



Title	中空糸膜を用いた浸漬型膜分離活性汚泥法におけるFlux向上の検討
Author(s)	森, 康輔; 佐久間, 博司; 市原, 昭
Description	第9回衛生工学シンポジウム (平成13年11月1日 (木) -2日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 4 水処理 1 . 4-6
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 9, 214-219
Issue Date	2001-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7173
Type	departmental bulletin paper
File Information	9-4-6_p214-219.pdf



4-6

中空糸膜を用いた浸漬型膜分離活性汚泥法 における Flux 向上の検討

○森 康輔、佐久間 博司、市原 昭 (荏原製作所)

1. はじめに

浸漬型膜分離活性汚泥法は病原性微生物を含め完全なSS除去が可能であり、高度な処理水を得ることができる。また、MLSSを高濃度に維持できることから、容積負荷を高く取ることが可能である。このことから本法を下水処理へ適用することが検討されている。

従来、浸漬型膜分離活性汚泥法に用いてきた中空糸膜のFluxは0.2m/d程度であり、比較的低濃度で水量の多い下水処理へ適用することを考えた場合、膜のFluxを向上させる必要がある。このため、従来よりも糸径が太く糸長が短い新型の中空糸膜を使用して通水実験を行い、Flux向上の検討を行った。

実験は新型中空糸膜モジュールを用いて従来の2倍のFlux(0.4m/d)で連続通水実験を行い、膜性能の評価および運転条件の検討を行った。また、連続通水中の新型膜モジュールについてインライン洗浄を実施して、効果的な洗浄条件を検討した。ここでは、実験を通して得られた知見について報告する。

2. 実験装置

2-1. 膜の仕様

表1に従来膜と新型膜の仕様を示した。新型膜の公称分画孔径は0.4 μ mであり、従来膜の0.1 μ mと比べて分画孔径が大きい。また、新型膜の糸長は短く、糸径は太い。

図1に膜エレメントの概略図を示す。図(c)の新型膜Bエレメントは図(b)の新型膜Aの集水管をつなげて従来膜ユニットに設置可能としたエレメントである。

表2に膜モジュールの仕様を示す。

従来膜モジュールは図1(a)に示したエレメント1枚を用いた。新型膜Aモジュールは図1(b)に示したエレメントを高さ方向に2段と横方向に7列セットした。新型膜Bモジュールは図1(c)に示したエレメントを、高さ方向に2段セットした。

表1 実験膜の仕様

実験膜	公称分画孔径 (μ m)	糸長/外径/内径 (mm)
従来膜	0.1	750/0.41/0.27
新型膜	0.4	360/0.54/0.36

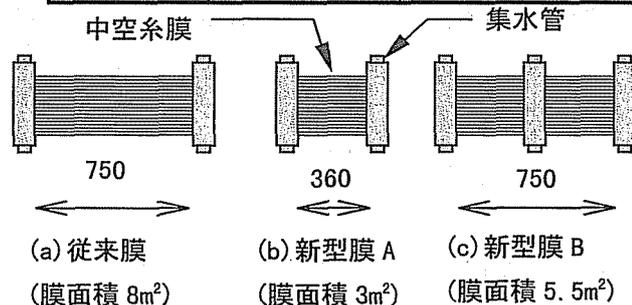


図1 膜エレメント概略図

表2 膜モジュールの仕様

	従来型膜	新型膜 A	新型膜 B
膜面積 (m ²)	8	42	11
エレメント 数	1 (1段×1列)	14 (2段×7列)	2 (2段×1列)

2-2. 実験装置

図2に実験装置のフローを示す。膜浸漬槽の大きさは $W1500\text{mm} \times L3000\text{mm} \times H2500\text{mm}$ であり、有効容積は 9m^3 である。

原水は BOD 濃度がおよそ 2000mg/L の清涼飲料水廃液を用い、BOD:N:P が $100:5:1$ になるように窒素とリンを添加し、膜浸漬槽へポンプにより定量供給した。BOD-SS 負荷は'98 年 12 月から'99 年 3 月まで 0.035kg/kg/d とし、それ以降は $0.05 \sim 0.1\text{kg/kg/d}$ の範囲で運転した。

MLSS は $9000 \sim 13000\text{mg/L}$ の範囲で適宜排泥しながら運転した。

膜透過水はポンプにより吸引し、そのうち約 $4.5\text{m}^3/\text{d}$ を系外に排水、残りは浸漬槽に戻した。ろ過方式は各膜ともに 13 分ろ過-2 分停止の間欠吸引とし、Flux 一定の定量ろ過とした。

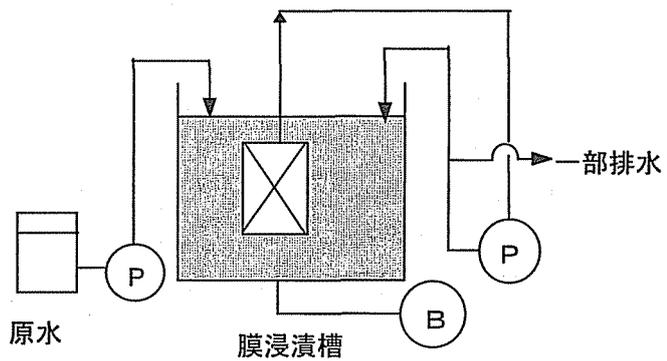


図2 実験装置フロー

3. 膜性能の評価・運転条件の検討

3-1. 実験方法

(1) 連続実験

運転条件を表3に示す。

従来膜と新型膜 A の吸引時 Flux は'99 年 2 月まで 0.3m/d とし、'99 年 3 月以降は 0.4m/d とした。新型膜 B は'99 年 7 月から吸引 Flux 0.4m/d で運転を開始した。

(2) 清水実験

連続運転中の新型膜 B について、清水中における Flux 0.4m/d での膜間差圧を測定した。本実験では運転時における差圧を、水洗浄やスポンジ洗浄により回復する差圧(膜外差圧)とスポンジ洗浄後に残る差圧(膜内差圧)に分け、それぞれの差圧の変化を調査した。

本実験は通水開始 1 日後の 7 月、差圧が安定していた 9 月、生物処理の悪化により差圧が上昇した 11 月および、差圧が回復した 5 ヶ月後の 12 月に行った。

(3) 流量変動実験

新型膜が一時的な流量増加に対応できるかどうかを確認するために、24 時間 Flux を通常の 3 倍 (1.2m/d) にした実験を行い、実験期間中および実験前後の膜間差圧の変化を調査した。本実験ではおよそ 2 ヶ月間連続運転中の新型膜 B を用いて、9 月に行った。

3-2. 結果および考察

(1) 連続実験

水温、透過水 BOD 濃度、Flux、BOD-SS 負荷、DO、膜間差圧の経過を図3に示す。なお、膜間差圧は 20°C に温度補正した値を示す。

透過水中の BOD 濃度は、BOD-SS 負荷を 0.035kg/kg/d から 0.1kg/kg/d へ上げた 4 月と停電が続いた 9 月下旬から 10 月上旬に 200mg/L 程度まで上昇したが、それ以外の期間は 3mg/L 以下であった。

表3 運転条件 (Run. 1: '98.12~'99.12)

	従来型膜	新型膜 A	新型膜 B
通水期間	'99.1 ~'99.6	'98.12 ~'99.12	'99.7 ~'99.12
吸引 Flux (m/d)	0.2~0.4	0.3~0.4	0.4
曝気速度*1 ($\text{Nm}^3/\text{m}^2/\text{min}$)	2.3	2.3	2.3

*1 ユニット断面積あたりの通過空気量

DOはBOD-SS負荷が増加した4月、停電があった6月下旬と9月から10月にかけて、0まで低下した。

<新型膜の膜間差圧>

吸引Flux0.3m/dで通水を開始すると、差圧は徐々に上昇し、2月は20kPa程度で安定した。

2月26日に次亜洗浄を行い、吸引Flux0.4m/dで通水を再開すると、2週間程でおよそ20kPaとなった。

DOが低下し透過水中にBODが残留した4月は差圧が若干増加したものの、5月から10月半ばまでは、DOが一時的に低下した6月下旬を除き、およそ20kPaで安定していた。

停電により膜浸漬槽のDOが低下した10月以降は、差圧は徐々に上昇し、11月下旬には30kPaとなった。

膜を水洗して通水を再開すると、差圧は約25kPaまで低下した。

新型膜Bは通水1ヶ月で20kPa程度になり、その後は新型膜Aとほぼ同様に推移した。

以上の結果より、新型膜は安定した生物処理の管理を行うことで、Flux0.4m/dでの運転が可能であるとの知見を得た。

<従来型膜の膜間差圧>

吸引Flux0.3m/dで通水を開始してからおよそ1ヶ月で差圧は20kPaとなった。2月下旬に次亜洗浄を行い、吸引Flux0.4m/dで通水を再開すると、差圧は30kPaまで上昇したため、Fluxを0.2m/dに下げた。4月に再びFluxを0.4m/dとして運転したが、生物処理状況の悪化もあり、差圧は上昇して4月下旬に35kPaとなった。膜を水洗後、運転を再開したが、6月下旬に差圧は38kPaとなった。

以上の結果から、従来膜はFlux0.4m/dの安定した運転は困難と考えられる。

(2) 清水実験

清水実験結果を図4に示す。

膜内差圧は通水開始1日後で1kPaであり、9月下旬には12kPaに上昇した。その後の増加は少なく、12月上旬の膜内差圧は16kPaであった。膜外差圧は通水開始1日後で3kPa

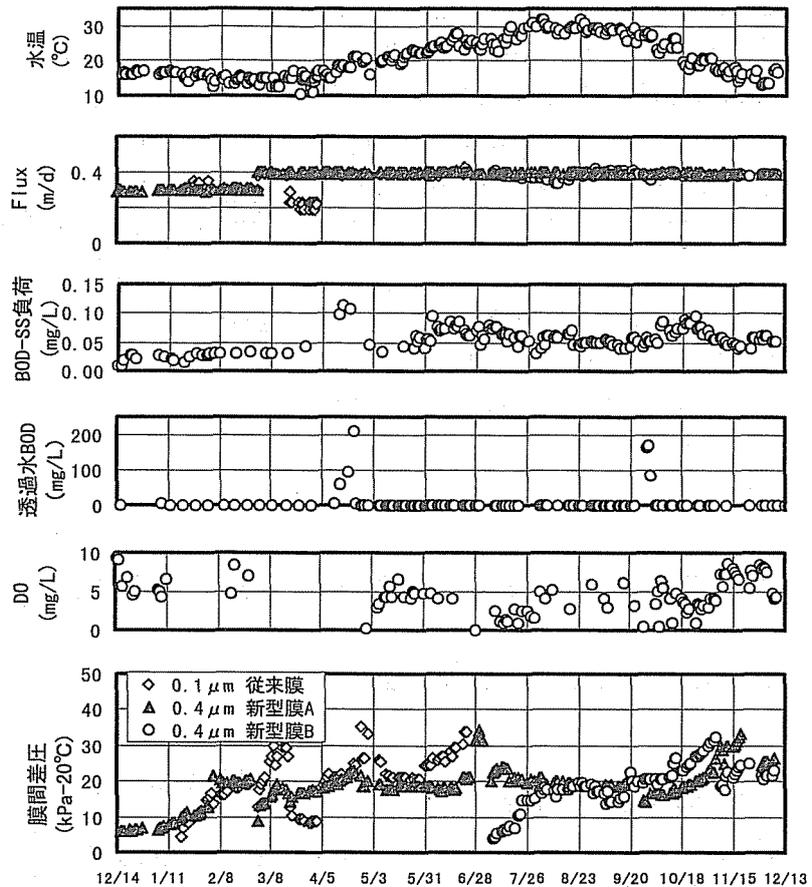


図3 運転状況

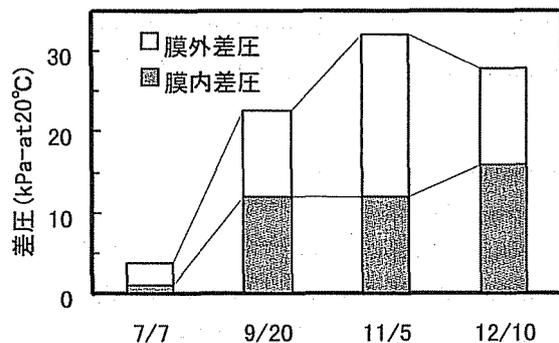


図4 清水実験結果 (Flux=0.4m/d)

であり、9月下旬には11kPaとなった。生物処理の悪化により、膜間差圧が上昇した11月上旬には20kPaまで上昇し、膜間差圧が回復した12月上旬は12kPaに低下した。

この結果より、膜間差圧の上昇は生物処理の悪化に伴い膜表面の付着物が増加したためであると考えられる。

(3) 流量変動実験

図5に流量変動実験中とその前後における水温、Flux、膜間差圧の経時変化を示す。

実験前のFlux0.4m/dにおける差圧はおよそ15kPaであった。Fluxを1.2m/dにした直後の差圧は30kPaとなり、その後、時間経過とともに差圧は上昇して、24時間後にはおよそ60kPaとなった。

Fluxを元に戻すと、膜間差圧は25kPaになった。その後、時間の経過とともに差圧は徐々に減少し、実験終了3日後には22kPaとなった。

以上の結果より、新型膜は一時的な流量の増加に対応できるものと考えられる。

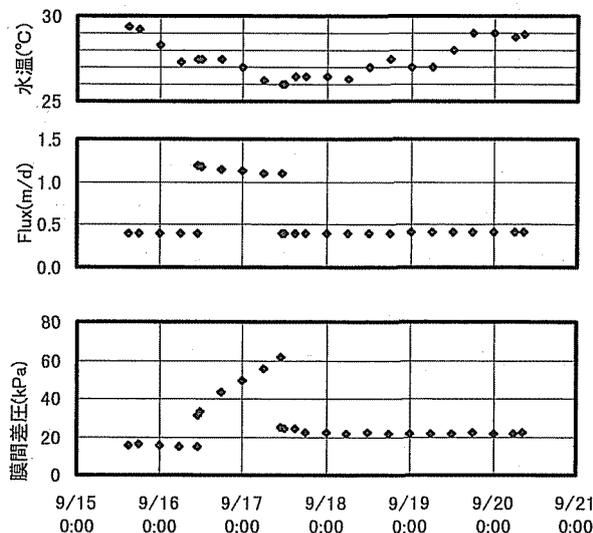


図5 流量変動実験結果

3-3. まとめ

- ・新型膜は安定した生物処理を行えば、Flux0.4m/dで安定した連続運転を行うことが可能であった。
- ・短期的な差圧の上昇は、DO不足等による生物処理の悪化に伴って生じた。安定した膜処理を行うためには生物処理の管理が重要である。
- ・短期的な差圧上昇の原因は、膜内の詰まりではなく、生物処理の悪化に伴い膜表面の付着物が増加したためであると考えられる。
- ・新型膜は、24時間Fluxを3倍に設定すると差圧はおよそ3倍まで上昇するものの、Fluxを元に戻せば差圧も回復することから、一時的な水量増加に対応可能と考えられる。

4. 洗浄方法の検討

4-1. 実験方法

(1) 連続実験

実験には、Run.1で使用した新型膜モジュールBを用いた。膜モジュールはユニットに4列設置し、それを2列ずつに分けて1系および2系とした。各系列の膜面積は22m²となる。なお、実験に供した膜は通水開始前に薬液洗浄し、新品時と同様の膜間差圧に回復させた。

表4に実験中におけるFluxと曝気速度の設定値を示す。インライン洗浄条件の検討を短期間で実施するために、8/23以降の吸引Fluxは0.6m/dと高めで運転した。

表4. Fluxと曝気速度(Run.2: '00.7~'01.1)

通水期間	'00.7.13 ~'00.8.22	'00.8.23 ~'01.1.25
吸引Flux (m/d)	0.4~0.6	0.6
曝気速度*1 (Nm ³ /m ² /min)	2.2~2.3	2.3

*1 ユニット断面積あたりの通過空気量

(2) インライン洗浄方法と洗浄条件

洗浄は1系列単位で実施した。洗浄方法のフローを図6に示す。洗浄方法は着色液を用いた予備実験により、エレメント中央部まで着色液が侵入する条件を検討し決定した。洗浄薬液は12%次亜塩素酸ナトリウムを希釈して調製した。薬液注入は、約1m水頭で行った。

洗浄条件を表5に示す。連続通水中の膜について5回の洗浄を行い、薬液量、薬液濃度、洗浄Flux(薬液注入速度を洗浄膜面積で除した値)を検討した。なお、洗浄により処理水CODが悪化する場合はあったため、浸漬槽容積あたりの薬液注入率とCOD増加については回分実験を行い検討した。回分実験は連続実験の活性汚泥(MLSS=12.2g/L)に薬液を添加して行った。

4-2. 結果および考察

(1) 運転経過

連続実験における運転状況を図7に示す。

①膜間差圧の経過

Flux0.6m/dとした8/23以降、差圧は徐々に上昇し、9/21以降は約20kPaで安定する傾向があった。その後、1系の膜は10/18、11/16、12/26にインライン洗浄を行いながら運転すると、急激な差圧の上昇は見られず、12kPa~22kPaで推移した。

一方、2系の膜は12/12までインライン洗浄を行わず吸引を続けると、差圧は25kPaまで緩やかに上昇した後、差圧の上昇が顕著となり、12/12には38kPaとなった。その後、12/12と12/21にインライン洗浄を行った結果、1系とほぼ同じ差圧まで回復した。

②処理水質の経過

CODの増加はDOの低下が生じた9月上旬以外に、洗浄①および洗浄③の直後に見られた。それ以外の期間では、処理水質は概ね安定していた。

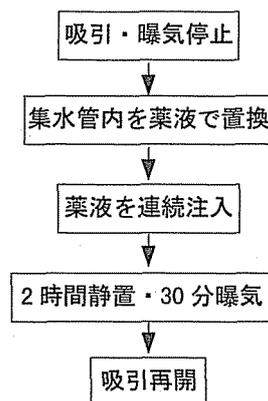


図6. 洗浄フロー

表5. 洗浄条件

	洗浄日	洗浄系	薬液濃度 (mg-GI/L)	薬液量 /エレメント (L)	洗浄 Flux (m/d)
洗浄①	10/18	1系	3000	30	0.26
洗浄②	11/16	1系	1200	15	0.05
洗浄③	12/12	2系	2400	15	0.26
洗浄④	12/22	2系	1200	15	0.26
洗浄⑤	12/26	1系	1200	15	0.26

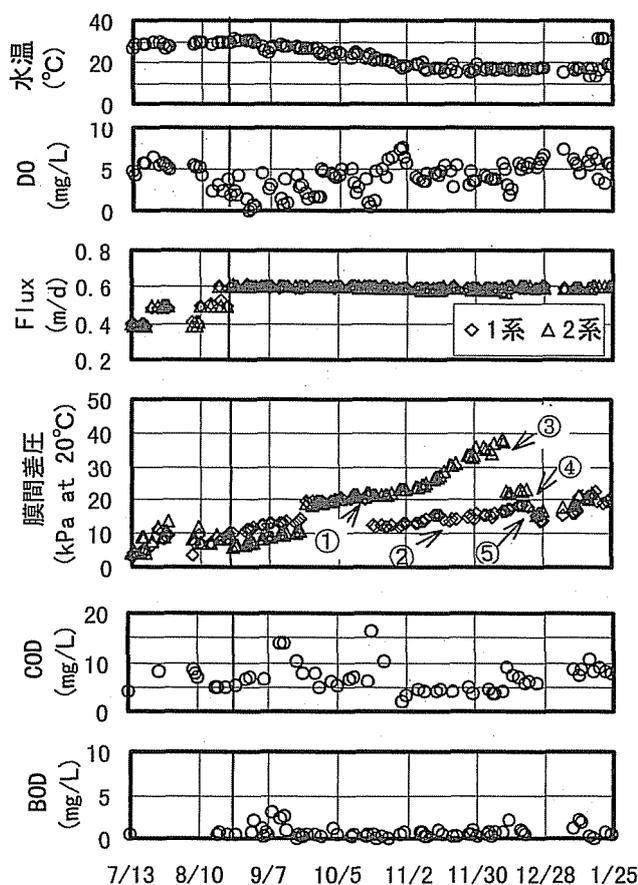


図7. 運転状況

*①~⑤は洗浄 Run. No を示す。

(2) インライン洗浄の効果

洗浄前後の差圧の変化を図8に示す。塩素注入率(エレメントあたりの薬液量×薬液濃度)が最も大きかった洗浄①の回復差圧が洗浄③に比べて低かったのは、洗浄①では洗浄前の差圧が低く、通水初期の差圧まで回復したためと考えられる。

洗浄④、⑤は塩素注入率が洗浄②と同じであったにも関わらず差圧の回復が見られたことから、洗浄Fluxは0.05m/dよりも0.26m/dの方が洗浄効果は高いと判断される。

図9に、薬液量15L/エレメント、洗浄Flux0.26m/dで行った洗浄③④⑤における薬液濃度と回復差圧の関係を示す。薬液濃度の増加に伴い回復差圧は増加し、薬液濃度1200mg-Cl/Lの時の回復差圧は約5kPa、2000mg-Cl/Lで約10kPaであった。

(3) 処理水質への影響

図10に回分実験で求めた容積あたりの薬液注入率とCODの増加濃度の関係を示す。洗浄時におけるCOD増加を防ぐには、膜浸漬槽に対する薬液注入率を15mg-Cl/L以下にすれば良い。

(4) 洗浄条件および頻度

連続実験結果から新型膜は膜間差圧20kPa程度で安定し、膜間差圧が30kPa程度に達すると差圧の上昇は顕著になる傾向がある。従って、膜間差圧が30kPa程度になった時点で膜洗浄を行い、20kPaまで回復させることで安定した運転が可能と考えられる。この洗浄条件は洗浄Flux0.26m/d、薬液量15L/エレメント、薬液濃度は図7より2000mg-Cl/Lとなる。洗浄頻度は流量変動を考慮して吸引Fluxを0.4m/dとした場合、1年に2回程度となる。

4-3. まとめ

- ・ 洗浄効果が得られる洗浄Fluxは0.26m/dであり、膜間差圧を30kPaから20kPaまで回復させるための条件は薬液量15L/エレメントで薬液濃度2000mg-Cl/Lであった。この条件でインライン洗浄を実施すると、1年間に2回の洗浄頻度で吸引Flux0.4m/dの運転が可能と考えられる。
- ・ 洗浄時にCOD増加を防ぐための膜浸漬槽に対する薬液注入率は15mg-Cl/L以下であった。

5. おわりに

新型中空糸膜を用いてFluxの向上を検討し、適切な運転条件とインライン洗浄方法に対する知見を得ることにより、従来の2倍のFluxで安定した運転が可能となった。

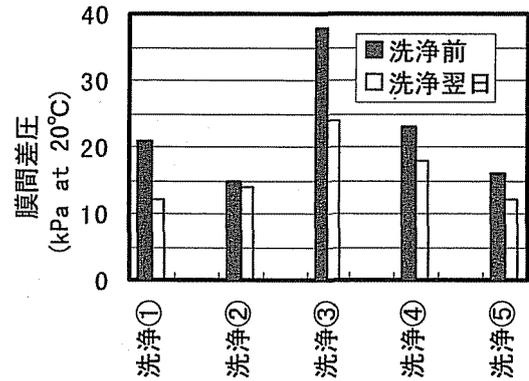


図8. 洗浄前後の差圧
(吸引Flux=0.6m/d)

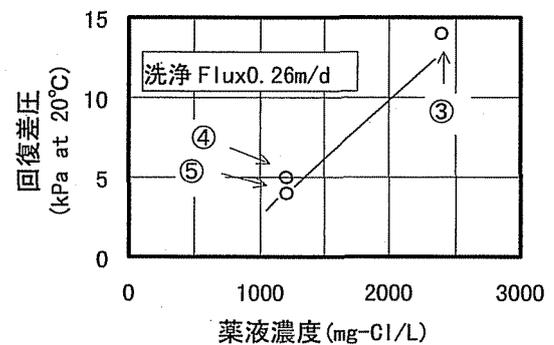


図9. 回復差圧(③④⑤は洗浄No.)

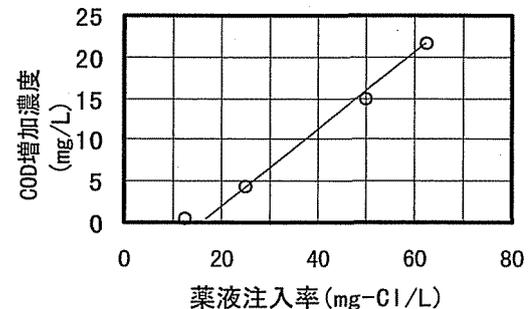


図10. 薬液添加によるCOD増加