

技術開発報告書

(中間報告)

アワビ養殖における半循環型

省エネルギー化システムの実証試験

株式会社ジャパンアクアテック



# 技術開発報告書（中間報告）

## I 課題名

アワビ養殖における半循環型省エネルギー化システムの実証試験

## II 実施主体名

株式会社ジャパンアクアテック

## III 実証試験の内容

### 1 本事業の目的

現在のアワビ養殖（種苗生産・中間育成）は全国各地で行われており、大半は放流事業等に利用され、資源量確保、環境保全に一定の効果を挙げている。しかし、その生産コストは比較的高価であり費用対効果の面からも現状よりも生産コストを低減させることは将来の水産資源確保のためにも重要である。

この生産コストは設備費、償却費、人件費、経費、ランニングコスト等で構成されているが、中でも揚水に掛かる電気代が大きな割合を占めている。

そこで生産コストを低減させるために従来型のアワビ養殖に生物濾過他の設備を有した半循環型システムを組入れ、飼育水を繰り返し利用すれば揚水に掛かる電気代が大幅に削減でき、生産の高効率化・省エネルギー化を図ることが可能である。本事業では揚水量 50%削減を目標とする。

また、飼育水温を成長に最適となるように保つことにより生産期間を短縮し、施設規模を含むランニングコストを大幅に削減できる。この場合、水温コントロールに掛かるエネルギーロスも揚水量にほぼ比例して削減できるので、アワビ養殖における省エネルギー化（CO<sub>2</sub>削減）と全般的コストの削減を推進する事ができる。

本事業ではこの半循環型システムの開発・実証実験を行う事を目的とする。

## 2 技術開発の概要

### 2.1 実験計画書の作成(平成 20 年 8 月～9 月)

給水量、及びアンモニア濃度の臨界点を求めることを目的とした予備実験を行なう為、実験計画書の作成を行なった。

### 2.2 予備実験設備の製作、設置、及び開始準備(平成 20 年 9 月～10 月)

実験計画書に基づき、実験区水槽の製作、設置を行なった。予備実験で使用するアワビを購入し(平成 20 年 9 月 25 日)、輸送のダメージ回復を待ちながら、慣らし飼育を行なった。

### 2.3 予備実験実施(平成 20 年 10 月～平成 21 年 3 月)

平成 20 年度は、実証実験に向けての基礎実験として、下記の予備実験を行なった。

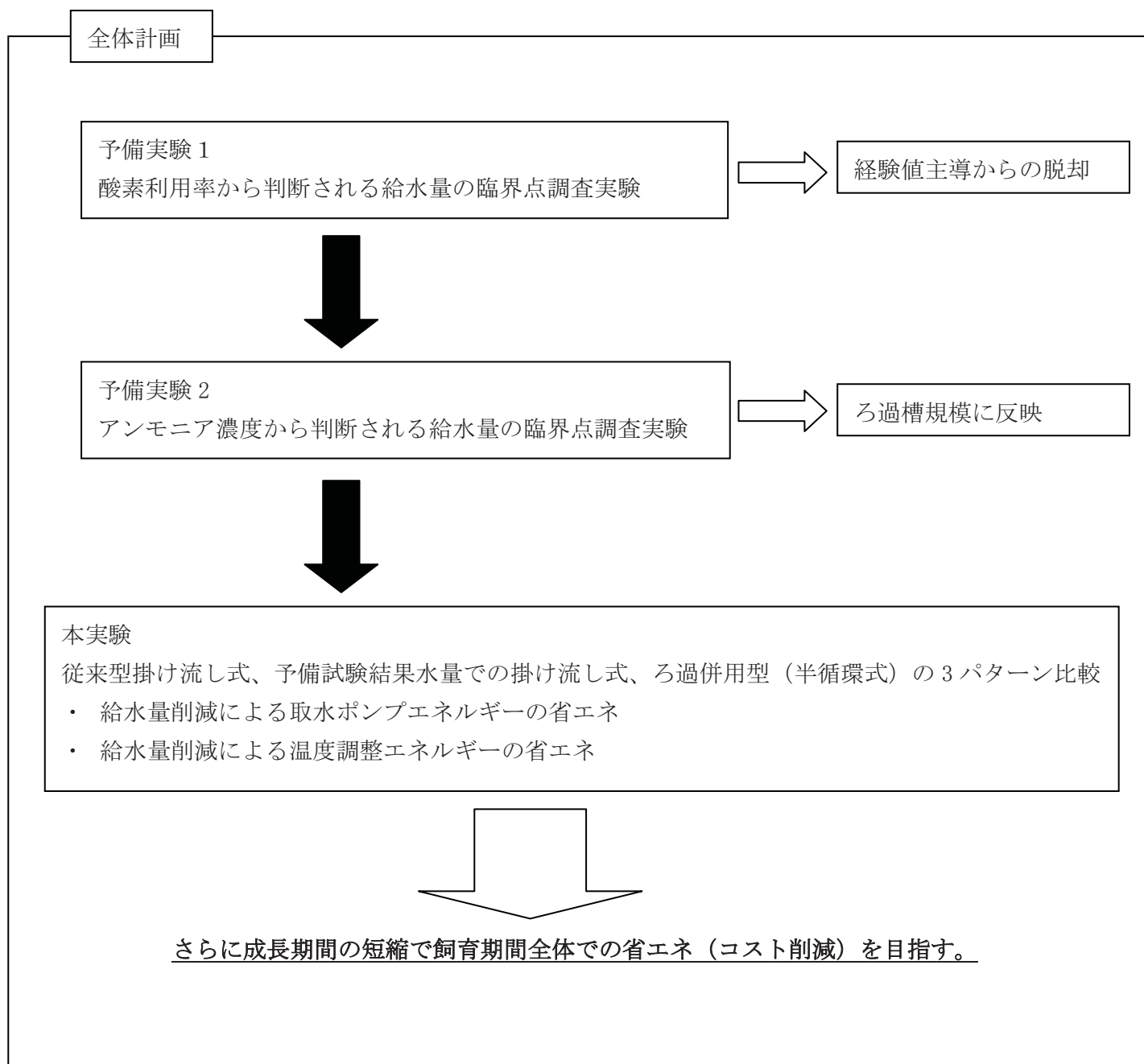
- (1) 予備実験 1: 酸素利用率から判断される給水量の臨界点調査実験
- (2) 予備実験 2: アンモニア濃度から判断される給水量の臨界点調査実験

### 2.4 本実験設備の製作

30mm サイズ 50,000 個を生産できる規模の設備製作を行なった。

各実験に対応できるように、同仕様の設備(飼育水槽、ろ過槽、温度調整機)を 3 式製作した。

実証実験の全体計画を下に示す。



図Ⅲ. 2-1 実証実験全体計画

### 3 技術開発の結果

#### 3.1 予備実験 1—給水量の臨界点調査実験—

##### 3.1.1 実験目的

アワビの成長速度と給水量の関係を飼育実験から明らかにし、給水量の臨界点を求めることを目的とした。

##### 3.1.2 実験方法

掛け流し飼育を行い、成長、状態等を比較した。給水だけの臨界点を調査する為、エアレーションは行なわない飼育とした。

###### (1) 実験期間

実験途中の斃死発生、システム事故（取水ポンプの故障）発生により、この実験は計3回行なった。

1回目実験：平成20年10月17日～平成20年10月21日

（全実験区斃死発生で中断）

2回目実験：平成21年1月29日～平成21年2月2日

（井戸ポンプ故障で中断）

3回目実験：平成21年2月10日～平成21年3月10日

###### (2) 実験区

給水量を6パターン、アワビサイズを2パターン、合計12実験区用意した。

###### アワビサイズ

1回目実験：約30mm、約45mm

2、3回目実験：約40mm、約50mm

1日の給水量は、給水中に含まれる溶存酸素の利用率（以下：酸素利用率とする）を元に設定した。酸素利用率20%実験区の給水量を現在行なわれている一般的な掛け流し式相当量とし、対照区とする。

###### 酸素利用率

1回目実験：20%、50%、70%、80%、90%、95%

2、3回目：20%、30%、40%、50%、60%、70%

※酸素利用率：給水中から補給される溶存酸素の内、アワビが消費する酸素の割合  
酸素利用率 (%) = (アワビの酸素消費量/給水から補われる溶存酸素量) × 100

各実験区の給水量は下式により求められる。

$$Q = BRwt / ST \cdot \frac{(1 - \alpha / 100)}{\dots} \text{下線部分が酸素利用率}$$

ここで、Q：給水量 (l/h)、B：体重 W (g) の収容量 (kg)、Rwt：水温 T℃における

体重 W(g)の酸素消費量(m<sub>l</sub>O<sub>2</sub>/kg・h)、α：計算上の水槽中の酸素飽和度(%)、ST：水温 T°Cにおける海水の溶存酸素飽和量(m<sub>l</sub>O<sub>2</sub>/l 海水)。

アワビの酸素消費量と、海水中の飽和溶存酸素量は別紙のとおり。(添付資料-1、2)

39mm サイズ 50 個、52mm サイズ 40 個を収容し、18°Cで飼育した時の各実験区の給水量と回転率を下に示す。(表Ⅲ. 3-1)

表Ⅲ. 3-1 各実験区の給水量と回転率

	酸素利用率 (%)	20	30	40	50	60	70
39mmサイズ	給水量(ml/min)	404	270	202	162	135	116
	回転率 (回/日)	12	8	6	5	4	3
52mmサイズ	給水量(ml/min)	678	452	339	271	226	194
	回転率 (回/日)	20	13	10	8	7	6

### (3) 実験水槽

50L 長方形水槽とした。シェルターは角型雨どいを加工し、利用した。水槽内部には、水質が均一になるよう水流発生装置を設置し、シェルターの内部に向けて流れを与えた。

### (4) アワビ種

一般的な養殖対象種としてエゾアワビを選定した。(コスモ海洋牧場製)

### (5) アワビ個数

アワビの収容個数は、全数サンプリングが行なえ、実験終了時のシェルター占有率が50%前後になるように設定した。

1 回目実験：30mm サイズ各実験区 100 個、45mm サイズ各実験区 60 個

2 回目実験：39mm サイズ各実験区 50 個、52mm サイズ各実験区 40 個

3 回目実験：39mm サイズ各実験区 50 個、52mm サイズ各実験区 40 個

### (6) 飼料

配合飼料を毎日夕刻 1 回給餌とした。(コスモ海洋牧場製)

給餌量は、成長阻害要因とならないよう、適正給餌量の 2 倍量の給餌を行った。

### (7) 水温管理

給水の温度調整と実験区のウォーターバス方式で全水槽同条件を目標にした。

### (8) 測定項目

水質・・・水温、pH、DO、塩分濃度 (毎日)

アンモニア態窒素、硝酸態窒素をパックテストで測定

(水質安定まで毎日、安定後 1 週間に 1 回)

成長・・・殻長、体重 (実験開始時、2 週間後、4 週間後に全数測定)

状態・死貝・・・毎日観察

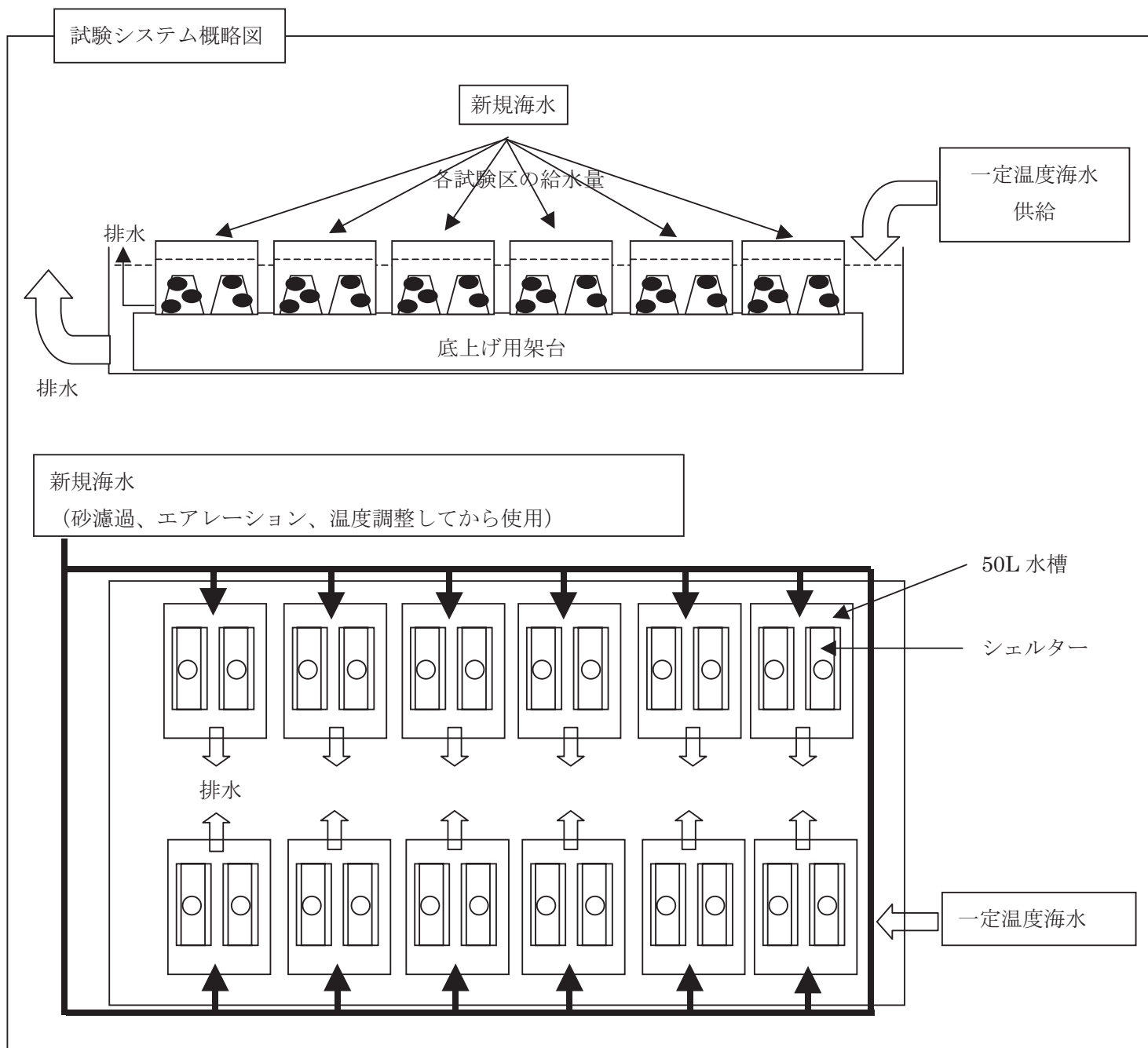
残餌把握・・・残餌状況を写真撮影

(9) その他

残餌は毎日網で取り除き、水槽底掃除は数日に1回、サイホンで行なった。

(10) 評価方法

行動、成長、斃死数を比較し、飼育に影響が見られる臨界点を判断した。



図Ⅲ. 3-1 試験システム概略図



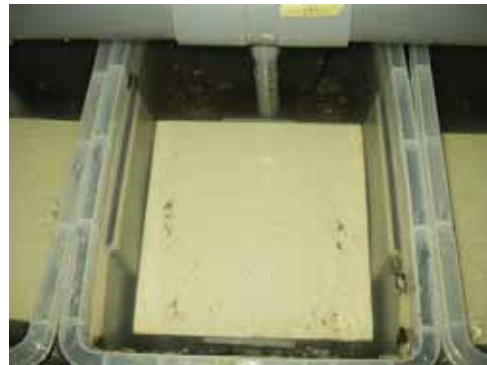
実験区全景



実験区水槽



アワビシェルター



シェルター設置



納入時 30mm サイズ



納入時 40mm サイズ

図Ⅲ. 3-2 実験様子

### 3.1.3 実験結果

(1) 予備実験 1 回目（平成 20 年 10 月 17 日～平成 20 年 10 月 21 日）

平成 20 年 9 月 25 日、予備実験に使用するアワビをコスモ海洋牧場(株)から納入した。輸送ダメージの回復を待って、平成 20 年 10 月 16 日、17 日にサンプリングを行ない、予備実験を開始した。開始 3 日後の 10 月 20 日頃から全実験区で斃死が見られ始めた為、翌 21 日に実験を中止した。

斃死は全実験区で発生し始め、サンプリング時のアワビの取り扱い（剥離方法や干出時間）に問題があったと考えられた。

斃死前のアワビの状態は酸素利用率 80%以上ではかなりの衰弱が見られた。DO 値とアワビの状態から、酸素利用率は 70%以下で実験区を組み直す方が良いと考えられた。

サンプリング状況（平成 20 年 10 月 16 日、17 日）



作業風景



剥離・計測中



重量別振り分け中



実験区に収容

図Ⅲ. 3-3 実験様子

表Ⅲ. 3-2 水質結果

10/20の水質-30mmサイズ

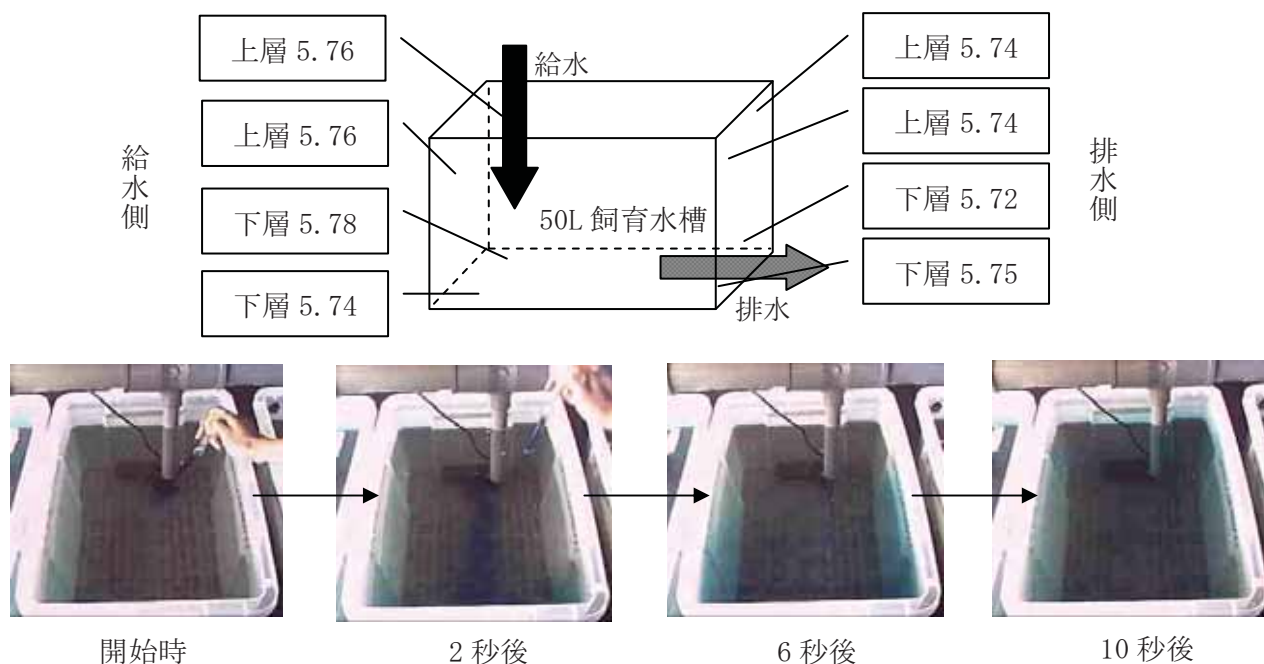
酸素利用率	水温 (°C)	pH	DO (mg/l)	塩分 (%)	アンモニア性窒素 (mg/l)	硝酸性窒素 (mg/l)
20%	20.7	7.51	7.02	34	0.3	0.5
50%	20.9	7.53	5.83	34	0.3	0.5
70%	21.1	7.60	4.44	34	0.3	1
80%	21.2	7.65	4.23	34	0.3	1
90%	21.4	7.68	4.26	34	0.3	1
95%	21.8	7.80	4.42	34	0.3	1

10/20の水質-45mmサイズ

酸素利用率	水温 (°C)	pH	DO (mg/l)	塩分 (%)	アンモニア性窒素 (mg/l)	硝酸性窒素 (mg/l)
20%	20.7	7.73	5.82	34	0.2	0.5
50%	20.7	7.73	5.78	34	0.2	0.5
70%	21.1	7.53	3.38	34	0.2	1
80%	21.2	7.41	2.35	34	0.3	1
90%	21.2	7.45	2.70	34	0.3	1
95%	21.3	7.50	3.34	34	0.3	1

(2) 実験区内水質確認

給水が有効に利用されているかを確認する為、実験区水槽内の箇所別水質確認とメチレンブルーによる可視化を行ない、水流発生装置により給水が有効に利用されていることが確認された。



図Ⅲ. 3-4 実験区内の箇所別水質と可視化

(3) 取水水質改善（平成 20 年 11 月～平成 21 年 1 月）

予備実験 1 回目の中止後、長期に渡り斃死が治まらないことから、給水の水質がアワビに適正でないことが予想された。

そこで、水質の見直し、改善策の検討、実施を行なった。水質の中で、給水（井戸）の pH が低いことに問題があると考えられ、水質改善の為、砂ろ過器を設置した。まず、砂ろ過器の有効性を確認する為、小規模の試作機で試し、有効性が確認された後、給水量に応じた砂ろ過器を製作、設置した。



図Ⅲ. 3-5 砂ろ過器試作機

砂ろ過器試作機（平成 20 年 12 月 2 日設置）  
砂ろ過器を 3 段式とした。

処理量 5L/min

砂濾過面積 50cm×50cm×深さ 20cm

砂容量 50L/基

表Ⅲ. 3-3 砂濾過試作機による取水の pH 値変化

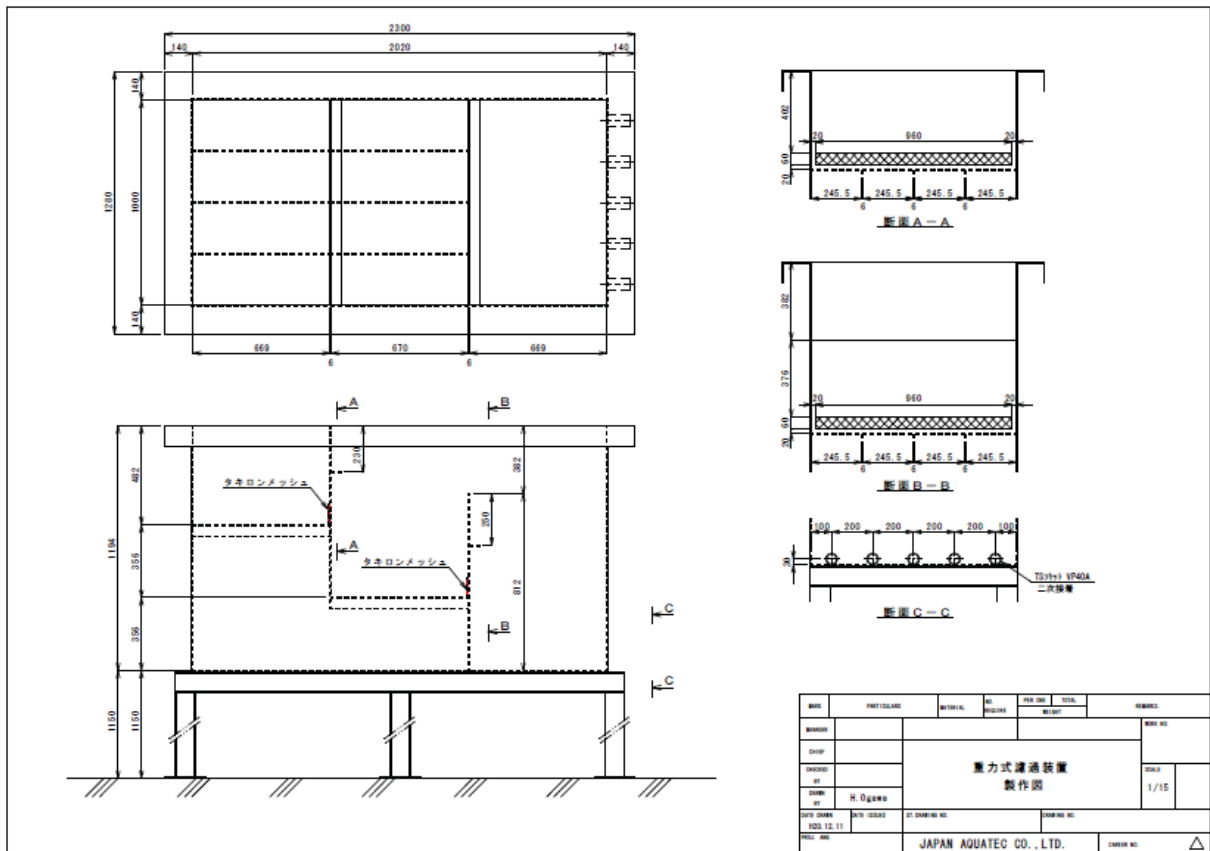
	pH					
	外海	井戸水	一次貯水	砂ろ過1後	砂ろ過2後	砂ろ過3後
12/4(2日後)		7.96	7.96	7.97	7.98	7.99
12/5(3日後)	8.16	8.04	7.95	7.94	7.95	7.95
12/9(7日後)	8.17	8.04	8.06	8.04	8.11	8.15

砂濾過設置後 1 週間で、取水の水質改善が見られた。



砂ろ過器本機（平成 20 年 12 月 19 日設置）  
内部での 3 段式とした。

処理量 20L/min 想定  
砂濾過面積 1m×2m×深さ 0.2m  
砂容量 400L



図Ⅲ. 3-6 砂ろ過器本機

表Ⅲ. 3-4 砂ろ過器設置後の水質変化

	pH		
	外海	井戸水	砂ろ過後
12/22(3日後)		8.01	7.98
12/24(5日後)		8.00	7.98
12/26(砂調整)			
1/5	8.16	8.10	8.08
1/6		8.12	8.11
1/7		8.08	8.07
1/14		8.11	8.04
1/15		8.07	8.09

井戸水の水質が時季的に良くなっていたこともあるが、砂ろ過器設置で安定化が見られた。

砂ろ過による還元効果（pH上昇）が確認されたことから、使用中の井戸で夏期に見られるpH低下にも対応でき、アワビに適した取水水質が確保できたと考えられる。

(4) 予備実験2回目（平成21年1月29日～平成21年2月2日）

①実験経過概要

給水の改善が得られたことを確認し、平成21年1月27日にサンプリングを行ない、予備実験を再開した。サンプリング時のアワビの取り扱いは、予備実験1回目の経験を踏まえて改善（測定後速やかに水中に設置した網に小分けした）し、アワビへのダメージを極力避ける様にし、実験を開始した。実験区の給水量設定は、予備実験1回目の結果から、酸素利用率80%以上は削除し、20%、30%、40%、50%、60%、70%とした。実験開始日は実験区設定水量に調整した平成21年1月29日とした。

実験開始4日後の2月2日の早朝、取水の井戸ポンプが故障しており、実験区のアワビは酸欠の為、斃死が発生し、やむなく実験を中止した。

(5) 予備実験3回目（平成21年2月10日～平成21年3月10日）

①実験経過概要

予備実験2回目のアワビのダメージ回復を待ち、平成21年2月9日にサンプリングを行ない、2月10日に予備実験を再開した。実験区は予備実験2回目と同様、20%、30%、40%、50%、60%、70%とした。

実験開始4日目から酸素利用率60%、70%区で大小サイズ共に斃死が頻発した為、実験区から除外した。実験開始から2週間後、4週間後、6週間後に全数サンプリ

ングを行ない、実験を終了した。

## ②水質結果

- (ア) 飼育水温は 17.0～17.5℃で給水量が少ない区程上昇した。
- (イ) pH は 7.83～8.05 で給水量が少ない区程下降し、酸素利用率 30%以上では 8.0 を下回った。
- (ウ) DO は 5.47～7.80mg/L で給水量が少ない区程下降し、酸素飽和度では 73～103%であった。
- (エ) 塩分濃度は全実験区 34‰であった。
- (オ) アンモニア性窒素は全実験区 0.2mg/L 以下であった。(簡易測定)
- (カ) 硝酸性窒素は全実験区 0.2mg/L 以下であった。(簡易測定)
- (キ) 実験区給水の水質は、水温 15.9℃、pH8.16 であった。
- (ク) 実験開始 4 日目から酸素利用率 60%、70%区で大小サイズ共に斃死が頻発した為、実験区から除外した。

表Ⅲ.3-5 各実験区と取水水質結果

実験期間中水質の平均値－小サイズ (39mm 50個収容)

	酸素利用率					
	20%	30%	40%	50%	60%	70%
水温 (°C)	17.1	17.3	17.4	17.5	—	—
pH	8.02	7.95	7.89	7.83	—	—
DO (mg/l)	7.58	6.59	5.93	5.47	—	—
DO (%)	100	87	79	73		
塩分 (‰)	34	34	34	34	—	—
アンモニア性窒素 (mg/l)	0.2以下	0.2以下	0.2以下	0.2以下	—	—
硝酸性窒素 (mg/l)	0.2以下	0.2以下	0.2以下	0.2以下	—	—

実験期間中水質の平均値－大サイズ (52mm 40個収容)

	酸素利用率					
	20%	30%	40%	50%	60%	70%
水温 (°C)	17.0	17.2	17.3	17.4	—	—
pH	8.05	7.99	7.93	7.88	—	—
DO (mg/l)	7.80	7.03	6.31	6.08	—	—
DO (%)	103	93	84	81		
塩分 (‰)	34	34	34	34	—	—
アンモニア性窒素 (mg/l)	0.2以下	0.2以下	0.2以下	0.2以下	—	—
硝酸性窒素 (mg/l)	0.2以下	0.2以下	0.2以下	0.2以下	—	—

表Ⅲ. 3-6 各実験区と取水水質結果

実験期間中の取水水質 (2/10~3/10の平均値)

	井戸水	砂ろ過後	試験区給水
水温 (°C)	14.9	14.8	15.9
pH	8.14	8.17	8.16

### ③成長結果

全数サンプリングは、実験開始から2週間後、4週間後、6週間後に行なった。実験期間が短く、アワビの成長に加速度がついていない為、全ての区において本来の成長をしたとは言い難いが、酸素利用率毎の成長差が得られた。

サイズ別に、給水量と殻長の間接関係を見ても、小サイズ(39mmサイズ)では給水量を減らすほど、成長が鈍る傾向が見られ、大サイズでは酸素利用率20%、30%までが同成長、それ以降は成長の停滞が見られた。

体重では実験開始2週間後のサンプリング時では、小サイズ20%区以外の全ての区において体重の減少が見られ、4週間後、6週間後のサンプリング時には増重する区が見られた。初期の体重の減少は飼育環境の変化(給水量が減少することに伴う水質変化)に影響を受けたと考えられる。実験開始2週間後のデータは初期の影響が大きく、以後の比較データから除外して考える。

酸素利用率から臨界点を検討すると、大サイズでは酸素利用率30%区が臨界点と考えられ、給水量は、 $452 \text{ (ml/min)} \div 678 \text{ (ml/min)}$  により約66%となり、34%の削減となる。小サイズでは酸素利用率20%以上では成長が鈍り、給水量の削減は行なえず、アワビサイズにより0~34%の削減が可能と考えられる。今後、他のサイズの検証も必要である。

一般的なアワビの成長として、アワビの日間成長速度  $Y(\mu\text{m}/\text{日})$  は、簡易的には下の式で計算できる。

$$Y = a(1 - cL)(T - b)$$

ここで、 $a$  : 成長速度係数(条件により異なるが一般に  $a=11.85$  程度)、

$b$  : 成長停止下限水温( $6^{\circ}\text{C}$ )、

$c$  : 係数(一般に  $c=0.071$  程度)、 $L$  : 殻長(cm)、 $T$  : 水温( $^{\circ}\text{C}$ )。

上記の式に今回実験のサイズ、水温を当てはめると、小サイズ(39mm)で約  $94 \mu\text{m}$  /日、大サイズ(52mm)で約  $82 \mu\text{m}$  /日の成長となる。実験期間中の殻長の日間成長量は、実験開始2週間後~6週間後の結果から、最も成長した実験区で、小サイズ  $75 \mu\text{m}$  /日、大サイズ  $46 \mu\text{m}$  /日であり、一般的な成長と比較すると今回の実験での成長は酸素利用率20%区でも6割~8割であったが、初期の水質、頻度高く測定したこと、不慣れな取り扱い等が原因となっていると考えられ、習熟されたハンドリング、できるだけ触れない配慮などにより、成長はかなり改善されるものと思われる。

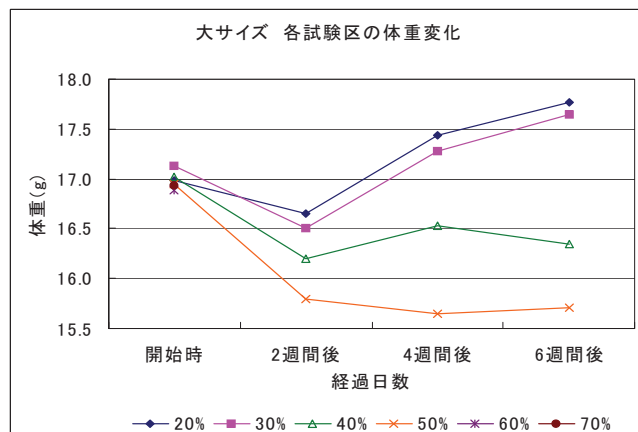
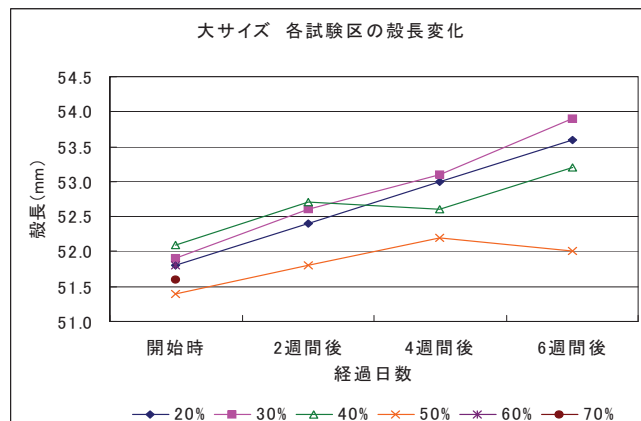
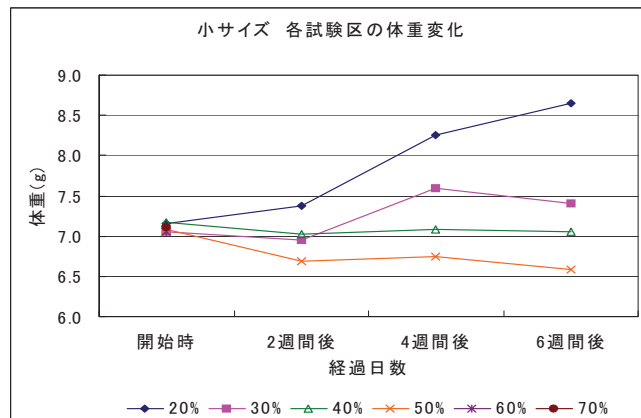
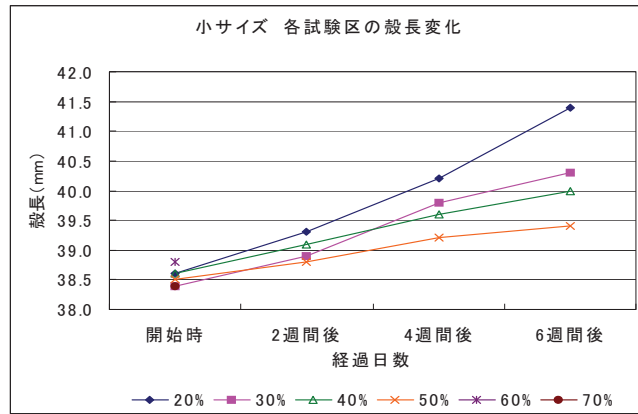
表Ⅲ. 3-7 各実験区の成長

小サイズ (39mmサイズ)

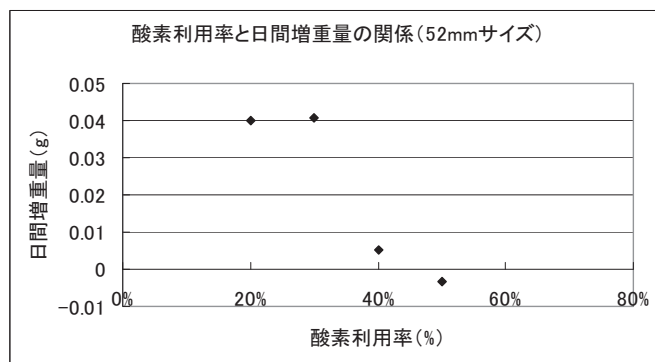
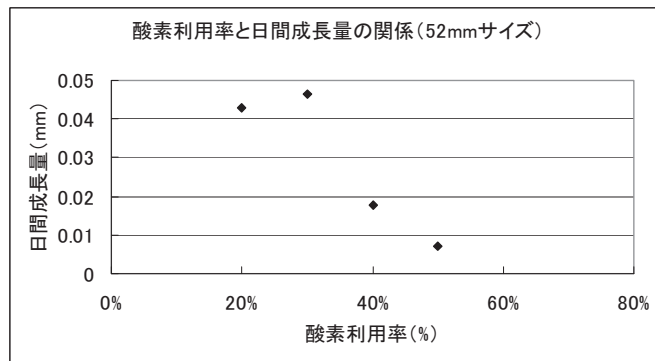
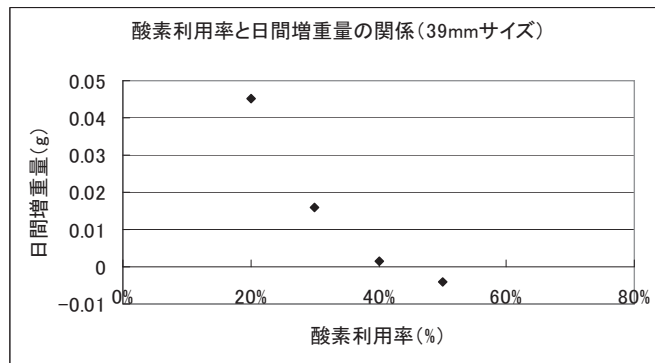
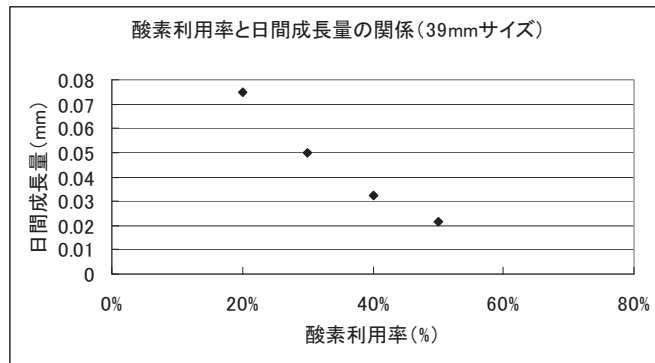
	酸素利用率	20%	30%	40%	50%	60%	70%
殻長 (mm)	開始時	38.6	38.4	38.6	38.5	38.8	38.4
	2週間後	39.3	38.9	39.1	38.8	/	/
	4週間後	40.2	39.8	39.6	39.2		
	6週間後	41.4	40.3	40	39.4		
	2~6週伸長量	2.1	1.4	0.9	0.6		
	日間伸長量	0.075	0.050	0.032	0.021		
体重 (g)	開始時	7.15	7.06	7.17	7.08	7.05	7.11
	2週間後	7.38	6.95	7.02	6.69	/	/
	4週間後	8.26	7.6	7.09	6.75		
	6週間後	8.65	7.4	7.06	6.58		
	2~6週増重量	1.27	0.45	0.04	-0.11		
	日間増重量	0.045	0.016	0.001	-0.004		

大サイズ (52mmサイズ)

	酸素利用率	20%	30%	40%	50%	60%	70%
殻長 (mm)	開始時	51.8	51.9	52.1	51.4	51.8	51.6
	2週間後	52.4	52.6	52.7	51.8	/	/
	4週間後	53	53.1	52.6	52.2		
	6週間後	53.6	53.9	53.2	52		
	2~6週伸長量	1.2	1.3	0.5	0.2		
	日間伸長量	0.043	0.046	0.018	0.007		
体重 (g)	開始時	16.98	17.13	17.02	16.94	16.88	16.93
	2週間後	16.65	16.51	16.20	15.80	/	/
	4週間後	17.44	17.28	16.53	15.65		
	6週間後	17.77	17.65	16.34	15.71		
	2~6週増重量	1.12	1.14	0.14	-0.09		
	日間増重量	0.040	0.041	0.005	-0.003		



図Ⅲ.3-7 各実験区の成長



図Ⅲ. 3-8 各実験区の酸素利用率と成長の関係

#### ④斃死数結果

実験期間中、対照区となる酸素利用率 20%区（従来の掛け流し式の水量）は、大小サイズ共に斃死が発生しなかった。酸素利用率が高くなるほど斃死数が増加する傾向が見られた。酸素利用率 50%と 60%の間に斃死発生の臨界点があるように見えた。

表Ⅲ. 3-8 各実験区の斃死数

	酸素利用率						備考
	20%	30%	40%	50%	60%	70%	
小サイズ	0	4	7	8	49	48	初期50個収容
大サイズ	0	4	2	6	31	40	初期40個収容

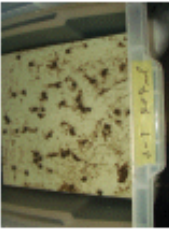
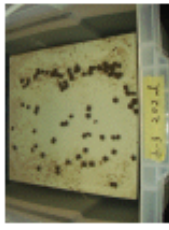
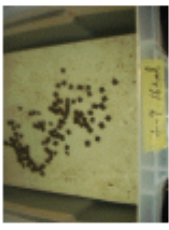
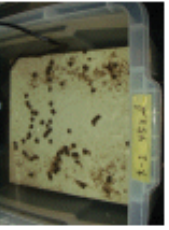
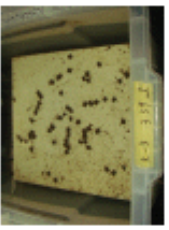
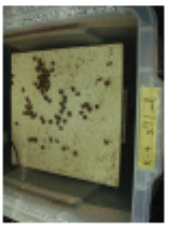
※60%、70%区は斃死多発の為、2月17日に試験を中止した。

#### ⑤残餌状況結果

















残餌状況を写真撮影した。酸素利用率が高くなるほど摂餌が不活発になる様子が残餌状況から観察され、成長結果の裏づけとなった。（図Ⅲ. 3-5～9）

撮影条件：給餌夕方 5 時 30 分

















撮影翌朝午前 10 時

酸素利用率	20%	30%	40%	50%	60%	70%
小サイズ					中止	中止
小一飼育個数	50個	46個	43個	42個		
大サイズ					中止	中止
大一飼育個数	40個	36個	38個	34個		

図Ⅲ. 3-9 各試験区の残餌状況残餌状況—3月10日（実験開始4週間後）

	小サイズ			
酸素利用率	20%	30%	40%	50%
1週間後				
2週間後				
3週間後				
4週間後				

図Ⅲ. 3-10 小サイズ区の経時別残餌状況変化

	大サイズ			
酸素利用率	20%	30%	40%	50%
1週間後				
2週間後				
3週間後				
4週間後				

図Ⅲ.3-11 大サイズ区の経時別残餌状況変化

## ⑥考察

今回の実験結果から、小サイズ区では給水量の削減に敏感であり、削減に伴う成長の鈍化が見られたのに対し、大サイズでは酸素利用率 20%、30%ではほぼ同等の成長が見られ、酸素利用率 20%での給水量を基準とした場合、その給水量からアワビサイズにより 0~34%の削減が可能であると考えられた。サイズや水温による影響を調査し、適正な給水量調整が必要と考えられる。

今回の実験期間中の水質結果では、DO が最も低い区（小サイズ・酸素利用率 50%）でも 5.47（溶存酸素飽和度 73%）であり、一般的に考えると酸素濃度の低下が成長を阻害していたとは考え難い。給水を減らすことで、DO 以外の他の要因が影響を与えたと考えられる。今後、pH やアンモニアの影響を解明する。

給水を減らすことで水質に現れた変化は pH の低下であった。また、アンモニアについては、当然、給水を減らすほど飼育水への蓄積が増えているはずであり、成長への影響が懸念される。アンモニアに関して、今回の簡易測定では定量限界未満で詳細が明らかにされておらず、今後の重要調査要素と言える。pH、DO を十分適正に保った条件下で、異なるアンモニア濃度飼育を行なうことで解明を目指す。

## 3.2 予備実験 2—アンモニア濃度の臨界点調査実験—

### 3.2.1 アンモニア基礎調査実験

#### (1) 目的

アワビのアンモニア排泄量、アンモニアの日中の濃度変動等、基礎調査を行い、ろ過槽規模策定に反映させる。

#### (2) 方法

飼育水を十分に交換してアンモニア性窒素 0mg/l を確認した後、止水条件下でアンモニア性窒素濃度の経時変化を測定し、単位時間当たりのアンモニア性窒素増加量からアワビのアンモニア排泄量 (mg/kg・h) を求めた。

#### ①実験区

- ・小サイズアワビ区 (アワビ+人工飼料 10g)
- ・大サイズアワビ区 (アワビ+人工飼料 10g)
- ・対照区 (人工飼料 10g のみ)

#### ②実験水槽

50L 水槽—水量 43L

#### ③収容個数

小サイズ 55 個 (37mm 6.5g サイズ)

大サイズ 34 個 (50mm 15.2g サイズ)

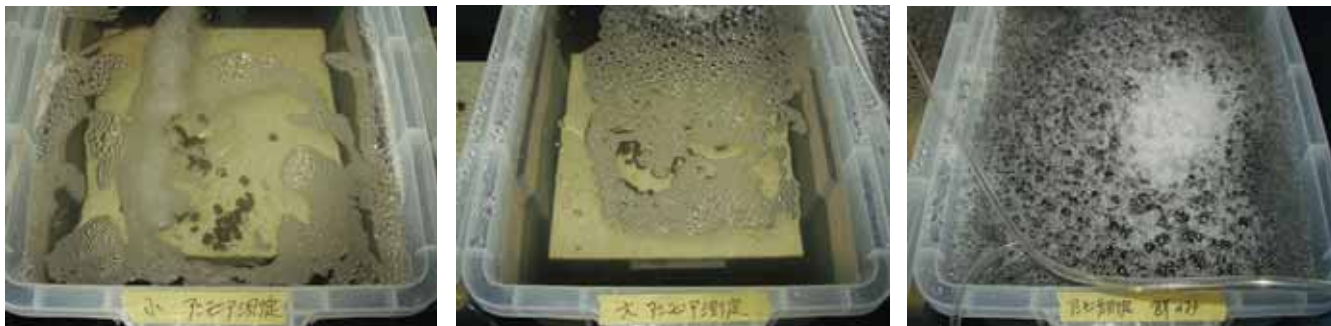
摂餌に影響を与えないよう、実験後に個数、殻長、体重を測定した。

#### ④水温

約 18℃

#### ⑤その他

エアレーションによる酸素供給を行った。



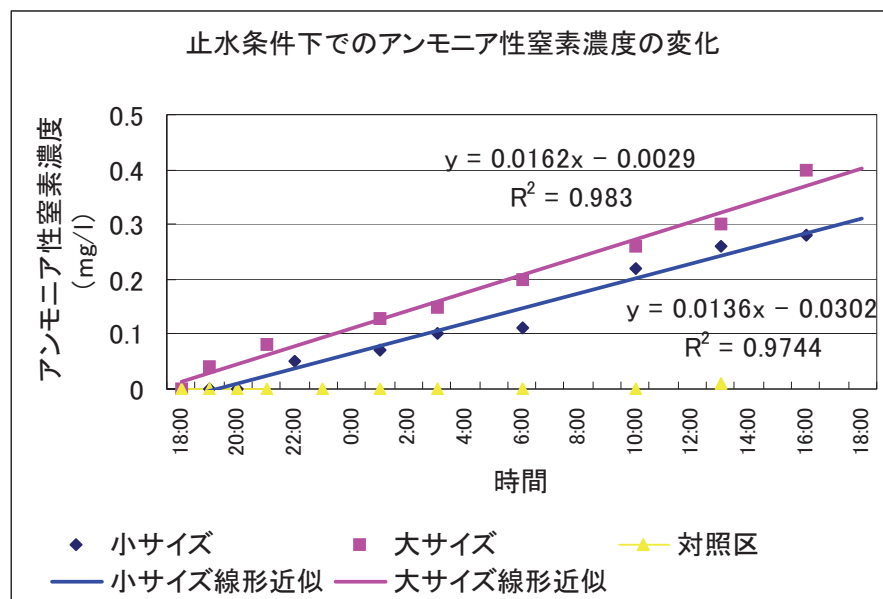
図Ⅲ. 3-12 実験様子

#### (3) 結果

夜間観察によると、実験区のアワビの摂餌はほとんど見られなかった。他の水槽では、アワビの摂餌行動が、日没約1時間後から3時間程度（19時から22時頃まで）見られた。この時間帯、アンモニア性窒素濃度はほぼゼロであり、D0はエアレーションによりほぼ100%であった。摂餌行動が見られなかった原因としてはpHの低下が考えられる。餌のみを入れた対照区ではpHの低下が見られなかったことから、この低下要因はアワビの排出する二酸化炭素と排泄物の酸化によるものと考えられる。

実験期間中の飼育水温は18℃前後であり、飼育水中のアンモニア性窒素濃度は時間に比例して上昇が見られた。対照区ではアンモニア上昇が見られなかったことから、アワビ自体からの排出によるアンモニアの上昇と考えられる。また、ほとんど餌を食べていないことから、今回の測定されたアンモニアはアワビの基礎代謝時に排出されるアンモニアと考えられる。（図Ⅲ.3-13）

単位時間あたりのアンモニア上昇値を、飼育中のアワビの総重量で割ることで、1時間あたり、体重当たりのアンモニア排泄量を求めた。これによると、アワビの基礎代謝に伴うアンモニア性窒素排泄量（飼育水温18℃）は、37mmサイズで1.6mg/kg・h、50mmサイズで1.3mg/kg・hであった。



図Ⅲ.3-13 飼育水中のアンモニア性窒素濃度変化

#### (4) 考察

ろ材表面積あたりのアンモニア浄化速度は、水温20℃の時、7~23mg/m<sup>2</sup>・day程度と知られている。今回、アワビのアンモニア排泄量が分かったので、必要なるろ材表面積を求める。ここでは、本実験での生産目標としている、殻長30mmサイズ、体重3.78g、15,000個の飼育水槽に対してのろ材表面積を求める。

まず、30mmサイズ3.78gサイズのアンモニア排泄量を予測する。アンモニア排泄量は

異化速度の一つで、酸素消費量同等、体重との関係があると考えられる。15.2g (50mm) サイズのアワビを基準とすると、酸素消費量とアンモニア排泄量の体重間の比はほぼ同じになっていることが分かり、下表 (Ⅲ. 3-9) の B は約 1.7 と予想できる。これより、表中の A は  $A/1.3=1.7$  より  $A \approx 2.2$  と予測する。

表Ⅲ. 3-9 アワビ体重と酸素消費量、アンモニア排泄量の関係

体重 (g)	酸素消費量 ( $\text{m}10_2/\text{kg} \cdot \text{h}$ )	比 (50mm 基準)	アンモニア排泄量 ( $\text{mg}/\text{kg} \cdot \text{h}$ )	比 (50mm 基準)
3.78 (30mm)	110	1.72	A	B
6.5 (37mm)	75.3	1.18	1.6	1.23
15.2 (50mm)	63.7	1.00	1.3	1.00

計算条件

アワビサイズ : 3.78g (30mm)

飼育数 : 15,000 個

アワビのアンモニア排泄量 :  $2.2\text{mg}/\text{kg} \cdot \text{h}$

ろ材表面積のアンモニア浄化速度 :  $15\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$  (7~ $23\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$  の中間値)

ろ材 : カキガラ

ろ材比表面積 ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ ) : 200

アワビの 1 日のアンモニア排泄量は

$$2.2\text{mg} \times 3.78/1000 \times 15,000 \text{ 個} \times 24 \text{ 時間} \approx 2,994\text{mg}$$

これに必要なろ材表面積は

$$2,994\text{mg} \div 15\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{day} = 199.6\text{m}^2 \text{ となる。}$$

カキガラの単位容量あたりの比表面積 ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ ) は  $200\text{m}^2/\text{m}^3$ 、ろ材充填深さを 30cm とした場合、

$$199.6 \div 200 \div 0.3\text{m} \approx \underline{\underline{3.3\text{m}^2}} \text{ となる。}$$

アンモニアの浄化をろ過槽だけに頼る場合 (完全循環)、計算上  $3.3\text{m}^2$  が必要になることが分かった。今後予定している本実験では、給水量を従来の 50%削減を目標としており、給水による排出 (希釈) も考えられる。また、ろ過槽は硝化細菌の層を一定の浸透速度以内で循環量を増やすことでコンパクト化が可能である。本実験での硝化槽面積は暫定ではあるが、循環量を 2 回転/時間とし、 $1.4\text{m}^2$  程度で設計した。本実験期間中、硝化槽面積が不足するようであれば、硝化槽を増設 (台数を増やす) することでの対応を考えている。

### 3.2.2 アンモニア臨界濃度調査実験

#### (1) 実験目的

アワビの養殖生産において、アワビ自体や残餌、及び排泄物の分解によって生ずるアンモニアはアワビの呼吸や代謝に悪影響を及ぼすことが知られている。特に、飼育水量を減じた飼育においてはこの影響が顕著となり得るので、許容されるアンモニア濃度を明らかにすることを目的とした。

#### (2) 実験方法

アンモニアのみの影響を調査する為、十分な給水量の掛け流し飼育の下、異なるアンモニア濃度となる実験区を設定した。成長、状態等を比較し、影響が出るアンモニアの臨界濃度を調べる。

##### ①実験期間

平成 21 年 3 月 19 日～4 月 16 日（予定）

##### ②実験区

アワビサイズを 2 種 (40mm、50mm) とし、アンモニア性窒素濃度は下記で設定する。

0mg/l、0.01mg/l、0.02mg/l、0.05mg/l、0.1mg/l、0.2mg/l

##### ③実験水槽

予備実験 1 で使用した 50L 水槽とする。

##### ④給水量

酸素利用率 10%以下となるよう十分に給水する。

##### ⑤アンモニア調整方法

塩化アンモニウム溶液を実験水槽に滴下して調整する。

##### ⑥アワビ種

一般的な養殖対象種としてエゾアワビを選定した。(コスモ海洋牧場製)

##### ⑦収容個数

各実験区 30 個とする。

##### ⑧飼料

配合飼料を毎日夕刻 1 回給餌とする。(コスモ海洋牧場製)

給餌量は、成長阻害要因とならないように、適正給餌量の 2 倍量の給餌を行う。

##### ⑨水温管理

給水の温度調整と実験区のウォーターバス方式で全水槽同条件を目標にする。

目標値 18°C

##### ⑩測定項目

水質・・・水温、pH、D0、塩分濃度、アンモニア態窒素（毎日）

成長・・・殻長、体重・・・実験開始2週間後、4週間後に全数測定  
状態・死貝・・・毎日観察  
残餌把握・・・残餌状況を写真撮影

①評価方法

行動、成長、斃死数を比較し、飼育に影響が見られる臨界点を判断する。



図Ⅲ. 3-14 実験様子

#### 4 予備実験総括～省エネルギーの効果～

今年度行なった予備実験から、給水を減らすことでアワビに影響を与える要因とその大まかな臨界点が見え始めている。実験継続によりこれらを解明することで、省エネルギー型アワビの養殖システムの確立、及び既存のアワビ養殖技術向上に与える影響は大きい。

エアレーションを行わず、給水の掛け流しのみによる予備実験1では、明確なデータではないものの、酸素利用率20%での給水量を基準とした場合、その給水量から0～34%の削減が可能と考えられた。今後、アンモニア実験から適正なる過循環システムが確立し、さらなる給水量削減が可能になった場合を想定して本実験で目指す省エネ率の試算を行なった。

本実験での比較対照として、現在一般的に行なわれている掛け流し式飼育の給水量、給気量を調査した。調査によると、回転率は1～2回転/時間、酸素利用率表現では5～17%で行なわれていることが分かった。給気に関しては、各事業場で様々であり、酸素利用率との関係に一定の傾向、指標は見られなかった。

本事業の目的に、揚水量50%削減を目標値として上げた。予備実験では、対照区（一般的な酸素利用率）を20%と設定してきたが、今回の調査により、一般的な酸素利用率が5～17%であることが分かった。一般的な酸素利用率を10%とした場合、酸素利用率20%が揚水量50%削減に相当する。今後、酸素利用率20%での給水量を目標とする。

表Ⅲ. 4-1 一般的な掛け流し式アワビ養殖での給水量と給気量

	事例1		事例2	事例3	事例4	事例5	事例6
アワビ生産数(個)	143,000	100,000	700,000	340,000	200,000	70,000	500,000
アワビサイズ(mm)	12.5	20	15	30	30	30	25
アワビ体重(g)	0.25	1.12	0.47	3.78	3.78	3.78	2.19
飼育水槽水量(m <sup>3</sup> )	20	30	1.4	10.0	2.9	7	10
飼育水槽数(基)	2	2	72	12	35	6	12
給水量(m <sup>3</sup> /hr)	20		113	180	105.6	84	118
換水率(回転/h)	—	—	1.1	1.5	1.0	2.0	1.0
個体酸素消費量(18℃)(mlO <sub>2</sub> /kg・h)	142	107	127	84.6	84.6	84.6	94.1
全体酸素消費量(18℃)(mlO <sub>2</sub> /kg・h)	5,077	11,984	42,050	108,728	63,958	22,385	103,040
酸素利用率(%)	—	—	7.1	11.6	11.6	5.1	16.8
給気量(l/min)	0	0	612.5	591.6	3696	588	783.8
アワビ1万個あたり給気量(l/min)	0	0	8.8	17.4	184.8	84.0	15.7

※給水量、給気量が各月で変動する場合は、年間の平均値とした。

給水量を減らすと、溶存酸素の補給が必要になってくる。酸素供給方法としては、給水から補う場合とエアレーションにより補う場合の2種に大別できる。各々の必要エネルギーについて比較検討する。

アワビサイズ：30mm、3.78g

飼育水温：20℃

給水中の飽和溶存酸素量：5.03mlO<sub>2</sub>/l

アワビの酸素消費量：129mlO<sub>2</sub>/kg・h

飼育個数：15,000個

酸素利用率：10%

飼育水槽規模：幅1.5m×長さ6m×水深0.5m 水量4.5m<sup>3</sup>

取水揚程：10m

①給水から補う場合

$$\begin{aligned} Q &= BRwt/ST (1 - \alpha/100) \\ &= (3.78/1000 \times 15000 \times 129) / \{5.03 \times (1-90/100)\} \\ &\doteq 14,541 \text{ l/h} \doteq 240 \text{ l/min} \end{aligned}$$

この給水に必要な所要動力は約1.4kWとなる。・・・・・・A

②エアレーションから補う場合

給水量は目標値50%削減達成時の120l/minとする。

この給水に必要な所要動力は1.1kWとなる。・・・・・・B

必要な酸素供給量=14,541×5.03=73,141mlO<sub>2</sub>/h

エアレーションから供給する酸素量=73,141-(14,541×0.5×5.03)≐36,570mlO<sub>2</sub>/h

溶解効率5%、空気中の酸素含量20.9%とした場合、

エア供給量=36,570×100/5×100/20.9÷1000÷60=58l/min

この供給に必要な所要動力は0.06kWとなる。・・・・・・C

よって、給水量を従来の50%に削減し、エアレーションにより酸素補給を行なった場合の所要動力はB+Cより1.16kWとなる。・・・・・・D

A、Dよりこの時のエネルギー削減率は、(1-D/A)×100より

(1-1.16/1.4)×100≐17.2%となる。

アンモニアについては成長に影響を与える臨界濃度がまだ解明されていないが、アワビの排泄量からろ過槽規模を策定することができた。通常、このろ過槽に対し、一定の循環量を与えることでアンモニアレベルは0.1mg/l程度に抑えることができる。アンモニアの臨界点が0.1mg/lにあるとした場合、掛け流しによる希釈と、ろ過循環による浄化に必要なエネルギーについて比較検討する。

アワビサイズ：30mm、3.78g

アワビの排泄量（17～18℃）：2.2mg/kg・h

飼育個数：15,000 個

飼育水槽規模：幅 1.5m×長さ 6m×水深 0.5m 水量 4.5m<sup>3</sup>

取水揚程：10m

#### ①掛け流しによる希釈の場合

アワビの1日のアンモニア排泄量 $=2.2 \times 3.78 / 1000 \times 15000 \times 24 \div 2,994\text{mg}$

この時の飼育水中のアンモニア濃度 $=2,994 / 4,500 \div 0.66\text{mg/l}$

これを希釈により 0.1mg/l 以下に抑える時の給水量は

$0.66 / X = 0.1$  より  $X = 6.6$  X: 希釈倍率

$4,500 \times 6.6 / 24 \div 1238 \text{ l/h} \div 20 \text{ l/min}$

この時の給水に必要な所要動力は 0.4kW となる。・・・E

#### ②ろ過循環による浄化の場合

給水量は目標値 50%削減達成時の 10 l/min とする。

この給水に必要な所要動力は 0.2kW となる。・・・F

ろ過循環量を 2 回転/h とすると、

循環量 $=4,500 \times 2 \div 60 = 150 \text{ l/min}$

この時に必要な所要動力は 0.08kW（揚程 0.3m 以内）となる。・・・G

よって、給水量を従来の 50%に削減し、ろ過循環によりアンモニア浄化を行なった場合の所要動力は F+G より 0.28kW となる。・・・H

E、H よりこの時のエネルギー削減率は、 $(1 - H/E) \times 100$  より

$(1 - 0.28/0.4) \times 100 \div 30\%$ となる。

実証実験における全体のエネルギー削減率は、給水臨界点、アンモニア臨界点等の個々の影響と、それらの複合的影響を受けて決定されると考えられる。よって次年度事業の中でデータを取得していく。

上記のエネルギー削減率を目標にしながら、温度調整による成長速度の短縮も考慮した、トータルの生産コストの削減を目指す。

## 5 本実験設備について

30mm サイズ 50,000 個生産を目標とした本実験設備を製作した。エネルギーの比較実証、また全ての実験区に対応できるよう、設備は同じ仕様のものを 3 式用意した。

### 5.1 設備内容

(1) 砂ろ過槽（取水ろ過用）・・・1 式

- (2) 飼育水槽 . . . . . 3 式
- (3) 生物ろ過槽 . . . . . 3 式
- (4) 軸流ポンプ（ろ過循環用） . . . 3 式
- (5) 温度調節器 . . . . . 3 式
- (6) 廃熱回収装置 . . . . . 1 式
- (7) 制御盤 . . . . . 1 式

## 5.2 設備構成

名 称	内 容	数 量
<b>【砂濾過装置】</b>		
送水ポンプ	陸上ポンプ 2.2 kW	1 基
濾過水槽	重力式砂濾過（FRP製）	1 基
<b>【飼育水槽】</b>		
飼育水槽	FRP 製 4.5m <sup>3</sup> 水槽	3 基
散気装置	ダイヤフラムブロアー	6 基
<b>【生物濾過装置】</b>		
濾過槽	重力式濾過（FRP製）	3 基
逆洗装置	ルーツブロアー 2.2 kW	1 基
逆洗装置	陸上ポンプ 1.5 kW	1 基
<b>【軸流ポンプ】</b>		
送水ポンプ	縦形軸流ポンプ 0.4 kW	3 基
<b>【温度調整装置】</b>		
冷却加温装置	ヒートポンプ 2.2kW	3 基
送水ポンプ	0.75 kW 陸上ポンプ	3 基
<b>【廃熱回収装置】</b>		
熱交換器	シェル&チューブ方式	1 基
<b>【制御盤】</b>		
共用制御盤	屋外型共用システム制御盤	1 面

### 5.3 機器仕様

#### 5.3.1 砂ろ過装置

本装置は、飼育水の掛け流し時に必要な水量を濾過する。

送水ポンプ・・・数量 1 基

- ・材 質：海水用ナイロンコーティング
- ・方 式：陸上渦巻ポンプ
- ・電気容量：3φ 200V 2.2 kW

濾過水槽・・・数量 1 基

- ・材 質：FRP製
- ・方 式：重力式砂濾過装置
- ・性 能：11m<sup>3</sup>/h 処理
- ・寸 法：7.8m×2.8m×H1.2m（三層構造）

#### 5.3.2 飼育水槽

本水槽は、アワビを成育することに使用される。

飼育水槽・・・数量 3 基

- ・有効容量：水槽呼称 4.5 m<sup>3</sup>
- ・寸 法：約 W1.5m×L6m×H0.75m
- ・材 質：水槽本体FRP製
- ・塗 装 色：ブルー
- ・付 属 品：シェルター

散気装置・・・数量 6 基 各水槽 2 基

- ・方 式：ダイヤフラムブロアー
- ・性 能：80 l/min×14.7 kPa
- ・電気容量：単相 100V 72W
- ・散 気 管：4m×2 本/基 ユニホース

#### 5.3.3 生物ろ過装置

本水槽は、飼育水槽 1 基に対し 1 基設置され、飼育水を生物ろ過することに使用される。主に、アンモニア類の処理を目的とする。

濾過槽・・・数量 3 基

- ・寸 法：約 W1.2m×L1.7m×H0.7m
- ・方 式：重力式
- ・性 能：10m<sup>3</sup>/h 処理
- ・材 質：水槽本体FRP製
- ・塗 装 色：ブルー

## 逆洗装置

本装置は、送水ポンプとブロアーによりエア攪拌を併用し濾材洗浄を行う。

### (1) 循環ポンプ・・・数量1基

- ・性能：300 l/min 揚程 10m
- ・材質：樹脂製ポンプ
- ・電気容量：3φ 200V 1.5 kW

### (2) ブロアー・・・数量1基

- ・方式：ルーツブロアー
- ・性能：1.25 m<sup>3</sup>/min×30 kPa
- ・容量：3φ 200V 2.2 kW

## 5.3.4 軸流ポンプ

本装置は、生物濾過された海水を飼育水槽に送水することに使用される。

### 送水ポンプ・・・数量3基

- ・材質：ステンレス（インペラ部）、PVC（ケーシング部）
- ・方式：縦形軸流ポンプ
- ・性能：250 l/min
- ・電気容量：3φ 200V 0.4 kW

## 5.3.5 温度調整装置

本装置は、飼育水を昇温及び冷却します。水槽水温を検知し、冷却装置とヒーターを制御します。

### 冷却加温装置・・・数量3基

- ・性能：6,500kcal/h
- ・材質：熱交換器部チタン製
- ・圧縮機容量：2.2kW

### 送水ポンプ・・・数量3基

- ・材質：樹脂製
- ・方式：陸上渦巻ポンプ
- ・性能：150 l/min
- ・電気容量：3φ 200V 0.75 kW

## 5.3.6 廃熱回収装置

排水の温度を利用して、補給水の温度を冷却・昇温します。

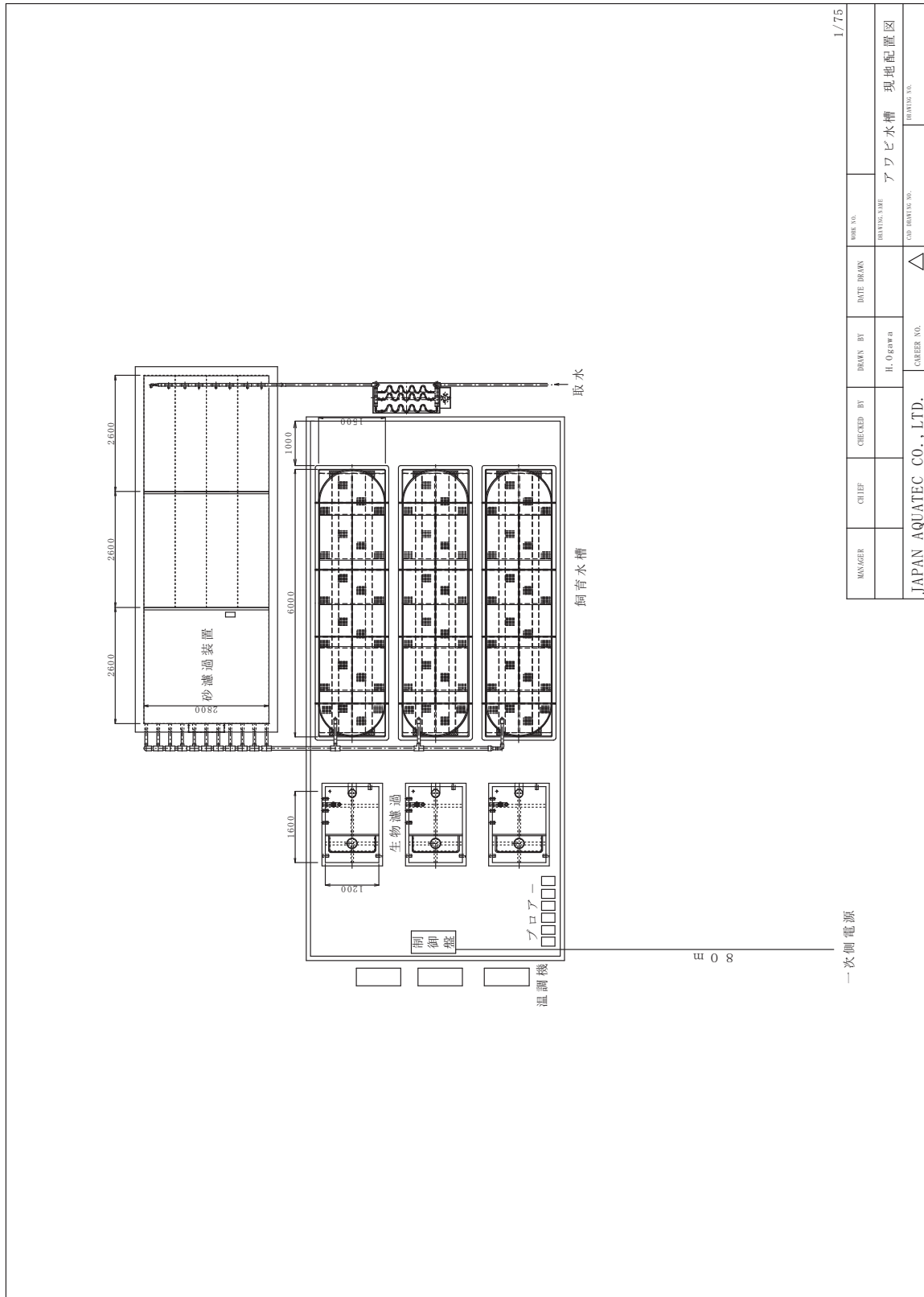
### 熱交換器・・・数量1基

- ・材 質：PVC（シェル部），ステンレス（チューブ部）
- ・方 式：シェル&チューブ方式
- ・能 力：5000 kcal/h

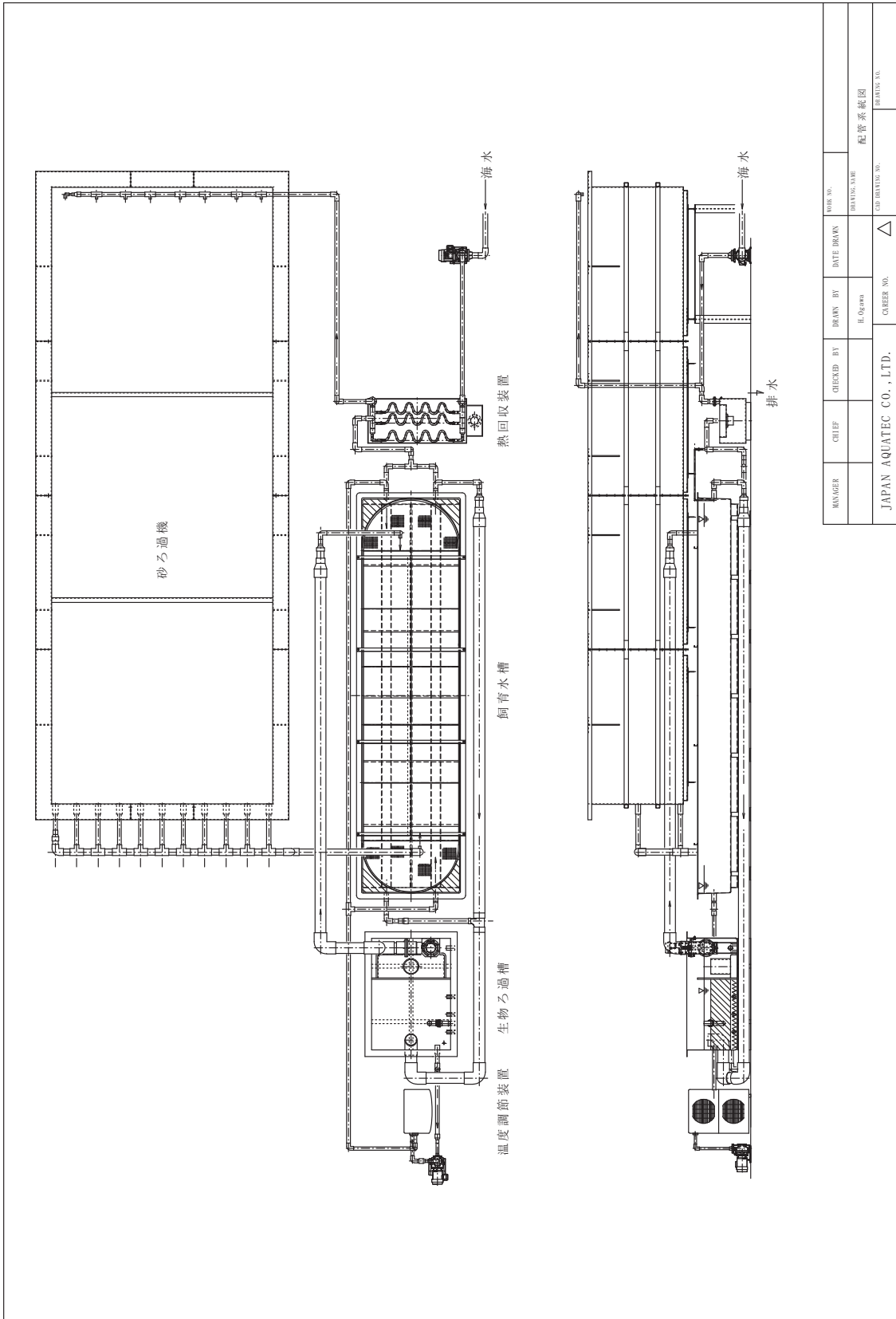
### 5.3.7 制御盤

本装置は、アワビ飼育設備の各機器類に対し電源供給及び制御信号を出力する。

- ・構 造：屋外型自立型制御盤

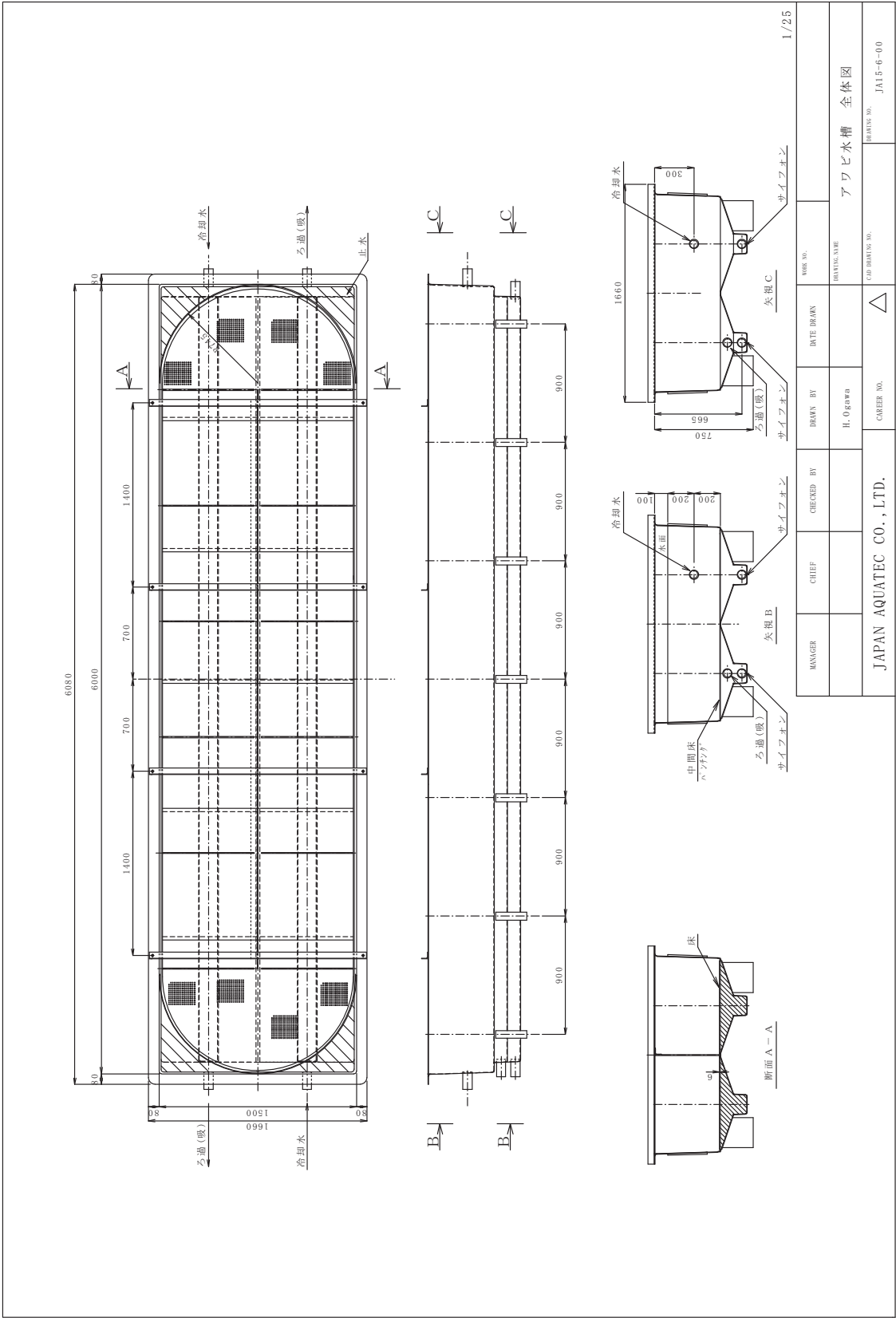


図Ⅲ. 5-1 全体配置図



MANAGER	CHEF	CHECKED BY	DRAWN BY	DATE DRAWN	WORK NO.
JAPAN AQUATEC CO., LTD.			井川		配管系統図
					CREATED NO.
					△
					DRAWING NO.

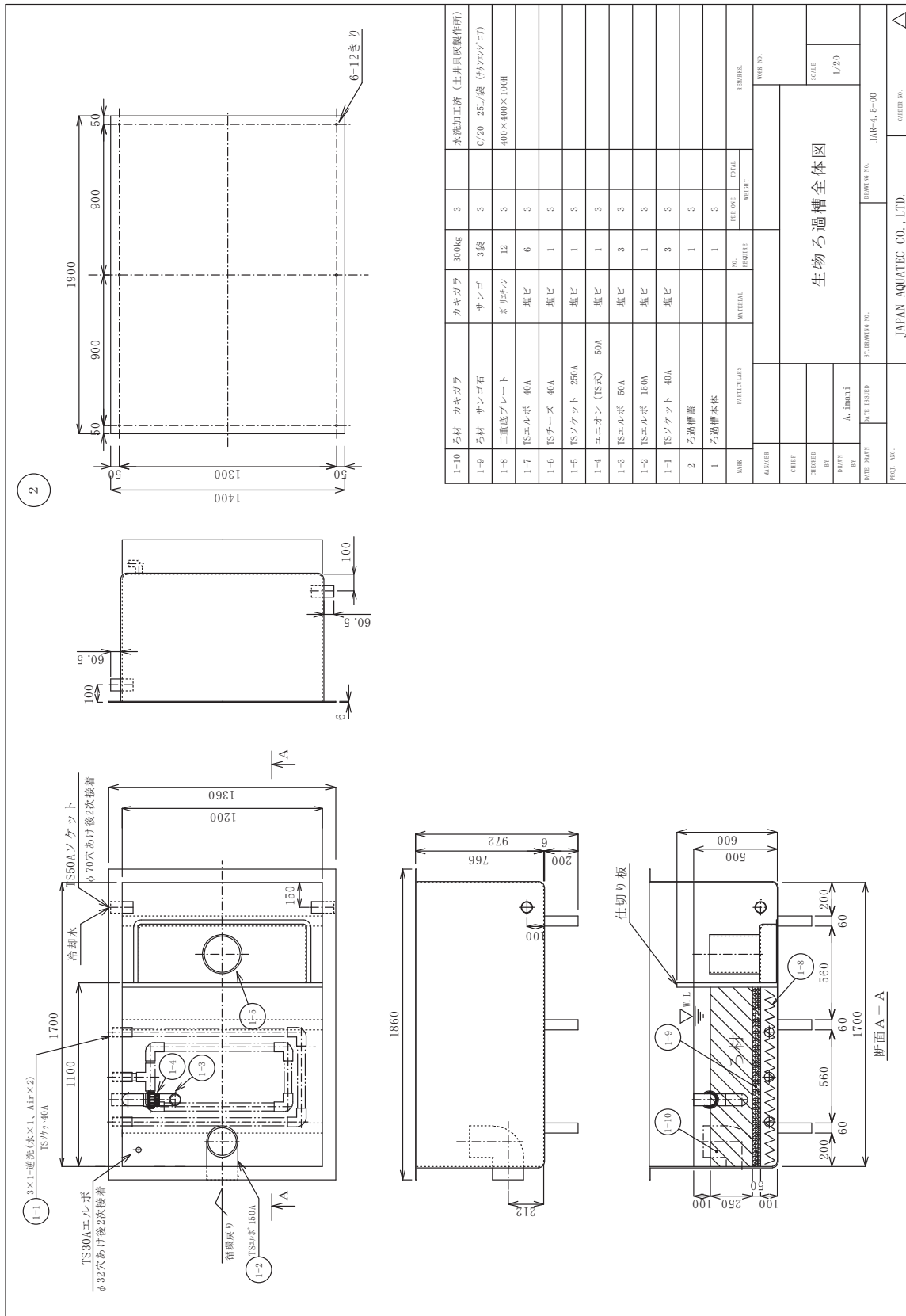
図Ⅲ. 5-2 配管系統図



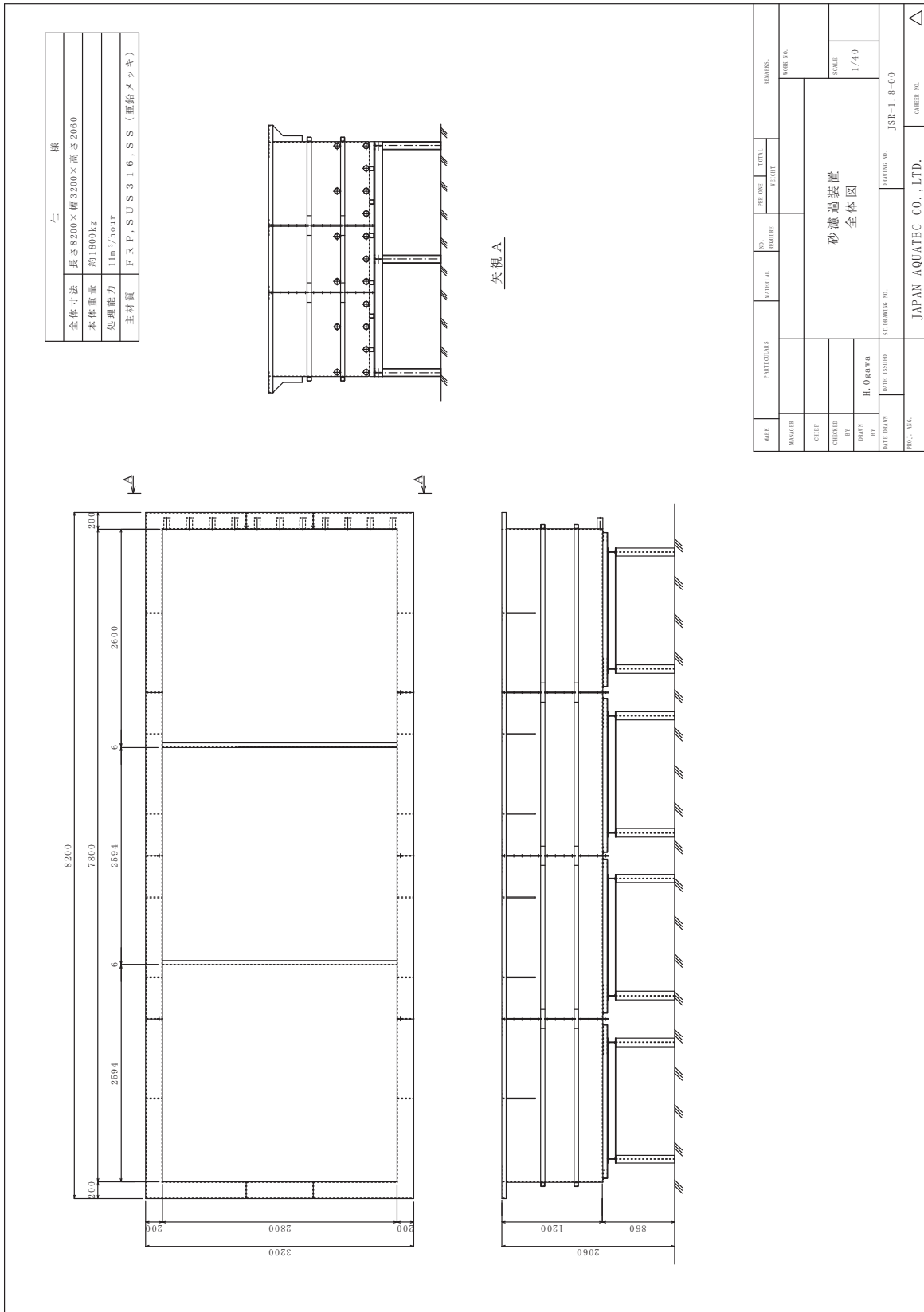
MANAGER	CHEF	CHECKED BY	DRAWN BY	DATE DRAWN	WORK NO.
			H. OGIWAKI		
JAPAN AQUATEC CO., LTD.					CAREER NO.
					△
アワビ水槽 全体図					DRAWING NO.
					JAI15-6-00

1/25

図III. 5-3 飼育水槽



図Ⅲ.5-4 生物ろ過槽



図Ⅲ.5-5 砂ろ過器

## 6 本実験計画

本実験計画は下記の通りとする。

### 6.1 実験設定

#### (1) 実験区

掛け流し区（酸素利用率 10%）・・・これを削減目標の対照区とする。

半循環区（酸素利用率は 20%）・・・揚水量 50%削減に相当。

半循環区（酸素利用率 20%以上）・・・揚水量削減の限界を検討。

#### (2) 実験期間

成長に必要なエネルギーを比較する為、全水槽が同水温になる 18～22℃の間に行なう。

その他の期間（高水温期、低水温期）は半循環式で温度調整を行い、アワビの状態を維持する。

#### (3) 収容サイズ

10mm（収容時期に入手できるサイズとする）

#### (4) 収容個数

50,000 個

#### (5) 生産目標

30mm サイズ 50,000 個

#### (6) 飼育密度

収容時（10mm サイズ）のシェルター占有率約 5%

実験終了時（30mm サイズ）のシェルター占有率約 50%

#### (6) 実験設備

平成 20 年度に製作した設備で行なう。

#### (7) 飼料

配合飼料を毎日夕刻 1 回給餌とする。

#### (8) その他

本実験では、温度調節機による水温調整も行なうが、酸素利用率毎の給水と温度調整にかかる所要動力、また酸素利用率 10%を基準とした時のエネルギー削減率試算を行なった。（表Ⅲ. 6-1）

試算条件：給水・・・・・・・・・・陸上揚水ポンプ所要動力

温度調整・・・・・・・・・・ヒートポンプ所要動力

表Ⅲ.6-1 酸素利用率毎の所要動力とエネルギー削減率（試算）

4.5m3飼育水槽で30mm サイズ15,000個を20℃で飼育するのに必要な所要動力

		酸素利用率 (%)								
		10	20	30	40	50	60	70	80	90
		換水量 (l/min)								
		192	96	64	48	38	32	27	24	21
		換水率 (回転/時間)								
		2.6	1.3	0.9	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3
		所要動力 (kW)								
取水温度 (℃)	30	39.7	20.0	13.5	10.2	8.2	6.9	6.0	5.3	4.7
	29	35.8	18.1	12.2	9.2	7.5	6.3	5.4	4.8	4.3
	28	31.9	16.1	10.9	8.3	6.7	5.6	4.9	4.3	3.9
	27	28.0	14.2	9.6	7.3	5.9	5.0	4.3	3.8	3.4
	26	24.1	12.2	8.3	6.3	5.1	4.3	3.8	3.3	3.0
	25	20.2	10.3	7.0	5.3	4.3	3.7	3.2	2.8	2.6
	24	16.3	8.3	5.7	4.4	3.6	3.0	2.7	2.4	2.1
	23	12.4	6.4	4.4	3.4	2.8	2.4	2.1	1.9	1.7
	22	8.5	4.4	3.1	2.4	2.0	1.7	1.5	1.4	1.3
	21	4.6	2.5	1.8	1.4	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8
	20	0.8	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4
	19	4.6	2.5	1.8	1.4	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8
	18	8.5	4.4	3.1	2.4	2.0	1.7	1.5	1.4	1.3
	17	12.4	6.4	4.4	3.4	2.8	2.4	2.1	1.9	1.7
	16	16.3	8.3	5.7	4.4	3.6	3.0	2.7	2.4	2.1
	15	20.2	10.3	7.0	5.3	4.3	3.7	3.2	2.8	2.6
	14	24.1	12.2	8.3	6.3	5.1	4.3	3.8	3.3	3.0
	13	28.0	14.2	9.6	7.3	5.9	5.0	4.3	3.8	3.4
	12	31.9	16.1	10.9	8.3	6.7	5.6	4.9	4.3	3.9
11	35.8	18.1	12.2	9.2	7.5	6.3	5.4	4.8	4.3	
10	39.7	20.0	13.5	10.2	8.2	6.9	6.0	5.3	4.7	
平均 (kW)		21.2	10.8	7.3	5.6	4.5	3.8	3.3	3.0	2.6
エネルギー削減率 (%)		0	49.2	65.6	73.7	78.6	81.8	84.2	86.0	87.6

上記表中の所要動力 (kW) は、給水所要動力とヒートポンプ所要動力の合計を示す。  
エネルギー削減率 (%) は、酸素利用率 10%を基準とした。

## 7 謝辞

本事業の実施にあたって、独立行政法人水産総合研究センター東北区水産研究所前所長の關哲夫様に多大なるご指導を頂きました。この場をお借りして感謝申し上げます。

## 水中の飽和溶存酸素量

水温 (°C)	飽和DO (mgO <sub>2</sub> /l) (0mgCl/l)	100mgCl/l毎に減ず DO (mgO <sub>2</sub> /L)	飽和DO (mgO <sub>2</sub> /l) (19000mgCl/l)	飽和DO (m1O <sub>2</sub> /l) (19000mgCl/l)
0	14.15	0.0153	11.24	7.87
1	13.77	0.0148	10.96	7.67
2	13.40	0.0144	10.66	7.46
3	13.04	0.0140	10.38	7.27
4	12.70	0.0135	10.14	7.09
5	12.37	0.0131	9.88	6.92
6	12.06	0.0128	9.63	6.74
7	11.75	0.0124	9.39	6.58
8	11.47	0.0120	9.19	6.43
9	11.19	0.0117	8.97	6.28
10	10.92	0.0113	8.77	6.14
11	10.67	0.0110	8.58	6.01
12	10.43	0.0107	8.40	5.88
13	10.20	0.0104	8.22	5.76
14	9.97	0.0101	8.05	5.64
15	9.76	0.0099	7.88	5.52
16	9.56	0.0096	7.74	5.42
17	9.37	0.0094	7.58	5.31
18	9.18	0.0091	7.45	5.22
19	9.01	0.0089	7.32	5.12
20	8.84	0.0087	7.19	5.03
21	8.68	0.0086	7.05	4.93
22	8.53	0.0084	6.93	4.85
23	8.39	0.0082	6.83	4.78
24	8.25	0.0081	6.71	4.70
25	8.11	0.0079	6.61	4.63
26	7.99	0.0078	6.51	4.56
27	7.87	0.0077	6.41	4.48
28	7.75	0.0076	6.31	4.41
29	7.64	0.0076	6.20	4.34
30	7.53	0.0075	6.11	4.27

## エゾアワビの酸素消費量

(mlO<sub>2</sub>/kg/h)

殻長 (mm)	体重 (g)	水温 (°C)					
		6	8	10	12	14	16
2	0.00112	139.0	168.0	201.0	242.0	291.0	350.0
4	0.00896	92.5	111.0	134.0	161.0	193.0	232.0
6	0.0302	72.7	87.4	105.0	126.0	152.0	182.0
8	0.0717	61.3	73.7	88.6	106.0	128.0	154.0
10	0.14	53.7	64.6	77.6	93.3	112.0	135.0
12	0.242	48.2	58.0	69.7	83.8	101.0	121.0
14	0.384	44.0	52.9	63.6	76.4	91.9	110.0
16	0.573	40.7	48.9	58.8	70.6	84.9	102.0
18	0.816	37.9	45.6	54.8	65.9	79.2	95.2
20	1.12	35.6	42.8	51.5	61.9	74.4	89.4
25	2.19	31.2	37.5	45.1	54.2	65.2	78.3
30	3.78	28.0	33.7	40.5	48.7	58.5	70.4
35	6.00	25.6	30.8	37.0	44.4	53.4	64.2
40	8.96	23.6	28.4	34.1	41.1	49.3	59.3
45	12.8	22.0	26.5	31.8	38.3	46.0	55.3
50	17.5	20.7	24.9	29.9	35.9	43.2	51.9
70	48.0	17.0	20.4	24.5	29.5	35.4	42.6
90	102	14.6	17.6	21.1	25.4	30.5	36.7

(mlO<sub>2</sub>/kg/h)

殻長 (mm)	体重 (g)	水温 (°C)					
		18	20	22	24	26	28
2	0.00112	420.0	505.0	607.0	607.0	607.0	607.0
4	0.00896	279.0	335.0	403.0	403.0	403.0	403.0
6	0.0302	219.0	263.0	317.0	317.0	317.0	317.0
8	0.0717	185.0	222.0	267.0	267.0	267.0	267.0
10	0.14	162.0	195.0	234.0	234.0	234.0	234.0
12	0.242	145.0	175.0	210.0	210.0	210.0	210.0
14	0.384	133.0	159.0	192.0	192.0	192.0	192.0
16	0.573	123.0	147.0	177.0	177.0	177.0	177.0
18	0.816	114.0	137.0	165.0	165.0	165.0	165.0
20	1.12	107.0	129.0	155.0	155.0	155.0	155.0
25	2.19	94.1	113.0	136.0	136.0	136.0	136.0
30	3.78	84.6	102.0	122.0	122.0	122.0	122.0
35	6.00	77.1	92.7	111.0	111.0	111.0	111.0
40	8.96	71.3	85.7	103.0	103.0	103.0	103.0
45	12.8	66.4	79.8	96.0	96.0	96.0	96.0
50	17.5	62.4	75.0	90.2	90.2	90.2	90.2
70	48.0	51.2	61.5	73.9	73.9	73.9	73.9
90	102	44.1	53.0	63.7	63.7	63.7	63.7

## 添付資料-3

## エゾアワビの基準給水量

(L/kg・h) (D090%)

殻長 (mm)	体重 (g)	水温 (°C)											
		6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
2	0.00112	206.0	261.4	327.3	411.7	516.4	647.2	805.3	1003.8	1250.6	1288.3	1334.5	1377.3
4	0.00896	137.1	172.7	218.2	273.9	342.5	429.0	534.9	665.9	830.3	855.3	886.0	914.4
6	0.0302	107.8	136.0	171.0	214.4	269.7	336.5	419.9	522.8	653.1	672.8	696.9	719.3
8	0.0717	90.9	114.7	144.3	180.3	227.1	284.8	354.7	441.3	550.1	566.7	587.0	605.8
10	0.14	79.6	100.5	126.4	158.7	198.7	249.6	310.6	387.6	482.1	496.6	514.4	530.9
12	0.242	71.4	90.3	113.5	142.6	179.2	223.7	278.0	347.9	432.7	445.7	461.7	476.5
14	0.384	65.2	82.3	103.6	130.0	163.1	203.4	255.0	316.0	395.6	407.5	422.1	435.7
16	0.573	60.3	76.1	95.7	120.1	150.6	188.6	235.8	292.2	364.7	375.7	389.1	401.6
18	0.816	56.2	71.0	89.2	112.1	140.5	176.0	218.6	272.3	339.9	350.2	362.7	374.4
20	1.12	52.8	66.6	83.9	105.3	132.0	165.3	205.1	256.4	319.3	329.0	340.8	351.7
25	2.19	46.2	58.4	73.4	92.2	115.7	144.8	180.4	224.6	280.2	288.6	299.0	308.6
30	3.78	41.5	52.4	65.9	82.9	103.8	130.2	162.2	202.7	251.3	258.9	268.2	276.8
35	6.00	37.9	47.9	60.2	75.5	94.8	118.7	147.8	184.3	228.7	235.6	244.0	251.9
40	8.96	35.0	44.2	55.5	69.9	87.5	109.6	136.7	170.3	212.2	218.6	226.4	233.7
45	12.8	32.6	41.2	51.8	65.2	81.6	102.3	127.3	158.6	197.8	203.7	211.1	217.8
50	17.5	30.7	38.7	48.7	61.1	76.7	96.0	119.6	149.1	185.8	191.4	198.3	204.7
70	48.0	25.2	31.7	39.9	50.2	62.8	78.8	98.2	122.2	152.3	156.8	162.5	167.7
90	102	21.6	27.4	34.4	43.2	54.1	67.9	84.6	105.3	131.2	135.2	140.0	144.5

(L/kg・h) (D080%)

殻長 (mm)	体重 (g)	水温 (°C)											
		6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
2	0.00112	103.0	130.7	163.7	205.9	258.2	323.6	402.6	501.9	625.3	644.1	667.2	688.6
4	0.00896	68.6	86.4	109.1	137.0	171.2	214.5	267.5	332.9	415.1	427.7	443.0	457.2
6	0.0302	53.9	68.0	85.5	107.2	134.9	168.3	209.9	261.4	326.5	336.4	348.5	359.6
8	0.0717	45.4	57.3	72.1	90.2	113.6	142.4	177.3	220.6	275.0	283.3	293.5	302.9
10	0.14	39.8	50.3	63.2	79.4	99.4	124.8	155.3	193.8	241.0	248.3	257.2	265.5
12	0.242	35.7	45.1	56.7	71.3	89.6	111.9	139.0	173.9	216.3	222.8	230.8	238.2
14	0.384	32.6	41.2	51.8	65.0	81.5	101.7	127.5	158.0	197.8	203.7	211.1	217.8
16	0.573	30.2	38.0	47.9	60.1	75.3	94.3	117.9	146.1	182.3	187.8	194.6	200.8
18	0.816	28.1	35.5	44.6	56.1	70.3	88.0	109.3	136.2	170.0	175.1	181.4	187.2
20	1.12	26.4	33.3	41.9	52.7	66.0	82.7	102.6	128.2	159.7	164.5	170.4	175.8
25	2.19	23.1	29.2	36.7	46.1	57.8	72.4	90.2	112.3	140.1	144.3	149.5	154.3
30	3.78	20.8	26.2	33.0	41.4	51.9	65.1	81.1	101.4	125.7	129.5	134.1	138.4
35	6.00	19.0	24.0	30.1	37.8	47.4	59.4	73.9	92.1	114.3	117.8	122.0	125.9
40	8.96	17.5	22.1	27.8	35.0	43.7	54.8	68.4	85.2	106.1	109.3	113.2	116.9
45	12.8	16.3	20.6	25.9	32.6	40.8	51.1	63.7	79.3	98.9	101.9	105.5	108.9
50	17.5	15.3	19.4	24.3	30.5	38.3	48.0	59.8	74.5	92.9	95.7	99.2	102.3
70	48.0	12.6	15.9	19.9	25.1	31.4	39.4	49.1	61.1	76.1	78.4	81.2	83.8
90	102	10.8	13.7	17.2	21.6	27.1	33.9	42.3	52.7	65.6	67.6	70.0	72.3

(L/kg · h) (D070%)

殻長 (mm)	体重 (g)	水温 (°C)											
		6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
2	0.00112	68.7	87.1	109.1	137.2	172.1	215.7	268.4	334.6	416.9	429.4	444.8	459.1
4	0.00896	45.7	57.6	72.7	91.3	114.2	143.0	178.3	222.0	276.8	285.1	295.3	304.8
6	0.0302	35.9	45.3	57.0	71.5	89.9	112.2	140.0	174.3	217.7	224.3	232.3	239.8
8	0.0717	30.3	38.2	48.1	60.1	75.7	94.9	118.2	147.1	183.4	188.9	195.7	201.9
10	0.14	26.5	33.5	42.1	52.9	66.2	83.2	103.5	129.2	160.7	165.5	171.5	177.0
12	0.242	23.8	30.1	37.8	47.5	59.7	74.6	92.7	116.0	144.2	148.6	153.9	158.8
14	0.384	21.7	27.4	34.5	43.3	54.4	67.8	85.0	105.3	131.9	135.8	140.7	145.2
16	0.573	20.1	25.4	31.9	40.0	50.2	62.9	78.6	97.4	121.6	125.2	129.7	133.9
18	0.816	18.7	23.7	29.7	37.4	46.8	58.7	72.9	90.8	113.3	116.7	120.9	124.8
20	1.12	17.6	22.2	28.0	35.1	44.0	55.1	68.4	85.5	106.4	109.7	113.6	117.2
25	2.19	15.4	19.5	24.5	30.7	38.6	48.3	60.1	74.9	93.4	96.2	99.7	102.9
30	3.78	13.8	17.5	22.0	27.6	34.6	43.4	54.1	67.6	83.8	86.3	89.4	92.3
35	6.00	12.6	16.0	20.1	25.2	31.6	39.6	49.3	61.4	76.2	78.5	81.3	84.0
40	8.96	11.7	14.7	18.5	23.3	29.2	36.5	45.6	56.8	70.7	72.9	75.5	77.9
45	12.8	10.9	13.7	17.3	21.7	27.2	34.1	42.4	52.9	65.9	67.9	70.4	72.6
50	17.5	10.2	12.9	16.2	20.4	25.6	32.0	39.9	49.7	61.9	63.8	66.1	68.2
70	48.0	8.4	10.6	13.3	16.7	20.9	26.3	32.7	40.7	50.8	52.3	54.2	55.9
90	102	7.2	9.1	11.5	14.4	18.0	22.6	28.2	35.1	43.7	45.1	46.7	48.2

(L/kg · h) (D060%)

殻長 (mm)	体重 (g)	水温 (°C)											
		6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
2	0.00112	51.5	65.4	81.8	102.9	129.1	161.8	201.3	250.9	312.6	322.1	333.6	344.3
4	0.00896	34.3	43.2	54.6	68.5	85.6	107.2	133.7	166.5	207.6	213.8	221.5	228.6
6	0.0302	26.9	34.0	42.7	53.6	67.4	84.1	105.0	130.7	163.3	168.2	174.2	179.8
8	0.0717	22.7	28.7	36.1	45.1	56.8	71.2	88.7	110.3	137.5	141.7	146.7	151.5
10	0.14	19.9	25.1	31.6	39.7	49.7	62.4	77.7	96.9	120.5	124.2	128.6	132.7
12	0.242	17.9	22.6	28.4	35.6	44.8	55.9	69.5	87.0	108.2	111.4	115.4	119.1
14	0.384	16.3	20.6	25.9	32.5	40.8	50.8	63.7	79.0	98.9	101.9	105.5	108.9
16	0.573	15.1	19.0	23.9	30.0	37.7	47.2	59.0	73.0	91.2	93.9	97.3	100.4
18	0.816	14.0	17.7	22.3	28.0	35.1	44.0	54.6	68.1	85.0	87.5	90.7	93.6
20	1.12	13.2	16.7	21.0	26.3	33.0	41.3	51.3	64.1	79.8	82.2	85.2	87.9
25	2.19	11.6	14.6	18.4	23.1	28.9	36.2	45.1	56.2	70.0	72.2	74.7	77.1
30	3.78	10.4	13.1	16.5	20.7	26.0	32.5	40.6	50.7	62.8	64.7	67.1	69.2
35	6.00	9.5	12.0	15.1	18.9	23.7	29.7	37.0	46.1	57.2	58.9	61.0	63.0
40	8.96	8.7	11.0	13.9	17.5	21.9	27.4	34.2	42.6	53.1	54.7	56.6	58.4
45	12.8	8.2	10.3	12.9	16.3	20.4	25.6	31.8	39.7	49.4	50.9	52.8	54.5
50	17.5	7.7	9.7	12.2	15.3	19.2	24.0	29.9	37.3	46.5	47.9	49.6	51.2
70	48.0	6.3	7.9	10.0	12.5	15.7	19.7	24.5	30.6	38.1	39.2	40.6	41.9
90	102	5.4	6.8	8.6	10.8	13.5	17.0	21.1	26.3	32.8	33.8	35.0	36.1

(L/kg · h) (D050%)

殻長 (mm)	体重 (g)	水温 (°C)											
		6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
2	0.00112	41.2	52.3	65.5	82.3	103.3	129.4	161.1	200.8	250.1	257.7	266.9	275.5
4	0.00896	27.4	34.5	43.6	54.8	68.5	85.8	107.0	133.2	166.1	171.1	177.2	182.9
6	0.0302	21.6	27.2	34.2	42.9	53.9	67.3	84.0	104.6	130.6	134.6	139.4	143.9
8	0.0717	18.2	22.9	28.9	36.1	45.4	57.0	70.9	88.3	110.0	113.3	117.4	121.2
10	0.14	15.9	20.1	25.3	31.7	39.7	49.9	62.1	77.5	96.4	99.3	102.9	106.2
12	0.242	14.3	18.1	22.7	28.5	35.8	44.7	55.6	69.6	86.5	89.1	92.3	95.3
14	0.384	13.0	16.5	20.7	26.0	32.6	40.7	51.0	63.2	79.1	81.5	84.4	87.1
16	0.573	12.1	15.2	19.1	24.0	30.1	37.7	47.2	58.4	72.9	75.1	77.8	80.3
18	0.816	11.2	14.2	17.8	22.4	28.1	35.2	43.7	54.5	68.0	70.0	72.5	74.9
20	1.12	10.6	13.3	16.8	21.1	26.4	33.1	41.0	51.3	63.9	65.8	68.2	70.3
25	2.19	9.2	11.7	14.7	18.4	23.1	29.0	36.1	44.9	56.0	57.7	59.8	61.7
30	3.78	8.3	10.5	13.2	16.6	20.8	26.0	32.4	40.5	50.3	51.8	53.6	55.4
35	6.00	7.6	9.6	12.0	15.1	19.0	23.7	29.6	36.9	45.7	47.1	48.8	50.4
40	8.96	7.0	8.8	11.1	14.0	17.5	21.9	27.3	34.1	42.4	43.7	45.3	46.7
45	12.8	6.5	8.2	10.4	13.0	16.3	20.5	25.5	31.7	39.6	40.7	42.2	43.6
50	17.5	6.1	7.7	9.7	12.2	15.3	19.2	23.9	29.8	37.2	38.3	39.7	40.9
70	48.0	5.0	6.3	8.0	10.0	12.6	15.8	19.6	24.4	30.5	31.4	32.5	33.5
90	102	4.3	5.5	6.9	8.6	10.8	13.6	16.9	21.1	26.2	27.0	28.0	28.9

(L/kg · h) (D040%)

殻長 (mm)	体重 (g)	水温 (°C)											
		6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
2	0.00112	34.3	43.6	54.6	68.6	86.1	107.9	134.2	167.3	208.4	214.7	222.4	229.5
4	0.00896	22.9	28.8	36.4	45.7	57.1	71.5	89.2	111.0	138.4	142.6	147.7	152.4
6	0.0302	18.0	22.7	28.5	35.7	45.0	56.1	70.0	87.1	108.8	112.1	116.2	119.9
8	0.0717	15.1	19.1	24.0	30.1	37.9	47.5	59.1	73.5	91.7	94.4	97.8	101.0
10	0.14	13.3	16.8	21.1	26.5	33.1	41.6	51.8	64.6	80.3	82.8	85.7	88.5
12	0.242	11.9	15.0	18.9	23.8	29.9	37.3	46.3	58.0	72.1	74.3	76.9	79.4
14	0.384	10.9	13.7	17.3	21.7	27.2	33.9	42.5	52.7	65.9	67.9	70.4	72.6
16	0.573	10.1	12.7	16.0	20.0	25.1	31.4	39.3	48.7	60.8	62.6	64.9	66.9
18	0.816	9.4	11.8	14.9	18.7	23.4	29.3	36.4	45.4	56.7	58.4	60.5	62.4
20	1.12	8.8	11.1	14.0	17.6	22.0	27.6	34.2	42.7	53.2	54.8	56.8	58.6
25	2.19	7.7	9.7	12.2	15.4	19.3	24.1	30.1	37.4	46.7	48.1	49.8	51.4
30	3.78	6.9	8.7	11.0	13.8	17.3	21.7	27.0	33.8	41.9	43.2	44.7	46.1
35	6.00	6.3	8.0	10.0	12.6	15.8	19.8	24.6	30.7	38.1	39.3	40.7	42.0
40	8.96	5.8	7.4	9.3	11.7	14.6	18.3	22.8	28.4	35.4	36.4	37.7	39.0
45	12.8	5.4	6.9	8.6	10.9	13.6	17.0	21.2	26.4	33.0	34.0	35.2	36.3
50	17.5	5.1	6.5	8.1	10.2	12.8	16.0	19.9	24.8	31.0	31.9	33.1	34.1
70	48.0	4.2	5.3	6.6	8.4	10.5	13.1	16.4	20.4	25.4	26.1	27.1	27.9
90	102	3.6	4.6	5.7	7.2	9.0	11.3	14.1	17.6	21.9	22.5	23.3	24.1

(L/kg · h) (D030%)

殻長 (mm)	体重 (g)	水温 (°C)											
		6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
2	0.00112	29.4	37.3	46.8	58.8	73.8	92.5	115.0	143.4	178.7	184.0	190.6	196.8
4	0.00896	19.6	24.7	31.2	39.1	48.9	61.3	76.4	95.1	118.6	122.2	126.6	130.6
6	0.0302	15.4	19.4	24.4	30.6	38.5	48.1	60.0	74.7	93.3	96.1	99.6	102.8
8	0.0717	13.0	16.4	20.6	25.8	32.4	40.7	50.7	63.0	78.6	81.0	83.9	86.5
10	0.14	11.4	14.4	18.1	22.7	28.4	35.7	44.4	55.4	68.9	70.9	73.5	75.8
12	0.242	10.2	12.9	16.2	20.4	25.6	32.0	39.7	49.7	61.8	63.7	66.0	68.1
14	0.384	9.3	11.8	14.8	18.6	23.3	29.1	36.4	45.1	56.5	58.2	60.3	62.2
16	0.573	8.6	10.9	13.7	17.2	21.5	26.9	33.7	41.7	52.1	53.7	55.6	57.4
18	0.816	8.0	10.1	12.7	16.0	20.1	25.1	31.2	38.9	48.6	50.0	51.8	53.5
20	1.12	7.5	9.5	12.0	15.0	18.9	23.6	29.3	36.6	45.6	47.0	48.7	50.2
25	2.19	6.6	8.3	10.5	13.2	16.5	20.7	25.8	32.1	40.0	41.2	42.7	44.1
30	3.78	5.9	7.5	9.4	11.8	14.8	18.6	23.2	29.0	35.9	37.0	38.3	39.5
35	6.00	5.4	6.8	8.6	10.8	13.5	17.0	21.1	26.3	32.7	33.7	34.9	36.0
40	8.96	5.0	6.3	7.9	10.0	12.5	15.7	19.5	24.3	30.3	31.2	32.3	33.4
45	12.8	4.7	5.9	7.4	9.3	11.7	14.6	18.2	22.7	28.3	29.1	30.2	31.1
50	17.5	4.4	5.5	7.0	8.7	11.0	13.7	17.1	21.3	26.5	27.3	28.3	29.2
70	48.0	3.6	4.5	5.7	7.2	9.0	11.3	14.0	17.5	21.8	22.4	23.2	24.0
90	102	3.1	3.9	4.9	6.2	7.7	9.7	12.1	15.0	18.7	19.3	20.0	20.6

(L/kg · h) (D020%)

殻長 (mm)	体重 (g)	水温 (°C)											
		6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
2	0.00112	25.8	32.7	40.9	51.5	64.5	80.9	100.7	125.5	156.3	161.0	166.8	172.2
4	0.00896	17.1	21.6	27.3	34.2	42.8	53.6	66.9	83.2	103.8	106.9	110.7	114.3
6	0.0302	13.5	17.0	21.4	26.8	33.7	42.1	52.5	65.3	81.6	84.1	87.1	89.9
8	0.0717	11.4	14.3	18.0	22.5	28.4	35.6	44.3	55.2	68.8	70.8	73.4	75.7
10	0.14	9.9	12.6	15.8	19.8	24.8	31.2	38.8	48.5	60.3	62.1	64.3	66.4
12	0.242	8.9	11.3	14.2	17.8	22.4	28.0	34.8	43.5	54.1	55.7	57.7	59.6
14	0.384	8.2	10.3	12.9	16.2	20.4	25.4	31.9	39.5	49.4	50.9	52.8	54.5
16	0.573	7.5	9.5	12.0	15.0	18.8	23.6	29.5	36.5	45.6	47.0	48.6	50.2
18	0.816	7.0	8.9	11.2	14.0	17.6	22.0	27.3	34.0	42.5	43.8	45.3	46.8
20	1.12	6.6	8.3	10.5	13.2	16.5	20.7	25.6	32.1	39.9	41.1	42.6	44.0
25	2.19	5.8	7.3	9.2	11.5	14.5	18.1	22.6	28.1	35.0	36.1	37.4	38.6
30	3.78	5.2	6.6	8.2	10.4	13.0	16.3	20.3	25.3	31.4	32.4	33.5	34.6
35	6.00	4.7	6.0	7.5	9.4	11.8	14.8	18.5	23.0	28.6	29.4	30.5	31.5
40	8.96	4.4	5.5	6.9	8.7	10.9	13.7	17.1	21.3	26.5	27.3	28.3	29.2
45	12.8	4.1	5.2	6.5	8.1	10.2	12.8	15.9	19.8	24.7	25.5	26.4	27.2
50	17.5	3.8	4.8	6.1	7.6	9.6	12.0	15.0	18.6	23.2	23.9	24.8	25.6
70	48.0	3.1	4.0	5.0	6.3	7.9	9.8	12.3	15.3	19.0	19.6	20.3	21.0
90	102	2.7	3.4	4.3	5.4	6.8	8.5	10.6	13.2	16.4	16.9	17.5	18.1

(L/kg · h) (D010%)

殻長 (mm)	体重 (g)	水温 (°C)											
		6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
2	0.00112	22.9	29.0	36.4	45.7	57.4	71.9	89.5	111.5	139.0	143.1	148.3	153.0
4	0.00896	15.2	19.2	24.2	30.4	38.1	47.7	59.4	74.0	92.3	95.0	98.4	101.6
6	0.0302	12.0	15.1	19.0	23.8	30.0	37.4	46.7	58.1	72.6	74.8	77.4	79.9
8	0.0717	10.1	12.7	16.0	20.0	25.2	31.6	39.4	49.0	61.1	63.0	65.2	67.3
10	0.14	8.8	11.2	14.0	17.6	22.1	27.7	34.5	43.1	53.6	55.2	57.2	59.0
12	0.242	7.9	10.0	12.6	15.8	19.9	24.9	30.9	38.7	48.1	49.5	51.3	52.9
14	0.384	7.2	9.1	11.5	14.4	18.1	22.6	28.3	35.1	44.0	45.3	46.9	48.4
16	0.573	6.7	8.5	10.6	13.3	16.7	21.0	26.2	32.5	40.5	41.7	43.2	44.6
18	0.816	6.2	7.9	9.9	12.5	15.6	19.6	24.3	30.3	37.8	38.9	40.3	41.6
20	1.12	5.9	7.4	9.3	11.7	14.7	18.4	22.8	28.5	35.5	36.6	37.9	39.1
25	2.19	5.1	6.5	8.2	10.2	12.9	16.1	20.0	25.0	31.1	32.1	33.2	34.3
30	3.78	4.6	5.8	7.3	9.2	11.5	14.5	18.0	22.5	27.9	28.8	29.8	30.8
35	6.00	4.2	5.3	6.7	8.4	10.5	13.2	16.4	20.5	25.4	26.2	27.1	28.0
40	8.96	3.9	4.9	6.2	7.8	9.7	12.2	15.2	18.9	23.6	24.3	25.2	26.0
45	12.8	3.6	4.6	5.8	7.2	9.1	11.4	14.1	17.6	22.0	22.6	23.5	24.2
50	17.5	3.4	4.3	5.4	6.8	8.5	10.7	13.3	16.6	20.6	21.3	22.0	22.7
70	48.0	2.8	3.5	4.4	5.6	7.0	8.8	10.9	13.6	16.9	17.4	18.1	18.6
90	102	2.4	3.0	3.8	4.8	6.0	7.5	9.4	11.7	14.6	15.0	15.6	16.1

(L/kg · h) (D05%)

殻長 (mm)	体重 (g)	水温 (°C)											
		6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
2	0.00112	21.7	27.5	34.5	43.3	54.4	68.1	84.8	105.7	131.6	135.6	140.5	145.0
4	0.00896	14.4	18.2	23.0	28.8	36.0	45.2	56.3	70.1	87.4	90.0	93.3	96.3
6	0.0302	11.3	14.3	18.0	22.6	28.4	35.4	44.2	55.0	68.7	70.8	73.4	75.7
8	0.0717	9.6	12.1	15.2	19.0	23.9	30.0	37.3	46.4	57.9	59.6	61.8	63.8
10	0.14	8.4	10.6	13.3	16.7	20.9	26.3	32.7	40.8	50.7	52.3	54.2	55.9
12	0.242	7.5	9.5	11.9	15.0	18.9	23.6	29.3	36.6	45.5	46.9	48.6	50.2
14	0.384	6.9	8.7	10.9	13.7	17.2	21.4	26.8	33.3	41.6	42.9	44.4	45.9
16	0.573	6.4	8.0	10.1	12.6	15.9	19.9	24.8	30.8	38.4	39.5	41.0	42.3
18	0.816	5.9	7.5	9.4	11.8	14.8	18.5	23.0	28.7	35.8	36.9	38.2	39.4
20	1.12	5.6	7.0	8.8	11.1	13.9	17.4	21.6	27.0	33.6	34.6	35.9	37.0
25	2.19	4.9	6.1	7.7	9.7	12.2	15.2	19.0	23.6	29.5	30.4	31.5	32.5
30	3.78	4.4	5.5	6.9	8.7	10.9	13.7	17.1	21.3	26.5	27.3	28.2	29.1
35	6.00	4.0	5.0	6.3	8.0	10.0	12.5	15.6	19.4	24.1	24.8	25.7	26.5
40	8.96	3.7	4.7	5.8	7.4	9.2	11.5	14.4	17.9	22.3	23.0	23.8	24.6
45	12.8	3.4	4.3	5.5	6.9	8.6	10.8	13.4	16.7	20.8	21.4	22.2	22.9
50	17.5	3.2	4.1	5.1	6.4	8.1	10.1	12.6	15.7	19.6	20.2	20.9	21.5
70	48.0	2.7	3.3	4.2	5.3	6.6	8.3	10.3	12.9	16.0	16.5	17.1	17.7
90	102	2.3	2.9	3.6	4.5	5.7	7.1	8.9	11.1	13.8	14.2	14.7	15.2