

水素ステーション用の金属材料選定 (例示基準化に向けた取り組み)

2022年1月24日
石油エネルギー技術センター
小林

目次

1. はじめに
2. 水素ステーションで使用する鋼材の認可について
3. 35MPa水素ステーションの普及に向けて
4. 70MPa水素ステーションの普及に向けて
5. 2013～2017年度NEDO事業概要
6. 2018～2022年度NEDO事業概要

1. はじめに

地球温暖化対策の一つとして、走行中に温室効果ガスである二酸化炭素を排出しない燃料電池自動車（FCV）への期待が高まっている。FCVの普及のためにはガソリン車と同等な600km以上の走行距離、電気自動車より短い充填時間が求められ、これらを実現するにはFCVへの水素の搭載圧力を35MPa級から70MPa級にまで高める必要があった。

2011年1月の民間13社の「燃料電池自動車の国内市場導入と水素供給インフラ整備に関する共同声明」以来、その目標に向かってインフラ整備の一環として70MPa級水素ステーションの建設が計画された。

2012年に出された70MPa級水素ステーションの要件としては、

- ① 1時間に6台のFCVへ5kgの水素を各3分間という急速充填
- ② 急速充填時にタンク温度が85℃を超えないようにするために充填時の水素を-40℃に冷却することが求められた。

2. 水素ステーションで使用する鋼材の認可について

| | 申請方法 | 内容 |
|---|--------------------|--|
| <p>例示基準規定範囲</p> <p>申請範囲</p> | 一般申請 | 各規則の機能性基準の一つの解釈 |
| <p>例示基準規定範囲</p> <p>申請範囲</p> <p>詳細基準事前評価</p> | 詳細基準事前評価 | 申請者が作成した詳細基準が関係規則に定める機能性基準に適合するかどうかを判断する。 |
| <p>規則規定範囲</p> <p>申請範囲</p> <p>特定案件事前評価</p> | 特定案件事前評価 (大臣特認) | 容器則、特定則、一般則等省令で定める規定に代わる特則を経済産業大臣の特別認可(大臣特認)を得て適用する。 |

水素ステーションで使用する鋼材の法体系について

高压ガス保安法



一般高压ガス保安規則

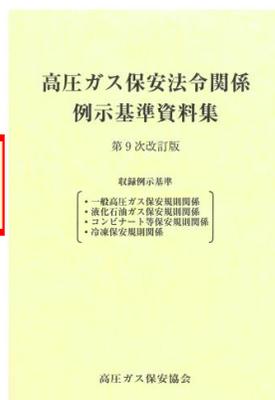
- ①法第6条 水素出荷設備を併設した水素ステーション
- ②法第7条の3 水素ステーション



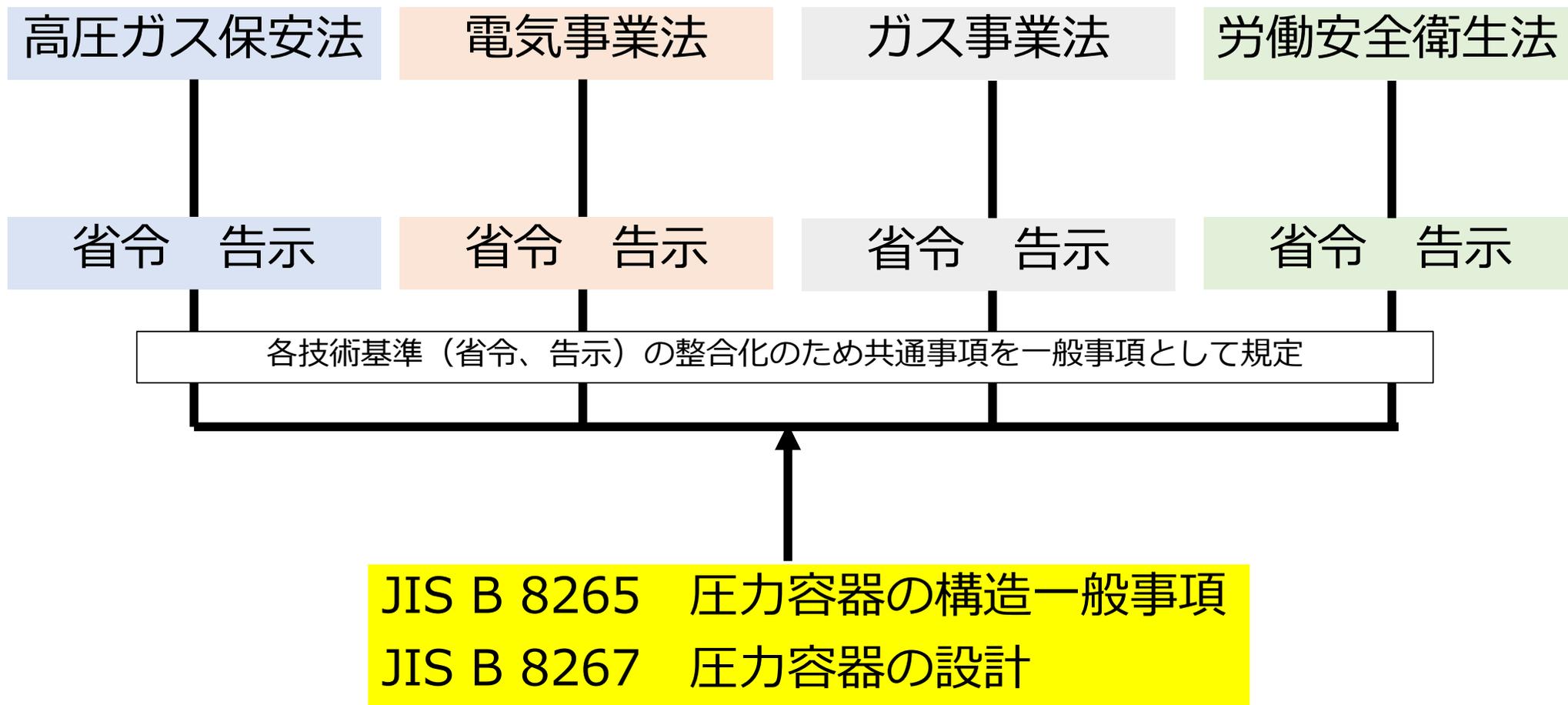
例示基準



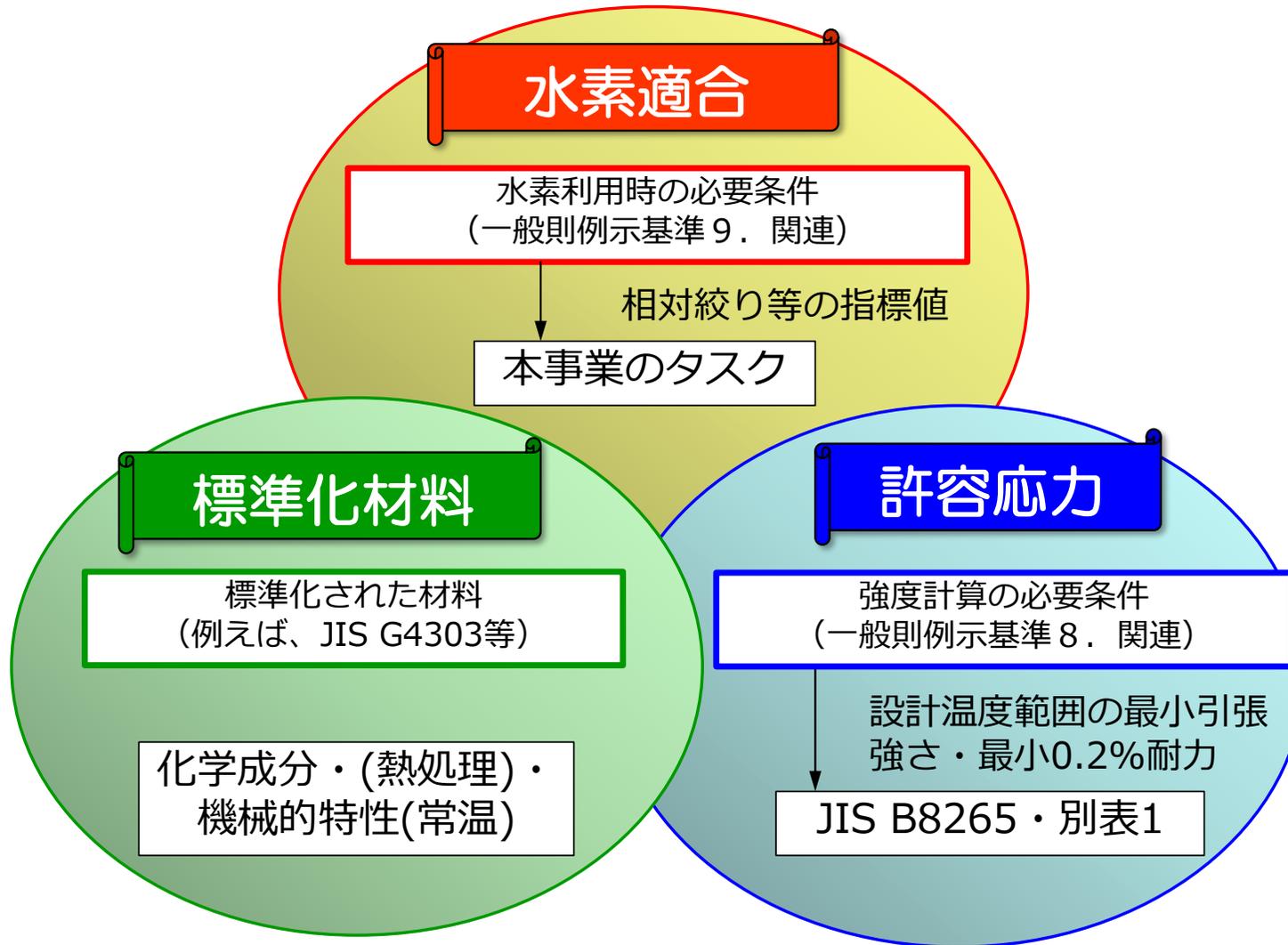
特定設備検査規則



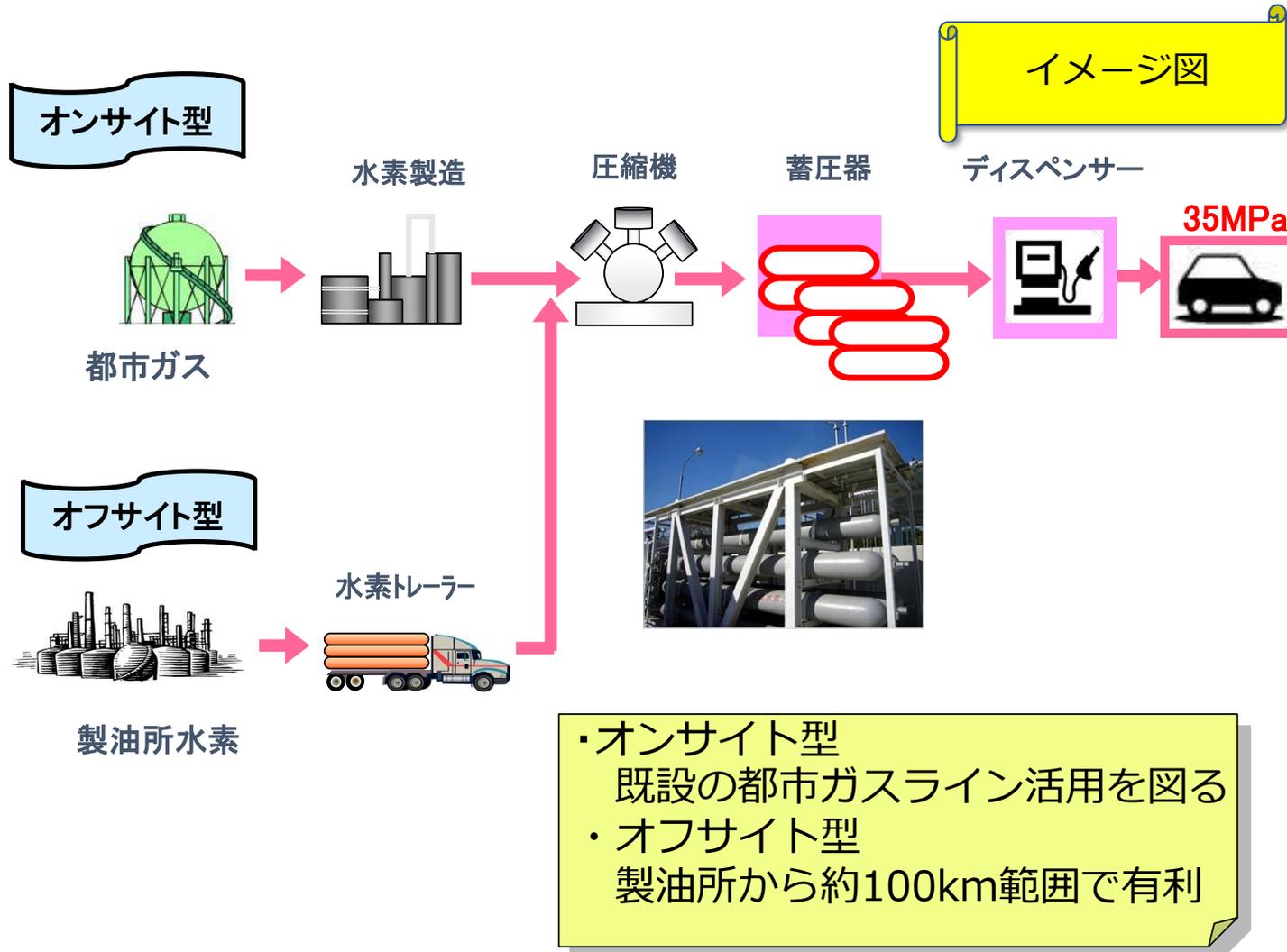
水素ステーションで使用する鋼材の法体系について



例示基準を目指す材料選定の3要素



3. 35MPa水素ステーションの普及に向けて

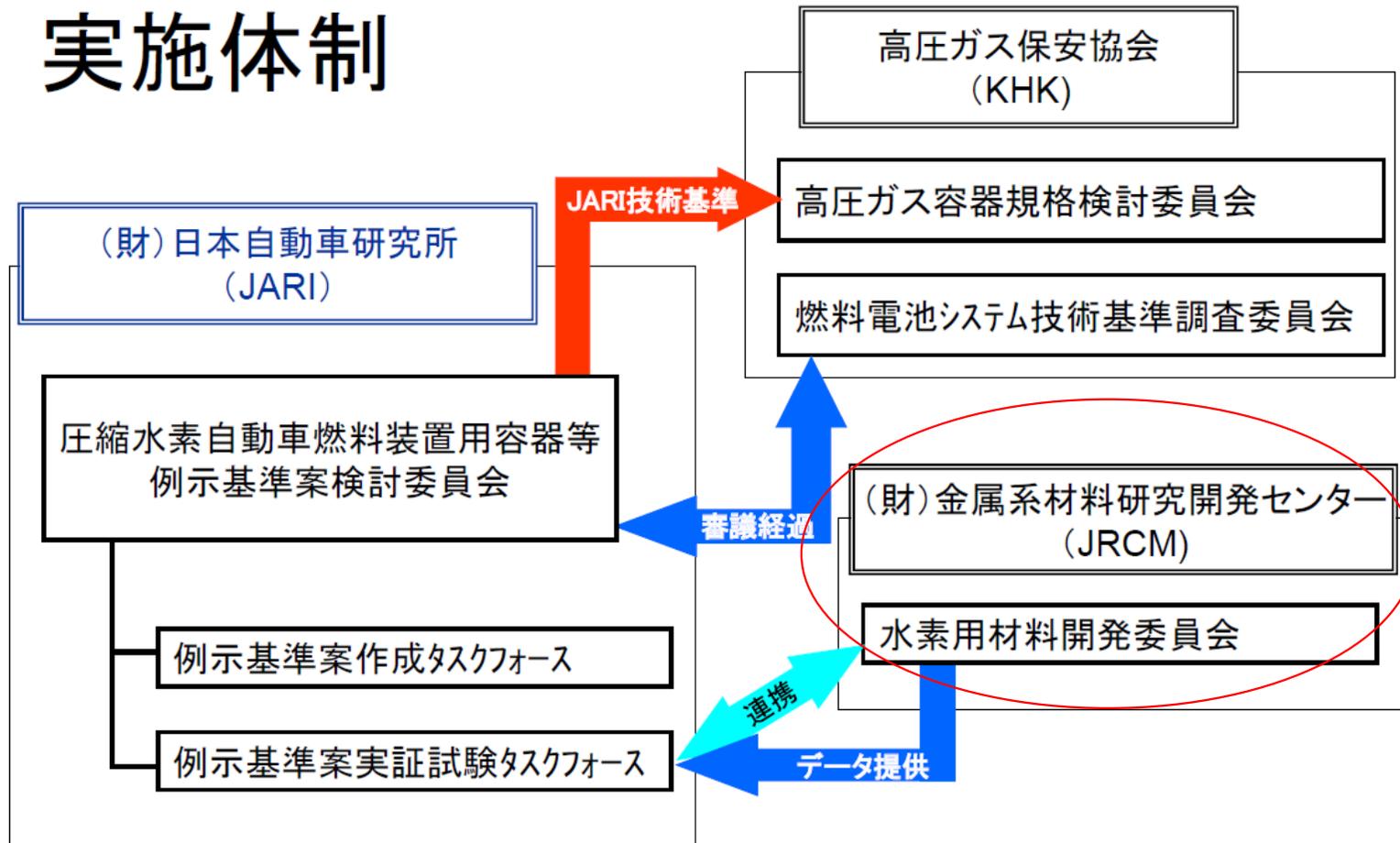


高圧容器の安全性評価および例示基準案策定

JARI 成果報告資料より

高圧容器の安全性評価および例示基準案策定

実施体制



JARI S001解説 (水素適合性)

(2005年3月発行)JARI S001・002解説

材料の水素適合性指標として、疲労き裂伝播を評価し、大気中と同等であることを確認 (目視評価)

- ・ 45MPa 水素中 (ただし予亀裂導入は大気中)
- ・ 環境以外の条件は基本的に ASTM E647 準拠。
- ・ 繰返し速度：1 Hz
- ・ 応力比R=0.1
- ・ 試験片：CT試験片

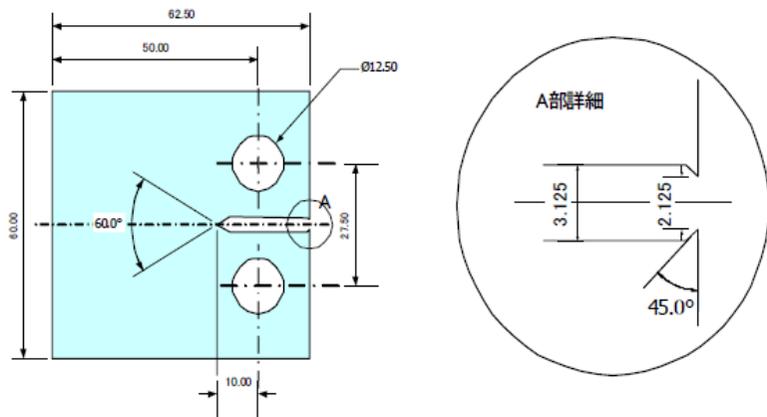


図1 CT試験片

- ・ き裂長測定：クリップゲージの開口変位計測によるコンプライアンス法
- ・ 供試材；A6061-T6 共通試験材(15t)および SUS316L 共通試験材(28t)
- ・ 試験片採取方向：L T

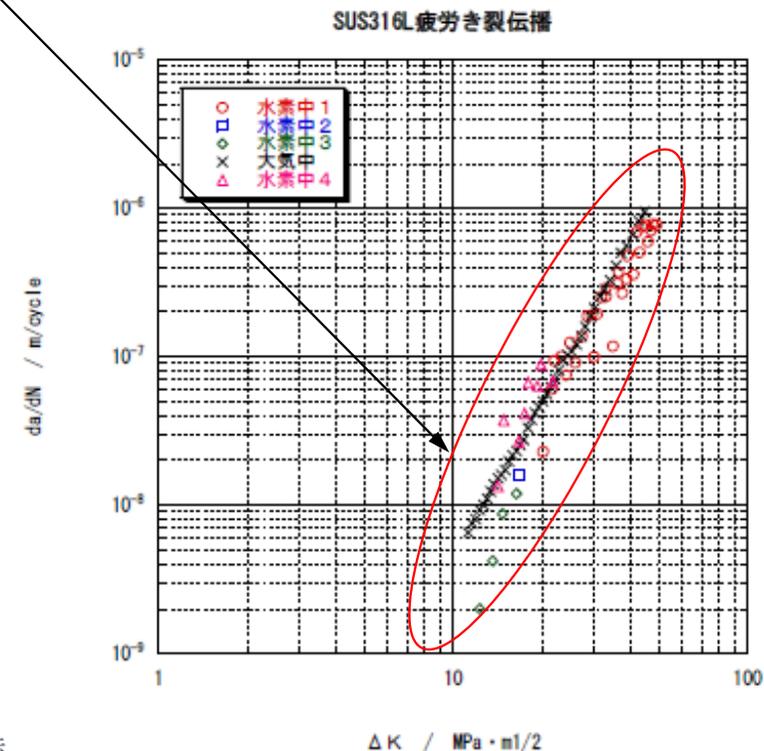


図2 SUS316L の疲労き裂伝播

インフラ規制への波及：一般則例示基準

出典：一般高圧ガス保安規則例示基準(平成23年) 第4次改訂版

9. ガス設備等に使用する材料

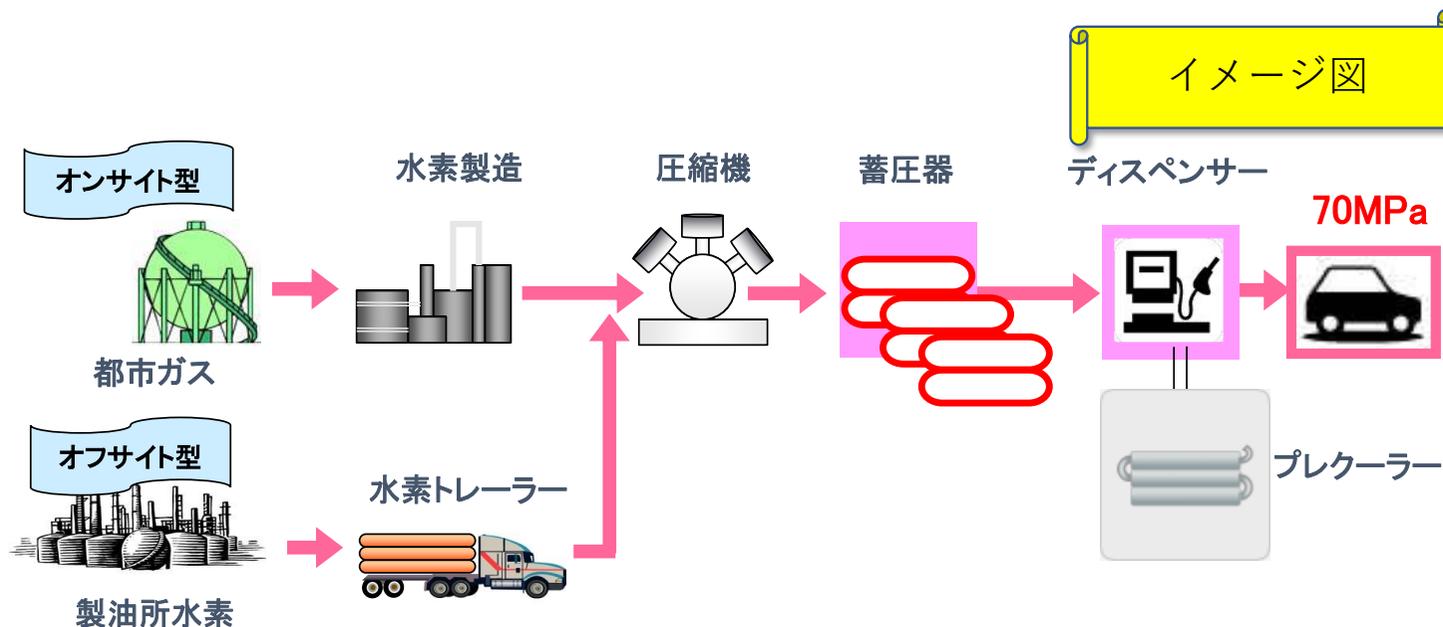
規則関係条項 第6条第1項第14号、第6条の2第1項・第2項第1号、第7条第1項第1号・第2項第1号、第7条の2第1項第1号、第7条の3第1項第1号・第2項第1号、第22条、第55条第1項第5号、第94条の3第2号

2. 特定圧縮水素スタンドの高圧ガス設備にあつては、その種類に応じ、次に定める材料（以下2.において「規格材料」という。）、規格材料と比較して化学的成分及び機械的性質が同一であつて板厚の範囲、製造方法又は形状が異なるもの、規格材料と化学的成分、機械的性質、試験方法及び試料採取方法が極めて近似的なものであつて規格材料と材料の性質が極めて類似したもの、又は規格材料と比較して十分な耐水素劣化特性を有していると認められるものを使用すること（ただし、法第56条の3に規定する特定設備検査に合格した特定設備にあつては、特定則第11条に規定する材料又は特定則第51条の規定に基づき経済産業大臣の認可を受けた材料を使用すること。）。

2.1 圧縮水素の蓄圧器

日本工業規格G3214(2009)圧力容器用ステンレス鋼鍛鋼品（SUSF316Lに限る。）、日本工業規格G3459(2004)配管用ステンレス鋼管（SUS316LTPに限る。）、日本工業規格G4303(2005)ステンレス鋼棒（SUS316Lに限る。）、日本工業規格G4304(2010)熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯（SUS316Lに限る。）、日本工業規格G4305(2010)冷間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯（SUS316Lに限る。）又は日本工業規格G4053(2008)機械構造用合金鋼鋼材（SCM435であつて、超音波探傷試験により傷、割れ等の有害な欠陥がないことを確認できるものに限る。）

4. 70MPa水素ステーションの普及に向けて



普及課題 (安全が前提)

- ① 規制見直し
- ② 技術開発
 - **鋼種拡大**、複合容器蓄圧器、充填技術
- ③ 総合的コストダウン

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、ニッケルを主要成分とする金属であり、ニッケルが含まれる量によって、水素から受ける影響の度合が変化する特性（機械的特性）を持っている。
- ・ 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」をパラメーター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。

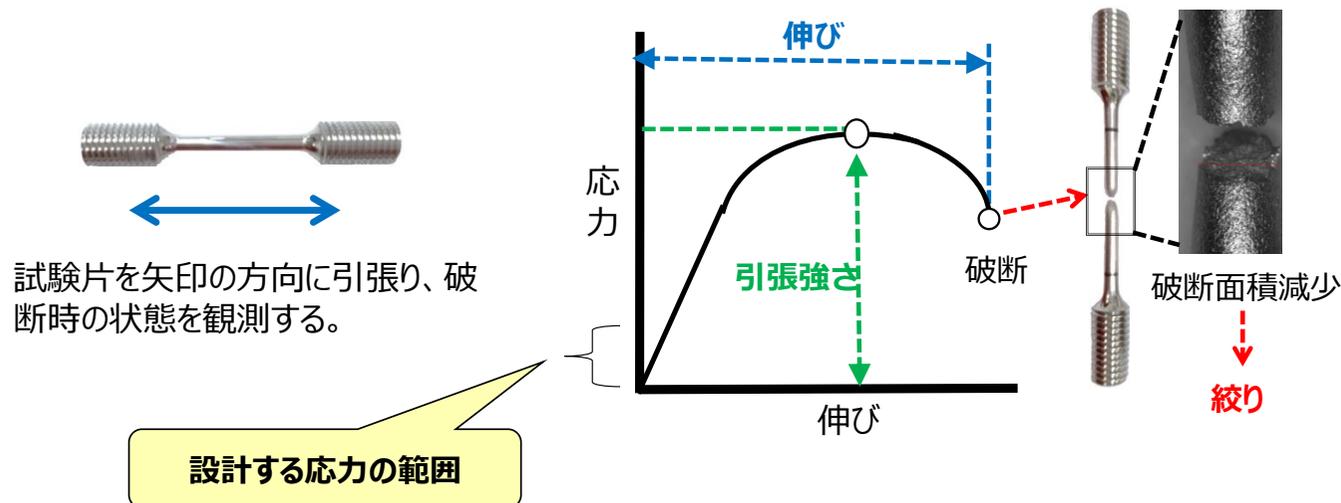


図 金属の機械的特性について

70MPa充填移行時の金属材料開発の課題

背景

- 圧力範囲の拡大：35Pa → 70MPa
- 温度範囲の拡大：外気温 → -40℃(プレクール)
に伴い、SUS316Lであっても不適合が懸念される事象が判明

例示基準化



不適合が懸念される条件を判別し
除外する必要あり

検討

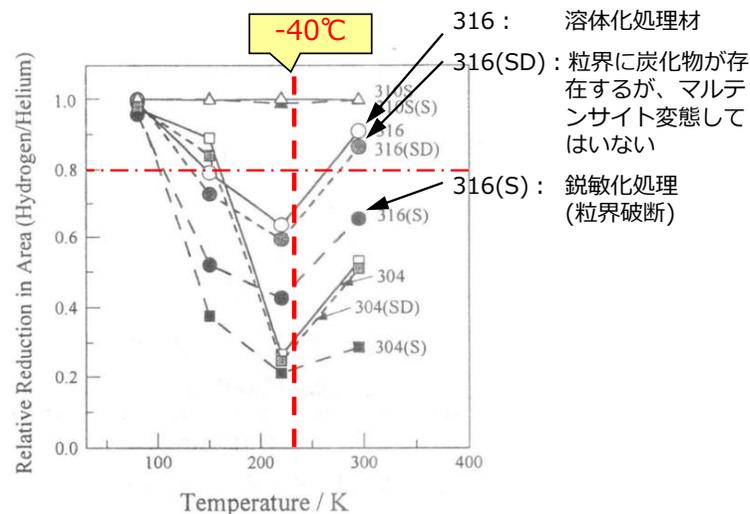
水素適合性の基本的指標であるSSRTデータを網羅的に解析し、

機械的特性の変化度とNi当量の関係を精査

検証方法 : 相対比 = 水素中の機械的特性値 / 大気中の機械的特性値

Ni当量 : オーステナイト安定度(耐水素性影響因子)の指標

機械的特性 : 引張強さ・降伏点・伸び・絞り



水素脆化と金属材料の安全性 (横川・福山)
水素エネルギーシステム P18-P26 Vol.22 No.2 (1997)
<http://www.hess.jp/Search/data/22-02-018.pdf>

水素ステーション用鋼材の規制の背景

高圧・高速の水素充填を可能とするためには水素を-40℃程度に冷却しておく必要があり、高い水素圧・低温下での使用に耐える鋼材の選定が必要であった。

⇒2012年度に、**絞り**を指標としたSUS316系ステンレスの判断基準（Ni当量規制）を制定し、例示基準化が図られ、70MPa水素ステーション建設に寄与した。

⇒**絞り**を指標：水素環境中でも、絞り、伸び、引張強さが材料規格値を満たす。

参考：Ni当量

出典：高圧ガス Vol.49 No.10 (2012)山田敏弘・小林英男「水素ステーション設備に使用する材料の選定基準」

表 オーステナイト安定化と元素の関係

| C | Si | Mn | Ni | Cr | Mo | N | Cu | Nb | 出典 |
|------|----------------------|------|----|------|------|------|----|-----|-------|
| 12.6 | 0.35 | 1.05 | 1 | 0.65 | 0.98 | — | — | — | 平山 |
| 48.6 | 1.14 | 0.85 | 1 | 1.44 | 2.03 | 48.6 | — | — | Angel |
| 9.56 | -0.11Si ² | 0.61 | 1 | 0.18 | — | 9.56 | — | — | 武本 |
| 15.9 | 0.32 | 0.28 | 1 | 0.47 | 0.64 | 15.9 | 1 | 2.3 | 野原 |
| 15.9 | 0.32 | 0.66 | 1 | 0.47 | 0.64 | 15.9 | 1 | — | 大嶋 |

ミルシート記載成分



Ni当量式として、材料規格の化学成分のみで判別可能な平山の式を採用した。

$$\text{Ni当量(平山の式)} = 12.6C + 0.35Si + 1.05Mn + Ni + 0.65Cr + 0.98Mo$$

単位：wt%

水素ステーション設備に使用する材料の選定条件

出典：高圧ガス Vol.49 No.10 (2012)山田敏弘・小林英男「水素ステーション設備に使用する材料の選定基準」

一般則例示基準の位置付け

水素ステーションの設備に一般則例示基準を適用する場合、

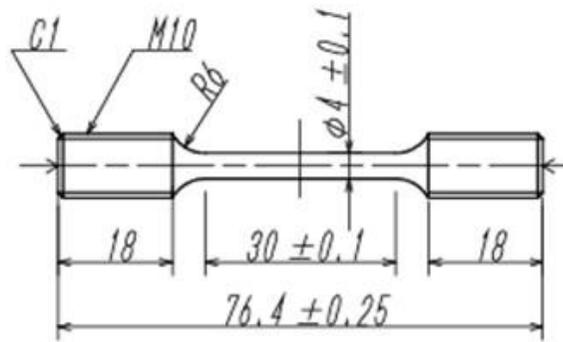
- ・ 応力を許容応力以下に制限する設計(design by rule)となる。
- ・ 損傷モードとして疲労を考慮する。

許容応力の基準：材料の引張特性(降伏点、引張強さ、伸び、絞り)

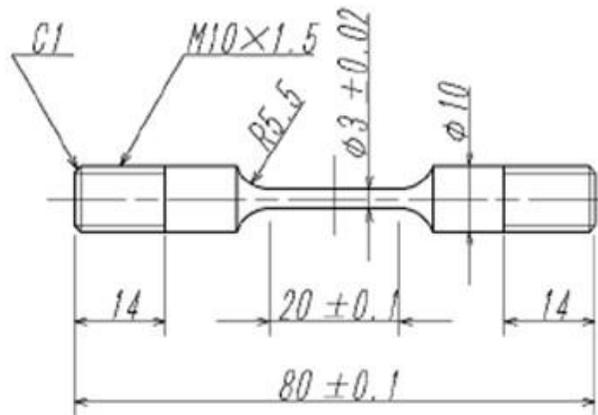
SSRTデータの検討

- 1) 化学成分 → Ni当量式(平山の式)で整理
- 2) 水素純度 → 水素純度6N以上のデータを採用
- 3) 水素圧力 → 40MPa以上のデータを採用
- 4) 試験温度 → 室温のデータは20℃のデータとして採用
-40℃データには-123℃～-40℃のデータを採用
- 5) ひずみ速度 → ひずみ速度が 5.0×10^{-5} 以下のデータを採用
- 6) 試験片寸法 → 試験片断面積/試験片外周長さが1mm以下のデータを採用

SSRT試験片形状の例

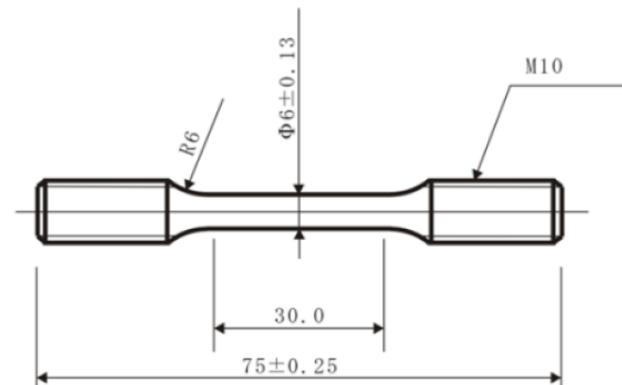


(a) Type A



(b) Type B

オーステナイト鋼



低合金鋼

(整理) 例示基準策定時：安全担保の考え方

- ・ データ解析の結果、**水素適合性の指標**として「**絞り**」に着目
- ・ 安全担保の基準として、「**水素中の絞り \geq JIS規格**」★を想定
- ・ 申請者の利便性を鑑み、(SSRTを要求することなく)ミルシート記載事項から判断出来る要求事項を例示

★「**水素中の絞り \geq JIS規格**」 \Rightarrow 「水素中の伸び \geq JIS規格 and 「水素中の引張強さ \geq JIS規格」

例示基準要求

ミルシートから判別出来る

(大気中の)絞り \geq **75%** と **Ni当量 (RRA \geq 0.8)の資料** を要求し、

水素中の絞り \geq **JIS規格値(大気中)** を担保する

\Rightarrow 水素中の絞り \geq **75%** \times **0.8** = **60%** (JIS規格値(SUS316鋼棒))

材料の使用条件

出典：高圧ガス Vol.49 No.10 (2012)山田敏弘・小林英男「水素ステーション設備に使用する材料の選定基準」

JIS規格におけるSUS316・SUS316Lの絞り規定値は60%以上である。
ミルシート記載の実績値調査の結果、絞りの実績値は75%を超える。



RRA \geq 0.8であれば、下記判別式を満足する。

$$\left[\begin{array}{l} \text{引張試験または} \\ \text{ミルシートの絞り} \end{array} \right] \times \text{RRA} \geq \text{規格の絞り}$$

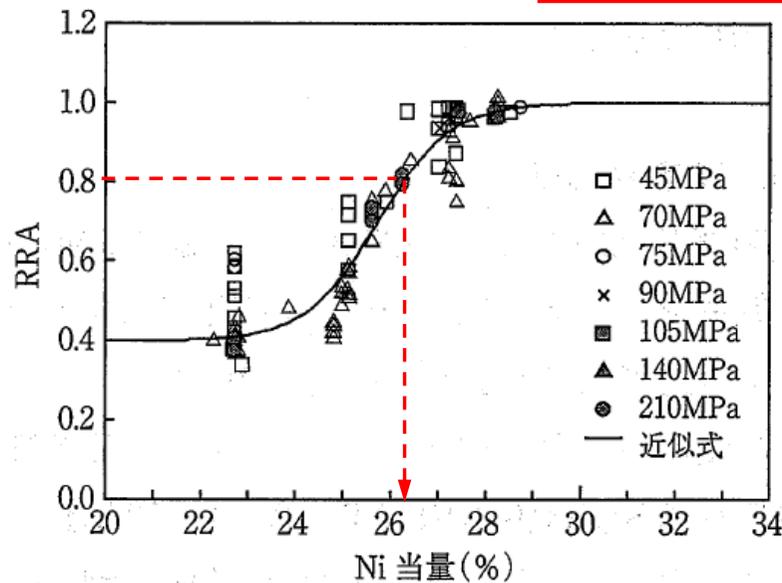


図 20°CにおけるNi当量とRRAの関係

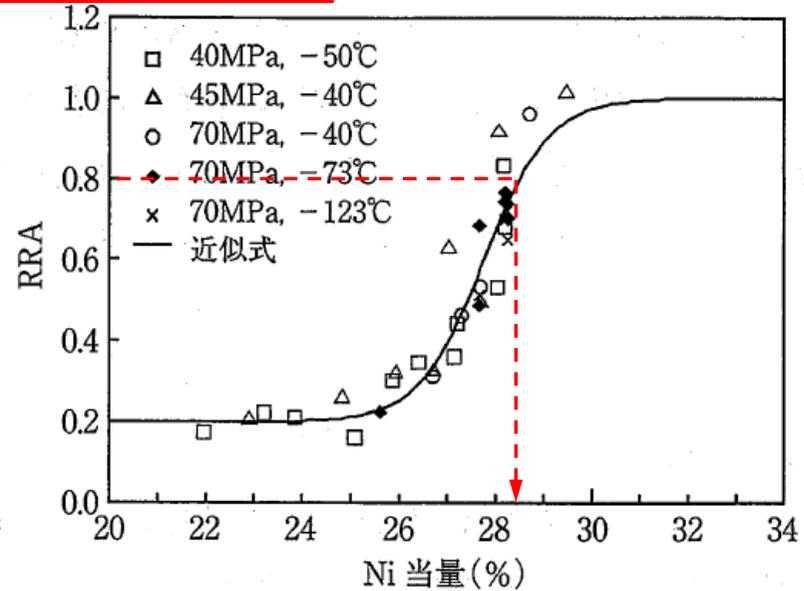


図 -40°CにおけるNi当量とRRAの関係

70MPa一般則例示基準

出典：一般高圧ガス保安規則例示基準(平成25年3月22日) 第6次改訂版

9. ガス設備等に使用する材料

規則関係条項 第6条第1項第14号、第6条の2第1項・第2項第1号、第7条第1項第1号・第2項第1号、第7条の2第1項第1号、第7条の3第1項第1号・第2項第1号、第22条、第55条第1項第5号、第94条の3第2号

2. 圧縮水素スタンドの高圧ガス設備（水素が通る部分に限る。）にあっては、その種類に応じ、次に定める材料（以下2.において「規格材料」という。）、規格材料と比較して化学的成分及び機械的性質が同一であって板厚の範囲、製造方法又は形状が異なるもの、規格材料と化学的成分、機械的性質、試験方法及び試料採取方法が極めて近似的なものであって規格材料と材料の性質が極めて類似したもの、又は規格材料と比較して十分な耐水素劣化特性を有していると認められるものを使用すること（ただし、法第56条の3に規定する特定設備検査に合格した特定設備にあっては、特定則第11条に規定する材料又は特定則第51条の規定に基づき経済産業大臣の認可を受けた材料を使用すること。）。

なお、次に定める材料（2.3で定めるものを除く。）を使用する場合には、その常用の温度は、その常用の圧力が70 MPa以下である場合にあっては-40℃以上85℃以下とし、その常用の圧力が70 MPaを超え82 MPa以下である場合には-10℃以上85℃以下とする。

2.1 圧縮水素の蓄圧器

日本工業規格 G 3214(2009) 圧力容器用ステンレス鋼鍛鋼品（SUS F 3 1 6、SUS F 3 1 6 L）であって、規格材料の引張試験又はミルシートにおける絞りが75%以上、かつニッケル当量が、その常用の温度が-40℃以上-10℃未満である場合にあっては28.5以上であるもの、その常用の温度が-10℃以上20℃未満である場合にあっては27.4以上であるもの、及びその常用の温度が20℃以上85℃以下である場合にあっては26.3以上であるものに限る（下図参照、以下同じ。）。以下、2.2から2.4において同じ。）

中略

日本工業規格 G 4053(2008) 機械構造用合金鋼鋼材（SCM 4 3 5）であって、超音波深傷試験により傷、割れ等の有害な欠陥がないことを確認できるものを、常用の圧力が40 MPa以下の蓄圧器に使用する場合に限る。）。

| 常用の圧力 | 常用の温度 |
|--------------------------------------|--|
| $P \leq 70\text{MPa}$ | $-40^\circ\text{C} \leq T \leq 85^\circ\text{C}$ |
| $70\text{MPa} < P \leq 82\text{MPa}$ | $-10^\circ\text{C} \leq T \leq 85^\circ\text{C}$ |

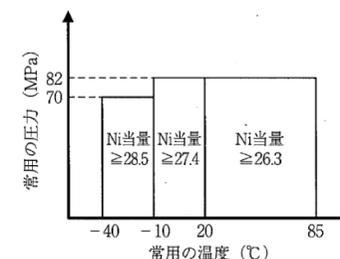


図 常用の圧力及び常用の温度と必要とされるニッケル当量の関係

SCM435の使用範囲：
蓄圧器(常用圧力 \leq 40MPa)

5. 2013～2017年度NEDO事業概要

**「水素利用技術研究開発事業／
燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、
国際基準調和・国際標準化に関する研究開発／
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」**

一般財団法人石油エネルギー技術センター

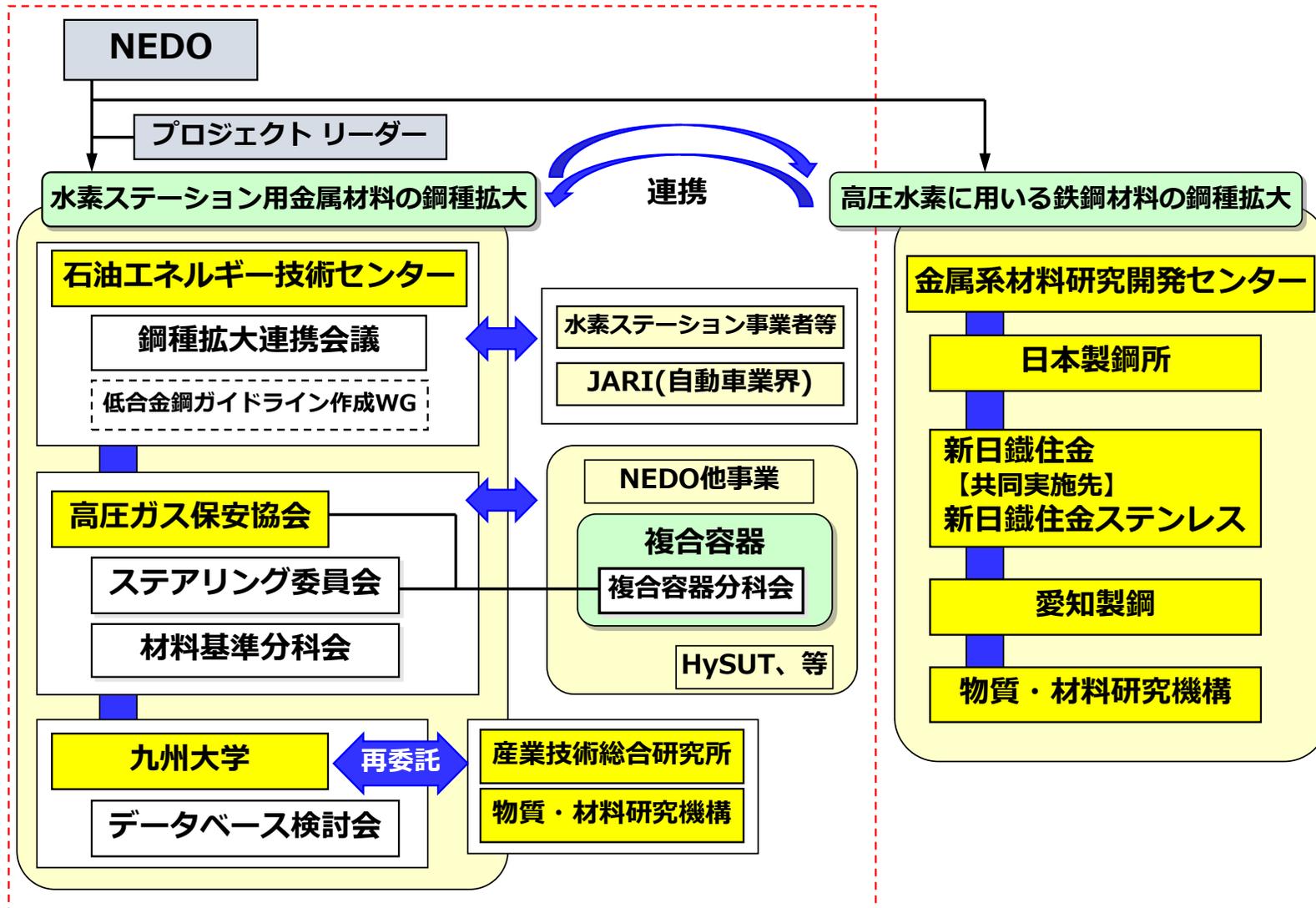
高圧ガス保安協会

国立大学法人九州大学

(再委託先) 国立研究開発法人産業技術総合研究所

(再委託先) 国立研究開発法人物質・材料研究機構

2013～2017年度NEDO事業の実施体制

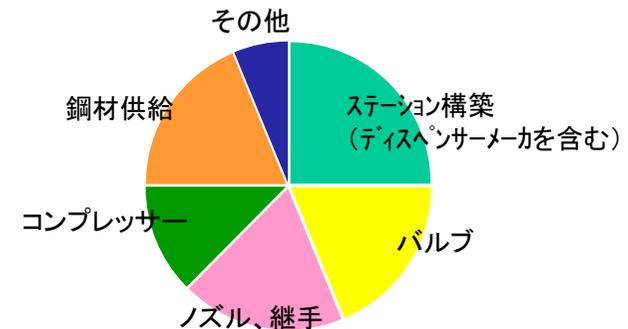


2013～2017年度NEDO事業の目標設定

背景：70MPa級水素ステーション建設を可能とする**安全**かつ**安価**な金属材料を見出す

(1) 目的設定のための手法

- ・水素ステーション各社を毎年調査し、鋼種拡大事業に業界要望を反映させた。
- ・調査対象；20社超（内訳は右図参照；H26年度の例）



ヒアリング会社の内訳

(2) 調査結果とその方向性の決定

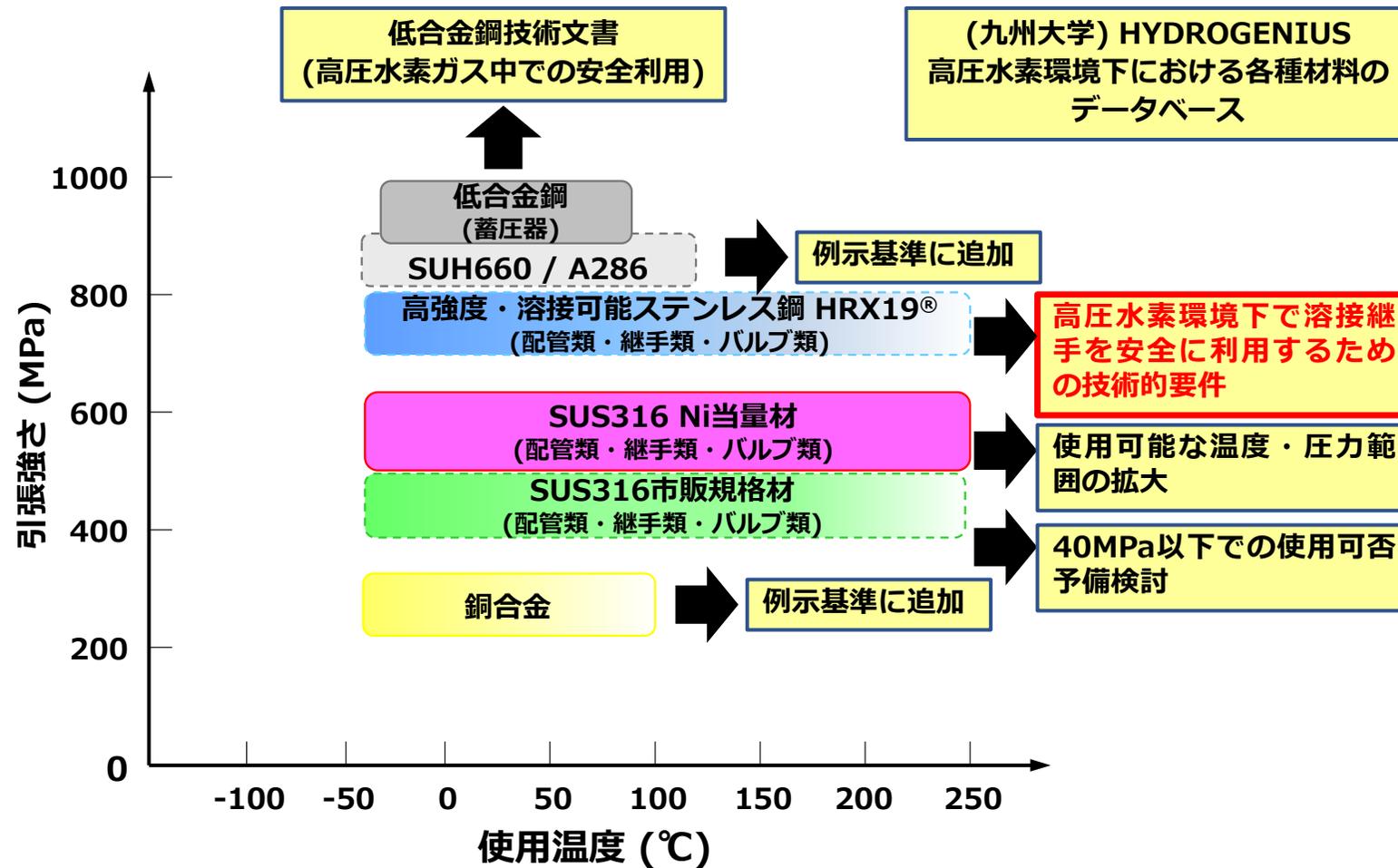
- 1) 初年度～2年度は「**範囲の拡大**」、「**種類の拡大**」ニーズが主
 - ・超高压、広温度域での使用可能範囲拡大、汎用材の使用可能域拡大等のニーズ
 - 【例】SUS(Ni当量品)領域拡大、XM-19、銅合金、低合金鋼鋼など
 - ・鋼材使用部位と条件として整理
- 2) 水素ステーションは開発段階から運営・普及の段階へフェーズが移行それに伴い、「鋼種拡大」も**範囲**、**種類**の拡大から**使い方**の拡大へ（事前評価・特認申請で使用可能な鋼材を、より使い易くするニーズが高い）

ニーズ変化

ニーズ変化への対応

- 【例】
- ・ **海外規格の例示基準化** ⇒ SUH660例示基準範囲の拡大、XM-19の例示基準
 - ・ **溶接の実用化** ⇒ XM-19 (HRX-19) 溶接
 - ・ **低合金鋼の利用拡大** ⇒ 低合金鋼ガイドラインの検討

2013～2017年度NEDO事業で対象とした鋼材



使用温度 - 引張強さ線図

「範囲の拡大」、 「種類の拡大」

(ニーズ調査は適時実施)

20社以上の
関連企業を調査

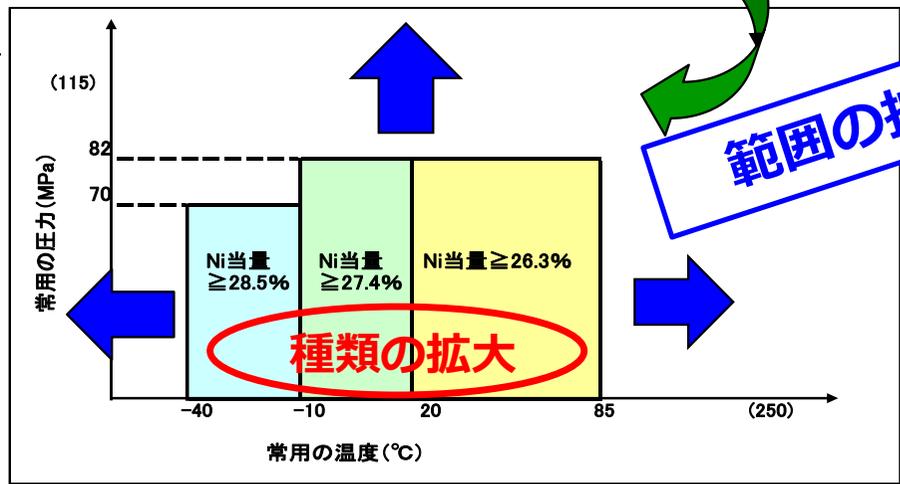
水素の影響がある材料

- ・ 低合金鋼 (クロモリ鋼 など)
- ・ 汎用ステンレス鋼 (SUS316Lなど)

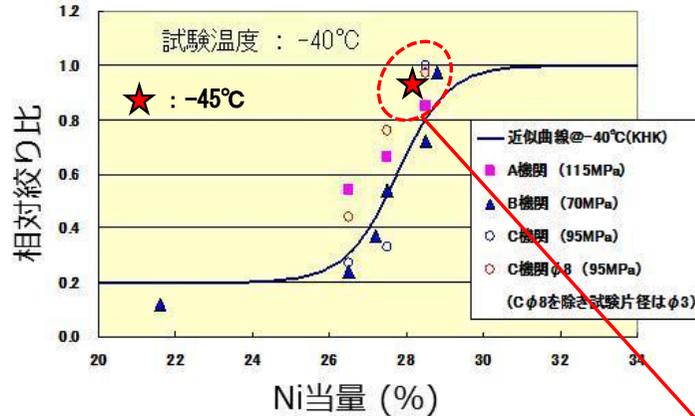
水素の影響がほとんどない材料

- ・ 低温領域 (プレクーラの対応)
- ・ 高温 (圧縮機関連機器の対応)
- ・ 高圧 (70MPaフル充填の対応)
- ・ 低圧 (使用実績のある金属材料利用)

・ ニーズを整理
⇒ 「範囲の拡大」
と
「種類の拡大」



SUS 316 例示基準化「範囲の拡大」



- 例示基準化への成果
- ① 高温域の常用温度を85°Cから250°Cに拡大
 - ② 低温域の常用圧力を82MPaまで拡大
 - ③ 低温域の常用温度を-45°Cまで拡大

評価条件の確立

水素純度

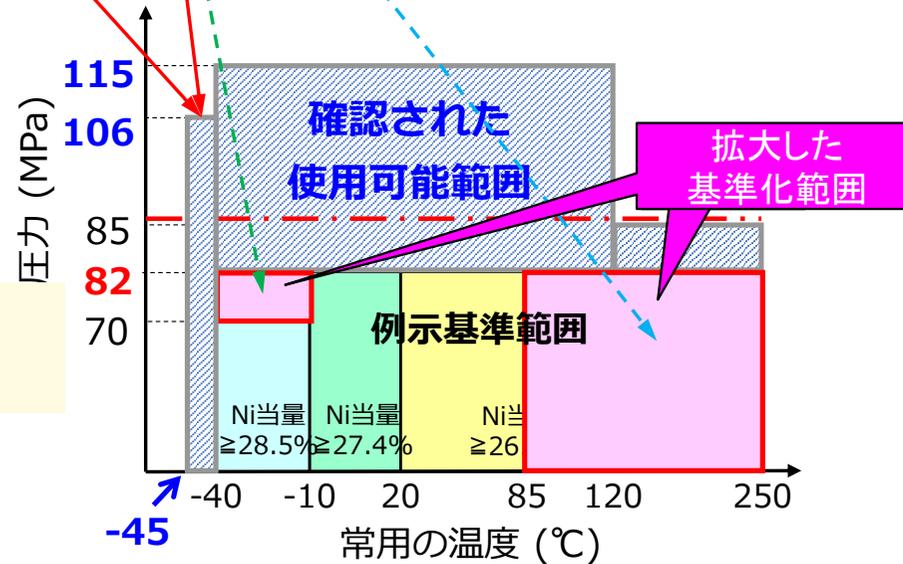
| ASME KD-10の要求仕様にもとづき管理 | | | | Vol ppm |
|------------------------|----------------|-----|-----------------|------------------|
| 不純物 | O ₂ | CO | CO ₂ | H ₂ O |
| 仕様 | < 1 | < 1 | < 1 | < 3 |

試験片直径

従来知見と予備試験結果を検査し標準寸法を選定
 オーステナイト系ステンレス鋼：φ4mm以下
 低合金鋼(SCM435・SNM439等)：φ6mm

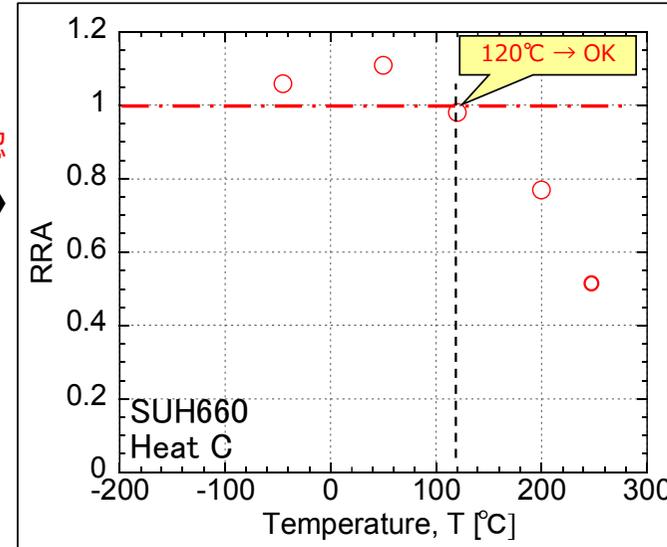
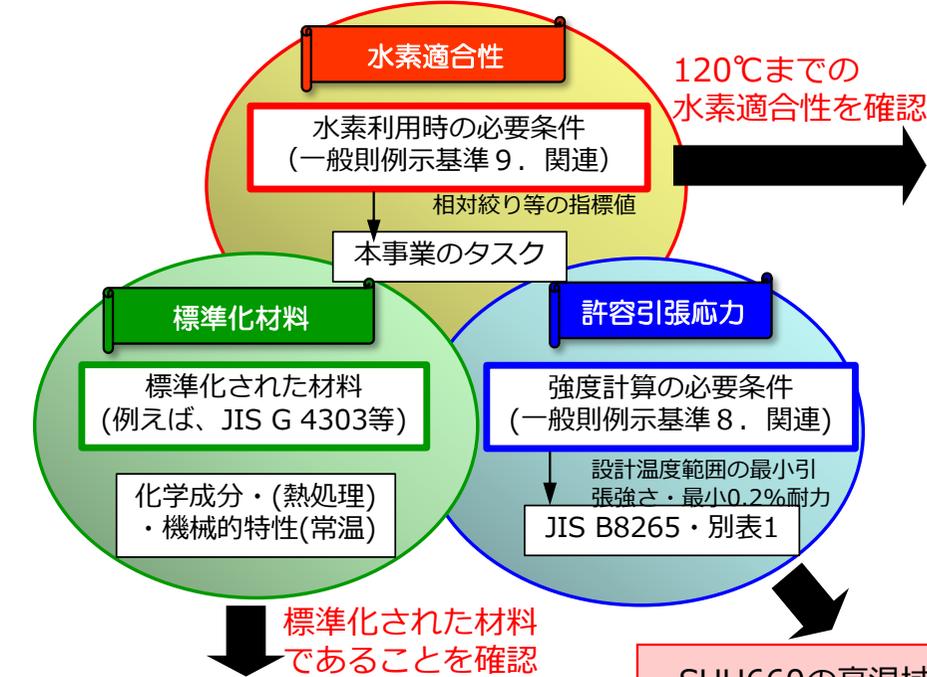
試験片表面

ASTM G142(高温高圧水素中における材料の脆化評価試験法)の試験片加工方法に準拠することが必要。



SUH660 : 使用温度範囲拡大「種類の拡大」

例示基準化に必要な要件



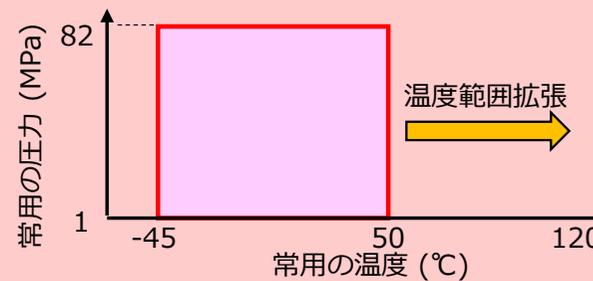
RRAと試験温度の関係
(2016.3 HYDROGENIUSデータ)

SUH660材料規格

JIS G 4311 : 耐熱鋼棒及び線材

JIS G 4312 : 耐熱鋼板及び鋼帯

SUH660の高温域の許容引張応力を規定出来れば、
一般則例示基準の使用温度範囲を120°Cまで拡張可能



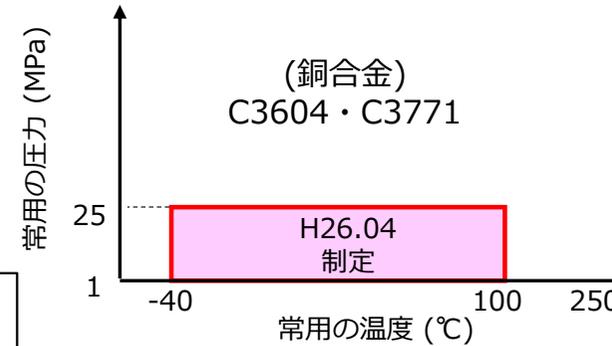
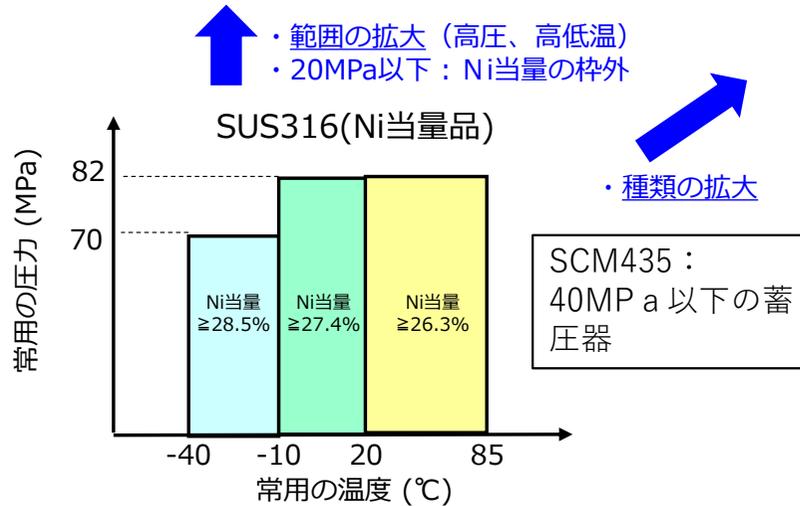
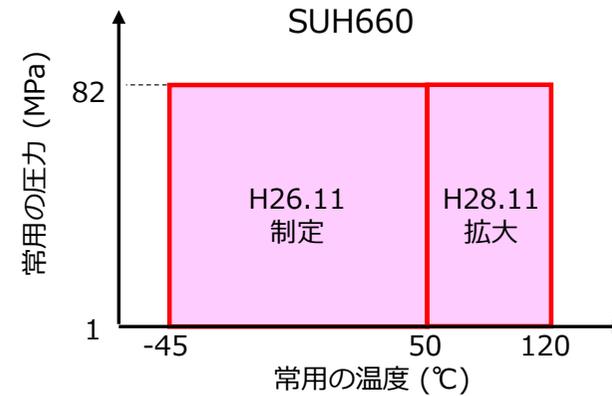
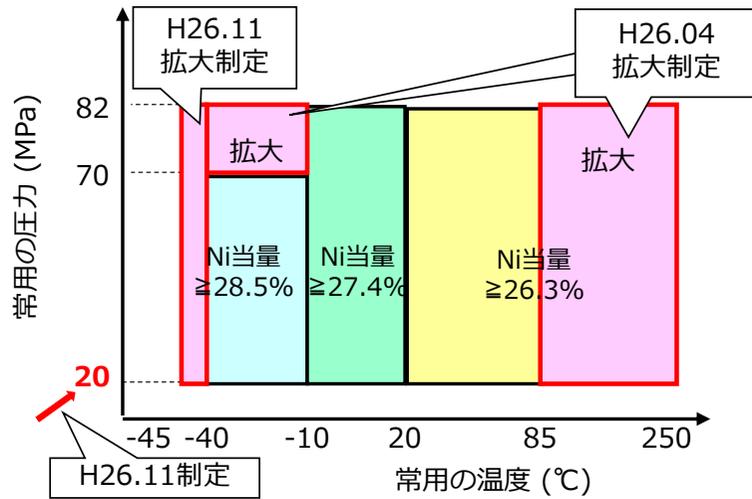
SUH660 : 許容引張応力追記

許容引張応力について申請を行い、例示基準に追記された。
(2016年11月1日施行)

特定則例示基準別添1別表1 (一部抜粋) ⇒ SUH660の許容引張応力値追記

| 規格名称 | 種類の記号 | 製造方法等 | 規定最小引張強さ | 各温度における許容引張応力(N/mm ²) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|---------------------|----------------------|------------|-----------------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | | 温度 -269 | -196~-60 | -45 | -30 | -10 | 0 | 40 | 75 | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 | 275 | 300 | 325 | 350 |
| 耐熱鋼棒 JIS G 4311 (1991) | SUH 21~ SUH 409 | (略) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | SUH 446 | (53) | 510 | — | — | — | — | — | 128 | 128 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | (略) |
| 耐熱鋼板 JIS G 4312 (1991) | SUH 660 | (66)(67) (68)(69) | 900 | — | — | 224 | 224 | 224 | 224 | 224 | 224 | 224 | 224 | 224 | 223 | 222 | 220 | 218 | 216 | 214 | 213 | — |
| | SUH 661 | (62) (9)(62) | 690 690 | — | — | — | — | — | 172 | 172 | 172 | 171 | 165 | 159 | 153 | 148 | 144 | 142 | 137 | 135 | 132 | 130 |
| | SUS 304~ SUS 430 | (略) | | | | | | | 172 | 172 | 172 | 172 | 170 | 169 | 166 | 164 | 162 | 160 | 159 | 158 | 157 | 156 |

例示基準改正の成果



- ・ 範囲の拡大 (高圧、高低温)
- ・ 20MPa以下 : Ni当量の枠外
- ・ 種類の拡大

HRX19：材料特性「種類の拡大」

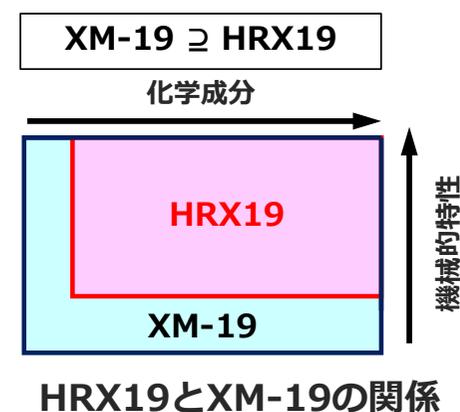
HRX19はXM-19の機械的特性(引張強さ・耐力)を改善した材料である

化学成分

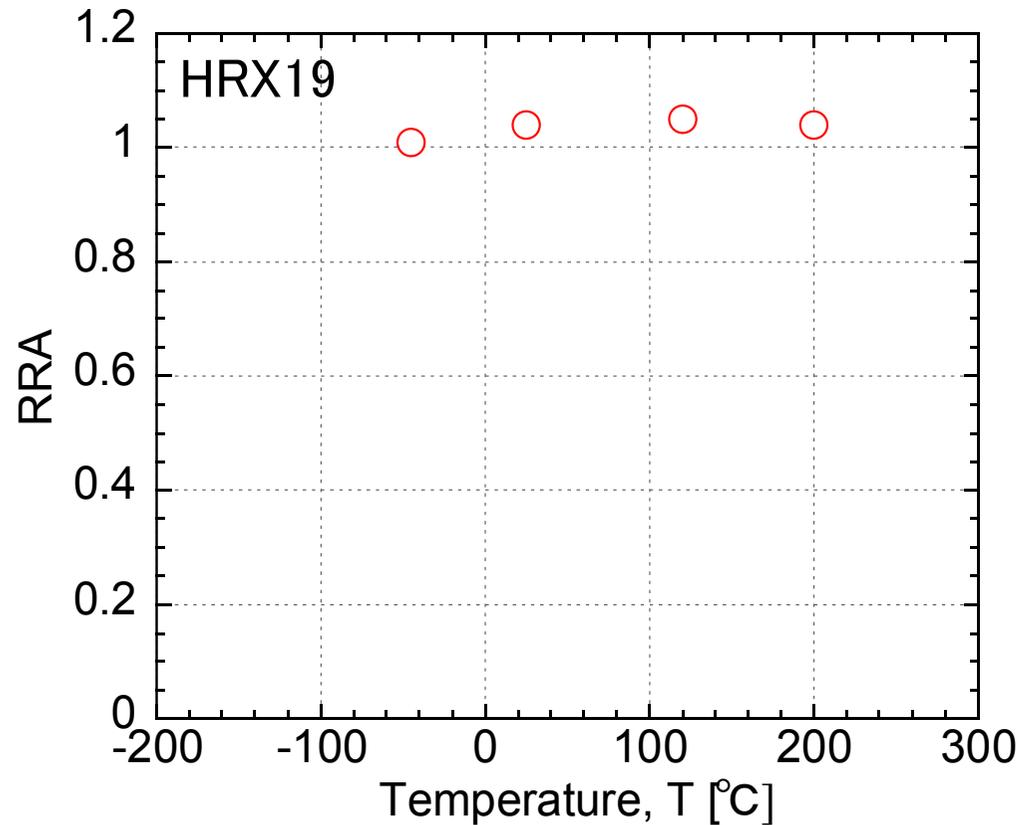
| 規格/用途 | 鋼材名称 | | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo | V | Nb | N |
|------------|---------|-----|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| NSSMC | HRX19® | Max | 0.06 | 1.00 | 6.00 | 0.030 | 0.001 | 13.5 | 23.5 | 3.00 | 0.3 | 0.30 | 0.40 |
| | | Min | 0.005 | 0.20 | 4.30 | | | 12.0 | 21.5 | 1.50 | 0.15 | 0.15 | 0.25 |
| ASME SA276 | XM-19 | Max | 0.06 | 1.00 | 6.00 | 0.040 | 0.030 | 13.5 | 23.5 | 3.00 | 3.00 | 0.30 | 0.40 |
| | | Min | | | 4.00 | | | 11.5 | 20.5 | 1.50 | 1.50 | 0.10 | 0.20 |
| ASME SA312 | TPXM-19 | Max | 0.06 | 1.00 | 6.00 | 0.040 | 0.030 | 13.5 | 23.5 | 3.00 | 3.00 | 0.30 | 0.40 |
| | | Min | | | 4.00 | | | 11.5 | 20.5 | 1.50 | 1.50 | 0.10 | 0.20 |

機械的特性

| 規格/用途 | 鋼材名称 | TS (MPa) | YS (MPa) | EL (%) | RA (%) |
|------------|---------|----------|----------|--------|--------|
| NSSMC | HRX19® | ≧ 800 | ≧ 430 | ≧ 35 | ≧ 55 |
| ASME SA276 | XM-19 | ≧ 690 | ≧ 380 | ≧ 35 | ≧ 55 |
| ASME SA312 | TPXM-19 | ≧ 690 | ≧ 380 | — | — |



HRX19 水素適合性温度範囲の確認「種類の拡大」



HRX19はXM-19の質別材として規格材&許容応力制定を考えている。⇒将来的には例示基準化へ

HRX19 : 許容引張応力のHPIS化

表1.2 鉄鋼材料の許容引張応力(JIS以外の材料)

| 種類 | 記号 | 標準成分 (%) | 材料規格の引張強さ ² N/mm ² | 母材の区分 | グループ番号 | 外圧チャート番号 | 製造方法 | 注 | 各温度(°C)における許容引張応力 N/mm ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 記号 | | | | | | | |
|-------------------------|-------------|---------------|--|-------|--------|----------|------|-------------|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|
| | | | | | | | | | ~40 | 75 | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 | 275 | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 425 | 450 | 475 | 500 | | 525 | 550 | 575 | 600 | 625 | 650 | |
| ASME SA-312/312M (2015) | TPXM-19 | 22Cr-13Ni-5Mn | 690 | | | | ZIS | | | 172 | 172 | 171 | 167 | 163 | 160 | 157 | 155 | 154 | 153 | 152 | 151 | 150 | 149 | 148 | 146 | 144 | 143 | 141 | 138 | 136 | 133 | 121 | 85 | 57 | TPXM-19 |
| ASME SA-476/476M (2015) | XM-19 | 22Cr-13Ni-5Mn | 690 | | | | Z | g) h) | | 172 | 172 | 171 | 167 | 163 | 160 | 157 | 155 | 154 | 153 | 152 | 151 | 150 | 149 | 148 | 146 | 144 | 143 | 141 | 138 | 136 | 133 | 121 | 85 | 57 | XM-19 |
| ASME 類似鋼種 | TPXM-19-ETP | | | | | | ZIS | i) j) k) | | 200 | 200 | 196 | 190 | 186 | 182 | 180 | 177 | 175 | | | | | | | | | | | | | | | | | TPXM-19-ETP |
| | XM-19-ETP | | | | | | Z | h) j) k) l) | | 200 | 200 | 196 | 190 | 186 | 182 | 180 | 177 | 175 | | | | | | | | | | | | | | | | | XM-19-ETP |

HPIS

圧力容器及びボイラ用材料の
許容引張応力表
(引張強さに対する安全係数 4 対応)

Allowable Tensile Stress Values for Boiler
and Pressure Vessels Materials
(Design Margin 4)

HPIS C 104:2018

2018年11月22日

一般社団法人日本高圧力技術協会
High Pressure Institute of Japan

著作権者による複製等の権利、転載等は禁止されておりません。

| 記号 | 形状 | 各温度(°C)における許容引張応力 N/mm ² | | | | | | | | |
|-------------|----|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | ~40 | 75 | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 |
| TPXM-19-ETP | 管 | 200 | 200 | 196 | 190 | 186 | 182 | 180 | 177 | 175 |
| XM19-ETP | 丸棒 | 200 | 200 | 196 | 190 | 186 | 182 | 180 | 177 | 175 |

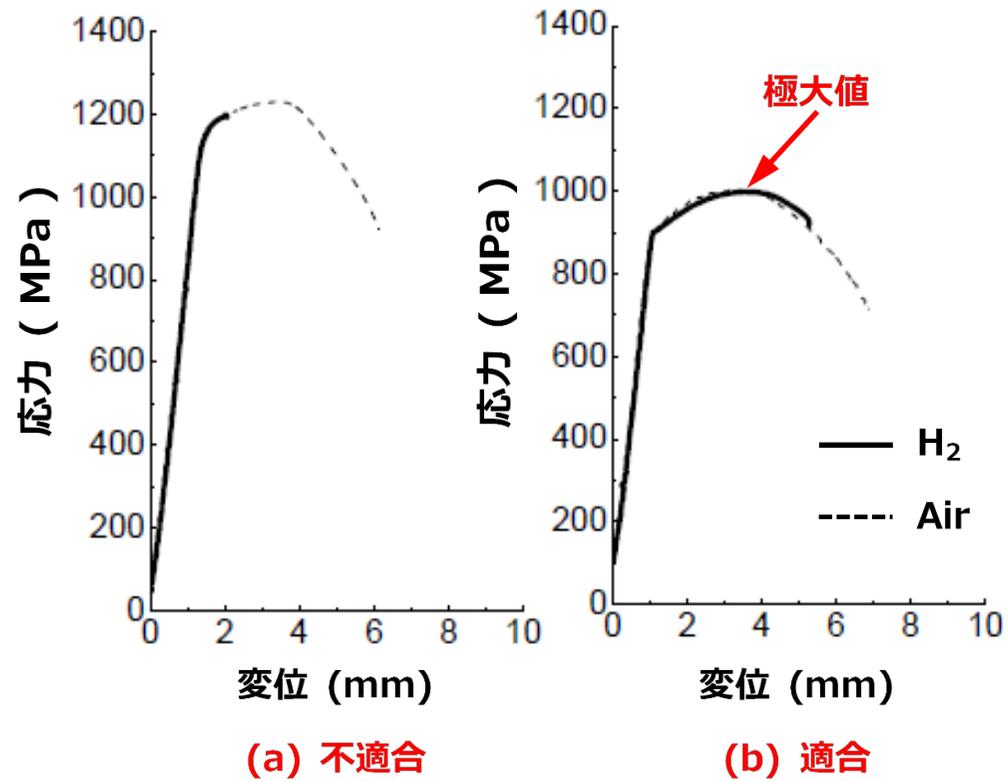
耐水素性に優れ溶接可能な高強度ステンレス鋼であるHRX19について、ASME規格材XM-19の質別材(XM-19-ETP)として、-45°C~250°Cの温度範囲で許容引張応力を制定した。(HPIS C104 : 2018)

低合金鋼の技術文書化「使い方の拡大」

| 申請方法 | 内容 |
|---|---|
| <div data-bbox="353 600 790 750"> <p>例示基準規定範囲</p> <p>申請範囲</p> </div> <p>一般申請</p> | <p>各規則の機能性基準の一つの解釈</p> |
| <div data-bbox="353 807 927 1034"> <p>例示基準規定範囲</p> <p>申請範囲</p> <p>詳細基準事前評価</p> </div> <p>詳細基準事前評価</p> | <p>申請者が作成した詳細基準が関係規則に定める機能性基準に適合するかどうかを判断する。</p> |
| <div data-bbox="353 1090 927 1316"> <p>規則規定範囲</p> <p>申請範囲</p> <p>特定案件事前評価</p> </div> <p>特定案件事前評価 (大臣特認)</p> | <p>容器則、特定則、一般則等省令で定める規定に代わる特則を経済産業大臣の特別認可(大臣特認)を得て適用する。</p> |

低合金鋼：水素適合性の判定

【骨子】 水素ガス中SSRTの荷重－変位線図において、最大荷重点を超過することを確認する。



水素ガス中SSRT試験の事例

出典： Wada, Y. et al., Proc. 2007 ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference (ASME2007) PVP2007-26533

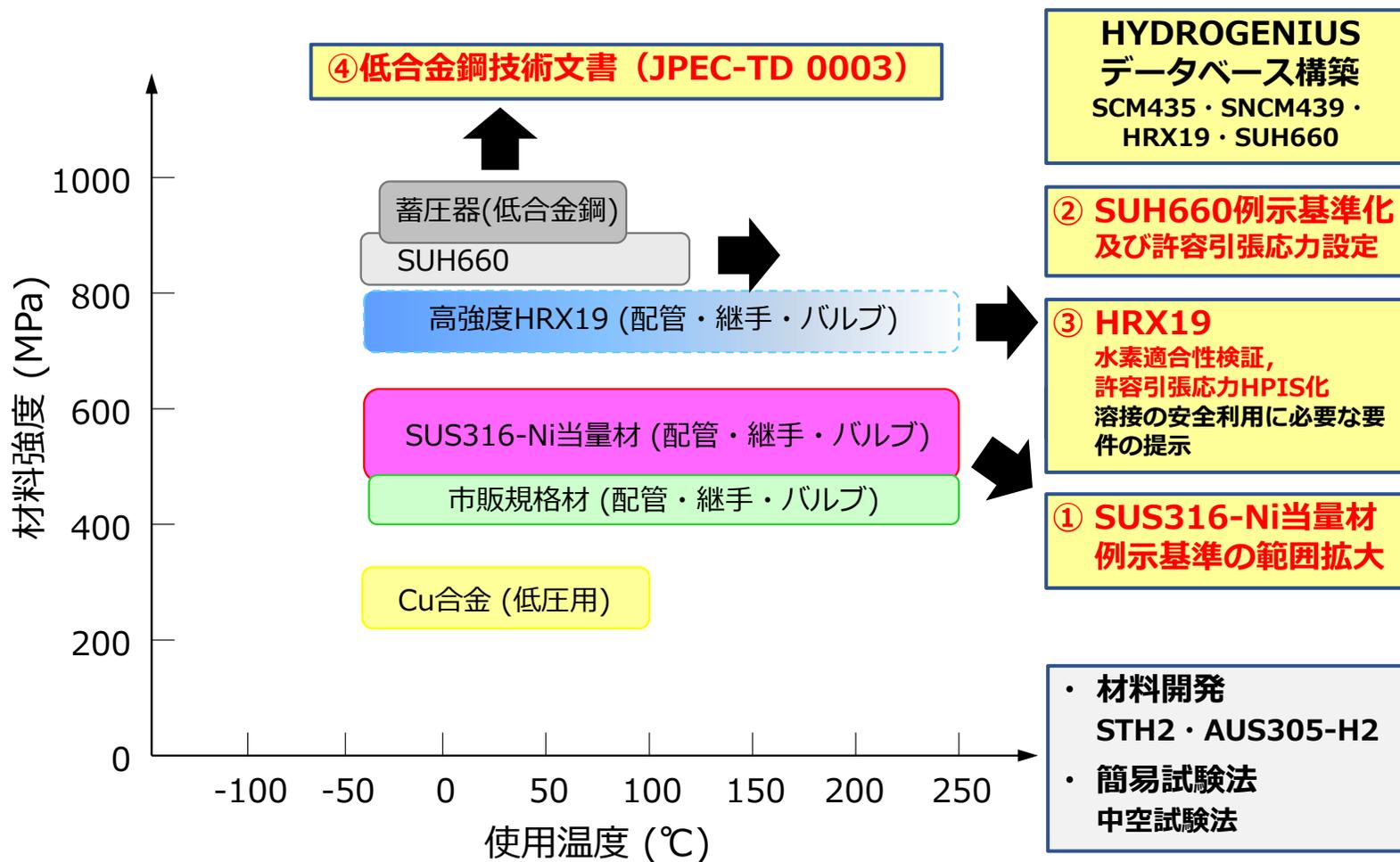
低合金鋼技術文書

低合金鋼技術文書がJPEC水素インフラ規格基準委員会で承認され、**JPEC-TD 0003**として発行された。

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)

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

NEDO事業(2013~2017年度)の成果まとめ



使用温度と材料強度の関係

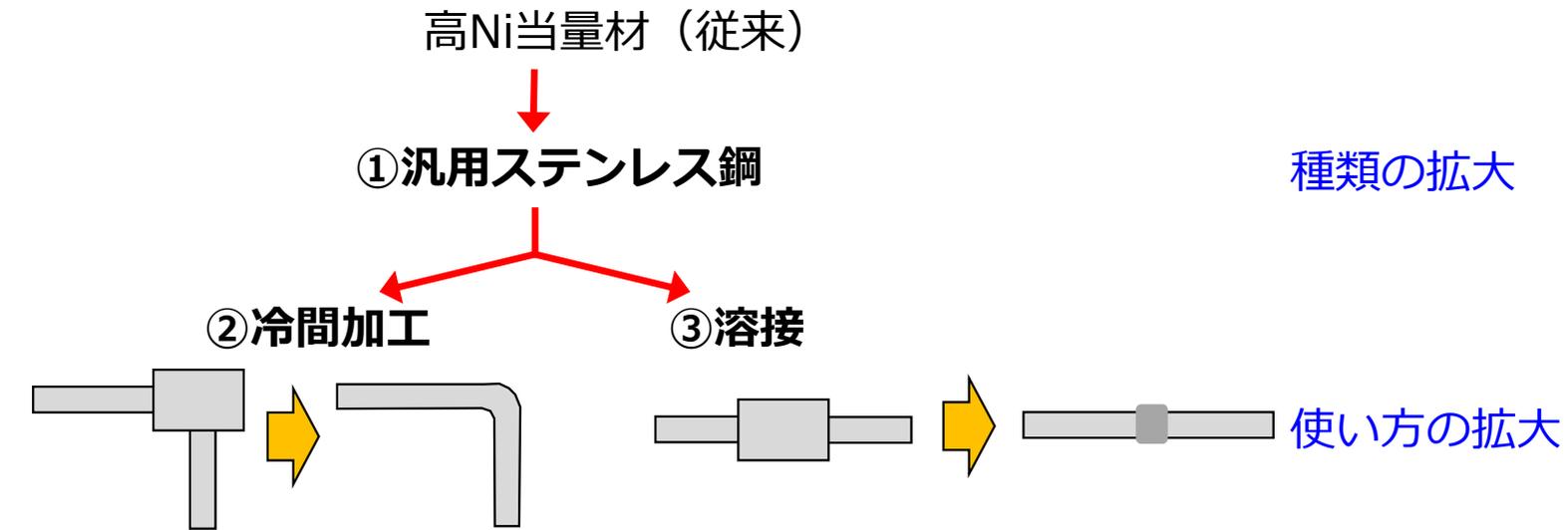
6. 2018～2022年度NEDO事業概要

超高压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

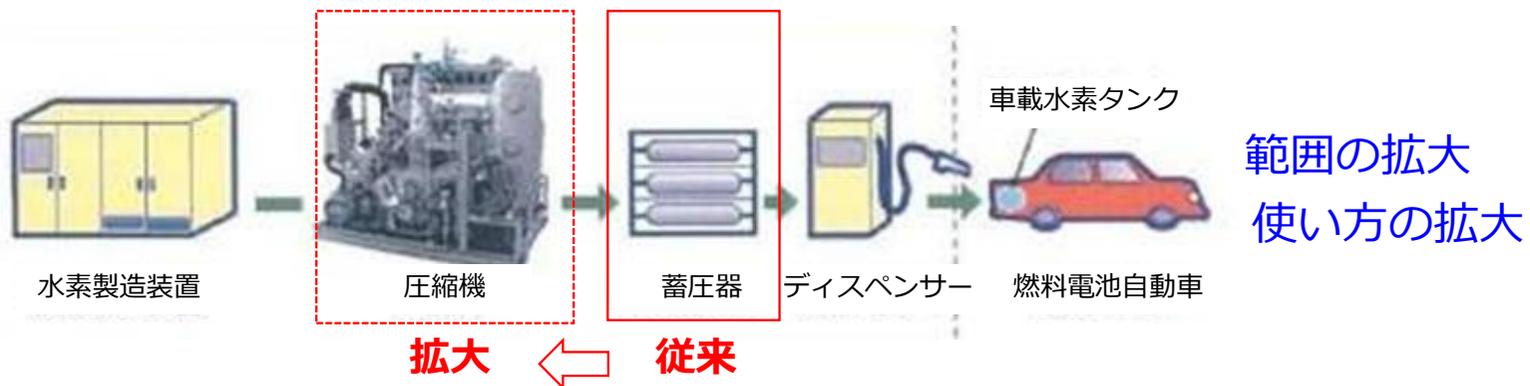
【事業参加者一覧】

- 一般財団法人石油エネルギー技術センター (JPEC)
- 高压ガス保安協会 (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)

2018~2022年度NEDO事業の方向性



④低合金鋼



NEDO事業の位置づけ

②水素ステーション

(出典) 2019.3.12 METI
水素・燃料電池戦略ロードマップ

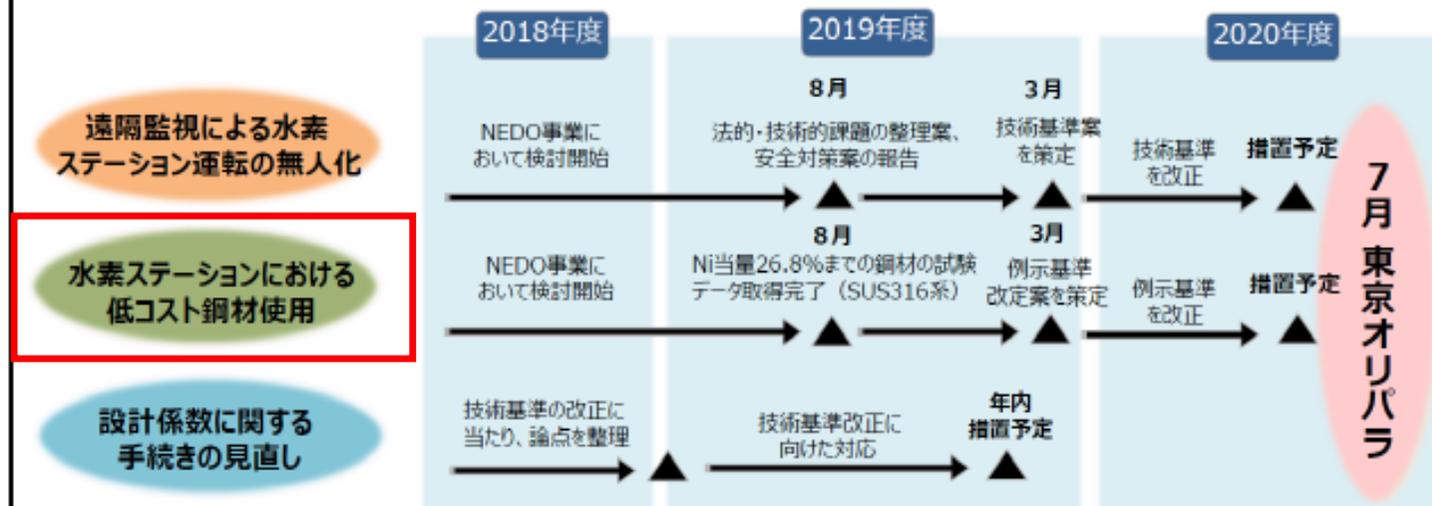
<ロードマップ>

- 水素ステーションについて、官民一体となって2020年度までに160箇所、2025年度までに320箇所を整備し、2020年代後半までに水素ステーション事業の自立化を目指す。
- 水素調達コストについて、2020年代後半には水素販売差益(粗利⁵⁾で500円/kg程度を目指す。
- 水素ステーションの整備費・運営費について、2020年頃までに導入初期との比較で半減(整備費:2.3億円、運営費:2.3千万円)し、2025年頃までに導入初期との比較で大幅削減(整備費:2.0億円、運営費:1.5千万円)することを目指し、要素技術毎に下表のとおりコスト目標を定める。
- 標準化・規格化については、水素ステーションの各機器の仕様や制御方法を統一するため、2020年度までに各機器についての業界統一規格を策定することを目指す。

| | 導入初期 | 2016年 | 2025年頃 |
|-------------|---------------|---------------|-------------------|
| 圧縮機 | 1.40億円 | 0.90億円 | 0.50億円 (100台/年・社) |
| 蓄圧器 | 0.50億円 | 0.50億円 | 0.10億円 (500本/年・社) |
| フルクーラー | 0.30億円 | 0.20億円 | 0.10億円 (100台/年・社) |
| ディスペンサー | 0.60億円 | 0.20億円 | 0.20億円 (100台/年・社) |
| その他工事費 | 1.80億円 | 1.70億円 | 1.10億円 |
| 整備費計 | 4.60億円 | 3.50億円 | 2.00億円 |
| 運営費 | 4~5千万円 | 3.4千万円 | 1.5千万円 |

NEDO事業の位置づけ

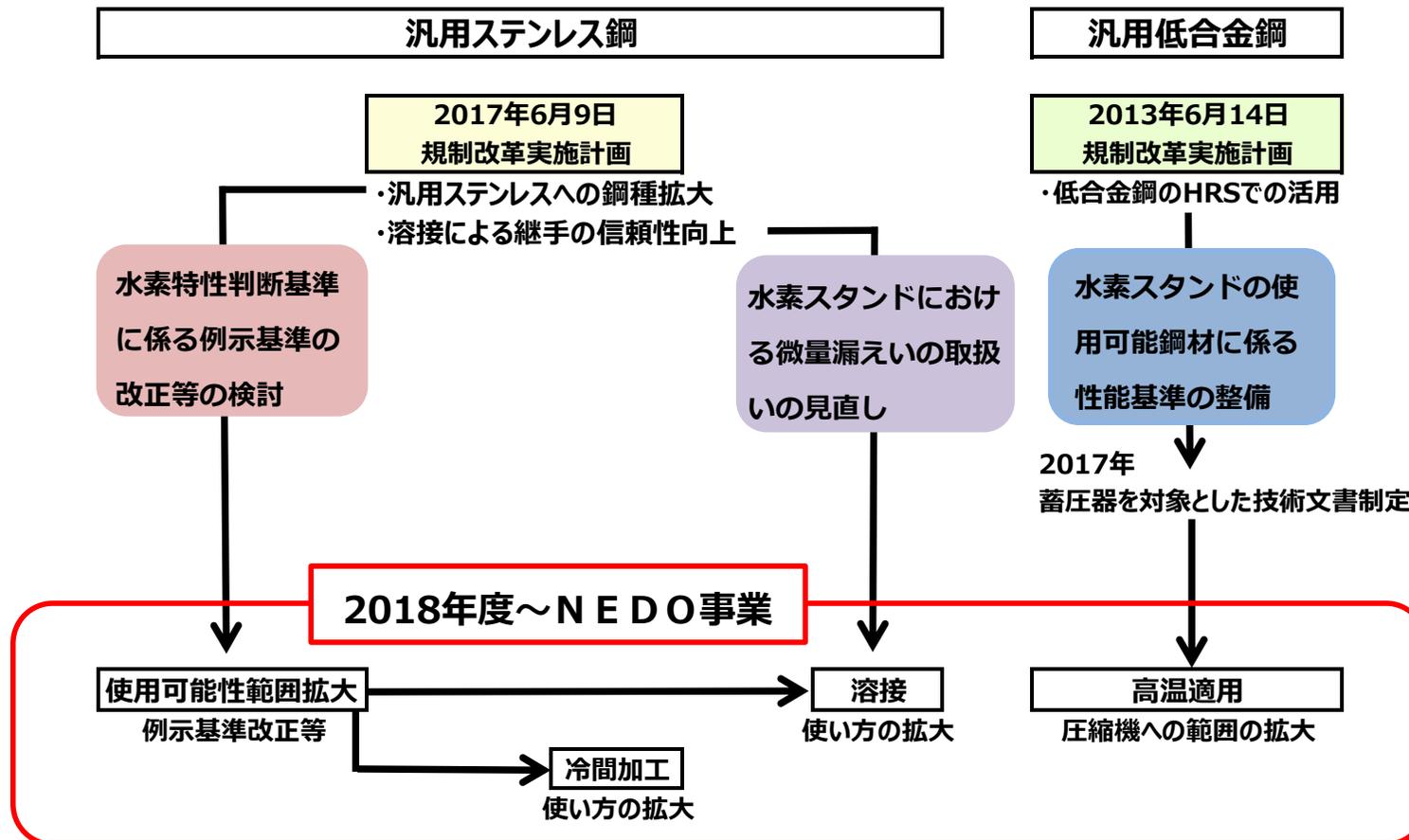
- 水素ステーションの整備費・運営費を低減させるため、安全確保を前提に、規制改革実施計画（2017年6月9日閣議決定）で掲げられている37項目の規制見直しを着実に進める。以下の主要3項目については、達成目標時期を下図のとおり定める。



(出典) 2019.3.12 METI
水素・燃料電池戦略ロードマップ

NEDO事業の位置づけ

規制改革実施計画に沿った研究開発を実施している。



NEDO事業（2018年度～）の概要

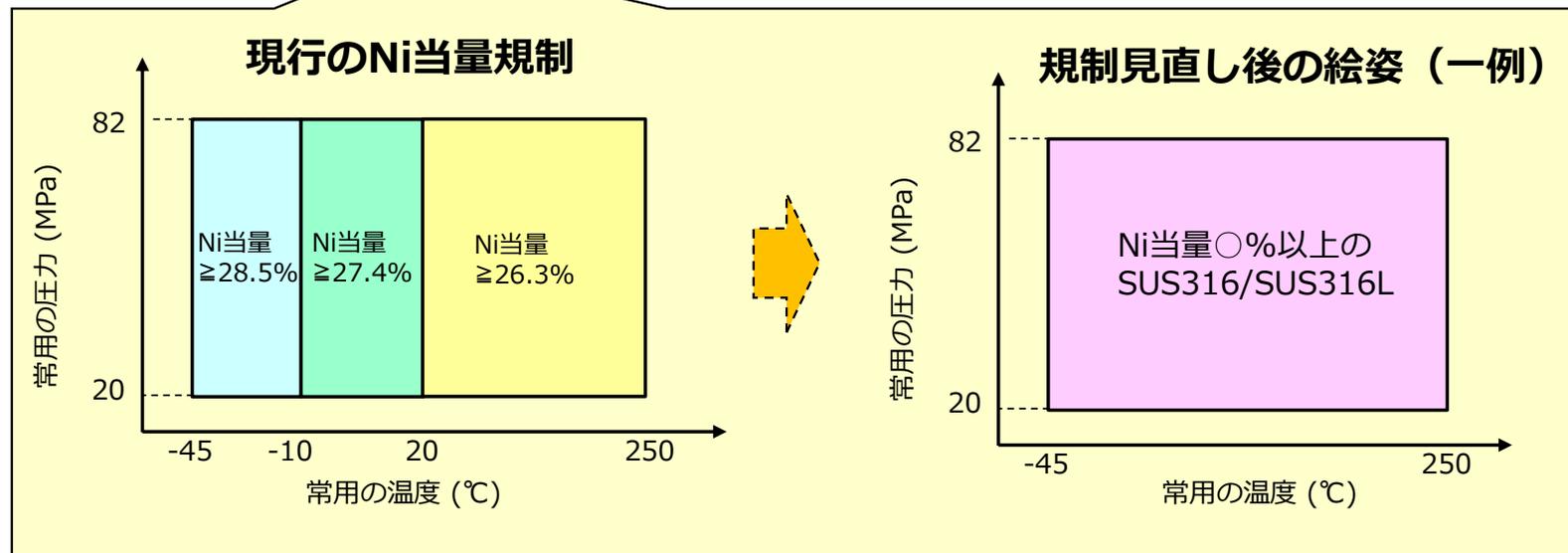
(1) 汎用ステンレス鋼

水素ステーションで使用可能な材料の範囲を拡大（下図）

種類の拡大
使い方の拡大

冷間加工

溶接

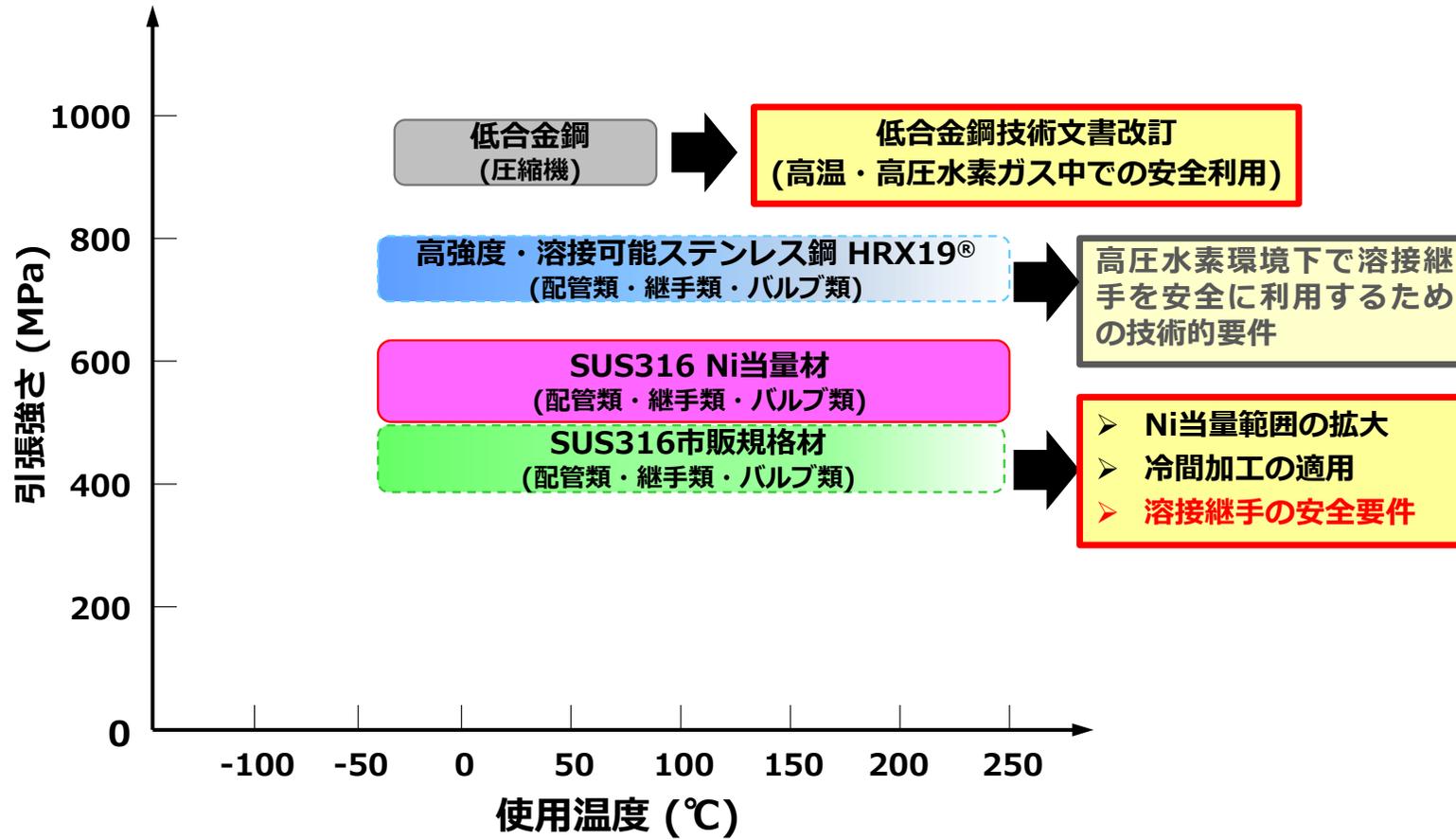


(2) 汎用低合金鋼

範囲の拡大、使い方の拡大

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)

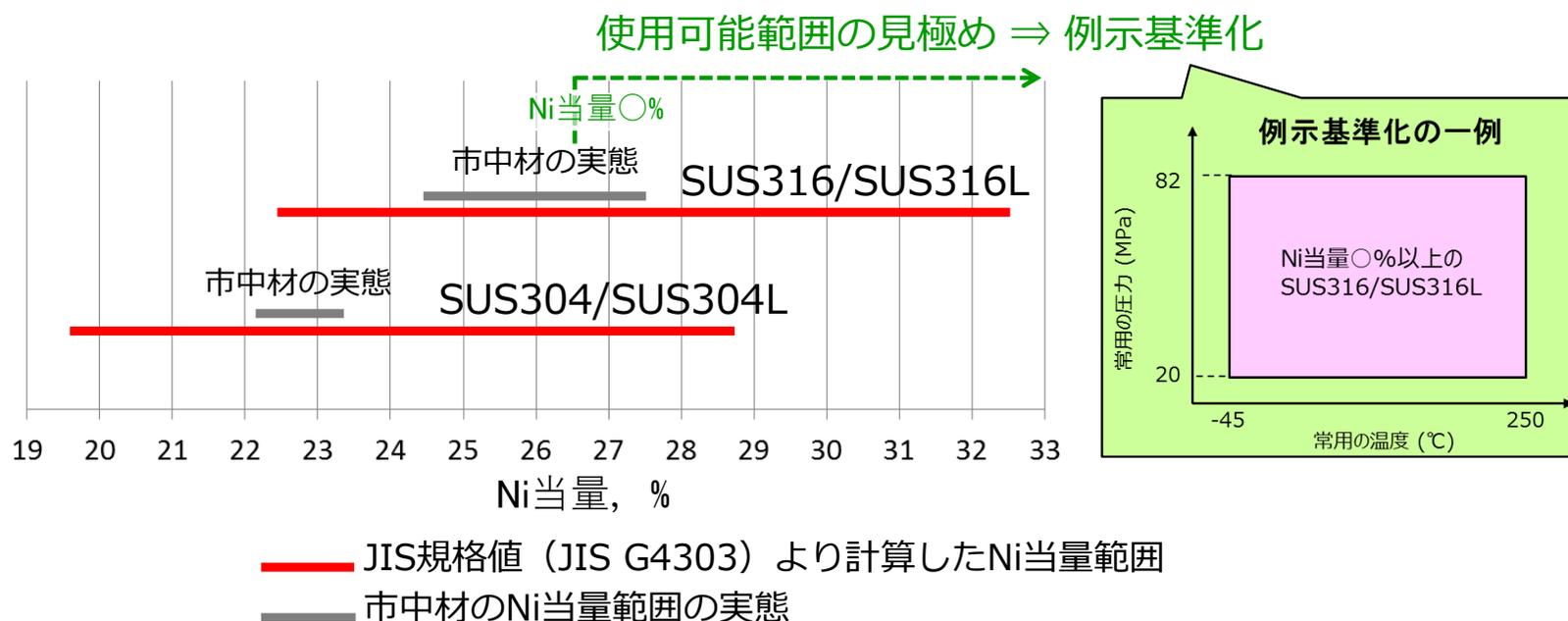
NEDO事業で対象とする鋼材



使用温度 - 引張強さ線図

新指標のアウトプットイメージ

市中に流通する汎用材（SUS316系）の使用を念頭に、例示基準におけるNi当量範囲の拡大を目指す。



水素適合性判断基準の考え方

これまでの考え方（現行例示基準策定時の検討）

- ✓ 平成24年の例示基準策定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ことから、精度が確認されており、かつ最も保守的な指標であった「**絞り**」を判断基準として例示基準化を図った。

必要な水素特性の確保：水素の影響を受けた材料の**絞り値**が、JIS規格を満足していること。

新たな判断基準の考え方

- ✓ 平成24年の例示基準制定以降、「伸び」のデータの補完を進めてきたが、「**伸び**」を水素特性の判断に係る指標とすることが可能なことが確認できた。

必要な水素特性の確保：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。

伸びを指標とする水素適合性判断基準の考え方

- 平成24年の例示基準策定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ことから、精度が確認されており、かつ最も保守的な指標であった「絞り」を判断基準として例示基準化を図った。
- 本NEDO事業で「伸び」のデータの補完を進めてきたが、「伸び」を水素特性の判断に係る指標とすることが可能なことが確認できた。

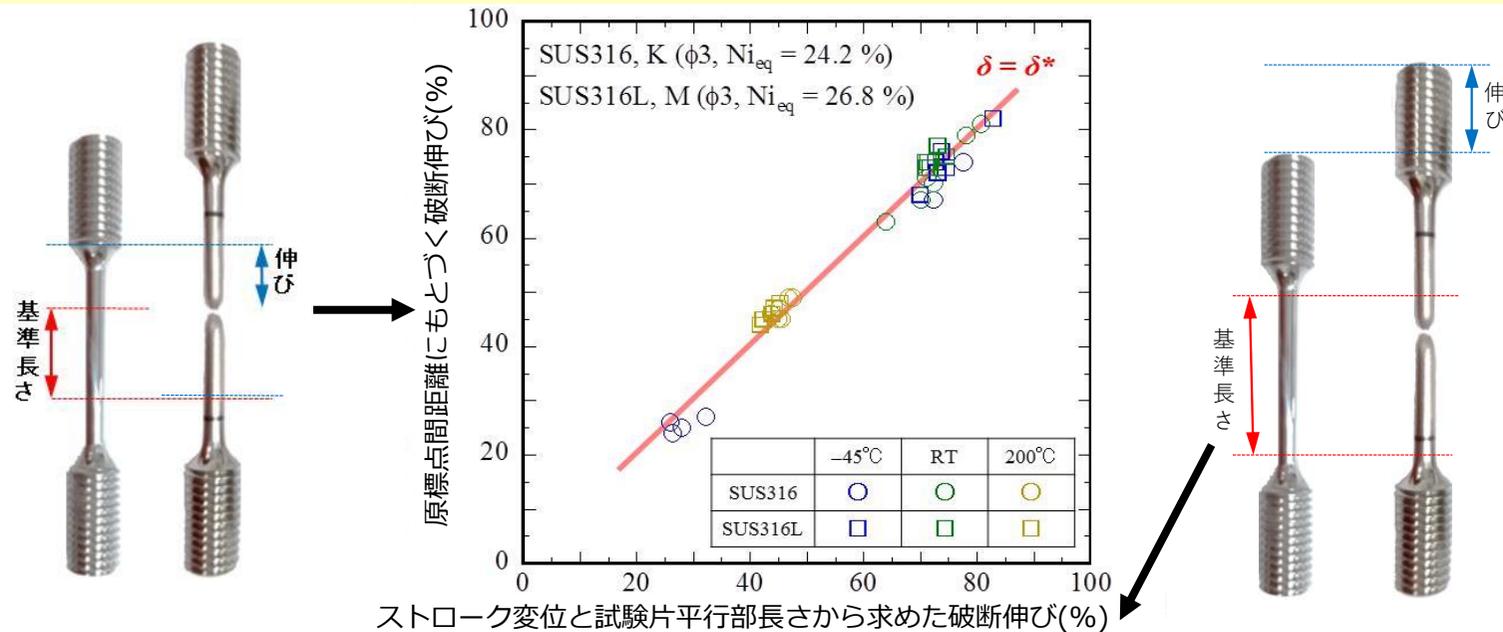
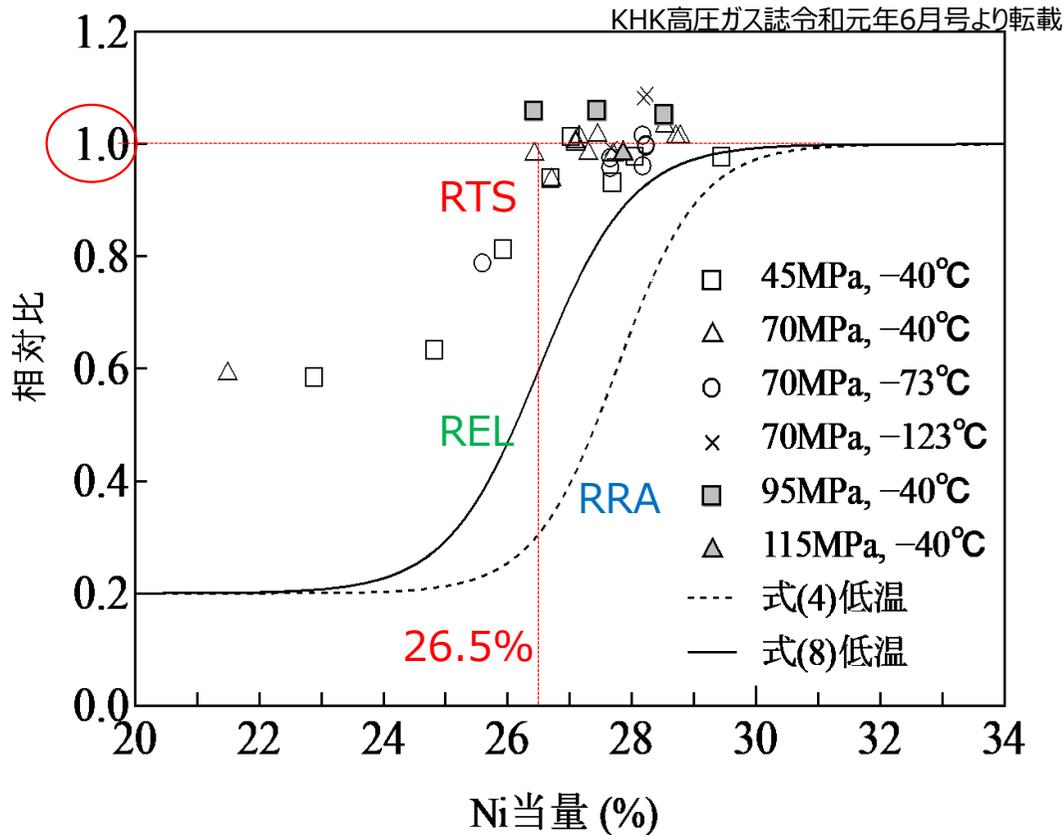


図 伸びの評価試験方法の違いによる相関の検討

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。



規格の許容引張応力在使用可能

図 Ni当量のと相対比の関係

SUS316、SUS316LのSSRT結果の事例

Ni当量24.2%・SUS316：-45℃@高圧水素環境で水素適合性低下が認められた。

Ni当量26.8%・SUS316L：-45℃@高圧水素環境においても水素適合性の低下認められなかった。

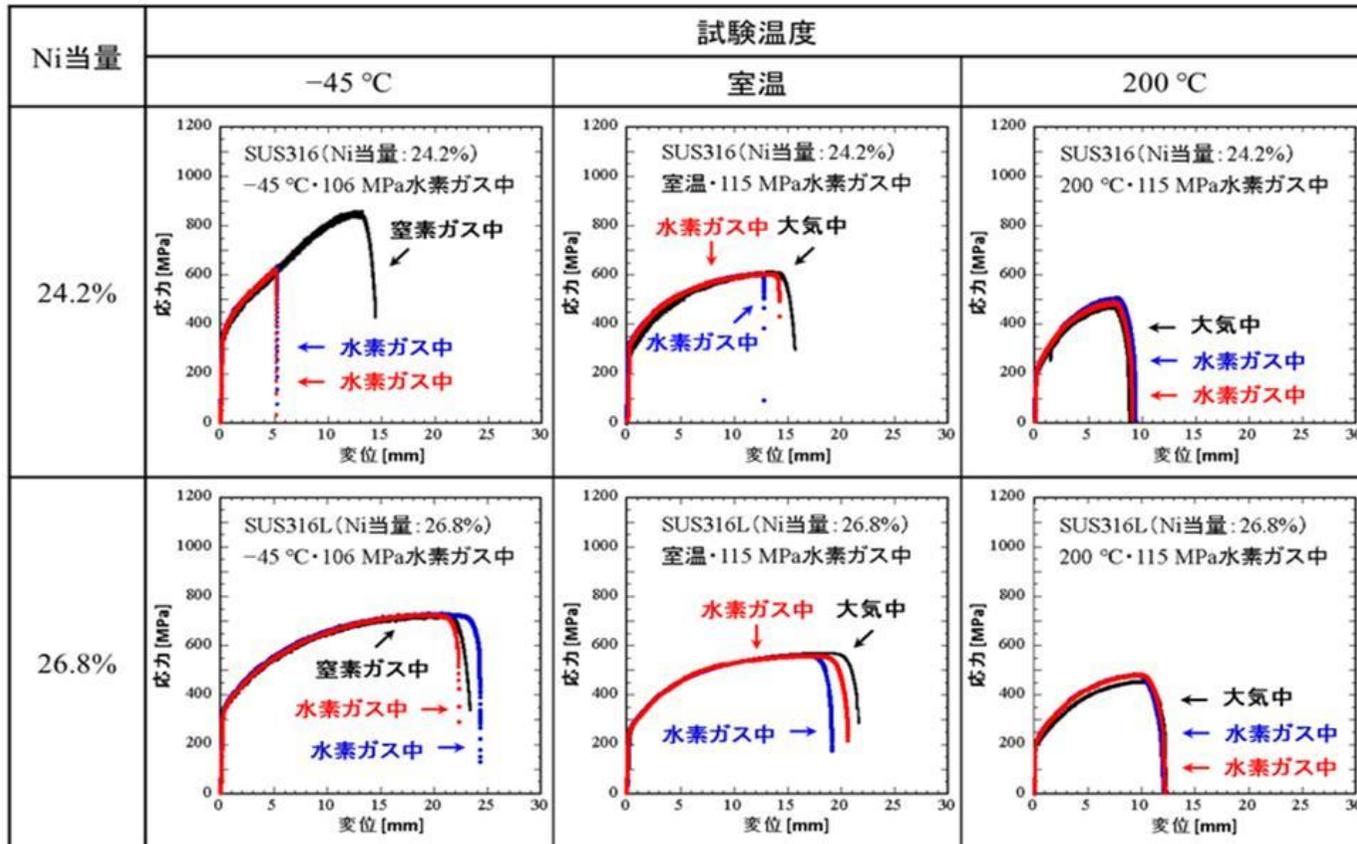
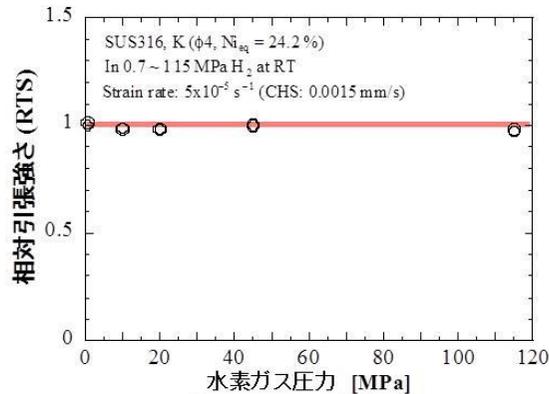


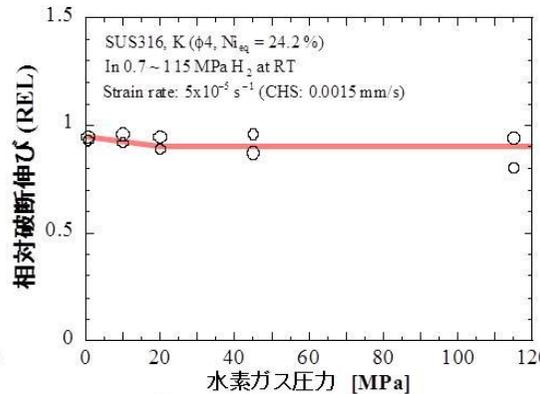
図 SUS316L (Ni当量24.2%、26.8%) のSSRT結果の例

SSRTにおける水素適合性への測定圧力の影響

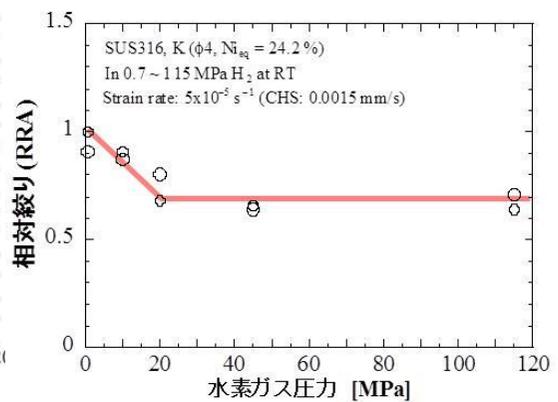
SUS316 (Ni当量: 24.2%, 素材形状: 板) における室温SSRT特性の各種相対値



(a) 相対引張強さ (RTS)

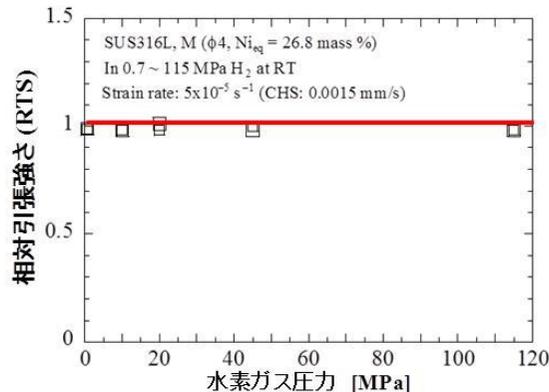


(b) 相対破断伸び (REL)

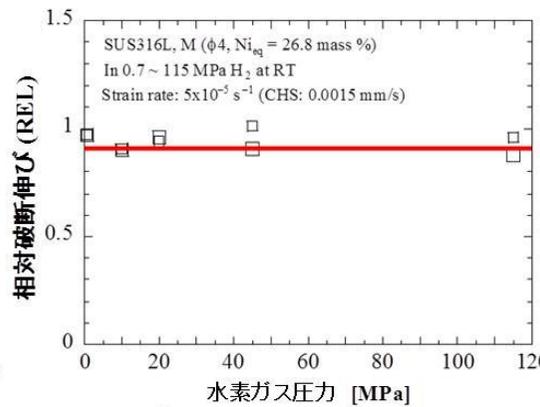


(c) 相対絞り (RRA)

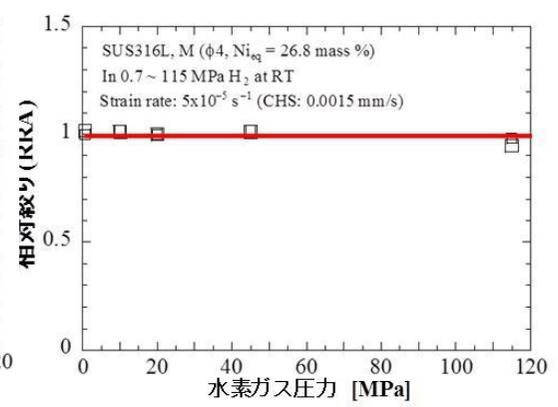
SUS316 (Ni当量: 26.8%, 素材形状: 板) における室温SSRT特性の各種相対値



(a) 相対引張強さ (RTS)



(b) 相対破断伸び (REL)



(c) 相対絞り (RRA)

図 SUS316L (Ni当量24.2%、26.8%) のSSRT@室温 結果の例

SUS316L疲労試験結果（室温、-45℃@100~115MPaH2）

大気中と比較して、高圧水素中でも室温と同様に低温において疲労限度が低下しないことを確認した。

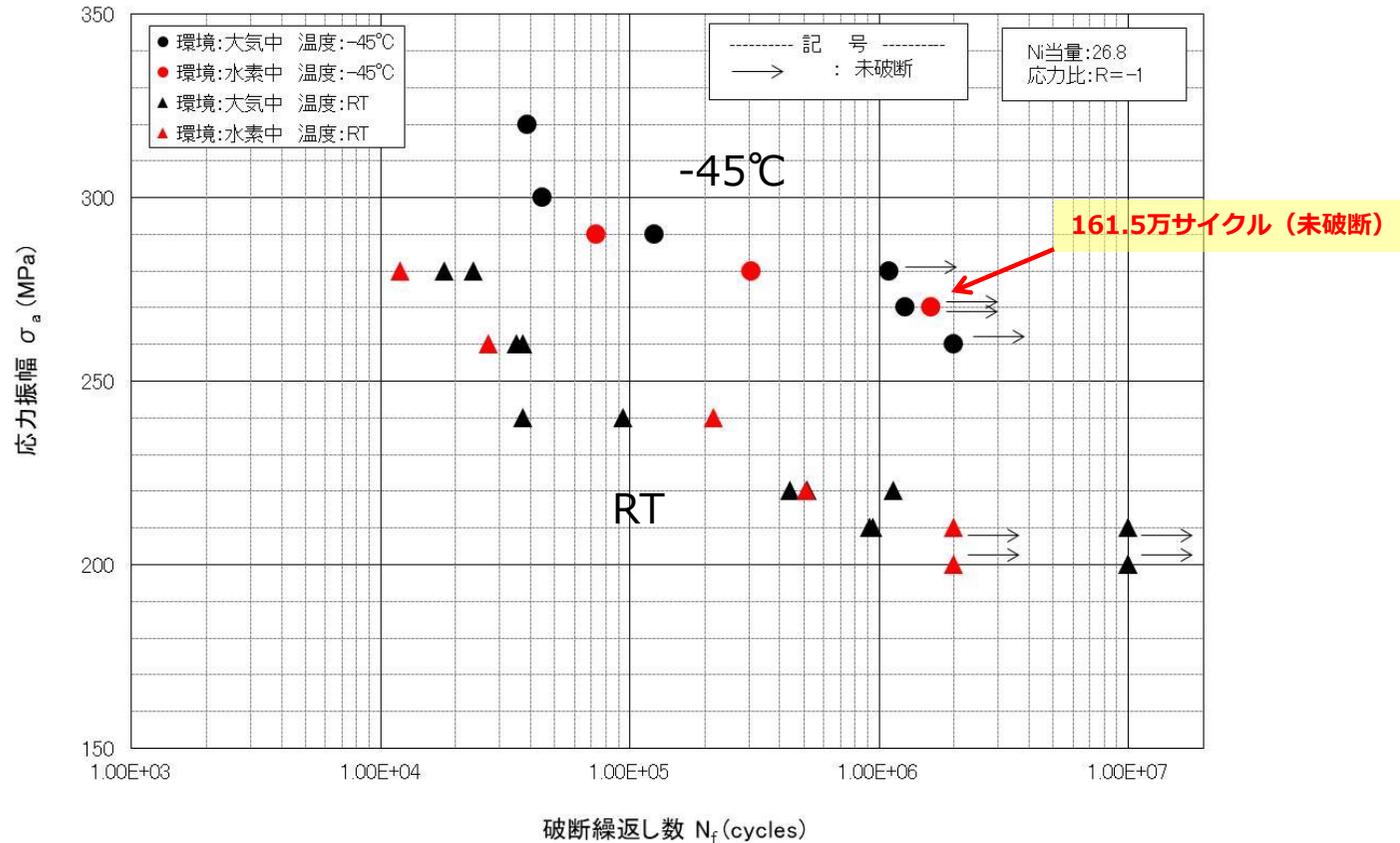
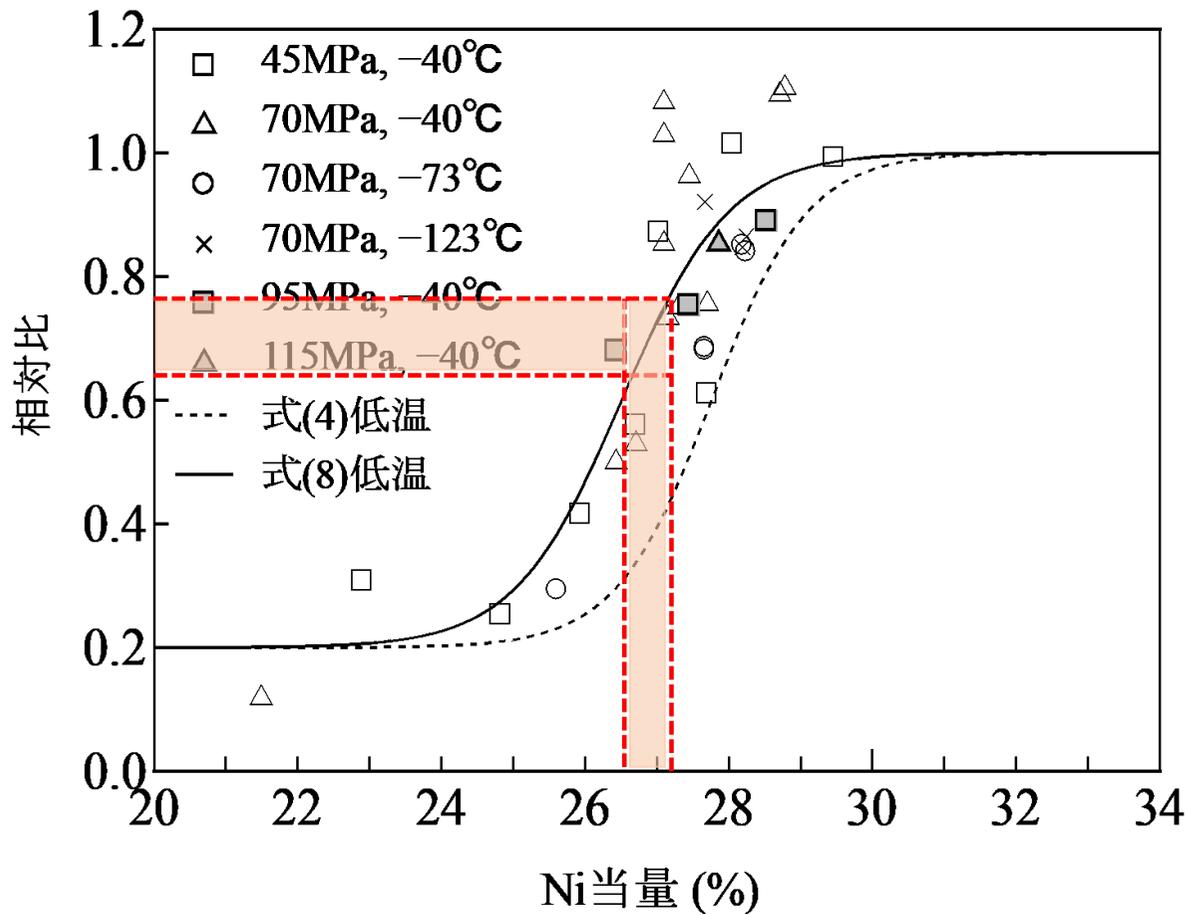


図 SUS316L (Ni当量26.8%) の疲労試験結果

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。



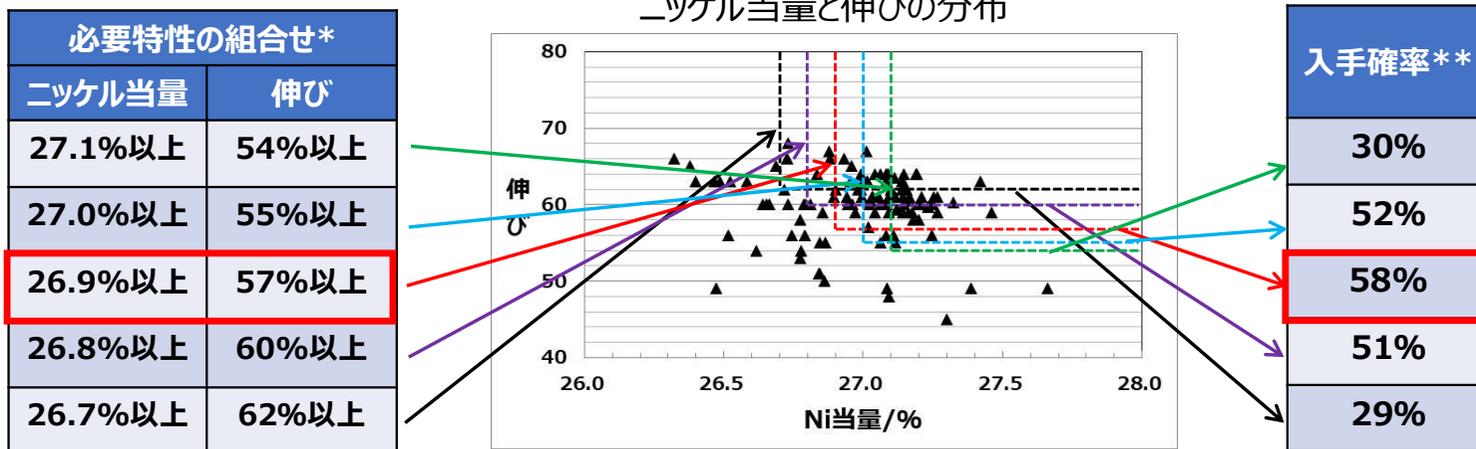
| Ni当量 | REL | 必要伸び |
|-------|------|------|
| 27.1% | 0.74 | 40% |
| 27.0% | 0.73 | |
| 26.9% | 0.71 | |
| 26.8% | 0.67 | |
| 26.7% | 0.65 | |

| ミルシート伸び |
|---------|
| 54%以上 |
| 55%以上 |
| 57%以上 |
| 60%以上 |
| 62%以上 |

Ni当量と伸びの組合せの検討範囲

ニッケル当量と伸びの組合せの検討結果

前スライドで示した「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「**材料の伸び**」×REL \geq 規格の伸び(40%)を満たす市中からの**入手性**を検討した。

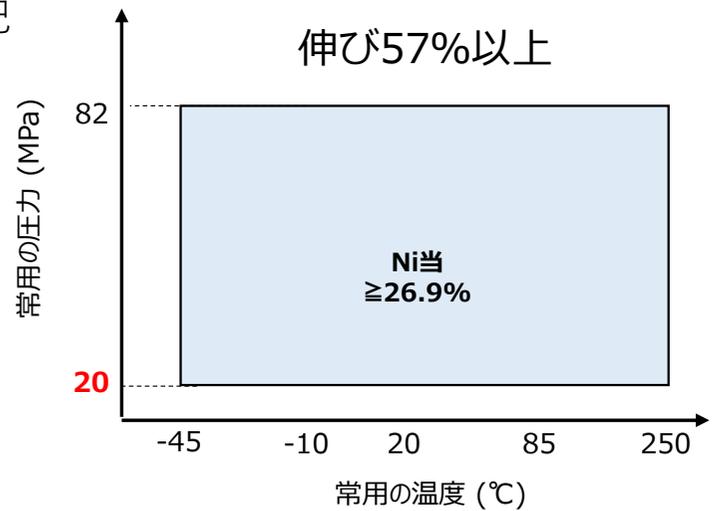
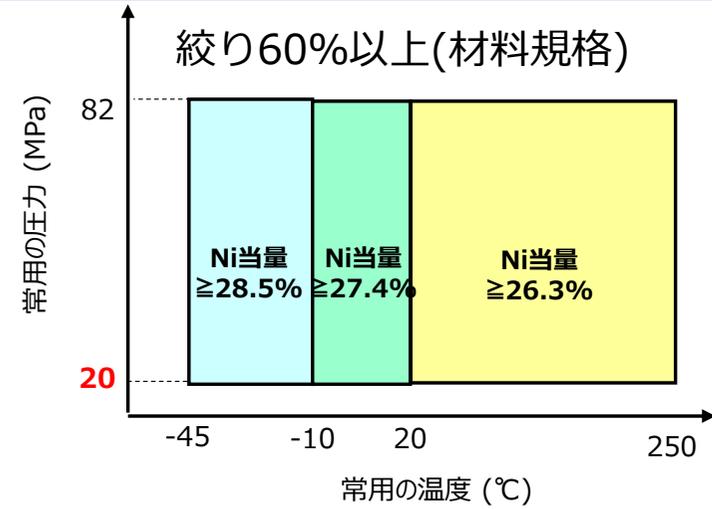
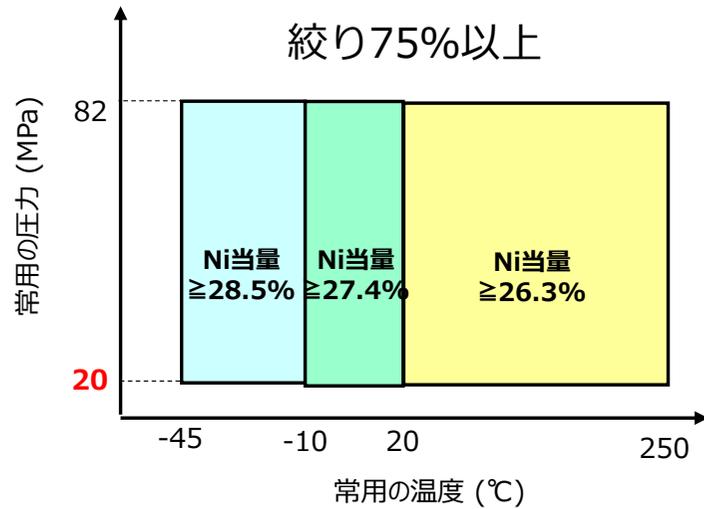


* 上記ニッケル当量と伸びの組合せにおいては、「伸び」、「引張強度」共にJIS規格以上であり、高圧水素中で安全に使用できる。

** 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。

水素適合性判断基準の改正によるNi当量緩和



一般高圧ガス保安規則の機能性基準の運用について等の一部を改正する規程

パブリックコメント実施期間：2020年9月30～10月29日 ⇒11月4日 公布・施行

改正後

方法及び試料採取方法が極めて近似的なものであって規格材料と材料の性質が極めて類似したもの、又は規格材料と比較して十分な耐水素劣化特性を有していると認められるものを使用すること（ただし、法第56条の3に規定する特定設備検査に合格した特定設備にあっては、特定則第11条に規定する材料又は特定則第51条の規定に基づき経済産業大臣の認可を受けた材料を使用すること。）。

2.1～2.5 [略]

表（三）

| 材料の種類 | 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 G 3214(2009)圧力容器用ステンレス鋼 鍛鋼品（SUSF316、SUSF316Lに限る。） | -45℃以上 250℃以下 | 28.5以上（伸びが42%以上にあつては、26.9以上） |
| | -10℃以上 250℃以下 | 27.4以上（伸びが42%以上にあつては、26.9以上） |
| | 20℃以上 250℃以下 | 26.3以上 |
| JIS G 3459(2016)配管用ステンレス鋼管 （SUS316TP、SUS316LTPに限る。） | -45℃以上 250℃以下 | 28.5以上（伸びが50%以上にあつては、26.9以上） |
| | -10℃以上 250℃以下 | 27.4以上（伸びが50%以上にあつては、26.9以上） |
| | 20℃以上 250℃以下 | 26.3以上 |
| JIS G 4303(2012)ステンレス鋼棒 （SUS316、SUS316Lに限る。（注2）） | -45℃以上 250℃以下 | 28.5以上（伸びが57%以上にあつては、26.9以上） |
| JIS G 4304(2012)熱間圧延ステンレス鋼板 及び鋼帯（SUS316、SUS316Lに限る。） | -10℃以上 250℃以下 | 27.4以上（伸びが57%以上にあつては、26.9以上） |
| JIS G 4305(2012)冷間圧延ステンレス鋼板 及び鋼帯（SUS316、SUS316Lに限る。） | 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。

また、「伸び」とは、規格材料の引張試験又はミルシートにおける伸びを示す。

（注2）ただし、熱間加工ままの状態を除く。

表（四）～表（七） [略]

改正前

方法及び試料採取方法が極めて近似的なものであって規格材料と材料の性質が極めて類似したもの、又は規格材料と比較して十分な耐水素劣化特性を有していると認められるものを使用すること（ただし、法第56条の3に規定する特定設備検査に合格した特定設備にあっては、特定則第11条に規定する材料又は特定則第51条の規定に基づき経済産業大臣の認可を受けた材料を使用すること。）。

2.1～2.5 [略]

表（三）

| 材料の種類 | 規格材料の引張試験 又はミルシート における絞り | 圧力・温度の条件 | 常用の温度における ニッケル当量（注1） |
|---|--------------------------------|--|--|
| JIS G 3214(2009)圧力容器用ステンレス 鋼鍛鋼品（SUSF316、SUSF316Lに限る。） JIS G 3459(2004)配管用ステンレス鋼管（ SUS316TP、SUS316LTPに限る。） JIS G 4303(2005)ステンレス鋼棒（SUS316 、SUS316Lに限る。） JIS G 4304(2010)熱間圧延ステンレス鋼 板及び鋼帯（SUS316、SUS316Lに限る。） JIS G 4305(2010)冷間圧延ステンレス鋼 板及び鋼帯（SUS316、SUS316Lに限る。） | 75%以上 | 常用の圧力： 82MPa以下 常用の温度：-45 ℃以上 250℃以下 | -45℃以上 -10℃ 未満である場合に あつては28.5以上 -10℃以上 20℃未 満である場合にあ つては27.4以上 20℃以上 250℃以下 である場合にあつ ては26.3以上 （下図参照。） |

（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。

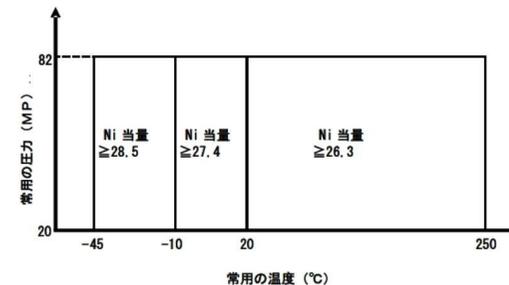
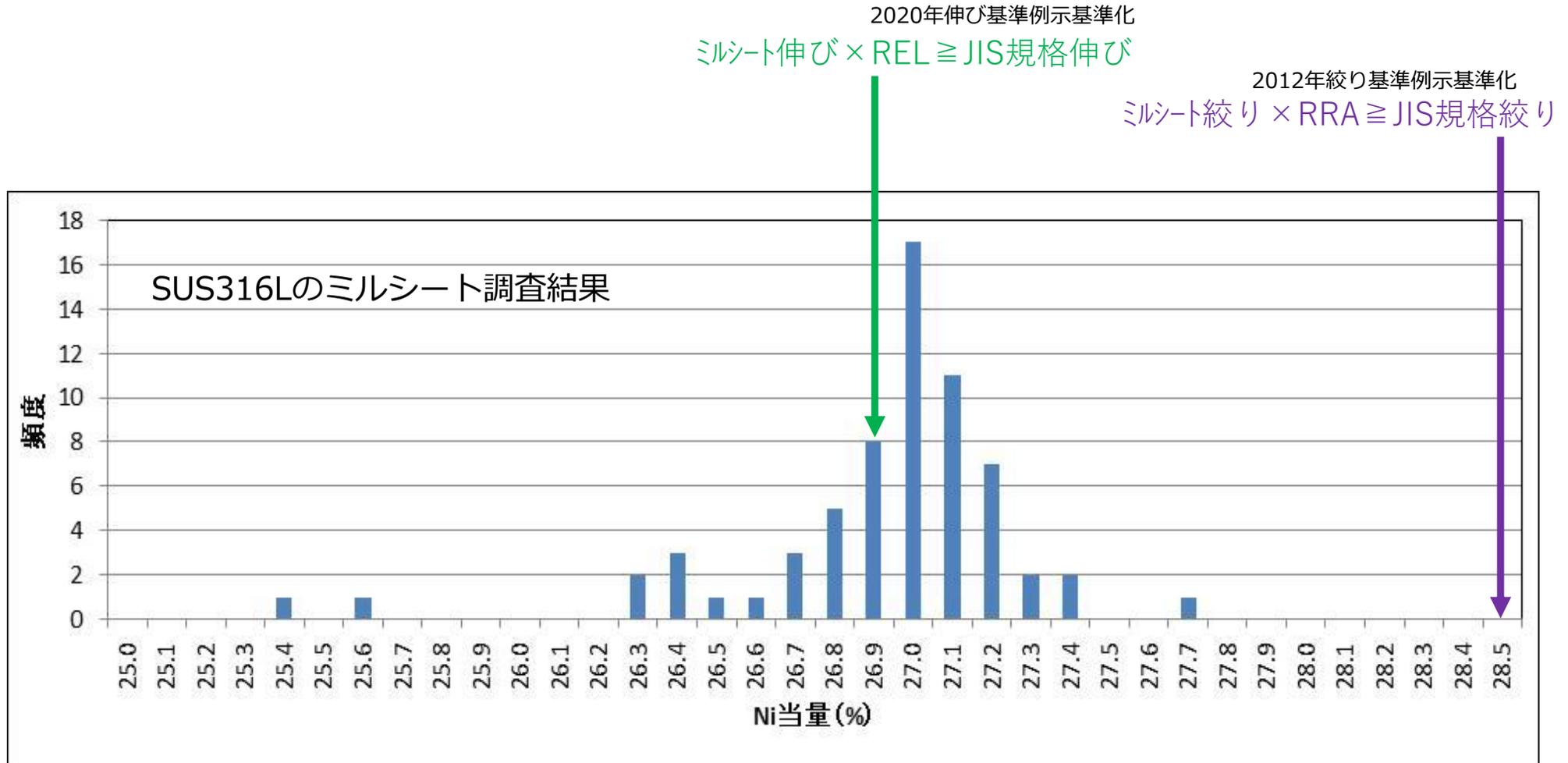


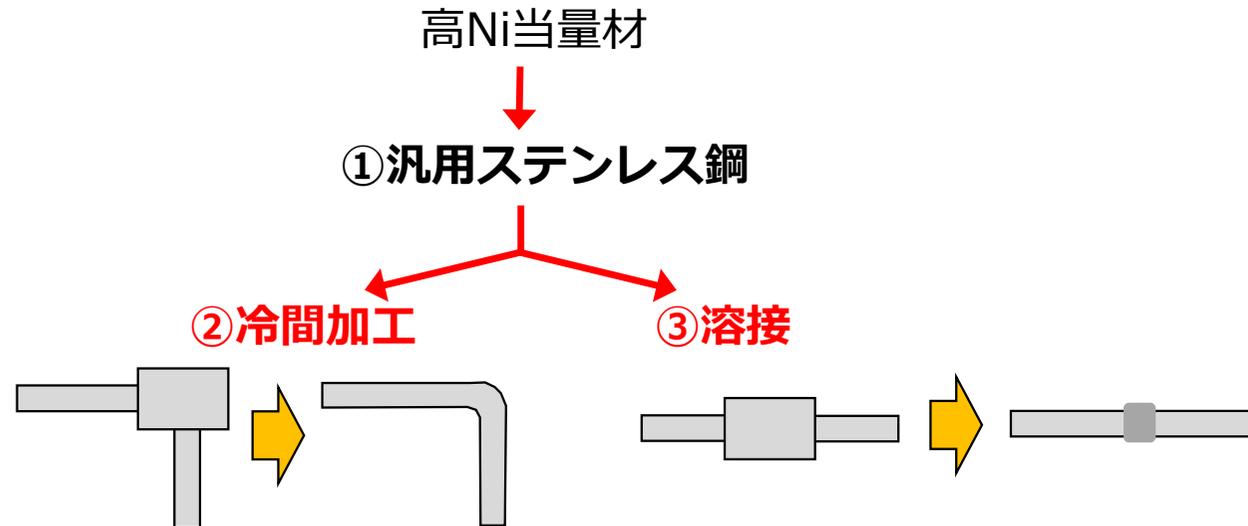
図 常用の圧力及び常用の温度と必要とされるニッケル当量の関係

表（四）～表（七） [略]

水素適合性判断基準の改正によるNi当量緩和



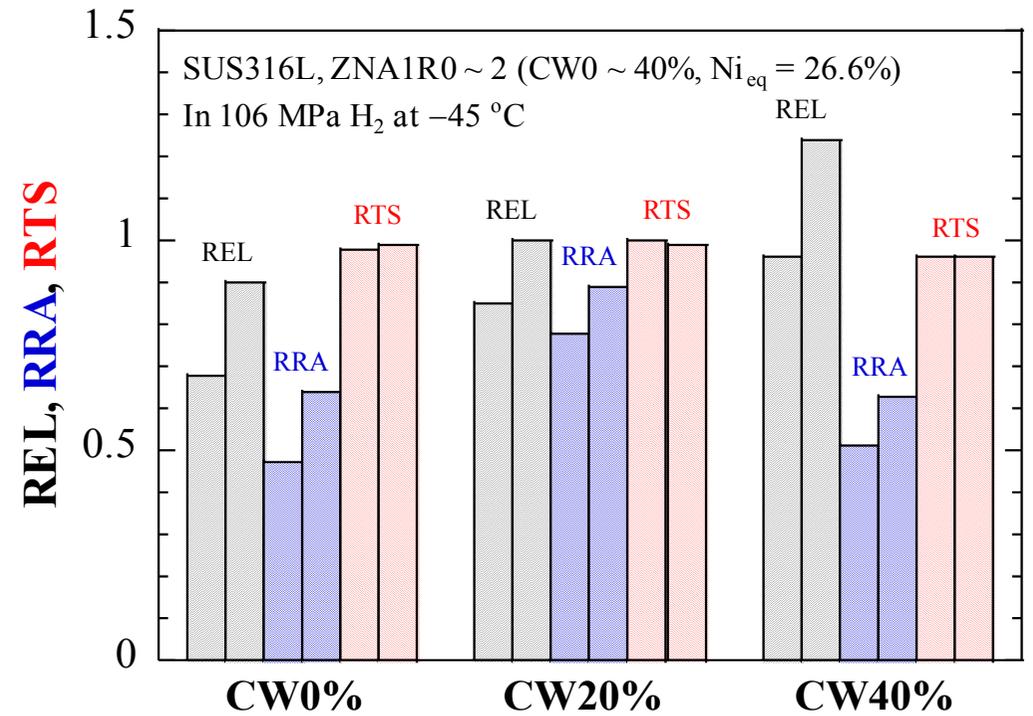
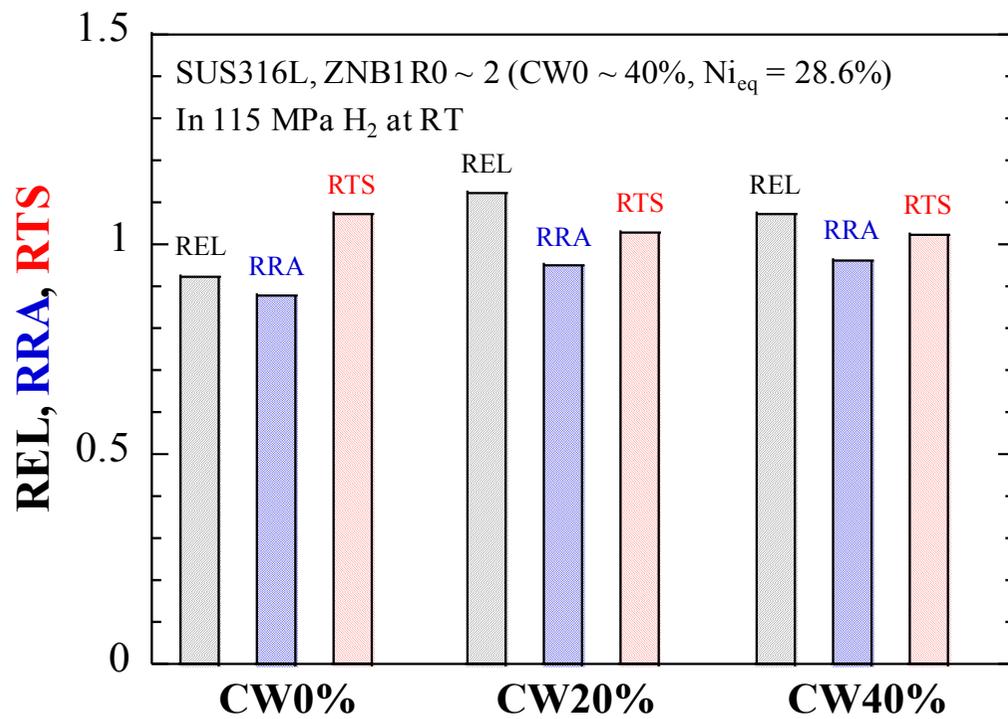
冷間加工・溶接のアウトプットイメージ



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 |

冷間加工材のSSRT結果の事例



冷間加工材のSSRT結果の事例

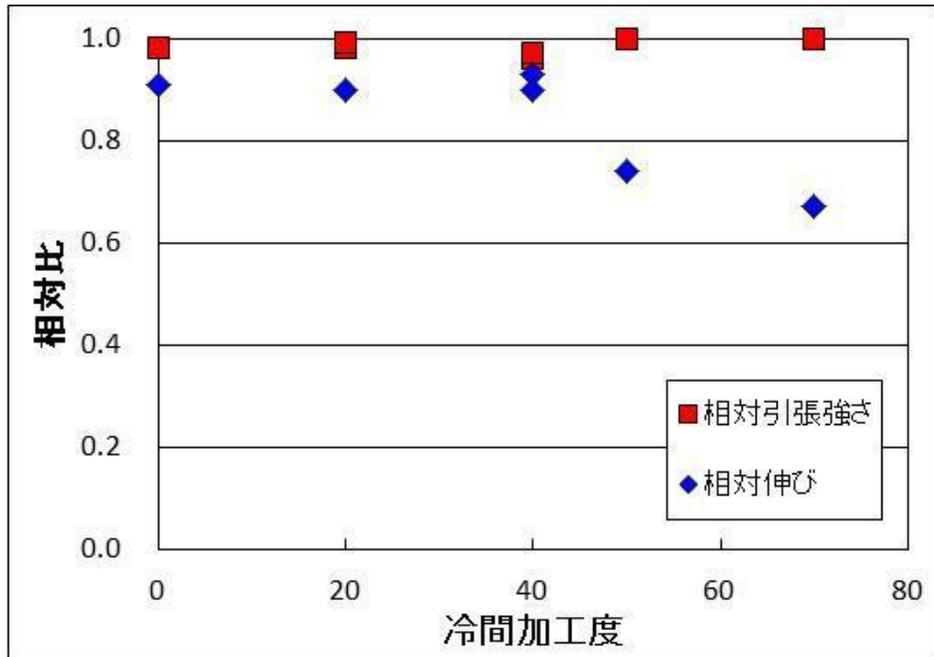


図 SUS316L冷間加工材 (Ni当量28.6%) の低温SSRT結果

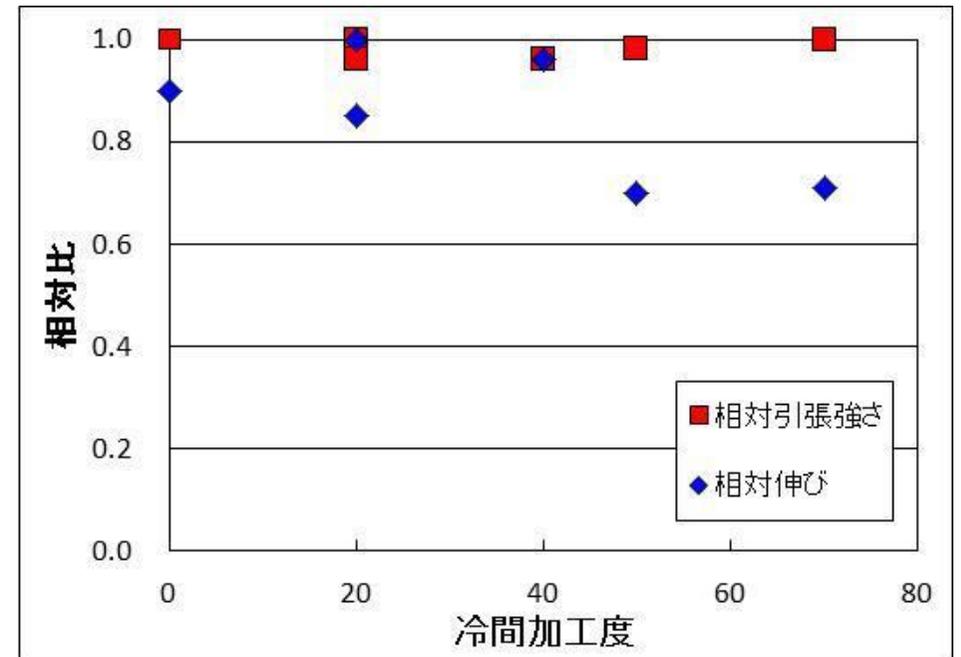
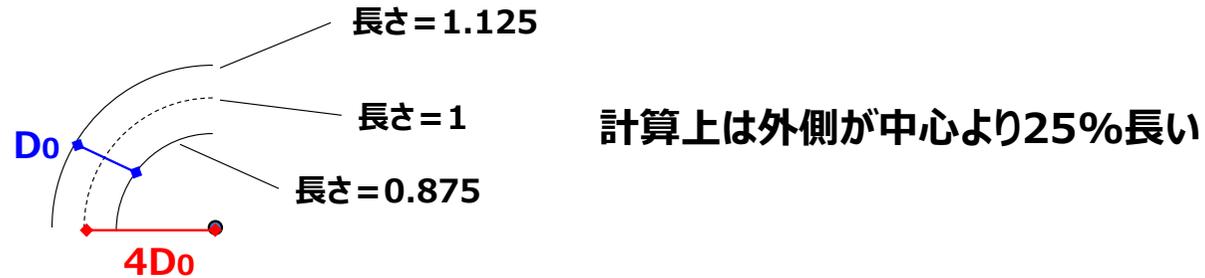


図 SUS316冷間加工材 (Ni当量26.6%) の低温SSRT結果

冷間加工材の曲げの基準化の検討

<例：4D₀曲げ>



<曲げ半径と外側の伸び> * 管の中心線の長さを1とする

| 曲げ半径 | 1D ₀ | 1.5D ₀ | 2D ₀ | 3D ₀ | 4D ₀ |
|-------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 外側の伸び | 50.0% | 33.3% | 25.0% | 16.7% | 12.5% |

KHKS0220：規格のない材料（冷間加工材含む）の伸びは12%以上

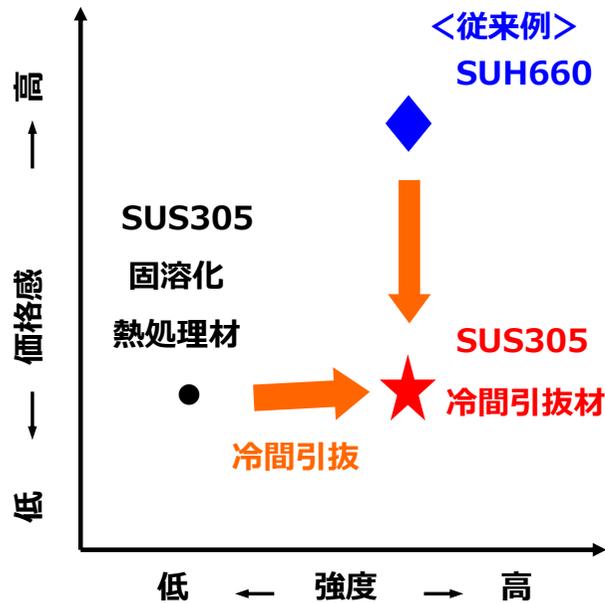
KHKS0220では規格の無い材料にも対応する必要上、

曲げ半径は4D₀以上
冷間加工後の伸び12%以上 をセットで規定 = 合理的

SUS305冷間加工材の検討状況

<SUS305冷間加工材>

- ・ 高い加工性とSUH660相当の強度
- ・ 圧力容器材料への登録申請・材料規格の作成・許容引張応力データの申請



| 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 |

SUS305冷間加工材のデータ取得事例

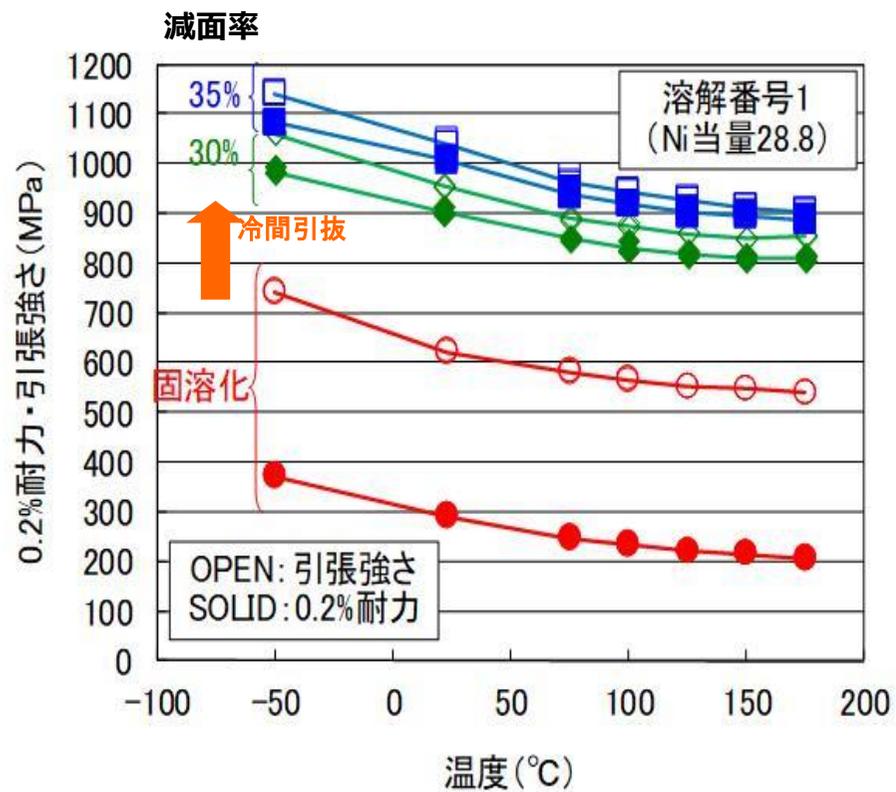


図 許容引張応力設定に関する材料特性評価結果の例

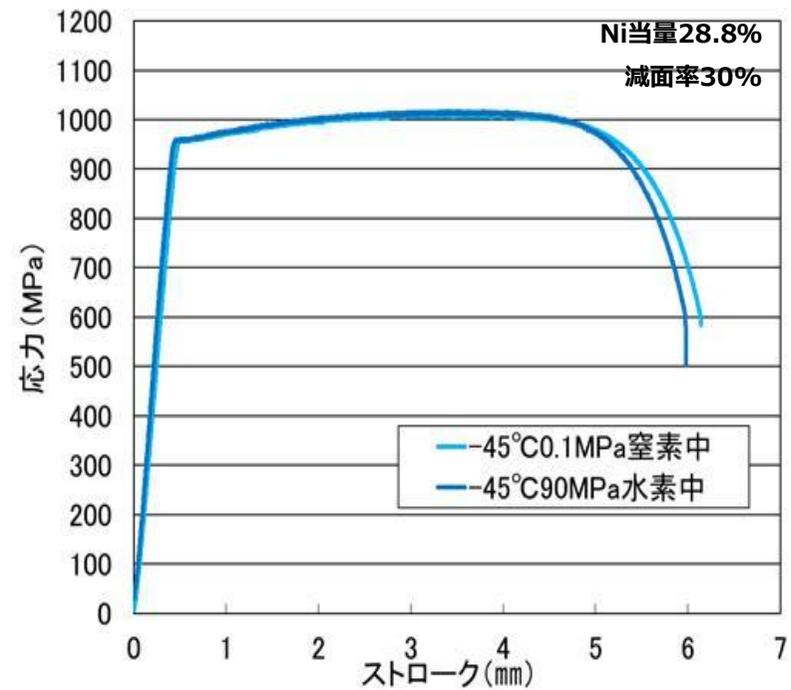
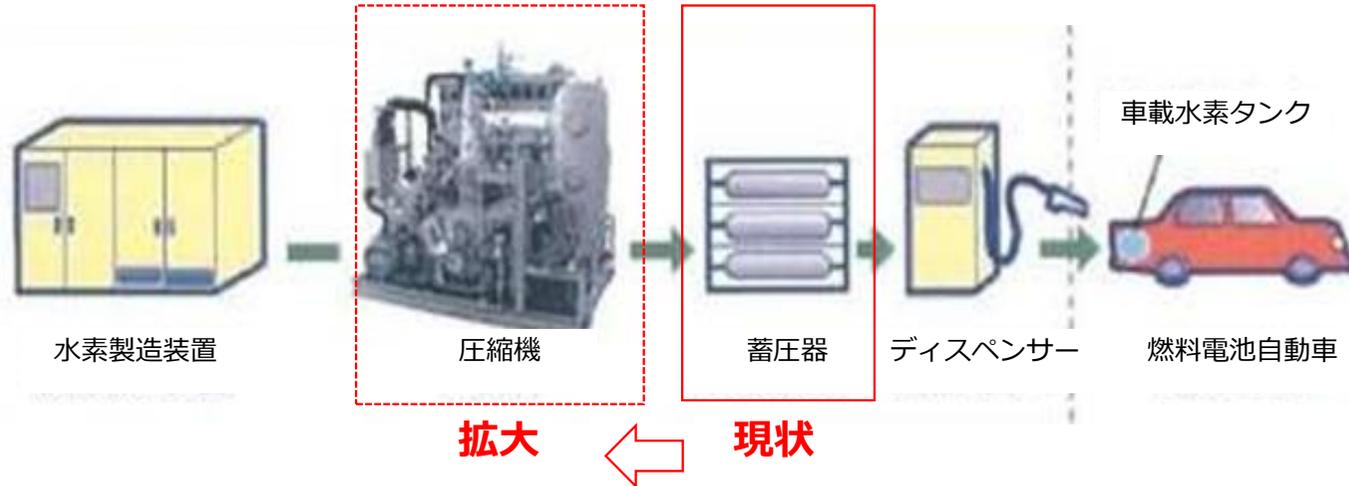


図 SUS305のSSRT結果の例

汎用低合金鋼の適用範囲拡大



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

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

圧縮機の動作状況を模擬した水素適合性の検証

①初期の起動

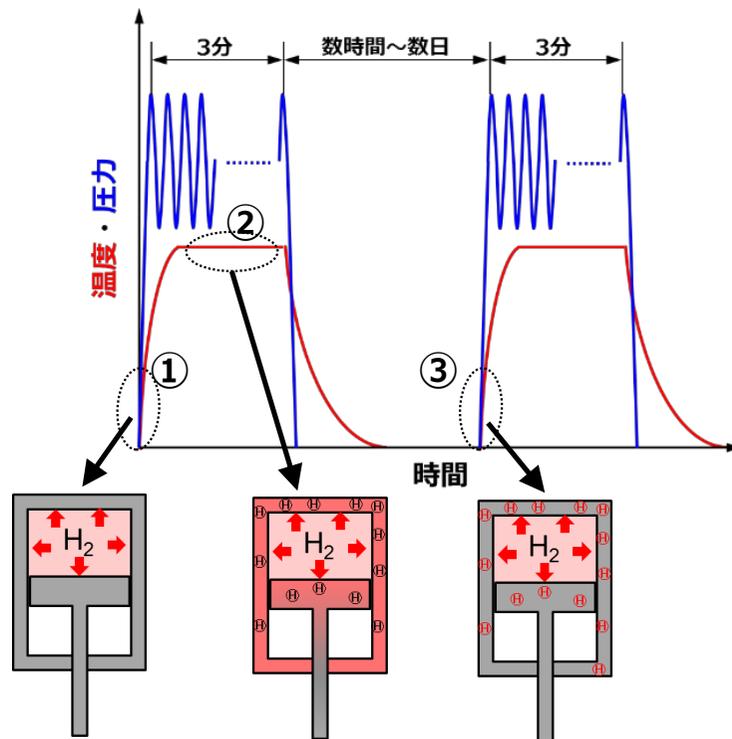
- ・室温・高圧水素ガス

②運転中

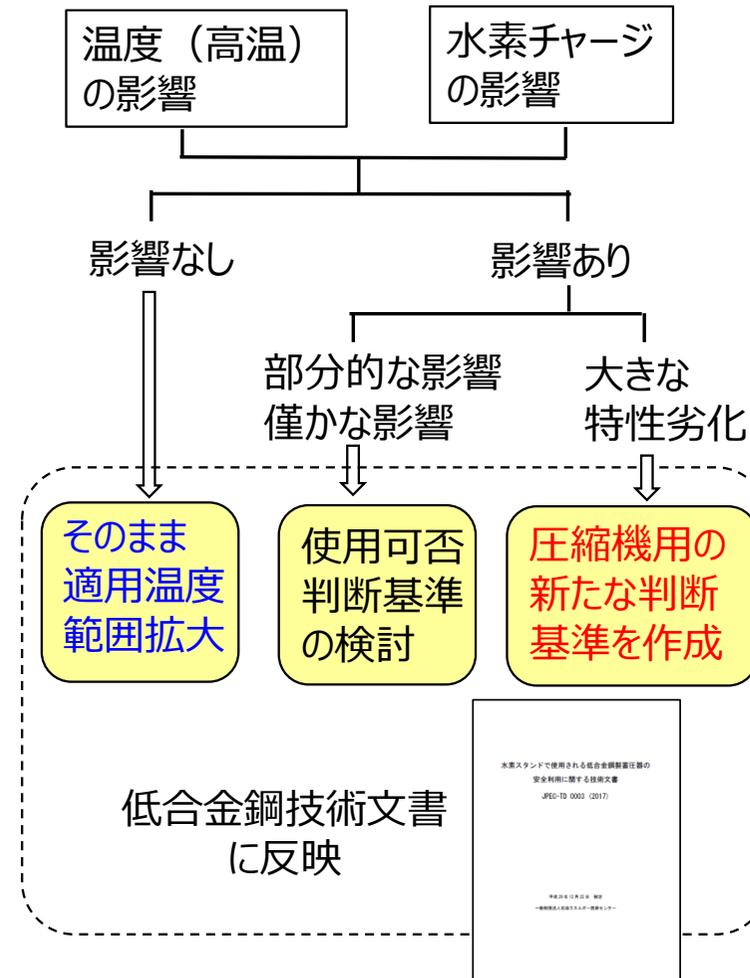
- ・高温・高圧水素ガス + 鋼中水素

③短時間で再起動

- ・室温・高圧水素ガス + 鋼中水素



<高温・高圧サイクルにおける水素の影響>



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。

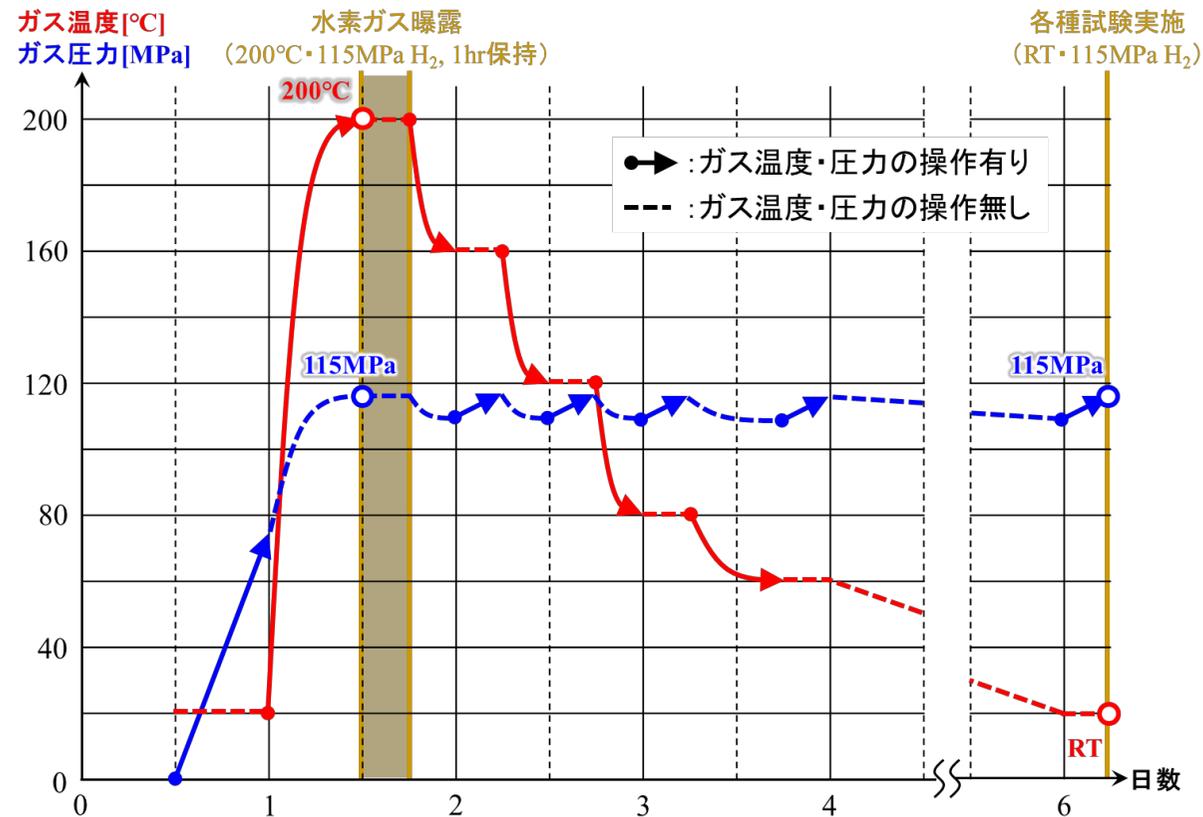


図 高温・高圧水素環境評価に関する水素ガス温度・圧力の変動イメージ

高温・高圧水素チャージ後のSSRT結果

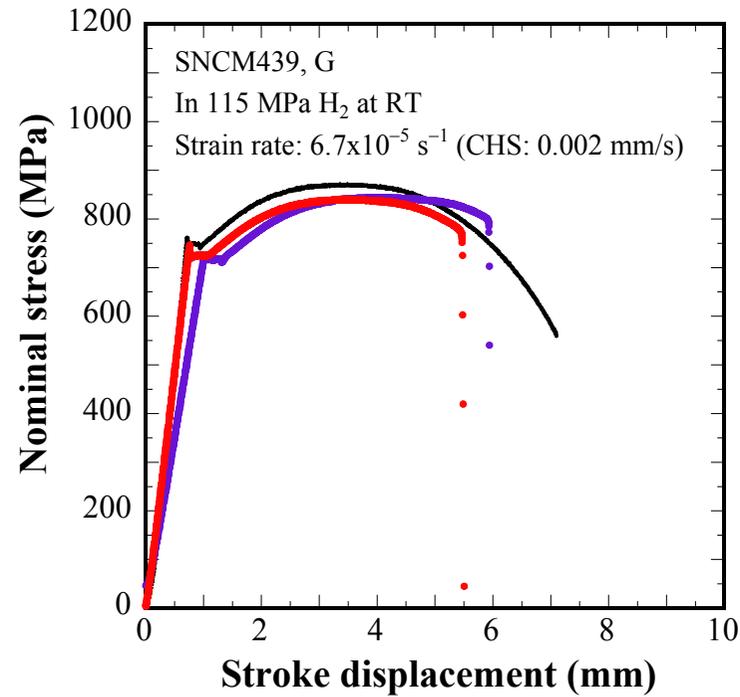


図 応力-変位曲線 (SNCM439)

表 SSRT試験結果 (SNCM439)

| 試験雰囲気 | 水素ガス曝露 | σ_B [MPa] | RTS | δ [%] | REL | ϕ [%] | 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 |

高温・高圧水素チャージ後の破壊靱性試験結果

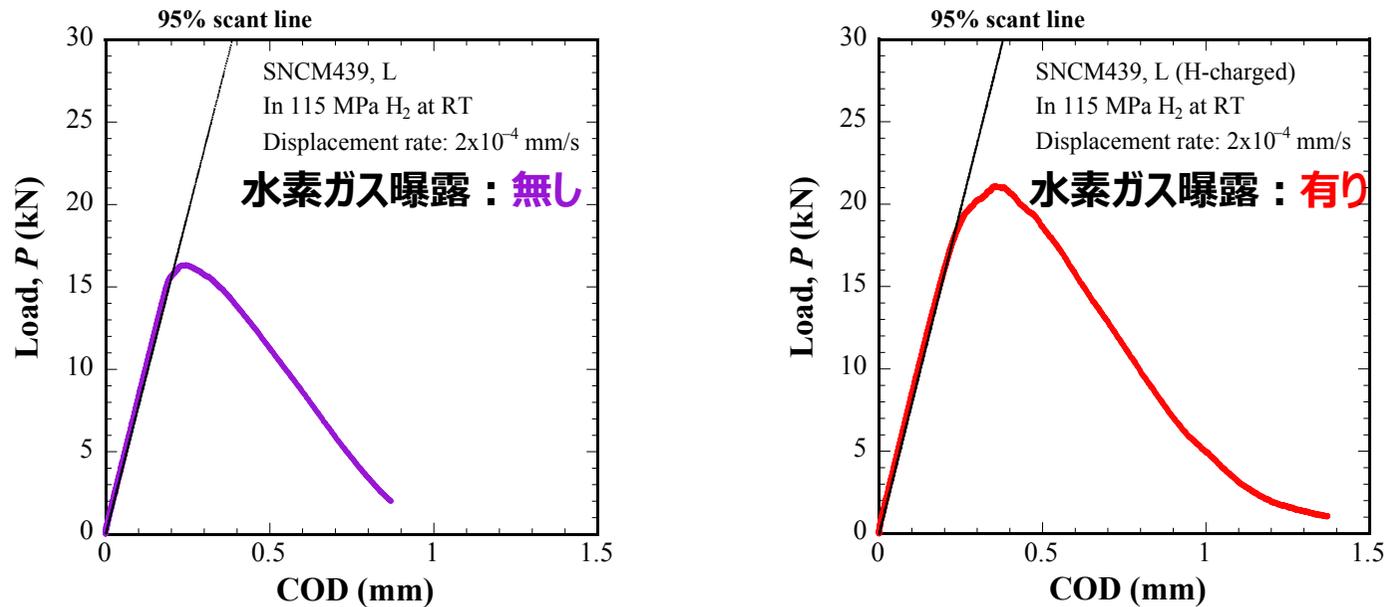


図 P-COD曲線 (SNCM439, 室温・115MPa水素ガス中)

表 破壊靱性試験結果 (SNCM439)

| 試験雰囲気 | 水素ガス曝露 | $K_{I,H}$ [MPa√m] |
|----------------|--------|-------------------|
| 室温・115MPa水素ガス中 | 無し | 50.5 |
| | 有り | 56.4 |

汎用低合金鋼の適用範囲拡大（高温適用）の成果

<低合金鋼技術文書の改訂>

水素スタンドで使用される低合金鋼製圧縮水素用設備
(蓄圧器および圧縮機)に関する技術文書

JPEC-TD 0003 (2020)

令和3年(2021年)3月12日 改訂

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200℃と想定する。
構造 : 溶接構造を有する蓄圧器は除く。

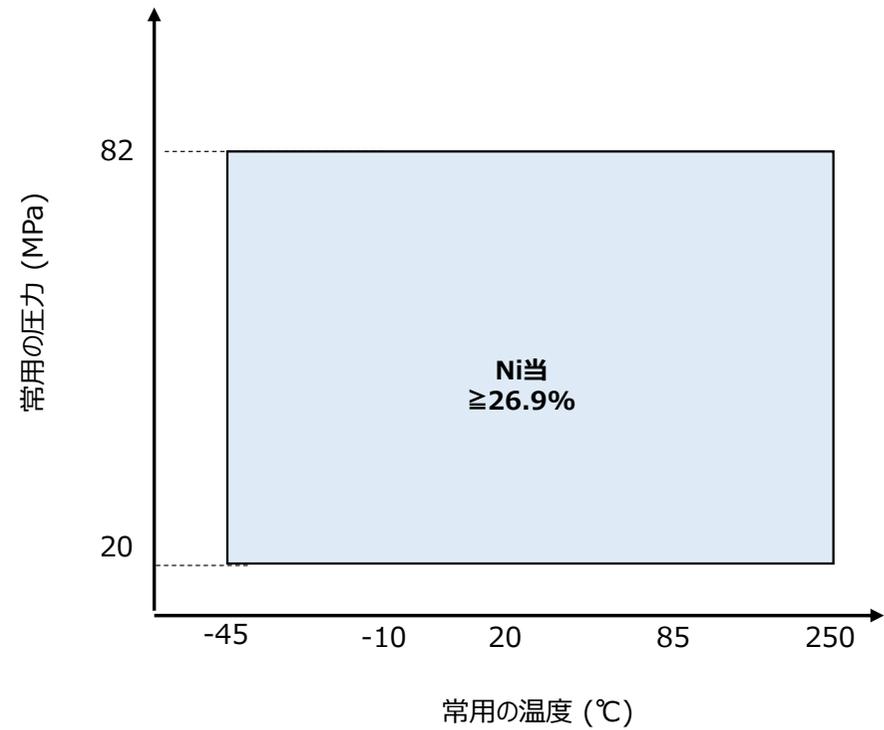
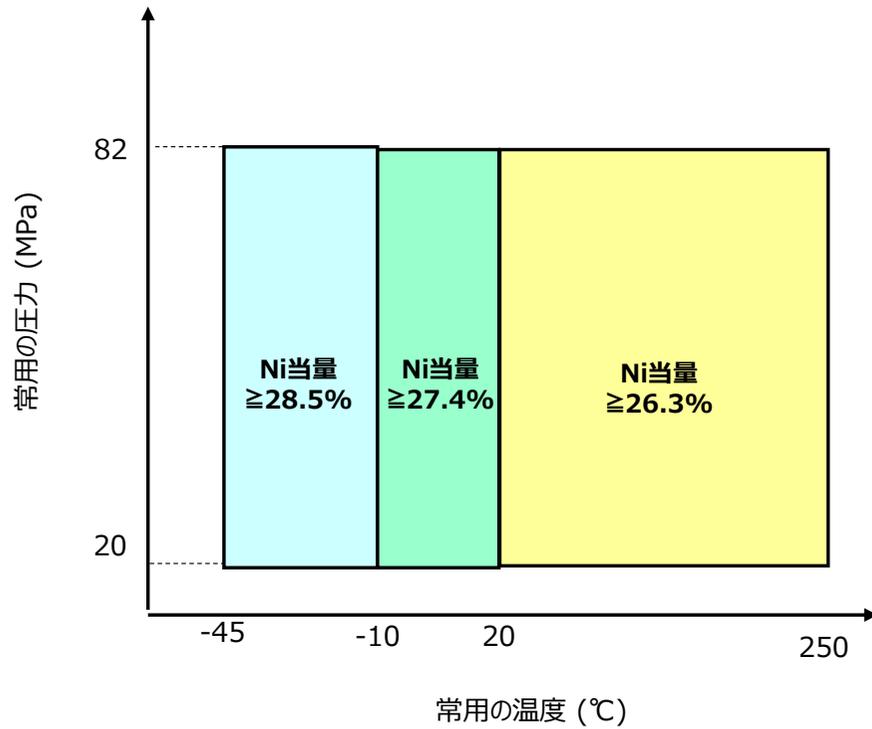
- ・ 上限温度を85℃⇒200℃に改訂
- ・ 適用範囲に圧縮機を追加
- ・ 改訂版はJPECホームページより入手可

https://www.pecj.or.jp/wp-content/uploads/2021/03/com_inf_standard_JPEC-TD00032020.pdf

例示基準まとめ（SUS316系）

| 材料の種類 | 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。) | -45℃以上250℃以下 | 28.5以上（伸びが42%以上にあつては、26.9以上） |
| | -10℃以上250℃以下 | 27.4以上（伸びが42%以上にあつては、26.9以上） |
| | 20℃以上250℃以下 | 26.3以上 |
| JIS G3459(2016)配管用ステンレス鋼管 (SUS316TP、SUS316LTPに限る。) | -45℃以上250℃以下 | 28.5以上（伸びが50%以上にあつては、26.9以上） |
| | -10℃以上250℃以下 | 27.4以上（伸びが50%以上にあつては、26.9以上） |
| | 20℃以上250℃以下 | 26.3以上 |
| JIS G4303(2012)ステンレス鋼棒 (SUS316、SUS316Lに限る。（注2）） JIS G4304(2012)熱間圧延ステンレス鋼 板及び鋼帯（SUS316、SUS316Lに限 る。） JIS G4305(2012)冷間圧延ステンレス鋼 板及び鋼帯（SUS316、SUS316Lに限 る。） | -45℃以上250℃以下 | 28.5以上（伸びが57%以上にあつては、26.9以上） |
| | -10℃以上250℃以下 | 27.4以上（伸びが57%以上にあつては、26.9以上） |
| | 20℃以上250℃以下 | 26.3以上 |

水素適合性判断基準の改正によるNi当量緩和



例示基準まとめ（SCM435、SUH660）

| 材料の種類 | 使用の条件 | 圧力の条件 |
|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------|
| JIS G4053(2008)機械構造用合金鋼鋼材(SCM435に限る。) | 超音波探傷試験により傷、割れ等の有害な欠陥がないことを確認できるもの。 | 常用の圧力：40MPa以下 |

| 材料の種類 | 熱処理等 | 圧力・温度の条件 |
|--|---------------------------------|--------------------------------------|
| JIS G4311 (2011) 耐熱鋼棒及び線材 (SUH660に限る。) JIS G4312 (2011) 耐熱鋼板及び鋼帯 (SUH660に限る。) | 固溶化熱処理を965℃～995℃で実施し、時効処理をしたもの。 | 常用の圧力：82MPa以下 常用の温度：-253℃以上120℃以下 |

例示基準まとめ (XM19、銅合金)

| 材料の種類 | 圧力・温度の条件 |
|---|---------------------------------------|
| ASME Section II Part A (1998) SA-479 Specification for Stainless Steel Bars and Shapes for Use in Boilers and Other Pressure Vessels (Type XM-19 に限る。) ASME Section II Part A (1998) SA-312 Specification for Seamless and Welded Austenitic Stainless Steel Pipes (Grade TPXM-19に限り、製品形態は継目無管に限る。) | 常用の圧力：82MPa 以下 常用の温度：-253℃以上200℃以下 |

| 材料の種類 | 圧力・温度の条件 |
|---|-------------------------------------|
| JIS H3250 (2010) 銅及び銅合金棒 (C3604 、 C3771 に限る。) | 常用の圧力：25MPa以下 常用の温度：-40℃以上100℃以下 |

技術文書化まとめ（低合金鋼）

水素スタンドで使用される低合金鋼製圧縮水素用設備
（蓄圧器および圧縮機）に関する技術文書

JPEC-TD 0003 (2020)

令和3年(2021年)3月12日 改訂

一般財団法人 石油エネルギー技術センター

適用範囲：
蓄圧器、圧縮機

上限温度：
200℃

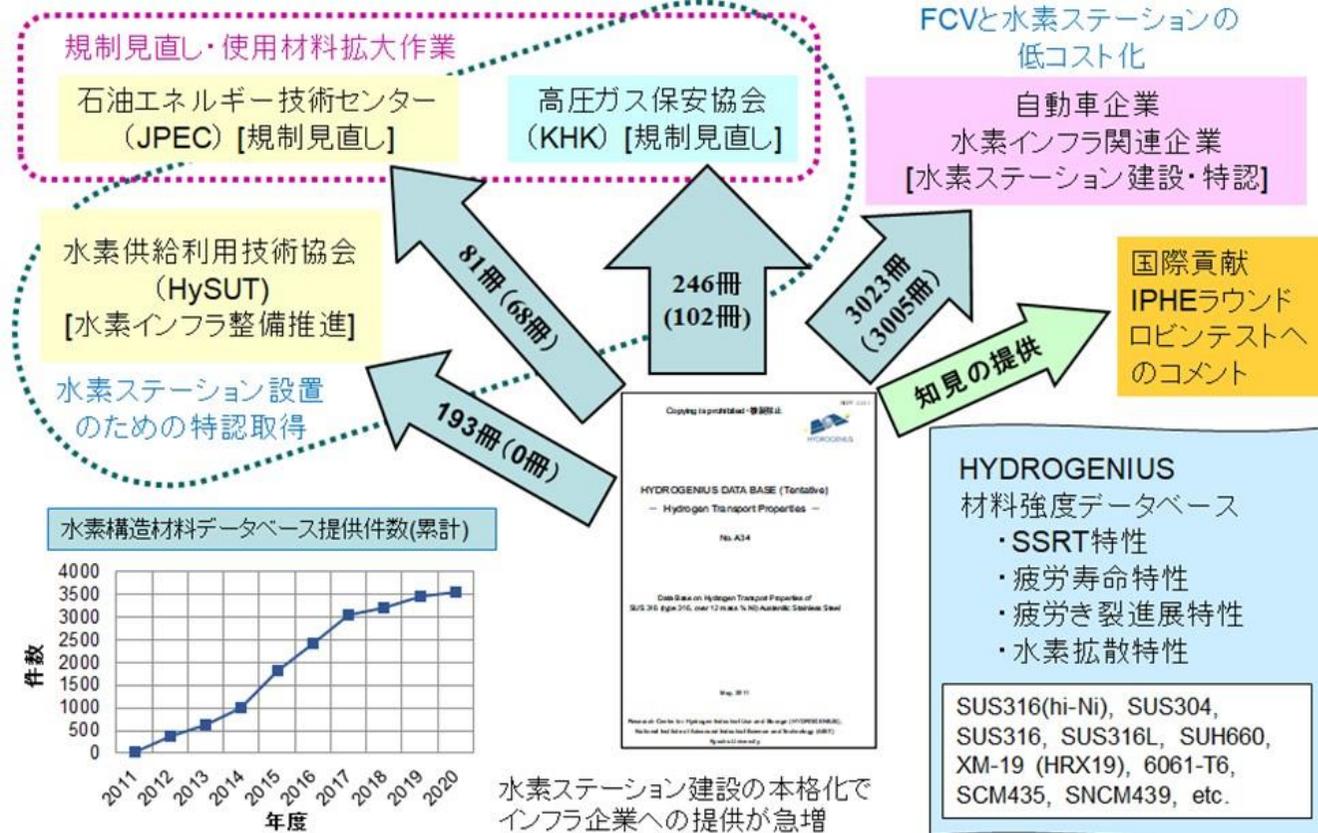
HYDROGENIUS Database

全78冊, 総ページ数:約1800頁, 提供総数:3,543件

HYDROGENIUS

FCVと水素ステーションの
低コスト化

R03/12現在
()内:H25以降



- ・九州大学HYDROGENIUSの材料データベース
前NEDO事業で構築：事前申請、規制緩和・国際規格の議論に貢献
- ・本事業で得られた有用なデータの利活用・国際貢献を図るべく検討会を新設

HYDROGENIUS Database

今後追加予定（国内外に公開準備中）

| データ提供先 | データ提供予定項目 |
|--------|--|
| ①九州大学 | SUS316 ・ SUS304 → SSRT 、 疲労、 低合金鋼 → SSRT 、 疲労 |
| ② JPEC | SUS316L → 低温疲労 SCM435 → 異方性確認 SSRT |
| ③ KHK | SUS316L → 引張試験 |
| ④ 日本製鉄 | SUS316 ・ SUS304 → 溶接 SSRT |
| ⑤ 愛知製鋼 | SUS305 → 冷間加工 SSRT 、 引張試験 |
| ⑥ JRCM | SUS316 ・ SUS304 SUS301 強加工 → SSRT |
| ⑦ NIMS | SUS316L ・ SCM435 → 中空試験 SSRT |
| ⑧ AIST | SUS304 A6061 -T6 → SSRT |
| ⑨ JSW | 低合金鋼 → SSRT |
| ⑩ JFES | 低合金鋼 → SSRT 、 疲労 水素チャージ SSRT |

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