紙パルプ産業における LCA の在り方

三菱製紙株式会社 経営企画部 桂

徹

Life Cycle Assessment in Pulp and Paper Industry

Toru Katsura

Mitsubishi Paper Mills, Ltd., Corporate Planning Dept.

The growing awareness in consumers about environmental conservation makes industries look into the methodology which evaluates the environmental attributes associated with a product or service. Life Cycle Assessment (LCA) is gaining momentum. LCA is a methodology which quantifies the materials and energy exchanges of a product during its life cycle.

Life cycle inventory of wood free printing paper was investigated by Mitsubishi Paper Mills and University of Tokyo to establish the methodology for pulp and paper industry. Based on the experience of investigation, specific issues of LCA for pulp and paper industry were extracted. The major solutions for these issues are as follows :

- (1) To establish "Guidelines on life cycle assessment in pulp and paper industry"
- (2) To produce LCI database for paper additives
- (3) To develop the methodology of impact assessment for land use

Keywords : Life cycle assessment, printing paper, CO₂ emission, impact assessment

分類 : X₁ 紙パルプ環境一般, Z₂ 紙パルプ産業一般

1. はじめに

企業における環境問題の取り組みは、1965～75 年にかけての公害への対応から始まり、1975～90 年にはオイルショックに伴う省エネルギーの追求、1990 年頃からの地球環境問題への対応、さらには 1995 年頃からのゼロエミッション社会の追究へと変化してきた。それに対する企業の姿勢も、排出源あるいは工程毎の対応から、製品システムが全体として環境に及ぼす影響を評価し軽減させる方向へ変わりつつある。紙パルプ産業においてもダイオキシン問題、エネルギー原単位の向上等で工程の改善に積極的な取り組みを行ってきた。最近では、容器包装リサイクル法やグリーン購入法

の施行に伴い、製造から廃棄に至る全工程での環境負荷が少ない製品を提供することが求められるようになってきている。

製品が環境に及ぼす影響を定量化する方法としてはライフサイクルアセスメント (LCA) が注目されており、容器や包装の分野では既に多くの検討が行われている。LCA は手法やデータベースの確立が 1998 年から国家プロジェクト (LCA プロジェクト) で進められるなど開発途上にあるが、紙パルプ産業においても取り組む必要が出てきている。本講演では、紙の LCA を行った経験を基に、LCA の概要、紙パルプ分野での課題および今後の方向について述べる。

図 1 LCA の実施段階

2. LCA とは

LCA は、製品のライフサイクル（原料採取—製造—流通—使用—リサイクル・廃棄）のすべての段階において、製品に使用する資源やエネルギーの消費と、環境負荷物質や廃棄物の排出を、科学的、定量的、客観的に推定・評価すると共に、製品の潜在的な環境影響を評価する方法である。LCA の実施段階を図 1 に示す¹⁾。

まず、調査の目的を明確にし、それに見合った調査範囲を決める必要がある。必要とされる手法やデータの精細さは、目的によって異なる。インベントリ (LCI) 分析は、フロー図の作成、データ収集、データ処理、分析結果の算出等から成り立っており、前提条件やデータ品質を考慮して進める。分析結果の算出では、製品のライフサイクル各段階でのインプットデータ（投入エネルギーや資源消費）とアウトプットデータ（環境負荷物質の排出）の実測値あるいは推定値を入力し、ライフサイクル全体での環境負荷を集計することが行われる（図 2）。

影響評価では、まず LCI 分析で得られたデータを環境影響項目に分類し、項目毎に各データの寄与度を算出する。ついで、各環境影響項目間での相対的影響度を算出し、統合指標等により総合評価することが行われる（図 3）。LCA 研究者により種々の手法が提案されているが、標準的な手法は確立されていない。結果の解釈は、LCI 分析や影響評価の結果を基に目的と調査範囲に沿った解釈と結論を導く段階である。ここまでの段階は、ISO 14040 シリーズで規格化が進められている。なお、クリティカルレビューは LCA 調査の内容が ISO 規格の要求事項に適合したものである

図 2 インベントリ分析

ことを審査する手続きであり、結果に客観性を持たせるために行われる。

LCA の用途としては、環境調和型製品を開発する道具として利用すること（製品の開発及び工程の改善）、評価結果の公表により企業や製品のイメージアップを図ること（マーケティング支援）、環境ラベルへの取り組み（消費活動の支援）、製品の基本情報を提供すること（経済社会システムへの反映）等がある。

3. LCA 発展の経過

LCA は製品の過剰包装減少や廃棄物削減等への対応策としてヨーロッパで提起された手法である。1969 年にコカコーラ社が MRI (Midwest Research Institute, 現フランクリン研究所) に飲料容器の環境影響評価を依頼したのが始まりとされている。その後、1979 年にアメリカで SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) が結成され、本格的な研究が開始されている。80 年代に入り環境保護運動が盛んになるにしたがって、ヨーロッパでは容器包装に関する LCA 手法に関心が高まってくる。1984 年には

図 3 影響評価の概念図

BUWAL（スイス内務省環境局）が生協ミグロスの協力を得て「包装材料のエコバランス」に関する報告書を発表した。これは社会生活の中で LCA 手法が採択され、環境負荷抑制の行動がとられた最初の例である。1985 年に EC 環境委員会が「液体食品容器に関する指令」を可決し、容器に関する資源エネルギーの監視が加盟各国に義務づけられたため、LCA の研究が活発に行われるようになった。1992 年にはヨーロッパ企業 20 社により SPOLD（Society of the Promotion of LCA Development）が結成され LCA の推進が図られている。

アメリカにおいても、固形廃棄物の社会的問題を背景として 1988 年以降 LCA の研究が進展している。

日本における本格的な研究は、1992 年に化学経済研究所が「基礎素材のエネルギー解析調査報告書」を、プラスチック処理促進協会が「廃プラスチック製品の処理・再資源化に関する環境影響評価」を発表し、1993 年に日本生活協同組合連合会が「容器包装の環境評価に関する中間報告」を発表したことに始まる。ヨーロッパに遅れること約 10 年であるが、1995 年には産官学共同研究の場として LCA 日本フォーラムが組織され、広範囲な活動が開始された。

紙パルプ産業の LCA は、1990 年代初めからアメリカの International Paper や Georgia Pacific で試みられている。1993 年には KCL（フィンランド紙パルプ研究所）によるインベントリ分析ソフト（KCL-ECO）

が開発され基盤の整備が行われた。1996 年には TAPPI で LCA に関するシンポジウムが開催され、多くの事例が発表されるなど研究が活発化している。また、「インベントリ分析の手引き」が AF&PA（American Forest & Paper Association）²⁾や北欧の紙パルプ産業³⁾で作成され、手法の標準化が図られるようになっていく。

4. 紙を使う立場からの LCA

紙パルプ分野の LCA は紙のユーザーが先行している。紙を使う立場での LCA を知る手懸かりとして液体容器と複写機の例を紹介する。

4.1 液体容器の LCA⁴⁾

大日本印刷㈱により行われた PET ボトルと液体紙容器の比較である。容器包装リサイクル法に対応するために客観的数値を基に環境負荷低減型の容器包装を設計することを目的として検討が行われている。(社)産業環境管理協会の LCA ソフト（JEMAI-LCA）を用いて影響評価も行っている。表 1 には結果の一例を示す。2 種類の PET ボトル（非耐熱性の無菌充填 PET ボトル、従来のホット充填 PET ボトル）と液体紙容器の比較である。機能単位は容器 1,000 本当たりとしている。紙容器は、資源の消費とエネルギーの消費に関して PET ボトルより優れるが、酸性化ではやや劣るとの結果である。

表 1 各種容器のカテゴリインディケータ

インパクトカテゴリ	特性化係数名	無菌充填用 PET	ホット充填用 PET	液体紙容器
資源の消費	資源の消費	0.510	0.776	0.366
地球温暖化	GWP(CO ₂ =1)	120	188	125
酸性化	AP(SO ₂ =1)	0.124	0.326	0.335
湖沼の富栄養化	NP(PO ₄ =1)	1.91 E-02	2.85 E-02	2.04 E-02
エネルギーの消費	MJ	3,127	4,689	1,917

容器 1,000 本当たり

4.2 複写機の LCA⁵⁾

LCA 国家プロジェクトの中で複写機を例に取って手法の検討が行われている。図 4 は、日本で集めたデータを基にスイス連邦物質研究所 (EMPA) でインベントリを行った結果である。複写機の寿命を 5 年間、その間の紙 (上質紙、再生紙それぞれ 50%) の使用量を 480,000 枚と設定している。複写機の製造から使用、廃棄に至るライフサイクルでのエネルギー全消費量は 145 GJ であるが、その 76% が使用する紙の製造時に消費されることを示している。この例では、古紙回収や廃棄された紙からの熱回収を考慮していないため、紙での対策に先立ち詳細な調査が必要であるとしている。

5. 上質紙の LCA

手法を確立するとともに環境を配慮した製品の開発に役立てることを目的とし、実際のデータを基に上質紙のインベントリ分析を行った。結果⁶⁾の概要を紹介する。

5.1 前提条件

- 機能単位：LBKP に上質系古紙パルプ (DIP) あるいは非木材パルプを配合した上質紙 (坪量 64 g/m²) を対象とした。機能単位は上質紙 1,000 kg (絶乾重量) である。
- システムの境界：システムは植林に始まりパルプ・紙の製造を経て、廃棄までとした。海外材はオーストラリア南部に植林した広葉樹 (ユーカリ)、国内材は東北産広葉樹材とした。非木材パルプはコロンビアから輸入したバガスパルプとした。パルプと紙の製造は三菱製紙(株)八戸工場で行うものとした。なお、製造に係わる機械の製造、建物の建築、土地の利用が環境に及ぼす影響、及び肥料、添加薬品、燃料の製造が環境に与える影響については考慮しなかった。廃棄については、印刷用紙の古紙回収率 (1996 年：29.4%) から、30% が再利用され、残りが廃棄

図 4 複写機システムのエネルギー消費

されると仮定した。

- ・取り上げた環境負荷項目：地球温暖化と酸性雨への影響を評価するため、CO₂、SO_x等の大気への排出を中心に考えた。
- ・配分の考え方：生産量或使用量に応じた負荷の配分を行った。回収古紙への負荷配分は行わなかった。

5.2 結 果

5.2.1 ライフサイクル各段階での排出量

図 5 には古紙パルプを 25% 配合した上質紙を製造する際、植林から廃棄に至る各段階で排出される CO₂ 排出量を示す。なお、CO₂ 排出量は化石燃料由来とバイオマス由来に分けて算出した。木材には燃焼により排出される CO₂ に等しい量が固定されていると考え、古紙パルプにも紙の燃焼時に排出される量に相当する CO₂ が固定されていると考えた。これらは、負のバイオマス由来 CO₂ 排出量として表示した。パルプ製造時の CO₂ 排出量はほとんどがバイオマス (黒液) 由来である。紙および古紙パルプ製造時は、石炭/重油ボイラーによりエネルギーが賄われているため、化石燃料由来の CO₂ 排出量が大きくなっている。廃棄時に発生する CO₂ 排出量はパルプ製造時について大きい、黒液燃焼により発生する CO₂ 同様、木材や古紙の形で固定された CO₂ が再び環境に戻る結果であると考えられる。したがって、ライフサイクル合計で

図5 ライフサイクルでのCO₂排出量

は化石燃料由来のCO₂排出量が残ることになる。

同様にSO₂排出量についても評価した。SO₂の場合はチップ船での輸送時が最も多く、チップ製造、製品輸送の順であった。工場内の製造工程では排煙脱硫装置による処理が行われているが、船舶等では排気の処理がほとんど行われていないためである。

5.2.2 パルプの種類と排出量

古紙パルプあるいは非木材パルプを25%配合した上質紙について、配合するパルプの違いがライフサイクルでの化石燃料由来のCO₂排出量に及ぼす影響を評価した(図6)。CO₂排出量は、木材<バガス<古紙の順で増加している。バガスパルプの場合は、回収ボイラーでエネルギーと薬品の回収を行っているため、化石燃料の使用量は少ない。しかし、パルプ・紙一貫生産でないため、パルプ製造時の余剰エネルギーを紙製造に利用出来ず、CO₂排出量が木材パルプの場合よりやや多くなっている。

古紙パルプの場合は、木材や非木材パルプと異なり、製造時に黒液エネルギーが利用できないため、化石燃料由来のCO₂排出量が多くなっている。

6. LCAの応用

LCAの結果は以下に示す様な種々の用途に応用することが可能である。

6.1 工程改善のシミュレーション

品質を維持しつつ古紙パルプの配合率を増すためには、精製した古紙パルプを用いる必要があり、エネルギーの消費量は増加する。化石燃料の消費量を増加させずに古紙を有効利用するため、古紙の一部を製紙工場で燃料として使用することが提案されている⁷⁾。図7は、廃棄物処理で焼却-熱回収されている古紙(廃棄古紙の35%)を鉄道で八戸に運び、工場の高効率ボ

図6 パルプの種類と化石燃料由来のCO₂排出量

図7 工程改善のシミュレーション

イラーで燃焼させ、古紙パルプ製造に必要なエネルギーを発生させると仮定し、上質紙のライフサイクルでのCO₂排出量を試算した結果である。古紙パルプ製造時の化石燃料由来CO₂排出量がゼロになるとともに、余剰のエネルギーを紙製造に回すことが出来、全体として化石燃料由来のCO₂排出量を約15%削減できることを示している。新たな製造システムを検討する際、事前にこの種のシミュレーションを試みることで、環境負荷をある程度予測することが可能になる。

6.2 他材料との比較

前述のように包装容器の環境負荷に対する関心は高い。図8は、東大の安井研究室による「LCA手法による容器間比較⁸⁾」の結果である。一部とは言え、製紙メーカーのデータが使用された数少ない例である。素材が異なる500 mlの飲料容器について、製造、輸送、廃棄各段階のCO₂排出量(化石燃料)を比較している。上質紙の場合は機能単位を紙1,000 kgとして行ったが、飲料容器の場合は500 mlの容器1個が機能単位である。したがって重量は素材毎に異なる。紙容器のCO₂排出量はリターナブルビン(5回使用)に次いで少なく、ペットボトルやアルミ缶の1/2以下であ

図 8 他材料との比較

る。企業が材料に関するデータを公表することにより、材料間の比較がより現実に即したものになると思われる。

6.3 消費活動の支援

消費者が求める紙の品質が変化すると環境負荷も変化する場合が多い。図 9 には、豊橋技科大と資環研による白色度が異なる再生紙（古紙 100%）について LCA を行った結果⁹⁾を示す。古紙回収から薬品、抄紙、流通、廃棄までの範囲で調査し、白色度を 57% から 70% に上げると CO₂ 排出量が 24% 増加することを明らかにしている。バイオマス由来の CO₂ 排出量はペーパースラッジ焼却量の増加に起因し、化石燃料由来 CO₂ 排出量は製紙工場でのエネルギー消費量増加によるものとされている。紙の品質と環境負荷の関係を定量的に評価し、情報を公開することは、環境に配慮した消費活動を支援する上で重要と思われる。

7. 紙パルプに関する LCA の課題

紙パルプに関する LCA の課題を、インベントリ分析と影響評価に分けて整理した。

7.1 インベントリ分析

7.1.1 バイオマス CO₂ の考え方

LCA は工業製品を対象として開発されてきたため、バイオマス CO₂ の取り扱いに曖昧な点が多い。表 2

図 9 白色度と CO₂ 排出量

は、各種データベースにおける廃棄物焼却時の CO₂ 排出量の取り扱いを比較した結果¹⁰⁾である。スイスの BUWAL では紙を焼却した際に発生する CO₂ はバイオマス由来として除外されているが、他のデータベースでは化石燃料由来 CO₂ と同様に扱っている。紙パルプ産業以外ではバイオマスと化石燃料由来 CO₂ の区別が曖昧なため、データベース等を参照する場合には注意が必要である。木材というバイオマスを原料として使用する紙パルプ産業の特徴を明らかにする上からは、バイオマスと化石燃料由来の CO₂ を分けて計算し表示することが好ましい。

7.1.2 ボイラー負荷の配分

製紙工場では発電のために蒸気タービンを回した後の蒸気を製造工程で使用している。負荷の配分方法には、電力、蒸気それぞれの消費量に相当する熱量で燃料の環境負荷を配分する方法、燃料は発電のために使用されたと考えて発電後の蒸気には環境負荷の配分を行わない方法等がある。結果に大きな違いは生じないと思われるが、決めておく必要がある。

7.1.3 古紙の環境負荷

古紙は廃棄物であり、それ自体の環境負荷はゼロと考えるとインベントリを行ってきた。AF&PA のインベントリ分析の手引き²⁾では、古紙回収率から算出した平均リサイクル回数 (n) を基に、バージン製品に元のパルプの負荷の 1/(n+1) を、古紙に n/(n+1) を配分するとしている。図 10 には、古紙パルプの収率が 75% の条件下で、古紙の環境負荷をゼロとした場

表 2 LCI データベースにおける廃棄物焼却 CO₂ 排出原単位 (g/kg)

データの出所	紙	ポリエチレン	備考
BUWAL 250	18.7	3,070	バイオマス CO ₂ 除外
SimaPro 4.0	1,210	2,540	
包装廃棄物研究会	1,660	3,150	野村総研

図 10 古紙への負荷配分 CO₂ 排出量

合と古紙に負荷を配分した場合について、古紙配合率に伴う化石燃料由来 CO₂ 排出量の試算結果を示す。リサイクルを考慮して古紙に負荷配分することにより、排出量が最大 10% 程度大きくなることが判る。

7.1.4 製紙用薬品のインベントリデータ

図 11 には、薬品データの精度が全体の結果に及ぼす影響を評価（感度分析）した結果を示す。薬品メーカーから入手したデータの精度は±50% 程度と考えられるが、産業連関表のデータはさらに誤差が大きく +100% 程度と推定される。比較的薬品使用量が少ない上質紙の場合においても、薬品データの曖昧さによって最大 10% 程度全体の結果の変化することが予想される。精度を上げるため、薬品製造メーカーにデータの提供を依頼したが、企業秘密あるいは製品個別のデータがない等の理由で入手できなかったもの、前工程のデータがないためそのままでは使えなかったものが多かった。パブリックデータベースの整備と平行して製造メーカーによる製紙用薬品のインベントリ分析が行われることを期待する。

7.2 影響評価

7.2.1 土地利用の評価

インベントリでは、(機能単位の製品を生産する際に使用される土地の面積×年数)で定量化することが行われる。土地(土壌)は生産の場であると同時に負荷物質を浄化する機能を持つ場でもあるため、このような数値のみで環境に対する影響を評価することは難しい。生物多様性の保護、生態系と生産性の維持強化、土壌と水源の保全等を考慮して評価する必要があると指摘されている¹¹⁾。標準的な評価方法が確立されることを期待する。

7.2.2 水系での環境毒物の評価

AOX 等の環境毒物が環境に及ぼす影響が明らかになっていないため、影響評価の方法は確立していない。

図 11 薬品データの影響

紙パルプ産業では ECF の導入等により AOX の低減に努めてきたが、その効果を十分評価出来ていない。KCL による影響評価の手引き¹²⁾においても、当面は COD の影響と同じ様に取り扱い、将来の研究進展を待つとしている。

8. 今後の方向

紙パルプ分野での LCA の実施例、応用、課題について整理し、それらを基に LCA の将来展開に必要な事項をまとめた。

(1) 紙パルプ産業での標準的な LCA 手法を決めること

アメリカや北欧の場合と同様に、インベントリ分析の手引きを作成し、システム境界、配分の方法、各種原単位表を決めておく必要がある。

(2) 製紙用薬品データベースをすること

薬品メーカーと協力して標準的な薬品のインベントリデータを作成する必要がある。データの許容精度を±50% とするならば、データ収集の抵抗も少ないと思われる。

(3) 植林や非木材作物栽培による土地利用に関する影響評価方法の開発

種々の研究機関で検討されている影響評価方法との連携を図ることが必要である。

引用文献

- 1) LCA 実務入門編集委員会：LCA 実務入門，(社)産業環境管理協会（1998）
- 2) "Life Cycle Inventory Analysis-User's Guide, American Forest & Paper Association"（1996）
- 3) "Guidelines on life cycle inventory analysis in the Nordic pulp and paper industry", Paperi ja Puu 79 (2) 83（1997）
- 4) 藤森麻子：第 23 回日本包装学会シンポジウム要

- 旨集, 17 (2000)
- 5) LCA 日本フォーラム: "International Comparison of LCA Methodologies", 産業環境管理協会 (1999)
- 6) 桂徹, 庭田博章, 中澤克仁, 片山恵一, 坂村博康, 安井至: 紙パ技協誌 54 (8) 1108 (2000)
- 7) 野間俊哉: 紙パ技協誌 53 (1) 83 (1999)
- 8) LCA 手法による容器間比較報告書, 容器間比較研究会, 2000
- 9) 中野勝行, 松野泰也, 稲葉敦, 金熙濬: 第 4 回エコバランス国際会議要旨集, (社) 未踏科学技術協会 E 1-05 (2000)
- 10) 寺園淳: 日本エネルギー学会誌 77 (10) 948 (1998)
- 11) "LCA Graphic Paper and Print Products", AXEL SPRINGER VERLAG AG, STORA and CANFOR, (1998)
- 12) "Guidelines on Life Cycle Impact Assessment of Pulp and Paper, SCAN Forskrapport 688, (1997)
-

企業の環境パフォーマンス評価の促進

環境省 総合環境政策局環境経済課 熊倉 基之

21 世紀においては、環境問題の深刻化を踏まえ、企業を評価する指標として、従来からある「経営」や「労働」のみならず、「環境」を加えることが求められている。

ISO 14001 の制定、新たな環境関連法令の制定、グリーン購入やエコファンドの進展といった社会的な動きを受け、環境保全に努力しない企業は市場の中で生き残れない時代になってきた。

企業の環境パフォーマンスを適切に評価するためには、適切な指標が必要。そのため、環境省では、「事業者の環境パフォーマンス指標（2000 年度版）（Environmental Performance Indicators for Businesses）」を策定しその普及に努めている。

また、企業が自己評価した結果を、「環境報告書」という形で公表し、ステークホルダーとのコミュニケーションを進めることが重要。そのため、環境省では、「環境報告書ガイドライン（2000 年度版）（Environmental Reporting Guidelines）」を発行しその普及に努めている。

環境省では、上記の取組について中小企業でも簡易に行えるよう、「環境活動評価プログラム（Environmental Activities Evaluation Programme）」の実施も呼びかけている。

（本文 3 ページ）

紙パルプ産業における LCA の在り方

三菱製紙株式会社 経営企画部 桂 徹

容器包装リサイクル法やグリーン購入法の施行に伴い、製造から廃棄に至る全工程での環境負荷が少ない製品を提供することが求められている。製品が環境に及ぼす影響を定量化する方法としてはライフサイクルアセスメント（LCA）が注目されており、紙パルプ産業においても取り組む必要が出てきている。そこで、紙パルプ分野での LCA 発展の一助にするべく、LCA の実施手順、発展の経過、紙ユーザーによる LCA、製紙メーカーによる LCA、紙パルプ分野での応用可能性等について整理し、実施上の課題を抽出した。今後、以下の検討課題への取り組みが必要であると思われる。

- (1) 紙パルプ産業での標準的な LCA 手法を決めること
- (2) 製紙用薬品データベースを作ること
- (3) 植林や非木材作物栽培による土地利用に関する影響評価方法の開発

（本文 10 ページ）