

これまでの温泉排水処理技術実証試験結果の概要

1. ほう素処理技術

(1) ボロン-C ほう素処理システム（実証試験地：A 温泉）

項目		内容
基本情報	処理原理	ほう素を吸着する特性を有する薬剤「ボロン-C」をほう素含有排水に pH 調整条件下で添加することにより、ほう素含有スラッジを生成させ、凝集沈殿させることにより排水中のほう素を除去する。
	処理フロー	
	処理目標	一般排水基準値（10mg/L）以下
処理実績	処理状況	■ボロン C 添加率：1%w/v、反応槽滞留時間：2hr 試験原水 約 310mg/L→処理水 約 220mg/L ■ボロン C 添加率：6.68%w/v、反応槽滞留時間：2hr 試験原水 約 230mg/L→処理水 約 65mg/L ■ボロン C 添加率：33.4%w/v（2 時間毎に 6.68%ずつ添加）、 反応槽滞留時間：10hr 試験原水 約 430mg/L→処理水 約 6.6mg/L
	廃棄物発生量	99g/m ³ （推定含水率：80%）
	溶出試験結果	ほう素：43^{※1}、15^{※2}mg/L ※1 試験原水のほう素濃度が約 310mg/L のとき ※2 試験原水のほう素濃度が約 230mg/L のとき
コスト 試算結果	試算条件	■処理水量：6m³/日 ■ほう素濃度：原水 20mg/L→処理水 10mg/L
	イニシャル	500 万円
	ランニング	199 万円/年
	留意事項	流入水ほう素濃度が 20mg/L の場合。運転管理人件費、基礎工事費、1 次側設備工事費はコスト計算対象外
概算設置スペース		16m ²
その他		

(2) グルカミン基を結合させた樹脂を用いた吸着（実証試験地：A 温泉）

項目		内容
基本情報	処理原理	スチレン・ジビニルベンゼン供重合体にメチルグルカミンを導入した吸着剤を使用してほう素を選択的に固定化して除去する。吸着が飽和した樹脂は溶離と再生による繰り返し使用が可能である。
	処理フロー	※サンプリング ・ほう素モニター ・pH調整(pH6～pH8)
	処理目標	一般排水基準値（10mg/L）以下
処理実績	処理状況	■空間速度（SV）：4、5（1/hr） 試験原水 340～1,620mg/L→処理水 5～800mg/L ※試験期間中の平均ほう素除去率は68%であったが、SV=4では1時間程度で処理水質が10mg/Lを超過した。また、5日間の試験で吸着剤の吸着容量は半減（4→2g/kg）した。
	廃棄物発生量	吸着容量低下後も吸着剤を継続使用して実験を実施したため、実運用時の廃棄物の発生量は不明
	溶出試験結果	ほう素：87～136mg/L
コスト 試算結果	試算条件	■処理水量：100m³/日 ■ほう素濃度：原水 500mg/L→処理水 10mg/L
	イニシャル	5,600 万円
	ランニング	40 億 2,103 万円/年
	留意事項	運転管理人件費、基礎・建屋等の工事費はコスト計算対象外
概算設置スペース		272.5m ²
その他		

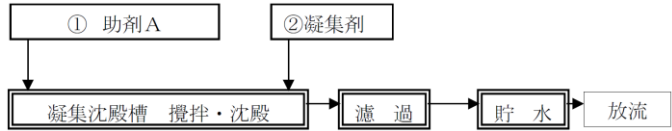
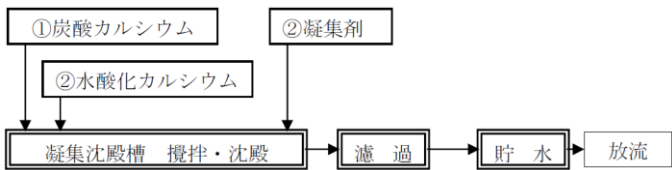
(3) 粉末の無機性天然鉱物をペレット状にした「アドソープ」を用いた吸着
(実証試験地:B 温泉)

項目		内容
基本情報	処理原理	天然無機性鉱物、酸化マグネシウム等からなる固化・不溶化剤に火山性粘土を添加し、成型された吸着剤（アドソープ）を用いて、排水中のふっ素、ほう素、ひ素を吸着除去する。
	処理フロー	
	処理目標	一般排水基準値 (10mg/L) 以下
処理実績	処理状況	■設計空間速度 (SV) : 0.05 (1/hr) 試験原水 110~130mg/L→処理水 8.6~100mg/L ※試験開始 6 日目以降、吸着剤破過の進行に伴い除去率は低下し、試験開始時のほう素除去率は 90%程度であったが開始 9 日目には 50%以下となった。
	廃棄物発生量	201kg/m³ ※実験期間中の処理水量で乾燥時吸着剤廃棄量を割ったときの値
	溶出試験結果	ほう素 : 1.3mg/L
コスト 試算結果	試算条件	■処理水量 : 100m³/日 ■ほう素濃度 : 原水 500mg/L→処理水 10mg/L
	イニシャル	1 億 4,924 万円
	ランニング	21 億 3,955 万円/年
	留意事項	運転管理人件費、建屋工事費はコスト計算対象外
概算設置スペース		725.76m ²
その他		■イオン吸着処理の前処理として、ばね式フィルターによる浮遊物等の除去及び希釈処理 (2 倍希釈) を行う。

(4) 新型キレート繊維と高濃度対応型凝集法（実証試験地：C 温泉）

項目		内容
基本情報	処理原理	繊維状の新型ほう素吸着剤を用いたほう素吸着設備（新型キレート繊維塔）と再生廃液を高濃度対応型の新しい凝集法で処理する設備とを組み合わせたもの。
	処理フロー	<pre> graph TD A[原水] --> B[膜処理] B --> C[再生廃液 (定期的に排出)] D[再生剤 (定期的に通液) HCl → NaOH] --> C C --> E[高濃度対応型凝集装置 (アルミニウム化合物)] E --> F[凝集処理水 (ほう素: 数百 mg/L)] F --> G[新型キレート繊維塔] G --> H[処理水] </pre>
	処理目標	実証機関が自主的に実施した試験であったため、特に処理目標は設定していない
処理実績	処理状況	■設計空間速度 (SV) : 9.3 (1/hr) 試験原水 9~11mg/L→処理水 0.1 以下~7mg/L ※通水開始から 30 時間を経過すると吸着剤は破過した。 ※高濃度再生廃液のほう素濃度は 1,500mg/L であり、アルミニウム塩により凝集処理することで 430mg/L となった。
	廃棄物発生量	0.24kg/m³ (含水率: 75%) ※コスト試算条件下での値
	溶出試験結果	ほう素: 64mg/L ※高濃度再生廃液の凝集処理汚泥の溶出試験結果
コスト 試算結果	試算条件	■処理水量: 100m³/日 ■ほう素濃度: 原水 50mg/L→処理水 10mg/L ■鉄、アルミニウム等の濃度が平均的な温泉排水を仮定
	イニシャル	8,000 万円
	ランニング	1,150 万円/年
	留意事項	運転管理人件費、基礎工事費、1 次側設備工事費はコスト計算対象外 ランニングコストにキレート繊維の補充および MF 膜の交換・廃棄費用を含む
概算設置スペース		150m ²
その他		■事前確認実験に比べて、C 温泉の排水を用いた実験では、吸着剤のほう素吸着量が低下した。 ※要因として、共存物質による吸着競合や析出物による通水影響が考えられる。

(5)天然素材凝集剤を用いた凝集法（実証試験地:A 温泉）

項目		内容
基本情報	処理原理	天然素材凝集剤と助剤を添加することで温泉排水中のほう素を吸着凝集し除去する。
	処理フロー	システム 1：実施機関が開発した助剤 A を使用  システム 2：助剤として炭酸カルシウム、水酸化カルシウムを使用 
	処理目標	3 分の 1 以下（概ね 300mg/L 以下）
処理実績	処理状況	■凝集剤+助剤 A 試験原水 330～340mg/L→処理水 16～38mg/L ■凝集剤+炭酸カルシウム+水酸化カルシウム 試験原水 310 mg/L→処理水 37 mg/L ■凝集剤+炭酸カルシウム+水酸化カルシウム（pH10.7） 試験原水 350mg/L→処理水 240mg/L ■凝集剤+炭酸カルシウム+水酸化カルシウム（pH10.4） 試験原水 500mg/L→処理水 480 mg/L ■凝集剤+炭酸カルシウム+水酸化カルシウム（pH8.5） 試験原水 460mg/L→処理水 460mg/L
	廃棄物発生量	4.5～10.5kg/500L ※原水 500L に対する廃棄物の乾重量
	溶出試験結果	ほう素：6.9mg/L
コスト 試算結果	試算条件	■処理槽容量：5,000L ■処理水量：100,000L/日 ■稼働時間：24hr/日 ■ほう素濃度：原水 973mg/L →処理水 320mg/L
	イニシャル	1,050 万円
	ランニング	システム 1：301 万円/年、システム 2：374 万円/年
	留意事項	建屋費用はコスト計算対象外
概算設置スペース		8m ²
その他		

(6) ヒドロキシアパタイト結晶法（実証試験地:D 温泉）

項目		内容
基本情報	処理原理	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し除去する。
	処理フロー	
	処理目標	一般排水基準値（10mg/L）以下
処理実績	処理状況	■ 処理水量：800L/日 試験原水 18.2～24.6mg/L→処理水 2.4～3.6mg/L
	廃棄物発生量	600L/3 日
	溶出試験結果	ほう素：2.8mg/L
コスト 試算結果	試算条件	■ 処理水量：100m ³ /日 ■ ほう素濃度：原水 20mg/L→処理水 10mg/L
	イニシャル	4,000 万円
	ランニング	678 万円/年
	留意事項	試薬の充填・交換等の人件費、その他の運転管理費等はコスト計算対象外
概算設置スペース		35m ²
その他		

2. ふっ素処理技術

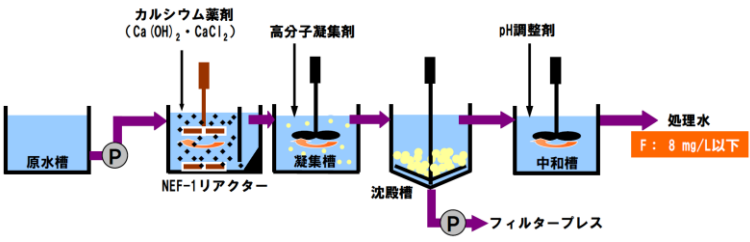
(1) 重金属吸着剤「アドセラ」（実証試験地:C 温泉）

項目		内容
基本情報	処理原理	希土類化合物と珪藻土を混合し成形した吸着剤「アドセラ」を用いて、排水中のふっ素を吸着除去する。
	処理フロー	
	処理目標	ふっ素除去率：50%
処理実績	処理状況	■空間速度（SV）：1.0（1/hr） 試験原水 46～52mg/L→処理水 17～48mg/L ■空間速度（SV）：0.5（1/hr） 試験原水 48～51mg/L→処理水 2.3～49mg/L ※両 SV 条件とも処理開始から 4 時間程度で除去率は 0～10% 程度以下に低下した。
	廃棄物発生量	133 kg/m ³
	溶出試験結果	ふっ素：3mg/L 以下
コスト 試算結果	試算条件	■処理水量：96m³/日 ■稼働時間：24hr/日×365 日 ■ふっ素濃度：原水 15mg/L→処理水 8mg/L
	イニシャル	1,206 万円
	ランニング	7,029 万円/年
	留意事項	運転管理人件費、基礎工事費、1 次側設備工事費はコスト計算対象外 ランニングコストにメンテナンス契約料金を含む
概算設置スペース		15m ²
その他		■吸着塔内の空気圧が上昇したため、30 分に 1 回程度のガス抜きが必要であった。 ※石灰による中和処理の際に炭酸ガスが発生したためと考えられる。

(2) 貝殻処理材を用いた吸着（実証試験地:C 温泉）

項目		内容
基本情報	処理原理	ホタテ貝殻の表面に化学修飾を行い、これをカラム内に充填してふっ素を吸着除去する。
	処理フロー	
	処理目標	一般排水基準値 (8mg/L) 以下
処理実績	処理状況	■空間速度 (SV) : 1.0 (1/hr) 試験原水 32~37mg/L→処理水 0~1mg/L ■空間速度 (SV) : 0.5 (1/hr) 試験原水 32~37mg/L→処理水 0~1mg/L ※両 SV 条件とも処理開始から 1~2 日程度で吸着剤が破過し、処理水質が悪化
	廃棄物発生量	100kg(乾燥時)/7 日
	溶出試験結果	ふっ素 : <0.5mg/L
コスト 試算結果	試算条件	■処理水量 : 100m³/日 ■ふっ素濃度 : 原水 50mg/L→処理水 8mg/L
	イニシャル	5,800 万円
	ランニング	1 億 2,279 万円/年
	留意事項	運転管理人件費、基礎・建屋等の工事費はコスト計算対象外 ランニングコストに人件費は含まれていない
概算設置スペース		290m ²
その他		■吸着剤（貝殻）に含まれる Ca 成分の影響で処理水中の pH が上昇し、カラム内で金属（鉄、アルミニウム）の水酸化物が生成したことで、ふっ素除去率が低下

(3)NEF-1 法（実証試験地:C 温泉）

項目		内容
基本情報	処理原理	カルシウムとふっ素との核生成反応を促進する特殊な粒状担体（NEF-1 担体）を槽内で分散させ、排水に消石灰や塩化カルシウム等を加えてふっ化カルシウムとして分離する従来法の処理性能を向上させる。
	処理フロー	 図は、NEF-1 法の処理フローを示しています。原水槽からポンプ（P）で NEF-1 リアクターへ送られます。リアクターでは、カルシウム薬剤（$\text{Ca(OH)}_2 \cdot \text{CaCl}_2$）と高分子凝集剤が添加されます。リアクターからの水は凝集槽へ移動し、その後沈殿槽へ送られます。沈殿槽からの水は pH 調整剤を添加する中和槽へ移動し、最終的に処理水として排出されます。処理水の濃度は $\text{F} : 6 \text{ mg/L}$ 以下です。また、沈殿槽からはポンプ（P）でフィルタープレスへ送られます。
	処理目標	概ね半減以下
処理実績	処理状況	■NEF-1 リアクター滞留時間：0.6hr、全滞留時間：4.3hr ■高分子凝集剤添加濃度：1mg/L 試験原水 35～50mg/L→処理水 平均 8.1mg/L
	廃棄物発生量	0.96 kg/m³ ※乾燥時換算。脱水後（含水率：60%）では 2.4 kg/m³
	溶出試験結果	ふっ素：9.9mg/L、ひ素：<0.01mg/L、鉛：<0.01mg/L
コスト 試算結果	試算条件	■処理水量：100m³/日 ■稼働時間：24hr/日×365 日 ■ふっ素濃度：原水 39.1mg/L→処理水 8.1mg/L
	イニシャル	4,500 万円
	ランニング	404 万円/年
	留意事項	脱水機の費用を含む。運転管理人件費、基礎工事費、1 次側設備工事費はコスト計算対象外 ランニングコストに担体の廃棄費用、担体交換作業費を含む
概算設置スペース		100m ²
その他		

(4) リン酸ジルコニウム微結晶を利用した吸着（実証試験地：C 温泉）

項目		内容
基本情報	処理原理	原水および中和処理水中に、ホタテ貝殻粉末を投入し、共存する鉄およびアルミニウムを水酸化物として沈降・分離したうえで、リン酸ジルコニウム微結晶(吸着剤)により、ふっ素を吸着除去する。
	処理フロー	
	処理目標	概ね半減以下
処理実績	処理状況	■処理量：1000L/日 吸着剤注入量 0.5% 試験原水 36.0mg/L →処理水 17.8mg/L ■処理量：1000L/日 吸着剤注入量 1.0% 試験原水 36.0mg/L →処理水 15.7mg/L ■処理量：1000L/日 吸着剤注入量 1.5% 試験原水 36.0mg/L →処理水 12.9mg/L
	廃棄物発生量	使用済吸着剤 1.1 kg/6 日(乾燥時重量) 貯留槽スラッジ 1.9kg/6 日(乾燥時重量)
	溶出試験結果	一次貯留槽汚泥 ふっ素：44.8～66.9mg/L 沈降槽汚泥 ふっ素：3.2～4.6mg/L
コスト 試算結果	試算条件	■処理水量：処理量 100m³/日 ■ふっ素濃度：原水 36mg/L→処理水 18mg/L
	イニシャル	2,800 万円
	ランニング	877 万円/年
	留意事項	基礎・建屋等の工事費・建設費および人件費・運搬費等はコスト試算対象外
概算設置スペース		6m ²
その他		