

FRP 廃船のセメント焼成による リサイクル技術に関する研究

秋山 繁*、林 慎也**、松岡 一祥**、勝又 健一**、
成瀬 健**、櫻井 昭男***、吉田紘二郎***、山根 健次***、
古谷 典一*、山内 信彦****、仲西 修司*****

Recycling Technology for Disused FRP Boats
in Cement Burning Process

by

Shigeru AKIYAMA, Shinya HAYASHI, Kazuyoshi MATSUOKA,
Kenichi KATSUMATA, Takeshi NARUSE, Akio SAKURAI,
Kojiro YOSHIDA, Kenji YAMANE, Noriyuki KOTANI,
Nobuhiko YAMAUCHI and Syuji NAKANISHI

Abstract

More than 45 years ago, Fiber Reinforced Plastics (FRP) was successfully applied to the main parts of small boat structures. At present the total amount of the disused FRP boats is estimated to be about 5,000 tons, that is to say 7,000-12,000 boats in total number, per year. They are, including the sunken boats, often unlawfully left on the river or at the port.

On the other hand, the concern in Japan for the recycling of waste materials has increased enormously in recent years. This is because the lack of the space for "landfill" has become serious, and the "Recycling Law" has been effective since 1993. Therefore, the treating and the recycling of the disused FRP boats are also the keen social issues.

Many investigations on disposal of the disused FRP boats were made in 1973 and the 1980s. As a result, several apparatuses for waste disposal or recycling were developed for disused FRP boats. However, they were not commercialized because of the high cost.

Since fiscal 2000, we have carried out the project named "Sophisticated Recycling System for Disused FRP Boats". We established the new recycling system for the crashed FRP pieces of disused FRP boats, which are used as fuel and raw materials in the cement burning process without any other residue. And the recycling plant was developed to mix FRP with recycling oil as moistener.

* 輸送高度化研究領域
** 環境・エネルギー研究領域
*** 大阪支所
**** (社)日本舟艇工業会

***** ヤマハ発動機販売(株)
原稿受付 平成 年 月 日
審査済 平成 年 月 日

目 次

1. まえがき	(6) FRP 破材等の重量
1.1. 背景と目的	(7) FRP 破材等の輸送
1.2. セメント焼成法の選定理由	(8) FRP 船解体費用・FRP 破材 運搬費用
1.3. 研究実施内容	4.2.4. 騒音計測
2. セメント会社の受入条件	4.2.5. 粉塵計測
2.1. 受入条件	4.3. 中間処理
2.2. 廃油混合の選定理由	4.3.1. 中間処理プラントの設置場所
2.3. FRP、混合物及び廃油の分析	4.3.2. FRP 船リサイクルプラント
2.3.1. 船用 FRP、混合物及び廃油の分析	4.3.3. FRP の破砕
(1) 発熱量・塩素量・水分・熱しゃく 減量の分析	4.3.4. ウレタン発泡材の分別
(2) 考察	4.3.5. FRP と廃油の混合
(3) まとめ	4.3.6. 製造物の搬出
2.3.2. 水上バイク用 FRP(SMC) の分析	4.3.7. 粉塵測定
3. FRP 廃材の発火特性	4.3.8. 騒音測定
3.1. 概要	4.3.9. 製造物の重量
3.2. 有機過酸化化物	4.4. セメント焼成
3.3. 実験方法	4.4.1. 実証試験の受入条件
3.3.1. 概要	4.4.2. セメント焼成試験
3.3.2. 供試材料	4.4.2.1. FRP 破砕物
3.3.3. 試料作製	4.4.2.2. 目標 15% 廃油混合率の混合物
3.3.4. 計測	4.4.2.3. 目標 17% 廃油混合率の混合物
3.4. 実験結果	4.4.3. セメント焼成試験の結果
3.5. 考察	5. まとめ
4. FRP 廃船のリサイクルシステム	謝辞
総合実証試験	参考文献
4.1. 概要	1. まえがき
4.2. FRP 廃船の収集～解体実証試験	1.1. 背景と目的
4.2.1. 試験地区	現在、世界は、限定の時代に突入し、あらゆる面 で厳しい制限が課せられるようになってきた。資源 消費においても例外ではなく、石油の枯渇、CO ₂ 増 加による地球温暖化、地球規模での環境汚染など多 くの問題が山積し、製品あるいは廃棄物のリデュース (発生抑制)・リユース(再使用)・リサイクル(再 資源化)、いわゆる 3R によって資源を有効利用し ようとする動きが活発化している。法制上では、平成 13 年から「循環型社会形成推進基本法」、「資源有 効利用促進法」(3R 法)が完全施行された。
4.2.2. FRP 廃船の収集	小型船舶・舟艇の構造材料として使用されている FRP(Fiber Reinforced Plastics、繊維強化プラス チック)は、耐食性、難吸水性、防虫性、水密性、 軽量等、優れた特性を有している。そのため、FRP は、昭和 30 年代後半から小型船舶・舟艇の構造材料 として一般化し、船大工の老齢化と後継者の養成難、 木材の枯渇等の条件が重なり、昭和 40 年代中頃から 急速に船舶用材としての使用が広がった。現在、プ レジャーボート及び漁船のほとんどが FRP 材により 建造されている。
(1) 一般募集	
(2) 自治体等の放置艇回収	
(3) 廃船データシート	
(4) 廃船の運搬	
(5) 収集廃船の種類	
(6) 収集廃船の一覧	
(7) 各地区の収集廃船集積状況	
(8) 収集廃船の船齢	
(9) 収集廃船のブランド	
(10) FRP 廃船の陸上輸送運搬費用	
(11) 沈船の運搬費用	
4.2.3. 廃船の解体	
(1) 解体場所	
(2) 解体用機械	
(3) 解体作業時間(全体)	
(4) 解体作業時間(詳細)	
(5) FRP 廃船の解体マニュアル	

FRP 船が実用化してから約 45 年以上経過し、初期に建造された FRP 船の廃船が発生している。FRP 船の耐用年数は、30～50 年と考えられており、建造隻数から単純に推定した廃船数は、年間 1 万隻に及ぶ。FRP 船は、ガラス繊維で強化されているので解体が難しく、処理経費がかさむため、海洋、港湾、及び河川等への放置や不法投棄が多発し、沈没船化等の社会的な問題になっている。

FRP 船は、不燃性のガラス繊維が層状に入っており、その分離が困難であることや、既存の廃棄物処理ルート（埋め立て、焼却、再利用）に乗せるためには、運搬及び処理可能な大きさに前処理しなければならない等、一般のプラスチック以上に処理が困難である。一般的に、FRP 廃船の解体方法と解体後の FRP 廃材の処理方法は、機械的切断（カッター、グラインダー、サンダー、丸鋸等）あるいは破碎（油圧プレス、ブルドーザー、バックホー、回転式剪断等）により小さくした後、焼却あるいは埋め立てを行う方法である。各手法は、それぞれ長所・短所があり、切断能力、安全性、作業性、及び経済性の全てを満足していないのが現状である^{1),2)}。

さらに、現在、廃棄物の 70%以上が焼却処分され、焼却灰を埋め立てて最終処分するなどの埋め立て処分量を減らす努力がなされているが、埋め立て処分場の枯渇が大きな問題になっている^{3),4)}。

関係官庁においても、昭和 48 年頃から法律の改正や委員会での検討を行ってきたが、経費の問題やリサイクルの困難さを解決できず、FRP 船の処理の実用化には至らなかった。

そのため、本研究は、国土交通省海事局船用工業課の委託を受けて、平成 12 年度から 15 年度まで、「FRP 廃船高度リサイクルシステム構築」をテーマとして調査研究を実施した。本研究では、FRP 廃船の収集、運搬、解体、中間処理のプロセスを経て、最終的に、FRP 破砕片をセメントの原燃料として利用するセメント焼成リサイクルシステムを構築した。また、セメント焼成可能な製品を製造するため、中間処理で FRP と廃油（再生油、以降、廃油と記す）の混合物を製造するリサイクルプラントを開発した。

本報告では、開発したリサイクルシステムの有効性を総合的に実証した平成 15 年度の成果を中心に述べることとする。

1.2. セメント焼成法の選定理由

船舶用 FRP は、不飽和ポリエステル樹脂 60%とガラス繊維 40%から構成された積層複合材料である。無機物質のガラス繊維は燃焼しないが、不飽和ポリエステル樹脂は 8,000kcal/kg と高い発熱量を有しており⁵⁾、FRP としては、4,000kcal/kg 程度の発熱量を有しているため、セメント焼成の燃料として使

用可能であると考えた。

また、ガラス繊維の主成分である Si、Ca 及び Al は、セメントの主成分である 5 元素（Si、Ca、Al、Fe 及び Mg）の内の 3 元素であることから、FRP は、セメントの原料として使用可能である。

従来、船舶用 FRP のリサイクル方法は、樹脂あるいはガラス繊維のいずれか一方をリサイクルする方法であった。しかし、セメント焼成に利用する場合は、樹脂は燃料として、ガラス繊維は原料として使用され、残渣のない再利用処理ができるため、FRP 廃船のリサイクル方法として極めて優れている。

1.3. 研究実施内容

平成 12 年度においては、セメント会社が提示した受入条件に適合した FRP 破砕物の製造を試み、製造した FRP 破砕物のセメント炉投入実験を行った。その結果、寸法、成分、塩素濃度、粉塵等について、セメント会社の受け入れ条件を満足する FRP と重油系廃白土 (SPS ペレット) の混合物の製造に成功し、セメント会社 2 社から受け入れ許可を得た。しかしながら、焼成実験に用いた混合物は少量であり、炉への影響については十分に調査できるまでには至らなかった⁵⁾。

平成 13 年度においては、セメント炉への影響やハンドリングの問題点を明らかにするため、実証試験を実施した。また、要素技術の開発のため、破砕機の刃の最適材料の検討及び FRP と発泡材との分離技術の検討を行った。さらに、FRP 船の処理経費の大部分を占める輸送経費を調査するため、廃船収集場所での解体を実施し、破砕場所での解体よりも経費が大幅に軽減できることが分かった⁶⁾。

平成 14 年度においては、FRP 廃船をセメント焼成用原燃料としてリサイクルする技術の問題点を解決するための要素技術開発を試み、FRP 船リサイクルプラントを製作して総合実証試験を実施した。また、破砕機の刃の最適材料として、DC53（冷間金型用鋼）と SKH51（JIS G 4403、モリブデン系高速度工具鋼）を選定した⁷⁾。

平成 15 年度は、平成 14 年度に開発した FRP 船リサイクルプラントを改造し、全国規模で FRP 廃船の収集・解体の実証試験を行い、FRP 破材の破碎、選別、調合及びセメント焼成に渡る総合実証試験を実施した。また、貯蔵時における FRP の発火特性について、実験・調査を行った⁸⁾。

2. セメント会社の受入条件

2.1. 受入条件

現在、我が国のセメント会社では、年間 7,000～8,000 万トンのセメントを製造しているが、その製

Table 2.2.1 混合物の評価結果

混合物	発熱量 (kcal/kg)	塩素濃度 (ppm)	水分 (wt%)	Ig. Loss (wt%)	評価結果
廃白土	3,170	33	10.6	43.7	発熱量が低いため使用不可
松脂	8,873	70	0.5	99.9	発熱量・塩素濃度とも申し分ないが、 粉塵の発生が激しく、使用不可
SN 炭	4,677	78	46.8	29.4	発熱量が低いため使用不可
SPS ペレット	6,888	41	25.1	46.1	混合物として使用

造に約 2,700 万トンの産業廃棄物が原料あるいは燃料として使用されている。セメントでの廃棄物利用原単位(セメント 1 トン当たりの廃棄物使用量)は、既に 361kg/ton に達し、セメント業界努力目標 400kg/ton に接近している。

一般的に、セメント会社がプラスチック廃棄物を受け入れる条件の目安は、以下のとおりである^{6),9)}。

- ① 破碎寸法が、20mm 角以下であること。
- ② 塩素及び重金属等有害成分 (Na_2O , SO_2 , Zn, Pb, Cr) 濃度が、制限値^{10),11)}以下であること。
- ③ 異物(金属、石等)の混入が無いこと。
- ④ 燃料として利用するためには発熱量が 5,000 kcal/kg 以上であること。
- ⑤ 粉塵、特にガラス繊維の飛散がないこと。
- ⑥ ハンドリングが良好であること。

特に、FRP の処理作業では、ガラス繊維の浮遊や粉塵が発生し、作業者の皮膚に付着するとチクチクとした痛みを感じるため、現場作業員から嫌われ、セメント会社から受入拒否をされていた。

2.2. 廃油混合の選定理由

セメント会社の受入条件「FRP 破砕片の発熱量が 5,000kcal/kg 以上であること」と「粉塵の飛散防止」を満足させるため、FRP 破砕片に高カロリーの廃棄物を混合することを考えた。

混合する物は、高カロリーで、FRP 破材が固形化しない程度の適度な粘性も有し、粉塵防止に優れたものが必要である。また、ダイオキシン^{12),13)}発生を防止するため、塩素濃度はできるだけ低い物を選定する必要がある。そのため、下記の 4 品目について検討 (Table 2.2.1) し、発熱量と粉塵発生防止の面から SPS ペレットを選択した⁴⁾。なお、Ig. Loss (Ignition Loss)は、熱しゃく減量を表す。

- ① 廃白土 (植物油が含浸した珪藻土)
- ② 松脂
- ③ SN 炭 (新日本ソルト㈱の商品名、未燃炭)
- ④ SPS ペレット (新日本ソルト㈱の商品名、SN 炭と A 重油の混合物)

FRP 破砕物に混合するものとして、平成 12 年度は、重油系廃白土 (SPS ペレット) を用いたが、FRP 破

Table 2.3.1 成分分析方法

分析項目	単位	分析方法
発熱量	kcal/kg	高圧酸素燃焼方式
塩素濃度	ppm	酸化電量滴定式
水分	wt%	加熱燃焼重量測定方式
Ig. Loss	wt%	強熱減量式
SO_3	wt%	イオンクロマトグラフ法
Na_2O	wt%	ICP 法
K_2O	wt%	ICP 法
R-Hg	wt%	昭 46 環告第 59 号付表 2 及び 昭 49 環告第 64 号付表 3
T-Hg	wt%	昭 46 環告第 59 号付表 1
有機 P	wt%	昭 49 環告第 64 号付表 1
Cr+6	wt%	JIS K 0102 65.2.1
CN	wt%	JIS K 0102 38.1.1 及び 38.3
PCB	wt%	昭 46 環告第 59 号付表 3
トリクロロエチレン	wt%	JIS K 0125 5.2
テトラクロロエチレン	wt%	JIS K 0125 5.2
Cd	wt%	ICP 法
Pb	wt%	ICP 法
As	wt%	吸光光度法
Zn	wt%	ICP 法
Cu	wt%	ICP 法
T-Cr	wt%	JIS K 0102 65.1
V	wt%	ICP 法
F	wt%	イオンクロマトグラフ法
Br	wt%	イオンクロマトグラフ法
Sb	wt%	ICP 法
Ti	wt%	ICP 法
Se	wt%	ICP 法
Ni	wt%	ICP 法
B	wt%	ICP 法
Sn	wt%	ICP 法
Zr	wt%	ICP 法
W	wt%	ICP 法
Mo	wt%	ICP 法

(注) <は、定量下限値未満を示す。

ICP 法: ICP 発光分析法(Inductively Coupled Plasma Emission Spectroscopy)

Table 2.3.2 平成12年度成分分析結果⁵⁾

分析項目	単位	FRP 廃船の FRP 破砕片	FRP 単板	ウレタンフォーム	塩ビフォーム	付着物 (貝)	SPS ペレット
発熱量	kcal/kg	2,882～3,838	4,481	5,413	5,690	105	6,888
塩素濃度	ppm	192～4,900	20	1,500	29,600	7,600	41
水分	wt%	1.9～27.5	1.5	74.0	7.8	1.7	23.0
Ig. Loss	wt%	59.2～62.0	65.5	99.7	96.4	45.2	51.5
SO ₃	wt%	0.05～0.48	0.75	0.2	1.7	0.23	2.52
Na ₂ O	wt%	0.12～0.45	0.11	<0.01	0.04	1.46	0.02
K ₂ O	wt%	0.17～0.26	0.2	<0.01	<0.01	0.51	0.02
R-Hg	wt%	<0.000002	<0.000001	<0.000001	<0.000001	<0.000001	<0.000002
T-Hg	wt%	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.000002
有機P	wt%	<0.0001	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.0001
Cr+6	wt%	検出不可	検出不可	検出不可	検出不可	検出不可	検出不可
CN	wt%	≤0.00062	<0.00001	0.00017	<0.00001	0.0011	<0.0001
PCB	wt%	<0.000004	<0.000004	<0.000004	<0.000004	<0.000004	<0.0000003
トリクロエチレン	wt%	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00003
テトラクロエチレン	wt%	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00001
Cd	wt%	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Pb	wt%	≤0.14	<0.01	<0.01	0.19	<0.01	0.01
As	wt%	≤0.002	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Zn	wt%	≤0.05	0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cu	wt%	0.02～0.06	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
T-Cr	wt%	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
V	wt%	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.66
F	wt%	0.10～0.21	0.16	0.03	0.05	<0.01	0.02
Br	wt%	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Sb	wt%	≤0.33	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.026
Ti	wt%	0.11～0.40	0.78	<0.01	<0.01	0.01	0.01
Se	wt%	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Ni	wt%	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.39
B	wt%	0.39～0.77	0.49	<0.01	<0.01	0.59	<0.01
Sn	wt%	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Zr	wt%	≤0.03	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
W	wt%	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
Mo	wt%	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

(注) <は、定量下限値未満を示す。

Table 2.3.3 平成 13 年度成分分析結果⁶⁾

分析項目	単位	FRP 破砕片	工場廃材(FRP)	廃白土	混合物(FRP+廃白土)
発熱量	kcal/kg	3,427～4,175	3,773～4,033	5,886	4,967
塩素濃度	ppm	498～600	68～204	631	333
水分	wt%	2.2～3.0	3.0	—	9.7
Ig. Loss	wt%	34.9～77.6	45.6	—	66.8
SO ₃	wt%	0.10～0.18	0.13～0.16	0.98	0.27
Na ₂ O	wt%	0.17～0.28	0.13～0.15	0.07	0.16
K ₂ O	wt%	0.13～0.18	0.08～0.1	0.17	0.13
R-Hg	wt%	<0.000002	<0.000002	<0.000002	<0.000002
T-Hg	wt%	<0.000002	<0.000002	<0.000002	<0.000002
有機 P	wt%	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Cr+6	wt%	検出不可	検出不可	検出不可	検出不可
CN	wt%	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
PCB	wt%	<0.0000003	<0.0000003	<0.0000003	<0.0000003
トリクロエチレン	wt%	<0.00003	<0.00003	0.00009	<0.00003
テトラクロエチレン	wt%	<0.00001	<0.00001	0.00003	<0.00001
Cd	wt%	≤0.002	<0.001	<0.001	<0.001
Pb	wt%	≤0.08	<0.01	0.02	0.01
As	wt%	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Zn	wt%	≤0.06	<0.01	0.16	0.02
Cu	wt%	≤0.02	<0.01	0.03	<0.01
T-Cr	wt%	≤0.02	<0.01	<0.01	<0.01
V	wt%	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
F	wt%	0.09～0.2	0.16～0.18	0.04	0.13
Br	wt%	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Sb	wt%	≤0.001	<0.001	0.003	0.002
Ti	wt%	0.19～0.31	0.35～0.79	0.09	0.61
Se	wt%	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Ni	wt%	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
B	wt%	0.48～0.78	0.47～0.50	0.02	0.41
Sn	wt%	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Zr	wt%	≤0.01	<0.01	<0.01	<0.01
W	wt%	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Mo	wt%	<0.01	<0.01	0.01	<0.01

(注) <は、定量下限値未満を示す。

Table 2.3.4 平成 14 年度成分分析結果⁷⁾

分析項目	単位	FRP 廃船の FRP 破砕片	混合物(7%)	混合物(12%)	混合物(17%)	廃油
発熱量	kcal/kg	4,322	4,494	5,195	5,035	9,846
塩素濃度	ppm	230	418	485	427	870
水分	wt%	4.6	7.2	10.1	9.8	—

(注) <は、定量下限値未満を示す。

Table 2.3.5 平成15年度成分分析結果⁸⁾

分析項目	単位	FRP 廃船の FRP 破碎片			混合物(7%)		混合物(12%)		混合物(15%)	混合物(17%)			廃油	水上バイク
		1 回目	2 回目	3 回目	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目	3 回目	1 回目	2 回目	3 回目		
発熱量	kcal/kg	4,282	3,801	3,952	5,195	4,315	5,293	4,834	4,658	5,276	5,104	4,538	10,316	2,106
塩素濃度	ppm	591	480	401	323	367	657	424	672	278	512	1,350	199	56
水分	wt%	5.0	3.7	2.7	6.2	5.9	6.5	7.3	8.4	6.8	8.3	13.1	—	1.4
Ig. Loss	wt%	69.0	64.8	63.9	68.7	66.4	68.9	67.6	67.8	66.7	69.0	66.0	—	39.1
SO ₃	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.02
Na ₂ O	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.37
K ₂ O	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.18
R-Hg	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	<0.000002
T-Hg	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	<0.00002
有機P	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	<0.001
Cr+6	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	検出不可
CN	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	<0.0001
PCB	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	<0.00003
トリクロロエチレン	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	<0.00003
テトラクロロエチレン	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	<0.00001
Cd	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	<0.01
Pb	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.01
As	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	<0.001
Zn	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.07
Cu	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	<0.01
T-Cr	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.028
V	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	<0.01
F	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05
Br	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	<0.01
Sb	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.01
Ti	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.30
Se	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	<0.01
Ni	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	<0.01
B	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.17
Sn	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	<0.01
Zr	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.07
W	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	<0.01
Mo	wt%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	<0.01

(注) <は、定量下限値未満を示す。

Table 2.3.6 平成12～15年度成分分析結果のまとめ

分析項目	単位	FRP 破砕片	工場廃材 (FRP)	混合物 (17%)	廃油	水上バイク	FRP 単板	ウレタンフォーム	塩ビフォーム	付着物 (貝)	SPS ベレット	廃白土	混合物 (FRP + 廃白土)
発熱量	kcal/kg	2,882～ 4,322	3,773～ 4,033	4,538～ 5,276	9,846～ 10,316	2,106	4,481	5,413	5,690	105	6,888	5,886	4,967
塩素濃度	ppm	192～4,900	68～204	278～1,350	199～870	56	20	1,500	29,600	7,600	41	631	333
水分	wt%	1.9～27.5	3.0	6.8～13.1	—	1.4	1.5	74.0	7.8	1.7	23.0	—	9.7
Ig. Loss I	wt%	34.9～77.6	45.6	66.0～69.0	—	39.1	65.5	99.7	96.4	45.2	51.5	—	66.8
SO ₃	wt%	0.05～0.48	0.13～0.16	—	—	0.02	0.75	0.2	1.7	0.23	2.52	0.98	0.27
Na ₂ O	wt%	0.12～0.45	0.13～0.15	—	—	0.37	0.11	<0.01	0.04	1.46	0.02	0.07	0.16
K ₂ O	wt%	0.13～0.26	0.08～0.1	—	—	0.18	0.2	<0.01	<0.01	0.51	0.02	0.17	0.13
R-Hg	wt%	<0.00002	<0.00002	—	—	<0.000002	<0.000001	<0.000001	<0.000001	<0.000001	<0.000002	<0.000002	<0.000002
T-Hg	wt%	<0.00002	<0.00002	—	—	<0.00002	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.000002	<0.000002	<0.000002
有機P	wt%	<0.0001	<0.0001	—	—	<0.001	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Cr+6	wt%	検出不可	検出不可	—	—	検出不可	検出不可	検出不可	検出不可	検出不可	検出不可	検出不可	検出不可
CN	wt%	<0.0001	<0.0001	—	—	<0.0001	<0.00001	0.00017	<0.00001	0.0011	<0.0001	<0.0001	<0.0001
PCB	wt%	<0.000004	<0.0000003	—	—	<0.00003	<0.000004	<0.000004	<0.000004	<0.000004	<0.0000003	<0.0000003	<0.0000003
トリクロエチレン	wt%	<0.00004	<0.00003	—	—	<0.00003	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00003	0.00009	<0.00003
テトラクロエチレン	wt%	<0.00004	<0.00001	—	—	<0.00001	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.00001	0.00003	<0.00001
Cd	wt%	≦0.002	<0.001	—	—	<0.01	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Pb	wt%	≦0.14	<0.01	—	—	0.01	<0.01	<0.01	0.19	<0.01	0.01	0.02	0.01
As	wt%	≦0.002	<0.001	—	—	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Zn	wt%	≦0.06	<0.01	—	—	0.07	0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.16	0.02
Cu	wt%	≦0.06	<0.01	—	—	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.03	<0.01
T-Cr	wt%	≦0.02	<0.01	—	—	0.028	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
V	wt%	<0.01	<0.01	—	—	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.66	<0.01	<0.01
F	wt%	0.09～0.21	0.16～0.18	—	—	0.05	0.16	0.03	0.05	<0.01	0.02	0.04	0.13
Br	wt%	<0.01	<0.01	—	—	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Sb	wt%	≦0.33	<0.001	—	—	0.01	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.026	0.003	0.002
Ti	wt%	0.11～0.40	0.35～0.79	—	—	0.30	0.78	<0.01	<0.01	0.01	0.01	0.09	0.61
Se	wt%	<0.01	<0.01	—	—	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Ni	wt%	<0.01	<0.01	—	—	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.39	<0.01	<0.01
B	wt%	0.39～0.78	0.47～0.50	—	—	0.17	0.49	<0.01	<0.01	0.59	<0.01	0.02	0.41
Sn	wt%	<0.01	<0.01	—	—	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Zr	wt%	≦0.03	<0.01	—	—	0.07	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
W	wt%	<0.01	<0.01	—	—	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01
Mo	wt%	<0.01	<0.01	—	—	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01

(注) <は、定量下限値未満を示す。

碎物の発熱量は、4,000kcal/kg 程度であり、セメント会社の発熱量要求値5,000 kcal/kg 以上を満足させるためには、発熱量 6,000kcal/kg 以上の廃白土が必要であった。ところが、発熱量 6,000kcal/kg 以上で、塩素濃度の低い廃白土を必要量入手することは難しいことが判明した。そのため、発熱量 6,000kcal/kg 以上で塩素濃度が低く、入手も容易で、FRP 破砕物と混合可能な廃油を代替物に選択した。

2.3. FRP、混合物及び廃油の分析

セメント会社の受入条件の確認のため、FRP、混合物及び廃油等の成分分析を行った。平成12年度から平成15年度に行った分析方法を Table 2.3.1、分

析結果を Table 2.3.2～Table 2.3.5、及び分析結果^{5)～8)}のまとめを Table 2.3.6にそれぞれ示す。なお、混合物(～%)の括弧内は、FRP に混合する廃油の混合率(wt%)である。

研究初期は、FRP 船の解体方法、解体物の分別方法、及び混合方法が確立していなかったため、平成14年度までの分析データは参考データと考え、以下に、リサイクルシステムを完成した平成15年度に行った分析について詳細説明する。

2.3.1. 船用 FRP、混合物及び廃油の分析

(1) 発熱量・塩素量・水分・熱しゃく減量の分析

①測定方法

Table 2.3.7 分析用測定機器及び試料重量

測定項目	測定方法	測定機器名	試料重量
発熱量	高圧酸素燃焼方式	島津製作所(株)製燃研式自動ボンベ熱量計 (型式 C A - 4 P J)	0.4g/検体
塩素量	酸化電量滴定式	三菱化学(株)製塩素量測定装置 (型式 T O X - 1 0 Σ)	10mg/検体
水分	加熱燃焼重量測定方式	(株)エー・アンド・ディ社製赤外線水分計 (型式 A D - 4 7 1 2)	10g/検体
Ig. Loss	強熱減量式	(株)いすゞ製作所マッフル炉 (型式 E T R - 1 1 K)	3g/検体

Table 2.3.8 第1回測定結果

試料分類		廃油	FRP 材	廃油添加 FRP 材			備考
処理元	破碎	—	○（海）	○（海）			〔凡例〕 (海)：海上技術安全研究所
	粉碎	—	なし	○（海）			
	混合	—	-	○（海）			
供試料 （油未混合）		—					
廃油添加比率		100%	0%	7%	12%	17%	
発熱量	kcal/kg	10,316	4,282	5,195	5,293	5,276	
塩素濃度	ppm	199	591	323	657	278	
水分	%	—	5.0	6.2	6.5	6.8	
Ig. Loss	%	—	69.0	68.7	68.9	66.7	

Table 2.3.9 第2回測定結果

試料分類		FRP 材	廃油添加 FRP 材				備考
処理元	破碎	○（海）	○（海）				〔凡例〕 (海)：海上技術安全研究所 (日)：日化スミエイト(株)
	粉碎	○（日）	○（日）				
	混合	-	○（日）				
供試料 (油未混合)							
廃油添加比率		0%	7%	12%	17%		
発熱量	kcal/kg	3,801	4,315	4,834	5,104		
塩素濃度	ppm	480	367	424	512		
水分	%	3.7	5.9	7.3	8.3		
Ig. Loss	%	64.8	66.4	67.6	69.0		

Table 2.3.10 第3回測定結果

試料分類		FRP 材	廃油添加 FRP 材		備考
処理元	破碎	○（海）	○（海）		〔凡例〕 (海)：海上技術安全研究所 (日)：日化スミエイト(株)
	粉碎	なし	なし		
	混合	－	○（海）		
供試料					
廃油添加比率		0%	15%	17%	
発熱量	kcal/kg	3,952	4,658	4,538	
塩素量	ppm	401	672	1,350	
水分	%	2.7	8.4	13.1	
Ig. Loss	%	63.9	67.8	66.0	

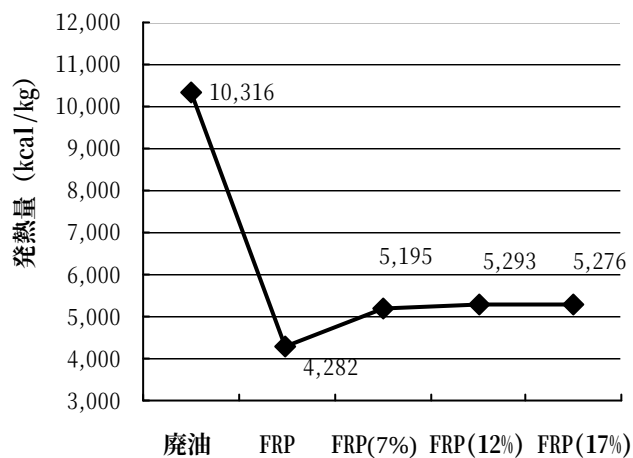


Fig.2.3.1 第1回発熱量測定結果

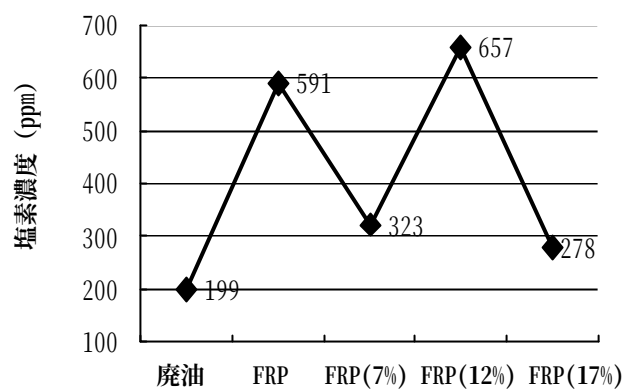


Fig.2.3.2 第1回塩素濃度測定結果

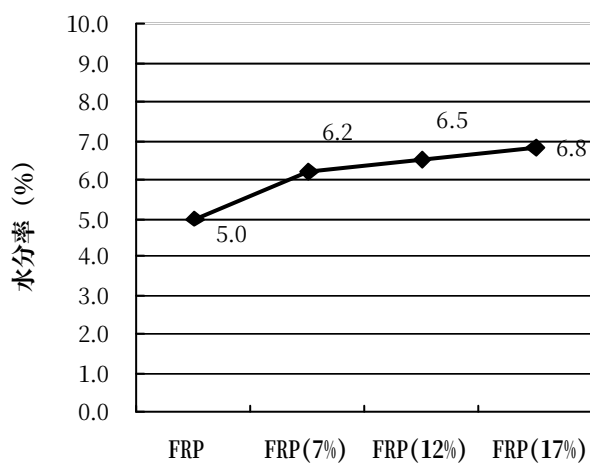


Fig.2.3.3 第1回水分率測定結果

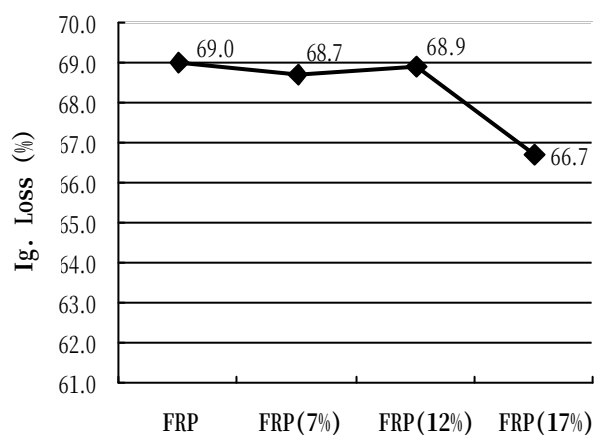


Fig.2.3.4 第1回 Ig. Loss 測定結果

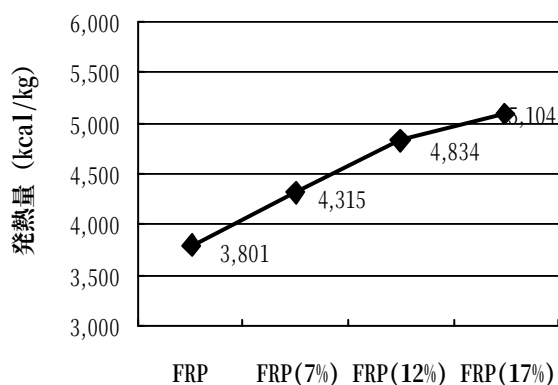


Fig.2.3.5 第2回発熱量測定結果

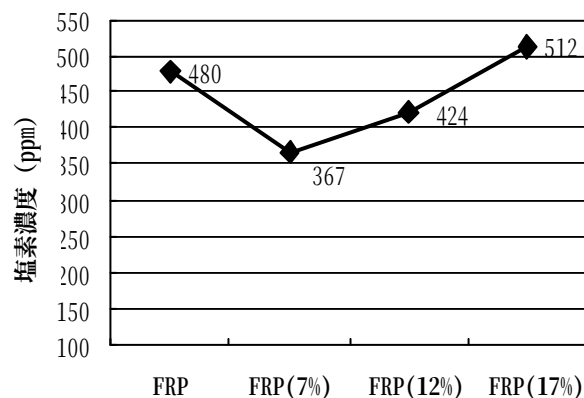


Fig.2.3.6 第2回塩素濃度測定結果

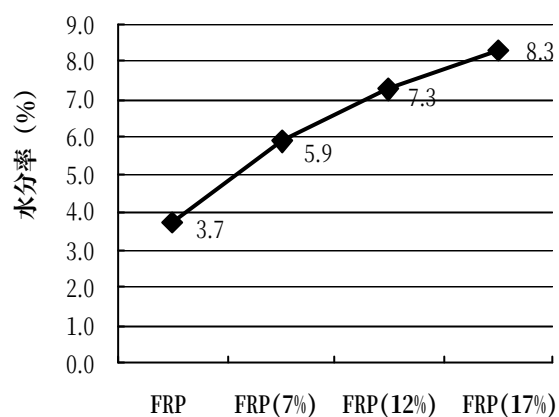


Fig.2.3.7 第2回水分率測定結果

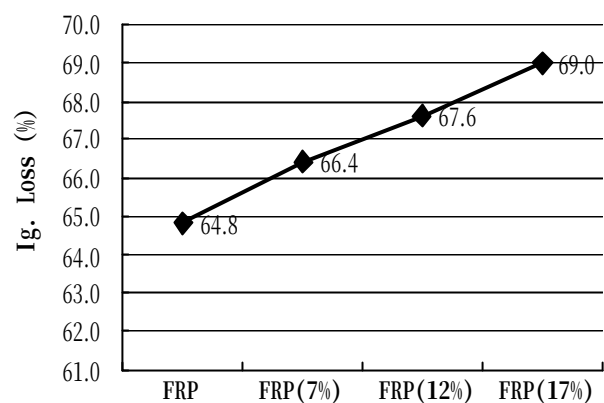


Fig.2.3.8 第2回 Ig. Loss 測定結果

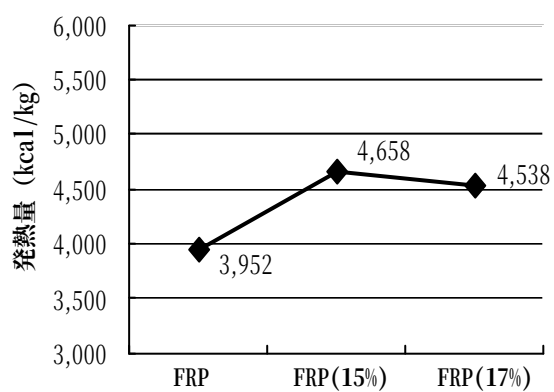


Fig.2.3.9 第3回発熱量測定結果

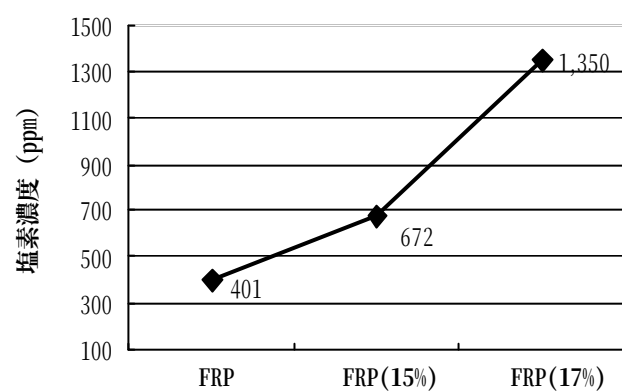


Fig.2.3.10 第3回塩素濃度測定結果

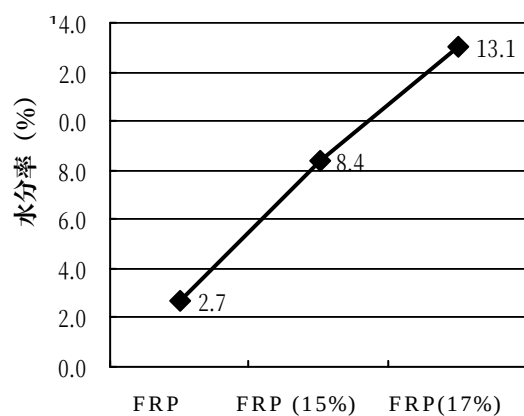


Fig.2.3.11 第3回水分率測定結果

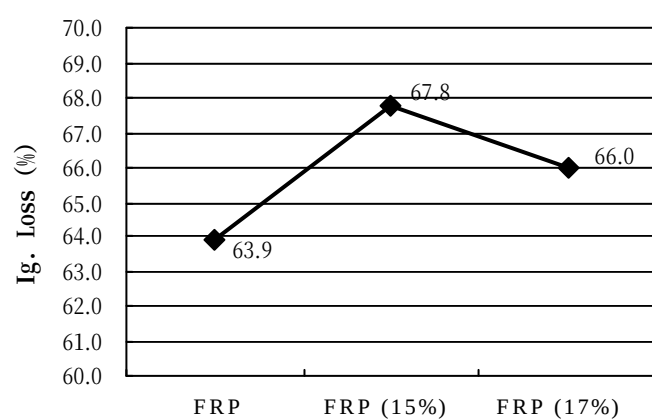


Fig.2.3.12 第3回 Ig. Loss 測定結果

実証試験に用いたFRP材及び廃油を用いて試料を作製し、各々発熱量・塩素濃度・水分・熱しゃく減量(Ignition Loss、Table及びFigではIg. Lossと表記)を分析した。Table 2.3.7に、これら分析に供した測定機器及び試料の重量を示す。

②測定結果

測定は、前処理仕様及び前処理元により、3回に分け実施した。第1回測定の結果をTable 2.3.8及びFig.2.3.1～Fig.2.3.4に、第2回測定の結果をTable 2.3.9及びFig.2.3.5～Fig.2.3.8に、第3回測定の結果をTable 2.3.10及びFig.2.3.9～Fig.2.3.12にそれぞれ示す。

(2) 考 察

①発熱量について

- i) FRP材の発熱量は、3回の測定結果では、最大4,282kcal/kg、最小3,801kcal/kgで、平均値は4,012kcal/kgであった。
- ii) FRP材に廃油を添加した場合の3回測定の平均発熱量は、Fig.2.3.13に示すようにFRP材単一に対して600kcal/kg以上増加する。ただし、廃油添加比率を上げても発熱量の直線的増加は見られず、ばらつきの多い結果となった。これは、下記により発熱量のばらつきが生じたと推定される。

(a) 測定用検体が0.4gと少量であることからサンプリング箇所のガラス繊維等無機分の含有量に影響された。

(b) FRP破砕品へ添加した廃油が、十分にFRPに浸透せず、サンプリング箇所によって発熱量のばらつきが生じた。

- iii) 粉砕処理したFRP材に廃油を添加したものの発熱量は、第2回測定の結果の項に示すFig.2.3.5のように直線性を示すデータが得られた。これは、FRP材が粉砕されたことにより、廃油の含浸性が向上し、廃油が均一分散した結果、発熱量のばらつきが減少したためと推察される。

②廃油無添加FRP材の塩素量と水分について

廃油を添加しないFRP材の塩素濃度と水分の関係についてみると、Fig.2.3.14に示すように水分が多いほど塩素量も増加傾向である。これは、水分が海水であるためと推察される。

(3) まとめ

本来、FRP単板の発熱量は、4,500kcal/kg程度であるが、平成12年度からの分析結果により3,000～4,280kcal/kgと低めの値が得られた。これは、破砕時の樹脂の飛散や長期間使用による加水分解が原因

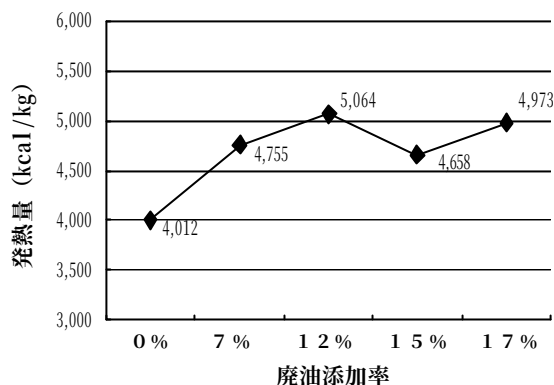


Fig.2.3.13 廃油添加FRP材の発熱量（総平均）

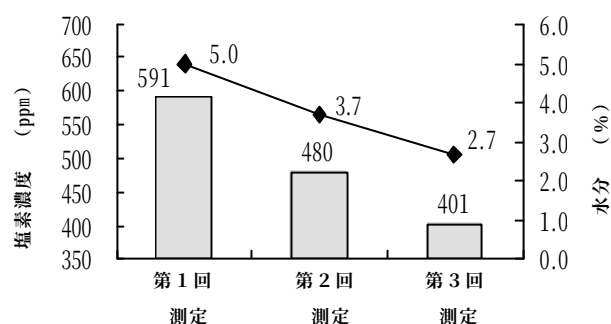


Fig.2.3.14 FRP材の塩素濃度と水分の関係

と推察される。そのため、FRPと廃油を混合して、発熱量の条件5,000kcal/kg以上を達成させようと試みた。廃油の混合比を7～20%まで変化させて分析した結果、かなりのばらつきがあったが、混合比約12%以上でほぼ発熱量の受入条件を満足していることが分かった。

2.3.2. 水上バイク用FRP(SMC)の分析

平成14年度までデータ不足により、水上バイクは、FRP船と区別し、対象外としていた。しかし、水上バイクも本システムで処理できないかとの社会的な要望があり、平成15年度、詳細な分析を行い、本リサイクルシステムで処理が可能か検討した。水上バイク用FRP材(SMC: Sheet Moulding Compound, 成形材料の一種)の分析の結果をTable 2.3.5に示す。FRP船のFRP材の分析結果と比較しても、特にセメント焼成に支障となる成分は含まれていない。また、Table 2.3.5に基づくセメント会社の評価においても、「水上バイク用FRP材(SMC)のセメント焼成は可能である。」との回答が得られた。従って、成分的には、水上バイクのFRPを本リサイクルシステムで処理することは可能であると考えられる。

3. FRP 廃材の発火特性

3.1. 概要

船舶用 FRP はガラス繊維と不飽和ポリエステル樹脂の複合材料である。成形の際、樹脂の硬化を促進するために硬化剤を使用するが、硬化剤の含有成分である有機過酸化物が樹脂と反応して硬化を促進する。成形が終わった FRP には、未反応の有機過酸化物が少量ではあるが残留している。この有機過酸化物は時間の経過とともに分解し、その際、酸化反応が生じると酸化熱が発生する。その熱が FRP 破砕物に籠もると温度上昇を生じて自然発火の原因となりかねない。酸化熱の発生量の度合いは破砕物の形状に依存し、表面積が大きくなれば分解量も増加し、熱量も大きくなる。すなわち、板状 FRP よりも FRP 破砕物のほうが有機過酸化物の分解の度合いが大きい。

FRP 廃船のリサイクル方法として、セメント焼成用の原燃料へのリサイクル技術の開発を行った。原燃料材料は、FRP を 20mm 角以下に破砕し、破砕物を廃油と混合して製造する。その混合物は最終使用までの間フレキシブルコンテナ（フレコン）等で保管するが、保管中に自然発火が生じることは絶対に避けなければならない。そこで、FRP 破砕物からの有機過酸化物の分解特性を確認し、自然発火防止のための基礎データを得るために実験を行った。

3.2. 有機過酸化物

不飽和ポリエステル樹脂などのラジカル硬化型熱硬化性樹脂の硬化剤として有機過酸化物が使用されている。硬化剤は常温硬化系、中温硬化系及び高温硬化系に分類される。一般に、船用 FRP に使用される有機過酸化物は、常温硬化系のメチルエチルケトンパーオキシド（MEKP: Methyl Ethyl Ketone Peroxide）であり、安全化のためにジメチルフタレートがジブチルフタレート等の可塑剤で活性酸素量 10%程度になるように希釈されている。

有機過酸化物は、過酸化水素「H-O-O-H」の誘導体で、過酸化水素の水素原子 1 個又は 2 個を、有機の遊離基（フリーラジカル）で置換した構造をしており、その分子内に過酸化結合「O-O」を持つことを特徴としている。ケトンパーオキシド類の化学構造式は、「H-OO-R-OO-H」であり、この過酸化結合は、他の結合、例えば「C-H」、「C-C」、「C-O」結合等に比べて結合エネルギーが小さく、熱や光により容易に分解し、遊離基を発生する。この遊離基は非常に反応性に富んでいるので、各種ビニルモノマーの重合開始剤、不飽和ポリエステル樹脂の硬化剤の他、熱可塑性プラスチックの架橋剤等、種々のラジカル反応の開始剤として使用されている。

この過酸化結合の分子中の濃度を表す場合、式(1)

で表される活性酸素量が用いられている。

$$\text{活性酸素量}(\%) = \frac{\text{過酸化結合の数} \times 16}{\text{分子量}} \times \text{純度}(\%) \quad (1)$$

上式を利用し、逆に、活性酸素量の測定値より、純度を知ることが出来る。

また、有機過酸化物は熱により徐々に分解する。その分解速度は温度の上昇により加速し、近似的に一次反応と考えてよく、その分解速度は式(2)によって表すことができる。

$$k = A \exp \left[-E/RT \right] \quad (2)$$

ここで、
 k：分解速度
 A：頻度因子
 E：活性化エネルギー
 R：気体定数
 T：絶対温度

3.3. 実験方法

3.3.1. 概要

FRP 破砕物等の有機過酸化物の残存量の変化を成形直後から 6 ヶ月後まで調べた。また、比較のため、廃油と混合した場合及び成形後 20 年経過した FRP 廃船の有機過酸化物の残存量を調査した。なお、成形に用いる硬化剤の添加量（樹脂に対する硬化剤の重量%）は基本的には通常の 1%としたが、一部比較のため 2%も試した。また、温度条件は常温（25℃）としたが、温度の影響を調べるため 10℃及び 40℃も試みた。

3.3.2. 供試材料

- ①樹脂：不飽和ポリエステル樹脂 日立化成製ポリセット 5595APT-M
- ②硬化剤：化薬アクゾ製カヤメック M（商品名）
- ③ガラス繊維：ロービングクロス（R） #570
 チョップドストランドマット（M）
 #450
- ④混合油：廃油
- ⑤FRP 廃船：船齢 20 年の FRP 廃船

3.3.3. 試料作製

計測実験に用いる破砕材は、(1)樹脂＋硬化剤、(2)樹脂＋硬化剤＋ガラス繊維、(3)樹脂＋硬化剤＋ガラス繊維＋廃油、(4) FRP 廃船、及び (5) FRP 廃船＋廃油の 5 種類であり、破砕はウエノテックス製一軸式破砕機 UC-130（スクリーン 20mm）で実施した。

- ①樹脂＋硬化剤：保存温度 25℃

作製方法：樹脂と硬化剤(添加量1%)を混合し硬化させる。常温硬化後破碎し、試料とした。

- ②樹脂+硬化剤+ガラス繊維：保存温度10℃、25℃及び40℃

作製方法：ガラス繊維をMRMRMM(M: チョップドストランドマット, R: ロービングクロス)に積層し、硬化剤(添加量1%及び2%)を混合した樹脂により成形する。ガラス含有率は40%とする。常温硬化後、破碎し試料とした。

- ③樹脂+硬化剤+ガラス繊維+廃油：保存温度25℃

作製方法：ガラス繊維をMRMRMMに積層し、硬化剤(添加量1%)を混合した樹脂により成形する。ガラス含有率は40%とし、常温硬化後、破碎してから15wt%の廃油と混合した。

- ④FRP 廃船：保存温度25℃

作製方法：船齢20年のFRP船を破碎した。

- ⑤FRP 廃船+廃油：保存温度25℃

作製方法：船齢20年のFRP船を破碎した後、15wt%の廃油と混合した。

3.3.4. 計測

有機過酸化物の残留量の計測は80℃環流法(ヨード滴定法)により実施した。その手順は以下のとおりである。なお、有機過酸化物の残存量は、式(3)の活性酸素量(%)で表される。

- ①FRPサンプルを5mm以下に粉碎する。
- ②2.0～2.5gを200ml 共栓付三角フラスコ中に精秤する。
- ③クロロホルム25mlを加えて15時間以上常温暗室にて抽出する。
- ④イソプロピルアルコール/メタノール混合溶剤30ml、氷酢酸2mlを加えよく振り混ぜる。
- ⑤よう化カリウム飽和溶液2mlを加えて振り混ぜる。
- ⑥このフラスコに還流冷却器をセットし、80℃の恒温水槽に浸けて15分間加温する。
- ⑦加温後、恒温水槽からフラスコを取り出し、常温になるまで放冷した後、蒸留水50mlを加えて、0.1N チオ硫酸ナトリウム規定液で滴定する。
- ⑧滴定は電位差自動滴定装置による自動で行う。
- ⑨別に同一条件でブランク測定を行う。
- ⑩活性酸素量は式(3)により計算する。

$$\text{活性酸素量} = \frac{(\text{滴定} - \text{ブランク}) \times F \times 0.08}{\text{試料重量}} \quad (3)$$

ここに、活性酸素量は%、滴定及びブランクはml、試料重量はgの単位で表され、Fは0.1N チオ硫

酸ナトリウム規定液の力価である。

3.4. 実験結果

当初の活性酸素量の理論値はFig.3.4.1に示すが、硬化剤添加量1%及び2%の場合、それぞれ0.06%及び0.12%である。活性酸素量の経時変化をFig.3.4.1に、有機過酸化物の残留量をTable 3.4.1に示す。FRP船のFRP成形に使用される硬化剤に含まれる有機過酸化物は、約10%の活性酸素が含まれている。そのため、残留有機過酸化物量は、式(3)で求めた活性酸素量の約10倍である。また、20年経過した実廃船の活性酸素量をFig.3.4.1に示す。有機過酸化物の残留量へのガラス繊維及び廃油の影響結果は、Table 3.4.2に示す。

3.5. 考察

硬化剤に含有している活性酸素は、成形後1週間で含有量のほぼ半分以上が分解する。有機過酸化物の分解速度は温度上昇に伴い加速するので、保存温度が10℃の場合に比べて常温(25℃)及び40℃での方が分解量ははるかに多く、成形後1週間で25℃では活性酸素の約2/3、40℃では3/4以上が分解する。成形後6ヶ月も経つと残留量も少なくなり、分解の絶対量も極めて少ない。

FRP船は通常15年～30年間使用された後廃棄処分される。製造後20年経過したFRPの活性酸素量は、0.005%に過ぎない。このFRPを廃棄処分(あるいはリサイクル)するために破碎し、500kgの破碎物あるいは廃油15%の混合物をフレコンに入れて保管した場合、残留有機過酸化物量はそれぞれ250g(0.05%)と400g(0.08%)となる。この程度の有機過酸化物だけで、直接自然発火するほどの温度上昇は考えにくいし、自然発火の前例もない。成形後20年経過したFRPの自然発火については、有機過酸化物の残留値からは危険性はほとんどないと考えられる。

しかし、FRPの廃材は廃船からだけではなく、全体の5%程度と量は少ないが、工場での製造時にも発生する。これらの廃材は、通常一定量が溜まるまでストックヤードに入れられる。この期間は少なくとも1週間以上であり、一定量になり次第廃棄処分される。硬化剤1%、25℃の条件で、成形1週間後に破碎したFRP破碎物500kgをフレコンへ入れて保管する場合、残留有機過酸化物量はフレコン投入直後1,300g(0.26%)となる。成形1週間後に破碎し、FRPの工場内で発生した廃材の残留有機化合物量は、絶対量として危険性は少ないと考えられるが、20年経過の物に比べて約5倍となる。従って、工場内で発生したFRPを破碎する必要がある場合には、成形からできるだけ長い期間経過後、破碎することが望ましい。この量が自然発火するほどの温度上昇に結びつか

否かの実証は今後の課題ではある。

なお、廃油の影響については、廃油の成分に大きく作用されるので十分注意する必要があるが、殆ど影響はないと推察する。

一般に物質が発火する条件は、物質の温度がその発火点まで上昇するか、あるいは引火点まで上昇した物質に着火源が接触する場合である。温度上昇する条件に関係する事象としては、未硬化物質(残留有機過酸化物)の存在の他、直射日光による温度上昇あるいは

鉄錆の混入による分解熱の上昇が上げられる。また、着火源としては主に摩擦等による静電気が考えられる。従って、発火防止対策としては、破碎物中への鉄類の混入を避けるとともに、直射日光が当たる場所での保管を避けることも必要である。参考のために示すと、カメヤックⅢと不飽和ポリエステル樹脂中の揮発性物質のスチレンの発火点はそれぞれ176℃と490℃、引火点はそれぞれ72℃と32℃である。

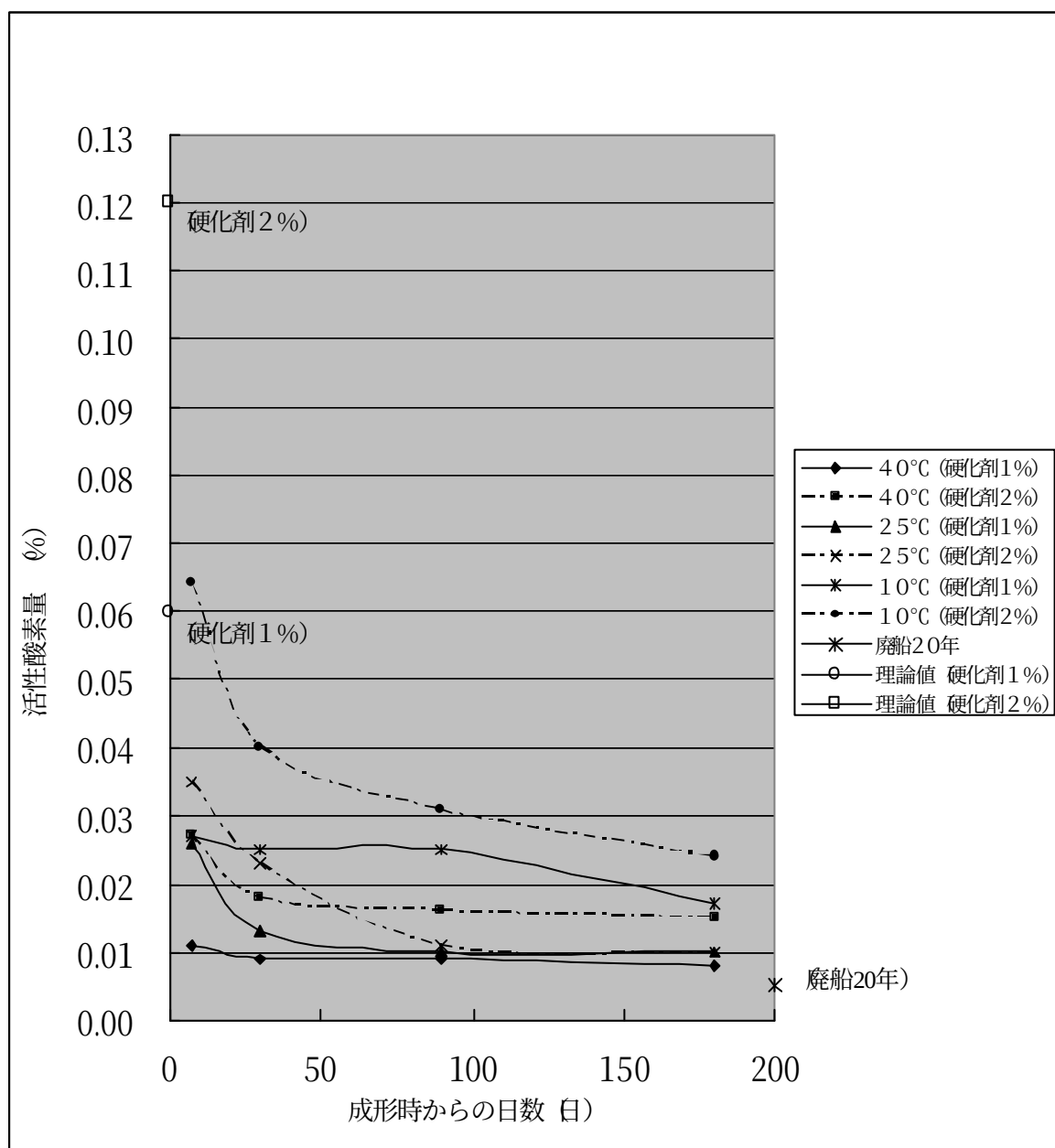


Fig.3.4.1 FRPの活性酸素量の経時変化

Table 3.4.1 残留有機過酸化物量の経時変化

硬化剤 (%)	保存 温度 (°C)	残留有機過酸化物量 (%)			
		成形後 1週間後	成形後 1ヶ月後	成形後 3ヶ月後	成形後 6ヶ月後
1	10	0.27	0.25	0.25	0.17
	25	0.26	0.13	0.10	0.01
	40	0.11	0.09	0.09	0.08
2	10	0.64	0.40	0.31	0.24
	25	0.35	0.23	0.11	0.10
	40	0.27	0.18	0.16	0.15

Table 3.4.2 成形1週間後のFRP及び船齢20年FRP廃船の活性酸素量

	FRP 成形後1週間			船齢20年廃船	
	樹脂 100%	樹脂 60% ガラス繊維 40%	樹脂 51% ガラス繊維 34% 廃油 15%	廃船破砕物 100%	廃船破砕物 85% 廃油 15%
活性酸素量 (%)	0.037	0.017	0.017	0.005	0.008

4. FRP 廃船のリサイクルシステム総合実証試験

4.1. 概要

国土交通省で実施してきた「FRP 廃船高度リサイクルシステム構築プロジェクト」における「FRP 廃船リサイクルシステム総合実証試験」は、FRP 廃船の収集、保管、解体、輸送、中間処理を経て、最終的にセメント焼成を行うシステムの有効性を確認するものであり、その概要をFig.4.1.1に示す。

平成14年度では、全国4ヶ所の解体場所を選定し、開発したリサイクルプラントをセメント会社に設置してFRPと廃油の混合物を製造し、セメント焼成試験を行った。平成15年度においては、FRP 廃船の収集・解体場所を7ヶ所に増やした。また、中間処理場に改良したリサイクルプラントを設置して混合物を製造し、セメント会社へ搬送してセメント焼成試

験を行った。

本リサイクルシステムは、平成12年度から開発してきた技術を駆使して平成15年度に完成させたものである。これ以降、平成15年度の総合実証試験の成果を報告するものとし、必要に応じて平成14年度以前の成果を述べるものとする。

4.2. FRP 廃船の収集～解体実証試験

試験の目的は、次の2項目である。

- ①FRP 船のリサイクル技術試験のための試験材料を収集する。
- ②FRP 廃船処理システムを構築するための検証データを収集する。

試験の概要は、以下のとおりである。

- ①全国7ヶ所に試験地区を設定し、地区毎に解体試験を実施した。

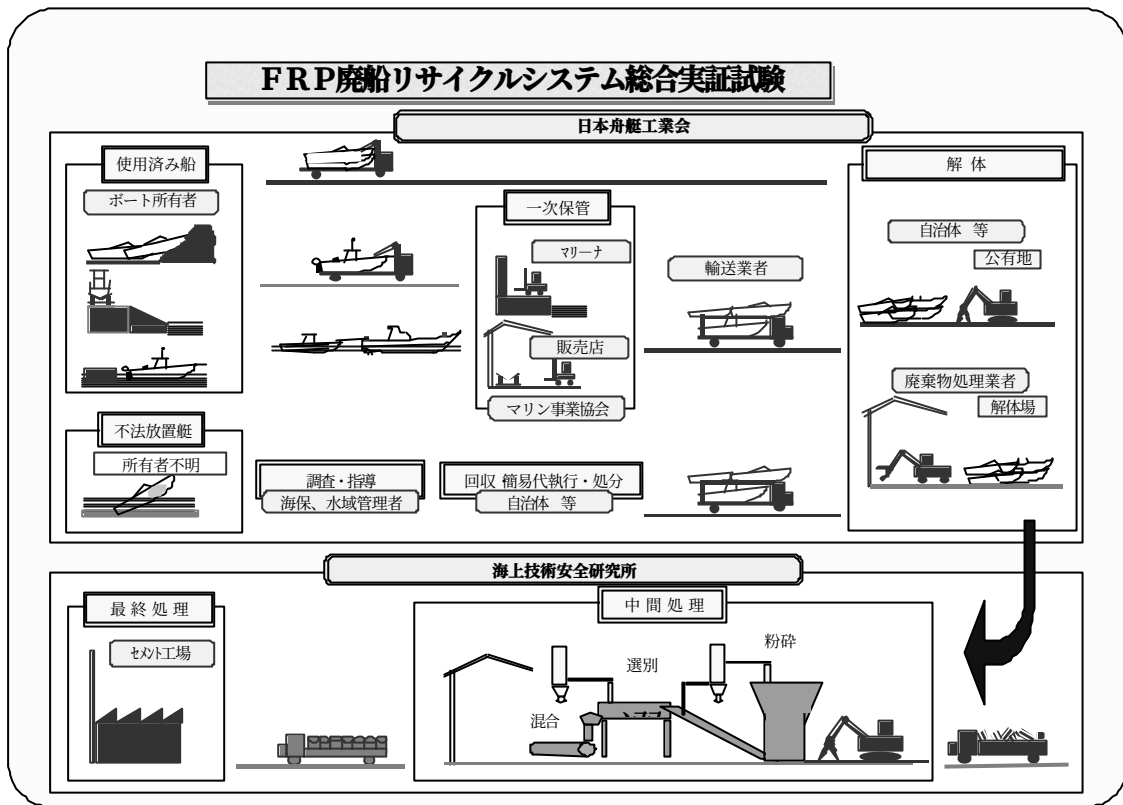


Fig.4.1.1 FRP 廃船リサイクルシステム総合実証試験

- ②自治体等の回収廃船及び一般募集による使用済み船を試験対象とした。
- ③自治体等の公有地及び廃棄物業者の作業場を解体場所とした。
- ④検証データとして、廃船データ、処理コストデータ等を収集した。

4.2.1. 試験地区

試験地区は、全国で7ヶ所選定し、解体試験を実施した。その内、継続の地区が3ヶ所（静岡、広島東、広島西）、新規の地区が4ヶ所（千葉、兵庫、四国、九州）であった。Table 4.2.1 に試験地区の一覧を示す。

試験地区の選定にあたっては、以下の3点が判明した。

- ①廃船処理の必要度・緊急度・理解度には地域差がある。
- ②解体業者の選定に、県の産廃協会の紹介を受けるのも一つの方法である。
- ③解体業者の作業場での廃船解体は、実効性、即効性がある。

4.2.2. FRP 廃船の収集

FRP 廃船の収集は、次の方法で実施した。

(1) 一般募集

一般募集は、以下のように行った。

- ①一般告知募集（一部地区リーフレットのばら撒き）
- ②マリン事業者団体からの募集
- ③国土交通省ホームページよりの一般募集
広島県では、「広島県廃船処理対策協議会」において廃船募集のリーフレット（Fig.4.2.1）を作成して、廃船の一般募集を呼びかけた。その他、千葉県・静岡県・兵庫県・四国のエリアでも、地区のマリン事業協会等を通じ、又国土交通省のホームページ掲載により募集を呼びかけた。（Fig.4.2.2）

(2) 自治体等の放置艇回収

自治体の一部では、港湾や河川等に放置された沈船や朽ち果てた廃船などの所有者不明の廃船を、所定の手続き（簡易代執行）を行い、回収の上、実証試験艇として取り入れた。（Fig.4.2.3）

Table 4.2.1 試験地区の一覧

地区	場所	収集廃船	協力者	背景
千葉県	公有地 (千葉県市川市)	71 隻	関東運輸局 千葉県土木 & 市川市 横浜市 関東マリン事業協会	平成 15 年度選定場所 千葉県回収 PJ とジョイント 場所は市川市の提供 業者は千葉県産廃協会の紹介
静岡県	公有地 (静岡県新居町)	68 隻	中部運輸局 静岡県土木部 清水港管理局 浜名湖総合環境財団	H13～15 年度選定場所 浜松土木部回収 PJ とジョイント 場所は浜松土木部の提供
兵庫県	業者作業場 (兵庫県揖保川町)	33 隻	神戸運輸監理部 関西マリン事業協会	平成 15 年度選定場所 業者は神戸監理部が開拓
広島県 東部	民有地 (広島県因島市)	71 隻	中国運輸局 広島県空港港湾局 広島県廃船協議会	H14～15 年度選定場所 広島県回収 PJ とジョイント 場所は広島県の提供
広島県 西部	公有地 (広島県五日市町)	50 隻	中国運輸局 広島県空港港湾局 広島県廃船協議会	H14～15 年度選定場所 広島県回収 PJ とジョイント 場所は (株) アイメックスの提供
四国	公有地 (愛媛県新居浜市)	28 隻	四国運輸局 新居浜港湾局 四国マリン事業協会	平成 15 年度選定場所 場所は四国運輸局が開拓 業者は愛媛県産廃協会の紹介
九州	業者作業場 (熊本県熊本市)	12 隻	九州運輸局 福岡県大和町役場	平成 15 年度選定場所 大和町 PJ とジョイント 業者は舟工会で開拓



Fig.4.2.1 廃船募集のリーフレット



Fig.4.2.2 国土交通省及びマリン事業協会による一般募集

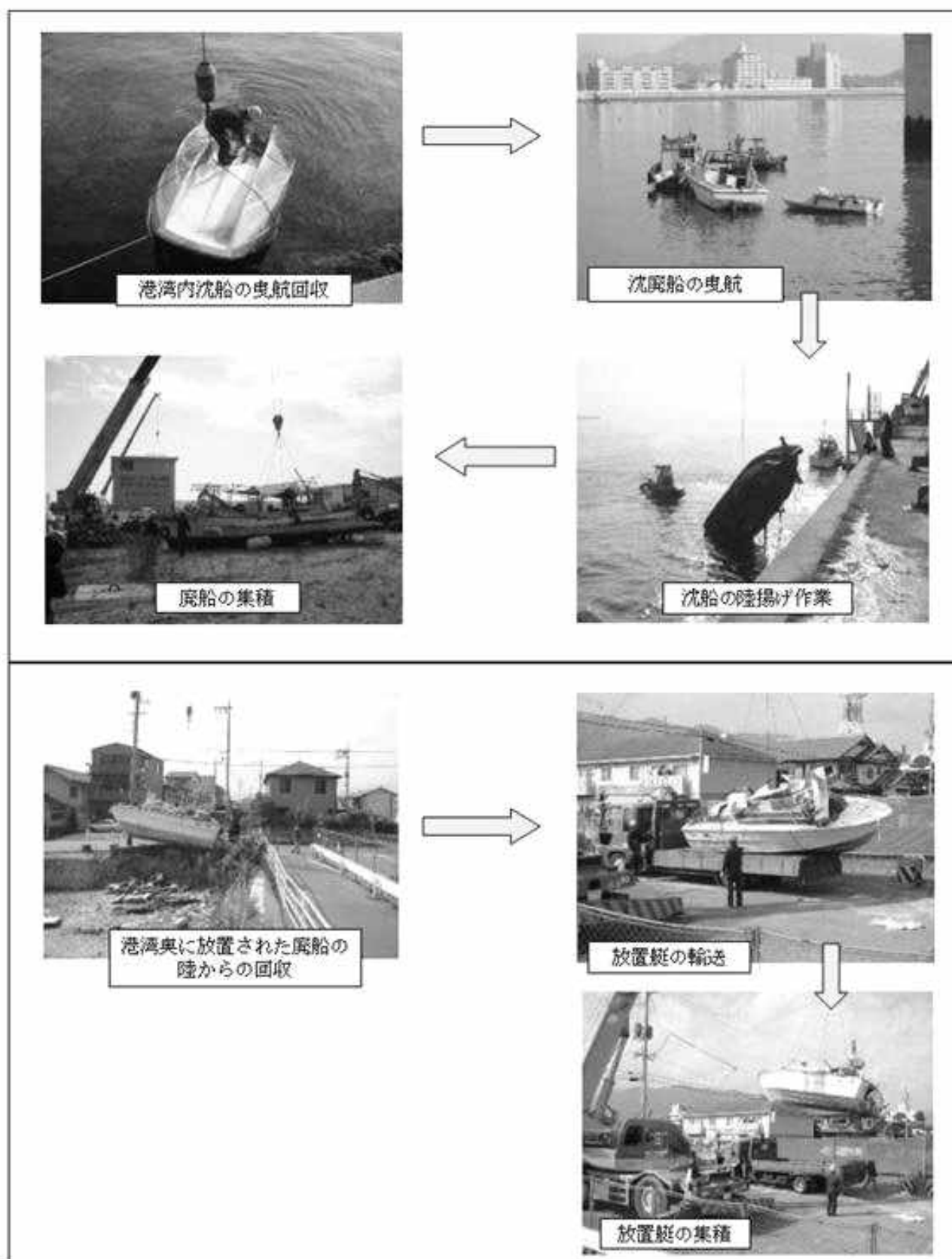


Fig.4.2.3 自治体の放置艇回収作業

(3) 廃船データシート

FRP 廃船の収集に当たっては、廃船データシート Fig.4.2.4 を作成し、次の項目について全地区、全廃船のデータを調査し、収集した。

- ① 申込み日、受付日
- ② 応募販売店名、住所、TEL
- ③ 所有者名、住所、TEL
- ④ 船に保管場所
- ⑤ 保管状態
- ⑥ モデル名、メーカー名
- ⑦ 船の種類、用途
- ⑧ 船の大きさ (L/B/D)

- ⑨ 概略重量
- ⑩ エンジンの有無、種類
- ⑪ 現在の船の状態
- ⑫ 船齢
- ⑬ 所有者履歴
- ⑭ 所有者職業
- ⑮ 取得金額
- ⑯ 入手方法
- ⑰ 廃船理由
- ⑱ 搬入方法、経費
- ⑲ 船の写真

廃船データシート		エリア名	千葉	地区	NO.	千-3		
対象船写真		作成日平成	15	年	9	月	26	日
								
調査内容								
受付日	引揚日	平成 15 年 9 月 26 日						
販売店	店名	千葉県回収船						
	住所	千葉県回収船						
対象船	電話							
	FAX							
	E-MAIL							
	保管場所所在地	市川海浜沖 (仮設船)						
	保管状態	マリーナ 簡易係留保管						
追加確認項目	モデル名	メーカー名	ヤマハ					
	用途、種類	エンジン	ヨット					
	船の大きさ	L=	7.85	B=				
	概略重量	?	kg					
	エンジン	有 ()	船外機	船内機				
	現在の状況	自走可能	走行不能	浮いて				
	船齢	年	約					
	所有者履歴	代						
	所有者職業	会社員	公務員	自営				
	取得価格	円						
特記事項	入手方法	販売店	中古専門店	個人				
	使わなくなった理由							
	解体場所選定方法	陸送 ()	トラック	ユニック				
運搬にかかわる経費	陸送	トラック	ユニック	円	円	円		

廃船データシート		エリア名	千葉	地区	NO.	1		
対象船写真		作成日平成	15	年	8	月	20	日
								
調査内容								
受付日	引揚日	平成 15 年 8 月 20 日						
販売店	店名	千葉県回収船						
	住所	千葉県回収船						
対象船	電話							
	FAX							
	E-MAIL							
	保管場所所在地	市川海浜沖 (仮設船)						
	保管状態	マリーナ 簡易係留保管						
追加確認項目	モデル名	メーカー名	ヤマハ					
	用途、種類	エンジン	ヨット					
	船の大きさ	L=	7.85	B=				
	概略重量	?	kg					
	エンジン	有 ()	船外機	船内機				
	現在の状況	自走可能	走行不能	浮いて				
	船齢	年	約					
	所有者履歴	代						
	所有者職業	会社員	公務員	自営				
	取得価格	円						
特記事項	入手方法	販売店	中古専門店	個人				
	使わなくなった理由							
	解体場所選定方法	陸送 ()	トラック	ユニック				
運搬にかかわる経費	陸送	トラック	ユニック	円	円	円		

廃船データシート		エリア名	千葉	地区	NO.	K-1		
対象船写真		作成日平成	15	年	10	月	1	日
								
調査内容								
受付日	引揚日	平成 15 年 10 月 1 日						
販売店	店名	千葉県回収船						
	住所	千葉県回収船						
対象船	電話							
	FAX							
	E-MAIL							
	保管場所所在地	市川海浜沖 (仮設船)						
	保管状態	マリーナ 簡易係留保管						
追加確認項目	モデル名	メーカー名	ヤマハ					
	用途、種類	エンジン	ヨット					
	船の大きさ	L=	7.85	B=				
	概略重量	?	kg					
	エンジン	有 ()	船外機	船内機				
	現在の状況	自走可能	走行不能	浮いて				
	船齢	年	約					
	所有者履歴	代						
	所有者職業	会社員	公務員	自営				
	取得価格	円						
特記事項	入手方法	販売店	中古専門店	個人				
	使わなくなった理由							
	解体場所選定方法	陸送 ()	トラック	ユニック				
運搬にかかわる経費	陸送	トラック	ユニック	円	円	円		

Fig.4.2.4 廃船データシート

(4) 廃船の運搬

① 海上輸送

集積地まで自走または曳航された廃船をクレーンで陸揚げする。(Fig.4.2.5)



Fig.4.2.5 海上輸送の状況

② 陸上輸送 I

河川や港湾等の廃船をクレーンでトラックへ積み込み、集積地へ輸送して再びクレーンで降ろす。(Fig.4.2.6)



Fig.4.2.6 陸上輸送の状況 (I)

③陸上輸送Ⅱ

ユニック車で運搬の場合、積み込みから積み
降ろしまで1車で完了の為、効率が良いが、比

較的小型の物しか運べない。(Fig.4.2.7)



Fig.4.2.7 陸上輸送の状況（Ⅱ）

(5) 収集廃船の種類

(a) 収集廃船の分類 (Fig.4.2.8～Fig.4.2.10)

収集した廃船を以下の様に分類・整理した。

FRP 廃船（廃船 F-Gr）

- ①オープンボート (BF：ブリッジの無いボート)
- ②ブリッジボート (BB：ブリッジ付きボート)
- ③ディンギー (YD：ディンギーヨット)
- ④ヨット (YC：クルーザーヨット)

⑤漁船 (GG：漁船、業務艇)

⑥水上バイク (PC：PWC)

木製等廃船（廃船 Z-Gr）

①木造船 (WD)

②その他 (ZZ)

ただし、木製等廃船は、FRP 破材収集の対象外
とし、廃船データ、解体時間の収集は参考資料と
した。



Fig.4.2.8 収集廃船の分類（Ⅰ）

ヨット(YC)—— クルーザーヨット



漁船(GG)—— 漁船、乗組艇(交通艇、道漁船等)



水上バイク(PC)—— 水上バイク PWC



Fig.4.2.9 収集廃船の分類 (Ⅱ)

木造船(WD)—— 木製の船 (収集した船は全て漁船であった)



その他(ZZ)—— 試験データ収集に適さないFRP船

- 船体一部分のみの船
- 全面フラットボットの船
- 船内に船と無関係なゴミを混入した船



Fig.4.2.10 収集廃船の分類 (Ⅲ)

(b) 収集廃船の分類別隻数

地区別・種類別に収集 FRP 廃船の隻数を Fig.4.2.11、Fig.4.2.12 及び Table 4.2.2 に示す。艇種別の収集 FRP 廃船の隻数は、オープンボート (BF) 111 隻、ブリッジボート (BB) 49 隻、ディンギー (YD) 23 隻、ヨット (YC) 26 隻、漁船 (GG) 36 隻、水上バイク (PC) 8 隻であった。

また、兵庫地区で水上バイクを、九州地区で漁船を収集し、それぞれ廃棄状況を調査した。

集まってくる廃船には、ボート、ヨット等の種類、及び船の大きさに、地域特性 (詳細は後述) がある。なお、回収廃船には、FRP 製であっても、半壊した部分のみの船、ゴミ・ヘドロを満載した船、全面フジツボ付き船等が多く含まれており、FRP 破材収集が困難で、これらは全てゴミとして処理した。また、使用済み漁船には、まだ木造船が多く残っていることが分った。

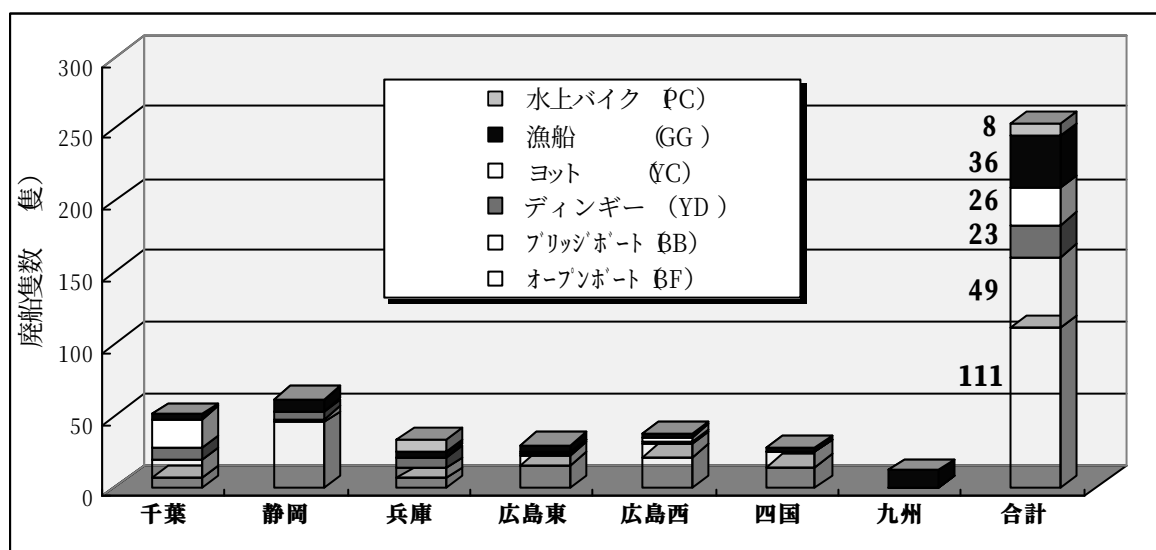


Fig.4.2.11 地区別の収集 FRP 廃船の種類

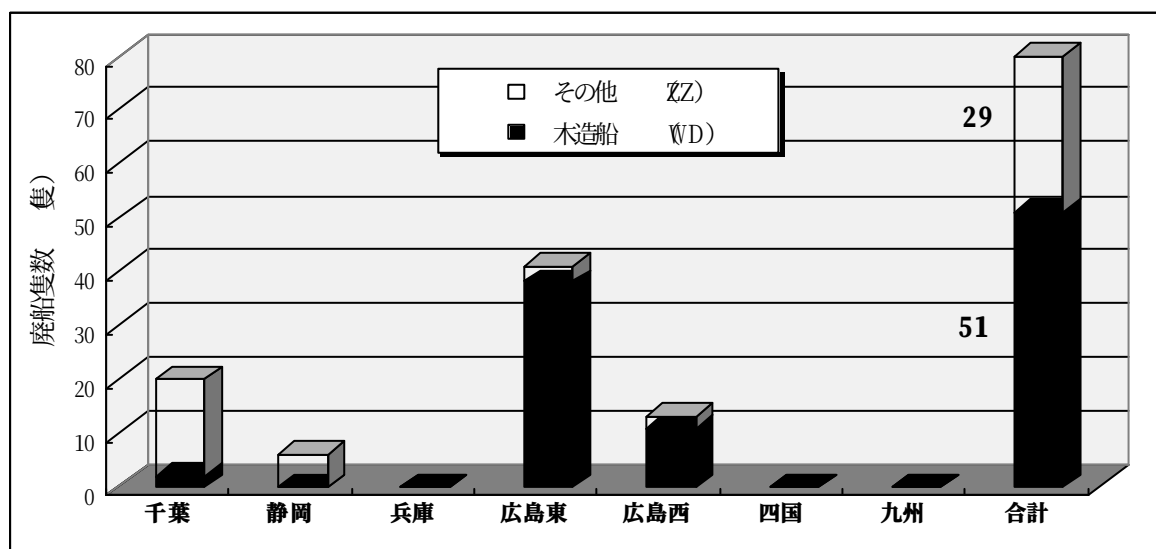


Fig.4.2.12 地区別の収集木製等廃船の種類

Table 4.2.2 地区別の収集 FRP 廃船の種類別隻数

(A) 地区別 F-G r の艇種別、廃船隻数

艇種 \ 地域	千葉	静岡	兵庫	広島東	広島西	四国	九州	合計
オーブボート(BF)	7	45	6	16	22	15	0	111
ブリッジボート(BB)	13	3	7	7	9	10	0	49
ディンギー(YD)	8	5	8	1	1	0	0	23
ヨット(YC)	20	1	1	1	3	0	0	26
漁船(GG)	3	8	3	5	2	3	12	36
水上バイク(PC)	0	0	8	0	0	0	0	8
合計	51	62	33	30	37	28	12	253

(B) 地区別 Z-G r の艇種別、廃船隻数

艇種 \ 地域	千葉	静岡	兵庫	広島東	広島西	四国	九州	合計
木造船(WD)	2	0	0	38	11	0	0	51
その他(ZZ)	18	6	0	3	2	0	0	29
合計	20	6	0	41	13	0	0	80

(6) 収集廃船の一覧

地区毎の種類及び収集方法別の収集廃船の内訳をそれぞれ Fig.4.2.13 と Fig.4.2.14 に示す。また、収集した廃船の一覧表を Table 4.2.3 に示す。収集した廃船の総隻数は 333 隻であった。この内 FRP 廃船は 253 隻、木造船、半壊船等の

廃船は 80 隻であった。収集方法別には、自治体等の回収廃船 207 隻、一般募集廃船 126 隻であった。また、千葉、静岡、広島東部地区では、回収廃船が 7 割以上を占めた。

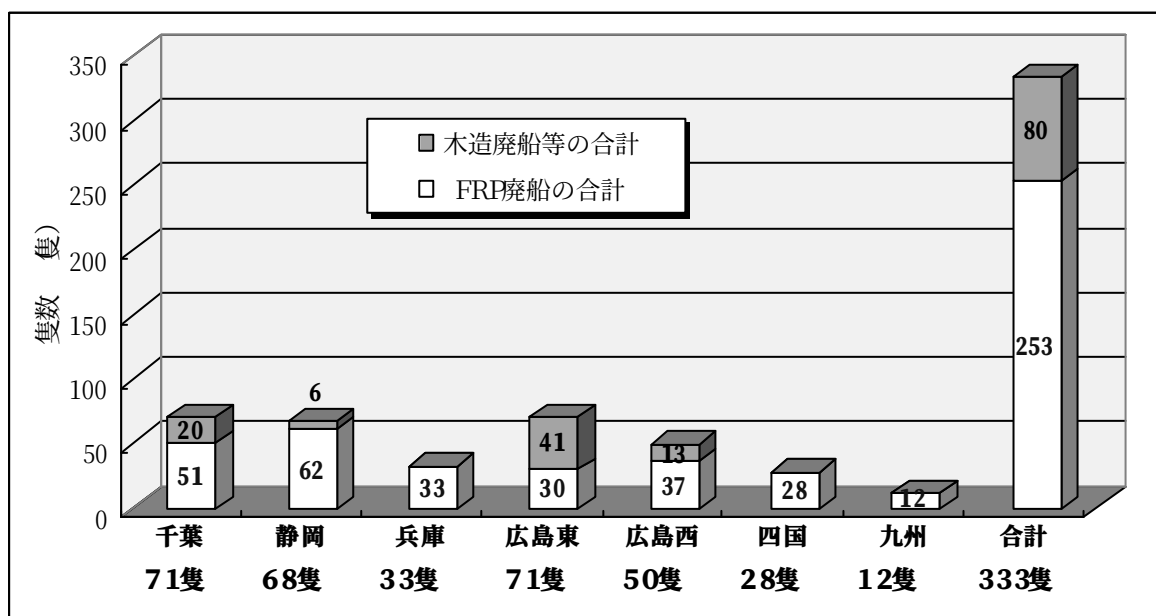


Fig.4.2.13 地区別の収集廃船一覧

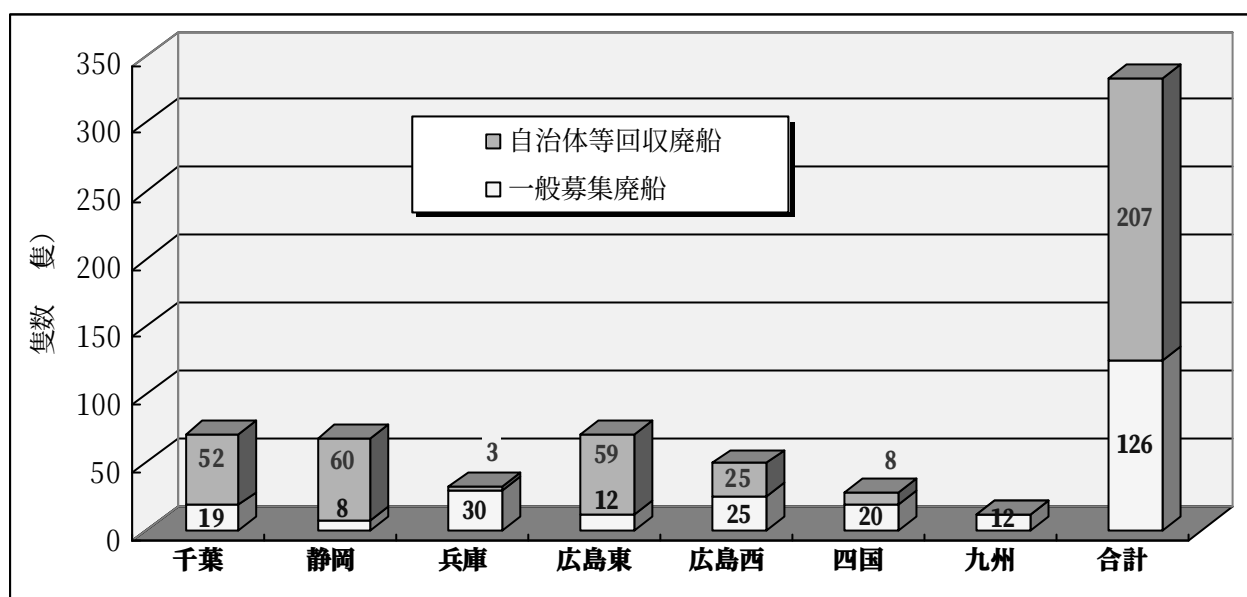


Fig.4.2.14 収集方法別の収集廃船一覧

Table 4.2.3 収集廃船の一覧表

(A) 地区別、FRP廃船及び木造廃船等の隻数

(隻)

種別 \ 地域	千葉	静岡	兵庫	広島東	広島西	四国	九州	合計
FRP廃船の合計	51	62	33	30	37	28	12	253
木造廃船等の合計	20	6	0	41	13	0	0	80
収集廃船の合計	71	68	33	71	50	28	12	333

(B) 地区別、収集方法別、廃船隻数

(隻)

種別 \ 地域	千葉	静岡	兵庫	広島東	広島西	四国	九州	合計
一般募集廃船	19	8	30	12	25	20	12	126
自治体等回収廃船	52	60	3	59	25	8	0	207
収集廃船の合計	71	68	33	71	50	28	12	333

(7) 各地区の収集廃船集積状況

各地区の収集廃船の集積状況を Fig.4.2.15 から

Fig.4.2.21 に示す。



Fig.4.2.15 千葉県における収集廃船集積状況



Fig.4.2.16 静岡県における収集廃船集積状況



Fig.4.2.17 兵庫県における収集廃船集積状況

広島東部



Fig.4.2.18 広島県東部における収集廃船集積状況

広島西部



Fig.4.2.19 広島県西部における収集廃船集積状況

四国



Fig.4.2.20 四国における収集廃船集積状況

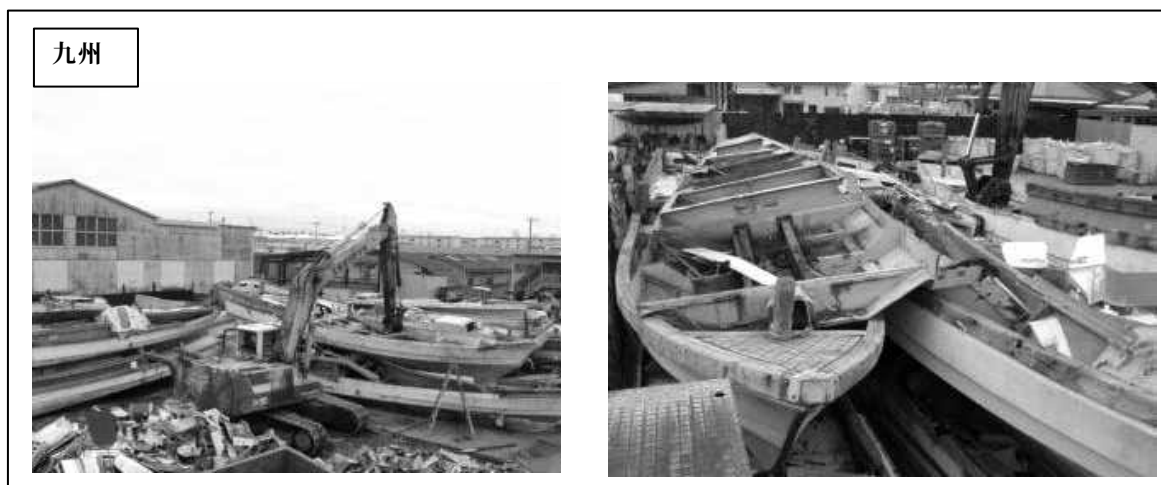


Fig.4.2.21 九州における収集廃船集積状況

(8) 収集廃船の船齢

収集した FRP 廃船 253 隻の船齢を調査し、集計した結果 (Fig.4.2.22 及び Table 4.2.4)、全体の平均船齢は 23.8 年で、PWC の多い兵庫地区は、平均船齢が低かった。(兵庫地区、33 隻中 PWC は 7 隻、PWC7

隻の平均船齢は 12.7 年) また、FRP 漁船のみの九州地区は平均船齢が高かった。(販売店が使用済みの漁船を下取りし、長期間野積していたため船齢が高い。)

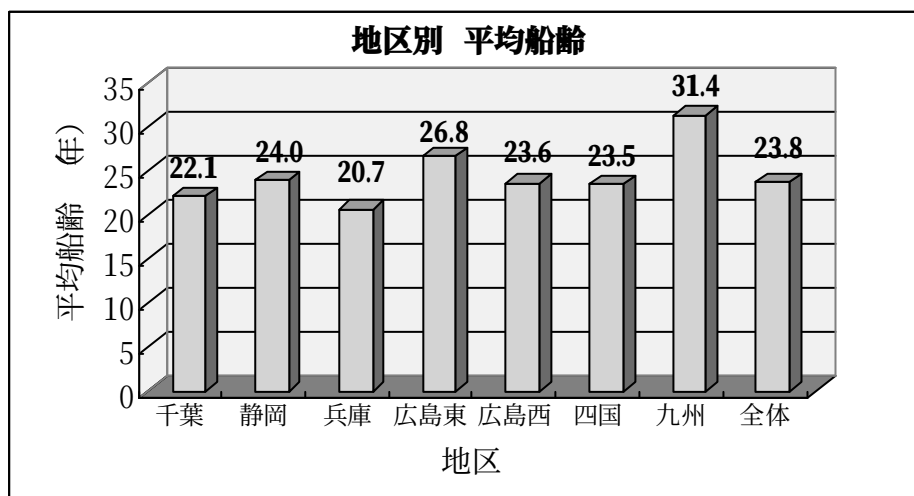
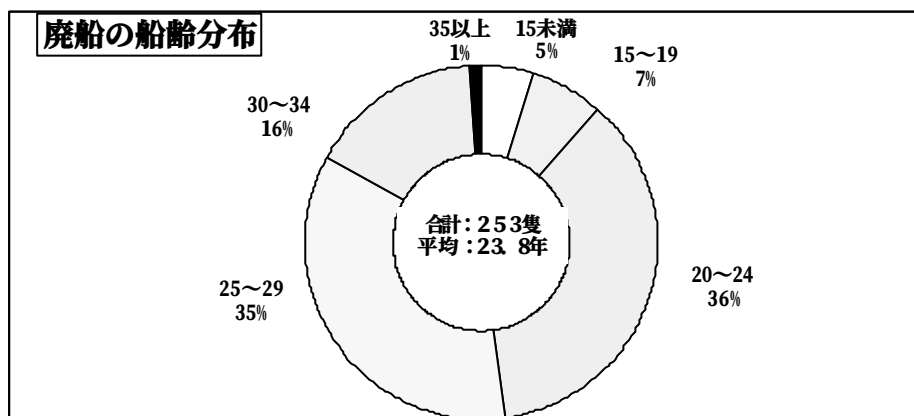
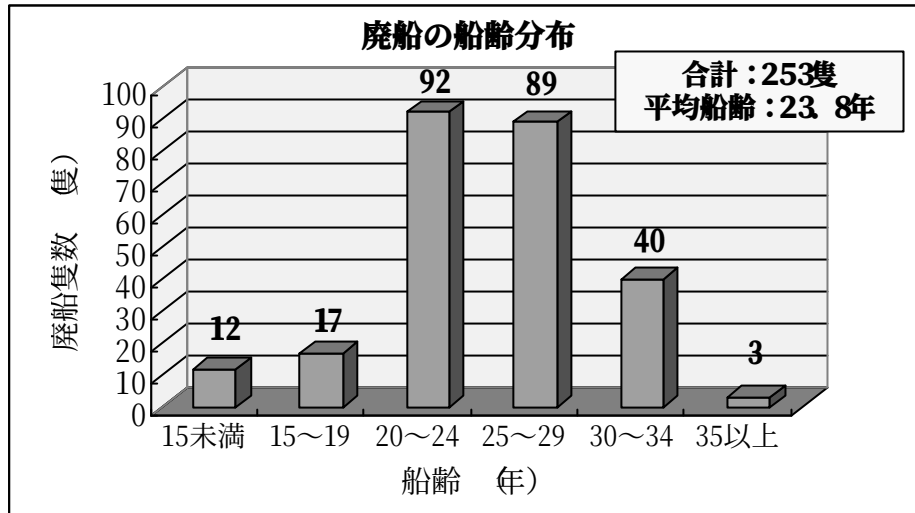


Fig.4.2.22 収集廃船の船齢

Table.4.2.4 収集廃船の船齢

(年)

地区	平均船齢	15未満	15～19	20～24	25～29	30～34	35以上	隻数	合計船齢
千葉	22.1	1	6	28	15	1	0	51	1,129
静岡	24.0	3	1	25	21	9	3	62	1,491
兵庫	20.7	6	6	9	7	5	0	33	684
広島東	26.8	0	0	5	15	10	0	30	804
広島西	23.6	0	3	14	18	2	0	37	874
四国	23.5	2	1	11	13	1	0	28	659
九州	31.4	0	0	0	0	12	0	12	377
全体	23.8	12	17	92	89	40	3	253	6,018

船齢	15未満	15～19	20～24	25～29	30～34	35以上
隻数	12	17	92	89	40	3

(9) 収集廃船のブランド

収集した FRP 廃船 253 隻のブランド（製造業者）を調査し、集計（Fig.4.2.23 及び Table 4.2.5）した。その結果、42%の廃船がブランド不明又は撤退業

者の製品であり、58%の廃船がブランドの判定できた製品であった。

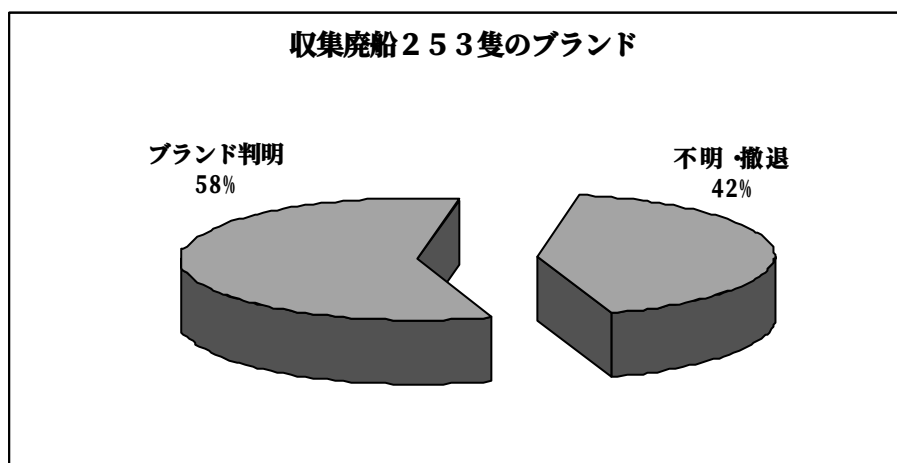


Fig.4.2.23 収集廃船のブランド

Table 4.2.5 収集廃船のブランド

地区	隻数	不明	ブランド
千葉	51	22	29
静岡	62	31	31
兵庫	33	5	28
広島東	30	24	6
広島西	37	17	20
四国	28	8	20
九州	12	0	12
合計	253	107	146

(10) FRP 廃船の陸上輸送運搬費用

販売店、マリーナ等のマリン事業者による搬入が多く、全て陸送であった四国地区 (Fig.4.2.24)、兵庫県地区 (Fig.4.2.25) について、廃船運搬費用を集計し、平均費用を算出した。Table 4.2.6 に四国地区、兵庫県地区の廃船運搬費用をまとめて示す。

四国地区で、2 隻の大型特殊船の陸送が、クレー

ンとトレーラーで行われたが、特殊なので、この集計からは除外した。(運搬費用 30 万円) この大型の2 隻を除くと、1 隻当り運搬費用は 3.5 万円以内である。1 隻当りの平均運搬費用は、四国地区で 18,740 円、兵庫県地区で 20,670 円であった。

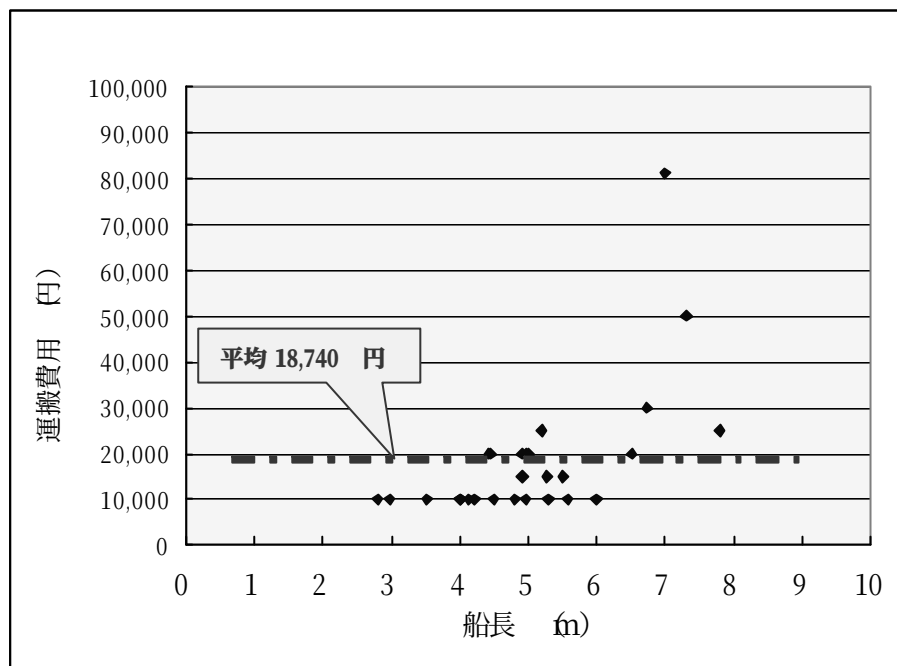


Fig.4.2.24 四国地区の廃船運搬費用

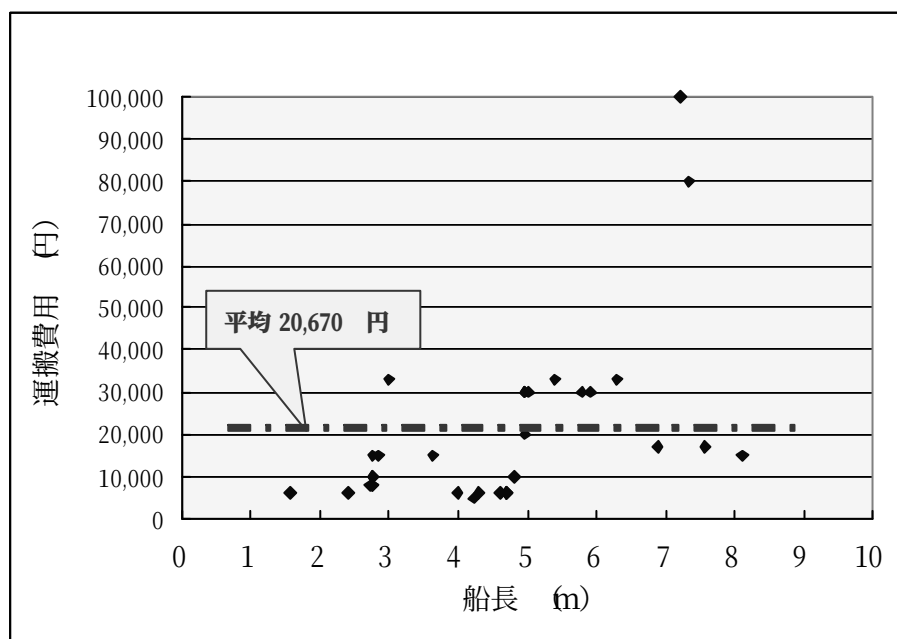


Fig.4.2.25 兵庫県地区の廃船運搬費用

Table 4.2.6 四国地区・兵庫地区の廃船運搬費用

四国地区 廃船運搬費用							兵庫県地区 廃船運搬費用						
NO	NO	艇種	船長 (m)	運賃	搬入方法	保管形態	NO	NO	艇種	船長 (m)	運賃	搬入方法	保管形態
23	NH 23	GG	6.74	30,000	ユニック	マリーナ	21	HG21	YD	3.00	33,000	ユニック	陸上保管
6	NH 06	GG	7.00	81,000	ユニック	海上係留	4	HG04	YD	4.00	6,250	トラック	マリーナ陸上
12	NH 12	GG	7.80	25,000	ユニック	マリーナ	13	HG13	YD	4.23	5,000	トラック	陸上保管
1	NH 01	BF	2.80	10,000	トラック+レッカー	陸上引き上げ	5	HG05	YD	4.60	6,250	トラック	マリーナ陸上
2	NH 02	BF	2.98	10,000	トラック+レッカー	陸上引き上げ	1	HG01	YD	4.70	6,250	トラック	マリーナ陸上
3	NH 03	BF	3.52	10,000	トラック+レッカー	陸上引き上げ	2	HG02	YD	4.70	6,250	トラック	マリーナ陸上
4	NH 04	BF	4.00	10,000	トラック+レッカー	陸上引き上げ	3	HG03	YD	4.70	6,250	トラック	マリーナ陸上
15	NH 15	BF	4.00	10,000	トラック+レッカー	陸上引き上げ	17	HG17	YD	4.80	10,000	ユニック	陸上保管
17	NH 17	BF	4.14	10,000	ユニック	陸上保管	12	HG12	YC	5.92	30,000	トラック	陸上保管
19	NH 19	BF	4.22	10,000	トラック+レッカー	陸上保管	31	HG31	PW	2.72	8,000	ユニック	陸上保管
13	NH 13	BF	4.80	10,000	トラック+レッカー	陸上引き上げ	27	HG27	PW	2.77	10,000	ユニック	陸上保管
25	NH 25	BF	4.90	20,000	ユニック	陸上保管	28	HG28	PW	2.77	10,000	ユニック	陸上保管
8	NH 08	BF	4.92	15,000	ユニック	マリーナ	29	HG29	PW	2.77	8,000	ユニック	陸上保管
16	NH 16	BF	5.18	25,000	ユニック		30	HG30	PW	2.77	8,000	ユニック	陸上保管
5	NH 05	BF	5.30	10,000	トラック+レッカー	陸上引き上げ	32	HG32	PW	2.77	15,000	トラック	陸上保管
28	NH 28	BF	5.49	15,000	ユニック	マリーナ	33	HG33	PW	2.83	15,000	トラック	陸上保管
18	NH 18	BF	5.57	10,000	トラック+レッカー	マリーナ	15	HG15	PW	3.62	15,000	ユニック	陸上保管
14	NH 14	BF	6.00	10,000	トラック+レッカー	陸上引き上げ	16	HG16	GG	4.97	20,000	ユニック	簡易係留保管
11	NH 11	BB	4.43	20,000	ユニック	マリーナ	20	HG20	GG	7.22	100,000	ユニック	簡易係留保管
9	NH 09	BB	4.44	20,000	ユニック	マリーナ	14	HG14	GG	8.11	15,000	ユニック	簡易係留保管
20	NH 20	BB	4.50	10,000	トラック+レッカー	マリーナ	25	HG25	BF	1.56	6,250	ユニック	マリーナ陸上
10	NH 10	BB	4.97	20,000	ユニック	マリーナ	24	HG24	BF	2.40	6,250	ユニック	マリーナ陸上
21	NH 21	BB	4.97	10,000	トラック+レッカー	マリーナ	6	HG06	BF	4.30	6,250	ユニック	マリーナ陸上
26	NH 26	BB	5.00	20,000	ユニック	陸上保管	26	HG26	BF	5.00	30,000	トラック	陸上保管
24	NH 24	BB	5.26	15,000	ユニック	マリーナ	7	HG07	BF	5.40	33,000	トラック+ユニック	港湾陸上
27	NH 27	BB	6.50	20,000	ユニック	陸上保管	8	HG08	BF	6.30	33,000	トラック+ユニック	港湾陸上
7	NH 07	BB	7.30	50,000	ユニック	陸上保管	22	HG22	BB	4.95	30,000	トラック	陸上保管
			合計	506,000			11	HG11	BB	4.97	30,000	トラック	陸上保管
			平均	18,740			23	HG23	BB	4.97	30,000	トラック	陸上保管
							10	HG10	BB	5.77	30,000	トラック	陸上保管
							19	HG19	BB	6.87	17,000	ユニック	陸上保管
22	NH 22	BB	10.00	300,000	トレーラ+クレーン	陸上展示	9	HG09	BB	7.34	80,000	ユニック	簡易係留保管
							18	HG18	BB	7.57	17,000	ユニック	陸上保管
										合計	682,000		
										平均	20,670		

費用のグラフ、平均値に算入せず

(11) 沈船の運搬費用

沈船の回収運搬費用について4例(Fig.4.2.26及びFig.4.2.27)をあげる。港湾の奥や河川の上流にある廃船の回収は、クレーン車を必要としたり、作

業が困難であったり、状況がそれぞれ異なり、回収作業の手間がかかる為、輸送コストが高くなる。

(例-1)

<状況>河川上流に半沈状態、鉄橋をまたぐ為、ユンボで引っ張り出し、クレーンでトラックに乗せ集積地まで輸送。



(例-1) ユンボ+クレーン(現地)→トラック→クレーン(集積地)

作業時間・・・4H

ユンボ+クレーン作業・・・40,000円(2H)

トラック輸送料・・・・・・・・50,000円(1.5H)

クレーン(集積地)・・・・・・10,000円(0.5H)

費用合計・・・・・・・・100,000円

(例-2)

<状況>港湾に半沈状態、海上より船で引っ張り出し、集積地まで曳航し、クレーンで引き上げる。



(例-2) 曳航(現地)→クレーン(集積地)

作業時間・・・2.5H

曳航準備作業・・・20,000円(1H)

曳航料・・・・・・・・30,000円(1H1隻以上)

クレーン(集積地)・・・5,000円(0.5H)

費用合計・・・・・・・・55,000円

Fig.4.2.26 沈船の運搬費用の例-1~2

(例-3)

<状況> 港湾奥に半沈状態、レッカーでトラックに積み込み、集積地まで輸送、クレーンで下ろす。



(例-3) クレーン(現地)→トラック→クレーン(集積地)
 作業時間・・・2.5H
 クレーン引き上げ作業・・・25,000円(1H)
 トラック輸送料・・・30,000円(1H)
 クレーン(集積地)・・・5,000円(0.5H)
 費用合計・・・60,000円

(例-4)

<状況> 港湾奥放置係留、比較的大型(約8m)の為、トラックに乗らず、クレーンで吊り上げ、トレーラーで運搬。集積地にてクレーンで下ろす。



(例-4) クレーン(現地)→トレーラー→クレーン(集積地)
 作業時間・・・2.5H
 クレーン引き上げ作業・・・34,000円(1.5H)
 トレーラー輸送料・・・100,000円(1H)
 クレーン(集積地)・・・10,000円(0.5H)
 費用合計・・・144,000円

Fig.4.2.27 沈船の運搬費用の例-3~4

4.2.3. 廃船の解体

(1) 解体場所

解体試験場所の広さ等について調査整理した。その結果を Table 4.2.7 に示す。また、各解体場所の詳細をそれぞれ Fig.4.2.28～Fig.4.2.31 に示す。

解体場所の広さについては、公有地 4 ヶ所は比較

的広く、廃船の集積、作業スペースも充分であったが、民間所有の試験場所については、広さに限度もあり廃船の集積等に限界があった。

産廃業者については、ある程度周囲の環境・設備等が整っており、比較的効率よく解体試験が出来た。

Table 4.2.7 解体試験地区の設備他

試験地区	千葉	静岡	兵庫	広島東	広島西	四国	九州
試験場所の所有者	自治体 公有地	自治体 公有地	民間所有地 (産廃業者)	民間 所有地	自治体 公有地	自治体 公有地	民間所有地 (産廃業者)
試験場所の 常設・臨時	臨時	常設	臨時	臨時	臨時	臨時	臨時
面積 (㎡)	1,735	1,600	624	2,100	2,640	1,350	700
民家までの 距離	遠い	遠い	遠い	やや遠い	遠い	遠い	やや近い
フェンス	臨時	常設	常設	一部臨時	臨時	一部臨時	常設
鉄板敷き	有 (臨時)	無し	有 (常設)	有 (臨時)	有 (臨時)	有 (臨時)	有 (常設)
機材	持ち込み	持ち込み	常設	持ち込み	持ち込み	持ち込み	常設

① 千葉 (千葉縣市川市塩浜)

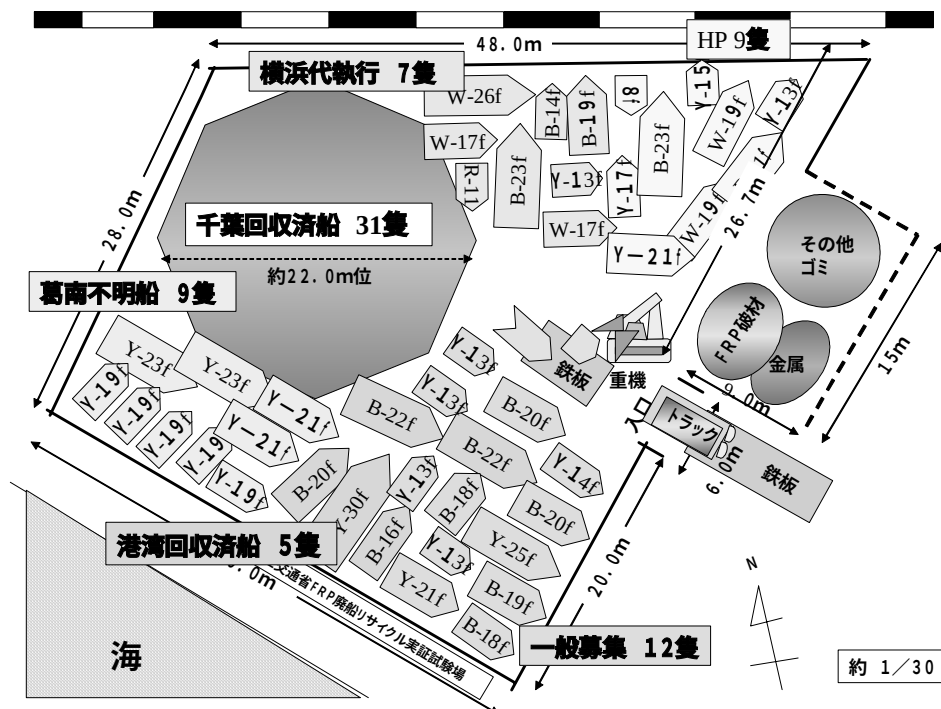
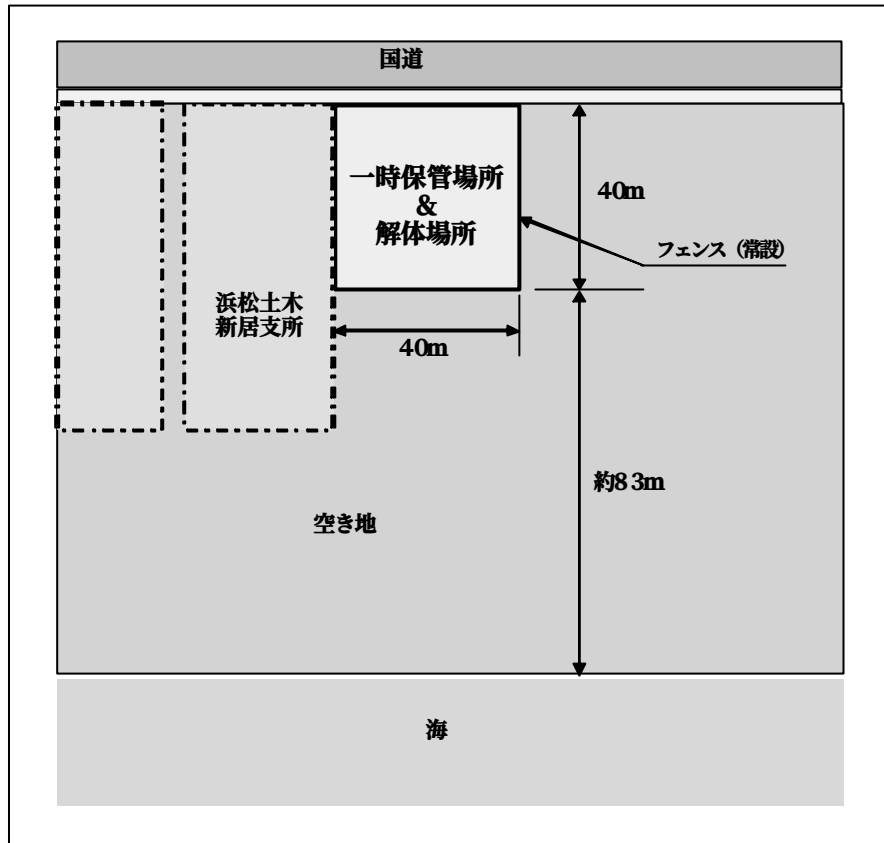


Fig.4.2.28 解体試験場所 (千葉)

② 静岡（静岡県浜名郡新居町新居 静岡県浜松土木事務所新居支所 隣接公有地）



③ 兵庫（兵庫県揖保郡揖保川町）

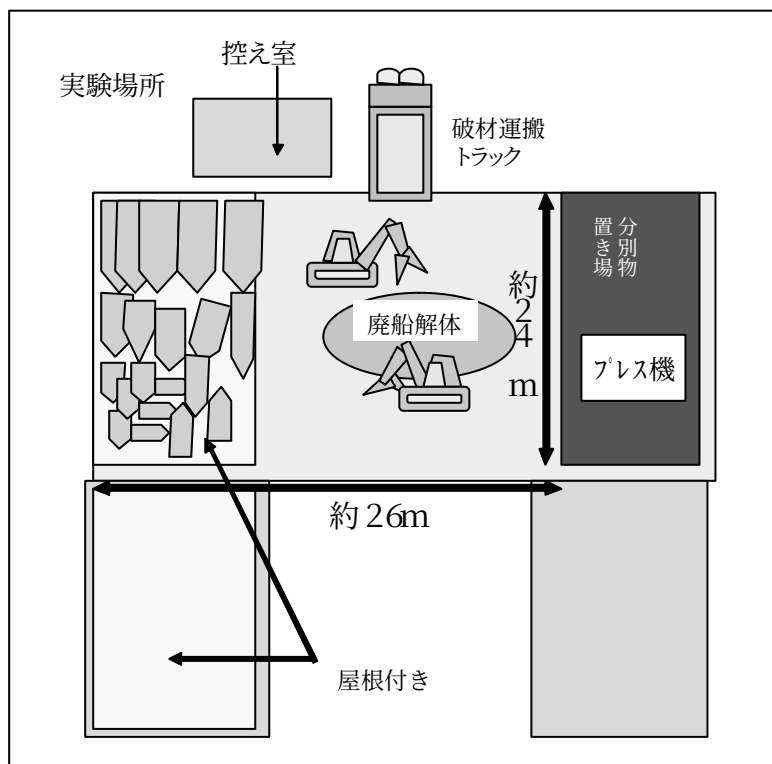
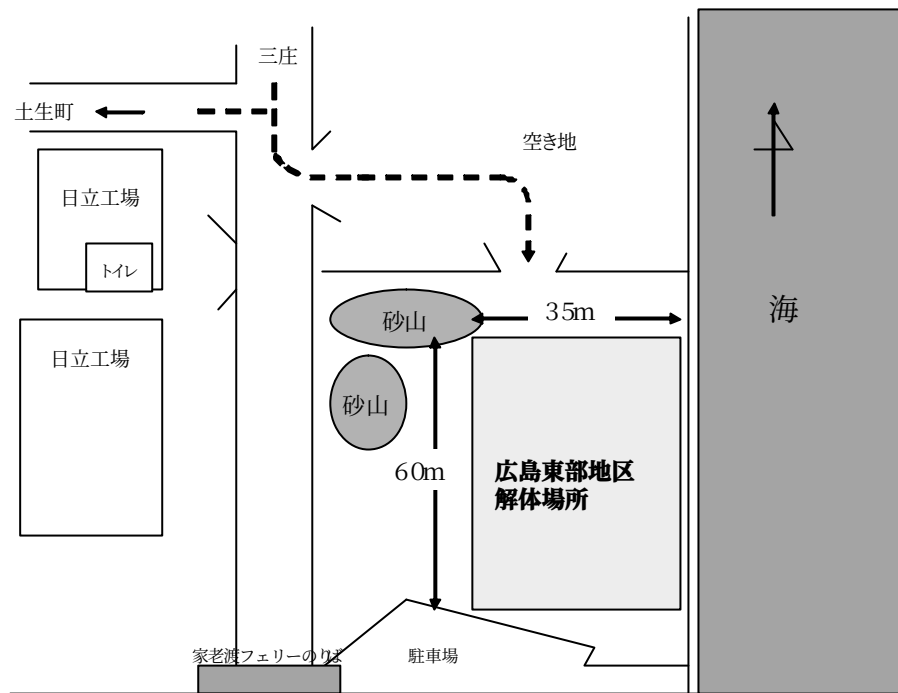


Fig.4.2.29 解体試験場所（静岡・兵庫）

④広島東（広島県因島市三庄町）



⑤広島西（広島県広島市佐伯区五日市港）

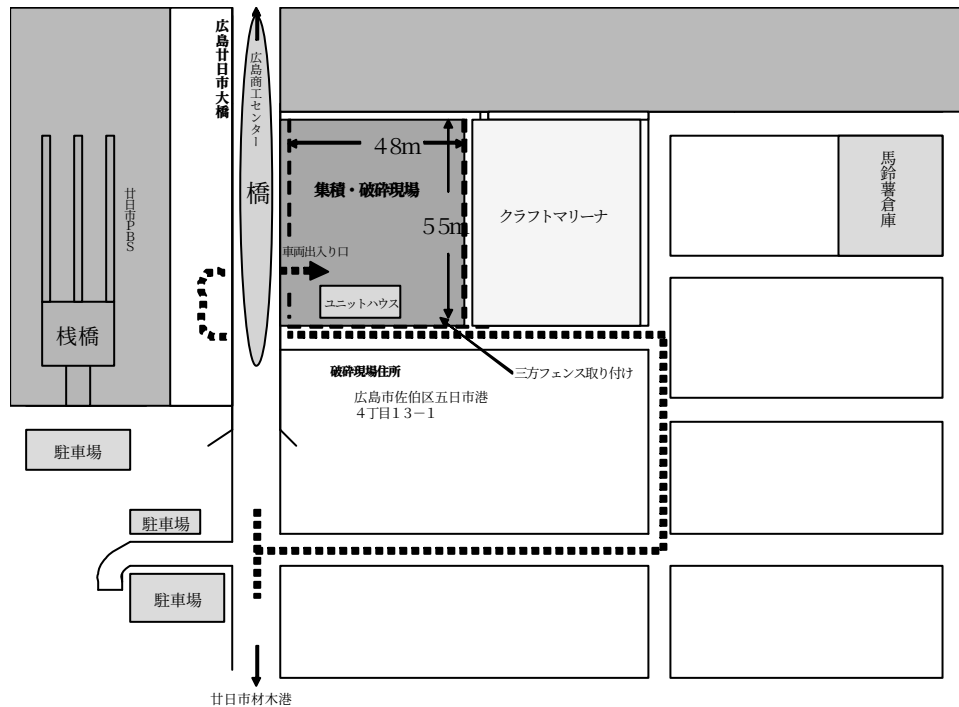
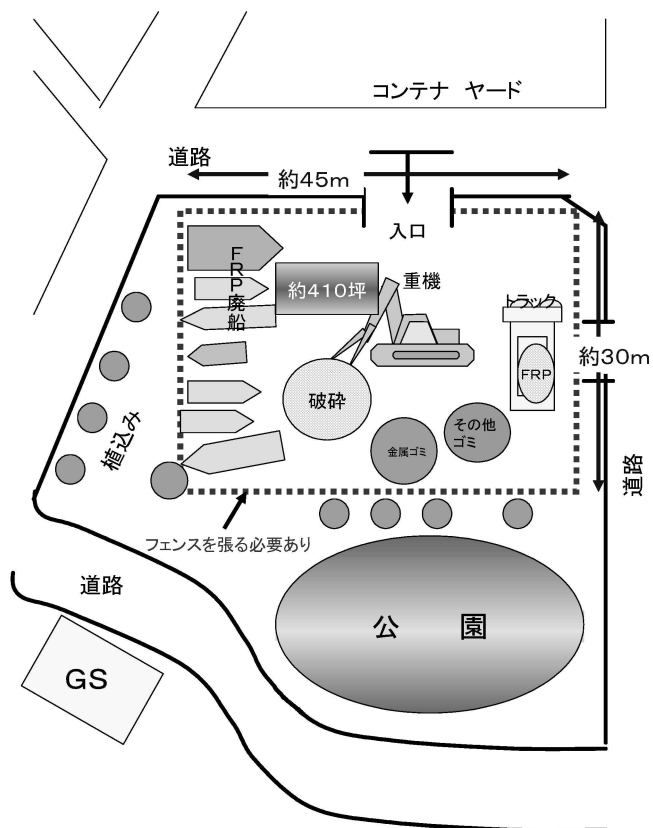


Fig.4.2.30 解体試験場所（広島東・広島西）

⑥ 四国（愛媛県新居浜市多喜浜）



⑦ 九州（熊本県熊本市南高江町）

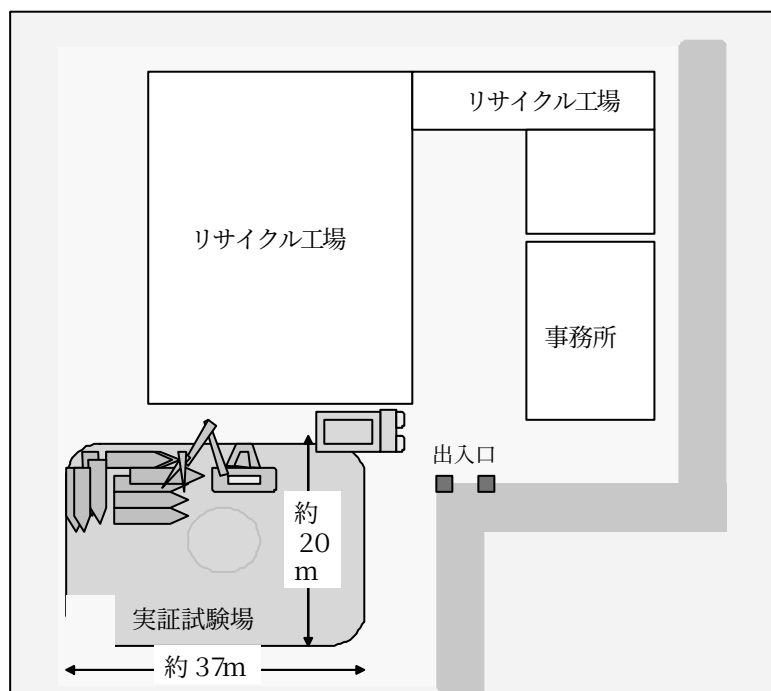


Fig.4.2.31 解体試験場所（四国・九州）

(2) 解体用機械

各地区の解体用機械を Table 4.2.8～Table 4.2.11 に示す。

Table 4.2.8 解体用機械 (千葉・静岡)

試験地区	千葉	
使用機械	 重機：20トンバックフォー	 アタッチメント：フォークグリップ
	 重機：12トンバックフォー	 アタッチメント：フォークグリップ
試験地区	静岡	
使用機械	 重機：12トンバックフォー	 アタッチメント：フォークグリップ

Table 4.2.9 解体用機械（兵庫・広島東）

試験地区	兵庫	
使用機械	 重機：12トンバックフォア	 アタッチメント：旋回フォークグリップ
	 重機：12トンバックフォア (クランプアーム付)	 アタッチメント：旋回ニブラグリップ
試験地区	広島東	
使用機械	 重機：12トンバックフォア	 アタッチメント：フォークグリップ
	 重機：20トンバックフォア	 アタッチメント：ニブラグリップ（幅広）

Table 4.2.10 解体用機械 (広島西・四国)

試験地区	広島西	
使用機械	 重機：12トンバックフォア	 アタッチメント：ニブラグリッ (幅広)
試験地区	四国	
使用機械	 重機：12トンバックフォア	 アタッチメント：フォークグリッ
	 重機：20トンバックフォア	 アタッチメント：フォークグリッ (先端加工)

Table 4.2.11 解体用機械（九州）

試験地区	九州	
使用機械	 重機：20トンバックフォア （クランプアーム付）	 アタッチメント：旋回フォークグリップ
	 重機：20トンバックフォア （クランプアーム付）	 アタッチメント：旋回ニブラグリップ
	 フォークリフト（破材運搬用）	

(3) 解体作業時間 (全体)

廃船の解体～分別～破材積み込みの作業を解体作業時間と定義して、1隻毎に計測を行った。艇種別の解体時間をFig.4.2.32に、地区別の解体時間をFig.4.2.33に、また、解体時間の詳細をTable 4.2.12にまとめて示す。

全地区、全廃船の平均解体時間は、長さ6m相当の廃船に換算すると約31分であった。艇種別の、長さ6m相当廃船の平均解体時間は、小型ボート・ディンギーで約20分、中型ボート・ヨットで約45分であった。地区によって解体時間に差があり、特に中型ボートが顕著で、最小24分、最大63分であ

った。

解体時間に影響するファクターは、次の項目と考えられる。(影響の大きい順)

- ①建設機械のアタッチメントの種類：回転型＞固定型（ニブラグリッパ＞フォークグリッパ）
- ②建設機械のオペレータの経験（廃車解体経験＞建築物解体経験＞土木作業経験）
- ③金属類・木類等の分別の程度・精度
- ④船の装備品の多少（エンジン、燃料、固定装備品、備品、生活ゴミ、フジツボ）

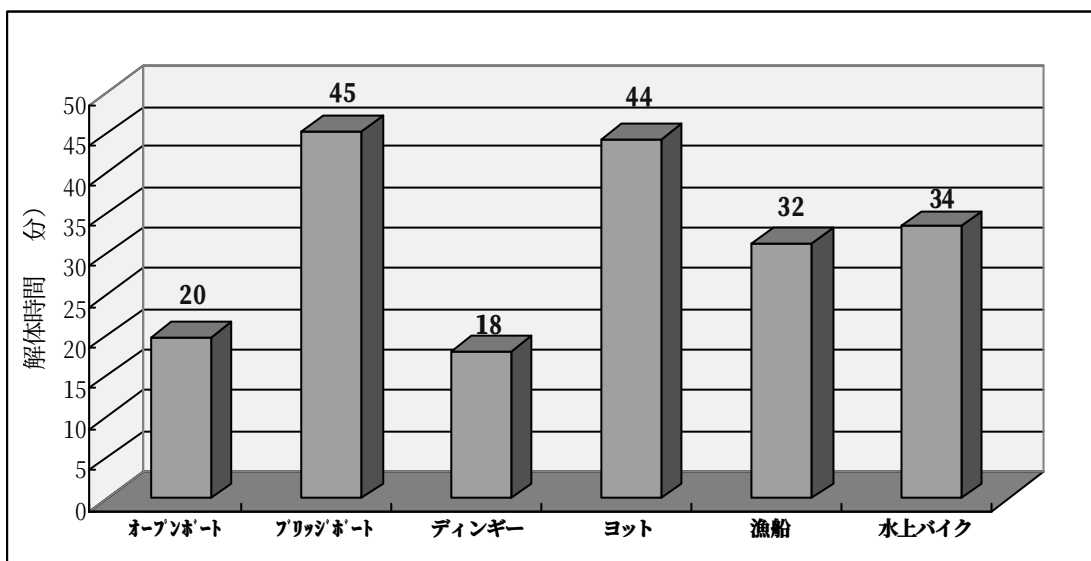


Fig.4.2.32 艇種別、長さ6m相当廃船の解体時間

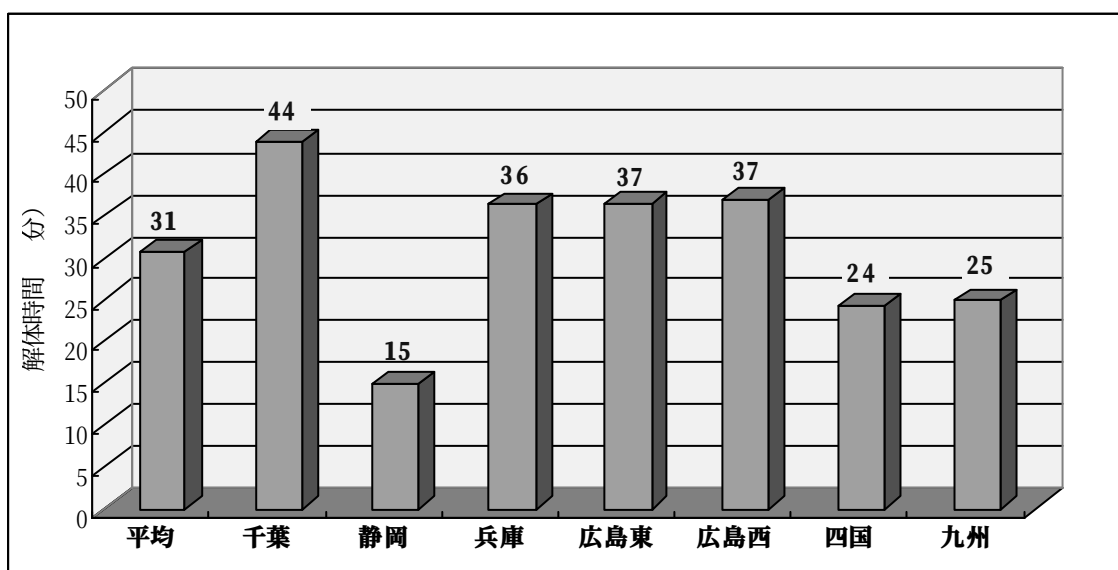


Table 4.2.33 解体作業時間 (全体)

Table 4.2.12 解体作業時間（全体）

（A）艇種別、地区別 長さ6m相当廃船の解体時間

艇種 \ 地域	平均	千葉	静岡	兵庫	広島東	広島西	四国	九州
オープンボート	19.8	23.0	12.3	20.4	28.8	28.6	19.1	—
ブリッジボート	45.3	62.6	23.5	48.6	40.6	45.9	27.9	—
ディンギー	18.2	13.8	9.3	26.1	26.0	14.0	—	—
ヨット	44.4	45.2	40.0	47.0	30.0	47.3	—	—
漁船	31.5	45.4	21.1	47.3	46.0	57.3	30.9	24.9
水上バイク	33.6	—	—	33.6	—	—	—	—
平均	30.7	43.9	14.9	36.3	36.5	36.9	24.3	24.9

$$(\text{全地区平均}) = (\text{総解体時間}) / (\text{総全長}) \times 6\text{m}$$

（A A）艇種別、地区別 廃船1m当りの解体時間

艇種 \ 地域	全地区平均	千葉	静岡	兵庫	広島東	広島西	四国	九州
オープンボート (BF)	3.3	3.8	2.1	3.4	4.8	4.8	3.2	—
ブリッジボート (BB)	7.5	10.4	3.9	8.1	6.8	7.6	4.7	—
ディンギー (YD)	3.0	2.3	1.6	4.3	5.5	3.3	—	—
ヨット (YC)	7.4	7.5	5.8	7.9	4.2	7.9	—	—
漁船 (GG)	5.2	7.6	3.5	7.9	7.7	9.5	5.2	4.2
水上バイク (PC)	5.6	—	—	5.6	—	—	—	—
平均	5.1	7.3	2.5	6.1	6.1	6.1	4.0	4.2

（B）艇種別、地区別 総解体時間

艇種 \ 地域	合計	千葉	静岡	兵庫	広島東	広島西	四国	九州
オープンボート (BF)	1,803	129	477	85	353	543	216	—
ブリッジボート (BB)	2,264	850	67	344	313	423	267	—
ディンギー (YD)	305	80	34	151	26	14	—	—
ヨット (YC)	1,361	1,055	40	47	30	189	—	—
漁船 (GG)	1,813	171	242	160	380	127	111	622
水上バイク (PC)	129	—	—	129	—	—	—	—
合計	7,675	2,285	860	916	1,102	1,296	594	622

（C）艇種別、地区別 解体時間計測対象 廃船の総全長

艇種 \ 地域	合計	千葉	静岡	兵庫	広島東	広島西	四国	九州
オープンボート (BF)	546.11	33.68	232.00	24.96	73.60	114.05	67.82	—
ブリッジボート (BB)	299.98	81.49	17.08	42.44	46.30	55.30	57.37	—
ディンギー (YD)	100.48	34.85	21.90	34.73	4.70	4.30	—	—
ヨット (YC)	183.93	139.96	6.90	5.92	7.20	23.95	—	—
漁船 (GG)	345.75	22.60	68.80	20.30	49.55	13.30	21.54	149.66
水上バイク (PC)	23.02	—	—	23.02	—	—	—	—
合計	1,499.27	312.58	346.68	151.37	181.35	210.90	146.73	149.66

(4) 解体作業時間 (詳細)

(a) オープンボートの地区別解体作業時間

オープンボートの地区別解体作業時間を Fig.4.2.34 及び Table 4.2.13 に示す。Fig.4.2.34 の一点鎖線は、全地区の平均値を表す。艀装品の少

ない、比較的選別作業の少ないオープンボートにおいて、作業時間に地域差があった。各地区の作業時間を全地区の平均値と比較すると、静岡地区は高効率、広島地区は低効率であった。

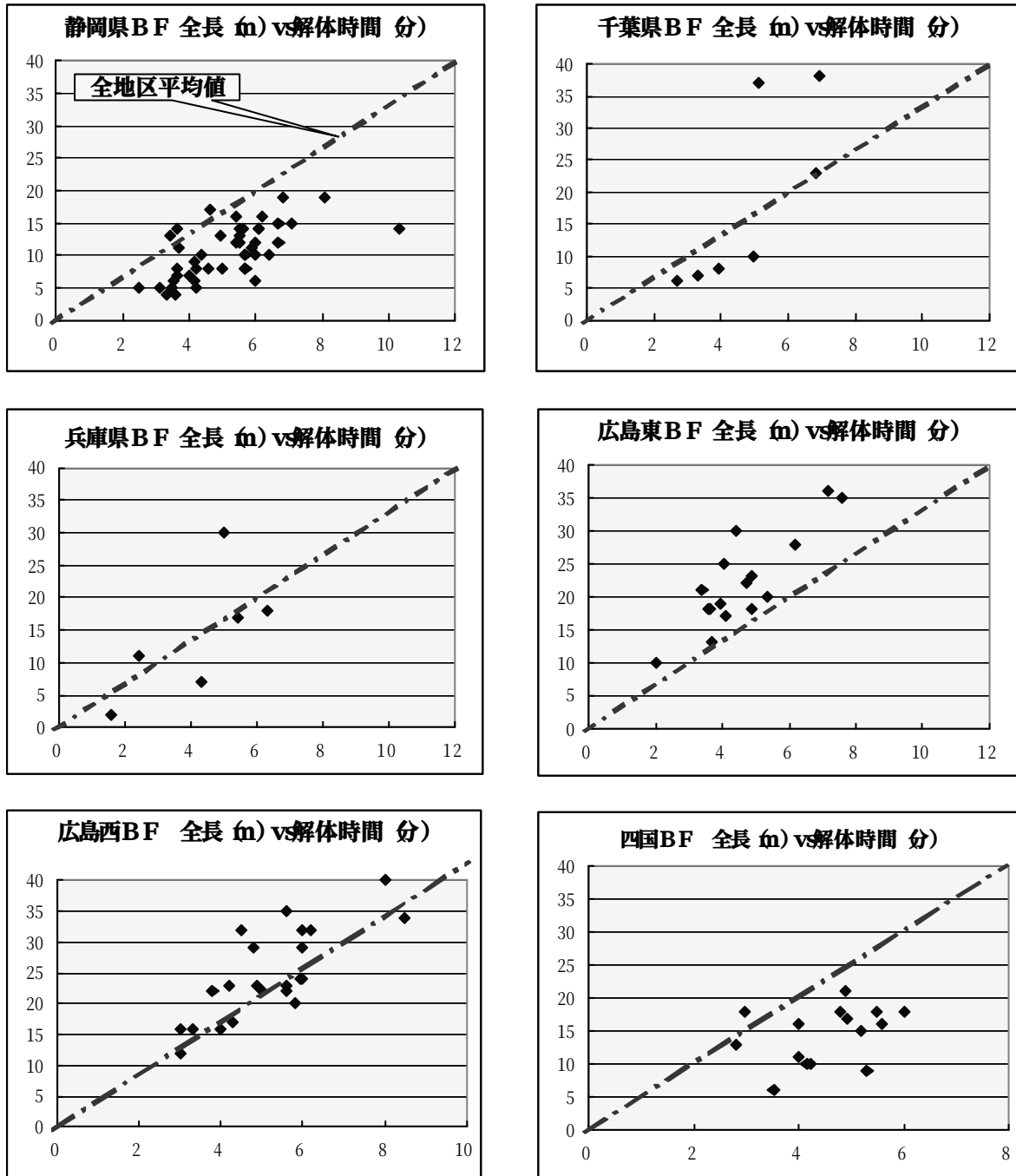


Fig.4.2.34 オープンボートの地区別解体作業時間

Table 4.2.13 オープンボート（BF）の解体時間一覧

千葉県地区		静岡県地区		兵庫県地区		広島県東部地区		広島県西部地区		四国地区	
全長(m)	時間(分)	全長(m)	時間(分)	全長(m)	時間(分)	全長(m)	時間(分)	全長(m)	時間(分)	全長(m)	時間(分)
2.67	6	2.50	5	1.56	2	2.00	10	3.00	12	2.80	13
3.30	7	3.10	5	2.40	11	3.40	21	3.00	16	2.98	18
3.90	8	3.30	4	4.30	7	3.60	18	3.30	16	3.52	6
4.94	10	3.45	13	5.00	30	3.65	18	3.80	22	4.00	11
5.12	37	3.50	5	5.40	17	3.70	13	4.00	16	4.00	16
6.80	23	3.55	6	6.30	18	3.95	19	4.20	23	4.14	10
6.95	38	3.60	4			4.05	25	4.30	17	4.22	10
		3.65	14			4.10	17	4.50	32	4.80	18
		3.65	8			4.40	30	4.80	29	4.90	21
		3.65	7			4.70	22	4.90	23	4.92	17
		3.70	11			4.85	23	5.00	22	5.18	15
		4.00	7			4.90	18	5.60	23	5.30	9
		4.15	9			5.35	20	5.60	22	5.49	18
		4.15	6			6.20	28	5.60	35	5.57	16
		4.20	5			7.15	36	5.80	20	6.00	18
		4.20	8			7.60	35	5.95	24		
		4.40	10					6.00	29		
		4.60	8					6.00	24		
		4.65	17					6.00	32		
		4.95	13					6.20	32		
		5.00	8					8.00	40		
		5.40	12					8.50	34		
		5.40	16								
		5.50	14								
		5.50	12								
		5.55	13								
		5.60	14								
		5.65	8								
		5.65	10								
		5.70	8								
		5.70	10								
		5.90	11								
		6.00	12								
		6.00	6								
		6.00	10								
		6.10	14								
		6.10	14								
		6.20	16								
		6.40	10								
		6.70	12								
		6.70	15								
		6.80	19								
		7.10	15								
		8.10	19								
		10.30	14								

(b) 兵庫地区の艇種別解体作業時間

兵庫地区は、艇種毎の収集廃船数が比較できる程度に廃船を収集できたため、代表例として説明する。兵庫地区の艇種別解体作業時間を Fig.4.2.35 及び Table 4.2.14 に示す。Fig.4.2.35 の一点鎖線は、全地区の平均値を表し、実線は平均値の 2 倍の解体時

間を表す。ブリッジボートは、オープンボートに比べ、2 倍以上の解体時間が必要で、ディンギーは、オープンボートの解体時間とほぼ同じであった。また、PWC は、船に必要な艀装品を全て装備しているため、オープンボートより解体時間が長かった。

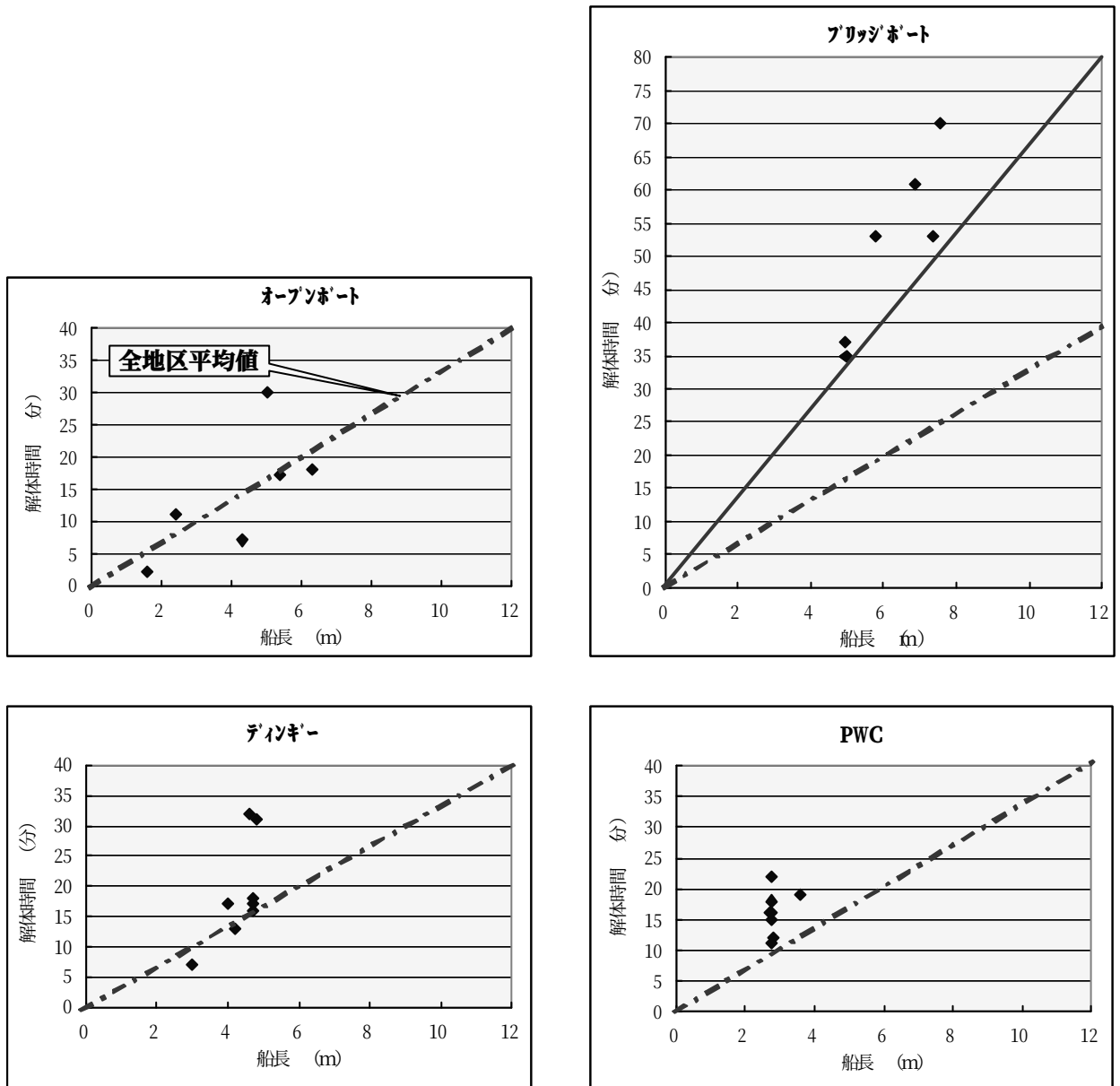


Fig.4.2.35 兵庫地区の艇種別解体作業時間

Table 4.2.14 兵庫地区の解体時間一覧

オープンボート		フリッジボート		デッキンキー		PWC	
全長(m)	時間(分)	全長(m)	時間(分)	全長(m)	時間(分)	全長(m)	時間(分)
1.56	2	4.95	37	3.00	7	2.72	16
2.40	11	4.97	35	4.00	17	2.77	11
4.30	7	4.97	35	4.23	13	2.77	16
5.00	30	5.77	53	4.60	32	2.77	18
5.40	17	6.87	61	4.70	18	2.77	22
6.30	18	7.34	53	4.70	16	2.77	15
		7.57	70	4.70	17	2.83	12
				4.80	31	3.62	19

(c) 艇種別の解体作業時間

艇種別の解体作業時間を Fig.4.2.36 に示す。Fig.4.2.36 の一点鎖線は、全艇種・全地区の平均値である。ヨットは、他艇種に比べ艀装品が多く、ハル面積が大きいため、解体時間が長かった。今回の

廃船は、エンジン、漁労装置が事前撤去されていたため、FRP 漁船は解体時間が短かった。また、木製漁船は、選別物が少なく（金物のみ選別）、解体時間が短かった。

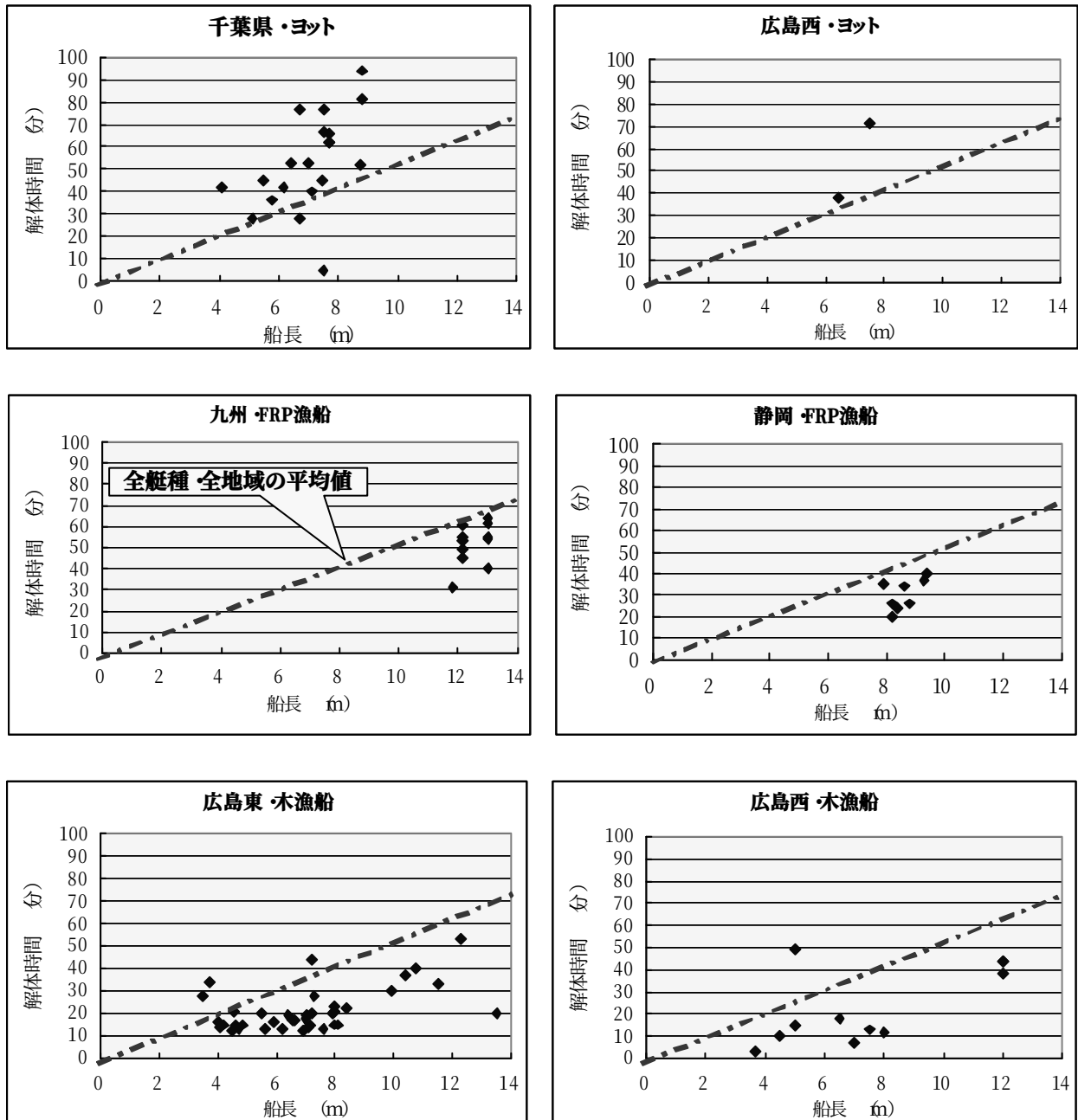


Fig.4.2.36 艇種別の解体作業時間

(5) FRP 廃船の解体マニュアル

以上の FRP 廃船の収集～解体実証試験で得られた結果をもとに、解体作業場所及び解体処理業者の選定と解体作業手順に関して指針となるマニュアルを作成した。

(a) 解体場所選定マニュアル

空き地で、廃船の一時保管と解体作業を行う場合の解体場所選定マニュアルを下記に示す。

解体場所 選定マニュアル

- | | | |
|-------|--|-------|
| A-1) | 広さ 作業と廃船のスペースが500坪 約1,600m ²)程度ある。 | MUST) |
| A-2) | 大型トラック、作業重機が容易に搬入できる。 | MUST) |
| A-3) | 地域住民からクレームが出ない場所である。 | MUST) |
| A-4) | 民家より200m以上離れている。 | MUST) |
| A-5) | 海、河口に隣接している。 | WANT) |
| | 回航・曳航で大型廃船を搬入する場合はMUST要件) | |
| A-6) | 近くに使用可能な上架設備がある。 | WANT) |
| | 無い場合は、クレーン車が必要になり、経費増) | |
| A-7) | 敷地使用料が安価である。 | WANT) |
| A-8) | 廃船搬入アクセスが容易で便利である。 | WANT) |
| A-9) | FRP破材の中間処理場に近い。 | WANT) |
| A-10) | FRP以外の廃棄物の処理場に近い。 | WANT) |

(b) 解体業者選定マニュアル

実証試験における FRP 廃船の解体作業を行う解体
処理業者の選定マニュアルを下記に示す。

解体処理業者 選定マニュアル	
A-1) 廃棄物処理の正式認可を取得している。 産廃、一般、収集・運搬、中間処理)	ⓂUST)
A-2) 県内の業者である。	ⓂUST)
A-3) 公共（自治体）の廃棄物処理の実績がある。	ⓂUST)
A-4) 他の産廃業者からクレームが出ない業者である。	ⓂUST)
A-5) 廃棄物のリサイクルについて前向きである。	ⓂANT)
A-6) FRP船に対し関心があり、知識がある。	ⓂANT)
B-1) 建築物を建設機材で粗解体した経験がある。	ⓂUST)
B-2) FRP廃船を建設機材で粗解体した経験がある。	ⓂANT)
B-3) 廃車を建設機材で粗解体した経験がある。	ⓂANT)
B-4) 解体作業を行う指定の建設機材を所有している。	ⓂANT)
B-5) 解体作業を行う指定の建設機材を手配できる。	ⓂUST)
B-6) 金属・木等の廃棄物処理ができる。	ⓂUST)
B-7) 廃油処理の手配ができる。	ⓂUST)
B-8) FRP破材（扱いはゴミでなく試験材料）の輸送ができる。	ⓂANT)
C-1) 業者見積の経費が、試験予算内である。	ⓂUST)
C-2) その他	

(c) 解体作業マニュアル

実証試験における空き地等の場所で行う解体試験
作業の要領をまとめると、下記ようになる。FRP

廃船の解体作業要領の詳細を Fig.4.2.37 ~
Fig.4.2.39 に示す。

1. 準備する機材・作業者

- | | |
|----------------------------|---|
| 1) 解体用建設機械 1台 | オペレータ1名付き
12～20トン型 ユンボ
アタッチメント:フォークグリッパ又はそれに準ずるもの |
| 2) 補助作業者 2～3名 | 粗解体の補助作業
分別作業
FRP破材、廃棄物の積み込み作業 等 |
| 3) 廃棄物搬出用のトラック | 廃棄量に合わせて手配 |
| 4) FRP破材搬出用のトラック | FRP破材量に合わせて手配
10トンアームロール車 又は、10トンドンプ機能付きトラック |
| 5) 下敷き鉄板 2m x4m x25mm x8枚) | 解体場所の敷物、土地の原状復帰をし易くするため |

2. 解体作業

1) 解体する1隻を解体場所に移動し、解体は1隻毎行う。

2) 詳細は別紙「作業要領」及び、ビデオを参照の事

3. 分別と積載作業

1) 粗解体した物を、FRP破材、金属、その他に分別する。

2) FRP破材は、運搬車へ積載する。

3) 金属、その他は産業廃棄物として処分するため、それぞれ運搬車に積載する。

4. 重量計測

1) FRP破材、金属類、その他の3種類の総重量を計測する。

2) 計測したデータは、全て指定日までに報告する。

5. 搬出と処理

1) FRP破材は、指定する場所まで輸送する。

2) 金属、その他の廃棄物は、産廃処理場に輸送し、処理する。

3) 廃棄物は、規則通り、マニフェストを提出する。

4) 廃棄物の処理方法 (埋立て、リサイクル) 及び、有価物の有無を報告する。

6. 整地

1) 作業後は、後片付けを行い、最終日には原状復帰を行う。

7. その他

1) 作業者は、監督者 (海上技術安全研究所及び舟艇工業会) の指示に従う。

2) 見学者は許可制とする。

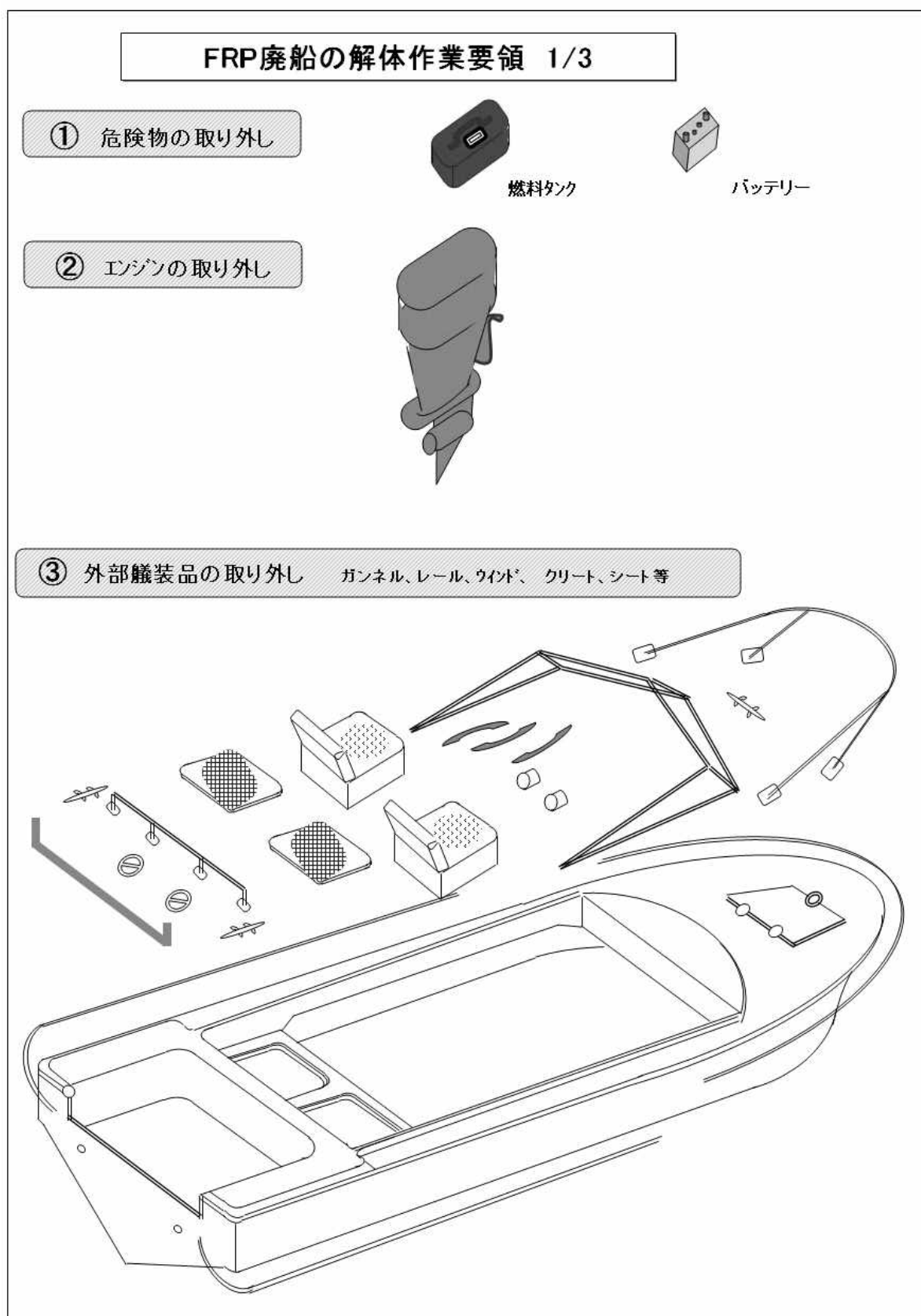


Fig.4.2.37 FRP 廃船の解体作業要領 (①～③)

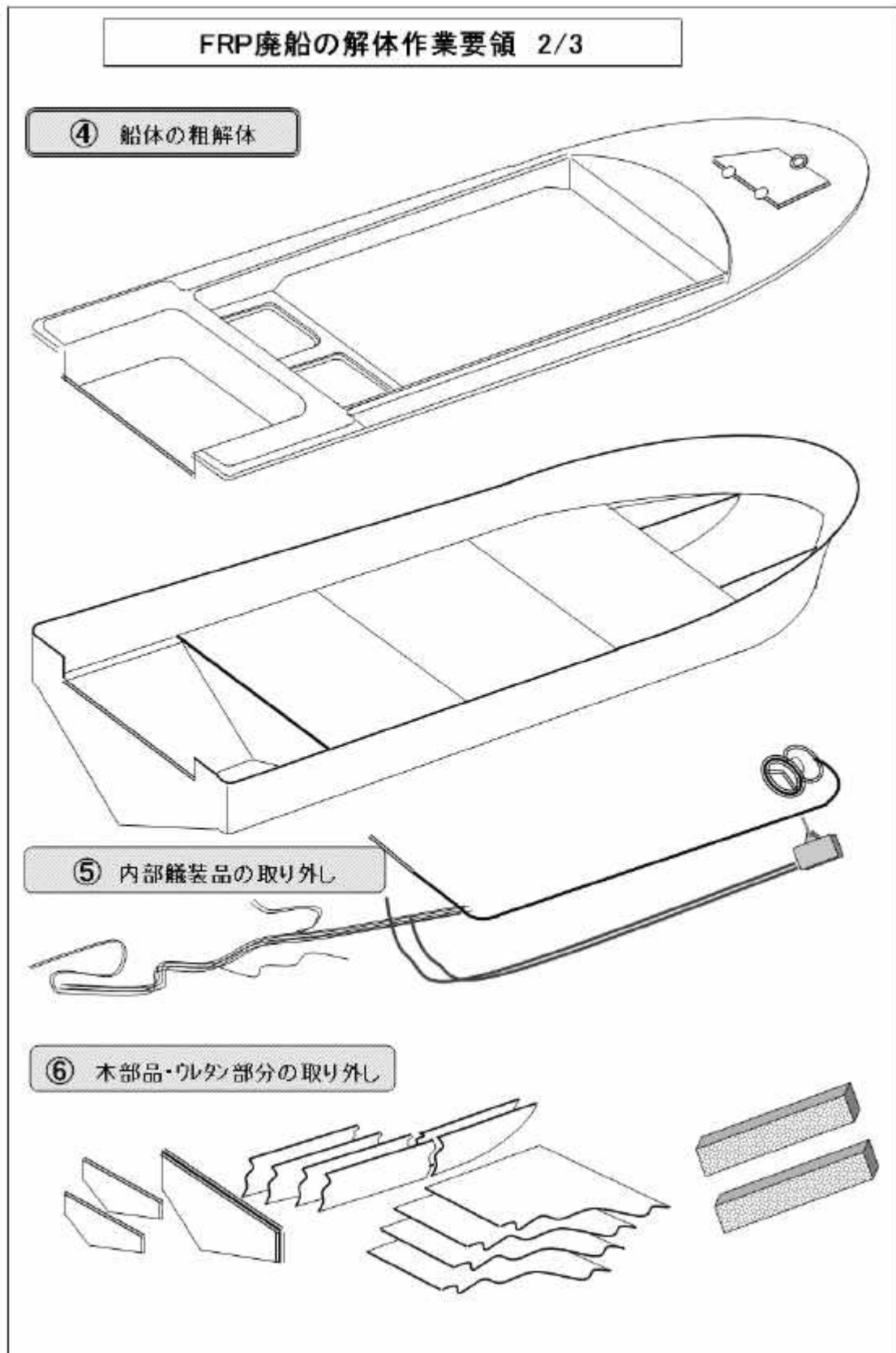


Fig.4.2.38 FRP 廃船の解体作業要領（④～⑥）

FRP廃船の解体作業要領 3/3

⑦ FRP破材、金属類、その他に分別

< FRP破材 >

金属・針金・石を混入させない事

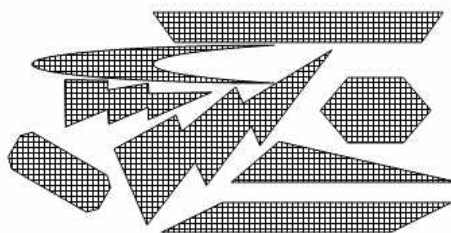
許される混入物の範囲

ボルト：Φ5-50mm以内

プレート：t2×50×50mm以内

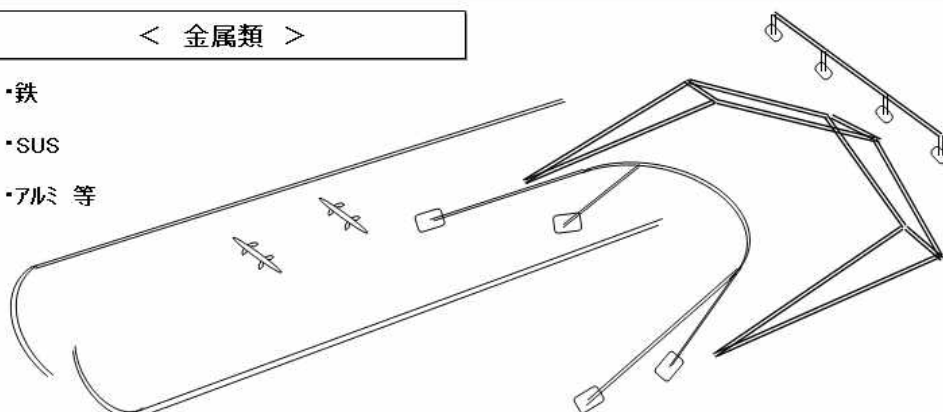
FRP破材の大きさ：1m角以内

(木材、ウレタン材は出来るだけ取り除く)



< 金属類 >

- ・鉄
- ・SUS
- ・アルミ 等



< その他 >

- ・木、ウレタン、ゴム部品
- ・化成品
- ・クッション、シート
- ・電線、ケーブル 類
- ・その他

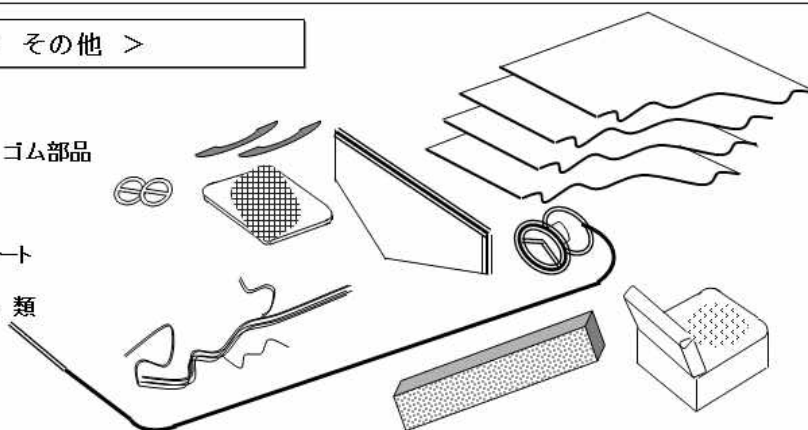


Fig.4.2.39 FRP 廃船の解体作業要領 (⑦)

(6) FRP 破材等の重量

地区別の破材物の重量内訳を Fig.4.2.40 に、地区別の破材物の廃船 1 隻当り平均重量を Fig.4.2.41 に、また、破材物の重量のまとめを Table 4.2.15 に示す。

253 隻の解体により採取した FRP 破材は、重量 59.7 トン、トラック積載容積 231m³、金属廃棄物は、重量 37.4 トン、トラック積載容積 68m³、その他廃棄物は、重量 116.4 トン、トラック積載容積 332m³であった。また、1 隻当りの平均破材重量は、FRP 破材約 236kg、金属類廃棄物約 148kg、その他廃棄物約 460kg であった。

回収廃船には、エンジン、装備品、生活ゴミ、フ

ジツボ、ヘドロが多く含まれており、回収廃船の割合の高い地域（千葉、広島）では、金属・その他の廃棄物の量が多かった。なお、金属類の廃棄物の重量は、持ち込まれる廃船のエンジンの有無により大きく左右される。

また、収集されたのが全て FRP 製漁船であった九州地区の破材量は、他地区に比べ突出しており、FRP 破材約 660kg、その他廃棄物約 1,340kg で、ボート・ヨットに比べ、約 3 倍の量であった。これは、船の大きさが比較的大きく、デッキ回り等に木材を多用し、構造のしっかりした‘海苔船’であったので、大量の木材が回収されたためである。

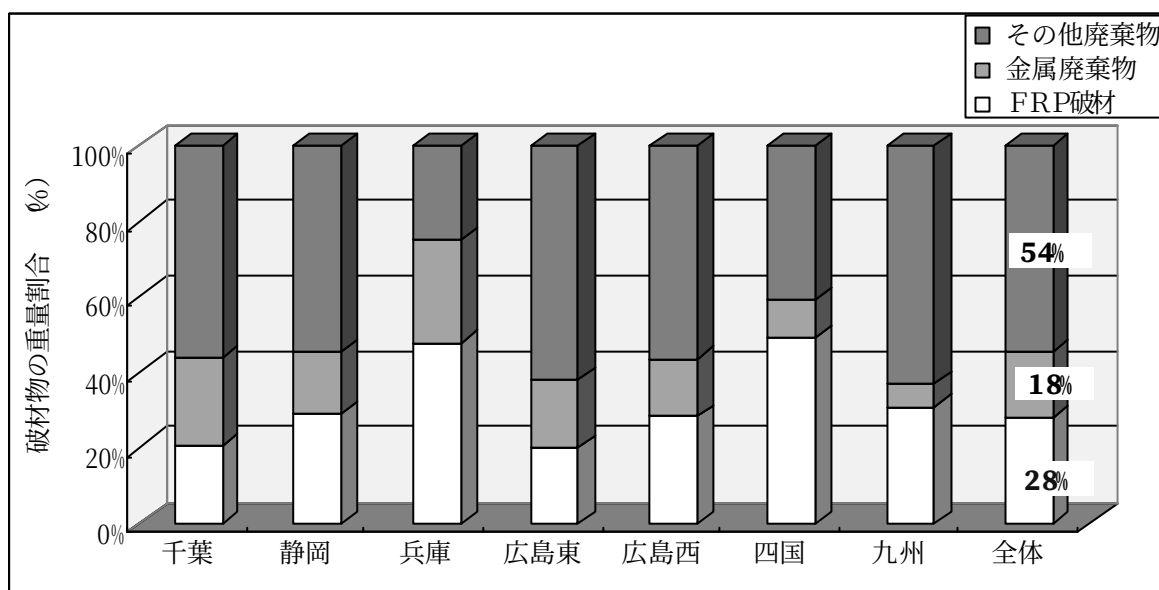


Fig.4.2.40 破材物の重量内訳

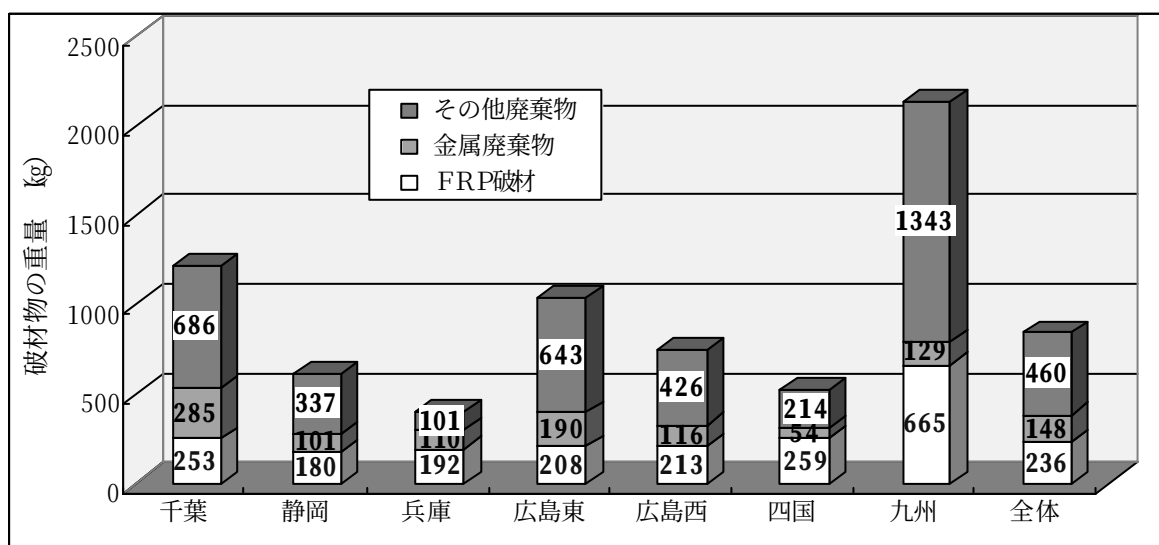


Fig.4.2.41 破材物の廃船1隻当りの平均重量

Table 4.2.15 FRP 破材等の重量
(A) 破材物の重量内訳 (単位: トン)

種別 \ 地域	千葉	静岡	兵庫	広島東	広島西	四国	九州	全体	割合
FRP 破材	12.88	11.14	6.34	6.24	7.87	7.25	7.98	59.70	28%
金属廃棄物	14.52	6.25	3.62	5.70	4.30	1.50	1.55	37.44	18%
その他廃棄物	34.99	20.88	3.32	19.28	15.76	6.00	16.12	116.35	54%
合計	62.39	38.27	13.28	31.22	27.93	14.75	25.65	213.49	100%

(A A) 破材物の廃船 1 隻当りの平均重量 (単位: k g)

種別 \ 地域	千葉	静岡	兵庫	広島東	広島西	四国	九州	全体
FRP 破材	253	180	192	208	213	259	665	236
金属廃棄物	285	101	110	190	116	54	129	148
その他廃棄物	686	337	101	643	426	214	1,343	460
合計	1,223	617	402	1,041	755	527	2,138	844
廃船隻数	51	62	33	30	37	28	12	253

(B) 廃船解体による破材物の容量内訳 (単位: m³)

種別 \ 地域	千葉	静岡	兵庫	広島東	広島西	四国	九州	全体	割合
FRP 破材	48	51	20	21	28	39	24	231	37%
金属廃棄物	24	8	8	10	10	4	4	68	11%
その他廃棄物	96	54	10	53	36	33	50	332	52%
合計	168	113	38	84	74	76	78	631	100%

N o t e : トラックに積載した状態で、荷台容積・積載率から、容積を算出した値

(B B) 破材物の廃船 1 隻当りの平均容量 (単位: m³)

種別 \ 地域	千葉	静岡	兵庫	広島東	広島西	四国	九州	全体
FRP 破材	0.94	0.82	0.61	0.70	0.76	1.39	2.00	0.91
金属廃棄物	0.47	0.13	0.24	0.33	0.27	0.14	0.33	0.27
その他廃棄物	1.88	0.87	0.30	1.77	0.97	1.18	4.17	1.31
合計	3.29	0.87	1.15	2.80	2.00	2.71	6.50	2.49
廃船隻数	51	62	33	30	37	28	12	253

(7) FRP 破材等の輸送

各地区で取得したFRP 破材の中間プラントへの搬出状況をそれぞれFig.4.2.42～Fig.4.2.48に示す。FRP 破材等の搬出は、4トン～10トンのアームロー

ル車あるいはダンプ車によって行われた。破材物は、FRP 破材、金属、その他のゴミに分別して搬出し、それぞれ重量を計測した。

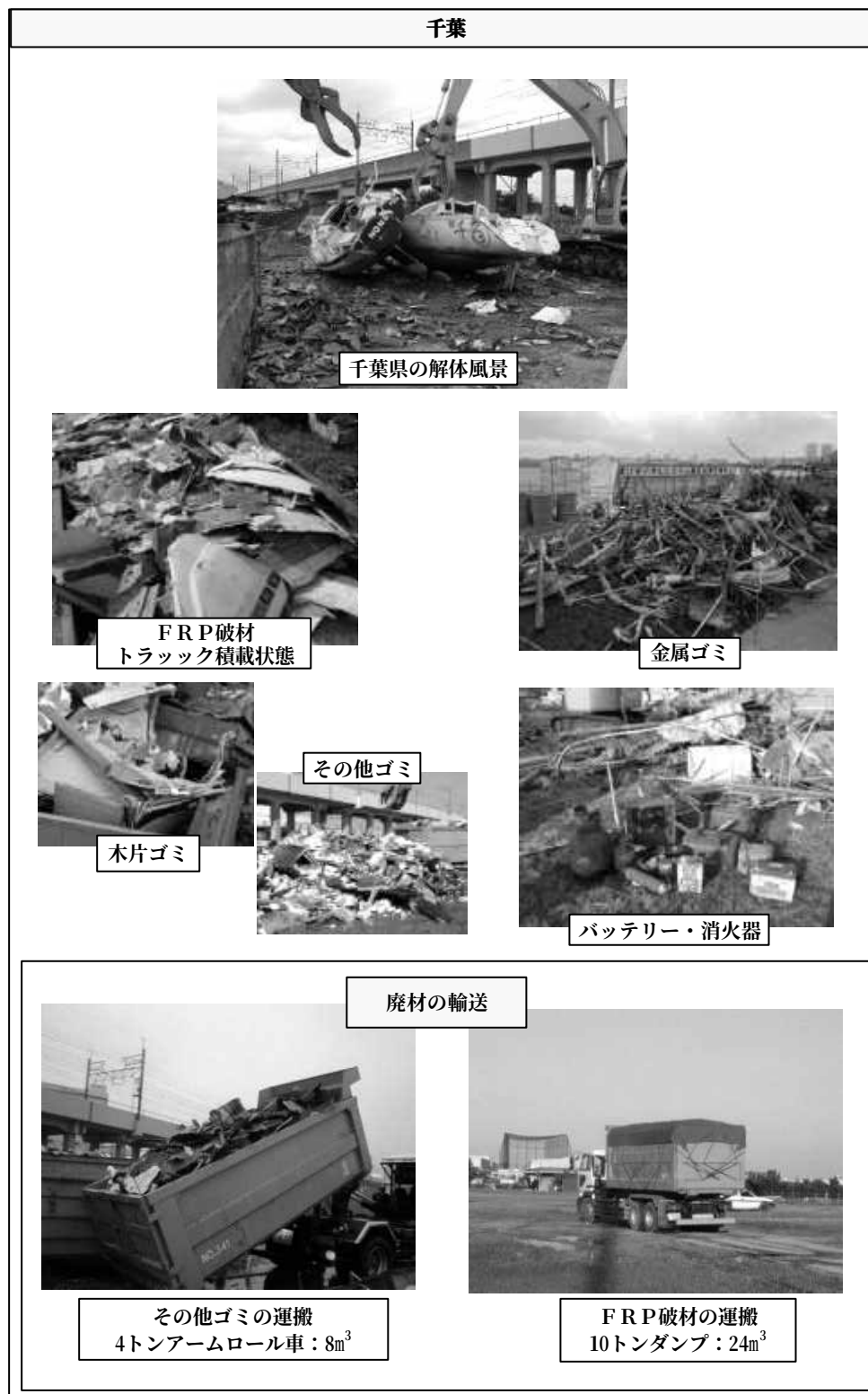


Fig.4.2.42 千葉県におけるFRP 破材等の輸送

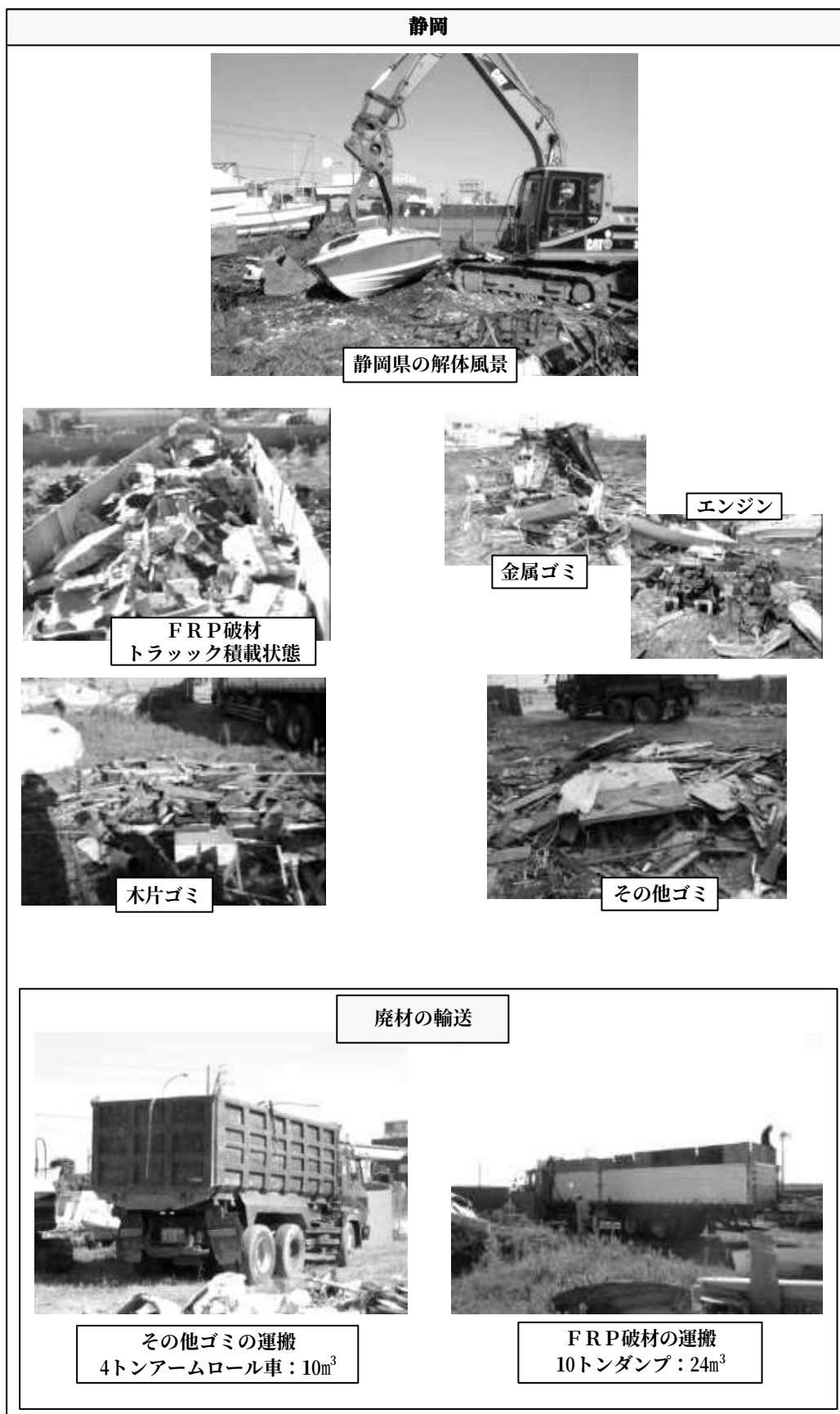


Fig.4.2.43 静岡県におけるFRP破材等の輸送

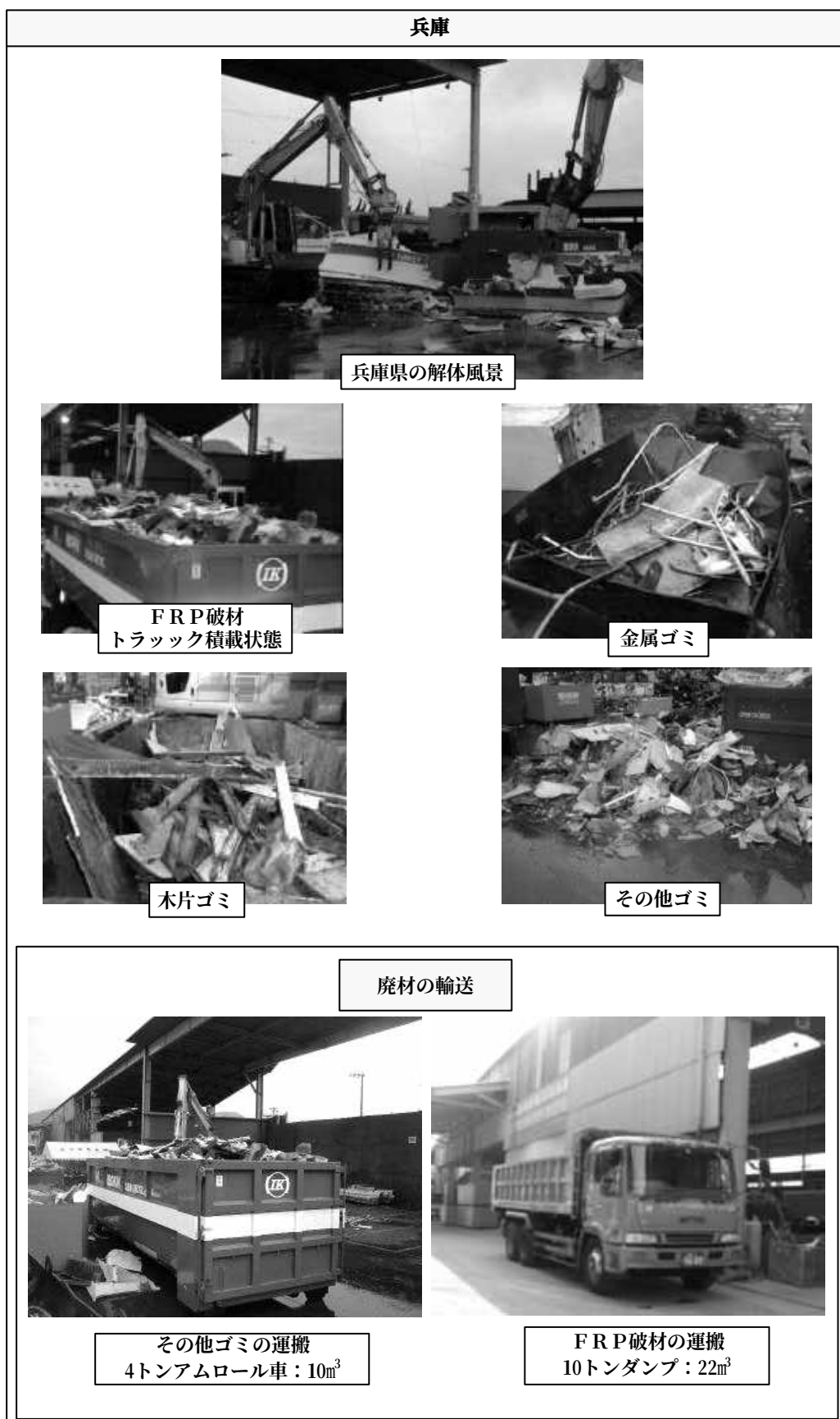


Fig.4.2.44 兵庫県におけるFRP破材等の輸送



Fig.4.2.45 広島県東部における FRP 破材等の輸送

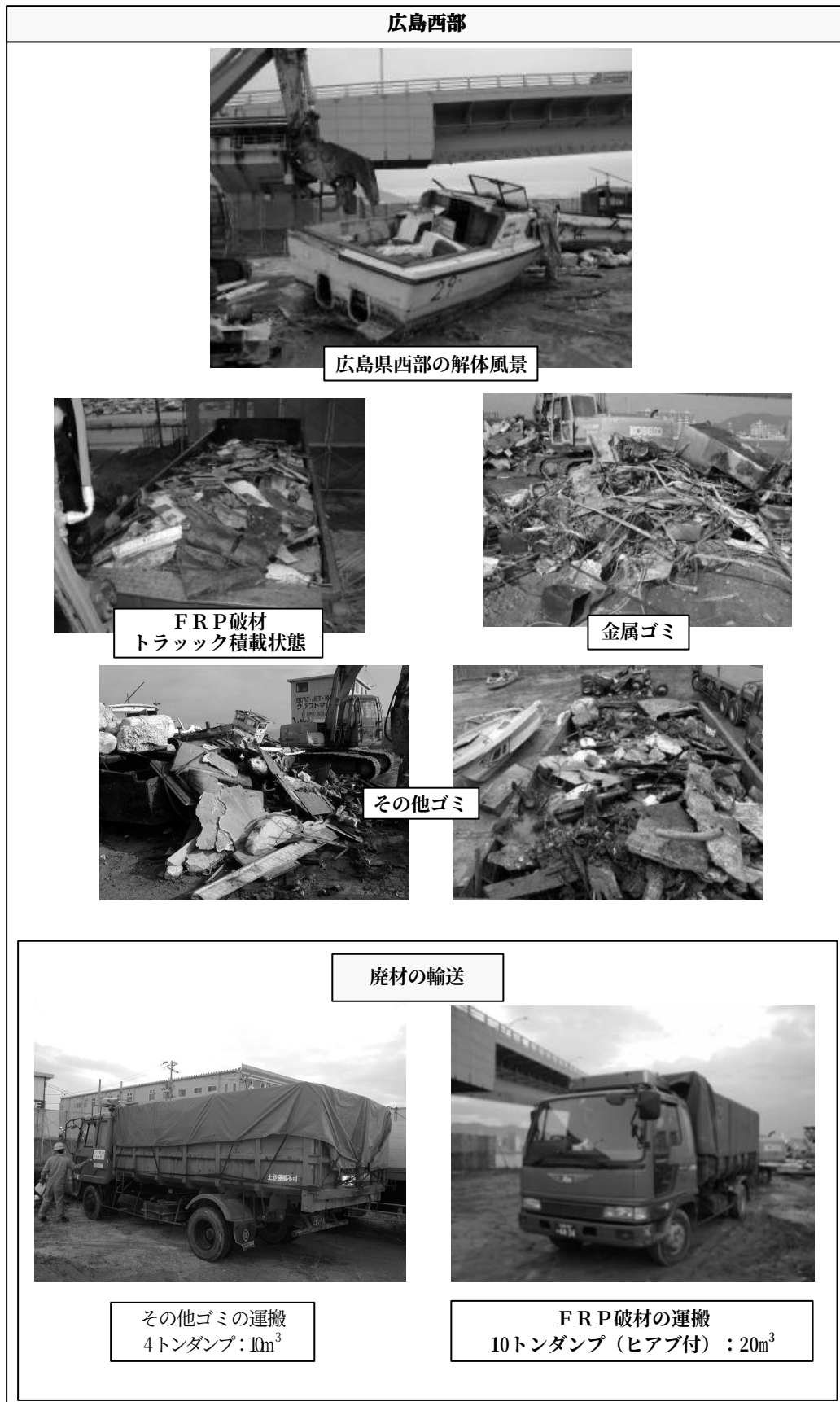


Fig.4.2.46 広島県西部における FRP 破材等の輸送

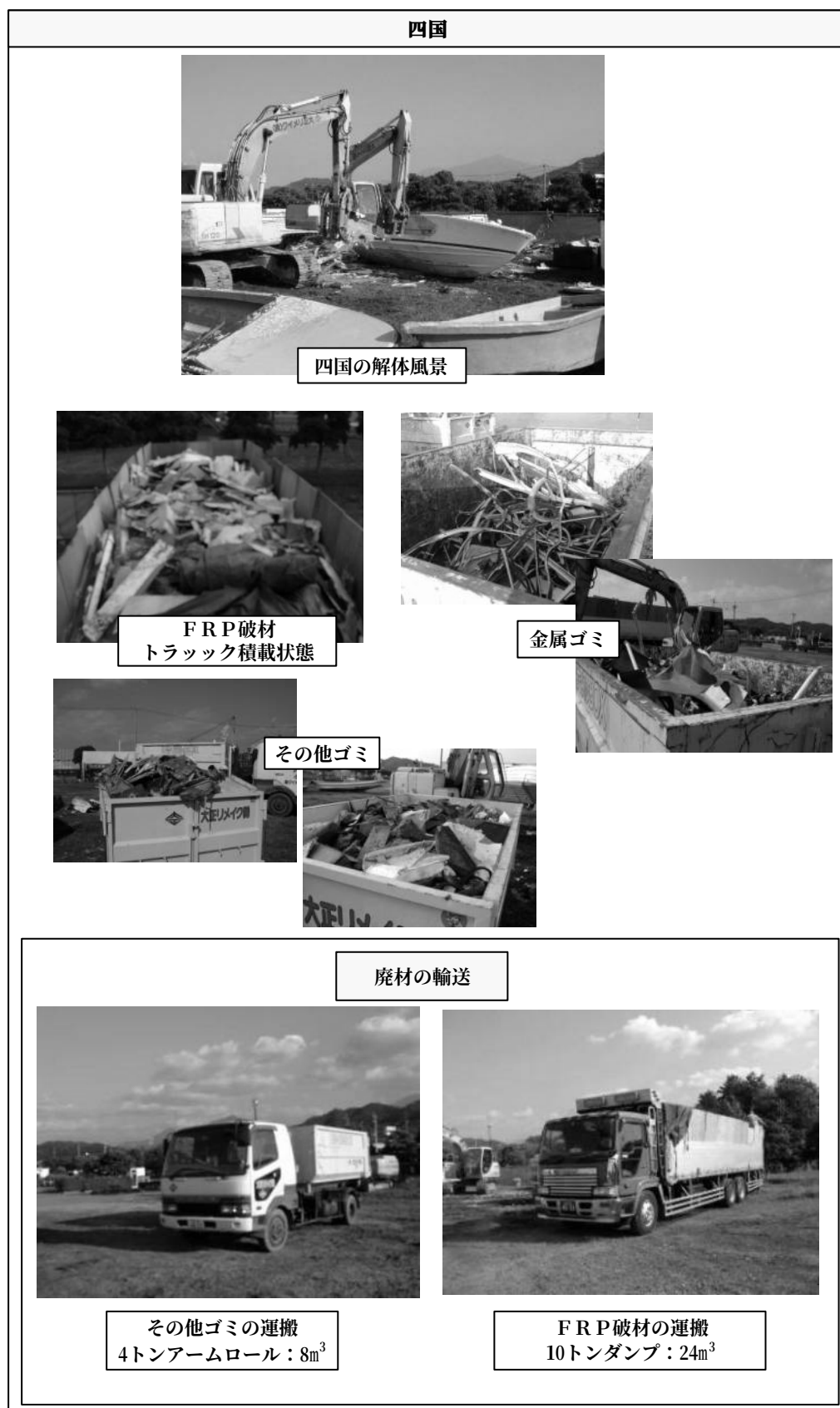


Fig.4.2.47 四国におけるFRP破材等の輸送

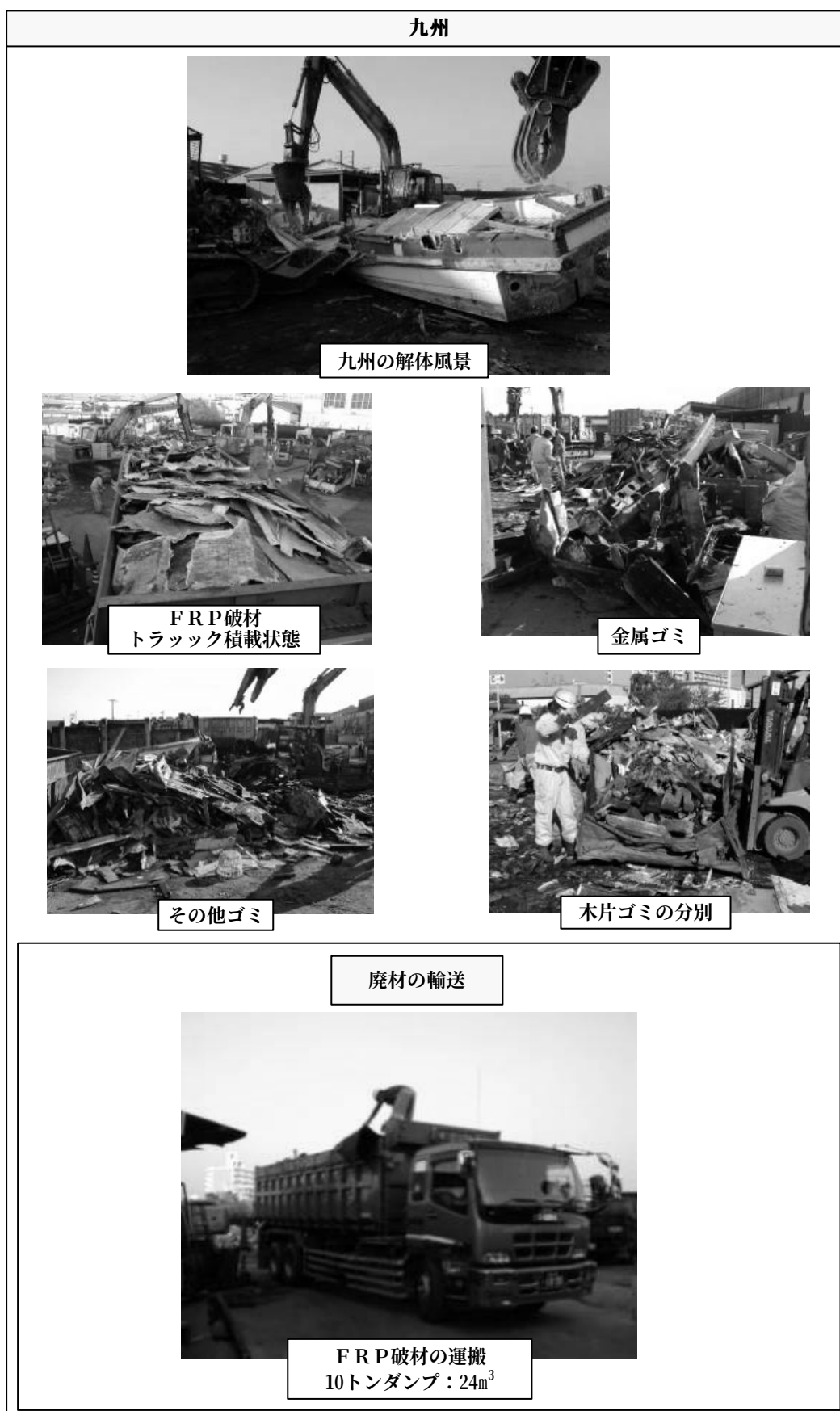


Fig.4.2.48 九州におけるFRP破材等の輸送

(8) FRP 船解体費用・FRP 破材運搬費用

FRP 船解体費用及び FRP 破材運搬費用は、業者の請求金額をそのまま作業費用、輸送費として集計した。長さ 6m 相当廃船について地区別の解体作業費用及び FRP 破材輸送費をそれぞれ Fig.4.2.49 と Fig.4.2.50 に、その詳細を Table 4.2.16 に示す。全地域平均の解体作業費用は、1 隻当り 28,560 円、6m 相当廃船で 28,920 円となり、全地域平均の FRP 破材輸送費は、1 隻当り 6,920 円、6m 相当廃船で 7,000 円であった。また、解体作業費用は、6m 相当

廃船で、最大 54,520 円、最小 13,260 円となり、FRP 破材輸送費は、6m 相当廃船で、最大 12,280 円、最小 1,710 円であった。なお、静岡、四国地区の FRP 破材は、広島で一時保管し、二度物流したため輸送費が高くなった。

この結果、解体作業費用は、業者の単価、作業能率、解体場所の付帯作業の有無によって左右され、FRP 破材輸送費は、業者の単価、輸送距離、及び二度物流の有無に左右されることが分かった。

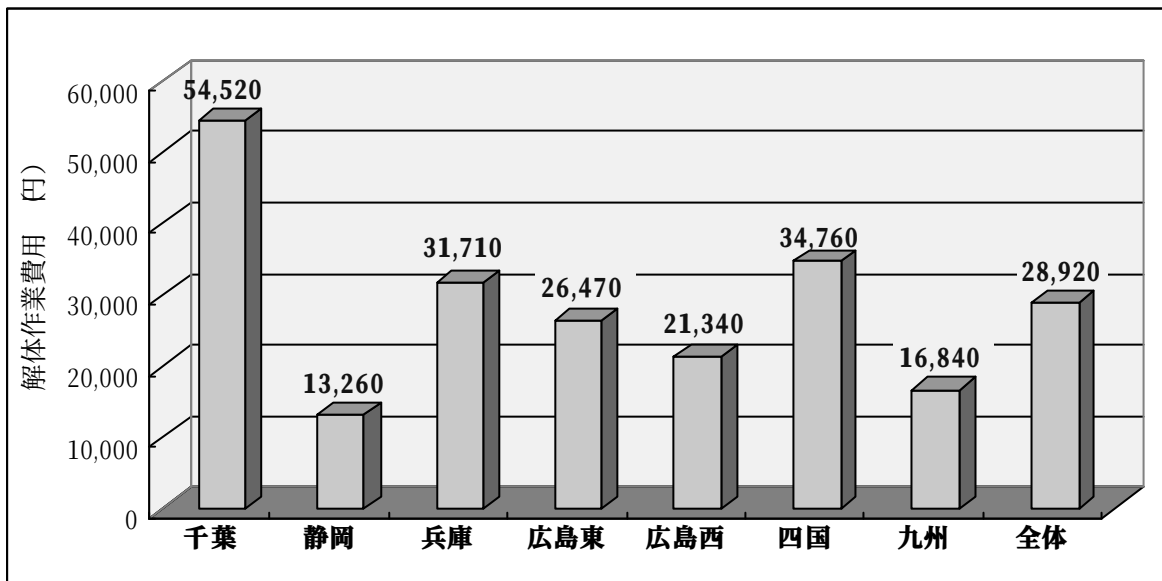


Fig.4.2.49 地区別、長さ 6m 相当廃船の解体作業費用 (円)

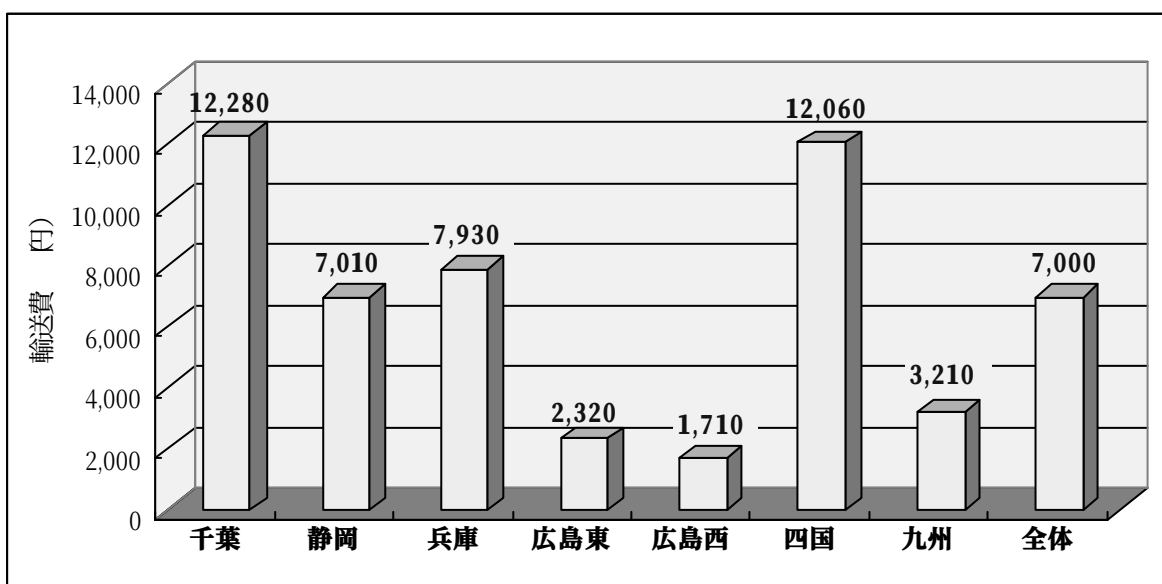


Fig.4.2.50 地区別、長さ 6m 相当廃船の FRP 破材輸送費 (円)

Table 4.2.16 地区別の解体作業及び輸送費

(A) 地区別、解体作業費用 (F-G r 廃船)

項目 \ 地区		千葉	静岡	兵庫	広島東	広島西	四国	九州	全体
総費用	円	2,840,300	766,000	800,000	800,000	750,000	850,000	420,000	7,226,300
廃船1隻当り費用	円	55,690	12,350	24,240	26,670	20,270	30,360	35,000	28,560
1m廃船当り費用	円	9,090	2,210	5,290	4,410	3,560	5,790	2,810	4,820
廃船総隻数	隻	51	62	33	30	37	28	12	253
廃船総長さ	m	312.58	346.68	151.37	181.35	210.90	146.73	149.66	1,499.27

(B) 地区別、FRP破材輸送費 (F-G r 廃船)

項目 \ 地区		千葉	静岡	兵庫	広島東	広島西	四国	九州	全体
総費用	円	640,000	405,000	200,000	70,000	60,000	295,000	80,000	1,750,000
廃船1隻当り費用	円	12,550	6,530	6,060	2,330	1,620	10,540	6,670	6,920
1m廃船当り費用	円	2,050	1,170	1,320	390	280	2,010	530	1,170
廃船総隻数	隻	51	62	33	30	37	28	12	253
廃船総長さ	m	312.58	346.68	151.37	181.35	210.90	146.73	149.66	1,499.27
輸送経路		～下関	～広島 ～下関	～下関	～下関	～下関	～広島 ～下関	～下関	

(A A) 地区別、解体作業費用 (F-G r 廃船)

項目 \ 地区		千葉	静岡	兵庫	広島東	広島西	四国	九州	全体
6m廃船当り費用	円	54,520	13,260	31,710	26,470	21,340	34,760	16,840	28,920

(B B) 地区別、FRP破材輸送費 (F-G r 廃船)

項目 \ 地区		千葉	静岡	兵庫	広島東	広島西	四国	九州	全体
6m廃船当り費用	円	12,280	7,010	7,930	2,320	1,710	12,060	3,210	7,000

4.2.4. 騒音計測

全国7ヶ所の地区で、解体時の騒音を計測した。騒音計測結果をTable 4.2.17に示す。なお、騒音計測は、積分平均型普通騒音計（リオン株式会社製NL-04）を用いた。

全地区の解体時平均騒音は約76dBであった。いず

れも民家からは離れていた事もあるが、苦情はなかった。また、業者の作業場で解体を行った兵庫、九州での騒音は、他地区より大きかった。これは、作業場の周囲が壁、建物で囲われているためと考えられる。（参考文献14）参照）

Table 4.2.17 騒音計測一覧

◆暗騒音・解体時騒音は午前と午後の約1分間計測した平均値を出した

地区	場所	計測日	天気	風速	湿度	測定 距離	暗騒音	解体時 平均騒音
千葉県	公有地	11/10	雨	S E微風	95%	1.5 m	61.68	75.43
		11/11	雨	無風	90%	1.5 m	59.77	75.84
		11/12	晴	S E微風	68%	1.5 m	63.34	88.21
		11/13	曇	S E微風	80%	1.5 m	58.62	76.56
静岡県	公有地	10/15	晴	N E微風	51%	1.5 m	60.85	74.03
		10/16	晴	N E微風	41%	1.5 m	59.20	75.19
兵庫県	業者	11/2	曇	無風	65%	1.5 m	45.69	84.32
	作業場	11/3	雨	無風	88%	1.5 m	67.44	79.45
広島県 東部	公有地	11/18	晴	N E微風	30%	1.5 m	49.92	69.2
		11/19	曇	N E微風	46%	1.5 m	48.60	71.6
広島県 西部	公有地	11/4	晴	S E微風	60%	1.8 m	62.08	74.38
		11/5	雨	無風	67%	1.8 m	59.44	73.92
		11/6	晴	NW微風	70%	1.8 m	56.85	71.63
四国	公有地	10/22	晴	NW微風	65%	1.5 m	59.01	81.05
		10/23	晴	NW微風	45%	1.5 m	60.16	69.27
九州	業者	11/15	晴	N E微風	50%	1.5 m	51.82	80.25
	作業場							
全地区の平均値							57.78	76.27

4.2.5. 粉塵計測

全国7ヶ所の地区で、粉塵の計測を目視にて実施した。その結果をTable 4.2.18に示す。粉塵の飛散状況は、天候、風の状態により異なり、晴れた風の有る日は、粉塵の飛散を目視で確認できた。飛散量は少ないが、作業環境の安全性から、作業者は、耐粉塵の装備が必要と考える。

また、静岡県では、ローボリウムエアサンプラー（柴田科学株式会社製 SL-15P 型）とレーザデジタル粉塵計（柴田科学株式会社製 LD-3 型）を用いて、JIS 規格 Z 8814¹⁵⁾に基づいて詳細な粉塵計測を2回行った。静岡県での粉塵計測結果をFig.4.2.51とFig.4.2.52に示すが、概ね、以下のようにまとめられる。

- ① 解体作業において粉塵の発生が認められた。
- ② 粉じんは解体作業場所からの風向きによ

って風下側に飛散するが、風下以外ではほとんど測定されなかった。

- ③ 平均風速 3m/s 前後において、作業区域外 5m 程度まで粉塵の飛散が認められた。但し、作業内容及び気象や作業場所の状況により飛散範囲は変化すると考えられる。
- ④ 粉塵濃度については、解体作業場所直近以外では環境基準値¹⁶⁾（1時間値の1日平均値が 0.1mg/m³ 以下）を上回るような測定結果は得られなかった。
- ⑤ 作業環境の安全性から作業従事者の耐粉塵装備などを考慮する必要がある。

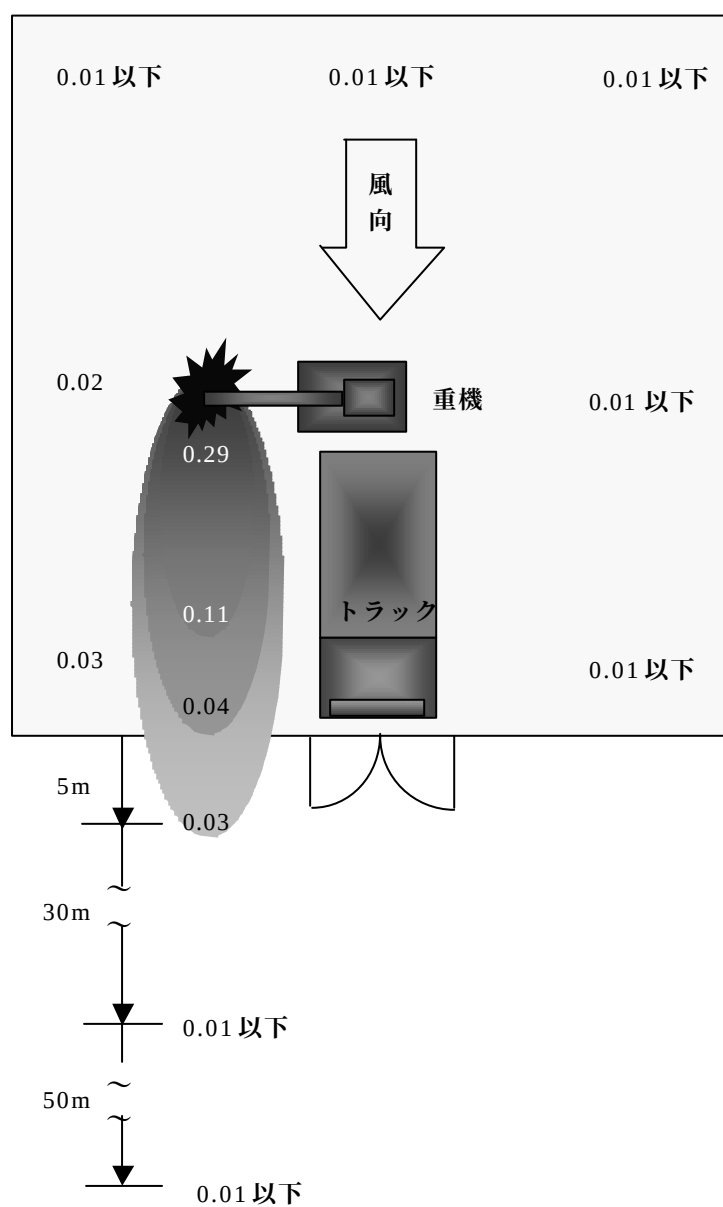


Fig.4.2.51 1回目の粉塵計測（単位：mg/m³）

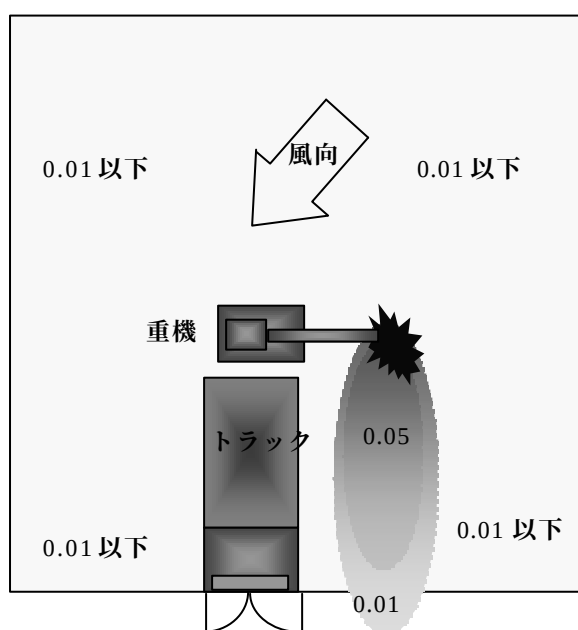
Fig.4.2.52 2回目の粉塵計測（単位：mg/m³）

Fig.4.2.18 粉じん計測一覧

地区	場所	計測日	天気	風速	粉じんの飛散状況	苦情等の有無
千葉県	公有地	11/10	雨	S E 微風	粉じんの飛散無し	苦情等無し
		11/11	雨	無風	粉じんの飛散無し	
		11/12	晴	S E 微風	ガラス粉じん飛散有り	
		11/13	曇	S E 微風	ガラス粉じん飛散有り	
		11/14	晴	N E 微風	ガラス粉じん飛散有り	
静岡県	公有地	10/15	晴	N E 微風	ガラス粉じん飛散有り	苦情等無し
		10/16	晴	N E 微風	ガラス粉じん飛散有り	
		10/17	晴	N E 微風	ガラス粉じん飛散有り	
兵庫県	業者 作業場	11/2	曇	無風	粉じんの飛散無し	苦情等無し
		11/3	雨	無風	粉じんの飛散無し	
広島県 東部	公有地	11/17	晴	NW 微風	粉じん飛散有り	隣接するフェリ駐車場の 客より粉じん苦情あり 作業時散水を実施
		11/18	晴	N E 微風	ガラス粉じん飛散有り	
		11/19	曇	N E 微風	ガラス粉じん飛散有り	
		11/20	雨	無風	粉じんの飛散無し	
広島県 西部	公有地	11/4	晴	S E 微風	ガラス粉じん飛散有り	苦情等無し
		11/5	雨	無風	粉じんの飛散無し	
		11/6	晴	NW 微風	ガラス粉じん飛散有り	
		11/7	晴	NW 微風	ガラス粉じん飛散有り	
四国	公有地	10/22	晴	NW 微風	ガラス粉じん飛散有り	苦情等無し
		10/23	晴	NW 微風	ガラス粉じん飛散有り	
九州	業者 作業場	11/15	晴	N E 微風	ガラス粉じん飛散有り	苦情等無し

4.3. 中間処理

4.3.1. 中間処理プラントの設置場所

平成14年度に、FRP 船リサイクルプラント（特許出願中、出願番号 特願 2002-333300、発明の名称：廃 FRP 船リサイクル設備）を製作した。FRP 船リサイクルプラントは、1m 角以下に解体した FRP 破材を約 20mm 以下に破碎し、廃油を混合して、セメント焼成可能な混合物を製造(中間処理)する機械である。

平成14年度は、FRP 船リサイクルプラントを麻生セメント(株)田川工場(福岡県田川市)に設置し、62.14 トンの FRP から約 73.5 トンの混合物(廃油混合率：15～20%)を製造して、セメント焼成試験を行った⁷⁾。

平成15年度は、平成14年度開発した FRP 船リサイクルプラントを改造¹⁷⁾し、山口県下関市の中間処理場へ搬入・設置し、全国から収集した FRP 破材 59.68 トンの破碎・分別・混合の実証試験を行った。製造物は、山口県の(株)トクヤマ 南陽工場へ FRP22.80 トン、福岡県の宇部興産(株)苅田工場へ目標廃油重量比 15%の混合物 18.47 トン、兵庫県の住友大阪セメント(株)赤穂工場へ目標廃油重量比 17%の混合物 16.04 トンを搬出し、セメント焼成実証試験を実施した。Fig.4.3.1 にプラント製作会社、セメント会社及び中間処理場の場所を示す。

なお、今回の中間処理プラント設置場所の条件は、以下の通りである。

1. 電源・電圧 (発電機等)

- ①400/440V、300kVA、50/60Hz
- ②200/220V、75kVA、50/60Hz

2. 圧縮空気 (コンプレッサー)

- ①圧力 : 0.5MPa
- ②空気消費量 : 250L/min(normal)

3. 設置場所

- ①機械設置場所は150mm厚以上のコンクリート
コンクリート床が無い場合は、寸法 1,524×
3,048×22(mm)の鉄板を15枚敷く。
- ②屋外設置可能 (なお、屋内の場合、約 6m (破碎
機サイズ)の高さ及び 10 トンアームロール車
が入場できる横幅の間口が必要)

4. 必要敷地面積：700 m² (廃材 80 トンをストックした場合)

- ①FRP 廃材 (80 トン) 保管スペース：320 m² (1m
高のブロック必要 (5 トン=20m³))
- ②プラント設置スペース：180 m²
- ③ユンボ及びフォークリフト稼働スペース：200
m²

5. プラント設置時

- ①50 トンクレーン 1 台
- ②25 トンクレーン 1 台
- ③プラント設置補助作業員 2 名

6. プラント稼働時

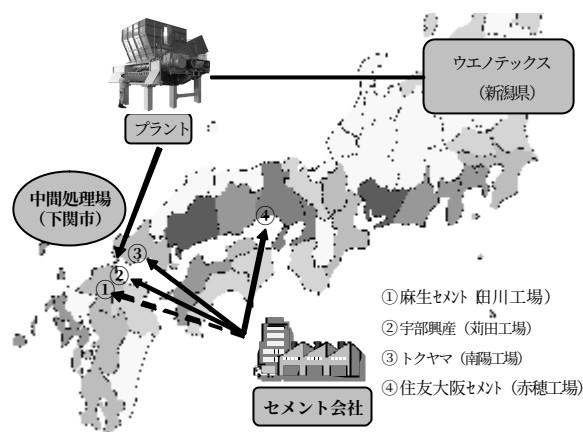


Fig.4.3.1 セメント会社及び中間処理場の場所

- ①破砕片投入用油圧ショベル (14 年度：本体
PC128US(0.45m³)、機械式フォーク付)：1 台
- ②ユンボオペレータ：1 名
- ③ユニットハウス (14 年度：奥行 2,250mmx 幅
5,460mm、床面積 12.3m²)：1 台
- ④エンジン発電機 (14 年度：2.3kVA、ガソリンエ
ンジン、ポータブル型)：1 台
- ⑤フォークリフト (1.5 トンタイプ)：1 台

4.3.2. FRP 船リサイクルプラント

下関市の中間処理場に設置した FRP 船リサイクルプラントの全景を Fig.4.3.2 に示す。また、改良後のプラントの仕様を以下に示す。

a. 破碎機

型 式 : 一軸剪断式
主 モ ー タ ー : 132kW
回 転 数 : 84rpm
スクリーンサイズ: φ20mm
処 理 能 力 : 3.0 トン/h

b. 搬送コンベア

型 式 : ベルトコンベア(全体防塵カバー)
電 動 機 : モータブリー 1.5kW
ベルト幅 : 450mm (平ベルト)
機 長 : 10m

c. 分別機

振 動 数 : 24.2Hz
スクリーンサイズ: □8mm
処 理 能 力 : 3.0 トン/h

d. 発泡ウレタン吸引装置

型式: 電子集塵機
風量: 60m³/min(2.6kPa)

e. 流量計

型 式: インパクトライン
最大検出流量: 3.5 トン/h



Fig.4.3.2 FRP 船リサイクルプラント

f. 混合機

型式：リボンスクリュー式（φ600mm）

スクリューピッチ：200mm

処理能力：FRP 3.0 トン/h、重油 0.6 トン/h

g. 廃油タンク

容積：3,181 リットル

材質：SS400

4.3.3. FRP の破碎

破碎機は、ウエノテックス（株）製一軸剪断式破碎機 UC-130 を用いた。平成 14 年度に破碎機の破碎刃の最適材質として DC53 と SKH51 を選定したが、平成 15 年度は、破碎機の固定刃と回転刃の材質に DC53 を採用した。

破碎機で破碎した FRP 破碎片は、20mm のスクリーンを通し、搬送コンベアを用いて分別機へ搬送される。分別機から採取した金属片を Fig.4.3.3 に示す。1 辺が 2cm 以上の金属片も見つかったが、セメント会社の判断では、セメント焼成に影響の無い大きさであった。

4.3.4. ウレタン発泡材の分別

発泡材分別装置の内部構造を Fig.4.3.4 に示す。FRP 破材が山盛りになった状態で搬送されると、スクリーンから小さな破材が十分に落下しなくなり、発泡材吸引口に破材が滞積して、発泡材の十分な分別が不可能になる。そのため、FRP 破材の投入口に仕切板を設けて、FRP 破材の高さが 70mm 以下になるようにした。また、発泡材が分別できるスクリーンの目の大きさは 8mm□に、発泡材吸引口の高さは、

集塵機の吸引力と吸引状況の関係より 44mm に設定した。

実証実験においては、雨の影響で、水分を多く含む粉体が装置内部に付着し、FRP 破材の装置内輸送及びウレタンの分別に支障を来す結果となった。そのため、製造速度が設計値 3 トン/h の約 1/3～1/2 に低下した。また、集塵機の集塵能力が合わないため、排出口が負圧となり、排出物が落下しない現象が生じた。そのため、定期的に集塵機を止めて、排出物をフレキシブルコンテナに回収した。

集塵機で回収したウレタン発泡材等の回収率は、搬入された FRP 廃材の全重量 59.68 トンの約 4.1%（2.47 トン）であった。

4.3.5. FRP と廃油の混合

廃油の目標混合率は、重量比で宇部興産 15%（FRP：廃油=100：15）、住友大阪セメント 17%（FRP：廃油=100：17）であったが、廃油消費量から計算すると、宇部興産用は平均値で 7.1%、住友大阪セメント用は 11.6%であった。混合率が目標値より低かったのは、ポンプの能力が大きく、低流量領域での吐出能力が安定しなかったことが原因であった。従って、適正なポンプを採用して吐出量の安定化を図り、流量計の流量測定値からのフィードバック制御を採用すれば、問題は解決できると考える。

廃油の粘度の測定は、ブルックフィールド粘度計（BL 型）を用いて行った。用いた廃油の粘度の温度依存性を Fig.4.3.5 に示す。平成 14 年度に使用した低い粘度の廃油 A とほぼ同じ程度であった。

平成 14 年度の試験（福岡県の麻生セメント田川工



Fig.4.3.3 分別機から採取した金属片

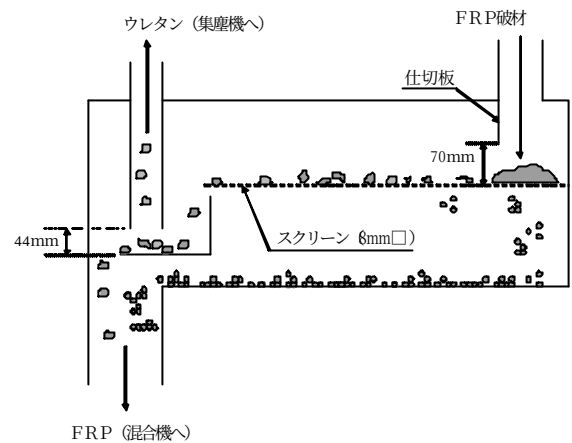


Fig.4.3.4 発泡材分別装置の内部構造

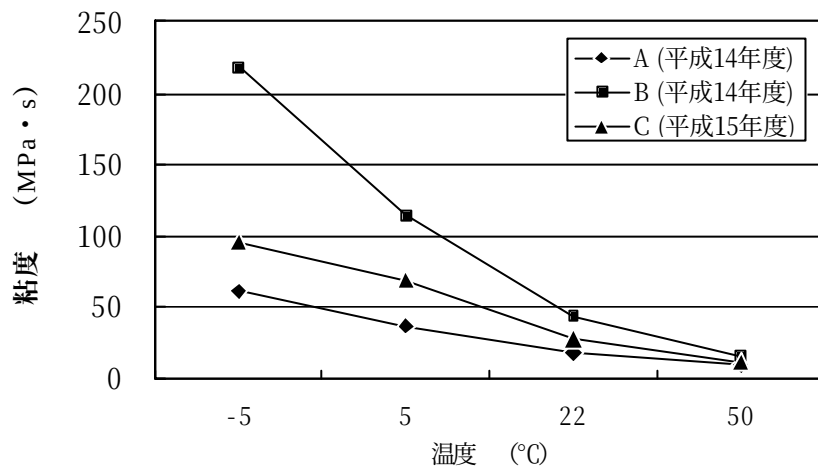


Fig.4.3.5 廃油の粘度の温度依存性

場)では、低温のため廃油の粘度が上昇し、ポンプが詰まって廃油Bが吐出しなくなる不具合が生じた。平成15年度の試験場所(下関市)の気温は、平成14年度の田川市と比べて高く、11月の日毎の平均気温が9.5~20.6°Cの範囲で変化し、11月の平均気温は16.2°Cであった。この温度範囲での粘度は、約50MPa・s以下となり、温度の影響で廃油の吐出が悪くなるような現象は発生しなかった。

4.3.6. 製造物の搬出

宇部興産(株)へは混合物を、(株)トクヤマへはFRPをフレキシブルコンテナへ入れて、10トンユニック車で搬出した。また、住友大阪セメント(株)へは、20トンフルトレーラー(ダンプ機能・牽引付、10トン貨車2台連結)に混合物をバラ積みにして搬出した。宇部興産及びトクヤマへの製造物搬出状況をFig.4.3.6に、住友大阪セメントへの製造物搬出状

況をFig.4.3.7に示す。

4.3.7. 粉塵測定

粉塵の測定は、デジタル粉塵計(柴田科学株式会社製LD-3)を用いて行った。測定場所をFig.4.3.8に、測定結果をTable 4.3.1に示す。

粉塵測定値は、風速・風向、測定位置(風上・風下)、天気等により大きく影響を受けることが分かった。Table 4.3.2に試験日における下関市の気象庁による気象状況を示すが、風速が強く、雨が多く、湿度が高かった。晴れて風速が強い時は、粉塵値が高くなり、湿度が多いとプラント内のFRPの搬送に支障を来しやすかった。また、FRPから発生する粉塵以外に、使用した建設機械や発電機から排出される煤煙の影響により、粉塵の測定値は大きく上昇することが分かった。

従って、プラントを屋内に設置すれば、風による

Table 4.3.1 粉塵測定結果

試験日 11月	天気	平均風速 (m/s)	風向 (中間処理場)	測定場所	質量濃度 (mg/m ³)	備考
14	晴後薄曇	2.3	東	①ユニットハウス	0.212	室内
			東	②建設機械の側	0.206	風下
			東	③外囲いの入口	0.145	風下
			東	④L型障壁の上	0.516	風下
17	快晴	1.8	東	③外囲いの入口	0.484	風下
18	晴後一時薄曇	2.6	東	③外囲いの入口	0.443	風下
21	晴時々雨	7.1	西	⑤L型障壁の上	0.505	風下
			西	③外囲いの入口	0.113	風上
22	晴	5.5	西	②建設機械の側	0.002	撒水、風下
25	曇時々雨	1.8	西	⑥発電機から9m	0.762	撒水、風下
			西	⑤L型障壁の上	0.004	撒水、風下
			東	⑤L型障壁の上	0.183	撒水、風下
			東	⑤L型障壁の上	0.321	撒水、風下
			東	⑤L型障壁の上	0.454	撒水、風下

Table 4.3.2 試験日の下関市の気象状況

試験日 11月	天気	平均気温 (℃)	平均相対湿度 (%)	平均風速 (m/s)	風向
5	雨時々曇	18.3	84	3.1	東北東
6	曇一時雨後晴	19.4	83	1.7	東南東
7	晴	19.3	79	1.7	北西
10	雨時々曇	15.2	80	2.6	北北東
11	曇時々雨	16.3	79	4.6	北西
12	曇一時雨	15.5	74	2.2	南西
13	雨後晴	15.4	66	5.1	西
14	晴後薄曇	15.0	71	2.3	東南東
17	快晴	13.6	59	1.8	北北東
18	晴後一時薄曇	15.6	73	2.6	東北東
19	曇一時雨	16.5	82	2.2	東北東
20	雨一時曇	17.2	90	2.7	西南西
21	晴時々雨	16.7	68	7.1	西
22	晴	9.5	49	5.5	西北西
25	曇時々雨	14.0	78	1.8	北西
26	晴後薄曇	14.0	62	2.3	東北東

4.3.8. 騒音測定

騒音の計測は、RION 社製騒音計 NL-05 を用いて行った。騒音測定場所を Fig.4.3.9 に、測定結果を Table 4.3.3 に示す。騒音規制法による第4種指定区域内に相当する中間処理場の許容限度は、70dB 以内である。境界地線では、プラント稼働中の平均騒音値は 65.5dB となり、許容限度以下であった。プラ

ントの運転を休止しても船が航行すれば約 60dB の騒音が計測されており、プラントの運転による騒音は、環境に対してほとんど影響の無い状況であった。屋内にプラントを設置すれば、周辺に及ぼす騒音はかなり低下する。従って、騒音に関しては問題が無いと考える。

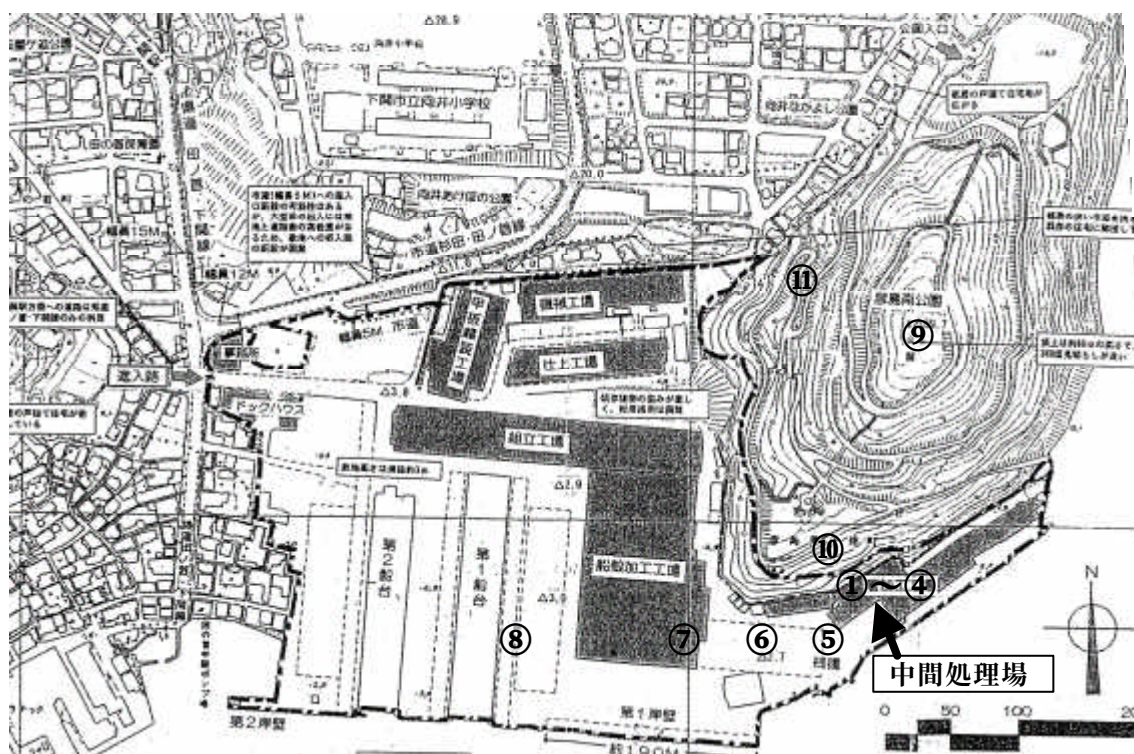


Fig.4.3.9 騒音測定場所

Table 4.3.3 騒音測定結果

試験日 11月	天気	測定場所	騒音 (dB)	備考
12	曇一時雨	①建設機械から2m	83.6	稼働中
		②破砕機から1m	93.5	稼働中
		③破砕機から9m	83.6	稼働中
		④破砕機から15.5m	77.4	稼働中
		⑤外囲いの入口	68.0	稼働中
		⑥外囲いの入口から40m	64.2	稼働中
		⑦外囲いの入口から80m	59.3	稼働中
		⑧外囲いの入口から200m	57.8	稼働中
25	曇時々雨	⑨彦島公園の頂上	55.3	稼働中
		⑩境界の遊歩道	65.5	稼働中
		⑩境界の遊歩道	53.6	休止
		⑩境界の遊歩道	58.5	休止、船の航行
		⑪住居の近く	40.9	稼働中

※暗騒音：48.2dB(12日計測)

Table 4.3.4 実証試験における FRP・混合物の製造量

搬入物	重量(トン)	搬出物	製造重量(トン)	搬出量(トン)	割合(%)
FRP試験材	59.68	FRP(トクヤマ)	21.87	22.80	
予備試験の混合物	3.90	混合物(宇部興産)	19.76	18.47	
廃油	3.61	混合物(住友大阪セメント)	7.14	16.04	
		ウレタン等の集塵物	2.47		4.1
		ゴミ	2.18		3.7
		不良品混合物	9.87		
小計	67.19	小計	63.29	57.31	7.8

Table 4.4.1 セメント焼成実証試験の受入条件

セメント会社	焼成物	寸法	受入 可能量	輸送方法	発熱量 (目標値) kcal/kg 以上	塩素濃度 (目標値) ppm 以下	粉塵
トクヤマ (南陽工場)	FRP	20mm	30 トン	フレコン詰めで トラック輸送	—	1,000	発塵可
宇部興産 (荏田工場)	混合物	20mm	30 トン	フレコン詰めで トラック輸送	5,000	1,000	不可
住友大阪セメント (赤穂工場)	混合物	20mm	30 トン	バラ積でトラッ ク輸送	5,000	600	不可

4.3.9. 製造物の重量

中間処理における製造物の重量を Table 4.3.4 に示す。住友大阪セメントへは、正常に製造できた 7.14 トンの混合物と予備試験で製造された混合物及び不良品混合物の合計 8.9 トンを合わせた 16.04 トンの混合物を搬出した。FRP 及び混合物以外のゴミ類は、搬入物重量と比較して 7.8%と少量であった。なお、製造重量と搬出量に差があるのは、プラントの計測とセメント会社での計測の誤差である。

4.4. セメント焼成

4.4.1. 実証試験の受入条件

セメント焼成実証試験開始前における各セメント会社の受入条件を Table 4.4.1 に示す。

4.4.2. セメント焼成試験

4.4.2.1. FRP 破砕物

(1) 処理方法

(株)トクヤマにおけるセメント焼成実験は、FRP 破砕物（発熱量約 4,000kcal/kg、Fig.2.3.13 参照）を用いて 2003 年 11 月 14 日～12 月 12 日まで行い、処理量は、重量 22.8 トン（フレコン 56 袋）であった。処理装置内での閉塞の防止を目的として、FRP と粒状廃プラを重量基準で約 1:1 にて混合し、キルン窯前からバーナー吹込みによりキルンに投入し、焼成処理した。FRP と廃油との混合は行わなかった。

(2) 処理速度（トン/h）

粒状廃プラとの混合物にて 1 トン/h（内の FRP は 0.5 トン/h）で吹込みを行った。ただし、11 月 28

日のキルン焼成クリンカー（約 1,450℃で焼成されたセメント半製品）の品質確認時には、1～2 トン/h（内の FRP は 0.5～1 トン/h）の範囲で吹込みを行った。

(3) 混合物のハンドリング、粉塵発生、製品としての品質などの良否

ハンドリングについては、粒状廃プラとの混合で装置内での被処理物の閉塞が解消された。今回の処理においても、FRP 単一であれば、現有設備では装置内での閉塞が発生したものと考えられる。

粉塵発生については、廃 FRP 処理で従来から使用している設備投入口の局所集塵により解消され、作業環境上の問題は生じなかった。（Fig.4.4.1 及び Fig.4.4.2）

今回の FRP 搬入品の品質については、従来から搬入されている廃 FRP（主にパスタブ由来品）と比較して見劣りする点は見つからなかった。また、焼成クリンカーの品質確認結果にも問題はなかった。

(4) 総合評価

今回の試験の結果、FRP 破砕物は、(株)トクヤマでの今後のリサイクル事業の対象に値するものと判断された。また、FRP 単体でも閉塞を生じることなく処理が行えるように、設備を改造することが可能であることがわかった。

4.4.2.2. 目標 15%廃油混合率の混合物

宇部興産(株)におけるセメント焼成試験は、2003 年 11 月 18 日～12 月 10 日まで、荏田セメント工場（福岡県京都郡荏田町長浜町 7）において行った。

FRP 破碎品の性状（目標値）は、以下の通りである。

- ①サイズ：20mm 以下
- ②廃油混合率（発塵防止）：約 15%
- ③発熱量（FRP＋廃油）：約 5,000kcal/kg

ただし、中間処理場における混合物製造時の廃油消費量から計算した廃油混合率は、7.1%であった。

セメント焼成試験結果は、以下の通りである。

(1) 受入・保管

① 受入数量

- ・FRP 実験材の受入数量を Table 4.4.2 に示す。

② 保管状況

- ・廃油 15%混合品であり、雨による油分流出が懸念されたため、屋内燃料系産廃置場に保管した。（Fig.4.4.3）
- ・22 日間の保管においてフレコンバッグ表面への油のにじみは観察されなかった。

(2) 処理

① 処理方法

FRP 破碎品は、破碎機のない系統の受入ホッパーに投入した。ホッパーから定量抜出した破碎品は、輸送機で SP(Suspension Preheater) タワーへ運び、仮焼炉へ投入・処理した。

② 確認事項

- i) フレコンバッグ解体時の作業性
- ii) 受入ホッパー投入時および輸送機での発塵の有無
- iii) 各輸送機、シュートへの付着の有無
- iv) 揮発性油分による仮焼炉投入直前シュート内での引火の有無
- v) 燃費寄与および仮焼炉内での燃焼性
- vi) 電気集塵機への影響（発塵）
- vii) 最大処理可能量

③ 試験結果

i) フレコンバッグ解体時の作業性(Fig.4.4.4)

- ・フレコンバッグ開け口の紐を解き、リフトでフレコンバッグ 2 袋を逆さに吊り、FRP 破碎品を置き場に出したところ、FRP 粉の舞い上がりが激しかった。そのため、水分を含んだパルパー粕^{*2)}を混合した。

^{*2)} パルパー粕：古紙による再生紙製造

工程において発生する残さを水洗し、粗いもの（ビニール類）を 10 cm 以下に切断した屑

- ・FRP 破碎品をフレコンバッグから出す作業は、前述の作業方法で行ったが、特に問題はなく、スムーズに作業が行われた。
- ・混合作業については、混合するすべての FRP 破碎品を一度に混合することは困難であり、フレコンバッグ 2 袋程度ずつを混合していく方法が最も作業性が良かった。



Fig.4.4.1 FRP 廃材のホッパーへの投入作業



Fig.4.4.2 ホッパー投入口の状況

Table 4.4.2 受入数量

受入日	荷姿	袋数	計量重量 ^{*1)}
11 月 18 日	フレコン	11 袋	5.35 トン
11 月 21 日	フレコン	15 袋	6.48 トン
11 月 25 日	フレコン	15 袋	6.64 トン
合 計		41 袋	18.47 トン

^{*1)} 計量重量は、荏田工場計量器計測による重量である。（平均重量：0.45 トン/袋）

- ・パルパー粕 約7.5 トンにFRP 破砕品をすべて混合し、ホッパーへ投入するまでの作業時間は1~1.5hを要した。
- ・混合作業において、FRP 粉の発塵がある為、防塵マスク、保護めがねを着用した。Test-②時、首筋付近にFRP 粉が付着し、「チクチク」と刺すような感覚があったので、Test-③以降の混合作業においては、顔、首筋の保護対策として「頭巾」を着用し作業を行った。(Fig.4.4.5)
- ii) 受入ホッパー投入時 (Fig.4.4.6) および輸送機での発塵の有無
 - ・ホッパー投入時の発塵については「キラキラ」としたFRP 粉の発塵はあるものの、保護具を着用すれば、他に問題はなかった。ただし、処理量が増えた場合、発塵防止対策として、集塵機設置の検討が必要である。
 - ・輸送機は防塵カバーで囲まれている為、発塵の問題はなかった。
- iii) 各輸送機、シュートへの付着の有無
 - ・燃料系産廃処理設備の受入ホッパーから2.0 トン/hで拔出し、仮焼炉への投入処理を行った。(Table 4.4.3) なお、FRP 混合品のみの影響確認を行うため、試験期間中、他の産廃抜き出しは停止した。
 - ・各輸送機ベルトゴムへの付着、シュート閉塞は確認されず問題はなかった。
- iv) 揮発性油分による仮焼炉投入直前シュート内での引火の有無
 - ・仮焼炉投入直前シュート内でFRP 破砕品に混合している揮発性油分に仮焼炉内の熱ガスが引火することが懸念されたが、通常のシュート内散水による対処で、特に問題はなかった。
- v) 燃費寄与および仮焼炉内での燃焼性 (Table 4.4.4)



Fig.4.4.3 保管状況

[燃費寄与]

- ・燃費寄与は確認できたが、使用試験時間が短く、燃費寄与率確定には至らなかった。

[仮焼炉内での燃焼性]

- ・FRP 破砕品の破砕寸法が小さく軽量であるため、シュートから仮焼炉内に入った瞬間に仮焼炉内の旋回流に乗り、「チカチカ」と光を放ち燃焼しているようであった。

vi) 電気集塵機への影響 (発塵)

- ・キルン電気集塵機出口の煤塵濃度変化は見られず、煙突からの発塵はなかった。

vii) 最大処理可能量

- ・今回の最大処理量1.2 トン/hまでは、受入ホッパー投入までの発塵以外、運転面・品質面に問題はなかった。

(3) 結論

- ①フレコンバッグ表面への油の滲みはなく、屋内燃料系産廃置場に保管すれば、油流出の恐れはない。
- ②廃油15% (目標値) 混合では、発塵防止効果は低く、パルパー粕との混合で効果改善した。また、パルパー粕との混合及びホッパー投入作業時は、ガラス繊維が舞い上がり、防塵マスク、防塵メガネ及び頭巾が必要であった。



パルパー粕



フレコンバッグ解体



FRP 破砕品とパルパー粕の混合

Fig.4.4.4 混合作業の状況



Fig.4.4.5 混合作業における保護対策



Fig.4.4.6 混合後の原材料ホッパー投入

Table 4.4.3 仮焼炉への投入量

	FRP 破砕品		パルパー粕	合計処理量	FRP 混合比	FRP 抽出量
Test-① (1/26)	5 袋	2.3 トン	7.52 トン	9.8 トン	23.4%	0.47 トン/h
Test-② (2/3)	10 袋	4.5 トン	7.58 トン	12.1 トン	37.3%	0.75 トン/h
Test-③ (2/8)	17 袋	7.7 トン	7.42 トン	15.1 トン	50.9%	1.02 トン/h
Test-④ (2/10)	9 袋	4.1 トン	3.00 トン	7.1 トン	57.7%	1.15 トン/h

FRP 破砕品： 約 0.45 トン/袋)

Table 4.4.4 燃費寄与率

	FRP 使用量 (トン/h)	仮焼炉石炭使用量(トン/h)			石炭発熱量 (kcal/kg)	燃費 寄与率 (参考値)	C1 出口 CO 発生状況(%)		
		FRP 有	FRP 無	差			FRP 有	FRP 無	差
Test-①	0.47	14.1	14.4	-0.3	6,605	86.9%	1.00	0.75	0.25
Test-②	0.75	13.5	13.9	-0.4	6,594	74.3%	1.03	0.75	0.28
Test-③	1.02	13.6	13.9	-0.3	6,573	41.3%	1.00	0.96	0.04
Test-④	1.15	13.1	13.6	-0.4	6,599	48.0%	0.97	0.82	0.15
平均	0.85	13.6	13.9	-0.4	6,593	57.2%	1.00	0.82	0.18

*パルパー粕は、水分 60～70%あり、パルパー発熱量は水分蒸発に消費されるという過去の実績から、燃費寄与はないものとする。

*石炭発熱量(kcal/kg)は、試験期間中の実測値を採用、FRP 破砕品については 5,000kcal/kgを採用した。
(2.3.で述べた FRP 破砕品の発熱量の分析結果は、セメント焼成試験後に得られた。)

- ③各輸送機、シュートでの問題はなかった。
- ④仮焼炉投入後は、旋回流に乗り燃焼した。
また、燃費寄与を確認出来た。(燃費寄与率は 50～80%の範囲でばらついた。)
- ⑤電気集塵機的能力低下(煙突からの発塵)はなかった。
- ⑥今回の最大使用量 1.2 トン/h では、運転面及び品質面への影響は見られなかった。

4.4.2.3. 目標 17%廃油混合率の混合物
住友大阪セメント(株)におけるセメント焼成試験で

は、船用 FRP 廃材をセメントキルンで原燃料代替として利用するための燃焼試験を行った。

(1)試験日時及び場所

- ①日時：平成 15 年 12 月 4 日 (11:00～16:00)
- ②場所：兵庫県赤穂市折方字中水尾 1513 番地
赤穂工場

(2)テストサンプル

- ①船用 FRP 廃材破砕品と廃油の混合物
受入量 16.04 トン
- ②目標廃油混合量 17.0%
ただし、中間処理場における混合物製造時の

廃油消費量から計算した廃油混合率は、11.6%であった。

(3) 投入方法

① 仮焼炉投入設備（ホッパー）にショベルローダーで混合物を投入する。（Fig.4.4.7 及び Fig.4.4.8 参照）その後、保管庫 → ショベルローダー → ホッパー → コンベア → 仮焼炉の順に搬送され、仮焼炉で燃焼させる。

② 投入量 1トン/h 投入量計 5トン
（残量は、他の産廃物と混合後燃焼処理した。）FRPと混合処理した産廃物「廃白土」（食用油製造工程等で油の精製のため白土を使用するが、この油分を含んだ土）とほぼ50%程度に混合し処理した。廃白土は、約3,000kcal/kgの熱量を持っている。

(4) 試験結果

わずかながら飛散はあったが、発塵、輸送機の詰まり等の問題となるレベルのトラブルは無かった。但し、作業時は防塵マスクの着用が必要である。

4.4.3. セメント焼成試験の結果

今回のセメント焼成試験の結果、粉塵の発生は見られたものの、問題となる程の粉塵発生量ではないとの結果が得られた。混合物が、予定の廃油混合率（15～17%）で製造されれば、ほとんど粉塵は発生しないと考えられる。セメント会社の処理システムがそれぞれ異なっているため、実際の事業化においては、処理システムに合わせて集塵設備等の装置を追加設置する必要がある。投入設備入口に集塵機を設置することによりFRP単一でセメント焼成が可能であること、混合物あるいはFRPに水分を含むパルプ、粒状廃プラ等を混合することは、粉塵発生防止あるいは処理装置内での閉塞の防止に有効であることがわかった。

また、混合物及びFRP破材物の発熱量がセメント焼成に及ぼす影響については、燃費寄与の確認ができたセメント会社もあるが、燃費寄与率の確定までは行えなかった。ただし、各セメント会社とも、発熱量による通常のセメント焼成への影響は無かったとの結果が得られた。

セメント焼成試験後に、各セメント会社において事業化を行う場合の適正費用について意見を求めたところ、混合物あるいはFRP単一1トン当たり1万円～2万円（平均約13,000円/トン）の処理費用がかかるとのコメントが得られた。

5. まとめ

本実証試験によって、FRP廃船の収集～解体作業



Fig.4.4.7 混合物のホッパーへの投入



Fig.4.4.8 ホッパー内の混合物

に関する各マニュアルの作成が行われ、FRP廃船のリサイクルシステムとしてはほぼ完成したと考える。また、FRP船リサイクルプラントで製造された混合物及びFRP破砕物は、セメント焼成によるリサイクルが可能であることがわかった。

開発したFRP船リサイクルプラントは、FRP3トン/hの最大処理能力の設計値で開発されたが、実際には、最大1.4トン/h程度の処理能力であった。原因は、屋外にプラントを設置したため、雨により破砕物がかなり水分を含み、プラント内でFRPの移送が順調に行われなかったこと、発泡ウレタンをできるだけ回収するため破砕機の破砕能力を下げたことである。従って、プラントは、屋内に設置するべきであると考え。本プラントは、改造しなければならない点はいくつか発見されたが、原因は

ほぼ解明されており、事業化において、実用可能と考える。

また、セメント焼成に関しては、FRP と廃油の混合が正常に行われ、混合率 15%以上の製品が得られれば、発熱量 5,000kcal/kg 以上となり、また、粉塵もほとんど発生しないと考えられる。従って、燃費寄与率や作業効率を考慮すれば、セメント焼成の処理コストは、1.5 万円／トン以下に抑えられるのではないかと考える。

謝辞

本研究は、国土交通省技術研究開発委託費(海事局)により、「FRP 廃船の発生抑制に係わるリサイクル・リユース技術確立のための調査研究」の一環として実施されたものである。ここに、深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 林愼也、永松徳二：「FRP 船廃船解体技術に関する研究」、船研報告第 25 巻第 4 号、(1988)、pp.11-36
- 2) 林愼也、山根健次：「廃 FRP 船のリサイクルの試み」、船研報告第 35 巻第 3 号、(1998)、pp.19-40
- 3) 林愼也、奥沢務、岩垣幸雄、横溝修、野間口兼政：「廃プラスチックリサイクルシステムの提案」、船研発表会講演集、(1997)、pp.93-98
- 4) 細田衛士、室田武：「循環型社会の制度と政策」岩波講座環境経済・政治学第 7 巻、(2003)、p.132
- 5) 国土交通省海事局船用工業課：「FRP 廃船高度リサイクルシステム構築プロジェクト」、平成 12 年度実施報告書、(2001)
- 6) 国土交通省海事局船用工業課：「FRP 廃船高度リサイクルシステム構築プロジェクト」、平成 13 年度実施報告書、(2002)
- 7) 国土交通省海事局船用工業課：「FRP 廃船高度リサイクルシステム構築プロジェクト」、平成 14 年度実施報告書、(2003)
- 8) 国土交通省海事局船用工業課：「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、(2004)
- 9) 林愼也、松岡一祥、高田篤志、古谷典子：「FRP 廃船のセメント燃料へのリサイクルの試み」、海技研発表会講演集、(2001)、pp.353-356
- 10) 環境庁告示 59 号「水質汚濁に係る環境基準について」、(2000)、pp.66-71
- 11) 総理府令第 35 号「排水基準を定める総理府令」、(1993)、pp.250-11 ? 258
- 12) 関西新技術研究所：「ダイオキシン —化学・分析・毒性—」、(1999)
- 13) 環境省告示第 46 号「ダイオキシン類による大気の汚染、水質及び土壌の汚染に係る環境基準について」、(2003)
- 14) 環境庁告示第 64 号「騒音に係る環境基準について」、(1998)
- 15) JIS 規格 Z 8814、(1981)、pp.561-565
- 16) 環境庁告示第 25 号「大気の汚染に係る環境基準について」、(1973)
- 17) 秋山繁、林愼也、勝又健一：「FRP 廃船のセメント焼成リサイクル実証試験」、海技研発表会講演集、(2003)、pp.1-6

【お願い】海上技術安全研究所報告第4巻 第4号に誤りが見つかりましたので、お手数をお掛け致しますが45頁の写真を以下の原稿とお差し替え下さい。

広島東部



Fig. 4. 2. 18 広島県東部における収集廃船集積状況

広島西部



Fig. 4. 2. 19 広島県西部における収集廃船集積状況

四国



Fig. 4. 2. 20 四国における収集廃船集積状況

【お願い】海上技術安全研究所報告第4巻 第4号に誤りが見つかりましたので、お手数をお掛け致しますが46頁の写真を以下の原稿とお差し替え下さい。

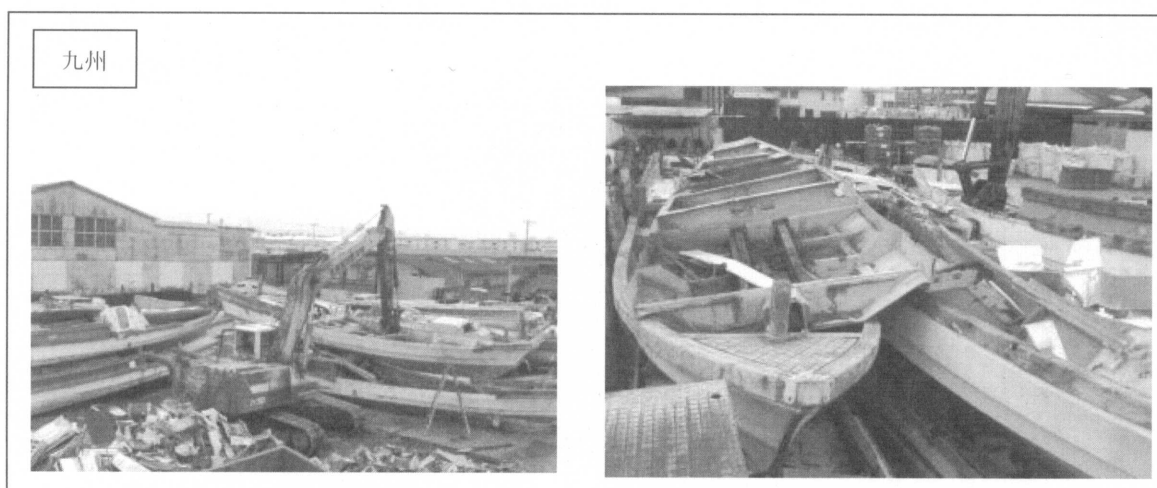


Fig. 4. 2. 21 九州における収集廃船集積状況