

## 温泉分野の暫定排水基準の見直しに係る検討結果

### 1. 検討の経緯

温泉を利用する旅館業（以下「温泉旅館」という。）については、ほう素及びふっ素に係る暫定排水基準が設定されている。温泉排水については、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処理が難しい現状があり、温泉旅館において導入可能な新たな排水処理技術の開発等に関する検討を行いつつ、温泉排水対策に関する技術検討会等を設置し、排水濃度の低減方策や温泉排水対策のあり方について検討を行ってきた。

現在の暫定排水基準が令和4年6月30日に適用期限を迎えるにあたり、今後の温泉排水対策の在り方や温泉旅館に係る暫定排水基準の見直し案等について検討を行った。

### 2. 温泉旅館に係る暫定排水基準の設定状況について

温泉旅館に係る暫定排水基準は、排水実態、導入可能な温泉排水処理技術の開発動向等を踏まえ設定している。

ほう素の暫定排水基準については、ほう素の一般排水基準が設定された当初（平成13年7月）から変更していない。

ふっ素については、平成25年に適用期限を迎えた際の見直しにおいて、日平均排水量50m<sup>3</sup>未満の温泉旅館、又は、昭和49年12月1日に現に湧出していた温泉を利用する温泉旅館については、利用する源泉が自然湧出以外のものに限り、暫定排水基準を50mg/Lから30mg/Lに強化した。その他のふっ素の暫定排水基準は、ふっ素の一般排水基準が設定された当初から変更していない。

#### ○一般排水基準（平成13年7月1日施行）

ほう素：10mg/L（海域以外の公共用水域）、230mg/L（海域）

ふっ素：8mg/L（海域以外の公共用水域）、15mg/L（海域）

#### ○暫定排水基準（令和元年7月1日施行）

ほう素：500mg/L

ふっ素：

旅館業（温泉を利用するもの）		日平均排水量	
		50m <sup>3</sup> 未満	50m <sup>3</sup> 以上
温泉の 湧出時期	昭和49年12月1日に現に 湧出していた温泉を利用	30mg/L（自然湧出以外） 50mg/L（自然湧出）	
	昭和49年12月1日に現に 湧出していなかった温泉を利用		15mg/L

#### （参考）主な健康影響

- ・ほう素：ラットを用いた催奇形性試験における胎児の体重増加抑制、高濃度の摂取による嘔吐、腹痛、下痢及び吐き気等の発症
- ・ふっ素：過剰な摂取による斑状歯の発症

### 3. 排水濃度の実態について

全国の自治体にアンケート調査を行い、一般排水基準（ほう素：10mg/L、ふっ素：8mg/L）を超える源泉を利用する温泉旅館数等を集計した。

ほう素については、ほう素濃度が10mg/Lを超える源泉を利用し、公共用水域に排水する温泉旅館（648施設、排出先不明を含む）のうち、一般排水基準を達成している割合は全体の約44%（287施設）で、排水のほう素濃度が判明している温泉旅館（457施設）のうち約63%であった（表1）。

ふっ素については、ふっ素濃度が8mg/Lを超える源泉を利用し、公共用水域に排水する温泉旅館（488施設、排出先不明を含む）のうち、一般排水基準を達成している割合は全体の約36%（176施設）で、排水のふっ素濃度が判明している温泉旅館（316施設）のうち約56%であった（表2）。

表1 ほう素濃度が10mg/L を超える源泉を利用する温泉旅館数の集計結果

	施設数	備考
特定施設の設置届出があり、ほう素濃度が一般排水基準値（10mg/L）を超える源泉を利用する施設数	736	排出先不明を含む
（内）公共用水域に放流する施設	648	排出先不明を含む
（内）海域に放流する施設	74	
（内）排水中ほう素が230mg/L超の施設	0	
（内）排水中ほう素濃度が230mg/L以下の施設	54	
（内）排水中ほう素濃度が不明の施設	20	
（内）海域以外に放流する施設	574	排出先不明を含む
（内）排水中ほう素が10mg/L超の施設	170	
（内）排水中ほう素濃度が10mg/L以下の施設	233	
（内）排水中ほう素濃度が不明の施設	171	
（内）排水を下水道に放流する施設	88	
【参考】温泉旅館	13,050	温泉利用状況（環境省自然環境局調べ）令和元年度末
【参考】旅館業	65,996	水質汚濁防止法施行状況調査（環境省水・大気環境局水環境課）令和元年度末

表2 ふっ素濃度が8 mg/Lを超える源泉を利用する温泉旅館数の集計結果

	施設数	備考
特定施設の設置届出があり、ふっ素濃度が一般排水基準値(8mg/L)を超える源泉を利用する施設数	589	排出先不明を含む
(内) 公共用水域に放流する施設	488	排出先不明を含む
(内) 海域に放流する施設	14	
(内) 排水中ふっ素が15mg/L超の施設	0	
(内) 排水中ふっ素濃度が15mg/L以下の施設	5	
(内) 排水中ふっ素濃度が不明の施設	9	
(内) 海域以外に放流する施設	474	排出先不明を含む
(内) 排水中ふっ素が8mg/L超の施設	140	
(内) 排水中ふっ素濃度が8mg/L以下の施設	171	
(内) 排水中ふっ素濃度が不明の施設	163	
(内) 排水を下水道に放流する施設	101	
【参考】温泉旅館	13,050	温泉利用状況(環境省自然環境局調べ)令和元年度末
【参考】旅館業	65,996	水質汚濁防止法施行状況調査(環境省水・大気環境局水環境課)令和元年度末

#### 4. 温泉旅館の排水濃度低減対策の状況について

##### (1) 排水処理技術の導入可能性について

温泉排水には、ほう素や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現状がある。

このことから、環境省では平成18年度より、温泉排水を対象とした新しい排水処理技術の開発を支援し、温泉旅館における処理技術導入の可能性を検証することを目的とした実証試験に取り組んできた。平成18年度～令和2年度にかけて実施された温泉排水を用いた実証試験はほう素処理で7技術、ふっ素処理で4技術である（表3、表4）。

##### (i) ほう素

表3のとおり、実証試験を行った全ての処理技術について、それぞれ設定した処理後の水質目標を達成するためにはコスト面での課題がある。

過年度の主な技術概要とコスト目標が未達成となった主な要因や技術的な課題を以下に整理する。

- 平成21年度及び平成23年度に実施されたカラム通水式による吸着法は、ほう素に対して高い選択性を有する吸着剤（イオン交換樹脂）を充填したカラムに排水を通水し、ほう素を吸着除去する方法である。  
(主な課題)
  - カラムに吸着したほう素を濃縮した後、その廃液を処理する必要がある。
  - ほう素濃度が高いことや他の共存物質もカラムに吸着することなどの理由から吸着剤の再生頻度や交換頻度が高く、ランニングコストがかかる。
  - 吸着剤の再生や交換などの作業時間も必要。
- 平成25～30年度に実施されたバッチ式による凝集沈殿法は、いずれも助剤を加えてpH調整した後、凝集剤を添加することでほう素を沈殿させて分離する方法である。  
(主な課題)
  - 温泉排水の共存物質の阻害を受けずにほう素の除去が可能であるが、添加する薬剤が沈殿するため、その処理コストが多大。
  - 薬剤量を増やしてもほう素除去率は大きく上昇しないため、ほう素濃度が高い排水を一般排水基準(10mg/L)以下まで低減することは困難。
  - 反応や沈殿に一定の時間が必要なため、寒冷地では凍結防止対策が必要。
- 令和2年度に実施された過酸化水素生成反応法（COP法）は、過酸化水素と排水中のほう素で錯体を形成させ、その上で別の薬剤にほう素を吸着させて除去する方法である。

##### (主な課題)

- 薬剤当たりの吸着容量が凝集沈殿法よりも大きく、ほう素の除去率が良

好であり、沈殿物の発生量が少ないことが利点であるが、温泉に含まれる共存物質による薬剤の消費等により薬剤の添加量が多くなる。

- 処理水のpH調整槽の設置が必要。
- 残渣からほう素が再溶出する。

(ii) ふっ素

表4のとおり、実証試験を行った全ての処理技術について、それぞれ設定した処理後の水質目標を達成するためにはコスト面での課題がある。

過年度の主な技術概要とコスト目標が未達成となった主な要因や技術的な課題を以下に整理する。

- 平成18年度、平成21年度及び平成24年に実施された吸着法は、吸着剤を充填したカラムに排水を通水させる、あるいは排水に吸着剤を注入し、ふっ素を吸着させて除去する方法である。

(主な課題)

- 排水に含まれる共存物質の影響により、スケールの発生や吸着阻害が起こるなど、頻繁に吸着剤の交換が必要。

- 平成23年に実施されたNEF-1法は、粒状担体を槽内で分散させることにより、カルシウムとふっ素との反応性を促進させることで処理性を向上させ、凝集沈殿を行う方法である。

(主な課題)

- 処理槽が数種類必要であり、イニシャルコストが課題。

(2) 排水処理技術の動向等について

温泉旅館からの排水中のほう素及びふっ素の処理技術の動向等について有識者等へのヒアリングを行い、今後の見通しについて調査した。

その結果を以下に整理する。

- ・現状の技術では、使用する薬剤量や沈殿物処理等にかかるコストを理由にコスト目標を達成できていないため、技術改良や安価な代替品を用いることによる更なるコストダウンを目的とした実証試験を行うことが必要ではないか。
- ・今後新たに検討できそうな処理技術については、現在基礎研究が中心であることから、情報収集を図るとともに、実証試験を行うためには中長期的な調査及び検討が必要ではないか。
- ・これまで、共存物質やほう素及びふっ素濃度が高い温泉旅館を中心に実証試験を実施してきた。処理技術の汎用性の確認や様々なケースの処理コストの試算を目的として、比較的濃度が低い温泉旅館も対象として実証試験を行うことが必要ではないか。

表3 ほう素の処理技術開発の実証試験結果

年度	処理技術名・処理方式	実証試験地	排水中ほう素濃度	目標とした処理後の水質	コスト目標 <sup>※1</sup> の達成状況	
					達成状況 <sup>※2</sup>	主な要因
H18	ボロン-C ほう素処理システム 【吸着、凝集沈殿（吸着剤注入式）】	A 温泉	最大 500mg/L 程度 (pH7~8 程度)	一般排水基準 (10mg/L) 以下	未達成 (980 倍)	吸着剤費、 汚泥処分費 等
H21	グルカミン基を結合させた樹脂を用いた 吸着【吸着（カラム通水式）】			一般排水基準 (10mg/L) 以下	未達成 (1340 倍)	吸着剤費 等
H21	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 【吸着（カラム通水式）】	B 温泉	平均 240mg/L 程度 (pH6~7 程度)	一般排水基準 (10mg/L) 以下	未達成 (710 倍)	吸着剤費 等
H23	新型キレート繊維と高濃度対応型凝集法 【吸着（カラム通水式）】	C 温泉	平均 10mg/L 程度 (pH2~4 程度)	未設定 (実証機関が自主的に実施した試験のため)	未達成 (100 倍)	吸着剤費、 処理薬剤費 等
H25	天然素材凝集剤を用いた凝集法 【凝集沈殿（バッチ式）】	A 温泉	平均 500mg/L 程度 (pH7~8 程度)	概ね 300mg/L 以下	未達成 (2.6 倍)	処理薬剤費、 汚泥処分費
H29	ヒドロキシアパタイト結晶法 【凝集沈殿（バッチ式）】	D 温泉	平均 18~27mg/L 程度 (pH8 程度)	一般排水基準 (10mg/L) 以下	未達成 (2.3 倍)	汚泥処分費
H30		A, B 温泉	A 温泉:80~246mg/L (pH7~8 程度) B 温泉:平均 230mg/L 程度 (pH7 程度)	概ね半減以下	未達成 (4~9 倍)	汚泥処分費
R1-R2	過酸化生成反応法(COP 法) 【吸着（バッチ式）】	A, B 温泉	A 温泉:152~483mg/L (pH7~8 程度) B 温泉:248~324mg/L (pH7 程度)	概ね半減以下	未達成 (3~6 倍)	処理薬剤費

※1 コスト目標（人件費等を除いた設備や排水処理そのもの等に係るコスト限る。）は、専門家等の助言を受け、イニシャルコスト1,000万円、ランニングコスト 300万円/年（日排水量100m<sup>3</sup>を想定）と設定

※2 括弧内はランニングコスト目標（300万円/年）との比較

表4 ふっ素の処理技術開発の実証試験結果

年度	処理技術名・処理方式	実証試験地	排水中 ふっ素濃度	目標とした処理後の水質	コスト目標 <sup>※1</sup> の達成状況	
					達成状況 <sup>※2</sup>	主な要因
H18	重金属吸着剤「アドセラ」【吸着（カラム通水式）】	C 温泉	平均 40mg/L 程度 (pH2~4 程度)	除去率 50%	未達成 (110 倍)	吸着剤費 等
H21	貝殻処理材を用いた吸着【吸着（カラム通水式）】			一般排水基準 (8mg/L)	未達成 (41 倍)	吸着剤費 等
H23	NEF-1 法【凝集沈殿】			概ね半減以下	未達成 (1.4 倍)	処理薬剤費 等
H24	リン酸ジルコニウム微結晶を利用した吸着【吸着（吸着剤注入式）】			概ね半減以下	未達成 (5.2 倍)	吸着剤費 等

※1 コスト目標（人件費等を除いた設備や排水処理そのもの等に係るコスト限る。）は、専門家等の助言を受け、イニシャルコスト1,000万円、ランニングコスト 300万円/年（日排水量100m<sup>3</sup>を想定）と設定

※2 括弧内はランニングコスト目標（300万円/年）との比較

(3) 排水処理以外の濃度低減対策の導入可能性について

公共用水域に排出する温泉旅館の一般的な排水フローの例を図1に示す。温泉旅館からの排水は、主に温泉水を含む入浴施設の浴槽排水と、ちゅう房施設、洗浄施設、客室等からの雑排水等が考えられる。

排水濃度を低減させるためには、流入側の濃度を抑制する方法と排水中の濃度を抑制する方法が考えられる。主な低減対策として、(1)の排水処理以外に検討し得る対策は表5の①～④が挙げられる。

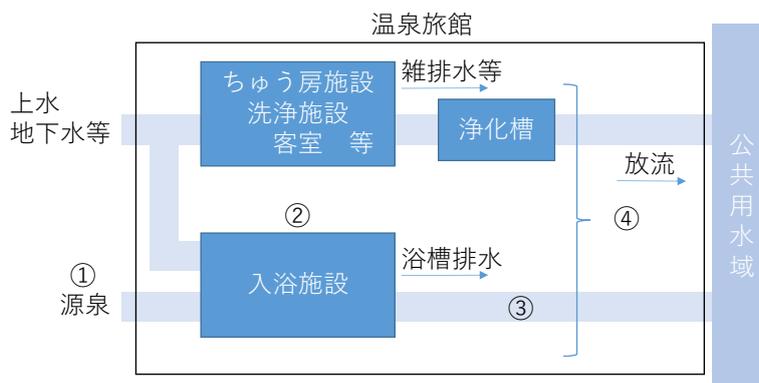


図1 温泉旅館の一般的な排水フロー

①～④の濃度低減対策について、源泉中のほう素及びふっ素濃度が高い温泉旅館を中心に現地調査又はヒアリング調査等を実施し導入可能性を整理した。その結果、いずれの対策も導入可能な温泉旅館は限定され、特に源泉中濃度が高い温泉旅館においては、①～④により一般排水基準を達成することは困難である。

表5 排水処理以外の濃度低減対策とその課題

濃度低減対策	課題
①源泉の変更 濃度が低い源泉への切り替え等により、流入中の濃度を低減させる方法。	<ul style="list-style-type: none"> <li>温泉の湧出形態が掘削自噴である場合、代替の低濃度源泉を調査し、新たに掘削等するためのコストが必要。</li> <li>自然に湧出する温泉を特徴として営業している温泉旅館にとって源泉の変更は容易ではない。</li> </ul>
②源泉取水量の削減 浴槽水を循環利用する等により源泉取水量を削減し、雑排水等による平準化効果を高める方法。	<ul style="list-style-type: none"> <li>源泉からの豊富な湯量や源泉かけ流しを特徴として営業している温泉旅館にとって加水による希釈や循環利用の導入は容易ではない。</li> <li>循環利用をする場合でも浴槽の清掃などで排水する際に、濃度低減を行う必要がある。</li> <li>自然に湧出する温泉を利用する旅館では導入できない手法である。</li> </ul>
③廃棄物処理 高濃度排水を廃棄物として処理する方法。	<ul style="list-style-type: none"> <li>温泉旅館のうち排水量が50m<sup>3</sup>を超える温泉旅館は4～5割程度と多く、排水中の濃度に濃淡がないため、ほう素又はふっ素濃度の高い汚水を抽出して廃棄物として処理することは困難。</li> </ul>
④排水濃度の平準化 浴槽の排水管を、客室等からの雑排水の排水管と統合することで排水濃度を低減する方	<ul style="list-style-type: none"> <li>浴槽排水と雑排水の排水管を統合する方法は、比較的成本はかからないものの、高濃度の温泉旅館では既に導入されていることもあり、更なる統合による対策の効果は限定的。</li> </ul>

法や貯留槽を設置することで排水濃度を平準化する方法。

- ・雑排水等の浄化槽排水は間欠的に排水されるケースもあり、排水量の管理が必要。
- ・貯留槽の設置については、温泉旅館からの排水量が多いこともあり、濃度平準化に必要な貯留槽の設置コストが高く、設置スペースの確保も課題。

## 5. 今後の温泉旅館に係る排水対策のあり方（案）

### （1）温泉旅館に係る暫定排水基準の中長期的なあり方

4. の結果のとおり、温泉旅館の排水中のほう素及びふっ素濃度を一般排水基準まで低減させるためには、導入可能な排水処理技術が必須となる。現時点で導入可能な排水処理技術の見通しが立っておらず、温泉旅館業者が取り得る排水濃度の低減対策に限られる中、3年ごとに暫定排水基準を見直すことの効果は限定的である。

したがって、温泉旅館に係るほう素及びふっ素の暫定排水基準については、その適用期間を「当分の間」とし、ほう素及びふっ素の環境基準の達成状況等を監視しつつ、温泉旅館からの排水に関する処理技術の動向を踏まえて暫定排水基準を見直すこととする。

### （2）暫定排水基準値の見直しについて

暫定排水基準の見直しに当たっては、温泉旅館の利用する源泉や排水実態等を踏まえ、可能な範囲で暫定排水基準値を低減させることを基本とする。

#### （i）ほう素の暫定排水基準値の見直しについて

排水濃度が最も高いA旅館においては、源泉のほう素濃度が約1,500mg/Lと高く、これまで排水濃度の平準化等の対応を進めているものの、直近のほう素の排水濃度は409mg/Lである。引き続き、更なる平準化等の検討を進めているところではあるが、その低減効果は限定的であり、排水濃度を大幅に低減することは困難な状況である。

一方で、A旅館の利用する源泉のほう素濃度は、温泉旅館が利用している源泉の中で突出して高い濃度である（図2）。その他の源泉を利用する温泉旅館のうち、最も排水濃度が高い温泉旅館（B旅館）の直近の排水濃度は240mg/Lである。

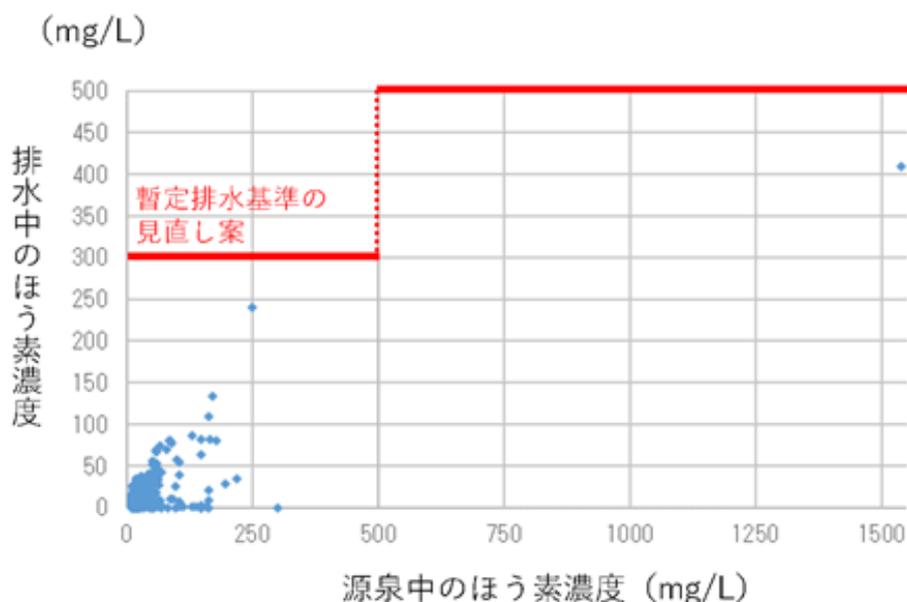


図2 温泉旅館の利用する源泉のほう素濃度と排水中のほう素濃度の関係

B旅館においては、湧水による希釈等の検討が行われているものの、雑排水を下水道に排除しているなどの理由から平準化等による濃度低減対策の効果が薄く、排水濃度を大幅に低減することは困難な状況である。

なお、A旅館及びB旅館の排出先の公共用水域の環境基準点において、ほう素の環境基準は達成されている。

これらのことから、源泉中のほう素濃度や排水濃度の実態等を踏まえると、ほう素の暫定排水基準値については表6のとおり見直すことが適当と考えられる。

表6 ほう素の暫定排水基準の見直し案

業種	許容限度
ほう素濃度が500mg/L以下の温泉を利用する旅館	300mg/L
ほう素濃度が500mg/Lを超える温泉を利用する旅館	500mg/L

(ii) ふっ素の暫定排水基準値の見直しについて

暫定排水基準50mg/Lが適用される温泉旅館のうち、高濃度でふっ素を排出する温泉は1地域であり、当該地域の温泉旅館に係るヒアリング調査を実施した結果、直近の排水実態は平均43mg/L、最大49mg/L（源泉濃度59.5mg/L）であったことから、排水濃度の状況等を踏まえ、現在の暫定排水基準を維持することが適当と考えられる。

暫定排水基準30mg/Lが適用される温泉旅館については、排水中のふっ素濃度が15mg/L～30mg/Lの範囲で推移している温泉旅館が24施設あり、直近の排水実態は平均19mg/L、最大30mg/Lであったことから、排水濃度の状況等を踏まえ、現在の暫定排水基準を維持することが適当と考えられる。

暫定排水基準15mg/Lが適用される温泉旅館については、排水中のふっ素濃度が8mg/L～15mg/Lの範囲で推移している温泉旅館が13施設あり、直近の排水実態は平均11mg/L、最大15mg/Lであったことから、排水濃度の状況等を踏まえ、現在の暫定排水基準を維持することが適当と考えられる。

(3) 今後の取組について

①温泉旅館からの排水による影響の監視

温泉旅館からの排水を由来としたほう素及びふっ素の環境基準の超過は現時点では確認されていないものの、引き続き関係自治体に必要な周知等を実施し、温泉旅館数の動向把握や常時監視等の取組により、ほう素及びふっ素の環境基準の達成状況等を的確に把握していく。

②温泉旅館からの排水の処理技術の動向把握及び技術実証

ほう素及びふっ素の処理の技術動向等を調査し、温泉旅館からの排水にも適用可能な技術を整理する。また、温泉旅館の経営実態や施設規模等を踏まえつつ、それらの技術について、導入可能性に係る予備調査を実施する。

導入可能性の見込まれる技術については、処理対象・目標を設定した上で実際の温泉旅館における実証試験を実施し、5年程度を目処に導入可能性の検証

結果を整理する。

③排水規制の課題への対応について

過年度からの検討において、特定施設のあり方や実態に応じた柔軟な排水規制のあり方について意見が出ており、今後、水質汚濁防止法の排水規制のあり方を検討する中でこれらの課題についても検討していく。