

2.16.3 高性能多核種除去設備

2.16.3.1 基本設計

2.16.3.1.1 設置の目的

高性能多核種除去設備は、『2.5 汚染水処理設備等』で処理した液体状の放射性物質の処理を早期に完了させる目的から設置するものとし、汚染水処理設備の処理済水に含まれる放射性物質（トリチウムを除く）を十分低い濃度になるまで除去することを計画している。（以下、「本格運転」という。）

本格運転では、処理済水に含まれる放射性核種（トリチウムを除く）を『実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則の規定に基づく線量限度等を定める告示』に定める周辺監視区域外の水中の濃度限度（以下、「告示濃度限度」という。）を下回る濃度まで低減することを目的としている。このことから、高性能多核種除去設備の性能について、確認試験を確認する試験（以下、「確認試験」という。）を行うとともに、目的としている性能が十分に確認できない場合は、必要に応じて対策を講じる。また、確認試験に使用する設備の仕様は本格運転と同じとする。

2.16.3.1.2 要求される機能

『2.16.1 多核種除去設備 2.16.1.1.2 「要求される機能」』に同じ。

2.16.3.1.3 設計方針

(1) 放射性物質の濃度及び量の低減

高性能多核種除去設備は、汚染水処理設備で処理した水を、ろ過、イオン交換等により周辺環境に対して、放射性物質の濃度及び量を合理的に達成できる限り低くする設計とする。

(2) 処理能力

高性能多核種除去設備は、滞留水の発生原因となっている雨水、地下水の建屋への流入量を上回る処理容量とする。

(3) 材料

高性能多核種除去設備の機器等は、処理対象水の性状を考慮し、適切な材料を用いた設計とする。

(4) 放射性物質の漏えい防止及び管理されない放出の防止

高性能多核種除去設備の機器等は、液体状の放射性物質の漏えい防止及び敷地外への管理されない放出を防止するため、次の各項を考慮した設計とする。

- a. 漏えいの発生を防止するため、機器等には適切な材料を使用するとともに、タンク水

位の検出器，インターロック回路等を設ける。

- b. 液体状の放射性物質が漏えいした場合は，漏えいの早期検出を可能にするとともに，漏えい液体の除去を容易に行えるようにする。
- c. タンク水位，漏えい検知等の警報については，免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室等に表示し，異常を確実に運転員に伝え適切な措置をとれるようにし，これを監視できるようにする。
- d. 高性能多核種除去設備の機器等は，可能な限り周辺に堰を設けた区画内に設け，漏えいの拡大を防止する。また，処理対象水の移送配管類は，万一，漏えいしても排水路を通じて環境に放出することがないように，排水路から可能な限り離隔するとともに，排水路を跨ぐ箇所はボックス鋼内等に配管を敷設する。さらに，ボックス鋼端部から排水路に漏えい水が直接流入しないように土のうを設ける。

(5) 被ばく低減

高性能多核種除去設備は，遮へい，機器の配置等により可能な限り被ばくの低減を考慮した設計とする。

(6) 可燃性ガスの管理

高性能多核種除去設備は，水の放射線分解により発生する可燃性ガスを適切に排出できる設計とする。また，排出する可燃性ガスに放射性物質が含まれる可能性がある場合には，適切に除去する設計とする。

(7) 健全性に対する考慮

放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設は，機器の重要度に応じた有効な保全が可能な設計とする。

2.16.3.1.4 供用期間中に確認する項目

『2.16.1 多核種除去設備 2.16.1.1.4 「供用期間中に確認する項目」』に同じ。

2.16.3.1.5 主要な機器

高性能多核種除去設備は，1系列構成とし，前処理設備と多核種除去装置で構成する。さらに共通設備として，多核種除去装置へ薬品を供給する薬品供給設備，処理済水のサンプリング，多核種処理水タンクへ移送する多核種移送設備，高性能多核種除去設備の運転監視を行う監視制御装置，電源を供給する電源設備等で構成する。

本設備は，処理水の水質等に応じて，フィルタ，吸着塔の通水順序を弁の切替え操作により変更できる構成とする。また，装置の処理能力を確認するための試料採取が可能な構成とする。

高性能多核種除去設備の除去対象とする核種は『2.16.1 多核種除去設備 添付資料－6』と同じとする。

高性能多核種除去設備の主要な機器は、免震重要棟集中監視室またはシールド中央制御室の監視・制御装置により遠隔操作及び運転状況の監視を行う。更に、特に重要な装置の緊急停止操作についてはダブルアクションを要する等の設計とする。また、高性能多核種除去設備の設置エリアには、エリア放射線モニタを設置し、放射線レベルを監視する。

高性能多核種除去設備で処理された水は、処理済水貯留用のタンクで貯留する。

(1) 前処理設備

前処理設備は、8塔の前処理フィルタで構成する。

前処理フィルタは、前処理フィルタ1によって浮遊物質を除去し、前処理フィルタ2～4によってセシウム、ストロンチウムを粗取りする。また、前処理フィルタは、除去対象核種に応じて入れ替え可能な設計とする。

前処理フィルタは、一定量処理後、水抜きを行い、交換する。また、抜いた水は供給タンクへ移送する。使用済みフィルタは容器に収納し、瓦礫類の一時保管エリアで貯蔵する。

(2) 多核種除去装置

多核種除去装置は、20塔の吸着塔で構成する。

多核種除去装置は、除去対象核種に応じて吸着塔に収容する吸着材の種類が異なっており、処理対象水に含まれるコロイド状及びイオン状の放射性物質を分離・吸着処理する機能を有する。また、吸着塔に収容する吸着材の構成は、処理対象水の性状に応じて変更する。

吸着塔に含まれる吸着材は、所定の容量を通水した後、吸着塔ごと交換する。使用済吸着塔は、使用済セシウム吸着塔一時保管施設あるいは大型廃棄物保管庫で貯蔵する。

(3) 薬品供給設備

薬品供給設備は、各添加薬液に対してそれぞれタンクを有し、pH調整のため、ポンプにより薬品を多核種除去装置へ供給する。添加する薬品は、苛性ソーダ、塩酸である。

なお、使用する薬品は、何れも不燃性であり、装置内での反応熱、反応ガスも有意には発生しない。

(4) 多核種移送設備

多核種移送設備は、高性能多核種除去設備で処理された水を採取し、分析後の水を処理済水貯留用のタンクに移送するための設備で、サンプルタンク、高性能多核種除去設備用移送ポンプおよび移送配管等で構成する。なお、高性能多核種除去設備で処理され

た水は、サンプルタンクをバイパスして処理済水貯留用のタンクに移送することも可能な構成となっている。

(5) 電源設備

電源は、異なる2系統の所内高圧母線から受電できる構成とする。なお、電源が喪失した場合でも、設備からの外部への漏えいは発生することはない。

(6) 橋形クレーン

吸着塔及び前処理フィルタを取り扱うための橋形クレーンを設ける。

(7) 高性能多核種除去設備基礎

高性能多核種除去設備基礎は、平面が約36m（南北方向）×約65m（東西方向）、厚さ約1.5mの鉄筋コンクリート造で、改良地盤を介して段丘堆積層に直接支持されている。

なお、上屋は、地上高さが約18mの鉄骨造で、構造上、基礎で上屋の荷重を負担する構造となっている。

2.16.3.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

高性能多核種除去設備は、アウターライズ津波が到達しないと考えられるT.P.約28m以上の場所に設置する。（Ⅲ.3.1.3参照）

(2) 台風

台風による設備の損傷を防止するため、建屋は建築基準法施行令に基づく風荷重に対して設計する。

(3) 積雪

積雪による設備の損傷を防止するため、建屋は建築基準法施行令および福島県建築基準法施行規則細則に基づく積雪荷重に対して設計する。

(4) 落雷

接地網を設け、落雷による損傷を防止する。

(5) 竜巻

竜巻の発生の可能性が予見される場合は、設備の停止・隔離弁の閉止操作等を行い、汚染水の漏えい防止及び漏えい水の拡大防止を図る。

(6) 火災

火災発生を防止するため、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する。また、火災検知性を向上させるため、消防法基準に準拠した火災検出設備を設置するとともに、初期消火のために近傍に消火器を設置する。さらに、避難時における誘導用のために誘導灯を設置する。

2.16.3.1.7 構造強度及び耐震性

(1) 構造強度

高性能多核種除去設備を構成する主要な機器は、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において、廃棄物処理設備に相当すると位置付けられる。これに対する適用規格は、「JISME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下、「設計・建設規格」という。）で規定され、機器区分クラス3の規定を適用することを基本とする。また、主要な機器のうち前処理フィルタ及び吸着塔（二相ステンレス製）は、「ASME Boiler and Pressure Vessel Code (Sec VIII)」に準拠し前処理フィルタ及び吸着塔廻りの鋼管（二相ステンレス製）は、「ASME B31.1 Power Piping」に準拠する。吸着塔（ステンレス製）、吸着塔廻りの鋼管（ステンレス製）は、設計・建設規格に準拠する。

なお、クラス3機器に該当しないその他の機器は、JIS等規格適合品を用いることとし、ポリエチレン管は、JWWAまたはISO規格に準拠する。

また、原子力発電所での使用実績がない材料を使用する場合は、他産業での使用実績等を活用しつつ、必要に応じて試験等を行うことで、経年劣化等の影響についての評価を行う。なお、検討用地震動および同津波に対する評価が必要な設備として抽出された機器等については、今後対策を講じる。

(2) 耐震性

高性能多核種除去設備等を構成する機器のうち放射性物質を内包するものは、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」のBクラス相当の設備と位置づけられ、耐震性を評価するにあたっては、「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」等に準拠する。なお、検討用地震動および同津波に対する評価が必要な設備として抽出された機器等については、今後対策を講じる。

2.16.3.1.8 機器の故障への対応

(1) 機器の単一故障

高性能多核種除去設備は、1系列構成とするが、動的機器及び電源等については多重化している。そのため、動的機器、電源系統等の単一故障については、切替作業等により速やかな処理再開が可能である。

b. 処理水タンク

名 称		処理水タンク	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m ³ /個	30	
最 高 使 用 圧 力	MPa	静水頭	
最 高 使 用 温 度	℃	40	
主 要 寸 法	洞 内 径	mm	3000
	洞 板 厚 さ	mm	9.0
	底 板 厚 さ	mm	12.0
	平 板 厚 さ	mm	6.0
	高 さ	mm	5006
材 料	洞 板	—	SM400C
	底 板	—	SM400C
個 数	個	2 (1 個予備)	

c. 前処理フィルタ 1

名 称		前処理フィルタ 1	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m ³ /h/個	21	
最 高 使 用 圧 力	MPa	1.03	
最 高 使 用 温 度	℃	40	
主 要 寸 法	洞 内 径	mm	901.7
	洞 板 厚 さ	mm	6.35
	上 部 平 板 厚 さ	mm	63.5
	下 部 平 板 厚 さ	mm	63.5
	高 さ	mm	2013
材 料	洞 板	—	ASME SA 516 Gr. 70
	上 部 平 板	—	ASME SA 516 Gr. 70
	下 部 平 板	—	ASME SA 516 Gr. 70
個 数	個	2 (1 個予備)	

d. 前処理フィルタ 2～4

名 称		前処理フィルタ 2～4	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m ³ /h/個	21	
最高使用圧力	MPa	1.03	
最高使用温度	℃	40	
主 要 寸 法	洞 内 径	mm	901.7
	洞 板 厚 さ	mm	6.35
	上 部 平 板 厚 さ	mm	63.5
	下 部 平 板 厚 さ	mm	63.5
	高 さ	mm	1800
材 料	洞 板	—	ASME SA 516 Gr.70
	上 部 平 板	—	ASME SA 516 Gr.70
	下 部 平 板	—	ASME SA 516 Gr.70
個 数	個	6 (3個予備)	

e. 多核種吸着塔 1～20 (二相ステンレス製)

名 称		多核種吸着塔 1～20	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m ³ /h/個	21	
最高使用圧力	MPa	1.55	
最高使用温度	℃	40	
主 要 寸 法	外 洞 内 径	mm	939.8
	外 洞 板 厚 さ	mm	12.7
	内 洞 内 径	mm	330.2
	内 洞 板 厚 さ	mm	12.7
	上 部 平 板 厚 さ	mm	76.2
	下 部 平 板 厚 さ	mm	76.2
	高 さ	mm	3632
材 料	外 洞 板	—	二相ステンレス (UNS S31803) 二相ステンレス (UNS S32205) 二相ステンレス (UNS S32750)
	内 洞 板	—	
	上 部 平 板	—	
	下 部 平 板	—	
個 数	個	20	

※現場状況等に応じて、いずれかの材質を使用する。

f. 多核種吸着塔 1～20（ステンレス製）

名 称		多核種吸着塔 1～20	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m ³ /h/個	21	
最 高 使 用 圧 力	MPa	1.55	
最 高 使 用 温 度	℃	40	
主 要 寸 法	外 洞 内 径	mm	937.2
	外 洞 厚 さ	mm	14.0
	内 洞 外 径	mm	355.6
	内 洞 厚 さ	mm	19.0
	上 部 平 板 厚 さ	mm	116.0
	下 部 平 板 厚 さ	mm	95.0
	高 さ	mm	3632
材 料	外 洞	—	SUS316L
	内 洞	—	SUS316LTP
	上 部 平 板	—	SUSF316L
	下 部 平 板	—	SUSF316L
個 数	個	20	

※活性炭を収容する吸着塔及び低 pH 条件の吸着塔では使用しない。

g. サンプルタンク（高性能多核種除去設備用処理済水一時貯留タンク）

名 称		サンプルタンク	
種 類	—	たて置円筒形	
容 量	m ³ /個	1235	
最 高 使 用 圧 力	MPa	静水頭	
最 高 使 用 温 度	℃	40	
主 要 寸 法	洞 内 径	mm	11000
	洞 板 厚 さ	mm	12
	底 板 厚 さ	mm	12
	高 さ	mm	13000
材 料	洞 板	—	SM400C
	底 板	—	SM400C
個 数	個	3	

(2) ポンプ

a. 供給ポンプ (完成品)

台 数 2 台 (1 台予備)

容 量 21 m³/h

b. 昇圧ポンプ 1 (完成品)

台 数 2 台 (1 台予備)

容 量 21 m³/h

c. 昇圧ポンプ 2 (完成品)

台 数 2 台 (1 台予備)

容 量 21 m³/h

d. 昇圧ポンプ 3 (完成品)

台 数 2 台 (1 台予備)

容 量 21 m³/h

e. 昇圧ポンプ 4 (完成品)

台 数 2 台 (1 台予備)

容 量 21 m³/h

f. 処理水移送ポンプ (完成品)

台 数 2 台 (1 台予備)

容 量 21 m³/h

g. 高性能多核種除去設備用移送ポンプ (完成品)

台 数 2 台

容 量 50 m³/h

(3) 配管

主要配管仕様

名 称	仕 様	
RO濃縮水移送ポンプ配管分岐部から 供給タンク A/B 入口まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン ^{注1} 0.98MPa 40℃
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 STPT410+ライニング 0.98MPa 40℃
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A/Sch. 40 ^{注1} 100A/Sch. 40 ^{注1} STPG370+ライニング 0.98MPa 40℃
供給タンク A/B 出口から 前処理フィルタユニット A/B 入口 A0 弁 まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 STPT410+ライニング 0.98MPa 40℃
前処理フィルタ A/B 入口 A0 弁から 前処理フィルタ A/B 入口まで (ポリエチレン管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.03MPa 40℃
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 STPT410+ライニング 1.03MPa 40℃
前処理フィルタユニット A/B 入口から 前処理フィルタユニット A/B 出口 まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 10 80A/Sch. 40 80A/Sch. 10 50A/Sch. 40 UNS S32750 1.03 MPa 40℃
前処理フィルタユニット A/B 出口から 昇圧ポンプユニット 1 入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A /Sch. 40 STPT410+ライニング 1.03 MPa 40℃
(ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリエチレン 1.03MPa 40℃

主要配管仕様

名 称	仕 様	
昇圧ポンプユニット1 入口から 昇圧ポンプユニット1 出口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch. 10 80A/Sch. 40 UNS S32750 1.03 MPa 40 °C
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 80A/Sch. 10 UNS S32750 1.55 MPa 40 °C
昇圧ポンプユニット1 出口から 吸着塔ユニット1 入口まで (ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 1.55 MPa 40 °C
吸着塔ユニット1 入口から 吸着塔ユニット1 出口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch. 10 UNS S32750 1.03 MPa 40 °C
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 80A/Sch. 10 80A/Sch. 40 UNS S32750 1.55 MPa 40 °C
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 80A/Sch. 40 UNS S31803 1.55 MPa 40 °C
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 80A/Sch. 40 UNS S32205 1.55 MPa 40 °C
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 ^{注2} 80A/Sch. 40 ^{注2} SUS316LTP 1.55 MPa 40 °C
(ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 1.55 MPa 40 °C
吸着塔ユニット1 出口から 昇圧ポンプユニット2 入口まで (ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 1.55 MPa 40 °C

主要配管仕様

名 称	仕 様	
昇圧ポンプユニット2入口から 昇圧ポンプユニット2出口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 80A/Sch. 10 80A/Sch. 40 UNS S32750 1.55 MPa 40℃
昇圧ポンプユニット2出口から 吸着塔ユニット2入口まで (ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 1.55 MPa 40℃
吸着塔ユニット2入口から 吸着塔ユニット2出口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 80A/Sch. 10 80A/Sch. 40 UNS S32750 1.55 MPa 40℃
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 80A/Sch. 40 UNS S31803 1.55 MPa 40℃
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 80A/Sch. 40 UNS S32205 1.55 MPa 40℃
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 ^{注2} 80A/Sch. 40 ^{注2} SUS316LTP 1.55 MPa 40℃
(ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 1.55 MPa 40℃
吸着塔ユニット2出口から 昇圧ポンプユニット3入口まで (ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 1.55 MPa 40℃
昇圧ポンプユニット3入口から 昇圧ポンプユニット3出口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 80A/Sch. 10 80A/Sch. 40 UNS S32750 1.55 MPa 40℃

主要配管仕様

名 称	仕 様	
昇圧ポンプユニット3 出口から 吸着塔ユニット3 入口まで (ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 1.55 MPa 40 °C
吸着塔ユニット3 入口から 吸着塔ユニット3 出口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 80A/Sch. 10 80A/Sch. 40 UNS S32750 1.55 MPa 40 °C
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 80A/Sch. 40 UNS S31803 1.55 MPa 40 °C
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 80A/Sch. 40 UNS S32205 1.55 MPa 40 °C
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 ^{注2} 80A/Sch. 40 ^{注2} SUS316LTP 1.55 MPa 40 °C
(ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 1.55 MPa 40 °C
吸着塔ユニット3 出口から 昇圧ポンプユニット4 入口まで (ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 1.55 MPa 40 °C
昇圧ポンプユニット4 入口から 昇圧ポンプユニット4 出口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 80A/Sch. 10 80A/Sch. 40 UNS S32750 1.55 MPa 40°C
昇圧ポンプユニット4 出口から 吸着塔ユニット4 入口まで (ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 1.55 MPa 40 °C

主要配管仕様

名 称	仕 様	
吸着塔ユニット4入口から 吸着塔ユニット4出口まで (鋼管)	呼び径/厚さ	50A/Sch. 40 80A/Sch. 10 80A/Sch. 40
	材質	UNS S32750
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 °C
(鋼管)	呼び径/厚さ	50A/Sch. 40 80A/Sch. 40
	材質	UNS S31803
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 °C
(鋼管)	呼び径/厚さ	50A/Sch. 40 80A/Sch. 40
	材質	UNS S32205
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 °C
(鋼管)	呼び径/厚さ	50A/Sch. 40 ^{注2} 80A/Sch. 40 ^{注2}
	材質	SUS316LTP
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 °C
(ホース)	呼び径	80A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 °C
吸着塔ユニット4出口から 配管ユニット入口まで (ホース)	呼び径	80A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 °C
配管ユニット入口から 配管ユニット出口まで (鋼管)	呼び径/厚さ	50A/Sch. 40 80A/Sch. 10
	材質	UNS S32750
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 °C
(鋼管)	呼び径/厚さ	80A/Sch. 10 100A/Sch. 10
	材質	UNS S32750
	最高使用圧力	0.98 MPa
	最高使用温度	40 °C

主要配管仕様

名 称	仕 様	
配管ユニット出口から 処理水タンク A/B 入口まで (ポリエチレン管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98 MPa 40℃
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 STPT410+ライニング 0.98 MPa 40℃
処理水タンク A/B 出口から 処理水移送ポンプ A/B 入口まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch. 40 100A/Sch. 40 STPT410+ライニング 0.98MPa 40℃
処理水移送ポンプ A/B 出口から サンプルタンクまで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/ Sch. 80 100A/Sch. 40 STPT410+ライニング 0.98MPa 40℃
(ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃

主要配管仕様

名 称	仕 様	
サンプルタンク出口から 多核種処理水貯槽, RO 濃縮水貯槽また は Sr 処理水貯槽まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 80A/Sch. 40 50A/Sch. 40 SUS316L 0.98MPa 40℃
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 STPT410+ライニング 0.98MPa 40℃
(ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A 相当 100A 相当 ポリエチレン 静水頭 40℃
(ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
高性能多核種除去設備用移送ポンプス キッドから供給タンクまで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 150A/Sch. 40 STPT410+ライニング 0.98MPa 40℃
(ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃

主要配管仕様

名 称	仕 様	
配管ユニット出口から 供給タンク A/B 入口まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 STPT410+ライニング 0.98MPa 40℃
吸着塔ユニット 1 から 前処理フィルタユニット A/B まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 80A 相当 ポリエチレン 1.03MPa 40℃
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch. 40 STPT410+ライニング 1.03MPa 40℃
前処理フィルタユニット A から 前処理フィルタユニット B まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリエチレン 1.03MPa 40℃
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch. 40 STPT410+ライニング 1.03MPa 40℃
前処理フィルタユニット A 出口から 前処理フィルタユニット B 入口まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリエチレン 1.03MPa 40℃
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch. 40 STPT410+ライニング 1.03MPa 40℃
前処理フィルタユニット A/B から 吸着塔ユニット 1 まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリエチレン 1.03MPa 40℃
(鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch. 40 STPT410+ライニング 1.03MPa 40℃

注 1 『2.5 汚染水処理設備等』で移送配管として使用していた配管を使用する。

注 2 活性炭を収容する吸着塔及び低 pH 条件の吸着塔周りの配管では SUS316L 材を使用しない。

※ 現場施工状況により、配管仕様（呼び径、厚さ、材質）の一部を使用しない場合がある。

(5) 放射線監視装置

放射線監視装置仕様

項目	仕様
名称	エリア放射線モニタ
基数	4基
種類	半導体検出器
取付箇所	高性能多核種除去設備設置エリア
計測範囲	10^{-3} mSv/h ~ 10^1 mSv/h

2.16.3.3 添付資料

添付資料－1：全体概要図及び系統構成図

添付資料－2：高性能多核種除去設備基礎の構造強度に関する検討結果

添付資料－3：高性能多核種除去設備の耐震性に関する説明書

添付資料－4：高性能多核種除去設備の強度に関する説明書

添付資料－5：流体状の放射性廃棄物の施設外への漏えい防止に関する計算書

添付資料－6：工事工程表

添付資料－7：高性能多核種除去設備の具体的な安全確保策

添付資料－8：高性能多核種除去設備に係る確認事項

高性能多核種除去設備の具体的な安全確保策

高性能多核種除去設備で扱う液体は、放射性物質を含むことから、漏えい発生防止、放射線遮へい・崩壊熱除去、可燃性ガス滞留防止等について、具体的な安全確保策を以下の通り定め、実施する。

1. 放射性物質の漏えい発生防止等に対する考慮

(1) 漏えい発生防止

- a. 高性能多核種除去設備を構成する機器は、腐食による漏えい発生防止するため、液性等に応じて、炭素鋼（内面ライニング）、ステンレス鋼、二相ステンレス鋼、ポリエチレン材等を採用する（別添－ 1）。
- b. タンクには水位検出器を設け、オーバーフローを防止するため、インターロックの作動によりポンプを停止する設計とする。
- c. 鋼材もしくはポリエチレンの継手部は、可能な限り溶接構造もしくは融着構造とする。また、漏えい堰等が設置されない移送配管等で継手部がフランジ構造となる場合には、継手部に漏えい防止カバーを設置する。
- d. ポンプの軸封部は、漏えいし難いメカニカルシール構造とする。
- e. K 2, K 4, J 2 エリアの増設多核種除去設備処理済水移送配管と接続するために増設する移送配管は、供用の終了後に配管の水抜きを実施する。
- f. ポリエチレン管の耐震性については、可撓性を有しており地震による有意な応力は発生しない。

(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止

- a. 高性能多核種除去設備は、放射性物質を内包する機器のスキッド毎に漏えいパン及び漏えい検知器を設け、漏えいを早期に検知する。また、高性能多核種除去設備設置エリアの最外周に、漏えいの拡大を防止する堰及び漏えい検知器を設ける（図 1）。なお、トレーラヤードには、スロープ堰を設置する。
- b. 漏えいを検知した場合には、免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室等に警報を発し、運転操作員によりカメラ、流量等の運転監視パラメータ等の状況を確認し、適切な対応を図る。また、大量の漏えいが確認された場合には、高性能多核種除去設備を遠隔操作で停止する。
- c. 漏えい水のコンクリートへの浸透を防止するため、高性能多核種除去設備設置エリアには床塗装を実施する。
- d. 高性能多核種除去設備の設置に伴い新規に敷設する屋外移送配管について、以下の対応を行う。

- ・ポリエチレン管とポリエチレン管の接合部は漏えい発生を防止のため融着構造とすることを基本とし、ポリエチレン管と鋼管との取合い等でフランジ接続となる箇所については養生を行い、漏えい拡大防止を図る。また、処理対象水の移送配管は、万一、漏えいしても排水路を通じて環境に放出することがないように、排水路から可能な限り離隔するとともに、排水路を跨ぐ箇所はボックス鋼内等に配管を敷設する。さらに、ボックス鋼端部から排水路に漏えい水が直接流入しないように土のうを設ける。
 - ・移送配管は、使用開始までに漏えい確認等を実施し、施工不良等による大規模な漏えいの発生を防止する。また、フランジ継手部は、ガスケットの経年劣化により微小漏えいの発生が懸念されることから、架空化により視認性を向上させ、毎日の巡視点検により漏えいの有無を確認する。
 - ・移送配管から漏えいが確認された場合は、ポンプ等を停止し、系統の隔離及び土嚢の設置等により漏えいの拡大防止を図る。
 - ・移送配管の更なる漏えい検知・漏えい拡大防止策について、速やかに検討し、RO濃縮水処理によるリスク低減効果、漏えい拡大防止策の有効性や工期等を踏まえ、可能なものから実施する。対策が完了するまでの間は、巡視点検による漏えい検知を要員へ周知し、確実に実施する。
- e. サンプルタンクの本堰（コンクリート堰）高さは、堰の保有水量がタンク1基分の容量以上となるよう確保する。

2. 放射線遮へい・崩壊熱除去

(1) 放射線遮へい（被ばくに対する考慮）

- a. 高性能多核種除去設備の機器表面線量当量率が 1mSv/h 以下となるように遮へいを設ける。また、本設備から最寄りの敷地境界における直接線・スカイシャイン線の寄与は年間約 0.0036mSv となる。

評価点	年間線量 (mSv/年)
No. 70	0.0036
(参考) No. 66	0.0018
(参考) No. 71	0.0036

- b. 通常運転時は、免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室等から遠隔での監視及び操作を可能とする。
- c. 保守作業時の放射線業務従事者の被ばく低減のため、機器の洗浄が行える構成とする。
- d. 高性能多核種除去設備の運転操作等に係る放射線業務従事者以外の者が不要に近づ

くことがないよう、標識等を設ける。さらに、放射線レベルの高い区域は、標識を設け放射線業務従事者の被ばく低減を図る。

(2) 崩壊熱除去

- a. 処理対象水に含まれる放射性物質の崩壊熱は、通水時は処理水とともに熱除去される。
- b. 使用済フィルタ及び吸着塔の保管時においては、フィルタ及び吸着塔の最高温度は、それぞれ約 67℃、約 182℃と想定される。一方、フィルタ及び吸着塔内の吸着材の耐熱温度は、それぞれ、150℃、600℃であることから、材料の健全性に影響を与えるものではない（別添-2）。

3. 可燃性ガスの滞留防止

- a. 前処理フィルタおよび吸着塔内で水の放射性分解により発生する可能性のある可燃性ガスは、通水時は処理水とともに排出される。通水停止以降も再度その前処理フィルタおよび吸着塔により処理を行う場合には、可燃性ガスが滞留する可能性があるため、前処理フィルタおよび吸着塔内の可燃性ガスの濃度が可燃限界を超えないようベント弁より排出する。なお、高性能多核種除去設備の建屋には、換気装置及び換気装置のための貫通箇所があり、可燃性ガスが滞留し難い構造となっている。
- b. 使用済フィルタ及び吸着塔は、可燃性ガスの滞留防止のため、淡水置換し、エアブローにより水切りした後、使用済フィルタはベント孔を設けた保管容器に収容し、吸着塔はベントを開放して保管する。保管時の水素濃度の評価を行った結果、水素濃度は高いもので約 2.5%となり、可燃限界を超えることはない（別添-3）。

4. 環境条件を踏まえた対応

(1) 腐食

高性能多核種除去設備は、汚染水処理設備の処理済水を処理することから塩化物イオン濃度が高く、薬液注入により pH が変動することから、耐腐食性を有する材料を選定する。また、使用済の吸着塔は、淡水置換し、エアブローにより水切りした後、使用済セシウム吸着塔一時保管施設で貯蔵する。

(2) 熱による劣化

熱による劣化が懸念されるポリエチレン管については、汚染水処理設備の処理済水の温度がほぼ常温のため、熱による材料の劣化の可能性は十分低い。

(3) 凍結

水を移送している過程では、凍結の恐れはない。水の移送を停止した場合、屋外に敷設されているポリエチレン管等は、凍結による破損が懸念される。そのため、屋外敷設のポ

ポリエチレン管等に保温材を取り付ける。また、建屋内の配管は、温度調整により凍結防止を図る。

今後、タンク増設等に合わせて、追加で敷設する屋外移送配管については、凍結しない十分な厚さを確保した保温材を取り付ける。なお、保温材は、高い気密性と断熱性を有する硬質ポリウレタン等を使用する。

保温材厚さの設定の際には、「建設設備の凍結防止（空気調和・衛生工学会）」に基づき、震災以降に凍結事象が発生した外気温 -8°C 、内部流体の初期温度 5°C 、保温材厚さ 21.4mm の条件において、内部流体が25%※凍結するまでに十分な時間（50時間程度）があることを確認した。なお、震災以降の実測データから、外気温 -8°C が半日程度継続することはない。

※「JIS A 9501 保温保冷工事施工標準」において管内水の凍結割合を25%以上と推奨

(4) 耐放射線性

ポリエチレンは、集積線量が $2\times 10^5\text{Gy}$ に達すると、引張強度は低下しないが、破断時の伸びが減少する傾向を示す。ポリエチレン管の照射線量率を 1Gy/h と仮定すると、 $2\times 10^5\text{Gy}$ に到達する時間は 2×10^5 時間（22.8年）と評価される。そのため、ポリエチレン管は数年程度の使用では放射線照射の影響を受けることはないと考えられる。

(5) 紫外線

屋外に敷設されているポリエチレン管等は、紫外線による劣化を防止するため、紫外線防止効果のあるカーボンブラックを添加した保温材を取り付ける、もしくは、カーボンブラックを添加していない保温材を使用する場合は、カーボンブラックを添加した被覆材または紫外線による劣化のし難い材料である鋼板を取り付ける。

5. その他

(1) 処理済水の保管容量

多核種除去設備処理済水の保管容量は、半期毎に報告している「福島第一原子力発電所1～4号機における滞留水貯留タンク増設計画」（平成26年4月4日付）において、地下水流入低減対策（地下水バイパス実施、サブドレン汲み上げ等）の実施により、平成27年3月末時点で、多核種除去設備処理水保有量約52万 m^3 の想定に対し、多核種除去設備処理水貯槽容量を約58万 m^3 確保する計画としており、必要な保管容量を確保している。なお、必要に応じて多核種除去設備処理水貯槽の増設等を実施する。

(2) 使用済フィルタの貯蔵

使用済フィルタは、エアブローにより水切りした後、コンクリート製または金属製の保管容器に収容して瓦礫類の一時保管エリアE2で貯蔵する。また、使用済フィルタの保管容

量が逼迫する場合は、必要に応じて瓦礫類をエリアE2以外の一時的保管エリア（F1, Q, L, A1, A2, 固体廃棄物貯蔵庫第2棟）に貯蔵し、使用済フィルタの保管容量を確保する。

なお、当初の計画では、固体廃棄物貯蔵庫に貯蔵することを予定していたが、発生する可燃性ガスの拡散性を考慮し、貯蔵先を屋外の瓦礫類の一時的保管エリアとする。

コンクリート製の保管容器は、鉄筋を配したコンクリートを使用する。保管容器の蓋には可燃性ガスの滞留防止のため保管容器の蓋にベント孔を設け、蓋が容易に外れないよう容器と固定される構造とする。また、保管容器は、雨水が容易に入り難い構造とする。

金属製の保管容器は、屋外保管環境下での腐食防止のため、塗装を施した金属材料を使用する。保管容器の蓋には可燃性ガスの滞留防止のため保管容器の蓋にベント孔を設け、蓋が容易に外れないよう容器と固定される構造とする。また、保管容器は、雨水が容易に入り難い構造とする。

使用済フィルタの保管容器は、年間約 126m³（約 2m³ の容器で 63 個程度）発生すると想定される。また、運用上可能な範囲において処理量を増加（最大で 1.6 倍程度）して運転した場合、使用済フィルタの発生量は、通常が発生量に加えて 1 ヶ月で約 12m³（約 2m³ の容器で 6 個程度）と想定される。

使用済フィルタの保管時は、瓦礫類の一時的保管エリアの受入目安表面線量率に応じて、保管容器の表面線量率を管理（保管容器の遮へいを考慮し、保管容器の表面線量率を測定する。また、必要に応じてフィルタの収納数を制限）する。

(3) 使用済吸着塔の貯蔵

使用済吸着塔は、淡水置換し、エアブローにより水切りした後、使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設、第四施設）に貯蔵する。

使用済吸着塔の発生量は、年間 14 基程度（多核種除去設備、増設多核種除去設備の運転に応じて 2 ヶ月程度の処理運転を想定）と想定される。また、運用上可能な範囲において処理量を増加（最大で 1.6 倍程度）して運転した場合、使用済吸着塔の発生量は、通常の発生量に加えて 1 ヶ月で 7 基程度と想定される。

なお、一部の使用済 Cs/Sr 同時吸着塔は、第二セシウム吸着装置、第三セシウム吸着装置にて再利用する。

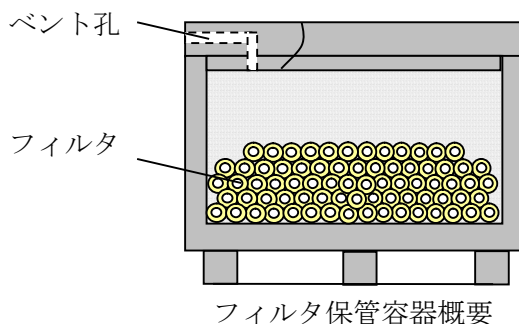
使用済吸着塔の貯蔵による敷地境界への直接線・スカイシャイン線による寄与は、使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設、第四施設）に貯蔵される他の廃棄物と同程度であり、使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設、第四施設）の敷地境界線量の評価結果に包絡される。

(4) 交換作業時の考慮

- a. 使用済吸着塔・フィルタは、平成 23 年 6 月から実施している実績のあるセシウム吸着装置の吸着塔と同様の要領により、使用済みセシウム吸着塔一時保管施設等に搬入される。交換作業は、フォークリフトおよびトレーラ等を用いる。

吸着塔およびフィルタ保管容器は鋼製もしくはコンクリート製であり、万一の落下時等に損傷し難い構造となっているが、落下等の発生防止の観点等で、フォークリフト等の操作は経験を積んだ操作者が行うこととする。

- b. 運搬時に落下することを防止するため、使用済吸着塔はトレーラ上に固定されたラックに収容し、フィルタ保管容器はトレーラに固縛するなどの対策を講じて輸送する。



6. 多核種除去設備において確認された不具合事象の対応

多核種除去設備でこれまでに確認された不具合事象の高性能多核種除去設備への対応を以下に記す。また、多核種除去設備で今後発生する不具合についても、適宜対策を反映していく。

(1) 誤操作による連続処理停止事象

運転データ取得のため、運転操作員が監視・制御画面（タッチパネル）を操作したところ、機器の「選択操作」を誤り、設備が自動停止した。対策として、シングルアクションとなっていた「選択操作」をダブルアクションとなるようソフト変更を行っており、高性能多核種除去設備においても同様に「選択操作」をダブルアクションとする設計とする設計とする。

(2) バッチ処理タンクからの漏えい事象

バッチ処理タンクからの漏えいが確認された原因は、当該材料である SUS316L 材のすき間腐食（生成した鉄沈殿物がタンク内に堆積・付着することによるすき間環境の形成及び薬液注入（次亜塩素酸）等による腐食環境の促進）と推定した。対策として、次亜塩素酸の注入の停止、バッチ処理タンクへのゴムライニング施工及びすき間腐食発生の可能性があるフランジに対しガスケット型犠牲陽極等を施工した。

高性能多核種除去設備では、処理の過程においてすき間環境の形成要因となる鉄沈殿物は発生せず、腐食環境の促進要因となる次亜塩素酸を使用しない。また、耐腐食性の高い二相ステンレス鋼、ステンレス鋼及びライニング付き炭素鋼を採用する。

(3) クロスフローフィルタからのスラリー透過事象に対する対応

クロスフローフィルタ（以下、「CFF」という。）のガスケット（テフロン PTFE 製）がβ線照射により照射されたことによつて脆化し、逆洗時の圧力脈動等によつて欠損・傷が発生したことで、ストロンチウムを含む炭酸塩スラリーが下流側へ流出し、出口水に高い放射能濃度が確認された。この対策として、当該ガスケットを耐放射線性に優れる合成ゴム（EPDM）へ変更した CFF へ交換を実施している。

高性能多核種除去設備では、CFF を用いない設備構成としているものの、以下の汚染拡大対策を図る（別添-4）。

- ・処理済水移送設備（サンプルタンク、処理済水移送ポンプ）の導入
- ・サンプルタンクが万一汚染した場合の再処理ラインの設置

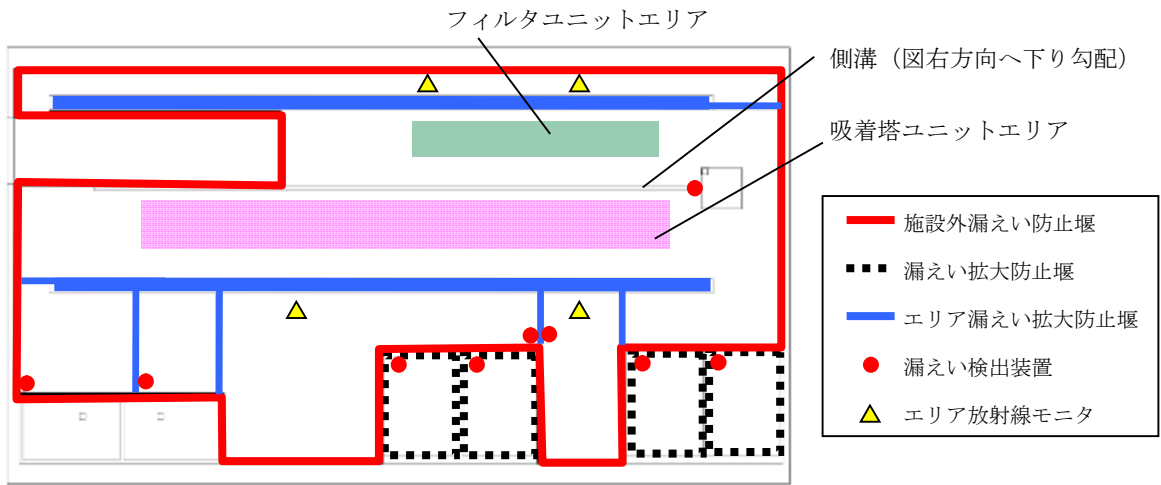


図1 堰及び漏えい検出装置等の配置概要（上から見た図）

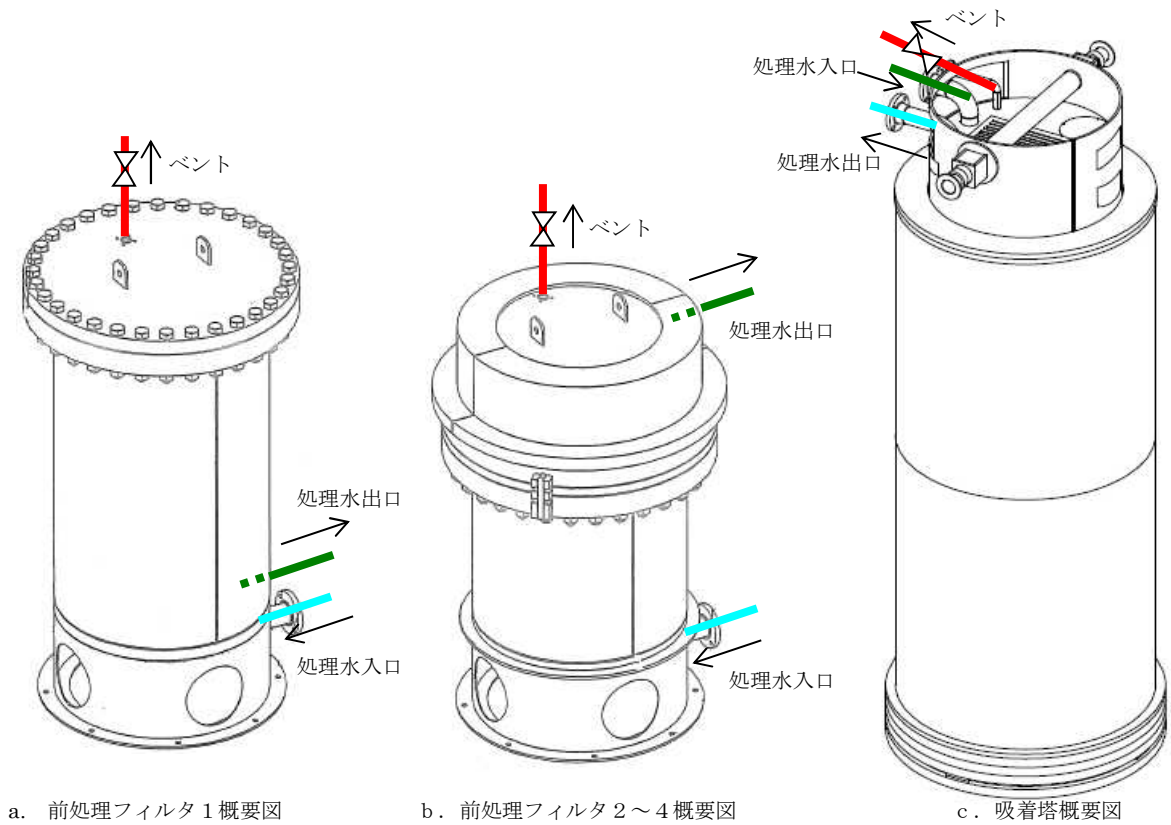


図2 前処理フィルター，吸着塔概要図

高性能多核種除去設備に使用する材料の適合性評価

1. はじめに

高性能多核種除去設備は、RO 濃縮塩水等処理することから、系統内の塩化物イオン濃度が高く、また、薬液注入により pH が変動する。そのため高性能多核種除去設備の使用環境における材料の適合性について評価を実施した。

2. 使用環境における材料の適合性について

高性能多核種除去設備を構成する主な機器の材料選定理由を表 1 に示す。表 1 の材料のうち、二相ステンレス鋼、ステンレス鋼、炭素鋼に対する耐食性について評価を行った。

表 1 高性能多核種除去設備を構成する主な機器の使用材料と選定理由

機器	材料	選定理由
多核種吸着塔	二相ステンレス鋼 (UNS S31803, UNS S32205, UNS S32750)	処理対象水に海水由来の塩分が含まれていることから、耐食性に優れる二相ステンレス鋼 (UNS S31803, UNS S32205, UNS S32750) を使用する。
	ステンレス鋼 (SUS316L, SUS316LTP, SUSF316L)	処理対象水に海水由来の塩分が含まれていることから、耐食性に優れるステンレス鋼 (SUS316L, SUS316LTP, SUSF316L) を使用する。多核種除去設備において、活性炭を収容する吸着塔及び近傍のフランジ部に、微小なすき間腐食が確認された知見を踏まえ、当該箇所においてステンレス鋼は使用しない。また、低 pH 条件においても腐食が加速する要因となる可能性があるためステンレス鋼は使用しない。
前処理フィルタ	炭素鋼 (ASME SA 516 Gr. 70)	処理対象水に海水由来の塩分が含まれていることから、耐食性に優れる炭素鋼 (エポキシライニング付) を使用する。
タンク類	炭素鋼 (SM400C)	処理対象水に海水由来の塩分が含まれていることから、ゴムライニング付の炭素鋼または内面塗装を施した炭素鋼を使用する。
配管 (鋼管)	二相ステンレス鋼 (UNS S31803, UNS S32205, UNS S32750, 炭素鋼 (STPT410) ステンレス鋼 (SUS316LTP)	処理対象水に海水由来の塩分が含まれていることから、耐食性に優れる二相ステンレス (UNS S31803, UNS S32205, UNS S32750) またはステンレス鋼 (SUS316LTP) を使用する。多核種除去設備において、活性炭を収容する吸着塔及び近傍のフランジ部に、微小なすき間腐食が確認された知見を踏まえ、当該箇所においてステンレス鋼は使用しない。また、低 pH 条件においても腐食が加速する要因となる可能性があるためステンレス鋼は使用しない。炭素鋼を使用する場合は、ポリエチレンライニング付の炭素鋼を使用する。
配管 (ポリエチレン管)	ポリエチレン	耐食性に優れることから、屋外配管に主に使用する。

2.1 二相ステンレス鋼及び炭素鋼の耐食性について

炭素鋼は、ゴムライニング施行するため、腐食の発生の可能性はない。

二相ステンレス鋼の腐食モードを表2に示す。二相ステンレス鋼の腐食モードに対する耐食性について、表3に示す使用範囲を考慮し評価を実施した。

表2 使用材料における腐食モード

使用材料	腐食モード
二相ステンレス鋼	応力腐食割れ(SCC)
	すきま腐食
	孔食
	全面腐食

表3 二相ステンレス鋼を使用する範囲の環境

二相ステンレス鋼	使用範囲		
	塩化物イオン濃度 [ppm]	常用温度 [°C]	pH
	6, 350	0~40°C	3.5~10

a. 二相ステンレス鋼の応力腐食割れ (SCC)

応力腐食割れ (SCC) の発生には、使用温度と塩化物イオン濃度が影響する。塩化物イオン濃度が 10ppm を超える条件においては、304 系ステンレス鋼の SCC 発生臨界温度は約 50°C とされており¹⁾²⁾、また二相ステンレス鋼の耐 SCC 性はオーステナイト系ステンレス鋼よりも良好であることから²⁾使用温度が 40°C であれば、塩化物イオン濃度が 6,350ppm の環境であっても SCC が発生する可能性は低いと考えられる。

b. 二相ステンレス鋼のすきま腐食

すきま腐食の発生には、使用温度、塩化物イオン濃度等が寄与し、高性能多核種除去設備の使用環境下では、すきま腐食が発生し得る条件であるが³⁾、腐食発生時間を考慮すると、50°C、塩化物イオン濃度 19,000ppm の条件でも、腐食発生までに 80 年以上を有するというデータもあり⁴⁾、すきま腐食が発生する可能性は低いと考えられる。

c. 二相ステンレス鋼の孔食

孔食よりも発生しやすいとされるすきま腐食の可能性が低いと判断されることから、孔食が発生する可能性も低いと判断できる。

d. 二相ステンレス鋼の全面腐食

全面腐食の発生には、pH および流れが影響する。pH が 7.5 程度の使用環境では不動態皮膜は安定である⁵⁾。不動態皮膜は高い流速にも耐え、全面腐食が進行する速度は小さいと考えられる⁶⁾。二相ステンレス鋼の全面腐食特性は、ステンレス鋼 (SUS316L) に比べて優れており、また pH が 3.5 まで低下しても脱不動態化には至らないと考えられるため⁷⁾、全面腐食が進行する速度は小さいと考えられる。

2.2 ステンレス鋼の耐食性について

ステンレス鋼 (SUS316L) の腐食モードを表 4 に示す。ステンレス鋼の腐食モードに対する耐食性について、表 5 に示す使用範囲を考慮し評価を実施した。

表 2 使用材料における腐食モード

使用材料	腐食モード
ステンレス鋼 (SUS316L)	応力腐食割れ (SCC)
	すきま腐食
	孔食
	全面腐食

表 3 ステンレス鋼を使用する範囲の環境

ステンレス鋼	使用範囲		
	塩化物イオン 濃度 [ppm]	常用温度 [°C]	pH
	6, 350	0~40°C	7~10

a. ステンレス鋼の応力腐食割れ (SCC)

応力腐食割れ (SCC) の発生には、使用温度と塩化物イオン濃度が影響する。温度および塩化物イオン濃度が高いほど SCC は発生しやすい。中性条件では SUS316L の場合 70~90°C 以上で SCC が発生する。使用温度が常温 (最高温度 40°C) であれば、塩化物イオン濃度が 6, 350ppm の環境であっても SCC が発生する可能性は低いと考えられる。

b. ステンレス鋼のすきま腐食

すきま腐食の発生には、使用温度、塩化物イオン濃度が影響する。淡水や海水などの通常の中性塩化物溶液中において、316系ステンレス鋼にすきま腐食が発生する下限界のCl⁻濃度は、30℃で約16,000 ppm程度⁸⁾との報告例がある。また、セシウム吸着装置、第二セシウム吸着装置の主配管、吸着塔等に使用されており、1万数千 ppm～数百 ppmの塩化物イオン濃度での使用実績があるが、次亜塩素酸注入等の腐食加速因子がない場合においては、腐食事象は見られていない。

今回の処理対象のRO濃縮水のCl⁻濃度は最大6,350ppm程度であり、すきま腐食の発生下限界のCl⁻濃度を下回っているため、すきま腐食発生の可能性は低い。

第二セシウム吸着装置、多核種除去設備で見られたSUS316Lの腐食事象においては、次亜塩素酸注入により腐食が加速される要因となっていたが、本設備においては次亜塩素酸を使用しない。また、多核種除去設備において、活性炭を収容する吸着塔及び近傍のフランジ部に、微小なすき間腐食が確認された知見を踏まえ、本設備の当該箇所においてステンレス鋼は使用しない。低pH条件においても腐食が加速する要因となる可能性があるためステンレス鋼は使用しない。

c. ステンレス鋼の孔食

孔食の発生には、定常腐食電位、使用温度、塩化物イオン濃度が影響する。孔食のほうがすきま腐食よりも発生し難いと判断されるため孔食発生の可能性が低い。

d. ステンレス鋼の全面腐食

全面腐食の発生には、pHおよび流れが影響する。pHが7～10程度の使用環境では不動態皮膜は安定である⁵⁾。不動態皮膜は高い流速にも耐え、全面腐食が進行する速度は小さいと考えられる⁶⁾ため、全面腐食は発生し難い。

- 1) 篠原正, 新谷嘉弘, 辻川茂男: 材料と環境, 第 46 巻 (1997) p695.
- 2) 遅沢浩一郎: ステンレス鋼の特性と使用上の要点, (社) 腐食防食協会 腐食センター.
- 3) 宮坂松甫: エバラ技報, 腐食防食講座—海水ポンプの腐食と対策技術 (第 5 報), No. 224 (2009-7) p28.
- 4) 松橋亮, 松橋透: 第 167 回腐食防食シンポジウム資料 (2010) .
- 5) 小野山征生, 辻正宣, 志谷健才: 防食技術, 第 28 巻 (1979) p532.
- 6) 宮坂松甫: 材料と環境, 第 47 巻 (1998) p164-165.
- 7) 腐食防食便覧, 腐食防食協会編 (現学会), 日刊工業新聞社 (1986) p103. (原著 H. R. Copson: Physical Metallurgy of Stress Corrosion Fracture, New York (1959) p247.)
- 8) L. F. Plock and H. B. Bomberger: CORROSION/68, NACE International, Paper No. 36 (1968)

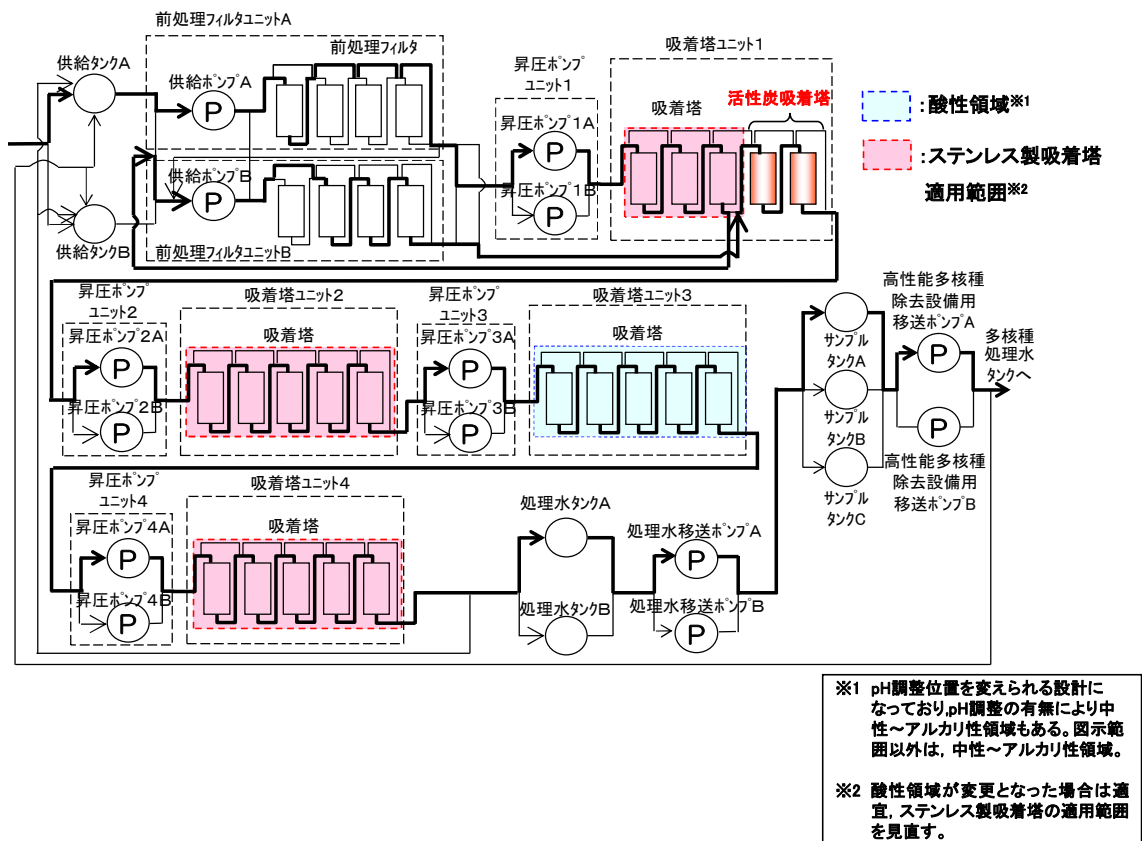


図 3 高性能多核種除去設備における液性

3. 腐食への対応方針

高性能多核種除去設備で使用する二相ステンレス鋼，ステンレス鋼の腐食モードへの対応方針として，腐食が発生する可能性がある箇所について定期的な点検・保守を行っていく。また，長期間の貯蔵が必要となる多核種吸着塔については，腐食環境の緩和するため淡水置換し，エアブローによる水切りを行う。

以 上

高性能多核種除去温度評価

温度評価は、前処理フィルタ及び多核種吸着塔の収容物からの発熱を入熱条件とし、解析により前処理フィルタ及び多核種吸着塔の最高温度を評価する。

1. 評価概要

○ 評価手法：

熱解析プログラムSTAR-CCMにより、発熱体からの自然対流熱伝達、熱輻射、固体熱伝導を考慮し、吸着塔の温度分布を解析した。

○ 入熱条件：

フィルタ及び吸着材のうち、発熱量が最大となるフィルタ3、4及び多核種吸着塔1の吸着材を発熱体とした。なお、発熱量の算出に用いる各前処理フィルタ及び多核種吸着塔内の放射能濃度は、各フィルタ・吸着塔の入口濃度から除去率、通水量を考慮して算出した値に保守的に30%を加算した値とする。

○ 評価条件：

- ・フィルタは、保管容器に収容される。本評価では、容器及び内部のフィルタをモデル化し、解析により温度評価を実施した（図1参照）。
- ・放射能濃度は、各フィルタ・吸着塔の入口濃度から除去率、通水量（機器表面線量が1mSv/h以下となるよう設定）を考慮して算出した値に保守的に30%を加算して評価を行う。
- ・多核種吸着塔は、中空の円柱形の容器（二相ステンレス製、ステンレス製）内に収用されており、さらに容器の外周には鉛の遮へい体が設置されている。本評価では、容器及び遮へい体をモデル化し、解析により温度評価を実施した（図2参照）。放射能濃度は、想定される濃度に対して、保守的に30%を加算して評価を行う。

2. 解析結果

フィルタ及び多核種吸着塔の温度評価の結果、最高温度はフィルタでは約67℃、多核種吸着塔では二相ステンレス製であり約182℃となった（図3、図4参照）。フィルタ及び吸着塔内の吸着材の耐熱温度は、それぞれ、150℃、600℃であることから、材料の健全性に影響を与えるものではない。

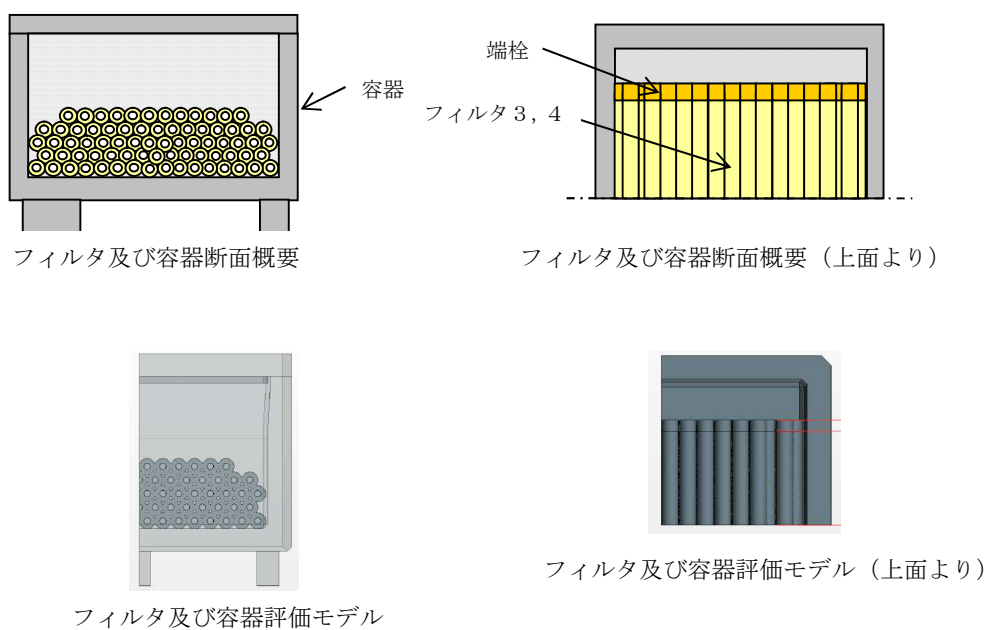


図1 フィルタの評価モデル

表1 フィルタの評価に用いた物性値等

発熱量	70[W]
フィルタ	0.25[W/m K]
端栓	0.19[W/m K]
容器	1.2[W/m K]
空気	伝熱工学資料第4版 常圧下の気体の熱物性値から近似式 により算出

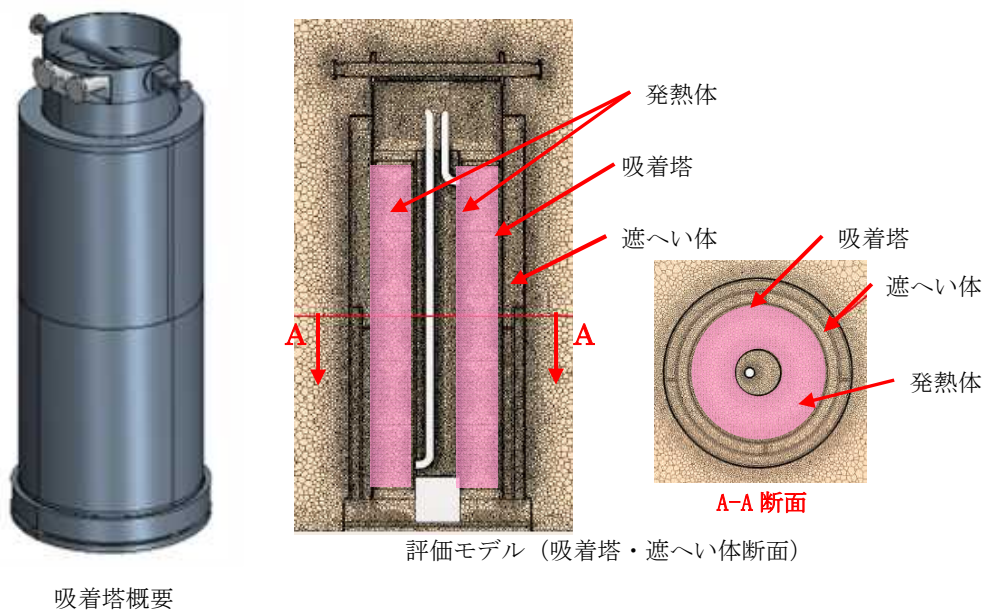


図2 吸着材の評価モデル

表2 吸着塔の評価に用いた物性値等

発熱量	1000[W]
吸着材 1	熱伝導率は表 3 に示す値から線形補間
容器 (S32750)	熱伝導率は表 4 に示す値から線形補間 (二相ステンレス鋼加工マニュアル 第二版 2009 年)
遮へい体 (鉛)	径方向 0.75[W/m K] 周方向, 軸方向 30.5[W/m K]
空気	伝熱工学資料第 4 版 常圧下の気体の熱物性値から近似式により算出

表 3 吸着材 1 熱伝導率

温度	熱伝導率
25.0 [°C]	0.119 [W/m · K]
125.0 [°C]	0.161 [W/m · K]
250.0 [°C]	0.186 [W/m · K]
375.0 [°C]	0.183 [W/m · K]
500.0 [°C]	0.182 [W/m · K]

表 4 容器(S32750)熱伝導率

温度	熱伝導率
297 [K]	16.0 [W/m · K]
373 [K]	17.0 [W/m · K]
473 [K]	19.0 [W/m · K]
573 [K]	20.0 [W/m · K]

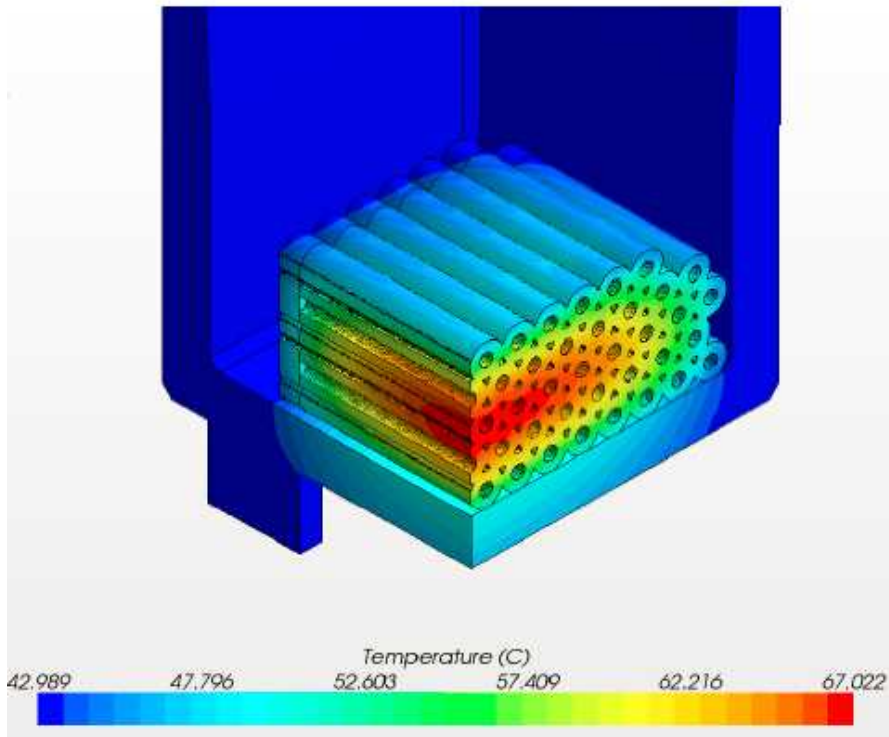


図3 フィルタ温度評価結果

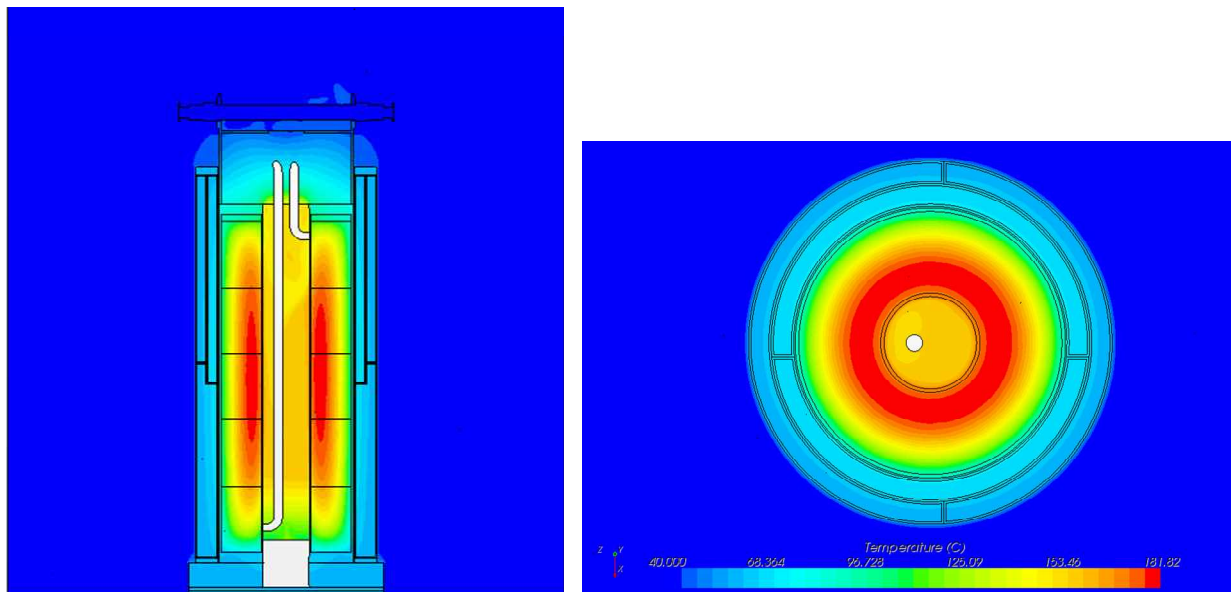


図4 吸着塔温度評価結果

水素発生量評価について

高性能多核種除去設備における水素発生量評価の結果を以下に示す。使用するフィルタ及び吸着材のうち、水素発生速度が最も高い吸着材を収容する吸着塔の評価結果を以下に示す。

1. 水素発生量評価

水素は、吸着した核種の崩壊エネルギーが容器内に残留する水に吸収され発生する。水素発生速度 H (mol/s)は次式により求めた。なお、水が吸収するエネルギーを算出する際に用いた吸着材に含まれる放射能濃度は、吸着塔の入口濃度から除去率、通水量（機器表面線量が1mSv/h以下となるよう設定）を考慮して算出した値に保守的に30%を加算して評価を行う。

$$H = G \times \alpha \times E \div A$$

H：水素発生速度

G：水が100eVのエネルギーを吸収した際に発生する水素分子の個数，0.45

α ：含水率，1.0

E：水が吸収するエネルギー： 5.44×10^{19} (100eV/s)

A：アボガドロ数 (6.02×10^{23} 個/mol)

2. 水素到達濃度評価

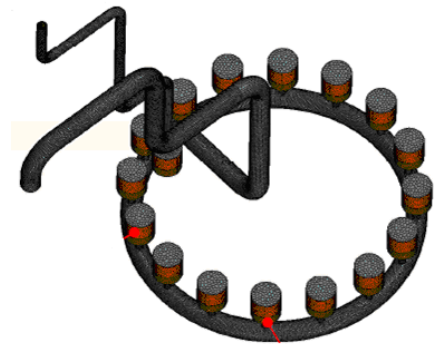
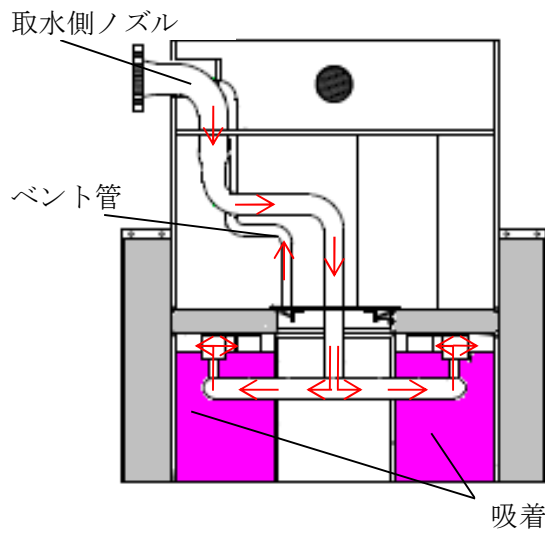
高性能容器内の水素到達濃度は、水素発生量と濃度勾配から生じる拡散による水素排出量を考慮し、以下の方法で評価する。

3. 水素到達濃度評価

吸着塔内の吸着材充填領域から発生した水素ガスは、吸着塔上部の空間部に排出される。吸着塔は、保管時にベント管と取水側のノズルを開放し、上部空間の水素は空気との密度差により上昇しベント管から排出される。また、排出された水素ガスの体積に応じて、取水側ノズルから空気が流入する（図1参照）。このときの水素の排出と空気の流入を流体解析コード(STAR-CCM+)により解析し、吸着塔内の水素濃度を評価した。

4. 評価結果

解析の結果、吸着塔内の到達水素濃度は2.5%となる（図2参照）。



ベント管及び取水側ノズルのモデル

図1 多核種吸着塔の評価体系

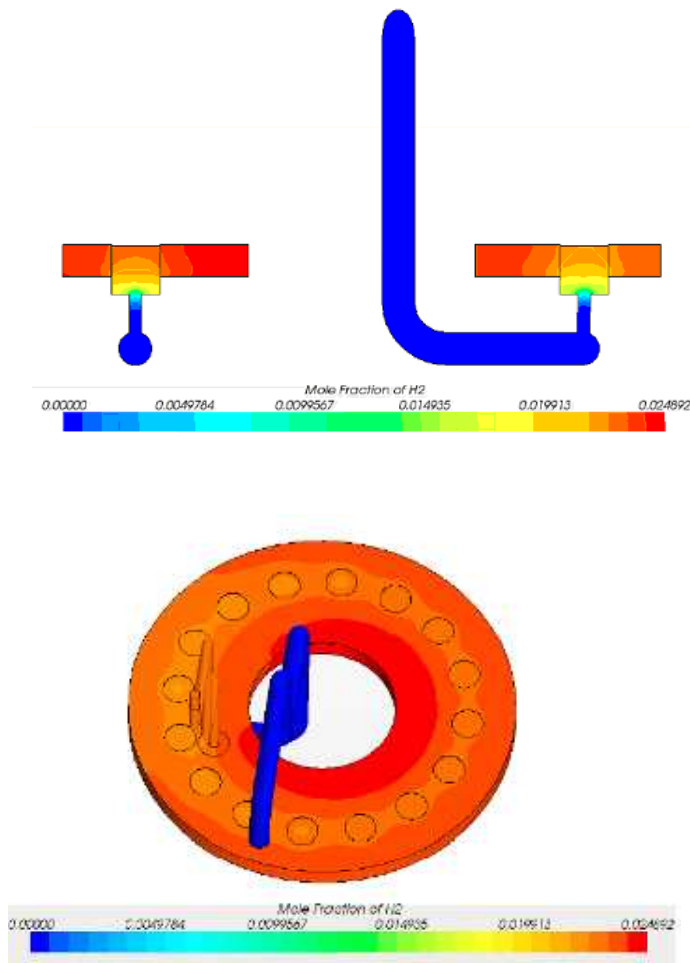


図2 評価結果

高性能多核種除去設備 汚染拡大防止対応状況について

1. 概要

多核種除去設備B系のクロスフローフィルタパッキン損傷に伴う炭酸塩スラリーの透過事象により、その下流の配管、多核種除去設備の処理済水を貯蔵する貯蔵タンク等において、全β濃度の上昇を確認した。

また、上記事象により、汚染拡大防止の観点から、運転中のA/C系統の停止も余儀なくされた（その後、A/C系統は健全であることが確認されたことから、汚染された系統の洗浄のため再起動を実施）。

高性能多核種除去設備は、クロスフローフィルタを用いない設備構成であるものの、当該事象を踏まえ、以下の対策を追加で実施することにより、上記と同様な事象発生時の汚染拡大を防止するとともに、健全な系統による浄化が可能な構成とする。

- ・ 処理済水移送設備（サンプルタンク、処理済水移送ポンプ）の導入
- ・ サンプルタンクが万一汚染した場合の再処理ラインの設置

2. 処理済水移送設備、再処理ライン等の設置

高性能多核種除去設備の処理済水は当初、移送ポンプから処理済水を貯蔵するタンク（多核種処理水貯槽）へ直接移送する計画でいたが、多核種除去設備で発生した貯蔵タンク等の汚染を踏まえ、サンプルタンク、処理済水移送ポンプを設置する。

また、処理済水移送ポンプの下流から高性能多核種除去設備の処理水受入タンクへの戻りラインを設置し、万一サンプルタンクまで汚染した場合は、当該汚染水を再処理する。

当該のライン設置により、損傷系統以外の系統は上記の汚染水の再処理を含めて運転継続することが可能となる。

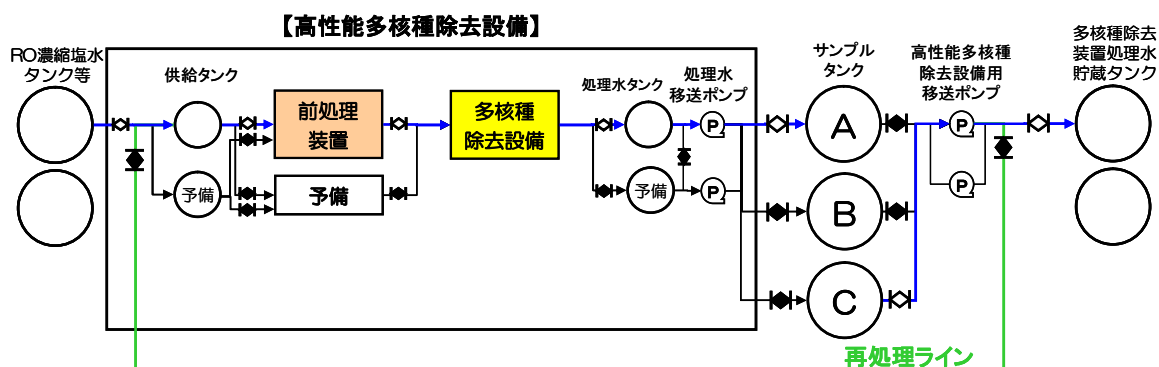


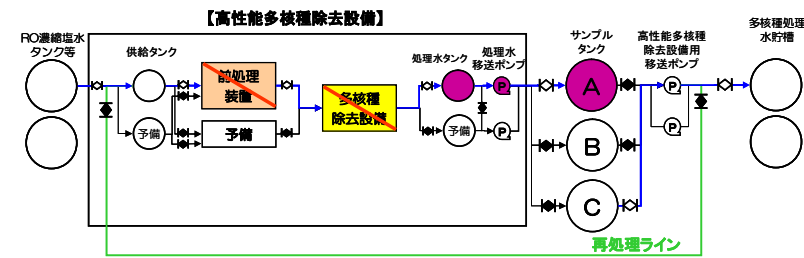
図1 処理済水移送設備、再処理ライン等の概要

3. 汚染発生時の対応の流れ

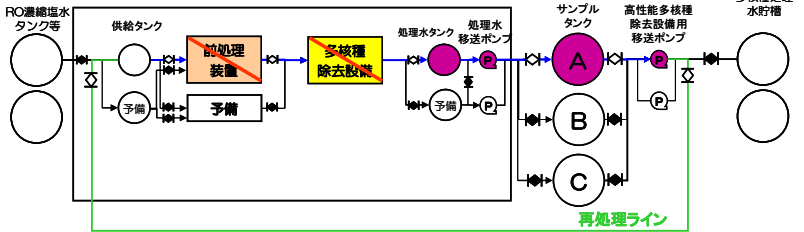
【評価条件】

- サンプルタンクはAが受入れ中、Cが払い出し中
- サンプルタンクAの分析にて汚染を確認。

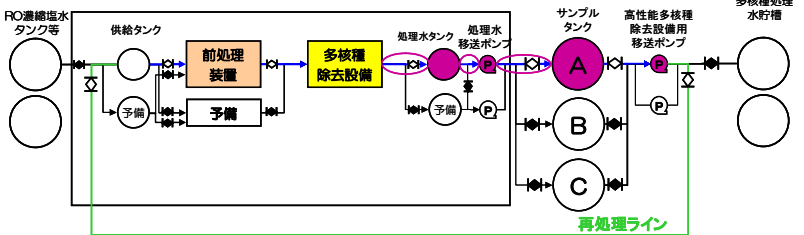
【STEP0：損傷発生】



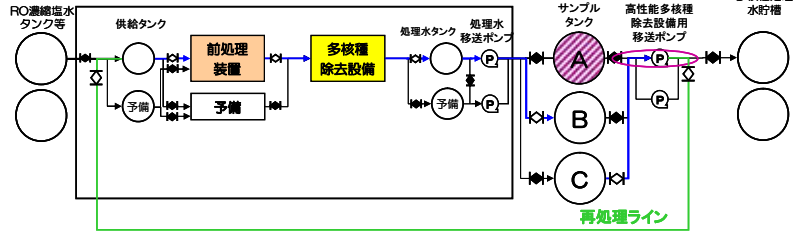
【STEP1：系統復旧，サンプルタンクAからの再処理ラインに切替】



【STEP2：再処理ラインによる系統浄化運転】



【STEP3：サンプルタンク切替，多核種処理水移送ポンプラインの浄化



【STEP4：連続処理，サンプルタンクA除染】

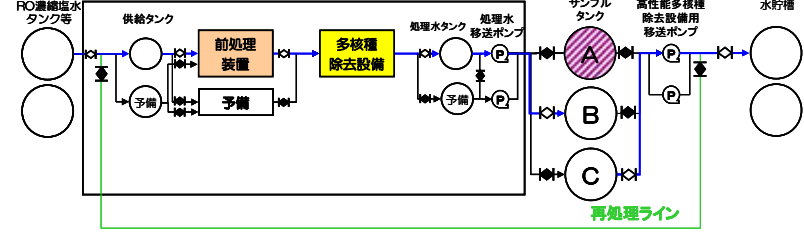


図2 汚染発生時の対応ステップ (1 / 2)

【STEP5：サンプルタンクA復旧】

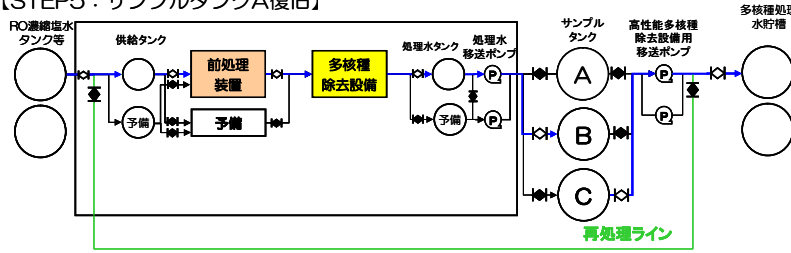


図2 汚染発生時の対応ステップ (2 / 2)

4. その他 (βモニタの概要)

- 更なる信頼性向上の観点からβモニタを今後、設置する。
- 運用としては、多核種除去設備からサンプルタンク出口ラインより処理水を抜き出し、モニタリングする。モニタリング後の水は、処理水タンクへ移送する。

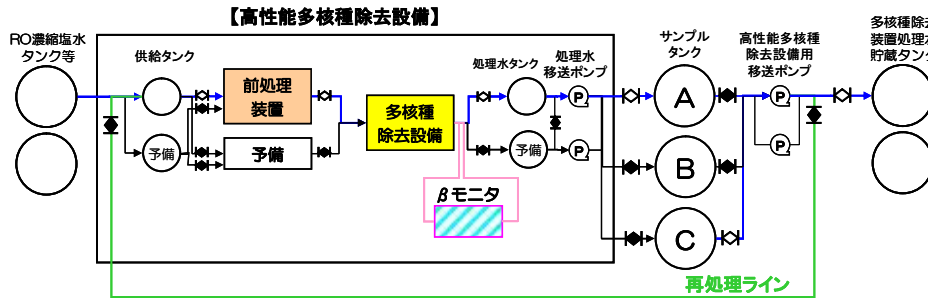


図3 βモニタシステムの概要

以上