

平成 29 年度温泉排水処理技術開発普及等調査

実証試験報告書 新潟県内温泉施設

平成 30 年 3 月

JFE テクノリサーチ株式会社

－ 目 次 －

全体概要

| | |
|-------------------------------|----|
| 1. 実証試験の概要と目的 | 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 | 2 |
| 2.2 実証試験実施場所の状況 | 2 |
| 2.3 実証試験の平面図及び設置配置図 | 3 |
| 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 | 4 |
| 3.2 主な消耗品、電力消費量等 | 5 |
| 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 | 5 |
| 3.4 汚泥および廃棄物発生量とその取扱い | 5 |
| 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 | 6 |
| 3.6 騒音・におい対策 | 6 |
| 3.7 期待される効果 | 6 |
| 4. 実証試験の方法と実施状況 | |
| 4.1 実証試験期間 | 7 |
| 4.2 実証水質項目 | 7 |
| 4.3 監視項目 | 9 |
| 4.4 水質分析方法 | 10 |
| 4.5 環境負荷実証項目 | 12 |
| 5. 実証試験結果 | |
| 5.1 オンサイト分析による実証試験結果 | 13 |
| 5.2 水質監視項目の試験結果 | 14 |
| 5.3 参考実証試験の結果 | |
| 5.3.1 ほう素の溶出試験 | 15 |
| 5.3.2 吸着残渣の定性分析結果 | 15 |
| 5.4 環境負荷実証項目 | 16 |
| 5.5 定性的所見 | 16 |
| 6. データの品質管理 | 17 |
| 7. コスト試算 | 18 |
| 付録 現場写真 | 20 |

【全体概要】

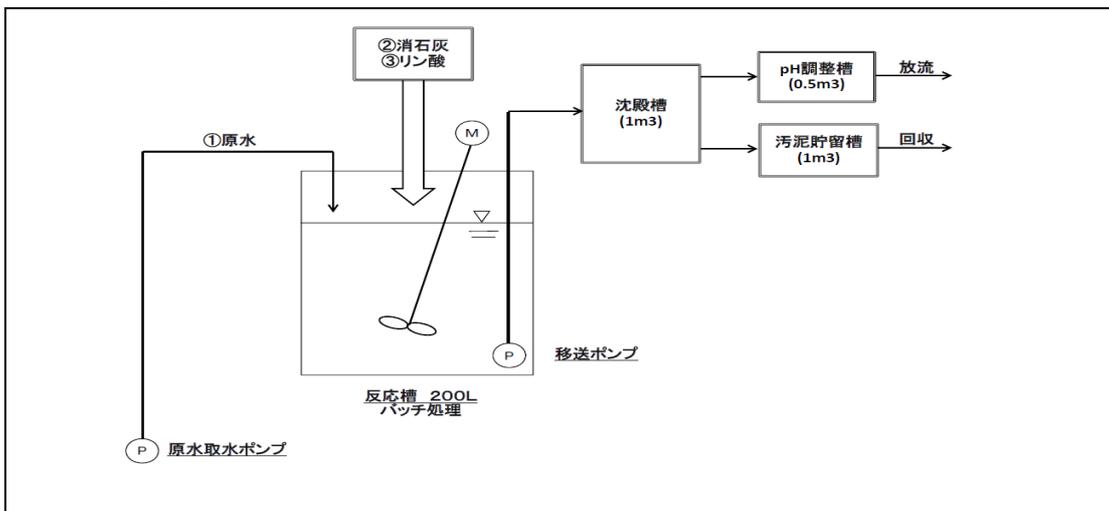
| | |
|-----------------------|---|
| 実証対象技術／排水処理施設 開発機関 | 温泉排水中ほう素除去技術 / J F Eテクノロジー(株) |
| 実証機関 | J F Eテクノロジー株式会社 |
| 実験実施期間 | 平成30年2月5日～9日 のうち3日間 |
| 本技術の目的 | 温泉排水中に含まれるほう素をヒドロキシアパタイト様結晶の生成により沈殿分離することにより除去しほう素濃度を排水基準以下まで低減可能か検証する。 |

【実証試験総括】

| | |
|-----------------------|--|
| ほう素除去の可否 および 所見 | <p>温泉は塩分を多く含んだ強塩化物泉である。この温泉原水中にほう素が 40～50mg/L ほど含まれており、加水により温度を調整して温泉水に利用している。したがって実証試験における温泉排水中のほう素濃度は希釈効果によりおよそ 30mg/L 以下であった。当初計画では消石灰およびリン酸を投入後、15分攪拌としたがほう素の吸着効果が乏しかった。ヒドロキシアパタイトの生成反応は 35℃以上で促進されるが今回の温泉排水は 30～33℃と若干低く、実験場周囲の気温も 0℃付近でありヒドロキシアパタイトの生成には悪条件が重なった。そのため攪拌時間を 15分から 30分に延長して結晶生成を促進する必要があった。</p> <p>この条件変更により、温泉排水中のほう素をヒドロキシアパタイトによる結晶生成により沈殿分離した結果、排水中のほう素濃度は 2.5mg/L 以下まで低減可能であった。</p> <p>処理水は一晩静置し、固液分離させたのち上水を回収した。この処理水の pH は 12.3 であるため塩酸により pH を 6～8 に調整して放水した。</p> |
| 総排水処理量 | 2.4m ³ 3日間 |
| 使用した吸着剤 | 消石灰 24kg、1+5 リン酸 24L |

【実証対象技術の概要】

○フローシート



<原理> 温泉排水中に含まれるほう素をヒドロキシアパタイト様結晶の生成により沈殿分離することにより除去する方法である。

○実証試験結果

・ほう素の除去

公定分析の結果、流入水中のほう素濃度は日間で 18.2～24.6mg/L まで変化した処理水中のほう素濃度は 2.4～3.6mg/L と排水基準である 10mg/L を十分クリアできた。

また大量に共存する塩素やカルシウムはほう素の吸着に影響を与えなかった。

単位：mg/L ※Clのみ g/L

| 月日 | 項目 | B | Si | Fe | Mn | Ca | Cl※ |
|--------|-----|------|------|----|----|------|------|
| 2/6(火) | 流入水 | 24.6 | 33.0 | <1 | <1 | 655 | 15.8 |
| | 処理水 | 3.4 | <1 | <1 | <1 | 1020 | 14.5 |
| 2/7(水) | 流入水 | 22.8 | 31.7 | <1 | <1 | 628 | 15.2 |
| | 処理水 | 2.4 | <1 | <1 | <1 | 1374 | 14.2 |
| 2/8(木) | 流入水 | 18.2 | 27.3 | <1 | <1 | 505 | 12.8 |
| | 処理水 | 2.6 | <1 | <1 | <1 | 1557 | 12.1 |

○水質監視項目

- ・ pH 原水：7.9 、処理水：12.3
- ・ 塩化物イオン 排水中の塩素濃度は 1.2～1.5% でありほぼ海水と同等であった。また処理水中の塩素濃度は消石灰への表面吸着あるいは塩化カルシウムの生成によりわずかに減少した。
- ・ カルシウム 排水中のカルシウム濃度は 500～650mg/L であり海水と同等であった。処理水中のカルシウム濃度は消石灰から溶け出したカルシウムイオンにより増加した。
- ・ シリカ 排水中のシリコン濃度は 27～33mg/L であった。処理水中のシリコン濃度はほぼゼロとなっていることから消石灰表面への表面吸着と考えられる。
- ・ 鉄・マンガン 排水中にはほとんど含まれていなかった。

○参考実証項目

・ほう素の溶出試験

吸着残渣を 5L 抜き取り、ろ過、乾燥したものを環境省告示第 13 号試験によってほう素の溶出試験を行った。溶出試験の結果、ほう素の再溶出は 2.8mg/L であり土壌溶出基準 (1mg/L) はクリアできないが第二溶出基準(30mg/L)はクリアー可能であった。

・蛍光 X 線による定性分析

石灰の主成分であるカルシウム (Ca) 以外に塩素 (Cl) が多く検出されており石灰表面に塩化カルシウムが生成しているものと推察される。またヒドロキシアパタイト結晶に由来するリン (P) の存在も確認できた。

○環境負荷実証試験

| 項目 | 結果 |
|---------------------------------|--|
| 廃棄物の種類と発生量 | ・汚泥 600L ・オンサイト分析の廃液 0.3L |
| 騒音（音源 1 m 値）等価騒音レベル Laeq におい | 稼働時：77dB 装置停止時：44dB 臭気：わずかにアンモニア臭あり |
| 汚泥、廃棄物等 | 周辺環境への影響なし |

○定性的所見

| 項目 | 所見 |
|----------------|--|
| 試験期間中の消費電力量 | ポンプ 12.8kWh 分析装置 0.2kWh 計 13.0kWh |
| 排水および処理水の水質所見 | 薄い赤褐色、まれに浴室洗浄排水が混入するケース有り（泡有） |
| 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。 所要時間は約 10 分程度 |
| 運転停止に要する時間 | ポンプ OFF、発電機 OFF ポンプ内の水抜き（凍結対策） 所要時間は約 30 分程度 |
| 実証対象機器の信頼性 | 3 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 | 攪拌時間の変更 15 分⇒30 分 所要時間 約 10 分程度 |

○コスト試算（処理量 100m³/日）

| 温泉排水中ほう素濃度 | イニシャルコスト※ ² 千円 | ランニングコスト※ ¹ 千円 /年 |
|-------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 20mg/L→10mg/L に低減 | 40,000 | 6,783 |

※¹ ランニングコストには吸着剤と廃棄物（汚泥）の処理費用含む。人件費等は含まず。

※² イニシャルコストには基礎工事・電気工事等は含まず。

1. 実証試験の概要と目的

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（河川等に排出する場合、ほう素：10mg/L、ふっ素：8mg/L）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、当該排水基準（以下「一般排水基準」という。）に対応することが困難な業種として、ほう素等の暫定排水基準が経過措置として設定されている。

温泉旅館より排出される排水（以下「温泉排水」という。）には、ほう素等の他にも源泉由来の多種多様な共存物質が高い濃度で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等の除去を効果的に行うことが難しいのが現状である。このため、環境省では、これまでにほう素等の排水中濃度が全国の中でも特に高い温泉旅館等の協力を経て、新たな排水処理技術等の開発・普及等に向けた実証事業を行ってきた。

本調査業務では、これまでの実証事業の実施状況等を踏まえ、温泉に由来するほう素濃度が一般排水基準より高い排水を排出する温泉旅館を対象とし、新たな排水処理技術に関する実証試験を実施し、一般排水基準を達成することが困難な各地の温泉旅館におけるこれらの技術の導入可能性を検証することを目的とする。

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 | 温泉施設 |
| 所在地 | 新潟県内 |

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 実証試験場所の状況

| 項目 | 内容 |
|-------|--|
| 試験場所 | 温泉施設内 |
| 泉質 | 含硫黄-ナトリウム-強塩化物泉 |
| 源泉 | 湧出水 pH8.1、温度 55℃、湧出量 106L/分（動力揚湯）。掘削深度 1300m で、天然ガスとともに湧出 ほう素濃度 40~50mg/L |
| 排水の性質 | pH8.1、ほう素濃度 18~27mg/L |
| 排水量 | 150m ³ /日 |

源泉は強塩泉であり、硼酸、ナトリウム、塩素イオンを多く含んでいる。特に塩分濃度が高いのが特徴である。pHはおよそ中性であり、特別な排水処理は行っていない。温泉成分を表2-3に示す。

注) 温泉排水は浴槽からのオーバーフローであり洗い場等の排水とは異なる。

表2-3 源泉成分表

単位 mg/kg

| | | | | | | | |
|-------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------------|--------|------------------|------------------------------|
| Li+ | Na+ | K+ | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ | Fe(II) | Mn ²⁺ | Ba |
| 5.7 | 12440 | 445.5 | 161.9 | 980.1 | 6.1 | 0.2 | 3.6 |
| Cl- | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | H ₂ SiO ₃ | HBO ₂ | Br | I | NH ₄ ⁺ |
| 21110 | 26.7 | 604.1 | 132.1 | 236.4 | 139.9 | 86.7 | 339.9 |

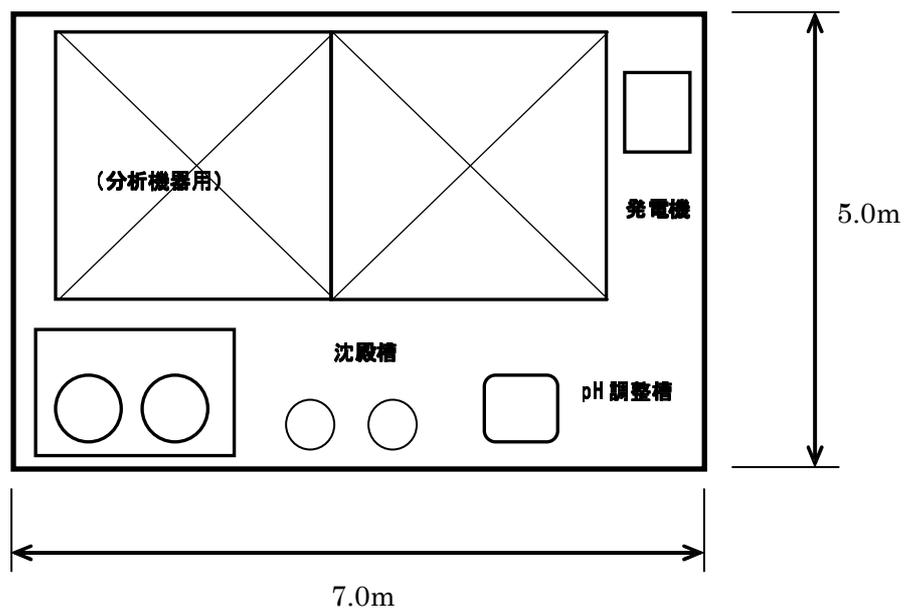
平成21年8月10日 成分分析表より

2. 3 実証試験の平面配置図及び設備配置図

【平面配置図】



【設備配置図】



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

温泉排水中のほう素をアルカリ条件下で、水酸化カルシウム（消石灰）、りん酸を反応させることで、ほう素を沈殿として除去する方法である。反応原理としては、水酸化カルシウム結晶へのほう酸イオンの吸着とそれに引き続くヒドロキシアパタイト様結晶の生成による沈殿分離である。

具体的には温泉利用後の排水（以下、温泉排水）に直接水酸化カルシウムやりん酸などの反応剤を投入し、短時間にヒドロキシアパタイト様結晶を生成させほう素濃度を高効率に低減する方法である。ほう素分離後の排液は塩酸で pH 調整後排出される。実証試験では、温泉の業務実態また、オンサイト分析（FIA 方式分析計）によって除去状況を把握しながら適正化を図る技術である。

上記方式によるフローシートを図－1に示す。

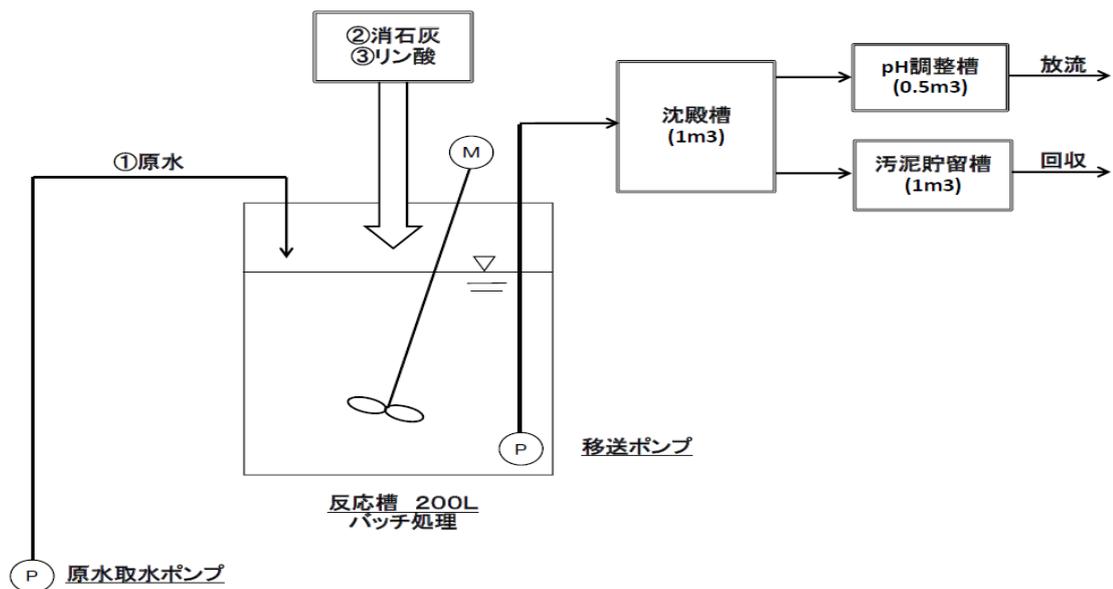


図3-1 実証試験のフローシート

表 3-1 実証対象機器の仕様

| 区 分 | 型 式 | 仕様および運転条件 |
|------|--|---|
| 設計条件 | <ul style="list-style-type: none"> ・対象 ・一日の処理量 ・一日の消石灰投入量 ・一日のリン酸投入量 | <ul style="list-style-type: none"> ・温泉排水 ・200L×4回= 800L/日 ・8kg/日 ・8L/日 |
| 主要機器 | ホリローリータンク 500L 1台 ホリローリータンク 1000L 2台 反応槽タンク 300L 2台 プロペラ攪拌機 2台 発電機・インバータ付 2台 残水処理ポンプ 3台 | <ul style="list-style-type: none"> ・材質：PEV ・材質：PEV ・材質：塩ビ ・100V ・2.8kVA 100V 50/60Hz ・100L/min 100V |

3. 2 主な消耗品、電力消費量等

試験期間中の消耗品および電力消費量を表 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 | 消石灰 24kg |
| | リン酸(1+5) 24L |
| | pH 調整用塩酸 2L |
| 電力消費量 | 3.2kwh (ポンプ容量 0.4×2kw、4 時間/日として) |

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を表 3-3 に示した。点検は試験ごとに環境技術開発者が実施した。

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 ポンプの給水量確認 pH 計校正およびチェック 温度計のチェック | 試験ごと |

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（使用済み吸着剤） | 6 0 0 L |
| オンサイト分析試薬 | 0.3 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

本対象実証機器はポンプの電源を on、off して送液するだけの簡単な操作なので、特別な技能を必要としない。

3. 6 騒音・におい対策

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なので大きな騒音はない。また、臭いについては処理水中のアンモニアガスがわずかに発生するため換気が必要である。

3. 7 期待される効果

本実証試験により、温泉排水中に含まれるほう素を迅速に排水基準 10mg/L 以下に低減できることが期待できる。なお、その時の除去率は 90%以上である。

[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] 250mL×4回＝ 1L/日

b) 処理水

[採取場所] 処理水沈降槽タンク(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] 1L/日

②採取スケジュール

採取スケジュールは、流入水質及び処理水質について、日内および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、下記の通り設定した。

[採取日程] 平成30年2月6日から3日間

[採取間隔] 9時 11時 13時 15時 の計4回/日

<公定分析用試料>

流入水：1日4回のサンプリング(250mL)を行い、これをまとめて1日の代表流入水試料(1L)とする。

処理水：処理水沈降槽タンクからサンプリング(1L)を行い、1日の代表処理水試料とする。

<オンサイト分析>

すべての流入水および処理水をサンプリングしオンサイト分析(ほう素、pHのみ実施)を実施する。

③試料の保存

採取した試料は、以下の要領で保存する。

[試験における試料採取] 試験における試料は、採取後、冷暗所に保存し分析機関に移送する。

[試料保存方法]

- i) 試料採取直後 試料は、冷暗所に保存する。
- ii) 実証試験場所から分析機関までの移送の間 試料保存容器に充填した試料は、採取直後の状態で分析機関まで車両により移送する。
- iii) 分析機関 試料保存容器に充填した試料は、分析作業が行われるまでの期間、冷暗所にて保存する。

(2) 水質分析方法および頻度

実証機器への流入水及び処理水についての分析項目は、それぞれ以下のとおりである。

- ① 流入水(公定分析) 頻度：1L/日×3日
- ・ pH、ほう素、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
- ② 処理水(公定分析) 頻度：1L/日×3日
- ・ pH、ほう素、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、(臭気、着色の有無)
- ③ オンサイト分析
- すべてのサンプリング試料について分析 (ほう素・pH) を実施する
上記項目の設定根拠を表4-2に示す。

表4-2 監視項目の設定根拠

| 項目 | 設定根拠 |
|------------------------------|--------------------------|
| pH | 水質基準の監視 |
| ほう素 | 処理対象物 |
| 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 シリカ、カルシウムイオン | 夾雑物、スケール発生状況の監視 |
| 臭気、着色等 | よう化物、アンモニウムイオン等の影響監視(目視) |

(3) 流量および監視スケジュール

流量については、一日当たりの源泉揚水量と水道水使用量から一日当たりの排水量を計算によって算出する。また繁忙期の水道水使用量から想定される排水量についても計算によって算出する。

(4) 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じである。

[監視対象とする試料の採取日] 平成30年2月6日から3日間

[監視対象となる試料の採取時刻] 9時、11時、13時、15時

4.3 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についての監視項目は、それぞれ以下のとおりである。

【流入水】

pH、ほう素、シリカ、カルシウムイオン、溶解性 Fe、溶解性 Mn、塩化物イオン

【処理水】

pH、ほう素、シリカ、カルシウムイオン、溶解性 Fe、溶解性 Mn、塩化物イオン

上記項目の設定根拠を表4-3に示す。pHについては処理対象となる温泉排水の特性より監視を行った。塩化物イオンについては共存陰イオンの影響を監視するために測定した。シリカ、カルシウムイオンについては、共存物質の影響や、スケール発生を含めた状況を監視するために測定した。

表4-3 監視項目の設定根拠

| 項 目 | 設定根拠 |
|-----------------------------|------------------|
| pH | 水質基準の監視 |
| ほう素 | 処理対象物質 |
| 塩化物イオン | 共存陰イオンの影響監視 |
| Ca イオン、シリカ 溶解性 Fe、溶解性 Mn | 共存物質、スケール発生状況の監視 |

(2) 流量および監視スケジュール

流量については、一日当たりの源泉揚水量と水道水使用量から一日当たりの排水量を計算によって算出する。また繁忙期の水道水使用量から想定される排水量についても計算によって算出する。

(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じである。

[監視対象とする試料の採取日] 平成30年2月6日から3日間

[監視対象となる試料の採取時刻] 9時、11時、13時、15時

4. 4 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試験で採取した試料について分析を行う。

(2) 分析方法および分析スケジュール

[分析方法]

| 分析項目 | 分析方法 | |
|--------|------------------------|----------------|
| pH | JIS K 0102(1998) 12. 1 | ガラス電極法 |
| 塩化物イオン | JIS K 0102(1998) 35. 3 | イオンクロマトグラフ法 |
| 溶解性鉄 | JIS K 0102(1998) 57. 4 | ろ過後、ICP 発光分光分析 |
| 溶解性Mn | JIS K 0102(1998) 56. 4 | ろ過後、ICP 発光分光分析 |
| シリカ | JIS K 0102(1998) | ICP 発光分光分析 |
| Ca イオン | JIS K 0102(1998) 50. 3 | ろ過後、ICP 発光分光分析 |
| ほう素 | JIS K 0102(1998) 47. 3 | ICP 発光分光分析 |

[分析スケジュール]

pHについては、試料採取時にその場で測定する。その他の分析項目については、平成30年2月中旬から平成30年3月上旬にかけて実施する。

(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 (pH 4 または 9) 校正 | |
| | 計量法に係る検定・検査の実施 | 検定検査実施/年 |
| ICP 発光分光 | 測定開始時における装置備え付けの | 毎測定時 |
| | 波長校正を実施 | |
| | 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 | 定期点検 |
| 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、 | 毎測定時 |
| | 濃度と応答値の関係から検量線作成 | 定期点検 |

(4) 検証水質分析項目及び頻度(第三者機関による)

サンプリングは実証試験3日目の14時～15時。

(5) 参考実証項目(企業による追加項目等)

i) 参考実証項目は以下のとおりとする。

・吸着残渣からのほう素溶出量および残渣の定性分析

試料採取及び溶出液の調整 試料採取及び溶出液の調製については、以下の要領で行う。

① 試料採取方法

沈降槽より吸着残渣約5Lを採取し乾燥する。

② 採取スケジュール

平成 30 年 2 月 9 日

③ 溶出試験

環境庁告示第 13 号に準じて実施する。

④ 蛍光 X 線による定性分析

4. 5 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） |
| | 臭い |
| | 汚泥、廃棄物、においの処理等の 容易さ等の質的評価 |

5. 実証試験結果

5. 1 オンサイト分析による実証試験結果

オンサイト分析結果を表5-1. に示す。また、処理前と処理後のほう素濃度の推移を図5-1. に示す。

表5-1. オンサイト分析結果

| 採取時間 | 液温℃ | pH | 処理前 ほう素濃度 | 処理後 ほう素濃度 |
|---------|-----|------|--------------|--------------|
| 2/6日 9時 | 34℃ | 7.92 | 23.4 mg/L | 9.6 mg/L |
| 11時 | 33℃ | 7.74 | 27.0 mg/L | 1.9 mg/L |
| 13時 | 31℃ | 7.79 | 26.5 mg/L | 1.4 mg/L |
| 15時 | 32℃ | 7.86 | 31.2 mg/L | 2.2 mg/L |
| 2/7日 9時 | 32℃ | 7.90 | 24.6 mg/L | 3.0 mg/L |
| 11時 | 32℃ | 7.87 | 27.2 mg/L | 1.0 mg/L |
| 13時 | 32℃ | 7.86 | 25.7 mg/L | 0.9 mg/L |
| 15時 | 31℃ | 7.82 | 26.3 mg/L | 1.1 mg/L |
| 2/8日 9時 | 30℃ | 7.68 | 19.8 mg/L | 3.1 mg/L |
| 11時 | 28℃ | 8.07 | 15.1 mg/L | 0.5 mg/L |
| 13時 | 32℃ | 7.87 | 25.1 mg/L | 0.6 mg/L |
| 15時 | 30℃ | 8.02 | 23.0 mg/L | 2.6 mg/L |

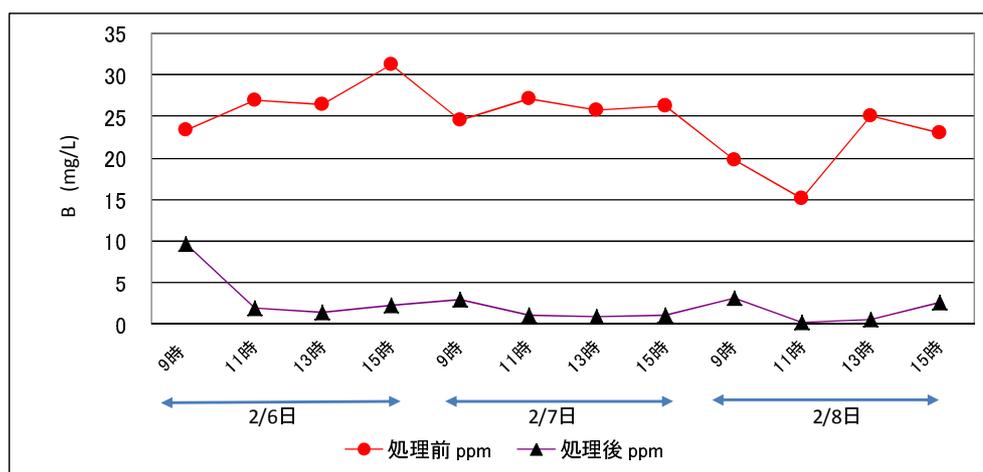


図5-1. 処理前と処理後のほう素濃度の推移

実証期間中の排水温度は平均 32℃、pH は 7.9 であった。

ほう素濃度については日間で比較的バラついており 15~31mg/L と大きく変動

した。また 2/6 日実験開始直後（9 時）の処理水中ほう素濃度が 9.6mg/L と高かった。この原因は実験周囲の温度が 0℃と低く、排水温度の低下によりヒドロキシアパタイトの生成が十分でなかったためと推定された。予備実験では排水温度を 35℃に設定し、およそ 15 分以内にほう素の除去効果が確認されたため当初計画では 15 分の攪拌時間としたが、ヒドロキシアパタイトの結晶生成を十分に促進するため攪拌時間を 30 分に変更した。その後の実証試験では処理水中のほう素濃度は 2~3mg/L と安定して推移した。なお 2/8 日の 9 時~11 時にかけて排水量が低下し、排水温度、ほう素濃度とも低くなる現象が見られたが特段の変更はなかったとの回答であった。

5. 2 水質監視項目の試験結果

公定分析結果を表 5 - 2 に示す。

表 5 - 2 公定分析結果

単位：mg/L ※塩素のみ g/L

| 月日 | 項目 | B | Si | Fe | Mn | Ca | Cl※ |
|---------|-----|------|------|----|----|------|------|
| 2/6 | 流入水 | 24.6 | 33.0 | <1 | <1 | 655 | 15.8 |
| | 処理水 | 3.4 | <1 | <1 | <1 | 1020 | 14.5 |
| 2/7 | 流入水 | 22.8 | 31.7 | <1 | <1 | 628 | 15.2 |
| | 処理水 | 2.4 | <1 | <1 | <1 | 1374 | 14.2 |
| 2/8 | 流入水 | 18.2 | 27.3 | <1 | <1 | 505 | 12.8 |
| | 処理水 | 2.6 | <1 | <1 | <1 | 1557 | 12.1 |
| クロスチェック | 流入水 | 22.0 | — | — | — | — | — |
| | 処理水 | 2.5 | — | — | — | — | — |

<ほう素>

流入水中のほう素濃度は日間で 18.2~24.6mg/L まで変化したが処理水中のほう素濃度は 2.4~3.6mg/L と排水基準である 10mg/L を十分クリアできるものであった。また大量に共存する塩素やカルシウムはほう素の吸着に影響を与えなかった。

<塩素>

排水中の塩素濃度は 1.2~1.5% でありほぼ海水と同等であった。また処理水中の塩素濃度は消石灰への表面吸着あるいは塩化カルシウムの生成によりわずかに減少した。

<カルシウム>

排水中のカルシウム濃度は 500~650mg/L であり海水と同等であった。処理水中のカルシウム濃度は消石灰から溶け出したカルシウムイオンにより増加した。

<シリコン>

排水中のシリコン濃度は 27~33mg/L であった。処理水中のシリコン濃度はほぼゼ

口となっていることから消石灰表面への表面吸着と考えられる。

<鉄、マンガン>

鉄およびマンガンは排水中に含まれておらず、スケール発生に寄与しない。

5. 3 参考実証試験の結果

5. 3. 1 ほう素の溶出試験

吸着残渣を 5L 抜き取り、ろ過、乾燥したものを環境省告示 13 号試験によってほう素の溶出試験を行った。結果を表 5 - 3 に示す。

表 5 - 3 溶出試験結果 (単位 mg/L)

| | 2 / 9採取 |
|------|---------|
| 吸着残渣 | 2.8 |

溶出試験の結果、ほう素の再溶出はわずかにあり土壤溶出基準 (1mg/L) はクリアできないが第二溶出基準(30mg/L)はクリアー可能であった。

5. 3. 2 吸着残渣の定性分析結果

吸着残渣の蛍光 X 線による定性分析結果を図 5 - 3. に示す。

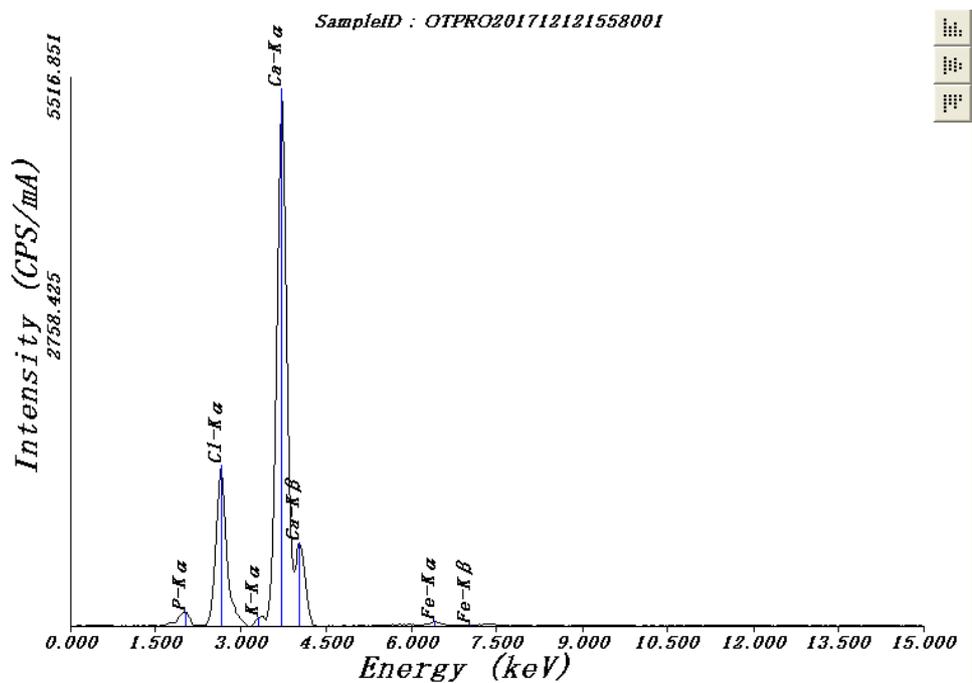


図 5 - 3. 吸着残渣の蛍光 X 線分析結果

石灰の主成分であるカルシウム (Ca) 以外に塩素 (Cl) が多く検出されており石灰表面に塩化カルシウムが生成しているものと推察される。またヒドロキシアパタイト結晶に由来するリン (P) の存在も確認できる。

5. 4 環境負荷実証項目

| 項 目 | 結 果 |
|----------------------------|--|
| 廃棄物の種類と発生量 | <ul style="list-style-type: none"> ・吸着残渣 600L ・塩酸 (HCl) 2L ・オンサイト分析の廃液 0.3L |
| 騒音 (音源 1 m 値) 等価騒音レベル Laeq | 稼働時 : 77dB 装置停止時 : 44dB |
| におい | 処理水からわずかにアンモニア臭あり |
| 汚泥、廃棄物処理等の容易さ等の質的評価 | 周辺環境への影響なし |

5. 5 定性的所見

| 項 目 | 所 見 |
|----------------|---|
| 試験期間中の消費電力量 | ポンプ 12.8kWh 分析装置 0.2kWh 計 13.0kWh |
| 排水および処理水の水質所見 | 薄い赤褐色、まれに浴室洗浄排水が混入するケース有り (泡有) |
| 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。 所要時間は約 10 分程度 |
| 運転停止に要する時間 | ポンプ OFF、発電機 OFF ポンプ内の水抜き (凍結対策) 所要時間は約 30 分程度 |
| 実証対象機器の信頼性 | 3 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 | 攪拌時間の変更 15 分⇒30 分 所要時間 約 10 分程度 |

6. データの品質管理

本水質実証項目の分析においてはJ I S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 |
|--------|------------------|
| ほう素 | 全測定試料に対し、2回測定を実施 |

その結果、それぞれの測定値の差は 1.0%以内であった。また濃度既知の標準溶液により正確さの確認を行った。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を確認した。

7. コスト試算

JFE テクノリサーチ株式会社において、本件温泉排水処理技術についてコスト試算を行った。

【ランニングコスト試算時の仮定】

- ・今回試験を行った温泉地における泉質を前提。
- ・廃棄物の処分コストを含む。
- ・処理排水（原水）中ほう素濃度を 20mg/L、処理後のほう素濃度 10mg/L として計算

| 項目 | 使用量 ※1 排水1m3あたり | 想定単価 ※2 | | ランニングコスト (円) ※3 | |
|----------|--------------------|---------|---------|-----------------|------------|
| | | 現行 | 低廉化学品 | 1日 | 年間 |
| 85%リン酸 | 0.375kg/m3 | 456円/kg | 52円/kg | ¥2,100 | ¥766,500 |
| 消石灰 | 3kg/m3 | 52円/kg | 10円/kg | ¥3,000 | ¥1,095,000 |
| pH調整溶塩酸 | 0.01kg/m3 | 600円/kg | 70円/kg | ¥70 | ¥25,550 |
| 薬品溶解・希釈用 | 0.005m3/m3 | 200円/m3 | 200円/m3 | ¥100 | ¥36,500 |
| 凝集剤等 | 0.01kg/m3 | 700円/kg | 100円/kg | ¥100 | ¥36,500 |
| 汚泥発生量 ※4 | 8.57kg/m3 | 15円/kg | | ¥12,855 | ¥4,692,075 |
| 電力 | 0.3Kwh/m3 | 12円/kwh | 12円/kwh | ¥360 | ¥131,400 |
| | | | | ¥18,485 | ¥6,783,525 |

※1 消石灰添加量 0.3%、20%リン酸添加量 0.15%として計算した場合。

※2 低廉化学品とは大量購入あるいは海外調達により見込まれる想定単価である。

※3 ランニングコストの試算に以下の項目は含まれていない。

- (1) 試薬の充填・交換等の人件費
- (2) その他運転管理費等

※4 汚泥発生量（含水率 65%）は原水中の SS 濃度を無視した場合、99%以上が吸着剤残渣である。

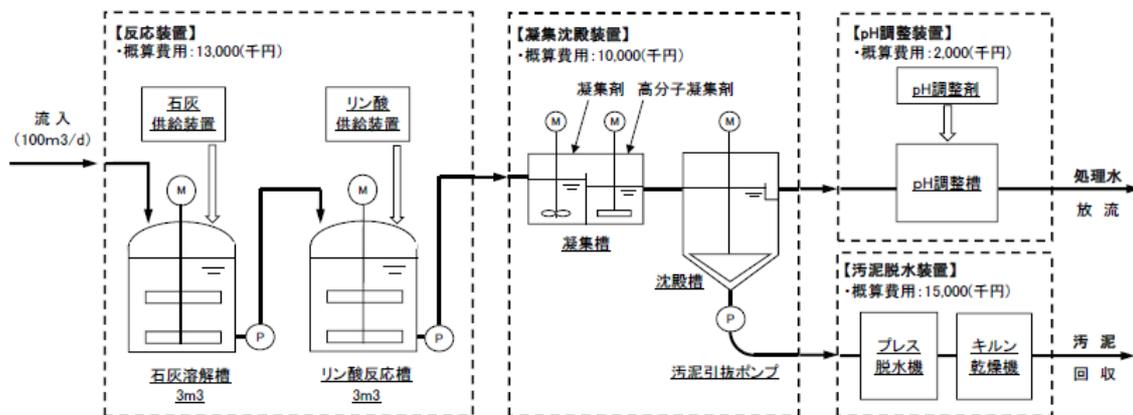
$$\text{汚泥発生量（含水率 65%）算出式} = \{ \text{吸着剤残渣 } 3.0\text{kg/m}^3 \} \div 0.35$$

【イニシャルコストの試算】

連続処理を前提とした設備構成とした。

| 装置名 | 仕様 | 概算費用 |
|-----------|---|-----------|
| 1. 反応装置 | <ul style="list-style-type: none"> 石灰溶解槽 3m² リン酸反応槽 3m² 攪拌用モータ 2基 送液ポンプ 2基 石灰供給装置 1基 リン酸供給装置 1基 | 13,000 千円 |
| 2. 凝集沈殿装置 | <ul style="list-style-type: none"> 凝集槽 1基 沈殿槽 1基 攪拌モータ 3基 凝集剤添加装置 2基 汚泥吸引ポンプ 1基 | 10,000 千円 |
| 3. 汚泥脱水装置 | <ul style="list-style-type: none"> プレス脱水機 1基 キルン乾燥機 1基 | 15,000 千円 |
| 4. pH調整装置 | <ul style="list-style-type: none"> pH調整槽 1基 pH調整装置 1基 | 2,000 千円 |

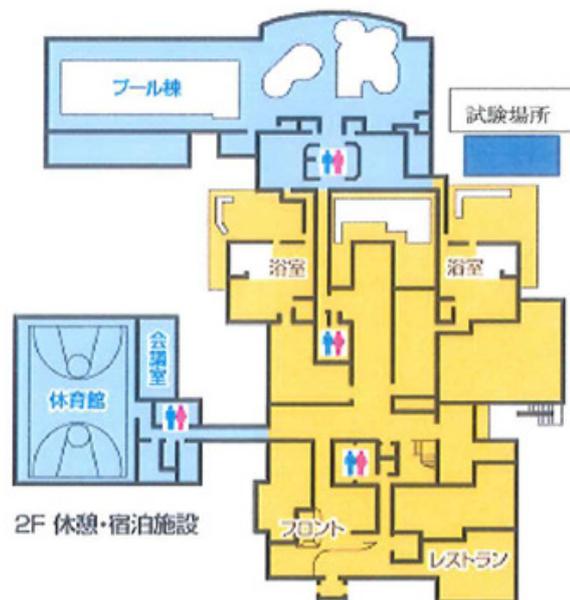
総費用 40,000 千円



付 録

現 場 写 真

■試験場所



■温泉水概況（ヒアリング）

①温泉揚湯量

106L/分×1,440分→152,640L/日

②温泉施設水道使用量

2,690 m³/月（平成28年度実績）

③温泉排水量

温泉揚湯量 152 m³/日 + 90 m³/日 = 242 m³/日

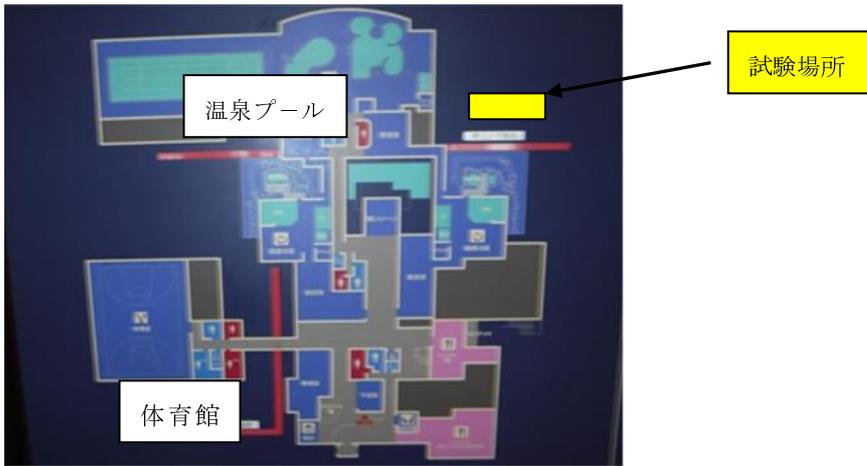
④温泉入り込み数（16:00まで）

6日（火）：238人、7日（水）：146人、8日（木）：182人

⑤特記事項

- ・揚湯した温泉水は温泉プールにも供給し、排水もしている。

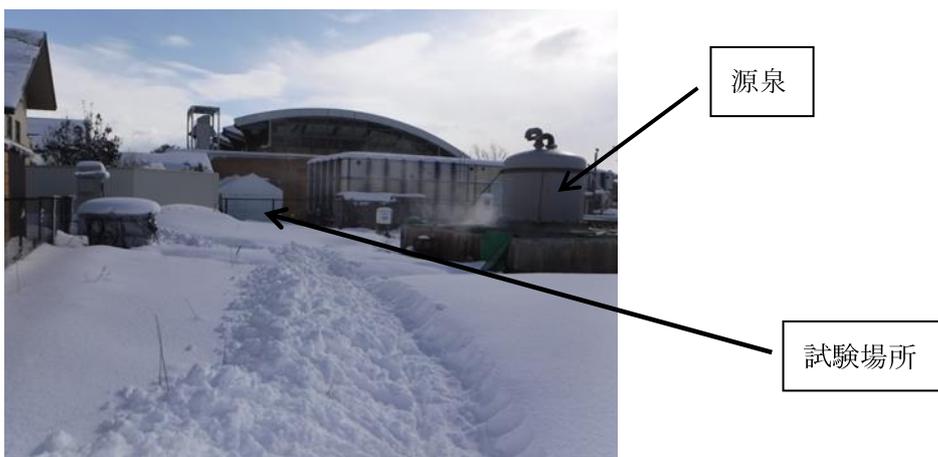




施設案内図



温泉メンテ室



試験場所 源泉



源泉

試験場所

試験場所 源泉



試験場所 入口



源泉



温泉排水溝



温泉排水溝 排水採取



試験場所



試験装置



発電機



汚泥沈降タンク(奥)、汚泥濃縮タンク、排水 pH 調整タンク



薬品 リン酸(1+5)ほう素除去用、塩酸(1+5)排水 pH 調整用



薬品 消石灰ほう素除去用



薬品 消石灰ほう素除去用



ほう素分析計 (FIA)



排水採取



消石灰秤量



試験用温泉排水の汲み上げ



温泉排水の pH 測定



温泉排水へ消石灰投入前



温泉排水へ消石灰投入中



温泉排水へ消石灰投入後攪拌



温泉排水へ消石灰投入後攪拌、リン酸液添加



試験終了時の採取



ほう素分析



温泉排水試験終了後の沈降タンクへ返送



温泉排水試験終了後の沈降タンクへ返送



温泉排水試験終了後の沈降タンク返送時



沈降タンク沈降後



沈降タンク沈降後 上澄水を pH 調整タンクに返送



沈降タンク沈降後 上澄水を pH 調整タンクに返送



pH 調整タンクの HCL (1+5) 添加、pH 測定



pH 調整タンクからの排水



pH 調整タンクから排水溝への排水



排水のほう素分析



環境省、新潟県立合い 排水処理試験



環境省、新潟県立合い 排水処理試験



環境省、新潟県立合い 汚泥の沈降



環境省、新潟県立合い 汚泥の沈降



環境省、新潟県立合い 処理水 クロスチェック



環境省、新潟県立合い 処理水 クロスチェック試料