

令和 6 年度海洋プラスチック影響調査
(水産庁補助事業)

令和 6 年度
漁業系海洋プラスチック影響調査
報告書

第1章について掲載準備中

令和 7 年 3 月
海洋プラスチック影響調査共同研究機関

まえがき

令和5年度から始まったこの事業は水産研究・教育機構(水産資源研究所及び水産技術研究所)、東海大学そして公益財団法人海と渚環境美化・油濁対策機構の3組織が共同研究機関を作り取り組みました。代表機関は公益財団法人海と渚環境美化・油濁対策機構です。

第1章のアは水産研究・教育機構水産資源研究所と東海大学、第1章のイは水産研究・教育機構水産技術研究所、第1章のウと第2章は公益財団法人海と渚環境美化・油濁対策機構が担当しました。第1章のウと第2章では企業の協力で取り組んだ内容が多いので、各項目のはじめに協力いただいた企業名を記しました。

報告書をご覧になるときの参考にしてください。

共同研究機関

公益財団法人海と渚環境美化・油濁対策機構

福田 賢吾

令和6年度 海洋プラスチック影響調査

検討委員会等名簿

(五十音順)

氏名	所属・役職
井上 喜洋	鹿児島大学 元教授
山下 麗	東京大学大気海洋研究所 特任研究員

目 次

第1章 漁具を含む海ごみによる鯨類等の海洋生物への影響調査

ア漁具などの海洋プラスチックごみによる鯨類への影響の調査

水産研究・教育機構(水産資源研究所)、東海大学海洋学部

1 緒言	1
2 過去調査画像データの分析	1
3 日本近海のハクジラ類における海洋プラスチック摂取状況の把握	5
3-1 マイクロプラスチック摂取状況の調査	6
3-1-1 材料と方法	6
3-1-2 結果	7
3-1-3 考察	13
3-1-4 参考文献	15
3-2 メソ・マクロサイズプラスチックの摂取状況調査	17
3-2-1 材料と方法	17
3-2-2 結果	17
3-2-3 考察	24
4 参考文献	25
5 フィールド調査	25

イ：環境に配慮した低次生態系における微細マイクロプラスチックの影響評価

水産研究・教育機構 (水産技術研究所 環境・応用部門)

【背景・目的】	26
【方法】	26
1 海産アミを用いた微細 MP の影響評価	27
1-1 20 μm MP を用いた曝露試験	27
1-2 エイジング処理した MP を用いた曝露試験法の検討	27
1-3 海産アミ幼体を用いた曝露試験法の検討	27
2 マガキ受精卵を用いた MP 曝露試験法の検討	28
3 海産微細藻類を用いた微細 MP の影響評価	29
【結果】	30
1 海産アミを用いた微細 MP の影響評価	30
1-1 20 μm MP を用いた曝露試験	30
1-2 エイジング処理した MP を用いた曝露試験法の検討	30
1-3 アミ幼体を用いた曝露試験法の検討	31

2 マガキ受精卵を用いた MP 曝露試験法の検討	33
3 海産微細藻類を用いた微細 MP の影響評価	34
4 まとめ	36
5 参考文献	37

ウ：海洋プラスチックごみによるヒゲクジラ類への影響調査

一般財団法人日本鯨類研究所

1 緒言	38
2 捕獲調査および商業捕鯨のデータに基づく、北西太平洋のヒゲクジラ類の海洋プラスチック暴露の現況	39
2-1 捕獲調査および商業捕鯨で捕獲したヒゲクジラ類の胃内容物調査記録の再解析	39
2-1-1 背景と目的	39
2-1-2 材料と方法	39
2-1-3 結果	42
2-1-4 考察	47
2-2 2024 年の商業捕鯨で捕獲したヒゲクジラ類の胃内容物調査と MPs 予備解析	48
2-2-1 背景と目的	48
2-2-2 材料と方法	48
2-2-3 結果 マガキ受精卵を用いた MP 曝露試験法の検討	48
2-2-4 考察	51
2-3 北西太平洋のイワシクジラおよびニタリクジラとその餌生物中の PBDEs およびレガーシーPOPs の蓄積特性について	52
2-3-1 背景と目的	52
2-3-2 材料と方法	52
2-3-3 結果	54
2-3-4 考察	62
3 文献レビュー	64
3-1 背景および目的	64
3-2 結果	64
3-3 まとめ	67
4 結論	67
5 参考文献	68

第2章 環境配慮型漁具の開発・実証

ア：ポリ乳酸(PLA)を用いたエコFADs用フロートの開発

株式会社JSP、一般社団法人アバリワーク、水産研究・教育機構 開発調査センター

1 背景と目的	73
2 令和6年度エコFADs放流	74
3 令和6年度 海外まき網船におけるエコFADs放流調査概要と結果	77
4 まとめ	82

イ：生分解性フロートカバーの開発

協力：帝人フロンティア株式会社

1 緒言	83
2 令和5年度の内容	85
3 実験方法	89
4 実験結果と考察	90

ウ：PLA牡蠣殻コンパウンドを主原料とした豆管生産のための基礎検討

協力：一般社団法人アバリワーク、株式会社津元商店

1 目的	91
2 実施項目	93
2-1 高濃度コンパウンドの試作	93
2-2 まめ管の試作実験	95
3 牡蠣殻混入豆管の製造コスト	97
4 ポリ乳酸を利用した生分解性プラスチックに関する生体内消化の疑似的実験	99
5 まとめ	104

エ：流出した漁具による海洋生物などを軽減する漁網の開発

協力：横山製網株式会社

1 目的	105
2 漁網(刺網)製造	105
3 摩耗試験	107
3-1 試験内容	107
3-2 摩耗試験の概要	108

4 試験結果	111
4-1 屈曲法摩耗試験	111
4-2 テーバ形法摩耗試験及び引張強度試験	113
4-3 テーバ形法摩耗試験	113
5 摩擦・引張試験結果のまとめ	115
第2章のまとめ	116

第2章 環境配慮型漁具の開発・実証

ア：生分解性 FADs（フロート）の開発

協力：一般社団法人アバリワーク

水産研究・教育機構 開発調査センター

1 背景と目的

海外まき網漁業では、かつお・まぐろ類など回遊性の浮魚類が漂流物に集まる習性を利用した集魚装置(Fish Aggregating Devices、以下 FAD、FADs は複数形の表記)を用いた操業が行われる。FAD は、浮子、漁網やシートを利用した垂下体および漂移位置や魚探情報を発信する衛星ブイを組み合わせて構成される。しかし、FAD 垂下体へのさめ類やうみがめ類の絡みつきの発生や、流失によって回収不能となった FAD による海洋汚染の可能性が指摘されている。

これに対して、中西部太平洋まぐろ類委員会(WCPFC)は、現在 1.5~2.5 ヶ月間の FAD 禁漁期間の設定や FAD 使用個数の制限を行っている。また、2024 年 1 月から FAD の浮子、垂下体のいずれにも網地の使用を禁止する新規措置が開始されるとともに、生分解性素材を使用した FAD の具体的な導入に向けた検討も進められている。また、生分解性素材に求められる国際基準に関する検討も開始されている；「bio-based alternatives = International standards such as ASTM D6691、D7881、TUV Austria、European or any such standards approved by the WCPFC CCMs.」。

こうした国際的な動向も受けて、開発調査センターでは、平成 30 年度より、さめ類やうみがめ類などの海洋生物が絡まないデザインで、かつ生分解性素材で作成された FADs(以下、エコ FADs)を試作し、東部インド洋や熱帯中西部太平洋で放流調査を行ってきた。そこでは、放流したエコ FADs を随時点検・操業し、その集魚性能や耐久性を評価してきた。

ジュートや真麻、い草などの様々な天然素材については、いずれの素材も放流から数か月程度で破損してしまうなど、放流後半年から 1 年程度の使用を想定している FAD の素材としては耐久性が不十分であると考えられた。

一方、ポリ乳酸(トウモロコシ等の植物由来のプラスチックでバクテリア等により分解が可能、以下、PLA)は、入手および加工が比較的容易であり、形状や作成方法を改良することによって、FAD の構成物として十分な耐久性を有することが示唆された。令和 5 年度調査では、エコ FADs の実用化に向けて、浮子、垂下体いずれにも PLA 製素材を用いたエコ FADs を試作し、放流調査を実施したが、PLA 浮子と貫通ロープの摩耗などによる浮力減少が顕著にみられた。図 2-1-1 参照

令和 6 年度調査では、耐久性向上を目的に形状・仕様を変更した上で、引き続き、浮子、垂下体のいずれにも PLA 製素材を用いた PLA エコ FADs と、国際基準に該当する天然素材を用いた天然エコ FADs の 2 タイプを試作し、放流調査を行っている。

2 令和6年度エコFADs放流

・令和6年度に試作したFAD

海外まき網で使用する集魚装置FADsは半年から1年程度海洋を漂流させることから様々な要因で回収不能になることがあり、漂流中のFADsに海洋生物が絡む恐れもある。このため2024年からは混獲防止のため網地の使用が禁止されるなど、FADsについても環境負荷軽減が求められている。また、浮体部分の規制（生分解性素材への転換）も時間の問題とされている。

・令和6年度FADs用フロートの構造と性能

図2-1-1の令和5年度の放流実験結果の写真、図2-1-2に令和5年度に試作したFADsフロートの構造図を示す。



図2-1-1 令和5年度に開発したFADsフロートの放流実験結果

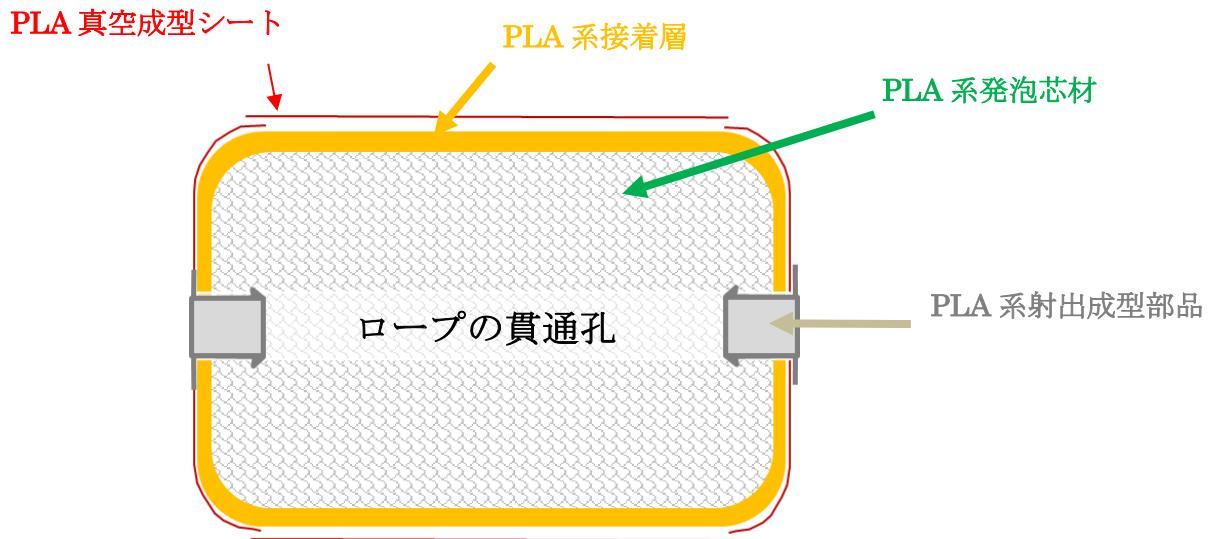


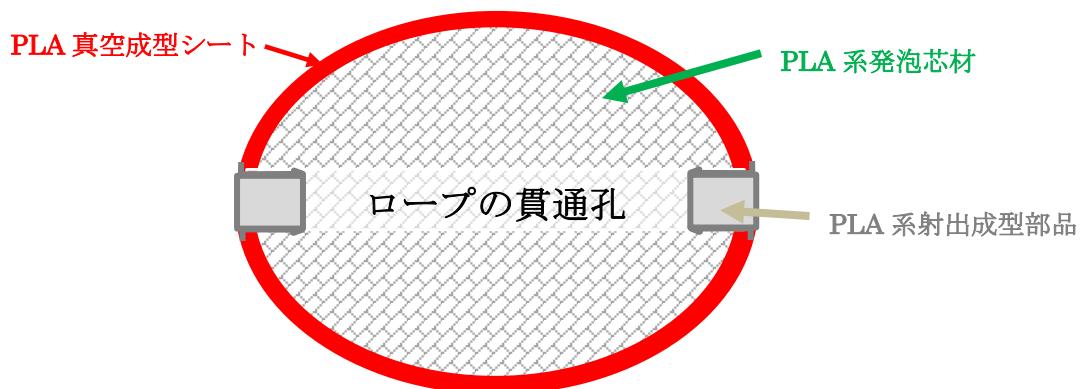
図2-1-2 令和5年度に開発したFADsフロートの構造

図2-1-1に示すように浮体同士が接触する箇所に、擦れによる激しい損耗が見られた。これによって浮力の減少がみられ、これを回避する方法として、令和5年度は円柱型だったものを、令和6年度は橢円型に改良した。

橢円形に改良した FADs フロートの構造を図 2-1-3 に示す。

これまでの漂流実験の結果から、令和 6 年度の FADs は①カバーを厚くする、②ロープの貫通孔の先端を圧縮や摩擦に耐えられるよう硬質の素材(PLA 系射出成型部品)を装填するの 2 点について工夫した。

その他、発泡倍率を 30 倍から 50 倍に引き上げることにより、浮力を 5.1kg から 7.8kg に増大させた。結果として、令和 5 年度の試作品よりサイズは大きくなつたが、空中重量は軽く、浮力は大きくなつた。



		令和 5 年度仕様 円柱型	令和 6 年度仕様 橢円型
材 料 構 成	発泡芯材	ポリ乳酸系発泡粒子成型体 30 倍	ポリ乳酸系発泡粒子成型体 50 倍
	真空成型シート	ポリ乳酸押出シート熱成型品 $t=0.6\text{mm}$	ポリ乳酸押出シート熱成型品 $t=0.8\text{mm}$
	接着層	ポリ乳酸発泡粒子 熱硬化性樹脂複合材料成型品	PLA 押出発泡シート
	射出成型部品	ポリ乳酸樹脂成型品 (今回は 3D プリンターで代用)	ポリ乳酸射出成型品
性 能	重量	0.4kg	0.33kg
	サイズ	188Φ×210mm	227Φ×275mm
	浮力	5.1kg	7.8kg

図 2-1-3 令和 6 年度に開発した FADs フロートの構造

- 放流実績は以下の通り。

用船船舶：海外まき網漁船 第一大慶丸(海洋水産資源開発事業)

放流海域：熱帯太平洋中西部海域(北緯 20 度から南緯 20 度、東経 130 度から西経 150 度)

赤い点線で囲まれた範囲



図 2-1-4 放流海域(一般社団法人 海外まき網漁業協会 HP を改変)

表 2-1-1 令和 6 年度実証実験の期間

	航海期間	放流期間	台数
第 1 次航海	令和 6 年 9 月 8 日～10 月 10 日	令和 6 年 9 月 14 日～10 月 3 日	24 台
第 2 次航海	令和 6 年 10 月 24 日～12 月 2 日	令和 6 年 11 月 6 日～11 日 内、R6 型 PLA フロートは 3 台	10 台
第 3 次航海	令和 6 年 12 月 15 日～令和 7 年 1 月 4 日	令和 6 年 12 月 21 日 R6 型 PLA フロート	1 台
第 4 次航海	令和 6 年 1 月 22 日～2 月 10 日	令和 7 年 1 月 25 日	2 台
第 5 次航海	令和 7 年 3 月 1 日～4 月 9 日(予定)	令和 7 年 3 月 7 日～3 月 17 日 内、R6 型 PLA フロートは 5 台	7 台

3 令和6年度 海外まき網船におけるエコ FADs 放流調査概要と結果

令和6年度に使用したエコ FADs の基本仕様を表 2-1-2 及び図 2-1-5 に、作成した浮体を図 2-1-6、図 2-1-7 に示す。

浮体は浮力が 45kg 程度になるように調整して組み合わせている。

垂下体は 50m 程度の長さで下に錘を付けて姿勢を垂直に維持するようになっている。

表 2-1-2 令和6年度に使用したエコ FADs の基本仕様

浮体	①R5 型 PLA 製フロートを組み合わせた浮体 (R5 型 4 個 + EVA6 個 または、 R5 型 2 個 + EVA4 個) ②R6 型 PLA 製フロート 6 個	
垂下体	①天然エコ 24mm 径真麻製ロープと 30mm 径紙製ロープ (各 50 m、幹綱部分) × 各 1 本	②PLA エコ 24mm PLA 製ロープ (50 m、幹綱部分) × 1 本 補強当布付き PLA 製シート (1.1 m × 5 m、集魚体部) × 11 枚

浮体	①R5 型 PLA 製フロートを組み合わせた浮体 (R5 型 4 個 + EVA6 個 または、 R5 型 2 個 + EVA4 個) ②R6 型 PLA 製フロート 6 個	
垂下体	①天然エコ 24mm 径真麻製ロープと 30mm 径紙製ロープ (各 50 m、幹綱部分) × 各 1 本	②PLA エコ 24mm PLA 製ロープ (50 m、幹綱部分) × 1 本 補強当布付き PLA 製シート (1.1 m × 5 m、集魚体部) × 11 枚

浮体	①R5 型 PLA 製フロートを組み合わせた浮体 (R5 型 4 個 + EVA6 個 または、 R5 型 2 個 + EVA4 個) ②R6 型 PLA 製フロート 6 個	
垂下体	①天然エコ 24mm 径真麻製ロープと 30mm 径紙製ロープ (各 50 m、幹綱部分) × 各 1 本	②PLA エコ 24mm PLA 製ロープ (50 m、幹綱部分) × 1 本 補強当布付き PLA 製シート (1.1 m × 5 m、集魚体部) × 11 枚

浮体	①R5 型 PLA 製フロートを組み合わせた浮体 (R5 型 4 個 + EVA6 個 または、 R5 型 2 個 + EVA4 個) ②R6 型 PLA 製フロート 6 個	
垂下体	①天然エコ 24mm 径真麻製ロープと 30mm 径紙製ロープ (各 50 m、幹綱部分) × 各 1 本	②PLA エコ 24mm PLA 製ロープ (50 m、幹綱部分) × 1 本 補強当布付き PLA 製シート (1.1 m × 5 m、集魚体部) × 11 枚

浮体	①R5 型 PLA 製フロートを組み合わせた浮体 (R5 型 4 個 + EVA6 個 または、 R5 型 2 個 + EVA4 個) ②R6 型 PLA 製フロート 6 個	
垂下体	①天然エコ 24mm 径真麻製ロープと 30mm 径紙製ロープ (各 50 m、幹綱部分) × 各 1 本	②PLA エコ 24mm PLA 製ロープ (50 m、幹綱部分) × 1 本 補強当布付き PLA 製シート (1.1 m × 5 m、集魚体部) × 11 枚

浮体	①R5 型 PLA 製フロートを組み合わせた浮体 (R5 型 4 個 + EVA6 個 または、 R5 型 2 個 + EVA4 個) ②R6 型 PLA 製フロート 6 個	
垂下体	①天然エコ 24mm 径真麻製ロープと 30mm 径紙製ロープ (各 50 m、幹綱部分) × 各 1 本	②PLA エコ 24mm PLA 製ロープ (50 m、幹綱部分) × 1 本 補強当布付き PLA 製シート (1.1 m × 5 m、集魚体部) × 11 枚

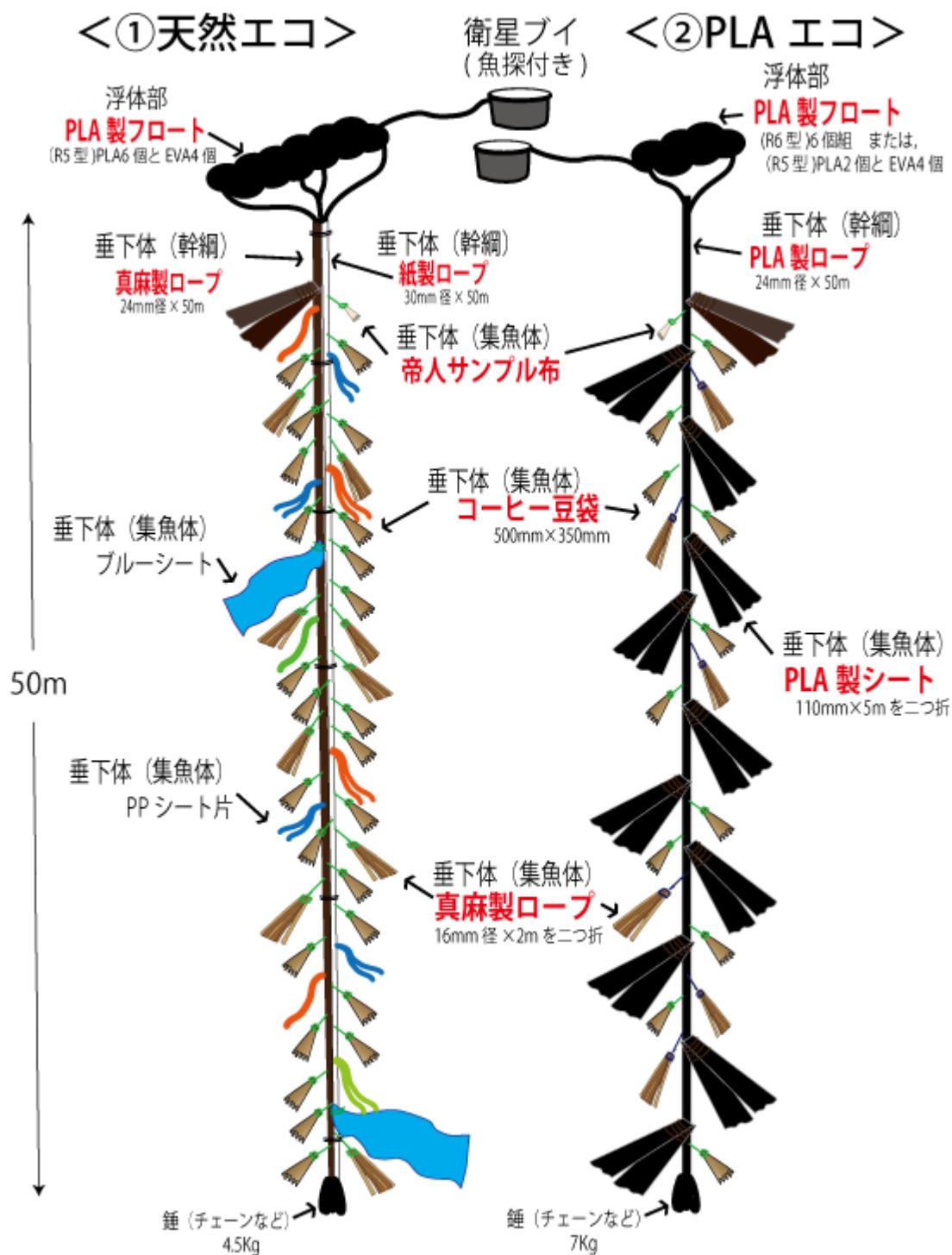


図 2-1-5 令和 6 年度に使用したエコ FADs の基本仕様



図 2-1-6 PP シートでカバーをして使用したエコ FADs の浮体

左上段：R5 型 PLA フロート 4 個と EVA フロート 6 個を使用した浮体

右上段：R5 型 PLA フロート 2 個と EVA フロート 4 個を使用した浮体

下段：上段の組み合わせを PP シートで覆った浮体



図 2-1-7 R6 型 PLA フロート 6 個を使用したエコ FADs の浮体

・点検結果 および 視認形状：

①R5型 PLA フロートと EVA フロートの組み合わせ

点検したフロートの浮力は保たれており、問題は認められなかった。PLA フロートに隣り合う EVA フロートと接触する個所に損耗が見られたものの(図 2-1-8)、漁業者の見立てでは十分に使用可能と判断され、再度シートで覆い再利用した。



図 2-1-8 点検した R5 型 PLA フロート(漂移 46 日)

左上段：回収時外観

右上段：シートを剥がした内部

左中段：EVA フロートとの接触面

右中段：PLA フロートとの接触面

左下段：EVA フロートとの接触面

右下段：EVA フロートとの接触面

②R6型 PLA フロート

放流した 10 台の内、6 台は衛星ブイの受信が途絶え点検できず、2 台は放流 2 日後に回収したため、形状の変化は認められなかった。残り 2 台は、2025 年 3 月時点では点検実績はない。いずれの FADs も、漂移速度や衛星ブイのバッテリー状況などから、浮体の浮力減少は推測されなかった。

・エコ FADs の漂移状況(参考)

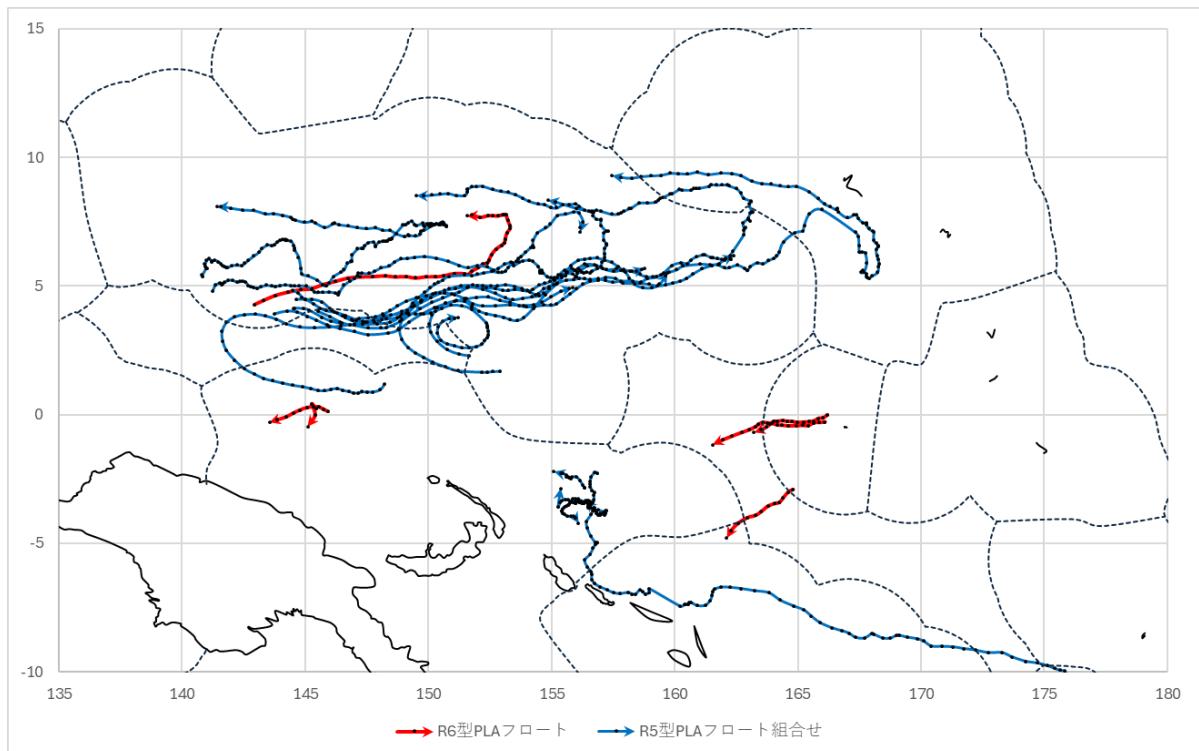


図 2-1-9 令和 6 年度に放流したエコ FADs の漂移図(2025 年 2 月 3 日現在)

4 まとめ

R5FADs フロートの持ちは通常 EVA フロートとの組み合わせで 100 日程度、本来は半年間～1 年間使用する。R6FADs フロートは現在 40 日間浮遊中である。

今年度の実証実験では

- ・R5FADs フロート浮力は EVA フロートとの組み合わせでは保持できた。接触部の損耗が見られたが使用可能と判断(図 2-1-8)。R5FADs フロートだけで浮体を構成した場合は、損耗が激しくなると推測される。
- ・R6FADs フロートは、現時点での点検実績はないが、前述したように、浮体の浮力減少は推測されていないことから、令和 7 年度の点検結果を期待したい。

これらから、令和 5 年度、令和 6 年度の試作品は EVA フロートとの組み合わせる仕様方法であれば、耐久性に問題ないと考えられる。EVA と組み合わせない場合、令和 6 年度の試作品の耐久性は、令和 7 年度の点検結果に期待するところである。

なお、他国が生分解性 FADs の開発に取り組んでいるとの情報には、現時点では接していない。

第2章 環境配慮型漁具の開発・実証

イ：生分解性フロートカバーの開発

協力：帝人フロンティア株式会社

1 緒言

図2-2-1、図2-2-2および図2-2-3に示す通り、海岸に漂着した発泡スチロール製フロートを見るとフロートカバーが無いものが多い。

フロートカバーは漂流している間に剥がれたものと考えられる。

フロートカバーはポリエチレン製のものが多いとされ、ポリエチレンプラスチックは水より比重は軽いが、フロート使用中にフロートカバー表面にフジツボ等の付着生物が付く事により、フロートから剥がれた際に海底に沈むものと考える。

フロートが漂流する理由には、筏に船舶が衝突したり、荒天で外れたりするものがあり、漂流を完全に止めることは難しい。

そこで、海ですぐに分解されることなく一定期間の使用に耐えるものの、その期間が経過した後に生分解が始まるフロートカバーの試作に取り組んだ。素材としては、仮に生物の体内に入ったとしても、生物の体内で消化されると言われているポリ乳酸を選択した。



図 2-2-1 海外に漂着したフロート

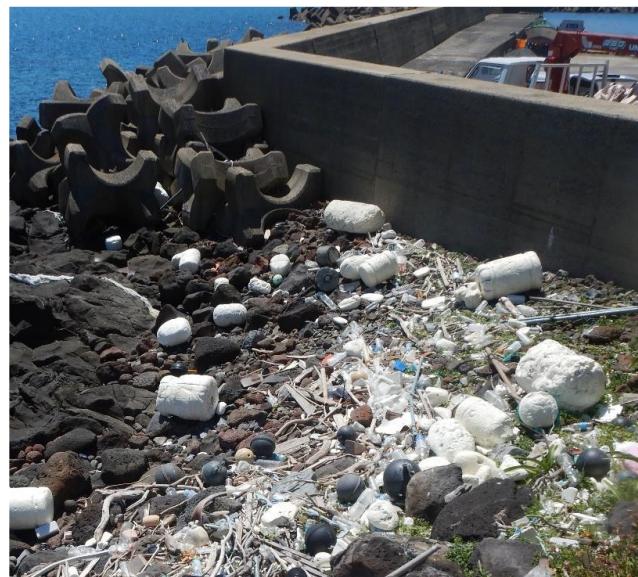


図 2-2-2 海外に漂着したフロート



図 2-2-3 海外に漂着したフロート

2 令和5年度の内容

令和5年度のフロートカバー試作品の原料には100%ポリ乳酸スパンボンド不織布(目付: 100g/m²)を用いた。ポリ乳酸は植物由来であり、海洋生物への影響が少ないと言われている。スパンボンド不織布は安価であり、量産も容易である。ポリ乳酸スパンボンド不織布は、現行のブルーシート生地よりも強度は劣るが、フロートの表面保護としては十分な強度を持っていると考え、実験に臨んだ。

作成したフロートカバーの写真を図2-2-4に、愛媛県久良漁港内湾に設置時のフロートの写真を図2-2-5に示す。



図 2-2-4 作成したフロートカバー



図 2-2-5 設置時のフロート

養殖生簀に設置した結果、図 2-2-6 に示す通り、当初の予測に反して、約 1.5 ヶ月間でフロートカバーの一部が崩壊し、不織布の形状を保てなくなった。



図 2-2-6 崩壊したフロートカバー

この原因を突き止めるため、各種の検査を行った。このうち物性及び分子量については、令和5年度の報告書にもあるように、大きな変化は無かった。次に、走査電子顕微鏡(SEM: Scanning Electron Microscope)により断面観察を行った。表面写真を図2-2-7及び図2-2-8、断面写真を図2.2.9及び図2-2-10に示す。

この結果、纖維間の接着状態については試験前後で変化は見られなかったが、不織布の元々の強度が十分ではなかった為、波などの力によってカバーが破れたと推測された。そこで、市販品のフロートカバーを入手し物性測定を行った後に、令和6年度事業でフロートカバーの改良に取り組むことにした。

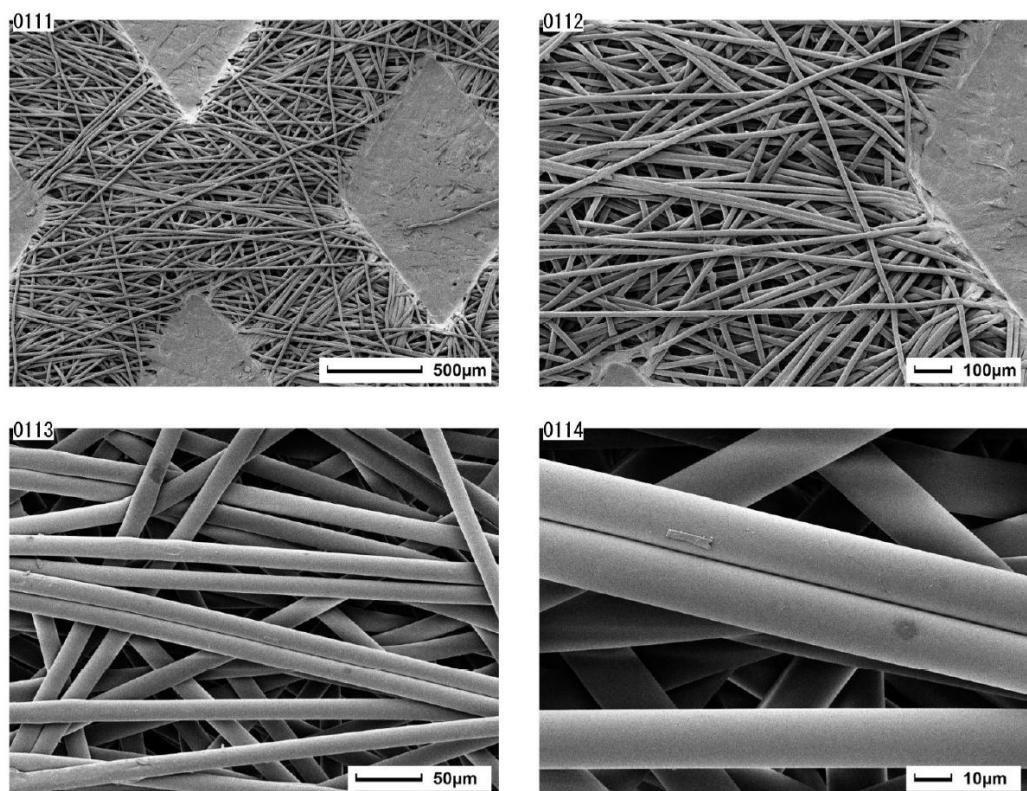


図2-2-7 表面写真 実験前

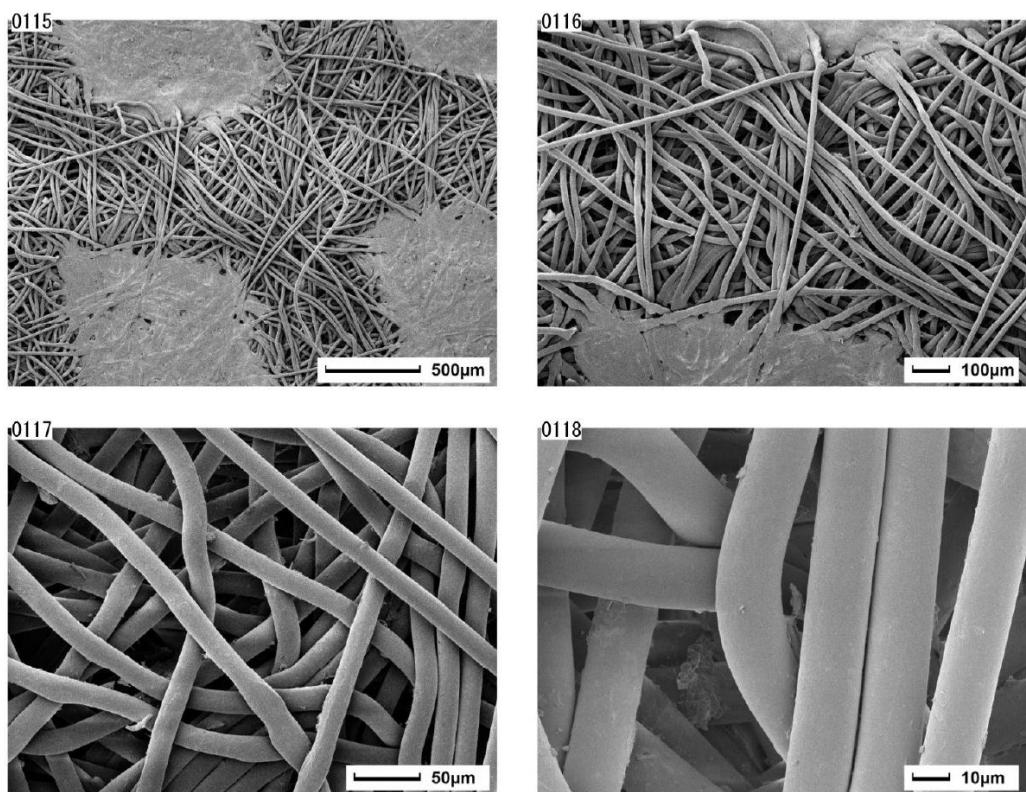


図 2-2-8 表面写真 実験後

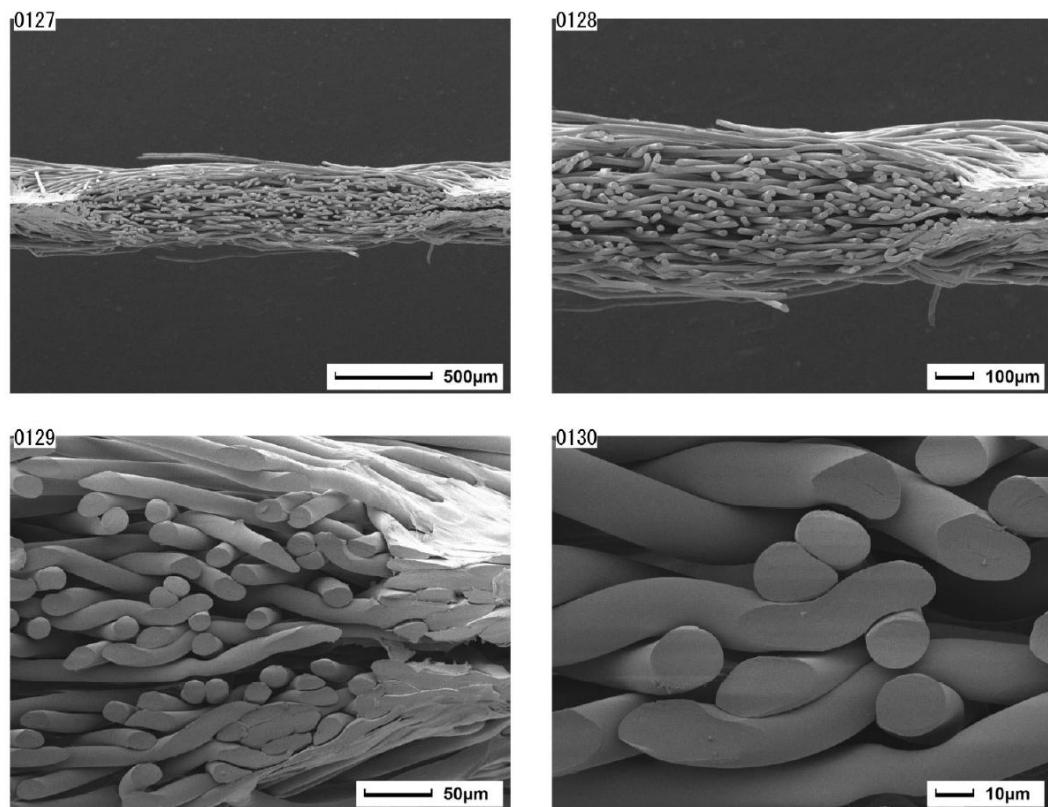


図 2-2-9 断面写真 実験前

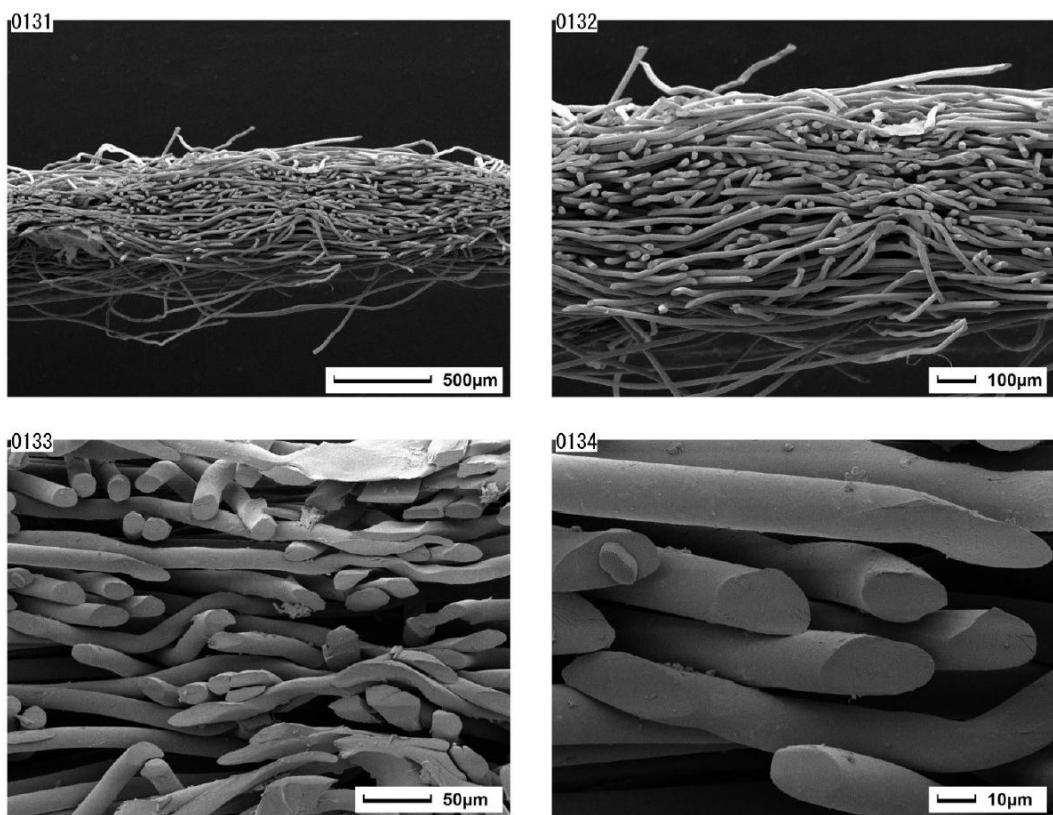


図 2-2-10 断面写真 実験後

3 実験方法

市販品のフロートカバーの生地強度を分析した結果 $142.1\text{N}/15\text{mm}$ であった。それ以上の強度を目標として、海中や海岸で分解する機能を備えたフロートカバーの開発を目指した。海洋生分解性 PLA(BIOFRONT)製生地を作成し、フロートカバーを作成した。今回使用した糸(ビオフロント 570T(下記 92T 6 本合糸))の仕様を表 2-1-3、表 2-1-4 及び表 2-1-5 に示す。

表 2-1-3 糸の物性

強度	3.1cN/dtex(代表値)
伸度	43%

表 2-1-4 フロートカバーの生地の内容

経緯	ビオフロント 570T(下記 92T 6 本合糸)
目付	309(g/spm)
規格	75×42(本/2.54 cm)

表 2-1-5 生地物性(測定試料は巾 $40\text{mm} \times$ 長さ 300mm)

	破断強度(KN)	破断伸び率(%)	引裂強さ(N)
縦	1.0	65	測定不能(50N 以上)
横	0.7	43	46
	JIS L 1096 8.14 A 法		JIS L 1096 8.17 D 法

表 2-1-5 から 15mm 幅の破断強度(KN)を換算すると

縦: $1.0\text{KN}/40\text{mm}$ なので $1000\text{N}/(40\text{mm} \times 15\text{mm}) = 375\text{N}/15\text{mm}$

横: $0.7\text{KN}/40\text{mm}$ なので $700\text{N}/(40\text{mm} \times 15\text{mm}) = 262.5\text{N}/15\text{mm}$

以上から、縦、横とも $142.1\text{N}/15\text{mm}$ を上回る破断強度を示した。

4 実験結果と考察

生簀に設置した令和 6 年 10 月 14 日の写真を図 2-2-11 に、設置から約 4 か月後の様子を図 2-12 に示す。

結果は、4 か月経過後においても、設置当初の写真と比較して、大きな変化は見られなかった。引き続き観察の必要はあるが、実使用に耐え得る海洋生分解性フロートカバーの完成に一步近づいたと思われる。

ただ、今回の改良版のフロートカバーは量産が容易でなく、また、既存品と比較してコストも課題となることから、令和 7 年度においては、これらの課題克服にも取り組んで行く必要がある。



図 2-2-11 令和 6(2024)年 10 月 14 日投入時の様子

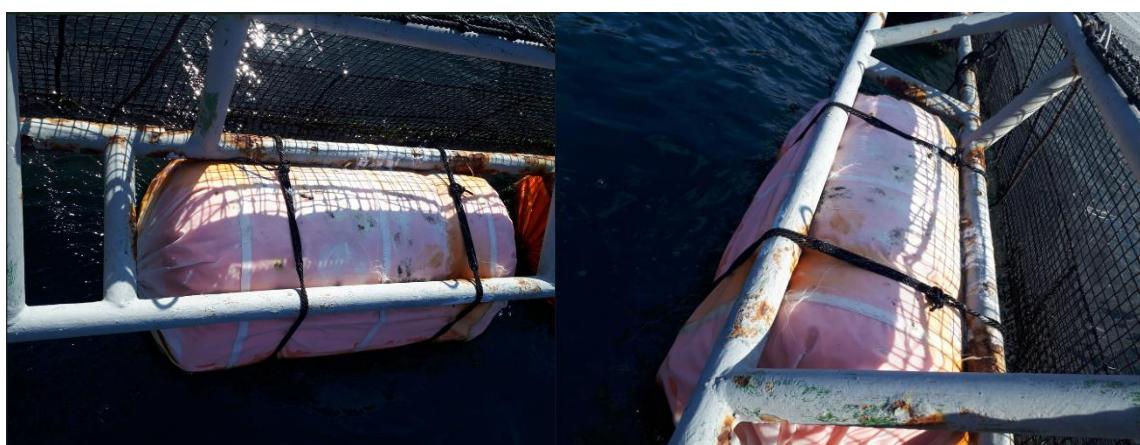


図 2-2-12 約 4 カ月経過(令和 7(2025)年 2 月 12 日)の様子

第2章 環境配慮型漁具の開発・実証

ウ：生分解性豆管の開発

協力：一般社団法人アバリワーク

株式会社津元商店

1 目的

カキ養殖は、ブルーカーボン(海洋生態系を通じて固定される炭素)に寄与する可能性がある。カキは成長過程で炭酸カルシウム(CaCO₃)の殻を形成するが、この殻には二酸化炭素(CO₂)由来の炭素が含まれ、長期間にわたり炭素を固定できると考えられている。更にはカキの特徴である濾過摂食を通じて水中の栄養塩を吸収・固定し、藻類の異常繁殖(赤潮など)を抑制する効果があるとされていて、海域の水中の光透過率が上がり、海藻や海草などの光合成を助けるとされることから、カキ養殖を絡めた水産はブルーカーボン促進に大きく寄与するものと期待される。

一方で、現状は、牡蠣殻が再利用される用途が限定されていることから、多くの牡蠣殻は再利用されることなく、産業廃棄物として、焼却や埋め立てによる処分が行われている。養殖後の殻の再利用(例：建材や肥料への活用)を促進し、適切な養殖密度で海藻や海草との共生管理などの取り組みにより、カキ養殖は単なる水産業の一環にとどまらず、気候変動緩和の一助となる可能性を残すことから、現在、カキ養殖振興の足枷となっている牡蠣殻問題の解決は、単に水産業の問題というだけでなく、地球環境の視点からも、喫緊の課題と言える。

この取り組みの1つとして、ポリ乳酸と牡蠣殻を混合したコンパウンドを成形加工材料として使用することに取り組んでいる。この成形加工材料は、環境評価指標として有用視されているLCA(LCI)の観点からも、社会的評価の高い、有用な材料となる可能性がある。牡蠣殻を含む材料は低LCI材料として活用することが理論的には可能である。机上の試算ではあるが、図1通り、PLA/牡蠣殻(4/6)を超えた牡蠣殻配合量のコンパウンドの場合、LCIとしてはゼロを下回る数値の材料として、様々な用途の成形加工が可能となる。

この取組の一環として、今年度は、海洋における漂流・漂着が大きな問題となっているカキ養殖に使用する豆管(プラスチック製)を、このPLA/牡蠣殻コンパウンド、しかも牡蠣殻の割合が高いコンパウンド(高濃度コンパウンド)で製造することができないかと考え、取組むこととした。なお、このコンパウンドで製造した豆管は水よりも重いため、漂流して他所に漂着するリスクもなく、また素材が自然物であるため、環境にも優しい特徴がある。

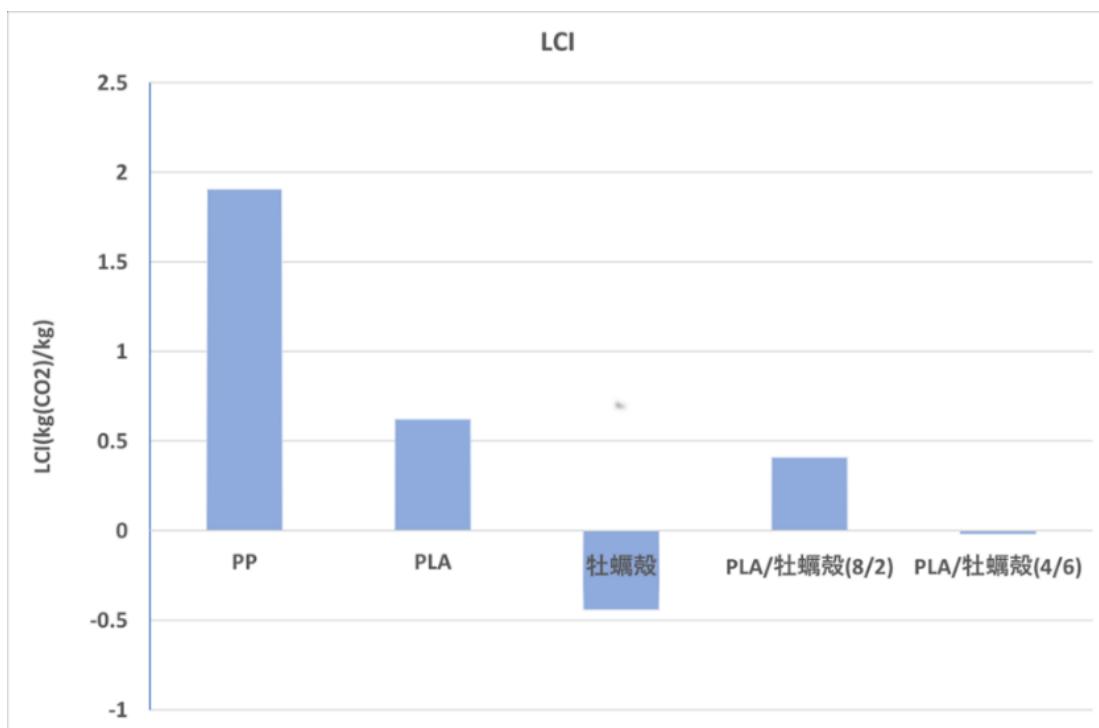


図 2-3-1. LCI から見る牡蠣殻/PLA コンパウンドの利点

このグラフは、LCI(「Life Cycle Impulse」の略)では牡蠣殻 100%の材料で製品化すれば CO₂ を吸収した製品となり、PLA/牡蠣殻(80%/20%)の場合は 0.4kg(CO₂)/kg 排出した製品となり、PLA/牡蠣殻(40%/60%)であれば、ほとんど CO₂ を排出しないで製造できることを示している。

具体的に製品ごとに CO₂ 排出量を比較してみると、PP を原料とした従来品の排出量は 1.9kg(CO₂)/kg であるところ、PLA を原料とした製品の排出量はその 1/3 の 0.6kg(CO₂)/kg、PLA/牡蠣殻(80%/20%)を原料とした製品は 1/5 の 0.4kg(CO₂)/kg となり、CO₂ 排出量は格段に少なくなる。

2 実施項目

2-1 高濃度コンパウンドの試作

PLA(ポリ乳酸)樹脂と牡蠣殻パウダーのコンパウンドの試作からまめ管製造までの流れを図2-3-2に示す。

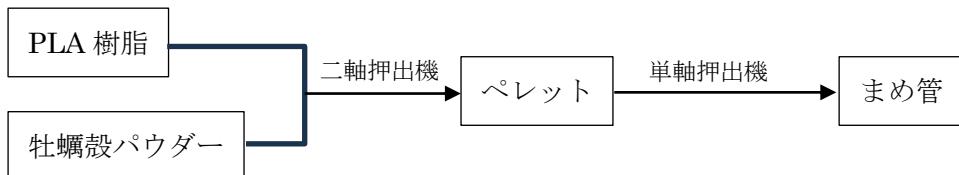


図 2-3-2 コンパウンドからまめ管製造までの流れ

令和5年度に実施した牡蠣殻を20%混合した材料の押出試験では、当初問題なく試作品ができていたが、途中で材料を引っぱる機械の動き(ストランドの引き取り)が不安定となりカッター部分で材料が詰まり、材料が押し出されなくなったため、押出機を緊急停止した。再稼働後も安定条件を作ることは出来ず、結局、押出実験は中止となった。

このような現象は多くの混合材料で確認される現象であり、一般的に大量のフィラー* (充填剤) を混入した材料はチクソトロピー性**を有する素材が多い。今回はPLAとフィラーである牡蠣殻を大量(20%)に混合したことにより、チクソトロピー性が強く出たため、牡蠣殻の混入率が20%程度の材料であっても、押出機の力では押し出せなくなり、カッター部分に材料が詰まってしまったのが、不具合の原因と考えられた。

上記の整理を踏まえ、今回の問題を解決するためには、事前に高濃度の牡蠣殻を混入させた混合材料を準備し、それを徐々にPLAで薄めていく方法が有効と考えられたため、令和6年度においては、高濃度の混合材料を準備して再度実験に臨んだ。その結果を表2-3-1に示す。

*高物性や高機能、あるいはコストダウンを実現するために添加される充填剤の総称。様々な複合化材料の鍵となる素材(フィラー研究会)。今回の試験におけるフィラー(充填剤)は牡蠣殻

**懸濁液を攪拌することによりその流動性が向上し、これを静置することにより流動性を失う現象をチクソトロピーという。(粉体工学用語辞典) つまりペンキのようにかき混ぜると粘度が下がり壁に塗りやすく、放っておくと粘度が上がり垂れなくなる性質

表 2-3-1 高濃度コンパウンド作成の検討

	加工機	牡蠣殻最大混入濃度
前年度検討	行政所管の混練機	20%
A社	カレンダーロール	20%
B社(C社)	二軸押し出し機	50%

A 社が所有する機械では、牡蠣殻を 20%までしか混ぜることができなかった。これは、令和 5 年度に試験を行った行政機関が所有している機械と同じ程度の能力である。一方、B 社と C 社が所有する機械(二軸押し出し機)では、牡蠣殻を 50%まで混入することができた。具体的には、B 社では試作用の機械、商業用の量産機のいずれでも 50%まで牡蠣殻を混入できた。また、C 社では試作機で牡蠣殻 50%の混合に成功した。

両社の機械は特別なものではなく、材料を混合する場合に普通に使われているスクリュー式のものであった。

・牡蠣殻パウダー

事業で使用した牡蠣殻パウダーの成分表を表 2-3-2 に示す。使用した牡蠣殻パウダーはト部産業株式会社のオイスターという製品で粒径は 5~15μ である。

表 2-3-2 牡蠣殻パウダーの成分分析

成 分 分 析 報 告 書

2023年09月07日

製造名	オイスター		
製造メーカー			
購入先			
分析依頼内容	保証内容	23.04/19測定	23.09/07測定
1.水分		0.50%	0.50%
2.硬度			
3.崩壊			
4.粉化率			
5.粒度分布			
6.比重		0.581	
7.塩素濃度 NaCl		0.03%	
〃 Cl		0.02%	
8.アルカリ分			
9.苦土分			
10.磷酸分			
11.腐植酸分			
12.pH			
13.可溶性けい酸			
14.可給態けい酸			

2-2 まめ管の試作実験

前述で製造した高濃度コンパウンド（牡蠣殻 50%）を PLA で希釈したものを原料（牡蠣殻 20%と 30%の 2 種類）として、(株)津元商店の協力を得て、同社の量産設備を用いてまめ管の試作実験を実施した。使用した押し出し機は(株)栗巣鉄工製 50mm 単軸押し出し機(L/D=25)であり、標準的なフルフライトイクリューでの異形押し出し機になっている。



図 2-3-3 試作実験に使用した押し出し機

この押し出し機のダイス構造は標準的な丸パイプ押出用と思われ、リップから出たストランド状パイプを連続的に引き取り、水冷後に風車型ストランドカット機で任意形状にカットできる構造となっていた。ストランド本数は 1 本取りであった。

ホッパー上部にはホッパードライヤーが設置されており、熱風循環式乾燥設備となっている。通常は 70°C での運転を行っているようだが、今回は原料が PLA であることから、ガラス転移温度を超えない温度で乾燥を行うのが無難と考え、50°C × 12 時間の事前乾燥を行うこととした。

<牡蠣殻 20%コンパウンド押出実験>

試作日：令和 6 年 11 月 23 日

2003D バージン原料でページを実施後、停止した状態の押し出し機を試験当日に再昇温し、牡蠣殻 50%コンパウンド/2003D バージン=4/6 でドライブレンドした原料配合で 50°C × 12 時間の事前乾燥を行った後に表 2-3-3 の条件に従い試作実験を開始した

起動時から運転条件は安定し、押出機への負荷もなく生産できた。また、吐出品の性状が安定しているため、カッターへの負担も少なく、製品として出荷できる外観に近いものが得られた。

表 2-3-3 豆管生産条件と豆管性状

		R6年度	
Date		2024/11/23 牡蠣殻20%	
		Setting	Displayed
C1	degC	150	151
C2		150	152
C3		150	150
H1		150	150
H2		150	152
ダイ		150	150
樹脂温		-	
樹脂圧	MPa	-	
スクリュー	rpm	68.9	
	A	23	
吐出	kg/hr	18.8	
豆管	重さ	g	0.9
	平均外径	mm Φ	14.1
	長さ	mm	14.9
	肉厚	mm	0.9
	密度	g /cm ³	-

<牡蠣殻 30%コンパウンド押出実験>

試作日：令和 7 年 2 月 23 日

牡蠣殻 20%コンパウンドの実験が安定生産できたことから、牡蠣殻 30%コンパウンドに挑戦し、これについても安定生産が可能であった。図 2-3-1 から牡蠣殻が 60%混入されると LCI が 0 になることから、今後も牡蠣殻の割合を増加できるよう取り組む必要がある。

3 牡蠣殻混入豆管の製造コスト

牡蠣殻混入 PLA 豆管(混入率 30%)については、実用化に至る可能性が高い。価格を推定してみる。

前提条件として、年間生産量 4,500 万個、牡蠣殻含有量 30%とする。

令和 5 年度報告書及び業界への聞き取り調査から得た原材料単価と製造単価(推定値)を表 2-3-4 に示す。この表から、新品の PLA を原料として製造したまめ管の価格は、現状のまめ管の 2~3 倍になる。

表 2-3-4 まめ管の原材料単価(円/kg)と製造原価(推定値)

		現状	牡蠣殻 30%混入			
主原料		回収 PE	PE	PLA	回収 PLA	牡蠣殻パウダー
原材料単価	円/kg	70	<u>170</u>	<u>345</u>	170	100
製造原価	円/kg	220	320	495	320	XX
	円/個*	0.22	0.32	0.50	0.32	XX

*1 個/g と仮定 下線は令和 5 年度の報告書から引用

・経済的な負担増

表 2-3-6 に 1 経営体当たりの負担増を示す。1 経営体当たり年間で 4,760 円の負担増となる。当然、経営体の規模が大きくなるにつれて負担は増加するが、この程度の金額であれば、経営体が PLA/牡蠣殻コンパウンド製豆管を新規に導入する上で、大きな足枷になるとは考えにくい。なお、回収 PLA を原料とした場合(牡蠣殻 30%混入)の 1 経営体当たりの負担増は、年間で 1,700 円とかなり低減できる。しかし、現時点で回収 PLA の確保が十分できるかは不明(現状、PLA 自体が社会に普及・使用されていない)であり、この方法は、今後 PLA が広く社会に普及・使用されるようになった場合に採用可能な方法と考えられる。

表 2-3-6 カキ養殖経営体数と負担増

カキ養殖経営体数(2023 漁業センサス)	2,698 経営体
まめ管製造個数	4,500 万個/年
1 経営体当たりのまめ管使用個数	1.7 万個/年(4500 万個/年÷2698 経営体)
1 経営体当たりのまめ管購入金額負担増 (製造原価で積算)	製造原価(0.50 円/個-0.22 円/個)×1.7 万個 /年=4,760 円/年

・まめ管製造原価の低減

製造原価の低減には、調達する原材料価格を安くすることが一番であるが、それが難しい場合は、原材料の使用量を減らす(1 個当たりの重量を減らす)方法がある。使用量を減らす具体的な方法としては、昨年度(R5)の報告書に記載したに豆管の厚みを薄くする方法や単価

の安い牡蠣殻の混入率を引き上げることに加えて、PLA 原料を発泡させることで、豆管の厚みや形状を変えずに使用量を削減する方法がある。発泡技術は本報告書の「第 2 章a」に記載した FADs 用フロートの事例があるので、この技術を豆管の製造に転用できればと考える。これについては、次年度以降の検討課題である。

4 ポリ乳酸を利用した生分解性プラスチックに関する生体内消化の疑似的実験

(1) 実験背景

ポリ乳酸とは植物から抽出されたデンプンに含まれるグルコースを乳酸発酵させ、そこから得た乳酸を重合させたものである。乳酸自体は生体内でも生産される物質であるため、体へのリスクが少なく、環境中へ悪影響もほぼ無い。

しかし生体内での詳しい動態は明確にはなっておらず、実際に海洋生物がポリ乳酸を口にしました場合、海洋生物にどのような影響が出るかは不明である。そこで今回はイルカの胃液をカテーテルで取り出し、その中にポリ乳酸由来プラスチックを入れて経過観察をする実験を行った。

(2) 実験材料

- ①飼育下のハンドウイルカの胃液(40ml)
- ②ポリ乳酸由来プラスチック(まめ管)
- ③カルチャーインキュベーター(九十九島水族館海きららのみ)
- ④コニカルチューブ(50ml)×4 *それに該当するものであれば代替可能

(3) 実験方法

①胃液の採取

天草パールガーデン＆海中水族館シードーナツにおいて飼育下の健康なハンドウイルカからカテーテルで胃液を吸引し、約 20mL を採取する。採取した胃液はpHの測定を行う。胃液はイルカの健康診断で定期的に採取したものの中から使用している。

②ビーカーでの観察(常温) *天草パールガーデン＆海中水族館シードーナツ

ビーカー(50ml)を 2 つ用意し(それぞれ A、B とする)、それぞれに採取した胃液を 10mL ずつ入れる。A のビーカーにはポリ乳酸由来プラスチック(まめ管)を、B のビーカーには従来のプラスチックをそれぞれ 1 個ずつ入れる。24 時間ごとに経過を観察する。

それぞれのプラスチックを写真で記録し、ピンセットで胃液から取り出した後にサイズ(幅・長さおよび重さ)を計測する。また胃液に入る前の従来のプラスチックとまめ管、24 時間後の従来のプラスチックとまめ管の硬度を触って確認する。

表 2-3-7 ビーカーでの観察条件の比較(常温観察)

A ビーカー	B ビーカー
イルカの胃液(10ml)	イルカの胃液(10ml)
ポリ乳酸由来プラスチック	従来のプラスチック
常温(20~25°C)	常温(20~25°C)
直射日光が当たらない場所	直射日光が当たらない場所
観察時間 : 24 時間	観察時間 : 24 時間

③ビーカーの観察(インキュベーター内)

上記②の実験とは別に、インキュベーター(37°C)内での観察を同様に行った。

表 2-3-8 ビーカーでの観察条件の比較(インキュベーター内観察)

A ビーカー	B ビーカー
イルカの胃液(10ml)	イルカの胃液(10ml)
ポリ乳酸由来プラスチック	従来のプラスチック
インキュベーター(37°C)	インキュベーター(37°C)
観察時間 : 24 時間	観察時間 : 24 時間

(4) 結果

- ・天草パールガーデン&海中水族館シードーナツ(常温で管理した場合)

シードーナツでは2頭のイルカの胃液を使用した。いずれも胃液は摂餌前に吸引器を使い、朝一番に採取した物を用いた。

- ①ハズバンダリートレーニングで胃液採取可能な個体

pH2.0 (前日採取のサンプルも2.0-3.0)、異物誤飲の多い個体で汚れが多い、やや白色透明

- ②取上げにて胃液採取が可能な個体

pH2.0-3.0程度、異物による汚れ等はなく白色透明



図 2-3-4 イルカの胃液採取の様子



図 2-3-5 胃液採取に用いる吸引機

①の胃液は9月20日に採取し、1週間ポリ乳酸由来プラスチックのまめ管を浸漬。しかし硬度等に変化は見られなかった。

②の胃液は9月26日に採取を行い、24時間観察を行った。変化は見られなかった。

・九十九島水族館海きらら

シードーナツから提供のあった胃液は下記の 4 種である。

- ①個体 H→朝一の給餌前のもの (回収できた量がわずかだったので、胃液の状態を確認するのに使用)
- ②個体 H→給餌前の 11 : 00 に採取 (1.5kg の給餌から約 2 時間経過)
- ③個体 Y→朝一の給餌前のもの
- ④個体 Y→給餌前の 13 : 30 に採取 (採取実施までの総餌料 4.0kg、直前の給餌量 2.0kg・約 2 時間経過)

実験には②と③の胃液を用いた。胃液pHはどちらも約 2.0~3.0 であった。

当初、観察時間は 24 時間としていたが、PLA に変化が認められなかつたため、シードーナツと同様、観察期間をおよそ 1 週間まで延長した。なお、試験サンプルをインキュベーター内で 37°C に保温して、試験を行った。

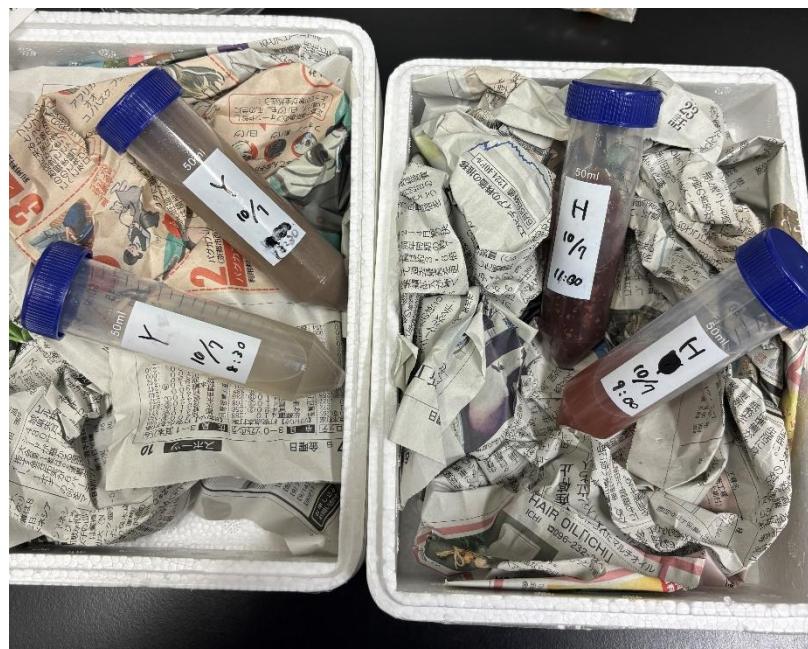


図 2-3-6 イルカの胃液



図 2-3-7 使用したインキュベーター



図 2-3-8 インキュベーター内の様子

1週間観察を行ったが、従来のプラスチックとポリ乳酸由来プラスチック共に変化はなかった。
pHも隨時測定を行ったが、観察開始時から変化はなかった。

5 まとめ

- ・高濃度コンパウンド(牡蠣殻 20%、PLA80%)を原料としたまめ管の生産は可能である。更に牡蠣殻の割合を 30%まで増やした豆管の生産にも成功した。
- ・高濃度コンパウンド(牡蠣殻 30%、PLA70%)を原材料としたまめ管の価格は現状の 2-3 倍程度になるが、平均的なカキ養殖経営体の負担は年間 4,760 円程度で大きなものではない。更に PLA を発泡させることで、価格の更なる削減も可能である。
- ・カキ養殖業者は、原料に PLA や牡蠣殻を使ったまめ管を購入・使用することで、多少の金銭的負担増(年間 4,760 円程度)はあるものの、特別な労力を費やすことなく、地球温暖化の最大要因である CO₂ の排出削減に大きく寄与でき、また、生産物であるカキのブランド価値も大いに高めることができる。

第2章 環境配慮型漁具の開発・実証

工：生分解性漁網(刺網)の開発

協力：横山製網株式会社

1 目的

漁網は海洋流出後、海中を漂い、魚類・鯨類など海洋生物を絡めとる”ゴーストフィッシング”を起こすと言われている。一方、流出した網は海底で塊になるのでゴーストフィッシングは発生しにくいという意見もある。

ここでは、海洋に流出した漁網が生物に与える影響を軽減するため、植物由来のポリ乳酸(以下 PLA)製の糸(ユニチカ製)及び生分解性ポリエステル糸(帝人フロンティア製)を用いた漁網の試作開発を行った。また、これら試作糸の摩擦に対する強度を調べるため耐性試験を実施した。

2 漁網(刺網)製造

1)マルチフィラメント製刺網の試作

PLA 漁網(刺網)の製造においては、ユニチカ製 PLA(テラマック®)を用いた。

令和 5 年度にモノフィラメントによる刺網を試作したが、その結果、「硬い」、「脆い」、「伸度が小さい」という性質が明らかになった。図 2-4-1。



図 2-4-1 令和 5 年度に試作した PLA 製モノフィラメント刺網

そこで令和 6 年度は、細い繊維を束ねたマルチフィラメントを使って漁網(刺網)の試作を行ったところ、モノフィラメントと比較して「柔らかい」網ができた。

現在、刺網の糸はモノフィラメントがほとんどであるが、昭和 50 年ころまではマルチフィラメント製の刺網が多かった。現在もイセエビ漁などで使用されている。図 2-4-2。



図 2-4-2 PLA 製マルチフィラメント刺網

表 2-4-1 製造条件

	PLA 網(マルチ糸)	ナイロン網(マルチ糸)
糸の太さ	250D/8	210D/8
完成目合	106mm	106mm
(編網目合)	107mm	111mm
湯引き時の条件	常温	90°C
・延伸	無し	106%
セット仕上時の条件		
・温度	100°C	118°C
・時間	10 分	10 分
・延伸	100.7%	101.7%

2)モノフィラメント製刺網の試作

帝人フロンティアが開発した海洋生分解性ポリエステル糸を用いた。この糸は PLA と比較して柔らかいので、モノフィラメントの刺網を試作した。図 2-4-3。



図 2-4-3 海洋生分解性ポリエステル製モノフィラメント刺網

PLA 製マルチフィラメント刺網(図 2-4-2)と海洋生分解性ポリエステル製モノフィラメント刺網(図 2-4-3)は、来年度、大分県と岡山県で漁獲の比較実験を実施する予定である。

3 摩耗試験

今年度は2種類の刺網を試作したが、刺網は海底の岩場に設置し、待機時又は揚網時に岩場に接触したり引っ掛かる場合もあることから、摩擦に対する耐性について検証する必要がある。そこで各種摩耗試験機等を使用した摩耗試験を実施した。

3-1 試験内容

本試験では、PLA糸(ユニチカ製)、海洋生分解性ポリエステル糸(帝人フロンティア製)と、従来型の化纖(ナイロン糸等)について、それぞれの試験片を摩耗試験機により摩擦を生じさせることにより、糸の耐摩強度を確認した。

試験に用いた糸は以下の表2-4-2のとおり。

表2-4-2 摩耗試験を行った糸

	片撚り糸	諸撚り糸	モノフィラメント
PLA	8号:3本撚り	250D/8	8号
生分解性ポリエステル	4号:6本撚り		4号
ナイロン	8号:3本撚り	210D/10	4号
ポリエステル	8号:3本撚り		8号
ポリエチレン		500D/9	730D

*片撚り糸とは、1本または2本以上の糸を引きそろえ撚りをかけたもの

*諸撚り糸とは、片撚りのかかった糸を2本以上引きそろえ、更に片撚りと反対方向の撚りをかけたもの

*試験を行った片撚り糸は、いずれも24号格とした(72T/m)。

片撚り糸



諸撚り糸



モノフィラメント



図2-4-4 糸の撚り方

3-2 摩耗試験の概要

試験は、岡山県工業技術センターで以下の設備を利用して、JIS 規格に準じた方法により行った。

【試験 1 屈曲法摩耗試験(切断試験)】

「カストム式織物摩耗試験機」(株大栄科学精器製作所)により屈曲法摩耗試験を実施した。

これは JIS L1096 に準拠した試験機で、主に織物や編み物を対象として、平面摩耗、折目摩耗、屈曲摩耗の各試験を行うことができる。

今回は、本機にて屈曲摩耗試験を行い、糸の間に金属製屈曲バーを挟み、屈曲バーが往復運動することで糸に摩擦を掛けることにより、糸の摩耗強度を測定した。

1 本の試験片が金属製屈曲バー部分での往復摩擦(往復距離 25 mm)により切断するまでの往復回数を計測した。摩擦速度は約 125 回/分とし、荷重は引張 0.907kg、押圧 0.45kg とした。

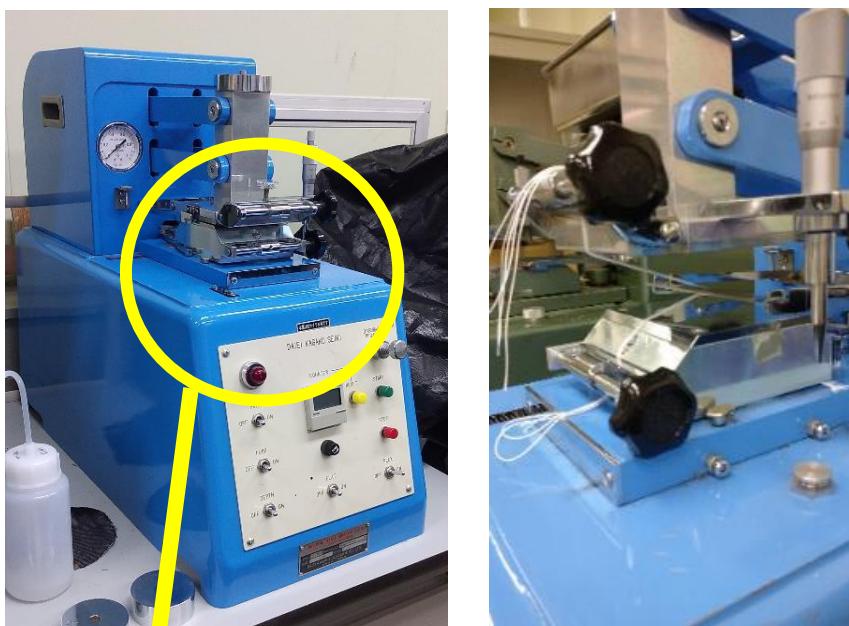


図 2-4-5(a) カストム式織物摩耗試験機(左:全体図、右:測定部拡大図)



図 2-4-5(b) 試験片屈曲部分



図 2-4-5(c) 屈曲バー

【試験 2 テーバ形法摩耗試験及び引張強度試験】

「No.101 テーバー式アブレーションテスター」(以下、テーバー式摩耗試験機と称する)を使用し、アルミナ質摩耗輪(砥石)による一定の表面摩擦を生じさせ、その後、摩耗後の試験片の引張強度を「オートグラフ 50kN」により測定し、摩耗前の引張強度と比較することにより、摩耗後の残存強度を確認した。

試験 2-1 テーバ形法摩耗試験では、テーバー式摩耗試験機の円盤に試験片を放射状に巻き付け、円盤が回転することで摩耗輪と試験片の間に摩擦が生じる形とした。摩擦速度は約 70 回/分の回転とし、摩耗輪は CS10、荷重は 0.5 kg とした。

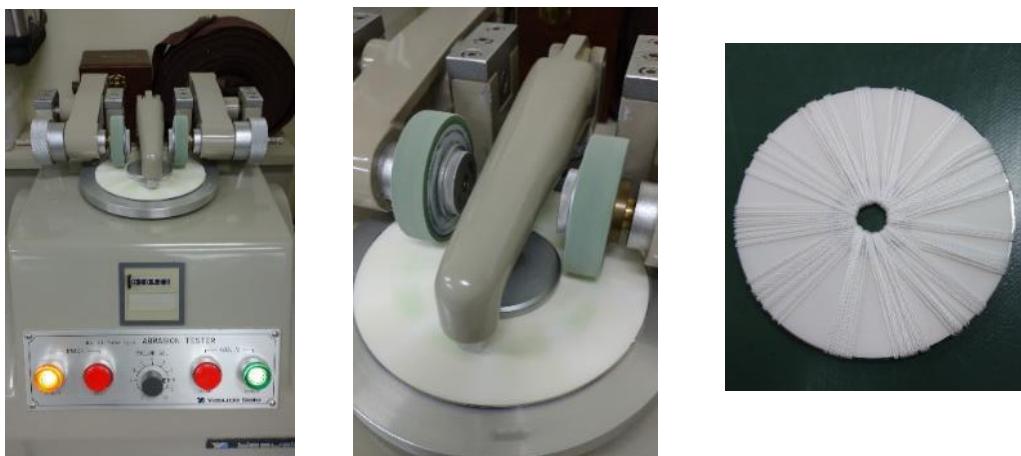


図 2-4-6 テーバー式摩耗試験機(左:本体、中:回転部分、右:試料例)

試験 2-2 引張強度試験を行うオートグラフ 50kN においては、試験 2-1 により 1 か所に摩耗が生じた試験片を用いて引張強度を測定した。摩擦回転数が 200 回転後、500 回転後それぞれの試験片について、引張間隔を 10cm として強度を測定し、摩耗前の強度と比較した。

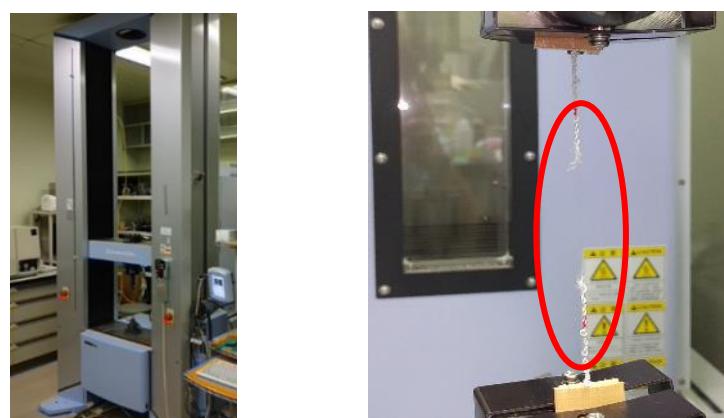


図 2-4-7 オートグラフ 50kN
(左:本体、右:引張強度試験により摩耗部分が切断した様子)

【試験 3 テーバ形法摩耗試験】

試験 2-1 のテーバ形法摩耗試験と同様の方法で、テーバー式摩耗試験機を使用してアルミナ質摩耗輪(砥石)により発生する摩擦によって、円盤に放射状に巻き付けた 1 本ずつの試験片が切断されるまでの回転数を計測した。

摩擦速度は約 70 回/分の回転とし、摩耗輪は H22、荷重は 0.5 kg とした。

4 試験結果

4-1 屈曲法摩耗試験

屈曲摩擦により試験片が切断するまでの往復摩擦回数の結果(10回の平均)を以下に示した。

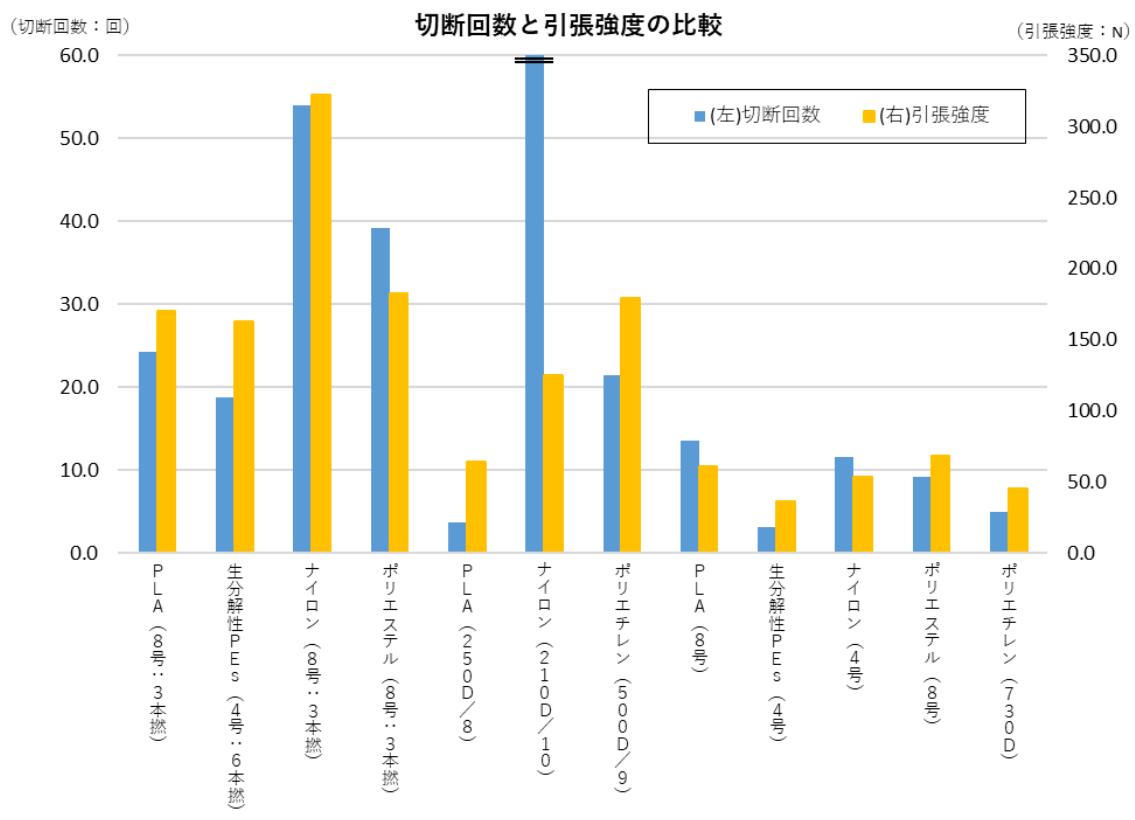
表 2-4-3 切断するまでの往復摩擦回数

糸の種類		切断回数		
PLA	片撚り糸	8号:3本撚り	24.2	
		4号:6本撚り	18.7	
		8号:3本撚り	54.0	
		8号:3本撚り	39.2	
PLA	諸撚り糸	250D/8	3.7	
		210D/10	814.7	
		500D/9	21.5	
PLA	モノフィラメント	8号	13.5	
		4号	3.1	
		4号	11.5	
		8号	9.2	
		730D	5.0	
生分解性ポリエステル				
ナイロン				
ポリエチレン				

糸の撚り方別(片撚り、諸撚り、モノフィラメント)で各糸を比較したところ、いずれにおいても PLA 糸と生分解性ポリエステル糸はナイロンなどの非生分解性糸に比べて切断に至る往復摩擦回数が概ね下回る結果となった(モノフィラメントについては号数(太さ)の違いを勘案)。

同じ糸について撚り加工した場合の切断回数をみると、モノフィラメントでは少ない回数で切断する糸においても、片撚りにすることで一定の摩耗強さが得られることがわかった。

それぞれの糸の切断回数と引張強度の比較を図 2-4-8 に示す。片撚り糸、諸撚り糸、モノフィラメントのどの糸の種類においても切断に至る往復回数が多い糸は引張強度も強く、概ね相関する傾向があることが確認できた。ただ、ナイロン諸撚り糸(210D/10)については、切断回数は 814.7 回と、他の糸と比較して極め強いが、一方で引張強度は 100.0N でそれほど強くないという、異なる挙動を示した。



図

2-4-8 切断回数と引張強度の比較

4-2 テーバ形法摩耗試験及び引張強度試験

テーバー式摩耗試験機により試験片に一定の表面摩擦を生じさせ、摩耗後の引張強度の結果(5回の平均)及び摩耗前と比較した残存強度率を表2-4-4に示す。

表2-4-4 摩擦で摩耗後の引張強度

(単位N)

糸の種類			0回転	200回転後	500回転後	500回転後の残存強度*
PLA	片撚り糸	8号:3本撚り	170.4	141.9	128.0	75.1%
		4号:6本撚り	163.0	149.5	138.8	85.2%
		8号:3本撚り	322.1	268.8	257.5	80.0%
		8号:3本撚り	182.5	146.8	142.8	78.3%
PLA	諸撚り糸	250D/8	64.1	41.6	33.7	52.6%
		210D/10	125.3	106.4	88.5	70.6%
		500D/9	179.0	163.3	137.8	77.0%
PLA 生分解性ポリエステル ナイロン ポリエチレン	モノフィラメント	8号	61.0	43.5	39.1	64.1%
		4号	36.3	31.8	27.6	76.0%
		4号	53.2	40.3	39.4	74.0%
		8号	68.6	55.1	52.6	76.6%
		730D	45.3	40.6	41.9	92.5%

*500回転後の残存強度：(500回転後の引張強度)÷(0回転時の引張強度)

ほぼ全ての糸が摩擦回転数に比例して引張強度が低下しており、500回転後においては摩耗前(0回転)と比べて平均で25%程度低下していた。

同じ糸について撚りの有無の観点で比較した場合、片撚り糸はモノフィラメントよりも残存強度が高くなる一方で、諸撚り糸はモノフィラメントよりも低くなる傾向となっている。また、撚り方別で各糸を比較した場合、PLA糸は残存強度が最も低下し、他の素材は大きな差異はみられなかった。モノフィラメントのポリエチレンについては摩耗後の引張強度にあまり変化はなかった。

4-3 テーバ形法摩擦試験

テーバー式摩擦試験機による摩擦により試験片が切斷するまでの摩擦回転数の結果を以下に示した。

表 2-4-5 試験片が切斷するまでの摩擦回数

糸の種類		摩擦回数	摩擦強度の比較	
PLA	片撚り糸			
生分解性ポリエステル		8号:3本撚り	125.8	
		4号:6本撚り	25.2%	
		8号:3本撚り	100%	
		8号:3本撚り	53.7%	
ナイロン	諸撚り糸	250D/8	12.6	
		210D/10	81.2	
		500D/9	130.2	
ポリエチレン		8号	110.6	
		4号	19.4	
		4号	76.4	
PLA	モノフィラメント	8号	152.0	
		730D	37.0	
生分解性ポリエステル		12.6	9.7%	
		81.2	62.4%	
		130.2	100%	
		37.0	24.3%	
ナイロン		72.8%		
ポリエチレン		12.8%		
ポリエチレン		50.3%		
PLA		100%		
ポリエチレン		72.8%		

PLA 糸や生分解性ポリエステル糸はナイロンなどの化繊糸に比べて切斷までの回転数が概ね下回る結果となっている。片撚り糸では、ナイロンの切斷回数を基準とした場合、生分解性ポリエステルの強度はナイロンの 25.2%、PLA は 27.1%と、いずれもナイロンの強度の 1/4 程度しかなかった。また、諸撚り糸では、ポリエチレンの切斷回数を基準とした場合、PLA はポリエチレンの強度の 9.7%に過ぎなかった。一方、モノフィラメントでは、ポリエチレンの切斷回数を基準とした場合、生分解性ポリエチレンの強度はポリエチレンの 12.8%しかなかったが、PLA は 72.8%もあり、ナイロンよりも高い強度を示した。糸の撚り方で比較すると、片撚り糸はモノフィラメントに比べて強い強度を示した。特に生分解性ポリエチレンとナイロン片撚り糸は、モノフィラメントに比べて、6 倍も高い強度を示した。

5 摩擦・引張試験結果のまとめ

【試験 1】屈曲法摩耗試験と【試験 2】テーバ形法摩耗試験でのいずれにおいても、PLA 糸と生分解性ポリエステル糸はナイロンなどの化纖糸に比べて摩擦に弱かった。また、各種糸の摩擦に対する強さは、各種糸の引張強度に比例する傾向があり、摩擦に強い糸は引張力にも強いことが判った。

また、モノフィラメントと片撚り糸の強度を比較すると、【試験 1】屈曲法摩耗試験と【試験 2】テーバ形法摩耗試験のいずれにおいても、片撚り糸の方がモノフィラメントより強度が高かった(表 2-4-3、表 2-4-5)。このことは摩擦後の引張試験でも同様であり、片撚り糸はモノフィラメントよりも残存強度率が高かった(表 2-4-4)。これらの結果から、摩擦に弱い糸であっても、その糸の特徴に応じた適度の撚り加工を施すことにより、摩擦に強い糸に変えることができる事が判った。

また、同じ糸でも屈曲法摩耗試験とテーバ形法摩耗試験で異なる結果(強度)が出ており、このことから糸に接する物体の質や摩擦方向(往復又は一方向)などの条件の違いによって、同じ糸であっても、強度が変化することが判った。また、糸によっては、摩擦熱の発生の有無・程度が、糸の強度に影響したとみられるものもあった。これらのことから、摩擦する物体の性質、摩擦の強さや速度、湿潤状況など複数の条件の組み合わせにより、同じ糸であっても、その強度は変化することが伺われた。

第2章のまとめ

【ア：ポリ乳酸(PLA)を用いたエコ FADs 用フロートの開発】

- 通常、FADs フロートは半年間～1年間使用する。令和6年11月、令和7年1月、同年3月初旬に放流した FADs は衛星ブイの受信が途絶えたため追跡できなくなった(盗難に遭った可能性もある)。現在、海上に残っている FADs は令和7年3月中・下旬に放流したもののみ。
- 遠隔で得られる漂移速度や衛星ブイのバッテリー残存量に係るデータを見る限り、放流後の FADs(後に追跡できなくなったものを含む)の浮力は減少していない(図 2-1-9)。このことを現物で確認するため、令和7年度は放流した FADs を回収する。

【イ：生分解性フロートカバーの開発】

- 「BIOFRONT(ビオフロント)」での試作実験は10月の実験開始以降、継続している。量産体制について検討する段階。

【ウ：PLA 牡蠣殻コンパウンドを主原料とした豆管生産のための基礎検討】

- 令和5年度に試作した牡蠣殻 10%PLA90%のまめ管を広島県と宮城県の漁業者に使用してもらったところ、使用できるという評価を受けた。
- 牡蠣殻 30%PLA70%のまめ管は試作できた。
- このまめ管を使用した場合の平均的な漁業者の費用負担は1経営体当たり 4,760 円/年(表 2-3-6)。
- 価格を更に下げるためには、豆管1個当たりに使用する原材料を減らす必要がある。具体的な方法としては、令和5年度の提案した製品の厚みを薄くする方法と、今回提案した PLA を発泡させ、製品の密度を下げる方法がある。また、価格の安い蛎殻の混入率を引き上げる方法や、これら3手法を組み合わせる方法もある。
- 海洋生物が生分解性プラスチックを誤食・誤飲した場合の挙動(消化の有無)を明らかにするため、カテーテル採取したバンドウイルカの胃液(37°Cに温度に維持)に PLA 製のまめ管を1週間浸漬させる実験を行ったが、まめ管の消化は確認されなかった。

【エ：流出した漁具による海洋生物などを軽減する漁網の開発】

- 生分解性ポリエステル製モノフィラメント刺網、PLA 製マルチフィラメント刺網の試作品で令和7年度に漁獲比較実験を実施する。
- 3種類の摩耗試験を実施した。

【試験 1 屈曲法摩耗試験(切断試験)】(表 2-4-3)

摩擦に強い糸は引張強度も強い傾向にある。

【試験 2 テーバ形法摩耗試験及び引張強度試験】(表 2-4-4)

500回転後の残存強度率は 25%程度低下した。

同じ撚り方の糸の中では PLA 糸の残存強度が最も低く、PLA 糸は摩擦に弱いことが判つた。

【試験 3 テーバ形法摩擦試験】(表 2-4-5)

PLA や生分解性ポリエステルはナイロン等の化繊糸に比べて摩擦に弱い。

同じ材質の糸でも片撚り糸はモノフィラメントより摩擦に強く、片撚りした生分解性ポリエステル糸とナイロン糸は、モノフィラメント糸の 6 倍も摩擦に強い。