

ほう素等排水処理技術について

本モデル事業の新規対象分野として、「非金属元素排水処理技術分野（ほう素等排水処理技術）」が選定された。これは、旅館業やめっき・金属加工業等から排出されるほう素等を含む排水（温泉排水、めっき排水）を浄化するための技術分野をさしている。

1. ほう素について

ほう素は、単体では自然界に存在せず、ほう砂、ほう酸等のほう素化合物として存在する。環境中においては、河川水や地下水、海水、土壌中に含まれており、特に温泉水中には比較的高濃度で存在する。

ほう素化合物は、ガラス原料やほうろう、陶磁器の釉薬等に使用されるほか、ほう酸として医薬品、めっき溶剤、防腐剤・殺虫剤としての用途がある。

代表的なほう素化合物であるほう酸（オルトほう酸： H_3BO_3 ）や、ほう砂（四ほう酸ナトリウム： $B_4Na_2O_7 \cdot 10H_2O$ ）がある。いずれも無色透明な結晶であり、水に可溶である。

ほう素による人の健康被害としては、高濃度の摂取による嘔吐、腹痛、下痢及び吐き気などの症例が報告されている。また、これまでに行われた動物実験の結果、ラットを用いた催奇形性試験において胎児の体重増加抑制が認められている。

図表 1 代表的なほう素化合物

	ほう酸（オルトほう酸）	ほう砂（四ほう酸ナトリウム）
化学式 / 分子量	H_3BO_3 / 61.83	$B_4Na_2O_7 \cdot 10H_2O$ / 381.42
融点	185 (100～150 で1分子の水を失ってメタほう酸となる。)	75
比重	1.435	1.73
外観	真珠様の光沢をもつ無色の鱗片状の結晶 又は白色の結晶性粉末	固い結晶または粒状か結晶性の粉末で 無臭
水溶性	可溶	可溶
急性毒性	経口摂取による胃腸系障害（嘔吐、下痢） など	経口摂取による胃腸系障害（嘔吐、下痢） など
主な用途	ガラス原料、ほうろう、顔料、釉薬、殺虫剤、防腐剤、めっき溶剤など	分析試薬、釉薬、合成中間体など

資料) 国立医薬品食品衛生研究所ホームページ、神奈川県環境科学センターホームページより

2. ほう素及びその化合物への規制状況について

ほう素は、水質環境基準において要監視項目¹とされていたが、中央環境審議会における検討等を経て、平成 11 年には環境基本法に基づく水質環境基準健康項目とされている。また、ほう素は水道法に基づく水道水質基準の監視項目、化学物質管理促進法(PRTR 法)の第一種指定化学物質²としても挙げられている。

中央環境審議会の答申を踏まえ、ほう素(及びその化合物)は平成 13 年より、ふっ素(及びその化合物)、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素等と同じく、水質汚濁防止法の有害物質とされ、同年より排水規制が実施されている。ほう素及びその化合物は、水質汚濁防止法の特定期間について、10 mg/L(海域を除く公共用水域)の一律排水基準が定められている。

また、特定期間から公共下水道または流域下水道に排除される下水についても、同時期より同様な水質規制が実施されている。

なお、この排水基準をすべての工場等に直ちに適用するには、特に小規模かつ零細な事業者に対して多大なコスト負担となる場合があるため、平成 13 年の排水規制開始時より一部の業種については暫定排水基準を設定している。平成 16 年にはさらにその一部について、適用可能な排水処理技術や排出実態を調査した上で暫定排水基準を一部強化し、延長を行っている。

暫定排水基準の対象となっている産業のうち、第 3 次産業、特に温泉を利用する旅館業(その排水を受け入れている下水道業も影響を受ける)については、取り組みが遅れている状況である。また、製造業等第 2 次産業のうち、取り組みの進展によって暫定排水基準が強化されつつも全国一律基準に達していない産業には、電気めっき業、貴金属製造・再生業、ほう酸製造業があり、技術開発の促進等が求められている。

図表 2 ほう素及びその化合物に関する排水規制の経緯

規制区分		許容限度(mg/L)		
		水濁法制定時	施行令一部改正 (H13.7 ~ H16.6)	暫定措置延長後 (H16.7 ~ H19.6)
海域 以外の 公共 用水 域	暫 定 措 置	一般産業(暫定措置以外)	10	10
		電子部品製造業	25	10
		ほうろう釉薬製造業	50	50
		電気めっき業	70	50
		金属鋳業・粘土瓦製造業	150	150
		貴金属製造・再生業	150	50
		ほう酸製造業	160	100
		下水道業(旅館業からの排水受入有)	500	50
		旅館業	500	500
		海域(全産業・暫定措置なし)	230	230

網掛け部分は、暫定措置延長時に規制強化された区分

¹現時点では直ちに環境基準健康項目とはせず、知見の集積に努めるべきと判断されるものについて、環境省局長通知により位置づけたもの。知見の集積状況を勘案しつつ、健康項目への移行が検討される。

² 第一種指定化学物質:有害性があり、相当広範な地域の環境に継続して存すると認められる化学物質。PRTR 制度(化学物質排出移動量届出制度)の対象。354 物質を政令指定。

3. 公共用水域へのほう素排出状況について

わが国におけるほう素使用量は多く、平成 14 年度の PRTR 制度（化学物質排出移動量届出制度）における届出結果によると、公共用水域への届出排出量はほう素及びその化合物が約 2 千 4 百トン（第 2 位）となっている。

海域を除く公共用水域に排出されるほう素のうち、天然由来のものは主として温泉水に、人為由来のものは、主として電気めっき業やほうろう釉薬製造業等で使用されるほう素化合物に由来する。

旅館業において、ほう素を含む温泉水を利用する場合、浴槽からあふれ出たお湯等が、ほう素を含む排水として公共用水域等に排出される。ほう素を含む温泉水には、化石水（古海水など）由来のものが多いことから、これら温泉排水は、塩化物イオンやカルシウムイオンなども多量に含むことがある。

多くの旅館は、チェックアウト後に浴槽清掃を行うため、午前後半に温泉排水の流量が最大となる。清掃終了後、浴槽が満たされるまで温泉排水はほとんど発生せず、浴槽が満たされた後、一定流量で温泉排水が発生する（循環式温泉を除く）。浴槽清掃時の温泉排水量は、浴槽規模によって異なる。浴槽の規模は 20～100 t 規模のものが多い。宿泊客が多数利用する季節には、カラン由来の真水が多くなり、温泉排水中のほう素濃度が低下する。逆に梅雨時などの宿泊客が少ない季節には、温泉排水中のほう素濃度が源泉ほう素濃度に近づく。

日本全体の温泉湧出量を現在の温泉井戸数で除した場合、約 6 m³/h となる。また、国内大半の温泉はほう素濃度が 20mg/L 以下であるが、100mg/L 超のものも存在する。

金属表面処理やめっき、ガラス製造、陶磁器の釉薬製造などでは、ほう素化合物（ほう酸等）を使用するため、これらの工場排水にほう素が含まれる。

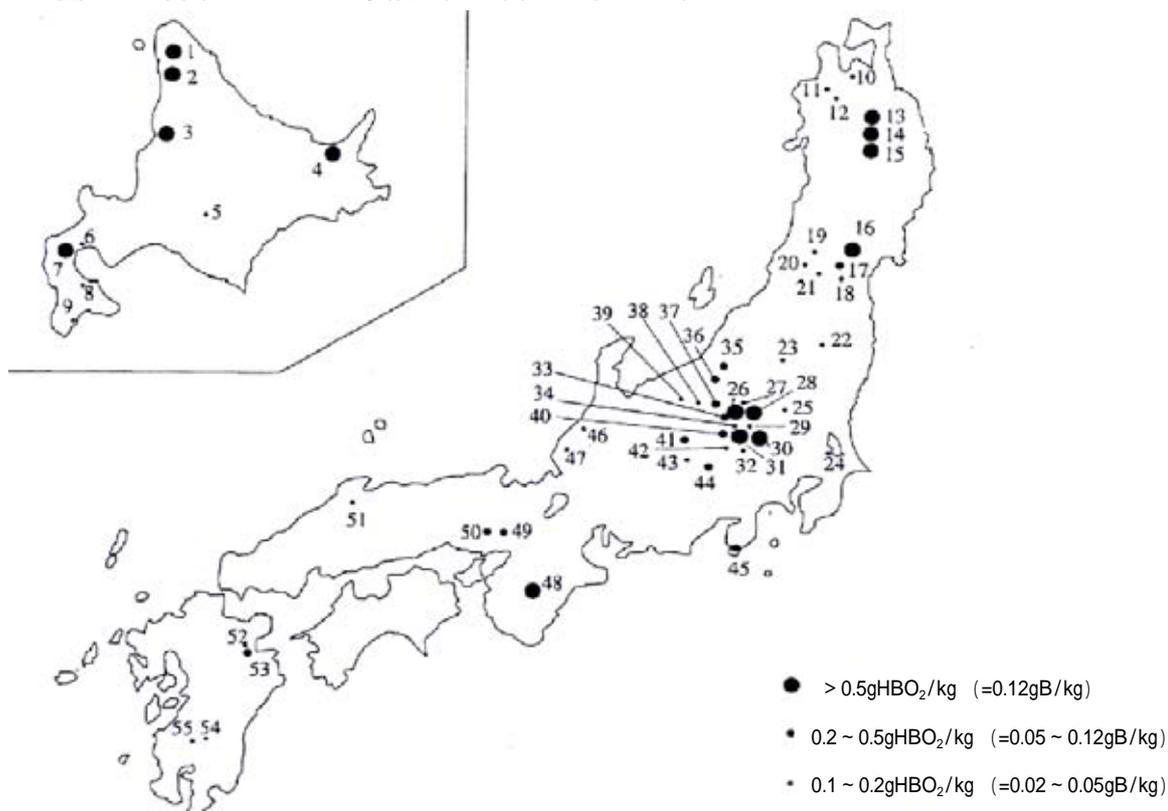
例として、ニッケルめっきのめっき液では、ほう酸を 15～40 g/L（ほう素換算で 4～10 g/L 程度）ほど使用する。そのため、めっき製品に付着しためっき液が水洗工程で洗い出され、ほう素を含む排水が発生する。この排水は、ほう素のほか、ふっ素や重金属も含むことがある。

めっき排水の流量やほう素濃度は、ほう酸を使用するめっき作業量やその作業時間帯に応じて変化するため、各工場によって日・週変動パターンは異なる。貯留槽にめっき排水を滞留させてから処理を行っている場合も多く、その場合、貯留槽から放流されるめっき排水の流量やほう素濃度はより変動が小さくなる。

中小めっき事業者における排水量（めっきラインあたり）は、1～2 m³/h 程度である。また、水洗工程での希釈程度にもよるが、めっきラインからの排水ほう素濃度は数 10mg/L となっている。

電気めっき業等の第2次産業においては、これまでも排水中の有害物質を除去するための処理が行われてきたが、小規模かつ零細な事業者が多いことから、これ以上の規制強化に伴う処理設備の導入はコスト面から厳しい状況である。また、旅館業等第3次産業においてはこれまで有害物質除去を目的とした排水処理施設の設置経験がなく、また小規模かつ零細な事業者が多いことから、処理設備の導入は経験的にもコスト的にも厳しい状況である。

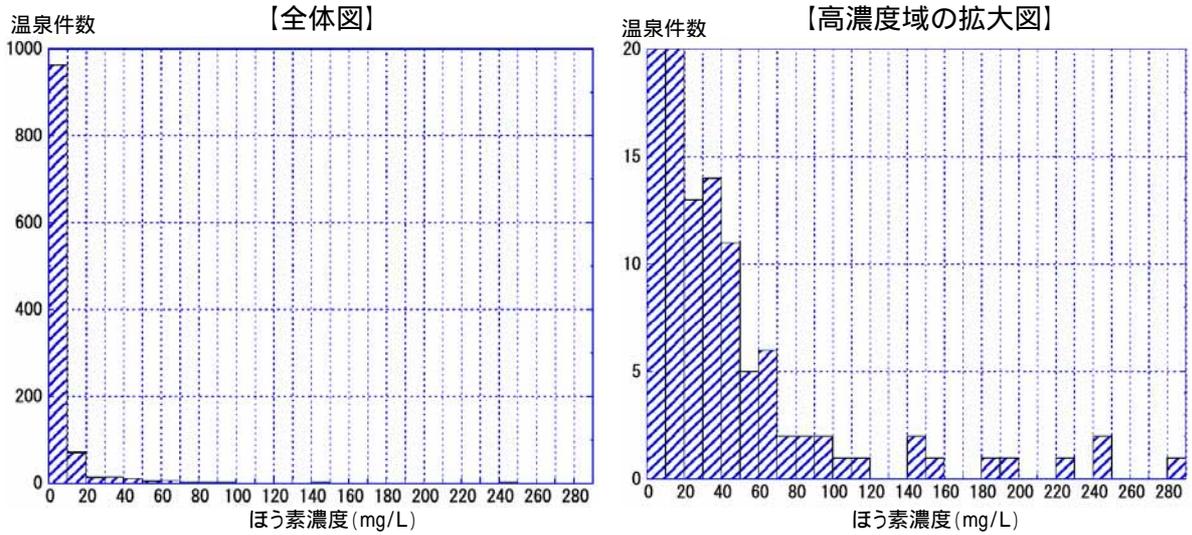
図表3 日本におけるほう酸を多く含む鉱泉の分布



番号	鉱泉名	番号	鉱泉名	番号	鉱泉名	番号	鉱泉名
1	北海道豊富温泉	15	岩手県寺田村鉱泉	29	群馬県西野牧鉱泉	43	長野県鹿塩鉱泉
2	常盤鉱泉	16	宮城県実沢鉱泉	30	八塩鉱泉	44	山梨県増富鉱泉
3	鬼鹿鉱泉	17	秋保温泉	31	西牧鉱泉	45	静岡県下加茂温泉
4	璫辺斯温泉	18	鎌先温泉	32	檜原鉱泉	46	石川県湯涌谷温泉
5	若菜辺温泉	19	山形県蔵王高湯温泉	33	琵琶の窪鉱泉	47	福井県芦原温泉
6	長万辺鉱泉	20	湯殿山神湯	34	小坂鉱泉	48	奈良県宗槍鉱泉
7	二俣温泉	21	矢筈山温泉	35	新潟県松之山温泉	49	兵庫県宝塚温泉
8	石倉温泉	22	福島県沼尻温泉	36	焼山温泉	50	池之坊鉱泉
9	知内鉱泉	23	大塩温泉	37	長野県山田温泉	51	島根県温泉津温泉
10	青森県酸湯温泉	24	茨城県下須田鉱泉	38	野尻鉱泉	52	大分県明譽地獄
11	千年鉱泉	25	栃木県鶏頂山鉱泉	39	黒姫野尻鉱泉	53	別府温泉
12	碓ヶ関温泉	26	群馬県原市鉱泉	40	小瀬温泉	54	宮崎県真幸鉱泉
13	岩手県浄法寺鉱泉	27	本宿温泉	41	王滝温泉	55	鹿児島県宮之城温泉
14	七時雨鉱泉	28	磯部鉱泉	42	初谷温泉		

資料)「水のリスクマネジメント実務指針(1998年)」を一部改変

図表4 日本における温泉源泉のほう素濃度分布(1,100件)



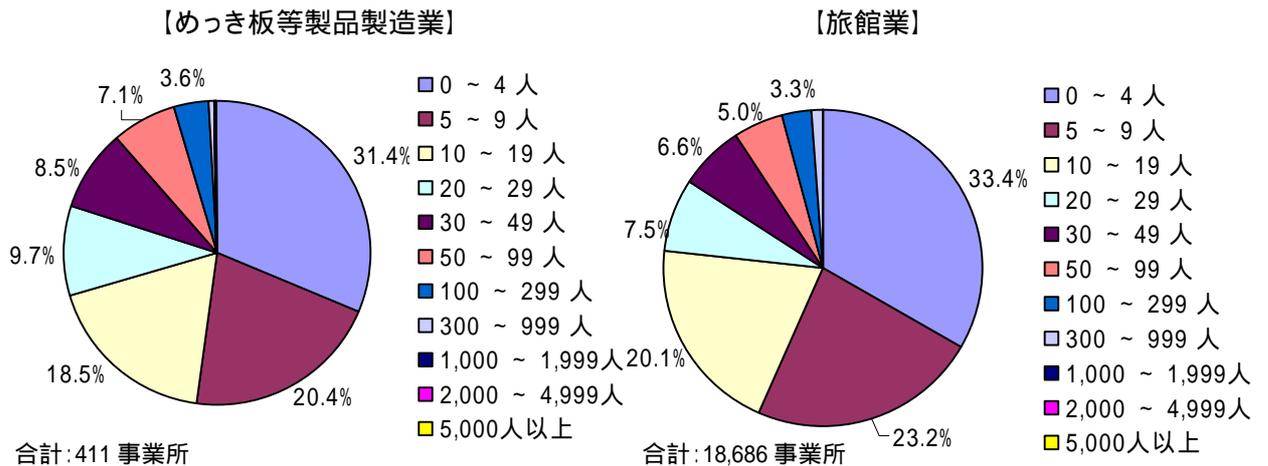
資料)財団法人中央温泉研究所資料より

図表5 無光沢ニッケルめっきの浴組成

成分	ワット浴	回転浴	高硫酸塩浴	全塩化物浴	硫酸塩塩化物浴	全硫酸塩浴
硫酸ニッケル (g/L)	240	70~150	75~113	-	200	300
塩化ニッケル (g/L)	45	-	-	300	170	-
塩化アンモニウム (g/L)	-	30	15~38	-	-	-
ほう酸 (g/L)	30	30	15	30	40	40
硫酸ナトリウム (g/L)	-	-	75~113	-	-	-

資料)「電気めっき加工全般に係る技術テキスト(2000年)」より一部改変

図表6 めっき板等製品製造業・旅館業の従業者数別事業所割合



合計:411 事業所

合計:18,686 事業所

資料)平成13年事業所・企業統計調査より

4. ほう素等処理技術について

ほう素等処理技術には、イオン吸着方式、凝集沈殿方式、減圧蒸発固化方式、膜分離方式、溶媒抽出方式およびこれらの組み合わせ方式がある。現在のところ、イオン吸着方式や凝集沈殿方式が主流となっている。排水中のほう素濃度、排水量、その他の含有成分によって、最適な技術が異なるが、実際の購入選択の際には、コストやスペースなどの要因も重要となる。

製造業等第 2 次産業においては、従来から凝集沈殿法等による処理経験があり、大規模事業者等を中心に処理技術が普及している。

旅館業等第 3 次産業においては、これまで有害物質除去を目的とした排水処理施設の設置経験が少なく、優れた排水処理技術が開発されてもなかなか導入に踏み込めないでいる事業場が多い。

図表 7 主なほう素処理技術の原理

方式	原理
イオン吸着方式	キレート樹脂やイオン交換樹脂がほう素を吸着することで、排水中からほう素を除去する。これら樹脂は再生可能で、ほう素を回収しやすい。
凝集沈殿方式	凝集剤を用いてほう素を凝集・沈殿させ、ろ過・分離によって、排水中からほう素を除去する。ほう素を含む汚泥が大量に発生しやすい。
減圧蒸発固化方式	減圧状態で排水を加熱し、水分を蒸発させ、残渣としてほう素を除去する。処理水回収には、凝縮器を必要とする。
膜分離方式	逆浸透膜を用いて排水中のほう素を排水から濃縮水へ移動させ、ほう素を除去する。得られた濃縮水をさらに水分蒸発固化などの方法により処理する必要がある。
溶媒抽出方式	水への溶解度の低い有機溶媒等にほう素を溶解させ、排水中からほう素を除去する。

資料) 各種資料・ヒアリングより UFJ 総合研究所作成

5. 今後の取り組みについて

製造業等第2次産業においては、対策が進みつつあるも、中小企業においては、操業形態や経費の面から対策が遅れており、中小規模の工場・事業場から排出されるほう素等の削減のための推進策をさらに実施することが必要である。特に事業所数の多い電気めっき業において推進策を実施することが望まれる。

旅館業等第3次産業においては、装置の設置経験が少なく、それに対応した処理装置の開発も遅れている状況にある。製造業等第2次産業以上に、事業場から排出されるほう素等の削減のための推進策を実施することが必要である。

近年、ほう素処理技術の開発・実用化が進み、特に中小規模の工場・事業場において後付けで導入することが可能な小型処理装置の商品化も進みつつあるが、事業者から認知されていないことから、市場での普及が遅れているのが現状である。

そこで、めっき業や旅館業からの排水中に含まれるほう素等の処理技術を、環境保全効果等に関する客観的な情報提供を行う本モデル事業の対象技術分野として取り上げ、技術実証を行うことで、排水処理施設の導入促進を図っていく。