

2021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

2021年5月12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

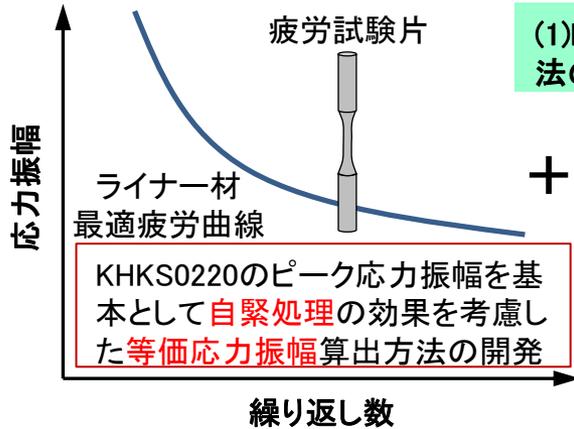
**超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業／
水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発／
複合圧力容器の評価手法確立・技術基準整備に
関する技術開発**

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）

「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

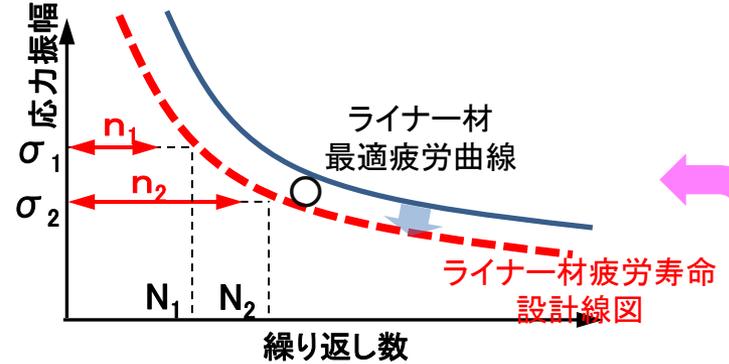
(1)a ライナー材最適疲労曲線の作成 (KHK)



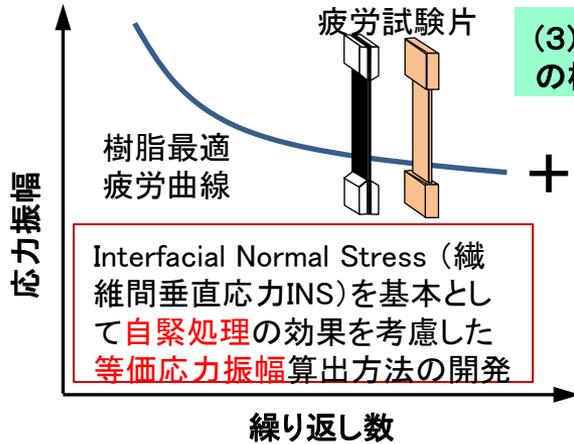
(1)b 円筒試験体評価法の検討 (JSW、東大)



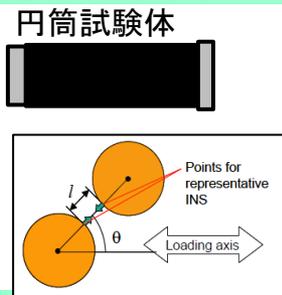
(1)c, (2) ライナー材・CFRP材樹脂疲労寿命設計線図作成 (東大)



(2)a 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)



(2) ミクروسケール有限要素シミュレーション

(1)d 実容器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



報告内容

1. 研究体制、役割分担および課題
2. ライナー材最適疲労曲線の作成
3. 最適疲労曲線の比較
4. 複合圧力容器のサイクル試験と
累積損傷関係式
5. 累積損傷関係式適用時のFCV充填台数
6. KHKS 0225の大改正
7. 本NEDO事業のコスト低減イメージ
8. 2020年度の成果

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。
→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。

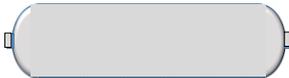
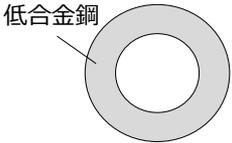
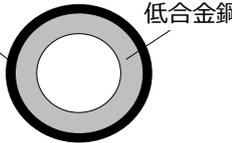
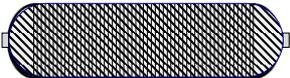
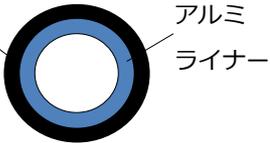
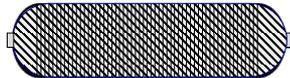
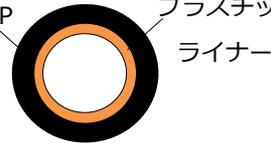


④**本NEDO事業**：ライナー材を用いた試験、CFRP試験、複合圧力容器試験を実施し、**複合圧力容器試験を最小限にする認可取得の道筋を確立する。**



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**
ii) **認可をとるためのコストおよび運営コストを低減したい。**

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</p>  <p>低合金鋼</p>	<p>アルミライナー/CFRP(フルラップ)</p>  <p>CFRP</p>  <p>アルミライナー</p>	<p>プラスチックライナー/CFRP(フルラップ)</p>  <p>CFRP</p>  <p>プラスチックライナー</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 →KHKT 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 →KHKT 5202 →KHKS 0225
今後の展開	<ul style="list-style-type: none"> JPEC-TD 0003の KHKS 0220附属書を目指す 圧縮機への適用拡大へ 	<p>本NEDO事業</p> <ul style="list-style-type: none"> Design by Analysisの確立 タイプ 2 技術文書を策定 KHKS 0220附属書を目指す 	<p>本NEDO事業</p> <ul style="list-style-type: none"> Design by Rule及び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 	<ul style="list-style-type: none"> Design by Analysisの確立へ向けた検討

技術基準なし → Design by Analysis
により技術基準を整備

Design by Test → Design by Rule
& Analysis及び累積損傷則適用に
よりコストを低減

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

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

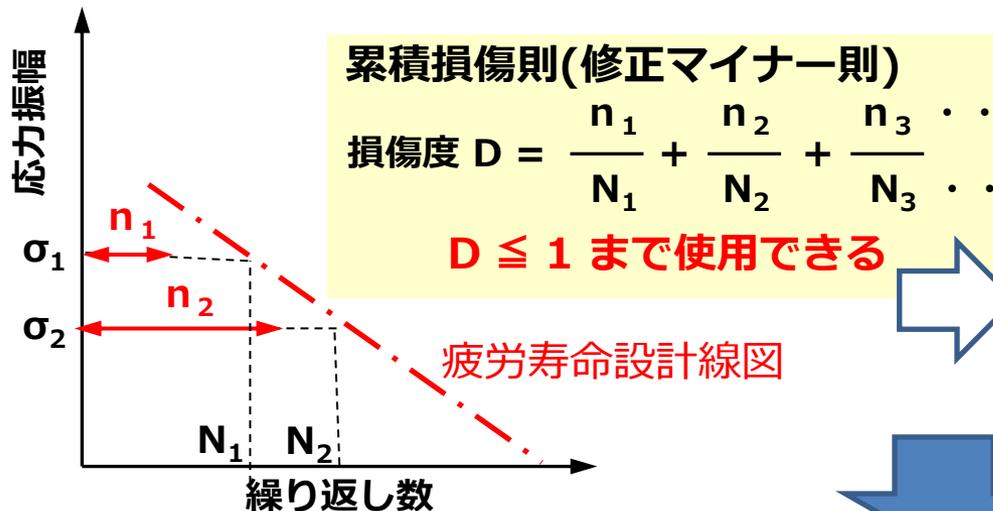
複合圧力容器を用いた安全性を確認する試験が必要
⇒費用と時間がかかる

目的①

評価方法の簡素化

〔イニシャルコスト低減〕

② 累積損傷則を適用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

目的②

容器寿命最大限の使用

〔ランニングコスト低減〕

Design by Analysisと累積損傷則適用により
イニシャル&ランニングコストの低減を図る

体制と役割

最適疲労曲線の作成

KHK

- ・ライナー試験片（圧縮応力域）、CFRP試験片評価法の検討

円筒試験体の評価

JSW・東大

- ・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

複合圧力容器試験・基準化

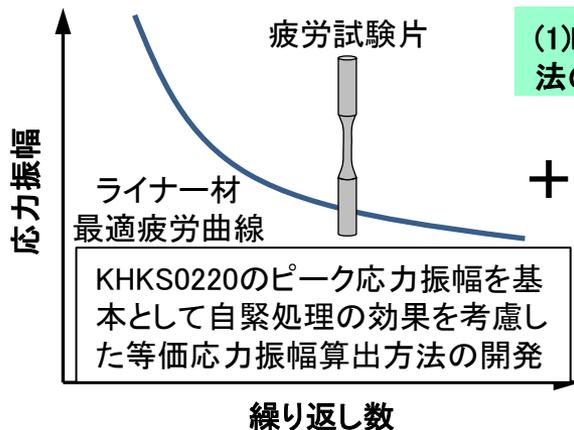
JPEC

- ・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
→**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

「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

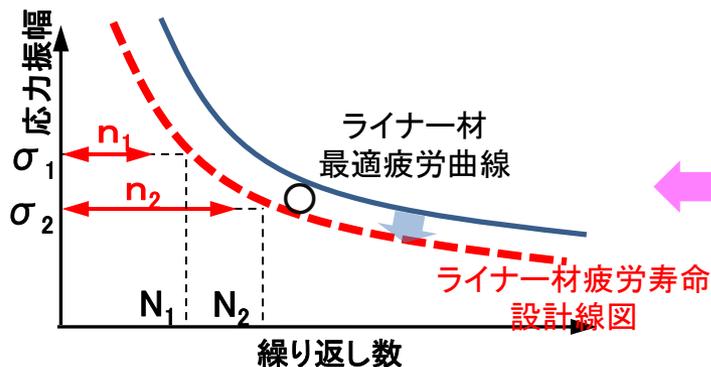
(1)a ライナー材最適疲労曲線の作成 (KHK)



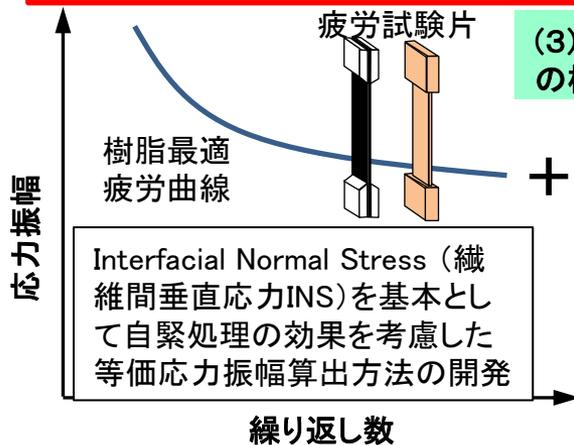
(1)b 円筒試験体評価法の検討 (JSW、東大)



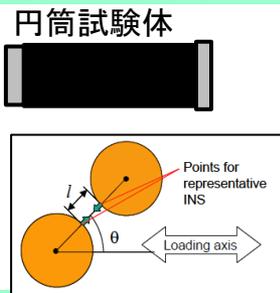
(1)c, (2) ライナー材・CFRP材樹脂疲労寿命設計線図作成 (東大)



(2)a 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)



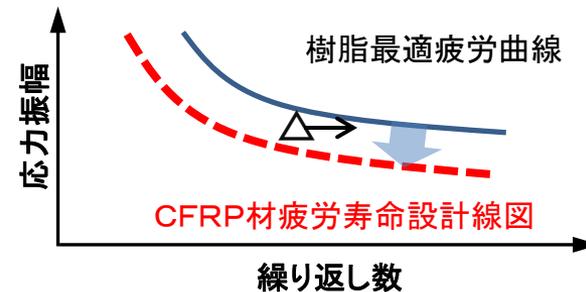
(3) 円筒試験体評価法の検討 (JSW、東大)



(2) ミクروسケール有限要素シミュレーション

(1)d 実容器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(案)制定

報告内容

1. 研究体制、役割分担および課題
2. ライナー材最適疲労曲線の作成
3. 最適疲労曲線の比較
4. 複合圧力容器のサイクル試験と
累積損傷関係式
5. 累積損傷関係式適用時のFCV充填台数
6. KHKS 0225の大改正
7. 本NEDO事業のコスト低減イメージ
8. 2020年度の成果

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

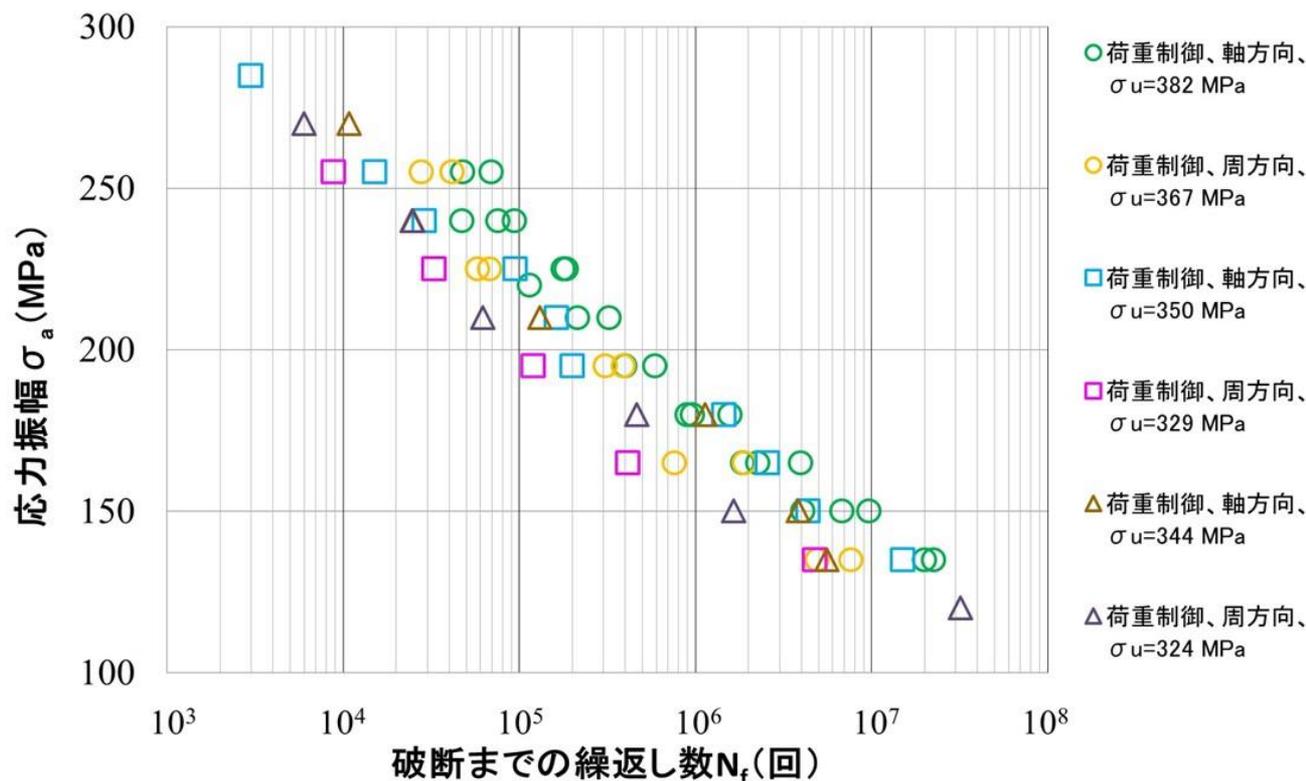


図 Al合金疲労試験片のS-N線図(JIS H 4080、 $R=-1$ 、荷重制御)

■ S-N線図より、「疲労強度 \propto 引張強さ」の傾向を確認

定式化

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

報告内容

1. 研究体制、役割分担および課題
2. ライナー材最適疲労曲線の作成
3. 最適疲労曲線の比較
4. 複合圧力容器のサイクル試験と
累積損傷関係式
5. 累積損傷関係式適用時のFCV充填台数
6. KHKS 0225の大改正
7. 本NEDO事業のコスト低減イメージ
8. 2020年度の成果

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

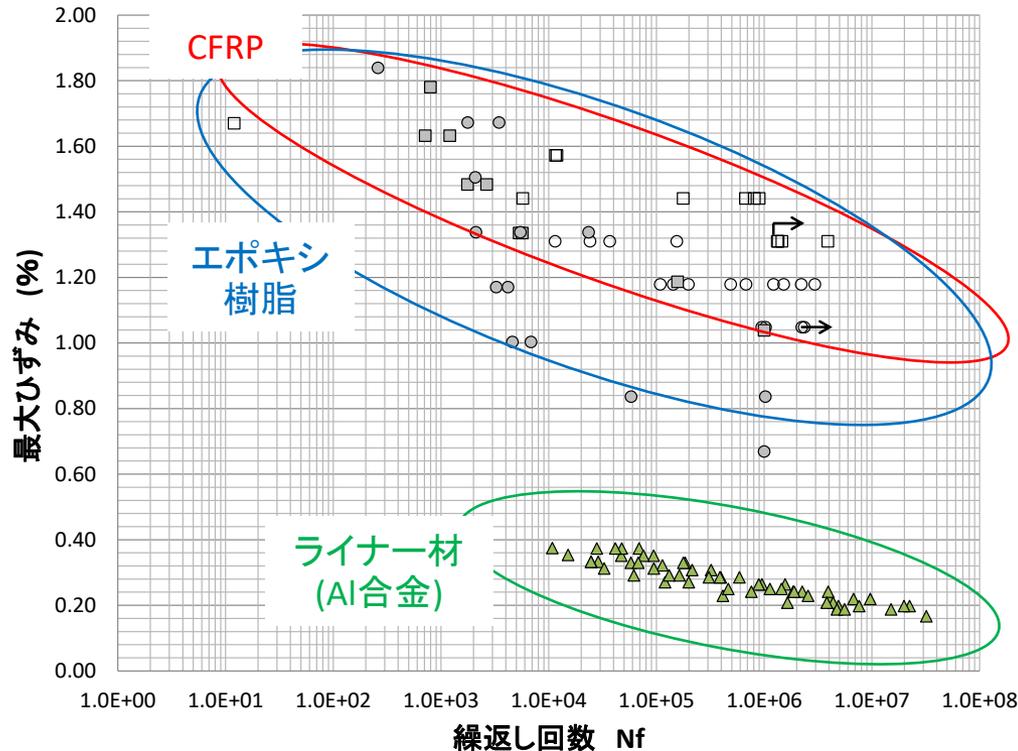


図 最大公称ひずみで整理したS-N線図
(CFRP・樹脂: $R=0.1$ 、荷重制御、Al合金ライナー: $R=-1$ 、荷重制御)

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



主要破損モード：
ライナー材の疲労強度が支配的

報告内容

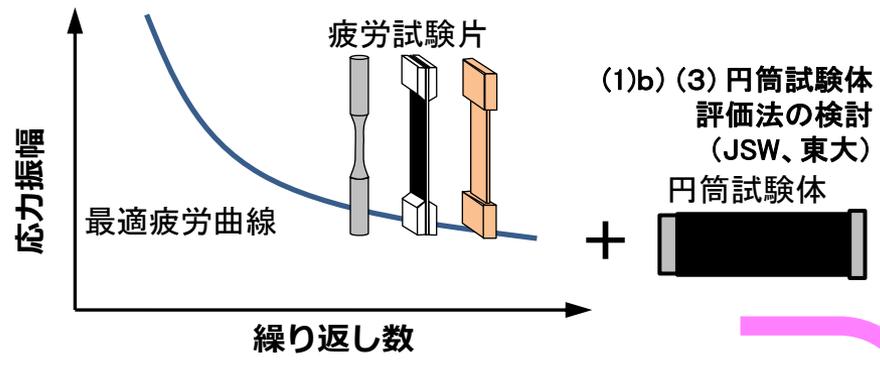
1. 研究体制、役割分担および課題
2. ライナー材最適疲労曲線の作成
3. 最適疲労曲線の比較
4. 複合圧力容器のサイクル試験と
累積損傷関係式
5. 累積損傷関係式適用時のFCV充填台数
6. KHKS 0225の大改正
7. 本NEDO事業のコスト低減イメージ
8. 2020年度の成果

複合圧力容器の評価手法確立に関する相関図

今回報告

【基礎データ&設計・シミュレーション】

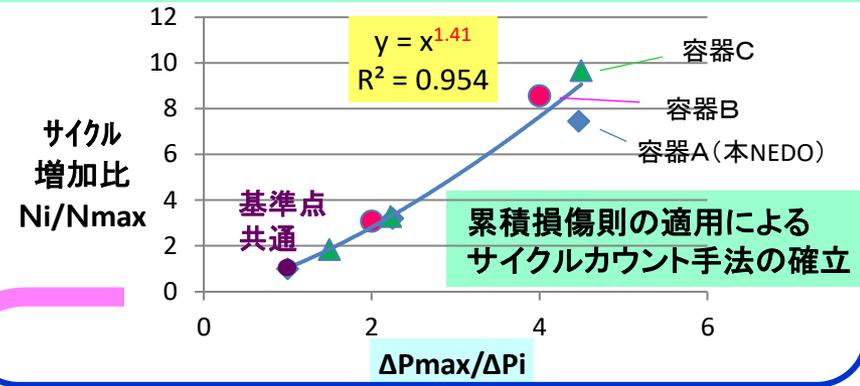
(1)aライナー材(2)a CFRP材の最適疲労曲線の作成 (KHK、東大)



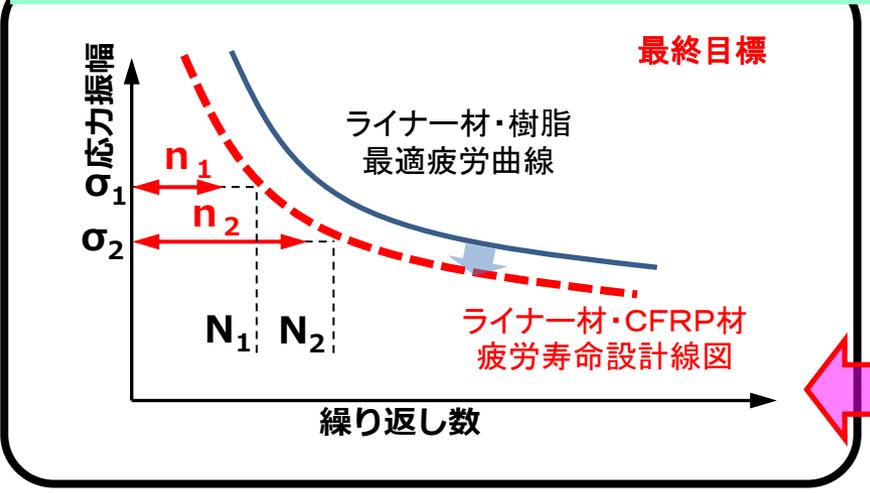
(1)b (3) 円筒試験体
評価法の検討
(JSW、東大)
円筒試験体

【実機データ】

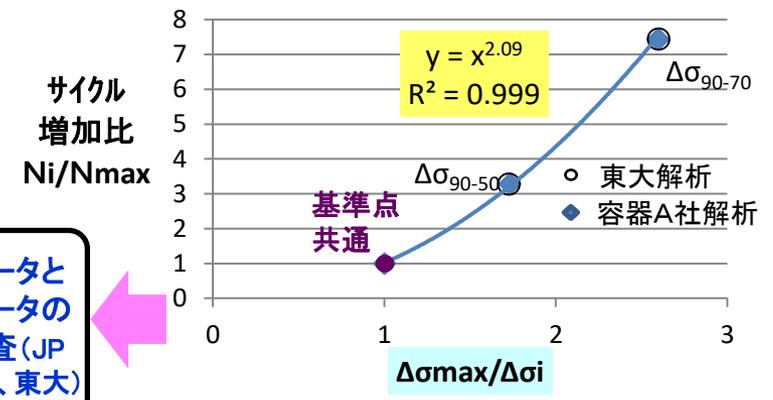
(1)c 複合圧力容器サイクル試験の圧力振幅とサイクル寿命の相関調査 (JPEC)



(1)(2)ライナー材・CFRP材樹脂疲労寿命設計線図作成 (東大)



(1)c 複合圧力容器サイクル試験の応力振幅とサイクル寿命の相関調査 (JPEC、東大)



基礎データと
実機データの
相関調査 (JP
EC、KHK、東大)

2. 技術基準の整備(JPEC) KHKS 0225大改正を目指す

タイプ3 複合圧力容器サブスケール品の概要と試験内容

○ 容器仕様: 水素ステーション用蓄圧器を軸方向に短くした仕様

材質	ライナー; A6061-T6, 繊維; PAN系炭素繊維
内容積	約76ℓ
設計圧力	99MPa
容器寸法	外径: 458.7mm 長さ: 1,520mm
損傷形態	胴部を起点とするLBB
最小破裂圧力	223MPa(設計圧力の2.25倍)以上

○ 試験内容

1] 圧力サイクル試験 (試験温度: 常温~約50°C)

(1) 試験圧力条件: **90⇔0MPa, 90⇔30MPa, 90⇔50MPa, 90⇔70MPa**

(水素ステーション蓄圧器の使用条件を想定)

(2) 圧力媒体: 50%エチレングリコール水溶液

(3) 試験後の確認ポイント

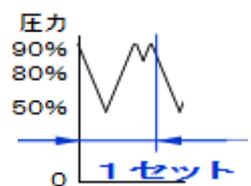
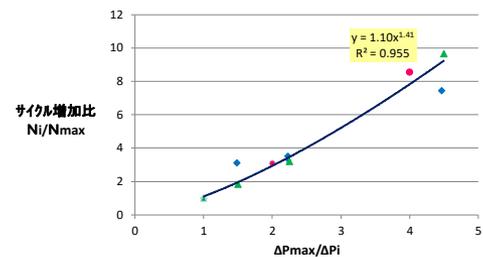
① 損傷箇所

② **疲労寿命に及ぼす圧力振幅の影響**

2] 破裂試験 (昇圧速度: 毎秒0.35MPa以下) **252.9MPa: 胴部破裂** ≥ 223MPa

タイプ^o3 複合圧力容器サブスケール品のサイクル試験結果

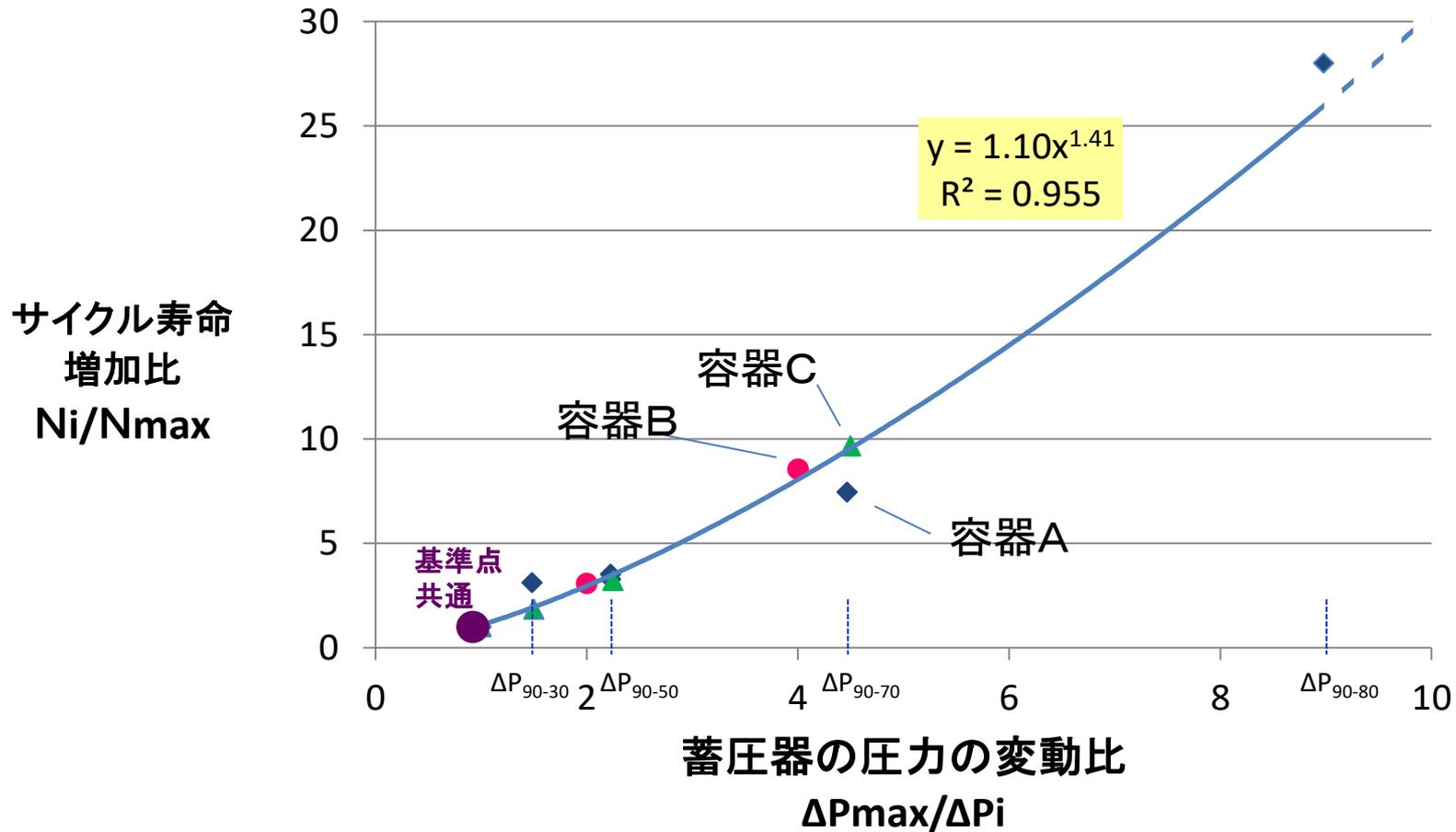
	圧力変動	リーク回数	アウトプット
単一サイクル試験	90-0MPa	111,177	X軸に圧力振幅比 ($\Delta P_{max}/\Delta P_i$)、 Y軸にサイクル増加比 (N_i/N_{max})をとった 累積損傷関係式の構築
	90-30MPa	346,195	
	90-50MPa (1回目)	364,624	
	(2回目)	390,749	
	90-70MPa	827,494	
組合せ試験	90-0MPa & 90-50MPa	391,051	ステーション圧力 開放時(90-0MPa:480回) の影響はない
	90-80MPa & 90-50MPa	347,180 セット	90-80MPa: 311~726万回*



* マイナー則より算出

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



$\Delta P_{max}/\Delta P_i$ (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

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

報告内容

1. 研究体制、役割分担および課題
2. ライナー材最適疲労曲線の作成
3. 最適疲労曲線の比較
4. 複合圧力容器のサイクル試験と
累積損傷関係式
5. 累積損傷関係式適用時のFCV充填台数
6. KHKS 0225の大改正
7. 本NEDO事業のコスト低減イメージ
8. 2020年度の成果

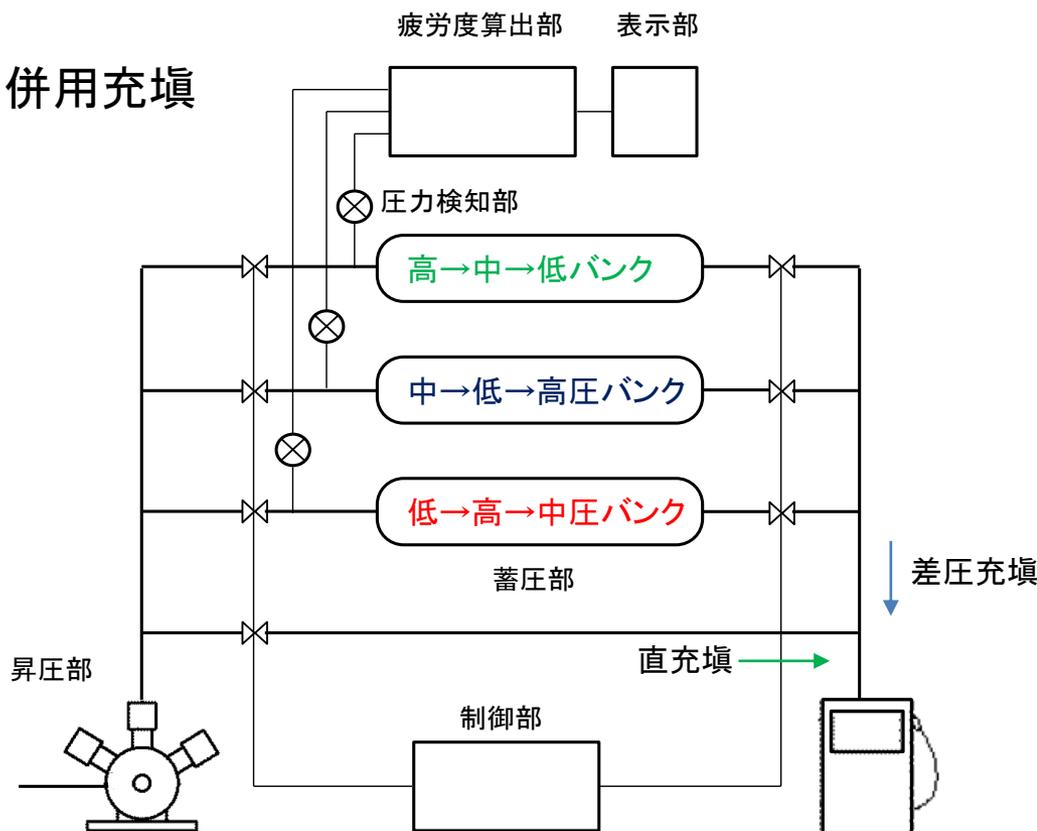
累積損傷関係式採用の3バンクシステム例

(バンクローテーション)

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

(充填方法)

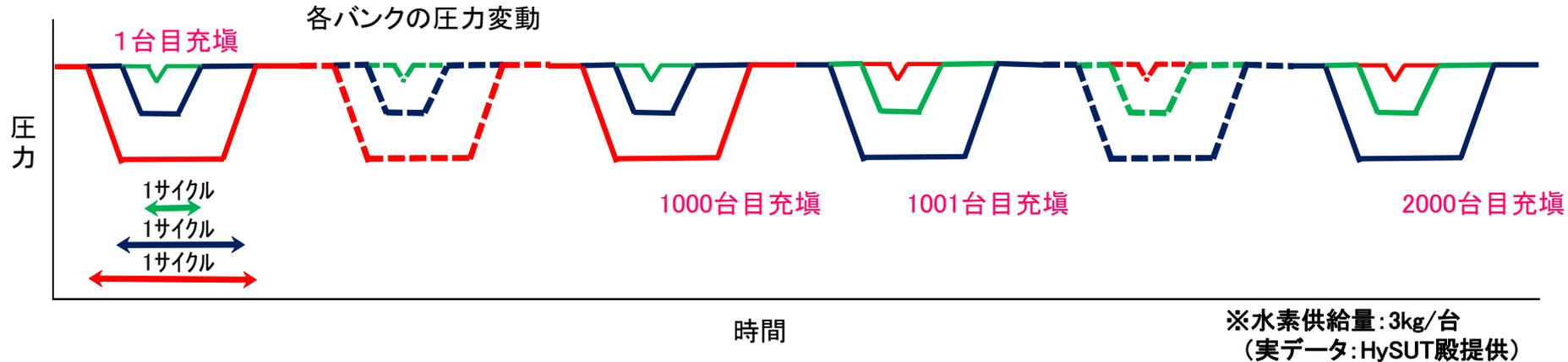
・差圧充填と直充填の併用充填



[3バンクシステム]

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

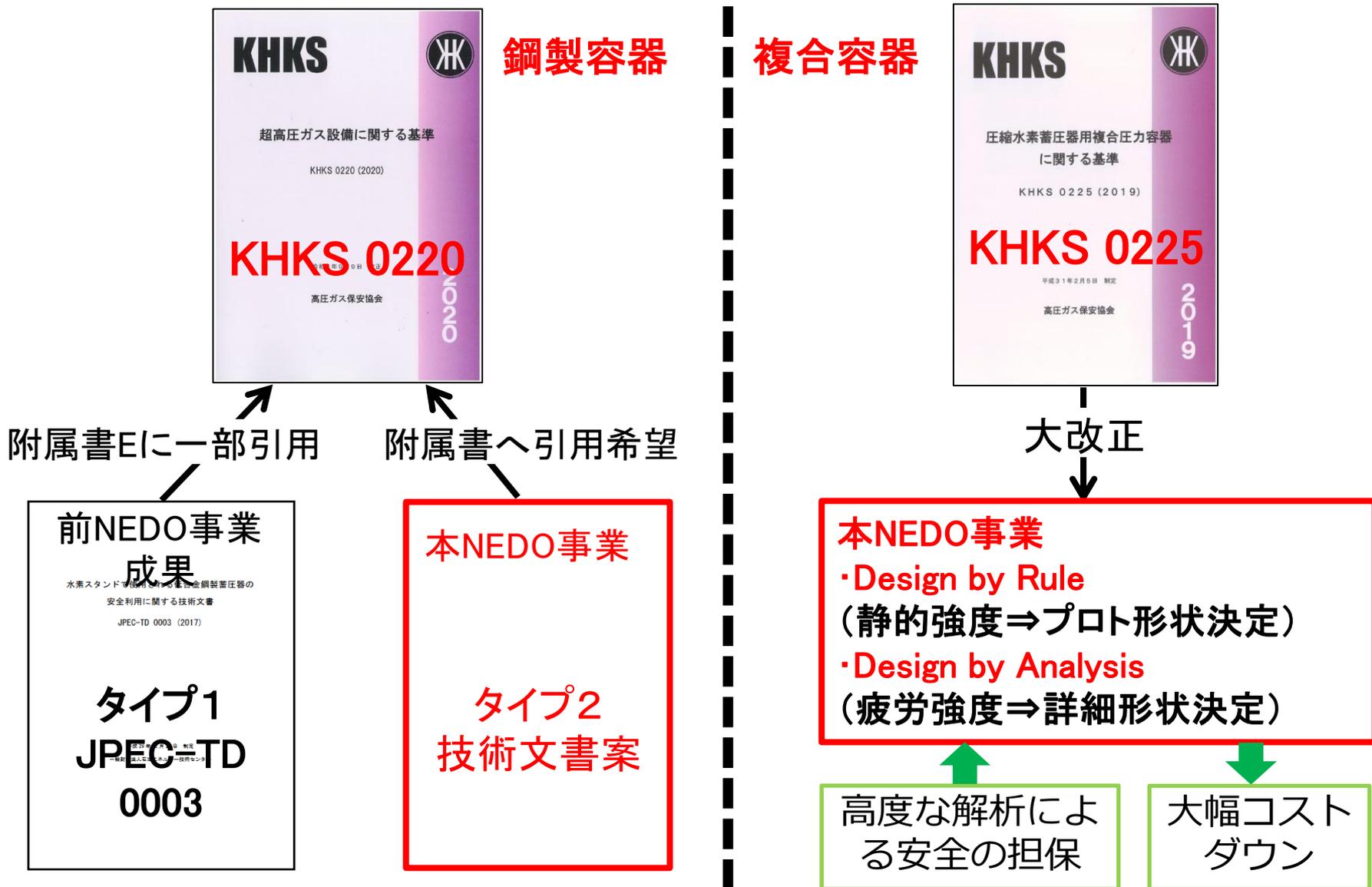
加圧方法	加圧数/1台	可能な充填台数
従来法	1.0	100,000台
累積損傷法	0.045	2,240,000台

- ①累積損傷式の適用により、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

報告内容

1. 研究体制、役割分担および課題
2. ライナー材最適疲労曲線の作成
3. 最適疲労曲線の比較
4. 複合圧力容器のサイクル試験と
累積損傷関係式
5. 累積損傷関係式適用時のFCV充填台数
6. KHKS 0225の大改正
7. 本NEDO事業のコスト低減イメージ
8. 2020年度の成果

NEDO事業成果による蓄圧器の技術体系イメージ



KHKS 0225大改正に向けて

車載容器 (容器則、KHKS 0128)

現行KHKS 0225

改正後

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
・公式によるプロト形状の算出
・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

Design by Rule 及び Analysis

設計の検査、構造の検査

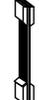
耐圧試験、気密試験



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)	
5.2.3.2 最小厚さ確認試験	
5.2.3.3 環境試験	
5.2.3.5 温度クリープ試験	
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、 ・常温圧力サイクル試験(疲労試験)
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】 『CFRP層及び保護層の厚さが構造図に適しているか、計測することにより検査することとも可能とする』

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
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

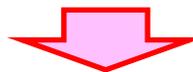
**容器試験数を6削減
(試験片の試験は削減検討中)**

報告内容

1. 研究体制、役割分担および課題
2. ライナー材最適疲労曲線の作成
3. 最適疲労曲線の比較
4. 複合圧力容器のサイクル試験と
累積損傷関係式
5. 累積損傷関係式適用時のFCV充填台数
6. KHKS 0225の大改正
7. 本NEDO事業のコスト低減イメージ
8. 2020年度の成果

累積損傷関係式およびKHKS 0225大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FCVI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大改正

Design by Analysis

イニシャルコスト低減

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

大幅なイニシャルコスト低減

報告内容

1. 研究体制、役割分担および課題
2. ライナー材最適疲労曲線の作成
3. 最適疲労曲線の比較
4. 複合圧力容器のサイクル試験と
累積損傷関係式
5. 累積損傷関係式適用時のFCV充填台数
6. KHKS 0225の大改正
7. 本NEDO事業のコスト低減イメージ
8. 2020年度の成果

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(参考)	2022年度(参考)
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自主基準案完成		タイプ3: KHKS0225改正に向けた提案	ISO TC197 WG15への提案

2020年度成果（その1）

項目	成果
ライナー試験	<p>タイプ3複合圧力容器のライナー材から試験片採取を行い、疲労試験を実施した。引張強さをパラメータに含む次式の最適疲労曲線を構築した。</p> $\sigma_a = 2.0\sigma_u N_f^{-0.10}$
CFRP試験	<p>CFRP及び同一のエポキシ樹脂について疲労試験データを取得した。炭素繊維方向0°の試験片に関して最大公称ひずみで整理すれば、樹脂およびCFRP試験片（0°）の疲労強度は、アルミ合金や低合金鋼のそれよりも十分長寿命側にあり、蓄圧器胴部の主要破損モードである周方向応力による軸方向き裂の貫通に関して、CFRP層ではなく金属ライナーの疲労破壊が支配的であることが分かった。</p>
円筒試験	<p>フルラップ複合圧力容器対応円筒試験体を設計し、圧力サイクル試験が実行可能であることを確認した。これにより、目標とする長寿命圧力サイクル試験実施の目途づけが完了した。</p>

2020年度成果（その2）

項目	成果
円筒試験	タイプ2 技術文書案で規定する公式による設計、解析による設計に対応する円筒試験体を2種類製作した。公式設計の試験体では100万回、解析設計の試験体では85万回にて破裂及び漏水は認められず、安全性に問題無いことが分かった。
疲労寿命設計線 図作成	タイプ3複合圧力容器蓄圧器に関して、CFRP層の構成を忠実に再現した軸対称有限要素モデルを用いて、ライナーの応力強さ振幅の評価を行った。その結果、自緊効果により平均応力が圧縮側となる状況で応力が推移するため、ASMEの設計疲労曲線との乖離が大きいことが分かった。
容器実証	圧力振幅範囲を種々の条件で行ったタイプ3複合圧力容器蓄圧器の漏洩迄のサイクル試験データから、累積損傷則に基づいた容器寿命延長式（累積損傷関係式）を構築した。

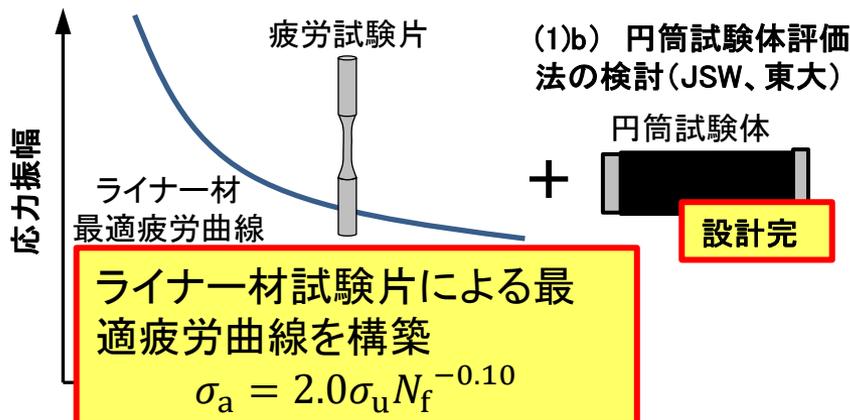
2020年度成果（その3）

項目	成果
容器実証	X軸、Y軸を圧力振幅比、サイクル増加比（無次元化）とすることで、仕様の異なる容器を指数関数の形で相関良く整理することが可能となった。本累積損傷関係式を用いることにより、従来FCV10万台に充填可能なタイプ3蓄圧器がFCV224万台まで充填台数を伸ばせることを見出した。
タイプ2技術文書の作成	タイプ2蓄圧器は炭素繊維層が金属層の周方向応力を分担している鋼製圧力容器であり、既存の鋼製圧力容器と同様に実容器試験を課さない設計が可能であるとの結論を得、タイプ2技術文書を作成した。（JPECのHPにて公開）
タイプ3技術基準の整備	タイプ3複合圧力容器に関する公式による設計方法を確立した。容器設計は①公式による設計により、静的強度を考慮して初期の容器厚さを決定し、②解析による設計により、疲労強度を考慮した詳細設計をする手順とした。

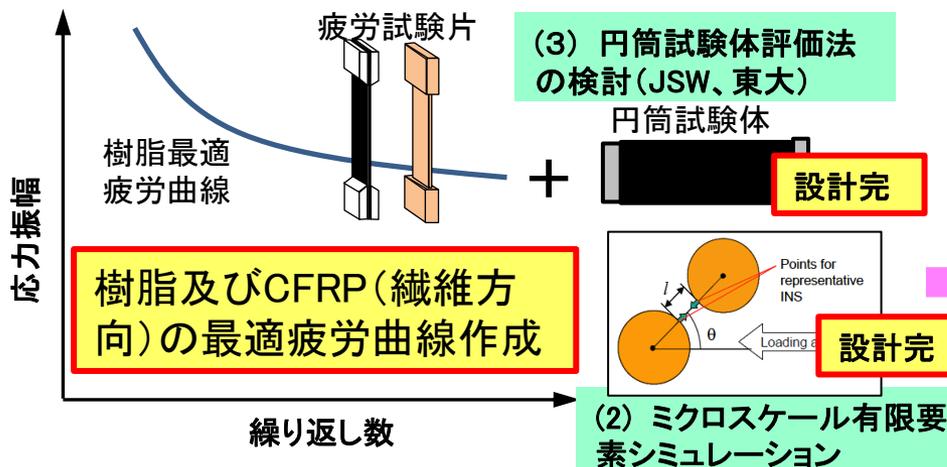
2020年度成果（その4）

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

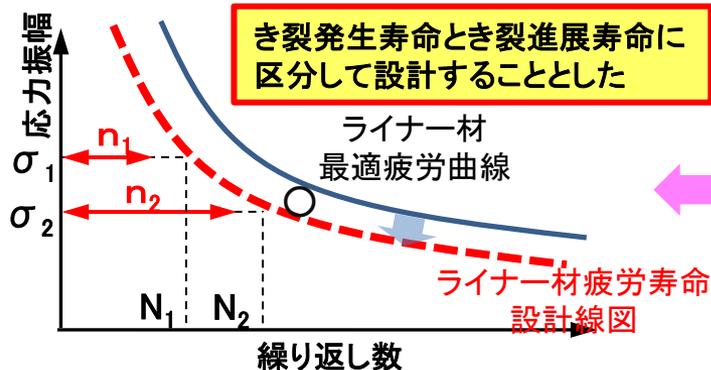
(1)a ライナー材最適疲労曲線の作成 (KHK)



(2)a 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)

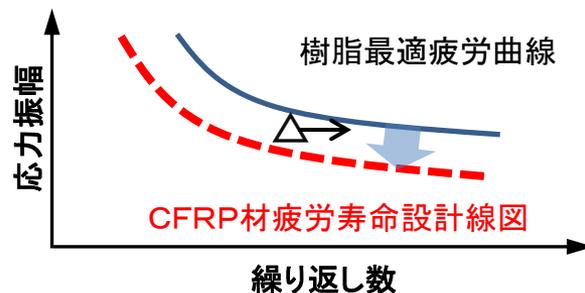


(1)c, (2) ライナー材・CFRP材樹脂疲労寿命設計線図作成 (東大)



(1)d 実容器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

累積損傷関係式を構築⇒圧力変動から蓄圧器の寿命推定が可能



今後の予定①

項目	成果
ライナー試験	試験片のデータを実容器試験および円筒試験のデータと比較検証し、アルミニウム合金の最適疲労曲線の平均応力補正方法を提案する。
CFRP試験	45°、90°CFRP試験片の疲労試験を実施し、タイプ3複合圧力容器のヘリカル層においても疲労強度が確保されていることを確認する。
円筒試験	フルラップ複合圧力容器対応円筒試験体を用いて100万サイクルレベルの圧力サイクル試験を実施し、導出した疲労寿命設計線図に基づく圧力サイクル寿命予測法が実用上問題ないことを検証する。

今後の予定②

項目	成果
疲労寿命設計線 図作成	解析によりタイプ3複合圧力容器蓄圧器の圧力サイクル寿命を予測可能とする、応力振幅と破断回数 の関係を示す線図を完成させる。
容器実証	自緊の強さの変化が、き裂発生までの寿命とき裂 進展寿命に与える影響を確認する。
タイプ3技術 基準の整備	タイプ3技術基準TFの立ち上げるとともに、技術 基準KHKS 0225の大改正に資する改正案を構築す る。

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
「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業」（プロジェクトコード：P18011）
の結果得られたものです。

*New Energy and Industrial Technology Development Organization