\sigma_a = 425$ MPa 破断試験片でも中空表面からき裂が発生。
 - (d) 起点部には介在物 (Mg-rich酸化物)。
- $\sigma_a = 425$ MPaの試験では、中空試験片では介在物が疲労破壊の起点のため、中実試験片に比べ短寿命となったと判断される。N数を増やしながらかき裂発生を監視する。

