
製品ライフサイクルを通じた環境負荷評価システムの開発

Development of Product Environmental Impact Evaluation System

三島 圭一* 高橋 斗美子* 大林 陽一郎*
Keiichi MISHIMA Tomiko TAKAHASHI Yohichiroh OHBAYASHI

要 旨

製品設計の初期段階から、ライフサイクルを通して製品の及ぼす環境負荷を確実に把握することが、環境負荷削減のためには重要となる。そのためには、設計者が容易に扱うことのできる環境負荷の評価手段が不可欠だが、実際の評価実行と結果の分析は、環境評価に通じた一握りの専門家だけに委ねられることが多く、彼ら専門家以外にとっては、環境負荷の評価は非常に困難だった。

よって、膨大な必要情報を収集し、分析し、それを評価としてまとめ上げる環境負荷評価の工程に対し、そのロジックとデータを調査・整理・モデル化し、システムとして整備することで、環境の専門家以外でも簡単に扱える評価手段を開発した。

ABSTRACT

It is important to get the picture of environmental impacts on all the stages of a product's life. It is very effective to estimate environmental impact in the early stage of product design work, because total impact with products is mostly decided by preliminary design. However, it is hard to estimate environmental impact for designers. The reason why is that estimation of environmental impact with product needs various knowledge, huge data, and vast amounts of hours. Then, a kind of specialist can only estimate the impact.

Therefore, we have developed a system for collecting, analyzing, and evaluating the huge data to estimate the environmental impact. As a result, we have grasped a means of evaluating the environmental impact that is easy to use for product designer who is not a specialist of evaluating the environmental impact.

* 研究開発本部 環境・エネルギー技術開発センター
Environment and Energy Technology Development Center, Research and Development Group

1. 背景と目的

1-1 新たなLCA基盤の必要性

現在、多くの企業にとって、Fig.1に示すようなライフサイクルを考慮した環境影響評価手法として、ライフサイクルアセスメント（LCA）と呼ばれるものが一般的になっている。LCAとは、対象とする製品について、原料採取から製造、輸送、使用、廃棄等の全ての段階で、資源消費や温室効果ガス排出といった環境負荷を定量的、客観的に評価する手法である。

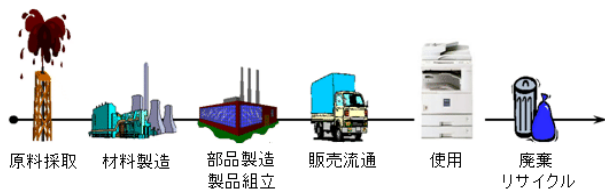


Fig.1 Stages of a product's life.

製造業を営む企業にとって、環境負荷に最も大きな影響を及ぼすのが、製造する製品の基本設計である。よって、環境負荷削減のためには、製品設計の初期段階からLCAを実行できることが望ましく、その製品がライフサイクルを通して発生させる環境負荷に対し、設計で手を打つことが重要となる。しかし、部品点数が数千点以上におよぶ複写機やプリンタといった画像機器では、そのサプライチェーンに膨大な数の材料・部品の仕入先企業が連なり、そういった製品に対するLCAの実施は、一般に非常に困難なものとなる。

また、膨大なデータをとりまとめ、分析し、評価する過程で、そのLCAプロセスや、LCAの評価結果への対応策の検討は、どうしても環境評価に通じた専門家に閉じられたものになりがちだった。

そういった現状に対し、設計プロセスへのLCAの浸透、ひいては企業全体へのLCAの浸透と確実な環境負荷削減には、誰でも・短時間で・簡単に扱える

LCAの基盤が必要不可欠だった。そのために開発したのが、製品ライフサイクルを通して環境負荷を評価するシステムである。

1-2 実態に即したLCAの困難さ

LCAの過程は突き詰めると、次式のように、評価対象となる商品・サービスを提供するための要素について、それらの「所要量」と「原単位」の収集と統合に尽きる。

$$\begin{aligned} & \text{商品・サービス提供に要する総環境負荷} \\ & = \sum_{i,j} (\text{要素}_i \text{の所要量} \times \text{要素}_j \text{の原単位}_j) \end{aligned}$$

生産の用語としての「原単位」は、製品1単位の生産に標準的に必要な投入物の数量を指すが、LCAにおいては、排出の数量も原単位の対象に含む。LCAの過程を端的に表せば、評価しようとする製品・サービスの提供に必要な全ての要素を列挙し、それら全ての要素に対して所要量と原単位を調べ上げ、それら所要量と原単位の積によって得られる投入物と排出物の数量を全て積み上げ、その積み上げた過程と投入・廃棄の数量を環境影響として解釈することである。

評価しようとする製品・サービスに必要な全ての要素とは、何も製品設計上の要素であるモジュールや部品などに限らない。生産プロセスの要素や、動脈物流（調達）・静脈物流（リサイクル・廃棄）双方のサプライチェーンの要素、製品を利用する顧客のユーザーモデルなど、膨大な要素が対象となる。

特に、動脈物流や、リサイクル・廃棄といった静脈物流のデータは、その収集・分析の困難さから、従来、正確な実態評価に代えて、ごく単純で固定的な仮想モデルが採用されることが多かった。また、自社で内製していない調達部品や、部品製造に用いる調達素材の情報なども、仕入先企業のセキュリティ上の理由から、同様に収集困難であり、公知で代表的なデータで代用して評価されることが多かった。結果として、従来のLCAに関する事例は、製品ライフサイクルの実態を十分に反映できないものが

少なくとも、環境負荷削減の改善効果を正確に見積もることは非常に困難だった。

本稿に示すシステムでは、設計プロセスにおける環境負荷削減の評価基準となるよう、実態を正確に反映し、改善効果を計ることのできる評価を実現すべく、独自の調査・モデル化体系を構築した。

2. 環境影響の調査とモデル化

2-1 調達部品環境負荷

調達部品の環境負荷には、素材製造に伴う負荷と部品加工に伴う負荷があり、以下の式で評価する。

調達部品の環境負荷

$$= \sum_{\text{素材}} (\text{素材原単位} \times \text{対象素材質量} + \text{加工原単位} \times \text{対象加工物質質量})$$

ここでの原単位とは、素材などの一定量を製造するのに使用される原料やエネルギーの基準量、排出されるCO₂やCH₄などの環境負荷物質の基準量を指している。

本稿に示す調査・モデル化では、自社製品の評価に必要な素材・部品に伴う環境影響を、独自の原単位データベースにまとめている。自社で製造プロセスをコントロールできる素材・部品については、その原料やプロセス等を調査の上で原単位を作成し、それ以外のサプライチェーン上流のデータには、国内のLCAデータベース^{注1)}のデータを援用した。また、より環境負荷の小さい素材や、リサイクル素材などの採用による改善効果も評価に反映するため、仕入先企業へのヒアリング・調査も行い、データベースに反映させている。

このデータベースを活用することにより、環境負荷が既知である素材による代替評価に頼ることなく、精度の高い、自社の現状を反映した評価が可能となった。

また、環境ラベルタイプⅢ「エコリーフ」¹⁾を取得するためのデータとしても活用できるよう、同時

にエコリーフで定められた原単位での評価も行えるよう、原単位を関連付けている。

部品の環境負荷の評価ロジックは、具体的には以下のとおりである。

まず、部品の構成素材と原単位を紐付け、素材ごとの使用量と原単位を乗算することで環境負荷物質の排出量を算出する。素材負荷を評価するために必要なデータは以下の4点である。

- (1) 構成部品の素材構成
- (2) 構成素材の質量
- (3) 素材原単位データ
- (4) 構成素材情報と素材原単位の紐付け

上述のように複写機やプリンタ等の画像機器は構成部品数が非常に多く、また複数構成素材から成る部品も多い。よって調達部品の環境負荷を評価するためには、大きく3つの課題があった。

- (1) 構成部品素材情報と質量データの取得
- (2) 複数素材で構成された部品の各素材の素材情報、素材質量データの取得
- (3) 対象素材と素材原単位表の紐付け

対象製品の構成部品情報の取得には、設計時に作成される部品構成表を活用した。本稿で対象とする部品構成表は、その管理がシステム化されており、設計者が簡単に取得可能であった。しかし、この部品構成表には構成部品の素材名称、部品質量などのデータは蓄積されているが、Table 1に示すような複数素材で構成される部品は代表素材しか分からず、部品素材名称、部品質量データが取得できない部品もあった。

そこで、不足する構成素材情報を得るため、化学物質マネジメントシステム（CMS：Chemical substance Management System）²⁾にて収集・管理されている部品の原材料情報も活用した。このデータを活用することで、新たに素材データ調査に工数を掛けることなく、必要データを揃えることができた。

Table 1 Example of component composed of multiple materials.

| 部品名称 | 構成素材名称 | 構成質量 | 原単位名称 |
|-------|--------|-------|--------|
| 駆動ワイヤ | ABS | 0.850 | 難燃性ABS |
| | 銅合金 | 0.180 | 銅 |
| | PA | 1.225 | PA6 |
| | 鉄鋼 | 6.113 | 冷延鋼板 |
| | : | : | : |

部品の環境負荷を評価するには、さらに、対象素材に該当する素材原単位を選定する必要がある。

そこで、部品構成表や原材料情報の素材名称と、素材原単位表の紐付け表を作成・維持している。そのためにも、環境負荷評価および材料に詳しい有識者で紐付け作業を実施した。

素材に対して直接該当する原単位がない場合は、用途なども含めて判断し、組成や製造方法の類似した素材を選定した。樹脂など代替素材が一意に選定できない場合は、より環境負荷の大きい物質の原単位と紐付けた。不明な場合に想定される最も大きい負荷を選択することは、実負荷を過小評価しないためである。

このような評価方法を取ることで、複写機やプリンタなどの画像製品の多くで、100%に近いデータを取得することができ、より精度の高い評価が可能になった。

2-2 トナーの環境負荷

トナーの環境負荷評価にも、調達部品同様、素材負荷と製造負荷があり、以下の式で評価する。

トナーの環境負荷

$$= \text{トナー素材原単位} \times \text{対象素材質量} \\ + \text{トナー製造原単位} \times \text{製造工程対象質量}$$

画像製品のライフサイクルを通して使用量が多いトナーは、環境負荷への寄与も大きいいため、より正確に評価が可能な原単位を作成している。原単位の作成には製造工程を把握し、各工程で投入される材料およびエネルギーを評価することが必要である。

トナーには大きく分けて粉碎トナーと重合トナーがある。粉碎トナーは分級工程でトナーを粉碎して

製造する。重合トナーは液体中で液滴として製造するもので、例えば、乳化重合によりトナー粒子を形成して製造する。

トナー素材原単位を作成するため製造部門と協力体制を構築し、材料使用量とトナー生産量データを収集した。原単位の作成では、月変動を考慮し、所定期間の平均とし、次式により求めた。

$$\text{トナー素材原単位} = \frac{\text{トナー素材環境負荷総量}}{\text{トナー生産量}}$$

$$\text{トナー素材環境負荷総量} \\ = \sum (\text{構成素材原単位} \times \text{投入質量} \\ + \text{製造用材料原単位} \times \text{実使用量} \\ + \text{リコー仕様材料の製造負荷})$$

トナーの製造には、製造プロセス上必要だがトナーの構成素材には直接含まれない「製造用材料」として、例えば乳化重合のための溶剤なども使用される。この原単位算出式では、トナーに直接含まれる「構成素材」と、トナーに含まれない「製造用材料」、その双方を評価に算入している。また、これらの投入・使用量については、製造工程から回収した材の再利用効果も反映している。なお、これら部材の使用量・投入量に直接影響されない製造負荷は、「リコー仕様材料の製造負荷」として、別途算入している。

次に、材料ごとの環境負荷を求めた。トナーの主成分となる材料は、画像機器メーカーごとの個別仕様に基づき、トナー仕入先企業にて製造されるが、その製造プロセスや組成情報は、仕入先企業にとっては非常に重要なノウハウ・機密情報であり、厳重に管理されている。そのため、画像機器メーカーが、仕入先企業で製造された材料に伴う環境負荷を調査・評価することは非常に困難であり、評価の対象外として扱うことが多かった。そこで、仕入先企業との協力体制を構築した上で、対象材料の製造工程の環境負荷評価データの提供を受けることで、製造負荷評価も可能とした。仕入先企業には弊部署で開発した製造環境負荷算出ツールRECO₂RET³⁾を提供し、ツールを利用して評価している。このRECO₂RETは、仕入先企業の製造負荷削減の推進を

支援するために開発したもので、その利用には、仕入先企業にも負荷削減のメリットがある。

このツールを利用することで、自社の算出基準に適合した評価データを収集することができ、材料の製造負荷も含めたトナー素材原単位を作成することができた。

なお、エコリーフ等で定められている一般的な原単位に含まれず、従来評価対象外としていた外添剤等の化学物質などは、可能な限り対応する原単位を作成し、データベースに追加し、評価対象とした。これにより、より精緻な評価が可能となった。

また、トナーの製造負荷を評価するために、自社工程におけるトナー製造原単位も作成した。こちらにも、製造部門との協力体制によりトナー製造に掛かるエネルギー使用量とトナー生産量データを収集した。原単位は、空調の季節変動影響を考慮し、1年間の平均として、次式により求める。

$$\text{トナー製造原単位} = \frac{\sum(\text{エネルギー原単位} \times \text{エネルギー投入量})}{\text{トナー生産量}}$$

このように、製造部門、仕入先企業との協力体制を構築し、より詳細な実績データを収集して作成した素材原単位・製造原単位を用いて評価することで、構成素材のみを評価するのではなく、製造に関わる投入材料を全て対象とし、回収材料の再使用による素材の有効活用の効果を反映し、従来評価できなかった調達材料の製造負荷まで含めた環境負荷評価が行えるようになった。その結果、理想条件による机上モデルでの評価ではなく、より実態を反映した環境影響を評価できるようになった。

2-3 製造工程の環境負荷

画像機器に伴う環境負荷として、製品組立時の製造負荷も評価する必要がある。製造負荷は、製品1[kg]あたりの製造負荷である製造原単位を用いて、以下の式で評価する。

$$\text{製造工程の環境負荷} = \text{本体組立製造原単位} \times \text{製品の設計質量}$$

製品製造を行う各生産工場では、一般に、環境に対する配慮から工場ごとにエネルギー使用量を管理

するエネルギー管理システム（EMS）と、製品製造を管理する生産管理システムを構築している。このEMSのエネルギー消費データと、生産管理システムの生産量データを活用できるよう、製造部門との協力体制を構築し、組立負荷の製造原単位を算出する仕組みを構築した。

具体的には、EMSの、工場ごとの全エネルギー使用量から、組立に関わるエネルギー使用量を分割して取得できる形にし、データを活用できるようにした。

この各生産工場の月単位のエネルギー使用量と、エネルギー原単位から月あたりの環境負荷を算出し、総生産量で除算して、各生産工場別の単位質量あたりの製造原単位を算出している。総生産量は、機種ごとの生産台数と製品質量から算出する。この各値は、毎月算出し、年間平均を求めて、各年度の各工場での製造原単位として使用し、毎年更新を行う。

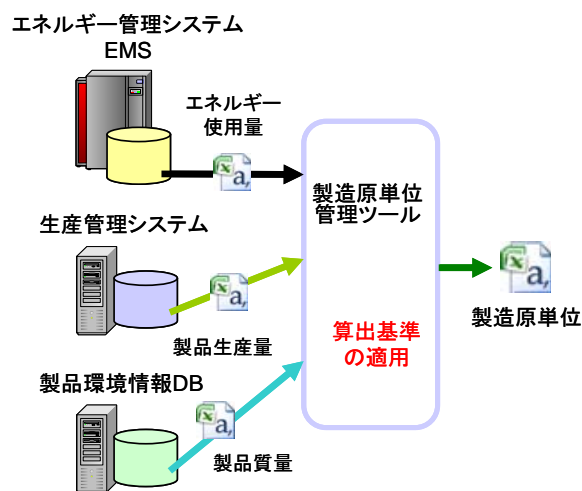


Fig.2 Data acquisition from EMS.

$$\begin{aligned} \text{製造原単位} &= \text{総製造負荷} \div \text{総生産質量} \\ \text{総製造負荷} &= \sum(\text{エネルギー原単位} \times \text{エネルギー使用量}) \\ \text{総生産質量} &= \sum(\text{生産台数} \times \text{製品質量}) \end{aligned}$$

このようなEMSと生産管理システムのデータ活用により、現場に負担を掛けずに実績データを収集し、製造原単位を作成、更新することが可能となっ

た。また、定期的に算出、更新することで、製造現場の改善活動を反映した評価ができるようになった。

本仕組みにより、主要生産工場を始め、海外拠点を含めた各生産工場の製造原単位を揃え、対象工場の改善を反映することで、現状に即した製造負荷評価を行うことが可能となった。

2-4 リユース・リサイクルの環境負荷

2-4-1 再生機・リユース部品の評価

再生機^{注2)}における調達部品の環境負荷は、以下の式で評価する。

調達部品の環境負荷[再生機]

$$= \sum_{\text{素材}} \{ \text{素材原単位} \times (\text{対象素材質量} - \text{リユース部品質量}) \\ + \text{加工原単位} \times (\text{対象加工物質量} - \text{リユース部品の加工物質量}) \}$$

再生機においては、上式のように、再生して使用する部品（以下、リユース部品）の新規調達に伴う負荷を、「リユース部品質量」として控除する。

製造工程の環境負荷は、以下の式で評価する。

製造工程の環境負荷[再生機] = 新造部分の組立負荷 + 再生負荷

新造部分の組立負荷

$$= \text{本体組立製造原単位[新造機]} \\ \times (\text{製品の設計質量} - \text{リユース部品質量})$$

再生負荷 = 再生原単位 × リユース部品質量


負荷は控除するが、その代わりに、リユース部品の再生工程の負荷として「再生負荷」を算入する。この「再生負荷」を評価するために、再生工程の負荷を調査・評価し、「再生原単位」を作成した。

再生工程の負荷について、その基本的な考え方は2-3節の製造工程の環境負荷と同様で、製造部門との協力体制により、製造部門で管理している再生機生産量、エネルギー使用量データを収集した。

本稿の示す調査・モデル化で対象とした再生工程は、新造機組立工場の一部を利用して再生機生産まで一貫して行っている。よって、再生工程を含む工場では、部品再生および再生機組立まで含めて、新造機組立と再生機生産の工場全体の生産状況を把握して、空調や照明、共通使用設備・エネルギーも含めた対象データを決定し、収集した。これらのデー

タにより、再生工程の負荷を評価し、再生原単位を作成した。

この再生原単位を用いて再生機の環境負荷を評価するためには、新規投入部品質量とリユース部品質量データが必要である。

再生機のリユース部品搭載率は、機種により異なり、例えば、リコーの再生機では80%と非常に高い。このように可能な限りの部品をリユースするためには、リユース対象部品は広く設定する必要がある。同じ機種であっても、回収機の状態によってはリユース対象部品でも再生できないことがあるため、再生機の部材管理では、部品1点1点ごとに交換率を管理することも多い。

画像製品は構成部品が非常に多いため、このような細かな交換率管理を行うと、リユース部品使用率の高い再生機では、評価担当者による製品評価実行時に、リユース部品の情報を個々に調査し、設定することが、非常に困難となる。そこで、再生機担当区で管理しているリユース部品の交換率を活用することで、再生機評価を可能にした。

$$\text{新規投入部品質量} = \sum_{\text{交換部品}} (\text{交換部品質量} \times \text{交換率})$$

再生機担当区の管理データを活用することで、現場に負担を掛けずに必要データを収集し、再生機の環境負荷を評価することが可能となった。

2-4-2 リサイクル素材の評価

リサイクル素材（以下、PCMR、MCMR）^{注3)}を使用した製品に対しては、その効果を評価するため、PCMR、MCMRの原単位を作成した。

PCMRの再生工程は、使用済み製品を回収輸送し、PCMR対象回収材を選別、破碎してPCMR企業にて再生する。

その評価では、外装用難燃剤樹脂と内装用難燃剤不使用樹脂とで原単位を分けている。エコリーフなどで定められている一般的な原単位には該当素材が少なく、従来評価対象外としていた化学物質なども、可能な限り原単位を作成し、データベースに追加して評価対象とした。原単位作成のためのデータ収集

では、PCMR企業と協力体制を構築し、PCMR再生工程情報およびエネルギーデータ等の評価に必要な実績データの提供を受けた。

PCMRの再生工程は、一般にFig.3のようになっている。エコリーフなどで定められている一般的な樹脂原単位は、樹脂ペレット（バージンペレット）の素材製造負荷に対するものであり、樹脂メーカーが納入先各社の仕様に合わせ混合改質するアロイ（コンパウンド工程）負荷は含まれていない。また、コンパウンド工程では、難燃剤も添加している。PCMRの再生工程負荷を評価するには、本来、コンパウンド工程のアロイ負荷も考慮して評価する必要がある。

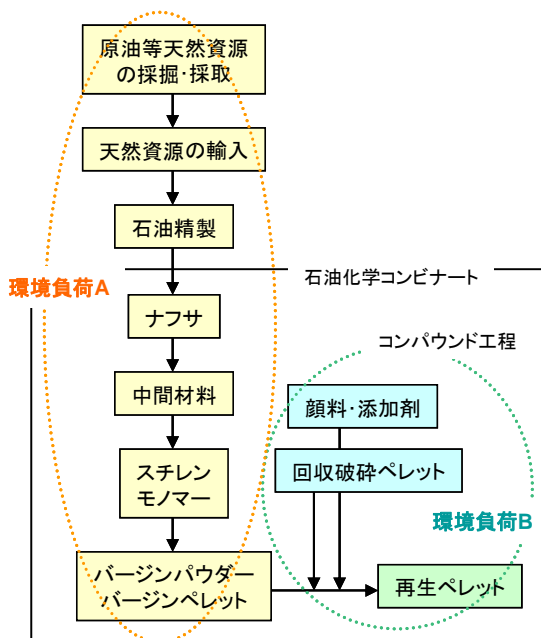


Fig.3 Recycle process of PCMR.

リサイクル素材の環境負荷[PCMR]

$$= (\text{環境負荷A} + \text{環境負荷B}) \times \text{バージン材率} \times \text{回収材率}$$

本稿に示す調査・モデル化では、再生負荷を考慮せず素材削減効果だけを評価するのは不適切と考え、アロイ負荷も含めて評価している。これは、2-1節に示した調達部品の環境負荷評価で利用しているバージン樹脂原単位についても、同様である。

PCMRの再生樹脂は、その種類ごとに回収材料の使用割合や難燃剤の添加割合が異なる。異なる割合

に対応し、PCMRの種類ごとに適切な原単位を算出するため、その原単位算出過程はシステム化し、PCMRの原単位を維持している。

MCMRについては、一般に公開されている各種業界データ・統計データを用いて原単位を作成している。具体的には、以下のデータを用いている。

- ・平成7年鉄鋼統計年報（通商産業大臣官房調査統計部編）
- ・平成8年度電力需給の概要（通商産業省資源エネルギー庁公益事業部編）
- ・日本貿易月表 平成7年12月号（大蔵省編）

今後、さらに環境負荷削減に向けて素材リサイクルを推奨していくためには、PCMR、MCMRの再生に掛かる負荷を実態に即して評価し、その真の効果を評価することが重要である。本節に示した算出の仕組みは、今後さらに改良されたPCMRが開発されても、その原単位が容易に算出でき、そのような実態に即した評価が可能となった。

2-5 物流の環境負荷

製品のライフサイクルにおいて、物流は至るところに関わっている。それら物流に伴う環境負荷は、以下の式で評価する。

物流の環境負荷

$$= \text{輸送質量} \times \text{輸送距離} \times \text{輸送原単位}$$

実際の物流では、モーダルシフト、輸送手段の効率向上、輸送会社への委託率の変動、内外情勢による経路・手段変更などにより、同じようなケースでも、評価のパラメータ値は変化していく。また、物流各社は常に環境負荷削減に取り組んでおり、その効果が反映できることが望ましい。

パラメータが常に変化することから、物流における環境負荷を求めるには、輸送距離や燃料使用量など、輸送実績に左右される評価パラメータに固定の定数を設定する「固定モデル」か、これらパラメータを輸送の実績を集計した統計値から求める「実績モデル」のいずれかが採られることが多い。本稿に

示す輸送のモデル化では、基本的には実績モデルを用いている。

その際、輸送実績データの収集には、自社グループの物流企業が構築した、製品の販売・回収輸送によるCO₂排出量を可視化する情報システム⁴⁾（以下、物流可視化システム）を利用している。この物流可視化システムでは、輸送役務1つごとの発着点間の距離、重量、車種、使用燃料、積載率が細かく実績把握できるようになっている。

この輸送実績データを一定期間集計し、その統計値により実績モデルのパラメータを求め、定式化することで、輸送に伴う環境負荷は求められる。例えば、製品本体の輸送に関わる環境負荷を評価する式は、以下ようになる。

$$\begin{aligned} & \text{本体輸送の環境負荷} \\ & = \text{製品質量} \times (\text{輸送距離} \times \text{輸送原単位}) \\ & = \text{製品質量} \times \text{製品重量あたり輸送負荷} \end{aligned}$$

「製品重量あたりの輸送負荷」は、本体輸送の始端である生産国と、輸送の終端である販売地域との組み合わせ（以下、生販地域ペア）について、1組につき1つの値を求めている。1組の生販地域ペアに対し、複数の輸送経路・手段が存在したり、生販地域ペアとして識別される1つの生産国や販売地域の中に複数の拠点が存在したりする場合、各経路・手段・拠点の輸送実績を、輸送重量による重み付け平均で1つの値にまとめている。

重み付け平均の例として、例えば、ある生販地域ペアp~qにおいて、Fig.4のように、輸送元の実産国に2拠点（A、B）、輸送先の販売地域に3拠点（C、D、E）あり、輸送実績として3つの経路（A→C、A→D、B→E）が存在したとする。この3つの経路各々の総環境負荷を、物流可視化システムの実績データからx、y、zと求めていた場合を考える。この生販地域ペアp~q間の輸送における、重量あたり輸送負荷は、次式のように表現される。

$$\begin{aligned} & \text{p} \sim \text{q} \text{間の重量あたり輸送負荷} \\ & = \text{重量距離あたり輸送負荷} \times \text{距離代表値} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{距離代表値} \\ & = \frac{\alpha \cdot c}{\alpha + \beta + \gamma} + \frac{\beta \cdot d}{\alpha + \beta + \gamma} + \frac{\gamma \cdot e}{\alpha + \beta + \gamma} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{重量距離あたり輸送負荷} \\ & = \frac{x + y + z}{\alpha \cdot c + \beta \cdot d + \gamma \cdot e} \end{aligned}$$

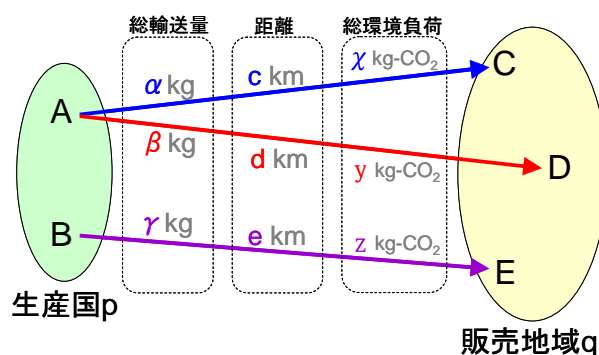


Fig.4 Example of multiple transport pathways.

この評価では、このような重量あたり輸送負荷を、輸送実績の存在する全ての生販地域ペアについて、全世界の物流状況を反映して定期的に評価している。その結果、経路ごとの物流環境負荷の差異を細かく反映し、物流各社の環境負荷削減活動の効果を反映した評価が可能となった。

3. 評価のシステム化と活用

本稿の示す評価システムの目的は、「誰でも・短時間で・簡単に扱えるLCAの基盤」を提供することにある。そのためのデータについては前章で示した。本章では、そのデータ基盤の上で、業務システムとしてどのように「誰でも・短時間で・簡単に」を実現したのかを示す。

3-1 設計プロセスへの環境評価の適用

従来、設計段階でのLCAが難しかった理由はいくつかあるが、その1つとして、製造や調達・流通（動脈・静脈）といった設計要素以外のデータや知識を必要としたことが挙げられるだろう。この問題に対しては、設計区で取得・コントロール可能な設計情報と、設計区で直接コントロールできない調達や流通などに関わる原単位情報等とを、注意深く分けてシステム化することが重要である。本稿の示す評価システムでは、前者の情報のみで評価を実行できるインターフェイス（設計区用クライアント）と、後者の情報を維持管理するためのインターフェイスに分離した。設計区用インターフェイスでは、設計者が日々利用する情報である部品構成表（設計BOM）と、製品規格書の情報のみの入力で評価できる形（Fig.5）になっている。

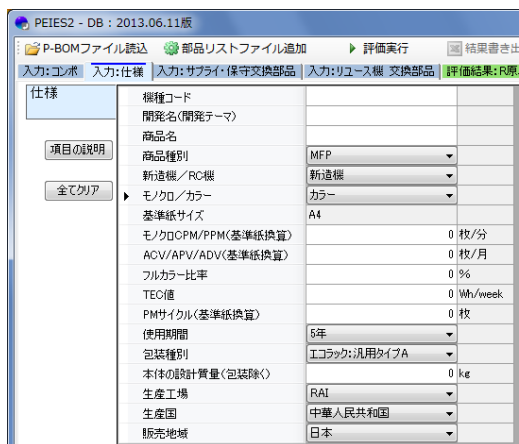


Fig.5 Example of screen for user's input.

このように、ユーザーである設計者に直接関係しない情報や機能の排除は徹底しており、これが、「誰でも・短時間で・簡単に」という本稿の理念の根幹を支えている。

また、この評価システムは、一般的な業務用情報システムで多く見られる構成と同様に、画面定義（表示・振る舞い）と、ロジック定義は分離している。しかしそれだけでなく、画面定義の記述フレー

ムワークには高い自由度を与えており、設計対象の種別ごとに異なる画面を与えることも可能である。

また、同種の商品を設計するユーザーの中でも、単純に設計した製品の評価のみを目的としたユーザー（評価目的）と、設計変更をシミュレートしてその時々の評価を試行したいユーザー（シミュレーション目的）とで、インターフェイスを分けている。



Fig.6 Example of screen for result.

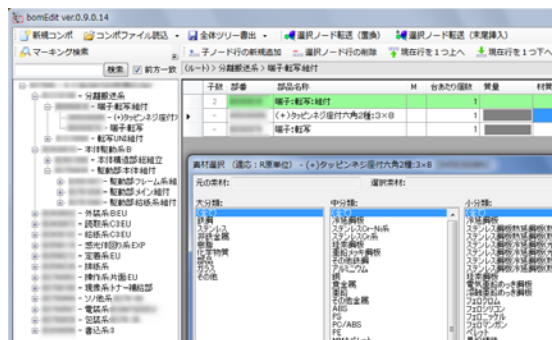


Fig.7 Example of screen for simulation.

評価目的のユーザーには、最小の工数と時間で実行可能な評価手段を与え、シミュレーション目的のユーザーには、最小の操作で自由度の高い編集機能を与えている。この2つのインターフェイスは相互に行き来可能で、目的や用途に応じて最適なイン

ターフェイスが選択されるよう、配慮したものになっている。

こういった積み重ねにより、単純な評価目的の場合、その評価作業に10分と掛からないシステムを実現した。その10分以下の入力作業と、数秒の評価処理時間で、素材の調達から製品の廃棄・リサイクルに至る全ての工程の環境負荷と、製品を構成する全てのモジュール・部品の環境負荷や資源消費量などが、例えばFig.8, Fig.9のような形で算出される。

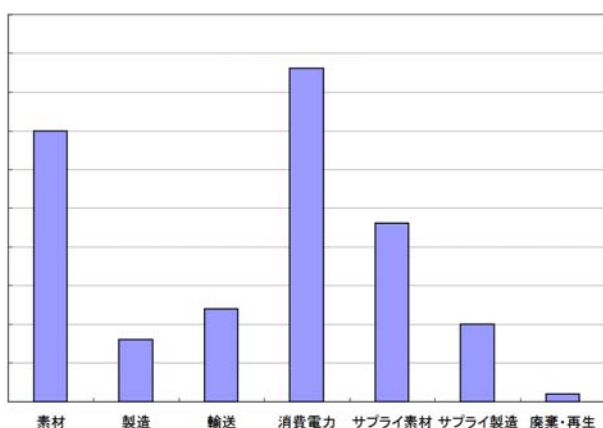


Fig.8 Example of estimation result by product's life cycle stage.

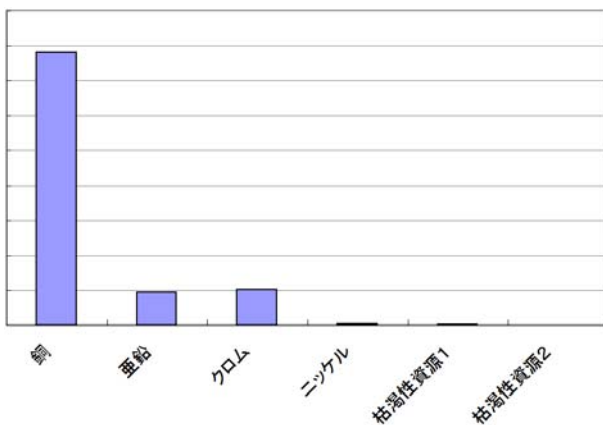


Fig.9 Example of estimation result by exhaustible resource.

従来のLCAが、複数の専門家が数週間の時間を掛けて行うものであったことと比べると、その差は極めて大きい。

次に、このような評価システムで環境負荷削減のために設計改善のシミュレーションを行う場合について、その例を挙げる。

設計で環境負荷の低減を考える際には、いくつかの戦略が考えられる。例えば、以下のようなものが挙げられよう。

- (1) 製品の重量を削減する
- (2) 製品の製造に必要な希少資源を削減する
- (3) 消費量の多い消耗品の環境負荷を抑える

このほかにも、消費電力の削減や、リサイクル性の向上などの戦略もあるが、この3つは設計初期の環境負荷改善戦略として考えやすいだろう。

環境負荷削減の最もシンプルな戦略は、(1)に挙げた製品重量を下げることである。これは複写機やプリンタといった画像製品に限らず、多くの工業製品に共通して言える。製品重量が減れば、製品の製造に必要な材料の量は減り、資源消費は低減され、その調達に伴う輸送量も少なくなる。極端にサイズのスケールが異なる限り、大型で重い製品より、小型で軽量の製品の方が、製造工程における加工時間や消費エネルギーも小さくなる。

多くの製品では、このように重量の低減と環境負荷の低減とは比例に近い関係を持つが、例外もある。それが、希少資源を多く含む部品やモジュールの存在である。希少資源の消費は、それが微量であっても大きな環境負荷を伴う。レアメタルを利用した電子素子などはその典型で、電子回路基板などは、その重量に比して環境負荷は極めて大きくなる。例えば、Fig.10, Fig.11に示す例では、重量が必ずしも大きくない電装系モジュールが、環境負荷の面では大きな比重を占めることが分かるだろう。本稿に示す評価システムでは、製品1台から素子部品1点までこういった分析をブレイクダウンしたり、逆にブレイクダウンしたシミュレーションを積み上げたりして、全体の傾向を見直すこともできる。例えば、この例の電装系の場合も、環境負荷の高い回路素子部品の代替検討などを比較的容易に実行できる。

つまり、設計初期段階で環境負荷削減のためのシミュレーションを行う場合、部品やモジュールごとの重量・希少資源量・環境負荷などを突き合わせ、どのモジュールや部品に手を打つべきかを考えることが、肝要となる。この評価システムでは、先の図のような評価を、対象・視点を変えながら簡単に求めることができ、その評価を見ながら、部品構成表に対し部品やモジュールの重量や素材の変更、既存や架空のモジュールへの置き換えなどが簡単に行える。これは、設計初期の指針を立てる上で、非常に有効である。

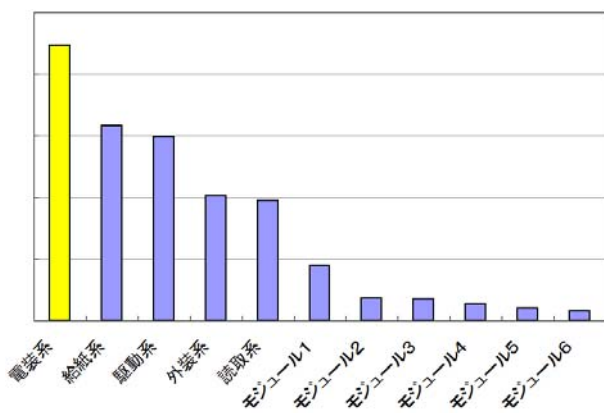


Fig.10 Example of estimation of GHG emission by major component.

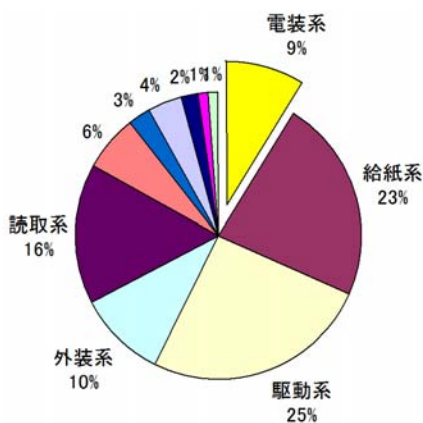


Fig.11 Example of estimation of weight by major component.

3-2 販売プロセスでの環境評価の活用

今や、企業にとって自社商品へのLCAの適用は当たり前のことであり、商品の販売機会を確保するためにも、顧客や社会からの求めがあれば、速やかに製品のLCAを開示できる体制を整えることが重要である。このとき、3-1節で述べた「設計区で10分と掛からずLCAを実行できる」という特徴は、極めて大きな意味を持つ。従来、LCAは、その所要工数の大きさから、個々の商品に対し評価を求められて、初めて実行するものであった。しかし、これだけ小さな工数でLCAを実行できるなら、全ての商品で量産開始時にLCAを実行することが現実的となる。また、この評価基盤は、エコリーフなどの各種環境レベルの取得にも活かすことができる。

4. 今後の展開

LCAを核とした環境評価の取り組みは、近年、「カーボンフットプリント」(CFP)と呼ばれる考え方により、新たな局面を迎えている。CFPの環境ラベリングとしての制度化⁹⁾が、国内外で急速に進んできており、LCAそのものが、社会に共通した環境コミュニケーション手段として、広く普及しつつある。その結果、企業におけるLCAの実行基盤の存在は、今後ますます、重要性を増していく。我々は、LCAを核とした環境評価が、自社グループ企業だけでなく、より広範なステークホルダーを通じて、多くの局面で広く活用できるよう、LCAの基盤を発展させていく必要がある。

謝辞

本評価システム構築にあたり、リコーの原単位データベース作成に伴う調査・原単位作成業務を担当された、みずほ情報総研様、調査にご協力頂いた仕入れ先様、その他多くの方々にご協力を頂きました。ここに、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 一般社団法人 産業環境管理協会: エコリーフ環境ラベル, <http://www.ecoleaf-jemai.jp/> (参照2013-07-22).
- 2) リコーグループ 環境経営報告書, pp.45-46 (2007).
- 3) リコーの技術 - 部品製造における環境負荷可視化技術,
<http://www.ricoh.co.jp/about/company/technology/tech/005.html> (参照2013-07-22).
- 4) リコーロジスティクスグループ 環境経営報告書, p.15 (2012).
- 5) 一般社団法人 産業環境管理協会: CFP認証プログラム, <http://www.cfp-japan.jp/> (参照2013-07-22).

注1) LCA日本フォーラムによる JLCA-LCAデータベース (2009年度 第2版) のこと.

注2) リコンディショニング機とも呼ばれる。
再生処理を行い, 別途所定の品質基準で保証を行う部品, または所定の品質基準で必要な部品を交換するなどの再生処理をした製品のこと.

注3) PCMRとは, Plastic Closed Material Recycleの略で, クローズドリサイクルによる再生樹脂, もしくは, クローズドリサイクルによる樹脂再生の手法や仕組みのこと.

MCMRとは, Metal Closed Material Recycleの略で, クローズドリサイクルによる再生金属, もしくは, その仕組みのこと. 前者の場合, 実質的には電炉鋼板を意味し, 原則として鉄スクラップを100%原料とする鋼板を指す.