

カートリッジ式ろ過膜モジュールシステムの ダイオキシン類汚染排水浄化効果

桑原正彦¹・渡辺幸夫²・小橋秀俊³・森啓年⁴

¹正会員 工修 不動建設株式会社 土木事業本部（〒103-8543 東京都中央区日本橋小網町6番1号）

²セントラルフィルター工業株式会社（〒160-0022 東京都新宿区新宿1-34-15）

³正会員 工博 独立行政法人 土木研究所（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）

⁴正会員 工修 国土交通省 国土技術政策総合研究所（〒305-0804 茨城県つくば市旭1）

ダイオキシン類は、水に難溶性であることから、主に水中では数ミクロン程度の極微小な懸濁物質に付着して、いわゆる懸濁態ダイオキシン類として存在していると考えられている。この懸濁物質を、限外ろ過膜を用いて固液分離することにより、ダイオキシン類を除去しようとするのがカートリッジ式ろ過膜モジュールシステムである。本システムは、ダイオキシン類が付着した微細なコロイド分や有機物などの懸濁物質をほぼ完全に除去でき、特に、浄化品質管理装置を備えているため、処理水のダイオキシン類の分析結果を待たずに即時放流を可能とする浄化システムとなっている。これまでに、2箇所の現場においてダイオキシン類汚染排水処理の浄化に適用し、環境基準を満足する処理効果を確認できた。

キーワード：ダイオキシン類, ろ過膜, 排水処理

1. はじめに

近年、工事現場でダイオキシン類汚染に遭遇する事例がでてきている¹⁾²⁾。ダイオキシン類による汚染が顕在化した建設現場においては、掘削時に発生する地下水、浚渫時の余水、汚染土壌の含有水や施工に用いた機械類・作業員の洗浄排水等は、ダイオキシン類により汚染された排水となる。

これらダイオキシン類に汚染された排水は、ダイオキシン類の汚染拡散防止のため、適切に処理することが必要となる。既存のダイオキシン類汚染排水処理システムは、固定プラントで用いられるものが多く、複雑な運転操作を必要としており、建設現場への適用が難しい³⁾。また、適用可能なものでも処理量が限られていたり、処理水の管理を常時行えないなどの課題がある。

そこで、これらの汚染水を確実に処理でき、信頼性の高い小型の可搬式処理装置として、ろ過膜モジュールを用いたダイオキシン類汚染排水処理システムが開発された。本技術は、独立行政法人土木研究所、不動建設(株)、セントラルフィルター工業(株)による共同研究の成果であり、特許技術である。

2. 排水処理システムの概要

(1) 処理原理

ダイオキシン類の分子量は200～800程度であり、粒子径は $0.001\mu\text{m}$ 程度といわれている⁴⁾。このため、排水中のダイオキシン類は、図-1によると、ナノろ過や逆浸透処理膜以外のろ過処理では除去できないと考えられていた。

しかし、ダイオキシン類に汚染された土壌や底質を対象に実施された実験では、環境庁告示第46号法

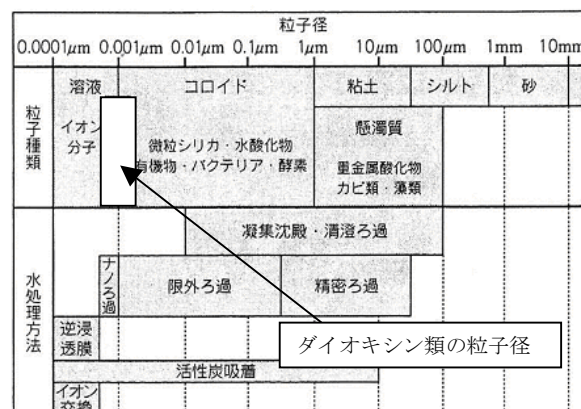


図-1 粒子径と水処理方法

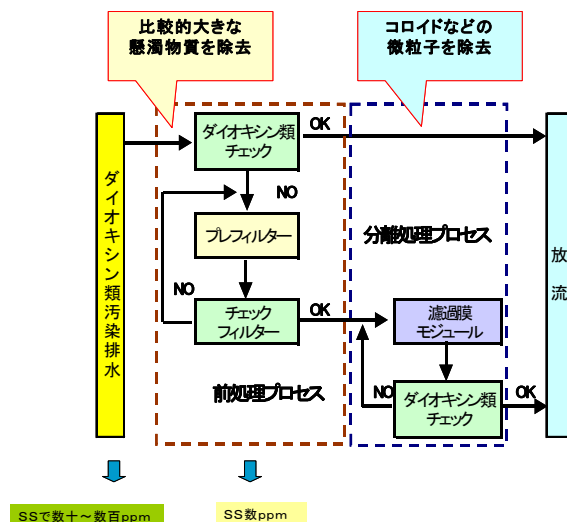


図-2 カートリッジ式ろ過膜モジュールシステムの処理フロー

による試験の条件下において、含有されるダイオキシン類のうち 1×10^{-7} (0.00001%) 程度しか水中に溶出しないとする試験結果が得られ、ほぼ水には難溶性といえること⁵⁾、水中でダイオキシン類は、数 μ 程度の極微小な懸濁物質に付着して、いわゆる懸濁態ダイオキシン類として存在していると考えられること⁶⁾から、排水中の懸濁物質を除去することにより、懸濁物質に付着しているダイオキシン類も同時に除去でき、ダイオキシン類汚染排水の浄化処理が十分に可能になると考えることができる。

(2) 処理フロー

懸濁物質を分離する方法には、凝集沈殿や清澄ろ過、活性炭による吸着、膜ろ過などの固液分離方法が用いられるが、懸濁物質を、限外ろ過膜を用いて除去しようとするのがカートリッジ式ろ過膜モジュールシステムである。

本システムは図-2 に示すように、前処理プロセスと分離処理プロセスとからなる。前処理プロセスではプレフィルターにより SS 濃度で数十～数百 ppm の汚濁水を数 ppm まで除濁する。分離処理システムは、中間タンク、カートリッジ式ろ過膜モジュール、浄化品質管理装置で構成され、ダイオキシン類が付着した微細なコロイド分や有機物などの浮遊物質をほぼ完全に除去し、清浄なろ過水を外部に排出する。

カートリッジ式ろ過膜モジュールは、クロスフローろ過方式で、汚染水は中空糸内部を膜壁面に沿って流れ、ろ過膜壁が浮遊物質の通過を阻止するので、

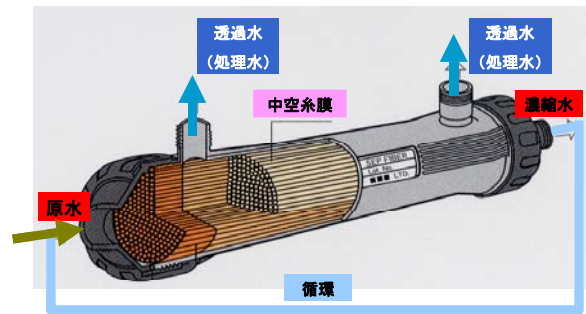


図-3 膜モジュールの構造



写真-1 浄化品質管理装置

水だけがろ過膜を通り抜けてろ過膜外に透過される（図-3参照）。

本システムの最大の特長は、浄化品質管理装置にあり、浄化水に存在するダイオキシン類が付着している微粒子をカウントし、一定量以上であれば、処理水を再ろ過するようにしている点である（写真-1）。

従前の現場では、流入する汚染排水のダイオキシン類濃度が変動するため、処理水のダイオキシン類濃度が所定の処理水の条件を満たしていることを分析により確認するために数週間を必要とし、その間、放流ができないばかりか、工事を中断せざるをえなくなることも想定された。一方、本システムでは浄化品質管理装置を備えているため、処理状況を常時確認できるので、常時放流を可能としている。

(3) システム諸元

本システムでは、(2)に示す前処理プロセスと分離処理プロセスを、写真-2 のように一体化している。分離処理プロセスは、処理フローの構成要素を幅 2.8m、奥行き 1.7m、高さ 2.0mの大きさにまとめている。予備の水槽の大きさにもよるが、前



写真-2 処理システム

処理プロセスを含めても、2m×5m程度のスペースが確保できれば適用可能である。消費電力は 5kwh, 処理能力は 5m³/hr である。

膜モジュールの本数を減ずることにより、3m³/hr 程度まで常時運転可能である。これより、処理量が少ないときは、原水槽に原水を貯蔵し、所定の量になってから処理を行う、間欠運転となる。

(4) システムの特徴

本システムの特長を列挙すると以下のようになる。

- ・ダイオキシン類を含む汚染排水を、精密ろ過装置で排水基準値 (10pg-TEQ/L) (条件により水質環境基準値 (1pg-TEQ/L)) 以下に浄化処理が可能。
- ・ろ過膜モジュールと浄化品質管理装置による汚染漏洩システムを装備しているため、常時放流が可能。
- ・全自動運転により運転管理が簡素化し、さらに冬季凍結防止システムも装備。
- ・処理現場へ容易に搬送可能で、ろ過膜モジュール数を変更することで処理水量の変化に対応可能。
- ・処理後の廃棄物は、膜モジュールと濃縮されたスラッジのみと少量。

3. 排水処理システムの処理効果

(1) 基礎実験⁷⁾

カートリッジ式ろ過膜モジュールによる処理効果を確認するため、基礎実験を行った。

a) 実験方法

実験は、ダイオキシン類に汚染された排水を下記により人工的に作成し、小型のカートリッジ式ろ過膜モジュールシステムを用いて、浄化処理することにより実施した。なお、膜モジュールの孔径は、

0.01 μm のものを使用した。

- ・汚染排水 A：農薬工場に起因するダイオキシン類で汚染された河川底質より作成した。
- ・汚染排水 B：焼却場に起因するダイオキシン類で汚染された土壌より作成した。

b) 実験結果

汚染排水 A のダイオキシン類濃度は、表-1 に示すように、原水 (23 pg-TEQ/L) を分離処理した結果、0.031 pg-TEQ/L となった。汚染排水 B (3,800 pg-TEQ/L) では、3.7 pg-TEQ/L となった。分離処理後は、両試料ともにダイオキシン類が 99.9%程度除去された。

表-1 実験結果

ケース	原水濃度 pg-TEQ/L	分離処理後 pg-TEQ/L	除去率
汚染排水 A	23	0.031	99.9%
汚染排水 B	3,800	3.7	99.9%

(2) 膜孔径による処理性能の確認⁸⁾

限外ろ過膜の孔径と処理効果との関係を把握するため、ろ過膜の孔径を変えた排水処理実験を行ない、ダイオキシン類汚染排水処理における適用可能な膜孔径範囲についての考察を行った。

a) 実験方法

表-2に示す4種類の孔径をもつ膜モジュールについて、焼却場に起因するダイオキシン類汚染土壌により作成した汚染水に対し、ろ過膜モジュールを用いた実験を実施した。

表-2 膜モジュールの仕様

膜モジュール	孔径 (μm)	分画分子量
1	0.003	10,000
2	0.005	30,000
3	0.01	150,000
4	0.05	500,000

b) 実験結果

実験結果を図-4 に示す。この結果、同一の汚染土壌により作成した汚染排水により、膜モジュールによるろ過処理試験を行なうと、膜モジュールの孔径と処理水中のダイオキシン類濃度には、強い相関関係が得られ、適切な膜モジュールの選定が重要であること、また、それにより、ろ過後の処理水中のダイオキシン類濃度を水質環境基準である 1pg-TEQ/L 以下 (最小 0.27pg-TEQ/L) まで除去できることが明らかとなった。

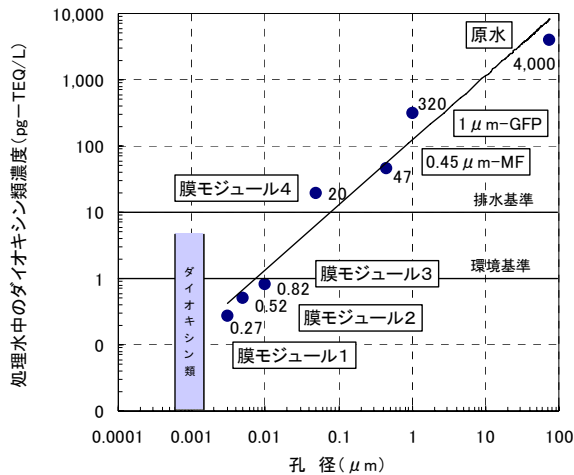


図-4 膜モジュールの孔径と処理水中のダイオキシン類濃度の関係

注) GFP: ガラス繊維フィルター

MF: 精密ろ過膜

このことは、膜モジュールシステムを現場に適用するにあたり、最適な膜モジュールを選定することにより、性能を確保しつつ経済的に優れた排水システムの構築が可能であることを示唆している。

4. 適用事例

(1) 予備試験

本システムを用いる場合に、放流品質と処理量を確保できるよう適切にカートリッジ式ろ過膜モジュールを選定することが重要である。

膜モジュールシステムは、その透過する分子の大きさ（以下分画分子量）で規格されている。現在のところ、150,000分画と30,000分画のカートリッジ式ろ過膜モジュールシステムを適用し、浄化試験を実施している。

分析に必要なサンプルを約100L準備し、膜モジュールが装着できる、トランク型テスト装置（図-5 参照）を用いて、ろ過を実施する。本装置は、膜モジュールとそれを固定する治具、膜モジュールに試料となる原水を圧送するポンプ、配管とから構成されている。ろ過ポンプ起動には、電源（100V）が必要である。この試験結果より、所要の浄化効果、単位時間あたりの浄化量を満たす膜モジュールを選定する。予備試験の状況を写真-3に示す。

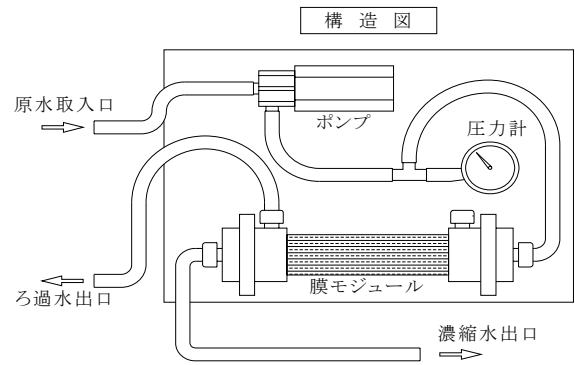


図-5 トランク型テスト装置



写真-3 予備試験の状況

(2) 適用事例A

当現場では、ダイオキシン類に汚染された焼却灰（地表部：2,400～5,800pg-TEQ/g、地中部：8,900pg-TEQ/g以下）が確認された。その掘削・撤去は、作業箇所を汚染拡散防止のため防塵建屋で覆い実施されたが、建屋内部の粉塵抑制のために噴霧される水、掘削機械などの洗浄水、作業員の洗浄水、車両の足回りの洗浄水を浄化するために、凝集沈殿の後工程に本システムが適用された。

当該地区での浄化効果は、表-3に示すように、ダイオキシン類毒性等量は、水質環境基準（1pg-TEQ/L）以下を達成する浄化レベルであった。なお、異性体毎に整理した図-6より、カートリッジ式ろ過膜による物理的な処理であるため、他の異性体に変化するようなことはなく、ダイオキシン類がすべての異性体に関して減少している。なお、当該地区における処理システムは、写真-2を参照されたい。

表-3 適用事例Aにおける浄化効果

原水濃度 pg-TEQ/L	処理後 pg-TEQ/L
3,900	0.00015

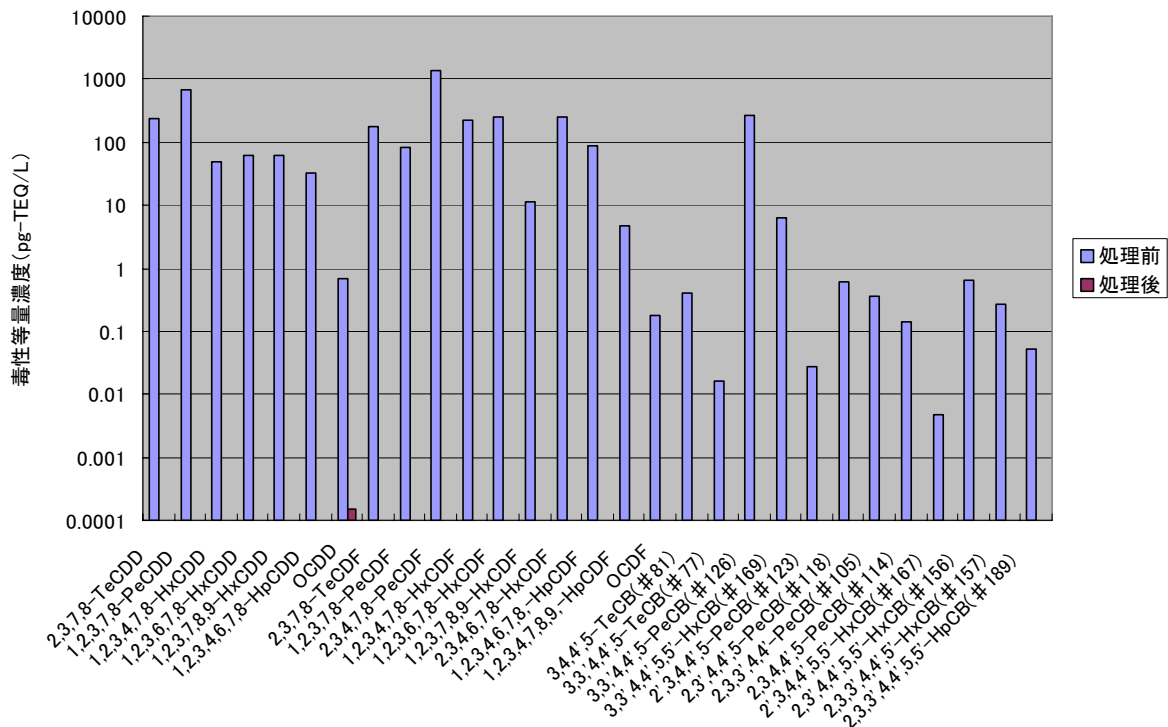


図-6 適用事例 A における異性体毎のダイオキシン類毒性等量濃度

(3) 適用事例B

当該地区は、ダイオキシン類に汚染された底質の不溶化処理での汚染排水の浄化に、本システムが適用された。施工区域における底質のダイオキシン類の濃度は、1,000～19,000pg-TEQ/gである。当該地区は、ダイオキシン類に汚染された河川の底質の汚染拡散処理として、不溶化処理を行なうものであるが、水深が浅いため、矢板で遮水し、内部をドライアップして施工することとなった。

当該地区の水処理に関しては、このドライアップ時の排水の浄化を、主に凝集沈殿で対応し、原水の性質が変化して、凝集沈殿で対応できない場合にカートリッジ式ろ過膜モジュールシステムを用いる二段構えの水処理方法が採用された。結果的には、当該地区は、凝集沈殿で所要の条件を確保したが、装置搬出時の洗浄水浄化等のため、凝集沈殿の後工程に本システムが適用された(写真-4 参照)。

当該地区での浄化効果を、表-4 に示す。

表-4 適用事例 B における浄化効果

原 水 濃 度 pg-TEQ/L	処理後 pg-TEQ/L
6,400	0.054



写真-4 適用事例 B で用いたシステム

また、異性体毎の整理結果を図-7 に示す。適用事例 A の場合と同様、処理後は、他の異性体への変化等は認められず、ダイオキシン類毒性等量は、水質環境基準（1pg-TEQ/L）以下を達成する浄化レベルであった。

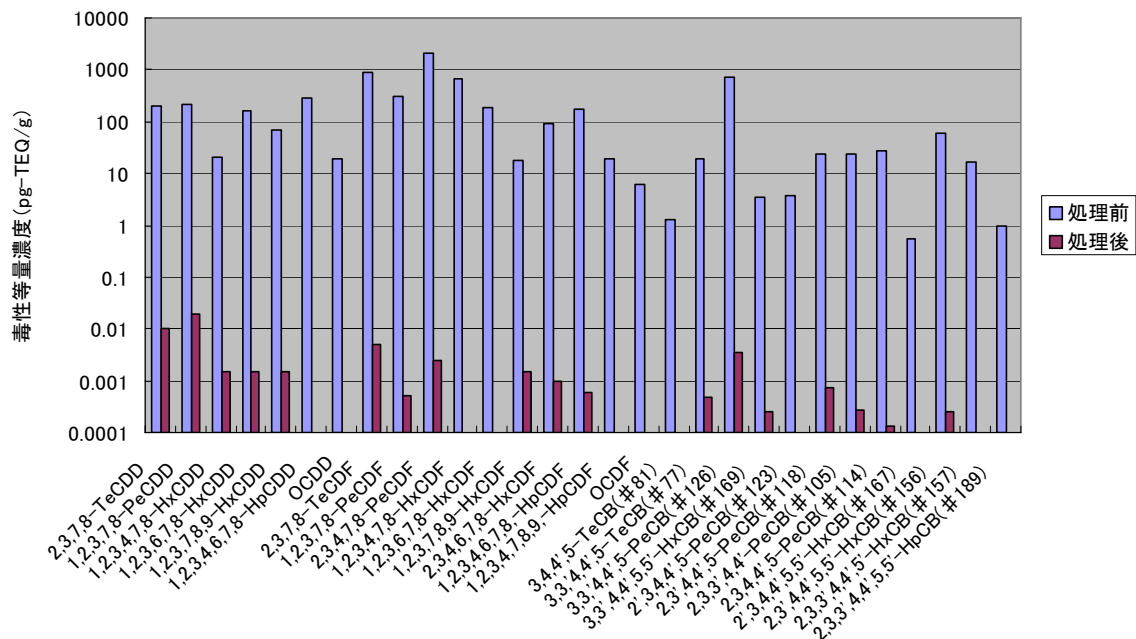


図-7 適用事例Bにおける異性体毎のダイオキシン類毒性等量濃度

5. まとめ

本文では、カートリッジ式ろ過膜モジュールシステムについて、基礎実験、膜孔径による処理性能確認実験、適用事例により、その効果を明らかにした。

すなわち、基礎実験では、ダイオキシン類濃度：23 pg-TEQ/L, 3,800 pg-TEQ/L の処理試験の結果、ダイオキシン類濃度はそれぞれ 0.031 pg-TEQ/L, 3.7 pg-TEQ/L となり、排水基準の 10pg-TEQ/L 以下に低減出来た。

また、現場において適用する際に最適な膜モジュールを選定することにより、その性能を確保しながら経済的にも優れた排水システムを構築することが可能であることを示した。

実際に、膜の選定の予備試験を行い現場に適用した結果、これまでに実施した2つの適用事例では、水質環境基準レベルを達成できる浄化効果が得られた。

参考文献

- 1) 豊田浩：TRD併用鉛直遮水シート工法による連続地中壁の施工-鶴見川多目的遊水地土壌対策工事-, 土木施工, pp. 2-8, 2002. 4.
- 2) 永松義敬：圏央道（八王子北IC（仮称））におけるダ

イオキシン類を含む焼却灰等の無害化処理の実施について, 道路, pp. 58-60, 2005. 11.

- 3) 桑原正彦, 松下正憲, 渡辺幸夫：ダイオキシン類による汚染排水の処理法-カートリッジ式ろ過膜モジュールシステムの開発-, 土木技術, pp. 96-103, 2003. 11.
- 4) Karlheinz Ballschmiter, Reiner Bacher：ダイオキシン-化学・分析・毒性-, (株)エヌ・ティー・エス, pp. 35-80, 1990. 10.
- 5) 森啓年, 小橋秀俊, 柴田靖：建設現場で遭遇するダイオキシン類汚染対策マニュアル（素案）-拡大防止措置について-, 土木技術, 2003. 10.
- 6) 改訂二版用水廃水便覧編集委員会編：改訂二版用水廃水便覧, 丸善(株), p. 140, 1973. 10.
- 7) 松下正憲, 桑原正彦, 渡辺幸夫, 森川泰, 恒岡伸幸, 森啓年：カートリッジ式膜モジュールによるダイオキシン類汚染土壌からの排水処理, 地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会第9回講演集, pp. 132-133, 2003. 6.
- 8) 工藤章光, 森啓年, 柴田靖, 小橋秀俊, 桑原正彦, 渡辺幸夫：膜モジュールを用いたダイオキシン類汚染排水処理システムの開発-ダイオキシン類汚染排水のろ過処理実験-, 地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会第10回, pp. 363-366, 2004. 7.