

廃棄物処理基準等専門委員会	資料 2-3
平成 23 年 5 月 17 日	参考 1

第 3 回専門委員会資料＜産業廃棄物最終処分場調査＞

1. 浸出水処理施設における 1,4-ジオキサン濃度の推移調査

1. 選定条件と調査対象施設

調査対象施設は管理型処分場を対象に、①浸出水の 1,4-ジオキサンが環境基準（0.05mg/L）よりも高いこと、②浸出水と放流水の 1,4-ジオキサン濃度から求めた除去率が大きいこと、③生物処理と物理化学処理など処理原理の異なる複数の水処理工程を有すること、④1,4-ジオキサン除去に希釈水による希釈効果が認められないことを選定条件とし、3 施設を選定した。

抽出した調査対象施設の概要を以下に示す。

(1) 施設 K-003

実態調査の 1,4-ジオキサン濃度は、浸出水 3.9mg/L、放流水 0.84mg/L で除去率 78%、浸出水と放流水の EC 比は 3.0 であった。浸出水の 1,4-ジオキサン濃度の高い施設で、主な水処理工程に生物処理とフェントン酸化法を採用している。処理工程を図 1-1 に示す。

(2) 施設 K-004

実態調査の 1,4-ジオキサン濃度は、浸出水 3.5mg/L、放流水 0.026mg/L で除去率 99%、浸出水と放流水の EC 比は 0.6 であった。浸出水の 1,4-ジオキサン濃度の高い施設で、主な水処理工程に生物処理と活性炭吸着を採用している。処理工程を図 1-2 に示す。

(3) 施設 K-015

実態調査の 1,4-ジオキサン濃度は、浸出水 0.13mg/L、放流水 0.005mg/L で除去率 96%、浸出水と放流水の EC 比は 4.2 であった。浸出水の 1,4-ジオキサン濃度はやや高い施設で、多くの水処理工程があり、主なもので、生物処理、活性炭吸着、キレート処理、ホウ素処理、脱塩処理を採用している。処理工程を図 1-3 に示す。

2. 調査方法

1,4-ジオキサンの処理効率を把握するため、試料採取位置は各水処理工程の前後とした。処理原水としては、生物学的処理や物理化学的処理を行う前の処理水とし、流量調整槽の水を採取した。処理原水と放流水は、濃度変動を確認するため、4 日間の連続測定を行った。

測定項目は、1,4-ジオキサン、COD、EC とした。

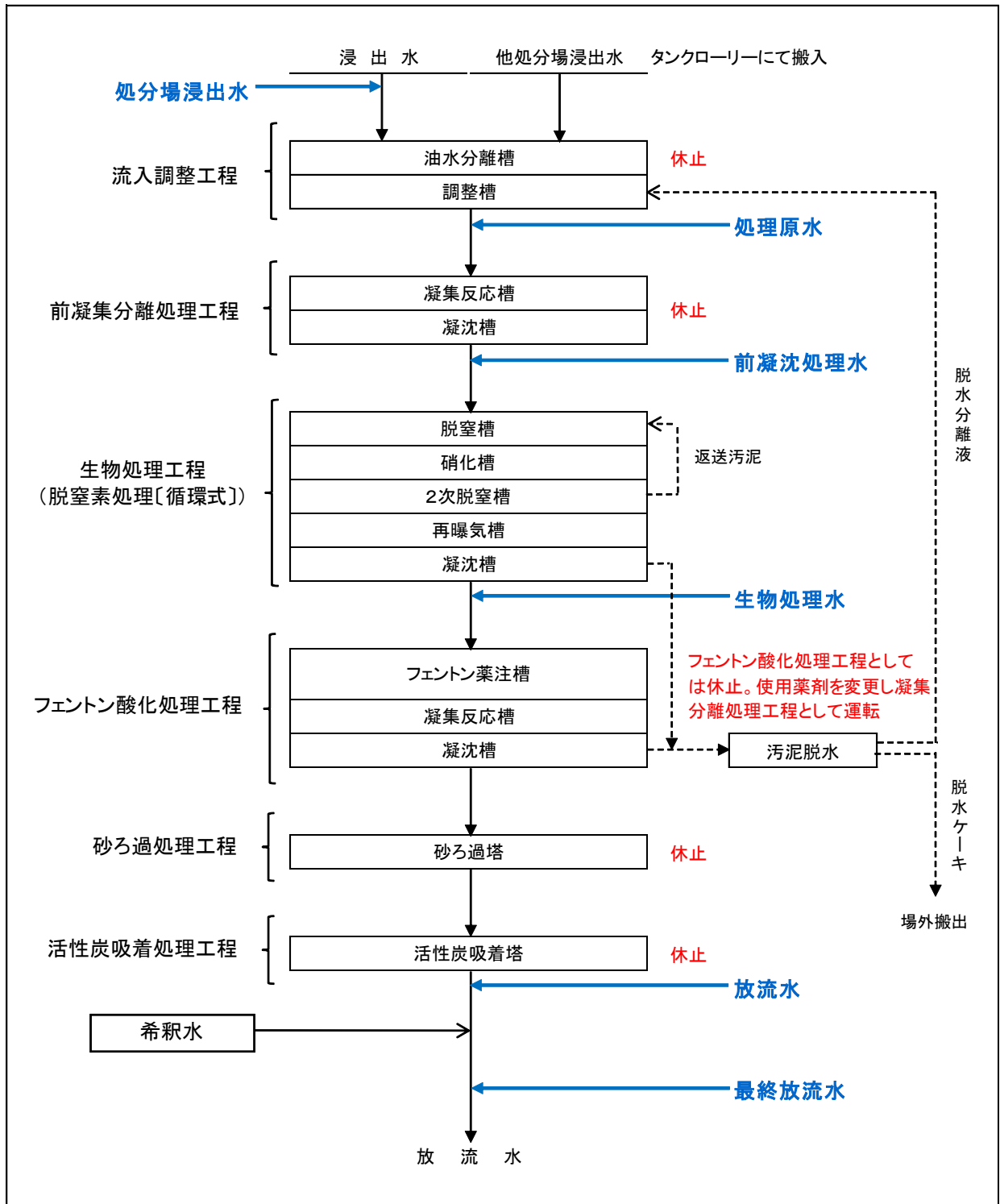


図 1-1 処理工程フロー (K-003)

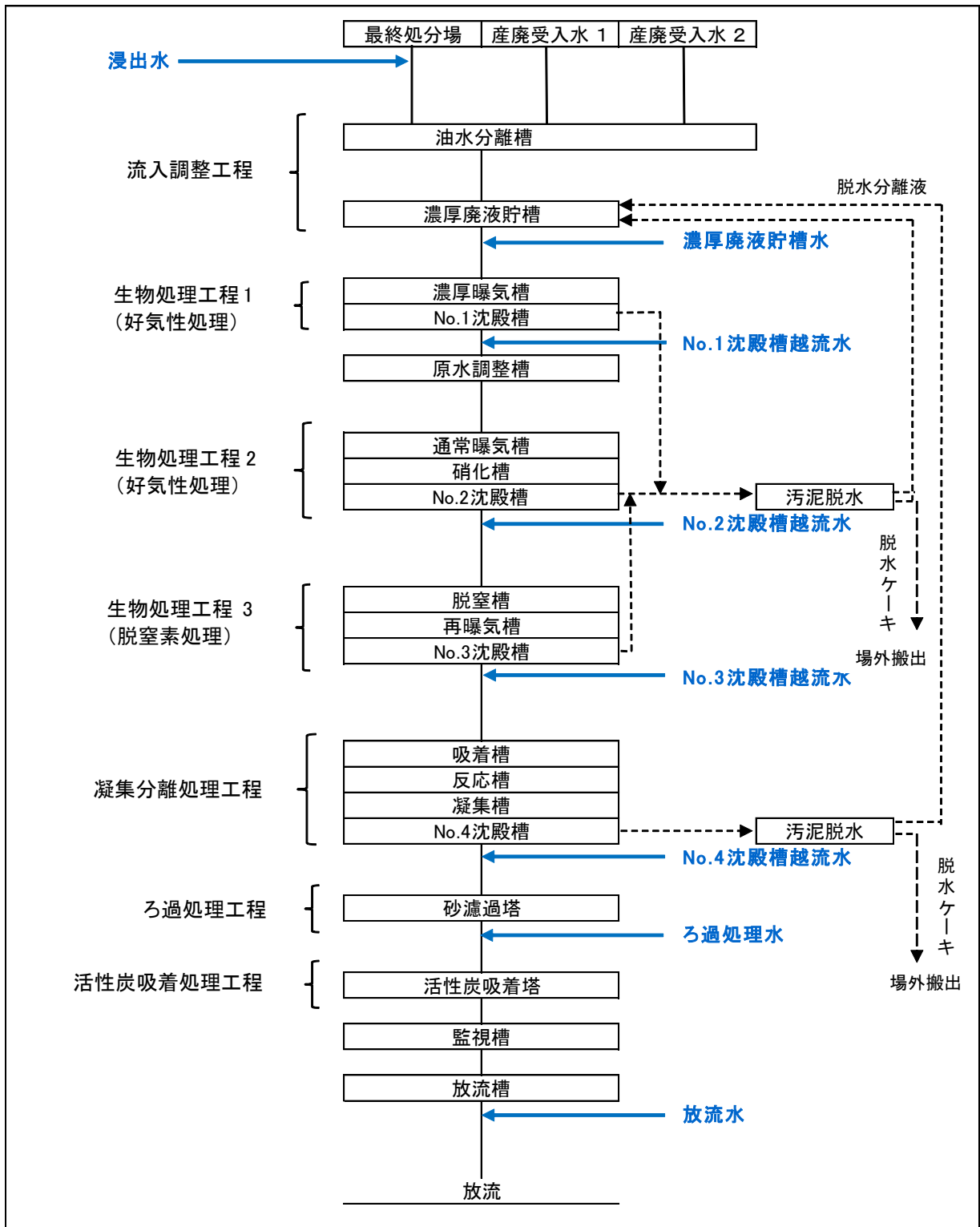


図 1-2 処理工程フロー (K-004)

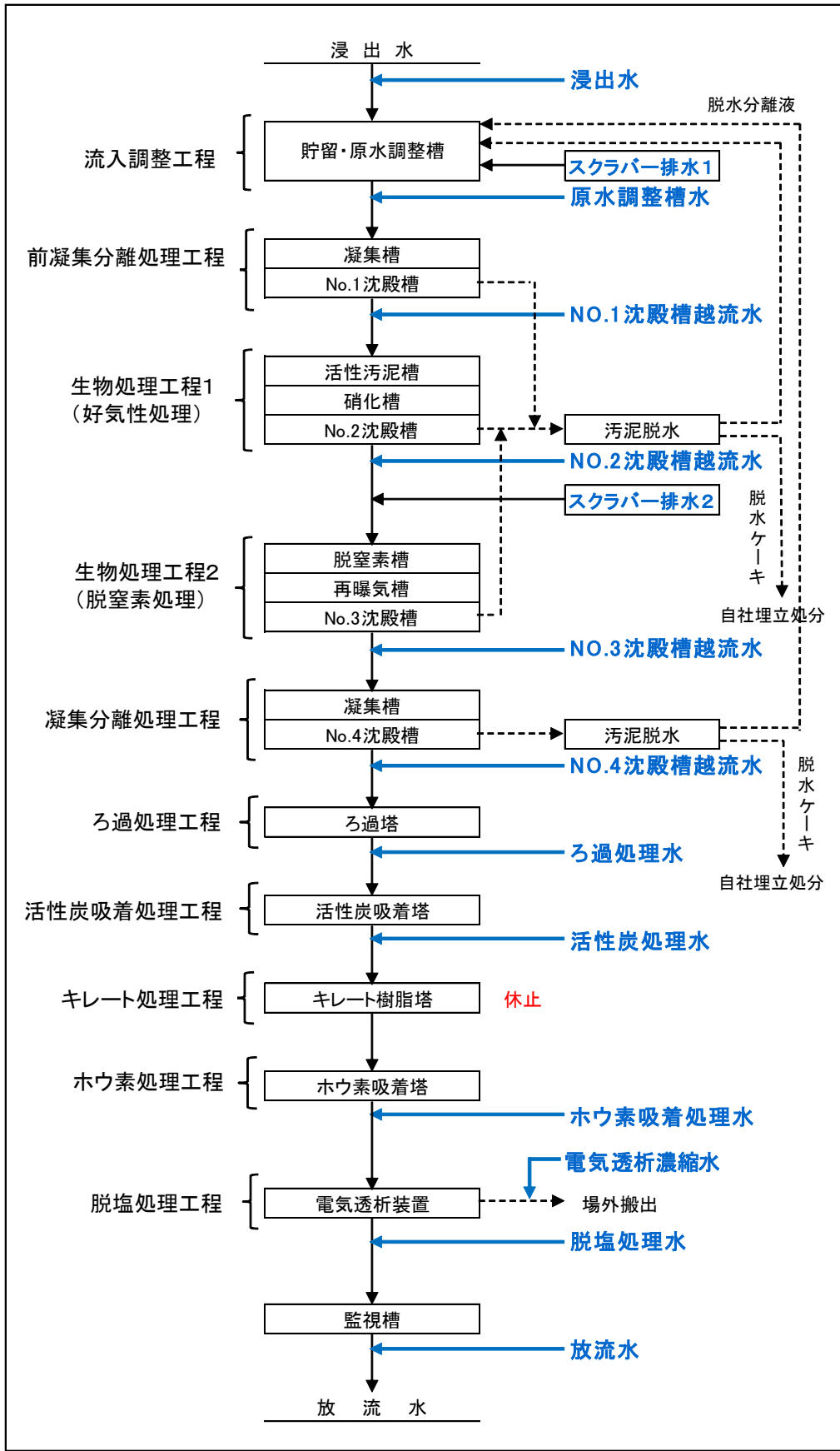


図 1-3 処理工程フロー (K-015)

3. 水処理施設における 1,4-ジオキサン濃度推移

(1) K-003

工程水の 1,4-ジオキサン、COD 及び EC の濃度変化を図 1-4 示す。4 日間連続測定を行った処理原水の 1,4-ジオキサン濃度は、3.8mg/L～4.5mg/L で変動は小さかった。これに対し、放流水は 0.07mg/L～2.7mg/L で濃度変動が大きく、EC も 70mS/m～1100mS/m と大きく変動していた。このため、1,4-ジオキサンの水処理工程における濃度推移として、放流水は処理原水の EC に近い 2 試料の平均値を用いた。なお、フェントン酸化処理工程は稼働しておらず、施設を凝集分離処理工程に転用していた。

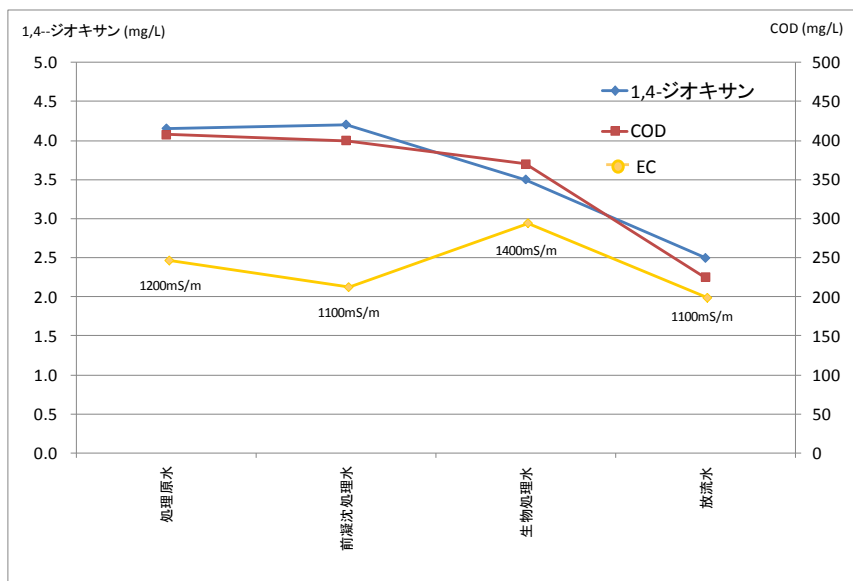


図 1-4 工程水の 1,4-ジオキサンと COD の濃度変化(K-003)

(2) K-004

工程水の 1,4-ジオキサン、COD 及び EC の濃度変化を図 1-5 に示す。なお、4 日間連続測定を行った処理原水（濃厚廃液貯槽水）及び放流水の 1,4-ジオキサン濃度変動は、それぞれ 1.7mg/L～1.8mg/L 及び 0.017mg/L～0.020mg/L と小さく、安定していた。

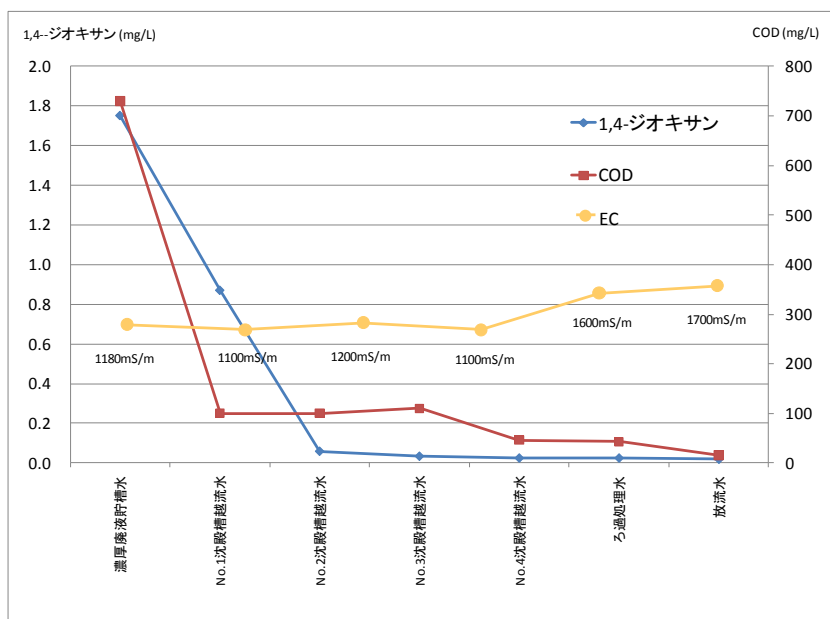


図 1-5 工程水の 1,4-ジオキサンと COD の濃度変化 (K-004)

(3) K-015

工程水の 1,4-ジオキサン、COD 及び EC の濃度変化を図 1-6 に示す。なお、4 日間連続測定を行った処理原水（原水調整槽水）及び放流水の 1,4-ジオキサン濃度は、それぞれ 0.20mg/L 及び 0.011mg/L～0.015mg/L であった。本水処理施設は、電気透析装置により脱塩処理を行っているため、処理工程の前後で EC は約 1/5 に低下していた。

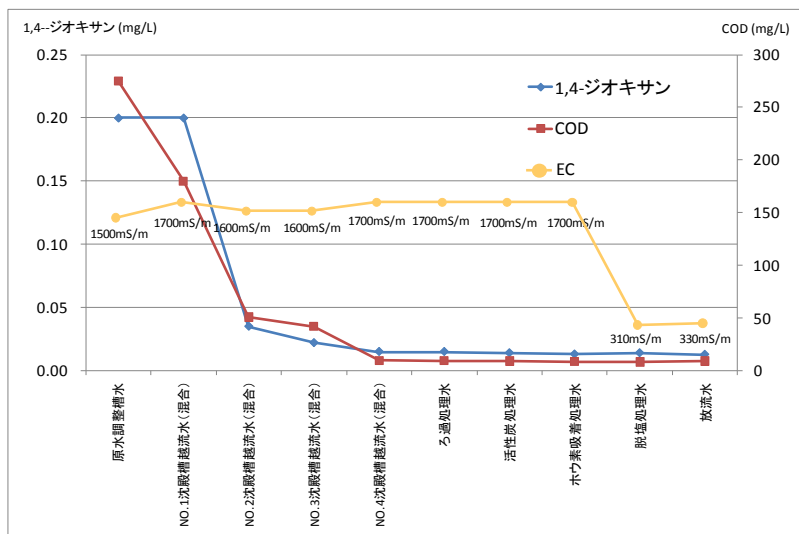


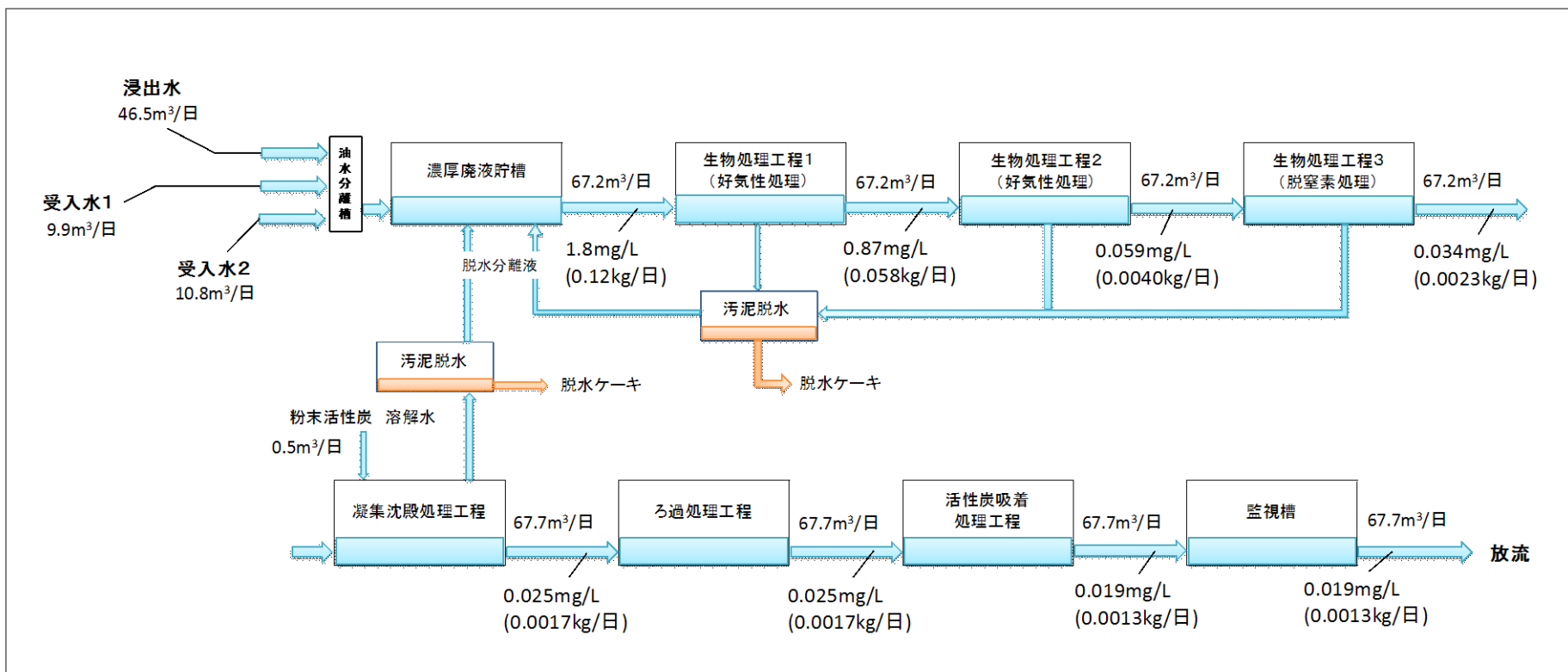
図 1-6 工程水の 1,4-ジオキサンと COD の濃度変化 (K-015)

4. 1,4-ジオキサンの物質収支

K-004 及び K-015 における 1,4-ジオキサンの物質収支を図 1-7、1-8 に示す。なお、K-003 については、正確な水量の情報が得られなかったため、物質収支の把握は不可能であった。表に示す負荷量は下記の式により算出した。

$$\text{負荷量 (kg/日)} = \text{1,4-ジオキサン濃度 (mg/L)} \times \text{水量(m}^3\text{/日)} / 1000$$

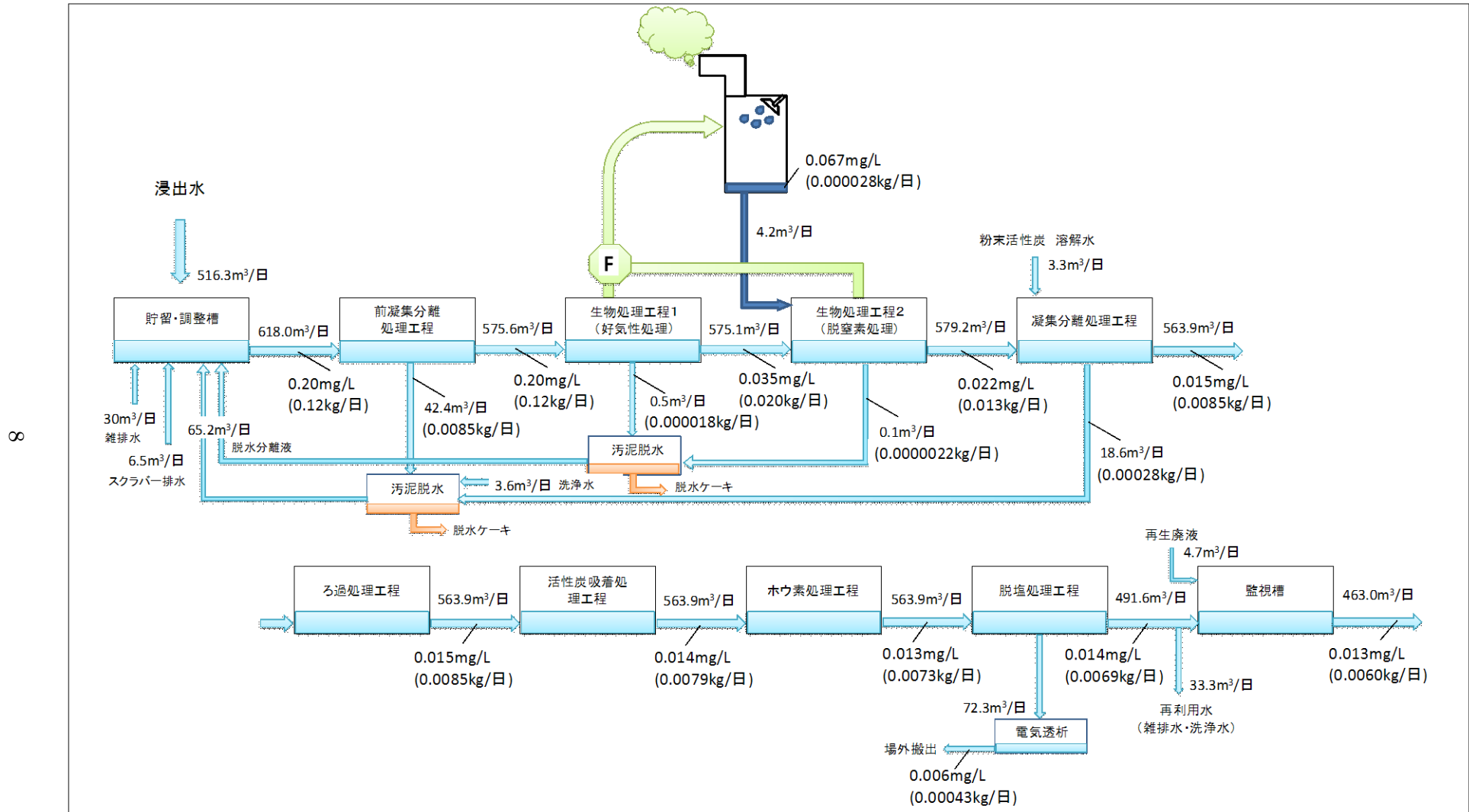
(1) K-004



※余剰汚泥の引抜による物質収支は考慮していない。

図 1-7 K-004 における 1,4-ジオキサンの物質収支

(2) K-015



※脱水ケーキの搬出による物質収支は考慮していない。

図 1-8 K-015 における 1,4-ジオキサン の物質収支

5. 水処理工程と1,4-ジオキサン除去率

1,4-ジオキサンの物質収支が把握できた K-004 及び K-015 について、水処理工程における 1,4-ジオキサンの除去率を表 1-1 に示す。

表 1-1 水処理工程と 1,4-ジオキサンの除去率

水処理工程	工程数	除去率 (%)
生物処理工程 (好気性処理)	3	52~93
生物処理工程 (脱窒素処理)	2	37~43
凝集分離処理工程	2	26~35
活性炭吸着処理工程	2	7~24
ホウ素処理工程	1	8
脱塩処理工程	1	5
前凝集分離処理工程	1	0
ろ過処理工程	2	0

6. 生物処理工程における 1,4-ジオキサンの除去率と滞留時間

生物処理工程（好気性処理）における 1,4-ジオキサンの除去率と滞留時間及び水温を表 1-2 に示す。

表 1-2 各生物処理工程（好気性処理）における滞留時間と水温

施設No.	処理工程	1,4-ジオキサン除去率 (%) ※	滞留時間 (日)	槽内水温 (°C)
K-004	生物処理工程 1 (好気性処理)	52	11.2	15.6
K-004	生物処理工程 2 (好気性処理)	93	12.3	14.4
K-015	生物処理工程 1 (好気性処理)	83	4.0	16.6

※除去率は、負荷量基準で求めた。

2. 最終処分場の 1,4-ジオキサン濃度とその処理技術

1. 浸出水及び浸透水の 1,4-ジオキサン濃度

浸出水や浸透水の 1,4-ジオキサンの検出率は高く、その濃度範囲は、0.0001mg/L から 1.37mg/L と大きかった¹⁻⁹⁾。1,4-ジオキサンの検出率は、文献によって評価濃度（定量下限値）が異なり一概に評価することは難しいが、研究者の多くは低濃度（0.0001mg/L）まで分析しているため、80% 以上の高い検出率となっている。最終処分場からの 1,4-ジオキサンの 1,4-ジオキサンの起源に関して、体系的な調査例は比較的少なく、起源に関しては不明な点が多い。

管理型産業廃棄物最終処分場 3 箇所の浸出水の 1,4-ジオキサン濃度を測定し、埋立物（石膏ボード、燃えがら、建設汚泥、焼却灰）の産業廃棄物処分場、埋立物（汚泥、スラグ、灰プラスチック）の産業廃棄物処分場および一般廃棄物と産業廃棄物（廃プラスチック、焼却灰、汚泥）処分場の全ての浸出水から 0.026mg/L～0.335mg/l の 1,4-ジオキサンが検出された⁶⁾。

一般廃棄物最終処分場 3 施設及び産業廃棄物最終処分場 1 施設で、浸出水の 1,4-ジオキサン濃度を調査した結果、浸出水中の 1,4-ジオキサン濃度は、廃プラスチック及び建設廃棄物を埋め立てている産業廃棄物の最終処分場において、他の処分場と比べて高かった^{7, 8)}。

焼却灰や廃プラスチック、不燃物などを埋め立てた公設処分場の埋立物及び廃プラスチックを熱処理した圧縮埋立物を対象に溶出試験を行った結果、全ての試料から 1,4-ジオキサンが検出され、1,4-ジオキサンは燃焼に由来する可能性とプラスチックに由来する可能性が示された⁵⁾。また、①都市ごみ焼却施設の飛灰、②底灰、③廃プラスチック・金属きず・陶器くずの破碎分別後埋立処分されるシュレッターダスト、④建築廃材と不燃物混合物中間処理後の分別残土、⑤石膏ボード破砕物、⑥木くず、⑦都市下水脱水汚泥について溶出試験（13 号）を実施した結果、飛灰とシュレッターから 1,4-ジオキサンが溶出し、それぞれ 0.0023mg/L および 0.0079mg/L であった¹⁰⁾。

最終処分場浸透水等の 1,4-ジオキサンの起源を明らかにした文献は少ないが、飛灰や廃プラスチックおよびシュレッターダストなどが原因廃棄物の一つと考えられた。

2. 1,4-ジオキサン処理技術

1,4-ジオキサンは親水性が高く沸点も水に近いことから、一般に用いられている加圧浮上、凝集沈殿などの物理化学的処理や活性汚泥などの生物処理による除去が困難とされている。文献調査により得られた水処理技術の概要を表 2-1 に示す。

水道水供給の浄水処理施設で、急速砂ろ過による処理とこれにオゾン+活性炭処理を付加した高度浄水処理を比較し、1,4-ジオキサン除去率を求めた結果、凝集沈殿+急速ろ過による処理では 1,4-ジオキサンは殆ど除去されなかったが、オゾンと活性炭の高度処理では 1,4-ジオキサンの除去率は約 50%であった¹¹⁾。また、浄水処理実証プラントにおけるオゾン処理実験では、オゾン注入量が増えると 1,4-ジオキサンの除去率は向上し、オゾン処理による 1,4-ジオキサン除去率は 20%～30%であった¹²⁾。

下水処理施設における 1,4-ジオキサンの除去率は、0%～25%であった¹⁴⁾。また、下水処理施設における 1,4-ジオキサンの物質収支から 1,4-ジオキサンの除去率を求めた結果、生物処理による 1,4-ジオキサンの除去率は 8.4%であった¹³⁾。

生物処理による 1,4-ジオキサンの除去については、生物処理槽の付着生物膜や馴養した微生物を用いた培養実験の結果から、1,4-ジオキサンの生物処理による除去率は 7.7%～11%と見積もられた¹⁶⁾。また、標準活性汚泥の処理実験では、ばっ気時間 200 時間以上で、1,4-ジオキサンの除去率は約 90%に達したが、ばっ気による 1,4-ジオキサンの揮発効果が約 75%に達しており、ばっ気槽で除去される 1,4-ジオキサンは、揮発と生物処理の両方が関与していることが確認された¹⁷⁾。ばっ気工程での 1,4-ジオキサンの揮発は、膜分離活性汚泥の調査¹⁸⁾ 及びガスバブリング/UV 照射法¹⁹⁾ においても同様の結果が得られている。

生物活性炭は、活性炭を担体とする微生物処理で、浸出水を対象にした処理実験で、93.5%～97.7%の高い除去率が得られた¹⁷⁾。また、生物活性炭による 1,4-ジオキサンの除去特性による分解率は 69%¹⁶⁾ で、生物活性炭法は 1,4-ジオキサンの処理方法として有効な手段となる可能性が示された。

活性炭を用いた吸着実験では、1,4-ジオキサンの除去率が 20%～38%で、活性炭の種類により吸着能に差が現れた²⁰⁾。ミクロポアが炭素繊維外表面に直接開孔した特異な構造を持つ活性炭素繊維を用いた吸脱着連続の水処理施設では、1,4-ジオキサンの除去率は 97%と高く、活性炭素繊維は、粒状活性炭に比べ、1,4-ジオキサンの吸着処理に有効であった²¹⁾。

浸出水や事業場排水を対象にした、水処理方法のなかで 1,4-ジオキサンを酸化分解する方法として、フェントン酸化法¹⁶⁾、UV/オゾン法^{16)、18)}、UV/過酸化水素法²²⁾ などがあげられ、実験装置を用いた、1,4-ジオキサンの分解実験が行われ、これらの酸化分解法の 1,4-ジオキサン除去率は 95%以上で、1,4-ジオキサンの処理法として有効な手段の一つと考えられた。しかし、フェントン法は多量の汚泥が発生すること、UV 法は電気使用量が大きいなどの問題点を有する。これらの問題点を解決するため、オゾン・過酸化水素法^{23)、24)} や生物活性炭とオゾンを組み合わせた処理システム²⁵⁾ が検討され、良好な結果が得られた。

1,4-ジオキサンを含む排水からガスバブリングによって 1,4-ジオキサンを揮発させ、UV 照射により気相の 1,4-ジオキサンを分解する方法を検討し、埋立処分場浸出水に適用したところ良好な結果が得られた。1,4-ジオキサンの揮発は温度に依存し、気相中の 1,4-ジオキサンの UV 照射分解は、単位時間あたり一定量の 1,4-ジオキサンを分解することが可能であった¹⁹⁾。

表 2-1 1,4-ジオキサン処理技術の概要

検証技術		検証方法	文献
浄水	急速ろ過 オゾン+活性炭	大阪府内浄水処理施設 15 施設における原水と蛇口水(処理水)の比較から除去率を求めた。その結果、急速ろ過で除去率 1.2%、高度処理(オゾン+活性炭処理)で平均 50%の除去率が得られた。	11

	塩素処理 粉末活性炭処理 粒状活性炭処理 オゾン処理	高度浄水施設実証プラントを用いて、浄水処理工程における 1,4-ジオキサン処理について検討を行った。1,4-ジオキサンは塩素処理、粉末活性炭処理、粒子状活性炭では殆ど除去できず、オゾン処理による 1,4-ジオキサン除去率は 20%~30%であった。	12
下水処理	活性汚泥	下水流入水、放流水、大気試料および汚泥試料中の 1,4-ジオキサン濃度を測定し、物質収支から 1,4-ジオキサンの移動割合を推定した結果、1,4-ジオキサンは生物分解で 8.4%除去され、汚泥に 0.1%移動し、91.5%が放流水として排出されていた。	13
	活性汚泥	下水処理施設の流入水と放流水の濃度から 1,4-ジオキサンの除去率を算出した。施設により除去率違いが見られ、0%から最大 25%であった。	14
12 浸出水	生物処理 活性炭処理	一般廃棄物採取処分場 39 カ所で 1,4-ジオキサン調査を行い、1,4-ジオキサンが検出された 13 カ所の処分場を対象に、浸出水と処理水の濃度の比較から除去率を求めた。11 施設で生物処理の後に活性炭処理が行われ、2 施設で生物処理が行われていた。生物処理で 12~13%の 1,4-ジオキサン濃度の低下がみられ、生物処理に活性炭処理を行う施設で、82%~10%の濃度低下が見られた。	15
	生分解性試験 回転円盤付着生物膜 包括固定化坦体 生物活性炭	①実際の最終処分場(1,4-ジオキサン濃度が 200 μ g/L 以上)で稼働中の浸出水処理施設の回転円盤から採取した付着生物膜、②回転円盤生物膜を PEG ゲルに固定化し、1 年間馴養した包括固定坦体、及び③浸出液を約 1 年間処理した生物活性炭を用い、浸出水を培地として用い、1,4-ジオキサンの分解性について検討した。1,4-ジオキサンの除去特性は、①回転円盤付着生物膜の 7.7%、包括固定化坦体で 11%、生物活性炭は除去特性が 69%と高く、1,4-ジオキサンの除去法として有効な手段となる可能性が示された。	16
生物処理	生物活性炭(連続バッチ試験)	粒状活性炭(やしがら、石炭)を用いて坦体充填率 20%、下水汚泥で MLSS を 2000mg/L になるように調整した生物活性炭による 1,4-ジオキサンの除去効率を検討した。24 時間で 1,4-ジオキサンの除去率は 95%以上になり、1,4-ジオキサンの処理に生物活性炭が有効であることが分かった。	17
	生物活性炭処理+オゾン酸化	生物処理(嫌気性生物活性炭+好気性包括固定化坦体に生物活性炭の複合)ーオゾン酸化ー生物活性炭を充填した流動床を用いて、浸出水の 1,4-ジオキサン処理試験を実施した。この処理方法で 1,4-ジオキサンが 97%除去出来ることが明らかになった。前段生物処理で 1,4-ジオキサンは 50%除去された。	25
活性炭	粒状活性炭	1,4-ジオキサン(濃度 20mg/L)に活性炭(5 種類)100mg を添加、1 時間攪拌後、静置して溶液中の 1,4-ジオキサンを測定し、活性炭による除去率を測定した結果、除去率は 20.%~38.8%であった。	20

炭	活性炭素繊維	活性炭素繊維を用いた 1,4-ジオキサン除去実験装置を開発し、実際の工場排水(1,4-ジオキサン濃度 1030mg/L)を用い処理実験を行った。1,4-ジオキサンの除去率は 97%で、2300 時間の長期間運転においても、処理能力に大きな差異は認められなかった。	21
	凝集沈殿 オゾン酸化 フェントン処理	浸出水処理施設の多くの場所で用いられている凝集沈殿法、実施設で行われているフェントン酸化法およびオゾン酸化法について検討を行った。凝集沈殿法では、1,4-ジオキサンの除去率は 9%程度で殆ど除去されないことが確認された。オゾン酸化、フェントン酸化法は 1,4-ジオキサンの除去率は 99%以上であった。	16
	オゾン/過酸化水素	浸出水に含まれる多量の塩化物イオンによりオゾンが消費され、次亜塩素酸や塩素酸イオンが生成する。これらの生成を抑制して、1,4-ジオキサンを効率良く分解するオゾン・過酸化水素処理について検討した。浸出水を用いた、オゾン・過酸化水素処理で、95%から 99%の高い除去率が得られた。	23,24
酸化分解 ／ 紫外線	紫外線/過酸化水素	最終処分場浸出水の処理水に、1,4-ジオキサンを添加したものを処理原水(濃度 100 μ g/L)として、1,4-ジオキサンの紫外線/過酸化水素による処理実験を行った。バッチ実験の結果、1,4-ジオキサンの分解は H ₂ O ₂ に支配されることがわかった。連続分解実験(滞留時間 62min、H ₂ O ₂ 注入量 100mg/L)の結果、1,4-ジオキサンの分解率は 93%であった。	22
	膜分離活性汚泥法 (MBR 法) UV/オゾン	化学工場排水をもとに実験原水を調整し、MBR 法(膜分離活性汚泥法)と UV/オゾン法で 1,4-ジオキサンの分解効率を測定した。MBR 法の 1,4-ジオキサン除去率は 43.8%であった。活性汚泥を用いず MBR と同様の装置および条件(水温 30 $^{\circ}$ C \sim 35 $^{\circ}$ C)でばっ気を行ったところ、ばっ気のみによる 1,4-ジオキサンの減少は、MBR による 1,4-ジオキサンの除去速度に相当し、MBR による 1,4-ジオキサンのほとんどはばっ気作用によると考えられた。一方、UV/オゾンでは、オゾン注入速度 33mg/min で 254nm 低圧水銀ランプ(紫外線出力 4.5W)の処理条件で処理時間 40 分で 41mg/L から 0.4mg/L まで低減し、99%除去できた。	18
	ガスパーズ/気相 UV 照射分解	1,4-ジオキサンを含む排水を対象に、水中の 1,4-ジオキサンをばっ気により揮発させ、気相の 1,4-ジオキサンを紫外線照射して分解するガスバブリング/UV 照射法を検討した。廃棄物埋立処分場浸出水に適用したところ、45 $^{\circ}$ C、6 時間で水中の 1,4-ジオキサンの 94%が揮発し、気相を UV 照射(185nm と 254nm 紫外線輝度 250 μ W/cm ² /10cm)により、気中の 1,4-ジオキサンは 92% \sim 95%の分解が可能であった。	19

【文献】

- 1) 国立環境研究所：有害廃棄物のモニタリングに関する研究、国立環境研究所特別研究報告、SR-16-94、(1994)。
- 2) 安原昭夫、宇野由利子、中杉修身、細見正明：廃棄物埋地浸出水中の化学成分（第2報）、環境科学、2、541-546、(1992)
- 3) 国立環境研究所：廃棄物埋立処分場に起因する有害物質曝露量の評価手法に関する研究、国立環境研究所特別研究報告、SR-28-99、(1999)。
- 4) Akio Yasuhara, Hiroaki Shiraishi, Masataka Nishikawa, Takashi Yamamoto, Osami Nakasugi, Tameo Okumura, Katashi Kenmotsu, Hiroshi Fukui, Makoto Nagase, Yasunori Kawagoshi : Organic components in leachates from hazardous waste disposal sites, Wate.Manage.Res., 17, 186-197, (1999).
- 5) 国立環境研究所：廃棄物埋立処分場における有害物質の挙動解明に関する研究、国立環境研究所特別研究報告、SR-40-2001、(2001)。
- 6) 行谷義治、鈴木茂、安原昭夫、毛利紫乃、山田正人、井上雄三：廃棄物埋立地浸出水および処理水中の無機成分、ジオキサン、フェノール類およびフタル酸エステル類の濃度、環境化学、12、817-827、(2002)。
- 7) 坂本広美：プラスチック製品に含まれる親水性化合物の溶出特性と最終処分場からの排出実態に関する研究、平成20年度神奈川県環境科学センター研究報告、第31号、76-85、(2008)。
- 8) 坂本広美、福井博、金子栄廣：最終処分場から排出されるプラスチック由来成分に関する研究、環境科学会誌、18、635-646、(2005)。
- 9) 久保正弘、山本努：最終処分場における化学物質の浸出特性について、香川県環境保健研究センター所報、4、172-179、(2005)。
- 10) 毛利紫乃、山田正人、庄司良、酒井康行：固形廃棄物の溶出試料の有害性評価法の検討、環境科学会誌、17、479-491、(2004)。
- 11) 高木総吉、宮野啓一、小泉義彦、安達史恵、渡邊功、織田肇：大阪府内水道水源および淀川水系における1,4-ジオキサンレベルの実態調査、環境化学、16、669-676、(2006)。
- 12) 宮田雅典、塩出貞光：1,4-ジオキサンの水源での実態及び高度浄水処理における挙動について、水道協会誌、73（第4号）、2-10、(2004)。
- 13) 牧野良次、蒲生昌志、佐藤修之、中西準子：1,4-ジオキサンの下水処理場における除去率について、水環境学会誌、28、211-215、(2005)。
- 14) 庄司成敬、阿部明美：1,4-ジオキサンおよび海面活性剤の事業所からの排出実態、用水と廃水、43、1046-1052、(2001)。
- 15) 倉田泰人：一般廃棄物最終処分場浸出水中の1,4-ジオキサンに関する考察、第21回廃棄物資源循環学会研究発表講演論文集、503-504、(2010)。
- 16) 稲森悠平、井坂和一、鈴木智、須藤隆一：廃棄物埋立地浸出水等に含有される微量化学物質ジベンゾフラン、1,4-ジオキサンなどの高度処理、用水と廃水、41、48-54、(1999)。
- 17) 三好益美、藤田久雄：1,4-ジオキサンの生物学的処理特性（第1報）、香川県環境保健研究センター所報、8、138-141、(2009)。
- 18) 吉崎耕大、村上郁、米津雄一、中河浩一：MBR および UV/オゾン法による工場排水中の1,4-ジオキサンの除去、第20回廃棄物学会研究発表会講演論文集、20、567-568、(2009)。

- 19) 谷本めぐみ、福岡寛、重本直也：排水中の 1,4-ジオキサンのガス・バブリング揮発と UV 照射分解挙動、化学工学論文集、36、611-616、(2010).
- 20) 久保正弘、藤田淳二：活性炭による 1,4-ジオキサン除去、香川県環境保健研究センター所報、4、188-190、(2005).
- 21) 杉浦勉、河野大樹：活性炭素繊維を用いた 1,4-ジオキサン含有排水処理、用水と廃水、866-870、(2010).
- 22) 吉崎耕大、中河浩一、堀井安雄：紫外線/過酸化水素法による排水中の 1,4-ジオキサンの分解、第 18 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、18、742-744、(2007).
- 23) 奥田健介、長谷川絵里、西田有希、西村文武、津野洋：オゾンによる 1,4-ジオキサンの除去特性に関する研究、第 19 回日本オゾン協会年次研究講演会講演集、79-82、(2010).
- 24) 西村文武、奥田健介、長谷川絵里、津野洋：オゾン・オゾン/過酸化水素処理による最終処分場浸出水からの 1,4-ジオキサンの除去に関する研究、環境工学研究論文集、47、497-505、(2010).
- 25) 稲森悠平、古山貴士、小沼和博、田中修三、石黒智彦、井坂和一、須藤隆一：生物物理化学的処理操作を組み込んだ埋立地浸出水に含有される 1,4-ジオキサンの高度処理、日本水処理生物学会誌、75.