

2020年度 JPECフォーラム

新たな水素特性判断基準の導入に  
関する研究開発

2020年5月8日

一般財団法人石油エネルギー技術センター  
水素エネルギー部 水素利用推進室

—禁無断転載・複製 ©JPEC 2020—

**超高圧水素インフラ本格普及技術研究開発事業／  
国内規制適正化に関わる技術開発／  
新たな水素特性判断基準の導入に  
関する研究開発**

**【事業参加者一覧】**

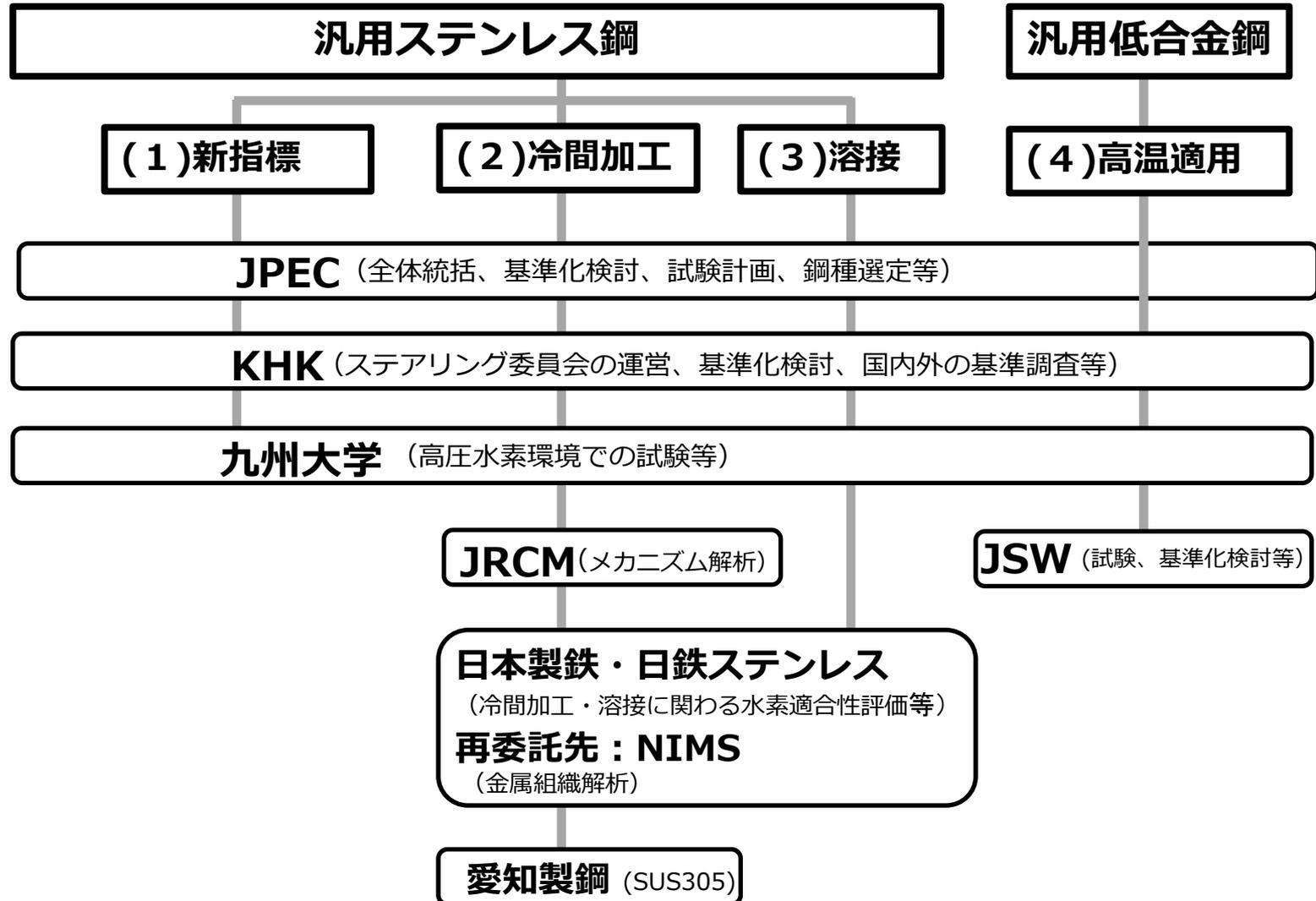
- 一般財団法人石油エネルギー技術センター（JPEC）
  - 高圧ガス保安協会（KHK）
  - 国立大学法人九州大学
- 一般財団法人金属系材料研究開発センター（JRCCM）
  - 日本製鉄株式会社
  - 日鉄ステンレス株式会社
  - 愛知製鋼株式会社
  - 株式会社日本製鋼所（JSW）
- 国立研究開発法人物質・材料研究機構（NIMS）

# 目次

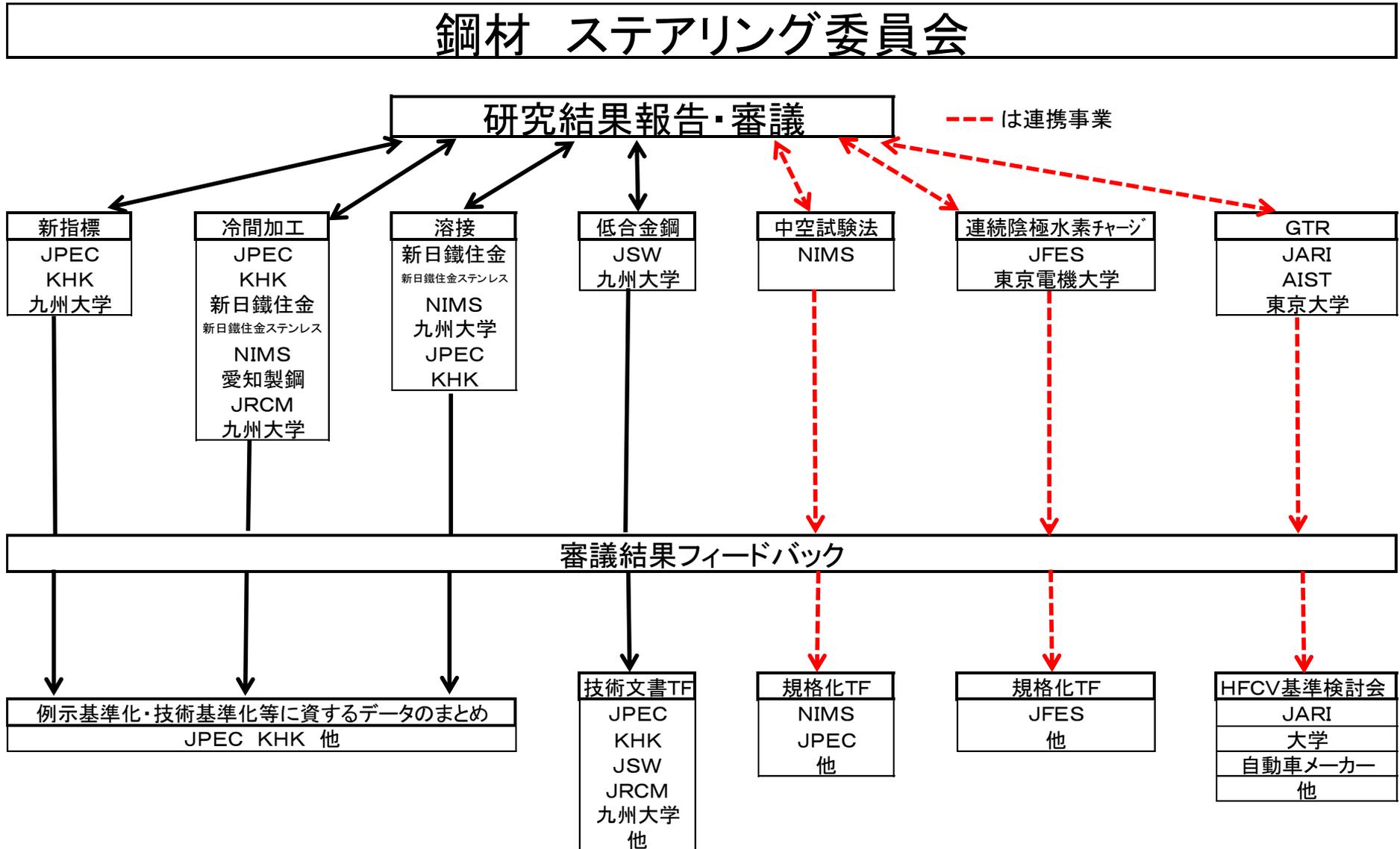
1. NEDO事業体制
2. 事業概要
3. アウトプットイメージ
4. 新指標進捗状況
5. 冷間加工進捗状況
6. 溶接進捗状況
7. 低合金鋼進捗状況
8. 2019年度成果

# 1. NEDO事業体制

# 1. NEDO事業の体制



# 1. NEDO事業 審議体制



## 2. 事業概要

## 2. 事業概要 業界要望対応

現状の水素スタンドでは様々な金属材料が使用されてるが、インフラ業界からの要望を受け、現在、NEDOの研究開発事業において、以下の鋼材につき、例示基準の改正等に向けたデータ取得を進めている。

金属材料	材料の種類	使用機器	業界要望
ステンレス鋼	<b>SUS316系</b>	継手、配管等	例示基準の改正 冷間加工材の基準化 溶接の技術文書化
	<b>SUS304、305系</b>	継手、配管等	例示基準化
低合金鋼	<b>SNCM439</b>	蓄圧器等	技術基準の高温化改正

## 2. 事業概要 (2018年度～)

### (1) 汎用ステンレス鋼

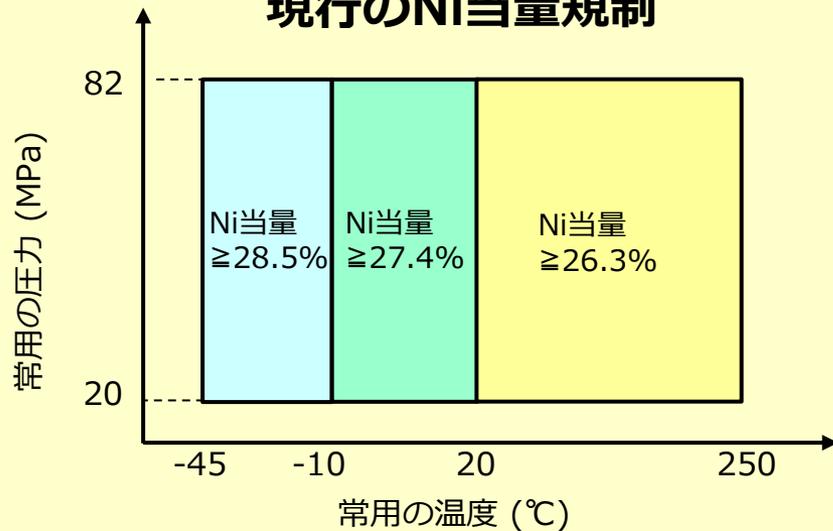
水素ステーションで使用可能な材料の範囲を拡大 (下図)

使い方の拡大

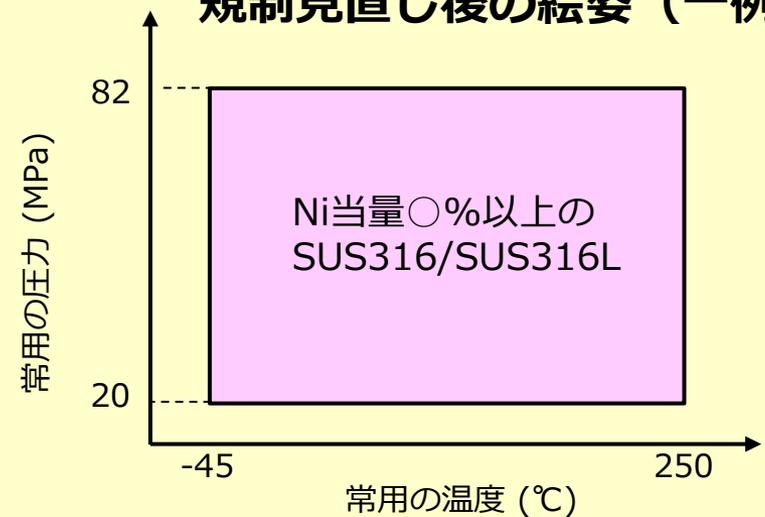
冷間加工

溶接

現行のNi当量規制



規制見直し後の絵姿 (一例)



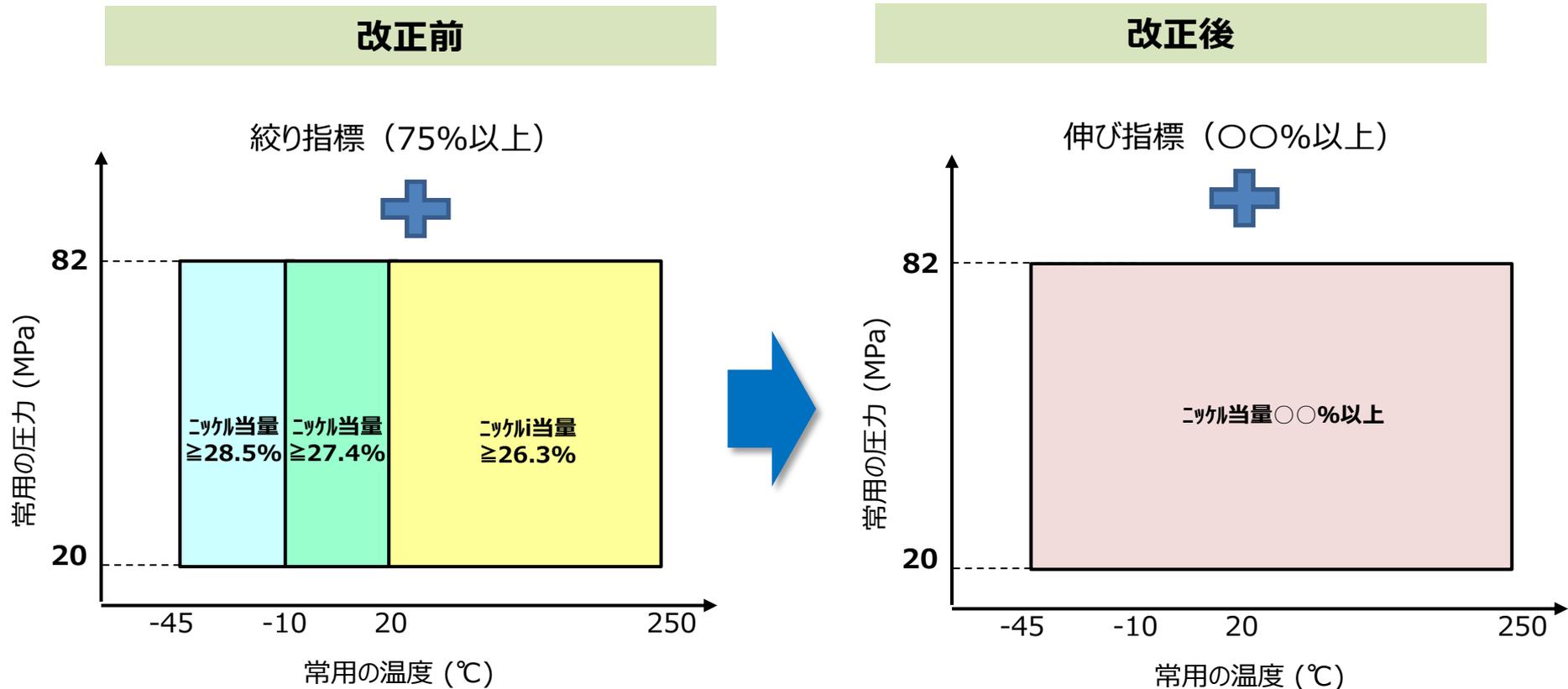
### (2) 汎用低合金鋼

前事業で作成した低合金鋼技術文書の高温側への適用範囲拡大  
(現状は蓄圧器のみ ⇒ 圧縮機まで拡大)

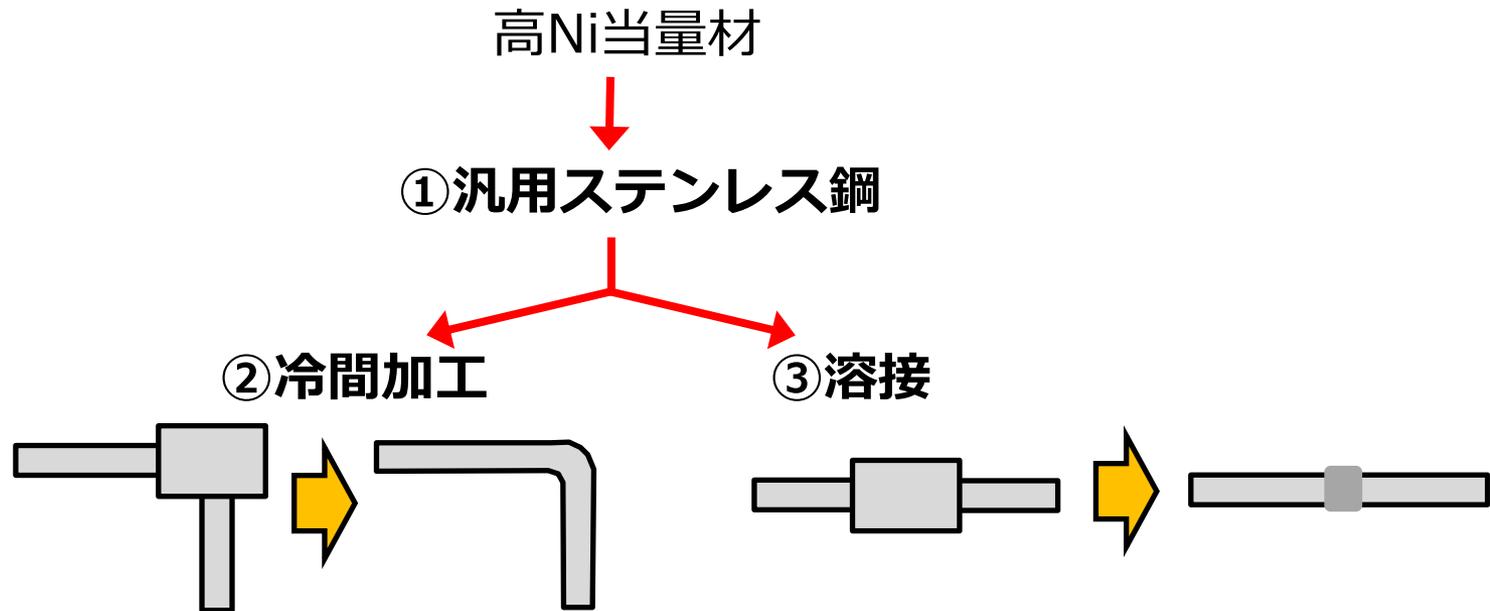
## 3. アウトプットイメージ

# 3. 例示基準改正後のアウトプットイメージ

業界の要望する例示基準の改正アウトプットイメージは以下のとおり。  
温度による区分を無くした上で、よりニッケル当量が高い材料を例示基準とする。



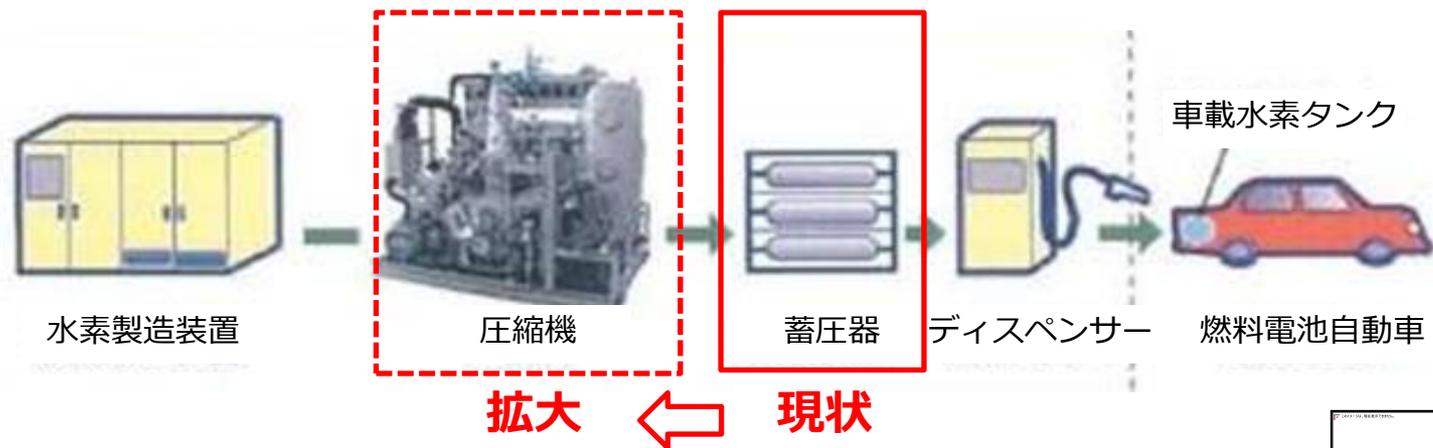
# 3. 冷間加工・溶接のアウトプットイメージ



曲げ加工、溶接による機械継手削減 ⇒ 水素漏洩リスク低減

	①汎用ステンレス鋼	②冷間加工	③溶接
建設コスト	低減	機械継手代替	機械継手代替
維持コスト	—	大幅低減	大幅低減
備考 (理由)	安価な量産流通材の使用により、調達期間の短縮・価格低減効果を期待	信頼性向上 機械継手等の接合が不要となり、漏洩等の不具合減少	信頼性向上 機械継手に代替することで漏洩等の不具合減少

### 3. 汎用低合金鋼のアウトプットイメージ



#### ① 低合金鋼技術文書の適用範囲拡大を目指す

現行適用範囲 蓄圧器

⇒ 改訂後適用範囲 蓄圧器 + 圧縮機

JPECTD0003  
へ追加

#### ② KHKS0220改正におけるデータの提供

⇒ 超高圧設備の特認 & 事前評価の容易化

## 4. 新指標進捗状況

# 4. 伸びを指標とする新たな判断基準の考え方

## ①材料選定における大前提

安全に水素スタンドで使用する材料には、高圧水素環境で材料の「伸び」、  
「引張強さ」の機械的特性を指標とする判断基準で材料選定が行える。

**安全の確保**：高圧水素環境中での「伸び」 & 「引張強さ」 $\geq$  材料規格値

## ②これまでの考え方（現行例示基準策定時の検討）

平成24年の例示基準化に向けた検討を行った時点では、

- ・「伸び」のデータの蓄積が十分でなかった
- ・「伸び」データの信頼性が検証されていない

状況であったため、精度の確認されている「絞り」を判断基準とした例示基準化を図った。

**安全の確保**：「絞り」指標 $\Rightarrow$ 「絞り」・「伸び」・「引張強さ」 $\geq$  材料規格値

（NASAの研究を端緒とする歴史的、定性的な考え方）

# 4. 伸びを指標とする新たな判断基準の考え方

## ③新たな判断基準の考え方

平成24年度の例示基準制定以降、「伸び」のデータが蓄積された。更に「伸び」データの信頼性が検証できれば、本来の材料選定の「伸び」を高圧水素環境中における材料選定の判断基準の指標とすることができる。

現NEDO事業において「伸び」データの信頼性検証を行った（次ページ参照）。  
⇒ 「伸び」を安全確保の指標とすることが可能となった。

**安全の確保**：高圧水素環境中での「伸び」 & 「引張強さ」 $\geq$  材料規格値

⇒例示基準化に向けて、高圧水素環境中で「伸び」と「引張強さ」の材料規格値を確保できる「ニッケル当量」の下限值の見極めを進めている。

# 4. ステンレス鋼及び金属の機械的特性について

- ステンレス鋼は、ニッケル、クロムなどを合金成分とする材料であり、各合金成分の量に応じて強度や延性の水素感受性が変化するという性質を有する。
- 以上より、ステンレス鋼の水素特性は、「ニッケル含有量」及び「機械的特性」をパラメータとする判断基準で検証できる。
- 金属の機械的特性には、「絞り」、「伸び」、「引張強さ」といった指標が存在する。

## 金属の機械的特性について

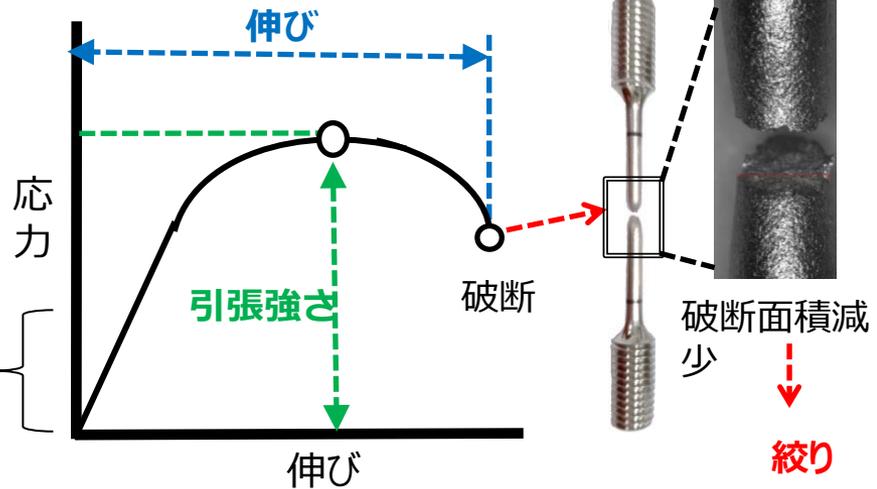
【引張試験】



試験片を矢印の方向に引張り、破断時の状態を観測する。

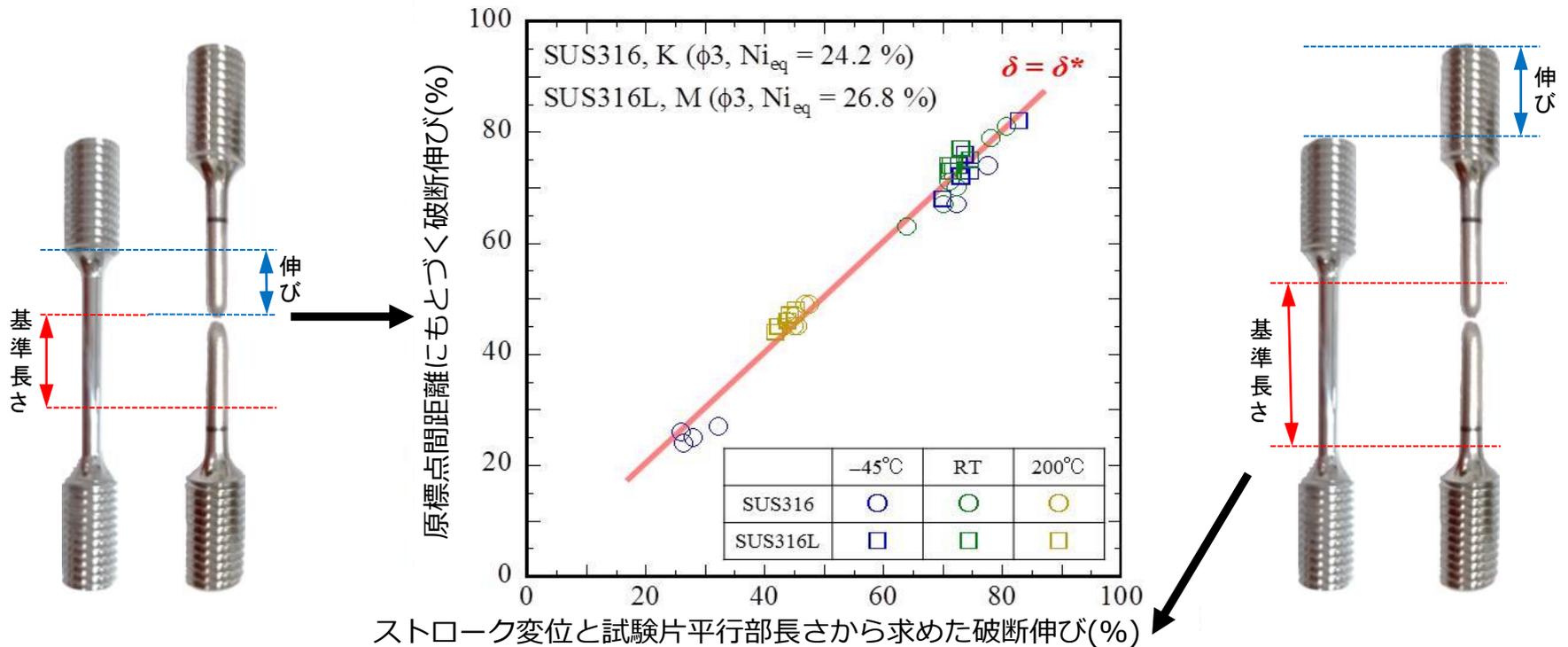
設計する応力の範囲

【引張試験による水素特性評価方法のイメージ】



# 4. 「伸び」データの信頼性の検証

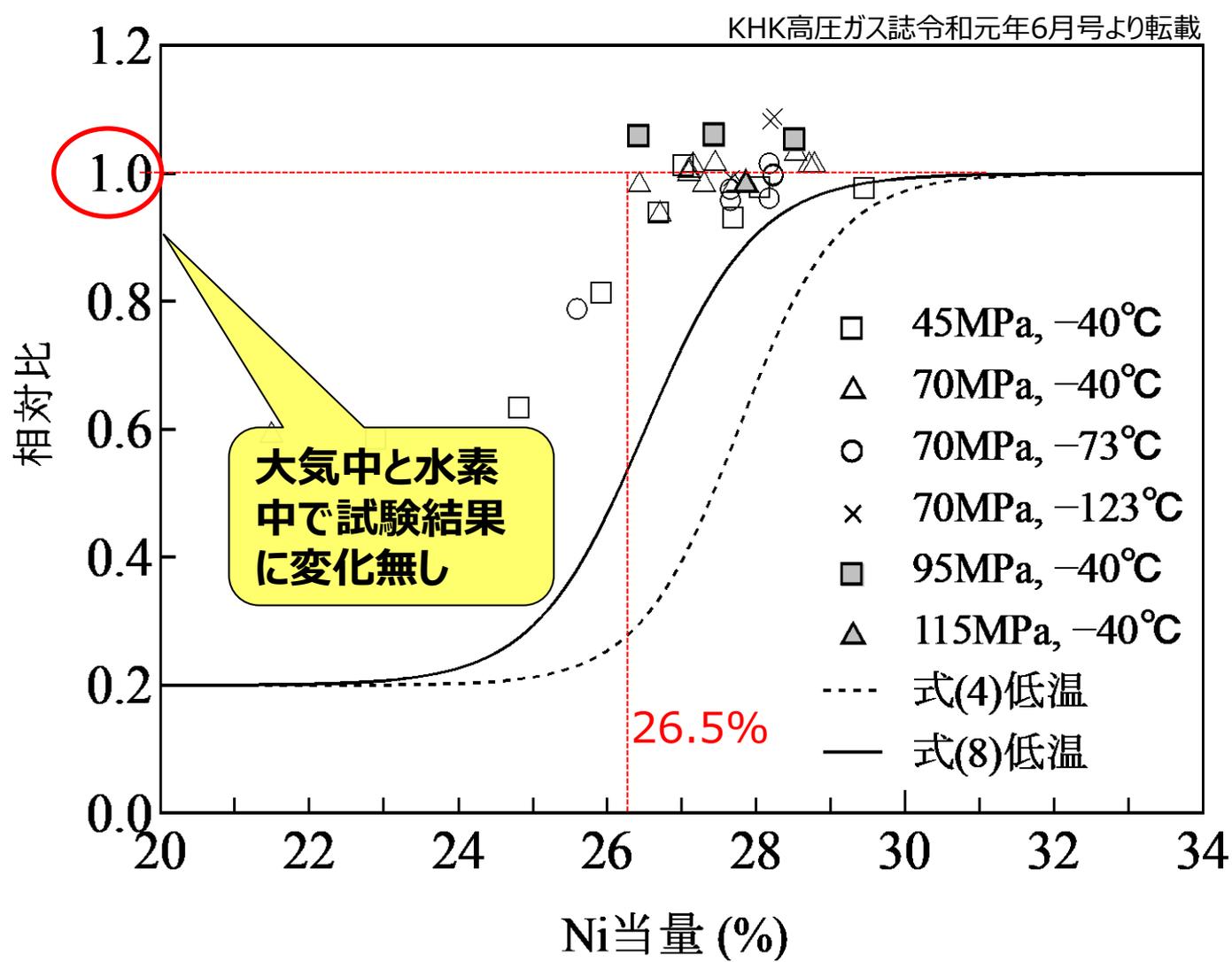
「伸び」の算出方法の違いによる影響はないことを確認できた。  
⇒既知の「伸び」データの信頼性が検証できた。



伸びの評価試験方法の違いによる相関の検討

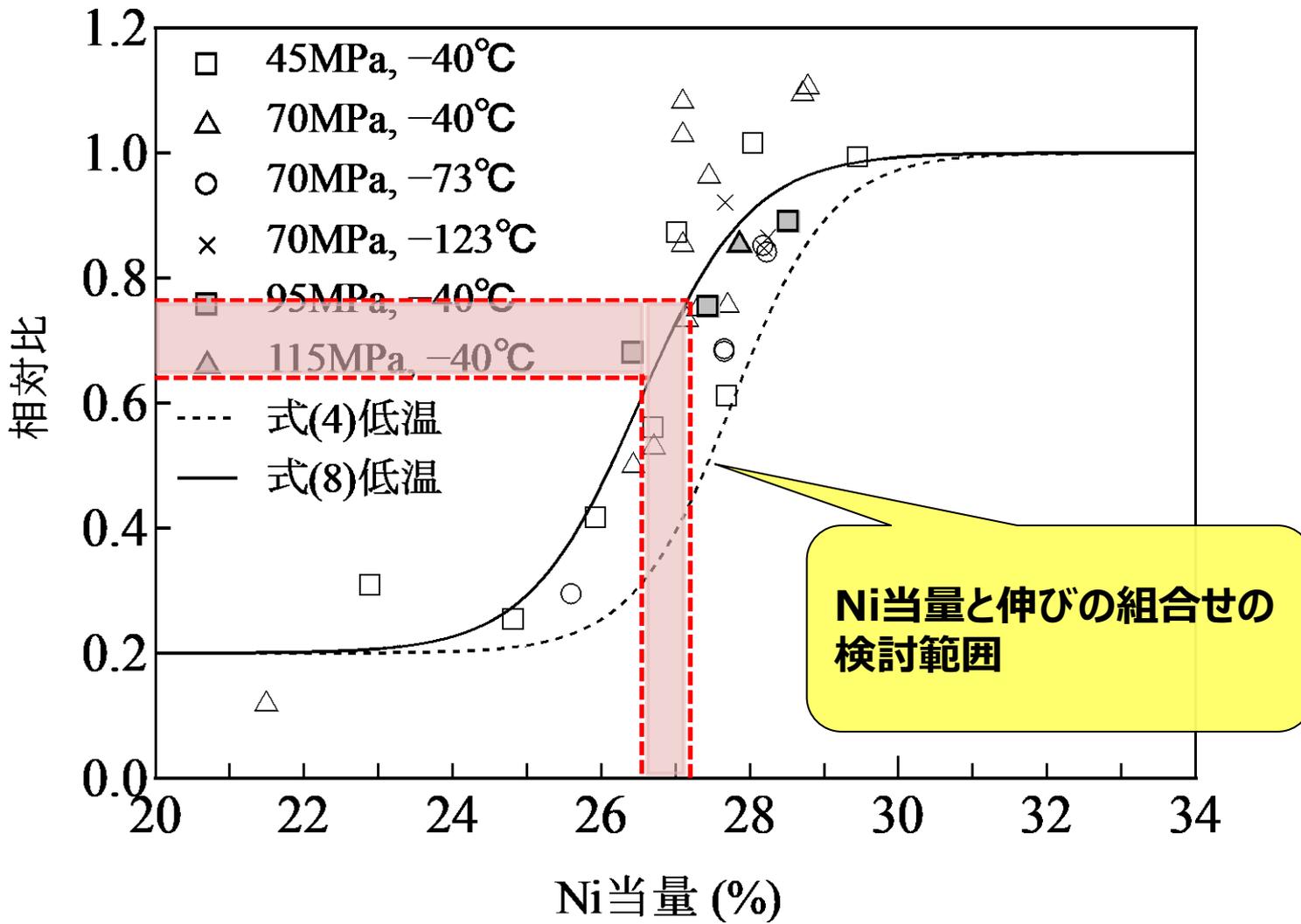
# 4. 引張強さとニッケル当量の水素適合性の相関

Ni当量が26.5%以上であれば、高圧水素環境中において、必要な「引張強さ」を確保できる。



# 4. 【伸びとNi当量の水素適合性の相関】

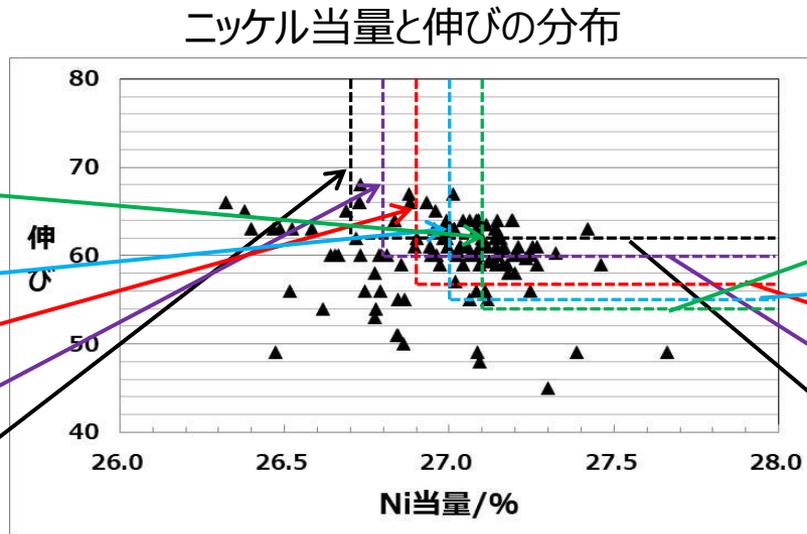
Ni当量と伸びの相関については、入手性、SSRT、疲労試験等の結果分析により、必要な水素特性が確保できる範囲の詳細について検討した。



# 4. ニッケル当量と伸びの組合せの検討結果

- 前スライドでお示した「検討範囲」において、ニッケル当量と伸び実態を調査し、種々の組合せでの市中からの入手性を検討した。

必要特性の組合せ*	
ニッケル当量	伸び
27.1%以上	54%以上
27.0%以上	55%以上
26.9%以上	57%以上
26.8%以上	60%以上
26.7%以上	62%以上



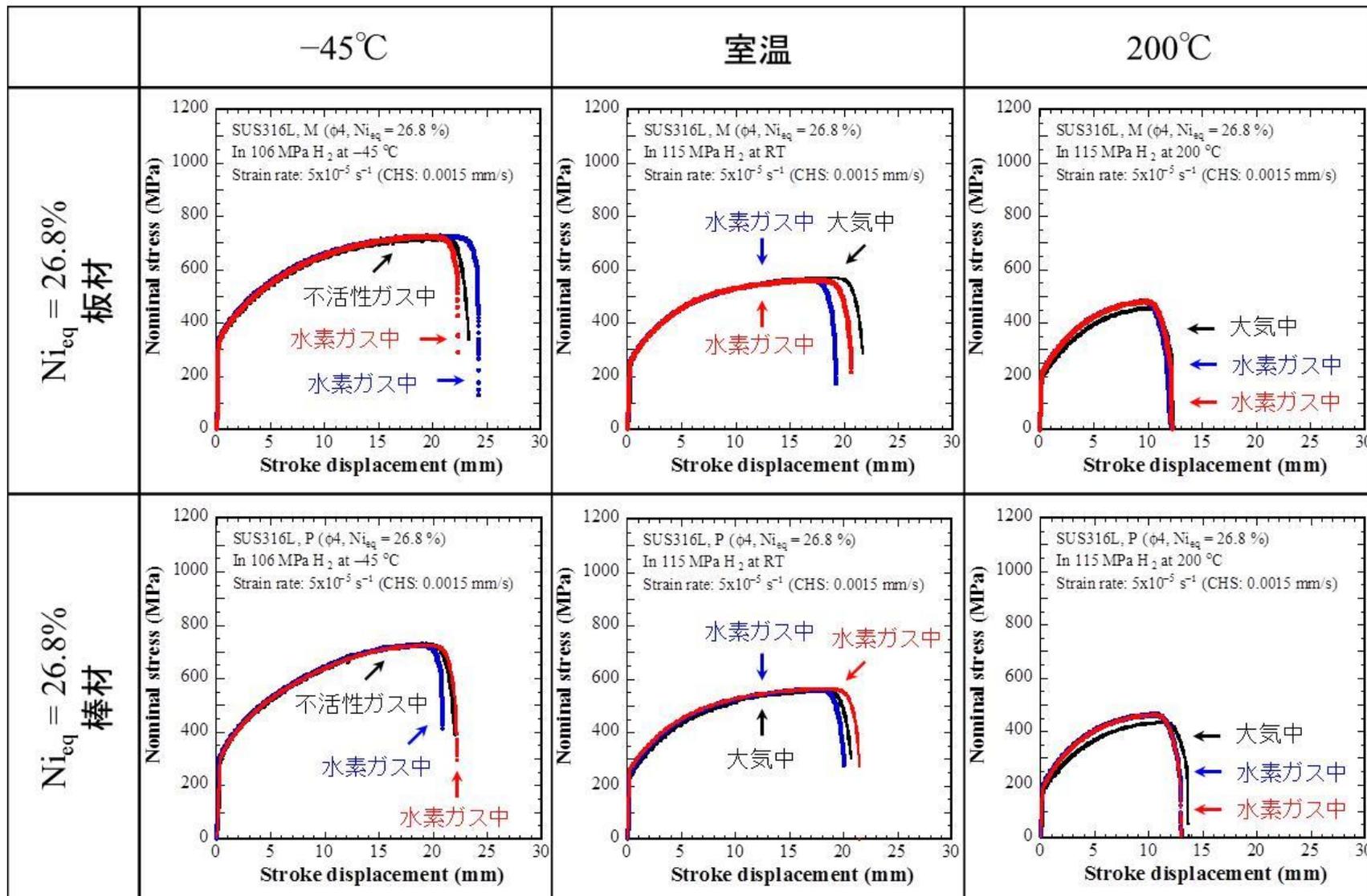
入手確率**
30%
52%
58%
51%
29%

\* 上記ニッケル当量と伸びの組合せにおいては、「伸び」、「引張強度」共にJIS規格以上であり、高圧水素中で安全に使用できる。

\*\* 収集したミルシート中で必要特性の条件に合致した割合

**結果：入手確率の最も高いニッケル当量26.9%以上かつ伸び57%以上の材料を例示基準化する方針とした。**

# 4. 高圧水素環境中での引張試験結果



素材形状(板材・棒材)による水素中機械的特性の変化は認められない

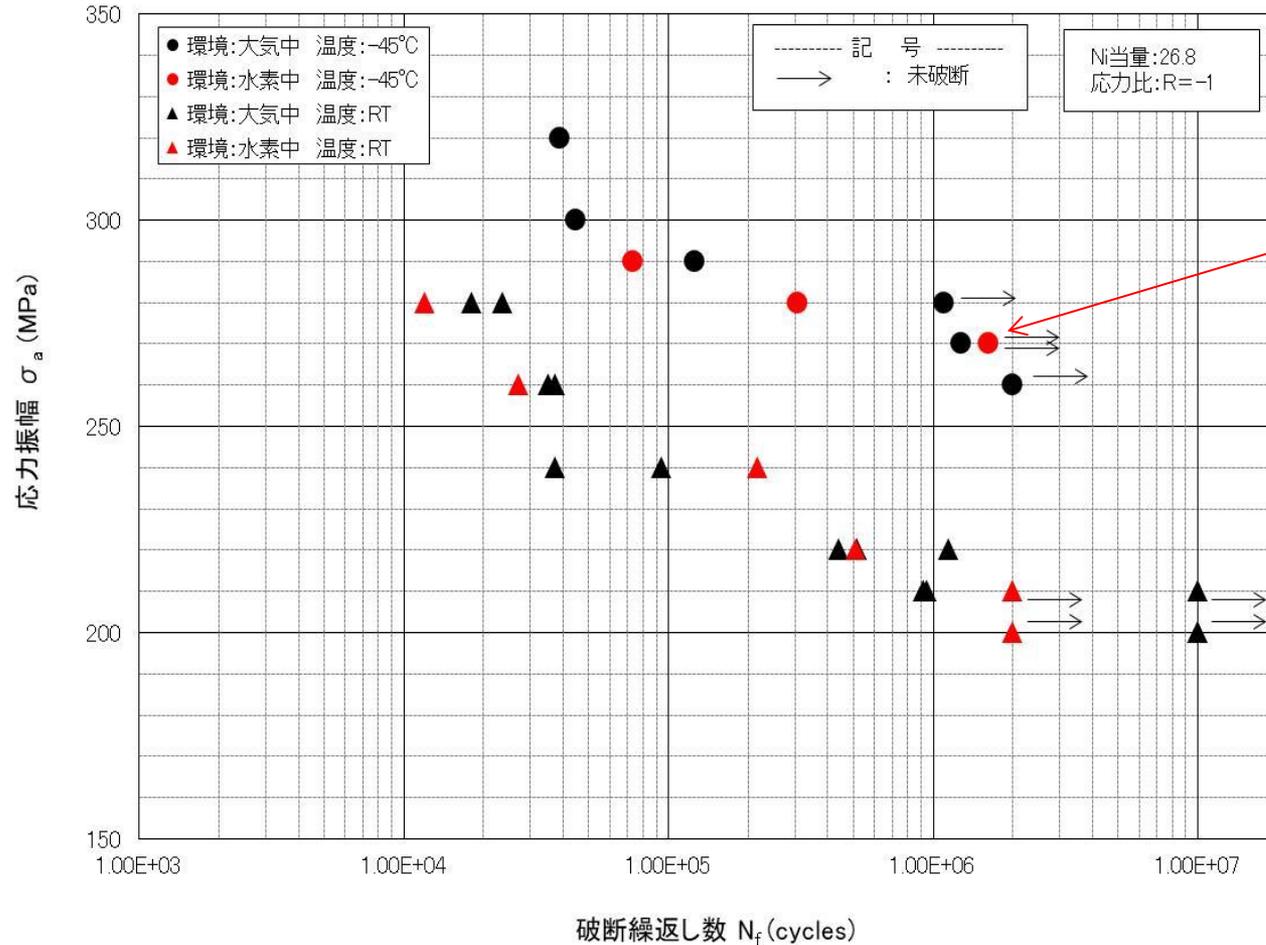
## 4. 水素環境SSRTにおける破断する伸びの判定

Ni当量26.8%以上の市販材では、水素環境低温SSRTデータにおいて、市販材で一様伸び（負荷が極大値を示す前）で破断するデータは確認されていない。

Ni当量%	極大値判定	SSRT条件	備考
26.7	×	-40℃、70MPa	φ3、板
26.8	○○	-45℃、106MPa	φ4、板材、鏡面仕上げ
26.8	○○	-45℃、106MPa	φ4、棒材、鏡面仕上げ
26.8	○○	-45℃、106MPa	φ3、板材、鏡面仕上げ
26.8	○△	-45℃、106MPa	φ3、板材、縦磨き
27.2	○○○	-40℃、90MPa	φ4、棒材、鏡面仕上げ

# 4. 水素中での疲労限度

-45°C水素中、応力振幅270MPaにて、161.5万サイクル（未破断）を達成。



161.5万サイクル

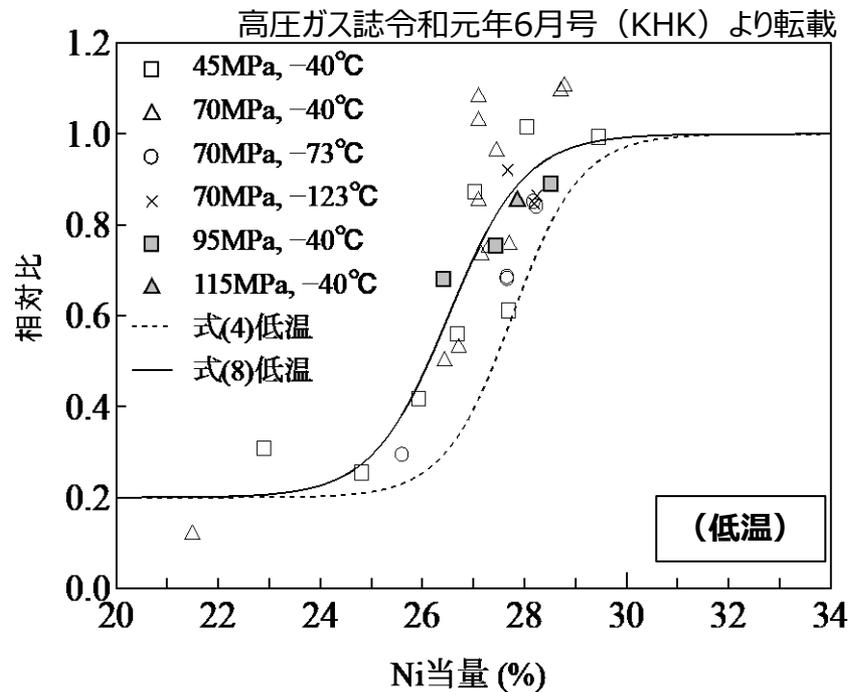
疲労限度が低下しないことも確認



# 4. 管・鍛鋼に関する検討

機械的特性の規格値が棒、板と異なる管・鍛鋼  
⇒成型後の熱処理は固溶化熱処理（JISで規定）  
⇒棒と組織が同じであり棒の遷移曲線が流用できる

## 遷移曲線（RELとNi当量の関係式）



遷移曲線：

引張試験の母材は棒

# 4. ニッケル当量と伸びの組合せの検討結果

SUS316系の鋼材には

- ① 圧力容器用ステンレス鋼鍛鋼品
- ② 配管用ステンレス鋼管
- ③ ステンレス鋼棒
- ④ 熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯
- ⑤ 冷間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯

伸び規格値

- ⇒鍛鋼 29%
- ⇒管 35%
- ⇒棒 40%
- ⇒板 40%
- ⇒板 40%

の5種類があり、それぞれにJIS規格の伸びが規定されている。

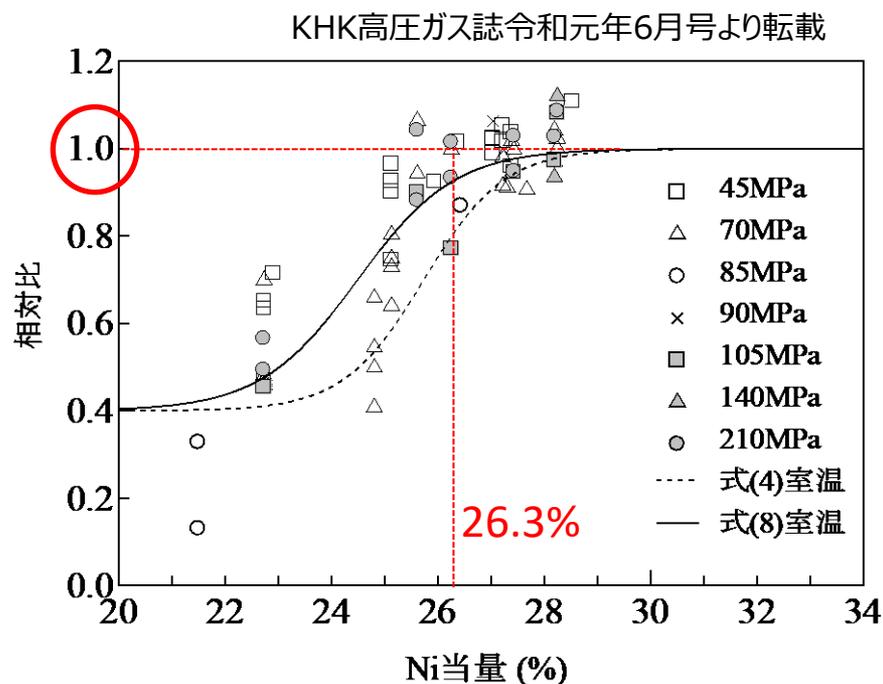
図2に示した「伸びとニッケル当量の水素適合性の相関」から、ニッケル当量26.9%でのそれぞれの鋼種で、高圧水素中で安全に使用できる必要な伸びを決定した。

鋼材の種類による必要な伸びの検討結果

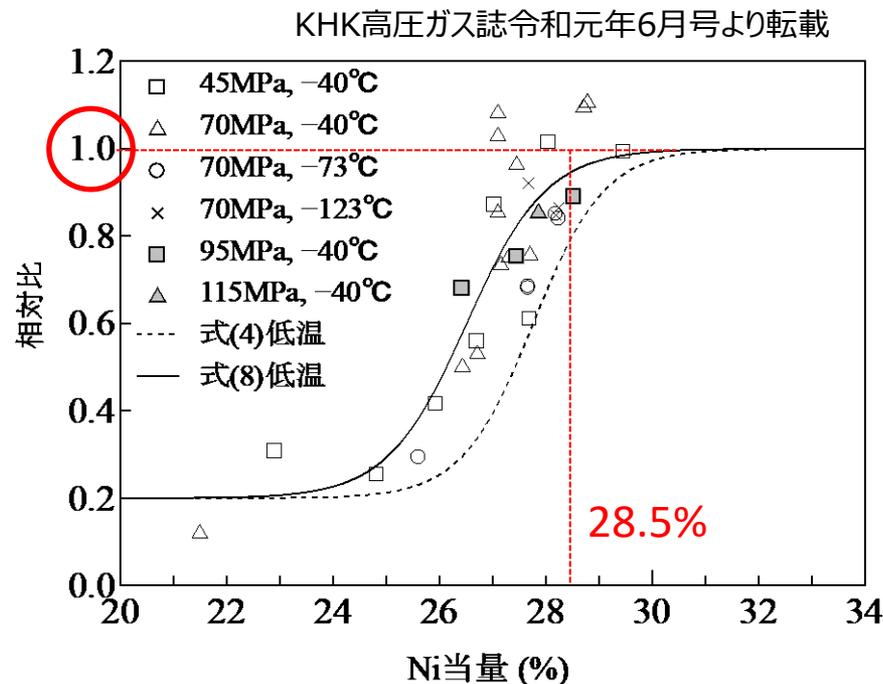
種類	ニッケル当量	必要伸び
棒・板	26.9%以上	57%以上
管		50%以上
鍛鋼		42%以上

# 4. 現行例示基準の「絞り」から「伸び」指標への見直し

現状の例示基準のニッケル当量において、水素の影響を受けた材料の「伸び」値が、JIS規格を満足していることが確認できた。



(a) 室温

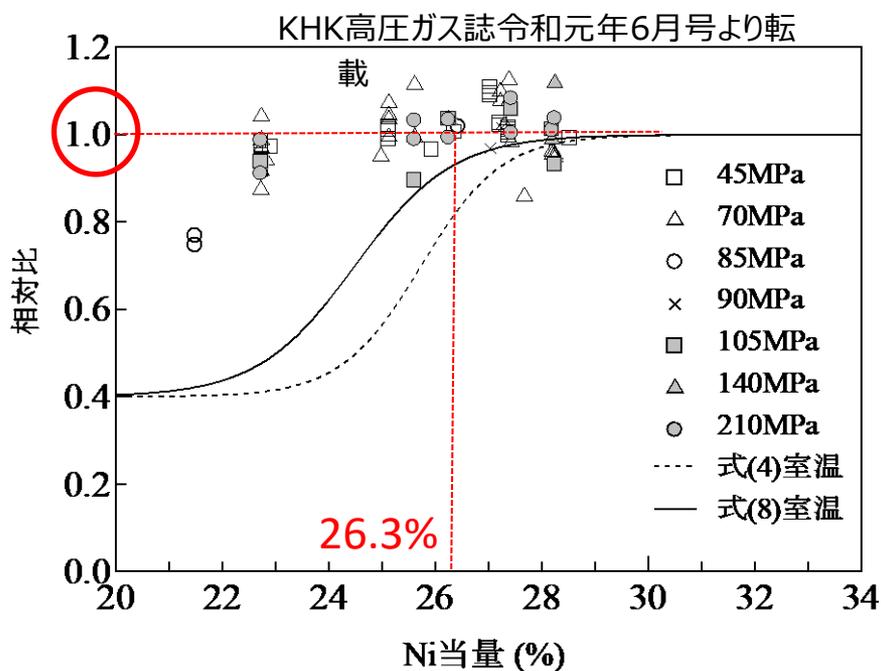


(b) 低温

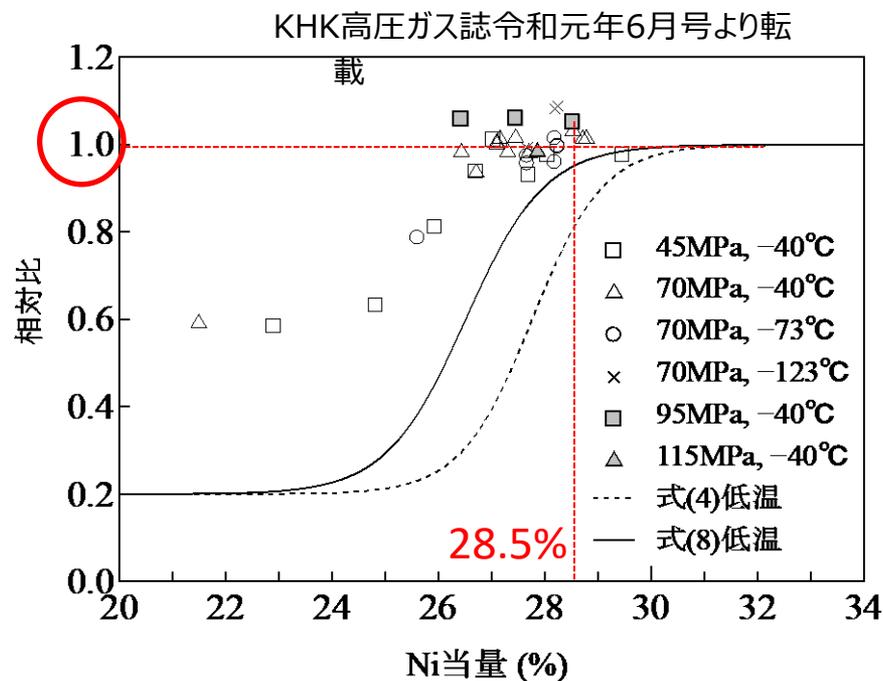
【伸びとニッケル当量の水素適合性の相関】

# 4. 現行例示基準の「絞り」から「伸び」指標への見直し

現状の例示基準のニッケル当量において、水素の影響を受けた材料の「引張強さ」値も、JIS規格を満足していることが確認できた。



(a) 室温



(b) 低温

【引張強さとニッケル当量の水素適合性の相関】

# 4. 現行例示基準の「絞り」から「伸び」指標への見直し

現行の絞り指標の例示基準を伸びを指標とする検討を行い以下の結論を得た

**-45℃以上：Ni当量28.5%以上であればJIS規格材であればよい。**

**-10℃以上：Ni当量27.4%以上であればJIS規格材であればよい。**

**20℃以上：Ni当量26.3以上%であればJIS規格材であればよい。**

→現行の例示基準では絞りは75%が要求されるが、改正により伸びの指標ではJIS規格である60%を確保していれば使用でき、材料選定の幅が広がる。

<-45℃以上>



必要特性	絞り 例示基準	伸び 例示基準
Ni当量	28.5	28.5
絞り	75	60 JIS規格
伸び	JIS規格	JIS規格
強度	JIS規格	JIS規格

<-10℃以上>



必要特性	絞り 例示基準	伸び 例示基準
Ni当量	27.4	27.4
絞り	75	60 JIS規格
伸び	JIS規格	JIS規格
強度	JIS規格	JIS規格

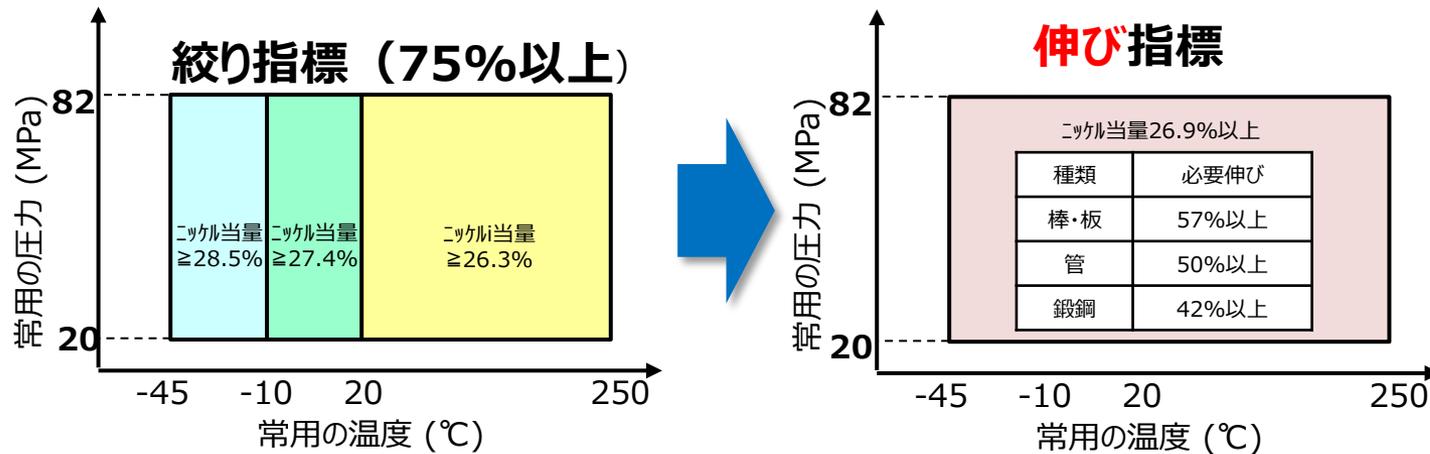
<20℃以上>



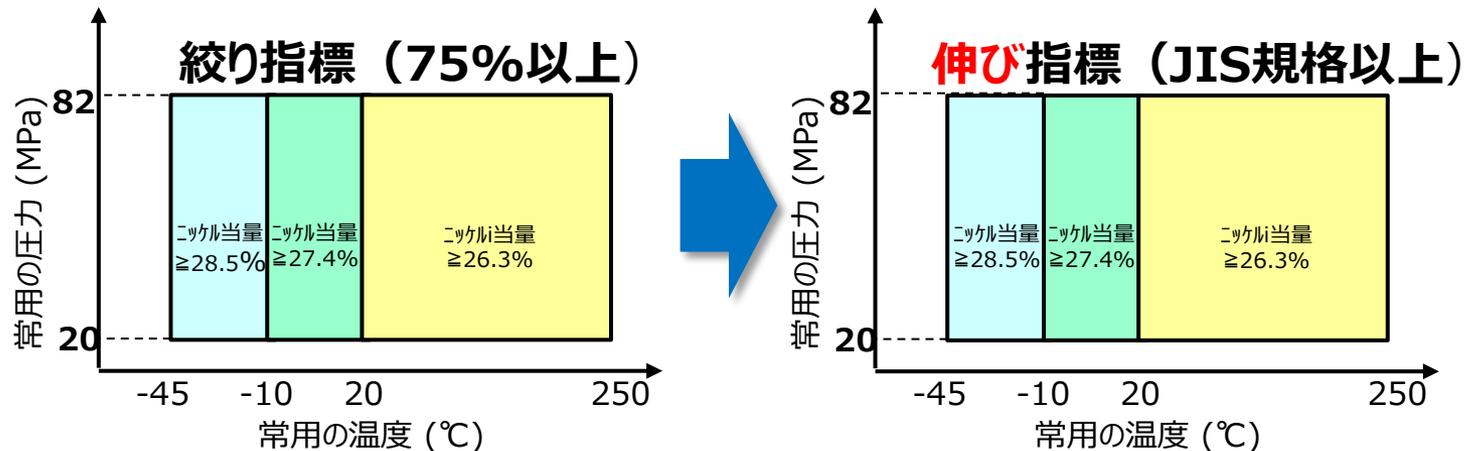
必要特性	絞り 例示基準	伸び 例示基準
Ni当量	26.3	26.3
絞り	75	60 JIS規格
伸び	JIS規格	JIS規格
強度	JIS規格	JIS規格

# 4. 例示基準化の改正案

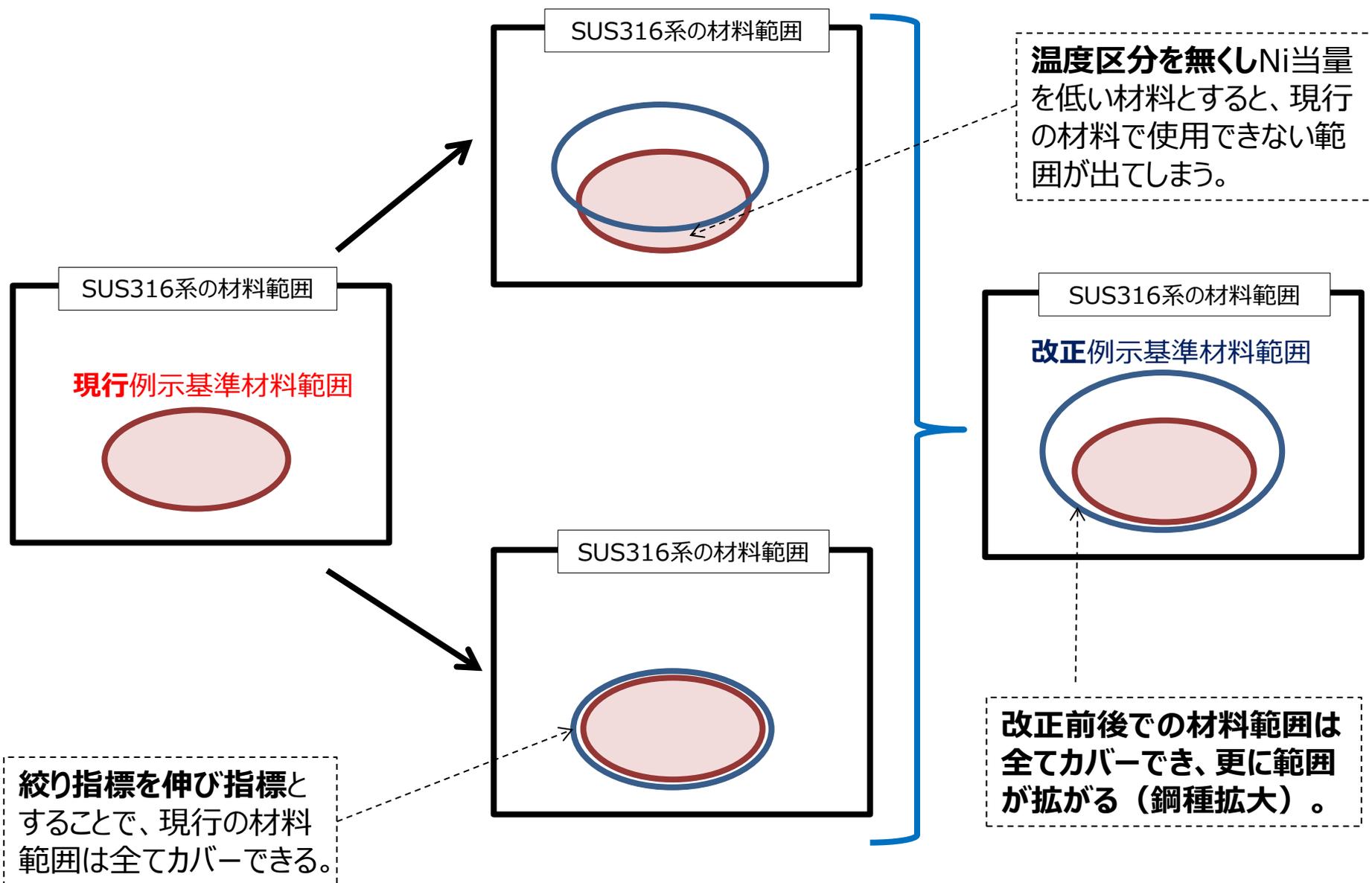
① : 温度区分を無くし、ニッケル当量が低い材料での例示基準化を図る。



② : 現行の「絞り」指標の例示基準を「伸び」指標の例示基準に改正する。



# 4. 例示基準改正における鋼種圏拡大のイメージ



# 4. 例示基準改訂イメージ

材料の種類	規格材料の引張試験又は ミルシートにおける伸び	常用の圧力：82MPa 以下 における常用の温度	ニッケル当量（注 1）
JIS G3214(2009)圧力容器用ステンレス鋼鍛鋼品 (SUSF316、SUSF316Lに限る。)	42%以上	-45℃以上 250℃以下	26.9 以上
	上記以外	-45℃以上 250℃以下	28.5 以上
		-10℃以上 250℃以下	27.4 以上
		20℃以上 250℃以下	26.3 以上
JIS G3459(2004)配管用ステンレス鋼管 (SUS316TP、SUS316LTPに限る。)	50%以上	-45℃以上 250℃以下	26.9 以上
	上記以外	-45℃以上 250℃以下	28.5 以上
		-10℃以上 250℃以下	27.4 以上
		20℃以上 250℃以下	26.3 以上
JIS G4303(2005)ステンレス鋼棒 (SUS316、SUS316Lに限る。(注 2) ) JIS G4304(2010)熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯 (SUS316、SUS316Lに限る。) JIS G4305(2010)冷間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯 (SUS316、SUS316Lに限る。)	57%以上	-45℃以上 250℃以下	26.9 以上
	上記以外	-45℃以上 250℃以下	28.5 以上
		-10℃以上 250℃以下	27.4 以上
		20℃以上 250℃以下	26.3 以上

(注 1) ニッケル当量は次式によって求めること。

$$\text{ニッケル当量 (質量\%)} = 12.6 \times C + 0.35 \times Si + 1.05 \times Mn + Ni + 0.65 \times Cr + 0.98 \times Mo$$

ここで、C は炭素、Si はケイ素、Mn はマンガン、Ni はニッケル、Cr はクロム及び Mo はモリブデンの各質量分率の値 (%) を示す。

(注 2) 但し熱間加工ままの状態を除く。

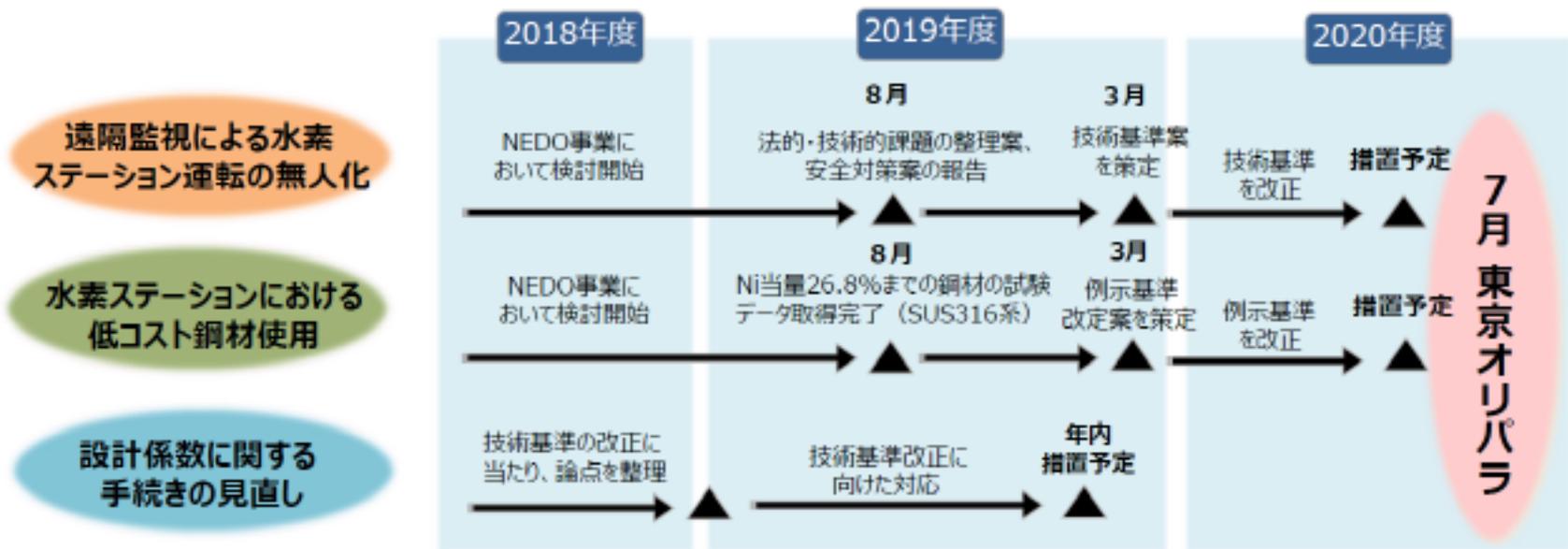
# 4. 例示基準化に向けたスケジュール

SUS316に係る例示基準改定に向けた検討のスケジュールは、以下のとおり。

工程	2019年							2020年			
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4~7
ステアリング委員会		7/30▽					12/23▽		2/25▽		
水素特性判断基準の採用	→										
鋼材の適用範囲の決定	→										
材料試験による検証	→										
Ni当量の決定					→						
例示基準に資する資料の作成					→						
例示基準化								→ ★			

# 4. 水素・燃料電池戦略ロードマップ<sup>o</sup> 2019.3.12

- 水素ステーションの整備費・運営費を低減させるため、安全確保を前提に、規制改革実施計画（2017年6月9日閣議決定）で掲げられている37項目の規制見直しを着実に進める。以下の主要3項目については、達成目標時期を下図のとおり定める。



## **5. 冷間加工進捗状況**

## 5. 冷間加工の検討方針

### 冷間加工の検討対象鋼種

鋼種	素材形状	加工方法	備考
SUS316系 SUS304系	配管・丸鋼棒・鋼板・	冷間圧延	従来知見における素材成形 方法と整合
SUS305	丸鋼棒(切削)	引抜き	良好な切削性 量産時を想定

# 5. 冷間加工SUS試験素材

★化学成分表(mass%)：狙い

180kg	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	N	Cu	Ni当量式 (平山)	Ni当量式 (三加)
SUS316	0.020	0.40	1.40	12.00	16.40	2.10	0.01	0.15	26.6	27.5
SUS316L	0.020	0.40	1.75	12.50	17.50	2.55	0.01	0.15	28.6	29.6
SUS304L	0.020	0.40	1.75	9.30	18.40		0.01	0.15	23.5	24.8
SUS304LN	0.020	0.40	1.75	11.00	18.40		0.20		25.2	27.9

★冷間加工率（肉厚減少率）

0%,20%,40%で変化させた最終板厚揃えた素材を試験用素材として作製。\*本NEDOPJ共通素材（SUS316,SUS316L）

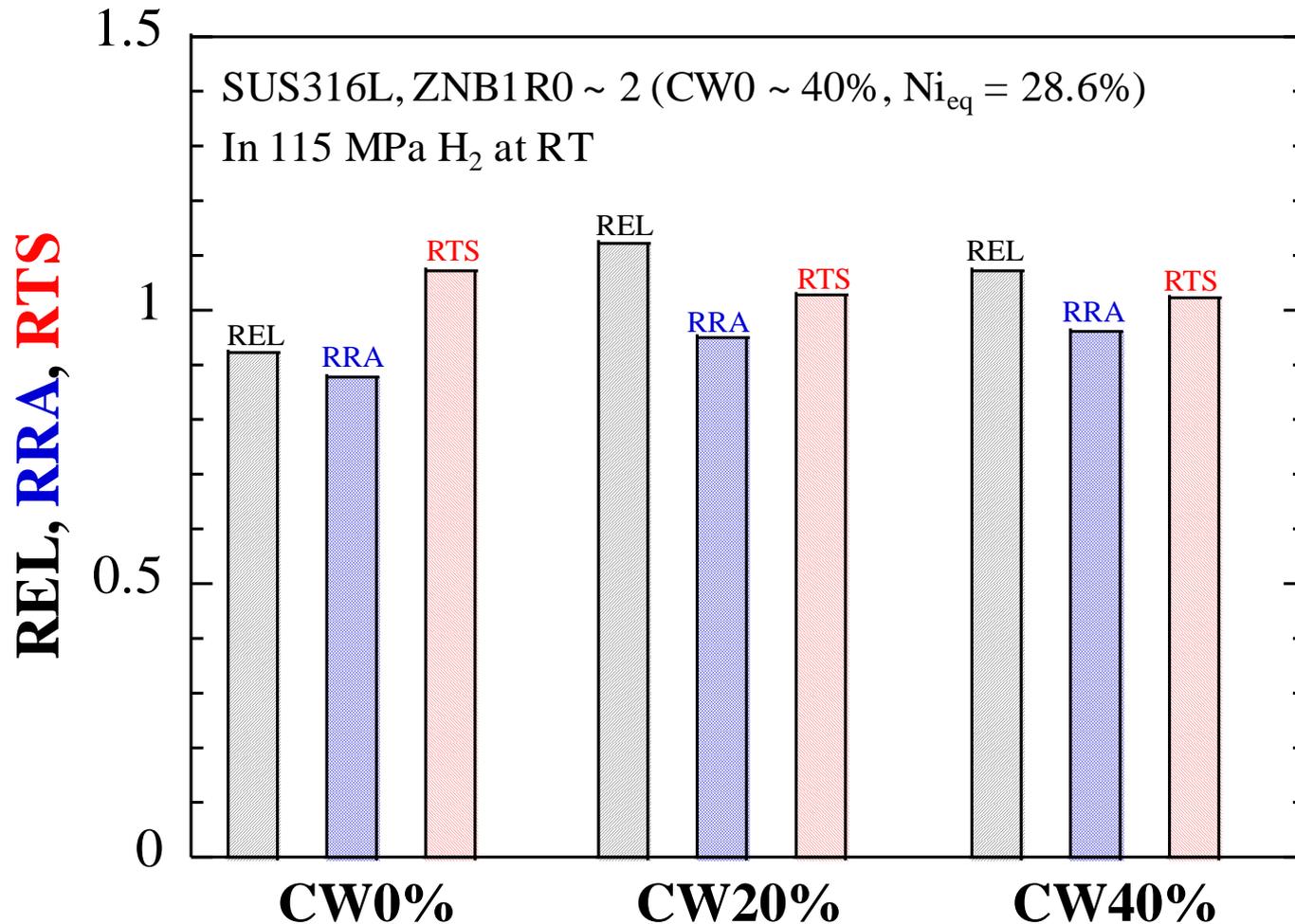
★供試素材製造方法



★組織、フェライト量など金属組織学的な解析が可能な技術データの採取を進める。

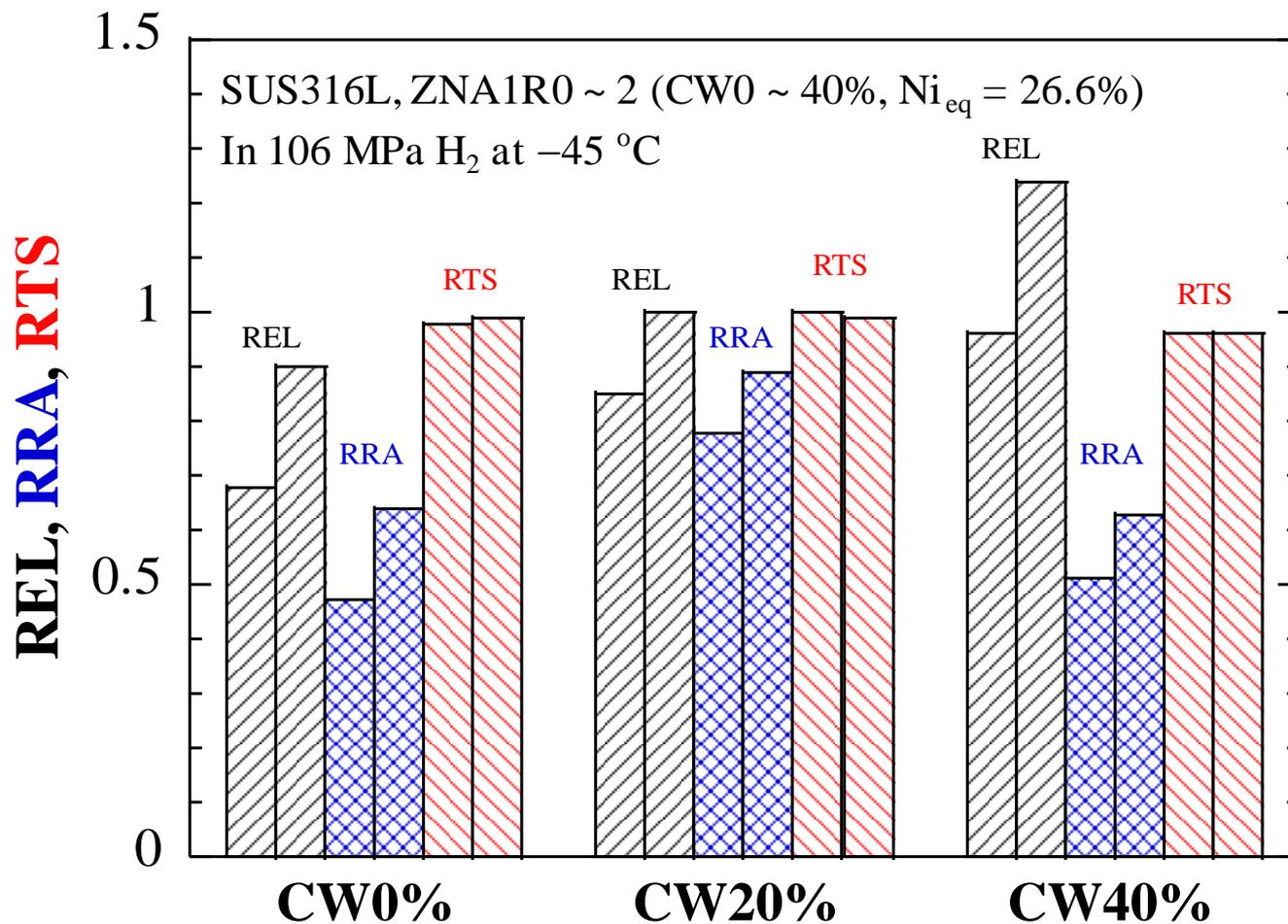
# 5. SSRT試験結果 (SUS316L 室温 冷間加工材)

室温の水素ガス中において、圧延率に依らず同様のSSRT特性を示した。



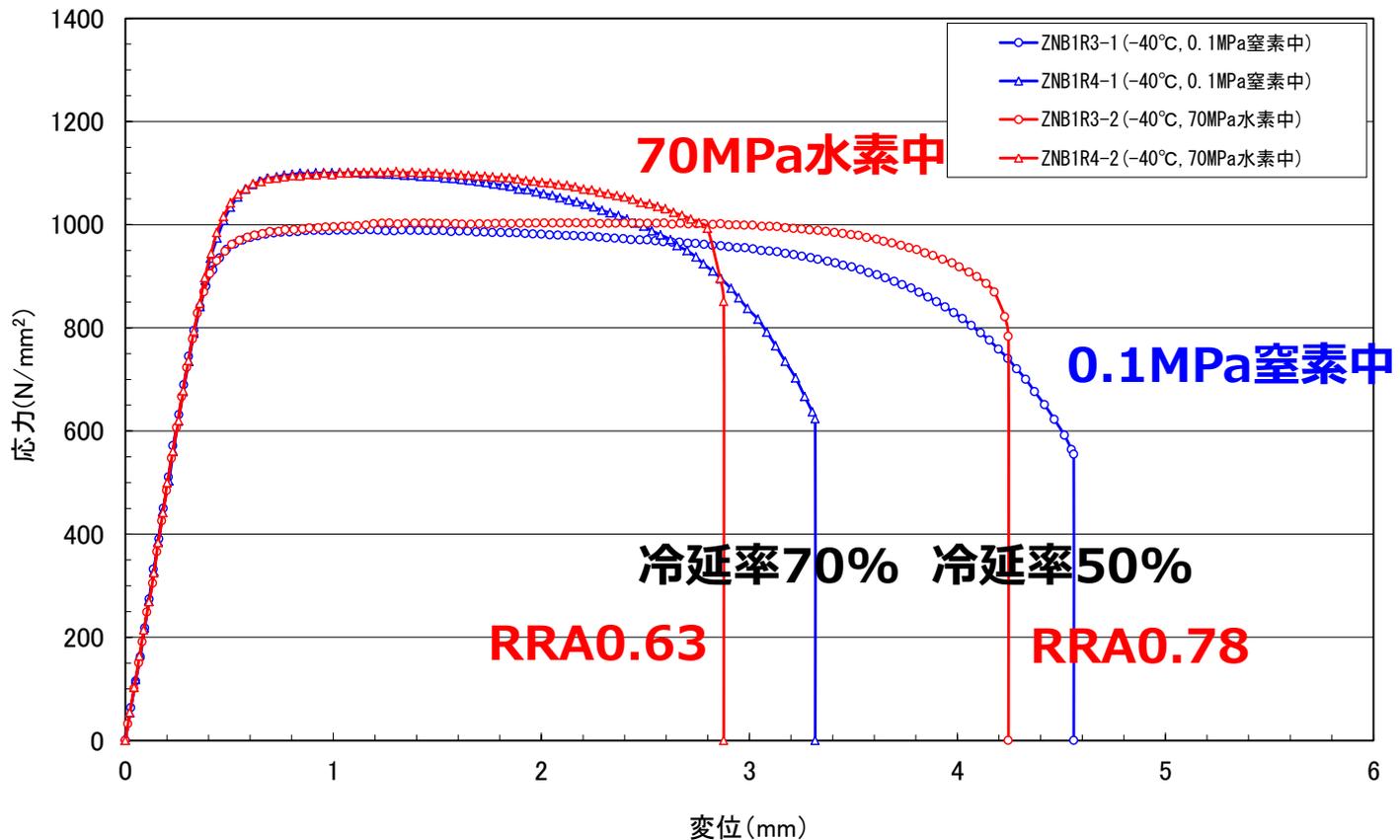
# 5. SSRT試験結果 (SUS316L -45°C 冷間加工材)

冷間加工材の水素特性は鋭意検討中である。



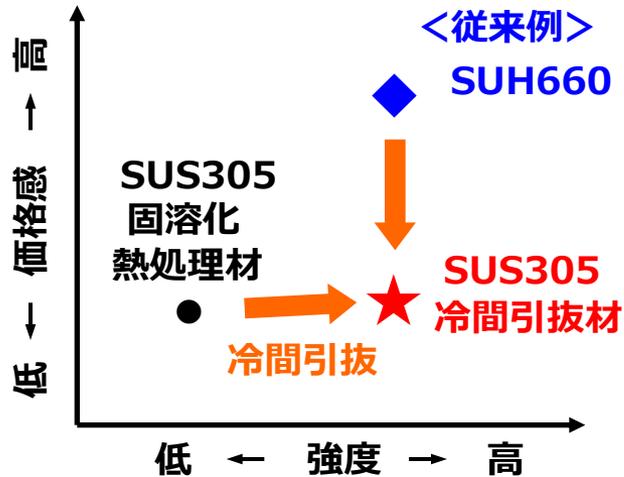
# 5. 冷間強加工の影響検討

汎用ステンレス鋼の水素適合性に及ぼす冷間加工度の影響を検討し、評価を行っている。  
SUS316L(Ni当量28.5) -40°C、70MPa水素中におけるSSRT結果は、冷間強加工材  
(冷延率50%以上)は延性が低下し、相対絞り値が0.8を下回った。今後詳細なメカニズム  
を解明する。



# 5. SUS305の検討の方向性

## SUS305の位置付け



## 機械的性質の例

鋼種	状態	0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	絞り (%)
SUS305	固溶化熱処理材	295	611	55	78
	冷間引抜材 (減面率30%)	756	947	21	63
<従来例> SUH660	固溶化熱処理後 時効処理状態	590以上	900以上	15以上	18以上

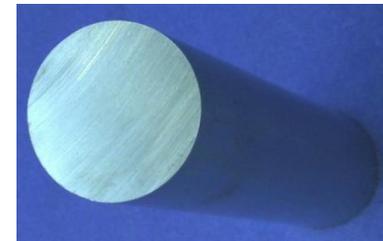
## 適用範囲

### ◆用途

水素ステーション等の高圧水素環境におけるバルブ、継手、ノズル等

### ◆対象材

丸棒鋼  
(切削用途)

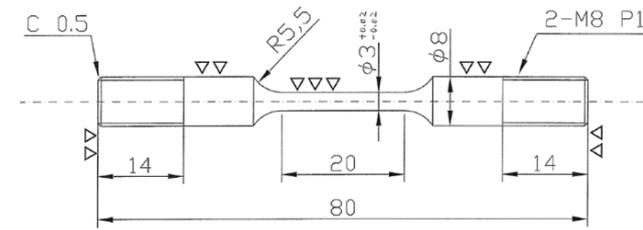
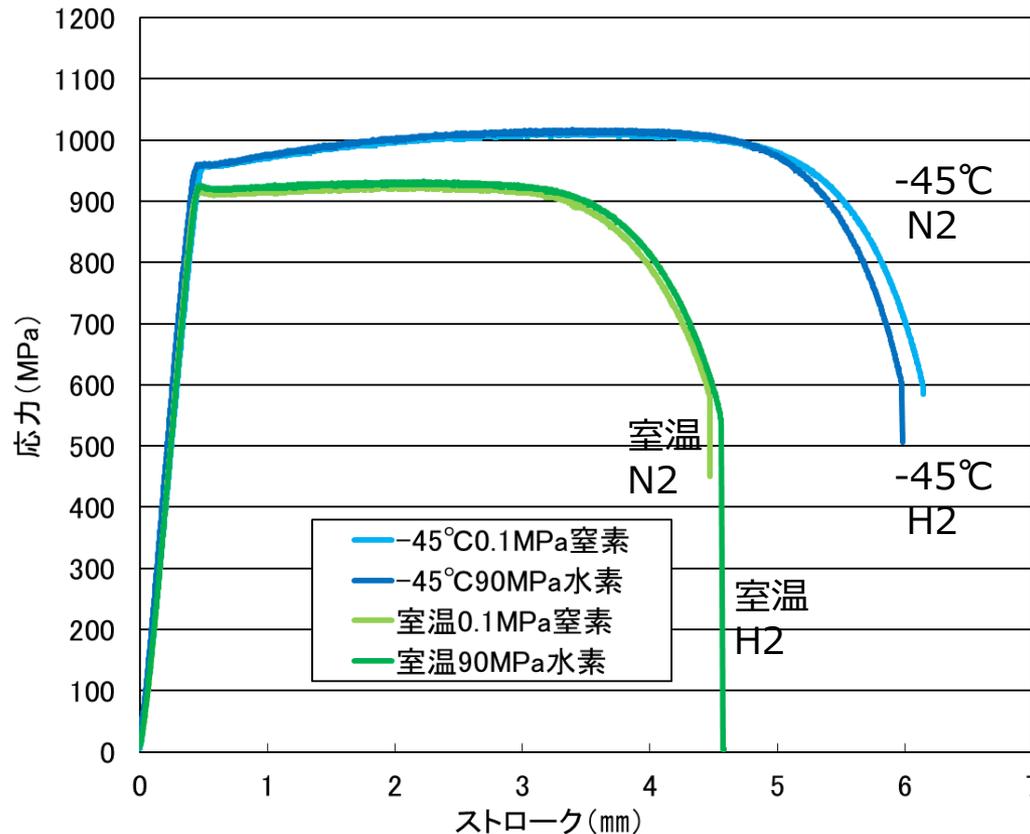


水素ステーション機器において、高価なSUH660を、安価なSUS305引抜材に置き換えることにより低コスト化。SUS305の許容引張応力の設定により利便性を高めたい。

# 5. SUS305の検討の方向性

SUS305 (Ni当量 : 26.0~28.8の4水準) の冷間引抜材 (減面率 : 30%, 35%の2水準) および固溶化熱処理材において、許容引張応力の設定に資するデータ取得を完了した。  
水素適合性評価 (SSRT) に着手した。

φ20mm引抜材 (減面率30%, Ni当量28.8) の90MPa水素中SSRT



試験片形状

クロスヘッド速度

0.001mm/s

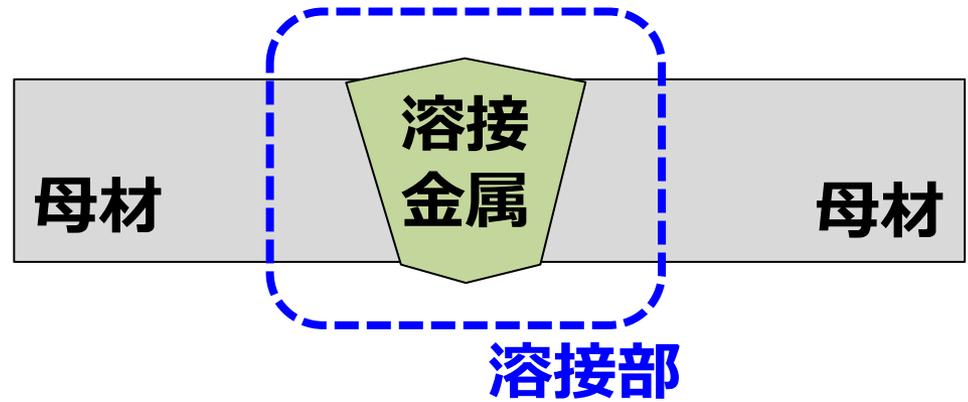
(平行部長さ20mm×ひずみ速度 $5 \times 10^{-5}$ /sに基づき設定)

## 6. 溶接進捗状況

## 6. 溶接継手をAs Weldで使用するための検討

	As Weld	固溶化处理
添加元素の分布	溶融部・熱影響部に有効元素が偏在する懸念あり。 ※ 水素適合性に影響しなければ問題なし	溶融部・熱影響部において偏在する有効元素が均質化され、水素適合性が改善される可能性あり。
残留応力	熱応力による残留応力発生	残留応力の除去が可能
変形	溶接時の相対位置を維持	残留応力開放に伴い変形する懸念あり
施工費用	安価(熱処理費用が不要)	高価(熱処理費用が追加発生)

# 6. 試験計画



①母材

②溶接金属

③溶接部

これらの健全性を評価する必要がある。

Step1  
母材, 溶接金属の評価

H30~H31前半

Step2  
溶接部の評価

R1後半~R2前半

Step3  
溶接施工条件裕度拡大

R2後半~R4前半

## 6. 試験計画 Step1 候補材料

### ①母材候補案

母材	成分狙い	水素適合性	
a)SUS316L(a)	低Ni当量	軽微な水素脆化の可能性	△
b)SUS316L(b)	高Ni当量	水素脆化なし	◎
c)SUS304L	比較材	水素脆化あり	×
d)SUS304LN	比較材	水素脆化なし	○

### ②溶接金属候補案：マッチングフィラーをベースに選択

母材	成分狙い	水素適合性	
A)YS316L	低Ni当量	軽微な水素脆化の可能性	△
B)YS309LMo	高Ni当量	水素脆化なし	◎
C)YS308L	比較材	水素脆化あり	×
D)YS308LN	比較材	水素脆化なし	○

# 6. 試験計画 Step1 全溶着金属評価結果

★化学成分表(mass%)：切粉による全溶着金属部分分析結果

溶接ワイヤ	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	N	Cu	Ni当量式 (平山)	Ni当量式 (三加)
YS316L	0.016	0.48	1.73	12.36	19.55	2.2	0.025	0.32	29.4	30.7
YS309LMo	0.020	0.35	2.08	13.92	23.42	2.23	0.080	0.01	33.9	35.8
YS308L	0.022	0.50	1.66	9.60	19.63	0.08	0.020	0.12	24.6	26.0
YS308LN	0.024	0.41	2.21	9.79	21.65	0.01	0.105	0.01	26.6	28.8

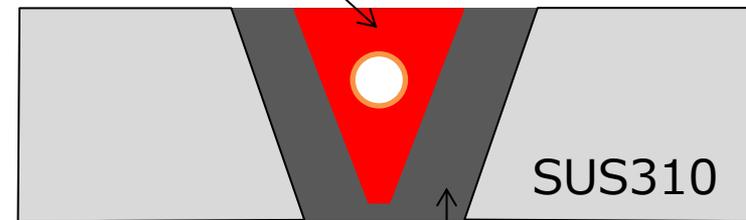
★溶接金属の引張試験結果 (n=3)

溶接ワイヤ	YS MPa	TS MPa	EL %	RA %	δ %
YS316L	524	643	38	76	10.5
YS309LMo	599	744	28	67	15.0
YS308L	471	633	46	80	10.6
YS308LN	567	703	40	75	10.8

δ量はフェライトメーターにより測定

溶接材料成分部分

○ 試験片採取位置



バタング溶接

● 溶接条件

- 入熱：6kJ/cm-9kJ/cm
- シールドガス：Ar100%
- 層間温度150℃以下

## 6. 試験計画 Step1 全溶着金属評価結果

溶接ワイヤ 種類	Ni当量	δフェライト量 (%)	SSRT		
			温度	RRA	RTS
A)YS316L	29.4	10.5	RT	0.95	1.02
			-40℃	0.94	0.98
B)YS309LMo	<b>33.9</b>	<b>15.0</b>	RT	<b>0.98</b>	<b>1.00</b>
			-40℃	<b>0.93</b>	<b>0.99</b>
C)YS308L	<b>24.6</b>	<b>10.6</b>	RT	<b>0.61</b>	<b>0.98</b>
			-40℃	<b>0.31</b>	<b>0.77</b>
D)YS308LN	26.6	10.8	RT	0.87	1.01
			-40℃	0.82	1.00

破面  
写真

破面  
写真

# 6. 試験計画 Step1 全溶着金属評価結果

YS309LMo

90MPaH2

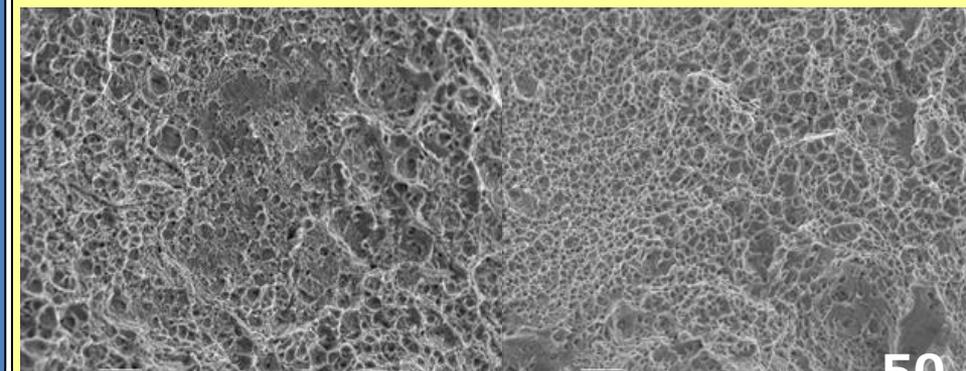
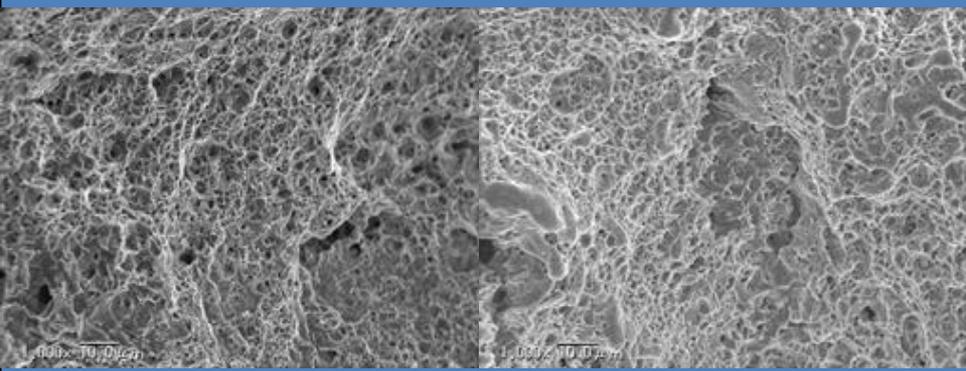
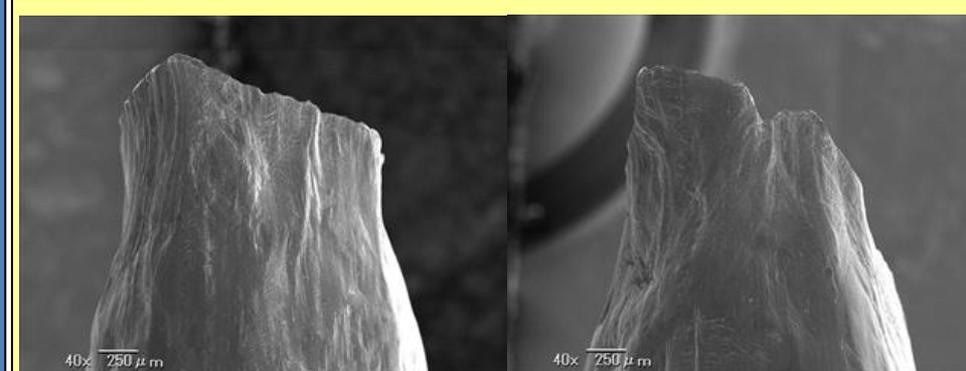
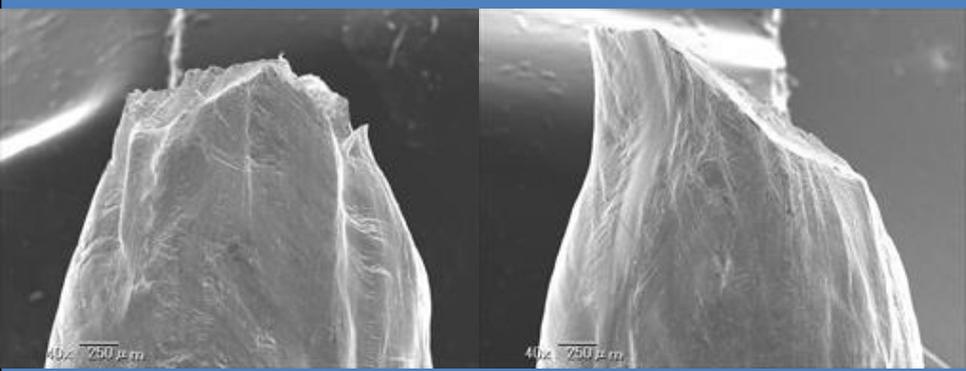
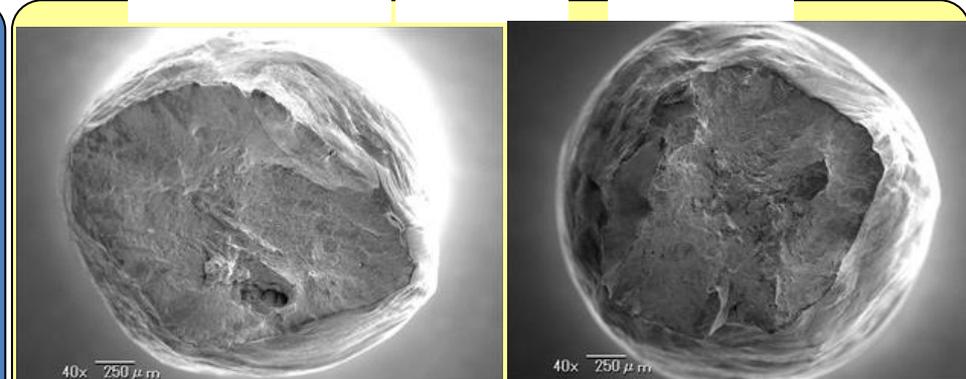
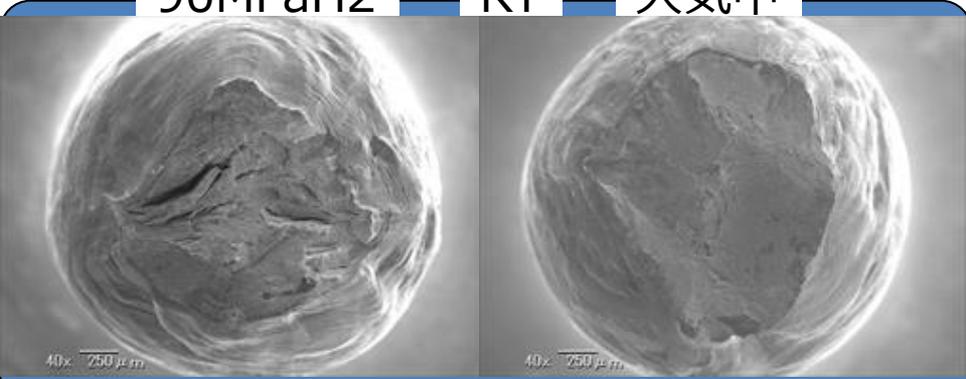
RT

大気中

70MPaH2

-40°C

大気中



# 6. 試驗計畫 Step1 SSRT後破面觀察結果

YS308L

90MPaH2

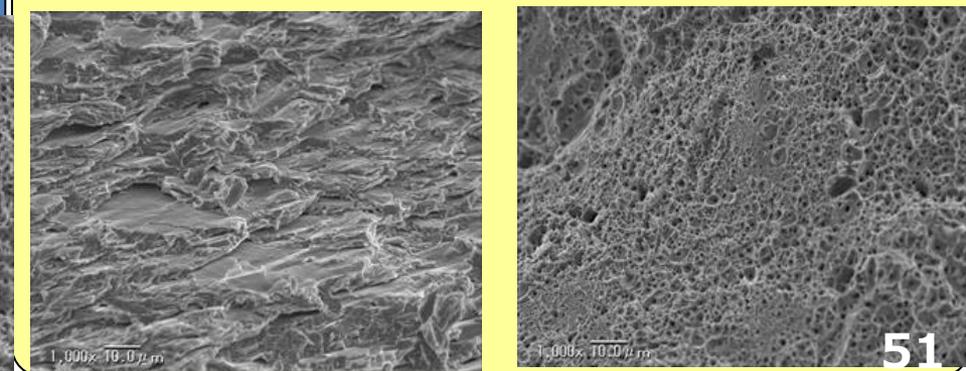
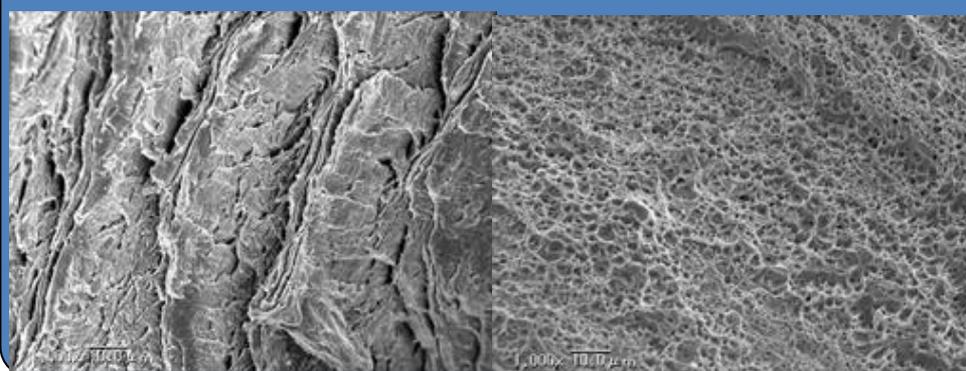
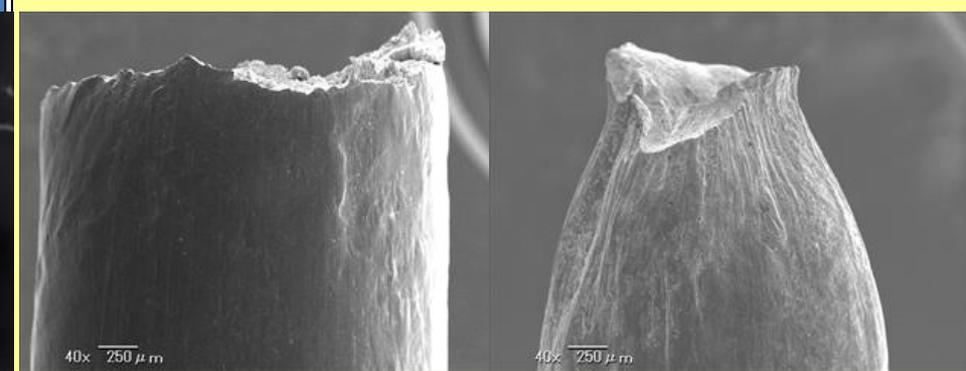
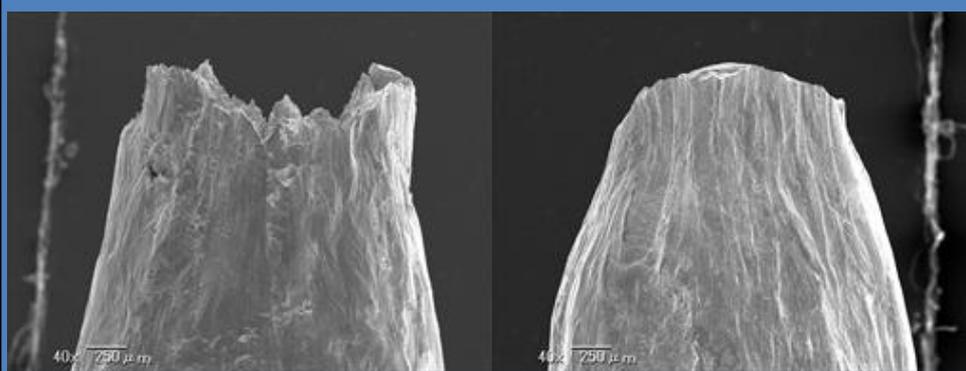
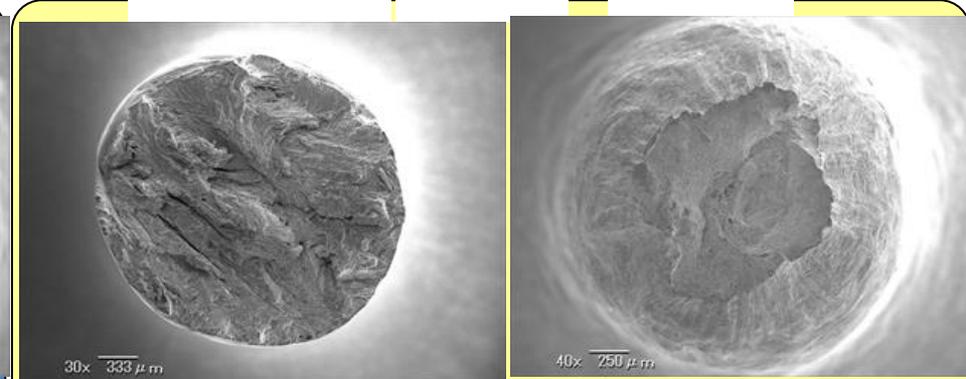
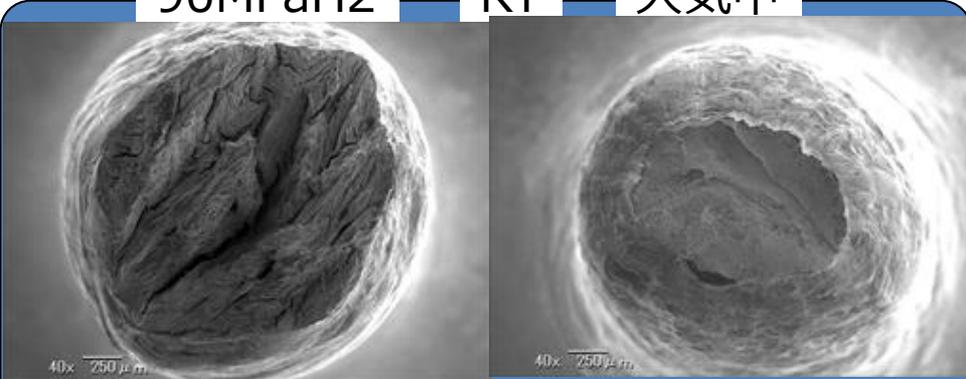
RT

大氣中

70MPaH2

-40°C

大氣中



## 6. 試験計画 Step1 まとめ

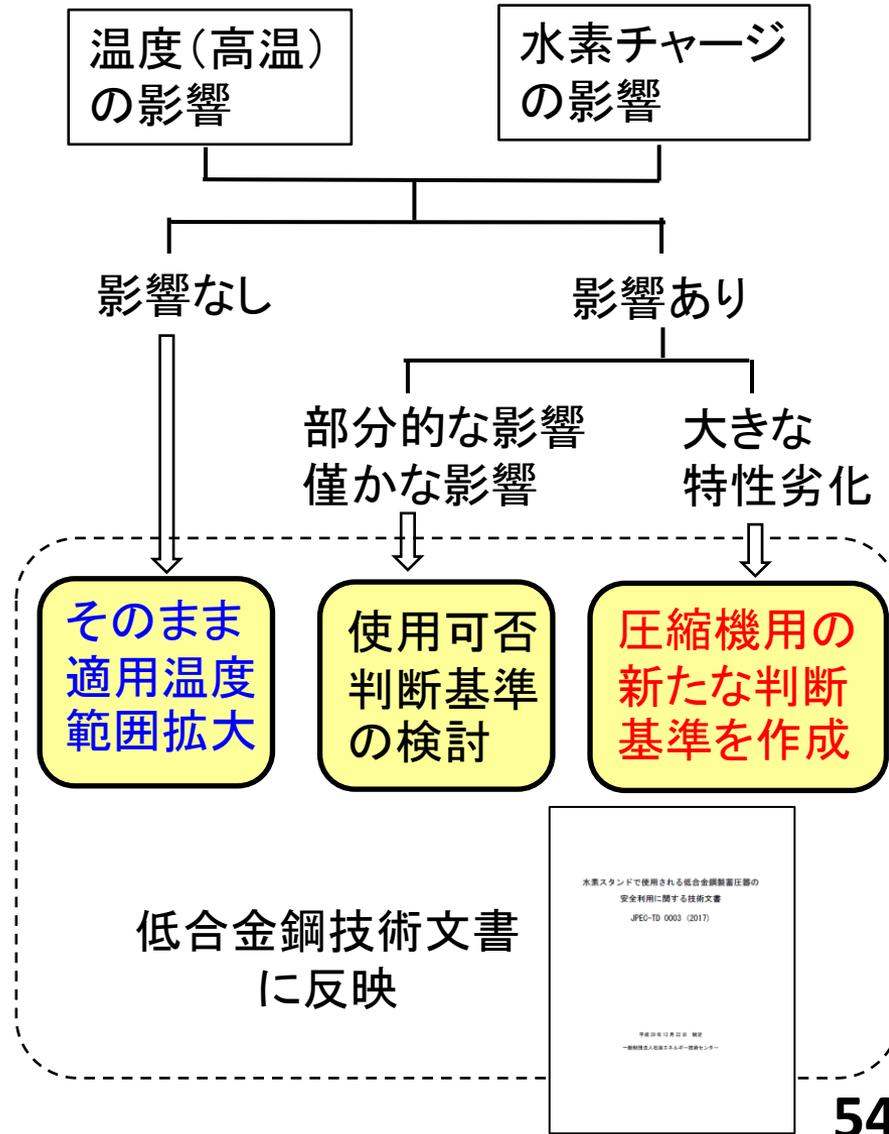
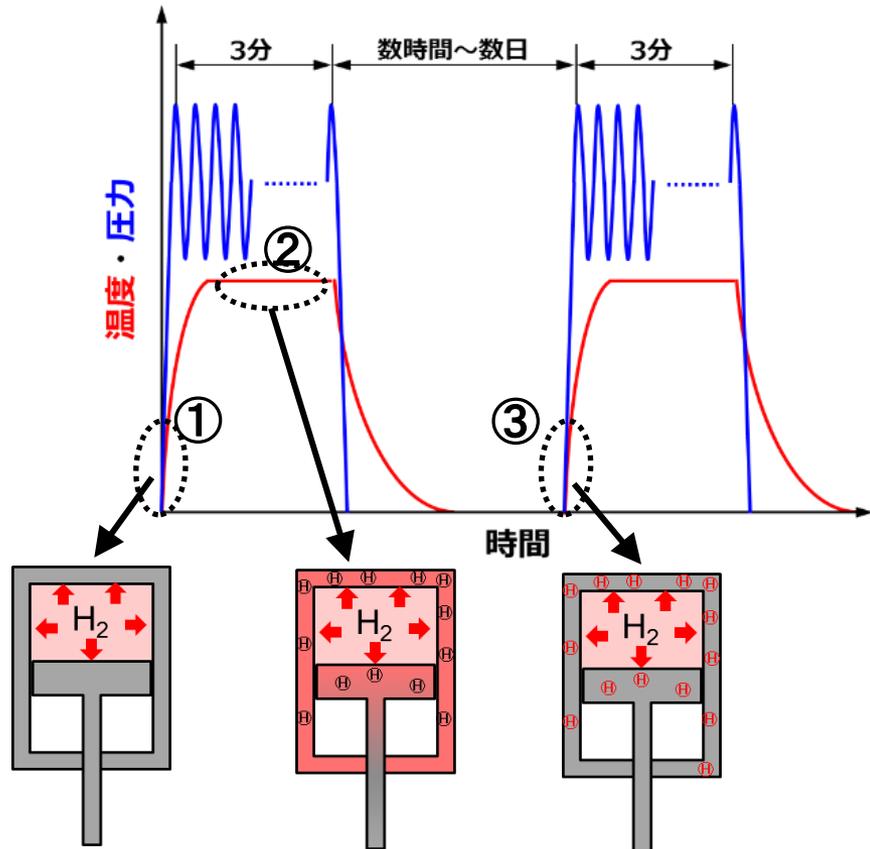
4種類の溶接ワイヤー（YS316L、YS309LMo、YS308L、YS308LN）を用いた溶接金属部を評価した結果、以下のことを明らかにした。

- 水素脆化特性@-40℃は常温同様に $\delta$ フェライト量に依存せず、この $\delta$ フェライト量の範囲では、Ni当量に依存する。
- 溶接金属（全溶着金属）部の水素中SSRT後の破面観察により、Ni当量が高い溶接ワイヤ（YS316L,YS309LMo,YS308LN）はディンプルを確認。  
⇒水素中においても延性的な破壊であることが明らかになった。

## **7. 低合金鋼進捗状況**

# 7. 圧縮機を想定した低合金鋼の検討方針

- ① 初期の起動
  - ・室温・高圧水素ガス
- ② 運転中
  - ・高温・高圧水素ガス + 鋼中水素
- ③ 短時間での再起動
  - ・室温・高圧水素ガス + 鋼中水素



# 7. 高温・高圧水素環境評価試験方法

- ① 200℃・115MPa水素ガス中で曝露する。（保持時間：1hr）
- ② 段階的に降温と再昇圧を繰り返す。（水素ガス圧力を100MPa以上で常に保持）
- ③ 室温・115MPa水素ガス中でSSRT,  $K_{I,H}$ 評価または疲労き裂進展試験を実施する。

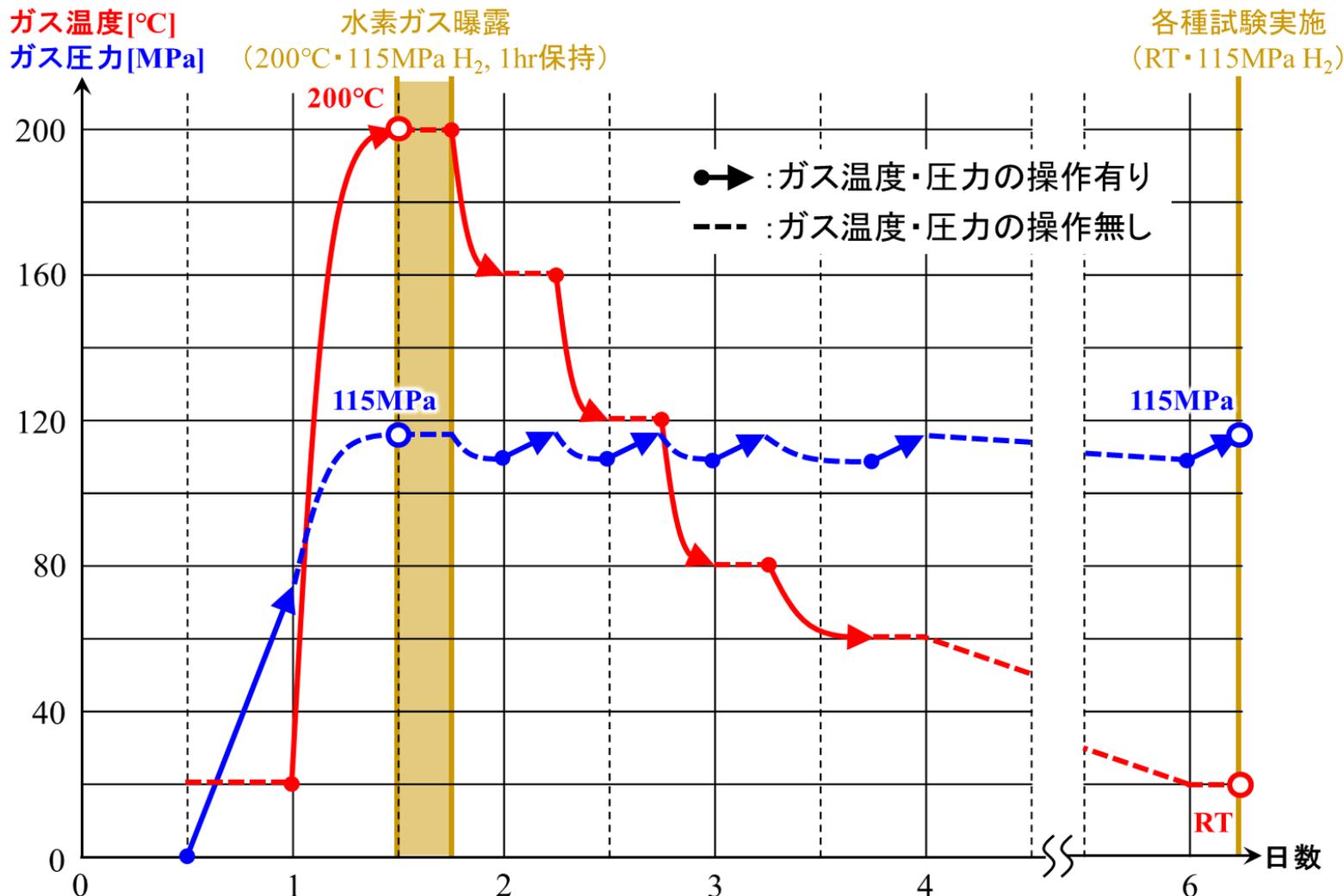
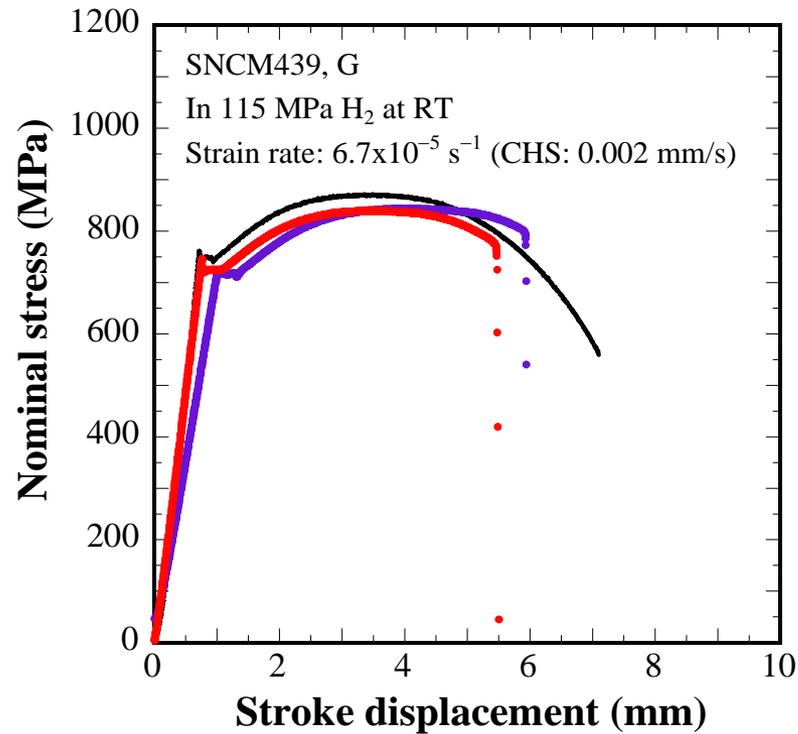


図 高温・高圧水素環境評価に関する水素ガス温度・圧力の変動イメージ

# 7. SSRT試験結果

高温・高圧水素ガス環境曝露により水素を予め飽和させても、高圧水素ガス環境の影響は同等である



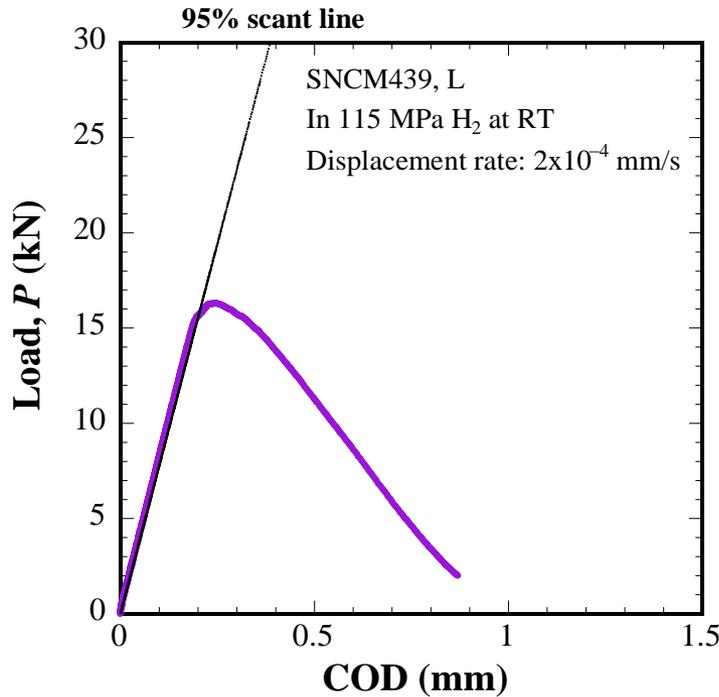
応力－変位曲線 (SNCM439)

SSRT試験結果 (SNCM439)

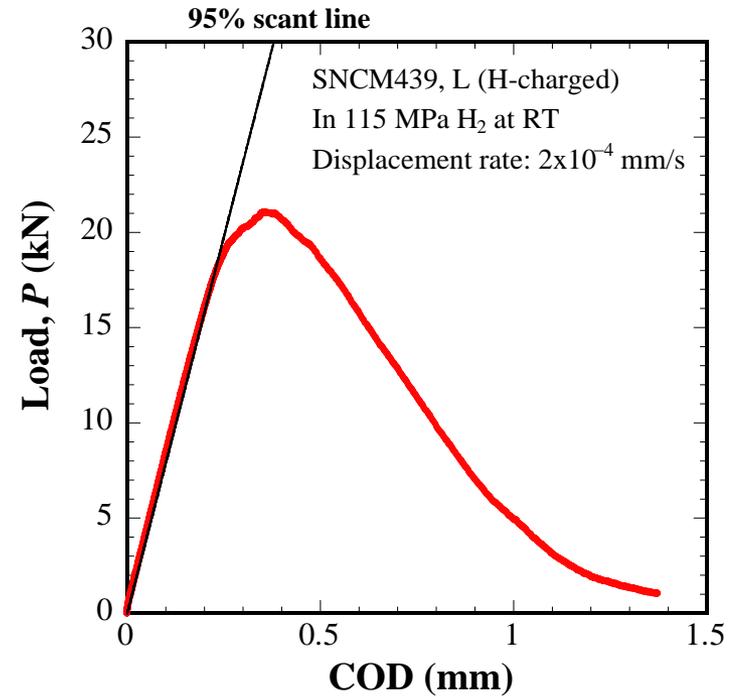
試験雰囲気	水素ガス曝露	$\sigma_B$ [MPa]	RTS	$\delta$ [%]	REL	$\phi$ [%]	RRA
室温・大気中	無し	873	—	26	—	67	—
室温・115MPa水素ガス中	無し	845	0.97	21	0.81	35	0.52
	有り	841	0.96	21	0.81	34	0.51

# 7. 破壊靱性試験結果

高温・高圧水素ガス環境曝露により水素を予め飽和させても、高圧水素ガス環境の影響は同等である。



(a) 水素ガス曝露: 無し



(b) 水素ガス曝露: 有り

P-COD曲線 (SNCM439, 室温・115MPa水素ガス中)

破壊靱性試験結果 (SNCM439)

試験雰囲気	水素ガス曝露	$P_Q$ [kN]	$K_{I,H} (K_Q)$ [MPa $\sqrt{m}$ ]
室温・115MPa水素ガス中	無し	15.6	50.5
	有り	17.3	56.4

# 7. JPEC-TD 0003改正方針

水素スタンドで使用される低合金鋼製蓄圧器の  
安全利用に関する技術文書

JPEC-TD 0003 (2017)

(案)

平成 29 年 12 月 22 日 制定

一般財団法人石油エネルギー技術センター

## 1 適用範囲

本技術文書においては、水素スタンドで使用される鋼製蓄圧器の詳細基準事前評価申請を想定し、高圧水素環境下での長期使用を鑑み、現行の特定設備検査規則及び特定設備の技術基準の解釈の規定以外に考慮すべき注意事項及び判定根拠を技術文書として例示する。

常用の圧力 :	40MPaを超える圧力とする。
設計圧力 :	高圧水素環境下で当該材料特性を評価した際の試験圧力を超えないこと。
設計温度 :	下限温度を-30℃、上限温度を85℃と想定する。
構造 :	溶接構造を有する蓄圧器は除く。

設定温度

上限温度85℃ ⇒ 200℃へ改正

## **8. 2019年度成果**

## 8. 2019年度成果

項目	成果
新指標	<ul style="list-style-type: none"><li>・新たな水素特性判断基準の設定に向けて、高圧水素環境下でのSUS316系（Ni当量：24.2%、25.1%、26.8%、28.6%）の汎用材料の引張強さ・伸び・絞りに及ぼすNi当量、試験温度、素材形状、試験片寸法および試験片表面性状の影響に関するデータを取得した。</li><li>・低温における高圧水素中の引張疲労試験および共振疲労試験を実施し、新たに使用可能となる範囲のSUS316/SUS316Lについて低温高圧水素中の疲労限度に問題がないことを実証した。</li><li>・従来の絞りに代わる、伸び基準での新たな水素特性判断基準の考え方を確立し、さらに、低温高圧水素中での安全性と市場調査に基づく入手性を踏まえた鋼材の使用範囲拡大の検討を行い、SUS316/SUS316Lに関して望ましい使用可能範囲の拡大領域を提案した。</li><li>・水素適合性判断基準を現行の「絞り」から「伸び」とし、「Ni当量」との組み合わせによる水素特性判断基準について結論が得られた。今後パブコメを経て例示基準化が図られる予定である。</li></ul>

## 8. 2019年度成果

項目	成果
冷間加工	<ul style="list-style-type: none"><li>・4鋼種（SUS316,SUS316L,SUS304L,SUS304LN）を用いて0%, 20%および40%冷間加工率の水素による機械特性に及ぼす影響を常温, 低温評価した。SUS316（Ni当量=26.6mass%）常温では水素による機械特性へ及ぼす冷間加工の影響は低いことがわかった。SUS316L（Ni当量=28.5mass%）では常温、低温ともに水素による機械特性に及ぼす冷間加工の影響は低いことがわかった。SUS304L（Ni当量23.5mass%）では常温では水素による機械特性に及ぼす冷間加工の影響は低いことがわかった。</li><li>・SUS316、SUS316LおよびSUS304Lは冷間強加工により強度が著しく増加し、延性が著しく低減したが、3鋼種共に高圧水素環境下においては塑性変形領域において破断した。</li><li>・高圧水素機器 &amp; 部品メーカーへのヒアリングを行い、今後使用を希望する具体的な冷間加工の内容について要望調査を実施した。</li><li>・Ni当量（26.0%, 26.9%, 27.9%, 28.8%）と減面率（0%, 30%, 35%）を変化させた高圧水素用SUS305冷間加工材において、水素適合性評価および許容引張応力設定に関する材料特性評価を実施した。</li><li>・Ni当量28.8%の冷間加工材(減面率30%)において、-45℃、90MPaの高圧水素環境下でも優れた強度と延性を有することを確認した。</li></ul>

## 8. 2019年度成果

項目	成果
溶接	<ul style="list-style-type: none"><li>・溶接継手用の4鋼種（SUS316,SUS316L,SUS304L,SUS304LN）の汎用SUS鋼材を製作した。</li><li>・4鋼種のマッチングフィラーであるYS316L、YS309MoL、YS308L、YS308LNのバタリング溶接を実施し溶接金属部の各種特性を評価した。</li><li>・溶接金属を対象に、常温、低温において水素による機械特性への影響を評価した結果、<math>\delta</math>フェライト量が20%未満では、Ni当量に水素による機械特性が依存することが分かった。</li></ul>
汎用低合金鋼	<ul style="list-style-type: none"><li>・水素圧縮機を想定した高圧水素ガス中における高温の評価試験条件を検討した。また、実機での使用を想定し、高圧水素ガス中における素材の異方性や肉厚の影響についても評価を行った。</li><li>・水素圧縮機の高温稼働における水素圧力・温度プロファイルを模擬して、室温・高圧水素ガス環境中において水素適合性評価試験を実施した。高圧水素ガス中データの充実しているSNM439を中心に評価を実施し、85℃の高圧水素ガス中SSRT試験において、温度が高くなることで水素の影響は小さくなることを確認した。また、高温・高圧水素ガス中で鋼中に水素を導入した素材を用いて室温・高圧水素ガス中<math>K_{IH}</math>を測定し、内部水素の影響は認められないことを確認した。</li></ul>

# ご清聴ありがとうございました

謝辞

以上の発表に関する技術開発成果は、  
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO\*）  
からの委託事業(JPNP18011)の結果得られたものです。

\* New Energy and Industrial Technology Development  
Organization