

## 論 説

## 循環型素材産業における生産プロセス成立の技術的・経済的条件

## — 汎用プラスチックの高品質リサイクルを事例に —

中 村 真 悟

## 目 次

- I. はじめに
- II. 汎用プラスチックの特徴
- III. 現行リサイクル法に見る汎用プラスチックリサイクルの課題
- IV. 瀬近江物産の汎用プラスチックリサイクル
  - 1. 事業概要
  - 2. 汎用プラスチックリサイクル事業の展開過程
    - (1) クローズドリサイクル事業
    - (2) オープンリサイクル事業
- V. 汎用プラスチックの高品質リサイクルの技術的・経済的条件
- VI. おわりに

## I. はじめに

現代社会は、大量生産技術の成立とその進展によって豊かな社会を形成してきた。他方で大量生産技術の進展は地下資源の大量採掘・利用を前提とし、資源枯渇問題を深刻化させてきた。資源枯渇問題の克服には、再生可能な資源への代替化、資源リサイクル技術の進展が不可欠である<sup>1)</sup>。

しかし資源リサイクルの場合、その前後で品質の劣化が生じてしまうと、枯渇性資源の利用の削減をもたらさないどころか劣化したリサイクル資源の用途開拓をせざるを得なくなり、結果的に資源・エネルギーのムダをもたらさう。よって資源リサイクルを担う循環型素材産業は、品質の劣化を伴わない生産プロセスを成立させることが重要である。本稿では循環型素材産業のうち、生産プロセスの成立が困難とされる汎用プラスチックを対象に、高品質リサイクルの成立の技術的・経済的条件を明らかにする。

汎用プラスチックとは、一般にポリエチレン (Polyethylene, 以下PEと表記)、ポリプロピレン (Polypropylene, 以下PPと表記)、ポリスチレン (Polystyrene, 以下PSと表記)、ポリ塩化ビニル (Polyvinyl chloride, 以下PVCと表記) といった生産量が多いプラスチックを指し、そのいずれもが石油化学工業の中で生産される。

汎用プラスチックは重合などの化学操作を通じて製品化されるが、自然界では分解が極めて

---

1) 中村 (2012)。

困難である。また、適切な処理がなされない場合には公害・環境問題を引き起こしうる。よって、いったん生産された汎用プラスチックの分解は自然界の循環に任せるのは困難であり、生産・消費・廃棄・リサイクルといった人間社会の循環で行われる必要がある<sup>2)</sup>。

汎用プラスチックの主原料であるナフサやエタンは、枯渇性資源である石油・天然ガスから精製される。枯渇性という点では昨今シェールガスの商業化により当面の問題ではなくなるといわれているが<sup>3)</sup>、いずれの地下資源の採掘も地下に貯蔵される二酸化炭素を地表へ排出する過程でもあり、温暖化問題の深刻化をもたらしかねない。

また石油・天然ガスは特定の地域に点在しており、エネルギー・資源安全保障という政治・外交上の課題にもなっている。現在、石油の 90% 以上、ナフサの 50% 以上は製品輸入に頼っている。そのため、橘川 (2012) や稲葉・橘川・平野 (2013) は、石油・天然ガス資源の自主開発とコスト競争力強化のための産業再編、さらには国産メジャー構想を提案している。しかし、国産メジャー構想とエネルギー・資源安全保障は別の問題である<sup>4)</sup>。資源安全保障に限定すれば、既存の国内資源である使用済みプラスチック資源の有効活用システムを構築する方が国産メジャーを設立するよりも現実的である。

ところで汎用プラスチックのリサイクルはプラスチックリサイクルの中でも技術的、経済的に最も可能性のある分野である。技術的には、汎用プラスチックは化学素材の中でも比較的単純な分子によって構成されており、熱可塑性すなわち熱を加えることにより流動性が高まることから熔融・成形加工がしやすい<sup>5)</sup>。経済的には、汎用プラスチックは市場での用途、消費量が多いことから、エンジニアリングプラスチックないしスーパーエンジニアリングプラスチックなどの高機能プラスチックと比較して、大量回収・大量リサイクルによる規模の経済性を活かすことが可能である<sup>6)</sup>。しかし表 1 に見るように、現在のリサイクルはサーマル、つまり燃料利用というワンスルーが総排出量の約半分を占めるといった構造になっており、資源の有効利用とはいききれない状況である。

---

2) ただし適切な循環を構築しない場合には、リサイクルという名の下に人体影響・環境破壊をもたらしかねない。プラスチックリサイクル工場での公害問題と懸念される事例としては、東京都江東区の不燃ごみ・プラスチックの圧縮・詰め込み施設の周辺で喘息・化学物質過敏症などの患者が発生した「杉並病」などが挙げられる。

3) 伊原 (2011)。

4) 欧米石油メジャーは形式上、油田開発・石油精製・石油販売・石油化学を有する垂直統合にみえる。しかし現在ではオイルショック以前のように垂直統合による価格統制は困難であり、またグローバルなビジネス展開においては内部取引が経済合理性を発揮しない場合もある。実際、欧米石油メジャーの多くは市場取引を積極的に活用し、部門別・地域別の経済合理性を追求するようになっている。詳しくは中村 (2010) を参照。

5) ただし PVC の場合、200～800℃という温度帯においてダイオキシンを発生させるといわれており、熱可塑性ではあるものの人体への影響が懸念される。1990 年代以降、自動車・家電産業では環境・リサイクル対策の観点から、ポリウレタンや PVC から PP へと素材の代替化が進んできた (小林, 2006)。

6) 中村 (2012) 48-50 頁。

表1 ナフサ消費量、プラスチック製品消費量、廃プラスチック総排出量、リサイクル量の推移（2007-2011年）  
単位：万t

		2007	2008	2009	2010	2011
ナフサ消費量		3456	3148	3067	3263	3113
うち輸入量		1881	1634	1620	1807	1790
プラスチック製品消費量		1103	1089	843	970	987
廃プラスチック総排出量		994	998	912	945	952
有効利用	マテリアルリサイクル量	213	214	200	217	212
	ケミカルリサイクル量	29	25	32	42	36
	サーマルリサイクル量	449	494	456	465	496
	合計	692	733	689	723	744
未利用	単純焼却量	137	113	102	97	102
	埋立量	167	152	123	125	105
	合計	304	265	224	221	207

注 ナフサ消費量は比重0.7で計算した。

出所 石油化学工業協会「原料ナフサの動向」(<http://www.jpca.or.jp/4stat/01aramashi/03nafusa.htm>, 2012年3月5日閲覧)、(株)プラスチック処理促進協会<sup>7)</sup>(2012)11頁より編集。

以上のように社会的意義や技術的・経済的利点を有しながら、現状の汎用プラスチックリサイクルの多くは廃棄物中の鉄・非鉄金属類の回収後の処理対象ないしは長期間使用したプラスチック製品の廃棄処理という位置づけがなされており、輸送パレット・擬木・燃料化などのカスケードリサイクル<sup>8)</sup>、燃料利用、海外輸出などが大半を占める。こうした品質劣化を伴うリサイクルはバージン材料に対する代替効果は低いため、資源の有効利用とはいいながらも資源の海外依存度軽減や枯渇性資源依存社会からの脱却には有効な手段とはいえない。

しかしながら本稿でとりあげる株式会社近江物産の汎用プラスチックリサイクルの取組を見る限り、「プラスチックリサイクル＝品質劣化」という図式が単純に成り立つ訳ではなく、技術的・経済的条件を整備することにより汎用プラスチックの高品質リサイクルは可能なのである。

そこで本稿では(株)近江物産のPE、PPの高品質リサイクル事業を取り上げ、汎用プラスチックの高品質リサイクルを可能にする技術的・経済的条件を明らかにする。2節では、本論を展開する前提となる汎用プラスチックの種類、性質、用途を整理する。3節では、家電リサイクルを事例に資源リサイクルの現状を整理し、汎用プラスチックの高品質リサイクルの課題を抽出する。4節では、(株)近江物産の汎用プラスチックリサイクル事業の概要、展開を述べる。5節では、汎用プラスチックの高品質リサイクルの条件を検討する。

## II. 汎用プラスチックの特徴

汎用プラスチックのPE、PP、PS、PVCは、それぞれ比重、流動性、引張り強度、曲げ強度、弾性、耐衝撃性などの物性が異なる。表2は、汎用プラスチックの物性の一部を示した。こうした物性の違いは組成の違いを踏まえていることから、汎用プラスチックの混合は製品の品

7) 同協会は2013年4月より社団法人プラスチック循環利用協会に名称が変更された。

8) カスケードリサイクルとは、品質の劣化を伴うリサイクルのことである。

表 2 汎用プラスチックの性能 (一部抜粋)

大分類	性質	単位, 条件	PVC (硬質)	PE (低密度)	PP (ホモポリマー)	PS (GP-PS)
	小分類					
成形性	MFR	g/10min	—	0.25 - 27.0	0.4 - 38.0	—
	融点	°C Tm (結晶) Tg (非結晶)	23.9 - 40.6	98 - 115 - 25	160 - 175 - 20	74 - 105
	成形温度範囲	°C	C : 140 - 204 I : 149 - 213	I : 149 - 232 E : 121 - 232	I : 191 - 288 E : 204 - 260	C : 149 - 204 I : 177 - 260 E : 177 - 260
	成形圧力範囲	MPa	69 - 276	35 - 104	69 - 138	34.5 - 138
機械的性質	引張破断強度	MPa	40.7 - 51.8	8.3 - 31.4	31.1 - 41.4	35.9 - 51.8
	破断伸び	%	40 - 80	100 - 650	100 - 600	1.2 - 2.5
	圧縮強度	MPa	55.2 - 89.7	—	38.0 - 55.2	82.8 - 89.7
	曲げ強度	MPa	69 - 110	—	41.4 - 55.2	69 - 100.7
	引張弾性率	MPa	2415 - 4140	173 - 283	1139 - 1153	2277 - 3278
	アイゾット 衝撃強度	J/m	21.4 - 1175	壊れない	21.4 - 74.8	18.7 - 24.0
	硬度	Rockwell Shore/Barcol	ShoreD65 - 85	ShoreD44 - 50	R80 - 102	M60 - 75
熱的性質	線熱膨張係数	10 <sup>-6</sup> /°C	50 - 100	100 - 220	81 - 100	50 - 83
	熱変形温度	°C 1.82MPa 0.45MPa	60 - 77 57 - 82	40 - 44	49 - 60	76 - 94 68 - 96
	熱伝導率	W / (m · K)	0.15 - 0.21	0.33	0.12	0.126
物理的性質	比重		1.30 - 1.58	0.917 - 0.932	0.900 - 0.910	1.04 - 1.05
	吸水率	% 24h 飽和	0.04 - 0.4	< 0.01	0.01 - 0.03	0.01 - 0.03 0.01 - 0.03
	絶縁破壊強さ	v./mil	350 - 500	450 - 1000	600	500 - 575

注 1 MFR (メルトフローレイト) とは、熔融時のプラスチックの流動性を示す指標で、プラスチック成型加工のしやすさを意味する。またこの値は分子量の大小と相関関係があり、分子量を示す目安にもなる定性的には MFR 値が大きいほど分子量が小さい関係になる。

注 2 成形温度範囲は、圧縮成形 (C)、射出成形 (I)、押出成形 (E) で分けて表記した。

出所 旭化成アミダス株式会社・「プラスチック」編集部共編 (1999) 7-9 頁より一部抜粋、編集。

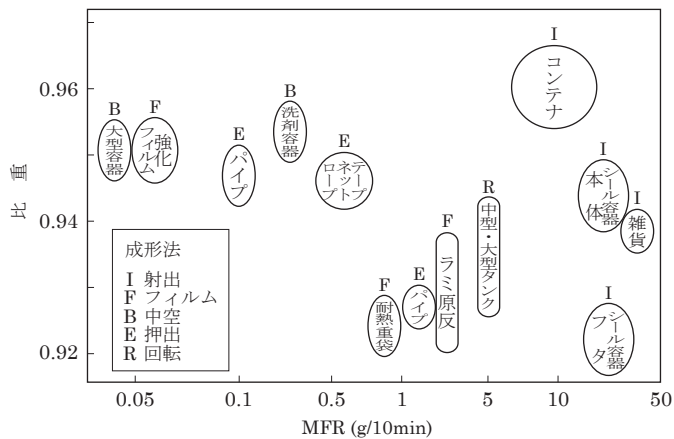


図 1 汎用プラスチックの用途と物性要件 (比重, MFR)

出所 伊保内編 (2006) 55 頁, 掲載図を転載。

質に何らかの影響をもたらす。これは、PEとPPの共重合のように設計に基づく汎用プラスチック同士の重合・混合では新たな物性を作り出す場合もあるが、PPとPSのように相溶性がなく製品の強度を落とし、製品の劣化を早める場合もある。よって、汎用プラスチックの高品質リサイクルには、異なった品種のプラスチックを混合しないことが極めて重要である。

また図1はPE、PPの用途と要求される比重、流動性の関係を示したものである。これを見ると明らかなように、汎用プラスチックとしては同じであっても製品用途によって求められる品質要求（以下、「グレード」と表記<sup>9)</sup>）が異なる。また場合によってはガラス繊維などを添加することもある。さらに同じ用途であっても企業毎に求めるグレードが異なる。これらグレードの異なるプラスチックを計画性なしに混合した場合、できあがるプラスチック製品は高い物性を求められる製品には適用されない。よって汎用プラスチックの高品質リサイクルを考えるには、バージン材における多品種・多グレードの実態を踏まえる必要がある<sup>10)</sup>。

### Ⅲ. 現行リサイクル法に見る汎用プラスチックリサイクルの課題

ところで、現状の汎用プラスチックのリサイクルはⅡで述べた点に留意して行われているのだろうか。ここでは、特定家庭用機器再商品化法（1998年6月公布、2001年4月施行。同法律は一般に「家電リサイクル法」と称されるため、以下では家電リサイクル法と表記する）を事例に現行リサイクル法におけるリサイクルの特徴をみていく<sup>11)</sup>。

家電リサイクル法は、①ブラウン管・液晶・プラズマテレビ、②冷蔵庫・冷凍庫、③洗濯機・衣類乾燥機、④エアコンの家電4品目を対象に、リサイクル目標、費用負担等を規定した法律である。家電リサイクル法は受益者負担原則に基づいている。すなわち「製造業者・小売業者＝製品の製造・販売による収益の享受」と「消費者＝製品の消費による快適さの享受」に対する受益者責任という観点から、消費者には費用責任、小売業者には収集・運搬責任、製造業者には実施責任を課している。また、家電4品目には重量比での再商品化率目標が設定され

9) 化学業界では一般に同一プラスチック品種内での差別化製品を「グレード」と表現する。

10) 石油化学製品需給協議会国際小委員会（1994）によると、主要各国のグレード数はPPで日本（6000グレード）、米国（300グレード）、欧州（500グレード）、韓国（150）、台湾（60）となっている。このように汎用プラスチックの多グレード生産は日本の特質といえる。石油化学産業の歴史ならびに国際競争力を考察する上で重要であり、今後明らかにする予定である。

11) 汎用プラスチックのリサイクルという点では、容器包装リサイクル法（1995年6月成立・公布、2000年4月施行、2006年6月改正法成立・公布、2006年12月施行）も対象となる。ただし、本稿が取り上げる棚近江物産の汎用プラスチックリサイクル事業は、ペットボトル、容器包装を取り扱っていないことから分析から捨象した。なお、容器包装リサイクルでの汎用プラスチックリサイクルは回収・運搬システムの問題から家電リサイクルよりも汎用プラスチックの高品質リサイクルが困難であり、プラスチック製容器包装での再商品化は熱分解油、高炉還元剤、コークス炉化学原料（製鉄用燃料）、合成ガス（石油化学原料、燃料）が50%以上を占めている。詳しくは、公益財団法人日本容器包装リサイクル協会の公表データ「再商品化製品販売量（年次実績）：プラスチック製容器包装」（<http://www.jppra.or.jp/recycle/recycling/plastic.html>、2013年9月25日閲覧）を参照のこと。

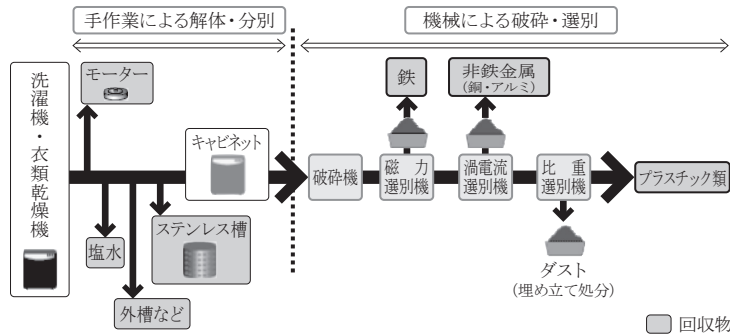


図2 洗濯機のリサイクル工程

出所 財家電製品協会 web より転載,

([http://www.aeha.or.jp/assessment/aeha/aeha\\_recycle.html](http://www.aeha.or.jp/assessment/aeha/aeha_recycle.html), 2013年9月25日閲覧)。

しており、テレビ（ブラウン管：55%以上、液晶・プラズマ：50%以上）、冷蔵庫・冷凍庫（60%以上）、洗濯機・衣類乾燥機（65%以上）、エアコン（70%以上）となっている<sup>12)</sup>。

次に家電リサイクル工程を見ていく。図2に示すように、家電リサイクルの工程は、手選別・機械選別に大別され、さらに機械選別は粉碎、磁力選別、過電流選別、比重選別に区分される。手選別では、エアコンの熱交換器、冷媒、コンプレッサーなど分別が容易な部品と、フロンなどの環境影響から特別な取り扱いを要する部品の取り外しを行なう。その後、機械選別工程で廃家電を微粉碎し素材別に分別した後、磁性・導電性・比重といった素材の物性を利用した分別作業を行なう。結果、家電リサイクル工程では金属類の分別はなされるものの、PE、PP、PS、PVCなど物性が異なる汎用プラスチックが「プラスチック類」として排出される<sup>13)</sup>。

このように現状の家電リサイクル工程は、廃家電中の金属類（鉄、銅、アルミニウム）の回収を主たる目的とし、汎用プラスチックを含むプラスチックの回収・資源化を軽視する技術の体系となっている。これは、金属類が磁性、導電性、比重、親水性・疎水性などの性質の違いから機械選別による大量処理が可能であること、技術的には鉱山開発の技術の転用・応用で対応が可能であること<sup>14)</sup>、経済的価値が高いこと<sup>15)</sup>に由来している。他方で「プラスチック類」は複合素材であるため、その製品用途はリサイクル前よりも低品位にならざるをえない。図3は

12) 本稿で記載した再商品化率目標は2009年改正時のものである。なお、改正前の2001年当時の再商品化率目標はテレビ（ブラウン管：55%以上、液晶・プラズマ：なし）、洗濯機（50%以上、衣類乾燥機はなし）、冷蔵庫・冷凍庫（50%以上）、エアコン（60%以上）である。

13) 比重選別後にプラスチック類をPE、PP、PS、PVCといった各種素材に分別する工程も実施している企業・工場もいくつか散見される（三菱電機株式会社子会社GCS社など）。なお家電リサイクル法の再商品化率目標だけをみれば、図9に示すように、汎用プラスチックのリサイクルがなくても十分に達成されている。詳しくは一般財団法人家電製品協会（<http://www.aeha.or.jp>, 2013年9月25日閲覧）を参照のこと。

14) 鉱山開発の技術については、黒岩（1964）、志賀（2003）を参照。

15) たとえば、鉄スクラップの買取価格は31,000円/t（2013年2月の月平均価格、財日本鉄リサイクル工業会調（[http://www.jisri.or.jp/market/kokunai/kokunai\\_h25.html](http://www.jisri.or.jp/market/kokunai/kokunai_h25.html), 2013年3月5日閲覧）である。

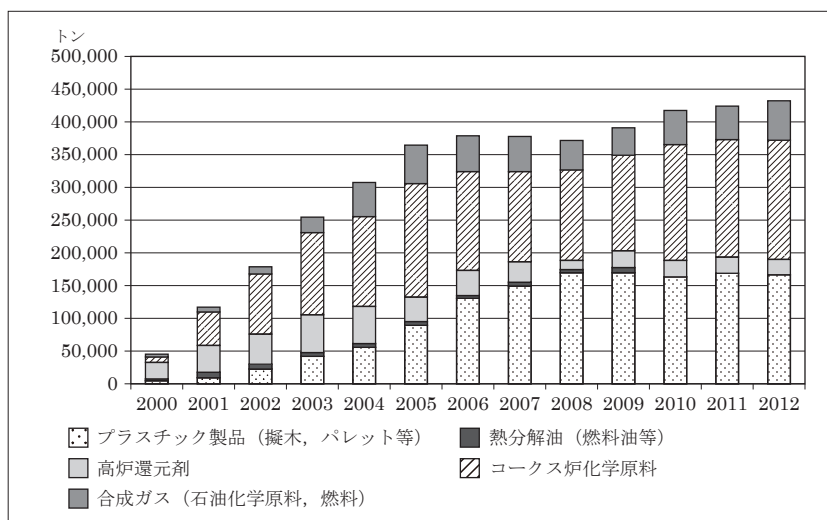


図3 容器包装プラスチックのリサイクル用途

出所 財団法人日本容器包装リサイクル協会「再商品化製品販売量（年次実績）」より作成。

容器包装プラスチックの事例になるが、プラスチック類としてのリサイクルは耐久性等が高く求められない製品へのマテリアルリサイクルか、燃料ないし熱として利用される。また同一の汎用プラスチックであったとしても、グレードの相違を配慮しない汎用プラスチックのマテリアルリサイクルは物性の不安定化をもたらす。

よって汎用プラスチックの高品質リサイクルを目指すには、汎用プラスチックを「プラスチック類」と分類せず、さらにグレードの相違をも踏まえた新たな生産・流通システムが必要であり、その基礎となる技術的・経済的条件を整備しなければならない。

#### IV. (株)近江物産の汎用プラスチックリサイクル

##### 1. 事業概要

(株)近江物産（1971年創業、本社滋賀県栗東市）は、汎用プラスチックのマテリアルリサイクル処理量は年間約2万トンと、全国の約11%を担っている<sup>16)</sup>。取り扱い品目はPPが約70%、PEが約20%、その他PS、ABS（アクリロニトリル-ブタジエン-スチレン共重合体）などが約10%である<sup>17)</sup>。これらを滋賀本社工場では粉碎機7基、押出成形機9基、福島工場では粉碎機1基、押出成形機2基でリサイクルしている。

16) (株)近江物産芝原茂樹代表取締役の話（2013年2月26日ヒアリング）。なお全国比はプラスチック循環利用協会および通関統計に基づき、国内のマテリアルリサイクル量を推計し、同社マテリアルリサイクル量を割ったものである。

17) (株)近江物産芝原茂樹代表取締役の話（2013年2月26日ヒアリング）。

### 使用済プラスチックの 高品位マテリアルリサイクル事業の現状

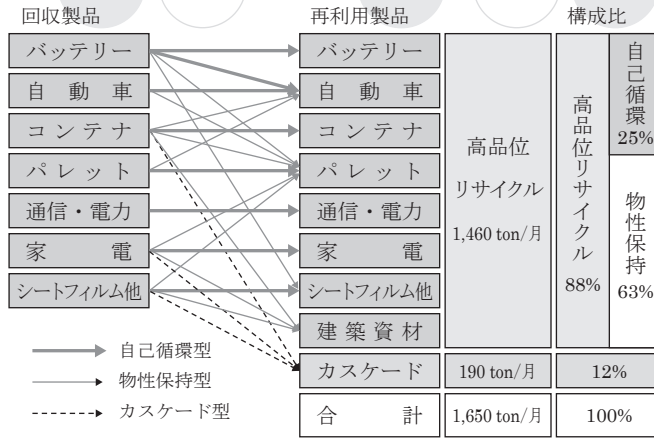


図 4 ㈱近江物産のマテリアルリサイクルの現状

出所 ㈱近江物産提供資料。

### 今後目指す近江物産の姿

同一品質・同一価格 使用済プラスチックの  
マテリアルリサイクル量を 2 倍へ  
再生プラスチックと呼ばせない

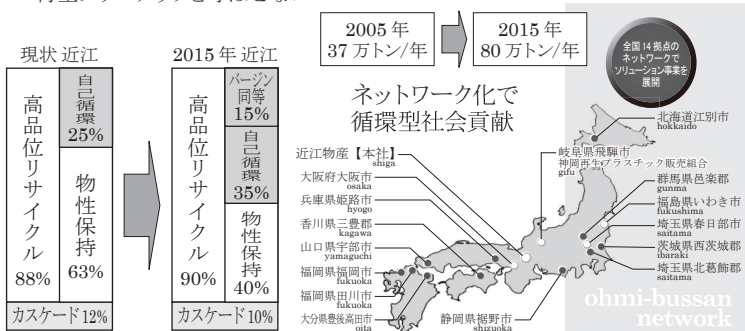


図 5 ㈱近江物産のマテリアルリサイクルの今後の展開

出所 ㈱近江物産提供資料。

同社の汎用プラスチックリサイクルの特徴は、図 4 に示すように、第 1 にマテリアルリサイクルであること、第 2 に 90% 以上が高品位のマテリアルリサイクルであることである。ここでいう「高品位」とは廃棄前の汎用プラスチック用途と同程度の品質要求に対応できるということを意味している。高品位リサイクル事業には、①リサイクルを委託された企業への素材の再供給（同社では「自己循環」と定義、以下本稿では「クローズドリサイクル」と表記）と、②使用済みプラスチックの買い取り、再商品化、販売（同社では「物性保持」と定義、以下本稿では「オー



「プリサイクル」と表記)に分けられる。両事業は1990年代頃までは前者が主流であったが、2000年代以降は段階的に後者の割合が大きくなり、現在は後者が主流となっている<sup>18)</sup>。また2006年以降、自社内に技術部を立ち上げ、使用済み汎用プラスチックのブレンドによる新たなグレードを開発し、「近江グレード」という名称で販売している。「近江グレード」は自動車業界等においてバージン素材と同等の品質として認識されており、アッセンブラーがTier1、Tier2に対して近江グレードの使用を指定することもある<sup>19)</sup>。さらに同社はバージン素材と同等のプラスチックグレード分野事業を拡大するとともに、ソリューション事業を通じたマテリアルリサイクルのネットワーク化により日本全体での汎用プラスチックのマテリアルリサイクルの現在の2倍にする構想を掲げている(図5)。

## 2. 汎用プラスチックリサイクル事業の展開過程

### (1) クローズドリサイクル事業

#### ① プラスチック製飲料ケース・プラスチック製パレットのリサイクル事業

(株)近江物産(創業当時の名称は芝原商店)は1971年の創業当時、不織布の不良品や端材を買い取り、これらの材料を不織布以外の製品用途に開発・販売する事業を行っていた。同社が汎用プラスチックリサイクル事業に展開したのは1978年に入ってからのことである。当時、工場再配置促進法(1972年)により滋賀県地域に多数のプラスチック工場が移転したことを背景に、汎用プラスチックリサイクル事業へ展開した。当初は大手プラスチック成型メーカーA社滋賀工場のプラスチック製飲料ケース製造時に発生する不良品を引き取り、リサイクル業者への再生処理を委託し、再生プラスチックケースを再供給するという問屋の事業から開始した。

1980年代に入ると、ジュース容器の紙パック・PETボトル化の進展により輸送用ケースがプラスチック製から段ボール製へと変化した。これに伴い飲料メーカー各社ではプラスチックケース需要が減退し、かわりに輸送用のパレットのニーズが高まった。そこで同社はプラスチックケースのプラスチックパレット原料へのリサイクル事業を開始した。プラスチック材料のリサイクルを行なう際には印刷物・インク等の異物は再生プラスチックの品質劣化をもたらすため、その剥離が重要となる。しかし、手作業で印刷物・インク等の剥離をした場合、作業時間を要しコスト高となる。そのため、同社はプラスチックケース専用の印刷物研削機を開発し、大手飲料メーカー複数社のプラスチックパレット再生の委託事業を担うようになった。

#### ② PPバンパー、廃バッテリーケース、電線被覆プラスチックのリサイクル事業

1990年代に入ると、同社のPPバンパー、廃バッテリーケースのリサイクル事業にも展開

18) (株)近江物産芝原茂樹代表取締役の話(2013年2月26日ヒアリング)。

19) (株)近江物産芝原茂樹代表取締役の話(2013年2月26日ヒアリング)。

していった。

PP バンパーは 1970 年代以降の自動車の軽量化・燃費向上に向けた研究開発の中で生み出されたものであるが<sup>20)</sup>、1990 年に入ると、同業界での環境対策への取組の一つとして注目された。PP バンパーのリサイクルがプラスチックリサイクルの中で最初に注目された理由としては、素材が単一であり部品当たりの重量が大きいこと、取り外しが比較的容易であることにあ

る<sup>21)</sup>。  
 (株)近江物産の PP バンパーのリサイクル事業も、1990 年頃に大手自動車会社 B 社からの依頼から始まっている。PP バンパーのリサイクル事業は 1990 年代後半になって自動車企業ならびに化学メーカーで本格化し始めており、当時としては先進的な取組であった。現在 PP バンパーのリサイクル事業は B 社の PP バンパーの全国取り扱いを含む 2 社との取引がある。全国対応の手段として、滋賀、福島の自社工場のほか、営業所を通じた協力工場への依頼をしている。なお協力工場へは PP バンパーのリサイクル技術の指導も行なっている<sup>22)</sup>。

廃バッテリープラスチックのリサイクルは 1985 年頃から始まっていたが、神岡鋳業株式会社<sup>23)</sup>と廃バッテリーのリサイクル事業で協同事業を展開するため、神岡再生プラスチック販売



図 6 廃バッテリーリサイクル

出所 (株)近江物産提供資料。

20) 詳しくは小林 (2006) を参照。

21) 松本 (1995) 935 頁。

22) (株)近江物産芝原茂樹代表取締役の話 (2013 年 2 月 26 日ヒアリング)。

23) 神岡鋳業株式会社 (三井金属鋳業株式会社の 100% 子会社) は、イタイタイ病の原因企業ならびに裁判後の公害対策の先進的取組を実施した企業である。同社は 2001 年まで神岡鋳山で鉛・亜鉛精錬事業を行ってきたが、生産量の減退に伴い 1995 年には廃バッテリー中の鉛リサイクル事業を開始した。

組合を1995年1月に設立した。神岡鋳業㈱および㈱近江物産の廃バッテリーリサイクル工程は、破碎機・分級機で鉛原料と廃プラスチックであるPPを分離した後、神岡鋳業㈱が鉛原料を精錬・再生し、㈱近江物産が破碎・溶融・成形・ペレット化を行なう。図6に示すように、両者のリサイクル事業は廃バッテリーの自己循環リサイクルを実現したものである。

その他、1990年代には通信・電力向けとして電力会社C社の電線等の不良品からのプラスチック、使用済みプラスチックを回収し、リサイクルするというビジネスも行なうようになった。

## (2) オープンリサイクル事業

2000年代に入ると、各種リサイクル法の制定という事業環境の変化により、自動車・家電の使用済み汎用プラスチックのリサイクル事業へ進出した。また、この頃から工場からの不良品・規格外品ないし端材の委託事業から、使用済みプラスチックの買い取り、リサイクル事業が主流となっていった。委託事業の場合、排出される素材の物性は安定していること、またリサイクル後の用途と要求物性が明確であることから、技術的には異物排除と品質検査を行なうことで十分であった。しかしオープンリサイクル、すなわち使用済みプラスチックの買い取りによるプラスチックリサイクルでは、特定ユーザーへの再供給という販路の安定性がなく常にユーザーの求める物性を開発し、ユーザーニーズを達成するため材料である使用済みプラスチックの物性の把握が不可欠である。

そこで同社は取り扱いプラスチックの物性データの蓄積を目的に、2006年以降、技術部の設置および各種検査・評価設備の導入<sup>24)</sup>をした。結果、従来の使用済みプラスチックの異物排除による品質保持だけでなく、リサイクルプラスチックのユーザーの要求に対応したプラスチックブレンドや自社製品ブランド「近江グレード」の開発が可能となった。

## V. 汎用プラスチックの高品質リサイクルの技術的・経済的条件

汎用プラスチックの高品質リサイクルの課題は、生産過程における多品種（PE、PP、PS、PVCなど）・多グレード（同一品種での異なる物性）の実情を踏まえたリサイクルの生産・流通システムの構築である。では㈱近江物産のリサイクルシステムは以上の課題をどのように克服したといえるのだろうか。

第1に、回収システムの構築である。単一素材回収の実現に際して、㈱近江物産では分別された汎用プラスチックのみの買い取りを徹底し、粗悪な使用済みプラスチックの混入を防止した<sup>25)</sup>。結果、同社では汎用プラスチックの物性の安定、物性把握・ブレンド技術を活用した

24) 同社の検査設備には、アイゾット衝撃試験機、引張・曲げ強度等万能試験機、蛍光X線分析機、熱分析装置、赤外線分光分析装置などが挙げられる。

25) 同社では15円/kg程度で廃プラスチック材料を購入しているという（2013年2月26日ヒアリング）。

## プラスチックリサイクル処理フロー

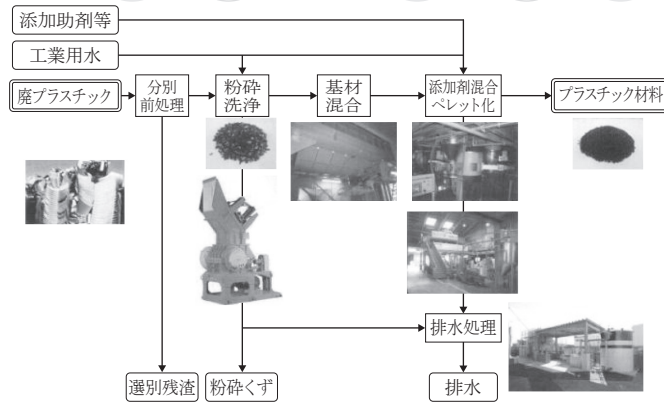


図 7 (株)近江物産の汎用プラスチックリサイクルフロー

出所 同社提供資料。



図 8 混合された基材

出所 筆者撮影 (2013年2月26日)。

独自のグレード開発が可能となった。

第2に、物性把握に基づくブレンド技術の確立である。同社のリサイクルフロー (図7) の特徴は、「基材混合」(図8) と「添加剤混合・ペレット化」による品質の保持・向上にある。基材混合工程では、同社が回収・前処理・粉碎をした使用済みプラスチックを複数種類ブレンドする。一般に、使用済みプラスチックの混合は物性の劣化や不安定化をもたらす。しかし、同社では技術部が基材に混合する各種汎用プラスチックの物性データを蓄積しており、使用済みプラスチック配合の設計・計算によって品質保持・向上が可能である。さらに、使用済みプラスチックの均一な攪拌状態を作り出すために、神岡鉱業(株)との協同事業の中で開発した微粉碎技術、ならびに10トンタンブラーによる大量攪拌・混合が行われている。これらは基材内

のプラスチックサイズの小規模化による攪拌・混合精度の向上、大量処理によるロット内での物性のバラツキの防止を目的としている。添加剤混合・ペレット化では、4種類の各種基材と添加剤の配合による物性調整をし、200℃での熔融・混練・押出成形により、ペレット成形を行なう。添加剤混合・ペレット化は連続工程で行なわれる。添加剤混合・ペレット化は、ユーザー要求ごとに押出機内の置換・切替をし生産する。

物性把握に基づくブレンド技術の確立は、原材料確保の安定化と多様なユーザーニーズへの対応をもたらした。すなわち前者は特定の排出事業者から必要な使用済みプラスチックが確保されない場合でも他の使用済みプラスチック材料での代替が可能になったということである。後者はリサイクルプラスチックユーザーに対して、「どの製品のリサイクルプラスチック」ではなく、「どの物性のプラスチック」という供給が可能になり、材料調達自由度が高まったということである。さらに物性把握とブレンドによる物性調整を通じて、ユーザーの要求する品質の設計・製造ができるだけではなく、自社開発を行ない独自のブランドを提案することで、バージンプラスチックの供給メーカーとも部分的ではあるが同一の競争条件を形成している。

第3に、第2の技術的条件の基礎となる検査・測定技術の充実化である。高品質の汎用プラスチックリサイクルには、①リサイクル工程、②調達プラスチックの物性把握、③リサイクル製品の品質管理が重要である。このうち、ブレンド技術にとって重要なのは②、③である<sup>26)</sup>。IIで示したように汎用プラスチックの物性は複数の要素で評価される。同社では、このうち主要な物性として比重、MFR、引張り強さ、引張破断伸び、曲げ強さ、曲げ弾性率、アイゾット衝撃強さを対象にJIS規格に基づいて自社装置で検査を行なう。さらに、リサイクルプラスチックについては試作成形し、目視判定による落錘衝撃試験も実施する。以上の測定・検査工程は、調達プラスチックの物性データの蓄積によるブレンド技術の向上と、ユーザーへのリサイクルプラスチックの品質保証を可能にする。同社は2006年の技術部設立以降、大学との共同研究や補助金制度等を積極的に活用し、測定・検査装置を導入してきた。

第4に、研究開発人材の育成である。測定・検査の実施もさることながら、同社のプラスチックブレンドによる品質保持、新グレード製品の開発には人材育成が不可欠である。同社は大学との連携事業やインターンシップ制度を活用し、研究開発に要する人材を確保している。同社の技術部スタッフの中にはインターンシップ出身者もいるとのことである。

以上のように、同社では使用済みプラスチックの購入を通じた品質要求の徹底と、検査・測定装置の充実化という技術的基礎に基づくブレンド技術の構築と品質管理体制の構築を行ない、汎用プラスチックの高品質リサイクルを可能にした。なおこれらは個々バラバラのものではなく、同社の汎用プラスチックの高品質リサイクルのビジネス戦略に基づいている。同社は

26) リサイクル工程の品質管理には、プラスチック調達段階での物性把握ならびにアルコール水溶液による比重検査（抜き打ち検査）などが挙げられる。

自身のビジネスを「処理ビジネス」ではなく「素材供給ビジネス」として位置づけている<sup>27)</sup>。両者の考え方の違いはビジネスモデルとして考えた場合、非常に大きな違いをもたらす。前者は既存の静脈ビジネスの枠内の発想で、処理困難な廃棄物の大量一括処理によるコスト効率性の追求というビジネスモデルになりがちである。そのため、素材の質的な問題を問わない処理方法としての「燃料化」「熱利用」という方法が選択される。これに対して後者の場合、ビジネスとしての競合は静脈ビジネスを担うリサイクル事業者ではなく、動脈ビジネスであるバージンプラスチックのサプライヤーになる<sup>28)</sup>。リサイクルプラスチックがバージンプラスチックの市場に参入するには、プラスチック製品の品質、量的安定性、さらには開発力、商品提案力が不可欠になる。そして、これらを達成するには、先に挙げた材料調達、各材料の物性把握・ブレンド技術、検査・測定技術、人材育成が不可欠である。

## VI. おわりに

本稿は(株)近江物産の汎用プラスチックリサイクルを事例に、汎用プラスチックの高品質リサイクルの技術的・経済的条件を明らかにした。同社の場合、技術的には検査・測定技術を基礎とする物性把握・ブレンド技術によりユーザーニーズに合わせたリサイクルプラスチックの生産と品質管理が行なわれている。また経済的には「廃棄物処理」ではなく「材料調達」という経営理念の下、排出事業者から使用済みプラスチックを材料として購入する代わりに、彼らに使用済みプラスチックの分別・品質管理の徹底を要求している。これらの結果として同社では高品質のプラスチックリサイクルが行なわれ、自動車・家電用部品材料という品質と安定供給の条件が厳しい市場への参入が可能となっている。

他方で同社の事業が他のプラスチックリサイクル事業者で可能かどうかは今後の検討課題である。また意匠性・デザイン問題<sup>29)</sup>など、汎用プラスチックの高品質リサイクルがバージン材の完全代替にはなお多くの課題があることも事実である。しかし、少なくとも同社の取組みは「多様な廃棄物の一元処理」、「経済的価値の高い資源のみの回収システム」、「プラスチックは燃やす方がまし」という静脈ビジネスに固定化されたイデオロギーの見直しや、リサイクル

27) 芝原氏は「プラスチックリサイクル事業について当社は対策ではなく、戦略だと考えている」という(2013年2月26日ヒアリング)。

28) なお汎用プラスチックユーザーないし汎用プラスチックの排出事業者の側においても、昨今汎用プラスチックの高品質リサイクルの取組が行なわれつつある。たとえば、パナソニック、シャープ、東芝、日立など大手家電メーカーでは自社リサイクル工場ないし委託事業者と連携し、単一素材部分の多い洗濯槽(PP製)や冷蔵庫の野菜室(PP製)の前処理工程での分別回収と自社製品への素材転用が行なわれるようになってきている(川口・隅田・福嶋, 2008)。自動車産業では1990年代以降、PPバンパーのリサイクルが取組まれている(草川, 2002, 87-89頁; 松本, 1995; 高橋・長瀬・鬼頭・梅谷, 2002)。

29) たとえばPPバンパーでは、バンパー使用時の塗装膜の影響からリサイクルプラスチックの色彩が落ちやすい。そのため、リサイクルプラスチックはバージン材料で挟み込んで射出成型するサンドイッチ成型法でのバンパー材利用か内装材への適用などが行なわれている(竹内, 1997)。

を量と価格の面だけではなく、質の観点から考察する必要性を提示しているのである。

#### 付記

本稿の執筆に当たって株式会社近江物産代表取締役芝原茂樹氏、ならびに同営業部部長矢田正幸氏他、同社社員の皆様に大変お世話になった。記して感謝の意を表したい。なお、本稿での同社の記載内容に関する誤りはすべて筆者の責任である。

また本研究は、「循環統合型生産システム構築に関する国際比較研究」(文部科学省科学研究費・基盤研究(B)(代表:中瀬哲史, 課題番号22330119)の最終成果報告書の筆者担当部分を大幅に加筆・修正したものである。本研究成果に際して、坂本清先生(元大阪市立大学), 中瀬哲史先生(大阪市立大学), 田口直樹先生(大阪市立大学)をはじめ、生産システム研究会の皆様より貴重なコメントを頂いたことに感謝申し上げたい。

#### 参考文献

- 旭化成アミダス株式会社・「プラスチック」編集部共編『プラスチック・データブック』工業調査会, 1999年。
- 稲葉和也・橘川武郎・平野創『コンビナート統合』化学工業日報社, 2013年。
- 伊原賢『シェールガス争奪戦』日刊工業新聞社, 2011年。
- 伊保内賢編『プラスチック活用ノート』工業調査会, 2006年。
- 川口洋平・隅田憲武・福嶋容子「廃家電回収PPの繰返しマテリアルリサイクルの可能性に関する検討」『成形加工』第20巻第9号, 2008年, 676-679頁。
- 橘川武郎『日本石油産業の競争力構築』名古屋大学出版会, 2012年。
- 黒岩俊郎『資源論』勁草書房, 1964年。
- 小林豊「プラスチックでできた自動車材:PPバンパーを巡って」『化学と教育』54巻11号, 2006年, 608-611頁。
- 志賀美英『鉱物資源論』九州大学出版会, 2003年。
- 石油化学製品需給協議会国際小委員会『我が国石油化学産業の国際競争力について』石油化学製品需給協議会国際小委員会, 1994年。
- 草川紀久「自動車用プラスチックリサイクルの現状と課題」『プラスチックエージ』48巻, 臨時増刊号, 2002年, 86-99頁。
- 竹内淳「バンパーからバンパーへのリサイクル」『塗装工学』第32巻第10号, 1997年, 392-396頁。
- 武田邦彦『リサイクル幻想』文春新書, 2000年。
- 高橋直是・長瀬高志・鬼頭誠・梅谷有亮「バンバリサイクルに関する取組み」『自動車技術』第56巻第5号, 2002年, 27-31頁。
- 中村真悟『逆オイルショック以降の国際石油産業の構造変化』大阪市立大学博士論文, 2010年。
- 中村真悟「素材技術に見る地下資源依存型産業活動-その形成・浸透・深化」兵藤友博編『科学・技術と社会を考える』ムイスリ出版, 2012年。
- (社)プラスチック処理促進協会(2012)『2011年プラスチックリサイクル製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況』(<http://www.pwmi.or.jp/pdf/panf2.pdf> (2013年9月25日閲覧))。
- 松本浩和「自動車用プラスチック部品のリサイクルの取り組み」『非破壊検査』第44号第12号, 1995年, 935-945頁。

