

現場適用可能な海産魚介類の 閉鎖循環飼育技術の開発と社会実装



国立研究開発法人 水産研究・教育機構
水産大学校 水産流通経営学科
山本 義久

講演者の自己紹介

現職：国立研究開発法人水産研究・教育機構
水産大学校水産流通経営学科（教授）

前職：独立行政法人水産総合研究センター
瀬戸内海区水産研究所 屋島庁舎

前々職：社団法人日本栽培漁業協会
屋島栽培漁業センター（サワラ・閉鎖循環飼育）
厚岸栽培漁業センター（ニシン・マツカワ）
百島実験地（マダイ種苗性・クルマエビ成熟）

学歴：東京海洋大学大学院 海洋科学技術研究科
（海洋科学博士：閉鎖循環式種苗生産システム）
東京水産大学大学院・水産学部

活動：ライフワークとして食育活動を精力的に実施
（FRAニュースのあんじいの魚菜に乾杯で40回連載 養殖サツキマスの爽やかカルパッチョ
各地で食育教室を開催、海響館で魚食展にも協力）
海外協力：JICAなどを通じてマダガスカルやUAEなどで技術協
力

著書：循環式陸上養殖(監修: 山本義久他), 緑書房, pp307、Application of
Recirculating Aquaculture Systems in Japan(ed.,Toshio Takeuchi),
Springer, pp333、陸上養殖: 事業化・流通に向けた販売戦略・管理技
術 飼育事例(共著) 情報機構, pp280、コダンの科学、生物研究社



美味しんぼ、101巻「食の安全」より



養殖サツキマスの爽やかカルパッチョ

アポロ17号から見た地球
1972/12/7



地球は閉鎖系であり、その海もまた閉鎖水界である

Closed System

地球は水の循環で成立している

Recirculation

閉鎖循環式養殖は地球の相似系

Closed
Recirculation
Aquaculture
System

SDGsと循環型社会の関係性



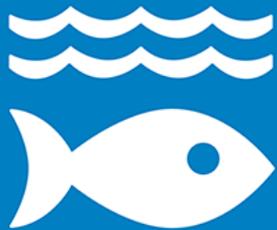
SDGsと閉鎖循環式養殖の関係性

9 産業と技術革新の
基盤をつくろう

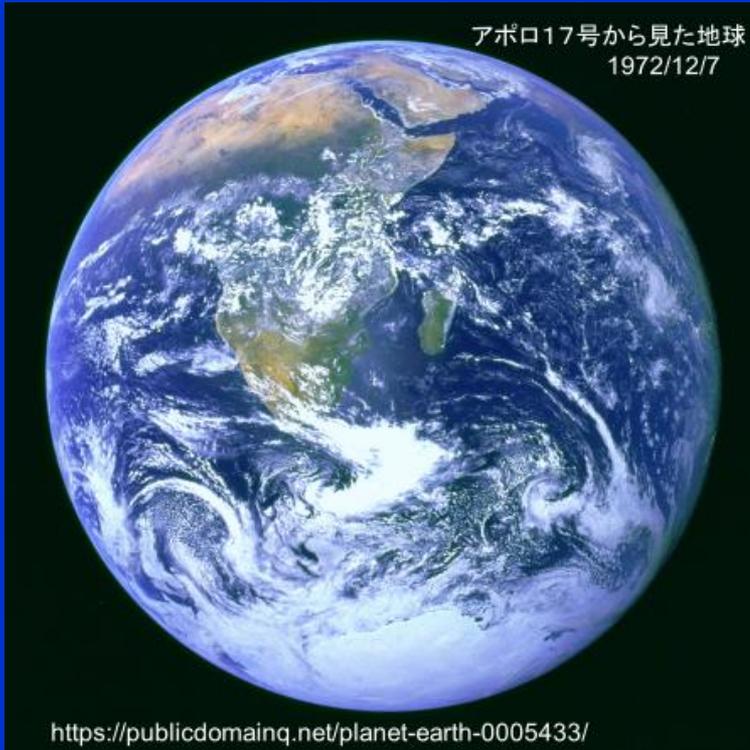


食料産業の技術開発の高度化

14 海の豊かさを
守ろう



環境保全と養殖産業の両立



地は閉鎖系
であり、その
海もまた閉
鎖水界である

Closed System

地球は水の
循環で成立
している
Recirculation

閉鎖循環式
養殖は地球
の相似系

Closed
Recirculation
Aquaculture
System

- ・生産者の想い
→高品質な魚を生産+儲ける
- ・消費者の想い
→安心安全な魚の確保や健康
- ・地域の想い
→食のブランド化+集客+活性化
➡SDGsを強く意識する必要性

12 つくる責任
つかう責任



2006年の最初のスライド

なぜ閉鎖循環飼育が注目されているのか？

閉鎖循環飼育がもたらす効果

廃水処理等の
管理の徹底

水温維持の
経費軽減

飼育環境
の最適化

外部リスク
からの回避

環境保全

省エネ化

高生産性

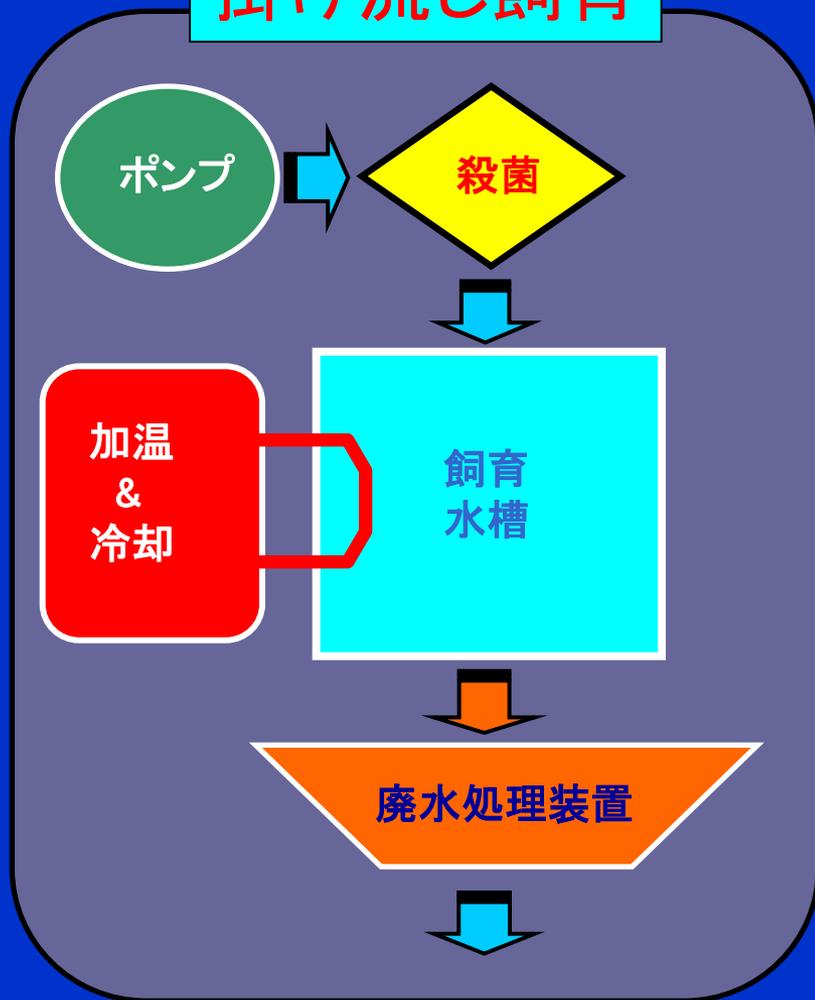
疾病防除

環境にやさしく、安定して効率的な生産ができ、
薬を使用しなくてもよい安全な飼育方法

将来の種苗生産・養殖事業の主流として期待される

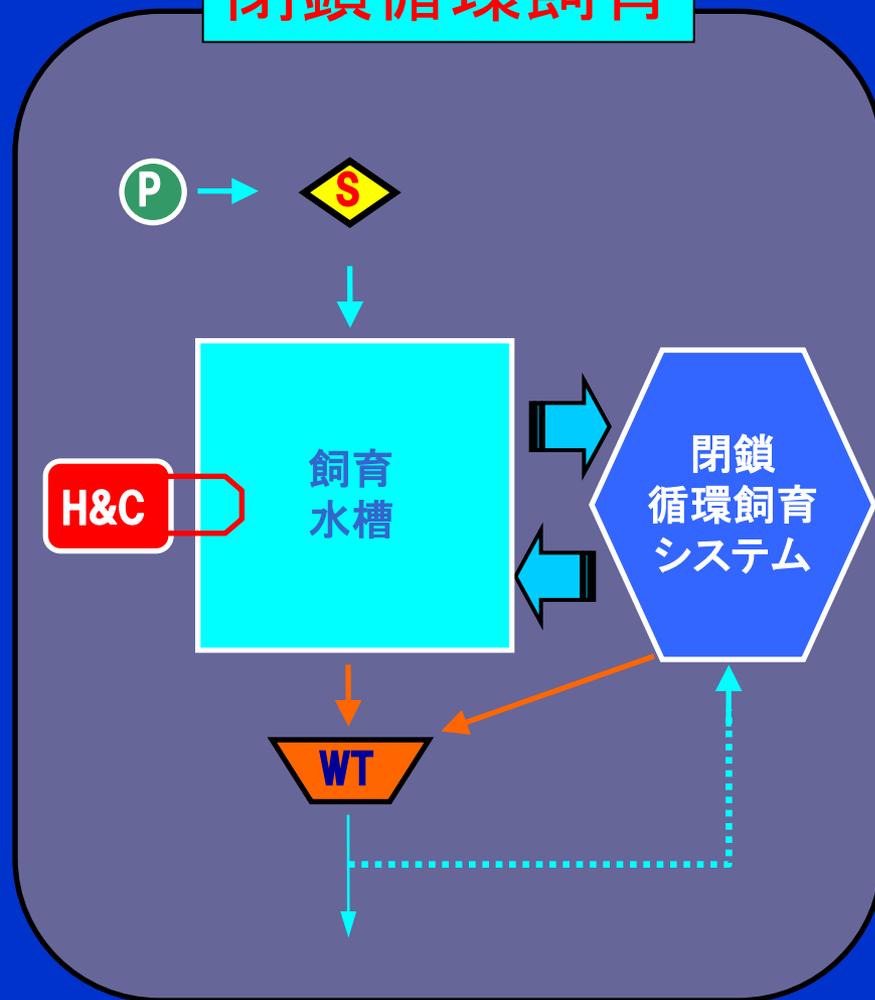
閉鎖循環飼育システムのイメージ

掛け流し飼育



流水飼育

閉鎖循環飼育



閉鎖循環：新規

閉鎖循環式飼育のメリット

①環境負荷低減(自家汚染回避)

②網生け簀の破損による養殖魚の逃亡の回避

→商材の安全確保(陸上であれば)

→天然資源への遺伝的攪乱の影響(特に雑種)

③外部リスク回避

→疾病防除、波浪、赤潮や海洋汚染被害防除

④安心安全な養殖生産物の供給

→リスクが無い養殖環境の維持によるトレーサビリティ確保

⑤対象魚種の適正環境(水温、塩分、DO、光)維持

容易に調整可能なこと

→高成長・高生残・高密度養殖

⑥ある意味で養殖場所を選ばないこと

→養殖立地取得の問題、漁業権の問題

閉鎖循環式飼育のデメリット

①閉鎖循環システムへの病原の侵入

→一度病原が入れば全滅

→システムの徹底した殺菌処理が必須

②システムのイニシャルコストが高額な問題

→初期投資の償還の期間

③ランニングコストとしての電気代の問題

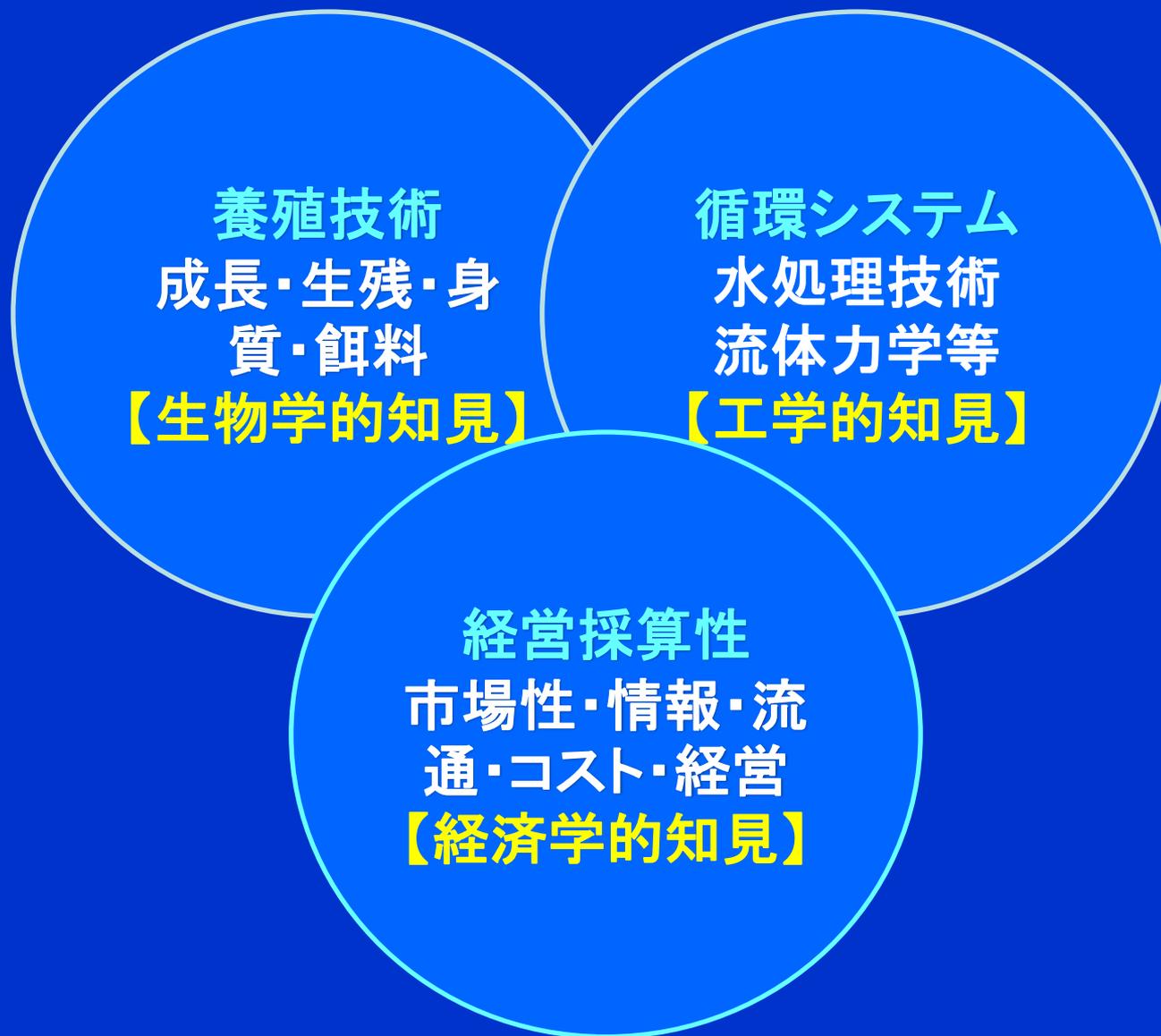
→日本は電気代が高い

→農事電力の様な補助体制が陸上養殖では未整備

④停電によるシステムの稼働停止による全滅

→バックアップ電源整備・液体酸素供給体制が高額

RAS(閉鎖循環式養殖システム)の成立の考え方



閉鎖循環飼育の研究の推移

1950~1960年代

佐伯・平山らの基礎研究→日本では水族館で応用

1970年代~現在

欧米での養殖技術研究に発展

閉鎖循環式養殖

1980~2000年代

(財)電力中央研究所菊池ら(魚工場ヒラメ・マハタ)

1990~2000年代

東京海洋大,竹内ら、宮崎大丸山ら, 等

2000年~

水産機構 屋島庁舎山本ら

閉鎖循環式種苗生産

(種苗生産に特化した閉鎖循環飼育システムから養殖システムへ)

【閉鎖循環式飼育利用のための第一段階の戦略】

種苗生産を対象

種苗生産段階は生体防御が未熟な仔稚魚期に
リスクが少ない環境で管理できること



閉鎖循環式飼育の効果を最大限に発揮できる分野

他の条件

- ①既存の種苗生産は全てが陸上施設
→ システムを外付けで設置 → 閉鎖循環が成立
- ②稚魚由来の疾病持ち込みのリスクがない



- ・栽培漁業の種苗生産には即応可能
- ・養殖への普及に向けたモデルケースも実証

閉鎖循環システムの設計・開発と その研究事例

水産機構屋島庁舎の閉鎖循環施設(山本設計システム)



種苗生産に特化した
閉鎖循環
+
工学系研究者と連携



飼育現場に適したシステム開発

- ・マイクロバブル利用の泡沫分離装置
- ・新方式の間歇ろ過生物濾過装置

1) 閉鎖循環飼育専用の研究施設

20kL水槽 × 2面、5kL水槽 × 6面

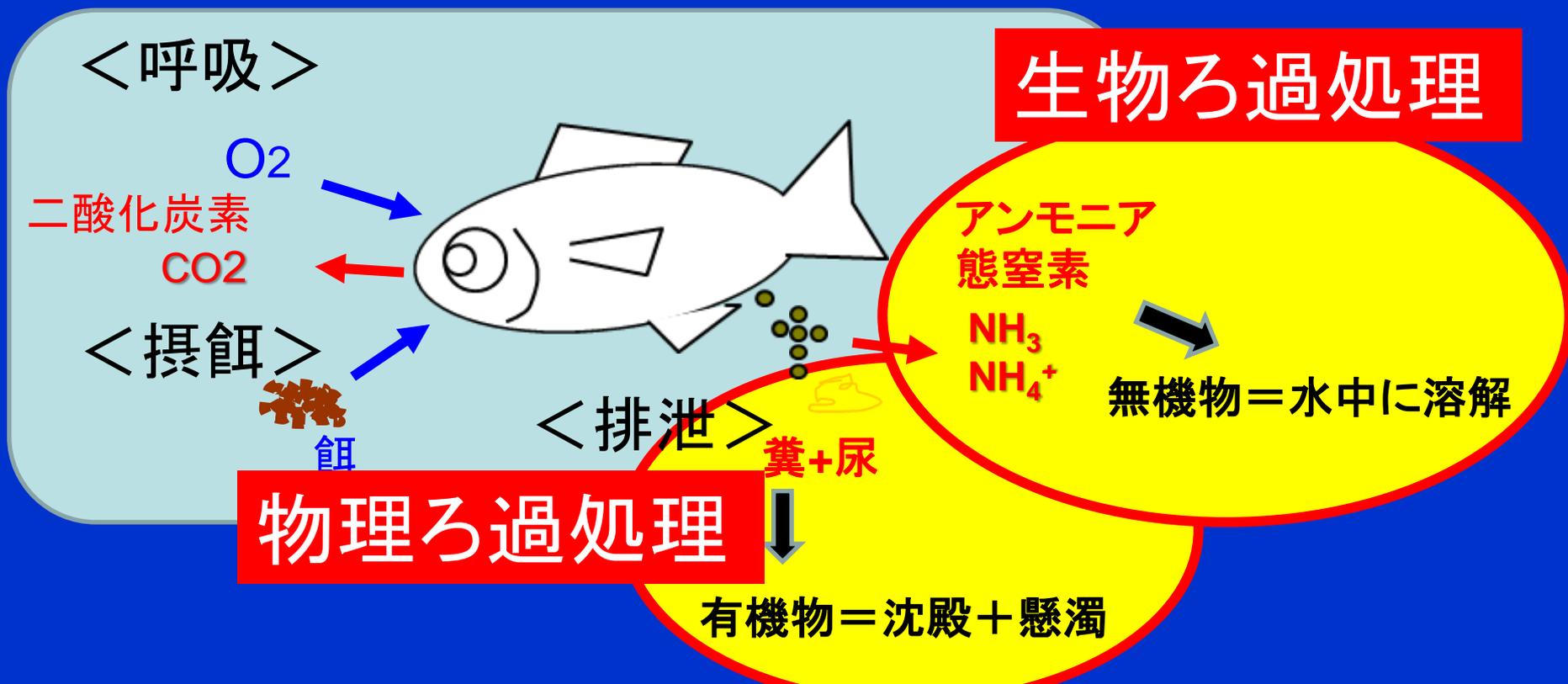
2) 既存水槽に自作システムを設置

50kL水槽 × 4面、40kL水槽 × 2面、4kL水槽 × 6面

1.5kL水槽 × 8面、0.5kL水槽 × 24面

大小様々なタイプの閉鎖循環システムを整備

魚類飼育における代謝と処理方法：青は供給、赤は排泄



排泄物は、魚にとって有害であり、速やかな除去が必要

- ・二酸化炭素は、酸欠の要因
- ・アンモニアは、その毒性で成長・生残に悪影響
- ・排泄有機物は、バクテリアの増殖の温床、飼育水の腐敗を誘因

閉鎖循環飼育システムの水浄化機能と装置

(1) 有機物除去機能

- ①沈殿処理……………(例:沈殿槽、サイクロンセパレーター、エコトラップ)
- ②膜ろ過処理……………(例:ドラムフィルター、バックフィルター、ネットろ過)
- ③泡沫分離処理……………(例:エゼクター、回転翼、ダウンドラフト、通気)
- ④粒状ろ過処理……………(例:砂ろ過、粒状ビーズろ過、繊維濾材ろ過)

(2) アンモニア除去機能

- ①生物ろ過処理……………(硝化細菌:浸漬ろ床、流動床、散水ろ床、間歇ろ過)
- ②化学的処理……………(オゾン処理、電解処理、ラジカル処理)
- ③物理的処理……………(曝気等によるアンモニアストリッピング)
- ④植物吸収処理……………(アクアポニックス)

(3) 殺菌・病原除去機能

- ①殺菌処理……………(UV照射、オゾン曝気、電解、光触媒、ラジカル処理)
- ②膜ろ過処理……………(UF膜処理)

欧州での閉鎖循環式養殖システムの構成 (山本ら, 2011)

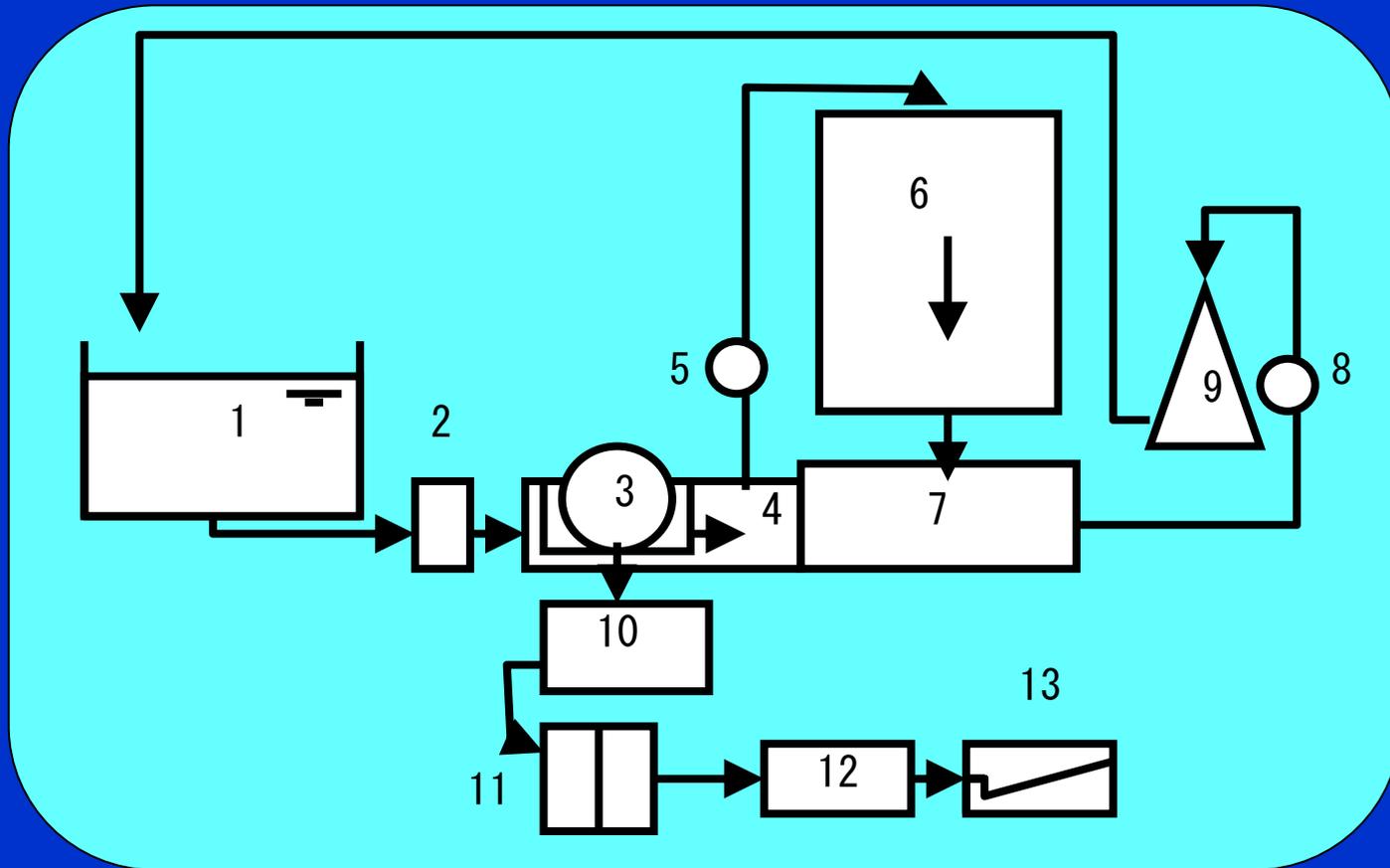
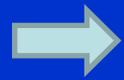


図1 オランダのWageningen大学の閉鎖循環飼育システムの構成

- 1: 飼育水槽, 2: 沈殿水槽, 3: ドラムフィルター, 4: UV殺菌, 5: 循環ポンプ,
6: 生物ろ過装置 (散水ろ床), 7: 受け水槽, 8: 循環ポンプ, 9: 酸素供給装置,
10: 排水貯水槽, 11: 脱窒装置, 12: 脱リン装置, 13: 凝集固液分離装置

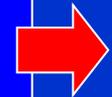
閉鎖循環式養殖システムの各装置の機能



種苗生産仕様ブラッシュアップ

種苗生産に

＜装置名称＞	＜機能＞	必須か？
1) 沈殿槽	沈殿処理（大型粒子）	×
2) ドラムフィルター	膜ろ過（50um以上）	△
3) 泡沫分離装置	懸濁物除去（小型粒子）	◎
4) UV殺菌	循環水殺菌	○
5) 循環ポンプ	水循環	○
6) 生物ろ過装置	アンモニア硝化	◎
7) 受け水槽	貯水＋水位調整	○
8) 酸素供給装置	溶存酸素維持	△
9) 脱窒装置	硝酸除去	×
10) 廃水処理装置	脱リン等	×
11) 凝集固液分離装置	廃液の固液分離	×



基本システム

閉鎖循環飼育システムの構成

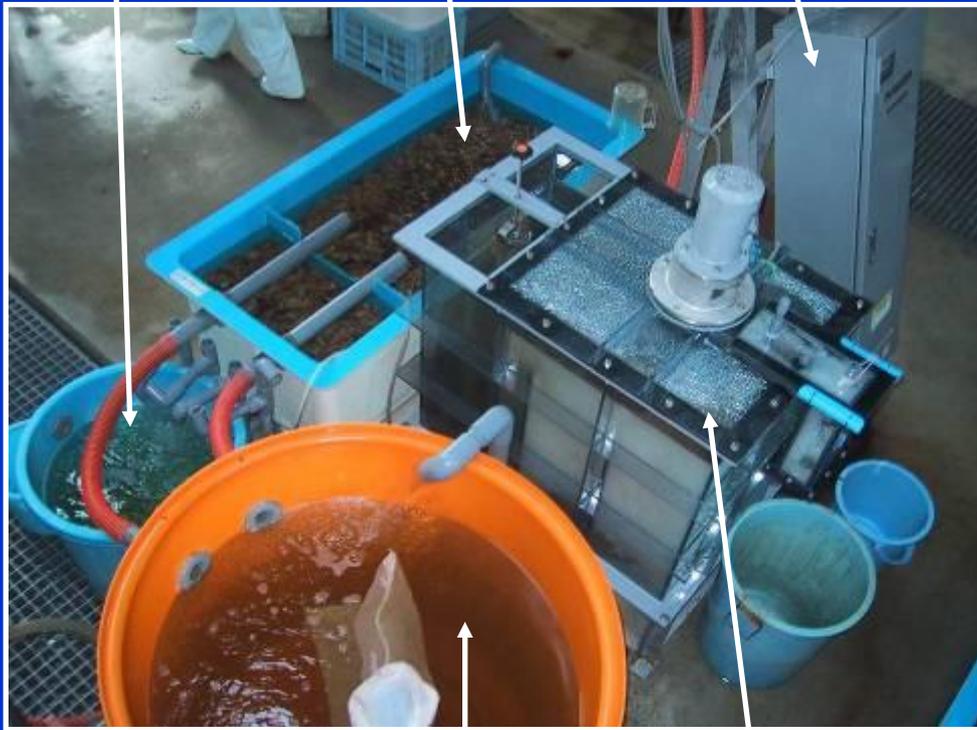
(プロトタイプ: 既成の製品の組み合わせ)

生物ろ過装置

紫外線殺菌装置

＜現状のシステム構成＞

受け水槽(生物ろ過)



1) 飼育水槽

4.0k/

2) 泡沫分離装置

0.25k/ (TAS環境エンジニアリング)

3) 受け水槽(ネットろ過)

0.4k/

4) 生物ろ過装置

0.25k/ (ろ材容量200ℓ)

5) 受け水槽(水位調整)

0.08k/

6) 紫外線殺菌装置

(千代田工販: フロンライザー2DL)

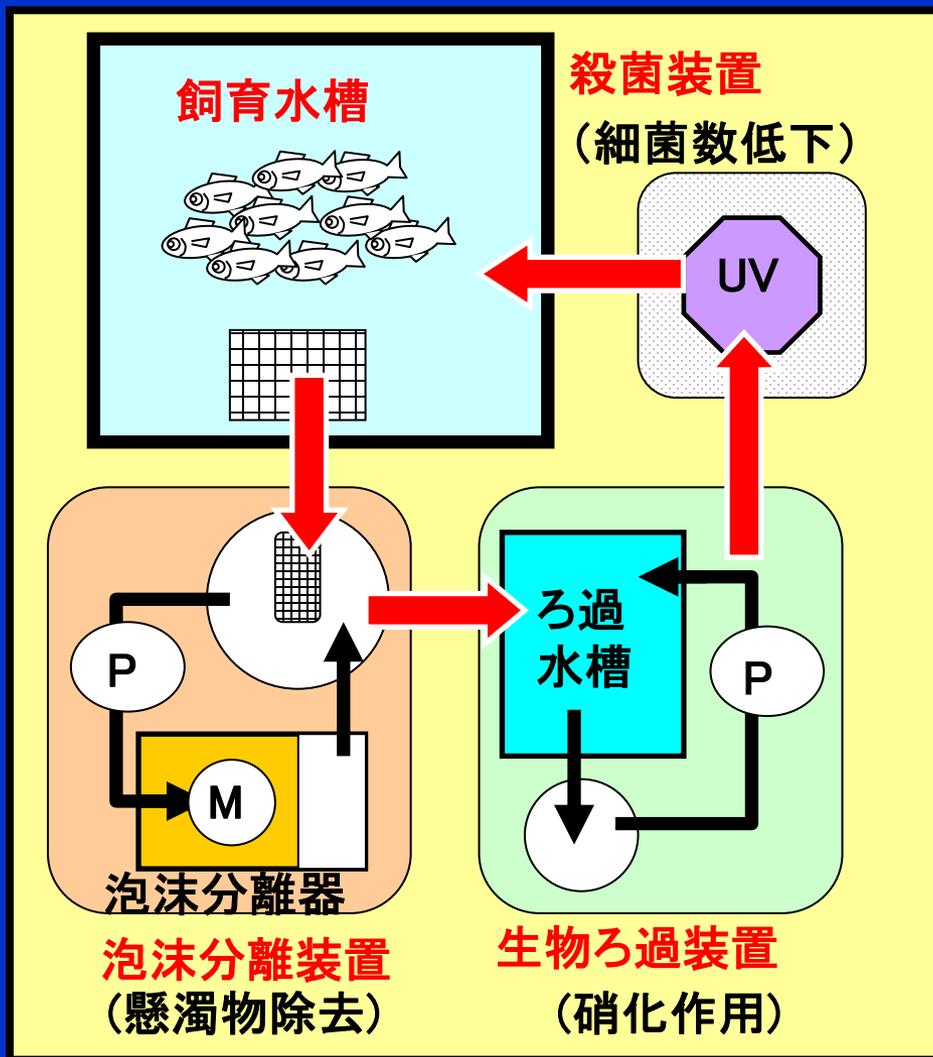
7) 循環ポンプ

(自吸式ポンプ 0.2kw) 2台

受け水槽(生物餌料回収)

泡沫分離装置

閉鎖循環飼育システムの特徴と方向性



1) 泡沫分離での懸濁物除去による水質浄化とろ材の閉塞を軽減

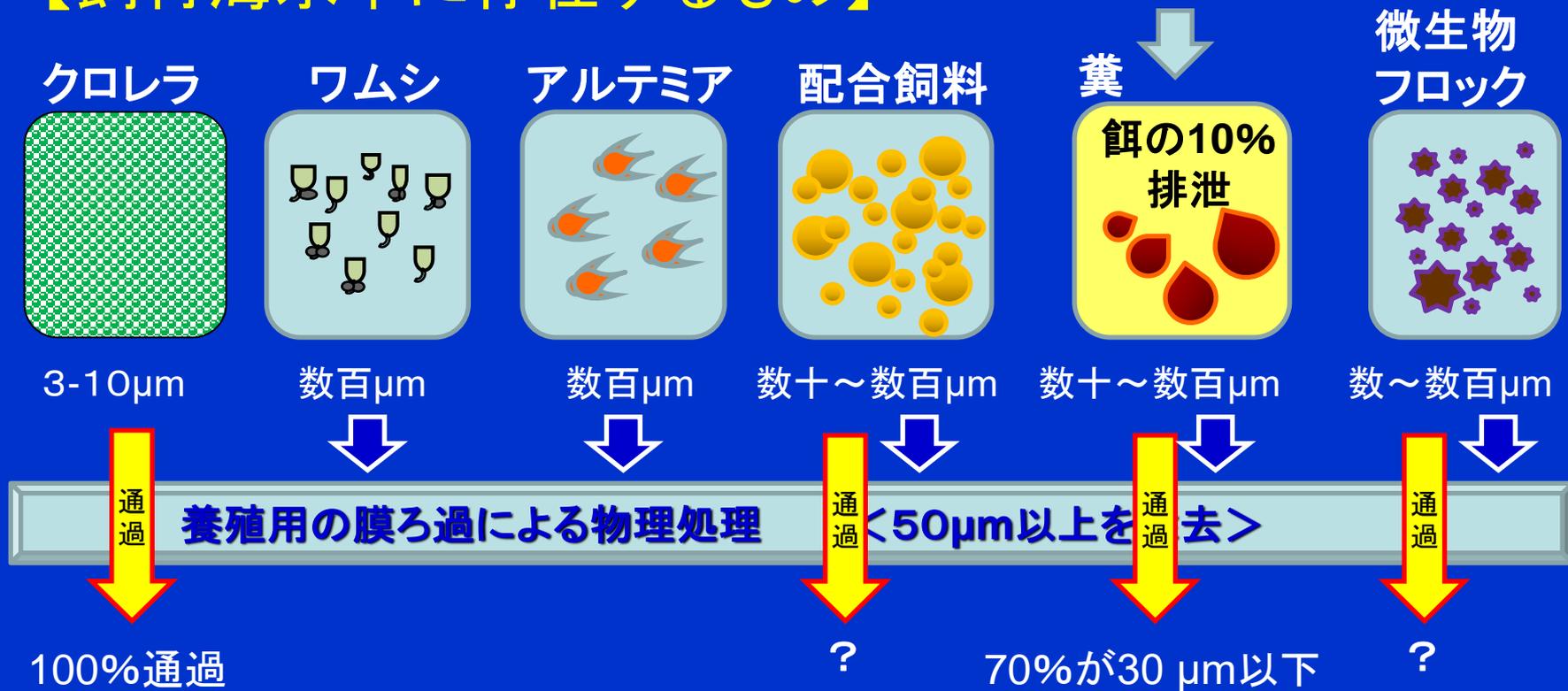
高性能・低価格の泡沫分離装置の開発

2) 硝化機能向上措置により極めて少ないろ材量(全水量の5%)

高性能・メンテナンスフリーの新規ろ過装置の開発:

海産魚類の種苗生産の環境特性

【飼育海水中に存在するもの】



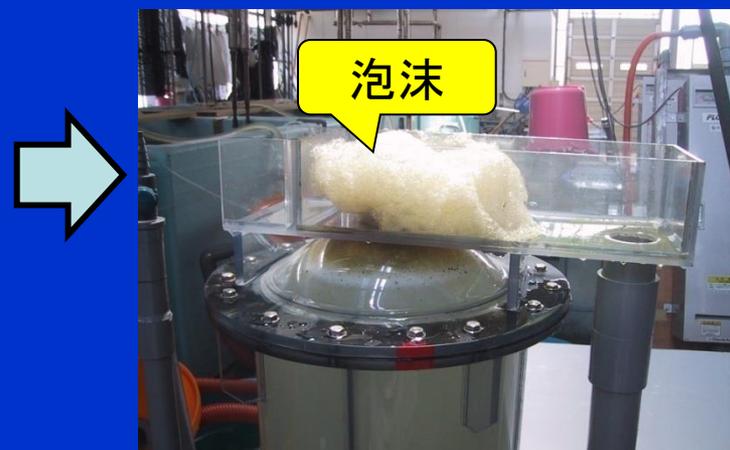
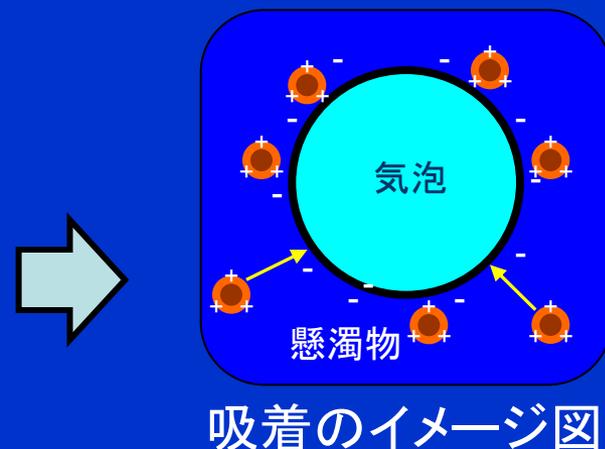
種苗生産時には小型粒子の有機懸濁物質除去が重要

泡沫分離装置の機能

水中の懸濁物質をマイクロバブルの作用により系外へ効率的に除去

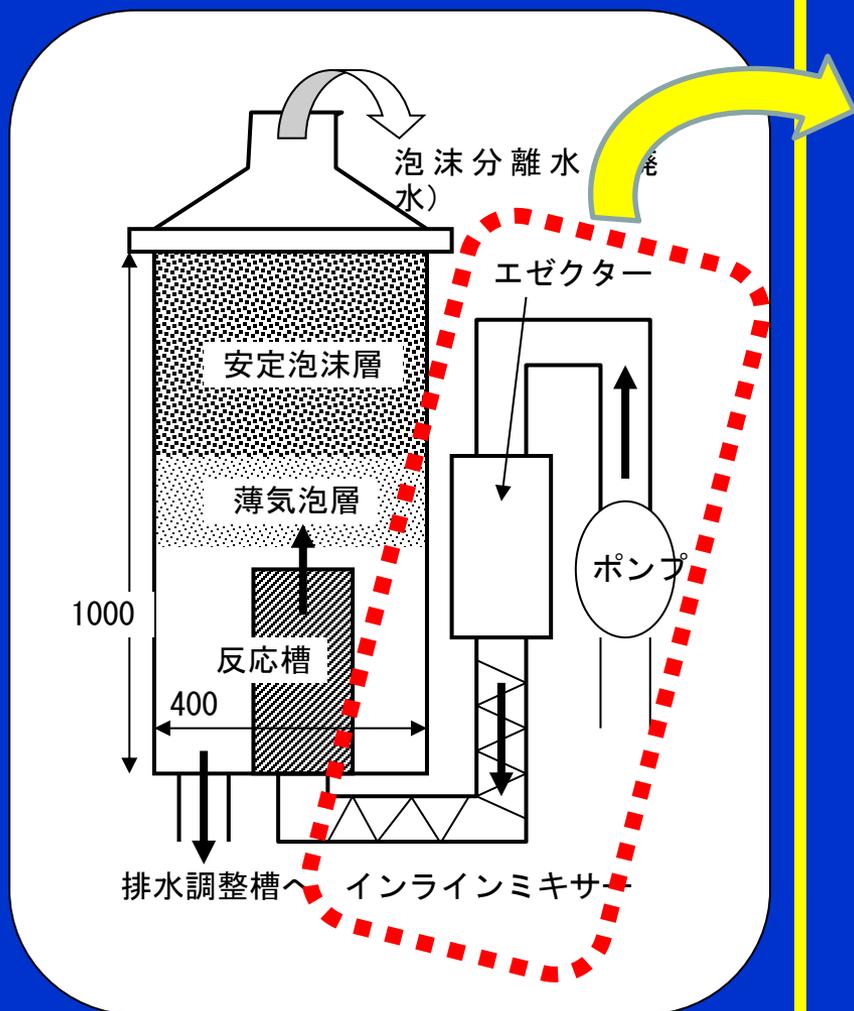
<メカニズム>

- 1) ポンプで泡沫分離装置に飼育水を循環
- 2) マイクロバブル発生装置により反応槽内で気液混合
- 3) 懸濁物質が泡表面に吸着する作用
- 4) 反応槽内で泡はお互いに接着・合一し、泡沫を形成
- 5) 形成された泡沫は反応槽最上部で懸濁タンパク質の粘性で、固液分離
- 6) 成長した泡沫は空気と共に装置上部から系外に排出



新規泡沫分離装置の開発

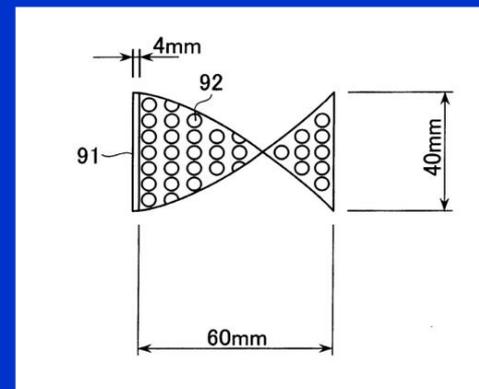
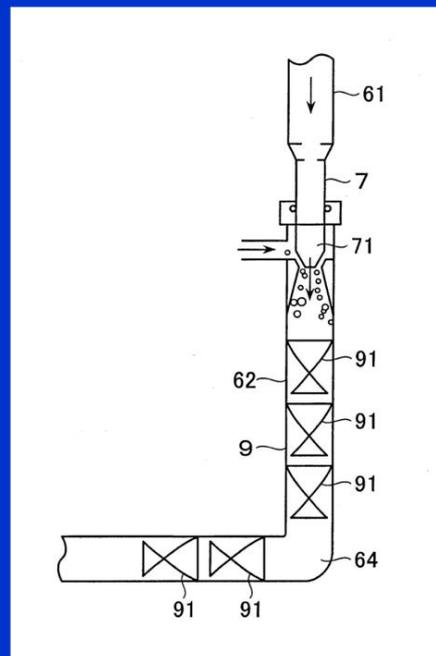
【構造の検討】



①泡の発生装置

特徴:

- ・効率的な微細気泡の発生方法
- ・泡の発生にはポンプ1台で対応



インラインミキサーに
用いる螺旋状の塩ビ
製孔あき羽根の構造

【マイクロバブル発生装置の構造】
エゼクターのベンチュリー管及び
インラインミキサーの設置箇所

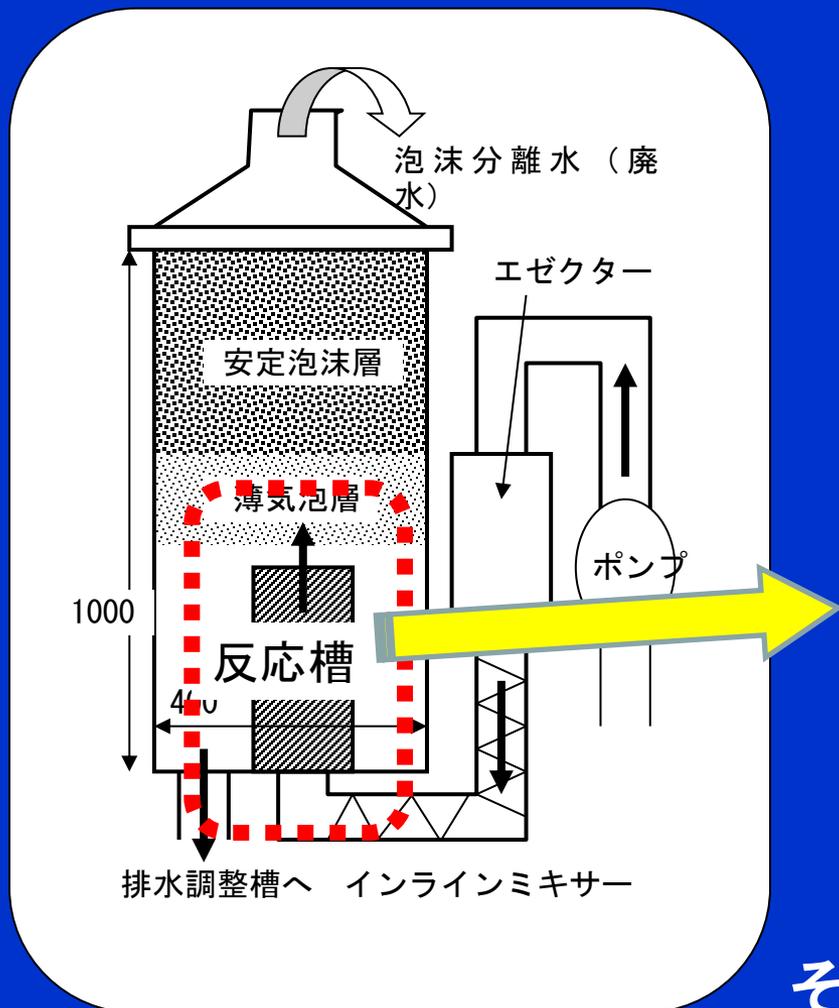
新規泡沫分離装置の開発

【構造の検討】

②気泡サイズの最適化

特徴:

- ・泡沫処理に最適な気泡サイズ調整
→ 0.5~0.8mmの気泡 (吉田1969, 佐藤2004)
- ・気泡サイズの調整は反応槽で対応



【反応槽】

塩ビ単管を用い、
その内部で微細気泡が激しく混合し、
気泡は接触・合一
を繰り返し、成長

その口径と長さの調整により、構造の最適化

気泡の拡大過程



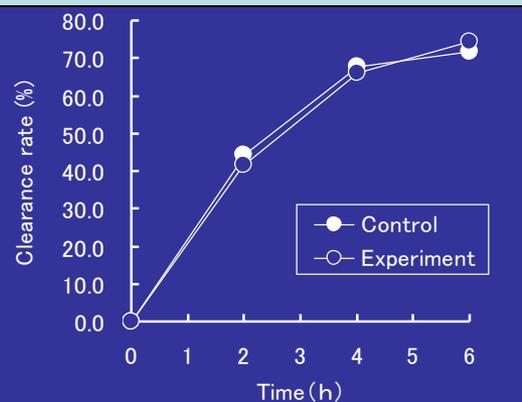
水産機構が開発した泡沫分離装置 (特許第5130428号)

発明の名称: 水の浄化方法とその方法を用いる泡沫分離装置

【特徴】

- ・ 30 μ m以下の微細懸濁物の除去能力高い
- ・ メンテナンスが容易 → 上蓋の脱着
- ・ 低価格になりうる構造特性

淡水クロレラを用いた除去能力の比較試験



排出中の泡沫 (有機物)

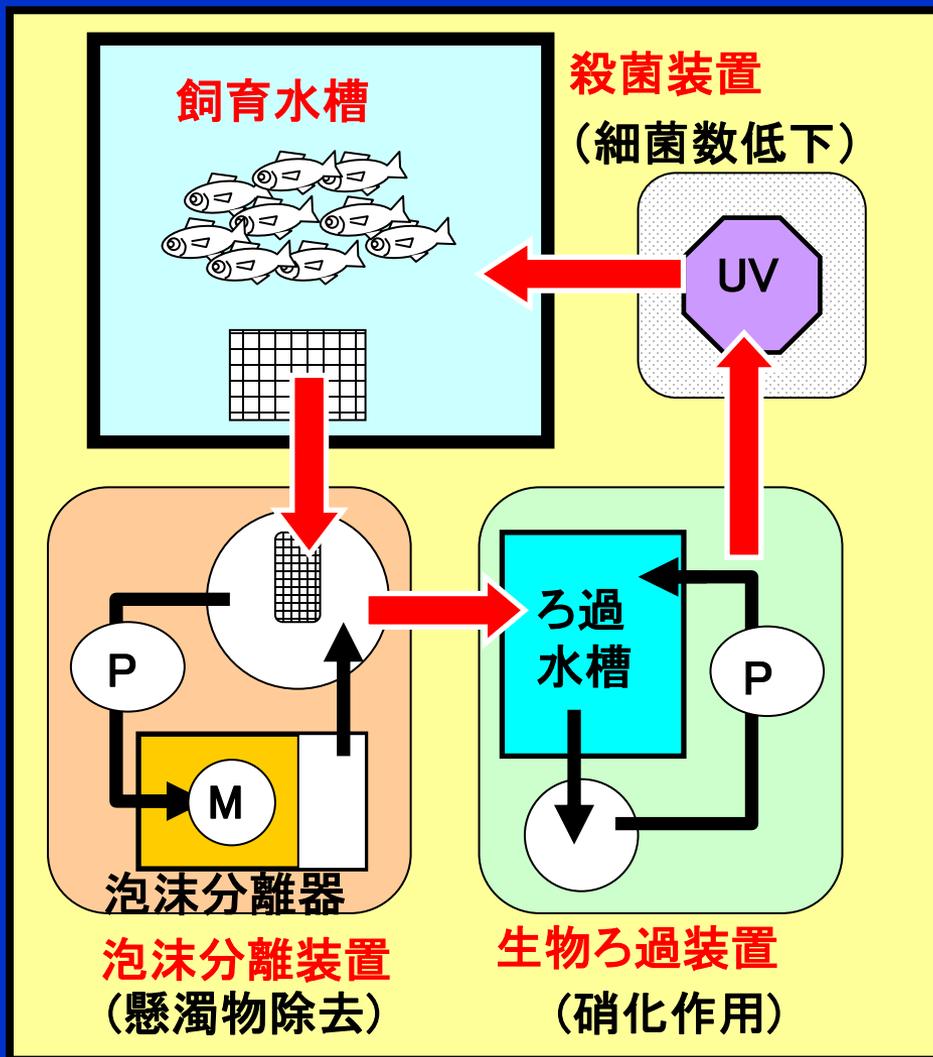


安定形成された気泡層

0.75kw自吸ポンプ

以下3枚出典: 山本義久 (2011) 閉鎖循環飼育の未来と可能性I、第3回 閉鎖循環式種苗生産に適した物理ろ過方法, アクアネット, 7月号, 60-65

閉鎖循環飼育システムの特徴と方向性



1) 泡沫分離での懸濁物除去による水質浄化とろ材の閉塞を軽減

高性能・低価格の泡沫分離装置の開発

2) 硝化機能向上措置により極めて少ないろ材量(全水量の5%)

高性能・メンテナンスフリーの新規ろ過装置の開発:

泡沫分離装置の効果: 生物ろ過槽の機能維持

泡沫分離装置 有り



【ろ過槽の有機物・NP量】

有機物量	3.0 ℓ
全窒素	8.8 g
全リン	1.7 g



飼育全期間を通じ問題発生無し

泡沫分離装置 無し



【ろ過槽の有機物・NP量】

有機物量	8.1 ℓ
全窒素	15.5 g
全リン	3.1 g

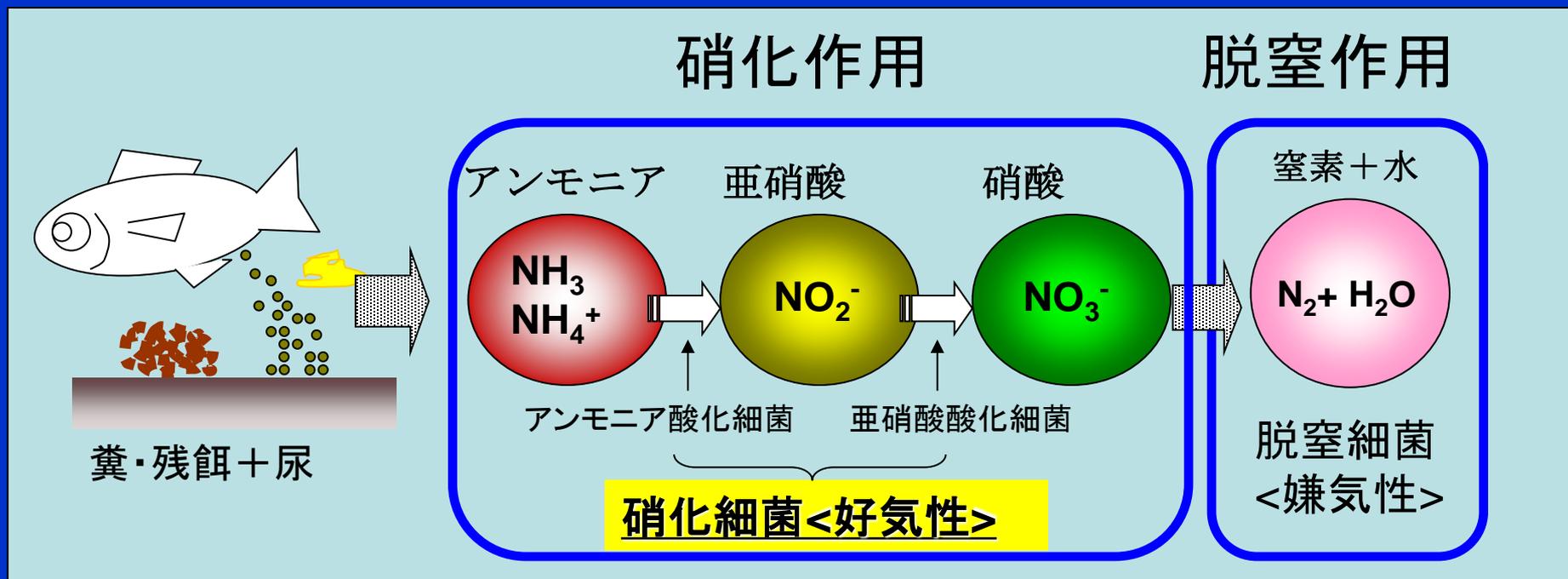


飼育開始30日目に閉塞による
オーバーフロー発生



生物ろ過装置によるアンモニア除去

バクテリアの働きにより水質浄化(硝化作用・脱窒作用)



硝化細菌は生物ろ過装置のろ材に生息



活性化

生物ろ過装置の水質浄化機能の性能向上

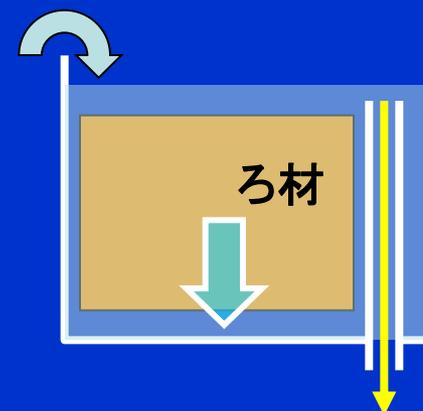
一般的な生物ろ過方式

1) 浸漬ろ床方式

汎用タイプのろ過槽で、ろ材は常に水中。

【利点】: 安価で設置が容易, 養殖において実績あり

【欠点】: 汚泥の蓄積→ 定期的掃除が必要
ろ材の利用効率が低い

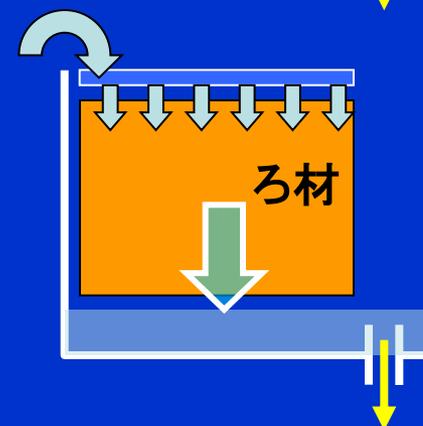


2) 散水ろ床方式

汎用タイプのろ過槽で、シャワー状にろ材上面に飼育水を散水し、ろ材は常に露出

【利点】: 硝化作用が高い
汚泥の蓄積が少ない→維持管理が容易

【欠点】: 濾材の利用効率が低い

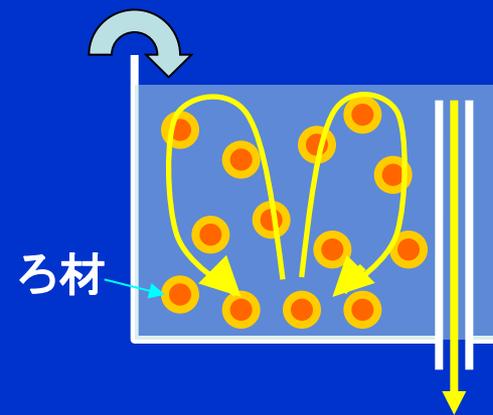


3) 流動床方式

比重が飼育水に近いろ材を用いてろ過槽の中で流動させる方式でろ材は常に水中。

【利点】: 高い硝化能力

【欠点】: 汚泥の剥離→ 定期的掃除が必要



山本・安藤が開発した新規ろ過装置

間歇ろ過方式の生物ろ過装置(特許4670087号)

サイフォンの原理を利用して電力等を必要とせずに自動的にろ過槽の水位が上下し、ろ材が浸漬と干出を繰り返す間歇型ろ過方式

【特徴】隅々まで好気環境となり、ろ材の閉塞軽減

間歇ろ過方式の硝化能力は一般方式の1.5~1.7倍

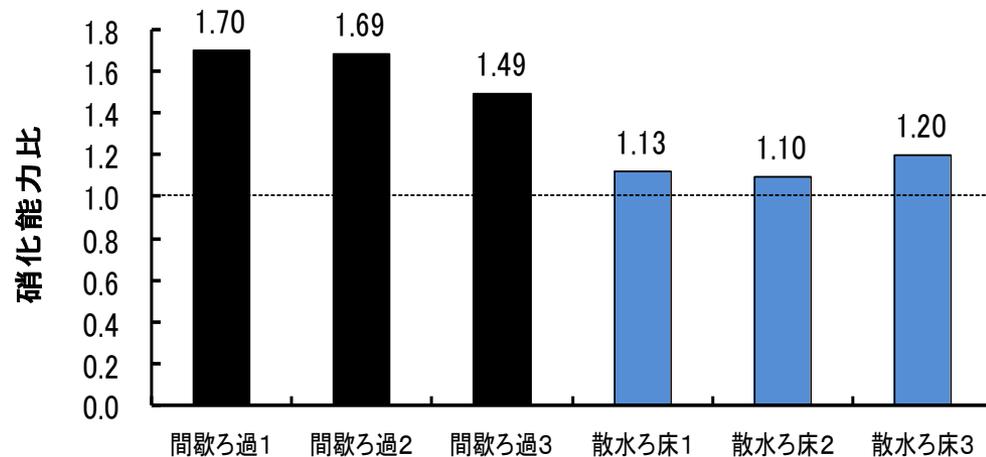
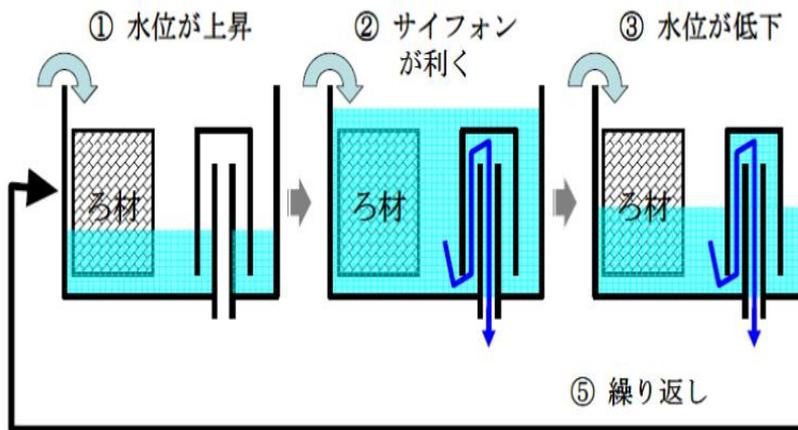


図 4 同一ろ材を用いた硝化能力試験における浸漬ろ床式を対照としたろ過タイプ別の硝化能力の比較
(硝化能力比=各ろ過タイプの硝化能力/浸漬ろ床式の硝化能力)

・ **高効率の硝化能力を有し、維持管理が容易である特徴**

海の浄化作用から学ぶ 閉鎖循環式養殖システムの機能

波の花や波打ち際 【泡沫分離装置】

→泡沫分離による懸濁物を陸上に上げ有機物除去

砂浜 【間歇ろ過装置】

→砂濾過の様に波や干満差で通水され砂浜の硝化細菌によるアンモニアの除去

干潟 【嫌気性バイオリアクター】

→有機物混合された泥での嫌気性細菌による有機物の可溶化・無機化

これらの浄化装置の機能と意味合い

①マイクロバブルによる泡沫分離装置

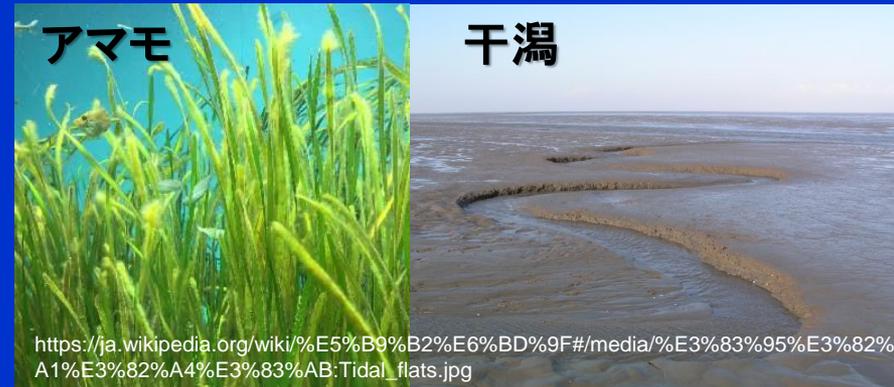
→ 海岸に打ち寄せる波の作用により浮上分離した
有機物(泡沫分離)の陸上への打ち上げ(波の花)



②間歇ろ過方式の生物ろ過装置→ 砂浜の機能

③アマモ場と干潟の機能(沈殿装置+脱窒装置+嫌気性処理装置)

- ・アマモの機能→水中の有機物の捕捉→直下に沈降
 - ・嫌気処理→干潟の機能→有機物の沈殿集約→嫌気条件に
 - ・嫌気性細菌による有機物の可溶化→無機化
 - ・無機化→アンモニアや硝酸に変換
- アマモや周辺海藻+植物プランクトンの肥料となる→二枚貝の餌料



水産機構仕様の閉鎖循環式システム構成(山本設計2006)

アンモニアの除去(硝化)

生物ろ過装置(1.2kL)



水中懸濁物の除去

泡沫分離装置

特許第5130428号)



泡沫処理により懸濁物を濃縮



1日数Lの高濃度の有機廃水



飼育水槽

(実水量5.0kL)



糞・残餌の除去

ネットろ過:
受け水槽
(0.8kL)



閉鎖循環システムの産業的普及のための 共同研究事例

外部機関との共同研究・連携

マイクロバブル関係

産業技術総合研究所
マイクロ・ナノバブル

中国電力

CO2気泡での付着物防止

閉鎖循環飼育研究

東京海洋大学
物質収支関係

電力中央研究所
水質耐性

地域振興関係

八幡浜市

アワビ陸上養殖

排水処理関係

香川高等専門学校
有機廃水処理

四国排水処理研究会

水産研究・
教育機構

エネルギー＋食料生産工場関係

東海大学工学部
水素吸蔵合金
熱交換システム

西条市
サツキマス陸上養殖の
実証試験(水研システム)

愛媛大学農学部
植物工場

水産系での実証・普及関係

香川県栽培漁業C

VNN疾病防除・キジハタ種苗生産

広島県水技C

低塩分条件の効果

広島県栽培漁業協会

キジハタ種苗生産

沖縄県栽培漁業C

ヤイトハタ陸上養殖

鳥取県栽培漁業C

キジハタ陸上養殖

山口県内海栽培漁業C

トラフグ親魚養成

秋田県水産振興C

ワムシ閉鎖循環式培養

鹿児島県海づくり協会

カンパチ中間育成

実証試験：技術移転（県栽培漁業センター等へ）

- ・香川県栽培漁業センター（キジハタ種苗生産：VNN 防除）
- ・広島県水産海洋技術センター（低塩分：カサゴ種苗生産：高生残）
- ・（社）広島県栽培漁業協会（キジハタ種苗生産）
- ・佐賀県玄海水産振興センター（カサゴ種苗生産）
- ・青森県産業技術センター内水面水産研究所（サクラマス種苗生産）
- ・山形県内水面水産試験場（サクラマス種苗生産）
- ・香川県栽培漁業センター（キジハタ親魚養成：VNN 防除）
- ・（社）山口県栽培漁業公社（トラフグ親魚養成：省エネルギー）
- 北海道栽培漁業公社伊達事業所（マツカワ親魚・養殖：適正水温維持：越夏及び高成長）
- ・秋田県水産振興センター（ワムシ閉鎖循環式培養：高生産性）
- ・沖縄県栽培漁業センター（ヤイトハタ陸上養殖：超高密度）
- ・鳥取県栽培漁業センター（キジハタ陸上養殖：高生産性）
- ・愛媛県西条市（サツキマス陸上養殖：省エネルギー）
- ・愛媛県八幡浜市（アワビ陸上養殖：高生産性）
- ・かごしま豊かな海づくり協会（カンパチ）中間育成；コスト削減）
- ・滋賀県水産試験場（アユ中間育成・養殖：冷水病防除）

【水産機構】
宮古、長崎、厚
岸、奄美、五島、

【社会実装】閉鎖循環飼育施設の新設←システム設計のアドバイス
福井県、愛媛県、沖縄県、秋田県、鹿児島県、（計画：静岡県、宮城県）

親魚養成の事例

山口県との共同研究の成果 (トラフグ親魚養成での省エネ化・コスト削減・疾病防除)

【(公社)山口県栽培漁業公社に導入した閉鎖循環飼育システム】

泡沫分離装置(水研仕様) 屋外設置の保温処理をした生物ろ過装置



1kL輸送タンクを利用した生物ろ過槽の状況
内部のサンゴろ材



生物ろ過槽、受け水槽関係及び配管等の機材は自前のものを利用し、作成も職員による自作

山口県との共同研究の成果 (トラフグ親魚養成での省エネ化・コスト削減)

【省エネ化の試算】

＜従来のかけ流し飼育との比較＞

平成25年度：50t水槽を使用 → **1,206,660円**

平成26年度：70t水槽を使用 → **1,315,052円**

【採卵結果】

平成25年度 雌10尾

→ 採卵 **843.7万粒**、400.1万尾ふ化

平成26年度 雌9尾

→ 採卵 **809.3万粒**、205.1万尾ふ化

効果：種苗量産に必要な採卵が可能であり、大幅なコスト削減

出典：山本義久（2017）閉鎖循環飼育の未来と可能性Ⅲ、第10回省エネルギー・コスト削減効果の実証～トラフグの親魚養成」、アクアネット、1月号、46-50

種苗生産：疾病防除の事例



写真3 香川県栽培漁業センターにおけるキジハタの閉鎖循環式種苗生産システムの全景（閉鎖循環飼育システムは山本が基本設計）
＜疾病防除の徹底のため隣の空水槽にシステムを構築＞
1; 受け水槽、2; 泡沫分離装置、3; 生物濾過装置、4; UV殺菌装置、
5; 循環ポンプ、6; 酸素発生装置

以下5枚出典：山本義久（2015）閉鎖循環飼育の未来と可能性Ⅲ、第3回 閉鎖循環式種苗生産におけるVNN防除対策の実例，アクアネット，11月号，50-55

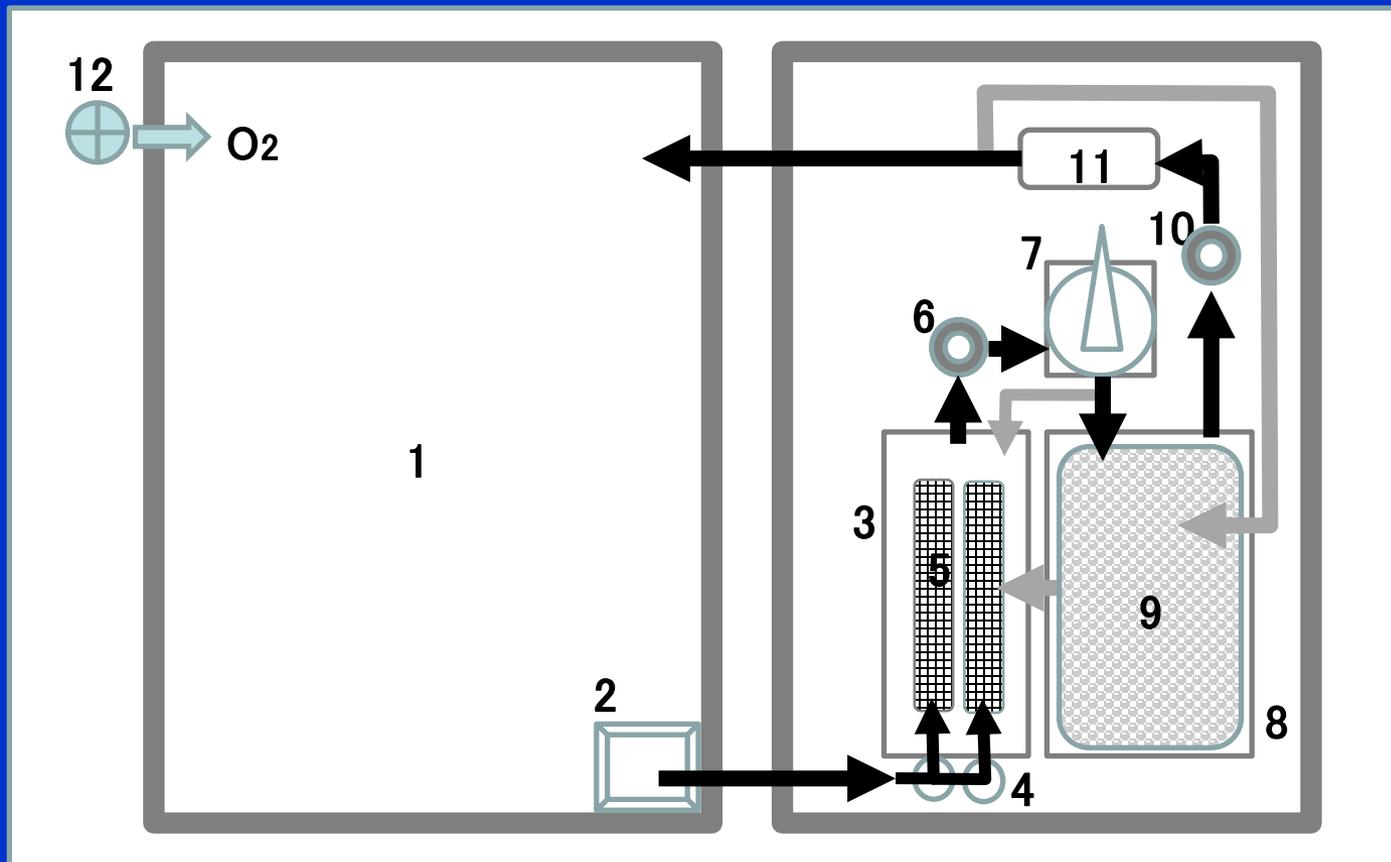


図1 香川県栽培漁業センターにおけるキジハタの閉鎖循環式種苗生産システムの循環経路（閉鎖循環飼育システムは山本が基本設計）
 1; 飼育水槽、2; 排水アンドン、3; 受け水槽、4; 水位調整立ち上がり管、
 5; ろ過ネット、6; 泡沫ポンプ、7; 泡沫分離装置、8; 生物濾過装置、
 9; 濾材、10; 循環ポンプ、11; UV殺菌装置、12; 酸素発生装置

香川県栽培漁業センターの小型電解処理装置

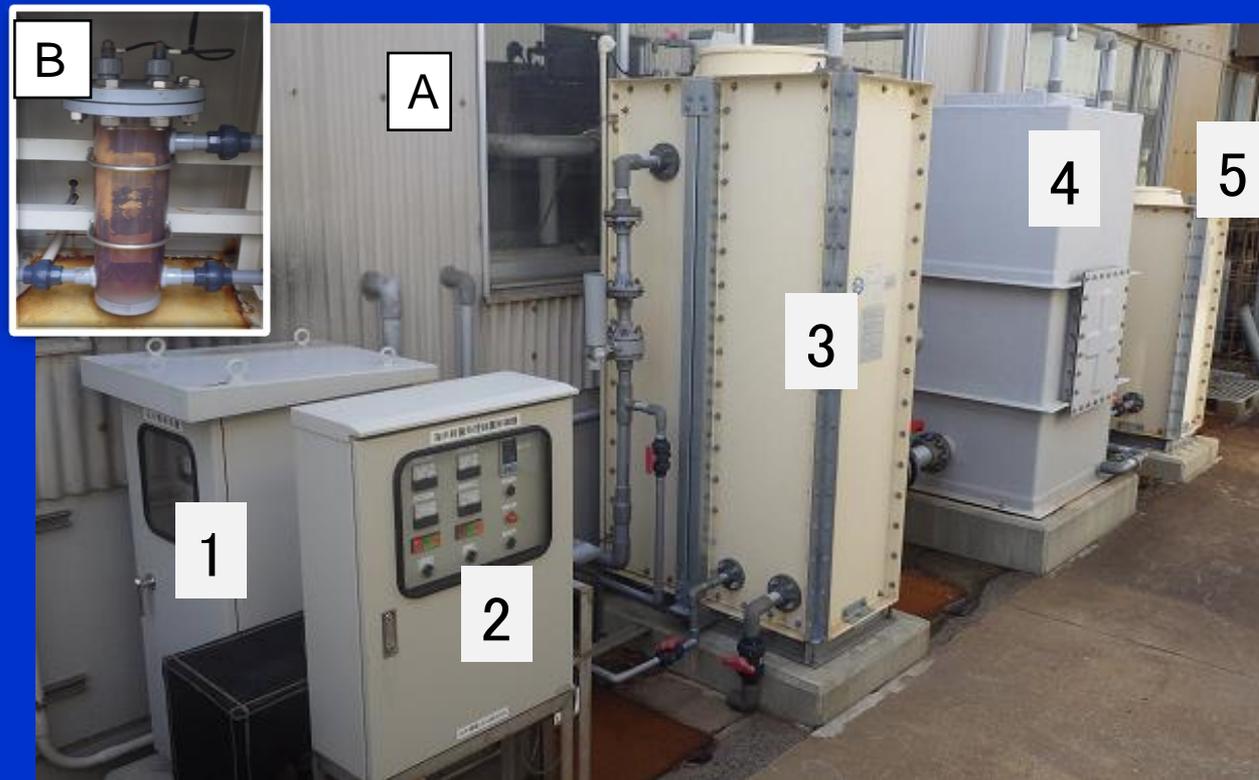
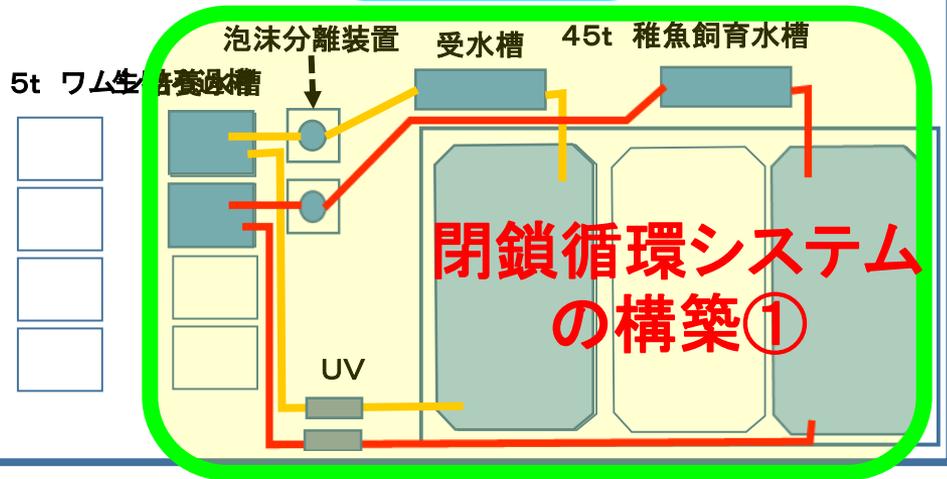
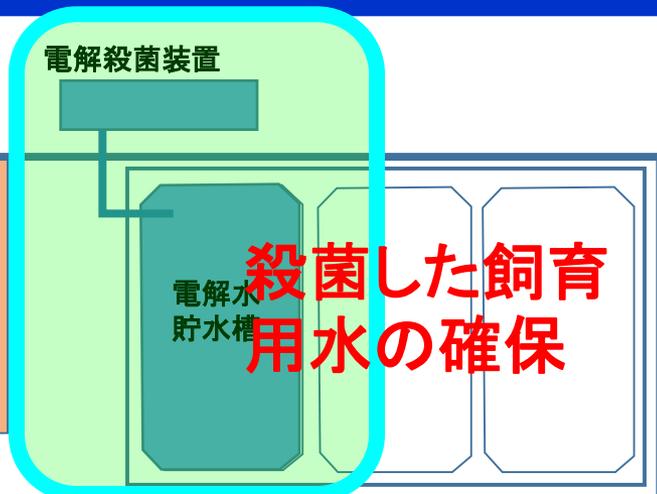
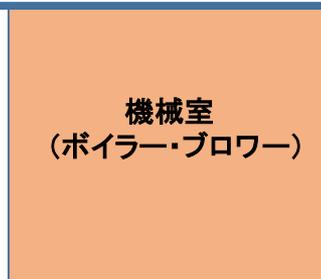
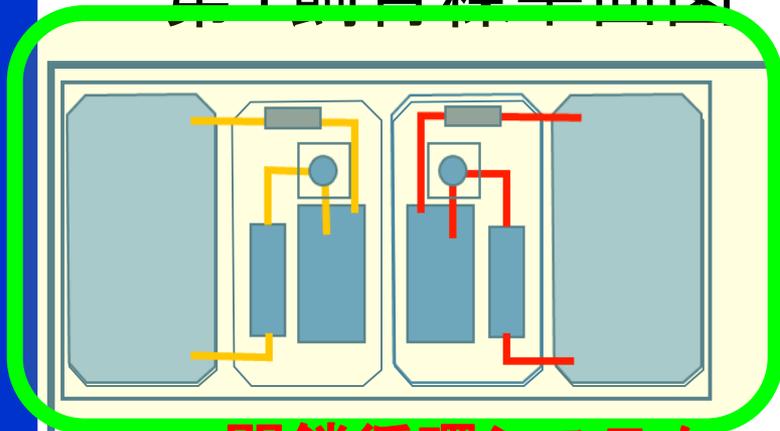


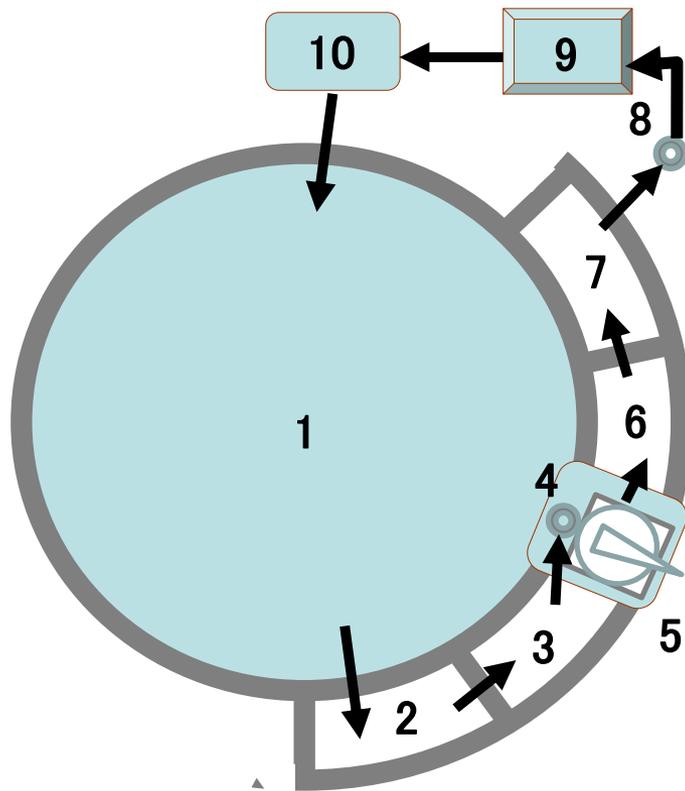
写真2 香川県栽培漁業センターが導入した海水電解処理装置
(処理能力、5kL/時、(株)ホクト) 1.4×7×高さ2.5mのスペースに設置可能
A: 海水電解処理装置の全景、B; 電極内蔵の電気分解装置(1に收容)
1; 電解処理槽, 2; 運転調整盤, 3; 反応槽(1t), 4; 残留塩素処理槽
(2t、活性炭500kg)、5; 貯水槽(0.75t)

香川県栽培漁業センター施設での閉鎖循環飼育システムの導入事例(資料:香川水試提供)

第1飼育棟平面図



➡ 2009-2020年連続して12年連続してキジハタVNN防除達成



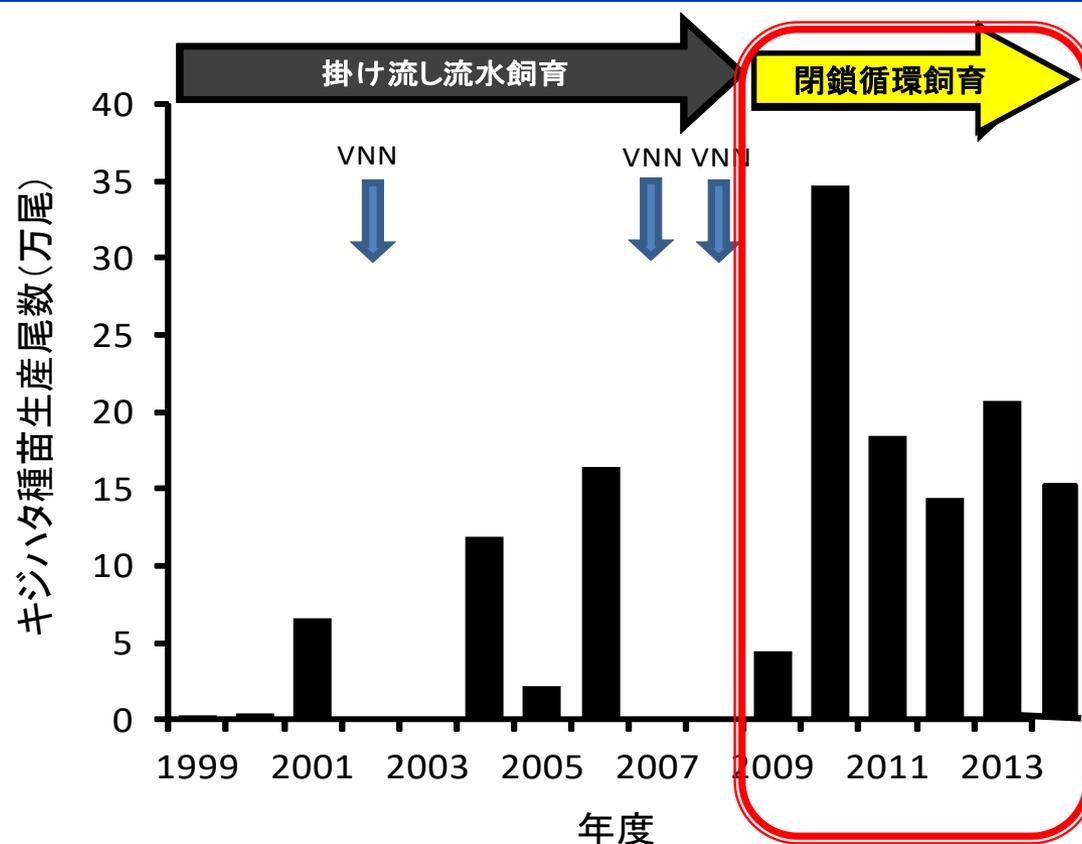
キジハタ親魚養成水槽全景

図3 香川県栽培漁業センターにおけるキジハタ親魚養成水槽に導入した閉鎖循環システムの構成と循環経路及び全景 (設計:香川県)
 1;親魚養成水槽、2;採卵水槽、3;受け水槽、4;泡沫ポンプ、
 5;泡沫分離装置(水研仕様)、6;生物濾過水槽、7;貯水槽、
 8;熱交換装置、9;加温熱交換器、10;冷却器

香川県との共同研究の成果

(閉鎖循環システムを用いたキジハタ種苗生産の疾病防除効果の実証)

キジハタ種苗生産で疾病防除効果の実証成果



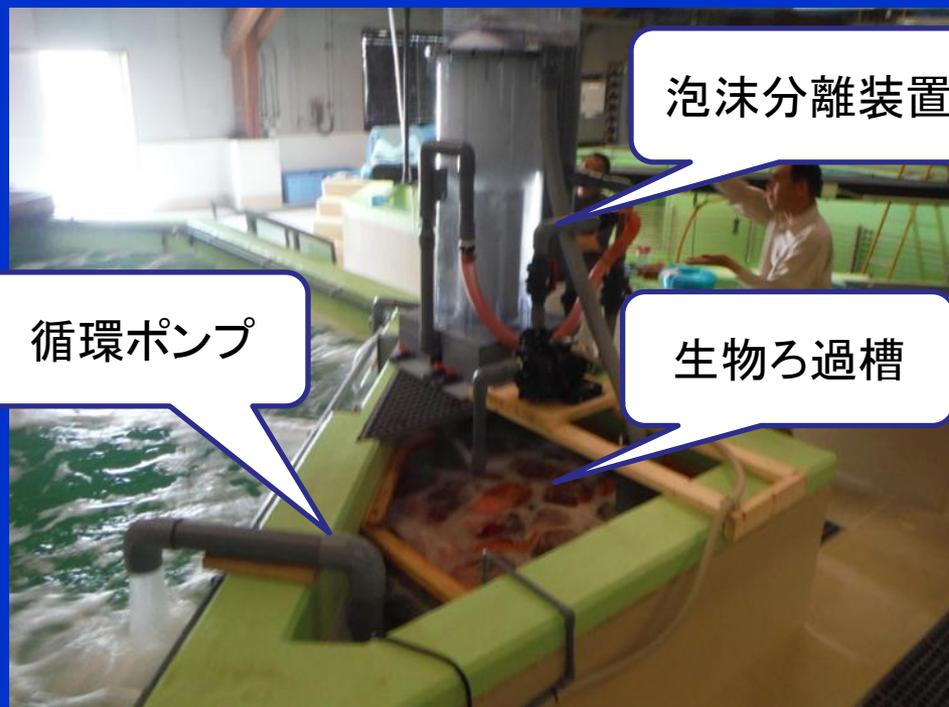
閉鎖循環飼育の
VNN防除効果を
栽培機関で実証

2009年から
13年連続して
VNN防除

鹿児島県との連携の成果 カンパチの中間育成での省エネ化

100t水槽による全長5cm
→10cmまでの中間育成

中間育成の事例



循環ポンプ

泡沫分離装置

生物ろ過槽

中間育成で必要になる大量の換水量の削減を目的にし既存水槽有効活用の半閉鎖循環飼育システムを導入(ろ材は桜島の軽石利用)
⇒ 75%の換水量の削減 (10回転/日⇒2.5回転/日)

以下2枚出典：山本義久（2016）閉鎖循環飼育の未来と可能性Ⅲ、第8回完全養殖の国産カンパチのための「鹿児島モデル」-半閉鎖循環中間育成による生産原価低減-，アクアネット，7月号，48-53

沖縄県のヤイトハタ陸上養殖の仕掛け人



<http://www.chizaicouncil.org/foodstuff/detail/5395>

沖縄ミーバイとしてブランド化したヤイトハタ及びヤイトハタ
陸上養殖の仕掛け人で共同研究者であった
故金城清昭氏（沖縄県栽培漁業センター元所長）

以下3枚出典：山本義久（2016）閉鎖循環飼育の未来と可能性Ⅲ、第5回
「沖縄モデル」によるヤイトハタ超高密度養殖 その1、アクアネット、1月
号、42-46

高密度陸上養殖の事例

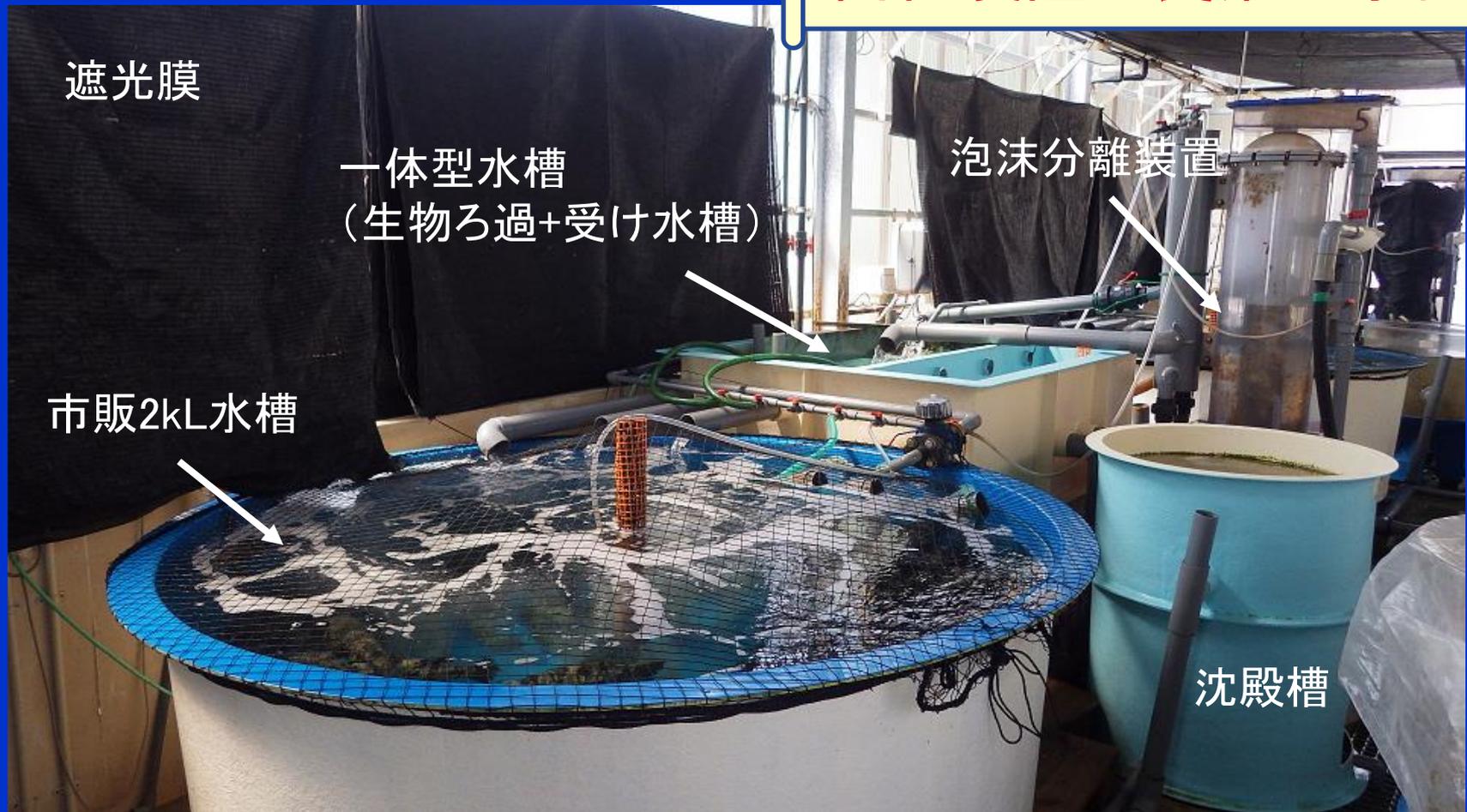
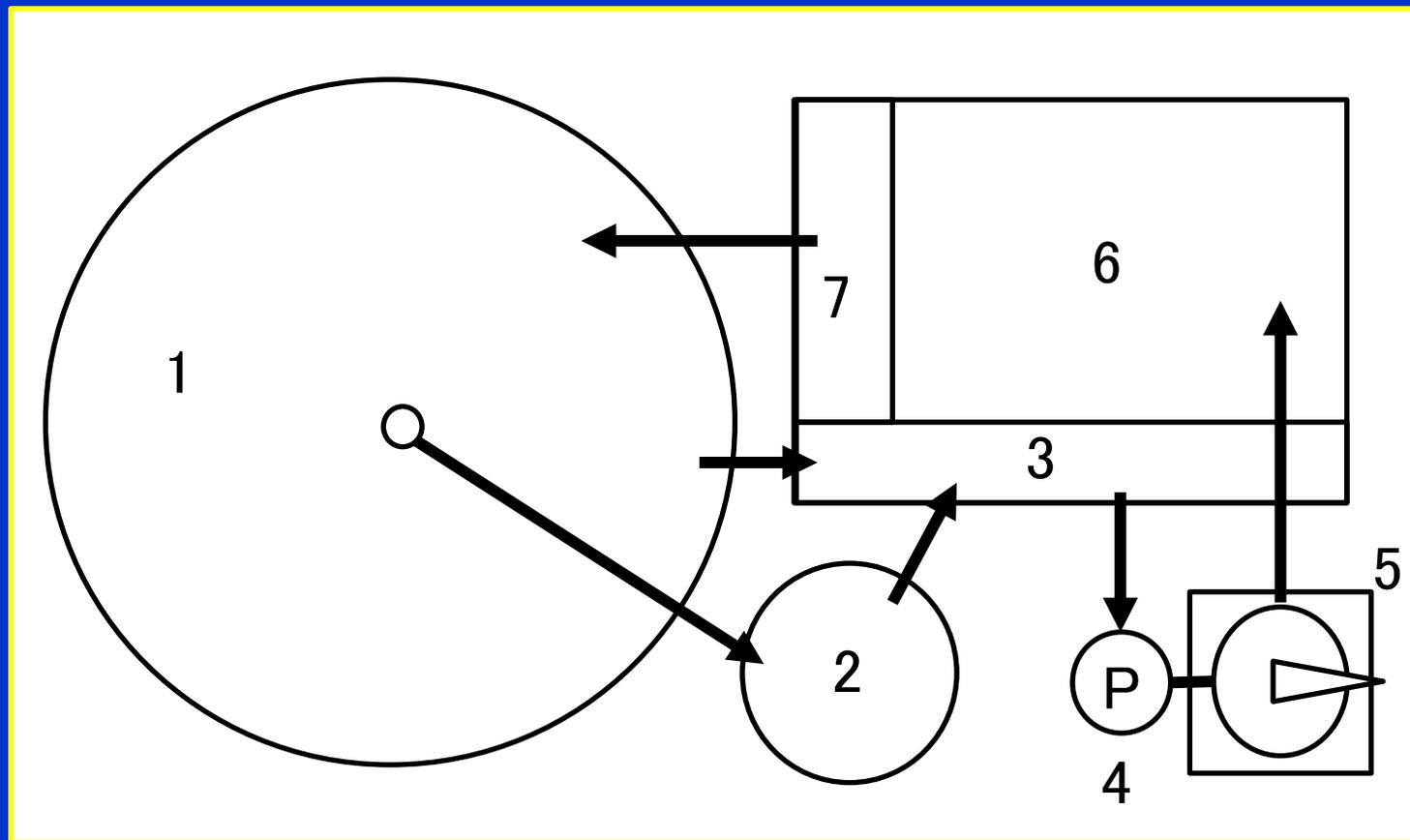


写真4 沖縄県栽培漁業センターに設置されている、超高密度陸上養殖のために設計された実験用半閉鎖循環式養殖システム

* 本システムが6基設置されている。

沖縄県栽培漁業センターの2kL規模の半閉鎖循環式養殖システムの構成

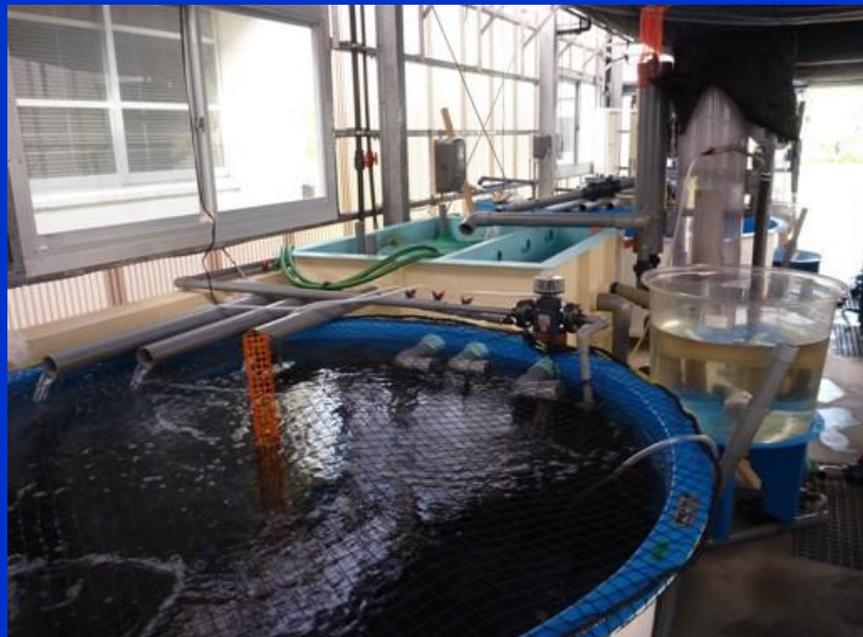


1: 2kL飼育水槽(中央排水+側面排水)、2: 0.2kL沈殿槽、3: 受け水槽、
4: 0.75kw循環ポンプ、5: 泡沫分離装置(水研仕様)、6: 浸漬ろ床式生物
濾過装置(0.4kL)、7: 調整槽 * 3+6+7は一体型のFRP水槽

沖縄県との共同研究成果 ヤイトハタ陸上養殖の成果と展開

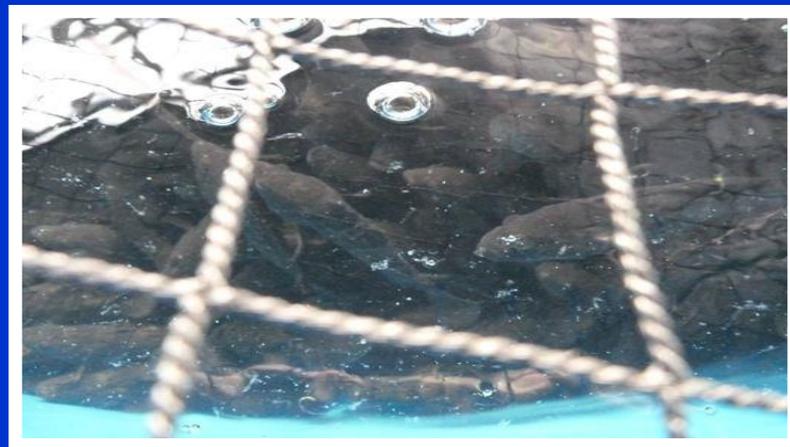
OKINAWA MIIBAI

沖縄ミーバイ



瀬戸水研設計し、沖縄県栽培漁業センターに
設置した半閉鎖循環式養殖システム

(飼育水槽2kL水槽)



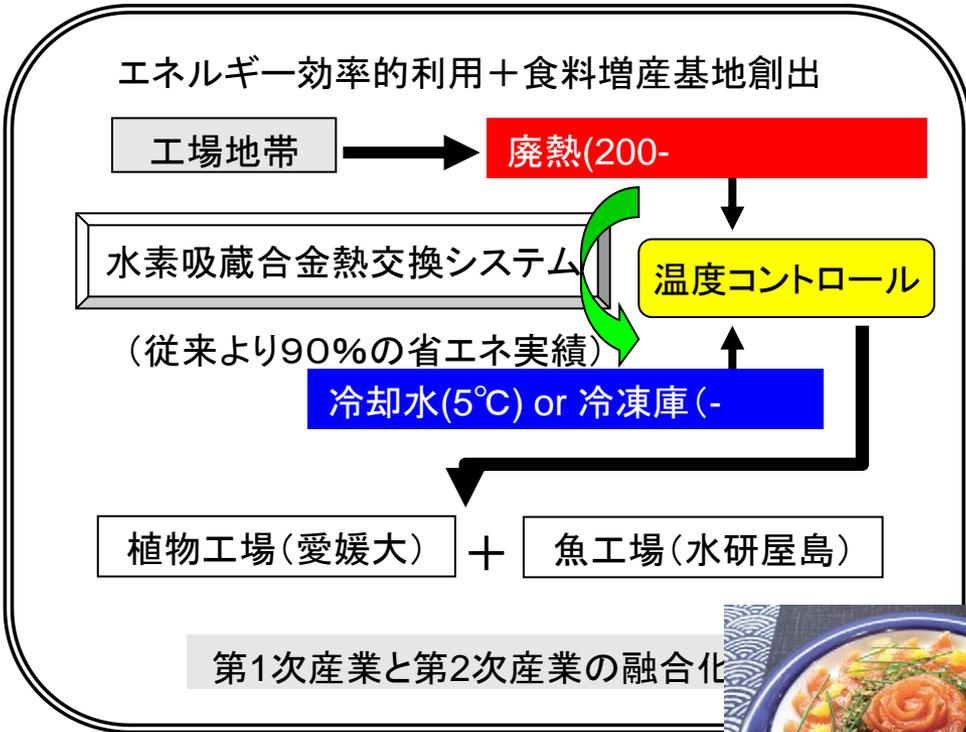
**飼育水1kL当りの飼育密
度最大250kg/kLを達成**

→世界最高水準

➡ 山本が開発したシステムを沖縄県で実用化試験
⇒ その成果を沖縄伊平屋村漁協で実証・生産

西条市のクールアースプロジェクト 地域エネルギーと陸上養殖+植物工場の融合

新たな発想の陸上養殖



廃熱

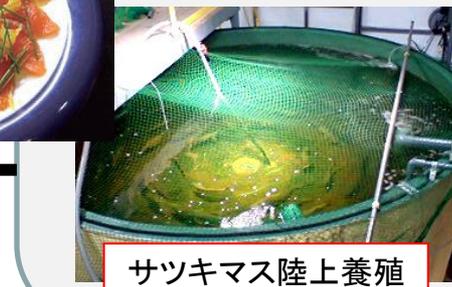


MH冷水製造システム



イチゴの周年栽培

+



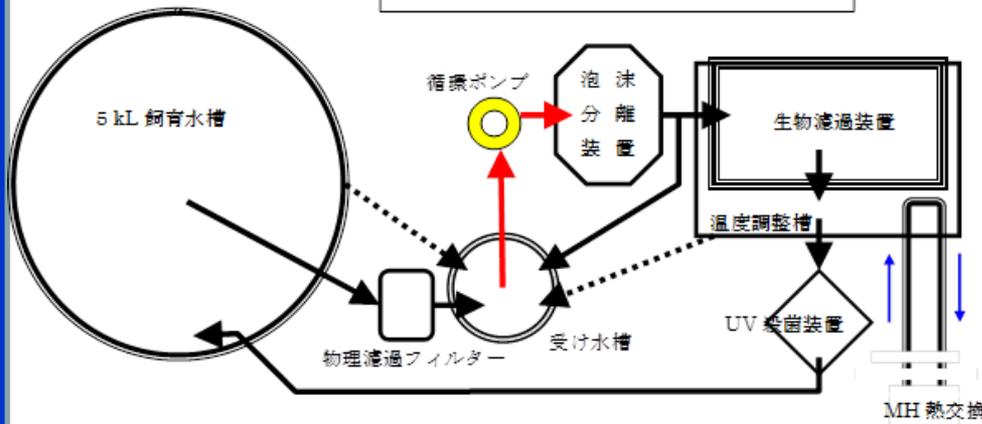
サツキマス陸上養殖



夏でも身がなる水素イチゴ 全長40cmを超えるサツキマス



- 動力（ポンプ）で揚水する系
- 落差で循環する系
- ⋯→ 落差でのオーバーフロー循環する系
- 別系統：調温制御用のMH熱交換配管



MH（水素吸蔵合金）冷凍システムのしくみ

有効に再利用



MH 冷凍機

水素吸蔵合金（MH合金）の水素を放出するときに吸熱するという性質を利用した冷凍機。

① まずMH 1に熱を加えます。するとMH 2との圧力差で、MH 1からMH 2へ水素が移動します。



② MH 2へ水素が移動したらMH 1を冷却します。すると圧力差で、今度はMH 2からMH 1へ水素が移動します。



①と②を繰り返して冷やします



冷却された圧縮炭化水素

図 西条市に設置された閉鎖循環飼育システムの概要

以下2枚出典：山本義久（2016）閉鎖循環飼育の未来と可能性Ⅲ、第6回“水素冷却”によるサツキマスの陸上養殖、アクアネット、3月号、46-50

養殖の料理サツキマスの創作料理

シェフ山本のレシピ：

**川に春を告げる滋養あるサツキマスの
八朔添えのカルパッチョとタルタル**



閉鎖循環飼育普及のための情報提供・公開

【研究成果の公表・普及に関する活動】

- | | |
|--------------------------|----------|
| ①論文・書籍・報告書等 | 32件 |
| ②学会発表 | 52件 |
| ③セミナー等での講演 | 45件 |
| ④水産系等雑誌掲載 | 33件 |
| (アクアネット23件、養殖ビジネス7件、他3件) | |
| ⑤視察対応 | 15～20件/年 |
| ⑥特許 | 4件 |
| ⑦委員・専門家・アドバイザー等 | 17件 |

閉鎖循環飼育の普及のための前提条件となる
必要な情報提供を継続実施中

閉鎖循環システムの水産現場への 社会実装事例

閉鎖循環式陸上養殖の社会実装の事例

北海道の赤潮被害を回避する陸上養殖の可能性

突然現れた赤潮



https://imgc.eximg.jp/i=https%253A%252F%252Fs.eximg.jp%252Fexnews%252Ffeed%252FTsurinews%252FTsurinews_tsurinews186654_3013_1.jpg,quality=70,type=jpg

全滅したウニ



<https://kachimai.jp/article/index.php?no=543152>

エゾバフンウ
二等の赤潮被害は甚大88
億円

地元漁業者からは
10年は回復
は望めないとの声



陸上養殖の導入→北海道栽培公社伊達と厚岸漁協で予備試験+水大校が助言



山本が開発した泡沫分離装置を導入
(特許第5130428号)

厚岸ウニ種苗生産センターの試験現場

閉鎖循環式陸上養殖の社会実装の事例

エゾバフンウニの閉鎖循環式陸上養殖の可能性



閉鎖循環式陸上養殖で水温約15°Cで養殖



陸上養殖試験用のウニ種苗(10mm)



1年で40~60mmの商品サイズに成長



陸上養殖エゾバフンウニの生殖巣



高級食材の道東陸上養殖ウニの実現

北海道のエゾバフンウニの事例での 閉鎖循環式陸上養殖の社会実装での重要なベクトル

- ・山本が厚岸事業場でマツカワの技術開発を実施
- ・北海道栽培公社伊達事業場で川下氏がマツカワ種苗生産に従事
- ・伊達事業場で高水温でマツカワ親魚が死亡
- ・伊達事業場でマツカワ親魚の閉鎖循環式親魚養成を開始
- ・現場で使える閉鎖循環式飼育システムを山本が川下氏に助言+伝授
- ・伊達事業場でマツカワの陸上養殖試験の実施
- ・厚岸ウニ種苗センターでマツカワ閉鎖循環式養殖試験
- ・厚岸ウニ種苗生産施設で厚岸漁協がウニ陸上養殖の予備試験実施
- ・道東3漁協(昆布森+厚岸+浜中)の青年部から赤潮対応の閉鎖循環式陸上養殖のアドバイス及び講演依頼
- ・厚岸漁協から閉鎖循環式陸上養殖のアドバイス及び講演依頼

【RASの普及のためには人間関係の強化と人材育成が重要なポイント】

17 パートナースhipで
目標を達成しよう



強い連携構築
現場で使える人材育成
研修事業

9 産業と技術革新の
基盤をつくろう



12 つくる責任
つかう責任



14 海の豊かさを
守ろう



RAS(閉鎖循環式養殖システム)の成立の考え方

養殖技術
成長・生残・身
質・餌料
【生物学的知見】

循環システム
水処理技術
流体力学等
【工学的知見】

人材育成
技術・ビジョン・
信頼・連携:
特に異業種

経営採算性
市場性・情報・流
通・コスト・経営
【経済学的知見】

陸上養殖を国策として展開すれば環境保全と安心安全な水産物確保するSDGsも水産物輸出も達成できるのでは。

アポロ17号から見た地球
1972/12/7



地球は水の
循環で成立
している

Recirculation



経済もまたし
かり

Economic Gardening



地域経済の核と
なる売れる商材
を創出して、どう
回して活性化さ
せていくのかが
日本型の陸上養
殖の成功の鍵か