

2. 検討

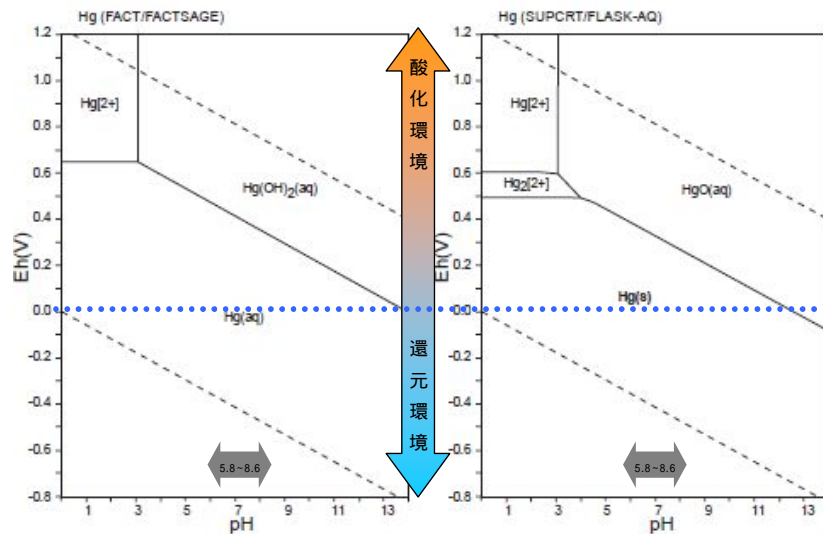
(1) 水銀の形態について

図2.1.1と図2.1.2に水銀の形態を考えるにあたり、状態図としてEh - pHダイアグラム(プルベイダイアグラム)を示す(Hg濃度: 10^{-10} mol/kg、温度: 298.15 K、圧力: 10^5 Pa)。

独立行政法人産業技術総合研究所 深部地質環境研究センターが示す図2.1.1からは、硫化水銀に言及するのが難しいため、硫化水銀等のデータは図2.1.2によった。

今回調査で水銀が検出された井戸のpHの範囲は、5.8~8.6の範囲にある。

図2.1.1より水銀は、還元環境下ではほぼHgとして存在していることがわかる。



出典：Eh-pH図アトラス、熱力学データベースの相互比較、地質調査総合センター研究資料集 No. 419、独立行政法人産業技術総合研究所 深部地質環境研究センター (2005)、pp118

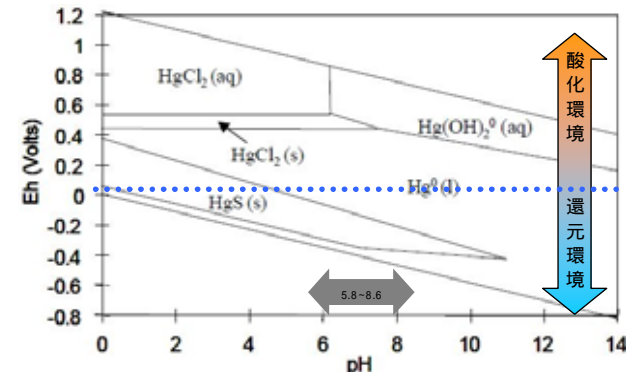
図2.1.1 Eh-pHダイアグラム(1)

図2.1.2はHgS(固相)やHgCl₂共存下の状態図である。溶存状態(図中の(aq)を付すもの:液相)としての状態を維持するためには、pHを全く無視したとして、Eh(V)で0.2(約200mV)を超える領域でしか存在できない。

一般に地下水は還元環境下にあるといわれている。

実際に、採水時に確認できる地下水の外観は、採水後しばらく放置しておくで無色透明から薄茶(褐色)に呈色したり、硫化水素臭を帯びているなど、地下水は還元環境下にあることを示唆する状況にある。

今回の試験結果は、液相(ろ液)には検出が認められず、固相(SS)で検出が確認されただけであり、状態図が示す還元環境下の状態とほぼ一致する結果となった。



出典：Literature Review of Environmental Toxicity of Mercury, Cadmium, Selenium and Antimony in Metal Mining Effluents, Prepared for The TIME Network, FIGURE 2.3 Eh-pH DIAGRAM FOR THE MERCURY SYSTEM, DIAGRAM ADAPTED FROM DAVIS et al. (1997). pp.2.7

図2.1.2 Eh-pHダイアグラム(2)

(2) SSに由来する水銀について

第8回対策委員会では、資料3において「総水銀の汚染の到達距離」について検討を行った。総水銀の汚染の到達距離にかかる検討では、数値解析を実施した。

一般に地下水では、地中で砂や礫の層によって自然のろ過を受けているため、SS(1 μ m以上の浮遊物質)を含むことはほとんどないとされる。

このため数値解析の条件は、溶存状態(液相にある)の水銀を仮定した。また、液相にある水銀がイオン交換などすることを無視すればその挙動は地下水の流動と同じ挙動をとることになるが、解析ではイオン交換による遅れを考慮した条件下で実施したものである。これにより推定された水銀の到達距離は28年を経た段階で45mと試算された(吸着等による遅れを殆ど生じないシス-1,2-ジクロロエチレンでは1800mと試算)。

追加調査結果では、水銀がSS(1 μ m以上の大きさの固相)に含有している状態にあることが明らかとなったため、水銀の到達距離については帯水層中のSSの移動特性を考慮する必要がある。

しかし、処分場内の浸透水・地下水と周縁・周辺地下水の水質を比較すると、地下水とともに移動する溶存成分(イオン態)および電気伝導率は処分場のほうが高い傾向にあり、吸着等による遅延がほとんどないシス-1,2-ジクロロエチレンでも周縁(例えば県1)のほうが経堂地下流側より濃度が高い傾向にある。

このため、市7や市3の地下水は処分場の影響を受けていると考えられるが、SSとともに移動する水銀の汚染原因が処分場であるのかどうかについては、これまでの調査結果からは判断できない。

追加調査により水銀は、1 μ m以上のSSに硫化水銀または残留水銀として存在し帯水層中を移動しにくい状況にあることは確認できたが、その水質挙動については監視(モニタリング)をしていく必要がある。

〔 参 考 資 料 〕

図 1	想定地質断面図	-11-
表 1	一斉測水結果一覧表	-12-
図 2	ろ液中の水銀の形態分析操作手順	-13-
表 2	地下水水質分析結果一覧表	-14-
表 3	地下水水質分析結果一覧表 〔第 7 回対策委員会 参考資料, pp4, 表 3 を再掲〕	-15-
図 3	ヘキサダイアグラム一覧……………	-16-
表 4	水質イオン分析結果一覧表	-17-

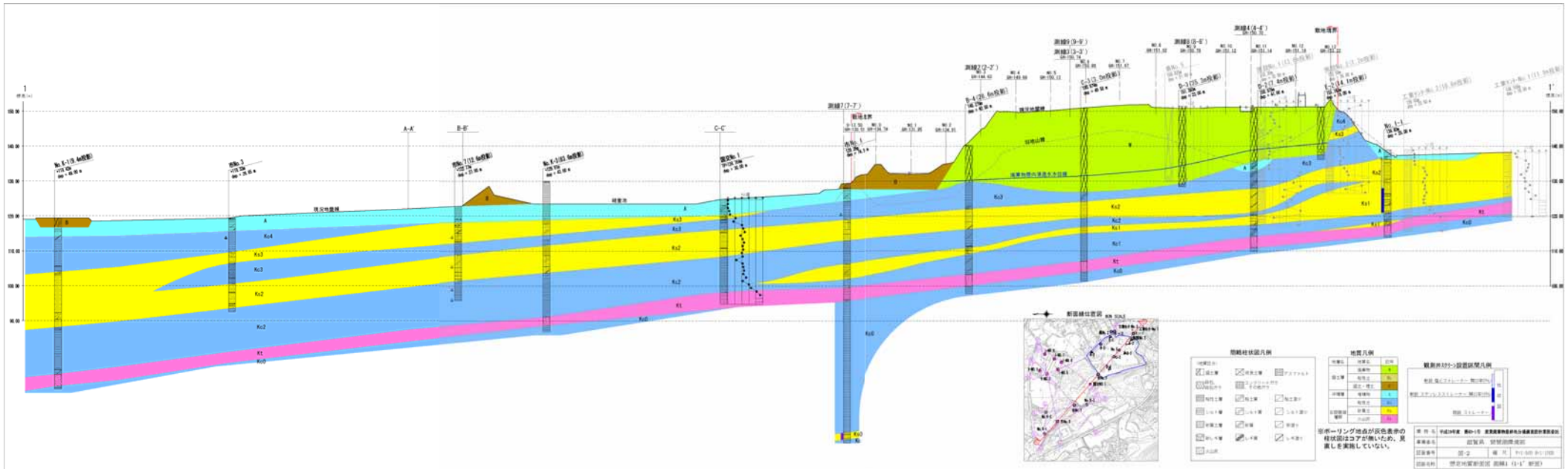


図 1 (1) 想定地質断面図〔1 1'断面〕

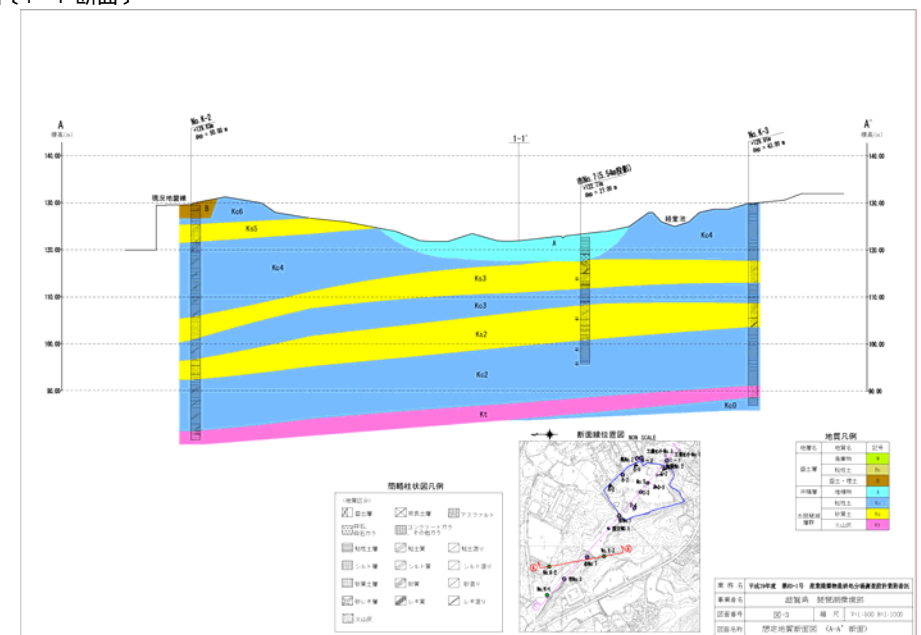


図 1 (2) 想定地質断面図〔A A'断面〕

表1 一斉測水（水位測定）結果一覧表

地点名	地盤標高 (m)			管頭高 G ₁ +m	対象帯水層	H19.4.17	H19.4.26	H19.5.21、22	H19.6.6	H19.6.26、27	H19.7.31	H19.8.24	H19.9.26	H19.10.26	H19.12.19	H20.1.16
	従来	新規	補修後			水位標高(m)	水位標高(m)	水位標高(m)	水位標高(m)	水位標高(m)	水位標高(m)	水位標高(m)	水位標高(m)	水位標高(m)	水位標高(m)	水位標高(m)
県NO. 1-1	—	138.93	—	1.00	Ks1-2砂層	—	—	—	128.39	128.43	128.98	128.96	129.02	128.95	128.59	—
県NO. 3-1	—	135.83	—	0.20	Ks2砂層	—	—	—	127.37	127.44	128.20	128.09	128.00	127.90	127.49	127.42
県NO. 4-1	—	142.41	—	0.70	Ks1-2砂層	—	—	—	127.69	127.67	128.36	128.39	128.30	128.22	127.84	—
県NO. 4-2	—	140.63	—	1.00	Ks2砂層	—	—	—	128.75	128.82	129.18	129.21	129.19	129.17	128.89	128.83
B-2	—	141.19	—	0.61	Ks2砂層	—	—	—	—	—	—	128.976	129.09	129.06	128.68	128.72
B-3	—	145.12	—	1.00	Ks2砂層	—	—	—	—	—	—	128.292	127.86	127.78	127.40	127.35
B-4	—	140.28	—	1.05	Ks1砂層	—	—	—	—	—	127.87	127.789	127.69	127.65	127.21	—
C-3	—	150.87	—	1.11	Ks2砂層	—	—	—	—	—	—	128.604	128.53	128.49	128.12	128.06
D-2(新)	—	150.98	—	0.97	Ks2砂層	—	—	—	—	—	139.08	133.649	128.80	128.76	128.41	128.32
県NO. 1	129.07	129.35	—	0.75	Ks2砂層	127.05	127.00	126.86	126.81	126.92	127.52	127.47	127.38	127.28	126.89	126.88
県NO. 2	140.26	140.97	—	-0.19	Ks2砂層	128.82	128.80	—	128.68	128.74	129.09	129.12	129.12	129.09	128.80	128.76
県NO. 3	134.55	134.40	—	0.70	Ks1-2砂層	127.63	127.59	127.46	127.38	127.48	128.19	128.13	128.04	127.95	127.52	—
県NO. 4	150.54	150.75	—	0.76	Ks1-2砂層	128.33	128.31	128.21	128.11	128.11	128.72	128.80	128.73	128.67	128.30	—
県NO. 9	—	135.87	—	0.69	Ks2砂層	127.06	127.02	126.89	126.83	126.94	127.55	127.49	127.40	127.30	126.91	126.92
県NO. 9(新)	135.72	135.53	—	0.84	Ks2砂層	127.06	127.02	126.88	126.83	126.95	127.56	127.49	127.40	127.30	126.91	126.92
No. K-1	—	119.42	—	0.88	Ks2-3砂層	—	—	—	—	—	—	—	—	—	124.20	—
No. K-2	—	129.64	—	1.00	Ks2砂層	—	—	—	—	—	—	—	—	—	124.78	124.85
No. K-3	—	129.92	—	0.80	Ks2砂層	—	—	—	—	—	—	—	—	—	126.18	126.22
市NO. 1	129.25	129.26	—	0.95	Ks0砂層	121.03	120.97	120.83	120.82	120.89	120.93	120.93	121.00	121.02	121.00	—
市NO. 2	129.25	129.27	—	0.95	沖積層砂層	128.58	128.60	128.56	128.58	128.67	128.72	128.64	128.69	128.71	128.41	—
市NO. 3	119.33	119.44	—	0.91	Ks2砂層	—	—	124.75	124.68	124.88	124.95	125.22	125.15	124.83	124.76	124.79
市NO. 4	119.33	119.44	—	0.90	沖積層砂層	—	118.46	119.42	119.39	119.54	119.52	119.48	119.55	119.53	119.46	—
市NO. 5	119.33	119.44	—	0.92	Ks3砂層	—	124.36	124.31	123.96	124.71	124.56	124.58	124.77	124.59	124.57	—
市NO. 6	141.07	140.86	—	0.83	Ks1-2砂層	129.23	129.23	129.14	129.23	129.46	129.96	129.78	129.68	129.61	129.20	—
市NO. 7	122.77	122.86	122.95	1.07	Ks2砂層	—	123.65	124.20	124.19	124.15	125.10	123.73	123.64	123.46	125.60	125.68
市NO. 7-2	122.67	122.83	122.90	0.96	Ks3砂層	—	123.56	123.25	123.78	123.55	123.58	123.56	123.53	123.46	122.60	—
市NO. 8	129.43	129.38	—	1.05	Ks2砂層	127.06	127.02	126.88	126.83	126.93	127.54	127.48	127.40	127.29	126.86	126.90
市NO. 9	133.67	133.62	—	-0.08	Ks1-2砂層	127.60	127.54	127.39	127.30	127.38	128.08	128.01	127.87	127.83	127.41	—
市NO. 9-1	—	134.66	—	-0.12	Ks1砂層	—	—	—	—	—	128.14	128.11	128.02	127.94	127.53	—
市NO. 10	128.75	128.74	—	1.09	Ks2砂層	127.03	126.99	126.86	126.80	126.90	127.51	127.46	127.37	127.27	126.88	126.87
事前NO. 2	132.52	132.43	—	-0.01	Ks2砂層	127.43	127.39	127.26	127.21	127.29	127.97	127.91	127.82	127.72	127.32	127.27
事前NO. 3	132.55	132.45	—	-0.06	Ks2砂層	127.43	127.39	127.26	127.20	127.28	127.96	127.90	127.81	127.71	127.31	127.28
事前NO. 4	132.53	132.43	—	-0.02	Ks2砂層	127.43	127.40	127.27	127.21	127.29	127.97	127.91	127.82	127.73	127.32	127.27
事前NO. 5	132.74	132.62	—	0.93	Ks2砂層	127.44	127.39	127.26	127.20	127.29	127.98	127.91	127.81	127.72	127.31	127.27
事前NO. 6	132.81	132.72	—	0.99	Ks2砂層	127.44	127.39	127.28	127.22	127.25	128.17	127.97	127.96	127.91	127.45	127.51
事前NO. 7	135.53	135.46	—	-0.01	Ks2砂層	127.65	127.60	127.47	127.40	127.48	128.20	128.13	128.04	127.95	127.53	127.46
事前NO. 8	134.61	134.53	—	0.90	Ks2砂層	127.61	127.58	127.45	127.38	127.46	128.17	128.10	128.01	127.92	127.51	127.44

注1：地盤標高で「新規」とは、平成18年度業務で測量した最新の結果であり、「従来」は平成18年度の測量実施以前のものである。また、「補修後」とは、市NO.7の止水補修作業後（H19.12.17）の標高である。

注2：Ks2層およびKs1層と同一である層（Ks1-2）をコンター図作成の対象とし、表中網掛けで示した。

注3：Ks3層およびKs2層と同一である層（Ks2-3）をコンター図作成の対象とし、表中網掛けで示した。

〔参考〕 図2 ろ液中の水銀の形態分析操作手順

固相抽出キットを用いた Hg^{2+} の分析

今回の分析では、孔径 $1\mu\text{m}$ の GF により試料をろ過したろ液において全水銀が不検出であった。

このため、ろ液に係る水銀の形態別分析は実施していないが、参考までに予定していた操作手順を下図に示す。

〔参考〕 固相抽出キットを用いた Hg^{2+} の分析

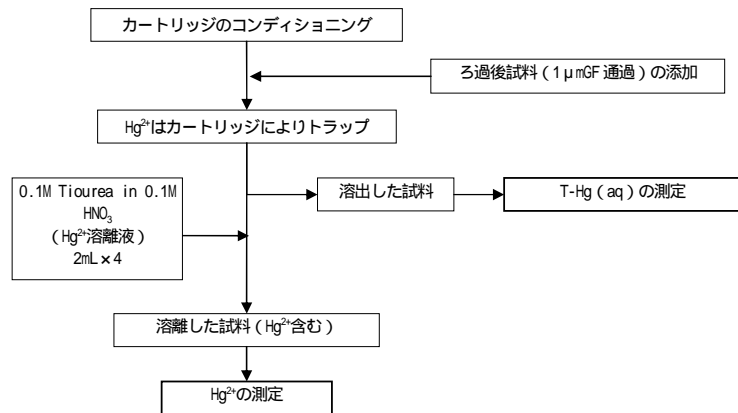


図2 ろ液中の水銀の形態分析操作手順

表2 地下水水質分析結果一覧表〔追加調査：K-1～K-3〕

調査年度	区分	地域分類	観測井戸	帯水層区分	採水日	ヒ素 (mg/L)	ヒ素 (ろ過) (mg/L)	総水銀 (mg/L)	総水銀 (ろ過) (mg/L)	鉛 (mg/L)	ホウ素 (mg/L)	フッ素 (mg/L)	シス-1,2-ジ クロロエチレン (mg/L)	テトラクロ ロエチレン (mg/L)	ベンゼン (mg/L)	pH	SS [一般項目] (mg/L)	EC (mS/m)	
H19	地下水	経堂池 北西側	K-1	Ks2-3	2007/12/17	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6.0	90	78.1	
					2008/1/28			ND	ND									9.1	< 1
			K-2	Ks2	2007/12/17	0.001	ND	ND	ND	0.035	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7.0	42	25.4
					2008/1/28			ND	ND									6.4	29
			K-3	Ks2	2007/12/17	ND	ND	ND	ND	0.012	2.0	0.08	ND	ND	ND	ND	6.8	25	164
					2008/1/28			ND	ND									7.1	18
地下水環境基準値 (安定型処分場維持管理基準)						0.01		0.0005		0.01	1	0.8	0.04	0.01	0.01	-	-	-	
定量下限値						0.001		0.0005		0.005	0.1	0.08	0.004	0.0005	0.001	-	1	0.1	

表3 地下水水質分析結果一覧表〔第7回対策委員会 参考資料, pp4, 表3を再掲〕

調査年度	区分	地域分類	観測井戸	帯水層区分	ヒ素 (mg/L)	ヒ素 (ろ過) (mg/L)	総水銀 (mg/L)	総水銀 (ろ過) (mg/L)	鉛 (mg/L)	鉛 (ろ過) (mg/L)	カドミウム (mg/L)	カドミウム (ろ過) (mg/L)	ホウ素 (mg/L)	フッ素 (mg/L)	ジス-1,2-ジクロロエチレン (mg/L)	トリクロロエチレン (mg/L)	テトラクロロエチレン (mg/L)	ベンゼン (mg/L)	pH	SS (一般項目) (mg/L)	COD (mg/L)	EC (mS/m)	BOD (mg/L)	全窒素 (mg/L)	PCB (mg/L)	ダイオキシン類(全量) (pg-TEQ/L)	SS (イオン交換) (mg/L)	ダイオキシン類(ろ過) (pg-TEQ/L)					
H18	地下水		処分場南側	No.1-1	Ks1+Ks2	0.005	0.003	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7.3	7	1.7	25.7	-	-	不検出	21	14000	0.12				
			処分場西側	No.3-1	Ks1 (掘進時)	0.001	ND	ND	ND	0.005	ND	ND	ND	ND	0.24	ND	ND	ND	ND	ND	6.3	230	2.0	11.4	-	-	不検出	-	-	-			
					Ks2	0.038	0.018	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.7	0.59	ND	ND	ND	ND	ND	ND	8.0	33	28	142	-	-	不検出	2.2	3100	0.12		
			処分場南西側	No.4-1	Ks1' (掘進時)	0.003	ND	ND	ND	0.008	ND	ND	ND	ND	0.13	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6.6	480	3.2	10.6	-	-	不検出	-	-	-		
					Ks1+Ks2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	10.4	100	1.0	21.0	-	-	不検出	0.31	230	0.12		
処分場南東側	No.4-2	Ks2	0.003	0.003	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.11	ND	ND	ND	ND	ND	8.0	1	1.0	19.0	-	-	不検出	0.78	840	0.13					
H19	地下水	処分場内	No.B-2	Ks3 (掘進時)	0.003	ND	ND	ND	0.018	ND	ND	ND	0.2	0.33	ND	ND	ND	ND	ND	7.7	780	3.3	21.3	0.9	7.3	不検出	13	250	0.13				
				Ks2	0.015	ND	ND	ND	0.02	ND	ND	ND	2.0	0.17	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6.9	49	28	102	5.9	5.5	不検出	0.36	70	0.12			
			No.B-3	Ks2 (掘進時)	0.001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.4	0.09	ND	ND	ND	ND	ND	8.7	81	6.5	13.7	17	3.4	不検出	0.45	88	0.12			
				Ks2	0.021	ND	ND	ND	0.25	ND	ND	ND	0.2	0.73	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7.2	2100	32	44.4	6.5	6.1	不検出	11	1900	0.13			
			No.B-4	Ks2 (掘進時)	0.003	ND	ND	ND	0.006	ND	ND	ND	1.7	0.38	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7.5	470	26	155	6.0	3.8	不検出	0.92	230	0.12			
				Ks1	0.095	0.001	ND	ND	0.041	ND	0.001	ND	1.2	0.52	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7.4	2900	29	102	11	1.6	不検出	6.7	2100	0.12			
			No.C-3	Ks2	0.033	ND	ND	ND	0.15	ND	0.001	ND	0.4	0.58	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7.0	4600	52	73.5	12	3.2	不検出	6.4	5400	0.12			
			No.D-2	Ks2	0.11	ND	0.0026	ND	0.34	ND	0.001	ND	ND	0.50	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5.8	21000	51	17.9	3.5	7.9	不検出	32	12000	0.18			
				Ks1 (掘進時)	0.002	ND	ND	ND	0.005	ND	ND	ND	ND	0.16	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6.8	400	3.1	14.3	1.3	1.4	不検出	11	9200	0.13			
			H19	濃透水	処分場内	No.A-2	廃棄物	0.44	0.003	0.011	ND	6.1	ND	0.033	ND	0.4	0.72	ND	ND	ND	ND	ND	8.1	30000	130	63.8	24	37	0.0067	2000	19000	0.14	
						No.A-3	廃棄物	0.059	0.032	0.0012	ND	0.30	ND	0.002	ND	1.9	0.66	ND	ND	ND	0.008	8.6	2500	400	197	230	37	0.0012	470	3500	0.18		
						No.B-2	廃棄物 (掘進中)	0.29	ND	0.016	ND	0.85	ND	0.013	ND	1.7	0.96	ND	ND	ND	ND	7.5	-	-	188	-	-	-	-	-	-	-	-
						No.B-3	廃棄物 (掘進中)	0.53	0.008	0.014	ND	5.9	ND	0.035	ND	1.9	1.4	ND	ND	ND	ND	9.7	-	-	278	-	-	-	-	-	-	-	-
						No.B-4	廃棄物 (掘進中)	0.12	ND	0.0067	ND	1.2	ND	0.012	ND	0.3	1.4	ND	ND	ND	ND	7.6	-	-	83.9	-	-	-	-	-	-	-	-
						No.C-1	廃棄物	0.019	0.001	0.0008	ND	0.15	ND	0.001	ND	0.9	0.75	ND	ND	ND	0.001	8.0	1500	85	67.8	24	9.5	0.0019	420	3100	0.16		
No.C-3	廃棄物 (掘進中)	0.005				ND	ND	ND	0.03	ND	ND	ND	0.6	0.47	ND	ND	ND	ND	7.8	-	-	63.6	-	-	-	-	-	-	-	-			
No.D-2	廃棄物 (掘進中)	0.034				ND	0.0009	ND	0.20	ND	0.015	0.001	0.3	1.0	ND	ND	0.001	ND	7.1	-	-	173	-	-	-	-	-	-	-	-			
No.D-3	廃棄物	0.031				0.001	0.0012	ND	0.47	ND	0.004	ND	1.9	1.3	ND	ND	ND	0.002	7.6	2200	150	130	26	26	0.0016	520	2200	0.23					
No.E-2	廃棄物	0.10				0.001	0.0028	ND	0.67	ND	0.015	ND	1.0	1.1	ND	ND	ND	ND	6.9	13000	340	106	62	11	0.0089	1300	13000	0.13					
No.E-4	廃棄物	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
地下水環境基準値 (安定型処分場維持管理基準)					0.01		0.0005		0.01		0.01		1	0.8	0.04	0.03	0.01	0.01	-	-	40	-	20	-	検出されないこと	1	-	1					
定量下限値					0.001		0.0005		0.005		0.001		0.1	0.08	0.004	0.002	0.0005	0.001	-	1	0.5	0.1	0.5	0.03	0.0005	-	1	-					

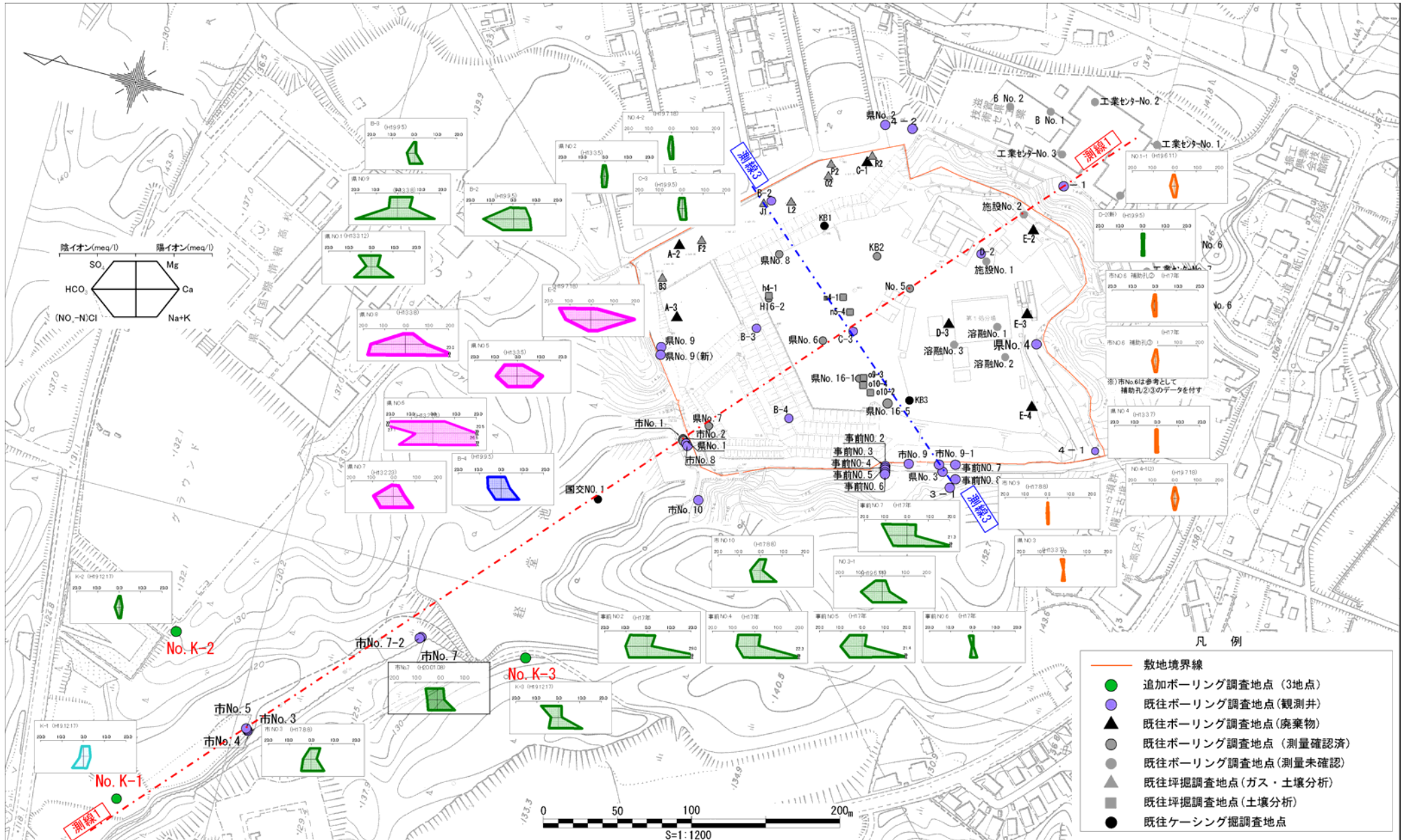


図3 ヘキサダイアグラム一覧

表4 水質イオン分析結果一覧表〔第7回対策委員会 参考資料, pp5, 表4に追加調査結果(K-1, K-2, K-3)を追記〕

地域分類	観測井戸	帯水層区分	ナトリウムイオン (mg/L)	カリウムイオン (mg/L)	マグネシウムイオン (mg/L)	カルシウムイオン (mg/L)	アンモニウムイオン (mg/L)	塩化物イオン (mg/L)	炭酸水素イオン (mg/L)	硝酸イオン (mg/L)	亜硝酸イオン (mg/L)	りん酸イオン (mg/L)	硫酸イオン (mg/L)	ビスフェノールA (μ g/L)	PH	浮遊物質質量 (mg/L)	電気伝導率 (mS/m)
処分場 西側端部	No.1-1	Ks1層+Ks2層	12	2.9	2.4	34	0.07	11	110	1.5	ND	0.077	21	<0.03	7.3	4300	25.7
	No3-1	Ks2層	230	50.0	18	69	11	160	600	ND	ND	0.530	150	160	8.0	11000	142.0
	No.4-1	Ks1層+Ks2層	12	4.7	0.4	34	0.07	11	100	1.7	ND	0.088	16		10.4	100	21.0
			10	3.8	3.9	31	0.05	9.8	95	4.1	ND	0.072	25	0.47	8.2	1500	18.3
No.4-2	Ks2層	12	2.6	3.6	23	0.13	11	76	1.5	ND	0.099	24	0.28	8.0	6600	19.0	
処分場内	B-2	Ks2層	180	15	70	160	3.3	180	880	ND	ND	0.013	79		6.6	49	180
	B-3	Ks2層	73	10	7.8	16	16	77	210	ND	ND	0.005	16		6.5	2100	67.1
	B-4	Ks1層	170	34	26	79	4.6	88	380	ND	ND	0.019	310	<0.03	7.1	2900	135
	C-3	Ks2層	34	8.3	11	33	0.97	31	120	ND	ND	0.003	69	41	6.7	4600	43.5
	D-2	Ks2層	15	2.2	5.0	8.4	0.21	20	32	ND	ND	0.005	25		5.8	21000	17.9
	E-2	廃棄物層	42	49	30	410	0.41	33	720	ND	ND	ND	700		7.1	12000	100
経堂池 北西側	県K-1	Ks2-3層	29	5.9	34.0	66		190	120	ND			39		6.0	90	78.1
	県K-2	Ks2層	12	2.8	6.9	27		19	120	ND			6		7.0	42	25.4
	市K-3	Ks2層	260	8.7	20.0	35		160	190	ND			380		6.8	25	164
地下水環境基準値 (安定型処分場維持管理基準)																	
定量下限値			0.1	0.1	0.1	0.1	0.01	0.1	0.5	0.1	0.05	0.003	0.1	0.03		1	