

設備において処理を行った後、排水管路を通じて天塩川に放流しています。

令和2年度における天塩川への排水量は、表 9に示すとおりです。合計排水量は、令和元年度に比べ通年で降水量（降雪量）が増加したことにより、52,301 m<sup>3</sup>と前年度同時期（44,956 m<sup>3</sup>）の約116%でした。日最大排水量は、一過的な降雨の影響を受けた9月の495 m<sup>3</sup>が最大値となっており、観測期間を通じて北るもい漁業協同組合との協定値（750 m<sup>3</sup>/日）を満足しています。また、月排水量および日平均排水量については、掘削土（ズリ）置場の融雪水を多く処理した3月が最大となっており、月排水量が5,938 m<sup>3</sup>、日平均排水量が191.5 m<sup>3</sup>でした。

表 9 天塩川への排水量

年月	月排水量 (m <sup>3</sup> )	日最大排水量 (m <sup>3</sup> ) ※1	日平均排水量 (m <sup>3</sup> ) ※2
令和2年4月	4,606	351	153.5
令和2年5月	3,616	310	116.6
令和2年6月	4,697	340	156.6
令和2年7月	3,066	229	98.9
令和2年8月	5,726	439	184.7
令和2年9月	5,129	<b>495</b> <sup>※3</sup>	171.0
令和2年10月	4,908	342	158.3
令和2年11月	5,136	390	171.2
令和2年12月	3,716	302	119.9
令和3年1月	2,559	209	82.5
令和3年2月	3,204	451	114.4
令和3年3月	<b>5,938</b> <sup>※3</sup>	491	<b>191.5</b> <sup>※3</sup>
合計	52,301	—	—
最大値	5,938	495	191.5

※1：北るもい漁業協同組合との協定値は750 m<sup>3</sup>/日

※2：排水量を月の日数で除した値

※3：各項目の最大値

## (2) 地下施設からの排水の水質調査結果

地下施設から排出される「立坑の原水」および「掘削土（ズリ）置場浸出水調整池の原水」については、図 106に示すとおり、濁水処理、脱ホウ素処理および脱窒素処理（アンモニア性窒素）を行った後、「揚水設備に

おける処理済排水」として排水管路を通じて天塩川に放流しています。また、「掘削土（ズリ）置場浸出水調整池の原水」については、貯留時に硝化菌の働きによって生成される硝酸性窒素についても処理を行っています。これらの排水については、排水処理の前と後で定期的（原則1回/月）に水質調査を実施しています。

令和2年度における水質調査結果は、表 10に示すとおり、排水基準を超える処理済排水はありませんでした。また、立坑および掘削土（ズリ）置場浸出水調整池の原水についても、これまでの調査結果と同等となっています。

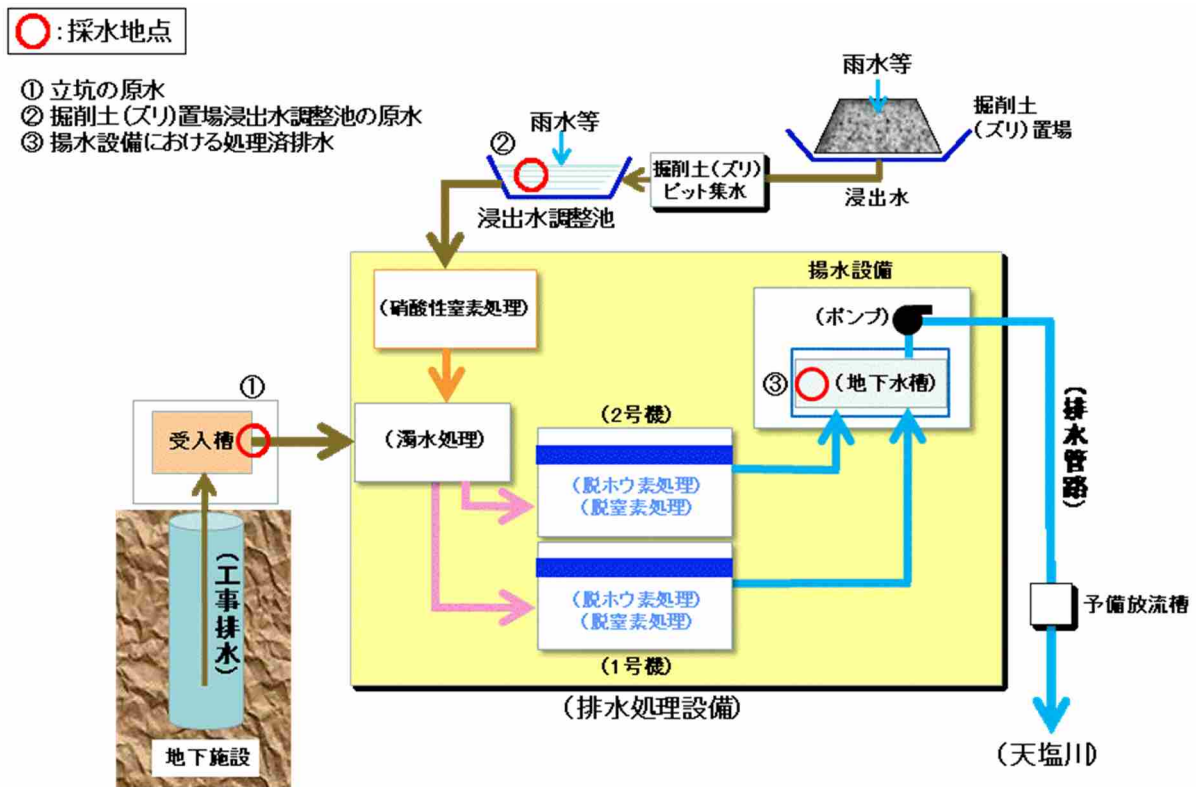


図 106 地下施設からの排水処理フローと採水地点

表 10 地下施設からの排水に係る水質調査結果

分析項目※1	採水地点※2	過年度	令和元年度	令和2年度	(参考値) 水質汚濁防止法 排水基準
		平成18年12月 ～平成31年3月	平成31年4月 ～令和2年3月	令和2年4月 ～令和3年3月	
カドミウム (mg/L)	立坑の原水	<0.01	<0.01	<0.01	0.03
	掘削土(ズリ)置場浸出水調整池の原水	<0.01	<0.01	<0.01	
	揚水設備における処理済排水	<0.01	<0.01	<0.01	
ヒ素 (mg/L)	立坑の原水	<0.01～0.08	<0.01	<0.01	0.1
	掘削土(ズリ)置場浸出水調整池の原水	<0.01～0.02	<0.01	<0.01	
	揚水設備における処理済排水	<0.01～0.02	<0.01	<0.01	
セレン (mg/L)	立坑の原水	<0.01～0.02	<0.01	<0.01	0.1
	掘削土(ズリ)置場浸出水調整池の原水	<0.01～0.04	<0.01～0.01	<0.01～0.01	
	揚水設備における処理済排水	<0.01	<0.01	<0.01	
フッ素 (mg/L)	立坑の原水	<0.8～3.5	<0.8	<0.8	8
	掘削土(ズリ)置場浸出水調整池の原水	<0.8	<0.8	<0.8	
	揚水設備における処理済排水	<0.8～1.6	<0.8	<0.8	
ホウ素 (mg/L)	立坑の原水	<0.1～160	57～80	69～79	10
	掘削土(ズリ)置場浸出水調整池の原水	<0.1～37	2.4～6.2	0.9～5.9	
	揚水設備における処理済排水	<0.1～3.0	0.2～2.2	<0.1～1.9	
全窒素 (mg/L)	立坑の原水	0.41～117	55～90	68～81	120 (日間平均 60)
	掘削土(ズリ)置場浸出水調整池の原水	3.0～150	18～35	4.0～32	
	揚水設備における処理済排水	0.60～48	6.2～21	9.6～20	
全アンモニア (mg/L)	立坑の原水	0.12～110	30～61	39～61	—
	掘削土(ズリ)置場浸出水調整池の原水	0.12～22	0.27～1.1	0.17～1.1	
	揚水設備における処理済排水	<0.05～6.8	<0.05	<0.05～1.7	
pH	立坑の原水	7.5～9.5	8.1～8.2	8.1～8.3	5.8～8.6
	掘削土(ズリ)置場浸出水調整池の原水	6.7～8.7	7.2～7.8	7.2～7.6	
	揚水設備における処理済排水	6.9～8.6	7.4～7.9	7.5～8.2	
浮遊物質 (mg/L)	立坑の原水	4～580	6～130	10～49	200 (日間平均 150)
	掘削土(ズリ)置場浸出水調整池の原水	1～170	3～6	1～21	
	揚水設備における処理済排水	<1～9	<1	<1～1	
塩化物イオン (mg/L)	立坑の原水	20～4,300	2,500～3,900	3,100～3,600	—
	掘削土(ズリ)置場浸出水調整池の原水	10～1,500	77～170	29～150	
	揚水設備における処理済排水	38～4,700	1,500～4,000	1,400～3,300	

※1：主な分析項目を抜粋

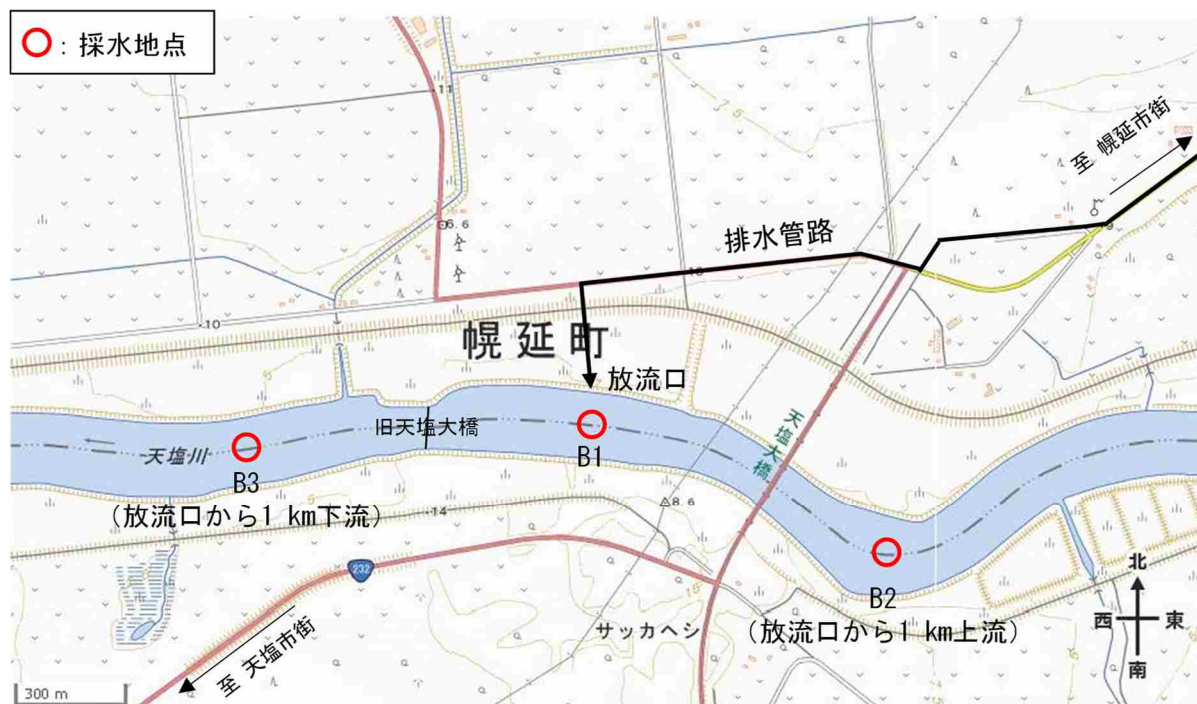
※2：採水地点は図 106 参照

### (3) 天塩川の水質調査結果

地下施設からの排水の放流先である天塩川の採水地点(図 107)において、定期的(原則1回/月)に採水し(図 108)、水質調査を実施しています。

令和2年度における調査結果は、表 11に示すとおりです。浮遊物質について、北るもい漁業協同組合との協定値(20 mg/L)を超過した時期

(4月、5月) がありましたが、放流口の上流側 (B2) においても同程度の高い値を示しており、同日に採取した揚水設備における処理済排水の浮遊物質量は低い値 (<1 mg/L) であることから、地下施設からの排水の影響ではなく、融雪や降雨などに伴う自然的な要因によるものと考えられます。その他の調査項目については、協定値の範囲内であることから天塩川に影響を与えていないものと判断しています。



※国土地理院地図 (<https://maps.gsi.go.jp/>) を加工し、採水地点などを追記

図 107 天塩川の採水地点



図 108 天塩川の採水状況

表 11 天塩川の水質調査結果

分析項目※1	採水地点※2	過年度		令和2年度	北るもい 漁業協同組合 協定値	
		平成18年6月 ～平成18年11月 (放流前)	平成18年12月 ～令和2年3月 (放流後)	令和2年4月 ～令和3年3月		
ホウ素 (mg/L)	B1	表層	<0.02～0.04	<0.01～0.35	0.01～0.10	5
		中層	—	<0.01～3.5	0.01～1.1	
		深層	<0.02～3.35	<0.01～4.9	0.01～3.8	
	B2	表層	<0.02～0.04	<0.01～0.27	<0.01～0.07	
		中層	—	<0.01～3.7	0.01～0.10	
		深層	<0.02～3.28	<0.01～5.0	<0.01～0.49	
	B3	表層	<0.02～0.07	<0.01～0.28	0.01～0.11	
		中層	—	<0.01～2.5	<0.01～0.15	
		深層	<0.02～1.03	<0.01～4.7	0.01～0.22	
全窒素 (mg/L)	B1	表層	0.37～1.06	0.11～2.2	0.34～2.2	20
		中層	—	0.15～2.1	0.34～2.2	
		深層	0.42～1.50	0.15～6.5	0.37～2.2	
	B2	表層	0.37～1.14	0.14～2.2	0.33～2.2	
		中層	—	0.15～2.3	0.34～2.3	
		深層	0.4～1.16	0.16～2.3	0.34～2.3	
	B3	表層	0.4～1.31	0.16～2.2	0.33～2.2	
		中層	—	0.11～2.3	0.34～2.2	
		深層	0.49～1.24	0.16～2.3	0.33～2.2	
全アンモニア (mg/L)	B1	表層	—	<0.05～0.83	<0.05～0.11	2※3
		中層	—	<0.05～0.92	<0.05～0.09	
		深層	—	<0.05～0.85	<0.05～0.13	
	B2	表層	<0.01～0.13	<0.05～0.89	<0.05～0.09	
		中層	—	<0.05～0.76	<0.05～0.09	
		深層	0.01～0.35	<0.05～0.85	<0.05～0.09	
	B3	表層	0.01～0.21	<0.05～0.89	<0.05～0.10	
		中層	—	<0.05～0.90	<0.05～0.10	
		深層	0.02～0.17	<0.05～0.96	<0.05～0.10	
pH	B1	表層	7.1～7.4	6.4～7.8	6.9～7.7	5.8～8.6
		中層	—	6.5～7.7	6.9～7.6	
		深層	7.0～7.6	6.5～8.0	7.0～7.5	
	B2	表層	7.1～7.4	6.6～7.9	6.9～7.6	
		中層	—	6.5～7.9	7.0～7.6	
		深層	7.2～7.6	6.6～8.0	7.0～7.6	
	B3	表層	7.0～7.6	6.6～7.9	7.0～7.6	
		中層	—	6.6～7.7	7.0～7.6	
		深層	7.1～7.4	6.6～8.0	7.0～7.5	
浮遊物質 (mg/L)	B1	表層	3～34	<1～360	<1～95	20
		中層	—	<1～390	<1～96	
		深層	6～86	<1～400	<1～98	
	B2	表層	3～36	<1～390	<1～90	
		中層	—	<1～400	<1～94	
		深層	5～47	<1～460	<1～84	
	B3	表層	3～35	<1～420	<1～90	
		中層	—	<1～460	<1～100	
		深層	5～49	<1～650	<1～94	

※1：主な分析項目を抜粋

※2：採水地点は図 107 参照、表層（水面下 0.1 m 付近）、中層（塩水層と淡水層の間もしくは 1/2 深度）、深層（川床上 1 m 付近）

※3：北るもい漁業協同組合との確認により、放流口下流 1 km (B3) 地点の値

#### (4) 掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の水質調査結果

地下施設の建設により発生した掘削土（ズリ）は、二重に遮水された掘削土（ズリ）置場で管理していますが、遮水された外側となる掘削土（ズリ）置場周辺への影響を監視するため、図 109に示す採水地点において、観測用のボーリング孔から地下水を定期的（原則4回/年）に採水し（図 110）、水質調査を実施しています。

令和2年度における調査結果は、表 12に示すとおり、これまでの調査結果と同等であることから、掘削土（ズリ）置場が周辺環境に影響を与えていないものと判断しています。

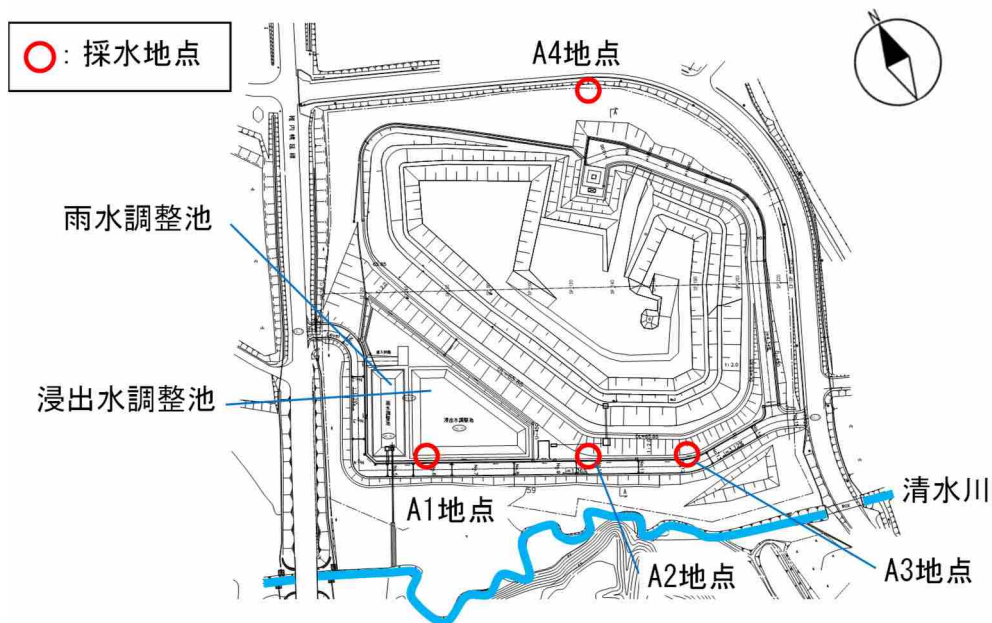


図 109 掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の採水地点



図 110 掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の採水状況（A1～A4）

表 12 掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の水質調査結果

分析項目※1	採水地点※2	過年度		令和2年度			
		平成18年6月 ～平成19年4月 掘削土（ズリ） 搬入前	平成19年5月 ～令和2年2月 掘削土（ズリ） 搬入後	令和2年			令和3年
				5月	8月	11月	2月
カドミウム (mg/L)	A1	<0.001～0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	A2	<0.001～0.004	<0.001～0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	A3	<0.001～0.003	<0.001～0.009	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	A4	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
鉛 (mg/L)	A1	<0.005～0.171	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A2	<0.005～0.006	<0.005～0.007	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A3	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A4	<0.005～0.022	<0.005～0.007	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
ヒ素 (mg/L)	A1	<0.005	<0.005～0.012	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A2	<0.005	<0.005～0.007	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A3	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A4	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
セレン (mg/L)	A1	<0.002	<0.002～0.005	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	A2	<0.002	<0.002～0.003	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	A3	<0.002	<0.002～0.005	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	A4	<0.002	<0.002～0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
フッ素 (mg/L)	A1	<0.1～0.3	<0.1～0.4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	A2	<0.1～0.4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	A3	<0.1～0.2	<0.1～0.3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	A4	<0.1	<0.1～0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
ホウ素 (mg/L)	A1	19.8～50.7	0.40～63.0	23	29	23	15
	A2	1.29～43.5	0.43～19.0	7.3	10	8.0	23
	A3	12.5～34.0	0.18～41.8	2.4	11	3.3	19
	A4	<0.02～0.06	<0.02～0.47	0.03	0.06	0.04	0.10
pH	A1	6.9～7.2	6.1～7.9	6.5	6.6	6.5	6.5
	A2	4.6～6.3	3.7～6.9	6.5	6.5	6.5	6.8
	A3	6.8～7.3	4.2～7.4	6.5	6.5	6.5	6.7
	A4	5.4～6.6	5.0～6.7	5.1	5.1	5.1	5.2
塩化物イオン (mg/L)	A1	1,810～2,760	79～3,400	1,500	1,800	1,600	1000
	A2	147～2,910	23～1,200	450	590	430	1000
	A3	631～1,550	26～1,700	110	690	160	860
	A4	9.7～11.9	8.4～17.0	9.9	10	10	15

※1：主な分析項目を抜粋

※2：採水地点は図 109 参照

### (5) 清水川および掘削土（ズリ）置場雨水調整池の水質調査結果

掘削土（ズリ）置場雨水調整池による清水川への影響がないことを確認するため、図 111に示す清水川の上流（A5）と下流（A7）の2地点および掘削土（ズリ）置場雨水調整池（A6）において、定期的（原則1回/月）に採水を行い（図 112）、水質調査を実施しています。

令和2年度における調査結果は、表 13に示すとおり、これまでの調査結果と同等であることから、掘削土（ズリ）置場が周辺環境に影響を与えていないものと判断しています。



図 111 清水川および掘削土（ズリ）置場雨水調整池の採水地点



図 112 清水川および掘削土（ズリ）置場雨水調整池の採水状況



表 13 清水川および掘削土（ズリ）置場雨水調整池の水質調査結果

分析項目※1	採水地点※2	過年度		令和2年度
		平成18年6月 ～平成19年4月 掘削土（ズリ） 搬入前	平成19年5月 ～令和2年3月 掘削土（ズリ） 搬入後	令和2年4月 ～令和3年3月
カドミウム (mg/L)	A5	<0.001	<0.001	<0.001
	A6	<0.001～0.001	<0.001～0.002	<0.001
	A7	<0.001	<0.001	<0.001
鉛 (mg/L)	A5	<0.005	<0.005	<0.005
	A6	<0.005	<0.005～0.007	<0.005～0.005
	A7	<0.005	<0.005～0.008	<0.005
ヒ素 (mg/L)	A5	<0.005	<0.005～0.006	<0.005
	A6	<0.005～0.011	<0.005～0.015	<0.005
	A7	<0.005	<0.005～0.009	<0.005
セレン (mg/L)	A5	<0.002	<0.002～0.002	<0.002
	A6	<0.002	<0.002～0.003	<0.002
	A7	<0.002	<0.002	<0.002
フッ素 (mg/L)	A5	<0.1～0.1	<0.1～0.2	<0.1
	A6	<0.1～0.7	<0.1～1.1	<0.1
	A7	<0.1	<0.1～0.3	<0.1
ホウ素 (mg/L)	A5	0.03～0.25	<0.02～0.44	0.04～0.39
	A6	<0.02～0.09	<0.02～0.43	0.02～0.20
	A7	0.03～0.30	<0.02～0.42	0.04～0.37
pH	A5	6.4～7.1	6.0～7.9	6.4～7.4
	A6	5.8～7.4	5.7～9.1	6.6～8.1
	A7	6.5～7.0	6.1～7.8	6.5～7.3
浮遊物質 (mg/L)	A5	1～20	<1～66	1～62
	A6	12～173	<1～500	<1～50
	A7	1～11	<1～270	1～54
塩化物イオン (mg/L)	A5	14.4～30.5	7.2～70	13～45
	A6	5.1～24.7	1.7～269	3.0～25
	A7	15.6～28.7	8.1～100	14～43

※1：主な分析項目を抜粋

※2：採水地点は図 111 参照

## (6) 浄化槽排水の水質調査結果

研究所用地から排出される生活排水による環境への影響を監視するため、研究管理棟および地下施設現場事務所の浄化槽排水について、定期的（原則1回/4週）に水質調査を実施しています。

令和2年度における水質調査結果は、表 14に示すとおり、全ての項目において協定値を満足しています。

表 14 浄化槽排水の水質調査結果

分析項目	採水地点	過年度	令和2年度	北るもい 漁業協同組合 協定値
		平成18年12月 ～令和2年3月	令和2年4月 ～令和3年3月	
pH	研究管理棟	5.9～7.7	6.0～7.4	5.8～8.6
	地下施設 現場事務所	6.8～7.9	7.1～7.9	
生物化学的 酸素要求量 (mg/L)	研究管理棟	<0.5～17	1.4～8.9	20
	地下施設 現場事務所	<0.2～28	0.7～18	
浮遊物質 量 (mg/L)	研究管理棟	0.5～10	<1～6	20
	地下施設 現場事務所	<0.5～8.0	<1～2	
全窒素 (mg/L)	研究管理棟	6.6～52	8.1～27	60
	地下施設 現場事務所	0.2～45	0.7～9.5	
全リン (mg/L)	研究管理棟	0.5～5.0	1.1～2.9	8
	地下施設 現場事務所	<0.1～7.8	<0.1～1.0	
透視度 (cm)	研究管理棟	30	30	30
	地下施設 現場事務所	30	30	
大腸菌群数 (個/mL)	研究管理棟	0～30	0	3,000
	地下施設 現場事務所	0～2,100	0～21	

## 9.2 研究所用地周辺の環境影響調査結果

研究所用地周辺の環境影響調査として、図 113に示す地点にて清水川の水質および魚類を対象に調査を実施しています。

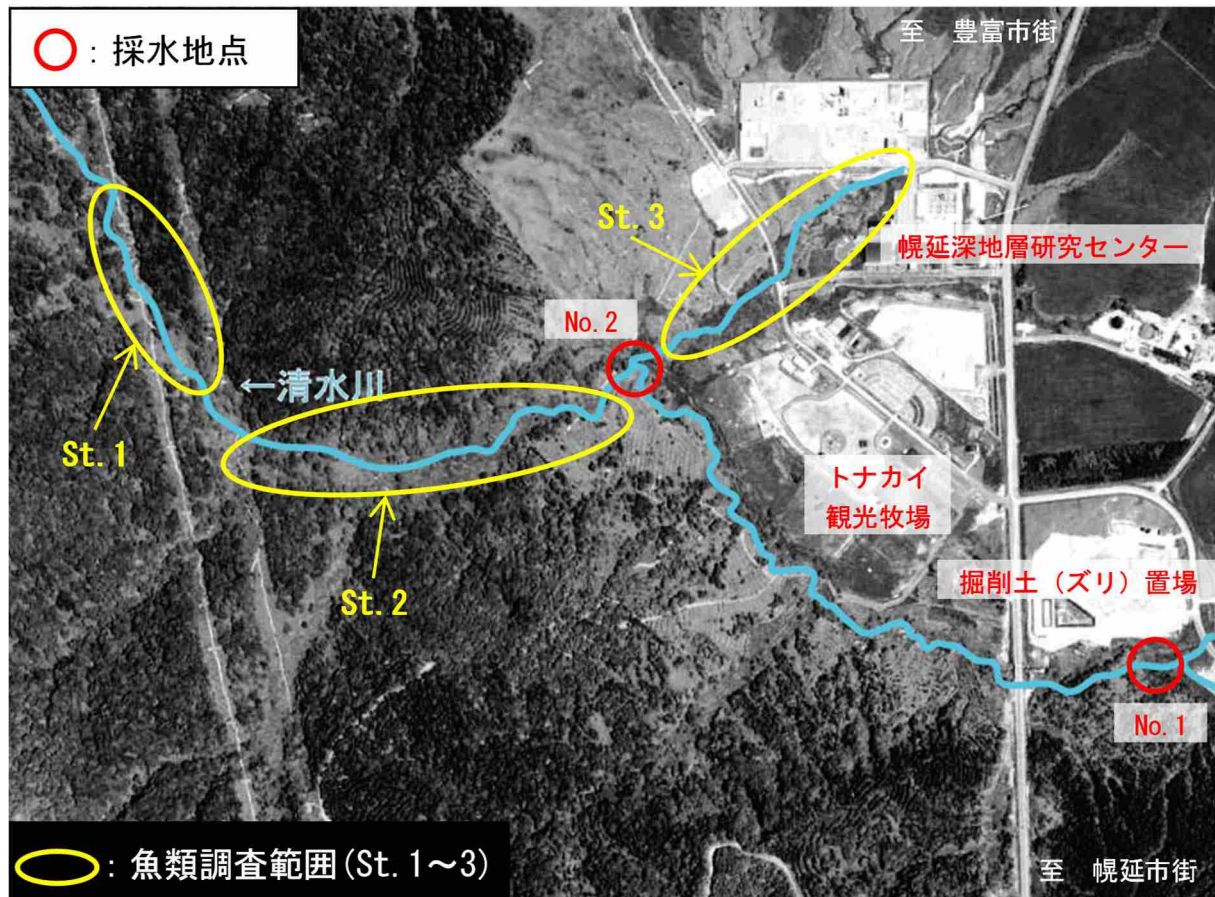


図 113 環境調査実施場所

### (1) 清水川の水質調査結果

清水川の2地点において、定期的(原則4回/年)に採水を行い(図 114)、水質調査を実施しています。本調査は、清水川および掘削土(ズリ)置場雨水調整池の水質調査結果と別に、「水質汚濁に係る環境基準」に準拠して実施しているものです。

令和2年度における調査結果は、表 15に示すとおり、これまでと比較して大きな変化がないことを確認しています。



図 114 清水川の水質調査

表 15 清水川の水質調査結果

分析項目※1	採水地点※2	過年度	令和2年度			
		平成14年8月 ～令和2年2月	令和2年			令和3年
			6月	9月	11月	2月
pH	No. 1	6.3～7.9	7.6	7.1	7.1	7.2
	No. 2	6.4～7.7	7.2	7.0	7.0	7.0
生物化学的 酸素要求量 (mg/L)	No. 1	<0.5～62	1.5	1.0	0.7	1.0
	No. 2	<0.5～10.0	2.7	1.2	1.2	1.5
浮遊物質 量 (mg/L)	No. 1	1～70	5	8	3	3
	No. 2	<1～69	3	6	4	1
溶存酸素量 (mg/L)	No. 1	6.6～13.9	10.2	9.2	11.3	13.3
	No. 2	5.5～12.5	7.4	7.4	9.9	9.7

※1：主な分析項目のみを抜粋

※2：採水地点は図 113 参照

## (2) 魚類の調査結果

清水川において、定期的（原則3回/年（春・夏・秋））に生息魚類の調査を行っています（図 115）。調査は、図 113に示すSt. 1～St. 3の3箇所で行っています。

令和2年度における調査結果は、これまでと大きな変化は認められませんでした。重要種としては、表 16に示すとおり、スナヤツメ北方種、エゾウグイ、エゾホトケドジョウ、サクラマス（ヤマメ）、エゾトミヨ、ハナカジカの6種が確認されました。



図 115 生息魚類調査

表 16 確認された重要種（魚類）

目	科	種	選定根拠 <sup>※1</sup>						
			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
ヤツメウナギ	ヤツメウナギ	スナヤツメ北方種			VU		希		
コイ	コイ	エゾウグイ				N			
〃	ドジョウ	エゾホトケドジョウ			EN	En			
サケ	サケ	サクラマス（ヤマメ）			NT	N	減		
トゲウオ	トゲウオ	エゾトミヨ			VU	Nt			○
カサゴ	カジカ	ハナカジカ				N			

※1：重要種の選定根拠

- ①：「文化財保護法」（昭和 25 年 法律第 214 号）に基づく天然記念物および特別天然記念物
- ②：「絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律」（平成 4 年 法律第 75 号）に基づく野生動植物種
- ③：「環境省レッドリスト 2020【汽水・淡水魚類】」（環境省 2020 年）の記載種  
EN：絶滅危惧 IB 類 VU：絶滅危惧 II 類 NT：準絶滅危惧
- ④：「北海道レッドリスト【魚類編（淡水・汽水）】改訂版（2018 年）」（北海道 平成 30 年）の記載種  
En：絶滅危惧 IB 類 Nt：準絶滅危惧 N：留意
- ⑤：「日本の希少な野生水生生物に関するデータブック（水産庁編）」（日本水産資源保護協会 1998 年）の記載種
- ⑥：「緑の国勢調査－自然環境保全調査報告書－」（環境庁 昭和 51 年）に基づく選定種
- ⑦：「第 2 回自然環境保全基礎調査報告書（緑の国勢調査）」（環境庁 昭和 57 年）に基づく選定種
- ：調査対象種

※③については、レッドリストの更新に伴い出典が変更となっている。

## 10. 安全確保の取り組み

安全確保の取組みとして、直営作業、請負作業、共同研究作業においては、作業の計画段階からリスクアセスメント評価を実施し、安全対策の妥当性の確認や改善に努めました。

そのほか、定期的な安全パトロールを実施し、現場の安全確認や改善などに努めました（図 116）。

さらに、新規配属者や請負作業・共同研究作業の責任者などに対して安全教育を実施したほか、全国安全週間などの機会を捉えて、従業員のみならず請負企業も含めた安全行事に積極的に取り組むなど、安全意識の高揚に努めました（図 117）。



図 116 安全パトロールの状況



図 117 安全行事の状況（安全大会）

## 11. 開かれた研究

幌延深地層研究計画で実施する地下深部を対象とした研究は、国内外の大学・研究機関との共同研究や研究協力をはじめ、広く関連する専門家の参加を得て進めています。令和2年度に実施した主な研究協力は以下のとおりです。

### 11.1 国内機関との研究協力

#### 東京大学

堆積軟岩の力学挙動評価の開発に関して共同研究を行いました。令和元年度と令和2年度の2年間で、強度の載荷速度依存性とクリープ寿命の応力依存性の関係を整理し、時間依存性の程度を調べる試験方法についてまとめました。稚内層珪質泥岩と他の堆積岩について、時間依存性の程度を比較したところ、稚内層珪質泥岩の結果は、これまでに得られた堆積岩の結果と大きな違いはないことが分かりました。また、幌延で計測した岩盤の長期変形挙動計測結果と、過去に実施された変形挙動計測エリア付近を対象とした予測解析結果とを比較し、実岩盤中の長期変形挙動について検討しました。

また、微生物を指標とした堆積岩中の水みち調査手法に関して共同研究を実施しました。堆積岩における主要な水みちは、岩盤中の割れ目であると考えられますが、非常にゆっくりとした地下水流動系では健岩部もまた、水みちとして重要になる可能性があります。健岩部における地下水の移動は、岩盤中の物質移行に対して大きな遅延効果をもたらすため、健岩部の寄与を評価する手法開発が重要になります。微生物が活動するためには水が必要であることから、岩石中の生きた微生物が存在する箇所には地下水が存在することになります。この関係性に着目し、本共同研究では、岩盤中の地下水流動に対する健岩部の寄与の評価手法の開発を目的として、堆積岩における微生物を指標とした健岩部の地下水移動経路の評価手法の開発に取り組んでいます。令和2年度は、7.(2)で述べたように、地下施設の調査坑道から得られた岩石試料および地上からのボーリング掘削時に得られた岩石試料を用いて、岩石中の微生物分布を取得し、同時に、岩石を構成する主要元素濃度の分布を調べました。その結果、微

生物の存在する場所には粘土鉱物も合わせて存在することが分かりました。今後は、粘土鉱物にも着目しながら、データを拡充させていきます。

## 名古屋大学

炭酸カルシウムのコンクリーション化による、地下空洞掘削影響領域の水みちとなる割れ目や透水性空隙の自己シーリングに関する研究を行いました。この研究は、地下水中の重炭酸イオン ( $\text{HCO}_3^-$ ) との反応により形成される炭酸カルシウムの反応・沈殿（自己シーリング）作用（コンクリーション化）に着目しています。重炭酸イオンと反応させる材料は、開発中のコンクリーション化充填材と地下環境の空洞維持に不可欠であるコンクリートからの溶出カルシウムイオンの2つです。コンクリーション化による掘削影響領域などの水みちとなる割れ目や透水性空隙の自己シーリングプロセスについて調査・解析を行います。この自然環境下での自発的コンクリーション化現象によって、プラスのバリア機能が期待されます。

令和2年度は、地下施設の坑道壁面から、支保工であるコンクリートと岩盤の双方を試料として採取できるようにボーリング孔を掘削し、このボーリング孔にコンクリーション化充填材を注入しました。そして、コンクリーション化充填材が充填されたボーリング孔周辺の透水性を経時的に測定しました。

今後、コンクリートの裏側の岩盤中に形成された炭酸カルシウム（カルサイト）の産状や形成速度を分析・調査する予定です。

## 京都大学、東北大学

高レベル放射性廃棄物に含まれる長半減期核種である3価アクチノイドは、天然には存在しないため、堆積岩地域の地下深部における3価アクチノイドの挙動の理解をするためには、3価アクチノイドと挙動が似ている希土類元素の挙動を調べるのが有効になります。令和元年度は、250mおよび350m調査坑道から掘削されたボーリング孔を利用して、地下水試料および岩石試料を採取しました。令和2年度は、これまでの共同研究により構築された分析手法を用いて、250m調査坑道から得られた地下水試



料中の希土類元素濃度を精確に定量しました。また、グローブボックスを用いて酸素の無い環境で粉碎した岩石試料と地下水試料を用いて岩石中に含まれる希土類元素の溶出試験を開始しました。今後は、得られた結果を用いて熱力学的な考察を行うことで、堆積岩地域の地下深部環境における希土類元素の挙動の理解を深めていきます。

地下水中のウランや希土類元素などの微量元素と微小な物質（コロイド・有機物・微生物）との相互作用に関わる現象の理解の向上のため、これまでに、250mおよび350m調査坑道から得られた地下水試料に微量元素を添加する実験を実施してきています。添加後の地下水試料をフィルターでろ過し、ろ液およびフィルターを分析することで、地下水中に微量に存在する有機物などとの相互作用を調べています。令和2年度は、350m調査坑道から得られた地下水試料を用いて追試を実施し、実験結果の確からしさを確認しました。その結果、希土類元素は原子番号が大きくなるほど地下水中の濃度が減少する結果や、添加した希土類元素がリン酸塩などの鉱物を形成している可能性が再確認されました。今後は、別途東北大学において実施した室内試験結果と合わせて、地下水中の微量元素とコロイドや有機物との相互作用について考察を行っていきます。本研究は、日本学術振興会の運営する科学研究費助成事業、基盤研究(B)「深部地下水環境での長半減期核種の移行を支配する物質の解明」の助成を受けて実施しています。

## 京都大学

岩盤の亀裂内における鉱物の析出による岩盤の透水性の変化の調査を目的として共同研究を実施しました。350m調査坑道において、坑道壁面から約1 m程度掘削したボーリング孔を用いた炭酸水の連続注入を実施し、岩盤の亀裂内において炭酸カルシウムの析出を促進させるとともに、透水試験を繰り返し実施し透水性の変化を調査しました。調査終了後、実験で使用したボーリング孔をオーバーコアリングし、炭酸水注入位置周辺の岩石試料を採取しました。今後は、これまで取得したデータや採取した岩石試料を分析する予定です。

## 幌延地圏環境研究所<sup>\*57</sup>

両機関の試験設備を活用した研究協力として、堆積岩の地下深部の微生物の生態系の把握および地下施設の建設に伴う微生物生態系への影響などの調査を目的として、これまでに地下施設を利用して微生物に関するデータを取得してきました。令和2年度は、深度約300 mの地下水から酸素の無い環境のもと、硫酸で呼吸して生育する細菌の新種を発見しました<sup>(30)</sup>。この新種の細菌は、地下深部の硫酸に乏しい環境において、酸化鉄や二酸化マンガン、腐植物質などの地層中に含まれる物質も使いながら呼吸をしている可能性が分かりました。このような機能を持つ微生物は、地下施設の掘削により一時的に酸化的环境を、地下施設の閉鎖後に還元的な環境に戻す役割の一端を担うことが期待されます。

## 産業技術総合研究所<sup>\*58</sup>

陸域から海域までの地質データを統合的に整備した三次元地質環境モデルとそれを使った地下水流動解析の結果を検証するためのデータの取得方法の高度化を目的として、浜里地区の地下水調査孔において水位・水質などの水文地質データの取得を継続しています。令和2年度は、浜里地区に設置された複数の地下水調査孔（DD-1～4孔）において、孔内水位観測を孔内投げ込み型の小型水位計を用いて行いました。

## 電力中央研究所

地下施設建設時に周辺地質環境の初期状態と建設に伴う変化を観測し、施設建設に関わる影響領域の空間分布とその経時変化、変化のプロセスに関わる基礎的知見を得ることが重要であることから、地下施設建設時の坑道掘削影響領域の調査技術の高度化を図ることを目的として、継続的に共同研究を実施してきました。令和2年度は令和元年度までに引き続き、坑道掘削に伴う周辺岩盤への力学的な影響を把握するための調査として、140mおよび250mの調査坑道において比抵抗トモグラフィや弾性波トモグラフィを行いました。また、得られた物理探査の結果を検証する

---

\*57：幌延地圏環境研究所は、公益財団法人北海道科学技術総合振興センターが設置した研究所であり、国の補助を受けて、幌延深地層研究センターの施設や設備を活用した地下空間利用を中心とする研究を実施しています。

\*58：国立研究開発法人産業技術総合研究所は、産業技術の広い分野における様々な技術開発を総合的に行っている研究組織です。

ために、140m調査坑道において簡易な乾式ボーリング掘削を実施しました。今後は、得られたコア試料を用いて坑道周辺岩盤の飽和度を測定し、物理探査の結果と比較していきます。

令和元年度は坑道周辺の地下水の飽和度の違いに着目した気液二相流に関する数値解析を実施し、地下水の不飽和領域の形成要因について検討しました<sup>(24)</sup>。令和2年度は、7.(2)で述べたように、不飽和領域の形成に関連して、坑道中の酸素が岩盤中へ侵入する要因を検討しました<sup>(27)</sup>。その結果、地下水中の溶存ガス量が減少したり、岩盤の透水性が低くなると酸素の侵入量が大きくなり、坑道壁面における湿度が低下した場合も酸素の侵入が促進されることが分かりました。今後も、実測データの拡充および数値解析を活用した解釈などを通して、坑道周辺の不飽和領域の形成メカニズムの解明に取り組みます。

また、地下水中にコロイドが存在する場合、岩石への収着性が低いコロイドが放射性核種を収着した状態で移行することにより、放射性核種の移行が促進される可能性があります。その影響を定量的に評価するためには、放射性核種の収着対象となる地下水中的コロイド種を明確にするとともに、対象となるコロイド種への放射性核種の収着挙動を評価する必要があります。本研究では、地下水中の無機コロイドを対象とし、塩濃度の高い地下水中に安定に存在するコロイド種に関する検討を実施し、コロイドへの放射性核種の不可逆的な収着挙動について検討します。令和2年度は、140m、250mおよび350m調査坑道から地下水を採水し、コロイドを構成する元素の同定やコロイドの粒径分布などを調べました。今後は、同定されたコロイド種に対し、収着脱離試験を実施し、放射性核種の不可逆的な収着挙動について検討を行います。

## 国立環境研究所

深部地下水中に溶存する有機物の特性評価ならびに調査解析手法の開発を目的として共同研究を実施しました。令和2年度は、4.2(2)で述べたように、地下水中の有機物をその性質に応じて分画するとともに、分画された各物質群の溶存有機炭素濃度や分子サイズ分布などに関する特性評価を行いました。

## 深田地質研究所、東京大学

従来、断層分布の調査においては、地形・地質調査に加え、地表および空中からの物理探査が主として実施されてきています。一方、断層の地表部においては微量なガスの湧出が見られることがあります。この湧出ガスを検出することにより、断層分布に関する情報が得られます。近年、ガス濃度測定技術が大幅に向上しており、従来の測定技術では検出することができなかつた小さな変化まで迅速に検出することが可能になっています。本共同研究では、地表から特定することが困難な伏在断層や地下水の流動経路（水みち）の検出精度の向上を目的として、新たなガス濃度測定技術の適用性の検討を行っています。令和2年度は、高精度メタン測定機を車に載せて、幌延町内を走行しながらメタンガス濃度分布を測定しました。今後は、追加調査によりデータを拡充させていく予定です。本共同研究の成果の一部は、6.1.2に示した令和2年度以降の必須の課題「地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化」の物理探査技術に反映させることで、技術の高度化を図ります。

## 株式会社安藤・間

岩盤の初期応力と変形係数を同時に評価することが可能な、ボアホールジャッキ試験の原位置での適用性を確認することを目的として共同研究を実施しています。令和2年度は、350m調査坑道の東周回坑道南側のボーリング孔において載荷試験を実施しました。今後は、異なるボーリング孔での載荷試験を実施するとともに、原子力機構がこれまで取得した測定データとの比較・検討を通じ、本測定手法の適用性評価を実施する予定です。

## 11.2 国外機関との研究協力

### クレイクラブ (Clay Club) <sup>\*59</sup>

クレイクラブでは各国の参加機関との情報交換を通じて、国外における堆積岩類を対象とした調査研究や技術開発などに係る最新の情報を取

---

\*59 : Clay Club は、経済協力開発機構 原子力機関 (OECD/NEA) の放射性廃棄物管理委員会の下に置かれたプロジェクトの一つです。地層処分の実施・規制・研究機関を中心とした組織であり、様々な粘土質媒体の特性の比較や粘土の物性や挙動および、地下施設で実施される試験に関する技術的かつ科学的情報の交換、さらには、サイト特性調査技術の詳細な評価を実施しています。

得しました。

### モンテリ・プロジェクト\*60（スイス）

国際共同研究のモンテリ・プロジェクトで実施されている各種試験のうち、原子力機構は「オパリナス粘土の摩擦特性に関する室内試験」に参加しています。令和2年度は、断層すべり、間隙水圧、流体化学および流体移動間の複合的な関係性を評価するための試験が継続されました。これらの試験で得られた成果は、地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証などに反映していきます。

### DECOVALEX (Development of COupled models and their VALidation against EXperiments)

国際共同研究DECOVALEXは、地層処分環境における熱－水理－力学－化学 (THMC) 連成現象の理解および評価モデルの検証を目的に実施されています。令和2年度からはDECOVALEX-2023（令和2年度～令和5年度）が開始されており、このフェイズではタスクの一つとして、人工バリア性能確認試験を対象とした共同解析を実施します。令和2年度の成果については、4.1に記載しています。

---

\*60：堆積岩を対象とした地層処分研究に関する国際的な原位置試験プロジェクトです。スイスのモンテリ・トンネル内において地層処分に関連する各種の原位置試験が実施されています。

## 引用文献

- (1) 中山雅, 雑賀敦 (編) (2020) : 幌延深地層研究計画 令和 2 年度調査研究計画, JAEA-Review 2022-022, 34p.
- (2) Kimuro, S., Kirishima, A., Nagao, S., Saito, T., Amano, Y., Miyakawa, K., Akiyama, D. and Sato, N. (2018) : Characterization and thermodynamic study of humic acid in deep groundwater at Horonobe, Hokkaido, Japan, Journal of Nuclear Science and Technology, 55(5), 503-515.
- (3) 日本原子力研究開発機構, 原子力環境整備促進・資金管理センター (2021) : 令和 2 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業 地層処分施設閉鎖技術確証試験 報告書.
- (4) 核燃料サイクル開発機構 (1999) : わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第 2 次取りまとめ—分冊 3 地層処分の安全評価, JNC TN1400 99-023, 526p.
- (5) Schuster, K., Amann, F., Yong, S., Bossart, P. and Connolly, P. (2017) : High-resolution mini-seismic methods applied in the Mont Terri rock laboratory (Switzerland), Swiss Journal of Geosci, pp. 213-231.
- (6) 杉田裕, 青柳和平, 窪田健二, 中田英二, 大山隆弘 (2018) : 幌延深地層研究施設における掘削影響領域の評価 (その 1) —深度 140m を対象とした試験— (共同研究), JAEA-Research 2018-002, 72p.
- (7) 青柳和平, 津坂仁和, 窪田健二, 常盤哲也, 近藤桂二, 稲垣大介 (2014) : 幌延深地層研究所の 250m 調査坑道における掘削損傷領域の経時変化に関する検討, 土木学会論文集, C (地圏工学) (インターネット), 70 (4), pp. 412-423.
- (8) 核燃料サイクル開発機構 (1999) : わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第 2 次取りまとめ—分冊 2 地層処分の工学技術, JNC TN1400 99-022, 703p.
- (9) 柴田雅博, 笹本広, 神徳敬, 油井三和 (2004) : 緩衝材の長期安定性評価技術の現状 (研究報告), JNC TN8400 2004-010, 40p.
- (10) 日本原子力研究開発機構 (2013) : 平成 24 年度地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム化学影響評価高度化開発—6 ヶ年研究成果の取りまとめ—, 239p.
- (11) 日本原子力研究開発機構 (2018) : 平成 29 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業 処分システム評価確証技術開発 5 か年成果報告書, 259p.
- (12) Ishii, E. (2018) : Assessment of hydraulic connectivity of fractures in mudstones by single-borehole investigations, Water Resources Research, vol. 54, pp. 3335-3356.
- (13) 雑賀敦 (編) (2020) : 幌延深地層研究計画 平成 30 年度調査研究成果報告, JAEA-Review 2019-018, 122p.
- (14) 中山雅, 雑賀敦 (編) (2021) : 幌延深地層研究計画 令和元年度調査研究成果報告, JAEA-Review 2020-042, 116p.
- (15) Ozaki, Y., Ishii, E. and Sugawara, K. (2020) : Poroelastic response of fractured mudstone in the Horonobe URL: A possible indicator of fracture

- hydraulic dysconnectivity, Proceedings of ISRM Specialized Conference CouFrac2020, GS11-04, pp.1-4.
- (16) 舟木泰智, 浅森浩一, 真田祐幸, 羽出山吉裕, 山本卓也, 井尻裕二, 松岡清幸, 木村和洋, Lin, S., 熊谷敏文 (2010): 幌延深地層研究計画換気立坑先行ボーリング (PB-V01 孔) 調査報告書—物理検層—, JAEA-Data/Code 2010-002, 151p.
- (17) Ishii, E. (2020): A conventional straddle-sliding-packer system as a borehole extensometer: Monitoring shear displacement of a fault during an injection test, Engineering Geology, vol.275, 105748.
- (18) Ohno, H., Takeda, M. and Ishii, E. (2020): Does fault activation affect the hydraulic disconnectivity of faults in mudstone? Proceedings of ISRM Specialized Conference CouFrac2020, GS11-03, pp.1-4.
- (19) 原子力発電環境整備機構 (2021): 包括的技術報告: わが国における安全な地層処分の実現—適切なサイトの選定に向けたセーフティーケースの構築—, NUMO-TR-20-03, 803p.
- (20) 水野崇, 岩月輝希, 松崎達二 (2017): ボーリング孔を利用した比抵抗検層結果に基づく地下水水質の推定方法に関する検討, 応用地質, 第 58 卷 第 3 号, pp.178-187.
- (21) 石井英一, 安江健一, 田中竹延, 津久井朗太, 松尾公一, 杉山和稔, 松尾重明 (2006): 北海道北部、幌延地域における大曲断層の三次元分布と水理特性, 地質学雑誌, vol.112, no.5, pp.301-314.
- (22) 酒井利啓, 松岡稔幸 (2015): 幌延地域を対象とした地表踏査および地形データにもとづく地質分布の推定, JAEA-Research 2015-004, 109p.
- (23) 宮川和也 (2021): 幌延深地層研究計画で得られた地下水の水質データ (2020 年度), JAEA-Data/Code 2021-003, 25p.
- (24) Miyakawa, K., Aoyagi, K., Sasamoto, H., Akaki, T. and Yamamoto, H. (2019): The effect of dissolved gas on rock desaturation in artificial openings in geological formations, The Extended Abstract of the ISRM 2019 Specialized Conference, 6p.
- (25) Mochizuki, A., Ishii, E., Miyakawa, K. and Sasamoto, H. (2020): Mudstone redox conditions at the Horonobe Underground Research Laboratory, Hokkaido, Japan: Effects of drift excavation, Engineering Geology, 267, 105496.
- (26) Pruess, K. and Battistelli, A. (2002): TMVOC, a numerical simulator for three-phase non-isothermal flows of multicomponent hydrocarbon mixtures in saturated-unsaturated heterogeneous media, LBNL-49375, Lawrence Berkeley National Lab., Berkeley,, CA.
- (27) Miyakawa, K., Aoyagi, K., Akaki, T. and Yamamoto, H. (2021): Numerical simulation of oxygen infusion into desaturation resulting from artificial openings in sedimentary formations, 第 15 回岩の力学国内シンポジウム 講演集, pp.609-614.
- (28) Miyakawa, K., Aoyagi, K., Akaki, T. and Yamamoto, H. (2021): A numerical simulation study of the desaturation and oxygen infusion into the sedimentary rock around the tunnel in the Horonobe Underground Research

- Laboratory, JAEA-Data/Code 2021-002, 26p.
- (29) 中山雅, 佐野満昭, 真田祐幸, 杉田裕 (編) (2009) : 幌延深地層研究計画 平成20年度調査研究成果報告, JAEA-Research 2009-032, 68p.
- (30) Ueno, A., Tamazawa, S., Tamamura, S., Murakami, T., Kiyama, T., Inomata, H., Amano, Y., Miyakawa, K., Tamaki, H., Naganuma, T. and Kaneko, K. (2021) : *Desulfovibrio subterraneus* sp. nov., a mesophilic sulfate-reducing deltaproteobacterium isolated from a deep siliceous mudstone formation, *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, DOI: 10.1099/ijsem.0.004683.



## 参考資料

(令和2年度外部発表)

著者アルファベット順に記載

- 青木智幸, 谷卓也, 坂井一雄, 古賀快尚, 青柳和平, 石井英一 (2020) : 珪質泥岩 (稚内層) を対象とした多孔質弾性パラメータ取得試験, JAEA-Research 2020-002, 83p.
- 青柳和平, 櫻井彰孝, 宮良信勝, 杉田裕 (2020) : 幌延深地層研究センターの地下施設における坑道安定性の長期モニタリング, JAEA-Research 2020-004, 68p.
- 檀英恵, 本島貴之, 木村駿, 武田匡樹 (2020) : 粘土系材料が有する EDZ のシーリング機能の検証 (3) 浸透流解析による透水性評価, 日本原子力学会 2020 年秋の大会.
- 出井俊太郎, 宮川和也, 笹本広, 舘幸男, 天野由紀, Francisco, P.C.M., 杉浦佑樹, 高橋嘉夫 (2020) : 北海道幌延地域における堆積岩中のセレンの存在形態, 2020 年度日本地球化学会第 67 回年会.
- Fujimoto, S., Tsuchiya, H., Ogawa, S., Iida, Y. and Taniguchi, N. (2021) : Stress corrosion cracking of copper in swollen bentonite simulating nuclear waste disposal environment, *Materials and Corrosion*, 72(1-2), pp.333-338.
- 畑浩二, 丹生屋純夫, 鶴山雅夫, 中岡健一, 深谷正明, 青柳和平, 櫻井彰孝, 棚井憲治 (2020) : マルチ光計測プローブを用いた立坑周辺岩盤の掘削影響領域の長期モニタリングとその評価 (共同研究), JAEA-Research 2020-010, 142p.
- Ishii, E. (2020) : A Conventional straddle-sliding-packer system as a borehole extensometer; Monitoring shear displacement of a fault during an injection test, *Engineering Geology*, 275, pp.105748\_1 - 105748\_12.
- 石山宏二, 吉野修, 引間亮一, 松井裕哉, 尾崎裕介, 竹内竜史, 榊原淳一, 佐ノ木哲, 林邦彦 (2020) : 疑似ランダム波を使った原位置計測による高精度弾性波測定システムの評価検証, 土木学会第 75 回年次学術講演会, CS12-10.
- 城まゆみ, 本島貴之, 磯さち恵, 白瀬光泰, 小林正人, 中山雅 (2020) : 幌延 URL におけるベントナイト系充填材の除去回収実証試験; 機械的除去技術 (オーガ方式), 土木学会第 75 回年次学術講演会.
- 鎌田健人, 奈良禎太, 藤井宏和, 趙越, 松井裕哉, 尾崎裕介 (2020) : 幌延地域の泥岩層における原位置透水試験, 資源・素材学会関西支部主催・第 17 回若手研究者・学生のための研究発表会.
- 鎌田健人, 奈良禎太, 松井裕哉, 尾崎裕介 (2021) : 破壊した幌延泥岩の透水係数測定, 第 15 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集 (インターネット), pp.205-209.
- 木本和志, 岡野蒼, 斎藤隆泰, 佐藤忠信, 松井裕哉 (2020) : 超音波計測に基づく花崗岩中の表面波伝播特性に関する研究, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol. 76, No. 2 (応用力学論文集 Vol. 23), I\_97-I\_108.

- 木村駿, 武田匡樹, 本島貴之, 檀英恵 (2020) : 粘土系材料が有する EDZ のシーリング機能の検証 (1) 材料選定に資する基礎物性の取得, 日本原子力学会 2020 年秋の大会.
- Kitayama, A., Taniguchi, N. and Mitsui, S. (2021) : Electrochemical behavior of carbon steel with bentonite/sand in saline environment, *Materials and Corrosion*, 72(1-2), pp.211-217.
- Matsui, H., Yahagi, R., Ishizuka, H. and Toguri, T. (2020) : In-situ backfilling experiment of the small scale drift by spray method in Mizunami Underground Research Laboratory, Japan, *Waste Management and the Environment X*, Vol. 247, pp.145-159.
- 三嶋星輝, 緒方奨, 乾徹, 安原英明, 岸田潔, 青柳和平 (2021) : 損傷モデルによる珪質泥岩を対象とした坑道掘削解析, 第 15 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集 (インターネット), pp.215-220.
- 三津山和朗, 武田匡樹, 杉田裕, 大野宏和, 若杉圭一郎, 高瀬博康, 高橋博一, 橋本朋子 (2020) : シーリングシステムの長期劣化が安全機能に与える影響評価 (2) シナリオ設定, 日本原子力学会 2020 年秋の大会.
- Miyakawa, K., Aoyagi, K., Akaki, T. and Yamamoto, H. (2021) : Numerical simulation of oxygen infusion into desaturation resulting from artificial openings in sedimentary formations, 第 15 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集 (インターネット), pp.609-614.
- 望月陽人 (2021) : 入門講座「分析試料の正しい取り扱いかた」, 環境 (陸水), ぶんせき, 553, pp.2-7.
- 望月陽人, 小松一弘, 笹本広 (2021) : 堆積岩深部地下水中の溶存有機物の分画ならびに各画分の特性評価, 第 55 回日本水環境学会年会
- 望月陽人, 笹本広, 馬場大哉, 生垣加代子 (2020) : 少量試料に適用可能な簡易分析法に基づく深部地下水中の溶存有機物の特性評価, *陸水学雑誌*, 81(2), pp.153-166.
- 本島貴之, 城まゆみ, 磯さち恵, 白瀬光泰, 小林正人, 中山雅 (2020) : 幌延 URL におけるベントナイト系充填材の除去回収実証試験 ; 流体的除去技術 (ウォータージェット方式), 土木学会第 75 回年次学術講演会.
- 村岡亜美, 荒戸裕之, 千代延俊, 石井英一 (2020) : 北海道北部、幌延町に分布する珪質岩に含まれる有機物の保存過程の検討, 令和 2 年度石油技術協会春季講演会.
- 中山雅 (2020) : 幌延 URL における低アルカリ性セメント系材料の劣化および周辺環境への影響調査, *JAEA-Data/Code 2020-009*, 98p.
- 中山雅, 雑賀敦 (編) (2020) : 幌延深地層研究計画 令和 2 年度調査研究計画, *JAEA-Review 2020-022*, 34p.
- 中山雅, 雑賀敦 (編) (2021) : 幌延深地層研究計画 令和元年度調査研究成果報告, *JAEA-Review 2020-042*, 116p.

- 丹羽正和, 雨宮浩樹, 代永佑輔, 小北康弘, 安江健一, 岩野英樹, 檀原徹, 平田岳史 (2020) : 北海道北部, 幌延地域の第三系～第四系に挟在するテフラのジルコン U-Pb およびフィッション・トラック年代, 地質学雑誌, 126(5), pp.267-283.
- 野上利信, 星野雅人, 徳永博昭, 堀越秀彦 (2020) : 幌延深地層研究センターゆめ地創館を活用したリスク・コミュニケーションについて (2018 年度), JAEA-Review 2020-005, 120p.
- Ogawa, Y., Suzuki, S., Taniguchi, N., Kawasaki, M., Suzuki, H. and Takahashi, R. (2021) : Corrosion resistance of a cast steel overpack for high-level radioactive waste disposal in Japan, *Materials and Corrosion*, 72(1-2), pp.52-66.
- Ohno, H., Takeda, M. and Ishii, E. (2020) : Does fault activation affect the hydraulic disconnectivity of faults in mudstone? *Proceedings of ISRM Specialized Conference CouFrac2020*, GS11-03, pp.1-4.
- 岡野蒼, 木本和志, 松井裕哉 (2021) : 表面波計測による花崗岩の音響異方性評価に関する研究, 第 15 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集 (インターネット), pp.633-636.
- Ozaki, Y., Ishii, E. and Sugawara, K. (2020) : Poroelastic response of fractured mudstone in the Horonobe URL: A possible indicator of fracture hydraulic dysconnectivity, *Proceedings of ISRM Specialized Conference CouFrac2020*, GS11-04, pp.1-4.
- 仙波毅 (2020) : 「深地層の研究施設におけるこれまでの成果と今後への期待」バックエンド部会活動報告, 1; 原子力機構における深地層の研究施設計画の成果の概要, 日本原子力学会誌, 62(4), pp.186-190.
- 杉田裕, 菊池広人, 星野笑美子 (2021) : 幌延深地層研究計画で得られた掘削土を用いた埋め戻し材の特性試験 (受託研究), JAEA-Data/Code 2020-017, 39p.
- 杉田裕, 武田匡樹, 大野宏和, 若杉圭一郎, 高瀬博康 (2020) : シーリングシステムの長期劣化が安全機能に与える影響評価 (1) FEP の整理, 日本原子力学会 2020 年秋の大会.
- 鈴木英明, 高山裕介 (2020) : ニアフィールドにおける過渡期の熱-水-応力連成挙動に及ぼす緩衝材の密度変化の影響評価 (受託研究), JAEA-Research 2020-015, 52p.
- 高橋博一, 武田匡樹, 杉田裕, 大野宏和, 若杉圭一郎, 高瀬博康, 三津山和朗, 橋本朋子 (2020) : シーリングシステムの長期劣化が安全機能に与える影響評価 (3) 物質移行解析, 日本原子力学会 2020 年秋の大会.
- 武田匡樹, 木村駿, 本島貴之, 檀英恵 (2020) : 粘土系材料が有する EDZ のシーリング機能の検証 (2) 原位置試験による透水性評価, 日本原子力学会 2020 年秋の大会.
- Terashima, M., Endo, T. and Miyakawa, K. (2020) : Determination of humic substances in deep groundwater from sedimentary formations by the carbon concentration-based DAX-8 resin

isolation technique, *Journal of Nuclear Science and Technology*, 57(4), pp.380-387.

Ueno, A., Tamazawa, S., Tamamura, S., Murakami, T., Kiyama, T., Inomata, H., Amano, Y., Miyakawa, K., Tamaki, H., Naganuma, T. and Kaneko, K. (2021) : *Desulfovibrio subterraneus* sp. nov., a mesophilic sulfate-reducing deltaproteobacterium isolated from a deep siliceous mudstone formation, *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, DOI: 10.1099/ijsem.0.004683.

## 付 録

# 稚内層深部での調査研究の実施を踏まえた研究工程（1/8）

区分	目的・背景・必要性・意義	課題	R2以降の課題	R2以降の実施内容	R3の実施内容	研究期間														
						前半					後半									
1.1 人工バリア性能確認試験	・実際の地質環境下における処分坑 設置方式を対象とした熱-水- 応力-化学連成現象（ガラス固化 体設置以降の加熱時から浸潤時・ 減熱時を模擬した現象）に関する 試験をとおして、設計や連成挙動 評価手法の適用性の確認（人工バ リアの解体調査および緩衝材の飽 和度の確認を含む）、ならびに施工 方法などの工学的実現性の例示等 を行い、設計、施工および評価・ 解析といった一連の技術に関する 基盤情報を整備する ・ これらをとおして、廃棄体埋 設後において、廃棄体周辺で 起こる現象の理解を深め、安全 評価において前提としている 環境条件が達成されること 確認するとともに、その予測 技術を確立することで、人工 バリアの設計に反映する	③④ 熱-水-応 力-化学連成現 象（ガラス固化 体設置以降の加 熱時(③)から浸 潤時・減熱時(④) を模擬した現象） の評価手法（モデ ル化・解析手法） の確立	④浸潤時・減熱時 のデータを含め、 ガラス固化体設 置以降の加熱・注 水時から浸潤時・ 減熱時を全て模 擬したデータに 基づく熱-水- 応力-化学連成 現象のモデルの 高度化、及び浸潤 時の実際の飽和 度などの確認（解 体調査による）	④-1 注入する地下水の圧力や 量を増加させ緩衝材に地下水 を浸潤させた場合のデータ（浸 潤時・減熱時）を取得、連成モ デルの適用性確認	④-1 人工バリア性能確認試験の ヒーターの電源をOFFにし、発熱 による影響を無くした条件での 試験に移行し、データを分析・評 価	前半の5年程度で実施					体系化して取り組む課題（(2)処分概念オプショ ンの実証のうち人工バリアの定置・品質確認な どの方法論に関する実証試験）で実施									
						R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	④-1 浸潤時・減熱時のデータ取得・連成モデルの適用性確認					
						緩衝材中の温度の低下や緩衝材内側の間隙圧の低下を確認					令和4年度までに得られる成果 減熱過程における ○緩衝材で生じる連成現象の把握 ○解析用パラメータの整理 ○熱-水理-力学連成解析モデルの適用性の確認					令和9年度までに得られる成果 解体調査における ○緩衝材で生じる連成現象の把握 ○解析用パラメータの整理 ○熱-水理-力学連成解析モデルの適用性の確認				
						国際プロジェクト（DECOVALEX等）における解析コード間の比較検証、改良・高度化					④-1 連成解析については、DECOVALEXで令和2年度に設定した解析条件を基に共同解析を行い、解析コード間の比較検証を行い、評価モデルの検証を実施。気相を考慮した熱-水理-力学連成挙動に関する室内試験については、令和2年度に設定した条件下での試験を開始					国際プロジェクトでの解析コード間の比較検証、改良・高度化				
④-2 人工バリアの解体作業および緩衝材の飽和度の確認を実施する					④-2 試験施工では、解体調査を実施し、緩衝材、模擬オーバーバック、埋め戻し材、コンクリート、岩盤、設置したセンサー等のサンプリング手法や各種材料の境界面を一体化した状態でサンプリングする手法の適用性を確認					④-2 人工バリアの解体作業・緩衝材の飽和度確認					令和5年度までに得られる成果 ○各国の解析コード間の比較検証を通じた解析コードの有効性の確認					
					試験施工では、埋め戻し材、プラグ、試験孔、人工バリアを設置、注水開始					令和4年度までに得られる成果 ○人工バリアの解体作業の方針及び施工手順・方法の決定					令和9年度までに得られる成果 ○緩衝材の飽和度の実データの取得					

※1 本資料は現段階で想定するスケジュールであり、年度ごとに得られた研究成果を評価し見直ししていく。

※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。

個別の要素技術の課題については、期間の前半で実施し、後半は体系化して取り組む課題（「2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」）に統合して実施する。  
 「2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」を実施する中で、情報の不足等があった場合に追加で試験や解析を実施する。

## 稚内層深部での調査研究の実施を踏まえた研究工程（2/8）

区分	目的・背景・必要性・意義	課題	R2以降の課題	R2以降の実施内容	R3の実施内容	研究期間										
						前半					後半					
1.2 物質 移行 試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>幌延地域に分布する泥岩は断層等の構造的な割れ目が分布することが知られているため、岩盤基質部（＝健岩部）における拡散および割れ目（掘削損傷領域などの人為的な割れ目も含む）を介した移流・分散が主要な移行経路や形態として考えられる</li> <li>有機物・微生物・コロイド等が、物質の移行に影響を及ぼすことが考えられる</li> <li>割れ目を有する堆積岩での物質移行経路や形態と物質移行に与える要因（有機物・微生物・コロイド等）を総合的に評価することが必要</li> <li>そのために、幌延の泥岩を事例として、岩盤基質部（＝健岩部）および割れ目の双方を対象とした原位トレーサー試験等を実施し、それぞれの構造の物質移行特性評価手法を構築することが重要</li> <li>世界的にも事例が少ない泥岩中の割れ目を対象としたトレーサー試験手法を確立することも重要</li> <li>あわせて、有機物・微生物・コロイド等が、物質の移行に及ぼす影響を把握することが重要</li> </ul>	① 岩盤基質部（＝健岩部）を対象とした物質移行特性（物質の移動速度や岩盤へのくっつきやすさ等）の評価手法の検証	④ 掘削損傷領域の物質移行の評価手法の確立	確立した試験手法を用いて掘削損傷領域での物質移行に関するデータ取得を実施するとともに、有機物や微生物が放射性物質を取り込んで移動する影響が限定的であることを確認する。また、物質移行評価手法の高度化するため以下を実施	④ 掘削損傷領域を対象としたトレーサー試験の評価、試験箇所の水理・物質移行に関する情報取得を継続	前半の5年程度で実施					体系化して取り組む課題（(2) 処分概念オプションの実証のうち人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験）で実施					
		② 割れ目を対象とした物質移行特性（物質の移動速度や岩盤へのくっつきやすさ等）の評価手法の検証		④ 確立したトレーサー試験手法を用いた掘削損傷領域での物質移行に関するデータ取得		④ 掘削損傷領域の水理・物質移行特性の評価するためのデータを取得	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施
		③ 泥岩中の割れ目を対象としたトレーサー試験手法の検証		⑤ 有機物、微生物、コロイドの影響を考慮した物質移行試験		⑤ 微生物・有機物・コロイドが核種移行に及ぼす影響の現象理解の継続、予備的な原位試験に着手	掘削損傷領域の水理・物質移行特性の評価するためのデータを取得					体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施				
		④ 掘削損傷領域などの人為的な割れ目を対象とした物質移行特性（物質の移動速度や岩盤へのくっつきやすさ等）の評価手法の検証		⑤ 有機物、微生物、コロイドの影響を考慮した物質移行モデル化手法の高度化		⑤ 有機物・微生物・コロイドの影響を考慮した物質移行モデル化手法の高度化	室内試験データ（地下水中の有機物のサイズ分布等）を取得					体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施				
		⑤ 有機物・微生物・コロイド等が、物質の移行に及ぼす影響を把握		⑥ 割れ目を有する堆積岩での物質移行特性の総合的な評価手法の確立		⑥ 割れ目を有する堆積岩を対象とした掘削損傷領域を含むブロックスケール（数m～100m規模）における遅延性能評価手法の整備	⑥ ブロックスケール（数m～100m規模）における遅延性能評価手法の整備					体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施				
		⑥ 割れ目を有する堆積岩での物質移行特性の総合的な評価手法の確立					原位試験の準備作業として、物質移行試験装置を設置					体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施				

※1 本資料は現段階で想定するスケジュールであり、年度ごとに得られた研究成果を評価し見直ししていく。

※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。

個別の要素技術の課題については、期間の前半で実施し、後半は体系化して取り組む課題（「2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」）に統合して実施する。

「2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」を実施する中で、情報の不足等があった場合に追加で試験や解析を実施する。

# 稚内層深部での調査研究の実施を踏まえた研究工程 (3/8)

区分	目的・背景・必要性・意義	課題	R2以降の課題	R2以降の実施内容	R3の実施内容	研究期間													
						前半					後半								
2.1 人工バリアの 定置・品質確認などの 方法論に関する実証試験  2.1.1 操業・回収技術等の 技術オプションの実証、閉鎖技術の実証	・処分場の操業（廃棄体の搬送定置・回収、処分場の閉鎖を含む）に関わる人工バリアの搬送・定置方式などの工学技術の実現性、人工バリアの回収技術の実証を目的として、幌延の地下施設を事例に、原位置試験を実施し、人工バリアの搬送定置・回収技術及び閉鎖技術を実証する	① 処分場の操業（廃棄体の搬送定置・回収、処分場の閉鎖を含む）に関わる人工バリアの搬送・定置方式などの工学技術の実現性、人工バリアの回収技術の実証  ② 個別の要素技術の実証試験  ③ 埋め戻し材、プラグに関する設計手法、製作・施工及び品質管理手法の確立	①②③ 操業・回収技術などの技術オプションの実証、閉鎖技術の実証	注入する地下水の圧力や量を増加させ、緩衝材に十分に水を浸潤させた状態を確保して施工方法（締固め、ブロック方式等）の違いによる緩衝材の品質の違いを把握する。また、埋め戻し方法（プラグの有無等）・回収方法による埋め戻し材の品質の違いを把握する。  ① 搬送定置・回収技術の実証（緩衝材や埋め戻し材の状態に応じた除去技術の技術オプションの整理、回収容易性を考慮した概念オプション提示、回収維持の影響に関する品質評価手法の提示） ② 閉鎖技術（埋め戻し方法：プラグ等）の実証	① 地下環境におけるコンクリートの劣化に関する試験、分析を継続  ② 閉鎖システム（埋め戻し材やプラグなど）に関する基盤情報の整備を目的とした解析検討、室内試験および工学規模試験の継続  ③ 緩衝材流出の抑制に関する試験	前半の5年程度で実施													
						R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	体系化して取り組む課題（②）処分概念オプションの実証のうち人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験）で実施				
						① 搬送定置・回収技術の実証					体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施								
						地下環境でのコンクリートの劣化に関する試験を開始					令和6年度までに得られる成果 ○実際の地下環境における支保部材の経年変化に係るデータ取得 ○坑道掘削・閉鎖後の地質環境変化に関する事象の把握								
② 閉鎖技術（埋め戻し方法：プラグ等）の実証					体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施														
閉鎖システムに関する基盤情報の整備を目的とした解析検討、室内試験、工学規模試験を実施					令和6年度までに得られる成果 ○シーリングシステムの長期的性能評価に関する考え方の整理 ○緩衝材の膨潤挙動に影響を与える事象の整理 ○止水プラグの施工に関する重要技術の抽出 ○EDZ調査技術の評価・高度化 ○坑道内からのボーリング孔に対するシーリング技術の整備・実証														
③ 人工バリアの緩衝材と坑道の埋め戻し材の施工方法の違いに係る品質保証体系の構築					体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施														
自然湧水環境での緩衝材の流出状況を確認					令和6年度までに得られる成果 ○緩衝材の施工方法に関する技術オプションの実証 ○坑道閉鎖に関する技術オプションの実証														

※1 本資料は現段階で想定するスケジュールであり、年度ごとに得られた研究成果を評価し見直ししていく。  
 ※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。

個別の要素技術の課題については、期間の前半で実施し、後半は体系化して取り組む課題（「2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」）に統合して実施する。  
 「2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」を実施する中で、情報の不足等があった場合に追加で試験や解析を実施する。