特集「環境効率」

解説

富士通グループにおける製品への環境効率指標の適用

布施 健介

Utilization of Eco-efficiency Factor for Products in Fujitsu Group

Kensuke FUSE

Synopsis: The development of product functionalities and service is a critical element for IT products while the reduction of environmental loads is another challenge for manufactures. Eco-efficiency, coupling with the economical and environmental improvements at the same scale, is a beneficial indicator to pursue the sustainable yield.

This paper shows one of the approaches applied by Fujitsu Group showing personal computer as a main example. In order to express the benefits or service of products, product functions or hardware specifications are used as base data. Environmental loads are calculated based on LCA method. Especially, EcoLeaf environmental label, which is the Japanese Type III label, and Fujitsu's internal assessment methods are introduced. In addition, the integration of environmental loads by applying LIME is another characteristic of our approach. In closing, we believe that LCA is not only the effective tool to evaluate and review our products internally, but also the essential communication media connecting suppliers and customers by showing Eco-efficiency, Type III label and social cost.

KeyWords: LCA, Eco-efficiency, Factor X, Personal Computer, EcoLeaf Type III Label

1. はじめに “IT製品における環境効率算出の意義”

富士通グループでは、新製品の設計時から環境負荷の低減を図る独自の製品環境アセスメントおよび、省資源化・リサイクル設計・化学物質含有規制・省エネルギーなどの基準を定めたグリーン製品評価¹⁾を実施している。これらの評価の中でLCAの実施を組み込んでおり、2002年度には富士通単体で、2003年度には富士通グループにおいて全ての新規開発製品でグリーン製品化を達成することで、現在全ての新規開発製品でLCAが活用されている (Figure.1)。

Figure.1 Green Product development results (Fujitsu Group)

LCAによる評価が社内で浸透していく一方、環境負荷のみならず、他の要素も踏まえて結果を表現したいという要望が生じた。富士通グループで取り扱うIT製品や半導体は、短期間で性能・機能が著しく向上する製品群が多い (Figure.2)。通常、性能・機能の向上に伴い、その分仕事量が増加するため消費電力が上がる傾向があり、設計段階では如何にこの消費電力を抑えるかが大きな課題となっている。しかしながら、環境負荷評価に焦点を当てている

Figure.2 Transitions of CPU clock number of personal computer

LCAでは、この努力が数字となって現れてこない。具体的に言うと、例えば半導体設計者が性能・機能を向上させた後の、消費電力や製品質量維持への戦いがLCAでは表現できなかった。

そこで環境効率またはファクターの有意義性が発揮される。従来のLCAに加え、製品の性能・機能の側面を数値化し同時に指標で表すことで、その努力を数値化することが始めて可能となった。製品設計で環境負荷の低減と経済（性能・機能向上といった製品の便益）の発展を両立させるために、特にIT製品において、この指標は大変重要な意味を持っていると考えられる。

2. LCAと環境効率の位置づけ

製品の環境効率指標を論じる際、「環境効率は環境負荷の増減をごまかすための企業側の言い訳になってしまわないか」という議論を問われることがある。環境効率では、環境負荷に加え、同時に価値・便益の増減も算出因子に入っているため、一つの数字となったとき個々がぼやけてしまうという欠点の指摘である。当社においては、環境負荷の曖昧さが出ないように、基本的なスタンスとしてLCAによる評価結果を最重要視している。前述にもあるように、全ての新規開発製品でLCAを実施し、環境負荷評価を熟慮した上で、さらに性能・機能の向上度を表現したい製品群に対して、環境効率という別の角度から評価を行うのである。加えて、環境効率内の環境負荷を算出する際においても、IT製品の場合使用ステージ以外の環境負荷が高いことが多々あるため、特定ステージではなく包括的な評価で結果を示している。

次に外部への発信であるが、Figure.3に表すように、富士通グループでは社内における製品LCA算出活動をベースとし、環境効率の他に、ビジネスユーザー向けなど第三者の認証を介したいときは、社団法人産業環境管理協会の運営する「エコリーフ環境ラベル（以下エコリーフ）」を取得する。さらに一般消費者などへの理解度促進を高めるため、環境負荷を金額に換算するLIME統合化指標を活用した社会コスト算出¹⁾、さらにはライフサイクルコスト²⁾へも取り組み、内部活用と共にユーザーに応じ最も適切と思われるLCA情報を発信することに努めている。

Figure.3 Various environmental indicator of product in Fujitsu group

3. 富士通グループの「環境効率ファクター」

富士通グループでは、経済産業省が設置した資源生産性調査委員会に当初より参画し、「環境効率」や「ファクターX」の開発を手がけてきた。そして、2002年度の環境報告書³⁾に、パソコンを事例とした環境効率を初めて掲載し、その後も学会及び環境展示会を通じて算出方法詳細の発表を、携帯電話やスキャナーなどの様々なコンシューマー製品に対象を拡張して行っている。

一般に製品に関する環境効率の算出は、分子に製品の価値をとり、分母に環境負荷を用いて表現し、ファクターに関しては評価製品の環境効率と、基準製品の環境効率の比率をとっている⁴⁾。

環境効率 = 製品の価値 / 環境負荷

ファクター = 評価製品(新)の環境効率 / 基準製品(旧)の環境効率

富士通グループではこの概念を元に、分子に直接製品価値の評価製品と基準製品の新旧比率、分母には環境負荷の新旧比率を採用し、環境効率ファクターと名付け社内に普及させている。

環境効率ファクター = 価値・サービス(新旧製品の比) / 環境負荷(新旧製品の比)

一度環境効率を算出してからファクターを導くのではなく、直接価値・サービスと環境負荷の新旧比を用いた理由は、製品の価値・サービスを単独の値として算出するのが困難と思われたためである。次章で詳細を述べるが、価値・サービスを示す手段として、複数の製品仕様や機能値を元データとして使用している。最終の目的が新旧製品の比較であったため、これらの仕様値を無理に統合化し個々の環境効率を導きだすよりも、仕様や機能の各向上度を計測し分子の値として直接適用している。

1990年台初頭に提唱された「ファクター4」は、持続可能な発展の追求のために、平均的生活レベルを2倍にするのに半分の資源で達成するという考えで立ち上がった。このとき経済と環境は別々に目標を掲げており、最終的に単一指標化している。現状の「環境効率」「ファクター」は、絶対的な定義がなく、方法論で時に議論の対象となるが、当初のファクター4のような大まかな概念から始まったことに話を戻せばどれも間違いではない。元々のマクロ的なコンセプトが、製品というミクロ単位に落とされ、算出方法も各社で細分化された今、今度は初心に戻り、ファクター4のような消費者に最も分かりやすく、心に訴えかけていくような方向性が今後必要なのではないかと思われる。尚、本論は製品における環境効率へ議題を絞っているが、企業活動全体の収支から環境効率を提示するのも例も数多

く存在し、また産業連関表から企業・業界間の二酸化炭素排出効率を比較する手法⁵⁾も盛んに研究されていることを言及したい。

4. 価値・便益の算出

4.1 製品における価値・便益の考え方

製品の価値・便益を算出するに当たっては、前述したように環境効率やファクターの取り組みの中で、完全な形でなくとも価値・便益の考えを組み込むことが必須であると考ええる。環境負荷のみ表現するならば学術的にも研究が進み、既に多くの企業で浸透しているLCAの適用で要求は満たされ、これに加え製品の価値・便益を合わせて表現したいときに、環境効率やファクターの意義が生じると考えている。

次に、その方法論である。製品の価値・便益を数値化するのに幾つかの方法が考えられ、製品価格、アンケート調査、製品仕様や機能などの数値化について検討した。以下に要点を述べる。

(1) 製品価格

まず製品価格であるが、これは消費者が商品と向き合い、最終的に決断に至り、取得するための代価であり、製品のサービス・機能・性能・品質・デザイン等の総合的な価値尺度とすることができると思う。しかしIT製品においては、値段は刻々と変わることが多く、近年オープン価格と設定されていることが少なくない。また、経年変化で調べる「環境効率ファクター」では、インフレ率の考慮が必要であるし、他国の製品と比較するときは為替変動の影響を受けることが避けられない。

(2) アンケート調査

次にアンケート調査結果を用いた分析であるが、内部トライアルでは製品の特質すべき項目を挙げ、重み付けをした上で点数表化し、無作為にサンプルを抽出することで調査を実施した。この方法によって結果を得ることは可能であると分かったが、莫大な労力と時間がかかり、また質問項目と、点数化のための重み付け数値を決定するためには、利害関係者でない第三者を加えるべきではないかという意見が多かった。

(3) 製品仕様や機能などの数値化

最後に製品仕様や機能に関するデータを数値化する方法についてで、カタログ等に記載されている機能やハードウェアに起因する値の新旧製品向上率を求め、最終的に幾つかの向上率を抽出・平均化して算出した。次章で細分化して説明するが、特にスキャナーのように製品機能が特定され

ている製品については「製品機能」から、パソコンや携帯電話のように製品機能を容易に特定できない製品については中心的な「ハードウェア仕様」の観点から評価を行った。

最終的には、製品を提供しているベンダーという立場であることも考慮し、(3)の製品機能や仕様より価値・便益を現状では数値化している。消費者の感じる価値・便益を必ずしも正確に捉えきれていないという欠点もあるが、算出に使用するデータが公開されており透明性が高いことや、アンケート調査のように多くの時間を要さず現実的であるなどの利点から現状の選択に至った。しかしながら、未だ試行錯誤している側面もあり、今後も外部の情報を取り入れ、より納得のいく評価をしていく予定である。

4.2 製品機能を用いた算出

製品のサービスが特定できるもの、いわゆる単機能製品についてであるが、製品機能を数値化して算出する。ここでいう製品機能とは消費者が実際に使用する機能であり、後述のハードウェア仕様とは区別する。Table.1でスキャナーの価値・便益の定量化の例を示すが、光学性能を示す基本解像度・読取速度、媒体処理性能を示す最大原稿サイズ・受け入れ原稿厚さ、データ処理性能を示す標準搭載されている画像処理・圧縮プログラム数などが製品機能であり、光学、媒体処理、データ処理という多角化された観点から評価を行っている^{6), 7)}。比較数値は、基準製品が(株)PFUのFi-4110C(1999年発売)で、評価製品はFi-4120C(2002年発売)である。各機能の向上度を統合化するとき、

二乗和平均 ($= \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n S_i^2}$) を用いており、この例の場合、

3年間で価値・便益が新旧製品比で約2.5倍上昇という結果を得た。

Table.1 Computation of service value or benefits of scanner

Functions		Unit	Old (a) fi-4110C	New (b) fi-4120C	Ratio of new/old $S=(b)/(a)$	$=\{1/n \cdot \sum S_i^2\}^{0.5}$
Optical performance	Basic resolution	dpi	300	600	2.00	3.81
	Readout speed	ipm	5	25	5.00	
Media-processing performance	Max. media size	mm	210x297	210x297	1.00	1.24
	Media thickness	kg/ren	45-90	45-110	1.44	
Data-processing performance	Program numbers (pre-installed)	# of program	4	6	1.50	1.50

$$2.47 = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot (3.81^2 + 1.24^2 + 1.50^2)}$$

4.3 ハードウェア仕様を用いた算出

IT製品で数多くみられるのだが、製品のなかには機能が特定できないものがある。例えばパソコンや携帯電話がその例で、パソコンでは文書作成、表計算、電子メール、

Table.2 Computation of service value or benefits of personal computer

Functions	unit	Old (a) FMV-5120NA/X	New (b) FMV-830NU/L	Ratio of new/old S=(b)/(a)
CPU	GHz	0.12	1.6	13.3
Memory	MB	8	256	32.0
HDD	GB	0.81	20	24.7

$$24.6 = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot (13.3^2 + 32.0^2 + 24.7^2)}$$

インターネット閲覧はもとより、CDやDVDの作成・編集・再生、ゲーム、音楽鑑賞、テレビ鑑賞など様々な機能を持つことが特徴で、また場合によってはサーバー機能のように他の製品群と同等に使用することもある。このように機能の特定できない製品については、スキャナーの例のように機能面から数値化することが困難であるため、中心的なハードウェア仕様を抽出しその向上度を用いて計算している。Table.2 で示すパソコンの場合ではCPU (Central Processing Unit, 中央演算処理装置) 速度、購入時搭載メモリー容量、標準ハードディスクドライブ容量を採用しており^{1), 8)}、これらの仕様は一般に消費者がパソコンを購入するときの重要な要素でもあるとも言える。比較数値は、基準製品がFMV-5120NA/X (1996年発売) で、評価製品はFMV-830NU/L (2004年発売) である。各機能の向上度を統合化するときは、同じく二乗和平均を用いており、結果として新旧製品比で約25倍向上となった。

5. 環境負荷の算出

近年、LCAに関する文献も増え、さらには日本LCA学会も発足され、また様々な支援ソフトウェアが開発されたことから、「LCA実務入門」⁹⁾の冒頭に登場するようなLCAの負のスパイラルにはまり、路頭に迷ってしまう評価者は少なくなった。しかしながら、当社のように部品点数の多い最終組立品を扱う企業にとって、LCAは膨大な工数を要する評価であることは否めない。一方、環境効率においては環境負荷の算出方法は様々で、必ずしもライフサイクルシンキングは義務付けられていない。我々がLCAを重要視する理由は以下にある。

Figure.4にノートパソコン FMV-718NU4/B (2003年発売) における各ライフステージでのCO₂排出量を示す¹⁰⁾。エコリーフの算出結果をさらに製造では素材製造・部品製造・加工レベル、使用では各モードレベルまで細分化したものであるが、製品そのものの環境負荷を示す「素材製造」「製品製造」両ステージの合計が、全体の70%程度のCO₂排出量を占めていた。一般に考えられがちな、電気製品では使用ステージの負荷がほとんどであるため、使用ステージの消費電力で環境負荷評価が可能であるという考えは、

Figure.4 Life Cycle CO₂ emission of notebook personal computer

IT製品において必ずしもあてはまらないことがわかる。これは、IT製品で多く使用されている半導体や多層プリント基板、LCDの製造工程が多くのエネルギーを要する工程であり、これらの負荷が製品全体の評価の中でも大きなウエイトを占めているからである。こういった議論の結果、富士通グループでは分母となる環境負荷に算出には、LCA手法を全面的に採用している。

5.1 エコリーフ環境ラベルの適用

エコリーフ環境ラベル¹¹⁾とは、国際標準化機構ISOの類型でタイプIII環境ラベルに属し、LCA手法に基づき製品・サービスの全ライフサイクルに渡る定量的な環境情報を開示する環境ラベルである。社団法人産業環境管理協会が運営母体となり2002年より本格運用が開始され、2005年5月現在までに製品分類別基準 (PSC: Product Specification Criteria) が36件制定され、31社から256製品のラベルが発行されている。

環境効率ファクターの環境負荷算出には、エコリーフによるLCI算出結果の採用を優先しているが、これは多くの仮定を要する組立製品のLCAにおいて、より高い透明性と信頼性を確保するためである。まず透明性について、エコリーフではLCA算出基準の作成の段階から関係企業が協議し、製品区分ごとに製品分類別基準と呼ばれるルールを設定する。ここで対象製品の定義、システム境界、各ライフサイクルステージでのシナリオ、データ収集・加工方法、公開範囲等を明文化し、ホームページを通じて一般へ公開している。さらにプログラム内で第三者による検証行為を踏まえることで、対象製品の算出結果は信頼性を増しており、個別ラベルの詳細結果も同様にホームページ上に公開されている。

富士通グループにおいては、トライアル段階からプログラムに参画し、2003年にパソコン業界として初めてノートパソコンでエコリーフを取得、その後2004年には光磁気ディスクドライブ (MO)、2005年度にはデスクトップパソコン及びパソコンディスプレイにおいて対象機種を拡大し、2005年4月までに合計24製品の登録を完了している¹²⁾。Figure.5に本論分の環境効率ファクター算出例示

Figure.5 Product Environmental Aspects Declaration(PEAD) sheet of EcoLeaf Environmental Label (Example of Notebook PC, FMV-830NU/L)

機種であるFMV-830NU/L (2004年発売) の、エコリーフ公開書類の一部を示す。またパソコン事業体においては、製品環境データ集積システム認定 (システム認定) を同じく産業環境管理協会より取得しており、自社内でラベルを作成・検証・発行する仕組みをマニュアル化と共に構築することによって、より精度の高いLCA結果の公開に努めている¹³⁾。

5.2 社内基準におけるLCAの適用

エコリーフを取得していない製品群に関しては、社内基準に準じたLCA結果を用いて環境効率ファクターを算出している。この基準の特徴を三点述べる。第一に製品群ごとに算出基準を定めている点である。従来は包括的なLCAガイドラインのみ存在していたため、設計者により設定条件がばらつくことがあったが、近年、製品群個別にカスタマイズした算出条件を設定することで、より精度の高いLCA算出を設計者が短時間で行うことが可能となった。第二に原単位データベースである。富士通研究所の算出した産業連関表分析より得られた2000項目を越える原単位を中心に、自社工場の積み上げデータ、文献調査データを加えたハイブリット型の原単位データベースを採用してい

Table.3 Evaluation example of printed circuit board considering the number of surface-mounted components

Parts name	Unit	Number on PCB	Base unit
Bare board	mm ²	3610	XXX
MPU	piece	2	XXX
DRAM	piece	1	XXX
SRAM	piece	1	XXX
ROM	piece	1	XXX
other LSI	piece	10	XXX
Transistor	piece	13	XXX
Thermistor	piece	1	XXX
Varistor	piece	1	XXX
Silicon diode	piece	60	XXX
Photocoupler	piece	1	XXX
Resistor	piece	332	XXX
Capacitor	piece	371	XXX
Coil	piece	1	XXX
Connector	piece	15	XXX
Switch	piece	1	XXX
Fuse	piece	1	XXX
Button battery	piece	1	XXX
other electronic parts	piece	1	XXX

Environmental loads of Printed Circuit Board

Table.4 Integrated environmental loads using EcoLeaf inventory results and LIME

	FMV-5120NA/X (point/kg)	FMV-830NU/L (point/kg)	Reduction (%)
Production	246.4	217.7	12%
Distribution	7.1	1.8	75%
Use	122.1	73.5	40%
Disposition	-2.9	-2.9	0%
Sum	372.7	290.0	22%

る。第三に実装回路基板の評価についてであるが、富士通グループの扱うIT製品では集積度の高い半導体が高密度に実装されており、質的には全体からみて微量だが、環境負荷として多きいウエイトを占めることが考えられる。このため、製品群によって可能な限り実装部品の種類を分類し、Table.3に示すようにこれらの数量を計測することで実装部品レベルまで着眼した評価を実施している。

5.3 LIMEによる統合化指標の活用

エコリーフ環境ラベルや社内基準によるインベントリ分析結果を元に、LIME (Life cycle impact assessment method based on endpoint modeling) を活用したインパクト評価を環境効率ファクターに取り入れている。従来の二酸化炭素排出量による評価から、様々な消費・排出項目を統合化し単一指標化することで、包括的な環境負荷を把握するのが目的で、布施 (2004)⁸⁾ によりエコリーフとLIMEを組み合わせて、環境効率ファクターを算出した例が発表されている。ここでは、基準製品をFMV-5120NA/X (1996年発売)、評価製品をFMV-830NU/L (2004年発売) とし、エコリーフィンベントリ分析結果を統合化した算出結果をTable.4に示す。結果として評価製品は基準製品に比べ、統合化指数が22%(=1-(290/373)) 減少している。

6. 環境効率ファクターの算出例

4.3章Table.2の価値・便益の算出結果、及び5.3章Table.4で得た統合化環境負荷結果を用いて、ノートパソ

コンFMV-5120NA/XとFMV-830NU/Lの環境効率ファクターの算出例を提示する。結果より対象のノートパソコンは8年間でファクター 32を達成している。

$$\begin{aligned}\text{環境効率ファクター} &= \frac{\text{価値・サービス (新旧製品の比)}}{\text{環境負荷 (新旧製品の比)}} \\ &= 24.6 \text{ 倍} / (1-0.22) \text{ 倍} \\ &= 32 \text{ 倍}\end{aligned}$$

7. まとめ

LCAと共に環境効率の適用が企業において急速に進む一方、消費者の視点に立った環境指標の提示が今後の課題であると思う。特に製品の環境効率において、各社間の算出方法の統一性がとれないまま複雑化が進んでいるため、ファクター値の安易な比較による混乱が懸念される。製品群ごとの便益算出のガイドライン策定や、環境負荷評価においてはGraedel (1995)¹⁴⁾の提唱するマトリックスを用いた半定量的LCAによる算出方法の簡素化など必要であるかもしれない。

企業の社会的責任 (CSR) のトリプルボトムラインを成す「経済性」と「環境」を同時に表現できる環境効率の概念は企業にとって受け入れやすく、事業活動や製品・サービスを対象に、開発・試算段階から適用段階へと推移している。今後、トリプルボトムラインのもう一つの要素である「社会性」も組み込まれた指標が開発・公開されていくことが予測されるが、これらの指標が持続可能な発展の一里塚となるよう積極的に貢献していきたい。

引用文献

- 1) 富士通株式会社：“2004富士通グループ環境経営報告書” (2004) pp.26-30
- 2) Ebisu, K. and Suzuki, S.: The Sixth International Conference on EcoBalance, Tsukuba, (2004), pp.585-586
- 3) 富士通株式会社：“2002富士通グループ環境報告書” (2002) p.23
- 4) 社団法人産業環境管理協会：“製品に関する「環境効率・ファクター」の手引き”, (2004) pp.5-6
- 5) Tahara, K., Yamaguchi, K. Sagisaka, M., and Inaba, A.: The Sixth International Conference on EcoBalance, Tsukuba, (2004), pp.269-270
- 6) Fuse, K., Horikoshi, Y., Kumai, T., and Taniguchi, T.: 3rd International Symposium on Environmentally Concious Design and Inverse Manufacturing (EcoDesign 2003), Tokyo, (2003), pp.356-359
- 7) 富士通株式会社：“2003富士通グループ環境経営報告書” (2003) pp.23
- 8) Fuse, K., Oikawa, S., and Ebisu, K.: The Sixth International Conference on EcoBalance, Tsukuba, (2004), pp.259-262
- 9) LCA実務入門編集委員会, “LCA実務入門”, 社団法人産業環境管理協会, 東京都, (1998), pp.1-5
- 10) Fuse, K. and Oikawa, S.: Environmental Management, 39 (11), (2003), pp.17-25 (布施健介, 及川聡: 環境管理, 39(11), (2003), pp.17-25 [in Japanese])
- 11) 稲葉敦監修, “LCAシリーズ LCAの実務”, 社団法人産業環境管理協会, 東京都, (2005), pp.167-168, 174-180,
- 12) 社団法人産業環境管理協会：“事業者ごとのラベル登録済み製品一覧”, エコリーフ環境ラベル (オンライン), 入手先 <http://www.jemai.or.jp/CACHE/ecoleaf_prodbycmp_companyobj21.cfm>, (参照2005-06-15)
- 13) Endo, S., Kasahara, M., and Fuse, K.: MAGAZINE FUJITSU 2003-11, 54 (6), (2003), pp.480-485 (遠藤秀一, 笠原雅治, 布施健介: 雑誌FUJITSU 2003年11月号, 54 (6), (2003), pp.480-485 [in Japanese])
- 14) Graedel, T. and Allenby, B., “Industrial Ecology”, Prentice Hall, New Jersey, (1995), pp.129-132