

流水式海水電解装置の魚類病原細菌 およびウイルスに対する殺菌効果

笠井久会, 石川麻美, 堀 友花, 渡辺研一, 吉水 守

(2000年5月15日受付, 2000年7月19日受理)

Disinfectant Effects of Electrolyzed Salt Water on Fish Pathogenic Bacteria and Viruses

Hisae Kasai,*¹ Asami Ishikawa,*¹ Yuhka Hori,*¹
Ken-ichi Watanabe,*² and Mamoru Yoshimizu*^{1,*3}

The bactericidal and virucidal effects of hypochlorite produced by electrolysis of salt water were examined for pathogenic bacteria and viruses of fish. A three percent solution of sodium chloride that contained pathogenic bacteria or virus was electrolyzed and the organisms were exposed to hypochlorite. More than 99.99% of the cells of *Vibrio anguillarum* and *Aeromonas salmonicida*, the causative agents of fish vibriosis and furunculosis respectively, were killed when the bacteria were exposed to 0.1 mg/l hypochlorite for one minute. Yellowtail ascites virus (YAV) and hirame rhabdovirus (HIRRV), the causative agents of viral ascites disease and rhabdovirus disease of marine fish, were inactivated >99.99% after treatment with 0.58 mg/l hypochlorite for one minute. The bactericidal and virucidal effects of hypochlorite produced by electrolysis (3.5 m³/h, 0.1 A) are greater than those of the chemical reagent. The purity of the sodium chloride used influences the production of hypochlorite. Sodium chloride obtained as a super grade chemical reagent is more effective than sodium chloride that is used for food. However, a sufficient disinfectant effect was observed in electrolyzed seawater, which could be applied in aquaculture.

キーワード：飼育用水, 殺菌, 電気分解, 電解水, 魚類ウイルス, 次亜塩素酸, 魚類病原細菌

魚介類の疾病防疫手法として採苗親魚の病原体保有の有無や即往病歴の把握等の健康状態の調査に加え, 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取られている。なかでも飼育用水および排水の殺菌は最も重要な課題である。¹⁾ 特に海産魚介類の陸上養殖では, 沿岸海水を用水として利用するため, 海水中に病原微生物が存在すると飼育魚への影響は避けられず, 飼育環境や飼育魚の健康状態の悪化, さらに過度のストレスが加わった場合, 疾病が発生しやすい状況になる。また, 一旦病気が発生すると, 病原微生物により汚染された排水を環境下に放出することになり, 環境水が汚染され, この海水を用水として使用するという悪循環を繰り返す危険性がある。この悪循環を繰り返さないためにも飼育排水を殺菌する必要が

ある。²⁾

飼育用水の殺菌処理法として, 各地の飼育施設で紫外線やオゾンを利用した殺菌装置が普及している。³⁻⁵⁾ しかし紫外線による殺菌は, 水中の懸濁粒子により照射障害を受け殺菌効果が低下すると云う問題がある。オゾン殺菌はオゾンが海水中のブロムと反応して生成されるオキシダントにより病原微生物を殺菌する方法であるが, このオキシダントは有用魚介類に対しても毒性が大きいため活性炭などによって取り除く必要がある。このような問題に加えて, 飼育排水の殺菌に利用する場合, 大量の水を殺菌しなくてはならず, 現在の紫外線, オゾン殺菌装置では対処できない。

今回, 大量の水を殺菌することを最終目的に, 海水電解装置の殺菌効果を検討した。本試験に用いた海水電解

*1 北海道大学大学院水産科学研究科 (Graduate School of Fisheries Science, Hokkaido University, Minato, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan).

*2 日本栽培漁業協会厚岸事業場 (Akkeshi Station of Japan Sea-Farming Association, Chikushikoi, Akkeshi, Hokkaido 088-1108 Japan).

*3 Correspondence author; yosimizu@fish.hokudai.ac.jp

装置は、水族館や火力、原子力発電所の冷却水系などに、藻類や貝類などの生物が付着するのを防ぐために、海水中に次亜塩素酸を発生させ、これらの付着防止を計っている装置であり、⁶⁾ 魚介類の飼育排水の殺菌にも応用できると考え試作機を供試した。この試作装置を用い、まず食塩水を電気分解して次亜塩素酸を生成させ、魚類病原細菌およびウイルスを対象に殺菌効果を検討すると共に、海水中に含まれている塩化ナトリウム以外の成分の影響を調べるために、純度の異なる食塩を用いて殺菌効果に与える影響を検討した。さらに、魚介類の飼育に用いられる海水を電気分解した場合の生菌数の変化を検討した。

材料と方法

海水電解装置 本研究には流水式海水電解装置（ライトクロア、試作機、荏原製作所）を使用した。本装置は、海水（食塩を含む水）を直接電気分解することにより、海水中の食塩から次亜塩素酸を生成するもので、電流（直流出力）により次亜塩素酸生成量を調節できる。

次亜塩素酸の測定法 ポケット残留塩素計 46700-00 型（セントラル科学）を用い、DPD 法により塩素濃度の測定を行った。

次亜塩素酸 市販の化学用試薬 sodium hypochlorite solution（和光純薬）を用いた。

供試食塩水 活性炭を用いた脱塩素処理水道水に市販の食塩（99% 以上、塩事業センター）、試薬特級 NaCl（99.5% 以上、和光純薬）および天然の粗塩（ニガリ成分含有赤穂の天塩、赤穂化学）を 3% となるように溶解し実験に供試した。

水槽 FRP 製の 1000 l および 500 l 容量水槽およびプラスチック製 90 l 容量水槽を用いた。

供試細菌 *Vibrio anguillarum* (NCMB 6), *Aeromonas salmonicida* (ATCC 14174), *Escherichia coli* (Es-1 株) を供試した。*V. anguillarum* の培養には 1% NaCl 加普通ブイヨン (pH 7.5) を、*A. salmonicida* および *E. coli* には普通ブイヨンを用い、坂口フラスコで 25°C、48 時間培養後、1,800×g、20 分間遠心分離し、上清を除去後、菌体を滅菌生理的食塩水に懸濁し試験に供した。なお供試細菌の生菌数は、*V. anguillarum* では 1% NaCl 加普通寒天培地 (pH 7.5) を、*A. salmonicida* および *E. coli* では普通寒天培地を用いて測定した。なお本試験における生菌数の検出限界は平板法で 10 CFU/ml であった。

供試ウイルスおよび培養細胞 魚類ウイルスとしてブリのウイルス性腹水症原因ウイルス (YAV) およびヒラメラブドウイルス (HIRRV) 8401-H 株を供試した。YAV の培養には CHSE-214 細胞を、HIRRV の培養に

は EPC 細胞を用いた。これら細胞の培養には、MEM₁₀ Tris (Gibco) を用い、ウイルスの希釈には Hanks' BSS (Gibco) を用いた。供試ウイルスは、75 cm² の細胞培養用フラスコで 10 日間培養後、ミリポアフィルター HA (0.45 μm) で濾過し、-80°C に保存したものを供試した。ウイルス感染価は常法によるマイクロプレート法と 24 well プレートを用いた方法を併用し、24 well プレートには試料を 1 ml 接種した。この場合の検出限界は 10^{0.5} TCID₅₀/ml であった。

水道水および脱塩素水の殺菌効果判定試験 北海道大学大学院水産科学研究科構内の魚類隔離飼育室において、水道水および水道水を活性炭に通した脱塩素処理水を用い、それぞれの供試水を滅菌ビーカーにとり、食塩を加えて 3% 濃度にした。*V. anguillarum* を 10⁶ CFU/ml になるよう懸濁し、懸濁直後、1, 15, 30 分後に 1 ml を採取し 9 倍量の 1% ペプトン水を残留塩素の作用を停止させる目的で加え、生菌数を測定した。対照には同一濃度に調製した供試菌液に同様に 1% ペプトン水を加えた。なお水道水および脱塩素処理水道水の塩素量の測定は菌液を加える直前に行った。

電気分解処理水による殺菌・不活化効果判定試験 脱塩素処理水道水に食塩を溶解して 3% 溶液を作製し、細菌は 10⁶ CFU/ml、ウイルスは 10^{4.5} TCID₅₀/ml になるように懸濁した。この懸濁液を水流ポンプを用いて海水電解装置に通し、流量を 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 m³/h、電流を 0.1, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 A とし電気分解し、電気分解処理水（以後電解水と称す）を採取して塩素量を測定した。電解水を採取した時間を 0 分とし、処理時間を 1.0, 2.5, 5.0 分として、細菌には 1% ペプトン水を、ウイルスには MEM₁₀ Tris を 9 倍量加え、次亜塩素酸の作用を停止させた。次いでこの液の生菌数あるいは感染価を測定した。対照には無処理の懸濁液に作用停止液を加え同様に生菌数あるいは感染価を測定した。ウイルス感染価は 96 well マイクロプレートを用いた定法のマイクロタイター法により測定し、2 回以上の平均値から細菌は殺菌率 (%) を、ウイルスは不活化率 (%) を求めた。

市販の次亜塩素酸による殺菌効果判定試験 脱塩素処理水に食塩を 3% になるように溶解し、この食塩水に市販の次亜塩素酸を添加した。塩素量を測定後、直ちに供試菌液を 10⁶ CFU/ml になるように加え、添加時を 0 分とし、1.0, 2.5, 5.0 分後にその一部を取り出し 1% ペプトン水を 9 倍量加え次亜塩素酸の効果を停止させた。上記の方法で生菌数を測定し、海水電解装置 (3.5 m³/h, 0.5 A) によって生成された次亜塩素酸による殺菌効果と比較した。

食塩のグレードによる海水電解装置の殺菌効果判定試験 食卓塩、試薬特級 NaCl および粗塩を、脱塩素処理

水道水に溶解し, 3% 溶液とした。供試菌を 10^6 CFU/ml になるように懸濁し, 供試海水電解装置の最大流量 $3.5 \text{ m}^3/\text{h}$, 最小電流 0.5 A で電気分解を行った。電解水を採取し, 9 倍量の 1% ペプトン水を加えて次亜塩素酸の作用を停止させ, 生菌数を測定した。

飼育用海水の海水電解装置による殺菌効果の判定 日本栽培漁業協会厚岸事業場で魚介類の飼育に用いられている砂濾過海水を, 海水電解装置に $2.0\sim 2.1 \text{ m}^3/\text{h}$ の流量で通し, $1.5\sim 2.0 \text{ A}$ の電流で電気分解を行った。まず試験 1 では電気分解前の海水および 1 分間反応後の電解水を採取し, 9 倍量の 1% ペプトン水を加えて次亜塩素酸の作用を停止させ, その 0.1 ml を海水培地表面に塗抹し, 25°C で 5 日間培養後の出現コロニー数から生菌数を測定した。試験 2 では, 電解水 50 ml を 47 mm 径のミリポアフィルター HA ($0.45 \mu\text{m}$) で濾過後, フィルターを海水培地平板に貼り付け, 25°C で 5 日間培養しフィルター上のコロニー数を計測して生菌数を算出した。

結 果

水道水および脱塩素処理水中での *V. anguillarum* の生存性 *V. anguillarum* を水道水と脱塩素処理水に懸濁した場合の生菌数の変化を Table 1 に示した。水道水の残留塩素濃度が 0.07 mg/l の場合, 1 分間経過した後にはコロニーは認められなくなった。一方, 脱塩素処理水道水の塩素量は 0.02 mg/l と測定され, 生菌数は 10^6 CFU/ml 以上と 1, 15, 30 分後もほとんど変化なかった。

海水電解装置の魚類病原細菌およびウイルスに対する殺菌・不活化効果 海水電解装置を用い, 3% 食塩水に懸濁した *V. anguillarum* および *A. salmonicida* を $2.5\sim 3.5 \text{ m}^3/\text{h}$, 電流 $0.5\sim 2.5 \text{ A}$ で 1, 2.5, 5 分間処理したときの殺菌率を Table 2 に示した。*V. anguillarum* は, 最大流量 $3.5 \text{ m}^3/\text{h}$, 最小電流 0.5 A の条件で生成された次亜塩素酸 0.07 mg/l の 1 分間の処理で 99.99% 以上殺菌され, これよりも濃い塩素量ではすべて 99.99% 以上の殺菌率であった。

A. salmonicida については次亜塩素酸濃度 0.06 mg/l の塩素量で殺菌率は 99.96% となったが, 0.11 mg/l では処理時間 1 分で 99.98%, 2.5 分では 99.99% 以上の殺菌率となった。*E. coli* については次亜塩素酸濃度 0.14 mg/l の場合, 1 分間の処理で 99.98%, 2.5 分間では 99.99% 以上の殺菌率が得られた (表には示していない)。

次に魚類病原ウイルスの YAV および HIRRV に対する試験結果を Table 3 に示した。YAV の場合次亜塩素酸濃度 0.18 mg/l , 1 分間の処理で 98.42% の不活化率

Table 1. The viable counts of *Vibrio anguillarum* in tap water and dechlorinated tap water

Water	Hypochlorite concentration (mg/l)	Treatment time (min)	Viable counts (CFU/ml)
Tap water	0.07	0	4.5×10^6
		1	no colony*
		15	no colony*
		30	no colony*
Dechlorinated tap water	0.02	0	4.5×10^6
		1	3.7×10^6
		15	3.5×10^6
		30	4.3×10^6

* No colony was observed on the agar plate.

であったが, 0.32 mg/l , 1 分間で 99.50%, 0.45 mg/l , 1 分間で 99.92%, 0.58 mg/l , 1 分間の処理で 99.99% 以上の不活化率を示した。

HIRRV の場合次亜塩素酸濃度 0.09 mg/l , 2.5 分間で 98.40%, 0.34 mg/l , 2.5 分間で 99.94%, 0.49 mg/l , 2.5 分間では 99.99% 以上の不活化率を示した (Table 3)。

これら供試細菌およびウイルスの生菌数あるいは感染価を 99.9% 以上減少させるに要する次亜塩素酸濃度と処理時間をまとめると Table 4 のようになり, 細菌では 0.14 mg/l 1 分間, ウイルスでは 0.45 mg/l 1 分間であった。

市販の次亜塩素酸と海水電解装置によって生成された次亜塩素酸による *V. anguillarum* および *E. coli* の殺菌効果の比較 Table 5 に示したように *V. anguillarum* では, 海水電解装置を用いた場合, 次亜塩素酸濃度 0.07 mg/l 1 分間の処理で 99.99% 以上の殺菌率が得られた。しかし市販の次亜塩素酸の場合, 次亜塩素酸濃度 0.07 mg/l 1 分間の処理では 98.27% の殺菌率であった。生菌数で見ると, 無処理ではどちらも 10^6 CFU/ml 以上であったが, 海水電解装置通過後は 5.0×10^1 CFU/ml, 市販の次亜塩素酸処理では 1.5×10^5 CFU/ml と同じ塩素量と処理時間でも殺菌効果に 10^4 CFU/ml 程度の大きな差が現れた。

また *E. coli* では電解水の次亜塩素酸濃度 0.14 mg/l 2.5 分間の処理で 99.99% 以上の殺菌効果が得られたが, 市販の次亜塩素酸の場合, 塩素量 0.17 mg/l 5 分間でも 99.85% の殺菌効果となった (表には示していない)。

供試塩の純度が *E. coli* の殺菌効果に及ぼす影響 試薬特級 NaCl を用いた場合では 0.08 mg/l 2.5 分間で 99.99% 以上の殺菌率を示したが, 食塩の場合は 0.14 mg/l で 99.99% 以上の殺菌率であった。天然の粗塩で

Table 2. The effects of hypochlorite produced by electrolysis of salt water on the viability of *Vibrio anguillarum* and *Aeromonas salmonicida*

Bacterium	Hypochlorite concentration (mg/l)	Flow rate (m ³ /h)	Electricity (A)	Treatment time (min)	Reduction rate (%)
<i>V. anguillarum</i>	0.07	3.5	0.5	1	>99.99
				2.5	>99.99
				5	>99.99
	0.1	3	0.5	1	>99.99
				2.5	>99.99
				5	>99.99
	0.11	2.5	0.5	1	>99.99
				2.5	>99.99
				5	>99.99
<i>A. salmonicida</i>	0.06	3.5	0.5	1	99.96
				2.5	99.96
				5	99.96
	0.11	3.0	0.5	1	99.99
				2.5	99.99
				5	>99.99
	0.13	2.5	0.5	1	>99.99
				2.5	>99.99
				5	>99.99

* Initial viable bacterial numbers were 4.5×10^6 CFU/ml and 3.8×10^6 CFU/ml, respectively.

Table 3. The effects of hypochlorite produced by electrolysis of salt water on the infectivity of HIRRV and YAV

Virus	Hypochlorite concentration (mg/l)	Flow rate (m ³ /h)	Electricity (A)	Treatment time (min)	Reduction rate (%)
HIRRV	0.09	3.5	0.5	1	90.00
				2.5	98.40
				5	99.68
	0.34	3.5	1.5	1	99.97
				2.5	99.94
				5	99.98
	0.49	3.5	2	1	99.98
				2.5	>99.99
				5	>99.99
YAV	0.18	3.5	1	1	98.42
				2.5	98.42
				5	98.42
	0.32	3.5	1.5	1	99.50
				2.5	99.50
				5	99.97
	0.45	3.5	2	1	99.92
				2.5	99.92
				5	99.92
	0.58	3.5	2.5	1	>99.99
				2.5	>99.99
				5	>99.99

* Initial viral infectivities were $10^{4.5}$ TCID₅₀/ml (both).

Table 4. The hypochlorite concentration produced by electrolysis of salt water and treatment time required to reduce 99.9% of the viability of bacteria and the infectivity of viruses

Pathogens	Hypochlorite concentration (mg/l)	Treatment time (min)	Initial number	Reduction rate (%)
<i>V. anguillarum</i>	0.07	1	4.5×10^6 *1	>99.99
<i>A. salmonicida</i>	0.06	1	3.8×10^6 *1	99.96
<i>Escherichia coli</i>	0.14	1	4.0×10^6 *1	99.98
YAV	0.45	1	$10^{4.5}$ *2	99.92
HRV	0.34	1	$10^{4.5}$ *2	99.97

*1 Initial viable bacterial number (CFU/ml).

*2 Initial viral infectivity (TCID₅₀/ml).**Table 5.** The effects of hypochlorite produced by electrolysis of salt water or the chemical reagent on the viability of *Vibrio anguillarum*

Hypochlorite	Hypochlorite concentration (mg/l)	Treatment time (min)	Viable counts (CFU/ml)	Reduction rate (%)
Chemical reagent	0.07	0	8.9×10^6	—
		1	1.5×10^5	98.27
		2.5	6.0×10^3	99.93
		5	1.5×10^3	99.98
Produced by electrolysis	0.07	0	2.9×10^6	—
		1	5.0×10^1	>99.99
		2.5	1.5×10^2	>99.99
		5	no colony*	>99.99

* See Table 1

Table 6. The effects of hypochlorite produced by electrolysis of salt water on the viability of *Escherichia coli* in several sodium chlorides

Sodium chloride	Hypochlorite concentration (mg/l)	Treatment time (min)	Reduction rate (%)
Chemical reagent (min 99.5%)	0.08	1	99.98
		2.5	99.99
		5	99.99
Commercial salt (min 99%)	0.14	1	99.98
		2.5	99.99
		5	99.99
Crude salt	0.11	1	99.56
		2.5	99.96
		5	99.99

* Initial viable bacterial number was 4.0×10^6 CFU/ml.**Table 7.** The effects of hypochlorite produced by electrolysis of seawater on the viability of bacteria in hatchery supply water

Experiment	Hypochlorite concentration (mg/l)	Flow rate (m ³ /h)	Electricity (A)	Viable bacterial count (CFU/ml)	Reduction rate (%)
1 plate*1	0.84	2.1	1.5	2.2×10^2	97.67
2 filter*2	1.0	2.0	2.0	4.0×10^{-2}	>99.99

*1: Direct plate count.

*2: 50 ml of seawater was filtered with Millipore filter HA (0.45 μ m) and filter was placed on seawater agar.

は 99.99% 以上の殺菌率を得るのに 0.11 mg/l で 5 分の処理時間を要した (Table 6)。

飼育用海水の海水電解装置による殺菌効果の判定 日本栽培漁業協会厚岸事業場で魚介類の飼育に用いられている砂濾過海水を電気分解し、次亜塩素酸濃度 0.84 mg/l で 1 分間反応させた場合の殺菌率は 97.67% であった。次亜塩素酸濃度を 1.0 mg/l とすると、1 分間の処理で生菌数は 99.99% 以上減少した (Table 7)。

考 察

近年、食塩を添加した水道水等を電気分解した場合、陽極側から得られる酸性水に殺菌効果があることが認められ、電解水として広く医学・公衆衛生分野で用いられている。^{7,8)} 水産分野でも検討されているが、⁹⁾ 隔膜を有する海水電解装置では大量の水の処理は難しい。今回供試した装置には隔膜がなく、原理は海水を約 3% の食塩水と見なし、この食塩水を直接電気分解すると、陽極では塩素が、陰極では水酸化ナトリウムが生成され、両者が反応して次亜塩素酸が生成するというものである。

今回、電解装置の殺菌効果を調べるにあたり、代表的な魚類病原細菌 *V. anguillarum* と *A. salmonicida* を、ウイルスとしては紫外線およびオゾン処理において最も感受性が低いブリのウイルス性腹水症原因ウイルス YAV と、最も感受性が高いヒラメラブドウイルス HIRRV を供試し、¹⁰⁻¹²⁾ 公衆衛生分野での結果と比較するために *E. coli* を対照に供試して殺菌および不活化効果を検討した。

まず本試験に用いる水として水道水を供試して *V. anguillarum* の生存性を検討したところ、水道水では残留塩素による殺菌効果が認められ、試験結果に大きな誤差が生じるために、本試験では供試水として活性炭を通した脱塩素処理水道水を使用することにした (Table 1)。3% 食塩水に供試微生物を懸濁し、電極間を通過させて直接電気分解した時の殺菌・不活化効果は、時間の経過と共に殺菌・不活化率が高くなり、塩素量が多くなるにつれて殺菌・不活化率も上昇した (Tables 2, 3)。細菌については、今回の実験条件の最大流量と最小電流で 0.07~0.14 mg/l の塩素量が得られ、1 分間処理するこ

とにより 99.9% 以上の殺菌率となった (Table 2)。ウイルスでも 0.58 mg/l 1 分間の処理で 99.9% 以上の不活率が得られ、電気分解による殺菌処理が容易であると考えられる (Table 3)。

次に、市販の次亜塩素酸と海水電解装置で生成される次亜塩素酸の殺菌効果を *V. anguillarum* を対象に同一塩素量と処理時間で比較すると、海水電解装置により産生される次亜塩素酸の方が市販の次亜塩素酸よりも殺菌効果が認められ (Table 5)、電気分解により次亜塩素酸以外の殺菌物質が産生されている可能性が示唆された。一方用いた食塩のグレードの殺菌効果に及ぼす影響を、天然の粗塩と食卓塩、試薬特級の NaCl を用いて比較したところ、試薬特級の方が優れていた (Table 6)。このことから海水中に含まれる微量成分の存在が産生された次亜塩素酸の殺菌効果を低下させることが懸念され、今後の検討課題となった。

実際の飼育用濾過海水を電気分解した場合、試験 I では 0.84 mg/l で 1 分間の処理後、平板上に 1 コロニーが出現し、殺菌率は 97.67 となったが、再度フィルターを用いて 1.0 mg/l で 1 分間処理した場合、99.99% 以上と十分な殺菌効果が得られた (Table 7)。脱塩素処理すれば残留塩素の影響もなく、飼育用水としての使用が可能と考えられる。実際、脱塩素処理電解海水でマツカワを飼育しても異常は見られず、今後は長期の飼育試験が必要と考えられる。

今後、飼育用水あるいは飼育排水の殺菌に応用する場合、海域ごとの海水成分や、飼育排水では魚介類の排泄物などの有機物およびアンモニアなどの影響を考慮する必要があると考えられる。今回の実験室レベルでの試験結果よりも、現場海水あるいは飼育排水の殺菌では、殺菌効果が低くなることが予想される。しかし、上述のように飼育用濾過海水を電気分解した際の殺菌率は、塩素濃度 1.0 mg/l で十分満足できる値であり、本装置の殺菌・不活化効果は高いものと考えられる。しかも、電流により産生される次亜塩素酸量を調節することができ、容易に目的とする殺菌、不活化効果を得ることができる。今回用いた装置の電極の大きさは 3×6

cm であり、スケールアップにより当初の目的である大量の水の殺菌も可能と考えられる。

謝 辞

本研究を行うにあたり、流水式海水電解装置の提供および助言を頂いた(株)在原製作所エンジニアリング事業本部の上西敏夫氏および関係各位、日本栽培漁業協会厚岸事業場の方々に感謝申し上げます。また本研究は文部省科学研究費基盤研究 (B) 展開 (課題番号 09556041) によった。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) (株)マリノフォーラム 21, 新技術評価基準作成委員会編: 海水殺菌装置評価基準, マリノフォーラム 21, 東京, 1991, 220 p.
- 2) 吉水 守: 用水および排水の殺菌, 月刊海洋 (号外) 14, 112-117 (1998).
- 3) 吉水 守, 日向進一: 養殖用水の殺菌法—紫外線およびオゾンの利用—, 工業用水, 404, 2-8 (1992).
- 4) 吉水 守: 魚類養殖および栽培漁業でのオゾンの利用, オゾン年鑑 93-94 年度版, リアライズ社, 東京, 1992, pp. 401-409.
- 5) 吉水 守: 魚類病原微生物の紫外線およびオゾン感受性, 種苗期疾病対策シリーズ No. 11, 水産庁・(株)日本栽培漁業協会, 東京, 1998, pp. 1-16.
- 6) 村山智正: 電気殺菌の海生生物付着防止への応用, 電気殺菌による微生物制御, エヌ・ティー・エヌ, 東京, 1999, pp. 65-94.
- 7) 小宮山機: 各種電解水装置と機能水の種類, 第 5 回機能水シンポジウムプロシーディングス, '98 横浜大会, 1998, pp. 54-55.
- 8) 松永 是: 電気殺菌の原理と応用, 電気殺菌による微生物制御, エヌ・ティー・エヌ, 東京, 1999, pp. 1-26.
- 9) 小林立弥, 山根綾子, 李 南実, 宮田雅人, 宮崎照雄: 中性食塩電解水の殺ウイルス効果, 水産増殖, 47, 97-101 (1999).
- 10) 吉水 守, 瀧澤宏子, 木村喬久: 魚類病原ウイルスの紫外線感受性, 魚病研究, 21, 47-52 (1986).
- 11) M. Yoshimizu, S. Hyuuga, M-J. Oh, Y. Ezura, S. Ito, and G. Mimura: Disinfectant effect of oxidant produced by ozonization of sea water on fish pathogenic viruses, bacteria, and ciliata. In "Diseases of Asian Aquaculture II", (Eds.) M. Shariff, J. R. Arthur, and P. Subasinghe, Asian Fisheries Society, Manila, 1995, pp. 203-209.
- 12) 伊藤慎悟, 吉水 守, 絵面良男: 人工海水中における低濃度オキシダントの魚類病原微生物に対する殺菌・不活化効果, 日水誌, 63, 97-102 (1997).