

**VII. 海洋環境等の変化に強い
サンゴ種の増殖手法の開発**

目 次

VII 海洋環境等の変化に強いサンゴ種の増殖手法の開発	
1 沖縄海域	VII-1
1.1 はじめに	VII-1
1.2 調査内容	VII-1
1.2.1 検証項目および現地調査スケジュール	VII-1
1.2.2 調査位置	VII-2
1.2.3 過年度調査のモニタリング内容	VII-3
1.3 調査結果	VII-5
1.3.1 2019 年度実験のモニタリング結果	VII-5
1.3.2 2020 年度実験のモニタリング結果	VII-10
1.4 次年度の計画(案)	VII-16
2 沖ノ鳥島海域	VII-18
2.1 はじめに	VII-18
2.2 調査内容	VII-19
2.2.1 調査内容	VII-19
2.2.2 調査位置	VII-19
2.2.3 調査方法	VII-20
2.3 調査結果と考察	VII-21
2.3.1 2018 年度移植サンゴのモニタリング	VII-21
2.3.2 2019 年度移植サンゴのモニタリング	VII-22
2.3.3 2020 年度移植サンゴのモニタリング	VII-26
2.4 次年度の計画(案)	VII-29

Ⅶ 海洋環境等の変化に強いサンゴ種の増殖手法の開発

1 沖縄海域

1.1 はじめに

本検討では、高水温などの環境変化には強いものの成長速度が遅いハマサンゴ属等を対象として、成長速度の促進が期待されるリススキニング技術の検証と海域での実用化を目的とした。

【リススキニング (Reskinning)】

- ・遺伝子が同じ断片(クローン)が融合することに着目し、成長の遅いハマサンゴ属等の塊状サンゴ類を小さく断片化(小片化)し、人工基盤等にパッチ状に植え付け、各小片が水平方向に成長し融合することで、サンゴ群体を早期に再生する技術である。

沖縄海域では、ハマサンゴ属、トゲキクメイシ属を対象に、細かく分割したサンゴ小片を貼付する実証試験を2018年から海域と陸上で実施している。

2022年は2019年、2020年に行った実験のモニタリングを実施した。

1.2 調査内容

1.2.1 検証項目および現地調査スケジュール

2019～2020年度実験の各作業項目の実施日を表-VII.1.1に示す。

表-VII.1.1 各作業項目の調査実施日

実験年度	調査方法	実施日
2019年度実験	2年半後モニタリング (陸上水槽、海域)	2022年 5月17, 24日
	3年後モニタリング (陸上水槽、海域)	2022年 11月16, 19日
2020年度実験	1年半後モニタリング	2022年 5月24日
	2年後モニタリング	2022年 11月19日

1.2.2 調査位置

調査地点を図-VII.1.1 に示す。海域実験は、小浜島に設置されたサンゴ増殖実証試験基盤内で行った。また、水槽試験は国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産技術研究所 八重山庁舎の施設内で行った。

●海域実験(小浜島南海域:サンゴ増殖実証試験基盤)



●水槽実験(水産技術研究所 八重山庁舎)



図-VII.1.1 調査場所(海域・水槽実験)

1.2.3 過年度調査のモニタリング内容

2019 年度実験の調査イメージを図-VII.1.2 に、2020 年度実験の調査イメージを図-VII.1.3 に示す。

2019 年度実験では、切断厚(切断厚 0cm、0.5cm、1.5cm)と貼付間隔(3cm、4cm、5cm)の検討を海域、陸上水槽にて行った。2020 年度実験では、貼付方向(水平、垂直方向)と付着物除去の有無の検討を海域のみで行った。

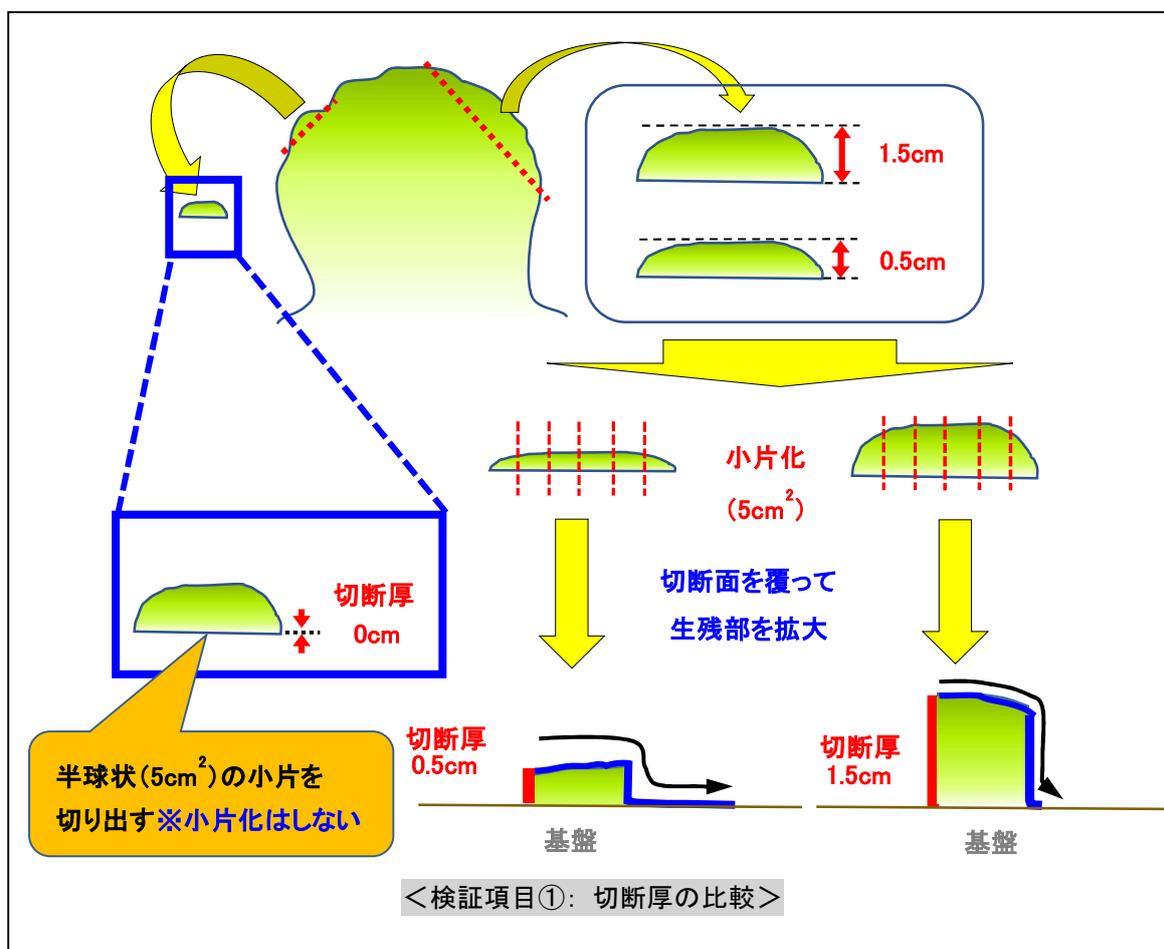


図-VII.1.2 (1) 2019 年度実験の実施イメージ (検証項目①)

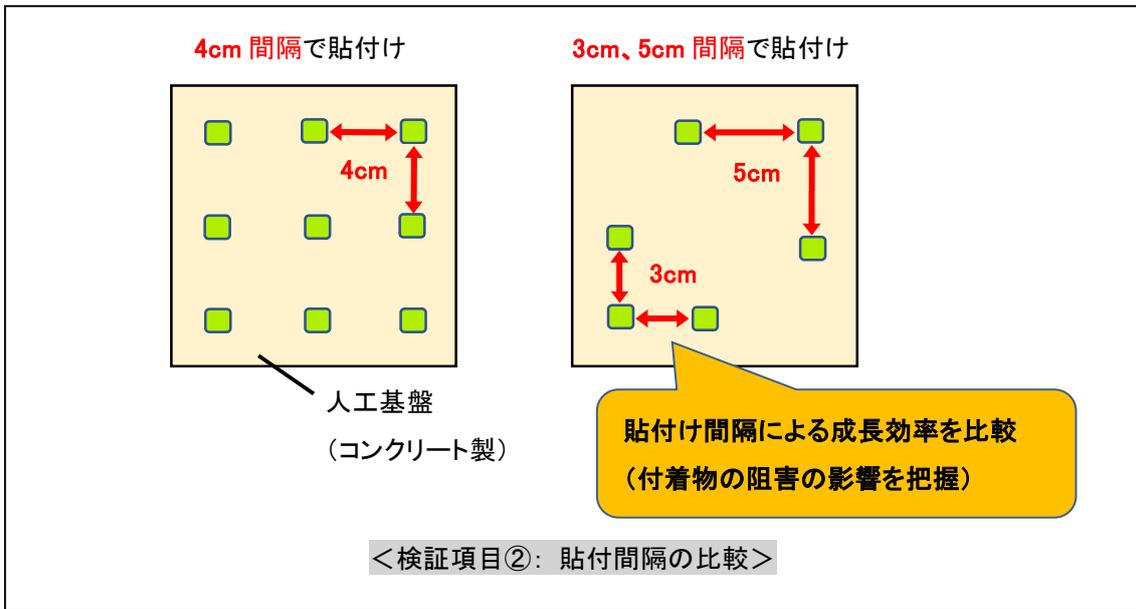


図-VII.1.2 (2) 2019 年度実験の実施イメージ (検証項目②)

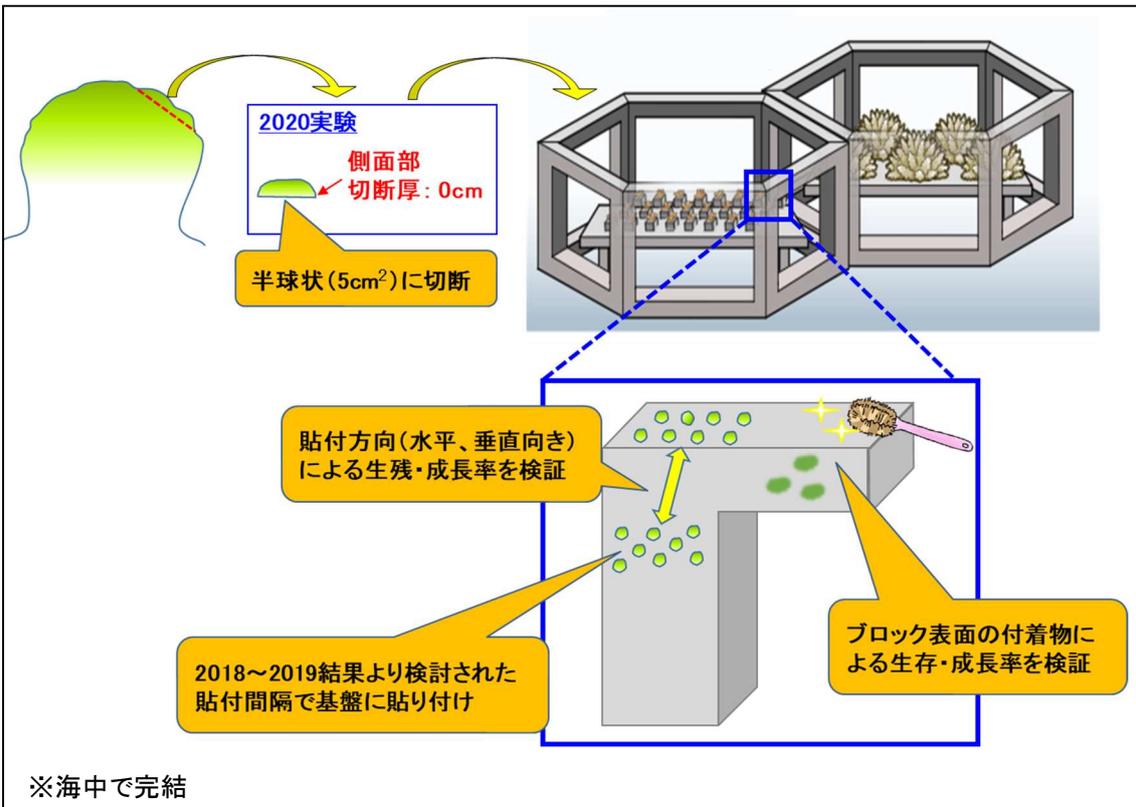


図-VII.1.3 2020 年度実験の実施イメージ

1.3 調査結果

1.3.1 2019 年度実験のモニタリング結果(移植 2 年半後、3 年後)

移植 2 年半後、3 年後モニタリング調査結果のまとめを表-VII.1.2 に、融合率の推移を図-VII.1.4 に、移植から 2 年半後、3 年後の小片生残・成長状況の例を図-VII.1.5 に示す。

海域では、生残率は移植から 3 年後時点でハマサンゴ属、トゲキクメイシ属ともに切断厚、貼付間隔の条件に問わず 80%以上であった。

成長率は切断厚の条件では移植から 3 年後時点でハマサンゴ属では切断厚 1.5cm が、トゲキクメイシ属では切断厚 0.5cm の成長率が最も高かった。貼付間隔の条件では移植から 3 年後時点でハマサンゴ属は全小片が融合し、トゲキクメイシ属は間隔 3cm が最も高かった。融合した小片以外の小片のみを抽出して成長率を算出しているため、過年度と異なる結果がみられている。

融合率は切断厚の条件では移植から 3 年後時点でハマサンゴ属、トゲキクメイシ属ともに切断厚 0cm の条件が最も高かった。貼付間隔の条件では融合率はハマサンゴ属で移植から 3 年後時点で間隔 4cm、トゲキクメイシ属で間隔 3cm の条件が最も高かった。ハマサンゴ属で 4cm が最も高くなった要因として、小片の成長の違いによるものと考えられる。

水槽では、移植から 3 年後に全小片が死滅した。

表-VII.1.2 (1) 移植 2 年半後、3 年後モニタリング調査結果 (切断厚別まとめ)

2 年半後: 2022 年 5 月 17、24 日 3 年後: 2022 年 11 月 16、19 日

場所	属	小片切断厚	総小片数	死滅小片数		生残率(%)		成長率(%)		成長率(%) (融合小片以外)	
				2 年半後	3 年後	2 年半後	3 年後	2 年半後	3 年後	2 年半後	3 年後
海域	ハマサンゴ属	0cm (小片化せず)	23			100	100	融合を 確認	融合を 確認	322	458
		0.5cm	14			100	100			453	532
		1.5cm	14			100	100			649	725
	トゲキクメイシ属	0cm	25	1	1	96	92			454	335
		0.5cm	16	1		96	96			425	465
		1.5cm	16			100	100			315	395
水槽	ハマサンゴ属	0cm (小片化せず)	10	1	2	20	0	17	0	/	
		0.5cm	6		1	17	0	204	0		
		1.5cm	6	2		0	0	0	0		
	トゲキクメイシ属	0cm	12			0	0	0	0		
		0.5cm	6			0	0	0	0		
		1.5cm	6			0	0	0	0		

注) 1. 空欄は各項目の状況が確認されなかったことを示す。

2. 死滅小片数は死亡小片の総数を示す。

3. 青字は前回調査時からの減少を、赤字は前回調査時からの増加を示す。

4. 成長率は死亡小片を除いて算出した値を示す。

5. 成長率(融合小片以外)は、融合した小片以外の小片のみを抽出して算出した値を示す。

表-Ⅶ. 1. 2 (2) 移植2年半後、3年後モニタリング調査結果（貼付間隔別まとめ）

2年半後: 2022年5月17、24日 3年後: 2022年11月16、19日

場所	属	貼付間隔	総小片数	死滅小片数		生残率(%)		成長率(%)		成長率(%) (融合小片以外)	
				2年半後	3年後	2年半後	3年後	2年半後	3年後	2年半後	3年後
海域	ハマサンゴ属	3cm	6			100	100	融合を 確認	融合を 確認	553	全小片融合
		4cm	11			100	100			全小片融合	全小片融合
		5cm	6			100	100			753	全小片融合
	トゲキクメイシ属	3cm	6	1		83	83			473	526
		4cm	13			92	92			318	172
		5cm	6		1	100	83			610	356
水槽	ハマサンゴ属	3cm	3			0	0	0	0		
		4cm	4		3	53	0	25	0		
		5cm	3	1		0	0	0	0		
	トゲキクメイシ属	3cm	3			0	0	0	0		
		4cm	6			0	0	0	0		
		5cm	3			0	0	0	0		

- 注) 1. 空欄は各項目の状況が確認されなかったことを示す。
 2. 死滅小片数は死亡小片の総数を示す。
 3. 青字は前回調査時からの減少を、赤字は前回調査時からの増加を示す。
 4. 成長率は死亡小片を除いて算出した値を示す。
 5. 成長率(融合小片以外)は、融合した小片以外の小片のみを抽出して算出した値を示す。

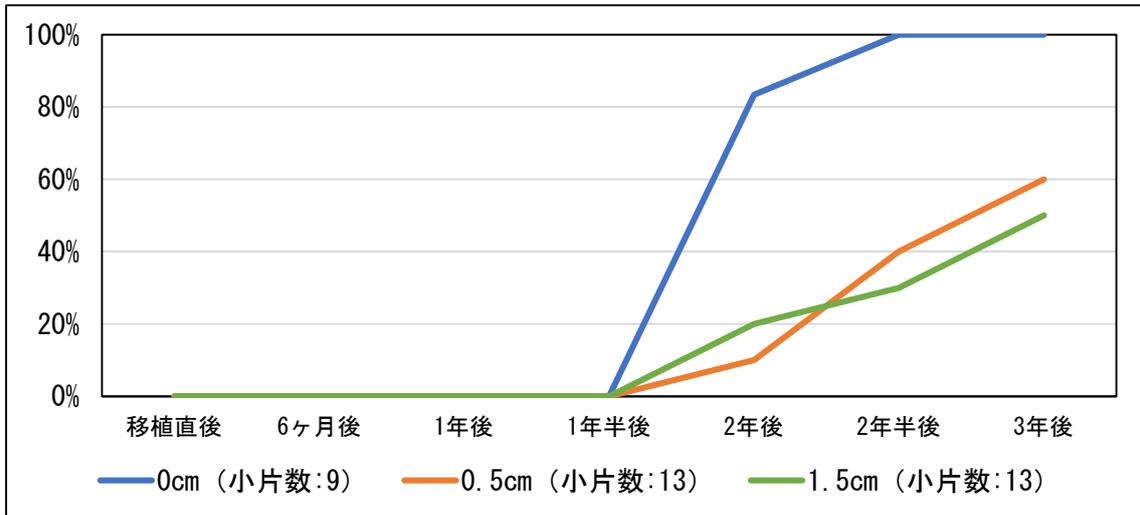


図-Ⅶ. 1. 4 (1) 2019年度実験の融合率の推移 (条件: 切断厚; ハマサンゴ属)

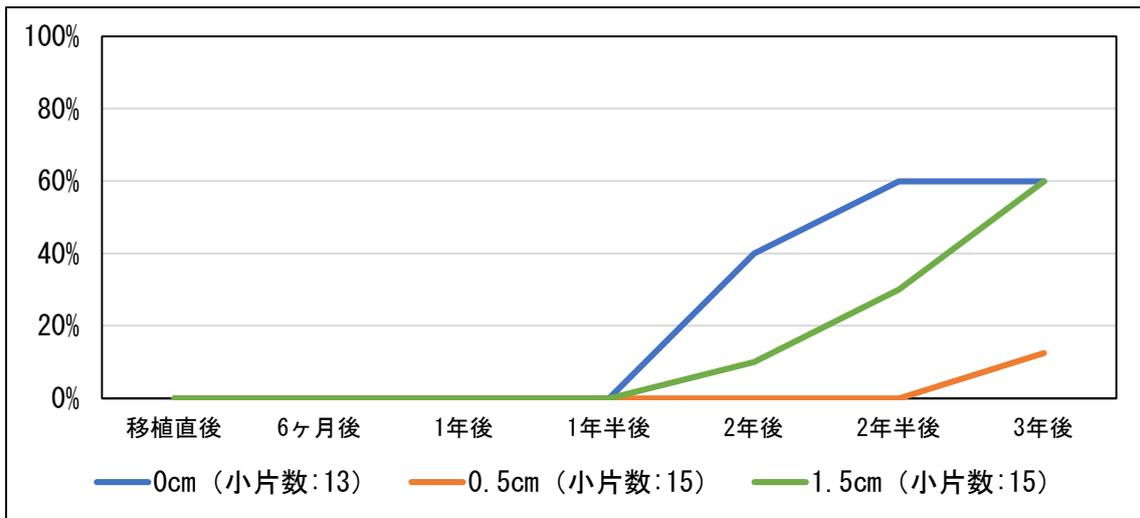


図-VII.1.4 (2) 2019 年度実験の融合率の推移 (条件: 切断厚; トゲキクメイシ属)

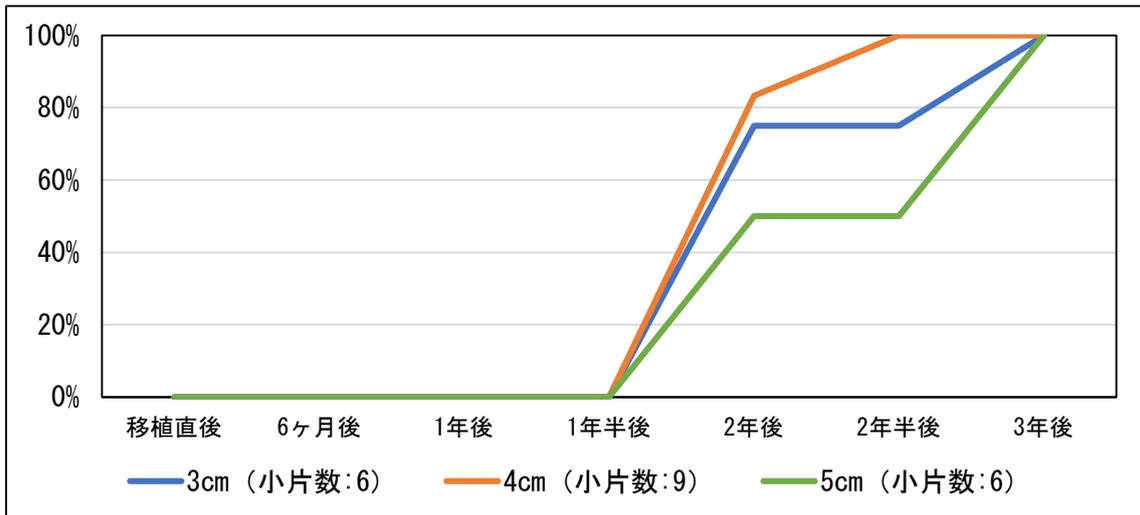


図-VII.1.4 (3) 2019 年度実験の融合率の推移 (条件: 貼付間隔; ハマサンゴ属)

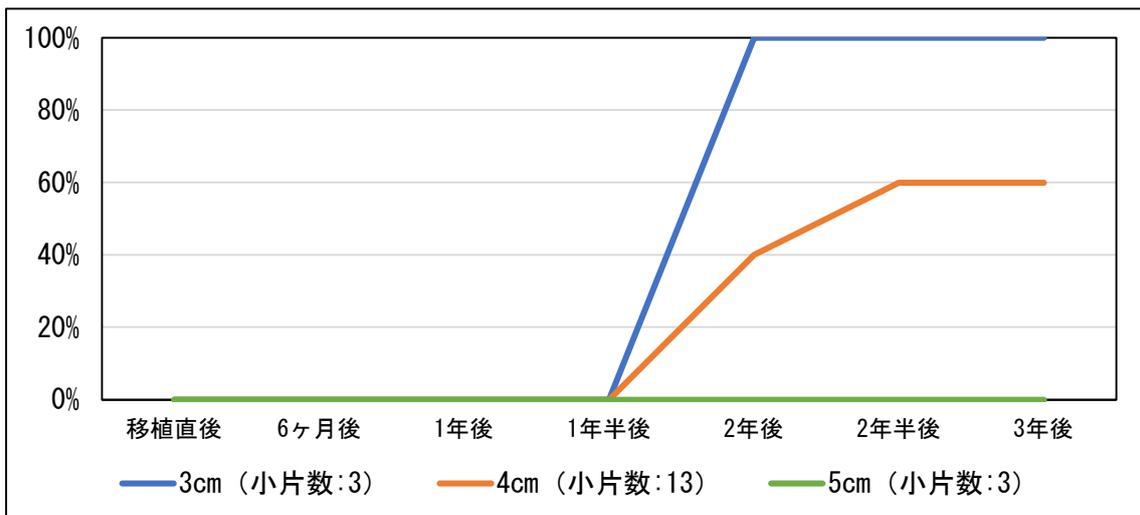
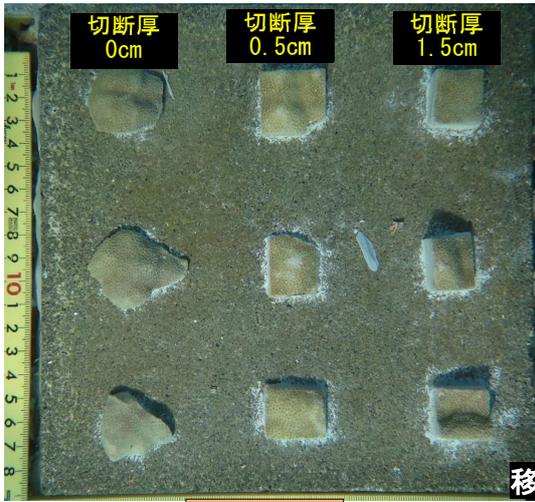


図-VII.1.4 (4) 2019 年度実験の融合率の推移 (条件: 貼付間隔; トゲキクメイシ属)

＜ハマサンゴ属＞



＜トゲキクメイシ属＞

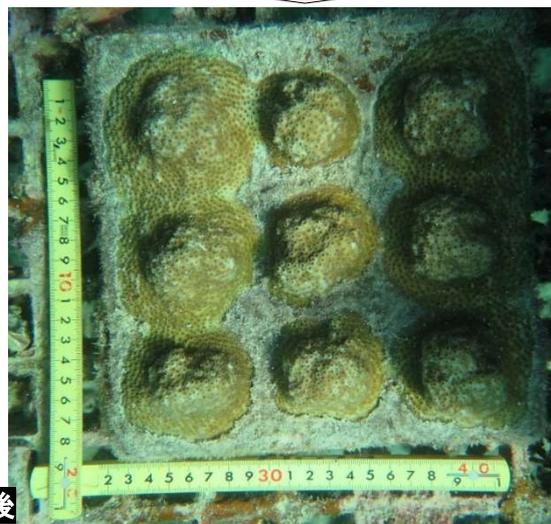
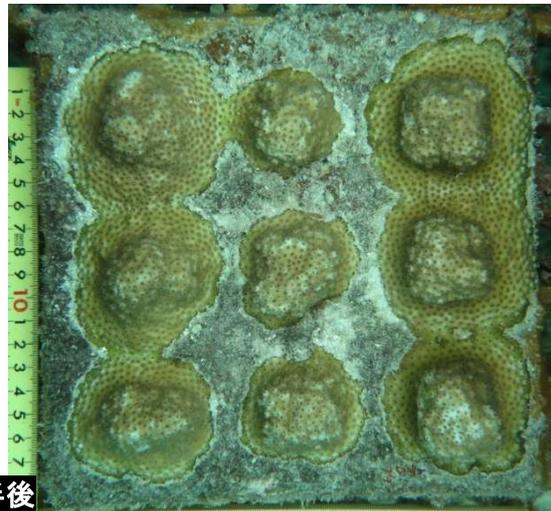
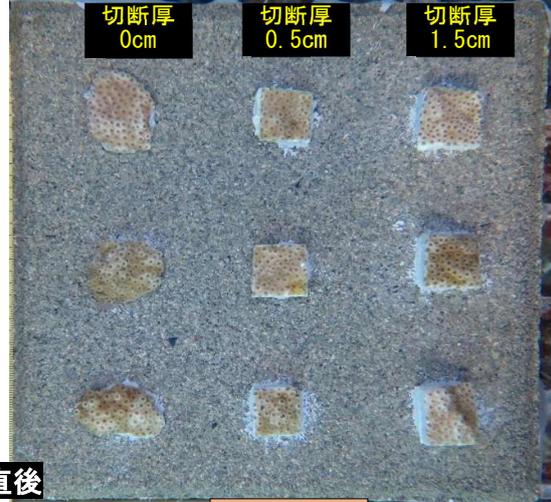
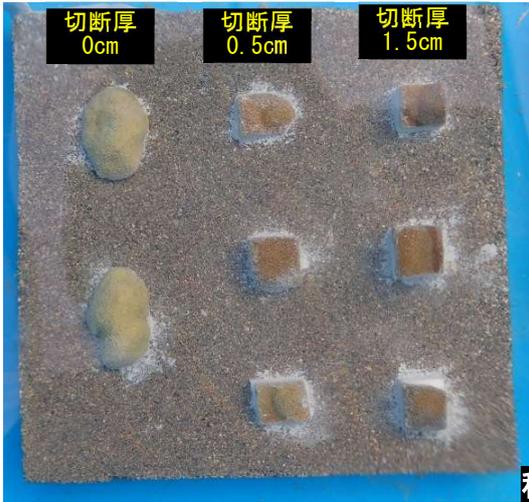


図-VII. 1. 5 (1) 移植から3年後の小片生残・成長状況の例 (海域実験)

＜ハマサンゴ属＞



＜トゲキクメイシ属＞

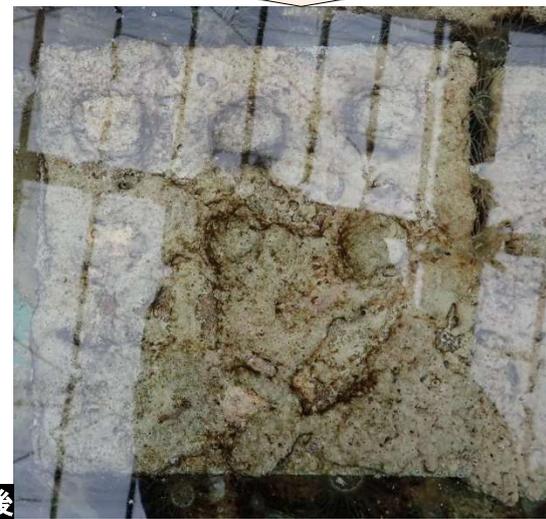
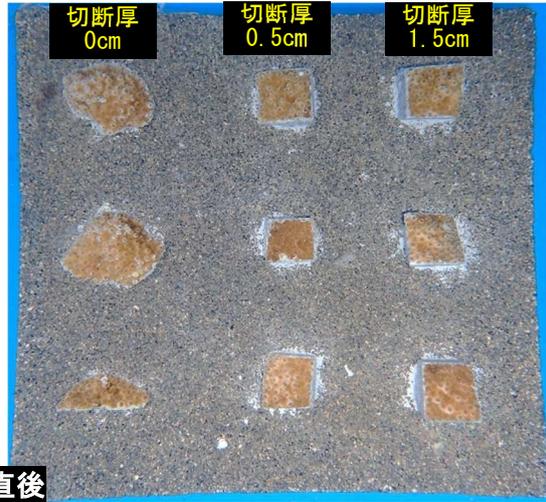


図-VII. 1.5 (2) 移植から3年後の小片の生残・成長状況の例（水槽実験）

1.3.2 2020 年度実験のモニタリング結果(移植 1 年半後、2 年後)

移植 1 年半後、2 年後までのモニタリング結果のまとめを表-VII.1.3 に、融合率の推移を図-VII.1.6 に、移植から 2 年後までの小片の生残・成長状況の例を図-VII.1.7 に示す。

生残率は貼付間隔の条件では移植から 2 年後時点でハマサング属、トゲキクメイシ属ともに 80%以上であったが、付着物除去の条件ではハマサング属で付着物除去ありの方が 87%、付着物除去なしが 53%で差がみられた。トゲキクメイシ属は付着物除去の有無にかかわらず生残率が 80%以上であった。

成長率は貼付方向の条件では移植から 3 年後時点でハマサング属は水平の方が、トゲキクメイシ属は垂直の方が高かった。融合した小片以外の小片のみを抽出して成長率を算出しているため、過年度と異なる結果がみられている。

融合率は貼付方向の条件ではハマサング属、トゲキクメイシ属ともに垂直に貼り付けた方が高かった。付着物除去の条件では、水平方向に貼り付けて実施したが、水平に貼り付けた小片はほとんど融合が確認されなかったため、付着物除去の効果は不明であった。

表-VII.1.3 移植 1 年半後、2 年後モニタリング調査結果 (まとめ)

1 年半後: 2022年5月24日 2 年後: 2022年11月19日

属	貼付方向	付着物除去	移植小片数	死滅・消失小片数				生残率(%)		成長率(%)	
				1 年半後		2 年後		1 年半後	2 年後	1 年半後	2 年後
				死滅	消失	死滅	消失				
ハマサング属	垂直	あり	15		1			100	100	147	260
	水平	あり	15			1		93	87	185	273
	水平	なし	15			1		60	53	89	134
トゲキクメイシ属	垂直	あり	15				1	93	93	481	607
	水平	あり	15					100	100	199	170
	水平	なし	15					86	86	240	180
総計			90	0	1	2	1				

- 注) 1. 空欄は各項目の状況が確認されなかったことを示す。
 2. 青字は前回調査時からの減少を、赤字は前回調査時からの増加を示す。
 3. 生残率は消失小片を除いて算出した値を示す。
 4. 成長率は死亡小片を除いて算出した値を示す。

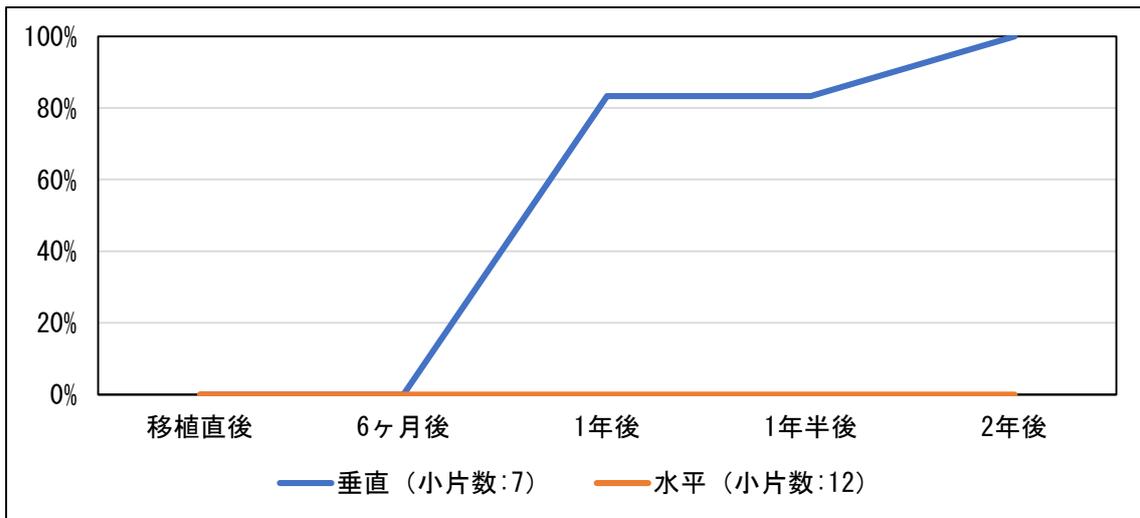


図-VII. 1. 6 (1) 2020 年度実験の融合率の推移 (条件: 貼付方向; ハマサンゴ属)

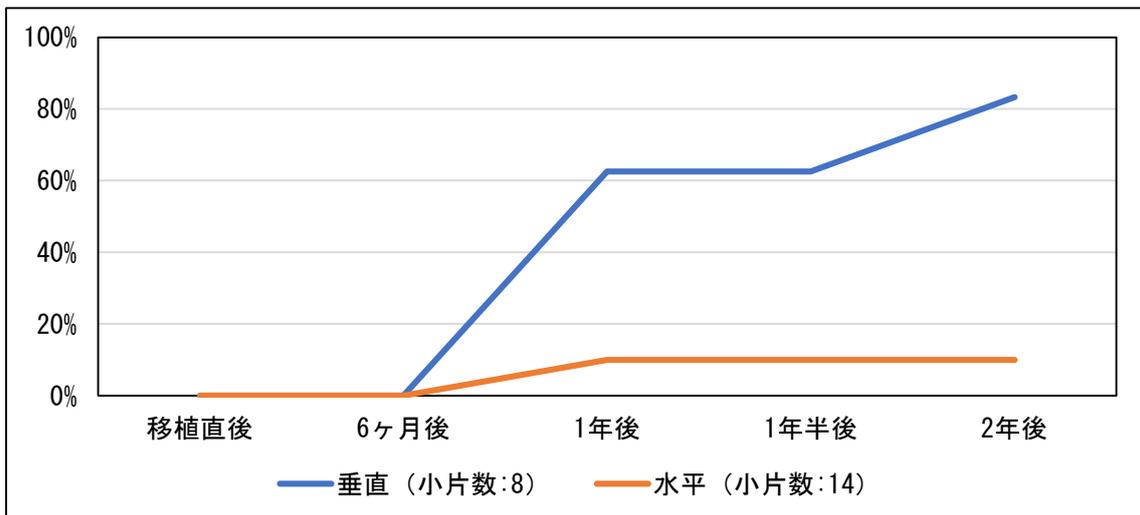


図-VII. 1. 6 (2) 2020 年度実験の融合率の推移 (条件: 貼付方向; トゲクメイシ属)

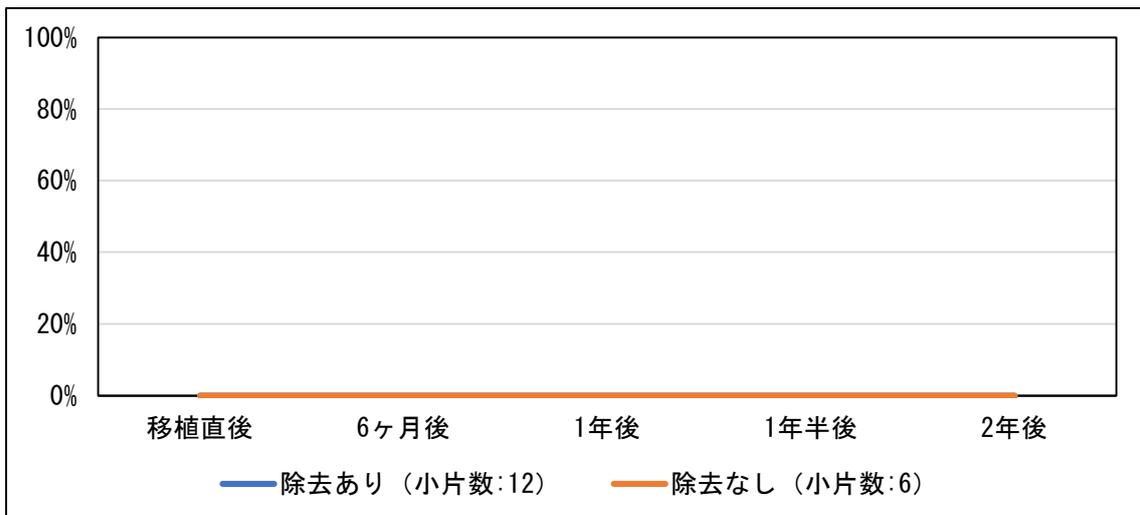


図-VII. 1. 6 (3) 2020 年度実験の融合率の推移 (条件: 付着物除去; ハマサンゴ属)

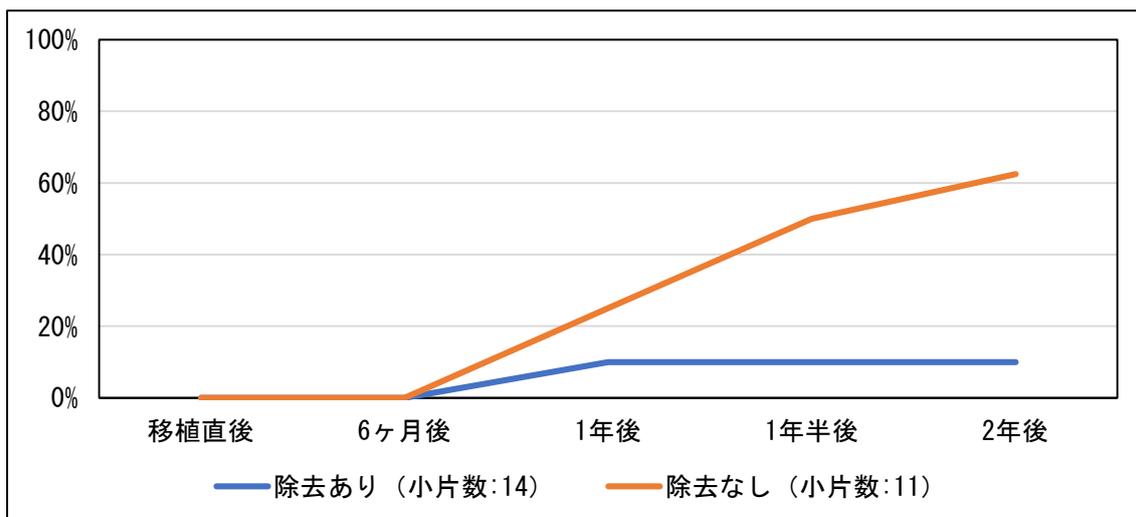


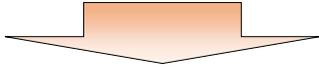
図-VII.1.6 (4) 2020 年度実験の融合率の推移 (条件：付着物除去；トゲキクメイシ属)

<ハマサンゴ属>

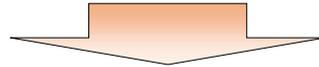


移植直後

<トゲキクメイシ属>



1年半後



2年後

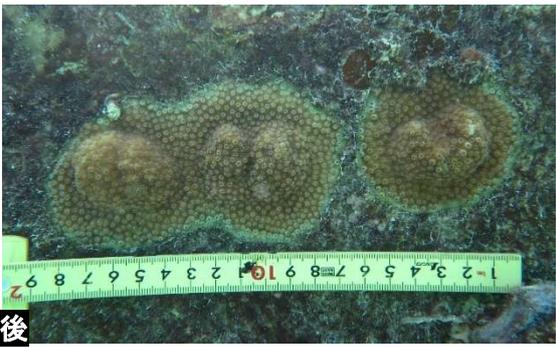


図-VII. 1. 7 (1) 移植から1年後の小片の生残・成長状況の例（垂直方向；付着物除去あり）

<ハマサンゴ属>

<トゲキクメイシ属>

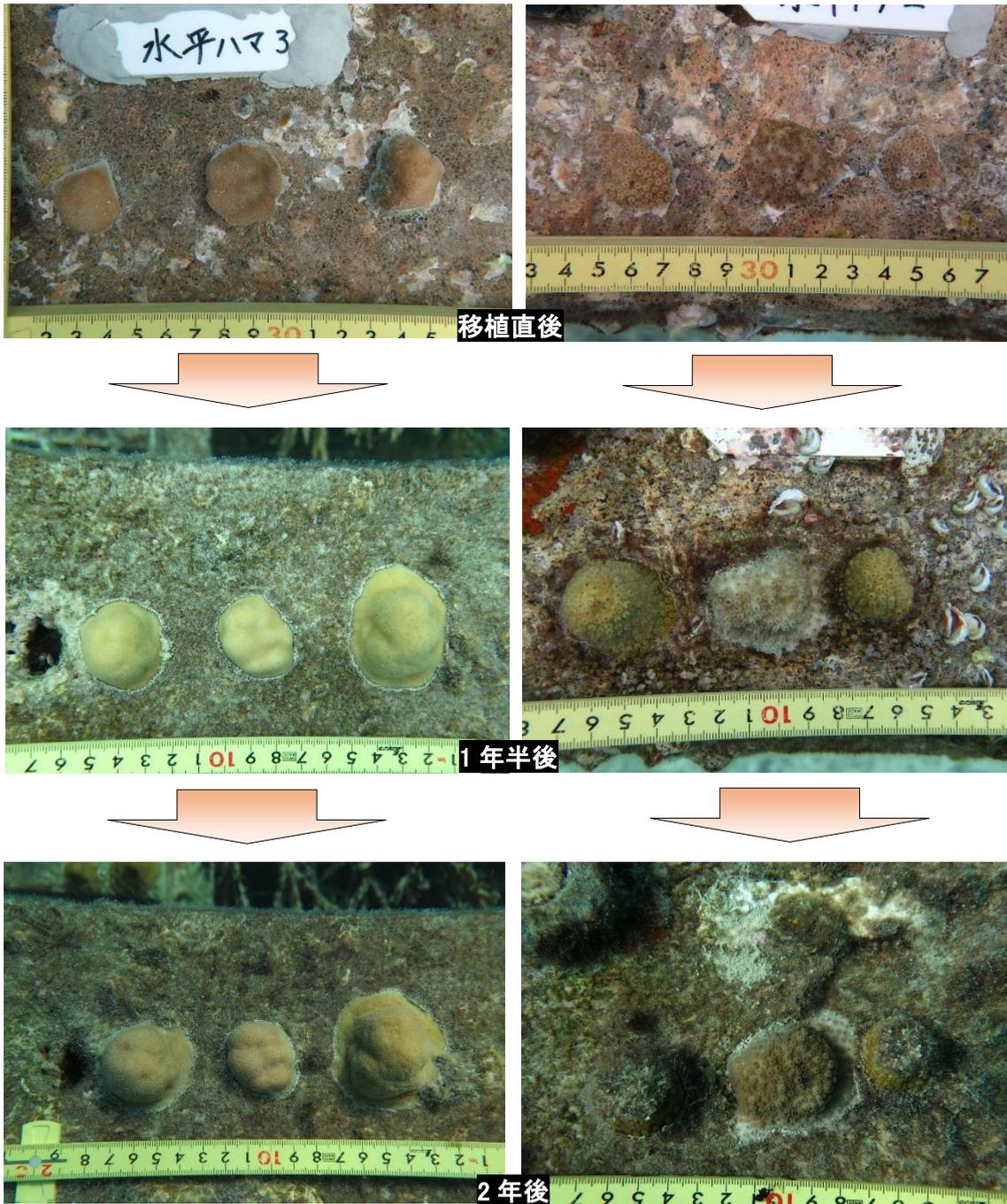


図-VII. 1. 7 (2) 移植から1年後の小片の生残・成長状況の例 (水平方向; 付着物除去あり)

<ハマサンゴ属>

<トゲキクメイシ属>

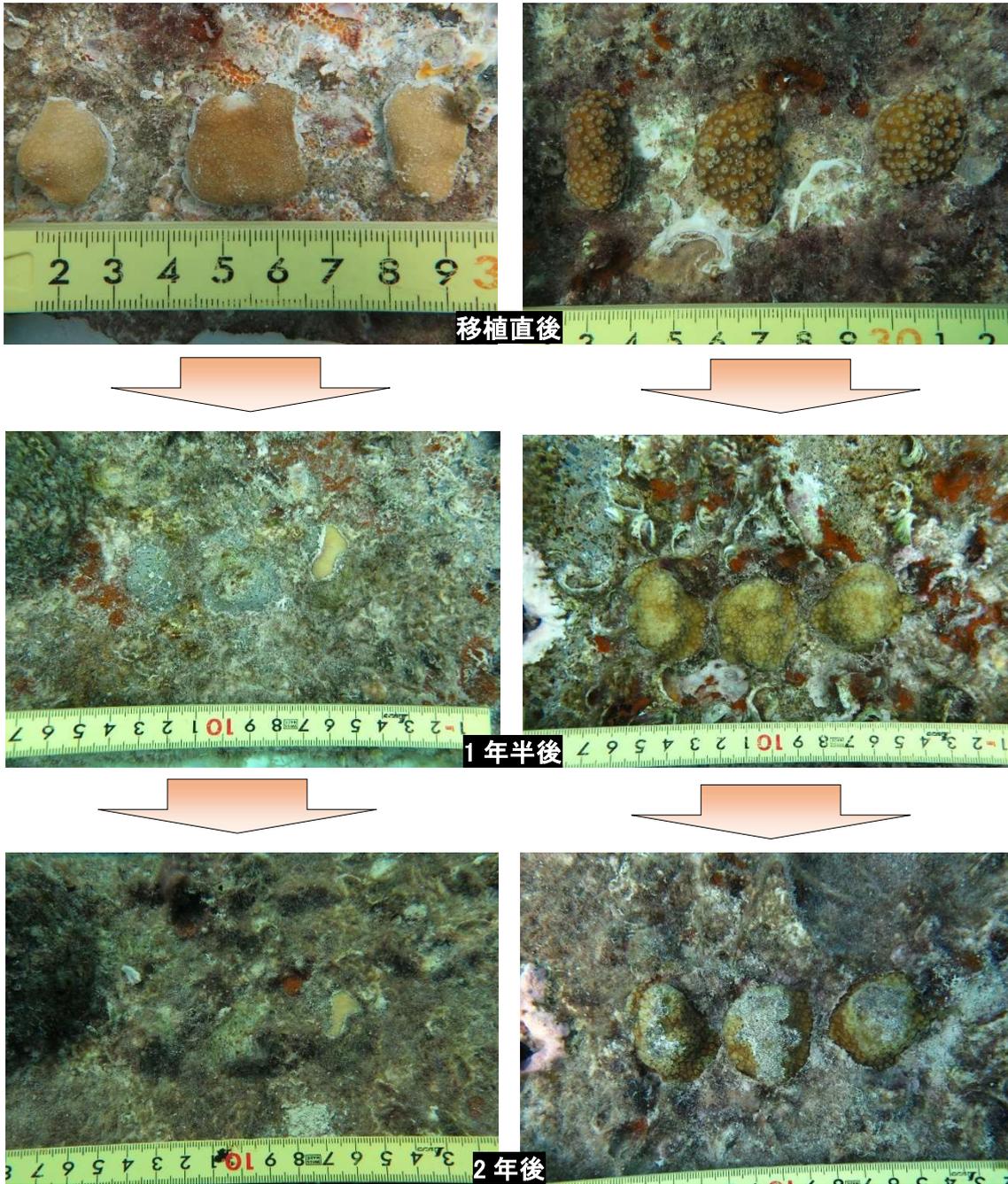


図-VII.1.7 (3) 移植から1年後の小片の生残・成長状況の例 (水平方向; 付着物除去なし)

1.4 次年度の計画(案)

一括移植のイメージを図-VII.1.8 に、繰り返し移植のイメージを図-VII.1.9 に、一括移植と繰り返し移植の比較を表-VII.1.4 に示す。次年度の計画(案)のイメージを図-VII.1.10 に示す。

本年度の結果を踏まえ、一括移植と繰り返し移植で移植したサンゴ小片を 1m^2 被覆させるために必要な小片数、年月、コストを算出した。一括移植とは、これまで実施してきた小片を貼り付けるのみの従来通りの手法である。一方で、繰り返し移植とは、移植し、水平方向に成長した小片の一部を新たなドナーとして活用する手法である。

サンゴ小片を 1m^2 被覆させるために一括移植はドナーの面積を 0.16m^2 とした場合、2 年で 1m^2 被覆させることができ、必要なコスト(直接費)は 227 万円である。一方で、繰り返し移植はドナーの面積を 0.04m^2 とした場合、6 年で 1m^2 被覆させることが、必要なコスト(直接費)は 243 万円である。コストはほぼ同程度であるが、一括移植に比べて繰り返し移植は最初に必要なドナーが $1/4$ で済むため、自然サンゴから小片を採取する量が減少する観点から、環境への負荷を低減することが出来る。そのため、環境負荷を低減することが出来る繰り返し移植を次年度の計画案として提案する。

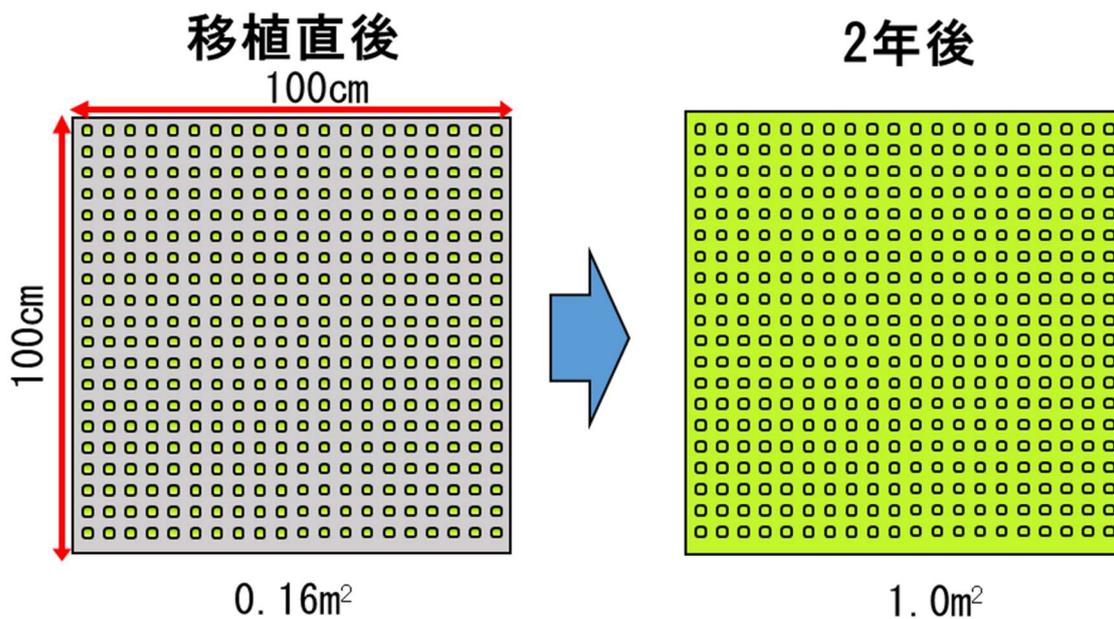


図-VII.1.8 一括移植のイメージ

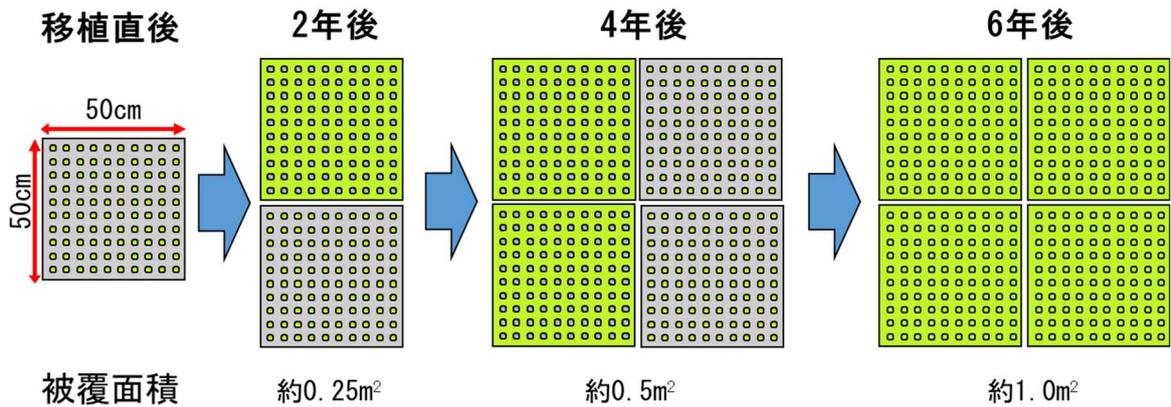


図-VII.1.9 繰り返し移植のイメージ

表-VII.1.4 一括移植と繰り返し移植の比較表

	ドナー	費用(直接費)	期間
一括移植	0.16m ² × 6.25	227万円	2年
繰り返し移植	0.04m ² × 6.25	243万円	6年

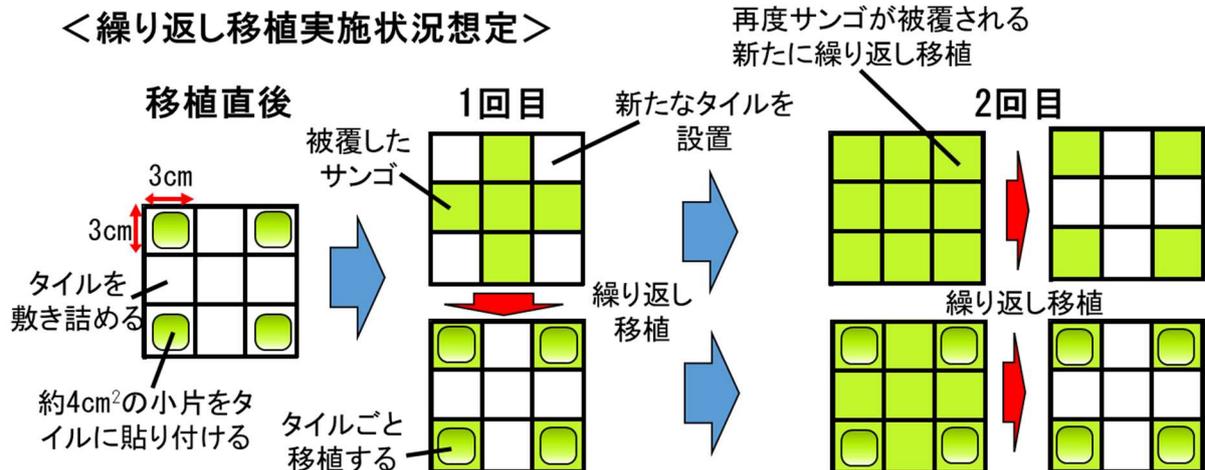


図-VII.1.10 次年度の計画(案)のイメージ

2 沖ノ鳥島海域

2.1 はじめに

本検討では、高水温などの環境変化には強いものの成長速度が遅いハマサンゴ属等を対象として、成長速度の促進が期待されるリススキニング技術の検証と海域での実用化を目的とした。

【リススキニング (Reskinning)】

遺伝子が同じ断片(クローン)が融合することに着目し、成長の遅いハマサンゴ属等の塊状サンゴ類を小さく断片化(小片化)し、人工基盤等にパッチ状に植え付け、各小片が水平方向に成長し融合することで、サンゴ群体を早期に再生する技術である。

沖ノ鳥島海域では、ハマサンゴ属、トゲキクメイシ属、ミドリイシ属を対象に、細かく分割したサンゴ小片を中間育成施設へ貼付する実証試験を2018年から実施した。

2022年には新たにサンゴ幼生着床・育成基盤へ、トゲキクメイシ属を2群体、ハマサンゴ属を2群体の移植を実施した。

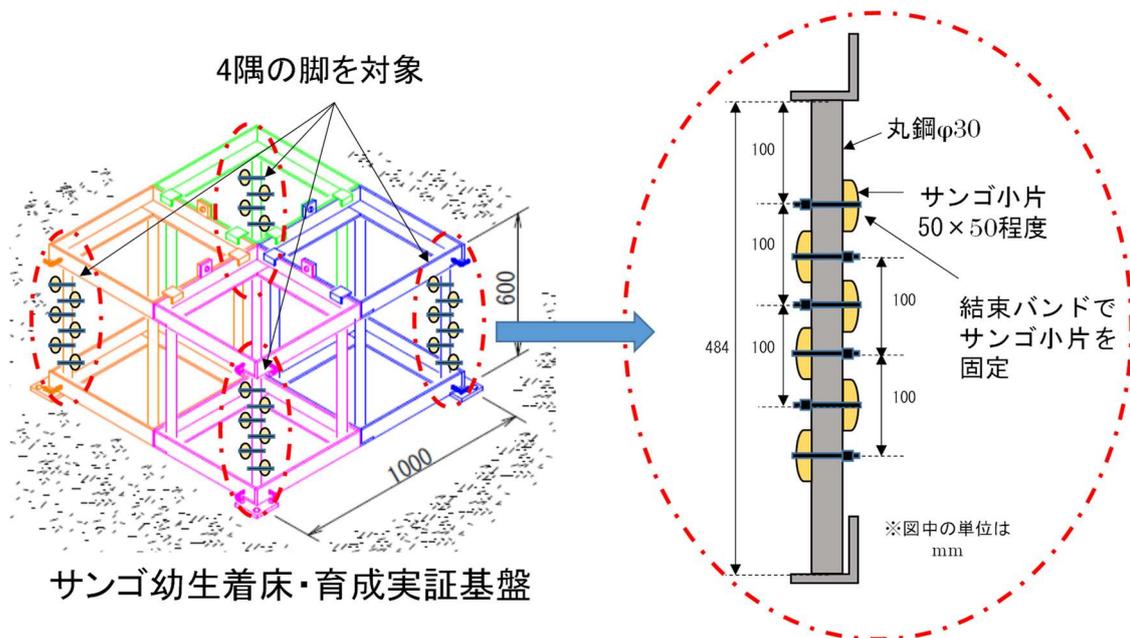


図-VII. 2.1 サンゴ幼生着床・育成基盤への移植イメージ (2022年)

2.2 調査内容

2.2.1 調査内容

2022 年は、2018～2020 年に実施した実証実験のモニタリングを行った。

2.2.2 調査位置

調査地点を図-VII.2.2 に示す。

サンゴ小片の固定は、沖ノ鳥島の間中育成施設（コンクリート型）に行った。

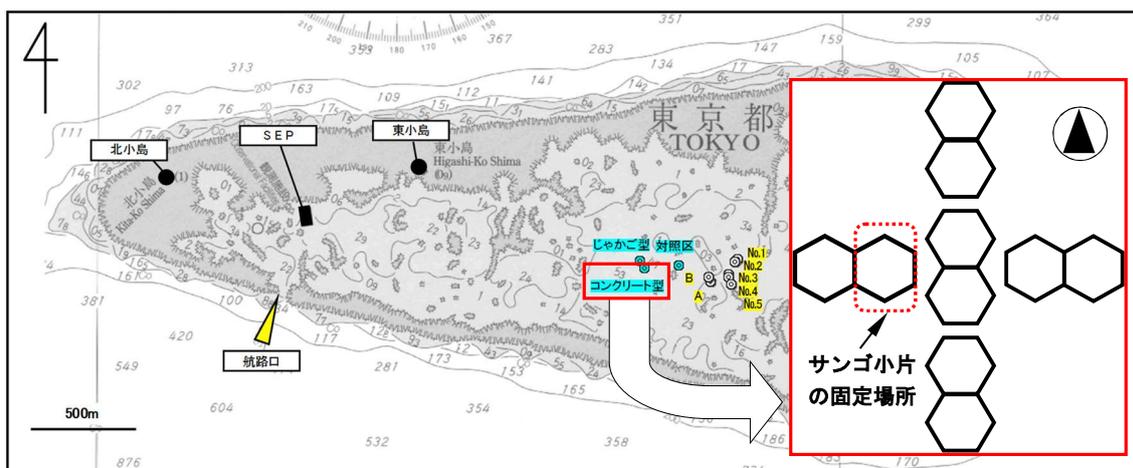


図-VII.2.2 調査場所（中間育成施設：コンクリート型）

2.2.3 調査方法

2018～2020 年度実験の調査実施イメージを図-VII.2.3 に示す。2018～2020 年度実験のモニタリングを継続実施した。

2018 年の実験では、中間育成施設内のグレーチング基盤（垂直面）に移植したベニハマサンゴとトゲキクメイシを対象とした。

2019 年の実験では、中間育成施設のコンクリート部（垂直面と水平面）に移植したオオハマサンゴ、トゲキクメイシ、ハリエダミドリイシ（水平面のみ）を対象とした。

2020 年の実験では、中間育成施設内のコンクリート部（垂直面）に貼り付け間隔を 3cm、4cm、5cm に分けて移植したベニハマサンゴ、トゲキクメイシを対象とした。

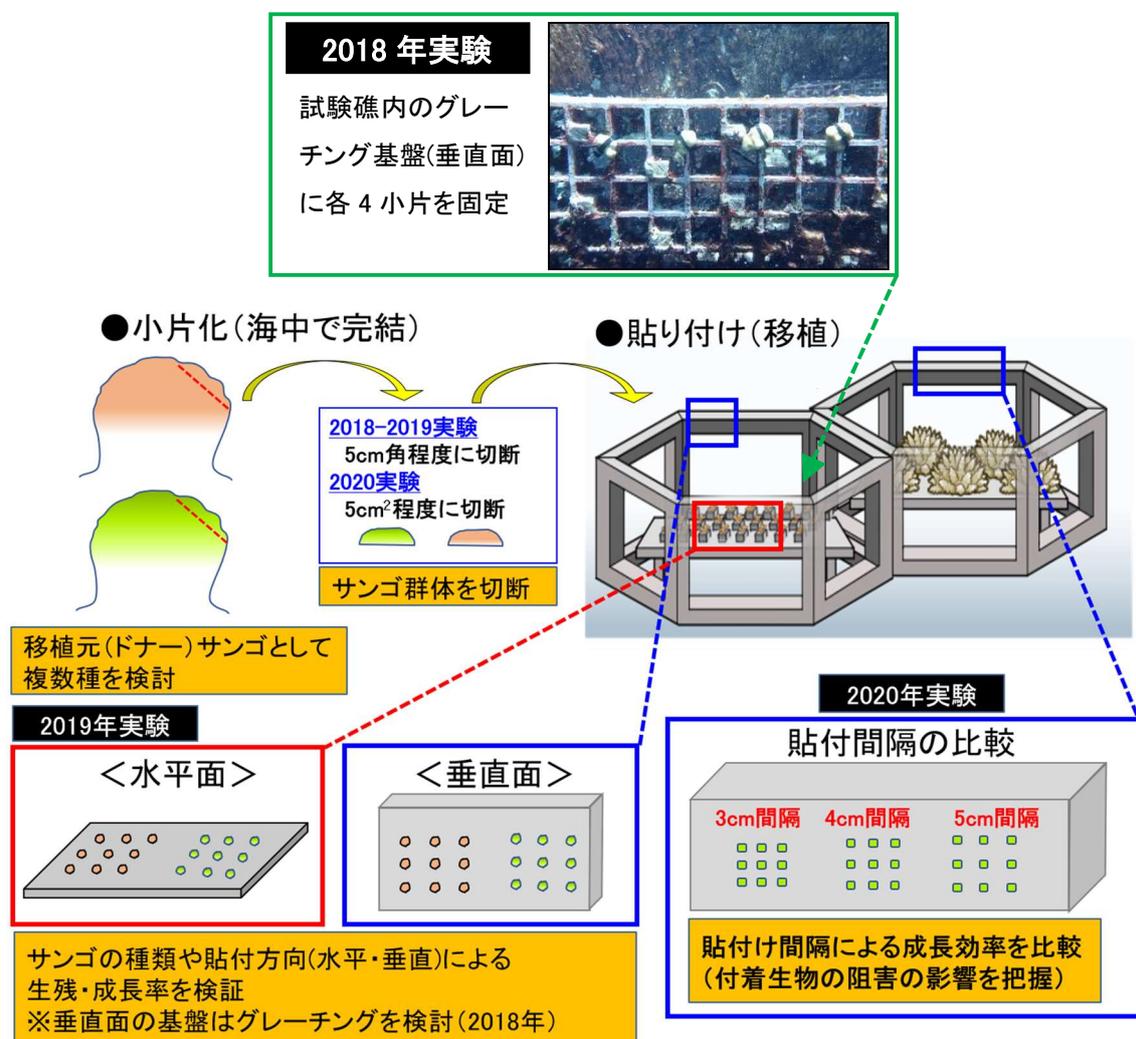


図-VII. 2.3 2018～2020 年度実験のイメージ

2.3 調査結果と考察

2.3.1 2018 年度移植サンゴのモニタリング

2018 年度の移植は、ベニハマサンゴとトゲキクメイシの各 4 小片を中間育成施設（コンクリート型）のグレーチング側面に結束バンドを用いて固定した。移植時から 4 年後の状況を図-VII.2.4 に示す。

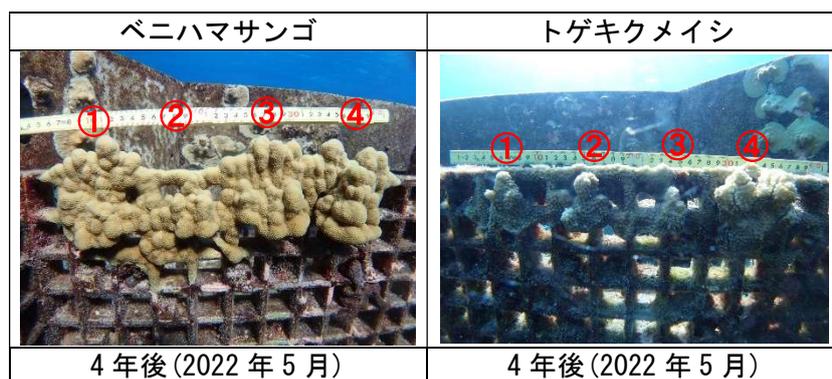
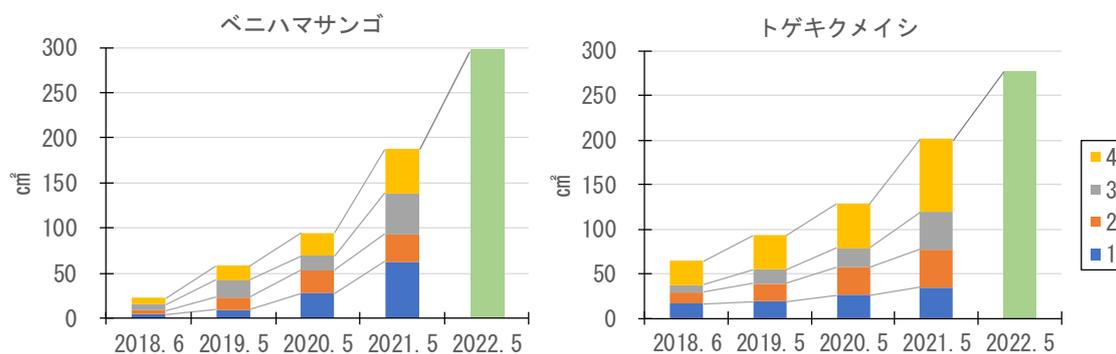


図-VII. 2. 4 移植時から 4 年後の状況

格子構造のグレーチングに固定したため、水平的な成長範囲が限られるとともに正確なサンゴの面積を計測することが難しく、成長率は参考評価となる。

4 年後のモニタリングでは、全ての小片が融合し生存率は 100%であり、写真から判別可能な面積を算出した結果においてベニハマサンゴは 8 倍、トゲキクメイシは 3 倍に面積が増加した（図-VII.2.5 参照）。

生存率、成長率とも良好なため、結束バンドによるサンゴ片の固定方法は有効であると考えられる。



※凡例の 1~4 は小片名を示す

図-VII. 2. 5 小片面積の推移(2018 年度実験)

2.3.2 2019 年度移植サンゴのモニタリング

2019 年度の移植は、オオハマサンゴ 36 小片、トゲキクメイシ 36 小片、ハリエダミドリイシ (*A. aculeus*) 10 小片を中間育成施設（コンクリート型）のコンクリート部（垂直面、水平面）に移植した。3 年後の結果概要を表-VII.2.1 に、移植時から 3 年後の写真を図-VII.2.6 に示す。

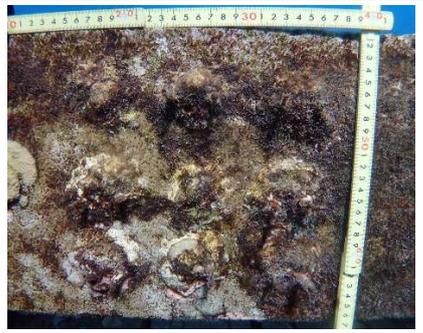
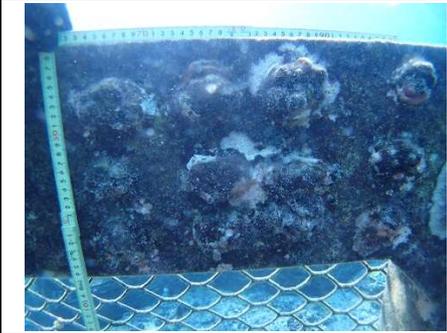
表-VII. 2. 1 2019 年度実験の結果概要（3 年後）

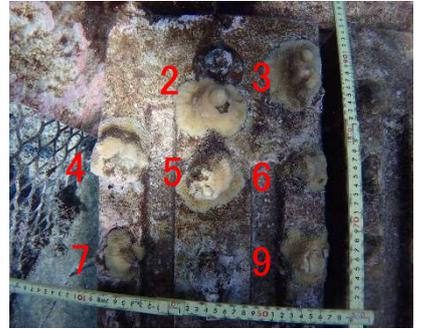
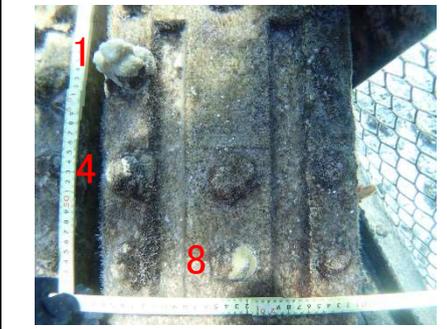
種名	移植条件	数量		生残率	成長率
		移植	生残		
オオハマサンゴ	水平面	18	0	0%	-
	垂直面	18	0	0%	-
トゲキクメイシ	水平面	18	10	56%	283 ± 135%
	垂直面	18	5	28%	586 ± 149%
ハリエダミドリイシ	水平面	10	2	20%	308 ± 100%

オオハマサンゴは 2 年後のモニタリングで全て死亡した。3 年後のモニタリングでは、トゲキクメイシの小片面積は、水平面貼付が 2.8 倍に、垂直面貼付が 5.9 倍に成長し、ハリエダミドリイシの水平面貼付が 3.1 倍に増加した。

成長の良いトゲキクメイシについてみると、水平面および垂直面とも群体①の方が群体②よりも成長率が高く、群体による差が生じている可能性がある。水平面と垂直面を比較すると、垂直面の成長が良い結果となっている。ただし、垂直面に貼り付けたトゲキクメイシ①の小片は 9 小片中の 4 小片が消失しており、固定方法に課題が残った。

水平面	オオハマサンゴ①	オオハマサンゴ②
3年後 (2022年5月)		

垂直面	オオハマサンゴ①	オオハマサンゴ②
3年後 (2022年5月)		

水平面	トゲキクメイシ①	トゲキクメイシ②
3年後 (2022年5月)		

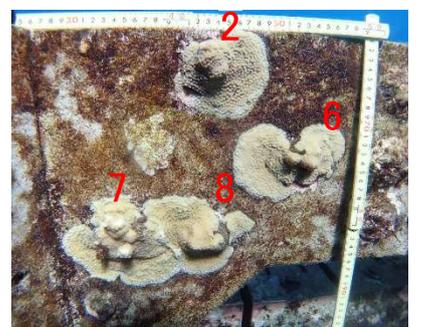
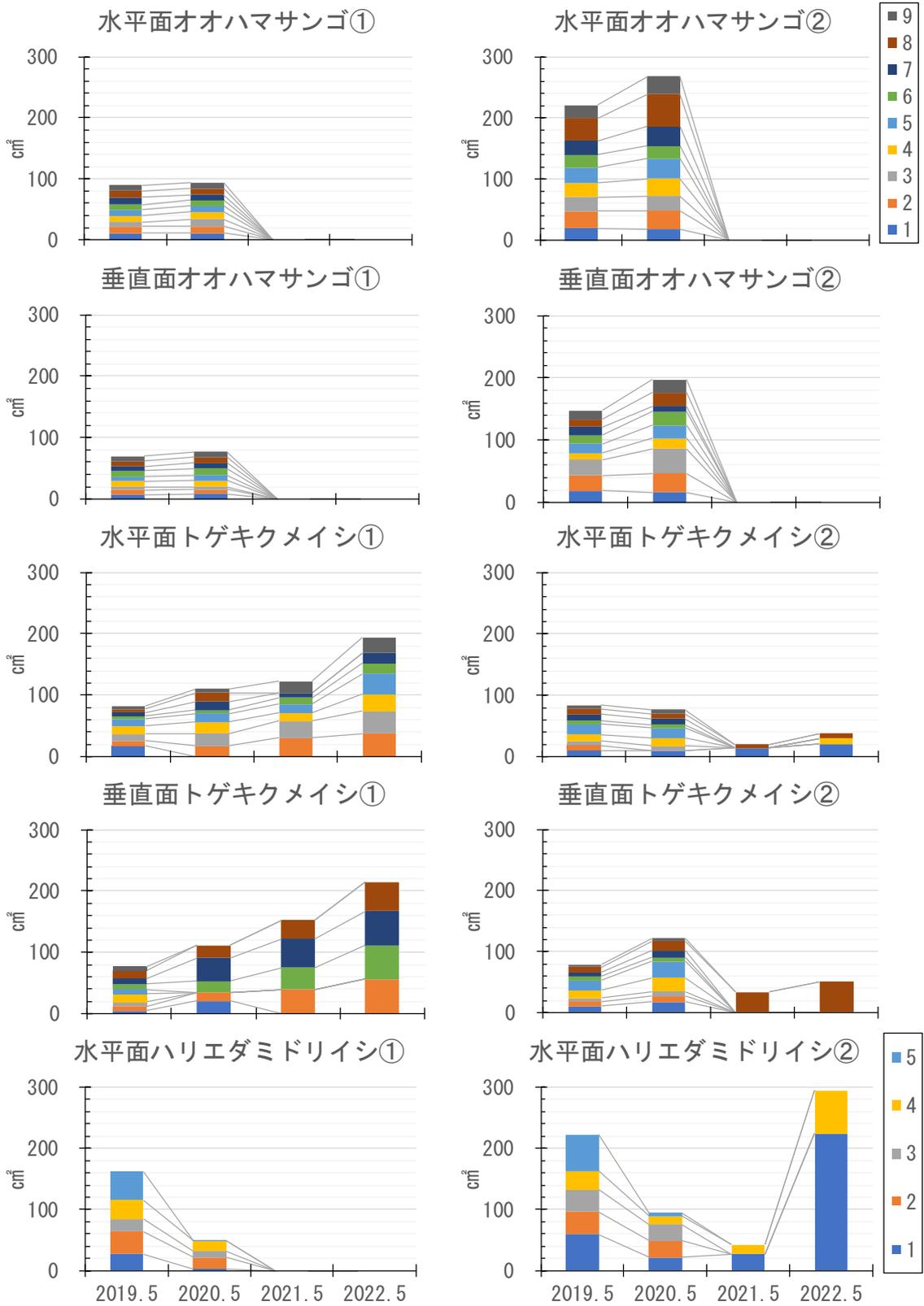
垂直面	トゲキクメイシ①	トゲキクメイシ②
3年後 (2022年5月)		

図-VII. 2. 6(1) 移植時から3年後の状況

水平面	ハリエダミドリイシ①	ハリエダミドリイシ②
3年後 (2022年5月)		

図-VII. 2. 6(2) 移植時から3年後の状況



※凡例の1~9(ハリエダミドリイシは1~5)は小片名を示す

図-VII. 2.7 生残小片面積の推移 (2019 年度実験)

2.3.3 2020 年度移植サンゴのモニタリング

2020 年度の移植は、ベニハマサンゴとトゲキクメイシは貼付間隔別の 3 群体について 1 群体あたり 9 片に分割し、コンクリート部（垂直面）に移植した。2 年後の結果概要を表-VII.2.2 に、移植時から 2 年後の写真を図-VII.2.8 に示す。

表-VII.2.2 2020 年度実験の結果概要（2 年後）

種名	移植条件	数量		生残率	成長率
		移植	生残		
ベニハマサンゴ	3cm間隔	9	3	33%	431 ± 39%
	4cm間隔	9	6	67%	202 ± 94%
	5cm間隔	9	9	100%	514 ± 275%
	全体	27	18	67%	396 ± 243%
トゲキクメイシ	3cm間隔	9	9	100%	516 ± 236%
	4cm間隔	9	9	100%	307 ± 200%
	5cm間隔	9	5	56%	794 ± 592%
	全体	27	23	85%	494 ± 365%

2 年後のモニタリングでは、消失はベニハマサンゴの 1 小片、トゲキクメイシの 4 小片であった。死亡はベニハマサンゴで 8 小片であった。

生残率および成長率をみると、5cm 間隔のベニハマサンゴでは群体③、トゲキクメイシでは 3 cm 間隔の群体①と 4 cm 間隔の群体②の小片が良好であり、2019 年実験と同様に群体による差が生じている可能性がある。

融合が確認されたのは、ベニハマサンゴの 5 cm 間隔とトゲキクメイシの 3 cm 間隔であった。トゲキクメイシの 5 cm 間隔については部分死がなければ融合されていたと思われる。融合の有無は貼付間隔による差では無く、小片の成長状況の差が大きいと考えられる。

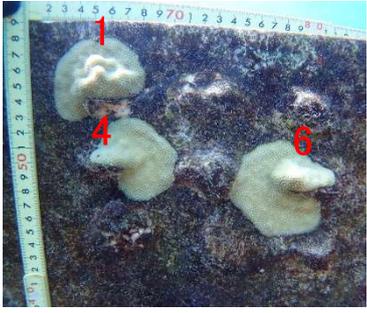
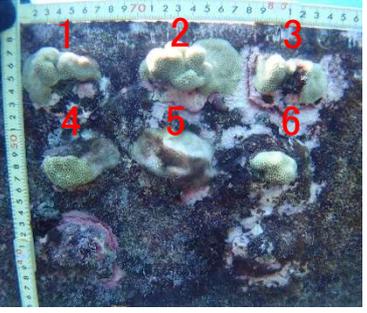
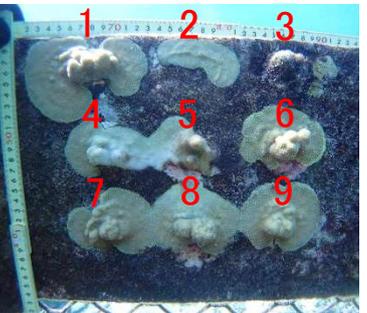
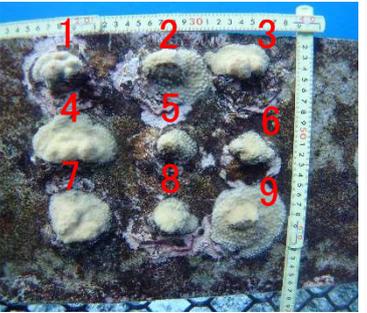
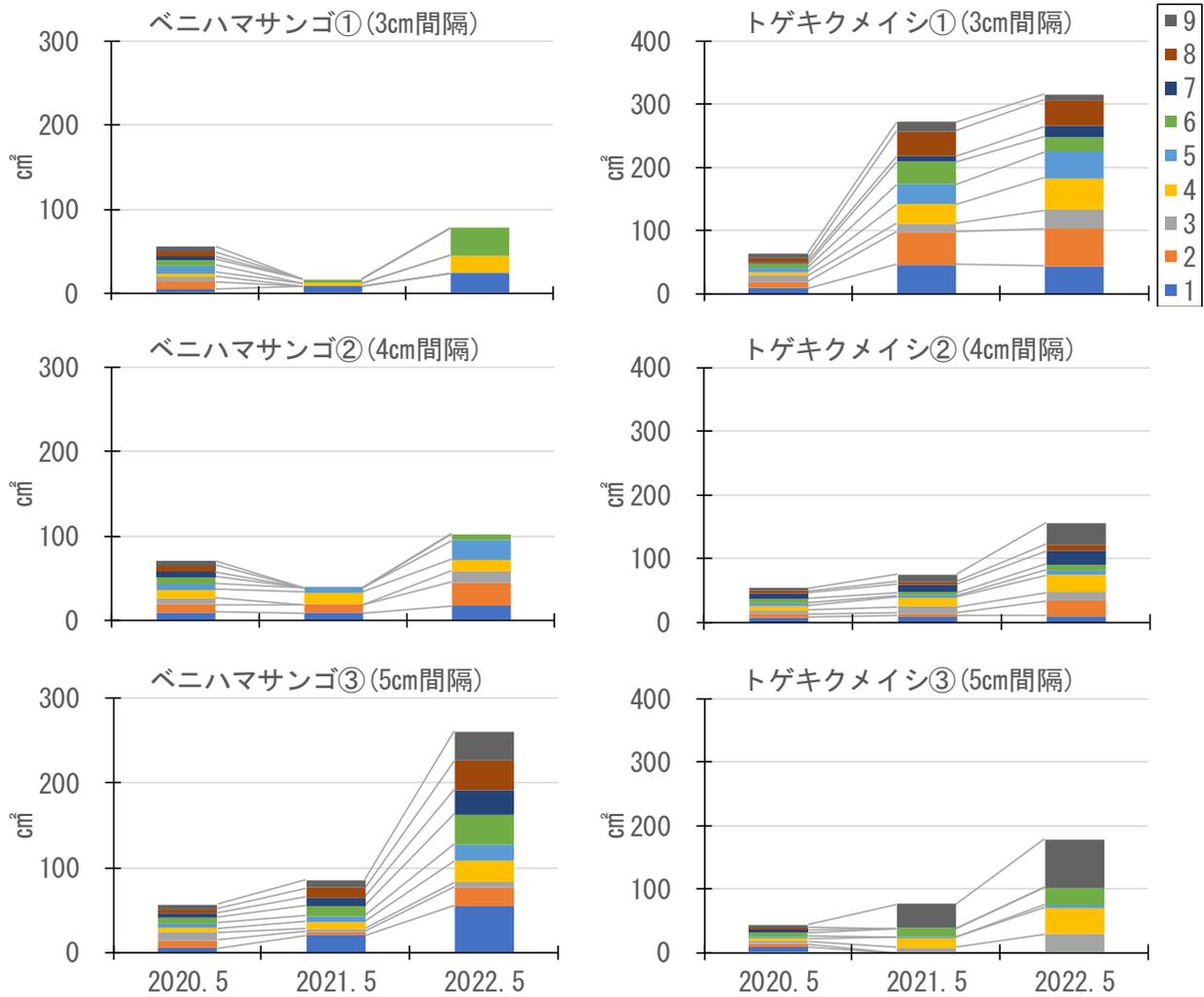
垂直面	ベニハマサンゴ①(3cm 間隔)	ベニハマサンゴ②(4cm 間隔)	ベニハマサンゴ③(5cm 間隔)
2 年後 (2022 年 5 月)			
垂直面	トゲクメイシ①(3cm 間隔)	トゲクメイシ②(4cm 間隔)	トゲクメイシ③(5cm 間隔)
2 年後 (2022 年 5 月)			

図-VII. 2. 8 移植時から 2 年後の状況



※凡例の1～9は小片名を示す

図-VII. 2.9 生残小片面積の推移(2020年度実験)

2.4 次年度の計画(案)

小片移植したサンゴのリスキニング効果を確認するため、図-VII.2.10 に示す貼付間隔・方向、付着物の除去の有無による生残・成長率の検証を継続する。

2019 年度実験については、トゲキクメイシの水平面と垂直面の貼付方向による違い、2020 年度実験については、ベニハマサンゴ、トゲキクメイシの種による違い、融合に至る状況を把握する。

2022 年には新たにサンゴ幼生着床・育成基盤へ移植した、トゲキクメイシ属 2 群体、ハマサンゴ属 2 群体について、融合に至る状況を把握する。

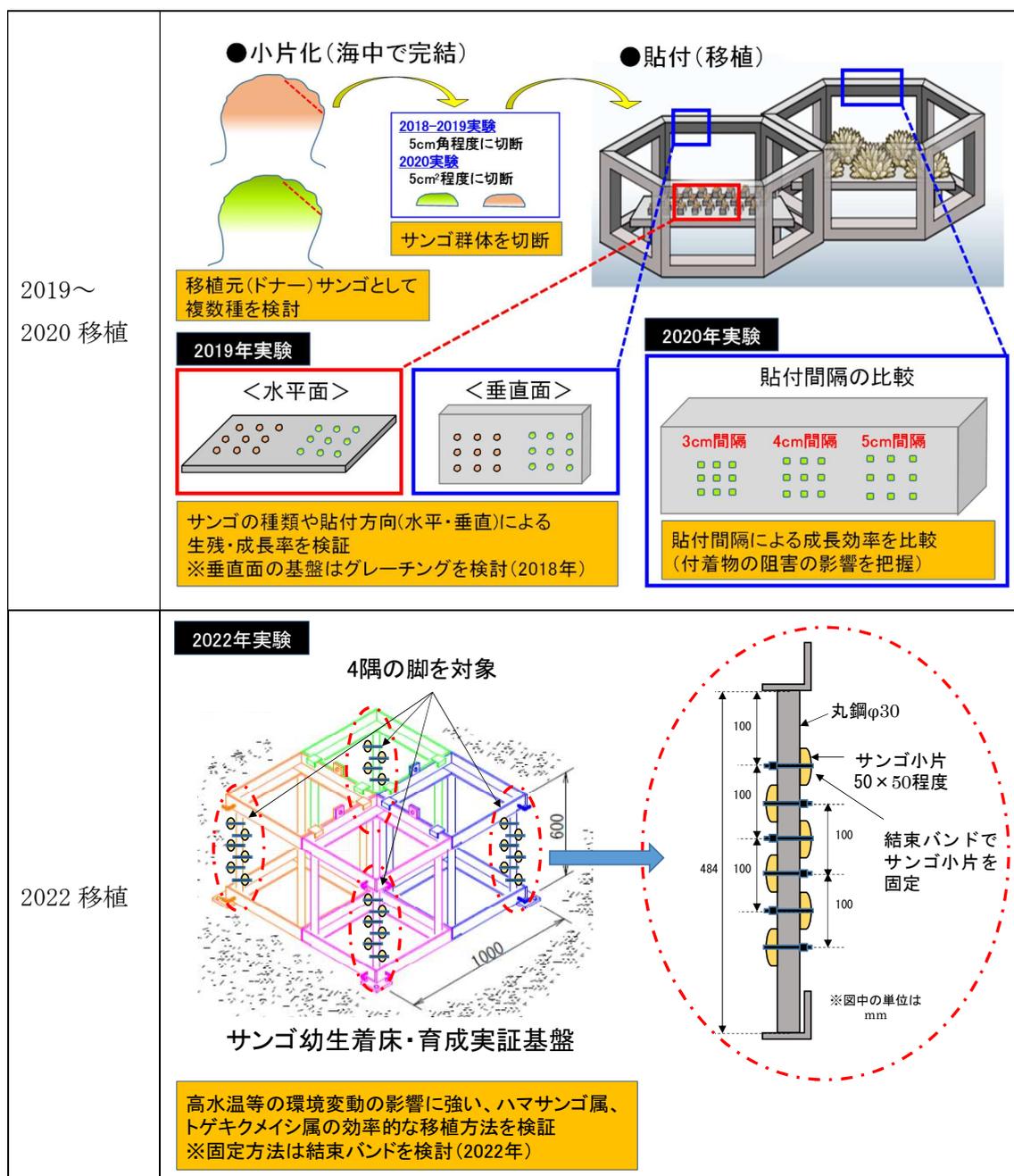


図-VII. 2. 10 次年度モニタリングの実施イメージ (沖ノ鳥島海域)