



Title	事業所の環境マネジメントのための環境負荷の定量化と環境パフォーマンスに関する研究
Author(s)	恒見, 清孝
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3161863
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

事業所の環境マネジメントのための環境負荷の
定量化と環境パフォーマンスに関する研究

1999年

恒見 清孝



事業所の環境マネジメントのための環境負荷の
定量化と環境パフォーマンスに関する研究

1999年

恒見 清孝

事業所の環境マネジメントのための環境負荷の定量化と
環境パフォーマンスに関する研究

[目次]

第1章 序論	1
1.1 研究の背景と目的	1
1.2 論文の構成	3
第2章 持続可能な産業社会への転換のための物質管理	7
2.1 緒言	7
2.2 産業エコロジーの概念	7
2.3 循環複合体の概念	9
2.4 物質の視点を持った概念とその環境影響の低減方法	10
2.4.1 物質の流れからみた産業社会の定義	10
2.4.2 物質の視点からの研究の位置づけ	11
2.4.3 物質の種類とスペクトル	13
2.4.4 マクロな物質の環境影響の最小化方法	14
2.4.5 ミクロな物質の環境影響の最小化方法	16
2.5 本章のまとめ	16
第3章 事業所と産業組織の環境施策の道具的特徴	18
3.1 緒言	18
3.2 持続可能な産業社会への転換の方法	18
3.3 技術的手法における3Pアプローチ	20
3.3.1 プロセス・アプローチ	21
3.3.2 プロダクト・アプローチ	23
3.3.3 エンジニアリング・ポリシー・アプローチ	23
3.4 環境負荷評価の手法の関連性	25
3.4.1 環境資源勘定に着目した評価の関連性	25
3.4.2 物質に着目した評価の関連性	25
3.5 本章のまとめ	26
第4章 薄板鋼板めっき工場におけるプロセスの環境負荷の評価	28
4.1 生産工場における環境に対する取り組み	28
4.2 LCAのインベントリー分析の目的の明確化とデータ収集	29
4.2.1 スコーピング	29
4.2.2 インベントリー分析の前提条件	30
4.3 LCAのインベントリー分析の実行	33

4.3.1	改善事例の概要	33
4.3.2	工程改善の目的と目標	34
4.3.3	インベントリー分析結果	34
4.4	LCAのインパクト分析の実行	40
4.4.1	各国の重みづけ評価の特徴	40
4.4.2	改善事例のインパクト分析の実行	42
4.5	薄板鋼板めっき工場における環境改善分析の結果の解釈	44
4.5.1	資源の視点からの評価	44
4.5.2	素材加工プロセス工場における環境負荷低減に向けた取り組み	45
4.6	環境負荷低減のためのLCAに関する課題	46
4.7	本章のまとめ	46
第5章 食品流通業の副産物を活用した循環志向のフードシステムの構築とその効果の評価		
5.1	緒言	48
5.2	食品廃棄物のリサイクルの現状と意義	48
5.3	循環志向の都市型フードシステムのデザインの構築	51
5.3.1	食品流通業のフードシステムの現状	51
5.3.2	現状フードシステムのマテリアルフロー分析	53
5.3.3	マテリアルフロー分析結果の考察	56
5.3.4	循環志向のフードシステムデザインの構築	57
5.4	転換技術の導入による環境負荷低減効果の評価	60
5.4.1	インベントリー分析の内容	60
5.4.2	インベントリー分析結果と考察	63
5.5	フードシステムの拡大による潜在的効果	64
5.5.1	フードシステムの関連廃棄物のリサイクル	64
5.5.2	フードシステムに関連する既存施設の利用	65
5.5.3	フードシステム拡大の効果の評価	66
5.6	本章のまとめ	66
第6章 流通産業における化学物質排出移動に関するマネジメント		
6.1	緒言	69
6.2	PRTRのシステムの意義と課題	69
6.2.1	PRTR導入の背景	69
6.2.2	PRTRの意義	70
6.2.3	各国のPRTR導入状況	71
6.2.4	PRTR導入の成果と問題点	74
6.2.5	非点源排出源の扱い	76
6.3	流通システムにとってのPRTRの概念	77

6.3.1	非点源排出源からの化学物質排出移動量の推計	77
6.3.2	非点源排出源からの排出量削減のイニシアティブ	79
6.3.3	流通業におけるPRTRによる管理	80
6.4	流通業で扱う製品に付随したPRTRのあり方	82
6.4.1	流通業の従来の環境政策の特徴	82
6.4.2	流通業におけるPRTRの有効性	83
6.5	本章のまとめ	84
第7章 産業転換のアプローチの環境パフォーマンスからの解釈		
7.1	緒言	87
7.2	環境マネジメントの情動的側面	87
7.2.1	環境マネジメントシステムの概要	87
7.2.2	環境パフォーマンス評価の概要	88
7.2.3	環境パフォーマンスにおける指標の役割	90
7.2.4	環境報告	93
7.3	3Pアプローチにおける環境パフォーマンスからの解釈	94
7.3.1	3Pアプローチの研究成果のまとめ	94
7.3.2	3Pアプローチの環境パフォーマンスの体系	96
7.3.3	3Pアプローチの環境パフォーマンス指標の選定	98
7.4	本章のまとめ	99
第8章 結論と今後の課題		
8.1	総括と結論	101
8.2	今後の課題	103

謝辞

第1章 序論

1.1 研究の背景と目的

人口の増加や人為活動の拡大に伴って加速度的に進む自然資源の減少(図 1-1-1)や廃棄物量の増大(図 1-1-2)は、今や国際政治の最も重大な課題の一つとなっている。環境に十分配慮せずに開発すれば、結果的に開発自身が損なわれ、開発がなければ必要な投資ができず、環境保護は失敗するという大きなジレンマにわれわれすべてが遭遇しているのである。これまでの「開発における環境配慮」という比較的受け身の考えでの対応では、今日の環境破壊が将来の開発による生産性を損なうなど、環境問題が開発を危うくする可能性を摘むことはできず、このような考え方を修正する必要性から、1992年に開催された地球サミットでリオ宣言ならびに行動計画であるアジェンダ21(Agenda21)が採択された。

このアジェンダ21の中で、持続可能な発展(Sustainable Development)が基本的テーマとして使われている。

ブルントラント委員会報告書(1987)¹⁾は、「持続可能な発展」とは、将来の世代の必要性を満たす能力を害することなく、現在の世代がその必要性を満たすことができるような発展と定義している。

地球サミットにおいて議論された「持続可能な発展」の概念を受け、これに向けた政策の基本的方向付けを国内法として内部化すべく、1993年に制度化したものが環境基本法(Basic Environmental Law)である。わが国の経済社会のあるべき姿とそこへ至る道程、その際留意すべき事項を第4条に規定し、「環境への負荷の少ない持続的発展が可能な社会の構築」が標榜されている。

次いで、翌年12月には法に基づく政府施策の大綱である「環境基本計画(The Basic Environmental Plan)」が閣議決定され、「循環」、「共生」、「参加」、「国際的取組」の4つの長期的目標が掲げられている。その第一の長期的な目標としての「循環」は、人間活動に伴う環境への負荷が自然の物質循環を損なうことが環境問題の要因であるとの考

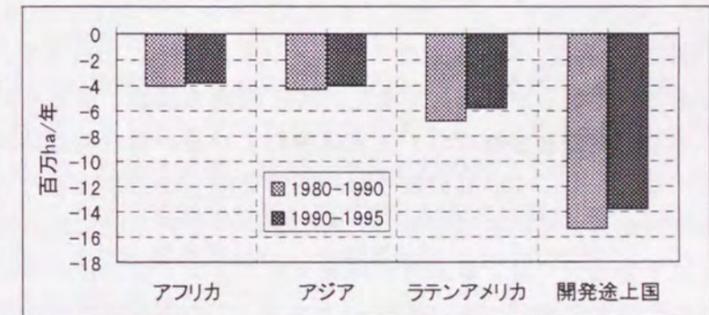


図 1-1-1 開発途上地域における天然林の年間消失面積 1980-1995年²⁾

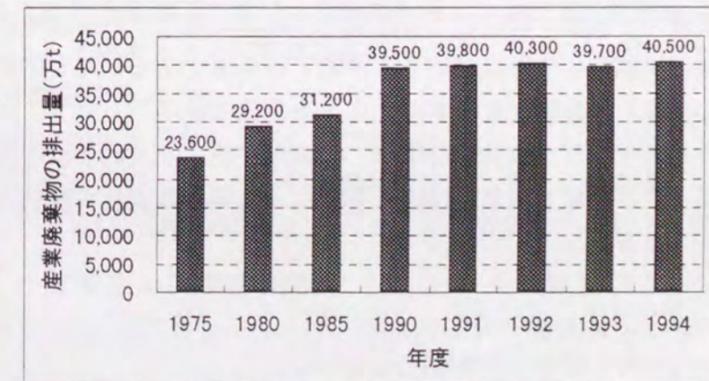


図 1-1-2 日本の産業廃棄物総排出量の推移³⁾

えに立つて、経済社会システムの中で物質循環を確保して環境への負荷をできる限り少なくし、循環を基調とする経済社会システムを実現しようというものである。このように自然の物質循環と経済社会システムの中における物質循環の両面から循環をとらえている。

「循環」の目的の一つは、ファクター4⁴やファクター10⁵などと言われているように、単一の企業内部だけではなく、すべての産業社会を構成している部門が環境への負荷を低減することである。つまり、先進社会の資源やエネルギーの使用を低減することと、人為起源の有害物質を徹底して最小化し管理することによって、環境負荷を低減することである。

もう一つの目的は、ゼロエミッション (Zero Emission)⁶や産業エコロジー (Industrial Ecology)⁷の概念に示されるように、ただ単に産業社会の各セクターでそれぞれ環境負荷を低減させればいいのではなく、産業社会自身を産業構造を含めて構造をリサイクル型に循環構造化することにある。

このような経済社会システムや産業社会を循環を基調としたものに転換するためには、経済主体や組織のマネジメントにおいて、環境を対象とし、環境と調和した経営を進めていく必要がある。その具体的な手だてが事業所の環境マネジメント (Environmental Management) になる。

環境との調和を志向した個々の企業の取り組みとしての環境マネジメントは、国際標準化機構 (International Organization for Standardization; ISO) で規格化されている。すなわち、ISO14001⁸では、環境マネジメントシステム (Environmental Management System; EMS) について、「全体的なマネジメントシステムの一部で、環境方針を作成し、実施し、達成し、見直しかつ維持するための、組織の体制、計画活動、責任、慣行、手順、プロセスおよび資源を含むもの」と定義されている。継続的な環境への負荷低減をめざして、自社の環境保全についての取り組み方針を明らかにするとともに、環境保全努力の効果と成果を評価し、その結果をもとに新しい目標に自主的に取り組むものである。

まず本論文では、事業所の環境マネジメントにおける環境負荷低減の取り組みとして、技術的側面に着目する。後藤⁹によると、この産業社会を持続可能な社会に構造転換する方法として、大きくわけて技術的手法、経済的手法、制度的手法の三つの手法がある。

技術的手法は、ハードな技術だけではなく、経営技術というようなソフトの技術も含む。経済的手法は、現在の市場経済で不経済と見なされる環境影響を放置せず、環境価値を経済に内部化して環境を正当に評価する手法である。そして社会制度的手法は、制度としての法律や社会制度を根本的に変える手法である。

これらの三つの技術的手法、経済的手法、制度的手法を的確に組み合わせて行うことによって、初めて現在の持続不可能な先進国の産業社会を持続可能な方向に転換を図ることができる。

さらに環境マネジメントの情動的側面にも着目し、環境パフォーマンス評価 (Environmental Performance Evaluation; EPE) の枠組みを念頭に置きながら、得られた環境パフォーマンスや環境情報 (Environmental Information) としての環境パフォーマンス指標 (Environmental Performance Indicator; EPI) を提示する。環境パフォーマンス指標にはマネジメント・パフォーマンス指標 (Management Performance Indicator; MPI) と

オペレーショナル・パフォーマンス指標 (Operational Performance Indicator; OPI) があり、オンサイトにおける環境負荷低減への取り組みのなかで活用される。

環境パフォーマンス評価を推進する際に、まず問題の設定段階でマクロに環境の全体像を把握するために環境パフォーマンス指標を選定し、次に設定した問題についてさらに詳細な情報を収集する。これを自らの設定した分析・評価の枠組

みに当てはめ、評価の結果を新たな情報として環境報告 (Environmental Reporting) という手段で発信するものである。そして組織のマネジメント・システム (Management System) やオペレーション・システム (Operation System) を改善するための見直しをおこなう。

このような技術的側面と情動的側面からのアプローチによって、現行の持続不可能な産業社会を持続可能な循環構造の社会へ転換することに貢献することが望まれる。本論文では、産業社会における事業所の環境マネジメントのあり方を考察することを本論文の目的とし、具体的には、プロセスの改善、製品の改善、政策レベルの改善の3つの領域を区分し、それぞれに薄板鋼板の製造プロセス、店舗などでの有機副産物を再資源化する流通業のフードシステム、および化学物質の排出移動登録などの政策を取り上げて考案し、その結果をもとに環境パフォーマンス評価のあり方について述べるものである。

1.2 論文の構成

前節の研究の目的を踏まえてなされた本論文内容は、環境マネジメントの技術的側面と情動的側面からのアプローチによって構成される。特に技術的側面は、3つの技術的アプローチ (3Pアプローチ¹⁰) に分類できる。

第一に、生産系や流通系の企業は必ず何らかのプロセス (Process) を持っており、そのプロセス自身を設計の段階から根本的に見直しを行い、設備投資で新たなプロセスを導入する時には設計そのものから見直しを行い、運用のオペレーションの段階ではプロセス制御の方式を見直ししていくものである。

2番目のPはプロダクト (Product) である。すべての企業は何らかの形の製品やサービスを世の中に提供して存在しており、設計段階やサービスのあり方も根本的に見直ししながら、製品を徹底して持続可能な物に転換する。

3番目のPは経営政策のポリシー (Engineering Policy) である。企業は販売している製品

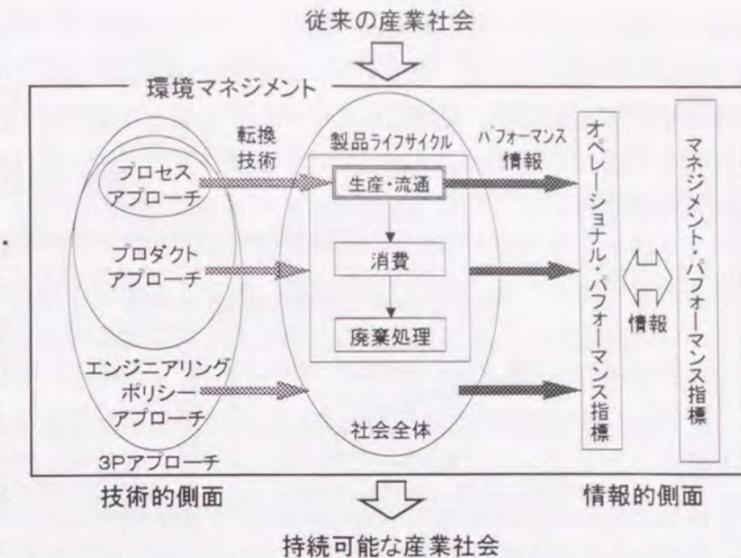


図 1-1-2 持続可能な産業社会への転換と本論文の位置づけ

あるいは行っているプロセスだけではなく、企業の経営そのもの、経営の方針、経営の戦略を見直そうとしている。環境マネジメントシステムを構築した事業所に対してその妥当性を判断するためには、環境監査を活用して企業の環境方針への適合性を問い、従来の取り組みを見直して継続的に改善していく必要があり、そのシステムを担保するために認識登録の制度がある。

以上を踏まえた本論文の各章の構成を図 1-2-1 に示す。

第 1 章は序論であり、持続可能な発展に関する事業所の取り組みに基づいて本論文の背景および目的について述べた後、それを受けた本論文の内容とそれが展開される論文の構成について示している。

第 2 章は、まず産業社会と環境とを結びつける重要な概念として持続可能な発展をめざした産業エコロジーと循環複合体の詳細なアプローチを示す。次に、物質の視点から得られる概念をもとに産業社会を定義し、物質が及ぼす環境影響の最小化への手法として、マクロ物質、ミクロ物質のそれぞれを対象としたアプローチの方法を示す。

第 3 章は、産業社会を持続可能な社会に構造転換するアプローチの中から技術的手法を取り上げる。その内容は 3P アプローチと呼ばれるプロセス・アプローチ、プロダクト・アプローチ、エンジニアリング・ポリシー・アプローチであり、それぞれの手法で主に用いられる環境負荷定量化のための評価手法として、ライフサイクルアセスメント、マテリアルフロー分析などの概要を示す。また、環境資源勘定と物質に着目して、各評価手法の関連性を述べる。

第 4 章から第 6 章は、第 2 章および第 3 章に対応し、それらにもとづいて具体的な分析と評価をおこなった部分である。

第 4 章のプロセス・アプローチでは、薄板鋼板めっき工場における 5 つの改善事例を当初の目的によって分類し、新たに環境保全活動の目標としての環境指標を設定する。そして各改善事例の環境負荷低減の効果を LCA で評価し、改善の目的による効果の大きさを把握する。そして事前評価する際の留意点を導くために、改善事例を資源の視点から分類し代替案の優先順位を示すと共に、重要な実際の活動について提示する。

第 5 章のプロダクト・アプローチでは、まず全国の食品廃棄物のリサイクルの現状と課題を提示する。次に食品工場と流通業を中心としたフードシステム(Food System)を対象に、マテリアルフロー分析(Material Flow Analysis; MFA)による現状のエネルギー、資材投入量や有機系廃棄物のフローを把握し、それをもとに有機副産物の質を考慮した循環志向のフードシステムデザインを行う。その環境負荷低減の効果を LCA で評価し、さらに有機廃棄物のリサイクルと関連既存施設利用による潜在的効果を把握する。

第 6 章のエンジニアリング・ポリシー・アプローチでは、マクロな物質から漏れる部分である有害化学物質などのミクロな物質を対象に、現状の PRTR システムの意義と課題を念頭に置きながら、流通システムにとっての PRTR の概念を提示し、流通業で扱う製品に付随した PRTR のあり方を考察する。

第 7 章では、第 4 章から第 6 章の技術的側面からのアプローチで得られるパフォーマンスを情報の側面から再度とらえなおす。まず環境パフォーマンス評価や指標、環境報告の概要をとらえた上で、3P アプローチから得られる環境パフォーマンスと環境パフォーマ

ンス指標を明示し、得られた指標の特徴について考察する。

第 8 章は本論文で得られた成果を結論として要約し、課題を提起している。

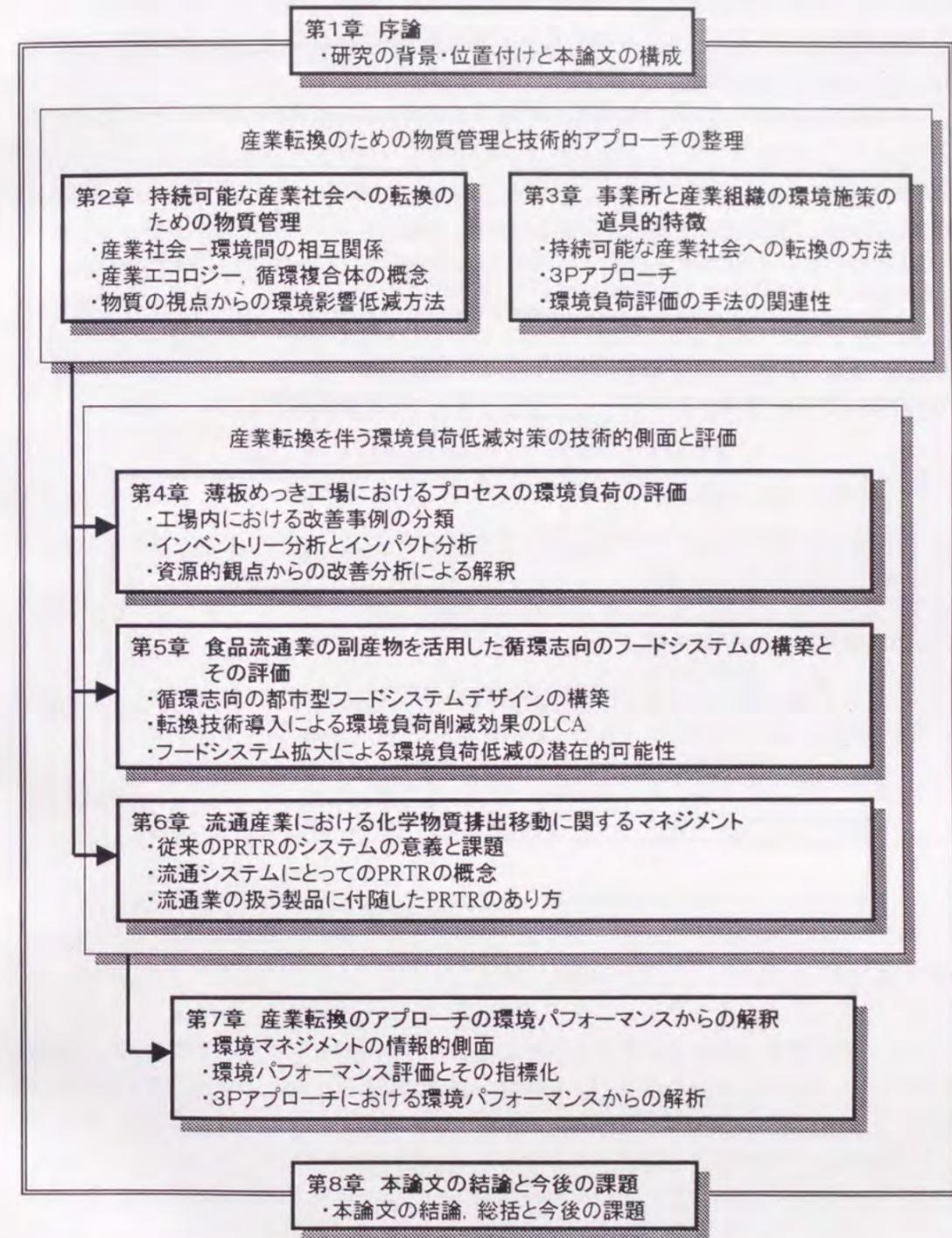


図 1-2-1 本論文の各章の構成

[参考文献]

- ¹ World Commission on Environment and Development(1987) Our Common Future, Oxford University Press (大来佐武郎監修(1987) 地球の未来を守るために, 福武書店, 66)
- ² 国際連合食糧農業機関編(1998) 世界食糧農業白書 1997年, 国際食糧農業協会, 65
- ³ 田中勝(1998) 廃棄物学概論, 日本環境測定分析, 35
- ⁴ E.U.F.ワイツゼッカー他 佐々木建訳(1998) ファクター4, 財団法人エネルギーセンター, 1-439
- ⁵ F.シュミット=ブレイク 佐々木建訳(1997) ファクター10, シュプリンガー・フェアラーク東京, 1-373
- ⁶ 環境庁(1996) 「環境白書-各論」平成8年度版, 485
- ⁷ B.R.Allenby & D.J.Richards (Eds.) (1994) The Greening of Industrial Ecosystems, National Academy Press, Washington, D.C., 259
- ⁸ 吉澤正監修(1996) ISO14001・14004 環境マネジメントシステム対訳, 日本規格協会, 29-37
- ⁹ 盛岡通(1998) 産業社会は廃棄物ゼロをめざす, 森北出版, 93
- ¹⁰ 後藤典弘(1998) 「産業エコロジー」の概念と体系, 環境情報科学 27(2), 17-21

第2章 持続可能な産業社会への転換のための物質管理

2.1 緒言

大量の物資の消費と廃棄に特徴づけられた今日の産業社会と環境問題との関係を分析し評価するためには、自然環境と産業活動の間、および様々な経済主体間の物資やエネルギーの流れを定量的に把握することが不可欠である。本章では、産業社会と環境とを結びつけるシステムの中で、持続可能な発展に最も適うと著者が判断する方法である産業エコロジーおよび循環複合体のアプローチを示す。次に物質の視点から、産業社会を構成する主体の関係および物質そのものに関する概念を定義する。そして物質が及ぼす環境影響の最小化に関する一般的アプローチを示す。

2.2 産業エコロジーの概念

産業社会と環境の相互関係をみるときに4つのアプローチがあるが、それをまとめたのが表2-2-1である¹。

表2-2-1 技術-社会の相互作用に対する選択²

とるべき方向	技術に対する考え方	前提となっている事項
ラジカル・エコロジー	ロー・テクノロジーへの回帰	人口破滅は不可避, 経済的, 技術的および文化的な破綻
ディープ・エコロジー	適正技術, 可能な限りロー・テクノロジー	今より低い人口レベル, 経済的, 技術的および文化的現状をかなり修正
産業エコロジー	環境制約の下での技術進展に依存, つまり環境面だけでなければロー・テクにこだわらない	多少今よりも多い人口, 経済的, 技術的および文化的現状をかなり修正
現状維持路線	個別規制などを採用, 全体の傾向にはほとんど影響なし	人口破滅は不可避, 経済的, 技術的および文化的な破綻

最初の選択肢はラジカル・エコロジーである。産業革命以前のロー・テクノロジー(Low Technology)さらにはアンチ・テクノロジー(Anti-technology)の牧歌主義に基づく方向であり、近代農業、エレクトロニクス、医学、交通、運輸の使用や、その他の技術の恩恵を一切排除しようとするものである。この考え方は、明らかに産業革命以来今日までの諸々の環境コストを精算しようとするものであるが、それを実行するには、飢饉や疫病、その他いわゆる「神のなせるわざ」に簡単に犠牲になるという相当のコストを支払う覚悟が必要である。同時にこの選択肢をとることは、現行の人口どころか、もっと少ない人口しか将来的に支えられない世界が現出する可能性がある。今の社会から突如として技術がなくなったら、結果的に地球人口は壊滅的に短期間のうちに落ち込むことになるだろう。このような人口の急減が倫理的に意味するところは、明らかに甚大である。

4番目の選択肢である現状継続路線は、また同様に基本から間違っており、最もコストのかかる選択である。現在の指数的な成長を極端な環境圧力で終わりにするまで続けてい

くこの方向の最大の問題点は、明らかに短期間しか持続できない点、また一般に将来世代や地球全体の環境システムに多額の費用をかけてしか継続できないという点である。エスカレートする物質の使い捨てや資本ストック・エネルギー・資源消費の急激な伸びは、単純に考えても持続するはずがない。このような現状を継続していくやり方の結末は、皮肉なことにラジカル・エコロジーの場合と結果的にあまり変わらないものとなると予想される。すなわち、政治的、経済的また社会的な破綻といった大きなリスクとともに、なす術がないままに人口の急減がおきることになるだろう。

残りの2つの選択肢、つまりディープ・エコロジー(Deep Ecology)と産業エコロジー(Industrial Ecology)では、環境への配慮や環境制約を人類の文化や経済活動のすべてのレベルで内部化しなければならないという認識で一致している。しかし、持続可能な世界へ転換していくに際しての技術の役割についての見方が異なっている。

ディープ・エコロジーの考えでは、技術が環境変動にかなりの影響をもっていると認識しているため、技術を疑問視する傾向にある。従って、持続可能な世界へ展開していく中で、技術にはあまり大きな役割を与えていない。むしろ、交通手段としては自転車といったロー・テクノロジーの選択肢へ回帰することを主張している。その結果、維持すべき人口レベルも低いところに、また地球の収容量も今より小さなものと考えている。このディープ・エコロジーの考えでは、技術はコントロールすべきもので、開発したり進展させるものとはみていない。つまり、問題解決の不可欠な部分としてみるより、問題そのものの一部とみなしている。とはいえ、既に産業経済社会の中で、多くの組織、国や消費者が関心を示しているものの、政治的に実現されるとは思われない。

一方、産業エコロジーのアプローチでは、引き続いての技術進展の必要性を認め、持続可能な世界へ転換していくのに環境面で適切な技術を開発することが重要な部分とみている。もし仮に全球的にみて技術の進展状況と人口レベルとが本質的に解決不可能な形につながっているにしても、その目標が現行の人口レベルを維持するのであれば、適正技術を進展させることは最も重要なことになる。この新しい技術は、その中核において、革新的でなければならず、また効率的な種々の製品、プロセス、サービス等の開発、エネルギーの高効率化、新素材の利用、超小型化、さらに高度な情報処理などをもたらすものでなければならない。

技術-社会の相互作用に対する異なる選択肢から考えられる世界人口の代替シナリオを図2-2-1に示す。これから産業社会が順序をふんで合理的なやり方で、環境の制約条件の大きな力に対応していく方向を選ぶべきであり、その際に産業エコロジーが最もよい指

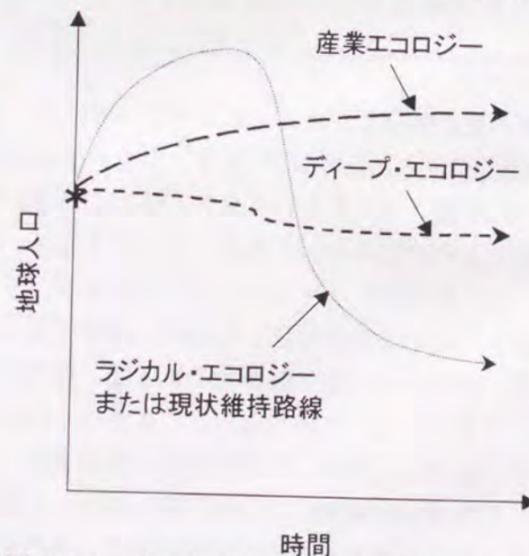


図2-2-1 産業社会と環境の相互作用に対するアプローチによる世界人口の代替シナリ

針になるのである。

産業エコロジーは、企業の新しい自主的努力に具体的、実践的な方法論を提供する概念である。米国工学アカデミー会長のWhite⁸は、産業エコロジーを、産業生産消費活動における物質やエネルギーの流れ、そのフローが環境に与える影響、さらに政治・経済・社会・政府規制などのファクターが各種資源のフロー・利用・転換におよぼす影響などに関する学問であると定義している。

GraedelとAllenby⁴は、産業エコロジーは方法論であり、それによって人類が経済的・文化的・技術的に発展することを前提に、望ましい環境容量または地球の収容量に積極的にかつ理性をもってアプローチし、これを維持可能と考えるものであると定義している。

後藤⁹はもっと広く、物質やエネルギーを多用し、また使い捨てにし、地球環境に多大な負荷を与えている現行の生産・消費を中心とする産業経済社会を全体として見直し、これを自然生態系における物質循環を模した形に構造的に転換していこうとする新しい概念であるとしている。

このように、産業エコロジーとは将来の種々の悪影響を評価し最小にするのに役立つような産業-環境の相互作用へのアプローチであり、将来どう事業活動を展開すべきかを扱いながら、産業と環境との種々の相互作用を健全なものに変えていき、結果的に費用効果の点でより良い方法で事業活動ができるように産業全体を導く方向を狙っている⁸。すなわち、産業のあらゆる物質循環の最適化を追求するシステムの認識(A System View)である。

重要なのはこのようなシステムがエネルギー保存則や熱力学法則などに従う物理的システムであることで、システムを認識するためにエネルギー収支、物質収支などの適用が可能となることである。

2.3 循環複合体の概念

産業社会を環境保全型に転換していくときの概念として、産業エコロジーと同様のものに循環複合体(Recycle-oriented Industrial Complex)がある。盛岡^{7, 8}によると、循環複合体とは単独の経済主体の営みでは結果としてごみになってしまうものを、複数の経済主体の相互の信頼関係のもとで物質やエネルギーを交換しつつ、資源として活用して廃棄物と環境負荷を限りなくゼロに近づけていこうとする組織体のことであり、経済主体間に相互の信頼関係をかけ、社会的な共生関係を築いていくものである。

この循環複合体研究(ReCycle-oriented Industrial Complex Project; CCP)においては、産業社会の経済主体が現実の社会との関係を保ちつつ、複数の事業体と循環形成の行動を構想し、計画として提起し、事業を実施するという一連の行為そのものに実験的性格を与えている。そして循環複合体の構築のために、複数の経済主体が資源化を行う相手先の副産物、副産物の資源化で結びついた関係を維持し発展していく上での中核的な技術、および資源化を妨げている社会的要因の3つを明確にしていく。

循環複合体研究では、図2-3-1のように3つの実験地を設定し、それぞれに指標となる製品を設定しつつ、中核となる転換技術を開発しようとしている。このとき、多様な製品のなかで特定の製品を選び出すことによって製品循環のデザインを具体的に検討できるメリットがあり、次々に対象とする製品を追加していくことで製品循環のパターンとその多

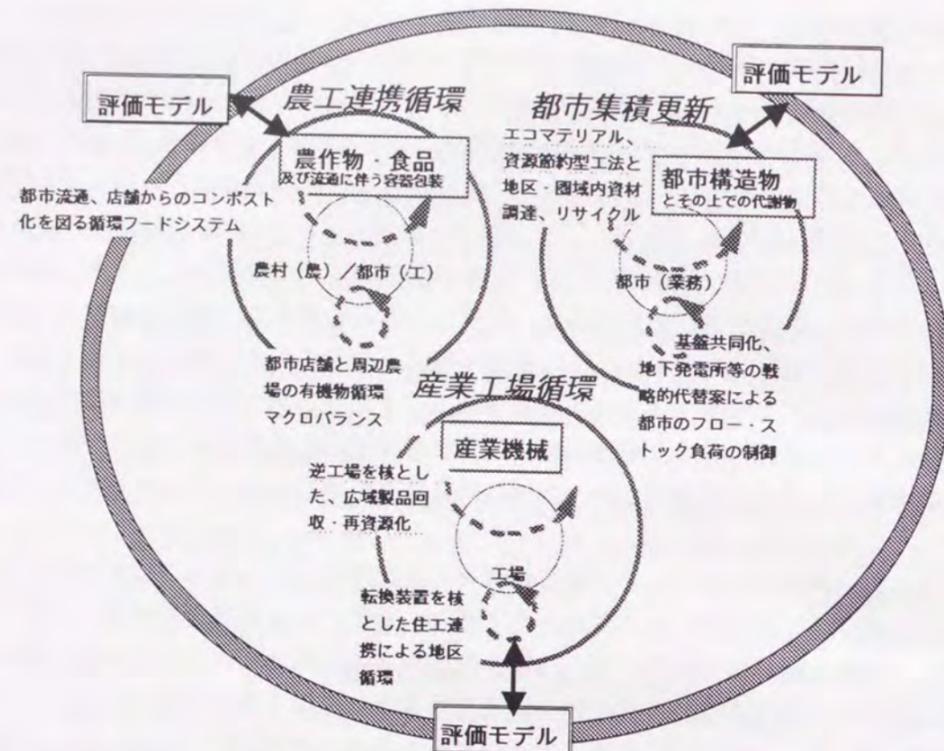


図 2-3-1 循環複合体の全体のシステム

様性を明らかにしていくことができる。同時に製品の分類をおこなった上で、代表とみなしうる製品の循環を検討することによって、人類社会と地域の製品流と物質の流れの全体を明らかにすることも射程におさめることができる。

また代謝体の多様性は、複合の組み合わせによって系統的に把握することができる。3つの実験地では、産業工場と住宅との結合、都市と農村との結合が示されたほかに、都市中心部のビジネスや交流活動に地域エネルギー供給の結合が検討された。そして製品、プロセス、政策のそれぞれの革新を地域複合主体が革新的な代謝結合を通して形成しようとしている。

このように物の流れや代謝を把握することが、環境負荷を低減する施策の段階において重要な要素となるのである。

2. 4 物質の視点をもった概念とその環境影響の低減方法

2. 4. 1 物質の流れからみた産業社会の定義

産業社会すなわち現行市場経済におけるカギをにぎる経済主体(Stakeholder)は、後藤⁹によると図 2-4-1 のように示される。まず経済社会の川上の生産系の産業、つまり素材の生産と製品の生産などの第二次産業と、流通、販売を含む生産系の事業活動が位置する。つぎに川中にニーズや需要構造を決定している消費活動がある。そして川下に、ごみ処理を扱い、廃棄物の管理を行っている自治体などの公共事業体がある。このように、物質代

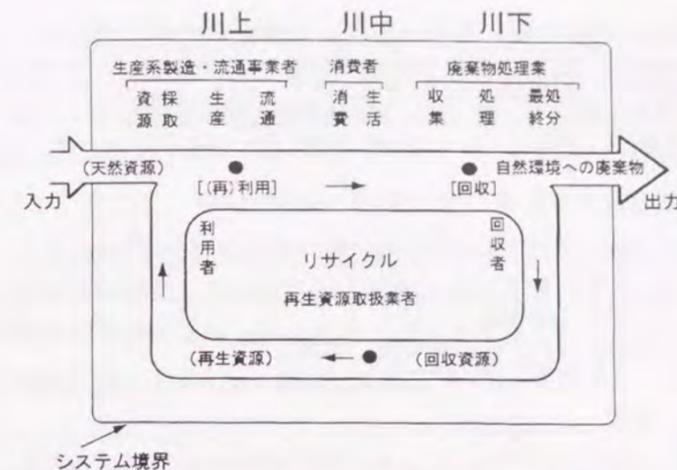


図 2-4-1 リサイクル社会に關与する主体

謝の面で経済社会をみると、大きくは三つの主体からなりたっている。

この産業活動を持続可能なものへ戦略的に転換していくためには、従来の川下からの環境規制を中心とする公害対策やエンド・オブ・パイプ技術(End of Pipe Technology)などのアプローチだけでは到底不可能である。このため、90年代に入って、先進各国政府は環境施策の大きな転換を図り、環境負荷の大元になっている川上、川中の生産・消費の経済主体に自主的な活動転換を積極的に働きかけることになった。そしてこれまでの企業対市民、行政対市民などの社会を構成する主体間相互の対立を脱し、一般社会や市民団体だけでなく、生産や販売にあたる企業や行政が協力し、相互に提案し、情報提供を行い、各々が循環型社会の主体者であるとの自覚と責務を果たし、連携をとることが望まれ、そのための様々な社会的、経済的な仕組みづくりが必要とされ始めたのである。

2. 4. 2 物質の視点からの研究の位置づけ

本項では物質の視点からの概念をいくつか提示し、そこから本研究の位置づけをおこなう。

(1) 物質フロー(Material Flow)

物質フローは、物質の流れそのものであるが、シュミット=ブレイク¹⁰は、人間がその経済的価値のために生産するか、化学変化させた物質の流れだけを対象にせず、物質のどんな動きも、ある場所から別の場所への資源のどんな移動も、エコロジー的諸関連に影響を及ぼす物質の流れと捉えている。そして人間に起因する物質の流れを表 2-4-1 のように分類している。

(2) 物質収支(Material Balance)

グレーデル¹¹は水槽に着目して、水槽中の水位が流れ込む水量と流れ出る水量とで決まることから、入出力の流れを推計または測定し、水槽中の水量を測ることによって全体のバランスをチェックするプロセス、これが収支分析を行うことであることを説明している。収支分析の際用いられる概念がいくつかある。その一つは貯留槽(Reservoir)という概念で、物質が貯留される場所である。二つ目の有用な概念は流束(Flux)で、当該する貯

表 2-4-1 人間に起因する物質の流れの分類

I. 天然素材 (第一次原料)	
1.	土 (表土, 掘削土, 降下灰, 加工された土壌を含む)
2.	地質的原料・建材 (エネルギー源物質, 砂, 砂利, 鉱物, 鉱石を含む)
3.	水
4.	大気
5.	生物的原料 (自然のままの領域, 耕作経営領域から)
II. 中間・最終製品	
1.	第二次・中間工業製品
2.	最終工業製品 (例えば, 殺虫剤, 塗料)
3.	インフラストラクチャー (例えば, 輸送システム, 工場設備, 建物)
4.	包装・梱包
III. 廃棄物	
1.	固体・液体廃棄物
2.	大気への放出物
3.	汚染物質

留槽に単位時間あたり出入りする特定の物質の量のことである。三つ目に、発生源(Sources)と吸収部(Sinks)という概念があり、特定の物質の貯留槽への入力速度と貯留槽中での単位時間あたり消費量をいう。いくつかの貯留槽が連結したシステムで、特定の物質が移動し溜まったりするものはサイクル(Cycle)と呼ばれる。

シュミット=ブレイクは物質収支が次の4つの構成要素からなることを説明している¹²。

第一の構成要素は垂直的分析で、製品のライフサイクルを原料入手から廃棄物処理までのそれぞれの段階に分類し、どのような物質が環境から取り出され、どのような物質が製造時に流入し、どのような前段階製品および副産物が生じるかも考察する。ここで副産物とは、ある段階では廃棄物として除去されるが、別の段階では資源や素材などとして使用できる可能性がある。

第二の構成要素は水平的分析で、ある段階における第一次エネルギーの投入、原料および冷却や洗浄用の水、ならびに大気中への排出、排水および固形廃棄物を考察する。

第三の構成要素は生涯基準で、段階と段階の間の結びつきを考慮に入れる。例えば、何回でも使える製品とリサイクルさせたり再利用する場合には逆方向へも向かうことのできる矢印について、もっと精密に考察する。製品の使用期間や修理回数などに関する情報も認識する。

第四はデータの選択である。理論的には望ましいにしても、実際的に考えると、個々の物質すべてを網羅できるわけではなく、環境というカテゴリーの中でどの量を選ぶべきかを考える必要がある。

(3) 物質代謝(Material Metabolism)

末石¹³は、生物が日々、外界より物質を取り入れ、栄養とエネルギーを得て排泄をおこなうことにより、生命を維持するように、人間活動も生活や生産に必要な様々なものを外界から得て、廃棄することによって、活動を維持することと定義している。

またグレーデルら¹⁴は物質代謝を産業と環境の各領域でそれぞれ次のように定義している。産業の物質代謝(Industrial Metabolism)とは供給サイドと需給側、生産者と消費者と

の間、等々の各主体間のつながりであり、環境の物質代謝(Environmental Metabolism)は生物圏と大気圏との各種関連、河口域水と海水との種々の相互作用等を指す。そして図2-4-2のように産業と環境の間に相互作用が生じていることを表し、これらの事象を包摂するのが産業エコロジーとしている。

西村¹⁵によると、この図は、環境科学者の研究分野(環境の物質代謝)がエンジニアの研究分野(産業界の物質代謝)に接近してきたと考え、産業エコロジーのツールは既存の環境科学と産業活動理念とを包摂する「総合科学」と解釈でき、また逆に、エンジニアの研究分野が環境科学者の研究分野に進出してきたと考え、産業エコロジーのツールは「システム思考によるエコロジー的視点に基づいた産業管理の研究領域」と解釈できるとしている。

本論文では、環境の物質代謝を念頭に置いた上で、事例として取り上げた産業の物質代謝の個々のフローをまず明らかにし、物質収支の水平的分析、垂直的分析を多面的に行い、結果として産業自らが及ぼす環境負荷を削減するようなシステムのモデル構築とシステム管理を図るものと位置づけられる。

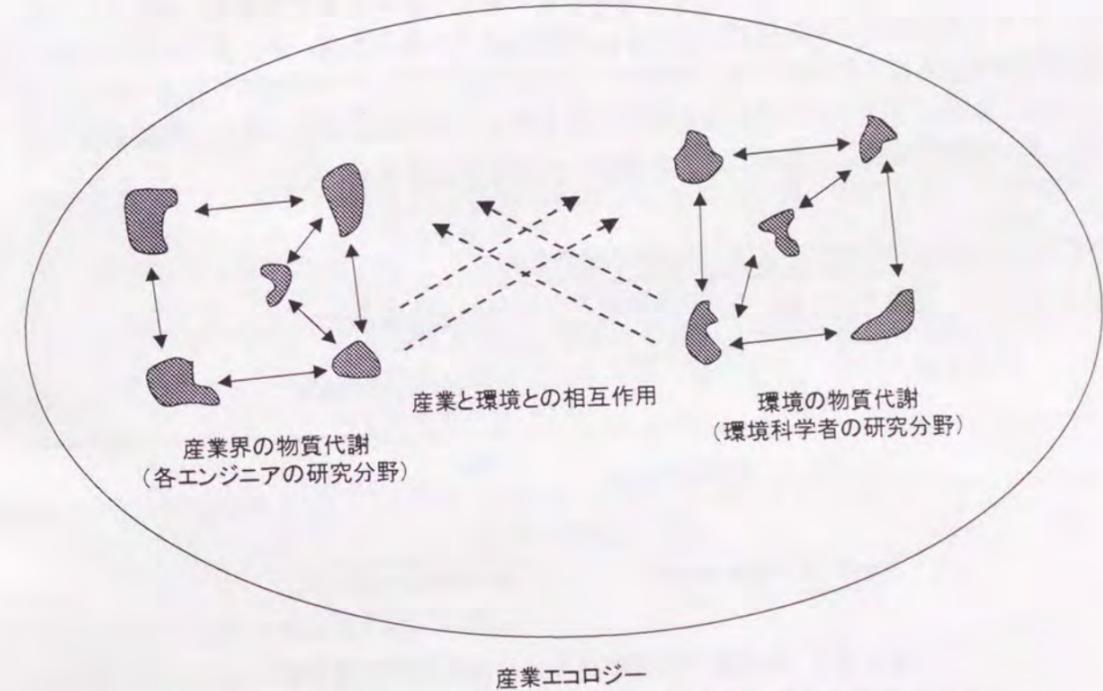


図 2-4-2 産業エコロジーにおける産業と環境の相互作用

2. 4. 3 物質の種類とスペクトル

産業活動では相当量の各種物質を環境に排出している。産業の物質代謝を描くとき、その物質には以下が挙げられる。

- 微量金属類：アンチモン，ヒ素，カドミウム，クロム，鉛，水銀，セレンなど
- プラスチック類：熱可塑性，熱硬化性
- 古紙類
- 動植物性残さ
- 汚泥類
- 栄養塩類：窒素，磷，カリウム
- 廃溶媒：トルエン，キシレンなど
- 二酸化炭素
- メタン
- 揮発性有機炭素化合物：VOCs
- 酸化窒素，二酸化窒素：NO_x
- 二酸化硫黄：SO₂

物質を区分するとき，組成，量，大きさ，濃度などの視点があるが，ここでは排出の量の規模の視点から物質のスペクトルを図 2-4-3 に示す．物質を量で見ると，マクロな物質からマイクロな物質に対象を移すにつれて，地域における循環形成，排出量の削減と処理，移動管理をともなう排出最小化と無害化といった方策によって環境負荷の低減を図ることになる．本論文ではマクロ物質またはマイクロ物質の一方に限定せず，幅広く物質を取り上げ，それぞれの物質による環境負荷の低減への方策を考察する．

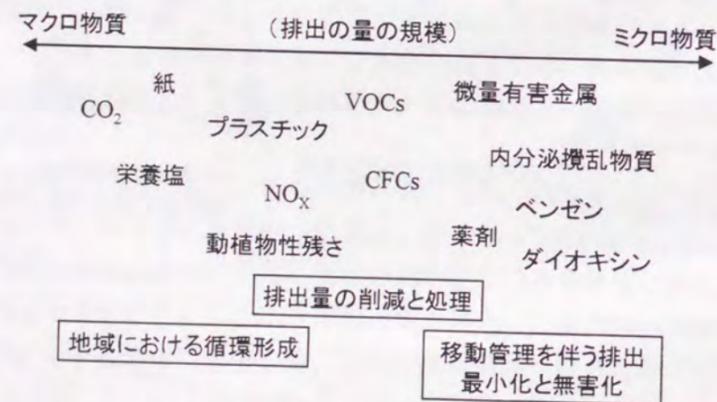


図 2-4-3 排出量の規模の視点からの物質スペクトル

2. 4. 4 マクロな物質の環境影響の最小化手法

マクロな物質による環境影響を少なくするためには，物質そのものの使用の減量化，代替を進めると同時に，図 2-4-4 のような自然循環を模した物質の循環を形成する必要がある．そのとき人為的なリサイクルの概念が必要となるが，表 2-4-2 のように多様な概念が規定されている．

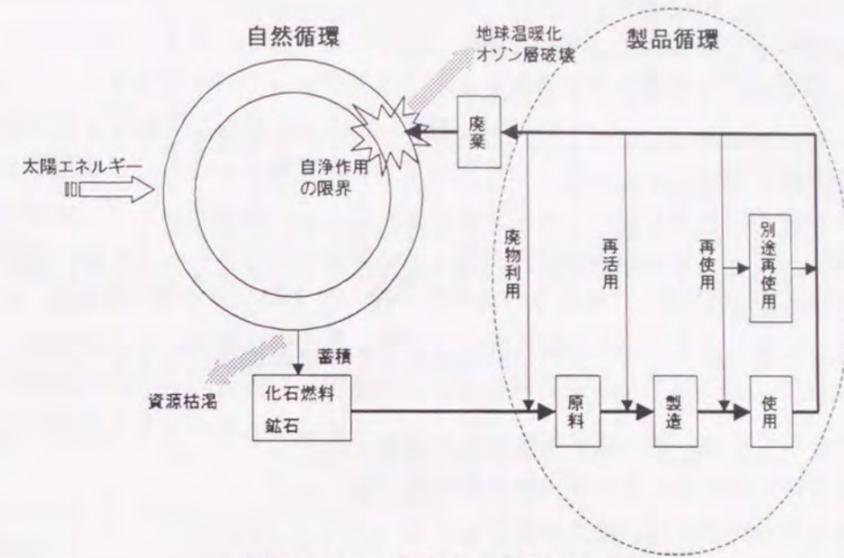


図 2-4-4 工業製品の循環の仕組み

表 2-4-2 リサイクルの多様な概念規定¹⁶⁾

概念	内容	例
1 繰り返しリユース	初回の利用目的で製品を繰り返し使用	デポジットビン 交換可能なモーター
2 別用途リユース	生産された最初の利用目的とは違う用途で製品を使用	マスタードの容器を コップとして利用
3 部分マテリアルリサイクル	使用済みの原料や製品を完全にあるいは部分的に形を変えて再利用	ガラス製造に古ガラスを使用
4 完全マテリアルリサイクル	原料や製品を新しい材料や製品に変形して利用．素材としての同一性を失い，前の形状は変化	紙の廃棄物からダンボール紙を生産

こうした概念のもとに，以下のようなマクロ物質を少なくする一般的アプローチが考えられる．

(1) 使用原材料物質の最小化

- ・材料の強度分析を含む注意深い設計
- ・新素材や従来なかった材料物質を使うことで，従来の使用量を大幅に削減する
- ・多くの原材料物質からなる製品を，他のシンプルな物質で代替する

(2) エネルギーの最小化

- ・暖房・換気・空調機器の維持管理
- ・照明設備の省エネ改善
- ・コジェネレーションの導入
- ・エネルギーシステムの維持・管理

(3) 容器包装材の最小化

- ・パッケージング仕様に準拠するものの、できるだけ量を最小にする
 - ・繰り返し使用できるパッケージングを選択する
 - ・天然素材を使ったパッケージングを選択する
 - ・リサイクル性の良い原材料でつくられるパッケージングを選択する
- (4) 製品使用時の廃棄物の最小化
- ・消耗品が一度返却されたら直ちにリサイクルされるように設計する
 - ・ユーザーがその消耗品をリサイクルの目的で返却しやすいような方式やそれをサポートするインフラを整備する
 - ・使用する物質の量を最小にし、かつこれらの物質で環境影響の少ないものだけを使用する
 - ・排気、排水をなくすか、最小にする製品設計をおこなう
- (5) 製品使用時におけるエネルギー使用量の最小化
- ・製品のエネルギー効率の高い省エネ設計をする
 - ・省エネルギーの努力を促す立法措置などにより使用時の負荷を少なくする

2. 4. 5 ミクロな物質の環境影響の最小化手法

ミクロな物質による環境影響を少なくするためには、循環の形成ではなく、物質の環境中への漏れだしや残存を少なくする必要がある。ここでは以下のようなミクロ物質の環境影響を少なくする一般的アプローチを指摘する。

(1) 毒性をもつ化学物質の最小化

- ・最終製品の有害化学物質について、その代替品を調査・検討する
- ・中間生成物として有害化学物質が使われている製造プロセスについて、そのプロセスでの別の合成ルートを開発する
- ・有害化学物質の効用が特に不可欠なプロセスについては、これらの使用量を最小にする

(2) 意図的に散逸される製品物質の最小化

- ・パッケージング量や製品物質量をできるだけ最小にする
- ・環境に負担がかからない形で劣化するように設計する

上記のように物質の使用量低減と代替化が主なアプローチとなるが、一般的に製品中のミクロな物質の混入量や、環境に排出される量の把握が難しく、環境影響を捉えにくいのが現状である。現況の環境負荷を把握するためには、まずその物質の使用状況や環境への排出・移動を把握し、そのための体制を整えることが先決とされている。

2. 5 本章のまとめ

本章では、まず産業社会と環境とを結びつけるシステムに関するアプローチの中で、持続可能な発展に最も適切な方法として、産業エコロジーの概念を示した。そして産業のあらゆる物質循環の最適化を追究するべく、産業社会を構造的に転換するためのシステム認識として、物質収支の適用の必要性を述べた。

また産業社会を環境保全型に転換する概念として、循環複合体の概念を示した。そして複数の主体が副産物の資源化で結びついた関係を発展させていくための技術や社会的要因

を明確にする時に、最初の段階として物質の流れや代謝を把握することの重要性を述べた。その物質の流れに着目すると、産業社会は川上の生産・流通、川中の消費、川下の廃棄物処理の三つの大きな主体からなることを示し、それぞれの主体が相互提案、情報提供などの形で連携し、循環型社会をつくる必要性を述べた。

物質の視点からシステムを観察するとき必要となる概念として、物質フロー、物質収支、物質代謝についてそれぞれ説明した後、マクロ物質による環境影響の最小化として、使用原材料物質の最小化、エネルギーの最小化、容器包装材の最小化、製品使用時のエネルギー使用量・廃棄物の最小化に関する一般的アプローチを示し、循環形成の重要性を示した。またミクロ物質による環境影響の最小化としては循環形成のアプローチではなく、毒性をもつ化学物質の最小化、意図的に散逸させる製品物質の最小化による、物質そのものを最小化する一般的アプローチを示した。

[参考文献]

- ¹ B.R.Allenby(1992) Industrial Ecology: The Materials Scientist in an Environmentally-constrained World, MRS Bulletin 17(3),46-51
- ² T.E.Graedel & B.R.Allenby 後藤典弘訳(1996) 産業エコロジー, 株式会社トッパン, 73-76
- ³ B.R.Allenby & D.J.Richards (Eds.) (1994) The Greening of Industrial Ecosystems, National Academy Press, Washington, D.C., 259
- ⁴ T.E.Graedel & B.R.Allenby(1996) 前掲書, 452
- ⁵ 後藤典弘(1996) 環境分野における評価の意義と変遷, 安全工学 35(6), 386-391
- ⁶ T.E.Graedel & B.R.Allenby(1996) 前掲書, 12
- ⁷ 盛岡通(1998) 産業社会は廃棄物ゼロをめざす, 森北出版, 103-118
- ⁸ T.Morioka(1999) Constructing Recycle-Oriented Industrial Complex with Environmentally Sound Technology. Proceeding of CREST International Workshop 1999, 2-14
- ⁹ 後藤典弘(1996) 「産業エコロジーのすすめ」環境負荷の少ない産業活動の実践論, グローバルネット No.71, 4-5
- ¹⁰ F.Schmidt-Bleek 佐々木建訳(1997) ファクター10, シュプリンガー・フェアラーク東京, 37-38
- ¹¹ T.E.Graedel & B.R.Allenby(1996) 前掲書, 104-105
- ¹² F.Schmidt-Bleek(1997) 前掲書, 333-341
- ¹³ 末石富太郎(1993) 環境計画論, 森北出版, 25
- ¹⁴ T.E.Graedel & B.R.Allenby(1996) 前掲書, 11-12
- ¹⁵ 西村悟(1998) インダストリアル・エコロジーと地域振興[1], 産業と環境 1998.04, 56-61
- ¹⁶ F.Schmidt-Bleek(1997) 前掲書, 189

第3章 事業所と産業組織の環境施策の道具的特徴

3.1 緒言

本章では、まず産業社会を持続可能な社会に構造転換するアプローチとして、技術的手法、経済的手法、制度的手法の3つの手法を提示する。その中で、特に技術的手法を本論文で主に取り上げ、その際の環境負荷定量化のための評価手法の必要性を述べる。

次に技術的手法をさらに詳細に示す。その内容は3Pアプローチと呼ばれるプロセス・アプローチ、プロダクト・アプローチ、エンジニアリング・ポリシー・アプローチであり、それぞれの手法で主に用いられる環境負荷定量化のための評価手法として、ライフサイクルアセスメント、マテリアルフロー分析および評価のための情報を提供する化学物質管理制度についてそれぞれ概要を示す。

最後に、環境資源勘定の視点および物質の排出量の規模の視点から、提示した各評価手法の関連性を示す。そして次章以降に取り上げる研究の各特徴を示す。

3.2 持続可能な産業社会への転換の方法

後藤¹⁾によると、この産業社会を持続可能な社会に構造転換する方法として、大きくわけて表3-2-1のように三つの手法がある。

表3-2-1 持続可能な産業社会への転換の方法

(1) 技術的方法	
3つのP	① プロダクト・アプローチ ② プロセス・アプローチ ③ エンジニアリング・ポリシー・アプローチ
3つのステージ	① 持続可能な生産、特にEMSや清浄生産工程 ② 持続可能な消費、特にラベリングやグリーン購入 ③ 持続可能な廃棄物管理、特にリサイクル(回収再生利用)
(2) 経済的手法(OECD, 1991)	
	① 税および補助金 ② 排出権売買 ③ デポジット制 ④ 各種助成措置
(3) 制度的アプローチ(例えば廃棄物・リサイクル関連法の整備)	

一番目の手法が技術的な手法で、ハードな技術だけではなく、経営技術というようなソフトの技術もふくまれる。次節に詳細に示すように3つのアプローチがある。

二番目の手法は経済的手法であり、現在のように外部不経済と見なされる環境影響を放置した市場経済のままでは、どうしても構造的に持続可能な方向に産業社会は転換できないため、環境価値を経済に内部化して、環境を正当に評価する手法が必要である。1980年代に先進国の国際機関であるOECDが様々なケーススタディを実施しており、1991年にOECDの理事会勧告として、経済的手法を活用すべきことを述べている。そ

の内容は表3-2-1のように4つの手法に分類している。一つは税および課徴金というカテゴリーで、次にCOP3京都会議で正式に議論された排出権取引の枠組みであり、3番目がデポジット制度、4番目は助成処置である。表3-2-2にOECD加盟国における廃棄物処理と製品に係わる環境税や課徴金の概要²⁾を示す。上の部分が電池、プラスチック袋、タイヤなどの製品課徴金であり、下側が埋立課徴金を示している。この表から、日本は空欄のままであり、経済的なアプローチは導入されていないことがわかる。

表3-2-2 OECD加盟国における廃棄物処理と製品に係わる環境税や課徴金の概要

環境税当の手法	オーストラリア	オーストリア	ベルギー	カナダ	チェコ	デンマーク	フィンランド	フランス	ドイツ	ギリシャ	ハンガリー	アイスランド	アイルランド	イタリア	日本	ルクセンブルク	メキシコ	オランダ	ニュージーランド	ノルウェー	ポーランド	ポルトガル	スペイン	スウェーデン	スイス	トルコ	イギリス	アメリカ
製品:																												
電池			○			○	○				○	○												○	○			
プラスチック袋			○			○	○				○	○									○	○						
使い捨て容器			○			○	○				○	○									○	○						
タイヤ				○		○	○				○	○															○	
CFC/ハロン						○	○				○	○															○	
使い捨てカミソリ	○																											
使い捨てカメラ			○																									
潤滑油課徴金								○												○								
油汚濁課徴金	○							○																				
溶剤							○																					
廃棄物処理・管理の課徴金				○		○	○	○	○	○	○	○	○	○														
一般廃棄物課徴金	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○													○	
廃棄物処理課徴金	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○														
有害廃棄物課徴金	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○														
埋立税 課徴金																												

さらに、これらの技術的手法、経済的手法ができて、どうしても構造的に転換が図れない部分、すなわち制度としての法律や社会制度を根本的に変える必要がある。国民政府のレベルでの法制度として、リサイクルあるいは商品と財のクローズドループ化の制度化が注目されている。その代表がドイツの通称「循環経済法」である。ここではこれまでのように製品が廃棄された後、行政などがごみとして処理する方法をやめて、製造者が販売した後の製品がリサイクルされるようにより明確に責任を果たす考え方を基軸にしている。すなわち、外部不経済を内部化するのに、公平、透明、簡素、計算可能そして説明責任などの原則に照らし合わせてルールをつくった上で、経済主体が競争をしようという方向が主流となっている。循環型社会を形成する上では、製造者の責任はその製品のリサイクルの段階にまで及ぶというルールである。

このルールは、拡張された製造者責任(Extended Producer's Responsibility; EPR)と呼ばれている。リサイクルに生産者が要した費用は、生産者の経済勘定に一度内部化され、ついで商品価格に上乗せする形で消費者に転嫁される。日本では、家電製品のリサイクルについて「家電製品リサイクル法」により品目を指定して、製造者の再生と資源化の責任を明記しつつ、リサイクルに要する費用を消費者が不用品として排出する段階で支払うしくみを採用した。

これらの三つの技術的手法、経済的手法、そして社会制度的手法を的確に組み合わせることで、初めて現在の持続不可能な先進国の産業社会を持続可能な方向に転換を図ることができる。本論文ではこの3つの手法の中で特に技術的手法を取り上げ、持続可能な産業社会への転換に向けた事業所の取り組みの事例を扱う。

3.3 技術的手法における3Pアプローチ

本節では、持続可能な産業社会への転換の方法の一つである技術的手法を取り上げる。このとき、企業は自発的にまた計画的、戦略的に多様な取り組みを行うことによって、自らの事業活動に伴う環境負荷を低減することが目的となる。個別の企業の具体的な取り組みには各種各様なものがあるが、後藤³はこれらを表3-3-1に示すように大まかに分類し、全体を事業者の「3Pアプローチ」と呼んでいる。

表 3-3-1 事業者による環境負荷低減のための「3Pのアプローチ」

● PROCESS：企業のプロセス設計およびその運用の見直し転換 手法：EMS, EPE(Environmental Performance Evaluation), LCA(Life Cycle Assessment), etc.
● PRODUCT：企業の製品・容器包装設計およびサービスの見直し転換 手法：LCA, LCI(Life Cycle Inventory), Ecobalance, DFE(Design For Environment), DFR(Design For Recycling), PA(Product Assessment), EL(Environmental Labelling), etc.
● ENGINEERING POLICY：企業の経営方針の見直し転換 手法：BS7750, EMAS(Eco-Management & Audit Scheme), EMS(Environmental Management System), EA(Environmental Auditing), etc.

これらのアプローチは、表3-3-2に示すように、個別技術の開発、環境パフォーマンスの指標化という技術的側面もあれば、事業所における役割分担や意思決定に関する組織的側面や、社会システムを構築するところの社会的側面もある。その中で、プロセス、製品、エンジニアリング政策の環境適合性を議論するとき、技術的側面が最初に行われるべき大きい側面であることから、本論文では技術的側面を中心に取り上げる。

表 3-3-2 3Pアプローチのもつ様々な側面

	プロセス・アプローチ	プロダクト・アプローチ	エンジニアリング・ポリシー・アプローチ
技術的側面	● クリーナー・テクノロジー ● 省エネ、省資材 ● 廃棄物排出低減	● 転換技術を用いた再資源化	● EMSによるパフォーマンスと指標化
組織的側面	● 現場教育	● 主体間の協力・連携	● マネジメント手順 ● 役割分担、意思決定
社会的側面	● ゼロエミッション	● マニフェスト制度 ● 化学物質安全性データシート	● ISO国際規格 ● 有害化学物質排出移動登録

そして、このような取り組みを、会社全体で、工場などの各事業現場で、またサプライヤーなどの関連するほかの企業や消費者といった異なる主体を巻き込み連携し実施していくには、事業活動に伴う環境負荷の定量化ができるような、チェック機能を含むそれなりの効果的な体系的評価手法が必要になる。

一方、循環複合体研究(ReCycle-oriented Industrial Complex Project; CCP)では、次の二つのアプローチを活用することを提示している⁴。

- 製品連鎖アプローチ(Product Chain Approach)
- 代謝収支アプローチ(Metabolism Dynamics Approach)

製品の流れに沿った製品連鎖アプローチでは、ライフサイクルで見た拡大生産者責任を原則とした製品政策を産み出している。この製品政策も環境商品のデザインとして産業主体の関心の領域で論じられるものと、環境配慮の情動的コミュニケーションのプラットフォームづくり、リサイクルや中古製品保証などに関する情報インフラの構築といった、より社会システムに近い領域で論じられるものがある。

組織体や地域の物質代謝に対する代謝収支アプローチでは、産業連鎖や資源の代替性を検討し、環境負荷を最小にしていく技術と政策を産み出している。物質収支と並行して作用と反応の力学的もしくは構造生成的な表現によって分析と評価およびデザインを可能としている。

CCPをこの2つのアプローチといくつかの幅をもつ領域区分で位置づけると、技術的次元と組織的次元、社会的次元の3つの次元(Dimension)で考えるのが妥当である。

第一の技術的次元とは CCP の中心をなす技術開発であり、物質代謝(Material Metabolism)には環境調和型の転換技術を開発し、他方で製品連鎖(Product Chain)には経済主体間の情報コミュニケーションによる環境価値を内包した循環型マネジメント技術を開発することをねらっている。

第二の組織的次元では、物質代謝には事業所の現場のマネジメント手順や役割分担を開発し、他方で製品連鎖では回収と再資源化における循環形成の手順や役割配分を開発することに相当する。異なった主体間の調整と協力、連携を進展させることにより、循環形成や環境負荷の最小化をねらっている。

第三の社会的次元では、物質代謝には再資源化やゼロエミッションを促す社会システムを構築することに相当し、他方、製品連鎖では製品の長寿命化や回収、再生利用を促す社会システムを構築することに相当する。

以上、3Pアプローチと CCP のアプローチをそれぞれ提示したが、本節では3Pアプローチの各手法についてそれぞれ詳細に説明するとともに、それらと関連して本論文で使用される評価手法について概要を示す。

3.3.1 プロセス・アプローチ(Process Approach)

生産系や流通系の企業は必ず何らかのプロセス(Process)を持っており、そのプロセス

自身を設計の段階から根本的に見直していく。設備投資で新たなプロセスを導入する時には設計そのものから見直しを行い、運用のオペレーションの段階ではプロセス制御の方式を見直していくものである。第4章では、一つの工場の様々なプロセスを対象に生産方法や排水処理方法などの転換を図っている。

その評価手法として、環境パフォーマンス評価 (Environmental Performance Evaluation; EPE) やライフサイクル評価 (Life Cycle Assessment; LCA) が提供されている。第4章では工場のプロセスで発生する環境負荷の定量化のために LCA を道具として用いている。

LCA はマクロな特定の物質や元素に着目した分析であるが、ある一面的な要素だけに着目するのではなく、製品の「ゆりかごから墓場まで(from the Cradle to the Grave)」を考え、なるべく定量的かつ総合的に評価するものである。LCA は基本的に表 3-3-3 の4つの段階(Phase)から構成される⁵。

表 3-3-3 LCA の4つの段階

①目的の設定と範囲の明確化(Goal Definition and Scoping); 課題を定義し、目的、対象の範囲と単位、対象ステージ等の要件を設定すること
②インベントリー分析(データ調査; Inventory Analysis); ライフサイクルの各プロセスでの物質、エネルギーのインプットとアウトプットの詳細な調査
③環境負荷影響評価(Impact Assessment); 調査されたデータのインプットとアウトプットの環境問題との関連づけを行い、これを分析し評価する
④環境負荷改善評価(Improvement Assessment); 一般的な環境負荷などを改善するための変更点の抽出など

④の環境負荷改善評価は、インベントリー分析と環境負荷影響評価の結果を評価するという手法の最終段階ではなく、さらに製品関連システムの改善計画という適用段階までを言及している。しかし国際標準化機構(International Standard Organization; ISO)における標準化・規格化という観点からは、④のすべてを検討対象とはせず、図 3-3-1

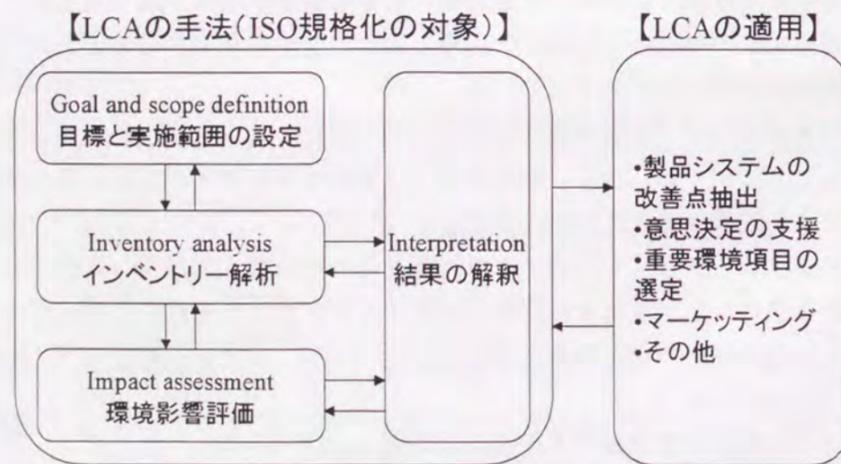


図 3-3-1 ISO による LCA のフェイズ

のようにフェイズ①～③はそのまま従来通りとし、フェイズ④は結果の解釈 (Interpretation)の部分だけに限定して LCA 手法を構成し、LCA の手法と適用を明確に分離している。

本論文では、LCA によるインベントリー分析・インパクト分析の結果をもとに、事業所のプロセスにおける環境負荷低減のための留意点について解釈を試みる。

3.3.2 プロダクト・アプローチ(Product Approach)

すべての企業は何らかの形の製品やサービスを世の中に提供して存在しており、設計段階やサービスのあり方も根本的に見直ししながら、製品を徹底して持続可能な物に転換する。産業界では、LCA のみならず、エコデザイン (Eco Design)、環境適合設計法 (Design for Environment; DFE) やリサイクル設計法 (Design for Recycling) などの方法で、製品などを徹底して見直す方向を採用している。第5章では食品というプロダクトを対象に、都市の中で発生する環境負荷を LCA で評価するが、そのインベントリー分析のベースとなる情報を得るために、マテリアルフロー分析 (Material Flow Analysis; MFA)を行った。

マテリアルフロー分析とは、ある着目した系に投入される資源やエネルギーと、系から産出される製品、副産物、廃棄物、汚染物質などについて、その総量や特定の物質の量、これらの収支バランスを、体系的・定量的に把握する手法の総称である。分析の対象とする系は、生産工程、事業所、産業部門、地域、国などさまざまな単位が考えられる。

天野⁶は、マテリアルフロー分析の利点として以下に言及している。

一つには、産業への資源投入のみを対象にするため、LCA と比べてデータの収集が容易であり、収集したデータから指標を作成する段階で LCA のような重み付けなど不要で、環境負荷評価のための指標の算出にもあまり時間を要しない。よってマテリアルフロー分析を用いることにより、LCA などの環境評価手法と比べ、短時間で容易に指標を得られ、迅速に評価を行うのに適した方法である。第二に、マテリアルフロー分析で得られる指標は、詳細な環境負荷に関するの評価を実施することは不可能であるが、環境負荷発生の可能性の大きさを評価できるため、事前分析として有用である。さらにマテリアルフロー分析で得られた指標やデータを元にして後に重み付けすることも可能であり、LCA のような総合的な環境評価も可能となる。また資源の投入以後のデータを補完すれば、そのまま LCA へ拡張できる。

本論文では、上記利点を考慮に入れながら、食品の加工・流通・消費に関するマテリアルフロー分析を実施、その情報をもとに LCA を用いて環境負荷低減の効果の評価をおこなう。

3.3.3 エンジニアリング・ポリシー・アプローチ(Engineering Policy Approach)

企業は販売している製品あるいは行っているプロセスだけではなく、企業の経営そのもの、経営の方針、経営の戦略を見直そうとしている。すでに世界中の先進国の多くの

図 3-4-1 に示すように、循環複合体研究では、MFA のような収支型手法がメタボリズム・ダイナミックス・アプローチへ、LCA のようなサイクル型手法が製品連鎖アプローチへと発展している。

次章以降の各技術的アプローチは表 3-4-1 に示すように比較できる。第 4 章では CO₂ 排出量、NO_x 排出量、COD 排出量や固形廃棄物量のようなマクロな物質に着目した LCA を実施する。第 5 章でも有機物、エネルギーや副産物、廃棄物などマクロな物質の MFA および LCA を評価の道具として扱う。一方、第 6 章では発ガン物質、ダイオキシンや内分泌攪乱物質などのマイクロ有害化学物質の排出移動量の推計を MFA の考え方をもとに考察する。

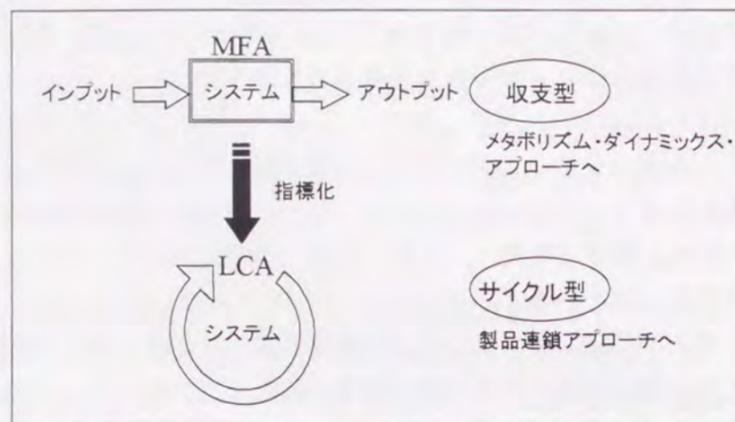


図 3-4-1 物質の視点からの評価手法および循環複合体研究のアプローチとの関連性

表 3-4-1 本研究における 3P アプローチの特徴

	第 4 章	第 5 章	第 6 章
技術的アプローチ	プロセス・アプローチ	プロダクト・アプローチ	エンジニアリング・ポリシー・アプローチ
対象主体の空間軸	オンサイトとしての工場プロセス	地域レベルでの都市部に位置するフードシステム	地域レベルを視野に入れたオンサイトの流通システム
対象物質と最小化	マクロ物質の排出最小化 (資材, エネルギー, 固形廃棄物)	マクロ物質の循環形成 (有機物)	マイクロ物質の代替による無害化 (製品に混入する有害化学物質)
定量的評価の道具	LCA	MFA, LCA	MFA の考え方をマイクロ物質に応用

3.5 本章のまとめ

本章ではまず、産業社会を持続可能な社会に構造転換する方法として、技術的手法、経済的手法、制度的手法の 3 つのアプローチの概念を示した。そしてこれらの手法を組み合わせることにより、現在の持続不可能な先進国の産業社会を転換できる可能性を示した。

次に、上記の手法の中から技術的手法を取り上げ、3P アプローチとして分類すると同時に、異なる主体を巻き込み連携し、取り組みを実施するための事業活動に伴う環境負荷定量化の評価手法について概要を示した。

1 番目にプロセス・アプローチとして、生産・流通に関するプロセスを設計段階、運

用段階の両方を見直すアプローチを示した。そのとき有効な評価手法として LCA の概要を示した。

2 番目にプロダクト・アプローチとして、製品やサービスを徹底して持続可能な物に転換するアプローチを示した。ここでは評価手法としてマテリアルフロー分析の概要を示し、これから得られる情報をもとに LCA を行う利点を述べた。

3 番目にエンジニアリング・ポリシー・アプローチとして、企業の経営そのもの、経営の方針、経営の戦略を見直すアプローチを示した。ここでは環境マネジメントシステムを構築する際の、化学物質に関する有効な情報を提供する制度として、PRTR をはじめ MSDS やレスポンシブルケアの概要を示した。

最後に、環境負荷評価手法の関連性を二通りの方法で示した。一つは環境資源勘定の視点から、マテリアルフロー分析をマクロなアプローチと定義して、LCA や PRTR における化学物質の環境への排出量の推定をマイクロなアプローチと定義した。一方、物質の視点からは、物質収支の事実を表現する MFA と、それを指標化してライフサイクルで物質の環境影響をみる LCA を定義し、それぞれの循環複合体で用いるアプローチとの関連性を示した。そして次章以降の各アプローチの比較をおこなった。

[参考文献]

- 1 盛岡通(1998) 産業社会は廃棄物ゼロをめざす, 森北出版, 93
- 2 環境庁企画調整局調査企画室(1997) 環境白書(総説)平成9年度版, 大蔵省印刷局, 212
- 3 後藤典弘(1996) 環境分野における評価の意義と変遷, 安全工学 35(6), 386-391
- 4 盛岡通(1999) 環境負荷の小さい循環複合体の構築をめざす試み, 1999 年土木学会地域シンポジウム講演集, 74-82
- 5 環境庁企画調整局環境技術課監修(1996) 「ライフサイクルアセスメントの実践」環境負荷低減を目指して, 化学工業日報社, 14
- 6 天野耕二, 村田真樹(1998) マテリアルフロー分析を用いたセメント・コンクリート産業の環境負荷評価, 環境システム研究 26, 391-396
- 7 化学物質の新しい手法「PRTR」とは何か, 化学工業日報社, 188, 1997
- 8 森口祐一(1997) マテリアルフロー分析からみた人間活動と環境負荷, 環境システム研究 25, 557-568
- 9 環境庁リスク対策研究会監修(1997) PRTR パイロット事業排出量推計マニュアル, 化学工業日報社
- 10 オランダ CML, RIVM 松崎早苗訳(1997) 有害物質の LCA インパクト・アセスメント, 産業環境管理協会, 109

第4章 薄板鋼板めっき工場におけるプロセスの環境負荷の評価

4.1 生産工場における環境に対する取り組み

環境に対する取り組みは、工場などの生産現場の操業プロセス、とりわけ汚染物の排出の改善から始まった。そして、発生した汚水には添加物を加えたり、反応を促したあとで、汚泥として汚染物を除去することがまず採用された。排ガスに対しても同様に微粒子の分離技術を実施したため、多くの場合に処理技術は大気や水の中の汚染物を固体に転換して安定化する働きをしたことになる。

生産プロセスを変えるには、技術的な見通しをえることが必要であり、一般的には新規設備投資の費用も膨大になる。そこで過去には生産プロセスの主たる部分を変えずに、末端に環境汚染防止機器のようなエンド・オブ・パイプ技術(end-of-pipe technology)を付け加えることで、環境規制に対処してきた。その結果、出口のところで汚染物を1/2～1/4に削減でき、それが各工場に普及することで周辺地域の環境が改善された。

環境問題が、典型7公害に代表される局所的・地域的なものとどまっていた時期では、こうした処理技術が有効な環境対策となり、日本は産業公害の克服でまれにみる成功をおさめることができた。汚染対策を産業化することにより、国民経済のレベルでも経済成長に寄与することになった。

他方、大量に発生する固体廃棄物を焼却し大気中に排ガスを還元したので、形を変えて環境に対する負荷を移転したにすぎない。見方を変えると、気体、液体、固体の三つの相のうち、環境の規制がもっとも緩やかであった固体相に環境負荷が移動したとみなすこともできる。またエンドオブパイプ技術の効果は、生産規模や産業規模が大きくなるにつれて、薄められ除去されずに残された汚染物が無視できなくなり、汚泥や焼却灰などの中から新たに汚染物が発見されることも少なくない。

このように公害防止技術、エンドオブパイプ技術のみでは、トータルの環境負荷を低減するには限界がある。それに対して、物の流れのより上流である製品の生産過程から、廃物の発生抑制、資源・エネルギーの使用抑制を念頭においたものがクリーナープロダクション(Cleaner Production)の考え方であり、そのために生産の主たる装置を廃棄物や汚染物を発生しにくい生産プロセスとする技術がクリーナーテクノロジー(Cleaner Technology)である。そして事業者の側からみても、生産効率を上げつつ環境保全の効果も大幅に向上させるように製造プロセス全体を見直したほうが経済的にも有利となることが考えられる。

本章では、産業社会を持続可能な社会に構造転換する手法の一つである技術的手法の中で、プロセス・アプローチを取り上げる。素材加工のプロセスを持つ工場を対象に、品質向上、生産効率向上などを目的とした5つの改善事例について、それらの環境に対する影響への寄与を、LCAを道具として環境負荷の定量化を試みた。

最近では、製品ライフサイクルのどのステージにおいても多数のLCA研究がおこなわれているが、二酸化炭素やエネルギー消費を指標とした研究だけでなく、永田ら¹にみられるようなNO_x/SO_x排出量やBOD/COD排出量を指標にした研究も増えてきている。一方、インベントリー分析にとどまらず、小関ら²やCeuterik³らのように、

既存のデータベースを用いてインパクト分析まで試みた研究も行われている。しかしほとんどの研究は個別の工場や製品に特化した研究であり、通常の事業活動における環境改善のための方向性を示したのではない。

本章のLCA研究の意義は、インベントリー分析・インパクト分析の結果をさらに改善分析、解釈することで、産業活動による地域的環境影響を低減させるような、事前の環境計画の際の、環境影響を低減するための視点、留意点を提示し、クリーナーテクノロジーの有効性を考察するものである。

4.2 LCAのインベントリー分析の目的の明確化とデータ収集

LCA研究は次の6つに分類される⁴。

- ①製品・製法などの変更・改良に伴う環境負荷の評価
- ②環境目標値、基準値に対する達成度の評価
- ③環境負荷低減面からの製品・製法などの改善点の抽出
- ④製品間の環境負荷の比較
- ⑤流通・処理・リサイクルなど社会システムの検討評価
- ⑥ライフスタイルの評価と改善目標の抽出

本章のLCA研究は、①の製品・製法などの変更・改良に伴う環境負荷の評価にあたるものである。本節では、LCAの手順に沿ってインベントリー分析のためのデータ収集をおこなう。

4.2.1 スコーピング

生産プロセスはおおまかには素材加工と組み立ての二種類に分類できる。各プロセスにおいて、オペレーションに必要なエネルギーや資材、排出される廃棄物は表4-2-1のような特徴をもっている。

本章で対象とする工場は大阪府南部に位置し、素材加工のプロセスを持つ。薄板の鋼板を中心的な製品として生産し、自動車、建築、電気など様々なユーザーの多岐に渡る用途に使用される素材を供給している。その工場の概要を表4-2-2に、主要な鋼板製造プロセスを図4-2-1に示す。製造-使用-廃棄という鋼板のライフサイクルの各段階のなかで、工場内での製造段階の環境負荷を中軸とし、その使用段階、廃棄段階の環境負荷を視野におさめて分析評価する。対象事業所が大都市圏の密集した工業専用地域にあり、かつ住宅地域にも隣接しているため、地域内の環境改善にも注意を払う必要があるため、まず製造段階における環境負荷を中心的に取り上げる。

表4-2-1 生産プロセスの種類とオペレーションの収支内容

プロセスの種類	インプット項目	アウトプット項目
素材加工	熱エネルギー、各種化学物質	各種汚泥、排水、排気
組み立て	動力、機械部品	多種多様な端材

表 4-2-2 対象工場の概要

項目	内容
工場設立年度	1963 年
敷地面積	396,619m ²
主製品	亜鉛, アルミ, 銅などのめっき鋼板
年間鋼板生産量	1,600,000 ton/年
エネルギー年間使用量	電気: 370,000MWh/年, ガス: 71,400,000m ³ /年



図 4-2-1 対象工場の主要な製造プロセス

4. 2. 2 インベントリ分析の前提条件

(1) 環境負荷指標(Environmental Loading Indicator)

取り上げた環境負荷の指標を表 4-2-3 に示す。各改善事例を比較し相対評価するために、対象ラインの鋼板生産量 1 トン当たりの負荷量を計算した。

産業活動起因の環境負荷を低減するために、ライフサイクル活動に大きな影響をもち、地球温暖化の原因となる CO₂ 排出量をまず取り上げる。

さらに工場のオンサイトでの生産活動が大気汚染、水質汚染、土壌汚染などの地域公害を引き起こす可能性があることから、NO_x 排出量、COD 排出量、産業廃棄物量をインベントリ分析の重要な指標として設定する。

表 4-2-3 インベントリ分析で取り上げる環境負荷指標

環境負荷指標	単位	環境影響	評価に対する考え方
CO ₂ 排出量	kg-C/ton-steel	地球温暖化	資材, エネルギーのライフサイクルでの排出量も算出
NO _x 排出量	kg/ton-steel	大気汚染	工場のオンサイトでの発生量から算出
COD 排出量	g/ton-steel	水質汚濁	同上
固形廃棄物量	kg/ton-steel	土壌汚染	同上

(2) 環境負荷量算定方法

一般的に環境負荷の原単位の算定法には「積み上げ計算法(Process Analysis)」と「産業連関分析法(Input-Output Analysis)」がある。それぞれ次のような利点、欠点が指摘されている^{5,6}。

積み上げ法では、需要側から製品の生産過程をボトムアップで分析していく方法で、各プロセスとそのインベントリはできるだけ詳細に調べなければならない。その利点は、具体的なプロセス技術を検討していることから、インベントリの作成根拠が明確にでき、かつ対策の検討も容易になることである。積み上げ法の問題点は、調査

できるプロセスに限界があり、すべてのプロセスを網羅できないことにある。また、選定したプロセスのインベントリは、ある特定の条件下での値で客観性に乏しいことである。

一方産業連関分析は積み上げ法の欠点を補うもので、産業を詳細な部門に区分し、部門間の連携をあらかじめ明確にしておくことによって、ある部門の製品のインベントリをトップダウンで求めるものである。すなわち、一国の産業をできるだけ詳細な部門に分け、部門間の金額ベースのやり取りから、エネルギーや環境負荷などの物量について直接間接のやり取りを推定しようとするものである。産業連関表を用いる利点は、ある製品の直接間接のインベントリを理論的に算出できる点にある。産業連関表によるインベントリ算定方法について以下に説明する。

産業連関表において、製品を含めた財の投入・産出バランスは式(4.1)で表される。

$$X = AX + F + E - M \quad (4.1)$$

ただし、A: 投入係数ベクトル, X: 国内生産額ベクトル, F: 最終需要額ベクトル, E: 輸出額ベクトル, M: 輸入額ベクトル

式(4.1)を X について解くと式(4.2)となる。

$$X = L(F + E - M) \quad (4.2)$$

ただし、L: レオンチェフ逆行列, I: 単位行列

$$L = (I - A)^{-1} = I + A + A^2 + A^3 + \dots$$

j 財に 1 単位 (百万円) の国内最終需要が生じた場合、誘発されるすべての生産は $(I - A)^{-1}$ の j 列によって示される。つまり、j 財 1 単位の需要に対し、i 財の生産が l_{ij} だけ誘発されるということである。ここで i 財を 1 単位生産するのに必要なインベントリ v の量を s_{vi} とすると、j 財 1 単位生産するのに直接間接に必要なとされるインベントリ v の量 t_{vj} は、式(4.3)で表すことができる。

$$t_{vj} = \sum_i s_{vi} \times l_{ij} \quad (4.3)$$

式(4.3)を行列表示すると式(4.4)となる。

$$T = S \cdot L \quad (4.4)$$

ただし、T: 直接間接の投入インベントリ行列 (各財 1 単位を生産するのに直接間接に必要なインベントリ量を示す行列)

S: 直接投入インベントリ行列 (各財 1 単位を生産するのに直接必要となるインベントリ量を示す行列)

産業連関表は、インベントリに関して直接間接の分析を行える利点があるが、問題点として以下の項目があげられる。

- 部門がせいぜい 500 程度であるため、個々の工業製品や技術を分析するには不十分である。
- 今までに構築された社会インフラを基にしたフローによる分析のため、過去のインフラの整備に要したインベントリーの影響が無視されている。その結果、インベントリーの環境影響の過小評価が生じる。また産業の発展段階や産業構造の異なる国の産業連関表を用いると、結果が異なってしまう。特に、途上国のようにまだ産業のインフラが整備されていない国での分析は乖離が大きい。
- 新技術やリサイクルのように、まだ産業連関表に取り入れられていないものに関する分析ができない。また在来技術でも途上国のようにまだ製造インフラがないところでは分析できない。
- 輸入品に関する分析は、輸入国の産業連関表が必要になるが、かならずしもすべての製品について連関表が整備されているとは限らない。
- 建設期間のある技術や製品に関しては、産業連関表の分類項目が直接結びつかない。ダイナミックな分析には無力である。

産業連関表は、毎年生産される大衆消費財（食品、衣料、電気製品など）のようなフロー型製品の LCA 研究に有効な方法である。しかし、社会に蓄積しているストック型の製品となると直接に対応する部門が連関表にないことが多い。そこで生産設備、建築物、社会インフラ施設などのストック型製品については、積み上げ法で分析することになる。このように、積み上げ法と産業連関分析法にはそれぞれ長所と短所があるので、併用することが望ましいとされている⁷。しかし新技術や輸入品のようにどちらの方法でも算定の難しいものも存在するのである。

環境負荷の算定は以下のようにおこなった。

- ①鉄やガスなどの主要資材の消費による各排出量については主に積み上げ法を用いた。製造時のデータは対象事業所の調査データを主に用い、資材、エネルギーの製造段階での使用物質・エネルギーのデータは関係事業所へのヒアリング調査結果を使用し、データ入手ができなかった場合は産業連関分析表のデータで補足した。
- ②薬剤のような様々な成分を含む資材は積み上げ法では環境負荷の算定が難しいため、産業連関表の基本分類（400 分類）の金額ベース（生産者価格）を用いて、当該財を含むと考えられる分類産業の単位最終消費額から誘発される生産活動の際の燃料等消費より算定した⁸。
- ③装置内包、資材消費、エネルギー消費、廃棄物排出という四つの項目ごとの負荷量と相対比率をインベントリー分析で評価した。その際改善効果が明確に把握できるように、改善により変化した部分のみの負荷量を算出した。
装置類については、稼働時の燃料消費とは別にその製造段階での環境負荷を計上する必要がある。ここでは耐用年数による減価償却と同様の扱いで、鉄など構成主要資材の重量を耐用年数で除することにより、1年あたりの資材使用量としてフロー化し、それをもとに積み上げ法を用いて環境負荷量を算出した。
- ④NO_x 排出量は、炉の理論排ガス発生量と N 値管理値から最大 NO_x 発生量を求めた。

理論排ガス量は、燃料の種類と焼却方法で決まる理論空気量、空気比により燃焼ガス量として求められた。

- ⑤COD 排出量は、対象工程の排水 COD 濃度と排水量をいずれも観測値を用いて積算した。
- ⑥金額評価と環境評価との比較を行うため、鋼板 1 トン当たりのコストについても算出した。

4.3 LCA のインベントリー分析の実行⁹

4.3.1 改善事例の概要

対象事業所における最近の改善事例をもとに、環境負荷低減の効果をライフサイクルアセスメントを用いて評価する。改善事例として次の五つの項目を取り上げる。

- ① 圧延油の付着した鋼板表面洗浄に使用する脱脂剤をそのまま廃棄せずに洗浄して再利用できるようなクリーニング装置を設置し、脱脂剤の寿命延長とともに鋼板の品質向上も図った。工場内の二種類の工程でそれぞれ実施されている。
- ② 亜鉛電気めっきライン(Electric Galvanizing Line)の生産効率を向上させるため、特にめっき後処理部分の乾燥機や冷却装置など電力消費の大きいセクターで大掛かりな設備投資を行った。
- ③ 鋼板の銅めっきに使われるめっき浴に、今までは非常に毒性の強いシアン浴を使用し、シアン処理とそこで発生する汚泥の廃棄処分の必要性があった。そのめっき浴を毒性のない安全なピロリン酸浴に変更することにより、後処理が一切不要となった。
- ④ 冷間圧延(Cold Rolling)に使用する圧延油により圧延機が黒く汚れ、作業環境が悪い状態であったため、品質向上の目的も兼ねて圧延油を牛脂からエステル油に変更した。工場内に二種類の圧延工程があり、それぞれの工程で実施した。
- ⑤ 圧延後の焼鈍(Annealing)工程で、品質向上を目的に水素濃度の高い雰囲気中で鋼板の焼鈍が可能な新型炉を導入するべく、実験装置を設置して効果を確認した。

これらの改善事例は、図 4-3-1 に示すように、工場の製造プロセスのそれぞれのサブプロセスに位置している。これらは基本的には生産効率や製品性能などに着眼したものであるが、それが結果として環境負荷の低減に寄与しているかどうかを検証することとする。



図 4-3-1 工場の製造プロセスにおける改善事例の位置

4.3.2 工程改善の目的と目標

(1) 工程改善の目的

各改善事例における着眼点を整理して表 4-3-1 にまとめた。非通常時や故障・事故のような緊急時も念頭に置きながら、通常時の状態を研究対象とした。

改善事例の目的をみると、主に品質レベル向上が要求される場合が多く、次いで省エネ、資材原単位低減などのコスト低減、生産能力向上と続く。労働衛生に関しては今までも考慮され、改善されてきたが、地球環境などグローバルな視点を考慮に入れた改善の試みはまだ少ないと判断される。

表 4-3-1 改善事例の目的

No.	改善項目	目的
1	めっき前処理脱脂剤のクリーニング	品質向上、資材使用低減
2	亜鉛電気めっきラインの生産量向上	生産効率の向上
3	銅めっきのめっき薬品の変更	資材使用低減、労働衛生の向上
4	冷間圧延油の種類変更	製品品質向上、労働衛生の向上
5	水素雰囲気新型焼鈍炉の導入	製品品質向上、生産効率向上、エネルギー使用低減

(2) 工程改善の目標

目標を定量的、測定可能な内容で表現することで改善前後での比較が可能となる。ここでは各改善事例についての達成可能な目標を表 4-3-2 に示す。環境目標については通常的环境保全活動の指標を使用して計量できるものに基づいて設定することが都合がよい。本研究では地球温暖化防止と地域公害防止の観点から評価を行うため、CO₂ 排出量、NO_x 排出量、COD 排出量、固形廃棄物量の4項目の削減を計測可能な目標とした。

表 4-3-2 改善目的に対応した目標内容

目的	目標
製品品質改善	製品歩留向上
生産効率向上	プロセス所要時間短縮
エネルギー使用低減	原単位低減
資材使用低減	原単位低減
労働衛生向上	曝露リスク低減
環境負荷低減	CO ₂ 排出量、NO _x 排出量 COD排出量、固形廃棄物量低減の低減

4.3.3 インベントリー分析結果

ここでは5つの改善事例の環境負荷低減の効果をインベントリー分析を用いて評価した。LCAに用いたCO₂排出量原単位を表 4-3-3 に、改善時に導入された設備のインベントリー算出データを表 4-3-4 に示す。そして以下の解析では、それぞれ改善前の各環境負荷項目の合計値を1とした時の改善前と改善後の相対比率を算出し、改善前後の比較を行った。

表 4-3-3 インベントリー分析に用いる CO₂ 排出量原単位

種類	単位	単価 (円/単位)	産業連関方式		CO ₂ 排出量 (t-C/単位)	
			原単位(t-C/円)	部門名称		
資材	脱脂剤	t	87,500	1.83E-06	石鹼、合成洗剤、界面活性剤	0.160
	銅めっき液(シアン)	t	698,000	3.87E-06	その他の無機化学工業製品	2.701
	銅めっき液(ピロリン酸①)	t	840,000	3.87E-06	その他の無機化学工業製品	3.251
	銅めっき液(ピロリン酸②)	t	345,000	3.87E-06	その他の無機化学工業製品	1.335
	圧延油(牛脂)	t	255,000	1.46E-06	油脂加工製品	0.372
	圧延油(エステル系①)	t	425,000	1.46E-06	油脂加工製品	0.621
	圧延油(エステル系②)	t	315,000	1.46E-06	油脂加工製品	0.460
エネルギー	電力	kwh	9.71	1.18E-05	事業用火発電	0.00011
	天然ガス	m ³	24.29	1.79E-05	天然ガス(国産)	0.00043
	上水	t	300	1.11E-06	上水道・簡易水道	0.00033
	窒素 ⁽¹⁾	m ³				0.00005
	水素 ⁽¹⁾	m ³				0.00011
廃棄物処理	シアン液処理	t	110,000	3.97E-07	廃棄物処理(産業)	0.044
	ピロリン酸液処理	t	40,000	3.97E-07	廃棄物処理(産業)	0.016
	シアン汚泥処理	年	10,789,000	3.97E-07	廃棄物処理(産業)	4.283
	廃油処理	t	4,500	3.97E-07	廃棄物処理(産業)	0.002
装置	水素12%用インナーカバー	64円/製品t ⁽²⁾		5.45E-06	鉄製品および鍛工品(鉄)	0.00035
	水素100%用インナーカバー	143円/製品t ⁽²⁾		4.36E-06	鉄製品および鍛工品(鉄)	0.00062

(1)企業へのヒアリング結果から算出した

(2)工場内データを利用した

表 4-3-4 設備のインベントリーデータ

No.	項目	価格 (千円)	耐用年数	産業連関方式		CO ₂ 排出量 (t-C/年)
				原単位(t-C/円)	部門名称	
1	脱脂剤クリーニング装置 (アモルファスフィルター)	27,500	7	9.50E-07	その他の一般産業機械および装置	3.732
	脱脂剤クリーニング装置 (遠心分離器)	30,000	7	9.50E-07	その他の一般産業機械および装置	4.071
2	亜鉛電気めっき設備(既設)	6,950,000	30	1.19E-06	その他の一般産業機械および装置*	275.104
	増強分設備	529,000	30	9.50E-07	その他の一般産業機械および装置	16.752
3	シアン処理装置(既設)	51,845	28	1.19E-06	その他の一般産業機械および装置*	2.199
5	水素12%用焼鈍装置4基	36,000	30	9.50E-07	その他の一般産業機械および装置	1.140
	水素100%用焼鈍装置2基	50,600	30	9.50E-07	その他の一般産業機械および装置	1.602
	水素発生装置	273,000	30	9.50E-07	その他の一般産業機械および装置	8.645

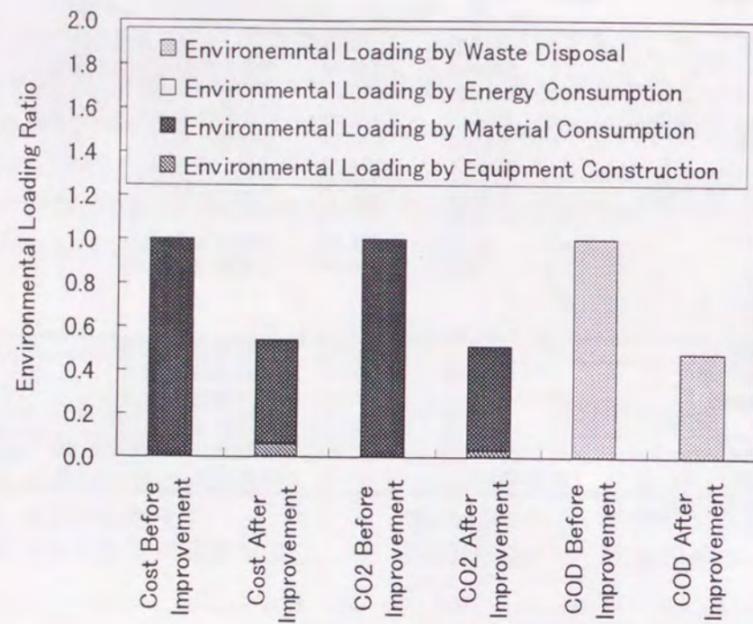
*1970年代の設備設置のため、1990年の産業連関表のデータと当時の企業データをもとに原単位を推定した

(1) めっき前処理脱脂剤のクリーニング

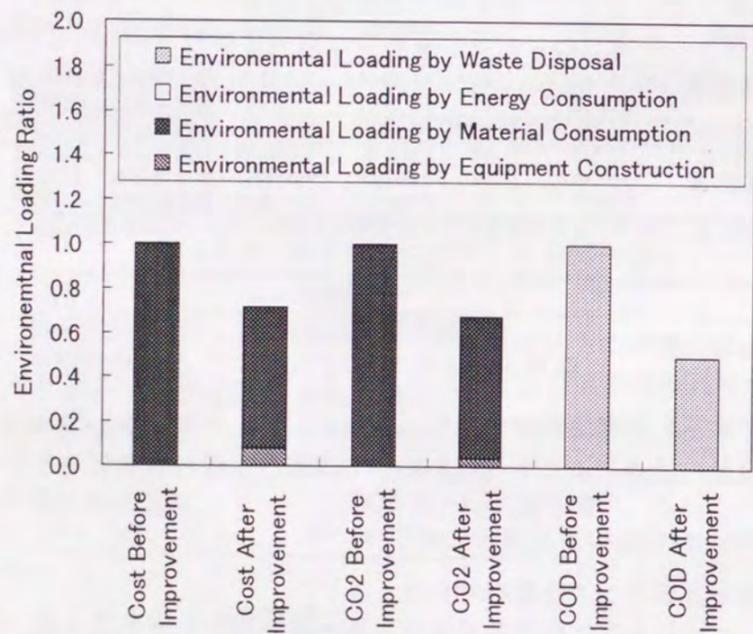
二種類の工程でそれぞれ環境負荷の算出を行った。新たに設置したクリーニング装置は、耐用年数7年として環境負荷のフローを算出した。その結果、図 4-3-2 に示すように脱脂剤使用量の低減によりすべての項目で改善が達成されていることが明らかになった。

(2) 亜鉛電気めっきラインの生産効率向上

この改善は一つのプロセスにおける生産量の増加を目的としているため、そのプロセスに設置されているすべての装置の環境負荷内包分について、産業連関表をもとにマクロ的に算出した。その結果、図 4-3-3 に示すように、設備増強後、稼動時に必要なエネルギー使用量の増加に伴い、環境負荷が増加していることが明らかになった。これは生産効率の向上がエネルギー投入によって達成され、コスト節約となっていると解釈される。



(a) 亜鉛めっきライン



(b) 連続焼鈍ライン

図 4-3-2 電気洗浄脱脂剤のクリーニング装置導入による環境パフォーマンス

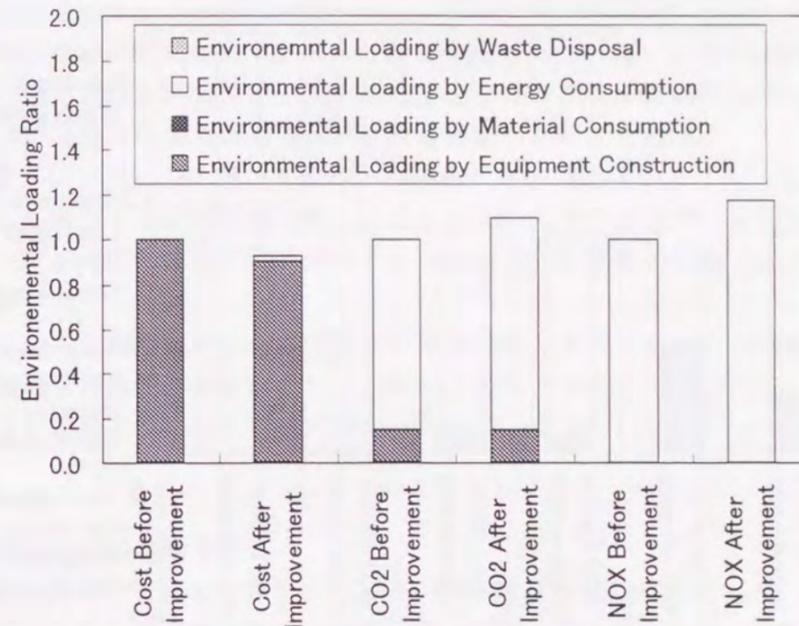


図 4-3-3 電気めっきライン生産能力の向上による環境パフォーマンス

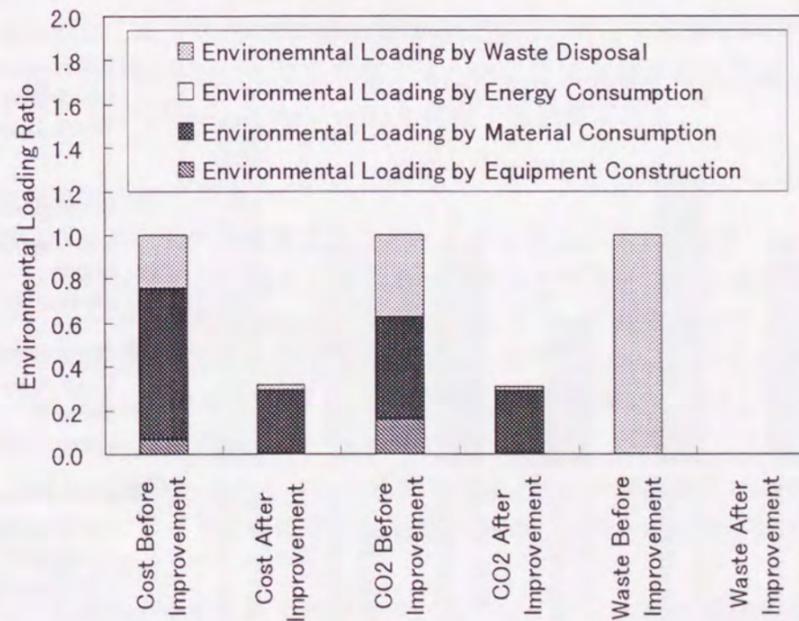


図 4-3-4 銅めっきラインのめっき薬品の種類変更による環境パフォーマンス

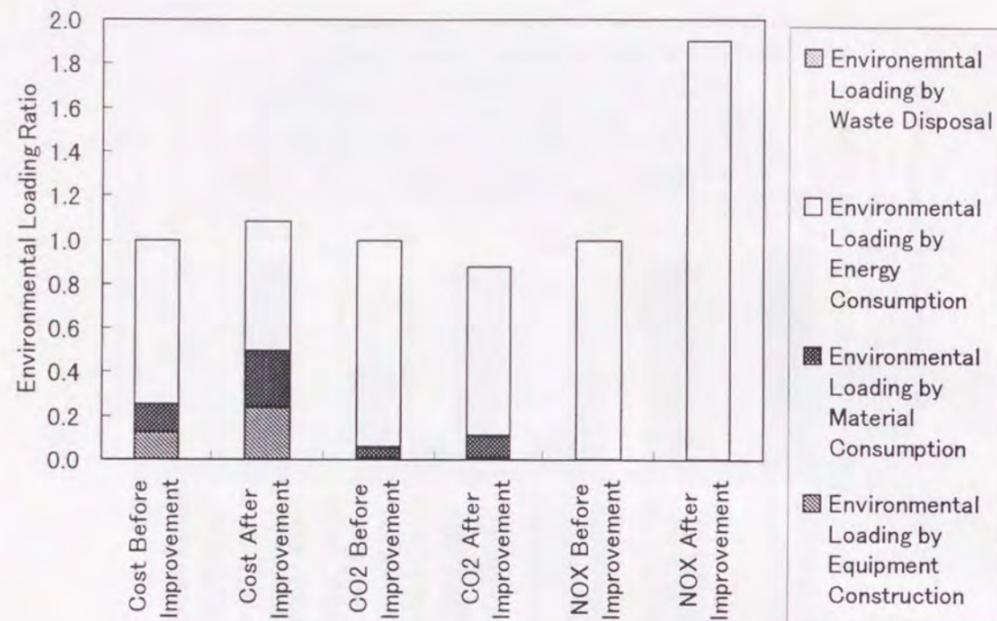


図 4-3-5 冷間圧延油の種類変更による環境パフォーマンス

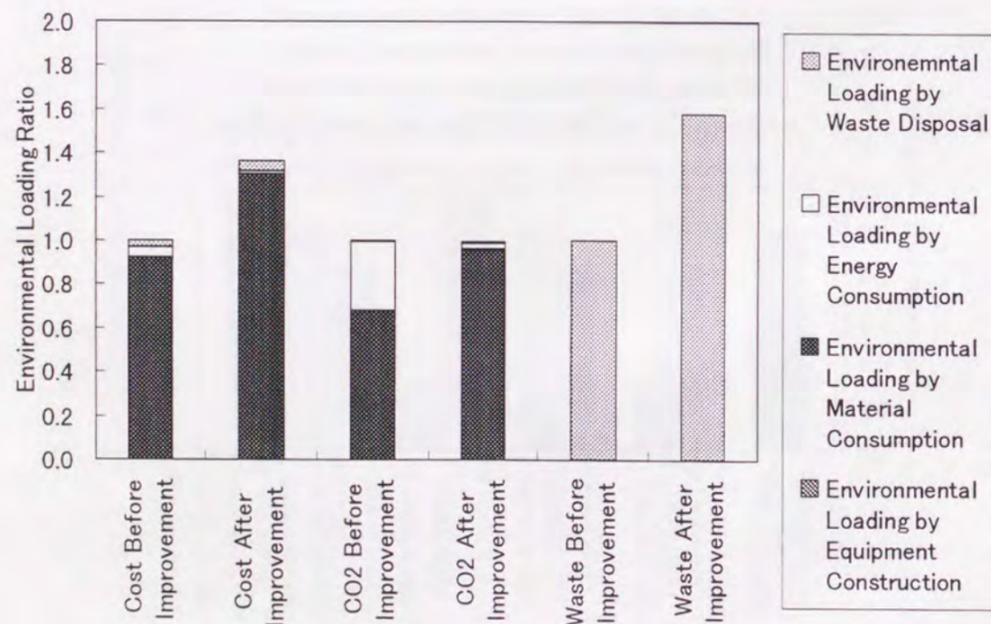


図 4-3-6 水素雰囲気の新設焼鈍炉の導入による環境パフォーマンス

(3) 銅めっきのめっき薬品の変更

これはめっき浴の化学成分を変更した改善事例であり、新しい装置の導入の必要はなかった。また毒性を持つシアン浴をなくすことでシアンの後処理も省くことができた。シアン処理装置の環境負荷内包分は改善前後の比較に含めた。

その結果、シアン処理に関わる費用、環境負荷が図 4-3-4 に示すように総じて減少し、すべての項目で改善が達成されていることが明らかになった。また労働衛生に関しても、シアン化カリの取り扱いがなくなったので、労働者の曝露リスクが大幅に減少している。

電力については使用量の変化が予想されたものの、モニタリングの問題から改善部分のみの使用量が抽出できなかった。しかし、対象プロセスにおけるトータルの電力使用量が改善前後でほとんど変化がなかったため、電力使用量については算出対象から外した。

(4) 冷間圧延油の種類変更

この改善により圧延機の清浄化が図られ、労働衛生は格段に向上した。しかし図 4-3-5 に示すように改善に伴う費用、環境負荷の増加が明らかになった。CO₂排出量については改善前後でほとんど変化がないことがわかった。

(5) 水素雰囲気の新設焼鈍炉の導入

この改善により、生産効率は約2倍に向上した。しかし、図 4-3-6 に示すように、CO₂排出量は減少したもののNO_x排出量は逆に増加してしまうトレード・オフの関係が明らかとなった。総合的に効果を判断するためには各環境負荷項目間で重み付けを行い、インパクト分析(Impact Analysis)を実施する必要がある。

(6) 各改善事例の相対評価

以上の個々の改善前後の評価結果をまとめたものを表 4-3-5 に示す。「めっき前処理脱脂剤のクリーニング」と「銅めっきのめっき薬品の変更」の改善事項は、資材の使用を低減することにより環境負荷とコストの両面において成果を得ている。特に「銅めっきのめっき薬品の変更」は副産物発生を防止したことで、すべての面で大きな効果がある。「冷間圧延油の種類変更」の改善事項は資材消費量が増加したために、その部分に起因する環境負荷が増加していることがわかる。

一方、「亜鉛電気めっきラインの生産効率向上」や「水素雰囲気の新設焼鈍炉の導入」の改善事項はプロセス所要時間の短縮化のため、工程への投資が環境負荷を大きくさせている傾向がある。

したがって地域内の環境負荷を低減するためには、まず資材使用量の低減が比較的簡単な施策であり有効的である。また副産物を発生しないようなプロセスへの改善を推進していくことも効果が大きい。

表 4-3-5 インベントリ分析の評価のまとめ

No. 改善事項	生産コスト	製品品質	プロセス 所要時間	エネルギー 消費	資材消費	労働衛生	環境負荷
1 めっき前処理脱脂剤の クリーニング	(a) 0.54 (-75円/ton)	変化せず			(a) 0.47		(a) CO2:0.50 (-0.15kg-C/ton) COD:0.47
	(b) 0.72 (-31円/ton)	変化せず			(b) 0.64		(b) CO2:0.67 (-0.06kg-C/ton) COD:0.49
2 亜鉛電気めっきラインの 生産量向上	0.93 (-380円/ton)		0.90	電気:1.18 ガス:1.18			CO2:1.10 (+0.56kg-C/ton) NOX:1.18 (+0.7g/ton)
3 銅めっきのめっき薬品の 変更	0.32 (-474円/ton)				0.64	曝露リスクの 低減	CO2:0.32 (-0.26kg-C/ton) 廃棄物:0.00 (-1.11kg/ton)
4 冷間圧延油の種類変更	1.36 (+376円/ton)	向上		ガス:0.05	2.18	曝露リスクの 低減	CO2:1.00 (-0.01kg-C/ton) 廃棄物:1.58 (+4.14kg-C/ton)
5 水素雰囲気 の 新型焼純炉の導入	1.08 (+74円/ton)	向上	0.44	電気:0.58 ガス:0.87	2.12		CO2:0.91 (-0.11kg-C/ton) NOX:1.83 (+0.23kg/ton)

割合 = 改善後 / 改善前 (数値が1よりの小さい時, 向上)
(数字) = 改善後 - 改善前 (負の数の時, 向上)

4. 4 LCAのインパクト分析の実行

4. 4. 1 各国の重みづけ評価の特徴

改善効果を総合的に評価するためには、各項目間の環境負荷を全部足しあわせ、1本の評価指標として表現する必要がある。そのためには境界を通じてシステムに出入りしたエネルギー・環境負荷のデータに関する詳細な記述を環境問題として識別できる形に解析し、それぞれの数値のもつ意味や相互の関連性を明確にする必要がある。

しかし「データの測定あるいは算定はできても、環境インパクトとの因果関係を明らかにすることは容易ではない」というのが1990年バーモンドでの第1回LCA会議での結論であり、これは現在も変わっていない。CO₂、SO_x、NO_xなどの数値はわかっても、それらがどの程度、人の健康や生態系に影響を与えるのかを関連づけるのはきわめてむずかしい。さらに排出された物質は単独ではなく、複合的に環境に対して複雑な影響を与える。

にもかかわらず、データ解析を通じてこれら排出物が環境に与える影響を関連づけ、各環境負荷項目間で何らかの重み付けをしようとする試みがある。

(1) オランダ、ライデン大学環境化学センター(CML)¹⁰

オランダにおけるLCA手法の開発は、ライデン大学環境科学センター(CML)、オランダ応用科学研究機構(TNO)およびオランダ政府の燃料・資源局(B&G)が共同で進めている。

各項目の消費量または排出量の実測値に項目ごとに定められた重みづけ係数をかけて、環境負荷指標のカテゴリーごとに集計する。

$$\text{カテゴリー指標} = \sum \text{消費量または排出量} \times \text{重みづけ係数}$$

重みづけ係数については表4-4-1に示すような14の環境問題を減少・汚染・ダメージに分類し、以下のように「定量化ファクタ」を設定して数値化する試みを行っている。

- 資源の枯渇は原材料使用量の総和を可採資源量の総和で除した無次元数で表現

- 生物資源についても同様の考え方でサイ、ゾウ、鯨などの枯渇ファクタを設定
- オゾン層の破壊についてはCFC-11(トリクロロフロロメタンCFCl₃)を1としたオゾン層破壊ポテンシャルODPを設定
- 温暖化効果についてもCO₂を1とした温暖化ポテンシャルGWPを設定

その他の項目に関しても同様の試みがなされ、地球規模の環境影響を評価することを可能としている。また定量評価の欠点を補う目的で、数字による重み付けの代わりにエキスパートが判断する定性評価の負荷を試み、数値化できないため欠落していた因子をあえて付け加えることで、より説得力のある評価を可能としている。

表 4-4-1 標準的な影響定量化モデルで検討される広く認められた環境問題

減少	汚染	ダメージ
<ul style="list-style-type: none"> • 非生物資源の減少 • 生物資源の減少 	<ul style="list-style-type: none"> • 温室増強効果 • オゾン層の破壊 • 人に対する毒性 • 生態毒性 • 光化学オキシダント生成 • 酸性化 • 富栄養化 • 廃熱 • 臭気 • 騒音 	<ul style="list-style-type: none"> • 生態系と景観のダメージ • 犠牲

(2) スイス連邦内務省環境局(BUWAL)¹¹

スイスにおけるLCA研究は、BUWAL(スイス連邦内務省環境局)、ミグロス(スイス最大の生協)およびチューリッヒ連邦工科大学がそれぞれ研究、資金とデータの提供、実務を担当し、連携しながら行っている。BUWALが開発したエコポイントで扱われている環境負荷項目は、大気汚染、水質汚濁、エネルギー消費、廃棄物排出に大きくカテゴリー分けされ、各項目の重みづけ係数であるエコファクタを以下の方法で算出している。

$$\text{エコファクタ} = (1/Fk) \times (F/Fk) \times C$$

F: 実際の負荷量 (スイス全土/年間)

Fk: 許容限界負荷量 (スイス全土/年間)

C: 取り扱いやすい数値にするための無次元の因数 (10¹²)

そして製品の生産段階などで実際に排出された量(m)にこのファクタを乗じた全エコポイントを計算する。

$$\text{全エコポイント} = \sum \text{エコファクタ}(i) \times m(i)$$

このようにすべての項目のエコポイントを集計し、全体のエコバランスをみるこ

としている。そしてエコポイントの値が大きいほど環境に悪いということになる。

この方式は「スイスの排出基準」をベースにしているところに特徴があり、政治的、社会的判断がすでに導入されている点で賛否両論がある。すなわち実際的で説得力がある一方で、ローカリティがありすぎて国際的基準になり得ない。

(3) スウェーデン環境研究所¹²

スウェーデン環境研究所(IVL)と自動車メーカーのボルボ、スウェーデン産業連合が共同で、EPS(Environment Priority Strategies for Product Design)システムという環境影響計算システムを開発している。

EPSシステムは、環境影響を環境負荷値 ELU(Environmental Load Unit)という数値で表現しており、人の損失余命を基礎にした単位である。例えば、ある原材料 1kg が環境に及ぼす影響を環境指数(ELU/kg)とし、その値に原材料の使用量を乗じることで環境負荷値(ELU)を算出する。

$$\text{環境負荷値(ELU)} = \text{環境指数(ELU/kg)} \times \text{量(kg)}$$

そのベースとなる環境指数の算出方法は下式のように生態学的なさまざまな要素を加味している。しかしその中身がブラックボックスであるため、いわゆる客観性・透明性に問題があるといわれている。

$$\text{環境指数} = \text{範囲} \times \text{分布} \times \text{頻度あるいは集中度} \times \text{持続} \times \text{影響比率} \times \text{修復可能性}$$

4.4.2 改善事例のインパクト分析の実行

以上の事例を踏まえた上で、改善事例のインパクト分析を実施する。その際、スイスで提案されている重みづけ係数(エコファクタ)を用いて、環境指標(CO₂, NO_x, COD)の評価の統合化をおこなう。固形廃棄物量については、廃棄物に関するエコファクタが一般廃棄物・産業廃棄物の2種類しかなく廃棄物の物性による差が表れないこと、実際の廃棄物が汚泥でありその水分などのデータが入手できなかったことから、ここでは算出対象から外した。

まず使用する重みづけ係数を表 4-4-2 に示す。

表 4-4-2 インパクト分析のための環境負荷指標と重みづけ係数

環境負荷指標	重みづけ係数 (Ecopoint/g)
CO ₂	0.036
NO _x	42.3
COD	3.83

インパクト分析の結果を表 4-4-3 に示す。改善事例の中で特に環境影響の低減に効果があった、「電気洗浄脱脂剤のクリーニング」、「水素雰囲気の新設焼鈍炉の導入」の事例について図 4-4-1, 4-4-2 にその結果を図示する。

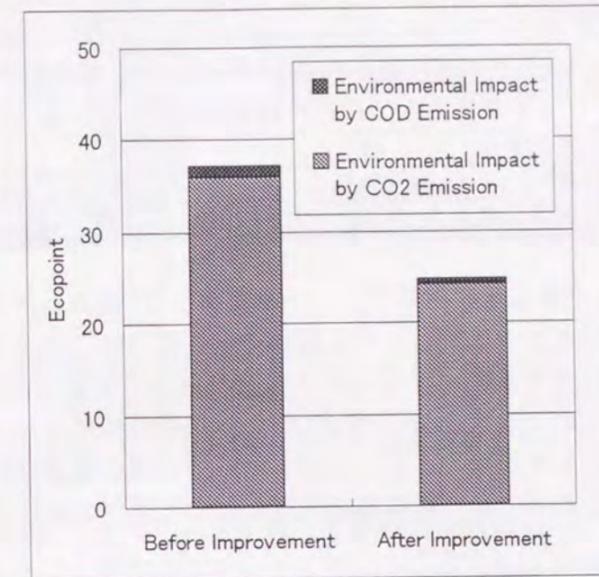


図 4-4-1 電気洗浄脱脂剤のクリーニング装置導入による環境影響の変化(連続焼鈍ライン)

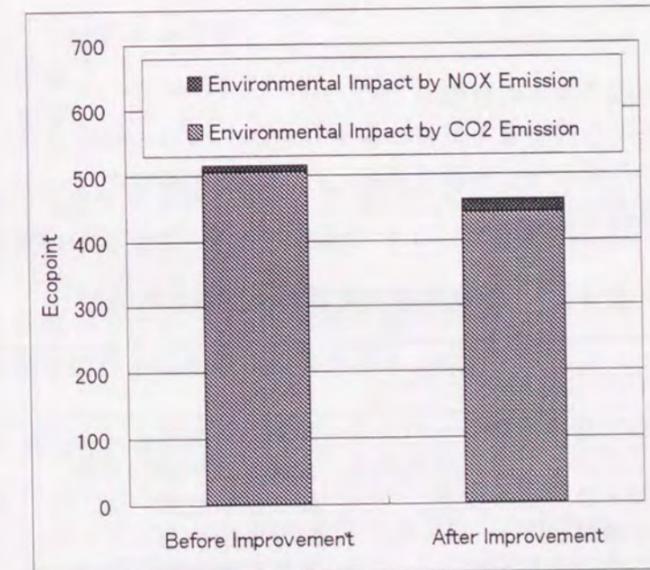


図 4-4-2 水素雰囲気の新設焼鈍炉の導入による環境影響の変化

表 4-4-3 インパクト分析の結果

	改善項目	改善前(Ecopoint)				改善後(Ecopoint)			
		CO ₂	NO _x	COD	計	CO ₂	NO _x	COD	計
1	めっき前処理脱脂剤のクリーニング	11		0	11	6		0	6
		36		1	37	24		1	25
2	亜鉛電気めっきラインの生産量向上	206	158		364	226	186		412
3	銅めっきのめっき薬品の変更	14			14	4			4
4	冷間圧延油の種類変更	74			74	73			73
5	水素雰囲気新型焼鈍炉の導入	505	10		515	442	20		462

この結果から、「めっき前処理脱脂剤のクリーニング」や「銅めっきのめっき薬品の変更」のように環境負荷のインベントリを削減できた事例は、図 4-4-1 にも示すように当然インパクトも低減できている。一方、「水素雰囲気新型焼鈍炉の導入」の事例は、インベントリ分析では CO₂ 排出量と NO_x 排出量の間でトレード・オフの関係があったが、図 4-4-2 からわかるように全体では環境影響が低減できており、生産効率の向上を目的とした施策でも、省エネを図ることの効果が大いことが明らかになった。

4.5 薄板鋼板めっき工場における環境改善分析の結果の解釈

前項までのインベントリ分析は、すべて実施済の施策の環境負荷低減への効果を確認したものである。今後、環境負荷の小さい、環境効率の高い生産システムの構築に向けた設備投資を行う際に、持つべき視点や環境負荷低減のための一般的手順について考察する。

4.5.1 資源の視点からの評価

まず産業活動における代替案を資源の視点からカテゴリー分けを行うと、上記の改善項目は表 4-5-1 に示すように分類できる。この資源の視点を用いて、環境改善の効果を以下のように評価する。

表 4-5-1 改善事項の資源の観点からの分類

No.	改善事項	資源の観点からのカテゴリー
1	めっき前処理脱脂剤のクリーニング	資源の再利用
2	亜鉛電気めっきラインの生産量向上	資源反応時間の短縮
3	銅めっきのめっき薬品の変更	資源種類変更、副産物の発生防止
4	冷間圧延油の種類変更	資源種類変更
5	水素雰囲気新型焼鈍炉の導入	資源種類変更

- 資源の再利用、特にクローズド・ループ・リサイクルによって資材使用量を低減でき、環境負荷の低減やコスト面のを改善が可能となる。初期投資コストに見合った環境負荷の低減が可能であれば、ぜひ実施することが望まれる。
- いくつかの事例においては、品質向上や労働環境改善を目的とした投入資源の種類

の変更が環境負荷を低減する場合もあるが、一方他の事例においては環境負荷が増加する場合もある。すなわち資源種類変更の場合は環境負荷低減の効果を予想するのは難しい。チェックシートなどを利用して、プロセスにおける物質収支の変化を詳しく調査することが不可欠である。

- 資源反応時間の短縮は製造の効率化を進めるが、環境負荷を増加させる傾向がある。製造効率を改善するには、同時に製品あたりの資材やエネルギーの使用量低減を図る必要がある。
- 副産物の発生防止は資材消費量を低減し、環境負荷とコストの両面に大きな効果がある。よって環境保全の目的で副産物の発生を防ぐような製造プロセスを選択することは望ましい。

この結果から、環境負荷の低減のためには、まず副産物の発生防止を、次に資源再利用を選択することが望まれる。事業者にとっては改善事項を資源の視点からカテゴリー分けすることにより、代替案の優先順位を決めることができる。

4.5.2 素材加工プロセス工場における環境負荷低減に向けた取り組み

以上の結果をもとに、素材加工プロセスをもつ工場での環境負荷低減に向けた取り組みの際の留意点を以下にまとめる。

(1) 資源的観点から環境負荷低減の施策を考案するとき、その代替案の優先順位は下記の順で選択するのが望ましい。

- ① 副産物を発生しない資源の選択
- ② 資源再利用の促進
- ③ 資源の種類の変更

3番目の資源の種類変更を選択するときは、チェックシートなどを利用して、プロセスにおける物質収支の変化を詳しく調査することが必要である。

(2) 代替案を実施するにあたって、対象工程や箇所において次の具体的行動をとることによって詳細な情報を収集することが望ましい。

- 定期間隔毎に資源使用量を記録する
- エネルギー使用をモニタリングする計器を取り付ける
- 燃焼炉の各バーナーの空気比と燃焼温度を定期的に点検する
- 排気、排水の化学物質濃度を定期的に測定・記録する
- 廃棄物発生量と時間を記録する

このように、実際の改善に関する測定とモニタリングは特に重要である。これらの方策をシステム化することにより、加工プロセスをもつ工場環境マネジメントシ

システムの構築をより進めることができる。

4.6 環境負荷低減のための LCA の課題

LCA を試行する過程で、次のような課題が明らかになった。

(1) LCA の認識浸透の必要性

環境負荷量の計算のため、関係各社に資材やガスの燃料使用量を問い合わせたところ、様々な反応が返ってきた。

- ①最初戸惑いが見られたが、LCA の考え方を理解してもらえると調査に協力してもらえた。
- ②突拍子もない考え方に受け取られた資材納入などの関連業者もあった。事業所の関連業者との協力が欠かせない。
- ③燃料使用量から単価設定の根拠を推定されると思われ、教えてもらえなかった事例もあった。

以上から LCA の社会的議論の程度、社会的受容の程度がまだまだ低いことを痛感させられたが、今後の産業、経済、社会活動において LCA が極めて重要な役割を果たしていくことは間違いなく、もっと社会に広く認識させていく必要がある。

(2) LCA に必要な情報の蓄積化

輸入物や様々な業者を経てくる資材は、トータルの環境負荷を求めることが非常に困難である。そのため原料および製品素材のライフサイクルインベントリーの数値を個々の企業、業界毎に整備、提供し、その情報を社会的情報に変換しかつデータベースとして蓄積する必要性が高まっている。そうすることにより政策担当者、消費者、研究者など誰でも LCA を試みることができる。

4.7 本章のまとめ

本章は、産業社会を持続可能な社会に構造転換する手法の一つである技術的手法の中で、プロセス・アプローチを取り上げ、素材加工のプロセスを持つ工場に適用した。

LCA の手順をもとに、評価対象、評価範囲を設定した後、品質向上、生産効率向上などを目的とした5つの改善事例について、発生する環境負荷をインベントリー分析で定量化を試み、改善前後の比較評価をおこなった。その結果、資材使用量の低減を目的としたクローズド・ループ・リサイクルや、資材の代替を図ることにより副産物発生や有害残余物の回避を図ることが有効なことが分かった。

さらにインベントリーの統合評価のためにインパクト分析をおこない、特にインベントリーのトレード・オフの関係のあった事例について、省エネの効果が大きいことを明らかにした。

これらの改善の事後評価をもとに、プロセスのオペレーションの改善に向けた設備投資を行う際の事前評価のために、資源の観点から改善事例をカテゴリー分けし、クローズド・ループ・リサイクルによる資源の再利用、副産物の発生を回避するような

資材の代替化を優先的に図ることを指摘した。また素材加工のプロセスを持つ工場に環境負荷を低減する留意点として、具体的に実際の活動を測定・モニタリングすることの重要性を示した。

最後に本章で LCA を実施した結果として判明した課題について示した。

[参考文献]

- ¹ K.Nagata et al.(1996) PET Bottle LCA with a Proposed Valuation Method, Proceeding of the Second International Conference on EcoBalance, 686-689
- ² Y.Koseki et al.(1996) Life Cycle Assessment of Automatic Washing Machine, Proceeding of the Second International Conference on EcoBalance, 332-336
- ³ D.Ceuterik et al.(1996) Introducing Environmental Issues into the Design of Complex Electronic Products: A Case Study, Proceeding of the Second International Conference on EcoBalance, 327-332
- ⁴ 未踏科学技術協会, エコマテリアル研究会(1995) LCA のすべて—環境への負荷を評価する, 工業調査会, 68-71
- ⁵ 未踏科学技術協会, エコマテリアル研究会(1995) 前掲書, 116-124
- ⁶ 内山洋司(1996) LCA 手法, エネルギー・資源 17(6), 19-24
- ⁷ T.Morioka et al.(1996) Perspectives and Practices of Life Cycle Assessment in Infrastructure and Construction Systems, Global Environmental Symposium 4, 29-34
- ⁸ 本藤祐樹, 西村一彦, 内山洋司(1996) 産業連関分析による財・サービス生産時のエネルギー消費量と CO₂ 排出量—産業連関表の LCA への適用について—, 電力中央研究所報告: Y95013
- ⁹ K.Tsunemi et al.(1998) Site-based Environmental Risk Management in Industrial Factory Illustrating Practical Inventory and Improvement Analyses with Life-cycle Thinking, Japanese Journal of Risk Analysis 10(1), 73-80
- ¹⁰ R.Heijungs et al.(1992) Handleiding voor Milieugerrichte Levenscyclusanalyses van Producten, Derde door de begeleidingscommissie geaccordeerde conceptversie.
- ¹¹ S.Ahbe et al.(1990) Methodik Fur Oekobikanzen, BUWAL
- ¹² 中西順子(1995) 環境リスク論, 岩波書店, 208-210

第5章 食品流通業の副産物を活用した循環志向のフードシステムの構築とその効果の評価

5.1 緒言

本章では産業社会を持続可能な社会に構造転換する手法の一つである技術的手法の中で、プロダクト・アプローチを取り上げる。農地、農産物出荷センターから食品工場、市場、店舗を経て家計消費に至るフード供給システムを、都市農村の連携により循環志向型へ転換し、転換技術を導入して有機系副産物の質を考慮した資源転換を行って、地域および地球環境負荷を削減するための循環モデル構築を目的とする。

まず食品廃棄物のリサイクルの現状を示した後、都市部人口約130万規模の、農地から家計を含めた広義の食品の生産・消費システムとそれに携わる関連セクターを対象に、現状のマテリアルフローを解析し、それぞれのエネルギー投入量と副産物量を把握する。

第二に、食品工場や店舗を中心として工業化された食品の生産・消費システムでの卓越したエネルギー消費や有機副産物に起因する環境負荷削減を図るため、コンポスト、RDF発電、メタン発酵装置を伴った燃料電池などの資源転換装置を組み入れた循環志向のフードシステムをデザインし、その導入効果をライフサイクルアセスメントにより評価する。

第三に、フードシステムの関連廃棄物のリサイクルおよび既存施設利用を図ることによって、フードシステム拡張による環境負荷削減の潜在的効果を評価する。

5.2 食品廃棄物のリサイクルの現状と意義

食品の製造から流通、消費までを含めた、全国の1997年度の有機物発生状況を図5-1-1に示す¹⁾。その特徴は以下のとおりである。

- 製造業から出る有機性汚泥のうち大部分が、脱水後、埋立または焼却処理されている一方、動植物性残さは比較的リサイクルされており、加工工場の原料として再利用されたり、肥料や飼料として販売されることもある。
- 流通・加工段階の有機性廃棄物は事業系一般廃棄物として排出されることが多いが、全体的な数量の把握は行われていないのが現状である。利用状況としては、家畜の骨や皮、魚腸骨の相当部分が飼料などに加工されているが、その他の野菜くずなどはリサイクルされずに処理されている。コンビニなどの売れ残り弁当やホテル、外食、社員食堂、学校給食などの残飯は、従来は埋立、焼却されてきたが、最近では資源有効利用や環境教育などの観点から、個々に堆肥化施設を導入するケースが増加しつつある。
- 食品が最終的に消費される家庭から出る食べ残しや残飯などについては、一部自治体で分別収集して堆肥化する取り組みが行われているが、点的な取り組みに留まっている。

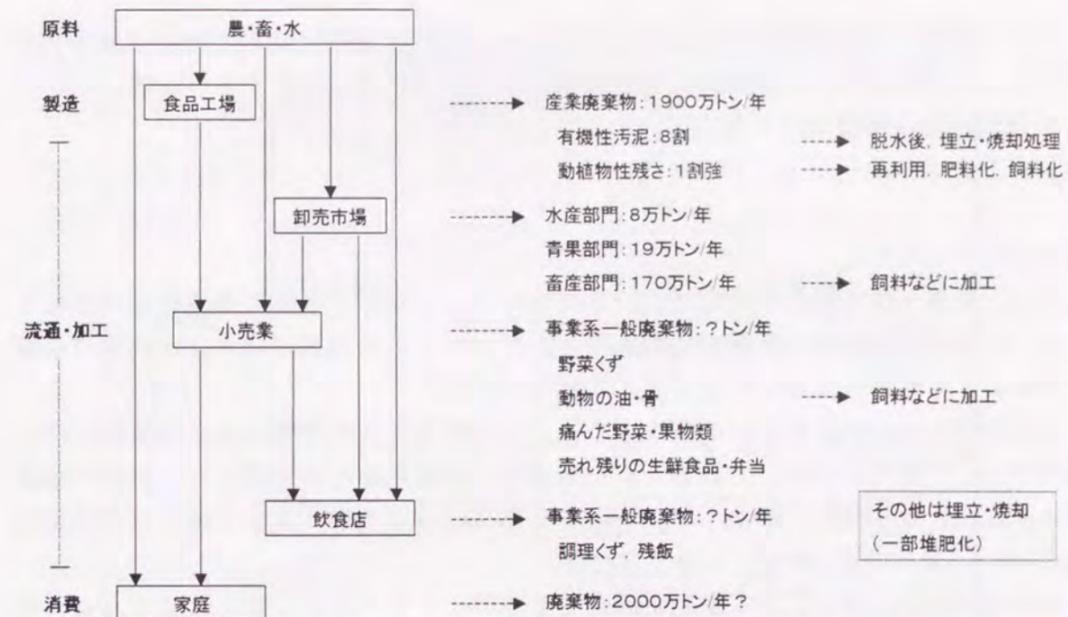


図5-2-1 食品産業の有機性廃棄物の発生状況 (1997年度国内実績)

リサイクルが全般的に進んでない理由は以下のように指摘されている²⁾。

- 食品製造業の排水汚泥は、9割以上が水分のため輸送コストがかかり、用途としては肥料以外にほとんどなく、肥料化しても採算が合わない場合が多い。
- 動植物性残さは、飼料としてリサイクルするにも乾燥や運搬のコストがかかるため配合飼料と比べて価格競争力がなく、畜産農家などとの間で無償ないし逆有償での取引が多くなっており、畜産農家の立地も食品工場などから遠隔地に移動することで輸送コストも増大している。
- 卸小売業や卸売市場から発生する野菜くずは、排水汚泥と同様、水分含有量が多く、輸送コストがかかる。
- 都市部の小売業や料理店では、個々の店舗で発生する廃棄物量が少ないため、個々に処理施設を設置することが高コストになるほか、施設の設置場所がないこと、現在の技術では悪臭対策が万全ではないこと、分別が必要であることなどがある。
- 外食産業の店舗の残飯などは、肥飼料の原料には適しているが、埋立、焼却と比べてコストがかかる。
- 店舗からのごみの分別よりも、さらに家庭の一般ごみの分別は困難。

有機性廃棄物共通の問題として、有害物質を含まず、焼却、埋立で問題なくできるため、却ってリサイクルへの取り組みを遅らせてきたことも指摘されている。

リサイクルを阻害する大きな要因であるコストの問題について、堆肥化を例にとると、現状では処理業者に処理を委託した方がコスト的に有利となる。その要因として、

- 食品工場周辺が農業地帯であることが少ない，堆肥の使用が特定の時期に集中しているなどの理由から，堆肥の販売先農家をコンスタントに確保するのは難しい．
- 堆肥化施設の建設コストが高い．
- 利用先までの輸送コストがかかる．

などが挙げられる．

しかし都市・農村間の有機物バランスが崩れている現在，有機物循環を形成させるためには有機系廃棄物の再資源化が重要であり，コストおよび環境負荷を同時に削減できるような再資源化条件を確立する必要がある．

工業製品と違い食品の原料になるものは，自然循環に大きく関わりかつ更新可能な資源である農業や畜産などである．また排出される廃棄物も再資源化して農業や畜産に直接取り込める物質も多い．つまり図 5-2-2 に示すように，食品の循環は自然循環を取り込んだ「有機物循環」と考えられる．

今日の問題は，食品工場と食品を消費する都市のスケールが大きくなりすぎて，都市と農村間の有機物のバランスが崩れていることである．食品を対象とした LCA 研究の意義は，「有機物循環」内でのトータルの CO₂ を減らすとともに，このアンバランスをいかにして立て直すかにある．

図 5-2-3 に示すように，有機物の資源化は循環性の高い順に，飼料化，堆肥化，エネルギー化，分解(焼却)となる³．本章では，農地から食品工場，市場，店舗を経て家計消費に至る食品供給システムを循環志向型に転換することを目的とする．そのとき，各セクターから発生する有機系廃棄物を，他の食品へリユース，自然循環の持つ浄化作用を活用した飼料化，堆肥化の手段がまず検討できる．反面，有機物の持つ熱エネルギーに注目して，ガス化や分解の過程で有用な燃料ガスなどのマクロな化合物や熱を回収する手段も，実用的な目標とすることができる．

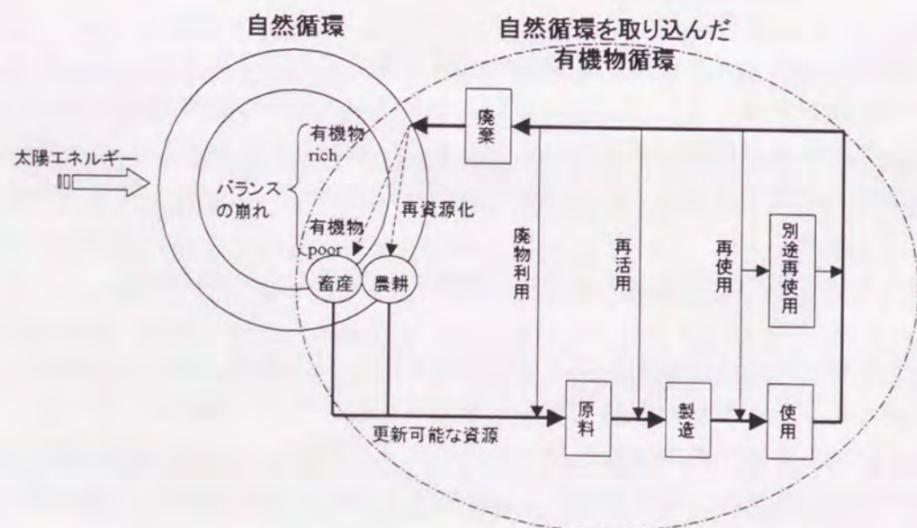


図 5-2-2 食品の有機物循環の仕組み

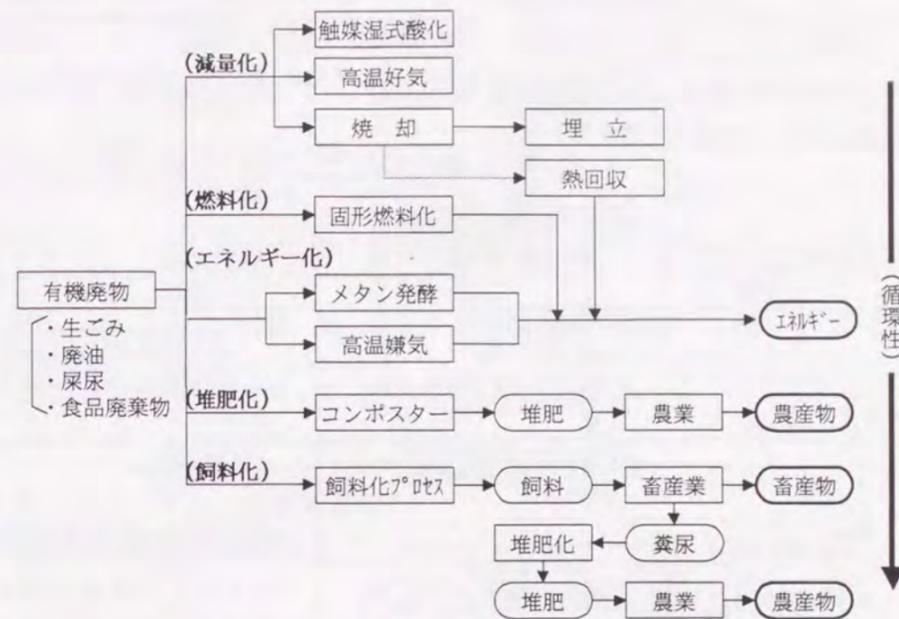


図 5-2-3 有機廃物の多様な活用方法

5.3 循環指向の都市型フードシステムのデザインの構築⁴

5.3.1 食品流通業のフードシステムの現状

本節では 130 万人を含むコープこうべを中心としたフードシステムを研究の対象とする．そのときフードチェーンは大きく分けて素材製造，加工，流通，消費の 4 段階から成り立っている

が，さらにそれに影響を与える諸制度，行政措置，あるいは各種の技術革新や情報などを含めて，その全体を一つのフードシステムとして捉えることができる⁵．そしてコープこうべの食品工場，店舗そして堆肥化センター，農場などの複合体を構築するとき，図 5-3-1 のような製品の流れに沿った製品連鎖アプロー

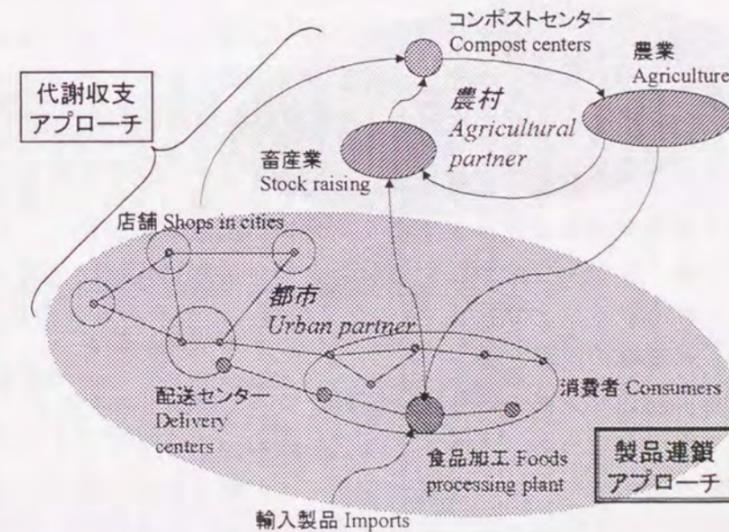


図 5-3-1 有機物の転換アプローチの方向性

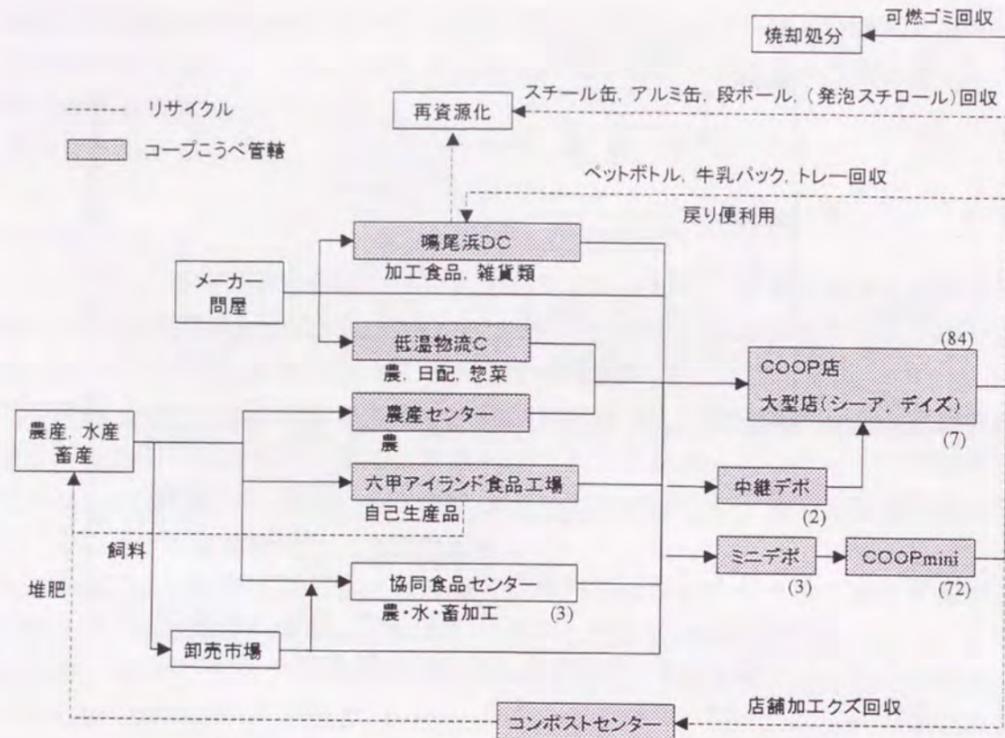


図 5-3-2 現状のコープこうべの物流の概略図

チと、組織体や地域の物質代謝に対する物質収支アプローチをとることができる。本章では、食品のライフサイクルに沿った製品政策という点で、製品連鎖アプローチをおこなうこととする。

まず、コープこうべフードシステムを担う物流システムの概要を図 5-3-2 に示す。特徴として以下のことを指摘できる。

(1) デポ（中継地点）の設置

食品工場で作られた豆腐やパンなどは、配送センターを経由した農産品、水産品、畜産品や菓子類とともに店舗に送られる。ただしコープミニのようなコンビニエンスストア形式の小店舗への輸送は、店舗のオペレーション作業を減らし、陳列、客への供給に店員が力を注げるようにミニデポへ商品を集約化し、店舗への輸送回数を減らしている。しかし生鮮類は配送センターから直に店舗に入れた方が品質的にはよく、デポを経由することで最短でも 30 分店舗への商品の到着が遅れる。

(2) 廃棄物の回収方法

店舗、配送センターからの廃棄物については表 5-3-1 のような回収を行っている。家庭で廃品となったペットボトル、牛乳パック、トレーについては店舗回収を行い、戻り便を利用して一つの配送センターへ収集され、リサイクルへ回している。空き缶の回収は、缶の破片で袋に穴が開き、飲み残しが漏れてかご車が汚れる問題から戻り便は利用できていない。

表 5-3-1 コープこうべの廃棄物回収方法

廃棄物種類	回収方法	処理方法	問題点	備考
加工くず	業者回収	焼却処分	腐敗臭や衛生問題から戻り便を使えない	堆肥化対象
日配、厨芥紙、プラスチック類	業者回収	焼却処分	同上	
発泡スチロール	業者回収	焼却処分	臭い	資源化テスト中
段ボール	業者回収	再資源化		
空缶	店頭回収後、業者回収	再資源化	液が漏れて汚れるため戻り便を使えない	
牛乳パック、トレーなど	店頭回収後、戻り便利用	再資源化		

(3) アウトバック加工の業者委託

近年は家族構成人数が減少し、食材の少量化が望まれ、また女性の社会進出や食習慣の変化から調理の手早さが望まれるため、少量パックや半加工済みの商品が増えている。ところがインストア加工は労賃コスト等がかさみ店舗の経営効率を低め、またアウトバックの仲介業者、場外問屋への委託は中小スーパーにとって

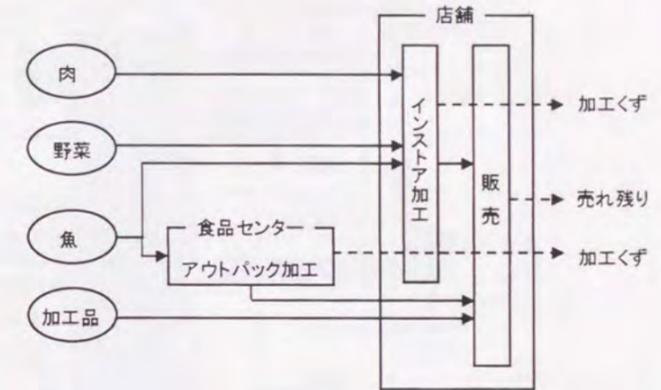


図 5-3-3 半加工製品からの加工ごみの排出フロー

適正な操業度の維持に困難な面があることが指摘されている⁶。コープこうべでは大・中店舗でインストア加工を行うとともに、特に小店舗の食品については関連会社である協同食品センターにアウトバック委託をしている。そのため商品化の過程で図 5-3-3 のように加工残さが出ており、有機質の資源として利用できるものが増加しているが、有機質残さは臭いや衛生上の理由から、ペットボトルのような戻り便の利用を検討することすらなされていないのが現状である。

5.3.2 現状フードシステムのマテリアルフロー分析

次に工業的な転換プロセスが環境負荷をトータルで減少させることができるかどうかを把握するために、食品に由来する多量のものの流れとそのマテリアルフローを明らかにする。計算過程を以下に記述し、その結果を図 5-3-5 に示す。

(1) 食品の流通量

コープこうべ全体の食品供給量を 1997 年度分類別供給高比率（生鮮食品：加工食品＝4:6）で分類した。食品工場の生産量は 1996 年度実績をそのまま使用し、生鮮類については、さらに産直と市場経由の供給比率（55:45）で分類した。

(2) 卸売市場

農産品、水産品を扱う市場に特化し、エネルギー関連は大阪市へのヒアリングデータ(1996年度)、廃棄物関連は農林水産省のデータ(1994年度)を参考にした。

(3) 食品加工工場

コープこうべの直営工場である六甲アイランド工場については、1996年度の操業データをもとにしている。廃棄物関連データに関しては実際に調査をおこない把握した。その結果、工場の物質収支は図5-3-4のようになった。

一方、コープこうべの店舗に製品を納入する関連加工工場については、食品工場原価をもとに、工業統計表や石油等消費構造統計表を参考にエネルギー消費量、廃棄物排出量を算出した。

図5-3-5では、コープこうべ食品工場と関連加工工場のデータを合計して、エネルギー投入量、廃棄物発生量をそれぞれ示した。

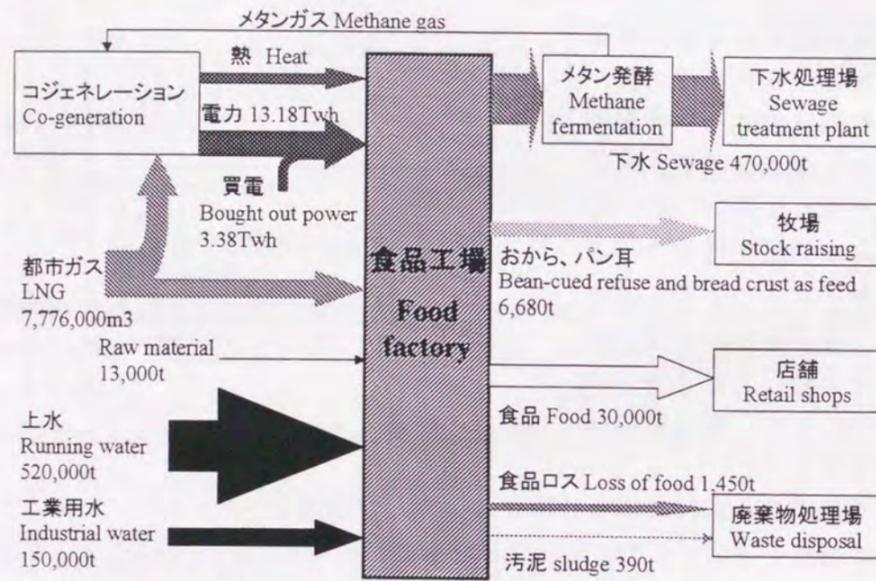


図5-3-4 コープこうべ食品工場の物質収支

(4) 配送センター

エネルギー使用量についてはコープこうべの1996年度実績を用いた。コープこうべの協同購入に関わる集配センター、協同購入センターのエネルギー投入量もすべて配送センターの項目に含めた。廃棄物発生量については1日間の実地調査をおこない、そのデータをもとに年間の廃棄物量を求めた。食品と非食品に分けてデータを算出することはしなかった。その理由は、図5-3-5に示すように、配送センター全体でのエネルギー投入量が電力消費量で12,000Mwh/年であり、店舗の電力使用量130,000Mwh/年の1割にも満たないこと、配送センター全体での廃棄物量も加工くずでみると100ton/年で、店舗の4,900ton/年の2%強しかなく、店舗と比較して配送センターのフードシステム全体への影響は少ないと判断したからである。

(5) 店舗

エネルギー使用量についてはコープこうべの1996年度実績を用い、廃棄物量はコープこうべの調査結果を用いた。エネルギー使用量、廃棄物量とも食品と非食品に分けて算出し、食品に関するデータを抽出した。例えば、電力投入については電力消費量構成比率と床面積比率から食品分(食品:非食品=81:19)を算出し、段ボール廃棄については実地調査結果から比率(食品:非食品=95:5)を求めた。

(6) 家計

コープこうべ1996年度食品供給高をもとに、全国家計データ(1996年)の一人あたりの年間食料消費支出、および一人あたりの1日食料摂取量、1日食料供給量といった食料データを用いて、コープこうべ組合員が排出する家庭ごみ量(有機物のみ)を算出した。

(7) 輸送

コープこうべにおける輸送車両の軽油使用量の1998年4月実績をもとに算出した。

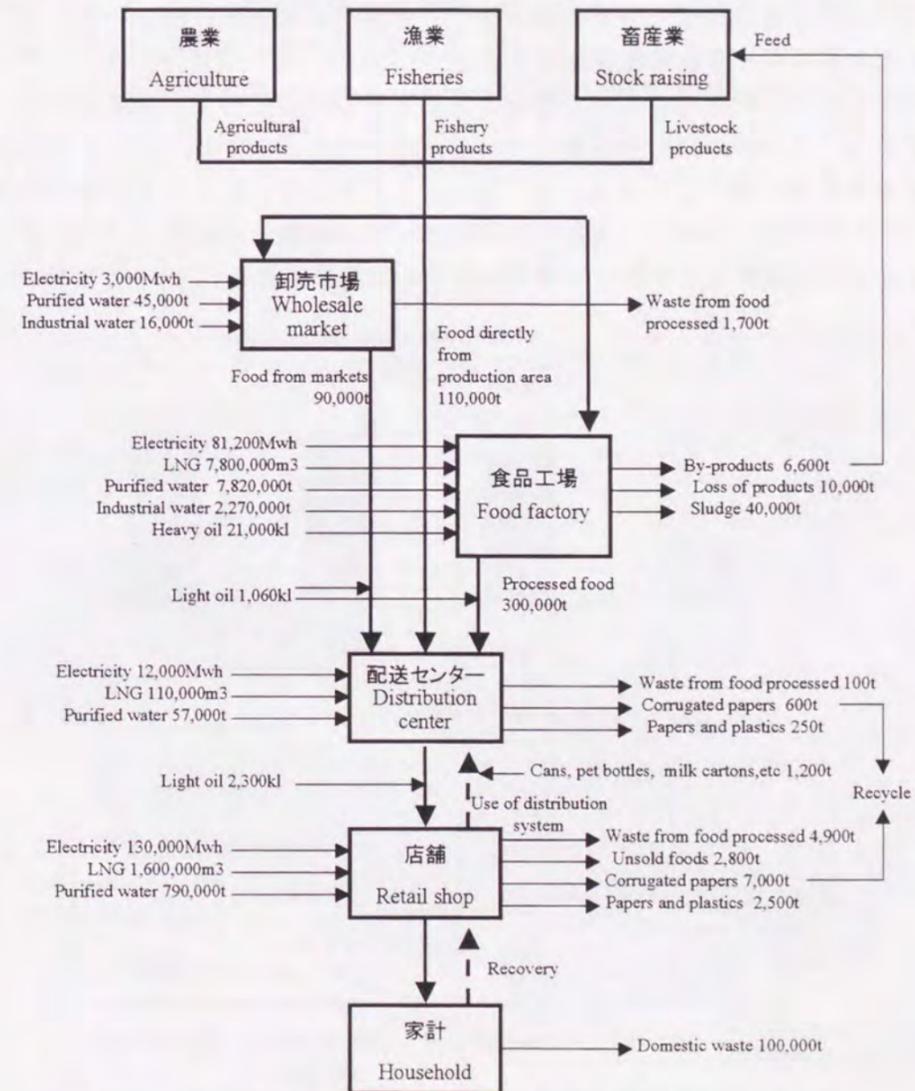


図5-3-5 コープこうべフードシステムの現状のマテリアルフロー

5.3.3 マテリアルフロー分析結果の考察

フードシステムのセクター別のエネルギー投入割合を図 5-3-6 に示す。これから関連工場も含めた食品加工工場および店舗においてエネルギー投入が大きいことが分かる。特に電力に占める店舗の割合が 60%弱を占めており、店舗の省エネを図ること、サーマルリサイクルで得られた電力を店舗で再利用することがまず考えられる。また加工工場において、電力で 40%弱、ガスでは 80%強の割合でエネルギーを使用していることから、廃棄物の熱エネルギーの利用を図ることが環境負荷低減に有効と考えられる。

また、廃棄物の処理に関するセクター別の処理量を図 5-3-7 に示す。リサイクルが成立しているものは、まず食品工場からの有機系副産物の飼料化である。これは副産物のロットが大きいこと、毎日安定した排出量であることがリサイクルが成立している理由である。また店舗、配送センターからの段ボールが再資源化されて有効利用されている。これも毎日大量に排出されること、日持ちの問題などなく、持ち運びが容易であることがリサイクル可能な理由である。

しかし食品加工、配送センター、店舗からの副産物の多くが焼却処分されているのが現状であり、有機物の循環を阻害しているだけでなく、CO₂ 排出により地球温暖化にも影響を与えている。この結果から、フードシステムから発生する副産物や廃棄物をエネルギーや物質に転換し、素材製造や加工、流通段階で再利用し、CO₂ 排出量を低減することが環境負荷の低減に効果があることが予想できる。

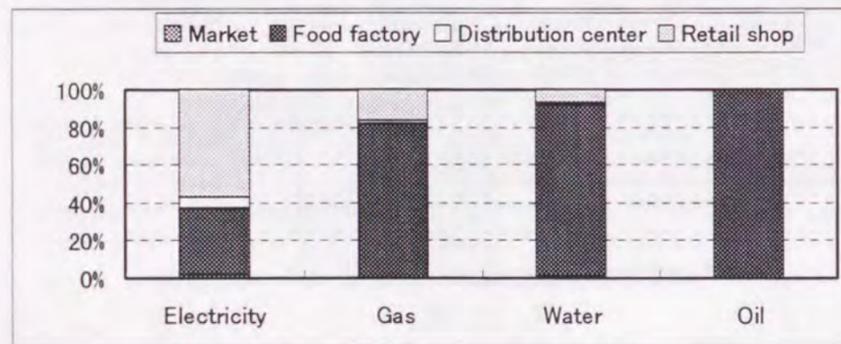


図 5-3-6 現状のセクター別エネルギー投入割合

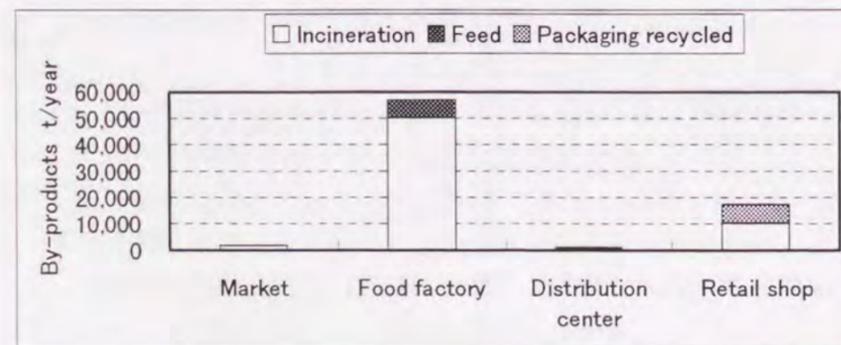


図 5-3-7 セクター別廃棄物処理量

5.3.4 循環志向のフードシステムデザインの構築

本節では前節の現状把握をもとに、フードシステム全体でのエネルギー投入量最小化および廃棄物処分量最小化を目的とした循環志向の統合的なシステムデザインを描く。そのとき、複数のセクター同士が副産物の資源化で結びついた関係を維持し発展していく上での中核的な技術として転換技術を必要とする。ここでは次の 3 つを取り上げる。

(1) コンポスト

コンポストとは「土壌を肥沃にし、改善するために使われる動植物を分解したものの混合物」と定義され、堆肥ともよばれている⁸。有機性廃棄物を堆肥化する意義として、農業生産を支援するだけでなく、焼却、埋立処分による環境負荷軽減、有害物質の発生抑制、人為的に排出された有機性廃棄物中の C, N, P などの土、水、大気圏への放出速度を遅くするといった効果がある⁹。またコンポストを土壌に肥布すると、養分の供給、土壌の物性改善、化学的性質の改善、土壌病害の軽減、遅効性養分の効用など様々な効果を及ぼすことがわかっている¹⁰。

フードシステム内で市場、配送センター、店舗から発生する加工くずを対象に、このコンポスト処理を行い、農地に還元することを代替案として設定する。この時、コンポスト処理装置は図 5-3-8 のように都市部の郊外で、比較的農地に近いところに設置されると仮定する。

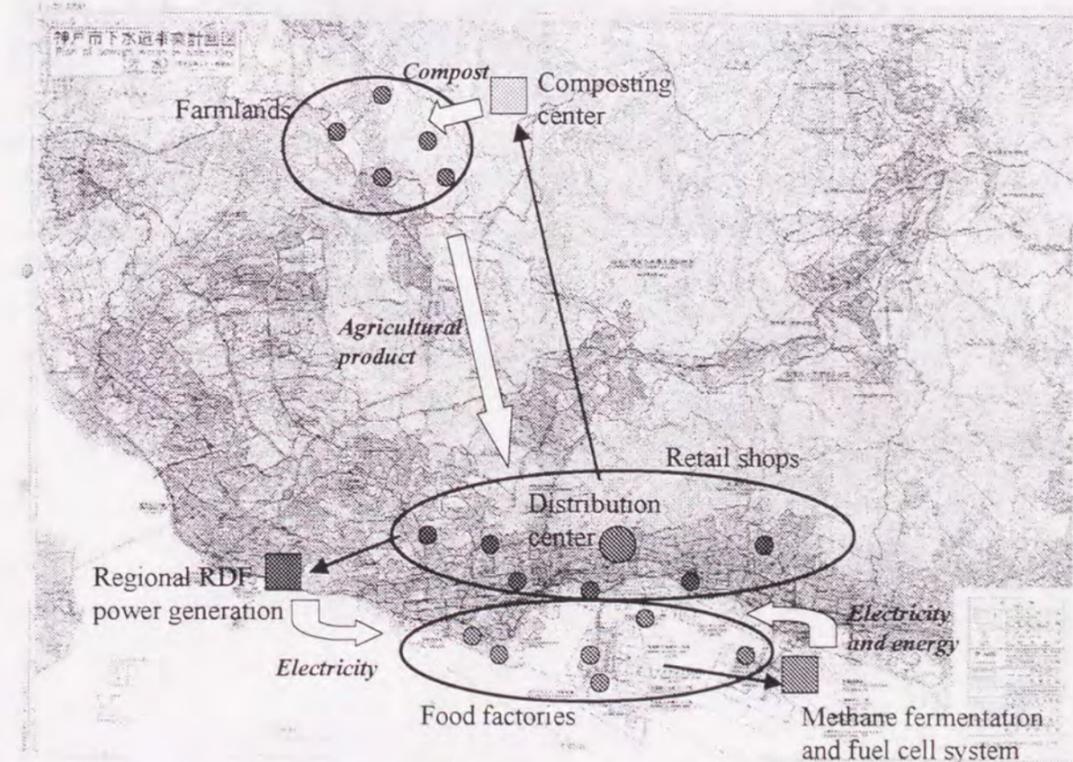


図 5-3-8 神戸市を例とする転換装置の配置

(2) RDF 発電

現在の使い捨て社会から廃棄物循環型社会への移行が全国的に取り組まれている中で、家庭ゴミの固形燃料(Refuse Derived Fuel; RDF)化が注目されている。現状の焼却処理施設の建設にあたって住民合意がきわめて難しい状況にある中で、立地場所でゴミを燃やさない、燃料として利用でき、かつ排ガス対策が容易であることから RDF 化技術は施設更新をひかえた多くの自治体に注目され始めている¹¹。

ここでは量の多い家庭ゴミ、店舗および配送センターの可燃ゴミを都市地域内で固形燃料化し、それを燃焼して得られる電力を店舗で再利用することを代替案として設定する。この RDF 発電装置は図 5-3-8 のように都市の焼却施設の近接区域に設置されると仮定し、ネットワークにつなぐ形で店舗に電力供給することとする。

(3) メタン発酵と燃料電池

メタン発酵は歴史的に古く、嫌気消化(Anaerobic Digestion)ともいわれる。活性汚泥法の普及とともにあまり使われなくなったが、石油ショック以来、回収ガスを燃料として利用でき、通気など消費動力も活性汚泥法に比べ、少ない特性があることから、し尿や下水汚泥ばかりでなく、家畜糞尿、都市ゴミなど多くの有機性廃棄物からのエネルギー回収の目的で研究が行われている。現在でも廃水・廃棄物処理を主目的とし、エネルギー回収を副目的とした省エネルギー型プラントは多く稼働している¹²。

またメタンガス中の水素と酸素を用いて発電する燃料電池発電システムは、高効率かつクリーンな発電システムとして注目され開発されている¹³。ここでは食品工場の副産物を飼料にするため、分離装置を通した後に発生する残さをメタン発酵させ、発生したメタンガスを燃料電池で電力変換し、食品工場に還元することを代替案として設定する。このとき燃料電池で得られる熱エネルギーについては、コープこうべ食品工場がコジェネレーションにより熱供給は十分におこなわれており、さらなる熱供給の改善は必要ないと判断した。一方、メタン発酵後の残さはコンポスト処理に回すこともできる。これらの装置はいずれも図 5-3-8 のように食品工場群の区域に設置されるものとする。

以上の代替案を含めたフードシステムのグランドデザインを図 5-3-9 に示す。このとき、代替案はすべてこのフードシステムの中で互いに独立して組み合わせられるものである。

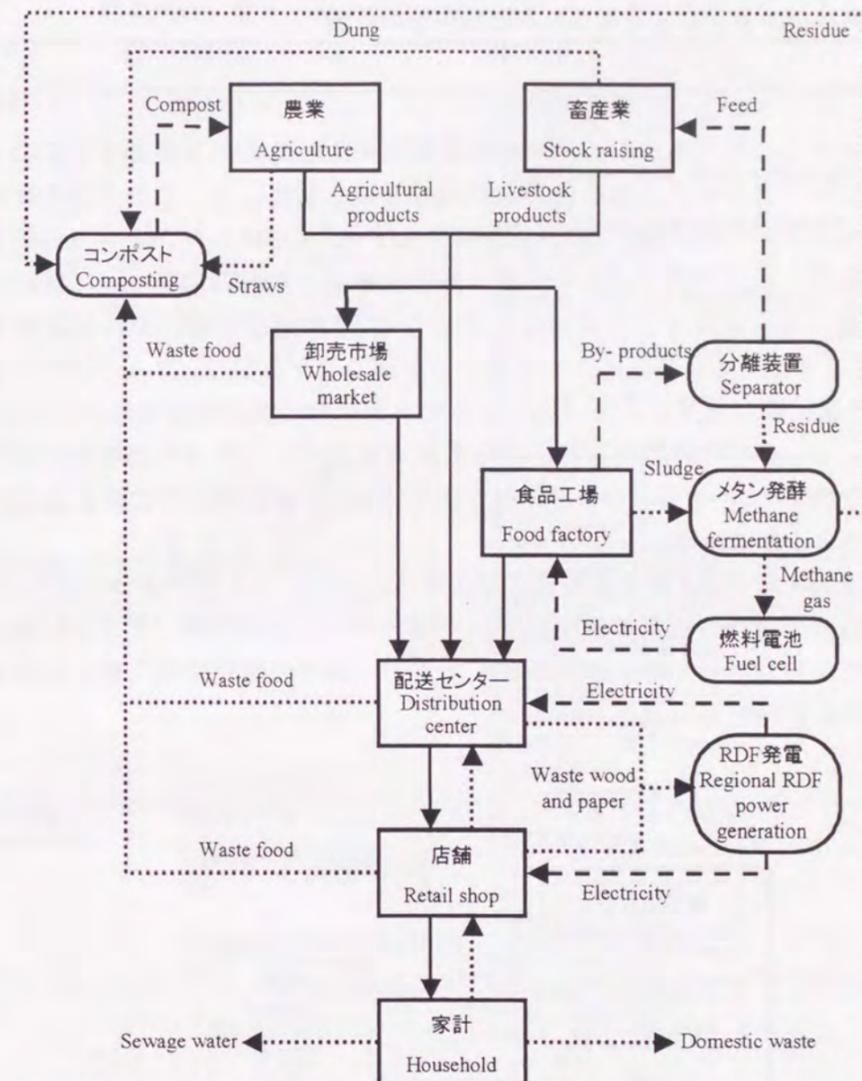


図 5-3-9 転換装置を用いたフードシステムのグランドデザイン

5.4 転換技術の導入による環境負荷低減効果の評価¹⁴

5.4.1 インベントリー分析の内容

フードシステムの循環形成の目的で転換装置を導入した効果を評価するために、転換技術のもつライフサイクルでの環境負荷低減効果を重視して、それぞれの転換装置のパフォーマンスを比較評価する。評価手法としてLCAのインベントリー分析をおこなう。評価指標として、エネルギー消費、廃棄物排出の削減効果を一つに集約することの意義の高い環境負荷で、地球温暖化を招くCO₂排出量を用いる。評価範囲は図5-4-1に示すように、食品のライフサイクルを念頭におきながら、フードシステム内の食品加工、流通に関わるエネルギー消費と有機系副産物の資源転換の部分を中心に扱う。

インベントリー分析に使われる算出条件を表5-4-1に、それぞれの転換装置のインベントリーを表5-4-2~5に示す。最終的なエネルギー、資材や設備に関するCO₂排出量原単位を表5-4-6に示す。

環境負荷はエネルギー・資材消費量に排出原単位を掛けることによって算出される。また装置内包分の環境負荷量の算出においては、フードシステムデザインにおける装置の規模にできるだけ近いデータを参照した上で、装置の廃棄物受入量または発電能力に環境負荷が比例すると仮定した。

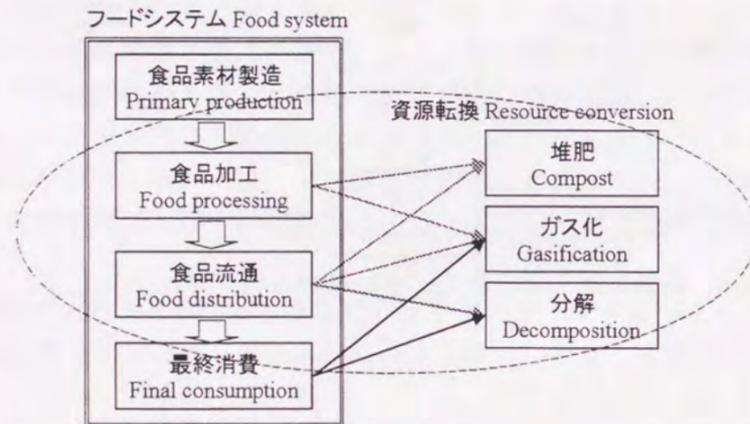


図5-4-1 食品のライフサイクルにおける評価範囲

表5-4-1 インベントリー分析に使われる算出条件^{15,16,17,18}

転換技術	プロセス	装置	算出条件
燃焼施設	輸送プロセス		<汚泥以外の廃棄物> 4tバツカー車: 2.5km/l (軽油) 輸送距離: 80km 配送センター、店舗、家計から燃焼施設まで 輸送距離: 20km 食品加工工場、市場から燃焼施設まで <汚泥(乾燥後運搬)> 4tトラック: 4.6km/l (軽油) 輸送距離: 20km (工場から燃焼施設まで)
		適用プロセス 燃焼 ⁽¹⁾	<インプット> 電力: 100.56kwh/t-waste 都市ガス: 0.143m ³ /t-waste 工業用水: 0.686t/t-waste <アウトプット> 燃焼灰(ash): 0.238t/t-waste
		埋立 ⁽¹⁾	<インプット> 電力: 7.21kwh/t-ash 軽油: 0.25kl/t-ash 工業用水: 0.13t/t-ash
コンポスト装置	輸送プロセス		4t truck: 4.6km/l (light oil) Transport distance: 150km
	適用プロセス	コンポスト装置 ⁽²⁾	<インプット> 電力: 133.33kwh/t-waste 軽油: 4.58l/t-waste 牛糞: 0.25t/t-waste 稲わら: 0.27t/t-waste 製品堆肥: 0.15t/t-waste <Output> 堆肥: 0.6t/t-waste
地域RDF発電 power generation	運搬プロセス		4tバツカー車: 2.5km/l (軽油) 輸送距離: 80km
		装置運用 プロセス	RDF製造施設 ⁽³⁾
			RDF発電施設 ⁽³⁾
メタン発酵と 燃料電池のシステム	輸送プロセス		<汚泥(乾燥後運搬)> 4tバツキュームカー: 4.6km/l (軽油) 輸送距離: 50km
		適用プロセス	メタン発酵装置 ⁽⁴⁾
			燃料電池 ⁽⁵⁾
転換技術の組み合わせ	輸送プロセス		メタン発酵で発生する汚泥をコンポスト装置へ投入 4tトラック: 4.6km/l (軽油) 輸送距離: 150km

出典: (1) 家庭生活のライフサイクルエネルギー、社団法人資源協会編、1994

(2) 生ごみ堆肥化施設見積仕様書、日本製鋼所、1997

(3) 生ごみ堆肥化エネルギー利用社会システム総合評価に関する調査研究、エンジニアリング振興協会、1997

(4) 矢田美恵子他、廃棄物のバイオコンバージョン、地人書館、1996

(5) 都市建物におけるエネルギーシステムの評価調査報告書、地球環境センター、1997

表 5-4-2 コンポストセンターに関するインベントリー

	耐用年数 (年)	建設費		CO ₂ 原単位		CO ₂ 排出量 (t-C/年)
		単位	数値	単位	数値	
前処理設備	30	百万円	27.0	t-C/百万円	0.876988	0.79
発酵処理設備	30	百万円	54.7	t-C/百万円	0.876988	1.60
後処理設備	30	百万円	15.0	t-C/百万円	0.876988	0.44
移送設備	30	百万円	14.0	t-C/百万円	0.876988	0.41
汚水処理設備	30	百万円	1.0	t-C/百万円	0.876988	0.03
脱臭設備	30	百万円	38.0	t-C/百万円	0.876988	1.11
電気計装設備	30	百万円	15.0	t-C/百万円	0.876988	0.44
据付工事	30	百万円	8.0	t-C/百万円	0.876988	0.23
輸送費	30	百万円	1.3	t-C/百万円	1.171123	0.05
合計						5.10

表 5-4-3 RDF 製造施設と発電施設に関するインベントリー

	耐用年数 (年)	建設費		CO ₂ 原単位		CO ₂ 排出量 (t-C/年)
		単位	数値	単位	数値	
RDF製造施設	30	百万円	76,700	t-C/百万円	0.87699	2,242
RDF発電施設	30	百万円	18,684	t-C/百万円	0.87699	546
合計						2,788

表 5-4-4 メタン発酵装置に関するインベントリー

建設段階	耐用年数 (年)	資材重量			CO ₂ 原単位		CO ₂ 排出量 (kg-C/年)
		材料	単位	数値	単位	数値	
加温槽	15	鋼板	kg	2,100	kg-C/kg	0.3633	51
投入ポンプ	15	鉄	kg	500	kg-C/kg	0.3633	12
発酵槽	15	鋼板	kg	5,500	kg-C/kg	0.3633	133
脱硫塔	15	鉄	kg	100	kg-C/kg	0.3633	2
ガスタンク	15	鋼板	kg	4,000	kg-C/kg	0.3633	97
余剰ガス燃焼装置	15	鉄	kg	250	kg-C/kg	0.3633	6
電気設備	15	非鉄金属	kg	800	kg-C/kg	1.7163	92
小計							393
輸送段階							8
保守段階							4
合計							405

表 5-4-5 燃料電池に関するインベントリー

燃料電池装置	耐用年数 (年)	資材重量			CO ₂ 原単位		CO ₂ 排出量 (kg-C/年)
		材料	単位	数値	単位	数値	
	5	カーボン	kg	274	kg-C/kg	0.8501	47
	5	触媒(アルミナ)	kg	195	kg-C/kg	0.2553	10
	30	鉄	kg	2,823	kg-C/kg	0.3552	33
	30	SUS	kg	1,162	kg-C/kg	0.3552	14
	30	銅	kg	80	kg-C/kg	0.4904	1
	30	プラスチック	kg	30	kg-C/kg	0.4922	0
	30	機器類	kg	965	kg-C/kg	0.3552	11
	30	その他	kg	503			0
合計							117

表 5-4-6 CO₂ 排出量原単位^{19,20,21,22}

項目	単位	数値	参照データにおける装置の規模	出典	
エネルギー	電力	kg-C/kwh	0.1040		1
	都市ガス	kg-C/m ³	0.5889		1
	軽油	kg-C/kl	0.7212		1
	重油	kg-C/kl	0.7357		1
	灯油	kg-C/kl	0.6896		1
	上水	kg-C/t	0.2764		2
	工業用水	kg-C/t	0.0269		2
物質装置	化学肥料	kg-C/kg	0.2200		2
	コンポスト装置	t-C/year	5,1000	廃棄物受入量: 2190t/year	3
	RDF製造施設	t-C/year	2,242	廃棄物受入量: 368,650t/year	4
	RDF発電施設	t-C/year	546	廃棄物受入量: 368,650t/year	4
	メタン発酵装置	t-C/year	0.4050	廃棄物受入量: 30t/year	5
	燃料電池装置	t-C/year	0.1170	発電能力: 50kw	6

出典:(1) 地球環境化対策地域推進計画策定ガイドライン, 環境庁企画調整局地球環境部, 1993

(2) 産業連関表による二酸化炭素排出原単位, 地球環境研究センター, 1997

(3) コンポストセンター見積書, 日本製鋼, 1997

(4) ごみ固形燃料化エネルギー利用社会システム総合評価に関する調査研究, エンジニアリング振興協会, 1997

(5) 藤沢市善行地区「荏原製作所住宅団地」における環境調和型地域開発促進事業調査, 荏原製作所, 1997

(6) 都市建物におけるエネルギーシステムの評価調査報告書, 地球環境センター, 1997

5.4.2 インベントリー分析結果と考察

インベントリー分析の結果を示す。まず図 5-4-2 に転換技術による副産物の資源転換可能な重量を示す。各転換装置の導入により副産物の資源転換が有効におこなわれることがわかるが、特に直営および関連工場の汚泥からの燃料電池への投入量が多いことが明らかになった。また各転換技術を組み合わせることにより、ほとんどの副産物をリサイクルすることが可能になる。

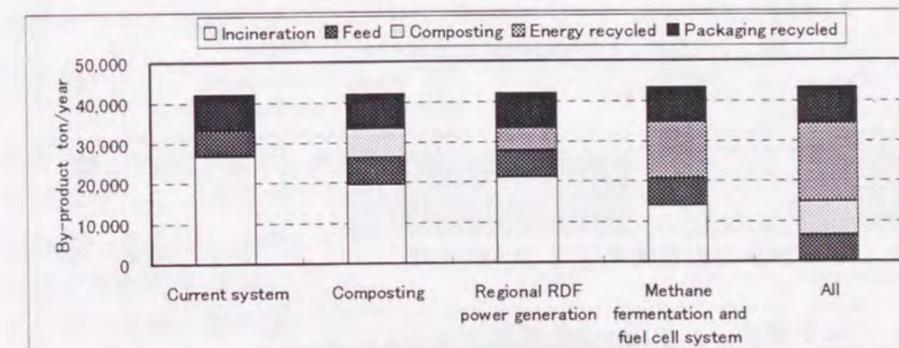


図 5-4-2 転換技術による資源転換可能な副産物重量

次に図 5-4-3 にリサイクル段階における転換技術による CO₂ 排出量を示す。この結果、コンポスト、メタン発酵と燃料電池のシステムが環境負荷低減に効果がある。RDF 発電は回避できる CO₂ 排出量も多いが運転に必要な CO₂ 排出量も多く、他の 2 つの施策と比較すると効果は少ない。また各転換技術を組み合わせで物質やエネルギーのリサイクルが効果的に図れることが明らかとなった。それでも図 5-4-4 に示すように、転換技術を組み合わせても循環形成によって削減できる CO₂ 排出量はフードシステム全体で排出する CO₂ 量の 3% にしかすぎない。これは店舗や加工工場で使用するエネルギー量が非常に大きいため、副産物のリサイクルの効果が比較的小さくなってしま

うからである。そこでフードシステムに関連する副産物を多く排出する他セクターの立地性を勘案しながらフードシステムの拡大を図り、大きな有機物循環を形成する必要があることが指摘できる。

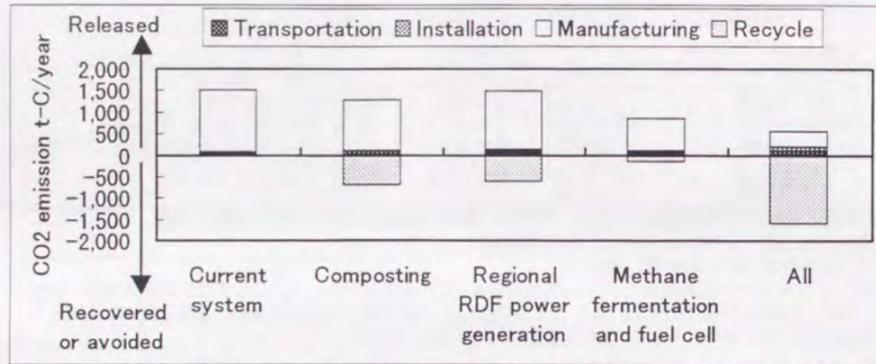


図 5-4-3 リサイクル段階における転換技術による CO₂ 排出量

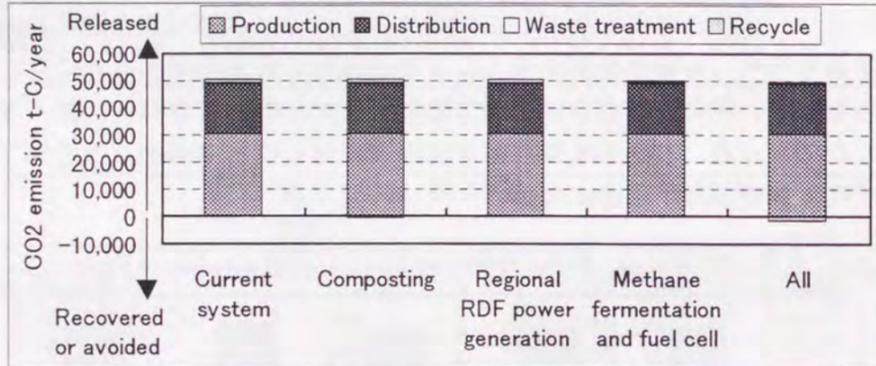


図 5-4-4 フードシステム全体における転換技術による CO₂ 排出量

5.5 フードシステムの拡大による潜在的効果

5.5.1 フードシステムの関連廃棄物のリサイクル

まずフードシステムの関連廃棄物として、最終消費で排出される家庭ごみに着目する。その理由は、家庭が店舗と同様、都市部に散在しているセクターであり、都市部で産業クラスターを形成するときに重要と考えるからである。

家庭ごみには有機物、プラスチックや包装材などが混入しており、その分別が困難なことから、可燃ごみすべてに対応できる RDF 発電が有効である。ただしここでは食品有機物のみを算出対象とする。前節と同様、RDF 製造および発電装置が都市部の比較的近郊にあると仮定すると、RDF 発電による CO₂ 排出量の分析結果は図 5-5-1 に示すようになった。この結果から、家庭ごみを RDF 発電に加えることによって、電力リサイクルに大きな効果が期待できることが分かる。

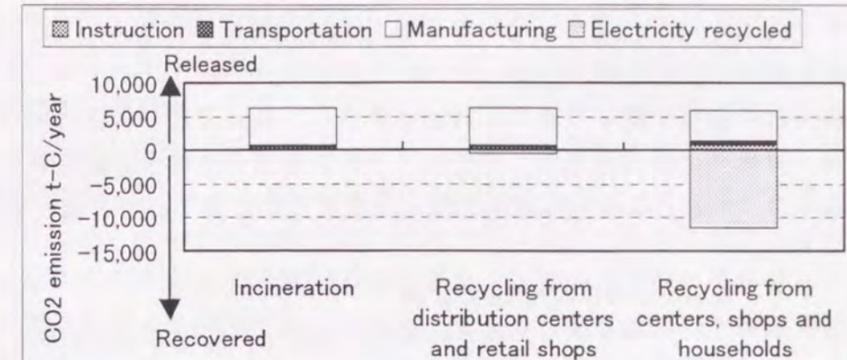


図 5-5-1 リサイクル段階における可燃ごみ排出源別の RDF 発電による CO₂ 排出量

5.5.2 フードシステムに関連する既存施設の利用

フードシステムに関連する既存施設を利用することを考えると、食品の最終消費に関連する、炊事や尿尿による下水汚泥は下水処理場で一括処理される。この下水処理場は、工場と同様、臨海部に立地し、臨海部における産業クラスターを形成するときに重要なセクターである。そこで下水処理場を活用した汚泥のエネルギー回収を検討する。

現在、神戸市には 5 つの大規模の下水処理場があるが、そこでのエネルギー使用状況を調査した結果を図 5-5-2 に示す²³。下水処理場においては買電による電力使用の他に、汚泥をメタン発酵して

得られた熱エネルギーを再利用している。しかし残りの熱エネルギーは有効利用されずに放散しているのが現状である。そこでこの汚泥を有効に使われていない部分をメタン発酵、燃料電池を組み合わせることで再資源化を検討すると、現状と同等以上のエネルギーを回収でき、コジェネレーションによって電力と熱を得ることができる。

この状況を元に、コープこうべフードシステムを対象にした下水汚泥のエネルギー回収の検討結果を図 5-5-3 に示す。設備導入に伴う CO₂ 排出量に対し、得られる電力や熱エネルギーによ

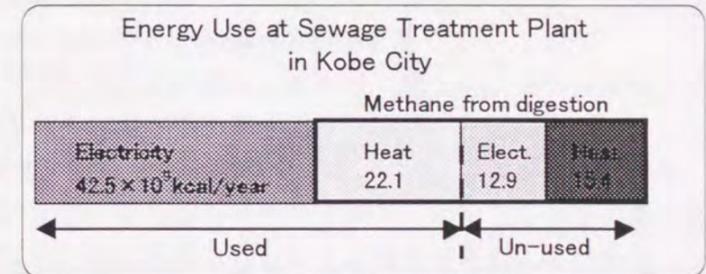


図 5-5-2 神戸市下水処理場のエネルギー使用状況

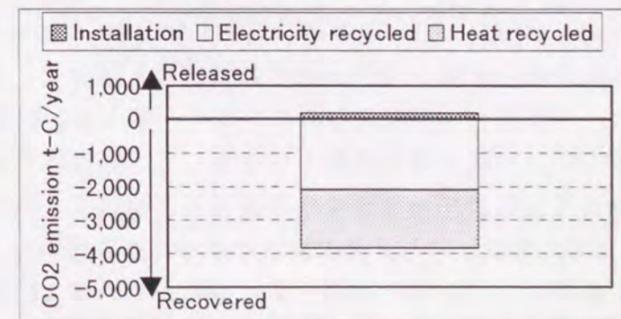


図 5-5-3 メタン発酵と燃料電池システムによる下水汚泥のエネルギー回収に伴う CO₂ 排出量

り削減できる CO₂ 排出量ははるかに多く、下水処理場の汚泥を利用したコジェネレーションは有機副産物の資源転換の潜在性が大きいことが分かる。

ただし、電力は分散型の産業立地でも対応できるが、熱エネルギーは送熱ロスがあまりにも大きく分散型には対応できないため、下水処理場が立地する臨海地域において工場や配送センターなど集約的な産業立地を促すような方策が必要となる。

5. 5. 3 フードシステム拡大の効果の評価

以上をまとめて、フードシステム全体での環境効率向上可能性の検討結果を図 5-5-4 に示す。前節の結果では転換装置を組み合わせてもフードシステム全体の 3% しか CO₂ 排出量を削減することができなかったが、さらに家計から排出される家庭ごみ、家計での食品消費に関連する下水汚泥まで取り入れることにより、フードシステム全体の CO₂ 排出量に対する削減可能な CO₂ 排出量は 30% にまで向上する可能性があることがわかった。

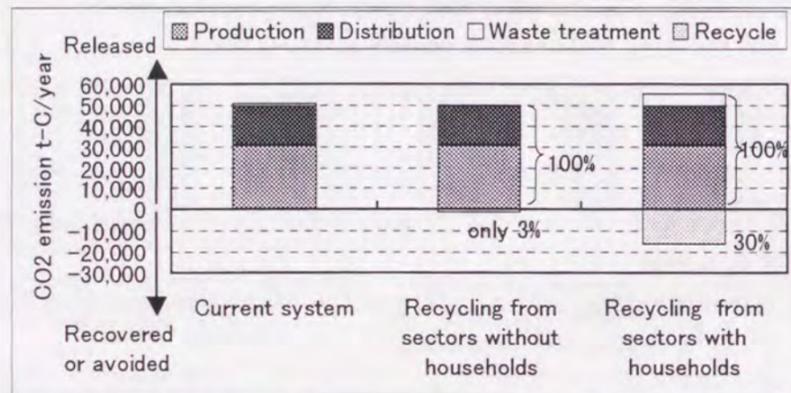


図 5-5-4 廃棄物排出源別の拡大フードシステム全体に関する CO₂ 排出量

5. 6 本章のまとめ

本章では、農地から食品工場、市場、店舗を経て家計消費に至るフード供給システムを都市農村の連携により循環志向型へ転換し、転換技術を導入して有機系副産物の質を考慮した資源転換を行って、地域および地球環境負荷を削減するための循環モデル構築を目的とした。まず都市部人口約 130 万規模の、農地から家計を含めた広義の食品の生産・消費システムとそれに携わる関連セクターを対象に、現状のマテリアルフローを解析し、それぞれのエネルギー投入量と副産物量を把握した。

第二に、食品工場や店舗を中心として工業化された食品の生産・消費システムでの卓越したエネルギー消費や有機副産物に起因する環境負荷削減を図るため、コンポスト、RDF 発電、メタン発酵装置を伴った燃料電池などの資源転換装置を組み入れた循環志向のフードシステムをデザインし、その導入効果をライフサイクルアセスメントにより評価した。

第三に、フードシステムの関連廃棄物のリサイクルおよび既存施設利用を図ることによって、フードシステム拡張による環境負荷削減の潜在的効果を評価した。

その結果、川下の消費者（組合員）から食料品の供給主体（市場、工場、店舗）さらに直営の農園に至る一貫した食品供給システムを有する事業体としてのコープこうべを、有機系物質循環のモデルと捉えると、そこには多様な資材投入とともに製品・サービスが出ていくと同時に各セクターで副産物の発生が認められた。そこでこのモデルの都市部約 130 万人（組合員相当）を対象としたフードシステムのマテリアルフローを分析した。この解析結果では、店舗でのエネルギー投入量が大きいこと、また直営の食品工場に加えて加工食品の供給チェーンでの隠れたエネルギーフローが大きいことが需要主体側の特徴にあげられた。他方、包装材以外の有機副産物においても食品工場のみならず、一次産品加工に伴う副産物の発生が顕著であり、消費者セクターからの発生とともに沿岸都市における有機物フローの大きな副産物発生源であることが認識された。

これらの有機系副産物を質の異なるレベルで再資源化を図る転換装置を組み合わせることによる循環形成の効果を分析した。設定した転換装置導入のシナリオは、有機副産物の質に応じてより上位の自然還元を行う店舗副産物のコンポスト化、直営および関連加工工場で発生する汚泥を嫌気性消化でメタンガスへ改質することによる燃料電池を利用したコジェネレーション、食品流通系可燃ごみの RDF 発電および熱回収を選択するものとした。

LCA 分析の結果、環境負荷削減の量的な寄与としてはコンポストによる化学肥料削減に伴う回避の効果や流通系可燃副産物 RDF 発電による削減効果が大きいことがわかった。また燃料電池については直営工場に加えて関連加工工場系の汚泥から回収されるメタンガスの投入による効果が顕著であり、食品工場が集積する当モデル地区での循環形成の重要な方策の一つであることを示唆する結果となった。

しかし同時に入出力バランスにおいては店舗のエネルギー需要側にまだかなりの余裕があるため、さらに多くの周辺有機副産物の再資源化を検討した結果、消費者セクターからの可燃ごみの RDF 発電による電力供給能力の高いこと、および嫌気性消化と燃料電池のシステムを家庭系の下水汚泥と組み合わせるコジェネレーションの潜在能力の高いことから、フードシステムを拡張することによる環境効率の大幅な改善が図られる可能性があることがわかった。

今後は、このような現状からの改善に対し、関連セクターを含めた産業クラスターの形成、および関連セクターを誘導するような集約的な産業立地政策を行えるような、システムの改善と比較評価を行うことが課題である。

[参考文献]

- 1 食品流通審議会食品環境専門委員会(1998) 食品産業の有機物廃棄物のリサイクルの推進方向
- 2 週刊廃棄物新聞, 1998年5月18日
- 3 有機質資源化推進会議編(1997) 有機廃棄物資源化大辞典, 農山漁村文化協会, 126
- 4 T.Morioka, K.Tsunemi et al.(1998) Study on Life Cycle Assessment of Cycle-oriented Waste Management in Food, Proceedings of The Third International

Conference on EcoBalance, The Society of Non-Traditional Technology, 189-192

⁵ 高橋正郎(1997) フードシステム学の世界, 農林統計協会, 5-15

⁶ 高橋正郎(1997) 前掲書, 266-292

⁷ 食品流通審議会食品環境専門委員会(1998) 前掲書

⁸ 矢田美恵子, 川口博子, 佐々木健(1996) 廃棄物のバイオコンバージョン, 地人書館, 15-27

⁹ 有機質資源化推進会議編(1997) 前掲書, 1-4

¹⁰ 矢田美恵子, 川口博子, 佐々木健(1996) 前掲書, 15-27

¹¹ 鍵谷司, 他(1997)最新廃棄物処理技術, 工業技術会, 193-218

¹² 矢田美恵子, 川口博子, 佐々木健(1996) 前掲書, 69-91

¹³ 稲葉敦, 都市圏の資源・エネルギー循環と都市構造に係わる温暖化防止対策技術に関する研究

¹⁴ K.Tsunemi(1999) Recycle-Oriented Design of Food System with Conversion Technology, Proceeding of CREST International Workshop 1999, 136-144

¹⁵ 社団法人資源協会編(1994) 家庭生活のライフサイクルエネルギー, あんほるめ, 340-367

¹⁶ 日本製鋼所(1997) 生ごみ堆肥化施設見積仕様書

¹⁷ エンジニアリング振興協会(1997) ごみ固形燃料化エネルギー利用社会システム総合評価に関する調査

¹⁸ 地球環境センター(1997) 都市建物におけるエネルギーシステムの評価調査報告書

¹⁹ 環境庁企画調整局地球環境部(1993) 地球環境化対策地域推進計画策定ガイドライン

²⁰ 地球環境研究センター(1997) 産業連関表による二酸化炭素排出原単位

²¹ 日本製鋼所(1997) コンポストセンター見積書

²² 荏原製作所(1997) 藤沢市善行地区「荏原製作所住宅団地」における環境調和型地域開発促進事業調査

²³ 日本下水道協会(1994) 平成4年度版下水道統計—行政編—第49号の1, 728-941

第6章 流通産業における化学物質排出移動に関するマネジメント

6.1 緒言

物質の自然の流れを改変するとともに新規の化学物質を大量に環境に排出している現在の産業活動のパターンは、直接および間接的に環境を汚染している。この産業のパターンが変わらない限り、寿命の長い有害物質が蓄積され続け、広い範囲にわたり環境破壊のリスクが増え続けるであろうことは確かである。

したがって、産業が環境の質を過度に悪化させることなく今日および未来のニーズを充足させていくには、未使用の原材料の使用を抑え、製品一単位あたりの汚染あるいは廃棄物の発生量を目にみえて減らし、環境への間接的影響を含めて、化学物質の使用量を最小限にする新しい手段が必要となることは明らかである。

そこで、工場、事業所が自ら対策に取り組めるような、環境リスクを総体として低減させていくことができる化学物質の包括的な管理システムとして PRTR(Pollutant Release and Transfer Register)制度が提案されている。

本章では、第4、5章で扱ったマクロ物質から漏れてしまうマイクロ物質として、有害化学物質を扱う。そしてエンジニアリング・ポリシーのアプローチから、有害化学物質の最小化、代替化を目指して、流通システムにおける PRTR の概念を考察し、流通業の扱う製品に付随した PRTR のあり方を検討する。

6.2 PRTR のシステムの意義と課題

6.2.1 PRTR 導入の背景

PRTR (有害化学物質排出移動登録制度 : Pollutant Release and Transfer Register) とは、人の健康および環境に害を与える可能性のある化学物質が、大気、水、土壌の環境媒体に排出され廃棄物として移動する量を、個々の事業所が定期的に報告し、これを集めたデータ集である。その基本的構造は図 6-2-1 のようになっている¹。

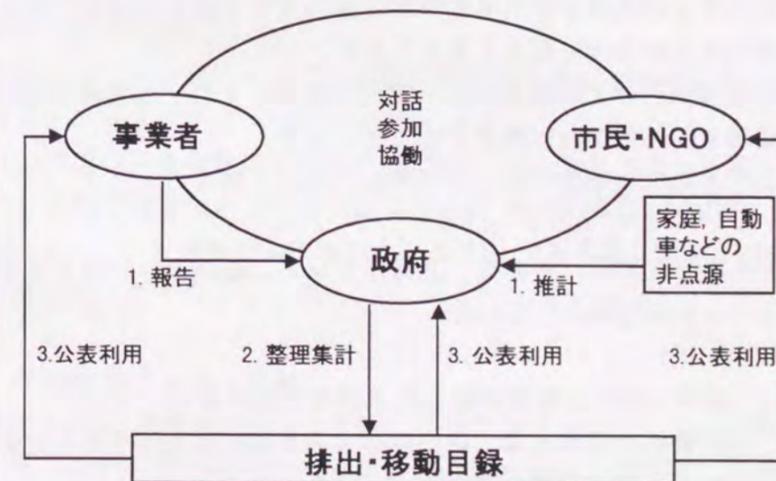


図 6-2-1 PRTR の基本的構造

この制度の契機となったのは、1984年、インド・ボパールの工場で発生した事故によって、周辺の2000人以上の住民が死亡するという事件であった。この事件により、化学製品を製造、使用する施設内の危険・有害な化学物質の種類と量、環境への影響についての関心が高まり、米国では1986年に緊急対処計画および地域社会の知る権利法(Emergency Planning and Community Right to Know Act; EPCRA)が立法化されたが、この中にPRTRの原型ともいべきTRI(Toxics Release Inventory)が含まれていた。この法令によって、指定された業種の事業場は指定された有害化学物質を、大気、水、土壌および地中への放出量、あるいは廃棄物としての移動量を毎年環境保護庁(Environmental Protection Agency; EPA)および州政府に報告し、このデータは事業場ごとに物質名とともに公表されることとなり、地域社会の知る権利が重要視されている。これにより各事業場は自主的に有害化学物質の排出と移動の削減に努め、著しい成果をあげるに至った。

1992年、リオデジャネイロで開催された地球サミットにおいて採択されたアジェンダ21においても、化学物質リスクの削減活動の一つとして、放出登録があげられている。このような経過によりOECDは、1996年にPRTR実施に関するガイダンスマニュアルを取りまとめ、また理事会勧告を採択した。この中で、加盟国の取り組みを3年後に理事会に報告することを指示している。

6.2.2 PRTRの意義

環境庁では、OECD理事会勧告を受けて、我が国におけるPRTR導入に向けた取り組みを早急に進めることとし、平成8年10月にPRTR技術検討会を設置した。PRTRパイロット事業の設計に際し、この検討会で整理したPRTRの目的は下記のように示される²。

- 規制対象物質のみならず、潜在的に有害な可能性のある多数の化学物質を含め、
- 環境への排出などの状況を排出事業者が簡易な方法で適正に推計・把握し、
- 排出事業者の自主的管理を促進するとともに、
- その他の発生源からの化学物質の排出状況の推計と合わせた化学物質の排出・移動に係わる情報を関係各主体に提供することにより、
- 我が国における化学物質の環境リスク対策の推進を図る。

また利害関係者たる政府、事業者、国民にとって、それぞれにメリットがあり、例えば次のようなことが指摘されている³。

①政府：排出・移動に関する情報把握と化学物質管理の向上

- 排出主体、排出物質の種類と量、排出媒体、発生源の地理的分布を把握
- 規制物質等の監視、対策効果の追跡
- 排出削減、環境保全型技術への転換の促進

- 地域レベルでの環境リスクの把握
- ②企業：排出・移動量の把握と適切な自主管理
 - 自らの排出・移動量の把握と業種全体の排出、移動情報の入手
 - どれだけの物質資源が環境中へ汚染物質として無駄に排出されているかを知ることにより排出量の削減と経費の削減が促進
- ③国民：政策決定への国民参加の基礎
 - 国民の意識向上と参加の促進
 - 国民が、行政、企業と同じ土俵で議論

以上をもとにPRTRの意義は以下のようにまとめることができる。

(1) 定量的に目標設定ができる

まずPRTRがどのような形式で実施されるにせよ、各事業場が有害化学物質の環境放出・移動を定量的に把握し、報告することにより、定量的に目標を設定しリスク削減を実行し得ることである。

(2) 有害化学物質のリスクアセスメントが可能となる

有害化学物質のリスクアセスメントは、個々の化学物質の定性的、定量的有害性と、それらが人あるいは環境に対する曝露のアセスメントの両方が必要であるが、従来曝露アセスメントのデータが不足していた。特に平均値としての一般環境のデータは得られても、リスクが高い場合の多い発生源周辺のデータに乏しかったといつてよい。TRIの立法化された経過をみても周辺環境、あるいは周辺の市民の知る権利が契機となっている。PRTRの実施により、従来欠けていた曝露アセスメントが可能となり、その結果として有害化学物質のリスクアセスメントが期待できる。

(3) 効率的なリスクマネジメントが行えること

PRTRによって、行政は有害化学物質の排出または移動する媒体および発生源と地域の正確なデータを把握することにより、優先順位を決めて有効な環境リスクマネジメントが行える。

企業は自己の排出する有害化学物質による環境リスクの低減のためのリスクマネジメントを効率的に行える。

以上、行政にとっても企業にとっても環境対策が経済的にも効率的となる。

(4) 地域社会とのリスクコミュニケーション

企業にとって環境リスク対策の目標値の設定、これによるリスク低減の数量化と目標の達成度などを地域社会にリスクコミュニケーションすることにより、理解がえられやすくなる。また、会社全体としてもこれらのデータを環境レポートなどで公表し、企業の信頼が得られやすくなるであろう。

6.2.3 各国のPRTR導入状況

PRTR制度はOECD諸国を中心として既に各国で導入されている。主な導入国は米国、カナダ、オランダ、英国などであるが、最近ではオーストラリア、メキシコでも導入されており、日本のパイロット事業も含めて表6-2-1のような特徴がある。

表 6-2-1 各国の PRTR 制度の特徴^{4,5,6,7}

Country	System	Found-ed Year	Number of Chemicals	Source of Release
USA	TRI (Toxics Release Inventory)	1986	658	Point Sources: facilities (10 or more employees, manufacturing more than 25,000 pounds, using more than 10,000 pounds of a listed chemical)
Canada	NPRI (National Pollutant Release Inventory)	1993	178	Point Sources: facilities (more than 10 employees, manufacturing, processing and using more than 10 tons of a listed chemical)
UK	CRI (Chemical Release Inventory)	1991	486	Point Sources: 5000 facilities
The Netherlands	EIS (Emission Inventory System)	1974	120	Point Sources: 700 facilities Non-point Sources: traffic, rail, airports, households and land uses
Australia	NPI (National Pollutant Inventory)	1996	400	Point Sources: facilities (handling listed chemicals) Non-point Sources: cars, domestic chemical use, etc.
Mexico	RETC (Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes)	1997	178	Point Sources: 4000 facilities Non-point Sources: agriculture and transportation
Japan	(Pilot Study)		178	Point Sources: facilities (large ones 100 or more employees, small ones 30 or more employees) Non-point Sources: pesticides, mobile sources, households small-sized establishments

対象物質については、英国の CRI(Chemical Release Inventory)が他国の制度と異なる。CRI では IPC(Integrated Pollution Control)の許可条件に基づいて排出量が報告されるが、条件は許可を出す検査官の裁量に委ねられており、報告を求める対象物質も許可毎に異なる。一方、その他の国々の制度では報告を求める化学物質が定められている。米国の TRI では当初 308 の化学物質と 20 の化学物質群が対象とされたが、1997 年現在では 630 の化学物質と 28 の化学物質群に増えている。

一方、環境への排出量に着目して選定されたカナダの NPRI(National Pollution Release Inventory)の対象物質には、国内での年間使用量が 1 トン以下のものや既存の法律が規制しているものが除かれており、178 物質と TRI に比べるとはるかに少なくなっている。逆にオランダの IEI(Individual Emissions Inventory)では収集可能なデータはすべて集めるという考え方で、二酸化炭素も含め約 900 物質が対象となっているが、報告の義務づけに合わせて 120 物質に減らされる予定である。

それから、オーストラリアの NPI(National Pollutant Inventory)では約 400 物質のリストをつくっているが、最終的には数が絞り込まれる予定である。メキシコの RETC(Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes)では 178 物質を扱っている。

日本のパイロット事業では、既存の環境規制の対象化学物質およびこれに準じる物質(65 物質)と、潜在的に有害な化学物質として有害性および曝露可能性の両者の観点から選定した物質(113 物質)の合計 178 物質を選定している。この場合、有害性としては、発がん性、変異原性、生殖毒性、慢性毒性、生態毒性など種々の毒性につ

いて幅広く検討し、有害性の程度によりランク分けを行っており、また曝露可能性としては、一般環境中における検出実績を重視するとともに、一般環境中での測定実績のない化学物質については、取扱量(生産量+輸入量)により選定されている⁸。

排出源については、TRI, NPRI, CRI については点源排出源である対象施設に限定している。TRI の対象施設は当初、製造部門に限定されていたが、1994 年に連邦政府の施設が、さらに 1997 年の報告からは金属や石炭の採掘、発電所、有害廃棄物処理など 7 業種が追加され、約 6400 施設が対象となると予想されている。NPRI では、コストなどから考えて排出データを得るのが現状では無理と考えられた教育・研究、輸送車両の修理、化学物質卸売、鉱物・石油・ガス採掘施設など 1713 施設が報告を行っている。CRI では IPC の対象となる工程を有する燃料および電力産業、金属産業、鉱業、化学産業などが対象となっている。1996 年 3 月時点では 2036 工程に IPC の許可が与えられているが、CRI の対象となる施設の数約 5000 施設とみられる。

TRI と NPRI では、報告義務を有する施設を 10 人以上の従業員を雇用している施設に絞り込んでいるが、10 人以下でも総労働時間がそれぞれ 2000 時間あるいは 2000 時間を超える施設は対象としている。また TRI では化学物質の取扱量による裾切りを設けており、対象物質の製造・加工施設は年間 25000 ポンド、その他の使用施設では年間 10000 ポンド以上扱う施設を対象としている。NPRI では、対象物質の製造・加工施設でも、年間 10 トンの基準量に満たない施設は対象から除外している。また、混合物についても、TRI では対象化学物質の濃度が 1.0%未満、発がん物質では 0.1%未満の場合は報告の対象から除外している。しかし、ダイオキシンのようなきわめて毒性の高い物質については、新しい裾切りが検討されている。NPRI も 1%未満の場合に対象から除外しているが、副生成物の場合は濃度に係わらず対象としている。

一方、オランダの IEI では、最初に従業員数が 10 人以上のすべての企業を対象とし、6300 社が報告を行った。その後、国内全体の排出量に占める割合や排出された化学物質が環境に与える影響に基づいて絞り込まれ、1997 年現在では 700 社に減っている。これは点源排出源からの報告であるが、それとは別に、CEI(Collective Emission Inventory System)によって IEI の対象とならない中小企業、移動発生源、家庭および農業・殺虫剤などの非点源発生源からの排出データを集めるシステムがある。ここでは排出量は、活動係数(Activity Rates)×排出係数(Emission Factors)の計算式などにより総合的に算出され、そのデータは地域的に編集される。そして IEI によるデータ、CEI によるデータをまとめて一般化し、化学物質、環境テーマやターゲットグループという視点から分析・編集された EIS(Emission Inventory System)データとなる⁹。

オーストラリアの NPI では、点源排出源として対象化学物質を扱っている事業所を対象にしているが、同時に非点源排出源として移動排出源・家庭での使用を扱っている。またメキシコの RETC では、約 4000 社が報告を義務づけられているが、非点源排出源としても移動排出源・農業を扱っている。

日本については、点源排出源として製造業および一部の非製造業の従業員数 30 人または 100 人以上の規模の事業所(約 1800)を対象事業所としているが、対象物質を年間 0.1 トン(有害性が低いものは 10 トン以上)製造または取り扱っている場合のみ報

告する義務を負う。また非点源排出源としては農薬散布、移動発生源、家庭、中小事業所からの排出・移動量を環境庁において推計している。

以上のように、各国の PRTR 制度では排出源、対象化学物質の両面から裾切りをおこなっている。そのため排出源では中小の事業所などが対象から漏れ、一方、化学物質では低濃度のものは対象にならない。そこで特に前者の排出源については、最近の PRTR 制度では非点源排出源まで対象にすることによって、排出源の範囲が広がられている。

6. 2. 4 PRTR 導入の成果と問題点

各国の PRTR 制度の原型で、政府によって導入された初めての PRTR 制度である米国の TRI を例に、PRTR 導入の成果を把握する。

TRI 制度では、指定された業種の事業場は指定された有害化学物質を、大気、水、土壌および地中への放出量、あるいは廃棄物としての移動量を毎年環境保護庁(EPA)および州政府に報告し、このデータは事業場ごとに物質名とともに公表されることになっている。

Hazen¹⁰は TRI 制度を導入した成果として以下のことを指摘している。

- 化学物質に関する情報を収集し、一般市民に広め、地域環境状態に関する理解を促進することができた。
- 一般市民が TRI のデータを利用することができ、環境政策の意思決定に参加することを可能にした。
- 地方自治体が、制定する規制やガイドラインを効果的にするために必要な情報を TRI データから得ることができるようになった。
- 政府内外の研究者が、環境関連の分析を行う際に、TRI によって十分なデータを収集できるようになった。
- 産業界にとって、化学物質の排出と移動の最小化と廃棄物の排出量低減を図るための機運が上昇した。
- 上記を達成することで、TRI で収集されたデータにより、有害化学物質の排出・移動の全体像が描け、かつ事業所の廃棄物管理手法を把握することができた。

また、オグデン¹¹も次のような成果を示している。

- EPA は TRI データの多くの利用を見出した。化学物質、産業分野、位置で TRI データを分類することによって、リスク評価や法令の施行など他の政策に影響を与える決定のために有効な情報が提供できた。EPA はどの化学物質の排出と移動が最大かに加えて、他の地理的または産業的に特異なパターンについて、より多くの知識を得た。TRI によって提供される排出、移動、廃棄物管理データは、毒性データや人口密度などの他の情報を合わせて、EPA がさらに効率的な環境政策を作り上げるのに役立つ。

- 1988 年から 1994 年までに、TRI に報告された化学物質の総排出量（大気、水、土壌、地下への注入）が 44%以上減少した。
- TRI は産業界に情報の提供を要求するだけである。しかしその情報が産業界の行動を促進し、企業や施設が排出と移動の減少に取り組んだ。これは産業界による化学物質の使用に関する意識が高まったからである。
- EPA、産業界、一般市民の間の協力と協調の強化が図られた。今や多くの企業が積極的な公的関係の価値と重要性を認識し、一般市民側も産業界側の公開性の高まりに不信を緩和している。また EPA は、産業界と一般市民の両方の必要性和関心に対しより敏感に反応し、TRI の負担を軽くしつつ、一般市民に利用可能な情報を増やす努力をしている。

しかし次のような欠点も指摘されている¹²。

- 製品に含まれている有害物質あるいは米国全土の約 3 分の 1 の工場からの報告が含まれておらず、有害と思われるすべての物質の排出量が含まれているわけではない。
- TRI の数字には米国における重要な有害物質のうちいくつかのものについて排出量を 10 倍近く過小評価している可能性がある（表 6-2-2 参照）。

表 6-2-2 米国の有害物質排出量推計（1989 年）¹³

化学物質	消費量	物質収支排出による損失重量		TRI で報告され TRI で換算されない損失量	
		物質収支排出による損失重量	TRI で報告された排出量	TRI で換算されない損失量	TRI で換算されない損失量
ベンゼン	7,360.0	390.6	14.6	376.0	
トルエン	3,071.7	1,345.4	158.5	1,186.9	
キシレン、混合物	3,419.2	839.4	86.5	752.9	
メタキシレン	34.6	7.1	1.6	5.5	
オルトキシレン	509.6	104.2	1.3	102.9	
パラキシレン	2,510.9	190.6	3.2	187.4	
三塩化炭素	400.2	11.2	2.3	8.9	
クロロホルム	224.8	46.4	12.2	34.2	
塩化メチレン	183.1	162.9	70.3	92.6	
パラクロロエチレン	252.9	183.0	17.1	165.9	
トリクロロエチレン	68.9	65.5	26.2	39.3	
1,1,1-トリクロロエタン	303.4	283.1	88.1	195.0	
メチルエチルケトン	239.2	242.0	73.1	168.9	
メチルイソブチルケトン	91.2	82.1	20.2	61.9	
カドミウム	3.6	4.6	0.9	3.7	
クロミウム	536.9	443.0	31.2	411.8	
水銀	1.6	1.6	0.1	1.5	
ニッケル	159.2	141.8	8.7	133.1	
シアン化物	629.7	182.5	5.3	177.2	
合計	20,000.7	4,727.0	621.4	4,105.6	

表 6-2-2 のような明らかな相違の理由として、TRI の報告には小規模の企業や家庭で使われる商品に含まれる有害物質は含まれないことが挙げられる。

6.2.5 非点源排出源の扱い

評価が実際と相違する理由は、「移動」に含まれる範囲が工場、事業所からの点源排出源からの排出、移動のみであり、家庭や輸送のような非点源発生源からのものまで含まれていないからである。国連の国際化学物質安全性計画(IPCS)が提示した用語解説の中に「移動(Transfer)」という語が含まれていないのは、PRTR システムにおいて「移動」に何が含まれるかは PRTR の化学物質、リストによって大きく異なるためであることが指摘されている¹⁴。

固体、スラッジ状、液体の廃棄物を発生地点から除去し、回収、処理、保管、処分のための工場外施設に移すことだけを「移動」と考えた場合、PRTR リストは、まさにこうした廃棄物のリストを含むことになる。前述したように TRI (アメリカ) や CRI (イギリス) などがこのような PRTR システムにあたる。

「移動」の意味が広げられ、製品に含有されている潜在的に有害な化学物質まで含まれるとすると、製品を使用する家庭や輸送から大気に放散される化学物質の排出などまで含める必要がある。近年 PRTR を制度化した国々では非点源排出源まで含めており、日本のパイロット事業もこの考え方に沿って制度の構築を図っている。

日本のパイロット事業では、非点源排出源を以下の4つのカテゴリーに分類している¹⁵。

- ① 農業散布；農場、庭園、森林、ゴルフ場、公園
- ② 移動発生源；自動車、二輪車、船舶、鉄道
- ③ 家庭；塗料揮発剤の大気への蒸発、家庭ごみ、電池などの固体廃棄物
- ④ 中小事業所；点源排出源とされなかった、規模の小さい事業所

図 6-2-1 に製品のライフサイクルから見た化学物質の移動ルートを示す。化学物質の環境中への排出や廃棄物としての移動の全体像を把握するためには、対象規模以上

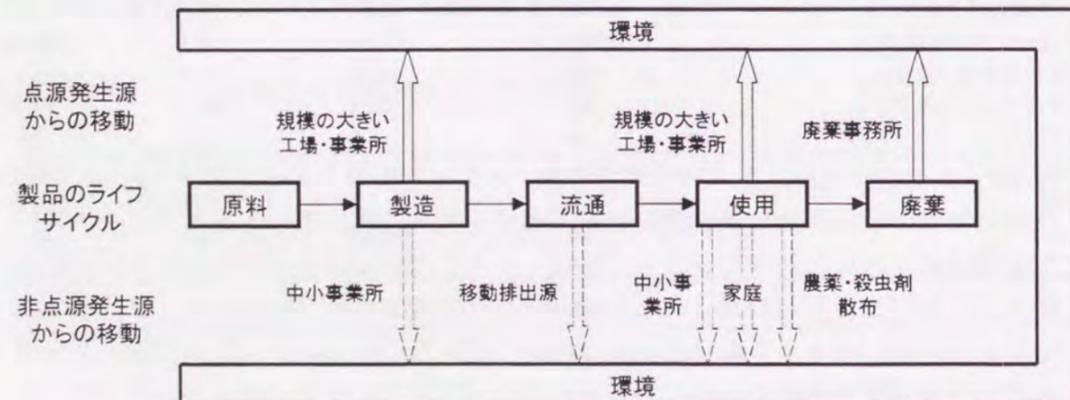


図 6-2-1 製品のライフサイクルから見た化学物質の移動ルート

の対象業種の工場、事業場という点源排出源からの報告のみならず、非点源排出源からの排出、移動についても把握する必要がある。

6.3 流通システムにとっての PRTR の概念

本節では、環境庁による PRTR パイロット事業を参考にしながら非点源排出源からの化学物質排出移動量の推計方法の困難さを認識するとともに、製品ライフサイクルの流通段階において PRTR を実施することの意義について考察を行う。

6.3.1 非点源排出源からの化学物質排出移動量の推計

点源排出源における化学物質の排出移動量の推計については、各国の PRTR 制度で「排出量推計マニュアル」や「排出ガイドライン」が作成されており、確立された推計方法が構築されている。すなわち、実際に排出量を測定する方法と、物質収支的な考え方の適用により、化学物質の供給量から製品原料としての明らかな消費や処理装置による除去量などを差し引いた残りが、環境中に放出されたとみなす方法である。そしてこの推計をもとに、空間から空間への化学物質の移動を防止するのではなく、少なくしていこうというものである。

一方、非点源排出源からの排出・移動量の推計については、確立された推計方法がほとんどない。日本のパイロット事業によって非点源排出源について排出、移動の形態に応じてカテゴリー別に分類されたのが表 6-3-1 である¹⁶が、実際に推計を行った範囲は、表の推計欄に○をつけた項目についてである。

一部で推計ができなかった理由として、推計に必要なデータを手に入できなかったこと、および排出源の実態が不明なこと、従業員数や製造品出荷額を指標に拡大推計を検討したが、よい相関が得られなかったことなどが指摘されている。

推計方法は、大きくトップダウン方式（全国または都道府県単位の統計資料などに基つき排出・移動量を求め、指標を用いて地域に分配する）とボトムアップ方式（市区町村単位など都道府県未満の統計資料などに基つき排出・移動量を求め、地域ごとに積み上げる）に分けられる。大半はトップダウン方式の推計を用いているが、その推計の大まかな手順は以下のように示されよう。

- ① 対象物質の設定
- ② 用途別使用量の推定
- ③ 需要先の配分
- ④ 排出率の設定
- ⑤ 各地域への配分

図 6-3-1 にトップダウン方式の推計フローの一例を示す¹⁷。川上の製造量で最終段階での環境への排出を代表させるトップダウン方式では、国や地方全体の統計データを元に推計がおこなわれるが、この方法による推計には次のような欠点が指摘できる。

表 6-3-1 非点源排出源の分類¹⁸

大カテゴリー	中カテゴリー	小カテゴリー	備考	推計
農業散布	農地	田・畑・果樹園など		○
		造園		○
		森林	森林への航空散布	○
		ゴルフ場		○
		公園		○
移動発生源	自動車	乗用車・軽貨物車・トラック・バス		○
		二輪車		○
		船舶	漁船を含み外航船舶を除く	○
		航空機		
		鉄道		○
		その他	建設機械(ブルドーザー等) 農業機械(トラクター等) 産業機械(フォークリフト)	
家庭	大気への排出	塗料	溶剤・原材料等	○
		殺虫剤	住宅用, 園芸用	
		衣類防虫剤		○
		エアゾール製品溶剤		○
		接着剤	合板等用等	○
		水道	トリハロメタン	○
		その他		
	生活排水	水道	トリハロメタン	○
		洗浄剤	合成洗剤等	○
		その他		
	固形廃棄物	電池	電極・電解液	○
		照明器具	蛍光灯	
		その他		
中小事業所	中小規模業種	水産養殖業	漁網防汚剤等	
		職別工事業	塗装工事	○
		燃料小売業	ガソリンスタンド	○
		洗張・染物業	染料	
		写真業	写真現像	○
		火葬・墓地管理業	火葬場	
		自動車整備業	塗装	○
		獣医業		
		医療業	助産所, 歯科技工所等除く	○
		対象規模未満	各対象業種	
その他		バイオマスの燃焼等		

- 関連する個々の物質について詳しい情報を得られるものではない
- 販売された量がすべてその年のうちに使用されるわけではない
- 推計に必要な情報が十分得られないため、非点源排出源からのすべての排出、移動量の推計値ではない

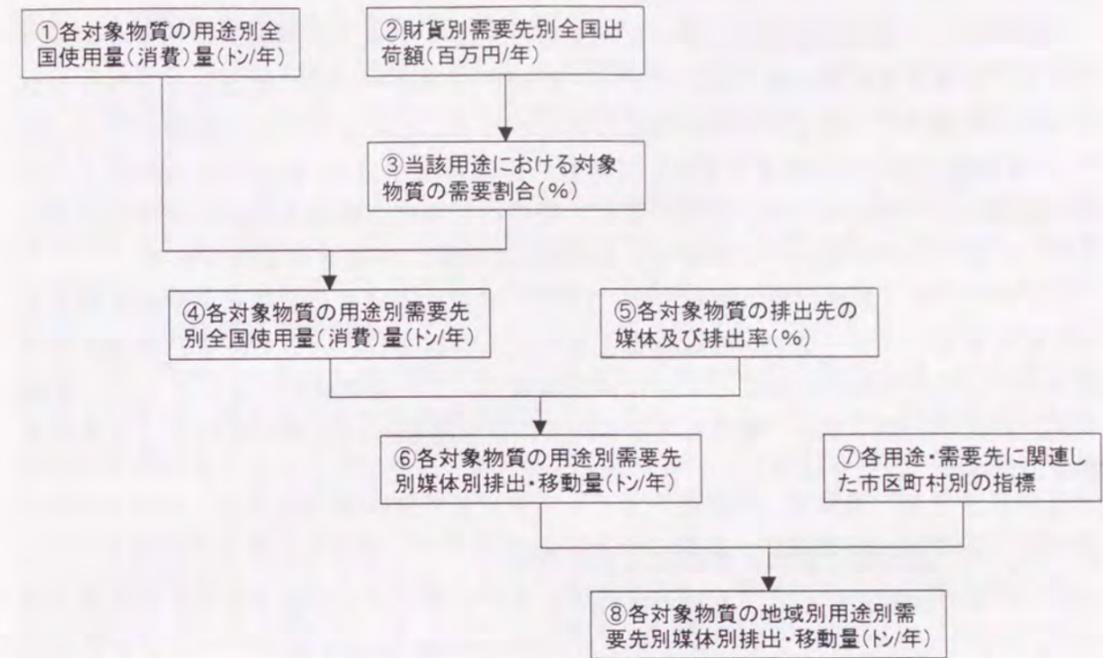


図 6-3-1 トップダウン方式による主要な排出・移動量推計フロー (家庭)

- さらに国全体の情報を地域に分配する際に、需要先の配分、排出率の設定、各地域への配分に仮定設定が必要
- 推定に仮定が多く含まれているため、精度が必ずしも高くない
- 地域リスク評価に用いるには正確さに欠ける

一方非点源排出源からの排出、移動を具体的に計上されたデータを用いて積み上げていくボトムアップ方式の場合は、対象化学物質の対象期間内での使用量を地域担当者が推定することになる。しかしこの方式は地域の担当者にすべてを依存することになり、時間とコストがかかる傾向があることから、毎回データを調査することに対し社会的に許容されにくい¹⁹。そのため、ゴルフ場における農業散布、家庭の水道水など比較的データが豊富で入手容易な項目についてボトムアップ方式は非常に有効であるが、それ以外の非点源発生源については応用が難しいのが現状である。

6.3.2 非点源排出源からの排出量削減のイニシアティブ

PRTR のメリットとして前述したように、点源排出源である事業所にとって、自らの排出・移動量の把握と業種全体の排出・移動情報の入手や一般市民とのコミュニケーションにより、化学物質の使用に関する意識が高まり、化学物質の排出と移動の減少に取り組むイニシアティブになっている。つまり、一般市民へのデータ公開によって対象化学物質の排出・移動量を製造業が削減することが促進されるとの前提で

PRTR 制度は成り立っているのである。

このシステムを非製造部門にまで拡大することは、実施上の問題を生じさせるだけでなく、対象化学物質の取り扱いを改善・削減する機会を実際にはほとんど持たないこうした産業部門に対して市民の関心を集中させることになることが指摘されている²⁰。非点源排出源は中小事業所を除いて非製造部門に属するが、製品ライフサイクルの前の製造段階で実施されている汚染防止、物質の代替化、廃棄物削減に依存せざるをえない。卸売業者は必然的に製造元による製品の選択に左右されるのである。

すなわち、非点源排出源に関しては、PRTR 制度によって化学物質を直接削減または代替化するイニシアティブを取れるような主体が存在しないのである。非点源排出源からのデータを取り込むことにより地域環境リスク評価は進むことになるが、環境リスク低減のために工場、事業者が自ら対策に取り組むという PRTR による化学物質管理の意義が、ここでは薄れてしまうのである。

6.3.3 流通業における PRTR による管理

1～2 項の観察をもとに、本項では製品をライフサイクルの視点からとらえて、図 6-3-2 のように製造段階よりも排出源に近い流通段階で製品の流れをチェックするような PRTR システムの意義を考察する。

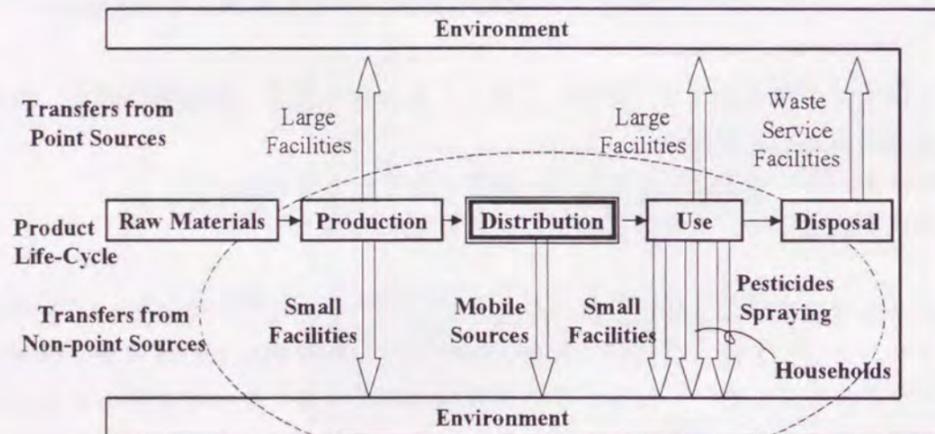


図 6-3-2 製品ライフサイクルから見た流通業の情報把握範囲

このシステムでは流通段階の移動発生源を直接に扱うことができ、また家庭での製品使用、農薬・殺虫剤の散布に関する製品の使用段階における情報を扱えるなど、非点源排出源を広範囲に扱うことができる。さらに製品を使用する顧客、消費者が形成するところの地域性を把握できるため、推計手順の中で需要先への配分、各地域への配分は流通段階で実際のデータを使用でき、推計における算出仮定を用いるの必要がなくなり、推計精度の向上を図ることができる。また川上の製品原料と川下の製品使用量の両方の情報を把握しやすく、製品をライフサイクルで追いかけることが可能となり、推計の対象を拡大することも可能となる。

販売先がほとんど地域内の消費者であるため、単に事業場を点でとらえず、地域社会という面的な側面から化学物質を捉えることができ、地域内でのリスク評価を行うことができる。そして便益費用分析やリスク評価後、代替品への移行や使用量の削減などの施策を行い、人間に影響のある物質を地域内生活の中に混入するのを防ぐことができる。

従来の PRTR の考え方では、点源発生源である事業者にとって、化学物質使用の低減への自主的取り組みのイニシアティブがあったが、非点源発生源については、政府や自治体によるトップダウン方式による推計によるため、環境リスク評価には有効なもの、化学物質使用を減らしていこうというイニシアティブは動きにくかった。しかし、以前は製品の流通・販売時に化学物質としての認識は通常流通側・消費側双方になかったが、流通業で化学物質を PRTR 的に管理することにより、流通業が市民側と生産者側のコミュニケーションの接点とになり、はじめて相互に認識が深まるものと考えられる。また PRTR の結果を公開することで生産者・販売側には有害物質使用の製品を削減し、また市民側にも環境保全や自分の健康への認識から環境に安全な商品を購入するイニシアティブを取りうる可能性がある。環境リスクは生産者側の責任になることは言うまでもないが、ここでは購入、消費の際の行動によって市民が自ら有害物質を削減することが可能となり、消費者側もリスク責任を分担することが望ましい。

従来の PRTR は、化学物質の物質収支をもとに、排出・移動を低減することを目的としていたが、流通業に PRTR 制度を導入する場合、対象物質は販売される製品に混入している化学物質であり、製品の化学物質の含有量・状態をチェックし、製品を代替化することによって化学物質の移動防止を図ることが目的となる。しかし、流通においては化学物質を直接認識することはできず、川上の製造業からの間接的な情報を得る手段をとることになり、PRTR の変型版としての位置づけができよう。

以上をまとめたものを表 6-3-2 に示す。

表 6-3-2 従来の PRTR と流通業における PRTR の特徴の比較

	従来の PRTR	流通業における PRTR
PRTR の目的	環境への化学物質の排出を低減する	人間生活への化学物質の混入を防止する
目的を実行するための手段	物質収支による化学物質の排出・移動の推計	製品に混入した化学物質を流通段階でチェック
対象となる主体	個別の事業所、工場	地域社会全体
情報	対象主体内で調査されて得られた直接的情報	製品ライフサイクルにおける川上の製造業および川下の消費からの間接的情報
化学物質のリスク責任	生産者責任	コミュニケーションの接点の場を提供することで、生産者だけでなく、消費者も責任の一端を担う

6.4 流通業の扱う製品に付随した PRTR のあり方

前節では流通業における PRTR の意義を考察したが、本節では流通業において実際に PRTR 制度を導入した場合の取り組みの方向性を検討する。その実験対象として食品流通業を担っているコープこうべを選定する。とりあげた理由は、コープこうべが食品工場、配送センター、店舗を持ち、食品のライフサイクルの中核を担っていること、また食品だけでなく家庭用品、住宅関連や園芸用農薬にも力を入れており、非点源排出源の多くを扱うことができるからである。

6.4.1 流通業の従来環境政策の特徴

コープこうべは組合員(Community)と密接に関連した協同体(Association)であり、食品をはじめ種々の商品の大量生産、大量供給が農薬の過剰使用、添加物、保存料の使用の問題を引き起こしている中で、生協はこの大量生産の枠の中で対抗しつつ、より安全で安い商品の生産と消費を目指してきた。また組合員との直接のコミュニケーションの場として果たしてきた協同購入によって、組合員の要求を早く正確に把握してきた。

コープこうべはこの 10 年の間に、組合員が単に消費者であるにとどまらず、環境の良き保全者たることを目指すという立場から、次の環境問題への取り組みを行っている²¹。

①環境マネジメントシステムの推進

- 環境監査を実質的におこなう EMS 推進安全室の設置
- 一部店舗で ISO14001 の認証を取得
- 食品工場で取得に向けて取り組みを開始

②事業活動から発生する環境負荷低減

- 廃棄物削減と再資源化
- 車両からの環境負荷の低減
- 環境に配慮した商品開発

③くらしの見直し運動を視点にした環境保全型社会への取り組み

- 環境情報の提供
- マイバッグ運動

コープこうべで扱う製品としては、食料品の他に、洗剤、ラップ、食器や衣料品、住宅建材のような多様な非食料品があり、様々な化学物質がこれらの製品に混入されていることが予想される。これまで製品に含まれる有害化学物質に対して以下のような対策を実施してきた。

- 焼却時ダイオキシンの発生しないポリエチレンラップに切り替え
- 焼却時ダイオキシンの発生しない包装フィルムに切り替え
- 有害物質をできるだけ含まない石鹼が主成分の洗剤の製造販売

いずれも有害化学物質をできるだけ含まないような代替製品に切り替え、その情報を組合員に提供することにより、環境に配慮した商品の取り扱いと普及を進めてきている。

6.4.2 流通業における PRTR の有効性

PRTR の概念をコープこうべに導入するとき、その大きな目的は製品の使用により化学物質に曝露されることによる消費者の健康への不安を除くことである。

PRTR のデータを有効に活用するためには、事業所内で環境マネジメントシステムを構築する必要がある。すなわち、化学物質排出・移動の点検・把握、自主的削減目標の設定、有害化学物質の目録作成と管理、目標達成のための対策立案・実施、エコレポートによる成果の報告などを通じて、環境マネジメントシステムに PRTR の情報を有効に機能させなければならない。

現在の時点では、図 6-4-1 に示すようにコープこうべのデータ管理システムは商品の販売額を把握することが可能である。農薬や殺虫剤などは内分泌攪乱物質を含むと考えられ、これらの有害化学物質は少量であっても人・動物に対し有害性が高い。したがって、この販売額の集計データはリスクの指標になりうるのである。

コープこうべ製品に含まれる内分泌攪乱物質には、表 6-4-1 に示すものが推定できる。合成洗剤、ラップ、トレーなどに含まれる微量の化学物質は、家庭で製品が使用された後、家庭ゴミや排水として全量捨てられるため、後に内分泌攪乱物質の問題となる可能性が高い。またカップめんや壁材、防虫剤などのように、含まれる化学物質が直接人間に曝露する製品もある。

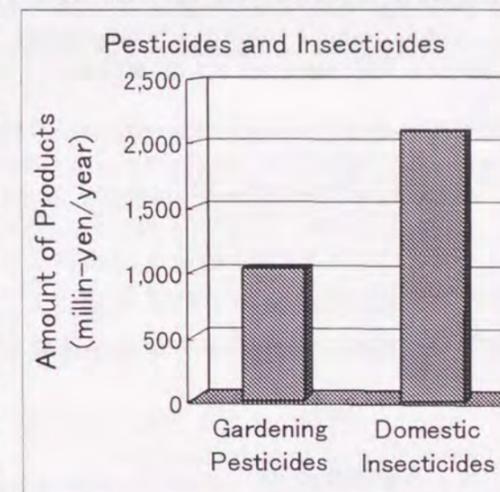


図 6-4-1 コープこうべの現在の集計システムによる農薬・殺虫剤の販売額

表 6-4-1 コープこうべで扱われる製品中に含まれると推定される内分泌攪乱物質

製品	内分泌攪乱物質	用途
カップめん	スチレンダイマー, スチレントリマー	発泡スチロール原料
ポリカーボネート製食器, ビン	ビスフェノール A	耐熱性, 耐水性
ラップ類	フタル酸エステル類, アジピン酸エステル類	プラスチック可塑剤
合成洗剤	ノニルフェノール	界面活性剤
住宅建材	クロロベンゼン類, パラジクロロベンゼン	接着剤, 仕上げ塗料, 防虫剤
化粧品	BHA, フタル酸エステル類	酸化防止
抗菌製品	フタル酸エステル類	抗菌効果
住宅用殺虫剤, 殺菌剤	ケルセン, エンドスルファン, カルバニル	殺虫, 殺菌

参考: <http://www.asahi-net.or.jp/~xj6t-tkd/env/subst.html> 他

フロンガスのように環境に対する影響の大きさが解明され、使用禁止にしようという化学物質を管理していくのはそれほど難しいことではないが、環境に散逸してしまうと困るけれども便益が大きい物質については、管理方法が非常に難しい。特に内分泌攪乱物質はごく微量で体をコントロールしてしまうため、従来なら考えられなかったような低い濃度でも大きな影響が現れ、しかも多くの化学物質が関連して複合作用や相乗作用を引き起こすため、化学物質ごとに安全基準を定めるといった考え方だけでは通用しないと考えるべきである。

よって流通の扱う製品に付随した PRTR のあり方について、以下の点に留意しながらシステム化を進めるのが望ましい。

- 製品毎の販売額・販売量などの集計システムの構築による化学物質排出・移動の点検・把握と自主的削減目標の設定
- 有害化学物質ごとのデータの集約化による目録作成と管理
- 製品中の化学物質成分に関する製造業とのコミュニケーション
- より環境に配慮した製品を市民に推奨していくための、市民側とのコミュニケーション
- 製造業と市民のコミュニケーションの接点としての流通業の位置づけを図るような環境情報の開示方法の開発

以上のように、PRTR 制度を流通業において導入することは、従来の工場・事業所における有害化学物質の PRTR 管理による漏れ落ちを補完できるだけでなく、地域における主体間のコミュニケーションを通じて、地域リスク管理が図れる点で重要である。

6. 5 本章のまとめ

本章では、第4、5章がマクロ物質の循環形成、最小化を扱ったのに対し、そこで扱えなかったミクロな物質として有害化学物質を対象に、工場・事業所が自ら対策に取り組めるような、環境リスクを総体として低減させていくことができる化学物質の包括的な管理システムとしての PRTR 制度をエンジニアリング・ポリシーのアプローチとして扱った。

まず PRTR の成立の背景を述べた後、PRTR の意義として、定量的な目標設定、化学物質のリスク評価やリスク管理、地域社会とのリスクコミュニケーションが可能となることを指摘した。次に、各国で既に導入されている PRTR 制度の概要を示し、米国 TRI を例にその成果を提示した後、TRI の欠点として点源排出源のみを取り上げたことによる化学物質排出量の過小評価の可能性をとりあげた。

すべての有害化学物質の排出、移動量を把握するためには、点源排出源だけでなく非点源排出源からの排出量を把握する必要があることから、日本のパイロット事業を例に、非点源排出源からの排出量の推計方法を提示し、推計に必要な情報が十分得られない、推計精度が低いといった問題点を指摘した。そこで製品のライフサイクルの

流通段階において PRTR 的に化学物質を管理することを提案し、排出源により近い流通段階で製品情報をチェックし、各地域での原料と使用量の両方をより精度良く把握できるという利点だけでなく、地域環境リスク管理の可能性、市民も一体となったりリスク責任の有利性を示した。

さらに化学物質をオンサイトで管理するためのシステム構築を考察する際、コープこうべを例にその有効性を検討し、製品毎の販売額・販売量などの集計システムの構築、有害化学物質ごとのデータの集約化による目録作成と管理、製造業と市民のコミュニケーションの接点としての流通業の位置づけを図るような環境情報の開示方法の開発などの留意点を指摘した。

[参考文献]

- ¹ 環境庁環境保健部環境安全課(1998) PRTR パンフレット
- ² PRTR 技術検討会(1998) PRTR パイロット事業評価報告書
- ³ 環境庁企画調整局調査企画室(1998) 環境白書(総説)平成10年度版、大蔵省印刷局、127-128
- ⁴ UNITAR(1997) A Guidance Document for Implementing a National PRTR Design Project, 11-15
- ⁵ M.Mertin(1998) Overview of Development of Australia's National Pollutant Inventory, Proceedings of OECD international conference on PRTR, 7-12
- ⁶ Luis Sanchez-Catano et al.(1998) Design and Implementation of the Mexican Pollutant Release and Transfer Register, Proceedings of OECD international conference on PRTR, 37-46
- ⁷ T.Hayamizu(1998) Summary Report of PRTR Pilot Project in Japan, Proceedings of OECD international conference on PRTR, 13-22
- ⁸ 環境庁環境保健部環境安全課(1998) PRTR パイロット事業中間報告—環境汚染物質排出・移動量推計結果一、1-2
- ⁹ 織朱實(1998) 諸外国の PRTR 制度、第2回 PRTR 連続セミナー資料
- ¹⁰ S.B.Hazen(1998) US TRI, A partnership with industry, community and local government, Proceedings of OECD international conference on PRTR, 23-29
- ¹¹ 化学物質管理の新しい手法「PRTR」とは何か、化学工業日報社、1997、101-118
- ¹² 世界資源研究所編(1994) 世界の資源と環境 1994-95、中央法規出版、221-231
- ¹³ R.U.Ayres and L.W.Ayres(1991) Use of Materials Balance to Estimate Aggregate Waste Generation in U.S., INSEAD Working Paper Series, European Institute of Business Administration
- ¹⁴ 環境庁化学物質対策研究会監修(1996) 環境汚染物質排出・移動登録(PRTR)環境政策および持続可能な開発のための手法、化学工業日報社、46
- ¹⁵ S. Ota(1998) Estimation of release and transfer from non-point sources in the PRTR pilot project in Japan, Proceedings of OECD international conference on PRTR, 132-142
- ¹⁶ 環境庁環境保健部環境安全課(1998)PRTR パイロット事業中間報告—環境汚染物質排出・移動量推計結果一、3-2
- ¹⁷ 環境庁環境保健部環境安全課(1998) 前掲書、3-32
- ¹⁸ PRTR 技術検討会(1998) 前掲書、89-90
- ¹⁹ C.W.A.Evers et al.(1998) Estimating Environmental Releases from Diffuse Sources - A Guide to Methods-
- ²⁰ D.MacMillan(1998) 米国における有害化学物質排出目録(TRI)プログラムの現状と課題、

第7章 産業転換のアプローチの環境パフォーマンスからの解釈

7.1 緒言

本章では、4～6章までの3Pアプローチによるパフォーマンスを情動的側面から捉えなおす。まず環境マネジメントシステムをはじめとして、環境パフォーマンス評価、環境パフォーマンス指標、環境報告の概要を説明する。現状では環境パフォーマンスおよびその評価指標について共通認識が形成されていないことから、個々の事業所が明確で透明な評価をおこなうことは、社会全体としても意義あることと認識した上で、3Pアプローチによる環境パフォーマンスと環境パフォーマンス指標を明示し、それぞれの特徴を明らかにする。

7.2 環境マネジメントの情動的側面

7.2.1 環境マネジメントシステムの概要

今日の環境問題の多くが、都市、生活型公害や地球温暖化問題などに見られるように、通常の事業活動や日常生活による環境への負荷の増大に起因しており、生産、消費のありかたを変革していくような構造的な解決が求められている。なかでも事業所の環境保全への取り組みは重要であり、リサイクルの促進や処理の容易性を念頭に置いた製品開発や、ライフサイクル評価の視点に立った廃棄物の排出抑制、再利用が試みられている。その手段となるものが環境マネジメントであり、それをシステム化して事業所単位で導入することは、循環型経済社会を構築する上で非常に有益なものである。

環境マネジメントをシステム化して実行するときには、図7-2-1のPDCAサイクルに沿って事業所活動を規定することになる¹。すなわち、一般には環境に関する方針を樹立し、

次いで事業所の活動、製品、サービスの環境への影響を調べ、その内容を念頭に置いた上で環境行動の目的、目標を設定する(Plan)。次にそれを実現するために環境担当組織および責任者を設け、権限を与え、要員も確保する(Do)。その後、目的、目標の達成状況に関する調査を行い、評価し、不適合の是正の処置を検討する(Check)。この結果をもとに必要に

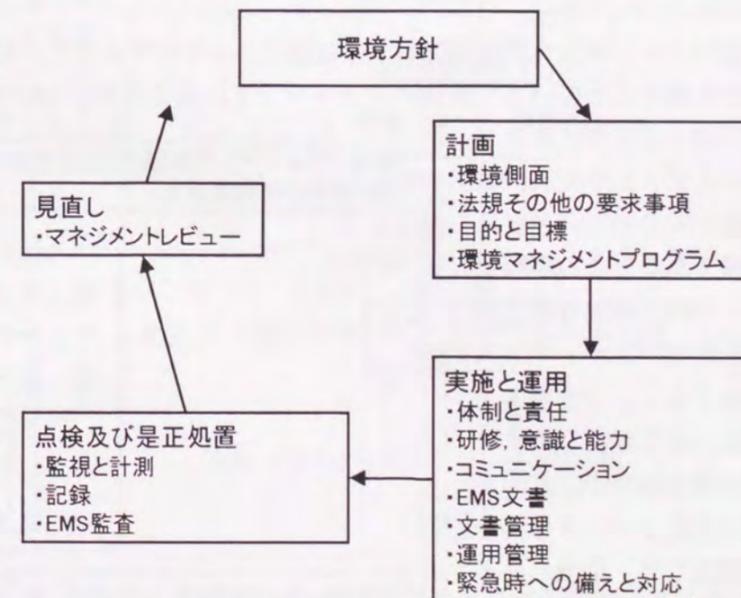


図7-2-1 環境マネジメントシステムのPDCAサイクル

応じて環境方針などの見直しが行われる(Action)。

このような継続的な改善をシステム化することによって担保しようとするものが環境マネジメントシステム(Environmental Management System; EMS)である。その中で、環境方針、目的、達成目標およびその他の基準に照らして環境パフォーマンス(Environmental Performance; EP)を評価することにより、組織の環境側面の明確化が期待できる。そして組織が事業の目的に環境パフォーマンスを掲げ、その環境目的をサポートする基盤として環境マネジメントが存在する。

7.2.2 環境パフォーマンス評価の概要

ISO14004では、環境パフォーマンス(Environmental Performance; EP)を、自らの環境方針、目的および目標に基づいて、組織が行う環境側面の管理に関する環境マネジメントシステムの測定可能な結果と定義している²。組織の環境パフォーマンスが経営者によって設定された目標を達成しているか否かを判断するための信用でき、かつ検証しうる情報を提供する経営内部の継続的なプロセスおよびツールが環境パフォーマンス評価(Environmental Performance Evaluation; EPE)である。ISOの規格は、人的な組織からなるマネジメント・システム、生産機械や設備からなるオペレーション・システム、それに環境を検討の対象としており、組織の活動による環境負荷を低減させるために、組織が行うべき環境行動とその評価手法についてのガイドラインを与えるものである³。

同様の概念に環境監査(Environmental Audit)があり、いずれも組織の経営者が、その環境パフォーマンスの状態を評価し、必要に応じて改善すべき部分を明確化する際の手助けとなるものである。環境パフォーマンス評価は、パフォーマンスの経時的な推移や現状の評価に関するデータや情報の収集および評価の継続的なプロセスであるのに対し、環境監査は定められた要求事項に対する適合状況を立証するために定期的な実施されるものである。

環境パフォーマンス評価のプロセスは図7-2-2に示すように、EMSと同様PDCAサイクルから成り立っている。環境パフォーマンス評価の計画(Plan)では、まず組織の環境側面の明確化が必要であるが、環境マネジメントシステムの背景状況の中で開発される情報であるところの環境方針、目的、達成目標に照らして環境パフォーマンスを評価することができる。そして、より理解しやすくかつ有用な形での定量的または定性的なデータの提示の手段として、環境パフォーマンス指標を選定する。

次の段階がデータおよび

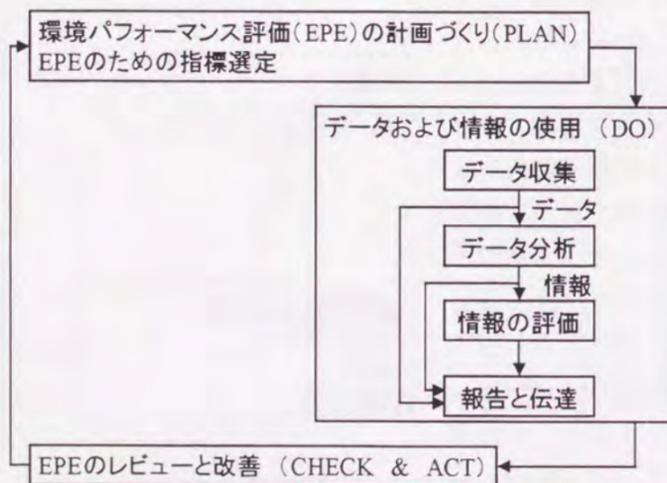


図7-2-2 環境パフォーマンス評価のプロセス

情報の使用(Do)で、適切な情報源からデータを体系的に収集し、データの分析後、組織の環境パフォーマンスを表す情報、つまり環境パフォーマンス指標として表現する。こうして得られた情報を、組織の経営管理者により設定される環境パフォーマンス目標、ターゲット、その他の目標とする水準であるところの環境パフォーマンス基準(Environmental Performance Criterion)と比較し、環境パフォーマンスの改善もしくは不足の理由を理解する上での有用な証拠となる結果を得る。そして管理者側の必要性に対する評価やその伝達に基づいて組織内外の関係者に、組織の環境パフォーマンスに関する有益な情報を提供する。

最後の段階が環境パフォーマンス評価の見直しと改善(Check & Act)である。環境パフォーマンス評価の改善の機会を見つけるためであり、また管理のパフォーマンスや組織の運営を改善するための管理活動に寄与することがあり、さらに環境の条件に改善をもたらす可能性がある。

環境パフォーマンス評価を情報と物質の流れに着目すると、図7-2-3のようになる⁴。パフォーマンスを測定する対象はマネジメント・システム(Management System)、オペレーション・システム(Operation System)に分類され、オペレーション・システムが影響を与える「環境」、マネジメント・システムが影響を与える利害関係者(Stakeholder)という概念が考えられる。

マネジメント・システムは、いわば経営者などの企業の決定組織全般を指すものと考えられ、利害関係者から受ける情報、オペレーション・システムから得られる情報、環境状況から得られる情報を総合的に分析評価して、オペレーション・システムの運営方法の決定、利害関係者への情報提供を行う機能を有するものとされている。具体的には、会社の経営、管理体制のことを指す。このマネジメント・システムに対する評価項目には、計画立案、資源の配分、作業プロセスの管理、パフォーマンス情報および結果のフィードバック・評価などのすべての活動および手続きが含まれるとされている。

一方、オペレーション・システムは、製品およびサービスを生み出すために必要とされる、プラント・機器および物質・エネルギー収支を設計したり、操作することを含むとされており、具体的には実際の製造現場、設備を指す。

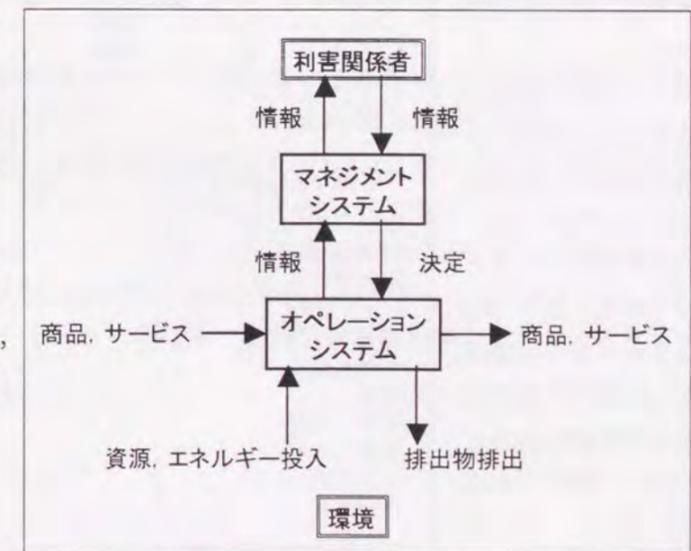


図7-2-3 環境パフォーマンス評価における情報と物質の流れ

7.2.3 環境パフォーマンスにおける指標の役割

組織は、より理解しやすくかつ有用な形での定量的または定性的なデータの提示の手段として、環境パフォーマンス指標(Environmental Performance Indicator; EPI)を選定する。環境パフォーマンス指標は、関連する環境データを、組織の環境パフォーマンスに影響を及ぼすためのマネジメントの取り組み、組織の操業の環境パフォーマンスまたは環境状態に関する簡潔で有用な情報に変える一助となる。

環境パフォーマンス指標にはマネジメント・パフォーマンス指標(Management Performance Indicator; MPI)とオペレーショナル・パフォーマンス指標(Operational Performance Indicator; OPI)および環境指標(ESI)の三種類がある。

マネジメント・パフォーマンス指標は、組織の環境パフォーマンスに影響を及ぼすか、または及ぼしうる訓練、法廷要求事項、経営資源の配分と有効利用、環境コストマネジメント、購入、開発製品、文書化、または是正処置などの問題の管理における組織の能力および取り組みに関する情報を提供することが望ましい。そしてマネジメントが行う取り組みの評価および環境パフォーマンスを改善するための処置を支援することが望ましい。

オペレーショナル・パフォーマンス指標は、管理経営者に、組織のオペレーションに関する環境パフォーマンスについての情報を供給するものである。

図 7-2-4 は組織のオペレーションを示したものであるが、多岐にわたる活動、物質的な

設備の生産、特別な製品の供給、サービスということについて、環境パフォーマンスを評価するとき、組織は、これらを考慮しなければならない。

一方、環境指標は、局部的、地域的、全国のおよび全世界的な環境の状態に関する情報を規定するものであり、個々の組織というよりも地域、国や国際的な政府機関や非政府組織などで展開、適用されるものである。そして個々の組織は、この指標とそれに提供される情報との適合性

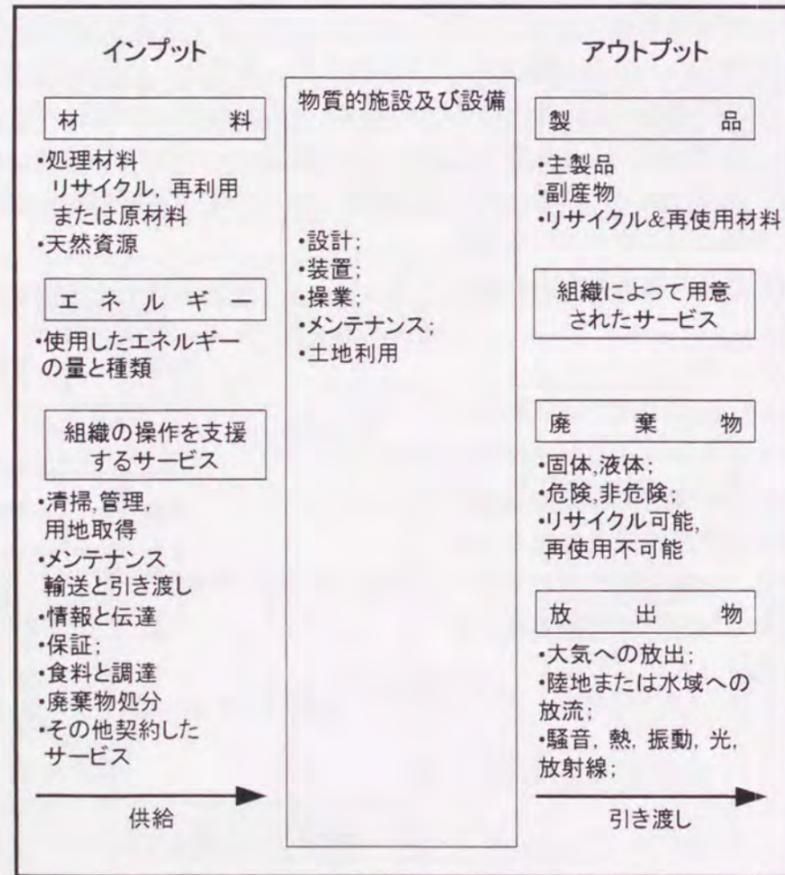


図 7-2-4 組織のオペレーション

を考慮して、MPI や OPI を決定することもできる。

環境に関する情報の分類軸としては、以下のように分けられる⁵。

- ①環境を構成する圏域(Environmental Sphere)
大気圏、水圏、地圏、生物圏、人間活動圏
- ②環境問題領域(Environmental Problem Area)
大気汚染、水質汚濁、地球温暖化、オゾン層破壊など
- ③現象の地理的スケールからの分類
- ④環境問題の因果関係の流れからの分類
 - ・環境変化による人間活動(Human Activity)
 - ・環境への負荷(Environmental Load)
 - ・環境の状態あるいはその変化(State)
 - ・環境変化による社会（人の健康や生活環境）や生態系への影響(Effect)
 - ・環境変化に対する対応(response)

経済協力開発機構(Organization for Economic Cooperation and Development; OECD)では、各国の環境パフォーマンス指標を、環境問題領域で分類して 12 の分野に整理し、これに人口、GDP などの一般的指標群を加えた 13 分野を行方向に配置し、環境問題の因果関係の流れからの分類で、環境への負荷(Pressure)、環境状態(State)、環境変化に対する対応(Response)を列方向に並べた表形式でまとめている(表 7-2-1)。

この表を環境側面の空間的拡がりの視点からみると、環境負荷や環境変化に対する対応における指標はオンサイトでの環境側面をあらわしたものであるのに対し、環境状態における指標は地域的または広域的な環境側面をあらわしている。後者の指標は LCA のインパクト分析(Impact Analysis)で得られるような情報をもとにしており、個々の組織で得られる情報の範囲のものではない。

そこで本章では、この中で組織がオンサイトで扱えるような指標、すなわち個々の組織のオペレーション・システム、マネジメント・システムで得られる指標を対象にする。

また環境パフォーマンス指標は、表 7-2-2 に示すように 2 つの主要なグループに分類することができる。すなわち環境目的によって、固定的な測定尺度をもとに設定される絶対的指標の場合と、二次的な測定値と結合して設定される相対的指標の場合の二つのタイプに分けられる。絶対的指標は、組織の総資源使用量と環境との影響を示すために用いられ、時点間の効率性の改善をモニターしたり、組織内での施設や活動間の効率性の比較をするのに使われる。

表 7-2-1 OECD 環境パフォーマンス指標の体系 (OECD, 1994)

環境問題	負荷(Pressure)	状態(State)	対応(Response)
気候変動	・ 温室効果ガス排出指標 ・ CO2 排出量	・ 温室効果ガス大気中濃度 ・ 地球平均気温	・ エネルギー効果 ・ エネルギー集約度 ・ 経済的, 財政的手段
オゾン層破壊	・ オゾン層破壊物質消費指標 ・ CFC およびハロン消費量	・ オゾン層破壊物質大気中濃度 ・ 地表の UV-B 放射量	・ CFC 回収率
富栄養化	・ 水圏および土壌への窒素, リン排出量 (栄養塩のバランス) ・ 肥料の消費および家畜による窒素排出, リン排出	・ BOD, DO, 窒素, リン濃度 (内水面, 海域)	・ 生物的, 化学的処理による下水処理普及率 (人口ベース) ・ 排水処理料金 ・ 無リン洗剤の市場占有率
酸性化	・ 酸性化物質排出指標 ・ SOX, NOX 排出量	・ 水圏および土壌における臨界負荷量 ・ 酸性降下物の濃度	・ 自動車触媒装置装着率 ・ 固定発生源脱硫・脱硝装置の能力
有害物質汚染	・ 重金属排出量 ・ 有機化合物排出量 ・ 農薬消費量	・ 重金属・有機化合物の環境媒体中・生物中濃度 ・ 河川の重金属濃度	・ 製品, 生産工程における有害物質含有量変化 ・ 無鉛ガソリンの市場占有率
都市環境質	・ 都市域の SOX, NOX, VOC 排出量 ・ 交通量 (都市, 全国) ・ 都市化度	・ 大気汚染, 騒音曝露人口 ・ 都市域の水質	・ 緑地の広さ ・ 経済的, 財政的, 規制的手段 ・ 水処理, 騒音対策支出
生物多様性と景観	・ 自然の状態からの生息地の変化や土地利用変化	・ 絶滅あるいはそのおそれのある種の前既知種数に対する割合	・ 生態系タイプ別の自然保護区域面積の全国土面積に対する割合
廃棄物	・ 廃棄物発生量 一般廃棄物 産業廃棄物 核廃棄物 有害廃棄物		・ ごみ減量化努力 ・ ごみのリサイクル率 ・ 経済的, 財政的手段
水資源	・ 水資源利用強度	・ 渇水頻度, 期間, 程度	・ 上水道, 下水道料金
森林資源	・ 生産容量に対する実際の伐採量	・ 森林の面積, 蓄積量, 構造	・ 森林の管理および保護
水産資源	・ 漁獲量	・ 産卵する魚の資源量	・ 資源量割当てに関する規制
土壌劣化 (砂漠化・侵食)	・ 侵食リスク: 農用地としての潜在的, 実際利用量 ・ 土地利用変化	・ 表土流失の程度	・ 再生面積
特定の問題に限定されない一般的な指標	・ 人口増加率, 密度 ・ GDP 成長率 ・ 個人最終消費支出 ・ 工業生産高 ・ エネルギー供給構造 ・ 道路交通量 ・ 自動車保有率 ・ 農業生産高		・ 環境保全支出 ・ 公害防止支出 ・ 環境問題に対する世論

表 7-2-2 環境パフォーマンス指標のタイプ

指標のタイプ	定義	特徴
絶対的指標	固定的な測定尺度をもとに設定される指標	質量や体積などの物理的な指標
相対的指標	二次的な測定値と結合して設定される指標	生産単位あたりの効率性を示す指標 時間的な傾向を示す指標

7.2.4 環境報告

組織が事業の目的に環境パフォーマンスを掲げ, その環境目的をサポートする基盤となる環境マネジメントシステムを展開する場合には, だれに環境報告をし, どのように情報が報告されるかを明確にすることが必要となる。

表 7-2-3 利害関係者別の環境報告⁶

利害関係者	典型的な関心事	環境事項	主要報告手段
従業員	・ 職の確保 ・ 安全 ・ 賃金, 福利厚生 ・ 組織内での尊厳	・ 環境ビジョンと目標 ・ 環境達成状況	・ 年次報告書 ・ 環境報告書 ・ 提示用ポスター ・ 最高経営責任者からのビデオ ・ 従業員ニュース (企業・部門・工場)
投資関係者	・ 財務パフォーマンス ・ 債務についての完全な報告 ・ 将来の債務の回避	・ リスクマネジメント ・ 改善の財務的效果	・ 年次報告書 ・ 環境報告書 ・ 四半期ニュース ・ 財務メディアでのインタビュー ・ 概況報告 ・ マスコミ発表
融資者	・ 環境責任の承継	・ リスクマネジメント ・ 適切な環境マネジメント	・ 年次報告書 ・ 環境報告書 ・ 財務メディアでのインタビュー ・ マスコミ発表
供給業者と顧客	・ 製品品質 ・ 製品原価 ・ 製品安全性 ・ 製造物責任	・ 安全かつ環境へ配慮した製品供給の誓約 ・ 顧客の安全と環境関心事への支援 ・ 選択される供給業者であること ・ 購買での目標	・ 広告宣伝 ・ 製品説明書, ラベル ・ 販売文書 ・ 消費者ニュース ・ フリーダイヤル ・ 主要供給業者へのレター ・ 概況報告
地域社会	・ 汚染 (健康影響) ・ 組織の活動についての知識と理解 ・ 土地利用 (地域エゴ)	・ 汚染削減努力 ・ 信頼できる廃棄物マネジメント ・ 敏感なもしくは関心の高い近隣住民	・ 工場見学 ・ 近隣ニュース・報告 ・ 広報局 ・ ビジターセンター ・ マスコミ発表 ・ タスクチーム, 諮問委員会
政府	・ 法規制遵守	・ 信頼にたる組織 ・ 特定事項の賛否	・ 法令にもとづく報告 (公表事項) ・ 法令にもとづく報告 (秘密事項) ・ 個別対応 ・ 公式見解 ・ 業界団体活動
業界団体	・ 行動綱領の遵守 ・ 公共情報	・ 業界への最善行動指針への誓約	・ 年次報告書 ・ 環境報告書 ・ 業界団体への報告書
環境団体	・ 事業所, 地域社会の情報 ・ 生態系存続可能性 ・ 廃棄物撤廃 ・ 地球温暖化 ・ オゾン層の破壊 ・ 土地利用	・ 目標-継続的改善の誓約 ・ 改善に向けての協働への関心 ・ パフォーマンス改善	・ 年次報告書 ・ 環境報告書 ・ 法令にもとづく報告 (公表情報) ・ 地域社会の欄参照
メディア	・ 地域社会, 環境団体と投資関係者の欄参照	・ 汚染削減努力 ・ 成功事例	・ マスコミ発表 ・ 工場見学, オープンハウス ・ 広告宣伝

環境パフォーマンスの情報に関心のある利害関係者(Stakeholder)には様々なタイプがあり、事業所の従業員、投資関係者、融資者、政府、地域社会、供給業者、顧客・消費者、その他の利用者に分けられる。表 7-2-3 に様々な利害関係者に対するコミュニケーション方法の例を示す。

上表のように、利害関係者によって組織の環境パフォーマンスの情報への関心が相違することにより、組織の利害関係者への手段も異なってくる。この組織への利害関係者の関心は、両者の間の空間的關係によって図 7-2-5 のように分類できる。すなわち、空間的關係はオンサイト(On Site)、地域(Regional)、社会(Societal)の3つに区分される、オンサイトの空間では、従業員をはじめとして、投資関係者、融資者等が利害関係者となり、地域的レベルでは供給業者、顧客やそれを含めた地域社会が利害関係者となる。社会的空間レベルでは、政府をはじめとして、業界団体、環境団体やメディアも含まれよう。そしてそれぞれの間で異なる情報が伝達・報告されることになる。

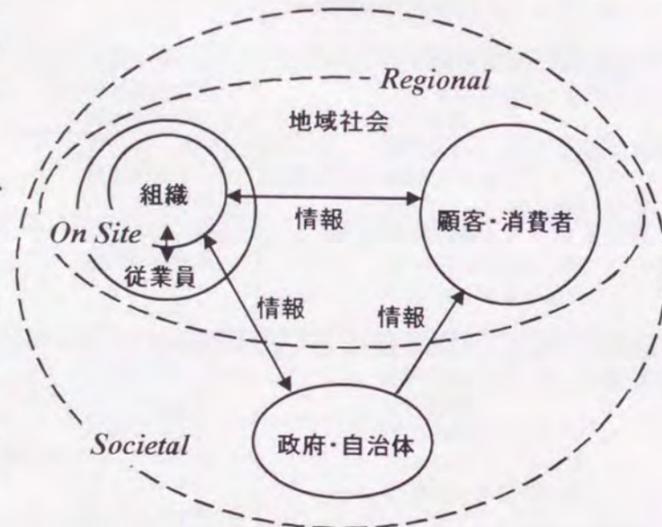


図 7-2-5 組織と利害関係者との空間的關係

7.3 3Pアプローチにおける環境パフォーマンスからの解析

前節で詳細に環境パフォーマンスや指標の概要について述べてきたが、現状では環境パフォーマンスおよびその評価指標について共通認識が形成されていないことから、その事業者が設定した指標および評価基準の適正さや水準の判断、同業他社との相対的な比較などが困難な状況にあることが指摘されている⁷。また環境パフォーマンス指標選定のためのアプローチにはいくつかの方法があるが、特に首尾一貫した確立された方法はなく、どのようなアプローチを採用するかは事業所の裁量となっている⁸。

よって、個々の事業所が明確で透明な環境評価をおこなうことは、社会全体としても意義あることと考えられる。そこで、本論文の第4～6章で得られた環境パフォーマンスを整理し、そこから環境パフォーマンス指標を選定し、その特徴について考察をおこなう。

7.3.1 3Pアプローチの研究成果のまとめ

第4～6章で、技術的側面からの3Pアプローチによる環境負荷の定量的評価を中心として、環境マネジメントのあり方を考察した。まずこれらの研究成果をまとめて表 7-3-1 に示す。

表 7-3-1 3Pアプローチの研究成果のまとめ

	第4章	第5章	第6章
アプローチ	プロセス・アプローチ	プロダクト・アプローチ	エンジニアリング・ポリシ ー・アプローチ
対象主体の空間軸	オンサイトとしての工場	地域としての都市	地域を視野に入れたオンサ イトの流通システム
環境側面	オンサイト	・有害化学物質による労働者の曝露リスク	
	地域レベル	・NO _x 排出に伴う大気汚染、酸性化 ・COD 排出に伴う水質汚濁 ・固形廃棄物排出に伴う土壌汚染	・都市と農村の有機物循環のバランス崩壊 ・栄養塩の循環崩壊による都市のN,Pリッチ化 ・化学肥料、農薬使用による食品の安全性問題
	地球レベル	・資材・エネルギー消費によるCO ₂ 排出に伴う地球温暖化	・有機系廃棄物の焼却によるCO ₂ 排出に伴う地球温暖化
対象物質	マクロ物質 (CO ₂ , NO _x , COD, 廃棄物)	マクロ物質 (有機物)	マイクロ物質 (有害化学物質)
環境方針	環境影響の最小化	有機系廃棄物の処分量の最小化	人の健康と環境へのリスクの最小化
環境目的	・省エネ、省資材 ・労働衛生向上 ・地域・地球環境向上	・有機物の質を考慮したりサイクル ・地域内における有機物の循環形成	製品に含まれる有害化学物質の代替化、最小化
環境負荷低減のための施策	クリーナー・プロダクション	転換技術の導入、組み合わせ	PRTR 概念を用いた有害化学物質の管理
環境負荷定量化の道具	LCA	MFA, LCA	MFA の考え方をマイクロ物質に応用
環境効果のある具体的手法	技術的側面	・副産物を発生しない資源の選択 ・資源再利用のためのクローズド・ループ・リサイクル ・省エネルギー	・有機物の自然循環を利用した飼料化・堆肥化 ・有機物の熱エネルギー利用したメタン発酵 ・燃料電池によるコジェネレーション
	組織的・社会的側面		・各セクター間の流通連携、副産物連携、情報連携 ・関連セクターとの産業クラスター形成 ・集約的な産業立地政策
利害関係者 (情動的側面)	個々の主体 (オンサイト)	セクター間の相互関係 (地域レベル)	市民、政府等社会全体を含む (社会レベル)

第4章は、オンサイトの工場を対象にした、工場からの排気、排水、または汚泥などの固形廃棄物排出の最小化を目的とした、マクロ物質による環境影響の低減へのプロセス・アプローチである。省エネ・省資材や労働衛生向上だけでなく、地域・地球環境向上を目的に、クリーナー・プロダクションに関連した施策の環境負荷低減の効果を LCA で評価した。その結果、副産物を発生しない資源の選択、資源再利用のためのクローズド・ループ・リサイクルなどのアプローチが効果があることがわかった。

第5章は、地域としての都市を対象に、生産～消費の食品ライフサイクルで排出される有機系副産物をマクロ物質として、処分最小化とリサイクル化をおこなうプロダクト・アプローチである。地域内における有機物の質を考慮した循環形成を目的に、転換技術の導

入と組み合わせを提案し、その効果を LCA で評価した。その結果、有機物のもつ自然循環を利用した飼料化・堆肥化、有機物のもつ熱エネルギーを利用したメタン発酵などを組み合わせた技術的手法に効果がみとめられた。また産業クラスター形成も視野に入れた各セクター間の連携など組織的側面の手法も考察できた。

第6章は、地域を視野に入れたオンサイトの流通システムを対象に、マイクロ物質である有害化学物質による人の健康や環境へのリスクの最小化を図るエンジニアリング・ポリシー・アプローチである。流通業において製品に含まれる有害物質の代替化・最小化を目的に、PRTR 的概念を用いた化学物質管理を提案し、その意義を考察した。その結果、製品毎の販売額集計システム構築による環境リスクの指標化が可能となり、一方で有害物質をできるだけ含まない商品を選択する行動が技術的側面から導かれた。また組織的側面からは製造業と消費者のコミュニケーションの接点としての流通業の位置づけが可能となった。

7.3.2 3Pアプローチの環境パフォーマンスの体系

本項では、第4～6章で得られた環境パフォーマンスに関する有益な情報について整理し記述する。そのとき環境マネジメントシステムで設定される環境方針を目的および目標に結合させることにより、事業所がいかにかうまく方針を行動や成果に置き換えているかについて外部評価が容易であり、またその結合関係がフォローしやすいとき環境問題への取り組みに関する事業所への印象も大きい。表7-3-2に環境方針、それと関連した目的および目標、そしてそれらに対して報告されるべき環境パフォーマンスの情報を示す。

その環境パフォーマンスについては、技術的側面だけでなく、組織的・社会的側面として利害関係者とのコミュニケーションに焦点を当てながら記述した。

まず技術的側面からの環境パフォーマンスでは、プロセス・アプローチにおける工場のオンサイトの情報、プロダクト・アプローチにおける都市-農村部における地域内有機物循環に関する情報、エンジニアリング・ポリシー・アプローチではオンサイトから地域レベルの情報について記述することができた。すなわち、各アプローチが持つ対象主体の空間軸に沿った環境パフォーマンスを得ることができた。

一方、組織的・社会的側面からの環境パフォーマンスでは、プロセス・アプローチにおける個々の主体間での製品に関する情報、プロダクト・アプローチにおける地域内セクター間の連携を図るような情報、エンジニアリング・ポリシー・アプローチでは市民、流通業、製造業との間のコミュニケーションを図るような社会的拡がりをもった情報について記述することができた。すなわち、それぞれのアプローチにおいて情報を報告すべき利害関係者との間の空間的スケールに応じた環境パフォーマンスを得ることができた。

表 7-3-2 3Pアプローチの環境パフォーマンス情報

3P アプローチ	環境方針	環境目的・目標	環境パフォーマンスの情報
プロセス・アプローチ	操業時の資材使用の最小化	プロセスでの資材使用量低減	クリーニング装置の設置により、クローズド・ループ・リサイクルによる再使用が可能となった。
	操業時のエネルギー使用の最小化	プロセスでのエネルギー使用量低減	バッチ式の新型焼鈍炉設置により、省エネが可能となった。
	操業に伴う労働衛生の向上	有害物質による労働者の曝露リスク低減	銅めっき液をシアン→ピロリン酸に変更することにより、有害化学物質の回避を実現。副産物としてのシアン汚泥発生も回避でき、汚泥の処理処分の必要がなくなった。 圧延油を牛脂→エステル系油に変更し、作業性は良くなったが、廃油の増加により環境負荷は増加。クローズド・ループ・リサイクルが必要。
	環境方針、環境活動やパフォーマンスについての利害関係者とのコミュニケーション	資材を提供する供給業者への環境報告	環境方針、目的、目標などの情報提供により、供給業者から資材に関するライフサイクルデータを円滑に入手、把握が可能。
プロダクト・アプローチ	有機系副産物の自然循環形成	有機系副産物のリサイクル率向上	食品加工工場から発生する有機系副産物の飼料化で達成。 店舗からの加工クズを回収し、コンポストセンターで堆肥化することにより達成。
	有機系副産物の熱エネルギー利用	エネルギー効率向上	食品加工工場で発生した汚泥のメタン発酵、そこから得られるメタンガスを燃料電池に投入するような、コージェネレーションを利用することで達成可能。 店舗、配送センターで発生する可燃ごみの回収と RDF 化、エネルギーとして再利用するシステムをつくることにより達成が可能。
	関連廃棄物の有効利用	エネルギー効率向上	家庭ごみの回収と RDF 化、エネルギーとして再利用するシステムをつくることにより達成が可能。 下水汚泥のメタン発酵、そこから得られるエネルギーを燃料電池によりコージェネレーションするシステムをつくることにより達成が可能。
	環境方針、環境活動やパフォーマンスについての利害関係者とのコミュニケーション	有機系廃棄物の再利用を可能とするセクターに対する環境報告	環境方針、目的、目標などの情報提供により、有機系廃棄物の再利用を可能とするセクターとの連携が可能。
エンジニアリング・ポリシー・アプローチ	有害化学物質を含む製品の代替化、最小化	PRTR 概念を用いた有害化学物質管理	有害物質を含む製品ごとの販売量集計システムの構築により、改善に必要なデータ収集が可能。
	環境方針、環境活動やパフォーマンスについての利害関係者とのコミュニケーション	商品を提供する供給業者への環境レポートの作成、報告	環境方針、目的、目標などの情報提供により、供給業者から商品に関する有害化学物質の成分データを入手、把握が可能。 商品の有害化学物質の管理情報を消費者に伝えるための環境報告
		商品の有害化学物質の管理情報を消費者に伝えるための環境報告	安全な商品、無農薬・堆肥使用の農産物などに向けた活動を消費者に報告することによる、消費者のグリーン購入の促進が可能。

7.3.3 3Pアプローチの環境パフォーマンスの指標の選定

この環境パフォーマンスの情報をもとに、さらに簡潔で有効な情報に変える環境パフォーマンス指標について考察する。環境パフォーマンス指標には環境目的との首尾一貫性、利害関係者の情報要求への対応、利害関係者にとっての理解可能性の3つの特質がある⁹が、ここではそのうち環境目的との首尾一貫性、利害関係者の情報要求への対応の2つに重点をおく。

まずオペレーショナル・パフォーマンス指標を取り上げ、それぞれの指標の伝達先を考慮した選定を行うと、表7-3-3のように記述できる。組織の環境パフォーマンスの情報への関心は、利害関係者によって相違することから、それぞれのアプローチに関わる利害関係者との空間的關係に沿った指標が得られていることが、この結果から明示できた。

表7-3-3 3Pアプローチのオペレーショナル・パフォーマンス指標

3Pアプローチ	指標の伝達先との間の空間スケール	オペレーショナル・パフォーマンス指標
プロセス・アプローチ	オンサイト	製品単位あたりに使用した材料の数量 製品単位あたりの使用エネルギー量 製品の生産量、欠陥製品の割合 単位製品あたりまたは年あたりの廃棄物発生量
	地域的レベル	廃棄物処分方法と処分量 代替材料により除去した危険廃棄物の量 大気、水域へ排出された物質の年間量
プロダクト・アプローチ	地域的レベル	年間に使用した材料の数量 年間の使用エネルギー量 リサイクル材、再生エネルギーの使用量、使用率 年あたりの廃棄物発生量 燃料使用量 廃棄物処分方法と処分量
エンジニアリング・ポリシー・アプローチ	オンサイト	材料の有害化学物質の成分と量 有害化学物質混入のおそれのある製品の販売額
	社会的レベル	製品に含まれる有害化学物質の量、危険度 有害化学物質の排出・移動量

次にマネジメント・パフォーマンス指標について、各アプローチにふさわしい代表的な環境パフォーマンス指標を提案する。その選定の手法として、システムの改善向上へのアプローチ、規則・自主的取り組みに関するアプローチ、費用対効果のような比較アプローチ、ライフサイクルの観点からのアプローチなど指摘されている¹⁰が、そこから得られる代表的な指標を表7-3-4に示す。この結果からは、各技術的アプローチに共通するところの、環境マネジメントシステムの構築に適用可能な指標が得られることが明らかになった。

表7-3-4 3Pアプローチのマネジメント・パフォーマンス指標

- 達成された環境目的および達成環境目標の数
- 環境改善プロジェクトの投資利益
- 資材使用の低減、汚染防止または廃棄物リサイクルを通じて達成される節減
- 規制への適合の程度
- 環境評価プログラムまたは地域社会のために提供された資料の数
- 利害関係者への環境報告書の有無

以上から、マネジメント・パフォーマンス指標の選定については、一般的手法を比較的構築しやすいことが予測される。

一方、オペレーショナル・パフォーマンスの選定については、事業所の特徴、規模、配置、利害関係者との関係などによって、様々な手法が考えられ、その一般化は容易ではない。特に、指標の伝達先との間が地域的、社会的レベルにあるとき、製品のライフサイクルの視点からのデータを収集しなければ表現できない指標が多くあらわされている。だから、組織単独でデータを収集する努力だけでは難しく、地域社会や政府で規定するところの制度や法律を利用することが必要になってくる。

例えば、廃棄物の処分方法と処分量の指標を数値化するためには、事業所は自ら排出される廃棄物の最終処分までの過程の情報を知る必要がある。そのとき、すべての産業廃棄物の管理票の組織への交付の義務づけをおこなうマニフェスト制度を利用することによって、製品の廃棄物管理に関する情報を得ることができよう。この制度ははじめミクロの有害物質を対象にしていたが、最近ではマクロ物質にも拡大された。この施策によりマクロ物質の排出最小化を図れるとともに、リサイクルによる最小化も図れるところに意義がある。

またミクロ物質に関しては、対象物質が多い上に少量でも環境に影響をおよぼすために、今まで有効な管理がなされていなかったが、有害化学物質排出移動登録(PRTR)が制度化されることにより、有害物質の使用後の環境への排出・移動量の情報を予測できるところに大きな意義があるといえよう。

7.4 本章のまとめ

本章では、4～6章までの3Pアプローチによるパフォーマンスを情動的側面から捉えなおし、環境パフォーマンスやその指標を提示した。

まず環境マネジメントシステムをはじめとして環境パフォーマンス、環境パフォーマンス指標、環境報告について概要を述べた。特に環境パフォーマンス指標において、マネジメント・パフォーマンス指標とオペレーショナル・パフォーマンス指標を具体的に説明した。また環境パフォーマンス指標にはいろいろな分類軸があり、OECDによる環境パフォーマンス指標の体系を示した。さらに環境報告の形態について、利害関係者による情報のコミュニケーションの空間的關係から、オンサイト、地域レベル、社会レベルの3つに分類した。

以上をもとに、3Pアプローチの研究結果をまとめ、それらの環境パフォーマンスを提示した。そしてその指標化をおこない、マネジメント・パフォーマンス指標とオペレーシ

ヨナル・パフォーマンス指標をそれぞれ選定した。

その結果、オペレーショナル・パフォーマンス指標は、環境組織と利害関係者との間の空間的關係に沿った指標を提示することができた。一方、マネジメント・パフォーマンス指標の選定においては、それぞれの事業所の特徴にかかわらず、環境マネジメントシステムの構築に適用可能な共通した指標を提示することができた。

[参考文献]

- ¹ UNEP/ICC/FIDIC, 地球環境センター翻訳(1997) 環境マネジメントシステム研修用教材, 日本規格協会, 122
- ² 吉澤正監修(1996) ISO14001・14004 環境マネジメントシステム対訳, 日本規格協会, 121-123
- ³ 土木学会 EPE 研究小委員会討議資料(1999) 土木建設システムにおける環境管理のあり方についての考察, 3
- ⁴ 野口聡(1995) 環境管理と企業, 化学工業日報社, 87-91
- ⁵ 土木学会環境システム委員会編(1998) 環境システム—その理念と基礎手法—, 共立出版, 95-98
- ⁶ カナダ勅許会計士協会(1997) 環境パフォーマンス報告, 中央経済社, 39-45
- ⁷ カナダ勅許会計士協会(1997) 前掲書, 98-100
- ⁸ 土木学会地球環境委員会(1998) 土木建設システムにおける環境パフォーマンス評価研究委員会平成9年度調査研究報告書, 35
- ⁹ カナダ勅許会計士協会(1997) 前掲書, 87-89
- ¹⁰ 土木学会地球環境委員会(1998) 前掲書, 43-44

第8章 結論と今後の課題

本論文は、持続可能な産業社会への構造転換を目的に、技術的側面からの①プロセス・アプローチ, ②プロダクト・アプローチ, ③エンジニアリング・ポリシー・アプローチの3つのアプローチによる環境負荷の定量化と、そこから得られる情報的側面としての環境パフォーマンスとその指標化を通じて、事業所における環境マネジメントのあり方を考察したものである。

本章では、本論文を総括するにあたり、結論と今後の課題について整理した。

8.1 総括と結論

第1章では、今日の環境問題に対して持続可能な発展が唱えられてきた背景を指摘し、循環を基調とする産業社会への転換をめざして、事業所の環境負荷低減への取り組みを研究の目的として提示するとともに、本論文の構成を示した。

第2章では、まず産業社会と環境とを結びつけるシステムに関する概念の中で、持続可能な発展に最も適切な方法と判断される、産業エコロジーと循環複合体のアプローチを示した。さらに物質の視点から得られる物質フロー、物質収支、物質代謝の概念をもとに、産業社会が川上の生産・流通、川中の消費、川下の廃棄物処理の三つの大きな主体からなることを示し、それぞれの主体が相互提案、情報提供などの形で連携し、循環型社会をつくる必要性を述べた。物質の排出の量の規模で見たマクロからミクロまでの物質スペクトルを示したあと、マクロ物質による環境影響の最小化に関する一般的アプローチを示し、循環形成または排出量の削減・処理の重要性を示した。またミクロ物質による環境影響の最小化の一般的アプローチを示し、移動管理を伴う排出最小化と無害化の重要性を示した。

第3章では、まず産業社会の転換のアプローチとして、技術的、経済的、制度的手法を提示した。その中で、プロセス、製品などの環境適合性を議論するとき技術的側面が最初に取り上げられるべき側面であることから、技術的手法を①プロセス・アプローチ, ②プロダクト・アプローチ, ③エンジニアリング・ポリシー・アプローチの3Pアプローチに分類して提示した。同時に、異なる主体を巻き込み連携し、取り組みを実施するための事業活動に伴う環境負荷定量化の評価手法としてライフサイクルアセスメント、マテリアルフロー分析や有害物質管理のための排出移動量算出のための手法の概要を説明した。さらに環境負荷評価手法の関連性を環境資源勘定と物質に着目して、本論文における評価手法の位置づけを示した。

第4章では①プロセス・アプローチを取り上げ、素材加工のプロセスを持つ工場を対象に、様々な目的の改善事例の事後評価として、LCAを用いて環境負荷の定量化を試み、改善前後の比較評価をおこなった。インベントリ分析の結果、資材使用量の低減を目的としたクローズド・ループ・リサイクルや、資材の代替を図ることにより副産物発生や有害残余物の回避を図ることが有効なことが分かった。またインパクト分析の結果、省エネの効果の大きいことも明らかにした。この事後評価をもとに、プロセスのオペレーションの改善に向けた設備投資を行う際の事前評価のために、資源の視点から改善事例をカテゴリ分けし、資源の再利用、副産物を発生しない資源の選択を優先的に図ることを指摘した。

また素材加工のプロセスをもつ工場環境負荷を低減する留意点として、具体的に実際の活動を測定・モニタリングすることの重要性を示した。

第5章では②プロダクト・アプローチを取り上げ、食品を対象に製品連鎖アプローチの研究を行った。まず都市部人口約130万規模の食品の生産・消費システムとそれに携わるフードチェーンのセクターを対象に、現状のマテリアルフローを解析し、それぞれのエネルギー投入量と副産物量を把握した。第二に工業化された食品の生産・消費システムでのエネルギー消費や有機副産物に起因する環境負荷削減を図るため、コンポスト、RDF発電、メタン発酵装置を伴った燃料電池などの資源転換装置を組み入れた循環志向のフードシステムをデザインし、その導入効果をLCAにより評価した。第三に、フードシステムの関連廃棄物のリサイクルおよび既存施設利用を図ることによって、フードシステム拡張による環境負荷削減の潜在的効果を調査した。フードシステムのマテリアルフロー解析結果では、店舗および直営の食品工場に加えて加工食品の供給チェーンでのエネルギー投入量が大きく、また食品工場のみならず一次産品加工に伴う有機副産物の発生が顕著となった。LCAの結果では、環境負荷削減の量的な寄与としてはコンポストによる化学肥料削減に伴う回避インパクトや流通系可燃副産物RDF発電による削減効果が大きく、また燃料電池については直営工場および関連加工工場系の汚泥からの回収メタンガスの導入による効果が顕著となった。しかし店舗のエネルギー需要側にかかなりの余裕があるため、さらに多くの周辺有機副産物の再資源化を検討した結果、フードシステムを拡張することによる環境効率の大幅な改善が図られる可能性があることがわかった。

第6章では、第4、5章がマクロ物質の循環形成、排出量削減を目的としたのに対し、ミクロな物質としての有害化学物質を扱い、工場・事業所が自ら対策に取り組めるような、環境リスクを総体として低減させていくことができる化学物質の包括的な管理システムとしてのPRTR制度を③エンジニアリング・ポリシー・アプローチとして取り上げた。各国で既に導入されているPRTR制度の概要を示し、米国TRIを例にその成果を提示した後、TRIの欠点として点源排出源のみを取り上げたことによる化学物質排出量の過小評価の可能性をとりあげた。すべての有害化学物質の排出、移動量を把握するためには、点源排出源だけでなく非点源排出源からの排出量を把握する必要があることから、まず日本のパイロット事業を例に、非点源排出源からの排出量の推計に必要な情報が十分得られない、推計精度が低いといった問題点を指摘した。そして製品のライフサイクルの流通段階においてPRTR的に化学物質を管理することを提案し、排出源により近い流通段階で製品情報をチェックし、各地域での原料と使用量の両方をより精度良く把握できるという利点だけでなく、製造側と市民側とのコミュニケーションの接点としての流通業の位置づけと、地域環境リスク管理の可能性を示した。さらに流通業で扱う製品に付随したPRTRのあり方を検討し、製品毎の販売額・販売量などの集計システムの構築、有害化学物質ごとのデータの集約化による目録作成と管理などの留意点を指摘した。

第7章では、技術的側面からのアプローチで得られたパフォーマンスを情報的側面から捉えなおした。まず環境マネジメントシステムをはじめとして環境パフォーマンス、環境パフォーマンス指標、環境報告について概要を述べた。その上で3Pアプローチの研究成果を整理し、得られた環境パフォーマンスを提示し、その指標化をおこなった。その結果、

オペレーショナル・パフォーマンス指標は、環境組織と利害関係者との間の空間的關係に沿った指標という特徴をもち、マネジメント・パフォーマンス指標は、それぞれの事業所の特徴にかかわらず、環境マネジメントシステムの構築に適用可能な共通した指標という特徴を指摘した。

以上、本論文の結論として、事業所の環境マネジメントにおいて、技術的側面の3Pアプローチをもとに、マクロ物質の循環形成、排出最小化、ミクロ物質の代替による無害化を図ることによって、事業所活動に伴う環境負荷の低減の効果を明らかにした。また情報的側面からその効果を環境パフォーマンスとして捉え、環境マネジメントシステムの構築の際に、環境方針、環境目的や環境目標に合致した、環境パフォーマンス指標を選定し、その特徴を提示することができた。

8.2 今後の課題

本論文では、産業社会を持続可能な構造に転換することを背景に、技術的側面と情報的側面からのアプローチによって、事業所の環境マネジメントのあり方を考察した。今後の課題を以下に示す。

- 技術的側面でのLCAの結果をもとに、社会システムの枠組みでマクロ的にどう援用するかの社会的側面を考察する。
- 情報的側面での環境パフォーマンスの指標化をもとに、その指標を用いた実際の評価をおこない、課題や問題点を抽出する。
- LCAのインパクト分析において、マクロ物質の環境への排出による環境影響のみを取り上げるのではなく、ミクロ物質の有害性も考慮して重み付け評価をおこない、環境マネジメント構築に向けた物質の総合的な環境影響評価を実施する。

謝辞

本論文は、大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻における研究成果を学位請求論文としてとりまとめたものである。

本論文を作成・編集するにあたり、指導教官である大阪大学工学部環境工学科の盛岡通教授に甚大なる謝意を表します。日新製鋼（株）堺製造所に勤めていた時分から、突然訪問した私を快く迎えていただき、博士後期課程における研究ゼミや論文における研究指導を通じて、常に暖かく、時に厳しくご指導をいただきました。また循環複合体研究プロジェクトにおいて貴重な研究の場を提供いただき、一流の研究者と交流を深めながら数々の知見を学ぶ機会を得ることができました。このように課程半ばにして学位請求論文をまとめることができたのは、盛岡教授の熱意あるご指導のおかげであり、深く感謝いたします。

査読をしていただいた大阪大学工学部環境工学科の水野稔教授には、事業所のマネジメントの技術的側面について様々な貴重なご意見とご指導をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

同じく査読をしていただいた大阪大学工学部環境工学科の藤田壮助教授には、常日頃から有益なご討議、ご指導を賜り、また循環複合体研究の立場から組織的、社会的側面にまで踏み込んだご意見をいただきました。深く感謝の意を表します。

また、和歌山大学システム工学部環境システム学科の吉田登助教授には、本論文に関する議論をはじめ、公私において様々な相談にのっていただきました。ここに記して感謝の意を表します。

筆者は博士後期課程のほとんどの期間（1997年8月～）、科学技術振興事業団研究員として、戦略的基礎研究推進事業の一つである循環複合体研究の中で農工連携循環研究に携わらせていただきました。その農工グループ内において、京都大学大学院工学研究科環境地球工学専攻の内藤正明教授、楠部孝誠氏（現在、大阪大学工学部環境工学科）には数多くの有益なご討議、ご指導などいただきました。また生活協同組合コープこうべの江見淳氏、寺下晃司氏、三田雅人氏をはじめとする職員の方々には、貴重な現場データを提供いただくとともに研究のご相談にものっていただきました。ここに謝意を表します。

博士課程の同期である後藤忍氏、李承恩氏には、ゼミをはじめ様々な場において、よき相談相手として筆者の研究活動を支えていただきました。また大阪大学工学部環境工学科第6講座における仲間の支えにより、本論文をより高い水準に引き上げることができました。ここに謝意を表します。

最後に、筆者の研究活動を暖かく見守ってくれた両親に感謝いたします。

