

桑名市源十郎新田事案 支障除去対策事業 後期対策工事について

目次

1. 後期対策工事の概要
2. PCB高濃度範囲の掘削除去について
3. VOC等対策(熱処理)について
4. 熱処理工法のトリータビリティ試験
5. 熱処理工法の性能要件
6. まとめ

1. 後期対策工事の概要

1. 1 後期対策工事の位置付け

対策エリア	中間検証の考え方	対策内容	中間検証結果
① 汚染源域	対策の完了を確認する。(汚染原因である廃棄物の除去完了、油相の消滅及び汚染土壌対策の完了)	<ul style="list-style-type: none"> ●掘削・釜場による油回収完了 ●高濃度PCB廃棄物、汚染土壌を除去 ●埋戻し以後、油膜及び水質基準超過なし。 	対策完了。
② 低水護岸部	対策の完了を確認する。(油相の消滅および汚染土壌対策の完了)	<ul style="list-style-type: none"> ●掘削・釜場による油回収完了 ●汚染土壌を除去 ●埋戻し以後、油膜及び水質基準超過なし。 	対策完了。
③ 高水敷部	継続して観測井戸におけるモニタリング等を実施し、油相の状況等を把握する。中間検証では、その対策効果について検証し、さらなる対策の必要性を検討する。	<ul style="list-style-type: none"> ●集油設備による油回収を実施(移動態油回収の進捗率56~73%) 	油回収を継続する。移動態油回収後、さらなる対策の必要性等について再検証する。
高水敷部内護岸部	対策の完了を確認する。(油相の消滅および汚染土壌対策の完了)	<ul style="list-style-type: none"> ●掘削・釜場による油回収完了 ●汚染土壌を除去 ●埋戻し以後、油膜及び水質基準超過なし。 	対策完了。
④ 北側・振子川護岸エリア	継続して観測井戸におけるモニタリング等を実施し、油相の状況等を把握する。中間検証では、その対策効果について検証し、さらなる対策の必要性を検討する。	<ul style="list-style-type: none"> ●集油設備による油回収を実施(移動態油回収の進捗率56~73%) 	油回収を継続する。移動態油回収後、さらなる対策の必要性等について再検証する。

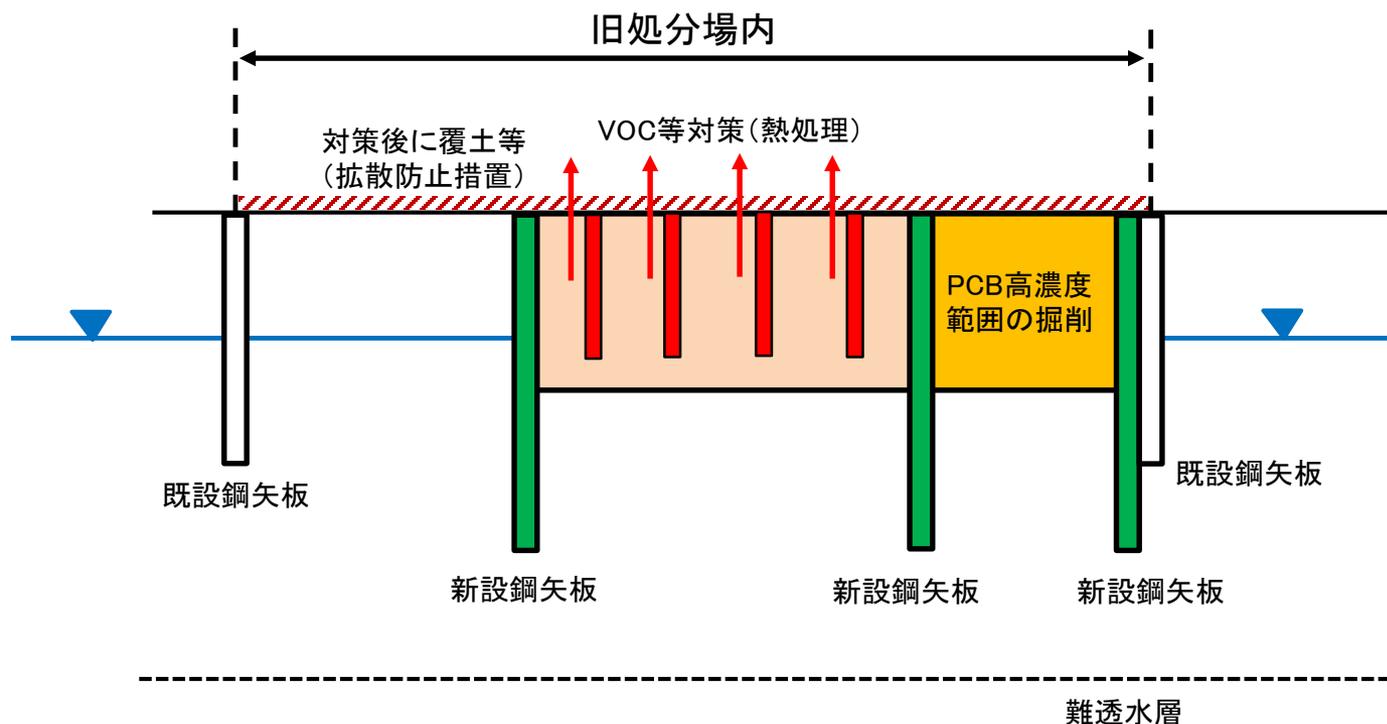
後期対策

対策エリア	中間検証の考え方	対策方針
旧処分場内	旧処分場内の具体的対策については、Step1対策期から継続して検討を進め、PCB廃棄物の処理体制の整備状況を踏まえ、中間検証時に最適な油回収方法を決定する。その際には、Step2から恒久対策として油回収を行っている他のエリアの検証結果を参考とする。	<p>前期対策の実施状況や後期対策区域の実態を踏まえ、最適な対策工法を選定し、対策を実施する。</p> <p>➡ 前回の委員会にて対策工法を選定</p>

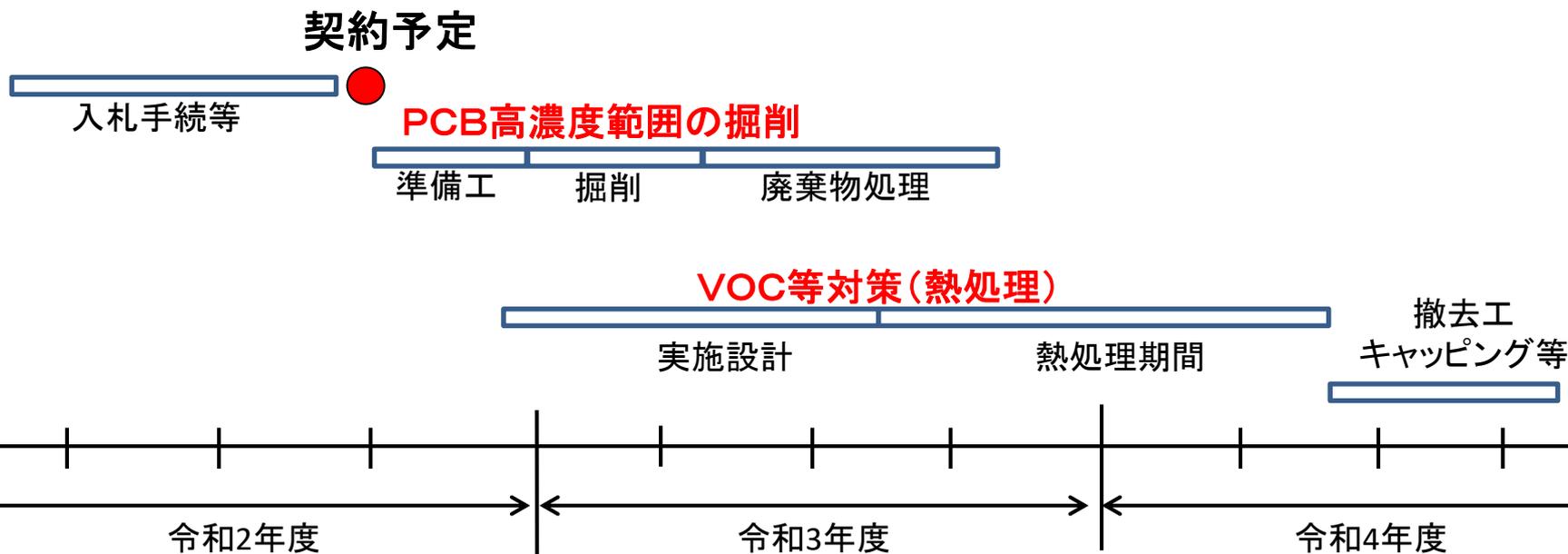
1. 2 後期対策工事の内容

第7回技術検討委員会における検討結果

後期対策工事の対策工法は、PCB、VOC、油による複合汚染に対して適切かつ速やかな支障除去がなされることが重要であることから、「PCB高濃度範囲の掘削＋VOC等対策＋拡散防止措置」が最適案であると考えられた。また、VOC等対策として、対策の実現性、効果、経済性の観点から、「熱処理方式」の採用が最も適切であると整理された。



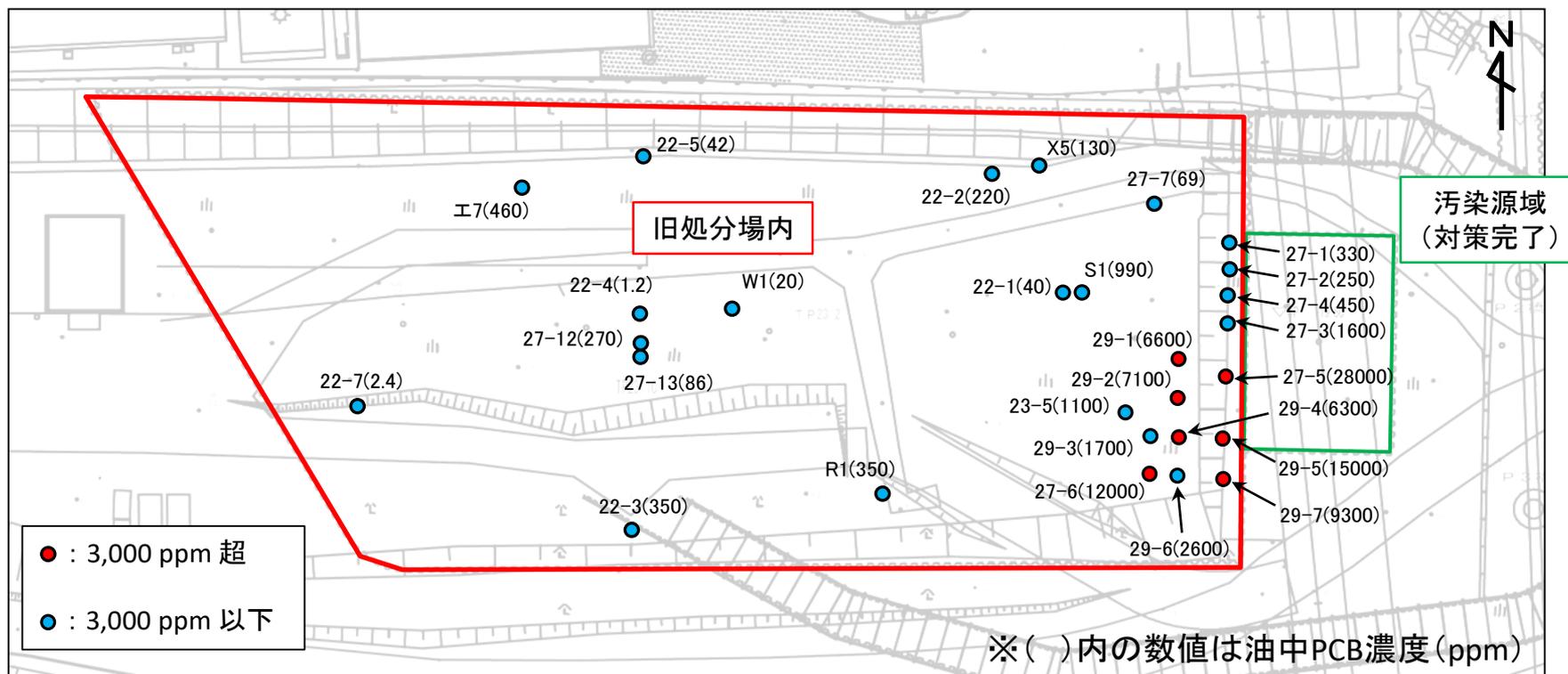
1. 3 後期対策工事の想定スケジュール



2. PCB高濃度範囲の掘削除去について

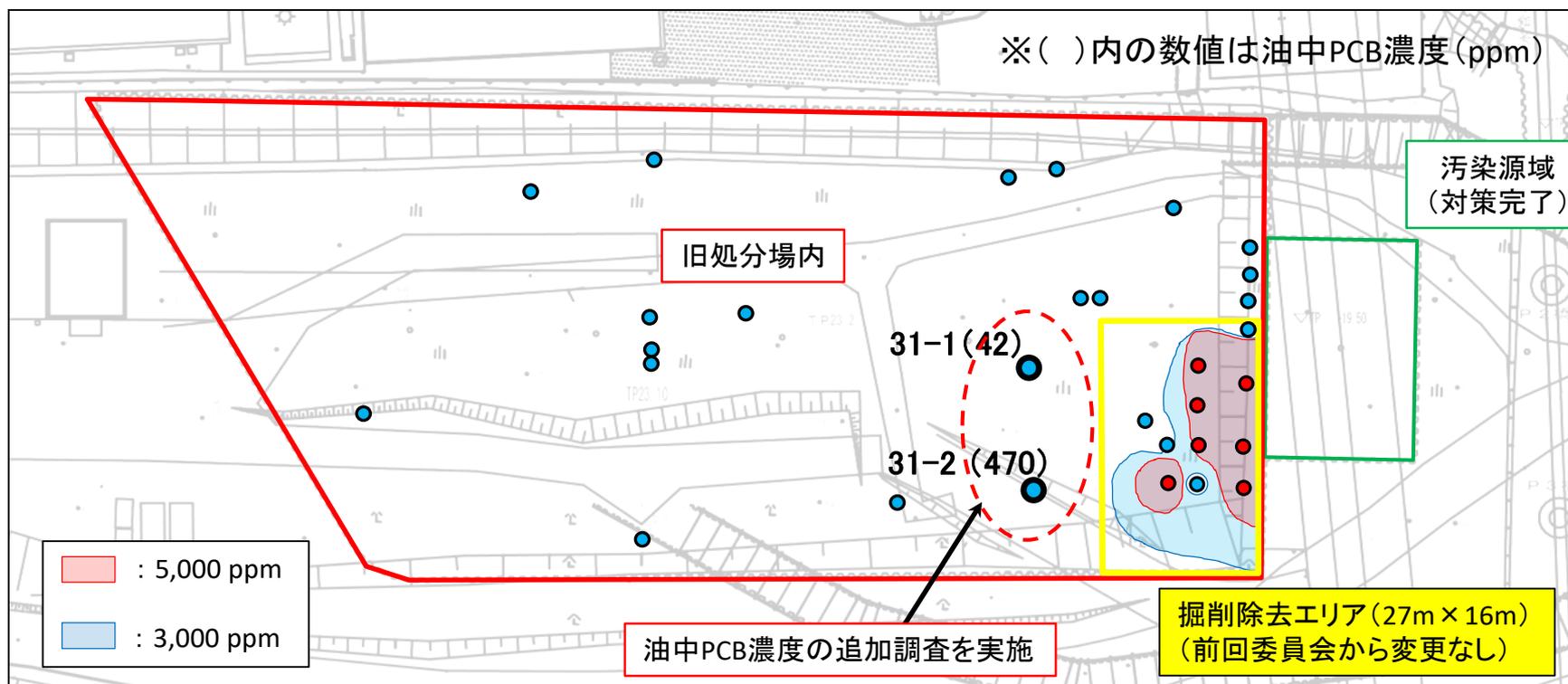
2. 1 掘削除去の考え方

1. 旧処分場内において、東南側で特に油中PCB濃度が高く、また、汚染源域に隣接している。
⇒ 当該範囲内にもPCB汚染源である不法投棄物が存在する可能性あり。
2. PCB汚染源が残存した状態では、汚染源と油相が接触することにより、さらなる汚染拡大のリスクがある。
⇒ 生活環境保全上の支障の除去の観点から、PCB汚染源は全て除去する必要あり。
3. PCB汚染源が存在していると考えられる範囲の設定方法として、油中PCB濃度の大小を用いた。
⇒ 油中PCB濃度が高い範囲では、最小濃度が平均濃度の6割程度であったことから、確実に5000ppmを超える範囲を取り除くため、3000ppm(5000ppmの6割)を超える範囲を掘削除去する。



2. 2 掘削除去エリアの設定

1. 掘削除去エリアの範囲を確認するために、下図に示す地点にて追加ボーリングにより油中PCB濃度を測定した。
⇒ 31-1地点:42 ppm 31-2地点:470 ppm
2. 新たに油中PCB濃度が高濃度で検出された地点が見られなかったことから、油中PCB濃度のコンターにて3000ppm超のPCB高濃度範囲を掘削除去エリアとした。
⇒前回委員会にて提示したエリア設定(27m×16m)から変更なし。

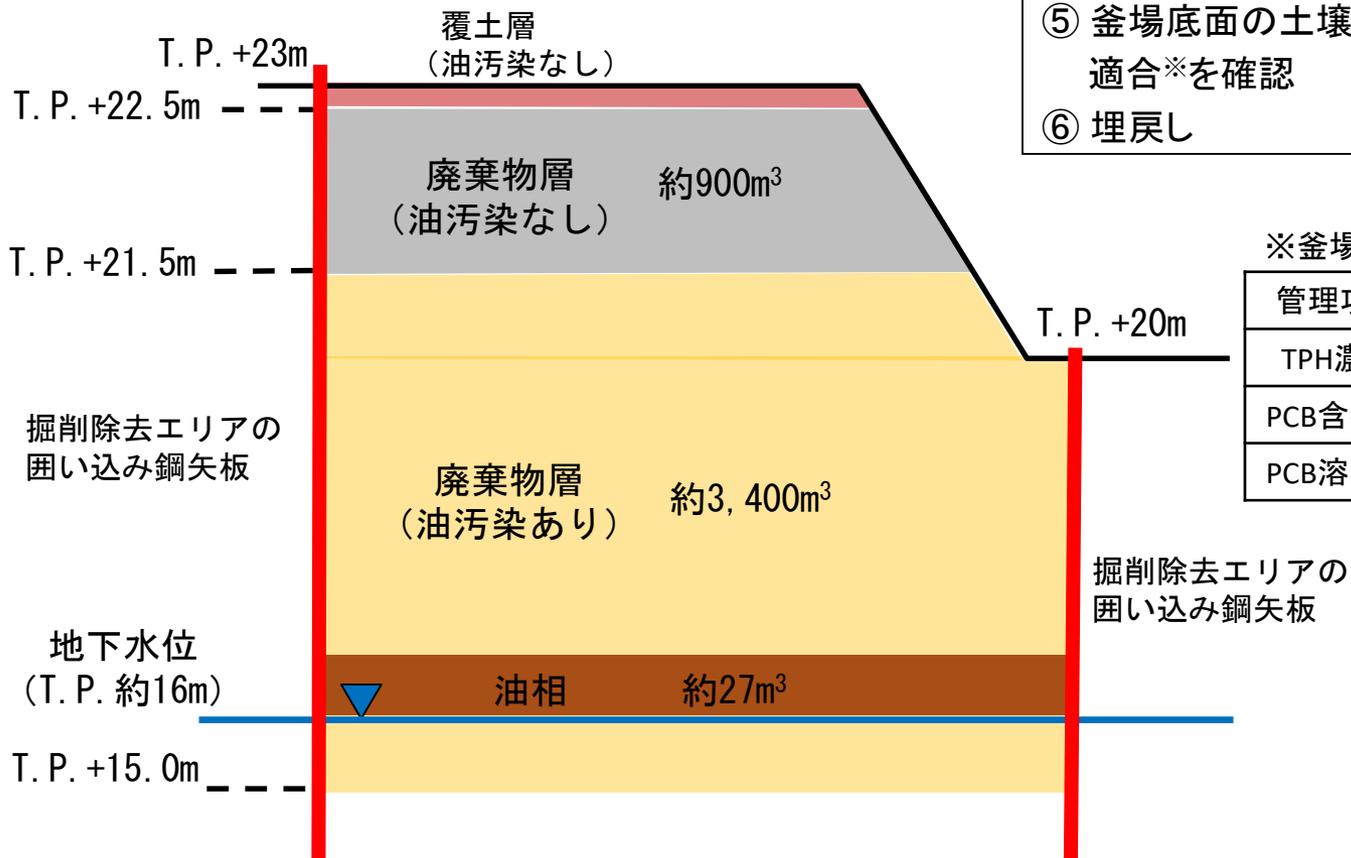


2. 2 掘削除去工事の概要

【掘削除去の手順】

- ① 掘削除去エリアを鋼矢板で囲い込み
- ② エリア内の廃棄物を掘削除去
- ③ 形成される釜場で油回収
- ④ 釜場底面を攪拌した際に油膜の再形成が無いことを確認
- ⑤ 釜場底面の土壌100m²毎に1地点にて、基準適合※を確認
- ⑥ 埋戻し

掘削除去エリアの断面図

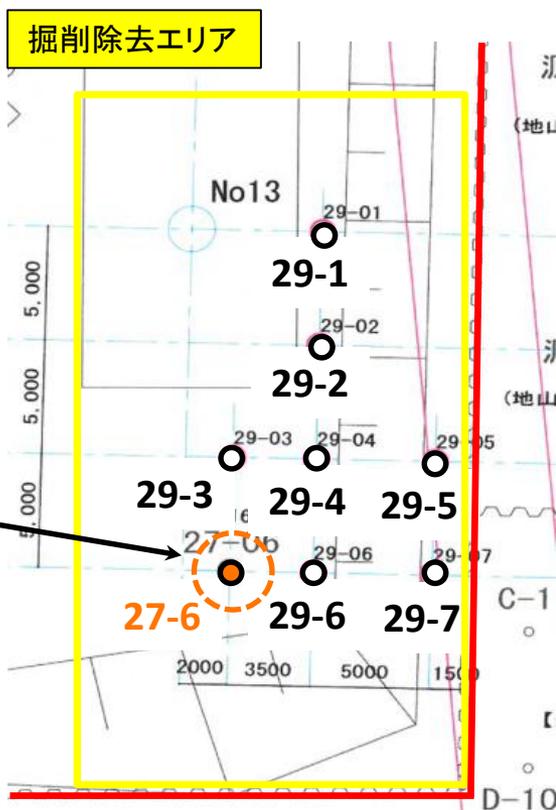


※釜場底面土壌の埋戻し判定基準

管理項目	判定基準
TPH濃度	不検出 (100mg/kg 未満)
PCB含有量	不検出 (0.5mg/kg 未満)
PCB溶出量	不検出 (0.0005mg/L 未満)

2.3 掘削除去エリアの埋設物の調査(PCB含有量等)

1. 掘削除去により、大量のPCB廃棄物(掘削汚泥)の発生が想定される。
⇒処理委託先の検討のため、PCB含有量を調査する必要あり。
2. ボーリング掘削汚泥のPCB含有量を調査した。
⇒全ての地点において、PCB含有量は5000 ppm以下。低濃度PCB廃棄物に該当。
3. 27-6地点のボーリングコアからコンデンサ素子が確認された(平成27年)。
⇒素子のPCB含有量は14,000 ppm。PCB汚染源そのものは高濃度PCB廃棄物に該当。



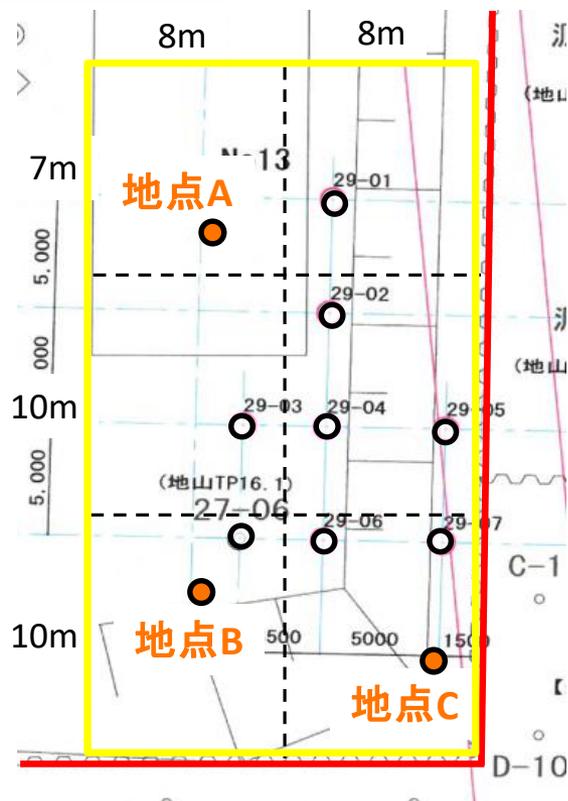
試料	項目	PCB含有量 (mg/kg)
29-1,29-6 混合		670
29-2,29-3 混合		26
29-2,29-4 混合		57
29-3 単独		650
29-5 単独		240
29-7 単独		14
27-6 素子		14,000
27-6 素子上部汚泥		4.7
27-6 素子下部汚泥		610

2.4 掘削除去エリアの埋設物の追加調査

1. 掘削除去エリアについて、10mメッシュに分割した際に調査地点が不足しているメッシュが見られたことから、追加ボーリング(地点A、B、C)によるPCB含有量調査を実施した。なお、深度によってはPCB含有量が大きく異なる可能性が懸念されたことから、1m深度毎に試料を採取した。

⇒PCB含有量は、最も高い地点においても410 ppm程度であったことから、掘削除去により発生するPCB廃棄物は、コンデンサ素子等の汚染源を除き、全て低濃度PCB廃棄物に該当。

掘削除去エリア



ボーリングコアのPCB含有量試験結果

(mg/kg)

T. P.	地点		
	地点A	地点B	地点C
23.0 ~ 22.0	< 0.5	< 0.5	
22.0 ~ 21.0	< 0.5	5.1	
21.0 ~ 20.0	< 0.5	< 0.5	
20.0 ~ 19.0	2	0.8	6
19.0 ~ 18.0	15	3.6	< 0.5
18.0 ~ 17.0	3.7	< 0.5	1.5
17.0 ~ 16.0	7.7	28	24
16.0 ~ 15.0	410	120	13

3. VOC等対策(熱処理)について

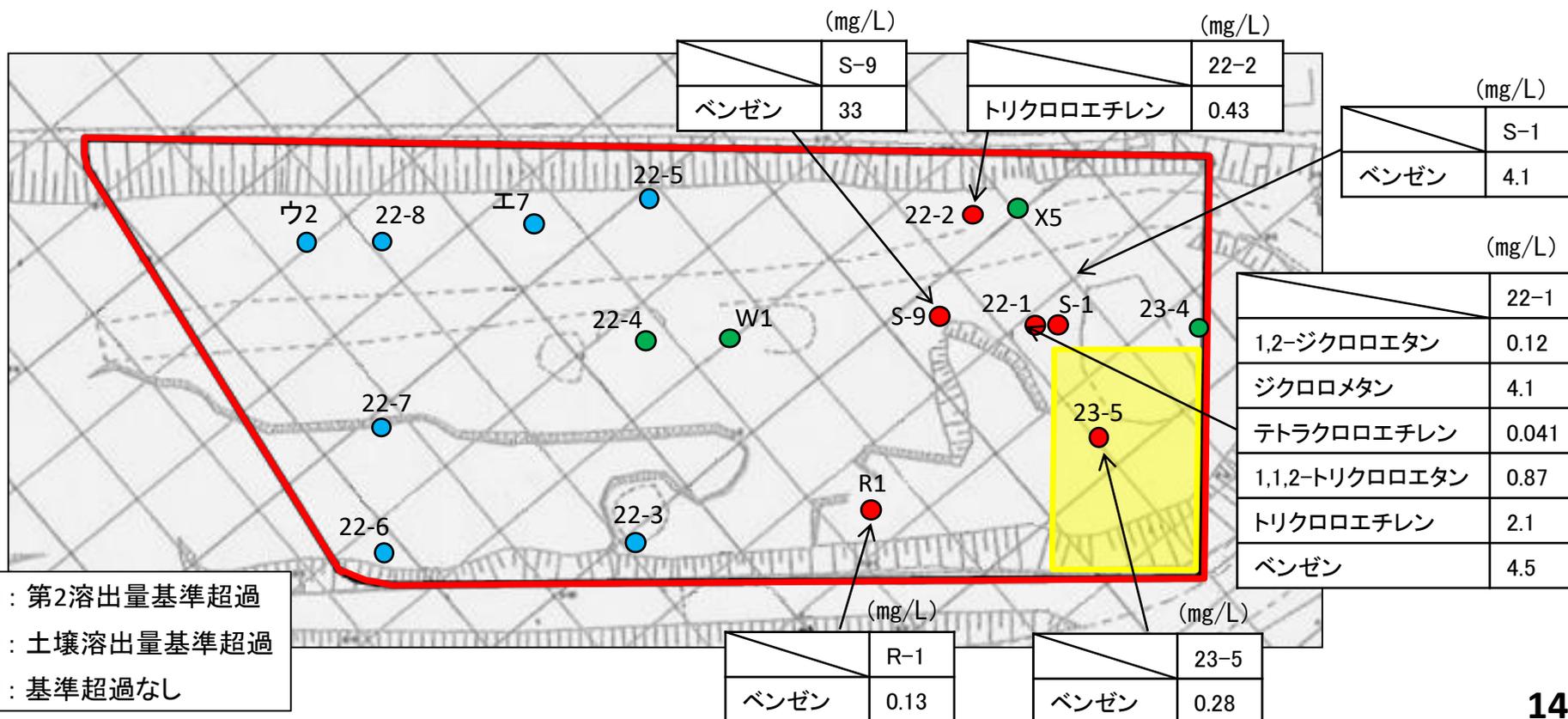
3. 1 熱処理エリアの考え方

1. 旧処分場内において、土壌(廃棄物)中のVOC溶出量を調査したところ、第2溶出量基準(埋立基準※)を超過する地点が見られた(平成23年)。

⇒ 覆土等による拡散防止措置を講じる前に、第2溶出量基準以下までVOCを除去する必要あり。

※「金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める省令」に規定する廃棄物の埋立基準

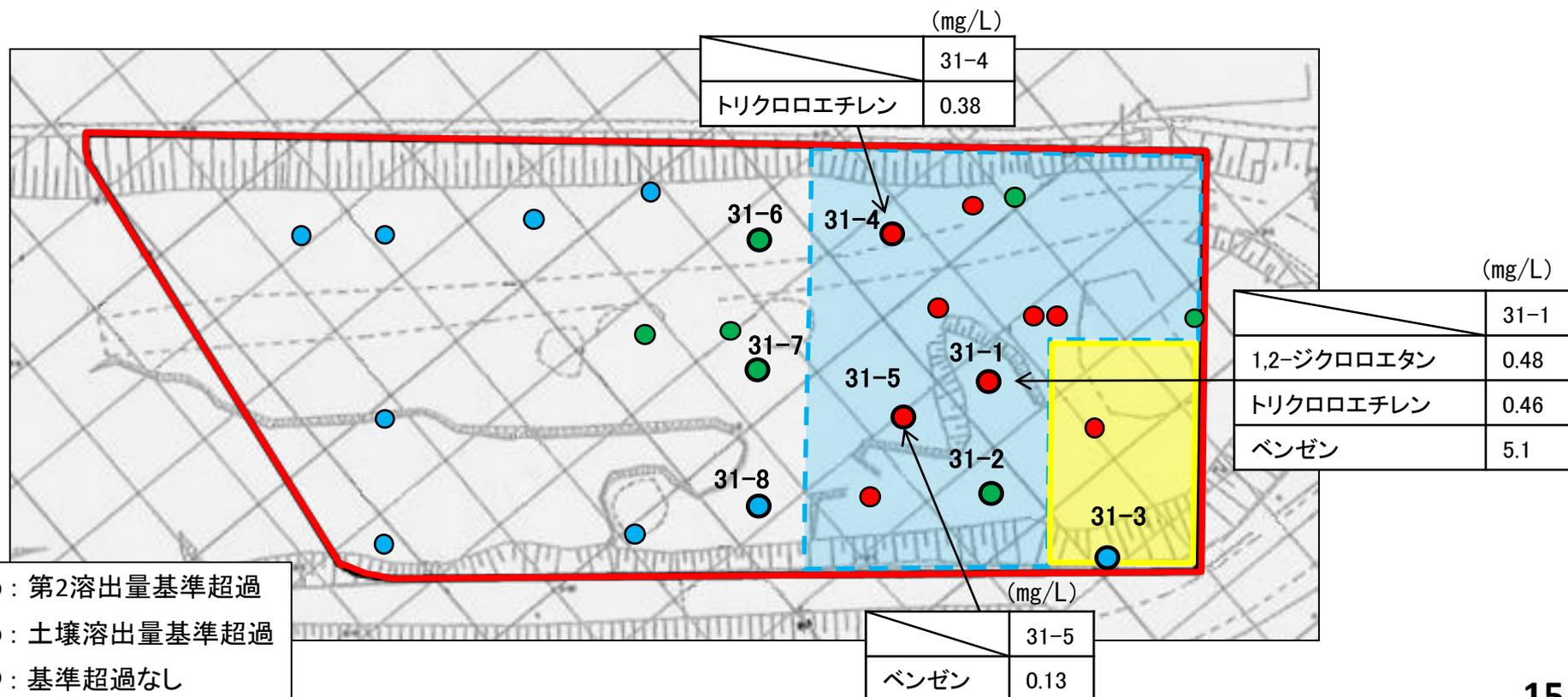
各地点1m深度毎の溶出試験結果から、第2溶出量基準を超過した最も高い値を記載



3. 2 熱処理エリアの設定

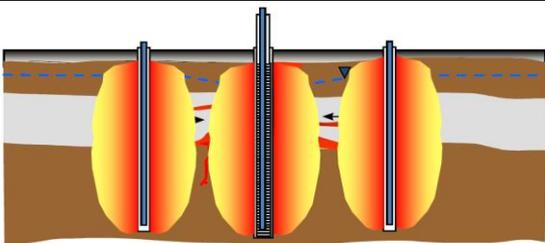
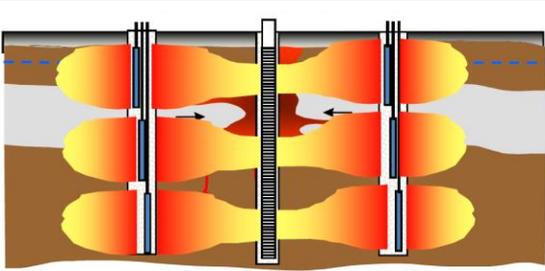
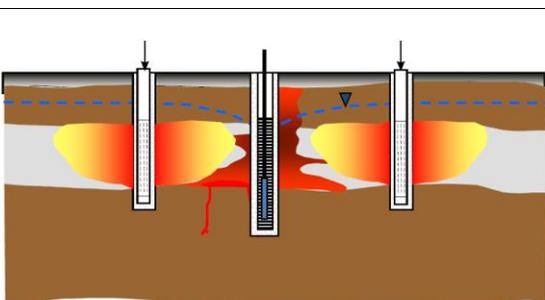
1. 第2溶出量基準(埋立基準※)を超過する範囲について、より詳細に把握するために追加調査を実施した。
⇒ 第2溶出量基準超過地点: 31-1、31-4、31-5。
2. 追加調査の結果、既存調査にて設定した熱処理エリアの外(31-6~8)にて第2溶出量基準の超過は見られなかった。
⇒ 前回委員会にて提示したエリア設定から変更なし。

各地点1m深度毎の溶出試験結果から、第2溶出量基準を超過した最も高い値を記載



3.3 熱処理工法の概要

熱処理工法：土壤に熱エネルギーを与えることで、不飽和帯の地盤間隙中で気化したVOCを吸引回収する。また、加熱により流動性の高まった油についても同様に吸引回収する。

	<p>熱伝導加熱方式 (TCH)</p> <p>適用温度：最大 300°C以上可能であるが、水の供給が多い環境では 100°C程度となる。</p>
	<p>電気抵抗加熱方式 (ERH)</p> <p>適用温度：最大 100°C程度</p> <p>電気抵抗や水ミチの不均質性による加熱効果のムラが課題となる。地下水もしくは水分の多い場所に有効であるが、不均一地盤では、地層毎に電気を流す速度を変える必要がある。そのため地層毎に加熱されるスピードが異なり、加熱効果にムラが発生することが懸念される。</p>
	<p>水蒸気加熱方式 (SEE)</p> <p>適用温度：最大 100°C程度</p> <p>地盤透過性の不均質による加熱効果のムラが課題となる。地下水の流れが多い場所に有効であるが、水蒸気を利用するため、透水係数が地層毎に変わると加熱効果にムラが発生することが懸念される。</p>

1. 加熱方式の違いにより3種に区分されるが、それぞれ基本的な考え方(加熱によりVOCを気化、油の流動性を高める)は同じ。
2. 工法によっては最大300°C以上加熱可能となるものもあるが、**地下水が常に供給される当該事案地では100°Cまでの加熱と考えられる。**

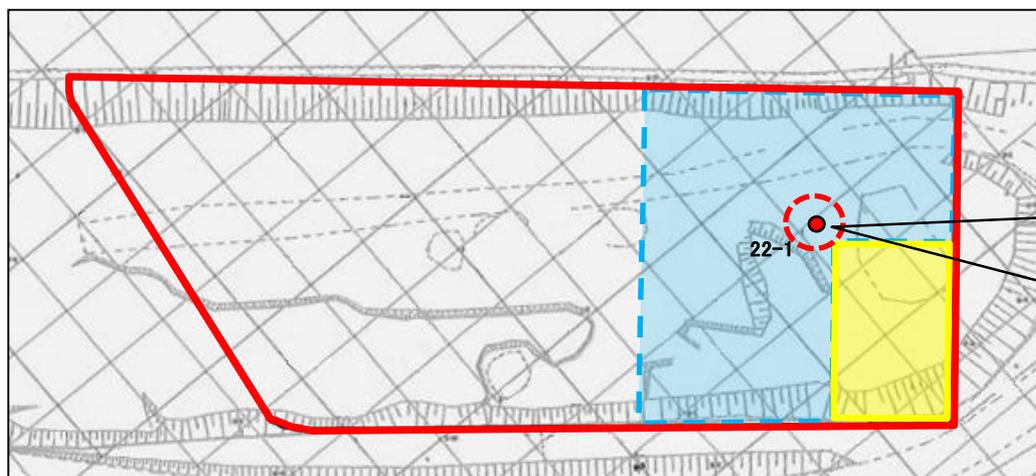


100°Cまでの加熱条件において、本件事案地のVOC汚染を第2溶出量基準以下まで除去可能であるか、確認する必要あり。

4. 熱処理工法のトリータビリティ試験

4. 1 トリータビリティ試験の概要

概要：本件事案地で採取したVOC等含有汚泥試料(以下、「VOC汚泥」という。)を室内(実験室)で加熱し、VOC及びTPHの除去効果を確認し、熱処理工法による事案地のVOC、TPHの浄化可能性を確認する。



＜サンプリング地点＞
既往調査におけるVOC高濃度地点
BOR22-1付近 (TP22.0 ～ TP16.0)



＜対象物質＞

- ① 1,2-ジクロロエタン
- ② 1,2-ジクロロエチレン
- ③ ジクロロメタン
- ④ テトラクロロエチレン
- ⑤ 1,1,2-トリクロロエタン
- ⑥ トリクロロエチレン
- ⑦ ベンゼン
- ⑧ 全石油系炭化水素 (TPH)

＜VOC汚泥＞

サンプリング地点のボーリングコアのうち、TP22.0
～TP16.0のボーリングコアを混ぜ合わせたもの

4. 2 トリータビリティ試験の内容

<試験内容・条件>

熱処理工法を本件事案地に適用した場合、地盤の状態や地下水の状況等、不利な条件となる可能性を考慮し、加熱温度を70℃及び90℃の2ケース設定。加熱期間は5日間及び14日間の2ケース設定。

試験項目	細目	内 容				
		加熱前	70℃		90℃	
	加熱試験			5日間	14日間	5日間
分析試験	物理的性質試験	○	含水比のみ	含水比のみ	含水比のみ	含水比のみ
	試料の分析試験	○	○	○	○	○
	留出液の分析試験		○	○	○	○

<分析詳細>

物理的性質試験: 試料の湿潤密度、試料の粒子密度、試料の間隙比、試料の含水比

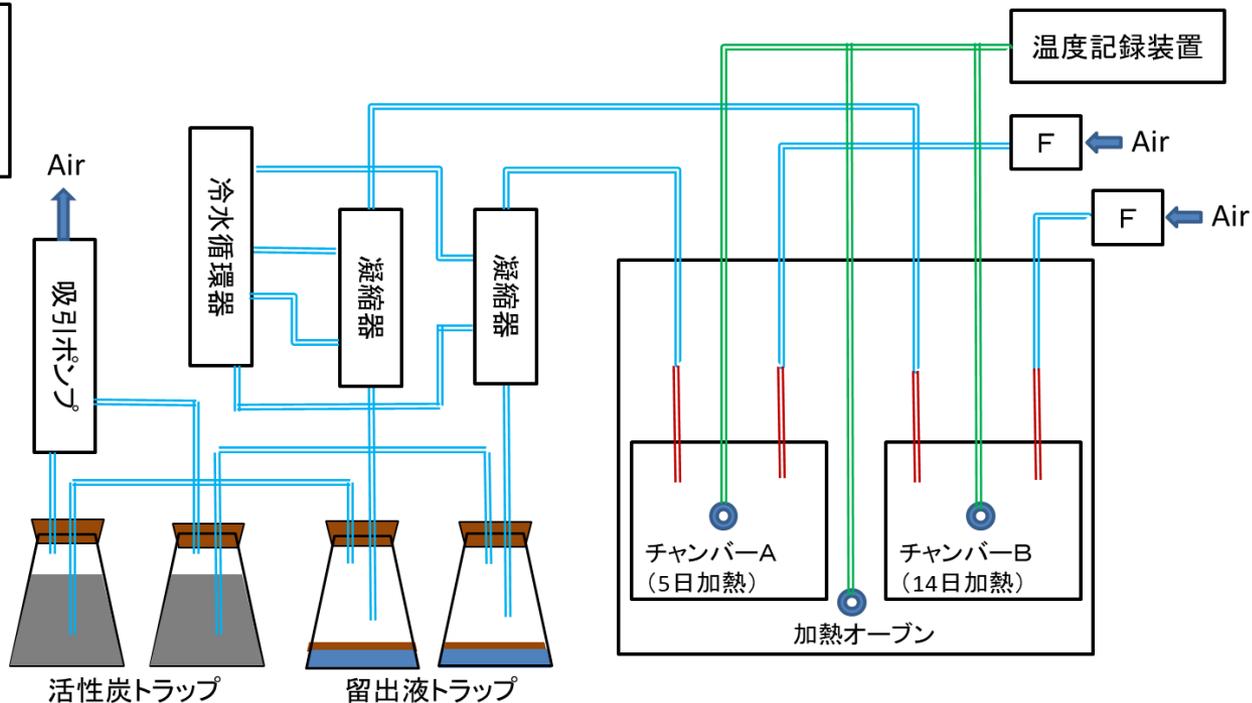
試料の分析試験: VOC含有量試験、TPH試験(GC-FID法)

留出液の分析試験: 重量、pH、金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準、PCB移行試験

4.3 トリータビリティ試験の装置

【凡例】

- F : フローメーター (流量調整)
- : 熱電対
- == (赤線) : ステンレスチューブ
- == (青線) : ビニルチューブ
- == (緑線) : データケーブル



装置全体



チャンバーにVOC汚泥を封入



加熱オーブン内に
チャンバーを設置

4.4 試料のVOC含有量試験

試料中VOCについて、本件事案地から採取した試料は油を多量に含有しており、通常の溶出量試験ではVOCの除去を評価することは難しいと考え、VOC含有量試験を実施した。

⇒室内実験においては、70℃で5日間加熱することで、VOC含有量を検出下限値付近まで浄化できることを確認。

加熱前後のVOC含有量試験結果

項目	加熱前	70℃加熱		90℃加熱		(参考)※1 土壌基準	(参考)※2 廃棄物基準	(参考) 沸点
		5日間	14日間	5日間	14日間			
1,2-ジクロロエタン	7.5	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.04	0.04	84
1,2-ジクロロエチレン	1.5	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.4	(cis) 0.4	(cis) 60
ジクロロメタン	55	0.01	<0.01	0.01	0.01	0.2	0.2	40
テトラクロロエチレン	1,100	0.04	0.01	0.03	0.01	0.1	0.1	121
1,1,2-トリクロロエタン	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.06	0.06	114
トリクロロエチレン	1,300	0.06	<0.01	0.05	<0.01	0.3	0.1	87
ベンゼン	120	0.04	0.03	0.03	0.03	0.1	0.1	80

※1 第二溶出量基準

※2 省令で定める埋立処分に係る判定基準

4. 5 試料の物理的性質試験及びTPH試験

1. 加熱前試料のTPHから、本件事案地の油汚染は軽質油よりも重油・潤滑油の成分が大きいと考えられた。
2. C6～12成分については、70℃の加熱でもおおむね除去されることが確認された。
3. C12以上の成分については、結果が大きくバラついており、そのままの値を用いて考察することは難しいと思われた。

項目	単位	加熱前	70℃加熱		90℃加熱	
			5日間	14日間	5日間	14日間
試料の重量	g	1,500	1,049	1,053	1,067	1,039
土の湿潤密度	g/cm ³	1.444	—	—	—	—
土粒子の密度	g/cm ³	1.920	—	—	—	—
間隙比	—	0.97	—	—	—	—
土の含水比	%	48.0	3.1	3.6	4.7	2.4
TPH(C6～C44)	μg/g	45,000	76,000	91,000	110,000	75,000
TPH(C6～C12)	μg/g	6,000	930	740	690	220
TPH(C12～C28)	μg/g	28,000	53,000	61,000	74,000	51,000
TPH(C28～C44)	μg/g	11,000	22,000	29,000	34,000	24,000

※ TPHの値は乾燥試料重量あたりの油分重量

4. 6 加熱試料の加熱前TPH量の算出

1. 本試験の試料採取地点付近(22-1地点)のボーリングコアにおけるTPH分析結果では、深度毎にTPHが大きく異なっていた(TP.21~15のC6~C44成分でTPHは58,000~160,000)。
2. 本試験の試料は、コアを十分に混合した後に使用したが、汚泥中の油分については完全に混ざり合わなかったため、試料毎の加熱前TPHにバラつきが生じているものと考えられた。
⇒加熱前のTPHの成分分布をベースとして、C28~44成分は常圧蒸留残油分に相当するため、常圧ではほとんど揮発していないと仮定し、同成分比で各試料中の加熱前TPH量を算出した。

各試料における加熱前のTPH量推定

項目	単位	加熱前	70℃		90℃	
			5日後	14日後	5日後	14日後
TPH(C6~C44)	μg/g	45,000	90,000	118,636	139,091	98,182
TPH(C6~C12)	μg/g	6,000	12,000	15,818	18,545	13,091
TPH(C12~C28)	μg/g	28,000	56,000	73,818	86,545	61,091
TPH(C28~C44)	μg/g	11,000	22,000	29,000	34,000	24,000
補正倍率			2.00	2.64	3.09	2.18

※ 補正倍率 = 各加熱試料のTPH(C28~C44) ÷ 加熱前試料のTPH(C28~C44)

4.7 加熱によるTPH除去割合の算出

- 前スライドにて算出した加熱前TPH量と、加熱後のTPH(実測値)の差から、各成分毎の除去割合を算出した。
⇒ 同一の加熱期間の場合は高温の方が、同一の温度の場合は長期間の方が、全ての成分において除去割合が高い。
- C6～C12成分については、70℃においても90%以上が除去された。一方、C12～C28成分については、90℃においても15%前後の除去しか見られなかった。
⇒ VOCを含む軽質油分については70℃の加熱でも除去可能であるが、重油・潤滑油の成分が多い本件事案地の油汚染に対しては、気化による除去は難しいと考えられた。

項目	単位	70℃		90℃	
		5日後	14日後	5日後	14日後
TPH(C6～C44)	μg/g	90,000 → 76,000 (15.56%)	118,636 → 91,000 (23.30%)	139,091 → 110,000 (20.92%)	98,182 → 75,000 (23.61%)
TPH(C6～C12)	μg/g	12,000 → 930 (92.25%)	15,818 → 740 (95.32%)	18,545 → 690 (96.28%)	13,091 → 220 (98.32%)
TPH(C12～C28)	μg/g	56,000 → 53,000 (5.36%)	73,818 → 61,000 (17.36%)	86,545 → 74,000 (14.50%)	61,091 → 51,000 (16.52%)
TPH(C28～C44)	μg/g	-	-	-	-

4. 8 留出液のPCB分析結果

1. 本件事案地の油分にはPCBが含まれており、100℃未満の加熱においても一部が気化する可能性が考えられた。そこで、トリータビリティ試験において、加熱により気化した成分が凝縮した留出液(油相、水相)におけるPCB濃度を調査した。

⇒ 加熱温度、期間に関わらず、油相、水相両方からPCBが検出。また、水相ではpHが2.8～3.4と低い値で検出。



熱処理工法の現場適用においては、排ガス・排水処理にPCB除去、pH調整等の措置を講じる必要あり

項目		単位	70℃加熱		90℃加熱	
			5日間	14日間	5日間	14日間
油相	質量	g	0.66	0.64	2.46	1.81
	PCB濃度	mg/kg	550	1,000	140	240
	PCB量	μg	363	640	344.4	434.4
水相	pH	-	3.3	3.2	3.4	2.8
	質量	g	436.9	417.3	395.0	469.2
	PCB濃度	mg/L	0.0070	0.0056	0.0056	0.0053
	PCB量	μg	3.06	2.34	2.21	2.49

4.9 トリータビリティ試験結果まとめ

試験結果総括

1. VOCについては、室内実験において、70℃の加熱でも含有量を検出下限値付近まで除去可能であった。

➡ 実際の現場では地盤条件や地下水条件が複雑であり、室内試験と同様に浄化が進むわけではないが、第2溶出量基準(金属等を含む廃棄物の埋立基準)までの除去は可能と考えられる。

2. TPHについては、70℃及び90℃加熱両方の場合において、C6～C12成分は90%以上の除去が確認された。一方、C12～C44成分については、90℃の加熱でも15%前後の除去しか見られなかった。

➡ 重油・潤滑油の成分が多い本件事案地の油汚染に対しては、気化による除去は難しいと考えられた。したがって、加熱により流動性の高まった油を液体として回収する必要がある。

3. 加熱により気化した成分が凝縮した留出液(油相、水相)にて、PCBが検出。また、水相ではpHが2.8～3.4と低い値で検出された。

➡ 熱処理工法の現場適用においては、排ガス・排水処理にPCB除去、pH調整等の措置を講じる必要あり。

5. 熱処理工法の性能要件

5. 1 熱処理工法の性能要件(案)について

トリータビリティ試験の結果から、下記の要件を設定する。

<VOC>

性能保証要件：土壌にあつては第2溶出量基準を満足すること。廃棄物にあつては金属等を含む産業廃棄物の埋立基準を満足すること。

対象物質：VOC7項目(1,2-ジクロロエタン、1,2-ジクロロエチレン(廃棄物はシス体のみ)、ジクロロメタン、テトラクロロエチレン、1,1,2-トリクロロエタン、トリクロロエチレン、ベンゼン)

確認方法：10m四方の格子状区画1区画あたり地表から50cm及び1m～8m深度までの1mごとの試料を採取し土壌(廃棄物)溶出試験により確認する。

※なお、確認は加熱中に適宜実施する。

<油>

トリータビリティ試験のTPH分析結果から、C6～C12の軽質成分については加熱による除去が見込めるものの、C12以上の成分については、確実な除去は見込めないことが確認された。そのため、性能保証要件としては設定せず、加熱による可能な限りの油分を回収することとする。

工事施工の際には、予算及び期間の許す範囲内でより多くの油が回収できるよう、施工業者と協力し、適切な進捗管理を実施する。

5. 2 熱処理工法の発生排ガス・排水処理基準(案)

トリータビリティ試験の結果から、70°C以上の加熱条件においても、PCBが若干量気化することが示された。したがって、熱処理工法の排ガス、排水基準にPCBを追加して、下記のとおり基準を設定する。

<排ガス>

VOC: 指定物質抑制基準を準用(ベンゼン600mg/Nm³、トリクロロエチレン300mg/Nm³、
テトラクロロエチレン300mg/Nm³)

PCB: 環境省通知※を準用(最大値0.25mg/m³以下、平均値0.15mg/m³以下)

※「PCB等を焼却処分する場合における排ガス中のPCBの暫定排出許容限界について」(環大企141号 昭和47年12月22日)

<排水>

PCB、VOC: 水質汚濁防止法にて規定する一律排水基準を準用。PCB、VOC以外の有害物質についても、同基準の値を満たすこと。

6. まとめ

6. 1 まとめ

<後期対策工事の概要>

工法: PCB高濃度範囲の掘削、VOC等対策(熱処理)、拡散防止措置(覆土等)

期間: 令和2年12月～令和4年度末

①PCB高濃度範囲掘削工事

対策範囲: 3000ppmを超えるPCB油が存在する範囲(約400m²)
(実施計画にて設定した範囲)

性能要件: PCB汚染源である高濃度PCB廃棄物の除去及び油の回収、
底質土壌のTPH、PCB含有量・溶出量が基準を満たすことを確認

②熱処理工事

対策範囲: VOCが第2溶出量基準を超過している範囲(約1600m²)
(実施計画にて設定した範囲)

性能要件: VOC(過去に基準を超過した7項目)
第2溶出量基準値以下(金属等を含む廃棄物の埋立基準以下)

<今後の予定>

油回収や後期対策工事の進捗状況を踏まえて、令和3年2～3月を目途に
次回委員会を開催する。