

家庭洗濯に対する環境ライフサイクル アセスメント（LCA）の検討

Environmental Life Cycle Assessment (LCA) of Home Laundrings

小林泰子¹・石久保鈴子²・片山倫子³

Yasuko KOBAYASHI, Reiko ISHIKUBO and Michiko KATAYAMA

21世紀を目前にして、深刻化する地球環境問題および地域環境問題に対して、市民、企業、行政などで、どのような形で問題解決に貢献できるかが真剣に議論されるようになってきた。そのなかでも、人間活動の基盤になっている家庭でのライフスタイルの新しい有り方が求められている。即ち環境と調和し、環境負荷を軽減するための家庭内での行動の改善や技術開発、社会システムの構築等は、地球上に存在するすべてのものが共有する環境問題の対応策として、来るべき社会の生活・経済において非常に重要である。

国際標準化機構（International Organization for Standardization；ISO）において、規格化および立案されているライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment；LCA）は、工業製品についてその環境に及ぼす影響や、最も適したエネルギーの使用方法を見積もるために、CO₂の排出量やエネルギー MJ 使用量を基準にして評価する方法であるが、社会の中の最も小さい単位である家庭を一つの枠組みとしてとらえた場合には、いまだ明確な評価方法が得られていない。

本研究プロジェクトでは、「洗濯行動におけるライフサイクルアセスメント（LCA）的アプローチとその活用方法の検討」（石久保担当）「毛製品のドライクリーニングおよび水洗いによる洗濯実験」（小林担当）、「綿製品の各種全自動電気洗濯機による洗濯実験」（片山担当）の3テーマから構成される研究を行い、家庭生活の中で素材の異なる衣類の洗濯に着目し、

- I. 毛製品について商業クリーニングにより溶剤で繰り返し洗った場合と家庭においてドライマークつき衣料用洗剤と水によって手洗いを繰り返した場合。
- II. 綿製品について機械力の方式や容量などの異なったタイプの全自動電気洗濯機で繰り返し洗った場合。

上記2つの場合について、洗浄実験、洗濯実験、商業クリーニングの利用を行い、家庭洗濯に対してISOのライフサイクルアセスメント（LCA）評価法をどのように応用していったらよいのかを検討し、望ましい家庭洗濯の有り方を考えることを試みた。

1. 第1被服管理研究室
2. 消費生活研究室
3. 第2被服管理研究室

洗濯行動におけるライフサイクルアセスメント（LCA）的アプローチとその活用方法の検討

石久保 鈴子

I. 緒 言

1992年の地球サミット以降、地球環境問題および地域環境問題に対して各国間の協力のもと地球レベルでの環境負荷低減を目指して、気候変動枠組み条約締約国会議（COP）等を開催し、地球温暖化防止等環境負荷低減へ向けて活動してきている。

国際標準化機構（ISO）においては、LCAに関する4つの国際規格が策定され、1つの技術報告書ISO/TR14049：2000が提出され、LCAに関する手法の国際的な標準化と規格化が検討されている。

日本国内においても、LCA研究はISO等による検討を踏まえ、企業などの民間レベル、環境庁、科学技術庁など各省庁において取り組みが行われている。同時に行政レベルでは、環境負荷削減へ向けて、電気製品に関して、「エネルギーの使用の合理化に関する法律（省エネ法）」の改定によりトップランナー方式が導入され、従来以上の製品の省エネ化が求められ、更に2001年4月から「特定家庭用機器再商品化法（家電リサイクル法）」が実施されるにあたり、関連事業者等では、家電製品の環境負荷低減を踏まえた高循環型商品造り及び家電製品のライフサイクルに関するさまざまな取り組みが試みられているが、LCAはその一手法として注目されている。しかしながら、ISOのLCA評価法においても未だ環境負荷影響評価など検討すべき項目が多々ある。

そこで、本研究では、第一としてLCAの現状について、第二としてLCAの課題について、第三として全自動洗濯機を用いた家庭洗濯を通して、LCA的な考え方がどのように活用できるか、LCAについて調査分析した。

II. 調査方法

環境関連情報およびLCA関連情報により、得られた資料を供試料として、調査分析した。

III. LCAの現状

1. ISO14000情報とLCA

ISOでは、図1に示すISO/TC207（環境マネジメントに関する技術委員会：Technical Committee）のSC5（LCAに関する分科会：Sub committee）¹⁾において、LCAの標準化作業を進めており、

国際規格 ISO14040：1997

LCA 環境マネジメント—ライフサイクルアセスメント（LCA）—原則及び枠組み

国際規格 ISO14041：1998

環境マネジメント—ライフサイクルアセスメント—目標及び範囲の定義並びにインベントリー分析

国際規格 ISO14042：2000

環境マネジメント—ライフサイクルアセスメント—ライフサイクル環境評価

国際規格 ISO14043：2000

LCA 環境マネジメント—ライフサイクルアセスメントライフサイクル解釈

以上国際規格が策定され、ISO/TR14049：2000が報告されている²⁾。

ISOにおけるLCAの4つの基本フェイズ：目標と調査範囲の設定（Goal and definition）、インベントリー分析（Inventory analysis）、環境負荷影響評価（Impact assessment）、結果の解釈（Interpretation）がISOの規格化の対象となり、図2に示す。LCAの4つの基本フェイズの内容については、

フェイズⅠ：目標と実施範囲の設定

目的と実施範囲を明確化にする。

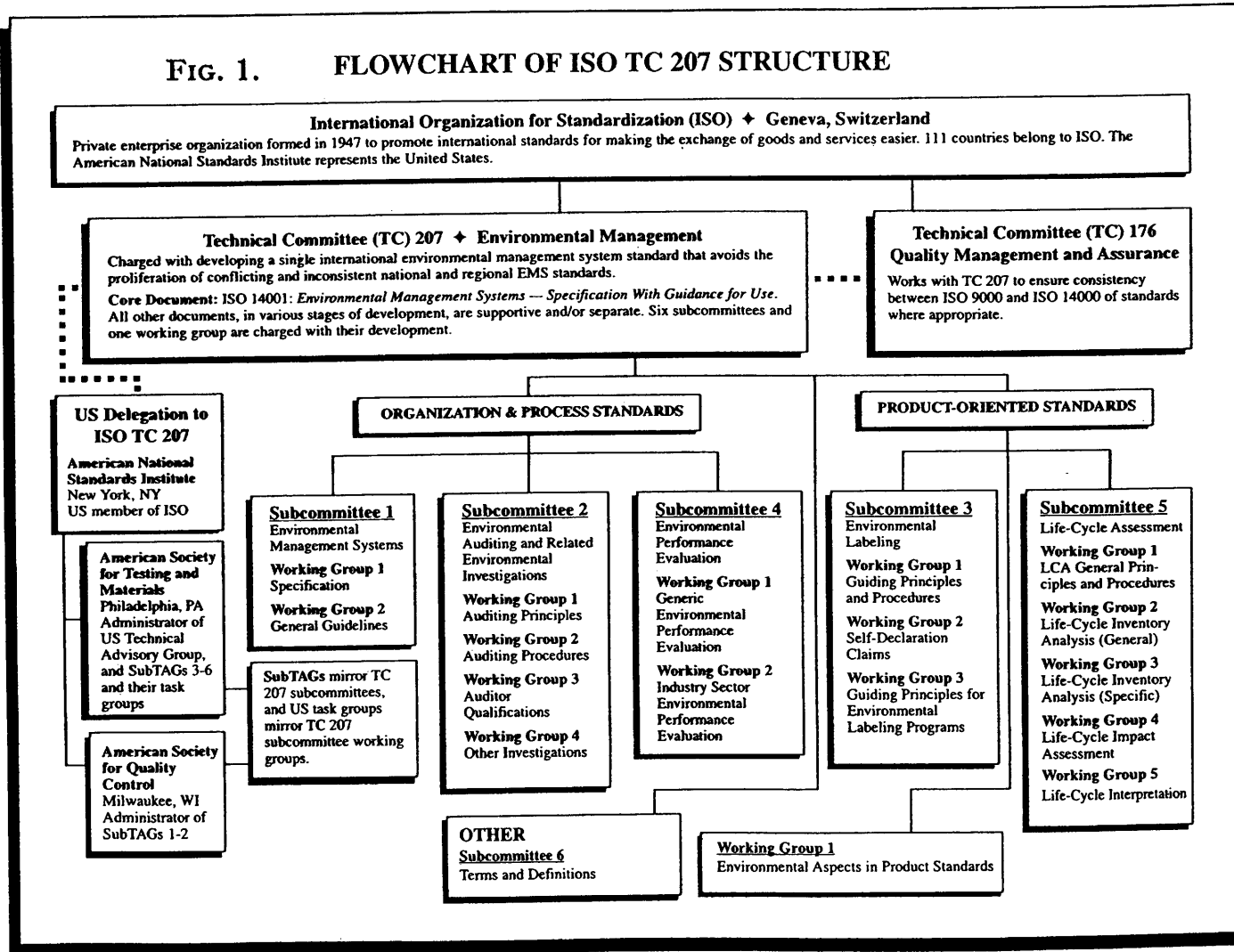
フェイズⅡ：インベントリー分析

製品システム中の各段階について、環境関連のインプットデータおよびアウトプットデータを収集し、分析する。

フェイズⅢ：環境負荷影響評価

FIG. 1.

FLOWCHART OF ISO TC 207 STRUCTURE



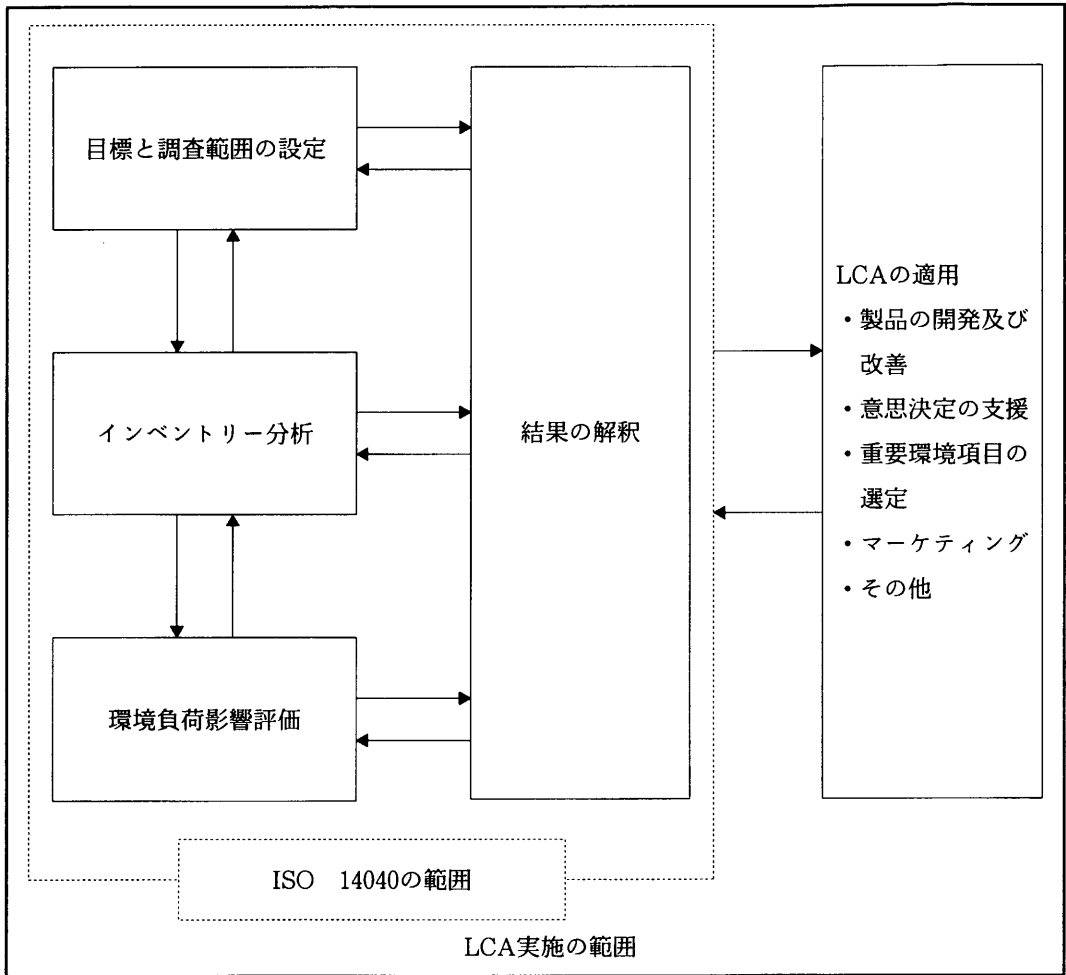


図2 LCAの4つの基本フェイズ

インベントリー分析で収集したデータを地球温暖化、資源枯渇などの環境影響と関連づけ、定量的に評価する。

フェイズⅣ：結果の解釈

インベントリー分析と環境負荷影響評価の結果に基づき、目的と対象範囲に沿った解釈、結論を導く。

以上のように解説されている²⁾。LCAを実施する上で、評価を行う目的の設定と範囲の明確化は最も重要なフェイズである。フェイズⅡのインベントリー分析については、最も調査研究が進んでいるフェイズであるが、データ収集において困難が伴い、不確定な部分が存在する。

フェイズⅢの環境負荷影響評価については、影響評価および分析手法などが討議されている時点で、本格的に実施された例はほとんどない。LCAの環境負荷改善評価は、フェイズⅣの結果を総合的に評価するという手法だけでなく、更に製品関連システムの改善という適用段階までを言及している。ISOのフェイズⅣにおいては結果の解釈の部分だけに限定し、LCA手法を構成し、LCA手法と適用を明確に分離している。即ち、ISOが検討対象とするのはLCAの手法までとし、その適用方法、分野についてはISO規格を適用する使用者に任せられる。

2. インベントリーデータとデータ収集

1) インベントリーデータに関する品質

インベントリー分析におけるデータ収集は、原則として、各ステージ毎にインプットおよびアウトプットの形で収集される（図3）。データ収集において、信頼できるデータを得るための品質チェック項目を次にしめす。

【インベントリーデータに関する品質チェック項目】

- ・ 時間的有効範囲（Time-related coverage）
- ・ 地理的有効範囲（Geographic coverage）
- ・ 技術的有効範囲（Technology coverage）
- ・ 精度（Precision）
- ・ 完全性（Completeness）
- ・ 代表性（Representativeness）
- ・ 整合性（Consistency）
- ・ 再現性（Reproducibility）

以上8項目が取り上げられている。その項目の「時間的有効範囲」「地理的有効範囲」「技術的有効範囲」については、採取されたデータがどのような有効性を持っているのかを確認することである。「精度」については、データにどの程度の誤差を含む可能性があるかをチェックする。「完全性」については、ある環境負荷項目のデータが存在可能な単位プロセスの中で、どの程度プロセス数で実際データが得られるかをチェックする。「代表性」については、そのデータがある領域の中で、その状況をどの程度反映しているものかを示すことである。「整合性」「再現性」については、実際にLCAあるいはLCI（Life Cycle Inventory）分析のために採用した手法がLCAの実施目的に適合するものであるかどうかをチェックする。

2) データ収集方法

LCAあるいはLCIにおけるインベントリーデータ収集方法には、「積み上げ法」と「産業連関法」に分類される。

【積み上げ法】：LCAあるいはLCIの対象製品のライフサイクル全体のマテリアルフローを作成し、各ステージ及び各サブシステムに

おける環境負荷項目の定量的な分析を行った後、環境負荷項目毎に環境負荷量を合計する方法である。

【産業連関法】：産業や商品毎に分類されたものの1年間の投入量と産出量との連関について、金額ベースで表している産業連関表を用いて、製品に関する投入量を行列計算で無限遠方まで考慮して求める方法である。エネルギー資源の投入量の殆どは物量値として記載されているので、これを換算することによりエネルギー消費量や二酸化炭素排出量を算定することができる。

他に「積み上げ法」と「産業連関法」をミックスした方法も検討されているが、ISOでは、「積み上げ法」を念頭においてLCAの国際規格化作業を進めている。

製品のライフサイクルフロー図4を参考に、LCAあるいはLCIの設定目的に合った適切な環境負荷項目に関するデータ収集を行うに際して、データの入手や定量的な評価が困難なものがある。データの入手が困難な理由として、次のような状況があげられる。

- ① システム範囲外のデータ（下請け企業のデータ等）。
- ② 製造プロセスを各工場で分業化。
- ③ 海外工程のデータ。
- ④ 企業のデータ非公開。
- ⑤ 廃棄以降のフローおよびデータの把握が困難。

以上、大まかに5項目に分類することができる。現状でLCAおよびLCIを実施するに当たり、データ収集には多大な労力と時間が費やされるが、製品の部品および生産プロセスのステージの数を最小有効数に抑えることにより、それに係わる労力と時間や、環境負荷量も減少することになる。即ち、データの精度を考慮に入れ、その製品のライフサイクルにおけるLCAおよびLCIの設定目的に最適なシステム限界を決定することであるが、製品のライフサイクルフローにおいて、どのステージのどのデータが結

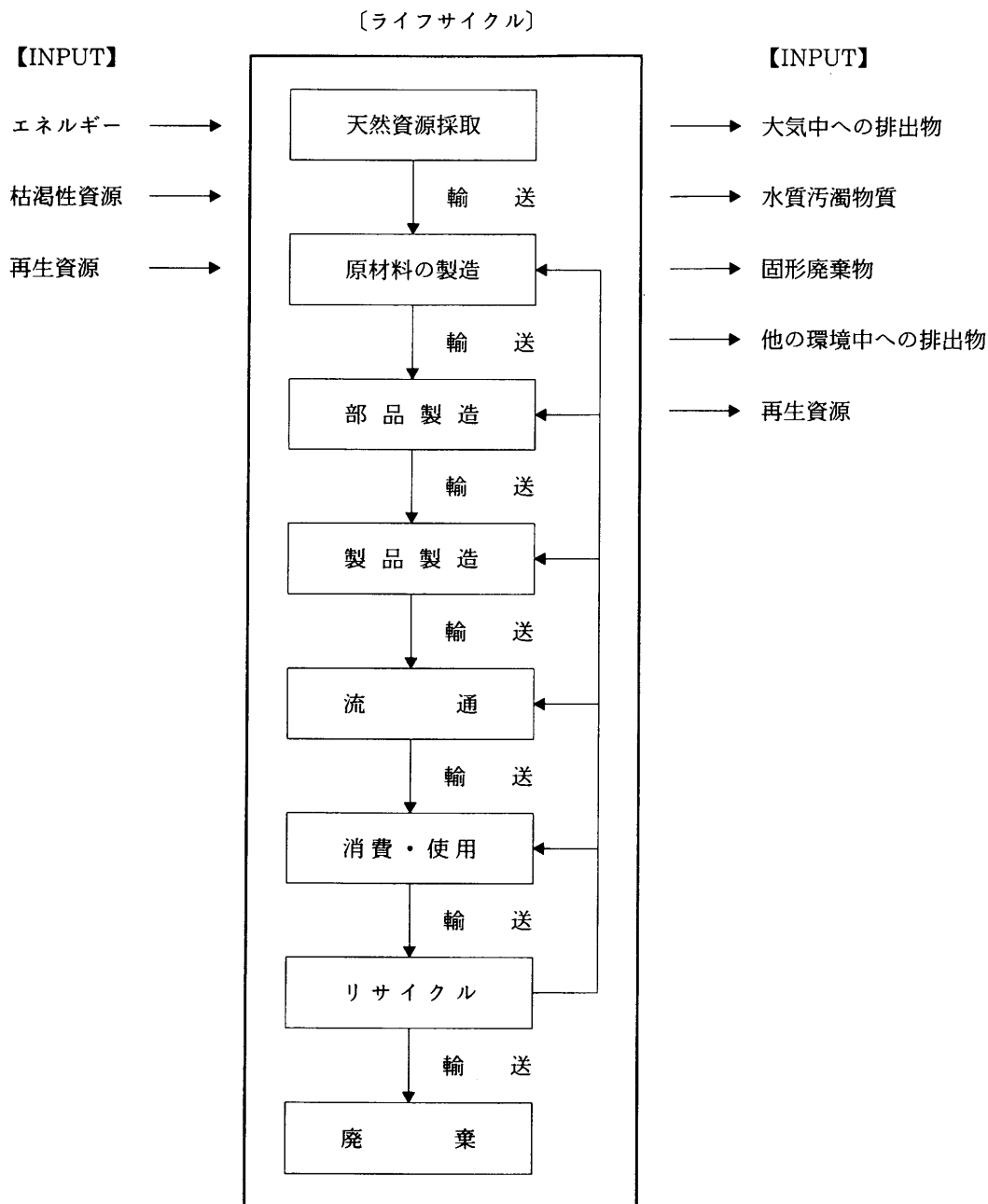


図3 ライフサイクルと環境負荷の概念図

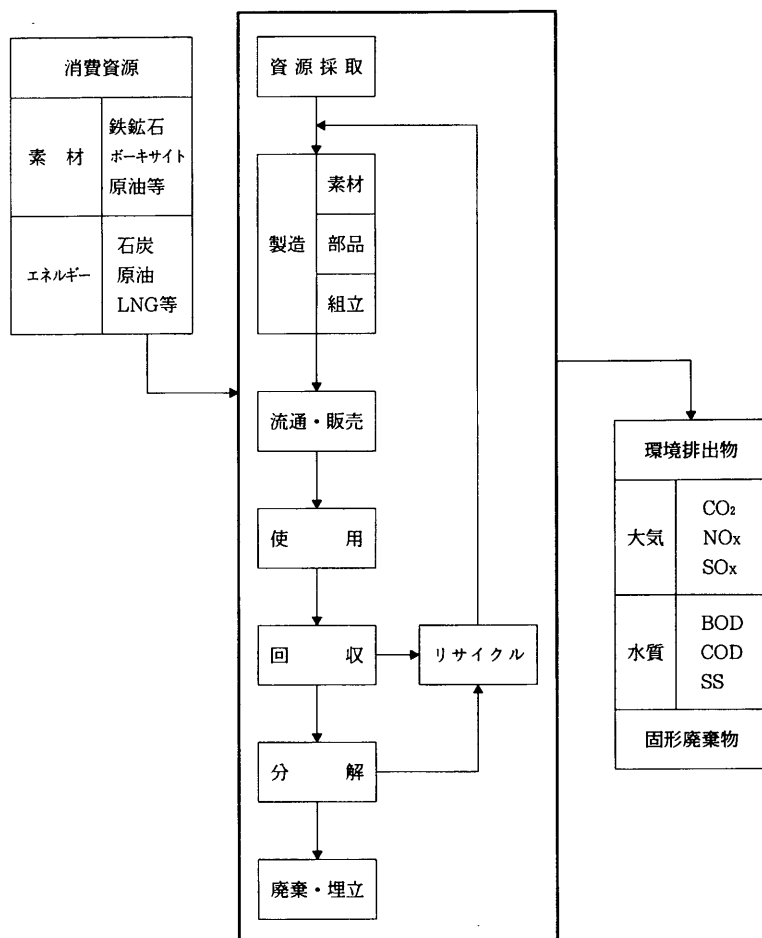


図4 耐久消費財のLCAと環境負荷

果に大きな影響を与えるか否かを見極める一つの手段として、感度分析を用いることは有効である。また、データの精度を良くすることも必要であるが、データの曖昧さを把握・管理し、設定目的に対して有用な情報を得ることは、より重要なことと考えられる。

3) 文献データとLCAソフトウェア

現在、日本でLCI関連データの報告書を発表している代表的な機関として、

- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）³⁾
- ・化学経済研究所（化経研）⁴⁾
- ・プラスチック処理促進協会（プラ処理協）⁵⁾

・未踏科学技術協会（未踏協）⁶⁾

・産業環境管理協会（産環協）⁷⁾

等がある。

また、公表部門数約400部門以上で産業連関表を利用したLCIデータベースを公表している研究機関は、

・慶応義塾大学^{8), 9)}

・日本建築学会^{10), 11)}

・建設省建築研究所¹²⁾

・電力中央研究所^{13), 14)}

・環境庁国立環境研究所¹⁵⁾

・科学技術庁金属材料研究所¹⁶⁾

があり、扱われている環境負荷はCO₂、エネ

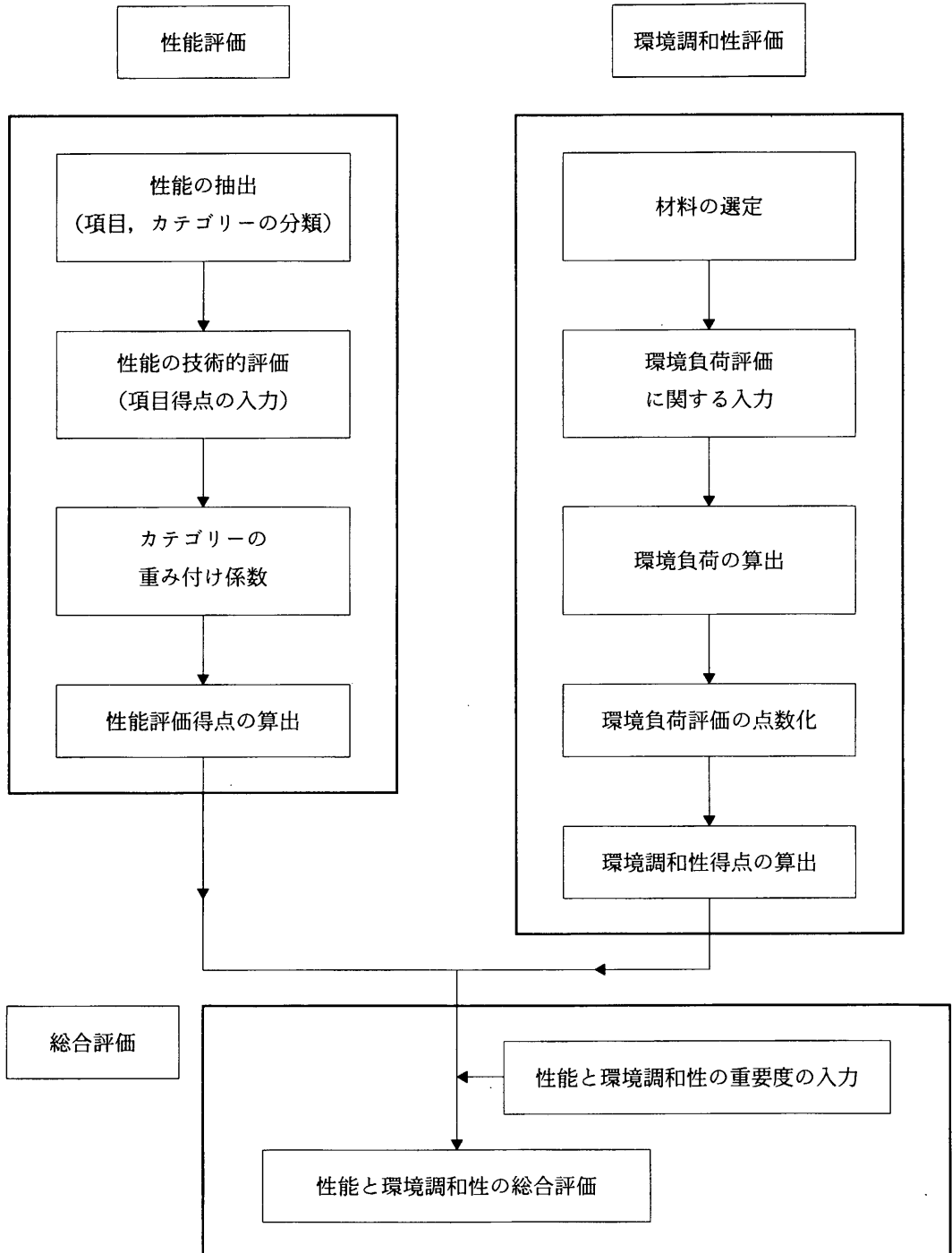


図5 Practical LCA の総合評価の手法

ギーのみであったが、近年、SO_x、NO_xも追加されている。

欧米における代表的な LCA ソフトウェアで、実用的に利用されているものについて、取扱製品別にソフトウェア名（発売元）¹⁷⁾を次に上げる。

【製品全般】

- ・PIA（応用環境経済研究所、オランダ）
- ・TEAM（エコビラン、フランス）
- ・EPS（スウェーデン工業省、Sven-01 of Ryding氏）
- ・Oko-base（ミグロ生協、スイス）
- ・PLA（Vionik ApS、デンマーク）

【包装】

- ・ECOLOGIC（シャルマース工科大学、スウェーデン）
- ・ECOPAC2000（Landbank Agency、イギリス）

【包装、製品全般】

- ・PEMS（PIRA インターナショナル、イギリス）

【包装、消費者製品】

- ・Procter & Gamble（プロクタ&ギャンプルヨーロッパ技術センター、ベルギー）

【原料、その他】

- ・Boustead Model（Ian Boustead 博士、イギリス）
- ・Simapro（プレコンサルタンシー、オランダ）

などがあるが、ECOLOGIC は LCI 分析を対象とし、Simapro や ECOPACK2000 は環境分析も含むものとなっている。

IV. LCAの課題

近年、2001年4月から家電リサイクル法が施行されるに伴い、企業を中心に LCA を適用した調査事例が急増している。LCA を実施する場合には、データベースの整備やデータ収集が容易である LCA 技法の開発が望まれる。ISO 等で議論されている LCA は、調査項目として

定量的な加算が可能なものを想定しているが、より総合的な評価とするため、定量的な測定が不可能な項目も加えた LCA を実施することも検討する必要がある。また、耐久消費財および複合製品である家電製品については、環境負荷と使用性能を総合的に評価する必要がある。家電リサイクル法の対象品目である洗濯機について、和田氏らの消費者へのアンケート調査によると、消費者が洗濯機に求める性能は、洗濯機能に代表される機能性が最大で、経済性、快適性の順位を示した¹⁸⁾。即ち、家電製品については、環境調和性と使用性能のどちらを重要と考えるかによって得られたデータに対して重み付けを行い、図5に示すように総合評価することが、LCA をより実用なものとするうえで重要であると考えられる。

V. 家庭洗濯における LCA 的手法の検討

家電製品において、そのライフサイクルの各ステージの中で、エネルギー消費量についてはすべて使用ステージが最大値を示している¹⁹⁾。ここでは、家庭洗濯において全自動洗濯機の使用ステージにおける地球温暖化に与える環境負荷を把握することを目標設定として、電気消費量から求められるエネルギー消費量とそれに伴う大気への CO₂ の排出量のデータを収集し、家庭洗濯における洗濯方法および洗濯行動を通して、望ましい洗濯の目的にかなう条件項目と環境負荷の低減との係わりについて検討し、また家庭洗濯によって、「毛製品、綿製品を洗い・すすぎ・脱水すること等」を機能として選定し、機能の単位として「1回当たりの洗い・すすぎ・脱水量」、「一定期間における洗い・すすぎ・脱水量」、「平均的使用年数の定格値（カタログに書かれている値）での洗い・すすぎ・脱水量」を機能単位とし、総合的に評価することでより実用的な LCA になるように試みた。そこで、全自動洗濯機を用いた場合の家庭洗濯における使用ステージのフローチャートと手洗いの場合のフローチャートを示し、更にシステム境界に

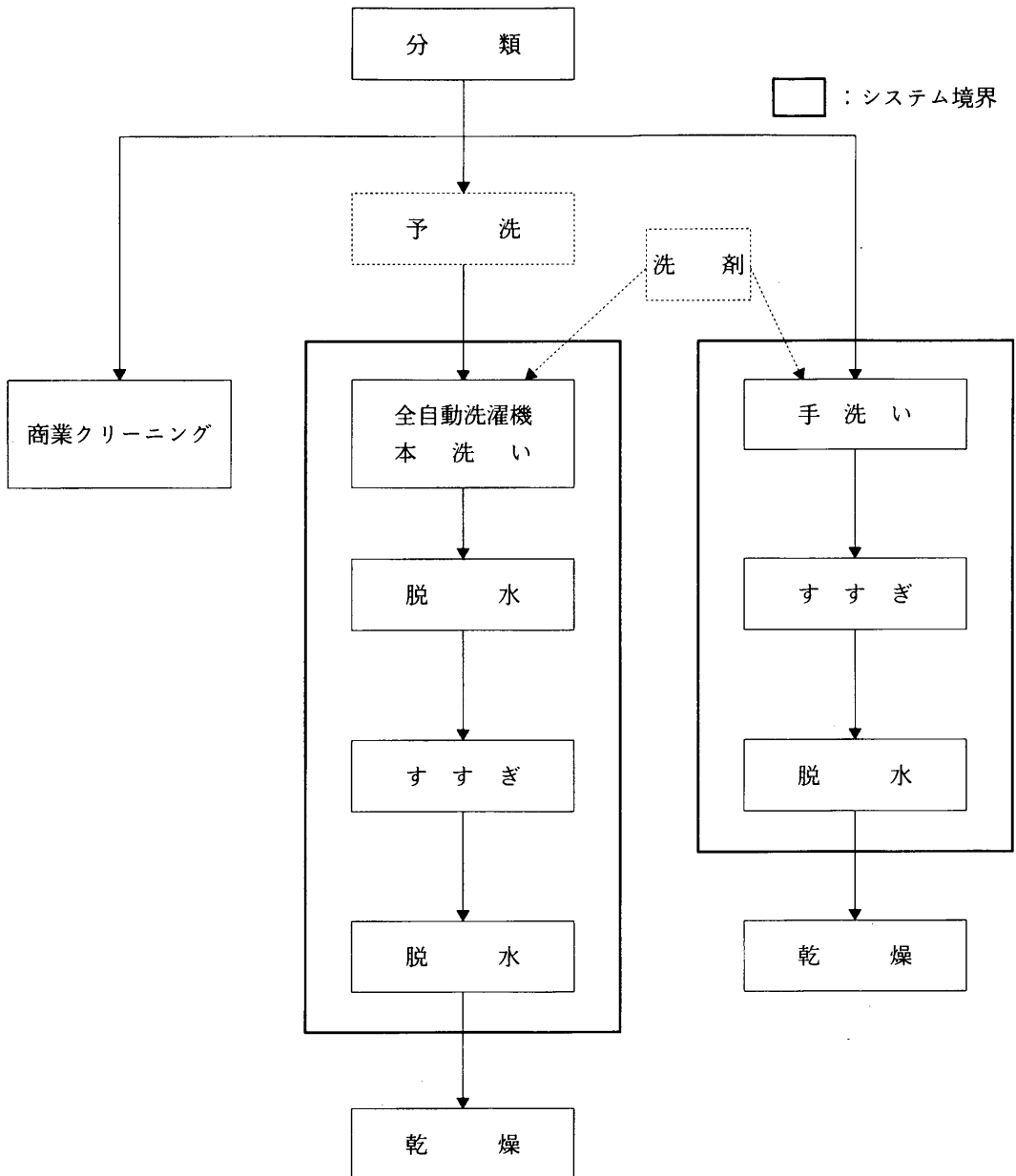


図6 全自動洗濯機の使用ステージ及び手洗いにおける家庭洗濯のシナリオのフローチャート及びシステム境界

ついて、図6に示した。ここでは全自動洗濯機の場合においては、洗剤の製造に係わるサブシステムをシステム範囲外とする場合、システム範囲内とする場合と手洗いの場合においては、任意の条件のもとで洗剤の製造に係わるサブシステムをシステム範囲内とする場合について、今後更に検討していく必要がある。全自動洗濯機の場合については、使用ステージにおいて、洗剤の製造のライフサイクルより全自動洗濯機の使用時間によって発生する環境負荷量が大きく、手洗いの場合においては、洗剤の製造のライフサイクルおよび洗剤の使用によって発生する環境負荷量が大きくなると推察される。また今後、商業クリーニングの場合も含めて、図6に示したフローチャートをもとに、検討を加えながら、環境負荷影響項目および環境負荷の程度について、具体化し、更に性能評価についても検討し、総合的に評価する予定で進んでいる。

VI. 総 括

以上、ISOにおいて標準化作業が進められているLCAの現状、課題について、また2001年4月から家電リサイクル法の実施にあたり、家電製品の環境負荷低減を踏まえて、全自動洗濯機を用いた家庭洗濯を通して、LCA的な手法の活用方法について、調査分析した結果、次のような結果が得られた。

1. 現在実施されているLCAはエネルギー消費量やCO₂排出量などの限られた評価項目を対象にしたインベントリー分析（Inventory Analysis）が中心であり、Ecological Healthあるいは地球温暖化への影響等の影響評価に係わる視座・視点を明確にした環境負荷影響評価（Impact Assessment）まで厳密に行った研究はほとんどない。
2. ISOでのLCAの構成においても、インベントリー分析と環境負荷影響評価は独立的、あるいは直列的に扱われており、両者を有

機的にリンクした実施フレームは明示されていない。

3. 消費財を対象にする場合でも、製品のライフサイクルにおいて、製品により環境への負荷の大きいライフステージが製造ステージや使用ステージと異なる。家電製品においては、製品の使用ステージの環境負荷影響が最も大きいことを示している。
4. 個別LCAの開発が必要であり、又、より実用に合ったLCAの手法及び評価方法の改善が望まれる。
5. 手法の標準化については、ISOが検討しており、手法の客観性を評価する機関の検討も今後必要となる。
6. 家庭洗濯において、LCA的手法を用いて、自動洗濯機等の使用ステージにおける環境負荷影響項目および環境負荷量を調査分析するための準備としてフローチャートの作成を試みた。

VII. 文 献

- 1) Caroline G. Hemenway:「What is ISO 14000?」, CEEM Information Services, P.19 1995
- 2) 財団法人規格協会:「ISO14000情報」, P.1～P.2 2000, 5
- 3) 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）, 化学工学学会: 化学工業製品におけるトータル・エコバランスの分析手法に関する調査, 1994, 3
新エネルギー・産業技術総合開発機構, 財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）, 化学工学学会: 化学工業製品におけるトータル・エコバランスの分析手法に関する調査（Ⅱ）, 1995, 3
- 4) 化学経済研究所: 基礎素材のエネルギー解析調査報告書, 1993, 9
- 5) プラスチック処理促進協会: プラスチック製品の使用量増加が地球環境に及ぼす影響

- 評価報告書, 1993, 3
- 6) 未踏科学技術協会:「環境負担性評価システム構築のための基礎調査研究」調査報告書(別冊)ー金属素材インベントリーデータ, 1995, 3
 - 7) 産業環境管理協会:エネルギー使用合理化手法国際調査, 1995, 3
 - 8) 吉岡完治他:環境分析用産業連関分析表の活用ー生産活動に伴う CO₂ 排出量とその要因ー, イノベーション& I-Oテクニーク, 3(4), 環太平洋産業連関分析学会 1992, 10
 - 9) 池田明由他:環境分析用産業連関表, 慶応義塾大学産業研究所 1996, 3
 - 10) 日本建築学会地球環境委員会ライフサイクル CO₂ 小委員会:ライフサイクル CO₂ で建物を測るー建物の環境負荷評価の手引きー1996, 2, 1997, 3 新訂
 - 11) 日本建築学会地球環境委員会 LCA 指針策定小委員会:中間報告書, 1998, 6
 - 12) 建設省総合技術開発プロジェクト建築委員会:省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発(建築委員会)報告書, (財)国土開発技術研究センター, 1996, 3
 - 13) 本藤祐樹他:産業連関表による財・サービス生産時のエネルギー消費量と CO₂ 排出量ー産業連関表の LCA への適用についてー, (財)電力中央研究所報告 Y95013, 1996, 5
 - 14) 本藤祐樹他:産業連関表を用いた我が国の生産活動に伴う環境負荷の実態分析, (財)電力中央研究所報告 Y97017, 1998, 6
 - 15) 近藤美則, 森口祐一:産業連関表による二酸化炭素排出原単位(フロッピーディスク付), 環境庁国立環境研究所地球環境研究センター, 1997, 3
 - 16) 科学技術庁金属材料研究所エコマテリアル研究チーム: Environmental load of 4000 social stocks, 1997
 - 17) "DIRECTORY OF LIFE CYCLE INVENTORY DATA SOURCES" (The SPOLD Secretariat)
 - 18) (財)未踏科学技術協会, エコマテリアル研究会:材料のエコマテリアル化のための評価・設計技術の確立に関する研究成果報告書, 1999, 3
 - 19) 環境庁企画調整局環境研究技術課監修, (財)環境情報科学センター編:「ライフサイクルインベントリー分析の手引き」, 化学工業日報社, 1998, 9