

2019年度 JPECフォーラム

複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に 関する技術開発

2019年5月8日

一般財団法人石油エネルギー技術センター
自動車・新燃料部 水素利用推進室

**超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／
水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／
複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に
関する技術開発**

一般財団法人石油エネルギー技術センター（J P E C）
高圧ガス保安協会（K H K）
国立大学法人東京大学
株式会社日本製鋼所（J S W）

水素ステーション用複合圧力容器蓄圧器を取り巻く環境

①認可使用サイクル数が、10万サイクル以上を求められている。
認可取得のための圧力サイクル試験費用が、1～2億円程度かかる。



②**前NEDO事業**：水素ステーションの実態の圧力変動に見合った圧力サイクル試験による寿命延長効果を確認。



③KHKTD 5202改正を要望し認められた。⇒KHKS 0225へ反映



④水素蓄圧器ISO規格（ISO/TC 197/WG15）において、実容器試験、ライナー試験を不要（根拠は明確でない）とするDIS19884の投票が行われ、僅差で可決された。現在、FDISの投票待ちである。

→国際的にも容器試験を課さない認可の方向であることを確認

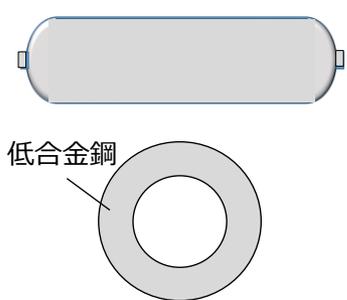
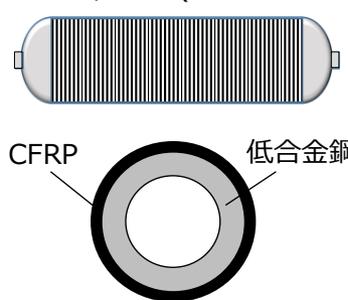
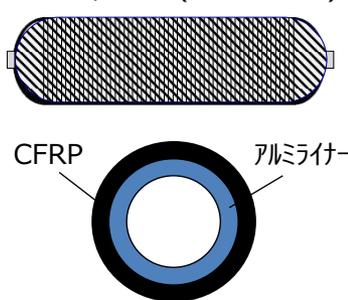
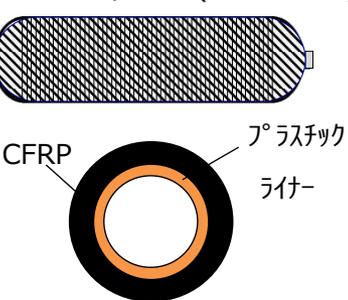


⑤**本NEDO事業**：ライナー試験、CFRP試験、自緊処理効果、実容器試験を実施し、実容器試験を課さない手法による認可取得の道筋を確立する。



⑥本NEDO事業で複合圧力容器の技術基準を整備することで、省令改正（特定則）による大臣特認を事前評価での認可を得られる様にしたい。

現状と今後の展開

種類	タイプ 1	タイプ 2	タイプ 3	タイプ 4
構造	<p>低合金鋼</p>  <p>低合金鋼</p>	<p>低合金鋼/CFRP(フープラップ)</p>  <p>CFRP 低合金鋼</p>	<p>アルミナイター/CFRP(フルラップ)</p>  <p>CFRP アルミナイター</p>	<p>プラスチックナイター/CFRP(フルラップ)</p>  <p>CFRP プラスチックナイター</p>
現状	<ul style="list-style-type: none"> 低合金鋼技術文書 JPEC-TD 0003が完成 	<ul style="list-style-type: none"> 国内に技術基準が無い ASMEには技術基準がある 前NEDO事業にて、タイプ 2 技術文書の構成案を作成した 	<ul style="list-style-type: none"> 技術基準整備が進められている JPECガイドライン →KHKTD 5202 →KHKS 0225 	<ul style="list-style-type: none"> 技術基準整備が進められている JPECガイドライン →KHKTD 5202 →KHKS 0225
	<ul style="list-style-type: none"> Design by Analysisが確立している（実容器試験が不要） 	<ul style="list-style-type: none"> ASME規格では設計確認試験（実容器試験）が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 設計確認試験（実容器試験）が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 設計確認試験（実容器試験）が必要
今後の展開	<ul style="list-style-type: none"> JPEC-TD 0003の KHKS 0220附属書を目指す 	<p>NEDO事業</p> <ul style="list-style-type: none"> Design by Analysisの確立 タイプ 2 技術文書を完成させる 	<p>NEDO事業</p> <ul style="list-style-type: none"> Design by Analysisの確立 累積損傷則適用による長寿命化 KHKS 0225改正を目指す 	<p>NEDO事業</p> <ul style="list-style-type: none"> Design by Analysisの確立へ向けた検討
	<p>設計係数4および3.5 事前評価 設計係数3および2.4 大臣特認 →すべて事前評価</p>	<p>大臣特認 →事前評価</p>	<p>大臣特認 →事前評価</p>	<p>大臣特認 →事前評価</p>
(目標寿命)	30万回以上	30万回以上	10万回以上	開発中

現状の課題と方向性

応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法を確立させる

① 複合圧力容器を設計するための技術基準、データが不足

- ・ライナーの疲労特性
- ・自緊処理の影響
- ・CFRP層の材料強度評価方法
- ・CFRP層の疲労特性 等



課題①

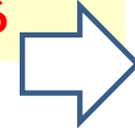
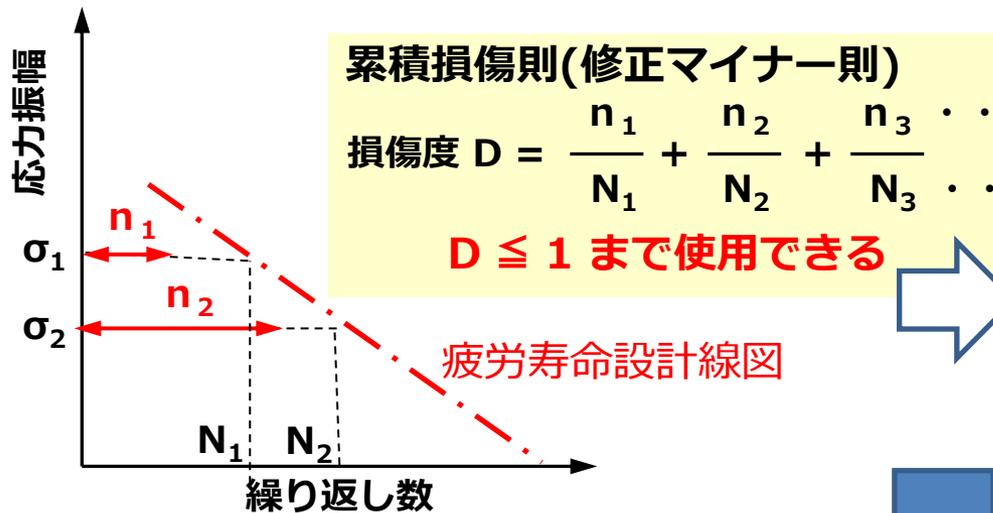
実容器を用いた安全性を確認する試験が必要なため費用と時間がかかる

目的①

評価方法の簡素化



② 累積損傷則適用により使用回数を増加させたい



課題②

複合圧力容器ライナーおよびCFRPに関する疲労寿命設計線図が存在しないため累積損傷則の適用が困難

目的②

使用寿命延長



複合圧力容器の運営費低減につなげる

体制と役割

試験片による評価

KHK

ライナー試験片、CFRP試験片
評価法の検討

円筒試験体による評価

JSW

金属円筒にCFRPを巻いた
試験体評価法の検討

全体統括
JPEC

疲労寿命設計線図の作成

東京大学

自緊効果および製造誤差までを
考慮したライナーおよびCFRP
に関する疲労設計手法の確立

実容器試験・基準化

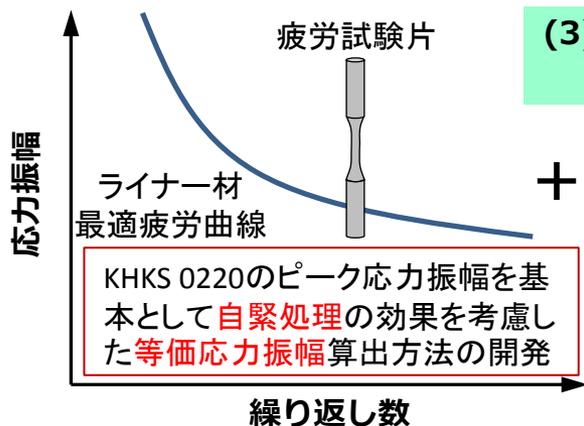
JPEC

応力解析及び疲労解析に基づく
複合圧力容器設計手法の実証
複合圧力容器蓄圧器の技術基準
案の整備

「複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に関する技術開発」の概要

1. 応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法の確立に向けた技術開発

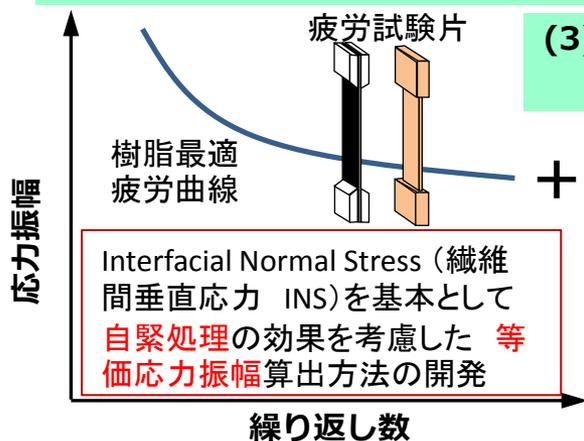
(1) ライナー材最適疲労曲線の作成(KHK)



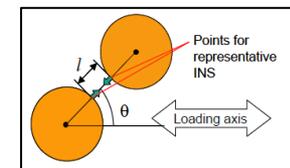
(3) 円筒試験体評価法の検討(JSW、東大)



(2) CFRP材の疲労強度評価のための樹脂最適疲労曲線の作成(KHK、東大)

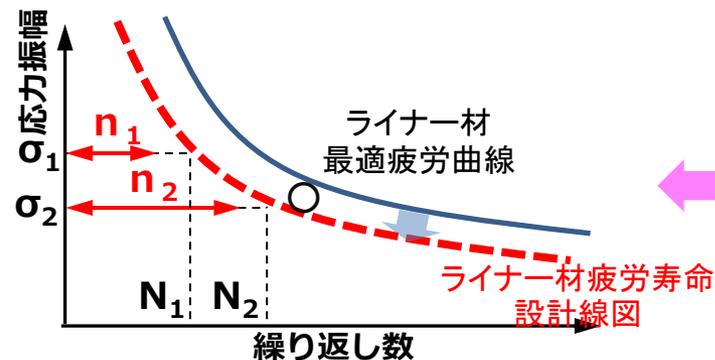


(3) 円筒試験体評価法の検討(JSW、東大)



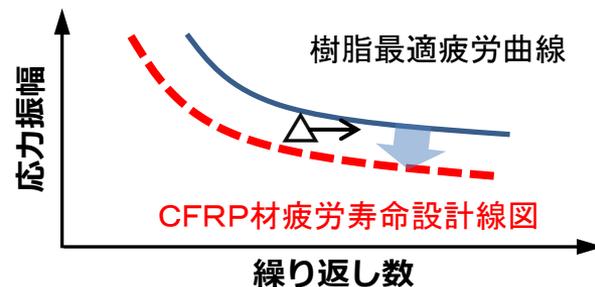
ミクروسケール有限要素シミュレーション

(4) ライナー材・CFRP材樹脂疲労寿命設計線図作成(東大)



(5) 実容器試験により疲労寿命設計線図の妥当性を検証(JPEC) 累積損傷則の適用による寿命延長

実容器試験結果から疲労寿命設計線図に基づき漏洩の予測が可能であることを実証
 → 累積損傷則: $n_1/N_1 + n_2/N_2 + \dots = 1$ を適用可能に

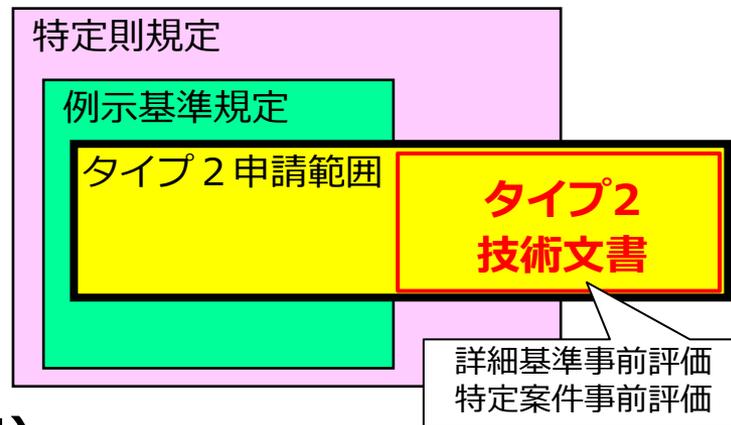


2. 技術基準の整備(JPEC) KHKS 0225大改正を目指す + タイプ 2 技術文書制定

技術基準の整備(1) タイプ2技術文書作成の目的

○タイプ2技術文書作成の目的

- ✓ タイプ2の特定案件事前評価申請を想定し、特定則・例示基準の規定以外に考慮すべき注意事項及び判定基準などを例示する



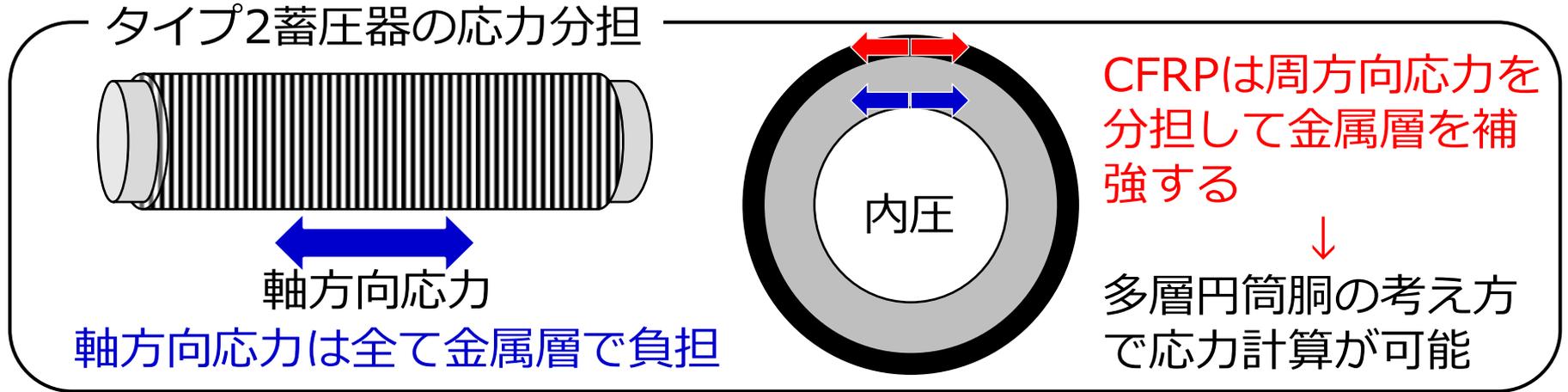
○タイプ2技術文書構成案(前NEDO事業成果)

- ✓ 前NEDO事業成果を基に、技術文書制定に向けた議論を行う

タイプ2技術文書構成案概要

項目	主に参考とした規格	内容
適用範囲	KHKTD 5202、KHKS 0220	内容積、設計圧力・温度、最大使用期間
材料	JPEC-TD 0003 低合金鋼技術文書 KHKS 0220、KHKTD 5202	耐圧部分の金属材料・非金属材料
設計	KHKS 0220、 ASME BPVC Sec.VIII Div.3	設計の確認、材料の縦弾性係数等
加工	KHKS 0220、KHKTD 5202	成形、熱処理、内面検査、機械試験、電位差腐食防止、ワインディング、熱硬化処理等
構造	KHKS 0220、KHKTD 5202	設けなければならない穴、耐圧・気密試験
検査	KHKS 0220、KHKTD 5202	材料、設計、加工、構造の検査

タイプ2蓄圧器設計のコンセプト



金属層/CFRP層の機械的性質の設定

弾性解析による計算厚さの設定

詳細応力解析による安全性評価

JPEC-TD 0003 容器寿命の評価

技術文書で
新たに定義

タイプ2技術文書検討体制

タイプ2複合容器蓄圧器技術文書検討分科会

(HySUT事業：水素インフラに係る自主基準の制定・維持管理事業)

主査	辻 裕一	東京電機大学 工学部 教授
委員	吉川 暢宏	東京大学 生産技術研究所 教授
委員	小川 武史	青山学院大学 理工学部 教授
委員	小茂鳥 潤	慶應義塾大学 理工学部 教授
委員	澁谷 忠弘	横浜国立大学 リスク共生社会創造センター 准教授
委員	小林 訓史	首都大学東京 教授

事務局 一般財団法人石油エネルギー技術センター

タイプ2複合容器蓄圧器技術文書検討タスクフォース

(NEDO事業：複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に関する技術開発)

- ・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
- ・国立大学法人東京大学
- ・株式会社日本製鋼所
- ・JFEスチール株式会社/JFEコンテナ株式会社
- ・高圧ガス工業株式会社/高圧昭和ポンベ株式会社

ステアリング委員会
【NEDO事業】

報告 ↑

検討分科会(3回/年)
【HySUT事業】

議論
報告 ↑

承認 ↓

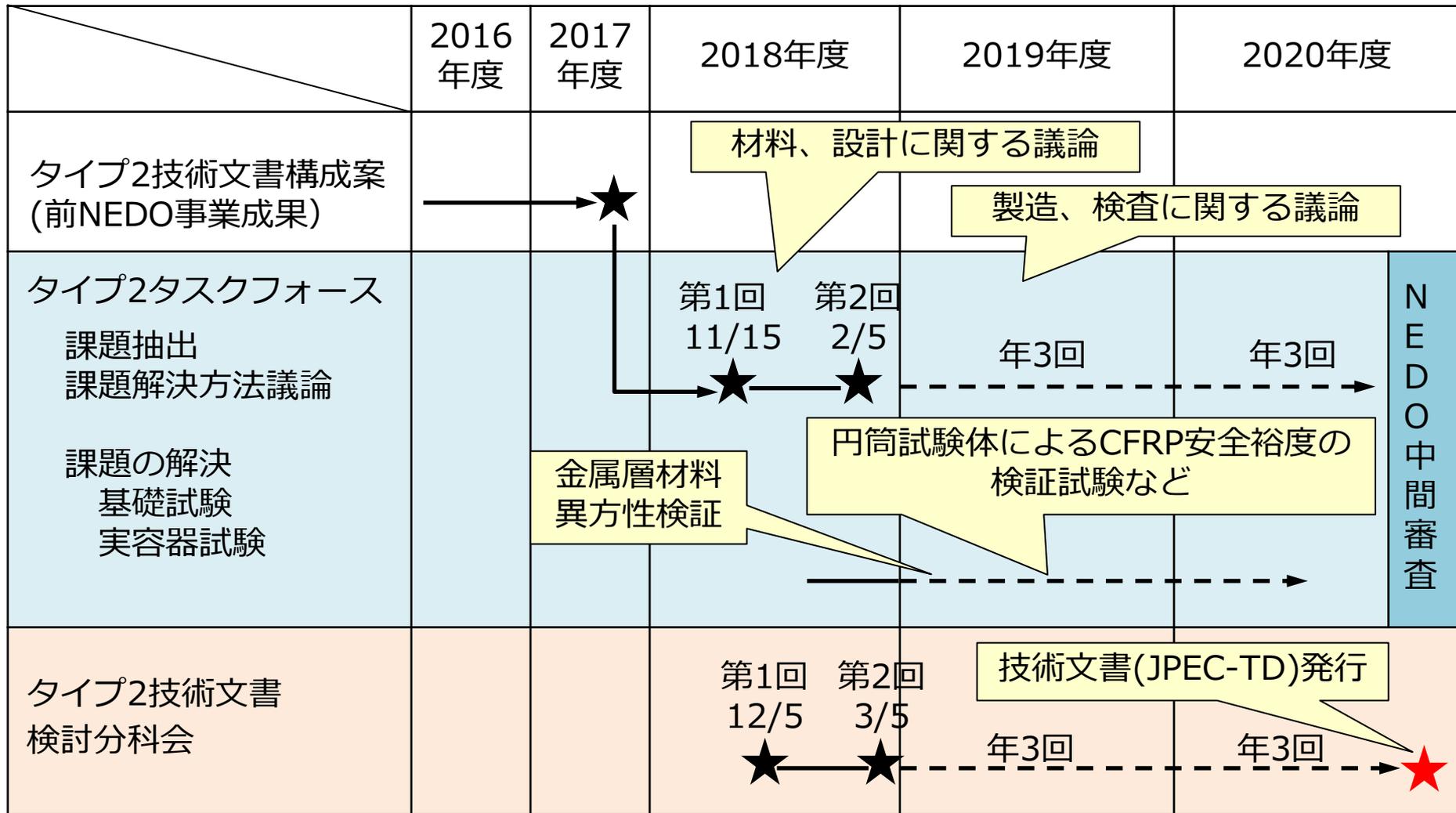
タスクフォース(3回/年)
【NEDO事業】

※規制当局対応：

保安室殿・KHK殿との意見交換

(JPECが担当)

タイプ2技術文書作成スケジュール



NEDO事業成果による蓄圧器の技術体系イメージ



鋼製容器

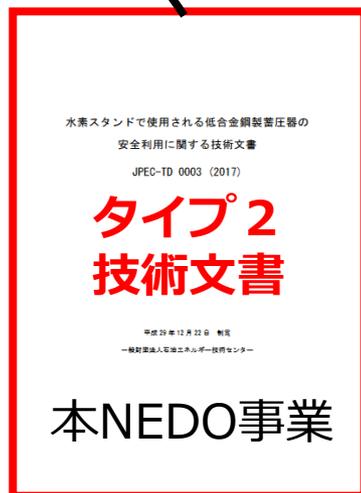
複合容器



附属書へ引用希望

附属書へ引用希望

大改正へ



本NEDO事業：
タイプ3 Design By Analysis
①実容器サイクル試験を課さない
②累積損傷適用

Design By Analysis

技術基準の整備(2) KHKS 0225大改正に向けて(その1)

[NEDO]

水素製造・輸送・貯蔵システム等
技術開発

[NEDO]

水素利用技術研究開発

[NEDO]

超高圧水素インフラ本格普及
技術研究開発

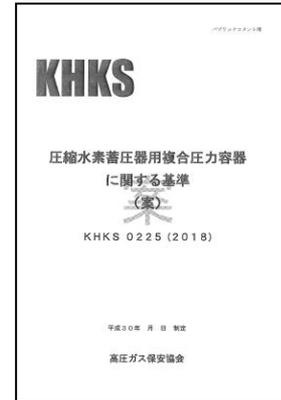
タイプ3 & 4用
複合容器技術文書制定



2014/09

NEDO事業成果：
ステーション用複合容器
技術基準ガイドライン

タイプ3 & 4用
複合容器技術基準制定



2019/02

NEDO事業成果：
複合容器の使用圧力変動
実態に合った試験データ蓄積

大改正を目指す

改正構成

- Design by rule
- Design by analysis

高度な解析
による安全
の担保

大幅コス
トダウン

現行構成

- Design by rule
- Design by analysis
- Design by test

KHKS 0225大改正に向けて (その2)

車載容器 (容器則、KHKS 0128)

現行KHKS 0225

今後

設計

材料
肉厚
構造及び仕様

設計確認試験

層間せん断試験
破裂試験
常温圧力サイクル試験
最小厚さ確認試験
環境試験
水素ガスサイクル試験
...

組試験

破裂試験
常温圧力サイクル試験
...

型式試験

設計

材料
肉厚(最小厚さ計算) (Rule)
構造及び仕様

設計確認試験 (Test、Analysis)

金属ライナーの破裂前漏洩確認
層間せん断試験
破裂試験
常温圧力サイクル試験
最小厚さ確認試験
環境試験
水素ガスサイクル試験
温度クリープ試験
疲労解析及びき裂進展解析
...

製造確認試験

破裂試験
常温圧力サイクル試験

設計の検査、構造の検査

耐圧試験、気密試験

設計

材料
肉厚(最小厚さ計算)
構造及び仕様

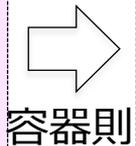
安全性評価、寿命評価

NEDO事業の成果
・有限要素シミュレーションに基づく詳細応力解析
・複合容器ライナーおよびCFRP材料に関する疲労寿命設計線図による容器疲労寿命の評価

・既存項目の取捨・選択

設計の検査、構造の検査

耐圧試験、気密試験



事業スケジュール

研究開発項目	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
1. 応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法の確立		【中間目標】 容器設計の基礎となる疲労曲線作成		【最終目標】 疲労寿命設計線図による容器設計 累積損傷則による使用寿命延長	
1-1. ライナー試験片評価法の検討		AL疲労試験(軸荷重試験片)、最適疲労曲線作成		平均応力補正方法の提案	
1-2. CFRP試験片評価法の検討		CFRP及びエポキシ樹脂の軸荷重疲労試験 ミクロスケール有限要素シミュレーション		CFRPとエポキシ樹脂の疲労特性 相関の導出	
1-3. 円筒試験体評価法の検討		フープ巻円筒試験体の疲労試験 ライナー材料、CFRP材料の疲労特性把握		ヘリカル巻円筒試験体の疲労試験 ライナー材料、CFRP材料の疲労特性把握	
1-4. 自緊効果を考慮した疲労寿命設計線図の作成	疲労寿命設計線図 導出方法の検討	タイプ2に関する疲労寿命設計線図 の検討		タイプ3に関する疲労寿命設計線図 の検討	
1-5. 応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法の実証		タイプ2実容器のサイクル試験データ採取 疲労寿命設計線図の妥当性を実証		タイプ3実容器のサイクル試験データ採取 疲労寿命設計線図の妥当性を実証	
2. 複合圧力容器蓄圧器の技術基準案の整備			タイプ2技術文書完成	タイプ3: KHKS0225改正に向けた 提案	ISO TC197 WG15への提案

2018年度成果（その1）

項目	成果
ライナー試験	過去のMETIおよびNEDO事業成果を用いて、A6061-T6の最適疲労曲線実験式の作成及び平均応力補正方法の検討を開始した。
CFRP試験	フィラメントワインディング（FW）タイプおよびプリプレグタイプCFRP試験片、樹脂単体試験片を製作し、疲労試験を開始した。 一方向強化CFRP試験片の炭素繊維方向引張疲労試験結果を Interfacial Normal Stress (INS) により整理する手法を検討した。
円筒試験	フープラップ複合圧力容器対応円筒試験体を製作し、疲労試験を開始した。 フルラップ複合圧力容器対応円筒試験体を設計し試作を行った。

2018年度成果（その2）

項目	成果
疲労寿命設計線 図作成	<p>ライナー試験片の疲労試験結果を用いて圧縮平均応力補正方法の検討を開始した。</p> <p>過去の一方向強化CFRP試験片を用いた疲労試験の結果から、CFRP材料の疲労強度は樹脂の疲労強度に支配され、その下限値は炭素繊維の局所的偏りを考慮して、Interfacial Normal Stress (INS) により適切に推定できそうであることがわかった。</p>
容器設計	<p>胴部漏洩仕様のタイプ3実容器サブスケール品を用いた圧力サイクル試験を開始した。</p>
タイプ2技術 文書作成	<p>タイプ2複合容器蓄圧器技術文書検討分科会およびタスクフォース (TF) を立ち上げ、技術文書構成案をもとに、材料と設計に関する課題を抽出し、議論を開始した。</p>

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*）
からの委託事業の結果得られたものです。

*New Energy and Industrial Technology Development Organization