

オゾンを利用したサケ稚魚飼育用水の再利用に 関する調査について

—全体計画および基礎試験結果—

齋藤 勝美¹⁾

(秋田県水産振興センター)

水は魚類にとって重要な環境因子で、サケふ化増殖事業(卵のふ化、稚魚飼育)を行なうためには十分に溶存酸素があり、有機物質等が含まれない良質な用水が豊富に必要である。日本は水資源が豊富で、サケふ化増殖事業を実施するうえで用水に関する量的、あるいは質的問題はほとんどなかった。しかし、最近、サケふ化場周辺の環境変化により、湧水量の減少および河川水の質的低下などがみられ、このような用水環境の変化はサケふ化放流事業を正常に行なうのに、大きな障害となっている。このため、サケふ化放流事業を安定的に遂行し、サケ資源の維持・増大を図るには、限られた飼育用水の有効かつ効率的に利用する必要があり、飼育水の有効な利用方法およびその場合の水処理技術の確立が望まれている。

飼育用水を有効利用する方法としては、主として、再使用、半循環使用、循環使用、高品質水(飼育密度を高くできる)の使用であると考えられる。高品質水の使用を除く他の有効利用方法は、再使用、循環使用いずれにせよ一度用水として使用した水であるため、水には飼育に伴う汚染物質が混入しており、これを除去するために何らかの水処理が必要である。水処理の方法としては、ろ過材による浮遊物の除去、微生物による汚染物質の酸化分解を主体とした処理が一般的に行なわれている(佐野 1988)。この処理では固形の汚染物質は除去されるが、微生物による分解は十分な酸素がないと進行せず、また、水温が7℃以下で亜硝酸から硝酸への反応は停止するといわれており(佐野 1988)、水温が低くても分解は進まない。しかし、サケ稚魚飼育用水の場合は水温は4~12℃が適正とされており(水産庁北海道さけ・ますふ化場 1987)、この水温では微生物による汚染物質の分解はあまり期待できない。そこで、最近工場排水および下水の汚水処理に利用されているオゾンを用いて飼育用水の水処理を検討することとした。

オゾンは強力な酸化剤であり、水処理では細菌、ウイルス等の殺菌、藻類の増殖抑制、異臭味、色、濁りの除去、鉄、マンガンの除去、微粒子のフロック化の助長、有機物の酸化分解、有害有機物質の無害化、難分解性有機物の生物分解性向上などの効果があるとされている(国際オゾン協会 1986)。このように、オゾンは水処理に有効な物質であるばかりでなく、細菌、ウイルス等の殺菌にも効果的であることから魚病対策としても有効な物質と考えられる。しかし、その反面、オゾンは強い毒性も有している(国際オゾン協会 1986; FRVING and LEWIS 1984)ことから、飼育水の水処理では飼育魚注

¹⁾ 現秋田県環境技術センター

に対する影響に意する必要がある。

オゾンを利用した飼育用水の再利用に関する調査は、さけ・ます増養殖効率化推進事業の中の飼育水高度利用対策事業の一つで、飼育用水の再利用を行なう際の水処理方法として、オゾン利用の可能性とオゾンによる水処理技術の検討を目的としている。なお、この調査期間は平成4年度から8年度までの5か年間である。以下に調査の全体計画と平成4年度に実施したオゾンに関する基礎調査の結果についてその概要を紹介する。

全体試験計画

オゾンによる水処理試験は、基礎試験、サケ稚魚飼育過程での水質動態把握試験、水処理試験、実証試験に区分され、これらの試験項目は以下のとおりで、各試験項目の関連性を図1、スケジュールを表1に示した。

基礎試験(平成4年度)では、水処理試験での注入オゾンガス濃度および量を検討するためのオゾン発生器の特性試験、飼育用水の吸収試験を行なう。次に、サケ稚魚に対する毒性試験、溶存オゾンの除去試験を実施する。

サケ稚魚飼育過程での水質動態把握試験(平成5年度)では、水処理を行なう際のオゾン量を推定するため、飼育水の水質に変化に影響を及ぼす残餌、排泄物(糞)の特性を把握するための沈降・溶出試験と水質の動態把握試験を行なう。

表1 試験の実施スケジュール

区分	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
4年度	実施計画の作成			資料の収集			試験方法の検討			基礎試験		
5年度				試験方法の検討			水質汚濁把握試験 水質汚濁把握調査					
6年度				試験方法の検討			オゾンによる水処理試験					
7年度				試験方法の検討			オゾンによる水処理実証試験					
8年度	データの総合解析および評価 補足試験						総合報告書の作成					

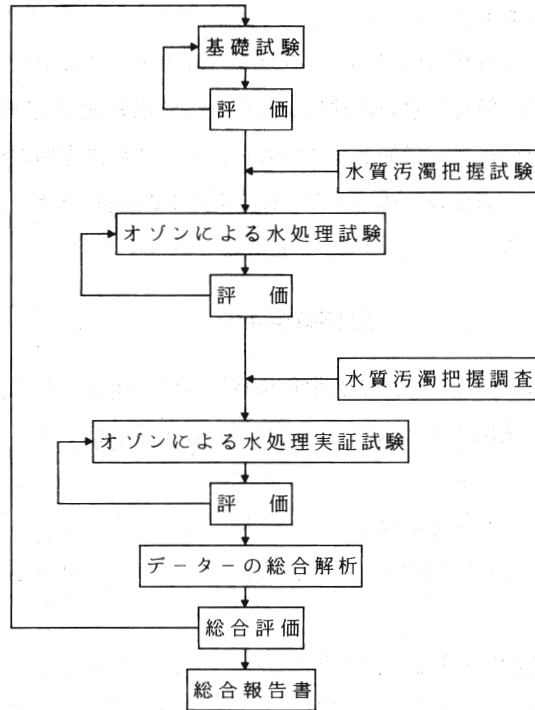


図1 各試験項目の関連性.

水処理試験(平成6年度)では、平成4、5年度の試験結果をもとづいてオゾンによる水処理を行ない、その有効性を検討する。

実証試験(平成7年度)では、これでの試験結果を参考に、サケふ化場での水処理にオゾンの利用が技術的に可能か検討する。

平成8年度では試験結果を総合的に解析し、その解析結果を評価して飼育用水に関する水処理のあり方を検討する。

オゾン発生器のオゾン発生特性試験および飼育用水に対するオゾンの吸収試験

オゾンによるサケ稚魚飼育用水の水処理試験を行うには、水処理試験でのオゾン条件として、注入オゾンガス濃度およびそのガス量と水中の溶存ガス濃度を設定する必要がある。そのために、オゾン発生器のオゾン発生特性試験および飼育用水に対するオゾンの吸収試験を行ない、オゾン発生器からのオゾン量および飼育用水に対するオゾンガスの溶解程度を検討した。

1 オゾン発生器のオゾン発生特性試験

オゾン発生特性試験に用いた発生器は、富士電気(株)製オゾナイザー、PO-05型(オゾン発生量、最大0.5g O₃/h)2台で、各発生量調整レンジ(0~10段階)別にオゾンを発生させ、これをオゾン測定器により測定した。オゾン濃度測定には、dasibi製(U.S.A) OZON MONITOR, Model-1006-AHJ型を使用した。測定器の測定濃度範囲は0~1.0mg/lで、試験に用いた発生器からの発生濃度が

空気量 1 ℓ/min の場合、最高8.3mg/ℓ となることから、発生オゾン濃度の測定に当っては、空気発生オゾン濃度が最高1.0mg/ℓ 以下になるように希釈した。

オゾン発生器の各発生量調整レンジにおける測定結果を表2に示した。試験に使用した発生器の仕様では発生量の最大は0.5 g O₃/h で、空気量を1.0 ℓ/min にした場合の発生濃度は8.3mg/ℓ であるが、試験の結果では発生オゾン量の最大は約0.8 g O₃/h、濃度は約14mg/ℓ と、仕様の1.6倍の能力であった。また、空気量によって発生オゾン量にはほとんど違いはなかった。

表2 オゾン発生器からの発生オゾン量

空気量 (ℓ/min)	調整レンジ	No. 1 オゾン発生器 (558014 X2-1)		No. 2 オゾン発生器 (558014 X2-2)	
		発生オゾン濃度 (mg/ℓ)	発生オゾン量 (mg/h)	発生オゾン濃度 (mg/ℓ)	発生オゾン量 (mg/h)
0.2	0	0.00	0.0	0.00	0.0
	2	0.06	0.7	0.06	0.7
	4	0.27	3.2	0.22	2.6
	6	— a)	—	—	—
	8	—	—	—	—
	10(最大)	—	—	—	—
0.5	0	0.00	0.0	0.00	0.0
	2	0.02	0.6	0.03	0.9
	4	0.12	3.6	0.08	2.4
	6	4.9	147	3.8	114
	8	—	—	—	—
	10(最大)	—	—	—	—
1.0	0	0.00	0.0	0.00	0.0
	2	0.00	0.0	0.00	0.0
	4	0.06	3.6	0.02	1.2
	6	2.5	150	1.8	108
	8	7.1	426	6.5	390
	10(最大)	13.6	816	14.0	840

a) —：空気量0.2 ℓ/min の調整レンジ 6, 8, 10と空気量0.5 ℓ/min の調整レンジ 8, 10は、測定器の測定範囲を越えたために測定不能。

2 飼育用水に対するオゾンの吸収試験

飼育用水に対するオゾンの吸収試験の注入オゾンガス濃度、量および接触時間(流速によって決まる)などの条件を表3、また吸収試験の模式図を図2に示した。吸収試験に用いた水は水道水で、これに通気し、クーラーとヒーターにより平均的なサケ稚魚の飼育適水温である10℃になるようにした。試験用水として水道水を用いたのは、用水にオゾン消費するような有機物が含まれていると、吸収試験の結果に影響を及ぼすことになるからである。試験に用いた水道水にオゾン消費するような物質が含まれているかを検討するために BOD₅、COD_{Mn}、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、T-N、PO₄-P、

表3 吸収試験の試験条件

項 目	試 験 条 件
オゾン発生器への空気量	1.0 l /min
注入オゾンガス濃度	1.0, 7.0mg/l の2ケース
注入オゾンガス量	0.2, 0.3, 0.4, 0.5 l /min の4段階
吸収試験用水の流量	0.5 l /min
吸収試験用水の水温	10℃
オゾンガスの接触時間	22.1min (吸収塔104mm φ × 1300mm)

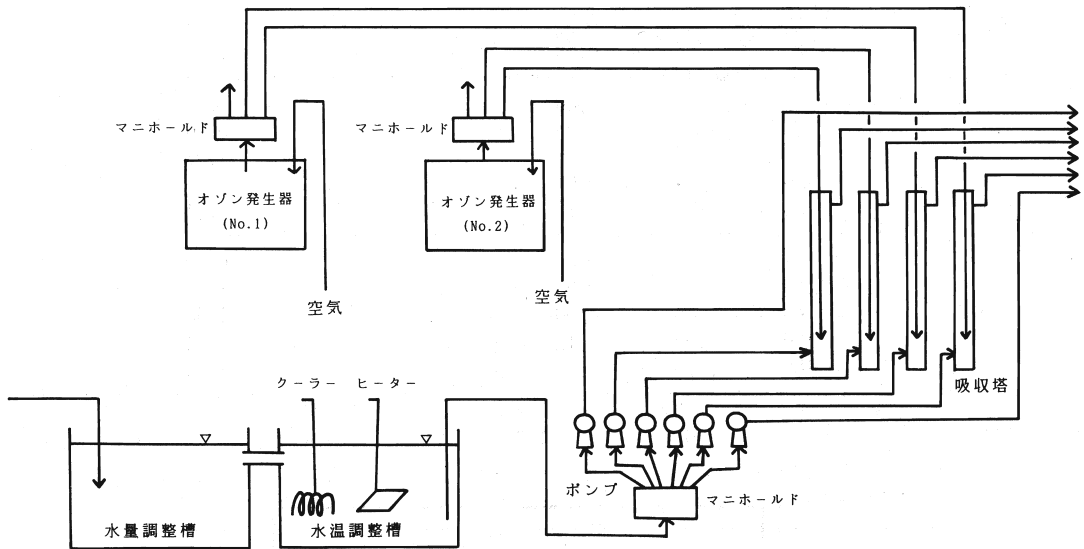


図2 吸収試験の模式図.

T-P および残留塩素を分析した。これらの分析法は BOD₅, COD_{Mn} および PO₄-P が JIS の工場排水試験法(日本工業標準調査会 1986), NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N および残留塩素が上水道試験法(厚生省環境局 1978), T-N および T-P が環境庁の告示の方法(環境庁 1992)によった。試験用水の溶存オゾン濃度の測定は K I 法(国際オゾン協会 1986)および比色法により、オゾンガスの注入前をゼロとし、30, 60, 120, 180分後の5回行なった。なお、測定に供した試料は100mlとした。

表3に示した条件で行なったオゾン吸収試験結果を表4, また図3にはオゾンガス濃度を7.0mg/lで注入した時の吸収時間による溶存オゾン濃度の変化を示した。溶存オゾン濃度は、注入オゾンガス濃度が1.0mg/lの場合、注入量が0.2l/minでは注入してから180分でも0で、0.3と0.4l/minでは180分で0.12mg/l, 0.5l/minでは120分で0.12mg/lに達した。注入濃度が7.0mg/lの場合、注入量が0.2l/minでも注入してから30分で溶存オゾン濃度が0.36mg/l, 180分で1.08mg/lとなった。注入量が0.5l/minでは30分で1.10mg/lで、180分でも濃度はほとんど変化なかった。

表4 吸収試験結果

注入オゾンガス量 (ℓ /min)	吸収時間 (min)	水中の溶存オゾン濃度 (mg/ ℓ)	
		ケース I (注入オゾンガス1.0mg/ ℓ)	ケース II (注入オゾンガス7.0mg/ ℓ)
0.2	0	0.00	0.00
	30	0.00	0.36
	60	0.00	0.86
	120	0.00	0.82
	180	0.00	1.08
0.3	0	0.00	0.00
	30	0.00	0.62
	60	0.00	0.84
	120	0.00	0.86
	180	0.12	1.10
0.4	0	0.00	0.00
	30	0.00	0.96
	60	0.00	1.02
	120	0.06	1.10
	180	0.12	1.14
0.5	0	0.00	0.00
	30	0.00	1.10
	60	0.00	1.08
	120	0.12	1.14
	180	0.12	1.16

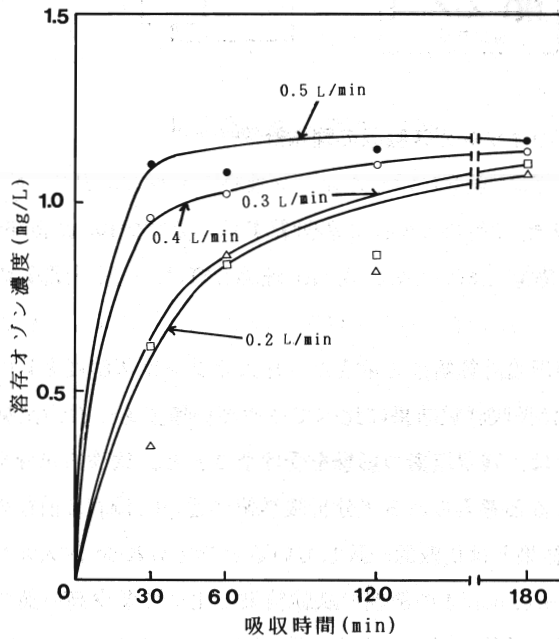


図3 オゾンガス濃度を7.0mg/ ℓ 注入したときの溶存オゾン濃度の経時変化。

オゾンの吸収試験の結果から、今回用いた吸収塔では水温10℃において、注入オゾンガス濃度が1.0mg/ℓの場合には注入するガス量によって溶存オゾン濃度が安定する時間は異なるものの、注入オゾンガス濃度が7.0mg/ℓの場合には約1.0mg/ℓであると考えられる。なお、この吸収試験に用いた用水(水道水)の水質分析の結果は表5のとおりで、オゾンの吸収試験に影響を及ぼすような有機物は含まれていなかったが、オゾンと反応する残留塩素(次亜塩素酸)(HAAG and HOIGNE 1984)が0.3mg/ℓ含まれていた。したがって、今回の吸収試験結果は、残留塩素の影響を受けて、実際の水中の溶存オゾン濃度よりも若干低めの値と考えられる。

表5 オゾンの吸収試験用水(水道水)の水質分析結果

項目	分析結果	分析方 法
pH	7.6	ガラス電極法
BOD ₅	<0.5mg/ℓ	ウインクラー・アジ化ナトリウム変法
COD _{Mn}	<0.5mg/ℓ	100℃過マンガン酸カリウム法
NH ₄ -N	ND ^{a)}	インドフェノール法
NO ₂ -N	ND	スルファニルアミド・ナフチルエチレンジアミン法
NO ₃ -N	<0.05mg/ℓ	Cd-Cu カラム, スルファニルアミド・ナフチルエチレンジアミン法
T-N	<0.05mg/ℓ	紫外線吸光光度法
PO ₄ -P	ND	モリブデン酸青法
T-P	ND	モリブデン酸青法
残留塩素	0.3mg/ℓ	オルト・トリジン法

a) ND：不検出。

3 吸収試験の試験条件でのオゾンガス吸収の理論計算

オゾンガス吸収の理論計算は、表6に示したオゾン吸収モデル式により、表7に示した計算条件(吸収試験の試験条件にもとづく)で行なった。この計算では、オゾンの自己分解は考慮しているが、有機物等によるオゾン消費は考慮していない。なお、理論計算は、(株)富士電気の総合研究所、水処理・バイオ研究所が行なった。

表8にオゾンガス吸収の理論計算結果を示した。注入オゾンガス濃度を1.0mg/ℓとした計算結果では、0.1~0.2mg/ℓの範囲で吸収試験結果に比べてやや高い値であった。試験結果が計算値に比べて低い値となった原因としては、残留塩素の影響を受けたことと、試験値が分析限界値に近く、分析による誤差が生じたことによると考えられる。分析限界値に近い0.1mg/ℓ前後の値でのオゾンガス吸収としては、試験結果と計算結果とは比較的一致していると考えられる。注入オゾンガス濃度を7.0mg/ℓとした計算結果では、0.8~1.5mg/ℓの範囲で試験結果と比べて多少高い値であるが、残留塩素の影響を考慮すれば、試験結果と計算結果とは良く一致していると考えられる。したがって、今回行なった吸収試験結果は、理論的なオゾンガス吸収に近いと判断される。

表6 オゾン吸収のモデル式

<p><モデル式></p> $dC/dt = LLa (C^* - C) - K_T C \quad (C^* = S.P)$	
<p>C: 溶存オゾン濃度 (mg/ℓ)</p>	<p>C*: 飽和オゾン濃度 (mg/ℓ)</p>
<p>t: 時間 (min)</p>	<p>KL: 総括オゾン移動係数 (m/min)</p>
<p>KT: オゾンの自己分解速度定数 (ℓ/min)</p>	<p>a: 単位容積当りの気液接触面積 (ℓ/m)</p>
<p>P: 気相中のオゾン濃度 (mg/ℓ)</p>	<p>S: 分配係数 (mg/ℓ)</p>
<p><計算式></p> $QL \cdot dC/dZ = A \cdot \{KL a (C^* - C) - K_T C\}$ $QG \cdot dP/dZ = A \cdot KL a (C^* - C)$	
<p>QL: 液相の流量 (m³/min) QG: 気相の流量 (m³/min) A: 槽の有効面積 (m²)</p>	

表7 計算条件

項目	計算条件
QL: 液相の流量	0.5 × 10 ⁻³ m ³ /min
QG: 気相の流量	0.2 × 10 ⁻³ , 0.3 × 10 ⁻³ , 0.4 × 10 ⁻³ , 0.5 × 10 ⁻³ m ³ /minの4段階
KL: 総括オゾン移動係数	0.0096 m/min (水温10℃の場合)
a: 単位容積当りの気液接触面積	宗宮の式による
KT: オゾンの自己分解速度定数	0.0126 ℓ/min (pH7.6, 水温10℃の場合)
A: 槽の有効面積	0.0085 m ²
S: 分配係数	0.384125 mg/ℓ (水温10℃の場合)
P: 気相中のオゾン濃度	1.0, 7.0 mg/ℓ の2ケース
ZO: 吸収塔の高さ	1.3 m

表8 オゾンガス吸収の理論計算結果

注入オゾンガス量 (ℓ/min)	理論計算の溶存オゾン濃度 (mg/ℓ)	
	ケース I (注入オゾン1.0mg/ℓ)	ケース II (注入オゾンガス7.0mg/ℓ)
0.2	0.11	0.81
0.3	0.15	1.09
0.4	0.18	1.31
0.5	0.21	1.49

オゾンのサケ稚魚に対する毒性試験

オゾンによる水処理を行なう場合、水処理を確実なものとするために、処理水に含まれている有機物を処理(酸化)する以上のオゾンガスを使用するのが一般的である。したがって、サケ稚魚の飼育用水をオゾンで水処理をした場合には、飼育用水中に溶存オゾンが残存していることが考えられる。オゾンは、強力な酸化剤で水処理に対しては有効な物質であるが、反面強い毒性も有している。こうしたことから、オゾンによる飼育用水の処理を行なう上でサケ稚魚が影響を受ける水中のオゾン濃度を把握することは重要なことなので、48時間毒性試験を行なった。

毒性試験は、試験水中の溶存オゾン濃度を0.05, 0.1および1.0mg/lにした場合と溶存濃度を0とした対照区の4ケースについて行ない、試験結果の再現性をみるために、それぞれの試験ケースに対して2コづつ同じ条件での試験を同時に実施した。溶存オゾン濃度を0.05, 0.1および1.0mg/lの3段階にしたのは、COLBERG and LINGG (1987)が水処理に有効な溶存オゾン濃度は1.0mg/l, 細菌の殺菌に有効な濃度は0.1mg/l, また魚類に影響を及ぼさない濃度は0.05mg/lと報告していることによった。

試験は流水式(流量, 0.5ml/min)で、試験魚の水槽は100lの透明なアルテミアふ化槽を用い、試験魚は各試験ケースとも大曲市営水産ふ化場において人工ふ化させたサケ稚魚150尾とし、試験条件は表9に示した。また、毒性試験の模式図を図4に示した。試験に使用した溶存オゾン水は、吸収塔(吸収試験に用いたものと同じ)にオゾン発生器からオゾンガスを注入して製造したが、所定の溶存濃度とするための注入ガス濃度および量の条件は吸収試験結果に基づいた。試験用水には、溶存オゾン濃度の安定をはかるために水道水を用い、これを通気し、残留塩素をチオ硫酸ナトリウムで中和し、水温を10℃とした。試験水槽の水量は90lとし、吸収塔にオゾンガス注入してから2時間後の試験水を用いた。試験水の使用を2時間後としたのは、飼育用水に対する吸収試験結果では注入ガス量が0.5l/minの場合、溶存オゾン濃度が2時間で安定したことによった。試験中の溶存オゾン濃度は、各試験ケースごとに吸収塔出口と水槽内の試験水で測定し、設定した濃度であることを確認した。

表9 毒性試験(48時間)の試験条件

項 目	試 験 条 件
試験水中の溶存オゾン濃度	0.05mg/l (注入オゾン濃度およびオゾン量: 0.3mg/l, 0.5mg/l) 0.1mg/l (注入オゾン濃度およびオゾン量: 1.0mg/l, 0.5mg/l) 1.0mg/l (注入オゾン濃度およびオゾン量: 7.0mg/l, 0.5mg/l)
試験水量	90 l
試験水の流量	0.5 l/min
試験水の水温	10℃
試験魚(サケ稚魚) ^{a)}	150尾(1回目のサイズ, 尾又長: 37.2±1.7mm, 体重: 0.32±0.04 g) (2回目のサイズ, 尾又長: 40.6±1.9mm, 体重: 0.43±0.06 g)

a) 試験魚の体重, 尾又長は, 50尾の平均と標準偏差である。

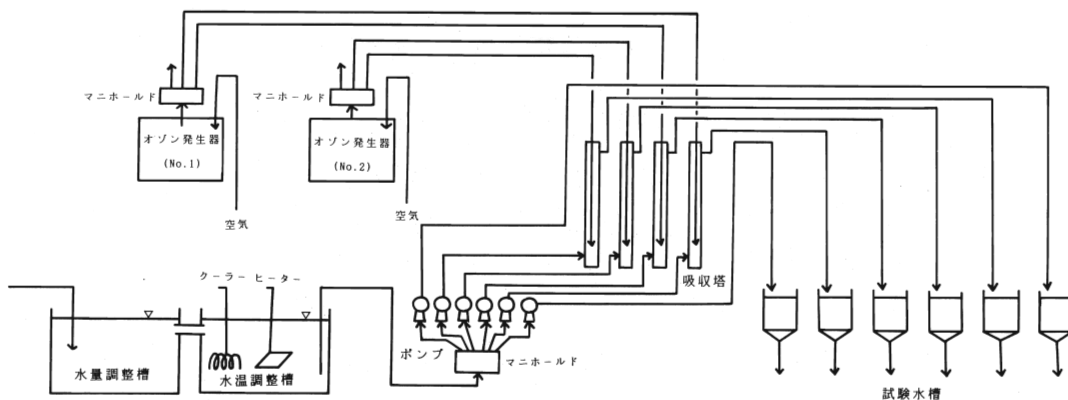


図4 毒性試験の模式図.

各試験ケースにおける48時間毒性試験を表10に示した。溶存オゾン濃度1.0mg/lでは、試験開始から2時間で試験魚の約90%が死亡し、4時間で全て斃死した。0.1mg/lでは、試験開始から8および10時間でそれぞれ試験魚の約10%が死亡し、12時間で全て斃死した。一方、0.05mg/lおよび対照区では、48時間でも試験魚の死亡はなかった。試験結果の再現性をみるために、同じ条件での再試験をしたが、結果に違いはみられなかった。また、毒性試験によって斃死した直後の稚魚の鰓弁を、顕微鏡により観察すると、溶存オゾン濃度1.0と0.1mg/lでは赤血球が破壊されて組織は脱色されたようになっていた(図5)が、0.05mg/lと対照区ではそのような状態は観察されなかった(図6)。

表10 毒性試験 (48時間) 結果

試験水の溶存オゾン濃度 (mg/l)	毒性試験結果
1.0	4時間で全数斃死(150尾)
0.1	12時間で全数斃死(150尾)
0.05	全数生残
対照区	全数生残

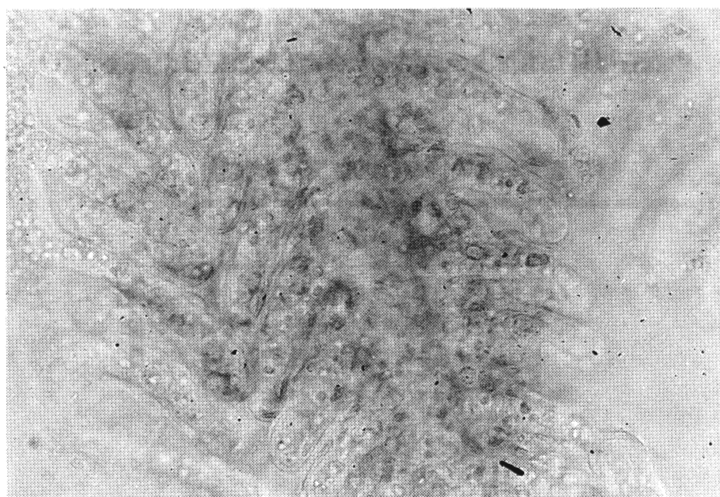


図5 溶存オゾン濃度1.0mg/lで試験したサケ稚魚の鰓弁(10×40倍)。

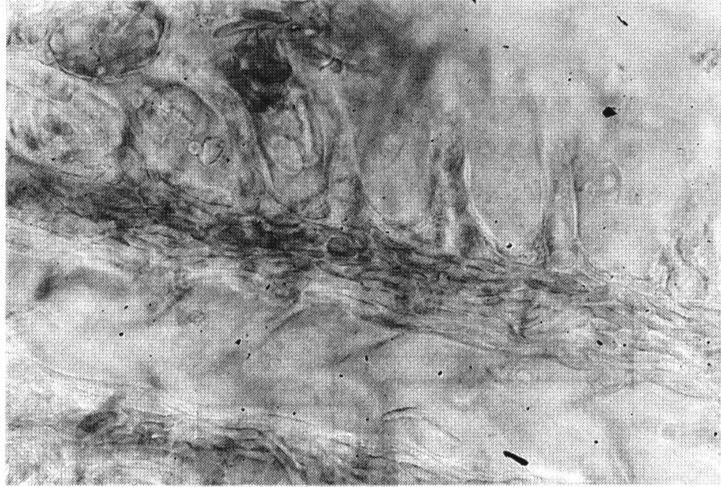


図6 対照区のサケ稚魚の鰓弁 (10×40倍).

この結果から、飼育用水中の溶存オゾン濃度が $0.1\text{mg}/\ell$ 以上になると、稚魚に対して死に至らしめるような影響が生ずることは明らかで、飼育用水の溶存濃度は少なくとも $0.05\text{mg}/\ell$ 以下にすることが必要である。したがって、サケ稚魚飼育用水をオゾンにより処理し、再使用するには、処理後、水中からオゾンを除去する必要がある。

飼育用水中の溶存オゾンの除去試験

毒性試験でオゾン処理後の水中からオゾンを除去する必要があることがわかった。オゾンを除去する方法としては、活性炭による吸着、チオ硫酸ナトリウムによる中和処理が考えられるが、ここでは活性炭による除去を検討した。

除去試験は、除去塔の活性炭充填層に活性炭を全て充填した場合(ケースⅠ)と半分充填した場合(ケースⅡ)の2ケースについて実施し、また、除去塔通過水で配合餌料(全農、C-S~C-2)を1日5回(1回 $0.4\sim 2.5\text{g}$)給餌してサケ稚魚150尾の飼育も行った。除去試験の条件を表11に、試験の模式図を図7に示した。試験に用いた水は吸収試験と同じである。除去塔に入る水の溶存オゾン濃度は、 $1.0\text{mg}/\ell$ になるように注入オゾンガス濃度、量を設定した。水中のオゾン濃度の測定は活性炭層の通過前後に行なった。活性炭によるオゾンの吸着能力は、試験条件と結果から表12に示した計算式で求めた。

結果は表13に示したとおりで、ケースⅠでは試験開始から35日目、ケースⅡでは21日目に活性炭層の通過水から $0.1\text{mg}/\ell$ のオゾンが検出された。活性炭によるオゾンの吸着能力の算定に当っては、毒性試験結果から少なくとも $0.05\text{mg}/\ell$ 以下にする必要があることから、オゾンが全て吸着されることが条件となる。ケースⅠの場合では32日目、ケースⅡの場合には17日目までは完全に吸着されているので、表12の計算式より活性炭 1g 当りの吸着オゾン量を求めると、ケースⅠでは 11.05mg 、ケースⅡでは 11.7mg とほぼ同じ値であった。したがって、活性炭 1g はオゾン 11mg 程度を完全に吸着する

ものと考えられる。また、除去塔通過後の水によりサケ稚魚を飼育したが、試験開始から45日目でも斃死はみられなかった。表13の結果では、開始して32日目からの飼育用水には0.1mg/lのオゾンが含まれているはずであり、毒性試験結果からして、その後の稚魚は全て斃死しなければならなかった。稚魚が斃死しなかったのは、飼育用水の排水水から全くオゾンが検出されていないことから、飼育に伴い発生する有機汚濁物質に、オゾンが完全に消費されたものと考えられる。なお、試験魚のサイズは表14のとおりであった。

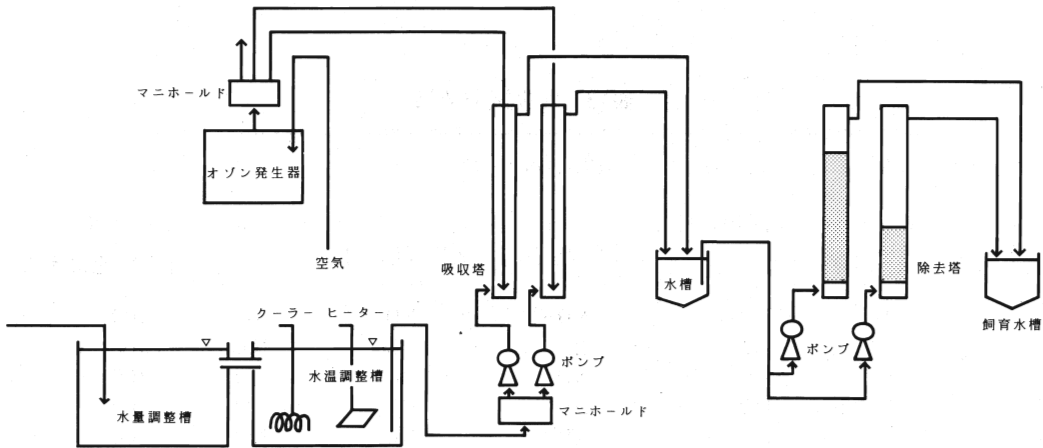


図7 除去試験の模式図.

表11 除去試験の試験条件

項 目	試 験 条 件
オゾン発生器への空気量	1.0 l / min
注入オゾンガス濃度	7.0 mg / l
注入オゾンガス量	0.5 l / min
吸収試験用水の流量	0.5 l / min
吸収試験用水の水温	10℃
オゾンガスの接触時間	22.1 min (吸収塔 104mm φ × 1300mm)
用水中のオゾン濃度	1.0 mg / l
活性炭層の容積	104mm φ × 800mm, 104mm φ × 400mm の 2 ケース
活性炭量	2500 g, 1250 g

表12 活性炭のオゾン吸着能力の計算式

＜計算式＞	
$A = QT \cdot O_3 / C \quad (QT = Q \cdot T)$	
A : オゾンの吸着量 (mg/g)	Q : 流量 (ℓ/min)
QT : 積算流量 (ℓ)	T : 吸着時間 (min)
O_3 : 溶存オゾン濃度 (mg/ℓ)	
C : 活性炭量 (g)	

表13 除去試験結果

経過時間 (日)	溶存オゾン濃度 (mg/ℓ) ^{a)}		除去率 (%)		
	活性炭層通過前	ケース I ^{b)} 活性炭層出口	ケース II ^{c)} 活性炭層出口	ケース I	ケース II
1	1.2	ND ^{d)}	ND	100	100
4	1.2	ND	ND	100	100
7	1.2	ND	ND	100	100
10	1.2	ND	ND	100	100
15	1.2	ND	ND	100	100
17	1.2	ND	ND	100	100
21	1.2	ND	0.1	100	91
25	1.2	ND		100	
30	1.2	ND		100	
32	1.2	ND		100	
35	1.2	0.1		91	
42	1.2	0.1		91	
45	1.2	0.1		91	

a) 採水は13:00に実施。

b) ケース I は活性炭2500 g。

c) ケース II は活性炭1250 g, 試験は試験開始から21日目で終了。

d) ND: 不検出。

表14 試験魚のサイズ

	試験開始(0日目)	試験終了後(45日目)
尾又長(mm) ^{a)}	41.2±2.1	63.9±5.0
体重(g) ^{a)}	0.45±0.08	2.30±0.55

a) 試験魚の尾又長および体重は50尾の平均値と標準偏差。

文 献

- COLBERG, P.J. and LINGG, A.J. (1987) Effect of ozonation on microbial fish pathogens, ammonia, nitrate, nitrite, and BOD in simulated reuse hatchery water. *J. Fish. Res. Board Can.*, **35**, 1290-1296.
- FRVING, N.S. and LEWIS, R.J. (1987) ザックス有害物質データブック, (藤原鎮男監訳, 1990). 丸善, 東京, 128.
- HAAG, W.R. and HOIGNE, J. (1984) Kinetics and products of the reactions of ozone with various forms of chloring and bromine in water. *Ozone Sci. Eng.*, **6**, 103-114.
- 環境庁環境法令研究会編集 (1992) 環境六法 (平成4年版). 中央法規出版, 東京, 480-481, 488-491.
- 国際オゾン協会編集 (1986) オゾン利用の新技术. 三秀書房, 東京, 5-20, 172.
- 厚生省環境局水道環境部監修 (1978) 上水道試験法 (1978版). 日本水道協会, 東京, 247-268.
- 日本工業標準調査会 (1986) 工場排水試験方法 (JIS-K-0121986). 日本規格協会, 東京, 47-51, 158-162, 244-245.
- 佐野和生 (1988) 養殖工学概論. 緑書房, 東京, 140-158.
- 水産庁北海道さけ・ますふ化場監修 (1987) さけ増殖事業の手引き. (社)本州鮭鱒増殖振興会, 東京, 100.

[質疑応答]

宮崎 (富山栽セ) オゾン吸収塔とはどのような構造か.

斎藤 (秋田水振セ) オゾン吸収塔は, オゾンガスを細かい気泡として分散させ, 飼育用水中に効率良くオゾンガスを吸収させる装置である. 今回用いた吸収塔は, 円筒型 (104mm ϕ , 1300mm) で, 吸収塔底部にオゾンガスを細かい気泡とするためのセラミック製分散器を設置し, 吸収塔の下部から飼育用水を注入してオゾンガスを吸収させ, 上部から飼育用水を排出させる構造になっている.