

HTTR-熱利用試験施設の適用法規に 係る行政相談

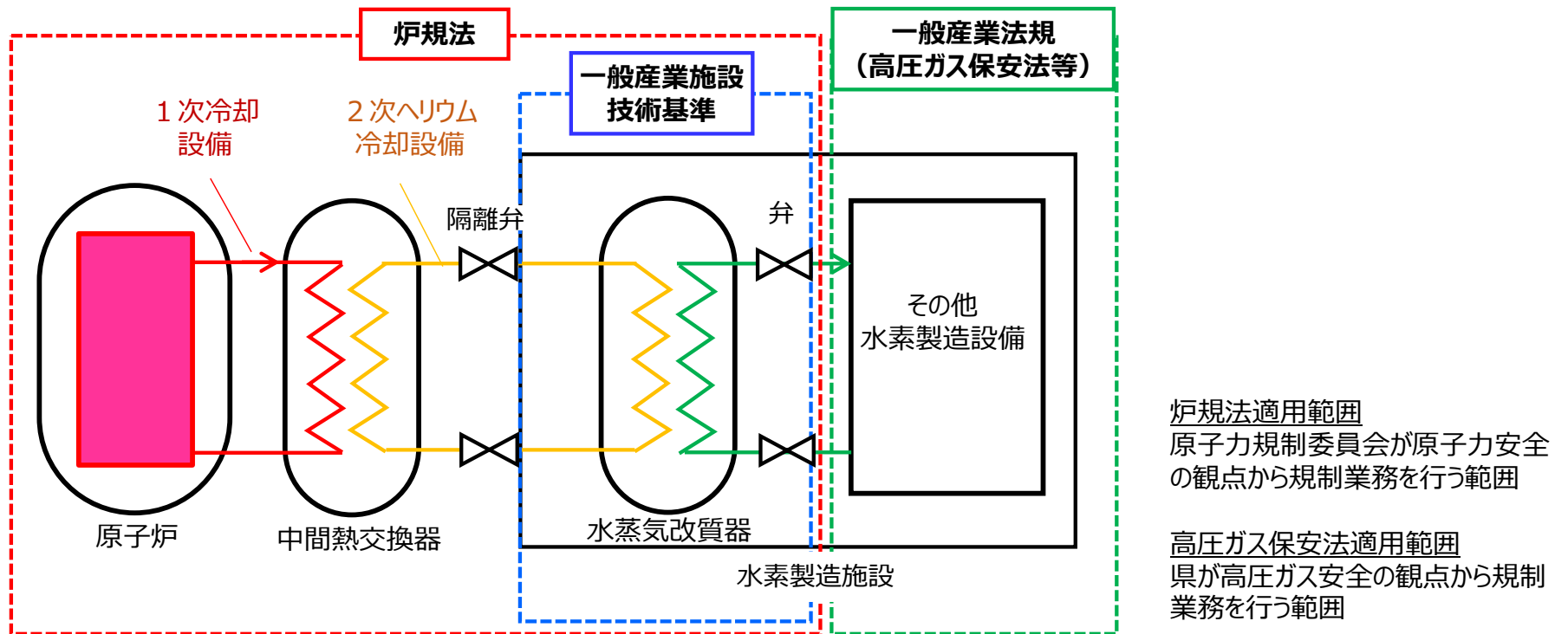
令和6年2月8日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
高温ガス炉研究開発センター 高温工学試験研究炉部
高温ガス炉プロジェクト推進室

- 炉外技術開発試験装置の概要
- 一般産業法規の技術基準（機器設計、耐震設計等）
- 炉外技術開発試験装置の実績

本日まで説明したいこと

- HTTRご視察（令和6年1月26日）でのご説明内容のふりかえり
- HTTR-熱利用試験施設の適用法規の詳細区分
- 一般産業法規の技術基準（高圧ガス災害対策等）
- 【ご参考】水蒸気改質器の差違（HTTR-熱利用試験施設と一般産業施設）



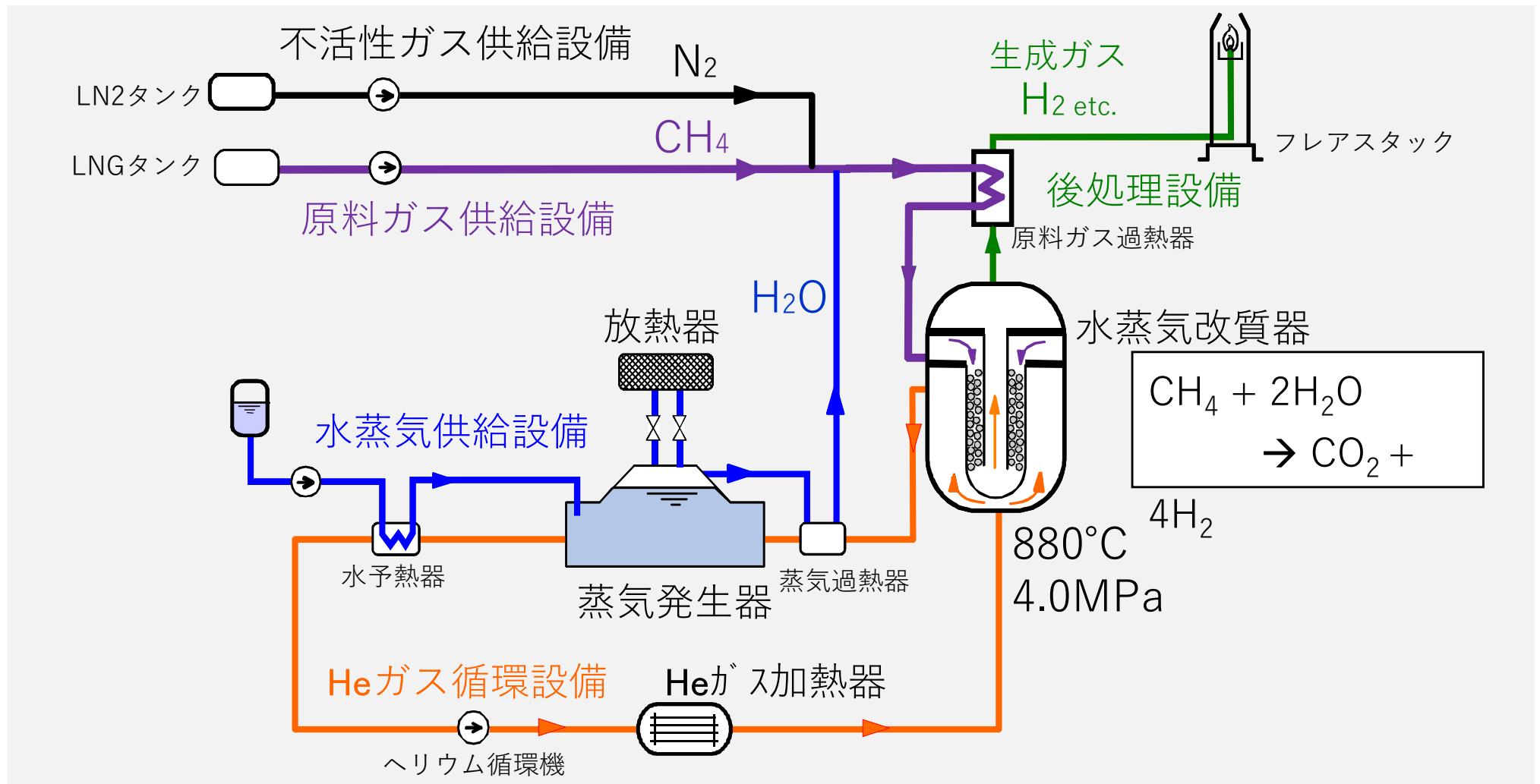
HTTR-熱利用試験施設の適用法規案

(1) 炉外技術開発試験装置の概要

旧日本原子力研究所における水蒸気改質技術の開発

- 目的 高温ガス炉を利用した水蒸気改質技術の開発
- 内容
 - ・ヘリウム熱交換型水蒸気改質器の開発
 - ・試験ループによる水素製造性能検証
- 開発期間 8年 (1996~2004年)
(設計製作：5年、水素製造試験運転：3年)
- 成果
 - ・HTTRと同等の圧力、温度条件下における水蒸気改質器の性能を検証し、110 Nm³/hの水素製造技術を確認した。
 - ・以下に示す要素技術の開発を完了した。
 - I 水素製造プラント温度変動時のヘリウムガス温度制御緩和技術
 - II 水蒸気改質器触媒管（ヘリウム圧力バウンダリ部）の健全性確保
 - III HTTR水素製造システムの起動停止手順の確立
 - IV HTTR水素製造システム特有の高温機器の開発・実証
 - V HTTR水素製造システム動特性解析コードの検証

炉外技術開発試験装置の系統構成

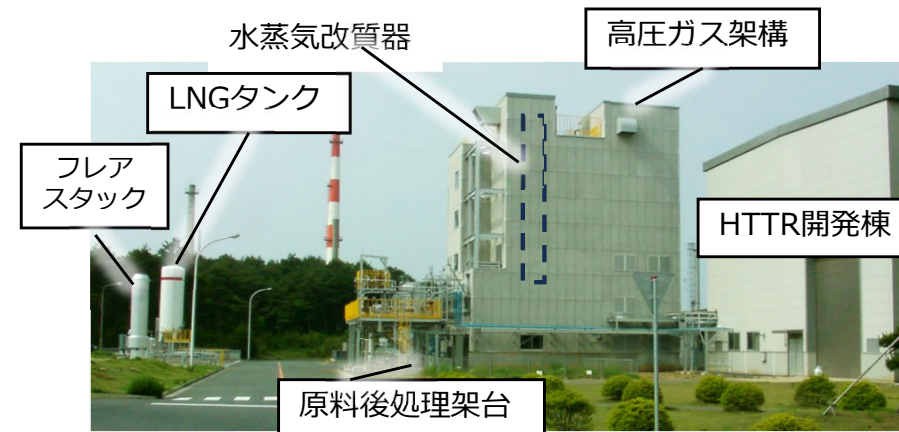
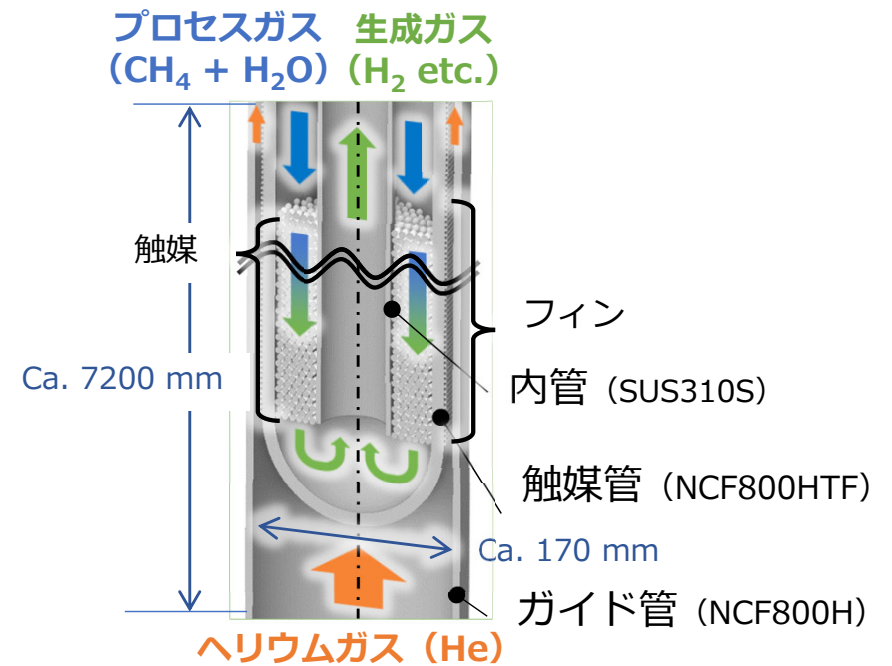


原子炉による核熱の代わりに電気ヒータによる加熱で900°Cの高温ヘリウムを供給し、中間熱交換器下流の2次ヘリウムを模擬して水蒸気改質反応による水素製造を行った。

水蒸気改質器供給条件

項目	単位	炉外技術開発試験 ^[1]	HTTR-熱利用試験
反応器	-	バイヨネット反応管収納縦置円筒型	
反応管本数	本	1	7
熱交換量	kW	110	
水素製造量	Nm ³ /h	110	
ヘリウムガス側			
流体	-	ヘリウムガス	ヘリウムガス (HTTR 2次冷却材)
質量流量	kg/s	0.091	
入口温度	℃	880	
加熱源	-	電気ヒータ	HTTR
入口圧力	MPa	4.0	
プロセスガス側			
流体	-	プロセスガス (天然ガス/水蒸気)	
質量流量	kg/s	0.059 (0.012/0.047)	
入口温度	℃	450	
入口圧力	MPa	4.3	
S/C (水蒸気/天然ガス比)	-	3.5	

●反応管イメージ図 (※寸法、材料は、炉外技術開発試験)



炉外技術開発試験装置全景

[1]: 加藤他、HTTR 水素製造システム炉外技術開発試験装置の構成と機器仕様 JAEA-Technology-2007-022

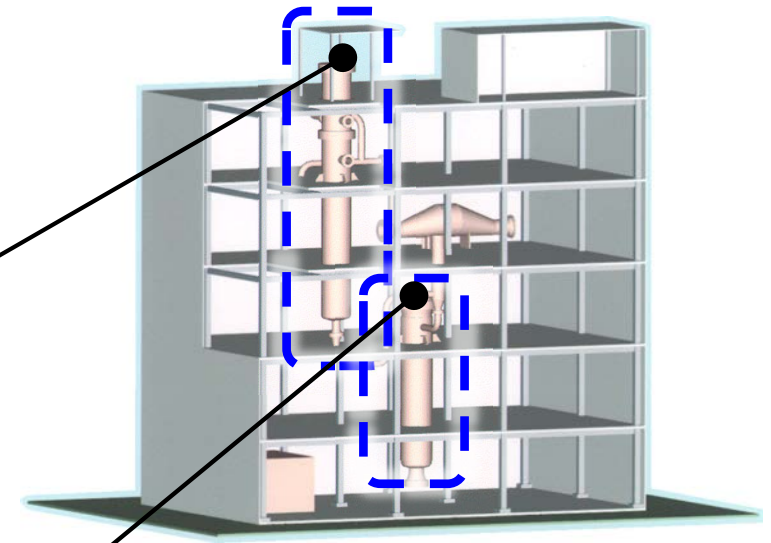
炉外技術開発試験での水素製造は、計画中のHTTR-熱利用試験のおよそ1/7量の110Nm³/hの水素製造量が可能な設計がなされた。

水蒸気改質器

- ・ 高温ヘリウムとの熱交換によって、天然ガス中のメタンと水蒸気を加熱、反応させ、水素を製造する。
- ・ 機器内の反応管は、高温ヘリウムとの圧力境界を形成する。



水蒸気改質器



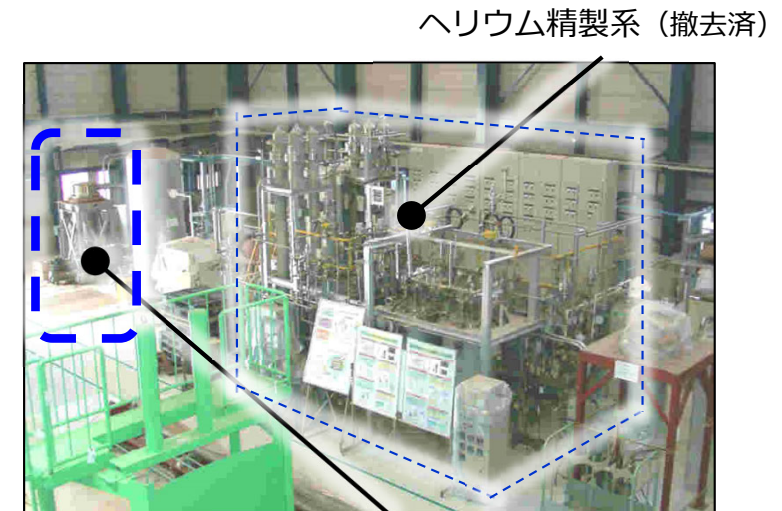
高圧ガス架構

ヘリウム循環設備

- ・ 水蒸気改質器等への所定流量、圧力、温度でのヘリウムガス供給する。



ヘリウムガス加熱器



ヘリウム精製系 (撤去済)

ヘリウムガス循環機 (撤去済)
(HTTR開発棟内)

水蒸気供給設備

- 水蒸気改質反応に必要な水蒸気の供給を行う。
- 化学反応停止等で改質器ヘリウム出口温度が変動した場合、放熱器との組み合わせで変動を緩和することにより蒸気発生器出口のヘリウム温度を $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 以内に緩和する。

蒸気発生器



蒸気過熱器



放熱器



原料ガス供給設備

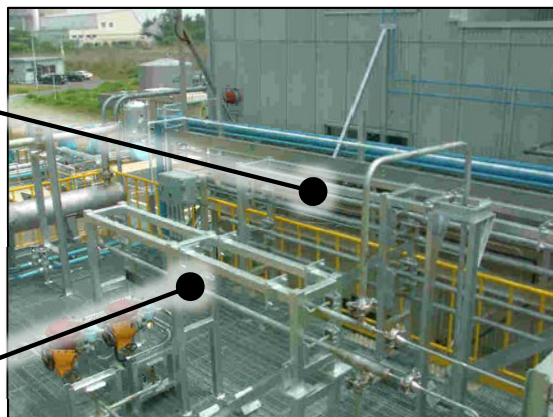
- 液化天然ガスを気化させ、水蒸気と混合し、所定の範囲内での流量、圧力、温度で水蒸気改質器へと供給する。



LNGタンク
(撤去済)

原料ガス過熱器
(撤去済)

原料ガス加熱器
(撤去済)



後処理設備

- 高温の生成ガスを冷却し、水蒸気を分離する。
- 可燃性ガスを燃焼し、安全に大気へ放出する。



フレアスタック (撤去済)

不活性ガス供給設備 (撤去済)

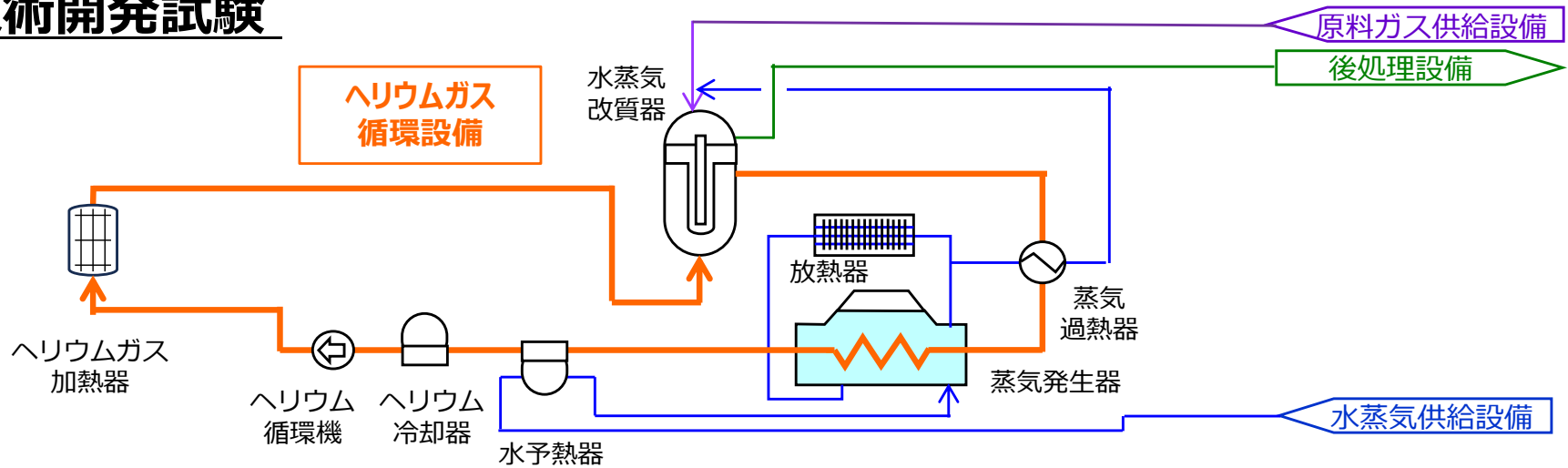
- 試験装置の起動停止時、窒素ガスを供給する。



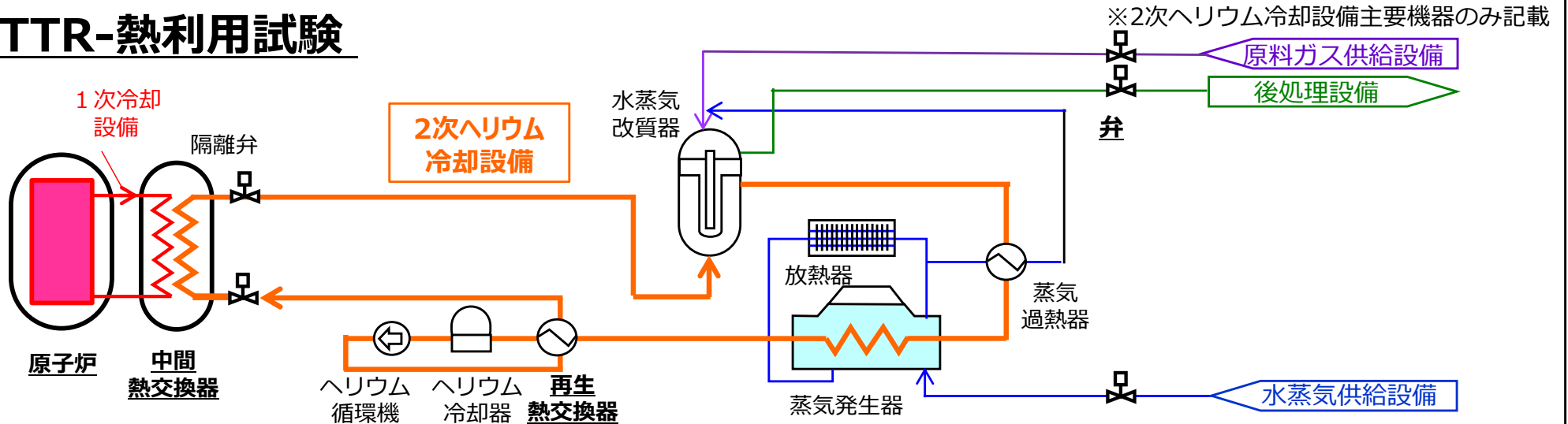
(2) HTTR-熱利用試験施設の運転条件及び適用法規区分

水素製造に係るヘリウム機器の系統構成

◆ 炉外技術開発試験

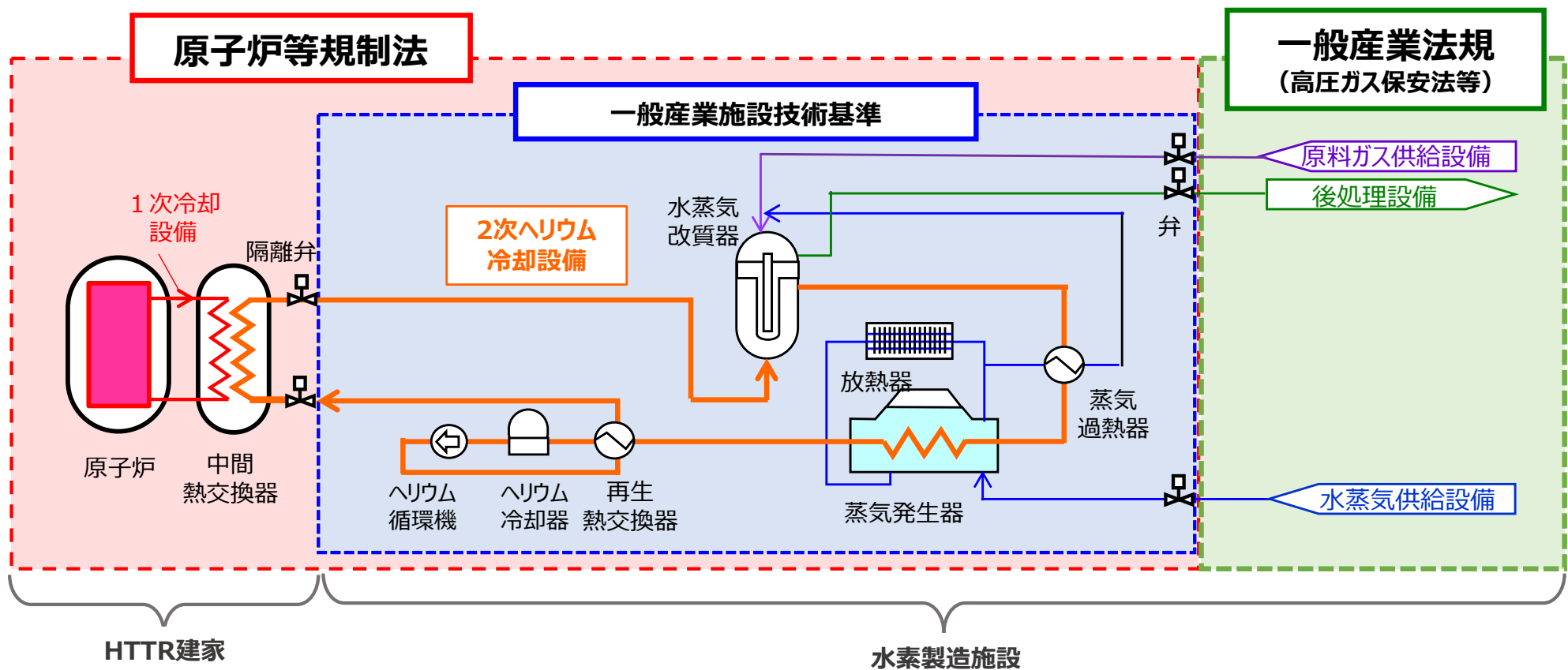


◆ HTTR-熱利用試験

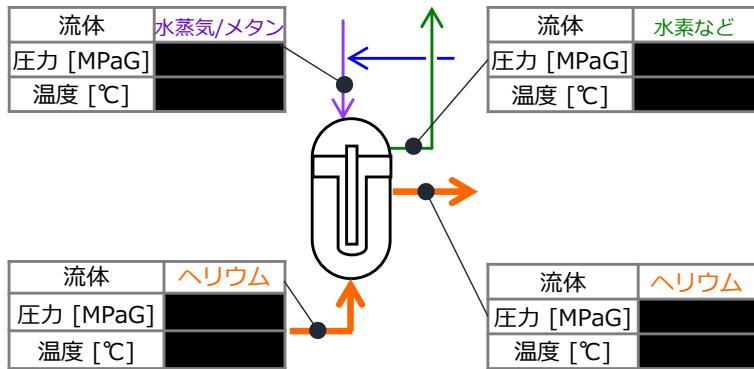


HTTR-熱利用試験の2次ヘリウム冷却設備は、炉外技術開発試験のヘリウムガス循環設備に基づいた系統構成

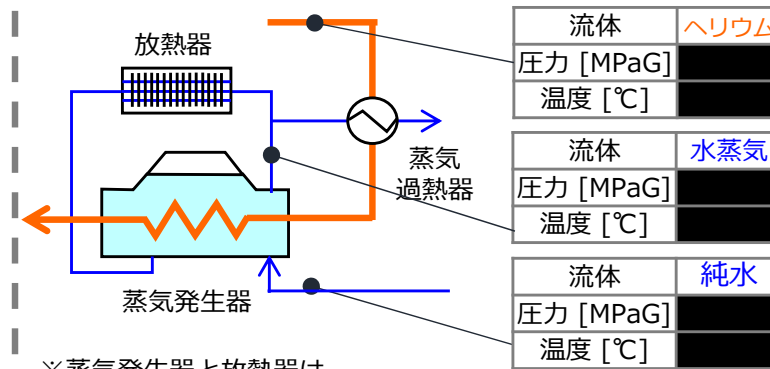
- 水素製造施設は、原子炉施設に直接影響を及ぼす設備（安全機能の重要度クラス3として設計する水蒸気改質器等、青点線部）と直接影響を及ぼさない設備（緑点線部）に分けられる。
- 原子炉施設に直接影響を及ぼす設備（青点線部）は、一般産業法規（高圧ガス保安法等）の下で既に整備済みの技術基準を試験炉技術基準規則に取り込み、炉規法の下で適合性を審査する。



◆ 水蒸気改質器

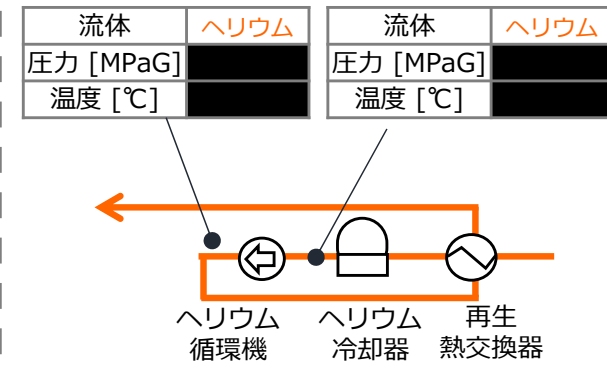


◆ 蒸気発生器/蒸気過熱器



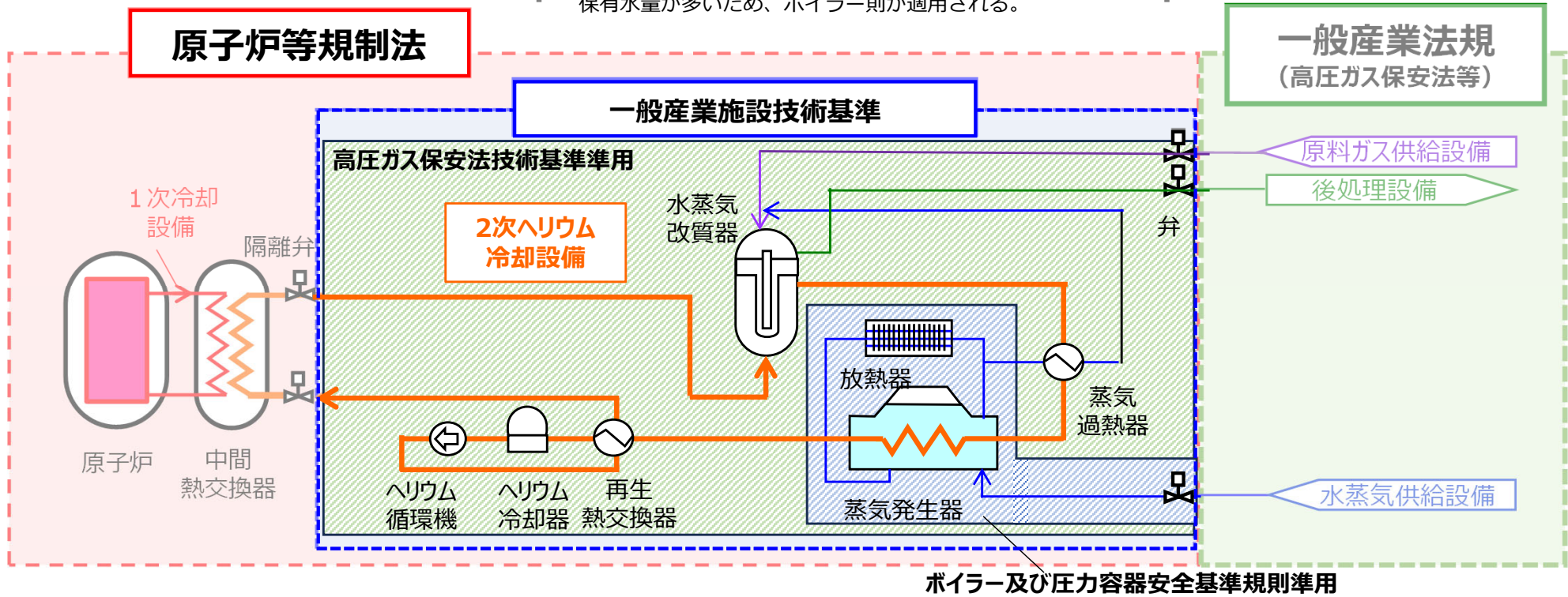
※蒸気発生器と放熱器は、保有水量が多いため、ボイラー則が適用される。

◆ ヘリウム循環機等



原子炉等規制法

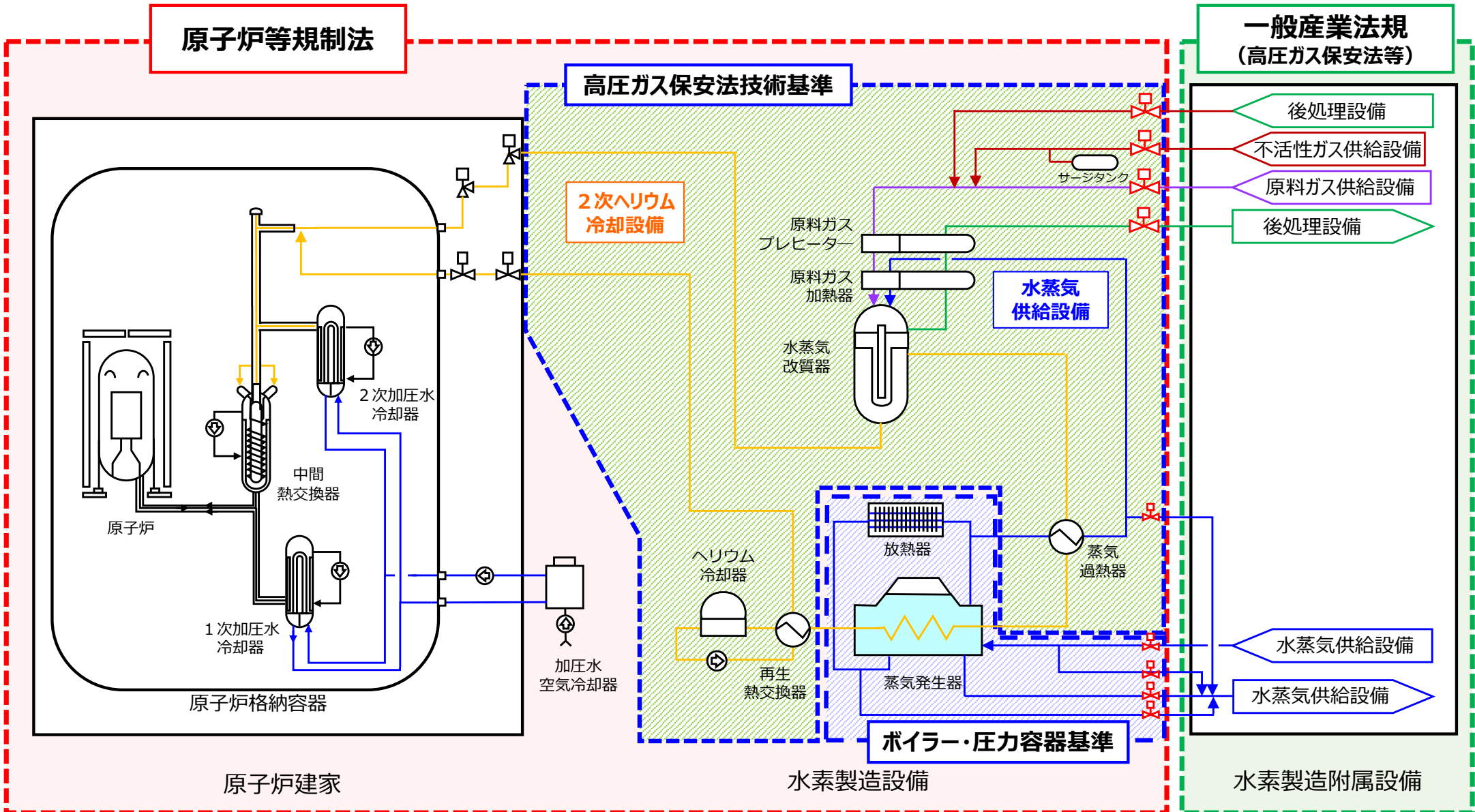
一般産業法規 (高圧ガス保安法等)



原子炉施設に直接影響を及ぼす設備 (青点線部) は、約40気圧のヘリウムの循環、蒸気の発生等を行うため、技術基準として高圧ガス保安法及びボイラー則等を準用する。

HTTR-熱利用試験施設における適用法規の詳細区分

- 原子炉等規制法及び一般産業法規の適用法規の範囲は、弁を境界とする。



※上図は、HTTR-熱利用試験施設の適用法規の区分を模式的に示した図である。

(3) 一般産業法規の技術基準

一般産業法規の技術基準 (1/3)

- 原子炉施設（クラス3機器、高温ガス炉第4種機器）と一般産業法規（高圧ガス保安法 特定設備）の技術基準を以下に示す。一般産業法規の技術基準を適用した場合でも、原子炉施設と同等の品質を確保できる。

対象	比較項目		【参考】JSME発電用原子力設備規格 (設計・建設規格2020Ed 及び維持規格2019Adまで)	旧科技庁内規 (平成15年改訂版) (黒鉛減速ヘリウムガス冷却型 原子炉施設に関する構造等の技術基準)	高圧ガス保安法 (最新版) (特定設備検査規則)
	分類		クラス3機器	高温ガス炉第4種機器 (告示501号第4種に相当)	特定設備 (PV > 0.004 MPa×m ³)
材料	破壊試験	・破壊靱性試験 (厚さ16mm以上のみ) (厚さ63mm超は落重試験、63mm以下は落重試験に代わり衝撃試験)		同左	記載なし(*) (*) 例示基準別添1別表第1にて材料ごとの最低使用温度を定めることで、確認を不要としている
	非破壊試験	要求無し		同左	超音波探傷試験 (耐圧部材のみ厚さ50mm以上の炭素鋼、厚さ38mm以上の低合金鋼等)
機器設計基準 (圧力容器の胴の例)	設計方法	公式に基づく		同左	同左
	胴厚さの設計例	【設計条件】 最高使用圧力 P : 5.0MPa、温度 : 350℃、 胴の内径 Di : 1.8m、材料 : SCM4-2、 継手効率 η : 1.0	【設計条件】 同左	【設計条件】 同左	【設計条件】 同左
		【胴の最小厚さt】 $t = \frac{P \cdot D_i}{2S \cdot \eta - 1.2P} = 34mm$ S=139MPa (SCMV4-2, 350℃) (S : 最高使用温度における許容引張応力、 安全率3.5)	【胴の最小厚さt】 $t = \frac{P \cdot D_i}{2S \cdot \eta - 1.2P} = 38mm$ S=122MPa (SCMV4-2, 350℃) (S : 最高使用温度における許容引張応力、 安全率4)	【胴の最小厚さt】 $t = \frac{P \cdot D_i}{2S \cdot \eta - 1.2P} = 38mm$ S=122MPa (SCMV4-2, 350℃) (S : 設計温度における許容引張応力、 安全率4)	
	溶接	・溶接継手効率を設定 (突合せ両側溶接の長手継手の例) -放射線透過試験実施 : 1.0 -その他のもの : 0.7		同左	・溶接継手効率を設定 (突合せ両側溶接の長手継手の例) -放射線透過試験を全線(100%)実施 : 1.0 -100%未満20%以上 : 0.95、 -20%未満以外 : 0.7
	疲労評価	伸縮継手のみ		同左	記載なし

一般産業法規の技術基準 (2/3)

対象	比較項目		旧科技庁内規 (平成15年改訂版) (黒鉛減速ヘリウムガス冷却型 原子炉施設に関する構造等の技術基準)	高圧ガス保安法 (最新版) (特定設備検査規則)
	分類	クラス3機器	高温ガス炉第4種機器 (告示501号第4種に相当)	特定設備 ($PV > 0.004 \text{ MPa} \times \text{m}^3$)
機器設計基準 (圧力容器の胴の例)	破壊試験	突合せ溶接部に下記試験を実施 1) 継手引張試験 2) 曲げ試験 3) 破壊靱性試験 (但し、厚さ16mm超のみ。 厚さ63mm以下は落重試験に代わり衝撃試験でも可)	突合せ溶接部に下記試験を実施 1) 同左 2) 同左 3) 破壊靱性試験 (但し、厚さ16mm超のみ。 厚さ63mm以下は落重試験に代わり衝撃試験)	突合せ溶接部に下記試験を実施 1) 同左 2) 同左 3) 衝撃試験 (但し、設計温度0℃未満の溶接部に限る)
		非破壊試験	・ 耐圧試験： 水圧 $P=1.25P_0$ (又は気圧 $P=1.1P_0$) (P_0 : 最高使用圧力)	・ 耐圧試験： 水圧 $P=1.5P_0$ (又は気圧 $P=1.25P_0$) (P_0 : 最高使用圧力)
	・ 漏えいの確認：耐圧部の溶接部等、 水圧 $P=\max[P, 0.75 \times \text{耐圧(水圧)試験圧力}]$ 以上、 気圧 $P=P_0$ 以上		・ 漏えい試験：記載なし	・ 漏えい試験：記載なし ・ 気密試験：気圧 $P=P_0$ 以上
	・ 体積試験：溶接部に下記試験のいずれか実施 1) 放射線透過試験 2) 超音波探傷試験 (条件付き)		同左	・ 体積試験：突合せ溶接部に下記試験を実施 1) 放射線透過試験 (厚さ38mm以上の炭素鋼等は 全線(100%)実施が必須) 2) 超音波探傷試験 (厚さ75mm以上の炭素鋼等は全線 (100%)実施が必須)
	・ 表面試験：溶接部に下記試験のいずれか実施 1) 磁粉探傷試験 2) 浸透探傷試験	同左	・ 表面試験：溶接部及び治具跡に下記試験の いずれか実施 1) 磁粉探傷試験 2) 浸透探傷試験	
検査頻度	年1回 (原則として定期事業者検査中に実施)	年1回 (前回の定期事業者検査が 終了した日以降12か月を超えない時期)	年1回 (検査によっては指定の周期ごと)	
保守 検査項目	非破壊検査 1) 系の漏えい試験と目視試験 (耐圧部のみ、 気圧の場合 $P=\text{運転圧力}$ 以上の圧力) 2) 目視試験 (溶接継手、呼び径100mm超の 溶接継手等)	以下に掲げる方法により行う ・ 開放、分解、非破壊検査その他の各部の損傷、 変形、摩耗及び異常の発生状況を確認するた めに十分な方法 ・ 試運転その他の機能及び作動の状況を確認す るために十分な方法、等 保安措置ガイド等に基づき、必要な事項を定めた 検査実施要領書をもとに実施する。	・ 目視検査及び非破壊検査等(*) 1) 目視検査 2) 非破壊検査 (肉厚測定を含む) 3) 気密試験 (気圧 $P=\text{常用の圧力}$ 以上の圧力)、等 (*)その他に一般高圧ガス保安規則にて、製造施設の保安 検査を「開放検査、分解検査その他の各部の損傷、変形 及び異常の発生状況を確認するために十分な方法、並び に作動試験その他の機能及び作動の状況を確認するた めに十分な方法」で行うことが定められている。	

一般産業法規の技術基準 (3/3)

対象	比較項目	【参考】JSME発電用原子力設備規格 (設計・建設規格2020Ed 及び維持規格2019Adまで)	旧科技庁内規 (平成15年改訂版) (黒鉛減速ヘリウムガス冷却型 原子炉施設に関する構造等の技術基準)	高圧ガス保安法 (最新版) (特定設備検査規則)
	分類	クラス3機器	高温ガス炉第4種機器 (告示501号第4種に相当)	特定設備 (PV> 0.004 MPa×m ³)
耐震設計基準	分類	耐震Cクラス	同左	重要度分類: II ^(*) (可燃性ガス貯蔵能力10t未満、 事業所境界までの距離20-90m) (*: 実際の事業者境界までの距離は90m以上あり 重要度分類IIIとなるが、事業者自主要求として、 原子炉建家までの距離を事業者境界までの距離と 考え評価予定)
	応答加速度の 計算例	<p>【設計条件】 H=14.15mの鉄骨造架構の7.0mフロアにラグ設置する容器を考える。 最大応答加速度=1.2×n×C₁ ここで、 n=1.0 (@Cクラス) C₁=z×Rt×A_i×C₀ z=1.0 Rt=1.0 A_i=1.53 (*) C₀=0.2 (* : 7.0m以上の架構の固定荷重と積載荷重の和 (W) を架構全体の固定荷重と積載荷重の和 (W₀) で除した値 (W/W₀) が1/2となる架構上に設置すると仮定)</p>	同左	<p>【設計条件】 同左 水平震度(加速度)K_{SH}=β₄×0.150×μ_k×β₁×β₂×β₃ ここで、 β₁=0.65 (@重要度分類II) β₂=0.8(@A地域) β₃=2.0 (@第3種地盤) β₄=2.0(Hは16m以下) μ_k=1.0 (@レベル1地震動)</p>
		機器の静的水平震度 (加速度) : 0.33G	同左	機器の設計静的水平震度(加速度) : 0.32G
	許容値	<ul style="list-style-type: none"> 一次一般膜応力 ≤ min[Sy, 0.6Su] 一次応力 ≤ Sy Su : 使用温度における設計引張強さ (MPa) Sy : 使用温度における設計降伏点 (MPa) (降伏点または0.2%耐力)	同左	<ul style="list-style-type: none"> 一次一般膜応力強さ ≤ S 一次局部膜応力強さ + 一次曲げ応力強さ ≤ 1.5S S = min[0.6Su ₀ , 0.6Su, 0.9Sy ₀ , 0.9Sy] Su : 設計温度における引張強さ (MPa) Su ₀ : 常温における最小引張強さ (MPa) Sy : 設計温度における降伏点または0.2%耐力 (MPa) Sy ₀ : 常温における最小降伏点または0.2%耐力 (MPa)
	解析手法	以下のいずれかの応答解析により各部の地震力を算定 1) 静的解析法 (静的震度法) 2) 時刻歴応答解析法、スペクトルモーダル解析法	同左	以下のいずれかの応答解析により各部の地震力を算定 1) 静的震度法、修正震度法、モード解析法 2) 時刻歴応答解析法
	備考	日本電気協会JEAC 4601-2015を参照	同左	「高圧ガス設備等の耐震性能を定める告示」 (例示基準としてKHKS 0861-2018を適用)

高圧ガス災害に対する一般産業法規技術基準

- 高圧ガス災害に対する公共の安全確保のため、水素製造施設のうち、高圧ガスを取扱い、原子炉施設に直接影響を及ぼす設備には、高圧ガス保安法の技術基準を適用することが合理的であると考える。

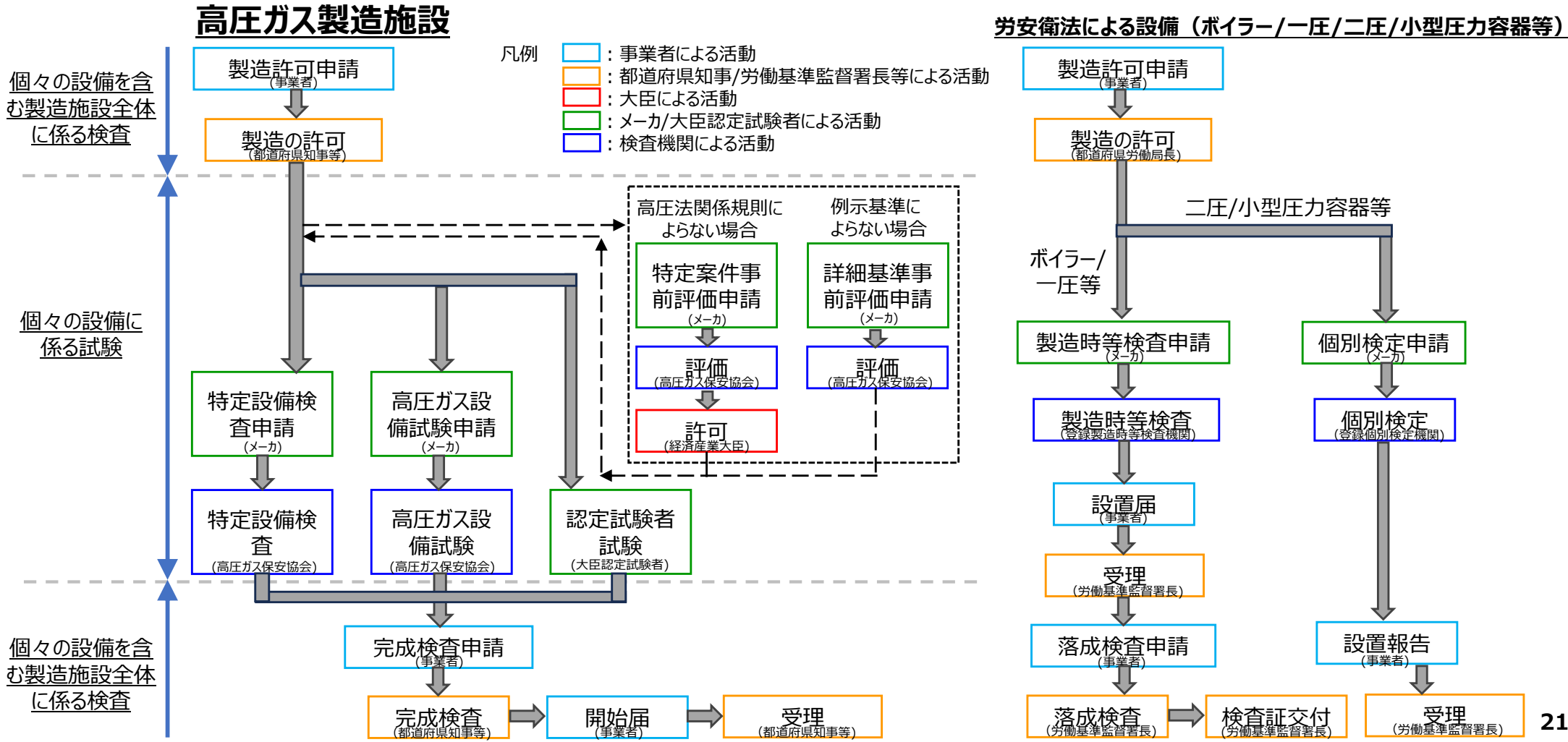
<p>目的</p>	<p><u>高圧ガスによる災害を防止</u>するため、高圧ガスの製造、貯蔵、販売、移動その他の取扱い及び消費並びに容器の製造及び取扱いを規制するとともに、民間事業者及び高圧ガス保安協会による高圧ガスの保安に関する自主的な活動を促進し、もつて<u>公共の安全を確保する</u>ことを目的とする。</p>
<p>可燃性ガス及び毒性ガス漏えいに対する公共の安全確保に関する安全要件※</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 保安物件に対する離隔距離の確保 ● 外部の火気取扱い施設に対する対策（離隔距離の確保、可燃性ガスの火気を取扱う施設への流動防止、連動装置による火気の使用停止） ● 他の高圧ガス設備に対する離隔距離確保 ● 可燃性ガス貯槽の他可燃性及び支燃性ガス貯槽に対する離隔距離確保 ● 可燃性ガス及び毒性ガスの液化ガス貯槽の液体漏えい時の流出防止 ● 可燃性ガスの漏えい時の滞留防止 ● 可燃性ガス低温貯槽の内圧低下による破損防止措置 ● 可燃性ガス及び毒性ガスの貯槽に接続した配管における弁の個数や漏えい時の遮断措置 ● 可燃性ガスを含む設備に係る電気設備の防爆性 ● 反応等を行う製造設備を自動的に制御する装置の停電対策 ● 圧縮機と圧縮ガスを充填した容器置場の間の障壁設置 ● 可燃性ガス及び毒性ガス漏えい時に滞留する場所への検知・警報設備 ● 毒性ガス製造施設の識別表示 ● 可燃性ガス製造設備の静電気除去措置 ● 可燃性ガス製造設備の防消火設備設置 ● 緊急時の通報を速やかにできる措置 ● 可燃性ガス容器置場の設置場所 ● 空気を含む可燃性ガスの圧縮禁止 ● 可燃性ガス及び毒性の廃棄方法

※一般高圧ガス保安規則第六条を基に作成。

(4) 炉外技術開発試験装置の実績

炉外技術開発試験装置の許認可プロセス (標準フロー)

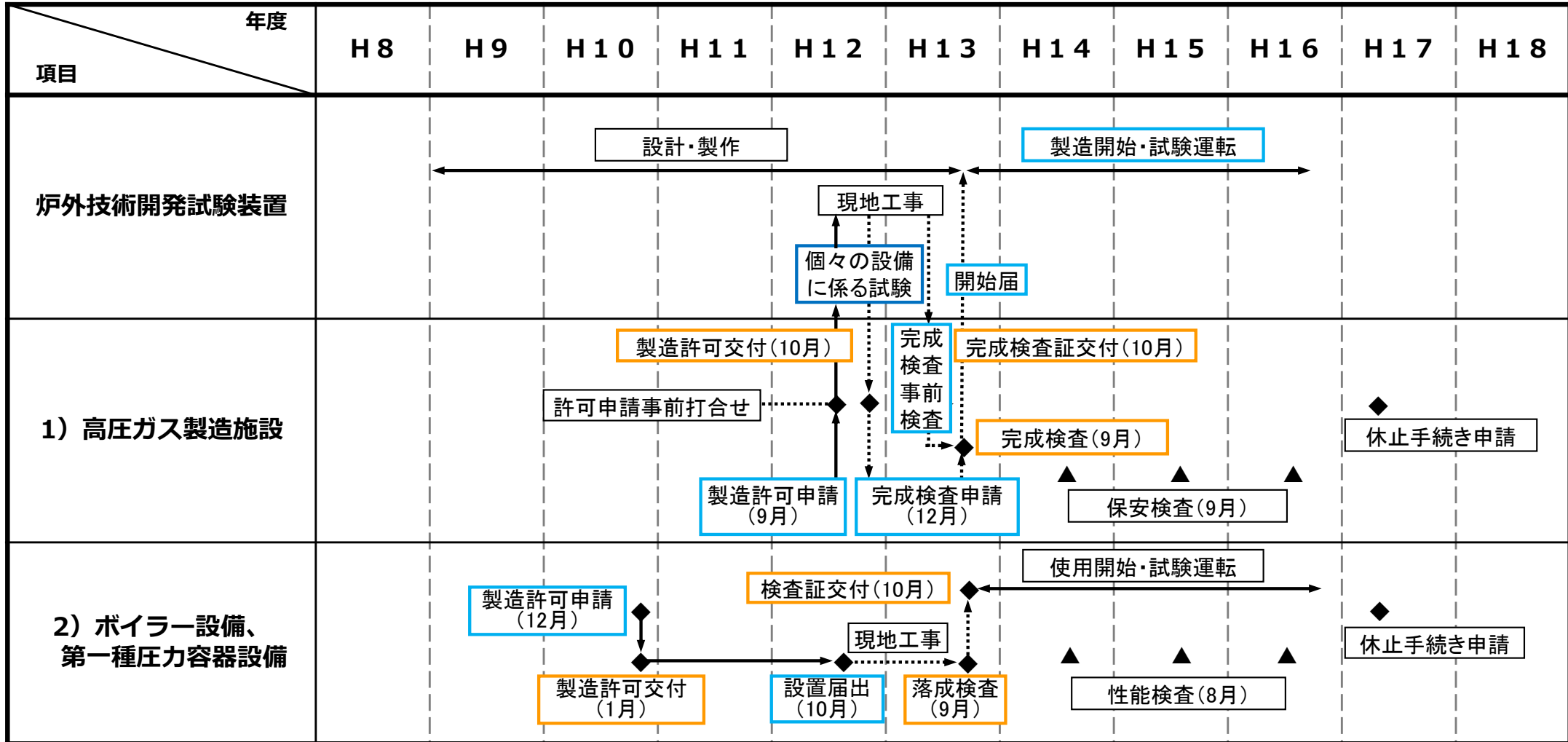
- 高圧ガス製造施設には、「設備に係る試験」と、「製造施設全体に係る検査」がある。
- 設備に係る試験には、 $PV > 0.004$ (MPa×m³) の圧力容器に対する「特定設備検査」と、圧縮機・ポンプ・配管・バルブ等に対する「高圧ガス設備試験」がある。
- 労安衛法適用設備は、「設備に係る試験」のみ。
- 高圧法及び労安衛法設備ともに、指定の規格基準等に基づき、検査機関等により確認される。



炉外技術開発試験装置の許認可プロセス (炉外実績)

- 高圧ガス製造施設の製造許可交付はH12年10月、完成検査許可証交付はH13年10月
- 耐圧・耐震強度は、設備に係る試験で確認される。

高圧ガス製造施設申請手続きの流れ

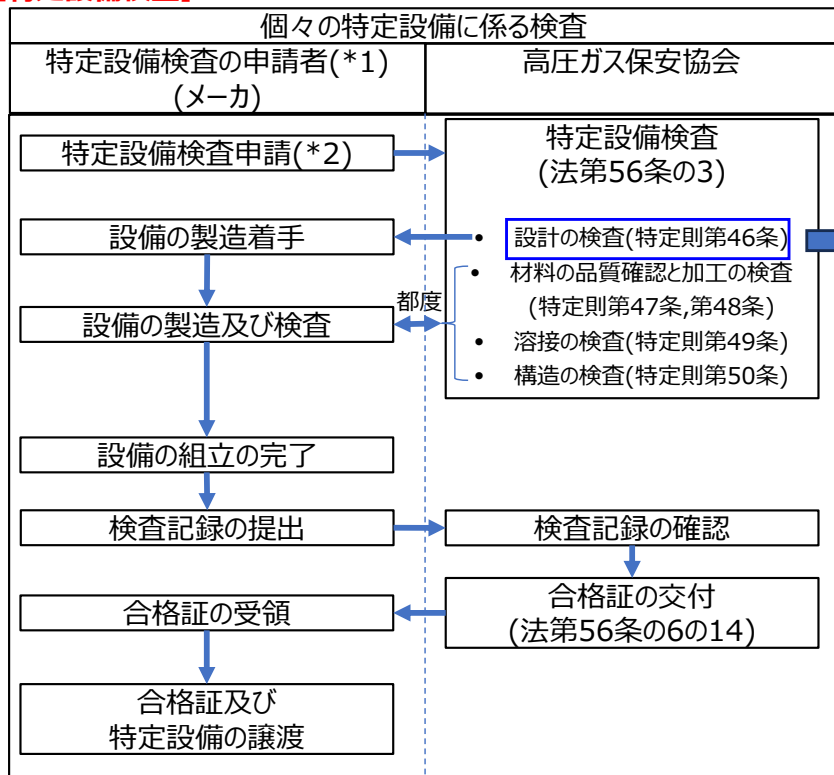


⇒ 次ページ以降に、設備に係る試験として「特定設備検査」及び製造施設全体に係る検査として「完成検査」の実施例を示す。

炉外技術開発試験装置の許認可プロセス（特定設備検査の例）

- 特定設備検査には、「設計の検査」、「材料の品質確認と加工の検査」、「溶接の検査」、「構造の検査」が含まれる。
- 耐圧・耐震強度は、「設計の検査」のうち、「5.内圧、外圧による強度計算」及び「6.耐震設計に基づく応力等の計算」にて確認される。

【特定設備検査】



様式第3 (第46条関係)

設計検査成績表		[Redacted]	
整理番号	12広2074	申請されました特定設備検査申請書については設計に関する検査に合格したので通知します。 平成22年2月25日	
特定設備の区分	反応器(R1R)	高圧ガス保安協会 中国支部	承認 [Redacted] 留置 [Redacted] 担当 [Redacted]
ガスの種類	厨間 以外 管間 空		
検査工程名	規則条項	適用書第	特 定 合 格 合
1. 材料に関する設計	第11条		[Redacted]
2. 加工に関する設計	第20条~第23条		[Redacted]
3. 溶接に関する設計	第24条~第31条		[Redacted]
4. 構造検査に関する設計	第32条~第35条		[Redacted]
5. 内圧、外圧による強度計算	第12条 第14条~第19条		[Redacted]
6. 耐震設計に基づく応力等の計算	第13条		[Redacted]

サンプル
詳細は、設計書、構造図及び様式第4から第6までの検査成績表による。
詳細は、強度計算書及び耐震計算書による。

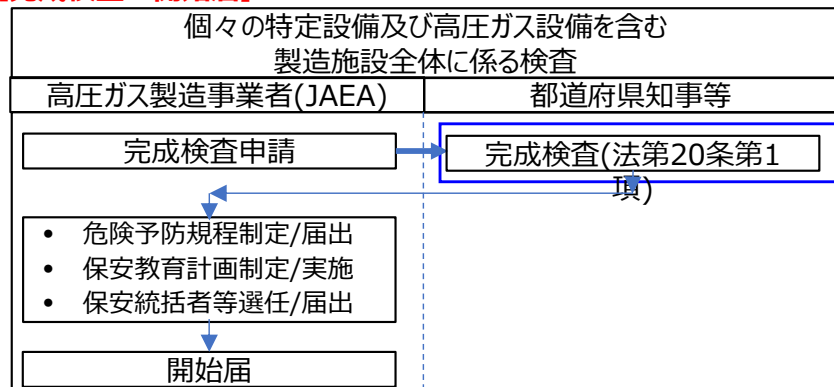
(*1)第一種特定設備の場合を例に記載

(*2)設計書（含む強度・耐震計算書、溶接施工要領書/溶接施工試験成績書（WPS/PQR）等）、構造図などを添付して申請

炉外技術開発試験装置の許認可プロセス（完成検査の例）

- 完成検査は、都道府県知事以外に、高圧ガス保安協会、指定完成検査機関も行うことができる。
- 完成検査申請書に事前検査記録を添付することにより、完成検査の検査項目の一部が省略される。
- 炉外技術開発試験装置は、事前検査記録として、「完成検査事前検査記録」、「高圧ガス施設配管工事等完成報告書」等を添付。完成検査当日の立会検査は、浸透探傷試験、肉厚測定試験、気密性能確認等に限定。

【完成検査～開始届】



199

製造施設完成検査証		一般
事業所の名称	日本原子力研究所大洗研究所	
事業所の所在地	東茨城郡大洗町成田町字新堀3607番地	
許可年月日 及び許可番号	平成12年10月30日 工技指令第1217号	
検査年月日 検査職員氏名	平成13年 9月17日	他2日間 他1名
備考		

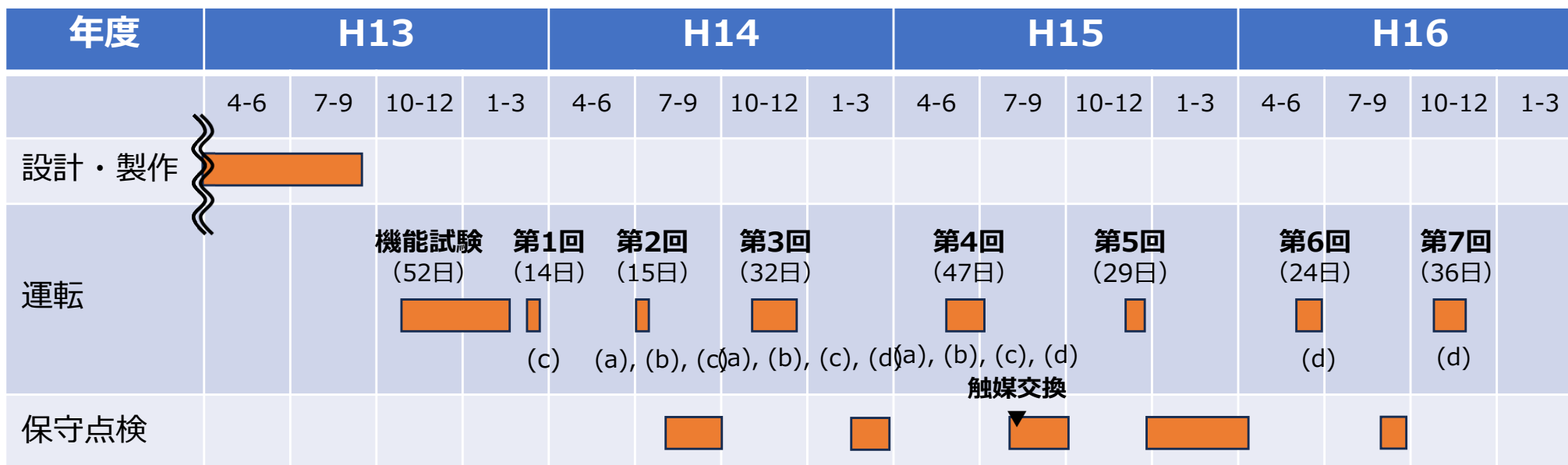
サンプル

茨城県知事 橋本 昌



炉外技術開発試験装置の運転実績

炉外技術開発試験装置の運転実績（累積運転日数：249日）[1]-[5]

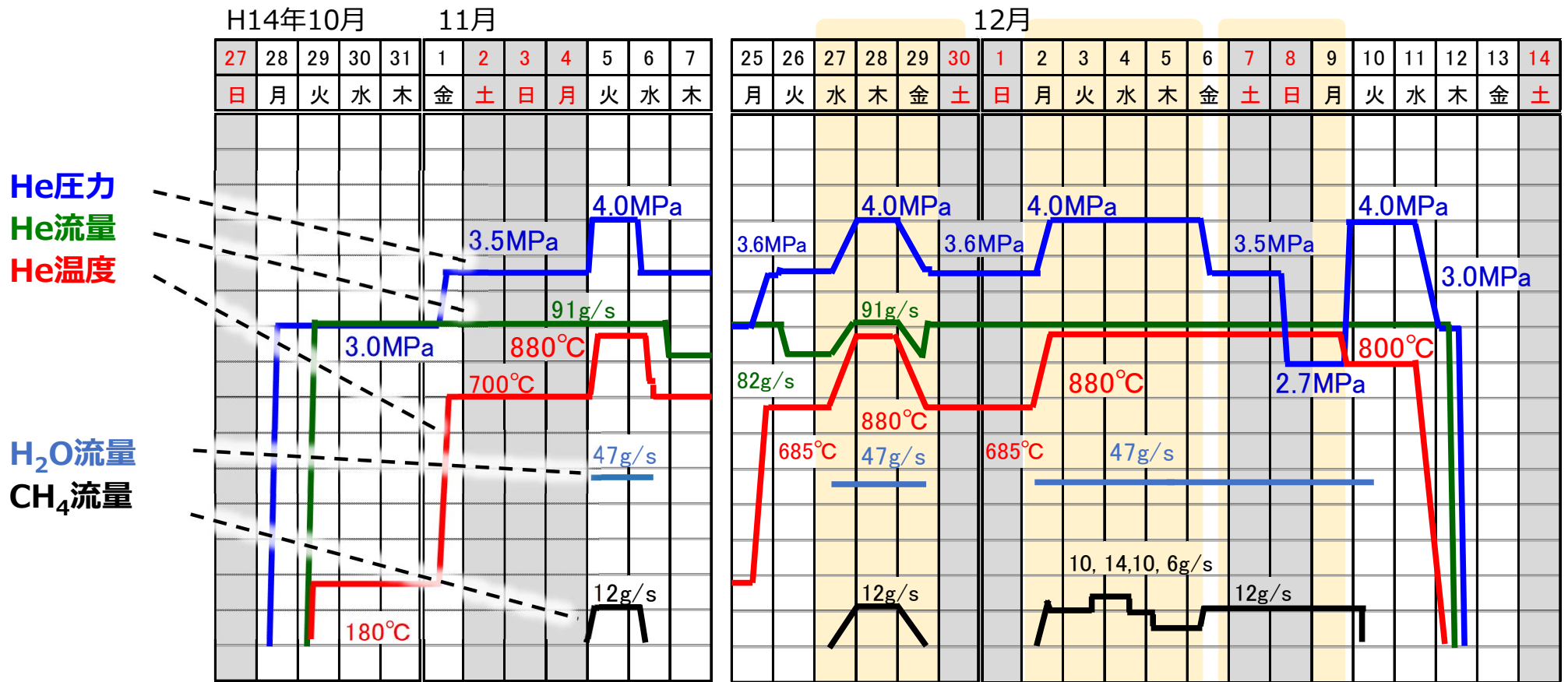


試験内容[1]-[5]

試験名	内容	要素技術検証内容との対応
(a) 起動・停止試験	・原子炉の運転に連動した水素製造設備の起動・停止手順を確立する。	Ⅲ HTTR水素製造システムの起動停止の手順確率 Ⅴ HTTR水素製造システム動特性解析コードの検証
(b) プラント特性試験	・原料ガス流量、水蒸気流量、ヘリウム流量をステップ状に変動させ、水素製造システムの応答を測定し、制御特性の把握、水素製造設備の動特性解析コードの検証を行う。 ・定格条件で7日間運転し、安定した水素製造できることを実証する。	Ⅰ プラント温度変動時のヘリウムガス温度制御緩和技術 Ⅱ 水蒸気改質器触媒管の健全性確保 Ⅴ HTTR水素製造システム動特性解析コードの検証
(c) 改質器特性試験	・水素製造量に対する圧力、温度、流量の影響を測定し、水素製造性能の評価、設備の動特性解析コードの検証を行う。	Ⅳ HTTR水素製造システム特有の高温機器の設計妥当性検証 Ⅴ HTTR水素製造システム動特性解析コードの検証
(d) 安全性試験	・蒸気発生器と放熱器を用いた水蒸気改質器の異常（反応停止）時の原子炉戻りヘリウムガス温度変動緩和機能を実証するとともに、その運転手順を確立する。	Ⅰ プラント温度変動時のヘリウムガス温度制御緩和技術 Ⅳ HTTR水素製造システム特有の高温機器の設計妥当性検証 Ⅴ HTTR水素製造システム動特性解析コードの検証

[1] 林他, HTTR水素製造システム実規模単一反応管試験装置平成13年度試験運転報告(受託研究), JAEA-Technology 2005-032
 [2] 林他, HTTR水素製造システム実規模単一反応管試験装置平成14年度試験運転報告(受託研究), JAEA-Technology 2006-011
 [3] 林他, HTTR水素製造システム実規模単一反応管試験装置平成15年度試験運転報告(受託研究), JAEA-Technology 2006-012

[4] 林他, HTTR水素製造システム実規模単一反応管試験装置平成16年度試験運転報告(受託研究), JAEA-Technology 2006-013
 [5] 稲垣他, HTTR水素製造システム実規模単一反応管試験装置の機能試験結果報告(受託研究), JAERI-Tech 2003-034



(a) 起動・停止試験

HTTRとの連動を想定した
水素製造の開始・停止運転

(b) プラント特性試験

ガス流量変動時の
応答挙動調査

(c) 改質器特性試験

反応条件と
水素製造量の関係調査

水蒸気改質器へのガス供給 (第3回試験運転) [1]

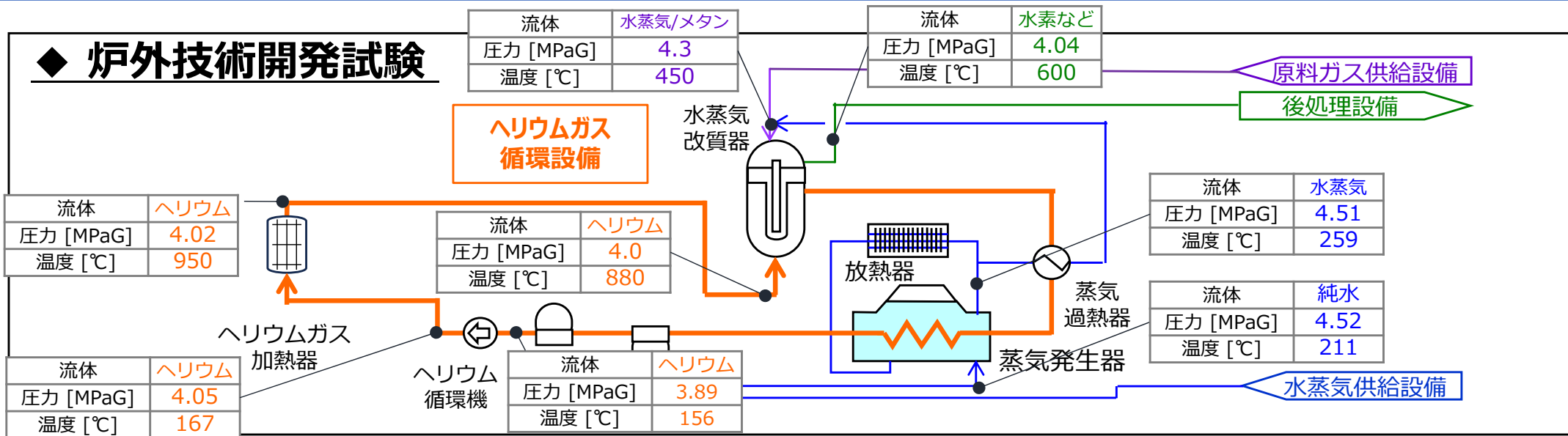
まとめ

- **HTTR-熱利用試験に用いる水素製造法は、炉外技術開発試験装置**（旧原研時代に開発）**により確認された水素製造技術を基に設計・製作を行う。**（反応管1本→7本以外はほぼ同じ）
- **炉外技術開発試験装置は、一般産業法規の技術基準に従い許可を受け、設計・製作し、検査を受けた。炉外技術開発試験装置の運転日数は249日である。これは、HTTR-熱利用試験による水素製造試験の計画日数を上回る。**
- **水素製造施設のうち、原子炉施設に直接影響を及ぼす設備**（安全機能の重要度クラス3として設計する水蒸気改質器等）**は、一般産業法規**（高圧ガス保安法等）**の下で既に整備済みの技術基準を試験炉技術基準規則に取り込み、炉規法の下で適合性を審査する。**

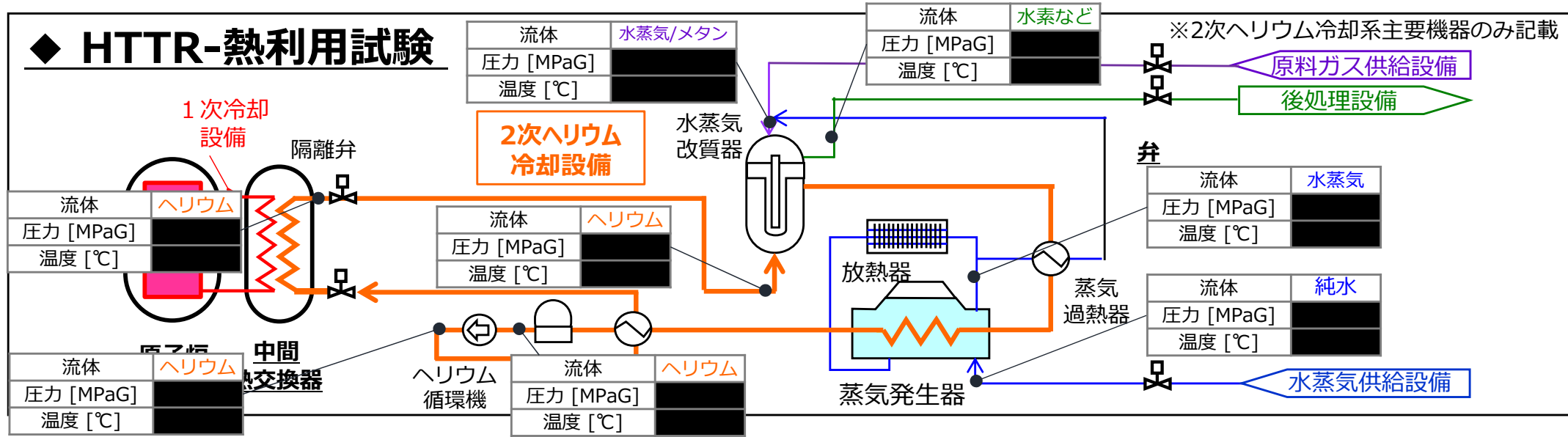
参考資料

熱収支の比較

◆ 炉外技術開発試験



◆ HTTR-熱利用試験



水蒸気改質器の差違（HTTR-熱利用試験と一般産業施設）

- HTTR-熱利用試験施設の水蒸気改質器は、一般産業施設のものとは比べて、主に加熱方式が異なるが、大型の水蒸気改質器と、ほぼ同水準の運転条件となっている。
- 近年、小型（1000Nm³/h以下）の水蒸気改質器の開発されている※1~3。導入の容易さ等に配慮し、高圧ガス保安法に該当しない1MPaG未満の設備で設計されている。

	HTTR-熱利用試験施設	一般産業施設	
型式	ヘリウム熱交換式 バイオネット型改質器	バーナー加熱式 直管型改質器	バーナー加熱式 バイオネット型改質器
概念図	<p>生成ガス 原料ガス フィン 内管 触媒管 ガイド管 触媒 ヘリウムガス</p>	<p>原料ガス ※4 バーナー 反応管 出口配管</p>	<p>出口ガス ※5 原料ガス Flue gas outlet Process gas inlet Flue gas annulus Reformer tube Center bed Center tube Flue gas entering the flue gas annulus バーナー</p>
運転条件 (原料ガス側)	運転温度 : 450~620℃ 圧力 : 約4 MPa	(大型の場合の例) 運転温度 : 700~950℃※6 圧力 : 2~4 MPa※6	(小型 (1000Nm ³ /h以下) の場合の例) 運転温度 : 700~850℃※2,7 圧力 : 0.99MPa※1~3,6 以下
適用法規 (国内)	原子炉等規制法 (高圧ガス保安法技術基準)	海外プラントのため該当なし	
材料 (反応管)	NCF800H	HK40、HP、IN519、NCF800H※8~10	

※1 <https://products.awi.co.jp/ja/industrial/business/plant/id002496>

※2 <https://www.kakoki.co.jp/products/p-001/index.html>

※3 <https://www.daigasps.co.jp/service/engineering/energy/hyserve/>

※4 https://d2zo35mbd530wx.cloudfront.net/_binary/UCPthyssenkruppUhde/6cc6d788-4f6c-49f4-adf9-08295b1ee60c/brochure-ammonia_scr.pdf

※5 <https://www.topsoe.com/our-resources/knowledge/our-products/equipment/convection-reformer-hcr?hslang=en>

※6 https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/248060/122646_FULLTEXT01.pdf?sequence=1

※7 今、オンサイト型水素ステーション用低価格水素製造装置の開発、2018年度触媒学会「水素の製造と利用に関するシンポジウム」

※8 <https://comtecquest.com/Practice/practice16.html>

※9 奥山他、高温ヘリウムガスによって加熱される熱交換型水蒸気改質器の基本特性I-シミュレーションモデルによる解析(1) - JAERI-M86-090

※10 https://nickelgokin.com/nickel/alloy_800ht/

要件	基準
保安物件に対する離隔距離の確保	第一種保安物件に対し第一種設備距離以上、第二種保安物件に対し第二種設備距離以上の距離
外部の火気を取扱施設に対する対策（離隔距離の確保、可燃性ガスの火気を取扱う施設への流動防止、連動装置による火気の使用停止）	離隔距離8m以上 流動防止措置または連動装置による消火措置
他の高圧ガス設備に対する離隔距離確保	5m以上（可燃性ガスの製造設備の高圧ガス設備） 6m以上（圧縮水素スタンドの処理設備及び貯蔵設備） 10m以上（酸素の製造設備の高圧ガス設備）
可燃性ガス貯槽の他可燃性及び支燃性ガス貯槽に対する離隔距離確保	1m又は当該貯槽及び他の可燃性ガス若しくは酸素の貯槽の最大直径の和の1/4のいずれか大なるものに等しい距離以上
可燃性ガス及び毒性ガスの液化ガス貯槽の液体漏えい時の流出防止	防液堤を設置する場合は、その内側及びその外面から10m以内には、当該貯槽の付属設備その他の設備又は施設であつて経済産業大臣が定めるもの以外のものを設けない
可燃性ガスの漏えい時の滞留防止	ガスが漏えいしたとき滞留しないような構造とする
可燃性ガス低温貯槽の内圧低下による破損防止措置	内圧が外圧より低下することにより当該貯槽の破壊を防止する
可燃性ガス及び毒性ガスの貯槽に接続した配管における弁の個数や漏えい時の遮断措置	当該貯槽の直近にバルブを設けるほか、1以上のバルブを設ける液化ガスが漏えいしたときに安全に、かつ、速やかに遮断する
可燃性ガスを含む設備に係る電気設備の防爆性	高圧ガス設備に係る電気設備は、その設置場所及び当該ガスの種類に応じた防爆性能を有する構造

要件	基準
反応等を行う製造設備を自動的に制御する装置の停電対策	停電等により当該設備の機能が失われることのない
圧縮機と圧縮ガスを充填した容器置場の間の障壁設置	厚さ12cm以上の鉄筋コンクリート造り又はこれと同等以上の強度を有する構造の障壁を設ける
可燃性ガス及び毒性ガス漏えい時に滞留する場所への検知・警報設備	ガスの漏えいを検知し、かつ、警報するための設備を設ける
毒性ガス製造施設の識別表示	毒性ガスの製造施設や毒ガスが漏えいする恐れのある箇所への危険標識の掲示
可燃性ガス製造設備の静電気除去措置	製造設備に生ずる静電気を除去する措置
可燃性ガス製造設備の防消火設備設置	規模に応じ、適切な防消火設備を適切な箇所に設ける
緊急時の通報を速やかにできる措置	業所内で緊急時に必要な通報を速やかに行うための措置
可燃性ガス容器置場の設置場所	可燃性ガス及び酸素の容器置場は一階建 第一種保安物件に対し第一種置場距離以上の離隔距離 第二種保安物件に対し第二種置場距離以上の離隔距離
空気を含む可燃性ガスの圧縮禁止	可燃性ガス（水素を除く。）中の酸素の容量が全容量の4%以上のガスは圧縮しないこと
可燃性ガス及び毒性の廃棄方法	可燃性ガス：火気を取り扱う場所又は引火性若しくは発火性の物をたい積した場所及びその付近を避け、かつ、大気中に放出して廃棄するときは、通風の良い場所で少量ずつ放出すること 毒性ガス：大気中に放出して廃棄するときは、危険又は損害を他に及ぼすおそれのない場所で少量ずつすること

月日	相手方	内容
2023/6/27	茨城県 消防安全課産業保安室	炉規法適用範囲と高圧ガス保安法の適用範囲を規制庁が示した場合には、茨城県として高圧ガス保安法適用施設を粛々と審査することになるだろう
2023/8/22	原子力規制庁 志間安全規制管理官面談	高圧ガス保安法の適用範囲に関し、経済産業省にも相談すること
2023/10/2	経産省 高圧ガス保安室	高圧ガス保安法は原子炉及び附属施設内における高圧ガスを除くものが適用範囲となっているため、水蒸気改質器を炉規法の範囲として原子炉施設の附属施設とするにあたっては、当該機器が炉規法の中で読めるという原子力規制庁の見解が必要
2023/10/31	原子力規制庁	水蒸気改質器等の水素製造施設の高圧ガス災害対策に対し、“餅は餅屋であり”、安全性を確保するために妥当な法規を適用するのが良いのではないか。経産省と再度相談してほしい
2023/11/8	経産省 高圧ガス保安室	炉規法側で水蒸気改質器等は原子炉の附属施設として見ないということであれば、高圧ガス保安法を適用することとなる
2023/11/29	茨城県 消防安全課産業保安室	適用法規範囲を整理し、高圧ガス保安法の範囲として申請すれば、県は粛々と審査する。高圧ガスの製造許可は、炉規法の許可取得有無は関係ないので、適切な時機で申請してもらえば良い
2023/12/15	原子力規制庁	原子炉の通常運転時に除熱機能を担う設備は炉規法を適用すべき。従って、水蒸気改質器の2次側の弁まで炉規法を適用するケースが概ね妥当。設置許可申請の対象範囲（炉規法の適用範囲）の相談は行政相談が効率的。但し、最終判断は、設置許可申請後になされる。