

2023年度 JPECフォーラム

蓄圧器等の常用圧力上限値の
見直しのための研究開発

2023年5月10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

—禁無断転載・複製 ©JPEC 2023—

1. 背景と目的

2. 常用圧上限に関わる技術基準の現状

3. 常用圧上限見直しに向けた取組み

- (1) 実験により取得したデータに基づく距離の検討
- (2) 常用圧上限引上げに伴うリスクの検討
- (3) 技術基準試案の策定

4. まとめ

1. 背景と目的

2. 常用圧上限に関わる技術基準の現状

3. 常用圧上限見直しに向けた取組み

- (1) 実験により取得したデータに基づく距離の検討
- (2) 常用圧上限引上げに伴うリスクの検討
- (3) 技術基準試案の策定

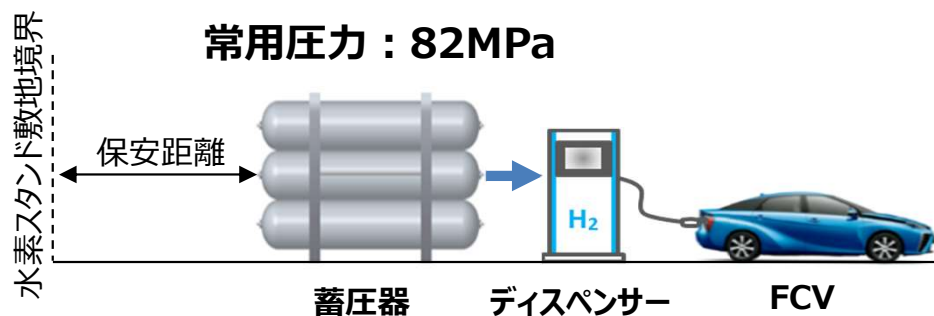
4. まとめ

1. 背景と目的

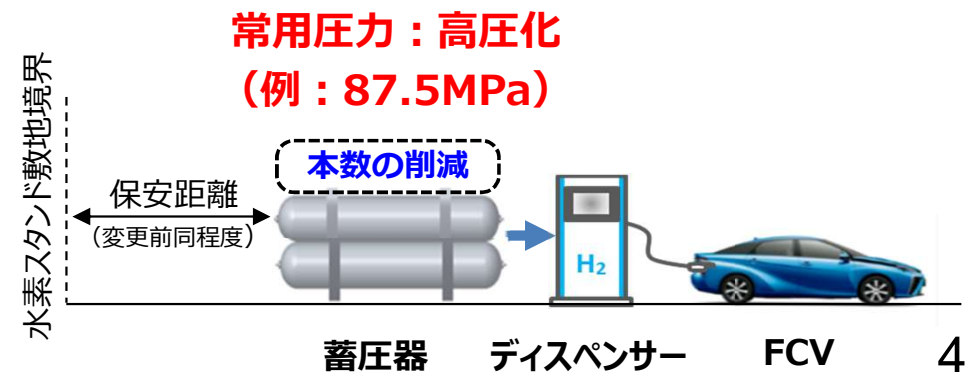
業界の規制見直し要望

提案理由	提案事項
<ul style="list-style-type: none">○国内水素ステーションで使用されている多くの高圧設備（圧縮機、高圧蓄圧器など）の設計圧力は99MPaであるが、省令により常用圧力が82MPaに規定されており、設備能力を十分に生かしていない。○海外の水素ステーションでは、一般的に圧縮機や高圧蓄圧器の常用圧力は、国内（82MPa）よりも高い圧力で運用されている。○常用圧力の引上げにより、蓄圧器 1 本当たりの水素保有量が増えることから本数低減が可能であり、建設費の低減が可能。	<ul style="list-style-type: none">○82MPaに規定されている常用圧力を、現行設備の設計圧力（99MPa）で対応可能な範囲（例：87.5MPa）で引上げていただきたい。○その際、保安距離については、適正な範囲で設定いただきたい。

【現 状】



【見直し後のイメージ】



1. 背景と目的

常用圧上限引上げのメリット

□ 建設コスト、運営コストの削減

- 蓄圧器本数を削減できる可能性あり

□ 蓄圧器の高圧化(蓄ガス量の増加)による充填性能の向上

- 蓄圧器と車載タンクの差圧により充填するため、充填性能の向上が期待される

□ 将来のFCバス等への大容量充填への対応

- より大容量の充填が必要となるFCバス・トラック等への充填に備える

1. 背景と目的

本検討の目的

水素ステーションの常用圧力上限を、現行の82MPaから引上げることに資する技術基準（省令、例示基準や業界自主基準）の試案を作成する

関連する業界自主基準例：

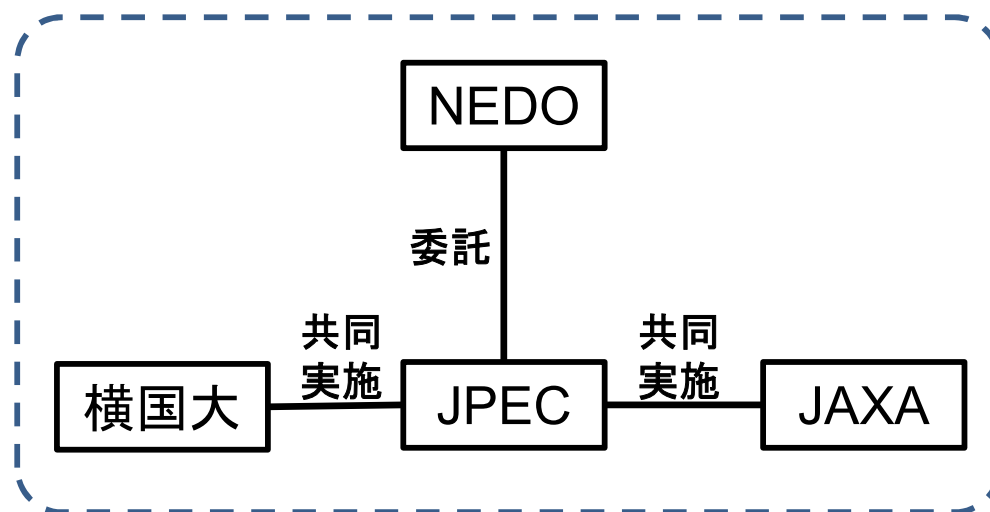
- ・ **JPEC-S0004** ディスペンサー周辺の防爆基準（圧縮水素スタンド関係）
- ・ **JPEC-S0008** 圧縮水素スタンド・移動式圧縮水素スタンドの距離規制の代替措置に関わる技術基準

1. 背景と目的

NEDO事業推進体制

- 本件は、内閣府の「**規制改革実施計画(2020/7/17 閣議決定)**」に、新規要望項目(2020年度No.21a)として取り上げられた。
- それを受けて、2021年度より、**石油エネルギー技術センター(JPEC)**、**宇宙航空研究開発機構(JAXA)**、**横浜国立大学(YNU)**が、NEDO事業の1テーマとして取り組んだ。

※ 事業名称: 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/
本格普及期に向けた水素ステーションの安全性に関わる研究開発



NEDO事業推進体制図

1. 背景と目的

2. 常用圧上限に関わる技術基準の現状

3. 常用圧上限見直しに向けた取組み

- (1) 実験により取得したデータに基づく距離の検討
- (2) 常用圧上限引上げに伴うリスクの検討
- (3) 技術基準試案の策定

4. まとめ

2. 常用圧上限に関わる技術基準の現状

- 現行の常用圧上限82MPaの規定は、2005～2009年度NEDO事業の検討結果を受けて、2012年11月の一般則等の改正により定められたものである。
- 常用圧上限と関連する技術基準条項は大別すると以下の二種類
 - 常用圧上限の規定条項
 - (例) 一般則第7条の3柱書
『製造設備が圧縮水素スタンド(当該圧縮水素スタンド内の圧縮水素及び液化水素の常用の圧力が八十二メガパスカル以下のものに限り、…』
 - 敷地境界距離等の距離の規定条項
 - (例) 一般則第7条の3第2項第2号
『高圧ガス設備…は、その外面から当該事業所の敷地境界…に対し八メートル以上の距離を有し…』

現行規定の8mは、82MPa水素の拡散・燃焼挙動に関する実験データを基に定められている。

したがって、常用圧上限82MPaを見直すためには、見直し後の圧力における同様の実験データが必要となる。

【参考】現行の距離規制制定の根拠

2008年に三菱重工業(MHI)により取得されたデータを元に、以下のロジックで現行規定の距離が決定された。

現行規定における距離の決定方法

火気離隔距離 (高圧ガス設備(可燃性ガス取扱い)と火気を取り扱う施設の間の距離)

拡散
濃度

《圧力82MPa、開口径φ0.2mmを前提》
水素の拡散濃度が1%となる距離 = 7.7m

7.7m < 8m

敷地境界距離、公道ディスプレイ距離

拡散濃度

《圧力82MPa、開口径φ0.2mmを前提》
水素の拡散濃度が1%となる距離 = 7.7m

爆発の
爆風圧影響

《圧力82MPa、開口径φ1.0mmを前提》
爆風圧1kPaとなる距離 = 4m

ジェット火炎の
熱影響

《圧力82MPa、開口径φ1.0mmを前提》
火炎長 = 3.3m

《圧力82MPa、開口径φ1.0mmを前提》
輻射熱1.26kw/m²となる距離 = 5m

Max 7.7m < 8m

上記のように、現行法規の8mを実質的に決定しているのは、拡散濃度の評価結果である。

1. 背景と目的

2. 常用圧上限に関わる技術基準の現状

3. 常用圧上限見直しに向けた取組み

- (1) 実験により取得したデータに基づく距離の検討
- (2) 常用圧上限引上げに伴うリスクの検討
- (3) 技術基準試案の策定

4. まとめ

3. 常用圧上限見直しに向けた取組み

常用圧上限見直しをはかるため、以下の3つのテーマに取り組んだ。

(1) 実験により取得したデータに基づく距離の検討

- ・ 常温条件(水素ガス)での漏洩拡散・燃焼爆発試験の実施とデータ解析
- ・ 低温条件(液化水素)での漏洩拡散・燃焼爆発試験の実施とデータ解析

(2) 常用圧上限引上げに伴うリスクの検討

- ・ 劣化損傷メカニズムに着目した漏洩・事故可能性に関する検討
- ・ QRAによる定量的リスク評価

(3) 技術基準試案の策定

- ・ 上記(1)、(2)の検討結果を踏まえた技術基準試案の策定
 - － 省令(一般則)
 - － 例示基準
 - － 業界自主基準(JPEC-S 0004、JPEC-S 0008)

1. 背景と目的

2. 常用圧上限に関わる技術基準の現状

3. 常用圧上限見直しに向けた取組み

(1) 実験により取得したデータに基づく距離の検討

(2) 常用圧上限引上げに伴うリスクの検討

(3) 技術基準試案の策定

4. まとめ

(1) 実験により取得したデータに基づく距離の検討

実験概要

□ 基本方針

- 現行規定制定時と同様の実験で、圧力を上げてデータを取得する
- 評価条件・ロジックは変更せず、従来の考え方を踏襲する

□ 実験項目

① 漏洩拡散試験

ピンホールノズルから漏洩する水素の濃度分布を計測・評価

② 燃焼爆発試験

漏洩した水素に着火した際の爆風圧分布、火炎長、輻射熱を計測・評価

□ 実験条件

- 温度: 常温、低温(約50K)
- 圧力: 最大93MPa(本実験設備における最大値)

(1) 実験により取得したデータに基づく距離の検討

実験の様子

- ① 漏洩拡散試験
(低温条件)



- ② 燃焼爆発試験
(低温条件)



(1) 実験により取得したデータに基づく距離の検討

実験結果に基づく各種距離の評価

● 常温条件（水素ガス）

- 93MPa条件における1%濃度距離を、実験値に基づいて評価した。
- 93MPa条件における爆風圧1kPa距離を、実験値に基づいて評価した。
- 93MPa条件における火炎長を、実験値に基づいて評価した。
- 93MPa条件における輻射熱1.26kW/m²距離を、火炎長に対する相関式で評価した。

● 低温条件（液化水素）

- 93MPa条件における1%濃度距離を、実験値に基づいて評価した。
- 93MPa条件における爆風圧1kPa距離を、実験値に基づいて評価した。
- 93MPa条件における火炎長を、実験値に基づいて評価した。
- 93MPa条件における輻射熱1.26kW/m²距離を、火炎長に対する相関式で評価した。

93MPaに対する距離評価結果一覧

	1%濃度 距離	爆風圧 1kPa距離	火炎長	輻射熱 1.26[kW/m ²] 距離
常温条件（水素ガス）	8.12 m	4.65 m	3.54 m	5.24 m
低温条件（液化水素）	10.8 m	9.62 m	6.08 m	8.99 m

1. 背景と目的

2. 常用圧上限に関わる技術基準の現状

3. 常用圧上限見直しに向けた取組み

(1) 実験により取得したデータに基づく距離の検討

(2) 常用圧上限引上げに伴うリスクの検討

(3) 技術基準試案の策定

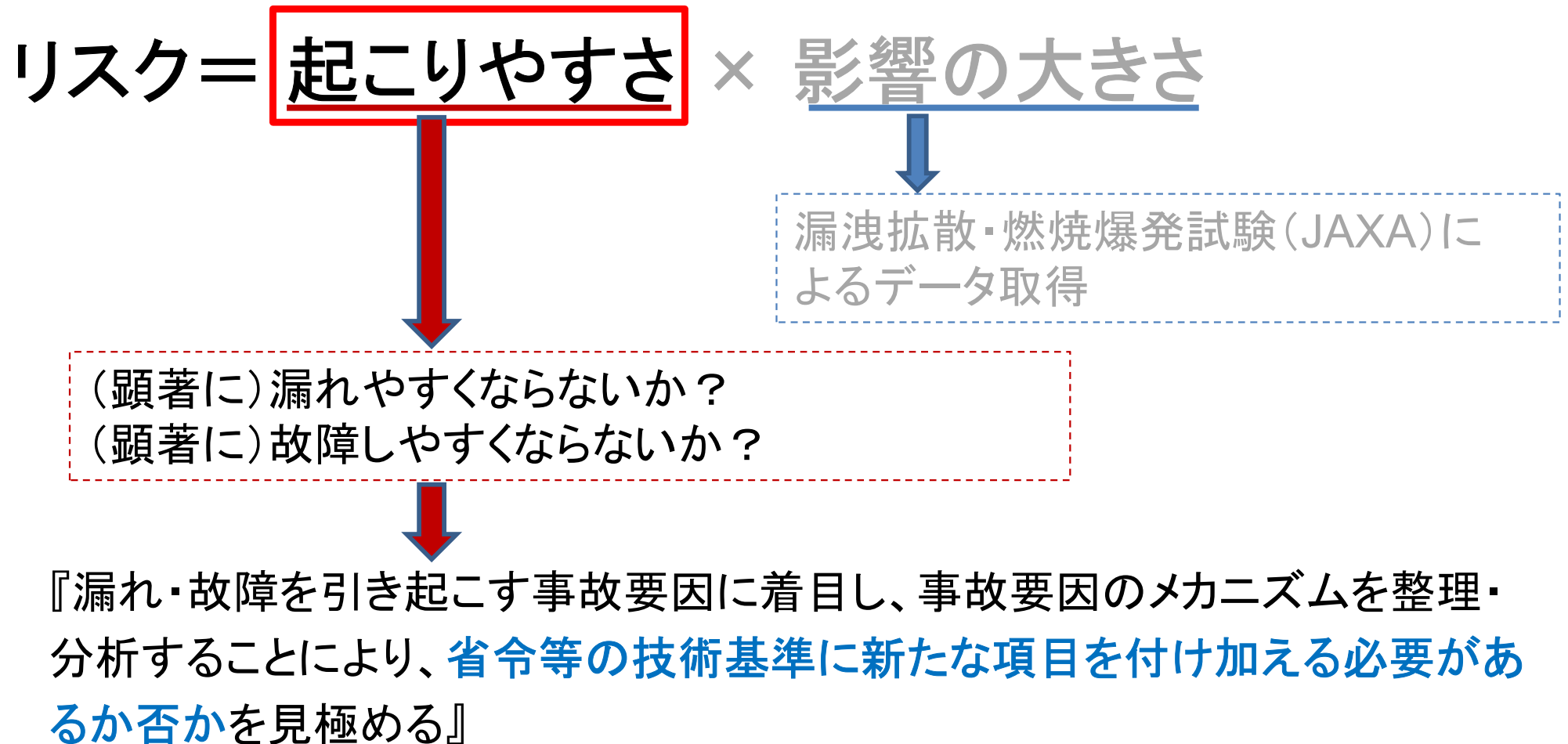
4. まとめ

(2) 常用圧上限引上げに伴うリスクの検討

《劣化損傷メカニズムに着目した漏洩・事故可能性に関する検討》

劣化損傷メカニズム検討の目的

常用圧が上がると水素ステーション設備のリスクが大きくなるのではないか？
追加安全対策は必要か？



(2) 常用圧上限引上げに伴うリスクの検討

《劣化損傷メカニズムに着目した漏洩・事故可能性に関する検討》

劣化損傷メカニズムに関する検討事項

◆ 検討対象の抽出

◆ 劣化損傷の検討

① 金属材料の劣化損傷(水素脆化、塩化物SCC、疲労)

② 複合容器蓄圧器の劣化損傷

③ 圧縮機配管のフレットング疲労

④ シール部材(リング)の劣化損傷 → 検討事例として次スライドで紹介

⑤ シール部材(グランドパッキン)の劣化損傷

⑥ コーン&スレッド継手の緩み

⑦ 充填ホースの劣化損傷

◆ 実態調査による常用圧引上げ影響の推定

— 高圧ガス事故件数推移、漏洩発生件数内訳の調査

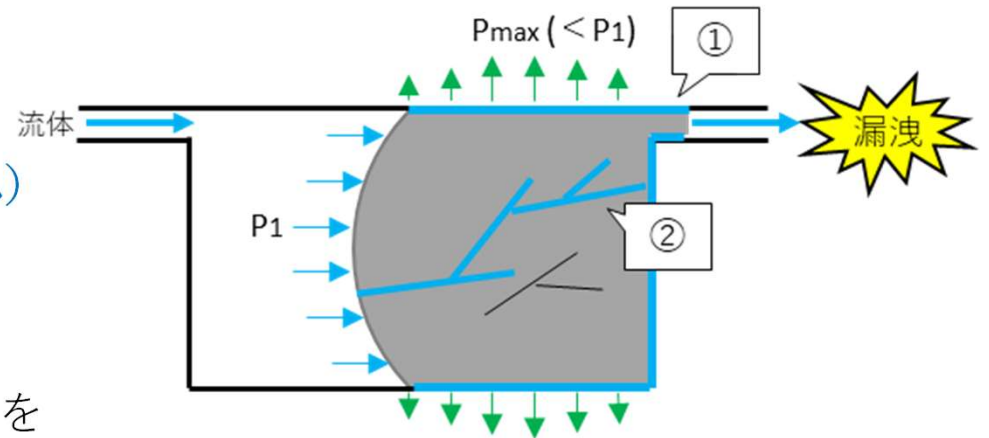
— 実証用ステーション運転実績の調査

【検討事例】 シール部材 (Oリング) の劣化損傷

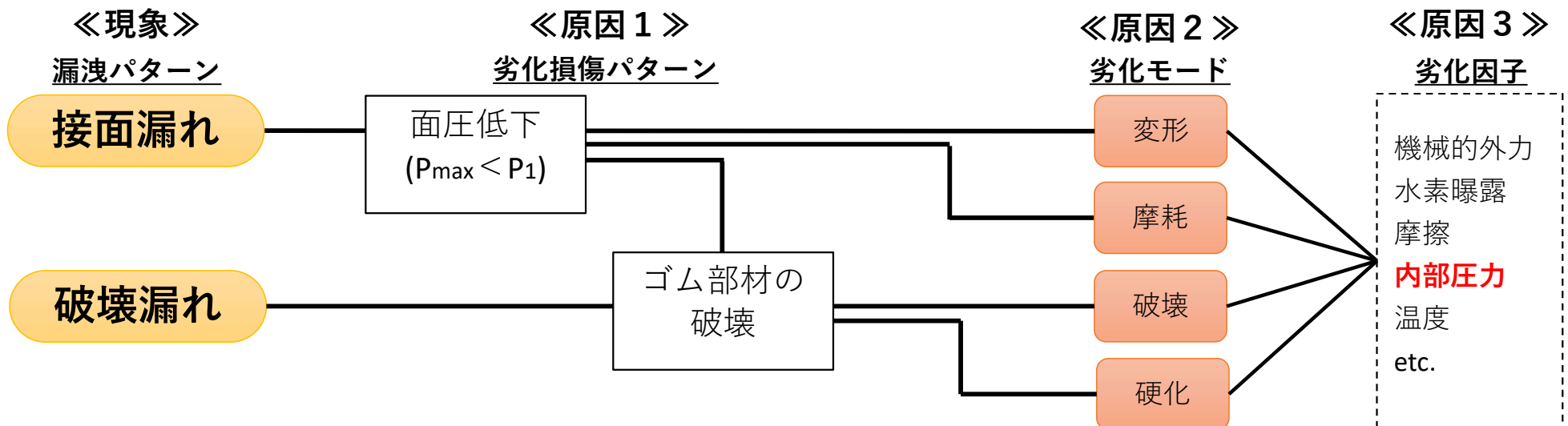
Oリングの劣化損傷メカニズム (1/2)

Oリングの劣化損傷から漏洩に至るパターンは以下に大別される。

- ① 面圧が低下し P_{max} が P_1 を下回った場合 (接面漏れ)
- ② ゴム部材が破壊した場合 (破壊漏れ)



各漏洩の原因を追求し、劣化モード及び劣化因子を洗い出すと以下のようなになる。(詳細な劣化モードとそれぞれに關与する劣化因子は次スライドにて整理)



【検討事例】 シール部材（Oリング）の劣化損傷

Oリングの劣化損傷メカニズム（2/2）

Oリングの劣化モードと各劣化モードに關与する劣化因子を抽出した。その上で、劣化因子の中に**内部圧力**が含まれる項目に対し、圧力が及ぼす影響とその対策例をまとめた。

劣化モード		劣化因子	圧力の影響	対策例
変形	拡径 潰れ・へたり はみ出し	内部圧力 機械的外力 温度	・圧力により許容限度を超えた変形 (永久ひずみ)を引き起こす	・Oリング硬度の変更 ・溝寸法の変更 ・バックアップリングの使用
	ねじれ	摩擦 機械的外力	—	・摩擦面の粗さ改善 ・潤滑剤の選定 ・摺動部の芯ずれ解消
摩耗		摩擦 機械的外力 内部圧力	・圧力変動時、Oリングの微小な移動により摩擦を誘発 ・面圧上昇により摺動起因の摩耗を助長	・摩擦面の粗さ改善 ・潤滑剤の選定 ・溝寸法の変更
破壊	ブリスタ破壊	水素曝露 内部圧力 温度	・水素曝露によるブリスタ発生を助長 (圧力変動が大きいほど影響大)	・Oリング材質、配合の変更
	膨潤による 座屈・はみ出し破壊	水素曝露 内部圧力	・水素曝露による膨潤を助長 (圧力が高いほど影響大)	・Oリング材質、配合の変更 ・膨潤を想定した溝寸法の設定
	かじり むしれ	その他 (組立不良等)	—	・適切な組付け ・溝寸法の変更
硬化		温度	—	・Oリング材質、配合の変更

⇒ 劣化モード …… **内部圧力を劣化因子に含む劣化モードが複数ある。**

圧力の影響 …… 圧力の上昇に応じ、圧力が劣化損傷に及ぼす影響は高まる傾向にある。

対 策 …… Oリングの材質変更や製品の構造変更等、機器メーカー側でとれる対策が主である。

(2) 常用圧上限引上げに伴うリスクの検討

《劣化損傷メカニズムに着目した漏洩・事故可能性に関する検討》

劣化損傷メカニズムの検討結果

常用圧引上げが一部設備・機器の劣化損傷リスクに影響を与える可能性はあるものの、いずれも機器メーカーやエンジニアリング会社、事業者側でのリスク管理・対策が可能な範疇であり、検討対象として抽出した各設備・機器において、**常用圧上限見直し(常用圧82MPa→93MPa)に伴い現行技術基準に追加すべき項目はない**と考える。

但し上記見解は、常用圧引上げの折に圧力の増加及び圧力変動の影響を鑑み、各設備・機器及び水素ステーション設計見直しの必要性の検討、かつ運用環境の変化に応じた適切な管理が行われることが前提であるため、関係者への十分な注意喚起、及び想定されるトラブルを未然に防止する措置・対策(※)を講じていくことが望まれる。

※対策の一例

- 圧力上昇により劣化・漏洩しやすくなる懸念のある機器・部位の点検・交換周期の見直し
- 圧力変動の影響を受ける箇所(圧縮機吐出側等)の振動防止措置の仕様・設定の見直し
- 安全弁、圧力リリーフ弁の各設定圧力やオリフィス径の変更、等

(2) 常用圧上限引上げに伴うリスクの検討 《QRAによる定量的リスク評価》

QRA実施の目的

- 82MPaステーションと93MPaステーションのリスクを定量的に比較することで保有するリスク量変化の全体像を把握する
- 82→93MPaへの変更によって、支配的なリスクシナリオの種類や影響範囲に顕著な変化が生じ得るのかを定量的に確認する

* QRAによって見積もられたリスク値とその範囲は、
実験によって得られた影響範囲を議論する上での補助的な参考値である

QRA(Quantitative Risk Assessment)とは・・・

石油精製等のプラントの設計等に活用されている定量的リスク評価手法。漏洩頻度データベースを元に漏洩頻度を算出すると共に、漏洩・着火時の影響を数値計算で求め、最終的に当該プラントのリスクを人の死亡確率で表す手法。

(2) 常用圧上限引上げに伴うリスクの検討 《QRAによる定量的リスク評価》

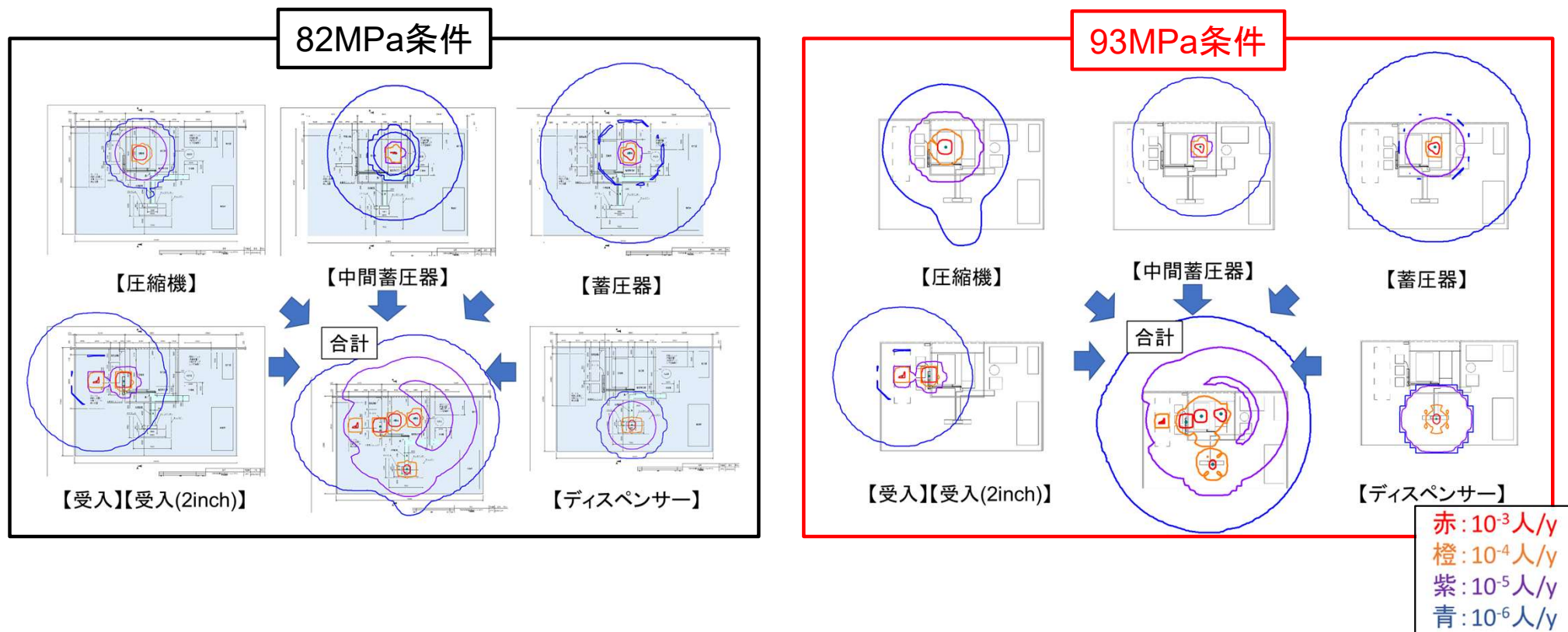
QRA検討の概要

○常用圧上限値の変更に伴い変化する計算条件

主要水素保持設備の保持圧力値の上昇により変化する以下の前提条件について再検討

- ①保持インベントリ量
- ②漏洩速度と漏洩総量
- ③着火確率
- ④EFV作動条件

○リスクカウンター算出結果



(2) 常用圧上限引上げに伴うリスクの検討 《QRAによる定量的リスク評価》

QRAから得られる結論

- ☑ 82MPaステーションと93MPaステーションのリスクを定量的に比較することで保有するリスク量変化の全体像を把握する



A. 昇圧に伴いリスク範囲は拡大する

- ☑ 82→93MPaへの変更によって、支配的なリスクシナリオの種類や影響範囲に顕著な変化が生じ得るのかを定量的に確認する



A. 常用圧引上げに伴い、支配的なリスクの内訳が変化、あるいはこれまで想定されていなかったリスクシナリオが顕在化するといった影響はないことが確認された

これまで取られていた安全対策(特に支配的なリスクシナリオであるJet-fire対策)を確実に実施し、実験値を基にした保安距離の確保が必要である

1. 背景と目的

2. 常用圧上限に関わる技術基準の現状

3. 常用圧上限見直しに向けた取組み

(1) 実験により取得したデータに基づく距離の検討

(2) 常用圧上限引上げに伴うリスクの検討

(3) 技術基準試案の策定

4. まとめ

(3) 技術基準試案の策定

各種検討に基づく技術基準試案の策定

- (1) 実験により取得したデータに基づく距離の検討
- (2) 常用圧上限引上げに伴うリスクの検討
 - ・劣化損傷メカニズムに着目した漏洩・事故可能性に関する検討
 - ・QRAによる定量的リスク評価



上記の検討結果を踏まえ、**技術基準見直し試案**を策定

- 省令（一般則）
- 例示基準
- 業界自主基準（JPEC-S 0004, JPEC-S 0008）

(3) 技術基準試案の策定

見直しの対象とした技術基準条項

《省令・例示基準》

常用圧上限値に
関わる条項



一般則	<ul style="list-style-type: none"> 第七条の三 柱書 第七条の四 柱書 第十一条 第1項 第五号※2 第六十四条 第2項 第五号 	
例示基準	9. ガス設備等に使用する材料 13 の2. 圧力リリーフ弁	

各種距離に
関わる条項



一般則	<ul style="list-style-type: none"> 第七条の三 第1項 第二号 第七条の三 第2項 第三号 第八条の二 第2項 第二号 ロ※1 第十二条の二 第1項 第三号※2 第十二条の二 第2項 第三号※2 第十二条の三 第2項 第三号 ロ※1,2 	公道 ディス ペンサー 距離
	<ul style="list-style-type: none"> 第七条の三 第2項 第二号 第八条の二 第2項 第二号 ホ※1 第十二条の二 第2項 第二号※2 	敷地境界 距離
	<ul style="list-style-type: none"> 第七条の三 第1項 第十号 第七条の三 第2項 第二十七号 第八条の二 第2項 第二号 ハ※1 	火気離隔 距離
	<ul style="list-style-type: none"> 第七条の三 第2項 第三十三号 ロ 	置場距離
例示基準	2. 流動防止措置 56 の2. 敷地境界に対し所定の距離を有することと同等の措置	

《業界自主基準》

- ・ JPEC-S 0004 ディスペンサー周辺の防爆基準(圧縮水素スタンド関係)
- ・ JPEC-S 0008 圧縮水素スタンド・移動式圧縮水素スタンドの 距離規制の代替措置に関わる技術基準

(3) 技術基準試案の策定

見直しのポイント《水素ガス》

① 常用圧上限値

取得した実験データにおいて93MPaまでの評価を行った。そこで、新たな常用圧上限値として93MPaを提案

常用圧上限値	
現行	82MPa
見直し案	93MPa

② 各種距離の結果

実験データより、各種距離に関し以下の結果が得られた

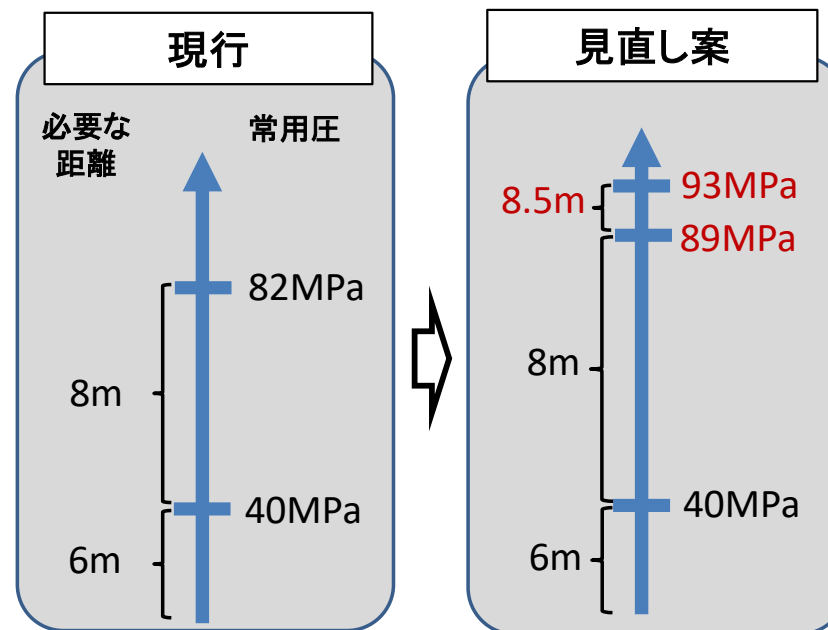
圧力	水素拡散	爆風圧	火炎長	輻射熱
82MPa	7.7m	4.0m	3.39m	5.0m
89MPa	8.0m	4.45m	3.46m	5.13m
93MPa	8.12m	4.65m	3.54m	5.24m

③ 距離規制値

②の各種距離の中で水素拡散が最大。よって、以下の距離規制値見直し案を提案

常用圧	火気離隔距離 敷地境界距離 公道ディスプレイ距離
40～82MPa	8m
82～89MPa	8m
89～93MPa	8.5m

④ 常用圧と距離(図)



(3) 技術基準試案の策定

見直しのポイント《液化水素》

① 常用圧上限値

取得した実験データにおいて93MPaまでの評価を行った。そこで、新たな常用圧上限値として93MPaを提案

常用圧上限値	
現行	82MPa
見直し案	93MPa

② 各種距離の結果

実験データより、各種距離に関し以下の結果が得られた

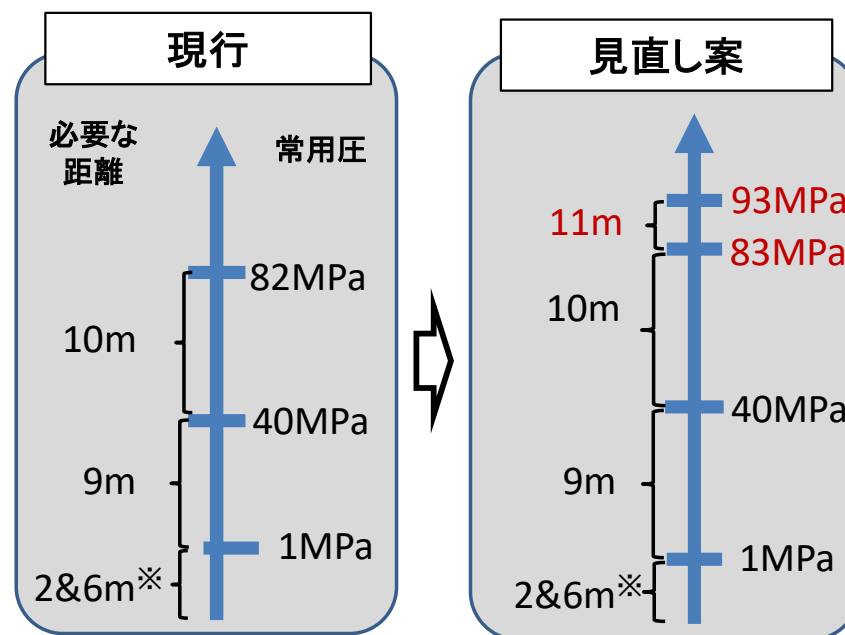
圧力	水素拡散	爆風圧	火炎長	輻射熱
82MPa	9.93m	8.94m	5.86m	8.67m
83MPa	9.99m	—	—	—
93MPa	10.8m	9.62m	6.08m	8.99m

③ 距離規制値

②の各種距離の中で水素拡散が最大。よって、以下の距離規制値見直し案を提案

常用圧	火気離隔距離 敷地境界距離
40～82MPa	10m
82～83MPa	10m
83～93MPa	11m

④ 常用圧と距離(図)



※ 2m: 火気離隔距離、6m: 敷地境界距離

1. 背景と目的

2. 常用圧上限に関わる技術基準の現状

3. 常用圧上限見直しに向けた取組み

- (1) 実験により取得したデータに基づく距離の検討
- (2) 常用圧上限引上げに伴うリスクの検討
- (3) 技術基準試案の策定

4. まとめ

4. まとめ

(1) 実験により取得したデータに基づく距離の検討

- 最大93MPa条件における水素ガス及び液化水素の実験データより、保安距離の見直しに必要な各種距離が明確になった。

(2) 常用圧上限引上げに伴うリスクの検討

- ・ 劣化損傷メカニズムに着目した漏洩・事故可能性に関する検討
- 劣化損傷リスクに影響を及ぼす可能性はあるが、各関係者での管理・対策が可能であり、技術基準に追加すべき事項はないことが確認された。
- ・ QRAによる定量的リスク評価
- リスク範囲は拡大するが、支配的なリスクシナリオの種類や影響範囲に顕著な変化が生じないことが確認された。



(3) 技術基準試案の策定

- (1)(2)の結果をもとに、主に以下の点について基準見直しを提案した。
 - 常用圧上限の引上げ(82MPa → 93MPa)
 - 安全を確保するための適切な保安距離の見直し

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