

平成21年 6月29日現在

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2006～2008

課題番号：18206090

研究課題名（和文） FRP 破材の非粉塵飛散型セメント焼成用リサイクル製品の開発

研究課題名（英文） New concept of recycled FRP products in cement manufacturing process by using non-dust-scattering method

研究代表者

秋山 繁 (AKIYAMA SHIGERU)

独立行政法人 海上技術安全研究所・構造・材料部門・グループ長

研究者番号：80415801

研究成果の概要：FRP 廃船から排出される FRP 破材を廃棄処理する方法として、FRP 破材を粉体化し、使用済み農業用ポリエチレンシートをバインダーとして固化した非粉塵飛散型セメント焼成用リサイクル製品を製造する技術を開発した。本手法では、湿式処理により粉塵の発生・飛散を防止し、水上に浮いたウレタンフォームを除去して塩素濃度を低減する。セメント工場においてセメント焼成実証試験を行い、本リサイクル製品の有効性を確認した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	12,500,000	3,750,000	16,250,000
2007年度	10,300,000	3,090,000	13,390,000
2008年度	7,300,000	2,190,000	9,490,000
年度			
年度			
総計	30,100,000	9,030,000	39,130,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：海洋環境、廃棄物再資源化、FRP 廃船

## 1. 研究開始当初の背景

船用の FRP (Fiber Reinforced Plastics、繊維強化プラスチック) は、ガラス繊維で強化されているため、プレジャーボートやヨットなどの FRP 船は、解体が難しく処理費用がかさむ。国内では、FRP 船の海洋・港湾・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となっており、法律の整備を含めて国土交通省・環境省等で FRP 廃船処理の検討が行われている。また、FRP 廃船から排出される FRP 廃材の廃棄処理は、ほとんど埋立てによって行われてきた。しかし、FRP は腐らないため、ほぼ永久的に地中に残ることとなり、環境的に問題がある。さらに、

国内の埋立て処分場の枯渇化が大きな問題となっている。

船用の FRP は、不飽和ポリエステル樹脂約 60wt%とガラス繊維約 40wt%で作られており、FRP 船の解体時や FRP 破材の破砕時に多量の粉塵が発生・飛散する。そして、FRP の粉が人の皮膚に付着するとチクチクと痛がゆい症状となり、作業者から敬遠される原因となっている。

一般的に、FRP 廃船から排出される FRP 廃材の廃棄処理の方法は、FRP 廃船を建設機械で解体し、約 1m 角以下の大きさにして埋立てたり、一部焼却処分している。近年、この FRP を破砕機で 100～200mm 角程度の大きさに一次破砕し、さらに、約 20mm 角以下に二次破砕して、廃油、パルパー

粕、他のプラスチック材等と混合してセメント焼成によりリサイクルする方法が開発された。また、溶融・成型等の処理をして製品化し、埋立管路防護板、マット、マンホール用台座等に使用しているが、製品化の需要はあまり多くない。

海上技術安全研究所では、国土交通省の委託を受けて、2000年度から2003年度にかけて、FRP 廃船を収集、運搬、解体、中間処理の工程を経て、最終的にFRP 破砕片をセメント焼成するリサイクルシステムを構築した。この方法は、FRP 廃材を約20mm以下の小片に粉砕し、廃油（再生油）と単純に混合した製品をセメント焼成に利用し、樹脂を予熱燃料に、ガラス成分をセメントの原料としてリサイクル処理する方法である。しかし、廃油が多いとべとつき、少ないと粉塵が多量に飛散し、FRP と廃油の混合率の調整が難しく、均質な製品を製造することは、非常に困難であった。そのため、FRP 廃船の破砕から最終のセメント焼成に至るまでの過程で、FRP の粉塵が飛散する問題は解決されていない。民間でも、同じようなシステムでFRP 廃船のFRP 廃材を廃プラと一緒にセメント焼成する設備を建設したものがあがるが、FRP 粉塵の飛散を完全に防止することは難しい。

法律的な整備としては、2001年7月4日に「小型船舶の登録等に関する法律」が公布され、2002年4月1日から小型船舶登録制度が開始され、放置船や不法投棄船の船主を特定する対策が確立された。また、FRP製の廃小型船舶は、2005年11月29日に環境大臣から廃棄物処理法に基づく広域認定制度の対象品目として追加認定された。当所の研究を引き継いだ（社）日本舟艇工業会は、このリサイクル制度を全国展開するため、古いプレジャーボートが多い瀬戸内、九州地域で先行実施し、2008年度までに北海道から沖縄まで全国各所で実証試験を実施した。

従って、このような現状を鑑みると、FRP 粉塵の飛散防止対策は、今後ますます重要になってくると思われる。

## 2. 研究の目的

本研究は、FRP 廃船から排出されるFRP 破材を廃棄処理する方法として、粉塵が発生・飛散しないセメント焼成用のFRP リサイクル製品を製造する技術を開発することを目的とする。そのため、粉塵が飛散しないFRP 破材粉体化処理システムを考案・製作し、セメント焼成におけるダイオキシン対策として、塩素濃度が高いウレタンフォームを除去する手法を開発する。また、FRP 粉体を固化するための樹脂等の最適なバインダーを選定し、実際に製造したFRP リサイクル製品を用いてセメント工場においてセメント焼成実証試験を行い、本リサイクル製品の有効性を確認する。

## 3. 研究の方法

### (1) FRP破材の粉体化処理

FRP は、破砕すると大きさが $10\mu\text{m}$ 以下の浮遊粒子状物質(SPM: Suspended Particulate Matter)が生じ、粉塵が発生する。図1にFRP 粉体の走査型電子顕微鏡(SEM: Scanning Electron Microscope)写真を示す。白っぽい物の内、棒状の物がガラス繊維で、他の粒状の物が樹脂である。ガラス繊維は、直径が約 $10.5\sim 12\mu\text{m}$ であるが、樹脂は不定形で大きさも様々で、 $10\mu\text{m}$ 以下のものが多量に存在する。近年、アスベスト被害の問題もあり、FRP 粉塵も継続して人体内に吸引することは、避ける方が無難である。

従来、FRP を粉体にすることは、粉塵の飛散はもちろんのこと、セメント工場の輸送管が詰まる問題、輸送中の自然発火の問題等があり、避けられていた。しかし、粉塵発生が避けられないならば、逆に全て粉体にして処理ができないであろうかと考えた。そして、本研究では、FRP 破材を粉体状に加工して、水中で処理をすることによって粉塵が飛散しない方法を考案し、図2に示すFRP 粉体化処理装置を製造した。

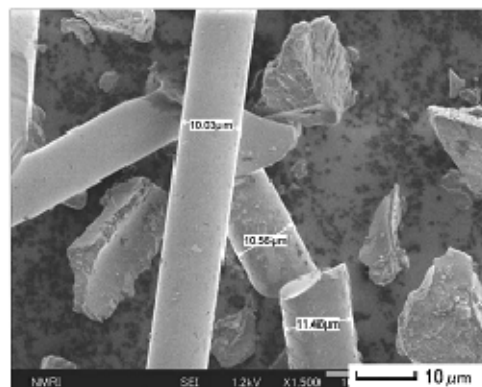


図1 FRP 粉体 (SEM 写真)

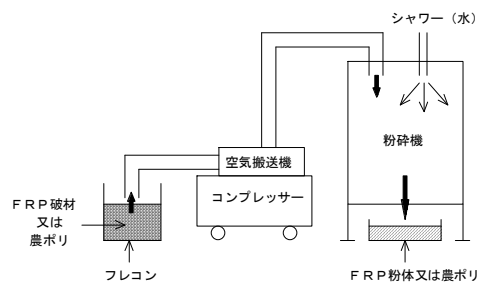


図2 FRP粉体化処理装置

### (2) ウレタンフォームの除去

FRP 船にはウレタンフォームが使用されており、ウレタンフォームにはダイオキシンの問題でセメント会社が嫌悪する塩素が多く

含まれている。FRP 廃船を解体する時には、ウレタンフォームを機械的に除去しているが、現在の乾式による破碎の方法では完全除去は難しく、FRP の成分分析の結果に大きなばらつきが見られ、高塩素濃度の結果が得られることがある。

FRP のかさ比重は約1.6~1.9で水よりも重く、塩素が含まれているウレタンフォームのかさ比重は、約 0.04 で水に浮く。従って、水中処理によりウレタンフォームを除去することが可能であると考えた。そのため、FRP 粉体からウレタンフォームを除去する分離装置（図3）を製作した。

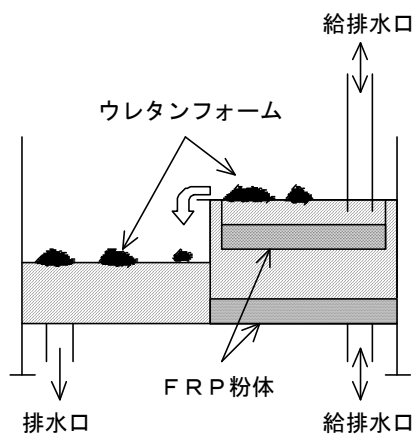


図3 ウレタンフォーム分離装置

### (3) FRP固化用バインダーの選定条件

現在、日本のセメント工場における廃棄物の受け入れ条件として、工場によって異なるが、塩素濃度が500ppm以下あるいは1000ppm以下、発熱量5000kcal/kg以上という条件（目安）がある。この条件を重視して、以下のような条件でFRP粉体を固化するためのバインダーを検討した。

- ①塩素濃度がFRPと同程度（1000ppm以下）であること。（塩素濃度1000ppm以下ならFRPリサイクル製品の廃棄物処理を受け入れるセメント工場が存在する。）
- ②融点が低いこと。（融点が高いとバインダーの溶融にかかるエネルギーが大きくなり、電気料金も高くなる。）
- ③発熱量が6000kcal/kg以上であること。（FRPの発熱量が約4000kcal/kgであるので、FRPと発熱量約6000kcal/kgのバインダーを重量比1：1で混合した場合、発熱量は約5000kcal/kgとなり、セメント工場の要求値を満足する。バインダーの割合を多くし、発熱量を高くする方がセメント焼成には有効である。）
- ④固化物が水分により分解しないこと。（雨や水分で形状が変形したり、粉塵が発生する状態になって、セメント工場の受け入れ条

件を満足しなくなることを避ける。）

- ⑤大量、且つ無償あるいは安価で入手できること。（入手が困難であったり、処理費用が高くなることは、事業化にはマイナス要因である。）

### (4) 非粉塵飛散型FRPリサイクル製品製造システムの開発

本研究により開発したFRPリサイクル製品製造システムを図4に示す。FRP破材は、粉塵が飛散しないように空気搬送機を用いて粉砕機へ投入する。粉砕機の上面からシャワーを噴射し、底部からFRP粉体を回収する。回収したFRP粉体は、ウレタンフォーム回収装置でウレタンフォームを分離し、粉砕機で粉砕した農ポリと1:9の重量比で混合し、スクリーコンベヤーへ投入する。混合物は、ツイストミルへ送られて、摩擦熱を利用して溶融・固化される。その固化物は、粉砕機を用いてセメント焼成に適した寸法10mm以下に粉砕し、振動ふるい機（3mm径のスクリーン、図5）を用いて約3~10mmのリサイクル製品を回収する。3mm以下の粉体は、スクリーコンベヤーへ投入して再利用する。

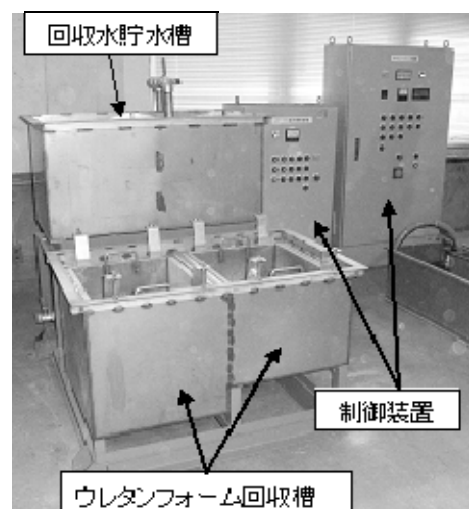
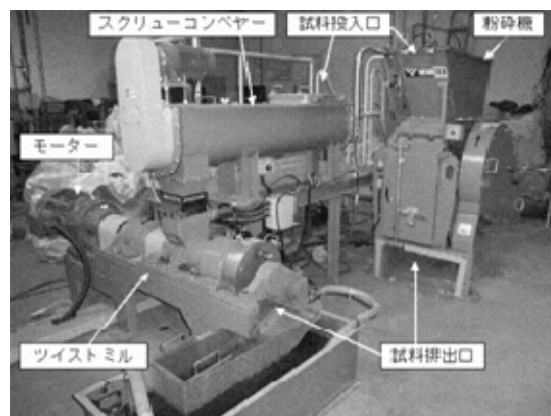


図4 FRPリサイクル製品製造システム



図5 振動ふるい機

#### (5) リサイクル製品の成分及び発熱量

製造したFRPリサイクル製品は、蛍光X線分析により塩素濃度を調査し、熱量計を用いて発熱量を計測した。

##### ①塩素濃度

16体のフレキシブルコンテナ（以下、フレコンと称す）からそれぞれ採取したリサイクル製品、水により洗浄した農ポリ、及びウレタンフォームを除去したFRP粉体は、蛍光X線分析により塩素濃度を測定した。

製造したFRPリサイクル製品の塩素濃度は、平均して1000ppmを超えてしまった。洗浄した農ポリ及びウレタンフォームを除去したFRP粉体の塩素濃度は、700ppm以下となっており、FRPリサイクル製品の塩素濃度が高くなった原因は、農ポリに付着した土壌、異物などの混入によるものと考えられる。

##### ②発熱量

FRPリサイクル製品の発熱量は、燃研式熱量計を用いた高圧酸素燃焼方式により測定した。測定試料は、長野県及び新潟県で排出された農ポリを使用したリサイクル製品からそれぞれ3検体を採取して、合計6検体の発熱量を測定した。

#### (6) セメント焼成実証試験

FRP粉体464kgと農ポリ4176kgを用いてFRPリサイクル製品約4640kg（4.64トン）を製造し、セメント工場において約4.56トンのFRPリサイクル製品を用いてセメント焼成実証試験を行った。FRPリサイクル製品は、フレコン16袋に入れてセメント工場へ搬入した。本研究で製造したFRPリサイクル製品を図6に示す。

フレコンはリサイクル燃料置場で破袋し、ローダーでキルン系吹込み設備に1.0t/hの速度で投入し、空気圧送した。発塵状況（フレコン破袋時、ホッパー投入時）、設備トラブル（輸送機・篩・圧送管の詰り、荷こぼれ）、

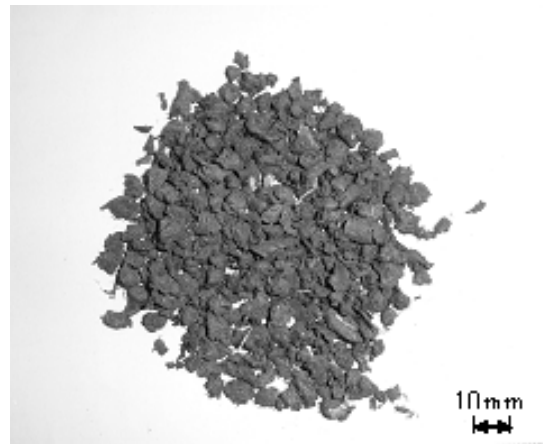


図6 FRPリサイクル製品

キルンバーナーフレーム輝度・燃焼性・キルン操業状況の確認等を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) FRP粉体化処理システムの開発

開発したFRP粉体化処理システムを図2に示す。その方法は、以下の通りである。

- ①粉砕機の上部にシャワーを設置し、FRP粉体は底部から可搬容器に排出させ、粉塵が飛散しない構造とした。
- ②粉砕機へのFRP投入は、空気搬送機を用いて行った。
- ③約20mm角以下のFRP破材を、粉砕機を用いて粉砕し、Φ3mmのスクリーン目を通して約3mm以下の粉体にする。
- ④FRP粉体は、容器の水底に堆積させ、水中処理により粉塵が発生・飛散しないようにする。
- ⑤FRP粉体からウレタンフォーム等の浮体物を回収する。
- ⑥FRPリサイクル製品から約3mm未満の大きさの粉体を分別・回収するための振動ふるい機を製作した。
- ⑦FRPリサイクル製品の製造条件を実験的に検討し、最適設定値として、製品取り出し口温度95℃、FRP粉体の寸法3mm以下、FRP粉体の使用済み農業用ポリエチレンシート（農ポリ）に対する混合比（重量比）1:9、FRPリサイクル製品の大きさ3～10mmが得られた。

##### (2) FRP固化用バインダーの選定

バインダーとしての候補をペットボトル、家電製品等の廃プラスチック、糊、メチルセルロース、及び農業用ポリエチレンシート（以降、農ポリと称する）に絞り込んだ。

近年、原油高の影響や海外からの需要の増大によりペットボトルを無償あるいは処理費をもらって入手することは、困難な状況になっている。また、ペットボトル本体は、ポ

リエステル樹脂できており、発熱量は約5500kcal/kg、融点は約250℃で、発熱量は、条件6000kcal/kg以上を満足しない。

家電製品等から排出されるポリプロピレンからできている廃プラスチックは、発熱量が約11000kcal/kgと高く、バインダーの有力な候補であるが、原油高の影響で需要が増えており、再生品化も行われてきているので、入手が難しい状況になってきている。また、融点は約160～170℃で、ポリエチレンより高い。

メチルセルロースで固化したものは、指先で押さえた小さな外力により簡単に分解してしまう。また、糊及びメチルセルロースで固化したものは、水に接すると簡単に分解してしまうため、雨や湿気の影響を受けた場合、バインダーとしては不相当と考える。また、これらは高価であり、経済性を考えても不相当である。

農ポリの主成分は、低密度ポリエチレンであり、一般的な特性は、発熱量約11000kcal/kg、融点約120℃、塩素濃度約200ppm以下で、上記の条件(1)から(3)を満足している。ポリプロピレンと比較すると、発熱量はほぼ同じであるが、融点は約0.7～0.75倍であり、燃料として使用する場合、家電製品等の廃プラスチックより有利である。また、FRP粉体との固化物は、水分で分解しないことを確認した。農ポリは、廃棄物業者へ処理費を払って処理をしている状況であり、農法が変更されない限り、毎年大量の廃棄物として排出される。例えば、長野県では、毎年約5000トン廃棄されている。従って、農ポリは、大量に入手することが可能と考える。なお、農ポリは、現在、一般的に単に破碎したままの姿でセメント焼成処理が行われている。

以上により、全ての条件を満足する農ポリをバインダーの第一候補に選定した。ただし、現在の法規制では、FRP廃船の広域処理の条件として、FRP単体で許可されている。従って、本手法を採用するには、他の廃棄物等と混合・加工した付加価値を付与した製品でも公認される必要がある。

### (3) 塩素濃度の測定結果

FRP 船から取得したウレタンフォームを含んでいるFRPを約3mm以下の粉体にして、水に入れてかき混ぜ、浮体物と沈殿物を分離した。蛍光X線分析により沈殿物と浮体物の成分分析を行った結果、塩素濃度は、沈殿物で458～653ppm、浮体物で831～3010ppmとなった。沈殿物の塩素濃度は約500ppmになっており、FRPを約3mm以下の粉体にする、水中処理により塩素含むウレタンフォームはほぼ回収できると考えられる。

長野県で回収した農ポリの蛍光X線分析

による塩素濃度の測定結果は、水洗いでは265ppm以下、そのままでは523～1010ppmとなり、付着物の影響が大きいことが判明した。

リサイクル製品の蛍光X線分析結果は、長野県で排出された農ポリを使用したものでは平均906ppm、新潟県の農ポリを使用したものは約2148ppmとなり、農ポリの付着物除去については今後の課題となった。

### (4) 発熱量の測定結果

リサイクル製品の発熱量は、6検体の平均値9221kcal/kgとなった。また、リサイクル製品の発熱量はあまり差が無く、長野県(平均値9088kcal/kg)と新潟県(平均値9355kcal/kg)の農ポリによる影響は見られなかった。

### (5) セメント焼成実証試験の結果

セメント焼成実証試験の結果、以下のことが確認された。

#### ① 発塵状況

フレコン破袋時及びホッパー投入時の発塵は無かった。

#### ② 設備トラブル

輸送機の発塵、荷こぼれ、詰りは無かった。篩の発塵、詰まり、異物混入は無かった。圧送管の詰まり等の問題は無かった。

#### ③ キルンバーナーフレーム輝度

フレーム温度が低下し、輝度が悪化した。ただし、輝度の確認は目視による。

#### ④ 燃焼性

燃焼性の効率は、82%であった。キルン電力は確保できたが、焼点温度は平常時と比較して94.9℃下降した。これは、FRPが石炭より燃焼性が悪いため、バーナーフレーム長が長くなり、焼成帯が伸びた影響と考えられる。また、クリンカー焼成状況も悪化し、焼点温度は目標値1425℃より95℃低い温度1330℃であった。

総合評価として、キルン系において、石炭の100%代替は困難であるが、カロリー面から判断して、一部石炭の代替になり得ることが分かった。即ち、条件付ではあるが、本FRPリサイクル製品はキルン系によるリサイクル処理が可能であることが確認された。また、処理工程での粉塵飛散は発生しないこと、ハンドリング面で問題が無いこと、及び塩素濃度の悪影響は無かったことが確認され、本FRPリサイクル製品の有効性が確認された。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

#### ① 秋山繁、菅澤忍、牛嶋通雄、FRP 廃船か

ら排出される FRP の粉体化処理に関する  
新技術、日本機械学会関東支部第 13 期  
総会講演会講演論文集、No. 071-1、  
pp. 377-378、2007、査読無

〔学会発表〕（計 1 件）

- ① 秋山繁、FRP 廃船から排出される FRP の  
粉体化処理に関する新技術、日本機械学  
会関東支部第 13 期総会講演会、2007 年  
3 月 16 日、宇都宮大学峰キャンパス

〔産業財産権〕

○出願状況（計 1 件）

名称：FRP 廃棄物処理方法及びその処理設備  
発明者：菅澤忍、牛嶋通雄、秋山繁、上野秀  
正、上野宗正、三宮政邦、上野光陽  
権利者：（独）海上技術安全研究所、ウエノ  
テックス（株）  
種類：特許権  
番号：特願 2 0 0 6 - 2 7 3 2 7 7  
出願年月日：2 0 0 6 年 1 0 月 4 日  
国内外の別：国内

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ情報

[http://www.nmri.go.jp/structure/Gro  
ups/manu-tech/index.html](http://www.nmri.go.jp/structure/Groups/manu-tech/index.html)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

秋山 繁 (AKIYAMA SHIGERU)  
海上技術安全研究所・構造・材料部門・グ  
ループ長  
研究者番号：80415801

### (2) 研究分担者

菅澤 忍 (SUGASAWA SHINOBU)  
海上技術安全研究所・構造・材料部門・上  
席研究員  
研究者番号：40371091  
牛嶋 通雄 (USHIJIMA MICHIO)  
海上技術安全研究所・構造・材料部門・主  
任研究員  
研究者番号：50462867