

3. カキ礁造成方法の開発（小課題2-1-2）

本小課題では、過年度より様々な着生材の導入検討を行い、作業性、コストおよび効率的にカキ礁が造成可能であるといった観点から、現在の金網を用いた棚式着生材の導入に至った背景がある。それらを踏まえ、カキ礁造成方法の開発における過年度の課題として、「棚式着生材の作業手順の効率化、留意事項の整理」、「棚式着生材の経年着生効果の把握」、「効果的な着生材の配置計画の検討」が挙げられた。これらの課題について、3.1 棚式着生材の実用性の検討、着生量評価および配置計画の検討を実施した。

3.1 棚式着生材の実用性の検討、着生量評価および配置計画の検討

過年度では、作業性、コストを考慮した棚式着生材の作業手順を明確にし、漁業者が実施可能な技術であることが実証できた。また、棚式着生材のカキ着生量は、設置初年度の目標値を上回り、カキ着生効果の面でも効果的な着生材であることが確認できた。さらに、3次元流動シミュレーション結果から、カキ礁の配置次第で上向きの流れの発生が期待できる結果が得られ、貧酸素水塊軽減の効果が期待された。それらを踏まえ、今年度は棚式着生材の作成手順を再実証し、留意事項の整理や作業の効率化に向けた検討を行うとともに、令和2年度に設置した棚式着生材および過年度に設置したその他の着生材の経年着生量を確認した。さらに、令和2年度に構築した3次元流動シミュレーションを用いて、より流れの変化が期待されるカキ礁の配置（間隔）を計算し、棚式着生材の配置計画を検討した。

3.1.1 方法

(1) 棚式着生材の実用性の検討

本小課題では、令和2年度に提示した棚式着生材の作成手順を漁業者と共に再実証し、留意事項の整理および作業手順の効率化を検討した。棚式着生材の作成および設置時期は令和2年6月、設置場所は浜川河口および鹿島地先、設置数量は計12基とした。棚式着生材の実用性の検討の概要は、図27に示すとおりである。



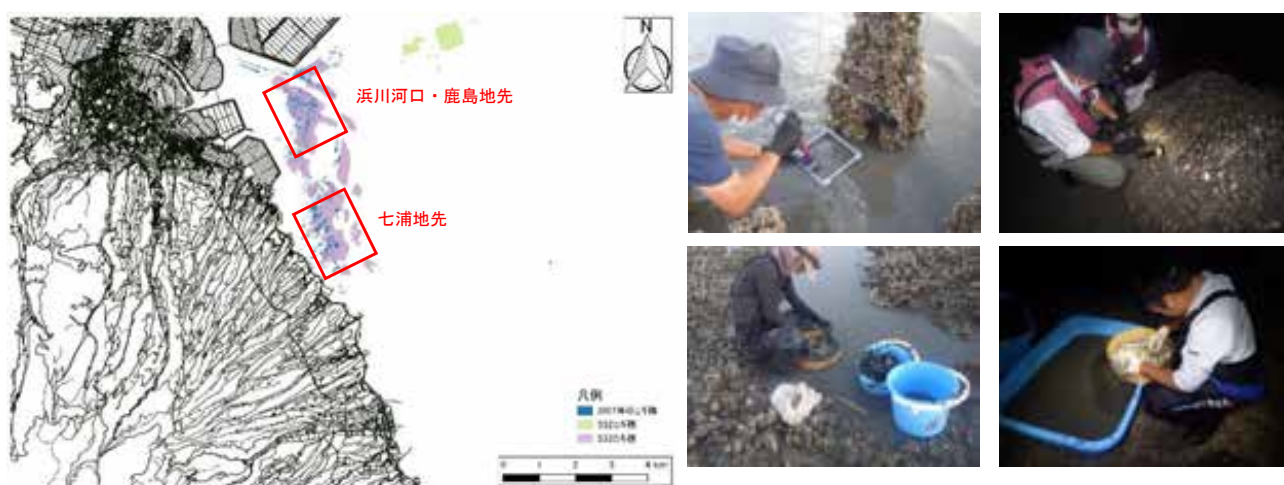
図 27 棚式着生材の実用性の検討の概要

(2) 棚式着生材の着生量評価

本小課題では、浜川河口および鹿島地先に設置した棚式着生材のカキバイオマスを把握するために、令和3年8月、12月に各地先で着生材に付着するカキおよびその他生物を採取した。採取した試料は持ち帰り、篩目合1mm以上のカキおよびその他性物について、生物種、個体数、湿重量、殻長等を計測した。

調査対象とした棚式着生材は、設置2年目となる令和2年度設置、および設置初年度となる令和3年度設置の2か年度分とし、カキバイオマスの目標値は、令和2年度設置が3.88wet-kg/m²、令和3年度設置が0.06wet-kg/m²とした。これらの目標値の設定根拠については、過年度に既存カキ礁と同等のバイオマスを達成したものの、コスト面で課題が挙げられた被覆金網（製品名：STK ネット_平成29年七浦地先設置）の設置初年度および2年目のカキバイオマスをそれぞれ採用した。

なお、過年度に導入検討したその他の着生材（被覆金網、ホタテ、竹ほうき、竹、竹+ほうき）についても、経年的なカキバイオマスの把握を目的として、付着するカキおよびその他性物を採取し、生物種、個体数、湿重量、殻長等を計測した。棚式着生材の着生量評価の概要は、図28に示すとおりである。



着生材	設置年度	設置場所	目標値
棚式着生材	令和2年度	浜川河口	3.88wet-kg/m ²
		鹿島地先	
	令和3年度	浜川河口	0.06wet-kg/m ²
		鹿島地先	

図28 棚式着生材の着生量評価の概要

(3) 着生材配置計画の検討

本小課題では、流れの変化が大きくなる理想的なカキ礁造成に向けた柵式着生材の配置計画を立案するため、3次元流動シミュレーションを用いて、流れの変化が生じやすいカキ礁の配置を検討した。

昨年度の3次元流動シミュレーションでは、カキ礁無し、連続型、および離散型のカキ礁条件において、水深平均流速 30 cm/s の条件で計算した結果、連続型と離散型のカキ礁条件ではカキ礁周辺に上向きの流れが生じる結果が得られた。そこで、今年度では、昨年度の計算ケースをもとに、連続型と離散型におけるカキ礁の間隔を変更することによる流況の変化を確認した。また、昨年度に確認したカキ礁周辺での上向きの流れについて、シミュレーション条件と類似した現地の既存カキ礁において、流向流速計を設置し、実際に現地のカキ礁で生じる上向きの流れを観測した。着生材配置計画の検討の概要について、3次元流動シミュレーションの諸条件を以下に示す。

1) カキ礁のモデル化

カキ礁のモデル化は、図 29 に示すとおりである。今年度は、カキ礁の間隔を 4.2m と 2.1m の2ケース設定した（昨年度のカキ礁の間隔は 8.4m で設定）。



図 29 カキ礁のモデル化

2) カキ礁のモデル化

3次元流動モデルは、計算領域の座標系はデカルト座標系を採用し、基礎方程式には FAVOR 法 (Fractional Area/Volume Obstacle Representation method) を導入した。モデルの連続式と運動方程式は、図 30 に示すとおりである。

$$\text{連続式: } \frac{\partial A_x u}{\partial x} + \frac{\partial A_y v}{\partial y} + \frac{\partial A_z w}{\partial z} = 0$$

運動方程式

$$\begin{aligned} \text{x方向: } & \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V} \left\{ \frac{\partial (A_x u u)}{\partial x} + \frac{\partial (A_y v u)}{\partial y} + \frac{\partial (A_z w u)}{\partial z} \right\} \\ & = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{V} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left\{ A_x V_e \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ A_y V_e \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ A_z V_e \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right\} \right\} \\ \text{y方向: } & \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V} \left\{ \frac{\partial (A_x u v)}{\partial x} + \frac{\partial (A_y v v)}{\partial y} + \frac{\partial (A_z w v)}{\partial z} \right\} \\ & = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{1}{V} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left\{ A_x V_e \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ A_y V_e \left(2 \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ A_z V_e \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right\} \right\} \\ \text{z方向: } & \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V} \left\{ \frac{\partial (A_x u w)}{\partial x} + \frac{\partial (A_y v w)}{\partial y} + \frac{\partial (A_z w w)}{\partial z} \right\} \\ & = -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{1}{V} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left\{ A_x V_e \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ A_y V_e \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ A_z V_e \left(2 \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right\} \right\} \end{aligned}$$

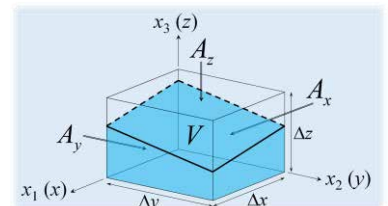


図 30 モデルの連続式と運動方程式

3) ケースの設定

ケース設定は、図 31 に示すとおり、ケース 1～3 を設定した。なお、実海域においても流れの卓越方向に沿ってカキ礁が形成されているため、モデルにおいても一方向流 (30 cm/s) で評価した。なお、令和 2 年度のケースは、今年度のケース 1、3 とケース 2 のカキ礁の間隔を 8.4m として設定している。

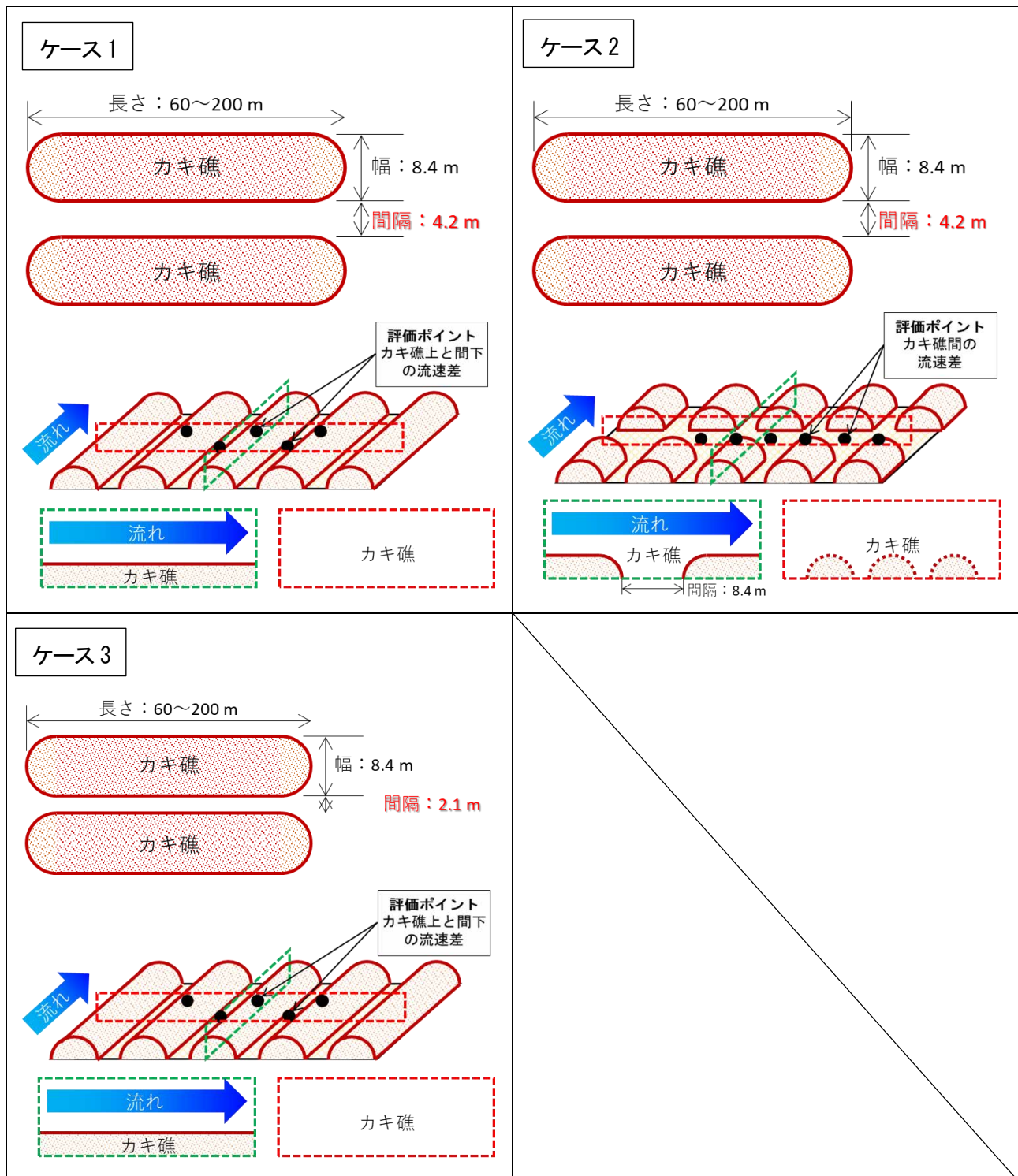


図 31 ケースの設定

3.1.2 結果

(1) 棚式着生材の実用性の検討

令和3年度時点の浜川河口における棚式着生材の設置状況は、図32に示すとおりであり、令和3年度の棚式着生材のモデルおよび設置後の状況は、図33に示すとおりである。浜川河口では、令和3年度に6基、令和2年度に6基設置したことから、合計12基が設置されている。令和3年度と令和2年度ともに、カキ礁の切れ目となる場所を選定して設置しており、着生材下部の底質は泥場である。また、当該地先では、畝状に形成されたカキ礁に沿って潮が流れることから、棚式着生材も畝状の既存カキ礁に沿う方向で設置している。今年度の検証では、棚式着生材を製作する上での留意事項や効率化を踏まえた作成手順書を作成しており、作成した手順書は、図34に示すとおりである。

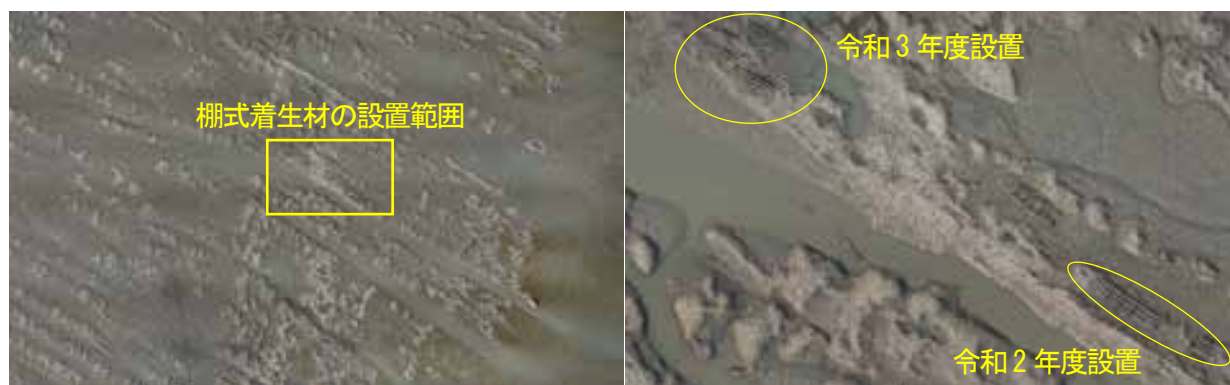


図32 浜川河口の棚式着生材設置状況（令和3年10月）

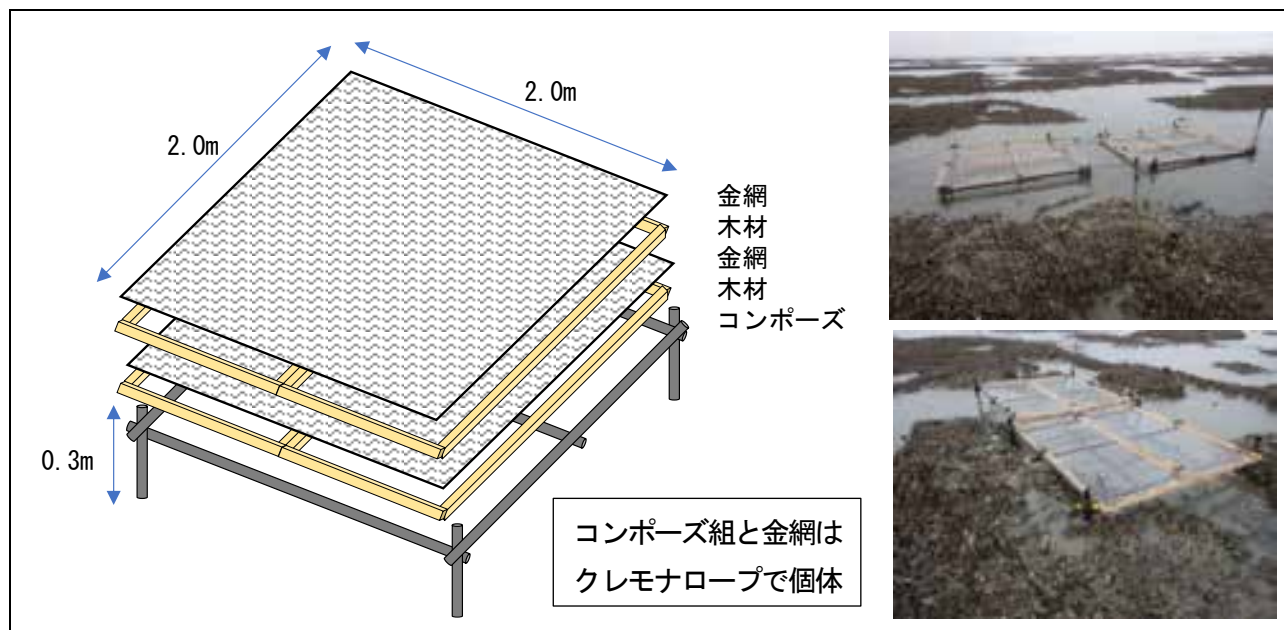


図33 令和3年度の棚式着生材のモデルおよび現地の設置状況



【事前打ち合わせ】

- 完成イメージの共有と作成手順の明確化を確実に実施する。
- 役割分担を明確化する。

～コンポーズ枠組み作成～

【コンポーズの加工】

- 2名1組でコンポーズを送りながら長さ2.0mにカットする。
- コンポーズの両端には、固定用ロープを通すための穴（Φ12mm程度）を開けておく。
- 加工したコンポーズ両端に固定用ロープを通す。



【コンポーズの組み立て】

- 歪みが生じないように注意しながら2m×2mの方形枠を組み立てる。
- 波浪や漂流物に影響を受けて崩壊しないよう、しっかりと固定する。
- 仮止めに結束バンドを用いることで効率的に組み立てられる。



～着生材作成～

【金網の加工】

- 3名1組で金網を2.0m×1.0mの長さにカットする。
- ※木枠に対し、金網の幅を長めにとることで木枠と金網がしっかり固定できる。



【木枠の加工】

- 木材を①2.0m、②0.9mにカットし、2.0×0.9mの方形枠を組み立てる。



【木枠と金網の固定】

- 金網と木枠をビスで固定する。
- ビニールテープを用いて金網を仮止めすることが望ましい。



図 34 棚式着生材の製作手順 (1/2)

～コンポーズ枠組みと着生材の固定～

【コンポーズ枠組と着生材の固定】

- 作成したコンポーズ枠組と金網をロープで固定する。
- 仮止めに結束バンドを用いることで、歪みなく効率的に固定できる。
- 仮止めとして用いた結束バンド、ビニールテープを撤去する。



～柱の作成～

【柱の加工】

- 干潟に着生材を設置するための柱を（コンポーズ）長さ2.0mでカットする。※1基あたり柱4本
 - 柱には固定用ロープを通すための穴（Φ12mm）を開け、ロープを通しておく。
 - 貫入深度が分かるように目印をつけておくことが望ましい。
- ※地中への貫入深度1.5m程度



～干潟での設置～

【棚式着生材の設置】

- 着生材の4隅に柱を貫入し、柱と着生材をロープで固定する。着生材に傾きが生じないように、結束バンドで仮止めすることが望ましい。

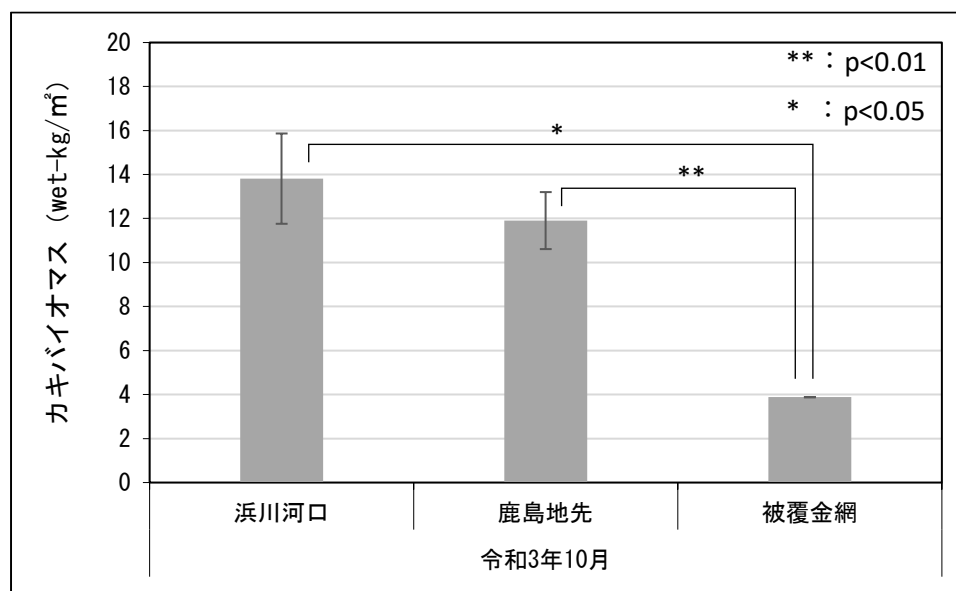


図 34 棚式着生材の製作手順 (2/2)

(2) 棚式着生材の着生量評価

1) 令和2年度設置の棚式着生材

令和2年度設置の浜川河口および鹿島地先の棚式着生材のカキ着生量は、図 35 に示すとおりである。設置2年目となる令和3年10月のカキバイオマスでは、浜川河口が13.8wet-kg/m²、鹿島地先が11.9wet-kg/m²となり、バイオマスの目標値とする設置2年目の七浦地先の被覆金網のカキバイオマスを上回った。



設置年度	調査年度	地先（着生材）	項目	t検定	
				P 値（両側）	検定結果
令和2年 平成29年	令和3年 平成30年	浜川河口（棚式着生材） 七浦地先（被覆金網）	カキバイオマス (wet-kg/m ²)	0.014	* 棚式着生材>被覆金網

設置年度	調査年度	項目	項目	t検定	
				P 値（両側）	検定結果
令和2年 平成29年	令和3年 平成30年	鹿島地先（棚式着生材） 七浦地先（被覆金網）	カキバイオマス (wet-kg/m ²)	0.009	** 棚式着生材>被覆金網

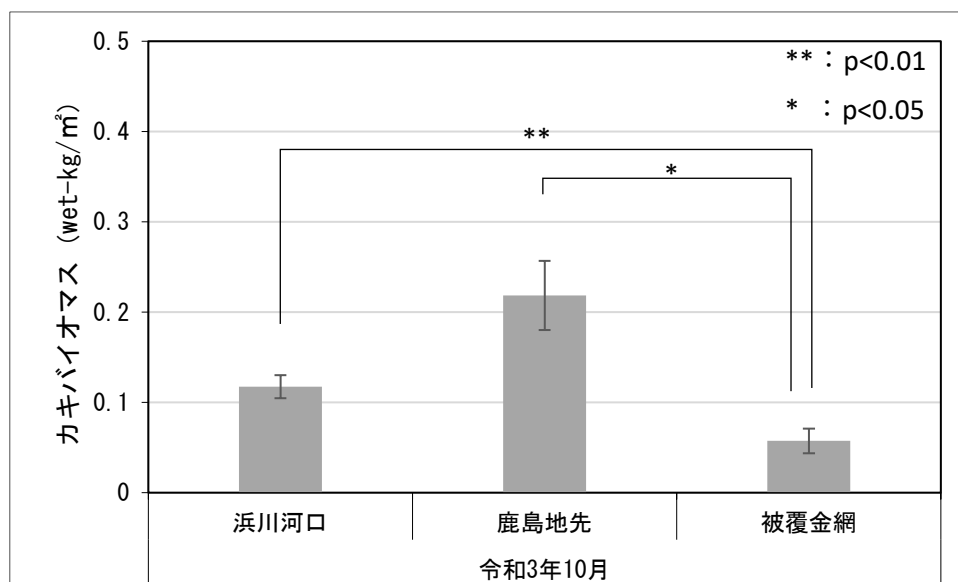
図 35 棚式着生材（令和2年度設置）と被覆金網の初年度カキ着生量の比較



図 36 令和3年度のカキ着生状況（左・中：棚式着生材（浜川河口）、右：被覆金網（七浦地先））
※棚式着生材：令和2年度設置、被覆金網：平成30年度設置

2) 令和3年度設置の棚式着生材

令和3年度設置の浜川河口および鹿島地先の棚式着生材のカキ着生量は、図 37 に示すとおりである。設置1年目となる令和3年10月のカキバイオマスでは、浜川河口が0.12wet-kg/m²、鹿島地先が0.22wet-kg/m²となり、バイオマスの目標値とする設置1年目の七浦地先の被覆金網のカキバイオマスを上回った。



設置年度	調査年度	地先（着生材）	項目	t検定	
				P 値（両側）	検定結果
令和3年 平成29年	令和3年 平成30年	浜川河口（棚式着生材） 七浦地先（被覆金網）	カキバイオマス (wet-kg/m ²)	0.002	** 棚式着生材>被覆金網

設置年度	調査年度	項目	項目	t検定	
				P 値（両側）	検定結果
令和3年 平成29年	令和3年 平成30年	鹿島地先（棚式着生材） 七浦地先（被覆金網）	カキバイオマス (wet-kg/m ²)	0.02	* 棚式着生材>被覆金網

図 37 棚式着生材（令和3年度設置）と被覆金網の初年度カキ着生量の比較



図 38 令和3年度のカキ着生状況（左・中：棚式着生材（浜川河口）、右：被覆金網（七浦地先））

※棚式着生材：令和3年度設置、被覆金網：平成30年度設置