

NEDO水素・アンモニア成果報告会2025

発表No.B2-12

競争的な水素サプライチェーン構築に向けた技術開発事業／
共通基盤整備に係る技術開発／
中空試験片を用いた低温高压水素環境での材料特性評価に係る研究開発

発表者名	和田健太郎
団体名	国立研究開発法人物質・材料研究機構
発表日	2025年7月16日

連絡先： 国立研究開発法人物質材料研究機構 和田健太郎 WADA.Kentaro@nims.go.jp
--

事業概要

1. 期間

開始 : 2023年6月

終了（予定） : 2028年3月

2. 最終目標

－253℃～室温の幅広い温度域の高圧水素ガス環境において材料特性データを取得し、液化水素関連機器の設計・製造に関わる国内事業者にも、それらのデータを水素利用機器の開発や設計に活用できる形で提供する。

3. 成果・進捗概要

(2) 評価対象材料と評価項目の決定ならびに試験結果の妥当性検討のための委員会の開催

高圧水素環境下材料特性評価委員会において試験計画を承認いただき、水素適合性評価に着手した。得られたデータを本委員会にて報告し、データの妥当性および今後の試験計画について議論した。

(3) 高圧水素ガス環境におけるSSRT特性の温度依存性評価

上記委員会の審議結果に基づき、対象材料の手配を行い、水素適合性評価を実施した。

(5) データ公開方法の検討

データの公開方法について、連携事業の事業者との議論した。方向性については上記委員会にて承認が得られたため、具体的な公開方法の検討に着手した。

1. 事業の位置付け・必要性

【背景】

水素社会の実現のためには、効率的かつ安価な大規模水素の製造・輸送・貯蔵が必要であるが、そのサプライチェーンには**液化水素によるサプライチェーン構築**が大きく期待されている。一方、液化水素は貯蔵温度が -253°C と非常に低く、貯槽や配管類に使用される材料は過酷な極低温環境に曝される。加えて、高圧水素ガスが材料に触れることにより材料特性が劣化する現象である水素脆化への懸念もあることから、**低温から極低温の温度範囲において材料が水素に曝された場合の材料特性を明らかにすることが、液化水素関連機器の開発・設計・製造において不可欠である。**

【課題・意義】

しかしながら、その材料特性データは測定が容易ではなく、特に $-253\sim-45^{\circ}\text{C}$ の高圧水素ガス環境下で公開されている材料特性データはほとんど存在していないのが実情であり、この領域において高い信頼性のある材料特性データが求められている。

【目的】

本事業においては中空試験片材料評価設備を用いて、さまざまな金属材料を対象にこの領域でのSSRT、疲労特性などの材料特性データを取得し、液化水素関連機器の開発・設計・製造に資することによって、安全な水素社会の実現に寄与するものである。

2. 研究開発マネジメントについて – 研究開発の実施内容と目標 –

①中空試験片を用いた極低温・高圧水素ガス中 SSRT の試験時間短縮による試験高効率化のための試験システムとプロトコルの開発・最適化

冷却・昇温時間を短縮するためのクライオスタット構造の最適化検討や試験治具の改良、試験プロトコルの最適化などを講じることにより、 -253°C での高圧水素ガス環境中 SSRT に要する時間を3日から2日へ短縮する。

②評価対象材料と評価項目の決定ならびに試験結果の妥当性検討のための委員会の開催

外部有識者からなる高圧水素環境下材料特性評価委員会を構成し、評価対象材料と試験項目について議論を行い、評価対象材料およびデータ取得計画が産業ニーズに沿うものであることを確認する。材料特性データの取得後は、同委員会に結果を報告し、試験結果の妥当性についても議論を行う。

③高圧水素ガス環境における SSRT 特性の温度依存性評価

2024～2025 年度において、 -253°C ～室温の高圧水素ガス環境中における信頼性の高い材料特性データを戦略的に取得する。温度、圧力等の試験条件は、各部材が曝される実環境を配慮して定める。得られたデータは②の委員会での評価を経て、必要により2026年度以降により細かい条件下での材料特性データを取得を行う。

2. 研究開発マネジメントについて – 研究開発の実施内容と目標 –

④高圧水素ガス環境における疲労特性の温度依存性評価（参考）

2024～2025 年度に評価した SSRT 特性を基に、疲労特性を取得すべき材料を検討し、高圧水素環境下材料特性評価委員会に諮る。それに基づき、2026～2027 年度にかけて、 -253°C ～室温の温度範囲において、疲労寿命および疲労限度を評価する。

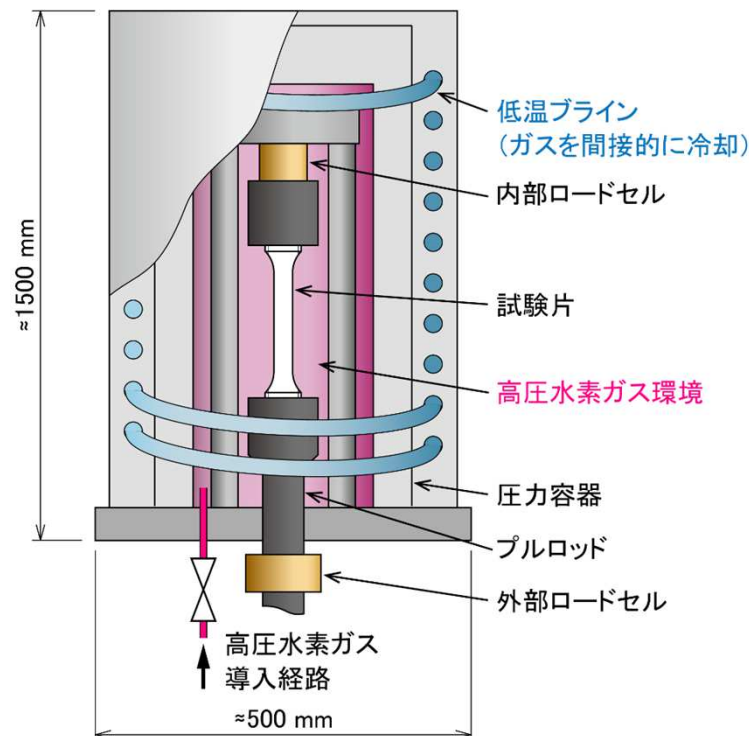
⑤データ公開方法の検討

取得したデータの公開方法を検討し、材料特性データ公開方針案を作成する。案は②の委員会に諮り決定する。方針案の作成にあたっては、国内産業の開発力強化、国際競争力強化に資する観点からの配慮を行う。

注）本技術開発事業の研究開発項目Ⅰ「大規模水素サプライチェーンの構築に係る技術開発」で東京大学が実施している「大型液化水素貯槽実現に向けた極低温・水素環境下材料信頼性評価法確立および社会受容のための実大試験」との連携を行う。

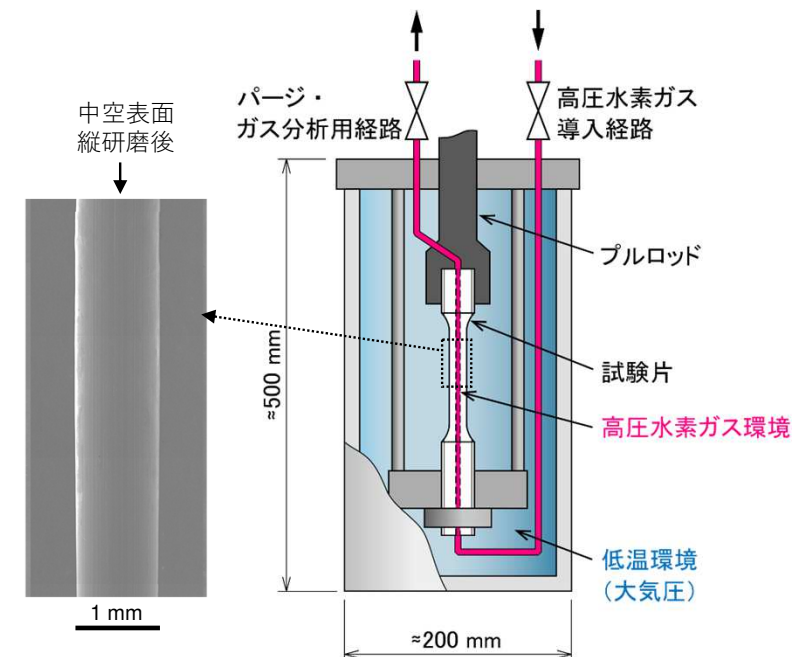
2. 研究開発マネジメントについて – 中空試験片方式 –

中実試験片方式



- 過去に多くのデータが取得されており、結果の比較が容易
- △ 試験機が大がかりとなることから、試験手順が煩雑で高コストになりがち。特に極低温の試験を実現するためには技術的課題が多い

中空試験片方式 (提案方式)



- 試験機がコンパクトで試験効率を高めやすい→試験コストの低減が可能
- 試験片外側の環境に制限がなく、伝導冷却や浸漬冷却などの多様な冷却方式を適用可能
→ 高効率な冷却を実現可能
- △ 新しい試験方式であるため、試験データの蓄積が必要

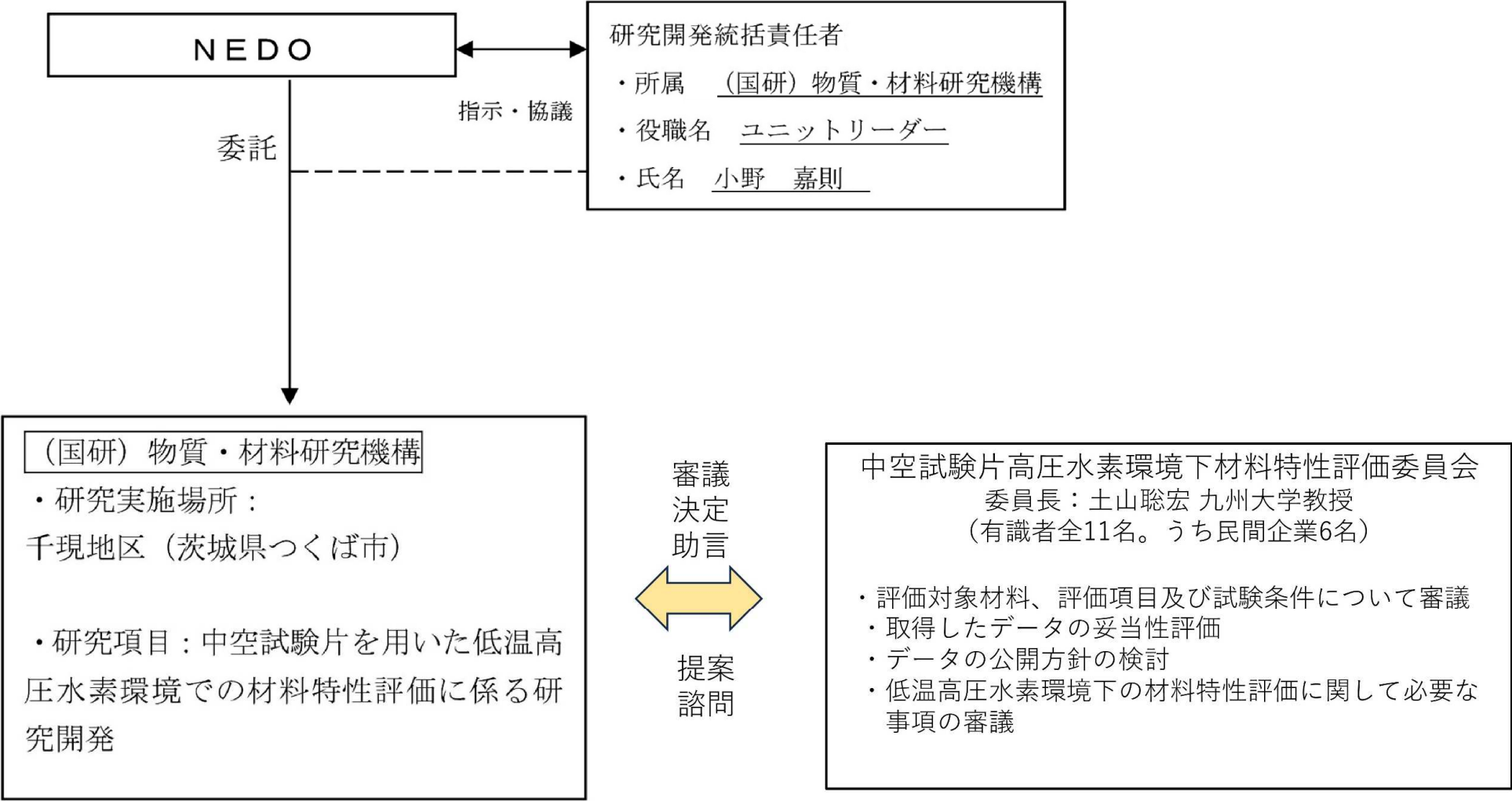
2 . 研究開発マネジメントについて – 研究開発スケジュール –

	2023年度				2024年度				2025年度				2026年度				2027年度			
	第1	第2	第3	第4	第1	第2	第3	第4	第1	第2	第3	第4	第1	第2	第3	第4	第1	第2	第3	第4
	四半期	四半期	四半期	四半期	四半期	四半期	四半期	四半期	四半期	四半期	四半期	四半期	四半期	四半期	四半期	四半期	四半期	四半期	四半期	四半期
①中空試験片を用いた極低温・高圧水素ガス中 SSRT の試験時間短縮による試験高効率化のための試験システムとプロトコルの開発・最適化	→																			
②評価対象材料と評価項目の決定ならびに試験結果の妥当性検討のための委員会の開催																				→
③高圧水素ガス環境における SSRT 特性の温度依存性評価																				→
④高圧水素ガス環境における疲労特性の温度依存性評価（参考）																				→
⑤データ公開方法の検討																				

ステージゲート審査（予定）



2 . 研究開発マネジメントについて – 実施体制 –



3. 2023年度の研究開発成果について – 評価対象材料の選定 –

民間企業へのヒアリング結果から、水素サプライチェーンへの適用を前提に、以下の金属材料を本事業において測定対象とすることを材料特性評価委員会に提案し、承認。

I. LNG温度での使用が認められている（基準で例示されている）材料

- 高圧ガス保安法に例示

	JIS		ASTM		備考
①	G5121	SCS13A	A351M	CF-8	ステンレス鋼 鋳鋼 SUS304相当
②		SCS14A		CF-8M	ステンレス鋼 鋳鋼 SUS316相当
③		SCS16A		CF-3M	ステンレス鋼 鋳鋼 SUS316L相当
④	G3127	9%Ni鋼 (SL9N520/SL9N590)	A353M or A553M		低温圧力容器用ニッケル鋼鋼板

- 日本ガス協会LNG地上式貯槽指針に例示

⑤ 36%Ni合金(インバー合金)板材 S36N240 ガス工作物技術基準・同解釈例の解説 別表第1

II. 海外で使用が認められているが国内には基準で例示されていない材料

	JIS		ASTM		備考
⑥	G4304	SUS304N1	A240M	304N	熱間圧延ステンレス鋼板 窒素 (N) 含有オーステナイト系ステン レス鋼
⑦		SUS316LN		316LN	

III. 材料メーカーが開発し提案している新しい材料

⑧ STH[®]2 低Cr低Ni省Mo型オーステナイト系ステンレス鋼
<https://www.nipponsteel.com/product/stainless/nssc/campaigns/hydrogen/index.html>

IV. ①～⑧の評価の基準となる材料

	JIS		ASTM		備考
⑨	G4304	SUS316L	A240M	316L	熱間圧延ステンレス鋼板

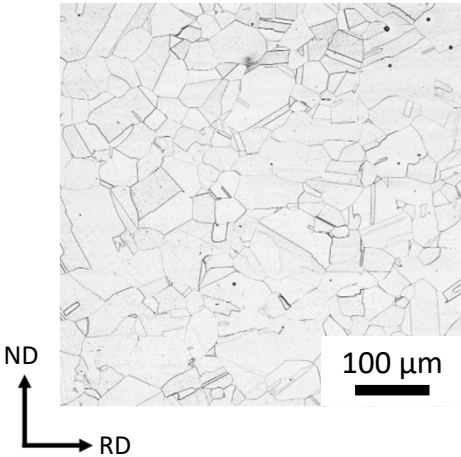
3. 研究開発成果について – 評価対象材料の詳細 –

SUS316L（比較対象） (JIS G4304:2021) 30 × 1970 × 4360 mm, 1120℃ × 4 min. 水冷

316L (1.4404)	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N	Cu
JIS G4304	≦ 0.030	≦ 1.00	≦ 2.00	≦ 0.045	≦ 0.030	12.00～15.00	16.00～18.00	2.00～3.00	-	-
ASTM A240M	≦ 0.030	≦ 0.75	≦ 2.00	≦ 0.045	≦ 0.030	10.0～14.0	16.0～18.0	2.00～3.00	≦ 0.10	-
EN 10088-2 EN 10028-7	≦0.030 ≦0.03	≦1.00	≦2.00	≦0.045	≦0.015	10.0～ 13.0	16.5～ 18.5	2.00～ 2.50	≦ 0.10	-
実績	0.017	0.52	0.84	0.029	0.002	12.08	17.44	2.23	0.0346	0.25
判定	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

0.2%耐力: 252 N/mm², 引張強さ 552 N/mm², 伸び 62% Ni_{eq} (平山): 26.9% Ni_{eq} (三加): 28.0%

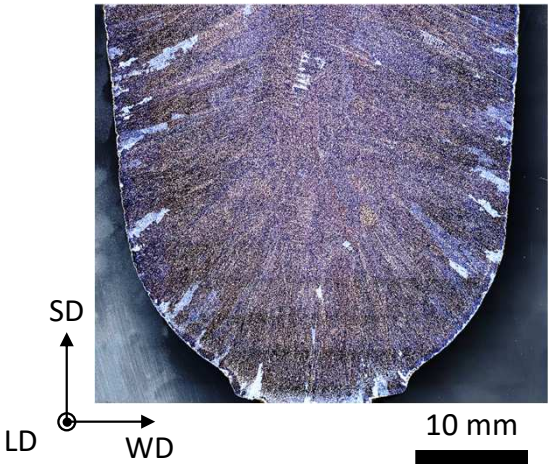
SUS316Lの初期組織



SCS16A (JIS G5121:2003) 1080℃ × 1 hour 水冷

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
JIS G 5121 SCS16A	≦0.03	≦1.50	≦1.50	≦ 0.040	≦0.040	9.00～13.00	17.00～21.00	2.00～3.00
ASTM A351/A351M CF3M	≦0.03	≦1.50	≦1.50	≦ 0.040	≦ 0.040	9.0～13.0	17.0～21.0	2.0～3.0

SCS16Aの初期組織

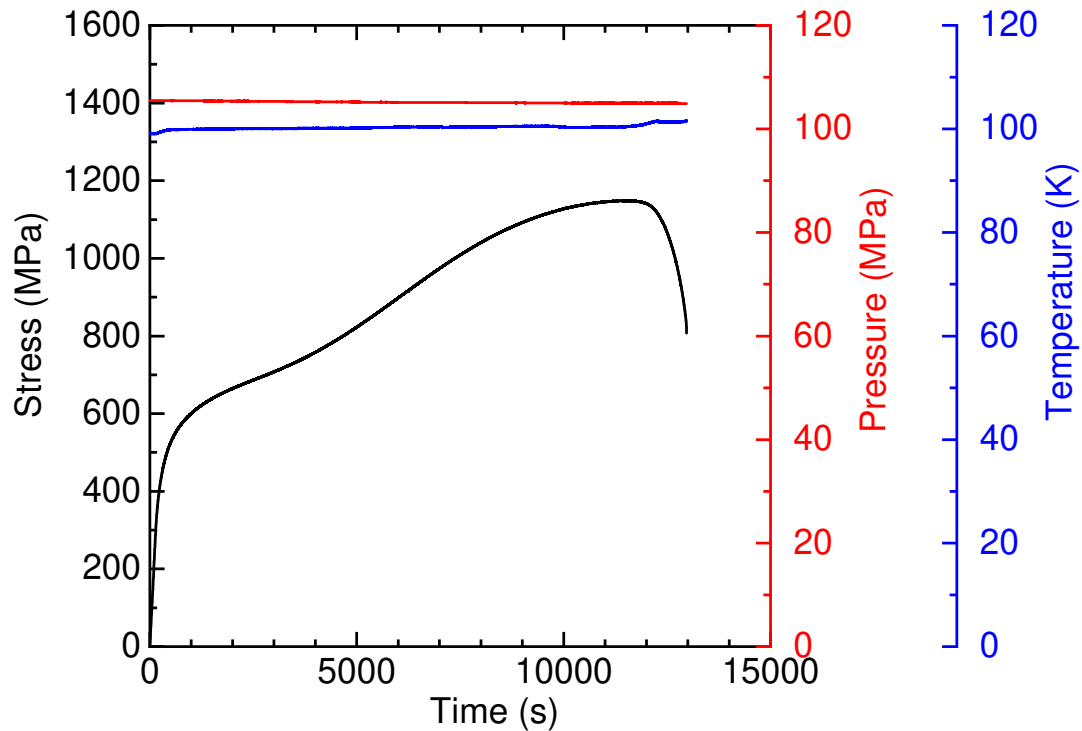


	規格値 (JIS)	実績値
引張強さ	≥ 480 MPa	540 MPa
耐力	≥ 205 MPa	273 MPa
伸び	≥ 33%	≥ 42%
硬さ (HBW)	≤ 183	167

SUS316Lの初期組織

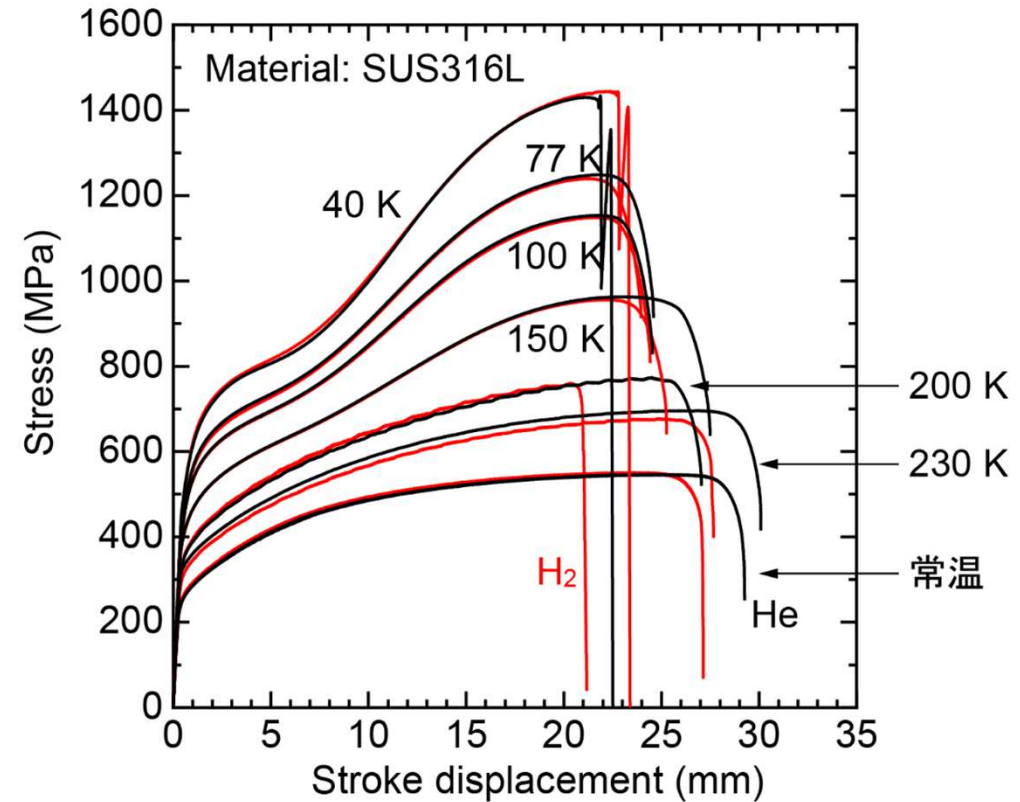
3. 研究開発成果について – 試験結果の一例（SUS316L） –

試験中における温度・試験片内圧の変動
（105 MPa、100 K試験）



試験を通して温度・圧力が
規定範囲内に収まっている
ことを全数確認。

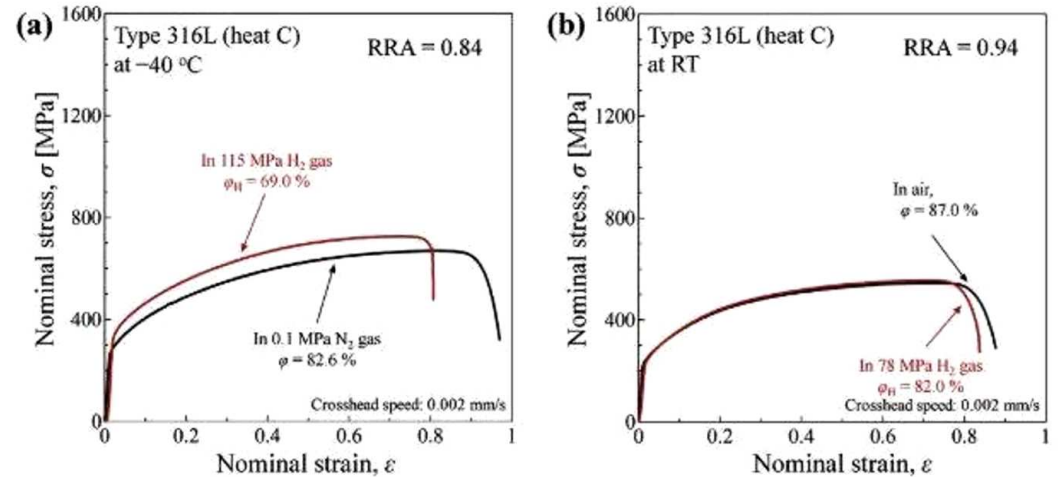
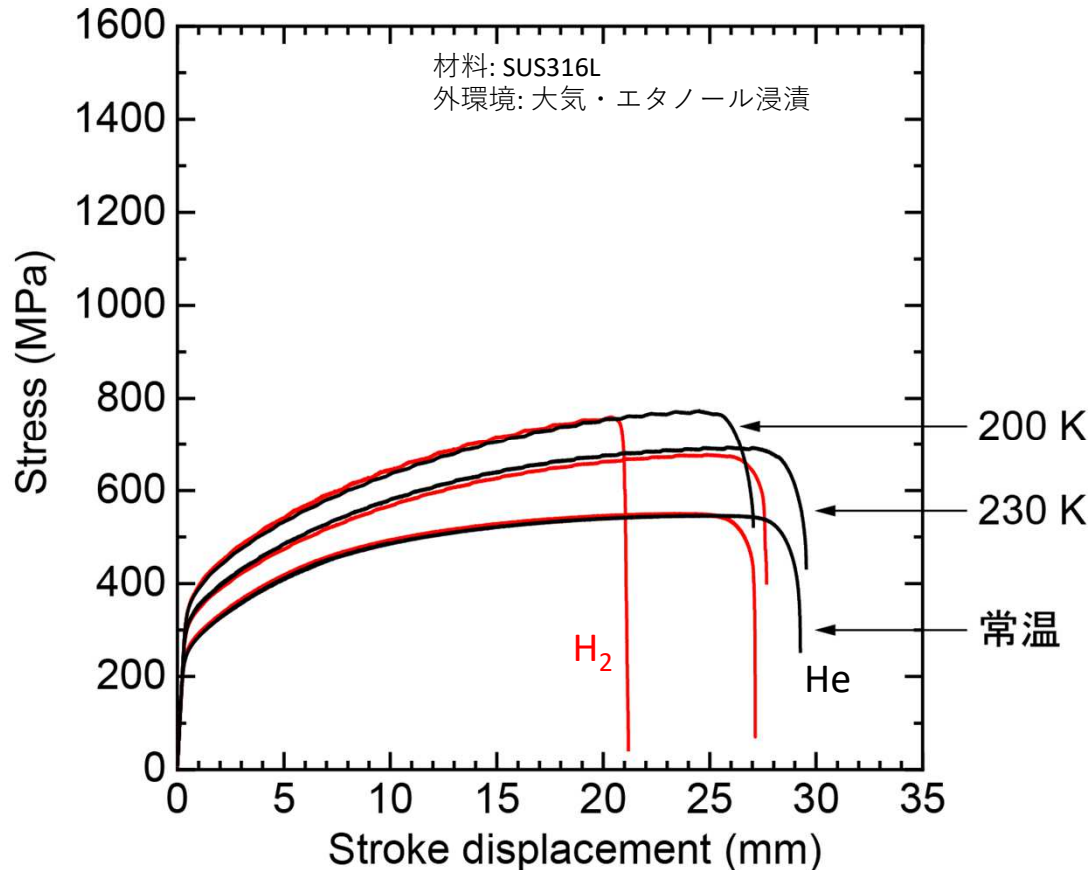
応力-ストローク線図の温度依存性（SUS316L、105 MPa）



SUS316L
 Ni_{eq} （平山）：26.9%
 Ni_{eq} （三加）：28.0%

3. 研究開発成果について – 試験結果の一例 (SUS316L) –

応力-ストローク線図の温度依存性 (SUS316L、105 MPa)

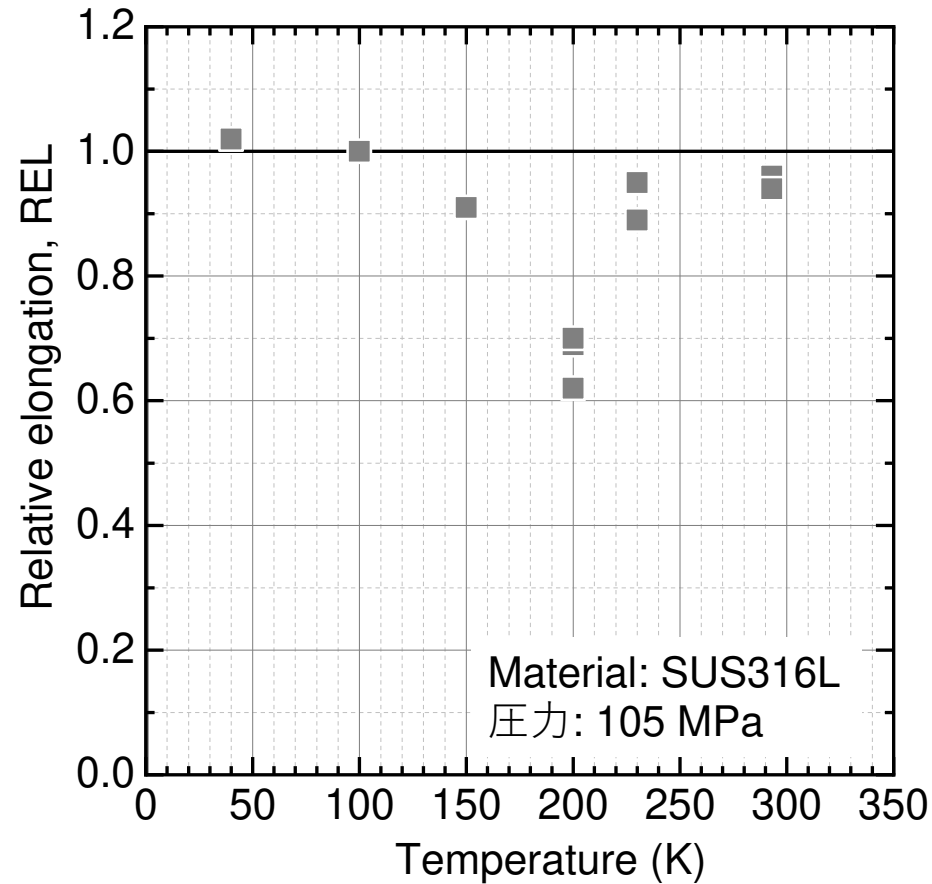


水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発／水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発 平成25年度～平成29年度成果報告書 p.103

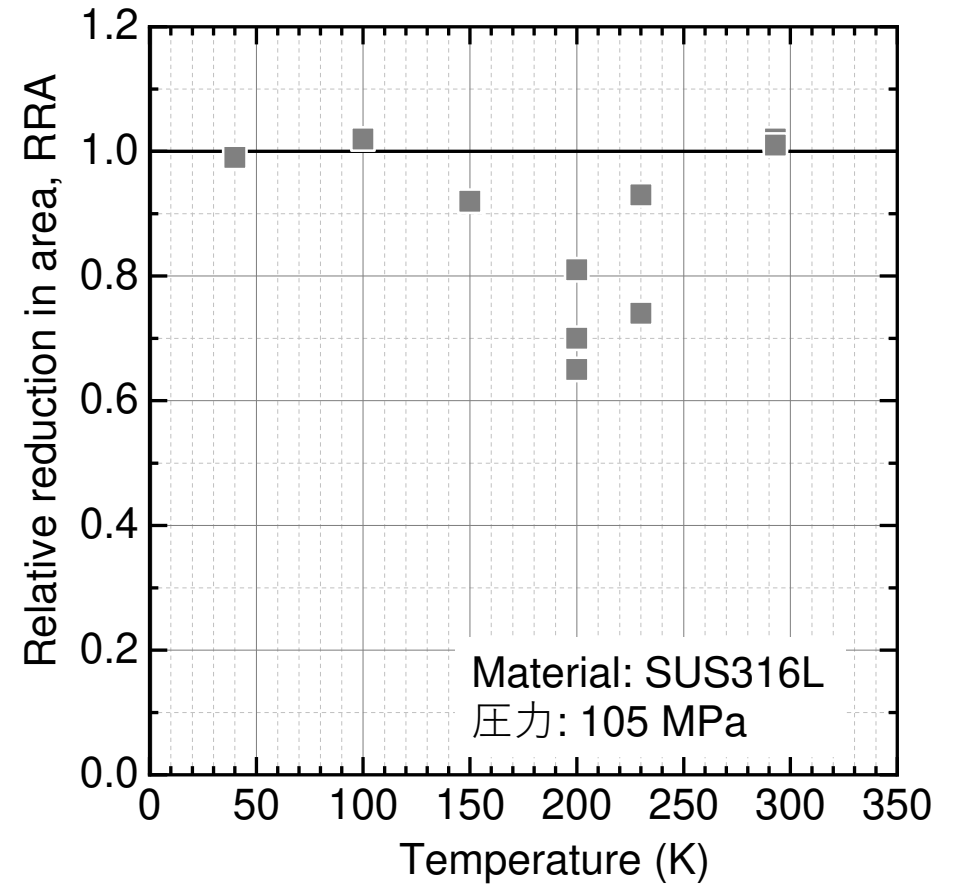
先行事業で報告された試験結果とおおよそ整合

3. 研究開発成果について – 相対伸び・相対絞りの温度依存性 (SUS316L) –

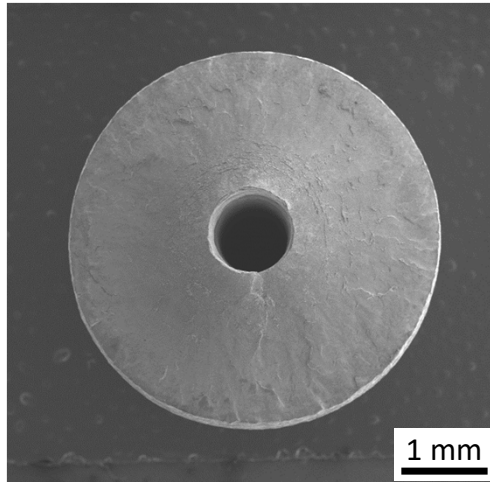
相対伸び



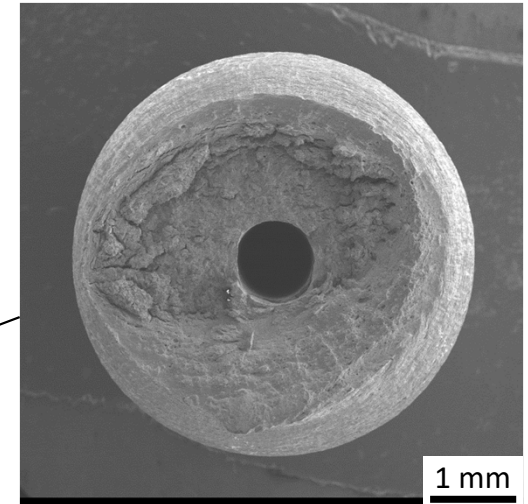
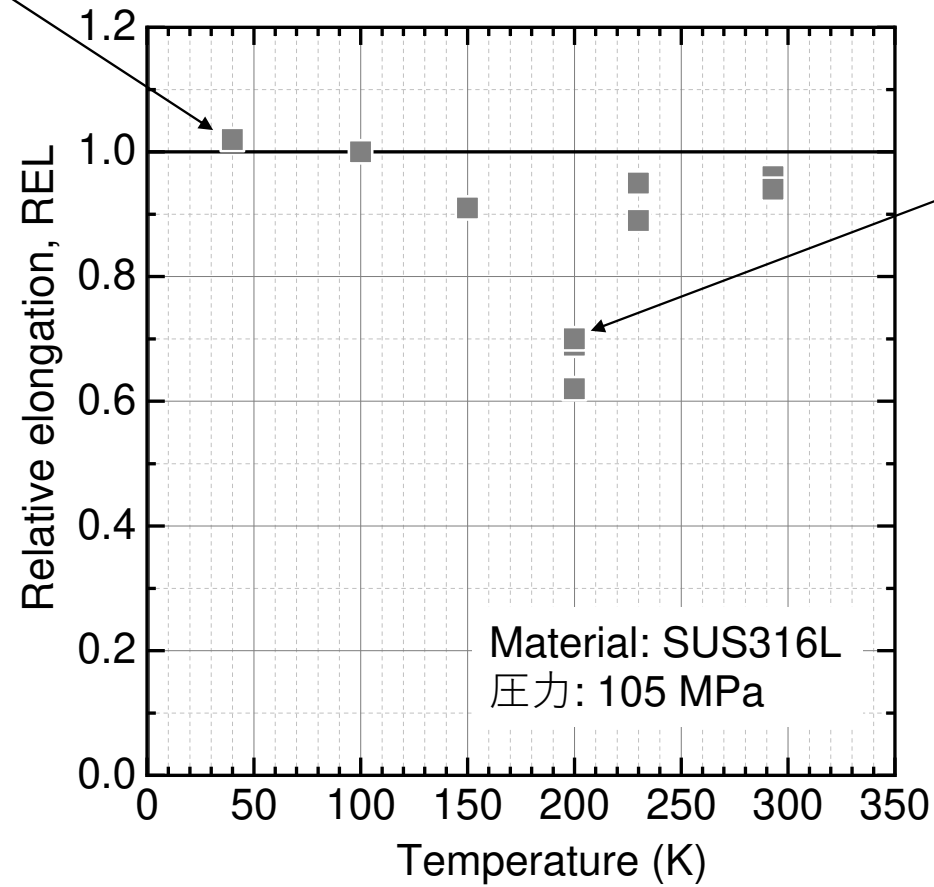
相対絞り



3. 研究開発成果について - 破面との整合性 (SUS316L) -

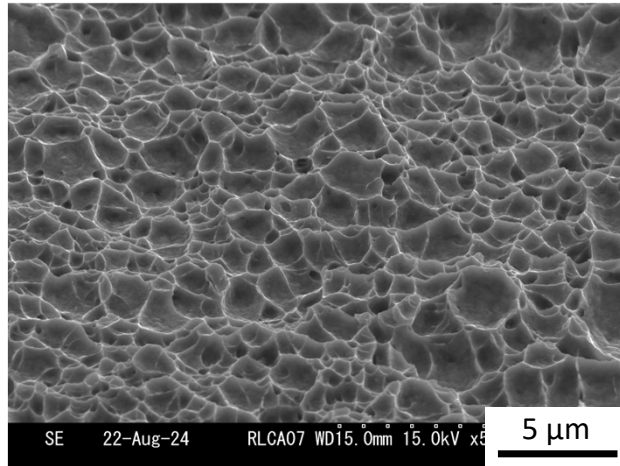


水素環境中

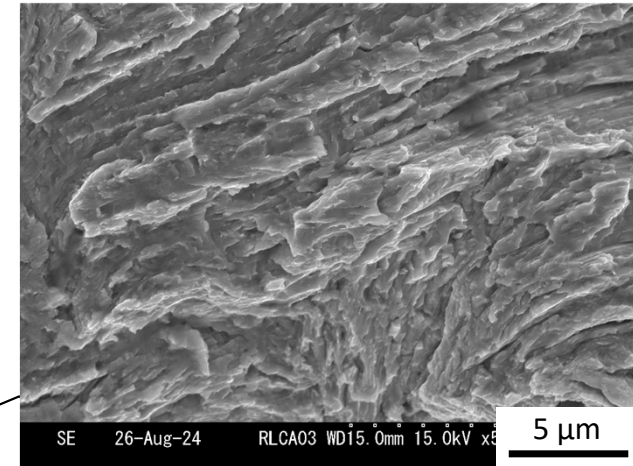
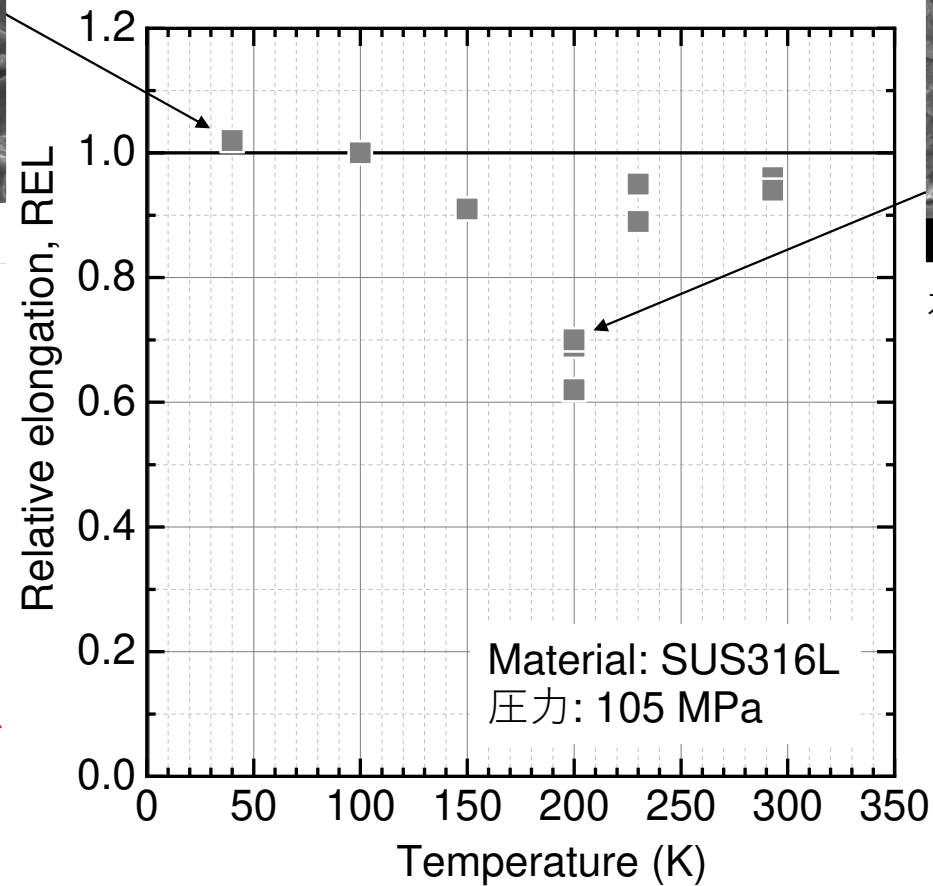


水素環境中

3. 研究開発成果について – 破面との整合性 (SUS316L) –



水素環境中



水素環境中

力学特性と破面や変形組織との
対応を調査し、低温で水素脆化が
生じる要因を解明していく
(独自研究)

3. 研究開発成果について －試験の進行状況－

SUS316L

ガス種	圧力 (MPa)	温度 (K)						
		40	77	100	150	200	230	293 (常温)
He	105	2 (2)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	4 (2)	4 (2)	2 (2)
H ₂		2 (2)	1 (1)	1 (1)	2 (2)	5 (3)	3 (2)	2 (2)
He	10	－	－	－	－	－	－	1 (1)
H ₂		1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (0)	1 (1)	1 (1)

SCS16A

ガス種	圧力 (MPa)	温度 (K)						
		40	77	100	150	200	230	293 (常温)
He	10	1 (1)	－	－	1 (1)	3 (2)	1 (1)	1 (1)
H ₂		1 (1)	－	1 (1)	1 (1)	4 (3)	1 (1)	1 (1)

3. 研究開発成果について –データ公開方法の検討–

基本的な考え方を整理中：

1. 論文発表
2. 公開 （国内限定。NIMSデータシートのイメージ。
pdfファイル／印刷物 配付管理 ）
3. （将来的には）グリーンイノベーション基金事業でNIMSが
準備しているデータベースに含めることも検討する。

連携しているNEDO『競争的な水素サプライチェーン構築に向けた技術開発事業／共通基盤整備に係る技術開発／水素社会構築に向けた鋼材研究開発』事業の「鋼材ステアリング委員会」において、データの公開／非公開に関する考え方を先行して検討してきていることから、本事業においてもその考え方に沿ってデータの取り扱い、オープン／クローズの考え方を定めていくこととしたい。

3. 研究開発成果について – 成果発表、特許、論文 –

口頭発表

Hydrogenius Symposium2024

(2024年9月)

Research and Development 20 for Clean Energy Technologies (RD20)

(2024年12月)

特許

なし

論文

「ふえらむ」 日本鉄鋼協会

(2024年12月)

4. 今後の見通しについて

【実用化・事業化】

- ・ 本事業を通じて、高圧／低温度領域での耐水素特性について信頼性の高いデータを取得
→国内産業育成、競争力強化につなげ、水素社会の実現に寄与
- ・ 中空試験片方式に関心のある民間企業・研究機関への情報提供や技術交流
→中空試験片方式の普及を促進し、水素適合性試験の低コスト化・高スループット化に貢献

【課題】

- ・ データの提供方法の検討

【波及効果】

- ・ 中空試験片法による耐水素特性評価法の拡大。
- ・ 新規参入の促進、競争による水素インフラのコスト削減。
- ・ 測定方法標準化への取り組み。