解 説

廃 FRP 製品のリサイクル

——実証研究から実用化の段階へ——

東海林 芳 郎*

1. は じ め に

FRP 製品が世に出て半世紀になろうとしており、軽量性と強度をあわせ持つ、すぐれた特性により、その用途は浴槽はじめ船舶、タンク、建設資材、自動車等幅広く使用されている。一方で建築解体やリフォーム件数の増加に伴って排出される使用済み FRP 製品は、年々増加すると考えられる。FRP は熱硬化性樹脂とガラス繊維等無機質材料の複合材料であることから、リサイクル処理が容易でなく、それら FRP 廃棄物の処理については再利用、再資源化されているのはごく僅かであり、大部分は単純焼却や埋立処分されているのが現状である。一方、埋立用地の確保は年々難しくなっており、再資源化が強く要請されている。本稿では FRP 廃棄物の現状、実証研究の内容と結果および事業化への経過と現状等について報告する。

2. FRP を取巻く環境

FRP 製品の出荷量は、1996 年に 48 万 t とピークを示したが、住宅着工件数の落込みや日本経済の停滞により、2002 年には 34 万 t に落ち込み、厳しい状況が続いている (表 1)。用途別に見ると、浴槽・浴室ユニットや浄化槽といった住宅機材向けが約半分を占め、建設資材を加えると実に半分以上となり、建設や住宅産業に大きく依存している (表 2, 図 1)。

3. FRP 廃棄物の現状

(社)プラスチック処理促進協会の調査によると、2001 年の廃プラスチック産業廃棄物量は 489 万 t と前年並みであった。そして、一般廃棄物の廃プラを含めた 1,016 万

t のうち、処理処分で有効に利用 (再生利用、固形燃料、油化/高炉原料、発電付焼却、熱利用焼却をいう) されたものは 535 万 t (53%) であり、残り 47% は単純焼却や埋立処分されている¹⁾。

また、強化プラスチック (FRP) 廃棄物については、各製品の推定取替年数を基に、強化プラスチック協会が試算した数字で見ると、2005 年には、約 45 万 t もの発生量が見込まれている (表 3, 図 2)。そして処理処分について見ると、成形工場から発生する工程廃材の一部は、破碎や焼却された後、セメントキルンで処理されるか、さらに細かく粉碎されて FRP に戻されているが極少量であり、廃棄物のほとんどを占める使用済み FRP 製品は、その大部分がリサイクルされずに、単純焼却や埋立処分されているのが現状である。

一方で、平成 13 年 4 月 1 日現在の最終処分場 (埋立) の残余年数の推計では全国で 3.9 年、首都圏では 1.2 年と厳しい状況にある。こうした背景から、廃棄物の低減とともに、3 R 「リデュース (Reduce)」, 「リユース (Reuse)」, 「リサイクル (Recycle)」に配慮した製品設計が一層求められる。

4. FRP 廃棄物のリサイクル技術

FRP 廃棄物のリサイクル技術については、ポリエチレンやポリプロピレンといった熱可塑性樹脂廃棄物のように、再度、加熱溶融成形してリサイクル成形品を得る方法は現在開発されていない。このため、破碎してセメント原燃料 (樹脂: セメント焼成用燃料, ガラス繊維他: セメント原料) にする方法や、粉碎してコンクリート系製品、FRP 製品やアスファルトに混入する方法が現在考えられている。

FRP 協会としては事業性を考慮すると、セメント原燃料化が現時点では最も可能性が高いとの判断からこの方法を採用することに決定した。

また、関連するリサイクルプロジェクトとして国土交通省が進めている「FRP 廃船の高度リサイクルシステム

* Yoshiro SHOJI: (社)強化プラスチック協会 FRP 再資源化実証センター長 (104-0061 東京都中央区銀座 2-11-8 第 22 中央ビル 7 階)

表 1 FRP 用途別出荷量：1968 年（昭和 43 年）～2002 年（平成 14 年）

単位：t

年	用途 製品	住宅機材		舟艇船舶	自動車 車両	タンク 容器	工業機材	雑貨類	その他	合 計
		建設資材	浴槽・浴室 ユニット 浄化槽							
		波・平板, プール等		漁船・ブ レジャー ボート	自動車 鉄道車両	給水タン ク・耐食 タンク等	パイプ・ 電気部品 等	保安帽・ 他雑貨		
1968		4,500	17,000	5,000	1,000	5,000	4,000	4,500	3,000	44,000
69		6,700	26,000	6,000	1,650	7,000	6,200	6,500	6,950	67,000
1970		9,770	36,500	7,230	2,420	10,020	9,010	9,730	12,560	97,300
71		11,170	47,060	10,370	3,960	11,850	10,850	11,820	11,940	119,020
72		12,400	63,490	17,090	5,450	15,650	14,770	12,260	15,020	156,130
73		12,700	94,000	29,900	3,100	16,200	14,100	7,500	11,500	189,000
74		11,000	63,100	23,800	2,800	12,300	10,600	5,200	7,300	136,100
75		11,200	53,100	25,600	2,700	11,600	7,700	5,500	6,800	124,200
76		12,880	69,720	36,470	3,610	13,780	10,350	5,700	11,050	163,570
77		12,910	69,310	41,080	3,460	17,270	12,790	5,450	13,420	175,690
78		14,550	75,730	53,130	3,020	19,960	15,040	7,140	15,340	203,910
79		18,910	84,620	62,340	3,580	26,520	19,670	9,000	21,050	245,690
1980		24,300	71,500	44,900	4,300	29,800	23,500	10,900	9,700	218,900
81		23,300	68,400	43,600	5,100	28,700	23,200	12,700	13,900	218,900
82		24,800	80,000	39,800	4,900	32,000	24,800	13,200	13,400	232,900
83		23,200	89,300	37,700	4,900	33,200	29,600	15,600	15,200	248,700
84		24,900	93,400	32,400	7,300	35,000	32,000	17,600	14,200	256,800
85		25,700	96,400	33,300	8,900	35,500	35,000	18,400	14,900	268,100
86		27,300	99,900	32,600	10,700	32,700	37,500	18,100	12,500	271,300
87		30,700	129,800	34,800	12,500	38,200	48,700	21,700	10,400	326,800
88		31,100	153,700	36,800	17,000	46,400	56,400	25,500	12,300	379,200
89		35,500	181,500	37,800	21,200	49,300	52,500	33,000	11,700	422,500
1990		37,900	194,400	39,800	25,000	49,700	54,400	40,400	12,500	454,100
91		36,900	188,500	34,400	26,500	52,000	57,900	47,900	12,600	456,700
92		34,800	185,500	30,500	24,500	51,200	58,100	36,300	12,800	433,700
93		33,300	204,400	28,800	22,500	40,400	54,700	36,000	11,900	432,000
94		38,300	211,500	28,800	21,600	40,000	54,900	35,900	11,600	442,600
95		41,500	218,600	24,200	21,700	43,100	57,600	39,100	12,400	458,200
96		45,100	230,100	24,100	22,300	42,400	60,100	42,400	13,000	479,500
97		48,200	123,100	94,800	23,000	41,400	51,500	44,300	11,200	461,000
98		45,400	100,200	74,600	18,900	35,800	49,700	38,200	8,700	394,700
99		47,900	101,700	76,200	16,700	33,200	48,300	36,200	6,800	391,000
2000		53,500	102,200	65,300	15,400	23,100	32,300	46,800	8,000	381,500
2001		50,900	98,900	61,300	12,300	22,400	30,600	40,100	9,800	359,200
2002		49,800	96,200	55,100	11,300	21,200	28,400	38,500	12,600	344,500

1. ガラス繊維，不飽和ポリエステル樹脂及び充填材を含む。2. 1994 年（平成 6 年）より輸入樹脂分を含む。3. 1997 年（平成 9 年）から，従来の住宅機材を浴槽・浴室ユニットと浄化槽に分類した。

表 2 2001 年 FRP 用途別出荷数量

用 途	製 品	出荷量 (t)	比率 (%)
建設資材	波・平板, プール等	50,900	14.2
住宅機材 (浴槽)	浴槽・浴室ユニット	98,900	27.5
〃 (浄化槽)	浄化槽	61,300	17.1
舟艇船舶	漁船・プレジャーボート	12,300	3.4
自動車車両	自動車・鉄道車両	22,400	6.2
タンク容器	給水タンク・耐食タンク等	30,600	8.5
工業機材	パイプ・電気部品等	40,100	11.2
雑貨類	保安帽・他雑貨	32,900	9.2
その他	—	9,800	2.7
合 計		359,200	100.0

表 3 廃 FRP 製品発生量 (推定)

単位: 万 t

用 途	取替年数	1995 年	2000 年	2005 年	2010 年
住機・建設		15.1	21.7	29.2	26.2
住宅機材	(12 年)	1.0	1.6	2.0	1.8
タンク・容器	(15 年)	0.3	0.4	0.5	0.4
建設資材	(15 年)	0.3	0.3	0.4	0.4
輸送機器		4.3	6.7	5.6	6.5
舟艇船舶	(20 年)	0.3	0.4	0.3	0.4
自動車車両	(7 年)	0.2	0.2	0.2	0.3
工業・他		6.5	10.9	10.8	9.9
工業機材	(10 年)	0.4	0.5	0.6	0.5
雑 貨	(10 年)	0.2	0.4	0.4	0.4
その他	(15 年)	0.1	0.2	0.1	0.1
合 計		25.9	39.3	45.6	42.6

図 1 用途別出荷量比率

図 2 住宅機材向け廃 FRP 製品発生量 (推定)

の構築」があり、FRP 廃船をセメント原燃料にリサイクルする実用化研究を行っている。セメント使用時に制限される塩素を含む発泡材の自動分別機の開発や、粉塵防止と熱量増加を目的とした自動油混合機の開発など、要

素技術の確立をベースに総合実証実験をかさねており、事業化に向けた最終段階にある (図 3)²⁾。

さらにリサイクルレベルの向上努力も行われており、廃 FRP をグリコールで分解し、原料の不飽和ポリエス

図3 FRP 廃船リサイクルシステムのイメージ

テル樹脂を再合成するケミカルリサイクル研究も進められている³⁾。

5. 再資源化実証研究への取り組み

FRP 協会は FRP 産業の発展のため「循環型社会に適する材料でなければ、その材料は淘汰される」との強い危機意識のもと従来より FRP のリサイクルを含めた廃棄物処理問題に取り組んできた。

その中で、経済産業省の指導のもと新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託研究に応募し受託した。廃 FRP 製品をセメント原燃料に再資源化する「廃 FRP 再資源化実証システム研究」は、平成 12 年 3 月にスタートし、廃 FRP 原料の収集、種々の予備試験、実証プラントの建設そしてプラント連続運転による実証試験等を経て平成 13 年 3 月末に終了した。

以下に実証研究について概説する。

5.1 研究開発の目的

FRP の構成成分である樹脂はセメント焼成時の燃料として、ガラス繊維と無機充填材はセメント原料として、それぞれ利用することが可能である。

しかし、FRP の燃焼熱量は 2,000～4,000 kcal/kg 程度と低いため、セメント焼成時の燃料として使用するためにはオレフィン系プラスチック等の高熱量材料を混合して適切な熱量に調整する必要がある。

本実証研究では、セメント原燃料として利用できる廃 FRP と熱量調整用の廃オレフィン系プラスチックを同一系列で効率的に破砕する実規模のプラントを試作し、破砕技術、騒音・粉塵対策等の研究を行うとともに、燃焼熱量調整技術の研究を行い、得られたセメント原燃料

をセメントプラントにおいて実証評価を行い、廃 FRP をセメント原燃料として再資源化するシステムの実証研究を行うことを目的とした。

5.2 研究開発の内容

①投入原料の研究

廃 FRP と廃オレフィンとはそれぞれ付着する金属等の異物を取除いたり、一次破砕機に投入可能な寸法にするための前選別、前処理を行う。

②破砕プラントの試作

一次破砕、金属選別、熱量調整、二次破砕および騒音・粉塵対策設備より構成されるプラント (処理能力 20 t/日以上) を設計・建設し、連続運転実証研究を行う。

③熱量調整技術の研究

2 種類の一次破砕物について、異なる性状の破砕物であっても二次破砕機に精度よく定量で供給可能な計量システムにより、燃焼熱量 5,000 kcal/kg 以上とするための最適な運転条件・方法を確立する。

④騒音・粉塵対策の研究

敷地境界での騒音基準値クリアおよび粉砕時の発塵防止のための対策立案。

⑤セメントプラントにおける実証評価

製造したセメント原燃料を、セメントプラントで使用し、ハンドリング性やセメントキルンへの影響の検証を行うとともに、得られたセメント品質の確認を行う。

本破砕プラントの製造フローを図 4 に示す。

5.3 研究の成果

(1) 投入原料の研究

廃 FRP 製品として使用済み FRP 製品 50 t、FRP 工程廃材 150 t の計 200 t を、熱量調整用廃オレフィン系

給水タンクパネル

浴槽

ヘルメット

パイプ

覆蓋

J R 新幹線窓キセ

図 6 廃 FRP 製品の例

プラント全景（投入側）

プラント全景（製品出荷側）

図 7 プラント全景

メント原燃料代替として使用可能であることが確認された（図 8）。

6. 事業化の現状と課題

研究終了後、本システムの実用化を進めてきた。約 1

図8 セメント製造フローチャート

図9 処理実績

年間、再資源化プロジェクトの第2段階である事業化の準備を経て、平成14年4月より栃木県真岡市で事業を開始した。その後、実証研究で得られた多くのノウハウを活かし安定操業に取組み、月平均で廃FRP 廃オレフィン合わせて550 t/月以上処理し、スタート後の1年間で総計約6,600 tのセメント原燃料をセメント工場に納入した(図9)。この間、セメント製造への影響はなく安定した操業が確認されたことから、更なる処理量の増加が期待されている。今後はセメントの要請に応えるための増量対策、あわせて使用済み製品の処理に伴う金属除去等の前処理、前選別対策の強化が重要課題である。ま

た、廃FRPの収集についてはFRP廃棄物の発生場所から効率よく収集、運搬する体制作りが必要である。

7. おわりに

本実証研究の実施によりFRPのリサイクル技術が確立されたことを示した。また、実用化につなげたことで今後、省庁、自治体やユーザー業界にFRP製品を積極的に使っていただけるよう「FRPはリサイクルできる」ことを強くアピールしていこうと考えている。

さらに、国土交通省が進めているFRP廃船高度リサイクルなど関連プロジェクトとも連携を図り、FRPリサイクルの基盤を固めていき、それらを基に全国展開にむけて具体化の検討を行っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) (社)プラスチック処理促進協会：プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況(2001)。
- 2) 国土交通省：「FRP廃船高度リサイクルシステム構築システム構築プロジェクト」平成13年度報告書(2002)。
- 3) 野間口兼政, 久保田静男：プラスチックエージ, 49(2003), 112-122。