

#### 4.4.4 化学的手法の概要

汚染物質ごとの化学的手法における技術の区分、技術の名称、技術の例を表 4-4-4 に示した。

表 4-4-4 化学的手法

汚染物質	技術の区分	技術の名称	技術の例
PCB	IV	BCD法	汚染土壌にNaHCO <sub>3</sub> を添加・加熱し、凝縮液として分離・回収
ダイオキシン類	IV	BCD法	汚染土壌にNaHCO <sub>3</sub> を添加・加熱し、凝縮液として分離・回収
	V	化学分解	化学分解
石油系	II	酸化還元	オゾン、紫外線等による酸化反応、貴金属触媒塔による還元反応により汚染物質を無害化
	V	化学分解	還元無害化处理
揮発性有機塩素化合物	II	酸化還元	オゾン、紫外線等による酸化反応、貴金属触媒塔による還元反応により汚染物質を無害化
	IV	透過性反応膜	地下水を脱塩素反応物質(鉄粉)の膜を通過させ、完全脱塩素として無害化
		生石灰を用いた土壌浄化	生石灰の水和反応と反応熱による脱水、攪拌曝気によるガス化
	V	化学分解	分解/安定化技術
TCE	V	促進酸化法	紫外線と過酸化水素、オゾンによる促進酸化処理
重金属類	II	酸化還元	酸化、還元反応による汚染物質の無害化
	IV	凝集沈殿	凝集剤を添加、沈殿物を回収
		塩化揮発法	汚染土壌に塩化カルシウム溶液を加えて沸点を低下、加熱して汚染物質を揮発・除去

- ※ I : 汚染物質の拡散防止技術  
 II : 原位置での汚染物質の分解/安定化技術  
 III : 汚染媒体の除去技術  
 IV : 汚染媒体からの汚染物質の分離技術  
 V : 汚染物質の分解/安定化技術

出典1~7)

## 4.5 オンサイト修復技術の研究(K市の場合の提案)

### 4.5.1 オンサイト修復技術に関する研究

#### (1) 汚染地下水生物・化学処理技術

##### 1) 実験概要

###### ① 実験目的

K市汚染サイトでの汚染地下水追加調査結果より汚染物質として重金属、有機塩素化合物等の有害物質以外に高濃度のBOD、COD、窒素等の存在が明らかとなった。このため、処理方式としては埋立浸出水処理に用いられる「活性汚泥処理+凝集沈殿処理+活性炭吸着処理」というフローが適当であると考えられ、本研究ではK市汚染サイトの汚染地下水浄化に対する同フローの有効性を確認し、各単位操作の室内実験を実施することで、処理条件と処理水質の概略を把握することを目的とした。

###### ② 処理(実験)フロー

汚染地下水の処理実験フローは埋立浸出水処理フローを参考に以下の順で実施する。

汚染地下水 → 活性汚泥処理 → 凝集沈殿処理 → 活性炭吸着処理 → 処理水

###### ③ 処理実験方法

上記の各処理実験については以下のように実施した。

###### (A) 汚染地下水のサンプリング

サンプリング日時：平成12年2月18日 12:00～17:00

サンプリング場所：事業所No. 1(地下水位GL7.5m～10m)

サンプリング方法：ポンプによる採水と手製採水器による採水の併用

サンプル量：75L

###### (B) 活性汚泥処理実験

###### A) 実験装置

実験装置の概略は図4-5-1に示す通り、曝気槽容積8.0L、沈殿槽容積2.5Lで構成する。

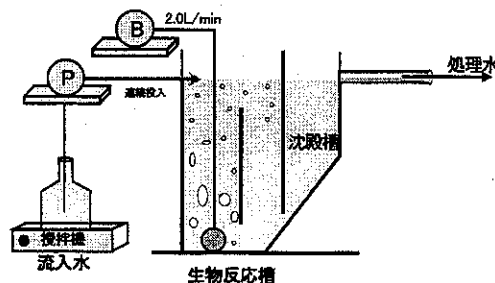


図 4-5-1 実験装置図

## B) 実験方法

### (ア) 希釈倍率

上記装置を2系列用意し、希釈倍率5倍と希釈倍率1倍(無希釈)で連続実験を開始した。

### (イ) 汚泥の馴養

実験に用いた活性汚泥は汚染地下水を 50mL/day 添加し、馴養した。2系列ともに馴養した同じ汚泥で連続実験を開始した。

### (ウ) 連続実験

原水中にはT-Pがほとんど含まれてないため(汚染地下水水質表 4-5-1 参照)、BOD濃度を参考にして5倍希釈原水には $\text{PO}_4\text{-P}$ を 16mg/L、無希釈原水には 80mg/L添加したものを流入水とした。5倍希釈原水、無希釈希釈原水ともに 10 日滞留で連続実験を開始したが、連続実験開始後は2系列ともに順調な処理経過であったため、途中から同一条件(無希釈、7日滞留)に変更して運転した。

### (エ) 分析項目及び頻度

分析項目は表 4-5-1 に示した 35 項目について実施した。全分析は原水を2回、処理水を2回実施し、pH、BOD、COD、SS、窒素、リン、TOC等については適宜測定した。

### (オ) 凝集実験原水の採取

無希釈による運転での処理水が安定した時からその処理水を採取し、合わせて凝集実験の原水とした。

表 4-5-1 汚染地下水(実験原水)水質

項目	単位	分析値	計量方法
電気伝導度	mS/cm	11*	電気伝導度計法
pH	—	10.7*	ガラス電極法
BOD	mg/L	8100*	隔膜電極法
COD <sub>Mn</sub>	mg/L	3600*	容量法(滴定法)
SS	mg/L	21*	GFP ろ過一重量法
n-ヘキサン抽出物	mg/L	18*	重量法
フェノール	mg/L	67*	4-アミノアンチピリン吸光光度法
Cu	mg/L	0.68	ICP 発光分光分析法
Zn	mg/L	0.40	ICP 発光分光分析法
Cr	mg/L	0.05	ICP 発光分光分析法
F	mg/L	0.6	ランタン-アリザニンコンプレキソン吸光法
大腸菌群数	個/mL	< 10	培地法
T-N	mg/L	410	JIS K 0102,45
有機性窒素	mg/L	130	JIS K 0102,44
アンモニア性窒素	mg/L	183	JIS K 0102,42.2&42.3
T-P	mg/L	1.4*	ペルオキシニ硫酸カリウム法
Cd およびその化合物	mg/L	< 0.01	ICP 発光分光分析法
Pb およびその化合物	mg/L	< 0.05	ICP 発光分光分析法
As およびその化合物	mg/L	0.007	水素化合物発生 ICP 発光分光分析法
総水銀	mg/L	< 0.0005	還元気化原子吸光法
マグネシウム (Mg)	mg/L	2	ICP 発光分光分析法
カルシウム (Ca)	mg/L	710	ICP 発光分光分析法
ジクロロメタン	mg/L	69*	ガスクロマトグラフ法
1,2-ジクロロエタン	mg/L	14.6*	ヘッドスペース・ガスクロ質量分析法
シス-1,2-ジクロロエタン	mg/L	0.11	ヘッドスペース・ガスクロ質量分析法
トリクロロエチレン	mg/L	0.42	ヘッドスペース・ガスクロ質量分析法
テトラクロロエチレン	mg/L	0.094	ヘッドスペース・ガスクロ質量分析法
1,3-ジクロロプロペン	mg/L	< 0.0002	ヘッドスペース・ガスクロ質量分析法
ベンゼン	mg/L	0.56*	ヘッドスペース・ガスクロ質量分析法
ホウ素	mg/L	3.3	ICP 発光分光分析法
(NO <sub>2</sub> + NO <sub>3</sub> )-N	mg/L	0.15	吸光光度法
トルエン	mg/L	7.8*	ガスクロマトグラフ法
キシレン	mg/L	0.87	ガスクロマトグラフ法
TOC	mg/L	5140	燃焼酸化一赤外線色 TOC 分析法
色度	度	400	透過率法

\*印は平均値とする

#### (C) 凝集処理実験

ジャーテストにより求めた最適条件で凝集処理実験を実施した。

#### A) 実験方法

##### (ア) ジャーテスト

凝集 pH および塩化第2鉄の添加量を変化させジャーテストを実施し、最適条件を求めた。

##### (イ) 凝集処理実験

ジャーテストと同様の手順で最適条件下、凝集処理を行い表 4-5-1 に示した 35 項目について全分析を実施した。

#### (D) 活性炭吸着処理実験

凝集処理上澄ろ液について、粉末活性炭を用いた回分吸着実験によりCODの吸着等温線を求めた。

### ④ 実験結果と考察

#### (A) 汚染地下水の分析結果

##### A) 汚染地下水水質

サンプリングした汚染地下水について上記の35項目について分析した。結果を表4-5-1に示す。特徴としてはBOD、CODが非常に高いのに比較してリンが非常に少ないことで、従って、生物処理にはリンの添加が必要であると考えられる。また、ジクロロメタン、1,2-ジクロロエタン、トルエン等のVOC濃度が高いため活性汚泥処理の阻害が心配される。

##### (B) 活性汚泥処理連続実験

##### A) 流入水の調整

流入水は表4-5-1の汚染地下水に $PO_4-P$ を添加したものをを用いた。その結果、リン酸化合物（特に原水中のカルシウム濃度が高いためリン酸カルシウム等と考えられる。）の生成により流入水SSが $1,750\text{mg/L}$ に増加したため、攪拌をおこないながらポンプで曝気槽に連続投入した。

## B) 希釈倍率

希釈倍率による活性汚泥処理への影響を把握するため、当初流入水は5倍希釈と無希釈の二つの条件で連続実験を行った。その結果、5倍希釈でのCOD<sub>m</sub>除去率90%、BOD除去率99%に対して無希釈の場合でもCOD<sub>m</sub>除去率88%、BOD除去率97%という良好な処理成績が得られた。そこで、以降は2系列とも無希釈として運転した。

## C) 無希釈処理の運転過程

### (ア) pH

流入水のアルカリ度が高く pH も 10.7 と高いので、曝気槽の pH が当初上昇する傾向が見られ、硫酸添加により適宜曝気槽 pH を調整したが、水質が安定してからは硫酸を添加しなくても pH 8.3 前後で安定した。

### (イ) DO

DO 濃度が 1.0~2.0(mg/l)になるように曝気風量を 1.5~2.0L/min で調整した。MLSS の増加にともない DO は減少傾向にあったので風量を増加させたが、発泡が認められた。実設備では消泡剤の必要性も考えられる。

### (ウ) MLSS

曝気槽内の MLSS 経日変化を図 4-5-2 に示す。今回用いた汚染地下水での BOD から MLSS への汚泥生成係数は通常の有機性排水と同等であり、また負荷量も高く取れたことから MLSS 濃度が急激に高くなったため、引き抜きを行うことにより 9,000mg/L~10,000mg/L の範囲に維持した。

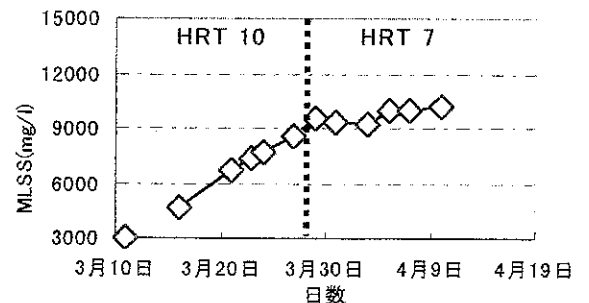
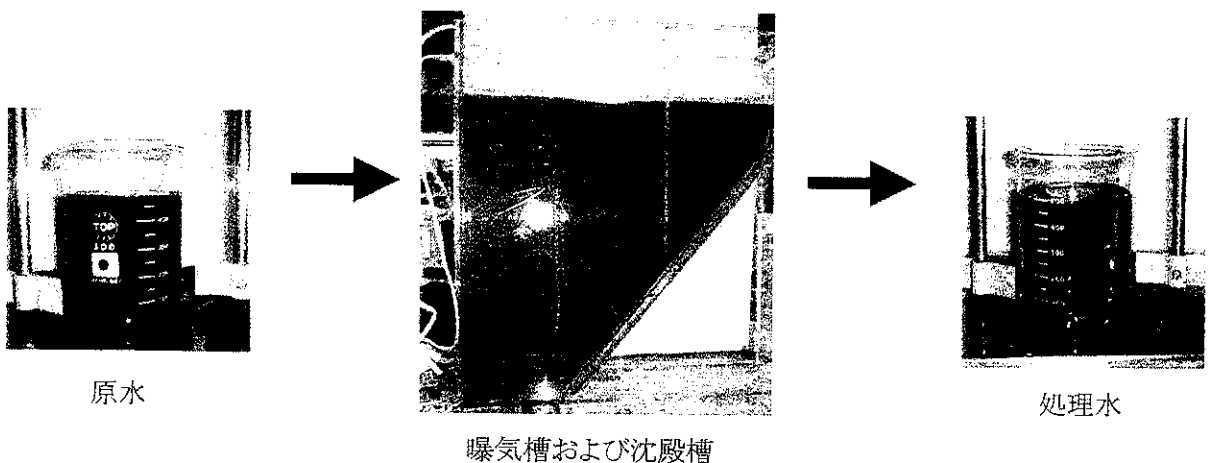


図 4-5-2 MLSS 経日変化

活性汚泥処理状況の写真。



## D) 処理成績

### (7) 有機物の除去および負荷量

処理水の BOD の経日変化を図 4-5-3 に示す。HRT を10日から7日に短縮させても処理水の BOD 濃度は 200mg/l 以下であり、除去率 95%以上の安定した処理を行うことができた。また、このときの BOD 容積負荷は  $0.7 \sim 1.0 \text{kg/m}^3 \cdot \text{day}$ 、BOD-SS 負荷は  $0.1 \sim 0.15 \text{kg/MLSS} \cdot \text{kg} \cdot \text{day}$  であり、この範囲の負荷による処理は問題ないと言える。

処理水の COD の経日変化を図 4-5-4 に示す。COD 容積負荷は  $0.27 \sim 0.39 \text{m}^3 \cdot \text{day}$ 、COD-SS 負荷は  $0.04 \sim 0.08 \text{kg/MLSS} \cdot \text{kg} \cdot \text{day}$  の範囲で実験を行ったが、処理水の  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  は  $480 \sim 500 \text{mg/L}$  で安定した。流入水が入れ替わる期間が長いことから処理水の  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  が定常化するまで多少の時間を要した。

しかしながら、除去率は 85%以上を保持することができたことから汚染地下水中には難分解性の有機物は少なかったといえる。

処理水の TOC 濃度も  $400 \sim 500 \text{mg/l}$  で、安定した処理をおこなうことができた。

TOC 容積負荷は  $0.5 \sim 0.75 \text{kg/m}^3 \cdot \text{day}$ 、TOC-SS 負荷は  $0.06 \sim 0.11 \text{kg/MLSS} \cdot \text{kg} \cdot \text{day}$  の範囲で除去率は 85%以上を達成することができた。

### (イ) 汚泥生成量

除去 BOD あたりの汚泥生成率を図 4-5-5 に示す。本処理実験では除去 BOD の 46%が汚泥に変換される結果が得られた。ただし、反応槽内での MLVSS は若干低く、MLVSS/MLSS の比は約  $0.7 \sim 0.75$  であった。これは流入水作成の際の原水にリンを添加することで生じるリン酸カルシウム等の影響があると考えられる。

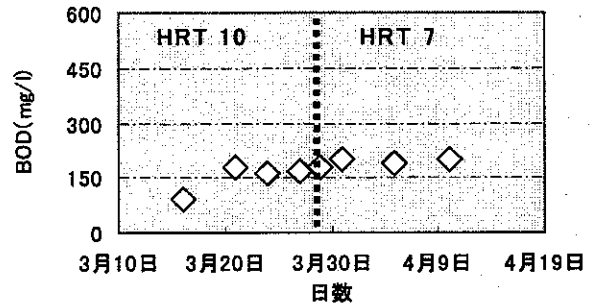


図 4-5-3 BOD<sub>5</sub> の経日変化

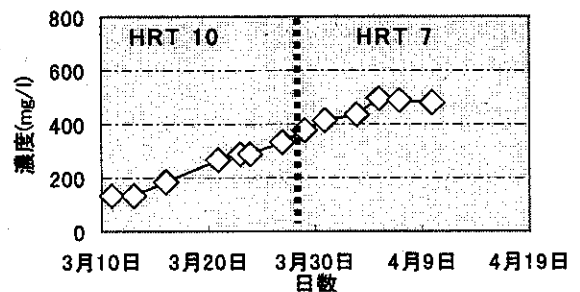


図 4-5-4  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  の経日変化

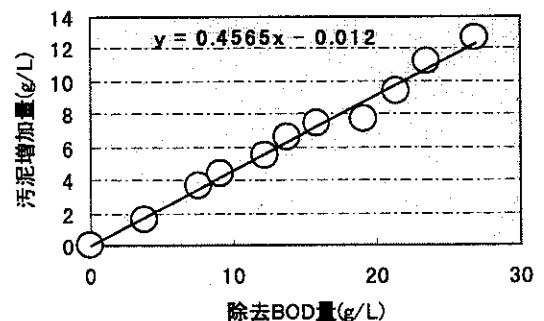


図 4-5-5 汚泥生成率

(ウ) 窒素の挙動

処理水中の有機性窒素濃度は約 60mg/L 前後で安定した。処理水アンモニア性窒素濃度の経日変化を図 4-5-6 に示すが、5~6mg/L で安定し、また、NO<sub>2</sub> および NO<sub>3</sub>-N は 1.0mg/L以下であった。このように流入水T-N濃度 410mg/L が処理水T-N濃度 60mg/L 前後まで除去されたのは、BOD 除去に伴う菌体合成に消費されたものと思われる。

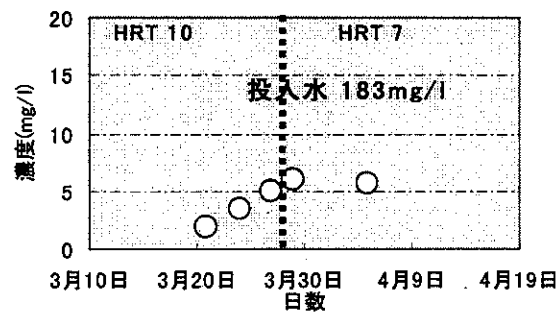


図 4-5-6 アンモニア性窒素濃度の経日変化



## (I) 活性汚泥処理水精密分析結果および計量方法 (表 4-5-2)

表 4-5-2 活性汚泥処理水水質

項目	単位	分析値	計量方法
電気伝導度	mS/cm	11.5*	電気伝導度計法
pH	—	8.4	ガラス電極法
BOD	mg/L	175*	隔膜電極法
COD <sub>Mn</sub>	mg/L	460*	容量法(滴定法)
SS	mg/L	18.5*	GFPろ過一重量法
n-ヘキサン抽出物	mg/L	2.5*	重量法
フェノール	mg/L	0.1*	4-アミノアンチピリン吸光光度法
Cu	mg/L	0.16*	ICP 発光分光分析法
Zn	mg/L	0.11*	ICP 発光分光分析法
Cr	mg/L	< 0.05*	ICP 発光分光分析法
F	mg/L	0.25*	ランタン-アリザニンコンプレキソン吸光法
大腸菌群数	個/mL	17*	培地法
Org-N	mg/L	60*	JIS K 0102,44
アンモニア性窒素	mg/L	4.8*	JIS K 01021 42.2&42.3
T-P	mg/L	5.2*	ペルオキシニ硫酸カリウム法
Cd およびその化合物	mg/L	< 0.005*	ICP 発光分光分析法
Pb およびその化合物	mg/L	< 0.005*	ICP 発光分光分析法
As およびその化合物	mg/L	0.005*	水素化合物発生 ICP 発光分光分析法
総水銀	mg/L	< 0.0005*	還元気化原子吸光法
マグネシウム (Mg)	mg/L	< 1.0	ICP 発光分光分析法
カルシウム (Ca)	mg/L	120	ICP 発光分光分析法
ジクロロメタン	mg/L	< 0.002*	ガスクロマトグラフ法
1,2-ジクロロエタン	mg/L	< 0.0004*	ヘッドスペース・ガスクロ質量分析法
シス-1,2-ジクロロエタン	mg/L	< 0.004*	ヘッドスペース・ガスクロ質量分析法
トリクロロエチレン	mg/L	< 0.003*	ヘッドスペース・ガスクロ質量分析法
テトラクロロエチレン	mg/L	< 0.001*	ヘッドスペース・ガスクロ質量分析法
1,3-ジクロロプロペン	mg/L	< 0.0002*	ヘッドスペース・ガスクロ質量分析法
ベンゼン	mg/L	< 0.001*	ヘッドスペース・ガスクロ質量分析法
ホウ素	mg/L	2.9*	ICP 発光分光分析法
(NO <sub>2</sub> + NO <sub>3</sub> )-N	mg/L	< 0.1	吸光光度法
トルエン	mg/L	< 0.06*	ガスクロマトグラフ法
キシレン	mg/L	< 0.04*	ガスクロマトグラフ法
TOC	mg/L	352*	燃焼酸化-赤外線色 TOC 分析法
色度	度	350	透過率法

\*印は平均値とする

### (オ) VOC の挙動

活性汚泥処理水中の揮発性有機物濃度はすべて環境基準以下で非常に低い値が得られた。生物反応槽内での除去率は 99%以上を達成した。しかしながら、空気中への揮散等が考えられるため反応槽内からの排ガスの分析を行った。その実験装置図および実験結果を以下に示す。

#### ①実験装置図

以下にガス収集装置図(図 4-5-7)を示す。

図に示すように吸引の際、反応槽内から出る排ガス以外(空気等)を混合しないように十分注意を払い捕集した。また、捕集管は壁面等に付着しないようガス分析用のガラス製のものを使用した。このときの運転条件はHRT7日、ガス量 2.0L/min であった。

排ガスは合計4L捕集し、それを用いて以下に示す分析項目を測定した。

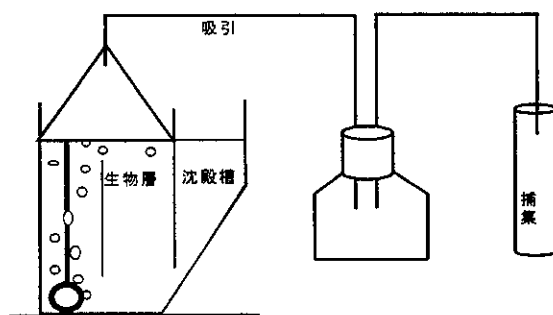


図 4-5-7 ガス収集装置図

#### ②排ガス分析結果

分析結果を以下(表 4-5-3)に示す。

表 4-5-3 分析結果

項目	分析値(ppmv)	測定方法
ジクロロメタン	< 0.1	ガスクロ質量分析法
1,2-ジクロロエタン	< 0.1	ガスクロ質量分析法
シス-1,2-ジクロロエタン	< 0.1	ガスクロ質量分析法
トリクロロエチレン	< 0.1	ガスクロ質量分析法
テトラクロロエチレン	< 0.1	ガスクロ質量分析法
1,3-ジクロロプロペン	< 0.1	ガスクロ質量分析法
ベンゼン	< 0.1	ガスクロ質量分析法
トルエン	< 0.1	ガスクロ質量分析法
キシレン	< 0.1	ガスクロ質量分析法

すべての分析項目において、排ガス中の濃度は 0.1ppm 以下であった。本実験で用いた汚染地下水は特にジクロロメタン、1,2-ジクロロエタン、トルエンの含有濃度が高かったが、分析結果から排ガス中への流出量は流入水に含まれる量の 1%以下であり、大気中への排出はほとんどないものと考えられる。

(C) 凝集処理実験

A) ジャーテスト

(ア) 凝集剤

塩化第二鉄(FeCl<sub>3</sub>)

凝集助剤(アニオンポリマー:エースフロック KA400S)

(イ) 実験手順

- ① 凝集剤添加後、pH 調整(1N HCl 使用)
- ② 急速攪拌 150rpm×10 分  
ポリマー添加 徐々に(5ppm まで) 150×5 分
- ③ 緩速攪拌 50rpm×15 分
- ④ 上澄み水分取(水質測定 TOC)

(ウ) 実験条件

- ① 塩化第二鉄 2,000mg/L  
凝集助剤(アニオンポリマー) 5mg/L pH 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5
- ② 最適 pH(5.5)での塩化第二鉄の投入量変化  
1,000、1,500、2,000、2,500、3,000mg/L を投入

(エ) 測定項目: 水質 TOC および COD<sub>Mn</sub>

(オ) 実験結果: 結果および図 4-5-8、9 を以下に示す。

この結果より、凝集処理のための最適条件は pH5.5、塩化第二鉄添加量 1,200mg/l とした。

①最適 pH の把握

pH	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
TOC(mg/L)	269	273	272	301	334
PH 調整剤量 (mL)	HCl 0.52	HCl 0.4	HCl 0.2	NaOH 1.0	NaOH 2.4

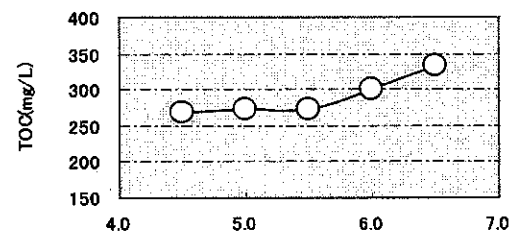


図 4-5-8 最適pH

②塩化第二鉄の投入量把握

塩化第二鉄 (mg/L)	600	900	1200	1500	1800
TOC (mg/L)	268	240	234	233	238
COD <sub>Mn</sub> (mg/L)	286	270	264	265	270
PH 調整剤量 (mL)	HCl 1.2	HCl 0.7	HCl 0.35	NaOH 0	NaOH 1.0

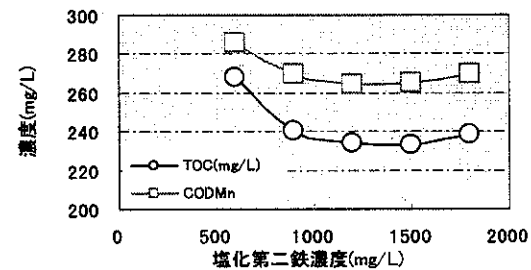


図 4-5-9 塩化第二鉄投入量

B) 凝集処理実験

(ア) 凝集剤

ジャーテストと同様とする

(イ) 実験手順

ジャーテストと同様とする

(ウ) 実験条件

塩化第二鉄 1,200mg/L および 2,000mg/L

凝集助剤(アニオンポリマー) 5mg/L    pH    5.5

(エ) 測定項目

① 懸濁液            SS、SV<sub>30</sub>

② 上澄水水質        汚染地下(実験原水)水分析項目

(オ) 実験結果

① 懸濁液

	FeCl <sub>3</sub> 1,200mg/L	FeCl <sub>3</sub> 2,000mg/L
SS (mg/L)	9,100	14,360
SV <sub>30</sub>	190	310

② 凝集沈殿上澄水水質

精密分析結果を以下(表 4-5-4)に示す。

表 4-5-4 凝集沈殿処理水水質

項目	単位	塩化第二鉄 (1,200mg/L)	塩化第二鉄 (2,000mg/L)
電気伝導度	mS/cm	13	14
pH	—	7.0	7.0
BOD	mg/L	17	15
COD <sub>Mn</sub>	mg/L	320	300
SS	mg/L	3	4
n-ヘキサン抽出物	mg/L	< 1	< 1
フェノール	mg/L	0.1	0.1
Cu	mg/L	0.08	0.08
Zn	mg/L	0.10	0.10
Cr	mg/L	< 0.05	< 0.05
F	mg/L	0.5	0.3
大腸菌群数	個/mL	60	< 10
Org-N	mg/L	47	46
アンモニア性窒素	mg/L	10	9.7
T-P	mg/L	1.1	1.1
Cd およびその化合物	mg/L	< 0.005	< 0.005
Pb およびその化合物	mg/L	< 0.005	< 0.005
As およびその化合物	mg/L	< 0.001	< 0.001
総水銀	mg/L	< 0.0005	< 0.0005
マグネシウム (Mg)	mg/L	< 1	< 1
カルシウム (Ca)	mg/L	140	150
ジクロロメタン	mg/L	< 0.002	< 0.002
1,2-ジクロロエタン	mg/L	< 0.0004	< 0.0004
シス-1,2-ジクロロエタン	mg/L	< 0.0004	< 0.0004
トリクロロエチレン	mg/L	< 0.003	< 0.003
テトラクロロエチレン	mg/L	< 0.001	< 0.001
1,3-ジクロロプロペン	mg/L	< 0.0002	< 0.0002
ベンゼン	mg/L	< 0.001	< 0.001
ホウ素	mg/L	3.2	3.1
(NO <sub>2</sub> + NO <sub>3</sub> )-N	mg/L		
トルエン	mg/L	< 0.06	< 0.06
キシレン	mg/L	< 0.04	< 0.04
TOC	mg/L	303	279
色度	度	150	140

(D) 活性炭吸着処理実験

A) 実験目的

吸着処理における平衡濃度と吸着量の関係を把握する。

B) 実験手順および方法

(ア) 凝集沈殿処理水を 120mL バイアル瓶に採取する。

(イ) 各バイアル瓶に所定量の粉末活性炭を添加する。

(ウ) バイアル瓶を攪拌装置にセットし、攪拌を開始する。

攪拌強度は活性炭が沈降しない程度(100rpm)とする。

(エ) 吸着平衡が十分に達した後(実際は 13h 後)に、活性炭が浮遊した状態のままで採取し、フィルター(0.45 $\mu$ )でろ過して活性炭を分離する。

(オ) ろ液の COD<sub>Mn</sub> を測定する。

C) 実験結果

回分実験より求めた吸着平衡の関係を表 4-5-5 および図 4-5-10, 11 に示す。

表 4-5-5 活性炭吸着量実験結果

粉末活性炭量(g/100ml)	COD <sub>Mn</sub> (mg/l) (C)	吸着量 (mg)	吸着量(mg) / 活性炭(1g) (q)
0	294	0	-
0.05	200	9.4	188
0.1	140	15.4	154
0.15	102	19.2	128
0.2	77	21.7	108.5
0.4	40	25.4	63.5
0.7	24	27.0	38.57
1.0	17	27.7	27.7
2.0	8	28.6	14.3
5.0	5	28.9	5.78

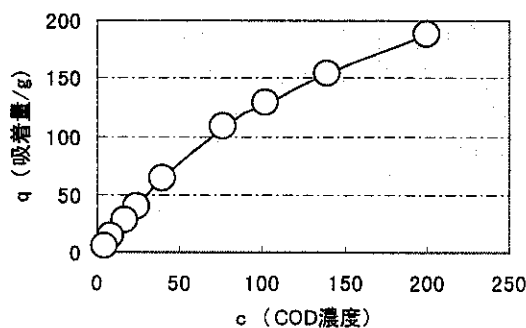


図 4-5-10 活性炭吸着量

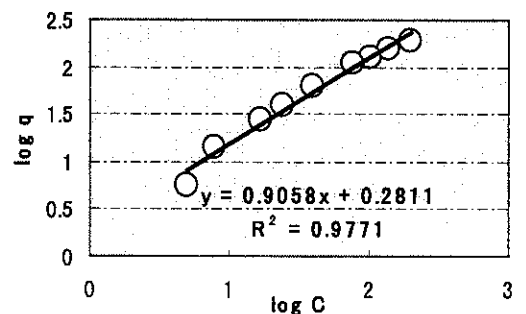


図 4-5-11 吸着等温線

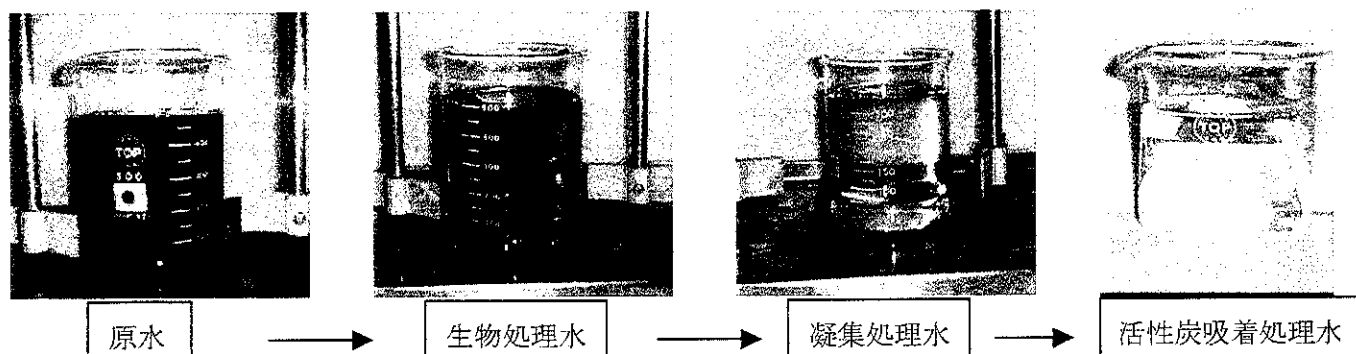
この吸着平衡関係を解析すると図に示されるように  $q$  と  $C$  の両対数は直線関係が成立する。よって上記吸着平衡関係を次のフロインドリッヒ( Freundlich )型吸着等温線で表すことができる。

$$\text{Log } q = n \cdot \text{log } C + \text{log } a$$

$$q = 1.91 \times C^{0.906}$$

### ⑤ まとめ

K 市汚染サイトの汚染地下水の適正浄化方式について、現地水質調査に基づき埋立浸出水処理に用いられる生物処理－凝集沈殿－活性炭吸着というフローが妥当と想定し、同処理における各単位操作の室内実験をおこなった。その結果、同処理により BOD、COD<sub>Mn</sub> などの一般的水質項目だけでなく、VOC 汚染物質なども十分除去でき、水質基準をクリアできた。各単位操作の実験結果を次の通り項目別にまとめる。



#### (A) 生物処理

生物処理では無希釈、HRT7日で投入し、定常運転をおこなった。この条件で、有機物(BOD、COD)は85%以上除去できアンモニア性窒素も十分除去できた。VOC に関しては供試地下水のジクロロメタン、1,2-ジクロロエタン濃度がそれぞれ 69mg/L、14.6mg/L と非常に高かったが、活性汚泥法によりそれぞれ 0.002、0.0004(mg/L)以下まで処理できた。また、曝気による VOC の揮散を把握するため反応槽からの排ガス分析もおこなった。すべての VOC 分析項目結果は 0.1ppm 以下であった。この結果より VOC 類は活性汚泥により分解されていると考えられる。

#### (B) 凝集沈殿処理

塩化第二鉄および高分子凝集剤を用いてジャーテストを行った結果、塩化第二鉄の適正添加量および最適凝集 pH はそれぞれ 1200mg/L、pH5.5 であった。凝集沈殿処理を行った結果、有機物(COD)の除去率は約30%であった。色度は 350 から 150 となった。

(C) 粉末活性炭吸着

活性炭による  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  吸着処理実験をバイアル瓶で行い、吸着等温線を求めた。吸着等温線は Freundlich 式に従い  $q = 1.91 \times C^{0.906}$  となった。また、粉末活性炭 20g/L で処理水の  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  は 10mg/L 以下となった。



## (2) 間接加熱キルン方式による土壌浄化技術

### 1) 実験の目的

間接加熱法は発生する排ガスが少ないため、コンパクトな設備となりオンサイト修復に適した技術といえる。今回はK市の実汚染土壌を用いて間接加熱処理による浄化性能及びその処理条件決定のための基礎データ採取を目的として実験を行った。

### 2) 土壌の採取及び事前分析

土壌の掘削は調査により汚染が確認されている調査地点 No.7 近辺で行った。掘削深度は約 4mとした。浸出水には油状物質が確認され、溶剤系の臭気も確認された。

掘削は重機にて行った。浸出水はポンプにより除去しながら4m地点の土壌を採取し、ドラム缶に納めた。

採取した土壌の性状を把握するために溶出試験をおこなったが(環境庁告示第 46 号、JIS K 0125 5.2 HS-GC-MS 法)、対象とした以下の物質はすべて定量限界以下となった。

<分析対象> ベンゼン、トルエン、キシレン、  
1,3-ジクロロプロペン、n-ヘキサン抽出物

なお、No.7 のフィールド調査結果では土壌からトルエン、キシレンが検出されている。また地下水からはジクロロエタン、ベンゼン、1.3 ジクロロプロペンが環境基準を越え、その他 6 物質が検出されている。

### 3) 模擬汚染土壌の作成

ドラム缶内の土壌を 4mm の電動ふるいにかけて石等を除去し、ハンドリングしやすい程度(約 10%)まで乾燥させた。事前分析では対象となる汚染物質がほとんど溶出されなかったの  
で、土壌に表 4-5-5 の物質を混合して模擬汚染土壌を作成した。

表4-5-5 作成土壤に混合した対象物質の濃度及び環境基準

対象物質	沸点	環境基準	土壤1	土壤2
ジクロロメタン	40℃	<0.02 mg/L	420 mg/kg	840 mg/kg
トリクロエチレン	87℃	<0.03 mg/L	420 mg/kg	840 mg/kg
1,3-ジクロロプロペン	103℃	<0.002 mg/L	85 mg/kg	170 mg/kg
ベンゼン	80℃	<0.01 mg/L	420 mg/kg	840 mg/kg
トルエン	111℃	基準なし	420 mg/kg	840 mg/kg
m,p-キシレン	139℃	基準なし	210 mg/kg	420 mg/kg
o-キシレン	144℃	基準なし	210 mg/kg	420 mg/kg

4) 室内試験

① 実験方法

実験条件を表 4-5-6 に、実験装置のフローを図 4-5-12 に示す。

表4-5-6 実験条件

実験 No.	実験1(土壤1)	実験2(土壤2)
土壤加熱温度	350℃	250℃
滞留時間	約 1 時間	約 1 時間
キルン内	空気雰囲気	空気雰囲気
土壤投入量	60 kg/h	60 kg/h

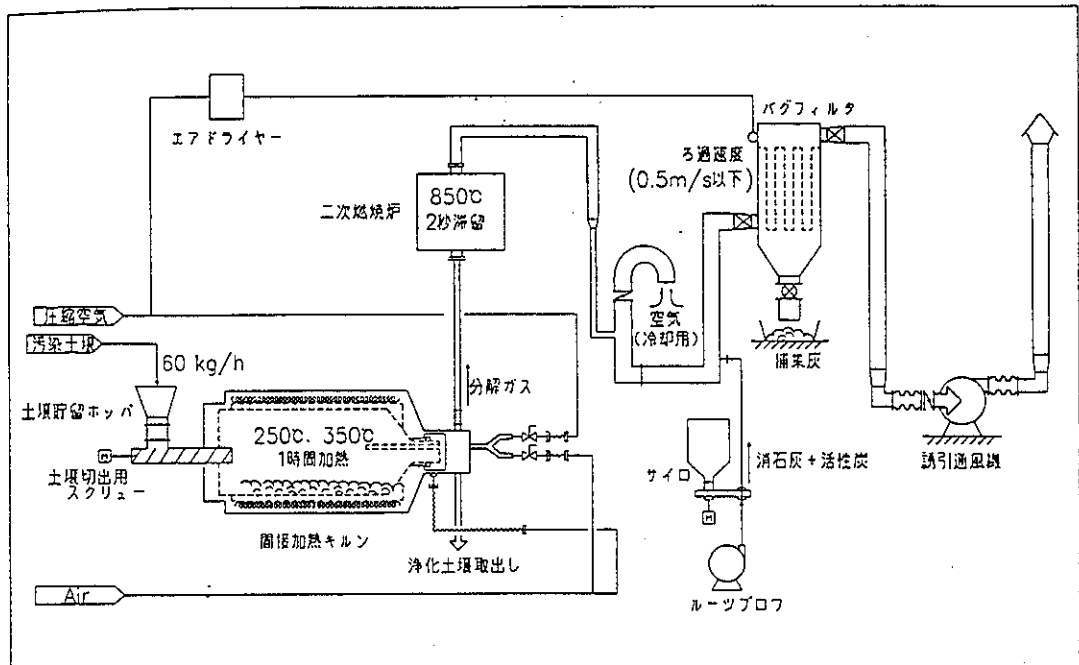


図4-5-12 実験装置フロー

## ② 実験結果

分析結果を表 4-5-7 に示す。なお、土壌中から完全に対象物質が除去されたかを確認するために含有量測定を行った。実験1は全ての物質において検出限界以下となった。しかし実験2では沸点が 110℃以上の対象物質が残存した。

表4-5-7 分析結果及び残存率

項目	実験1	実験2
含水率	0.5%	0.2%
ジクロロメタン	<0.5mg/kg	<0.5mg/kg
トリクロロエチレン	<0.5mg/kg	<0.5mg/kg
1,3-ジクロロプロペン	<0.5mg/kg	<0.5mg/kg
ベンゼン	<0.5mg/kg	<0.5mg/kg
トルエン	<0.5mg/kg	2.1mg/kg
m,p-キシレン	<0.5mg/kg	5.4mg/kg
o-キシレン	<0.5mg/kg	5.6mg/kg

## ③ 考察

実験結果より 350℃の加熱でキルン内で1時間の滞留を行えば土壌が完全に浄化出来ることが確認された。しかし 250℃の加熱では沸点が比較的高い物質が残存しており、汚染物質の沸点以上に加熱しても完全には除去できない場合があることも同時に確認された。これは土壌の粒径 4mm 以下であっても土壌の塊の内部への熱伝達に時間を要することやキルンの攪拌効果不足などが原因として考えられる。

## 5) まとめ

実験結果より間接加熱法によりK市の汚染土壌を浄化できることが分かった。

実際に土壌修復を行う場合には、含水率、温度、滞留時間キルン回転数など処理適用性及び経済的な観点から最適加熱条件を求める必要がある。

またK市の汚染土壌の場合、対象汚染物質はほとんどが低沸点物質であるため、異物除去工程や水分調節工程などの前処理段階で揮発することが予測される。よってオンサイトにおける修復の際は、掘削時や前処理段階においてもテント等で覆い揮散防止対策を行い実施すべきと考えられる。

### (3) 既往の熱化学的手法を用いた対策費用の整理

#### 1) 廃棄物研究財団における研究事例

シュレッダーダストなどの不法投棄と更にはそれらの野焼きにより生じた高濃度のダイオキシン類を含有する灰について、掘り起こして焼却溶融処理する事を想定した室内実験が、廃棄物研究財団「汚染修復技術の開発研究」にて、平成7年度<sup>(出典<sup>8)</sup>)</sup>および平成8年度<sup>(出典<sup>9)</sup>)</sup>に行われている。これらの実験結果の概要は、以下のとおりである。

##### [平成7年度の処理テスト]

産業廃棄物処理施設として稼働している溶融排出型ロータリーキルン(150t/d)を用いて土砂とシュレッダーダストの混合物(15:85)を約17トン焼却溶融して、スラグ約7トンを得た。スラグの溶出試験値は、土壤環境基準をクリアし将来スラグをリサイクルする事も可能であろうと期待できる。その他、集塵灰の溶出試験、排ガス分析を行い、二次公害の心配もないことを確認した。処理に掛かるランニングコスト(用役費+補修費)を試算したところ、含水率30%の湿ベースで1トン当たり17,630円であった。

##### [平成8年度の処理テスト]

ロータリーキルン式都市ごみ焼却灰溶融炉(12t/d)を用いて、より正確な物質収支を取る目的で実験を行った。安定型処分場に埋立済みのシュレッダーダストを掘り起こして得た「土砂混じりシュレッダーダスト」約6トンを1300℃の高温で焼却溶融処理した。二次公害の心配なく、重金属類の挙動も把握し、ダイオキシン類は排ガス中0.056ng-TEQ/m<sup>3</sup>N、スラグ中0.000ng-TEQ/gであった。ランニングコスト(用役費+補修費)の試算値は、含水率35%の湿ベースで1トン当たり17,050円であった。

#### 2) 香川県豊島廃棄物等処理技術検討委員会における研究事例

豊島に不法投棄された廃棄物を中間処理する為に、実際の廃棄物を掘り起こして、シュレッダーダストの多い部分(試料1)と野焼きした後の灰が多い部分(試料2)について各種焼却溶融方式にて処理する実験3が行われた。最終候補となった3方式でのランニングコスト(用役費)は次の通りである<sup>(出典<sup>10)</sup>)</sup>。

##### [焼却・溶融(溶融型ロータリーキルン)]

試料1:約12,000円/トン

試料2:約14,000円/トン

##### [ガス化溶融(ガス化溶融一体型)]

試料1:約21,000円/トン

##### [溶融/焼却(表面溶融/ロータリーキルン)]

試料1:約9,000円/トン