医科大学，病院より排出される廃棄物の 微生物学的処理に関する研究

第2報 パイロットプラントによるクレゾールの 処理に関する実験

Microbiological Studies on Waste Water Treatment from
Medical Schools and Hospitals
(II) Treatment of cresol with trickling tower plant

京都大学医学部衛生学教室

狭 山 信 矩

Nobunori Sayama

Department of Hygiene, Faculty of Medicine, Kyoto University, Kyoto

In this paper, author describes the results of the efforts to treat cresol using a trickling tower plant which was built on the campus of Kyoto University. This model plant consisted of a tower (height: 4.75 m) containing plastic spray filter beds (total surface area 74 m²), an aeration tank (100 liters), a settling basin tank (50 l), a circulation tank (20 l) and a tank for nutritive elements (100 l). The waste water containing cresol was sprinkled from the top of the tower and cresol was treated by the bacteria grown on the filter beds. It was found that up to 400 liters of a 500 ppm of cresol solution could be treated in 24 hours using such apparatus. As the equipment for this plant requires an area of only 3 m², it appears very applicable for use in the treatment of disinfectants discarded from medical schools and hospitals.

著者は第1報¹⁾において医科大学や病院より排出される消毒薬のうちクレゾール，フェノール，ホルマリン等について京都市鳥羽下水処理場より採取した活性汚泥を用いて細菌学的に分解する好適条件等を見出すための基礎実験を報告したが，本報ではその結果に基づき京都大学医学部構内に中規模のパイロットプラントを建設し，クレゾールの微生物学的連続処理法の可能性についての検討を行った結果を報告する。

実験材料ならびに実験方法

(1) パイロットプラント

試作した充填塔式散水濾床装置（極東エンジニアリング社）の概略を図1及び写真1に示す。濾床塔の高さは4.75 mでその内部には表面積約74 m²のプラスチック製濾床（大日本プラスチック製，0.5×0.5×0.5 m 4個）を充填し，塔の直下には100 lの曝気槽を，またそれに

隣接して50 lの沈殿槽及び20 lの循環槽を設置した。また原排水貯蔵のため1,000 lの原排水槽を，また微生物への配合栄養剤用の100 lのタンクを付属的に設置し

図1 充填塔式散水濾床装置の模式図

写真 1 パイロットプラントの全景

た。原排水槽中のクレゾール水は一定量ずつ持続的にポンプで循環槽に投入し，ここからポンプで濾床塔の最上部へ送り散布した。散布された排水は濾床に付着した微生物膜に接触，処理された後曝気槽へ落下し，ここでさらに好気性菌により分解され，次の沈殿槽へ流入し，オーバーフローしたものは処理水として流出するようにした。曝気は槽の底部より最大流量 27 l/min のエアープンプを用いて行った。また循環水の水温調節は，1 kW の投げ込み式ヒーター 2 個を循環槽中に設置することにより行った。

(2) クレゾール処理細菌源

第 1 報と同じく京都市鳥羽下水処理場より採取した活性汚泥を微生物源としてこの装置の循環槽に 40 l 投入し，水道水を加えて全水量を 170 l とした。

(3) 試験排水（模擬排水）

原排水として局方のクレゾール石けん液を所定の濃度に希釈し，原排水槽に貯蔵し，一定量ずつポンプで循環槽内に投入した。

(4) 配合栄養剤

濾床に存在する細菌に必要な窒素，リン，マグネシウム，鉄等の無機塩類で作った配合栄養剤を本装置の循環

表 1 配合栄養剤の組成

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0.5 g/l (circulating water)
K_2HPO_4	1.0
MgSO_4	0.2
NaCl	0.1
CaCl_2	0.1
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.02

図 2 クレゾール分析のガスクロマトグラム

水 1 l につき表 1 に示すような割合で，2 日に 1 回，循環槽中に投与した。

(5) 循環水 pH

配合栄養剤の硫酸アンモニウムと炭酸アンモニウムを適宜使いわけて投与すること等により循環水の pH を 7～8 に保った。

(6) クレゾール濃度の測定

原排水及び処理排水中のクレゾールはガスクロマトグラフィー（島津 GC4BMPFE 型）により定量した。クレゾール水溶液 5 μl を直接ガスクロマトグラフに注入し，検出器は FID を用いた。検出器温度 200°C，カラム温度 170°C，キャリアガス (N_2) 流量 60 ml/min の条件で充剤として 10% FFAP on cromosorb W を 2 m ガラス管カラムに充填して分析を行った。図 2 にガスクロマトグラムの 1 例を示す。

実 験 結 果

(I) パイロットプラントの運転条件の検討

この装置の最適処理条件を求めるために以下の諸条件について検討を行った。

(1) 活性汚泥のクレゾールへの馴化

このパイロットプラントはクレゾールを生物学的に処理するものであるから、活性汚泥中の細菌をクレゾールに馴化させるため、低濃度の処理実験から開始した。水温20℃、曝気量 27 l/min、濾床への散布量 350 l/hr の条件で第1日目には循環水量 170 l に対して 50 ppm となるようにクレゾール石けん原液を投入した。24時間後に循環水中にクレゾールが検出されないのを確認後、2日目は75 ppm となるようにして処理実験を行った。このようにして表2に示すように次第にクレゾールの濃度を高めてゆくと 1,250 ppm までは24時間後の循環水中クレゾール濃度は0であったが、1,500 ppm では、25 ppm の残留クレゾールを認めた。このように処理能力が増大した状態ではプラスチック製濾床の表面には厚さ約 1 mm、淡黄色の微生物膜の付着を認めた。

(2) 循環水温と処理時間との関係

前述のように活性汚泥がクレゾールに充分馴化した状態で曝気量 27 l/min、散布水量 350 l/hr、循環水中のクレゾール濃度 1,000 ppm の条件で水温変化によるクレゾール分解時間の変動を測定した。その結果は図3に示

表2 活性汚泥のクレゾールへの馴化

日	投 入 クレゾール量 (gr.)	循環水中クレ ゾール濃度 (ppm)	24時間後の循環 水中クレゾー ル濃度(ppm)
1	8.5	50	0
2	12.75	75	0
3	17.0	100	0
4	25.5	150	0
5	34.0	200	0
6	42.5	250	0
7	51.0	300	0
8	59.5	350	0
9	68.0	400	0
10	85.0	500	0
11	102.0	600	0
12	119.0	700	0
13	136.0	800	0
14	153.0	900	0
15	170.0	1,000	0
16	187.0	1,100	0
17	212.5	1,250	0
18	255.0	1,500	25
19	340.0	2,000	25

すように13~25℃までは循環水中のクレゾールが完全に分解されるのに要する時間は14~16時間であったが水温10℃では20時間を要した。また水温5℃以下ではほとんど処理不可能であり0℃においては濾床が凍結し、完全に処理不可能となったばかりでなく、解氷時に濾床表面の微生物膜が剝離し全くその機能を失った。

(3) 曝気量

水温20℃、散布水量 350 l/hr、循環水中クレゾール濃度を 1,000 ppm とし、曝気量を変化させて処理実験を

図3 水温が処理時間に及ぼす影響

図4 曝気量と処理時間の関係

行った。その結果は図4に示すように曝気量を 27 l/min, 20 l/min, 10 l/min, 5 l/min, 0 l/min の5段階に変化させて検討したが 27 l/min, 20 l/min, 10 l/min では循環水中のクレゾール濃度が 0 となるのに14時間を要し 5 l/min では16時間かった。0 l/min の場合，すなわち曝気を停止した状態では，初回は19時間で処理された。しかしさらにこの後，引き続きクレゾールを循環水中濃度が 1,000 ppm となるように加えたところ，このように曝気を停止したままの状態では48時間後においても循環水中クレゾール濃度は 170 ppm (17%) 低下したにすぎなかった。またこのように曝気を停止すると次第に嫌気性菌の作用によると思われる臭気が増大してきた。したがってこの装置では散布によるほかに，曝気が必要であることがわかった。

(4) 濾床への散布水量 (循環水量)

水温20℃，曝気量 27 l/min において，500 ppm のクレゾール石けん液を原排水槽にためておき，ポンプで循環水中に 650 l/day の割合で持続的に投入し，投入開始より1時間毎に処理排水中のクレゾール濃度を測定した。即ち本装置の処理能力を超過するクレゾールの投入を行い，処理排水中に検出されるクレゾールのもれを測定することにより，散布水量とクレゾール処理との間の相関関係について検討し，最適散布量を求めた。その結果は図5に示すように散布量が 350 l/hr の時に処理水中のクレゾールのもれが最少であった。したがってこの装置では散布水量が350 l/hr の時処理能力が最大であっ

図5 散布量と処理水中のクレゾール濃度との関係

図6 処理排水中のクレゾール濃度

た。

(II) 連続処理実験

装置内の微生物をクレゾールに充分馴化し 1,000 ppm まで処理できるようになった時点で，容積 1 m³ の原排水槽に模擬排水として 500 ppm のクレゾール石けん液を貯蔵しておき，ポンプで毎日，量を増加させて循環槽に連続的に投入した。処理条件は前記の実験で求めた値すなわち水温13～25℃，曝気量 27 l/min，散布水量 350 l/hr を用いて行った。第1日目には 50 l の 500 ppm クレゾール液を24時間かけて連続投与し，処理排水中にクレゾールのもれがないのを確かめた。このように処理排水中にクレゾールがもれないのを確認しながら2日目には 100 l/day，3日目には 150 l/day というように毎日投入量を増加した。この結果は図6に示すように，1日400 lまでは処理排水中のクレゾール濃度は0であったが，450 l/day に増量投与すると約 10 ppm のもれがあり，以後増量すればそれに応じて処理排水中のクレゾール濃度も増加した。

考 察

クレゾール，フェノール，ホルマリン等の処理方法としては化学的，物理的，生物学的処理方法があるが，これらの物質は他の有機性廃水と同じく微生物学的処理，すなわち活性汚泥法や散布濾床法で処理しやすい廃水と考えられる²⁻⁵⁾。活性汚泥法は良好な処理排水が得られる反面，広大な敷地や高度の維持管理を要し小規模のパイロットプラントには不向きである。一方，処理原理を同じくする散布濾床法は従来，濾床の充填材に碎石を使用したので風化をおこす点や濾床の重量が大きいため塔式にできない等であって設置面積が大であった。しかしポリ塩化ビニル製の濾床を使用した高能率の濾床法^{6,7)}が考案され，これを使用した本実験の装置は濾床の軽量

化のため塔式に建設可能となり、設置面積も 3 m^2 でよくパイロットプラントには最適であると考えこの装置を設計、建設し実験を行ったのである。このような微生物学的処理の場合には種々の報告^{8~10)}が示すように微生物をクレゾールに馴化させねばならない。本装置においてもフェノールの処理実験の報告^{8,10)}や第1報で報告したのと同程度にまで馴化することができたから、細菌がクレゾールに馴化し増殖した場合には装置の大小によらずほぼ同程度の濃度のクレゾールが分解できることが明らかとなった。

生物学的処理を行う場合の循環水温度に関する報告^{8,11)}では $30\sim 37^\circ\text{C}$ が最適範囲とされているが、本装置に於ては $13\sim 25^\circ\text{C}$ に於てほぼ一定した処理能力を示した。本プラントを屋外に設置したために、夏季における最高水温は 25°C 程度であるから温度上昇による問題が生ずることはなかったが、冬季には濾床が凍結、剝離し全く機能を失ったので、循環水または濾床塔を 13°C 以上に加温する必要があった。また夏季には沈殿槽にハエが産卵し、その幼虫が濾床を荒らすという事故が発生したので、このような昆虫に対する処置も必要と考えられた。

曝気量に関する報告^{8,11,12)}によると、活性汚泥法ではその量が大なる程効率が良いようであるが、今回実験を行った充填塔式散布濾床法では曝気量による顕著な処理能力の変化は認められなかった。しかし曝気を完全に停止した場合、その直後では少し処理時間が延長する程度であるが、そのまま曝気せずに放置すると処理能力は著しく低下し、悪臭を発するようになる。これは、濾床の空隙が一定でかつ充分な距離がとってあるのでそこに含まれる酸素を好気性菌が利用するが、それが欠乏する頃より処理能力が低下し始め、嫌気性菌の分解がそれに伴い開始されたためであると考えられる。したがって停電、もしくはポンプ等の故障で曝気が一時的に停止した場合、一般の活性汚泥法のように曝気の停止によって処理水中にクレゾールが直ちに漏出するようなことはないとしても、曝気は本装置においても絶対必要な条件であることは確実である。

本装置を用いた連続処理実験では純クレゾールとして1日約 200 g の処理が可能であったが、実際に工業規模で運転されている活性汚泥法による装置でもフェノールの1日処理量は、曝気槽 1 m^3 あたり $250\sim 350\text{ g}$ と報告され^{8,9,11,13~15)}ているので、装置の単位面積あたりの処理量はほぼ同程度と考えられる。また、京都大学医学部より排出されるクレゾール量は年間、純クレゾールとして約 700 kg であるとみられるからこのパイロットプラ

ントの10倍の処理能力を持つ装置を建設すれば、学内の全クレゾール廃液を処理できると考えられる。

結 論

(1) 京都大学医学部衛生学教室裏中庭に中規模の充填塔式散水濾床法による濾床表面積 74 m^2 のパイロットプラントを設置して、京都市鳥羽下水処理場の活性汚泥を微生物源としたクレゾールの分解実験を行った。

(2) 本装置の諸条件を検討した結果、以下の成績を得た。pH $7\sim 8$ 、水温 $13\sim 25^\circ\text{C}$ 、散布量 350 l/hr 、曝気量 $5\text{ l/min}\sim 27\text{ l/min}$ が最適処理条件である。したがって本装置では冬季は加温が必要である。

(3) 上記の最適条件によって処理可能なクレゾールの量は純クレゾールとして1日約 200 g であって、一般の活性汚泥法と単位面積当りの処理能力に変わりはないが、大学の如き狭隘な土地しか持たない場所には、本装置は極めて適している。

謝 辞

稿を終えるにあたり、御指導と御校閲を賜った藤原元典名誉教授、ならびに糸川嘉則教授に深甚なる謝意を表します。なお、本研究の一部は昭和51年度文部省特定研究費の補助によって行ったものです。

文 献

- 1) 狭山信矩：医科大学，病院より排出される廃棄物の微生物学的処理に関する研究(第1報)クレゾール，フェノール，ホルマリンに関する基礎的実験，日衛誌，**34**，733-742(1980)。
- 2) 大森俊雄：微生物による芳香族炭化水素の酸化，石油と微生物，**5**，10-27 (1971)。
- 3) Hopper, D. J. and Taylor, D. G.: Pathways of the Degradation of m-Cresol and p-Cresol by *Pseudomonas putida*, J. Bacteriol., **122**, 1-6 (1975)。
- 4) John, A. Buswell: Metabolism of Phenol and Cresol by *Bacillus stearothermophilus*, J. Bacteriol., **124**, 1077-1083 (1975)。
- 5) Ribbons, D. W.: Metabolism of o-Cresol by *Pseudomonas aeruginosa* strain T1, J. Gen. Microbiol., **44**, 221-231 (1966)。
- 6) 鈴木和郎：塔式散布濾床法による食品工場の廃水処理について，食品工業，**3**，41-47 (1972)。
- 7) 石丸喜三郎，渡辺国雄，伊藤哲夫：フロコア方式による廃水処理について，New Food Industry，**14**，

49-55 (1972).

- 8) 山内大学，遠矢泰典，井出哲夫：フェノール廃液の活性汚泥処理，用水と廃水，**7**，534-541 (1965).
- 9) 中塩真喜夫：産業廃水処理への活性汚泥の応用，化学工学，**28**，84-90 (1964).
- 10) 福岡誠一，小野英男，江藤穂積：フェノール性工場廃水の活性汚泥法，醸酵工誌，**43**，191-197 (1965).
- 11) 中塩真喜夫：活性汚泥法によるガス液のフェノール処理，水処理技術，**7**，25-32 (1966).
- 12) 福岡誠一，江藤穂積，小野英男：特殊産業廃水の微生物処理に関する研究，醸酵研究報告，**28**，107-115 (1965).
- 13) Nakashio, M.: Phenolic Wastes Treatment by Activated Sludge Process, J. Ferment. Technol., **47**, 389-393 (1969).
- 14) 吉田高年：工業廃水の脱フェノール処理，用水と廃水，**9**，1-5 (1967).
- 15) 吉田高年，永井建太郎：脱フェノール処理研究のすう勢，用水と廃水，**12**，12-20 (1970).

(受付 1979年10月4日)