

I . サンゴ幼生供給規模拡大技術の開発・実証

目 次

I-1. サンゴ幼生供給規模拡大技術の開発・実証

1. サンゴ幼生供給手法の開発・実証	I-1-1
1.1. はじめに	I-1-1
1.2. 技術開発手法	I-1-1
1.3. 幼生保持タイプの放流試験の実施方法	I-1-2
1.4. 調査・検証結果	I-1-4
1.5. 沖縄沿岸域における幼生放流実証試験のまとめ	I-1-13
1.6. 令和5年度 沖ノ鳥島幼生放流実証試験の計画	I-1-18
1.7. 次年度のスケジュール（案）	I-1-20
2. 幼生収集装置の改良	I-2-1
2.1 はじめに	I-2-1
2.1.1 課題に対する対応策	I-2-2
2.2 実証実験（令和4年5月）	I-2-3
2.2.1 実証実験の概要	I-2-3
2.2.2 実証実験結果	I-2-5
2.2.2.1 実験期間中の海象	I-2-5
2.2.2.2 幼生収集・保持状況	I-2-6
2.2.2.3 収集装置の改良結果	I-2-10
2.2.2.4 実証実験（令和4年5月）で確認された課題のまとめ	I-2-14
2.3 耐久性実証実験（令和4年11月）	I-2-16
2.3.1 収集装置の再改良	I-2-16
2.3.2 実験概要	I-2-18
2.3.3 波浪観測結果	I-2-19
2.3.4 実証結果	I-2-20
2.4 まとめ	I-2-25
3. 沖ノ鳥島での実証に必要となるサンゴの飼育	I-3-1
3.1 はじめに	I-3-1
3.2 稚サンゴ飼育	I-3-1
3.3 稚サンゴ飼育結果	I-3-1

4. 沖ノ鳥島への長距離輸送	I-4-1
4.1 はじめに	I-4-1
4.2 稚サンゴ輸送試験	I-4-1
(1) 輸送方法の検討	I-4-1
(2) 沖ノ鳥島へのサンゴ輸送	I-4-2

1. サンゴ幼生供給手法の開発・実証

1.1. はじめに

漁場環境保全の観点から、大規模に衰退したサンゴの効率的・効果的な保全・回復を図るため、サンゴ礁の面的な保全・回復技術の開発・実証を行った。

令和4年度の実証試験は、サンゴ礁域へサンゴ幼生を大量に供給できる手法として、幼生収集装置によって収集したサンゴ幼生を、着底能力を有する産卵4日後に放流し、その有効性について検討を行った。また、幼生放流時の幼生の沈降速度を確認するための室内試験を行った。

1.2. 技術開発手法

1.2.1. 実証海域の選定（令和4年度）

【実証試験精度に係る必要事項】

- ① 天然の幼生供給が少なく、実証試験に影響しない
- ② 波浪・流況が穏やかで、幼生の拡散・流出が小さい
- ③ 対象サンゴ種の成育適地である
- ④ 赤土流入等の実証試験への影響因子が小さい

【事業運営上の考慮事項】

- ⑤ 地元漁協の協力が得られる
- ⑥ 調査・試験の拠点施設がある
- ⑦ 実証に必要な親サンゴが確保できる



図-I.1.1 実証試験の選定場所

上記より、条件に合致する石垣島北部（浦底湾）を実証海域とした

1.2.2. サンゴ礁の幼生供給力を高める面的な保全・回復技術の実証方法について

サンゴの幼生供給力を高める技術の実証手法は、2つのタイプの実証方法を計画した。

「直接放流タイプ」はサンゴ幼生供給基盤から、産卵直後に幼生を放出する技術であり、幼生が広範囲に拡散するため、幼生の着底密度は低くなるが、人力による幼生収集作業の手間が不要な技術である。

「幼生保持タイプ」はサンゴ幼生収集装置で幼生を保持し、幼生が着底期になるまで拡散移動を抑えたのち、装置周辺に幼生を放出する技術であり、幼生収集作業の手間がかかる一方、拡散範囲が狭いため幼生密度が高く、高確率での着底が期待される。

令和3年度に「直接放流タイプ」の可能性検討として面的拡散シミュレーションを行ったところ、100 個体/m²の着底が期待できる「直接放流タイプ」は実現困難と判断され、本タイプはサンゴ産卵ファームから周辺海域の天然サンゴの回復を図るための手法と位置付けた。

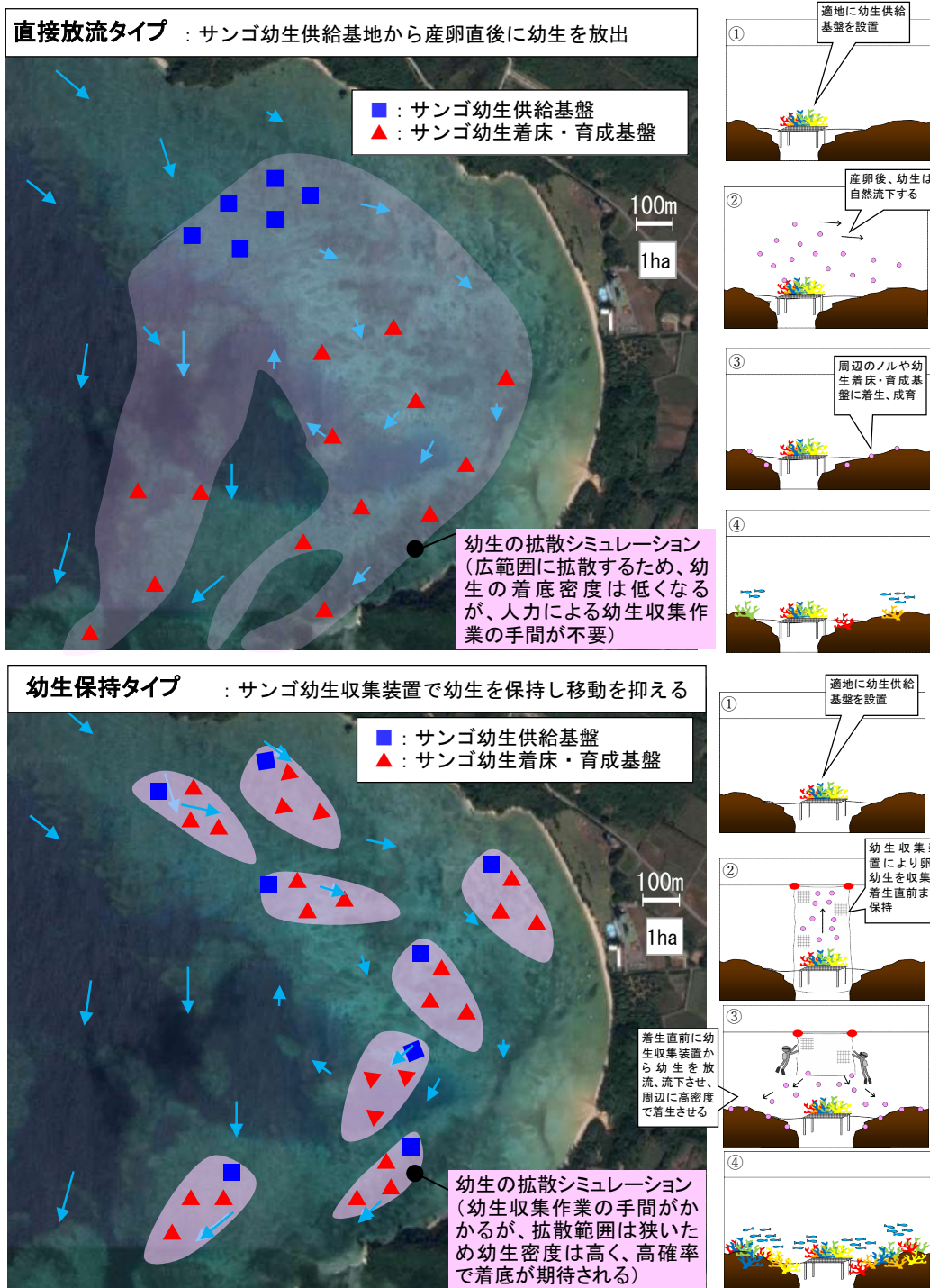


図-I.1.2 サンゴの幼生供給力を高める技術の実証手法(2タイプ)

1.3. 幼生保持タイプの放流試験の実施方法

沖縄沿岸域における幼生供給規模拡大技術に係る実証試験の最終年度である令和4年度は、幼生保持タイプによる幼生放流方式の実証試験を引き続き行い、放流技術のまとめと課題を整理した。

1.3.1. 既往実証試験の課題

平成30年度、令和元年度の実証試験では、固定式放流を行い、令和2年、3年度は断続移動式及び連続移動式放流の実証試験を行った

固定式・断続移動式放流は放流する技術は確立されたが、計画に対する実際放流量の誤差があり、幼生着底の範囲は、海域の流動に左右されるが、比較的少量の幼生により多くの着底が確認された。

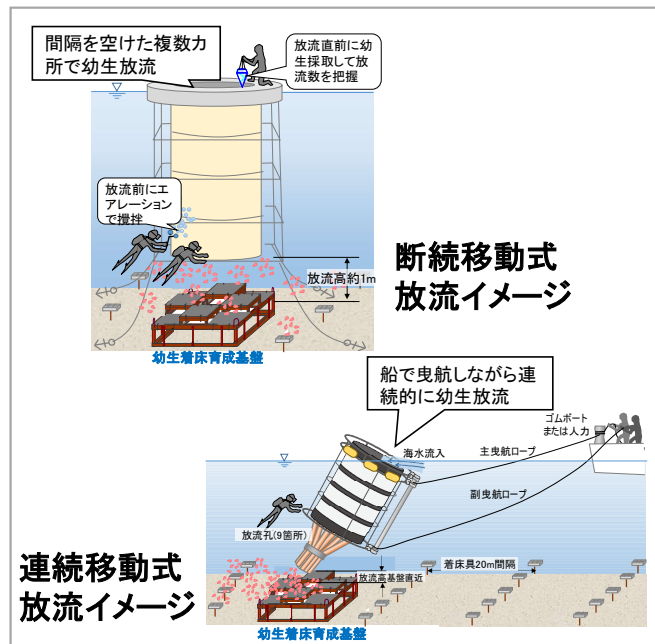


図-I.1.3 幼生保持タイプによる断続式・連続移動式放流方法のイメージ図

連続移動式放流は幼生放流量に関して放流孔の数、曳航速度、流出・流入量の関係が十分に把握できておらず、さらなる検証が必要とされた。また幼生の着底は、断続式移動放流に比べて着底率が低く、移動に伴うリスク(装置の損傷等)も存在することが分かった。

1.3.2 令和4年度の放流実証試験の検証項目

大量のサンゴ幼生を効率的に供給できるサンゴ幼生供給手法を開発するため、石垣島の実証海域においてサンゴの産卵期に合わせて以下の幼生放流実証試験及び室内試験を実施し、幼生の拡散効率等を実証することとした。

表-I.1.1 令和4年度放流実証試験の検証項目・内容

検証項目	検証内容
(1) 断続移動式放流の高精度化	・幼生放流量の誤差を極力小さくするため、幼生(4日令以降)の沈降速度を計測(室内計測)し、幼生(4日令以降)の沈降速度を計測することにより、高精度の放流計画が立案できるようにする。
(2) 連続移動式放流方法の確立	・放流量をコントロールするための放流方法の確立が必須であり、断続移動式放流に比べて広範囲に放流するため、収集した幼生数を最大限有効に活用すること、事業化された際に漁業者等が効率的に実施可能な方法を確立することに主眼を置き、連続移動式放流を中心とした現地実証試験を実施。

1.4. 調査・検証結果

1.4.1. 実証試験の実施工程

実証試験は令和4年4月11月から5月18日にかけて実施した。実施日と実施内容、結果概要を下表に示す。なお、幼生収集、保持状況の結果は「I-2. 幼生収集装置の改良」を参照のこと。

表-I.1.2 実証試験の実施工程

実施日	実施内容	結果概要
4月11日、12日及び17日	サンゴ幼生着床・育成基盤の設置工事	2基の鋼製架台設置工事の後、グレーチングの設置し完成
4月18日、20日、22日	試験用着床具及び流速計の設置	
5月8日～12日	幼生収集装置の組立・設置	
5月14日	親サンゴの産卵、幼生収集	産卵翌日以降に高波浪の予報であったため、大半の幼生を陸上水槽に保管
5月17日	幼生数の計数(3日令)	幼生数170万と推定、産卵4日後の放流実施を決定
5月18日	幼生沈降速度試験の実施 連続移動式放流試験の実施	連続移動式放流試験において放流装置の破損等による幼生数の減少あり。

1.4.2. 断続移動式放流の高精度化(幼生の沈降速度試験)

断続移動式放流の幼生放流量の誤差を把握するため、幼生の沈降速度試験を行った。

(1) 試験場所

水産技術研究所八重山庁舎 実験室

(2) 試験方法

試験方法は下図に示す通りに実施した。

1) 幼生収集(放流)装置と同じ比率の円筒に、一定量(例えば100個体)の4日齢幼生を飼育海水とともに投入、攪拌して円筒内幼生を均一にする。

※飼育海水: 実証試験と同じ水質環境とするため、幼生を4日齢まで保管しておいた海水を円筒内にいれる

2) 底面の蓋を開け、想定沈降速度0.22cm/sとして50%(個体)放流量想定時間を計測(円筒高さ20cmで開け時間は45秒)、終了時刻に蓋を閉める。

※合わせて、放流された幼生の沈降状況を撮影。

3) 円筒に残った幼生の個体数を計数して、時間当たり放流割合を確認。(例えば50個体でなく、40個体であれば0.26cm/sとなる)

4) 撮影した沈降状況を映像解析により、沈降速度を計測

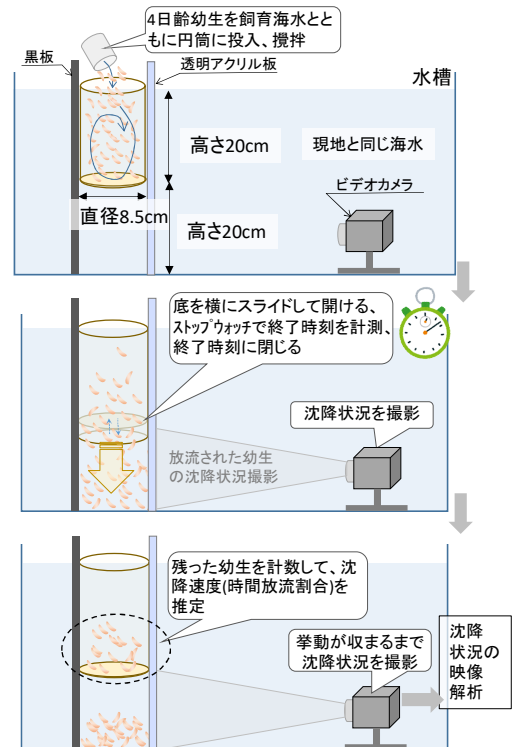


図-I.1.4 沈降速度試験のフローとイメージ図

(3) 沈降速度試験のケース

試験のケースは下表に示す通り、産卵後に実験室に搬入した幼生を飼育しているパンライト水槽から、天然海水が入った試験水槽に幼生を入れるときに、飼育しているパンライト水槽内の海水と幼生を一緒に模擬幼生収集装置と同じ容量に入れるケース1と、水槽内と同じ天然海水に沈降試験に用いる100個体の幼生を取り分けて、模擬装置内に投入するケース2とした。

表-I.1.3 沈降速度試験のケース

ケース：投入海水	内容	備考
ケース1:飼育水	放流幼生100個体,5回程度実施	45秒放流
ケース2:天然海水	放流幼生100個体,3回程度実施	同上

(4) 沈降速度試験結果

1) 試験実施状況

- ・ 幼生収集装置で保持した4日齢幼生を試験用に分取し、沈降速度試験を実施した。
- ・ 試験のデータ取得内容は2種類であり、1つ目は模擬幼生収集装置から一定の時間で幼生が沈降して出ていく量から推定される「時間当たり沈降量」と、模擬幼生収集装置から出た後の幼生の挙動を撮影したビデオ映像解析から沈降する速度を推定する「沈降速度」である。
- ・ 試験装置及び寸法図及び実施状況を下図に示す。

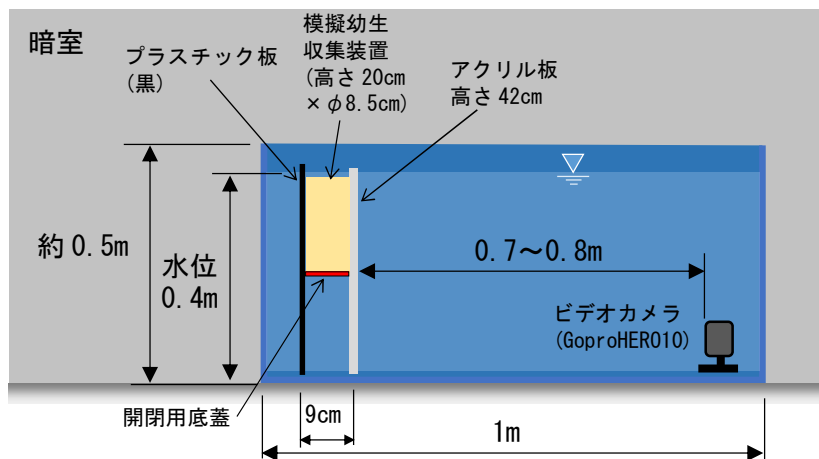


図-I.1.5 沈降速度試験装置及び寸法図

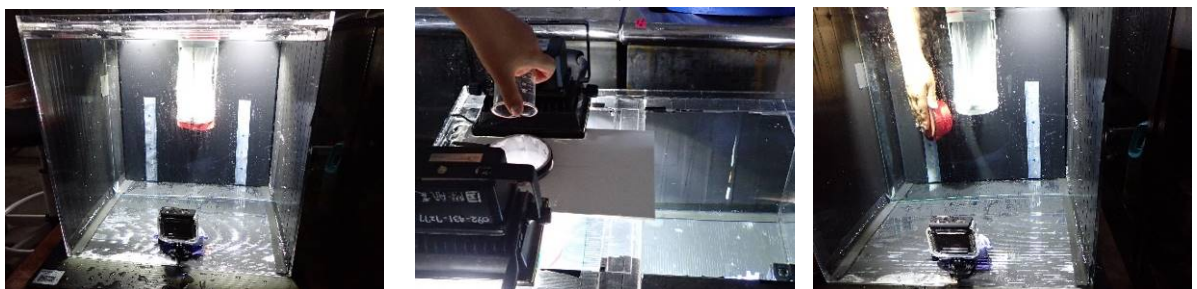


図-I.1.6 沈降速度試験実施状況

2) 試験結果

① 装置内からの放流速度(時間当たり沈降量)試験の結果

- ・装置底蓋を解放して放流し、45秒後に底蓋を閉じて、模擬装置の筒内に残った幼生を計測し、沈降速度は、45秒間に放流された幼生数の割合から算出した。
- ・放流速度の算出結果を下表に示す。CASE-1は0.28~0.31cm/secであり平均で0.29cm/secと当初想定していた0.22cm/secより大きく、CASE-2は0.22~0.24cm/secであり平均で0.23cm/secと、当初想定していた放流速度とわずかに大きかった。
- ・CASE-1と2では平均値に差が生じたものの、水槽内水質と飼育水の水温等水質の違いはなく、水質の条件としては直前に幼生を100個体分取していないか、分取したかの違いだけであり、両ケースは同じ水質環境下の結果である。
- ・沈降速度の装置内からの沈降速度は0.22~0.31cm/sec程度のばらつきが生じるものであるものと考えられた。

表-I.1.4 時間当たり沈降量計測結果

ケース	開始時刻	放流時間(sec)	筒内残り幼生数(個体)	放流幼生数(個体)	時間当たり沈降量(cm/sec)	筒内水温(°C)
CASE-1-1	10:30	45	34	66	0.29	24.8
CASE-1-2	11:31	45	35	65	0.29	25.0
CASE-1-3	12:25	45	30	70	0.31	24.7
CASE-1-4	13:59	45	37	63	0.28	24.8
CASE-1-5	15:28	45	36	64	0.28	24.7
CASE-2-1	16:31	45	46	54	0.24	25.6
CASE-2-2	17:30	45	45	55	0.24	25.5
CASE-2-3	18:40	45	51	49	0.22	25.6
平均					0.25	

② 沈降速度試験の結果

- ・ビデオ撮影動画から、装置から出た幼生を追跡し、最終的に水槽底面に落ちた幼生について、各ケースで幼生10個体程度の幼生について沈降速度を計算した。
- ・その結果、沈降の遅い幼生は0.1cm/sec前後であり、早く沈降する幼生は0.3~0.6cm/secであり、個体差があることが確認された。
- ・1ケース当りの幼生沈降速度の平均値は0.19~0.30cm/secであり、時間当たり幼生の沈降量速度と同じであった。

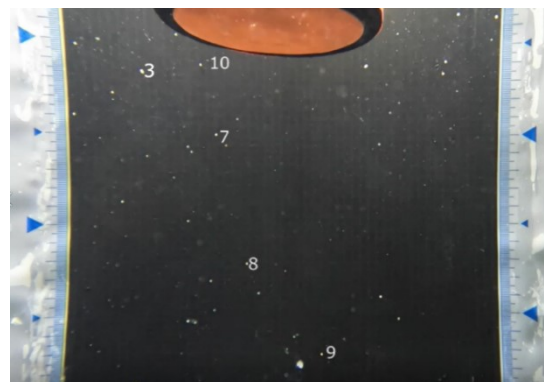
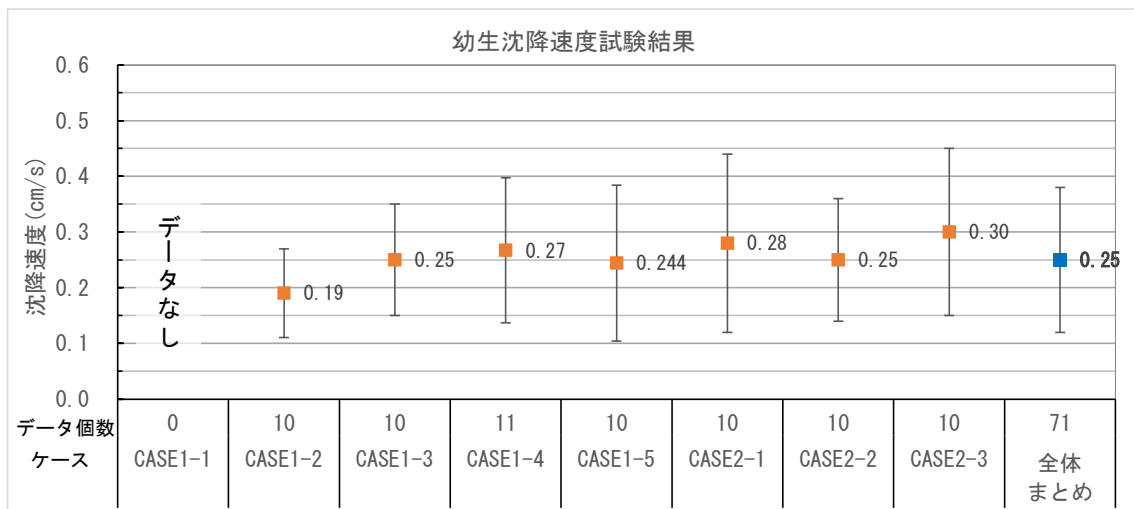


図-I.1.7 ビデオ撮影動画による幼生追跡状況

表-I.1.5 沈降速度計測結果

項目 \ ケース	CASE1-1	CASE1-2	CASE1-3	CASE1-4	CASE1-5	CASE2-1	CASE2-2	CASE2-3	全体 まとめ
解析幼生数(個体)	0	10	10	11	10	10	10	10	71
最小速度(cm/s)	-	0.06	0.13	0.08	0.06	0.09	0.11	0.07	0.06
最大速度(cm/s)	-	0.31	0.47	0.48	0.52	0.57	0.46	0.52	0.57
平均速度(cm/s)		0.19	0.25	0.27	0.244	0.28	0.25	0.30	0.25
標準偏差(cm/s)		0.08	0.10	0.13	0.14	0.16	0.11	0.15	0.13
備考	撮影時間短く速度解析できず								



※グラフ中の■は平均速度を示し、縦棒は標準偏差を示す。

図-I.1.8 沈降速度計測結果

(3) 幼生放流計画における沈降速度の設定について

- ・過年度の現地放流試験では、時間当たり沈降量は 0.17cm/sec(R2 年度)~0.29cm/sec(R3 年度)であり、室内実験でも時間当たり沈降量、沈降速度結果とも平均的な速度は同程度の 0.2~0.3cm/sec であった。
- ・以上の実証試験結果から、断続移動放流における放流時間の設定は、0.2cm/sec と 0.3cm/sec の 2 ケースで検討するなど、放流量に幅を持たせた計画とすることが望ましいと考えられる。

1.4.2. 連続移動式放流の現地実証試験

(1) 実証試験海域

崎枝湾、浦底湾ともに、天然サンゴの産卵加入が多いものの、最も幼生を確保しやすい浦底湾で実施。

(2) 幼生確保可能量

既往実績より、崎枝湾産、浦底湾産併せて2,000万個体以上を確保。

(3) 実証試験規模、概要

- ・湾奥のリーフエッジの地形を利用した1ha規模の実証試験を行う。
- ・事業化された際に最も可能性のある放流箇所を想定し、試験箇所を選定。

漁船のアクセスが比較的容易なリーフエッジ(水深5~10m)であり、長い距離(500m)に渡って装置を曳航可能



図-I.1.9 連続移動式放流実証試験場所

(4) 実証試験箇所と基盤設置箇所

77・試験箇所はリーフエッジ(勾配30~45°)、水深5~10m程度、底質は岩盤とサンゴ砂礫、延長500m×幅20m=1haを確保。

- ・サンゴ着床・育成基盤設置箇所は、水深6.1(平型)~8.7m(凸凹型)、平坦地となっている。

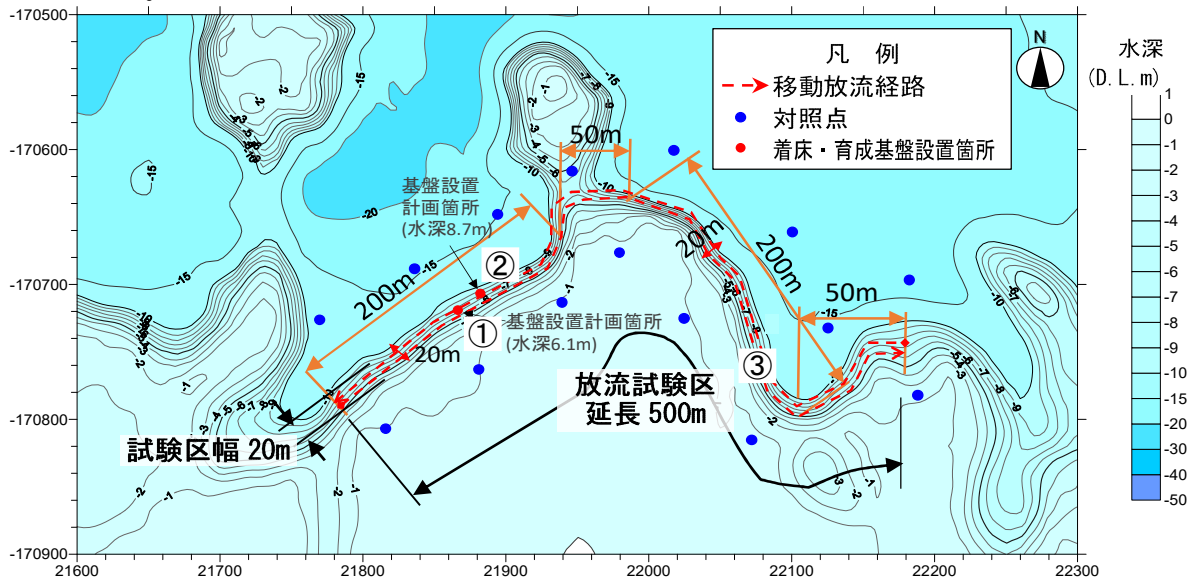


図-I.1.10 連続移動式放流実証試験の詳細位置図及び試験区の地形状況

(5) 連続移動式放流の試験計画

- ①放流方法：500m×20mの範囲を1往復でカバーするよう測線を配置し、全域に放流。
- ②放流高さ：1mの範囲内で放流
- ③幼生放流量確認：250m、500m、750m、1,000mの4箇所を実施
- ④モニタリング方法：移動放流経路方法に20m間隔、直交方向に5m間隔で着床具を配置

表-I.1.6 幼生放流量の当初計画

幼生放流量		2,000万個体/回
連続移動距離		1,000m (500mの往復)
区間別放流量 【幼生着底数】	0~250m 区間 (放流口数：2口)	約250万個体 【200個体/m ² 】
	250~500m 区間 (放流口数：2口)	約190万個体 【150個体/m ² 】
	500~750m 区間 (放流口数：3口)	約230万個体 【186個体/m ² 】
	750~1,000m 区間 (放流口数：4口)	約160万個体 【132個体/m ² 】

注) 幼生放流量2,000万と仮定して試算

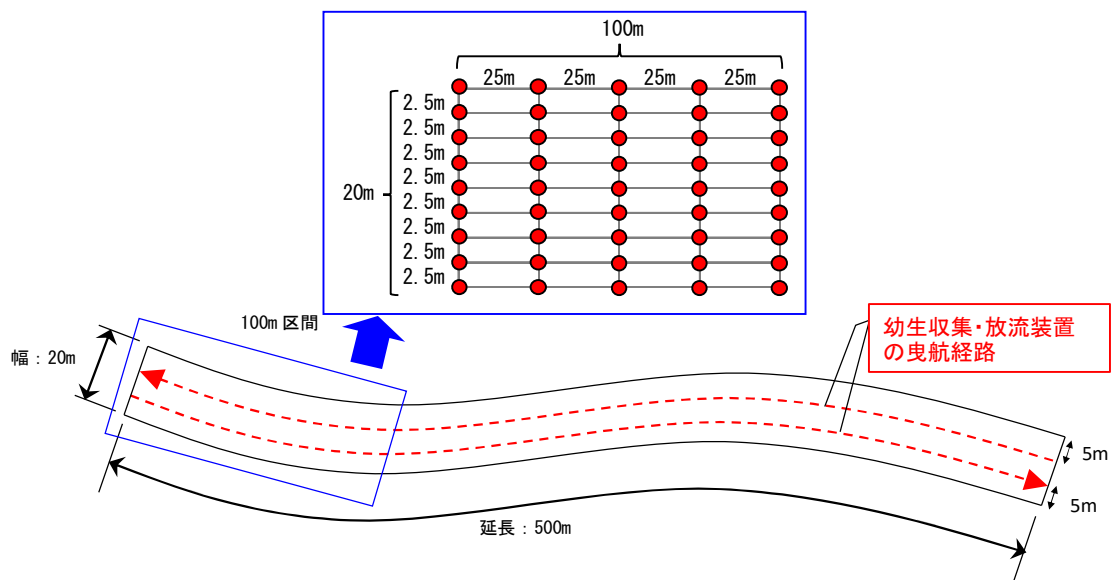


図-I.1.11 連続移動式放流実証試験の放流経路とモニタリング用着床具の配置イメージ

(6) 連続移動式放流試験結果

- ・5月14日の産卵から4日令にあたる5月18日に連続移動式放流試験を実施した。
- ・3日令の幼生数は約170万個体であったが、当日の幼生サンプリングの結果、約51万個体と減少していた。
- ・さらに、収集装置ケース2を試験箇所まで調査船で運搬する際に、突風による調査船の激しい動揺によりケース2の装置が破損し、装置内の幼生の流出が発生した。
- ・そこで放流方法はケース1の装置を用いて26万個体の幼生を下図に示すように沿岸方向500m×岸沖方向20mの試験エリアを片道方向の放流を行った。
- ・放流のための装置の移動は、沿岸方向500mを調査船（漁船）により、試験エリアの中央（下図の緑の線）を装置が通るように曳航しながら放流を行った。

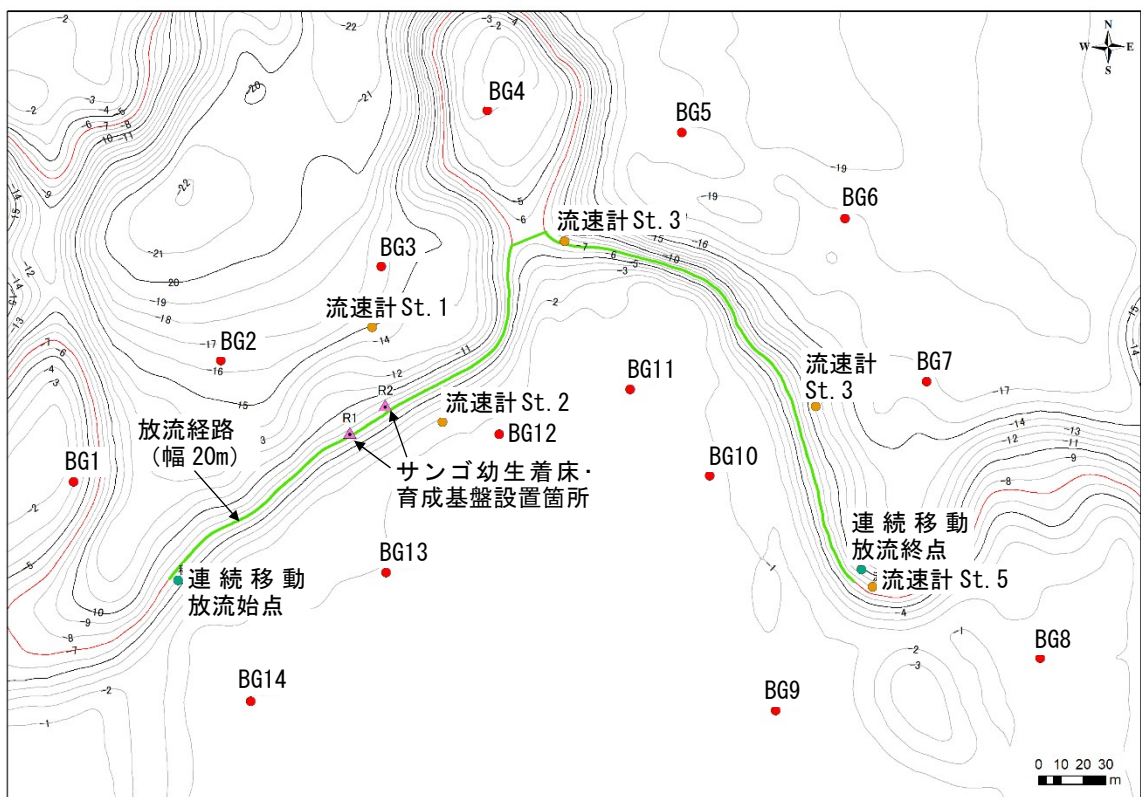


図-I.1.12 連続移動式放流試験の位置図



図-I.1.13 連続移動式放流試験の実施状況

(7) 幼生放流量の検証

- 一定区間の放流前後に幼生のサンプリングを行い、放流量を計数したものを図-I.1.14に示す。
- 放流量は、一定量を放流するため、昨年度の放流試験模擬実験に基づく放流量の試算方法より、往復で放流する想定*で0~100m区間で8孔、100m~500m区間で9孔開けて放流を行った。
- 実際放流量は、移動100m当りで試算した放流量の約17%の誤差があった。これは、曳航時の幼生収集装置からの海水のあふれ出しによる誤差と考えられた。
- 今回、曳航時に海水があふれ出さないよう曳航した結果、昨年度の放流量の試算では、実際放流量と8倍程度の大きな誤差が生じていたが、今回の再現試算結果(図-I.1.15)はかなり改善された。約20%程度の誤差であれば、実用上は問題ないと考えられる。

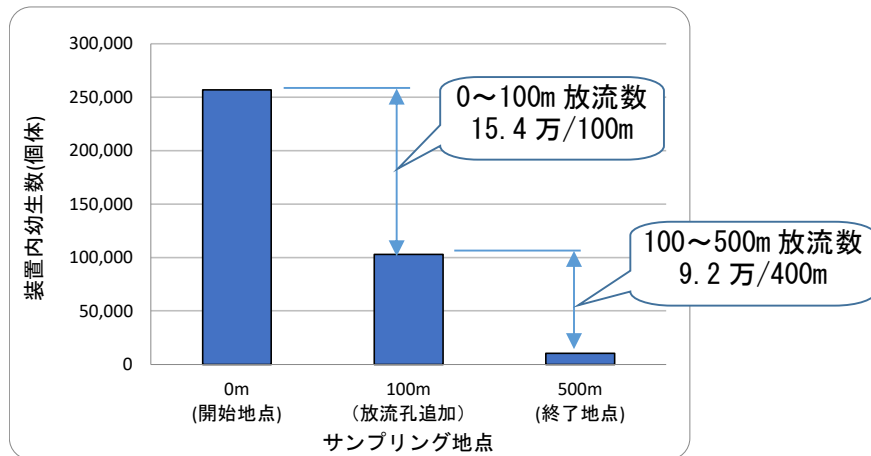


図-I.1.14 幼生サンプリングに基づく装置内幼生数と区間ごとの放流量

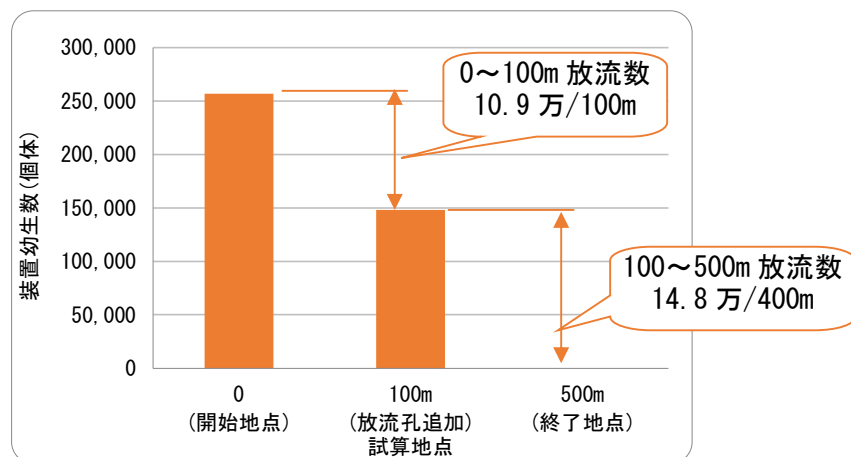
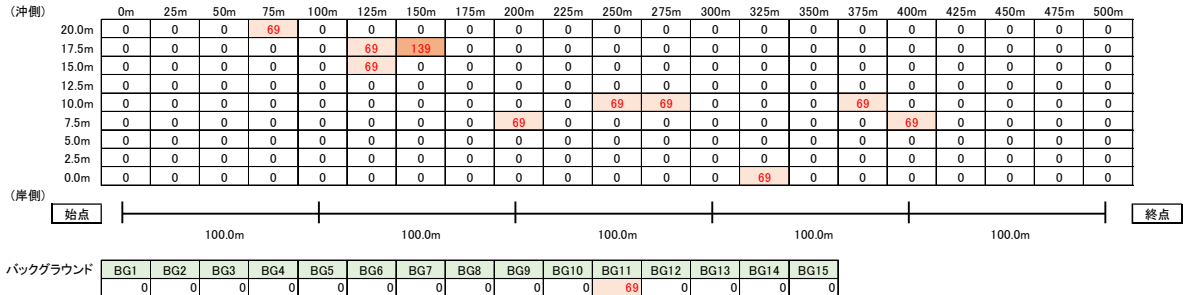


図-I.1.15 R3年度模擬試験結果に基づく一定区間ごとの放流量の再現試算

(8) 幼生着底の検証

- ・幼生着底数の計数結果、1m²当りの着底数換算結果を下図に示す。放流数が少なかったため、幼生の着底はほとんどみられなかった。



試験区内着底数合計: 760 個体

図- I . 1. 16 1m² 当り換算着底数 (DNA 分析結果前)

- ・着底した幼生を DNA 分析を行ったところ、約 25%がウスエダミドリイシであった。
- ・バックグラウンドには幼生がほとんど着底しておらず、天然加入のウスエダミドリイシは無いものとして試験区内の着底量と着底率を推算した結果を下表に示す。
- ・試験区面積 1ha に着底した幼生数を換算すると 1 万個体となり、着底率は 3.8%と推測された。

表- I . 1. 7 DNA 分析結果から着底率の推算

項目	結果・推測値
①幼生放流数	26 万個体
②着床具への合計着底数	760 個体
③着床具への平均着底数	4 個体/m ²
④DNA 分析結果のウスエダミドリイシ割合※	25%
⑤DNA 分析結果の平均着底数 (③×④)	1 個体/m ²
⑥試験区面積	1ha (10, 000m ²)
⑦試験区内着底数 (⑤×⑥)	1 万個体
⑧着底率 (⑦÷①)	3. 8%

1.5. 沖縄沿岸域における幼生放流実証試験のまとめ

令和4年度で沖縄沿岸域における実証試験を終了することから、幼生保持タイプにおける実証結果をもとに、有効性、操作性、他海域への適用性等の観点から課題を取りまとめ、必要に応じて改善案を提案した。

1.5.1 固定式、断続式移動放流

1) 放流方法及び手順

放流方法及び手順を下図に示す。

- ・放流方法は、産卵後、4日令まで保持した幼生収集装置を放流場所へ移動、固定し放流、または次の放流場所に移動、固定し断続的に幼生を放流する。
- ・実証結果から、幼生放流量・放流条件と着底範囲の関係を検証した（高さ1.5m放流）

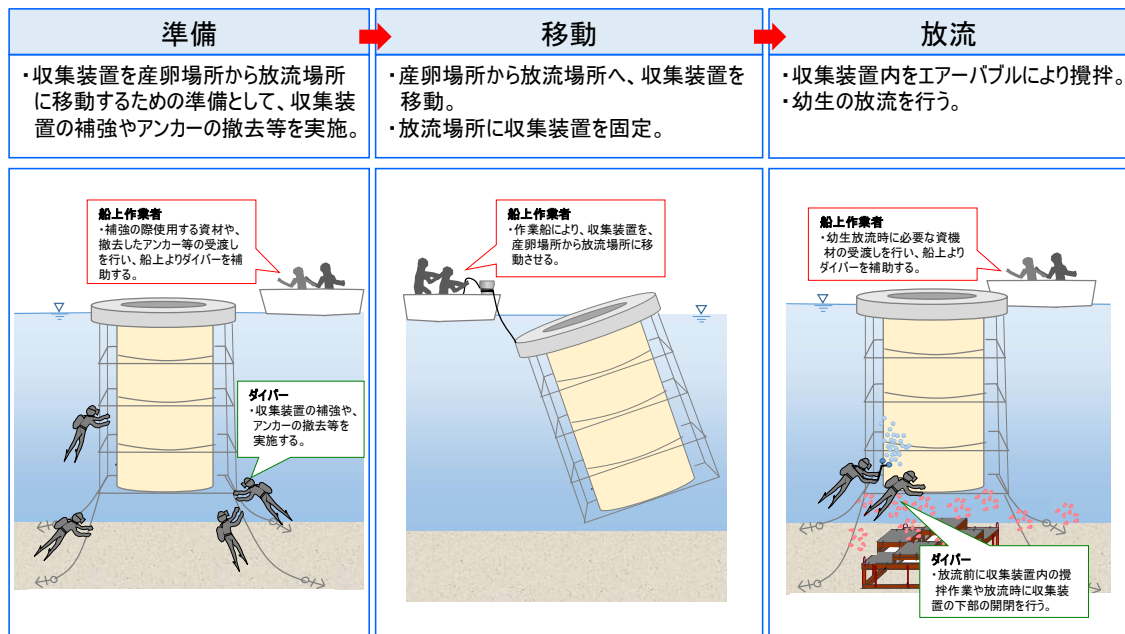


図-I.1.17 固定式・断続移動式幼生放流方法・手順

2) 放流量と着底範囲、着底率の実績及び各実証年の課題

表-I.1.8には、令和4年までの成果と課題に基づき、方法方式の有効性、操作性、他海域への適用性等を踏まえ、事業化に向けた対応内容について整理した。

固定式・断続移動式放流についてまとめると、一度に広域に幼生を放流することは困難であるが、スポット的に確実に、少ない幼生数で高密度に着底させたい場合には有効な手法であることがわかった。

スポット的に均一に断続放流する場合は、計画放流量の調整方法として、幼生の沈降量を0.2cm/sec、0.3cm/secの複数のケースで検討し、幅を持った放流量で計画し、放流時間を設定することが望ましい。

最適な放流高さについて、これまでの沖縄沿岸海域での実証試験結果から放流高さと着底率の結果を下図にプロットしたものを示す。(令和 3 年度の試験区域がオーバーラップした D1、D2 試験区の結果を除く)

図をみると、放流高さは高さ 1.5m を超えると着底率はおよそ 5%以下となり、1.5m より低いと着底率は 10%前後となり、これまでの実証試験から比較的静穏な内湾域では放流高さは 1.5m 程度とした方が望ましいことが分かる。ただし、放流高さを低くしすぎると着底範囲が狭くなる(平成 30 年度は高さ 1m で 0.02ha と令和 2 年度の 5 分の 1 の着底面積)ため、留意が必要である。

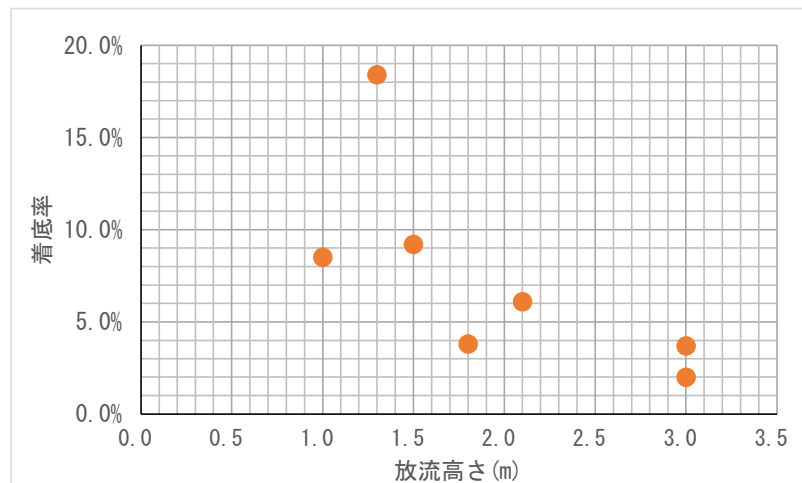


図-I.1.18 これまでの放流試験結果に基づく放流高さと着底率の関係

表- I . 1 . 8 固定式・断続移動式放流試験の検証結果のまとめと事業実施への対応

項目	検証項目	課題の有無・検証結果	検証した時期	事業実施への対応
1. 幼生放流・着床技術	(1) 断続式移動放流	<p>①放流手法、手順の確立</p> <p>【課題なし】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・R2、R3 年度実証試験で小型船 1 隻、ダイバー 4 人、船上作業 2 名で、幼生収集～放流までの延べ 4 日の作業で実施できることを確認。 ・平均流速が 1cm/sec 程度の内湾では放流高さは基盤から高さ 1～1.5m がよい。 	R2、R3 年度	<ul style="list-style-type: none"> ・スポット的に確実に、少ない幼生数で高密度に着底させたい場合には有効な手法。 ・断続的に放流を繰り返す作業であり、広範囲の放流には効率的な方法ではない。
		<p>②計画放流量の確立</p> <p>【課題なし】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・R2、R3 の現地実証、R4 の室内試験結果によると、幼生の装置から放流される時間当たり沈降量、放流後の幼生個々の平均沈降速度ともに 0.2～0.3cm/sec と幅をもった値であった。 	R2 年～R4 年度	<ul style="list-style-type: none"> ・計画放流量を計算するための幼生沈降速度について、放流時間の設定は、ウセダミドリイシの場合、沈降速度 0.2 及び 0.3cm/sec の 2 ケースで検討し、放流量に幅を持たせた計画を行う。
		<p>③目標規模での 100 個体/m² の着底</p> <p>【課題なし】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・R3 年度の実績は幼生 260 万個体放流で 100 個体/m² が 0.2ha の規模で着底の実績（着底率 7.6%）。 <p>⇒1ha で 100 個体/m² を着底させるためには 1,350 万以上の幼生が必要であると推測された。</p>	R2、R3 年度	<ul style="list-style-type: none"> ・1ha 規模で 100 個体/m² の幼生着底を計画する場合、4 日令で 1,500 万程度の幼生を確保するための親サンゴ、幼生収集装置を準備する。

1.5.2 連続移動式放流

1) 放流方法及び手順

放流方法及び手順を下図に示す。

産卵後、4日令まで保持した幼生収集装置を移動しながら放流する。

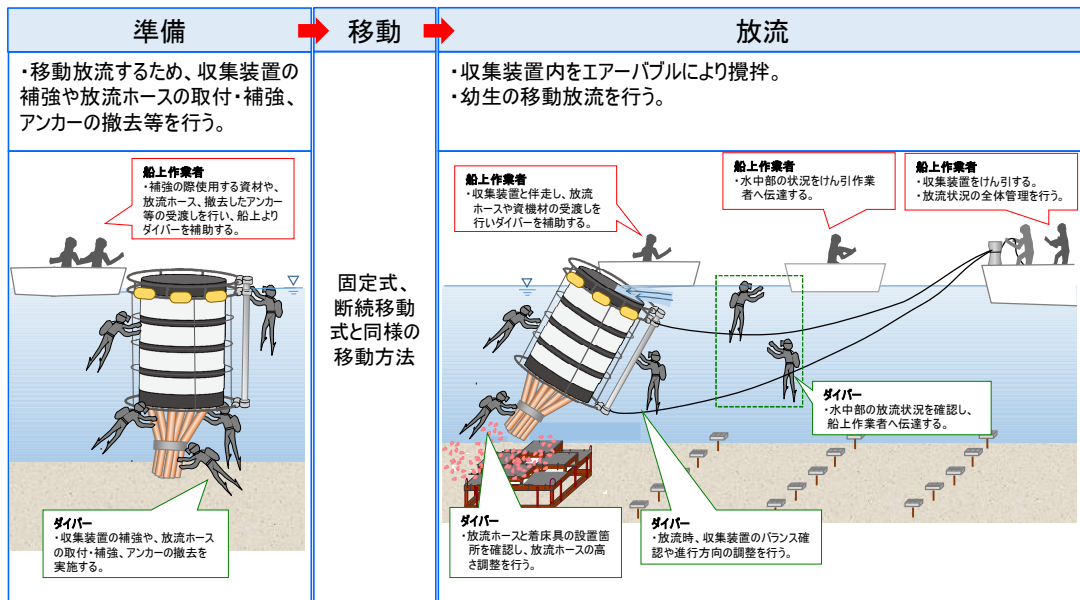


図-I.1.19 連続移動式幼生放流方法・手順

2) 放流量と着底範囲、着底率の実績及び各実証年の課題

令和2年～令和4年度に実施した連続移動式放流試験結果に基づく着底範囲、着底率及び成果と課題から、表-I.1.9に放流方式の有効性、操作性、他海域への適用性等を踏まえ、事業化に向けた対応内容について整理した。

連続移動式放流についてまとめると、移動しながら固定式放流を繰り返す「断続移動式放流」よりも、短時間で広範囲に放流することが可能であるが、放流量の管理（放流孔の調整）、事前準備（収集装置補強や事前に、曳航速度、放流孔流量（流速）の関係の確認を行う）など、漁業者が行うには断続移動式放流より難易度が高い。

また、断続移動式放流よりも着手率が低い傾向であることがわかった。

連続的に均一に連続移動放流する場合は、事前準備を行い、断続移動式放流と同等の着底率を期待する場合は、断続移動式放流の数倍以上の多くの幼生を確保する必要があると考えられる。

表-I.1.9 連続移動式放流試験の検証結果のまとめと事業実施への対応

項目		検証項目	課題の有無・検証結果	検証した時期	事業実施への対応
1. 幼生放流・着床技術	(2) 連続式移動放流	①放流手法、手順の確立	<p>【課題なし】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・R2、R3 年度実証試験で小型船2隻、ダイバー4人、船上作業2名で幼生収集～放流までの延べ4日の作業で実施できることを確認 ※放流のための曳航時に幼生収集装置が破損するため、装置を補強する必要がある。 	R2、R3 年度	<ul style="list-style-type: none"> ・短時間で広範囲に放流、着底させたい場合には効率的な方法である。 ※均一に放流、着底させる場合や、放流水深が大きく変化する場合、移動途中で放流穴、放流ホース長を変える作業が生じる。
		②計画放流量の確立	<p>【課題なし】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・今年度の実証試験により、収集装置内の幼生量と放流孔面積の計算式より、計画誤差20%以内で放流できることを確認。 	R2年～R4年度	<ul style="list-style-type: none"> ・幼生収集装置の“大きさ”や“素材”によって、計画放流量の計算式が異なると考えられる。 ※これまでの実証試験装置と異なる場合は、事前に、曳航速度、放流孔流量（流速）の関係の確認を行う必要がある。 ⇒①、②を考慮すると漁業者が行うには断続移動式放流より難易度が高い。
		③目標規模での100個体/m ² の着底	<p>【課題あり】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・R2年度に1,000万個体の幼生を0.2ha放流し100個体/m²の着底が確認されたが計画面積の約半分の着底にとどまり、DNA分析結果を考慮すると放流個体は、さらにその3割程度の着底と考えられた。 (R3、R4は曳航時に装置の破損等があり、幼生放流量が顕著に少なかったため、広域での100個体/m²の着底は検証できなかった。) 	R2～R4年度	<ul style="list-style-type: none"> ・R2年度のDNA分析結果を考慮した着底率は、考慮前着底率5.9%×3割＝1.8%となり、断続式移動放流よりも低い。 ⇒現時点の結果で、1haに100個体/m²の幼生着底を計画する場合、6,000万程度の幼生が必要。

1.6. 令和5年度 沖ノ鳥島幼生放流実証試験の計画

1.6.1. 放流実証試験場所

ハビタットマップによるサンゴ生息条件及び現地地形条件より、試験箇所は下図に示す、礁内中央部の候補地 No.3 とする。

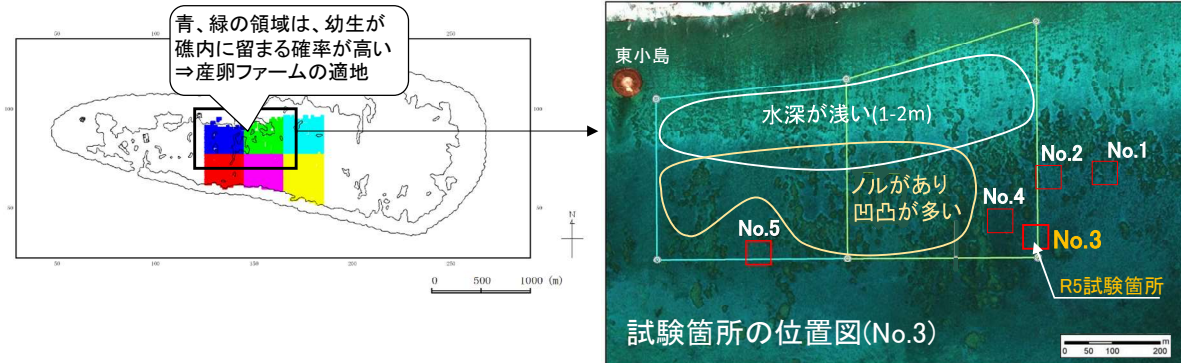


図-I.1.20 令和5年度幼生放流実証試験箇所の位置図

1.6.2. 放流タイプ及び放流高さ

確保する幼生数が約 200 万個体の計画であり、過年度の沖縄沿岸域の実績から、幼生拡散・着底規模は 0.2~0.3ha 程度と考えられる。

0.2~0.3ha の拡散規模であることから、移動式の広範囲な放流による 100 個体/m² の着底は望めないため「固定式放流」を行う。

放流高さは、沖ノ鳥島は沖縄海域より流れが速く、後述するシミュレーション結果より、1m では拡散が大きくなるため 0.5m 程度とする。

幼生収集時の地形条件から、装置の高さは 2m であるが、放流時は逆に放流高さが 3m 程度と高くなるため、放流時に 1m 程度にするため、下図に示す通り、約 2.5m のスカート装着して放流する。

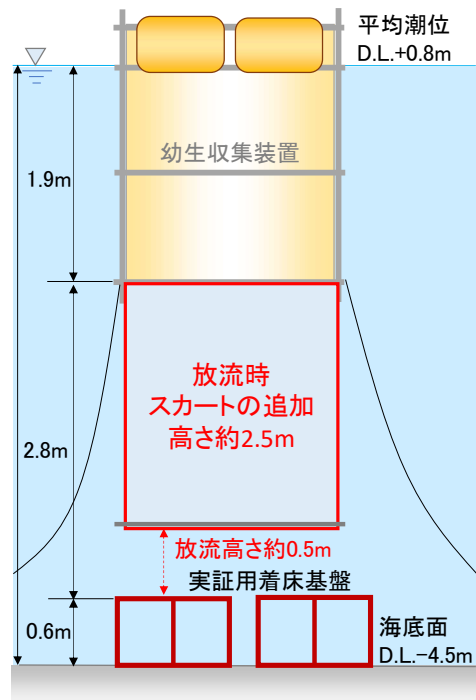


図-I.1.21 放流時における装置等のイメージ図

1.6.3. 試験区の配置計画

幼生着底範囲は 0.2~0.3ha と想定するが、幼生拡散のシミュレーション結果から着底範囲は当日の流れの主方向を中心に着底すると考えられることから、試験区の範囲は下図に示す通り、余裕を持たせて 60m×60m 範囲として基本的に 10m 間隔で格子状に角筒型着床具を配置することを基本とする（試験区面積：約 0.36ha）。

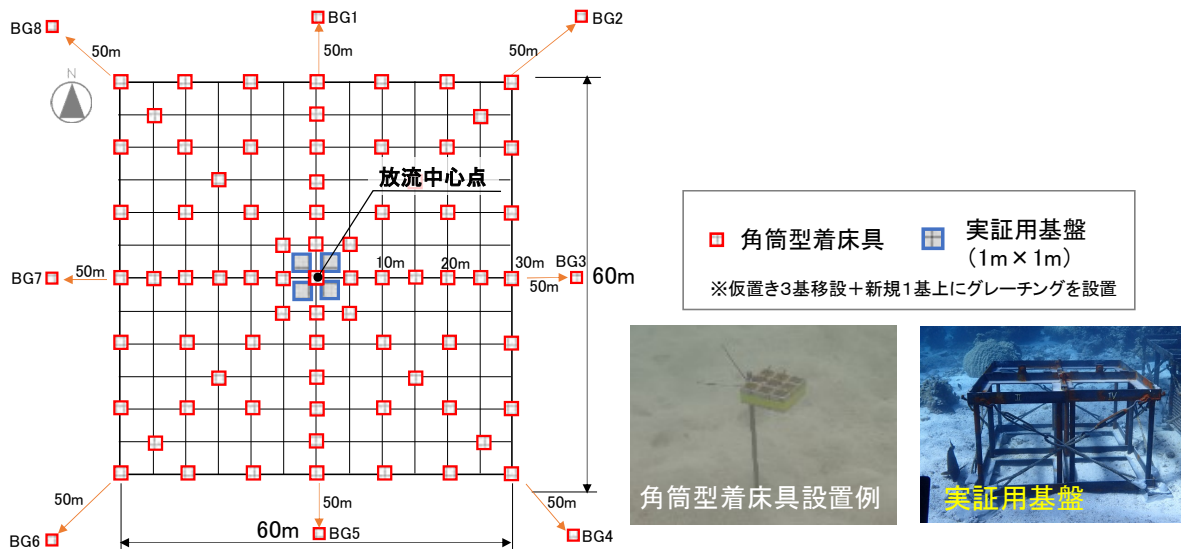


図-I.1.22 放流試験区の着床具及び基盤、対照地点の配置計画図イメージ

1.6.4. 親サンゴの運搬、幼生収集、放流、着底確認までの流れ

沖ノ鳥島での幼生放流実証における、親サンゴの運搬から幼生収集、放流、着底確認までの流れを下図に示す。

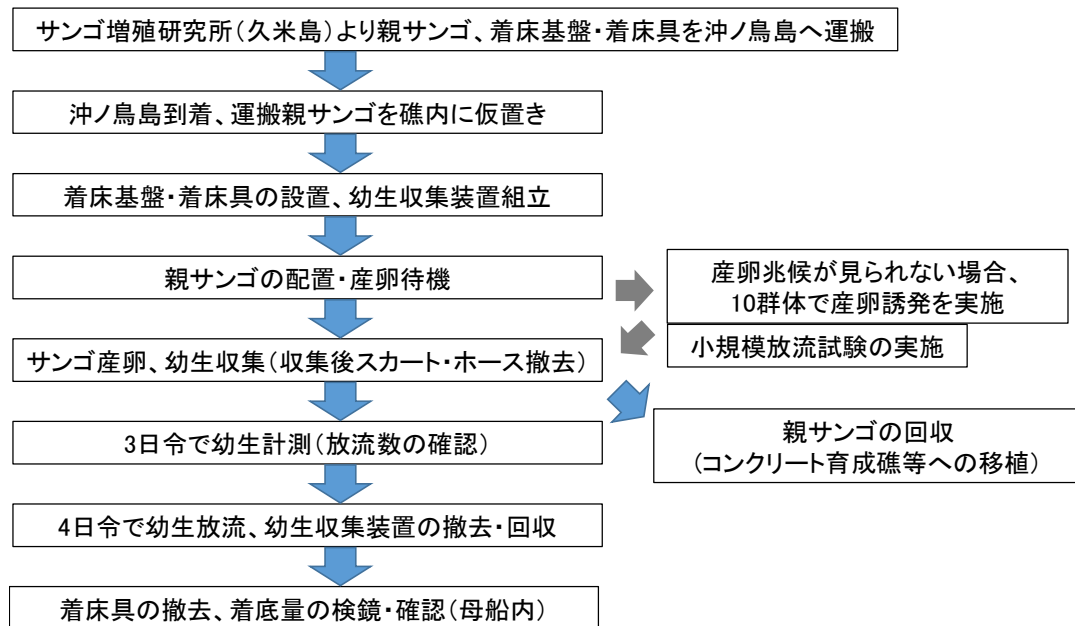


図-I.1.23 親サンゴの運搬、幼生収集、放流、着底確認までの流れ

1.7. 次年度のスケジュール（案）

【沖ノ鳥島における幼生放流実証試験及び検証】

- 4月上旬～中旬：沖ノ鳥島幼生収集・放流試験計画準備
- 4月下旬：着底確認用着床具、実証用の着床基盤の浸漬（久米島増殖研究所）
- 5月下旬：親サンゴを久米島より沖ノ鳥島へ運搬、移動
- 6月初旬：沖ノ鳥島へ到着、幼生収集・放流試験準備
- 6月上旬：幼生放流試験、着床具回収・着底確認
- 6月中旬：沖ノ鳥島調査終了
- 6月下旬～10月：着底幼生のDNA分析、幼生収集・放流試験の結果整理、結果の検討、
課題整理
- 9月～12月：幼生収集・放流試験の課題と対応方針検討
- 1月～2月：令和6年度幼生放流実証試験計画の策定

2. 幼生収集装置の改良

2.1 はじめに

サンゴ幼生が着底能力をもつまでの著しい自然減耗を低減し、90%以上の高い生残率で保持できる技術として、「幼生収集装置（以下、収集装置）」を平成 29 年度までの前事業で開発した。その後、平成 30 年度から令和 2 年度まで 1,000 万単位の幼生を収集するために、サンゴ幼生を大量かつ効率的に収集する装置の高度化を行った（図-I.2.1 参照）。令和 3 年度に高度化した収集装置を運用したものの、①～④の課題が確認された。さらに、令和 5 年度以降に計画されている沖ノ鳥島での幼生放流実証試験は、D.L-4.5m 程度で行うことが想定されており、現行の収集装置では運用が難しいことから、沖ノ鳥島礁内で運用可能な装置の改良（課題⑤）が必要である。

以下の課題に対応するため、収集装置の改良を行い、令和 4 年 5 月に実証実験を行った。

課題

- ① 大雨による幼生保持時の淡水流入による幼生の斃死対策
- ② 荒天時の波浪による収集装置上部側面への幼生の付着・絡まりによる斃死対策
- ③ 令和 3 年度までの直径 1.7m の収集装置の幼生保持限界量に対する大型化、収集幼生数（親サンゴ）の調整
- ④ 水圧による破損可能性に対する生地の補強改良
- ⑤ 収集（放流）装置の可搬性向上のための対策
- ⑥ 沖ノ鳥島礁内で運用可能な装置の改良

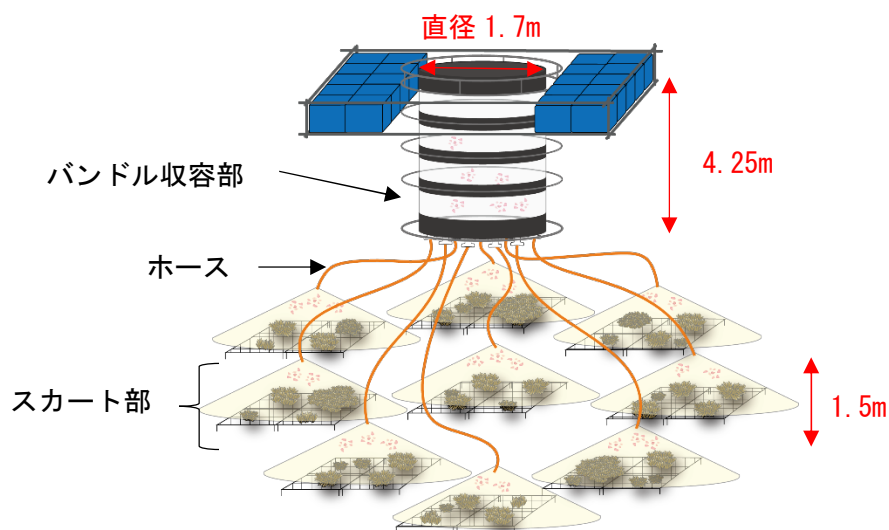


図-I.2.1 収集装置のイメージ

2.1.1 課題に対する対応策

各課題に対する対応策一覧を表-I.2.1 に示す。

表-I.2.1 各課題に対する対応策一覧

課題	対応策
①大雨による幼生保持時の淡水流入による幼生の斃死対策	屋根を組み上げ、雨水が装置内に入らないようにする。
②荒天時の波浪による収集装置上部側面への幼生の付着・絡まりによる斃死対策	板（木板）を取り付け、さざ波を反射させる。
③令和3年度までの直径1.7mの収集装置の幼生保持限界量に対する大型化、収集幼生数（親サンゴ）の調整	<ul style="list-style-type: none"> ・バンドル收容部の直径を1.7mから2.2mに、水面側面の高さを0.25mから0.40mに設計変更する。 ・1群体あたり6.8万個体の幼生が得られるかつ配置した群体の7割程度が産卵すると仮定して群体数を決定する。
④水圧による破損可能性に対する生地補強改良	バンドル收容部の底部を引張強度が2.6倍高い生地へ変更する。
⑤収集（放流）装置の可搬性向上のための対策	バンドル收容部を伸縮可能にする。
⑥沖ノ鳥島礁内で運用可能な装置の改良	バンドル收容部の高さを4mから2mに設計変更する。

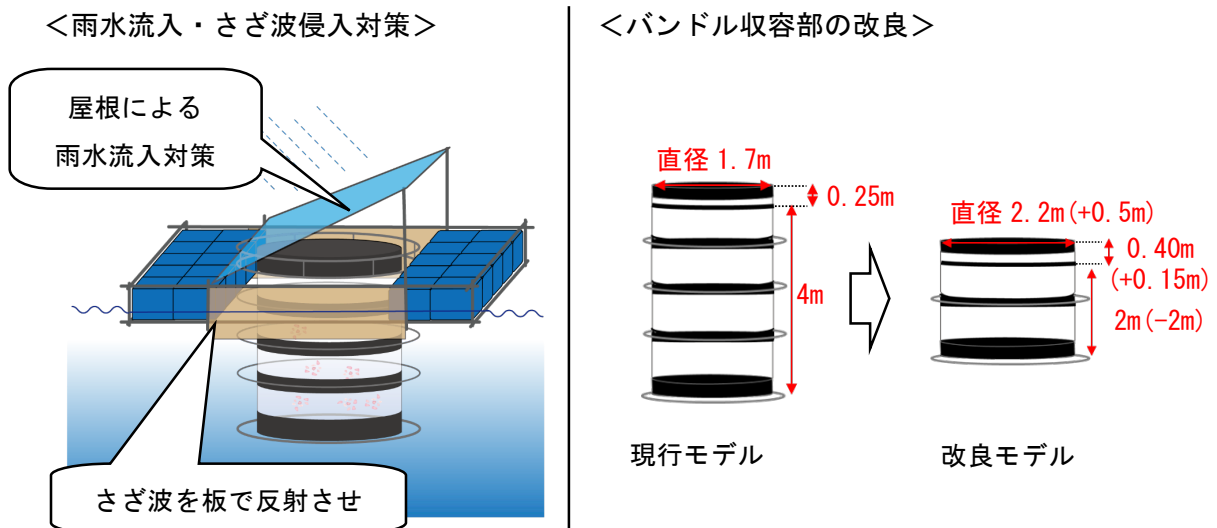


図-I.2.2 対応策

2.2 実証実験（令和4年5月）

2.2.1 実証実験の概要

実証実験は図-I.2.3に示す石垣島浦底湾にて行い、実証期間は表-I.2.2に示す日程で実施した。

- 幼生収集装置は計 4 基設置し、うち 1 基は沖ノ鳥島礁内を想定した D.L.-4.5m の地点に改良モデルを設置した。
- ケース 1、2、3：課題①の雨水流入対策として屋根を設置
- ケース 1、2：課題②のさざ波侵入対策として板状構造物を設置
- ケース 4: 課題③,④,⑥に対応するためにバンドル収容部を設計変更 (改良モデル)
- 総計 2000 万程度の幼生を収集するべく、各ケースに親サンゴを 100~150 群体程度を配置した。

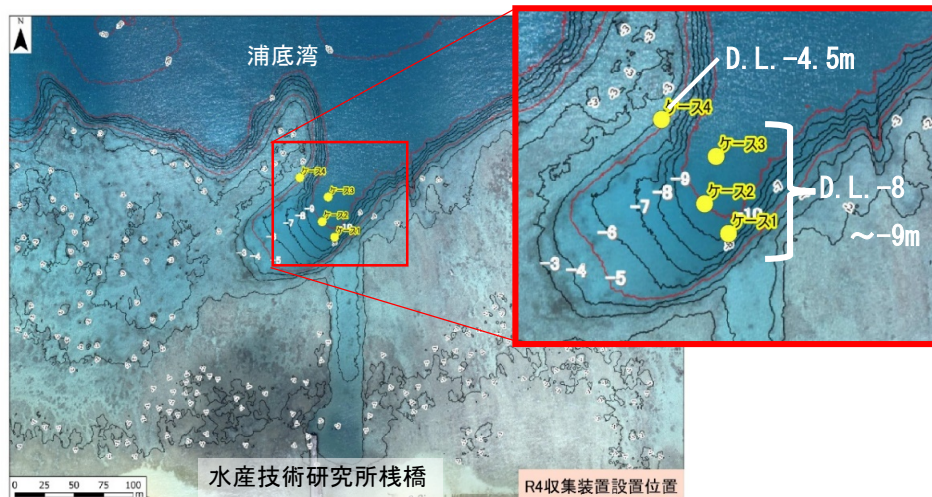


図- I . 2 . 3 収集装置設置位置図

表- I . 2 . 2 実証実験の日程

実施日	実施内容
5月10・11日	収集装置4基を設置
5月13日	雨除け、さざ波侵入対策用の板を設置 産卵確認
5月14日	親サンゴ産卵、幼生収集
5月15日	—
5月16日	装置点検 (2日令)
5月17日	3日令サンプリング
5月18日	4日令サンプリング 連続移動式放流試験の実施

表-I.2.3 各ケースの推定産卵量および対策

ケース	バンドル 収容部	親サンゴ 群体	推定 産卵量※	対策	備考 (収集装置 名)
ケース1	現行 モデル	120 群体	約 570 万 個体	雨水流入対策、さざ波対策 (課題①、②)	C1
ケース2	現行 モデル	113 群体	約 530 万 個体	雨水流入対策、さざ波対策 (課題①、②)	C2
ケース3	現行 モデル	148 群体	約 700 万 個体	雨水流入対策 (課題①)	C4
ケース4	改良 モデル	100 群体	約 470 万 個体	バンドル収容部の大型化、 高さの縮小、底部生地の変 更 (課題③～⑤)	C5

※1 群体あたり 6.8 万個体の幼生を産卵かつ全群体数の 7 割産卵すると仮定して算出



図-I.2.4 幼生収集装置と親サンゴの配置状況

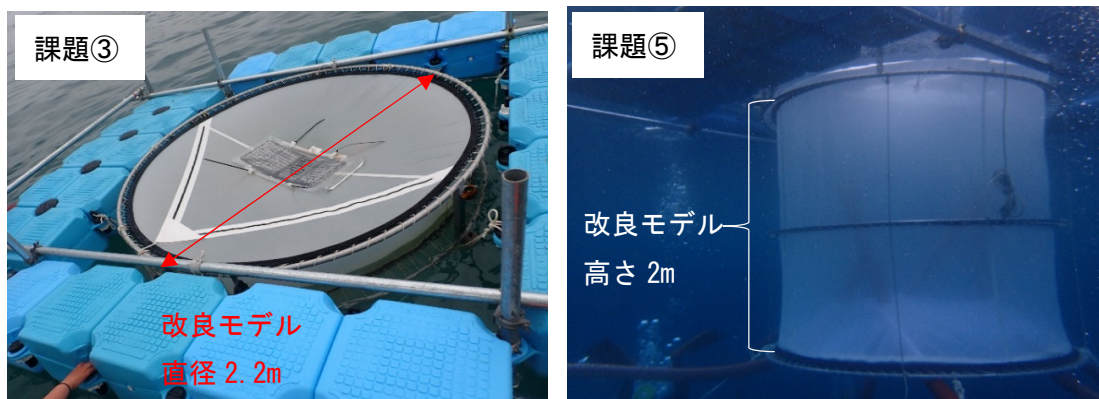


図-I.2.5 対策状況

2.2.2 実証実験結果

2.2.2.1 実験期間中の海象

- 産卵から幼生保持期間中（5月14日～18日）の最大瞬間風速は13.2m/sであり、海上では20m/s以上の北風が吹いていた。
- 幼生収集の翌日（5月15日）以降、前線の影響で強い北風が吹き続けた。
- 産卵1日目から2日目（5月15日～16日）にかけて石垣島沿岸に北北東から3.5～4mの高波浪が発生しており、収集装置を設置した箇所でも北北東からの高波浪は発生していた。

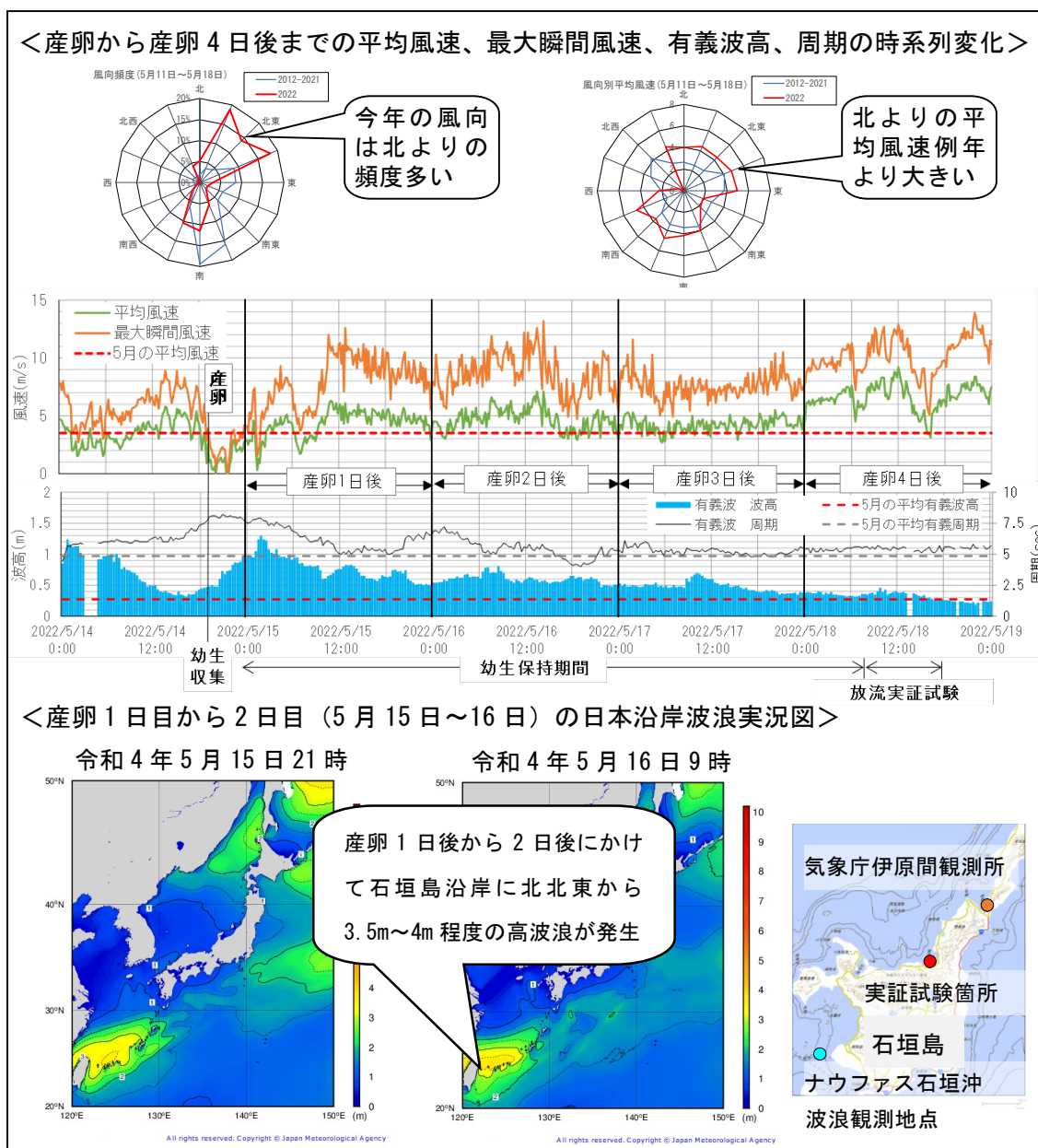


図-I.2.6 産卵から産卵4日後までの海象

2.2.2.2 幼生収集・保持状況

(1) 幼生収集・保持結果

各ケースで産卵が確認され、幼生を収集した。ケース 2、3 については、幼生減少リスクを回避するため、産卵終了後 3 時間以内に収集装置のバンドルをプランクトンネットで採取し、陸上水槽へ移送、保管した（図・I.2.7 参照）。

- 産卵した群体数は 50%～90%であり、幼生は各ケースで概ね 600 万個体程度収集できたと推定され、推定では概ね計画通りの幼生を収集できた。
- ケース 3 は 2 日令の時点で装置が破損し、0 個体となった。
- ケース 1、4 では、3 日令の幼生数が推定産卵量から大きく減少していた。
- ケース 1、2 では、3 日令から 4 日令にかけて生残率が 26～36%減少した。
- ケース 4 で幼生数が減少した要因は、幼生流出防止のために取付けているゴム蓋外れたことである（図・I.2.8 参照）。
- ケース 1、2 の生残率の低下は、装置内の溶存酸素量の低下がない（図・I.2.9 参照）ことから、ゴム蓋の隙間より漏れ出たことによって生じたものと考えられる。

表-I.2.4 各ケースでの推定産卵量および幼生数

ケース	親サンゴ 群体数	産卵した群体数 (割合) ^{※1}	推定 産卵量 ^{※2}	収集装置内の幼生数		3 日令から 4 日令の生 残率
				3 日令	4 日令	
ケース 1	120 群体	約 60 群体 (約 50%)	約 400 万個 体	100 万個体	26 万個体	26%
ケース 2	113 群体	約 100 群体 (約 90%)	約 680 万個 体	70 万個体	25 万個体	36%
ケース 3	148 群体	約 90 群体 (約 60%)	約 610 万個 体	0 個体 ^{※3}	—	—
ケース 4	100 群体	約 90 群体 (約 50%)	約 610 万個 体	1.5 万個体	— ^{※4}	—

※1 産卵した群体数は、産卵前に目視確認したバンドルセットの割合より算出

※2 1 群体あたり 6.8 万個体の幼生を産卵すると仮定して算出

※3 装置破損により幼生流出

※4 ケース 4 は 3 日令で 1.5 万個体であったことから、4 日令は計数していない

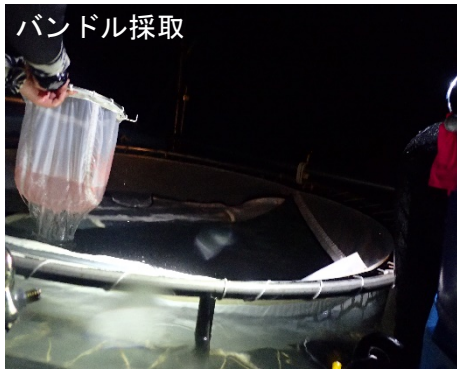


図-I.2.7 産卵直後のバンドルの採取及び陸上水槽での保管状況



図-I.2.8 幼生流出防止用のゴム蓋が外れた状況

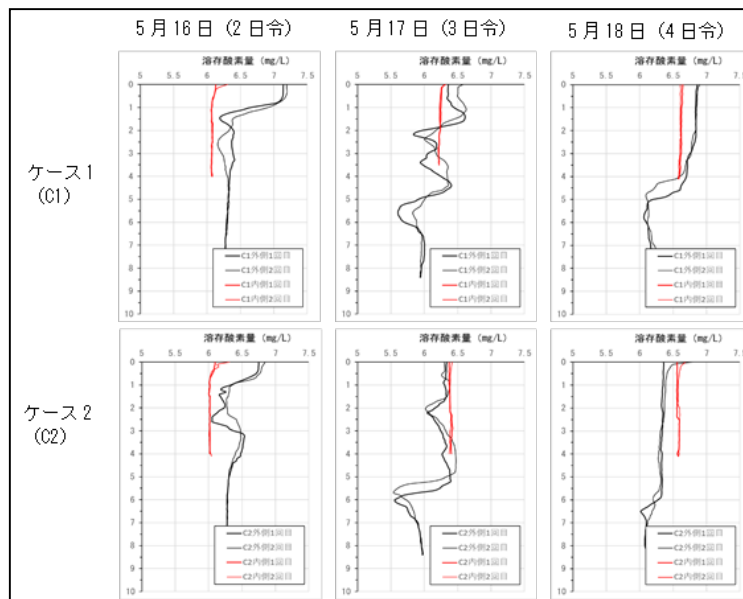


図-I.2.9 装置内外の溶存酸素量 (ケース1、2: 5月16日~5月18日)

(2) 陸上移送した幼生について

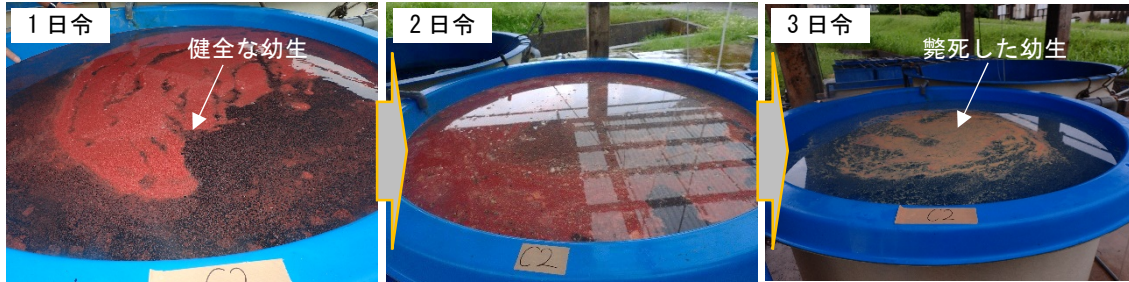
3日令の時点で幼生数が2~5万個体であったため、4日令ではサンプリングを行わなかった。

- 1日令から徐々に幼生が斃死し、3日令の時点でほとんどが斃死した（図-I.2.10参照）。
- 産卵3日後（5月17日）に水槽内の水温を測定したところ、現地水温より2~3℃低かった（図-I.2.11参照）ため、水槽内の水温低下が幼生の大量斃死の要因と考えられる。
- 水温の低下は、産卵2日後から3日後にかけて石垣島の天気が平年より5℃程度低かったために（図-I.2.12参照）、外気温により水槽内の海水が冷却されたことで生じたと考えられる。

表-I.2.5 陸上水槽内の幼生数および規格

ケース	陸上水槽内の幼生数		幼生保管水槽の規格
	3日令	4日令	
ケース2	5万個体	-	500L水槽
ケース3	2万個体	-	1,000L FRP水槽

<ケース2>



<ケース3>



図-I.2.10 1日令から3日令の様子（ケース2、3）

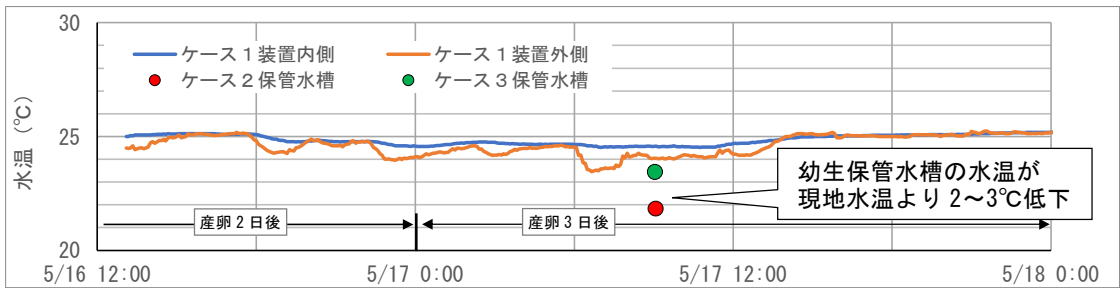


図-I.2.11 現地収集装置（ケース1）及び幼生保管水槽（ケース2、3）内の水温

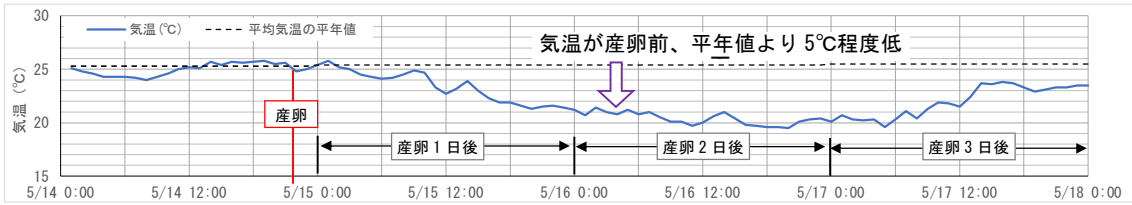


図-I.2.12 伊原間気象観測所における気温の経時変化（5月14日～17日）

2.2.2.3 収集装置の改良結果

課題①：大雨による幼生保持時の淡水流入による幼生の斃死

- 収集装置上部から約 1.5m の高さに雨除け用の屋根を設置した。屋根は設置期間中（5月12日～5月18日）外れることはなかった。
- 幼生保持期間中は、5月16日から17日にかけて断続的な降雨がみられたものの、最大で2mm程度の降雨があった。
- 5月16日、17日のケース1、2の装置外の表層で塩分が33程度に低下し、18日に34程度に回復した。16日から18日にかけて装置内の塩分の変化は装置外に比べて小さく、雨水流入対策は有効であったと考えられる。
- 雨除け用の屋根は、沖ノ鳥島海域では、暴風雨を伴うスコール発生時には装置にかかる抵抗が大きい。また、設置に約1.5時間の作業時間を要し作業効率が悪いため、沖ノ鳥島海域での展開に向けては、高さが低く簡易的に取り付けられる雨除け対策を検討する必要がある。

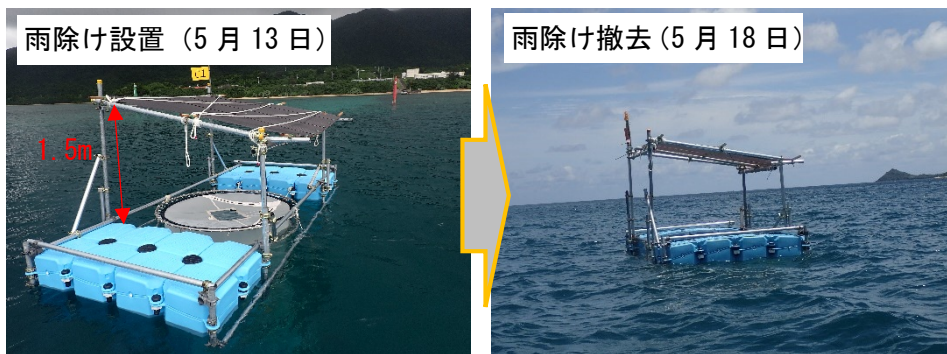


図-I.2.13 雨除け設置から撤去までの様子

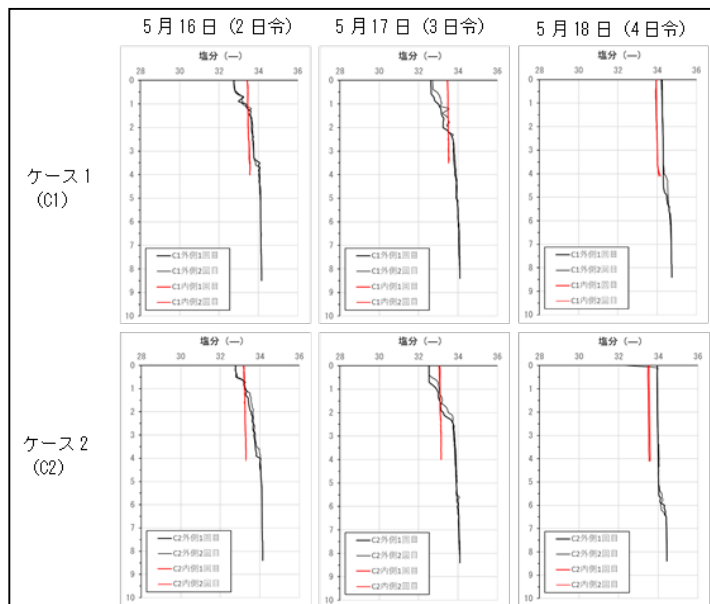


図-I.2.14 収集装置内外の塩分（ケース1、2：5月16日～5月18日）

課題②：荒天時の波浪による収集装置上部側面への幼生の付着・絡まりによる斃死対策

- さざ波侵入対策を施した、ケース 1、2 では目立った幼生の付着や絡まりは確認されなかった。
- 装置内の溶存酸素量は 16 日から 18 日にかけて大きな変化はなかった。
- ケース 1、2 の幼生生残率の低下はゴム蓋によるものである。幼生の斃死および溶存酸素量の著しい低下がみられていないことから、さざ波侵入対策は一定の効果があったと考えられる。
- さざ波侵入対策を行っていないケース 3 では、装置の破損が確認されている（詳細は課題④にて説明）。さざ波侵入対策により、バンドル収容部上部にかかる水圧を軽減した可能性があり、バンドル収容部の破損対策としても効果が見込める。
- さざ波侵入対策である板状構造物は、沖ノ鳥島での取り付けが困難なため、簡易的な取り付け方を検討する必要がある。

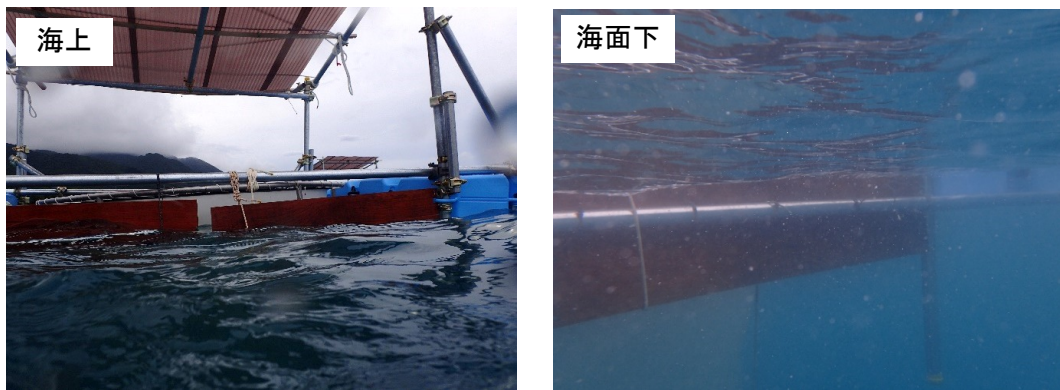


図-I.2.15 さざ波侵入対策

課題③: 令和3年度までの直径1.7mの収集装置の幼生保持限界量に対する大型化、収集幼生数（親サンゴ）の調整

- ケース4では目立ったサンゴ幼生の付着や絡まりは確認されなかったことから、バンドル収容部の直径および上部の高さ変更による悪影響は確認されず、有効であったと考えられる。
- 配置した親サンゴ群体のうち50～90%の群体数が産卵した。推定では群体数の70%であったのに対し、実際の産卵群体数も平均72.5%であることから、親サンゴ群体の調整は有効であったと考えられる。

表-I.2.6 当初および実際の推定産卵量

ケース	親サンゴ 群体数	当初		実際	
		推定産卵群体 数 (割合)	推定産卵量	産卵した群体 数 (割合)	推定 産卵量 ^{※1}
ケース1	120 群体	84 群体 (70%)	570 万個体	約 60 群体 (約 50%)	約 400 万個体
ケース2	113 群体	79 群体 (70%)	530 万個体	約 100 群体 (約 90%)	約 680 万個体
ケース3	148 群体	103 群体 (70%)	700 万個体	約 90 群体 (約 60%)	約 610 万個体
ケース4	100 群体	70 群体 (70%)	470 万個体	約 90 群体 (約 50%)	約 610 万個体
平均割合	—	70%	—	72.5%	—

課題④：水圧による破損可能性に対する生地の補強改良

- ▶バンドル収容部の底部に破損はみられなかったため、生地の変更は有効であったと考えられる。
- ▶ケース3で幼生保持時に、バンドル収容部上部の生地が破けているのが5月16日に確認された。生地は縫い目を境に裂けていた（図-I.2.16参照）。
- ▶図-I.2.6より、5月15日の未明から波高が1.0m、最大瞬間風速20m/sを超えており、15日から16日にかけて北北東の高波浪が確認されている。このため、装置に一定の抵抗がかかり一方向への水圧がかかったことによって破損したと考えられる。
- ▶沖ノ鳥島海域では、暴風を伴うスコールがあることから、同様の破損が起こる可能性があるため、バンドル収容部側面の生地の補強・改良をする必要がある。



図-I.2.16 バンドル収容部の破損

課題⑤：収集（放流）装置の可搬性向上のための対策

- ▶ 運搬の際は、幼生が漏れ出ないように徐々にバンドル収容部内の海水を抜きながらロープを縮めることで、バンドル収容部の高さを短縮し、可搬性を向上した。
- ▶ 今年度の放流試験は、昨年度と異なり収集装置設置地点から近距離であったため、装置の運搬時はバンドル収容部を縮めずに2基運搬した。その結果、2基中1基で運搬時に破損がみられた。今後は、近距離においても運搬時はバンドル収容部を縮めて運搬する必要がある。

課題⑥：沖ノ鳥島礁内で運用可能な装置の改良

- D.L.-4.5m の地点で、バンドル収容部の高さ 2m の装置（ケース 4）を設置した結果、問題なく幼生を収集・保持できたことから、改良モデルは沖ノ鳥島礁内で運用可能と考えられる。
- 産卵待機中、収集ホースの抜けが確認された（図-I.2.17 参照）。これは、高波浪を想定せずにホース長を決定していたために生じたものと考えられる。産卵は大潮期の満潮であることから、満潮時に高波浪が来襲した際もホースが抜けないようにホース長を決定する必要がある。

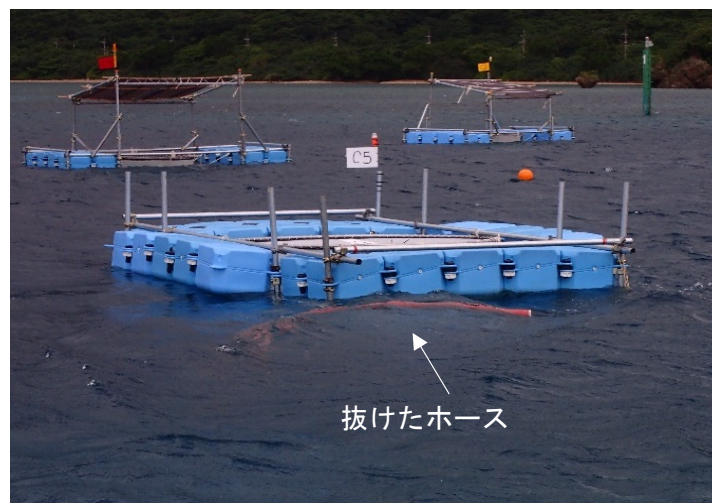


図-I.2.17 ホースの抜けを確認

2.2.2.4 実証実験（令和4年5月）で確認された課題のまとめ

実証実験（令和4年5月）時に確認された課題を表-I.2.7に示す。

令和3年度の課題は解決したものの、例年になく高波浪により、幼生流出防止用ゴム蓋の外れなど幼生を収集・保持するにあたり改善が必要な課題や、雨除けの設置方法など施工性に関する課題が確認された。沖ノ鳥島は風浪、潮流の外力が沖縄沿岸海域よりも大きいことから、今回確認された問題と同様の問題が沖ノ鳥島でも起こる可能性が高いと考えられた。

次年度には沖ノ鳥島にて実証実験を行うことから、少なくとも今年度中に外力に対する課題を改善する必要があるため、改善した収集装置の検証を令和4年11月に実施した。

表-I.2.7 実証実験（令和4年5月）時に確認された課題

項目	目標	課題
1. 幼生収集技術	計画的に幼生を1,000万単位で収集する技術の確立	<p>① 幼生収集ホースの長さ調整</p> <ul style="list-style-type: none"> • 沖縄沿岸域にて例年になく高波浪により、装置に挿入しているホースの抜けが確認されたため、ホースを長くする必要がある。 • ホース長を長くすることにより、干潮時にホースが浮体部分の生地を突き破る恐れがあるため、その防止策が必要である。
2. 幼生保持技術	収集した1,000万単位の幼生を4日間保持する技術の確立	<p>② 雨除け構造の簡易化</p> <ul style="list-style-type: none"> • 沖ノ鳥島での暴風を伴うスコール時には装置にかかる抵抗が大きいため、低い高さの雨除けを検討する必要がある。また、沖ノ鳥島の礁内での作業を考慮すると、小型船で運搬可能で組み立てが容易な構造を検討する必要がある。
		<p>③ 幼生保持時に放流孔からの幼生の漏れ防止</p> <ul style="list-style-type: none"> • 装置底部のゴム蓋が装置の揺動で外れ、幼生の漏洩があったため、蓋が外れない方法を検討する必要がある。
		<p>④ 沖ノ鳥島海域の風、波等の外力に対する構造</p> <ul style="list-style-type: none"> • 沖縄沿岸域にて例年になく高波浪により、装置の浮体部分が破損したため、構造を強化する必要がある。 • さざ波対策として沖縄海域で設置した板状構造物は、沖ノ鳥島での取り付けが困難なため、簡易的な取り付け方を検討する必要がある。

2.3 耐久性実証実験（令和4年11月）

令和4年5月に確認された課題を改良し、11月に耐久性実験を行った。耐久性実験の目的は「沖ノ鳥島で装置を設置する地点の最大波高70cmを想定した収集装置の耐久性を検証すること」である。なお、最大波高は、装置を設置する地点（サンゴ産卵ファーム候補地）の過去21年間のサンゴ産卵期（5～6月）の予測計算結果を用いて算出された波高（図-I.2.18参照）より決定した。

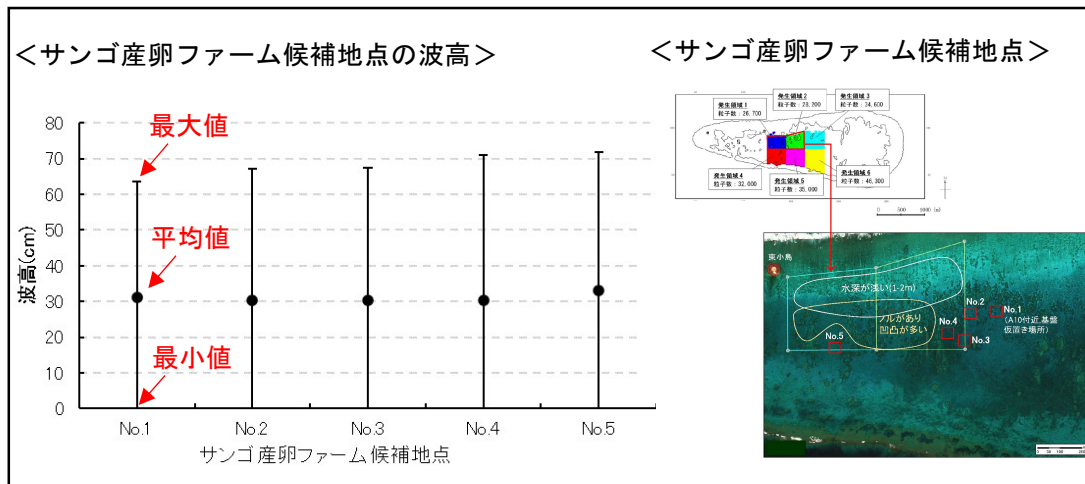


図-I.2.18 サンゴ産卵ファーム候補地の波高

2.3.1 収集装置の再改良

令和4年5月実験時に確認された課題に対する改良案を表-I.2.8に示す。改良案を元に収集装置の再改良を行い、耐久性実験を行った。

表-I.2.8 課題と改良案

課題	改良案
<p>①幼生収集ホースの長さ調整</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 沖縄沿岸域にて例年になく高波浪により、装置に挿入しているホースの抜けが確認されたため、ホースを長くする必要がある ・ ホース長を長くすることにより、干潮時にホースが浮体部分の生地を突き破る恐れがあるため、その防止策が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ サング架台の高さを縮小し水深を0.5m確保する。 ・ 潮位差、満潮時に波浪が来襲した場合を想定したホース長とする。 ・ 突き破り防止のための留め具を取付ける。
<p>③ 雨除け構造の簡易化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 沖ノ鳥島での暴風を伴うスコール時には装置にかかる抵抗が大きいため、低い高さの雨除けを検討する必要がある。また、沖ノ鳥島の礁内での作業を考慮すると、小型船で運搬可能で組み立てが容易な構造を検討する必要がある、 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ビニールシートを装置上部（高さ0cm）に取り付ける。
<p>④ 幼生保持時に放流孔からの幼生の漏れ防止</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 装置底部のゴム蓋が装置の揺動で外れ、幼生の漏洩があったため、蓋が外れない方法を検討する必要がある。 	<p>ネジ式の蓋に変更する。</p>
<p>③沖ノ鳥島海域の風、波等の外力に対する構造</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 沖縄沿岸域にて例年になく高波浪により、装置の浮体部分が破損したため、構造を強化する必要がある。 ・ さざ波対策として沖縄海域で設置した板状構造物は、沖ノ鳥島での取り付けが困難なため、簡易的な取り付け方を検討する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 浮体部の生地よりも2.6倍高い強度の「耐波膜」を浮体部全面に取り付ける。 ・ 浮体部分がねじれて破損しないようパイプ枠を設置する。

2.3.2 実験概要

実験は沖縄県石垣島の浦底湾にて行い、沖ノ鳥島での装置設置地点と同様の条件（最大波高 70cm、D.L.-4.5m）に近い地点を選定し、収集装置を展開した。

収集装置の全景を図-I.2.8 に、実験・点検日程を表-I.2.9 に、耐久性実証実験位置図を図-I.2.20 に示す。

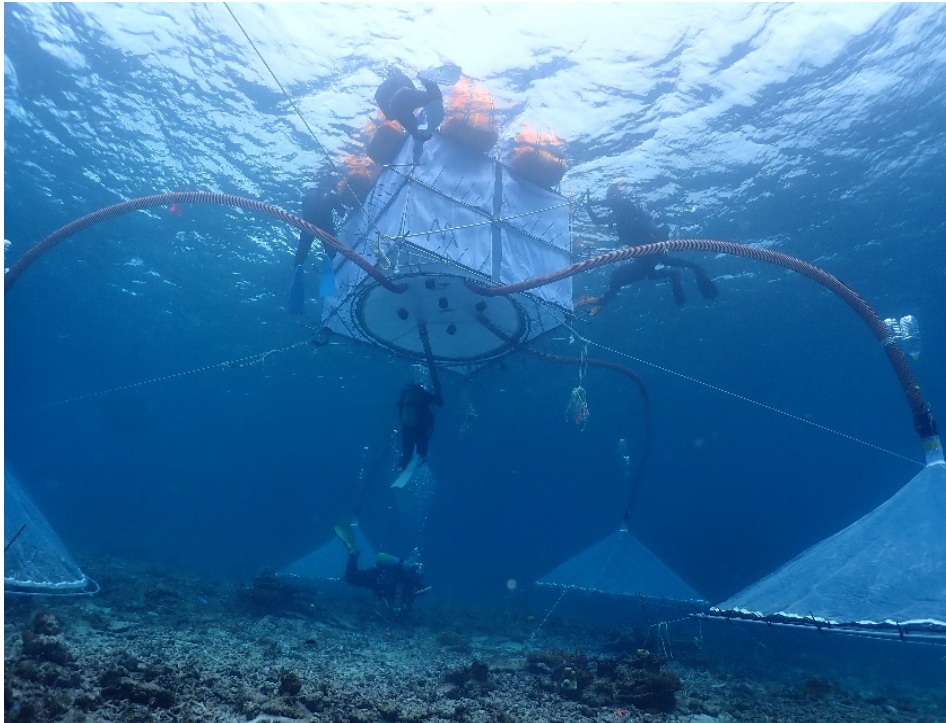


図-I.2.19 収集装置の全景

表-I.2.9 実験・点検日程

作業項目	日程
設置 1 日目	令和 4 年 11 月 17 日
設置 2 日目・点検① 流速計・波高計の設置	令和 4 年 11 月 18 日
点検②	令和 4 年 11 月 20 日
点検③	令和 4 年 11 月 25 日
装置の破損状況等を最終確認	令和 4 年 11 月 27 日
装置撤去 流速計・波高計の撤去	令和 4 年 11 月 28 日

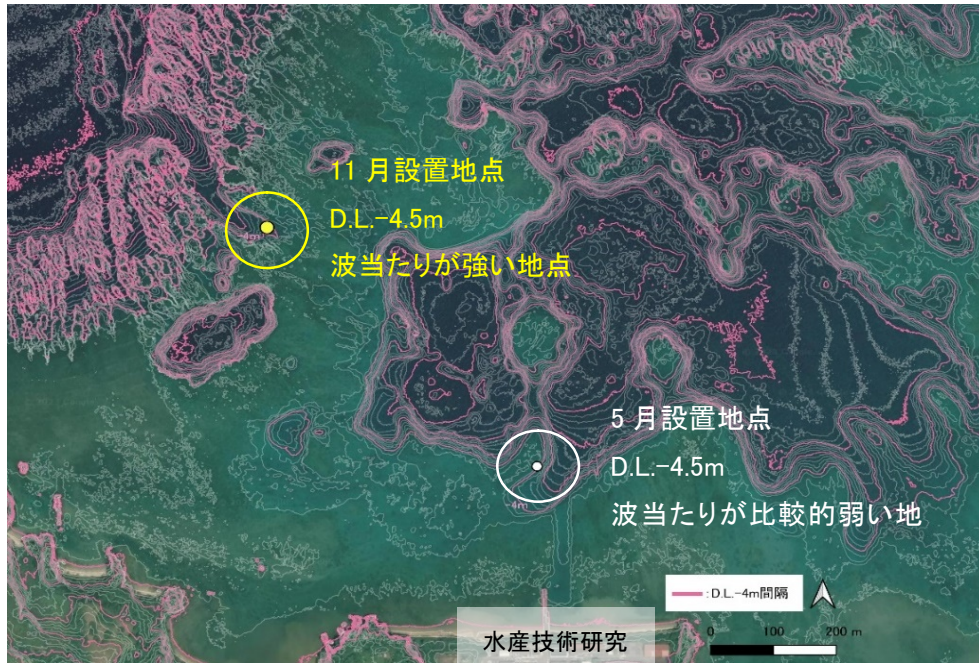


図- I . 2. 20 耐久性実証実験位置図

2.3.3 波浪観測結果

観測期間中（令和4年11月17日から11月28日）の最大波高は90.4cm、次いで80.9cmであった。本実験の目的は、最大波高70cmを想定した収集装置の耐久性を確認することであり、同条件の波浪条件で実施できたと考えられる。

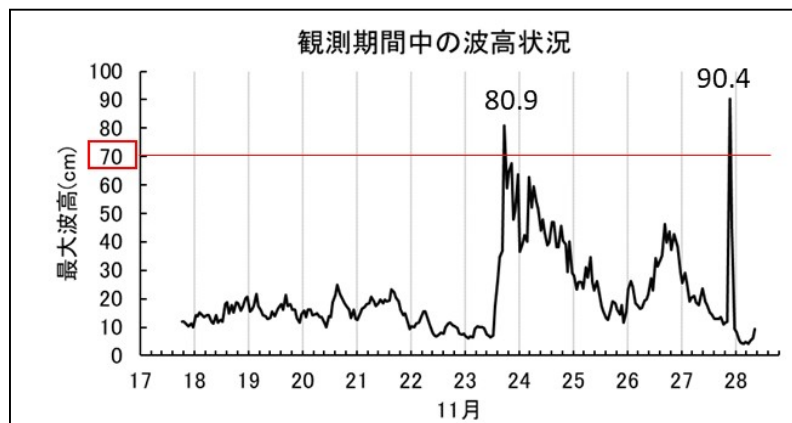


図- I . 2. 21 観測期間中の波高

2.3.4 実証結果

表-I.2.8にある課題に沿って、点検および装置撤去時、撤去後に収集装置の破損状況等を確認した。各課題に対する改良結果を以下に示す。

課題①：幼生収集ホースの長さ調整

●ホース長の延長

- 令和4年5月実験時のホースの抜けに対応するため、高さ0.5mあるサンゴ架台を高さ0m（直置き架台）にし、スカート部の高さを1.5mから1.0mに縮小して水深を確保した。
- 潮位差2m*かつ満潮時に波浪1.5mが襲来した場合でも、ホースが抜けない長さ（6.9m）を算出した。

※収集装置を設置する5～6月の沖ノ鳥島の潮位差は1.56mである。

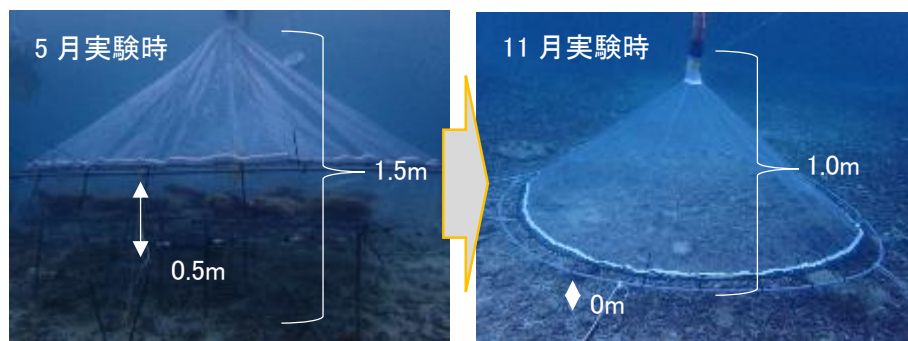


図-I.2.22 スカート部の高さの縮小状況

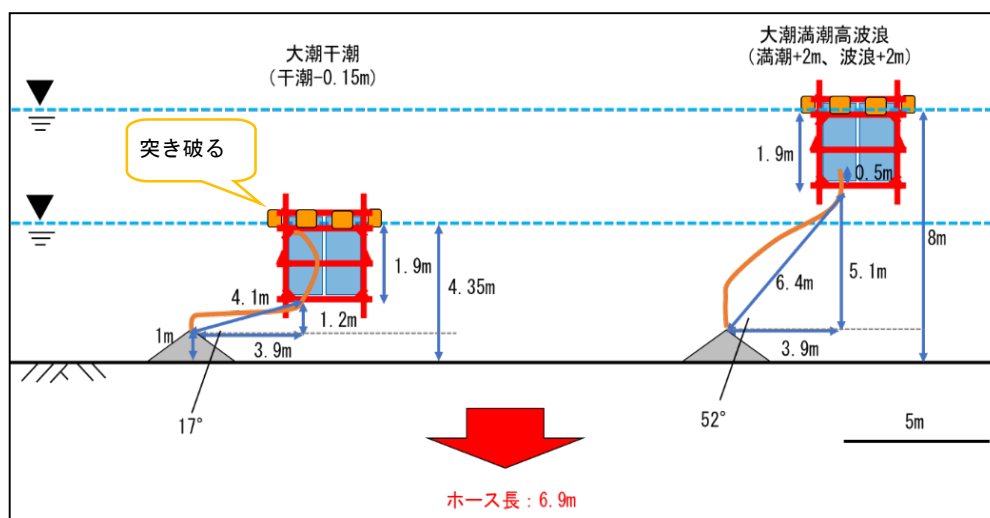


図-I.2.23 ホース長の検討図

●突き破り防止策

- ホース長を 6.9m に変更したことにより、干潮時にホースがバンドル収容部の生地を突き破る恐れがあった(図-I.2.23 エラー! 参照元が見つかりません。参照)ため、ホース先端から 1.4m (装置の 7 割程度が挿入されている長さ) の位置にストッパーの役割となる留め具を取り付けた(図-I.2.24 参照)。



図-I.2.24 ホース突き出し防止策

●結果

- 実験期間中、干潮と満潮の潮位差が 201cm であった。
- 装置撤去時に確認したところ、ホースの抜け、突き出しによる収集装置の破損はみられなかった。

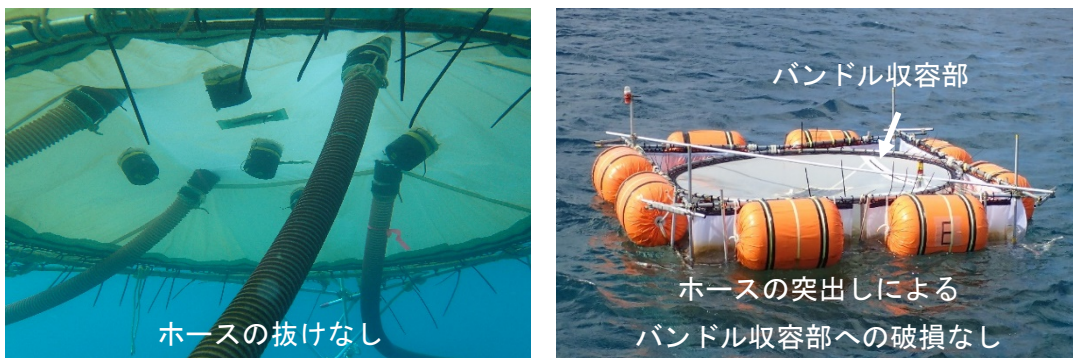


図-I.2.25 撤去時のホースの抜け、突き出し状況

課題②：雨除け構造の簡易化

●雨除け構造の簡易化

- 令和4年5月実験時の構造は、組立に係る労力（設置1.5時間）が大きく、高さが装置上面から1.5m程度あり、沖ノ鳥島での暴風を伴うスコール時には装置にかかる抵抗が大きいことが想定された。
- 簡易化として、ビニールシートを装置上部（高さ0m）に展開し取り付けた

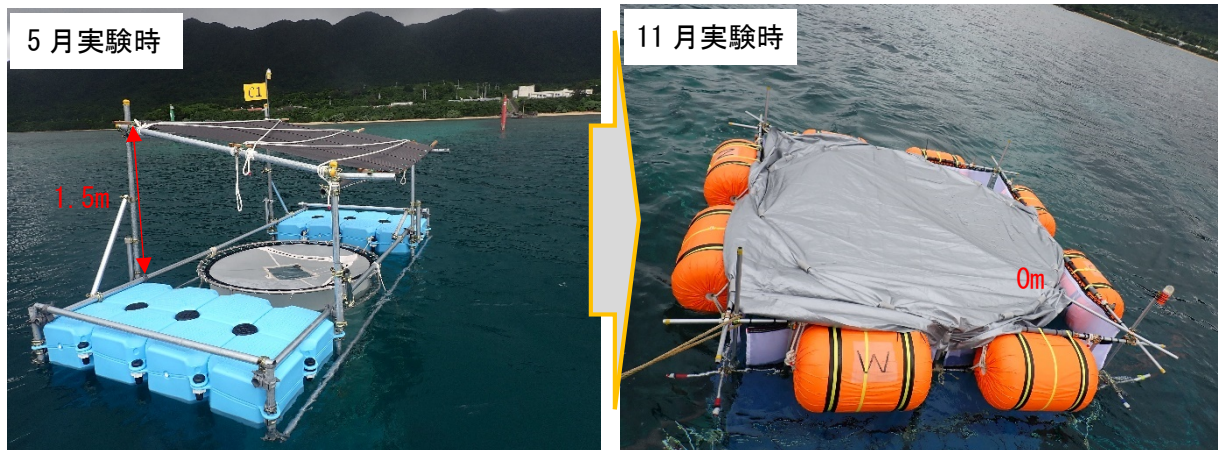


図-I.2.26 雨除け構造の簡易化

●結果

- 設置労力は1.5時間から10分に短縮し、労力が軽減された。
- 装置高さ1.5mから0mにしたことで、装置にかかる抵抗は低減したと期待できる。
- 設置期間中に雨除けの一部が外れたため、取り付け方を強固にする必要がある。



設置時

点検②（設置3日後）

点検③（設置8日後）

図-I.2.27 設置時から点検③までの状況

課題③：幼生保持時に放流孔からの幼生の漏れ防止

●幼生流出防止蓋の改良

- 幼生流出防止用のゴム蓋が装置の揺動で外れ、幼生の漏洩があった。
- 揺動がおきても外れにくいネジ式の蓋に変更した。



図-I.2.28 幼生流出防止蓋の改良

●結果

- 蓋の外れはなく、視覚的にわかるように工夫した紐の緩みもないことから、ネジ式蓋への変更が有効であったことを確認した。

課題④：沖ノ鳥島海域の風、波等の外力に対する構造

●バンドル収容部の構造強化

- 令和4年5月実験時に高波浪により、バンドル収容部上部の生地が破損した。破損の原因は、一方向へ水圧がかかったことによるものと考えられる。
- 破損対策として、バンドル収容部の構造強化を2つ行った。
 1. バンドル収容部の生地よりも、2.6倍強度が高い生地で作成した「耐波膜」をバンドル収容部全面に取り付け、浮体部分にかかる抵抗を軽減させた。
 2. バンドル収容部がねじれて破損しないよう、パイプ枠を設置し、バンドル収容部を固定した。

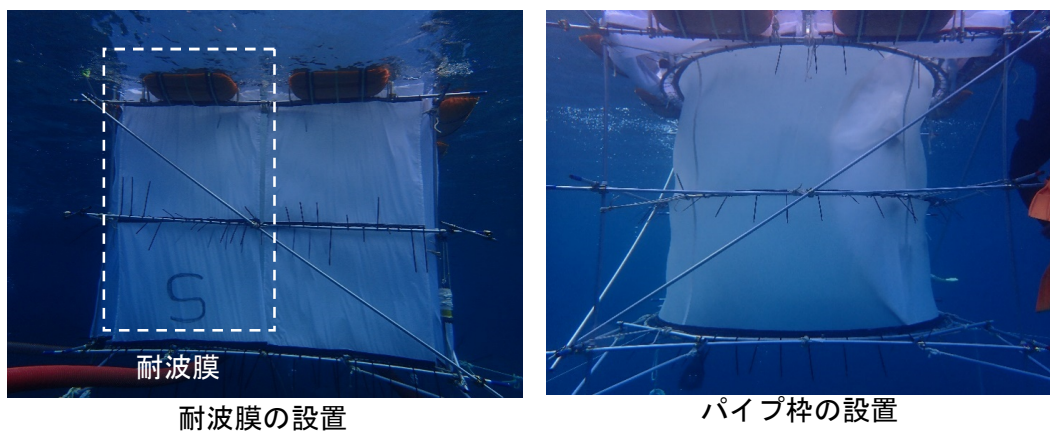


図-I.2.29 バンドル収容部の構造強化

●さざ波対策の簡易化

- さざ波対策として令和4年5月に設置した板状構造物の簡易的な取り付け方を検討した。
- 板状構造物の代替として、バンドル収容部上部にも耐波膜を取り付け、さざ波侵入対策とした。

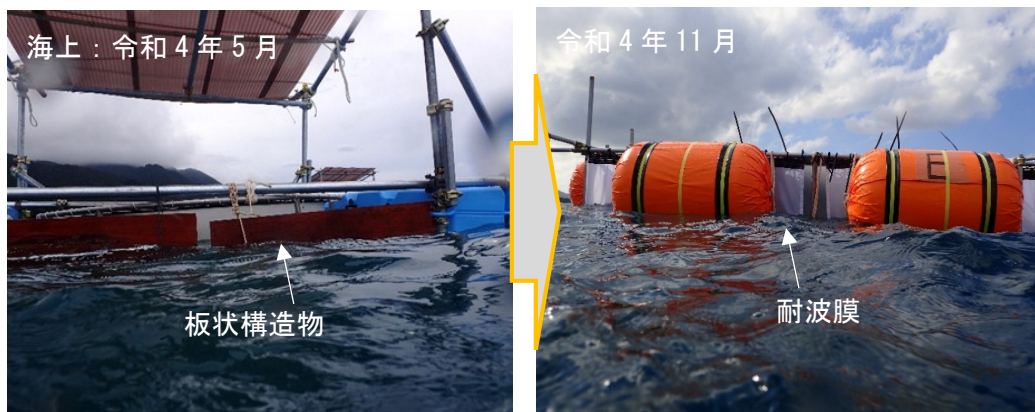


図-I.2.30 さざ波侵入対策の簡易化

●結果

- バンドル収容部に破損やほつれが確認されなかったため、耐波膜やパイプ枠による構造強化が確認できた。
- 耐波膜にもほつれは確認されなかったため、耐久性を有すると考えられる。

2.4 まとめ

一部工夫が必要なものの、課題は解決できた。以上から、沖ノ鳥島での実証試験に耐えられる強度を有することが確認できた。耐久性実験で用いた収集装置を次年度、沖ノ鳥島海礁内で設置する。

表-I.2.10 耐久性実験の結果まとめ

課題	改良点	実証結果
①幼生収集ホースの長さ調整	<ul style="list-style-type: none"> サンゴ架台の高さを縮小し水深を0.5m 確保した。 潮位差、満潮時に波浪が来襲した場合を想定したホース長とした。 突き破り防止のための留め具を取付けた。 	ホースの外れもなく生地の突き破りもなかった。
②雨除け構造の簡易化	<ul style="list-style-type: none"> ビニールシートを装置上部（高さ0cm）に取り付けた。 	労力軽減かつ低い高さの雨除けを設置できた。 ※雨除けが外れない工夫が必要。
③幼生保持時に放流孔からの幼生の漏れ防止	<ul style="list-style-type: none"> ネジ式の蓋に変更した。 	蓋の外れはなかった。
④沖ノ鳥島海域の風、波等の外力に対する構造	<ul style="list-style-type: none"> 浮体部の生地よりも2.6倍高い強度の「耐波膜」を浮体部全面に取り付けた。 浮体部分がねじれて破損しないようパイプ枠を設置した。 	装置の破損はなく、構造強化できた。 耐波膜は、さざ波対策の代替として期待できる。

3. 沖ノ鳥島での実証に必要となるサンゴの飼育

3.1 はじめに

本事業では、令和4年度までに、沖縄県石垣島の崎枝湾および浦底湾において、幼生供給基盤に設置した親サンゴより得られた幼生を放流する手法の開発を行ってきた。令和5年度からは、沖縄沿岸海域で開発した幼生放流手法を沖ノ鳥島にて応用する予定である。本技術開発では、この試験に必要となる親サンゴを供給するために、久米島のサンゴ増殖研究所にて有性生殖法により種苗生産したサンゴを飼育した。

3.2 稚サンゴ飼育

飼育の対象種は、幼生放流試験に用いた種と同じである、沖ノ鳥島海域に生息するウスエダミドリイシ (*Acropora tenuis*) であった。昨年度と同様に、沖縄県久米島に所在する水産土木建設技術センター・サンゴ増殖研究所にて稚サンゴの飼育を行った。稚サンゴの飼育は、基本的に「改訂 有性生殖によるサンゴ増殖の手引き. 水産庁漁港漁場整備部. 平成31年3月」に示された方法に従って実施した。また、サンゴ増殖研究所では、海洋深層水にて冷却した表層海水を使用することにより水温の調節が可能であり、実海域において高水温が発生した場合でも適切な水温でサンゴを飼育することが可能であった。

3.3 稚サンゴ飼育結果

2016年～2021年に種苗生産した稚サンゴの生残群体数を表-IV.1.3.1に示す。今年度の飼育目標数は500群体であったが、12月の時点で550群体が生残しており順調に飼育することができた。また、2016年産および2018年産の群体を除いて高水温暴露にて選抜済みであるが、高水温選抜のサンゴも十分に水槽内の環境で飼育可能であることが分かった。これらのサンゴは、沖ノ鳥島に移設した後も高水温海域で生残するとともに、高水温耐性を持った幼生を沖ノ鳥島海域内に播種することが期待される。

表-IV.1.3.1 稚サンゴの生残群体数

生産年	高水温暴露年 (年齢)	高水温暴露選抜群体数		2022年4月	2022年7月	2022年10月	2022年12月
		暴露前	暴露直後生残	生残数	生残数	生残数	生残数
ウスエダミドリイシ							
2016	未実施	-	-	23	23	23	23
2017	2021 (4歳齢)	17	4	4	3	3	3
2018	未実施	-	-	94	87	87	85
2019	2019 (0歳齢)	672	154	63	63	58	58
2019	2021 (2歳齢)	457	284	157	155	154	154
2020	2020 (0歳齢)	2,095	235	152	152	152	152
2021	2021 (0歳齢)	1,359	132	80	78	78	75
合計		4,600	809	573	561	555	550

4. 沖ノ鳥島への長距離輸送

4.1 はじめに

沖ノ鳥島での幼生放流実証試験に用いるために久米島のサンゴ増殖研究所でサンゴを飼育しているが、試験実施のために沖ノ鳥島へ長距離輸送する必要がある。本技術開発では、効率的にサンゴを輸送する方法を検討するとともに、輸送のストレスの産卵への影響を調べた。

4.2 稚サンゴ輸送試験

試験に用いたサンゴ群体は、幼生放流試験に用いる種と同じである沖ノ鳥島海域に生息するウスエダミドリイシ (*Acropora tenuis*) で、沖ノ鳥島産親サンゴ由来の卵と精子を用いて 2019 年に種苗生産したものであった。

(1) 輸送方法の検討

本年度の技術開発では、輸送の効率化を図るため、海水に浸漬せず、空中に出した状態での輸送（ドライ法）の可能性を検討した。試験は、久米島のサンゴ増殖研究所で実施した。

試験方法および結果を図-I.4.1 および表-I.4.1 に示す。いずれの試験区においても、試験開始 2 日後から異臭がし始め、5 日後に生残していた群体はいなかった。このことから、ドライ法による沖ノ鳥島への輸送は難しく、従来通り浸漬法にて輸送実施すべきであると考えられる。



図-I.4.1 輸送方法試験の実施状況

表- I .4.1 輸送試験の方法および結果

試験区	梱包	酸素	気温	海水浸漬	使用群体数	生残率
試験区1	<ul style="list-style-type: none"> ・湿らせたウレタン スポンジで梱包 ・ビニール袋に密閉 ・途中開封なし 	<ul style="list-style-type: none"> ・初日の梱包時にビニール袋内に酸素を充填 	20°C	なし	3	0%
試験区2			25°C		10	0%
試験区3	<ul style="list-style-type: none"> ・湿らせたウレタン スポンジで梱包 ・ビニール袋に密閉 ・毎日開封 	<ul style="list-style-type: none"> ・初日の梱包時にビニール袋内に酸素を充填 ・毎日、酸素充填 	25°C	なし	10	0%
試験区4				毎日10分間海水に浸漬	3	0%

(2) 沖ノ鳥島へのサンゴ輸送

1) 方法

沖ノ鳥島での幼生放流実証試験のため、令和4～7年度の間、370群体の親サンゴを久米島の施設から沖ノ鳥島へ輸送する計画である。今年度は、サンゴ増殖研究所にて飼育されているサンゴの20群体（直径10cm程度）を沖ノ鳥島へ長距離輸送し、海域に設置してあるサンゴ増殖礁へ移植した。輸送中の主な飼育条件は以下の通りであった。

- ・循環用ポンプを1つの水槽（1トン）に2個設置して常時稼働し水流を発生
- ・水槽内の光量を適正に保つために遮光ネットを設置
- ・水温上昇を抑制する対策として水槽に散水を実施
- ・1日に3回（9時、15時、21時）の海水交換(1/3～1/2の量)を実施

また、輸送のストレスがサンゴの産卵に影響を及ぼさないことを確認しておく必要があることから、上記の20群体に加えて、直径15～20cmの抱卵している5群体を沖ノ鳥島へ輸送したあと、久米島に持ち帰り水槽内で産卵の有無を確認した。

2) 結果および考察

サンゴ輸送および移植・移設状況を図-I.4.2に示す。2022年5月4日に久米島の水槽から調査船の水槽へサンゴを移動させ、5月8日に沖ノ鳥島の海域のサンゴ増殖礁へ移植した。5月13日に親サンゴをサンゴ増殖礁から回収した後、再び調査船の水槽にて久米島へ運搬し、5月16日に久米島の水槽へ再収容した。輸送および移植・移設後において、サンゴの病気や斃死は発生しなかった。このため、今回の輸送方法は適切であったと考えられ、次年度以降も同様な方法で輸送を行う予定である。

久米島へ持ち帰った親サンゴについては、久米島への帰還時に5群体とも抱卵しており、

うち2群体の産卵が5月31日に観察された。しかし、残りの3群体については産卵が見られず、7月4日の肉眼および顕微鏡下での観察ではポリプ内に卵は見られなかった。再吸収等により卵が消失したと考えられる。3群体が産卵しなかった理由として、久米島帰還時に水温が急に下がったこと(図-I.4.3)、また久米島の水温が例年より低かったことが考えられる(例年の産卵時期の水温は約26℃であるが、今回は24~25.5℃)。久米島から沖ノ鳥島への片道輸送で水温の低下が無ければ、輸送後に産卵することは可能であると思われる。

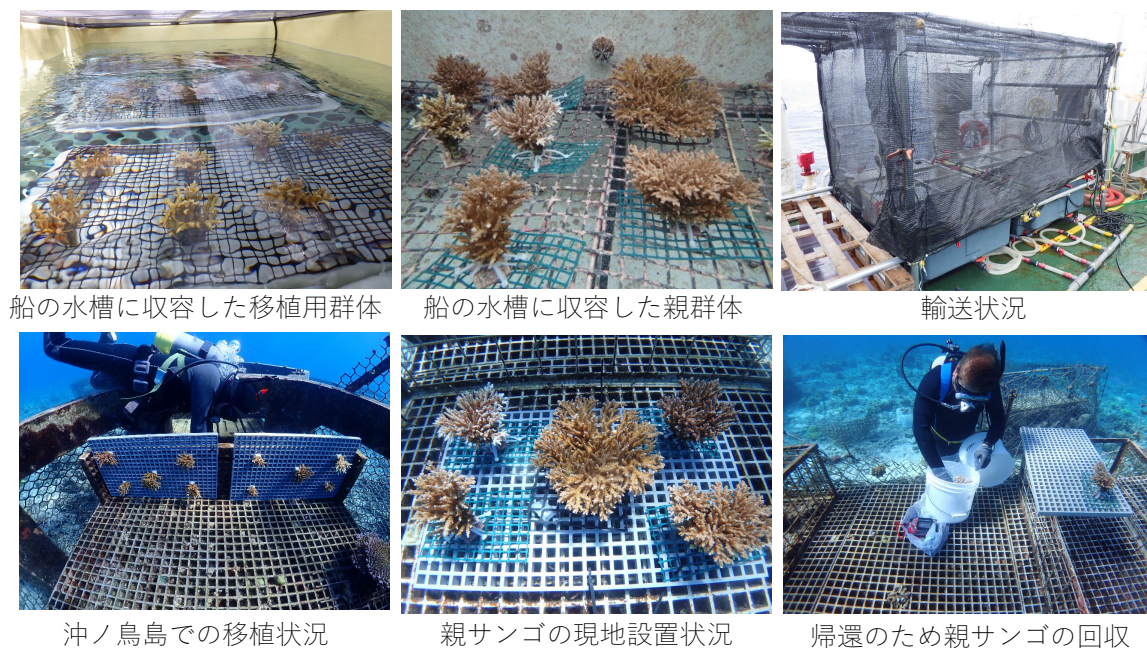


図-I.4.2 サンゴの輸送および移植・設置状況

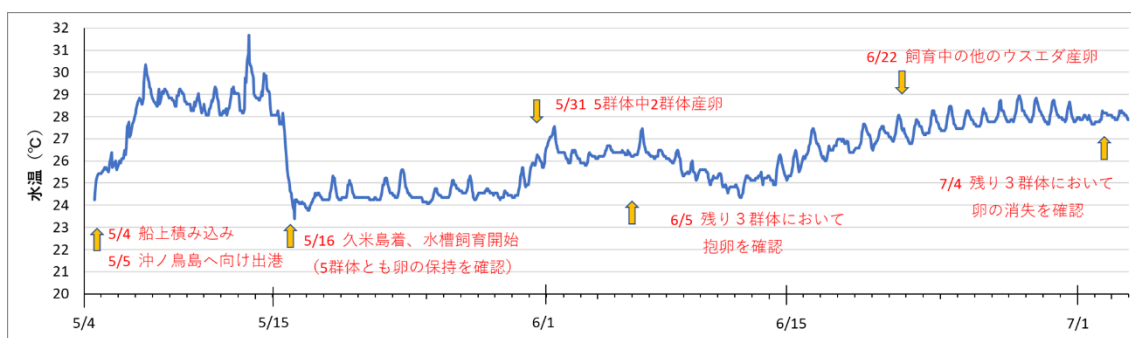


図-I.4.3 輸送中および沖ノ鳥島での飼育期間、久米島帰還後の飼育海水の水温