

温泉利用施設のほう素、ふっ素の低減方策に関する調査結果

1. 対象施設

平成23年度温泉排水実態調査の結果(図1-1)で高濃度の排水が確認された施設として、ほう素2施設、ふっ素1施設を低減方策の調査対象施設とした。対象施設の源泉と排水濃度を図1-2に示す。

- A温泉のほう素濃度は源泉では約1,600mg/L、排水濃度は暫定排水基準値500mg/Lと同程度である。
- B温泉のほう素濃度は源泉、排水濃度とも暫定排水基準値の半分程度である。
- C温泉のふっ素濃度は源泉では約90mg/L、排水濃度は暫定排水基準値50mg/Lに対して35mg/L程度である。

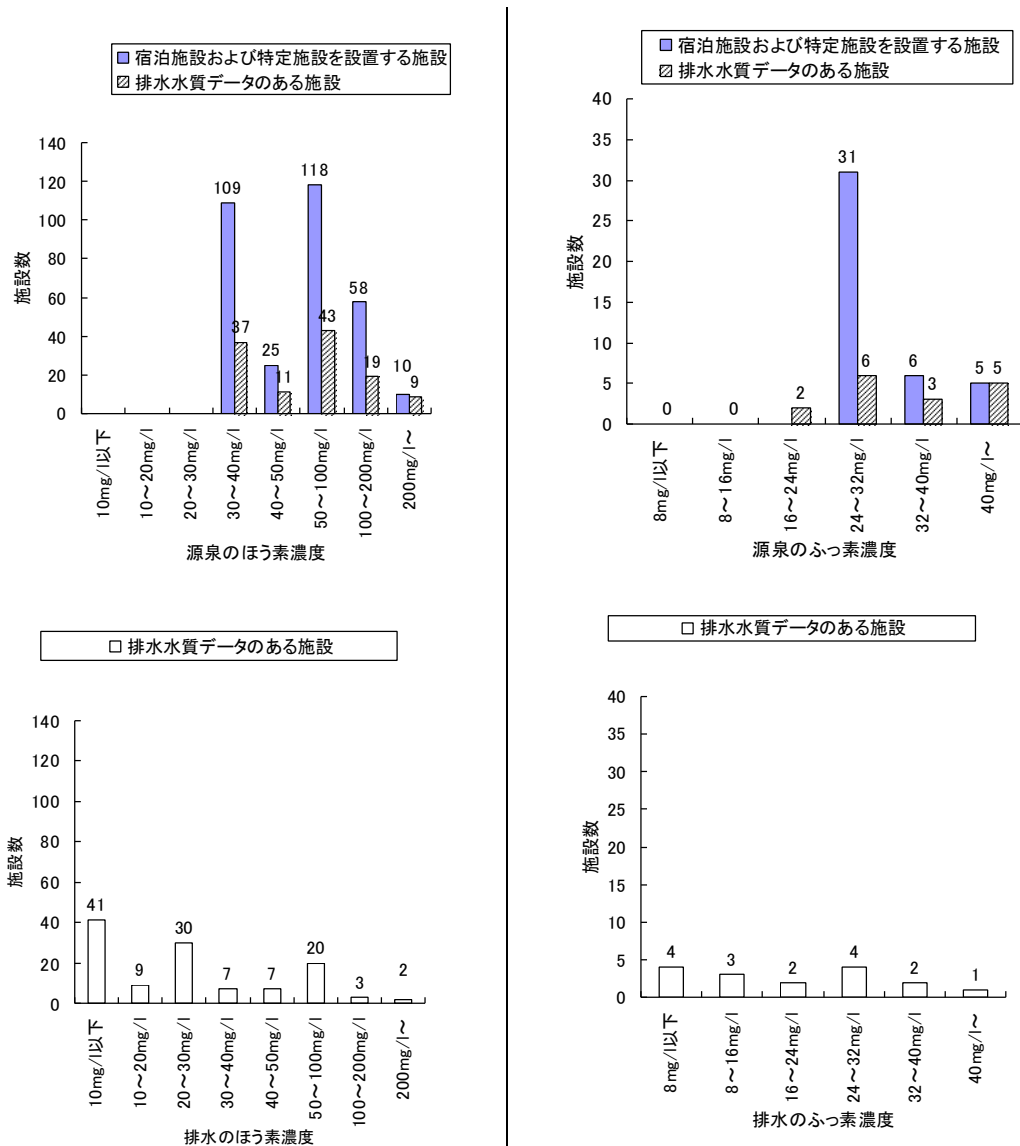


図1-1 温泉施設の源泉、排水のほう素、ふっ素濃度
(H23 環境省報告書)

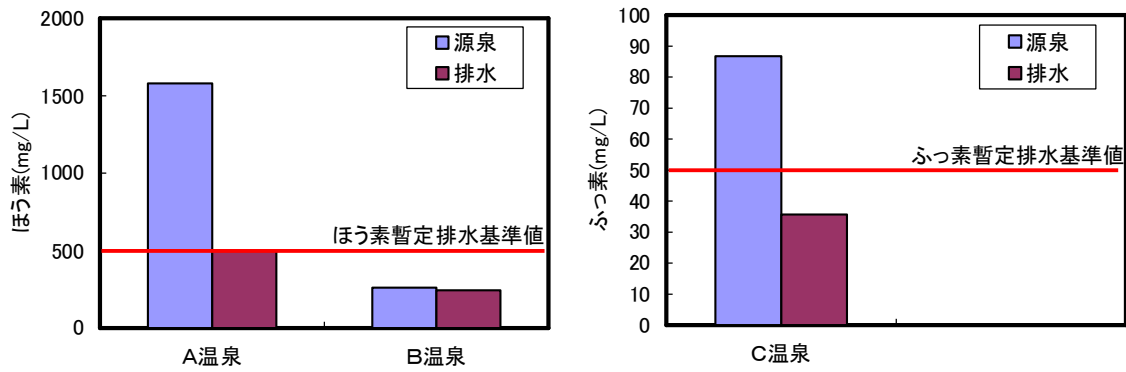


図 1-2 対象施設の源泉と排水濃度

2. 低減対策

温泉排水の低減対策として考えられる方策は表 2-1 の通りである。

表 2-1 排水のほう素・ふっ素濃度の低減方策

低減方策		具体的内容	備考
(1)	源泉変更	ほう素、ふっ素濃度が低い源泉に変更。	・施設の近傍（数百メートル以内）から取水可能で、当該施設が必要な湯量を取水可能と考えられる未利用源泉
(2)	源泉取水量削減＋循環ろ過	源泉の取水量を減らし、循環ろ過とする。	・源泉が複数ある場合は源泉を一部廃止。 ・自然湧出の源泉の場合には施設への取水量を削減。 ・動力揚湯の源泉の場合にはポンプ取水量を削減。 ・源泉の取水量削減に伴い循環ろ過を実施。
(3)	源泉取水量削減＋加水	源泉の取水量を減らし、その分加水量を増やす。	・源泉の取水量を削減した分、他の水（上水道、井戸水等）で加水を行う。
(4)	排水口濃度の平準化	高濃度排水を排出管理することにより濃度を低減	・排水系統を見直し、高濃度排水と低濃度排水を混合して平準化する。
(5)	排水処理技術（個別処理）	排水処理技術の導入	・温泉施設で実験実績のある方式を採用。
(6)	排水処理技術（共同処理）	同上	・近傍に複数の温泉利用施設が集まっている場合に実施。

3. 調査結果

調査対象施設について、現地踏査・ヒアリングし、低減対策を検討した。

3. 1 A温泉

1) 排水系統

A温泉の現況の排水系統を図3-1に示す。公共用水域への排水は3箇所あり、温泉排水No.1+浄化槽A処理水、温泉排水No.2、浄化槽B処理水である。

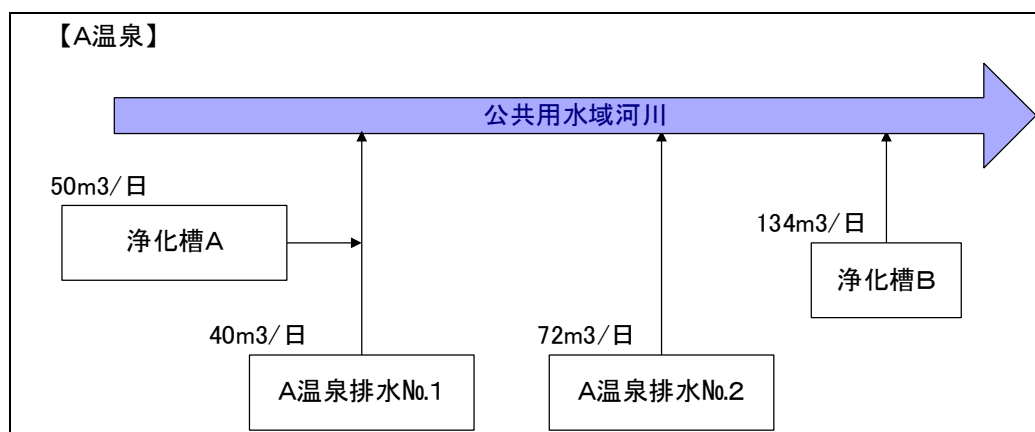


図3-1 A温泉の排水系統（流量は計画値）

2) 低減対策

A温泉における低減対策及び概算費用を表3-1に示す。現地踏査の結果ではNo.1の源泉変更、No.3の井戸水による加水は低減方策として適用することはできなかった。No.2の循環ろ過は排水濃度をおおむね半減する場合について試算を行った。No.4の排水口濃度の平準化は3箇所にわかれている排水系統を一つに統合するものであり、当該低減方策を行った場合の排水濃度を試算すると図3-2の通りとなる。試算に当たっては流量として計画値を用いており、排水のほう素濃度は最大で約300mg/L、平均的には約100mg/Lとなっている。

表3-1 低減対策（A温泉）

No.	低減方策	内容	概算費用(百万円)		備考
			イニシャル	ランニング	
1	源泉変更	新規源泉配管100m	2	—	新規源泉はない
2	源泉取水量削減+循環ろ過	半量ろ過(55m³/日)	38 (28)	26 (18)	
3	源泉取水量削減+加水	井戸水で加水	14	6	井戸がない
4	排水口濃度の平準化	3系統の排水を1系統にする。	2	0	最も簡易
5	排水処理技術(個別処理)	排水濃度400mg/L	11	226	
6	排水処理技術(共同処理)	—	—	—	—

注) No.2のカッコ内数値は加温設備がない場合

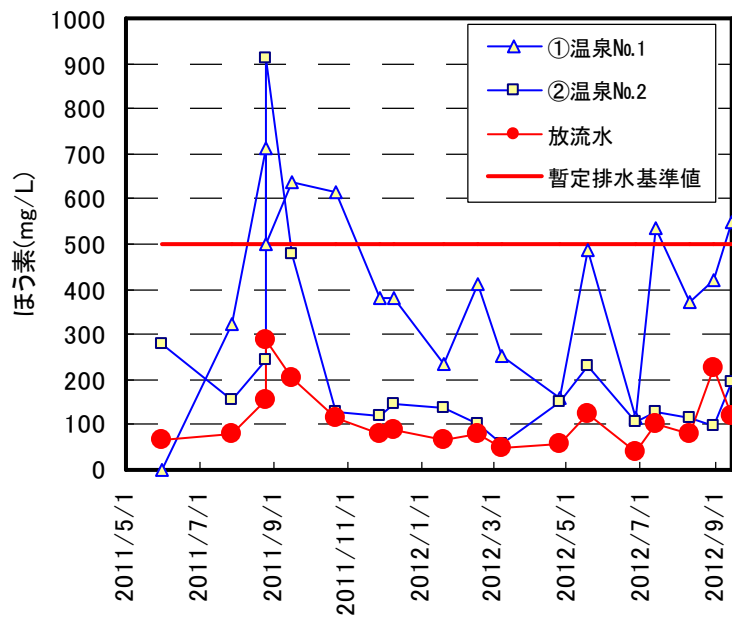


図 3-2 排水合口化による濃度試算

3. 2 B温泉

1) 排水系統

B温泉の現況排水系統を図3-3に示す。温泉排水は道路の側溝（道路下部の排水溝）に放流され、数十メートルで近隣の温泉排水と合流後、河川に流れ込んでいる。

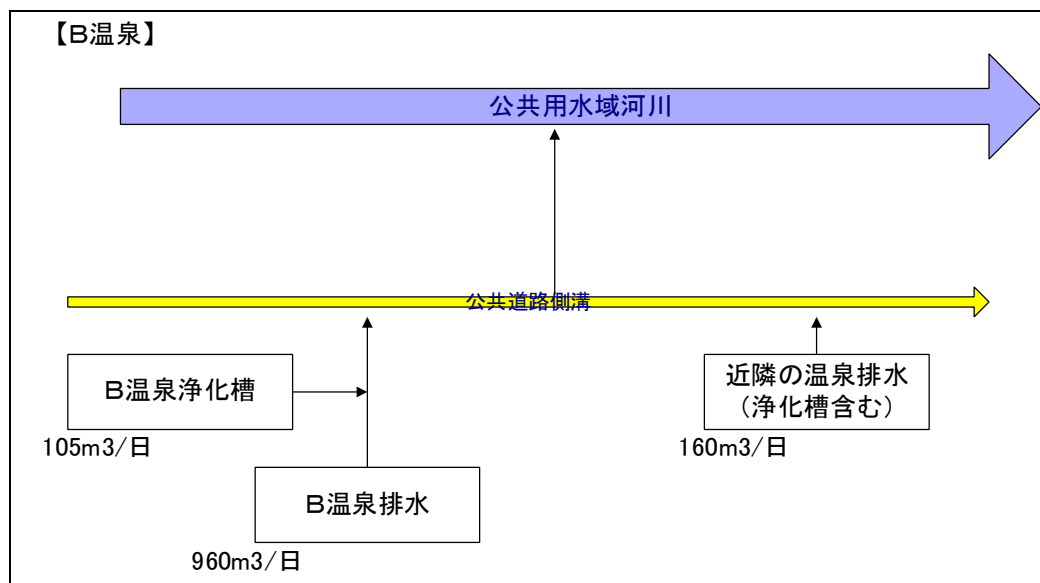


図3-3 B温泉の排水系統

2) 低減対策

B温泉における低減対策及び概算費用を表3-2に示す。現地踏査の結果ではNo.1の源泉変更、No.3の井戸水による加水、No.4の井戸水を活用した排水濃度の平準化は低減方策として適用することはできなかった。また、No.6は高費用となるため導入は困難と判断される。また、No.2循環ろ過についてはスケールが発生するなどの課題が想定された。

表3-2 低減対策（B温泉）

No.	低減方策	内容	概算費用(百万円)		備考
			イニシャル	ランニング	
1	源泉変更	新規源泉配管100m	3.7	—	新規源泉はない
2	源泉取水量削減+循環ろ過	半量ろ過(500m³/日)	84 (64)	86 (55)	
3	源泉取水量削減+加水	井戸水で加水	27	37	地盤沈下
4	排水口濃度の平準化	井戸水で2倍希釈(1000m³/日)	7	1.3	地盤沈下
5	排水処理技術(個別処理)	—	—	—	—
6	排水処理技術(共同処理)	排水濃度230mg/L	43	860	

注) No.2のカッコ内数値は加温設備がない場合

3. 3 C温泉

1) 排水系統

C温泉の現況排水系統を図3-4に示す。温泉排水は強酸性のため中和処理を行い、近隣の温泉施設と共同の浄化槽排水、近隣の温泉施設の中和処理排水を混合し河川に放流している。

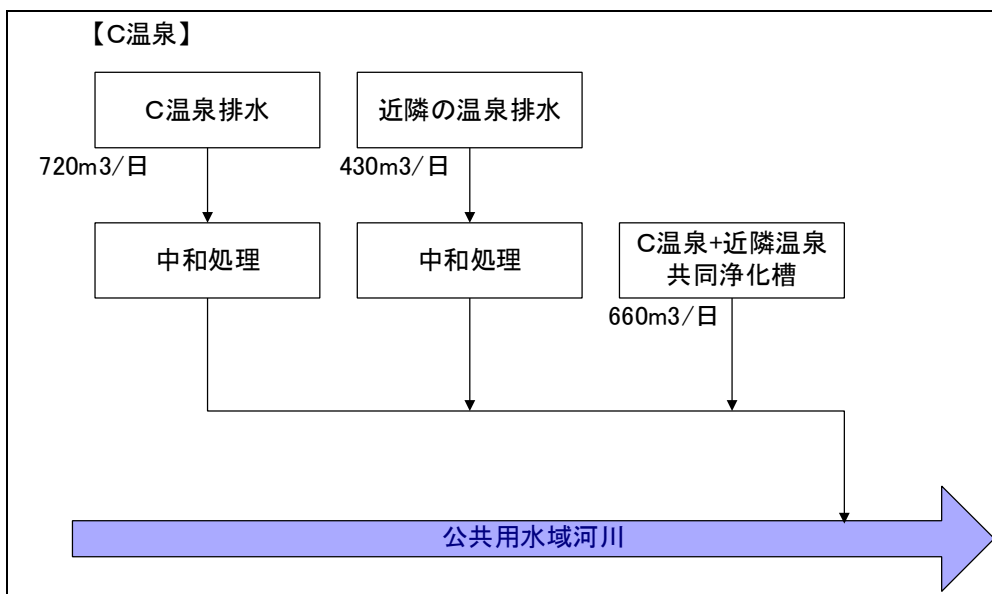


図3-4 C温泉の排水系統

2) 低減対策

C温泉における低減対策及び概算費用を表3-3に示す。現地踏査の結果ではNo.1の源泉変更、No.3沢水による加水、No.4の沢水を活用した平準化は低減方策として適用することはできなかった。また、No.2の循環ろ過は排水濃度をおおむね半減する場合について試算を行った。No.6の共同処理については現在、本年度実験が実施されているところである。

表3-3 低減対策 (C温泉)

No.	低減方策	内容	概算費用(百万円)		備考
			イニシャル	ランニング	
1	源泉変更	新規源泉配管100m	2.9	—	新規源泉はない
2	源泉取水量削減+循環ろ過	半量ろ過(360m³/日)	58	39	
3	源泉取水量削減+加水	沢水で加水	7	1	流量不安定
4	排水口濃度の平準化	沢水で2倍希釈(720m³/日)	2	0	流量不安定
5	排水処理技術(個別処理)	—	—	—	—
6	排水処理技術(共同処理)	排水濃度30mg/L	実験中	実験中	

<参考>

表1 事業者ヒアリング等調査を行なった施設 49 施設 (H23 環境省報告書)

施設番号	濃度が高い項目	施設区分	経営主体	特定施設の設置の有無	特定施設の種類等	施設の源泉			備考
						利用源泉本数	源泉のほう素・ふっ素濃度 (温泉分析書より) (mg/l)	温泉ゆう出の形態 (温泉法に基づく掘削・動力の設置の許可状況より判定)	
1	ほう素	宿泊施設	-	有	66-2イ・66-2ハ・72	2	1580・1540	2本とも掘削自噴	
2	ほう素	公衆浴場	公営	無		1	738	自然湧出	
3	ほう素	公衆浴場	-	無		1	202	動力揚湯	
4	ほう素	公衆浴場	-	有	66-5	1	210	動力揚湯	
5	ほう素	公衆浴場	公営	無		1	245	掘削自噴	
6	ほう素	公衆浴場	-	無		1	244	動力揚湯	
7	ほう素	宿泊施設	公営	有	66-2イ・66-2ハ	1	226	掘削自噴	
8	ほう素	公衆浴場	公営	無		1	226	掘削自噴	施設番号7と同じ源泉を利用
9	ほう素	公衆浴場	公営	無		1	226	掘削自噴	施設番号7と同じ源泉を利用
10	ほう素	その他	-	無		1	226	掘削自噴	施設番号7と同じ源泉を利用
11	ほう素	その他	公営	無		1	300	掘削自噴	
12	ほう素	宿泊施設	-	有	66-2イ・66-2ロ・66-2ハ	1	300	掘削自噴	施設番号11と同じ源泉を利用
13	ほう素	宿泊施設	-	有	66-2イ・66-2ロ・66-2ハ	2	202・162	掘削自噴・動力揚湯	
14	ほう素	公衆浴場	-	無		2	170・152	掘削自噴・一	施設番号13と同じ温泉地であったため調査
15	ほう素	その他	公営	無		1	386	動力揚湯	
16	ほう素	公衆浴場	公営	無		1	258	動力揚湯	
17	ほう素	公衆浴場	-	無		1	270	動力揚湯	
18	ほう素	公衆浴場	-	無		1	245	動力揚湯	
19	ほう素	公衆浴場	-	無		1	453	動力揚湯	
20	ほう素	公衆浴場	-	無		5	542・18・一・39・219	5本とも動力揚湯	3号井の濃度は不明
21	ほう素	宿泊施設	-	無	下水道接続	1	215	動力揚湯	施設番号26と同じ源泉を利用
23	ほう素	宿泊施設	-	無	下水道接続	1	215	動力揚湯	施設番号26と同じ源泉を利用
24	ほう素	宿泊施設	-	無	下水道接続	1	215	動力揚湯	施設番号26と同じ源泉を利用
25	ほう素	宿泊施設	-	無	下水道接続	1	215	動力揚湯	施設番号26と同じ源泉を利用
26	ほう素	その他	-	無		1	215	動力揚湯	
27	ふっ素	宿泊施設	-	有	66-2	1	86.7	自然湧出	
28	ふっ素	宿泊施設	-	有	66-2・72	1	86.7	自然湧出	施設番号27と同じ源泉を利用
29	ふっ素	宿泊施設	-	有	66-2	1	86.7	自然湧出	施設番号27と同じ源泉を利用
30	ふっ素	宿泊施設	-	有	66-2	1	86.7	自然湧出	施設番号27と同じ源泉を利用
31	ふっ素	公衆浴場	-	無		1	84.8	動力揚湯	
32	ふっ素	宿泊施設	-	有	66-2イ・66-2ロ・66-2ハ	1	40.9	動力揚湯	
33	ふっ素	宿泊施設	-	有	66-2イ・66-2ロ・66-2ハ	1	33.0	動力揚湯	施設番号32と同じ温泉地であったため調査
34	ふっ素	宿泊施設	-	有	66-2イ・66-2ロ・66-2ハ	1	30.6	動力揚湯	施設番号32と同じ温泉地であったため調査
35	ほう素	宿泊施設	-	有	66-2イ・66-2ハ	1	181	自然湧出	
36	ほう素	公衆浴場	公営	無		1	153	動力揚湯	
37	ふっ素	宿泊施設	-	有	66-2イロハ	3	27.5(3つの混合泉)	動力揚湯	
38	ふっ素	宿泊施設	-	有	66-2イロハ	3	27.5(3つの混合泉)	動力揚湯	施設番号37と同じ源泉を利用
39	ふっ素	宿泊施設	-	有	66-2イロハ	3	27.5(3つの混合泉)	動力揚湯	施設番号37と同じ源泉を利用
40	ふっ素	公衆浴場	-	無		1	24.5	動力揚湯	
41	ふっ素	公衆浴場	-	無		1	24.3	動力揚湯	
42	ふっ素	公衆浴場	-	無		2	26.9	動力揚湯	
43	ふっ素	宿泊施設	-	有	66-2イ . ハ . 72	1	30.3	動力揚湯	
44	ふっ素	宿泊施設	公営	無		1	32.1	動力揚湯	
45	ふっ素	宿泊施設	-	有	66-2イ・66-2ハ	1	32.1	動力揚湯	施設番号44と同じ源泉を利用
46	ふっ素	その他	公営	無		1	20.4	掘削自噴	
47	ふっ素	その他	公営	無		1	20.4	掘削自噴	施設番号46と同じ源泉を利用
48	ふっ素	宿泊施設	-	有	66-2	1	20.4	掘削自噴	施設番号46と同じ源泉を利用
49	ふっ素	宿泊施設	-	有	66-2	1	20.4	掘削自噴	施設番号46と同じ源泉を利用
50	ふっ素	公衆浴場	公営	無		1	20.4	掘削自噴	施設番号46と同じ源泉を利用

22 番の施設は調査が実施できなかった施設である。

注1：源泉のほう素・ふっ素濃度は温泉分析書に記載されている濃度である。

注2：温泉ゆう出の形態については温泉法に基づく掘削、動力設置の許可状況を元に分類したものである。

【施設種別別源泉濃度と排水濃度の関係（H23 環境省報告書）】

① 宿泊施設

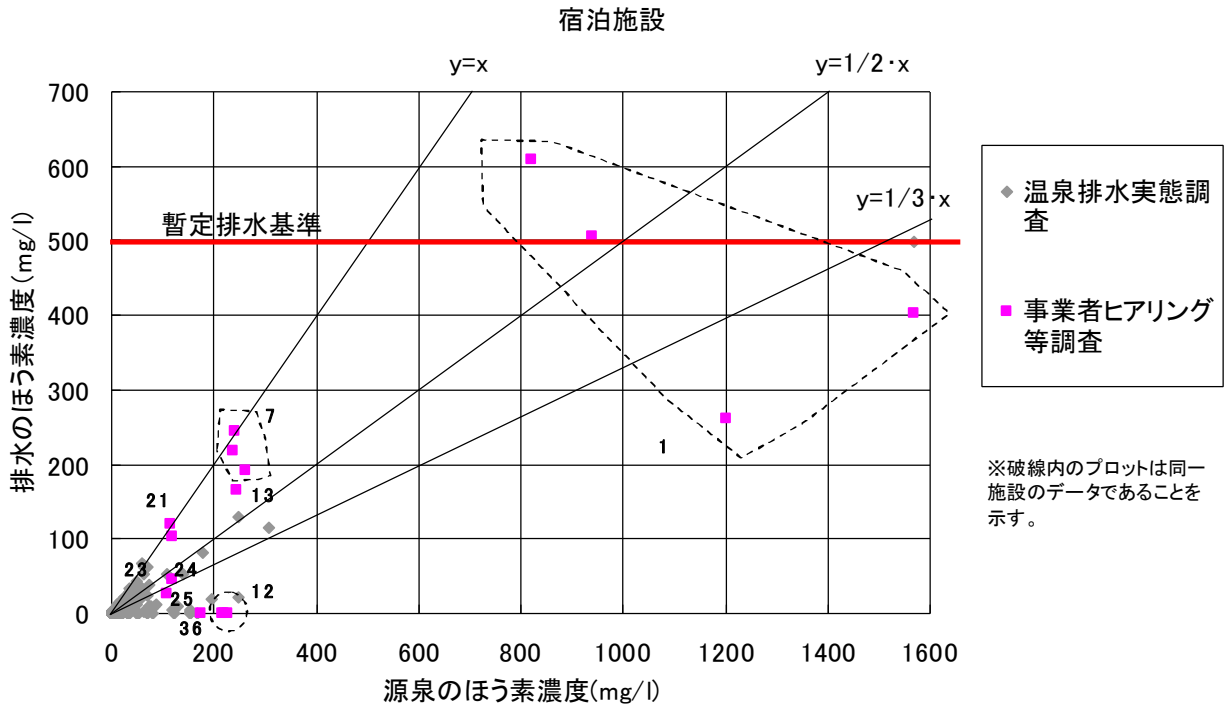


図1 源泉と排水のほう素濃度の関係（宿泊施設：休止中の施設を含む）

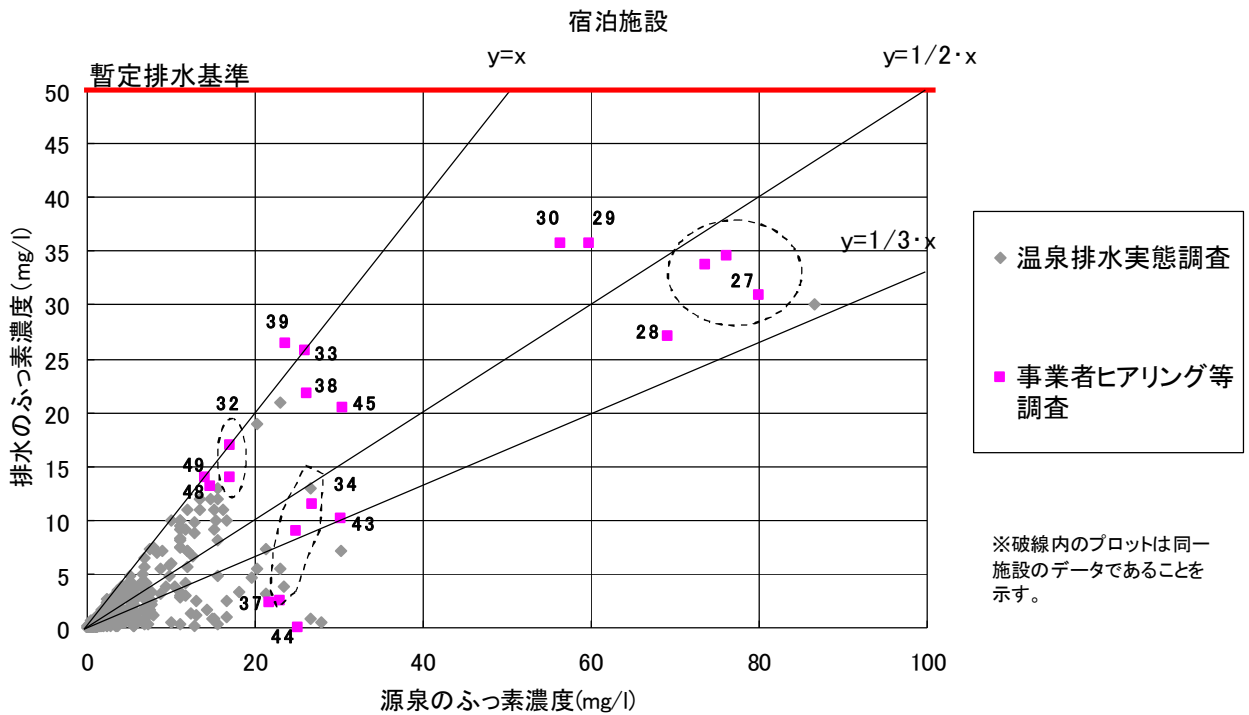


図2 源泉と排水のふっ素濃度の関係（宿泊施設：休止中の施設を含む）

②公衆浴場

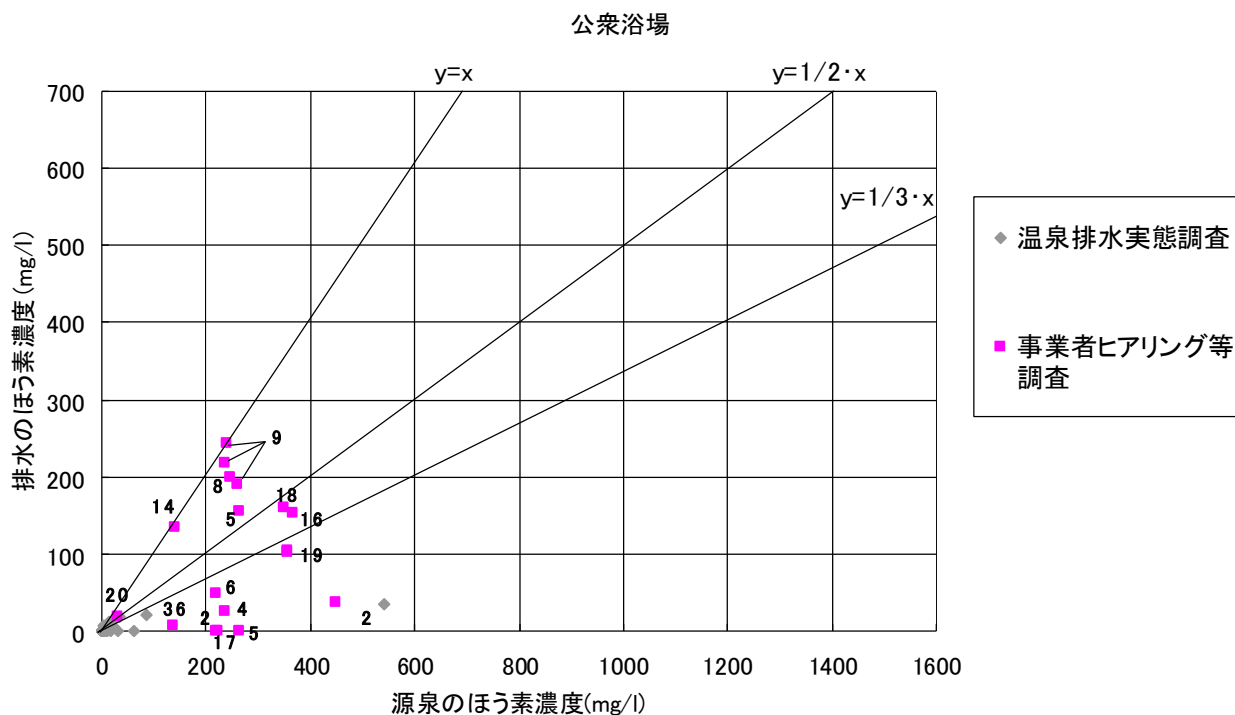


図3 源泉と排水のほう素濃度の関係（公衆浴場：休止中の施設を含む）

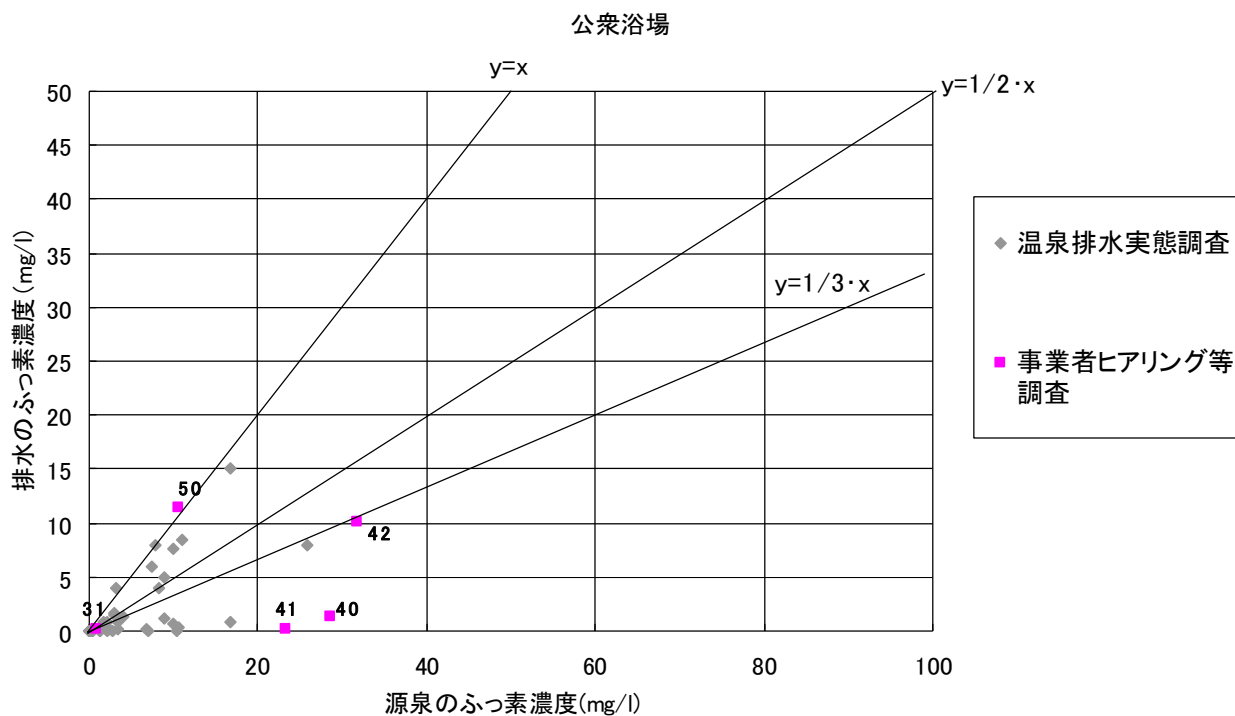


図4 源泉と排水のふっ素濃度の関係（公衆浴場：休止中の施設を含む）

③その他

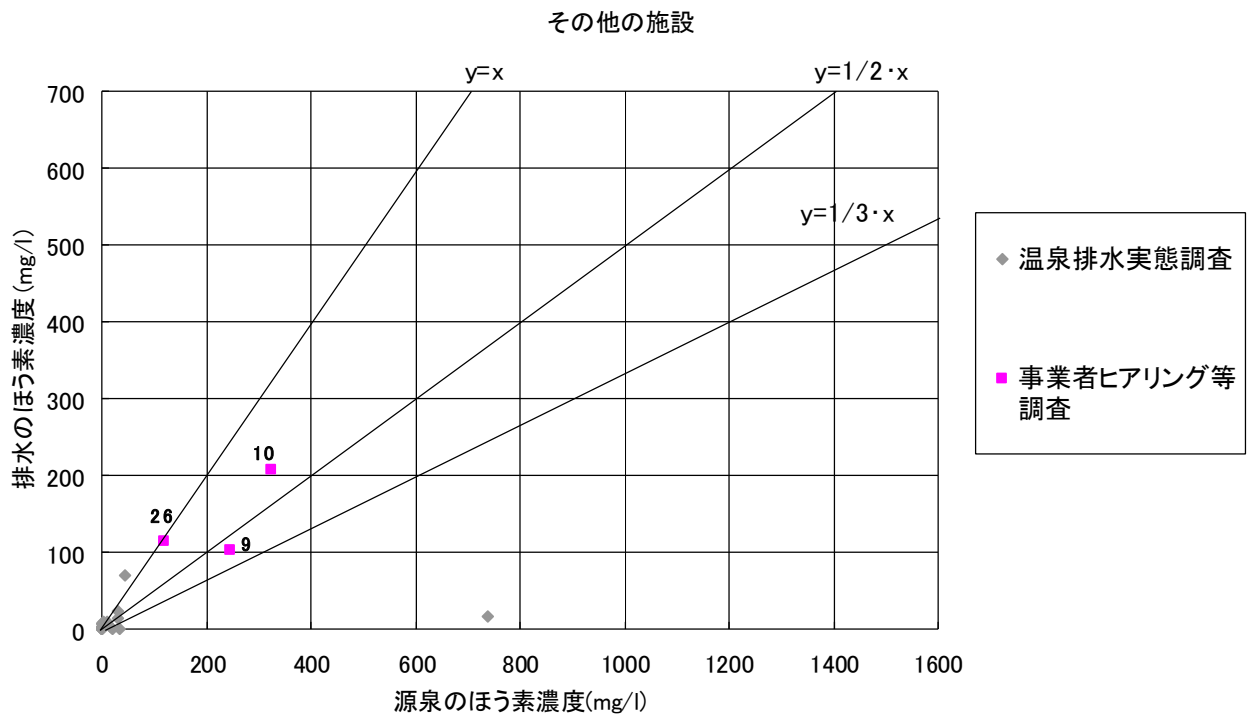


図5 源泉と排水のほう素濃度の関係 (その他の施設：休止中の施設を含む)

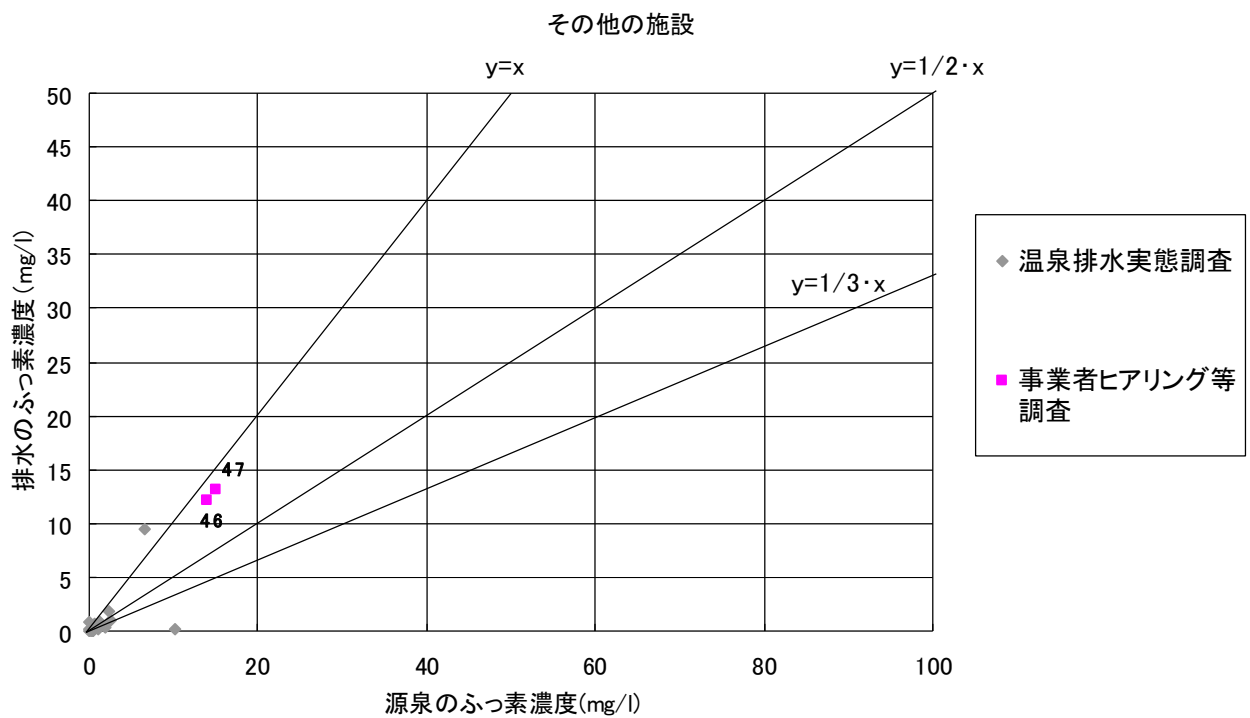


図6 源泉と排水のふっ素濃度の関係 (その他の施設：休止中の施設を含む)

1. ほう素処理技術

過年度資料よりほう素処理技術を整理し表-1に示す。処理技術として凝集沈殿法、吸着法、逆浸透膜(RO)法、ゲル化法、水熱鉱化法、水耕栽培法などが報告されている。温泉への適用可能な方法としては吸着剤で排水をろ過するか、或いは吸着能力を有する特殊な薬剤を用いて排水の凝集沈殿処理を行うか、いずれかの方法が現時点では考えられる。

表-1 ほう素の処理技術

No.	処理技術の区分	技術の名称	技術の特徴	備考
1	凝集沈殿法	硫酸バンドー消石灰法	硫酸バンドと消石灰により高 pH 域で生成されるアルミン酸カルシウムにほう素が吸着あるいは反応除去される。	
2	凝集沈殿法	塩化セリウム系凝集剤	多孔質酸化セリウムを用いた凝集沈殿法であり、アルミニウム塩、鉄塩、マグネシウム塩、カルシウム塩を凝集剤とした方法よりも除去率が高い。	
3	凝集沈殿法	ボロンC法	ボロンC(A液とB液の2液を一定比率で添加する資材であり、粘土の構成要素である Si 等を主成分とした無機薬剤)を用いて、吸着、沈殿処理する方法。	環境省実証試験 2006
4	凝集沈殿法	ヘルディ法	濃縮された樹脂再生廃液中のほう素(数百～数千 mg/l)を 30～50mg/l まで処理する技術	
5	吸着法 (イオン交換法)	キレート樹脂 (グルカミン型樹脂)	N-メチルグルカミン型のほう素選択イオン交換樹脂を用いて処理する方法。キレート結合によって、イオン結合だけでなく錯体構造でほう素などの半金属、金属を補足する。通常の陰イオン交換樹脂では交換順位(選択性)が低いために除去しにくい。	1979～ 環境省実証試験 2009 B-30
6	吸着法	ジルコニウム吸着剤	多孔質硫酸ジルコニウム(Zr-S)を用いて吸着除去する方法	2006
7	吸着法	セリウム系吸着剤	セリウム系吸着剤を用いてほう素を吸着除去する方法。	2010
8	吸着法	ポリビニルアルコール(PVA)	ほう素含有排水中のホウ酸とポリビニルアルコールでエーテル錯体を生成し、ゲル化して分離する方法。	2010
9	吸着法	アドソープ	天然無機性鉱物、酸化マグネシウム、カルシウム、シリカ、鉄等の物質からなる固化・不溶化剤(エコハーモニイ)に火山性風化粘土を添加し、さらに水を加え混合・混練り後、押し出し成型(平均粒径が4mm、6mm、8mmからなるペレット状)された吸着剤(アドソープ)を用いてほう素を吸着除去する技術	環境省実証試験 2009
10	ゲル化	マイクロカプセル法	廃液にカプセルゲル H1 剤を添加して廃液にチクソトロピー性を付与させた後、ドラムドライヤー等の乾燥機で乾燥させる。これにより廃棄中のほう素等の有害物質カプセルがシート状となる。	2006
11	逆浸透膜法	—	RO 膜を用いてほう素含有排水を濃縮する方法。濃縮液は産廃処理される。	2006
12	水熱鉱化法	—	ほう素含有排水に消石灰を混合して加圧下で 150℃に加熱し、ホウ酸カルシウムをとして回収する方法。	2005
13	水耕栽培法	—	排水中のほう素低減策として、水耕栽培植物を活用する方法。	2008

注：網掛けは環境省の実証試験において実証した技術。

2. ふっ素処理技術

過年度資料よりふっ素処理技術を整理し表-2に示す。処理技術として凝集沈殿法、晶析法、吸着法が報告されている。温泉への適用可能な方法としては吸着剤で排水をろ過するか、或いは吸着能力を有する特殊な薬剤を用いて排水の凝集沈殿処理を行うか、いずれかの方法が現時点では考えられる。

表-2 ふっ素の処理技術

No.	処理技術の区分	技術の名称	技術の特徴	備考
1	凝集沈殿法	カルシウム塩	廃水に消石灰を添加してフッ化カルシウムを生成させ、これに無機凝集剤と高分子凝集剤を併用添加してフロックを形成させ、沈殿分離する方法	
2	凝集沈殿法	アルミニウム塩	水酸化アルミニウムによる共沈によってふっ素を吸着除去する方法	1978～
3	凝集沈殿法	2段凝集法	カルシウム塩を添加後、さらに硫酸バンドを添加して、排水中のふっ素を凝集沈殿する方法	
4	凝集沈殿法	マグネシウム塩	マグネシウムにふっ素を吸着させ、除去する方法	2005
5	凝集沈殿法	機能性凝集剤 Gellannic	アルギン酸を有効成分とする機能性凝集剤を用いて除去する方法	2000
6	晶析法	フッ化カルシウム晶析法	フッ化カルシウムの種結晶を添加して、晶析により排水中のふっ素を回収する方法	環境省実証試験 2009
7	晶析法	NEF-1法	フッ化カルシウム晶析法の反応工程において、反応促進効果を有する特殊な粒状担体を分散・共存させ、ふっ素処理性を向上させる方法	環境省実証試験 2011
8	晶析法	フルオロアパタイト法	カルシウム凝沈処理水に高濃度で残留するカルシウムイオンを利用し、リン酸を含む添加薬剤を注入することで難溶性のフルオロアパタイトを結晶析出させる方法	2007
9	吸着法	活性アルミナ	活性アルミナにふっ素を吸着、除去する方法	1978～
10	吸着法	ハイドロタルサイト	陰イオンの吸着性能を飛躍的に向上させたNLDHを用いてふっ素を吸着除去する方法。	2010
11	吸着法	希土類化合物	希土類化合物からなる重金属吸着剤「アドセラ」を用いてふっ素を吸着除去する方法	環境省実証試験 2006
12	吸着法	リン酸ジルコニウム微結晶を利用した温泉排水処理技術	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	環境省実証試験 2012