解説

プラスチック基複合材料のリサイクル—Ⅲ.

——熱硬化性樹脂複合材料のリサイクルの日欧米の現状——

飯 森 博*

1. ま え が き

廃棄物の処理環境は、従来は排出された廃棄物を適正に処理することが最大の課題であったが、これに加え最近、廃棄物の量の増加や質の多様化、世論の高まり、廃棄物の法規制強化を目的とした産業構造審議会答申、「再生資源の利用促進に関する法律」（リサイクル法）及び「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」（改正廃掃法）など、廃棄物の減容化、再資源化により資源の有効利用を図ることが重要な課題となってきた。

FRP 製品は耐久消費財型製品として、建築資材、住宅機材、舟艇・船舶、自動車・車両、航空・宇宙、タンク・容器、工業機材、雑貨など用途は多岐にわたり、大～小の構造物の素材として、また、鉄鋼などの金属材料に代わる軽量かつ、耐食部材として利用されている。

不飽和ポリエステル系 GRP の生産量は 1990 年ベースで 47 万トンで、日本では住宅機材、舟艇・船舶、タンク・容器の分野で 60%、欧米は大略、自動車・車両の用途で 40～50% の市場構成比率を占めている。現在 FRP 製品の総廃棄物量（一般廃棄物及び産業廃棄物）は 20 万トン¹⁾ の規模に達し、浴槽、舟艇・船舶、タンクの 3 分野で全排出量の 60% 強になっている。該三分野の一般廃棄物はいずれも大型 FRP 製品であるため回収手法を含め処理技術・再資源化技術の確立が急務となっている。一方、FRP 成形工場から排出される FRP 廃棄物（産業廃棄物）量は 46,000 トン/年水準であり²⁾、成形工場の大部分は産業廃棄物業者に委託し、処理されており、処理単価平均値は約 8 万円/トンで、委託処理費用総額は年間 37 億円に達し、今後埋立て地の確保の困難さを考慮すると処理費用総額が急上昇していくことは間違いない。

なお、不飽和ポリエステル系 GRP 生産量中で市場構

成比率 30% を占める SMC/BMC 関連の廃棄物排出量を分野別でみると、自動車・車両はライフサイクルを 9 年とすると、1995 年で 1 万トン、住宅設備では該サイクル 15 年で 2000 年には 5 万トンの水準³⁾ になる。

最近欧米では、自動車部品の材料選択の手法として後記の材料のエコバランスを含めた全ライフサイクル分析手法が用いられてきており、他材料と比較して FRP 素材の優位性が証明されてきている。

FRP 廃棄物の処理の状況は、「熱硬化性樹脂複合材料 (FRP) がリサイクル可能である」ことの証明段階は終わり、今後はいかに再生物の高付加価値化及び用途拡大により市場性を獲得していくかに焦点が移るものと予想されている。この 1～2 年、欧州（特にドイツ）、米国を中心に自動車部品用 SMC・BMC の再資源化技術開発が急速に進展し、ドイツでは廃自動車 SMC 部品を回収、粉体再資源化する ERCOM 社 {Entsorgung Recycling COMposite (DSM, BASF, Owens Corning など FRP 原材料メーカーが共同出資支援の JV)} が 1992 年 1 月にスタートした。また米国では、SPI (Society of the Plastics Industry) の下部組織として SMC Automotive Alliance (SMCAA—自動車部品用 SMC 及び該製品を供給する原材料及びモールドの組織) が、ERCOM 社と同じくガラス繊維、粉体による再資源化の商業プラントの稼働を 1992 年 6 月に開始した。これらはいずれも、熱硬化性樹脂複合材料の大半を自動車部品として占めている欧米の市場環境と厳しい環境・廃棄物規制が反映している。

日本の FRP 廃棄物の再資源化技術・処理方法の最適化処理技術（前処理技術、粉体利用技術、焼却、熱分解技術）の開発は加速され、欧米と同様に「FRP 廃棄物は、リサイクル可能である」の水準に到達してきたと見なしてよいと判断している。

本解説では、日欧米の熱硬化性樹脂複合材料のリサイクル、特に、FRP に焦点を当て処理・再資源化の現状を

* Hiroshi IIMORI : 三井東圧化学㈱
(100 千代田区霞が関三丁目 2-5)

比較した。

2. リサイクル技術の現状

現在 FRP 廃棄物は大別すると、埋立て (landfill)、焼却 (incineration)、熱分解 (pyrolysis)、粉碎 (regrinding-material system) のいずれかにより処理されている。

埋立て処理は、日欧米いずれも共通問題として、土地確保困難、土壤汚染、処理場周辺住民反対運動などより欧米では、いずれ禁止措置が出されるといわれている。なお、現在の埋立て費用は上昇傾向 (埋立て処理単価: 日本—5.1~10.5 万円/トン, ドイツ—4.8~8 万円/トン, 米国—0.8~5.5 万円/トン) にある。

粉碎、熱分解及び焼却処理技術の日欧米の現状を下記に紹介する。

2.1 粉碎処理技術

2.1.1 日本の現状

FRP 廃棄物の再資源化・対策の関係組織として、強化プラスチック協会廃棄物再資源化・処理対策本委員会、FRP 船廃船処理技術研究会及び合成樹脂工業協会ポリエステル部会再資源化委員会などが中心になり、FRP 廃棄物の回収から、再資源化までに至る社会システムの構築の検討を実施してきている。

浴槽、タンク、漁船・プレジャーボートなどの大型 FRP 廃棄物は「適正処理が困難な材料」として類別されている。

粉碎システムの通常の工程は解体→切断→破碎→粉碎→分級のフローとなるが、特に、FRP 漁船廃船処理については、独自の技術課題 (解体・切断などの前処理技術) の解決が必要とされている。

該技術については、四国工業技術試験所が 1985 年より FRP 廃船処理技術確立の研究開発の一環として実施してきており、解体法としてプラズマジェット切断、砥石及びチップソー切断、制御爆破などを開発、油圧シャベルを利用、アタッチメントに油圧式圧砕機やフォーク、アイアンクローなどを取り付けた大型建設機械による解体と併せ実用レベルに達している。また、固定型自動切断装置、移動型自動切断装置についても開発に成功している。切断技術には、上記以外に超高压のウォータージェット切断、酸素切断などがある。

破碎法には圧縮、衝撃、剪断力を被破碎物に加えて破碎する方法である。代表的な破碎機としては、衝撃剪断型、圧縮剪断型、剪断型、衝撃型、圧縮型などがある。破碎法までの工程を含めた前処理技術で処理した破碎物

を利用し、微粉碎に特長がある粉碎技術が最近発表されている。堅型ミルにより平均粒径 $5\sim 10\ \mu\text{m}$ に超微粉碎する方式⁴⁾、ダイヤモンド粒を埋め込んだ回転ドラムに FRP 廃棄物を押し付け切削し、平均粒径 $18\sim 50\ \mu\text{m}$ に微粉化する方式がある。

また、リサイクル用連続粉碎システムとして、SMC 成形品中のインサート、金属金具などをあらかじめ取り除いた後、シュレッダーで破碎または切断して最大 $300\times 300\ \text{mm}$ の板状にしたものを粗粉碎機 (グラニューレター) に入れ、更に、微粉碎機 (ハンマーミル) により数 μm 前後の微粉碎物が得られる。該微粉碎品は既にルーフラックに車載されている⁵⁾。

2.1.2 欧州の現状

欧州の樹脂メーカーの 90% が参加し、会員数 50 からなる組織 AMPE (Association of Plastics Manufacturers in Europe—全欧州樹脂製造業者協会) の下部組織でプラスチックの環境問題管理センターとして 1990 年に PWMI (Plastic Waste Management Institute—プラスチック廃棄物処理協会) が発足し、廃棄物の EC 関係諸国間の調整、技術調査活動及び 11 の環境タスクフォース (自動車、化学的リサイクル、回収・分別、異種混合プラスチックのリサイクル、生分解、エコバランス、経済的及び財政運営、エネルギーリサイクル、表示、再生品の市場開発、広報) と自動車分野に限定した三つの WG (Logistics/Technical/Design) の活動を開始、Logistic WG ではリサイクルコスト、車体のシュレッディングセンターに次いで解体センターの構築を検討している。

ERCOM システムは世界で最初に実用化された連続粉体システムで EC の EUREKA 計画の指定プロジェクトに組み込まれている。

事業範囲は、基本的にはヨーロッパとし ERCOM 社の実績をベースにして自動車用 FRP の消費量の大きいフランス (VALCOR—VALorization of COMposites by Recycling)、イギリスなど 5 カ国への展開を計画している。ERCOM 社には成形企業のメンバー会社 4 社 (BWR, MENZOLITE, MITRAS, DUROFORM)、樹脂及びガラス繊維メーカーのサポーティング企業 6 社 (DSM, BASF, CRAY VALLEY, VETROTEX, Owens Corning, DOW Plastics) の計 10 社の会員会社が参加し、会社運営は会員会社による維持費用の一部負担と再生物の販売によっている。

システムの概要は図 1 に示すように、使用済み廃棄物の SMC/BMC 部品 (自動車 Bumper, 電子用ハウジン

図1 ERCOM方式の工程概要

グ、テレホンブース、スイッチギヤなど)を廃棄物ストックヤードから走行トラック、クレーン、廃棄部品の切断装置及びコンテナ付きモービルシュレッダー車で引き取り、回収、減容、破碎(粗粉碎物サイズ:5 cm 角程度、破碎能力:3 トン/時間、専用コンテナ容量:30 m³—10 トン)しながらリサイクル処理プラント(ミリングプラント)に運ぶ。ここで、ハンマーミル方式による粉砕と分級システムにより各々3種類の繊維グレードとパウダークレードの再生品に分級される⁶⁾。

該システムの key technology は粉体輸送技術である。解体費用及び廃棄物ヤードまでの輸送費用は廃棄物排出側負担、シュレッダー車での破碎処理、ミリングプラント

トでの粉体処理までは ERCOM 社の負担である。

同社の事業展開は、設立時の第一期(1990～1991)、リサイクル材料を使用したニュー SMC/BMC の開発段階の第二期(1992)、第三期(1993)以降は熱可塑性樹脂複合材料を含む全リサイクルループの確立に向けている。1992 年以降5～7年の間に上記の欧州5カ国及び日本が対象地域に含まれている。

表1及び表2にリサイクル SMC の性能、経済性及びリサイクル SMC 車載の実施例を示す。

2.1.3 北米の現状

SMC の自動車分野への需要拡大の設計活動、リサイクル技術開発(熱分解/粉碎システム)及び自動車部材へ

表1 ERCOM 社リサイクル SMC の性能と経済性

性 能	材料構成・経済性	
	標 準 SMC	Recycle SMC
Tensile (MPa)	80.0	68.0
Tensile Mod (GPa)	8.5	8.1
Elong (%)	1.4	1.5
Flex Strength (MPa)	145.0	163.0
Flex Mod (GPa)	9.0	7.5
Izod Impact (kJ/m ²)	50.0	46.0
Shrinkage (%)	0.15	0.20
Specific Gravity	1.82	1.60
	標 準 SMC	Recycle SMC
UPE	30.8%	36.1%
Filler	36.7	12.3
Glass fiber	28.0	20.0
Recycle SMC	—	24.7
Additives	4.5	6.9
Price (kg)	100	105
Price (l)	100	93

表2 ERCOM 社製粉砕品使用自動車部品例

1. VW Polo engine noise shield : P-1/F-1
2. VW Passat front end : P-1
3. Audi spare wheel case : P-1, P-2/F-1, F-2
4. John Deere tractor roof
5. VW Golf engine noise shield : P-1, P-2/F-1, F-2
6. Mercedes Benz trucks bumper and front panels : P-1

のリサイクル SMC の採用活動などを目的として SMC/BMC の成形業者及び原材料メーカーなど 30 社の構成からなる連盟が SMCAA で、技術委員会のリサイクル小委員会には Eagle-Picher, Owens Corning, Gen Corp., Premix/EMS などが繊維回収、熱分解、リサイクル品用途開発の各タスクフォースの主要メンバーとして活動している⁷⁾。

現在、粉砕法及び熱分解法を軸に、熱硬化性樹脂複合材料は「リサイクル可能である」ことの技術開発段階は終了し、リサイクル品の付加価値の向上の技術開発に注力している。

SMCAA が注力している粉砕システム—Phoenix Fiberglass システム—Phoenix Fiberglass 社 (Canada) が開発、1992 年 6 月より実用化プラントの操業を開始した。該システムは各々 2 種類の繊維グレードとパウダーグレードの再生品がある。

再生物処理のプロセスの手順は、

- ① 使用済み SMC/BMC または FRP をシュレディング
- ② 次に、圧縮 (compressing)、開繊 (disbandle)

表3 Phoenix Fiberglass 粉砕品グレード

グレード	内 容
CSX-2i	廃 FRP よりガラス繊維を分離、平均繊維長さ 1 inch、特性はチョップストランドに類似、ポリエステル樹脂が含ま浸被覆された状態
CSX-2 S	SMC 成形品から分離されたガラス繊維、平均繊維長さ 1 inch のチョップストランド、ポリエステル樹脂及び充填材を含んだ状態
PHX-20i	廃 FRP より分離された微粉ポリエステル樹脂とガラス繊維粉砕品 (20 μ m 以下) の混合物
PHX-20 S	SMC 成形品から分離された微粉ポリエステル樹脂、炭カル及びガラス繊維 (20 μ m 以下) の混合物

注：SMCAA のメンバー及び北米の SMC/BMC 自動車部品製造モールドに供給

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

このシステムは SMC/BMC だけではなく、充填材の入らない FRP にも対応、処理ができ、更に、略非破壊の状態でガラス繊維が回収できることに特長がある。

表3に粉砕品のグレードを示す。パウダーは 20 μ m 以下のガラス繊維が 30% 混入している。

リサイクル SMC の GM Spec. に適合する機械的性能を表4に示す⁸⁾。

表4 GM Spec. によるリサイクル SMC の機械的性能

Flat panel
7098 vs 7230*

項 目	7098	7230	GM Spec
Tensile (MPa)	105.6	95.48	75.0
Tensile Mod (MPa)	8,927	10,670	NR#
Flex Strength (MPa)	163.2	195.1	125.0
Flex Mod (MPa)	8,683	9,325	5,800
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
Specific Gravity	1.32	1.33	1.4 max

注：* 印はリサイクル SMC 粉碎品を全充填剤の 20% を置き換え、7098 は一般 SMC

印は GM Spec なし

図2 ERCOM 社製粉碎処理品
ガラス繊維分級品：F-1
SEM (500 倍)

図3 ERCOM 社製粉碎処理品
ガラス繊維分級品：F-2
SEM (500 倍)

2.2 熱分解処理技術

2.2.1 日本の現状

FRP 廃棄物を水蒸気、無酸素または低酸素の雰囲気下で加熱し、可燃ガス、油及び樹脂原料固形物などを回収するものである。

FRP 廃棄物の熱分解法では、分解温度制御によりガラス繊維の劣化低減による有効利用及び樹脂分解物の回収効率を上げるために、四国工業技術試験所の水蒸気分解法では、間接加熱の熱分解炉で、熱分解温度 300~600°C で水蒸気を吹き込みながら熱分解し、ガス（一酸化炭素）、油状物（スチレン）、固形物（フタル酸）、ガラス繊維などを回収するものである⁹⁾。また、船舶技術研究所

法は外熱式熱分解炉で 400°C 以下の温度範囲で分解する。回収物はガス分、油分及び残渣で、油分の引火点はガソリンに近く、総発熱量は 9,240 kcal/kg の分析値が得られた¹⁰⁾。

2.2.2 北米の現状

Canada で開発された熱分解処理技術の Emery システム¹¹⁾ は不活性ガス雰囲気下で有機物にマイクロ波を照射して有機物の分子鎖を切断し、分解する chemical system である。分解生成物は FRP の場合は、ガラス繊維、重質油である。照射雰囲気温度は 200°C 以下の比較的低温での分解法であり、回収ガラス繊維の物性低下は少ないとみられている。該システムは熱硬化性及び熱

図4 ERCOM 社製粉碎処理品
ガラス繊維分級品：F-3
SEM (500 倍)

図7 Phoenix Fiberglass 社製粉碎パウダー分離
品 (廃 SMC 成形品)
SEM (500 倍)

図5 Phoenix Fiberglass 社製粉碎ガラス繊維分
離品 (廃 SMC 成形品)
SEM (500 倍)

図8 Phoenix Fiberglass 社製粉碎パウダー分離
品 (廃 FRP 成形品)
SEM (500 倍)

図6 Phoenix Fiberglass 社製粉碎ガラス繊維分
離品 (廃 FRP 成形品)
SEM (500 倍)

可塑性いずれの樹脂も適用可能であり、バッチまたは連続運転でもよい。

消費電力はプラスチックの場合、照射及び凝縮を含め、2/3 KWH/kg である。

SMCAA の NuTech System¹²⁾は不活性ガス雰囲気下で、760°C で SMC を分解しガス、油状物、固形物(ガラス繊維、炭酸カルシウム)を回収している。該固形物はリサイクル SMC としてバージン炭カルの 30% まで代替でき、Class A 外観の自動車 SMC としてリサイクル可能である。

3. 焼却処理技術

一般廃棄物の焼却はダイオキシン emission による環境汚染などで欧米では焼却設備建設は困難となっている。

FRP 廃棄物は上記汚染問題はないが、低温不完全燃焼による黒煙発生、高温燃焼時の熔融ガラス繊維の炉壁付着による炉損傷を考慮した焼却炉の設計が必要である。日本では FRP 廃棄物処理の焼却炉は、FRP 成形工場内 FRP 硬化物を熱源として焼却利用ボイラーが設置されている。

表5 SMC と他材料とのエネルギー収支

計算基礎：製品—エンジンフード

Driving cycle 150,000 km

軽量化による Gasoline saving—9.0l/kg

→Corresponds to 216 MJ

製造時、エネルギー収支（車の生涯）(1)

重量の差	MEC*	燃料の節約	合 計
(kg)	(MJ)	(MJ)	(MJ)
Alum 15-Steel 30	-3,000	+3,240	+ 240
Alum 15-SMC 10	-3,740	-1,080	-4,120
Alum 15-SMC 15	-3,390	± 0	-3,390
Alum 15-SMC 20	-3,340	+1,080	-2,260

* MEC : Manufacturing Energy Content 製造時エネルギー保有量

リサイクル品とのミックスエネルギー収支（単位当たり）(2)

(MJ/kg)	Steel	Al	SMC
MEC	48	298	70
Recycled energy	9	20	1.2 (Granulation)
Mixed case	42	103	66
(%)	R (15) + V (85)	R (70) + V (30)	R (6) + V (94)

R : Recycled, V : Virgin material

リサイクル品を含むトータルエネルギー収支（車の生涯）(3)

重量の差	MEC	燃料の節約	合 計
(kg)	(MJ)	(MJ)	(MJ)
Alum 15-Steel 30	-915	+3,240	+2,325
Alum 15-SMC 10	-885	-1,080	-1,965
Alum 15-SMC 15	-555	± 0	- 555
Alum 15-SMC 20	-225	+1,080	+ 855

該ボイラーは未燃ガス及び燃焼開始煙対策、完全燃焼対策、集塵対策及び焼却残渣排出対策などが講じられている。FRP 廃棄物処理量が8トン/日の場合、焼却ボイラーの経済性計算では設置効果は達成されている¹³⁾。

4. 材料のエコバランス

材料を全ライフサイクル分析手法 (Total Life Cycle Analysis=LCA) またはエコバランスの視点から見ようとする提言と方法論が提示されている¹⁴⁾。

LCA 分析は製品の 寿命期間、つまりその製造から処

分、リサイクルまでに製品が環境に与える影響を分析する。自動車などの部品の場合、LCA では製造に必要なエネルギー保有量、走行中の燃料消費、リサイクルに必要なエネルギー及び大気汚染量まで計測する有効な手段となろう。

揺籠から墓場まで (from-cradle-to-grave) を製品の製造から処分までと置き換え、環境という指標を通して材料を評価する。

その方法論は、次の5段階で解析する手法である。

①目標設定、②環境に与える影響因子、③環境に与え

表6 軽量化による省燃費と大気汚染軽減例

計算基礎: Driving cycle 150,000 km

材料重量差 (Alum 15-SMC 10) = 5 kg (Engine hood)

	単位	軽量化基準	SMC Engine hood
軽量化	kilos	1.0	5
省燃費	litres	9.0	45
排出ガス抑制			
CO ₂	kilos	21.0	105
NO _x	grams	51	255
CO	grams	172	860
Hydrocarbons	grams	21	105
SO _x (direct & refinery)	grams	26	130

表7 要素技術とシステムの総括

	ERCOM	SMCAA	Phoenix Fiberglass	Emery Associates
1. リサイクル技術	ハンマーミルによる粉体処理方法 6階級の分級 ガラス繊維 3水準 パウダー 3水準 繊維長: F ₁ <0.5mm F ₂ 0.5~1.0mm F ₃ >1.0mm パウダー: P ₁ <0.2mm P ₂ 0.5~1.0mm P ₃ >0.5mm	・Phoenix システムによる粉体処理方法 ・Surface Combustion System による熱分解法	ガラス繊維非破損再資源化方法 (圧壊法か) FRP 及び SMC(BMC) に適用. 繊維及びパウダー分離, 回収方法 回収繊維長: 平均 25.4 mm 回収パウダー: 平均繊維長 20 μm 以下の混合物	Microwave 照射による低分子化分解法 熱硬化性樹脂複合材料にも適用可能
2. 設備能力	3,000~6,000 トン/年	粉体法は, 右に同じ 熱分解法は90 kg/h の Pilot plant	最大 5,000 トン/年	トンネルシステム 長さ 40 フィート タイヤ 40 本/h —360 kg/hの分解能力
3. 設備投資	5 百万DM (=400百万円)		6 百万 C\$ (=690 百万円)	
4. リサイクル事業	操業開始, '92 年 1 月 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 Pilot plant による試験開始	操業開始, '92 年 1 月	Pilot plant による試験研究続行中

る因子の分析，④環境に与える作用構成，⑤評価。

これらを総合評価して，環境に優しい材料 (environment-friendly materials)，製造方法を選択すべきであるとしている。一例としてエンジンフードの製造から処分まで，その部品がどれだけエネルギーを節約できるかをアルミ，SMC，スチールで作ったときの LCA によるエネルギー収支を計算した結果を表 5 に，また，アルミを SMC に代替した場合の大気汚染軽減例を表 6 に示す。日欧米の FRP 再資源化の要素技術とシステムの総括を表 7 に示す。

5. あとがき

FRP 廃棄物処理技術・再資源化の技術開発，実用化は日欧米が共通の環境問題，法規制問題を抱え同時進行的に着手し，現在欧州の粉碎システムが実用化レベルで先行，北米は粉碎システムが実用化，熱分解システムは F/S の段階に到達している。

ドイツの廃車法問題は EC 圏内共通課題となることは必至であり，現地生産車を含め日本車にハネ返ることに，早急に欧州先端技術以上の水準まで日本の処理・再資源化技術を引き上げることが急務となっている。

北米の自動車用 FRP 廃棄物はビッグスリーによるプラスチック廃棄物処理・再資源化推進を目的とした共同出資会社 VRP (vehicle for recycling partnership) の設立及び SPI のリサイクル推進下部組織 PPP (partnership for plastic progress) 傘下の Durable Committee 活動などより，今後プラスチックの回収及び再生の技術開発が加速されてこよう。

日本では，FRP 廃棄物の処理・再資源化技術開発は前記関係組織，原材料メーカー及びエンジニアリング会社などの活動により粉碎システム，熱分解システム及び焼却システムで欧米の技術レベルに略到達してきたと判断してよい状況となってきた。

今後は日欧米共に回収などのロジステックス問題，リサイクル品の用途開発が重要かつ，緊急の課題となってきた。

先進国はいずれも，経済構造が消費型より環境負荷の

少ないリサイクル材料を社会システムに取り入れた循環型経済構造に移ってきている。この構造変化を見据えた技術構築が急務である。

なお，本解説の一部に 1992 年 6 月に合成樹脂工業協会ポリエステル部会及び強化プラスチック協会再資源化委員会合同の欧米硬化性樹脂複合材料リサイクル調査団調査報告並びに上記再資源化委員会活動を利用したことを付記する。

参 考 文 献

- 1) 北村達人：Recycling Thermosets in Japan Update Generalization, 合成樹脂工業協会・強化プラスチック協会リサイクル調査団資料 (1992)。
- 2) 山口金哉，岡沢恂平：第 37 回 FRP 総合講演会講演要旨集 (1992)，pp. 42-45。
- 3) 柴田孝司：講演会資料“SMC (FRP) 成形品のリサイクル。最近の研究動向” (1992)。
- 4) 吉岡梁孝：第 37 回 FRP 総合講演会講演要旨集 (1992)，pp. 63-66。
- 5) 福井忠夫ほか：第 37 回 FRP 総合講演会講演要旨集 (1992)，pp. 50-53。
- 6) I.H. Kelderman：DSM Resins by Presentation at DSM (June 1992)。
- 7) SMC Automotive Alliance：Recycling Subcommittee by SMC Molders Management Committee (Apr. 1992)。
- 8) G.N. Hartt & D.P. Carey：Economics of Recycling Thermosets, SAE Technical Paper, Series 92080 (Feb. 1992)。
- 9) 北村孝雄：TECH'MAT 92 (1992)。
- 10) 林 慎也ほか：廃棄物処理対策全国協議会第 39 回全国大会講演集 (1988)，pp. 94-97。
- 11) C.I. Emery/Emery Associates：A Creative New Process for Recycling Scrap Tires and Other Wastes (Nov. 1990)。
- 12) SMCAA：Recycling of SMC—The Energy/Environment Picture (1992)。
- 13) 「適正処理が困難な廃棄物に関する再資源化・処理技術等の調査検討」事業報告 (FRP 廃棄物)，(財)クリーンジャパンセンター (1989)。
- 14) E. Oerlemens：Presentation at DSM Resins, “Ecobalance of Materials for Automotive Applications” (June 1992)。