

2022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

2022年5月11日

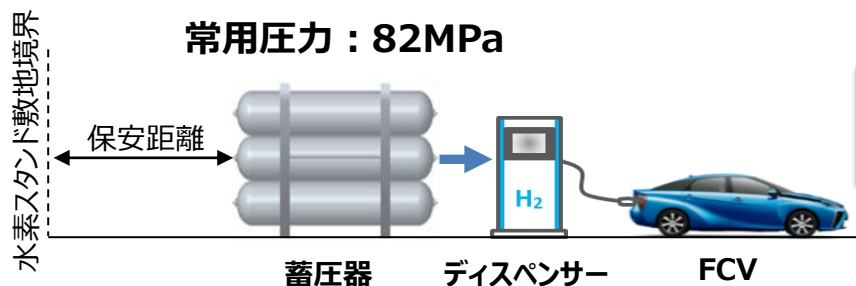
一般財団法人石油エネルギー技術センター
水素エネルギー部

1. 背景と目的

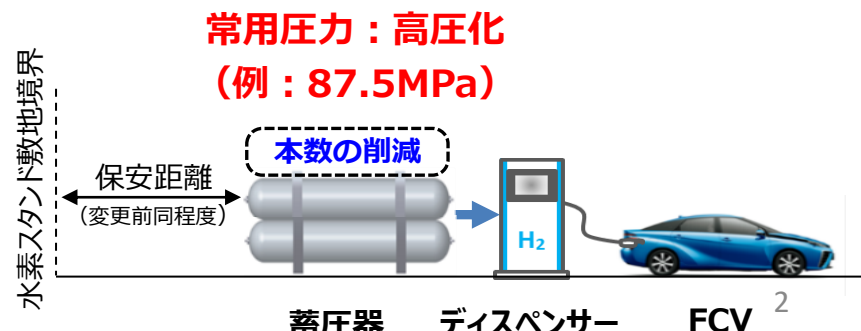
業界の規制見直し要望（常用圧上限見直し）

提案理由	提案事項
○国内水素ステーションで使用されている多くの高压設備（圧縮機、高压蓄圧器など）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せていない。 ○海外の水素ステーションでは、一般的に圧縮機や高压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。 ○常用圧力の引き上げにより、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。	○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）で引き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】



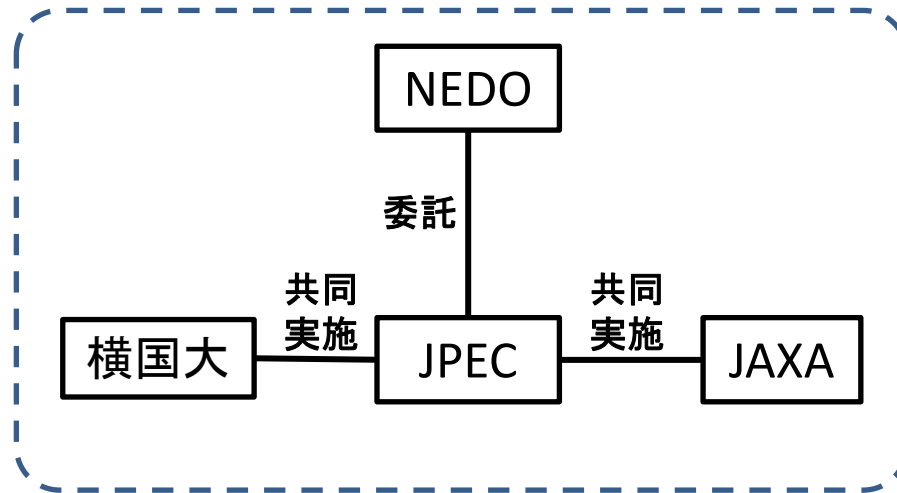
【見直し後のイメージ】



NEDO事業推進体制

- 本件は、内閣府の「**規制改革実施計画(2020/7/24 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、昨年度から2年間の予定で、**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でいる。

※ 事業名称: 超高圧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

本検討の目的

目的：水素ステーションの常用圧力上限を、現行の82MPaから引き上げることに資する技術基準案(省令、例示基準等)を作成する

《補足》

- 見直し後の常用圧上限圧力の具体的な値は検討中
- 液化水素に関しても、データ取得&技術基準作成に努める
(実験期間等の制約上、十分な液水データ取得ができない可能性はある)

2. 常用圧上限と関連する技術基準条項

□ 現行の常用圧上限82MPaの規定は、2005～2009年度NEDOプロ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元に定められている。

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

一般則第7条の3第2項の条文

常用圧上限

(圧縮水素スタンドに係る技術上の基準)

第七条の三 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、顧客に自ら圧縮水素の充填に係る行為をさせるものを除く。以下この条において同じ。）である製造施設における法第八条第一号の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。ただし、次項各号に掲げる基準に適合しているものについては、この限りでなく、また、製造設備の冷却の用に供する冷凍設備にあつては、冷凍保安規則に規定する技術上の基準によることができる。

敷地境界距離

二 高圧ガス設備（次号及び第三号に掲げるものを除く。）は、その外面から当該事業所の敷地境界（以下この項において「敷地境界」という。）に対し八メートル（常用の圧力が四十メガパスカル以下の可燃性ガス（液化水素を除く。）が通る部分にあつては六メートル、常用の圧力が四十メガパスカルを超える液化水素が通る部分にあつては十メートル、常用の圧力が一メガパスカル以上四十メガパスカル以下の液化水素が通る部分にあつては九メートル、常用の圧力が一メガパスカル未満の液化水素が通る部分にあつては六メートル）以上の距離を有し、又はこれと同等以上の措置を講ずること。

公道ディスペンサー距離

三 ディスペンサーは、その本体の外面から公道の道路境界線に対し八メートル（圧縮水素スタンドの常用の圧力が四十メガパスカル以下の場合にあつては、六メートル）以上の距離を有し、又はこれと同等以上の措置を講ずること。

火気離隔距離

二十七 圧縮水素スタンド（可燃性ガスが通る部分に限る。）は、その外面から火気（当該圧縮水素スタンド内のものを除く。）を取り扱う施設に対し八メートル（常用の圧力が四十メガパスカル以下の可燃性ガス（液化水素を除く。）が通る部分にあつては六メートル、常用の圧力が四十メガパスカルを超える液化水素が通る部分にあつては十メートル、常用の圧力が一メガパスカル以上四十メガパスカル以下の液化水素が通る部分にあつては九メートル、常用の圧力が一メガパスカル未満の液化水素が通る部分にあつては二メートル）以上の距離を有し、又は流動防止措置若しくは可燃性ガスが漏えいしたときに連動装置により直ちに使用中の火気を消すための措置を講ずること。

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

$8\text{m} \doteq 7.7\text{m}$

敷地境界距離、公道ディスペンサー距離

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

8m
 $=\max(7.7, 4, 3.3, 5)$

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。

3. 常用圧上限見直しに必要な検討

常用圧上限見直しをはかるため、以下の三つの検討課題に取り組んでいる。

(1) 実験により取得したデータに基づく距離の見直し検討

- 実験計画の検討・策定
- 実験による拡散濃度、爆風圧、輻射熱等のデータ取得（実験は2022年4～6月）
- 実験データの解析と必要な距離の算出

(2) 常用圧上限引き上げに伴うリスクの検討

- 劣化損傷モードに着目した漏洩・事故可能性に関する検討
- QRAによるリスクの定量的評価

(3) 技術基準案の策定

- 上記(1)(2)の検討結果を踏まえた技術基準案の策定

(1) 実験により取得したデータに基づく距離の見直し検討

□ 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

□ 必要な実験項目

◆ 拡散水素濃度計測：

ノズルから噴出させた水素噴流の水素濃度を計測

◆ 爆風圧計測：

ノズルから噴出させた水素噴流に対し、電気火花等で強制着火して爆発を生じさせ、爆風圧を計測

◆ 火炎長と輻射熱計測：

ノズルから噴出させた水素噴流に対し、電気火花等で強制着火して噴出火炎を形成させ、火炎長と輻射熱を計測

□ 実験条件

- 温度：常温、およびオプションとして低温（200K, 150K, 50K）
- 圧力：5水準（40MPa, 82MPa, 87.5MPa, 92MPa(*), 93MPa）
- ピンホール口径：4水準（0.2mm, 0.4mm, 0.7mm, 1.0mm）

※ 最大圧力は93MPaとする。

※ *87.6～92.9MPaの範囲で変更可能性あり

□ 実験場所: JAXA能代ロケット実験場(秋田県能代市)

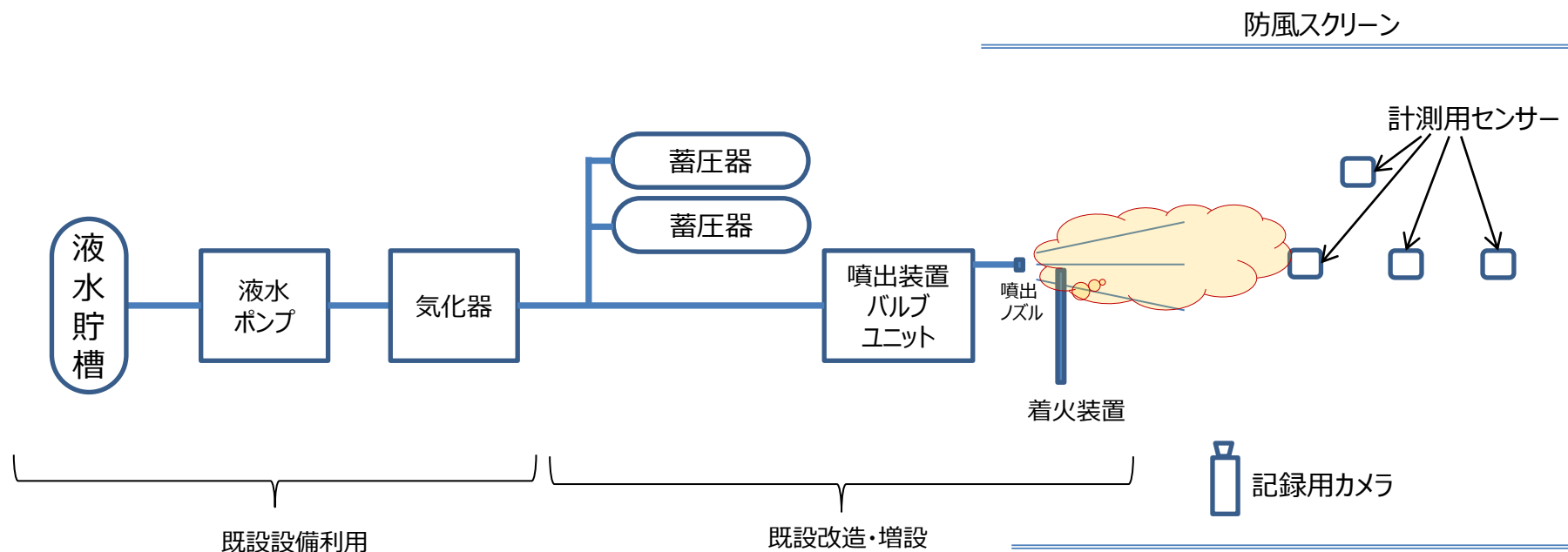
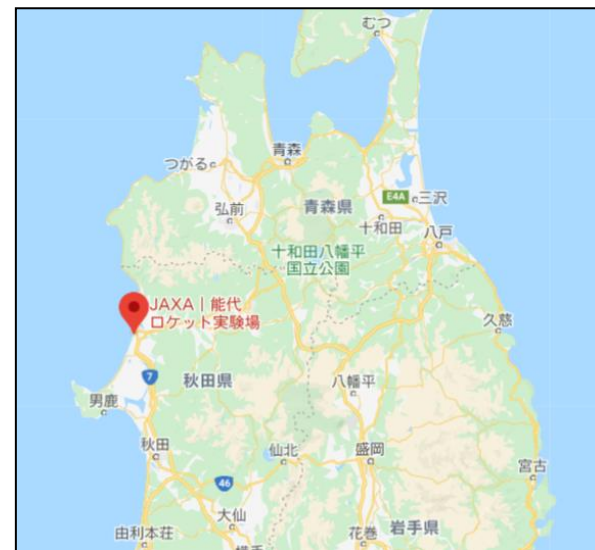
□ 実験時期: 気象条件が安定する4~6月に実施
(現在、実験実施中)

□ 実験装置

- 2013-2017NEDOプロ(JIMGA/岩谷/JAXA)にて設置した液水実験設備を使用

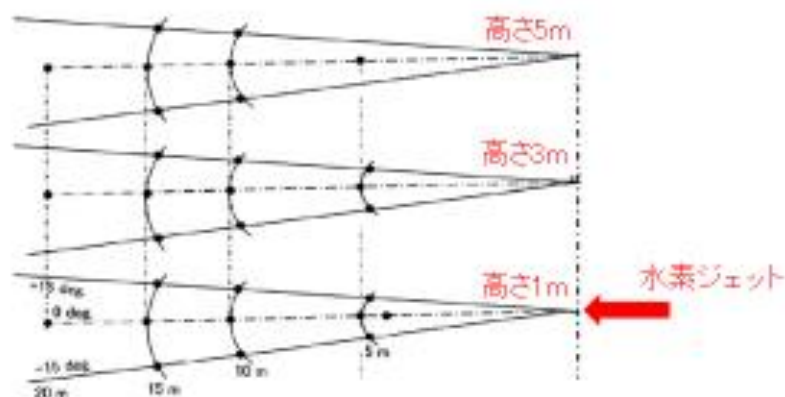
※ 同設備はNEDOプロ終了後JAXAに譲渡され、現在でも使用可能な状態に維持されている

- 蓄圧器増設などの改造工事を実施

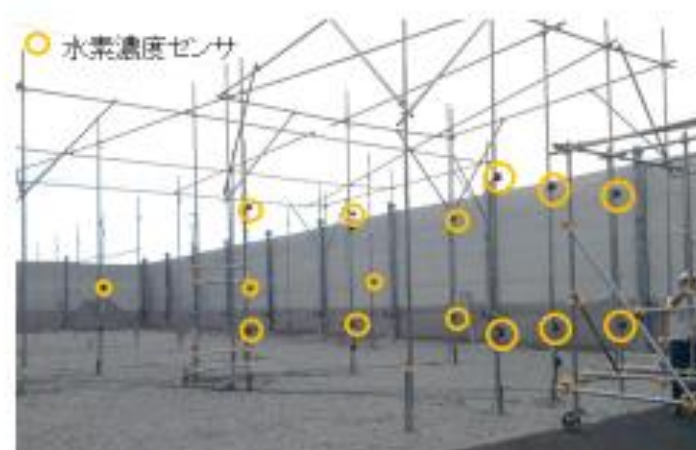


計測方法 ①漏洩拡散試験

実験名称	評価すべき項目 (目的)	目的達成の方針	計測すべき物理量	計測方法	計測位置および点数
漏洩拡散試験	ピンホールから漏洩した際に水素濃度が1%Vol(1/4%LEL)以下となる距離	複数個を分布配置した水素ガスセンサにより、水素濃度分布を計測する。事前予測および実験結果を適宜反映して計測位置を定め、1%Vol前後となる範囲の分布を計測し、1%Volとなる位置を決定する。 水素センサは、計測状態で標準ガス(0.9, 1.0, 1.2%Vol)を吹きかけ、誤差±0.05%Volを確認する。	水素ガス濃度	■センサ ・接触燃焼式(FIS) ・計測レンジ:0.5-5%vol ・応答速度:1秒以内	噴出方向に4点、水平方向に2点、鉛直方向に8点、移動可能なセンサ6点 計測合計点数30点 (=4+2+8+6)
	実験条件として、バックグラウンドの風速風向分布を計測する	超音波風速風向計を分散配置し、バックグラウンドの速度ベクトル分布を計測する	風ベクトル	3軸超音波風速風向計を分散配置する。 ◇サンプリングは20Hzとする。	3点



水素濃度センサ30点の配置(浮力の影響を考慮して設定)



計測方法 ② 燃焼爆発試験

実験名称	評価すべき項目 (目的)	目的達成の方針	計測すべき物理量	計測方法	計測位置および点数
燃焼爆発試験	ピンホールから漏洩し着火した際の火炎長	水素火炎の可視化を行い、火炎長の定義量を計測する。	火炎長	塩水噴射装置を設けて炎色反応により可視化、これをビデオカメラで撮影して画像解析(2値化)により火炎長を決定する。分解能10cm 参考用に赤外まで感度のあるモノクロ高速ビデオカメラでの観測を行い、火炎伝播の様子を観測する。	撮影箇所: 側面
	ピンホールから漏洩し着火した際の爆風圧が1kPa以下となる距離	高速応答の半導体式圧力センサを分散配置し、変動圧力分布を計測する。事前予測および実験結果を適宜反映して計測位置を定め、特に $\Delta p=1\text{ kPa}$ となる範囲の分布を計測し、1kPaとなる位置を決定する。	圧力(変動、平均)	圧電式圧力センサを用いて計測する、候補センサの仕様(PCB社製108B52) 計測レンジ: 8.89kPa、分解能: 0.00013kPa、共振周波数 $\geq 40\text{ kHz}$ ○サンプリング(150kHzとする)	噴出方向に8点
	ピンホールから漏洩し着火した際の輻射熱 $1,080\text{ kcal/m}^2\cdot\text{h}$ 以下となる距離	熱流束センサを複数個分散配置し、熱流束分布を計測する。事前予測および実験結果を適宜反映して計測位置を定め、特に輻射熱が $1,080\text{ kcal/m}^2\cdot\text{h}$ 前後となる範囲の分布を計測し、その値になる位置を決定する。	熱流束	差動型サーモパイル熱流束センサ(測温抵抗体補償型)(Vaisala社製HFM-7E/H相当)を分散配置して計測する。 最高表面温度: 800°C 、応答速度: $17\text{ }\mu\text{s}$ 、校正精度: $\pm 3\%$ ○サンプリング(110Hzとする)	火炎軸上後方からと火炎側面から、それぞれ計測を行う。(センサは移動可能とする)。
	騒音を計測する	騒音計(マイクロフォン)で音圧を計測する	音圧	小野測器製積分型精密騒音計LA-4440相当の騒音計で計測する。	



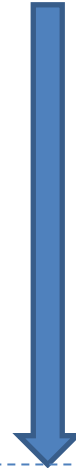
(2) 常用圧上限引き上げに伴うリスクの検討

常用圧の上昇は、水素STのリスクを増加させる方向に作用する。
そこで、下図の①②の検討を実施中。

リスク = 起こりやすさ × 影響の大きさ



① 劣化損傷モードに着目した
漏洩・事故可能性に関する検討
(JPEC)



〔前述〕水素放出・着火実験によるデータ取得(JAXA)
及び
② QRAによるリスクの定量的評価(YNU)

① 劣化損傷モードに着目した漏洩・事故可能性に関する検討

【目的】

常用圧の上昇に伴うリスク増(特に漏洩可能性の増)に対応するために、省令等の技術基準に新たな項目を付け加える必要があるか否か、を見極める。

常用圧の上昇は、設備の信頼性維持の観点からは、厳しくなる側に作用する。

(必要となる可能性がある対応)

高圧化に対応した機器の仕様変更(構造変更、材質変更)

- 常用圧変更に伴う機器仕様変更の必要性を、事業者(機器メーカー)が、現行の技術基準、民間基準、自社知見等に照らして 判断し、対応する。〔例: Oリングの材質変更〕
- 省令等の技術基準の修正は不要

上記の機器仕様変更では対応できない事項

(いわば“高圧化に伴う技術的な変曲点”)

- 技術基準への新たな安全対策の追加検討が必要

本検討では、これらの有無について結論を出すことを目指している

《検討事例》 複合容器蓄圧器の劣化損傷

- 複合容器蓄圧器は、一般的な鋼製の高圧ガス設備（鋼製蓄圧器を含む）と異なり、Design by Testと称される設計思想の下で設計される。

容器の使用条件を模した破裂試験・圧力サイクル試験等の試験法（これを設計確認試験と言う。）が設計基準に定められ、実際に製作した試験容器が当該設計確認試験に合格することをもって、設計の妥当性が担保される。

- 「KHKS 0225(2019) 圧縮水素蓄圧器用複合容器に関する基準」が要求する設計確認試験
 - ◆【設計圧ベースの試験】：破裂試験、環境試験、水素ガスサイクル試験、温度クリープ試験、他
 - ◆【常用圧ベースの試験】：疲労試験、最小厚さ確認試験
- 従来より高い常用圧の蓄圧器を製造する際には、当該常用圧における疲労試験、最小厚さ確認試験のデータを再取得し、詳細基準事前評価（KHK）に合格する必要がある。



したがって、常用圧引上げ後においても、従来と同レベルの信頼性が確保できると考えられる。

本項目に関連して、現行技術基準に追加すべき項目はないと判断する。

② QRAによるリスクの定量的評価

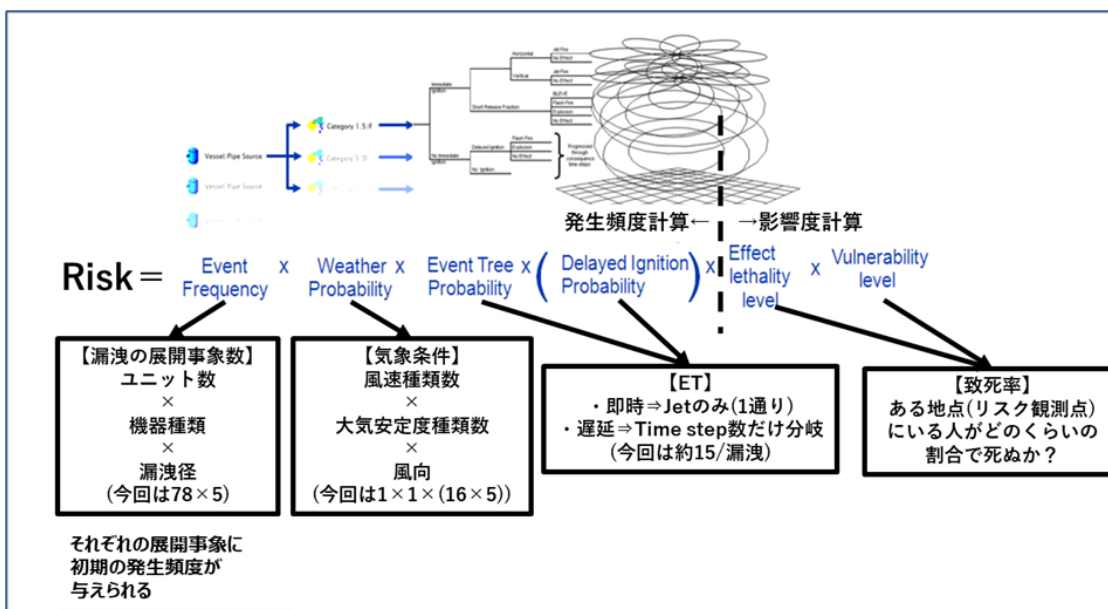
QRA (Quantitative Risk Assessment):

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。

【目的】

主に事故の影響度に着目し、常用圧の上昇に伴うリスク増を定量的に評価する。

なお、検討に当たっては、2018-2020年度NEDOプロでYNU/JPECが構築した“水素STのQRA検討モデル”を活用する。

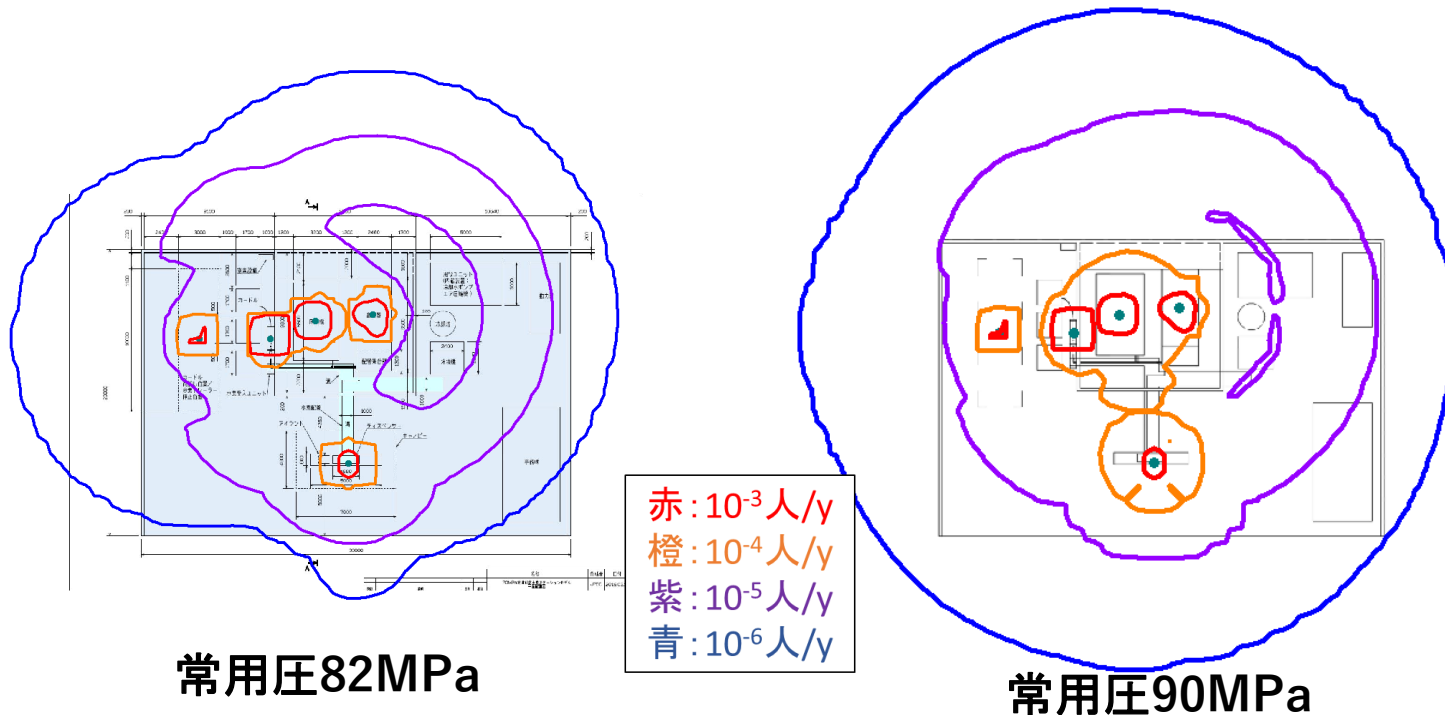


《検討状況》 QRAによるリスク試算結果

昨年度に実施した常用圧82MPaと90MPaにおけるリスクの試算結果(リスクコンター)を下に示す。

※リスクコンター：等リスク線

※人の死亡確率：人が24時間/365日その場所に立っていた時に、
水素STの事故により死亡する確率(単位:/year)



今後の予定

- 水素の放出・着火実験結果を踏まえて、影響度計算モデルを再検証
- 詳細な計算条件(構成機器や圧力)を見直して、計算精度を高める

(3) 技術基準案の策定

前記(1)(2)の検討を踏まえ、技術基準案の作成検討を進めている。

- 検討対象の基準類について

- 省令（一般測第7条の3、他）
- 関連する例示基準
- 関連する業界自主基準（JPEC-S）

- 液化水素について

- ✓ 圧縮水素ガスに加え、液化水素についても技術基準案検討を実施中

- 見直し後の常用圧上限の値について

- ✓ 具体的な見直し後の常用圧上限値については、HySUTの常用圧上限見直し小TFにて 検討中
- ✓ 見直し後の常用圧上限値は、実験の圧力(93MPaの予定)に制約される

省令改正案の検討状況(その1)

● 実験結果と距離規制値の予測

過去の実験データの外挿により、常用圧引上げ後の距離規制値を算出した。
(最終的には、今回取得する実験データにより結果が確定する。)

過去データ から外挿予測	圧力	水素拡散	爆風圧	火炎長	輻射熱	距離規制値※
	82MPa	7.7m	～4m	3.39m	5.0m	8m
	89MPa	8.0m	<6m	3.52m	5.21m	8m
	95MPa	8.26m	<6m	3.64m	5.39m	8.5m

※火気離隔距離、敷地境界距離、
公道ディスペンサー距離

上表から、以下が予想できる。

- ✓ 常用圧が89MPa以下であれば、距離規制値は現行同様の8mで納まる
- ✓ 常用圧を95MPaとすると、距離規制値は8.5mが必要となる

省令改正案の検討状況(その2)

● 省令改正のケース展開

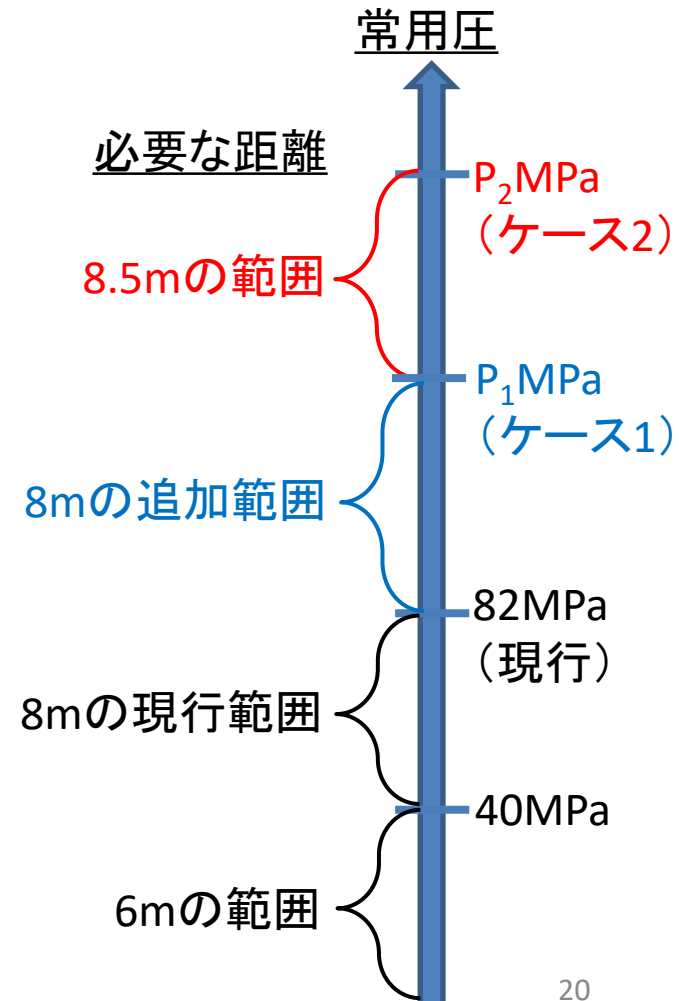
前コマの実験結果予測を踏まえ、以下のような2ケースを想定して、省令改正案検討を進めている。

✓ ケース1(距離を変えない)

- ・距離規定値を変えない範囲で常用圧を上げる。
- ・この場合の上限値は89MPa程度と推測される。
- ・上限圧力を P_1 MPaとする。

✓ ケース2(できるだけ高圧)

- ・実験で得られた最大の圧力に常用圧を上げる。
- ・この場合の上限値は95MPa程度と推測される。
- ・上限圧力を P_2 MPaとする。
- ・従来の距離規定値の範囲を「40MPaを超え P_1 MPa以下」に変更する。



《検討例①》 一般則第7条の3柱書 (常用圧上限規定)

・第七条の三(圧縮水素スタンドに係る技術上の基準)

柱書: 常用圧の上限値とともに、圧縮水素と液化水素の常用圧を区別するように変更

現行	ケース1(距離を変えない)	ケース2(できるだけ高圧)
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 <u>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</u> 、顧客に自ら圧縮水素の充填に係る行為をさせるものを除く。以下この条において同じ。)である製造施設における法第八条第一号の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。ただし、次項各号に掲げる基準に適合しているものについては、この限りでなく、また、製造設備の冷却の用に供する冷凍設備にあつては、冷凍保安規則に規定する技術上の基準によることができる。	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 <u>圧縮水素の常用の圧力がP_1メガパスカル以下のもの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</u> 、顧客に自ら圧縮水素の充填に係る行為をさせるものを除く。以下この条において同じ。)である製造施設における法第八条第一号の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。ただし、次項各号に掲げる基準に適合しているものについては、この限りでなく、また、製造設備の冷却の用に供する冷凍設備にあつては、冷凍保安規則に規定する技術上の基準によることができる。	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 <u>圧縮水素の常用の圧力がP_2メガパスカル以下のもの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</u> 、顧客に自ら圧縮水素の充填に係る行為をさせるものを除く。以下この条において同じ。)である製造施設における法第八条第一号の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。ただし、次項各号に掲げる基準に適合しているものについては、この限りでなく、また、製造設備の冷却の用に供する冷凍設備にあつては、冷凍保安規則に規定する技術上の基準によることができる。

《検討例①》 一般則第7条の3第2項第2号 (敷地境界距離)

- ・ 第七条の三(圧縮水素スタンドに係る技術上の基準)
第2項 第二号(敷地境界距離): 距離および圧力範囲の見直し

現行	ケース1(距離を変えない)	ケース2(できるだけ高圧)
高圧ガス設備(次号及び第三号に掲げるものを除く。)は、その外面から当該事業所の敷地境界(以下この項において「敷地境界」という。)に対し<u>八メートル</u>(常用の圧力が四十メガパスカル以下の可燃性ガス(液化水素を除く。)が通る部分にあつては六メートル、常用の圧力が四十メガパスカルを超える液化水素が通る部分にあつては十メートル、常用の圧力が一メガパスカル以上四十メガパスカル以下の液化水素が通る部分にあつては九メートル、常用の圧力が一メガパスカル未満の液化水素が通る部分にあつては六メートル)以上の距離を有し、又はこれと同等以上の措置を講ずること。	変更なし。	高圧ガス設備(次号及び第三号に掲げるものを除く。)は、その外面から当該事業所の敷地境界(以下この項において「敷地境界」という。)に対し<u>八・五メートル(常用の圧力が四十メガパスカルを超えP_1メガパスカル以下の可燃性ガス(液化水素を除く。)が通る部分にあつては八メートル、常用の圧力が四十メガパスカル以下の可燃性ガス(液化水素を除く。)が通る部分にあつては六メートル、常用の圧力が四十メガパスカルを超える液化水素が通る部分にあつては十メートル、常用の圧力が一メガパスカル以上四十メガパスカル以下の液化水素が通る部分にあつては九メートル、常用の圧力が一メガパスカル未満の液化水素が通る部分にあつては六メートル)以上の距離を有し、又はこれと同等以上の措置を講ずること。</u>

4. まとめ

- 2021～2022年度の2年間の予定で、常用圧上限見直しに関わる検討を実施中。
- 下記の3つのサブテーマに取り組んでいる。
 - (1) 実験により取得したデータに基づく距離の見直し検討
 - (2) 常用圧上限引き上げに伴うリスクの検討
 - (3) 技術基準案の策定
- 具体的な見直し後の常用圧上限値については、HySUTの常用圧上限見直し小TFにて検討中。
- 2022年9月を目途に、技術基準案策定をはかる予定。

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