LCA と成形加工

河 西 純 一*

1. はじめに

日本学術会議・リサイクル工学専門委員会・第2回リサイクル工学シンポジウム～循環型社会のグランドデザインの構築を目指して～が8月6、7日（於日本学術会議）に開催された。㈱プラスチック成形加工学会からは、環境・リサイクル専門委員会（委員長：木村照夫京都工芸繊維大学教授）での議論（成形加工におけるリサイクルのあるべき姿）をまとめて初日に報告・紹介した。

あるべき姿を模索するには、地球環境負荷を定量化する「ものさし」が必要であり、LCA（ライフサイクルアセスメント）のような手法で製品・プロセスなどを評価することが重要である。ここで話題にする「LCA」の必要性を議論する意義が日本学術会議での報告のポイントであり、その報告を引用し、今回の議論の口火を切りたい。

2. 第1回リサイクル工学シンポジウム

最初に、第1回リサイクル工学シンポジウムで成形加工学会が主張したことのポイントをまとめてみる。

2.1 リサイクルすることの効果・意義

化石資源の節約と、環境保護。そして、ものの大切さを認識して良識ある人間性の回復へ寄与する。

2.2 成形加工における課題

- ①種々のプラスチックや異物が混在
- ②不定形材料を粉碎し使用
- ③異形状材料を安定的にシリンダへ送り込むことの困難さ
- ④異種材料、劣化した材料を使用せざるをえない
- ⑤輸送に伴う環境負荷の増大

回収・分別し、リサイクル工程へ投入して再生する場合の技術的・経済的課題と、環境的にリサイクルすることの是非判断が課題である。

2.3 日本学術会議への期待

- (1) リサイクルの良否と、最適リサイクル（処分）手法の指針提供
- (2) 広範囲な分野でのコミュニケーションによる再生資源の有効活用の促進（個々の分野では廃棄物であっても、別分野では貴重な資源であることが考えられるが、学会活動では分野が特定される傾向がある）。

3. 第2回リサイクル工学シンポジウムでの成形加工学会の主張

3.1 リサイクルすることの効果・意義（再確認）

化石資源の節約と、環境保護（埋め立て処分場の不足対策、埋め立て処分場からの汚染流出防止、工場や産業活動からの廃棄物排出量削減、市民生活での使用済み製品の有効活用とごみ発生量の削減）。そして、ものの大切さを認識して良識ある人間性の回復へ寄与する。

3.2 成形加工学会の活動

環境・リサイクル専門委員会を設置し、「何をするべきか？」の議論を開始した。手弁当（専門委員会参加年会費と、出席費用自己負担）での少数による委員会活動ではあるが、いすゞ自動車、工学院大学、京都工芸繊維大学、三洋電機、スターライト工業、富士写真フイルム、三菱電機（五十音順）からの「産」学」の委員が集まり、成形加工学会として将来のためにやるべきことは何か？について、情報収集と議論を始めたところである（成形加工学会または環境・リサイクル専門委員会として合意された結論までには到っていません）。

3.3 成形加工学会「環境・リサイクル専門委員会」における論点

- (1) 社会的リサイクル・システム（図1全体、社会性）
 - (2) リサイクル・コスト（経済性）
 - (3) リサイクル技術（上流：製品設計、中間：分別、下流：各種リサイクル実用化）
- に大別することができる。

以下、成形加工学会「環境・リサイクル専門委員会」における論点・キーワードを紹介する。

図1 リサイクル・フローと課題

* Kasai, Junichi
いすゞ自動車㈱ 車両研究実験部
材料開発第2課兼振動騒音実験課
藤沢市土棚8（〒252-8501）
2002.9.24 受理

(1) 社会的リサイクル・システム

資本主義社会であるため、経済性が成立しない場合には基本的に社会的リサイクル・システムは存続できない。最近では、各企業または業界単位での自助努力でリサイクル・システムを構築¹⁾する事例が出始めている。また、容器包装リサイクル法・家電リサイクル法・使用済み自動車リサイクル法^{2),3)}などの法的規制によってシステムが構築・運営され始めている。

どのような社会的システムを構築するべきかについては、LCA的に環境負荷を定量化し、最適なシナリオを議論することが不可欠である。素材製造や成形加工プロセスにおける環境負荷データなどをきちんと整備したうえで、リサイクルすることによってどのような功罪（環境負荷のプラス・マイナス）があるのかを数値で評価する必要がある。このような手法の確立と普及、基礎的な環境負荷データの整備が、学会として取り組むべき課題であるといえる。それによって、リサイクルするべきかどうか（別の処理方法がベターであると考えられる）、どのようなリサイクルがもっとも適しているか、適正な評価と判断が可能となる。

参考に、LCA（ISO規格における）の概念を図2に、評価対象範囲の概要を図3に示す。リサイクルの良否と最適リサイクル手法を議論するためのLCA調査事例が少ないですが、これは環境負荷データ不足が原因と思われる。リサイクルにおける中間・下流工程での環境負荷データの拡充も望まれる。

(2) リサイクル・コスト（経済性）

いすゞ自動車では、使用済みとなったプラスチック（PP：ポリプロピレン）バンパーを回収・分別・粉碎・洗浄・再生ペレット加工し、自社製品の部品へリサイクルしている⁶⁾。図4に示すようにバンパー1本当たりについて、廃車と一緒に破碎・埋め立て処分した場合の処理コストを

100とした場合、リサイクル処理コストは、10倍以上のコストがかかってしまう。リサイクル・コストの中でも、金具などの分別工程に必要な人件費がもっとも大きく、7割近くを占め、次に粉碎・洗浄・再生ペレット加工が2割近く、輸送コストが1割以上となっている（輸送コストだけで埋め立て処分コストを超えてしまう。しかも、輸送コストの一部は、補修部品配送便の帰り便を活用しているためゼロである）。

この事例では、このようにお金をかけても、販売会社による回収・分別コスト負担を含め、種々のコスト削減努力を行った結果、再生部品のコストを従来の部品（南洋木材でできていた）よりも安くできたことが、リサイクルできた大きな理由である。

リサイクルは廃棄に比べ多額の費用がかかる場合が多く、経済性の向上はリサイクル浸透のために解決しなければならない重要な課題である。

(3) リサイクル技術（上流：製品設計，中間：分別，下流：各種実用化技術）

1) 製品設計

使用する材料の種類を削減してリサイクルしやすい材料に統合化し、解体・分別性を著しく向上し、規制物資などの有害と思われる材料を使用せず、といった設計的な配慮でリサイクルを阻害する因子をつぶしていくことが基本となる。最近では、従来からの生産性・耐久性や性能を環境負荷と同時に評価・確認し、総合的に環境負荷軽減を配慮したモノ造り（エコデザイン）が重要であると認識されはじめている。学会でも更にこの分野を牽引、活性化することは、重要な課題である。

2) 分別

画期的な技術が発明できれば良いのですが、その可能性

図2 LCAの概念^{4),5)}

図4 バンパー処理コスト（実費）比較結果

図3 LCAの範囲・概念

について、環境・リサイクル専門委員会のメンバーは悲観的に考えている。元から絶つ、つまり「エコデザイン」でどうにかすることが現実的ではないか。

図5に分別と各種リサイクル実用化技術のイメージを示す。

3) 各種実用化技術

材料技術や成形加工技術で、劣化しにくい材料にしたり、劣化したりサイクル材をうまく使いこなす技術、相溶化によって異種プラスチックが混合しても物性低下をおさえる材料技術など、色々な工夫によってリサイクル実践化を可能にすることができる分野である。

エコデザインが定着しても、この分野の技術は必要性が高く、成果がリサイクルの実践に直結するため、非常に重要な課題である。

4. LCA と成形加工

成形加工技術分野で取り組むべき課題として、前章で以下の3点を抽出した。

- ①基礎的な環境負荷データの整備（成形加工プロセスや素材製造における環境負荷データ、廃棄・リサイクル中間・下流工程での環境負荷データ）
- ②環境負荷のプラス・マイナスを数値で評価する手法（LCA）の確立と普及、
- ③従来からの生産性・耐久性や性能を確保し、環境負荷軽減を配慮したモノ造り（エコデザイン）の分野活性化

4.1 基礎的環境負荷データの整備

経済産業省が中心になって標準的な（日本平均値）LCA インベントリ・データ・ベースの構築が進められている⁷⁾。代表的な汎用プラスチック材料について、素材1kgを製造するのに伴い発生するCO₂排出量や投入エネルギー量などのデータが⁸⁾日本化学工業会から提供され、来年度以降一般に公表される予定になっている。

成形加工分野では、このような共有化情報の開示などはあまり進められていない様子であり、学会活動を通じて促

進していく必要があると考えられる。当社保有の2500トン射出成形機における投入エネルギー量データを表1に例示する。

4.2 LCA 手法の確立と普及

成形加工業界のアウトプット製品は、最終製品でない場合が多い。そのため、製品のライフサイクル全体を議論するLCAの手法確立についても、基礎的な環境負荷データ構築と同様遅れ気味であろう。

リサイクルの経済性（3.3(2)項参照）評価と同時に、LCA調査を実施した事例を図6～14に例示する。（詳細については11月6～7日に開催される「第5回エコバランス国際会議（つくば）」で報告）ここでは、概要のみを紹介する。

LCA調査に使用したソフトウェアは、PEプロダクトエンジニアリング社(独)のGaBi 3 Version 2で⁸⁾、いすゞエルフ（NKR 66 E、2トン積トラック）のPPバンパーを対象とした。PPバンパーの成形からリサイクルPPの製造、それを使用するタイヤハウスライナー（再生部品）の製造の前段階である材料調達までを範囲とする。また、PPバンパーによって得られた再生材はタイヤハウスライナーに使用（重量比で10%）されており、廃棄時に比較してバージン材の使用が少ない。そのため、バージンPPの製造や輸送も調査範囲に含めた。タイヤハウスライナーの成形は

表1 PP BUMPER(4.55 kg)の成形に必要なエネルギー

	kWh/shot
成形機1ショットの消費電力	5.76
金型ホットランナー温調	0.08
付帯設備①金型温調（ヒーター＋チラー）	1.16
付帯設備②原料供給（ホッパー＋ローダー）	0.95
合 計	7.95

7.95 kWh/shot→1503 kcal/kg
= 6.29 MJ/kg

図5 分別と各種リサイクル実用化技術のイメージ

図6 LCA 調査範囲

材料に関わらず環境負荷が同一であるため、範囲には含まなかった（図6参照）。

図7、図8にエコインジケータ95（環境負荷を総合的に単一指標化する手法のひとつ）におけるリサイクル時、廃棄時の製品ライフサイクルの環境負荷比を示した。製造・使用工程はリサイクル時、廃棄時で同データであるため、それを除いた工程の環境負荷比を図9、図10に示した。

地球温暖化に着目した結果が図11～14である。図11、12にリサイクル時、廃棄時における工程別構成比を示した。使用時や製造時に比べリサイクルや廃棄工程が地球温暖化に与える影響は小さい。図13、14にはリサイクル時、廃棄時で同データである製造時と使用時の環境負荷を差し引き、「リサイクル・廃棄工程」と「タイヤハウスライナーの材料製造」の環境負荷比較を示した。

リサイクルするために必要な追加工程に起因する環境負荷が発生するため、最終処理段階だけに着目すると、単純に埋め立て処分したほうが環境負荷は小さい。しかし、リサイクルによって使わずに済むバージン材の環境負荷を軽減した効果を加味すると、この場合「リサイクルするほうが環境負荷は小さい」と結論付けることができる。

成形加工工程や再生ベレット製造工程など、自社や協力企業での環境負荷データを収集し、適用した。このような事例を公表し共有化することは、成形加工学会関係者での議論のきっかけになるものと考えます。

4.3 エコデザイン分野の活性化

4.1項、4.2項の次の段階には、エコデザインの実践がある。むしろ、エコデザインへの適用を考えてこれまでに記述した課題に取り組むべきなのかもしれない。エコデザイン分野の活性化については、今後の活性化を期待したい。

5. あとがき

LCAの適用やリサイクルのあるべき姿については、まだまだ議論の途中段階にあるのが実態である。さらに議論を重ね、成形加工学会としていつ・何を実施していくべきか、具体的な課題設定をしていきたい。読者の皆様も、ぜひ環境・リサイクル専門委員会へご参加いただきたい。

最後に、環境・リサイクル専門委員会委員各位には、話題・資料を提供していただいた。（今回、丸ごと引用したものもあります）御礼申し上げます。

図7 製品ライフサイクル（リサイクル）の環境負荷構成比：全体 0.0514 [-]

図8 製品ライフサイクル（廃棄）の環境負荷構成比：全体 0.0529 [-]

図9 リサイクル工程の環境負荷構成比：全体 0.0140 [-]

図 10 廃棄工程の環境負荷構成比：全体 0.0514 [-]

図 11 リサイクル時における工程別環境負荷 (GWP 100) 構成比：全体 226.03 kg CO₂ 当量

図 12 廃棄時における工程別環境負荷 (GWP 100) 構成比：全体 230.27 kg CO₂ 当量

図 13 環境負荷 (GWP 100) におけるリサイクル・廃棄工程の比較

図 14 環境負荷 (GWP 100) におけるタイヤハウスライナー材料製造工程の比較

参考文献

- 1) 富永佳博・岡村大輔：レンズ付きフィルム「写ルンです」ペレタイズレス樹脂再生システムの開発, FUJIFILM RESEARCH & DEVELOPMENT, No.47, 12 (2002)
- 2) 河西純一：研究総覧「リサイクル」, 成形加工, 13 (7) (2001)
- 3) 佐藤貞雄：研究総覧「リサイクル」, 成形加工, 14 (7) (2002)
- 4) 赤井 誠ほか：ISO-LCA ナビゲーションソフトウェアの開発 (第 2 報), Proceedings of the Forth International Conference on Eco-Balance (Nov. 2000)
- 5) 赤井 誠：ISO-LCA Navigation Software (Version 1.00β), 独立行政法人産業技術総合研究所エネルギー利用研究部門発行 (Aug. 2001)
- 6) 河西純一：自動車の環境負荷定量化とエコデザイン, 自動車技術会 2002 年春季大会前刷集
- 7) http://www.jemai.or.jp/lca/3-1_lca-project.html
- 8) ホームページ http://www.pe-asia.co.jp/pe_asiac.htm, AND <http://www.gabi-software.com>