

多々良川浄化センター処理水の シロウオ等水生生物に対する 影響調査研究

1. 調査目的

多々良川流域下水道の放流先である多々良川では、下水道整備による河川水質の向上等により、平成5年より福岡の風物詩であるシロウオが再び遡上してきており、地域住民の水環境に対する関心をより一層高めるものとなっている。

このような状況の中で、多々良川水系の上流域を処理区とする多々良川浄化センターは、平成6年9月に供用を開始し、「多々良川のシロウオを呼び戻す下水道」として水質改善の効果が期待されている。

一方、同センターの放流先が、シロウオの遡上、産卵箇所にあたり、多くの処理場で行われている塩素消毒法では、シロウオを代表とする流域の水生生物への影響も懸念されるため、紫外線消毒の導入を図った。

本研究はこれを受けて、福岡県と財団法人下水道新技術推進機構とが、紫外線消毒処理水のシロウオを代表とする水生生物に対する影響を明らかにすることを目的とし、平成9年度から平成11年度までの3ヶ年にわたり共同研究を実施したものである。

平成9年度は、塩素消毒を行った際に生物に影響を与えると考えられる物質（残留塩素）、長距離放流渠内で発生すると考えられる物質（アンモニア）、処理水の放流により河川水質に影響を与えると考えられる物質（硝酸イオン、塩分）のシロウオ成魚に対する影響を定量的に把握するための急性毒性試験

を行い、平成10年度は、上記物質のシロウオ卵に対する影響を定量的に把握するための急性毒性試験を行った。

最終年度である平成11年度は、処理水の長期間曝露を受けると考えられる多々良川に生息する代表的淡水魚のオイカワについて、シロウオでの試験と同じ物質の影響を定量的に把握するための急性毒性試験を行い、さらに実際の紫外線消毒処理水を使った影響試験をオイカワ、シロウオ（成魚・卵）に対して行い、3ヶ年の試験結果を踏まえて、紫外線消毒処理水がシロウオやオイカワにどのような影響を及ぼすかを検討した。

2. 調査内容

2.1 調査対象場所

本調査の対象場所は、多々良川の多田羅橋から津屋堰までの区間（河口から約4.0～4.5km）とした。

2.2 調査工程

表-1に本調査の全体工程を示す。

また、平成11年度調査内容について、以下の項に示す。

2.3 淡水魚に対する急性毒性試験

平成9年度および平成10年度に行った魚類生息状況調査の結果、処理水放流口付近にはシロウオのほか28種類の魚類が生息していることが明らかになっ

表-1 全体調査スケジュール

項目	平成9年度	平成10年度	平成11年度
基礎調査 シロウオ産卵 調査、河川水質・ 底質調査	■■■■■	■■■■■	■■■■■
シロウオ成魚 急性毒性試験	■■■■■		
シロウオ卵 急性毒性試験		■■■■■	
淡水魚 急性毒性試験			■■■■■
紫外線消毒処理水 による影響試験			■■■■■
まとめ			■■■■■

た。それらの中でもオイカワは季節を問わず出現し、生息個体数も多いことから、調査対象場所における代表的な魚種として位置づけた。そこで、オイカワを試験対象魚として、アンモニア、残留塩素および硝酸イオンの3項目について急性毒性試験を行い、これらの物質に対する影響を定量的に把握することとし、紫外線消毒処理水に対する影響を検討するための基礎資料とした。

2.4 処理水を使った淡水魚に対する影響試験

オイカワを試験対象とし、多々良川浄化センターの紫外線消毒処理水に対する曝露影響試験を行い、紫外線消毒処理水に対する影響を定量的に把握することとした。

2.5 処理水を使ったシロウオ（成魚・卵）に対する影響試験

シロウオ（成魚・卵）を試験対象とし、多々良川浄化センターの紫外線消毒処理水に対する曝露影響試験を行い、紫外線消毒処理水に対する影響を定量的に把握することとする。

2.6 シロウオ産卵調査

処理水放流口周辺は多々良川に遡上するシロウオの主要な産卵場所とされていることから、処理水がシロウオの遡上や産卵に及ぼす影響を検討するため、当該河川におけるシロウオの遡上量および産卵量等の調査を行った。

3. 調査結果

3.1 淡水魚に対する急性毒性試験

オイカワを試験対象とし、アンモニア、残留塩素および硝酸イオンの3種類の被験物質に対する96時間急性毒性試験を行った。

なお、本試験は原則として、OECD化学品テストガイドライン203魚類急性毒性試験に準拠して実施した。

1) 試験濃度の設定

各試験項目における被験物質の濃度は、一定公比で5段階設定(濃度区)し、試験飼育で魚類の飼育に常用している地下水を希釈水として使用した。また、試験物質毎に希釈水のみが入った対照区を設けた。

試験濃度は、本試験と同様の条件での予備試験結果や既存文献および平成9年度のシロウオ成魚における試験結果を参考として設定した。

2) 供試魚数

各試験区および対照区に用いた供試魚数は、1試験区あたり10個体とした。

3) 試験期間および観察

試験期間は96時間（4日間）とし、曝露開始時、3時間後、6時間後、24時間後、48時間後、72時間後および試験終了時（96時間後）の計7回観察を行った。

各観察時点では、各試験区内の全供試魚の遊泳状態等を観察し、死亡数を記録した。遊泳状態および生死の判定定義は下記の通りとし、死亡個体が見られた場合は、すみやかに取り除いた。

異常遊泳：対照区の魚と異なる遊泳をする。動作が緩慢または過敏である。鰓蓋の動きが異常である。ガラス棒の刺激には反応する。

瀕死：水槽底部で静止または横転しており、ガラス棒で刺激を与えてもほとんど反応しない。

死亡：観察可能な動き（例えば眼球、鰓蓋、鰭等）がない。ガラス棒で刺激を与えても全く反応がない。

4) 死亡率および観察結果

各試験物質における96時間後の死亡率を図-1に示す。

各試験物質とも、濃度の上昇に伴い死亡率が上昇していた。

アンモニアの試験における死亡個体は、いずれも口を開き、酸欠死の様相を呈していた。試験終了時まで生き残った個体も、対照区のものとは比べ遊泳行動が緩慢であった。死亡がみられなかった濃度区では、いずれの個体にも異常行動等は観察されなかった。

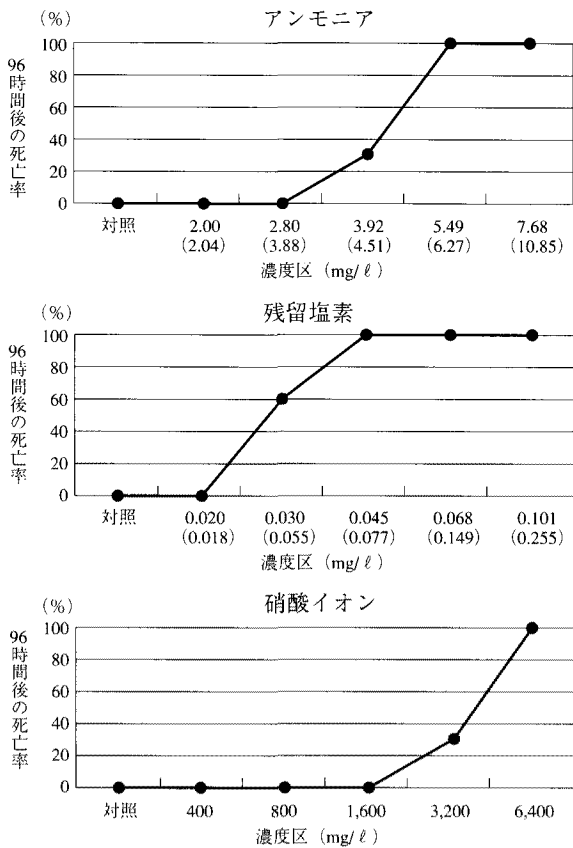


図-1 96時間後の死亡率(オカワ急性毒性試験)

残留塩素の試験における死亡個体は、いずれも外見上の異常は認められなかったが、死亡する数時間前から遊泳行動が緩慢になっていた。死亡がみられなかった濃度区では、いずれの個体にも異常行動等は観察されなかった。

硝酸イオンの試験において死亡した個体のほとんどは、死亡する24時間前頃から旋回や横転などの異常行動を起こしていた。また、生き残った個体の若干数は遊泳行動が緩慢になっていた。死亡がみられなかった濃度区では、いずれの個体にも異常行動等は観察されなかった。

5) 半数致死濃度 (LC₅₀) の算定

結果解析の基準として半数致死濃度 (LC₅₀) の算定を行った。各試験物質におけるオイカワの96時間 LC₅₀を表-2に示す。

表-2 オイカワの96時間 LC₅₀

試験物質	96時間 LC ₅₀
アンモニア	4.80mg/l T-NH ₃
残留塩素	0.046mg/l
硝酸イオン	3,480mg/l NO ₃ ⁻

6) 考察

急性毒性試験結果から得られた半数致死濃度を河

川水質および処理水水質と直接比較できる値に変換し、さらに毒性物質に長期間曝露された場合の慢性毒性の影響も考慮するために適用係数 (96時間LC₅₀から慢性的な影響限界濃度を推定するための係数) を乗じた値と平成10年度多々良川浄化センター処理水の水質分析結果(年間最大値)を表-3に示す。

表-3 処理水質と慢性限界濃度との比較

対象物質	処理水水質	オイカワ慢性毒性限界濃度
アンモニア	0.001mg/l NH ₃ -N	0.035mg/l NH ₃ -N
残留塩素	定量限界以下 (0.01mg/l 以下)	0.0046mg/l
硝酸イオン	18.1mg/l NO ₃ -N	76.8mg/l NO ₃ -N

アンモニアと硝酸イオンについては、慢性毒性限界濃度より処理水水質の方が低いことから、現段階における処理水の各物質濃度は、オイカワに影響を及ぼす濃度ではないと判断された。

残留塩素については、処理水水質分析結果によると、処理水中の濃度の年間最大値は定量限界以下と報告されている。残留塩素測定標準法の一つとされているオルトトリジン比色法における定量限界値が0.01mg/lであることから、浄化センター処理水の残留塩素濃度は0.01mg/l以下を示しているといえる。

したがって、少なくとも現段階における処理水の残留塩素濃度は、オイカワに対して急性的な影響を及ぼすものではないが、長期限界濃度は定量限界値以下であるため、処理水中の濃度と直接比較することは困難であった。

3.2 処理水を使った淡水魚に対する影響試験

オイカワを試験対象とし、多々良川浄化センター紫外線消毒処理水に対する7日間曝露影響試験を行った。

なお、本試験は原則として、OECD化学品テストガイドライン203魚類急性毒性試験に準拠し、多々良川浄化センター施設内にて試験を行った。

ここで、多々良川浄化センターに設置されている

表-4 紫外線消毒装置主要仕様

容量	0.79m ³
照射時間	4.5秒
紫外線ランプ	1000W×16灯
洗浄タイプ	自動洗浄装置

紫外線消毒装置の仕様を表-4に示す。

1) 試験濃度の設定

試験濃度は処理水が25%, 50%, 100%の各濃度区とし、活性炭カラムを通して脱塩素した多々良川浄化センター内の水道水を希釈水として使用した。また、希釈水のみが入った対照区を設けた。

2) 供試固体数

供試固体数は、1試験区当たり10固体とした。

3) 試験期間および観察

試験期間は7日間とし、曝露開始時および試験終了時のほか、24時間間隔で計8回の観察時点に、各試験区内の全供試魚の遊泳状態等を観察し、死亡数を記録した。遊泳状態および生死の判定定義は3.1項と同様である。

4) 死亡率および観察結果

各試験区における7日後(168時間後)の死亡率を図-2に示す。

死亡率は処理水100%区で10%(1個体)で、他の試験区および対照区では0%であった。死亡個体については、出血や眼球突出等の外見的異常が全くみられなかった。また、同じ100%区の他の生残個体においても、試験期間中には遊泳行動や外見等の異常は観察されなかった。他の濃度区および対照区では、遊泳行動や外見等の異常は全く観察されなかった。

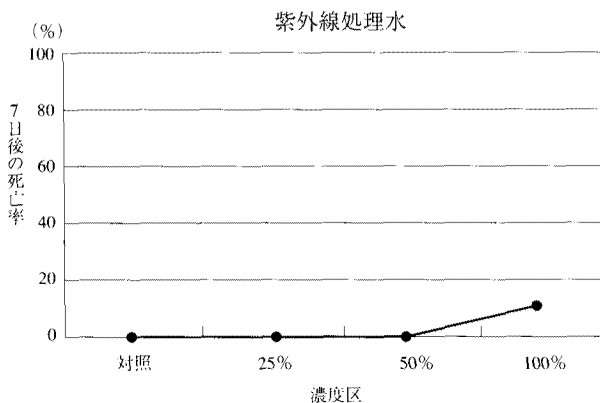


図-2 7日後の死亡率(オイカワ処理水試験)

5) 半数致死濃度(LC₅₀)の算定

半数致死濃度の算定には、少なくとも1試験区にて死亡率が50%以上である必要があるが、最大死亡率が10%であったため、半数致死濃度の算定は不可能であった。

6) 考察

いずれの試験区でも死亡率が0~10%であったことから、7日間の曝露では紫外線処理水がオイカワに与える影響はほとんどないと考えられた。

3.3 処理水を使ったシロウオ成魚に対する影響試験

シロウオ成魚を試験対象とし、多々良川浄化センター紫外線消毒処理水に対する7日間曝露影響試験を行った。

なお、本試験は原則として、OECD化学品テストガイドライン203魚類急性毒性試験に準拠し、多々良川浄化センター施設内にて試験を行った。

1) 試験濃度の設定

3.2項と同様。

2) 供試個数

3.2項と同様。

3) 試験期間および観察

3.2項と同様。

4) 死亡率および観察結果

各試験区における7日後(168時間後)の死亡率を図-3に示す。

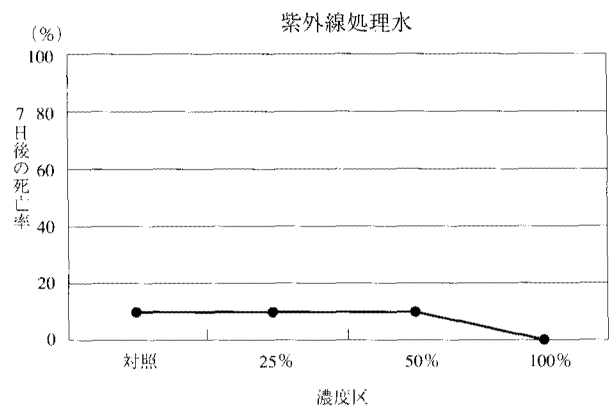


図-3 7日後の死亡率(シロウオ成魚処理水試験)

死亡率は処理水100%区で0%であった他は、10%(1個体)であった。死亡個体は、鰓に出血がみられ、死亡する約24時間前から体色が白化し、水槽の底に定位していた。死亡原因は明確ではないが、希釈原水として使用した水道水中の残留塩素がカラムで完全に除去できていなかった可能性が考えられた。

5) 半数致死濃度(LC₅₀)の算定

3.2項と同様に最大死亡率が10%であったため、半数致死濃度の算定は不可能であった。

6) 考察

いずれの試験区でも死亡率が0~10%であったことから、7日間の曝露では紫外線処理水がシロウオ成魚に与える影響はほとんどないと考えられた。

3.4 処理水を使ったシロウオ卵に対する影響試験

シロウオ卵を試験対象とし、多々良川浄化センター紫外線消毒処理水に対する曝露影響試験を行った。

なお、本試験は原則として、OECD化学品テストガイドライン203魚類急性毒性試験およびOECD化学品テストガイドライン210魚類の初期生活段階毒性試験に準拠し、多々良川浄化センター施設内にて試験を行った。

1) 試験濃度の設定

3.2項と同様。

2) 供試個数

1試験区当り1卵塊(平均卵数210個)とした。

3) 試験期間および観察

試験期間は原則として15日間とした。ただし、15日以内に対照区の生残卵が全てふ化した場合はその時点で試験終了とし、対照区のふ化が15日以上かかった場合は全ての生残卵がふ化するまで試験期間を延長する。

観察は、試験終了時まで毎日1回定時に行った。産卵基質に付着した卵塊の状態等を肉眼で観察し、卵全体または卵黄が白濁している場合に、その卵は死亡しているとみなした。また、ふ化状態についても観察した。

4) 死亡率および観察結果

試験終了時の死卵率、死仔率および総死亡率を図-4に示す。なお、死卵率、死仔率、総死亡率の計算方法は下記による。

$$\text{死卵率 (\%)} = \text{死卵数} / \text{総卵数}$$

$$\text{死仔率 (\%)} = \text{ふ化仔魚死数} / \text{総卵数}$$

$$\text{総死亡率 (\%)} = (\text{死卵数} + \text{ふ化仔魚死数}) / \text{総卵数}$$

試験終了時の死卵率は、25%区および50%区で対照区に比べ若干増加しているが、100%区では対照区とほぼ変わらない値を示していた。

死仔率は、対照区のみ2.1%であり、他の試験区では0%であった。

総死亡率をみると、処理水の濃度上昇に伴う死亡率の上昇傾向は認められなかった。

5) 半数致死濃度 (LC₅₀) の算定

最大死亡率が13.5%であったため、半数致死濃度の算定は不可能であった。

6) 考察

試験の結果、対照区を除く各試験区の総死亡率は10.3~13.5%であり、対照区の死亡率(10.4%)に比べてほとんど差がなかった。また、ふ化仔魚の全長測定結果からも、対照区と処理水試験区との間に明瞭な差は認められなかった。以上のことから、産卵直後からふ化までの期間(約13日間)紫外線消毒

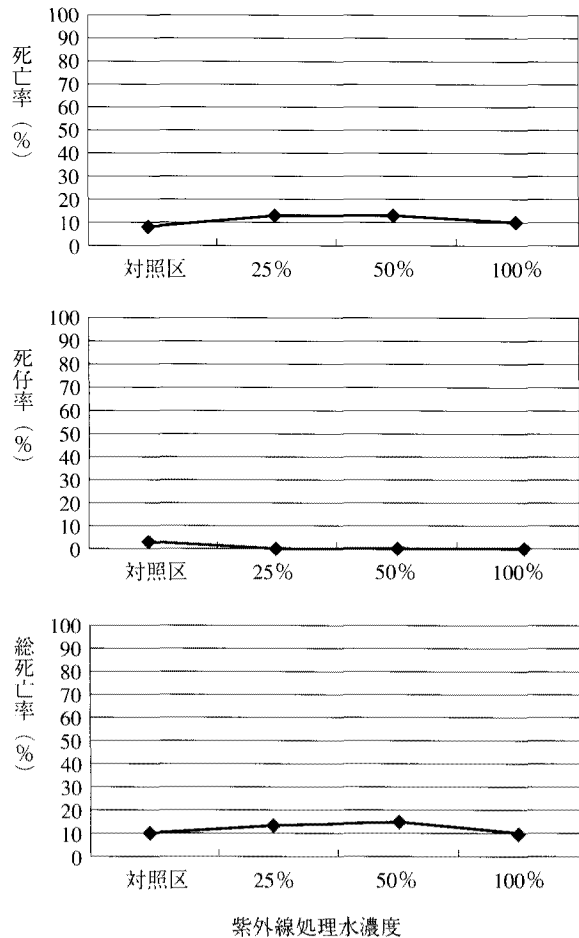


図-4 試験終了時の死卵率、死仔率および総死亡率 (シロウオ処理水試験)

処理水に曝露されたとしても、処理水がシロウオ卵に与える影響はほとんどないと考えられた。

3.5 シロウオ産卵調査

調査は、シロウオが多々良川に遡上する3月下旬から5月上旬の間に2回行い、さらに九州大学農学部松井助教授が同時期に行った結果を提供していただき、計3回の調査結果をまとめた。

産卵面積と確認卵塊数をもとに推定した総卵塊数と産卵親魚数の合計について、最も確認卵塊数が多かった第2回調査の結果と比較すると、今年度は61,374個および122,748個体と前年の約0.8倍、前々年の約2.3倍の産卵・遡上量があったと推定された。

昨年度より若干減少しているが、この程度の減少は通常の資源変動の範囲内であると考えられる。

図-5に過去5年間の卵塊数と処理水量の変化を示す。処理水量の増加に伴って卵塊数が年々増加していることがわかる。これは、処理水により常に一定量の淡水が供給されたことで、シロウオの産卵に適した水域面積が増加したためであると考えら

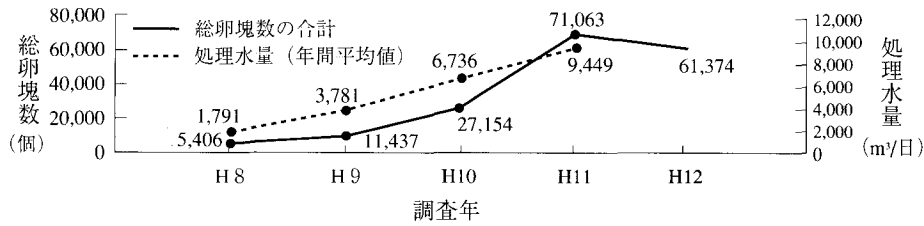


図-5 シロウオ産卵卵塊数と処理水量との関係

れた。

4. まとめ

平成9年度から平成11年度までの3ヶ年にわたる調査研究結果を整理し、多々良川浄化センターの紫外線処理水の水生生物に与える影響についてまとめる。

各毒性試験結果と河川水および処理水水質を比較したものを表-5に示す。平成8~10年度の処理水水質と毒性試験結果を比較すると、アンモニア、残留塩素、硝酸イオンおよび塩分の各試験項目におけるシロウオの成魚および卵、オイカワに対する半数致死濃度(LC₅₀)および最大無作用濃度(NOEC)は、1項目を除き処理水中の濃度よりも高い値であり、直ちにシロウオやオイカワの生残や再生産に影響を与えるものではないと判断された。また、実際

に紫外線消毒処理水を使った試験でも、シロウオやオイカワに対する影響は認められなかった。ただし、シロウオ卵に対する硝酸イオンの試験だけは、卵の生残・成長そのものには影響がないが、高濃度区でふ化した仔魚の死亡率が上昇する傾向があり、計算された最大無作用濃度は処理水中の濃度より低い値であった。しかし、実際の河川では、仔魚はふ化後直ちに河川水の流れに乗って、数時間後には海域に到達するものと考えられるほか、処理水の影響により河川水の硝酸イオン濃度が上昇しているのは、処理水放流口から下流に約50mの範囲のみであった。よって、ふ化仔魚が処理水中に長時間曝露されることは考えられない。また、実際に紫外線消毒処理水を使った試験でも、ふ化仔魚は全く死亡しなかったことから、現段階における処理水の硝酸イオン濃度は、シロウオのふ化仔魚の生残に影響を及ぼす濃度ではないと判断された。

以上のように、紫外線消毒処理水はシロウオ成魚・卵およびオイカワに対してほとんど影響がないことが明らかになった。

表-5 毒性試験結果と河川水および処理水水質との比較

対象物質	河川水質	処理水水質	シロウオ成魚 LC ₅₀	シロウオ卵 LC ₅₀	淡水魚(オイカワ) LC ₅₀
アンモニア	H.9: 0.04~0.17mg/ℓ H.10: 0.16~1.70mg/ℓ H.11: 0.05~1.20mg/ℓ	H.8: 0.0~0.2mg/ℓ H.9: 0.1~0.1mg/ℓ H.11: 0.0~0.5mg/ℓ	3.97mg/ℓ (NOEC: 3.70mg/ℓ)	3.6mg/ℓ (NOEC: 1.6mg/ℓ)	4.80mg/ℓ (NOEC: 3.89mg/ℓ)
残留塩素	—	H.8: 0.00~0.00mg/ℓ H.9: 0.00~0.00mg/ℓ H.10: 0.00~0.00mg/ℓ	0.037mg/ℓ (NOEC: 0.022mg/ℓ)	0.020mg/ℓ (NOEC: 0.011mg/ℓ)	0.046mg/ℓ (NOEC: 0.018mg/ℓ)
硝酸イオン	H.9: 4.05~45.6mg/ℓ H.10: 12.8~55.8mg/ℓ H.11: 4.34~57.5mg/ℓ	H.8: 23.0~68.6mg/ℓ H.9: 31.0~67.7mg/ℓ H.10: 39.4~80.1mg/ℓ	442.6mg/L以上 (NOEC: 442.6mg/ℓ以上)	584.6mg/ℓ以上 (NOEC: 26.4mg/ℓ)	3480mg/ℓ (NOEC: 1695mg/ℓ)
塩分	H.9: 0.0~0.1 H.10: 0.3~15.1 H.11: 0.1~4.6	H.8: 0.1~0.1 H.9: 0.1~0.1 H.10: 0.1~0.1	32.0以上 (NOEC: 32.0以上)	27.7 (NOEC: 16.1)	—
処理水	—	—	100%以下で死亡率0%	対照区死亡率: 10.4% 処理水試験区死亡率: 10.5%~13.5%	100%以下で死亡率10%
備考	平成9~11年度河川水質調査結果	流域下水道維持管理年報による	平成9年度試験結果	平成10年度試験結果	平成11年度試験結果

※ 河川水質、処理水水質の数値は、LC₅₀と直接比較できるように、測定値を以下のように換算したものである。
 アンモニア: NH₄-N → T-NH₃
 硝酸イオン: NO₃-N → NO₃⁻
 塩分: Cl⁻ → 塩分
 ※ 処理水に対するLC₅₀は、平成11年度試験結果
 ※ NOEC: 最大無作用濃度

●この研究に関するお問い合わせは 研究第一部長 江藤 隆
 研究第一部主任研究員 鈴木 文雄
 研究第一研究員 川崎 貴義