

平成 24 年度温泉排水処理技術開発普及等調査

実証試験結果報告書

新玉川温泉

平成 25 年 2 月

実証機関: JFE テクノリサーチ株式会社

実証対象技術: 温泉排水中ふっ素除去技術

－ 目 次 －

全体概要

1. 温泉排水処理技術開発普及等調査の目的	1
2. 実証試験場所の概要	
2.1 実証試験実施場所の名称等	5
2.2 実証試験実施場所の状況	5
2.3 実証試験の平面配置図および現地写真	6
3. 実証対象技術の概要	
3.1 実証対象技術の原理およびシステムの構成	7
3.2 主な消耗品、電力消費量	10
3.3 実証対象機器の運転および維持管理に必要な作業項目	10
3.4 汚泥および廃棄物発生量とその取り扱い	10
3.5 実証対象機器の使用者に必要な運転および維持管理技能	10
3.6 騒音・におい対策と建屋の必要性	10
3.7 期待される効果	10
4. 実証試験の方法と実施状況	
4.1 実証試験期間	11
4.2 実証対象機器立ち上げ	12
4.3 実証水質項目	12
4.4 監視項目	13
4.5 水質分析方法	14
4.6 参考実証項目	15
4.7 環境負荷実証項目	15
4.8 オンサイト分析用フローインジェクション装置	15
5. 実証試験結果	
5.1 水質監視項目の試験結果	15
5.1.1 ふっ素	16
5.1.2 ほう素	17
5.1.3 塩化物イオン	18
5.1.4 カルシウムイオン	18
5.1.5 シリカ	19
5.1.6 溶存性鉄	19
5.1.7 溶存性マンガン	20
5.1.8 ひ素	20
5.1.9 鉛	21
5.1.10 懸濁物質	21
5.2 参考実証項目の試験結果	23
5.2.1 ふっ素の溶出試験	23
5.2.2 鉛・ひ素・鉄・マンガンの溶出試験	23
5.3 環境負荷実証項目の試験結果	24
5.4 定性的所見	24
6. データの品質管理	24
7. コスト試算詳細	25
付録 現場写真	28

◎全体概要

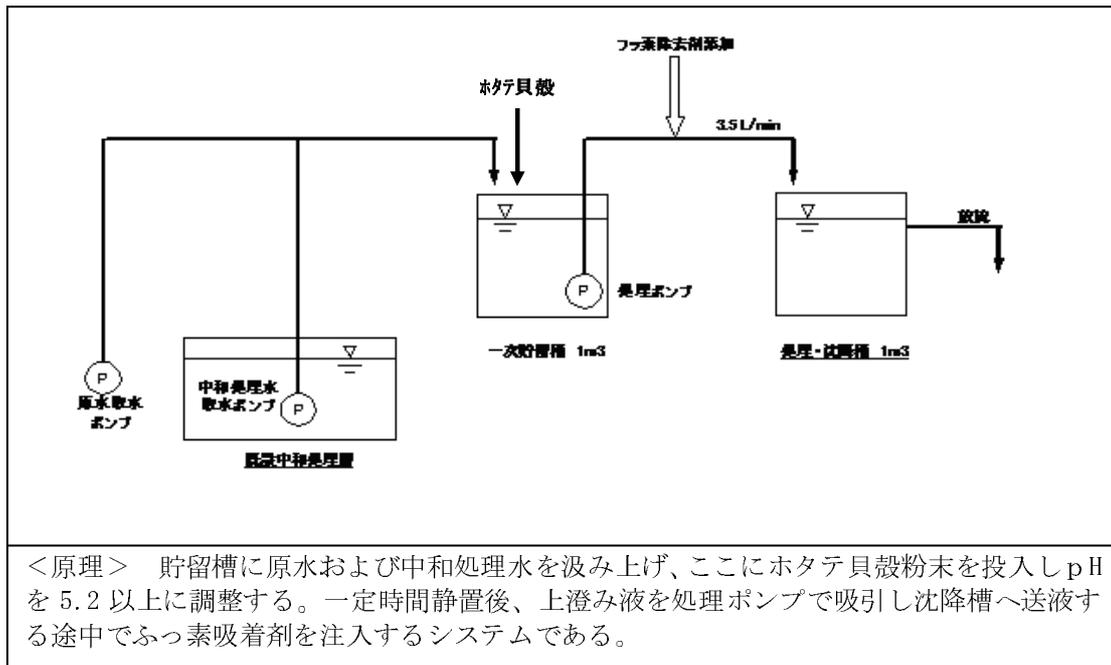
実証対象技術 ／排水処理施設開発機関	温泉排水中ふっ素除去技術 ／JFEテクノロジーサーチ株式会社
実証機関	JFEテクノロジーサーチ株式会社
実験実施期間	平成24年11月1日～9日 のうち6日間
本技術の目的	高濃度のふっ素を含んだ温泉排水より、ホタテ貝殻粉末および吸着剤を用いてふっ素を初期濃度の半分以下まで除去すること。

【実証試験総括】

ふっ素除去の可否 および所見	<p>新玉川温泉は強酸性(pH1.3)で、多くの重金属イオンおよび塩類を含む特殊な温泉である。この温泉排水中ふっ素の平均濃度は約 36mg/L であり、一般的な吸着剤では直接ふっ素を吸着除去することができない。これは多量に共存する鉄イオンやアルミニウムイオンによる吸着妨害が原因と考えられる。本実証試験は原水および中和水中にホタテ貝殻粉末を投入し排水中のpHを 5.2 以上とすることで共存する鉄およびアルミニウムを水酸化物として沈降・分離し吸着剤によりふっ素を除去する方法である。</p> <p>実証試験の結果、原水には0.5%、中和水には0.12%のホタテ貝殻粉末を投入することによりpHを 5.2 以上にすることが可能であった。また貝殻粉末の投入により一部ふっ素イオンがふっ化カルシウムとして沈降するため、排水中のふっ素イオンは初期濃度の54%まで低減することが可能であった。さらにこの排水の上澄み液に吸着剤を 0.5%～1.5%添加すると、最大で初期濃度の41%まで低減することが可能となり本実証試験の目標(初期濃度の半分以下)を達成することができた。</p>
総排水処理量	6.0m <sup>3</sup> 6日間
使用した吸着剤	45L

【実証対象技術の概要】

○フローシート





### ○予備試験結果

新玉川温泉排水の pH とふっ素吸着の関係を詳細に調査した結果、大量に共存する重金属イオンによりふっ素の吸着が阻害されることが判明した。そこで pH を 5.2 以上とすることで共存する鉄イオンやアルミニウムイオンが水酸化物として沈降しふっ素イオンがフリーとなることによりふっ化カルシウムの生成が起これ排水中のふっ素濃度が低下することがわかった。またふっ素吸着剤はフリーのふっ素に対して効率良くふっ素を吸着除去することが可能であった。

### ○実証試験結果

#### ・ふっ素の除去

原水の平均ふっ素濃度は 33.1mg/L、中和水の平均ふっ素濃度は 35.4mg/L、貝殻投入後の平均ふっ素濃度は 19.5mg/L、処理水の平均ふっ素濃度は 14.1mg/L であった。またふっ素の除去率では、貝殻投入で 41.1～44.9%、更に吸着剤の投入で 57.4～60.2%であった。これは目標としていた初期ふっ素濃度の半分以下を満足する結果であった。

### ○水質監視項目

- ・pH 原水:1.3、中和水:2.7～3.5、貝殻投入後:5.3、処理水:4.0～6.3
- ・ほう素 原水のほう素は 9～10mg/L でほぼ一定、処理後のほう素濃度も変化なし。
- ・塩化物イオン 原水の塩化物イオン濃度は 1600～1900mg/L でほぼ一定。処理後の塩化物イオン濃度も変化なし。
- ・カルシウム 原水のカルシウムイオン濃度は 70mg/L、中和処理後のカルシウムイオン濃度は 1100mg/L に上昇。ここに貝殻を添加すると更に 1380mg/L までカルシウムイオンが上昇する。その後フリーのフッ素イオンと反応しふっ化カルシウムを生成しわずかに濃度が低下する。
- ・シリカ 原水および中和水のシリカ濃度は 178～185mg/L、処理後のシリカ濃度は 116～119mg/L と約 35%減少する。
- ・溶存性鉄 原水の鉄イオン濃度は 72.5mg/L、中和処理後は 24.3mg/L、処理後の Fe イオン濃度は 4.3～7mg/L。pH の上昇とともに水酸化物が生成し排水中の鉄イオンが減少している。
- ・溶存性マンガン 原水から処理水まで濃度は 0.9～1.0mg/L でほとんど変化無し。
- ・ひ素 原水の平均ひ素濃度は 1.53mg/L、中和水では 0.32mg/L、処理後のひ素濃度は 0.20～0.26mg/L。鉄やアルミの水酸化物への吸着効果もあり濃度が低下している。
- ・鉛 原水および中和水の平均鉛濃度は 0.76mg/L、中和水の平均鉛濃度 0.73mg/L、処理水中の平均鉛濃度は <0.01mg/L。ひ素と同様水酸化物への吸着効果により濃度が低下している。

### ○参考実証項目

#### ・ふっ素の溶出試験

一次貯留槽および沈降槽のスラッジ使用し、環境庁告示 13 号試験によるふっ素の溶出試験を行った。その結果、一次貯留槽のスラッジからはふっ素の溶出が確認された。また沈降槽のスラッジでもわずかにふっ素の溶出が確認された。一次貯留槽のスラッジに吸着剤を 50%(wt/wt) 添加した場合、ふっ素の溶出が抑制できた。

#### ・その他重金属(ひ素・鉛・溶解性鉄・溶解性マンガン)の溶出試験

一次貯留槽の汚泥からは、ひ素のみ溶出が確認された。また沈降槽の汚泥からはひ素・鉛・溶解性鉄・溶解性マンガン何れも溶出は見られなかった。

○環境負荷実証試験

項目	結果
廃棄物の種類と発生量	・吸着剤 1.35kg (Dry) 、スラッジ 2.80kg (Dry) ・オンサイト分析の廃液 4.0L
騒音(音源 1m 値)等価騒音レベルLaeq におい	稼働時:67dB 装置停止時:34dB 臭気濃度、不快指数 :共に 10 以下 臭気強度、快・不快:共にゼロ
汚泥、廃棄物、においの処理等の 容易さ等の質的評価	周辺環境への影響なし

※ Laeq:1 分間の等価騒音レベル「JIS B 8310 ポンプの騒音レベルの測定方法」に準拠

○定性的所見

項目	所見
試験期間中の消費電力量	ポンプ 3 台 49kWh(最大) 分析装置 1.6kWh 計 50.6kWh
原水および中和水と ふっ素処理水の水質所見	原水は無色透明で pH1.3、懸濁物質もほとんどなし。中和水は排水施設担当者が午前・午後に一回ずつ石灰石を投入し pH を調整。pH は 2.4~3.5 まで変化する。排水は鉄の水酸化物が発生し赤褐色となる。またこの水酸化物は時間とともに沈降する。処理水は pH5.0~5.8 であり、わずかに吸着剤が懸濁物質として存在する。
立ち上げに要する時間	貯留水タンクに排水をためる時間が必要。 所要時間は約 60 分程度
運転停止に要する時間	ポンプ OFF、バルブ閉、発電機停止 所要時間:約 10 分
実証対象機器の信頼性	6 日間、問題なく運転が行われた。
試験中に発生した事態への対処	11/4 吸着剤注入ポンプ不具合発生 再実験を実施。 11/4 ふっ素分析計検出器ランプ切れ発生 検出器予備に交換 11/5 各水準の実験時間を 8→4 時間に変更

○コスト試算 (処理量 100m<sup>3</sup>/日)

新玉川温泉排水中ふっ素濃度	イニシャルコスト 千円	ランニングコスト 千円/年
36mg/L→18mg/L 以下に低減	貝殻供給装置 12,000 千円 吸着剤添加装置 8,000 千円 脱水装置 8,000 千円 計 28,000 千円	1) 材料費 8,771 千円/年 ※現行中和処理費は必要なし

※ イニシャルコストは装置のみの試算。基礎・建屋・ユーティリティなどの工事費・建設費は含まず。

※ ランニングコストは貝殻と吸着剤費用を含む。人件費・運搬費等は含まず。

## 1. 温泉排水処理技術開発普及等調査の目的

ほう素、ふっ素及び硝酸性窒素等については平成13年に水質汚濁防止法による有害物質として排水基準が設定されているが、旅館業(温泉を利用するものに限る。)(以下「温泉旅館」という。)に対しては、経過措置として、ほう素及びふっ素の暫定排水基準が設定されている。温泉旅館より排出される排水(以下「温泉排水」という。)には、ほう素及びふっ素の他にも多種多様な共存物質が比較的高い濃度で成分として含まれる場合があり、これらの共存物質が排水処理を阻害すること等により既存の排水処理技術ではほう素及びふっ素の除去が難しいのが現状である。ほう素及びふっ素の暫定排水基準は3年毎に見直すこととされ、現在の暫定排水基準の適用期限が平成25年6月末までとなっており、温泉排水を対象とした排水処理技術の開発普及等が必要となっている。

本調査は、温泉排水を対象とした新しい排水処理技術の実証試験を実施し、温泉旅館における導入の可能性を検証することを目的とする。

なお本実証試験は強酸性であり多種多様な共存物含有し、かつ高濃度にふっ素が含まれる秋田県の新玉川温泉排水を試験対象として実施された。

### ※用語の定義と解説

- 1) 原水・・・排水処理場に流入する温泉排水であって未処理の排水を「原水」という。この排水はpHが約1.3と低いためこのままでは放流できない。
- 2) 中和水・・・上記、原水に粒状の石灰石を投入しpHを2.7～3.5に調整した排水を「中和水」という。これは現状実施されている中和処理方法である。
- 3) 調整水・・・原水および中和水にホタテ貝殻を投入しpHを5.2以上に調整した排水を「調整水」という。実証試験では原水および中和水を採水し貝殻を投入して調整水を作成する。
- 4) 処理水・・・調整水の上澄み液をポンプで送水し、このパイプ内に吸着剤を注入してふっ素の吸着・除去を行った排水を「処理水」という。

## 1. 1 予備試験の結果

現地実証試験のための予備試験として弊社ラボにて、ふっ素基準溶液および新玉川温泉排水(原水および中和水)を用いて、ふっ素の吸着(除去)能力の確認実験を実施した。結果の要約は以下のとおりである。

- 1) ふっ素基準溶液(ふっ素濃度:50mg/L)に吸着剤を添加した場合、吸着剤 0.5%(wt/vol) 添加で約 30%、2.5%添加で約 70%、5%添加で約 95%以上のふっ素吸着(ふっ素除去)が可能であった(図 1-1 参照)。
- 2) これに対して、温泉排水(原水、中和水)に直接吸着剤を添加した場合、ふっ素の吸着効果は著しく低い。これは多量に共存する鉄やアルミニウムなどのイオンによる妨害によるものと考えられた(表 1-1 参照)。本温泉排水中の鉄やアルミニウムなどのイオンはふっ素と錯イオンを形成していると推定できるが、pH5.2 を超えるとほとんどが水酸化物として沈降することを別途確認した。
- 3) そこで、吸着剤とホタテ貝殻粉末を併用し、前記イオンによる吸着妨害を排除し、ふっ素吸着(ふっ素除去)能力を改善することとした。すなわち、ホタテ貝殻粉末を少量添加し、pH を上昇させることにより、鉄やアルミニウムなどの錯イオンを水酸化物として沈降分離させ、遊離したふっ素イオンを吸着剤で除去する(一部は貝殻粉末と反応し、ふっ化カルシウムとなる)。予備試験では原水および中和水に吸着剤の 1~2 割程度のホタテ貝殻粉末を添加することにより、90%近くのふっ素が低減可能となった(表 1-2 参照)。
- 4) ホタテ貝殻粉末は、粒度が細かいほど短い攪拌時間で pH を上昇させることができる。例えば 0.2mm 以下の微粉末で投入すると 15 分以内で pH が 5.2 以上に上昇した(図 1-2 参照)。したがって実証試験では粒径 0.2mm 以下の粉末を使用することとした。
- 5) ホタテ貝殻粉末の必要量(温泉排水(原水、中和水) 1m<sup>3</sup> の pH を 5.2 以上とするために添加する量)を決定するために、投入量と pH の関係を調査した。その結果、原水では約 0.5%(wt/vol)、中和水では約 0.12%を添加することで pH5.2 以上となることがわかった。(図 1-3 参照)

本実証実験の当初計画では、新玉川温泉排水中に吸着剤を直接注入する方式を提案していた。しかしながら大量に含まれる共存物質、特に鉄イオンやアルミニウムイオンなどがふっ素と錯イオンを形成し、吸着剤によるふっ素の吸着を阻害していることがわかった。この錯イオンは pH5.2 以上でふっ素イオンを乖離し水酸化物として沈降すること、この pH で吸着剤は効果的に作用することから、実証試験においては吸着剤とホタテ貝殻粉末を併用することとした。

以上述べた新玉川温泉排水(原水、中和水)の pH とふっ素吸着の関係を図 1-4 に、実証試験のフローを図 1-5 に示す。

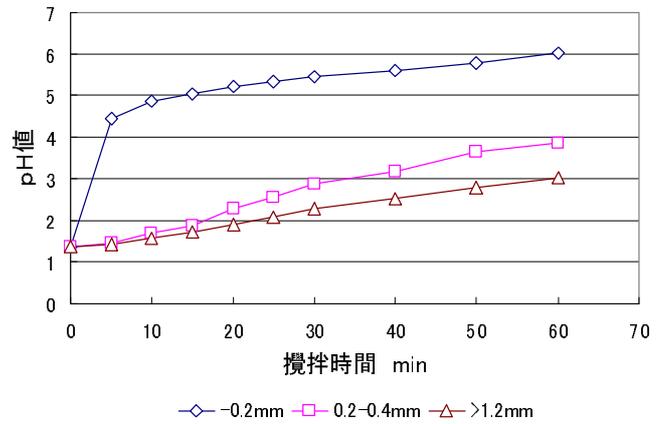
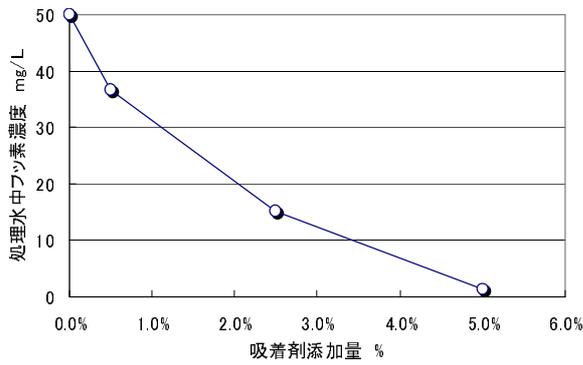


図 1-1. ふっ素基準溶液に対するふっ素吸着剤の効果

図 1-2. ホタテ貝殻粉末粒度および攪拌時間と pH の関係

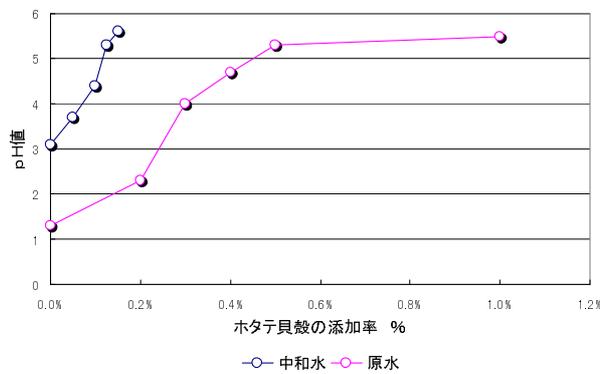


図 1-3. ホタテ貝殻粉末投入量と pH の関係 (粒度: -0.2mm、攪拌時間: 10min)

表 1-1. 玉川温泉排水に吸着剤を直接添加した場合の除去率例

※ふっ素濃度 原水: 34.3mg/L、中和水: 32.8mg/L を使用した。

	ふっ素分析値 (mg/L)	除去率%
原水+吸着剤1%添加	33.5	2.3
原水+吸着剤3%添加	32.3	5.8
原水+吸着剤5%添加	31.7	7.6
中和水+吸着剤1%添加	34.6	-5.5
中和水+吸着剤3%添加	33.1	-0.9
中和水+吸着剤5%添加	32.0	2.4

表 1-2. 玉川温泉排水にホタテ貝殻粉末と吸着剤を併せて添加した場合の除去率例

	ふっ素分析値 (mg/L)	除去率
原水+貝殻1%添加	17.5	49.0
原水+貝殻1%+吸着剤1%添加	6.8	80.2
原水+貝殻1%+吸着剤3%添加	4.3	87.5
原水+貝殻1%+吸着剤5%添加	3.6	89.5
中和水+貝殻0.5%+吸着剤1%添加	9.2	72.0
中和水+貝殻0.5%+吸着剤3%添加	6.2	81.1
中和水+貝殻0.5%+吸着剤5%添加	4.7	85.7

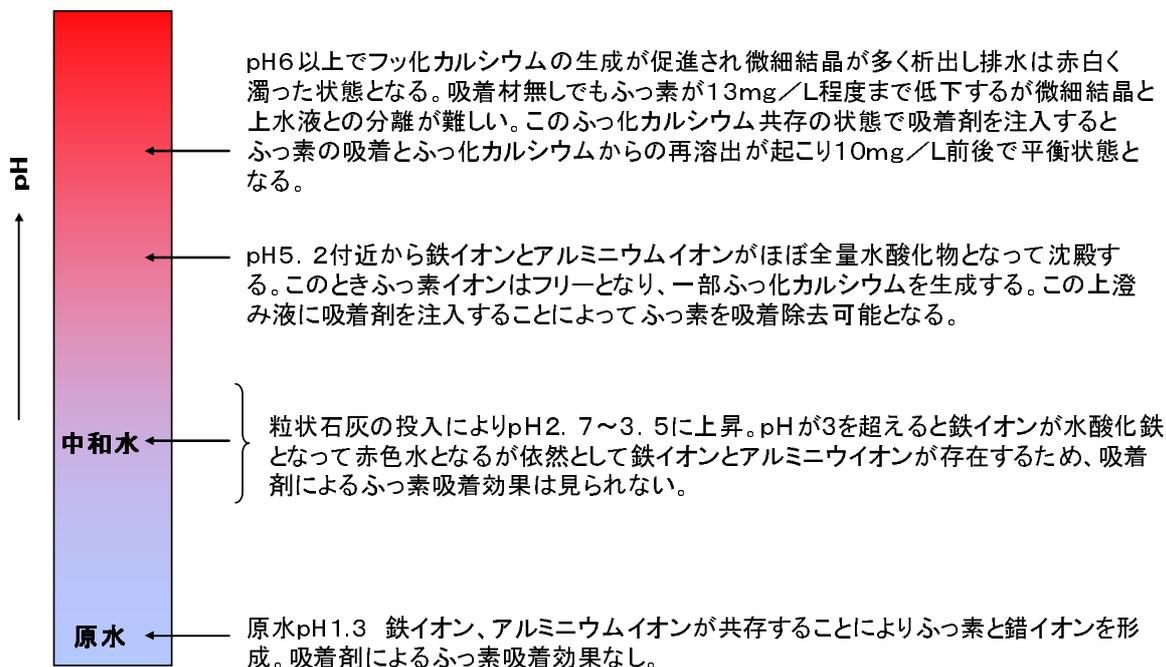


図 1-4. 新玉川温泉水の特性とふっ素吸着の関係

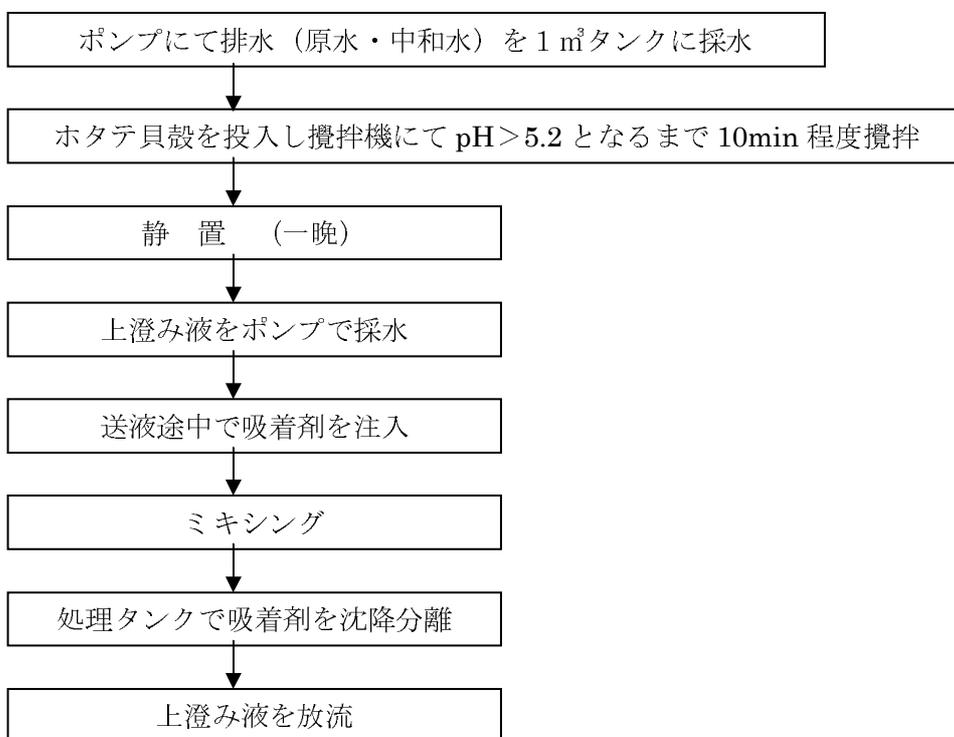


図 1-5 実証実験フロー

## 2. 実証試験実施場所の概要

### 2.1 実証試験実施場所の名称等

実証試験実施場所の名称は表 2-1 に示すとおりである。

表 2-1 実証試験実施場所の名称、所在地

項 目	内 容
名 称	新玉川温泉
所在地	秋田県仙北市田沢湖玉川字渋黒沢

### 2.2 実証試験実施場所の状況

実証試験実施場所の状況については、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 実証試験実施場所の状況

項 目	内 容
試験場所	新玉川温泉排水処理施設
泉 質	酸性・含二酸化炭素・鉄(II)-アルミニウム-塩化物泉
源 泉	湧出水 pH1.05、温度 98℃ ふっ素 95.7mg/kg、アルミニウム 297mg/kg メタケイ酸 386mg/kg
排水の性質	pH3.1、温度 45℃、ふっ素 44mg/L、塩化物イオン 1934mg/L
排水量	1,080m <sup>3</sup> /日

新玉川温泉の源泉はきわめて強い酸性であり、かつ陽イオンとしてアルミニウム、鉄、カルシウム、遊離成分としてメタケイ酸を多量に含有している。特に pH が 1.1 と非常に低いのが特徴である。新玉川温泉の代表的な温泉成分を表 2-3 に示す。同温泉では一日に 2 回(9 時、15 時)粒状石灰石を排水処理槽内に投入し pH を 3.5 まで上昇させたのち放流(中和処理)を行っており、今回はこの中和処理前後の排水を使用して試験を行った。

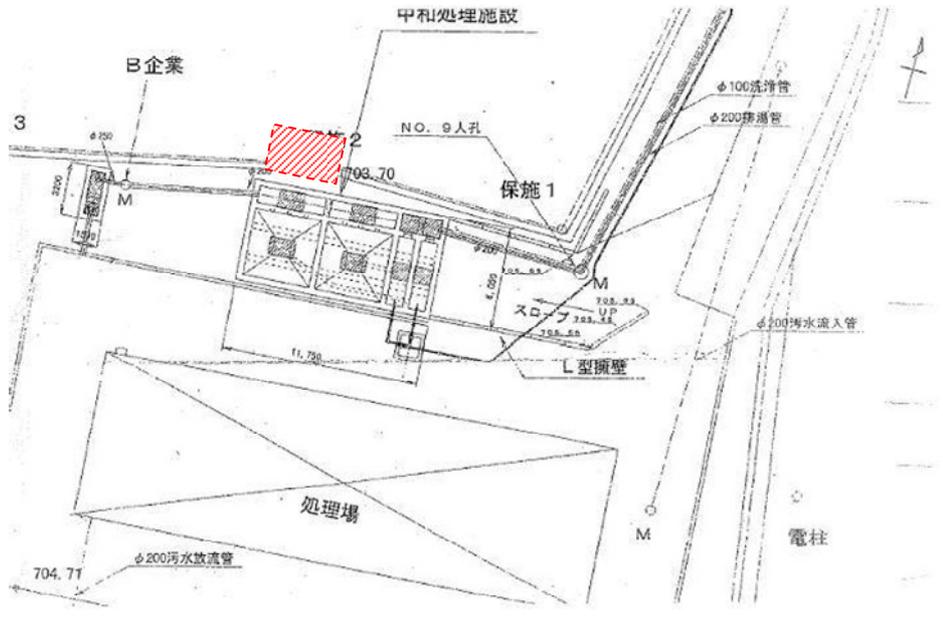
表 2-3 新玉川温泉の温泉成分

単位: mg/L

Na	K	Mg	Ca	Al	Mn	Fe(II)	Cu	SiO <sub>2</sub>
78	39	62	190	297	2.7	211	<0.1	297

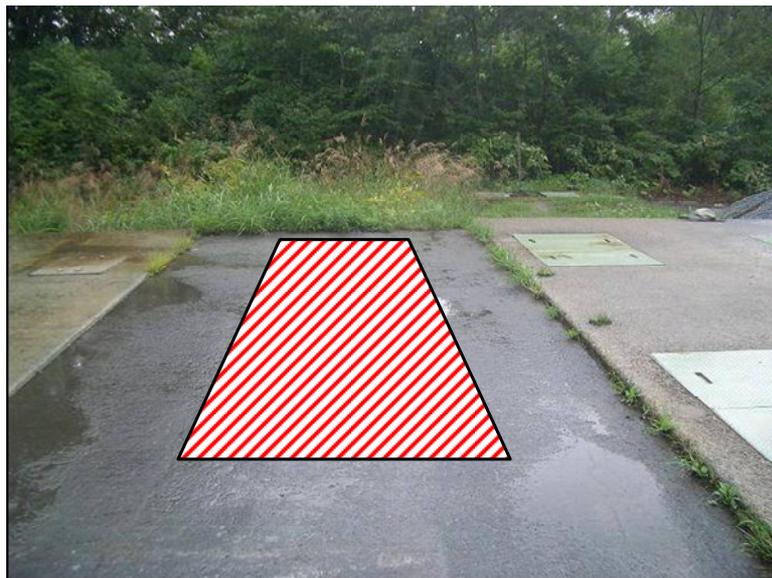
平成 16 年 9 月 9 日(株)秋田県分析化学センターによる分析結果

2.3 実証試験装置の平面配置図及び設置場所写真



【平面配置図】

【設置場所 東側より望む】



### 3. 実証対象技術の概要

#### 3.1 実証対象技術の原理およびシステムの構成

本技術は、温泉排水中にリン酸ジルコニウムの微細結晶(以下、吸着剤という)を直接投入しふっ素を結晶表面に固定化する(ふっ素がジルコニウムと反応して難溶性化合物を生成する)ものである。吸着剤の平均粒径は  $1\mu\text{m}$  以下であり表面積が大きく少量の添加で効率的にふっ素を除去することができる。さらにホタテ貝殻の粉末を併用し、排水中での錯化しているふっ素を遊離させ、ふっ素除去効率を向上させている。

実証試験のシステムフローを図 3-1 に示す。試験対象である温泉排水(以下、原水という)および粒状石灰石を投入し pH を上昇させた中和処理水(以下、中和水という)を取水ポンプで汲み上げ一次貯留槽に導入する。この排水にホタテ貝殻の粉末を添加し、pH5.2 以上となるまで攪拌する。攪拌後の溶液を静置し、この上澄み液を処理ポンプにより 1 分間に 3L の速度で処理・沈降槽へ移送する。この過程で吸着剤を一定量注入、ミキシングカラムおよび攪拌コイルで十分に攪拌する。その後、沈降槽で吸着剤を沈降させ、上澄み液を処理水として排出する。

原水・中和水ともに注入する吸着剤の添加量を 3 段階に変化させた 6 水準について試験を実施する。処理水中のふっ素濃度をその場で確認するために、フローインジェクション方式の分析計(分析原理:JIS K0102 34.1 ランタンアリザリンコンプレキソン法に準拠)でモニタリングする。

実証試験に使用した機器の仕様および運転条件を表 3-1 に、試験装置の詳細図面を図 3-2 に示す。

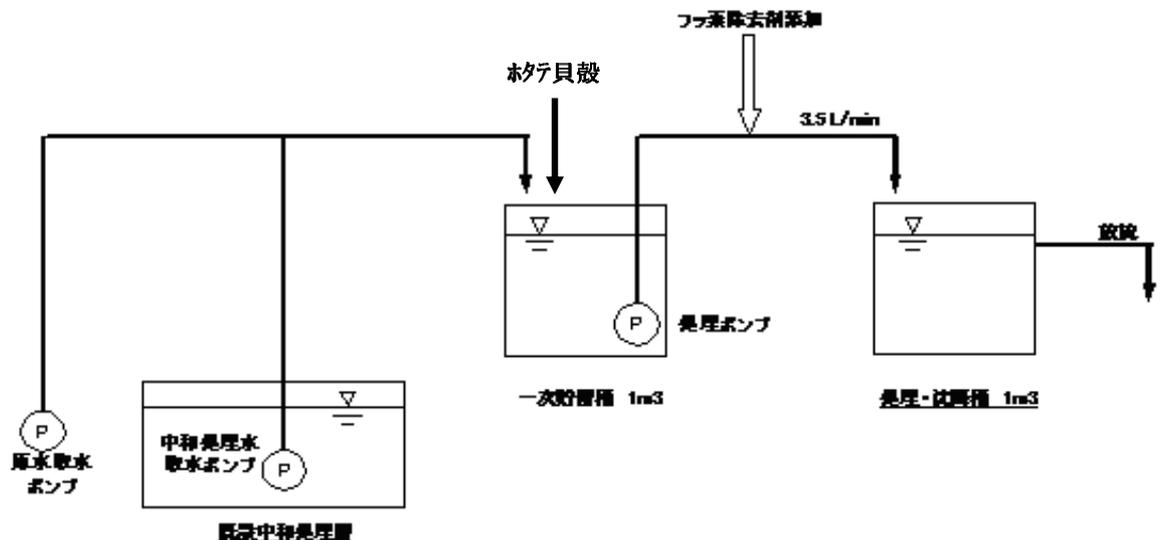
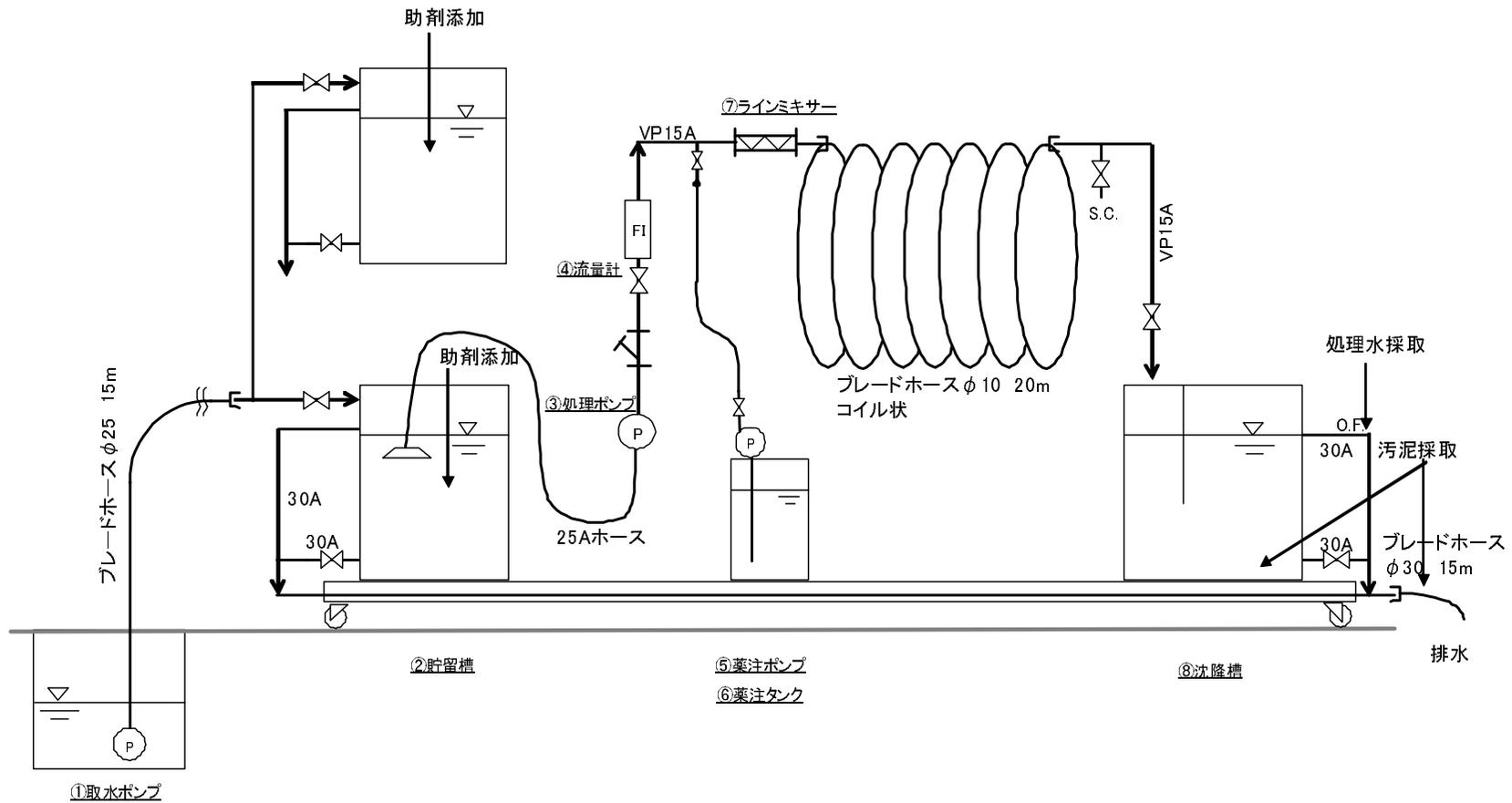


図 3-1. 実証試験のシステムフロー

表 3-1 実証対象機器の仕様

区分	項目	仕様及び運転条件
設備概要	名称 型式 サイズ 重量	ふっ素除去実証試験装置 吸着剤ライン注入式 W2000×D3000×H1500 約 500 kg
設置条件	対象 一日の処理量 ÷ 100 m <sup>3</sup> × 100(%) 吸着剤添加量 ※1	温泉排水(原水・中和水) 1.0 m <sup>3</sup> /day ÷ 100 m <sup>3</sup> = 1.0% 0.5%、1.0%、1.5% の 3 水準
設計計算	助剤(ほたて貝殻粉末) 吸着剤の使用量	5 kg または 1.2 kg/day 0.5%添加 : 5 L/day 1.0%添加 : 10 L/day 1.5%添加 : 15 L/day
主要機器	貯留槽・沈降槽 1 m <sup>3</sup> 取水ポンプ・処理ポンプ 薬注タンク 50L 薬注ポンプ ラインミキサー 流量計	寸法 PE製 φ1200×H1000 mm 仕様:AC200V 0.4kW×2 台 寸法 PE製 φ380×515 仕様:AC100V 0.2kW×1 台 寸法 15A×300 mm 型式:面積式 最大 10L/min

※1 吸着剤はリン酸ジルコニウムを 3%程度含んだスラリー状の液体として供給。



①取水ポンプ	②貯留槽	③処理ポンプ	④流量計	⑤薬注ポンプ	⑥薬注タンク	⑦ラインミキサー	⑧沈降槽
形式:ケミカル水中ポンプ 電源:200V Q: 50L/min H: 7m	形式:円筒開放式 材質:PE 容量:1.0m <sup>3</sup> 数量:2基	形式:残水処理ポンプ 電源:100V 荏原製 EBQ 式	形式:面積式 レンジ:max10L/min ニードル弁付 樹脂製	形式:定量式 電源:100V Q: max150mL/min 排圧弁付	形式:円筒開放式 材質:PE 容量: 50L	形式:エレメント式 材質:非金属	形式:円筒開放式 材質:PE 容量: 1.0m <sup>3</sup> 内部仕切り板付

図 3-2 平成 24 年度 温泉排水処理試験 ふっ素除去試験装置フロー

### 3.2 主な消耗品、電力消費量

試験期間中の消耗品および電力消費量について表 3-2 に示した。

表 3-2 消耗品および電力消費量

項 目	消 費 量
消耗品消費量	吸着剤 45L
	ホタテ貝殻 18.6kg
電力消費量	48kWh(ポンプ容量 0.4kW×2 台、0.2kW×1 台)

### 3.3 実証対象機器の運転および維持管理に必要な作業項目

実証対象機器の運転および維持管理に必要な作業項目は表 3-3 に示すとおりであり、試験ごとに環境技術開発者が点検した。

表 3-3 運転および維持管理項目

項 目	内 容	頻 度
定期点検	装置の異常・異臭の有無	試験ごと
	流量の確認	〃 〃
	ポンプの動作確認	〃 〃
	吸着剤の注入量確認	〃 〃

### 3.4 汚泥および廃棄物発生量とその取り扱い

試験中に発生する汚泥および廃棄物発生量を表 3-4 に示した。

表 3-4 汚泥および廃棄物発生量

項 目	発 生 量
汚泥	使用済吸着剤 1.35 kg(乾燥時)
	スラッジ等発生量 2.80kg(乾燥時)
オンサイト分析試薬	4.0 L

### 3.5 実証対象機器の使用者に必要な運転および維持管理技能

本対象実証機器の運転は、ポンプ電源の on、off による送液だけの簡単な操作であり、特別な技能を必要としない。

### 3.6 騒音・におい対策と建屋の必要性

本実証対象機器の稼動部分は、送液用ポンプおよびオンサイト分析計の小型ポンプだけであり大きな騒音は発生しない。また、実証対象機器、オンサイト分析計および吸着剤ともににおいの発生はない。したがって、騒音およびにおい対策としての建屋は必要ない。

### 3.7 期待される効果

温泉排水中に含まれるふっ素濃度を低コストで半分以下に低減することが期待できる。

#### 4. 実証試験の方法と実施状況

##### 4.1 実証試験期間

試験は、平成24年11月1日から9日までの期間で実施した。

本試験期間内において、機器の設置、条件調整、実証試験、機器の撤去を行った。実証試験スケジュールを表4-1に示す。

表4-1 実証試験スケジュール

日付(11月)	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日
準備/片付け	○	○							○
実証試験			○	○	○	○	○	○	
試験内容	<p>11月3日:原水を用いた試験</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 試験時間:8:00~16:00</li> <li>② 試験水準:助剤0.5%添加、吸着材0.5%添加</li> <li>③ オンサイト分析:ふっ素、pH および電気伝導率(1時間に1回)</li> <li>④ 公定分析試料採集:10:00 および 15:00</li> </ul> <p>11月4日:原水を用いた試験</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 試験時間:8:00~16:00</li> <li>② 試験水準:助剤0.5%添加、吸着材1.0%添加</li> <li>③ オンサイト分析:ふっ素、pH および電気伝導率(1時間に1回)</li> <li>④ 公定分析試料採集:10:00 および 15:00</li> </ul> <p>11月5日:原水を用いた試験</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 試験時間:8:00~16:00</li> <li>② 試験水準:助剤0.5%添加、吸着材1.5%添加</li> <li>③ オンサイト分析:ふっ素、pH および電気伝導率(1時間に1回)</li> <li>④ 公定分析試料採集:10:00 および 15:00</li> </ul> <p>11月6日:中和水を用いた試験</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 試験時間:8:00~16:00</li> <li>② 試験水準:助剤0.12%添加、吸着材0.5%添加</li> <li>③ オンサイト分析:ふっ素、pH および電気伝導率(1時間に1回)</li> <li>④ 公定分析試料採集:10:00 および 15:00</li> </ul> <p>11月7日:中和水を用いた試験</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 試験時間:8:00~16:00</li> <li>② 試験水準:助剤0.12%添加、吸着材1.0%添加</li> <li>③ オンサイト分析:ふっ素、pH および電気伝導率(1時間に1回)</li> <li>④ 公定分析試料採集:10:00 および 15:00</li> </ul> <p>11月8日:中和水を用いた試験</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 試験時間:8:00~16:00</li> <li>② 試験水準:助剤0.12%添加、吸着材1.5%添加</li> <li>③ オンサイト分析:ふっ素、pH および電気伝導率(1時間に1回)</li> <li>④ 公定分析試料採集:10:00 および 15:00</li> </ul>								

#### 4.2 実証対象機器の立ち上げ

実証対象機器を、環境技術開発者が平成 24 年 11 月 1 日に実証試験実施場所に搬入、設置を行った。同時に使用する吸着剤、備品などを搬入した。翌日電気工事、配管工事などを行った。実験者は実証期間中の、搬入、設置工事全般に立ち会いすべての動作確認を行った。

#### 4.3 実証水質項目

##### (1) 水質実証項目および水質目標

水質実証項目	処理水のふっ素濃度、pH、電気伝導率
結果の表示	濃度/ふっ素除去率* 読み取り値

水質目標を設定する位置は、実証対象機器から放流される場所に設置したサンプリング口とし、この地点におけるふっ素濃度の目標値を設定する。

\* ふっ素除去率は次の式によって求める。

$$\text{ふっ素除去率(\%)} = \{1 - (\text{処理水のふっ素濃度} / \text{流入水のふっ素濃度})\} \times 100$$

##### (2) 試料採取方法

試料の採取は以下の要領で実施した。

###### a) 流入水

[採取場所] 温泉排水貯留タンク(1000L)

[採取方法] 人力による採取器具を使う方法

[採取器具] ポリ容器

[採取量] 2L

###### b) 処理水

[採取場所] 実証対象機器に設置された沈降槽からの放流口

[採取方法] 人力による採取器具を使う方法

[採取器具] ポリ容器

[採取量] 2L

##### (3) 採取スケジュール

採取スケジュールは、実証対象機器の性能評価を適切に行うため、流入水質及び処理水質について、日間変動の調査および全試験期間にわたる総合的な処理性能の調査を実施するため、以下の通り実施した。

[採取期間] 平成 24 年 11 月 3 日から 6 日

連続した 8 時間(8:00~16:00)内に以下の頻度で採取。

[採取時刻] 毎時 00 分に採取しオンサイト分析(ふっ素、pH、電気伝導率)実施。

10:00、15:00 に採取した試料は公定分析にも供する。

##### (4) 試料の保存

採取した試料は、以下の要領で保存した。

[保存容器] 2L ポリ容器。採取毎に新品を準備した。

[保存方法] 試料溶液は容器内に空隙がないように充填し、採取直後より冷暗所に保存した。  
実証試験場所から分析機関までは車両により移送し、分析機関に到着後分析作業が行われるまでの間、冷暗所にて保存した。

#### 4.4 監視項目

##### (1) 水質監視項目

実証機器への流入水及び処理水の監視項目は、それぞれ以下のとおりである。

###### ① 流入水

pH、ほう素、ふっ素、ひ素、溶解性鉄、溶解性マンガン、シリカ、  
カルシウムイオン、塩化物イオン、SS、電気伝導率、鉛

###### ② 処理水

pH、ほう素、ふっ素、ひ素、溶解性鉄、溶解性マンガン、シリカ、  
カルシウムイオン、塩化物イオン、SS、電気伝導率、鉛

上記項目の設定根拠を表 4-2 に示す。pH は処理対象となる温泉排水の特性より監視を行った。塩化物イオンは共存陰イオンの影響を監視するために、溶解性鉄、溶解性マンガン、シリカ、カルシウムイオンは、夾雑物の影響やスケール発生を含めた状況を監視するために測定した。ほう素、ひ素、鉛は、環境規制物質であることから、排出状況を監視するために測定した。

表 4-2 監視項目の設定根拠

監視項目	設定根拠
pH	水質基準の監視
ふっ素	処理対象物質
塩化物イオン	共存陰イオンの影響監視
溶解性鉄、溶解性マンガン	夾雑物、スケール発生状況の監視
シリカ、カルシウムイオン、SS、電気伝導率	夾雑物、スケール発生状況の監視
ほう素、ひ素、鉛	環境規制物質の監視

##### (2) 流量の監視地点、監視方法および監視スケジュール

流量は、採取経路に瞬時流量計を設置し測定した。1 時間毎に瞬時流量計の値を読み取り、実証試験機器の稼働時間をこれに乘じ合算することで、全処理量を算出した。

##### (3) 水質監視項目の監視地点、監視方法と監視装置、監視スケジュール

監視地点と監視スケジュールは後述する水質実証項目と同様に実施した。

[監視項目試料の採取期間] 平成 24 年 11 月 3 日から 6 日間

[監視項目試料の採取時刻] 10:00、15:00

#### 4.5 水質分析方法

##### (1) 分析頻度

水質実証項目及び水質監視項目の分析頻度は4.3項、4.4項のとおり。

##### (2) 分析方法および分析スケジュール

採用した分析方法は以下のとおり。

分析項目	分析方法
pH	JIS K 0102(2008) 12.1 ガラス電極法
ふっ素	JIS K 0102(2008) 34.1 ランタンアリザリンコンプレキソン吸光光度法
塩化物イオン	JIS K 0102(2008) 35.3 イオンクロマトグラフ法
溶解性鉄	JIS K 0102(2008) 57.4 ろ過後-誘導結合プラズマ(ICP) 発光分光分析
溶解性マンガン	JIS K 0102(2008) 56.4 ろ過後-ICP 発光分光分析
シリカ	JIS K 0102(2008) ICP 発光分光分析
カルシウムイオン	JIS K 0102(2008) 50.3 ろ過後-ICP 発光分光分析
ほう素	JIS K 0102(2008) 47.3 ICP 発光分光分析
ひ素	JIS K 0102(2008) 61.2 水素化物発生原子吸光法
SS	JIS K 0102(2008) 重量法
電気伝導率	JIS K 0102(2008) 電極法
鉛	JIS K 0102(2008) ICP-質量分析法

pH は試料採取時にその場で測定、その他の項目は、平成24年11月中旬から平成24年12月中旬にかけて分析を行った。

##### (3) 校正方法及び校正スケジュール

機 器	校正方法	校正スケジュール
pH メーター	標準溶液にてゼロ(pH7)	毎測定開始時
	スパン(pH4)校正	
	計量法に係る検定・検査の実施	
吸光光度計	標準溶液から混合標準溶液を調整し、濃度と応答値の関係から検量線作成	毎測定時
ICP 発光 分光光度計	測定開始時における装置備え付けの波長校正を実施	毎測定時 定期点検
	標準溶液から混合標準溶液を調整し、濃度と応答値の関係から検量線作成	
水素化物発生 原子吸光分析計	標準溶液から混合標準溶液を調整し、濃度と応答値の関係から検量線作成	毎測定時 定期点検
	標準溶液から混合標準溶液を調整し、濃度と応答値の関係から検量線作成	
イオンクロマト グラフ	標準溶液から混合標準溶液を調整し、濃度と応答値の関係から検量線作成	毎測定時 定期点検

#### 4.6 参考実証項目

参考実証項目として、一次貯留槽および沈降槽に堆積した汚泥吸着剤を含む沈殿物からのふっ素および重金属類(鉄、マンガン、ひ素および鉛)の溶出量を調査した。

[採取期間] 平成24年11月4日および7日

[採取方法] 各槽底部の沈殿物を回収し、フィルターにて水分を除去、乾燥する。

[溶出試験] 環境庁告示第13号による。

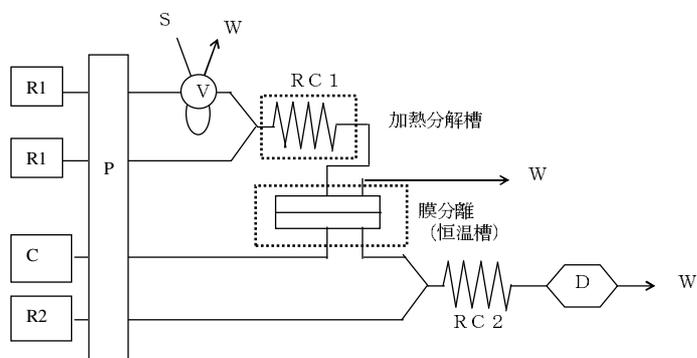
#### 4.7 環境負荷実証項目

環境負荷実証項目は以下のとおりとした。

環境負荷実証項目	廃棄物の種類と発生量
	騒音(音源1m値)
	におい
	汚泥、廃棄物、においの処理等の
	容易さ等の質的評価

#### 4.8 オンサイト分析用フローインジェクション装置

ふっ素分析に用いたフローインジェクション装置の構成および外観を、それぞれ図4-1、写真4-1に示す。新玉川温泉排水中には高濃度に鉄(II)やアルミニウムが溶けており、ふっ素分析の妨害となることから、排水中のふっ素イオンを他の重金属から分離(分解)する必要がある。そこで試料溶液を高温で分解後、多孔質膜によりふっ素イオンを分離、ランタンアリザリンコンプレキソンによる発色・吸光光度分析を行った。



C:水 R1:分解液 R2:アルフッソン(緩衝液)  
RC1:反応コイル RC2:反応コイル S:試料 D:検出器  
P:送液ポンプ V:試料注入バルブ W:廃液

スイッチングバルブ

図4-1 フローインジェクション装置の構成図

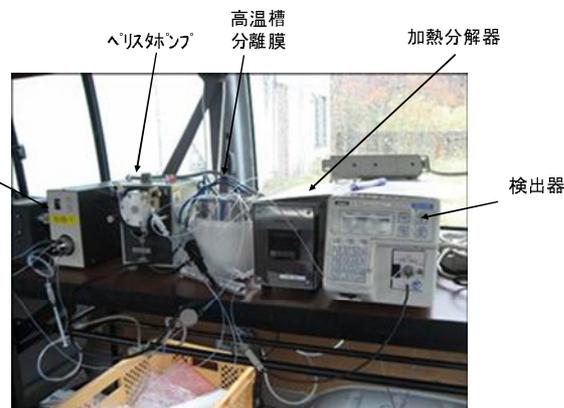


写真4-1 フローインジェクション装置外観

## 5. 実証試験結果

### 5.1 水質監視項目の試験結果

試験期間中の 10:00、15:00 にサンプリングした試料の水質監視項目試験結果を表 5-2 および表 5-3 に示す。各項目とも 4.5 (2) に示す分析方法を用いて公定分析を行った。

#### 5.1.1 ふっ素

公定分析によるふっ素の分析結果を図 5-1 に示す。

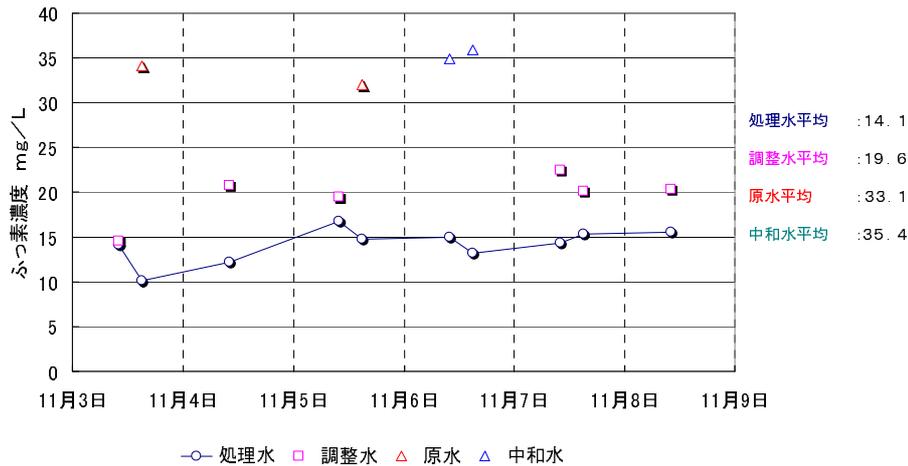


図 5-1 ふっ素の公定分析結果

本実証試験では原水および中和水にはたて貝殻粉末を投入し pH を上昇させた調整水を作成しこの排水からのふっ素除去を試みた。ふっ素濃度平均は原水 33.1mg/L、中和水 35.4mg/L、調整水 19.5mg/L、処理水 14.1mg/L であった。

ふっ素の除去率は、はたて貝殻粉末の添加で 41.1~44.9%、吸着剤の添加で 57.4~60.2%であり、これは「ふっ素濃度を半分以下に低減する」という初期の目標を満足する結果であった。

また一時間置きのオンサイトふっ素分析の結果を 図5-2および 表5-1 に示す。

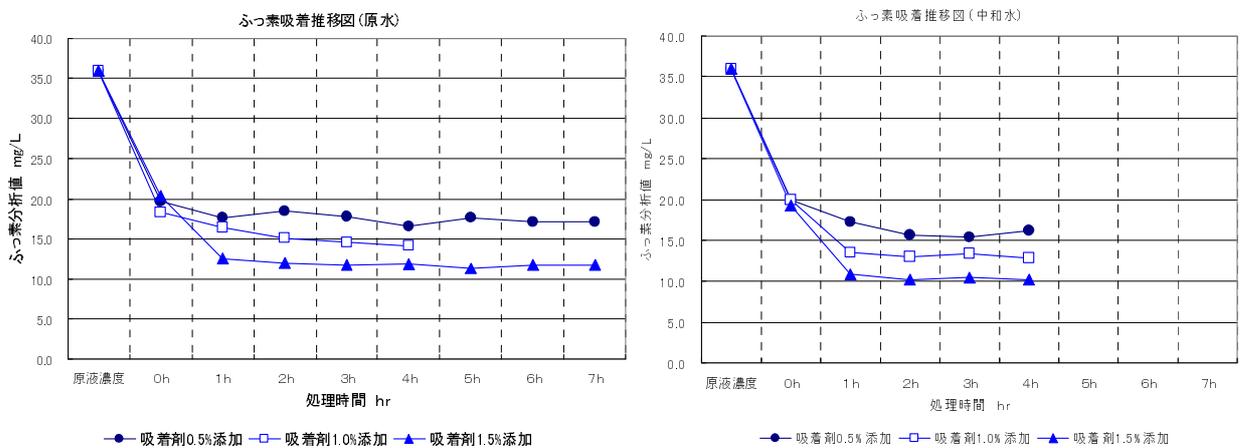


図 5-2 ふっ素のオンサイト分析結果

表 5-1 原水および中和水のオンサイト分析結果まとめ

		原水(平均)			中和水(平均)		
処理前	pH	1.34			3.51		
処理前	ふっ素濃度	36.0mg/L			36.7mg/L		
処理前	電気伝導率	1657mS/m			624mS/m		
調整水	pH	5.3			5.3		
調整水	ふっ素濃度	19.4mg/L			19.7mg/L		
	ふっ素除去率	46.1%			46.3%		
調整水	電気伝導率	601mS/m			605mS/m		
吸着剤注入量 %		0.5%	1.0%	1.5%	0.5%	1.0%	1.5%
処理水	pH	5.95	5.22	4.02	5.29	4.83	3.91
処理水	ふっ素濃度	17.8mg/L	15.7mg/L	12.9mg/L	16.9mg/L	14.6mg/L	12.2mg/L
	ふっ素除去率	50.6%	56.4%	64.1%	53.1%	59.4%	66.1%
処理水	電気伝導率	573mS/m	626mS/m	638mS/m	597mS/m	595mS/m	626mS/m

オンサイトにおける原水および中和水中の平均ふっ素濃度は約 37mg/L であり、試験期間中ほとんど変動しなかった。また平均 pH は、原水が 1.34、中和水は 3.51 であった。電気伝導率は原水が 1657mS/m であるのに対して、中和水が 624mS/m と半分以下であった。また調整水はともに pH が 5.3、ふっ素濃度が約 19.5mg/L、電気伝導率が約 600mS/m であり、貝殻粉末のみの添加でも約 46%のふっ素除去率を示した。また貝殻粉末と吸着剤を併用した場合、除去率は向上し、0.5%の添加で 50.6~53.1%、1.0%の添加で 56.4~59.1%、1.5%の添加で 64.1~66.1%のふっ素除去率を示した。これらは公定分析の結果とほぼ同等であった。

### 5. 1. 2 ほう素

公定分析によるほう素の分析結果を図 5-3 に示す。

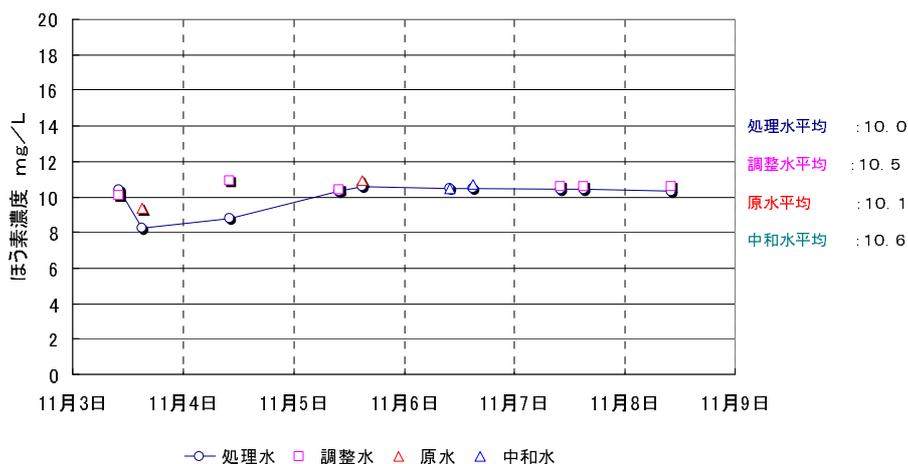


図 5-3 ほう素の公定分析結果

試験期間中の原水および中和水のほう素濃度は 10.0~10.9mg/L とほぼ一定であった。また、調整

水および処理水中のほう素濃度もほとんど変化しておらず、pH や吸着剤による影響を受けないことがわかった。

### 5. 1. 3 塩化物イオン

公定分析による塩素イオンの分析結果を図 5-4 に示した。

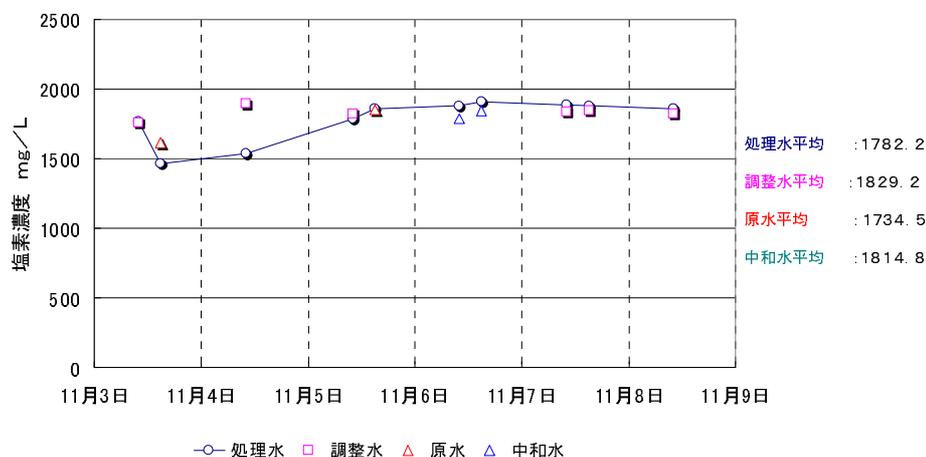


図 5-4 塩化物イオンの公定分析結果

試験期間中の原水および中和水の塩化物イオン濃度は約 1600~1900mg/L とほぼ一定であった。また調整水および処理水中の塩化物イオン濃度はほとんど変化しておらず、吸着剤による影響も見られなかった。

### 5. 1. 4 カルシウムイオン

公定分析によるカルシウムイオンの分析結果を図 5-5 に示した。

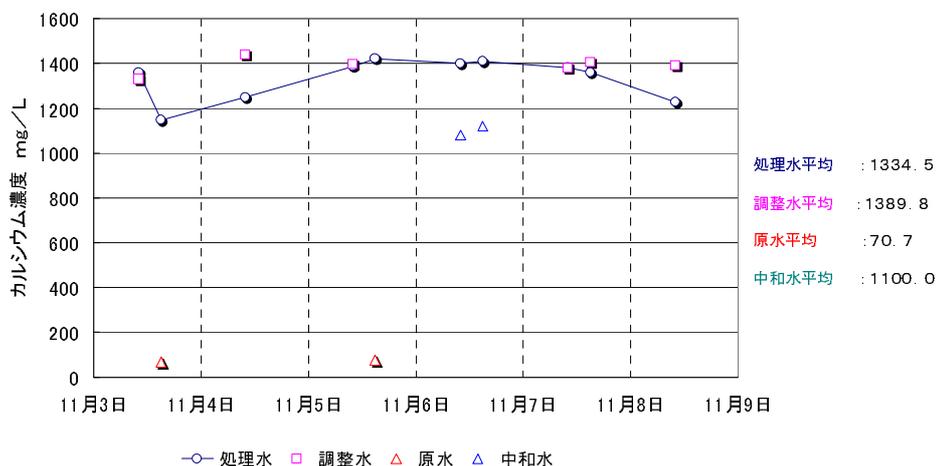


図 5-5 カルシウムイオンの公定分析結果

試験期間中の原水のカルシウムイオン約 70mg/L であるが、中和水では約 1100mg/L まで上昇する。また調整水は、投入した貝殻が溶解するため約 1380mg/L まで上昇する。処理水は約 1330mg/L とわずかに低下する。これは、一部のカルシウムイオンがふっ素と反応してふっ化カルシウムを生成することによる。

### 5. 1. 5 シリカ

公定分析によるシリカの分析結果を図 5-6 に示した。

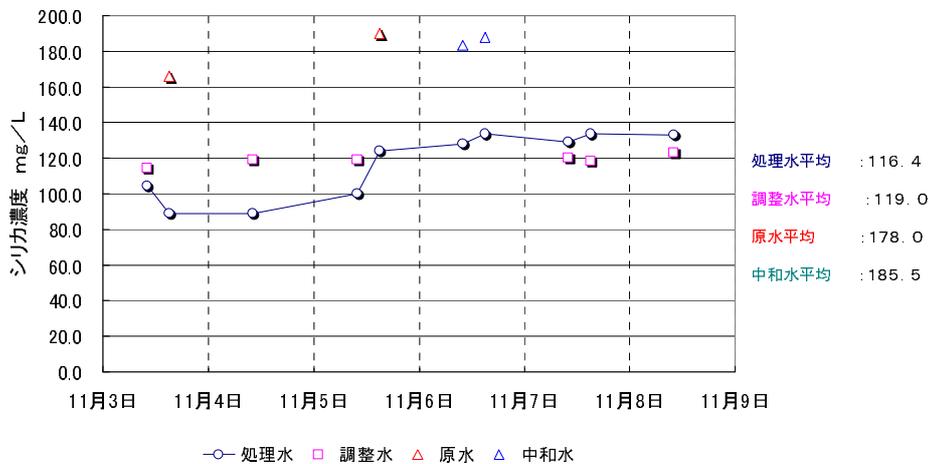


図 5-6 シリカの公定分析結果

原水のシリカの平均濃度は約 178mg/L、中和水のシリカの平均濃度は 185mg/L であった。調整水および処理水中のシリカは 116～119mg/L と約 35%低下しており鉄やアルミの水酸化物と共沈したものである。

### 5. 1. 6 溶解性鉄

公定分析による溶解性鉄の分析結果を図 5-7 に示した。

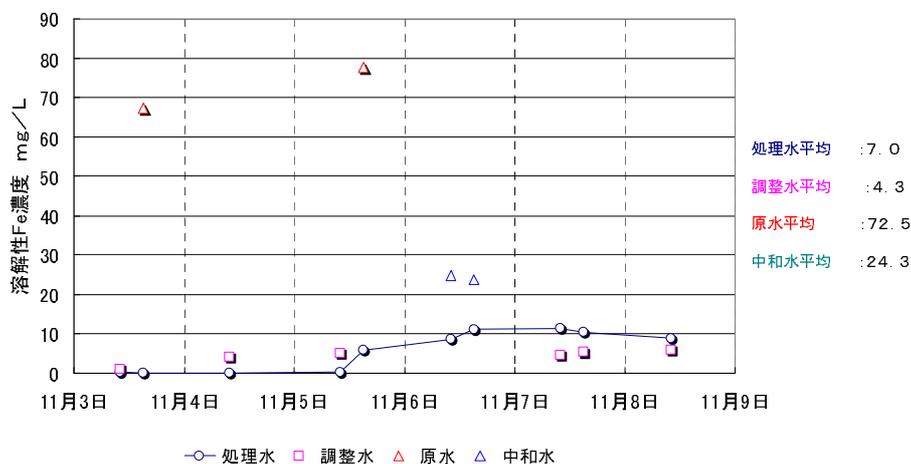


図 5-7 溶解性鉄の公定分析結果

原水の溶解性鉄の平均濃度は 72.5mg/L であった。また中和水の溶解性鉄平均濃度は 24.3mg/L であった。これは pH 上昇による鉄水酸化物の生成が原因と考えられる。調整水および処理水中の溶解性鉄は 4.3～7mg/L でありほとんどの鉄イオンは水酸化物として沈降除去されている。

### 5. 1. 7 溶解性マンガン

公定分析による溶解性マンガンの分析結果を図 5-8 に示した。

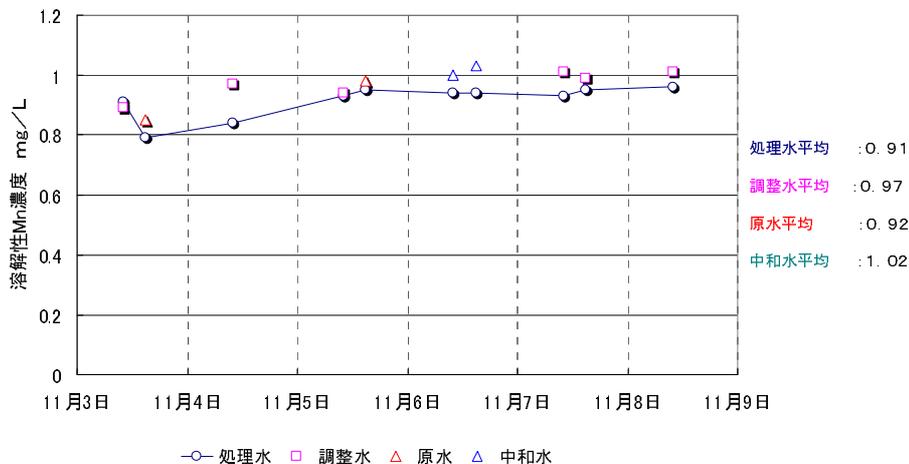


図 5-8 溶解性マンガンの公定分析結果

原水、中和水、調整水、処理水ともに溶解性マンガン濃度は0.9～1mg/Lの範囲であり大きな変化は見られない。微量であるためふっ素吸着への影響もほとんどないと考えられる。

### 5. 1. 8 ひ素

公定分析によるひ素の分析結果を図 5-9 に示した。

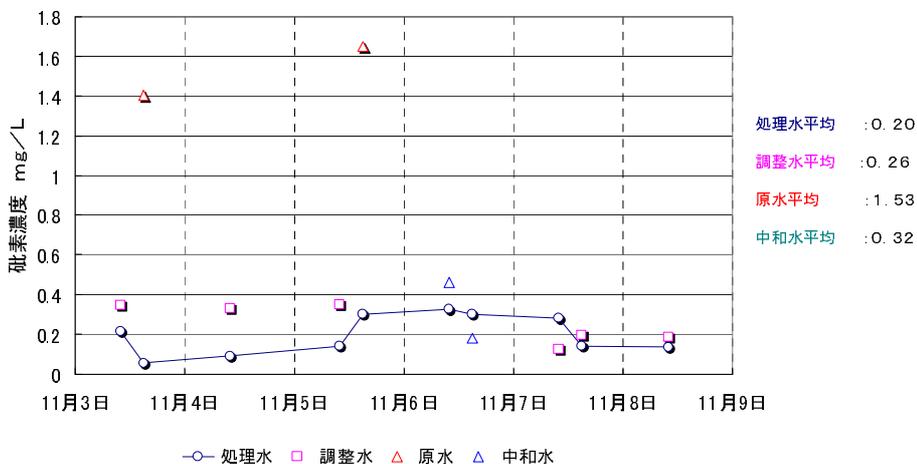


図 5-9 ひ素の公定分析結果

原水の平均ひ素濃度は 1.53mg/L であり排水基準を大きく上回る値であった。中和水では平均ひ素濃度は 0.32mg/L と 1/5 程度まで低減されている。これは水酸化鉄の生成とともにひ素が水酸化物表面に吸着するためと考えられる。調整水および処理水では更に水酸化物の生成が促進されるため平均ひ素濃度も 0.20～0.26mg/L まで低減する。

### 5. 1. 9 鉛

公定分析による鉛の分析結果を図 5-10 に示した。

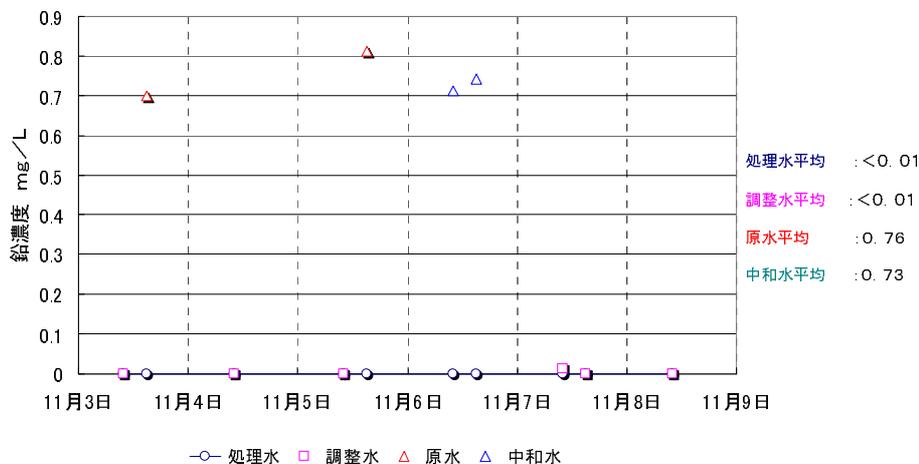


図 5-10 鉛の公定分析結果

原水の鉛の平均濃度は 0.78mg/L、中和水の平均鉛濃度は 0.73mg/L と排水基準を大きく上回っていた。一方、調整水と処理水では鉛はほとんど検出されなかった。これはひ素と同様、鉄やアルミの水酸化物表面への吸着と考えられる。したがって鉛を低減するには水酸化物の生成を促進することが有効である。

### 5. 1. 10 懸濁物質(SS)

公定分析による懸濁物質の分析結果を図 5-11 に示した。

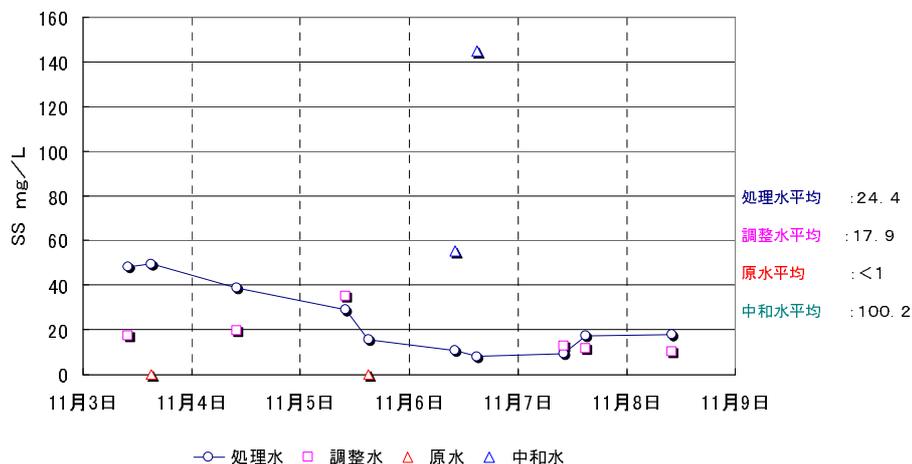


図 5-11 懸濁物質の公定分析結果

排水のSSは水酸化物の生成によるものが大部分である。このうち中和水のSS濃度が平均 100mg/L と最も高い値となった。これは水酸化物の生成は起こっているものの沈降速度が遅く浮遊粒子が多く存在するためである。一方、調整水は水酸化物の生成が促進され沈降速度が速くなるため固液分離が進み、結果として排水中のSS濃度が低くなっているものと思われる。

表 5-2 水質監視項目の試験結果(原水・中和水)

		pH	mg/L SS	mS/m 電気伝導率	mg/L F-	mg/L B	mg/L As	mg/L Pb	mg/L SiO <sub>2</sub>	mg/L Ca	mg/L Cl	mg/L S-Fe	mg/L S-Mn
11/3調整水(原水より)	10:00	6.01	17.3	583	14.6	10.1	0.344	<0.01	114.7	1330	1757	1.13	0.89
11/3原水	15:00	1.50	<1.0	1599	34.1	9.33	1.405	0.70	165.9	66.3	1617	67.30	0.85
11/4調整水(原水より)	10:00	5.94	19.8	619	20.8	10.9	0.329	<0.01	118.8	1438	1894	4.12	0.97
11/5調整水(原水より)	10:00	5.90	35.3	598	19.5	10.4	0.351	<0.01	119.0	1396	1820	5.18	0.94
11/5原水	15:00	1.43	<1.0	1827	32.0	10.9	1.650	0.81	190.1	75	1852	77.70	0.98
11/6中和水	10:00	2.86	55.4	625	34.9	10.5	0.460	0.71	183.4	1082	1789	24.80	1.00
11/6中和水	15:00	2.87	145.0	636	35.9	10.7	0.182	0.74	187.5	1118	1840	23.80	1.03
11/7調整水(中和水より)	10:00	5.73	13.0	592	22.5	10.6	0.127	0.01	120.3	1380	1838	4.44	1.01
11/7調整水(中和水より)	15:00	5.86	11.5	585	20.1	10.6	0.194	<0.01	118.4	1405	1844	5.24	0.99
11/8調整水(中和水より)	10:00	5.91	10.4	580	20.3	10.6	0.186	<0.01	122.9	1390	1822	5.69	1.01

表 5-3 水質監視項目の試験結果(処理水)

		pH	mg/L SS	mS/m 電気伝導率	mg/L F-	mg/L B	mg/L As	mg/L Pb	mg/L SiO <sub>2</sub>	mg/L Ca	mg/L Cl	mg/L S-Fe	mg/L S-Mn
11/3処理水	10:00	6.26	48.1	579	14.1	10.4	0.217	<0.01	104.5	1360	1767	0.14	0.91
11/3処理水	15:00	6.33	49.3	508	10.1	8.3	0.055	<0.01	88.8	1147	1463	<0.10	0.79
11/4処理水	10:00	6.37	38.8	519	12.2	8.8	0.090	<0.01	89.0	1248	1535	<0.10	0.84
11/5処理水	10:00	6.34	29.1	585	16.8	10.3	0.139	<0.01	100.0	1387	1787	0.17	0.93
11/5処理水	15:00	5.79	15.6	598	14.8	10.6	0.303	<0.01	124.2	1421	1859	5.79	0.95
11/6処理水	10:00	5.59	10.5	598	15.0	10.5	0.327	<0.01	128.0	1400	1881	8.48	0.94
11/6処理水	15:00	5.42	7.8	612	13.2	10.5	0.303	<0.01	133.8	1408	1910	11.00	0.94
11/7処理水	10:00	5.43	9.4	605	14.3	10.4	0.279	<0.01	128.9	1384	1889	11.30	0.93
11/7処理水	15:00	5.52	17.2	590	15.3	10.4	0.140	<0.01	133.8	1362	1876	10.30	0.95
11/8処理水	10:00	5.54	18.0	584	15.6	10.3	0.133	<0.01	132.9	1228	1855	8.83	0.96

## 5.2 参考実証項目の試験結果

### 5.2.1 ふっ素の溶出試験

一次貯留槽および沈降槽に堆積した汚泥を採取・乾燥し、環境庁告示 13 号によりそれぞれのふっ素の溶出試験を行った。また一次貯留槽汚泥からのふっ素溶出を抑制する目的でこの汚泥に吸着剤を 50%添加し同様の試験を実施した。なお試料は 11 月 5 日と 11 月 8 日の作業終了時に採取した。表 5-4 にふっ素溶出試験結果を示す。

表 5-4 汚泥のふっ素溶出試験結果

単位:mg/L

	一次貯留槽汚泥	沈降槽汚泥	一次貯留槽汚泥+ ふっ素吸着剤 50%
11 月 5 日採取	44.8	3.2	<0.8
11 月 8 日採取	66.9	4.6	<0.8

一次貯留槽汚泥は鉄やアルミニウムの水酸化物が主成分であり、一部ふっ化カルシウムを含有している。溶出試験ではふっ化カルシウムからふっ素の再溶出が起きている。一方、沈降槽汚泥はりん酸ジルコニウムの結晶が主成分でありわずかにふっ素の溶出が見られる。この原因はりん酸ジルコニウムからの再溶出ではなく、貯留槽から持ち込まれたふっ化カルシウムが再溶出したためと考えられる。また一次貯留槽の汚泥からはふっ素が再溶出するため一般廃棄物としての処理が困難となる。しかしこの汚泥にふっ素吸着剤を重量比で 50% (wt/wt) 添加・混合した場合、ふっ素の再溶出を抑制することが確認された。

### 5.2.2 鉛・ひ素・鉄・マンガンの溶出試験

ふっ素溶出試験で作成した溶出液を使用して鉛・ひ素・鉄・マンガンの測定を行った。表 5-5 に溶出試験結果を示す。

表 5-5 汚泥の鉛・ひ素・鉄・マンガン溶出試験結果

単位:mg/L

		一次貯留槽汚泥	沈降槽汚泥
11 月 5 日 採取	鉛	<0.01	<0.01
	ひ素	0.11	<0.01
	鉄	<0.1	<0.1
	マンガン	<0.1	<0.1
11 月 8 日 採取	鉛	<0.01	<0.01
	ひ素	0.07	<0.01
	鉄	<0.1	<0.1
	マンガン	<0.1	<0.1

一次貯留槽汚泥からひ素の溶出が見られたが、その他の重金属の溶出はなかった。また沈降槽汚泥から前記 4 元素の溶出は見られなかった。

### 5.3 環境負荷実証項目の試験結果

項目	結果
廃棄物の種類と発生量	使用済吸着剤 1.1kg 乾燥時(回収率 81%) 貯留槽スラッジ 1.9kg 乾燥時(回収率 67%) オンサイト分析の廃液 3.8L
騒音(音源1m値)等価騒音レベル Laeq	稼働時 :67dB max 装置停止時:34dB max
におい	臭気濃度、不快指数 :共に 10 以下 臭気強度、快・不快 :共にゼロ
汚泥、廃棄物、においの処理等の容易さ等の質的評価	周辺環境への影響なし

※ Laeq:1 分間の等価騒音レベル「JIS B 8310 ポンプの騒音レベルの測定方法」に準拠

### 5.4 定性的所見

項目	所見
試験期間中の消費電力量	ポンプ 3 台 max 49.2kWh 分析装置 1.6kWh
排水および処理水の水質所見	原水は無色透明で pH1.3 前後、中和水は茶褐色で pH2.7~3.5。スラッジの沈降速度はきわめて遅い。ほたて貝殻粉末添加後は茶褐色が更に濃くなりスラッジの沈降速度は速くなる。
立ち上げに要する時間	原水タンクに排水をためる時間が必要。 所要時間:約 40 分。
運転停止に要する時間	ポンプ OFF、バルブ閉、タンク放水 所要時間:約 15 分。
実証対象機器の信頼性	6 日間、問題なく運転が行われた。
試験中に発生した事態への対処	11/4 吸着剤注入ポンプ動作不良 11/4 オンサイト分析計検出器故障 11/5 検出器のランプ交換し復帰

## 6. データの品質管理

本水質実証項目の分析においては JIS に基づいて作成した標準作業手順書遵守の他、以下に示すデータ管理・検証による精度管理を実施した。

水質実証項目	精度管理方法
ふっ素	全測定試料の 10%に対し、二重測定を実施

それぞれの測定値の差は 5%内であった。以上の結果より、データ品質は適切に確保されていることが確認された。

## 7. コスト試算詳細

### 7. 1 新玉川温泉排水におけるコストの試算

<前提条件>

- ・原水中ふっ素濃度 : 36mg/L ※実証試験結果より
- ・処理水中ふっ素濃度 : 18mg/L以下 ※実証試験結果より
- ・稼働時間 : 24h×365日
- ・排水処理フロー : 図 7-1 に示す。

表 7-1. 新玉川温泉排水処理のコスト試算（処理能力 100 m<sup>3</sup>/day）

項目	使用量または発生量	想定単価 <sup>注1)</sup>	ランニングコスト（円）		概算イニシャルコスト <sup>注3)</sup>	
			1m <sup>3</sup>	1年		
ホタテ貝(粉)	5 kg/m <sup>3</sup>	18 円/kg	¥90	¥3,285,000	※貝殻粉末供給装置 一式	:12,000千円
吸着剤	5 L/m <sup>3</sup>	16.6 円/L	¥83	¥3,029,500	※吸着剤添加装置 一式	: 8,000千円
汚泥発生量(含水率80%) <sup>注2)</sup>	3.2 kg/m <sup>3</sup>	10 円/kg	¥32	¥1,168,000	※脱水機 一式	: 8,000千円
ふっ素再溶出抑制剤 <sup>注4)</sup>	0.32 L/m <sup>3</sup>	16.6 円/L	¥5	¥193,888		
使用電力	2.5 kWh/m <sup>3</sup>	12 円/kWh	¥30	¥1,095,000	計	28,000千円
			¥240	¥8,771,388		

注 1) 想定単価は大量購入を前提とした単価である。また吸着剤の単価は為替相場の変動によって変化する可能性がある。

注 2) 汚泥発生量（含水率 80%）は原水中の溶存イオン総量から以下の式によって算出した。

$$\text{汚泥発生量（含水率 80\%）算出式} = \{ \text{CaF}_2 \ 30\text{g/m}^3 + \text{SiO}_2 \ 60\text{g/m}^3 + \text{Fe(OH)}_3 \ 140\text{g/m}^3 + \text{Al(OH)}_3 \ 240\text{g/m}^3 + \text{As} \cdot \text{Pb} \ 10\text{g/m}^3 + \text{吸着剤残渣} \ 150\text{g/m}^3 \} \div 0.2$$

注 3) イニシャルコストは図 7-1. 破線部分および脱水装置についての概算見積もりである。なお、資材運搬費・設置工事費・建屋建設費等については含んでいない。

注 4) 汚泥（Dry Base）に対してふっ素吸着剤を重量比 50% 添加した場合で計算した。

新玉川温泉では大容量の中和処理槽が 2 槽あり、これを流用することで設備費を圧縮している。しかしその一方、ふっ素吸着のために pH 調整を強力に行う必要があり貝殻粉末供給装置の追加設備が必要となった。また発生したスラッジ中にふっ化カルシウムが（CaF<sub>2</sub>）存在するため、ふっ素の再溶出を抑制するよう吸着剤を添加し、スラッジの脱水機を追加したことでランニングコストおよびイニシャルコストが増える結果となった。

ただし現状のスラッジ処理と同様にバキュームにて吸引し自然乾燥する場合には上記脱水機が不要となる。

## 7. 2 一般的な温泉排水におけるコストの試算

### <前提条件>

・原水中ふっ素濃度	: 15mg/L	・稼働時間	: 24h×365 日
・処理水中ふっ素濃度	: 8mg/L 以下	・排水処理フロー	: 図 7-2 に示す。

表 7-2. 一般的な温泉排水処理のコスト試算 (処理能力 100 m<sup>3</sup>/day)

項目	使用量または発生量	想定単価 <sup>注1)</sup>	ランニングコスト (円)		概算イニシャルコスト <sup>注3)</sup>	
			1m <sup>3</sup>	1年		
吸着剤	5 L/m <sup>3</sup>	16.6 円/L	¥83	¥3,029,500	※吸着剤添加装置 一式	: 8,000千円
高分子凝集剤	0.01 kg/m <sup>3</sup>	800 円/kg	¥8	¥292,000	※凝集沈殿装置 一式	: 16,000千円
汚泥発生量(含水率80%) <sup>注2)</sup>	0.8 kg/m <sup>3</sup>	15 円/kg	¥12	¥438,000	※脱水機 一式	: 6,000千円
使用電力	1.5 kWh/m <sup>3</sup>	12 円/kWh	¥18	¥657,000	計	30,000千円
			¥121	¥4,416,500		

注 1) 想定単価は大量購入を前提とした単価である。また吸着剤の単価は為替相場の変動によって変化する可能性がある。

注 2) 汚泥発生量 (含水率 80%) は原水中の SS 濃度を 10mg/L とした場合、90%以上が吸着剤残渣である。

汚泥発生量 (含水率 80%) 算出式 = {SS 10g/m<sup>3</sup> + 吸着剤残渣 150g/m<sup>3</sup>} ÷ 0.2

注 3) イニシャルコストは図 7-2. に示す装置の概略費用である。なお、資材運搬費・設置工事費・建屋建設費等は含んでいない。

上記試算は共存イオンの少ない温泉を対象として算出しており、適用に当たっては実排水とふっ素の吸着容量を調査して最適添加量を決定する必要がある。

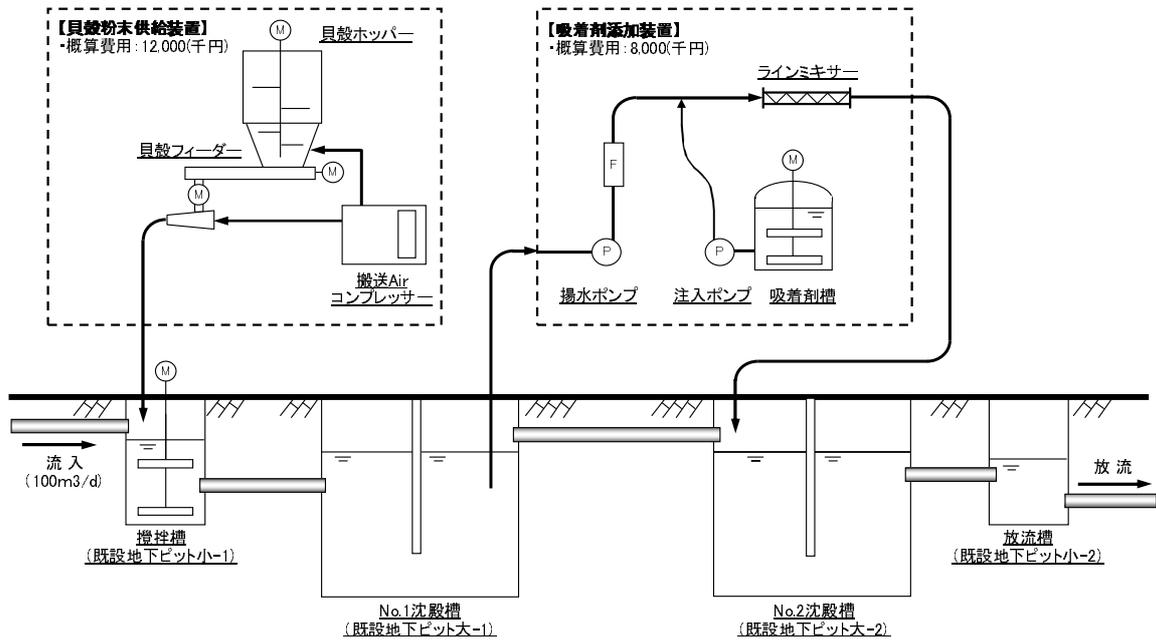


図 7-1. 新玉川温泉の処理フロー

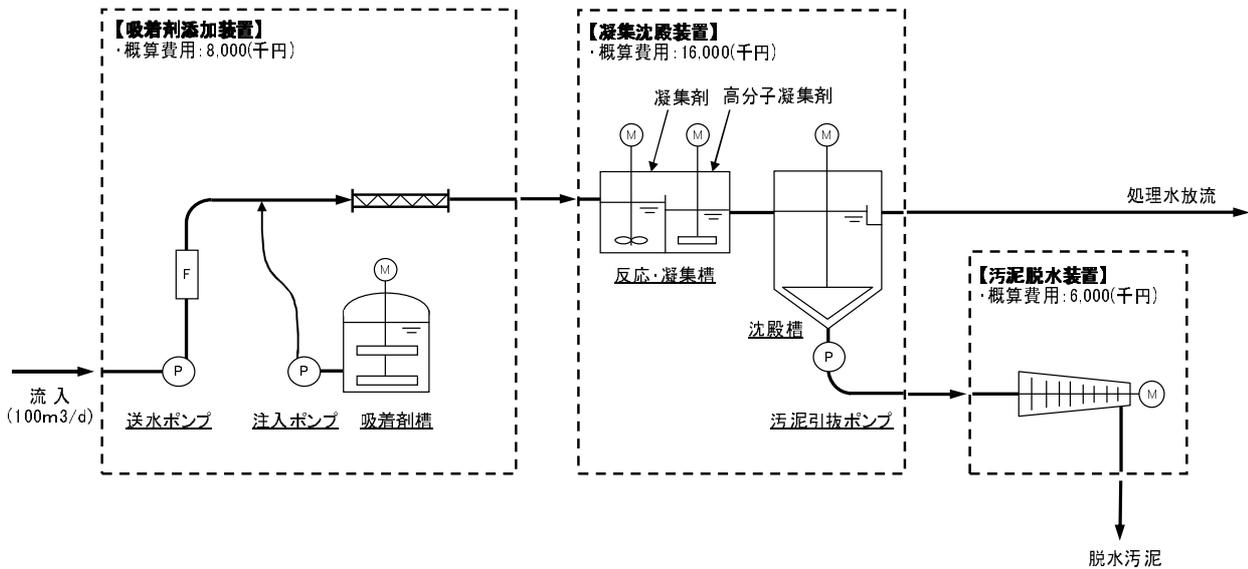


図 7-2. 一般的な温泉の処理フロー

付 録

現 場 写 真

現場写真

<設置・調整>



【排水ピット（原水槽（手前）・中和槽（奥））】



【装置設置前】



【設置・据付作業】



【装置設置完了】



【貝殻の投入作業】



【攪拌・pH上昇】



【サンプリング作業】



【騒音測定作業】



【貯留槽からの取水】



【吸着材の注入】



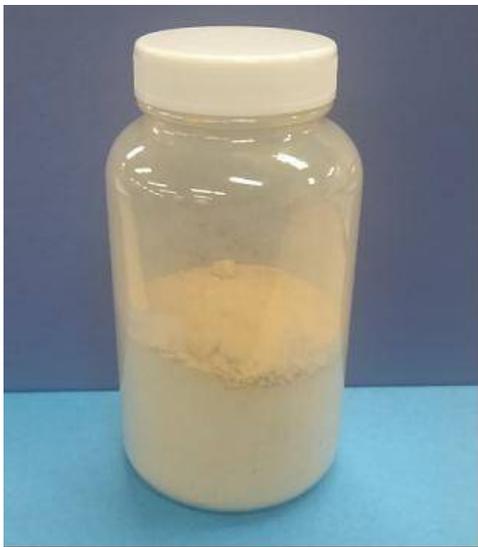
【沈降槽での分離（右）と放流（左）】



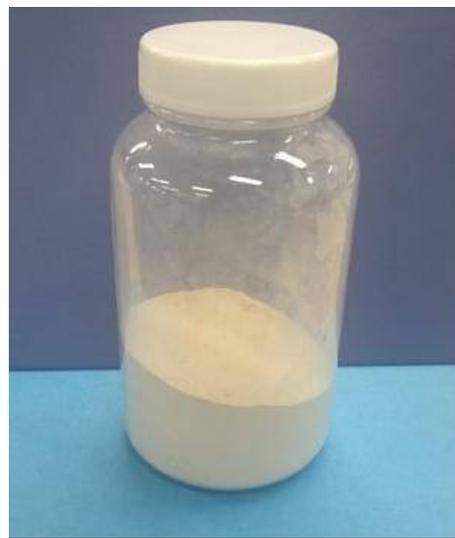
【貯留槽汚泥】



【沈降槽汚泥】



【貯留槽汚泥（乾燥後）】



【沈降槽汚泥（乾燥後）】

<撤去・搬出>



【撤去・搬出作業】



【撤去・搬出後】