

# ライフサイクルアプローチに基づく 環境調和型設計支援

Eco-design Support Based on Life Cycle Approach

小林 英樹

■ KOBAYASHI Hideki

小林 由典

■ KOBAYASHI Yoshinori

幡中 秀治

■ HATANAKA Hideharu

環境調和型設計は、持続可能な製造業を実現するための必須要素である。東芝では、早くから製品ライフサイクル全体を見据えた環境調和型設計を支援するための手法・ツールを開発し、社内適用を進めてきた。ライフサイクルプランニング(LCP: Life Cycle Planning)は、商品企画段階で3R(リデュース, リユース, リサイクル)に対応した設計コンセプトを立案するための手法である。ライフサイクルアセスメント(LCA: Life Cycle Assessment)は、環境負荷を定量化する手法だが、近年、インパクト評価手法の進展により、設計段階で環境影響を統合的に把握できるようになった。当社の環境効率指標は、これら商品企画や設計段階で得られたデータを有効活用して算出する点に特長がある。

Environmentally conscious design (sometimes called eco-design) is essential in realizing sustainable manufacturing. Several years ago, Toshiba developed design methods and tools to support eco-design based on a life cycle approach, and we have applied them to our in-house product development processes. The product life cycle planning (LCP) method serves to establish a design concept incorporating the "3Rs" (reduce, reuse, and recycle). Life cycle assessment (LCA), by which the environmental burden of a product life cycle is quantified, enables integrated environmental damage to be estimated. Our eco-efficiency index can be calculated using such LCP and LCA data.

## 1 まえがき

近年、地球温暖化や有害化学物質などの環境問題に対する知見が増すにつれ、その深刻さと解決の難しさが改めて浮き彫りになってきている。これらの環境問題は、いずれも地球環境が有限であることを如実に表しており、環境容量以下で資源を有効活用する循環型社会の実現が望まれている。

既に循環型社会に向けた様々な施策が進められているが、製品開発の立場からの取組みは環境調和型設計、エコデザイン、DfE (Design for Environment) などと呼ばれている。環境調和型設計においては、材料採掘から製品廃棄に至る製品ライフサイクルの視点で意思決定するライフサイクルアプローチが必要不可欠である。

東芝では、ライフサイクルアプローチに基づく環境調和型設計を支援する手法・ツールを早くから開発し、実際の製品開発で活用している<sup>(1)</sup>。

ここでは、当社における製品ライフサイクルを考慮した設計支援技術の最新状況を、事例を交えて述べる。

## 2 支援ツール

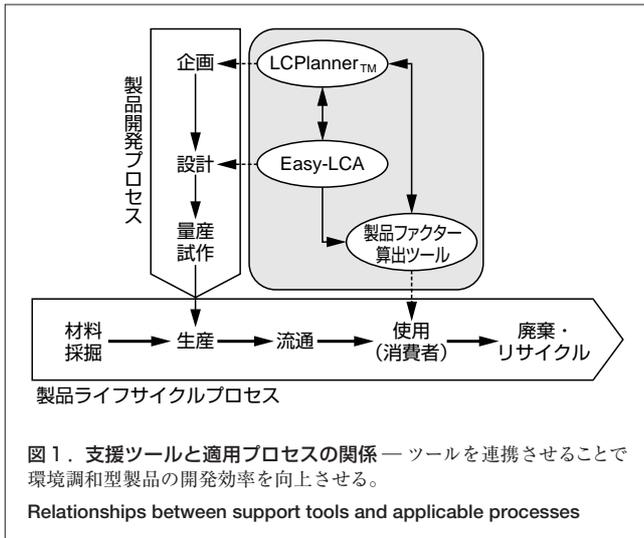
環境調和型設計で重要なのは、まず製品ライフサイクル全体で発生する環境影響を定量的に把握することである。その意味で、ライフサイクルアセスメント(LCA: Life Cycle Assessment)は必須の評価技術である。当社は汎用LCA

ツール“Easy-LCA”を開発し、その適用を進めてきた<sup>(2)</sup>。

一方、LCAは詳細設計後に適用可能であること、LCAの結果を次の製品開発に生かす方法が確立していなかったことから、商品企画のような設計上流段階で環境に配慮する方法が求められている。当社が独自に開発したライフサイクルプランニング(LCP: Life Cycle Planning)手法は、企画段階で顧客要求と環境配慮を戦略的にバランスさせた環境調和型設計コンセプトを構築するための設計手法である<sup>(3)</sup>。この手法を実装した設計支援ツールLCPlanner™を開発するとともに、社内適用事例を拡大している。

近年、環境効率あるいはファクターという概念が国際的に注目されている。ここで、製品の環境効率とは、製品価値を製品ライフサイクルで発生する環境影響で除した値、またファクターとは環境効率の改善比率を意味する。製品環境効率やファクターは、消費者に価値ある環境調和型製品の選択を促すための有用な指標と考えられている。このような消費者向けの環境情報発信もライフサイクルアプローチの一環としてとらえることができる。当社では、製品環境効率の全社的な向上を目指した“ファクターT”と称する活動を展開しており、そのなかで指標の定義やツール開発を進めている。

環境調和型設計で本質的に重要なツールと製品開発プロセス、製品ライフサイクルプロセスとの関係を図1に示す。当社では環境調和型製品の開発効率を向上させるために、データの再利用性が全体として高まるように各種ツールを連携させている。具体的には、基準機種のLCAデータを一部



利用して、対象機種のLCPを実施する。LCPで得られた結果に沿って詳細設計を行った後、今度は対象機種のLCAを実施する。そして、LCPとLCAのデータを利用して、製品ファクターを算出し、製品開発の現場に結果をフィードバックするとともに、消費者にも公表する。

現在、経営管理、製品開発、生産、調達などの各種情報システムとのデータ連携を視野に入れたシステム開発も進めており、製品開発のよりいっそうの効率化を目指している。

以下では、当社の冷蔵庫“ノンフロン鮮蔵庫GR-NF415GX”<sup>(4)</sup>の開発におけるツール活用例を紹介する。

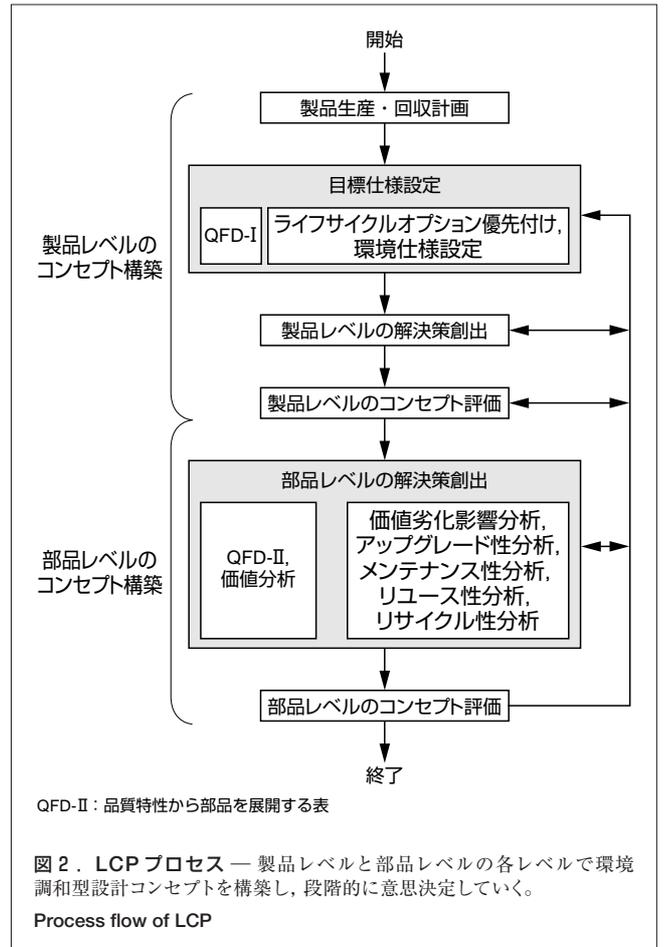
### 3 LCP

LCPにおけるタスクは、顧客要求と環境要求に基づく目標仕様の設定と、環境調和型設計コンセプトの決定である。ここで、設計コンセプトとは、単一の解決策、あるいは複数の解決策の組合せを指す。LCPのプロセスフローを図2に示す。

まず、製品ファミリーとしての生産・回収計画と、それに関連する市場、法規制、技術動向を大局的に整理し、事業の前提条件や制約条件を確認する。

次に、商品企画の一手法であるQFD (Quality Function Deployment：品質機能展開)におけるQFD-Iマトリックスを用いて顧客要求を品質特性に対応させ、品質特性の重要度を算出した後、品質特性の目標値を設定する。同様に、環境仕様マトリックスを用いて、製品ライフサイクルに関連する環境要求とそれらに対応する環境特性を整理した後に、環境特性を優先付けし、その目標値を定める。このようにライフサイクルアプローチでは製品ライフサイクル全体を視野に入れた目標仕様の作成が重要である。

対象機種が従来機種の改良ではなく、まったくの新製品である場合は、この時点で斬新な解決策を発想する必要がある。

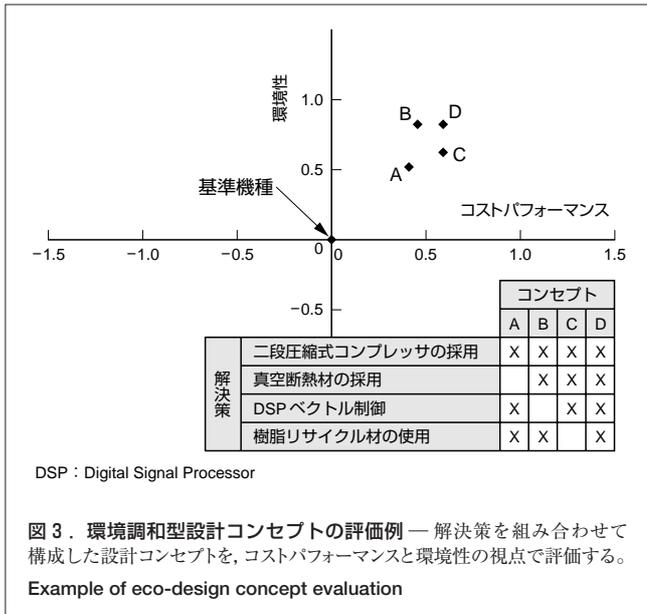


ある。新製品のコンセプトを作成した後、品質、コスト、環境の側面のトレードオフ関係を評価し、コンセプトを選択する。その際、詳細設計における不確実性を設計リスクとして考慮しておくことで、意思決定をより効果的に支援できる。

続いて、部品レベルでより細かい解決策を考案していく。当社のLCP手法の特長の一つは、構成部品ごとに3R (リデュース, リユース, リサイクル)に関連するライフサイクルオプションの適合性を判断する分析チャート群にある。これらの分析チャートでは、LCAやQFDなど、異なる目的のために作成されたデータを有機的に利用しており、部品レベルで様々な角度から3Rに関連する解決策の発想を支援する。

解決策が出そろった段階で、製品レベルと同様、部品レベルでコンセプト評価を行い、最終的な環境調和型設計コンセプトを決定し、LCPを終了する。

製品レベルのコンセプト評価例を図3に示す。図中の横軸はコストパフォーマンス、縦軸は環境性の評点を示している。各軸において、正の値は基準機種比較で優れており、負の値は劣っていることを表している。この例では、コンセプトAからDの中で、コストパフォーマンス、環境配慮の双方の観点からコンセプトDがもっとも優れていることを示している。製品開発者は、デザインレビューにおいて図3のチャー



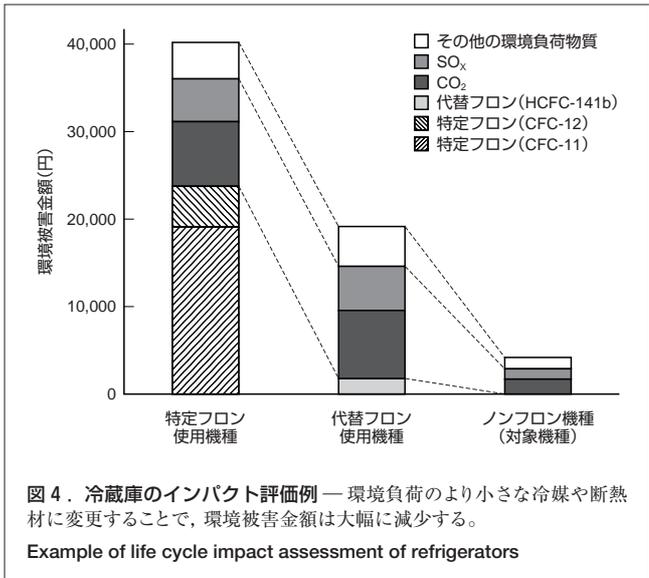
トを参考に意思決定する。今回の対象機種の場合は、実際にコンセプトDを採用し、製品化した。

#### 4 LCA

ISO14040 (国際標準化機構規格 14040) が定める LCA の実施手順は、目的と範囲の設定、インベントリ分析、インパクト評価、結果の解釈、の4段階から成る。企業が実施する LCA では、これまで二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) などのインベントリ分析までを実施することが多く、単一指標による環境影響の統合評価は課題であった。これに対して、日本版被害算定型影響評価手法<sup>(5)</sup> (通称 LIME<sup>(注1)</sup>: Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling) は、環境影響を統合化するインパクト評価の一手法である。

Easy-LCA と LIME を組み合わせて、特定フロン使用冷蔵庫 (業界標準機種)、代替フロン使用冷蔵庫 (業界標準機種)、及びノンフロン冷蔵庫 (対象機種) の製品ライフサイクル全体の環境影響を、環境被害金額として算出した例を図4に示す<sup>(6)</sup>。ノンフロン冷蔵庫では、特定フロンを使用した冷蔵庫に比べて、環境被害金額を約 1/10 に低減していることがわかる。環境被害金額を大幅に低減できた理由は、消費電力低減による CO<sub>2</sub>、硫黄酸化物 (SO<sub>x</sub>) 排出量削減だけでなく、製品廃棄時に放出されていたフロンの環境影響がなくなったことによる。このように、インパクト評価までを実施することで、環境影響を総合的に把握することができる。

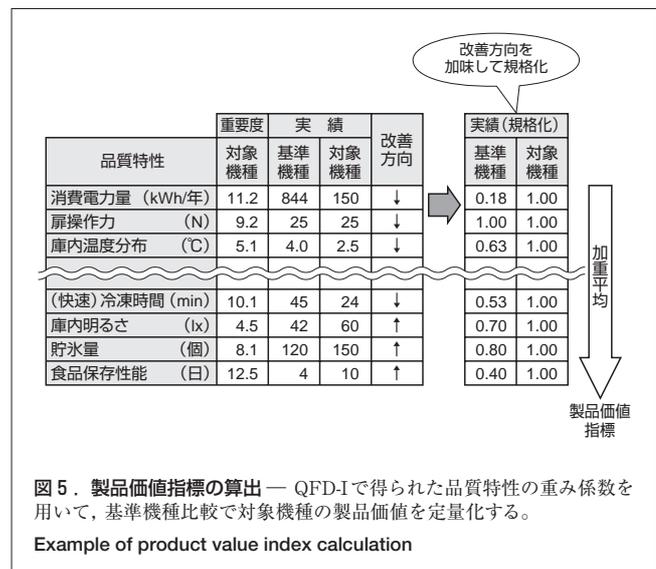
(注1) LIME は、産業技術総合研究所が LCA プロジェクト (経済産業省/新エネルギー・産業技術総合開発機構) と協力して開発したインパクト評価手法である。



#### 5 製品環境効率

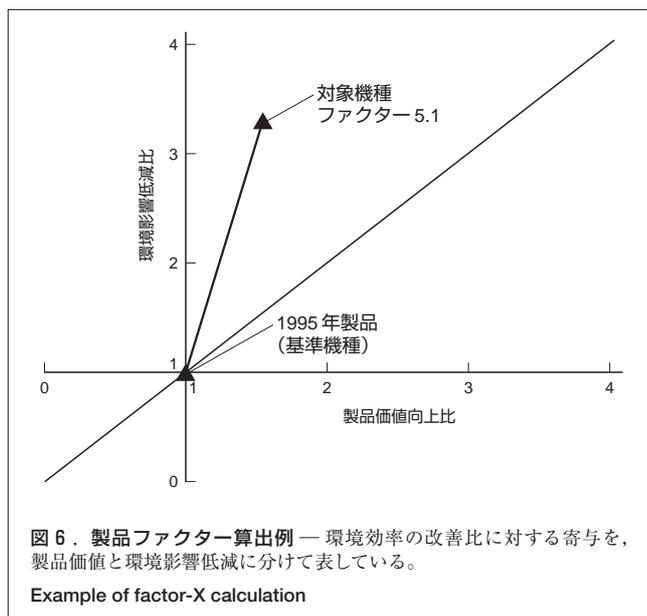
当社の環境効率指標の特長は、製品価値 (環境効率の分子) の定量化に QFD を利用する点と、環境影響 (環境効率の分母) の定量化にインパクト評価手法 LIME を利用する点にある<sup>(7)</sup>。

図5を用いて製品価値指標の算出手順を説明する。まず、対象機種の QFD-I マトリックスに記載されている品質特性、重要度、実績値 (基準機種, 対象機種) を用意する。ここで、“デザイン” や “... 機能の有無” などのように適当な単位がない一部の品質特性については、実績値を 0~1 の間で定量化する、あるいは評価対象の製品価値には含めない、などの工夫が必要となる。次に、品質特性の値が増加するように改善すべき特性 (望大特性) なのか、減少するように



改善すべき特性(望小特性)なのかを設定する。設定された改善方向が望小の場合には、実績値を逆数に置き換える。続いて、改善方向によって補正した実績値の最大値で除算して規格化する。これにより、すべての品質特性が0から1の間で数値化される。最後に、品質特性の重要度を用いて加重平均を算出する。ここで説明した方法で算出した製品価値指標(無次元)は、製品に対する価値観が変われば変化する、という性質を持つ。

一方、環境影響指標(分母)については、4章で述べた方法で算出した環境被害金額(円)を用いる。ここで説明した環境効率指標を対象機種に適用した例を図6に示す。



この例の場合、1995年に販売された基準機種に対して、環境効率が5.1倍(ファクター5.1)であった。図6は、その場合に、製品価値向上よりも、むしろ環境影響低減の寄与が大きいことを示している。ファクターに対する寄与は製品の特性によって異なるため、それに応じた製品開発戦略が必要となる。

ところで、2章で述べたように、環境効率の活用方法の一つは、消費者が製品を選択する際に利用することにある。しかし、現状では各社が独自の環境効率指標を用いており、他社比較をすることはできない状況にある。したがって、今後は消費者、メーカー双方の立場を勘案して、環境効率指標の業界標準化を進めるべきであると考えている。

## 6 あとがき

ここでは、ライフサイクルアプローチに基づく環境調和型設計の全体像を、当社事例を用いて述べた。環境調和型設計の仕組みを企業内に定着させることは、製造業の持続的発展のために不可欠な要素である。ここで述べた設計手法やツールの産業界での活用を期待する。

## 文献

- (1) 小林英樹, ほか. 環境調和型製品の開発を支援する環境情報システム技術. 東芝レビュー. **56**, 8, 2001, p.38-41.
- (2) Kobayashi Y., et. al. "A New LCI Database for LCA Support Tool Easy-LCA for Web". Proc. of the 5th International Conference on EcoBalance. Tsukuba, 2002-10, p.345-348.
- (3) 小林英樹. 製品ライフサイクルプランニング—ISO/TR14062の実践—. 2003, オーム社.
- (4) 伊藤達也, ほか. ノンフロン the 鮮蔵庫 GR-NF415GX. 東芝レビュー. **59**, 7, 2004, p.52-55.
- (5) Itsubo, N., Inaba, A. "A New LCIA Method: LIME has been completed". Int. J. LCA. **8**, 5, 2003, p.305.
- (6) Amemiya, K., et. al. "Life Cycle Impact Assessment of a Non-fluorocarbon Refrigerator". Proc. of the 6th International Conference on EcoBalance. Tsukuba, 2004-10, p.503-506.
- (7) 小林由典, ほか. 製品環境効率指標の提案と活用. エコデザイン 2004 ジャパンシンポジウム予稿集, 2004-12, p.264-267.



小林 英樹 KOBAYASHI Hideki, D.Eng.

研究開発センター 環境技術ラボラトリー主任研究員, 工博。環境情報応用技術の研究・開発に従事。日本機械学会, 精密工学会会員。

Environmental Technology Lab.



小林 由典 KOBAYASHI Yoshinori

研究開発センター 環境技術ラボラトリー。ライフサイクルアセスメント応用技術の研究・開発に従事。環境経済・政策学会会員。

Environmental Technology Lab.



幡中 秀治 HATANAKA Hideharu

東芝家電製造(株) 冷蔵庫商品部企画担当参事。冷蔵庫の商品企画, 環境対応推進に従事。

Toshiba HA Products Co., Ltd.