日本LCA学会第3回講演会報告 「リサイクルにおけるLCAの役割」

藤井 実・松本 亨・宮本 重幸

Report on the Third Workshop of ILCAJ

Minoru FUJII, Toru MASTUMOTO and Shigeyuki MIYAMOTO

1. はじめに

去る2006年5月30日に、東京大学本郷キャンパス・山上会館において、日本LCA学会の講演会「リサイクルにおけるLCAの役割」が開催された。本稿では、当日の講演内容及び質疑について、その概要を報告する。

はじめに、日本LCA学会理事である東京大学の足立芳寛教授より開会の挨拶をいただいた。トレーサビリティの確保や、サプライチェーン管理のためのLCAの活用、サプライチェーンとリサイクルチェーンをいかに回すかといった課題について言及された。足立氏の御挨拶に続いて、4氏から講演をいただいた。

2. 講演内容

2.1 物質フローから見たリサイクルの意義とLCAの役割

国立環境研究所、
循環型社会・廃棄物研究センター長、森口祐一氏

循環型社会形成推進基本法に書かれた循環型社会とは、廃棄物の発生抑制、適正な循環的利用の促進、適正な処分が確保され、天然資源の消費を抑制し、環境への負荷ができる限り低減される社会である。やみくもにリサイクルする社会ではない。発生抑制>再使用>再生利用>熱回収>適正処分の優先順位が定められているが、環境への負荷の

低減にとって有効であると認められるときは、この順序によらないことも考慮すべきであると書かれており、そうした場面でLCAによるリサイクルの評価が期待される。

物質フローについて、我々の研究グループでは、次の6つの指標を提案している。直接物質投入量（DMI）、使用済み製品再生利用率、物質利用効率、物質利用時間、使用済み製品再資源化率、直接排出物量（DPO）の6指標である。これらは、資源のライフサイクルの各要素を表現するものであり、大量廃棄型社会の問題点、そしてリサイクルをする意義とも関連するものである。

一般廃棄物のプラスチックのリサイクルでは、PETボトルとそれ以外のプラスチックとで、素材の単一性や価格面で大きく状況が異なる。産業廃棄物のプラスチックは、未使用フィルムなど、単一素材でマテリアルリサイクルに適したものも多い。リサイクル手法の選択については、マテリアルリサイクルと熱回収が比較されることがしばしばある。コスト面だけでなく、環境負荷の面でもむしろ熱回収が有利な場合もあるのではないかと疑問がある一方、熱回収が「大量使い捨て」の免罪符となることに対する懸念もある。簡単に熱回収を選択するよりも、発生抑制など、優先順位のより上位に位置づけられた選択肢を目指すのが基本理念であると考えている。ケミカルリサイクルも含め、天然資源消費抑制、環境負荷低減効果の客観的な比較が必要であり、LCA的な評価が求められる。

リサイクルのLCA評価は、リサイクルサービスの評価であり、次の点が重要である。代替前と環境負荷がどう増減したかを、機能単位を揃えて評価すること。マテリアルリサイクルでは、再生された原材料の「質」をどう考慮するかが課題であること。ケミカルリサイクルでは、ガスや油の収率とともに、これらが最終的にどう使われるかにも着目すべきこと。熱回収についても、エネルギー効率の評

藤井 実／国立環境研究所／〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2

松本 亨／北九州市立大学／〒808-0135 福岡県北九州市若松区ひびきの1-1

宮本 重幸／日本電気(株)／〒211-8666 神奈川県川崎市中原区下沼部1753

Minoru FUJII / National Institute for Environmental Studies / 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506

Toru MASTUMOTO / The University of Kitakyushu / 1-1 Hibikino, Wakamatsu-ku, Kitakyushu, Fukuoka 808-0135

Shigeyuki MIYAMOTO / NEC Corporation / 1753 Shimonumabe, Nakahara-Ku, Kawasaki, Kanagawa 211-8666

価が不可欠。複合的なリサイクル（例えばマテリアルリサイクルの残渣をケミカルや熱回収で利用）の効果についても検討の必要があること。

これらの課題等をふまえ、コミュニケーション、共通理解の支援手段としてLCAを有効に利用することが望まれる。

2.2 リサイクル評価のためのLCA手法の現状と課題

東京大学、教授、平尾雅彦氏

リサイクルに関わるLCA手法の開発例として、プラスチックの循環的利用段階を含むLCA標準化や、第2期LCAプロジェクトにおける静脈系LCA研究などがある。リサイクルをLCAで評価する際の目的には、リサイクルプロセス・システム導入の効果（現状をベースケースとした比較）と、リサイクルプロセス・システムの選定（複数の製品システムの比較）とがあり、そのためプロセス、システム、シナリオを比較する場合が多い。

リサイクルに関わるLCAを実施する際のポイントとしては、機能単位の設定（廃棄物の処理か、再生製品の製造か。複数の機能が存在する場合もある）、システム境界のとり方（評価対象となるプロセス以外のプロセスの変化。リサイクルしなかったときはどうであったか）、インベントリデータの収集（非リサイクル時、リサイクル時での変化。バウンダリと代表性・信頼性の判断）などが挙げられる。比較シナリオ間で機能の同一性を保つためには、Avoided Impact法、Basket法があり、システム拡張によって「社会に対する同一機能」を提供できるものとする。

リサイクルには、別な製品に変化する開ループリサイクルと、元の製品に戻る閉ループリサイクルとがある。開ループリサイクルの評価における課題は、元の製品及び再生製品が複数ある場合や特定できない場合、再生製品が通常は新品素材から製造されない場合、再生製品が更にリサイクルされる場合をどのように評価するかである。また、閉ループリサイクルの評価においては、再生素材の利用割合に制限がある場合、素材は同じでも複数の製品に利用される場合の評価が課題となる。また、共通する課題として、リサイクルの対照となる処理方法が埋め立てか焼却か、再生品が電力である場合、削減される電

力は火力か公共電力平均かによって、結果が大きく変わることになる。

更に、新品製品と再生製品の品質の相違の評価、資源・機能・経済価値が異なるシステムの比較、使用される製品は無数にある素材のリサイクルの評価、処理量などの制約条件の考慮、インパクトの評価（埋め立てなどの土地利用、石炭と石油など異なる資源の消費）、単位プロセス毎に細分化されたインベントリデータが得られない場合の扱いなどが今後の課題として挙げられる。

リサイクルに関わるLCAの更なる発展のためには、静脈系プロセスに関わるバックグラウンドデータの整備、インパクト評価手法の整備、ケーススタディによる事例の蓄積、シナリオ評価LCAとしての体系化などが望まれる。

2.3 産業連関分析を用いたリサイクルの評価

早稲田大学、教授、近藤康之氏

産業連関分析の利点は、原材料・エネルギー・サービス等の投入の連鎖、すなわち上流への波及効果を把握できることにある。フローを産業部門に対応付けるため、部門分類が粗いという問題点があるが、プロセスデータを用いて詳細化することはできる。金額を調べて平均単価を用いて物量に変換するが、商品では常にお金の流れと物の流れが逆方向であるが、廃棄物の場合はそれがまちまちである。また波及効果は、下流側についても考慮する必要がある。

廃棄物産業連関（WIO）は廃棄物フローを、常に有価で売られるものを除いて、金額ではなく重量で把握したものであり、上記の問題点に対応している。その他に、詳細な処理技術の分類、処理技術・管理制度のモデル化、処理部門の受動的性質（廃棄物は受け入れざるを得ない）の考慮などの点に特徴がある。

WIOにおける廃棄物とは、循環型社会形成推進基本法における“廃棄物等”に近く、有償で売れるものも含んでいる。環境負荷とは違うので、出力だけでなく入力についても考慮する必要がある、

- 廃棄物排出＝処理サービス投入
 - 廃棄物資源化＝処理サービス産出（副産物）
- となる。廃棄物の処理においては一般に、処理部門数が廃

棄物の種類に比べて少ない。また、1つの廃棄物種が多種類の処理部門に流れる場合もあれば、1つの処理部門が多種類の廃棄物種を混合処理している場合もある。産業連関分析では、逆行列をとることで波及分析を行うが、そのためには行列は正方行列(行と列の数が等しい正方形の行列)でなくてはならない。そこで、WIOでは、処理部門と廃棄物種の数が多いとの非現実的な仮定をするのではなく、配分行列を用いて廃棄物と処理部門を対応付け、行列の正方化を行っている。これにより、伝統的な産業連関分析のモデルを適用することができる。

エアコン1台のLCAの例では、従来の「民生用エアコン」、「事業用電力」という製造及び使用に係わる部門の他、従来の「廃棄物処理(産業)」に代わって、より詳細な分類である「使用済エアコン」1台の処理を計算に加える。また、使用段階における電力消費に伴って石炭火力発電所から排出されるフライアッシュが、セメント産業でリサイクルされたり、リサイクルされない場合には最終処分場で埋め立てられたりすることも考慮される。これらの計算によって、エアコンのライフサイクルによる廃棄物発生量などを求めることができる。また、WIOでは経済全体を考慮しており、LCAとライフサイクルコスト分析(LCC)との併用により、ハイエンドモデルとローエンドモデルの比較を行うなどの応用が可能である。

2.4 鉄鋼業におけるリサイクルの現状とLCA評価について

新日本製鐵株式会社、部長代理、米澤公敏氏

鉄鋼業界ではプロセス内での資源やエネルギーの徹底したリサイクル及び高機能材の提供により、エネルギー消費量の削減やゼロエミッションに努めてきた。しかし、鉄鋼業そのものが日本のCO₂排出量の10%を占めている事実、また今後の素材としての鉄鋼需要を鑑みると、素材としての一貫での環境貢献をLCA的な視点で検討することは益々重要になってくる。これは、例えば、実際のスチール缶リサイクル率は高いものにも係らず、一般での環境イメージは高くないことなど、社会へのコミュニケーションという視点からも必要である。

鉄は、本来100%リサイクル可能であり、カスケードリ

サイクルではなくクローズドループでのリサイクルが可能である。現状で例えばスクラップの配合比率が(日本で)30%程度なのは、鉄鋼製品のライフサイクルが数年~数十年と長いため、社会にストックとして蓄積されているためである。また、経済上の理由、社会システムの不備で回収されていないスクラップなども存在するが、近年の各種リサイクル法の確立により、その回収率は増大する傾向にある。鉄鋼製品は一般的にその製品寿命後に製鉄プロセスで再生され、何回も永遠にリサイクルされるが、実際にこのようなスクラップの持つクレジットの効果は現状のLCIデータの中では評価されていない。例えば建築や土木材料として適用された場合には、製品寿命は30年以上であり、実際の評価を難しくしている。LCAの目的はコミュニケーションであり、鉄鋼製品のリサイクル性に対する正当な主張を行いたいと考えており、IISI等国際機関で第三者も交え、方法論について議論している。

製鉄所では、発生する副産物や副生ガスの様々な有効利用を行っている。

- 高炉スラグは大部分がセメントへ利用されているが、代替化によって削減されたセメントプロセスでの省エネ効果は、鉄鋼業の効果としてカウントできず、社会貢献として外部へのPRに留まっている。また、鉄鋼スラグによる海洋環境改善にも取り組んでいるが定量的な評価が困難である。
- 副生ガスは、従来からほぼ100%を所内のエネルギーや発電に有効活用しているが、将来的には副生ガス中の水素を社会に適用できる可能性があり、国と共に開発を実施している。

また、製鉄所の地域との共生という視点では、社会から回収した廃プラスチックを高炉やコークス炉で石炭の代替として利用している。廃タイヤについても、全国で発生する廃タイヤの5%を鉄鋼業でリサイクルしており、今後この比率をガス化など鉄鋼プロセスのインフラを活用し、10%に引き上げる予定である。

LCAにおけるリサイクルの評価は未だ技術的に確立されておらず、配分方法や代替されるシステムの評価などに問題点がある。また、実験室レベルでは結果が得られていても、工場の実機では実際にどうなっているかが分からない場合もある。また、主原料であるスクラップや副産物である高炉スラグなど、現在はそれが得られるまでの負荷をゼロと見なして評価されているが、リサイクルの実状を踏まえて、環境負荷を負わせることも検討する必要があると考えている。

3. 全体質疑

以上の講演内容に対し、会場より講師の方々に質問がな

された。まず、リサイクルによる環境負荷の削減効果と、コストとの兼ね合いに関する質問が出た。森口氏からは、どこまでの範囲でデザインし最適化するかの問題であり、必要であればコストは掛けてもよいという考えもありうるとの指摘があった。コストの問題に関連して、炭素税についても議論された。近藤氏からは、家庭用エアコンのLCAおよびLCC評価に基づいて、低環境負荷への誘導策として炭素税を利用し得ることが講演において指摘されていた。米澤氏からは、炭素税による単純な誘導には反対で、これまで、あるいはこれからの努力が評価される仕組みが重要だとの指摘がなされた。森口氏からは、炭素だけで判断するのが適切ではなく、総合的な環境税であれば受け入れやすい場合もありうるのではないかとコメントがあった。

ペットボトルは逆有償から有償になり、一方で高炉スラグは副産物として扱われ、環境負荷を負っていない。配分は経済価値ではなく物量でやるべきかとの質問に対しては、平尾氏より、質は考慮すべきだが、物量ベースで考えるべきだとの指摘があった。基本的には物量で配分することになると近藤氏も述べられた。ペットボトルはかつて逆有償であったのが、中国が安価な人件費を背景に買い取るようになったが、売れているのは収集されたまとまった量のペットボトルであって、収集には費用が掛かっている点も指摘された。

4. まとめ

リサイクルにおけるLCAの役割について、公的研究機関、大学、企業の各講師の方々より、目的、方法論、利点と問題点、将来の課題などについて御講演頂いた。リサイクルは社会的な関心の高い分野であり、会場には多くの方が足を運ばれた。当日会場で行ったアンケート調査では、大変参考になったとのコメントを多く頂いた。一方、具体的な事例を多く示して欲しいことや、テーマを絞って欲しいとの意見もあり、これらの点は主催者側の今後の課題である。今回の講演会は、多くの方がリサイクルとそのLCA評価について理解を深め、関心を持って頂いたという意味で有意義な機会となった。