HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	魚類養殖および栽培漁業でのオゾンの利用
Author(s)	吉水, 守
Description	第1部 技術概論、第13章
Citation	オゾン年鑑. 93-94年度版, 401-409
Issue Date	1992
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/39526
Type	book part
File Information	yoshimizu-111.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

オゾン年鑑 93-94年度版　別刷

第1部　技術概論

第13章　魚類養殖および栽培漁業でのオゾンの利用

吉水　守　　北海道大学 水産学部

株式会社 リアライズ社
〒113 東京都文京区湯島2-16-13 斉藤ビル
TEL. 03-3815-8511

第13章

魚類養殖および栽培漁業でのオゾンの利用

はじめに

養殖業の発展と作り育てる漁業の定着化にともない，養殖用あるいは放流用種苗としての人工種苗の生産量は年々増加し，養殖業の生産額も高水準を維持している。しかし一方，養殖および種苗生産対象魚介類の多くの種で病原微生物による疾病の発生が見られ，養殖業の経営や放流用種苗生産に打撃を与え，大きな問題となっている。各地の養殖施設や栽培漁業センターでは飼育魚の管理と共に，飼育用水をはじめ使用器具機材，施設の病原微生物対策が重要な課題となってきている。ここでは飼育用水の殺菌法，特にオゾンを使用した殺菌法について，魚類病原微生物のオゾン感受性，オゾンによる飼育用水の殺菌法，使用上の注意点等を筆者らの経験をもとに紹介したい。

1. 飼育用水殺菌の必要性

現在の養殖業および栽培漁業は，安全で美味かつ鮮度の良い魚介類を，安く大量に安定的に生産することを一つの大きな目標としている。そのためには疾病の発生がなく，かつ高密度での集約的生産が可能な飼育技術が要求されている。魚介類を飼育する場合，飼育用水，餌量，飼育施設等の管理には十分な注意が払われているが，養殖対象魚介類の多くの種で，原生動物[1]，真菌，細菌[2]，ウイルス[3]等による疾病が発生し，大きな問題となっている。

これら疾病の防疫手法としては，採卵親魚の病原体保有の有無や既往症歴の把握といった健康状態の調査をはじめ[4]，種卵の消毒，飼育用水の殺菌，飼育施設の消毒等を実施し，病原体の侵入を防ぐ対策がとられている[5]。なかでも飼育用水の管理は最も重要な課題である。

飼育用水の殺菌に関しては紫外線やオゾンを利用した殺菌装置が開発され，ニジマス，ギンザケ，ヤマメ，アマゴ等淡水養殖を中心に広く普及し，魚病対策に効果を上げている[5]。また海産魚の種苗生産施設や育成施設でもここ数年，病原体対策に採用され使用されるようになってきている。特に海産魚介類の養殖では沿岸海水を飼育用水として使用するた

め，海水中に病原微生物が存在すると種苗生産場への侵入は避けられず，飼育環境や飼育魚の健康状態の悪化さらには過度のストレス等が加わった場合，疾病が発生しやすい状況下にある。そして，いったん疾病が発生すると飼育排水と共に病原微生物を環境に放出することになり，湾内あるいは沿岸海水を病原菌で汚染し，悪循環を繰り返す危険性がある。こういった危険性を回避するためにも飼育用水および飼育排水を殺菌し微生物管理を十分行う必要がある。

2. 飼育用水の殺菌

魚類飼育用水の殺菌に関しても上水道水のように，塩素による消毒を実施し疾病の発生がほとんど見られない養魚場も外国では知られている[6]。サケマス類の場合，発眼期に卵をヨード剤で消毒し脱塩素処理上水道水を使用して飼育するとSPF（病原体フリー）魚が得られる。しかしこの場合，脱塩素処理が必要となり，事業規模で実施するとその設備や装置，設置後の維持管理経費も多大なものとなる。最近ではイセエビ等貴重な種苗の生産に高分子濾過膜を使用した濾過除菌法を使用している例もあるが，低コストで大量の水を必要とする一般魚類飼育用水の殺菌処理法としてはまだ技術的，経済的に解決しなければならない問題も多い。水そのものの理化学的性質を変えることなく大量の水の殺菌処理を行うには現在のところ紫外線を利用する方法が最も目的にかなっているが，病原体によっては現在市販の紫外線殺菌装置では出力不足で対応できないものもあり，オゾンを用いた殺菌装置も広く普及してきている。しかしその使用方法および脱オゾン方法により現場での評価は異なっている。

3. オゾン殺菌法

すでに本書前項で述べられているように，無声放電法あるいは電解質高分子膜（陽イオン交換膜）を用いる電解法により発生したオゾンを処理槽に吹き込み飼育水中に存在する微生物を殺菌する方法である[7]。オゾンは強力な殺菌作用がある反面，人体や魚に対しても毒性を示すため，曝気あるいは活性炭によりオゾンあるいはオゾンとの反応生成物を除去後，飼育用水として用いる必要がある。特に海水中には種々の微量成分（特に臭素イオン）が存在し，これらと反応したオゾンはオキシダントとなり，かなり長期間残留し魚毒性を示す[7),8)]。淡水での実験例でニジマスの場合，魚毒性はLC_{50}（半数致死量）が0.008～0.028mg/lと報告され[9),10)]，魚の飼育には0.003mg/l以下にする必要があるとされている[9)]。このような低濃度のオゾン量を測定することは現状ではなかなか困難であり，オゾン濃度を連続的に測定，監視できる装置の開発が望まれている。

4. 魚類病原微生物のオゾン（オキシダント）感受性

代表的な魚類病原細菌，ウイルスおよび寄生虫に対するオゾンの殺菌効果を表－1に示した。淡水中での衛生細菌および病原ウイルスのオゾン感受性については，すでに前項までに述べられているため，本表では主として海水中での魚類病原微生物のオゾン感受性[11]を示した。淡水中での代表的な魚類病原細菌，*Aeromonas salmonicida*（せっそう病原因菌）および*Yercinia ruckeri*（口赤病原因菌），ならびにIPNV（伝染性膵臓壊死症ウイルス）およびIHNV（伝染性造血器壊死症ウイルス）を殺菌あるいは不活化するオゾン処理条件は0.01～0.04mg/*l*で30秒であった[12),13)]。一方海水中ではせっそう病およびビブリオ病原因菌をはじめとする6種の魚類病原細菌の生菌数を99.9%以上減少させるに要するオゾン処理条件（オキシダント量として測定）は，いずれも0.5mg/*l*で15～60秒（0.2～0.3mg/*l*で60秒）であった[7),11)]。一方魚類病原ウイルスの感染価を99.9%以上減少させるオキシダント量は，YAV（ブリ膵肝壊死症ウイルス）およびHRV（ヒラメラブドウイルス）では，

表－1　魚類病原微生物に対するオゾンの殺菌効果

微生物		環境水	オゾン濃度 (mg/*l*)	処理時間 (秒)	殺菌効果 (%)	処理時の菌数 (Log.)	文献
Aeromonas salmonicida		淡水	0.04	30	100	4.0	12
Yercinia ruckeri		淡水	0.01	30	100	4.0	12
IPNV（伝染性膵臓壊死症ウイルス*1）		淡水	0.01	60	100	4.0*	13
IHNV（伝染性造血器壊死症ウイルス*2）		淡水	0.01	30	100	4.0*	13
YAV（ブリ膵肝壊死症ウイルス*3）		海水	0.5	60	99.9	4.3*	11
HRV(Hirame rhabdovirus)		海水	0.5	30	99.9	5.8*	11
IPNV（伝染性膵臓壊死症ウイルス）		海水	0.5	60	99.9	4.0*	11
IHNV（伝染性造血器壊死症ウイルス）		海水	0.5	15	99.9	4.0*	11
CSV(Chum salmon virus)		海水	0.5	30	99.9	3.8*	11
OMV(*Oncorhynchus masou* virus)		海水	0.5	15	99.9	2.8*	11
Aeromonas salmonicida	ATCC 14174	海水	0.5	15	100	5.7	11
Aeromonas hydrophila	IAM 1018	海水	0.5	15	99.9	4.6	11
Aeromonas punctatal	AM 1646	海水	0.5	15	99.9	4.0	11
Vibrio anguillarum	NCMB 6	海水	0.5	60	99.9	5.6	11
Escherichia coli	oli0-26	海水	0.5	15	99.9	6.5	11
Streptococcus sp.	YT-3	海水	0.168	60	99.9	6.0	7
Vibrio anguillarum	ATCC 19264	海水	0.142	60	99.9	6.0	7
Pasteuralla piscicida	K-III	海水	0.086	60	99.9	6.0	7
Scuticociliata（繊毛虫）		海水	1.0	30	99.9	5.3	11

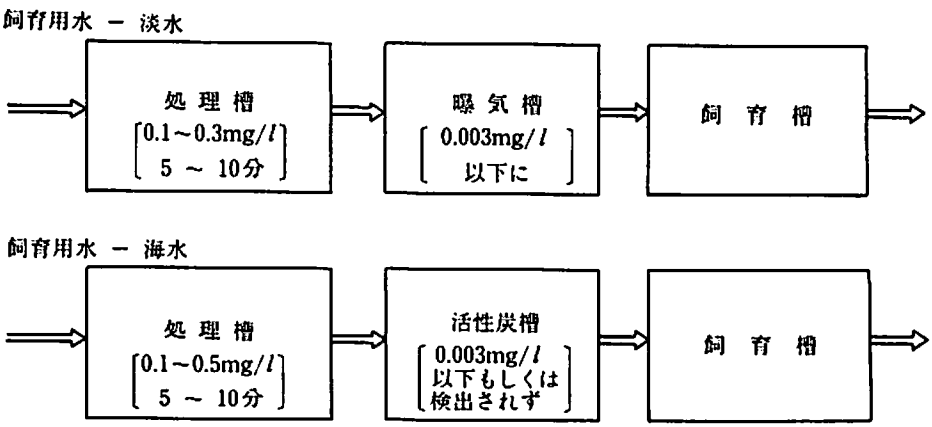
*: Log. $TCID_{50}$/ml, *1: Infectious pancreatic necrosis virus,
*2: Infectious hematopoietic necrosis virus, *3: Yellowtail ascites virus.

0.5mg/*l*で60秒および30秒であった。前述のサケ科魚類のIPNV，IHNVそれにChum salmon virus（CSV），*Oncorhynchus masou* virus（OMV）も海水中では0.5mg/*l*で15～30秒を要した[11]。魚類病原寄生虫の場合，繊毛虫のスクーチカを99.9%以上殺虫するに要するオキシダント濃度と時間は1 mg/*l*で30秒であった[11]。

5. 淡水養殖でのオゾンの利用

飼育用水をオゾン処理し，病原体を殺菌あるいは不活化する試みは，1970年代後半からWedemeyerら[9),12),13)]を中心にアメリカ合衆国で行われ，ニジマスに対するオゾンの魚毒性（24時間）がLC_{50}で0.016mg/*l*（魚体長10～13cm）であること[9)]，前述のせっそう病原因菌*A. salmonicida*，口赤病原因菌*Y. ruckeri*，IPNVおよびIHNVに対するオゾンの殺菌あるいは不活化効果が0.01mg/*l*60秒処理で確認されたこと[12),13)]から，飼育用水をまず0.1～0.3mg/*l*の濃度で5～10分間オゾン処理し，その後オゾン濃度が0.003mg/*l*以下になるように曝気をして飼育用水として用いることを推奨し，ワシントン州やオレゴン州の孵化場には，このような飼育水のオゾン処理装置が多く導入されている。オレゴン州立孵化場での試験結果では，この濃度の処理によりミキソゾーマやセラトミキサ属の寄生虫感染症も防除可能とされている[14),15)]。

一方，わが国では，静岡県水産試験場が同様の検討を行い，ニジマスに対するオゾンの魚毒性は24時間でLC_{50}が0.0083mg/*l*（体重7.0g群）～0.028mg/*l*（同150g群）と報告している[10)]。しかしわが国ではギンザケおよびニジマス養殖場を中心にオゾンによる飼育用水の殺菌と水質改善を目的に低濃度のオゾンを散気管から直接飼育水中に吹き込む方法が広く普及している[7)]。この場合飼育水中のオゾン濃度（オゾナイザーの出力から計算すると0.005mg/*l*程度が目安とされている）から判断すると殺菌効果は期待できず，飼育魚の遊泳



図－1　飼育用水（淡水および海水）のオゾン処理図式

状態や飼育池の状況からむしろ水質改善（溶存酸素の増加・アンモニア態窒素の減少）による飼育環境の改善による効果が大きいと理解すべきであろう（正確なオゾン濃度の測定と生菌数の減少率を測定する必要がある）。これが現在使用者によりその評価が異なる一因と考えられる。本州各地のサケマス養殖地域ではすでに河川水がIHNVに汚染されてしまっているところもあり，ウイルスフリーあるいは不活化用水の確保にオゾン処理を行う場合，やはり図－1に示したような方法を採るべきと考える。

6. 栽培漁業でのオゾンの利用

前述のように作り育てる魚業の定着化にともない，放流用種苗の生産が必要となり各地に種苗生産施設が設けられ種苗の生産量は年々増加し，沿岸での漁獲量に占める放流魚の割合も増加している。しかし一方，種苗生産対象魚介類のほとんどの種で病原微生物による疾病の発生が見られるようになり，栽培漁業センターはじめ種苗生産施設では飼育用水の病原微生物対策が重要な課題となっている。

淡水と異なり，海水中には種々の微量成分が存在し，海水をオゾン処理した場合，これら成分，特に臭素イオンと反応したオゾンは次亜臭素酸イオン（BrO^-）および／あるいは臭素酸イオン（BrO_3^-）となり[7),8)]，かなりの長期間残留し魚毒性を示す。水産庁の委託によりマリノフォーラム21が実施した海水殺菌装置の評価試験で測定された残留オキシダントの半減期は22時間以上[7)]，魚毒性もクロダイ（全長70～105cm）は，0.03mg/l 20～40分の曝気で50～90分後に，0.04mg/l 10分の曝気で10分後に死亡し，さらに0.03mg/lのオキシダントを含む海水を10倍に希釈して同じ大きさのクロダイを飼育しても1時間後には死亡したと報告されている[7)]。同様の魚毒性はヒラメ，マダイでも報告されている[7)]。一方大ニベでも0.2mg/lの残留オキシダントが致命的な毒性を示したと報告され[8)]，臭素イオン等微量

表－2　宮崎県増殖センターでの飼育用水のオゾン，紫外線処理試験の条件と処理水を用いたヒラメの飼育成績*

	オゾン処理	紫外線処理	対照
処理条件	1.0mg/l，8.5分 （荏原実業K.K.製）	$6.0\times10^7\,\mu W\cdot sec/cm^2$ （荏原実業K.K.製）	無処理
供試尾数	2,500	2,500	2,500
体長（mm）	16.5	16.5	16.5
歩留り（%）	70.2	76.8	71.5
平均全長（mm）	49.6	47.9	48.0
平均体重（g）	1.19	1.07	1.11

＊：30日間飼育後の歩留り，体長，体重。0.5t円型FRP水槽を使用
流入水量10l/min

表－3　飼育用水のオゾン処理後，活性炭通過後，紫外線処理後ならびに各処理水使用飼育水槽水の生菌数（/100ml）

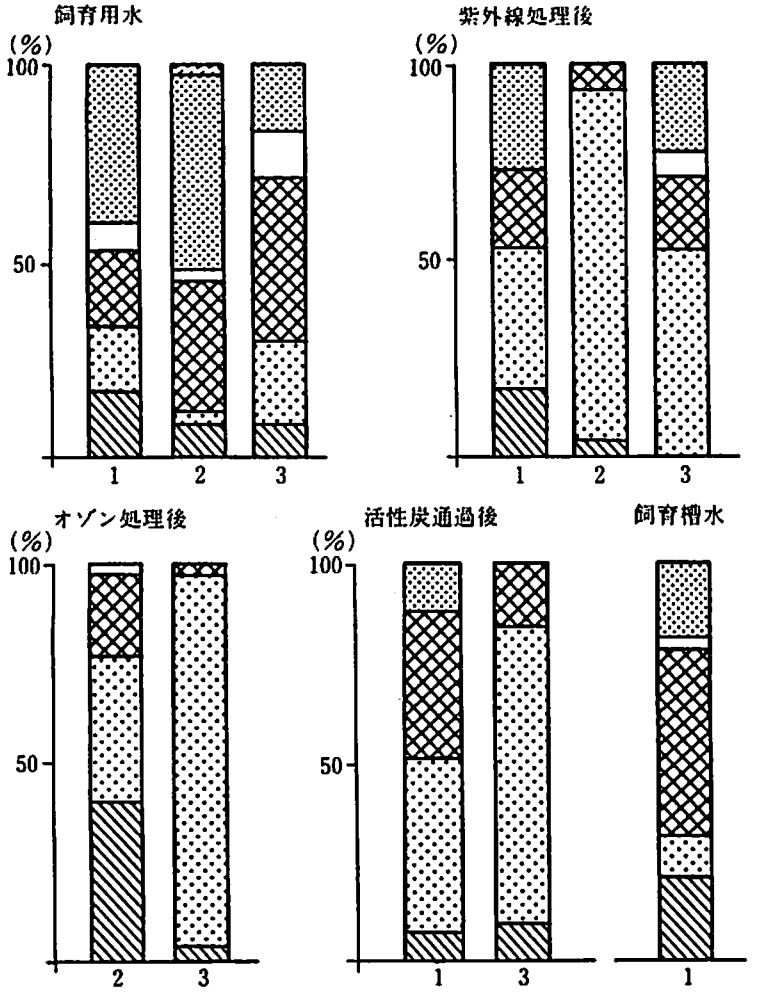
	6/4	6/11	6/18	6/25	7/2
飼育用水	1.7×10^{3}	5.7×10^{4}	3.1×10^{4}	4.3×10^{4}	6.1×10^{4}
オゾン処理後*	0	2.4×10^{1}	3.5×10^{0}	4.4×10^{1}	1.3×10^{1}
紫外線処理後	1.2×10^{3}	7.9×10^{2}	1.4×10^{3}	1.1×10^{3}	1.5×10^{3}
活性炭通過後	3.6×10^{4}	8.6×10^{4}	4.7×10^{4}	2.4×10^{4}	1.4×10^{4}
飼育槽（無処理区）	5.1×10^{6}	3.4×10^{6}	5.0×10^{6}	1.5×10^{6}	2.1×10^{6}
飼育槽（オゾン処理区）	1.8×10^{6}	$>3.0\times10^{7}$	4.8×10^{6}	1.7×10^{6}	1.8×10^{6}
飼育槽（紫外線処理区）	6.8×10^{6}	1.1×10^{7}	5.1×10^{6}	3.0×10^{6}	3.4×10^{6}

＊：/100ml

元素を含まない人工海水を用いて循環飼育する場合を除き，オゾン処理後に生成されたオキシダントを除去する必要がある。

この残留オキシダントの除去にはチオ硫酸ソーダ等の還元剤の使用が可能であるが，必要量を連続的に注入することは難しい。還元剤触媒の開発が行われているが[16]，現在簡単に入手できるものとして活性炭が広く用いられ，オゾン処理海水を用いた種苗の飼育が試みられている。

種苗生産システム研究会（マリノフォーラム21）が，青森県増殖センターで行ったオゾン処理海水を用いたヒラメの飼育試験条件とそのときの飼育成績を表－2に示した[17]。飼育用海水をオゾン処理し，オキシダント濃度を1 mg/lとして8.5分間作用させたが，このときの生菌数は表－3のようになり，飼育用水中の細菌数は原水の約1/1万に減少した。同時に行った紫外線処理の場合約1/100～1/10に減少し，オゾン殺菌の有効性が確認された。このオゾン処理海水を活性炭槽に通し，残留オキシダントを除去した後，ヒラメ稚魚を飼育した（試験期間中オキシダントは検出されず）ところ，歩留まりは紫外線処理群が最も良かったもののオゾン処理群と対象群に有意差は認められなかった。オゾン処理前後の細菌叢を比較すると，グラム陰性の魚病原因細菌を含む*Vibrio*属や*Pseudomonas*属が減少し（図－2），魚病原因細菌の菌数減少に効果があるものと推察される。また著者らが北海道内の養魚場で行ったオゾン処理海水を用いたヒラメの飼育試験でも，ほぼ同様の結果が得られている（表－4）[17]。さらにOzawaら[8]も閉鎖系海水飼育におけるオゾン利用を検討し，活性炭を用いた残留オキシダント除去の効果を確認している。一方紫外線ランプとして低圧水銀ランプを使用した場合，波長185nmと254nmの紫外線を発生する。このうち185nmの波長により空気中のO_2がO_3に変化する現象を利用してオゾンと254nmの紫外線による殺菌法を併用した装置も市販されているが，この装置で海水を処理すると残留オキシダントが蓄積し，魚毒性を示すことが心配され，天然海水を用いた循環飼育水への使用等には注意が必要である。



図－2　飼育用水のオゾン処理後，活性炭通過後，紫外線処理後ならびにオゾン処理水使用飼育槽水の細菌叢

表－4　オゾンおよび紫外線処理海水で飼育したヒラメの生存率

	オゾン処理	紫外線処理	無処理対照
平均全長mm	74.4	71.9	71.0
生残率	71.8	71.5	67.4

北海道F町，0.5t角型FRP水槽に平均全長23.7mmの稚魚を2,000尾ずつ収容し，49日間流水飼育．給餌は1日1回
オゾン処理：1.0mg/l，8.5分
紫外線照射量：$1.0\times10^4\,\mu$ W・Sec/cm^2

7. 魚類飼育用水殺菌法で重視すべき条件

養魚用水は大量の水を必要とし，かつ生物を安全に飼育する必要があり，常時安定した水質が保持されていなければならない。殺菌処理によって水の物理化学的性質が変化してはならず，オゾン処理後の曝気（淡水）や活性炭，触媒等によるオキシダント除去（海水）といった工程の管理が重要となる。淡水でのオゾン利用の場合，低濃度のオゾンを直接飼育池に吹き込む方式も普及しているが，飼育環境水の水質改善を目的とする場合は別として，殺菌を目的とする場合には，有効オゾン濃度を一定時間保ち，その後オゾンを除去して飼育用水として用いる必要がある。また一部ではオゾンによる飼育魚の成長促進効果が期待されているが，否定的な結果を報告している試験場もあり，こちらも飼育環境の改善による結果と考えるべきであろう。

次に実際の飼育現場への導入となると，飼育対象魚種により殺菌対象病原微生物が異なり，処理濃度の選択も異なってくる。例えば前述のニジマス養殖の場合，IPNV対策を除けば0.1mg/l，５分程度のオゾン処理で十分目的は達成されると考えられる。またヒラメ種苗の場合もスクーチカ症やイクチオボド症のような寄生虫感染症を除けば，同濃度のオキシダント処理でその目的は達成されると考えられる。しかしブリ稚魚やマガレイ稚魚のようにビルナウイルスやレオウイルスによる感染症が危惧される場合には0.5mg/l程度にまで濃度を上げる必要があると考える。またオゾン濃度は有機物濃度に大きく影響されるため，処理槽中のオゾンあるいはオキシダント濃度が所定の濃度を維持しているかどうか，常に監視する必要がある。さらにオゾン収率に原料ガスの酸素濃度と湿度が大きく影響する。

オゾン発生器に無声放電方式を用い，養魚池近辺に設置する場合，一般的には原料ガスを空気に頼っているところが多いため，できるだけ空気中の水分を取り除く必要がある。水産関係施設ではどうしても湿度が高くなる。そのためオゾン発生装置はなるべく乾燥した場所に設置し，ブロアの後，空気前処理装置として冷却・乾燥機能を付加した装置を設置することが望まれる。

また病原体対策としては単に飼育用水の殺菌のみにとどまらず，飼育排水を殺菌して河川あるいは海に戻す必要がある。この排水の殺菌も用水の殺菌と同等あるいはそれ以上の重要性を持つと考えられ，これは近い将来の緊急かつ重要な課題である。さらに飼育水槽，使用器具，使用者（手，足，長靴，カッパ，手袋等）をはじめ活魚輸送車にいたる養殖システム全体の殺菌も必要になろう。これらの具体的な方法に関しては別の成書[10]を参照願いたい。

参考文献

1) K.Ogawa : (1990) The Second Asian Fisheries Forum, 967-969.
2) K.Muroga : (1990) *ibid.*, 963-966.
3) M.Yoshimizu and T.Kimura : (1990) *ibid.*, 959-962.
4) 吉水　守，野村哲一：(1989) 魚と卵，158,49-59.
5) 日本水産資源保護協会：(1990) さけ・ます養殖における防疫事例集，p.262.
6) 吉水　守：(1981) 養殖，21,150-156.
7) マリノフォーラム21：(1991) 海水殺菌装置評価基準，p.220.
8) T.Ozawa, H.Yotsumoto, T.Sasaki and S.Nakayama : (1989) 9th World Congress and Exhibition, June 3-9, New York.
9) G.A.Wedemeyer, N.C.Nelson and C.A.Smith : (1979) J.Fish.Res.Bd.Can., 36;605-614.
10) 富士養鱒場：(1990) 富士養鱒場だより，131;569-570.
11) 吉水　守，日向進一：(1992) 工業用水，404，2-8.
12) G.A.Wedemeyer and N.C.Nelson : (1977) J.Fish.Res.Board Can.,34,429-432.
13) G.A.Wedemeyer , N.C.Nelson and C.A.Smith : (1979) *ibid.*, 35;875-879.
14) K.Clemens : (1986) Proceedings North West Fish Culture Conference, Springfield, OR.
15) B.Baker : (1986) *ibid.*
16) T.Ozawa : (1990) オゾン応用技術の実際，三秀書房，65-75.
17) 吉水　守，日向進一，呉　明柱，絵面良男，木村喬久：(1992) 平成4年度日本魚病学会春季大会講演要旨，11.
18) 木村喬久，吉水　守：(1991) 新殺菌工学実用ハンドブック，東京，p.477.

[吉水　守]