

増設多核種除去設備 前処理設備改造に伴う 実施計画の変更に関する補足説明資料

2021年10月13日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

1. 実施計画変更申請の目的

<目的>

増設多核種除去設備（増設ALPS）は、前処理設備及び多核種除去装置にて構成されている。

前処理設備は、後段の吸着塔による核種除去性能向上のため、薬品注入によりストロンチウム処理済水中の吸着阻害物質（Ca,Mgイオン）をスラリー化させて、クロスフローフィルタ（CFF）で濃縮し、高性能容器に排出している。

本工事では、CFFの上流で高い効率でスラリーを回収し、CFFの詰まり発生頻度を低減し設備稼働率を向上することを目的に前処理設備改造を実施し、処理プロセスの改善を図る。

※CFFの詰まり発生頻度について

現在の運用では、CFF詰まりによる洗浄頻度は約半月毎に実施している。本工事に伴い、CFFに流れるスラリー濃度は従来の1/10程度になると想定しており、CFFの負荷低減により洗浄頻度も低下するものと考えている。

2. 実施計画の変更内容の概要(1/2)

第Ⅱ章 特定原子力施設の設計, 設備

2.16.1 多核種除去設備

記載箇所	変更内容
添付資料－2	・増設多核種除去設備との取合箇所について記載の適正化

2.16.2 増設多核種除去設備

記載箇所	変更内容
本文	・増設多核種除去設備の前処理設備改造工事に伴う基本設計及び基本仕様の記載追加
添付資料－1 添付資料－3 添付資料－4 添付資料－5 添付資料－9	<ul style="list-style-type: none"> ・増設多核種除去設備の系統構成図の変更及び追加 ・増設多核種除去設備の前処理設備改造工事に伴う記載追加 ・配管概略図の変更及び追加 ・機器の強度評価の記載追加 ・施設外への漏えい防止に関する評価の変更 ・増設多核種除去設備に係る確認事項の記載追加 ・その他記載の適正化

2. 実施計画の変更内容の概要(2/2)

第Ⅱ章 特定原子力施設の設計, 設備

2.16.3 高性能多核種除去設備

記載箇所	変更内容
添付資料－4	・ 増設多核種除去設備との取合箇所について記載の適正化

第Ⅲ章 特定原子力施設の保安

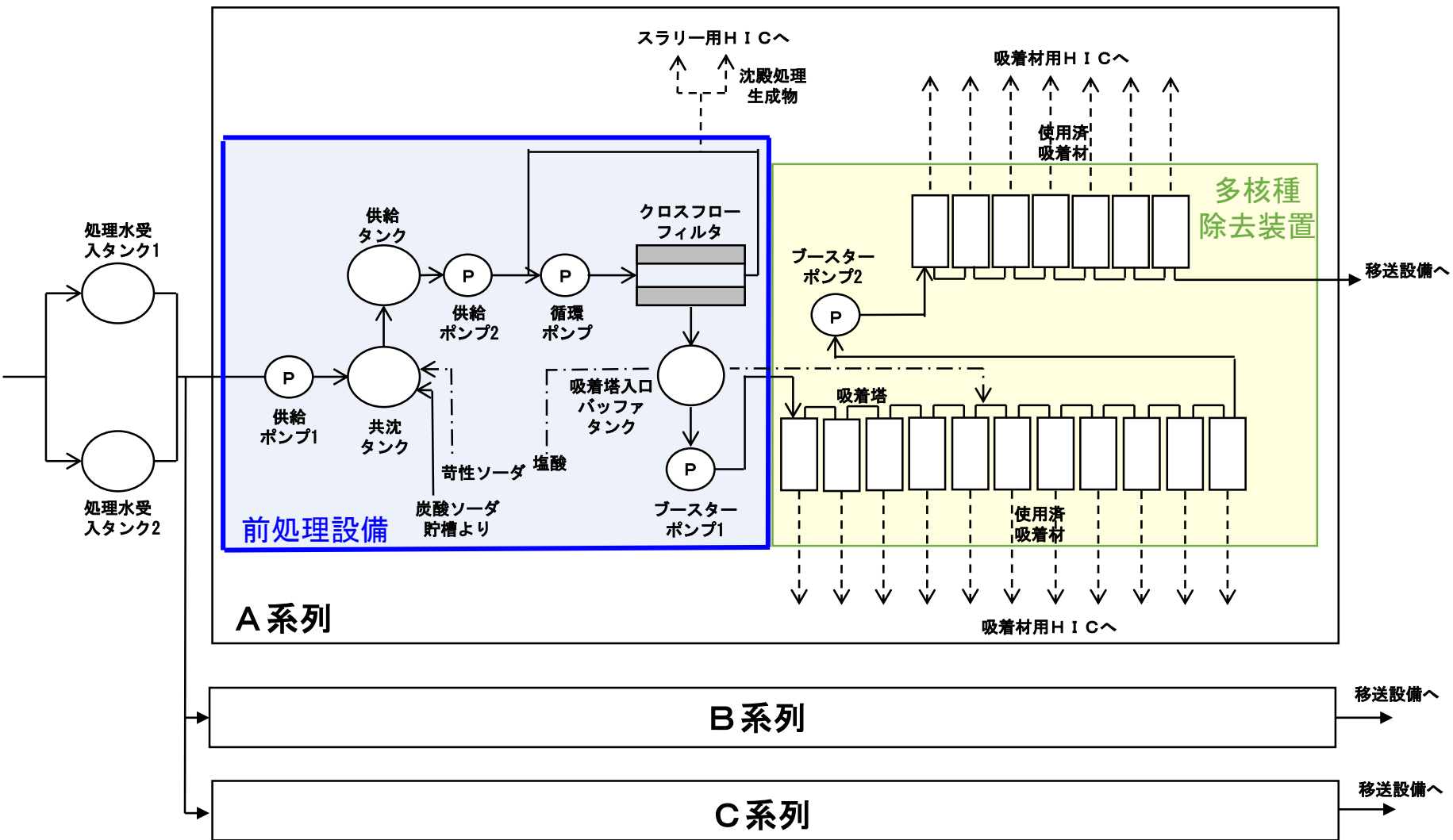
第3編 (保安に係る補足説明)

2 放射性廃棄物等の管理に関する補足説明

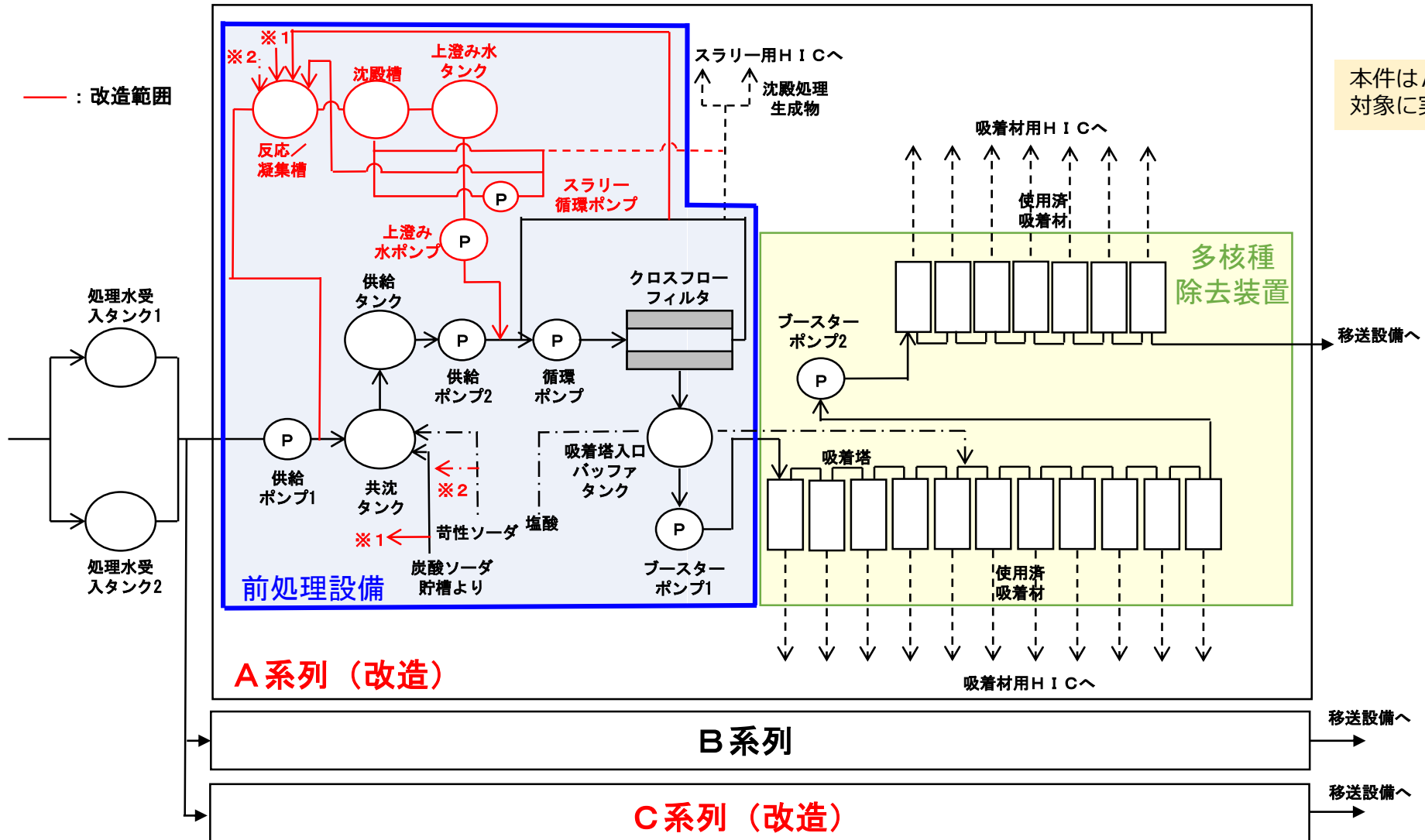
2.2 線量評価

記載箇所	変更内容
2.2.2 敷地内各施設からの直接 線ならびにスカイシャイ ン線による実効線量	<ul style="list-style-type: none"> ・ 増設多核種除去設備の線量評価条件について記載変更 ・ 添付資料4の評価結果の更新 ・ 添付資料5について増設多核種除去設備の前処理設備改造工事に伴う記載追加

3. 前処理設備改造の概要（変更前）



3. 前処理設備改造の概要（変更後）



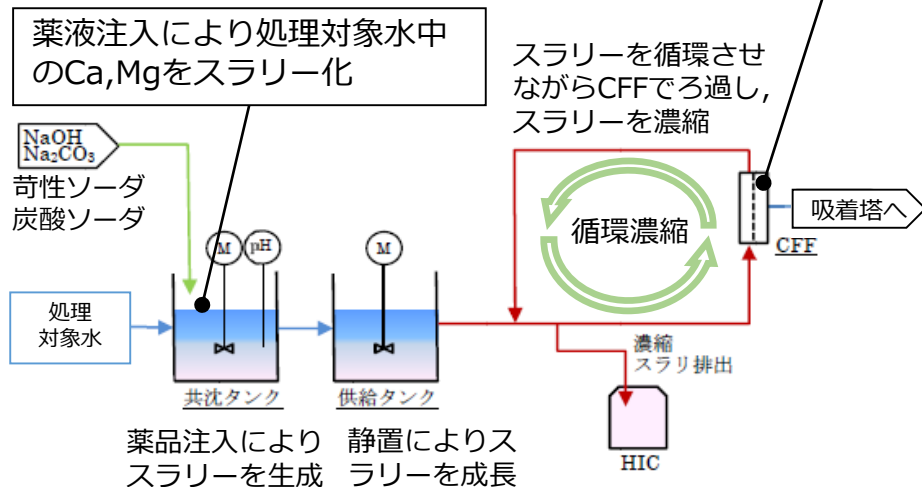
※既設配管との取合い

- ・供給ポンプ1下流及び炭酸ソーダ供給ライン分岐:T管新設
- ・供給ポンプ2下流及びCFFからの戻りライン分岐:予備座を使用

3. 前処理設備改造の概要（比較）

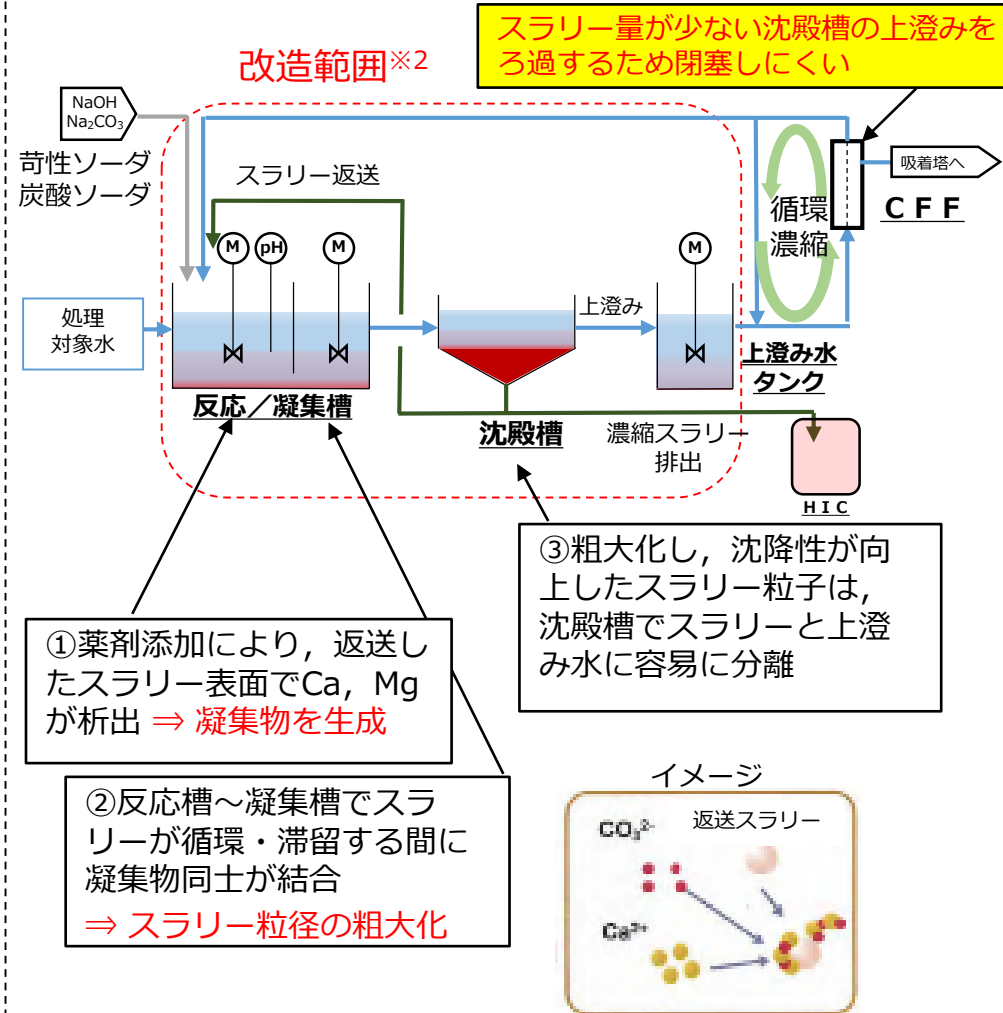
変更前

- ・ CFFではスラリーを含む水をろ過し、ろ過された水は後段の吸着塔へ、残ったスラリーは循環濃縮し、高性能容器（HIC）に排出
⇒処理対象水中のCa, Mg濃度低下により微粒子状のスラリーがCFFを詰まらせる要因（閉塞しやすい）※1



※1：RO濃縮塩水の全量処理が完了した2015年5月以降、処理対象水中のCa/Mg濃度が低下しており、スラリー粒径が運転開始当初より小さいため閉塞しやすい

変更後（スラリー返送式）

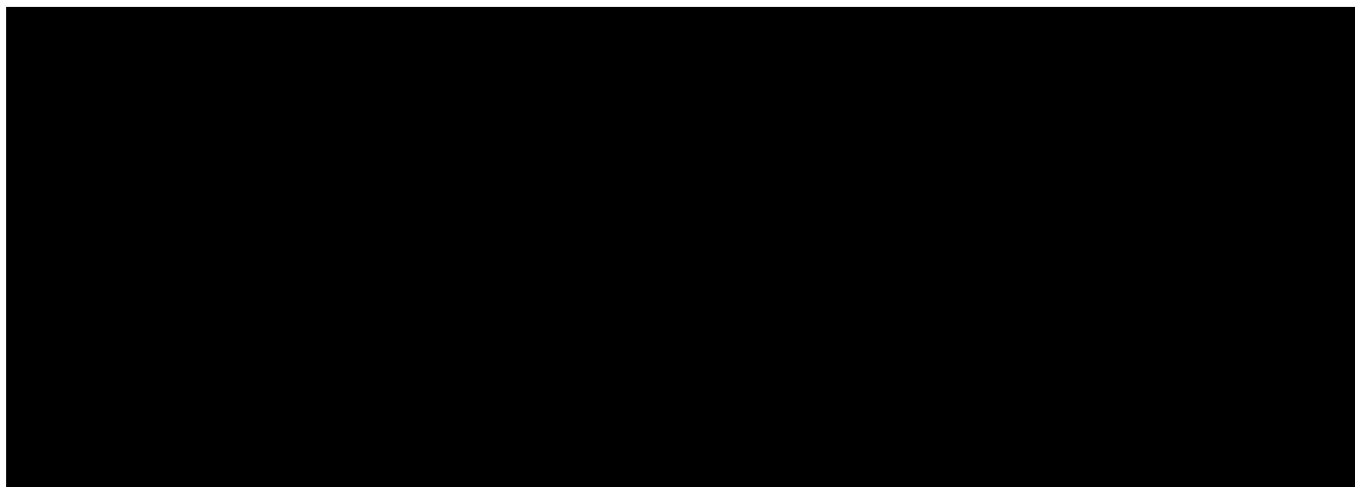


※2：改造前の共沈タンク、供給タンク及び移送配管は撤去せず、改造前の処理プロセスでも処理可能な構成とする。

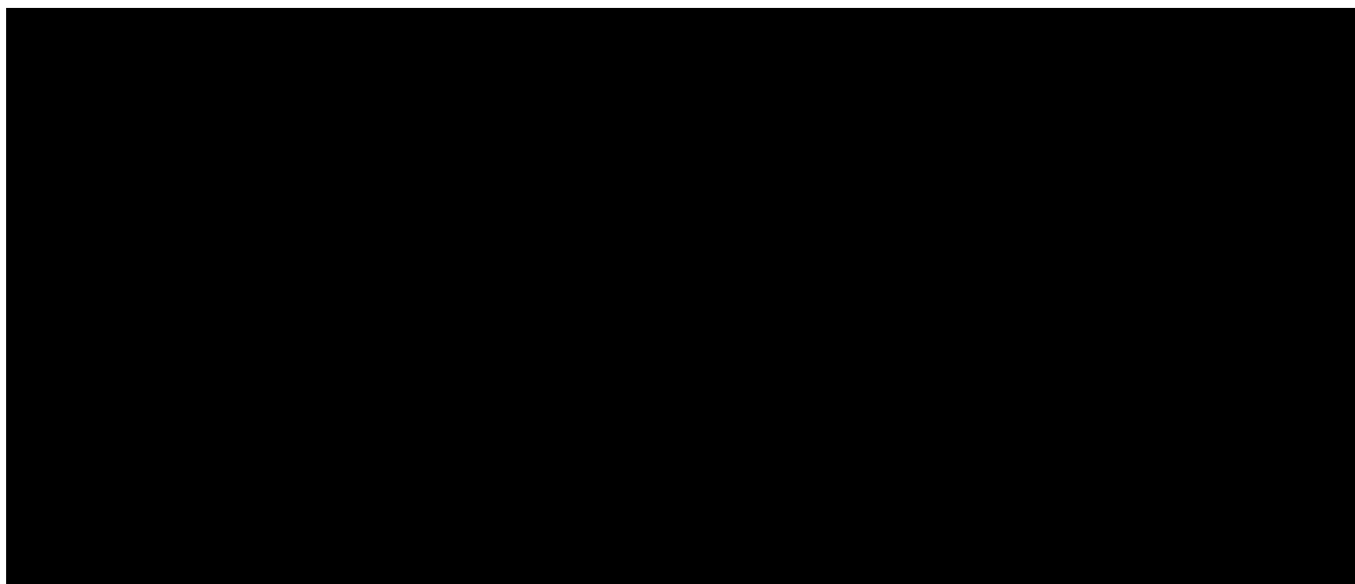
3. 前処理設備改造の概要

- 処理対象水は反応／凝集槽へ移送され、薬剤の添加によりスラリーが徐々に生成され、粗大化する。反応／凝集槽は従来の共沈タンク・供給タンクと同様な働きをしており、タンク容量もほぼ同じである。
- 反応／凝集槽内の処理対象水は粗大化したスラリーとともに沈殿槽へ流れ出る。水は沈殿槽下部より、槽内をゆっくりと上昇して出口に到達し、オーバーフローにより上澄み水タンクへ流れ出る。水が槽内を上昇する中でスラリーは沈降し、底部に残留する。これは従来設備には無い工程であり、処理対象水がC F Fに至るまでの滞留時間は従来の約2倍に増加する。
- 上澄みタンクへ流れた水は、ポンプによりC F Fに移送しろ過される。
- 前処理設備としての除去能力（ろ過性能）は変更前も変更後も、最後段のC F Fでろ過されることから基本的に同等である。ただし、変更後はスラリー粒径が変更前に比べて大きくなりC F Fを通過しにくくなると考えられることから、除去能力は向上する可能性も想定される。また、吸着塔の除去能力は本工事により変わらない。
- 薬液注入量は変更前も変更後も、炭酸ソーダ及び苛性ソーダを添加し、アルカリ状態(pH12近傍)でスラリーを生成させるためほぼ同等である。
- 現状のCFFスラリー濃度が■■■■ g/L程度であるのに対し、本改造により■■■■ g/L以上に濃縮されることから、炭酸塩スラリーを保管するHICの発生量は現状の3/4～1/2に減少することが見込まれる。また、入口水における放射性物質濃度が増設ALPS設置時より低下しているため、濃縮率を向上させても安全設計に支障がないことを確認している。

【参考】前処理設備改造の概要（マスバランス）



増設多核種除去設備 現状前処理設備 マス/スラリー濃度バランス図



増設多核種除去設備 前処理改造 マス/スラリー濃度バランス図

4. 設備仕様

■ タンク類

名称	反応／凝集槽	沈殿槽	上澄み水タンク
容量	11 m ³	12 m ³	2 m ³
基数	1 個／系列 (2 系列に設置)	1 個／系列 (2 系列に設置)	1 個／系列 (2 系列に設置)
最高使用圧力	静水頭	静水頭	静水頭
最高使用温度	60℃	60℃	60℃
材料	SS400 内面ゴムライニング	SUS316L	SUS316L

■ ポンプ類

名称	スラリー循環ポンプ	上澄み水ポンプ
台数	1 台／系列 (2 系列に設置)	1 台／系列 (2 系列に設置)
容量	13 m ³ /h	12 m ³ /h

4. 設備仕様

■ 配管

名称	処理水受入タンク移送 流路分岐部から反応/ 凝集槽入口まで	反応／凝集槽出口から 沈殿槽入口まで		沈殿槽出口から 上澄み水タンク入口まで	
材質	鋼管 (STPG370+ライニング)	鋼管 (SUS316L)	耐圧ホース (EPDM)	鋼管 (SUS316L)	耐圧ホース (EPDM)

名称	上澄み水タンク出口から 供給タンク移送流路合流部 まで		沈殿槽出口 から反応/ 凝集槽まで	クロスフローフィルタ循環ラ イン分岐部から反応／凝集槽 まで	
材質	鋼管 (SUS316L)	耐圧ホース (EPDM)	鋼管 (SUS316L)	鋼管 (SUS316L)	耐圧ホース (EPDM)

名称	炭酸ソーダ貯槽移送流路分岐部から 反応／凝集槽入口まで	
材質	鋼管 (SUS316L)	耐圧ホース (EPDM)

4. 設備仕様

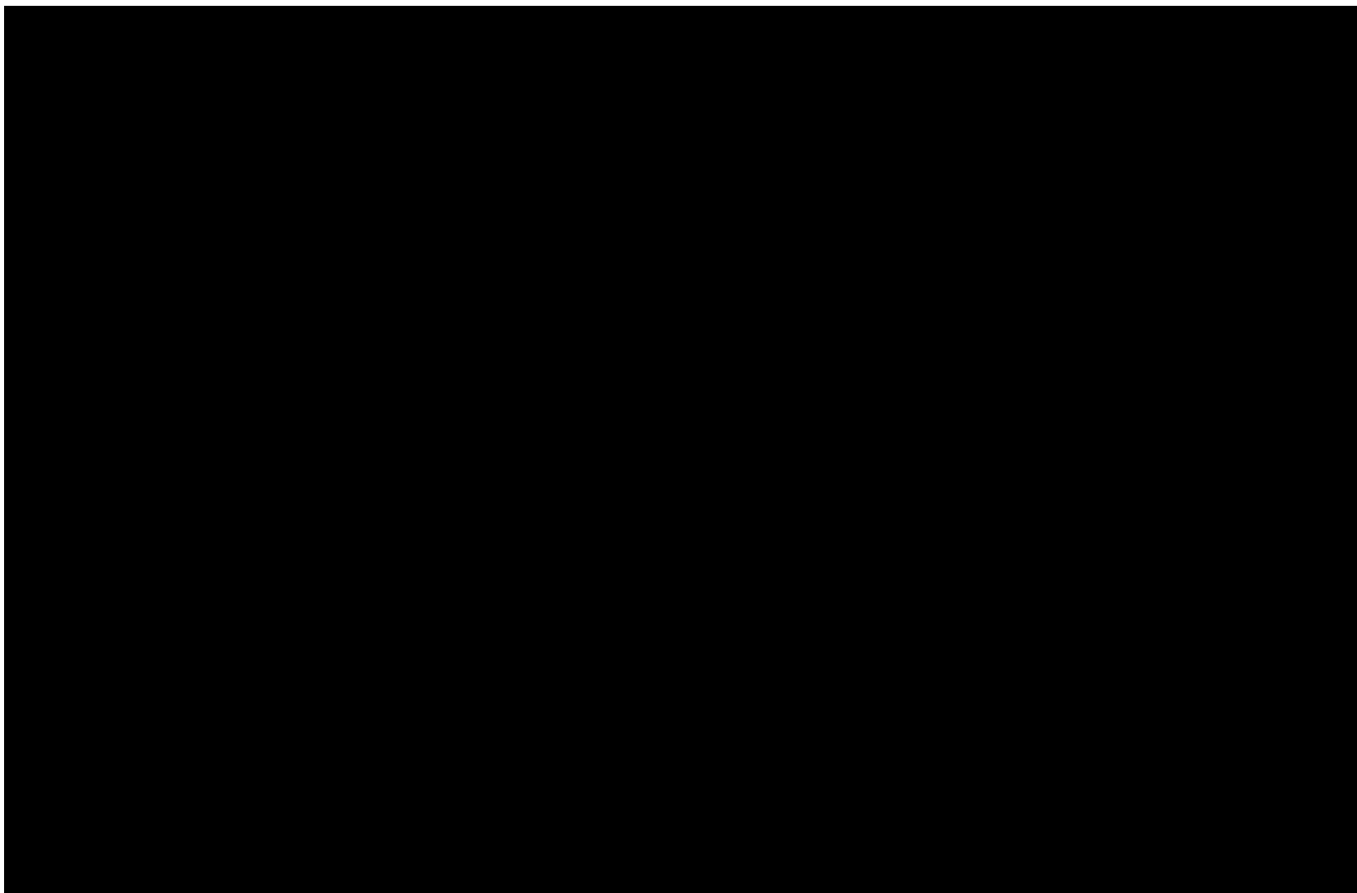
■ 配管

- ・ ストロンチウム処理済水（中性）が流入する箇所については、塩分による腐食を考慮し、「STPG370+ライニング」としている。
- ・ 反応／凝集槽でpH調整されたアルカリ性のスラリー、上澄み水を内包する箇所については、高塩分濃度でもアルカリ領域での耐食性に優れた「SUS316L」としている。
- ・ 各スキッド間や容器間といった据付上の誤差が生じやすく、可撓性のある配管を使用する必要が有る箇所については「EPDM」材質の耐圧ホースとしている。
- ・ なお、これらの設計方針については、既設設備に準ずるものである。

4. 設備仕様

■ スキッド構成

- ・反応／凝集槽，沈殿槽，スラリー循環ポンプ，上澄み水ポンプ及び配管・弁類で構成し，それらを3つのスキッドに分割して配置する。
- ・スキッド毎に受けパン及び漏えい検出器を設置する。漏えい検知時，警報を発報する。



—  —; 耐圧ホース適用箇所

5. 基本設計

2.16.2 増設多核種除去設備

2.16.2.1 基本設計

2.16.2.1.5 主要な機器

変更前

(1) 前処理設備

前処理設備は、多核種除去装置での吸着材によるストロンチウムの除去を阻害するマグネシウム、カルシウム等の2価の金属を炭酸塩沈殿処理により除去することを目的とし、炭酸ソーダと苛性ソーダを添加する。

炭酸塩沈殿処理による生成物は、クロスフローフィルタにより濃縮し、高性能容器に排出する。

変更後

(1) 前処理設備

前処理設備は、多核種除去装置での吸着材によるストロンチウムの除去を阻害するマグネシウム、カルシウム等の2価の金属を炭酸塩沈殿処理により除去することを目的とし、炭酸ソーダと苛性ソーダを添加する。

炭酸塩沈殿処理による生成物は、クロスフローフィルタまたは沈殿槽により濃縮し、高性能容器に排出する。

6. 線量評価

2.2.2 敷地内各施設からの直接線ならびにスカイシャイン線による実効線量

2.2.2.2 各施設における線量評価

2.2.2.2.9 増設多核種除去設備

変更前	変更後
<p>2.2.2.2.9 増設多核種除去設備 増設多核種除去設備については、各機器に表2. 2. 2-6に示す核種、放射能濃度が内包しているとし、制動エックス線を考慮したガンマ線線源強度を核種生成減衰計算コードORIGEN-Sにより求め、3次元モンテカルロ計算コードMCNPにより敷地境界における実効線量を評価した。</p> <p>放射能強度：表2. 2. 2-6参照</p> <p>遮 蔽： ・鉄（共沈タンク・供給タンクスキッド） 40～80mm ・鉄（クロスフローフィルタスキッド） 20～60mm ・鉄（スラリー移送配管） 28mm ・鉄（吸着塔） 30～80mm ・鉄（高性能容器（HIC）） 120mm ・コンクリート（高性能容器（HIC））</p> <p>評価地点までの距離：約460m 線源の標高：T.P.約37m 評価結果：約2.26×10⁻²mSv/年</p>	<p>2.2.2.2.9 増設多核種除去設備 増設多核種除去設備については、各機器に表2. 2. 2-6-1及び表2. 2. 2-6-2に示す核種、放射能濃度が内包しているとし、制動エックス線を考慮したガンマ線線源強度を核種生成減衰計算コードORIGEN-Sにより求め、3次元モンテカルロ計算コードMCNPにより敷地境界における実効線量を評価した。</p> <p>放射能強度：表2. 2. 2-6-1及び表2. 2. 2-6-2参照</p> <p>遮 蔽： ・鉄（共沈タンク・供給タンクスキッド） 40～80mm ・鉄（クロスフローフィルタスキッド） 20～60mm ・鉄（スラリー移送配管） 28mm ・鉄（吸着塔） 30～80mm ・鉄（高性能容器（HIC）） 120mm ・鉄（反応／凝集槽，沈殿槽） 20～40mm ・コンクリート（高性能容器（HIC））</p> <p>評価地点までの距離：約460m 線源の標高：T.P.約37m 評価結果：約2.58×10⁻²mSv/年</p>

- 変更申請時点（2021.7.27）で線量値が最も高いNo.71においては上記記載の通り、本件により線量は3.21e-3mSv/年上昇する。本設備の最寄り点であるNo.70においては3.98E-3mSv/年上昇する。なお、何れも改造する2系列での評価値である。
- 変更申請時点において、放射性気体廃棄物及び放射性液体廃棄物の排水分等を含んだ実効線量の合計値は約0.92mSv/年である。

6. 線量評価

新規追加

表 2. 2. 2 - 6 - 2 評価対象核種及び放射能濃度

核種	放射能濃度[Bq/cm ³]		
	反応/凝集槽	沈殿槽下部	沈殿槽上部 上澄み水タンク
Fe-59	4.45E+01	8.90E+01	8.90E+00
Co-58	6.75E+01	1.35E+02	1.35E+01
Rb-86	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Sr-89	2.82E+04	5.64E+04	5.64E+03
Sr-90	6.50E+05	1.30E+06	1.30E+05
Y-90	6.50E+05	1.30E+06	1.30E+05
Y-91	6.60E+03	1.32E+04	1.32E+03
Nb-95	2.86E+01	5.72E+01	5.72E+00
Tc-99	1.12E+00	2.23E+00	2.23E-01
Ru-103	6.05E+01	1.21E+02	1.21E+01
Ru-106	1.05E+03	2.09E+03	2.09E+02
Rh-103m	6.05E+01	1.21E+02	1.21E+01
Rh-106	1.05E+03	2.09E+03	2.09E+02
Ag-110m	3.90E+01	7.79E+01	7.79E+00
Cd-113m	3.01E+03	6.01E+03	6.01E+02
Cd-115m	9.00E+02	1.80E+03	1.80E+02
Sn-119m	5.30E+02	1.06E+03	1.06E+02
Sn-123	3.98E+03	7.95E+03	7.95E+02
Sn-126	3.08E+02	6.15E+02	6.15E+01
Sb-124	1.90E+01	3.79E+01	3.79E+00
Sb-125	1.19E+03	2.37E+03	2.37E+02

核種	放射能濃度[Bq/cm ³]		
	反応/凝集槽	沈殿槽下部	沈殿槽上部 上澄み水タンク
Te-123m	7.75E+01	1.55E+02	1.55E+01
Te-125m	1.19E+03	2.37E+03	2.37E+02
Te-127	6.40E+03	1.28E+04	1.28E+03
Te-127m	6.40E+03	1.28E+04	1.28E+03
Te-129	6.95E+02	1.39E+03	1.39E+02
Te-129m	1.13E+03	2.26E+03	2.26E+02
I-129	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cs-134	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cs-135	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cs-136	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cs-137	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Ba-137m	1.08E+03	2.16E+03	2.16E+02
Ba-140	1.69E+02	3.38E+02	3.38E+01
Ce-141	1.42E+02	2.83E+02	2.83E+01
Ce-144	6.15E+02	1.23E+03	1.23E+02
Pr-144	6.15E+02	1.23E+03	1.23E+02
Pr-144m	5.05E+01	1.01E+02	1.01E+01
Pm-146	6.40E+01	1.28E+02	1.28E+01
Pm-147	2.18E+04	4.36E+04	4.36E+03
Pm-148	6.35E+01	1.27E+02	1.27E+01
Pm-148m	4.10E+01	8.19E+01	8.19E+00

6. 線量評価

新規追加

表 2. 2. 2 - 6 - 2 評価対象核種及び放射能濃度

核種	放射能濃度[Bq/cm ³]		
	反応/凝集槽	沈殿槽下部	沈殿槽上部 上澄み水タンク
Sm-151	3.66E+00	7.31E+00	7.31E-01
Eu-152	1.90E+02	3.80E+02	3.80E+01
Eu-154	4.93E+01	9.86E+01	9.86E+00
Eu-155	4.00E+02	8.00E+02	8.00E+01
Gd-153	4.13E+02	8.26E+02	8.26E+01
Tb-160	1.09E+02	2.17E+02	2.17E+01
Pu-238	2.07E+00	4.14E+00	4.14E-01
Pu-239	2.07E+00	4.14E+00	4.14E-01
Pu-240	2.07E+00	4.14E+00	4.14E-01
Pu-241	9.15E+01	1.83E+02	1.83E+01
Am-241	2.07E+00	4.14E+00	4.14E-01
Am-242m	2.07E+00	4.14E+00	4.14E-01
Am-243	2.07E+00	4.14E+00	4.14E-01
Cm-242	2.07E+00	4.14E+00	4.14E-01
Cm-243	2.07E+00	4.14E+00	4.14E-01
Cm-244	2.07E+00	4.14E+00	4.14E-01
Mn-54	1.39E+02	2.78E+02	2.78E+01
Co-60	6.50E+01	1.30E+02	1.30E+01
Ni-63	4.33E+01	8.66E+01	8.66E+00
Zn-65	4.66E+01	9.32E+01	9.32E+00

6. 線量評価

- 放射能濃度（表2. 2. 2-6-2）は以下の通り設定した。線量評価への寄与が高いSr,Y,Mn,Coの核種は最近の分析値の傾向を踏まえて引き下げを行った。なお、原水の放射能濃度が高い場合には従来方式にて処理を行う。

評価対象	反応／凝集槽	沈殿槽		上澄み水タンク
		下部	上部	
放射能条件	沈殿物混合水	沈殿物	上澄み水	上澄み水
Sr-89,Sr-90,Y-90 Mn-54,Co-60	沈殿物×0.5	従来評価に用いたスラリー濃度×0.1	沈殿物×0.1	沈殿物×0.1
他の核種		従来評価に用いたスラリー濃度より変更なし		

- 反応／凝集槽の沈殿物混合水は沈殿槽から返送する沈殿物と、処理対象水（汚染水）の混合水であり、実証試験より混合比率は沈殿物流量：処理対象水流量 = 1：2以上であることから、混合水の濃度を沈殿物の放射能濃度の1/2 に設定する。（補足説明-1参照）
- 沈殿槽下部の沈殿物はスラリーであるが、増設多核種除去設備設置以降の処理対象水（汚染水）の放射能濃度低減を踏まえてSr-89,Sr-90,Y-90,Mn-54,Co-60濃度を従来評価に用いたスラリー濃度値の1/10 に設定する。（補足説明-2参照）
- 上澄み水タンク及び沈殿槽上部の上澄み水は沈殿槽で沈殿物を除いた後の上澄み水であり、実証試験ではCFF循環汚泥濃度150g/Lから1.1g/Lまで低減(約99%低減)したことを確認しており、沈殿物の放射能濃度の1/10 に設定する。

- 放射能バランス上、スラリーではCsを捕獲、濃縮しないためゼロとし、後段の吸着塔で全量捕獲されるものとして扱っている。（補足説明-3参照）
- 従来方式の処理への切り替えは対象核種をSr-90とし、原水の濃度がスラリー濃度／濃縮倍率を上回る場合を目安として実施する。 ※スラリー濃度 1.3×10^6 Bq/cm³、想定濃縮倍率は2500倍のため、約500Bq/cm³を目安とする。

6. 線量評価

補足説明－1

沈殿物のSr-90放射能濃度：1.3E+06Bq/cm³

処理対象水のSr-90放射能濃度：3.0E+05Bq/cm³（補足説明－2にも記載の通り、分析値はこれより小さい）

混合比を沈殿物：処理対象水＝1：2とした場合、混合水の放射能濃度は6.3E+05Bq/cm³

⇒混合水の濃度を沈殿物の放射能濃度の1/2(=6.5E+05Bq/cm³)に設定するのは保守的である。

補足説明－2

核種	実施計画記載の増設ALPS 処理対象水濃度 [Bq/cm ³]	処理対象水の放射能濃度 (2020年6月採取) [Bq/cm ³]	処理対象水の放射能濃度 (2020年7月採取) [Bq/cm ³]
Sr-89	2.17E+04	ND < 4.96E+00	ND < 1.39E+01
Sr-90(Y-90)	3.00E+05	2.99E+01	1.83E+02
Mn-54	1.07E+02	ND < 3.79E-03	ND < 7.55E-03
Co-60	5.00E+01	2.44E-02	2.01E-01

補足説明－3

放射能バランス上、スラリーではCsを捕獲、濃縮しないためゼロとし、後段の吸着塔で全量捕獲されるものとして扱っている。スラリー中の水分に含まれるCs-137を考慮していないが、処理対象水中のCs-137放射能濃度はSr-90放射能濃度に比べて十分低いため、この扱いは評価に支障を与えるものではない。

処理対象水の放射能濃度： Cs-137：8.2E+01Bq/cm³ Sr-90：3.0E+05Bq/cm³

沈殿槽下部の放射能濃度： Cs-137：0.0E+00Bq/cm³ Sr-90：1.3E+06Bq/cm³

7. 強度・耐震評価

<強度評価>

タンク及び鋼管は、「JSME S NC-1発電用原子力設備規格 設計・建設規格」のクラス3機器またはクラス3配管に準じた評価を行い、設計値が許容値に納まることを確認している。

詳細については、実施計画Ⅱ.2.16.2添付資料-4「増設多核種除去設備の強度に関する計算書」を参照。

<耐震評価>

『JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規定』等に基づき、タンク、ポンプ、スキッド及び鋼管の応力評価を実施して各評価項目が許容応力以下であることを確認している。

詳細については、実施計画Ⅱ.2.16.2添付資料-3「増設多核種除去設備の耐震性に関する計算書」を参照。

7. 強度・耐震評価

増設多核種除去設備の耐震クラスは、以下の通り B + クラスであると評価する。

<破損シナリオ>

- ・上位地震動（Ss900）により、各機器が破損して内包する液体放射性物質が建屋内に漏えいする。

<破損シナリオに対する影響評価>

- ・各機器に設置している遮へい等（各タンクの厚さ含む）が消失することを想定して影響評価を簡易的に行った結果、最寄りの敷地境界評価点にて年間1.32mSv程度の線量影響が有ると評価した。（表1参照）
なお、1年間の間に線源の除去もしくは遮へいによる線量低減は十分可能である。
- ・各機器の破損により漏出した放射性物質を最寄りの敷地境界にいる公衆が吸引することにより、0.21mSv程度の線量影響が有ると評価した。（表2参照）
- ・なお、実際にSs900以上の地震が発生しても、機器が全て破損することは無いと想定されるため、評価シナリオは保守性を有している。

<耐震クラス>

- ・破損シナリオによる線量影響は1.53mSv程度であり、50 μ Sv～5mSv/事故である。
- ・また、増設多核種除去設備は供用期間が長期間であることから、適用する地震力はB+クラスと評価する。

7. 強度・耐震評価

表 1：遮へい等が消失した場合の敷地境界線量影響の簡易評価

機器名称	No.70線量	鉄遮へい	遮へいを無効にした線量
	[mSv/y]	[mm]	[mSv/y]
処理水受入タンク	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
共沈供給タンクスキッド			
クロスフローフィルタスキッド			
スラリー移送配管			
多核種吸着塔スキッド メディア1～5			
多核種吸着塔スキッド メディア6/7			
HIC (スラリー)			
HIC (メディア1)			
HIC (メディア2)			
HIC (メディア4)			
HIC (メディア5)			
HIC (メディア6)			
HIC (メディア7)			
合計			

※線量は3系列での値を示す。

※鉄遮へい5cmで線量が1/10になると設定して評価。

7. 強度・耐震評価

表 2 : 漏出した放射性物質を公衆が吸引した場合の線量簡易評価

		単位	値	備考
放射性物質質量	MAR	Bq	4.10E+14	実施計画記載の敷地境界線量評価条件より設定。核種はSr-90。
MARのうち事故の影響を受ける割合	DR	-	1	
雰囲気中に放出され浮遊する割合	ARF	-	5.00E-05	出典は※ 1
肺に吸入され得る微粒子の割合	RF	-	1	
環境中へ漏れ出る割合	LPF	-	1	
一般公衆の呼吸率	R	m ³ /s	3.33E-04	3.33E-4m ³ /s≒1.2m ³ /h
実効線量換算係数	H	Sv/Bq	1.60E-07	Sr-90の値
相対濃度	χ/Q	s/m ³	1.95E-04	大気安定度:D、風速3.1m/s、敷地境界まで440m
放射性物質放出量	ST	Bq	2.05E+10	MAR×DR×ARF×RF×LPF
内部被ばく線量	Di	mSv	2.13E-01	ST×(χ/Q)×R×H×1000

※ 1 : U.S. Department of Energy, AIRBORNE RELEASE FRACTIONS/RATES AND RESPIRABLE FRACTIONS FOR NONREACTOR NUCLEAR FACILITIES, Volume I - Analysis of Experimental Data, DOE-HDBK-3010-94 December 1994

7. 強度・耐震評価

B + クラス機器に対して行う耐震評価は以下の通り。

<1.5Ci（機器の場合水平震度0.36）での静的評価>

- ・本申請では水平震度0.80にて静的評価を行い、各評価項目が許容応力以下であることを確認している。

<Sd450での機能維持評価>

- ・増設ALPSではSs600(Ss-1,2,3)に対して、基礎（GL-0.1m）での最大応答加速度が水平600cm/s²以下、鉛直400cm/s²以下であることが評価にて得られている。
- ・Ss600での評価結果より算出すると、Sd450に対しては、基礎での最大応答加速度が水平450cm/s²以下、鉛直300cm/s²以下になることが見込まれる。
- ・本申請では水平震度0.80(≒780cm/s²)にて静的評価を行い、各評価項目が許容応力以下であることを確認している。
Sd450での耐震評価は水平震度0.80の耐震評価に包含されると見込まれる。

<1/2sd225での弾性範囲評価（共振時のみ）>

- ・本申請にて設置する、放射性液体を内包するバウンダリ機器は剛となるよう設計しており、弾性範囲評価は不要である。
- ・ポンプは、横軸ポンプであるためJEAG4601に準拠し剛とみなす。
- ・タンクは、固有値が20Hz以上となる構造で設計している。
- ・配管は、剛設計となる定ピッチを定め、それに基づいてサポートを計画している。
- ・スキッドは、現地工数を低減するため配管系又は機器をユニット化して搭載する溶接構造物（架台）であり、固有値評価は実施していないが、構造形状的に剛構造と想定される。

8. 検査の確認事項

前処理設備改造に係る主要な確認事項を以下に示す。

■ 反応／凝集槽，沈殿槽，上澄み水タンク

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が系統構成図とおりに据え付けられていることを確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。耐圧確認終了後，漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。

8. 検査の確認事項

■ スラリー循環ポンプ, 上澄み水ポンプ

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置, 据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	漏えい確認	運転圧力で耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	耐圧部から著しい漏えいがないこと。
性能	運転性能確認	ポンプの運転確認を行う。	実施計画に記載した容量を満足すること。また, 異音, 異臭, 異常, 振動等がないこと。

8. 検査の確認事項

■ 主配管（鋼管）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について、材料証明書または納品書により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について、材料証明書または納品書により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	外観確認	各部の外観について、立会いまたは記録により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が図面のとおり据付ていることを立会いまたは記録により確認する。	図面のとおり施工・据付ていること。
	耐圧・漏えい確認 注1	①：最高使用圧力の1.5倍で一定時間保持後、同圧力に耐えていること。また、耐圧部からの漏えいがないことを立会いまたは記録により確認する。 ②：運転圧力で耐圧部からの漏えいのないことを立会いまたは記録により確認する。 ※1	最高使用圧力の1.5倍に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。また、耐圧部から漏えいがないこと。 耐圧部から漏えいがないこと。
機能・性能	通水確認	通水ができることを立会いまたは記録により確認する。	通水ができること。

※1：運転圧力による耐圧部の漏えい検査が実施できない配管フランジ部については、トルク確認等の代替検査を実施する。

注1：耐圧漏えい確認は、①②のいずれかとする。

8. 検査の確認事項

■ 主配管（耐圧ホース）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法（外径相当）について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを記録により確認する。耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無を記録により確認する。	圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。また、耐圧部から漏えいがないこと。
機能・性能	通水確認	通水ができることを確認する。	通水ができること。

8. 検査の確認事項

■ 漏えい検出装置及び警報装置

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	装置の据付位置, 据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
機能	漏えい警報装置	設定通りに警報が作動することを確認する。	漏えいを検知し, 警報が作動すること。設定通りに, 警報が作動すること。

8. 検査の確認事項

前処理設備改造に伴う溶接部に係る主要な確認事項を以下に示す。

■ タンク、主配管の溶接検査

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
溶接検査	材料検査	材料が溶接規格等に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合することを確認する。	材料が溶接規格等に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合することであること。
	開先検査	開先形状等が溶接規格等に適合することを確認する。	開先形状等が溶接規格等に適合することであること。
	溶接作業検査	あらかじめ確認された溶接施工法または実績のある溶接施工法又は管理されたプロセスを有する溶接施工法であることを確認する。あらかじめ確認された溶接士により溶接が行われていることを確認する。	あらかじめ確認された溶接施工法および溶接士により溶接施工をしていること。
	非破壊試験	溶接部について非破壊検査を行い、その試験方法及び結果が溶接規格等に適合することを確認する。	溶接部について非破壊検査を行い、その試験方法及び結果が溶接規格等に適合することであること。
	耐圧・漏えい検査	検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていることを確認する。耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること。耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいがないこと。
	外観検査	耐圧・漏えい検査後外観上、傷・へこみ・変形等の異常がないことを確認する。	外観上、傷・へこみ・変形等の異常がないこと。

9. 設計上の考慮

設備の追設となるため、増設ALPSの従来の設計方針を踏襲している。
なお、追設する配管にポリエチレン管は含まれず、また屋内での敷設のみである。

添付資料ー7「増設多核種除去設備の具体的な安全確保策」の抜粋。本工事と関係しないポリエチレン管や屋外配管の記載は一部省略。

1. 放射性物質の漏えい防止等に対する考慮

(1) 漏えい発生防止

- a. 増設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のため、液性等に応じて、炭素鋼（内面ライニング）、ステンレス鋼、ポリエチレン材等を採用する。
- 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とする。
- 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. タンク増設に合わせて敷設する耐圧ホース、ポリエチレン管は設計・建設規格(JSME)に記載のない非金属材料である為、日本工業規格(JIS)、日本水道協会規格(JWWA)、ISO規格、製品の試験データ等を用いて設計を行う。なお、耐圧ホース、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。

➤ 補足説明

- ・ e.は「タンク増設に合わせて」を削除し、日本産業規格(JIS)に変更する。

9. 設計上の考慮

(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止・混水防止

- a. 増設多核種除去設備は、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、増設多核種除去設備設置エリアの最外周及び系統毎に、漏えいの拡大を防止する堰及び漏えい検知器を設ける。
- 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。
- c. 漏えい水のコンクリートへの浸透を防止するため、増設多核種除去設備設置エリアには床塗装を実施する。
- d. 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、漏えい拡大防止カバーで覆った上で中に吸水シートを入れ、漏えい水の拡大防止に努める。

➤ 補足説明

- ・ a.については次スライド参照。
- ・ 漏えい防止のため、タンク液位高にて上流からの入口水の供給を停止し、液位高高にて当該系列の処理運転を停止する。いずれの場合も警報を発報する。なお、機器保護のためタンク液位低、液位低低の場合にも同様の制御を行う。

9. 設計上の考慮

➤ 施設外への漏えい防止能力の評価

- ✓ 増設多核種除去設備建屋内に反応／凝集槽，沈殿槽，上澄み水タンクを追設することから，容器容量が増加するが，建屋の堰高さはこれ以上であることから施設外への漏えい防止の観点で支障はない。

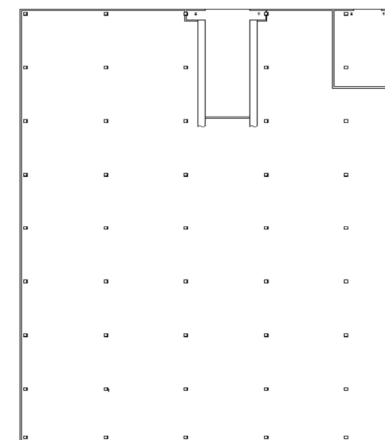
容器容量 [m ³] ^{※1}	容器設置区画内 床面積 ^{※2} [m ²]	見込み高さ ^{※3} [cm]	漏えい廃液全量を貯留するために必要な 堰の高さ[cm]	拡大防止堰の 高さ [cm]	評価
①	②	③	④=①/②×100+③	⑤	
684.5	4371.5	17.0	32.7	33以上 ^{※4}	容器設置区画の拡大防止堰の高さは，各容器からの漏えい廃液全量を貯蔵するために必要な堰の高さを満足しており，施設外への漏えいを防止できる。

※1：保守的に建屋内に設置する全容器の総容量としている。既認可の評価での記載値622.1m³に，反応／凝集槽，沈殿槽，上澄み水タンクの容量（11m³,12m³,2m³,各2基）及び裕度を見込んで設定。

※2：容器設置区画内の内り面積

※3：基礎体積による高さ増加分（基礎体積÷当該容器設置区画内床面積）を考慮した値

※4：増設多核種除去設備建屋は，最外周堰の高さ（現場における設計施工高さ）を50cmとしている。



9. 設計上の考慮

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. 増設多核種除去設備からの放射線による雰囲気線の線量当量率が0.1mSv/h 以下（放射線業務従事者が作業を行う位置で、遮へい体を含む機器表面から1m の位置）となるよう適切な遮へいを設ける。また、最寄り点の評価点(No.70)における直接線・スカイシャイン線の評価結果は年間約0.03mSvとなる。

評価点	年間線量(mSv/年)
No.70	0.03
(参考)No.66	0.024
(参考)No.71	0.023

- 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操作室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. 増設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に、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。

➤ 補足説明

- ・年間線量は本工事により右の通り変更を行う。

評価点	年間線量(mSv/年)
No.70	0.03
(参考)No.66	0.027
(参考)No.71	0.026

9. 設計上の考慮

(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. 使用済みの吸着材あるいは沈殿処理生成物を収容する高性能容器の貯蔵時は、伝導、対流、輻射により熱除去される。最も発熱量の大きい収容物を貯蔵する場合においても、容器の健全性に影響を与えるものではない。

➤ 補足説明

・本申請にて設置する沈殿槽におけるスラリーの崩壊熱による温度上昇を想定しても、最高使用温度は実施計画記載値60℃以内に納まる。

「2.16.1 多核種除去設備」にてHIC内の温度上昇量評価を行っている。ここでは発熱量が最も高い「吸着材2」（53.7W）を用いて評価し、HIC容器の温度は約60℃と評価している。なお、外気温は40℃としている。炭酸塩スラリーの発熱量は6.5Wであり、吸着材2より十分に低く、沈殿槽における最高使用温度は60℃以内に納まると評価する。

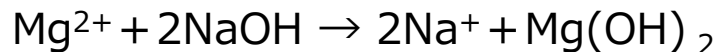
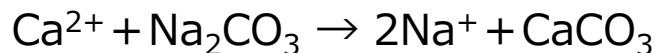
9. 設計上の考慮

3. 可燃性ガスの滞留防止

- a. 増設多核種除去設備では、水の放射線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。
- b. 増設多核種除去設備の運転停止時は、満水状態であれば可燃性ガスの滞留の可能性はないが、念のため吸着塔のベント弁を開操作し、可燃性ガスの滞留を防止する。なお、増設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。
- c. 使用済みの吸着材、沈殿処理生成物を収容する高性能容器は、発生する可燃性ガスの濃度が可燃限界を超えないようベント孔を設ける。高性能容器内の可燃性ガスの水素濃度を評価した結果、約2.3%程度となり、可燃限界を超えることはない。

➤ 補足説明

- ・発生する可燃性ガスは水素である。
- ・本設備では薬剤を使用するが、これによる可燃性ガスの発生はない。薬剤添加による主な化学反応は以下の通りである。



- ・なお、薬剤添加による化学反応に伴う温度上昇は、現行設備での運転実績より有意に発生しないと評価する。使用する薬剤の種類および注入量は、前処理方式の変更前後でほぼ変わらない。

9. 設計上の考慮

4. 環境条件を踏まえた対応

(1)腐食

増設多核種除去設備は、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、また薬液注入により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。

(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、建屋内の配管については、40A以下の配管に対し、保温、ヒータを設置する。

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℃、内部流体の初期温度5度、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℃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%以下と推奨

➤ 補足説明

- ・EPDMについては、酸・アルカリに対する腐食性に優れていることを確認している。

9. 設計上の考慮

(4)耐放射線性

なお、系統バウンダリを構成するその他の部品には、ガスケット、グランドパッキングがあるが、他の汚染水処理設備等で使用実績のある材料を使用しており、数年程度の使用は問題ない。

➤ 補足説明

- ・EPDMについては、放射線照射による影響は 10^5 Gyまで照射されても有意な材料特性の変化は確認されていない。多核種除去設備では、スラリーを高性能容器(HIC)に保管する際の積算線量を40年間にて 2.5×10^4 Gyと想定している。このため、耐圧ホースは長期間使用しても放射線照射の影響により大きく劣化することはないと考えられる。

9. 設計上の考慮

2.16.2.1.6「自然災害対策等」の抜粋

(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。

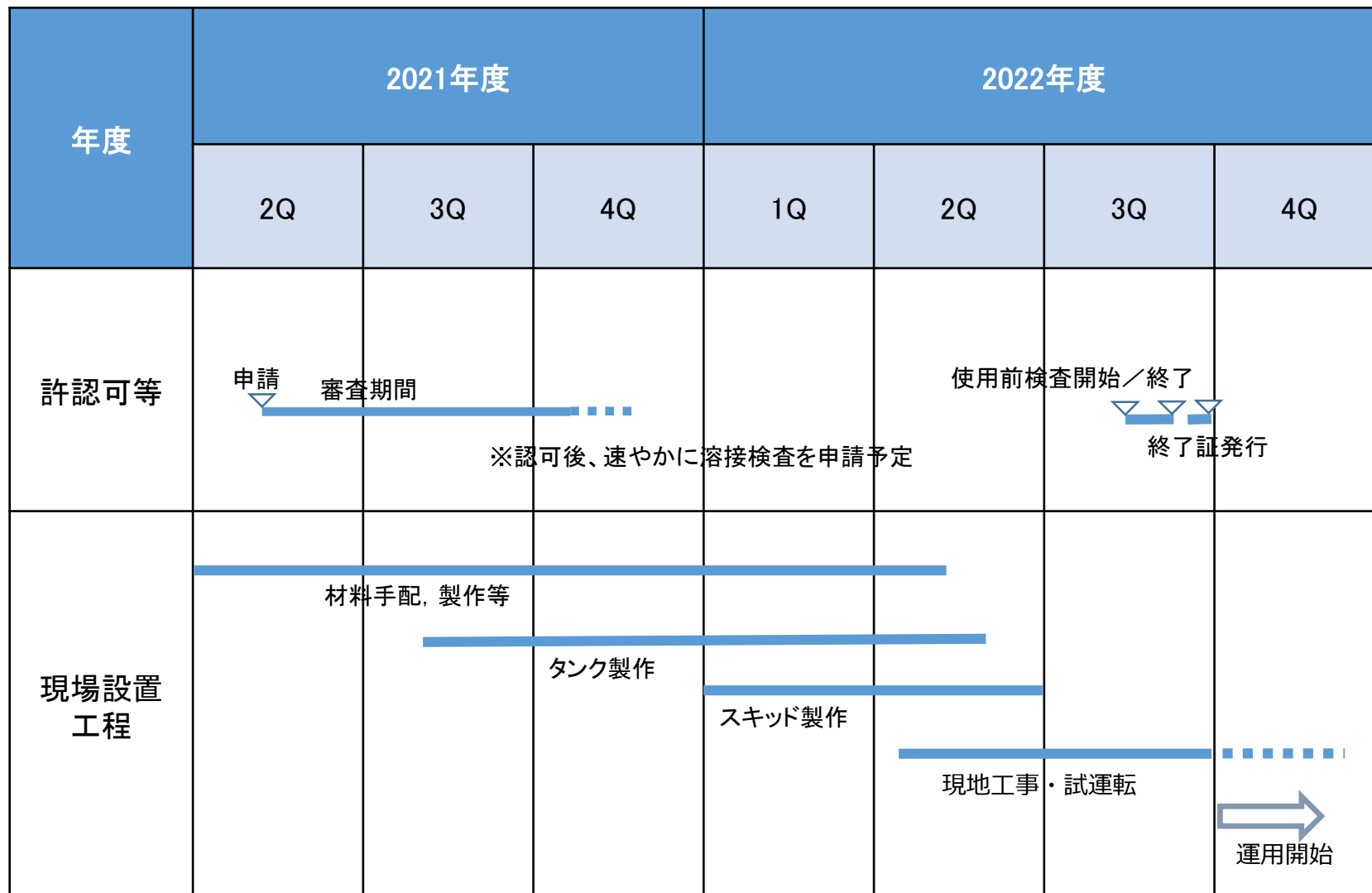
➤ 補足説明

- ・前処理設備改造に伴い新規設置する機器については実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用するが、一部可燃物を使用する。使用する可燃物は潤滑油、グリースが挙げられる。なお、可燃物は容器内に格納された状態である。
- ・新設設備近傍には消火器が設置されており、建屋内には避難時における誘導用のために誘導灯が設置されている。
 - 【潤滑油】 約12L（反応／凝集槽それぞれの攪拌機で使用）
 - 【グリース】 約2kg（沈殿槽減速機で使用）
- ・難燃物としては電気・計装関係ケーブル、計器類が挙げられる。本工事にて新設するMCC及び制御盤についても、盤内電線は難燃仕様とする。

10. 運用・メンテナンス

- スラリー返送式ではスラリーをHICへ移送する経路が変更となるが、受け入れるHICでのSEDS操作に変更はなく、SEDSの従来使用条件範囲内での運用である。
従来方式：CFFにてスラリーを濃縮し循環ポンプにて排出
スラリー返送式：沈殿槽下部に沈殿したスラリーを、スラリー循環ポンプにて排出
- 設備停止により長期保管となる場合は、スラリーが滞留し固着しないよう沈殿槽下部のスラリーを排出する。
- 従来方式／スラリー返送式を変更する際には、使用しない機器の内部にスラリーが滞留し固着しないようスラリーの排出及びフラッシングを行う。なお、長期間使用しない機器は水抜き状態での保管を予定している。

11. スケジュール



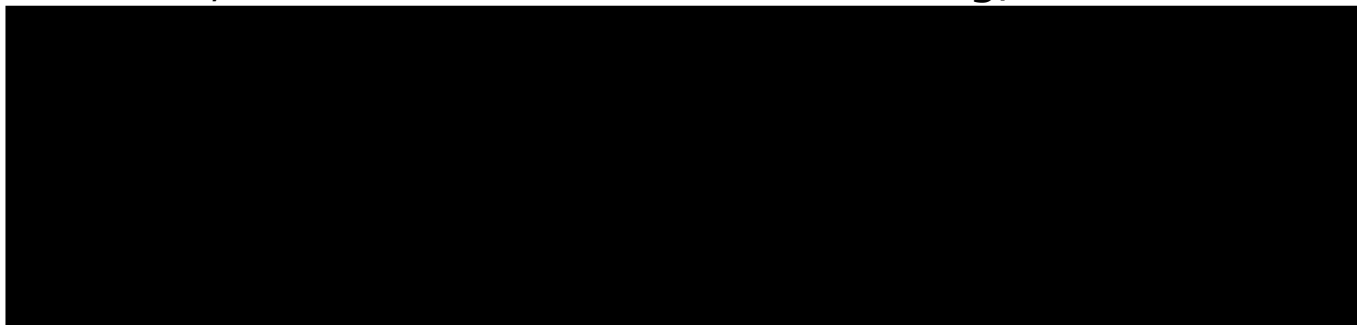
【参考】前処理設備改造 実証試験

■ スラリー固体濃度

- 改造後の前処理プロセスにおけるスラリー固体濃度が、現行プロセスの約70g/L から240～330g/Lに増加したことを確認。

【コールド試験結果】

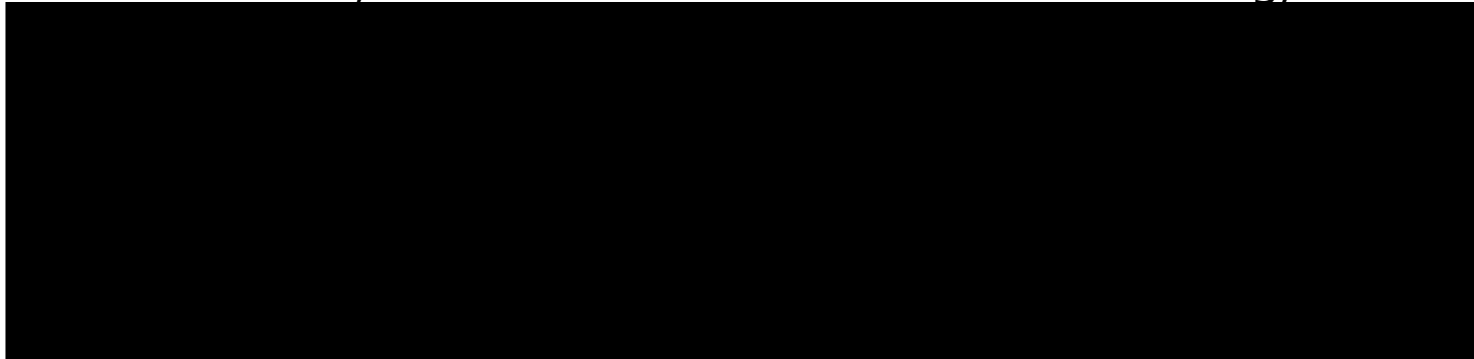
試験装置の連続通水後、沈殿槽からの返送スラリーで310g/Lを確認



コールド試験装置系統概略図

【ホット試験結果】

試験装置で実液を連続通水し、沈殿槽からの返送スラリーで240～330g/Lを確認



ホット試験装置系統概略図

【参考】材料（SS400材）の適用JIS年度について

- ・ JSME設計・建設規格(2005年度／2007年度追補版)の付録材料図表Part1「使用する材料の規格」においては、SS400材(JIS G3101：一般構造用圧延鋼材)は2004年度版(2017年度版読み替え可)の記載となっている。
- ・ 前処理設備改造の内、「反応／凝集槽」に使用される材料(SS400材)については、既に市場の流通性が少なく、入手困難な状況のため新年版の2020年度版にて手配を行いたいと考えている。
- ・ JIS G3101の2017年度から2020年度版への改定内容としては、今回手配するものに係らない範囲で語句変更程度のため、化学成分及び機械的性質は、JSME設計・建設規格(2005年度／2007年度追補版)の付録材料図表 Part1「使用する材料の規格」に記載される記載材料と同等材とみなして使用できると判断できる。
- ・ よって、SS400材として、JIS G3101の2020年度版の適用は、JSME設計・建設規格に適合するものと判断できる。
- ・ 上記を踏まえ、実施計画本文に「JSME規格で規定される材料の日本産業規格(JIS)年度指定は、技術的妥当性の範囲において材料調達性の観点から考慮しない場合もある。」を追記する。

【参考】材料（SS400材）の適用JIS年度について

JIS G3101 一般構造用圧延鋼材の新旧比較表

	2015+2017年度追補版	2020年度版	評価																																																		
機械的性質	「鋼材は、8.2の試験を行い、～表3による。ただし、辺が40mm未満の形鋼及び幅が40mm未満の平鋼の機械的性質は、附属書JAによる。なお、～。注記 曲げ性の試験の実施については、8.2.1を参照」	「鋼材は、9.2の試験を行い、～表3による。ただし、形鋼（辺が70mm未満）及び平鋼（幅が50mm未満）は、次による。a) 形鋼（辺が40mm未満）は附属書JAによる。また、形鋼（辺が40mm以上70mm未満）は、附属書JAによってもよい。b) 平鋼（辺が40mm未満）は附属書JAによる。また、平鋼（辺が40mm以上50mm未満）は、附属書JAによってもよい。なお、～。注記 曲げ性の試験の実施については、9.2.1を参照」	反応／凝集槽の胴板及び鏡板用として使用する平板は、大型材料であり、左記で改定されている形鋼及び平鋼の附属書の規定に該当しないことから、JIS改定前と同等である。																																																		
	「辺が40mm未満の形鋼及び幅が40mm未満の平鋼は、8.2の試験を行い、その降伏点又は耐力、引張強さ、伸び及び曲げ性は、表JA.1による。」	「辺が40mm未満の形鋼及び幅が40mm未満の平鋼は、9.2の試験を行い、その降伏点又は耐力、引張強さ、伸び及び曲げ性は、表JA.1による。」	反応／凝集槽の胴板及び鏡板用として使用する平板は、大型材料であり、左記で改定されている形鋼及び平鋼の附属書の規定に該当しないことから、JIS改定前と同等である。																																																		
化学成分	<p>表2-化学成分</p> <p style="text-align: right;">単位 %</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>種類の記号</th> <th>C</th> <th>Mn</th> <th>P</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SS330</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SS400</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>0.050以下</td> <td>0.050以下</td> </tr> <tr> <td>SS490</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SS540</td> <td>0.30以下</td> <td>1.60以下</td> <td>0.040以下</td> <td>0.040以下</td> </tr> </tbody> </table> <p>必要に応じて、この表以外の合金元素を添加してもよい</p>	種類の記号	C	Mn	P	S	SS330					SS400	-	-	0.050以下	0.050以下	SS490					SS540	0.30以下	1.60以下	0.040以下	0.040以下	<p>表2-化学成分</p> <p style="text-align: right;">単位 %</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>種類の記号</th> <th>C</th> <th>Mn</th> <th>P</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SS330</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SS400</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>0.050以下</td> <td>0.050以下</td> </tr> <tr> <td>SS490</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SS540</td> <td>0.30以下</td> <td>1.60以下</td> <td>0.040以下</td> <td>0.040以下</td> </tr> </tbody> </table> <p style="color: red;">必要に応じて、この表に“-”と記載している元素及びこの表に記載していない合金元素を添加してもよい</p>	種類の記号	C	Mn	P	S	SS330					SS400	-	-	0.050以下	0.050以下	SS490					SS540	0.30以下	1.60以下	0.040以下	0.040以下	左記の注記変更は、これまでも認められているC及びMnの添加を文章として明文化したものであり、化学成分の変更ではないことから、JIS改定前と同等である。
種類の記号	C	Mn	P	S																																																	
SS330																																																					
SS400	-	-	0.050以下	0.050以下																																																	
SS490																																																					
SS540	0.30以下	1.60以下	0.040以下	0.040以下																																																	
種類の記号	C	Mn	P	S																																																	
SS330																																																					
SS400	-	-	0.050以下	0.050以下																																																	
SS490																																																					
SS540	0.30以下	1.60以下	0.040以下	0.040以下																																																	