

Ⅳ-1. サンゴ幼生供給規模拡大技術の開発・実証

目 次

IV-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

1.1. はじめに	IV-1-1-1
1.2. 技術開発手法	IV-1-1-1
1.3. 実証試験結果	IV-1-1-3
1.4. 結果の考察と今後の課題・対応策	IV-1-1-10
1.5. 令和6年度 沖ノ鳥島幼生放流実証試験の計画	IV-1-1-12

2. 幼生収集装置の改良

2.1. はじめに	IV-1-2-1
2.2. 石垣島での実証試験結果	IV-1-2-1
2.3. 令和6年度の計画案	IV-1-2-15

3. 沖ノ鳥島での実証に必要なサンゴの飼育

3.1 はじめに	IV-1-3-1
3.2 稚サンゴ飼育	IV-1-3-1
(1) 対象種	IV-1-3-1
(2) 飼育施設	IV-1-3-1
(3) 飼育方法	IV-1-3-2
3.3 稚サンゴ飼育結果	IV-1-3-3

4. 親サンゴの効率的な長距離輸送手法の検討

4.1. 大量輸送可能な手法の検討	IV-1-4-3
4.2. 輸送船設置時における実現性の確認	IV-1-4-11
4.3. 輸送カゴの受渡しシミュレーション	IV-1-4-29

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。

これまでのサンゴ増殖実証は有性生殖による種苗生産技術が進んでいるウスエダミドリイシを対象としてきたが、今後、サンゴ増殖事業の推進を踏まえ、種の多様性を考慮し、ウスエダミドリイシと産卵時期が異なり、概ね産卵時期が予測可能な「ヤッコミドリイシ」を対象とした幼生収集・放流技術を実証、検証した。

さらに、ヤッコミドリイシ類似種は沖ノ鳥島にも成育しており、今後の沖ノ鳥島におけるサンゴ増殖のための参考データとする。

1.2. 技術開発手法

1.2.1. 実証試験時期

ヤッコミドリイシの産卵時期である 2023 年 9 月 8 日～9 月 22 日に実施した。

1.2.2. 実証試験場所

採捕した天然のヤッコミドリイシを一時保管可能で、水産技術研究所の施設を利用した試験が可能な水産技術研究所 八重山庁舎前面海域（石垣市浦底湾奥部）とした（図-IV.1.1.1）。

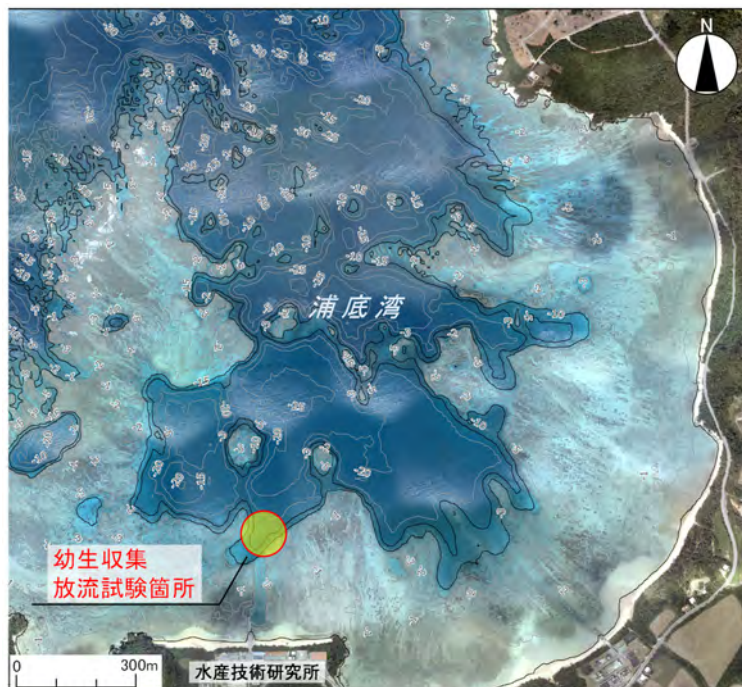


図-IV. 1. 1. 1 実証試験場所

1.2.3. 実証試験・検証内容

ヤッコミドリイシを用いた幼生収集・放流の検証項目と内容は表-IV.1.1.1 のとおりである。

表-IV.1.1.1 ヤッコミドリイシを用いた幼生放流試験検証項目

検証項目	検証内容	試験方法
収集装置の作業性確認※	沖ノ鳥島用の収集装置を展開し作業性の確認を行う	収集装置の設置（現地試験）
幼生の収集※	ウスエダミドリイシと同様に収集ホースを使用して装置内に幼生収集が可能か。	幼生収集試験（現地試験）
幼生の保持※	着底能力を有するまで装置内で幼生の保持が可能かどうか。	幼生保持時、水質観測 幼生数の計測（現地試験）
幼生の放流・拡散	産卵4日後に着底能力を有し、幼生放流できるか、拡散するか。	幼生放流試験、流況観測
	ウスエダミドリイシと同様に放流高さ1～1.5m程度が適切か。	幼生放流試験（現地試験）
幼生収集(放流)装置の移動時の耐久性	これまで度々生じていた、装置曳航時の装置破損に対し、新たな改良した装置で移動時に破損しないか。	幼生放流後に改良した装置を曳航して破損しないか確認する。 （現地試験）
幼生の沈降速度	ウスエダミドリイシと同様の沈降速度(0.2～0.3cm/sec)であるかどうか。	沈降速度試験(水槽実験)

※収集装置の作業性確認、幼生の収集と保持の実証試験・検証結果は2章に記載した。

1.3. 実証試験結果

1.3.1. 実証試験スケジュール

令和5年度の幼生放流実証試験のスケジュールを表-IV.1.1.2に示す。

表-IV.1.1.2 実証試験スケジュール

実施日	実施内容	結果概要
9月8日～12日	幼生収集装置の組立・設置	
9月14日	着床具の設置 流速計、波高計の設置	
9月15日	水質計の設置 自然産卵の確認 産卵誘発の実施	自然産卵の確認が無かったため、産卵誘発を実施
9月16日	サンゴの産卵、幼生収集	
9月18日	産卵2日目 収集装置内の水替え	幼生の斃死による溶存酸素量低下のため海水交換のため装置内の水替えを実施
9月19日	装置内幼生数の計測 着床具の再設置	幼生数約16万個体 幼生数に応じて試験区を直径40m～30mに縮小
9月20日	幼生放流(4日令)	放流直前の幼生数約13万個体
9月21日 9月21日-22日	幼生沈降量速度試験 着床具の回収、着底数の計数	8ケース実施 着底数:2 着床具に1個体ずつ計2個体

1.3.2. 幼生放流試験

(1) 幼生放流試験区の設置

- ・ウスエダミドリイシを用いた過年度放流試験に基づき、260 万個体の幼生放流で 0.2ha で 100 個体/m² の着底であった。
- ・放流方式は 50 万～100 万個体では放流量を分配調整する断続移動放流は難しいと考えられるため固定式放流とした。
- ・また、今回の放流幼生は 3 日令で 15 万程度であることから、直径 30m の円（＝面積 707m²[0.07ha]）の規模とした（図-IV.1.1.2）。

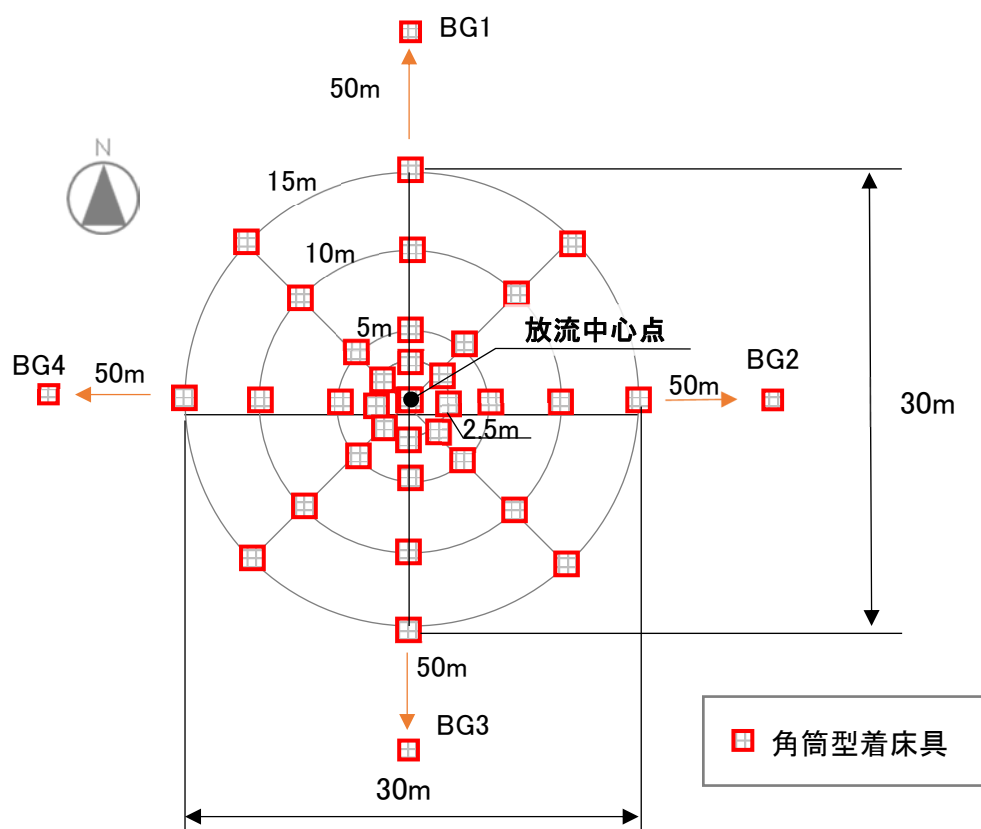


図-IV.1.1.2 放流試験区着床具の配置（直径 30m 円）

(2) 幼生放流

- ・ 幼生放流量は放流直前に採水し、幼生を計測した結果、約 13 万個体であった。
- ・ 放流高さについて、9 月 20 日の幼生放流時刻は 10 時頃(9 時 44 分：潮位約 D.L.+1.6m)であり、放流中心の着床具の高さがおよそ D.L.-5.5m であった。
- ・ 幼生放流時の装置下端 D.L.-2.4m であり、着床具まで 3.1m の空間があったことから、放流調整用スカート（高さ 2m に調整）を収集装置に取付けた。
- ・ これまでの幼生着底の実績に基づき 1m～1.5m にするものとして、放流時の放流高さを 1.1m として放流を行った。
- ・ 放流時間は、昨年度のウスエダミドリイシの沈降速度試験結果を参考に、沈降速度を 0.2cm/sec と遅いケースで放流時間を 50 分と設定し、放流後の水平拡散の時間も考慮し、90 分間静置して、放流を行った。

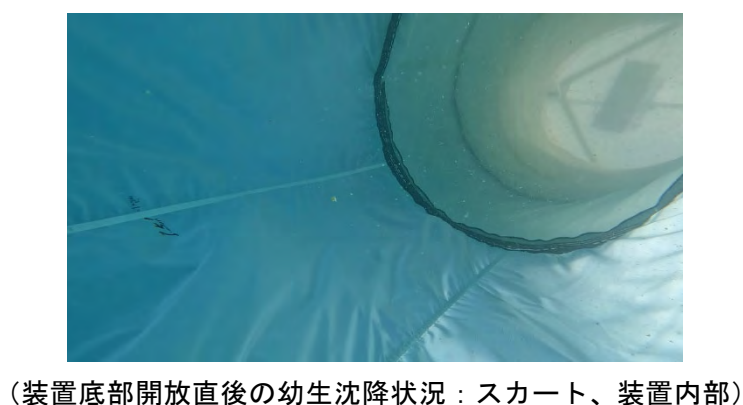
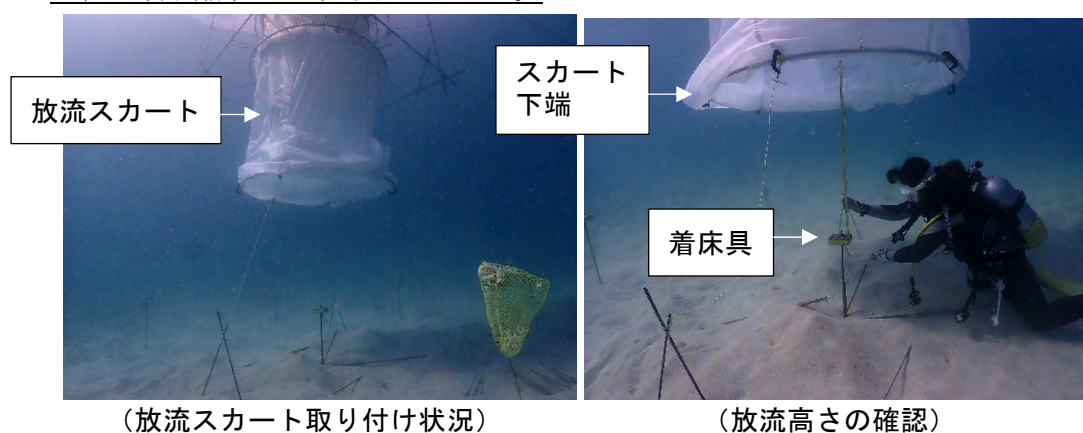


図-IV. 1. 1. 3 幼生放流状況

(3) 幼生着底結果

- ・放流翌日の 9 月 21 日に着床具の回収を行い、幼生着底数把握のための検鏡、着底数の計数を行った。着底結果を図・IV.1.1.5 に示す。
- ・着底量の計数の結果、半径 2.5m の 2 箇所に 1 個体ずつ、北西と北東方向の 2.5m の着床具に計 2 個体の着底を確認した。

※着底した幼生の 2 個体の DNA 分析をしたところ、

- ・放流～着床具回収までの流況観測結果は図・IV.1.1.4 に示すとおりであり、放流開始(装置底部開放)から終了(装置底部閉め)の流れは、北西から北北東の向きで流速は 0.3～1.6cm/sec と小さい流れであり、この流況に従い拡散し、近傍の北側の着床具に着底したものと考えられる。
- ・沈降量速度を後述する試験結果から 0.24cm/sec とすると、放流高さ 1.1m を沈降する時間は約 460sec であり、上記流況下において、放流した幼生は北方に約 1.4～7.4m 範囲に拡散したと考えられる。

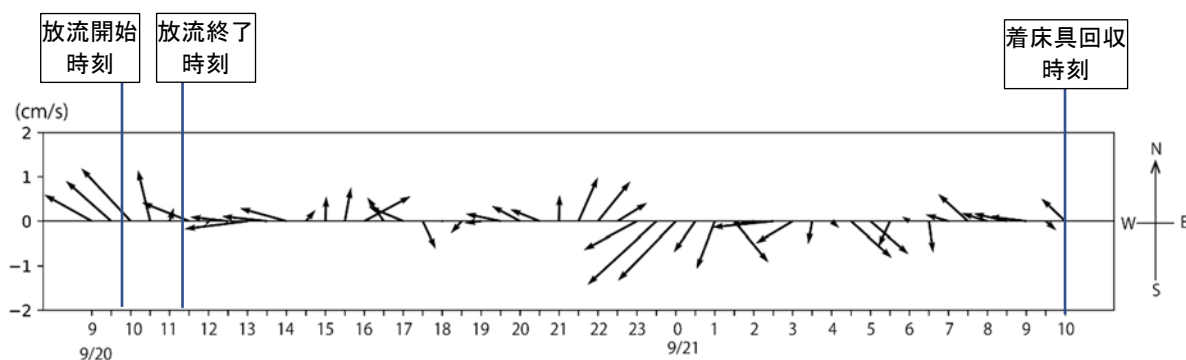
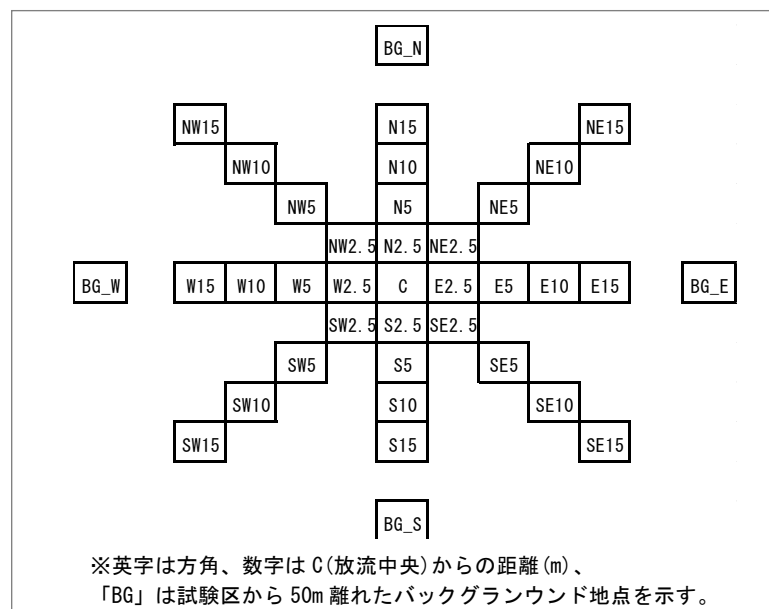
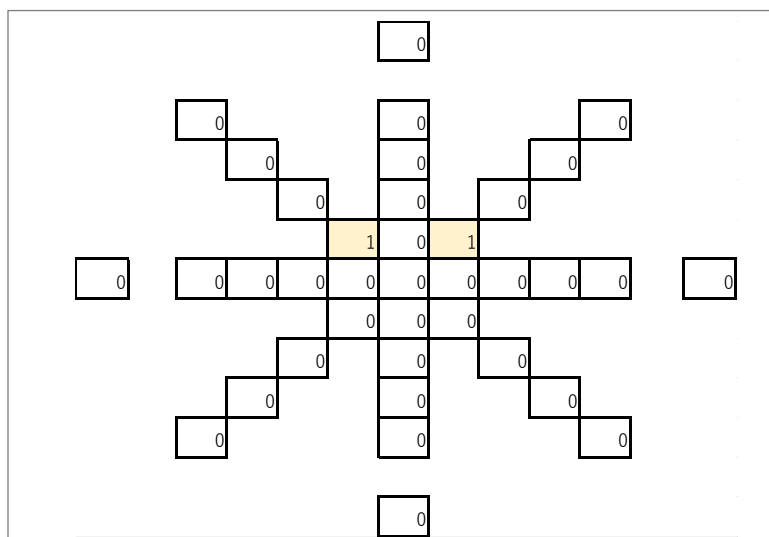


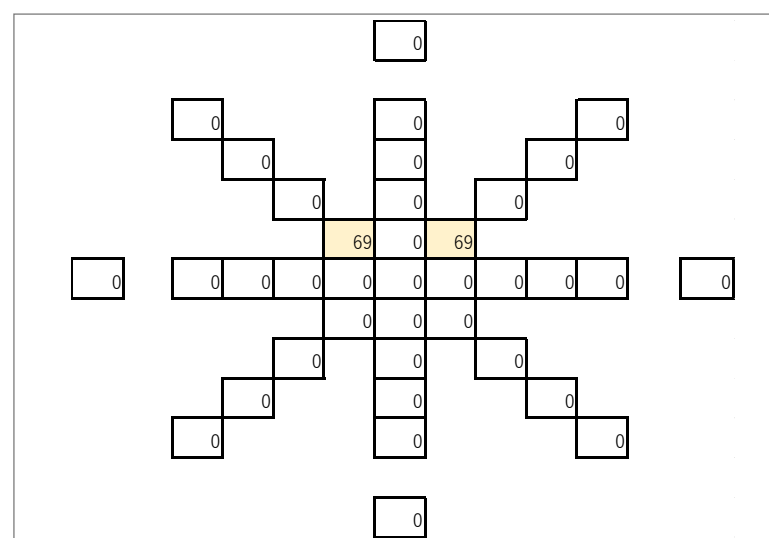
図-IV.1.1.4 放流時の流向・流速（ベクトル）経時変化



(着床具の位置の模式位置図)



(着床具の幼生着底量計算結果)



(1m²当りの着底数換算)
図-IV.1.1.5 幼生着底結果

1.3.3. 断続放流のための装置耐久試験

- ・ 幼生放流後、装置を調査船で 100m 程度曳航し、装置が破損しないかどうか、確認を行った。
- ・ 耐久性の確認方法は、曳航と同時にダイバーが装置と並行して装置の各部の写真撮影を行い、装置への圧力のかかり具合（膨らみや変形度合い、裂けそうな部分）や装置周辺を固定している部材と生地との接触、裂傷の可能性や有無を確認して検証した。
- ・ 曳航試験の結果、風の影響を受けず曳航可能な 0.5 ノットから 1 ノット以下で曳航すると、装置は損傷等の可能性もなく安全に曳航できた。

表-IV.1.1.3 装置の曳航試験の条件

項 目	条件内容	備 考
曳航距離	約 112m（直線で曳航）	半径 40m の放流試験区 2 箇所を中心を移動させるものとして 100m 程度移動とした
曳航速度	平均速度 0.6 ノット	距離 112m(0.112km)÷曳航時間 6 分(0.1 時間) ＝時速 1.1km＝0.6 ノット
曳航方法	調査船後進による曳航	調査船前方ビットと収集装置(上方 2 箇所、下方 1 箇所)をロープで固定

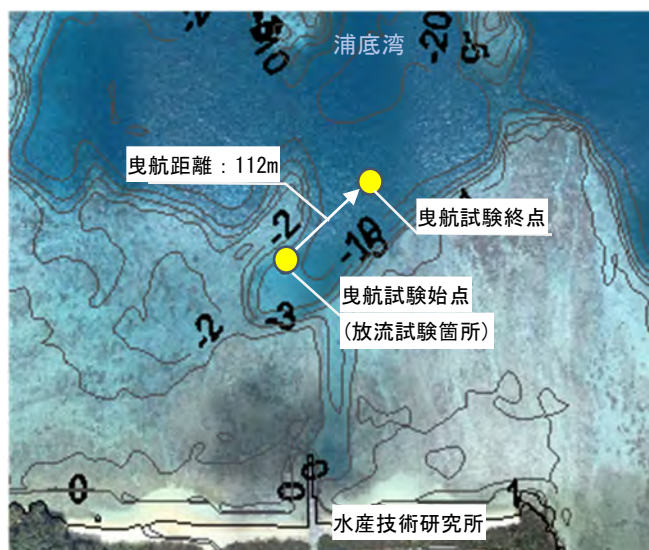


図-IV.1.1.6 曳航試験場所及び曳航位置



（装置曳航状況）



（曳航後の装置状況：破損等無し）

図-IV.1.1.7 曳航試験状況

1.3.4. 沈降量速度試験結果

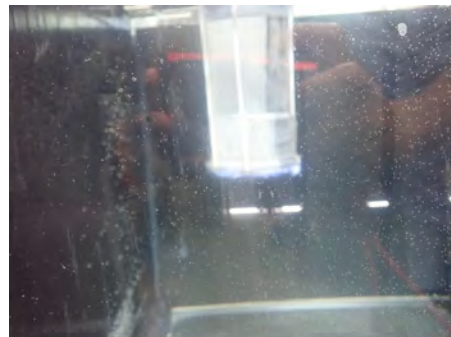
ヤッコミドリイシの時間当たりの幼生放流量を計画できるようにするため、幼生の沈降量速度試験を行い、幼生の沈降速度を確認した。

試験方法は、以下の通りの手順で実施した。

- 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 5 日令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。
 - 2) 円筒の底面の蓋を開け、想定沈降速度 0.25cm/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 40 秒）、終了時刻に蓋を閉める。
 - 3) 円筒に残った幼生の個体数を計数して、時間当たり沈降量速度を確認した。
- ・試験は 3 日令幼生を計数する際に収集した幼生約 800 個体を使用し、8 ケースの試験を実施した。



（幼生の分取状況）



（試験実施状況）

図-IV.1.1.8 沈降量速度試験実施状況

- ・沈降量速度試験の結果は表-IV.1.1.4 に示す。結果は昨年度のウスエダミドリイシによる沈降量速度と同様に 0.17~0.34cm/sec とケースによってばらつきがみられたが、平均値は 0.24cm/sec とウスエダミドリイシと同程度であった。
- ・沈降量速度が比較的小さかったケース 3, 4, 6, 7 は、模擬試験装置内に残った幼生は、速度が比較的大きかったケースで残った幼生よりも小さいと考えられた。
- ・日令では十分に成長できていなかった個体が含まれていた可能性がある。

表-IV.1.1.4 ヤッコミドリイシ幼生の沈降量速度試験結果

試験日		2023年9月21日		室内温度 25.0℃ (11:56)				
ケース	開始時刻	放流時間 (sec)	幼生投入数 (個体)	筒内残り幼生数 (個体)	放流幼生数 (個体)	沈降速度 (cm/sec)	筒内水温 (℃)	備考
CASE-1	10:49	40	100	42	58	0.29	30.2	
CASE-2	11:00	40	93	32	61	0.33	30.0	
CASE-3	11:15	40	100	63	37	0.19	30.1	CASE-1, 2より残っていた幼生が小さいと思われる。
CASE-4	11:30	42	100	62	38	0.18	30.0	同上
CASE-5	11:42	40	100	48	52	0.26	30.0	
CASE-6	11:53	40	100	66	34	0.17	30.0	CASE-1, 2より残っていた幼生が小さいと思われる。
CASE-7	12:03	41	100	61	39	0.19	29.8	同上
CASE-8	12:26	42	100	28	72	0.34	29.5	
					平均値	0.24		

1.4. 結果の考察と今後の課題・対応策

1.4.1. 幼生の放流・拡散（放流後の着底率）について

- ・今年度の放流試験による幼生の着底は少なかったものの、ヤッコミドリイシを用いた幼生の保持・放流による種苗生産の実用化の可能性が示された。
- ・ただし、幼生保持期間の斃死率が高いこと、4 日令幼生に成育が不十分とみられる幼生が含まれていたこと等の課題も確認された。
- ・今後の対応として、「産卵誘発を行わずに、幼生確保が可能となる余裕のある工程の確保」、「幼生の大量斃死を助長する溶存酸素濃度低下対策（海水交換、幼生保持数抑制等）」を行うとともに、幼生の着底時期の解明により、ウスエダミドリイシと同等に利用可能と考えられる。
- ・ヤッコミドリイシ幼生を天然海域へ放流した事例は今回が初めてであり、ヤッコミドリイシの着底挙動等を実験・実証の事例がなく、放流時期として適切な日令ではなかった可能性が考えられる。あるいは、2 日令で幼生集装置内の水質が一時的に悪化し、幼生の一部の個体群への成長または活性の低下に影響を及ぼした可能性がある。
- ・今後の対応としては、室内等での水質の管理された種苗生産等の実績より、ヤッコミドリイシとウスエダミドリイシの4 日令以降の着底率等の着底行動の特性に係る情報を収集、把握して、ヤッコミドリイシの適切な放流方法・時期を検討する必要があると考えられる。

1.4.2. 断続式移動放流に向けた曳航時の耐久性について

- ・沖ノ鳥島用の幼生収集放流装置は、調査船とロープで固定し 1 ノット以下（舵が効く程度のゆっくりとした速度）で後進により曳航すれば、枠組みや装置の生地が破損することなく問題なく曳航できることが確認できた。
- ・なお、調査船に「横抱き」する方法を試してみたが、装置が重すぎて直進できなかった、また昨年の実証試験事例で、横抱きすると調査船の動揺が直接装置に伝わるため、急な突風時に調査船とともに急激な圧力を受け、装置が破損した経験があるため、横抱きによる曳航はしないこととする。

1.4.3. 沈降量速度試験について

- ・ 沈降量速度試験の結果は、昨年度と同様の試験方法で行った場合、ウスエダミドリイシの沈降量速度の結果（概ね 0.2～0.3cm/s）と同様となった。
- ・ ただし、8 ケースのうち 4 ケースについては、他の 4 ケースと比べて、模擬幼生収集装置内に残った幼生の大きさが、小さいと思われるものが存在した。試験前に試験用の幼生を分取してビーカーに静置した幼生の様子を観察すると、比較的小さい幼生は下の写真に示すように浮上したままであった。
- ・ すなわち一部の幼生は、1.4.1 で述べた可能性により、着底期に成長しておらず、成長度合いに個体差があるように思われた。
- ・ このことは、1.4.1 の考察と同様、幼生保持時の一時的な水質悪化による幼生の成長または活力低下による可能性が考えられる。
- ・ 着底行動期ではない幼生は、当該試験時に模擬収集装置内を沈降しなかった可能性があり、適切な幼生放流量速度の把握ができていないと考えられる。
- ・ したがって、ヤッコミドリイシの沈降量速度を把握するためには、まだ種苗生産の事例の少ないヤッコミドリイシの着底行動(着底時期)の特性に係る情報を収集して把握し、着底時期を確認したうえで、改めて試験を行う必要があると考えられる。

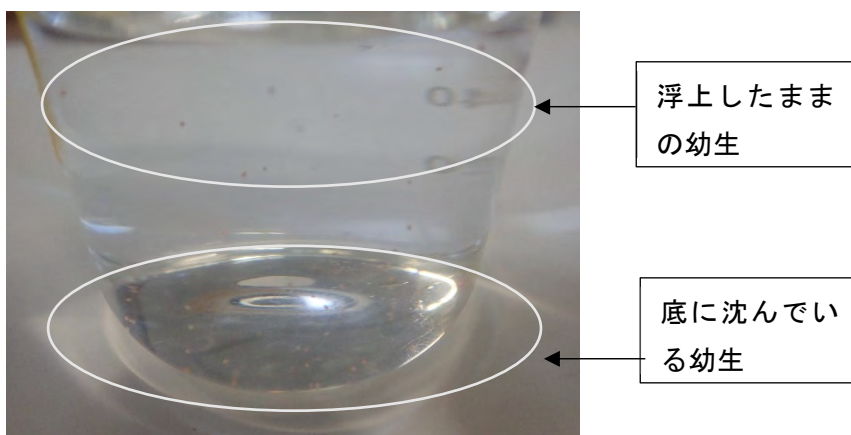


図-IV.1.1.9 沈降量速度試験前に静置した幼生のビーカー内の状況

1.5. 令和6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、令和6年度は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、過年度の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。

1.5.1. 次年度スケジュール案

令和6年度の沖ノ鳥島のサンゴ産卵時期を踏まえた、幼生放流実証試験のスケジュールを以下に示す。

沖ノ鳥島のサンゴの産卵時期は5月下旬と予測され、5月中旬から6月上旬に放流失笑試験を実施する計画とする。

4月上旬～中旬: 沖ノ鳥島幼生収集・放流試験計画準備

4月中旬: 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月中旬: 親サンゴを久米島より沖ノ鳥島へ運搬、移動

5月下旬: 沖ノ鳥島へ到着、幼生収集・放流試験準備
産卵、幼生収集

6月上旬: 幼生放流試験、着床具回収・着底確認
沖ノ鳥島調査終了

放流実証試験(現地調査)

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7年度幼生放流実証試験計画の策定

1.5.2. 放流実証試験 現地調査行程

令和6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5月下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5月中旬から6月上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、70群体程度に産卵誘発を実施して産卵させ、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。

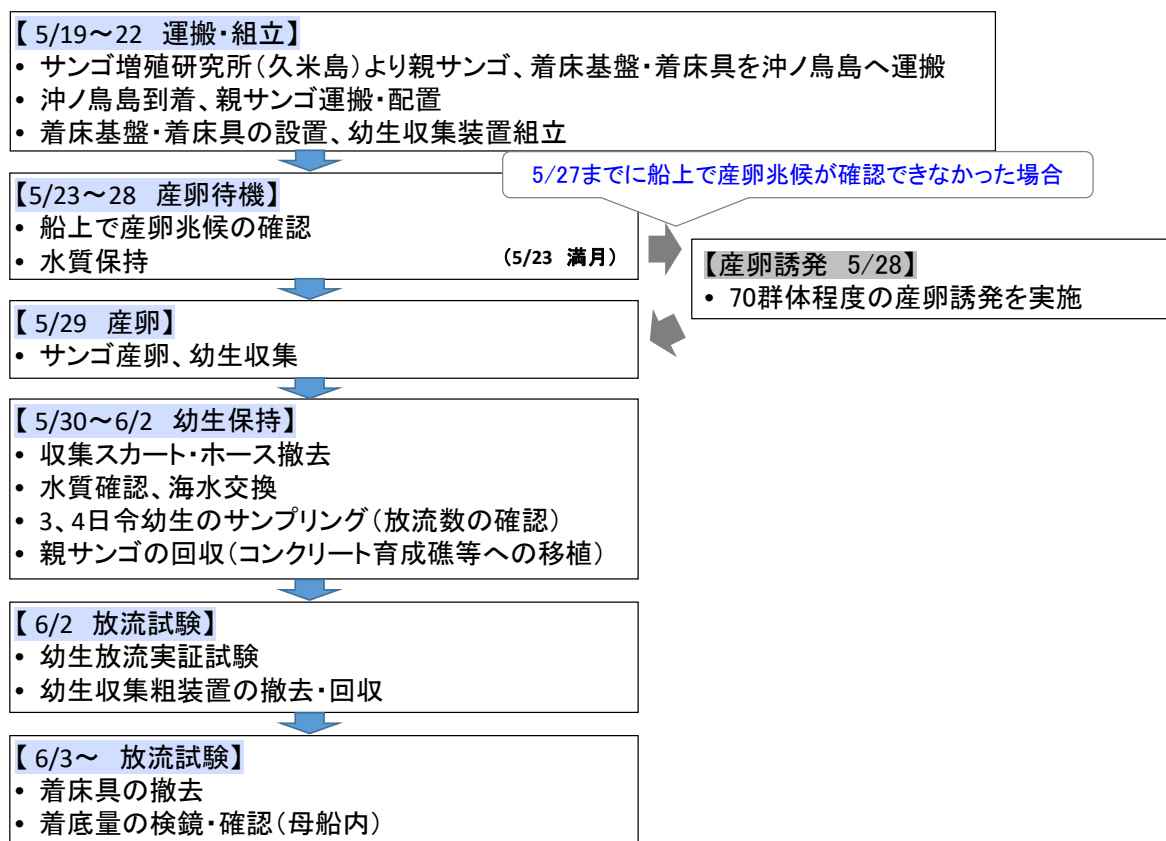


図-IV.1.1.10 沖ノ鳥島幼生放流実証試験の手順と現地調査行程

1.5.3. 放流実証試験場所

令和4年度に検討された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。

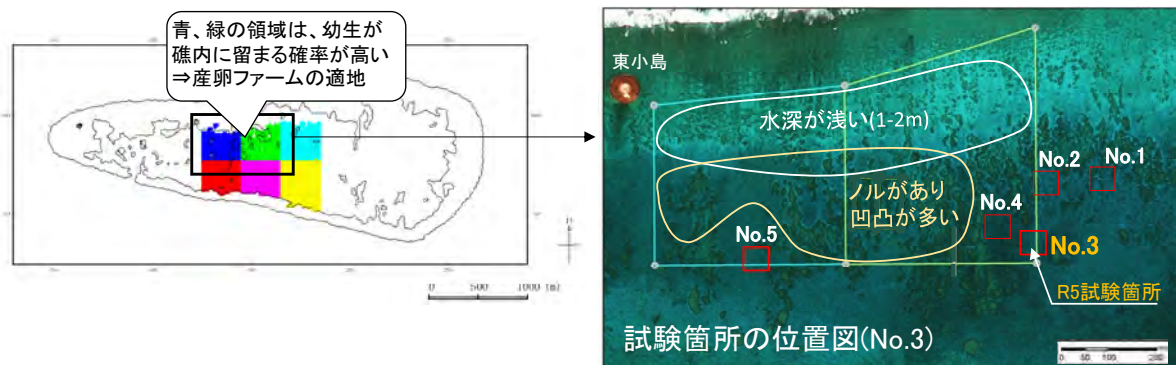


図-IV.1.1.11 令和6年度幼生放流実証試験箇所の位置図

1.5.4. 放流タイプ及び放流高さ

令和6年度の計画幼生数は約400万個体である。

放流する幼生は、試験区内で事業目標100個体/m²以上の着底を目指すことから、過年度沖縄沿岸域の着底実績(着底率10%程度)を踏まえると、試験区の規模は0.3~0.4ha程度と考えられる。

着底させる規模が0.3~0.4haであると、移動放流のように、0.5~1ha以上の広域の範囲に100個体/m²の着底は期待できないため「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、幼生拡散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。

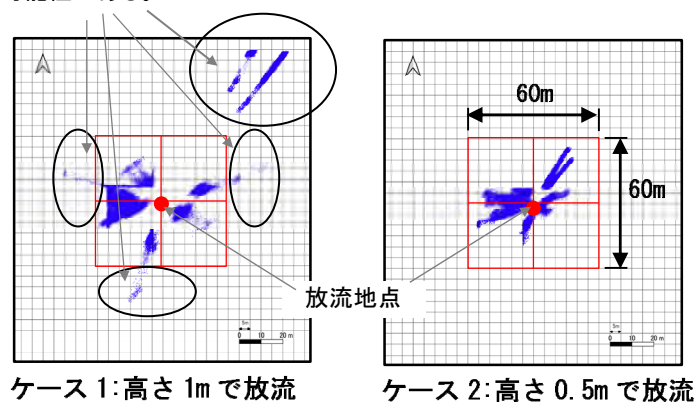


図-IV.1.1.12 放流高さの違いによる幼生拡散予測範囲

(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0.5m程度にするため、下図に示す通り、約2.5mのスカートを装着して放流する。

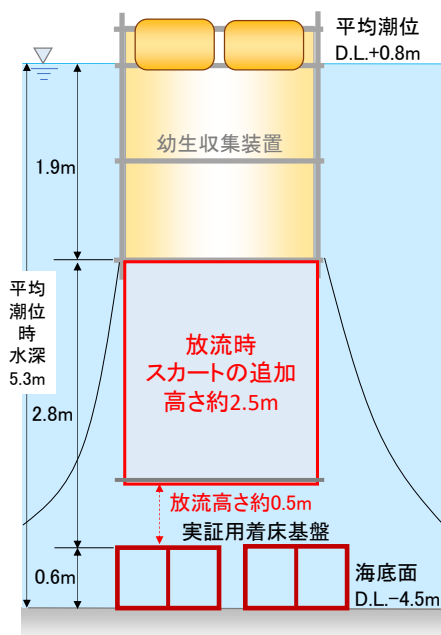


図-IV.1.1.13 放流時における装置等のイメージ図

1.5.5. 試験区の配置計画

幼生着底範囲は 0.3～0.4ha 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 6 年度に運搬する 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。

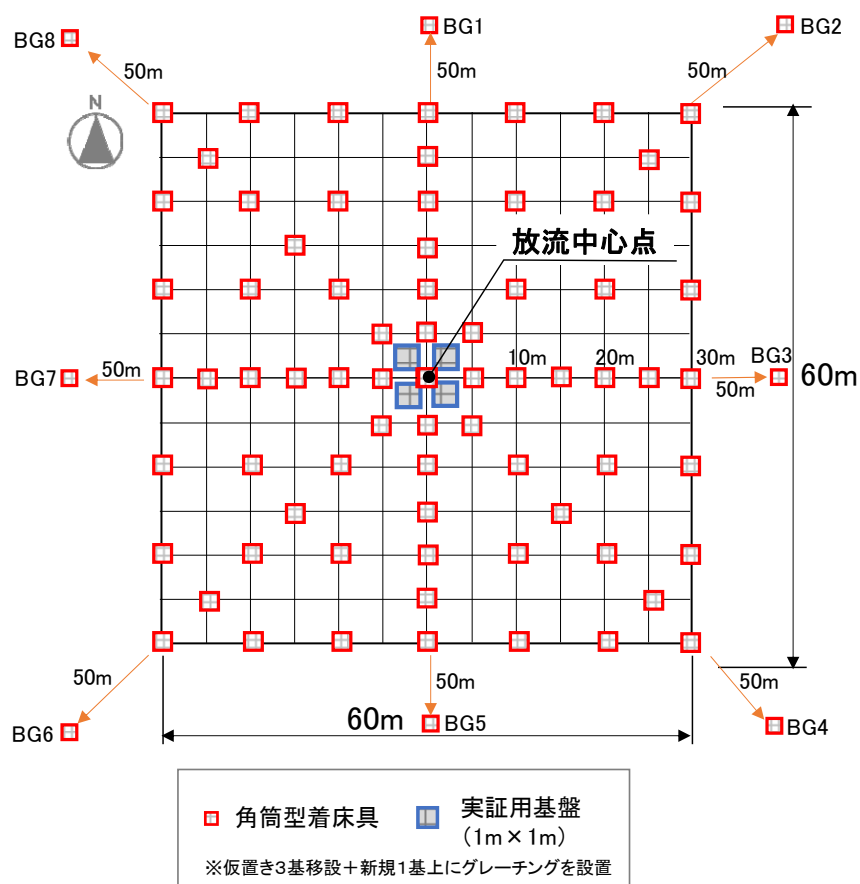


図-IV. 1. 1. 14 放流試験区の着床具及び基盤、対照地点の配置計画図イメージ

1.5.6. 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 7 年度の幼生放流実証試験計画の策定を行う。

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 3 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 4 年度には沖ノ鳥島での運用を見据え、沖ノ鳥島海域に適した耐久性のある装置の開発を行った。令和 5 年度では、開発した装置を実際に沖ノ鳥島海域にて設置し、幼生を収集する予定であったが台風により渡航不可となった、そのため、実証試験場所を石垣島に変更し、開発した装置の作業性及びヤッコミドリイシ幼生の収集・保持について確認した。現地スケジュールは、表-IV.1.1.2（p.IV-1-1-3）と同様である。

2.2. 石垣島での実証試験結果

2.2.1. 幼生収集装置の概要

令和 4 年度に開発した沖ノ鳥島用の装置を図-IV.1.2.1 に示す。沖ノ鳥島での設置海域の水深に合わせ、高さ 2.4m、直径 2.2m のバンドル収容部（円筒型）を軸に、バンドルを収集するためのホース、スカートから構成されている。また、風浪によるねじれや装置上部への幼生の付着・絡まりによる斃死を防止するため、パイプ枠と耐波膜を設置している。なお、石垣島での実証試験においては、作業性確認のため沖ノ鳥島用の装置を用いて試験を実施し、破損等は確認されなかった。

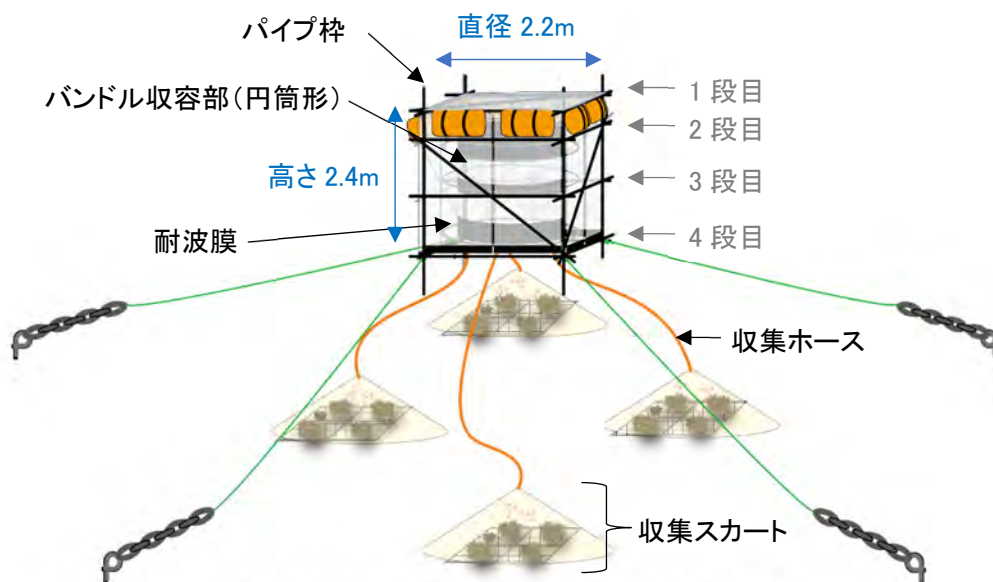


図-IV.1.2.1 沖ノ鳥島用に開発した収集装置

2.2.2. 作業性確認

沖ノ鳥島での幼生収集装置の設置・撤去の作業計画と結果を表-IV.1.2.1 に、作業状況を図-IV.1.2.2 に示す。石垣島では、沖ノ鳥島を想定し、表-IV.1.2.1 の計画に従って作業性や時間を確認した。その結果、概ね計画通りに実施できたものの、陸上作業では作業人数の少なさから持ち上げ・運び出しに時間を要した。特に、沖ノ鳥島では観測基盤上で実施する作業に制限があるため、計画を再考する必要性が確認された。沖ノ鳥島では石垣島と比べて運搬距離が長く、令和 6 年度は令和 5 年度と比較して試験で使用する親サンゴ群体が 2.5 倍に増えることから資材の数が増加する。令和 5 年度ではスカート 1 基の想定であったが、令和 6 年度はスカートが 5 基になる予定である。また、装置の固定に使用するアンカー等の係留関連の資材も運搬する必要がある。そのため、運搬については石垣で確認された作業時間の 2～3 倍程度余裕を持った工程を組む必要がある。以上を踏まえ、来年度の沖ノ鳥島にむけて確認された課題に対する対応策を表-IV.1.2.2 に示す。

表-IV.1.2.1 幼生収集装置の設置・撤去の作業計画と結果

作業項目		計画		結果※1	
		作業人数	作業時間	作業人数	作業時間
設置	1.陸上作業 (沖ノ鳥島では観測基盤) ・ 装置 1・2 段目の枠の組立	3 名	60 分	△ 4 名以上 必要 ※運び出し・持ち上げ困難	○ 32 分
	2.船舶での運搬 ・ 1、2 で準備、作成した資材を FRP 船で設置地点まで曳航して運搬	6 名	60 分	○	○ 30 分 ※1 往復
	3.水中作業 ・ 装置 1・2 段目の枠の固定 ・ 装置 3・4 段目の組立、固定 ・ バンドル収容部、耐波膜の固定 ・ スカート固定、ホース挿入	6 名	420 分	○	○ 300 分
撤去	4.水中・船上作業 ・ FRP 船で運搬可能なサイズまで解体・積込み	6 名	120 分	○	○ 90 分
	5.船舶での運搬 ・ FRP 船で運搬、荷揚げ	6 名	60 分	○	○ 40 分 ※1 往復

※1 結果 ○問題なし、△：課題あり

設置



1.陸上作業



2.船舶での運搬



3.水中作業



5.完成

回収



1.水中・船上作業



2.船舶での運搬

図-IV.1.2.2 装置設置・回収の作業状況

表-IV.1.2.2 沖ノ鳥島に向けた設置・撤去の作業性の課題と対応策

項目		石垣実験の結果	沖ノ鳥島にむけて	
			課題	対応策
設置	1.陸上作業	運び出し、持ち上げの際に、人数を要した。	—	—
	2.船舶での運搬	装置1・2段目の枠は、船で曳航して運搬。	運び出し・持ち上げに人数を要し、小型船に積載できない可能性がある。	作業人数を3名→6名に計画変更する。 組立場所から装置設置地点まで、1時間程度を見積もった計画を立てる。
		資材運搬は1往復。 ※スカート1基	サンゴ量に比例して資材が増加する。 装置固定のアンカー等の係留関連の資材が増えるため、2～3往復になる可能性がある。 ※令和6年度はスカート5基の予定	3往復で運搬する前提で体制を整える。 (運搬のみで半日)
	3.水中作業	問題なし	—	—
撤去	4.水中・船上作業	問題なし	—	—
	5.船舶での運搬	全ての資材を1往復で運搬。	資材増加に伴い、2～3往復になる可能性がある。	3往復で運搬する前提で体制を整える。

2.2.3. ヤッコミドリイシの採取

本事業で対象としている種はウスエダミドリイシであり、石垣島での産卵時期は沖ノ鳥島への渡航時期の5月頃であった。そのため、沖ノ鳥島への渡航が中止となった7月以降に産卵するヤッコミドリイシを用いて、石垣島にて実験を実施した。

ヤッコミドリイシは9月の新月（令和5年9月15日頃）に産卵する情報を元に、令和5年9月15日に図-IV.1.1.1（p.IV-1-1-1）に示す実証試験場所の周辺で卵を持つ群体を20kg採取した。採取したヤッコミドリイシは、架台に静置した（図-IV.1.2.3参照）。

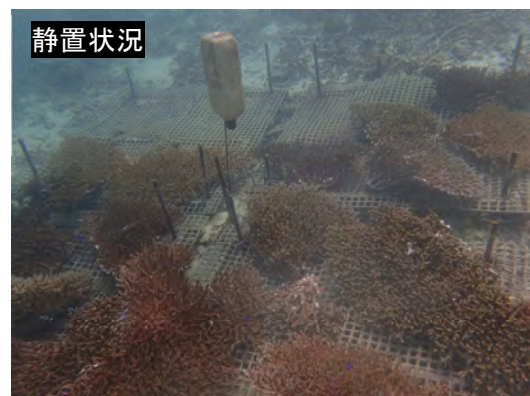


図-IV.1.2.3 ヤッコミドリイシの採取・静置

2.2.4. 幼生の収集

ヤッコミドリイシの産卵予定日は令和5年9月15日であったものの産卵の兆候であるバンドルセットが確認されなかった。そのため、架台からサンゴを移動させ、バンドル収集時に影響がでないよう装置から20～30mほど離れた地点で産卵誘発を実施した。産卵誘発は、サンゴを封入したビニール袋に0.5mol/Lの濃度になるよう過酸化水素を添加し2時間密閉した。2時間後、サンゴを密閉袋から取り出し架台へ戻した。翌日(9月16日)、産卵が確認され、収集装置にてバンドルを収集した。なお、過年度は産卵確認後、バンドルの流失防止のためホースを回収していたが、沖ノ鳥島では、安全上の理由から夜間作業が実施できないため、沖ノ鳥島での作業状況に合わせ、ホースの回収は産卵翌日(9月17日)に実施した。ホース回収時にバンドルの流失は確認されず、翌日の回収でも支障がないことを確認した(図-IV.1.2.4 参照)。

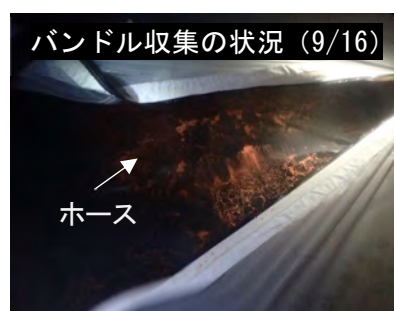
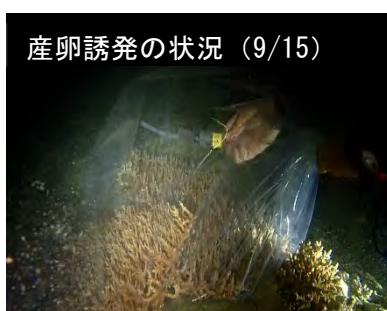


図-IV.1.2.4 産卵誘発及びバンドル収集状況

2.2.5. 幼生の保持

産卵 1 日目から産卵 4 日目まで、装置内の様子及び水質（水温、塩分、溶存酸素量）を確認した。産卵 1 日目では、特に異変がなく水質にも大きな変化はなかったが、産卵 2 日目に幼生の大量斃死が確認された。水質を確認したところ、水温、塩分は装置内外で差がないものの、装置内の溶存酸素量（DO）が平均 2.6mg/L に低下していることが確認された。そのため、残存している幼生に影響を与えないよう、海水交換を実施した。産卵 3 日目では、DO が外海と同程度であることから、産卵 2 日目の海水交換は確実にできていたものと考えられる。

幼生が鉛直運動を始める産卵 3 日目より、サンプリングにより幼生数を計数した。その結果、3 日令では約 15.8 万個体、4 日令では約 12.9 万個体であった。

産卵 1 日目から 4 日目までの状況を図-IV.1.2.5 に、水質状況を図-IV.1.2.6 に示す。

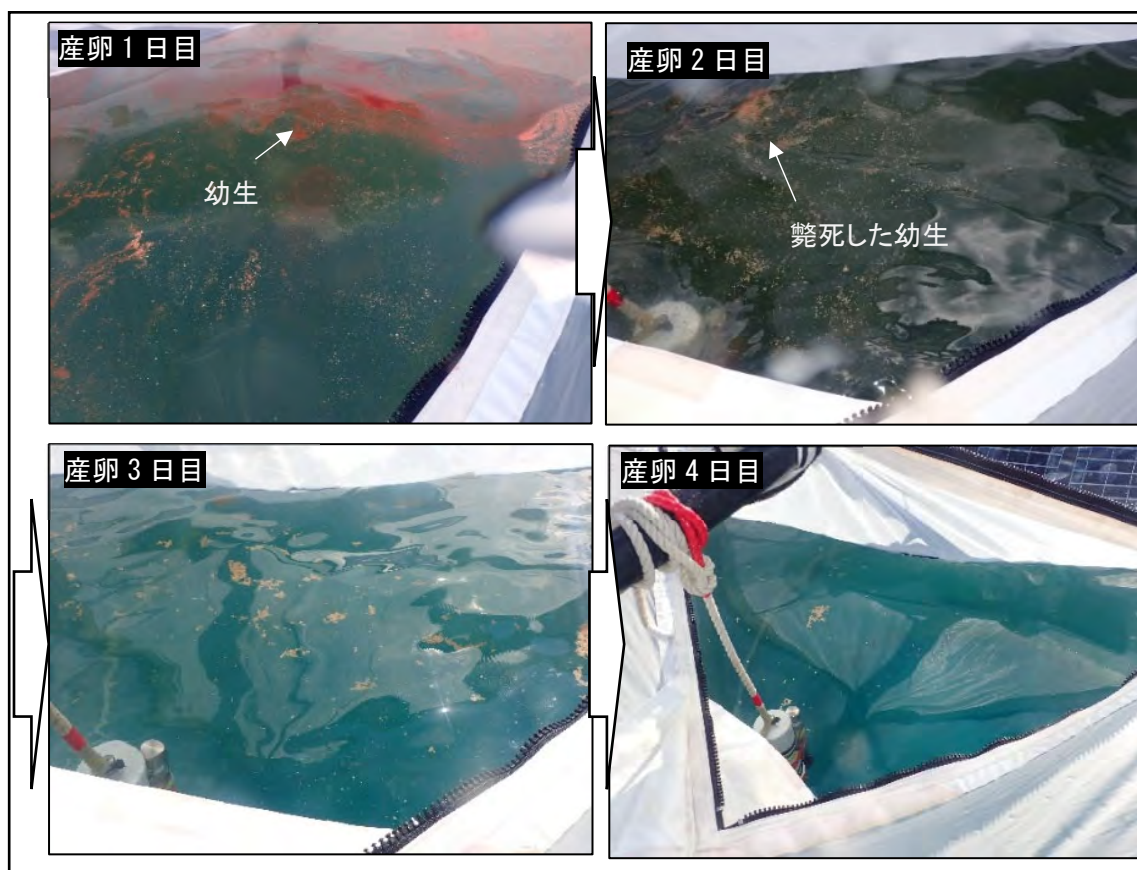


図-IV.1.2.5 産卵 1 日目から 4 日目までの状況

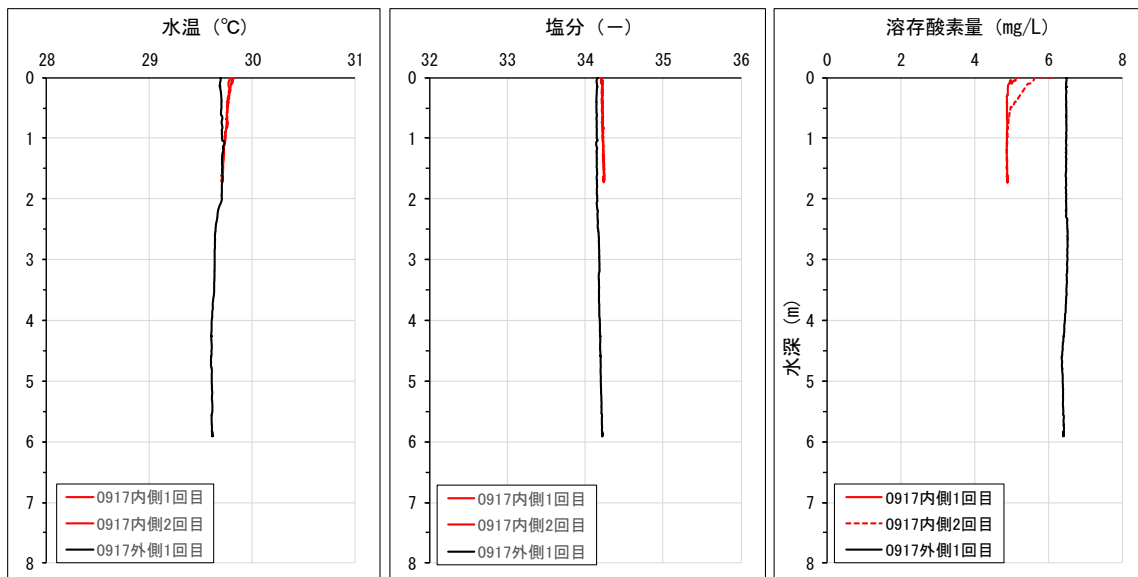


図-IV. 1. 2. 6(1) 産卵1日目の水質状況

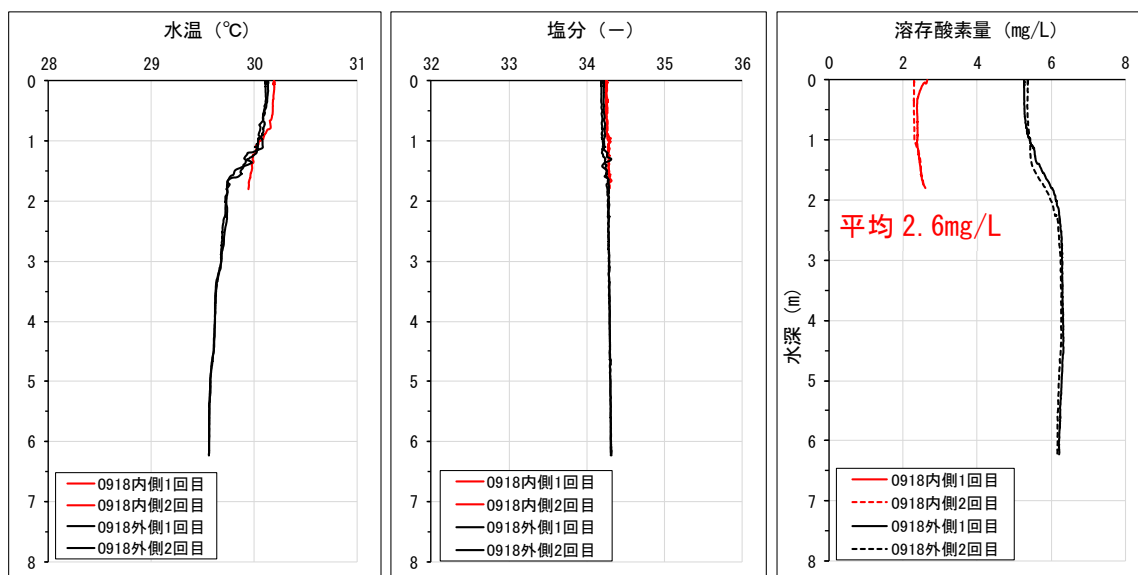


図-IV. 1. 2. 6(2) 産卵2日目の水質状況

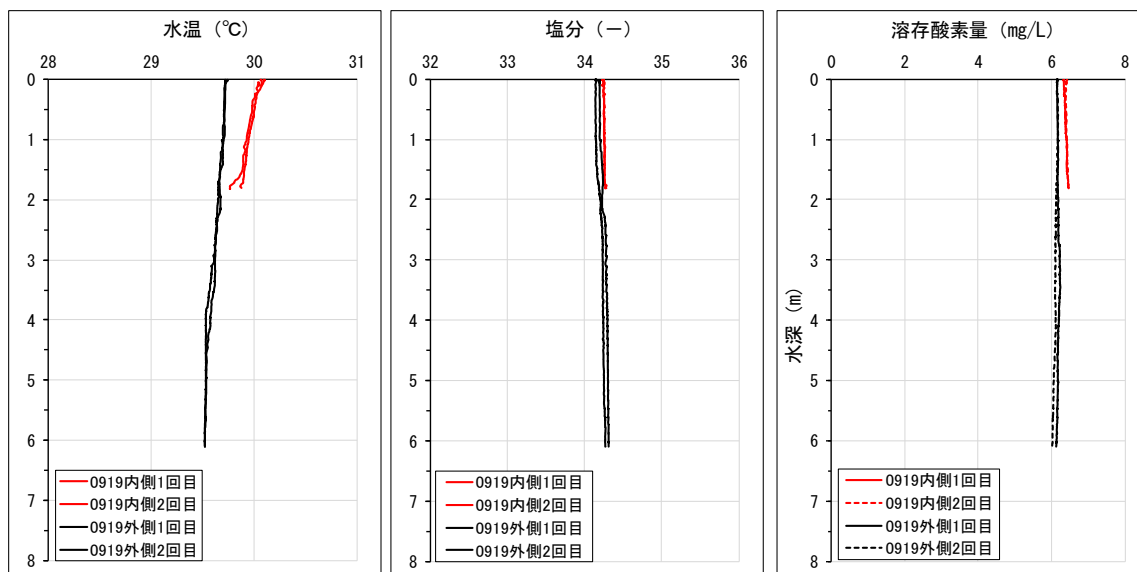


図-IV. 1. 2. 6 (3) 産卵 3 日目の水質状況

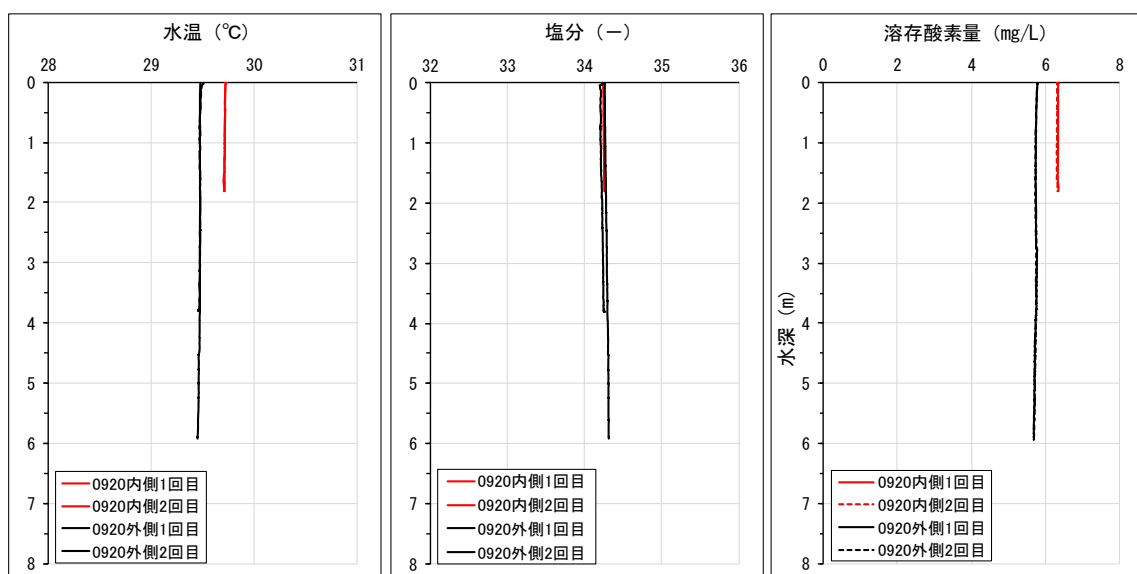


図-IV. 1. 2. 6 (4) 産卵 4 日目の水質状況

2.2.6. 大量斃死の要因

2.2.6.1 不完全な胚発生による斃死の可能性について

産卵 2 日目で大量斃死が起きた過程について、次のことが考えられる。

- ・ 産卵 2 日目は、胚発生から幼生に変態する時期であり、胚発生が不完全であった個体が産卵 1 日目に斃死した。
- ・ 斃死個体がバクテリアに分解される過程で酸素が消費され、溶存酸素量が低下。
- ・ 水質悪化及び貧酸素になったことで連鎖的に斃死が起これ、大量斃死に至った。

大量斃死した要因が不完全な胚発生であった場合、その要因は 2 つの可能性がある。

①装置側面への胚の付着による斃死（令和 3 年度に確認された大量斃死の要因）

②産卵誘発の影響による斃死

<①装置側面への胚の付着による斃死の場合>

令和 3 年度に産卵 2 日目で確認されている大量斃死は、降雨による淡水流入及び高波浪によって装置の水面側面へ体表面の弱い胚、幼生の付着・絡まりにより溶存酸素量の低下により起こったと推察されている。

今年度は降雨がほとんどなかったため、高波浪に焦点をあてると、令和 3 年度の産卵 1・2 日目（令和 3 年 5 月 27 日）※¹に最大風速 7.8m/s※²を記録している。一方、今年度の実験時の産卵 1 日目（令和 5 年 9 月 17 日）は最大風速が 3.1m/s※²であり、比較的穏やかであった。そのため、装置側面へ幼生が付着・絡まりによって胚発生が不完全になったとは考えにくい。

※1 令和 3 年度は 2 日間にかけて産卵し、産卵 2・3 日目にあたる令和 3 年 5 月 28 日に大量斃死が確認されている。

※2 気象庁 沖縄県伊原間のデータ参照

<②産卵誘発の影響による斃死の場合>

荒天による斃死が考えにくいことから、不完全な胚発生は、親サンゴまたは卵に何らかの影響があった可能性が考えられる。その原因の一つとして、産卵誘発があげられる。産卵誘発は、ウスエダミドリイシやその近縁種では実施例があり、産卵誘発をした場合でも高い生残率であることが確認されている。しかし、他種の知見は乏しく、ヤッコミドリイシについても同様である。幼生は種によって耐性が異なることがあり、ヤッコミドリイシはウスエダミドリイシやその近縁種とは別種であるため、産卵誘発によって胚発生に影響を受けた可能性がある。

以上から、大量斃死の引き金となった不完全な胚発生は、産卵誘発による影響であった可能性がある。

2.2.6.2 溶存酸素量について

大量斃死が起きた際の DO は、平均 2.6mg/L であり貧酸素の状態であった。DO と幼生の生残率を観察した知見では、DO1.5mg/L と 6.0mg/L とで *Colophylia natans*、*Orbicella faveolata*、*Pseudodiploria strigosa* の幼生を 3 日間飼育したところ、生残率に差がない結果^[1]が確認されている。幼生の耐性には種差があるものの、貧酸素以外の要因で大量斃死が起きた可能性も考えられる。ただし、この知見は 3～6 日令幼生での結果であるため、今年度のように産卵 1～2 日目（1・2 日令）の幼生に貧酸素が与える影響はないとは言い切れない。また、過年度においても大量斃死時には DO の低下が確認されていることから、斃死要因の 1 つである可能性は捨てきれない。そのため、令和 6 年度は DO が維持できる対策を考える必要がある。

[1] Jennifer E. Mallon et al(2023), The influence of deoxygenation on Caribbean coral larval settlement and early survival, *Frontiers in Marine Science*, doi:10.3389/fmars.2023.1254965

2.2.7. 幼生収集装置の耐久性計算

バンドル収容部及び耐波膜の生地強度について、汚濁防止膜カーテン部の性能照査による計算式を用いて行った（図・IV.1.2.7 参照）。性能照査の計算式は矩形が想定されているが、バンドル収容部は円筒形である。一般的に円筒形よりも矩形のほうが外力を大きく受けることから、矩形が受ける外力よりも上回る強度があれば、円筒形であっても破断しない可能性があるかと仮定できる。バンドル収容部については投影面積（矩形）にて検討することで、耐久性計算を実施した。なお、強度計算の対象を生地にしたのは、令和 4 年度にバンドル収容部が破損したためである。

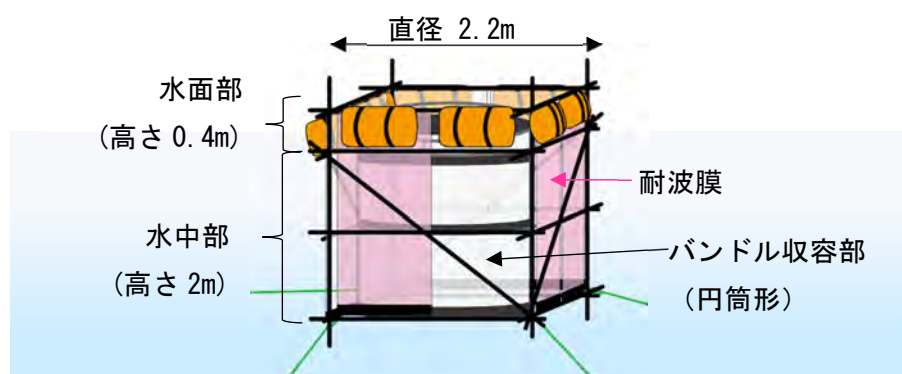


図-IV.1.2.7 計算対象の収集装置部分

2.2.7.1 計算条件

(1) バンドル収容部

バンドル収容部は、高さ 2.4m、直径 2.2m の円筒形であり、30 μ m ナイロンメッシュを使用している。30 μ m ナイロンメッシュを使用している理由は、過年度の結果より 250 μ m や 100 μ m に比べ幼生の生残率が高い傾向が確認されているためである。バンドル収容部の上部 0.4m は水上に出ているため、水中に存在する高さ 2m、直径 2.2m の範囲を耐久性計算の対象とした。なお、水中部の高さは、1m 間隔で部材と固定している（図-IV.1.2.8 参照）。生地には作用する張力（ T_0 ）は、固定されている距離（＝係留点間距離）に作用するため、バンドル収容部では縦 1m $\times$ 直径 2.2m の投影面積で計算する。

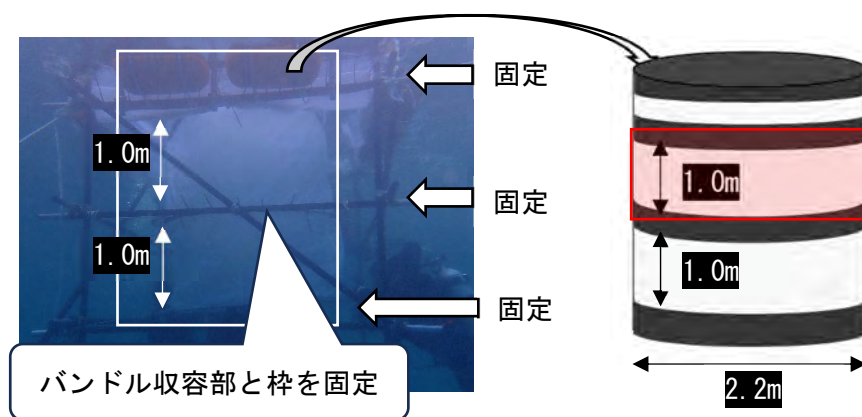


図-IV.1.2.8 バンドル収容部の設置状況（水中部）

(2) 耐波膜

耐波膜は、軽量かつナイロンメッシュよりも強度が高いナイロンタフタを使用し、縦 2.4m $\times$ 幅 2.2m の枠 1 面に対し、縦 2.2m $\times$ 幅 1.15m の生地を 2 枚固定している。上部の 0.4m は水上に出っており、水中部は 0.9m 間隔で部材と固定している。耐波膜 1 枚あたり縦 0.9m $\times$ 幅 2.3m の面積で計算する（図-IV.1.2.9 参照）。

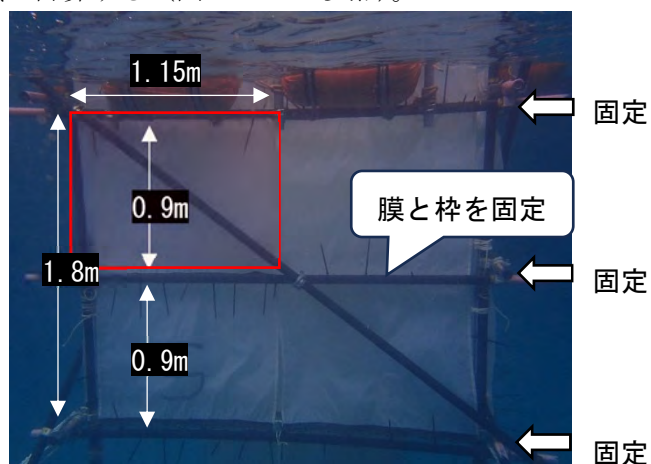


図-IV.1.2.9 耐波膜の設置状況（水中部）

(3) 環境・設計条件

環境条件（風速・流速・波高）は、沖ノ鳥島で幼生収集装置を設置する地点の令和4年度のシミュレーション結果の値（産卵期である5～7月）を採用した。荒天になった場合を考慮し、有義波高についてはシミュレーション結果の2倍の値を計算に用いた。その他の環境条件や設計条件の詳細は p.IV-2-15 に示している。なお、汚濁防止膜カーテンの性能照査では、設置期間を考慮している。沖ノ鳥島では、設置から撤去まで最長14日間となるため、p.IV-2-15 に示す部分係数（ γ_c ）は8とした。

2.2.7.2 耐久性結果

バンドル収容部、耐波膜それぞれの計算条件を元に5cm幅所要強度（ T_5 ）を計算した結果を表-IV.1.2.3に示す。バンドル収容部に使用している30 μ mナイロンメッシュ及び耐波膜のナイロンタフタともに、5cm幅所要強度（ T_5 ）より生地強度が上回る結果となった。

以上から、沖ノ鳥島用収集装置は設置する沖ノ鳥島での海域に耐えられると考えられる。

表-IV.1.2.3 生地に作用する張力と生地引張強度の比較

項目	生地	5cm幅所要強度 $T_5^{※1}$	生地引張強度
バンドル収容部	30 μ mナイロンメッシュ	204.8N/5cm ※縦1m×幅2.2m の矩形として算出	350N/5cm
耐波膜1枚あたり	ナイロンタフタ	178.4N/5cm	1,184N/5cm

※1 詳細な計算は、表-IV.1.2.4に示す

【参考】汚濁防止膜カーテン部の性能照査^[2]

カーテンの材質選定のために行う張力計算は、波の水粒子速度分布が水面近くで大きいことから、カーテンの上部 1m についての流圧力と波力より求める。(本章では、カーテン＝各部材で使用している生地とする)

$$W_1 = \frac{\rho C_D U^2}{2} \quad \dots \dots \dots (式 5)$$

$$W_2 = \frac{1}{2} \rho C_D \left\{ \frac{\pi H_{1/3}}{T} \cdot \frac{1}{\sinh \frac{2\pi h}{L}} \right\} \cdot \frac{L}{8\pi} \cdot \left[\sinh \left(\frac{4\pi h}{L} \right) - \sinh \left\{ \frac{4\pi(h-1)}{L} \right\} + \frac{4\pi}{L} \right] = 75.9 \text{ N/m}^2$$

\dots \dots (式 6)

$$W_c = W'_1 + W'_2 \quad \dots \dots \dots (式 7)$$

$$T_c = \frac{W_c A_{1/2}}{2\delta_{\max}} \sqrt{A_{1/2}^2 + 4\delta_{\max}^2} \quad \dots \dots \dots (式 8)$$

$$T_5 = T_c \cdot \frac{5}{100} \cdot \gamma_c \quad \dots \dots \dots (式 9)$$

W_1 ：流圧力

W_2 ：波力

W_c ：生地に作用する外力

T_c ：生地に作用する張力

T_5 ：5cm 幅所要強度

式 5～9 の計算結果を表-IV.1.2.4 に示す。環境条件及び設計条件、部分係数は p.IV-2-15 に記載している値を使用している。なお、設計条件については各生地によって異なるため①はバンドル収容部の場合、②は耐波膜 1 枚の場合を示している。

表-IV.1.2.4 式 5～9 で得られた計算結果

項目	①バンドル収容部	②耐波膜 1 枚
W_1 ：流圧力	66.7 N/m ²	64.5 N/m ²
W_2 ：波力	314.3 N/m ²	303.7 N/m ²
W_c ：生地に作用する外力	381.0 N/m ²	368.2 N/m ²
T_c ：生地に作用する張力	512.9 N/m	446.1 N/m
T_5 ：5cm 幅所要強度	204.8 N/5cm	178.4N/5cm

(計算条件)

環境 条件	V : サンゴ産卵期の平均風速		4.9 m/s
	U : 設置地点の最大流速		0.33 m/s
	H : 設置地点の最大有義波高の 2 倍		0.96 m
	L : 波長		70.6 m
	T : 設置地点の最大周期		10.9 m
	h : 設置地点の D.L.水深		4.5 m
	d : 干満差		1.5 m
	ρ : 海水の密度		1030 kg/m ³
設計 条件	①	C _D : バンドル収容部の抗力係数 ※a/b=4 の値 a : 直径 (幅) 2.2m、b : 縦 1m	1.19
		A _{1/2} : 係留点間の距離の 1/2	0.50 m
		$\delta_{\max}$: 最大たわみ量	0.10 m
	②	C _D : 耐波膜 1 枚の抗力係数 ※a/b=2 の値 a : 幅 1.15m、b : 縦 0.9m	1.15
		A _{1/2} : 係留点間の距離の 1/2	0.45 m
		$\delta_{\max}$: 最大たわみ量	0.09 m

※① : バンドル収容部、②耐波膜 1 の場合の条件を示す

(設置期間と部分係数)

予定設置期間	6 ヶ月まで (180 日まで)	6 ヶ月を越えて 12 か月以内 (181 日～365 日)	12 ヶ月を越えて 18 か月以内 (366 日～545 日)
部分係数 γ_c	8	12	20

[2]の資料より引用、一部改変

[2]一般財団法人港湾空港総合技術センター．汚濁防止膜技術資料（案） 資料編 第 4 編

2.3. 令和6年度の計画案

令和6年度での沖ノ鳥島における幼生収集装置の設置から回収までの流れは、図・IV.1.2 10（図IV-1.1.10（p.IV-1-1-13）と同様）のとおりであり、令和5年度に石垣島にて実施した内容と同様の方法である。来年度に向けた課題として、収集装置の設置・回収の運搬時間、溶存酸素量（DO）の維持があげられる。また、沖ノ鳥島では夜間作業が実施できず、産卵の知見も十分でないため、産卵兆候の確認を船上及び海上で実施し、調査期間中に産卵兆候が確認できない場合、産卵誘発を実施する可能性を考える必要がある。次項に、令和6年度の沖ノ鳥島調査の実施にあたり、対策を講じる必要がある3項目（幼生収集装置の設置概要、溶存酸素濃度の維持対策、産卵兆候の確認）について示す。

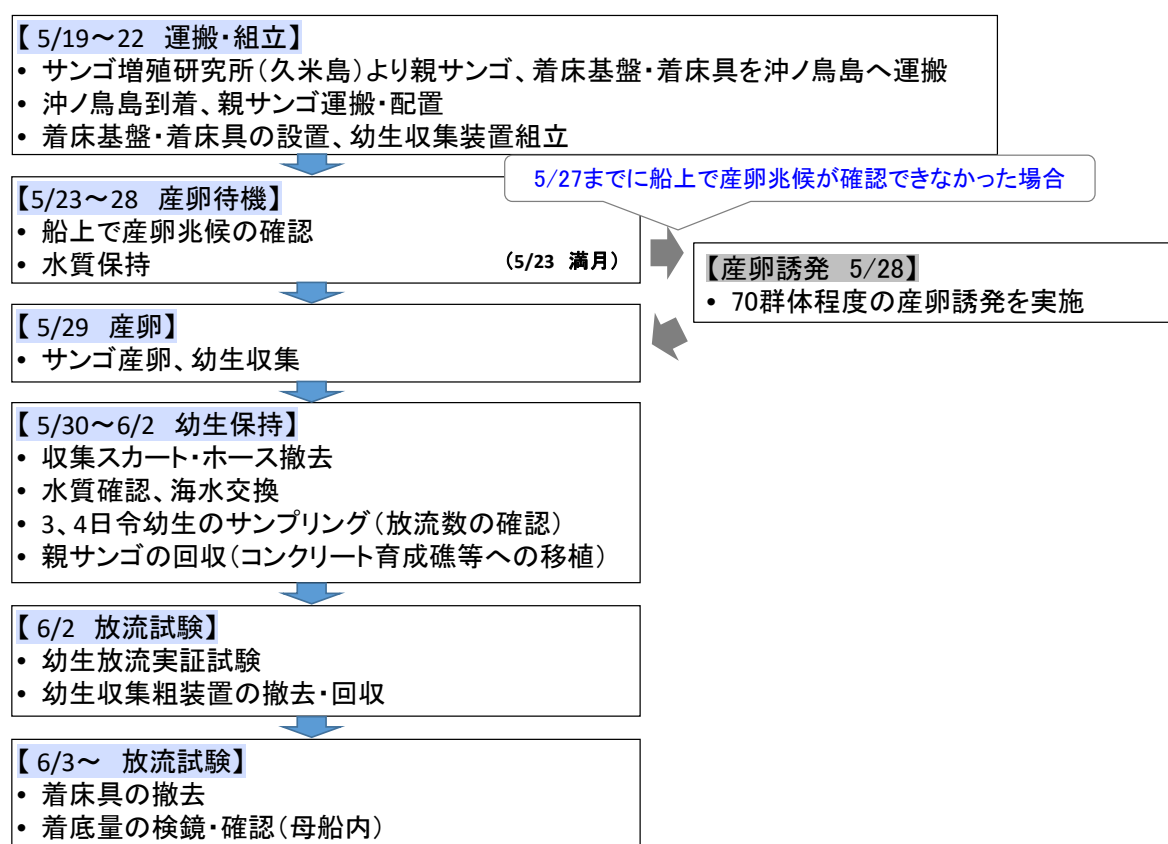


図-IV.1.2 10 沖ノ鳥島幼生放流実証試験の手順と現地調査行程

2.3.1. 幼生収集装置設置・回収の概要

耐久性の計算より、沖ノ鳥島用装置の強度が耐えられることが確認できたため、今年度の石垣島実証試験で使用した装置を沖ノ鳥島にて展開する。令和6年度は、親サンゴ（ウスエダミドリイシ）を180群体配置し、幼生を400万個体収集する計画である。そのため、バンドル収容部を1基、スカートを5基設置し幼生を収集する。表-IV.1.2.2（p.IV-1-2-3）

で示したように、収集装置設置・回収の主な課題は、運搬にかかる作業時間である。石垣島では、設置時の資材運搬で1往復（計30分）、回収時の資材運搬・荷揚げで1往復（計40分）であった。沖ノ鳥島では石垣島と比べ運搬距離が長く、資材が増加することから、運搬には3往復分の作業時間を見積もる必要がある。そのため、設置時の資材運搬は90分以上とし、回収時の資材運搬は120分以上で計画する。

2.3.2. 溶存酸素量(DO)の維持対策

令和5年度までは、主に産卵後の対策を重点的に行っていた。一方で、令和6年度では、今までの対策に加え、産卵前後に海水交換を実施する。具体的には表-IV.1.2.5に示すとおりである。産卵前は装置設置後から産卵までDOが消費される要因がほとんどないため3日に1回程度の頻度で海水交換を実施する。また、その前後でDOを測定することで海水交換が均一にできているかについて確認する。産卵後は、胚発生が終了し幼生に変態しているものの鉛直運動が活発でない産卵2日目に装置内の一部の海水交換を実施する。加えて、DO3.0mg/Lを目安に幼生の生残状況に応じて海水交換を実施する。

なお、海水交換を産卵2日目にする理由は、次のとおりである。産卵1日目は受精卵から胚発生が進む時期であり、衝撃があると発生が不十分となり斃死を招く恐れがある。そのため海水交換を実施することで発生に影響を及ぼし、斃死するリスクがある。産卵3・4日目は、幼生の鉛直運動が活発となるため、海水交換により消失リスクが高くなる。

表-IV.1.2.5 溶存酸素量の維持対策

	令和5年度	令和6年度
産卵前	—	- 装置設置後、3日に1回程度、海水交換を実施 - 海水交換前後にDO測定
産卵後	- 産卵1日目から4日目までのDO観測 - 大量斃死が確認された場合に海水交換を実施	- 産卵1日目から4日目までのDO観測 - 大量斃死が確認された場合に海水交換を実施 - 産卵2日目に一部の海水交換を実施 - DO 3.0mg/Lを目安に幼生の生残状況に応じて海水交換を実施
ポイント	主に産卵後の対策を実施	産卵前後に海水交換を実施

※赤字は追加した対策を示す

2.3.3. 産卵兆候の確認

ウスエダミドリイシの産卵は、満月前後の 7 日間であることが多い。ただし、産卵日は地域や海域によっても異なり、知見があっても産卵日を特定することは難しい。沖ノ鳥島での産卵に関する知見はほとんどないため、産卵兆候の確認を船上及び海上で実施する。

2.3.3.1 船上での産卵兆候の確認

令和 6 年度では、久米島のサンゴ増殖研究所にて飼育している沖ノ鳥島産種苗（以下、種苗）及び第 2 フェーズにて移植したサンゴ（以下、移植サンゴ）を親サンゴとする。両者で生育環境が異なることから、産卵日が同調しない可能性がある。そのため、種苗と移植サンゴそれぞれ 4～5 群体より枝片を採取（計 8～10 本）し、船上の水槽で飼育する。

産卵予定日は令和 6 年 5 月 29 日（図-IV.1.2 10 参照）であり、その 5 日前と 3 日前に産卵誘発を実施し、誘発翌日に産卵を確認する（図-IV.1.2.11 参照）。なお、バンドルセットが枝片に対し 7～8 割みられた場合は、2～3 日以内に自然産卵が起これと判断する。一方、バンドルセットが確認できなかった場合は、産卵予定日の前日（5 月 28 日）に親サンゴ 70 群体を産卵誘発する。

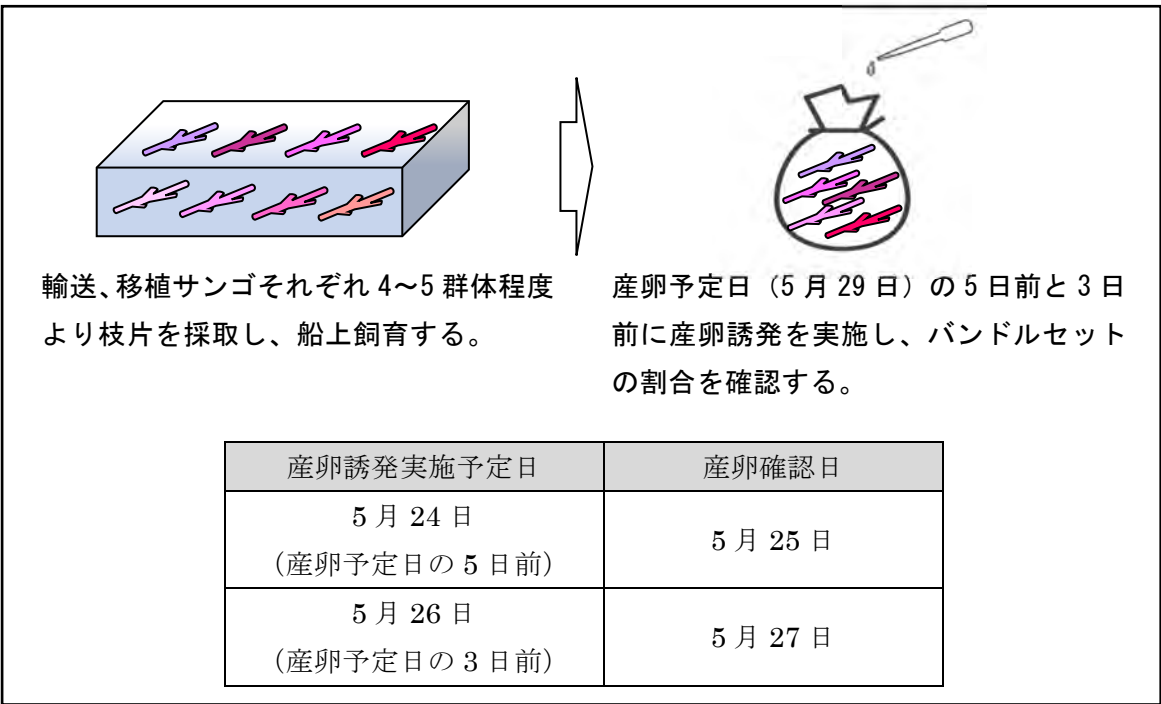


図-IV. 1. 2. 11 船上での産卵兆候の確認方法及び実施予定日

2.3.3.2 海上での産卵確認

船上での確認と並行して、海上でも産卵確認を実施する。夜間作業が実施できないため、装置設置後から毎調査時の朝に幼生が収集されているかを確認する。幼生が確認された場合は、産卵状況に応じて収集ホースの回収等を実施する。

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、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 : 飼育には通常の上層水を用い、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、
C : 水槽内でプロジェクトネット製稚サンゴホルダーを吊り下げて収容、
D : 平板タイルの土台に柱型着床具を固定した状態でのサンゴ飼育

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 400 群体であったが、12 月の時点で 478 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		生残群体数						
		暴露前	暴露直後	2022年4月	2022年7月	2022年10月	2022年12月	2023年4月	2023年9月	2023年12月
ウスエダミドリイシ										
2016	未実施	-	-	23	23	23	23	22	21	20
2017	2021 (4歳齢)	17	4	4	3	3	3	3	3	3
2018	未実施	-	-	94	87	87	85	83	79	79
2019	2019 (0歳齢)	672	154	63	63	58	58	51	50	49
2019	2021 (2歳齢)	457	284	157	155	154	154	150	143	143
2020	2020 (0歳齢)	2,095	235	152	152	152	152	140	133	129
2021	2021 (0歳齢)	1,359	132	80	78	78	75	67	63	55
合計		4,600	809	573	561	555	550	516	492	478

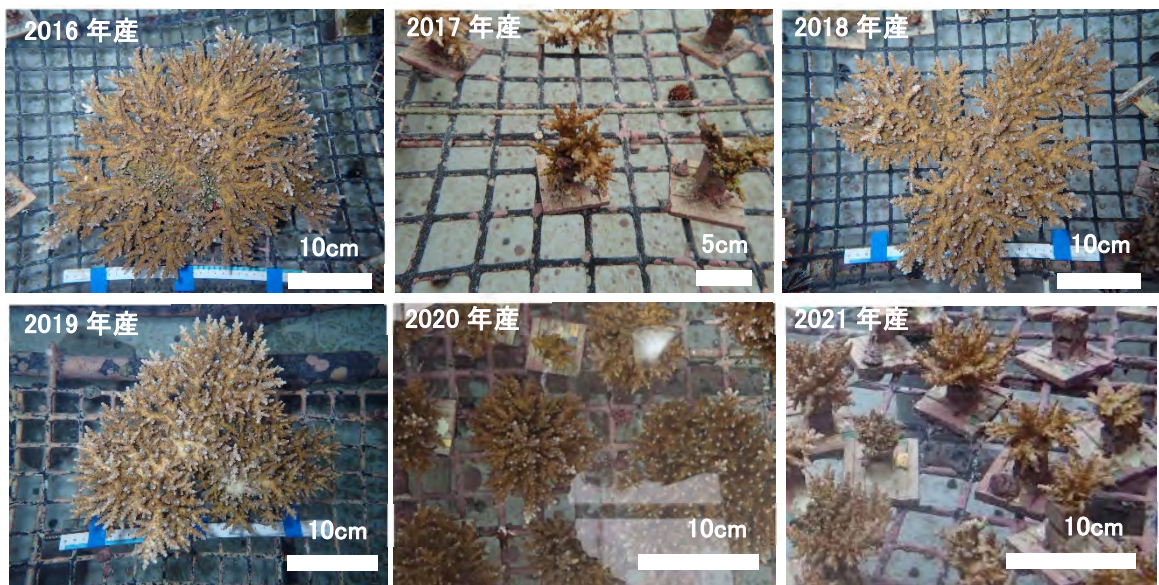


図-Ⅳ. 1. 3. 4 稚サング生育状況 (2023 年 12 月時点)

4. 親サンゴの効率的な長距離輸送手法の検討

幼生放流実証のため、久米島の施設で飼育している親サンゴを約 1,200km 離れた沖ノ鳥島まで長距離輸送する必要がある。そこで、輸送船等を用いた多様な条件下での効率的な長距離輸送の手法について検討を行った。

検討に当たっては、輸送する際のサンゴの状態や作業性・実現性を考慮した。

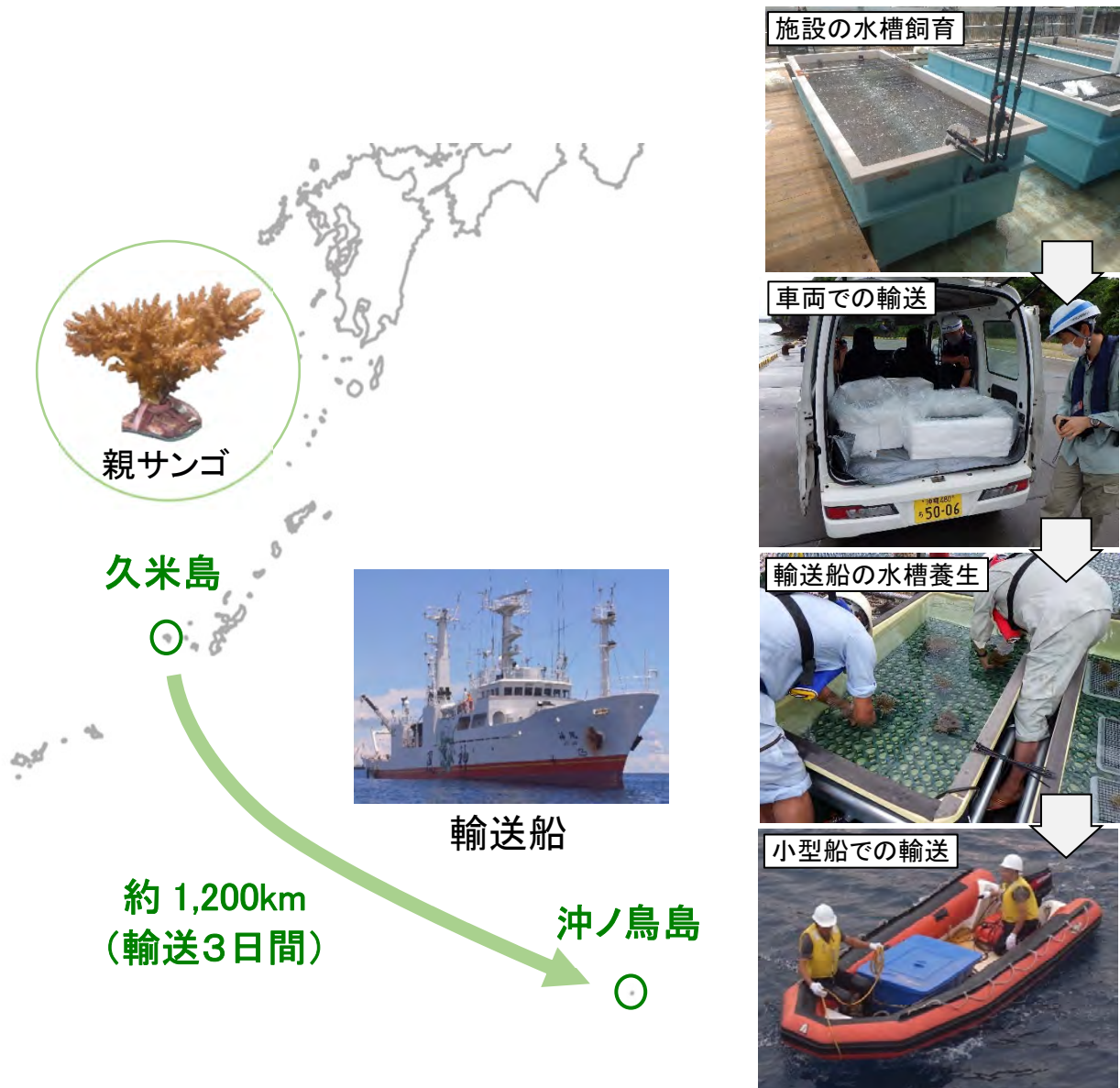


図-IV.1.4.1 沖ノ鳥島への親サンゴの長距離輸送イメージ

R6 年度以降には大量の親サンゴを輸送する必要があるが、現行のままでは輸送数が不足してしまうこと、親サンゴの受渡しに際してストレスを与えてしまうことなど、輸送作業に限界が生じてしまうことが懸念されている。

表-IV. 1. 4. 1 親サンゴの輸送数(計画)

輸送数	R4	R5	R6	R7
当初	20	50	100	200
変更	20	—	150	200

現行の水槽



立花容器製
(FRP 強力タンク 800)

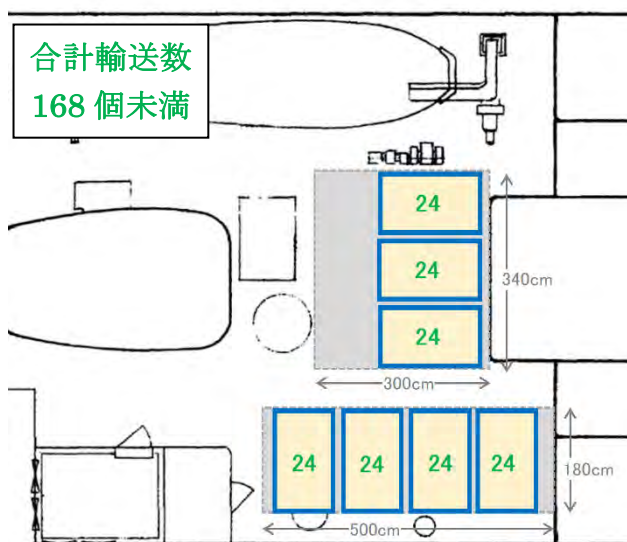


図-IV. 1. 4. 2 現行水槽の輸送船への設置限界



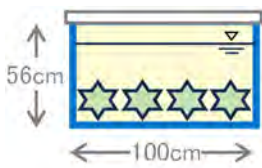
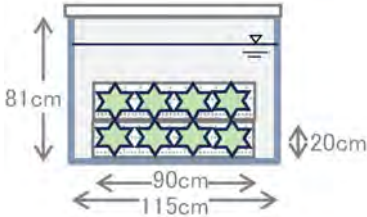
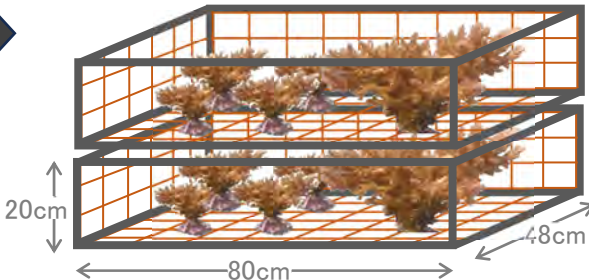
図-IV. 1. 4. 3 現行のサンゴ配置状況と親サンゴ受渡し状況 (R4)

4. 1. 大量輸送可能な手法の検討

4.1.1. 輸送カゴを用いた輸送手法の検討

大量な親サングの輸送数を確保できるように、水槽へ直置きする1段積み輸送手法から、2段積みで輸送できる手法について検討した。

表-Ⅳ. 1. 4. 2 輸送カゴを用いた輸送手法の検討

1 段積み輸送 (現行)	2 段積み輸送 (検討)
観察や管理などが容易であったが、輸送数が少ない  1 段積み輸送状況(R4)  水槽へ直置き  輸送数を増やすことができ、輸送管理がしやすい2段積み可能な輸送カゴを検討  2 段積み可能な輸送カゴのイメージ	

上記より、沖ノ鳥島への長距離輸送の手法としての効率性を考えた場合、2段積み可能な輸送カゴを用いた輸送手法が最適と判断した。

4.1.2. 親サンゴの輸送数の検討

輸送船への設置可能な水槽をもとに、水槽内への親サンゴの平面・断面的な配置数、および、輸送船への水槽配置、親サンゴの輸送数について検討を行った。

表-IV. 1. 4. 3(1) 各水槽の親サンゴ配置比較 1/2

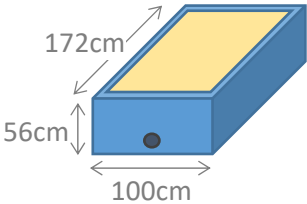
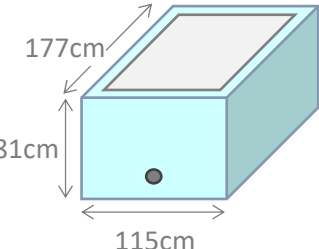
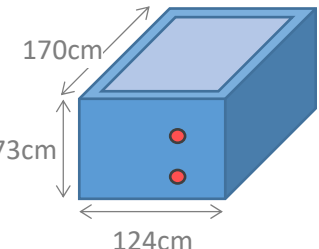
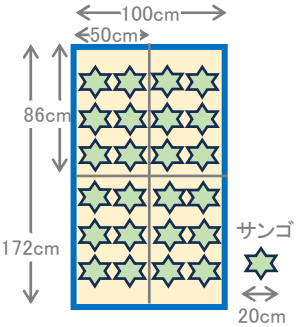
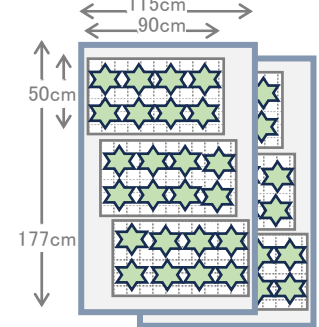
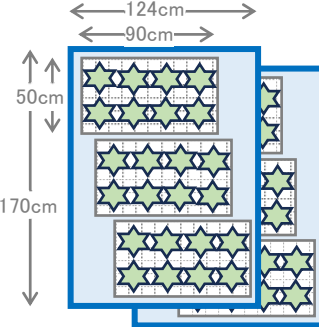
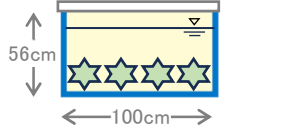
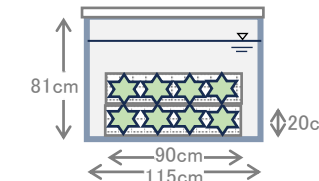
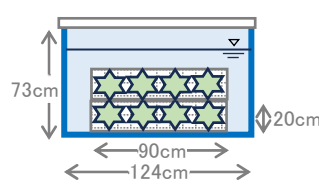
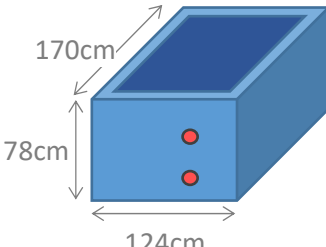
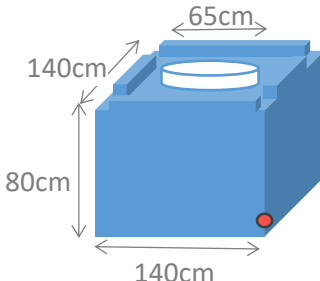
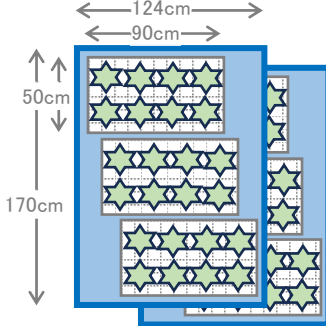
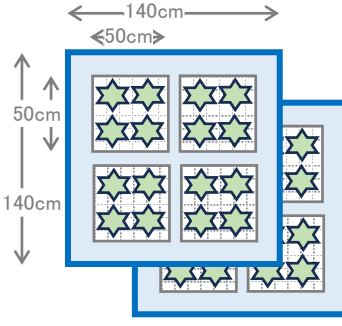
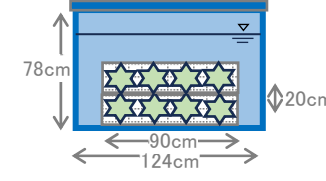
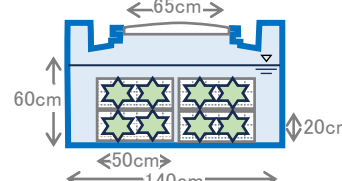
区分	現行(※1 段積み)	ケース1	ケース2
	FRP 水槽	FRP 水槽	コンテナ水槽
商品名	FRP 強力タンク 800	ジャンボタンク 1070T	ジャンボックス 1000
製造	立花容器	カイスレイマン	サンコー
写真			
寸法			
サンゴの平面配置			
サンゴの断面配置			
サンゴの輸送数	24 個/水槽	$8 \times 3 \times 2 = 48$ 個/水槽	$8 \times 3 \times 2 = 48$ 個/水槽

表-Ⅳ. 1. 4. 3(2) 各水槽の親サンゴ配置比較 2/2

区分	ケース3	ケース4
	コンテナ水槽(クーラー型)	活魚タンク
商品名	サンコールドボックス 1000LD	活魚 1000
製造	サンコー	スイコー
写真		
寸法		
サンゴの平面配置		
サンゴの断面配置		
サンゴの輸送数	$8 \times 3 \times 2 = 48$ 個/水槽	$4 \times 4 \times 2 = 32$ 個/水槽

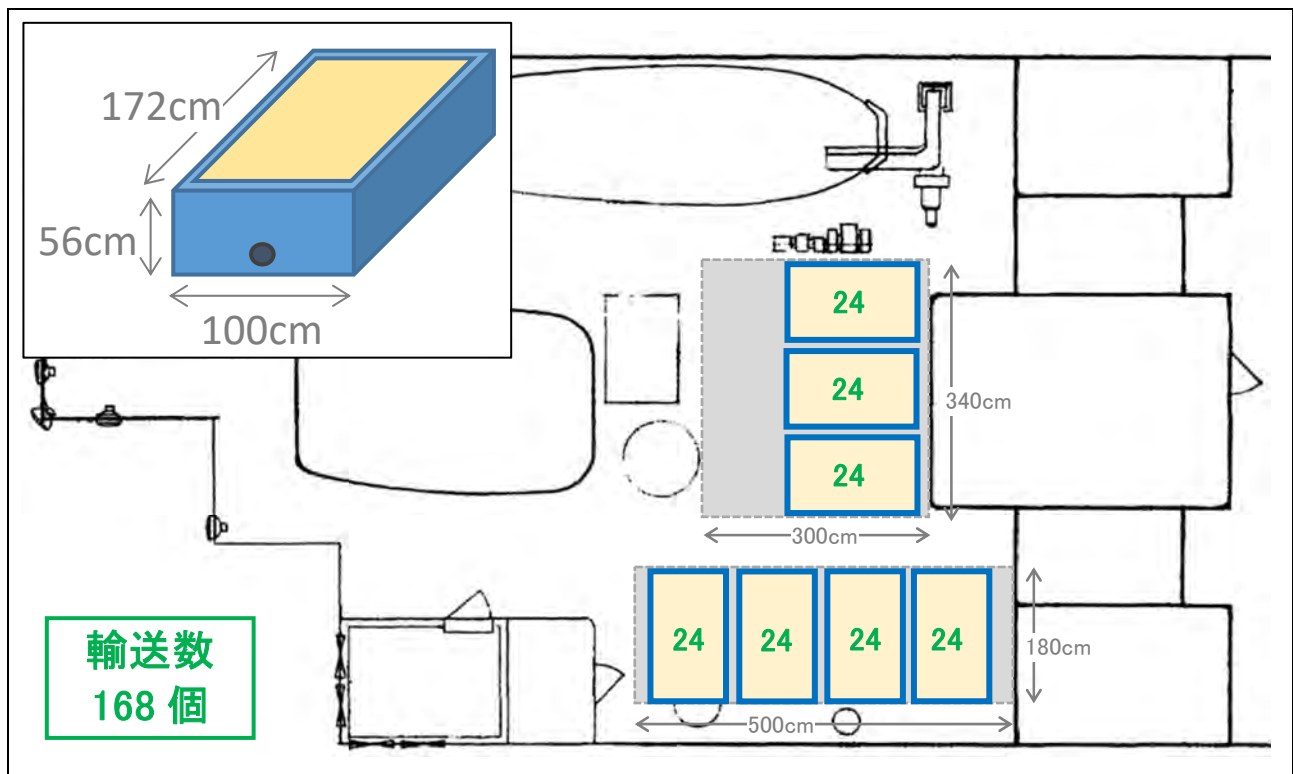


図-IV. 1. 4. 4 現状水槽での水槽配置と親サンゴ輸送数

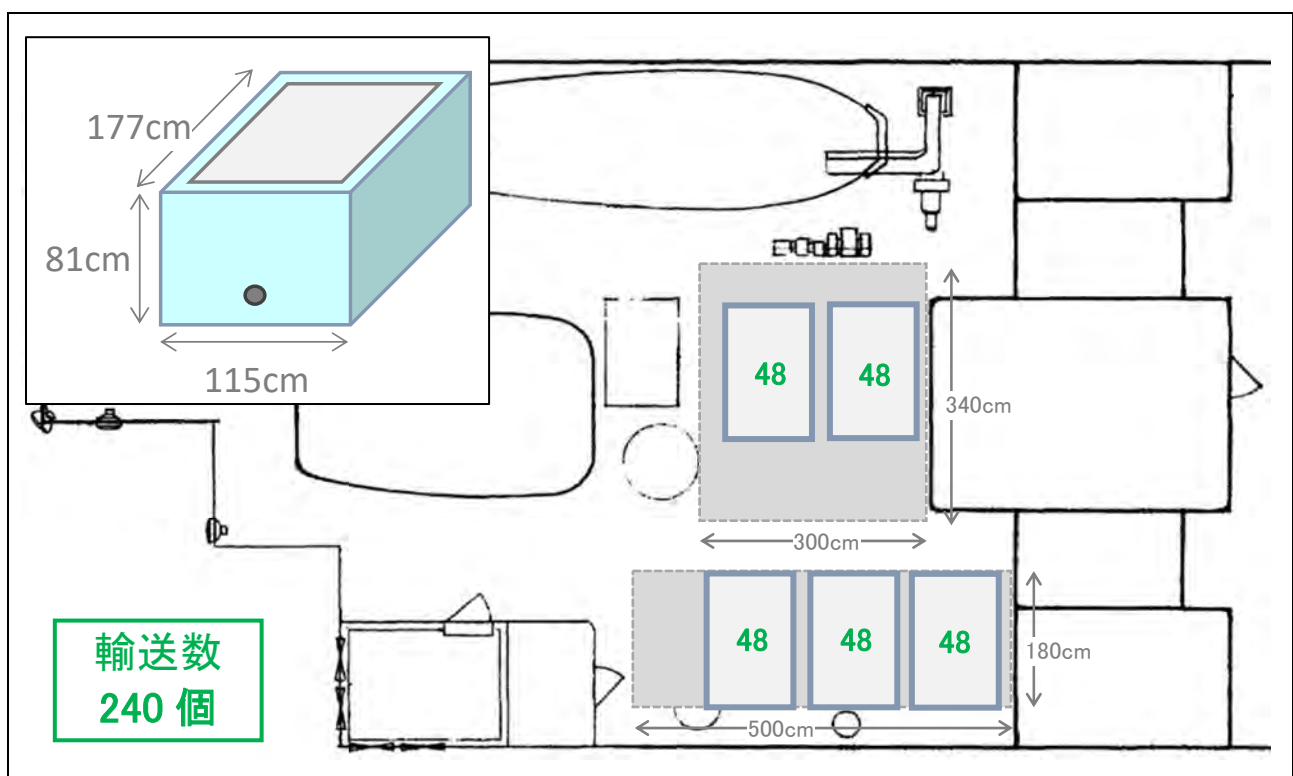


図-IV. 1. 4. 5(1) ケース1 (FRP 水槽)での水槽配置と親サンゴ輸送数

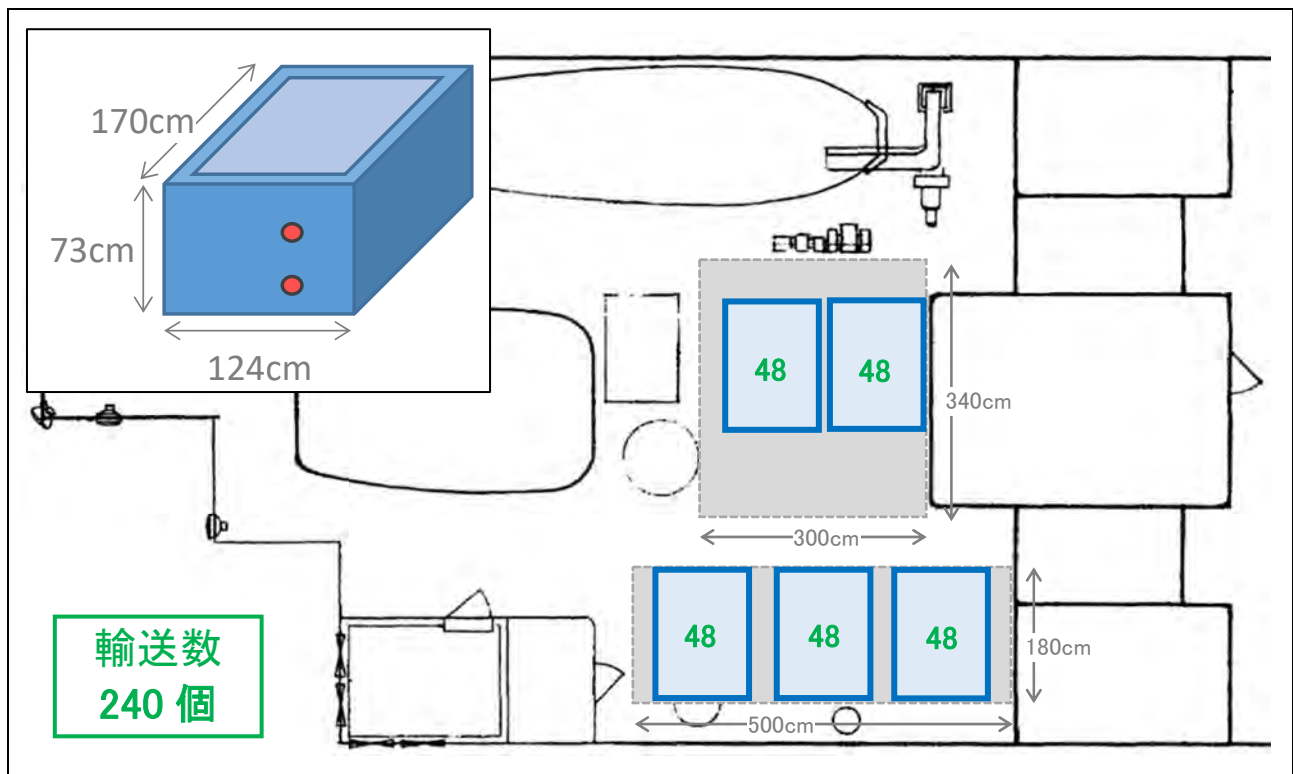


図-IV. 1. 4. 5 (2) ケース 2・3 (コンテナ水槽) での水槽配置と親サンゴ輸送数

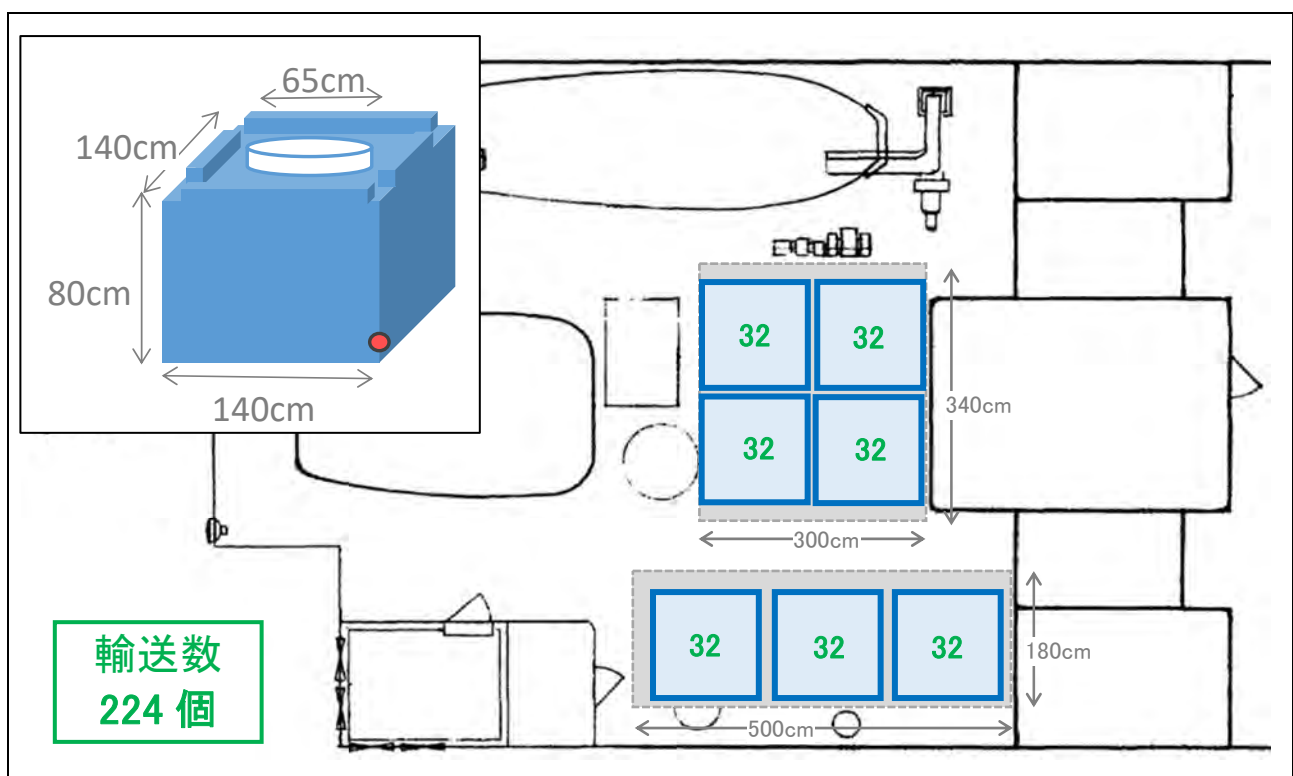


図-IV. 1. 4. 5 (3) ケース4 (活魚タンク) での水槽配置と親サンゴ輸送数

選定した各 2 段積み可能な水槽は、輸送船への可能な設置数をもとに、親サンゴの輸送数を算出した結果、令和 7 年度の輸送数である 200 個を確保可能であることを確認した。

表-Ⅳ. 1. 4. 4 水槽設置数と親サンゴ輸送数

ケース	設置水槽	設置数	親サンゴの輸送数
現状	1段積み FRP 水槽	7	168
ケース1	2段積み FRP 水槽	5	240
ケース2-1	2段積みコンテナ水槽	5	240
ケース3	2段積みコンテナ水槽(クーラー型)	5	240
ケース4	2段積み活魚タンク	7	224

4.1.3. 設置水槽の作業性・実現性の比較検討

選定した4種類の各水槽について、輸送する際の作業性・実現性を比較検討した。なお、作業性の比較項目は、海水の循環、高温度化抑制、光量の確保、フタの固定、輸送性の5つとした。

表-Ⅳ.1.4.5 作業性の比較項目

項目	作業性について
海水の循環	水槽内の海水循環を行うため、 ポンプ の設置が容易か
高温度化抑制	直射日光による海水温上昇を抑えるための 遮光幕 、冷温用 散水ホース の設置が容易か
光量の確保	サンゴの養生が適切にできるように、自然光を水槽内へ取り込む 透明フタ を設置が容易か
フタの固定	輸送中の揺れで海水があふれ出ない、散水用の真水が水槽に入らないように、 フタの固定 が容易か
輸送性	輸送船に設置する上で、積載重量や 積み下ろし が容易か



ポンプ



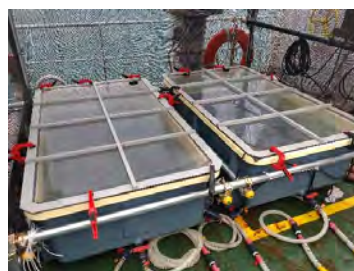
遮光幕



散水ホース



透明フタ



フタの固定



積み下ろし

図-Ⅳ.1.4.6 作業性を確認する項目のイメージ

表-Ⅳ.1.4.6 各水槽の作業性・実現性の検討結果

	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
名称	FRP 水槽	コンテナ水槽	コンテナ水槽 (クーラー型)	活魚タンク
商品	 カイスイマレン製 (ジャンボタンク 1070T)	 サンコー製 (ジャンボックス 1000)	 サンコー製 (サンコールドボックス 1000LD)	 スイコー製 (活魚 1000)
価格	約 13 万円 +α (フタ作成費)	約 15 万円 +α (フタ作成費)	約 40 万円 +α (フタ作成費)	約 14 万円
重量	38kg	71kg	106 kg	57kg
作業性	・循環ポンプやフタの設置が現行通りなので導入が容易	・循環ポンプやフタの設置に別途検討が必要 ・重量が重い	・温度管理に適するが、密閉型のため、光量管理が難しい ・重量が重い	・やや光量が少ない ・天窓が小さくなるため、観察や作業が難しい
実現性	○	△	×	×

上記の各水槽における作業性・実現性の検討結果から、循環ポンプやフタの設置が現行通りなので導入が容易な FRP 水槽の 2 段積みによる親サングの輸送が効率的と判断した。

4.2. 輸送船設置時における実現性の確認

4.2.1. 輸送カゴの作成

4.2.1.1 親サンゴの状態確認

輸送カゴに配置する親サンゴの平面配置数量を確認するため、令和 5 年 12 月に久米島で飼育中である輸送予定の親サンゴのサイズ・数量・基部形状について確認した。

親サンゴの平面サイズは約 80% が 20cm 以下であり、基部形状はトリカルネットを付けているものが固定しやすいことを確認した。なお、後述する輸送カゴに 20cm の親サンゴを配置した場合、8 つ配置できる試算となった。

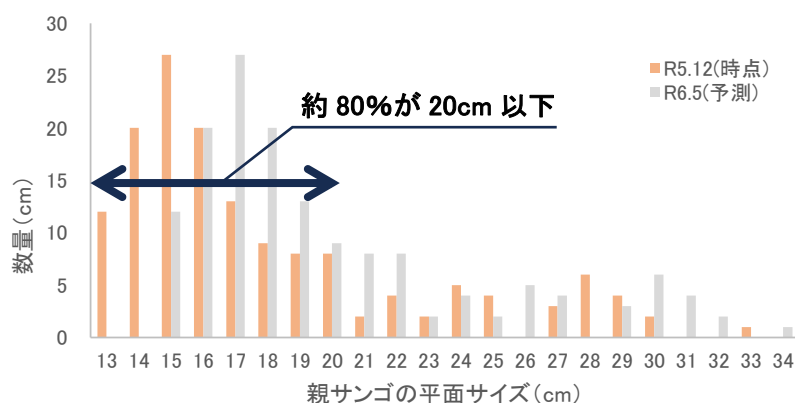


図-IV.1.4.7 輸送予定の親サンゴのサイズ・数量



図-IV.1.4.8 親サンゴの基部形状

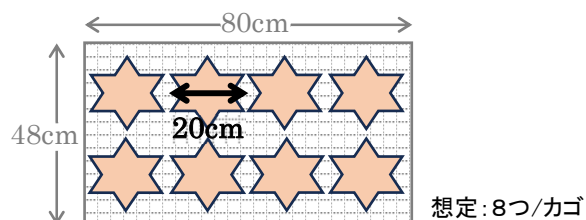


図-IV.1.4.9 親サンゴの平面配置数量

4.2.1.2 輸送カゴの設計

輸送カゴのサイズは、水槽の内寸および親サンゴのサイズ等から、微調整を行い 48cm×80cm×20cm とした。固定方法は、親サンゴの基部に取り付けているトリカルネットを用いて固定する方法とした。

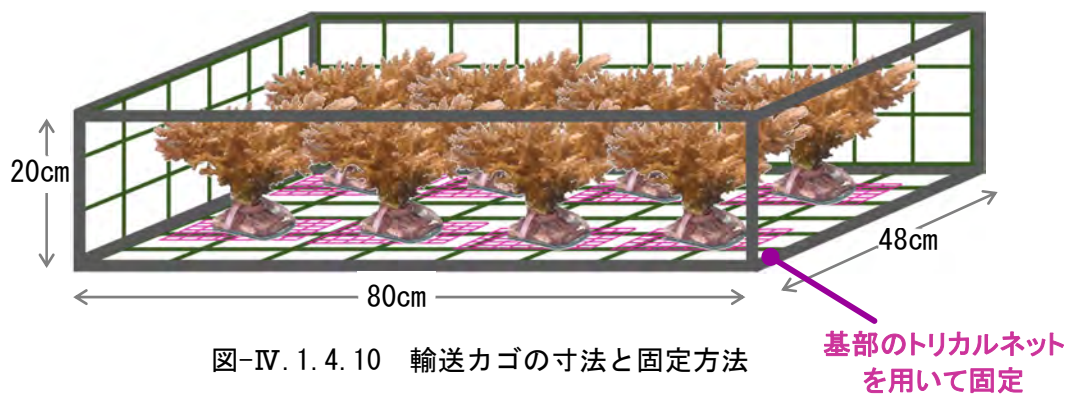
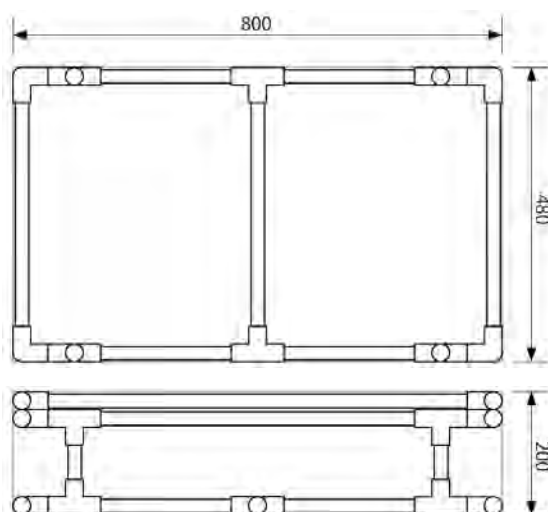


図-IV. 1. 4. 10 輸送カゴの寸法と固定方法



【規格】

- ・塩ビ管 (VP13) フレームにトリカルネットを結束バンドで固定し作成
- ・サイズ (外寸) : 800×480×200 mm
- ・トリカルネット (目合) : 上面 67×64 mm
ほか 25×25 mm

図-IV. 1. 4. 11 輸送カゴの設計図



図-IV. 1. 4. 12 作成した輸送カゴの概観

4.2.1.3 規定サイズ以上の高い親サンゴへの対応

輸送カゴの高さの考え方としては、基本高は輸送船設置水槽の換水量 1/3 確保と、小型船へ載せる角型容器の許容高に基づき 20cm として、それに配置する親サンゴの高さも 20cm 未満になるように規定するよう計画する。

ただし、輸送時まで生長を続けると輸送カゴの高さを超えてしまう懸念があるため、高さを変更できる構造の改良版を追加で 6 つ作成することとした。

運用方法については、以下の対応とする。

- ・高い親サンゴは基本高カゴ(H20cm)にスペーサー(H2.5cm)を加えた H22.5cm カゴに入れ、低い親サンゴは H17.5cm カゴに入れる。
- ・高低 2 つの輸送カゴを 1 セットとし、上下セットで許容高を確保する。

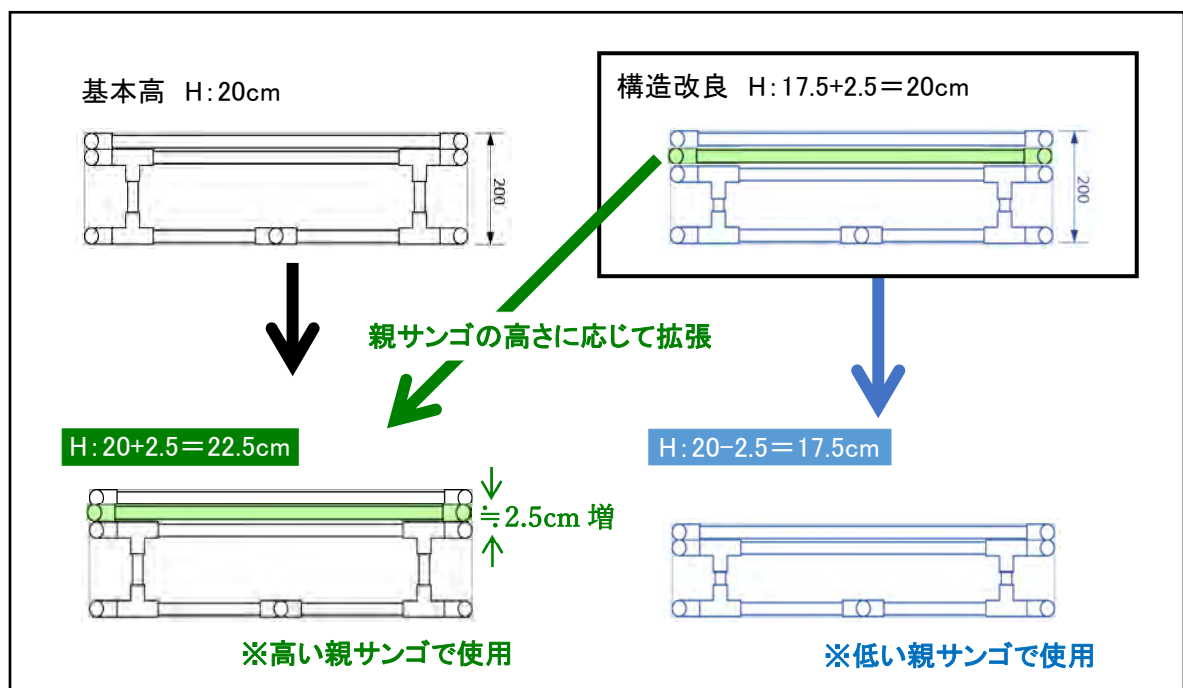


図-IV. 1. 4. 13 輸送カゴの高さ調整

4.2.2. 付帯設備等の設置確認

沖ノ鳥島への輸送船に設置した場合を想定して、水槽に付随する付帯設備等の試作・設置方法について、令和5年12月に確認した。

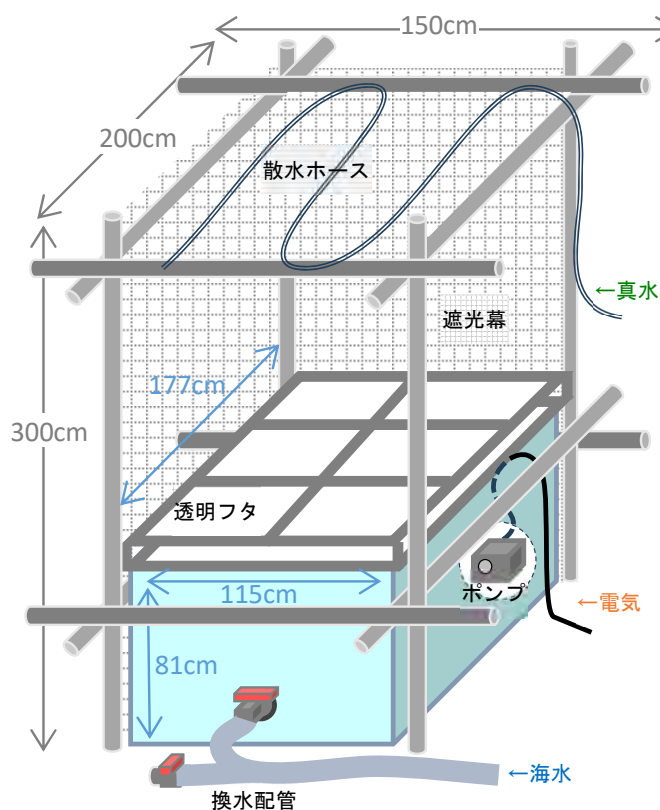


図-IV.1.4.14 付帯設備設置イメージ



図-IV.1.4.15 FRP 水槽と輸送カゴ

表-Ⅳ. 1. 4. 7(1) 付帯設備等の設置確認状況 1/3

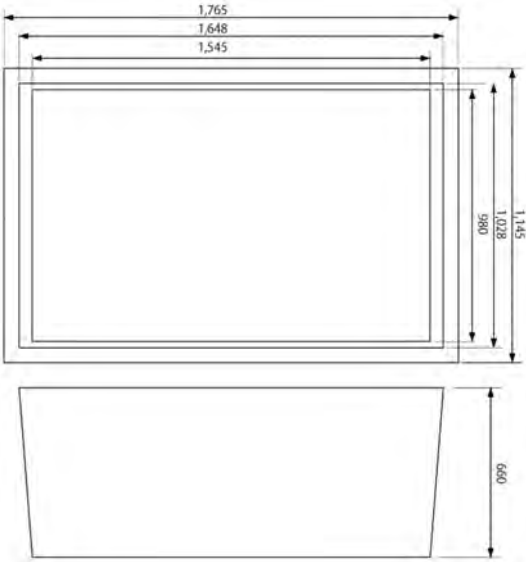
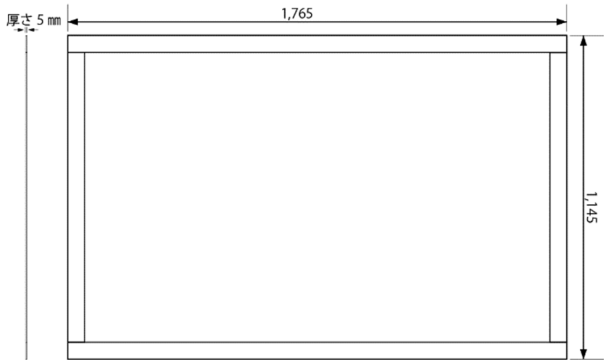
	仕様	写真
FRP 水槽	・ 寸法を確認 	
透明フタ	・ 上記の FRP 水槽の寸法に合わせて、試験用に 光量が確保できる透明フタ(塩ビ板)を試作 ・ 水槽内に水を充填しても動かない、散水が流入 しないように、水槽の縁部分にゴムパッキン を付けて気密性を確保し、クランプで固定 	 

表-IV. 1. 4. 7 (2) 付帯設備等の設置確認状況 2/3

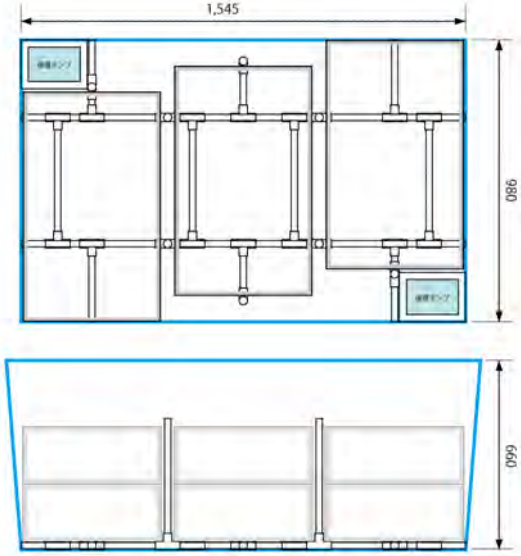
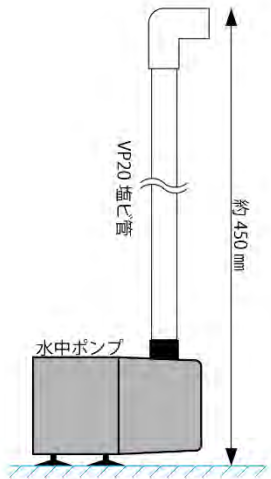
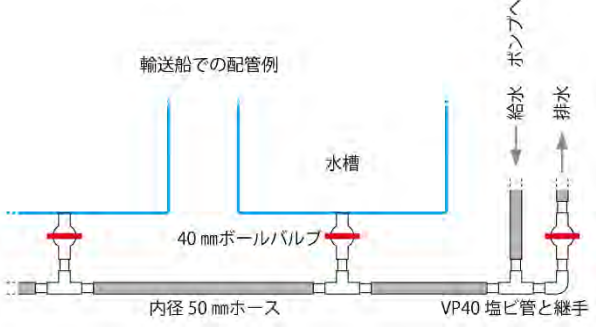
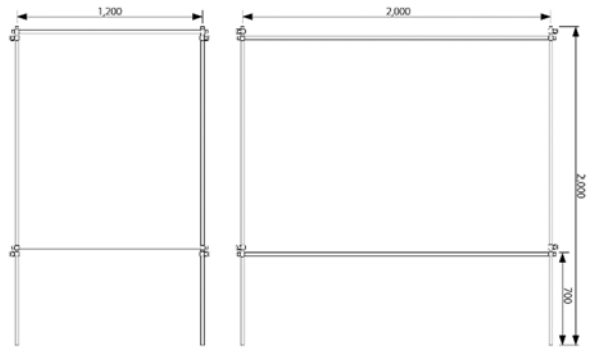
	仕様	写真
固定具	- 塩ビ管 (VP16) フレームを敷設し、輸送カゴが水槽内で動かないよう固定 - 水中ポンプの設置スペース確保のため、左右列をずらす構造で組立 	
ポンプ	- 水槽 1 基あたり 2 個の水中ポンプを設置して水槽内の海水を循環 - 吐出部は塩ビ管 (VP20) で垂直に立ち上げ、輸送カゴの最上面と同程度の高さで、L 継手を用いて水平に吐出 - 水槽底面に吸盤を各 4 個用いて固定 - 電源コードは、水槽の縁部分にクッション性テープ部の厚みを工夫して、水槽内部へ引込 	

表-IV. 1. 4. 7(3) 付帯設備等の設置確認状況 3/3

換水配管	仕様	写真
換水配管	- 給排水部に付属するボールバルブ (VP40) を活用し、給水と排水を一元管理 50 mmホースから給水し、T 継手を取付け、水槽間を 50 mmホースまたは塩ビ管で連結 - なお、輸送船では、末端部に揚水ポンプと排水用バルブを取付けることを想定 	
遮光幕	- 水槽周囲に足場パイプをやぐら状に組み立て（幅 2m、奥行き、1.4m、高さ 2m）、遮光ネットを結束バンドで固定 - 前面は作業性を考慮して開閉できるように、水槽上部がやや隠れる程度の長さで設置 	
散水ホース	- 水槽上面に散水が当たるよう、単管に散水ホースを結束バンドで固定 - なお、試験では水道水を用いたが、輸送船では塩素入りの海水を散水することを想定	

設置した付帯設備等については、実現性の確認について、以下のとおり行った。

表-Ⅳ.1.4.8(1) 付帯設備等の実現性確認 1/2

	作業性について	確認結果	写真
付帯設備 状況	■海水の循環 →水中ポンプの設置 が容易か	塩ビ管で垂直 に立ち上げたこ とにより、水槽内 に海水を十分循 環できた。	
	■高温度化抑制 →遮光幕、散水ホー スの設置が容易か	単管を2 mの 高さで組上げ設 置したが取付け に支障はなく、水 槽内の温度も適 切に保てた。	
	■光量の確保 →透明フタの設置が 容易か	フタは重量が あるため、開閉時 に作業員2名を配 置する必要があ った。	
		水槽内に十分 な光量を届ける ことができた。 また、輸送カゴ を上下交換する ことで、サンゴの 生育状態を良好 に保てた。	

表-Ⅳ.1.4.8(2) 付帯設備等の実現性確認 2/2

	作業性について	確認結果	写真
付帯設備 状況	■フタの固定 →フタの固定が容易か	給水時に満水以上の水を入れても、ほとんど水漏れがなく、一定の気密性を保てた。	
	■輸送性 →積み下ろしが容易か	輸送船への積載にはクレーンが必要な重量であった。 船上での移動には作業員2名で可能なことを確認した。	
サンゴの 破損防止	→サンゴが破損せずに輸送できるか	輸送カゴの上下交換時に、サンゴ同士の衝突、転倒などの破損はなかった。	

以上のとおり、親サンゴ輸送に向けた付帯設備等の設置確認を行った結果、実現性を十分確保できることが確認できた。

4.2.3. 輸送時を想定したサンゴの生育状態の確認試験

試作および設置した付帯設備を用いて、令和 5 年 12 月 13 日 13 : 00 から 16 日 13 : 00 までの 3 日間（72 時間）において、沖ノ鳥島への輸送時を想定したサンゴの生育状態の確認試験を行った。

4.2.3.1 確認試験に用いたサンゴ

確認試験には、ウスエダミドリイシとヤッコミドリイシを用いた。サイズは、以下のとおりである。

輸送カゴ内のサンゴ配置には、サンゴ同士が接触しないよう配慮した。水槽内への輸送カゴセット数は、水槽内に設置可能な最大数となる 6 つとした。

表-Ⅳ.1.4.9 確認試験に用いたサンゴの種類とサイズ

	種名	長径	短径	高さ
1	1 ヤッコミドリイシ	11	10	5
	2 ヤッコミドリイシ	25	10	4
	3 ヤッコミドリイシ	13	11	7
	4 ヤッコミドリイシ	12	10	4
	5 ウスエダミドリイシ	17	8	5
	6 ヤッコミドリイシ	18	16	6
	7 ウスエダミドリイシ	10	9	4
	8 ウスエダミドリイシ	13	11	5
2	1 ヤッコミドリイシ	17	9	5
	2 ヤッコミドリイシ	19	10	5
	3 ウスエダミドリイシ	39	30	8
	4 ヤッコミドリイシ	43	30	10
	5 ウスエダミドリイシ	14	10	5
3	1 ウスエダミドリイシ	15	9	7
	2 ウスエダミドリイシ	16	8	5
	3 ヤッコミドリイシ	40	30	10
	4 ヤッコミドリイシ	28	26	9
	5 ヤッコミドリイシ	12	10	5
	6 ウスエダミドリイシ	13	9	6
4	1 ウスエダミドリイシ	13	11	7
	2 ウスエダミドリイシ	15	11	6
	3 ヤッコミドリイシ	19	9	5
	4 ウスエダミドリイシ	13	7	7
	5 ウスエダミドリイシ	10	9	6
	6 ウスエダミドリイシ	10	10	7
	7 ヤッコミドリイシ	35	23	9
5	1 ヤッコミドリイシ	9	7	5
	2 ウスエダミドリイシ	14	10	7
	3 ヤッコミドリイシ	40	33	10
	4 ヤッコミドリイシ	49	30	15
	5 ヤッコミドリイシ	15	6	5
	6 ヤッコミドリイシ	13	8	6
6	1 ヤッコミドリイシ	28	26	20
	2 ウスエダミドリイシ	14	8	6
	3 ウスエダミドリイシ	16	11	7
	4 ヤッコミドリイシ	15	9	6
	5 ヤッコミドリイシ	9	6	6
	6 ヤッコミドリイシ	30	28	11

※単位：cm

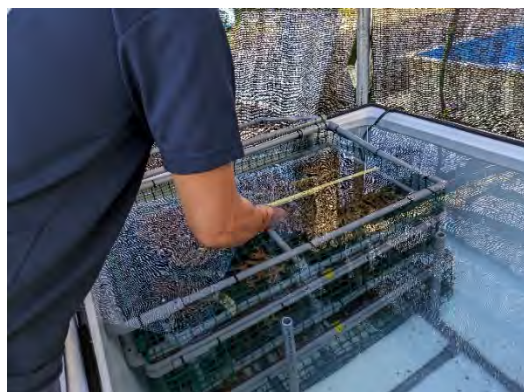


図-Ⅳ.1.4.16 サンゴのセットとサイズ計測

確認試験は、水循環・遮光・散水を常時（24 時間）、換水を 9 時頃、15 時頃、20 時頃の計 3 回/日行った。換水量は水槽の 1/3 とした。換水時には、輸送カゴを上下交換し、サンゴの生育状態について経過観察を行った。

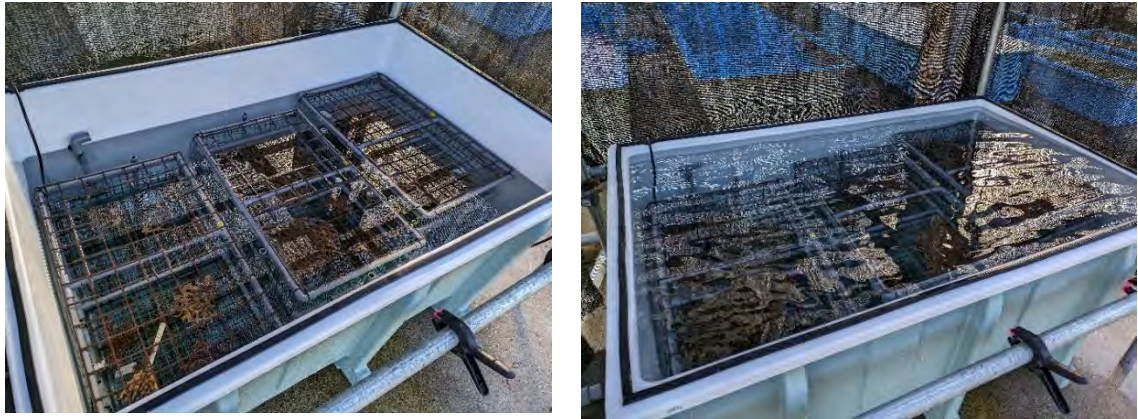


図-IV.1.4.17 換水作業

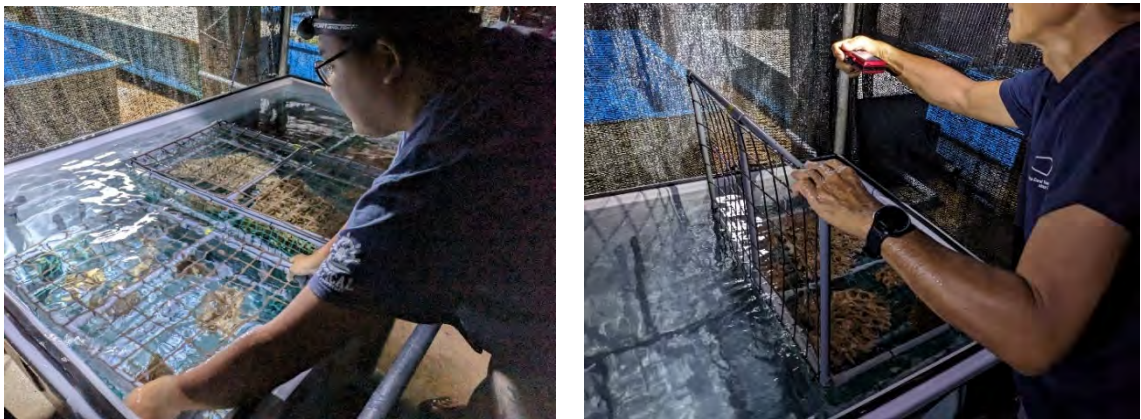


図-IV.1.4.18 輸送カゴの上下交換と経過観察

4.2.3.2 経過観察の結果

確認試験中におけるサンゴの生育状態の経過観察結果は、次頁以降に示すとおりであった。結果は、3 日間通してサンゴの生育状態は良好であり、特に問題は見られなかった。

表-Ⅳ. 1. 4. 10(1) 輸送カゴ 1 の経過観察結果

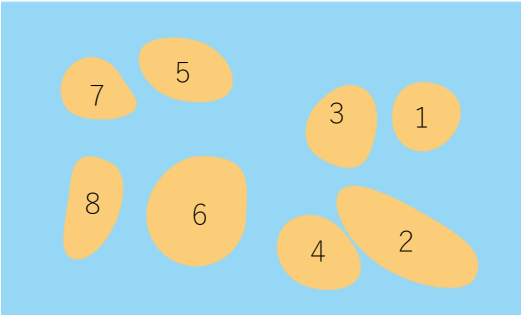
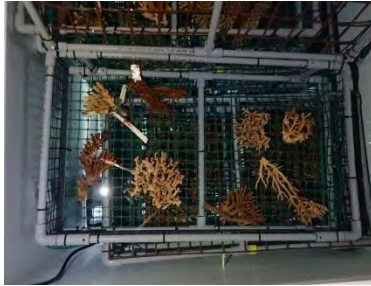
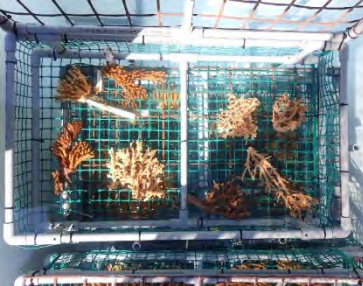
 12/13 13:00 試験開始		
 12/13 20:00	 12/14 08:30	 12/14 15:00
 12/14 20:00	 12/15 09:00	 12/15 15:00
 12/15 20:00	 12/16 09:00	 12/16 13:00 試験終了

表-Ⅳ. 1. 4. 10(2) 輸送カゴ 2 の経過観察結果

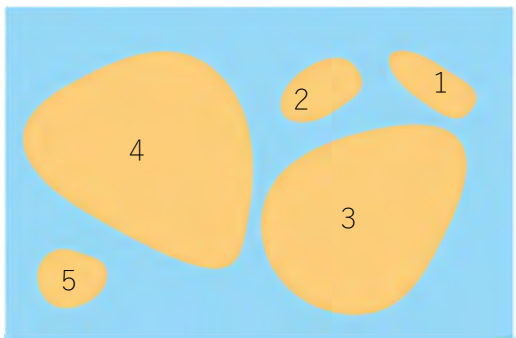
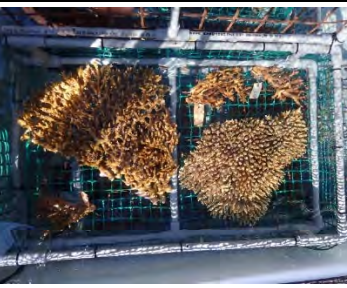
		
12/13 13:00 試験開始		
		
12/13 20:00	12/14 08:30	12/14 15:00
		
12/14 20:00	12/15 09:00	12/15 15:00
		
12/15 20:00	12/16 09:00	12/16 13:00 試験終了

表-Ⅳ. 1. 4. 10(3) 輸送カゴ3の経過観察結果

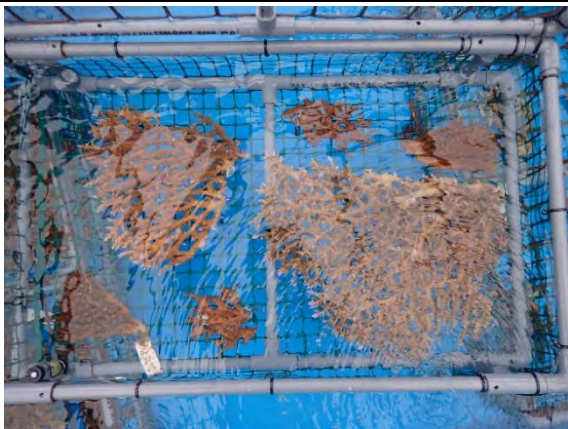
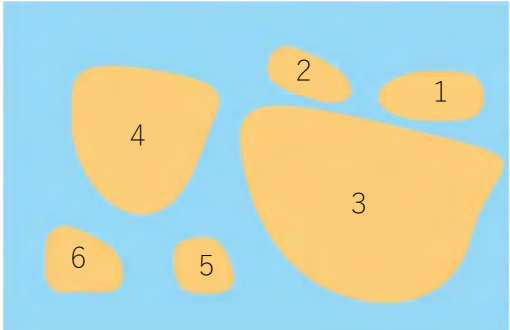
 12/13 13:00 試験開始		
 12/13 20:00	 12/14 08:30	 12/14 15:00
 12/14 20:00	 12/15 09:00	 12/15 15:00
 12/15 20:00	 12/16 09:00	 12/16 13:00 試験終了

表-Ⅳ. 1. 4. 10(4) 輸送カゴ 4 の経過観察結果

		
12/13 13:00 試験開始		
		
12/13 20:00	12/14 08:30	12/14 15:00
		
12/14 20:00	12/15 09:00	12/15 15:00
		
12/15 20:00	12/16 09:00	12/16 13:00 試験終了

表-Ⅳ. 1. 4. 10(5) 輸送カゴ5の経過観察結果

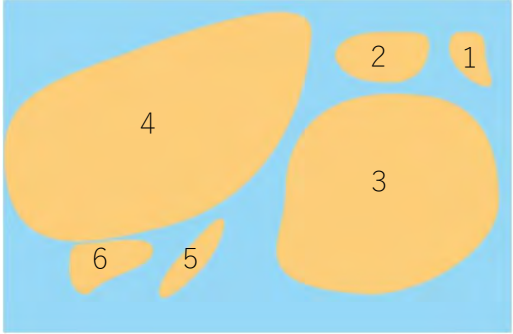
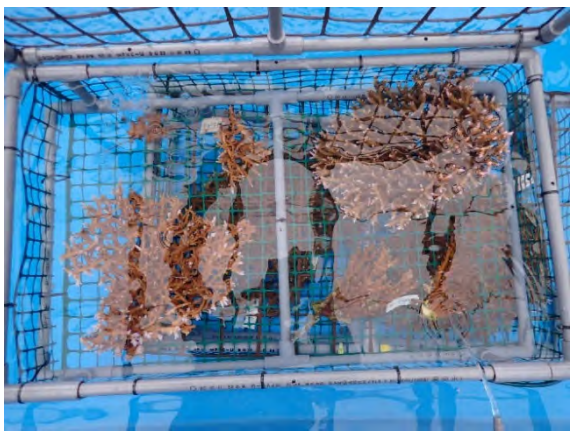
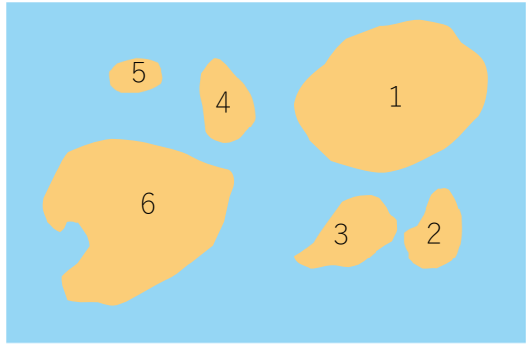
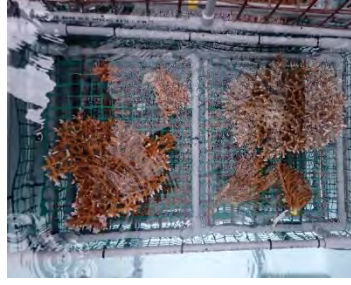
 12/13 13:00 試験開始		
 12/13 20:00	 12/14 08:30	 12/14 15:00
 12/14 20:00	 12/15 09:00	 12/15 15:00
 12/15 20:00	 12/16 09:00	 12/16 13:00 試験終了

表-Ⅳ. 1. 4. 10(6) 輸送カゴ6の経過観察結果

 12/13 13:00 試験開始		
 12/13 20:00	 12/14 08:30	 12/14 15:00
 12/14 20:00	 12/15 09:00	 12/15 15:00
 12/15 20:00	 12/16 09:00	 12/16 13:00 試験終了

サンゴの生育状態の経過観察結果は、3日間通して良好であり、特に問題はみられなかったが、本試験は実際の沖ノ鳥島への輸送時とは条件設定が異なるため、留意事項を3つ整理した。

表-Ⅳ.1.4.11 輸送時の留意事項について

留意事項	内 容
波浪対策	これまでの実績から、以下のとおり波浪対策を行う。 ・水槽一杯に海水を入れてフタで固定し気密性を確保することで、水の流失を防ぐと共に空気層をなくしユレによる衝撃、親サンゴの干上がり防止を行う。 ・輸送カゴは、水槽内に塩ビ管を設置して、輸送カゴを固定する。 ・親サンゴは、輸送カゴとの固定がしやすいように基部にトリカルネットを付けて固定する。
予防処理	・輸送用の水槽のほかに、予防処置用の水槽を別途1つ用意する。 ・弱っている親サンゴは、予防処理として別水槽へ移し、他の親サンゴへ影響が及ばないようにする。 ・別水槽に移した親サンゴは、必要に応じて枝折や薬浴などの処置を行う。 【枝折】 ・罹患や痛んだ箇所を折り取る。 ・その際、健全部分も2, 3cm 含まれるように折り取る。 【薬剤処理】 【薬浴】 薬剤：ニフルスチレン酸ナトリウム、アンピシリン、オキシテトラサイクリン、30%過酸化水素 方法：薬浴の場合は各薬剤の用法に準じる。過酸化水素については、2 mmol/L で10分程度。 【塗布】 薬剤：30%過酸化水素、エチルアルコール 方法：・枝折と同様に健全部分の2, 3cm も含めて塗布。 ・飼育海水中にも病原菌やそれを含んだ組織が浮遊しているので、速やかな換水ならびに海水の抗菌も実施。
光量調整	・換水時にカゴの上下交換を行い、どの親サンゴにも適度な光量を当てる。なお、急に光量が増えるとサンゴがダメージを受ける恐れがあるため、カゴの上下入れ替えを1日1回、夜に実施する。 ・親サンゴは光量の急な変化や強過ぎても生育に影響を与えるため、徐々に光量を増やしてから海底に移動した方がよいが、輸送船上の限られた設備と日数制限があるため、海底への仮置時に遮光幕で1日程度覆い、光量の順化を行う。

4.3. 輸送カゴの受渡しシミュレーション

輸送カゴを用いた親サンゴ輸送について、施設からトラック、輸送船、小型船、潜水士への一連の受渡しが効率的に実施可能かシミュレーションを行った。

なお、輸送カゴを用いることで、大量輸送を行うことができること、輸送時の受渡し作業や親サンゴのストレスを軽減できること、海底仮置時の食害防止ができることを期待して実施できることを念頭に考えるものとする。

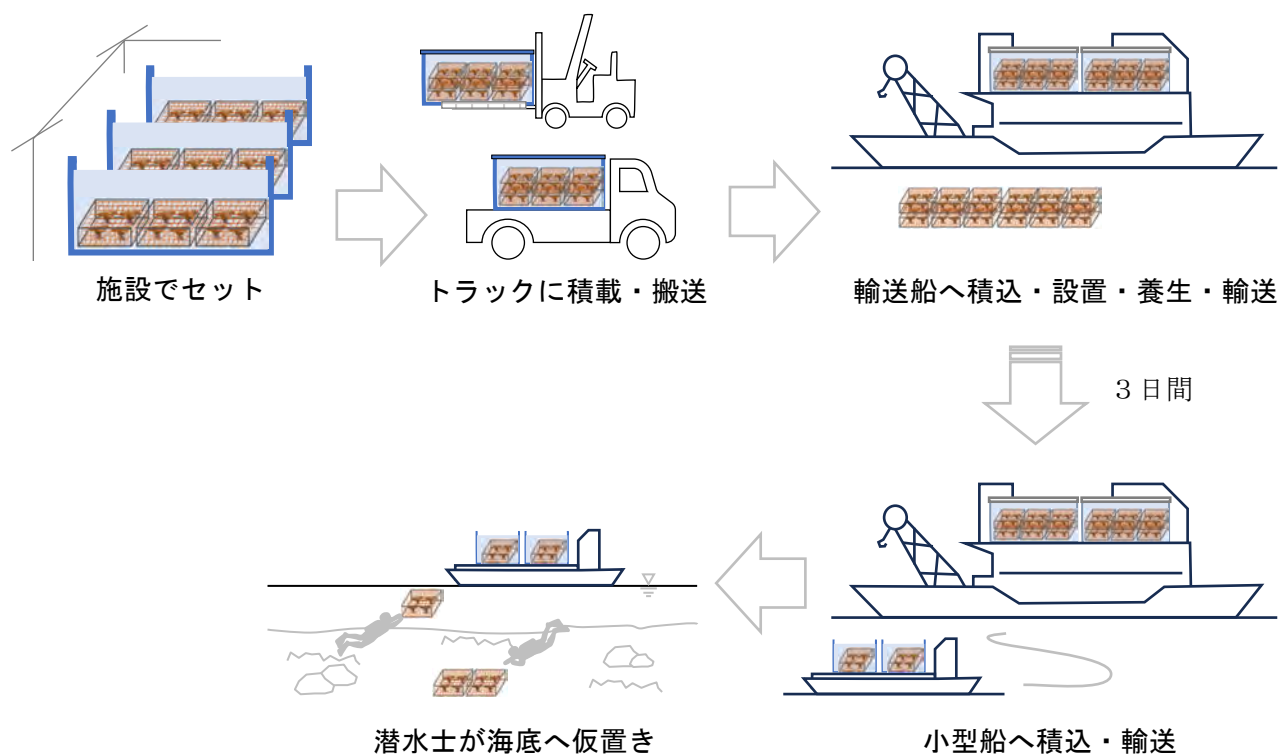
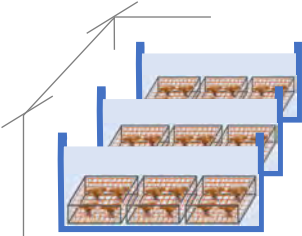
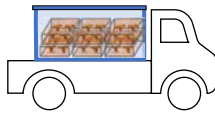
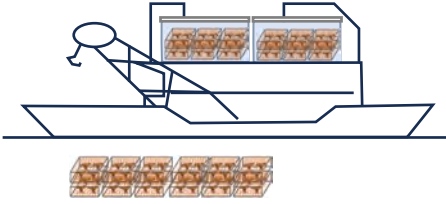
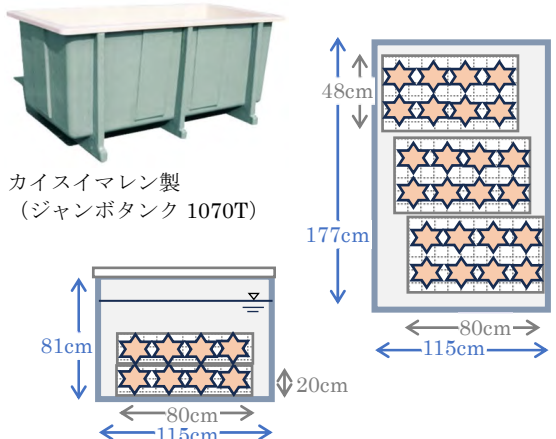
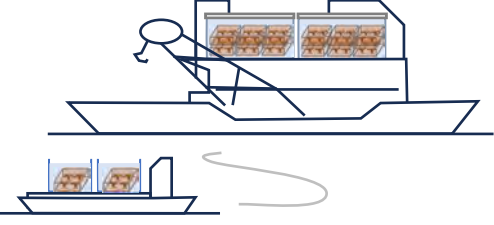
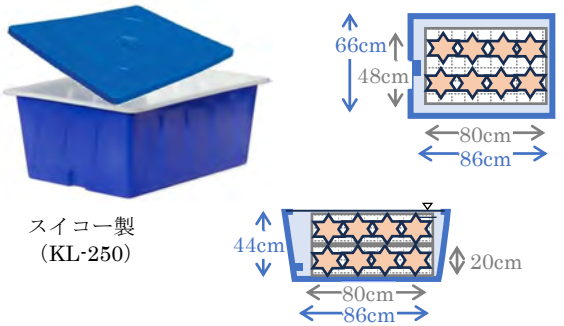


図-IV.1.4.19 輸送カゴを用いた親サンゴ輸送イメージ

表-Ⅳ. 1. 4. 12 輸送カゴの受渡し確認

受渡し手順	輸送カゴの状態
 施設でセット	 輸送カゴ
 トラックに積載・搬送	活魚トラックを使用
 輸送船へ積込・設置・養生・輸送	 カイスイマレン製 (ジャンボタンク 1070T)
 小型船へ積込・輸送	 スイコー製 (KL-250)

上記の受渡し手順を想定し、沖ノ鳥島への各輸送段階において、効率的に実施可能であると判断した。