

発表No.C-5

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（JPEC）〔発表者：東條 千太〕

高压ガス保安協会（KHK）

国立大学法人東京大学

2022年7月28日

連絡先：一般財団法人石油エネルギー技術センター
<https://www.pecj.or.jp/> TEL: 03-5402-8513

事業概要

1. 期間

開始 : 2018年6月
終了（予定） : 2023年3月

2. 最終目標

- ・タイプ2複合圧力容器技術基準の整備に必要なデータを蓄積し、自主基準案の策定を図る
- ・応力解析及び疲労解析に基づく複合圧力容器設計手法（タイプ3）を確立し、KHKS 0225改正に資する提案を行う。

3. 成果・進捗概要

- ・タイプ2複合圧力容器の技術文書JPEC-TD0008を制定した（2020年度完）
- ・ライナー材の応力振幅と繰返し数と引張強さの関係を定式化し、最適疲労曲線を導出した。
- ・蓄圧器の圧力の変動比とサイクル寿命の増加比の相関を示す累積損傷関係式を構築した。（特許出願済）
- ・累積損傷関係式を水素ステーションに導入することにより、FCVの充填台数を10万台から224万台に増やせる可能性を見出した。
- ・KHKS 0225改正TFを立ち上げ、容器試験の4項目削減に目途を得た。
上記累積損傷関係式とともに、KHKS 0225改正案に盛り込むよう推進中である。

1. 事業の位置付け・必要性 ～水素ステーション用複合圧力容器蓄圧器～

- 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。〔市場ニーズ〕
認可取得のための試験費用が、1～2億円程度かかる。〔現状〕
- ↓
- 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。
→KHKTD 5202改正を要望し認められた。⇒KHKS 0225へ反映
- ↓
- ③水素ステーション用蓄圧器は特定則適用のため、
容器則の流れである設計確認試験は必要最小限にしたい。
- ↓
- ④**本NEDO事業**：ライナー材を用いた試験、CFRP試験、複合圧力容器試験を実施し、**複合圧力容器試験を最小限にする認可取得の道筋を確立する。**〔目的〕
- ↓
- ⑤本NEDO事業で複合圧力容器の技術基準を整備することで、
- i) 省令改正（特定則）により大臣特認を不要とし、事前評価での認可を得られる様にしたい。
⇒**2020年2月 特定則が改正され大臣特認が不要に**〔意義①〕
 - ii) **認可をとるためのイニシャルコスト**
および運営のランニングコストを低減したい。〔意義②〕

2. 研究開発マネジメントについて

〔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**

① Design by Analysisの技術基準作成には、データが不足

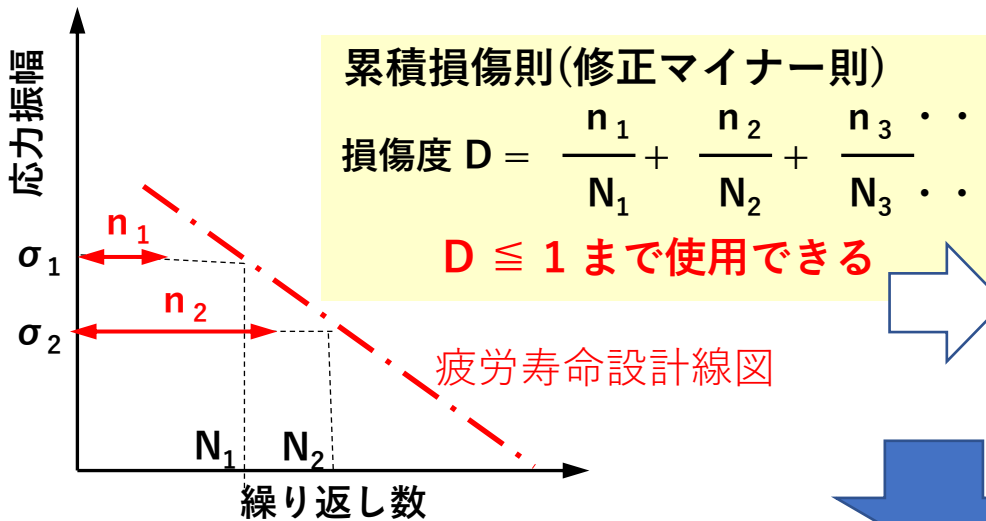
- ・ライナーの疲労特性（圧縮応力域）
- ・自緊処理の影響
- ・CFRP層の材料強度評価方法
- ・CFRP層の疲労特性 等

Design by Test

課題①
複合圧力容器を用いた安全性を確認する試験が必要
⇒費用と時間がかかる

目標①
評価方法の簡素化
〔イニシャルコスト低減〕

② 累積損傷関係式を構築するためのデータが不足



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が適用できない
⇒容器の使用回数が短い

目標②
容器寿命最大限の活用
〔ランニングコスト低減〕

〔手段〕 **Design by Analysisと累積損傷関係式の構築によりイニシャル&ランニングコストの低減を図る**

〔体制と役割〕

全体統括
J P E C

最適疲労曲線の作成

K H K

・ライナー試験片、CFRP試験片の評価

疲労寿命設計線図の作成

東大

・自緊を考慮した疲労設計手法の確立

実容器検証・基準化

J P E C

・設計手法の実証
→累積損傷関係式の提案
・複合圧力容器蓄圧器の技術基準案の整備

3. 研究開発成果① ～ライナー材最適疲労曲線の作成～

ライナー材から切り出した試験片による疲労評価

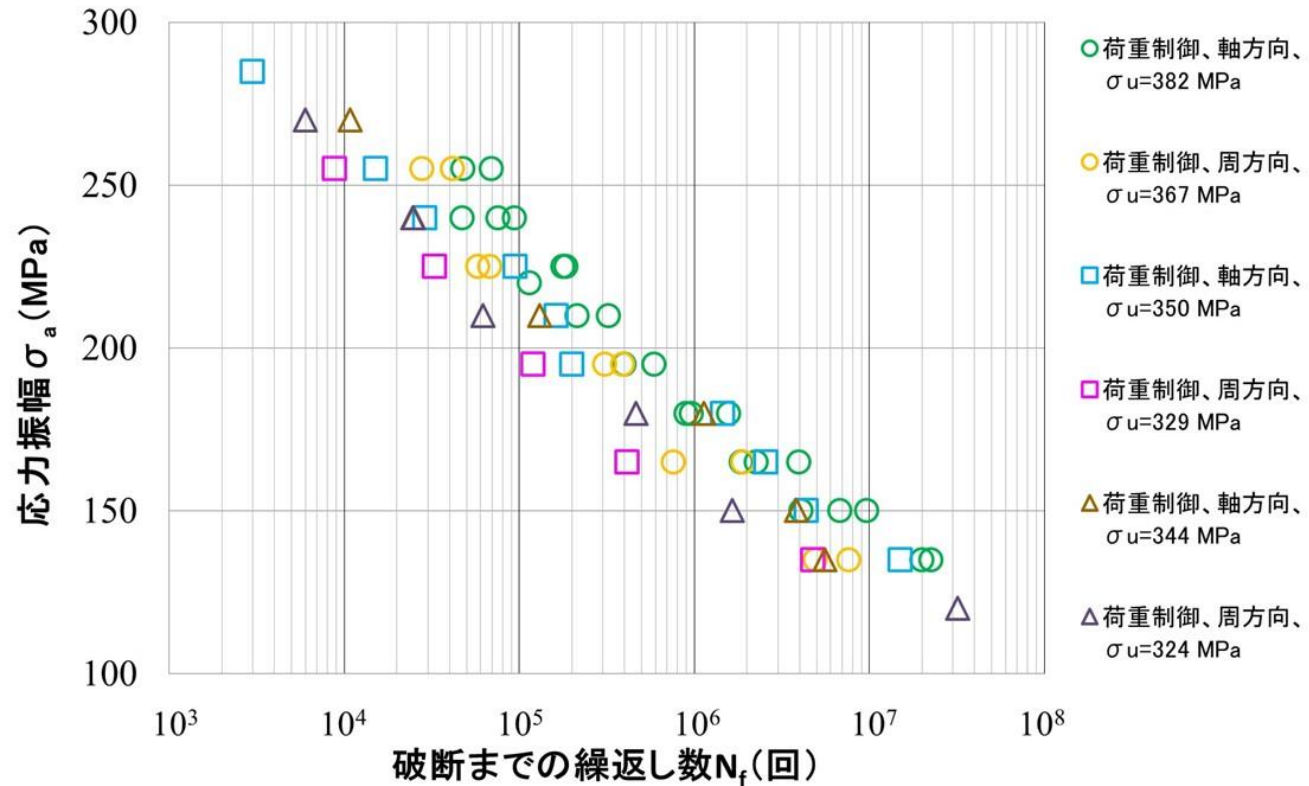


図 Al合金疲労試験片のS-N線図 (JIS H 4080、 $R=-1$ 、荷重制御)

■ S-N線図より、
「疲労強度 \propto 引張強さ」の傾向を確認

定式化

$$\sigma_a = 2.0\sigma_u N_f^{-0.10}$$

3. 研究開発成果② ～最適疲労曲線の比較～

CFRP及び同一のエポキシ樹脂材の試験片による疲労評価

CFRP:炭素繊維配位方向の試験片

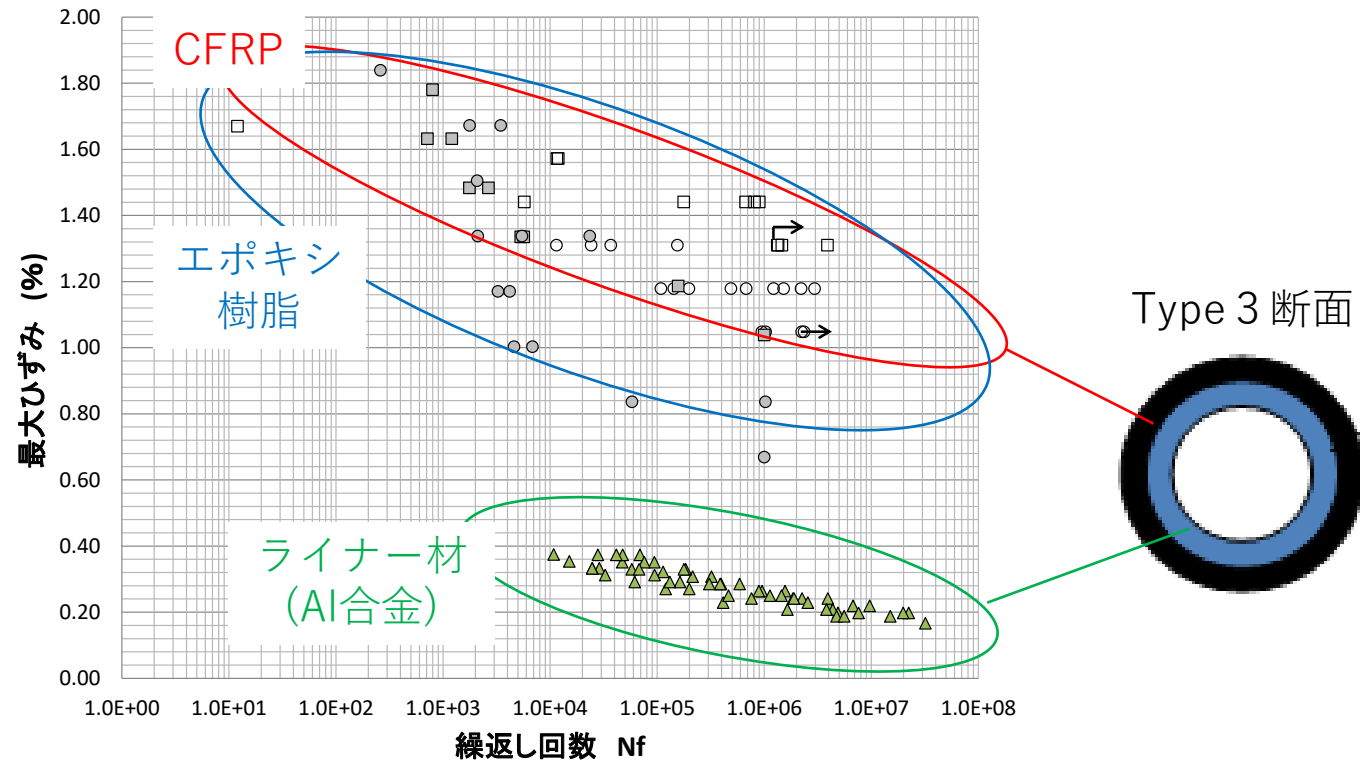


図 最大公称ひずみで整理したS-N線図
(CFRP・樹脂： $R=0.1$ 、荷重制御、Al合金ライナー： $R=-1$ 、荷重制御)

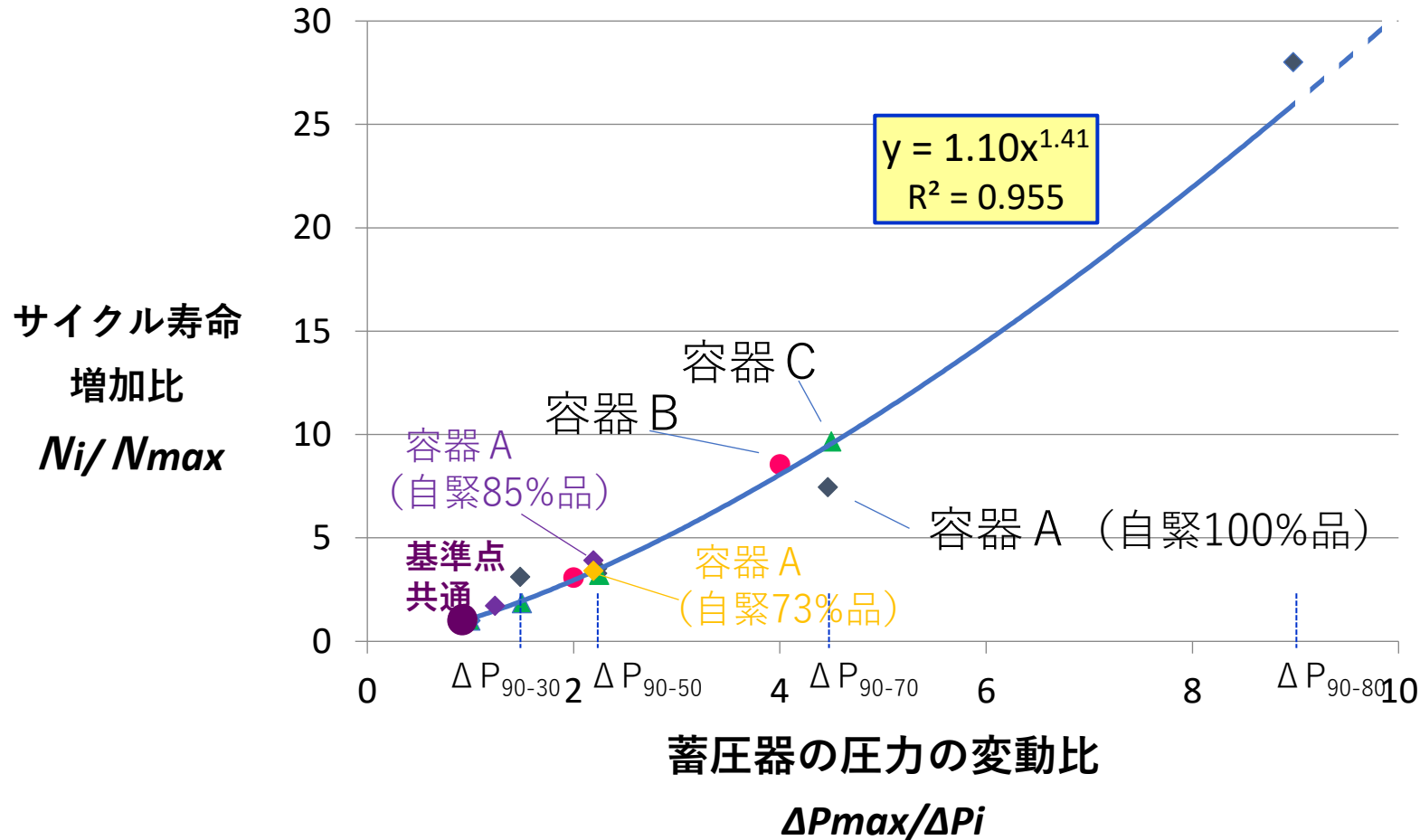
樹脂およびCFRPの疲労強度は
ライナー材のそれよりも十分長寿命側



疲労寿命：
ライナー材の疲労強度で決まる

3. 研究開発成果③ ～累積損傷関係式～

蓄圧器の圧力の変動比とサイクル寿命増加比の関係

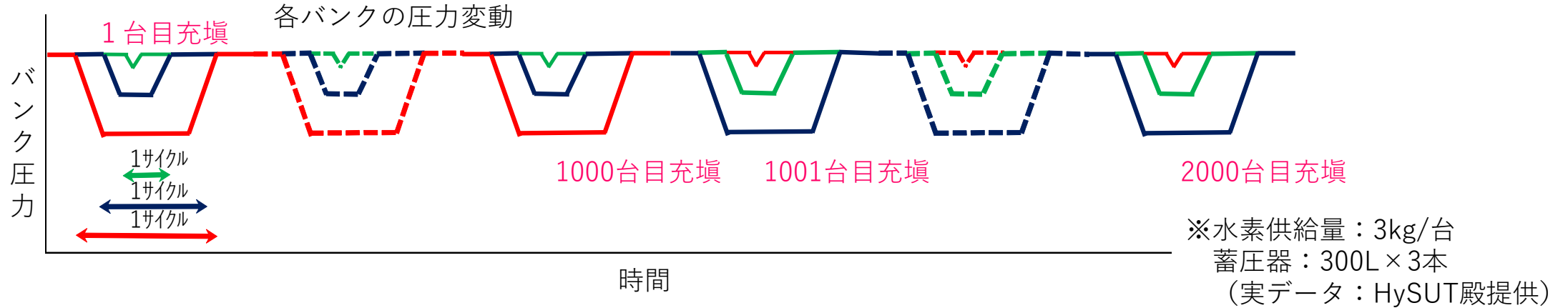


国内、PCT特許を各2件
(基本特許、水素ステーション
運用特許)を出願済み

$\Delta P_{max}/\Delta P_i$ (無次元化) と N_i/N_{max} (無次元化) の相関は高い
⇒ 累積損傷則のサイクルカウント手法の確立に適用可能

3. 研究開発成果④ ～累積損傷関係式適用時のFCV充填台数～

高圧、中圧、低圧バンクを、1,000台（一定台数）充填毎にローテーションするケース



- 〔前提条件〕
- ・認可取得サイクル回数100,000回
 - ・1,000台充填毎のバンク切り替えによる蓄圧器の負荷（累積損傷度）を平準化

加圧方法	加圧数/1台	可能な充填台数
従来法	1.0	100,000台
累積損傷関係式	0.045	2,240,000台

- ①累積損傷関係式の適用により、蓄圧器のサイクル仕様を低減可能
⇒イニシャルコストの低減
- ②一定台数毎のバンクローテーションにより、
20年間蓄圧器の入れ替えは不要⇒ランニングコストの低減

3. 研究開発成果⑤ ～ KHKS 0225の改正（試験の削減案）～

容器を用いる試験、検査

5.2 設計確認試験



5.2.2.1 破裂試験

【改正案】

- ・実容器3個 → 1個
- ・解析(DBA)を併用

5.2.3.1 常温圧力サイクル試験(疲労試験) (今年度)

5.2.3.2 最小厚さ確認試験 (今年度)

5.2.3.3 環境試験 (削除)

5.2.3.5 温度クリープ試験 (削除)

7.3 製造確認試験(200個毎または1年間に2個)

- ##### 7.3.1
- ・破裂試験、(削減)
 - ・常温圧力サイクル試験(疲労試験) (削除)

8.4 構造の検査



- ##### 8.4.1.3
- ・耐圧試験
 - ・気密試験

製造容器すべて実施

特定則

- ##### 8.4.2 構造の検査の方法
- a)の3)

【改正案】

『寸法測定器等により、樹脂含浸炭素繊維層及び保護層のそれぞれの厚さを算出する』ことも可能とする

試験片を用いる試験

5.2.2.7 層間せん断試験

CFRP試験片5個で試験



全体の試験項目が決まるときに改めて検討

公式及び解析による設計

解析で、LBB及び容器寿命を確認

5.2.2.2 金属ライナーの破裂前漏洩の確認

5.2.3.6 疲労解析

- ・疲労寿命設計線図により寿命設定
- ・J積分弾塑性解析によるき裂進展寿命設定

5.2.3.6 き裂進展解析

- ・解析手法は、本事業の検討結果を反映

5.1.1.1 タイプ3最小厚さの計算の方法 : 公式による静的強度の確保

- ##### 5.3.4
- 樹脂含浸炭素繊維層の炭素繊維 (許容引張応力)

CFの強度発現率; 破裂試験の容器1個の破裂圧力を用い、解析により求めた破裂圧力時のCFRP層のCFに生じる最大引張応力と、CFの引張強さの比で求める

改正TFにて容器試験の4項目削減に目途、2項目は検討中（試験片の試験も削減検討中）

3. 研究開発成果⑥ ～累積損傷関係式およびKHKS 0225改正によるコスト低減イメージ～

〔現状〕 蓄圧器認可： 22,000回（フル充填）または30,000回（90-40MPa充填）

 **イニシャルコストUP**

〔普及期*〕 蓄圧器認可： 100,000回（フル充填）

* 100台/日 × 365日 × 15年
= 545,500台のFCVに充填

ステーションでの
蓄圧器交換： 5回
ランニングコスト大

蓄圧器設計仕様		サイクル試験回数		トータル試験回数
疲労試験数	安全係数	Min.	Max.	(Max.回数×試験数)
n=2	4.0	400,000	800,000	1,600,000
～	～	～	～	～
n=5	2.6	260,000	520,000	2,600,000

累積損傷関係式の導入

イニシャルコスト大

蓄圧器認可： 25,000回（フル充填） **イニシャルコスト同等**

ステーションでの
蓄圧器交換： 0回
(100%減)

ランニングコスト低減

蓄圧器設計仕様		サイクル試験回数		トータル試験回数
疲労試験数	安全係数	Min.	Max.	(Max.回数×試験数)
n=2	4.0	100,000	200,000	400,000
～	～	～	～	～
n=5	2.6	65,000	130,000	650,000

KHKS 0225改正

イニシャルコスト低減

Design by Analysis
⇒ 試験項目の削減

n=1以下	2.0?	50,000?	50,000?
-------	------	---------	----------------

大幅なイニシャルコスト低減

3. 研究開発成果⑦ ～特許～

出願者	出願番号	国内・外国 ・PCT	出願日	状態	名称
石油エネルギー 技術センター 東京大学 高压ガス保安協会 日本製鋼所	2020-074196	国内	2020年 4月17日	出願 継続中	蓄圧器の寿命判定 方法
石油エネルギー 技術センター 東京大学 高压ガス保安協会 日本製鋼所	2020-074235	国内	2020年 4月17日	出願 継続中	蓄圧器の寿命判定 方法を用いた水素 ステーションの 運転方法
石油エネルギー 技術センター 東京大学 高压ガス保安協会 日本製鋼所	PCT/JP2020/ 041411	PCT (全指定)	2020年 11月5日	出願 継続中	蓄圧器の寿命判定 方法
石油エネルギー 技術センター 東京大学 高压ガス保安協会 日本製鋼所	PCT/JP2020/ 041416	PCT (全指定)	2020年 11月5日	出願 継続中	蓄圧器の寿命判定 方法を用いた水素 ステーションの 運転方法

2018～2022年3月
合計4件

3. 研究開発成果⑧ ～論文～

発表者	所属	タイトル	発表誌名	発表年月
小林 拓	石油エネルギー 技術センター	水素ステーションでの 低合金鋼の利用に向け て制定された技術文書	JPECレポート	2021年 10月
林 郁孝	石油エネルギー 技術センター	水素ステーションの規 制適正化に関する研究 開発	一般社団法人燃 料電池開発情報 センター「日本 における燃料電 池の開発2021」	2022年 1月
志賀優多、小林 英男、山田敏弘 、佐野尊、（横 浜国立大学 澁谷忠弘）	高圧ガス保安協会	アルミニウム合金6061- T6の最適疲労曲線の構 築と平均応力の補正方 法	一般社団法人 日本高圧力技術 協会(圧力技術)	2021年 5月

2018～2022年3月
合計3件

3. 研究開発成果⑨ ～研究発表・講演～

発表者	所属	タイトル	学会名・イベント名等	発表年月
佐藤 慎也	石油エネルギー 技術センター	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 (タイプ2)	2020年度JPEC フォーラム	2020年 5月8日
東條 千太	石油エネルギー 技術センター	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 (タイプ3)	2020年度JPEC フォーラム 2021年度JPEC フォーラム	2020年 5月8日 2021年 5月11日
佐藤 慎也 福本 紀 小林 拡 前田 秀 吉川 暢宏 荒島 裕信	石油エネルギー 技術センター 高圧ガス保安協会 東京大学 日本製鋼所	INTRODUCTION OF THE TECHNICAL DOCUMENT IN JAPAN FOR SAFETY USE OF TYPE2 PRESSURE VESSELS IN HYDROGEN REFUELING STATIONS	ASME PVP 2020	2020年 7月20日
林 郁孝	石油エネルギー 技術センター	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	FCCJ燃料電池 ・水素に係る 規制見直し・ 標準化等動向 説明会	2021年 3月1日 2022年 3月9日

2018～2022年3月
合計20件

4. 今後の見通しについて

〔実用化のイメージ〕

- ・ 2022年度中にKHKS 0225改正に資する提案を行い、
2023年度にKHKS 0225が改正される予定である。

〔実用化・事業化に対する今後の課題と対応方針〕

- ・ 認可取得に関してはすぐに効果が得られると考えている。
- ・ 累積損傷関係式の水素ステーションへの導入に関しては
本年度（2022年）にHySUTにて実証試験を行い、
成果をKHKS 0225附属書に反映し導入をスムーズに進める計画である。