

2022年度 JPECフォーラム

水素出荷設備に係る保安統括者等 の選任の緩和に関する研究開発

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
横浜国立大学

報告内容

1. 本研究開発の位置づけ
2. 本研究開発の概要
3. 水素出荷設備の検討
4. 水素出荷作業手順の検討
5. 作業HAZOPによる検討
6. 水素出荷設備保安体制の検討
7. まとめ

1. 本研究開発の位置づけ

水素出荷設備に係る保安統括者等の選任の緩和の検討

規制改革(業界の要望)の内容

(規制改革 (業界の要望) の内容)

水素スタンドに併設する小規模な水素出荷設備に係る保安統括者等の選任を保安監督者に代替した場合における保安体制の在り方について、事業者案を基に安全性の検討を開始する

(検討の方向性 (高圧ガス保安室) 2018年6月21日コメント)

水素スタンドにおける充填は、規格で定まっている燃料電池自動車に対して、定められた方法で充填 (充填プロトコルによる) が行われることから、一般の出荷設備とは異なり、緩和した保安体制 (保安監督者のみ) を認めているところ

現在、業界主導で進めている水素スタンドに係る技術基準の見直しにおける再リスクアセスメントにおいて、水素スタンド内で使える出荷設備についても取り込んだ上での検討を行い、評価結果により得られる科学的根拠に基づき、燃料電池自動車への充填と同程度の安全性が確認出来る場合においては、見直しの検討を行う

1. 本研究開発の位置づけ

＜現状の水素スタンドに併設された水素出荷設備の例＞



水素スタンドに併設された水素出荷設備の例(水素スタンド全景)



移動式水素スタンドへの充填作業の例



水素スタンドに併設された水素出荷設備の例



水素カードルへの充填作業の例

添付写真のように、水素スタンドに併設された水素出荷設備は、水素スタンドの圧縮機・蓄圧器を活用する小規模な設備である。



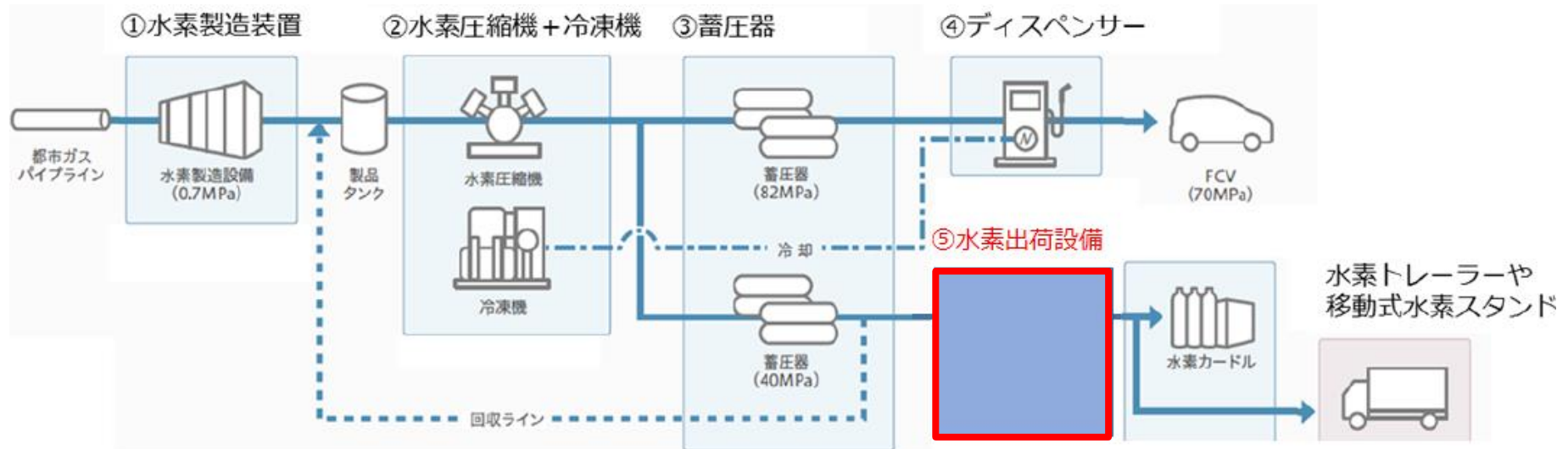
水素トレーラーの例



移動式水素スタンドの例

2. 本研究開発の概要

■ 水素出荷設備を有する水素ステーションの設備構成例



第6回水素・燃料電池自動車関連規制に関する検討会資料図を活用

■ 検討対象とする水素出荷設備

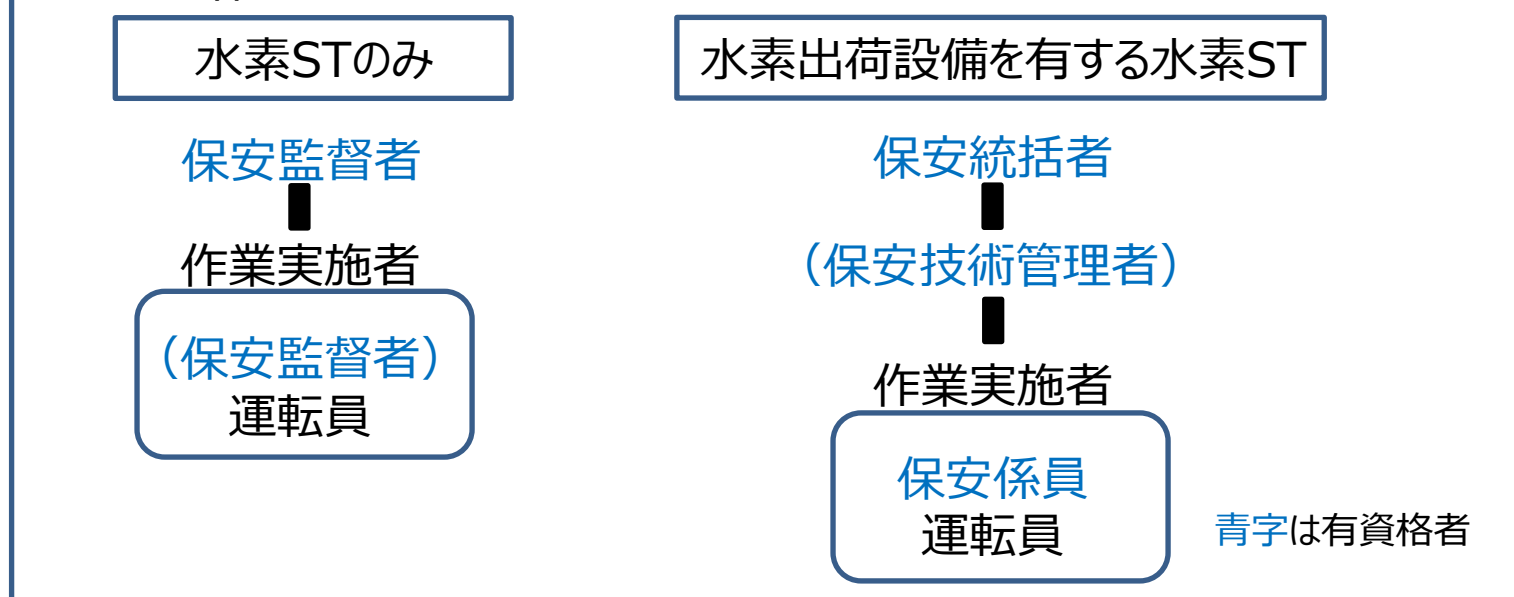
- ・水素ステーションで製造される水素をカードル、トレーラー、移動式水素ステーションに充填
- ・水素ステーションにおけるディスペンサーに相当

2. 本研究開発の概要

・現状、適用される技術基準

水素STのみ	水素出荷設備を有する水素ST
一般則第7条の3	全体：一般則第6条
	水素ステーション：一般則第7条の3 水素出荷設備：一般則第6条

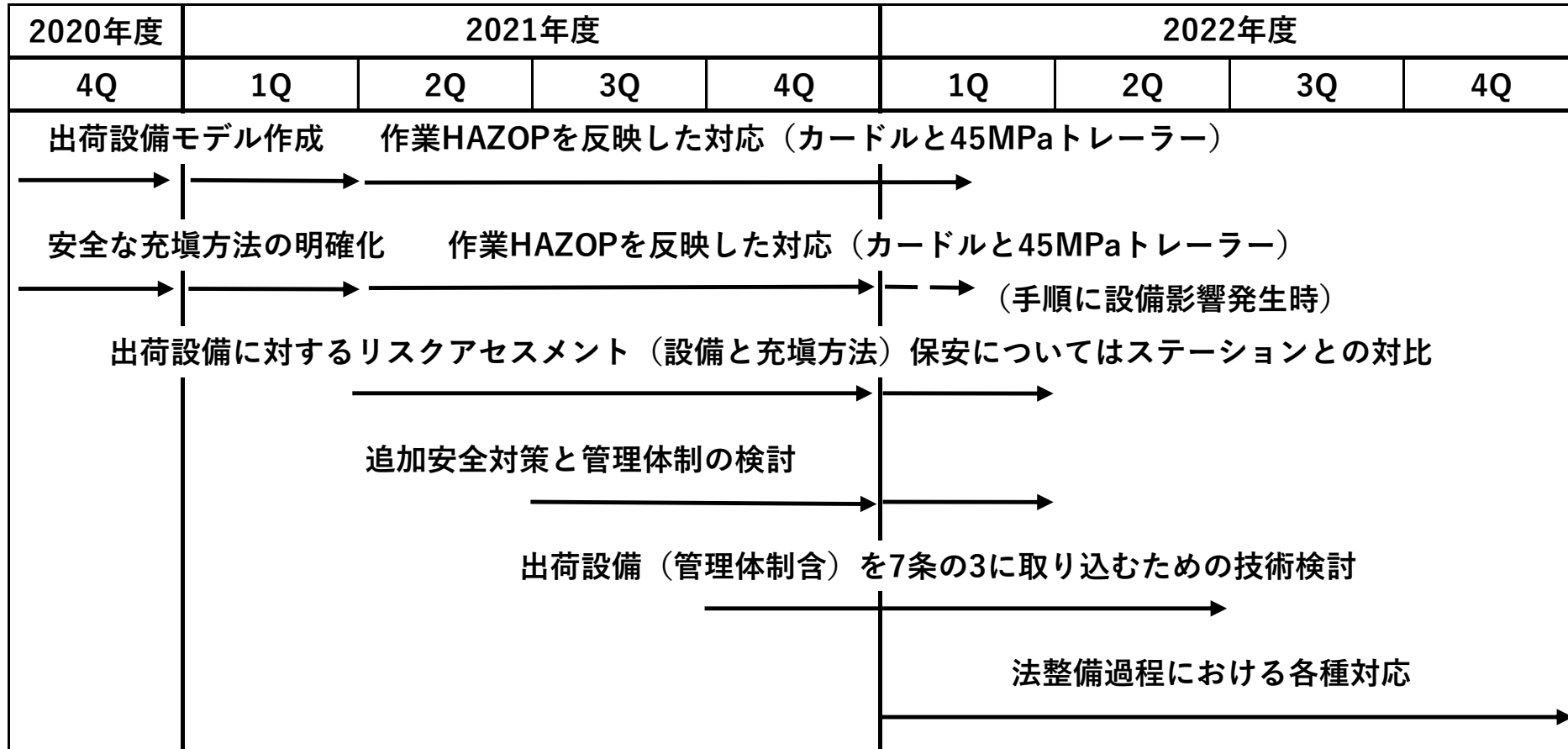
・現状の保安体制



- ・水素ステーションが有する水素出荷設備も含めたステーション全体に対し、一般則第7条の3の技術基準のもと、保安監督者1名で保安管理が可能か検討する
- ・水素出荷設備に対し、追加の安全対策が必要であれば、対応した技術基準案を作成する

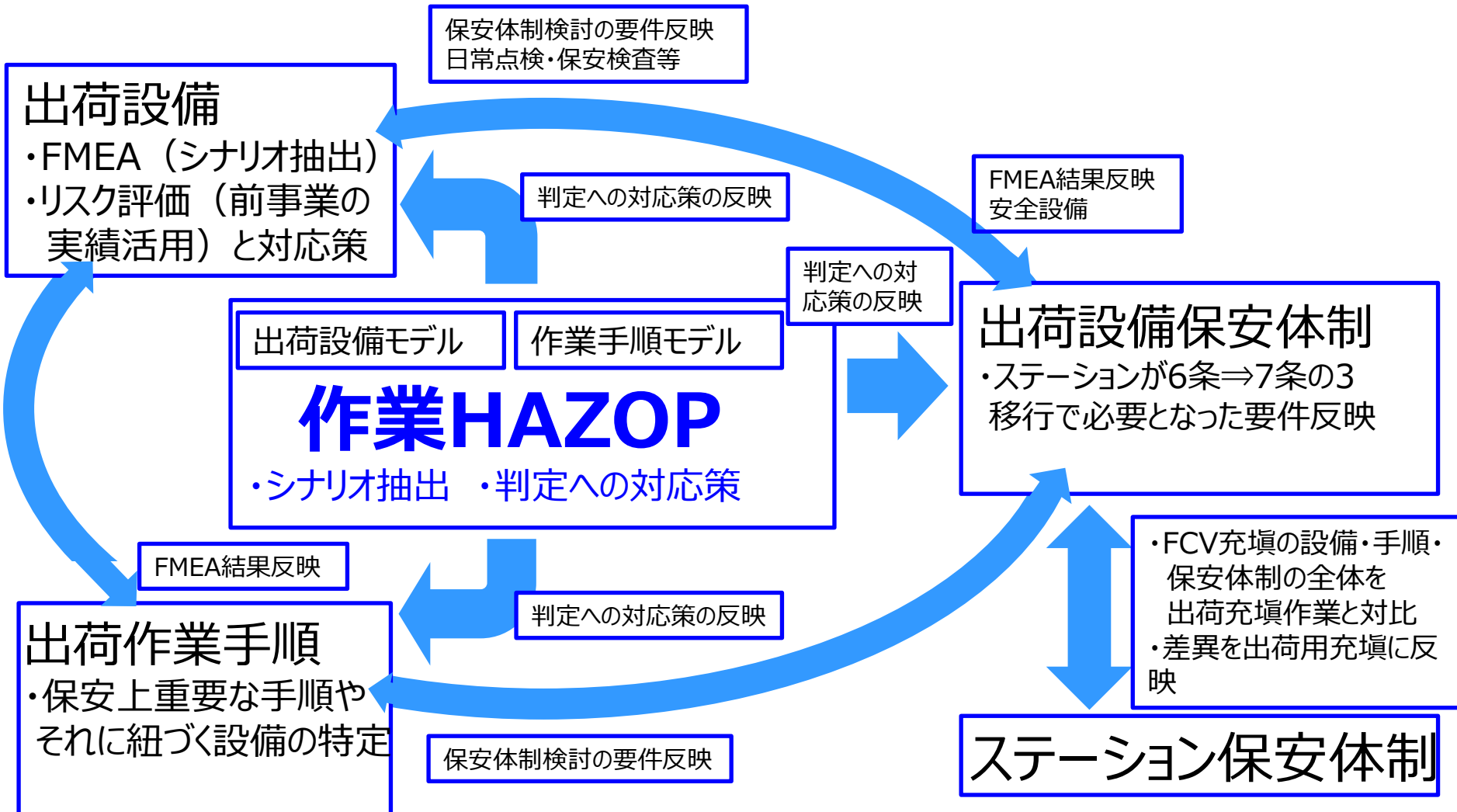
2. 本研究開発の概要

概略スケジュール（JPEC担当分）



2. 本研究開発の概要

水素出荷設備に係る保安統括者等の選任の緩和に向けた検討スキーム



2. 本研究開発の概要

出荷設備に対するリスクアセスメントでの活用手法について

安全工学上、一般的でとても広く活用されている事故シナリオ抽出手法

作業HAZOP（手順HAZOP）

スタートアップ／シャットダウン操作，加熱炉の点火操作，容器からのドレン切り作業等のように，操作手順書（あるいは操作要領書）に従って行う操作やアクションにおいて，手順書に示されている正常な操作やアクションからのずれを想定して影響分析を行うHAZOP

HAZOP： Hazard and Operability Study

ハザード操作性解析のことを指し、化学プラントを対象とするリスク評価を目的に開発された手法

故障モード影響解析（FMEA）

事前に予想されるあらゆる故障モードを列挙し，その中から周囲への影響度の高い故障モードを抽出し，事前に対策を講じようとする信頼性解析の手法

FMEA： Failure Mode Effect Analysis

3. 水素出荷設備の検討

前提条件

～ 水素STが有する水素出荷設備に関する前提条件 ～

安全装置： ・安全弁 ・ガス検（拡散式）＋遮断弁 ・流量制御と圧力上限停止を可能とする部品群
理由 高圧機器なので「安全弁」設置は、必須事項。また、発生リスクを「水素漏洩」とし、対応策として、「ガス検（拡散式）＋遮断弁」は、必要と判断した。

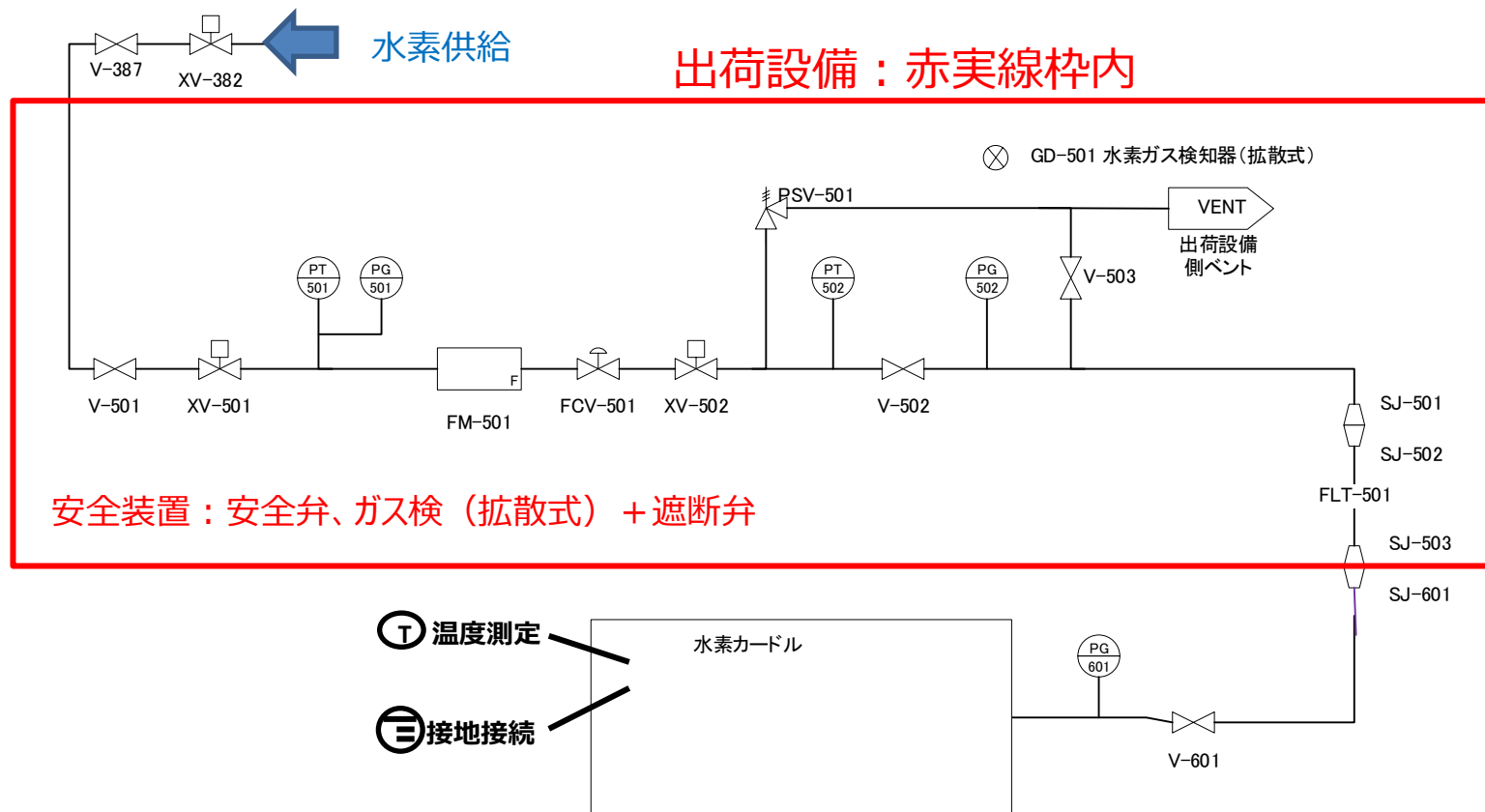
ガス置換/脱圧方式： ・手動弁での脱圧
理由 事業者により、手動脱圧、自動脱圧と両方あるが、関係する部品点数が多く、それにより作業数が多くなる手動脱圧を選択した。

接合部： ・ねじ接合継手
理由 事業者により、ねじ接合継手、カップラー、ノズル等があるが、関係する部品点数が多く、それにより作業数が多くなるねじ接合継手を選択した。

充填容器： ・水素カードル ・水素トレーラー ・移動式水素ST
理由 HySUT TFメンバーに確認した結果、「水素カードル」、「水素トレーラー」、「移動式水素ST」で出荷実績があり、上記の充填容器を選択した。

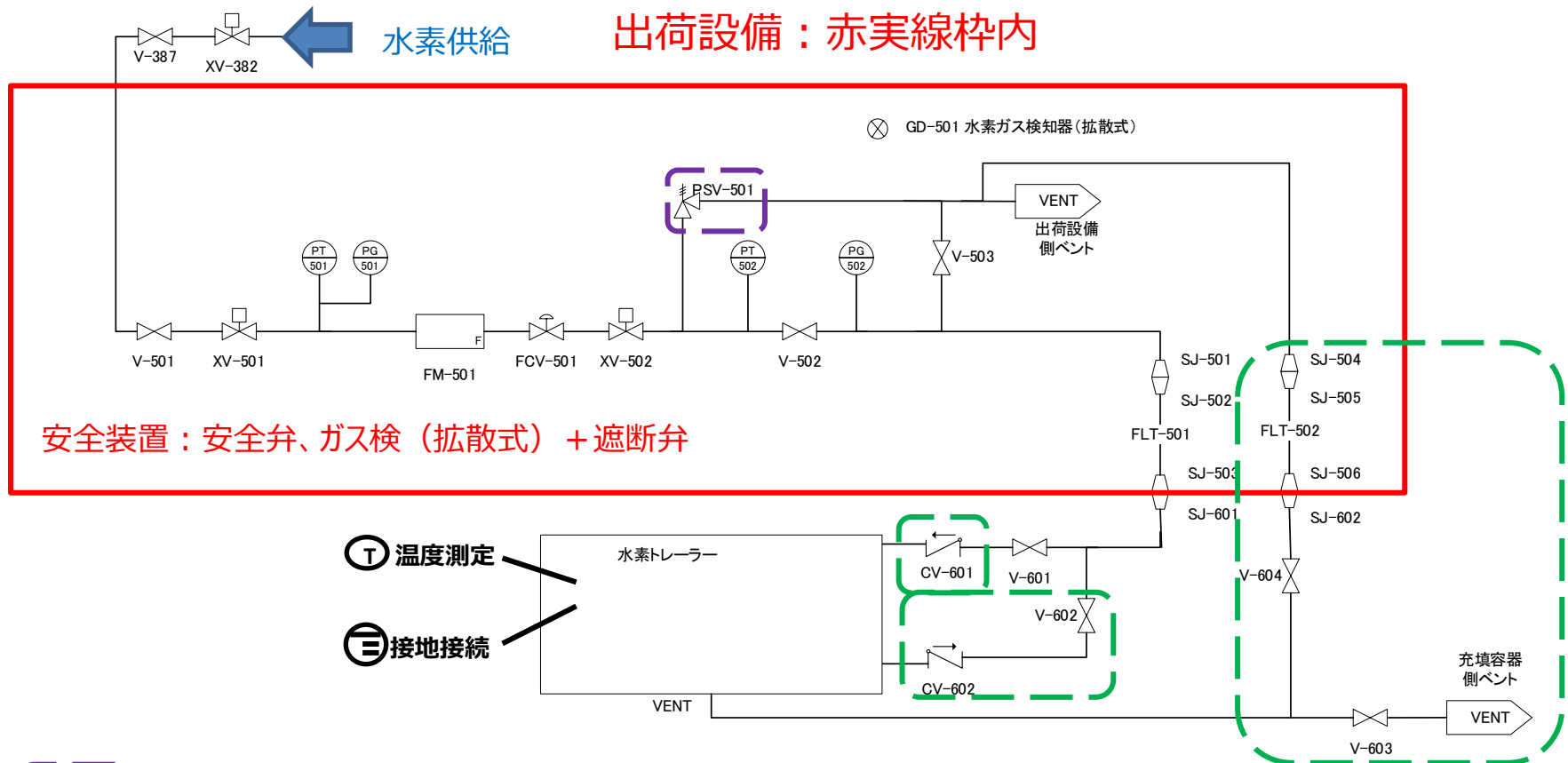
3. 水素出荷設備の検討

水素出荷設備を特出したP & ID (出荷設備 ⇒ 水素カードル)



3. 水素出荷設備の検討

水素出荷設備を特出したP & ID (出荷設備 ⇒ 45MPa水素トレーラー)



安全弁(PSV-501)
の設定圧変更が必要

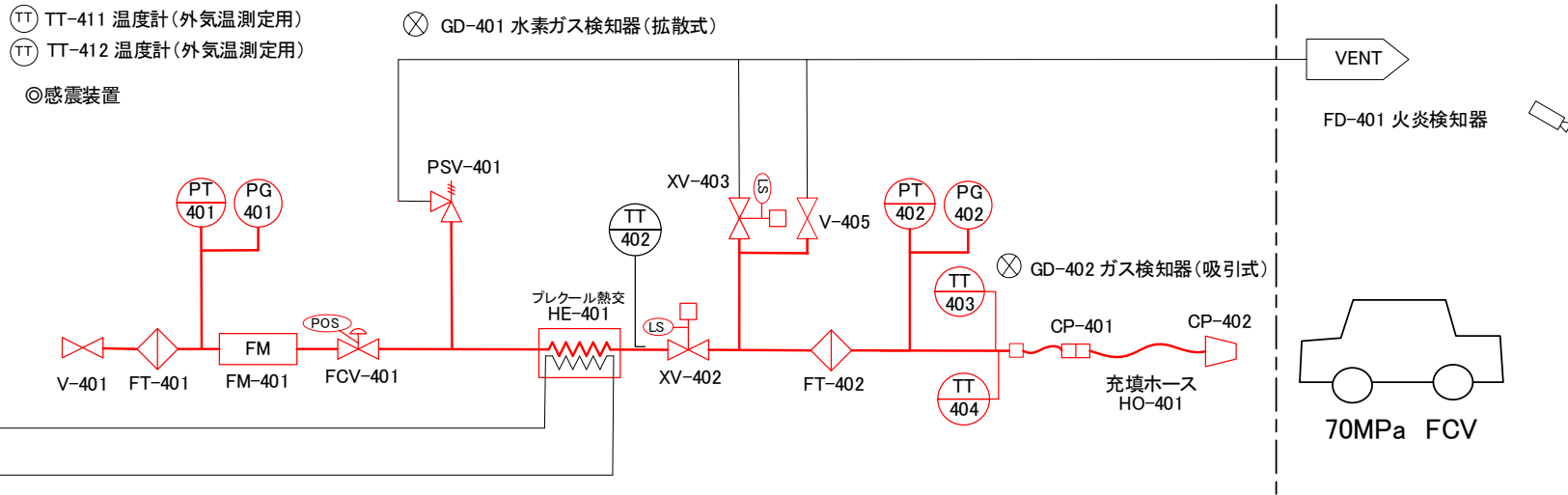
水素カードルと比べ
追加になる設備

3. 水素出荷設備の検討

水素STディスペンサーを特出したP&ID

2018年～2020年「リスクアセスメント検討会」での水素STモデルから「ディスペンサーユニット」のP&IDを抜粋

ディスペンサーユニット

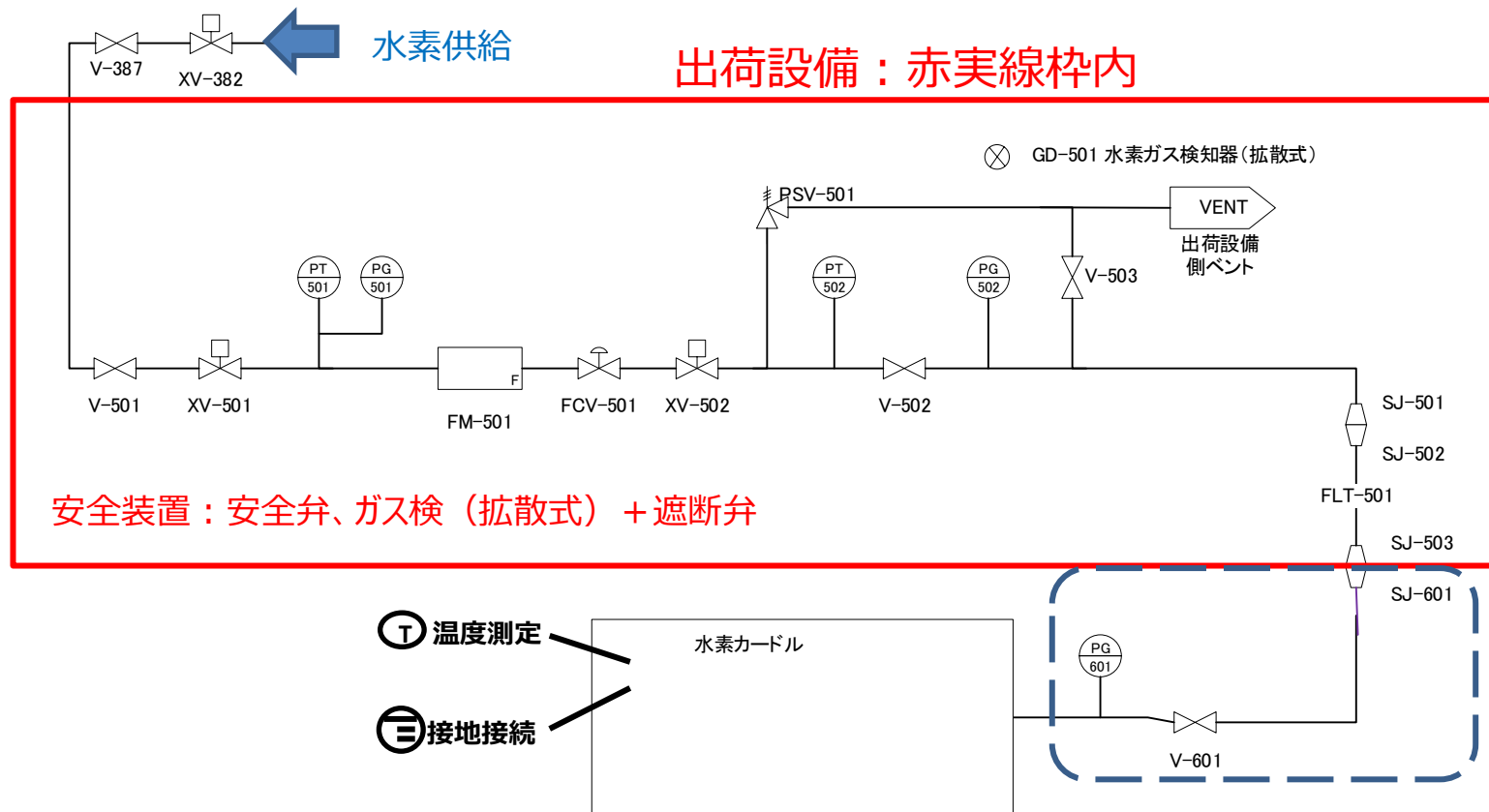


2018年～2020年「リスクアセスメント検討会」にて

上記ユニットに対して「**水素漏えい**」を対象事象として、FMEAによりシナリオ抽出

➡ リスク評価結果は、全てのシナリオでクライテリア以下になることを確認

3. 水素出荷設備の検討

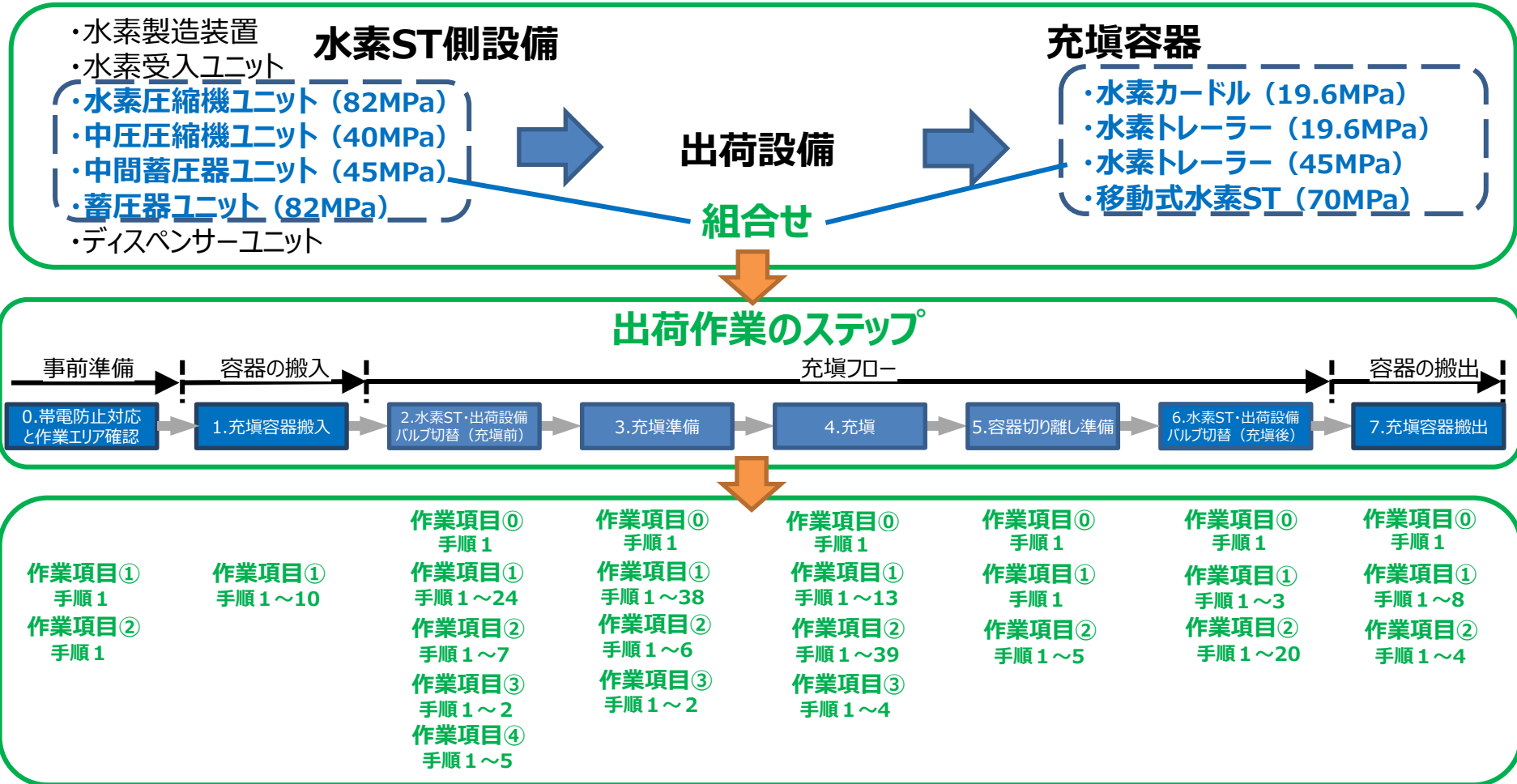


赤実線枠内の全ての機器と青破線内の「SJ-601」、「V-601」、「PG-601」がFMEAの対象
（いずれも水素圧が張られるため、水素漏洩を起こす可能性を有している、
しかし、水素ディスペンサーに比べ、圧力・流量とも低い条件となっている）

前NEDO事業（2018年～2020年「リスクアセスメント検討会」）
でのFMEAとの対比を基に検討中

4. 水素出荷作業手順の検討

「検討する組合せ」から「出荷作業のステップ」、「作業項目」、「手順」への流れ



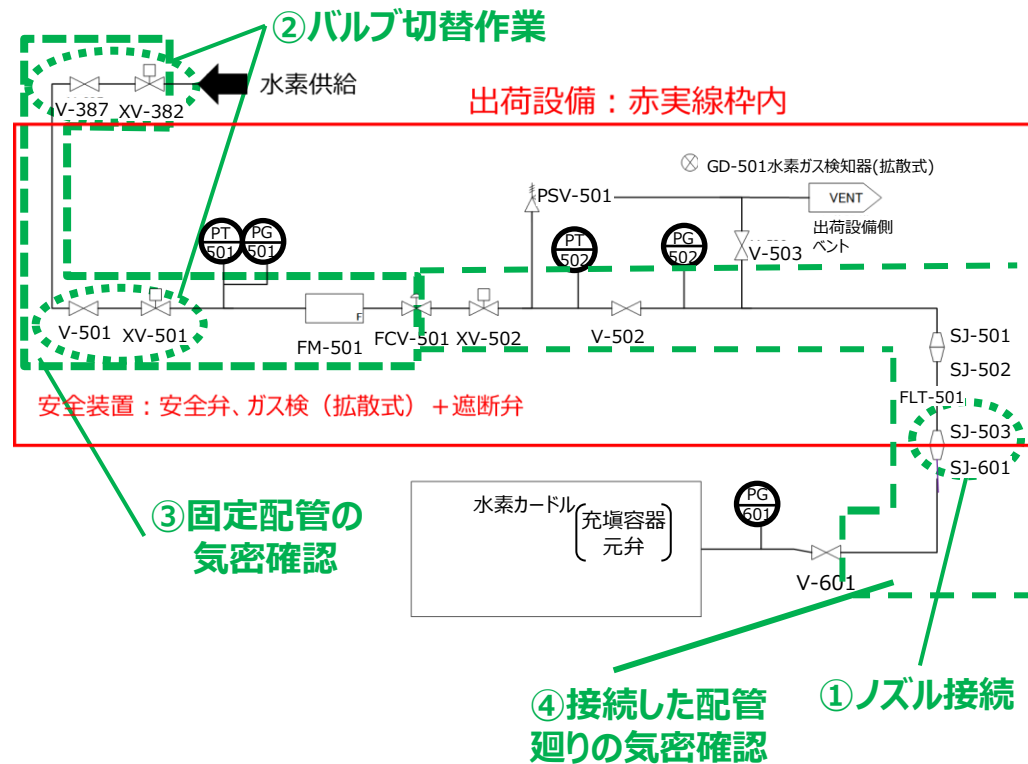
4. 水素出荷作業手順の検討

2.水素スタンド・出荷設備バルブ切替（充填前）（カードル）



作業項目	概要	特記
①ノズル接続	充填容器の常用圧と出荷設備の充填圧力設定が適合することを確認する。その後、充填容器と出荷設備間のねじ接続継手を接続する。	
②バルブ切替作業	水素STと出荷設備間の充填ラインを仕切る手動弁と自動弁を開ける	
③固定配管の気密確認	②で開放された水素ST～出荷設備間の充填ラインが保圧されることを確認する	
④接続した配管周りの気密確認	①で接続したねじ接続継手の接合部が保圧されることを確認する	ガス検知器（携帯式）を使用

手順総数: 27



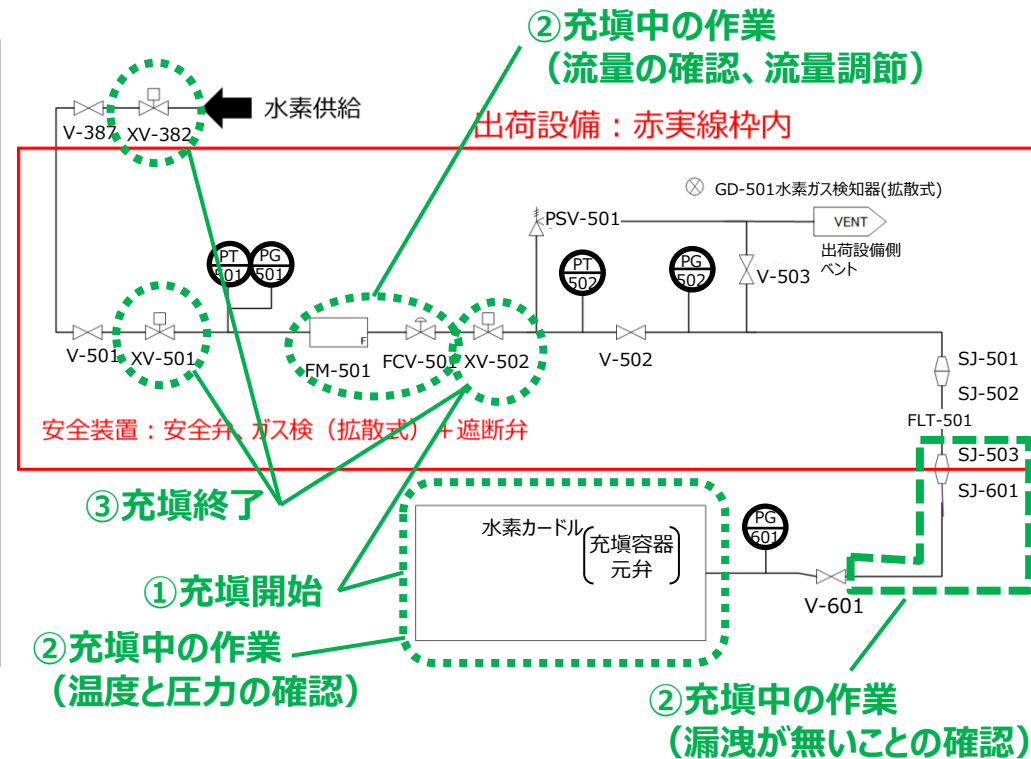
4. 水素出荷作業手順の検討

4. 充填（カードル）



作業項目	概要	特記
① 充填開始	充填作業開始前の来店状況の確認し、出荷用充填可の場合、操作盤上でボタンを押して、自動弁（XV-502）を開く	出荷用充填開始前に、蓄圧器、中間蓄圧器、中圧圧縮機からの充填の可否を来店状況によりケース分け
② 充填中の作業	温度と圧力の確認 漏洩が無いことの確認 水素流量の確認、流量調節	来店状況と蓄圧器の復圧状況により出荷用充填を中断する
③ 充填終了	充填圧力が目標値に到達した後に、自動弁（XV-502）が自動で閉じる 操作盤上でボタンを押して、自動弁（XV-501）と自動弁（XV-382）を閉じる	充填終了前の所定の圧力に到達時に、充填容器温度が40℃以下であることを確認

手順総数：59



5. 作業HAZOPによる検討

■作業HAZOP(Hazard and Operability Study)の実施

作業HAZOP: 正常な作業手順からのずれを想定して事故シナリオを抽出

⇒ 得られた事故シナリオへの対応策の検討

< (イメージ) 充填容器搬入 > 前提: 安全対策がない状態

作業工程	作業手順	ガイドワード	偏差	原因	影響進展	判定	対策	
カードル入場	⑥カードルを載せたステージを充填位置に移動する	忘れ	移動せず	移動せず	充填ができない→出荷できない	注意		
		不十分	移動不十分	充填位置まで移動せず	ロックできず→ステージが移動→ステージ損傷	注意		
					ロックできず→ステージが移動→従業者にぶつかって怪我	事故（怪我）	教育、マニュアルなど	
		過大	過大な力	移動時に過大な力を加える	ステージが移動→充填位置を越える→ステージ損傷	注意		
					ステージが移動→充填位置を越える→カードルが転倒・損傷	事故（機器損傷）	カードルの固定など	
					ステージが移動→充填位置を越える→カードルが転倒→出荷設備損傷	事故（機器損傷）	カードルの固定など	
		各作業手順に対し、11種のガイドワードを対応させ、偏差、原因、影響進展（シナリオ）を検討（約3400のシナリオ）。判定結果に対する対策を抽出。						

5. 作業HAZOPによる検討

作業HAZOPの前提・特記

- 1) 作業・操作内容に対して偏差を与えて、その後、与えた偏差のまま作業継続した場合に、影響がどのように進展するかを想定
- 2) 複数の事象が生じる可能性がある場合は、ケース分けを実施
- 3) 手動バルブは、開閉作業・確認と開閉札作業・確認を分けて検討
- 4) 制御室と現場との間の移動時に生じる可能性がある転倒等の怪我、工具使用時の作業時に生じる可能性がある手を挟む等の怪我も考慮
- 5) ガイドワード（11種）
「作業忘れ」「操作忘れ」「確認忘れ」「不十分」「過大」「過小」「誤認識」「逆行」「誤選択」
「作業環境」（移動時の怪我、工具使用時の怪我 等） 「その他」
- 6) 判定（9種）
「事故（着火）」「事故（漏洩）」「事故（安全弁作動）」「事故（品質トラブル）」
「事故（機器損傷）」「事故（粗暴な対応）」「事故（怪我）」「法令違反」「注意」
- 7) 判定に対し、対策を検討、P&IDや手順に反映させ、再度、作業HAZOPを実施

5. 作業HAZOPによる検討

作業HAZOPの判定に対する対応

高圧ガス保安法に係る判定

- ・事故(着火)
- ・事故(漏洩)
- ・事故(安全弁作動)
- ・事故(機器損傷)
- ・事故(粗暴な対応)

・法令違反

・注意

労安法に係る判定

- ・事故(怪我) ①影響進展からの怪我
②作業環境での怪我

その他の判定

- ・事故(品質トラブル)

シナリオ総数

最終判定

事故判定(除 注意)

3,459件

1,154件

778件

作業HAZOPシートを基に
対応策(案)を検討

対応策:

保安教育

事業者側での設備改善(段差対応、表示等)

5. 作業HAZOPによる検討

リスクが残るシナリオへの対応策の検討について

ガイドワード(11種)

「作業忘れ」「操作忘れ」「確認忘れ」「不十分」「過大」「過小」「誤認識」「逆行」
「誤選択」「作業環境」(移動時の怪我、工具使用時の怪我 等) 「その他」

判定での分類(9種)

事故(着火) 事故(漏洩) 事故(安全弁作動) 事故(機器損傷) 法令違反
事故(粗暴な対応) 事故(怪我R) 事故(品質トラブル) 注意

関係法令等での分類

K : 高圧ガス保安法に係る R : 労安法に係る Q : 品質に係る

対応策の区分1	: 人間の行為が関わる対応策 自動化・機械・設備 等の対応策	S : ソフト H : ハード
対応策の区分2	: 事故などの異常事態を未然に防ぐ対応策 事故などの異常事態の影響を抑える対応策	P : プリベンション M : ミティゲーション

ソフトのみでハードでの対応策を見いだせないシナリオ



リスクが残るシナリオとして抽出

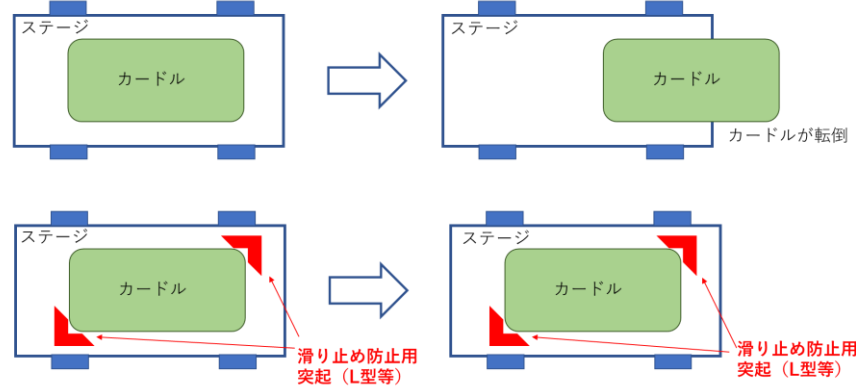
なお、H (ハード) 対策の中でM (ミティゲーション) の対策では
リスクをゼロにできない可能性があるので、影響を評価しないといけない

H (ハード) 対応策がゼロのシナリオを抽出し追加対応策を検討

H (ハード) 対応策がゼロのシナリオ : 以降「H0シナリオ」と記載

5. 作業HAZOPによる検討

イメージ図

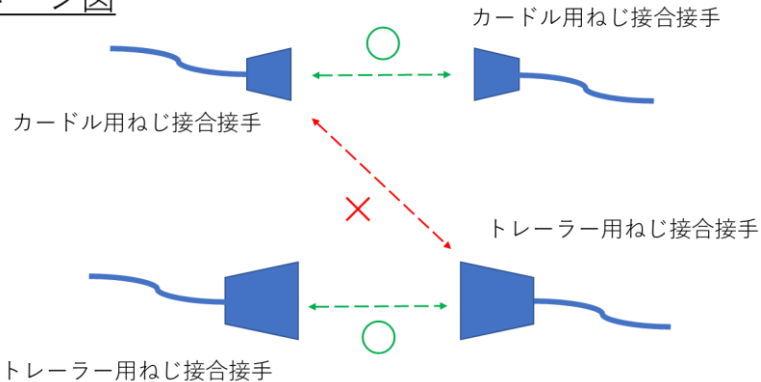


ハード対応策の例 1

「ステージ上にカード滑り止め防止用突起(L型等)を設置」

滑り止め防止用突起(L型等)によって、衝撃等が生じた際にカードが滑って動くことを防止

イメージ図



ハード対応策の例 2

「充填容器の種類に応じた異径のねじ接合接手を用いる」

充填容器によって、ねじ接合接手の径を変えることにより、誤接続を防止

充填容器元弁が開放



充填容器元弁が閉止



HySUT 出荷用設備での撮影画像

ハード対応策の例 3

「全ての充填容器元弁のハンドル部にマーキングし開閉を判別」

白線マークが配管と並行の場合は、「充填容器元弁が開放」、
白線マークが配管と垂直の場合は、「充填容器元弁が閉止」

5. 作業HAZOPによる検討

H0 シナリオへの追加対応策について（JPEC案＝事業者と協議中）

追加対応策

①ねじ接合継手をノズル/レセプタクルに変更

 ねじ接合継手の接続・切離しに係わるヒューマンファクターを排除

②自動脱圧・自動ガス置換の自動シーケンスの導入

 出荷設備側の手動弁の開閉作業に係わるヒューマンファクターを排除

③充填容器が所定温度以上にならないような制御

 充填容器を所定温度以上で切り離すヒューマンファクターを排除

④ソフト（マニュアル、チェックリスト）の強化

 手動弁V-601や工具による怪我に係わるヒューマンファクターを軽減可能

⑤水素ST事業者と輸送業者の2社によるW-チェック

 荷入れ・荷送りでの確認作業に係わるヒューマンファクターを軽減可能

5. 作業HAZOPによる検討

追加対応策（JPEC案）によるH0シナリオへの効果（カードル編）

	S0H1～ S5H1までの 総数	H（ハード）対応策ゼロのH0シナリオ					追加対応策					追加対 応策で なくな らない シナリ オ数
		ステップごとに抽出したH0シナリオ	H0シナリオ数	K：高压ガス保安法に係る（法令違反も含）	R：労安法に係る	Q：品質に係る	追加対応策 ①：※ねじ 接合継手を ノズル/ レセプタクル に変更	追加対応策 ②：△自動 脱圧・自動 ガス置換に 変更	追加対応策 ③：☆☆充 填容器が所 定温度以上 にならない ように制御	追加対応策 ④：◇ソフ ト（マニユ アル、チェ ックリスト） の強化	追加対応策 ⑤：☆☆水 素ST事業者 と輸送業者 の2社で協 力対応	
0.帯電防止対応・作業エリア確認 事故（着火） 事故（怪我）	5	0.帯電防止対応・作業エリア確認	0	0	0	0	-	-	-	-	-	0
1.充填容器搬入 事故（着火） 事故（怪我） 事故（機器損傷） 事故（粗暴な扱い） 法令違反 事故（漏洩）	93	1.充填容器搬入 事故（怪我） 事故（機器損傷） 事故（粗暴な扱い） 法令違反	29	22	7	0	-	-	容器温度40℃以上	ステージ移動時の怪我	受け入れ時カードル落下	0
2.水素ST・出荷設備バルブ切替（充填前） 事故（安全弁作動） 事故（怪我） 事故（機器損傷） 事故（品質トラブル） 事故（粗暴な扱い） 事故（漏洩）	194	2.水素ST・出荷設備バルブ切替（充填前） 事故（怪我） 事故（機器損傷） 事故（品質トラブル）	57	3	4	50	ネジ接合接手 つなぎ込み	脱圧バルブ開 閉、手動バル ブ開閉	-	工具による怪 我、V-601バ ルブ、ネジ接 合接手	-	0
3.充填準備 法令違反 事故（安全弁作動） 事故（怪我） 事故（品質トラブル） 事故（漏洩）	285	3.充填準備 事故（品質トラブル）	222	0	0	222	-	水素残圧を利用する脱圧・置換子パイプのPG確認	-	-	-	0
4.充填 事故（安全弁作動） 事故（怪我） 事故（漏洩）	21	4.充填	0	0	0	0	-	-	-	-	-	0
5.容器切離し準備 事故（怪我） 事故（品質トラブル） 事故（漏洩）	19	5.容器切離し準備 事故（品質トラブル）	7	0	0	7	-	脱圧時のV-502、V503の誤操作開閉	-	脱圧時V-601バルブの開閉	-	0
6.水素ST・出荷設備バルブ切替（充填後） 事故（怪我） 事故（機器損傷） 事故（漏洩） 法令違反	51	6.水素ST・出荷設備バルブ切替（充填後） 事故（怪我） 事故（機器損傷） 法令違反	33	30	3	0	ネジ接合接手 切り離し	-	容器温度40℃以上	工具による怪 我、ネジキャ ップ、金属プ ラグのはめ込 み	-	0
7.充填容器搬出 事故（怪我） 事故（機器損傷） 事故（漏洩） 法令違反 事故（粗暴な対応）	110	7.充填容器搬出 事故（怪我） 事故（機器損傷） 事故（漏洩） 法令違反	41	32	9	0	-	-	-	出場準備、荷 総点検、日常 点検、運航前 点検	出荷時カード ル落下	0
S x H y などの総数	778		389	87	23	279						0

6. 水素出荷設備保安管理体制の検討

○水素出荷設備、水素出荷作業の検討

抽出した安全対策の効果と追加の必要性の検討



安全な出荷設備・安全な出荷作業手順

○水素出荷設備保安管理体制の検討

上記の安全な出荷設備を有する水素STにおける保安管理体制の検討

■ 上記の検討で追加の安全対策は、7条の3 水素STとして必要十分か

- ・水素STが6条から7条の3で対応可能になった要件を、水素出荷設備の現状と対比
- ・上記要件の中で、水素出荷設備に係る要件を抽出
⇒ 追加の安全対策、技術基準（案）の検討

■ 出荷設備を有する水素STを保安監督者 1 名で保安管理するために追加の対策が必要か

- ・水素STでのFCV充填と水素出荷設備での容器充填の一連の流れの対比
（平常時、緊急時の作業内容と有資格者の職務の比較）
- ・上記一連の流れの中で、水素出荷設備特有の作業項目を抽出
⇒ 追加の安全対策、技術基準（案）の検討



水素出荷設備を有する水素STの保安を保安監督者 1 名で管理できる保安管理体制

○技術基準の見直し

7. まとめ

- ・作業HAZOPの結果を踏まえて、水素出荷設備モデルのP&IDを検討
- ・作業HAZOPの結果を踏まえて、作業手順を事前準備を新たに加えた全8段階のステップに分け、充填に関する5段階の作業手順モデルを検討
- ・作業HAZOPの結果を踏まえて、判定に対するハード対応策、ソフト対応策を検討（ハード対応策がゼロのシナリオを抽出し、追加対応策を検討中）

今後、充填の一連の流れ以外の平常時の業務の棚卸しと対比、水素STと水素出荷設備の組合せの場合の保安体制の検討、これらから、水素出荷設備を有する水素STを保安監督者1名で管理可能とする要件(案)を提示するとともに技術基準(見直し案)を策定する

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