

平成 17 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、既存の情報を収集するとともに、実際の汚染土壌および汚染地下水を用いた実証試験を行い、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) 土壌浄化技術の選定

実証試験技術の選定は、これまでの知見、情報収集等の結果を踏まえ、土壌汚染対策法の認定処理施設、汚染土壌のオンサイト処理技術、廃棄物処理施設、土壌浄化施設にヒアリング調査を行い、下記に示す 3 技術を選定した。(選定経緯：図-1)

- 間接加熱処理 〔 ㈱ 鴻 池 組 〕
- ジオメルト工法 〔 ㈱アイエスブイジャパン〕
- 廃棄物処理施設 熔融炉 〔 ㈱カムテックス〕

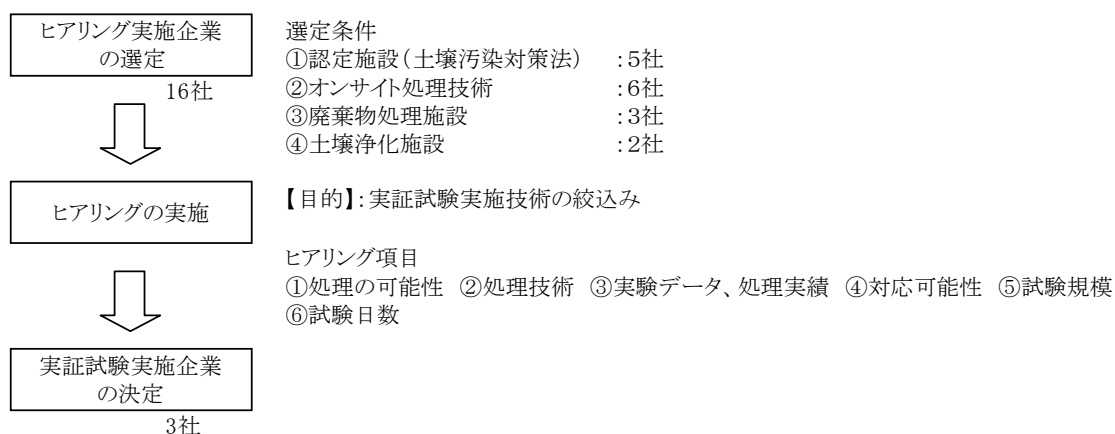
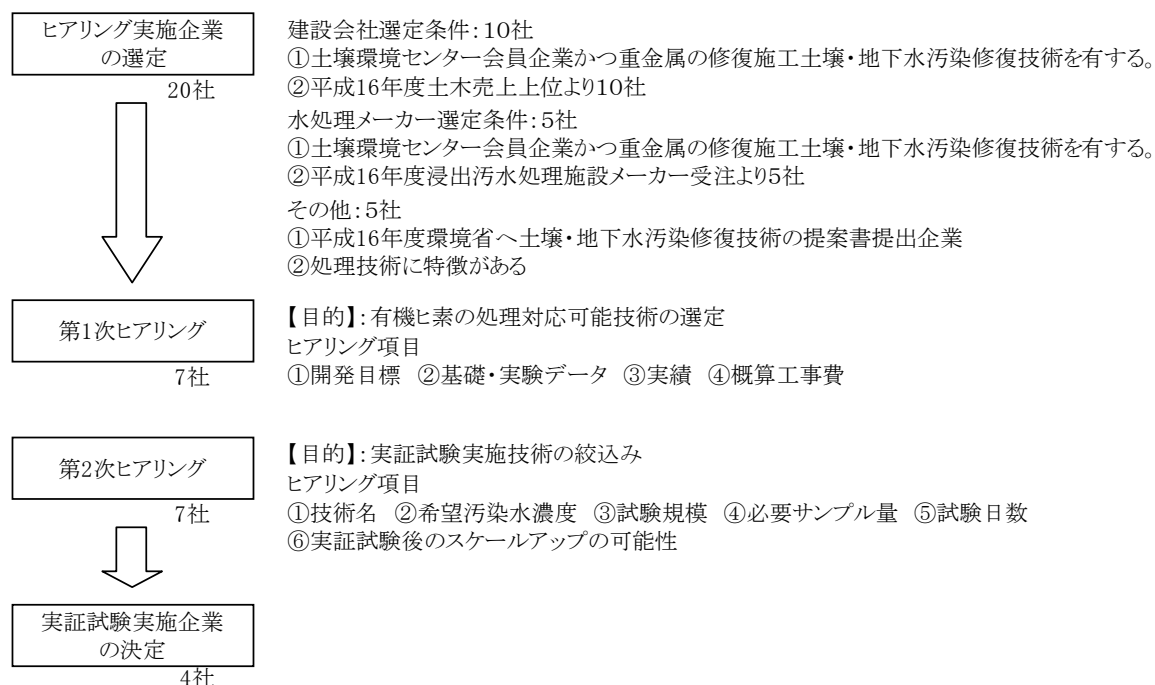


図-1 汚染土壌浄化技術の選定経緯

（２）地下水浄化技術の選定

実証試験技術の選定は、これまでの知見（浄化実績、浄化能力等）を踏まえてヒアリング調査を行い、下記に示す４技術を選定した。（選定経緯：図-2）

- 粉末活性炭吸着＋凝集沈殿処理 〔（株）鴻池組〕
- 促進酸化処理（光化学分解） 〔（株）クボタ〕
- RO膜処理 〔（株）神戸製鋼所〕
- 透過性浄化壁（マルチバリア） 〔大成建設（株）〕



図－2 地下水浄化技術の選定経緯

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。

【土壌浄化技術】

【土壌浄化技術】

技術名	間接加熱処理																																																																						
実施企業	株式会社鴻池組																																																																						
原理	汚染土壌を400～700℃で1時間程度加熱して、揮発性の汚染物質を揮発・抽出すると同時に、抽出されたガスを水蒸気雰囲気下で約1,100℃に3秒間以上間接加熱し、その後、約1,100℃で酸化処理する。																																																																						
原理図																																																																							
試験概要	試験規模：パイロットスケール(処理能力:50kg/時) 処理対象：汚染土壌、コンクリート様の塊 実験条件：下表の通り。 <table><tr><th>実験ケース</th><th>Run1</th><th>Run2</th></tr><tr><td>処理量</td><td>汚染土壌 120kg(初期湿潤重量)</td><td>コンクリート様の塊 60kg(初期湿潤重量)</td></tr><tr><td>処理時間</td><td>4時間</td><td>4時間</td></tr><tr><td rowspan="8">運転条件</td><td>間接加熱装置</td><td></td></tr><tr><td>処理速度</td><td>30kg/hr</td></tr><tr><td>処理温度¹⁾</td><td>650</td></tr><tr><td>滞留時間</td><td>60分</td></tr><tr><td>加熱部滞留時間²⁾</td><td>40分</td></tr><tr><td>ガス分解装置</td><td></td></tr><tr><td>処理温度</td><td>1,100</td></tr><tr><td>ガス分解部滞留時間</td><td>3秒以上</td></tr></table> 1) 加熱炉表面温度 2) 滞留時間は土壌が実際に加熱されている時間を示す。加熱炉内滞留時間の2/3に相当する。	実験ケース	Run1	Run2	処理量	汚染土壌 120kg(初期湿潤重量)	コンクリート様の塊 60kg(初期湿潤重量)	処理時間	4時間	4時間	運転条件	間接加熱装置		処理速度	30kg/hr	処理温度 ¹⁾	650	滞留時間	60分	加熱部滞留時間 ²⁾	40分	ガス分解装置		処理温度	1,100	ガス分解部滞留時間	3秒以上																																												
実験ケース	Run1	Run2																																																																					
処理量	汚染土壌 120kg(初期湿潤重量)	コンクリート様の塊 60kg(初期湿潤重量)																																																																					
処理時間	4時間	4時間																																																																					
運転条件	間接加熱装置																																																																						
	処理速度	30kg/hr																																																																					
	処理温度 ¹⁾	650																																																																					
	滞留時間	60分																																																																					
	加熱部滞留時間 ²⁾	40分																																																																					
	ガス分解装置																																																																						
	処理温度	1,100																																																																					
	ガス分解部滞留時間	3秒以上																																																																					
結果概要	1. 分析結果概要 <table><tr><th rowspan="2"></th><th rowspan="2"></th><th colspan="2">処理前試料</th><th colspan="2">処理後試料</th></tr><tr><th>土壌</th><th>コンクリート様の塊</th><th>土壌</th><th>コンクリート様の塊</th></tr><tr><td>DPAA</td><td>(mg-As/kg)</td><td>1.6</td><td>230</td><td><0.005</td><td><0.005</td></tr><tr><td>PAA</td><td>(mg-As/kg)</td><td>1.6</td><td>200</td><td><0.005</td><td><0.005</td></tr><tr><td>PMAA</td><td>(mg-As/kg)</td><td><0.1</td><td><0.1</td><td><0.005</td><td><0.005</td></tr><tr><td>総ヒ素:含有量</td><td>(mg/kg)</td><td>98</td><td>1,100</td><td>120</td><td>880</td></tr><tr><td>溶出量</td><td>(mg/L)</td><td>1.1</td><td>67</td><td>0.57¹⁾</td><td>0.75¹⁾</td></tr><tr><td colspan="6">大気放出ガス</td></tr><tr><td>DPAA</td><td>(mg-As/m³)</td><td>-</td><td>-</td><td><0.001</td><td><0.001</td></tr><tr><td>PAA</td><td>(mg-As/m³)</td><td>-</td><td>-</td><td><0.001</td><td><0.001</td></tr><tr><td>PMAA</td><td>(mg-As/m³)</td><td>-</td><td>-</td><td><0.001</td><td><0.001</td></tr><tr><td>総ヒ素</td><td>(mg/m³)</td><td>-</td><td>-</td><td><0.001</td><td><0.001</td></tr></table> ¹⁾ 処理後試料の総ヒ素溶出量の分析結果は不溶化処理前の値			処理前試料		処理後試料		土壌	コンクリート様の塊	土壌	コンクリート様の塊	DPAA	(mg-As/kg)	1.6	230	<0.005	<0.005	PAA	(mg-As/kg)	1.6	200	<0.005	<0.005	PMAA	(mg-As/kg)	<0.1	<0.1	<0.005	<0.005	総ヒ素:含有量	(mg/kg)	98	1,100	120	880	溶出量	(mg/L)	1.1	67	0.57 ¹⁾	0.75 ¹⁾	大気放出ガス						DPAA	(mg-As/m ³)	-	-	<0.001	<0.001	PAA	(mg-As/m ³)	-	-	<0.001	<0.001	PMAA	(mg-As/m ³)	-	-	<0.001	<0.001	総ヒ素	(mg/m ³)	-	-	<0.001	<0.001
				処理前試料		処理後試料																																																																	
		土壌	コンクリート様の塊	土壌	コンクリート様の塊																																																																		
DPAA	(mg-As/kg)	1.6	230	<0.005	<0.005																																																																		
PAA	(mg-As/kg)	1.6	200	<0.005	<0.005																																																																		
PMAA	(mg-As/kg)	<0.1	<0.1	<0.005	<0.005																																																																		
総ヒ素:含有量	(mg/kg)	98	1,100	120	880																																																																		
溶出量	(mg/L)	1.1	67	0.57 ¹⁾	0.75 ¹⁾																																																																		
大気放出ガス																																																																							
DPAA	(mg-As/m ³)	-	-	<0.001	<0.001																																																																		
PAA	(mg-As/m ³)	-	-	<0.001	<0.001																																																																		
PMAA	(mg-As/m ³)	-	-	<0.001	<0.001																																																																		
総ヒ素	(mg/m ³)	-	-	<0.001	<0.001																																																																		

	2.試験結果 処理後の土壌及びコンクリート様の塊に含有する有機ヒ素化合物濃度が定量下限値(0.005mg-As/kg)未満であり、有機ヒ素化合物は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。無機化すると素のほとんどが、処理後土壌及びコンクリート様の塊に残留する。 処理後土壌及びコンクリート様の塊は、不溶化処理により、管理型最終処分場への受入基準(0.3mg/L)を満足することが確認された。
経済性 (概算)	・処理単価 (処理対象物:汚染土壌1,000t、施設規模:300kg/時、処理期間:7ヶ月) 約436千円/t
評価	処理後試料中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。 前処理条件や処理温度条件、処理時間(速度)等については、検討の余地があり、さらなる最適化が可能と思われる。なお、処理後試料中に残存する総ヒ素の不溶化処理については、目標値を環境基準とする場合には、さらなる検討が必要である。
今後の課題	・ 前処理(選別、分級)、温度条件、処理時間(速度)などシステムの最適化の検討 ・ 溶出基準の目標設定とそれに見合った不溶化処理方法の検討

【土壌浄化技術】

技術名	ジオメルト工法																																				
実施企業	株式会社アイエスビージャパン																																				
原理	溶融炉内に充填した処理対象物中に挿入した電極間に通電し、ジュール熱により溶融(1,600℃以上)することで、汚染物質を分解無害化または生成する溶融固化体中に封じ込める。																																				
フロー図																																					
試験概要	試験規模：パイロットスケール(処理能力:10kg/バッチ) 処理対象：コンクリート様の塊 実験条件：下表の通り。 <table><tr><td>実験ケース</td><td>Run1</td></tr><tr><td>充填物</td><td>有機ヒ素汚染物(コンクリート様の塊)：9.0kg 覆土：6.1kg 計15.1kg</td></tr><tr><td rowspan="8">設備仕様</td><td>溶融炉</td></tr><tr><td>寸法</td><td>内寸直径500×H600mm、密閉シール用鋼製フード付き</td></tr><tr><td>電極棒</td><td>グラファイト製、直径25.4mm、2本</td></tr><tr><td>電極フィード方式</td><td>事前埋込み固定方式</td></tr><tr><td>オフガス処理設備</td><td></td></tr><tr><td>オフガス流量</td><td>34Nm³/h(湿潤ガス基準)</td></tr><tr><td>オフガス冷却方式</td><td>洗浄水スプレー方式</td></tr><tr><td>ダスト処理方式</td><td>洗浄水スプレー+高性能HEPAフィルタ方式</td></tr><tr><td>ガス処理方式</td><td>活性炭フィルタ吸着方式</td></tr></table>	実験ケース	Run1	充填物	有機ヒ素汚染物(コンクリート様の塊)：9.0kg 覆土：6.1kg 計15.1kg	設備仕様	溶融炉	寸法	内寸直径500×H600mm、密閉シール用鋼製フード付き	電極棒	グラファイト製、直径25.4mm、2本	電極フィード方式	事前埋込み固定方式	オフガス処理設備		オフガス流量	34Nm ³ /h(湿潤ガス基準)	オフガス冷却方式	洗浄水スプレー方式	ダスト処理方式	洗浄水スプレー+高性能HEPAフィルタ方式	ガス処理方式	活性炭フィルタ吸着方式														
実験ケース	Run1																																				
充填物	有機ヒ素汚染物(コンクリート様の塊)：9.0kg 覆土：6.1kg 計15.1kg																																				
設備仕様	溶融炉																																				
	寸法	内寸直径500×H600mm、密閉シール用鋼製フード付き																																			
	電極棒	グラファイト製、直径25.4mm、2本																																			
	電極フィード方式	事前埋込み固定方式																																			
	オフガス処理設備																																				
	オフガス流量	34Nm ³ /h(湿潤ガス基準)																																			
	オフガス冷却方式	洗浄水スプレー方式																																			
	ダスト処理方式	洗浄水スプレー+高性能HEPAフィルタ方式																																			
ガス処理方式	活性炭フィルタ吸着方式																																				
結果概要	1.分析結果概要 <table><tr><td></td><td>処理前試料</td><td>処理後試料</td></tr><tr><td></td><td>コンクリート様の塊</td><td>溶融固化体</td></tr><tr><td>DPAA (mg-As/kg)</td><td>230</td><td><0.005</td></tr><tr><td>PAA (mg-As/kg)</td><td>200</td><td><0.005</td></tr><tr><td>PMAA (mg-As/kg)</td><td><0.1</td><td><0.005</td></tr><tr><td>総ヒ素含有量 (mg/kg)</td><td>1,100</td><td>51.7¹⁾</td></tr><tr><td>溶出量 (mg/L)</td><td>67</td><td><0.001</td></tr><tr><td></td><td></td><td>大気放出ガス</td></tr><tr><td>DPAA (mg-As/m³)</td><td>-</td><td><0.001</td></tr><tr><td>PAA (mg-As/m³)</td><td>-</td><td><0.001</td></tr><tr><td>PMAA (mg-As/m³)</td><td>-</td><td><0.001</td></tr><tr><td>総ヒ素 (mg/m³)</td><td>-</td><td><0.001</td></tr></table> ¹⁾ 処理後試料の総ヒ素含有量分析結果は3試料について実施している。 7.0mg/kg 41mg/kg 107mg/kg 平均: 51.7mg/kg		処理前試料	処理後試料		コンクリート様の塊	溶融固化体	DPAA (mg-As/kg)	230	<0.005	PAA (mg-As/kg)	200	<0.005	PMAA (mg-As/kg)	<0.1	<0.005	総ヒ素含有量 (mg/kg)	1,100	51.7 ¹⁾	溶出量 (mg/L)	67	<0.001			大気放出ガス	DPAA (mg-As/m ³)	-	<0.001	PAA (mg-As/m ³)	-	<0.001	PMAA (mg-As/m ³)	-	<0.001	総ヒ素 (mg/m ³)	-	<0.001
	処理前試料	処理後試料																																			
	コンクリート様の塊	溶融固化体																																			
DPAA (mg-As/kg)	230	<0.005																																			
PAA (mg-As/kg)	200	<0.005																																			
PMAA (mg-As/kg)	<0.1	<0.005																																			
総ヒ素含有量 (mg/kg)	1,100	51.7 ¹⁾																																			
溶出量 (mg/L)	67	<0.001																																			
		大気放出ガス																																			
DPAA (mg-As/m ³)	-	<0.001																																			
PAA (mg-As/m ³)	-	<0.001																																			
PMAA (mg-As/m ³)	-	<0.001																																			
総ヒ素 (mg/m ³)	-	<0.001																																			

	2.試験結果 処理後のコンクリート様の塊(溶融固化体)に含有する有機ヒ素化合物濃度が定量下限値(0.005mg-As/kg)未満であり、有機ヒ素化合物は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)未満となることが確認された。 溶融固化体の総ヒ素含有量は、分析結果7.0～107mg/kgとばらつきがあることから、溶融固化体にヒ素が偏在している可能性がある。 処理後のヒ素の大部分は、溶融炉内に存在する可能性があり、オフガスフード等への付着も考えられることが示唆された。
経済性 (概算)	・処理単価(処理対象物:コンクリート様の塊100t、処理設備:3t、処理能力:2t/バッチ、処理期間:12ヶ月) 約4,760千円/t
評価	溶融固化体中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。また、溶融によるヒ素の除去効果も確認された。 処理システム内に残存したヒ素の挙動については、さらなる検討をして解明する必要がある。高温で処理しているため、物質収支をとることは難しいと思われるが、精度の向上が望まれる。また、現場実用化に向けて、コスト低減の可能性について検討を進めることが期待される。
今後の課題	・物質収支の精度向上の検討 ・システム内でのヒ素挙動の解明 ・コスト削減の検討

【土壌浄化技術】

技術名	溶融処理																																																														
実施企業	株式会社カムテックス																																																														
原理	産業廃棄物焼却炉に付属している燃焼方式表面溶融型溶融炉を用いて、汚染土壌を産業廃棄物焼却炉から発生する燃え殻、飛灰とともに溶融処理する。																																																														
概念図																																																															
試験概要	試験規模：実処理設備(溶融炉:60t/24時(実処理:60t/24時×2炉)) 処理対象：汚染土壌 実験条件：下表の通り。 <table><tr><td>実験ケース</td><td>汚染土壌A</td><td>汚染土壌B</td></tr><tr><td>処理量</td><td>207.5kg</td><td>525kg</td></tr><tr><td>処理状況</td><td colspan="2">15kg程度の汚染土壌を二重ビニル袋に入れ完全密封した状態で、溶融炉汚泥投入口より直接投入。一時間あたり、105kg程度を投入。</td></tr></table>				実験ケース	汚染土壌A	汚染土壌B	処理量	207.5kg	525kg	処理状況	15kg程度の汚染土壌を二重ビニル袋に入れ完全密封した状態で、溶融炉汚泥投入口より直接投入。一時間あたり、105kg程度を投入。																																																			
実験ケース	汚染土壌A	汚染土壌B																																																													
処理量	207.5kg	525kg																																																													
処理状況	15kg程度の汚染土壌を二重ビニル袋に入れ完全密封した状態で、溶融炉汚泥投入口より直接投入。一時間あたり、105kg程度を投入。																																																														
結果概要	1.分析結果概要 <table><tr><th rowspan="2"></th><th colspan="2">処理前試料</th><th colspan="2">処理後試料</th></tr><tr><th>土壌A</th><th>土壌B</th><th>土壌A (溶融スラグ)</th><th>土壌B (溶融スラグ)</th></tr><tr><td>DPAA (mg-As/kg)</td><td>0.02</td><td>38</td><td><0.02</td><td><0.02</td></tr><tr><td>PAA (mg-As/kg)</td><td>3.4</td><td>2,300</td><td><0.02</td><td><0.02</td></tr><tr><td>PMAA (mg-As/kg)</td><td><0.01</td><td><0.5</td><td><0.02</td><td><0.02</td></tr><tr><td>総ヒ素:含有量 (mg-As/kg)</td><td>67</td><td>4,200</td><td><5</td><td><5</td></tr><tr><td>溶出量 (mg-As/kg)</td><td>0.21</td><td>160</td><td><0.001</td><td><0.001</td></tr><tr><td colspan="5">大気放出ガス</td></tr><tr><td>DPAA (mg-As/m³)</td><td>-</td><td>-</td><td><0.001</td><td><0.001</td></tr><tr><td>PAA (mg-As/m³)</td><td>-</td><td>-</td><td><0.001</td><td><0.001</td></tr><tr><td>PMAA (mg-As/m³)</td><td>-</td><td>-</td><td><0.001</td><td><0.001</td></tr><tr><td>総ヒ素 (mg/m³)</td><td>-</td><td>-</td><td><0.001</td><td><0.001</td></tr></table> 2.試験結果 溶融炉出口温度は、試験期間中1,355 と自社評価基準である1,200 以上を満足し、溶融状態も異常は認められず良好な状態であったことが確認された。 溶融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)以下となることが確認された。 溶融スラグの品質は、総ヒ素含有量が5mg/kg未満と土壌含有量基準である150mg/kgより大幅に低い結果であることが確認された。					処理前試料		処理後試料		土壌A	土壌B	土壌A (溶融スラグ)	土壌B (溶融スラグ)	DPAA (mg-As/kg)	0.02	38	<0.02	<0.02	PAA (mg-As/kg)	3.4	2,300	<0.02	<0.02	PMAA (mg-As/kg)	<0.01	<0.5	<0.02	<0.02	総ヒ素:含有量 (mg-As/kg)	67	4,200	<5	<5	溶出量 (mg-As/kg)	0.21	160	<0.001	<0.001	大気放出ガス					DPAA (mg-As/m³)	-	-	<0.001	<0.001	PAA (mg-As/m³)	-	-	<0.001	<0.001	PMAA (mg-As/m³)	-	-	<0.001	<0.001	総ヒ素 (mg/m³)	-	-	<0.001	<0.001
	処理前試料		処理後試料																																																												
	土壌A	土壌B	土壌A (溶融スラグ)	土壌B (溶融スラグ)																																																											
DPAA (mg-As/kg)	0.02	38	<0.02	<0.02																																																											
PAA (mg-As/kg)	3.4	2,300	<0.02	<0.02																																																											
PMAA (mg-As/kg)	<0.01	<0.5	<0.02	<0.02																																																											
総ヒ素:含有量 (mg-As/kg)	67	4,200	<5	<5																																																											
溶出量 (mg-As/kg)	0.21	160	<0.001	<0.001																																																											
大気放出ガス																																																															
DPAA (mg-As/m³)	-	-	<0.001	<0.001																																																											
PAA (mg-As/m³)	-	-	<0.001	<0.001																																																											
PMAA (mg-As/m³)	-	-	<0.001	<0.001																																																											
総ヒ素 (mg/m³)	-	-	<0.001	<0.001																																																											

	溶融炉での有機ヒ素汚染土壌処理では、無機化されたヒ素の大部分が排ガスに移行し、バグフィルタで捕集され飛灰として回収されるが、ヒ素は徐々に移行するため、ヒ素収支を確認するためには、汚染土壌処理中及び処理後に飛灰処理物のヒ素含有量をモニタリングすることが重要であることが示唆された。
経済性 (概算)	・処理単価 (処理対象物:汚染土壌あるいは産廃処理、100t/ロット、10t/日、200Lドラム缶荷姿) 1.含有量濃度 ヒ素濃度2,000mg/kg以下 :75千円/t 2.含有量濃度 ヒ素濃度2,001～10,000mg/kg以下 :150千円/t 3.含有量濃度 ヒ素濃度10,001mg/kg以上 :別途算出
評価	溶融スラグ中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。また、溶融スラグ中からヒ素が除去されており、コストも安価なことから、安定した処理が期待できる。溶融処理の前段に焼却処理工程を有していることから、産業廃棄物との混合焼却処理も有効な手段であり、技術の実証が望まれる。 処理システム内でのヒ素の挙動については、さらなる検討をして解明することが望まれる。また、物質収支の精度向上、混合処理率の向上も望まれる。
今後の課題	・物質収支の精度向上の検討 ・システム内でのヒ素挙動の解明 ・混合処理率向上の検討 ・焼却＋溶融処理の適用性の検討

【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。																																																										
代表処理フロー	原水槽 ⇒ 活性炭反応槽 ⇒ 鉄塩pH調整槽 ⇒ 凝集沈殿槽 ⇒ フィルター ⇒ 活性炭吸着塔 ⇒ 処理水 汚染濃縮貯留 ⇒ 汚泥搬出																																																										
試験概要	試験規模：パイロットスケール(1.0m³/時) 処理対象：高濃度汚染地下水、低濃度汚染地下水 実験条件：パイロットスケール試験条件は、下表の通り。 <table><tr><td>実験ケース</td><td>Run1</td><td>Run2</td><td>Run3</td><td>Run4</td><td>Run5</td></tr><tr><td>原水濃度</td><td>高濃度地下水</td><td>高濃度地下水</td><td>低濃度地下水</td><td>低濃度地下水</td><td>低濃度地下水</td></tr><tr><td>処理規模 (m³)</td><td>4</td><td>4</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td></tr><tr><td>活性炭種類</td><td>活性炭A</td><td>活性炭B</td><td>活性炭A</td><td>活性炭A</td><td>活性炭A</td></tr><tr><td>活性炭添加量 (g/L)</td><td>2</td><td>2</td><td>0.1</td><td>0.3</td><td>0.3</td></tr><tr><td>pH</td><td>3</td><td>3</td><td>7</td><td>7</td><td>3</td></tr><tr><td>pH調整剤</td><td>H₂SO₄</td><td>H₂SO₄</td><td>-</td><td>-</td><td>H₂SO₄</td></tr><tr><td>Fe/As</td><td>20</td><td>20</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td></tr><tr><td>活性炭吸着塔SV値 (h⁻¹)</td><td>2</td><td>2</td><td>11</td><td>11</td><td>11</td></tr></table>					実験ケース	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	原水濃度	高濃度地下水	高濃度地下水	低濃度地下水	低濃度地下水	低濃度地下水	処理規模 (m ³)	4	4	5	5	5	活性炭種類	活性炭A	活性炭B	活性炭A	活性炭A	活性炭A	活性炭添加量 (g/L)	2	2	0.1	0.3	0.3	pH	3	3	7	7	3	pH調整剤	H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	-	-	H ₂ SO ₄	Fe/As	20	20	15	15	15	活性炭吸着塔SV値 (h ⁻¹)	2	2	11	11	11
実験ケース	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5																																																						
原水濃度	高濃度地下水	高濃度地下水	低濃度地下水	低濃度地下水	低濃度地下水																																																						
処理規模 (m ³)	4	4	5	5	5																																																						
活性炭種類	活性炭A	活性炭B	活性炭A	活性炭A	活性炭A																																																						
活性炭添加量 (g/L)	2	2	0.1	0.3	0.3																																																						
pH	3	3	7	7	3																																																						
pH調整剤	H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	-	-	H ₂ SO ₄																																																						
Fe/As	20	20	15	15	15																																																						
活性炭吸着塔SV値 (h ⁻¹)	2	2	11	11	11																																																						
結果概要	1.分析結果概要 <table><tr><td>原水水質</td><td>高濃度汚染地下水</td><td>低濃度汚染地下水</td></tr><tr><td>DPAA (mg-As/L)</td><td>17</td><td>0.002</td></tr><tr><td>PAA (mg-As/L)</td><td>0.097</td><td>0.043</td></tr><tr><td>PMAA (mg-As/L)</td><td>0.017</td><td>0.002</td></tr></table>)パイロットスケール試験実施時の原水水質 <table><tr><td>処理水質</td><td>高濃度汚染地下水</td><td>低濃度汚染地下水</td></tr><tr><td>達成レベル</td><td>地下浸透基準レベル</td><td>環境基準レベル</td></tr><tr><td>有機ヒ素 (mg-As/L)</td><td><0.001</td><td><0.01</td></tr><tr><td>総ヒ素 (mg/L)</td><td><0.005</td><td><0.01</td></tr></table> 2.試験結果 事前の室内試験では、処理対象水を酸性側(pH3)に移行させることで、有機ヒ素化合物の活性炭吸着量が増加すること、活性炭量を増加させることで環境基準レベルまで有機ヒ素化合物が除去可能であることが確認された。 パイロットスケール試験では、高濃度汚染地下水の場合、処理水質は地下浸透基準の全項目の基準値を満足し、地下浸透基準レベル(有機ヒ素濃度0.001mg-As/L未満、T-As濃度0.005mg/L未満)を満足することが確認された。 パイロットスケール試験では、低濃度汚染地下水の場合、処理水質は環境基準レベル(有機ヒ素濃度0.01mg-As/L未満、T-As濃度0.01mg/L未満)を満足することが確認された。 パイロットスケール試験では、高濃度汚染地下水処理試験において、凝集沈殿処理時にpHを中性域に調整した際に、活性炭に吸着した有機ヒ素化合物の再脱離が起こることが確認された。					原水水質	高濃度汚染地下水	低濃度汚染地下水	DPAA (mg-As/L)	17	0.002	PAA (mg-As/L)	0.097	0.043	PMAA (mg-As/L)	0.017	0.002	処理水質	高濃度汚染地下水	低濃度汚染地下水	達成レベル	地下浸透基準レベル	環境基準レベル	有機ヒ素 (mg-As/L)	<0.001	<0.01	総ヒ素 (mg/L)	<0.005	<0.01																														
原水水質	高濃度汚染地下水	低濃度汚染地下水																																																									
DPAA (mg-As/L)	17	0.002																																																									
PAA (mg-As/L)	0.097	0.043																																																									
PMAA (mg-As/L)	0.017	0.002																																																									
処理水質	高濃度汚染地下水	低濃度汚染地下水																																																									
達成レベル	地下浸透基準レベル	環境基準レベル																																																									
有機ヒ素 (mg-As/L)	<0.001	<0.01																																																									
総ヒ素 (mg/L)	<0.005	<0.01																																																									

経済性 (概算)	・高濃度汚染地下水(施設規模:100m³/日、処理水レベル:地下浸透基準レベル、処理期間:10年) 約1.8千円/m³ ・低濃度汚染地下水(施設規模:100m³/日、処理水レベル:地下浸透基準レベル、処理期間:3年) 約1.3千円/m³
評価	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は可能であることを確認できたことから、実証試験結果は評価できる。また、処理コスト面では最も有利な技術であることが確認できた。 本試験では、多量の活性炭を使用しているが、活性炭添加量については、検討の余地があり、さらなる最適化が可能と思われる。なお、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の検討が望まれる。その他、吸着剤や凝集剤の最適化やpHコントロール等についても検討し、安定性を向上することが期待される。
今後の課題	・ 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

【地下水浄化技術】

技術名	促進酸化処理(光化学分解)																																	
実施企業	株式会社クボタ																																	
原理	UV/オゾン処理を行い有機ヒ素化合物を分解する。																																	
代表処理フロー	(貯留層) ⇒ 光化学分解 (注) ⇒ 凝集沈殿 ⇒ 砂ろ過 ⇒ アルミナ吸着 ⇒ 処理水槽 ⇒ 処理水 (注) UV/オゾン処理 ↓ 汚染濃縮貯留 ⇒ 汚泥搬出																																	
試験概要	試験規模：ベンチスケール(20L/回)、有機ヒ素化合物の無機化確認のみ実施 処理対象：低濃度汚染地下水 実験条件：回分試験及び連続通水試験条件は、下表のとおり。 <table><tr><th rowspan="2">実験ケース</th><th rowspan="2">回分試験</th><th colspan="4">連続通水試験</th></tr><tr><th>Run1</th><th>Run2</th><th>Run3</th><th>Run4</th></tr><tr><td>O₃供給速度 (mg/min)</td><td></td><td colspan="4">20～80</td></tr><tr><td>紫外線強度</td><td></td><td colspan="4">15W低圧 UVランプ</td></tr><tr><td>滞留時間</td><td>任意時間で採取</td><td>推測値の0.5倍</td><td>推測値の0.8倍</td><td>推測値の1.0倍</td><td>推測値の1.5倍</td></tr></table>						実験ケース	回分試験	連続通水試験				Run1	Run2	Run3	Run4	O ₃ 供給速度 (mg/min)		20～80				紫外線強度		15W低圧 UVランプ				滞留時間	任意時間で採取	推測値の0.5倍	推測値の0.8倍	推測値の1.0倍	推測値の1.5倍
実験ケース	回分試験	連続通水試験																																
		Run1	Run2	Run3	Run4																													
O ₃ 供給速度 (mg/min)		20～80																																
紫外線強度		15W低圧 UVランプ																																
滞留時間	任意時間で採取	推測値の0.5倍	推測値の0.8倍	推測値の1.0倍	推測値の1.5倍																													
結果概要	1.分析結果概要 <table><tr><th>原水水質</th><th>高濃度汚染地下水</th><th>低濃度汚染地下水¹⁾</th></tr><tr><td>DPAA (mg-As/L)</td><td>-</td><td>0.0018</td></tr><tr><td>PAA (mg-As/L)</td><td>-</td><td>0.038</td></tr><tr><td>PMAA (mg-As/L)</td><td>-</td><td>0.0025</td></tr></table> ろ過後の原水水質 <table><tr><th>処理水質</th><th>高濃度汚染地下水¹⁾</th><th>低濃度汚染地下水</th></tr><tr><td>達成レベル</td><td>地下浸透基準レベル</td><td>地下浸透基準レベル</td></tr><tr><td>有機ヒ素 (mg-As/L)</td><td><0.001</td><td><0.001</td></tr><tr><td>総ヒ素 (mg/L)</td><td><0.005</td><td><0.005</td></tr></table> ¹⁾H16～17年度に高濃度汚染地下水の実処理を実施している。 2.試験結果 本技術は高濃度汚染地下水処理の実績を有しているが、低濃度汚染地下水においても、処理水質は地下浸透基準の全項目の基準値を満足し、地下浸透基準レベル(有機ヒ素濃度0.005mg-As/L未満、T-As濃度0.001mg/L未満)を満足できることが確認された。						原水水質	高濃度汚染地下水	低濃度汚染地下水 ¹⁾	DPAA (mg-As/L)	-	0.0018	PAA (mg-As/L)	-	0.038	PMAA (mg-As/L)	-	0.0025	処理水質	高濃度汚染地下水 ¹⁾	低濃度汚染地下水	達成レベル	地下浸透基準レベル	地下浸透基準レベル	有機ヒ素 (mg-As/L)	<0.001	<0.001	総ヒ素 (mg/L)	<0.005	<0.005				
原水水質	高濃度汚染地下水	低濃度汚染地下水 ¹⁾																																
DPAA (mg-As/L)	-	0.0018																																
PAA (mg-As/L)	-	0.038																																
PMAA (mg-As/L)	-	0.0025																																
処理水質	高濃度汚染地下水 ¹⁾	低濃度汚染地下水																																
達成レベル	地下浸透基準レベル	地下浸透基準レベル																																
有機ヒ素 (mg-As/L)	<0.001	<0.001																																
総ヒ素 (mg/L)	<0.005	<0.005																																
経済性(概算)	・高濃度汚染地下水(施設規模:100m³/日、処理水レベル:地下浸透基準レベル、処理期間:10年) 約2.4千円/m³ ・低濃度汚染地下水(施設規模:100m³/日、処理水レベル:地下浸透基準レベル、処理期間:3年) 約3.8千円/m³																																	
評価	低濃度汚染地下水に対して、UV/オゾン処理による有機ヒ素の分解(0.001mg-As/L未満)が可能であることを確認できたことから、実証試験結果は評価できる。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。 今後は、処理コストの削減、副生成物の安全性の検討を進めることが望まれる。																																	
今後の課題	・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																																	

【地下水浄化技術】

技術名	RO膜処理																								
実施企業	株式会社神戸製鋼所																								
原理	凝集沈殿処理、砂ろ過処理によりSS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微量のヒ素化合物を除去する。また、膜濃縮水は、蒸発濃縮処理により減容化され、凝集沈殿汚泥とともに無機化処理する。																								
代表処理フロー	<pre>graph LR A[原水] --> B[凝集沈殿] B --> C[砂ろ過] C --> D[膜ろ過] D --> E[吸着処理] D --> F[蒸発濃縮処理] E --> G[無機化処理] F --> G F -- 原水へ返送 --> C G --> H[無機化処理水]</pre>																								
試験概要	試験規模：パイロットスケール(0.3m³/日) 処理対象：高濃度汚染地下水、低濃度汚染地下水 実験条件：パイロットスケール試験条件は、下表の通り。 <table><tr><td>実験ケース</td><td>Run1,2,3</td><td>Run1,2,3</td></tr><tr><td>原水濃度</td><td>高濃度地下水</td><td>低濃度地下水</td></tr><tr><td>凝集剤</td><td colspan="2">FeCl₃</td></tr><tr><td>凝集剤添加量 (mg/L)</td><td colspan="2">50</td></tr><tr><td>凝集pH</td><td colspan="2">7.5</td></tr><tr><td>膜の種類</td><td colspan="2">DTモジュール、2段</td></tr><tr><td>吸着剤</td><td colspan="2">無機系吸着剤</td></tr><tr><td>SV値 (h⁻¹)</td><td colspan="2">20</td></tr></table>	実験ケース	Run1,2,3	Run1,2,3	原水濃度	高濃度地下水	低濃度地下水	凝集剤	FeCl ₃		凝集剤添加量 (mg/L)	50		凝集pH	7.5		膜の種類	DTモジュール、2段		吸着剤	無機系吸着剤		SV値 (h ⁻¹)	20	
実験ケース	Run1,2,3	Run1,2,3																							
原水濃度	高濃度地下水	低濃度地下水																							
凝集剤	FeCl ₃																								
凝集剤添加量 (mg/L)	50																								
凝集pH	7.5																								
膜の種類	DTモジュール、2段																								
吸着剤	無機系吸着剤																								
SV値 (h ⁻¹)	20																								
結果概要	1.分析結果概要 <table><tr><td>原水水質</td><td>高濃度汚染地下水</td><td>低濃度汚染地下水</td></tr><tr><td>DPAA (mg-As/L)</td><td>19</td><td>0.003</td></tr><tr><td>PAA (mg-As/L)</td><td>0.19</td><td>0.06</td></tr><tr><td>PMAA (mg-As/L)</td><td>0.025</td><td>0.003</td></tr></table> <table><tr><td>処理水質</td><td>高濃度汚染地下水</td><td>低濃度汚染地下水</td></tr><tr><td>達成レベル</td><td>地下浸透基準レベル</td><td>地下浸透基準レベル</td></tr><tr><td>有機ヒ素 (mg-As/L)</td><td><0.001</td><td><0.001</td></tr><tr><td>総ヒ素 (mg/L)</td><td><0.001</td><td><0.001</td></tr></table> 2.試験結果 本条件での処理で、高濃度汚染地下水及び低濃度汚染地下水ともに、処理水質は地下浸透基準の全項目の基準値を満足し、地下浸透基準レベル(有機ヒ素濃度0.001mg-As/L未満、T-As濃度0.005mg/L未満)を満足することが確認された。(T-As濃度は、0.001mg/L未満を満足) 無機化処理試験の結果、高濃度汚染地下水の有機ヒ素汚泥と膜濃縮水を蒸発処理した水の混合水に対し、有機ヒ素化合物濃度は0.001mg-As/L未満に分解されることが確認された。	原水水質	高濃度汚染地下水	低濃度汚染地下水	DPAA (mg-As/L)	19	0.003	PAA (mg-As/L)	0.19	0.06	PMAA (mg-As/L)	0.025	0.003	処理水質	高濃度汚染地下水	低濃度汚染地下水	達成レベル	地下浸透基準レベル	地下浸透基準レベル	有機ヒ素 (mg-As/L)	<0.001	<0.001	総ヒ素 (mg/L)	<0.001	<0.001
原水水質	高濃度汚染地下水	低濃度汚染地下水																							
DPAA (mg-As/L)	19	0.003																							
PAA (mg-As/L)	0.19	0.06																							
PMAA (mg-As/L)	0.025	0.003																							
処理水質	高濃度汚染地下水	低濃度汚染地下水																							
達成レベル	地下浸透基準レベル	地下浸透基準レベル																							
有機ヒ素 (mg-As/L)	<0.001	<0.001																							
総ヒ素 (mg/L)	<0.001	<0.001																							
経済性(概算)	・高濃度汚染地下水(施設規模:100m³/日、処理水レベル:地下浸透基準レベル、処理期間:10年) 約12千円/m³ ・低濃度汚染地下水(施設規模:100m³/日、処理水レベル:地下浸透基準レベル、処理期間:3年) 約17.9千円/m³																								

評価	高濃度汚染地下水及び低濃度汚染地下水に対して、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を確認できたことから、実証試験結果は評価できる。また、遺棄化学兵器汚染廃水処理などの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。 トータルシステムとしてのコスト評価については、検討の余地があり、さらなるコストの削減が望まれる。汚染地下水濃度や目標処理水質に合わせ、RO膜の選択を含むコスト検討が望まれる。
今後の課題	・ 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

【地下水浄化技術】

技術名	透過性浄化壁(マルチバリア)																												
実施企業	大成建設株式会社																												
原理	地中に構築した浄化壁を通過する汚染地下水中の有機ヒ素化合物を、浄化壁中に充填した活性炭等で吸着する。もしくは、地下水の上流側で酸化剤(液系)を注入することにより有機ヒ素化合物を無機化し、下流側で無機ヒ素を無機ヒ素吸着剤を含んだ浄化壁によって吸着する。																												
代表処理フロー	原水 ⇒ 吸着用浄化壁 ⇒ 処理水 1段 原水 ⇒ 注入壁 ⇒ 吸着用浄化壁 ⇒ 処理水 2段																												
試験概要	試験規模：ベンチスケール(連続通水試験:90L/回) 処理対象：高濃度汚染地下水、低濃度汚染地下水 実験条件：連続通水試験条件は、下表のとおり。 <table><tr><td>実験ケース</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>原水濃度</td><td>高濃度地下水</td><td>低濃度地下水</td><td>高濃度地下水のフェントン処理水</td><td>低濃度地下水</td></tr><tr><td>浄化剤</td><td>活性炭C</td><td>活性炭C</td><td>鉄粉</td><td>鉄粉,活性炭C</td></tr><tr><td>浄化剤配合量</td><td>5%</td><td>5%</td><td>10%</td><td>鉄粉10% 活性炭5%</td></tr><tr><td>滞留時間</td><td colspan="4">6時間</td></tr></table>				実験ケース					原水濃度	高濃度地下水	低濃度地下水	高濃度地下水のフェントン処理水	低濃度地下水	浄化剤	活性炭C	活性炭C	鉄粉	鉄粉,活性炭C	浄化剤配合量	5%	5%	10%	鉄粉10% 活性炭5%	滞留時間	6時間			
実験ケース																													
原水濃度	高濃度地下水	低濃度地下水	高濃度地下水のフェントン処理水	低濃度地下水																									
浄化剤	活性炭C	活性炭C	鉄粉	鉄粉,活性炭C																									
浄化剤配合量	5%	5%	10%	鉄粉10% 活性炭5%																									
滞留時間	6時間																												
結果概要	1.分析結果概要 <table><tr><td>原水水質</td><td>高濃度汚染地下水</td><td>低濃度汚染地下水</td></tr><tr><td>DPAA (mg-As/L)</td><td>21</td><td>0.090</td></tr><tr><td>PAA (mg-As/L)</td><td>0.16</td><td>0.046</td></tr><tr><td>PMAA (mg-As/L)</td><td>0.054</td><td>0.002</td></tr></table> <table><tr><td>処理水質</td><td>高濃度汚染地下水</td><td>低濃度汚染地下水</td></tr><tr><td>達成レベル</td><td>環境基準レベル</td><td>環境基準レベル</td></tr><tr><td>有機ヒ素 (mg-As/L)</td><td><0.01</td><td><0.01</td></tr><tr><td>総ヒ素 (mg/L)</td><td><0.01</td><td><0.01</td></tr></table> 2.試験結果 浄化剤が活性炭のみの場合、無機ヒ素を含めた総ヒ素で評価すると、低濃度の負荷に対しても、別途無機ヒ素吸着剤などを併用する必要があることが確認された。 無機ヒ素吸着剤(鉄粉)は、有機ヒ素化合物に対する吸着効果は見られないことが確認された。 鉄粉と活性炭を混合した場合、PAAに対する活性炭の吸着効果が低下することが確認された。 過酸化水素添加濃度500mg/L以上、FeSO₄1,000mg/Lのフェントン処理条件で、有機ヒ素化合物濃度を数mg-As/Lのオーダーまで無機化することが確認された。 本試験条件では、酸化分解+鉄粉の場合、酸化剤によるpH低下の影響により、鉄粉の無機ヒ素吸着効果が従来のヒ素吸着効果と比較して低下することが確認された。 試験結果から、浄化壁施工延長50m、施工深度30m、耐久年数10年で日処理量100m³/日で試算すると、高濃度及び低濃度汚染地下水いずれの濃度においても、処理水質は環境基準レベル(有機ヒ素濃度0.01mg-As/L、T-As濃度0.01mg/L)を満足することが予測された。				原水水質	高濃度汚染地下水	低濃度汚染地下水	DPAA (mg-As/L)	21	0.090	PAA (mg-As/L)	0.16	0.046	PMAA (mg-As/L)	0.054	0.002	処理水質	高濃度汚染地下水	低濃度汚染地下水	達成レベル	環境基準レベル	環境基準レベル	有機ヒ素 (mg-As/L)	<0.01	<0.01	総ヒ素 (mg/L)	<0.01	<0.01	
原水水質	高濃度汚染地下水	低濃度汚染地下水																											
DPAA (mg-As/L)	21	0.090																											
PAA (mg-As/L)	0.16	0.046																											
PMAA (mg-As/L)	0.054	0.002																											
処理水質	高濃度汚染地下水	低濃度汚染地下水																											
達成レベル	環境基準レベル	環境基準レベル																											
有機ヒ素 (mg-As/L)	<0.01	<0.01																											
総ヒ素 (mg/L)	<0.01	<0.01																											

経済性 (概算)	設計条件: 耐久年数10年、施工延長50m × 施工深度30m ・高濃度汚染地下水 (処理水量: 100m³/日、活性炭浄化壁 + 酸化剤注入壁) 約1,010千円/m² ・低濃度汚染地下水 (処理水量: 100m³/日、活性炭浄化壁 2段 + 鉄粉浄化壁) 約1,720千円/m²
評価	揚水処理技術以外の手法として、適用条件によるが、有機ヒ素化合物の浄化の可能性が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。 本処理技術は、周辺地盤や地下水状況による部分が大きいため、適用条件や浄化効果の予測精度の向上が望まれる。また、酸化分解方法や吸着条件については検討の余地があり、さらなる技術開発が期待される。
今後の課題	・ 活性炭浄化壁、薬剤注入壁、鉄粉浄化壁の組合せ、段数、耐用年数、経年変化等の検討 ・ 活性炭や鉄粉の配合率、併用についての検討 ・ 酸化剤の最適化、注入方法の検討 ・ 吸着処理後の浄化壁処理方法の検討 ・ 適用条件の明確化 (地盤条件、地下水流速、汚染濃度等) の検討