

廃FRP漁船の炭化処理による魚礁化技術の開発

POSSIBILITY OF DISPOSAL SYSTEM OF WASTE FRP BOATS USING CARBONIZATION

明田定満¹・田中郁也²・持田 勲³・岡崎哲也⁴・内田秀和⁵・谷口秀樹⁶

Sadamitsu AKEDA, Ikuya TANAKA, Isao MOCHIDA, Tetsuya OKAZAKI,
Hidekazu UCHIDA and Hideki TANIGUCHI

¹正会員 (独)水産総合研究センター(〒314-0421 茨城県鹿島郡波崎町海老台)

²正会員 水産庁(〒100-8907 東京都千代田区霞が関1-2-1)

³非会員 工博 九州大学先端物質化学研究所(〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1)

⁴非会員 (社)海洋水産システム協会(〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-21-8秀和虎ノ門ビル)

⁵非会員 福岡県水産海洋技術センター(〒819-0165 福岡市西区今津1141-1)

⁶非会員 大分県産業科学技術センター(〒870-1117 大分市高江西1-4361-10)

The research and development on disposal of waste FRP boats have been carried out since around 1980's. Unfortunately, there has been no economically practical method. One of the main reasons is the difficulty of disposal due to their superior material properties. The common disposal system of waste FRP boats is dismantlement, incineration and reclamation. The suitable lands for reclamation have been exhausted. The immediate establishment of disposal system for waste FRP boats is an urgent social demand. This paper will report on the outline of Research & Development of disposal system of waste FRP boats using carbonization, for the solution of disposal problems of waste FRP boats, the enhancement of coastal fisheries resources and the improvement of water environment. Main issues are as follows. 1) Background and prospective view for disposal of waste FRP boats. 2) Carbonization of waste FRP boat. 3) Safety and functions of FRP carbide. 4) Economy of disposal of waste FRP boats using carbonization.

Key Words: Waste FRP fishing boat, disposal system, carbonization

1. 緒言

FRP(Fiber Reinforced Plastic)は、高強度、高耐久かつ軽量な材料であることから、小型漁船の船殻構造のFRP化は昭和40年代以降急速に普及し、昭和50-60年代には年間1万隻を超すFRP漁船が建造され、現在では登録漁船の9割以上を占めるとともに、30万隻を超える中小型漁船に使用されている。近年、老朽化し耐用年数の過ぎた廃FRP漁船の一部が河川や漁港に放置される等、FRP漁船の廃船処理の遅れは社会問題化、環境問題化しつつある。

従来より、FRP漁船の廃船処理対策として再燃料化(油化、ガス化)、再資源化(ガラスや樹脂の回収)が検討されてきたが¹⁾、材質が強靱かつ不溶である故に、経済的効率的な処理法が確立されておらず、解体破碎後に埋立処分する方法が一般的な処理法である。今後、老朽化し耐用年数の過ぎた廃FRP漁船が相当数発生

することが見込まれるが、埋立処分場の適地が無くなりつつある現状を鑑みると、廃FRP漁船の経済的効率的な処理システムの速やかな構築が要請されている。

FRP漁船の廃船処理が遅延する原因として、解体破碎後、埋立処分あるいは焼却するFRP漁船の廃船処理法は、①廃船の回収と解体場所への運搬、船体の解体、有価物や禁忌物の取り外し、解体片の破碎等に手間と費用を要すること、②廃船を処理する廃棄物処理施設(解体場所)が少ないこと、③埋立処分場の適地不足、等の理由から経済的効率的な方法とは言い難い。また、④廃船処理費の個人負担が重荷、⑤放置漁船の所有者の特定が困難等が指摘されている。さらに、⑥埋立処分量の減量化にはFRP破碎片の焼却が有効であるが、ガラス残滓による焼却炉の損傷も懸念されている。

2. 廃FRP漁船を再資源化し、漁場再生に役立てる試みが始まる

廃FRP漁船を魚礁材や水質浄化材として利用可能な炭化物に変換する炭化技術の研究開発が、九州大学先導物質化学研究所を中心に行われてきたが、実験段階に留まっており、実用段階に至っていない²⁾。そこで、(独)水産総合研究センターは、九州大学の協力を得ながら、FRP漁船の廃船処理問題を解決するとともに、沿岸漁業資源の維持保全や海域環境の改善に資することを目的に、廃FRP漁船を炭化処理して得られるFRP炭化材を、環境浄化機能を有する魚礁(藻礁)材や水質浄化材への再利用を目指す水産庁委託事業「廃FRP漁船高度利用技術開発事業(平成14-18年度)」を実施している³⁾⁴⁾⁵⁾。廃FRP漁船を漁業活動の中で再生利用する、所謂廃FRP漁船という漁業系廃棄物の“地産地消”を目指した研究である。

本研究の主要な研究項目は以下の通り。①FRP炭化炉の設計と整備、②廃FRP漁船の経済的効率的な炭化技術の開発、③FRP炭化材の安全性と機能性の確認、④FRP炭化材を用いた魚礁化の検討、⑤炭化処理によるFRP漁船の廃船処理法の経済性の検討等である。

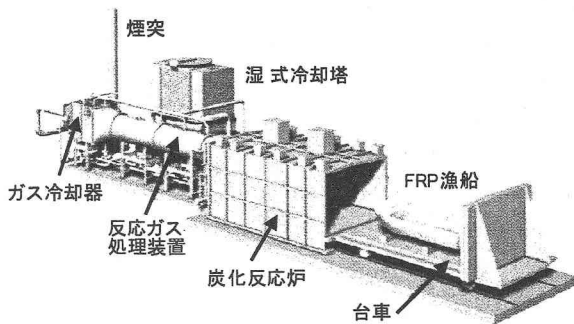


図-1 FRP炭化炉の外観

表-1 FRP炭化炉の操作条件

操 作	酸素濃度 (%)	昇温速度 (℃/h)	保持温度 (℃)	保持時間 (h)
炭化操作	0.1 以下 (注1)	10-50 以下	300-950	0.5-30
安定化操作 (必要に応じ)	0.1-20 (注1)	10-50 以下	100-300	
賦活操作 (必用に応じ)	賦活反応ガス (注2)		600-900	

注1) 不活性ガスにより炉内雰囲気置換

注2) 賦活反応ガス組成：水蒸気濃度 10-20 %または炭酸ガス濃度 10-20 %

3. FRP炭化炉の整備

FRP炭化炉は、実験段階のFRP炭化技術を事業炉規模に拡大発展させるために必要な設計データ、炭化炉の管理運用データを得ることを目的にして、財団法人福岡県環境保全公社リサイクル総合研究センター実証試験地(北九州市エコタウン内)に整備した。なお、FRP炭化炉は、全長5m未満の小型漁船を原型有姿で炭化

処理が可能、かつ、ダイオキシン類の発生防止を最大限考慮した設計を行った。

FRP炭化炉は、廃FRP漁船を炭化反応炉内(2.5mW×1.5mH×5.0mL)に収納し、不活性雰囲気下で廃FRP漁船を炭化処理する施設である(図-1)。FRP炭化炉の基本構成は、炭化反応炉を中心にガス供給装置(不活性ガス、不活性ガスと蒸気の混合からなる賦活反応ガス等)、炭化ガス及び賦活反応ガスを処理する処理装置及びこれら装置を連結する各種ガス配管、弁類より構成される。FRP炭化炉の操作条件を表-1に示す。



図-2 炭化時に自重で変形したFRP漁船
(FRP漁船5m級、船尾より見た状態)

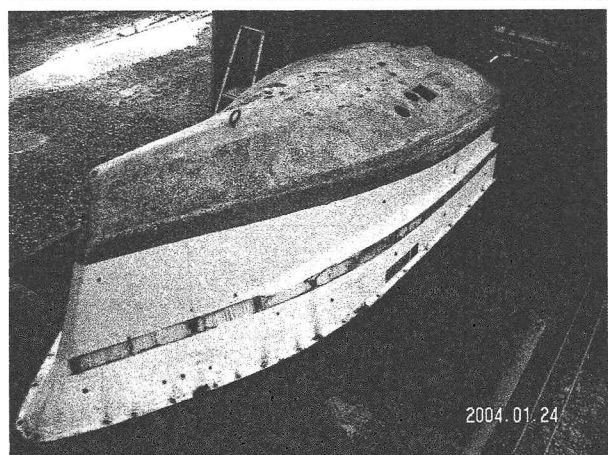


図-3 FRP漁船の炭化(炭化後(上)、炭化前(下))

4. FRP炭化技術の開発

(1) 廃FRP漁船を原形有姿で炭化できるか

炭化炉内を不活性雰囲気(炉内空気を窒素ガスで置換、ほぼ無酸素状態)下で、昇温速度50℃/時間、最高温度950℃で炭化处理したFRP漁船の外観を図-2に示す。FRP漁船の船殻を構成するFRPは、長年に渡る紫外線や海水の暴露による材質劣化が進んでいる場合が多い。そのため、廃FRP漁船を原型のままで炭化した場合、炭化時にFRPを構成するガラス繊維の融解収縮や積層剥離等が生じ易く、船殻が自重で変形し、炭化前の原型を保持できないことが分かった。そこで、炭化の前処理として、船殻内部を金具金網等で補強、または船体内部をモルタル塗布等で補強すれば、前処理の手間と費用を要するが、原型有姿の炭化が可能であることを確認した(図-3)。

(2) FRP解体片を大量に炭化できるか

廃FRP解体片を大量に炭化する場合、①廃FRP漁船の船殻を構成するFRPを10-50cm程度まで解体・破碎する必要があること、②炭化炉内に温度ムラが生じ易く、均質なFRP炭化材を得るには、炉内温度が安定するまで炭化時間を十分確保すること、③炭化炉内温度300-400℃において、FRPから可燃性ガスやタール分が気化噴出し易いこと、④廃FRP材のガラス含有率が高いほど、また廃FRPの曲げ強度が大きいほど、FRP炭化材の曲げ強度も大きくなること等、事業規模のFRP炭化炉の整備に向けて、設計、炉管理運用に必要な炭化条件等を明らかにした。

表-2 水底土砂のダイオキシン類濃度(pg-TEQ/g)

年度	平均値	濃度範囲	参考(海域の最低値のみ表示)
13	11	0.0120-540 地点数 368	洞海湾 24 豊前海 5.3 博多湾 1.1 筑前海 0.26 長崎有明海 5.8 長崎湾 15 佐世保湾 4.7 壱岐海域 1.0 西彼海域 1.1 五島海域 0.57 松浦海域 2.4 橘湾 2.7
14	14	0.0087-580 地点数 363	洞海湾 17 豊前海 3.7 博多湾 0.44 佐賀有明海 2.1 佐賀玄海 0.073 長崎湾 13 長崎有明海 3.6 西彼海域 3.4 大村湾 3.8 対馬海域 2.8 橘湾 1.5 五島海域 0.9 北松海域 4.2

(注)平成13-14年度ダイオキシン類に係る環境調査結果(環境省 HP)

(注)ダイオキシン類対策特別措置法

水底底質の環境基準 150pg-TEQ/g

陸域土壌の環境基準 1,000pg-TEQ/g

(注)海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律(海防法)

水底底質の溶出濃度の環境基準 10pg-TEQ/L

5. FRP炭化材は安全か

沿岸漁場の整備において、魚礁や水産動植物の増殖殖場造成に使用する構造物は、構造物の安全性、耐久性、機能性、経済性、実効性が確保される必要がある。特に、鋼材やコンクリート以外の材料を使用する場合、水質汚濁に係る環境基準を満足する材料であることが要請されている。そこで、FRP炭化材について、重金属等有害物質の溶出試験を行った結果、全ての分

析項目について不検出であったことから、FRP炭化材は水質汚濁の危険性の少ない材料であることが示唆された。

近年、陸域海域を問わず、ダイオキシン類汚染が危惧されていることから、万全を期する意味でFRP炭化材のダイオキシン類分析(含有試験)を行った。FRP炭化材のダイオキシン類濃度は、陸域の土砂(土壌)、海域の水底土砂の環境基準値より極めて低く、FRP炭化炉を設置した北九州沿岸域で最も清浄と思われる海域(例えば玄海、五島、壱岐、対馬等)の水底土砂に含まれるダイオキシン類濃度⁶⁾と比較しても1/100-1/10程度の0.065~0.21pg-TEQ/gであった(表-2)。

魚礁(藻礁)の構成材料であるFRP炭化材が、波浪や潮流あるいは漂砂の作用により摩耗剥離して、水底土砂と混在することが考えられるが、FRP炭化材のダイオキシン類濃度は水底底質に含まれるダイオキシン類濃度より遙かに低位であることから、魚礁材としてFRP炭化材を使用してもダイオキシン類汚染の危険性は少ないと判断された。

6. FRP炭化材は魚礁(藻礁)材として使えるか

(1) 構造材料として使えるか

FRP炭化材は、ガラス繊維の周囲に炭素が残留固着した状態であることから、その機械的特性はガラスに近い。そこで、FRP炭化材、構造用木材、ガラスの曲げ強度(MPa)を比較検討した結果、ガラス30-50、材料劣化の無いFRPの炭化材20、材料劣化の進んだFRPの炭化材7.5であった。代表的な構造用木材、例えばアカマツ36-118、クロマツ73-93、ヒノキ51-85、クリ45-80、スギ30-75であることから、曲げ強度は構造用木材>ガラス>FRP炭化材(劣化無)>FRP炭化材(劣化有)の順であった。

FRP炭化材を魚礁の構造物として使用する場合、炭化炉~仮置場~漁港ヤード~台船に至る移動時や設置時に、様々な物理的外力(振動、衝撃、衝突、落下、着地、積重ね等)を受けるため、それら物理的外力に耐え得るように、FRP炭化材の強度向上を図る必要がある。そこで、炭化处理の前段階として、炭化炉内温度が300℃になるまで、酸素雰囲気下(酸素濃度約9%)、安定化反応(樹脂内に酸素架橋反応を促進)を行うことで、FRP炭化材の曲げ強度を2-3倍程度に向上させることが出来た。しかしながら、廃FRPの炭化材の曲げ強度は、構造用木材より遙かに脆く、かつ、ガラスに近い脆性破壊を起こし易いことから、廃FRPの炭化材は魚礁の構造部材として使用するには強度不足と考えられた。

(2) 機能材料として使えるか

木質系炭化物である“炭”は、湿度調整材、脱臭材、有害物質吸着材、土壌改良材、水質浄化材等に幅広く利用されている。木質系炭化物の安定的大量な用途として、水質浄化を目的とした炭入りコンクリートブロックの

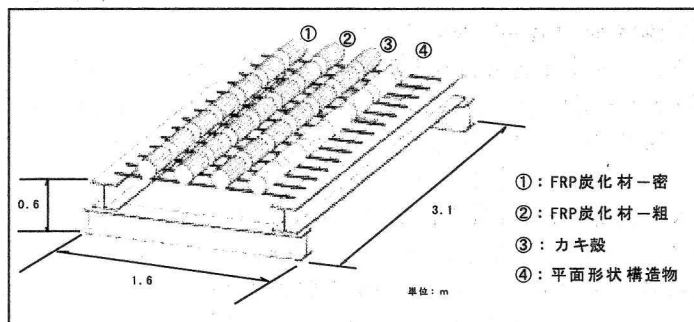
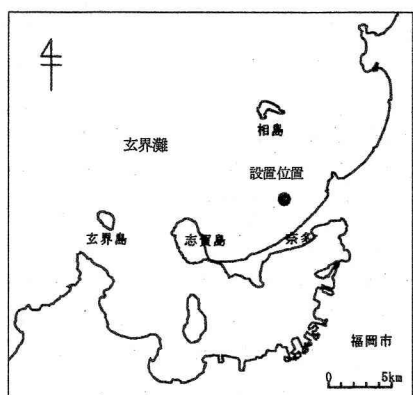


図-4 炭殻魚礁の実用化に向けた魚礁化試験(福岡市東区奈多地先)

試験礁は直径 15cm、長さ 30cm のメッシュパイプ内に FRP 炭化材(粗、密)を充填した部材(炭殻基質)、貝殻を充填した部材(貝殻基質)、同サイズのコンクリート円柱の4種類の基質(各13個)から構成される。試験礁周辺の魚介類蛸集状況について目視観察、水中ビデオ撮影、写真撮影を行った。基質への餌料生物の付着状況(種名、種類数、個体数、湿重量等)の分析を行った。

開発が行われ⁷⁾、藻礁への応用も試行されている。一方、炭素繊維を使った藻場造成や水質浄化実験が湖沼や海域で行われ⁸⁾、①炭素繊維は生物親和性に優れ、微生物や活性汚泥等を固着する機能を持つこと、炭素繊維に固着した微小生物群集が、②水質浄化機能を持つとともに、③餌料生物となり稚仔魚を蛸集する(魚礁効果)機能を持つこと等が明らかにされつつある。以上のことから、木質系炭化物“炭”や炭素繊維と同様に、FRP炭化材にも環境浄化機能と生物親和性が期待できることから、FRP炭化材を使った魚礁材の開発が期待されている。

7. 実海域での魚礁化試験

餌料培養型魚礁として実用化されている貝殻魚礁に着目し、貝殻の代用としてFRP炭化材を詰めた“炭殻”魚礁の実用化の可能性を検討するため、FRP炭化材を充填した基質(以下、炭殻基質)、貝殻を充填した基質(以下、貝殻基質)を、平成16年3月に福岡市東奈多地先の水深18-19mに設置した(図-4)。平成16年度以降、年3回(夏、秋、冬)、魚介類の蛸集状況、餌料生物の付着状況に関する比較試験を継続的に実施中であるが、本報告では夏季(8月)、秋季(10月)の結果のみ報告する。

(1) 魚介類の蛸集状況

炭殻基質、貝殻基質は、何れも平坦な海底に水平に設置されている。設置状況は良好であり、網掛かりや破損等も見られなかった。平成16年度夏季、秋季に出現した魚類は全体で11科17種であった。有用種としてはマハタ、イサキ、マダイ、カワハギ、ウマヅラハギ、コショウダイが観察された(図-5下)。その他魚類ではアイゴ、ホシササノハベラ、ホンベラ、キュウセン、サビハゼ、クロエリギンボ、ミノカサゴ、アミメハギ、ネンブツダイ、コロダイ、ニジギンボが観察された。魚類以外ではアオリイカの卵囊塊が見られた(図-5上)。基質設置場所が水深18-19mの浅海であるため、蛸集する魚介類は全長20cm以下の小型個体が大部分を占めており、特に夏季には全長5cm程度のイサキ幼魚、秋季にもほぼ同じ大きさのネンブツダイ幼魚が多数群れていた。基質設置場所に隣接する人工魚礁には、マアジやメバル等の魚種も観察されたが、基質の高さと広がりがある通常の魚礁に比べて極めて小さいため、蛸集個体の種類数が少なかった。

(2) 餌料生物の付着状況

炭殻魚礁の実用化には、貝殻魚礁の主要部材であ

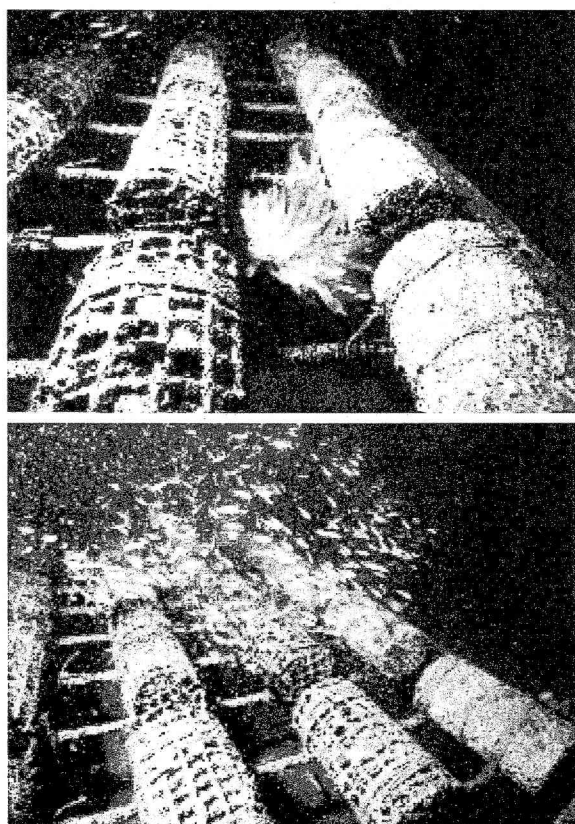


図-5 アオリイカ卵囊(上)魚類の蛸集(下)

る貝殻基質と同程度以上の餌料生物の付着特性を示すことが最低条件である。そこで、炭殻基質(以下、FRP炭化材の充填密度に応じてFRP密、FRP粗という)、貝殻基質(以下、貝殻という)、コンクリート円柱に対する餌料生物の付着状況を検討した(図-6)。

基質別の餌料生物の付着状況は、夏季には種類数は貝殻(32種)>FRP粗(28種)>FRP密(26種)>コンクリート円柱(14種)、個体数はコンクリート円柱>貝殻>FRP粗>FRP密、湿重量はFRP粗>貝殻>コンクリート円柱>FRP密であった。また、秋季には種類数はFRP粗(35種)>貝殻(34種)>FRP密(30種)>コンクリート円柱(15種)であった。個体数はFRP粗>FRP密>貝殻>コンクリート円柱、湿重量はコンクリート円柱>FRP粗>貝殻>FRP密であった。以上のことから、基質を設置して5ヶ月後の夏季及び7ヶ月後の秋季にはFRP粗、FRP密ともに、既存の魚礁材2種(貝殻、コンクリート円柱)に匹敵する餌料生物の付着状況が観察された。

基質表面や間隙内に生息するヨコエビ類、エビ類等の軟甲類、ゴカイ等の多毛類、端脚類、二枚貝類等餌料生物が豊富になることは、魚介類にとり好適餌料環境を提供することになる。コンクリート円柱はフジツボ類が優先して付着しているため、個体数や湿重量が多くなっているが、フジツボ類を直接餌料として利用する魚種(インダイ、カワハギ等)は少なく、また低利用であるため、その餌料価値は他の餌料生物と比較して劣ると思われる。今後も継続して餌料生物の付着状況、季節変動を比較検討する必要があるが、基質別の餌料生物の付着状況の評価として、FRP粗が夏季には貝殻に劣るものの、秋季には貝殻を上回り、最も餌料生物の付着機能が高い基質と考えられる。

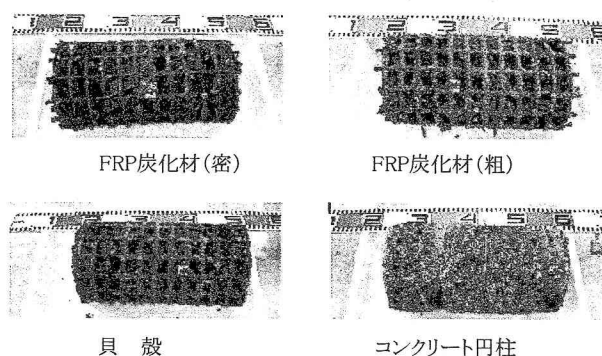


図-6 餌料生物の付着状況(秋季)

8. 炭化によるFRP漁船の廃船処理の経済性

プレジャーFRP船(以下、PB船)も含めたFRP船の廃船処理の流れを図-7に示す。FRP漁船の一般的な廃船処理法は、①解体破碎後に埋立処分であるが、循環型社会に合致した資源リサイクルとして、②セメント原燃料リサイクル(廃FRPの樹脂を助燃材、無機物を原料として利用)⁹⁾、③炭化処理リサイクル(廃FRPを炭化処理して、魚礁材、水質浄化材に再生)が提案されている。

そこで、上記3種類の廃船処理法を対象にして、廃船処理費を比較検討した。なお、廃船処理費の試算結果は試算条件の設定により、大きな差異が生じることに留意して載きたい。

(1)一般的な廃棄物処理(解体破碎後に埋立処分)

FRP漁船の廃船処理の多くは、解体場所までの運搬陸揚げを船主が行い、解体破碎等の中間処理、最終処分(安定型埋立地に埋立)は産業廃棄物処理業者に委託して処理される。FRP漁船の廃船処理実績によると、廃船処理費に占める中間処理、最終処分に要する費用が大きいため、総トン数1トン当たりの廃船処理費は、複数隻を同時に廃船処理しても、単独で廃船処理した場合と変わらない結果であった。FRP漁船の廃船処理費(実績)は漁船総トン数と相関が高く、約71千円/総トンであった。なお、廃船処理実績に基づき、工程別処理金額の費用内訳から推定した廃船処理費は約81千円/総トン、工程別作業時間、歩掛、単価から推定した廃船処理費は約76千円/総トンであった。

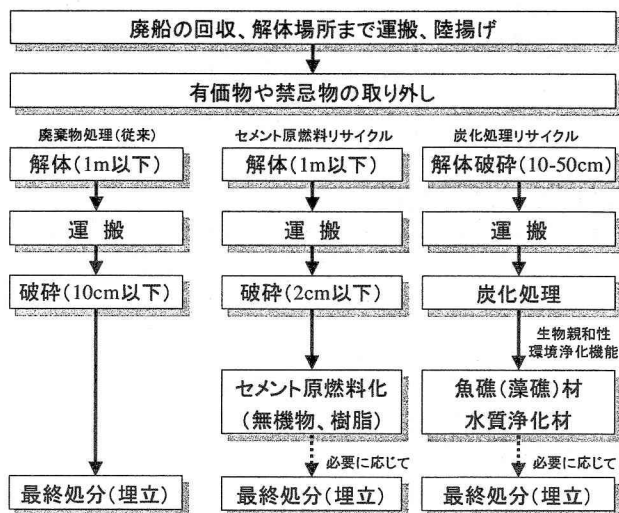


図-7 FRP船の廃船処理の流れ

(2)FRP船の材料構成

PB船とFRP漁船は船体構造や材料組成が異なる。PB船とFRP漁船の廃船処理費を比較するに当たり、解体分別後の材料組成比が廃船処理費の算定根拠の一つとなるため、PB船とFRP漁船の材料組成を調べた。FRPと金属は資源リサイクルに回るが、その他材料は埋立処分される場合が多い。ここで、FRP単板はFRPに、FRPサンドイッチ板はその他材料に分類される。

PB船の解体実験⁹⁾によると、解体分別後重量比で、FRP28%、金属19%、その他材料53%であり、機関舵廻りを含まない船体だけの解体分別の場合、FRP重量比は船外機船59%、船内機船45%であった。

20総トン以下の小型FRP漁船の平均的な船体重量は1,456kg/総トンであり、建造時の重量比でFRP45%、機関・舵廻り金属27%、その他金属9%、木材11%、その他材料8%と見積もられた。FRPサンドイッチ板が多量に

れるFRP漁船は解体後の分別が容易でなく、解体分別後、重量比はFRP29%、金属27%、その他材料44%となった。

(3)セメント原燃料リサイクル

1.35総トン漁船に相当すると考えられる6m級PB船の廃船処理費⁹⁾は、約47千円/隻と試算されている。総トン当たりの廃船処理費に換算すると約35千円/総トンとなる。一方、廃FRP漁船からFRPを解体分別し、セメント原燃料としてリサイクルする場合、廃船処理費は約69千円/総トンと見積もられた。

FRP漁船とPB船ではFRP積層や構造が異なるため、船長が同じで有れば、1隻当たりの実重量はFRP漁船がPB船の3倍近くなる場合もある。そこで、実重量当たりの廃船処理費を試算した結果、一般的な廃棄物処理では約52千円/重量トン、FRP漁船では約47千円/重量トン、PB船では約63千円/重量トンと試算された。

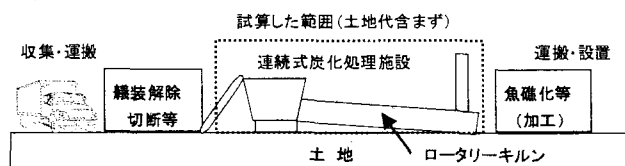


図-8 連続式炭化処理施設

(4)炭化処理リサイクル

FRP炭化炉の種類、能力、規模、立地等により、炭化処理リサイクルによる廃船処理費は大きく変化する。そこで、試算条件は、FRP炭化炉は連続炭化炉(図-8)、処理能力200kg/h、利用率70%(年間約260日24時間稼動)、耐用年数13年、人件費3500万円(@700万円5人、5直3交代)、燃料はA重油(消費量75L/h、40円/L)、電力(消費電力20KW、料金15円/KWh)、固定資産税率1.4%、修繕費は設備費の2%/年、諸費は設備費の0.2%/年、一般管理費は人件費の25%/年、金利2.1%、初期設備費1億円(土地購入は含まず)とした。上記試算条件に基づき試算されたFRP1トン当たりの炭化処理費は約67千円/トンとなった。

廃FRP船処理費の概算額は、①FRP解体片を炭化処理する場合、約59千円/総トン(最終処分、魚礁製作設置に要する費用は含まず)以上、②原型有姿で炭化処理する場合、約373千円/総トン(炭化処理、最終処分、魚礁製作設置に要する費用は含まず)以上と見積もられた。

9. 結論

FRP漁船の廃船処理技術の開発の一環として、廃FRP漁船を炭化処理したFRP炭化材を用いた魚礁化の検討を実施してきた。得られた主要成果は以下の通りである。

①FRP炭化炉の実証炉を設計し整備した。②廃FRP

漁船の原形有姿での炭化処理は可能(但し適切な補強が必要)。③FRP炭化材の水質汚濁、ダイオキシン類に対する安全性を確認した。④FRP炭化材は魚礁の構造物としては強度不足であるが、環境浄化機能を活用した魚礁機能材として可能性が示唆された。その機能は貝殻基質と同程度と推測された。⑤一般的な廃棄物処理、セメント原燃料リサイクル、炭化処理リサイクルのFRP船の廃船処理を対象にして、総トン当たりの廃船処理費、重量トン当たりの廃船処理費を概算することができた。なお、廃船処理費の試算結果は試算条件の設定により、大きな差異が生じることに留意する必要がある。

謝辞:

本報告は、水産庁委託事業「廃FRP漁船高度利用技術開発事業」の成果の一部である。成果の取り纏めに当たり、金沢工業大学金原勲教授を委員長とする技術開発推進委員会の委員各位から貴重な御助言、御指導を戴いた。また、水産庁並びに福岡県、長崎県、大分県等関係自治体、福岡県保健環境研究所、財団法人福岡県環境保全公社等の関係機関、関係諸氏から多大な協力を戴いた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1)FRP漁船研究会:FRP漁船研究会の廃船処理等の事業活動概要,FRP漁船,第245号,pp.17-20,2000.
- 2)谷口秀樹・持田 勲・光来要三・上村誠一:廃FRPの炭素化処理と藻場材料の開発,FRP漁船,第253号,pp.6-12,2001.
- 3)明田定満・高木伸雄・櫻井利彦・持田 勲:FRP漁船廃船処理技術の開発(1),平成15年度日本水産工学会学術講演会論文集,pp.191-192,2003.
- 4)明田定満・中尾芳美・持田 勲・谷口秀樹:FRP漁船廃船処理技術の開発(2),平成16年度日本水産工学会学術講演会論文集,pp.257-258,2004.
- 5)明田定満・持田 勲・上村誠一・谷口秀樹・櫻井利彦・下原孝章・内田秀和・中尾芳美・志水信弘・岡崎哲也:炭化処理によるFRP漁船廃船処理技術の開発,海洋水産エンジニアリング,第36号,pp.40-46,2004.
- 6)環境省:平成13-14年度ダイオキシン類に係る環境調査結果
<http://www.env.go.jp/air/report/h15-03/index.html>
<http://www.env.go.jp/air/report/h14-06/index.html>
- 7)土田大輔・中村融子・徳永隆司・世利桂一・倉富伸一:竹炭入りコンクリートによる水質浄化,福岡県保健環境研究所年報,第28号,pp.105-109,2001.
- 8)上野信平・松永育之・林 大・佐藤義夫・白石 稔・小島 昭:天然藻場修復のパイロットとしての炭素繊維人工藻場,平成14年度日本水産工学会学術講演会論文集,pp.109-112,2002.
- 9)国土交通省:FRP廃船高度リサイクルシステム構築プロジェクト平成15年度実施報告書,p.217,2004.