

第3回「圧縮水素充てん設備設置給油取扱所の安全対策に係る検討会」説明資料

70MPa充填対応水素スタンドの 技術基準検討状況について

1. 70MPa水素スタンドの概要
2. 安全対策と技術基準の検討
3. その他の技術基準

平成24年3月2日

原子力安全・保安院保安課

1. 70MPa水素スタンドの概要

- ・FC車容器の最高充填圧力 : 70MPa
- ・水素スタンドの常用圧力 : 82MPa

スタンド設備の基本構成

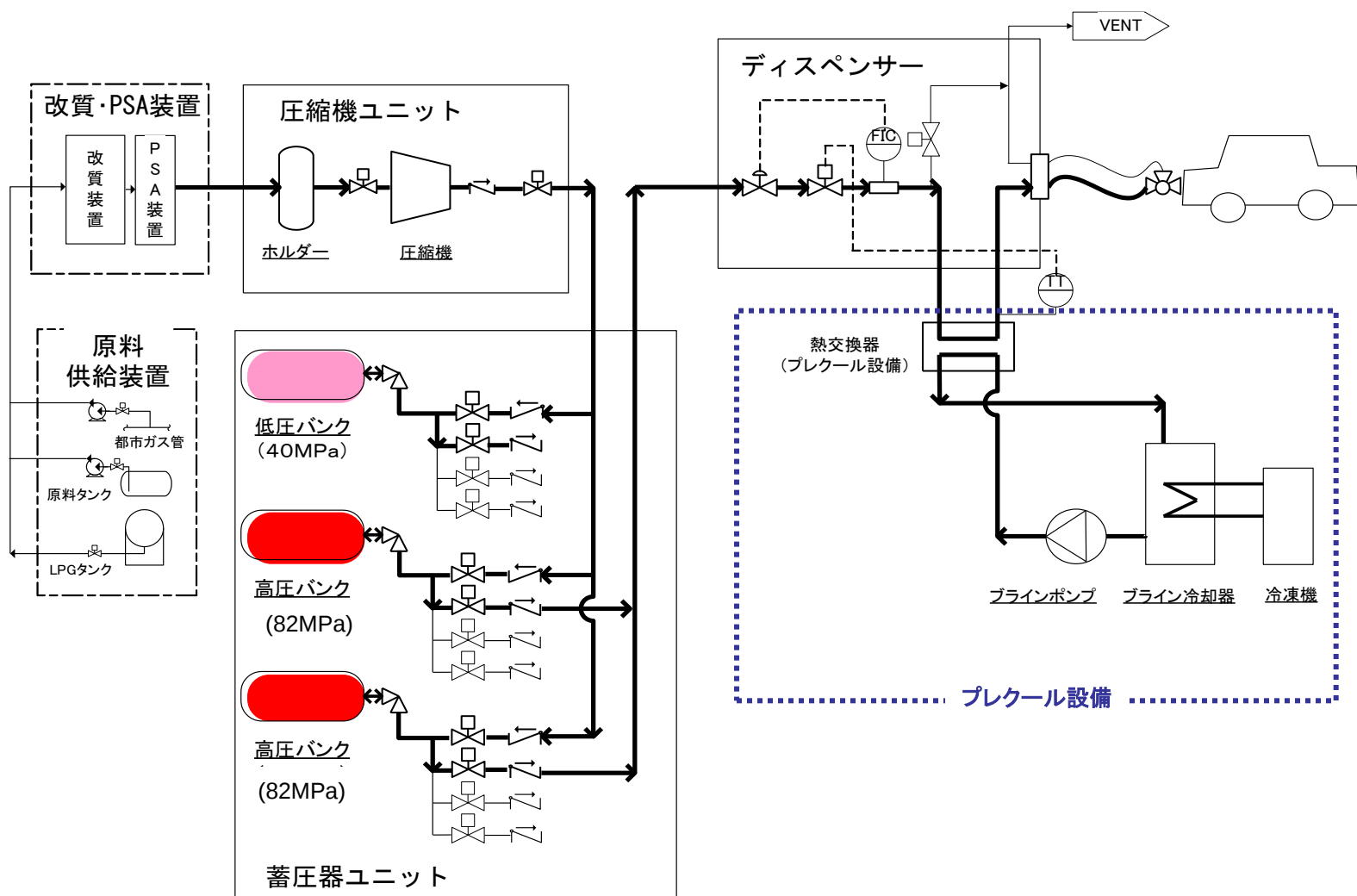
- 圧縮機、蓄圧器、ディスペンサー、プレクーラー(水素冷却用)

70MPa水素スタンドのタイプ

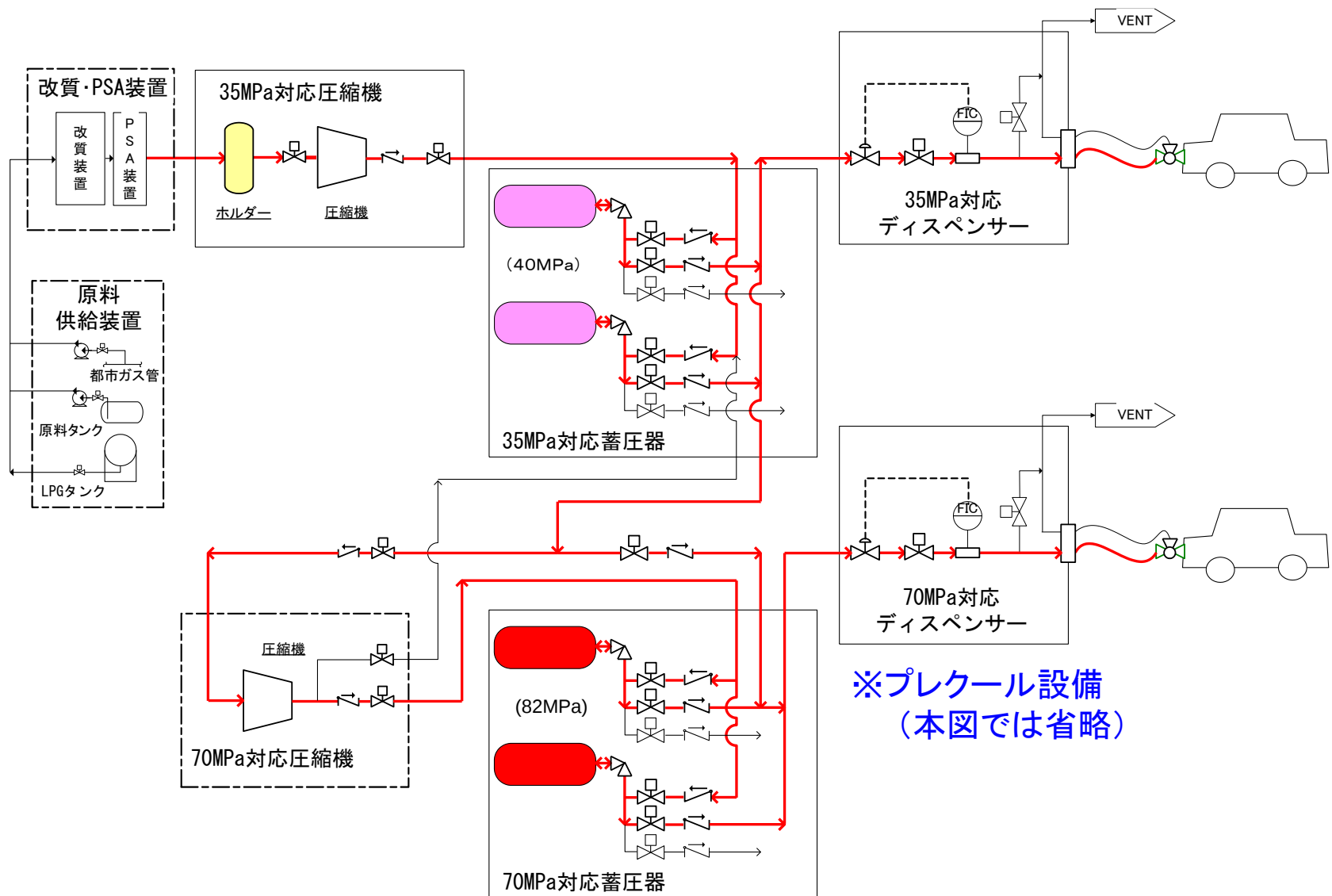
- 70MPa充填専用タイプ
- 35MPa・70MPa並列: 差圧充填タイプ
- 35MPa・70MPa並列: 圧縮機直接充填タイプ

1.1 70MPa水素スタンドのフロー

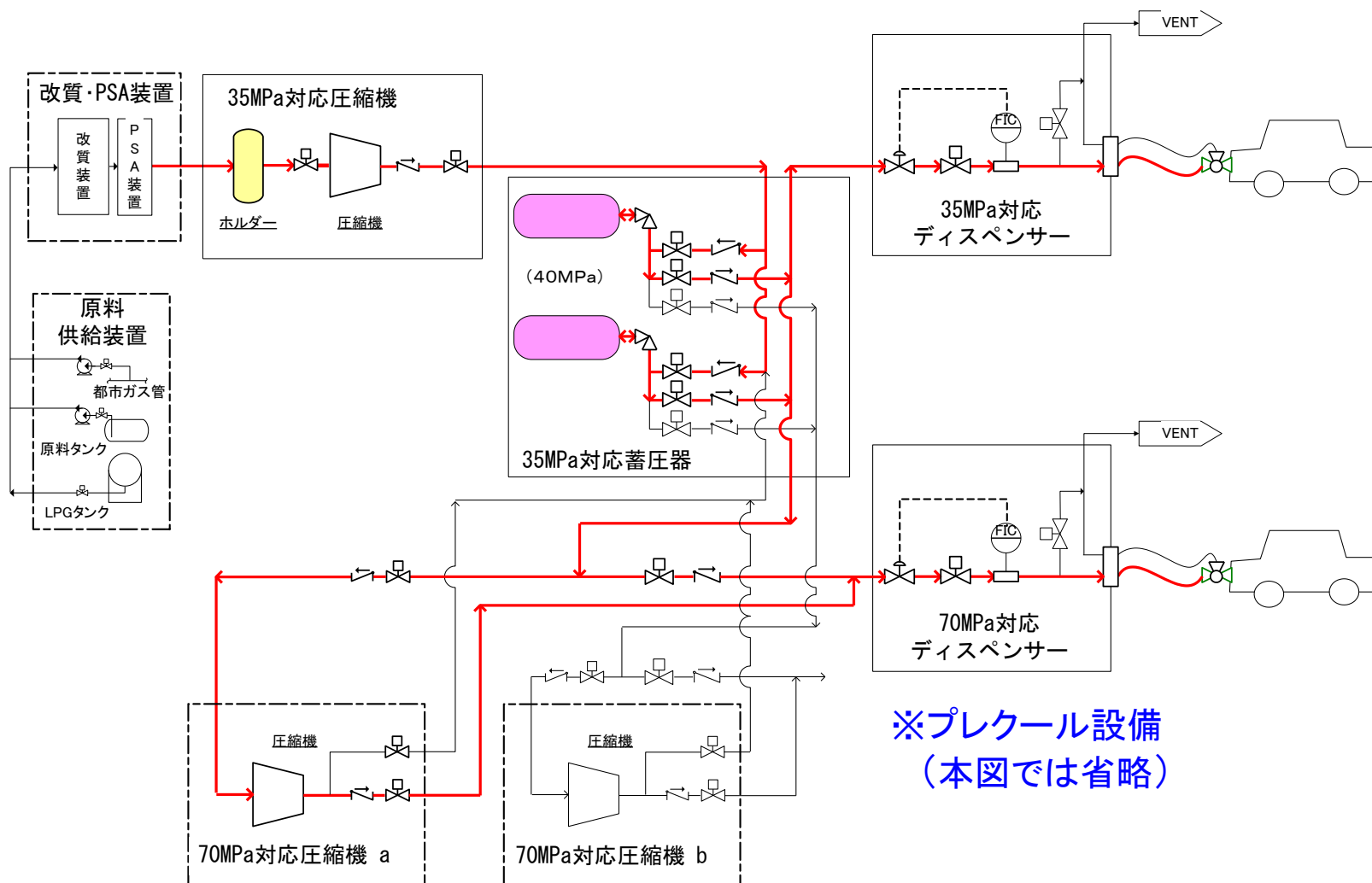
【70MPa充填専用タイプ】



【35MPa・70MPa並列：差圧充填タイプ（高圧・低圧の蓄圧器装備）】

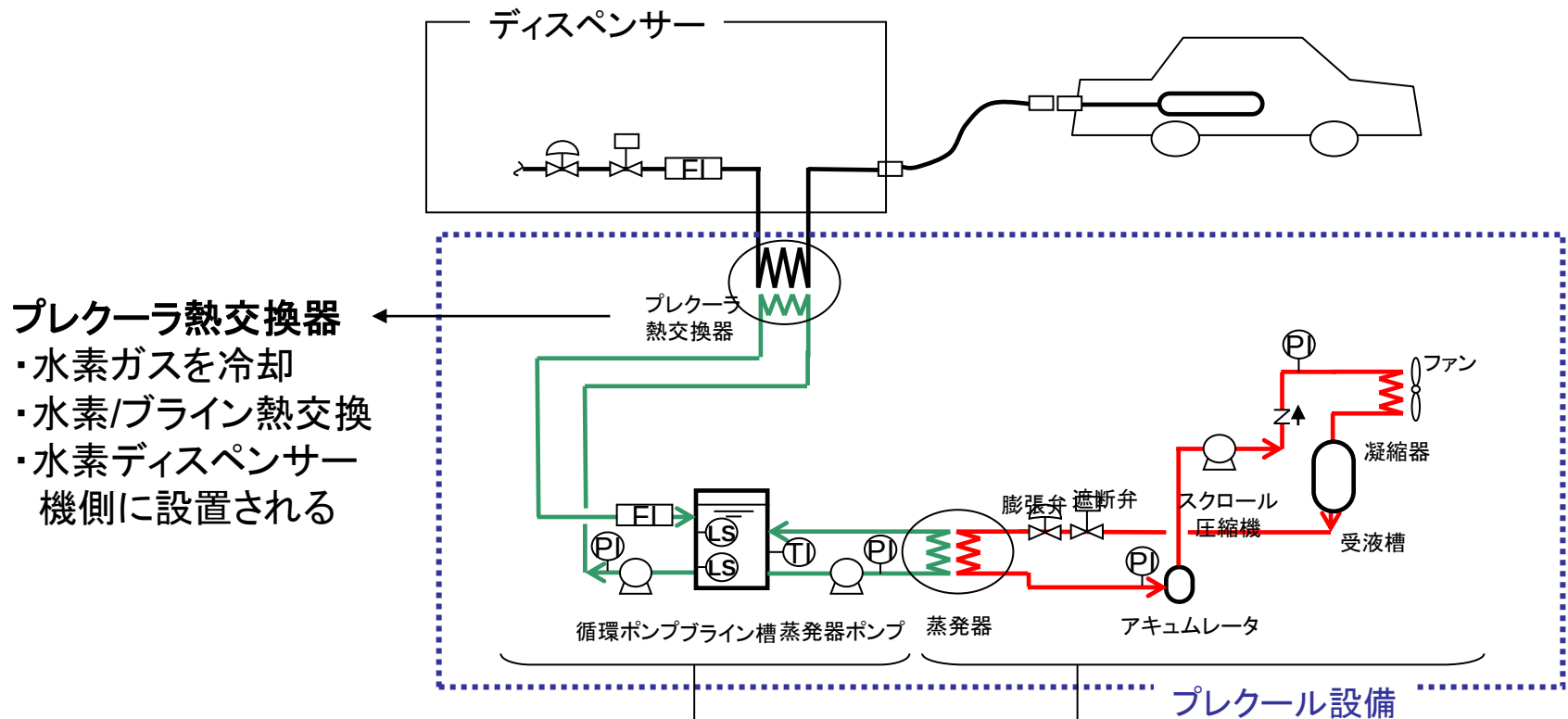


【35MPa・70MPa並列：圧縮機直接充填タイプ】



1.2 プレクール設備

70MPa水素スタンドにおいては、充填中に車載容器内ガス温度の過上昇を防止するために、プレクール設備により水素ガスを冷却する。



プレクーラ熱交換器

- ・水素ガスを冷却
- ・水素/ブライン熱交換
- ・水素ディスペンサー機側に設置される

2次冷却系

- ・冷媒として不燃性ブラインを使用
- ・蓄圧器等と同じ設備エリアに設置される

1次冷却系

- ・冷凍サイクルにより冷熱を生成
- ・冷媒として不燃性フロンを使用
- ・蓄圧器等と同じ設備エリアに設置される

2. 安全対策と技術基準の検討

2.1 35MPa水素スタンドの技術基準検討

35MPa水素スタンド検討においては、HAZOP、FMEAの手法を用いて、水素スタンドモデルに対して想定される事故シナリオ抽出を行った。そこでは事項要因として、機器の「劣化故障」に留まらず、ヒューマンファクター、天災、外乱など、網羅的な想定事故抽出に努めた。

以下に主な事故要因を示す。

【金属材料】

- － 水素脆化

【機器故障】

- － 疲労損傷(振動)、外面腐食
- － ねじ接合継ぎ手のねじ部緩み、シール材(Oリング等損傷)、勘合部異物噛み込み、弁グランド部漏れ、弁シートリーク(内通)、弁類固着、ディスペンサーホースの磨耗・疲労
- － 自動弁・調節弁動作不良、計器(圧力計等)故障

【ヒューマンファクター】

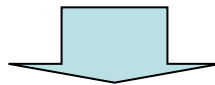
- － 車両誤発進、手動弁誤操作、いたずら(充てんホース折り曲げ・傷付け)

【外乱】

- － 近接敷地火災、暴走車両飛び込み、

【天災】

- － 地震、直射日光



現行の35MPa水素スタンドの一般高圧ガス保安規則等・例示基準は、上記の事故要因(事故シナリオ)に対する検討を基に、策定されている。

2.2 70MPa水素スタンドの技術基準検討

70MPa水素スタンドの特徴

- (1) 常用圧力の上昇(40MPa→82MPa)
- (2) 充填する水素を冷却するためのプレクール設備を装備
- (3) 圧力の異なる、蓄圧器ユニットや圧縮機を備える水素スタンドの可能性
- (4) 充填時に車載タンク温度が上昇しやすい

これらに対応する安全性検証を行った

注) 本資料中の70MPa水素スタンドの技術基準案は、保安課から検討を委託した高圧ガス保安協会に設置された70MPa水素スタンド技術基準検討委員会(委員長: 小林英男 横浜国立大学客員教授) 報告書で提言された技術基準案を基としており、今後の法令改正等では、異なった基準となる場合がある。

2.3 安全性検証と技術基準案

(1) 常用圧力の上昇(40MPa→82MPa)

- ① 高圧化に伴い、万一の水素漏洩時の拡散等の影響が異なる
82MPa水素の拡散・爆発・噴出火炎の実験を行い、水素漏洩着火時の影響を実験的に確認した。

〔実験結果〕

- 拡散 : 漏洩位置から7.7m地点で水素濃度は1%(爆発限界下限値の4分の1)
- 爆風圧 : 6m地点で爆風圧0.4kPa未満
- 噴出火炎 : 火炎長は3.4m。輻射熱は5m地点で1.26kW/m²未満

離隔距離(案)		設定根拠		
項目	距離	考慮事項	判断基準	備考
火気取扱施設との距離	8m (35MPa: 6m)	漏洩拡散	燃焼、爆発しない水素濃度(水素濃度1%以下)	常設火気に対する安全裕度として爆発限界の下限値の1/4とする。
敷地境界距離	6m (35MPa: 6m)	漏洩拡散	燃焼、爆発しない水素濃度	事業者の提案に基づき、6m地点の水素濃度1.28%でも1%時と安全性に差は無いと評価。
水素ディスペンサーと公道との距離		爆風圧	1kPa以下	人及び物に与える影響が保安上支障の無いレベル(6mで0.4kPa)
		火炎長	火炎が到達しない	火炎長3.4m
設備間距離		輻射熱	1.26kW/m ² 以下	人が長時間暴露されても安全な強度(5mで1.26kW/m ²)

② 高圧化等に伴い、金属材料への水素脆化の影響が増加

事故要因(事故シナリオ)		安全対策
金属材料に対する水素脆化	1. 低温・高圧下の水素脆化 2. 高温・高圧下の水素脆化	使用可能主要材料の指定(SUS316L:35MPaスタンド規定済)
		材料使用温度の上下限の設定(−40℃～250℃)
		SCM435については、40MPa以下の蓄圧器に限定

(2) 充填する水素を冷却するためのプレクール設備の装備

プレクール設備(熱交換器)およびその下流機器は低温下で使用されるため、低温影響による劣化・損傷が想定される。

事故要因(事故シナリオ)		安全対策
充填ホースアセンブリの低温環境下での信頼性	3. ホース疲労、カシメ部のゆるみ	・始業前の圧力保持試験(35MPaスタンドで規定済み) ・定期的なホース外観検査(35MPaスタンドで規定済み)
ノズル・レセプタクルの着霜・凍結	4. 充填ノズルのOリング損傷、勘合不良	・ノズルレセプタクル勘合部への水素ガス検知器設置と運転停止インターロック(35MPaスタンドで規定済み)
		・充填開始時の凍結確認

プレクール設備の処理設備に対し、第1種保安物件(学校・病院)、第2種保安物件(住居)に対する設備距離を適用

(3) 圧力の異なる、蓄圧器ユニットや圧縮機を備える水素スタンドの可能性

システム構成が複雑になり、圧力上昇の危険源の数・種類が増加した

- ① 同一系内に異なる設計圧力の機器が混在するケースでは、吹き抜け/過充填が想定される。
- ② 圧縮機から車載容器への直接充填するケースでは、圧縮機による過充填が想定される。

事故要因(事故シナリオ)		安全対策
異なる圧力系の混在	5. 35MPa車両に70MPa充填ノズルを誤接続 (ヒューマンファクター)	・35MPa車両に70MPa充填ノズルを接続できない構造
	6. 82MPa蓄圧器から40MPa蓄圧器への吹抜け	・吹き抜け防止用の逆止弁の設置
		・蓄圧器に安全弁設置(35MPaスタンドで規定済み)
	7. 82MPa蓄圧器による35MPa充填車両への過充填	・ディスペンサにて充填圧力監視とインターロック(35MPaスタンドで規定済み) ・ディスペンサに安全弁設置(35MPaスタンドで規定済み)
圧縮機による水素充填	8. 70MPa充填車両から水素スタンド側への逆流	・ディスペンサに安全弁設置(35MPaスタンドで規定済み) ・車両側に逆流防止措置(道路運送車両法で規定済み)
	9. 圧縮機による車載タンクへの過充填	上記7. の安全対策で対応

(4) 充填時に車載タンク温度が上昇しやすい

70MPa水素スタンドでは、車載タンク温度の過上昇防止のため、充填する水素ガス温度（プレクール設備による冷却）と充填速度を適切に制御する必要がある。

事故要因（事故シナリオ）		安全対策
車両充填 制御不良	10. プレクール設備冷却能力低下により、規定温度以上の水素を車載タンクに供給 （車載タンク温度の上昇）	・充填水素ガス温度監視し、運転停止インターロック
	11. 充填制御設備の故障により、規定充填速度以上で水素を車載タンクに供給 （車載タンク温度の上昇）	・圧力上昇率を監視し、運転停止インターロック

3. その他の技術基準

項 目	安全対策等
保安統括者等に代わる監督員の選任	一定の有資格者に監督させる場合には、保安統括者等の選任を不要とする規定を35MPaスタンドと同様に70MPaスタンドにも適用
保安電力(停電時の非常用電源)	過充填防止装置、緊急時に水素の供給を遮断する設備、圧力リリーフ弁等に対する保安電力確保の規定を規定
ディスペンサー	車両衝突防止措置(防護柵、アイランド嵩上げ、衝突センサー設置)を規定
	誤発進防止措置として緊急離脱カプラーを例示基準化すると共に、正常な作動及び誤作動防止に関する事項を規定
	誤発進防止措置(充填ノズルを収納しなければ充填完了しない措置、標識設置、教育)
蓄圧器	蓄圧器の材質を鋼製又は非鉄金属性に限定
容器置き場	容器置き場に設置する充填容器の上限圧力を45MPaに限定 過流防止弁、減圧弁設置を規定
配管	冷間加工材の使用時には、接合を溶接としないことを規定

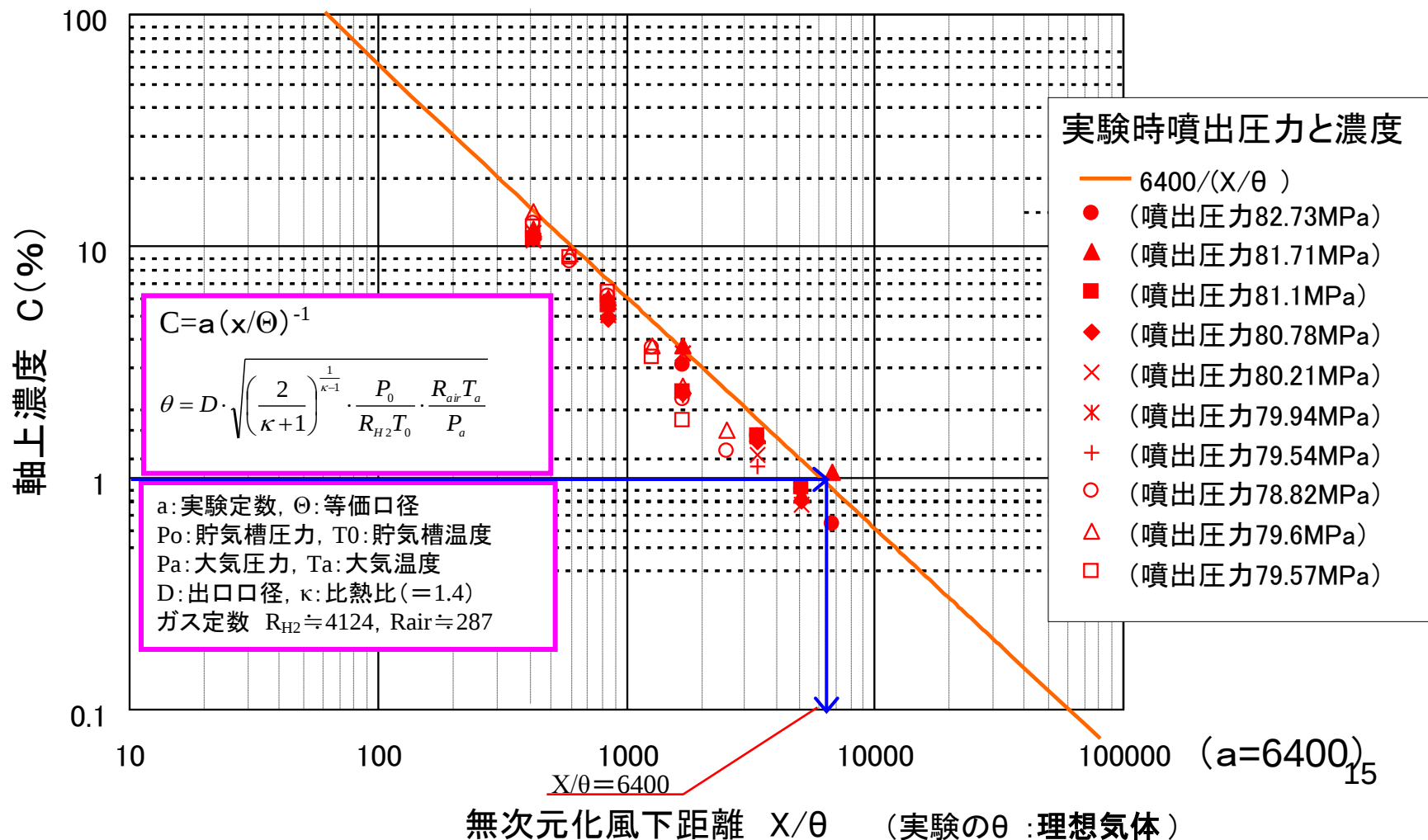
(補足資料) 高圧水素の漏洩実験結果

- ① 拡散実験
- ② 爆発実験結果
- ③ 火炎実験結果(火炎長)
- ④ 火炎実験結果(輻射熱)

<<① 拡散実験結果>>

噴出口径 0.2mm 拡散濃度(測定値)を無次元距離で整理

- D=0.2mm、82MPaを用いて、 Θ (等価口径)を計算し、 $\Theta=0.0012$ を得る。
- 実験定数は、実験結果から $a=6400$
- 「1%」の値から、無次元距離係数 $x/\Theta=6400$ を得る。
- Θ と係数 a から $C=a(x/\Theta)^{-1}$ において、 $C=1(\%)$ とにおいて、 $X=7.7m$ を得る。 ($1\%=6400(x/0.0012)^{-1}$ $X=6400 \cdot 0.0012=7.7m$)

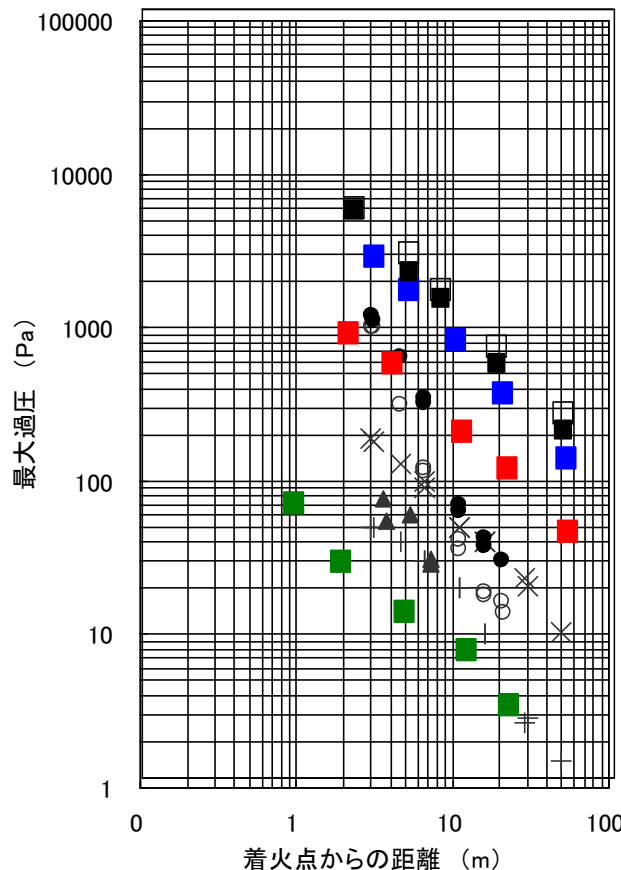


≪② 爆風実験結果≫

噴出口径 1.0mm 80MPaにおける爆風圧の確認

- i. 口径1.0mm、80.7MPaで噴出、着火させ、中心軸から約15度避けた位置で爆風圧を測定(左側の図)
- ii. シミュレーション(実験値との調整済み)により、中心軸上の爆風圧を、「80MPa」として計算(右側の図) 80MPaは●
- iii. 80MPaのチャートから、影響判断基準 1000Pa地点が4mを確認。
- iv. 敷地境界等距離6m地点では400Paとなることを確認。

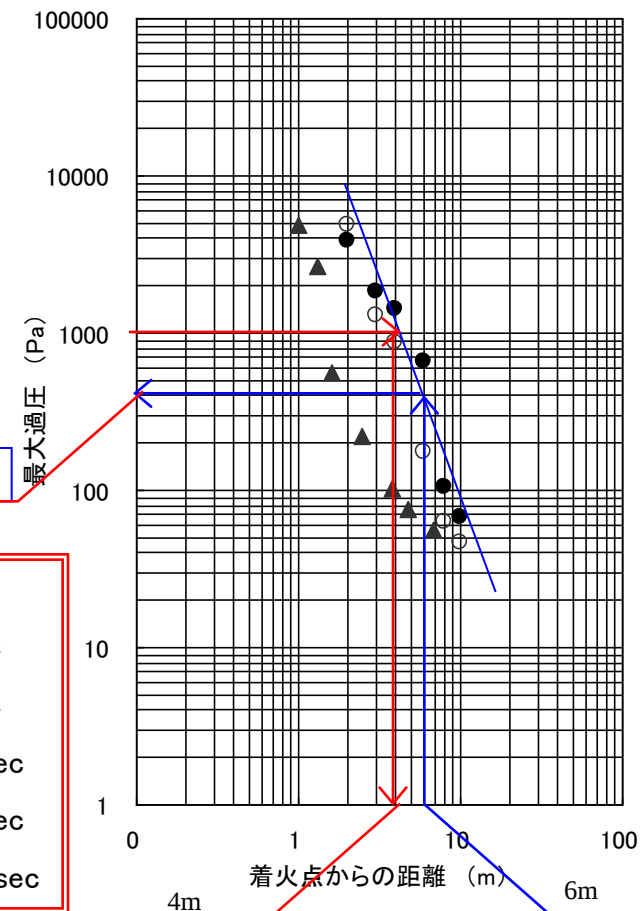
[実験のセンサー位置での比較]



H21取得データ

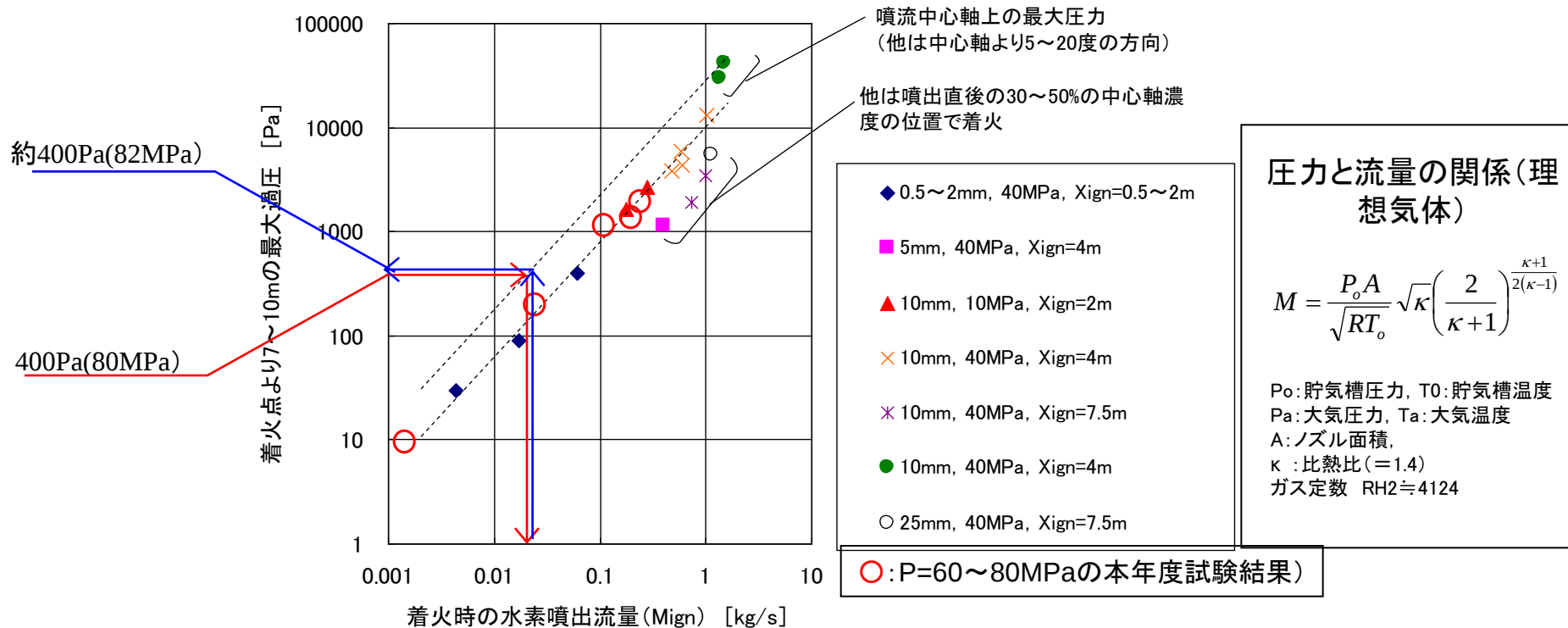
- : 60MPa、φ 4.0mm、0.8sec
- : 60MPa、φ 4.0mm、1.8sec
- : 82.2MPa、φ 2.0mm、3.8sec
- : 80.7MPa、φ 1.0mm、9.5sec
- : 80.4MPa、φ 0.2mm、10.0sec

[噴流軸上での過圧(最大)]



1mm口径・6m地点 82MPaとした場合の推定爆風圧

- i. 中心軸上の80MPa での爆風圧は、400Pa。
- ii. 噴出流量と爆風圧の関係を確認する為、実験結果を整理した結果、下図を得た。
- iii. 噴出流量は、圧力に比例する(下記のMの計算式参照)
- iv. この式によれば、82MPaの場合、80MPaの1.025倍(2.5%増加)となる。
- v. 水素噴出量と最大過圧の関係を示す下図で、1.025倍の流量増加による爆風圧の増加は、わずか。
- vi. 82MPaの場合でも。爆風圧による離隔距離 6mを超えることはない。

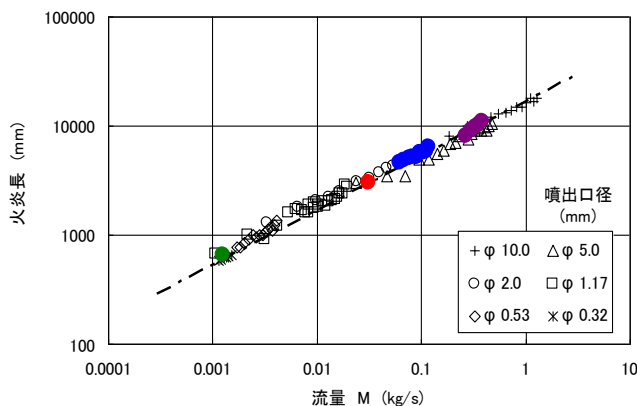


着火時の水素流量と最大過圧の関係

≪③ 火炎実験結果(火炎長)≫

- i. 80MPaでの火炎長は、実験式より、3.34m
- ii. 実験結果から、噴出流量と火炎長の関係式を得た。(下記 実験式参照)
- iii. 実験式から火炎長は、噴出流量の0.5乗に比例。
- iv. 実験結果を整理した結果、噴出圧力と噴出流量は、下記右側の図のとおり。
- v. 80MPaの場合、水素噴出量は0.04kg/S。82MPaでは、0.041 kg/S。
- vi. 82MPaの場合、実験式から火炎長 3.39m。
- vi. 80MPaに比べ増加はわずか。
- vii. 敷地境界等距離6mを越えることはない。

火炎長と流量の関係



H21取得データ

- : 60~40MPa、φ 4.0mm
- : 80~40MPa、φ 2.0mm
- : 80MPa、φ 1.0mm
- : 80MPa、φ 0.2mm

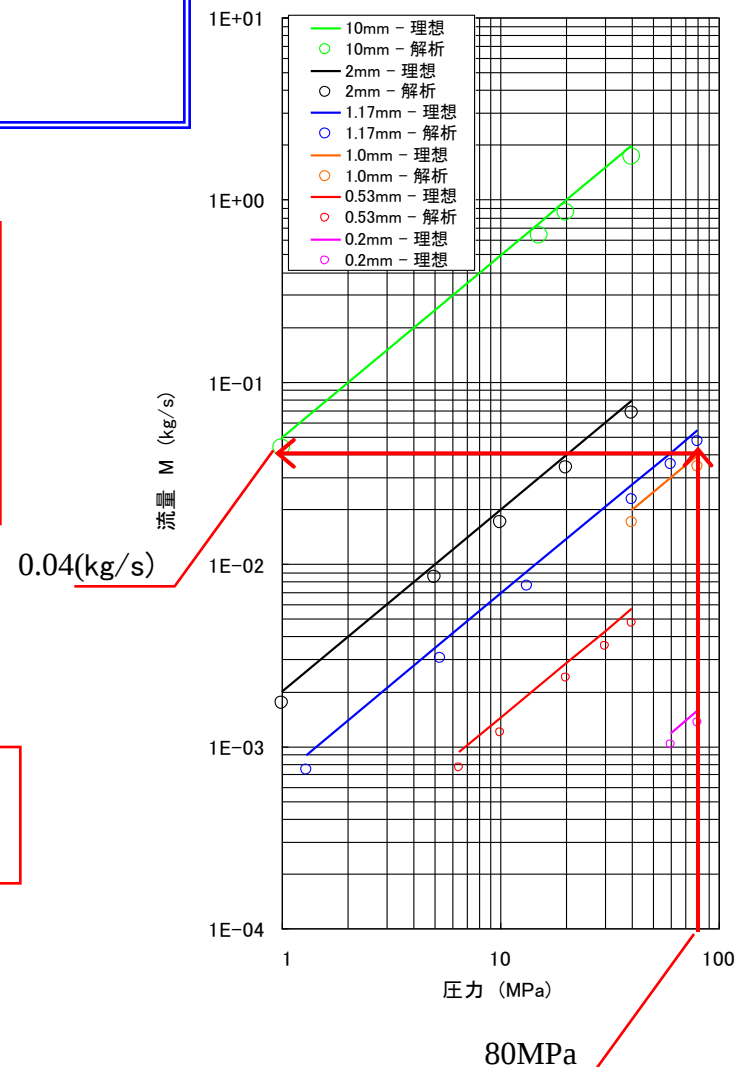
圧力と流量の関係(理想気体)

$$M = \frac{P_o A}{\sqrt{RT_o}} \sqrt{\kappa} \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{\kappa + 1}{2(\kappa - 1)}}$$

P_o : 貯気槽圧力, T_o : 貯気槽温度
 P_a : 大気圧力, T_a : 大気温度
 A : ノズル面積, κ : 比熱比 (=1.4)
 ガス定数 $R_{H2} \approx 4124$

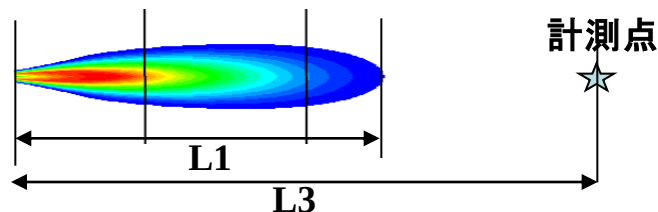
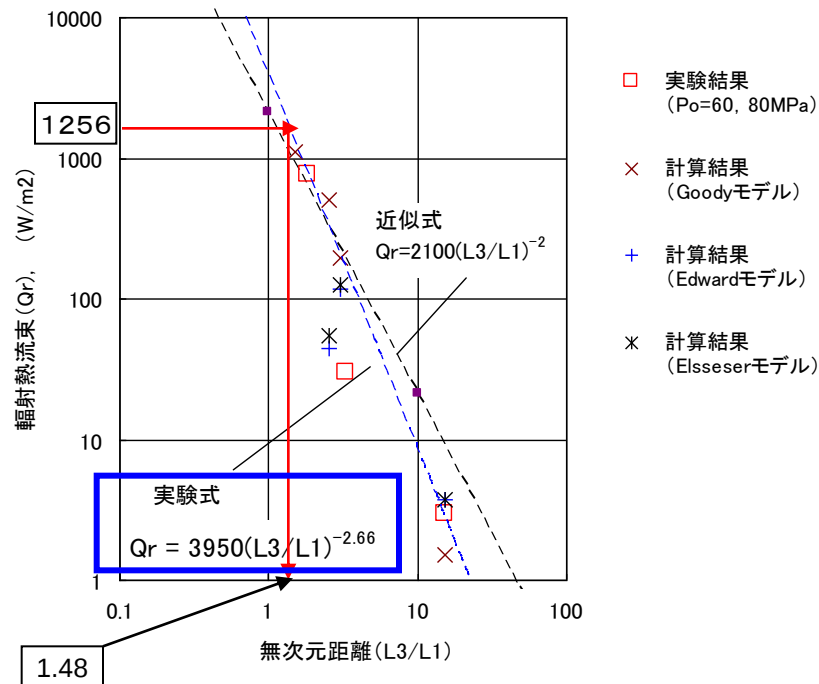
火炎長さの実験式

$$L_f = 16.7 M^{0.5} \quad M: [kg/s]$$



≪ ④ 火炎実験結果(輻射熱) ≫

- i. 輻射熱の範囲は、火炎長より計算される。
- ii. 80MPa噴出実験を含む結果から、火炎長と輻射熱(1256W/m²の位置)の関係について下記の実験式を得た。
- iii. 実験式から、輻射熱の無次元距離は、1.48となる。
- iv. 火炎長は、82MPaの場合、3.4mである。
- v. 3.4mと無次元距離から、輻射熱(1256W/m²)の位置は、5m(=3.4 * 1.48)。
- vi. 80MPaを82MPaとした場合、敷地境界等距離6mに影響を与えることはない。



人間が輻射熱に連続的に耐えられる限界は
 1080kcal/m²h ⇒ 1256 W/m²

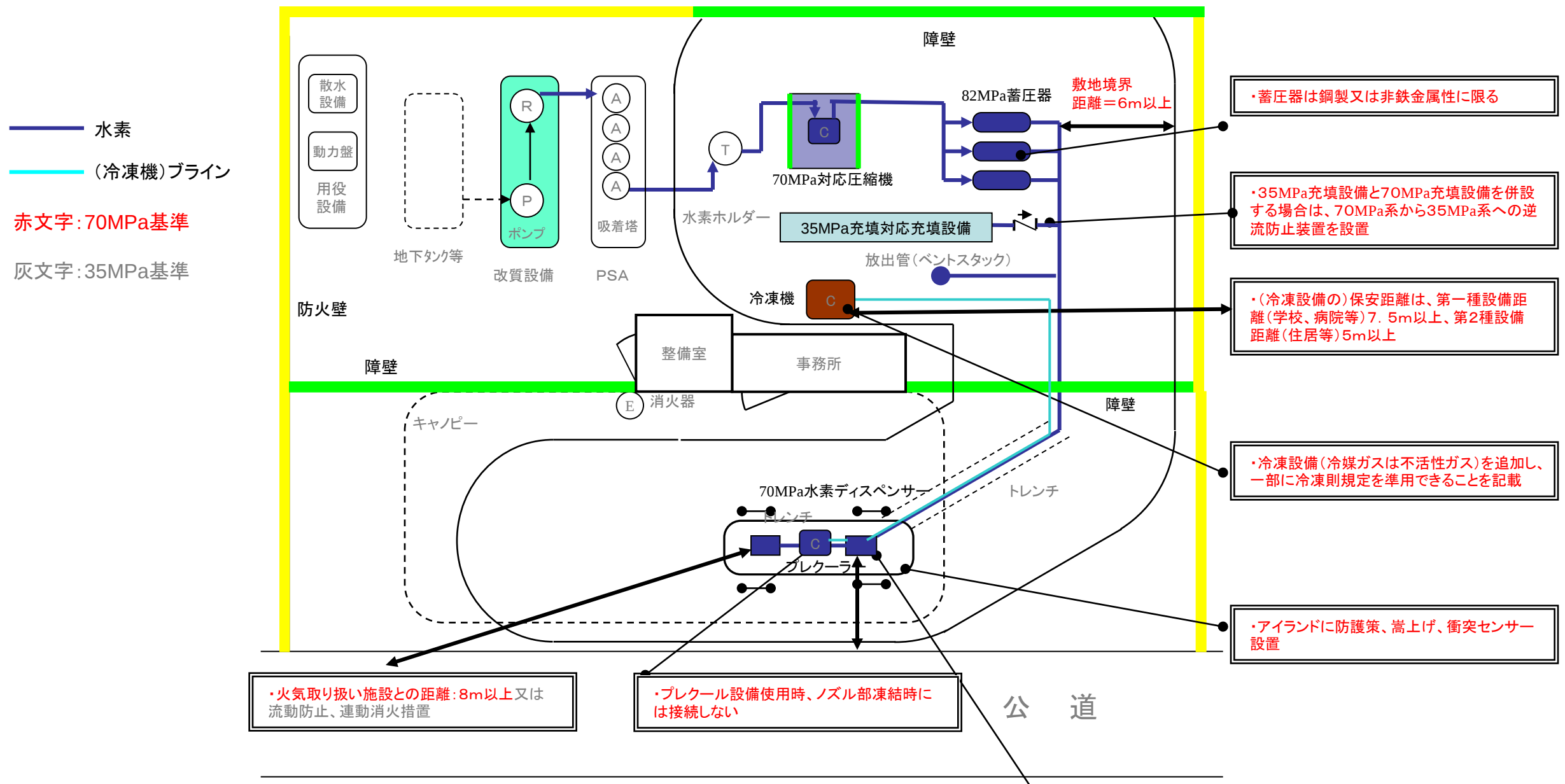
換算は、以下の係数による。

(1.163 W/m² = 1kcal/m² · h)

70MPa水素スタンド(都市型・オンサイト型)

平成24年3月2日
原子力安全・保安院保安課

イメージ図



(気密構造、耐圧性能、ガス設備の使用材料制限(蓄圧器はSCM435(40MPa以下に限定)、SUS316L、配管はSUS316L)、電気防爆、防消火対策、耐震構造等)
なお、82MPa蓄圧器にSNCM439(強度低減材)を使用する場合は、高圧ガス保安協会の事前評価を受けて使用

<保安電力を確保する設備>

- ・ガス漏洩検知警報設備
- ・緊急通報設備
- ・(外部)水素受入れ配管の緊急遮断装置
- ・圧力リリーフ弁
- ・漏洩ガス検知時の自動運転停止装置
- ・感震時の自動運転停止装置
- ・ディスペンサー周辺火災検知時の自動運転停止装置
- ・蓄圧器の火災検知時の自動運転停止装置
- ・蓄圧器温度上昇検知時の自動停止装置

<ディスペンサー>

- ・公道との距離: 6m以上
- ・容器の最高充填圧力以下で自動遮断
- ・漏洩防止措置
- ⇒定められた圧力以下、温度範囲逸脱時充填停止
- ・過充填防止措置(⇒上記に同じ)

- ・充填後ディスペンサーを外してから発進
- ・容器を損なうおそれのある流量で充填禁止⇒昇圧率測定、定められた流量範囲逸脱時充填停止
- ・誤発進による充填ホース破損防止措置(緊急離脱カプラー)
- ・火災検知器、警報機、自動運転停止装置の設置
- ・自動運転停止、温度上昇防止装置のスイッチ設置

注)本資料中の70MPa水素スタンドの技術基準案は、保安課から検討を委託した高圧ガス保安協会に設置された70MPa水素スタンド技術基準検討委員会(委員長:小林英男 横浜国立大学客員教授)報告書で提言された技術基準案を基としており、今後の法令改正等では、異なった基準となる場合がある。