

技術報告

サケ種苗生産現場における簡易濾過槽を用いた飼育水再利用システムの開発

清水智仁*

A Partial Water Recycling System for Hatchery Chum Salmon Fry

Tomohito SHIMIZU

A partial rearing water recycling system using costless bio-filter materials (zeolite and charcoal) was developed and tested to rear chum salmon (*Oncorhynchus keta*) fry for 30 days. In the test group, 30% of rearing water was recycled after clearing through the system. The growth of chum salmon fry and water qualities (water temperature and concentrations of dissolved oxygen, ammonium-N, nitrate-N and nitrite-N) showed no significant difference between the test and control (normal running water) group. The present result suggests that the partial water recycling system may be effective for salmon hatcheries suffering from a shortage of rearing water.

2012年9月24日受付, 2013年5月22日受理

人工ふ化放流されているサケ *Oncorhynchus keta* は、国内で再生産できる数少ない重要な水産食糧たんぱく資源である¹⁾。我が国におけるサケ資源は、1960年代までは300万～500万尾と低い水準で推移し、1970年代前半までは1,000万尾を下回る状況であったが、給餌飼育を行った後に適期放流を行うという大きな技術革新²⁾によって、1975年以降から北海道を中心に増加し、近年は全国で5,000万～6,000万尾が漁獲されている。このため、現在の資源水準は高位と判断されるが、2005年以降大きな増減を繰り返している³⁾。適期放流とは、放流開始時期を地先の沿岸水温が5℃となる時期を目安とし、放流サイズを魚体重1g以上で、沿岸水温が13℃になる時期までに沖合移動が可能なサイズとされる魚体重3g以上まで成長するように放流することである⁴⁾。稚魚を前述のサイズ、時期に放流するためには、浮上後給餌を行い、一定期間健康的な状態で管理する必要がある。しかし、ふ化場においては稚魚飼育に利用できる水

の量と、飼育する面積が限られている中で、集約的な飼育を迫られていることから、飼育される稚魚は過度のストレスを受けている可能性がある。千歳事業場（現独立行政法人水産総合研究センター北海道区水産研究所千歳さけます事業所）においては、それまでは早いものは2月くらいから川に降りていた稚魚を、飼育池の排水部に金網を設置し、4月頃から放流を開始するというように、飼育期間が大幅に延びることになった⁵⁾。

本邦におけるさけます類の種苗生産は、良質な湧水、地下水等の得られる場所で行われているが、近年、限られた水量と飼育面積で大量の稚魚を飼育するという集約的な管理を余儀なくされており²⁾、飼育環境の悪化を招いている事例がある。また、湧水はふ化場で利用する水として最も適しているものの、国土開発による水資源の減少等からその確保は難しいものとなっている⁶⁾。このため、飼育水を再利用して、飼育用水を削減する試みは、各地のふ化場において古くから行われている⁷⁾。

* 独立行政法人水産総合研究センター北海道区水産研究所さけます資源部千歳さけます事業所
〒066-0068 北海道千歳市蘭越9番地

Chitose Field Station, Hokkaido National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency JAPAN

Rankoshi 9, Chitose, Hokkaido, 066-0068 JAPAN

tomos@affrc.go.jp

筆者らもこれまで飼育水を削減する取り組みを行っており、今回、増殖現場での早期の応用に向けて、安価に入手できる資材で、メンテナンスが容易な簡易濾過槽を作成し、それをういて排水を再利用し、飼育用水を削減するシステムの試験を行った。また、飼育管理技術については、従来の手法、基準が適用できることを基本にシステムの構築を行った。

材料と方法

供試魚 2011年11月2日に独立行政法人水産総合研究センター北海道区水産研究所千歳さけます事業所（以下千歳事業所）で、社団法人日本海さけます増殖事業協会が採卵した受精卵を購入し、千歳事業所内で常法を用いて卵管理、ふ化、浮上まで飼育した。2012年2月27～29日にかけて浮上した稚魚10万尾を、2月29日に曳き網を使って集め、重量を測定後、輸送した。稚魚は、漬け物袋（4斗用、厚み0.05mm×ヨコ100cm×タテ110cm、株式会社セイケツネットワーク）に一袋当たり25,000尾入れ、酸素封入し、自動車を使って、千歳事業所内の試験水槽へ、約10分かけて運搬した。輸送した稚魚は、直接試験水槽へ収容した。なお、収容尾数は、採集時の重量を平均体重で割ったものとし、試験終了時の取り上げ尾数は、収容尾数から毎日の死亡尾数を差し引いたものとした。試験は、稚魚を水槽へ収容後30日間行った。

飼育水槽 稚魚の飼育には、4.0×1.0×0.6mのFRP水槽（有効水量1.2kL）を2基用い、それぞれ、試験区と対照区として比較試験を行った。写真1に示すように、水槽の短辺の片方を注水部とし、反対側を排水部とした。排水部には稚魚の進入防止のための網戸（1.0×0.6m）を設置した。網戸を設置する際に、魚の侵入を防止するため、網戸と水槽の隙間に幅5cmに切り取ったフィルターマットを挟み込んだ。また、網戸の外側に水位を調節するための堰板（2×100×30cm）を設置した。堰板と水槽の隙間はシリコンコーキング剤で埋め、

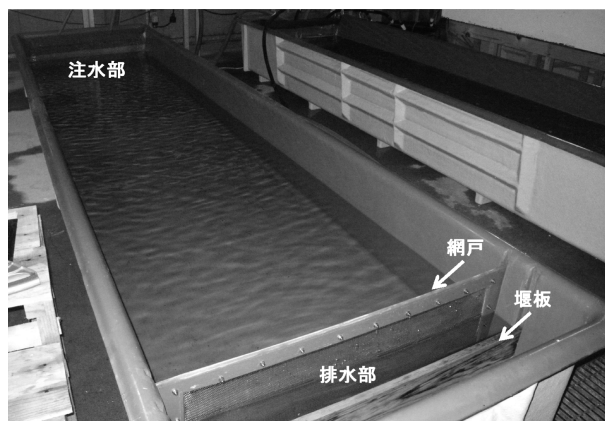


写真1. 飼育水槽概観（対照区、試験区も基本構造は同じ）

漏水を止めた。使用する飼育水は、千歳事業所第5水源の湧水を用いた。

対照区 飼育水槽の注水部に呼び径20mmと40mmの塩ビ管とボールバルブで、水源から汲み上げた飼育用水の注水口を2箇所設置し、ボールバルブの開度を調節して、新しい飼育水の注水量を144L/min.（断面流速0.8cm/sec.）とした。水温は無調整とし、飼育水槽内の通気は行っていない。排水は、排水部の堰板を越流することによって行い、堰板より外側の水槽底面に排水口を設け行った（図1）。

試験区 対照区と同様に飼育用水の注水口を2箇所設置し、ボールバルブの開度を調節して、新しい飼育水の注水量を100L/min.とした。また、再利用水の循環量を44L/min.とし、合計の注水量を144L/min.とした（断面流速0.8cm/sec.）。水温は無調整とし、飼育水槽内の通気は行っていない。排水は、排水部の堰板を越流することによって行った。排水の一部は、再利用水として、簡易濾過槽へポンプアップし、濾過後、飼育水槽へ再循環させた（図1）。

簡易濾過槽 試験区では排水を浄化、再利用するためにゼオライト20kgと粒状活性炭20kgを濾材に使った簡易型の濾過槽を用いた。排水部より導水した排水は、マグネットポンプ（MD-40RX, IWAKI PUMPS）で濾過槽へポンプアップした。濾過槽は150LのFRP水槽（KF-150S, アース株式会社）を用いた。濾過槽内に注水した排水が、濾材を通過せず表層のみ流れてしまうことを防止するため、濾過槽内は木板で2室に仕切り、濾過槽底から3cmの高さで濾過水が次室へ通過できるようにした。次室には、濾過槽底から20cmの高さで呼び径40mmの塩ビ管を立てた。そこから飼育槽へ注水する塩ビ管（呼び径40mm）に濾過水を接続した。また、粒状有機物を除去するために、濾材の上には角ザルとウールマットを設置した。ウールマットは4～5日に1回洗浄を行い、目詰まりが起こらないように配慮した。濾材は井戸水で洗浄した後、タマネギ袋（タマネギ人参みかんネット、日本農業システム）へ入れ、角ザルの下へ設置した。

水質の測定 水温データロガー（UA-001-08, HOBO）をそれぞれの水槽の注水部に設置して水温の連続測定を行った。溶存酸素とpHの測定と三態窒素測定用のサンプル採水は、飼育水槽の排水部において行った。溶存酸素量とpHは溶存酸素計（HQ40d, LDOプローブLDO10101, pHプローブPHC10101, HACH）を用いて測定した。アンモニア態窒素（以下アンモニア）、亜硝酸態窒素（以下亜硝酸）、及び硝酸態窒素（以下硝酸）を測定するため、アンモニアはサリチル酸法で、亜硝酸

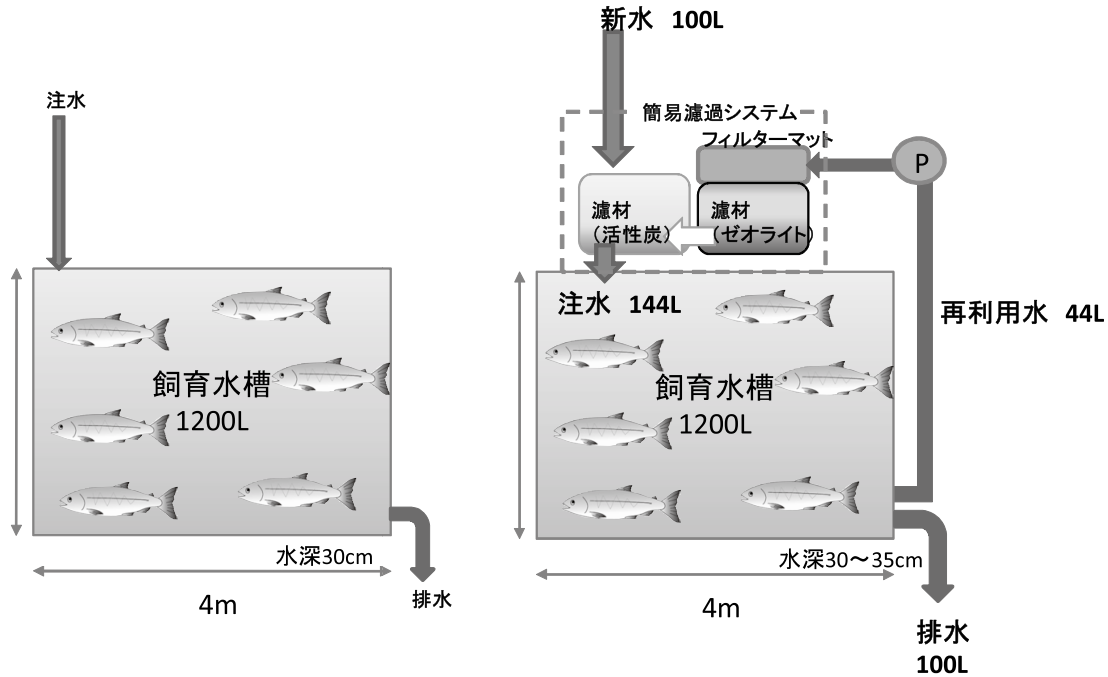


図1. 試験水槽の概念図
左：試験区A, 右：試験区B

はジアゾ法で、硝酸はカドミウム還元法で、ポータブル吸光光度計（DR850, HACH）を用いて分析した。

細菌数の測定 細菌数の測定箇所は飼育水槽の排水部とし、滅菌したガラス試験管で採水を行った。試水は、1/100 から 1/10,000 の希釈液列を作成し、この希釈液 0.1ml を Trypticase Soy 寒天培地（Trypticase Soy Agar, Becton, Dickinson and Company, USA）に塗抹し、20℃で120時間培養した後、出現したコロニー数を測定した。

飼育管理方法 餌料はさけます用配合飼料A号とB号（株式会社日本配合飼料製）を使用し、体重の2.4%の重量を1日3回に分けて給餌した。給餌量は7日毎に稚魚の体重変化から再計算した。給餌方法は摂餌状態を観察しながら、水槽全体に行き渡るように手撒きで行った。4, 10, 15, 18, 26日目は給餌を行わなかった。給餌前に残餌と糞を、サイホンを使って除去した。

海水適応能試験 飼育試験終了後、各試験区より稚魚60尾を採集し、人工海水（テトラマリンソルトプロ、テトラジャパン株式会社）を満たした100L水槽（実水量60L、塩分33%）へ収容した⁸⁾。水槽には、エアストーン（直径3.0cm）を1個設置しエアポンプ（CHIKARA a 4000SW, NISSO）を使って通気した。試験は24時間行い、試験終了後の生残率を求めた。

統計解析 統計解析はStatcel3（オーエムエス出版）を用いて、試験開始時と終了時の尾又長、体重の基本統計

量の算出とt検定を行った。

結 果

稚魚の成長と生残 試験開始時の尾又長（平均値、カッコ内は最低値～最高値、以下同）は試験区が36.5mm（32.2～38.4）で、対照区が36.0mm（32.4～38.6）であった。体重は試験区が0.3g（0.2～0.4）で、対照区も0.3g（0.2～0.4）であった。試験終了時の尾又長は試験区が43.7mm（37.9～48.3）で、対照区が42.7mm（36.9～46.8）であった。体重は試験区が0.7g（0.4～0.9）で、対照区が0.6g（0.3～0.8）であった。t検定の結果、試験区1と2の試験終了時の尾又長、体重に差は見られなかった（ $p>0.05$ ）。30日間の生残率は試験区が95.9%で、対照区が98.5%であった（表1）。試験開始当初からイクチオボド *Ichthyobodo* sp.⁹⁾ の寄生がみられ、飼育時間の経過と共に寄生する個体数が増加した。また、稚魚が翻るように泳ぐ、いわゆる‘こすり’行動も見られた。供試魚の海水適応能試験結果の24時間後の生残率は、試験区が97%、対照区が100%であった（表1）。

水質 試験期間中の水温は試験区が8.1℃（7.9～8.2）で、対照区が8.2℃（8.1～8.2）、pHはそれぞれ、7.8（7.6～8.1）と7.5（7.4～7.8）であった。溶存酸素量は

表1. 試験期間中の成長、生残、海水適応能

試験区	尾又長 (mm)		体重 (g)		生残率 (%)	海水適応能 (%)
	試験開始	試験終了	試験開始	試験終了		
試験区A	36.0(32.4-38.6)	42.7(36.9-46.8)	0.3(0.2-0.4)	0.6(0.3-0.8)	98.5	100
試験区B	36.5(32.3-38.4)	43.7(37.9-48.3)	0.3(0.2-0.4)	0.7(0.4-0.9)	95.9	98

どちらの試験区も 10.4mg/L (10.2 ~ 10.7) と同様の変動を示した。また、三態窒素は、アンモニアがそれぞれ、0.02mg/L (0 ~ 0.08), 0.01mg/L (0 ~ 0.06) で、亜硝酸はどちらも 0.002mg/L (0 ~ 0.007), 硝酸は 1.0mg/L

L (0 ~ 5.0) と 1.7mg/L (0 ~ 6.1) であった (図 2, 3)。
細菌数 飼育水中の細菌数はどちらの試験区も、概ね 10^2 から 10^3 オーダーで推移し、経時的に細菌数が増加することはなかった (図 2)。排水部の網戸は適時、プ

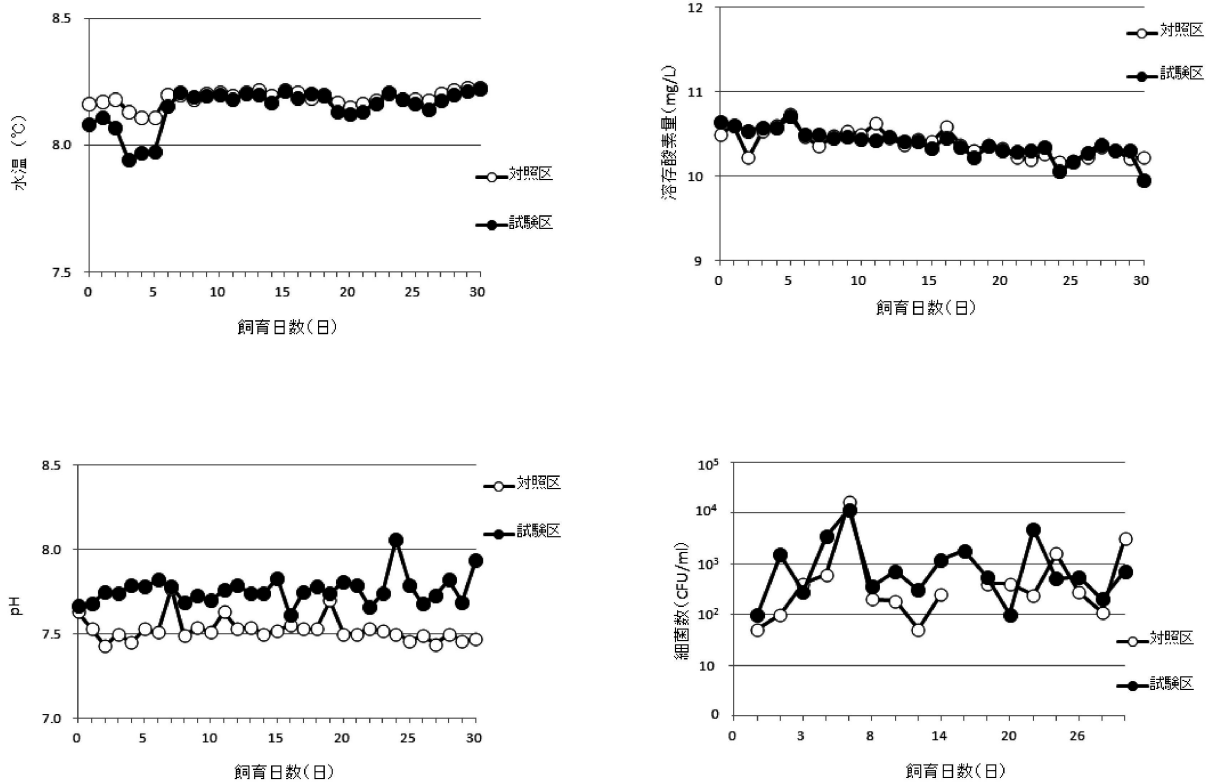


図 2. 飼育期間中の水温, 溶存酸素量, pH, 細菌数の変化

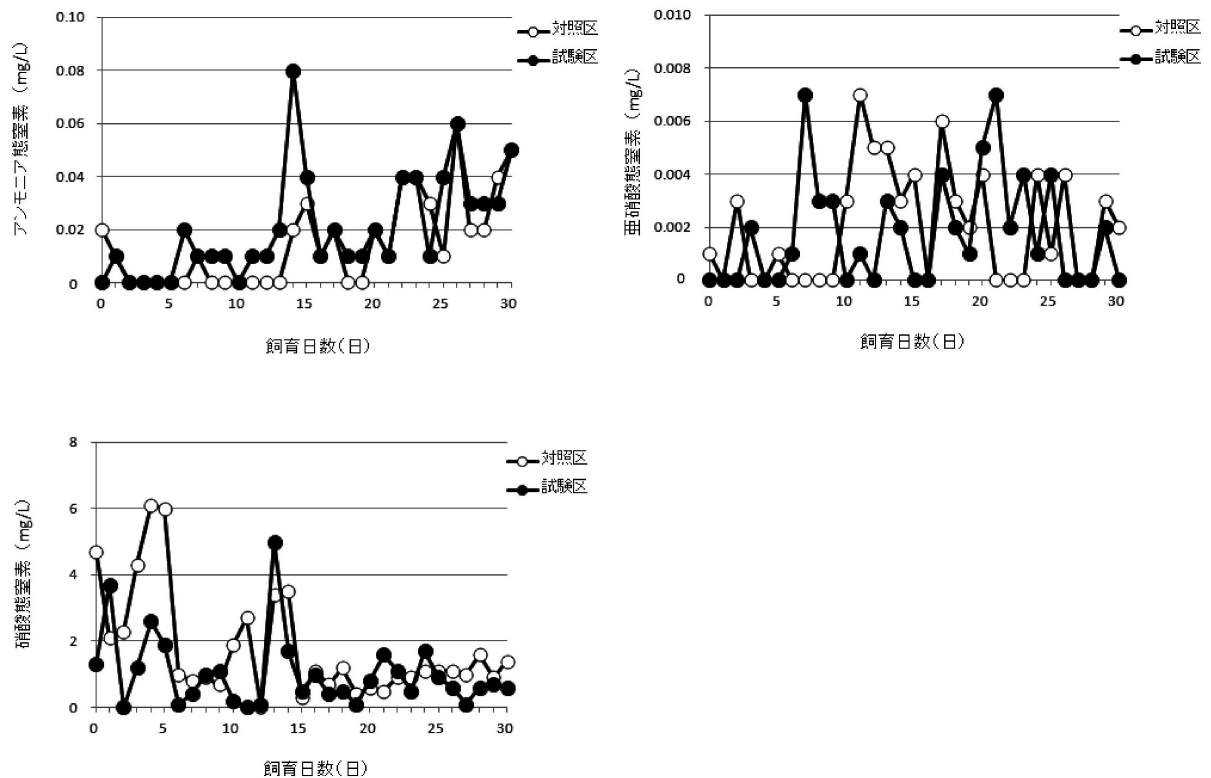


図 3. アンモニア態窒素, 亜硝酸態窒素, 硝酸態窒素の変動

ラシを用い清掃した。

考 察

どちらの試験区も、試験期間中の水温は7.9～8.2℃で、類似した変動、かつ安定した状態を示した。試験区では、再利用水として、飼育水を循環させているが、注水量のうち1/3相当量の循環では、飼育水の水温には影響を及ぼさない事がわかった。試験区のpHは7.6～8.1の間で変動し、対照区の変動値よりやや高い値を示した。対照区、試験区の溶存酸素量は10.0～10.7mg/L、アンモニアは0～0.08mg/L、亜硝酸は0～0.01mg/L、硝酸は0～5.0mg/Lで、飼育水中の細菌数も 10^3 オーダー以下であり大きな差は見られなかった。野川・八木沢¹⁰⁾の示したサケ稚魚の適正な飼育環境である、用水中の溶存酸素量が常時6.0mg/L以上、注水量1Lあたりの飼育量が1kg以下、飼育密度20kg/m³以下の範囲内であったこと⁹⁾、また、細菌数も吉水ら¹¹⁾が示したように 10^2 ～ 10^3 オーダーで安定していたことから、本試験において、水質的な問題はなかったと考えられる。

稚魚の成長は、どちらの試験区も同様で、その成長量は尾叉長が0.2mm/day、体重で0.01g/dayであり、試験終了時の尾叉長、体重にも差は見られなかったことから、簡易濾過槽を用いて飼育を行っても、サケ稚魚は生存し、対照区と遜色ない成長を示すことがわかった。

どちらの試験区においてもイクチオポドの寄生がみられたが、大量死亡は見られなかった。供試魚の海水適応能試験の24時間後の生残率は、試験区が97%、対照区が100%であった。イクチオポド感染魚は淡水では影響を受けなくても、放流後海洋へ移動した時に海水馴致できずに大量死亡する可能性が高いと考えられていることから¹²⁾、飼育期間中に駆除を行う必要があった可能性がある。しかしながら、この結果より、供試魚は海水適応能を持ち、イクチオポドの影響は最小限であったと考えられる。今後は、イクチオポドをシステム内へ持ち込まないために、仔魚飼育方法の改善や、事前の駆除が必要と思われる。

水島ら¹³⁾の報告では、アユの養殖場において飼育用水を再利用したところ、そのシステムの違いによりアンモニア濃度が2倍以上高くなる事例が見られている。その方法は、排水部から飼育水を直接ポンプで汲み上げ、反復注水する方式と報告している。本システムにおいても、排水部から直接水を汲み上げる方式を使用しているが、飼育水へ添加する前に簡易濾過槽を設置したことで、飼育水への排水の影響はほとんど見られなかった。また、水島ら¹²⁾では、同様に飼育水を再利用している養殖場でも、排水部以外から水を汲み上げる方法や、注水前に再曝気する等を実施している養殖場では、アンモニア濃度は先のシステムより少なかったと報告しており、再利用水中の夾雑物の除去や溶存酸素濃度の増加が

有効と示唆している。このことから、本システムにおいて、簡易濾過槽は必要であると思われる。

これらのことから、簡易濾過槽を用いたサケ稚魚飼育は問題なく飼育でき、かつ、飼育用水を30%削減する飼育が可能であった。飼育技法に関しても、従来から行われている給餌基準、飼育用水基準を満たすことが可能であり、これまでの飼育管理技術を大きく変更する必要なく飼育できた。今後は、飼育規模を事業レベルと同様の規模で試験し、本システムの有効性を実証する必要がある。現在でも、飼育用水の不足問題を抱えるふ化場は少なくないため、早期に増殖現場で実用化することが重要である。また同時に、容易に事業へ組み込めるように、簡易濾過槽の規模縮小や、システムの簡素化を実施して、設備の設置コスト並びに運用コストの削減に取り組む必要がある。

謝 辞

本技術開発を実施するにあたり、独立行政法人水産総合研究センター北海道区水産研究所千歳さけます事業所職員の皆様に多大な協力をいただいた。また、本報告を作成するにあたり、独立行政法人水産総合研究センター北海道区水産研究所さけます資源部永沢 亨博士、浦和茂彦博士、伴 真俊博士にご指導を賜った。ここに感謝の意を表する。

文 献

- 1) 帰山雅秀(2002)サケは海からの贈り物。最新のサケ学、成山堂書店、東京、120p.
- 2) 野川秀樹(2010)さけます類の人工ふ化放流に関する技術小史(序説)。水産技術、3、1-8.
- 3) 岡本康孝(2011)北太平洋と日本におけるさけます類の資源と増殖。SALMON情報、5、36-37.
- 4) 高橋史久(2010)これまでの耳石温度標識から得られた知見 その2(放流時期とサイズの検討)。SALMON情報、4、12-14.
- 5) 野川秀樹・八木沢功(2011)さけます類の人工ふ化放流に関する技術小史(飼育管理編)。水産技術、3、67-89.
- 6) 戸田修一・増川則雄・戸嶋忠良(2011)サケふ化場用水を処理する安価な円筒型曝気装置の開発。水産技術、3、147-150.
- 7) 斉藤勝美(1994)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-。日本海ブロック試験研究集録、32、101-114.
- 8) 伴 真俊・長谷川裕康・阿部邦夫(1995)ふ化場産サケの発育初期段階における摂餌量と健苗性の関係。北海道さけ・ますふ化場研究報告、49、27-33.
- 9) 浦和茂彦(2003)さけ・ます類に外部寄生する原虫類の病理と対策。さけ・ます資源管理センターニュース、11、1-6.
- 10) 野川秀樹・八木沢功(1994)サケ稚魚の適正な飼育環境(総説)。北海道さけ・ますふ化場研究報告、48、31-39.

- 11) 吉水 守・木村喬久・坂井 稔 (1976) サケ科魚類の腸内細菌叢に関する研究 - I 飼育魚の腸内細菌数と細菌叢. 日本水産学会誌, **42**, 91-99.
- 12) URAWA, S. (1993) Effects of *Ichthyobodo necator* infections on seawater survival of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*). *Aquaculture*, **110**, 101-110.
- 13) 水島久宣・村永義雄・山中 治 (1978) アユ養殖場の水利水質環境実態調査. 滋賀県水産試験場研究報告, **30**, 113-117.