

2023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

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—

報告内容（目次）

1. 本研究開発の位置づけ
2. 本研究開発の概要
3. 作業HAZOPによる安全対策検討について
4. FMEAによる安全性確認について
5. 従業者の業務について
6. 緊急時の保安管理体制について
7. まとめ

1. 本研究開発の位置づけ

＜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



水素トレーラーの例

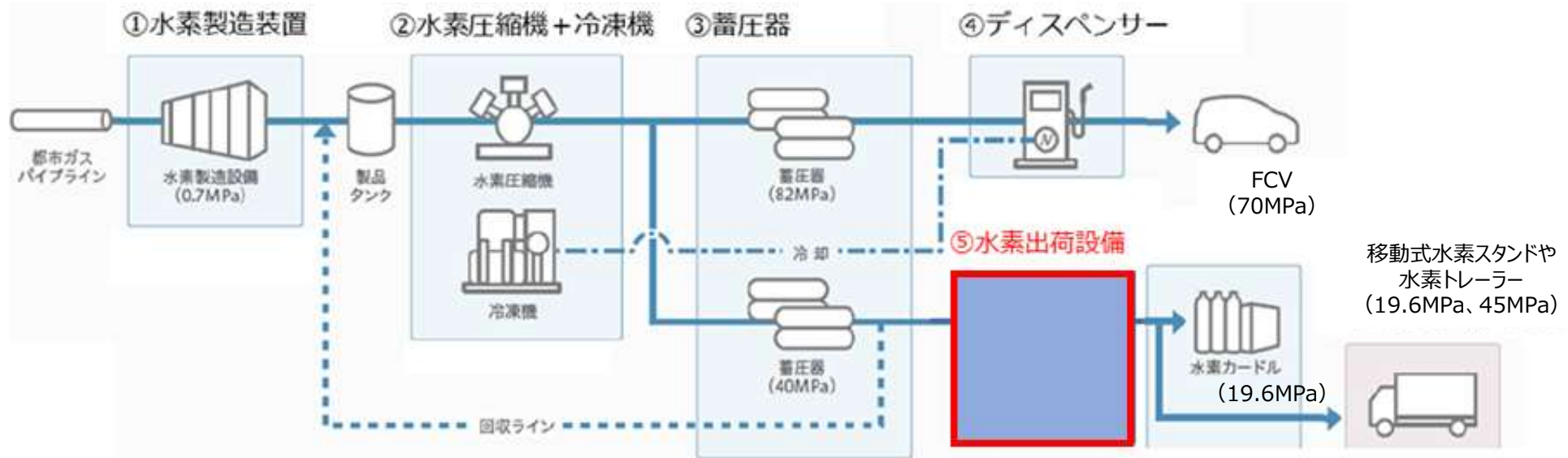


移動式水素スタンドの例

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。

1. 本研究開発の位置づけ

■ フロー図例



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

■ 水素出荷設備の概要

- 水素STで製造される水素を、他の水素STの水素充填用に水素カードル、水素トレーラー、移動式水素スタンドに充填する
- FCVへ充填するディスペンサーより単純な仕様
(FCV充填と比較してより低圧、より低流速、プレクーラーなし)

1. 本研究開発の位置づけ

➤ 規制改革（業界の要望）の内容

水素ST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管理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）

水素ST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、緩和した保安管理体制（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ST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ST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。

2. 本研究開発の概要

➤ NEDO事業における検討の方向性

業界要望の主旨は、出荷設備に求められている一般則第6条における保安統括者等複数の有資格者から成る保安管理体制の緩和というより、FCVに水素を充填する水素STの**保安監督者1名（有資格者）の保安管理体制**を求めるもの。

保安室の見解に記されている『業界主導で進めている水素ST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』も、一般則第7条の3第2項の水素STを対象としたものであることから、出荷設備を有する水素STが、一般則第7条の3で成立する要件を検討することがこの検討の方向性である。

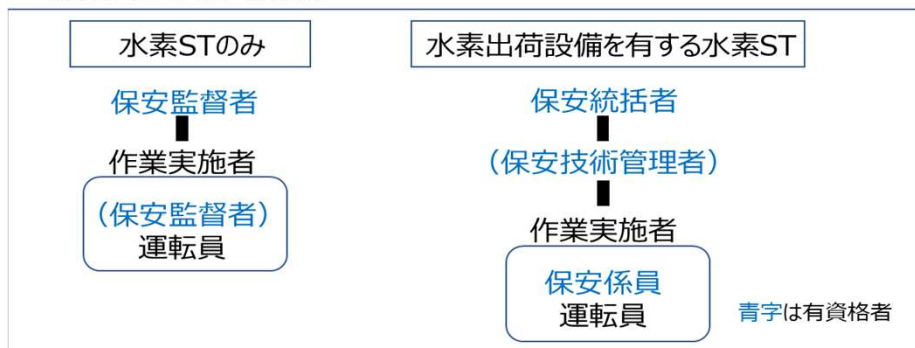
・適用される技術基準（従来）

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	ケース1 全体：一般則第6条
	ケース2 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

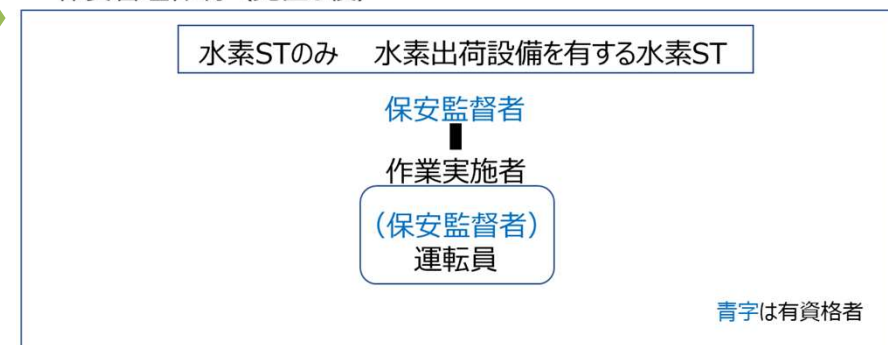
・適用される技術基準（見直し後）

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	ケース1 全体：一般則第7条の3
	ケース2 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7条の3

・保安管理体制（従来）

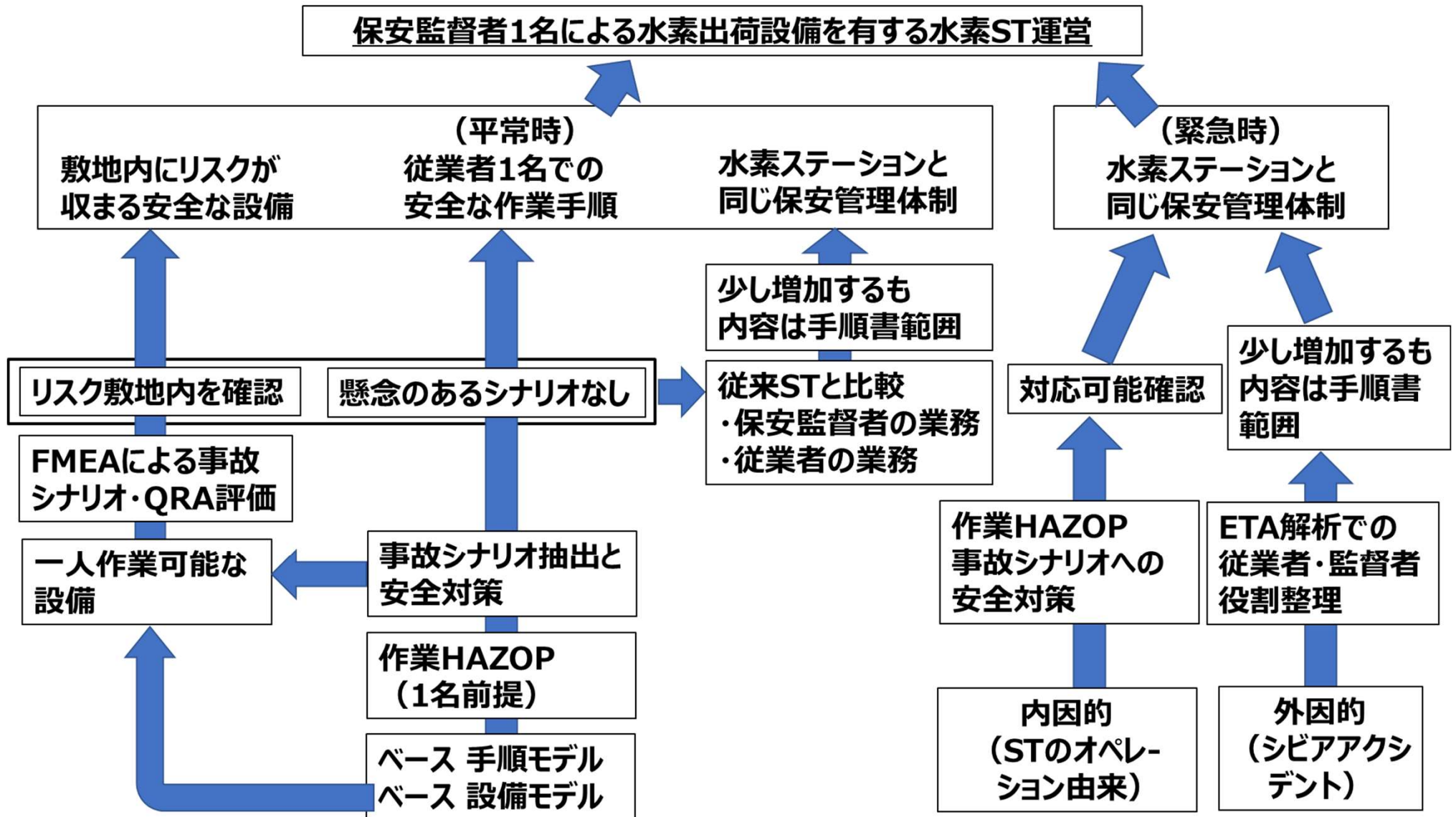


・保安管理体制（見直し後）



2. 本研究開発の概要

技術的検討の全体像



2. 本研究開発の概要

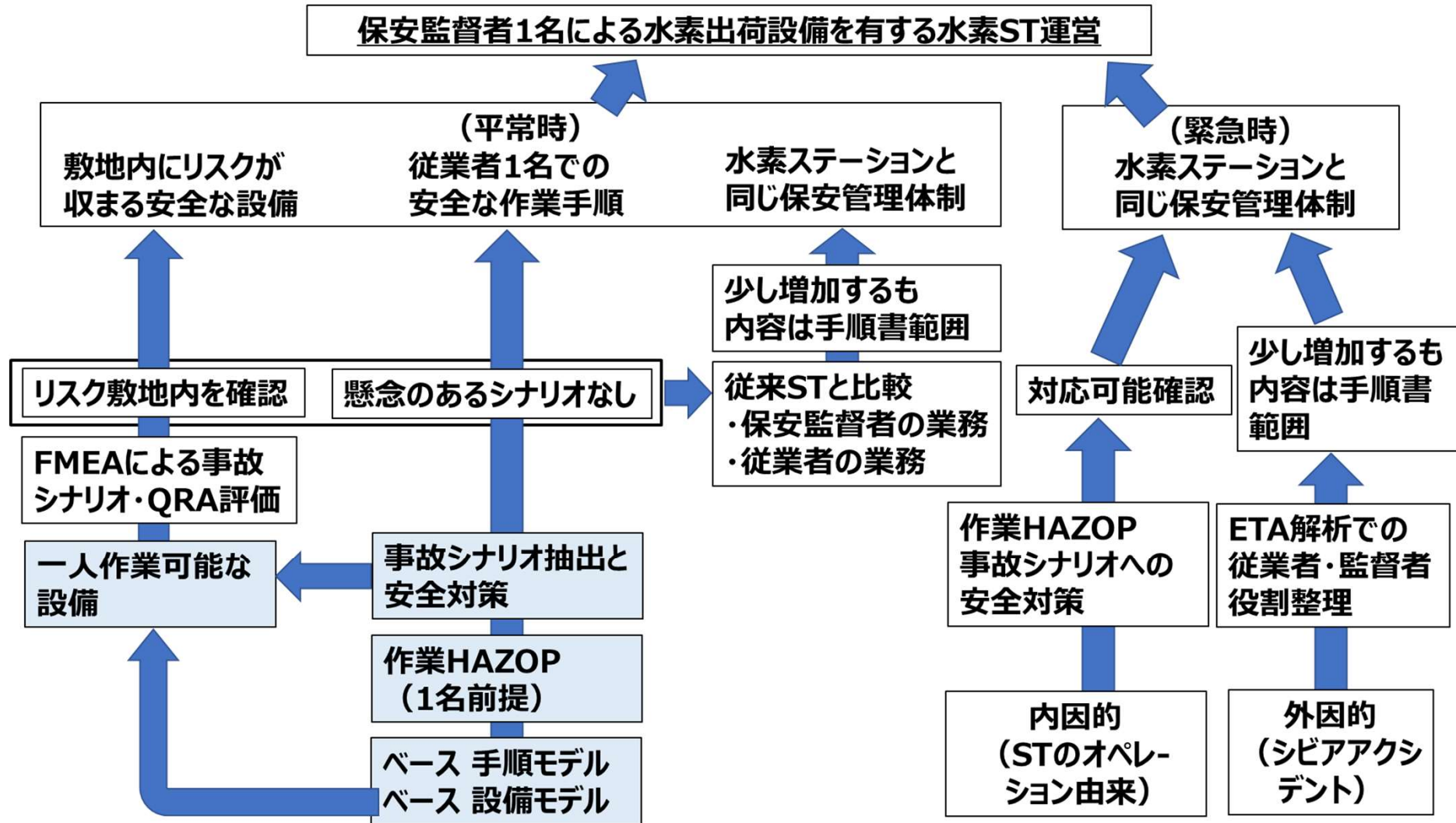
検討スケジュール

2020年度	2021年度				2022年度			
4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
出荷設備モデル作成	作業HAZOPを反映した対応（カードルと45MPaトレーラー）							
安全な充填方法の明確化	作業HAZOPを反映した対応（カードルと45MPaトレーラー）							
出荷設備に対するリスクアセスメント（設備と充填方法）					保安についてはステーションとの対比			
追加安全対策と管理体制の検討								
出荷設備（管理体制含）を7条の3に取り込むための技術検討								
					法整備過程における各種対応			

3. 作業HAZOPによる安全対策検討について

技術的検討の全体像

再掲載



3. 作業HAZOPによる安全対策検討について

水素出荷設備モデルの作成

- 水素出荷設備と出荷用容器を組合せた状態のP&IDを作成

＜現状の水素スタンドに併設された水素出荷設備の例＞

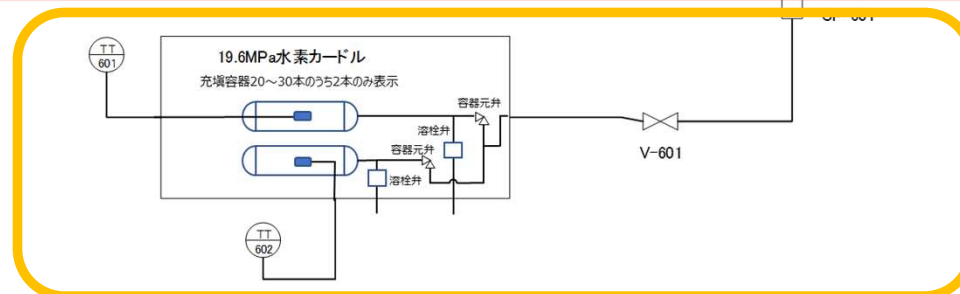
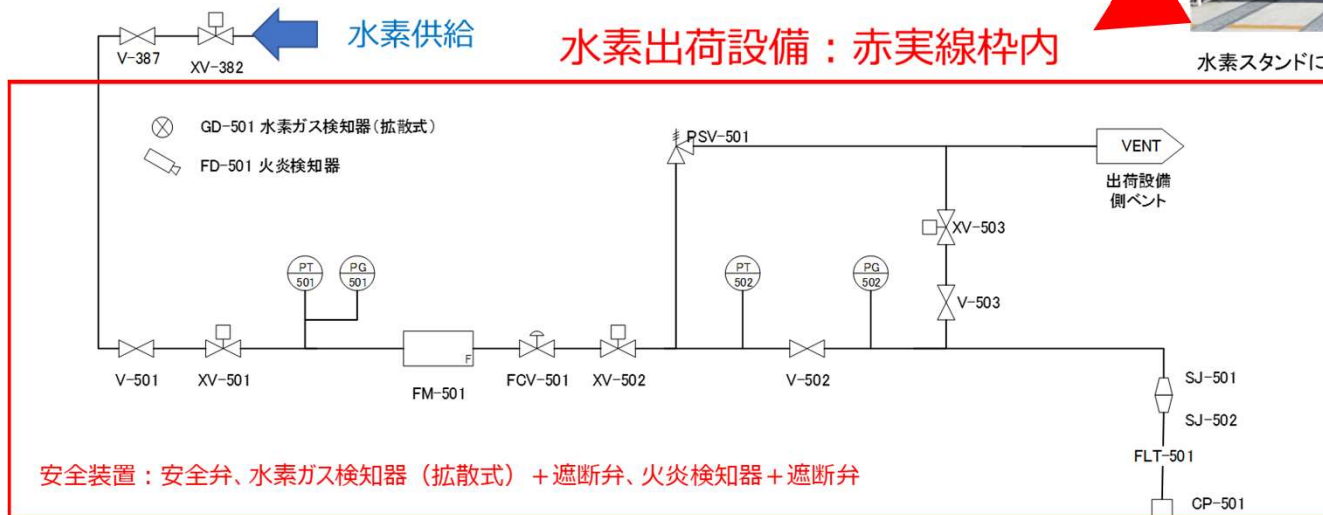


水素スタンドに併設された水素出荷設備の例(水素スタンド全景)



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

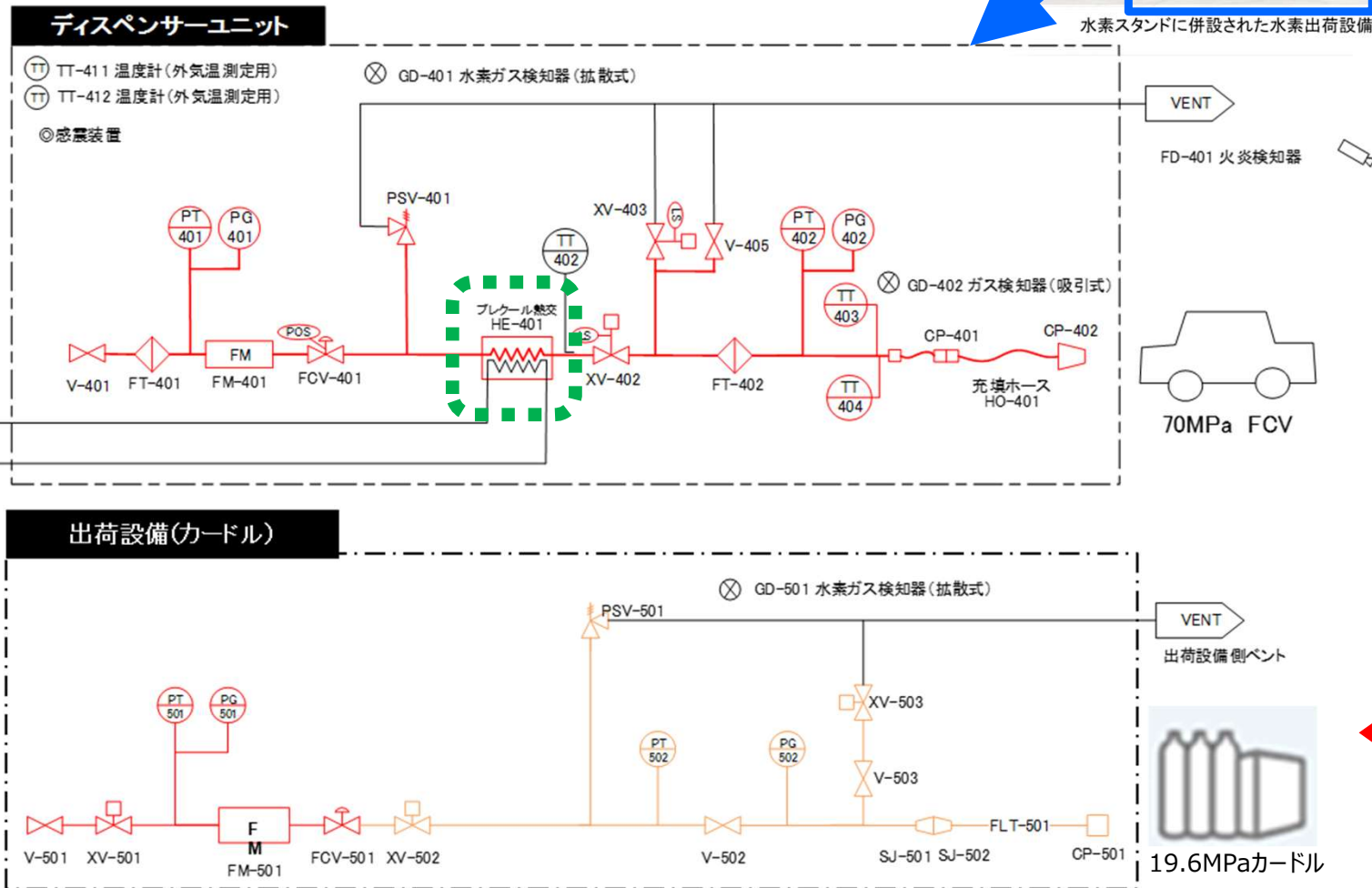


3. 作業HAZOPによる安全対策検討について

水素出荷設備モデルの作成

➤ FCVディスペンサーと水素出荷設備の比較

＜現状の水素スタンドに併設された水素出荷設備の例＞

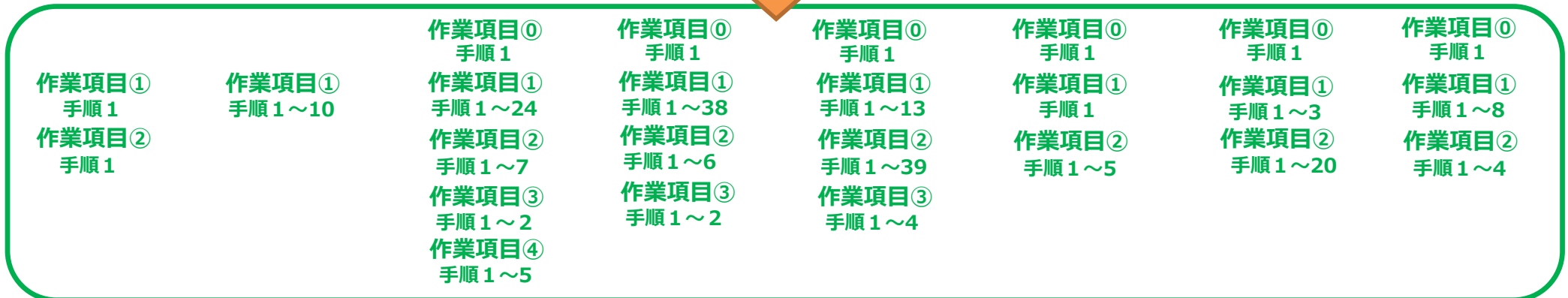
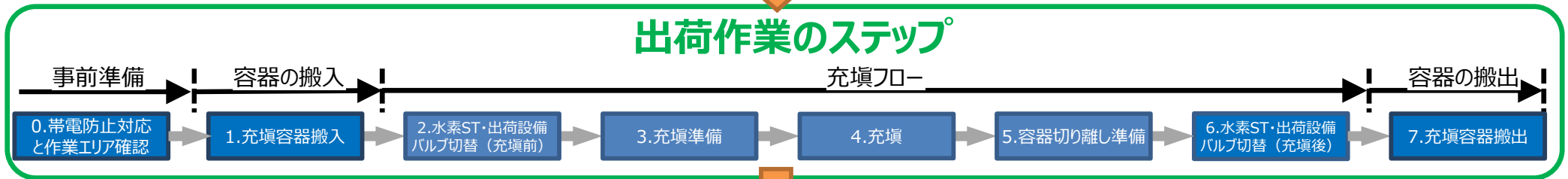
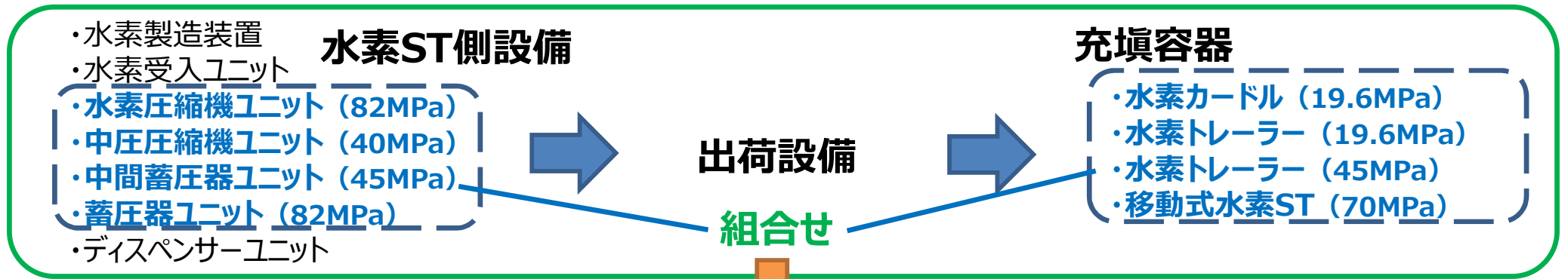


水素出荷設備はFCV用ディスペンサーと比較してシンプルな構成(より低圧、より低流速、プレクーラーなし)

3. 作業HAZOPによる安全対策検討について

作業手順作成の流れ（例：カードル）

■ 検討対象となる設備の組合せ ⇒ 作業ステップ作成 ⇒ 作業項目作成



3. 作業HAZOPによる安全対策検討について

作業HAZOPによる安全な作業手順の検討

ベースとなる作業手順モデルにおける懸念のあるシナリオを抽出し
対応する安全対策を検討する

作業HAZOP（Hazard and Operability Study）の実施

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策の検討

<（イメージ）充填容器搬入>

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	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、マニュアル等
		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）	カードルの固定等
					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）	カードルの固定等

シナリオ ← | → 影響進展 → 事故判定 判定への対策

各作業手順に対し、ガイドワードを対応させ、偏差、原因、影響進展（シナリオ）を抽出



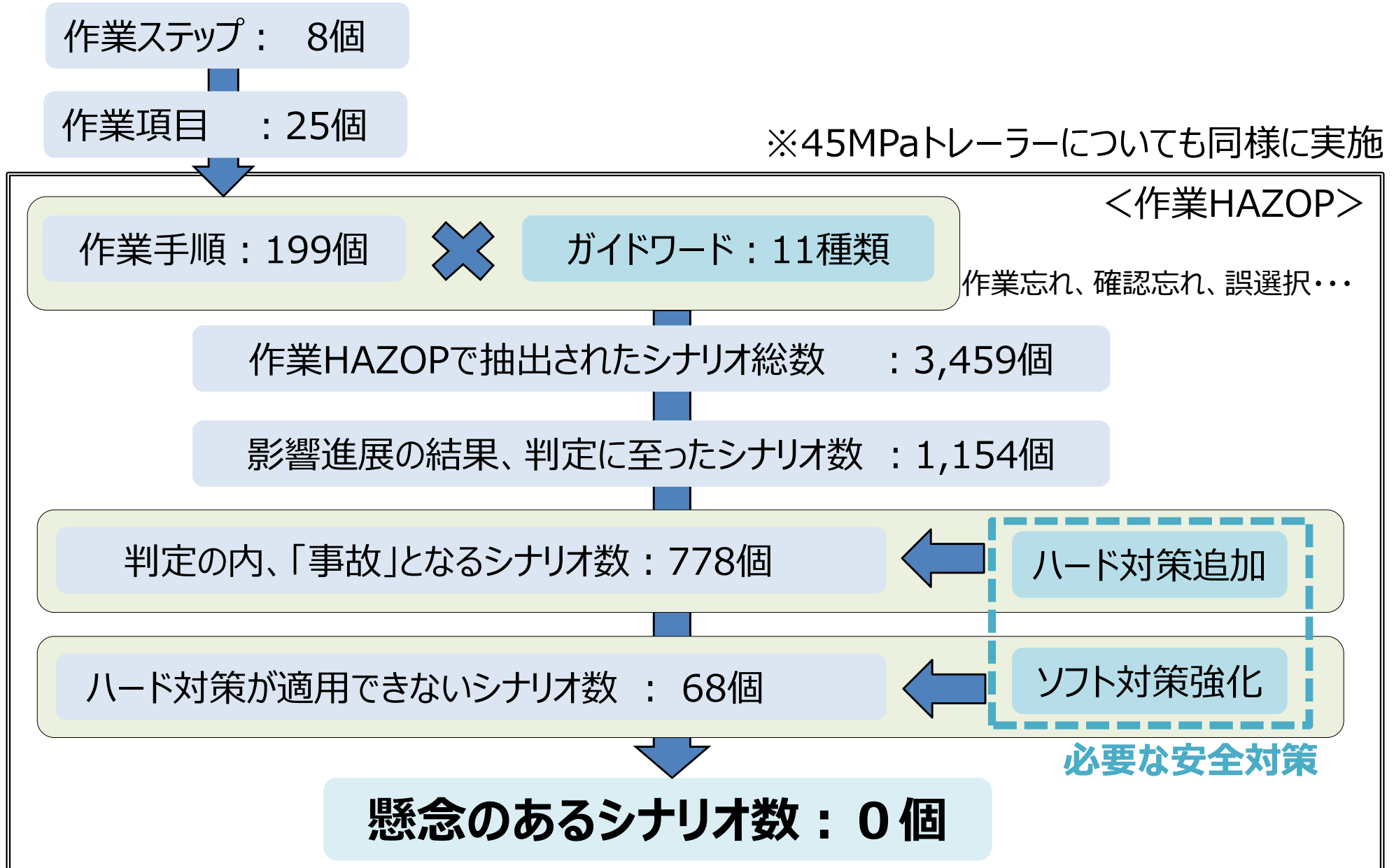
事故判定に対するハード対策、ソフト対策を検討

ハード対策 : 自動化・機械・設備 等の対策（本質的な対策）

ソフト対策 : 人間の行為が関わる対策（ヒューマンエラーの可能性）

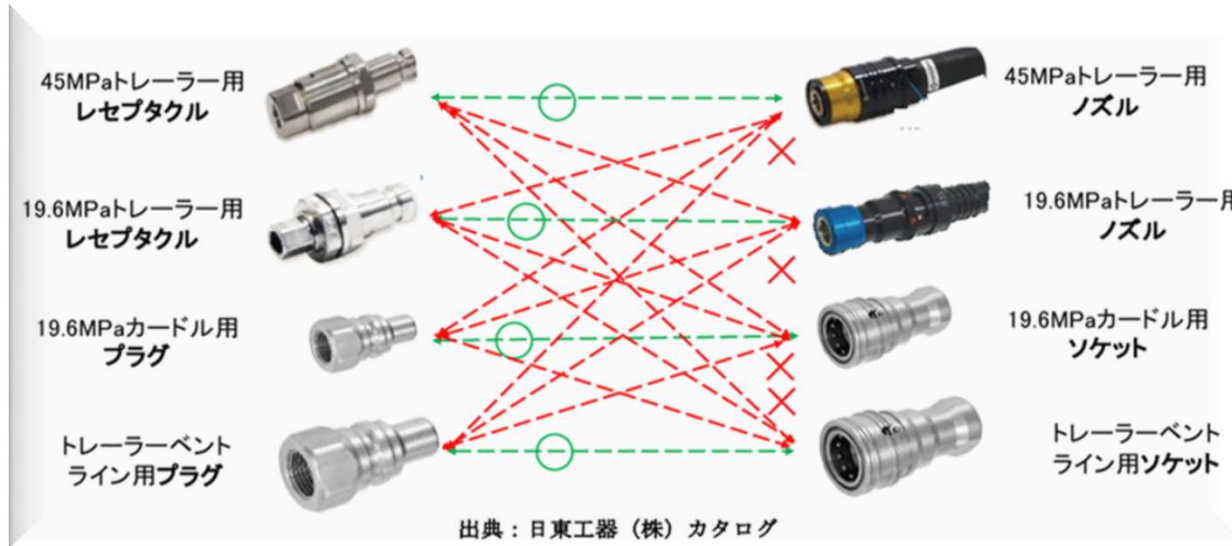
3. 作業HAZOPによる安全対策検討について

作業HAZOP実施結果（例：カードル）

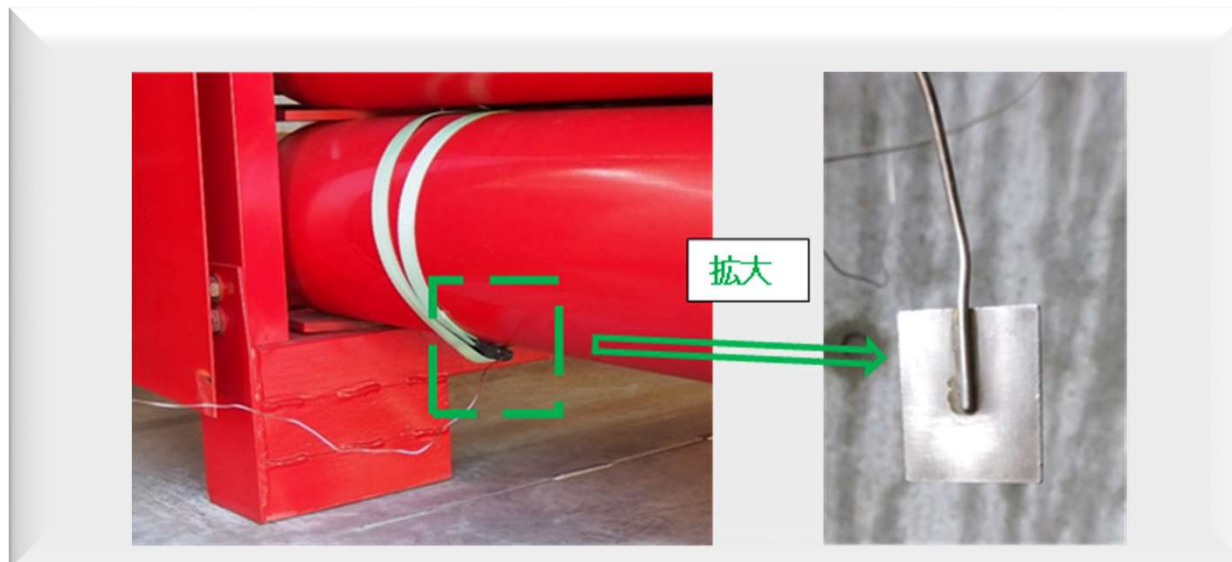


3. 作業HAZOPによる安全対策検討について

作業HAZOP検討から抽出された安全対策の一例



- ◆ 外れたとき流路遮断され、かつ圧力が異なるものが誤接続しないような接続部（出荷設備の水素出口⇔充填容器の受け口）

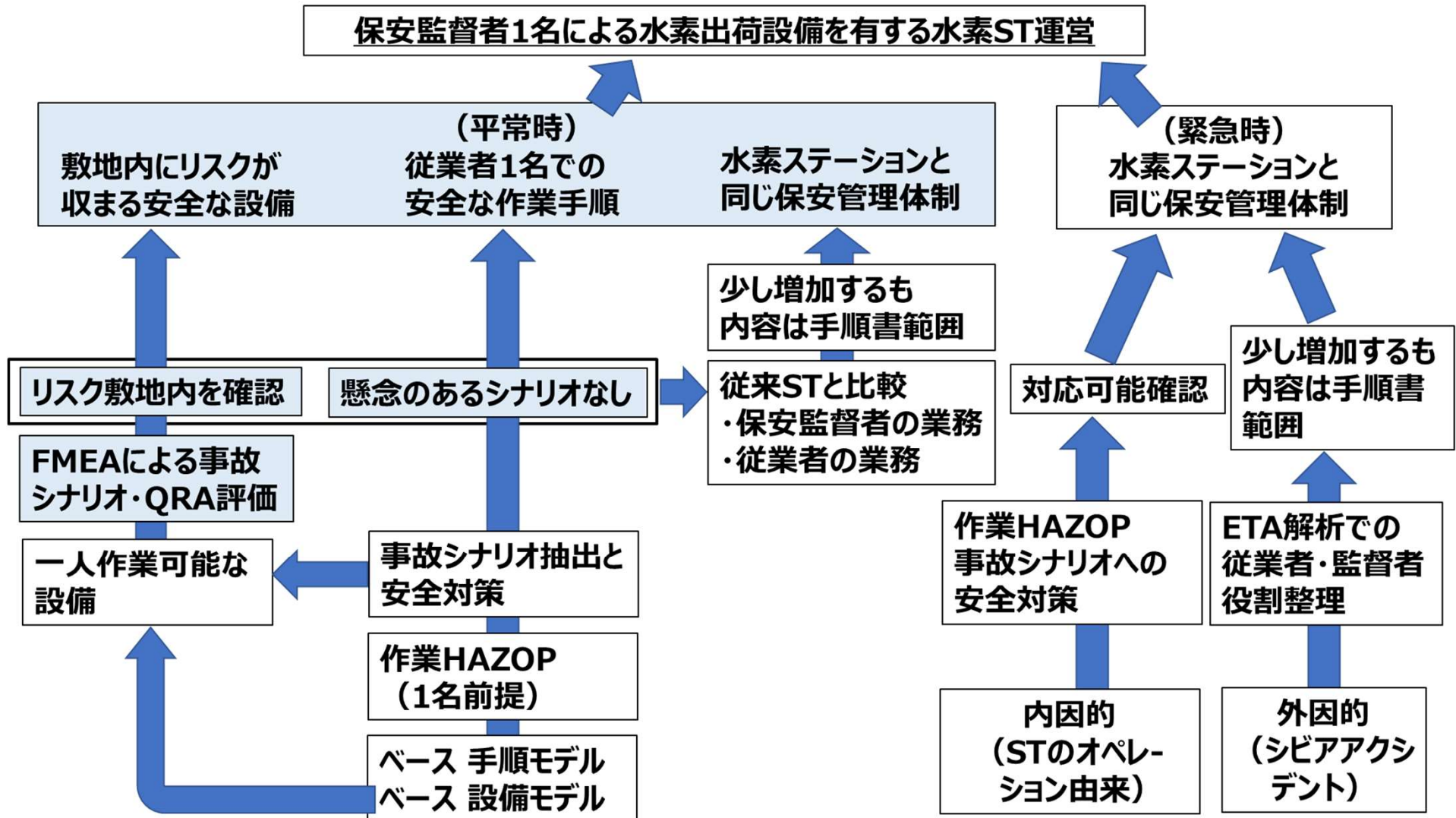


- ◆ 充填容器の温度管理（冗長化のため異なる容器に2個以上設置）

4. FMEAによる安全性確認について

技術的検討の全体像

再掲載



4. FMEAによる安全性確認について

FMEAによる安全性確認の流れ

□FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

評価対象設備の構成機器に着目し、機器の故障モード (Failure Mode) をリストアップし、その故障の影響 (Effect) を特定していく手法

- 全ての構成機器をリストアップし故障モードを抽出

水素ST : 204個 (P&IDベース)

水素出荷設備 : 35個 (P&IDベース)

- 導き出されるリスクシナリオの結果が漏洩かを判定

⇒スライド18



■ 機器故障で漏洩の場合

QRAでリスクカウンターが水素STの敷地に収まるかを確認

(リスクカウンター)

⇒スライド19、20



■ 機器故障が 直接漏洩にならない場合

漏洩に進展する可能性のある連鎖シナリオを抽出し、最終事象発生確率を算出 ⇒スライド22

4. FMEAによる安全性確認について

FMEAによる安全性確認の流れ

■ 構成機器のリストアップ～故障モードの抽出例

赤字) 個々の結果が**漏洩**⇒QRAによる評価へ

黒字) 個々の結果が**漏洩でない**⇒「漏洩でない故障」が引き起こす連鎖シナリオによる漏洩”から最終事象発生確率を算出へ

FMEA【蓄圧器ユニット】抜粋内容

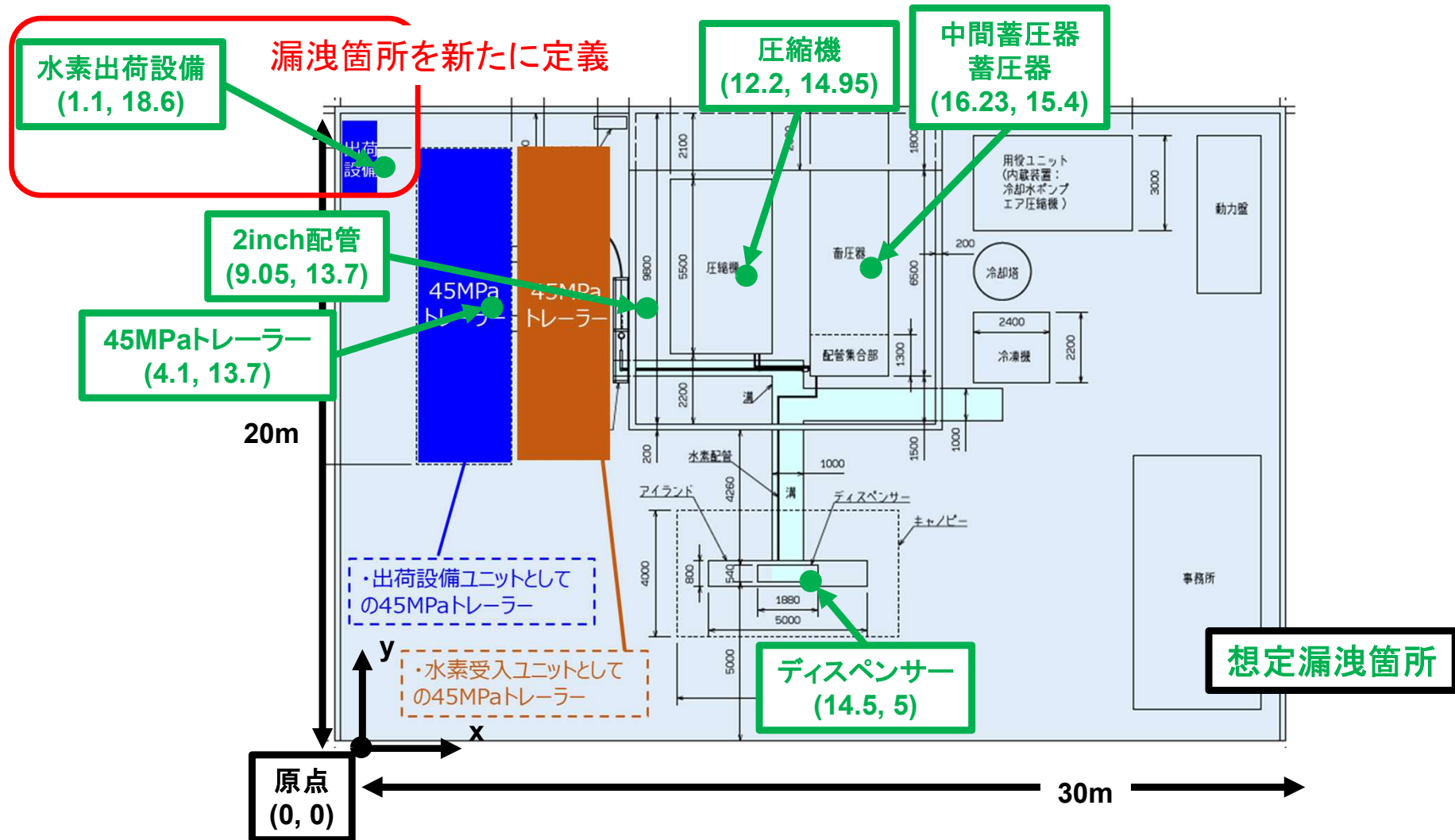
機器ID	機器種類	故障モード	リスクシナリオ	結果要約
PSV351	安全弁	一定の圧力を越えても開放しない	安全機能の故障であり、事故のトリガーとはならない	安全機能の故障
		通常運転圧力でも開放してしまう	安全弁開放⇒ベント側に水素が流れる⇒ベントから水素放出	事故に至らぬ故障
		耐圧気密性能を維持できない	シール部より外部漏洩	漏洩
CV351	逆止弁	閉止しない	安全機能の故障であり、事故のトリガーとはならない	安全機能の故障
		閉止するが内部漏洩	安全機能の故障であり、事故のトリガーとはならない	安全機能の故障
		流すべきなのに閉止する	水素ステーションでは起こりえない	起こりえない
		耐圧気密性能を維持できない	ケーシング分割部のシールから水素が外部漏洩	漏洩
EFV351	過流防止弁	一定の水素流量を越えても閉止しない	安全機能の故障であり、事故のトリガーとはならない	安全機能の故障
		開放状態を維持すべきなのに閉止する	バンク切替え時等の圧力変動により過流防止弁閉止⇒下流に水素が流れない	事故に至らぬ故障
		耐圧気密性能を維持できない	シール部より外部漏洩	漏洩
V351	アングル弁(蓄圧器元弁)	開閉を切り替えられない	手動弁開閉できず、メンテナンス作業が実施できない	事故に至らぬ故障
		内部漏洩している	常時開の手動弁なので、内部漏洩(内通)は問題にならず	事故に至らぬ故障
		耐圧気密性能を維持できない	グランド部から水素が外部漏洩	漏洩

故障モード	
一定の圧力を越えても開放しない	安全機能の故障であり、
通常運転圧力でも開放してしまう	安全弁開放⇒ベント側に
耐圧気密性能を維持できない	シール部より外部漏洩
閉止しない	安全機能の故障であり、

結果要約
安全機能の故障
事故に至らぬ故障
漏洩

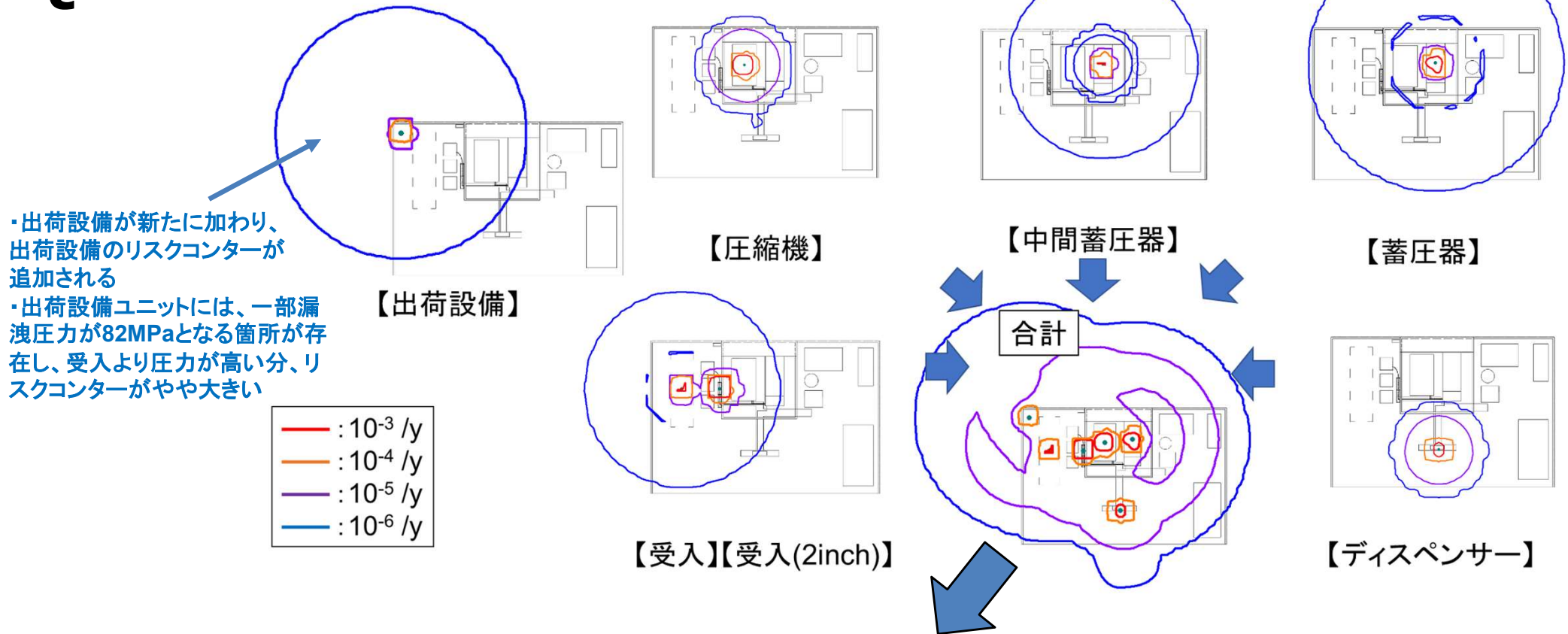
4. FMEAによる安全性確認について

QRA実施のためのモデリング



4. FMEAによる安全性確認について

QRA結果



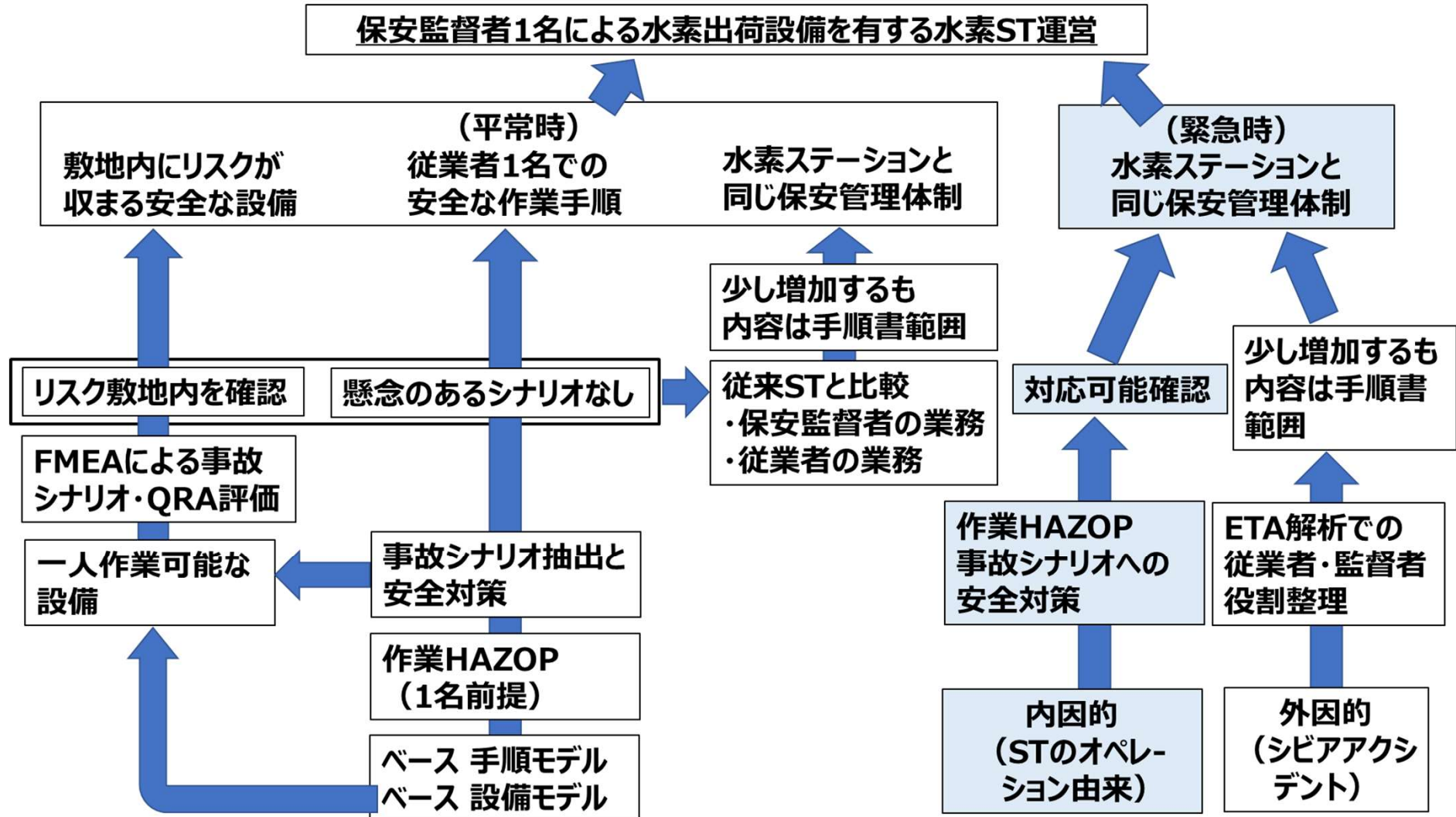
➤ リスクコンターは敷地境界からはみ出ているが、立体的遮蔽物を全く考慮していない。障壁や筐体があるので、敷地境界内に収まる。

➤ 出荷設備も含めた水素ST全体としての漏洩に関しては、リスクコンターが敷地内に収まる

4. FMEAによる安全性確認について

技術的検討の全体像

再掲載



4. FMEAによる安全性確認について

漏洩でない機器故障が引き起こす連鎖シナリオについて

- **事故（＝漏洩）に進展する可能性があるシナリオを抽出※1**：9件
 - 4件：2020年度までの事業で検証済
 - 5件：出荷設備特有のシナリオシナリオ例）出荷設備の遮断弁閉のまま圧縮機を運転して漏洩発生
- **抽出したシナリオで、不作動確率をもとに最終事象発生確率を算出**
算出例）最終事象発生確率＝遮断弁開失敗確率×遮断弁作動異常検知失敗確率×安全弁作動失敗確率
- **シナリオの評価結果**
 - 9件のシナリオで、最終事象発生確率は $1 * 10^{-6}$ /年未満、問題なし
 - リスク評価は、致死率 $1 * 10^{-6}$ /年※2未満となるので問題なし

※1) 内因的緊急時（STのオペレーション由来）

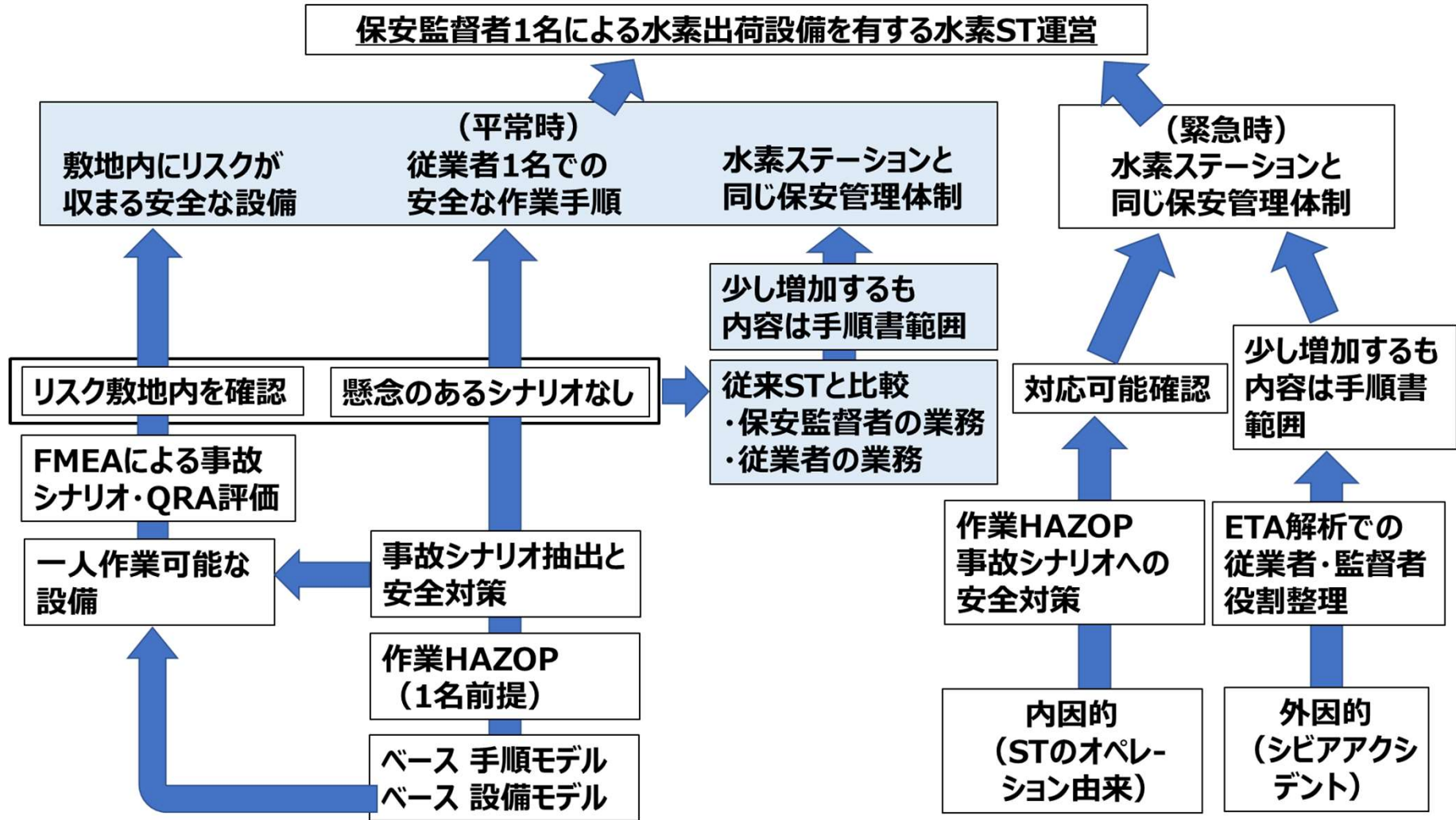
※2) クライテリア： $1 * 10^{-6}$ /年（致死率）

<日本学術会議の安全目標のA基準>

5. 従業者の業務について

技術的検討の全体像

再掲載



5. 従業員の業務について

従業員の作業の比較（充填作業）

- 水素充填自体は、どちらも釦操作のみ（FCV充填では1回⇔水素出荷設備は複数回）
- 水素出荷設備では、出荷容器へのアース・温度計の設置・取り外し、出荷容器のバルブ開閉作業、ハンディガス検知器による漏えい確認がある
- これら作業は事業者が定める安全教育を受けた従業員で対応できると考えられる

ディスペンサーからFCVへの充填

作業工程	作業内容
(顧客来店)	(誘導)
静電気除去	静電気除去パッドにて除電
充填容器期限等確認	FCVリッドを開けて証票確認
ホース取り回し	
ノズル装着確認	ノズルーレセ
(自動で保圧確認)	
(自動で漏えい確認)	
充填開始	充填開始：釦操作
充填作業	自動（プロトコル）
充填終了	自動脱圧
ノズル取り外し	
精算	
(顧客退店)	(誘導)

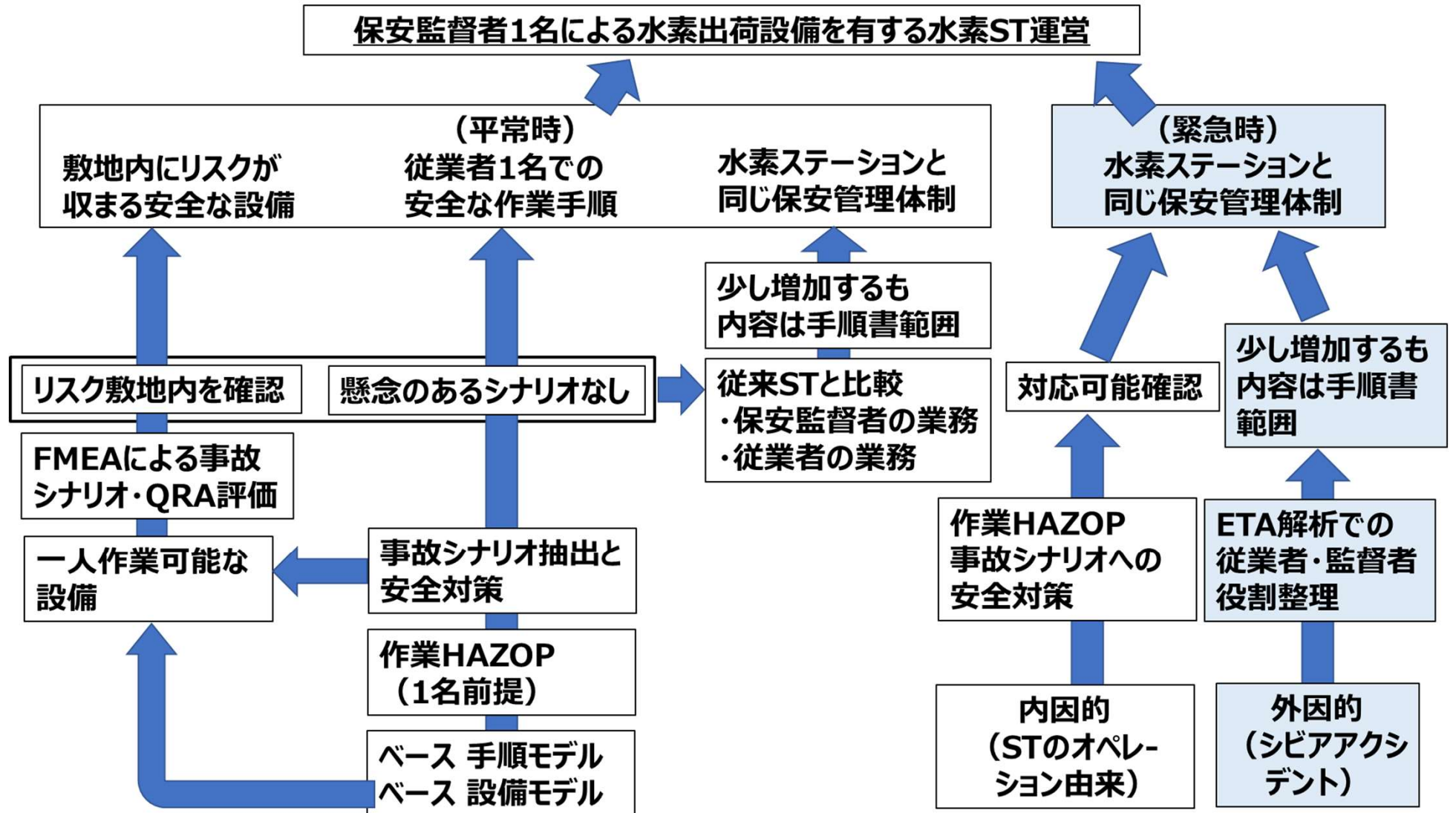
水素出荷設備から出荷容器への充填

作業工程	作業内容（FCV充填と同等）	作業内容（水素出荷設備特有）
(容器受入れ)	(誘導)	
静電気除去、温度計設置		容器にアース・温度計設置
充填容器期限等確認	容器（ケース）記載を確認	
ホース取り回し		
ノズル装着確認	ワンタッチカブラ、ノズルーレセ	
出荷容器のバルブ操作		出荷容器の手動バルブ操作
容器選択		パネル釦操作
保圧、脱圧（置換）		保圧（釦操作）、脱圧（釦操作）
漏えい確認		ハンディ検知器で確認
充填開始	充填開始：釦操作	
充填作業	自動（一定流量）	
充填終了		脱圧（釦操作）
出荷容器のバルブ操作		出荷容器の手動バルブ操作
ノズル取り外し		
出荷対応		容器からアース・温度計取り外し
(容器搬出)	(誘導)	

6. 緊急時の保安管理体制について

技術的検討の全体像

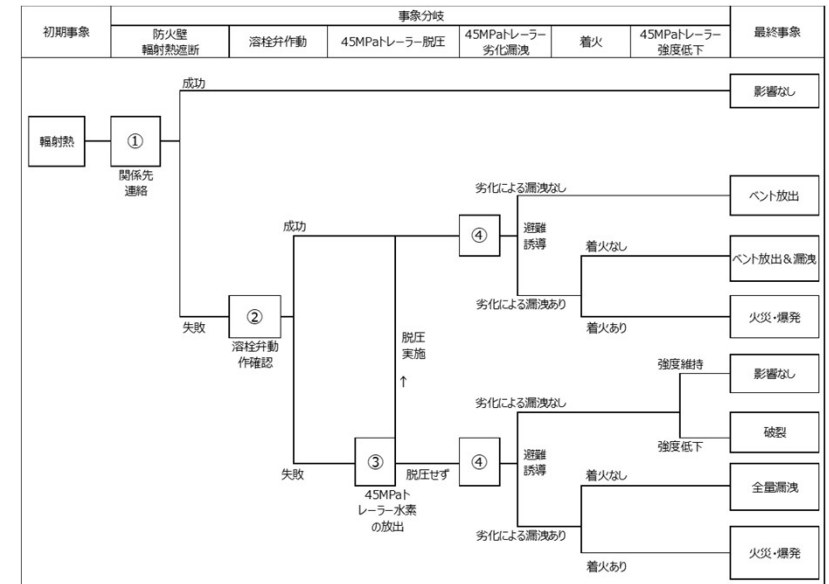
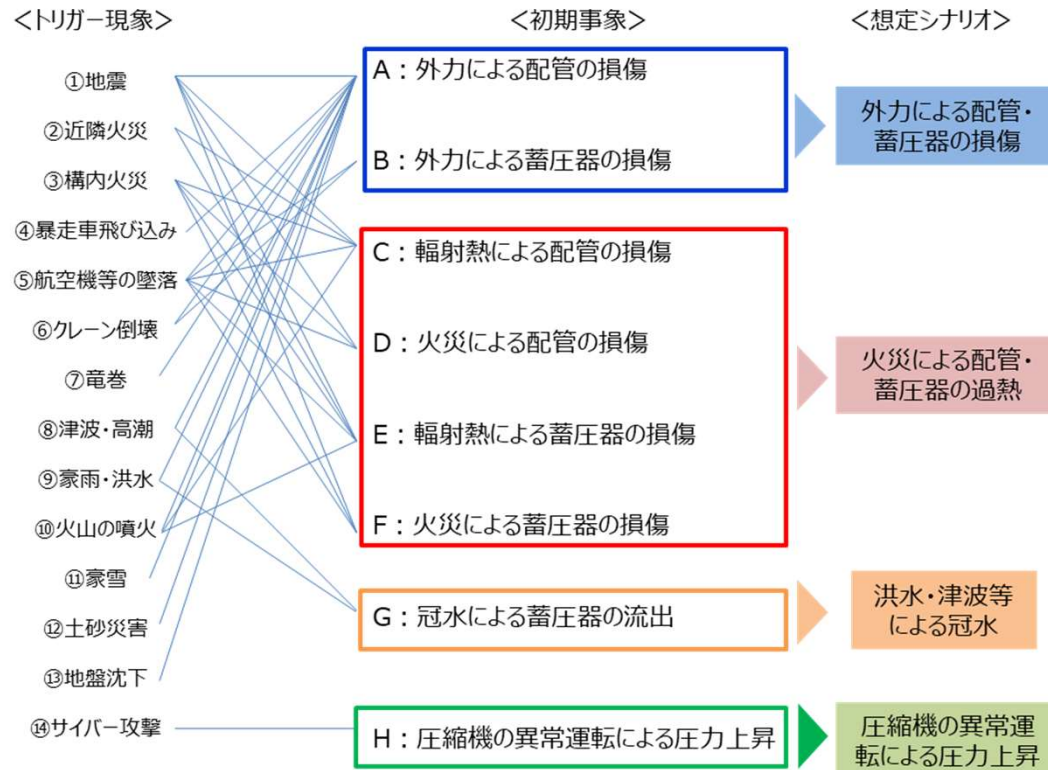
再掲載



6. 緊急時の保安管理体制について

外因的緊急時(シビアアクシデント)の保安管理体制の検討

- シナリオパターンを作成 (4種類)
- イベントツリー解析 (ETA) に基づき従業者と保安監督者の全作業を抽出
- 水素出荷設備を有することによる影響を評価



(出典：JPEC-TD 0011(2021)遠隔監視セルフ水素スタンドのガイドライン P54)

6. 緊急時の保安管理体制について

外因的緊急時(シビアアクシデント)の保安管理体制の検討結果

保安監督者一名でシビアアクシデント対応が可能と考える

➤ 水素出荷設備を有することによる従業者の業務への影響

- ✓ 被災した設備が一部（蓄圧器もしくは45MPaトレーラー）の場合でも、必ずST全体の状況確認・漏洩確認が必要となる。
水素出荷設備に関する業務量は増える
- ✓ 水素出荷設備に関する状況確認や漏洩確認作業は特別な作業ではなく、手順書に従い実施可能な内容である

➤ 水素出荷設備を有することによる保安監督者の業務への影響

- ✓ 保安監督者が従業者に指示を行う際、水素出荷設備に関する情報の分が常に増加するが、水素出荷設備が無いSTの場合と比較し特殊なものはない
- ✓ 従業者に対して指示する項目は変わらない
(元弁閉止、脱圧、周辺住民の避難誘導)

検討のまとめー1

■ 作業手順

- 作業HAZOPを活用した安全対策検討により、7条の3の技術基準に基づいた、水素出荷設備から出荷容器への充填作業は安全であることが確認された

■ 出荷設備

- FMEAにより抽出された事故（漏洩）シナリオをリスク評価し、水素出荷設備を有する水素STの安全性が確認された

検討のまとめー2

■ 保安管理体制

➤ 保安監督者の職務

取り扱う情報は、平常時・緊急時とも、水素出荷設備に関する分が増えるが、従業者に指示する項目は変わらないことが確認された

➤ 従業者の職務

水素出荷設備が加わることにより増えるが、事業者が定める安全教育を受けた従業者で対応できることが確認された

➤ 安全対策

安全を担保するための安全対策を策定した
また、これらの安全対策が有効であることが確認された

➤ 緊急時

水素出荷設備を有しても安全性が変わらないことが確認された

検討のまとめー3

■ 水素出荷設備を有する水素STに関する技術文書（3種類）を策定した

- **水素出荷設備を有する圧縮水素STの危害予防規程の指針（案）**
JPEC-TD 0013（2023）
- **水素出荷設備を有する圧縮水素STの保安教育計画の指針（案）**
JPEC-TD 0014（2023）
 - ✓ 事業者が規定類制定に活用
- **水素出荷設備を有する圧縮水素STのガイドライン（案）**
JPEC-TD 0015（2023）
 - ✓ 事業者がSTの設備面や運営面での具体的方策の策定に活用
 - ✓ 関連する省令や例示基準の技術的補完も担う
（規制当局にて水素出荷設備を有する水素STに関連する省令・例示基準の追記や修正等へ対応）

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