

Ⅳ-1. サンゴ幼生供給規模拡大技術の開発・実証

目 次

IV-1-1. サンゴ幼生供給規模拡大技術の開発・実証	IV-1-1-1
1. サンゴ幼生供給手法の開発・実証	IV-1-1-1
1.1. はじめに	IV-1-1-1
1.2. 技術開発手法	IV-1-1-1
1.3. 幼生収集タイプの放流試験の実施方法	IV-1-1-3
1.4. 検証方法	IV-1-1-6
1.5. 調査結果	IV-1-1-10
1.6. 沖縄沿岸域における幼生放流実証試験のまとめ	IV-1-1-19
1.7. 令和5年度 沖ノ鳥島幼生放流実証試験の計画	IV-1-1-27
1.8. 次年度のスケジュール（案）	IV-1-1-31
2. 幼生収集装置の改良	IV-1-2-1
2.1. はじめに	IV-1-2-1
2.2. 収集装置の改良	IV-1-2-1
2.2.1. 収集装置の概要	IV-1-2-1
2.2.2. 課題に対する対応策	IV-1-2-2
2.2.3. 課題と対策のまとめ	IV-1-2-5
2.3. 実証実験（令和4年5月）	IV-1-2-6
2.3.1. 実証実験の概要	IV-1-2-6
2.3.2. 実証実験結果	IV-1-2-9
2.4. 耐久性実証実験（令和4年11月）	IV-1-2-24
2.4.1. 収集装置の再改良	IV-1-2-24
2.4.2. 実験概要	IV-1-2-26
2.4.3. 波浪観測結果	IV-1-2-28
2.4.4. 実証結果	IV-1-2-29
2.5. まとめ	IV-1-2-36
3. 沖ノ鳥島での実証に必要なとなるサンゴの飼育	IV-1-3-1
3.1. はじめに	IV-1-3-1
3.2. 稚サンゴ飼育	IV-1-3-1
3.2.1. 対象種	IV-1-3-1
3.2.2. 飼育施設	IV-1-3-1
3.2.3. 飼育方法	IV-1-3-2
3.3. 稚サンゴ飼育結果	IV-1-3-3

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

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-IV.1.1.1 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、平成30年度に図-IV.1.1.2に示すとおり2つのタイプについて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。

「幼生収集タイプ」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」の可能性検討のため、面的拡散シミュレーションを行ったところ、直接放流によって、ある湾内の一定のエリアに事業目標である100個体/m²の幼生を着底させるには、親サンゴの必要数が幼生収集タイプの10倍以上の規模と多く

なること、供給エリアも数 km 四方となると推測され、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。

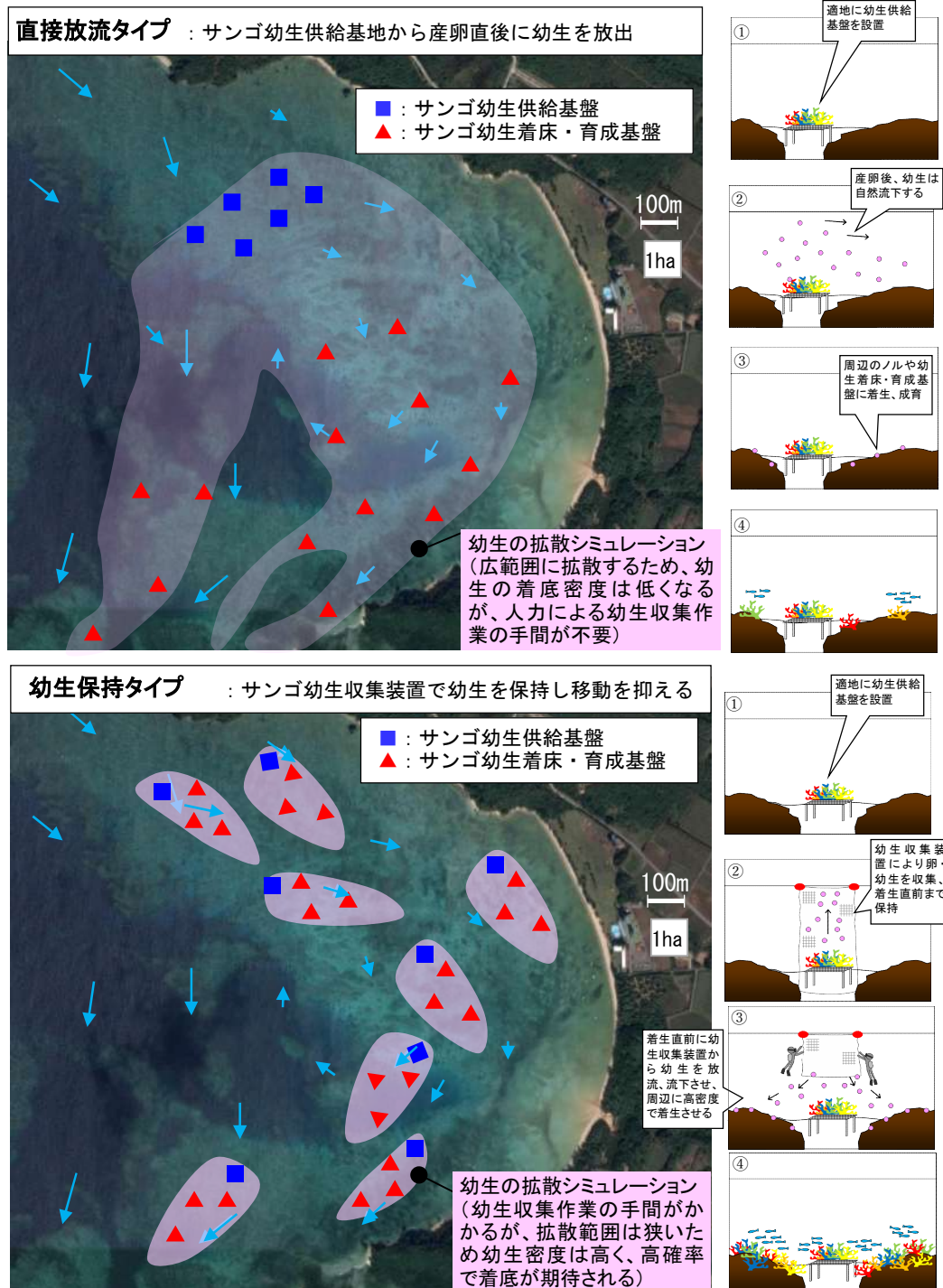


図-IV. 1. 1. 2 サンゴの幼生供給力を高める技術の実証手法(2 タイプ)

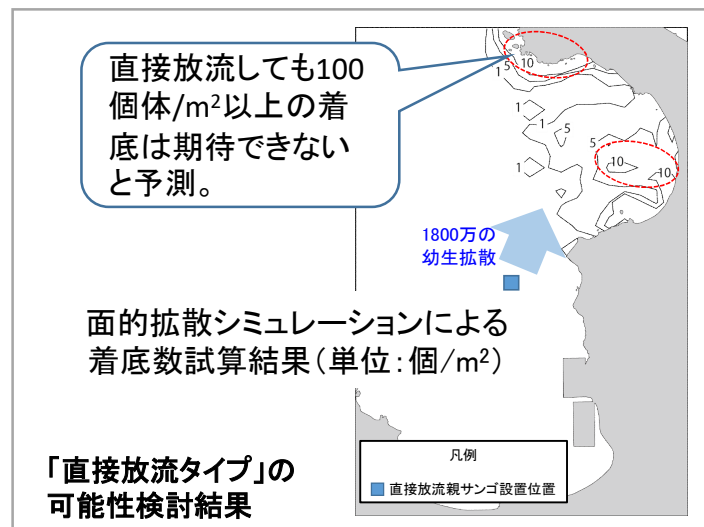


図-IV.1.1.3 「直接放流タイプ」の面的シミュレーション結果
(1ヵ所の供給場所から放流するケース)

1.3. 幼生収集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、幼生収集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。試験の概要を表-IV.1.1.1に示す。

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。

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。

表-IV. 1. 1. 1 既往実証試験の結果概要

年度	放流方法	放流量	放流高	拡散範囲	結果概要
H30	固定放流	約 350 万個体	1m	188 m ²	放流直下で幼生着底が密集して確認され、 <u>広範囲への着底は確認できなかった。</u>
R1	固定放流	約 200 万個体	3m	135 m ²	放流直下で幼生着底が密集して確認されることはなかったが、幼生の着底範囲は、前年度と大きな変化なく、幼生着底量と放流条件との関係が十分に把握できなかった。
		約 19 万個体		30 m ²	
R2	断続移動式放流	約 960 万個体	1.3m	1,129 m ²	比較的流れの緩やかなリーフ内において、断続的移動放流を行う際には、放流高さ 1.5m 程度が効率的であると考えられた。
			1.5m	896 m ²	
	連続移動式放流	約 1,000 万個体	0.25m	2,000 m ²	断続式移動放流よりも、短時間で広範囲に放流することが可能であることを確認できた。 ただし放流量の管理、収集装置補強が必要。 また、着底した幼生について DNA 解析を行ったところ、実証試験による放流起因のもの割合は 3 割程度であったことから、天然加入量を適切に把握した上で、幼生放流による効果を算定する必要がある。
R3	断続移動式放流	約 270 万個体	1.2～2.1m	1,829 m ²	放流手順は確立された。しかし計画と実際放流量との誤差があったため、時間当たりの放流量、沈降速度を把握する必要がある。
	連続式移動放流	約 38 万個体	0.25m	(100 個体/m ² 着底なし))	幼生保持時に大量斃死、放流幼生数が極端に少なく、100 個体/m ² の着底は確認されなかった。 計画と実際放流量放流量は、放流孔数、曳航速度、流出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。

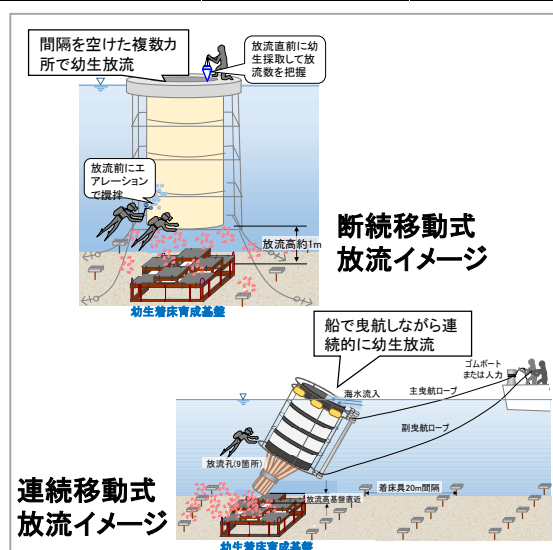


図-IV. 1. 1. 4 幼生保持タイプによる断続式・連続移動式放流方法のイメージ図

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-Ⅳ.1.1.2 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. 検証方法

1.4.1. 断続移動式放流の高精度化（幼生の沈降速度試験）

断続移動式放流における幼生放流量の誤差を把握するため、以下の方法により、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

試験方法は以下のフロー図と試験のイメージ図に示す通りに実施した。

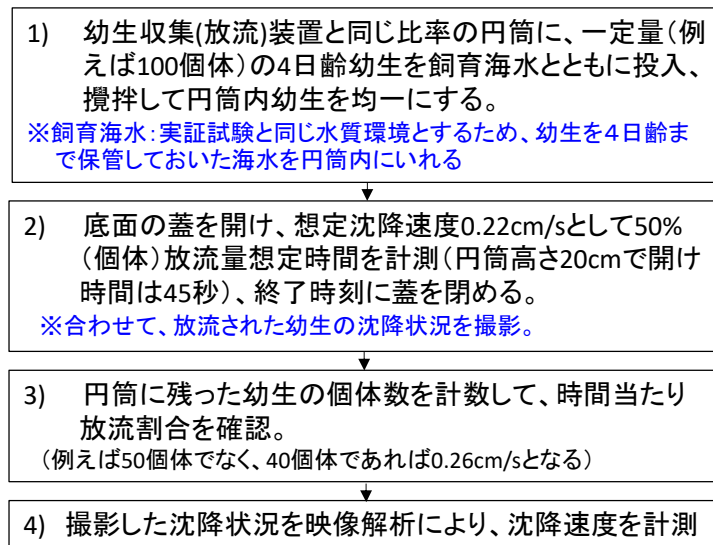


図-IV. 1. 1. 5 沈降速度試験のフロー図

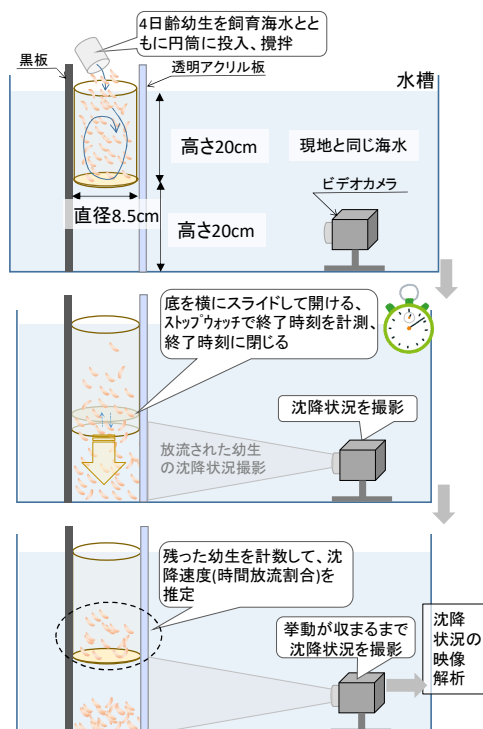


図-IV. 1. 1. 6 沈降速度試験のイメージ図

(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-Ⅳ. 1. 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

1. 4. 2. 連続移動式放流の現地実証試験

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認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) 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。

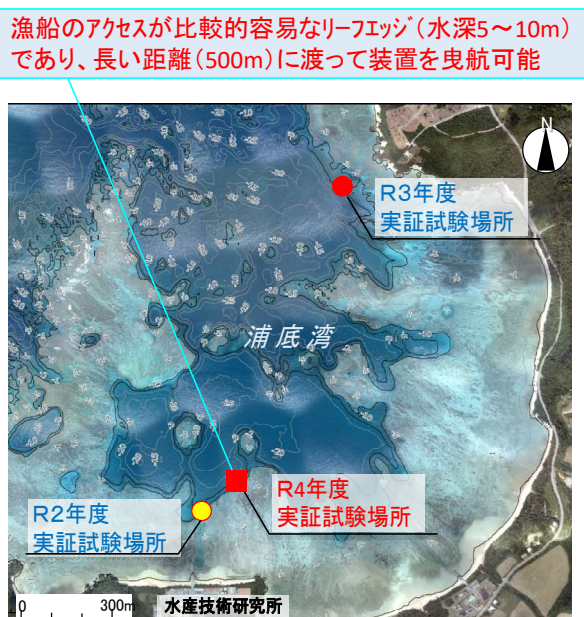


図-Ⅳ. 1. 1. 7 連続移動式放流実証試験場所

(4) 実証試験箇所と基盤設置箇所

- ・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。

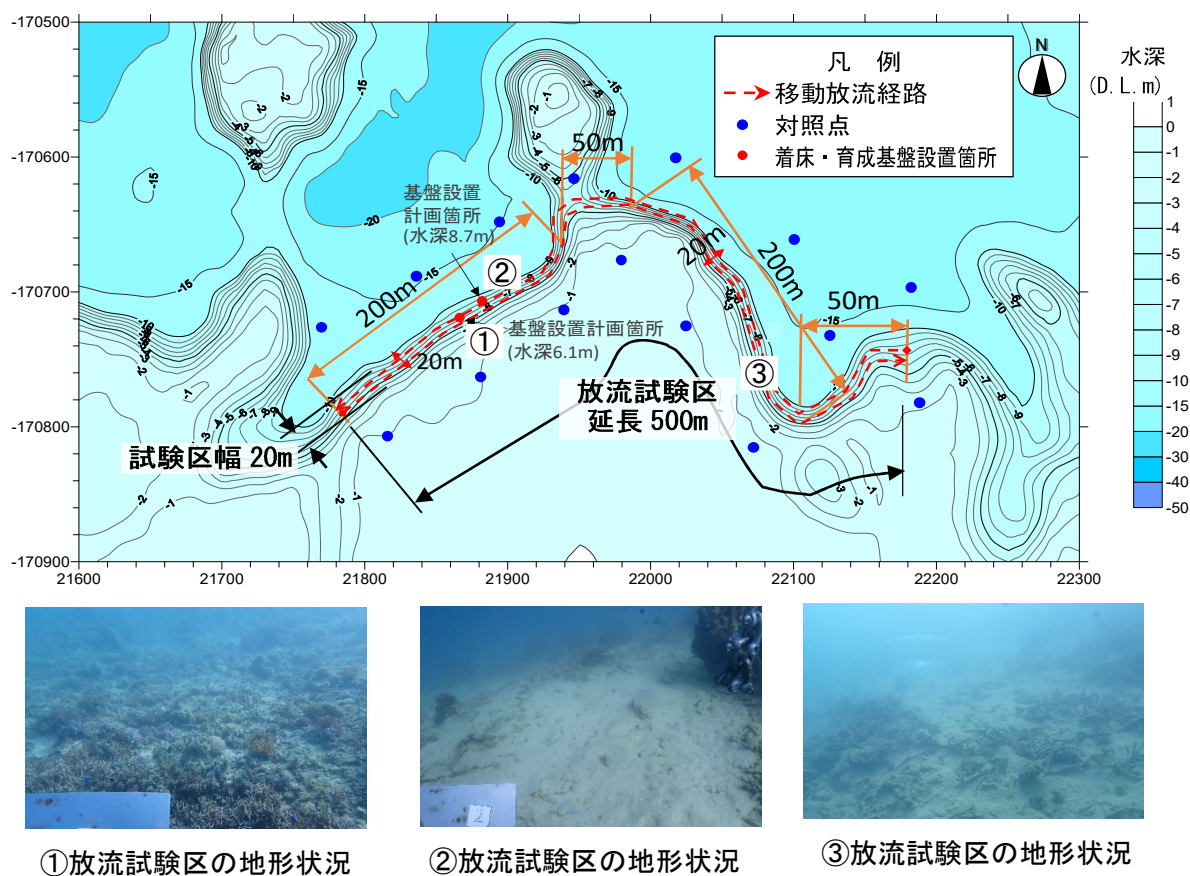


図-IV. 1. 1. 8 連続移動式放流実証試験の詳細位置図及び試験区の地形状況

(5) 連続移動式放流の試験方法

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、全域に放流を行う。

②放流高さ:1m の範囲内で放流

③幼生放流数確認: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(放流 1 日後に回収、計測)

表-IV. 1. 1. 4 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) 幼生放流数 2,000 万と仮定して試算

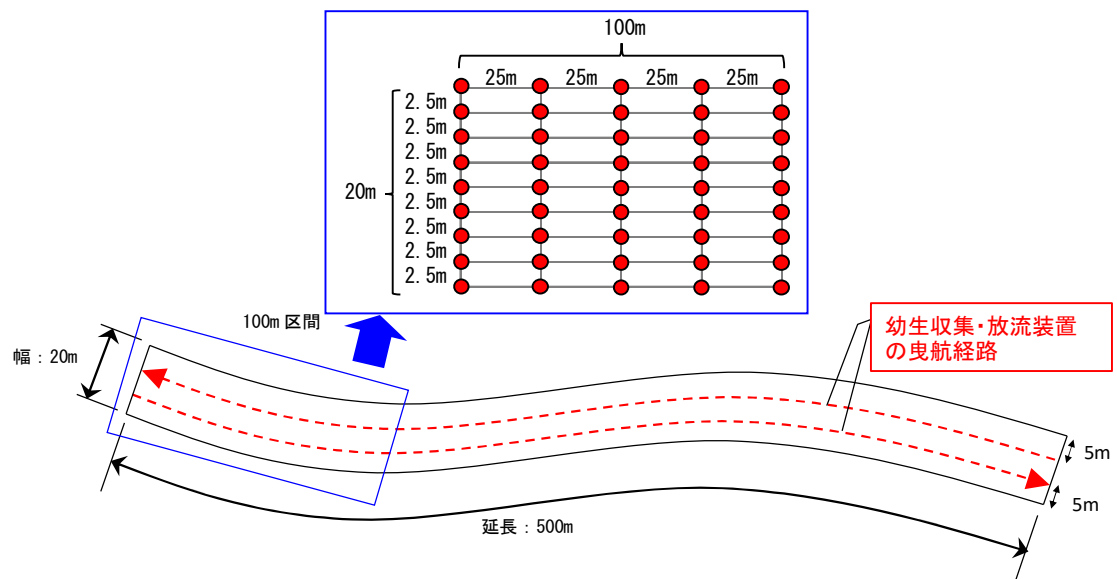


図-IV. 1. 1. 9 連続移動式放流実証試験の放流経路とモニタリング用着床具の配置イメージ

1.5. 調査結果

1.5.1. 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「Ⅳ-1. 2. 幼生収集装置の改良」を参照のこと。

表-Ⅳ. 1. 1. 5 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。

1.5.2. 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、水産技術研究所実験室において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。

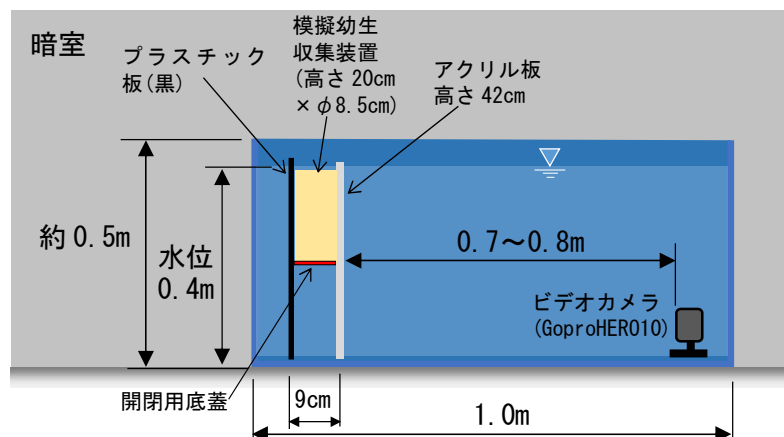


図-IV. 1. 1. 10 沈降速度試験装置及び寸法図

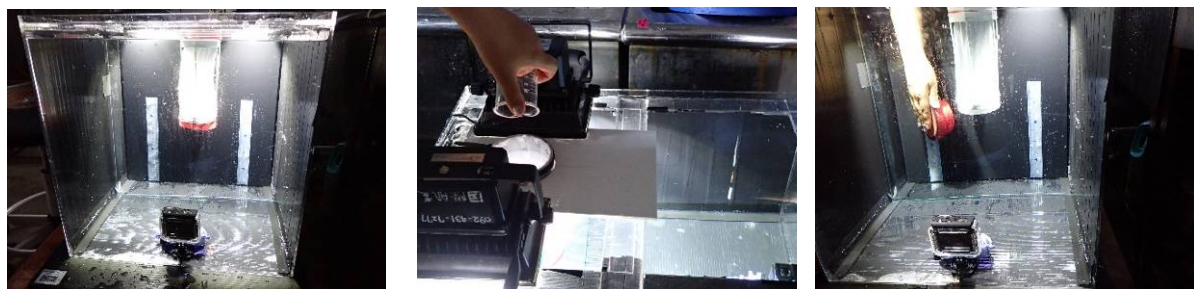


図-IV. 1. 1. 11 沈降速度試験実施状況

(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

- ・CASE-1 (5 回実施) は 100 個体の幼生を投入する装置と同容量 (1.1L) の飼育水(2 時間以上幼生保管した海水)を模擬装置内に投入・攪拌し、放流したケースである。
- ・CASE-2 (3 回実施) は 100 個体の幼生を直前に少量(50mL 程度)海水に分取、模擬装置内に投入・攪拌し、放流したケースである。
- ・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-IV.1.1.6 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 (℃)
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	

試験水槽内水温

計測時刻	水温(℃)
9:45	25.0
11:30	25.5
12:30	25.5
14:25	25.6
15:25	25.6
18:40	25.5

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。

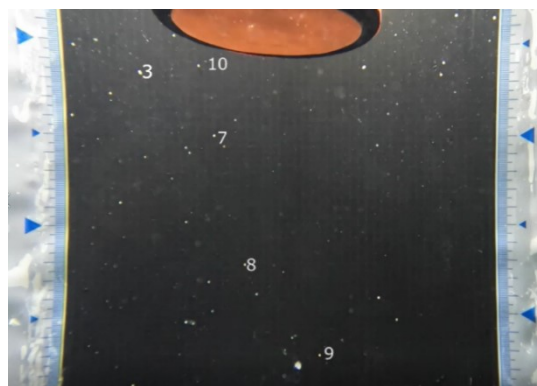
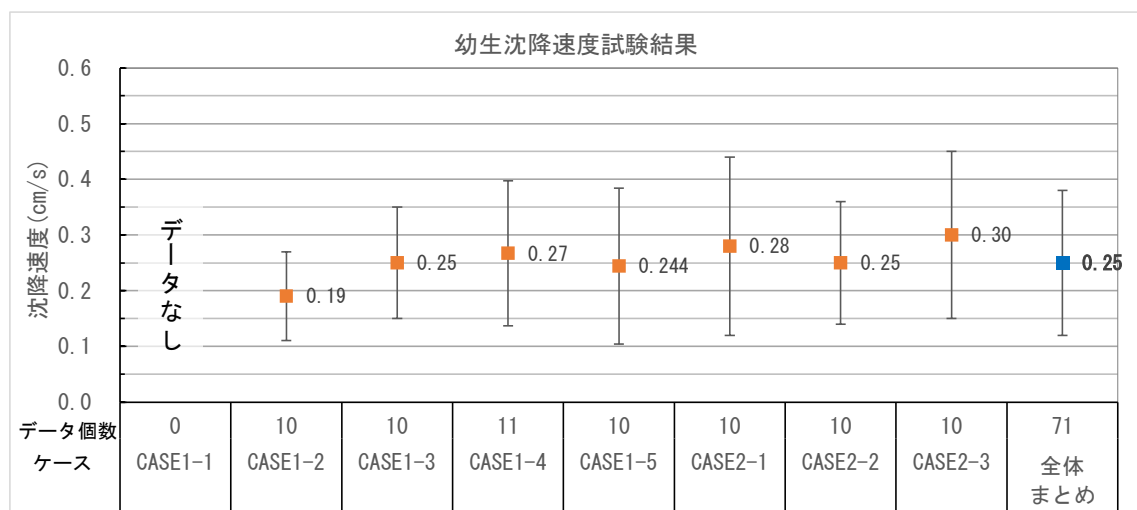


図-IV.1.1.12 ビデオ撮影動画による幼生追跡状況

表-IV.1.1.7 沈降速度計測結果

ケース 項目	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-IV.1.1.13 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。

1.5.3. 連続移動式放流試験結果

(1) 試験実施状況

- ・ 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（収集装置ケース1：100万個体、ケース2：70万個体）であったが、当日の幼生サンプリングの結果、約51万個体（ケース1：26万個体、ケース2：25万個体）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。
- ・ 従って、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。
- ・ R3年度までの課題であった、幼生収集装置曳航時の上部からの海水のあふれ出しが無いよう、装置の傾きを調整(前面5cm下げ)して放流を行い、あふれ出しは確認されなかった。

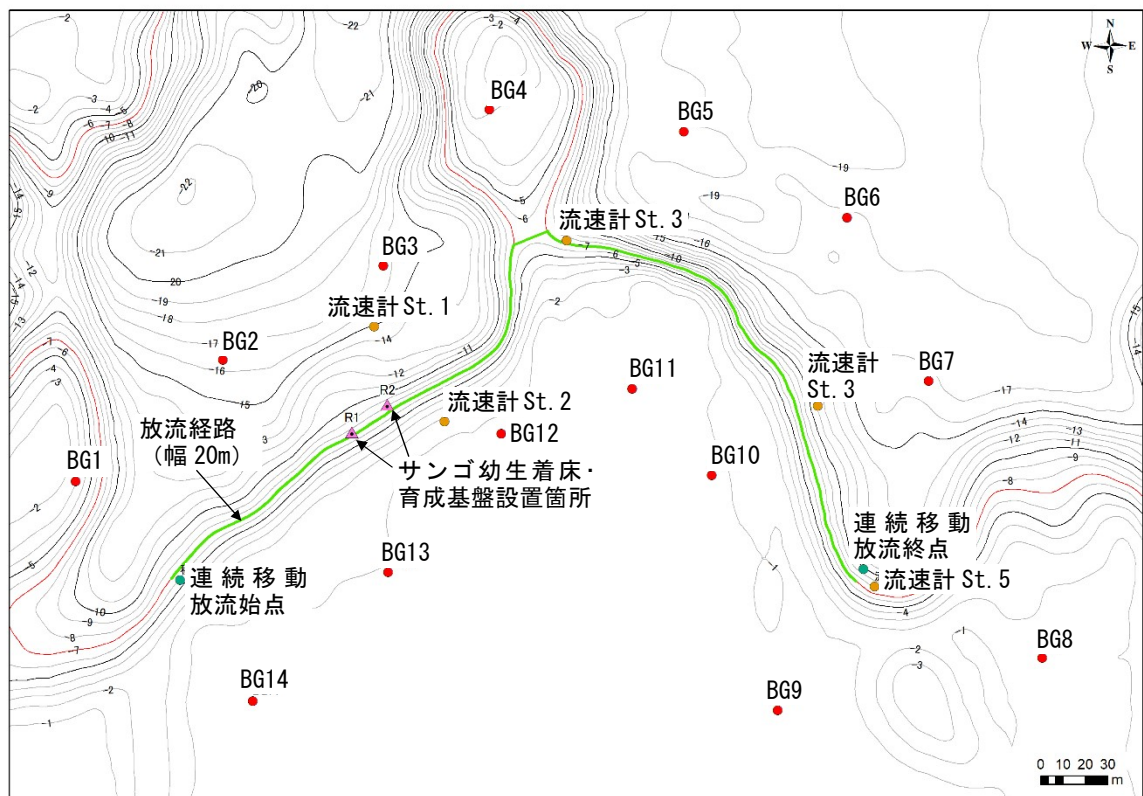


図-IV.1.1.14 連続移動式放流試験の位置図



図-IV.1.1.15 連続移動式放流試験の実施状況

(2) 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、放流数を計数したものを図-IV.1.1.16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数の約 17%(誤差 4.5 万÷幼生量 26 万)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-IV.1.1.17)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。
- ※往復で均等に放流する計画であったが、ケース 2 の装置破損が放流開始後に発生したため、開始地点側で多くなる放流量となった。

■放流量の試算方法（表-IV1.1.8 の試算方法）

試算条件：幼生収集装置 直径 1.7m×高さ 4m, 放流孔の直径 0.1m, 孔の数:9 孔

曳航速度 1 ノット (0.5m/s)

- ①スタート時の幼生数を入力
- ②幼生収集装置内密度（幼生数÷装置の容積）を計算
※各区分スタート時は装置内を攪拌(バブリング)して幼生均一になっていることが条件
- ③装置底部の放流孔数を設定（本来は放流数が均等になるように調整）
- ④放流孔内流速を算出（R3 年度の実証試験の計測結果より、作業船の曳航速度の 7 割と
している。1 ノット (0.5m/s×0.7=0.35m/s)
- ⑤放流量＝放流孔 1 ヲ所の面積(直径 0.1m : $7.85 \times 10^{-3} \text{m}^2$) × ③放流孔数
× ④放流孔内流速
- ⑥1m 当り放流量＝⑤放流量÷装置の曳航速度(1 ノット=0.5m/s)
- ⑦放流区間の幼生放流量（個体数）＝⑤放流量×②装置内幼生密度×放流区間(m)
- ⑧移動 1m 当り放流個体数（参考値）＝⑦幼生放流量÷放流区間(m)
- ⑨装置内残り幼生個体数＝①スタート時の幼生数 － ⑦放流区間の幼生放流量

※計画時は①～⑨を繰り返し区分当りの放流量が均等になるよう放流孔数を調整する。

表-IV. 1. 1. 8 放流量の試算例（26 万個体を 500m 区間放流したケース）

区間始点 (m)	区間終点 (m)	①スタート時 幼生数(個体)	②装置内 幼生密度 (個体/m ³)	③放流 孔数	④放流孔内 流速(m/s) ※曳航速度7割	⑤放流量 (m ³ /s)	⑥1m当り放流 水量(m ³ /m)	⑦幼生放流量 (個体)	⑧移動1m当り 放流個体数	⑨装置内残り 幼生個体
0	100	257,000	28,306	7	0.35	0.01924	0.038485	108,934	1,089	148,066
100	200	148,066	16,308	9	0.35	0.02474	0.049480	80,692	807	67,374
200	300	67,374	7,421	9	0.35	0.02474	0.049480	36,719	367	30,654
300	500	30,654	3,376	9	0.35	0.02474	0.049480	33,409	167	-2,754

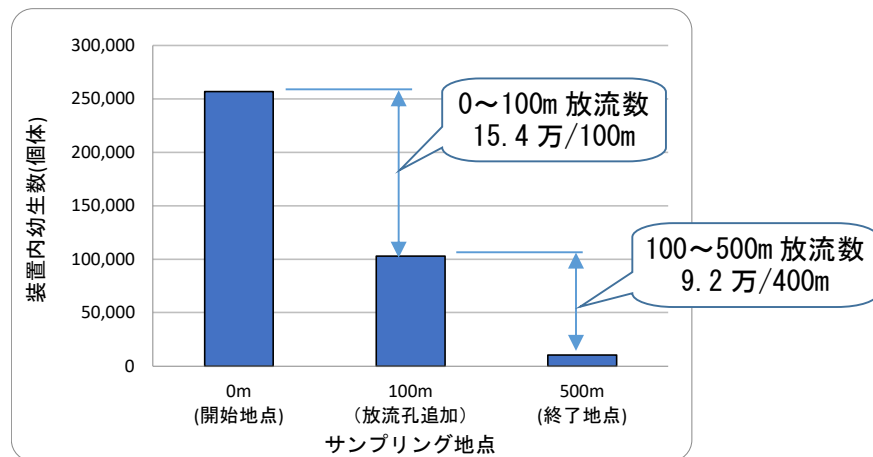


図-IV. 1. 1. 16 幼生サンプリングに基づく装置内幼生数と区間ごとの放流量

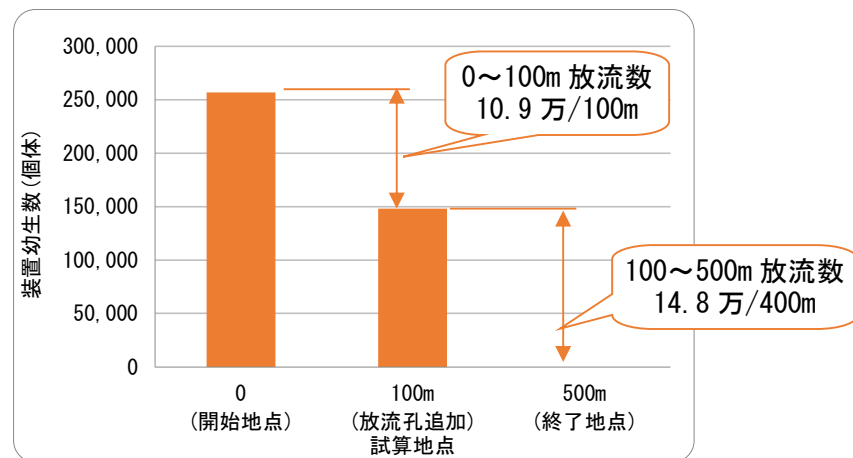


図-IV. 1. 1. 17 R3 年度模擬試験結果に基づく一定区間ごとの放流量の再現試算

(2) 幼生着底の検証

① 幼生着底数の結果

- ・放流から1日後(24時間以上経過後)に着床具を回収した※。
- ・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。

※放流後24時間以上経過すれば、過年度の検証シミュレーション等の結果から放流個体は試験区外に漂流してしまうこと、また、同時期に産卵した天然のサンゴ幼生の加入・着底を極力排除するために1日後に回収を行った。

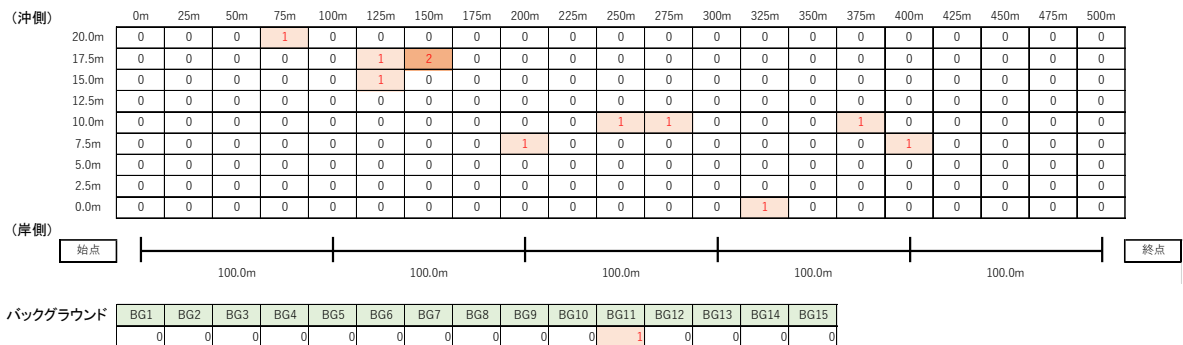
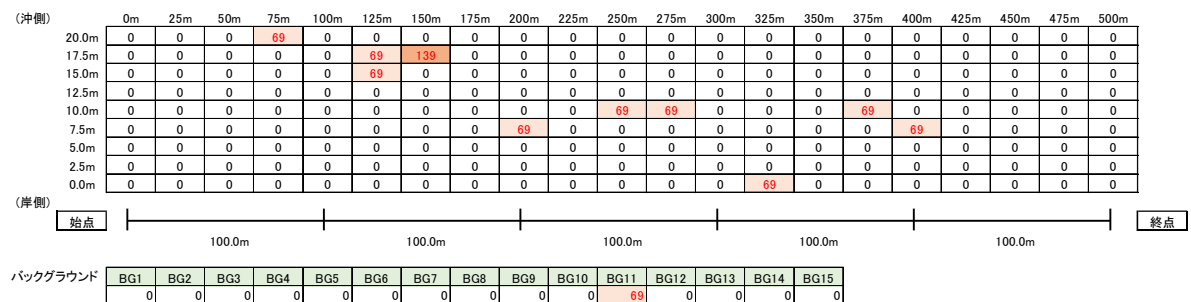
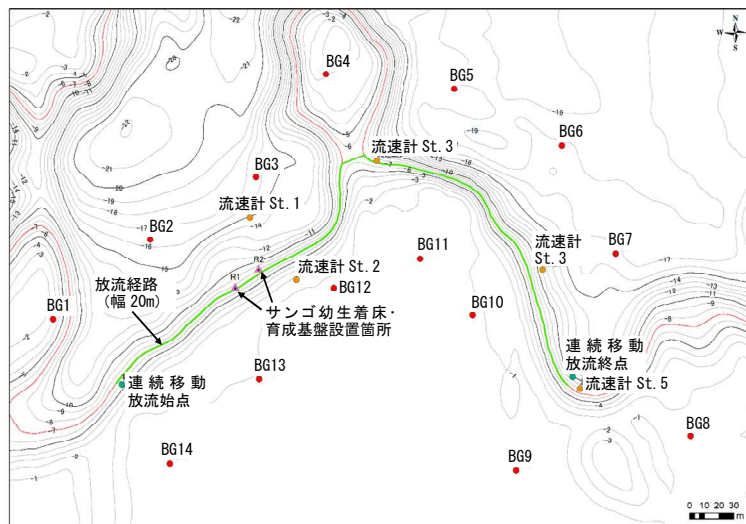


図-IV.1.1.18 着床具への幼生着底計数結果 (DNA 分析結果前)



試験区内着底数合計: 760 個体

図-IV.1.1.19 1m² 当り換算着底数 (DNA 分析結果前)



② DNA 分析結果に基づく試験区内着底量及び着底率の検証

- ・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-IV. 1. 1. 9 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%

1.6. 沖縄沿岸域における幼生放流実証試験のまとめ

平成30年度から令和4年度までに幼生保持タイプによる幼生放流実証試験を実施した。

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する。

1.6.1 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（海底上 1.5m 放流）

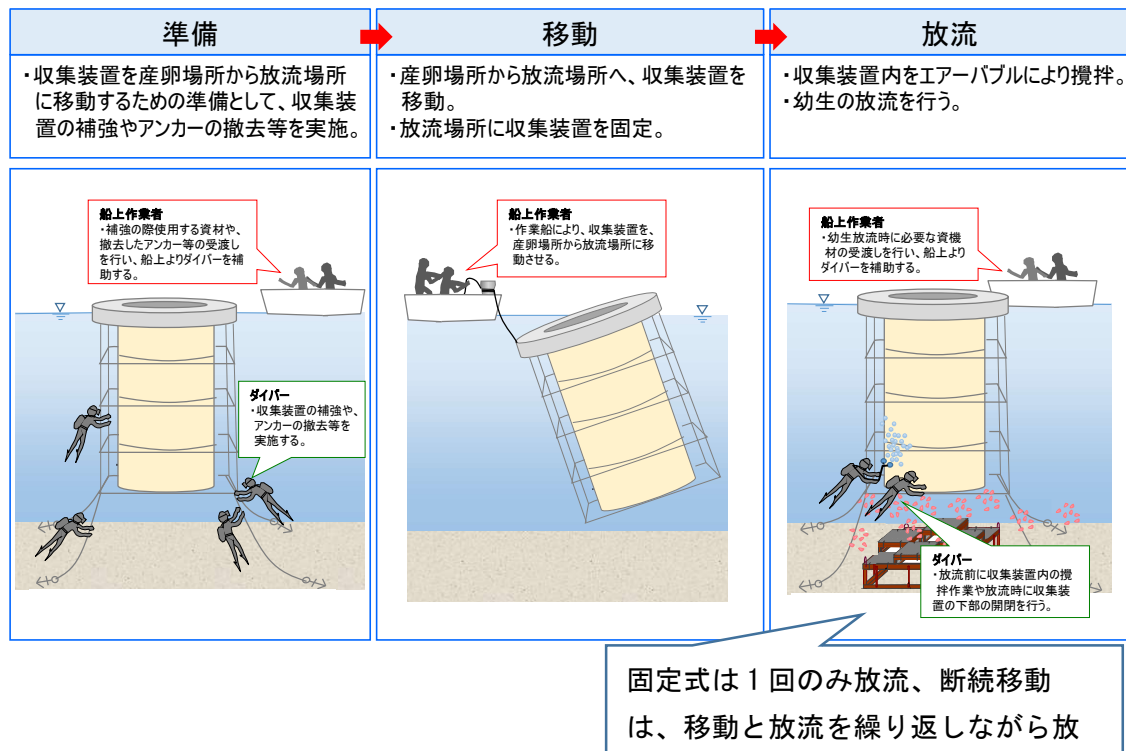


図-IV.1.1.20 固定式・断続移動式幼生放流方法・手順

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・IV.1.1.10 に平成 30 年～令和 4 年度に実施した固定式・断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を示す。

また、表・IV.1.1.11 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。

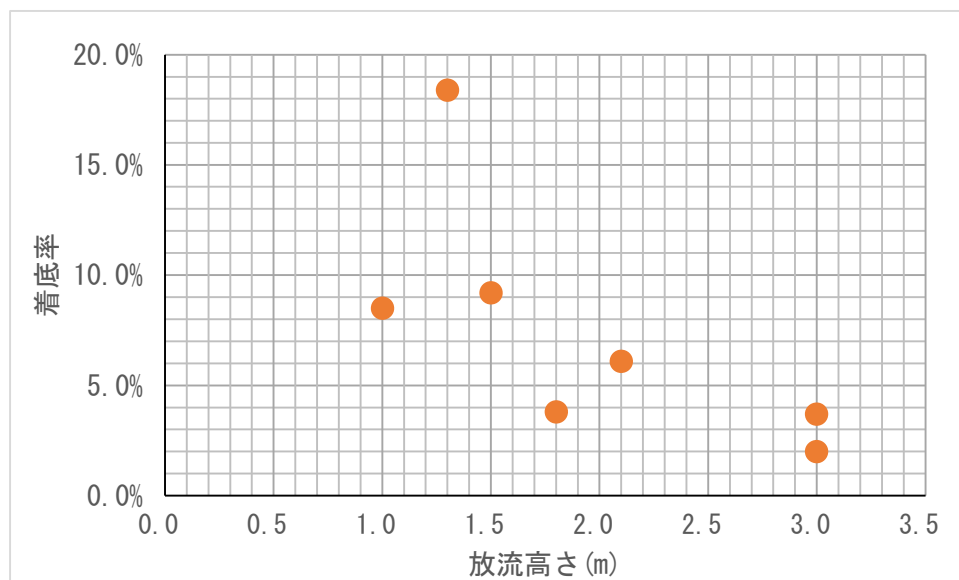
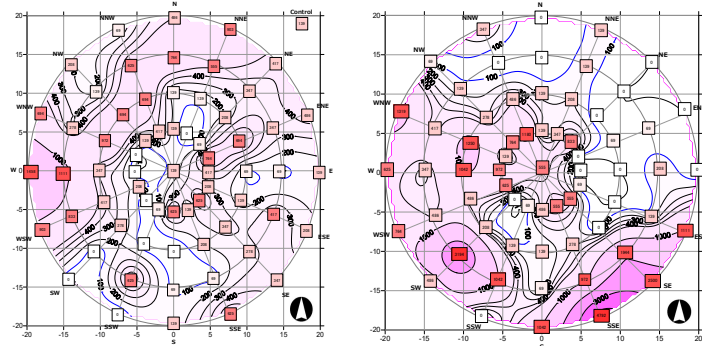


図-IV. 1. 1. 21 これまでの放流試験結果に基づく放流高さ と着底率の関係

表-IV.1.1.10 固定式・断続移動式放流試験の実証実験の成果・課題等

年度	放流方法	幼生放流量 (親サンゴ群体数)		放流高	放流試験計画 規模、試験場所	100 個体/m ² 拡散着底範囲	着底率 (幼生着底量)	成果・課題等
H30	固定式放流	約 350 万個体 (約 20 群体)		1m	10m×10m (0.01ha) 崎枝湾	188 m ² (約 0.02ha)	8.5% (約 30 万個体)	放流直下で幼生着底が密集して確認された。 広範囲への着底は確認できなかった。
R1	固定式放流	約 200 万個体 (約 20 群体)		3m	直径 60m 円 (約 0.3ha) 崎枝湾	135 m ² (約 0.01ha)	2.0% (約 4 万個体)	放流直下で幼生着底が密集して確認されることはなかったが、幼生の着底範囲は、前年度と大きな変化なく、幼生着底量と放流条件との関係を把握することが課題。
		約 19 万個体 (研究所水槽より 幼生確保)			直径 60m (約 0.3ha) 浦底湾	30 m ² (約 0.01ha)	3.7% (約 0.7 万個体)	
R2	断続 移動式放流	約 960 万 個体 (134 群 体)	約 240 万個体	1.3m	直径 40m (0.1ha) 浦底湾	1,129 m ² (約 0.1ha)	18.4% (約 44 万個体)	比較的流れの緩やかなリーフ内において、 <u>断続的移動放流を行う際には、放流高さ 1.5m 程度が効率的</u> であると考えられた。
			約 720 万個体	1.5m	直径 40m (0.1ha) 浦底湾	896 m ² (約 0.1ha)	9.2% (約 66 万個 体)	
R3	断続 移動式放流	約 270 万個体 (335 群体)		1.2～ 2.1m	42m×120m (0.5ha) 浦底湾	1,829 m ² (約 0.2ha)	18.9% (約 48.5 万個 体)	<u>放流手順は確立された。</u> しかし計画と実際放流量との誤差があったため、 <u>時間当たりの放流量、沈降速度を把握する必要がある。</u>
R4	断続 移動式放流	沈降速度試験（室内実験） 幼生（4 日令以降）の沈降速度を計測（室内計測）し、放流計画の基礎データをとした						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。

【R2年度着底分布】※バックグラウンド天然加入値を除く



【R3年度着底分布】別途対照点 (BG1～BG10) への着底数から天然加入サンゴの平面分布図を作成し、実測値より減じたもの

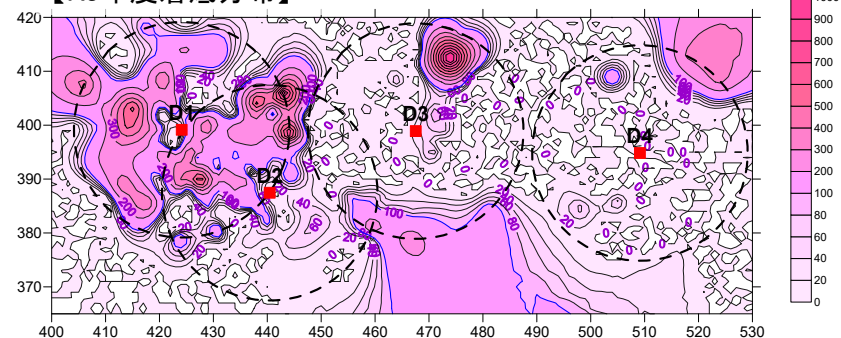


表-IV. 1. 1. 11 固定式・断続移動式放流試験の検証結果のまとめと事業実施への対応

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	①放流手法, 手順の確立	【課題なし】 <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。
		②計画放流量 の確立	【課題なし】 <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、ウスエ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。
		③目標規模で の 100 個体 /m ² の着底	【課題なし】 <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%）。 ⇒1ha で 100 個体/m ² 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。	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。

1.6.2 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。

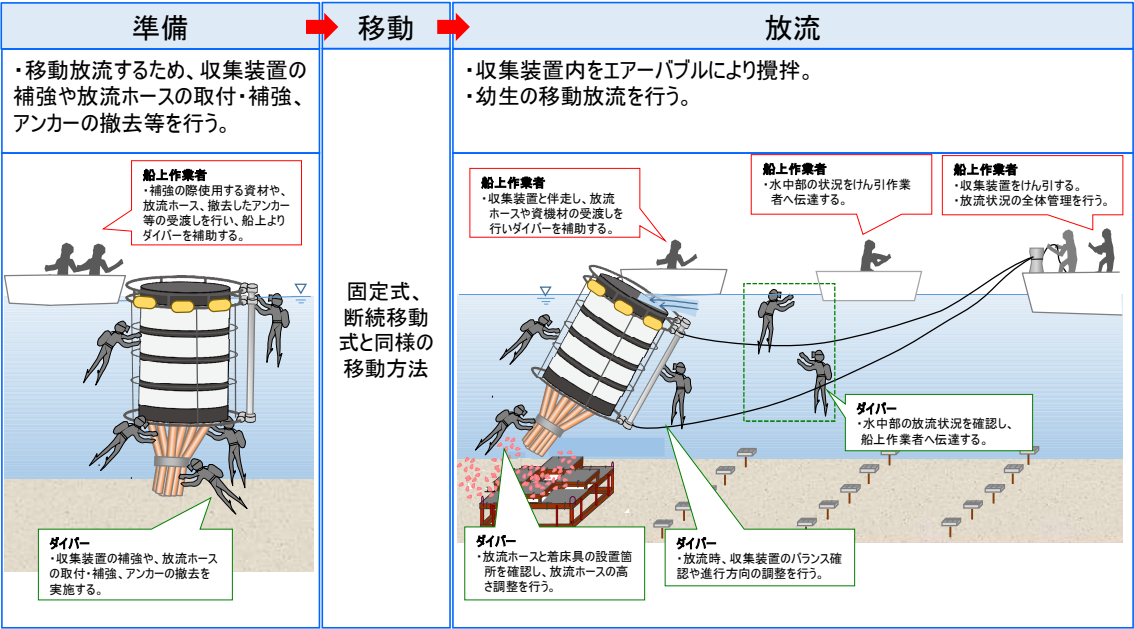


図-IV. 1. 1. 22 連続移動式幼生放流方法・手順

2) 放流量と着底範囲、着底率の実績及び各実証年の課題

表・IV.1.1.12 に令和 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を示す。

また、表・IV.1.1.13 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。

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し行う「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、断続し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-IV.1.1.12 連続移動式放流試験の実証実験の成果・課題等

年度	幼生放流量 (親サンゴ群体)	放流高	放流試験計画 規模、試験場所	100 個体/m ² 拡散着底範囲	着底率 (幼生着底量)	結果概要 (課題等)
R2	約 1,000 万個体 (243 群体)	0.25m	10m×200m (0.2ha)：浦底湾	880 m ² (約 0.1ha)	5.9% (約 59 万個体)	<ul style="list-style-type: none"> 移動しながら固定式放流を繰り返し行う(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ことを確認できた。 ただし放流量の管理、事前準備(特に収集装置補強)が必要。
R3	約 38 万個体 (203 群体)	0.25m	50m×100m (0.5ha)：浦底湾	100 個体/m ² 着底なし	—	<ul style="list-style-type: none"> 幼生保持時に大量斃死、放流幼生数が極端に少なく、100 個体/m²の着底は確認されなかった。 計画と実際放流量放流量は、放流孔数、曳航速度、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。
R4	約 26 万個体 (約 60 群体産卵分を使用)	1m の範囲内	20m×500m (1.0ha)：浦底湾	100 個体/m ² 着底なし	3.8% (約 1 万個体)	<ul style="list-style-type: none"> 幼生保持時に例年になく強風、高波浪と水温低下により<u>幼生が顕著に減少したため、放流幼生数が極端に少なく、100 個体/m²の着底は確認されなかった。</u> <u>放流手順は確立された。</u> <u>計画放流量と実際放流量との誤差が改善された。</u>

【R2年度放流場所と着底分布】

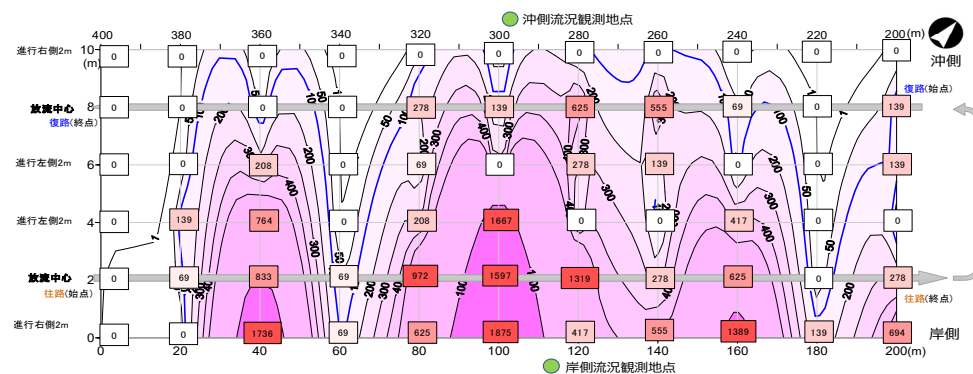
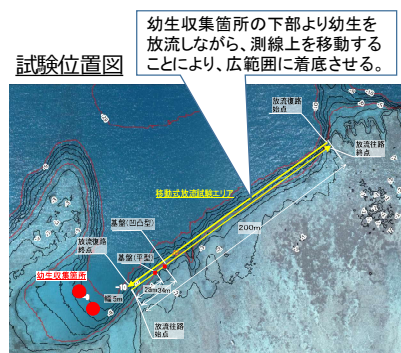


表-IV.1.1.13 連続移動式放流試験の検証結果のまとめと事業実施への対応

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> <p>・ 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</p> <p>※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。</p>	R2、R3 年度	<p>・ 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。</p> <p>※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。</p>
		②計画放流量の確立	<p>【課題なし】</p> <p>・ 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。</p>	R2 年～R4 年度	<p>・ 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。</p> <p>※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。</p> <p>⇒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。</p>
		③目標規模での 100 個体/m^2 の着底	<p>【課題あり】</p> <p>・ R2 年度に$1,000$ 万個体の幼生を0.2 ha 放流し100 個体/m^2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/m^2の着底は検証できなかった。)</p>	R2～R4 年度	<p>・ R2 年度の DNA 分析結果を考慮した着底率は、考慮前着底率$5.9\% \times 3 \text{ 割} = 1.8\%$となり、断続式移動放流よりも低い。</p> <p>⇒現時点の結果で、1 ha に100 個体/m^2の幼生着底を計画する場合、$6,000$ 万程度の幼生が必要。</p>

1.7. 令和5年度 沖ノ鳥島幼生放流実証試験の計画

本技術開発事業（第3フェーズ）の年度計画により、次年度より沖ノ鳥島において幼生拡散放流技術の実証試験を実施する。

ここでは、沖縄沿岸海域における幼生放流実証試験結果の知見及び、IV-3章に示す沖ノ鳥島ハビタットマップ（サンゴ生息条件）、シミュレーションによる幼生拡散予測結果に基づき、実施計画を立案する。

1.7.1. 放流実証試験場所

IV-3章で示す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。

候補地の水深は D.L. -4.2m～-4.6m とおおむね平坦な地形である。

サンゴ産卵期の予測計算では、平均流速は 15cm/sec 程度、最大流速は 70cm/sec 程度と沖縄沿岸海域の内湾の流速よりも速いことに留意する必要がある。

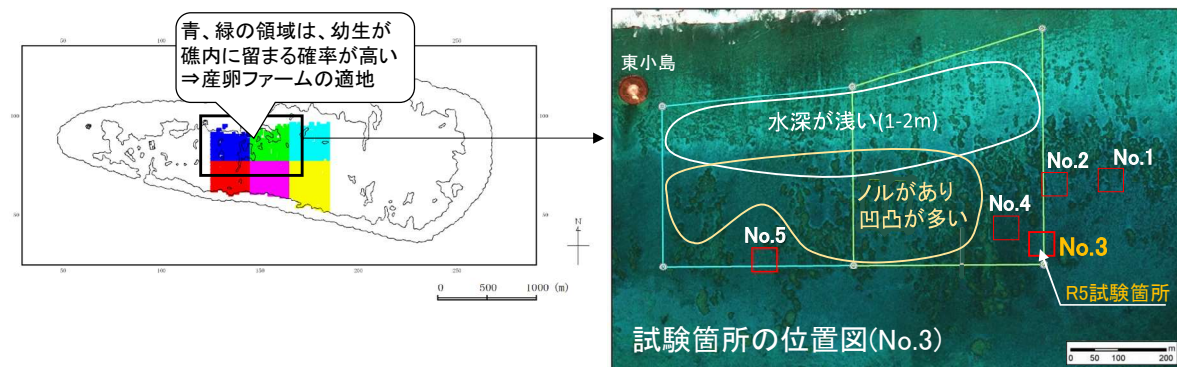


図-IV.1.1.23 令和5年度幼生放流実証試験箇所の位置図

1.7.2. 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、IV-3 章で実施した下図の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。

放流高さ 1m では放流点から 50m 以上遠くへ拡散してしまう可能性がある。

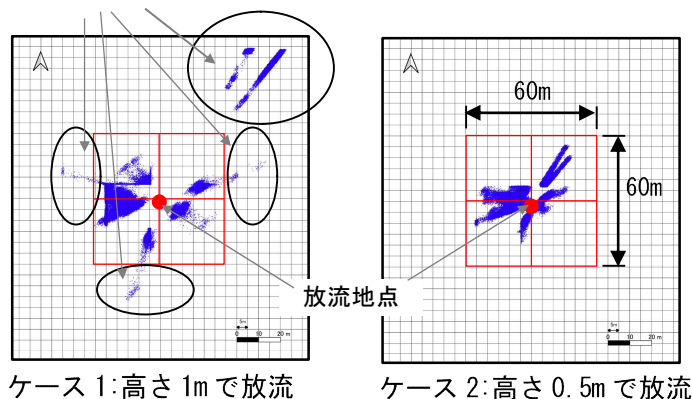


図-IV. 1. 1. 24 放流高さの違いによる幼生拡散予測範囲

(過去 20 年間の産卵 4 日後の流れを用いて予測：沈降速度は 0.2cm/sec)

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。

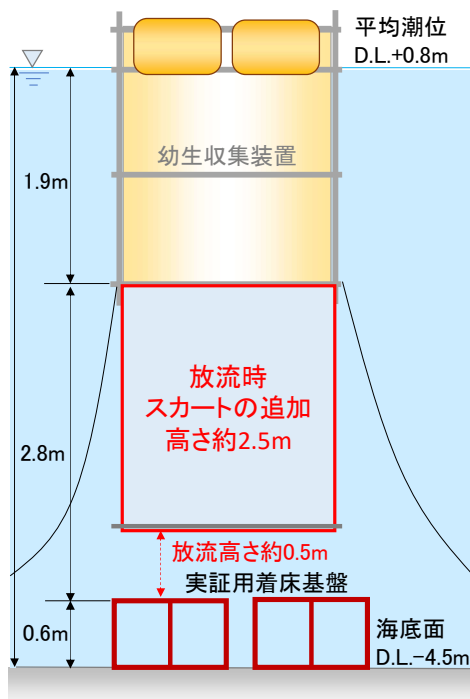


図-IV. 1. 1. 25 放流時における装置等のイメージ図

1.7.3. 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）。

また、令和 2 年度から沖ノ鳥島の現地に仮置きしている実証用基盤(1m×1m、3 基及び令和 5 年度に製作する 1 基)は、着底の確率が高い放流地点直下の中央部に並べて設置する。

天然の幼生加入把握のための対照地点（BG）は試験区から 8 方向 50m 離れた位置に配置する。

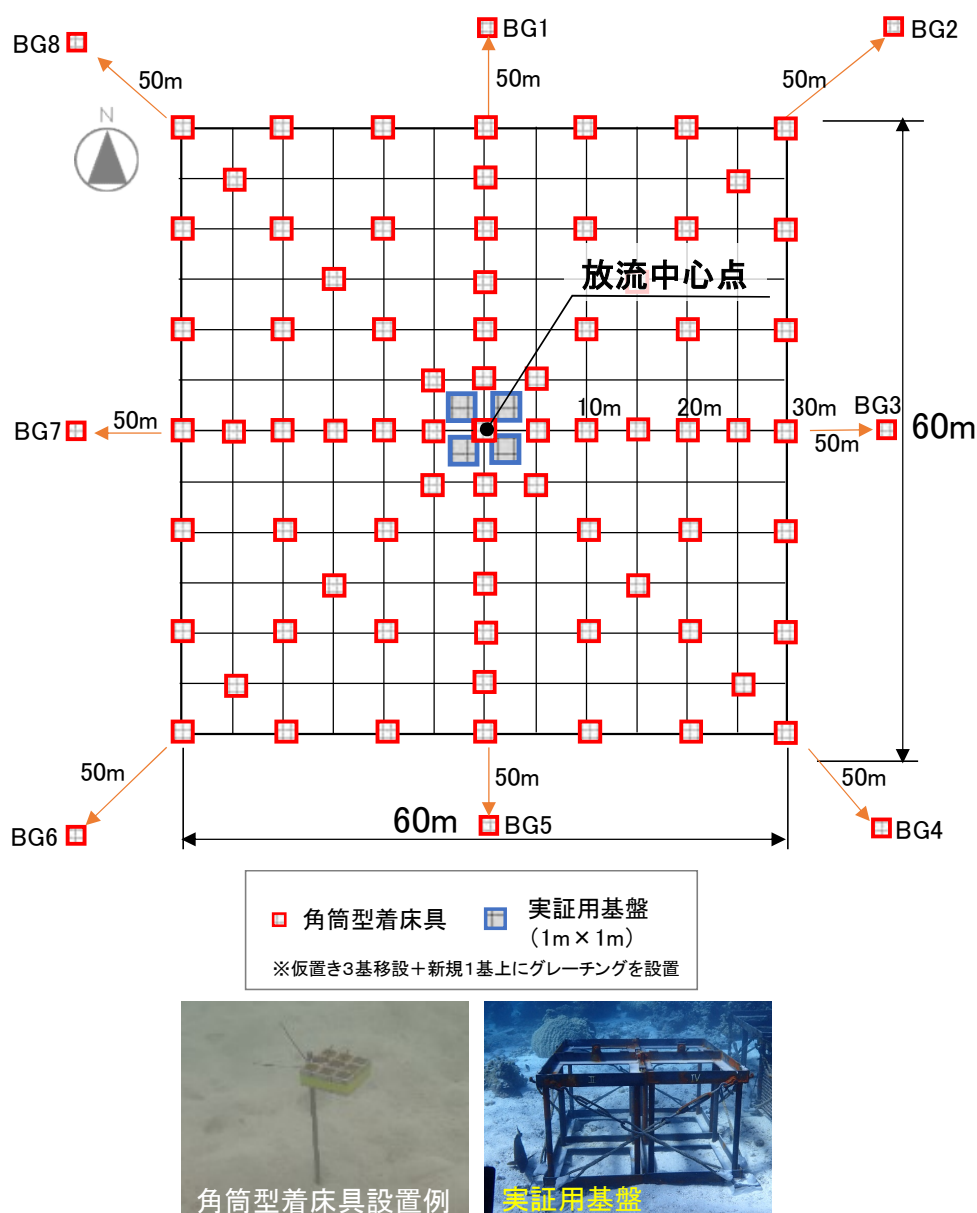


図-IV. 1. 1. 26 放流試験区の着床具及び基盤、対照地点の配置計画図イメージ

1.7.4. 親サンゴの運搬、幼生収集、放流、着底確認までの流れ

令和5年度の沖ノ鳥島におけるウスエダミドリイシの産卵時期は、これまでの経験で6月初旬の満月から数日後と予測される。

沖ノ鳥島での放流実証試験は6月初旬から中旬頃にかけて実施する。

親サンゴは、サンゴ増殖研究所で種苗生産した親サンゴと現地の第2フェーズで移植した成育中の親サンゴを使用して幼生を収集し、放流試験を行う計画とする。

ただし、予定通りにサンゴの産卵兆候が見られない場合は、翌年の実証試験に支障がないように、10群体程度に産卵誘発を実施して産卵させ、小規模放流試験を予定する。

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。

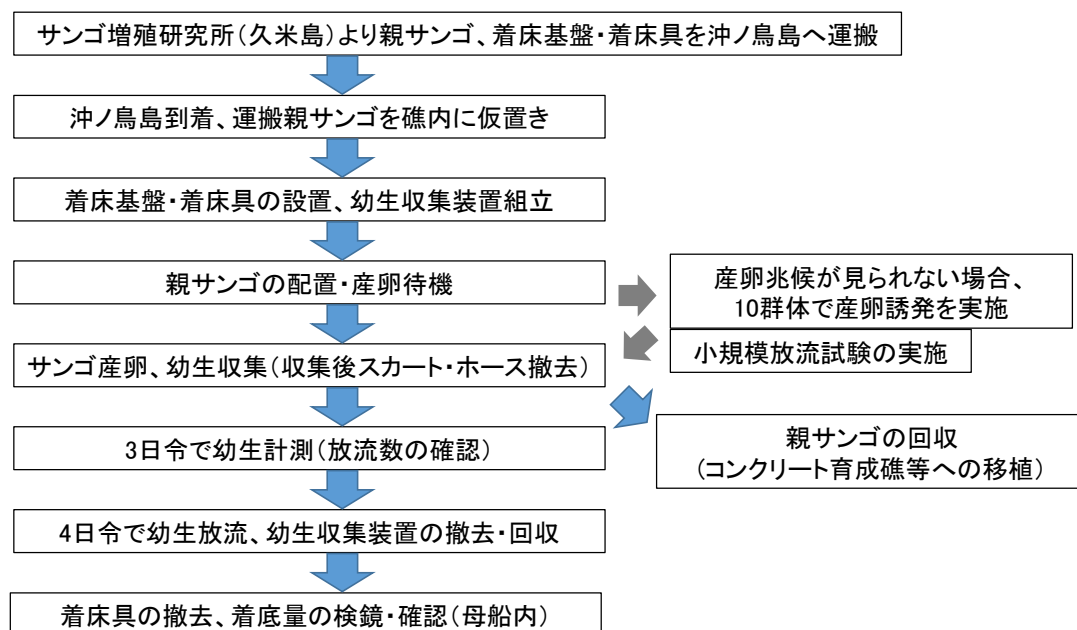


図-IV.1.1.27 親サンゴの運搬、幼生収集、放流、着底確認までの流れ

1.7.5. 放流試験後の結果の整理、実証試験結果の検証

幼生放流試験終了後は、現地における放流方法、放流高さ、着底量についての検証を行い、課題と対応方針を検討し、令和6年度の幼生放流実証試験計画の策定を行う。

1.8. 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。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。これら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への補強改良
- 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

2.2. 収集装置の改良

2.2.1. 収集装置の概要

現行の収集装置はサンゴ幼生を大量かつ効率的に収集するため、親サンゴからバンドル（卵と精子のカプセル）を収集するスカート部と幼生を保持するバンドル収容部をホースで接続した分離型の装置である（図-IV.1.2.1 参照）。バンドル収容部は直径 1.7m、高さ 4.25m の円筒型、スカート部は直径 3m、高さ 1.0m の円錐型であり、スカート部の内部に高さ 0.5m のサンゴ架台を設置し架台上に親サンゴ群体を配置して、バンドルを収集し幼生を保持する。

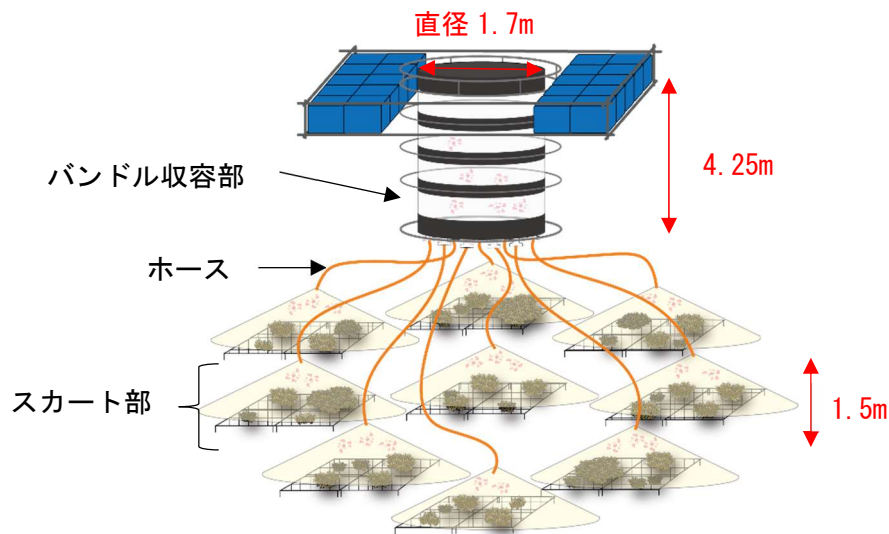


図-IV.1.2.1 収集装置のイメージ

2.2.2. 課題に対する対応策

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

幼生保持時に大雨が降りバンドル収容部内に淡水が流入すると、淡水層が発生する恐れがある。令和3年度実験時の幼生保持時に、18mm/hの降雨の影響により幼生が1/3に減少した。また、令和2年度にも崎枝湾で漁協実施の収集装置にて降雨による被害が確認されている。そのため、雨水の流入対策として図-IV.1.2.2のように収集装置上部に単管パイプで屋根を組み上げ、雨水が装置内に入らないように対応する。

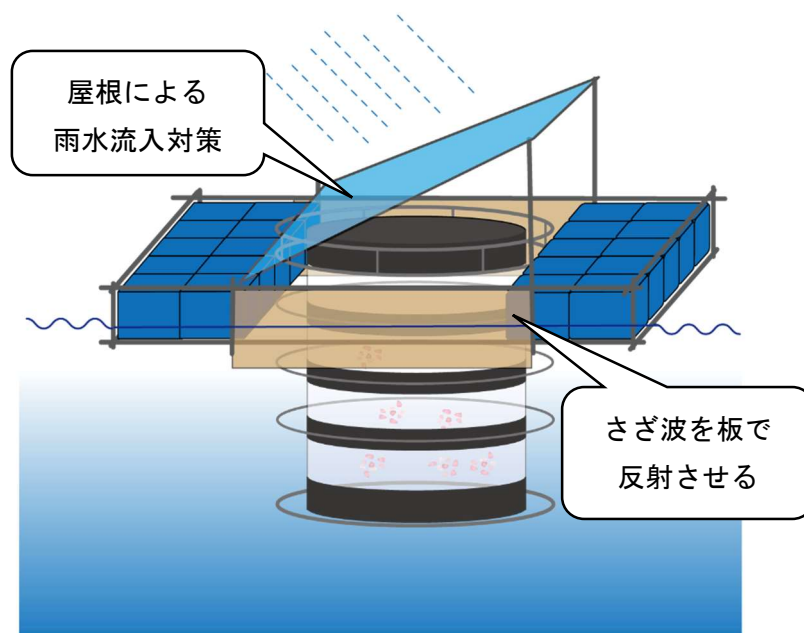


図-IV.1.2.2 雨水流入、さざ波侵入防止対策のイメージ

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

高波浪時にさざ波がバンドル収容部の水面側面にあたることで装置が揺動し、バンドル収容部の側面および上面に体表面の弱い胚の衝突や幼生の付着・絡まりが起これ、幼生が斃死する。幼生が斃死するとそれが引き金となってバクテリアが増殖し、酸素消費量が増大、貧酸素となり、幼生の大量斃死を引き起こすと考えられた。令和3年度では、多くの胚・幼生を保持していたことから、バンドル収容部の側面に幼生があたる頻度が高くなり、溶存酸素量（DO）が低下し、推定1000万の幼生が4日令で5.5万となった。

この対策として、バンドル収容部の水面側面にさざ波があたらないよう、図-IV.1.2.2のように板（木板）を取り付け、さざ波を反射させる工夫を行う。

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

高密度で幼生をバンドル収容部で保持した場合、課題②で述べたようにバンドル収容部の上面および側面への幼生の付着・衝突回数が増大する。直径1.7mのバンドル収容部（現行モデル）では、1,000万前後の幼生保持が限界であると考えられ、それ以上の幼生を収容した場合に対応できないため、「高密度対策に対するバンドル収容部の大型化」および「収集する幼生数（親サンゴ）の調整」を図る必要がある。

幼生は、一般的に発生から2日令までは表層に存在し、3日令以降に徐々に沈降しはじめる。バンドル収容部側面への衝突の軽減、高密度対策をするには、バンドル収容部の容積を拡大する必要がある。そのため、図-IV.1.2.3のように現行の直径1.7mから直径2.2mに設計を変更する。加えて、バンドル収容部上部への幼生付着を低減するため、水面側面の高さを0.25mから0.40m高くする。

収集幼生数（親サンゴ）の調整は、過去の実績より1群体あたり6.8万個体の幼生を産卵、配置した群体の7割程度が産卵すると仮定し、必要幼生量に応じて親サンゴ群体を配置する。

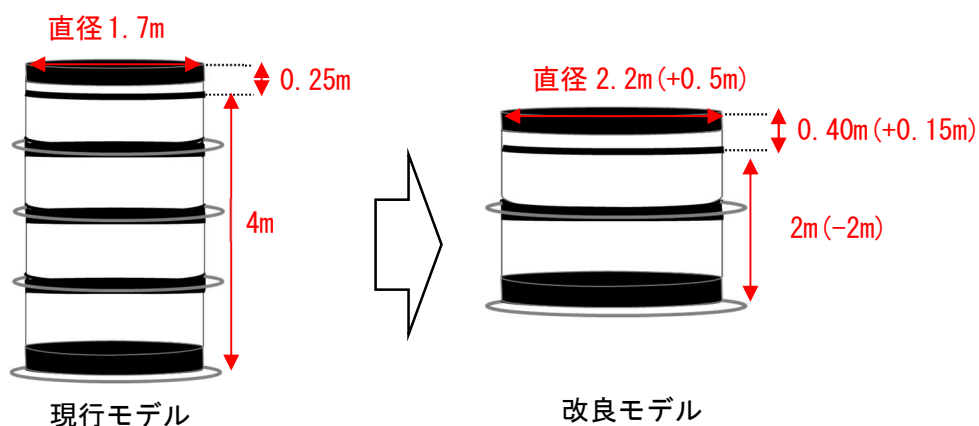


図-IV.1.2.3 バンドル収容部の改良

課題④：水圧による破損可能性に対する生地の補強改良

令和 3 年度の放流試験時、収集場所から放流試験箇所まで装置を長距離運搬した際、水圧によりバンドル収容部の底部が破損した。その対策として、バンドル収容部の底部を、側面に使用している生地（30 μ m ナイロンメッシュ（引張強度 350N/5cm））から強度が 2.6 倍ある生地（ナイロンタフタ（引張強度 923N/5cm））へ変更する。

課題⑤：収集（放流）装置の可搬性向上のための対策

令和 3 年度の放流試験時、バンドル収容部を工夫しないまま長距離運搬したためにバンドル収容部にかかる抵抗が大きく、運搬に時間を要した。その対策として、バンドル収容部を伸縮可能にし、抵抗を軽減することで運搬の効率をあげる。

課題⑥：沖ノ鳥島礁内で運用可能な装置の改良

幼生収集装置を設置できる沖ノ鳥島礁内の水深は、D.L.-4.5m 程度である。一方で、現行の収集装置はホース部分を除いたバンドル収容部とスカート部の高さは 5.5m あり、設置するには水深が足りない。そのため、バンドル収容部の高さを 4m から 2m に設計変更（図・IV.1.2.3 参照）し、ホース部分を除いた装置の高さを 3.5m とする。

2.2.3. 課題と対策のまとめ

課題①～⑥とその対応策一覧を表-IV.1.2.1 に示す。

表-IV.1.2.1 課題とその対応策一覧

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	・バンドル収容部の直径をφ1.7 からφ2.2m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 of 補強改良	バンドル収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	バンドル収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	バンドル収容部の高さを4m から2m に設計変更する。

2.3. 実証実験(令和4年5月)

2.3.1. 実証実験の概要

実証実験は、石垣島浦底湾奥部（水産技術研究所の栈橋前面海域）にて行い（図-IV.1.2.4 参照）、実証期間は表-IV.1.2.2 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3基はD.L.-8~-9mの地点に現行モデルを、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。

現行モデル3基（ケース1、2、3）に、課題①の雨水流入対策として屋根を、2基（ケース1、2）に課題②のさざ波侵入対策として板状構造物を設置した。課題③、④、⑥に対応するために設計変更した改良モデル（ケース4）には、雨除け用の屋根やさざ波侵入対策用の板は設置しなかった。4ケースで総計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群体程度配置した。幼生収集装置と親サンゴの配置状況を図-IV.1.2.5 に、各ケースの推定産卵量および対策状況を表-IV.1.2.3 に、対策状況を図-IV.1.2.6 に示す。

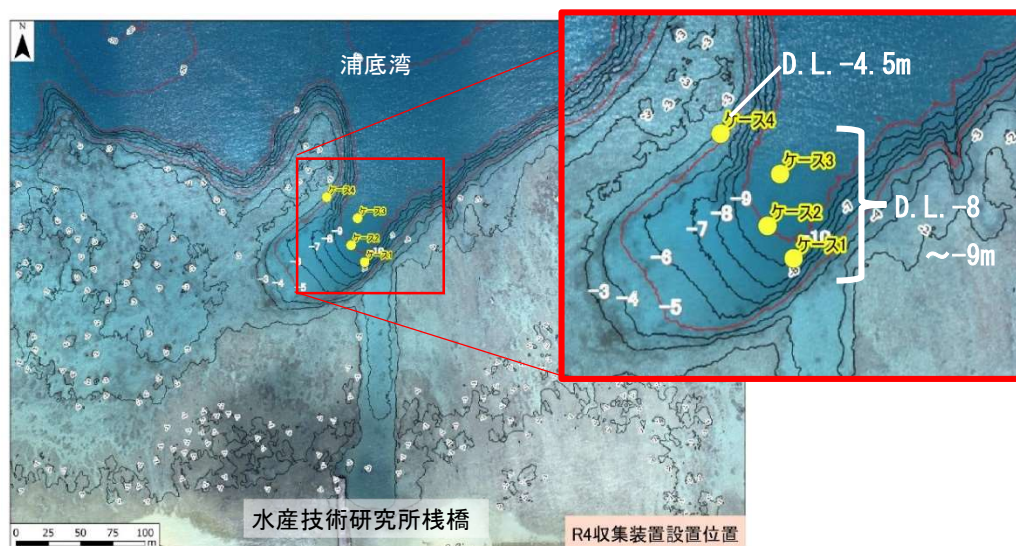


図-IV.1.2.4 収集装置設置位置図

表-Ⅳ. 1. 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	雨除け用の屋根、さざ波侵入対策用の板を設置
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-Ⅳ. 1. 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

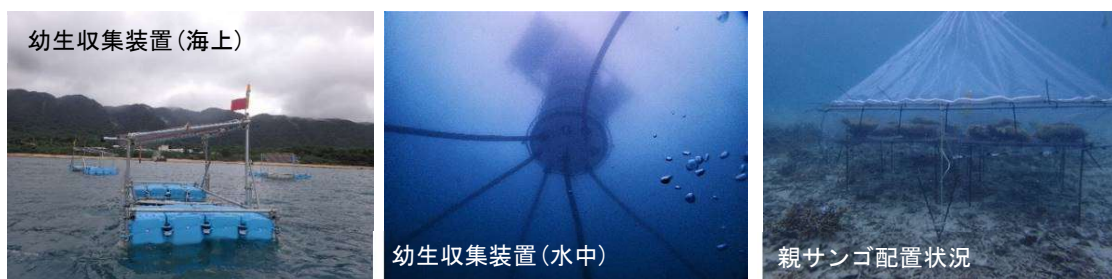


図-Ⅳ. 1. 2. 5 幼生収集装置と親サンゴの配置状況

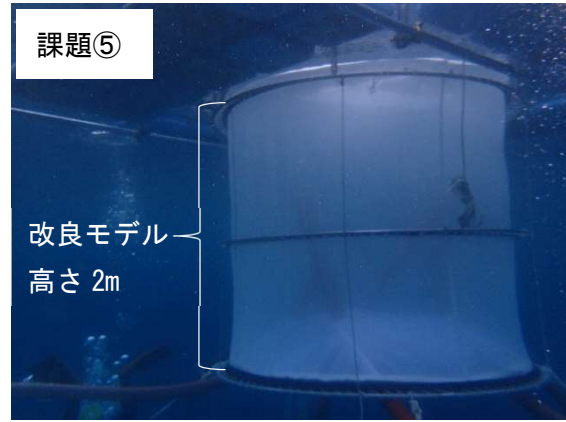
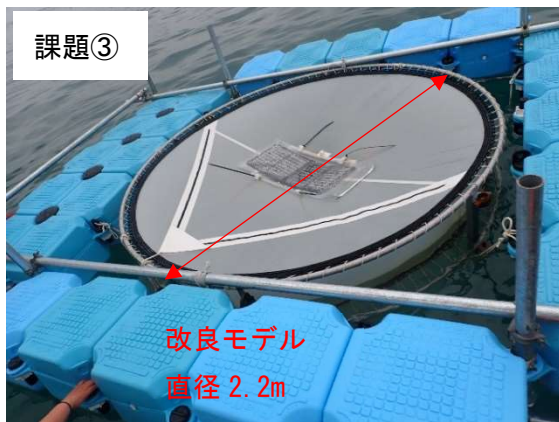
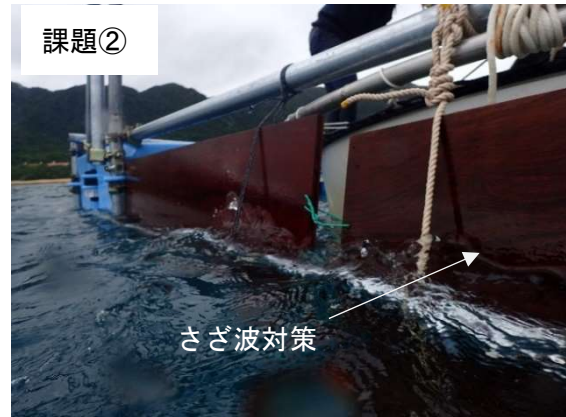


図-IV. 1. 2. 6 対策状況

2.3.2. 実証実験結果

2.3.2.1 実験期間中の海象

産卵から産卵 4 日後までの平均風速、最大瞬間風速、有義波高、周期の時系列変化を図-IV.1.2.7 に、5 月 15 日から 16 日の日本沿岸波浪実況図を図-IV.1.2.8 に示す。

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 以上の北風が吹き、幼生収集の翌日（5 月 15 日）以降、石垣島では前線に伴い強い北風が吹き続けた。強風に伴い、海上は例年にない高波浪であり、有義波高は 5 月の平均値よりも高く、例年に比べて荒天であった。収集装置を設置した箇所でも北北東からの高波浪が発生し、産卵 1 日目から 2 日目（5 月 15 日から 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いた。

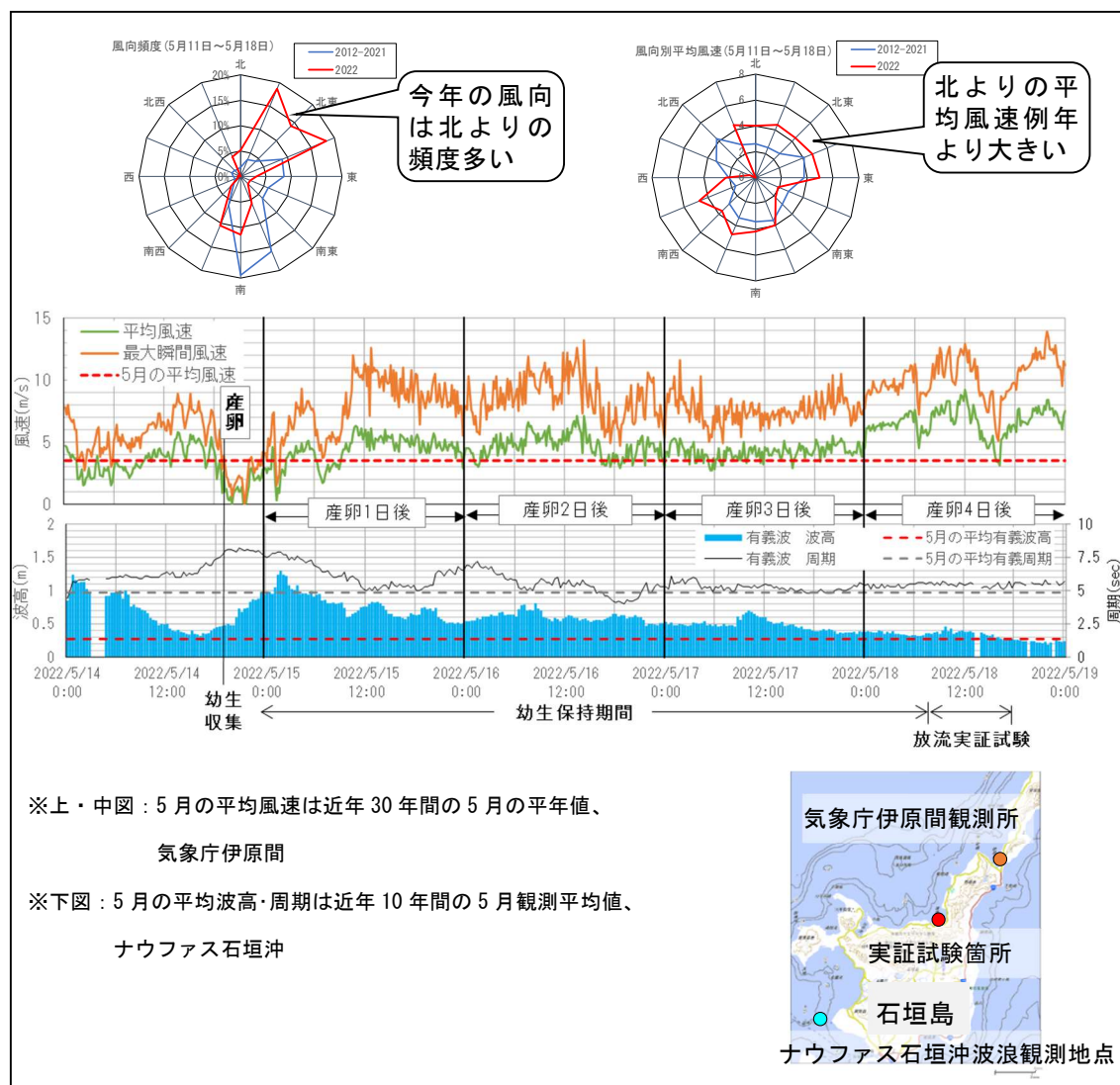


図-IV.1.2.7 産卵から産卵 4 日後までの平均風速、最大瞬間風速、有義波高、周期の時系列変化

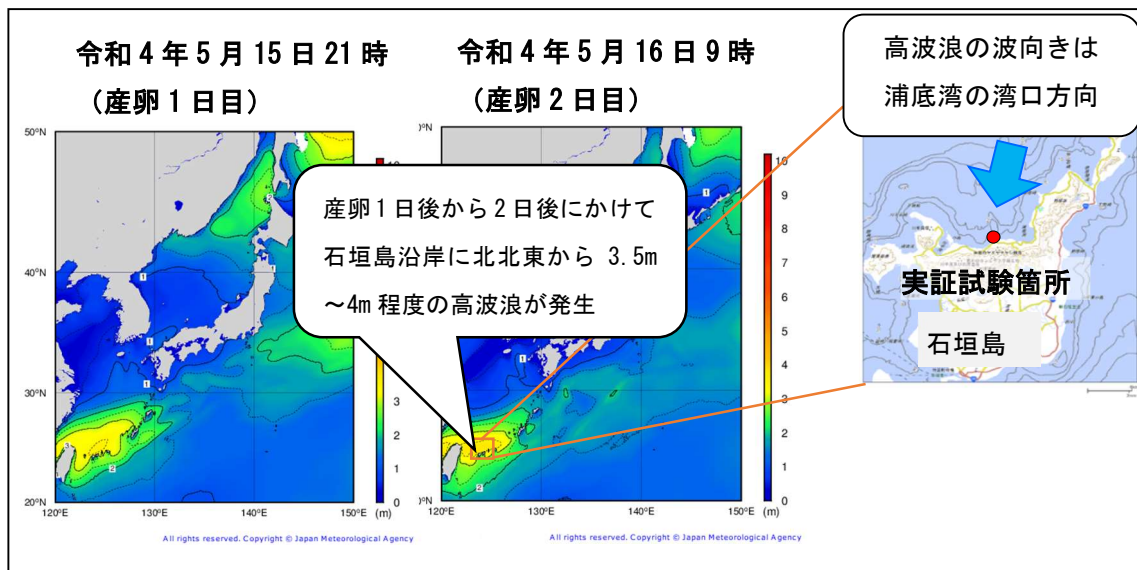


図-IV.1.2.8 5月15日から16日の日本沿岸波浪実況図（気象庁）

2.3.2.2 幼生収集・保持状況

(1) 幼生収集・保持結果

各ケースでの推定産卵量および幼生数を表-IV.1.2.4 に示す。

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る。産卵群体数の割合が高いケース 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-IV.1.2.9）。

産卵直後から 2 日令までは計数誤差が大きいため、3 日令以降の幼生をサンプリングし計数した。表-IV.1.2.4 の 3、4 日令の幼生個体数は収集装置内の個体数を示している。なお、ケース 3 は 2 日令の段階で装置の破損が確認されたため 3 日令で 0 個体とし、ケース 4 は 3 日令の段階で 1.5 万個体であったことから、4 日令は計数しなかった。

ケース 1 では推定産卵量約 400 万個体に対し 3 日令で 100 万個体、ケース 4 では推定産卵量約 610 万個体に対し 3 日令で 1.5 万個体と大きく減少していた。また、ケース 1、ケース 2 の 3 日令から 4 日令の生残率は 26～36%であった。ケース 4 では、幼生流出防止のために取付けているゴム蓋が外れているのが 3 日令のサンプリング時に確認されている（図-IV.1.2.10）。また、ケース 1,2 の装置内の溶存酸素量に大きな変化はみられなかった（図-IV.1.2.11）。そのため、ゴム蓋が外れるような揺動が各ケースで発生しており、その隙間から幼生が漏れ出た可能性を推察すると、生残率の低下は、幼生の流出によるものと考えられる。

表-IV.1.2.4 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-IV. 1. 2. 9 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-IV. 1. 2. 10 幼生流出防止用のゴム蓋が外れた状況

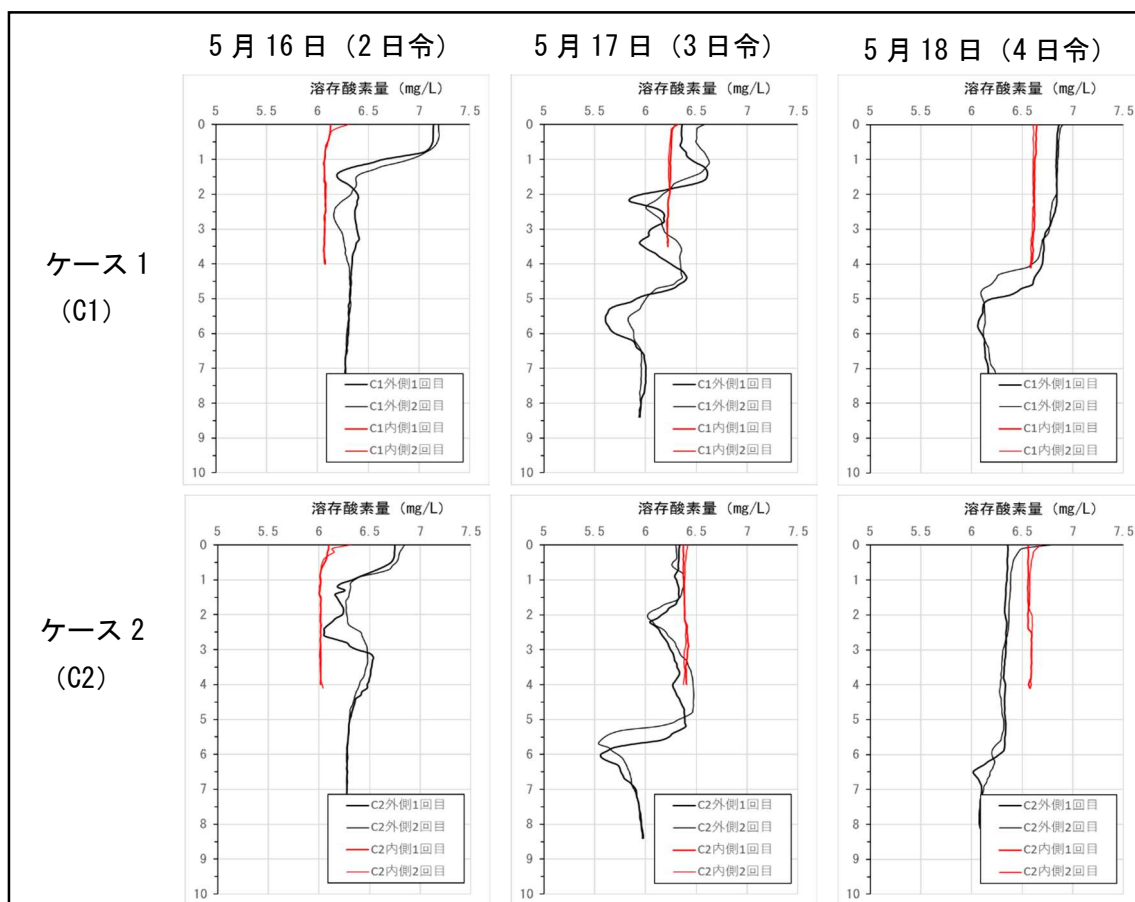


図-IV.1.2.11 装置内外の溶存酸素量 (ケース 1、2 : 5 月 16 日～5 月 18 日)

(2) 陸上移送した幼生の生残率

幼生保管水槽内の幼生数および規格を表-IV.1.2.5 に、1 日令から 3 日令の様子を図-IV.1.2.12 に示す。幼生のサンプリングは、計数誤差の観点から 3 日令以降に行った。水槽では水質維持のために産卵翌日より天然海水のかけ流し、水槽底より排水して換水を行った。2 日令以降に斃死した幼生が確認された場合には、水質維持のため、スポイトで可能な斃死した幼生を限り取り除いた。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。

図-IV.1.2.12 のように、1 日令では目視できていた幼生が 3 日令の時点でほとんどが斃死した。「改訂有性生殖サンゴ増殖の手引き」p.Ⅱ-31 によれば、例えば数日間に 2℃以上の水温変動、1 日の最高最低水温が 1℃以上あるような、急な水温変化によって稚サンゴが斃死することがあるとされている。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-IV.1.2.13 参照）。そのため、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。なお、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-IV.1.2.14 参照）、外気温により水槽内の海水が冷却されたことで水温低下が生じたと考えられる。

表-IV.1.2.5 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-IV.1.2.12 1 日令から 3 日令の様子（ケース 2、3）

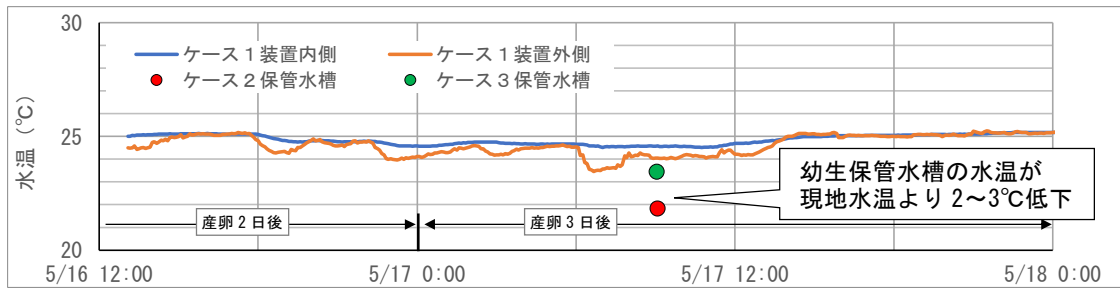


図-IV. 1. 2. 13 現地収集装置（ケース 1）及び幼生保管水槽（ケース 2、3）内の水温

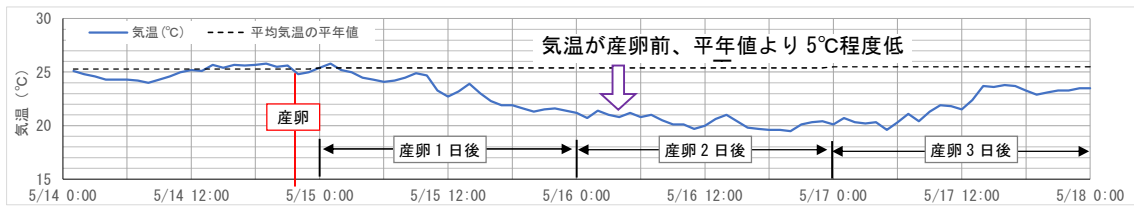


図-IV. 1. 2. 14 伊原間気象観測所における気温の経時変化（5 月 14 日～17 日）

2.3.2.3 収集装置の改良結果

(1) 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

収集装置設置期間中の降水量を図-IV.1.2.16 に、収集装置内外の塩分を図-IV.1.2.17 に示す。

雨除けは、収集装置上部から約 1.5m の高さに屋根を設置した。屋根は設置期間中（5 月 13 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 程度と少なく、それ以前の 5 月 11 日から 13 日に最大で 8～17mm 程度の降雨があった。5 月 16 日から 18 日の 3 日間に、ケース 1、2 の装置内外の塩分を測定したところ、16 日、17 日には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。一方で、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。ただし、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ことが懸念される。また、1 つの屋根を設置するのに約 1.5 時間の作業時間を要するため作業効率が悪い。そのため、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。

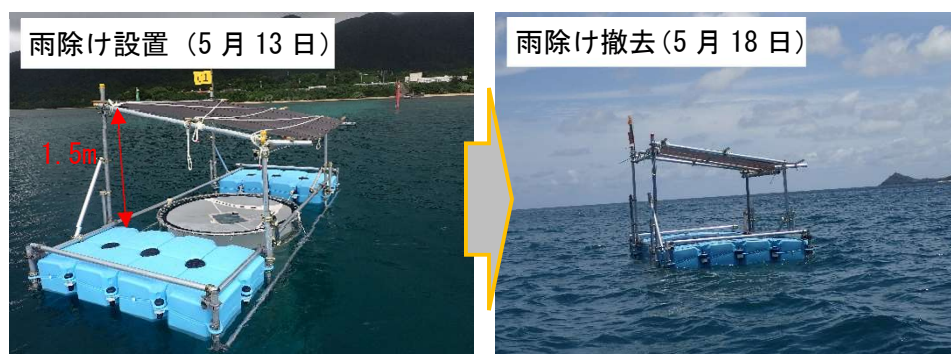


図-IV.1.2.15 雨除け設置から撤去までの様子

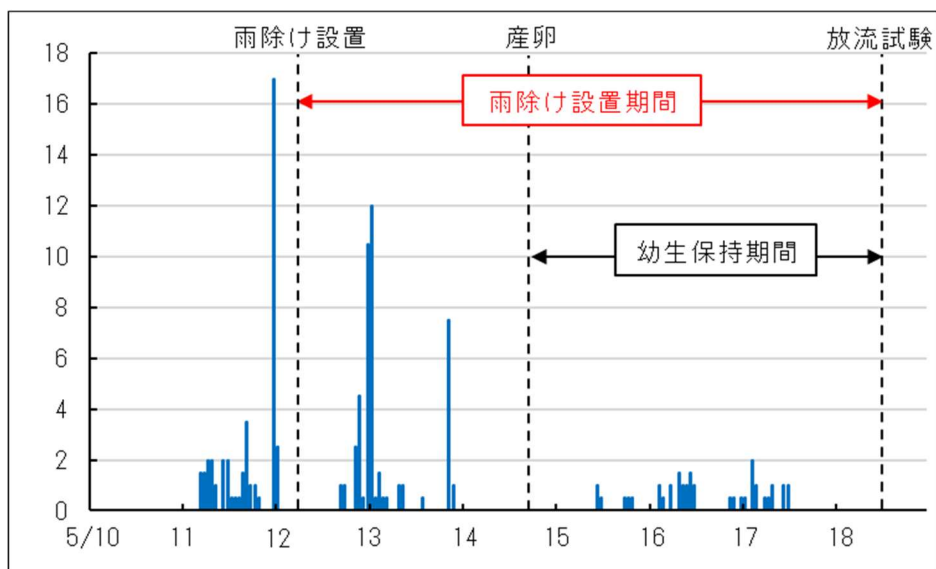


図-IV. 1. 2. 16 収集装置設置期間中の降水量

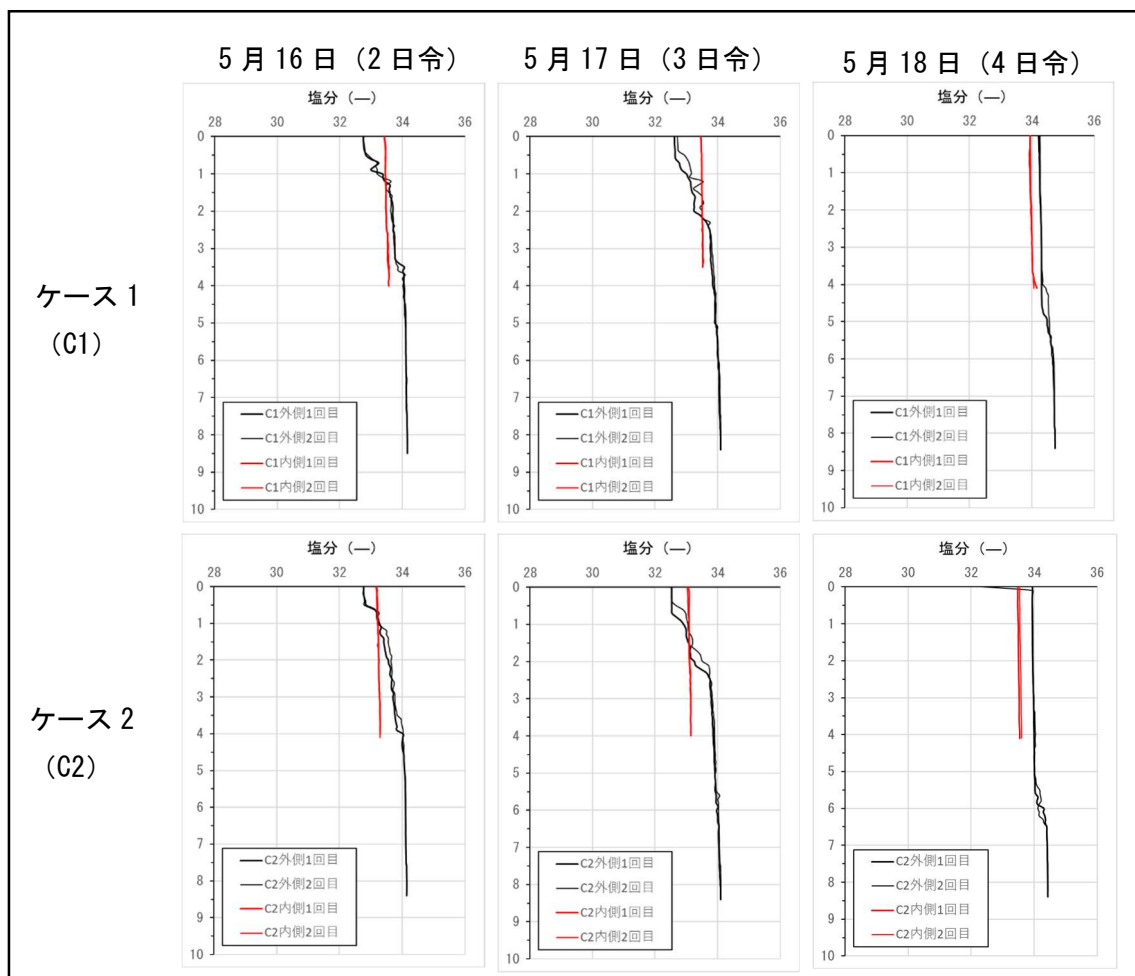


図-IV. 1. 2. 17 収集装置内外の塩分 (ケース 1、2 : 5月16日~5月18日)

(2) 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 5 月 17 日（3 日令）から 5 月 18 日（4 日令）にかけて、幼生の生残率が低下したものの、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く、貧酸素になっていなかった（図-IV.1.2.11 参照）。幼生の生残率の低下は、2.3.2.3 (1) (p.IV-2-11) で述べたように、ゴム蓋の影響による幼生の流出が原因である。そのため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。

加えて、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。

一方で、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-IV.1.2.18 さざ波侵入対策

(3) 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の推定産卵量は約 610 万個体であり、３日令には 1.5 万個体となった。2.3.2.2 (1) (p.IV-2-11) で述べたように、幼生の生残率低下は流出の影響によるものの、ケース４でも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。このことから、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。今後は、1000 万個体以上の幼生を収集できた際に幼生保持限界量に対する確認を行っていく必要がある。

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-IV.1.2.6 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%	—

(4) 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。

一方で、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-IV.1.2.19 参照）。図-IV.1.2.7 をみると、５月 15 日の未明から波高が 1.0m、最大瞬間風速を 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。沖ノ島島海域で

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を補強・改良をする必要がある。



図-IV. 1. 2. 19 バンドル収容部の破損

(5) 課題⑤：収集（放流）装置の可搬性向上のための対策

バンドル収容部は円形の保持枠に固定されており、張力によってバンドル収容部に力がかからないようロープで保持枠と保持枠を固定している（図-IV.1.2.20 参照）。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。

一方で、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（図-IV.1.2.21 参照）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 基が運搬時に破損した。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。

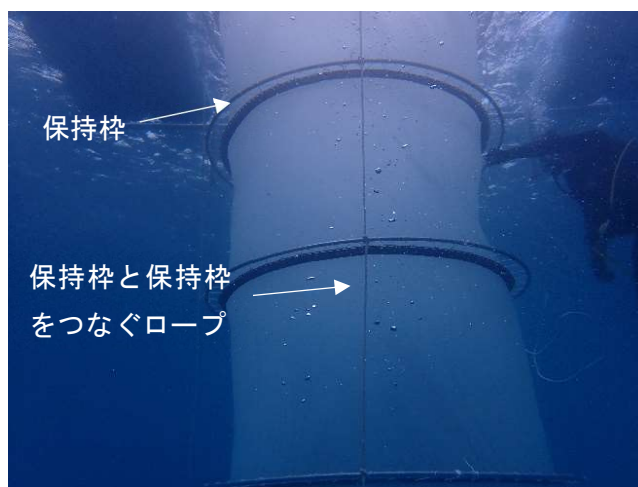


図-IV. 1. 2. 20 円形保持枠と保持枠の固定状況

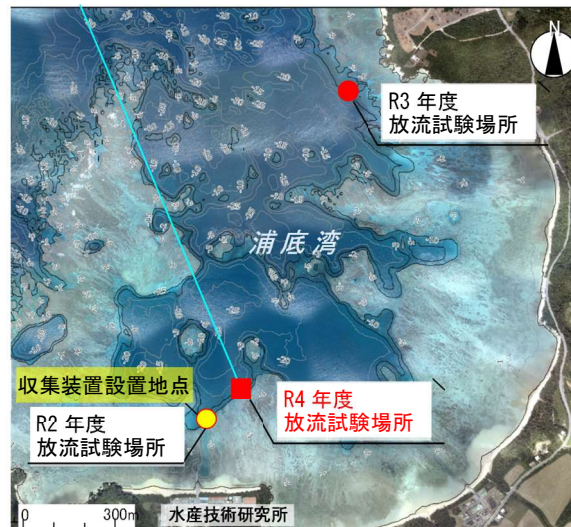


図-IV. 1. 2. 21 収集装置設置地点と放流試験場所

(6) 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。

一方で、産卵待機中、収集ホースの抜けが確認された（図-IV.1.2.22 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。沖ノ鳥島では夜間作業が困難なため、産卵待機時にホースが抜けた場合には、バンドルを収集できず流出させてしまう。産卵は大潮期の満潮であることから、満潮時に高波浪がおきて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-IV. 1. 2. 22 ホースの抜けを確認

2.3.2.4 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-IV.1.2.7に示す。

例年になく高波浪により、幼生流出防止用ゴム蓋の外れ、収集装置の破損、収集ホースの抜けなど幼生を収集・保持するにあたり改善が必要な問題や、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-Ⅳ.1.2.7 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	① 幼生収集ホースの長さ調整 <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	② 雨除け構造の簡易化 <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。
		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"> ・ 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。
		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"> ・ 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. 4. 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（詳細はⅣ-3.2 章で説明））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-Ⅳ.1.2.23 参照）より決定した。

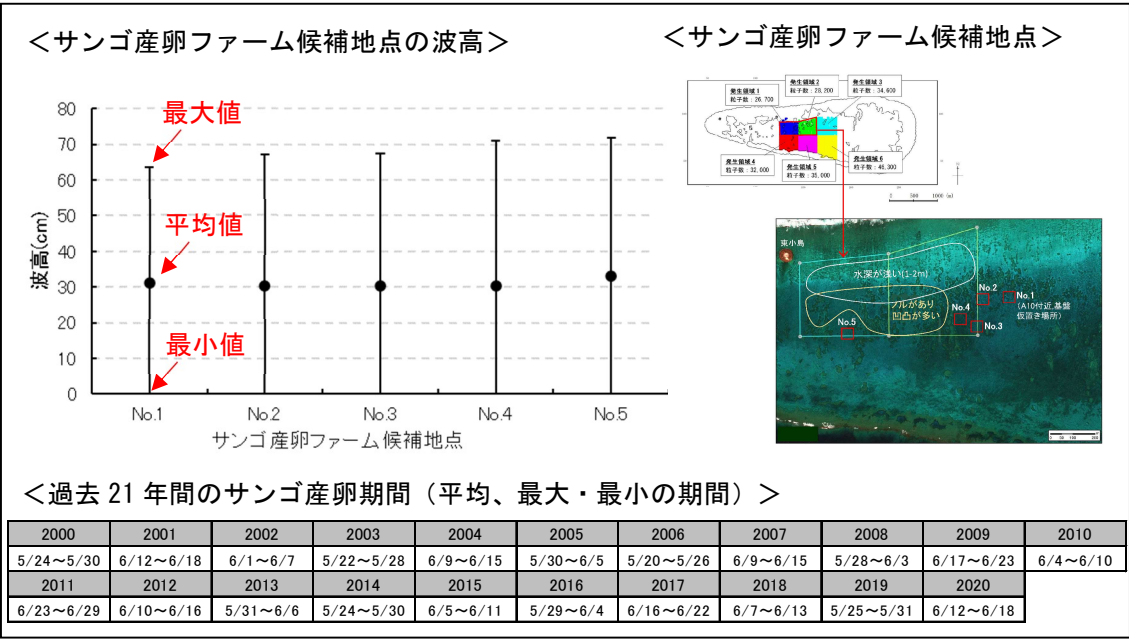


図-Ⅳ. 1. 2. 23 サンゴ産卵ファーム候補地の波高

2.4.1. 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-Ⅳ.1.2.8 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-Ⅳ. 1. 2. 8 課題と改良案まとめ

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"> サンゴ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。 	<ul style="list-style-type: none"> ネジ式の蓋に変更する。
<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。

2.4.2. 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。収集装置は、令和 4 年 11 月 17・18 日に設置し、11 月 28 日に撤去した（計 12 日間）。収集装置設置期間中、破損状況等を確認するため、3 回点検を行った。また、収集装置設置地点には波高および流速を観測するため、波高計および超音波ドップラー多層流向流速計を設置した。

収集装置の全景を図-IV.1.2.24 に、耐久性実験・点検日程を表-IV.1.2.9 に、耐久性実証実験位置図を図-IV.1.2.25 に示す。

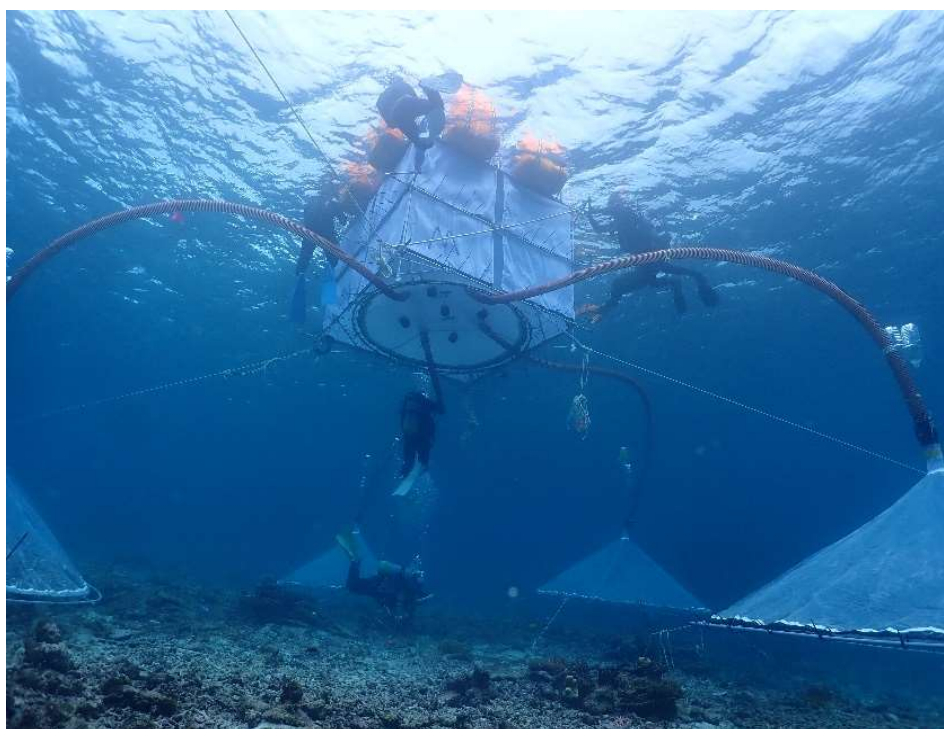


図-IV.1.2.24 収集装置の全景

表-Ⅳ.1.2.9 耐久性実験・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

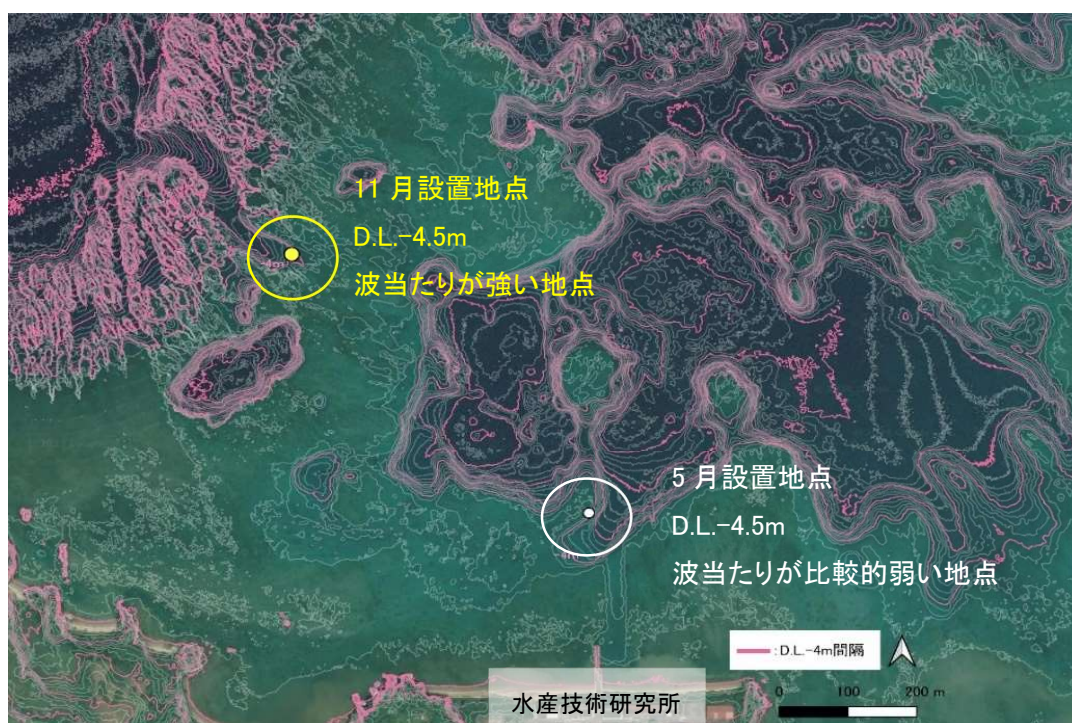


図-Ⅳ.1.2.25 耐久性実証実験位置図

2.4.3. 波浪観測結果

令和4年11月18日から11月28日までの波高データを図-IV.1.2.26に示す。

観測期間中の最大波高は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-IV. 1. 2. 26 観測期間中の波高

2.4.4. 実証結果

表・IV.1.2.8 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。

(1) 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月の実験時、装置に挿入しているホース（長さ：5.5m）の抜けが確認されたため、幼生収集時に幼生が流出する懸念があった。これに対し、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。また、収集装置を設置する5～6月の沖ノ鳥島の潮位差は1.56mであるため、潮位差2mかつ満潮時（D.L-4.5m + 2m）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。加えて、令和2年度の結果よりバンドルがホース内を上昇する際のホース下部の角度は 50° 以上が望ましいため、バンドル収集時に 50° 以上の角度が保てる長さとした。

スカート部の高さの縮小状況を図・IV.1.2.27 に、ホース長の検討図を図・IV.1.2.28 に示す。

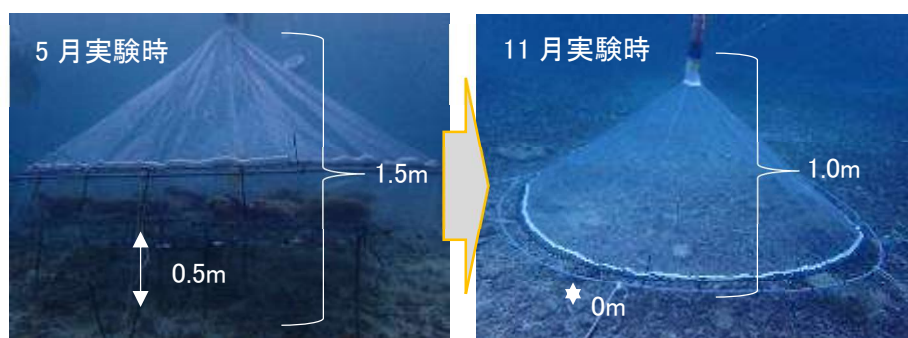


図-IV.1.2.27 スカート部の高さの縮小状況

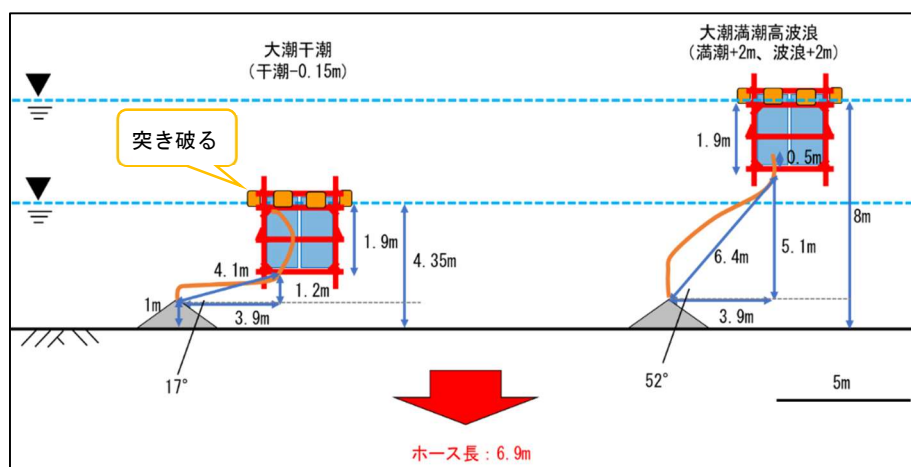


図-IV.1.2.28 ホース長の検討図

●突き破り防止策

図-IV.1.2.28 のように、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。これに対し、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、突き破り対策を行った（図-IV.1.2.29 参照）。留め具は、収集装置底部に取り付けている土木外圧用排水管を使用した。



図-IV.1.2.29 ホース突き破り防止策

●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。

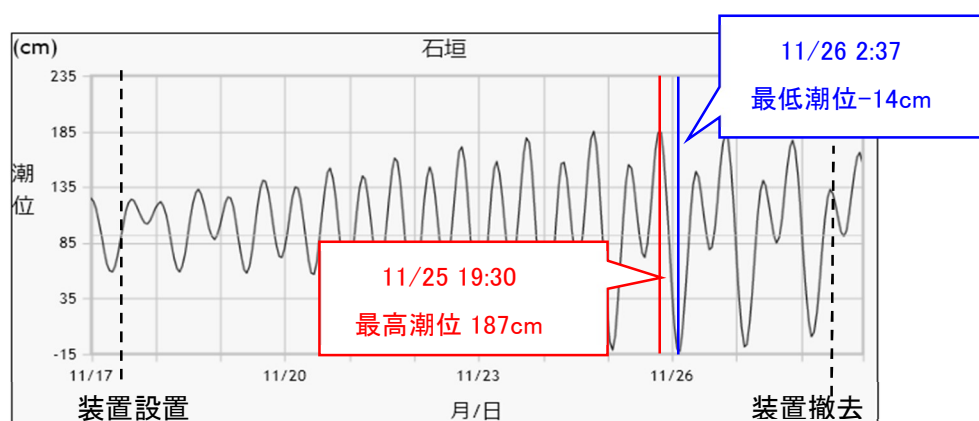


図-IV.1.2.30 設置期間中（令和 4 年 11 月 17 日～28 日）の潮位

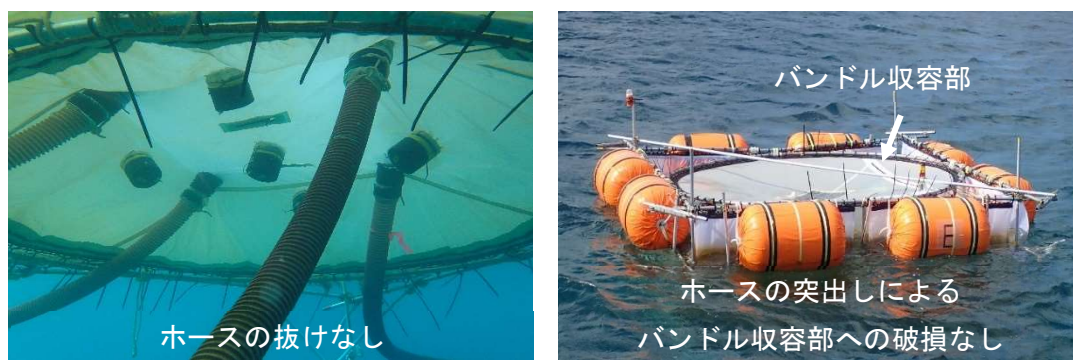
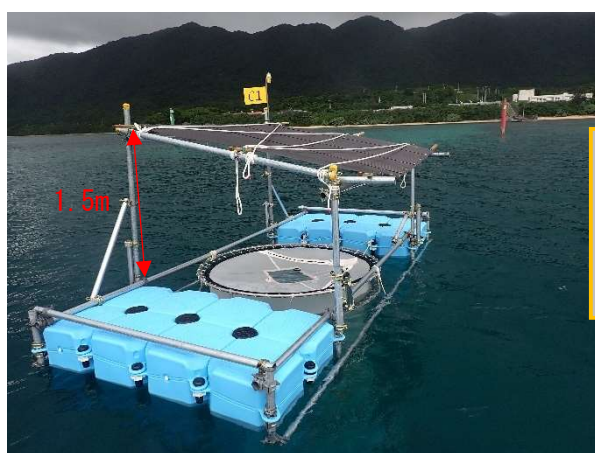


図-IV. 1. 2. 31 撤去時のホースの抜け、突き破り状況

(2) 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、海上で単管枠を組み立てて、屋根を取り付けるため組立に係る労力（設置 1.5 時間）が大きかった。また、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る。そのため、簡易に組み立てられ、かつ高さの低い雨除けを検討する必要があった。この問題に対し、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-IV.1.2.32 参照）。また、沖ノ鳥島での実証実験時にはサンゴ幼生のサンプリングをする必要があるため、シートを着脱しやすいよう収集装置の外枠とシートをクリップではさむ方式を採用した。



5 月実験時



11 月実験時

図-IV. 1. 2. 32 雨除け構造の簡易化

●結果

雨除けの高さを 1.5m から 0m に縮小した結果、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。また、装置にかかる抵抗は低減したと期待できる。一方で、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。



図-IV.1.2.33 設置時から点検③までの状況

(3) 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ため、蓋が外れない方法を検討する必要がある。そのため、揺動がおきても外れにくいネジ式の蓋に変更した。

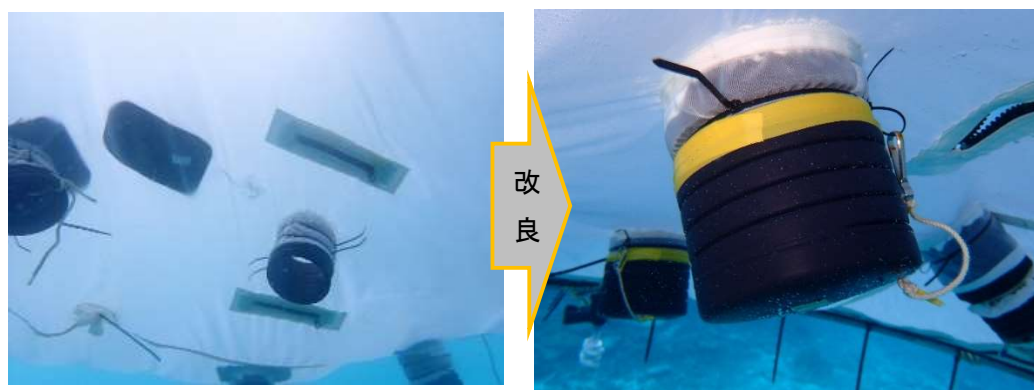


図-IV.1.2.34 幼生流出防止蓋の改良状況

●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。



図-IV. 1. 2. 35 設置時および撤去時のネジ式蓋の様子

(4) 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縫い目の部分に負荷がかかり生地が裂けたと考えられる。そのため、バンドル収容部に掛かる圧力の軽減および抵抗によるねじれをなくすことで構造強化を行った。具体的には、バンドル収容部に使用している生地（30 μ m ナイロンメッシュ）よりも、2.6倍強度が高い生地（ナイロンタフタ）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。加えて、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。

<耐波膜の作成・設置>



耐波膜



耐波膜の設置

<パイプ枠の設置>

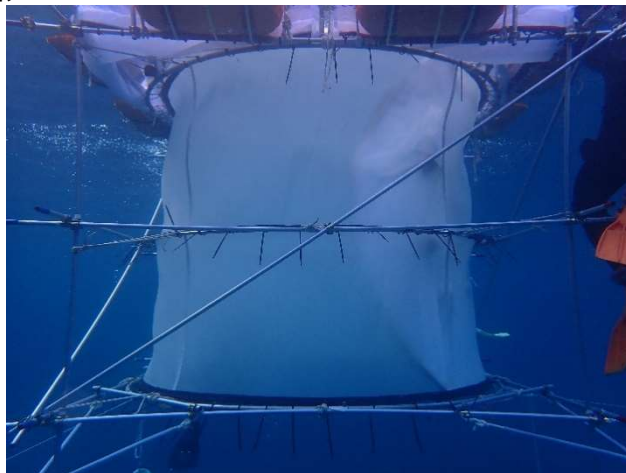


図-IV.1.2.36 バンドル収容部の構造強化

●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。そのため、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。

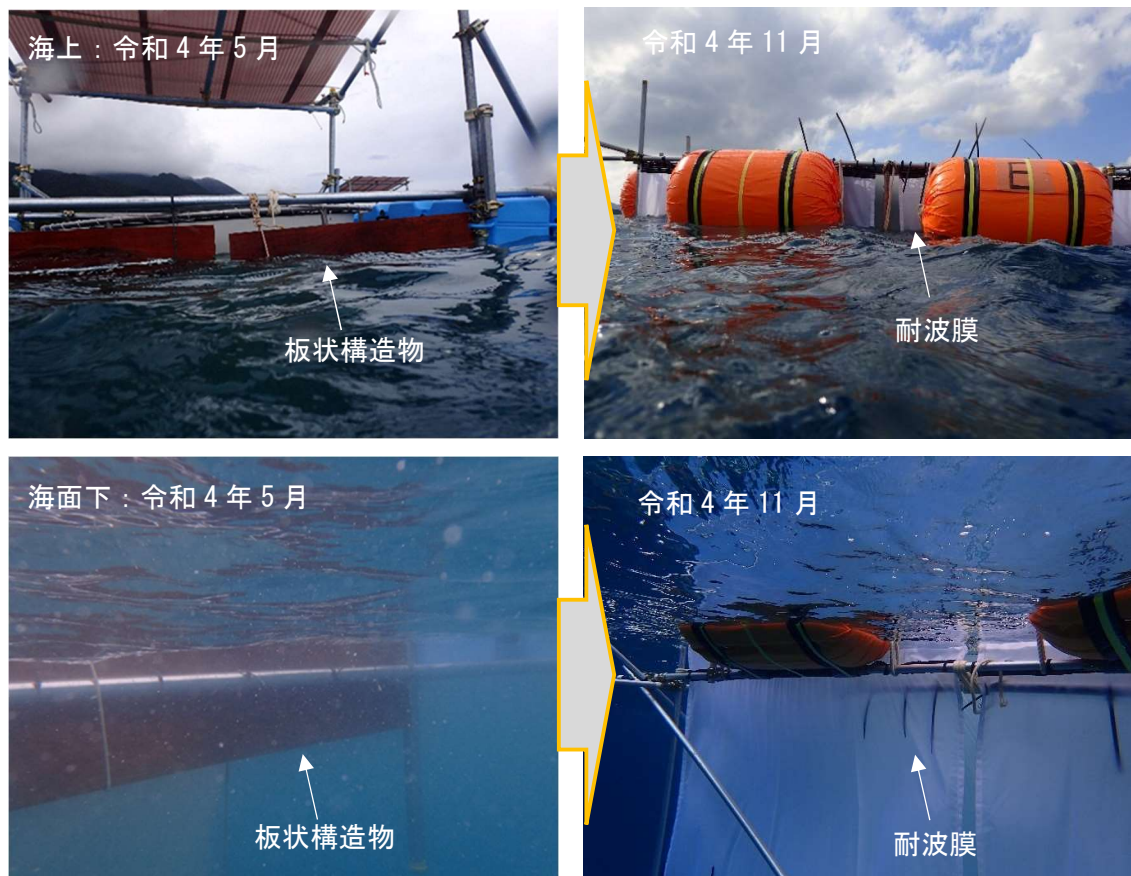


図-IV.1.2.37 さざ波侵入対策の簡易化状況

●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ことから、耐波膜やパイプ枠による構造強化が確認できた。加えて、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。

2.5. まとめ

表・IV.1.2.10 のように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、沖ノ鳥島礁内で設置する。

表-IV.1.2.10 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なとなるサンゴの飼育

3.1 はじめに

本事業では、サンゴ幼生を適切かつ効率的に放流する方法を開発するとともに、幼生供給基盤を適正な位置に配置するためのツールとして、サンゴ浮遊幼生の面的拡散シミュレーションモデルの構築を進めている。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とともに、幼生拡散のシミュレーションモデルの改良を行ってきた。

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ことと、幼生の拡散シミュレーション結果の適正さを実証するために、沖ノ鳥島において幼生放流実証試験の実施が予定されている。本技術開発では、この試験に必要な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

(1) 対象種

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。

(2) 飼育施設

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（図-IV.1.3.1、IV.1.3.2）。同施設は、サンゴの飼育には不可欠である清浄な海水を大量に使用することが可能である。また、同研究所では、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る。

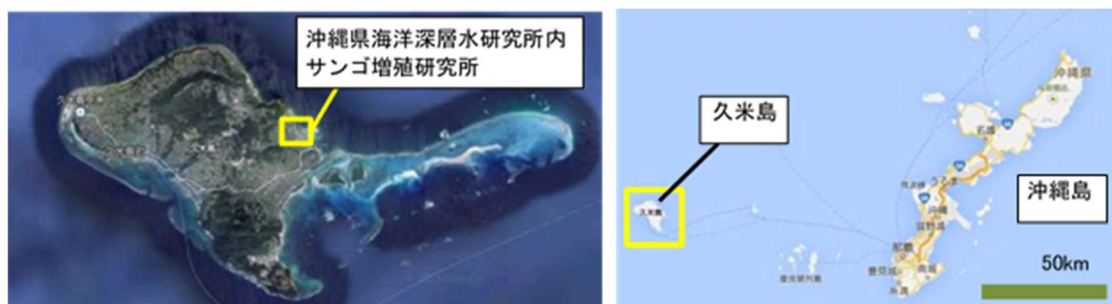
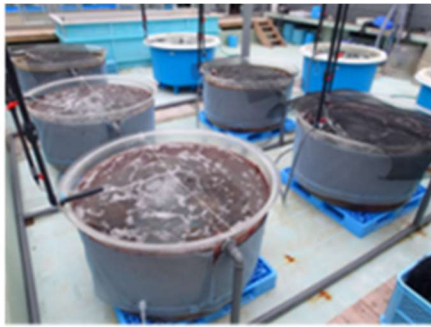


図-IV.1.3.1 サンゴ増殖研究所位置図



親サンゴ飼育水槽群



稚サンゴ飼育水槽群

図-IV.1.3.2 サンゴ増殖研究所内部

(3) 飼育方法

飼育水槽内の飼育状況および飼育サンゴの写真を図-IV.1.3.3に示す。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。飼育方法の詳細は以下のとおりであった。

- ・水槽容量 : 大型水槽（5 トン水槽）を用いて水温および水質の安定化を図った。
- ・換水率 : 0.5 回転/時とした。
- ・水流 : エアレーションにより 3～5cm/秒程度の水流を発生させた。
- ・光量 : 水槽内の光量子量を空中の 30～40%とした。
- ・水温 : 飼育には通常を表層水を用い、海水温は 23～28℃であった。

（夏期に水槽内へ注水する水温が 28℃を超える場合は、冷却海水を用いて水槽内の水温を 28℃以下に保った）

稚サンゴ飼育水槽には、藻類の繁茂を防ぐために藻食性の貝類、魚類、シラヒゲウニ、タツナミガイを収容した。これらの生物の収容個体数は、適宜藻類の生育状況により調整した。また 1 週間に 1 回程度の頻度で、水槽の底に堆積したシルトや生物の糞を海水とともに汲み上げて除去した。

2019 年度までは、角柱型着床具をプラスチック製ネット（縦横 30cm、目合 10mm）に突き刺す形で固定し、ネットごと 5 トン水槽に垂下する形でサンゴを飼育していた。しかし、サンゴが成長するに従い、水槽の上方のサンゴの陰により底に近い部分のサンゴに光が当たりにくくなっており、下方のサンゴの成長の鈍化が見られた。このため、2020 年 5 月～8 月にかけて、角柱型着床具に 5cm 角平板タイルを接着して土台を作り、稚サンゴを平面上に並べられるようにし、5 トン水槽の水深約 20cm の棚の上に稚サンゴを配置した（図-IV.1.3.3, D）。本年度もこれと同様な状態で稚サンゴ飼育を継続した。



図-IV.1.3.3 過年度の稚サンゴ飼育状況

A：5 トン FRP 製稚サンゴ飼育水槽、B：プラスチックネットに収容した稚サンゴ、

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、また稚サンゴ写真を図-IV.1.3.4 を示す。

久米島のサンゴ増殖研究所にて飼育中のサンゴは、生残率が高く順調に飼育できている。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目標達成は可能であった。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 稚サングの生残群体数

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

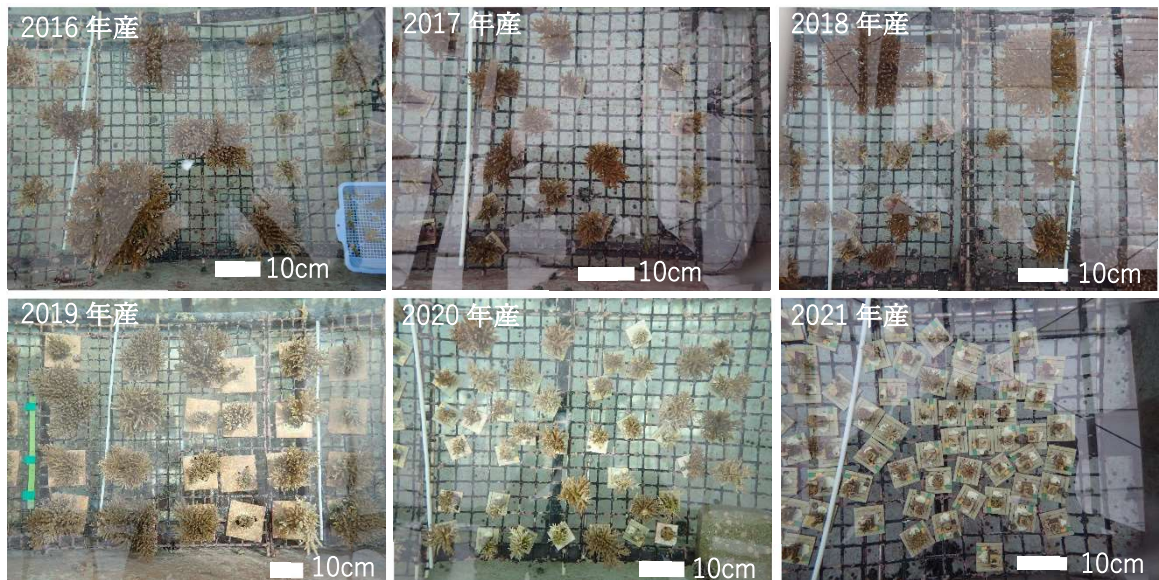


図-IV.1.3.4 稚サング生育状況

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

(1) 対象種

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。

(2) 輸送方法の検討

1) 目的および方法

過年度において、サンゴを水槽に満たした海水に浸漬した状態（浸漬法）で、沖縄から沖ノ鳥島へ長距離輸送する方法が開発されている。しかし、この方法では、多数のサンゴを輸送する場合、多くの水槽が必要となりコストと手間が掛かる。このため、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。このドライ法により、令和 3 年度に久米島から石垣にサンゴを問題なく輸送することができたが、沖ノ鳥島への輸送にはより日数がかかるため、今回の試験により長距離輸送にドライ法を用いることが可能かどうかを確認した。

試験方法は以下の通りであった（図・IV.1.4.1）。試験は、久米島のサンゴ増殖研究所で実施した。

[試験区 1]

- ・湿らせたスポンジで包んだサンゴを、空気と酸素を充填したビニール袋に 5 日間収容
- ・ビニール袋内に酸素を、空気と酸素を 1 : 1 で充填
- ・途中でビニール袋の開封なし
- ・人工気象器内で器内温度を 20°C に設定
- ・途中で海水への浸漬なし

[試験区 2]

- ・湿らせたスポンジで包んだサンゴを、空気と酸素を充填したビニール袋に 5 日間収容
- ・ビニール袋内に酸素を、空気と酸素を 1 : 1 で充填
- ・途中でビニール袋の開封なし

- ・人工気象器内で器内温度を 25℃ に設定
- ・途中で海水への浸漬なし

[試験区 3]

- ・湿らせたスポンジで包んだサンゴを、空気と酸素を充填したビニール袋に 5 日間収容
- ・ビニール袋内に酸素を、空気と酸素を 1 : 1 で充填
- ・毎日ビニール袋を開封し、ビニール袋の容積の約半分の気体を排気した後、同量の酸素を充填
- ・人工気象器内で器内温度を 25℃ に設定
- ・途中で海水への浸漬なし

[試験区 4]

- ・湿らせたスポンジで包んだサンゴを、空気と酸素を充填したビニール袋に 5 日間収容
- ・ビニール袋内に酸素を、空気と酸素を 1 : 1 で充填
- ・毎日ビニール袋を開封し、ビニール袋の容積の約半分の気体を排気した後、同量の酸素を充填
- ・人工気象器内で器内温度を 25℃ に設定
- ・毎日、約 10 分間海水への浸漬

試験期間は以下の通りであった。

- ・試験区 2 および 3 : 2021 年 11 月 29 日～12 月 4 日、5 日間
- ・試験区 1 および 4 : 2022 年 1 月 17 日～21 日、5 日間



図-IV.1.4.1 輸送方法試験の実施状況

2) 結果および考察

試験概要と試験終了時のサンゴの生残結果を表-IV.1.4.1 に、サンゴの状態の写真を図-IV.1.4.2 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。

表-IV.1.4.1 稚サンゴの生残群体数

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	・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	・初日の梱包時に ビニール袋内に 酸素を充填	20℃	なし	3	0%
試験区2			25℃		10	0%
試験区3	・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	・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℃	なし	10	0%
試験区4				毎日10分間 海水に浸漬	3	0%



干出実験終了時の状況



干出実験終了 1 か月後の状況

(骨格に共肉が残っているが 腐敗臭がした) (完全に斃死し、骨格に藻類が生えている)

図-IV.1.4.2 試験中および試験後のサンゴの状況

(3) 沖ノ鳥島へのサンゴ輸送

1) 目的および方法

①長距離輸送および移植

沖ノ鳥島での幼生放流実証試験のため、令和 4～7 年度の間に、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、沖ノ鳥島での幼生放流実証試験に用いるためにサンゴ増殖研究所にて飼育されている約 550 群体のサンゴのうち、直径 10cm 程度の 20 群体を沖ノ鳥島で中間育成するために同地へ長距離輸送し、海域に設置してあるサンゴ増殖礁へ移植した。輸送中の飼育条件は、「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 21 年 3 月」にしたがって設定した。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

②輸送後の産卵の確認

久米島から沖ノ鳥島への長距離輸送は、毎年 5 月下旬もしくは 6 月初旬に行われる予定である。産卵は直近の満月付近に行われることから、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。このため、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

①長距離輸送および移植

サンゴ輸送および移植・移設状況を図-IV.1.4.3 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。

②輸送後の産卵の確認

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。残りの 3 群体については、6 月 5 日時点で抱卵が確認されたが、6 月には産卵せず、7 月 4 日の肉眼および顕微鏡下での観察において、ポリプ内に卵は見られなかった。5 月

16日～7月4日の期間、毎日18:30～20:00までサンゴの観察を行ったが、バンドルセットも産卵も観られなかったことから、再吸収等により卵が消失したと考えられる。ウスエダミドリイシのバンドルセットおよび産卵時刻は、それぞれ18:00頃と19:30頃であることから、産卵を見逃したことは考えられない。3群体が産卵しなかった明らかな理由は不明であるが、水温変化が産卵を妨げた可能性もある。図-IV.1.4.4に、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水温の変化を示す。久米島帰還時に水温が急に下がったこと、また久米島の水温が例年より低かったことから（例年の産卵時期の水温は約26℃であるが、今回は24～25.5℃）、卵を再吸収した可能性も考えられる。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。

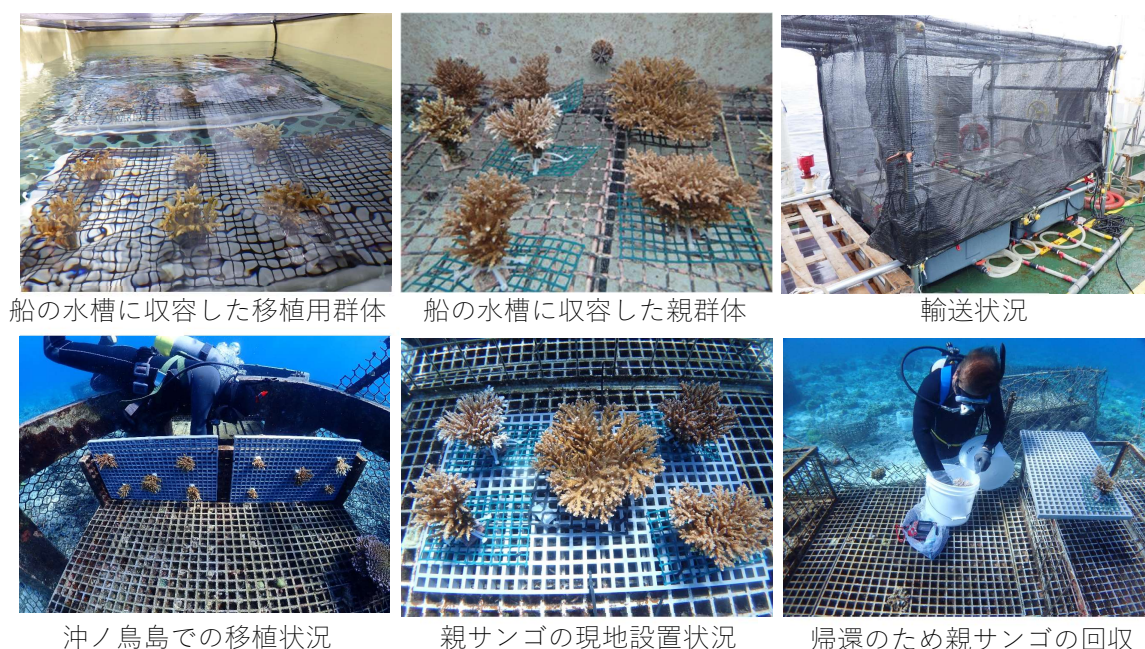


図-IV.1.4.3 サンゴの輸送および移植・設置状況

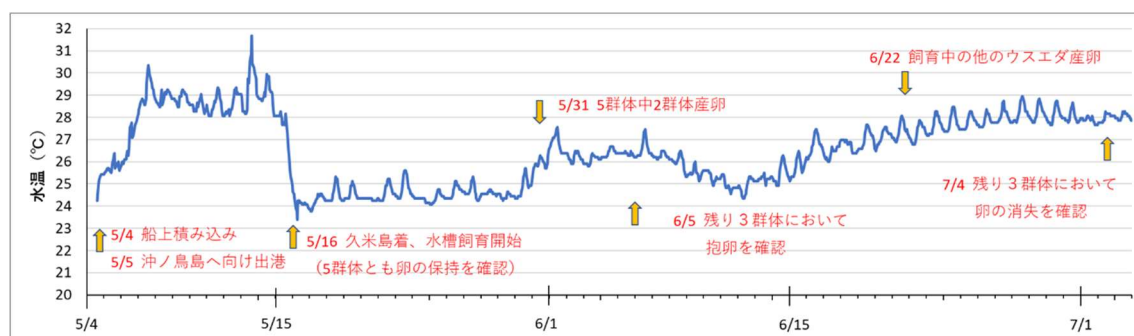


図-IV.1.4.4 輸送中および沖ノ鳥島での飼育期間、久米島帰還後の飼育海水の水温