

有機ヒ素化合物の汚染源周辺地域における高濃度汚染対策について

1. DPAA 地下水処理施設の運転状況

神栖市における DPAA 地下水処理施設の運転は、2009 年 4 月から 5 月末にかけての予備運転を経て 6 月から本格運転を実施しており、これまで当「総合調査検討会」において 2010 年 2 月末までの運転状況等を報告しているところである。今回は、2010 年 3 月から 6 月（以下、「本運転期間」という。）の運転状況等について報告を行う。

表 1.1 2010 年 3 月～6 月の運転状況（網掛け部分）

期 間	運転条件	運転時間	揚水井戸	注水状況*
2009年4、5月(予備運転)	5日/週	8時間/日	B-1 F-1,5,6 F-15 F-22	注水有り
2009年6月～2010年1月	5日/週	24時間/日	B-1 F-1,5,6 F-15 F-22	注水有り
2010年2月	5日/週	24時間/日	B-1 F-1,5,6 F-15	注水有り
2010年3月	5日/週	24時間/日	B-1 F-1,5,6 F-15 F-19	注水有り
2010年4月	5日/週	24時間/日	B-1 F-5,6 F-15 F-19	注水停止
2010年5月	6日/週	24時間/日	B-1 F-5,6 F-15 F-19	注水停止
2010年6月	6日/週	24時間/日	B-1 F-5,6 F-15 F-19 C-1 少量揚水(F-29,30)	注水停止

* : 矢板で囲まれた掘削調査地点への注水の状況

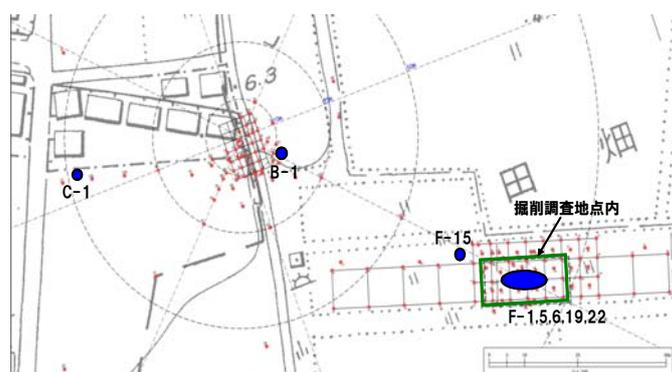


図 1.1 揚水井戸配置図

(1) 揚水量及び注水量

本運転期間（2010 年 3 月～6 月）の揚水量は、B-1 井戸で 11,462m³、F-15 井戸で 8,854m³、掘削調査地点内の F-1 井戸で 29 m³（揚水量の低下が続いていたため 4 月 9 日より停止）、F-5 井戸で 1,272 m³、F-6 井戸で 1,304m³、F-19 井戸で 1,112m³、6 月より揚水を開始した C-1 井戸

で1,851 m³、F-29 井戸で 108 m³、F-30 井戸で 156 m³、計 26,147 m³であった。これにより、2009 年 4 月から 15 ヶ月間の総揚水量は、78,648 m³となった。

掘削調査地点の F-22 井戸については、掘削調査地点内でより効果的な対策を行うため 2010 年 1 月 28 日より揚水を停止し、これに代わるものとして 3 月 16 日から F-19 井戸より揚水を開始した。この間と、4 月 9 日より停止した F-1 井戸の揚水量の減少分は、F-15 井戸の揚水量を増加させ全体で 1 日あたり 310 m³の揚水量を確保した。現在の揚水量は、B-1 井戸で 75m³/日、F-15 井戸で 105 m³/日、掘削調査地点の F-5,6,19 で 45 m³/日、C-1 井戸で 75m³/日、F-29、30 井戸については 2 週間ごと交互に 10 m³/日で揚水し、計 310m³/日としている。表 1.2 に各揚水井戸の揚水量月別データを示す。

表 1.2 本運転期間（2010 年 3 月～6 月）における月別揚水量

月	揚水量(m ³)									合計
	B-1	F-15	C-1	F-1	F-5	F-6	F-19	F-29	F-30	
3月	3,054.4	1,988.6	-	24.4	270.2	301.6	115.5	-	-	5,754.7
4月	3,213.8	2,074.4	-	4.4	310.6	309.9	304.7	-	-	6,217.8
5月	3,355.9	2,200.5	-	-	320.9	321.5	321.0	-	-	6,519.8
6月	1,838.1	2,590.9	1,850.7	-	370.0	370.7	370.3	108.2	155.8	7,654.7
合計	11,462.2	8,854.4	1,850.7	28.8	1,271.7	1,303.7	1,111.5	108.2	155.8	26,147.0

本運転期間（2010 年 3 月～6 月）中の掘削調査地点内への注水は、4 月 2 日より、注水効果確認のため停止している。このため、注水量は F-17 井戸で 133 m³、F-18 井戸で 133 m³、F-20 井戸で 133 m³、F-21 井戸で 206 m³、計 605 m³であった。また、2009 年 4 月からの総注水量は、7,403 m³となった。表 1.3 に注水量の月別データを示す。

表 1.3 本運転期間（2010 年 3 月～6 月）における月別注水量

月	注水量(m ³)				合計
	F-17	F-18	F-20	F-21	
3月	126.7	127.4	122.8	194.2	571.1
4月	6.2	5.8	9.8	12.2	34.0
5月	-	-	-	-	0.0
6月	-	-	-	-	0.0
合計	132.9	133.2	132.6	206.4	605.1

（2）放流水水質及び除去率の評価

放流前の貯留槽における総ヒ素濃度分析（現場分析）は本運転期間（2010 年 3 月～6 月）中 170 回実施しており、いずれも総ヒ素濃度の排出管理基準値（0.01mg/L）を満たし、現場分析における定量下限値（0.005mg/L）未満であった。分析機関（計量証明事業者）による総ヒ素及び有機ヒ素化合物分析結果（9 回実施）においても、総ヒ素、DPAA（ジフェニルアルシン酸）、PAA（フェニルアルソン酸）、PMAA（フェニルメチルアルシン酸）はすべて定量下限値（0.001mg/L）未満であった。本運転期間中、クロスチェックの為に 4 回実施した総ヒ素分析結果を表 1.4 に示す。

原水槽における総ヒ素濃度分析（現場分析）は 32 回実施している。最大濃度は 6 月で 1.0mg/L、

最小濃度は3,4,5月で0.67mg/Lである。6月の平均濃度は0.78mg/Lであり、本格運転開始時の2009年6月の平均濃度4.2mg/Lの約2割程度まで減少している。放流時測定結果（現場分析における総ヒ素の定量下限値（0.005mg/L）未満）を放流水濃度とすると、本運転期間（2010年3月～6月）中の除去率はすべて99%以上であった。

表 1.4 本運転期間(2010年3月～6月)における総ヒ素分析結果

項目	単位	基準	分析結果		備 考
3月			[現場分析]	[分析機関]	
原水	(mg/L)	(3/15)	0.77	0.95	現場:平均値 0.80 (最大値:0.83、最小値:0.67)
放流水	(mg/L)	<0.01	<0.005	<0.001	現場:平均値 (No.1、No.2貯留槽水質分析結果)
除去率	(%)		99.4	99.9	除去率=(原水濃度-放流水濃度)/(原水濃度)×100
4月			[現場分析]	[分析機関]	
原水	(mg/L)	(4/19)	0.72	0.76	現場:平均値 0.73 (最大値:0.79、最小値:0.67)
放流水	(mg/L)	<0.01	<0.005	<0.001	現場:平均値 (No.1、No.2貯留槽水質分析結果)
除去率	(%)		99.3	99.9	除去率=(原水濃度-放流水濃度)/(原水濃度)×100
5月			[現場分析]	[分析機関]	
原水	(mg/L)	(5/17)	0.74	0.72	現場:平均値 0.75 (最大値:0.80、最小値:0.67)
放流水	(mg/L)	<0.01	<0.005	<0.001	現場:平均値 (No.1、No.2貯留槽水質分析結果)
除去率	(%)		99.3	99.9	除去率=(原水濃度-放流水濃度)/(原水濃度)×100
6月			[現場分析]	[分析機関]	
原水	(mg/L)	(6/14)	0.68	0.80	現場:平均値 0.78 (最大値:1.00、最小値:0.68)
放流水	(mg/L)	<0.01	<0.005	<0.001	現場:平均値 (No.1、No.2貯留槽水質分析結果)
除去率	(%)		99.3	99.9	除去率=(原水濃度-放流水濃度)/(原水濃度)×100

(3) 本運転期間における運転維持管理（薬品量等）

地下水処理システムは、ヒ素濃度状況に応じた適正な薬品等の添加に努めると共に、水処理において発生する汚泥の排出量を抑制する工夫を行うなど、環境・経済性を考慮した細やかな運転・管理を続けており、安定したシステム稼働と水処理結果が得られている。

2. ヒ素回収量

(1) 本運転期間におけるヒ素回収量

本運転期間（2010年3月～6月）における、揚水量と各揚水井戸の総ヒ素濃度（推定値含む）から算出されるヒ素回収量は、総ヒ素換算で約18.36kgとなった。また、2009年4月からの総ヒ素回収量は、125.49kgとなっている。

表 1.5 に運転月別のヒ素回収量を示す（2010年6月は15日までの量）。

表 1.5 2009年4月以降のヒ素回収量

月	ヒ素回収量(kg)										
	B-1	F-15	C-1	F-1	F-5	F-6	F-19	F-22	F-29	F-30	合計
2009年4月											0.37
5月											7.89
6月	9.86	12.99		0.19	0.98	0.82		0.25			25.09
7月	6.27	9.79		0.29	0.70	0.71		0.19			17.95
8月	2.99	6.61		0.25	0.52	0.61		0.15			11.13
9月	3.29	6.35		0.20	0.55	0.62		0.15			11.16
10月	2.69	4.70		0.15	0.49	0.52		0.09			8.64
11月	2.45	4.34		0.09	0.50	0.49		0.03			7.90
12月	1.94	3.50		0.04	0.44	0.37		0.01			6.30
2010年1月	1.66	2.96		0.02	0.39	0.33		0.05			5.41
2月	1.47	3.04		0.01	0.40	0.37					5.29
3月	1.33	2.46			0.31	0.31	0.04				4.45
4月	1.24	2.54			0.55	0.43	0.54				5.30
5月	0.98	2.41			0.57	0.71	0.70				5.37
6月	0.18	1.05	0.99		0.27	0.35	0.36		0.02	0.02	3.24
合計	36.35	62.74	0.99	1.24	6.67	6.64	1.64	0.92	0.02	0.02	125.49

(注)2009年4,5月(予備運転期間)は掘削箇所合計

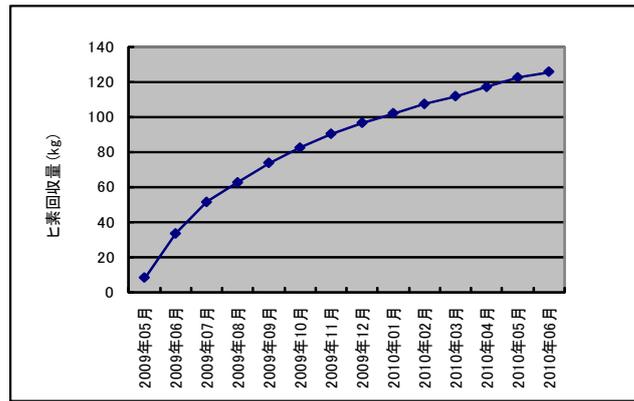


図 1.2 ヒ素回収量の推移 (2010年6月は15日までの量)

(2) ヒ素回収の進捗状況

高濃度汚染対策においては、A地区（掘削調査地点からA井戸にかけて）の地下水中に残存するDPAAを2年間で約90%を回収・除去することを目標としている。

ここで、高濃度汚染対策前に残存していたDPAA質量を、地下水汚染シミュレーション等報告書（2007年6月）のP9-3に記載された、「地下水中に溶出した量（114 kg）」と「土壌中に残留している量（73 kg）」から算出すると約187 kgとなる。

他方、現地における地下水は常に流動しており、汚染地下水も下流に流れているため、当時の試算条件と比較して、高濃度汚染対策開始時におけるA地区の残存DPAA質量は減少していると考えられ、高濃度汚染対策開始時（2009年4月）に残存していたDPAA質量は、今後得られるデータ等も踏まえ、精査する必要がある。

現時点における進捗状況として、参考に、高濃度汚染対策前の神栖地区全体にあったとされる推計量（約187 kg）を基にすると、2010年6月15日時点における回収量は約125 kgであることから、回収率は約7割と推計される。

3. モニタリング状況

(1) 各揚水井戸におけるモニタリング状況

揚水井戸のB-1、F-15井戸ともに総ヒ素濃度の低下が見られた。B-1井戸は2009年8月以降緩やかな濃度低下が続いている。F-15井戸はB-1井戸に比べ濃度低下速度が緩やかな傾向が見られる。F-15井戸については、2009年6月1日の総ヒ素濃度7.7 mg/Lが2010年6月15日時点で0.7 mg/Lとなっており、6月時点において、揚水井戸の中でも濃度が高い井戸となっている。掘削調査地点内では、F-5、F-6井戸共に、緩やかな濃度低下傾向が継続していたが、注水停止後は、注水による希釈効果がなくなったため、濃度の上昇が確認されている。また、2010年6月より揚水を開始したC-1井戸は、揚水開始直後の6月1日の総ヒ素濃度は1.9 mg/Lであったが、6月15日には0.53 mg/Lに低下している。

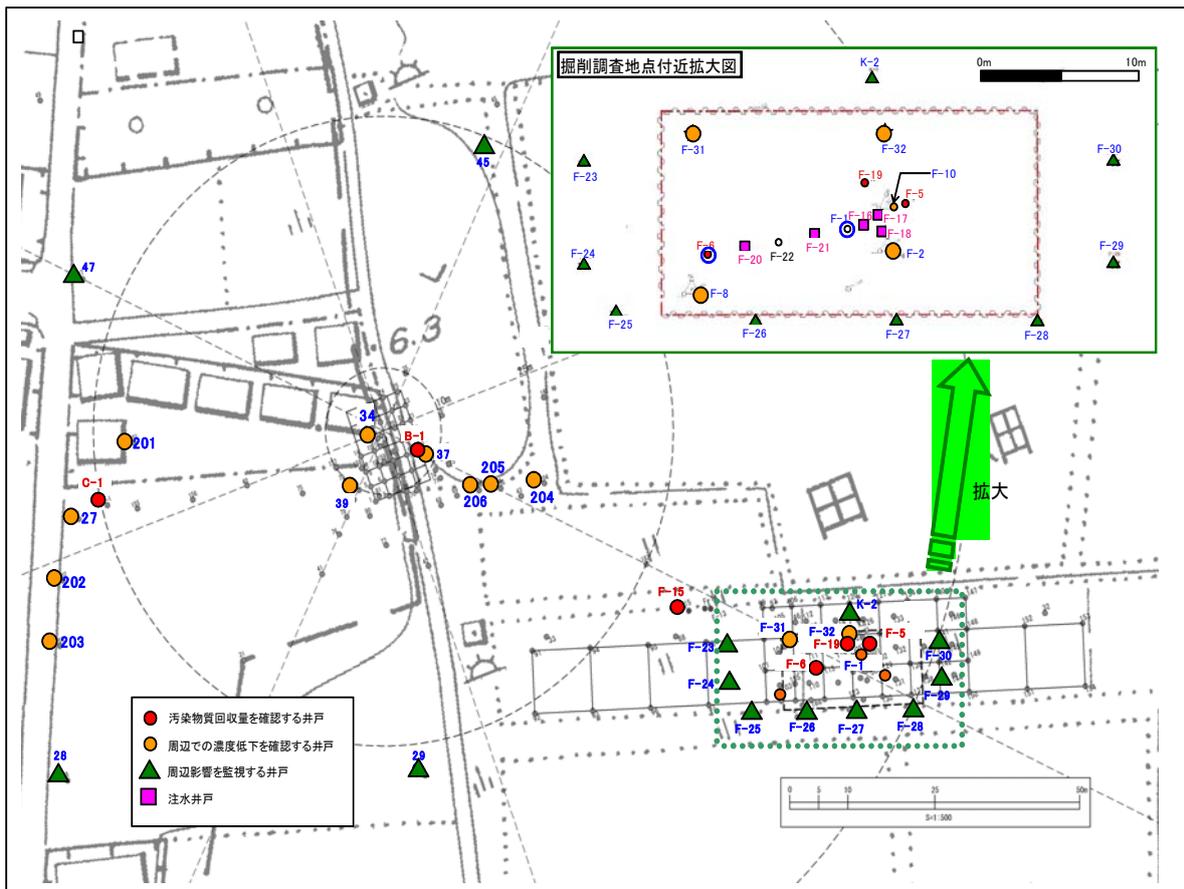
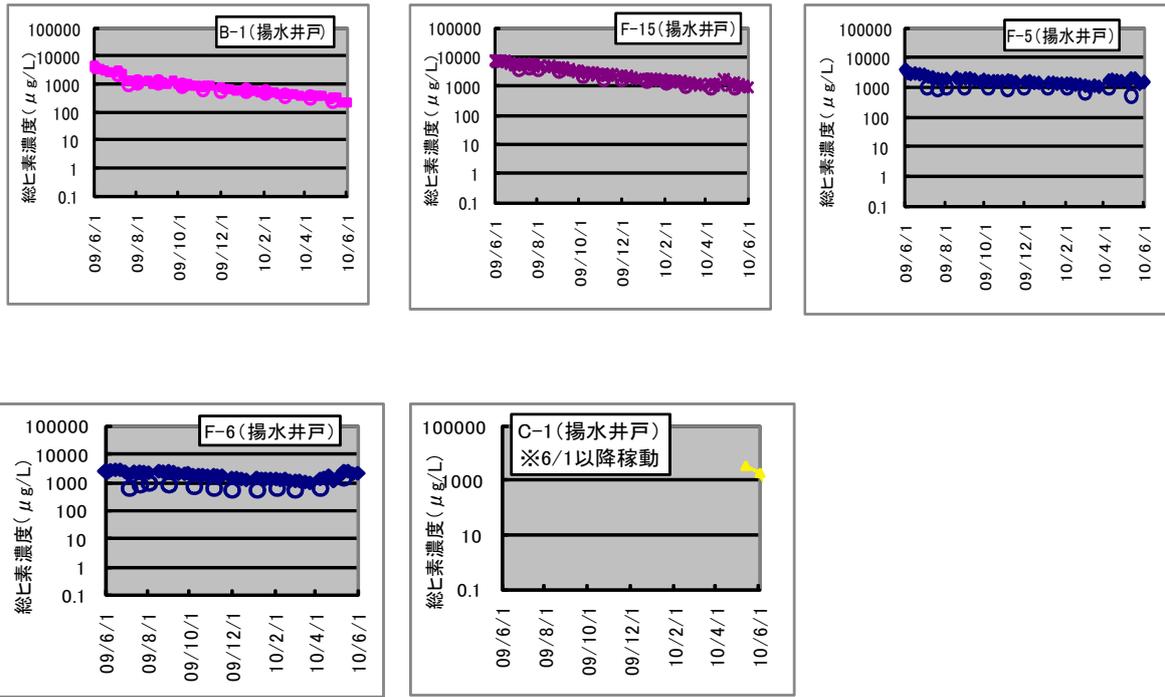
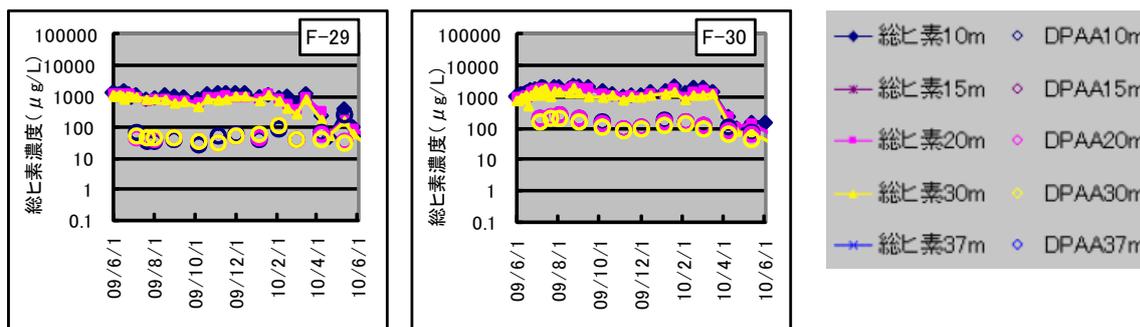


図 1.3 高濃度汚染対策における地下水モニタリング位置図

(2) 汚染を拡散させていないことを確認するモニタリング状況

本運転期間において、掘削調査地点周辺のモニタリング孔では、F-29、F-30 井戸を除いて濃度に大きな変化はなかった。掘削調査地点上流側の F-30 井戸の深度 30m において、2009 年 6 月 22 日に初期値の 3 倍である 1.1mg/L が検出され、その後頻度を上げてモニタリングを実施していたが、以降目立った濃度上昇は見られなかった。F-30 井戸は F-29 井戸と共に、2010 年 2 月 16 日時点においても、1.0mg/L を越える濃度で安定し、その他の掘削調査地点外縁のモニタリング孔と比較して濃度が高い状況が続いていたが、2010 年 4 月（注水停止）以降、対策以前の濃度にまで低下し、その後も低濃度の状況が継続している。

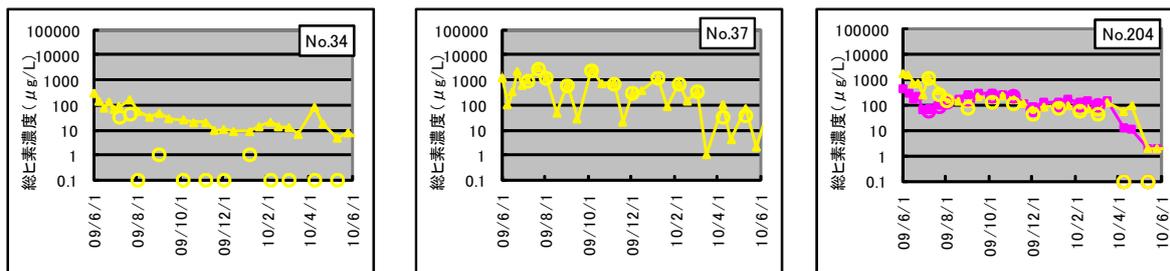


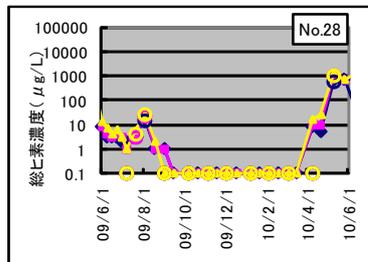
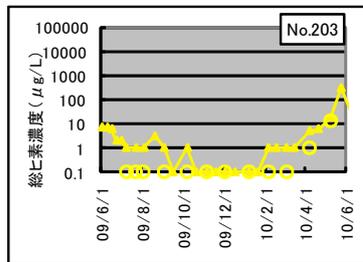
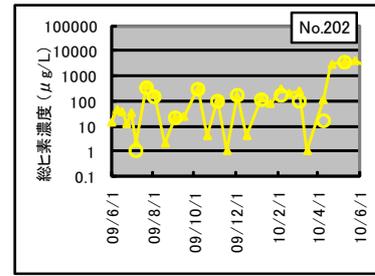
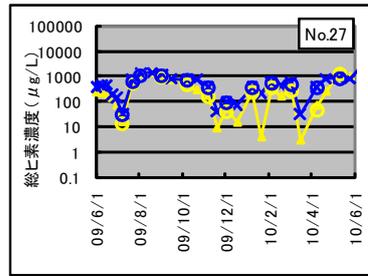
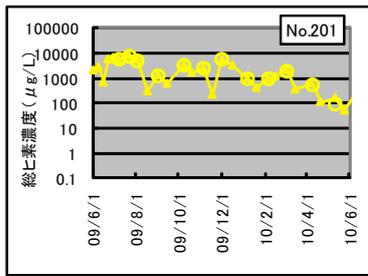
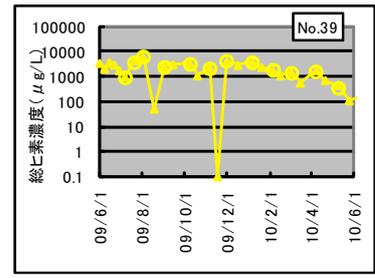
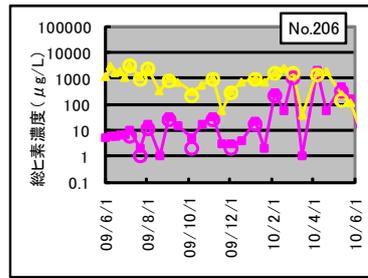
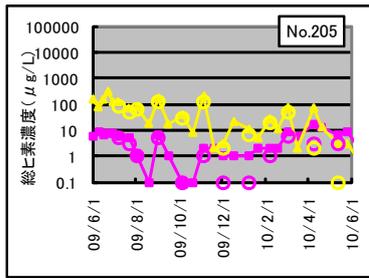
(3) 周辺井戸におけるモニタリング状況

本格運転を開始した 2009 年 6 月 1 日以降で見ると、B-1 井戸近傍の No34、No37、No204、No205、No206 の各井戸では明確な濃度低下が見られた。No205 井戸(30m)では、2009 年 4 月末の 1.1mg/L から 2010 年 2 月 5 日には 0.027mg/L に低下し、6 月 8 日には 0.001mg/L となっている。対策を行う以前から、非常に高濃度を示していた No37 井戸も、2009 年 4 月末の頃に 21.0mg/L であったものが、2010 年 2 月 5 日には 0.73mg/L、6 月 8 日に 0.03mg/L となり濃度の低下が顕著であった。

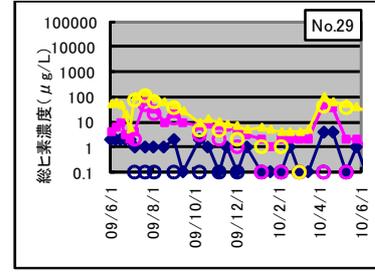
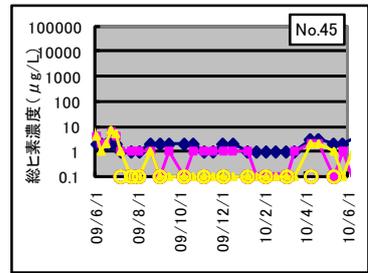
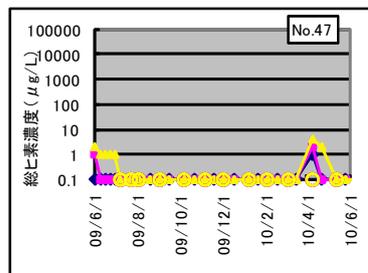
一方で、B-1 井戸から西に 15m 付近の No39 井戸では、2009 年 5 月 25 日の 7.0mg/L に対し、2010 年 2 月 5 日では 1.8mg/L となり、さらに 6 月 8 日には 0.22mg/L と低下しており、2010 年 3 月以降の低下傾向が顕著となっている。

また、A 地区の下流の No201 井戸では、2009 年 7 月 22 日に 8.8mg/L(30m)という高濃度を示しており、以後低下傾向ではあるが、12 月 2 日には 5.6mg/L を示すなど、引き続き濃度が高い傾向にあったが 2010 年 6 月 8 日には 0.14mg/L となっており、No39 井戸と同様 2010 年 3 月以降、低下傾向が顕著である。しかしながら、No201 井戸より南側の No27、No202、No203、No28 井戸では 2010 年 4 月以降濃度が上昇しており、今後注視する必要がある。





A 地区の外縁として位置付けている No47、No45、No29 の各井戸においては、濃度変化は少なく対策による影響は生じていないと考えられる。

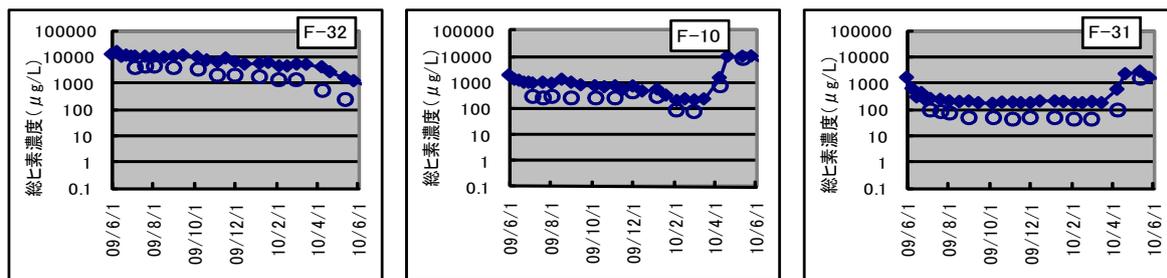


(4) 掘削調査地点におけるモニタリング状況

掘削調査地点内のモニタリング孔（揚水井戸を除く）は、対策前と比較すると、いずれの地点も濃度が低下している。F-32 井戸では、2009 年 9 月まで 10.0mg/L を超える濃度で推移し、2010 年 2 月 4 日時点においても 4.3mg/L と高濃度で推移していたが、その後低下を続け 6 月 8 日には 0.86mg/L まで低下している。

一方、2010 年 4 月の注水停止以降、F-10 井戸、F-31 井戸で急激に濃度の上昇が見られた。F-10 井戸では、2010 年 3 月 2 日に 0.21mg/L であったが、注水停止後の 6 月 8 日には 6.5mg/L に上昇している。以上のことから、注水停止により水道水による希釈効果が無くなったため濃度が上

昇した箇所があると考えられる。



4. 高濃度汚染対策の一部変更

(1) 稼働日数の変更

ヒ素回収量を向上させるため、2010年5月から DPAA 地下水処理施設の稼働を週5日運転(土日祝日停止)から、週6日運転(日祝日停止)に変更している。その結果、5月のヒ素回収量は、従来の週5日運転と仮定して算出した量との比較で約16%増と試算された。

(2) 揚水井戸(C-1)の追加

掘削調査地点下流のB-1井戸においてヒ素濃度が低下していることから、2010年6月よりヒ素回収量向上のため比較的高濃度であるB-1井戸西側の既設C-1井戸からの揚水を追加することとした。

揚水開始前のC-1井戸の総ヒ素濃度は、2010年5月には最高3.5mg/Lであったが、6月1日の揚水開始日には1.9mg/L、6月15日には0.53mg/Lと順調に濃度は低下している。しかし、同時期のB-1井戸濃度0.14～0.20mg/Lよりは高濃度であるため、よりヒ素回収量の向上が見込める。なお、揚水量は、水処理総量が限られているためB-1井戸を160m³/日から75m³/日とし、C-1井戸を75m³/日で運用していたが、より効果的な対策を行うため、8月よりC-1井戸を150m³/日とし、B-1井戸を0m³/日とすることとした。ただし、今後の両井戸のヒ素濃度によっては再度揚水量のバランスを見直すこととしている。(揚水量の差の10m³/日は後述する少量揚水に割り当てている。)

(3) 注水効果の確認

掘削調査地点内の注水効果確認のため、2010年4月から水道水の注水を停止し、揚水のみを行っている。注水前の井戸濃度との比較では、揚水井戸のF-5、F-6、モニタリング井戸のF-10、F-31において注水停止後に総ヒ素濃度の上昇が見られた。ただ、揚水量の低下、地下水位の著しい変化は見られなかった。これは、注水した水道水が砂利層から浸透し、周辺の汚染地下水を希釈して揚水井戸から汲み上げられていたものが、注水の停止により希釈効果がなくなったことによりヒ素濃度が上昇したと考えられる。また、6月下旬に不飽和帯の土壤採取及び、土壤中のヒ素濃度分析を行い2004年の汚染発覚当初(対策前)との比較を行った。その結果、今回の分析でDPAAが検出された箇所はS-2(4m)とS-3(4m)の2箇所のみであり、その他はすべて不検出(検出限界以下)であった。前記2箇所においては、対策前より大きな値となっているが、これはサンプルを前回と完全に同じ箇所から採取できないことと土壤中の濃度のバラつきが原因と考えられる。

表 1.6 に土壌の分析結果を示す。

表 1.6 掘削調査地点内土壌分析結果

採取箇所	採取深さ(m)	DPAA[ng-As/g]	
		対策前	今回
S-1	3	14,000	N.D.
	4	1,300	N.D.
S-2	3	19	N.D.
	4	41	110
S-3	3	33,000	N.D.
	4	4,400	16,000
S-4	3	4,100	N.D.
	4	5,600	N.D.
S-5	3	14,000	N.D.
	4	36,000	N.D.

※土壌湿重量あたり

※N.D.は抽出後の測定溶液中濃度が1ng-As/g未満の資料

以上のことから、注水した水道水が浸透し、周辺の汚染地下水を希釈して揚水井戸から汲み上げられていること、及び、注水による土壌中ヒ素の洗い出し効果が確認でき、注水は一定の効果があったと考えられる。

ただし、前述のように、注水停止に伴い揚水井戸のヒ素濃度の上昇が見られたため、ヒ素回収量は現状の方が効果の高い状況になる。このため、当面は注水の停止を継続することとし、モニタリングの結果を注視しつつ、ヒ素濃度が注水停止前のレベルにまで下がってきた場合は、注水再開を含め効果的な対策を検討することとする。

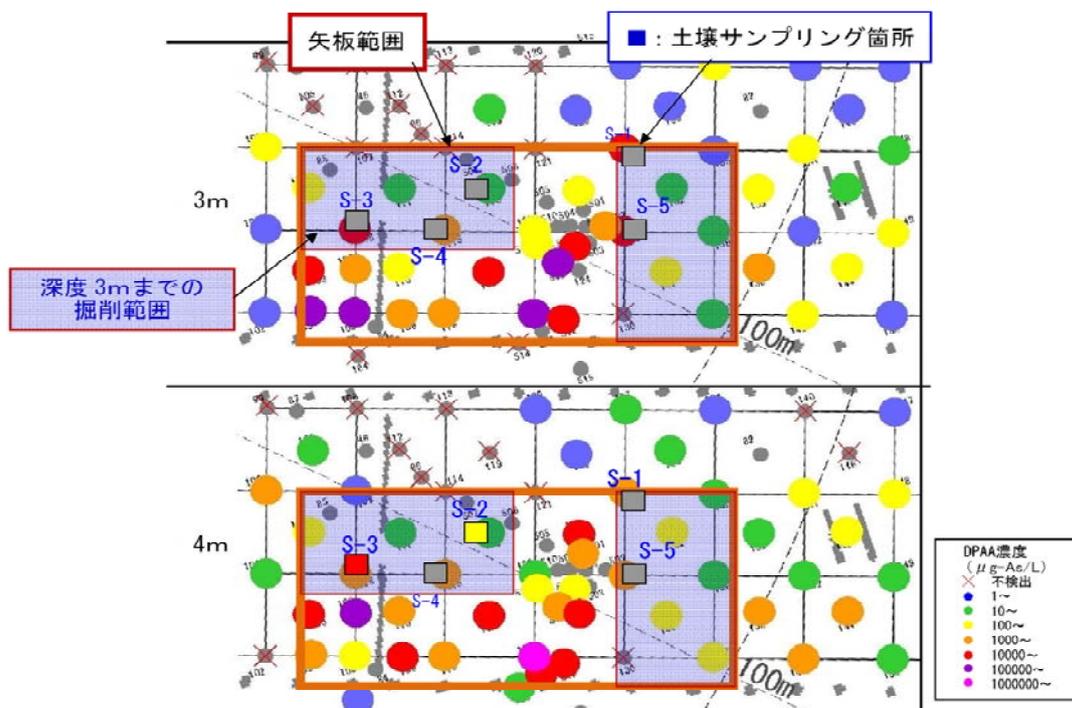


図 1.4 掘削調査地点内土壌採取位置（下図は 2004 年の DPAA 濃度）

(4) 掘削調査地点付近等での少量揚水

少量揚水は、掘削調査地点付近に残存する高濃度汚染地下水を効果的に除去することを目的にモニタリング井戸を活用し、小型ポンプによる揚水を行うものである。2010年6月から掘削調査地点外縁東側のF-29井戸、F-30井戸において2週間ごと交互に10 m³/日の揚水を行った。両井戸とも揚水開始時の総ヒ素濃度が、開始後数分の1程度まで低下し0.08mg/L以下となった。このことから、少量揚水の効果はある程度あるものと考えられる。しかし、濃度の低下に伴いヒ素回収量が見込めないことから、8月以降は2010年6月8日時点で6.5mg/Lが検出されている掘削調査地点内のF-10井戸で行うこととし、その後は付近の濃度状況を見て高濃度の井戸において行うこととしている。