特集「環境効率」

解説

環境効率の企業内活用

小林 由典・小林 英樹・本宮 明典・実平 喜好

Application of an eco-efficiency indicator in companies

Yoshinori KOBAYASHI, Hideki KOBAYASHI, Akinori HONGU and Kiyoshi SANEHIRA

Synopsis: The eco-efficiency of a product is defined as “product value per environmental impact”. Factor X is defined as the improvement rate of the eco-efficiency. In this paper, we present a method for quantifying the eco-efficiency of products using Quality Function Deployment (QFD) and Life Cycle Assessment (LCA). These well-known tools are widely used in Toshiba corporation.

In order to calculate the index of the product value, we introduce QFD, which is one of the methods for product planning based on consumer preferences. Applying the QFD method, quality characteristics of a product are weighted by voice of customer. A single index of a product value is expressed by sum of the weighted improvement rate of quality characteristics.

An environmental impact throughout a product life cycle is derived from the Life Cycle Impact Assessment (LCIA) method. Applying an endpoint type of LCIA method, various environmental loads can be integrated into a single index.

In order to calculate the factor X indicator efficiently, a software tool has been developed by Toshiba. Using this tool, we applied this method to various products such as home appliances, social infrastructures, and components. Recently, eco-efficiency of all these products has improved markedly. Finally, a debate about the eco-efficiency and factor X is summarized.

KeyWords: eco-efficiency, factor X, life cycle assessment (LCA), quality function deployment (QFD), indicators

1. はじめに

近年、製品・サービスの環境効率およびファクターが注目されている。一般に、製品の環境効率とは、製品・サービスの価値を環境影響で除した指標であり、環境効率の改善比率はファクターと呼ばれる¹⁾。環境効率の考え方は、1992年に持続可能な発展のための経済人会議により提案され、その後、詳細な定義付けがなされている。しかし、製品の環境効率指標については算出方法が明確になっていない。

これまで、製品・サービスの環境負荷を評価する手法として、ライフサイクルアセスメント (LCA: Life Cycle Assessment) が広く受け入れられてきた。LCAを用いて環境負荷の低減を評価する場合、機能単位当たりの環境負荷を比較する必要がある²⁾。すなわち、評価対象の製品・サービスが提供する機能 (便益) を同等にした上で比較し

なければ、環境側面の優劣は判断できないことを意味している。しかし、実際の製品・サービスを比較して、機能が同一であることはほとんどない。一つの製品・サービスが複数の機能を提供していることも少なくなく、機能単位の設定が困難である場合も多い。他社との差別化につながるような製品・サービスの訴求要素を、機能単位に明示的に取り入れることにより、製品・サービスの開発により発生した環境負荷と、提供する機能とのバランスを評価することができるようになれば、LCAの意味付けが明確になるとも考えられる。環境効率およびファクターが、製品・サービスの機能・性能向上と環境負荷低減の両立を支援する新しいものさしとして注目されている所以であろう。

これまでに、電機メーカーを中心として様々な製品ファクター算出手法が提案されている³⁾。本稿では、東芝が活用している製品ファクター算出手法⁴⁾を紹介する。本手

小林 由典・小林 英樹/株式会社 東芝 研究開発センター/〒212-8582 川崎市幸区小向東芝町1

本宮 明典・実平 喜好/株式会社 東芝 環境推進部/〒105-8001 東京都港区芝浦1-1-1

Yoshinori KOBAYASHI, Hideki KOBAYASHI / Corporate Research and Development Center, Toshiba Corporation / 1, Komukai-Toshiba-cho, Saiwai-ku, Kawasaki, 212-8582

Akinori HONGU, Kiyoshi SANEHIRA / Corporate Environmental Management Division, Toshiba Corporation / 1-1, Shibaura 1-Chome, Minato-ku, Tokyo, 105-8001

Quality Characteristics																						
<div>relationship 9 : strong relation 3 : normal relation 1 : less relation</div>																						
Customer Requirements	Importance	dust suction [W]	body weight [kg]	total weight [kg]	body size [m3]	brush weight [kg]	brush size [m3]	cyclone type [-]	degree of luster [times]	quality of material [-]	dust collect ratio [%]	noise [dB]	run load (body) [N]	run load (brush) [N]	run load (other) [N]	unique filters [number]	compression ratio of dust [g/L]	brush revolutions per minute [rpm]	dust pick-up ratio [%]	distance between brush and a wall [mm]	number of optional units [number]	length of nozzle [mm]
Clean Exhaust	3										9					9	1					
Capacity to pick up anything	9	9					3		1									3	9	1		
Silent	3									3		9							1			
Easy to put the dust away	3							9									3					
Capacity to clean narrow space	3						1															9
Capacity to clean flooring	9	3							9									9	3			
Easy to control body	3		3													3						
Capacity to clean beside a wall	9						1												3	9		
Capacity to clean ceiling etc	1																				9	3
Easy to operate	3		9	9	1	9	1						3	3	3				1			
High dust suction	9	9										9					1		1			
Light brush	3					9	3							9								
Various optional units	1																				9	
Relative Importance (%)		16.8	3.2	2.4	0.3	4.8	4.5	2.4	8.0	0.8	2.4	9.6	0.8	3.2	1.6	2.4	1.9	9.8	13.0	8.0	1.6	2.7

Fig.1 an example of a QFD matrix

法は、環境効率の分子、分母ともに、複数の特性を統合化した単一指標として算出する点に特徴がある。以下では、本手法について概説するとともに、適用事例および本手法を実装した算出ツールを紹介する。環境効率指標に関わる課題と方向性を述べた後、本稿をまとめる。

2. 環境効率指標の算出手法

2.1 製品価値指標の算出

環境効率の分子である製品価値については、これまでに、製品の代表的な単一機能を用いる事例や、複数機能を二乗和平均により統合化する事例が報告されている⁵⁾。複数機能を、消費者の使用頻度という観点から統合化する事例⁵⁾もあるが、消費者の価値観に基づいて統合化する例はほとんどない。実際の消費者は、複数の機能、デザイン、企業ブランド等を比較、勘案した上で、最終的に効用が最大になる製品を選択していると考えられる。従って、製品価値指標には消費者の価値観が含まれることが望ましい。環境効率指標には、製造者と消費者とのコミュニケーションツールとしての役割も期待されているが、消費者の価値観を反映した指標を用いることにより、より強力なコミュニケーションツールになり得ると考える。一方、製造者にとっては、消費者の満足度を高めるために実施した様々な製品開発の努力が反映される指標が必要である。

以上を背景に、東芝では品質機能展開（QFD: Quality Function Deployment）を利用して、消費者選好を製品価値に反映させている。QFDは製品企画手法の一つとして知られており、顧客要求（需要側）を製品仕様（供給側）

に反映することを狙いとしている⁶⁾。図1は、QFDマトリクスの作成例であるが、顧客の要求品質および要求品質の重要度は、アンケートやインタビュー等の市場調査に基づいて設定する。要求品質を満たすための品質特性を列挙し、要求品質との関連付けを行うことにより、品質特性の重要度を算出することができる。この重要度は、消費者の価値観に基づいた値とみなすことができるため、消費者の効用を大きくするために改善すべき品質特性を特定することが可能である。

図2は製品価値指標の算出手順を示している。QFDマトリクスから算出される品質特性の重要度を利用して、品質特性の改善度合いを加重平均することにより製品価値指標を算出している。品質特性の改善度合いは、実績値の比率から算出されるが、実績値の最大値を用いて除することで、機能が存在しない場合には0、最大値の場合には1となるよう規格化できる。これにより、基準製品には存在しない新機能であっても評価可能となる。但し、品質特性の実績値は、その改善方向に応じてデータを補正する必要がある。品質特性を増加するように改善する場合には、実績値をそのまま利用するが、逆に減少するように改善する場合には、実績値の逆数を利用する。図2の例では、基準製品と評価対象製品の製品価値指標は0.62および0.99であり、製品価値の向上は約1.6倍であることがわかる。

2.2 環境影響の算出

環境効率の分母である環境影響については、LCAに基

Quality Characteristics	Importance %	Actual Data			Normalization	
		Base model	Target model	Direction	Base model	Target model
dust suction (W)	16.8	320.0	560.0	↑	0.57	1.00
body weight (kg)	3.2	5.1	3.6	↓	0.71	1.00
total weight (kg)	2.4	8.3	5.2	↓	0.63	1.00
dust pick-up ratio (%)	13.0	81.0	86.0	↑	0.94	1.00
distance between brush and a wall (mm)	8.0	20.0	0.1	↓	0.01	1.00
number of optional units (number)	1.6	3.0	2.0	↑	1.00	0.67
length of nozzle (mm)	2.7	120.0	650.0	↑	0.18	1.00
					0.62	0.99

Fig.2 a calculation process of the product and service value

づいて算出されるCO₂排出量などのインベントリや、地球温暖化影響および資源枯渇影響などのインパクトカテゴリを利用する事例⁵⁾が報告されている。また、製品質量、消費電力および環境リスク物質の使用量をベクトルの長さとして統合化する事例⁵⁾も報告されているが、LCAインパクト評価手法における統合化プロセスとは異なる。

東芝では、環境影響の統合化に、日本版被害算定型影響評価手法 (LIME: Life cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling) を利用している。LIMEは、LCAプロジェクトを通じて、産業技術総合研究所が開発したエンドポイント型のインパクト評価手法である⁷⁾。環境影響の算出に必要なインベントリデータは、LCA支援ツールEasy-LCAやエコリーフ等の公開済みデータを利用する。Easy-LCAは、産業連関表に基づいた環境負荷原単位データベースを完備しており、大気排出、水域排出および資源消費に関わる30種のインベントリが算出可能である⁸⁾。このうち約20種類のインベントリがLIMEに適用可能であり、多岐に渡る環境負荷を統合して単一指標を算出する。

2.3 ファクターの算出

前述の製品価値指標と環境影響の定量値を用いて、環境効率およびファクターを算出することが可能である。環境効率指標の分母には、一年当たりの環境影響の値を利用することにより、長寿命化の効果も反映することができる。図3は、東芝における様々な製品・サービスのファクター算出結果を示している⁹⁾。基本的に2000年度を基準として、環境効率の改善比率であるファクターを算出した結果である。

図3のようなチャートを利用することにより、製品価値と影響評価のバランスを把握することができるだけでなく、目標値までの距離を把握することができる。ファクターが

Fig.3 factor X of Toshiba products

大きい製品は、従来製品からの技術的なブレイクスルーによって、製品価値の向上あるいは環境影響が低減した結果であると言える。また、環境影響が増加している製品に関しては、ファクターの目標値を達成するのみならず、環境影響の総量を低減するための努力が求められる。

3. 環境効率算出ツール

筆者らは、LCA支援ツールEasy-LCAやライフサイクルプランニング (LCP: Life Cycle Planning) 支援ツールLCPlanner[®]の開発を行い、社内普及を進めている。前述の環境効率指標は、これらのソフトウェアツールで作成されたデータを再利用することにより、最小限の努力で算出することができる。図4は、設計プロセスにおけるエコデザイン支援ツールの連携を示したものである。LCPlanner[®]

Fig.4 an overview of the factor calculator

は、商品企画段階で活用するツールであり、QFD手法を包含している¹⁰⁾。LCPlanner®を活用して製品企画を行い、CADツールにより製品設計を行う。詳細設計後にEasy-LCAを活用して、環境負荷評価を行い、実際に環境負荷が低減していることを確認する。このようなツール利用手順に基づけば、環境効率を算出するための膨大なデータ収集は不要である。

図4には、東芝が社内運用している製品ファクター算出ツールの概要も示している。本ツールは、Microsoft®Excelのアドインマクロとして実装されたものであり、LCPlanner®やEasy-LCAからのデータインポート機能により、データの再利用性を高めている。また、本ツールには、ファクター改善に有効な分析チャートを用意しており、製品価値指標の構成比率や、環境影響のインベントリ別およびインパクトカテゴリ別の構成比率など、ファクター向上の要因を分析することができるようになっている。さらに、再度LCPlanner®を用いてファクター改善のための解決策を検討することも可能であり、既存の設計プロセスに沿った継続的なファクター改善を支援している。

4. 今後の課題

以下に、前述した東芝が活用している環境効率およびファクターの課題をまとめる。

4.1 製品価値に関わる課題

製品価値指標は、生産量等の物理量や、売上高等の経済価値による定量化も提案されているが、機能・性能により定量化する手法が一般的である。これは、機能・性能の改善度合いは、製品開発・設計者にとって理解しやすく、目標値として利用可能であるメリットがあるためである。

前述の通り、本手法の大きな特徴はQFDを利用する点にある。QFDマトリクスの品質特性として、様々な製品

機能（使用価値）を設定することができるため、製品開発の努力を反映することが可能である。特に企業内部における運用を考える場合には、製品開発者のインセンティブを高める意味で重要である。また、QFDマトリクスから算出される重要度は、消費者の価値観に応じて変化するものである。従って、本手法による製品価値指標も市場のトレンド等によって経年変化するという特徴を有している。定期的に顧客要求および重要度に関する市場調査を実施することにより、製品価値指標を更新していくことができる。

一方で、QFDを利用することの問題点も存在する。QFDマトリクスは自由度が大きく、データ作成者の裁量に任されており、項目の設定の仕方によって品質特性の重要度が変化するため、製品価値指標の値も変動する。対策として、環境効率指標の算出のために品質特性を固定化することが考えられるが、製品群により標準的なマトリクスを作成することは比較的困難である。また、デザインなどの定量化が困難である特性の扱いについて、さらなる検討が必要である。

また、本手法に基づく製品価値指標は相対評価であり、絶対評価ではない。従って、比較対象とする製品によって、製品価値指標の値が変化することになる。特に、時系列で環境効率の改善度合いを見るために、継続して環境効率を算出する場合、ある機種の環境効率指標の絶対値は一定にはならない。

本手法は、ファクター算出労力と結果の透明性を鑑みて、品質特性の改善による定量化手法を採用している。しかし、製品・サービスの提供によって発生する便益を評価するためには、消費者の効用を評価することが望ましい。これまでに、ノートパソコンの機能を顧客満足度の観点から評価した事例¹¹⁾があるが、各品質特性の改善による消費者の効用変化を推計することができれば、さらに製品価値指標の推計精度は向上する。

4.2 環境影響に関わる課題

本手法で採用しているLIMEは、まだ開発途上の手法である。一般に、エンドポイント型のインパクト評価手法は、様々な被害量を推計するために、膨大な科学的知見に基づいたモデル化を行っている。しかし、科学的知見が不十分な分野もあり、多くの仮定を含んでいるために、過小評価あるいは過大評価している被害量もあると考えられる。このような統合化手法は、モデルの精緻化やデータの更新を継続する必要がある。また、LIMEでは、コンジョイント分析により推計した支払い意思額（WTP: Willingness To Pay）に基づいて、環境影響を統合化している。一般に、専門家でない人にとって、50年後の生態系の破壊や100年後の温暖化影響など、長期にわたる環境影響の深刻さを理

解することは困難であるといえる。WTPは、深刻な環境影響を現実の問題として認識できるか否かによって、推定結果が大きく異なると予想される。また、環境影響の統合化については、統合化によって寄与度の大きい環境負荷が把握しにくくなる点や、統合化プロセスの理解が困難である点など、マイナス面も指摘されている。統合化の是非については、その情報の受け手がどのような情報を望んでいるかに依存しており、環境効率指標の用途によって使い分けることも必要であろう。本手法は、上記のような環境影響の統合化に関わる問題点を前提にしつつ、複数の環境効率指標間のトレードオフを解消できるメリットを重視したものである。

また、インベントリデータの精度は、環境影響算出結果への影響度が大きい場合がある。東芝では、産業連関表に基づいた環境負荷原単位データベースを独自に構築しているが、インベントリによってデータ精度にばらつきがあると考えている。基盤となるデータベースに関しても、継続して更新するとともに、他の環境負荷原単位データベースとのベンチマークが重要であると考えている。

4.3 今後の展開

上述のように、環境効率およびファクター指標の算出には多くの課題が残されている。ファクターを製品選択およびグリーン購入に利用することを考えるならば、実用性、包含性、信頼性、再現性、透明性、理解容易性など、様々な要求に応えなければならない。今後、ファクター算出手法を洗練していく必要がある。

また、本手法の大きな特徴は、QFDデータを活用して顧客の視点を環境効率に反映させる点にあるが、現状では、企業側から環境効率指標を一方的に公表している。今後、消費者側からの評価が必要不可欠であるとする。東芝では、ファクターに関する小冊子¹²⁾を配布するなどして、環境効率の概念および東芝の取り組みに対する理解を求めている。

2005年3月、東芝は環境ビジョン2010を公表し、これを達成するための第4次環境ボランティアプランを定めた⁹⁾。このなかで、製品環境効率の向上と事業プロセスの革新を挙げており、それぞれ2010年における目標値を設定している。製品群によって個別に目標値を設定することにより、環境調和型製品創出のドライビングフォースになることが期待される。

また、これまではコンシューマ製品を中心に、ファクターの導入を推進してきたが、東芝が提供している様々な製品・サービス・システムへと、適用範囲を拡げていく予定である。

5. おわりに

本稿では、東芝における環境効率算出手法を中心に紹介した。環境効率の高い環境調和型の製品・サービスを開発していくことは、社会全体としての環境効率を向上させるために重要である。本稿が、環境効率およびファクターの普及・促進に役立つことを願う。

引用文献

- 1) 山本良一, “戦略環境経営エコデザイン”, ダイアモンド社, 東京 (1999), pp.55
- 2) Inaba, A: J. IEEJ, Vol.123, No.1, (2003), pp.209-210
- 3) 社団法人産業環境管理協会: “平成16年度経済産業省委託 エネルギー使用合理化環境経営管理システムの構築事業 (環境効率調査) 報告書”, (2005)
- 4) Kobayashi Y., Kobayashi H., Hongu A., Sanehira K: J. Industrial Ecology, 9(4), to appear
- 5) 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)
- 6) 赤尾洋二, “品質展開入門”, 日科技連出版社, 東京 (1990)
- 7) 伊坪徳宏, 稲葉敦, “ライフサイクル影響評価手法－LIME: LCA, 環境会計, 環境効率のための評価手法・データベース”, 産業環境管理協会, 東京 (2005)
- 8) Kobayashi Y., Suzuki H., Kobayashi H: J.LCAJ, vol.2, (2005), pp.129-133
- 9) 株式会社東芝, “東芝グループCSR報告書2005”, (2005)
- 10) 小林英樹, “製品ライフサイクルプランニング”, オーム社, 東京 (2003)
- 11) Takeyama N., Kagami H., Kubata T: Proc. of The Third Int. Conf. on EcoBalance, Tsukuba, (1998), pp.247-250
- 12) 株式会社東芝: “[ファクターT]のお話”, (オンライン), <http://www.toshiba.co.jp/env/jp/news/img/factor_t.pdf>, (参照2005-06-30)