解 説

プラスチック基複合材料のリサイクル—V. リサイクル技術の研究動向 (その2)

——米国および欧州・北米の二つの会議に出席して——

北 村 達 人*

1. 序

RP/Composites (プラスチック基複合材料) に関連するグローバルな情報交換を目的とする連携組織が、1985年 GPRMC (Le Groupement des Plastiques Renforcés du Marché Commun/Belgium; EC 強化プラスチック連盟) から提案され、1987 年以来、事務局が The SPI of Canada に移り、世界各国のプラスチック基複合材料に係わる公的な団体またはコンサルタントのボランティアで運営されている。

第5回の WCI 会議が、“The SPI/Composites Institute’s 47th Annual Conference” (Cincinnati/Ohio) の会期中 (1992 年 2 月) に開催され、熱硬化性樹脂複合材料 (FRP) の再資源化技術の動向に関する情報を交換した。

また、合成樹脂工業協会・再資源専門委員会と(株)強化プラスチック協会とは、欧米における昨今の熱硬化性樹脂複合材料 (FRP) の再資源化に関する急速な進展と動向の変化を調査確認することを目的として、去る 1992 年 6 月「廃棄物欧米実態調査」団を欧州及び北米に派遣した。

2 月および 6 月のディスカッションの欧米側参加者には、重複する関係者も多く、以下の報告は、近接する二つの訪問によって得られた再資源化技術の最新動向を一括したものである。また、以下の報告は、すべて自動車部品用熱硬化性樹脂複合材料 (SMC/BMC) に係わる内容に終始するが、これは、日米欧の市場構造の相違からくるものである。しかし、それらの背景となる要素技術は、すべてわが国の熱硬化性樹脂 FRP に適用可能である。

2. 調査報告

最初に欧州および北米の熱硬化性樹脂複合材料の主要なセクターの再資源化に係わる技術およびシステムを総括して表 1 に示す。以下、その主要な技術、事業の内容を要約紹介する。

2.1 ERCOM GmbH

(1) ERCOM 社の事業の特徴

ERCOM 社は、資本金 400 万円の私企業であると同時に、EC の EUREKA 研究開発プロジェクトにも組み込まれるなど、公的な性格も備えた会社である。同社の関与者集団は次の 3 層からなる。この関係を図 1 に示す。

◇Partners (出資会社) コンパウンダーおよびモールドラー; Mitras, BWR, Duroform, Menzolit

◇Supporting Corporation (支援会社) 原料メーカー; DSM, BASF, Elastogran, Cray Valley, Dow Plastics, Vetrotex, OCF

◇Extra Free Market (顧客企業群)

自動車、電気、機械、化学、郵便などのユーザー
ERCOM 社の運営は、会員会社による維持費用の負担と、再生物の販売の両建てで行われる。

(2) ERCOM 社のシステム

使用済み自動車用 SMC/BMC 部品を、(自動車会社の集めた廃棄物) ヤードからモービルシュレッダー車で引き取り回収、減容、破碎しながら、Rastatt のリサイクル処理プラント (能力 5 千トン/年) に運ぶ。ここで、ハンマーミル方式 (hammer milling system) と独自の分級システムにより、次の表 2 に示す 6 種類の再生品に転換する。

モービルシュレッディングシステムおよびミリングによる再生品への転換の処理フローを、それぞれ図 2, 3 に示す。

* Tatsundo KITAMURA: (株)強化プラスチック協会・開発調査 (104 東京都中央区銀座 3-15-15)

表1 要素技術とシステムの総括

	ERCOM	SMCAA	Phoenix	Emery Associates
リサイクル技術	ハンマーミルによる粉体処理法. 6階級の分級. 繊維 3水準 粉体 3水準 繊維最大長>2.0mm パウダー最小粒径<0.2mm	Phoenix システムによる粉体処理法. 粉体は, 3水準, 繊維2, パウダー1 Surface Combustion システムによる熱分解法.	恐らくは圧壊法による繊維とパウダーの分離, 回収方法. 長繊維のまま回収できるのが特徴. 繊維最大長>25.4. パウダー最小粒径<0.02(20 μm)	マイクロウェーブ照射による低分子化法. タイヤの処理から出発. 熱硬化性樹脂複合材料にも適用可能.
設備能力	3,000~6,000 トン/年 平均, 5,000トン/年	粉体法は, 右に同じ. 熱分解法は, 約90 kgf/hr のパイロットプラント.	最大, 5,000 トン/年	トンネルシステム, 長さ40フィート(12.1m) タイヤ 40 本/hr=360 kgf/hr の分解能力.
設備投資	5 百万 DM(= 4 億円)		6 百万 C\$(= 6 億 9 千万円)	
リサイクル事業	操業開始, 1992 年 1 月. (商用) 会員会社による維持費用の負担と再生品の販売.	粉体法は, 右に同じ. 熱分解法は, パイロットプラントによる試験を開始.	操業開始, 1992 年 1 月. (商用)	パイロットプラントによる試験研究を続行中.

図1 ERCOM 社の関与者集団¹⁾

表2 ERCOM 社のリサイクル生成品¹⁾

単位 : mm

パウダー	P 1 <0.2	ファイバー	F 1 <0.5
	P 2 0.2~0.5		F 2 0.5~2.0
	P 3 >0.5		F 3 >2.0

図2 モービルシュレディングシステム²⁾

Sequence of the Working Up of FRP-Parts

図3 ミリングによる処理フロー²⁾

(3) 事業性

表2に示すリサイクルパウダーおよび繊維生成品から、現在表3のような再生品の開発が進んでいる。

(4) 展開

現在、同社は、その事業展開として、第二期に入った

と考えている。すなわち、第一期（1990～1991）は設立の時期、第二期（1992）は、リサイクル材料を使用したニュー SMC の開発の段階、そして、第三期（1993～）以降は、その他の複合材料（熱可塑性樹脂複合材料）を含む全体的リサイクルループの確立に向かうという。

表3 リサイクル応用製品の開発¹⁾

自動車部品	Mercedes Benz	ノイズシールド
		フロントフェンダー
		ロッカーパネル
	Volkswagen	フロントエンド
		ノイズシールド
	Audi	ホイールウエル
異業種展開	Telecom	電話ブース
		電気用品ハウジング
	John Deere	キャビン屋根
	その他	衛生機器
		海洋関係応用品
		熱可塑性樹脂の強化材

図4 Surface Combustion 社の熱分解法プロセス³⁾

2.2 SMC Automotive Alliance

(1) SMCAA のステイタス

SMCAA (SMC Automotive Alliance) は、自動車部品用 SMC/BMC および部品を供給する 30 社から構成される SPI の中の一組織。Eagle-Picher, Owens-Corning, Gen Corp., Premix/EMS, などがリサイクル委員会のイニシアチブをとっている。

(2) SMCAA のリサイクル事業のステージ

現在, SMCAA は、粉体利用法を軸に、熱硬化性樹脂複合材料はリサイクル可能であることの証明段階は終了した (Phase I) としており、これからは、リサイクル品の付加価値の向上に注力する, Phase II の段階に入るものと考えている。

(3) システムと事業の展開

SMCAA の粉体利用法は、後述する Phoenix Fiberglass 社の事業を支援かつ利用し、熱分解法に関しては、Surface Combustion 社の実証プラントを利用する方針である。しかし、当面 SMCAA は、SMC/BMC 工場で発生する工場内スクラップの再生利用を中心に考えており、この点は、使用済み自動車部品の再生利用を中心とする ERCOM 社の行き方とは、少し相違がある。

図4に、Surface Combustion 社の熱分解法のプロセスを示す。

(4) リサイクル SMC の機械的性能

Gencorp Automotive 社が、GM spec. に従って、全フィラー量の 20% をリサイクル SMC (粉体) で置換

表4 GM spec. によるリサイクル SMC の機械的性能³⁾

TEST	7098	7230*	GM SPEC.
Date	11-1-91	3-31-92	
Tensile (MPA)	105.6	95.48	75.0
Tensile mod (MPA)	8927	10670	NR #
Flex Strength (MPA)	163.2	195.1	125.0
Flex mod (MPA)	8683	9325	5800
Izod Impact (J/M)			
Notched	824	888	NR
Unnotched	981	958	NR
Water absorption (%)	0.20	0.19	0.50 MAX
Glass content (% WT.)	44.0	44.5	37 MIN
Glass content (% VOL.)	21.16	22.05	NR
Specific gravity	1.32	1.33	1.4 MAX

* The 7230 SMC has 20% of the total filler replaced with recycled SMC regrind filler.

The values in the above chart are the mean values for six (6) test coupons.

Not required by GM specification.

して平板を成形し、機械的性能を試験した結果を表4に示す。#7098は、バージン品、#7230がリサイクル再生品である。

2.3 Phoenix Fiberglass, Inc.

(1) 設立など

設立は、1991年6月。パイロットプラントの操業は、1991年12月から92年5月までで、同年6月、本格工場の操業を開始した。しかし、まだ操業率は100%ではない。フルスケールの操業は来年以降となろう。

(2) 技術開発の沿革

カナダ政府機関、National Research Council/Canadaから5%の経済的な支援を受けて、開発に着手。実際の技術開発を行ったのは、Ortech Intn'l of Mississauga/Ont.で、熱硬化性樹脂複合材料からガラス繊維と樹脂を機械的に分離する技術として確立した。本プロセス、装置、ソフトウェアなどはいずれも特許申請中。

これまで、開発およびパイロットプラントの建設に、この支援を含む総額、0.5 Million C\$ (=約57.5百万円)の資金を投下したが、このデモプラントは、92年5月でその役割を終了した。

このデモプラントも取り込み、新たにデザインした、最大処理能力、4千 lbs/hr (=1,800 kg/hr)の処理プラントを92年1月に建設、竣工し、同6月から操業に入っている。投下資本、6百万 C\$ (=690百万円)。

図5に、Phoenix Fiberglass社の繊維、粉体回収法を示す。

(3) 製品

回収1: Fiber, 繊維長 25.4 mm

回収2: Milled fiber, 繊維長 3.00 mm

回収3: Powder, 繊維 20 μm 以下を含有
繊維回収の方法は、

① まず使用済み SMC 自動車部品をシュレディングする。

② 次に、圧縮 (compressing)、開繊 (disbandle) する。

③ 最後にミリング工程 (milling process) に入り、再生品を得る。

低温破碎するような方法ではなく、あくまでも機械的に (ピンポンボールのように) 繊維と樹脂を分離する技術である。なお、Powder 中には、30% のガラス繊維が含まれている。

また、SMC だけでなく、充填材の入らないタイプの FRP にも対応、処理しようとするところに特徴がある。

(4) 市場

① BMC に対しては、バージン材料に対し 50% まで powder 品の混入可能。BMC のニーディング工程は、極めてアグレッシブだが、powder 品入りのコンバウンドで、樹脂の含浸はしっかりと行われている。

図5 Phoenix Fiberglass 社の繊維、粉体回収プロセス³⁾

② Fiber 回収品は、チョップドマット代替で、SMC コンパウンドプロセスへ混入可能。

③ 主たる出荷先は、SMCAA のメンバー (Gen Corp, Eagle-Picher, etc) だけでなく、広く北米の SMC/BMC 自動車部品製造モールド。最初、彼らは、クラス A の SMC 部品に対しての使用をためらっていたが、全く問題は生じていない。SMC 部品に対し、20~25% 混入して、きわめてわずかな機械的性能の低下があるのみ。

2.4 Emery Depolymerization Process

(1) はじめに

廃棄物の多くのもの——使用済みタイヤ、ゴム廃棄物、プラスチック、都市ゴミ、紙、木材チップ、おがくず、下水スラッジの類（これらをまとめてバイオマスという）は、炭化水素またはその化合物、または炭素の水和物またはその化合物とから構成されている。これらは有機物または炭素基分子構造の官能基群に分類される。

“Emery Process”は、これらのバイオマスにその分解に要するエネルギーをマイクロウェーブにより供給するシステムである。これらのバイオマスからの生成回収物はカーボンブラック、油分、金属、水分そして硫黄分である。バイオマスを分解するに要するエネルギーはその廃棄物の種類によって相違するが、一般的に極めて少なくよく、たとえばタイヤ1ポンド当りで1/3 kWh (1トン換算で、735 kWh) である。

(2) タイヤ処理におけるケーススタディー

a) 使用済み自動車タイヤの重量は、平均 20 ポンド (9 kg)。耐摩耗性の向上および長寿命化のために充填材としてカーボンブラックが使用されている。残りの大半

図6 タイヤの減容、処理プロセス⁴⁾

は、合成ゴム、すなわち天然ゴムおよび加硫剤としての硫黄および鋼ベルト材から成る。

b) 低分子化分解工程で1本のタイヤを完全に分解するのに要する時間は、約 20 分。

c) 本プロセスは、タイヤの分子結合を切って原物質 (H_2C , H , C) に還元し、再利用可能な副産物を分離する。例えば 20 ポンド (9 kg) のタイヤから、1 ガロン (3.79 リットル) の油分、9 ポンド (4.1 kg) のカーボンブラックおよび 2 ポンド (0.91 kg) の鋼ベルトを回収する。また数オンス (1 オンス=28.35 g) の良質の硫黄分も同時に回収される。

d) 本プロセスは、バッチでもまた連続運転でもよい。Emery Associates は、空気遮断口で始まり空気排出口で終わる連続処理設備 (トンネルシステム) を開発した。本トンネルシステムは、長さ 40 フィート (12.06

m)で、時間当たり 40 本（≒360 kg）のタイヤを分解処理できる。長さ 60 フィート（18.24 m）のダブルトンネルシステムでは、24 時間で 1,000 本（9 トン）のタイヤを処理できる。この、タイヤの減容、処理プロセスを図 6 に示す。

(3) プラスチックスへの応用

プラスチックは熱硬化性樹脂 または 熱可塑性樹脂で、基本的に炭化水素またはその誘導物質。したがってその分解処理の工程はタイヤとはほぼ同じである。

現在、“Emery Process”は、特定の廃棄物に関するシステムのリサイクル試験の研究委託を請け負っており、熱硬化性樹脂複合材料の試験にも大きな興味を示している。

3. 結 語

(1) 欧州、米国のイニシアチブ集団とも、FRP 廃棄物再資源化問題を、短期（～94、95 年位まで）、中期（～2000 年位まで）、長期（～2010 年位まで）の3視点から捕え、現在のポジションとそのなすべき仕事を明確にしている。

(2) （短期的に見て）欧州、米国のいずれも、机上で議論し、パイロットプラントにより実証するという段階を終了し、かなりの規模のプラントの商用運転による再資源化（リサイクル）の実践段階に入った。

(3) したがって「熱硬化性樹脂複合材料（FRP）が、リサイクル可能であること」の証明の段階は既に終わり、今後はいかに再生物の付加価値を高め、市場性を獲得していくかに焦点が移るものと予想される。

(4) 廃棄物の回収から、再資源化にまで至る社会システム（waste stream）の構築を、logistic program（兵站術上の計画）と名付け、このプログラムの立案と実行に重点が置かれ始めた。

(5) さらに、原材料→製造→使用→寿命→再資源化に至る全流れについて、投入エネルギーと環境へのインパクトの大小から材料間の比較評価をする、ecobalance というコンセプトを強く主張しつつある。

参 考 文 献

- 1) ERCOM Composite Recycling GmbH: *Presentation Remarks*, Germany (June 1992).
- 2) BASF GmbH: *Presentation Remarks*, Germany (May 1992).
- 3) SMCAA (SMC Automotive Alliance): *Document of SMC Molders Management Committee under the Recycling Sub-committee*, USA (Apr. 1992).
- 4) C.L. Emery (Emery Associates): *A Creative New Process for Recycling Scrap Tires and Other Wastes*, The Canadian Institute, Canada (Nov. 1990).