リサイクル

河 西 純 一*

1. はじめに

昨年5月26日に成立した「循環型社会形成基本法」(図1)では、リサイクル対象製品として容器と家電といった身近な製品での法制化が先行している。容器・家電で大量に使用されており、現状リサイクルがまわりにくいプラスチックに焦点が当てられている。また、自主的な改善目標の設定と取り組み(イニシアチブ、表1、表2)にとどまっている自動車では、使用済み自動車のリサイクルが法律化検討アイテムとして取り上げられ、法案が議論され始めている。昨年制定されたEU指令における自動車のリサイクル率目標値等(表3)がある程度反映されるものと予測されている。

「再生資源利用促進法」では、従来の「リサイクル」に加え、「リデュース(減量化・減容化)」と「リユース(再

使用)」の促進が明記されるようになった。(3つのR)とはいっても、減量化・減容化されたものも、再使用されたものも、いずれは「リサイクル」されるべきものであり、法改正によって「リサイクル」の重要性が軽くなったということではない。また、前述のEU指令では「エネルギー回収」を自動車1台当たり10%までは認めているものの、高分子系材料が20%近くを占める自動車においては(表4、図2)、現実的には「リサイクル」を実践していく必要性が暗に規定されていると解釈できる。

今後もプラスチックの「リサイクル」技術は、重要性が高まり続けることはまちがいない、一方では着実に実践に移すことも要求され始めている。

2. 研究論文・解説等の公表事例から

プラスチック成形加工学会主催行事の中でも、春の年次

循環型社会形成推進基本法

廃棄物処理法(改正)
再生資源利用促進法(改正)
容器包装リサイクル法
家電リサイクル法
グリーン購入法(新規)
食品循環資源再利用促進法(新規)
建設工事資材再資源化法(新規)
使用済み自動車のリサイクル・イニシアチブ

図1 「循環型社会形成基本法」に関連する法律等

表1 使用済み自動車のリサイクル・イニシアチブ
(自動車製造事業者として取り組む事項を抜粋)

項目	数値目標
新型車リサイクル可能率	2002年以降90%以上
新型車の鉛使用量 (バッテリーを除く)	2000年末までに 1996年の概ね2分の1以下 2005年末までに 1996年の概ね3分の1以下
エアバッグの車上作動処理容易性の向上 ①ハーネス被服保護カバー色統一 ②統一作動処理システム開発	①黄色に統一 ②1999年1月以降

* Kasai, Junichi
いすゞ自動車(株)車両研究実験部 材料開発第二課
藤沢市土棚8(〒252-8501)
2001.5.14 受理

表2 いすゞ自動車のリサイクル自主行動計画(抜粋)

1. 新型車のリサイクル性向上と鉛使用量等、使用済み自動車の環境負荷低減への対応	(1) 新型車のリサイクル性向上 ① リサイクルに適した材料の採用拡大 ・ポリオレフィン系樹脂材料 ・アルミ ② 解体・分別処理の簡素化対策
2. 既販売車と継続生産車への対応	(1) リサイクル率向上のための技術開発と情報提供 独自の技術開発と成果公表 ・PPバンパの塗膜相溶化技術開発 ・多層押出発泡成形技術開発 ・汎用機を用いたサンドイッチ射出成形技術 ・人工木材の開発 (2) リサイクル品の用途拡大 ① バンパリサイクル ② 木製荷台 (3) 適正処理推進への協力

表3 自動車のリサイクルに関するEU指令(抜粋)

項目	数値目標
リサイクル率	2006年以降80%以上 2015年以降85%以上
リカバー率 (リサイクル+エネルギー回収)	2006年以降85%以上 2015年以降95%以上
鉛、水銀、カドミウム、六価クロム使用禁止	2005年以降 「適用除外リスト」以外の部品へは使用禁止

大会(東京)と地方で開催される秋季大会が、いわゆるビッグイベントである。昨年広島で開催された秋季大会では、「成形加工におけるレスポンシブルケアの推進」が標語として掲げられ、「リサイクル」をはじめとする地球環境保護が技術面の上位概念として定着しはじめてきた。秋季大会を振り返り、最近学会誌で取り上げられた記事や今年の年次大会プログラムをさぐってみると、おおよそそのような傾向が見えてくる。

2.1 高分子系グリーンコンポジット

繊維強化材と樹脂マトリクス材料との共存共栄を目指したもので、軽量高強度化を実現すると同時に、リサイクルへも配慮したものとなっている。繊維製品としては、その製造工程から出る端材であったり、液晶ポリマーや、各種の天然繊維（竹、ジュート、等）が検討されている。リサイクル工程で敬遠される傾向があるガラス繊維の代替として、また再生可能な天然素材の活用による資源への配慮が特徴である。また、繊維状の天然素材だけでなく、粉末状天然素材も並行して検討されるなど、収束段階というよりは多様化・発散の段階にあり、実用段階へ移行するにつれて絞られてくるものと思われる。

表 4 平均的乗用車の素材別構成比 (社団法人日本自動車工業会公表資料)

	1973年	1977年	1980年	1983年	1986年	1989年	1992年	1997年
鉄鋼	81.1	80.9	78.0	76.0	74.4	73.7	72.3	70.8
アルミ	2.8	2.6	3.3	3.5	3.9	4.9	6.0	7.5
他非鉄金属	2.2	2.1	2.3	2.1	2.2	2.5	2.0	2.1
プラスチック	3.6	4.5	6.5	6.6	7.9	7.9	7.3	7.3
塗料	2.1	1.6	1.8	1.7	1.7	1.4	1.5	1.7
ゴム	4.8	4.3	3.7	3.5	3.0	2.7	3.1	3.3
ガラス	2.8	2.7	3.1	3.2	3.3	3.0	2.8	2.8
繊維	-	0.7	1.2	1.3	1.4	1.2	1.2	1.1
木材	-	-	0.2	0.3	0.5	0.4	0.4	0.3
その他	1.3	1.6	1.7	2.7	2.3	2.7	3.4	2.9

繊維強化プラスチックから、繊維とマトリクスとを分離する工夫も検討されている中、高分子系グリーンコンポジットはそのまま高分子系グリーンコンポジット（繊維強化プラスチック）へリサイクルする考え方を定着させる意図があるように見える。実現性・経済性を重視すると、このような手のかからない高分子系グリーンコンポジット化が有望であると推測できる。

「再生資源利用促進法」の改正では、実践的なリサイクルの推進・加速を促すことが強く根底にある。そのため、エントロピーを極端に減少させる、いわゆる「手間のかかる」リサイクルは短期的には敬遠される。高分子系グリーンコンポジットのような付加価値を増しながらエントロピー増大の法則には逆らわない方向は、法律の趣旨にも合致しており、比較的重宝されるリサイクル手法となるであろう。日用品その他生活に使われる素材として広く実用化されることを楽しみにしている。

2.2 成形加工におけるエコプロセス/プロダクト

押出成形やブロー成形では多層化は機能分担の効率化を向上する常套手段であると同時に、リサイクル材の適用可能性を向上させる有力な手段である。一例として、当社が採用している樹脂製燃料タンクの基本断面構成を図3に示す。射出成形で多層化を実現する手法として、最近公表事例が急増している分野が、サンドイッチ成形等の多層射出成

図 3 樹脂製燃料タンク(6層)の断面構成

図 2 平均的乗用車の素材別構成比 (社団法人日本自動車工業会公表資料)

形である。特に年次大会での事例発表件数の多さが目立った分野である。押出成形やブロー成形における多機能化と同様に、本来は射出成形品の機能を向上する手段であった多層射出成形が、リサイクル材の包み込み工法として転用されつつある。

研究内容についても、単純な成形工法の最適化のような基礎的なものから、材料の成形性や成形品の特性劣化など、より実践的な内容への変遷が見受けられ、確実に実用化が増加する前兆であると考えられる。

2.3 エントロピー増大の法則に挑戦する分別技術

一般的に、「ゴミも分別すれば資源」と言われているように、分別技術は回収に続くリサイクルの第二段階として非常に重要である。通常は「人海戦術」でどうにかするが、経済的にペイしない場合が多い。一方では、比較的高価な分析装置を応用した「精密分析による分別」が技術的には可能であるが、万能なものとして確立するには費用がかさみすぎる傾向にある。

成形加工学会の行事では、「熱融着現象」、「非定常熱伝導」など、成形加工とは距離のある専門用語を使った報告が（件数としては少ないが）非常に目立った存在となっている。即実用化という段階にはないようであるが、「人海戦術」と「精密分析による分別」の中間に位置する各種の分別技術として位置付けられ、中庸な分別技術を色々と議論するきっかけとしてもユニークな分野である。

分別は、リサイクルを実際にまわすときに必須な工程といえ、技術的な要素以外にも人件費や機器の投資（償却費）といった政策的な評価が必要になる。成形加工学会の特徴である、学術に偏重せずに学際的な広がりをも多方面に持つという点を生かし、実用的な観点で分別技術を議論することへ発展してほしいものである。

このように考えていくと、リサイクルするのか/エネルギー回収するのか、その判断基準としてエントロピーを尺度に活用することが妥当なように思えてくる。

2.4 PET ボトル、家電製品のリサイクル^{1),2)}

かなり俗っぽいタイトルであるが、前述の容器・家電リサイクル法はすでに施行段階にある。そのため、実際に発生する使用済み製品のリサイクルを実践することは、企業にとって最低限の社会的責任を果たすことにつながる。

PET ボトルについては、繊維製品へのリサイクルが主流のようであるが、ある場所では回収したPET ボトルがだぶつき、別の場所では不足しているという状況を同時に聞くことがある。秋季大会や年次大会で報告された（される）PET ボトルを粉砕し直接射出成形に利用しようとする考えは、リサイクルの受け皿を準備しておくという意味で、また省プロセスの点で、社会的に非常に有意義なものである。

テレビのキャビネットをはじめとする家電製品のハウジングやパネル類の効率的なリサイクルも、同様に重みがある。これらの事例では、改善点や工夫している点だけでなく、リサイクルを実践している現場から成形加工学会に参加している研究者への研究課題の提示という観点で、広く議論の起点とするべく内容を捉えていきたい。

3. あとがき

リサイクル促進のための技術開発や学術的な研究分野は、「実践的なリサイクル」を中心に事例がまとめられている「地球に優しい未来技術 2」³⁾で記述されているように源流（使用する素材の統合化や、リサイクルに適した設計）、用途と回収・分別、川下（最終工程での環境負荷低減）、のすべての領域で必要となる。しかし、本質的には川下までを配慮に入れた源流での工夫が、もっとも効果的である。できてしまった過去の製品のリサイクル技術を検討する段階で直面するさまざまな困難を、「あきらめ」たり、単純に「乗り越える」のではなく、本質的な改善のためのヒントとしてとらえ、抜本的な改善を広めていくことが重要であると感じている。そのためには単にリサイクルだけを配慮するのではなく、「プラスチックを用いた環境適合製品」⁴⁾にあるような、環境適合性全般を設計段階や材料選定段階で評価する指針をきちんと定めて、製品開発で実践していくことが製造業全般に求められている。

個別のリサイクル技術開発は、当然重要であり、必要なものではあるが、効率的な製品開発を支える基礎技術も、長い目で見えた場合、それ以上に重要である。言い換えれば、リサイクル・ブームによってリサイクル促進のための技術開発に没頭するだけでなく、安く・軽く・丈夫で長持ちする安全な製品を短期間で効率的に開発するための基礎技術を地道に積み重ねることのほうが重要な技術開発分野である。研究総覧で取り上げられているすべての分野（CAE、各種成形工法、レオロジー、アロイ化、成形品物性、各種計測技術）がリサイクル技術を支える基盤～応用技術である。近い将来は、「リサイクル」をはじめとする地球環境保護が技術面の上位概念として浸透し、地球環境に関連付けられた記述が一部の分野だけでなくすべての分野で出ていくことが望ましい。

参考文献

- 1) 成形加工シンポジウム '00, (2000)
- 2) 成形加工, 13(4), 巻頭告発 (2000)
- 3) 「地球に優しい未来技術 2-破壊容易化およびプラスチック再利用容易性 MAP 解析」, 特許・リサイクル対策研究会編, (社)発明協会, 1999/9
- 4) 天城滋夫: 成形加工, 12(7), 436 (2000)