

平成 18 年度有機ヒ素化合物に汚染された土壌及び地下水の 浄化技術に関する調査研究業務の結果について

1 . 調査研究の目的

有機ヒ素化合物に汚染された土壌および地下水の浄化技術について、平成 17 年度に実施した調査研究業務（以下、「平成 17 年度調査研究」という。）の結果等を踏まえ、実際の汚染土壌および汚染地下水を用いて実証試験を行い、技術的な評価を行うことを目的として調査研究を実施した。

2 . 実証試験技術の選定

(1) 地下水浄化技術の選定

実証試験技術の選定は、平成 17 年度調査研究の結果から、技術評価および課題を抽出し（表 - 1）、下記に示す 4 技術を選定した。

高濃度汚染地下水浄化技術

RO 膜処理（スパイラル膜モジュール）〔株神戸製鋼所〕

平成 17 年度調査研究において課題となった RO 膜の選定やシステムの改善を行い、低コストで安定した処理が可能か確認する。

粉末活性炭吸着 + 凝集沈殿処理〔株 鴻池組〕

平成 17 年度調査研究において課題となった処理 pH の最適化等の処理条件を改善し、安定した処理が可能か確認する。

低濃度汚染地下水浄化技術

活性炭吸着処理〔株 鴻池組〕

平成 17 年度調査研究の結果を踏まえ、新たに提案があった活性炭吸着処理方式の適用性について確認する。

促進酸化処理（既存設備の活用）〔日本物理探鑛株〕

促進酸化処理における処理コストの削減、処理規模に見合った処理設備の簡略化を目的に、既存設備（ユニット）による処理の適用性について確認する。

表 - 1 平成 17 年度調査研究 地下水浄化技術（揚水処理技術）の評価および課題

処理技術		評価概要	今後の課題
揚 水 処 理 技 術	RO 膜処理	高濃度汚染地下水及び低濃度汚染地下水に対し、安定的に処理可能であることが確認できた。また、実証実績もあることから、有機ヒ素汚染地下水の有効な処理方法として期待される。	膜の選定、耐久性、システム等の検討 無機化処理時間の短縮化の検討 処理対象地下水濃度と処理目標水質に応じた処理システムの検討 コスト低減の検討
	粉末活性炭吸着 + 凝集沈殿処理	汎用性の高い水処理技術によって有機ヒ素化合物の除去が可能であることが確認できた。また、処理コスト面では最も有利な技術である。	処理 pH の最適化の検討 活性炭添加量の検討 凝集 pH、凝集剤等の凝集条件の最適化の検討 無機ヒ素吸着剤、通水速度等の吸着条件の最適化の検討 活性炭の再生利用、有機ヒ素含有汚泥の処理、処分方法の検討 処理対象地下水濃度と処理目標水質に応じた処理システムの検討 (活性炭吸着処理の提案)
	促進酸化処理	低濃度汚染地下水に対しても、有機ヒ素の分解が可能であることが確認できた。また、高濃度汚染地下水の処理実績もあり、有機ヒ素汚染地下水の有効な処理方法として期待される。	処理規模に合った処理設備の簡略化、コスト削減の検討 副生成物の安全性確認

(2) 土壌浄化技術の選定

平成 17 年度調査研究において、オンサイト処理技術、廃棄物処理施設での溶融処理により、土壌中の有機ヒ素化合物を確実に無機化できることを確認した。

さらに有機ヒ素化合物による汚染土壌を適切に処理可能な技術を把握するため、これまでの知見、昨年度のヒアリング結果を踏まえ、廃棄物処理施設における焼却 + 溶融処理および土壌汚染対策法の認定浄化施設における焙焼処理の 2 技術を選定した。

焼却 + 溶融処理

〔株)カムテックス〕

平成 17 年度調査研究で実証試験を実施した溶融処理の前段に焼却処理工程を有していることを勘案し、ドラム破碎設備を経由して、有機ヒ素化合物による汚染土壌と産業廃棄物との混合焼却 + 溶融処理技術の適用性について確認する。

焙焼処理

〔三重中央開発(株)〕

土壌汚染対策法の認定浄化施設における焙焼処理技術について、有機ヒ素化合物による汚染土壌処理の適用性について確認する。

3 . 浄化技術の実証試験結果

選定された地下水浄化技術および土壌浄化技術の実証試験結果について、次頁以降に示す。

【地下水浄化技術】

技術名	RO膜処理(スパイラル膜モジュール)															
実施企業	株式会社神戸製鋼所															
原理	凝集・砂ろ過処理によりSSを、MF膜処理によりサブミクロンオーダーの濁度成分を除去した後、有機ヒ素化合物を含めた原水中の溶解性物質を分離低減するためスパイラル膜モジュールを使用したRO膜処理を行い、さらに吸着処理により膜処理で除去できなかった極微量のヒ素化合物を除去する。															
処理フロー																
試験概要	<p>試験規模：パイロットスケール(535L/日) 処理対象：高濃度汚染地下水 実験条件：下表のとおり。</p> <table border="1"> <tr> <td>前処理</td> <td>(凝集・砂ろ過、MF膜) 凝集剤添加量：塩化第二鉄 0.1～5mg/L、凝集pH：中性付近</td> </tr> <tr> <td>膜処理</td> <td>スパイラル膜モジュール、2段RO膜処理 回収率：80%、濃縮倍率：5倍</td> </tr> <tr> <td>吸着処理</td> <td>吸着剤：無機系吸着剤、SV値：20/h</td> </tr> </table>	前処理	(凝集・砂ろ過、MF膜) 凝集剤添加量：塩化第二鉄 0.1～5mg/L、凝集pH：中性付近	膜処理	スパイラル膜モジュール、2段RO膜処理 回収率：80%、濃縮倍率：5倍	吸着処理	吸着剤：無機系吸着剤、SV値：20/h									
前処理	(凝集・砂ろ過、MF膜) 凝集剤添加量：塩化第二鉄 0.1～5mg/L、凝集pH：中性付近															
膜処理	スパイラル膜モジュール、2段RO膜処理 回収率：80%、濃縮倍率：5倍															
吸着処理	吸着剤：無機系吸着剤、SV値：20/h															
結果概要	<p>1.分析結果概要</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>DPAA (mg-As/L)</th> <th>PAA (mg-As/L)</th> <th>PMAA (mg-As/L)</th> <th>総ヒ素 (mg/L)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>原水水質</td> <td>18</td> <td>0.45</td> <td>0.026</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>処理水水質</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> </tr> </tbody> </table> <p>)処理水のDPAA、PAA、PMAA濃度0.001mg/L未満は総ヒ素濃度0.001mg/L未満より判断。</p> <p>2.試験結果 本条件での処理により、処理水質は有機ヒ素濃度及び総ヒ素濃度ともに定量下限値(0.001mg-As/L)未満を満足することが確認された。 前処理を充実させることにより、膜のモジュール構造をDTモジュール¹⁾からスパイラルRO膜モジュールに変更した場合においても、安定した処理が可能であることが確認できた。 1)平成17年度実証試験において、DTモジュールを用いた地下水浄化実証試験を実施。</p>		DPAA (mg-As/L)	PAA (mg-As/L)	PMAA (mg-As/L)	総ヒ素 (mg/L)	原水水質	18	0.45	0.026	16	処理水水質	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	DPAA (mg-As/L)	PAA (mg-As/L)	PMAA (mg-As/L)	総ヒ素 (mg/L)												
原水水質	18	0.45	0.026	16												
処理水水質	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001												
経済性 (概算)	<p>施設規模：100m³/日、処理期間：1年間(設置撤去含む) 約35.0千円/m³)膜濃縮液の蒸発濃縮処理、無機化処理を含む。</p>															
評価	<p>高濃度汚染地下水に対して、汎用性のあるスパイラル膜モジュールを使用したRO膜処理による有機ヒ素の除去(0.001mg-As/L未満)が安定的に可能であることが確認できたことから、実証試験結果は評価できる。 ただし、汚染地下水の性状や汚染濃度に適した処理システムとすることが望ましく、トータルシステムとしてさらなるコスト削減が望まれる。</p>															
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> 汚染地下水の性状や濃度に適したシステムの検討 コスト削減の検討 															

【地下水浄化技術】

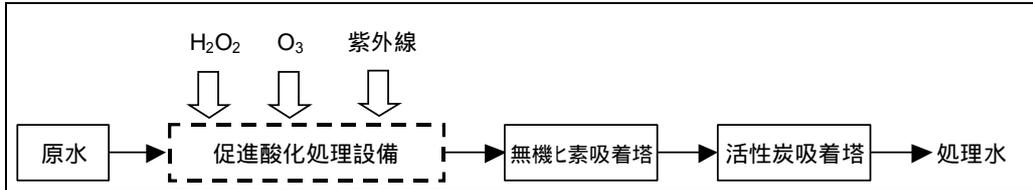
技術名	粉末活性炭吸着 + 凝集沈殿処理																																		
実施企業	株式会社鴻池組																																		
原理	有機ヒ素化合物を粉末活性炭に吸着させた後、凝集沈殿処理により、有機ヒ素汚泥として地下水から分離除去することで、汚染地下水中の有機ヒ素化合物を除去する。																																		
処理フロー																																			
試験概要	<p>試験規模：パイロットスケール(1.0m³/h) 処理対象：高濃度汚染地下水 実験条件：下表のとおり。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">試験ケース</th> <th>Run1</th> <th>Run2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">処理量</td> <td>1.0m³/h × 6h × 2日</td> <td>1.0m³/h × 6h × 2日</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">粉末活性炭</td> <td>種類</td> <td>木質系</td> <td>木質系</td> </tr> <tr> <td>添加量</td> <td>2.0kg/m³</td> <td>2.0kg/m³</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">pH条件</td> <td>活性炭混合槽</td> <td>4</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>凝集沈殿槽</td> <td>4</td> <td>3.5</td> </tr> <tr> <td colspan="2">pH調整剤</td> <td>H₂SO₄</td> <td>H₂SO₄</td> </tr> <tr> <td colspan="2">凝集剤</td> <td>ノニオン系凝集剤</td> <td>ノニオン系凝集剤</td> </tr> <tr> <td colspan="2">吸着塔活性炭</td> <td>ヤシガラ系</td> <td>ヤシガラ系</td> </tr> </tbody> </table>	試験ケース		Run1	Run2	処理量		1.0m ³ /h × 6h × 2日	1.0m ³ /h × 6h × 2日	粉末活性炭	種類	木質系	木質系	添加量	2.0kg/m ³	2.0kg/m ³	pH条件	活性炭混合槽	4	2	凝集沈殿槽	4	3.5	pH調整剤		H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	凝集剤		ノニオン系凝集剤	ノニオン系凝集剤	吸着塔活性炭		ヤシガラ系	ヤシガラ系
試験ケース		Run1	Run2																																
処理量		1.0m ³ /h × 6h × 2日	1.0m ³ /h × 6h × 2日																																
粉末活性炭	種類	木質系	木質系																																
	添加量	2.0kg/m ³	2.0kg/m ³																																
pH条件	活性炭混合槽	4	2																																
	凝集沈殿槽	4	3.5																																
pH調整剤		H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄																																
凝集剤		ノニオン系凝集剤	ノニオン系凝集剤																																
吸着塔活性炭		ヤシガラ系	ヤシガラ系																																
結果概要	<p>1.分析結果概要</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>DPAA (mg-As/L)</th> <th>PAA (mg-As/L)</th> <th>PMAA (mg-As/L)</th> <th>総ヒ素 (mg/L)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Run1</td> <td>原水水質</td> <td>14</td> <td>0.13</td> <td>0.035</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>処理水水質</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Run2</td> <td>原水水質</td> <td>12</td> <td>0.12</td> <td>0.024</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>処理水水質</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> </tr> </tbody> </table> <p>2.試験結果 本条件での処理により、処理水質は有機ヒ素濃度及び総ヒ素濃度ともに定量下限値(0.001mg-As/L)未滿を満足することが確認された。 酸性域で凝集沈殿処理が可能な高分子凝集剤を用いることで、活性炭に吸着した有機ヒ素化合物の再脱着が起こらず、安定した処理が可能であることが確認された。</p>			DPAA (mg-As/L)	PAA (mg-As/L)	PMAA (mg-As/L)	総ヒ素 (mg/L)	Run1	原水水質	14	0.13	0.035	16	処理水水質	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	Run2	原水水質	12	0.12	0.024	12	処理水水質	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001						
		DPAA (mg-As/L)	PAA (mg-As/L)	PMAA (mg-As/L)	総ヒ素 (mg/L)																														
Run1	原水水質	14	0.13	0.035	16																														
	処理水水質	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001																														
Run2	原水水質	12	0.12	0.024	12																														
	処理水水質	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001																														
経済性 (概算)	<p>施設規模:100m³/日、処理期間:1年間(設置撤去含む) 約4.8千円/m³</p>																																		
評価	<p>高濃度汚染地下水に対して、汎用性の高い水処理技術によって、有機ヒ素化合物の除去(0.001mg-As/L未滿)が安定的に可能であることが確認できたことから、実証試験結果は評価できる。また、処理コストの面でも有利な技術であることが確認できた。 実処理を想定した場合、有機ヒ素含有汚泥は、焼却等の処理が必要であることから、安定した処理先の確保や処分方法について、十分に配慮して行うことが望まれる。</p>																																		
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ 汚泥中の有機ヒ素含有量の把握 ・ 有機ヒ素含有汚泥の適切な処理 																																		

【地下水浄化技術】

技術名	活性炭吸着処理																																					
実施企業	株式会社鴻池組																																					
原理	活性炭吸着塔に通水させることで汚染地下水中の有機ヒ素化合物を除去する。																																					
処理フロー																																						
試験概要	<p>試験規模：パイロットスケール(64L/h) 処理対象：低濃度汚染地下水 実験条件：下表のとおり。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">試験ケース</th> <th>Run1</th> <th>Run2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">流量</td> <td>64L/h</td> <td>64L/h</td> </tr> <tr> <td colspan="2">処理水量</td> <td>18m³</td> <td>18m³</td> </tr> <tr> <td colspan="2">試験条件</td> <td>pH4に調整(H₂SO₄)</td> <td>カチオン系薬剤添加</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">活性炭吸着塔</td> <td>種類</td> <td>ヤシガラ系</td> <td>ヤシガラ系</td> </tr> <tr> <td>投入量</td> <td>1塔目：8L(4kg) 2塔目：100L(50kg)</td> <td>1塔目：8L(4kg) 2塔目：100L(50kg)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">pH調整剤(pH7)</td> <td>NaOH</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">無機ヒ素吸着塔</td> <td>種類</td> <td>セリウム系無機ヒ素吸着剤</td> <td>セリウム系無機ヒ素吸着剤</td> </tr> <tr> <td>投入量</td> <td>50L</td> <td>50L</td> </tr> <tr> <td>処理流速</td> <td>0.4m³/h</td> <td>0.4m³/h</td> </tr> </tbody> </table>	試験ケース		Run1	Run2	流量		64L/h	64L/h	処理水量		18m ³	18m ³	試験条件		pH4に調整(H ₂ SO ₄)	カチオン系薬剤添加	活性炭吸着塔	種類	ヤシガラ系	ヤシガラ系	投入量	1塔目：8L(4kg) 2塔目：100L(50kg)	1塔目：8L(4kg) 2塔目：100L(50kg)	pH調整剤(pH7)		NaOH		無機ヒ素吸着塔	種類	セリウム系無機ヒ素吸着剤	セリウム系無機ヒ素吸着剤	投入量	50L	50L	処理流速	0.4m ³ /h	0.4m ³ /h
試験ケース		Run1	Run2																																			
流量		64L/h	64L/h																																			
処理水量		18m ³	18m ³																																			
試験条件		pH4に調整(H ₂ SO ₄)	カチオン系薬剤添加																																			
活性炭吸着塔	種類	ヤシガラ系	ヤシガラ系																																			
	投入量	1塔目：8L(4kg) 2塔目：100L(50kg)	1塔目：8L(4kg) 2塔目：100L(50kg)																																			
pH調整剤(pH7)		NaOH																																				
無機ヒ素吸着塔	種類	セリウム系無機ヒ素吸着剤	セリウム系無機ヒ素吸着剤																																			
	投入量	50L	50L																																			
	処理流速	0.4m ³ /h	0.4m ³ /h																																			
結果概要	<p>1.分析結果概要</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>DPAA (mg-As/L)</th> <th>PAA (mg-As/L)</th> <th>PMAA (mg-As/L)</th> <th>T-As (mg/L)</th> <th>通水倍率</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Run1</td> <td>原水水質</td> <td>0.004</td> <td>0.12</td> <td>0.003</td> <td>0.29</td> <td></td> </tr> <tr> <td>処理水水質</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> <td>0.002</td> <td>2277倍</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Run2</td> <td>原水水質</td> <td>0.005</td> <td>0.15</td> <td>0.005</td> <td>0.20</td> <td></td> </tr> <tr> <td>処理水水質</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> <td>0.003</td> <td>2162倍</td> </tr> </tbody> </table> <p>2.試験結果</p> <p>本条件での処理により、処理水質は有機ヒ素濃度が定量下限値(0.001mg-As/L)未満を満足することが確認された。また、総ヒ素についても環境基準レベル(0.01mg/L未満)もしくは地下浸透基準レベル(0.005mg/L未満)を満足することが確認された。</p> <p>Run1の条件では、通水倍率1352倍量で1段目活性炭吸着塔後の試料からPAAが微量検出されたが、その後も急激な濃度増加は確認されなかったことから、1段目活性炭吸着塔が完全に破過したとはいえないと判断された。実処理を想定した場合、複数段の活性炭吸着塔を設置することで、処理の確実性がさらに向上し、安定的に処理可能であることが示唆された。</p> <p>Run2の条件では、通水倍率200倍量で1段目活性炭吸着塔後の試料からPAAが微量検出された。PAA濃度は、通水倍率の増加とともに徐々に増加して検出されたことから、Run1と比較して、1段目活性炭吸着塔のPAA吸着性能が低下することが確認された。</p>			DPAA (mg-As/L)	PAA (mg-As/L)	PMAA (mg-As/L)	T-As (mg/L)	通水倍率	Run1	原水水質	0.004	0.12	0.003	0.29		処理水水質	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	2277倍	Run2	原水水質	0.005	0.15	0.005	0.20		処理水水質	<0.001	<0.001	<0.001	0.003	2162倍				
		DPAA (mg-As/L)	PAA (mg-As/L)	PMAA (mg-As/L)	T-As (mg/L)	通水倍率																																
Run1	原水水質	0.004	0.12	0.003	0.29																																	
	処理水水質	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	2277倍																																
Run2	原水水質	0.005	0.15	0.005	0.20																																	
	処理水水質	<0.001	<0.001	<0.001	0.003	2162倍																																
経済性 (概算)	<p>施設規模：10m³/日、処理期間：1年間(設置撤去含む) 約4.0千円/m³</p>																																					

<p>評価</p>	<p>低濃度汚染地下水に対して、汎用性が極めて高い水処理技術により、有機ヒ素化合物の除去(0.001mg-As/L未満)が安定的に可能であることが確認できたことから、実証試験結果は評価できる。また、処理コストの面でも有利な技術であることが確認できた。</p> <p>実処理を想定した場合、廃活性炭は焼却等の処理が必要であることから、安定した処理先の確保や処分方法について、十分に配慮して行うことが望まれる。</p> <p>Run1の条件では、活性炭の再生方法や高濃度汚染地下水への適用性について、さらなる検討を期待する。</p> <p>Run2の条件では、カチオン系薬剤添加量やイオンペアの効率などの条件について検討の余地があり、また、処理水中におけるカチオン系薬剤の残留濃度等について把握することが望まれる。</p>
<p>今後の課題</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実処理を想定した活性炭塔段数等の検討 ・ 活性炭の再生方法の検討 ・ 高濃度汚染地下水への適用可能性の検討

【地下水浄化技術】

技術名	促進酸化処理(既存設備の活用)																																																																																	
実施企業	日本物理探鑛株式会社																																																																																	
原理	既存の促進酸化設備を用いて、オゾン-紫外線処理により有機ヒ素化合物を無機化する。																																																																																	
処理フロー																																																																																		
試験概要	<p>試験規模：パイロットスケール(60L/h) 処理対象：低濃度汚染地下水 実験条件：下表のとおり。</p> <table border="1" data-bbox="395 656 890 974"> <thead> <tr> <th colspan="2">試験装置(株三央製)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>原水処理量</td> <td>60L/h</td> </tr> <tr> <td>オゾン発生量(最大)</td> <td>8g/h</td> </tr> <tr> <td>オゾン濃度(最大)</td> <td>170g/Nm³</td> </tr> <tr> <td>ミキシング水量(循環水量)</td> <td>15L/min</td> </tr> <tr> <td>オゾン発生方式</td> <td>無声放電方式</td> </tr> <tr> <td>オゾナイザー冷却方式</td> <td>水冷式</td> </tr> <tr> <td>紫外線出力</td> <td>4.5W×2本=9.0W</td> </tr> <tr> <td>紫外線反応塔容積</td> <td>4L(反応塔)</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" data-bbox="901 656 1388 907"> <thead> <tr> <th colspan="3">吸着処理</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">無機ヒ素吸着塔</td> <td>種類</td> <td>水酸化セリウム</td> </tr> <tr> <td>吸着塔容量</td> <td>約300mL</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">活性炭吸着塔</td> <td>流量</td> <td>3L/h</td> </tr> <tr> <td>種類</td> <td>ヤシガラ系</td> </tr> <tr> <td>吸着塔容量</td> <td>1L</td> </tr> <tr> <td></td> <td>流量</td> <td>10L/h</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" data-bbox="497 1010 1270 1400"> <thead> <tr> <th>試験条件</th> <th>Run1</th> <th>Run2</th> <th>Run3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>原水</td> <td>サイト</td> <td>サイト</td> <td>サイト</td> </tr> <tr> <td>前処理</td> <td>ばっきなし</td> <td>ばっきなし</td> <td>ばっきあり</td> </tr> <tr> <td>原水量</td> <td colspan="3">10L</td> </tr> <tr> <td>流量</td> <td colspan="3">50L/h</td> </tr> <tr> <td>運転時間</td> <td colspan="3">12min/回</td> </tr> <tr> <td>オゾン濃度</td> <td colspan="3">100g/Nm³</td> </tr> <tr> <td>過酸化水素</td> <td colspan="3">1mL(35%水溶液)</td> </tr> <tr> <td>pH</td> <td colspan="3">原水、5.5、10.0</td> </tr> <tr> <td>ORP</td> <td colspan="3">原水、500mV</td> </tr> <tr> <td>運転回数</td> <td>1回、2回</td> <td>1回、2回</td> <td>1回、2回、3回</td> </tr> </tbody> </table>	試験装置(株三央製)		原水処理量	60L/h	オゾン発生量(最大)	8g/h	オゾン濃度(最大)	170g/Nm ³	ミキシング水量(循環水量)	15L/min	オゾン発生方式	無声放電方式	オゾナイザー冷却方式	水冷式	紫外線出力	4.5W×2本=9.0W	紫外線反応塔容積	4L(反応塔)	吸着処理			無機ヒ素吸着塔	種類	水酸化セリウム	吸着塔容量	約300mL	活性炭吸着塔	流量	3L/h	種類	ヤシガラ系	吸着塔容量	1L		流量	10L/h	試験条件	Run1	Run2	Run3	原水	サイト	サイト	サイト	前処理	ばっきなし	ばっきなし	ばっきあり	原水量	10L			流量	50L/h			運転時間	12min/回			オゾン濃度	100g/Nm ³			過酸化水素	1mL(35%水溶液)			pH	原水、5.5、10.0			ORP	原水、500mV			運転回数	1回、2回	1回、2回	1回、2回、3回	
試験装置(株三央製)																																																																																		
原水処理量	60L/h																																																																																	
オゾン発生量(最大)	8g/h																																																																																	
オゾン濃度(最大)	170g/Nm ³																																																																																	
ミキシング水量(循環水量)	15L/min																																																																																	
オゾン発生方式	無声放電方式																																																																																	
オゾナイザー冷却方式	水冷式																																																																																	
紫外線出力	4.5W×2本=9.0W																																																																																	
紫外線反応塔容積	4L(反応塔)																																																																																	
吸着処理																																																																																		
無機ヒ素吸着塔	種類	水酸化セリウム																																																																																
	吸着塔容量	約300mL																																																																																
活性炭吸着塔	流量	3L/h																																																																																
	種類	ヤシガラ系																																																																																
	吸着塔容量	1L																																																																																
	流量	10L/h																																																																																
試験条件	Run1	Run2	Run3																																																																															
原水	サイト	サイト	サイト																																																																															
前処理	ばっきなし	ばっきなし	ばっきあり																																																																															
原水量	10L																																																																																	
流量	50L/h																																																																																	
運転時間	12min/回																																																																																	
オゾン濃度	100g/Nm ³																																																																																	
過酸化水素	1mL(35%水溶液)																																																																																	
pH	原水、5.5、10.0																																																																																	
ORP	原水、500mV																																																																																	
運転回数	1回、2回	1回、2回	1回、2回、3回																																																																															
結果概要	<p>1.分析結果概要</p> <table border="1" data-bbox="411 1491 1323 1704"> <thead> <tr> <th>原水</th> <th>DPAA (mg-As/L)</th> <th>PAA (mg-As/L)</th> <th>PMAA (mg-As/L)</th> <th>総ヒ素 (mg/L)</th> <th>pH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>サイト A</td> <td>0.004</td> <td>0.13</td> <td>0.004</td> <td>0.21</td> <td>9.1</td> </tr> <tr> <td>サイト B</td> <td>0.004</td> <td>0.13</td> <td>0.004</td> <td>0.17</td> <td>8.8</td> </tr> <tr> <td>サイト A</td> <td><0.001</td> <td>0.034</td> <td>0.011</td> <td>0.072</td> <td>7.5</td> </tr> <tr> <td>サイト B</td> <td><0.001</td> <td>0.029</td> <td>0.016</td> <td>0.065</td> <td>7.3</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" data-bbox="411 1742 1323 1989"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="4">処理条件</th> <th colspan="4">処理水水質</th> </tr> <tr> <th>使用原水</th> <th>pH</th> <th>ORP (mV)</th> <th>運転 階数</th> <th>DPAA (mg-As/L)</th> <th>PAA (mg-As/L)</th> <th>PMAA (mg-As/L)</th> <th>総ヒ素 (mg/L)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Run1</td> <td>A</td> <td>原水</td> <td>原水</td> <td>2</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> <td>0.003</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>5.5</td> <td>原水</td> <td>2</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> <td>0.006</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Run3</td> <td>B</td> <td>原水</td> <td>500</td> <td>2</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>5.5</td> <td>500</td> <td>2</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> <td>0.002</td> </tr> </tbody> </table>	原水	DPAA (mg-As/L)	PAA (mg-As/L)	PMAA (mg-As/L)	総ヒ素 (mg/L)	pH	サイト A	0.004	0.13	0.004	0.21	9.1	サイト B	0.004	0.13	0.004	0.17	8.8	サイト A	<0.001	0.034	0.011	0.072	7.5	サイト B	<0.001	0.029	0.016	0.065	7.3		処理条件				処理水水質				使用原水	pH	ORP (mV)	運転 階数	DPAA (mg-As/L)	PAA (mg-As/L)	PMAA (mg-As/L)	総ヒ素 (mg/L)	Run1	A	原水	原水	2	<0.001	<0.001	<0.001	0.003	B	5.5	原水	2	<0.001	<0.001	<0.001	0.006	Run3	B	原水	500	2	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	B	5.5	500	2	<0.001	<0.001	<0.001	0.002
原水	DPAA (mg-As/L)	PAA (mg-As/L)	PMAA (mg-As/L)	総ヒ素 (mg/L)	pH																																																																													
サイト A	0.004	0.13	0.004	0.21	9.1																																																																													
サイト B	0.004	0.13	0.004	0.17	8.8																																																																													
サイト A	<0.001	0.034	0.011	0.072	7.5																																																																													
サイト B	<0.001	0.029	0.016	0.065	7.3																																																																													
	処理条件				処理水水質																																																																													
	使用原水	pH	ORP (mV)	運転 階数	DPAA (mg-As/L)	PAA (mg-As/L)	PMAA (mg-As/L)	総ヒ素 (mg/L)																																																																										
Run1	A	原水	原水	2	<0.001	<0.001	<0.001	0.003																																																																										
	B	5.5	原水	2	<0.001	<0.001	<0.001	0.006																																																																										
Run3	B	原水	500	2	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001																																																																										
	B	5.5	500	2	<0.001	<0.001	<0.001	0.002																																																																										

	<p>2.試験結果</p> <p>本装置でサイト 原水を処理する条件として、ばっき処理を行い、pHを原水又は5.5、ORPを原水のまま、促進酸化処理回数を2回と設定した場合、処理水質は有機ヒ素濃度が定量下限値(0.001mg-As/L)未満を満足することが確認された。また、総ヒ素についても環境基準レベル(0.01mg/L未満)もしくは地下浸透基準レベル(0.005mg/L未満)を満足することが確認された。</p> <p>本装置でサイト 原水を処理する条件として、ばっき処理を行い、pHを原水又は5.5、ORPを500mV、促進酸化処理回数を2回と設定した場合、処理水質は有機ヒ素濃度が定量下限値(0.001mg-As/L)未満を満足することが確認された。また、総ヒ素についても地下浸透基準レベル(0.005mg/L未満)を満足することが確認された。</p>
経済性 (概算)	<p>施設規模: 10m³/日、処理期間: 1年間(設置撤去含む)</p> <p>約16.8千円/m³</p>
評価	<p>低濃度汚染地下水に対して、既存の促進酸化設備を活用することにより、処理条件によるが、有機ヒ素化合物の除去(0.001mg-As/L未満)が可能であることが確認できたことから、実証試験結果は評価できる。</p> <p>本設備で有機ヒ素化合物による汚染地下水を処理する場合、最適な処理条件についてさらなる検討が必要であり、また、安定して処理可能な原水濃度や性状を把握することが望まれる。</p>
今後の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ 本設備における有機ヒ素化合物の分解に最適な処理条件の検討 (オゾン注入率、UV照射量、過酸化水素添加量等) ・ 安定して処理可能な原水濃度、性状の把握

【土壌浄化技術①】

技術名	焼却＋溶融処理																																																			
実施企業	株式会社カムテックス																																																			
原理	ドラム破碎設備を経由し、回転ストーカー炉により産業廃棄物との混合焼却処理を行い、その残渣については、燃焼方式表面溶融形産業廃棄物溶融炉で溶融処理する。																																																			
概念図																																																				
試験概要	<p>試験規模：実処理設備(回転ストーカー炉170t/24h、酸素バーナー式表面溶融炉60t/24h) 処理対象：汚染土壌 実験条件：下表のとおり。</p> <table border="1"> <tr> <td>試験ケース</td> <td>Run1</td> <td>Run2</td> <td>Run3</td> <td>Run4</td> </tr> <tr> <td></td> <td>予備調査</td> <td>確認試験</td> <td>追跡調査</td> <td>追跡調査</td> </tr> <tr> <td>処理量</td> <td>—</td> <td>約500kg</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>処理状況</td> <td colspan="4">投入量:50kg/h、投入時間:10h、投入荷姿:密閉容器(ペール缶)</td> </tr> <tr> <td>運転状況</td> <td colspan="4">焼却炉燃焼温度:約850℃、溶融炉内温度:約1,350℃</td> </tr> </table> <ul style="list-style-type: none"> 確認試験は、焼却、溶融1系列を用いて実施。 予備調査および追跡調査は、主灰、スラグ、飛灰処理物の総ヒ素含有量の調査を実施。 	試験ケース	Run1	Run2	Run3	Run4		予備調査	確認試験	追跡調査	追跡調査	処理量	—	約500kg	—	—	処理状況	投入量:50kg/h、投入時間:10h、投入荷姿:密閉容器(ペール缶)				運転状況	焼却炉燃焼温度:約850℃、溶融炉内温度:約1,350℃																													
試験ケース	Run1	Run2	Run3	Run4																																																
	予備調査	確認試験	追跡調査	追跡調査																																																
処理量	—	約500kg	—	—																																																
処理状況	投入量:50kg/h、投入時間:10h、投入荷姿:密閉容器(ペール缶)																																																			
運転状況	焼却炉燃焼温度:約850℃、溶融炉内温度:約1,350℃																																																			
結果概要	<p>1.分析結果概要</p> <table border="1"> <tr> <td></td> <td>DPAA</td> <td>PAA</td> <td>PMAA</td> <td colspan="2">総ヒ素</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="3">含有量試験</td> <td>含有量試験</td> <td>溶出量試験</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="3">(mg-As/kg)</td> <td>(mg/kg)</td> <td>(mg/L)</td> </tr> <tr> <td>処理前試料^{※1)}</td> <td>54</td> <td>620</td> <td>0.32</td> <td>3,149^{※3)}</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>処理後試料(スラグ)</td> <td><0.02</td> <td><0.02</td> <td><0.02</td> <td><5^{※2)}</td> <td><0.001</td> </tr> <tr> <td>飛灰処理物</td> <td><0.02</td> <td><0.02</td> <td><0.02</td> <td>20^{※3)}</td> <td><0.005</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td></td> <td>DPAA</td> <td>PAA</td> <td>PMAA</td> <td>総ヒ素</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="3">(mg-As/m³)</td> <td>(mg/m³)</td> </tr> <tr> <td>大気放出ガス</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> </tr> </table> <p>※1) 処理前試料の分析結果は、5サンプルの平均 ※2) 平成15年環境省告示第19号 ※3) 底質調査方法</p> <p>2.試験結果 ① スラグ及び飛灰処理物中に含有する有機ヒ素化合物濃度が定量下限値(0.02mg-As/kg)未満であり、焼却＋溶融処理により、確実に無機化されることが確認された。また、大気放出ガス中の有機ヒ素化合物濃度も定量下限値(0.001mg/m³)未満であることが確認された。</p>		DPAA	PAA	PMAA	総ヒ素			含有量試験			含有量試験	溶出量試験		(mg-As/kg)			(mg/kg)	(mg/L)	処理前試料 ^{※1)}	54	620	0.32	3,149 ^{※3)}	27	処理後試料(スラグ)	<0.02	<0.02	<0.02	<5 ^{※2)}	<0.001	飛灰処理物	<0.02	<0.02	<0.02	20 ^{※3)}	<0.005		DPAA	PAA	PMAA	総ヒ素		(mg-As/m ³)			(mg/m ³)	大気放出ガス	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	DPAA	PAA	PMAA	総ヒ素																																																
	含有量試験			含有量試験	溶出量試験																																															
	(mg-As/kg)			(mg/kg)	(mg/L)																																															
処理前試料 ^{※1)}	54	620	0.32	3,149 ^{※3)}	27																																															
処理後試料(スラグ)	<0.02	<0.02	<0.02	<5 ^{※2)}	<0.001																																															
飛灰処理物	<0.02	<0.02	<0.02	20 ^{※3)}	<0.005																																															
	DPAA	PAA	PMAA	総ヒ素																																																
	(mg-As/m ³)			(mg/m ³)																																																
大気放出ガス	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001																																																

	<p>スラグ中のヒ素含有量は定量下限値(5mg/kg)未満であり、土壤溶出量基準である含有量150mg/kgより大幅に低い値であることが確認された。また、ヒ素溶出量は定量下限値(0.001mg/L)未満であり、土壤溶出量基準である0.01mg/Lを満足した。</p> <p>飛灰処理物のヒ素溶出量は定量下限値(0.005mg/L)未満であり、埋立処分基準である0.3mg/Lを満足することが確認された。</p>
<p>経済性 (概算)</p>	<p>総ヒ素濃度が最大6,000mg/kg程度の汚染土壌、1,000tの処理を想定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 受入条件 処理量: 最大1,200kg/日(50kg×24時間) 性状: 有機ヒ素濃度、処理量等について都度協議 荷姿: 15kgナイロン袋に二重密封後、20Lフタ付ペール缶 ・ 概算処理費用 処理費: 150円/kg前後(都度協議が必要)、別途管理費: 5万円/日
<p>評価</p>	<p>処理後試料中(スラグ)の有機ヒ素含有量及び大気放出ガス中の有機ヒ素濃度は定量下限値未満であり、有機ヒ素の無機化は確実に行われていることから、実証試験結果は評価できる。</p> <p>汚染土壌の混入割合は、焼却処理する産業廃棄物の1%程度であり、安定した処理が期待できる。実処理を想定した場合、汚染土壌投入量やヒ素供給濃度の最適化について検討を行うことが望まれる。</p>
<p>今後の課題</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 物質収支の精度向上 ・ 最適な汚染土壌供給濃度、量の検討 ・ 合理的運転によるコストのさらなる削減の検討

【土壌浄化技術】

技術名	焙焼処理																																										
実施企業	三重中央開発株式会社																																										
原理	ロータリーキルン内の土壌を直接バーナー火炎で焼成し、バーナー火炎及び耐火材の輻射熱により、対象汚染物質を無害化する。																																										
概念図																																											
試験概要	<p>試験規模：パイロットスケール(20kg/h) 処理対象：汚染土壌 実験条件：下表のとおり。</p> <table border="1"> <tr> <td>試験ケース</td> <td>Run1</td> </tr> <tr> <td>処理量</td> <td>約240kg</td> </tr> <tr> <td>処理状況</td> <td>投入量：20kg/h、投入時間：12h</td> </tr> <tr> <td>運転状況</td> <td>滞留時間1時間、炉内低酸素濃度雰囲気$1,000 \sim 1,100$</td> </tr> </table>	試験ケース	Run1	処理量	約240kg	処理状況	投入量：20kg/h、投入時間：12h	運転状況	滞留時間1時間、炉内低酸素濃度雰囲気 $1,000 \sim 1,100$																																		
試験ケース	Run1																																										
処理量	約240kg																																										
処理状況	投入量：20kg/h、投入時間：12h																																										
運転状況	滞留時間1時間、炉内低酸素濃度雰囲気 $1,000 \sim 1,100$																																										
結果概要	<p>1.分析結果概要</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3"></th> <th>DPAAs</th> <th>PAA</th> <th>PMAA</th> <th colspan="2">総ヒ素</th> </tr> <tr> <th colspan="3">含有量試験</th> <th>含有量試験</th> <th>溶出量試験</th> </tr> <tr> <th colspan="3">(mg-As/kg)</th> <th>(mg/kg)</th> <th>(mg/L)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>処理前試料</td> <td>120</td> <td>1,200</td> <td>0.68</td> <td>5,800¹⁾</td> <td>54</td> </tr> <tr> <td>処理後試料(焙焼灰)</td> <td><0.02</td> <td><0.02</td> <td><0.02</td> <td>1,300²⁾</td> <td>0.26</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th>DPAAs</th> <th>PAA</th> <th>PMAA</th> <th>総ヒ素</th> </tr> <tr> <th colspan="3">(mg-As/m³)</th> <th>(mg/m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>大気放出ガス</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> <td><0.001</td> </tr> </tbody> </table> <p>1) 底質調査方法 2) 平成15年度環境省告示第19号</p> <p>2.試験結果</p> <p>焙焼灰中に含有する有機ヒ素化合物濃度が定量下限値(0.02mg-As/kg)未満であり、焙焼処理により、確実に無機化されることが確認された。また、大気放出ガス中の有機ヒ素化合物濃度も定量下限値(0.001mg/m³)未満であることが確認された。</p> <p>焙焼灰のヒ素溶出量は0.26mg/Lであり、埋立処分基準である0.3mg/Lを満足することが確認された。処理前試料と比較して、溶出量低減率は99.5%であった。</p> <p>焙焼炉の主な操作因子である滞留時間、キルン内充填率、温度分布、酸素濃度等について、焙焼炉実機とほぼ同じ設定で実証試験が行われたことを確認した。</p>		DPAAs	PAA	PMAA	総ヒ素		含有量試験			含有量試験	溶出量試験	(mg-As/kg)			(mg/kg)	(mg/L)	処理前試料	120	1,200	0.68	5,800 ¹⁾	54	処理後試料(焙焼灰)	<0.02	<0.02	<0.02	1,300 ²⁾	0.26		DPAAs	PAA	PMAA	総ヒ素	(mg-As/m ³)			(mg/m ³)	大気放出ガス	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	DPAAs		PAA	PMAA	総ヒ素																																						
	含有量試験			含有量試験	溶出量試験																																						
	(mg-As/kg)			(mg/kg)	(mg/L)																																						
処理前試料	120	1,200	0.68	5,800 ¹⁾	54																																						
処理後試料(焙焼灰)	<0.02	<0.02	<0.02	1,300 ²⁾	0.26																																						
	DPAAs	PAA	PMAA	総ヒ素																																							
	(mg-As/m ³)			(mg/m ³)																																							
大気放出ガス	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001																																							

<p>経済性 (概算)</p>	<p>総ヒ素濃度10,000mg/kgの汚染土壌、1,000tの処理を想定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 受入条件 処理量: 120t/日(処理期間、搬入量は別途協議) 性状: 砂質土で粒径30mm以下、油分5%以下、水分30%以下 荷姿: 水密製フレコン袋、運搬中に外部飛散しないよう対策を講じたもの ・ 概算処理費用 処理費: 150円/kg(濃度条件を満たさない場合、分析、無害化試験の必要性が生じた場合は別途協議)
<p>評価</p>	<p>処理後試料中(焙焼灰)の有機ヒ素含有量及び大気放出ガス中の有機ヒ素濃度が定量下限値未満であり、有機ヒ素の無機化は確実に行われていることから、実証試験結果は評価できる。 今回の実証試験では、処理後試料(焙焼灰)から埋立処分基準に近いヒ素溶出量が確認されていることから、実処理を想定した場合、汚染土壌投入量やヒ素供給濃度の最適化について検討を行うことで、安定した処理が期待される。</p>
<p>今後の課題</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 焙焼飛灰の処理に関する検討 ・ 実機での実証試験の実施 (実処理に向けた適切な運転条件の検討、焙焼灰溶出量、排ガス濃度の確認)