

BASF 型「エコ効率分析」

計算方法の解説

K.-H. Feuerherd

キーワード：ライフサイクル・アセスメント、エコ効率、エコ・フィンガープリント、
エコ・マップ

概要

本資料では、1996年にBASF社によって開発された「エコ効率分析」と呼ばれる手法について説明する。この手法は、国際標準規格であるISO14040シリーズのライフサイクルアセスメント(LCA)をもとに開発されている。BASF社は、そのISO標準規格に加えて、分析手法に毒性とリスク/誤用のカテゴリーを組み込んだ上、企業の観点からではなく末端消費者の観点からプロセス、製品、サービスを審査している。さらに、末端消費者の金銭的な負担も組み込み、意思決定に必要なものとして、「エコロジカル・フィンガープリント」と呼ばれるレーダー・チャートと「エコ効率マップ」と呼ばれるポートフォリ・チャート¹を結果として提供する。計算手順を順に解説していく。

1 背景

1996年にBASF社は「持続可能」と「永続する繁栄」という観点から自社の製品を評価するための新手法の開発を始めた。1年後、今日「BASF型エコ効率分析」として知られるツールは、当時会社にとって重要なおよそ20のプロジェクトを行うことで、その適用可能性を証明した。その後数年間で、新手法はさらに改良され、ドイツ内外においてセミナーや講義の場を通して紹介された。概念の紹介や実例による計算結果を示した論文は、数年前(2002年)に公表され[2]、計算手順そのものは2003年に初めて公開された[1]。

2004年末までこの手法を使って実施されたプロジェクトの数はすでに230強にのぼる。

現在、国際規格ISO14040シリーズに基づき、製品ライフサイクルのデータから特徴的な指標を引き出し、製品・商品およびサービスを比較することはよく行われている。BASF社では、数値そのものを比較するよりも、評価基準に因る結果を図で表し、静止図と動画をもとに議論・判断した方がよく、意志決定が円滑に進むということを明らかにした。その結果、従来の方法の先駆けとして、BASF社はエコ効率分析のプロジェクトを実行する時に、特別な図を使うことを手法の特徴として導入した。この資料では、エコロジカル・フィンガープリント、エコ効率マップを作成する計算手順について解説する。

¹ 経済学で知られている資産の分布図の一種

2 概念

BASF 社のエコ効率分析は、国際標準規格 ISO14040 シリーズに基づいており、調査するプロセスと製品とサービスのライフサイクルは ISO に沿って決定している。BASF 社は、その ISO 標準規格に加えて、分析手法に毒性とリスクポテンシャルのカテゴリーを組み込んだ。この2つのカテゴリーは、化学系企業が製品を評価する際に特に重要である。さらに、BASF 社は、製品を末端消費者の観点から審査することで、画期的な飛躍を図った。これによって、意志決定が短絡的、私利的になりがちになるのが抑えられるようになった。もちろん、環境に優しい製品を製造することは過小評価すべきではない重要なタスクであるが、民間企業においては、経済的に事業が運営されることが最優先事項である。そのため、BASF 社のエコ効率分析の手法には、末端消費者が負わねばならない金銭的な負担、いわゆる消費者負担のコストを組み込んでいる。ここで、「末端消費者のコスト (cost of the final user)」という用語を、製造業者が対処し最小化しようとしている製造コストの定義と混同しないように気をつけてほしい。

3 データフォーマット

インベントリデータセット ${}^{lci}D$ は、ある特定のプロセス、または、複数のプロセス全体での入力量、出力量から成り立っており、“ゆりかごから墓場まで”の製品のライフサイクル、あるいは、少なくともその一部での入出力量を表している。入力量側では、エネルギー使用量 eLCI と開始原料 mLCI が記録されている。出力量側では、使用可能な製品量とエネルギー量と、大気中への排出量 aLCI 、水域への排出量 wLCI 、廃棄・焼却物量 sLCI 、が表されている。分析の手順は、特に ISO14040 と ISO14041 で示されているステップに似ている。ISO によれば、生産過程の製品は Goal and Scope Definition の対象になり、システムの出力結果に基づいて、いわゆる機能単位すなわち「使用者に関する便益」を決定する。分析するシステムのインベントリデータはそれに即して整理される。その際に、副産物は ISO に示されているアロケーション（配賦）のルールやその他の方法によって考慮されている。さらに、製品のライフサイクルを生産、使用、廃棄といったステージ（本資料中では、それぞれ下付きの添字で p 、 u 、 d と表記している）に分けることは、次に示したようにライフサイクル分析に使用するデータセットの主要構造を定義する際に役立つ。

$${}^{lci}D_p = \begin{pmatrix} {}^eLCI_p \\ {}^mLCI_p \\ {}^aLCI_p \\ {}^wLCI_p \\ {}^sLCI_p \end{pmatrix} \quad {}^{lci}D_u = \begin{pmatrix} {}^eLCI_u \\ {}^mLCI_u \\ {}^aLCI_u \\ {}^wLCI_u \\ {}^sLCI_u \end{pmatrix} \quad {}^{lci}D_d = \begin{pmatrix} {}^eLCI_d \\ {}^mLCI_d \\ {}^aLCI_d \\ {}^wLCI_d \\ {}^sLCI_d \end{pmatrix} \quad (1)$$

ISO の手法を拡張して、BASF 社がエコ効率分析を行うために開発し適用した手法では、毒性、リスク、土地使用を扱うためのデータが含まれた。これらは上付きの添字で *tox*、*rsk*、*lnd* と表記される。そして、既に説明したが、BASF 社のエコ効率分析において重要なもう一つの要素は、末端消費者が負う金銭的な負担を考慮していることである。これは、上付きの添字 *cst* と表記される。これらの要素を組み込むために、数式 (1) に示したデータセットの基本構造 $lciD$ に修正を加えて、エコ効率分析で使用する典型的なデータセットを得た。

$$ecoD_p = \begin{pmatrix} lciD_p \\ lndD_p \\ toxD_p \\ rskD_p \\ cstD_p \end{pmatrix} \quad ecoD_u = \begin{pmatrix} lciD_u \\ lndD_u \\ toxD_u \\ rskD_u \\ cstD_u \end{pmatrix} \quad ecoD_d = \begin{pmatrix} lciD_d \\ lndD_d \\ toxD_d \\ rskD_d \\ cstD_d \end{pmatrix}$$

生産、使用、廃棄（リサイクル）のライフサイクルステージを表しているこれらの3つのデータセットを統合して、特定の製品の一つのデータセットを得る。しかし、そうする前にさらなる改良を加えておく。各ライフサイクルステージは時間的に異なった長さを持っていることは明らかである。製品にも依るが、生産時間は使用段階と比べて短くなるだろう。“自動車”や“電化製品”のように長期間使用するような製品がこのケースにあたる。しかし、“包装材料”は、自動車やテレビに比べて使用段階は比較的小さいため、まったく違った状況となる。それゆえ、毒性、リスク、誤用に関して、生産、使用、廃棄段階の重み付け係数 tme_f_p 、 tme_f_u 、 tme_f_d で表される“期間的係数”²を適用することによって、ライフサイクルステージに異なった重みを与えられるようにすべきである。

$$ecoD_p^* = \begin{pmatrix} lciD_p \\ lndD_p \\ \left(\begin{matrix} toxD_p \\ rskD_p \end{matrix} \right) \cdot tme_f_p \\ cstD_p \end{pmatrix} \quad ecoD_u^* = \begin{pmatrix} lciD_u \\ lndD_u \\ \left(\begin{matrix} toxD_u \\ rskD_u \end{matrix} \right) \cdot tme_f_u \\ cstD_u \end{pmatrix}$$

$$ecoD_d^* = \begin{pmatrix} lciD_d \\ lndD_d \\ \left(\begin{matrix} toxD_d \\ rskD_d \end{matrix} \right) \cdot tme_f_d \\ cstD_d \end{pmatrix}$$

² 生産・使用・廃棄という製品ライフサイクルの3段階の期間的な割合を表す係数。審査の時に、分析結果の安定性を調べるために応用する。

これで、エコ効率分析に使用するデータセットの構造の定義は終わりである。数式(2)はさらなる議論をするのに使うデータセットのフォーマットである。

$$\begin{aligned}
 \text{eeaD}^* &= \text{ecoD}_p^* + \text{ecoD}_u^* + \text{ecoD}_d^* \\
 \text{eeaD}^* &= \begin{pmatrix} \text{lciD}_p \\ \text{IndD}_p \\ \left(\begin{matrix} \text{toxD}_p \\ \text{rskD}_p \\ \text{cstD}_p \end{matrix} \right) \cdot \text{tme} f_p \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \text{lciD}_u \\ \text{IndD}_u \\ \left(\begin{matrix} \text{toxD}_u \\ \text{rskD}_u \\ \text{cstD}_u \end{matrix} \right) \cdot \text{tme} f_u \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \text{lciD}_d \\ \text{IndD}_d \\ \left(\begin{matrix} \text{toxD}_d \\ \text{rskD}_d \\ \text{cstD}_d \end{matrix} \right) \cdot \text{tme} f_d \end{pmatrix} \quad (2)
 \end{aligned}$$

感度解析やシナリオ計算のようなさまざまな種類の分析を行うために、特定のカテゴリを増加・減少、あるいは単に有効・無効にする必要がある。これについては、もとのデータセットに影響を与えることなくできることが望ましい。ゆえに、ユーザーの観点から独自に数値を変化させられるベクトル \mathbf{f}_{sid} を導入した。エコ効率分析に使用されるデータセットは、全てのデータ要素 $1 < j < n$ に対し、もとのデータベクトル eeaD^* の j 番目の要素に、ベクトル \mathbf{f}_{sid} の j 番目の要素をかけた積である³。この演算は、数式(3)で示したように変数の上の矢印で表す。

$$\text{eeaD}_j = \text{eeaD}_j^* \cdot (\mathbf{f}_{\text{sid}})_j \quad \text{を} \quad \text{eeaD} = \overrightarrow{\text{eeaD}^* \cdot \mathbf{f}_{\text{sid}}} \quad \text{と表す。} \quad (3)$$

国家データセット 後述する科学的な重み付けを行うために、県、州、国といった大きな地域で発生する環境負荷を表す国家データセット (national dataset) が必要である。そのデータセットは国家統計に基づいており、これまでに述べてきたものと同じ構造を持っているが、一箇所だけ異なっている部分がある。それは、ドイツの国家データでは、国での毒性、リスク/誤用のポテンシャルは当面は存在しないということである。それゆえ、これまでに定義してきたデータフォーマットにあわせるために、これらのカテゴリには0が設定される。

$$\text{ecoN} = \begin{pmatrix} \text{lciN} \\ \text{IndN} \\ 0 \\ 0 \\ \text{cstN} \end{pmatrix}$$

³ 基本設定では、ベクトル \mathbf{f}_{sid} の各要素の値は1である

もとのデータに変更を加えずに様々なことを考えられるようにするために、スイッチのベクトル \mathbf{f}_{sid} をここでも使用する。

$$eeaN = \overrightarrow{ecoN \cdot f_{sid}}$$

4 影響の計算

異なる種類のエネルギー媒体、再生可能原料、化石原料に関するエネルギー・資源消費量の絶対値は、最終使用者に同じ利益を生む様々な製品やサービスのライフサイクルを評価する際に、最も興味のある部分である。同様のことが、大気への多種多様な排出や、水域汚染の原因となる物質、環境を考慮した投棄用の処理を要する様々な種類の固形廃棄物についてもいえる。しかし、絶対値だけでは意思決定には不十分である。なぜなら、物質は、様々な影響をまったく異なった強度で及ぼすからである。その影響とは、地球温暖化、オゾン層破壊、酸性雨などであり、現在、警鐘が鳴らされ自然環境を保護するための活動が強化されているものである。

4.1 資源不足

入力側の LCI データを見ると、各開始原料・資源は、それぞれ全く異なった資源不足の側面を持つものであるといえる。例えば、石油のようなエネルギー資源は、ハードコール（無煙炭）にくらべると、より貴重なものである。なぜなら、現在の技術での石油の年間利用可能量やコストはハードコールに比べ 1/4 程度だからである。さらに、石油は、化学産業における主要な開始原料である炭化水素系資源としてだけでなくエネルギー源としても使用されているため、重要な資源である。このような理由から、異なる利用可能量を持つ資源を用いる場合には、その影響をチェックできるような重み付け係数を導入するのが良い。これを、「不足重み付け係数」 f_{scr} とよぶ。このベクトルを使用するために、ベクトル $eeaN$ の一部であるインベントリデータと $lciD$ と使用面積 $lndD$ を強調する必要がある。

$$scrD^* = \begin{pmatrix} lciD_p \\ lndD_p \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} lciD_u \\ lndD_u \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} lciD_d \\ lndD_d \end{pmatrix} \quad (4)$$

ベクトル \mathbf{f}_{sid} と式 (4) の結果を用いて、式 (3) と同様の手順で LCI 面積のベクトル $scrD$ を計算する。

$$scrD = \overrightarrow{scrD^* \cdot f_{sid}}$$

ベクトル $scrD$ 自身は、エネルギー源、原料、土地などの資源の使用を表すサブベクトルから成り立っている。既に説明したとおり、ベクトル $scrN$ は、国家データセットのときと同様に

して、後に評価計算で使用するために決定される。

$$\text{scrN}^* = \begin{pmatrix} \text{lcIN} \\ \text{IndN} \end{pmatrix}$$

$$\text{scrN} = \overrightarrow{\text{scrN}^* \cdot \mathbf{f}_{\text{sid}}}$$

4.2 燃料

資源不足を考慮するために、エネルギーのデータを質量のデータへと換算する必要がある。なぜなら、あるデータフォーマットでは、エネルギー消費はエネルギー単位でのみ表しているからである。この換算は、「エネルギーから質量への単位換算ベクトル」 \mathbf{f}_{e2m} と掛け合わせた後に、エネルギー資源の資源不足ベクトル ergf_{scr} を掛け合わせることで行う。これは、ベクトルの掛け算ではなく、各ベクトルの i 成分をそれぞれ他のベクトルの i 成分と掛け合わせることで行う。この掛け算のタイプは、数式では式(5)のように変数の上に矢印を書くことで表している。不足重み付け係数を用いて、個々の製品 P_i ごとの総エネルギー消費量 $\text{erg}L_i$ が計算される。

$$\text{erg}L_i = \sum \overrightarrow{(\text{scrD}_i \cdot \mathbf{f}_{\text{e2m}} \cdot \text{ergf}_{\text{scr}})} \quad (5)$$

次のステップで、製品の P_i に関連した最大エネルギー消費量 L_{max} を決定する。この L_{max} は、各エネルギー使用量を最大エネルギー消費量で割ることによって相対化するのに使用される。

$$\text{erg}L_{\text{max}} = \max_i (\text{erg}L_i) \quad \text{erg}L_i^{\text{rel}} = \frac{\text{erg}L_i}{\text{erg}L_{\text{max}}}$$

同様の手順を国家データセットにも適用する。ただし、式(6)の $\text{erg}B_i$ は製品 P_i に関するエネルギー消費量と国家のエネルギー消費量の比である。

$$\text{erg}B = \sum \overrightarrow{(\text{scrN} \cdot \mathbf{f}_{\text{e2m}} \cdot \text{ergf}_{\text{scr}})}$$

$$\text{erg}B_i = \frac{\text{erg}L_i}{\text{erg}B} \quad \text{erg}B_{\text{max}} = \max_i (\text{erg}B_i) \quad (6)$$

4.3 フィードストックと原料

原料を製品へと変えるためにはエネルギーが必要である。しかし、原料もまた、全く違っ

た資源不足の側面を持った資源である。加えて、石油や天然ガスのようないくつかの資源は、燃料としての使用だけでなく、化学物質やプラスチック、コーティング材や塗料のような製品製造のために原料としても供給される。特にプラスチックの場合では、使用済みのプラスチック製品は、原料へとリサイクルされたり、燃焼熱という潜在エネルギーを持っているために燃料化処理されたりする。各製品 P_i の総物質消費量 $matL_i$ は、燃料消費のケースで説明したのと同じ方法によって不足係数を用いて計算される。

$$matL_i = \sum \left(\overline{scrD_i \cdot matf_{scr}} \right) \quad (7)$$

式(7)によって得た値は、相対資源消費量 $matL^{rel}$ を計算するのに用いられる。

$$matL_{max} = \max_i (matL_i) \quad matL_i^{rel} = \frac{matL_i}{matL_{max}}$$

国家データセットに対しても同様の計算方法がとられる。

$$matB = \sum \left(\overline{scrN \cdot matf_{scr}} \right)$$

$$matB_i = \frac{matL_i}{matB} \quad matB_{max} = \max_i (matB_i)$$

4.4 土地使用

製造するために比較的広い土地面積を要するような製品やプロセスが存在する。典型例として、森林や農産物のような再生可能資源が挙げられる。しかし、育成に必要な空間だけでなく、採掘、輸送、加工においてもそれぞれ施設のための空間が必要である。それぞれの値は、式(8)で相対土地使用量 $lndL^{rel}$ を決定するのに用いられる。

$$lndL_i = \sum \left(\overline{scrD_i \cdot lndf_{scr}} \right)$$

$$lndL_{max} = \max_i (lndL_i) \quad lndL_i^{rel} = \frac{lndL_i}{lndL_{max}} \quad (8)$$

国家レベルでの値は、これまでと同様の方法で計算される。

$$lndB = \sum \left(\overline{scrN \cdot lndf_{scr}} \right)$$

$$lndB_i = \frac{lndL_i}{lndB} \quad lndB_{max} = \max_i (lndB_i)$$

4.5 環境中への排出

大気排出、水域汚染、固形廃棄物のような環境中への排出は、環境へのダメージについて述べる際の主たるものである。これらの主なカテゴリーの他には、低周波ノイズ・振動のように、人間の健康にダメージを与える影響源も存在するが、これらのカテゴリーは、当面 BASF 社のエコ効率分析の範疇には含まない。大気排出、水域排出、土壌排出という主なカテゴリーは異なった影響を及ぼす。なぜなら、排出した物質による影響の特徴に応じて、影響が局地影響なのか、地域環境影響なのか、地球環境影響なのかが異なっているからである。

4.5.1 大気排出

大気排出の大部分は、地域環境、地球環境に影響を与える。特筆すべき影響を挙げると、地球温暖化、オゾン層破壊、光化学オキシダント生成、酸性化（酸性雨）などがある。

地球温暖化ポテンシャル (GWP) 地球温暖化ポテンシャルの計算は、二酸化炭素やメタン、その他の化学物質の単位量排出による影響の大きさについて国際的に同意が得られた値をベースにおいて行われる。これらの値は重み付けベクトル \mathbf{f}_{gwp} を定義するために用いられ、不足係数の計算で述べた方法と同様に用いられる。

$${}^{\text{gwp}}L_i = \sum (\overrightarrow{\text{eeaD}_i \cdot \mathbf{f}_{\text{gwp}}})$$

$${}^{\text{gwp}}L_{\text{max}} = \max_i ({}^{\text{gwp}}L_i) \quad {}^{\text{gwp}}L_i^{\text{rel}} = \frac{{}^{\text{gwp}}L_i}{{}^{\text{gwp}}L_{\text{max}}}$$

国家レベルでの値は、同様に計算される。

$${}^{\text{gwp}}B = \sum (\overrightarrow{\text{eeaN} \cdot \mathbf{f}_{\text{gwp}}})$$

$${}^{\text{gwp}}B_i = \frac{{}^{\text{gwp}}L_i}{{}^{\text{gwp}}B} \quad {}^{\text{gwp}}B_{\text{max}} = \max_i ({}^{\text{gwp}}B_i)$$

オゾン層破壊ポテンシャル (ODP) オゾン層破壊ポテンシャルの計算は、GWP 値の計算と全く同様にして行われる。

$${}^{\text{odp}}L_i = \sum (\overrightarrow{\text{eeaD}_i \cdot \mathbf{f}_{\text{odp}}})$$

$${}^{\text{odp}}L_{\text{max}} = \max_i ({}^{\text{odp}}L_i) \quad {}^{\text{odp}}L_i^{\text{rel}} = \frac{{}^{\text{odp}}L_i}{{}^{\text{odp}}L_{\text{max}}}$$

国家 ODP についても同様である。

$${}^{odp}B = \sum \overrightarrow{(\text{eea}\mathbf{N} \cdot \mathbf{f}_{odp})}$$

$${}^{odp}B_i = \frac{{}^{odp}L_i}{{}^{odp}B} \quad {}^{odp}B_{max} = \max_i ({}^{odp}B_i)$$

光化学オキシダント生成ポテンシャル (POCP) 光化学オキシダント生成ポテンシャルは、光化学オキシダントと都市の地表面付近でのスモッグの生成を表している。POCP の値は、GWP 値、ODP 値の計算と同じようにして決定されている。

$${}^{pocp}L_i = \sum \overrightarrow{(\text{eea}\mathbf{D}_i \cdot \mathbf{f}_{pocp})}$$

$${}^{pocp}L_{max} = \max_i ({}^{pocp}L_i) \quad {}^{pocp}L_i^{rel} = \frac{{}^{pocp}L_i}{{}^{pocp}L_{max}}$$

国家レベルの値については同様の手順が採られる。

$${}^{pocp}B = \sum \overrightarrow{(\text{eea}\mathbf{N} \cdot \mathbf{f}_{pocp})}$$

$${}^{pocp}B_i = \frac{{}^{pocp}L_i}{{}^{pocp}B} \quad {}^{pocp}B_{max} = \max_i ({}^{pocp}B_i)$$

酸性化ポテンシャル (AP) 酸性化ポテンシャルは、BASF 社のエコ効率分析の第 4 のカテゴリーである。この影響は地域レベル、地球レベルで影響を及ぼす。式(9)および式(10)のようにして計算する。

$${}^{ap}L_i = \sum \overrightarrow{(\text{eea}\mathbf{D}_i \cdot \mathbf{f}_{ap})} \quad (9)$$

$${}^{ap}L_{max} = \max_i ({}^{ap}L_i) \quad {}^{ap}L_i^{rel} = \frac{{}^{ap}L_i}{{}^{ap}L_{max}} \quad (10)$$

国家データについては、式(11)と(12)のようにして計算される。

$${}^{ap}B = \sum \overrightarrow{(\text{eea}\mathbf{N} \cdot \mathbf{f}_{ap})} \quad (11)$$

$${}^{ap}B_i = \frac{{}^{ap}L_i}{{}^{ap}B} \quad {}^{ap}B_{max} = \max_i ({}^{ap}B_i) \quad (12)$$

4.5.2 水域汚染

水域汚染については、異なる有機物質、重金属、油脂などの各種排出要素を集約するために用いられるような、国際レベルでの同意が得られた値は存在しない。水域汚染は、局地または地域レベルでの重要度の問題であるが、BASF 社のエコ効率分析では、ドイツや他のヨーロッパ諸国で利用可能な国家レベルでの値を用いている。化学物質または化学物質群を水域に排出するときの最大許容濃度である「制限値」は、ドイツ語圏では BUWAL という名で知られているスイス環境森林景観局 (SAEFL) が計算方法を公表している「臨界値」を計算するために用いられる。制限値は、重み付け係数 f_w を定義するために用いられる。計算は、大気排出の場合と同じように行われる。

$${}^w L_i = \sum (\overline{{}^{eea}D_i \cdot f_w})$$

$${}^w L_{max} = \max_i ({}^w L_i) \quad {}^w L_i^{rel} = \frac{{}^w L_i}{{}^w L_{max}}$$

国家レベルの水域汚染データについても同様の計算方法が採られる。

$${}^w B = \sum (\overline{{}^{eea}N \cdot f_w})$$

$${}^w B_i = \frac{{}^w L_i}{{}^w B} \quad {}^w B_{max} = \max_i ({}^w B_i)$$

4.5.3 固形廃棄物

BASF 社の手法は、廃棄物の種類によって、家庭ごみ、特定廃棄物、瓦礫・表土の3つの主カテゴリーに分けられる。単純な重み付けベクトルを構成する3つの値は、それらの廃棄物を処理するために消費者が負わねばならないコストに基づいたものである。計算方法は、前に述べた他のケースと全く同様である。

$${}^s L_i = \sum (\overline{{}^{eea}D_i \cdot f_s})$$

$${}^s L_{max} = \max_i ({}^s L_i) \quad {}^s L_i^{rel} = \frac{{}^s L_i}{{}^s L_{max}}$$

国家レベルの廃棄物のデータについての計算も同様である。

$${}^s B = \sum (\overline{{}^{eea}N \cdot f_s})$$

$${}^s B_i = \frac{{}^s L_i}{{}^s B} \quad {}^s B_{max} = \max_i ({}^s B_i)$$

4.6 毒性ポテンシャル

製品のライフサイクルにおいて発露する毒性ポテンシャルの決定と計算については、文献[3]にて詳細に説明されている。他の調査で同じ値を使用することが許されない特定の状況下でのライフサイクルの特性値を計算するために3つの値を統合する⁴。計算の手順は、ここで説明するが、前の計算手順と同様である。本来は、式(13)に示したように、もとのデータセット $eeaD_i$ を変形させるためにベクトルが必要であるが、実際にはベクトルの要素は毒性があるときには1である。これは次項で説明するリスクポテンシャルにおいても同様である。

$${}^{tox}L_i = \sum (\overrightarrow{eeaD_i \cdot f_{tox}}) \quad (13)$$

$${}^{tox}L_{max} = \max_i ({}^{tox}L_i) \quad {}^{tox}L_i^{rel} = \frac{{}^{tox}L_i}{{}^{tox}L_{max}}$$

これまでに説明してきた計算の手順と違って、国家レベルの毒性ポテンシャルを表すデータセットは存在しない。そのため、これ以上の計算は必要ない。

4.7 リスクと誤用

リスクと誤用のポテンシャルの決定は、企業の個々のデータ、保険機関、専門機関、通商機構によって提供された数値をもとに行われている。潜在的なリスクや誤用が存在するライフサイクル中の各ステージが特定され、0（リスクなし）から3（高リスク）までのスケールにランク付けされる。「さまざまなステージ/場所において発生するリスク/誤用」が非常に多く存在するので、このような簡単なランク付けであっても、異なる製品やライフサイクルを区別するのに十分な正確さをもった総合値につながる事となる。

$${}^{rsk}L_i = \sum (\overrightarrow{eeaD_i \cdot f_{rsk}})$$

$${}^{rsk}L_{max} = \max_i ({}^{rsk}L_i) \quad {}^{rsk}L_i^{rel} = \frac{{}^{rsk}L_i}{{}^{rsk}L_{max}}$$

毒性ポテンシャルの決定の場合と同様に、国家レベルのリスク/誤用の値はない。それゆえ、リスク/誤用に関してこれ以上計算する必要はない。

4 詳細はこの資料の範囲を超えている。

5 社会的重み付け

「生産者がある製品や生産設備において厳密に環境と安全に関する規定に従う」という前提のもとでは、製品が受け入れられるかどうかは、値段や質のほかに、最近では一般大衆の歓心から、環境問題に関する企業のイメージに依存する。それゆえ、消費者による企業の認知、環境意識への配慮、企業マネジメントへのまじめさが、長期にわたり受け入れられるような製品を決定付けることとなる。これが、BASF 社によるエコ効率分析の手法が認知と環境意識への配慮に関する最終消費者の懸念に重きを置く理由である。これらの懸念や心配は「社会的重み付け係数」として表現される[2]。この係数は、異なる年齢、性別、職種のユーザーたちを対象とした調査によって得られた。

5.1 大気排出

大気排出のカテゴリーは、地球温暖化 (GWP)、オゾン層破壊 (ODP)、光化学オキシダント生成ポテンシャル (POCP)、酸性化ポテンシャル (AP) の4つの影響を含む。各製品ライフサイクルにおけるこれらの4つの特性値は、大気排出ベクトル ${}^a\mathbf{L}_i$ を決定するために用いられる。そのベクトルに、重み付けベクトル ${}^a\mathbf{f}_{\text{soc}}$ の成分要素をかけて、最終的には式(14)に示した消費者の意識に基づく大気排出の相対値 ${}^aS_i^{\text{rel}}$ が計算される。

$$\begin{aligned}
 {}^a\mathbf{L}_i &= \left(\text{gwp } L_i^{\text{rel}} \quad \text{odp } L_i^{\text{rel}} \quad \text{pocp } L_i^{\text{rel}} \quad \text{ap } L_i^{\text{rel}} \right)^T \\
 {}^aS_i &= \sum \left({}^a\mathbf{L}_i \cdot {}^a\mathbf{f}_{\text{soc}} \right) \\
 {}^aS_{\text{max}} &= \max_i ({}^aS_i) \qquad {}^aS_i^{\text{rel}} = \frac{{}^aS_i}{{}^aS_{\text{max}}} \qquad (14)
 \end{aligned}$$

5.2 環境排出

次のステップでは、大気排出による影響の相対値 ${}^aS_i^{\text{rel}}$ 、水域汚染の影響の相対値 ${}^wL_i^{\text{rel}}$ 、固形廃棄物の影響の相対値 ${}^sL_i^{\text{rel}}$ を用いて、製品ライフサイクル P_i の環境影響ベクトル $\text{env}\mathbf{L}_i$ を定義する。このベクトルに、環境影響の社会的重み付けベクトル $\text{env}\mathbf{f}_{\text{soc}}$ を掛け合わせて、式(15)によって消費者の観点に基づいた環境影響の相対値 $\text{env}S_i^{\text{rel}}$ が得られる。

$$\begin{aligned}
 \text{env}\mathbf{L}_i &= \left({}^aS_i^{\text{rel}} \quad {}^wL_i^{\text{rel}} \quad {}^sL_i^{\text{rel}} \right)^T \\
 \text{env}S_i &= \sum \left(\text{env}\mathbf{L}_i \cdot \text{env}\mathbf{f}_{\text{soc}} \right) \\
 \text{env}S_{\text{max}} &= \max_i (\text{env}S_i) \qquad \text{env}S_i^{\text{rel}} = \frac{\text{env}S_i}{\text{env}S_{\text{max}}} \qquad (15)
 \end{aligned}$$

5.3 総入出力影響

最後のステップでは、相対環境負荷 $ergL_i^{rel}$ 、 $matL_i^{rel}$ 、 $lndL_i^{rel}$ 、 $envS_i^{rel}$ 、 $toxL_i^{rel}$ 、 $rskL_i^{rel}$ を用いて総環境負荷ベクトル $totL_i$ を定義する。そして、ベクトル $totf_{soc}$ と掛け合わせることで、総環境問題特性値 $totS_i$ が得られる。この値は式(16)に従い正規化され、後でエコ効率マップとよばれるものを書く際に使用する。

$$totL_i = \left(ergL_i^{rel} \quad matL_i^{rel} \quad lndL_i^{rel} \quad envS_i^{rel} \quad toxL_i^{rel} \quad rskL_i^{rel} \right)^T$$

$$totS_i = \sum \left(\overrightarrow{totL_i} \cdot \overrightarrow{totf_{soc}} \right)$$

$$totS_{max} = \max_i (totS_i) \quad \quad \quad totS_i^{rel} = \frac{totS_i}{totS_{max}} \quad (16)$$

6 科学的重み付け

社会的重み付けは、異なる環境問題に対する最終消費者の意識、顧客に製品が受け入れられるかどうかを決定する際に重要な観点、企業全般に対するイメージを反映する。この観点の他に、感情による偏向を受けない合理的思考に基づいた重み付けの概念を導入する必要がある。この概念は科学的重み付けとよび、国家統計に基づいたものである。各値は前章において影響の計算方法を解説した際にすでに定義している。

6.1 大気排出

最初に、国家レベルでの大気排出による影響の各値、地球温暖化ポテンシャル (GWP) $gwpB_{max}$ 、オゾン層破壊ポテンシャル (ODP) $odpB_{max}$ 、光化学オキシダント生成ポテンシャル (POCP) $pocpB_{max}$ 、酸性化ポテンシャル (AP) apB_{max} を加算して、国の大気排出による総影響 aB_{sum} が得られる。

$$aB_{sum} = gwpB_{max} + odpB_{max} + pocpB_{max} + apB_{max}$$

次のステップで、これらの値を用いて、大気排出に関する科学的重み付けベクトル af_{sci} を定義するための国家総計値に係る地球温暖化比 w_{gwp} などの値を計算する。

$$w_{gwp} = \frac{gwpB_{max}}{aB_{sum}} \quad \quad \quad w_{odp} = \frac{odpB_{max}}{aB_{sum}}$$

$$w_{pocp} = \frac{pocpB_{max}}{aB_{sum}} \quad \quad \quad w_{ap} = \frac{apB_{max}}{aB_{sum}}$$

$$af_{sci} = \left(w_{gwp} \quad w_{odp} \quad w_{pocp} \quad w_{ap} \right)^T$$

この重み付けベクトルを適用する前に、地球温暖化ポテンシャル等に係る大気排出による影響を表す、製品の負荷ベクトル ${}^a\mathbf{B}_i$ を準備しなくてはならない。

$${}^a\mathbf{B}_i = \left(gwp L_i^{rel} \quad odp L_i^{rel} \quad pocp L_i^{rel} \quad ap L_i^{rel} \right)^T$$

前のケースのときと同様の方法によって両ベクトルを掛け合わせ、各製品の関連値 aR_i を得る。そして、式(17)のようにして正規化される。

$${}^aR_i = \sum \overline{({}^a\mathbf{B}_i \cdot {}^a\mathbf{f}_{sci})}$$

$${}^aR_{max} = \max_i ({}^aR_i) \quad {}^aR_i^{rel} = \frac{{}^aR_i}{{}^aR_{max}} \quad (17)$$

6.2 環境排出

国家レベルでの大気排出による影響を表している各値に大きな差があるのは、当然のことである。立法者の観点から、異なる影響をひきおこす他の大気排出と比較して相対的に高いレベルを示すような排出には、特に気を配る必要がある。それゆえ、高い関心のある排出は、大気への排出を制限、規制する新しい法令や基準のターゲットとなる可能性がある。立法者が警戒している排出を（製品ライフサイクル中に）伴う製品を製造している生産者は、不利益を予測する必要性を強く感じるだろう。そのような理由から、BASF 社のエコ効率分析はまず、GWP、ODP、POCP、AP の影響を表す各値間の最大値 ${}^aU_{max}$ を決定する。

$${}^aU_{max} = \max \left(gwp B_{max} \quad odp B_{max} \quad pocp B_{max} \quad ap B_{max} \right)$$

そして、国家レベルでの大気、水域、土壌の総環境負荷 ${}^{env}B_{sum}$ が決定される。

$${}^{env}B_{sum} = {}^aU_{max} + {}^wB_{max} + {}^sB_{max}$$

この総環境負荷を用いて、科学的重み付け係数 w_a, w_w, w_s を計算し、重み付けベクトル ${}^{env}\mathbf{f}_{sci}$ の一部とする。

$$w_a = \frac{{}^aU_{max}}{{}^{env}B_{sum}} \quad w_w = \frac{{}^wB_{max}}{{}^{env}B_{sum}} \quad w_s = \frac{{}^sB_{max}}{{}^{env}B_{sum}}$$

$${}^{env}\mathbf{f}_{sci} = \left(w_a \quad w_w \quad w_s \right)^T$$

製品ライフサイクルの、国家統計データに係る環境影響のベクトル \mathbf{envB}_i を定義した後、式 (18) に示したように、重み付けベクトル \mathbf{envf}_{sci} を用いて、科学的重み付けに基づいた相対環境影響値 $envR^{rel}$ を計算する。

$$\mathbf{envB}_i = \left({}^a R_i^{rel} \quad {}^w L_i^{rel} \quad {}^s L_i^{rel} \right)^T$$

$${}^{env} R_i = \sum \left(\overrightarrow{\mathbf{envB}_i \cdot \mathbf{envf}_{sci}} \right)$$

$${}^{env} R_{max} = \max_i ({}^{env} R_i) \quad {}^{env} R_i^{rel} = \frac{{}^{env} R_i}{{}^{env} R_{max}} \quad (18)$$

6.3 総入出力影響

最後のステップで、総環境影響を決定する。まず、3つの環境負荷のカテゴリ、大気 ${}^a U_{max}$ 、水域 ${}^w B_{max}$ 、土壌 ${}^s B_{max}$ から、最も法的関心上適している環境問題 ${}^{env} U_{max}$ を選択する。

$${}^{env} U_{max} = \max \left({}^a U_{max} \quad {}^w B_{max} \quad {}^s B_{max} \right)$$

同時に、エネルギー消費量 ${}^{erg} B_{max}$ 、原料 ${}^{mat} B_{max}$ 、土地使用 ${}^{lnd} B_{max}$ 、環境影響 ${}^{env} U_{max}$ によって生じる総環境負荷 ${}^{tot} B_{sum}$ を決定し、それらのカテゴリの予備的科学的重み付け係数 w_{erg}^* 、 w_{mat}^* 、 w_{lnd}^* 、 w_{env}^* を計算する。

$${}^{tot} B_{sum} = {}^{erg} B_{max} + {}^{mat} B_{max} + {}^{lnd} B_{max} + {}^{env} U_{max}$$

$$w_{erg}^* = \frac{{}^{erg} B_{max}}{{}^{tot} B_{sum}} \quad w_{mat}^* = \frac{{}^{mat} B_{max}}{{}^{tot} B_{sum}}$$

$$w_{lnd}^* = \frac{{}^{lnd} B_{max}}{{}^{tot} B_{sum}} \quad w_{env}^* = \frac{{}^{env} U_{max}}{{}^{tot} B_{sum}}$$

ドイツには、国家レベルの毒性またはリスク/誤用のポテンシャルの統計がないので、BASF 社のエコ効率分析では、社会的重み付けのときに用いたのと同じ重み付け係数 ${}^{tox} f_{soc}$ 、 ${}^{rsk} f_{soc}$ を用いて、最終的な科学的重み付けベクトルを作る。決定した予備的重み付け係数は、 f_{adj} で補正し、重み付け比 w_{erg} 、 w_{mat} 、 w_{lnd} 、 w_{env} をそれぞれ得る。

$$f_{adj} = 1 - ({}^{tox} f_{soc} + {}^{rsk} f_{soc})$$

$$w_{erg} = w_{erg}^* \cdot f_{adj} \quad w_{mat} = w_{mat}^* \cdot f_{adj}$$

$$w_{lnd} = w_{lnd}^* \cdot f_{adj} \quad w_{env} = w_{env}^* \cdot f_{adj}$$

これらの重み付け比を用いて、重み付けベクトル \mathbf{totf}_{sci} を作る。

$$\mathbf{totf}_{sci} = \left(w_{erg} \quad w_{mat} \quad w_{lnd} \quad w_{env} \quad tox f_{soc} \quad rsk f_{soc} \right)^T$$

このベクトルを総入出力負荷データベクトル \mathbf{totB}_i に掛け合わせて、式(20)のように、各製品ライフサイクルの科学的重み付けに基づいた相対総環境負荷値である国の法的関心上の「重要性重み付け係数」 $totR_i^{rel}$ を計算する。

$$\mathbf{totB}_i = \left(erg L_i^{rel} \quad mat L_i^{rel} \quad lnd L_i^{rel} \quad env B_i^{rel} \quad tox L_i^{rel} \quad rsk L_i^{rel} \right)^T \quad (19)$$

$$tot R_i = \sum \left(\mathbf{totB}_i \cdot \mathbf{totf}_{sci} \right)$$

$$tot R_{max} = \max_i (env R_i) \quad tot R_i^{rel} = \frac{env R_i}{env R_{max}} \quad (20)$$

7 社会的重み付けと科学的重み付けの統合

事業活動において、ある製品ラインに関して大施設に投資するか、市場活動を行うか、他の生産場所を選択するか、生産を中止するかなどを決定しなくてはならないとき、その製品の最終消費者の意識、環境活動に対する企業のイメージ、レスポンシブル・ケア、持続可能な発展などを考慮することが賢明である。それゆえ、BASF 社のエコ効率分析の手法では、社会的および科学的重み付けの結果を個別に、あるいは組み合わせて考慮している。社会的重み付けと科学的重み付けの結果は、両重み付けの結果の幾何平均をとることで統合する。計算手順は式(21)～(26)に示した手順で行う。

環境カテゴリーは、計算に用いられるデータに沿って3つのグループに分けられる。第1のグループは、エネルギー消費、原料消費、土地使用の3つのカテゴリーで構成されている。

$$erg \hat{U}_i = \sqrt{erg B_i \cdot erg L_i} \quad erg \hat{U}_{max} = \max_i \left(erg \hat{U}_i \right) \quad erg \hat{U}_i^{rel} = \frac{erg \hat{U}_i}{erg \hat{U}_{max}} \quad (21)$$

$$mat \hat{U}_i = \sqrt{mat B_i \cdot mat L_i} \quad mat \hat{U}_{max} = \max_i \left(mat \hat{U}_i \right) \quad mat \hat{U}_i^{rel} = \frac{mat \hat{U}_i}{mat \hat{U}_{max}} \quad (22)$$

$$lnd \hat{U}_i = \sqrt{lnd B_i \cdot lnd L_i} \quad lnd \hat{U}_{max} = \max_i \left(lnd \hat{U}_i \right) \quad lnd \hat{U}_i^{rel} = \frac{lnd \hat{U}_i}{lnd \hat{U}_{max}} \quad (23)$$

第2のグループは、(実はグループではなく) 環境への排出を表す1つのカテゴリである。

$$\text{env } \hat{U}_i = \sqrt{\text{env } B_i \cdot \text{env } L_i} \quad \text{env } \hat{U}_{max} = \max_i \left(\text{env } \hat{U}_i \right) \quad \text{env } \hat{U}_i^{rel} = \frac{\text{env } \hat{U}_i}{\text{env } \hat{U}_{max}} \quad (24)$$

最後は、毒性とリスク/誤用のポテンシャルのグループである。それらの社会的および科学的重み付けの値は同じである。実際には、計算を行う必要はなく、次に示す数式は、整合性を保つためだけに示しているものである。

$$\text{tox } \hat{U}_i = \sqrt{\text{tox } B_i \cdot \text{tox } L_i} \quad \text{tox } \hat{U}_{max} = \max_i \left(\text{tox } \hat{U}_i \right) \quad \text{tox } \hat{U}_i^{rel} = \frac{\text{tox } \hat{U}_i}{\text{tox } \hat{U}_{max}} \quad (25)$$

$$\text{rsk } \hat{U}_i = \sqrt{\text{rsk } B_i \cdot \text{rsk } L_i} \quad \text{rsk } \hat{U}_{max} = \max_i \left(\text{rsk } \hat{U}_i \right) \quad \text{rsk } \hat{U}_i^{rel} = \frac{\text{rsk } \hat{U}_i}{\text{rsk } \hat{U}_{max}} \quad (26)$$

各グループの詳細を知るには、平均値の計算を詳細に見ていく必要がある。例として、エネルギー消費量の平均値の計算は、以下のようになる。

$$\text{erg } \hat{U}_i = \sqrt{\text{erg } B_i \cdot \text{erg } L_i} = \sqrt{\frac{\text{erg } L_i}{\text{erg } B} \cdot \text{erg } L_i} = \frac{1}{\sqrt{\text{erg } B}} \cdot \text{erg } L_i$$

$$\begin{aligned} \text{erg } \hat{U}_{max} &= \max_i \left(\text{erg } \hat{U}_i \right) = \max_i \left(\frac{1}{\sqrt{\text{erg } B}} \cdot \text{erg } L_i \right) \\ &= \frac{1}{\sqrt{\text{erg } B}} \cdot \max_i \left(\text{erg } L_i \right) = \frac{1}{\sqrt{\text{erg } B}} \cdot \text{erg } L_{max} \end{aligned}$$

$$\text{erg } \hat{U}_i^{rel} = \frac{\text{erg } \hat{U}_i}{\text{erg } \hat{U}_{max}} = \frac{\frac{1}{\sqrt{\text{erg } B}} \cdot \text{erg } L_i}{\frac{1}{\sqrt{\text{erg } B}} \cdot \text{erg } L_{max}} = \frac{\text{erg } L_i}{\text{erg } L_{max}} = \text{erg } L_i^{rel}$$

第1のグループのカテゴリの各平均を計算するときに、結果は式(27)~(28)にまとめたようになる。

$$\text{erg } \hat{U}_i = \frac{1}{\sqrt{\text{mat } B}} \cdot \text{erg } L_i \quad \text{erg } \hat{U}_i^{rel} = \text{erg } L_i^{rel} \quad (27)$$

$$\text{mat } \hat{U}_i = \frac{1}{\sqrt{\text{mat } B}} \cdot \text{mat } L_i \quad \text{mat } \hat{U}_i^{rel} = \text{mat } L_i^{rel} \quad (28)$$

$$\text{lnd } \hat{U}_i = \frac{1}{\sqrt{\text{lnd } B}} \cdot \text{lnd } L_i \quad \text{lnd } \hat{U}_i^{rel} = \text{lnd } L_i^{rel} \quad (29)$$

既に説明したが、第3のグループでは、計算の必要が無く、結果は次のように簡単に書きくだされる。

$$\begin{aligned} \text{tox } \hat{U}_i &= \text{tox } L_i & \text{tox } \hat{U}_i^{\text{rel}} &= \text{tox } L_i^{\text{rel}} \\ \text{rsk } \hat{U}_i &= \text{rsk } L_i & \text{rsk } \hat{U}_i^{\text{rel}} &= \text{rsk } L_i^{\text{rel}} \end{aligned}$$

第2のグループ、分かりやすく言いかえると一つのカテゴリの計算では、第1のグループのように簡略化された数式の形にはならない。

$$\begin{aligned} \text{env } \hat{U}_i &= \sqrt{\text{env } B_i \cdot \text{env } L_i} = \sqrt{\text{env } R_i^{\text{rel}} \cdot \text{env } S_i^{\text{rel}}} \\ \text{env } \hat{U}_{\max} &= \max_i \left(\text{env } \hat{U}_i \right) = \max_i \left(\sqrt{\text{env } R_i^{\text{rel}} \cdot \text{env } S_i^{\text{rel}}} \right) \\ \text{env } \hat{U}_i^{\text{rel}} &= \frac{\sqrt{\text{env } R_i^{\text{rel}} \cdot \text{env } S_i^{\text{rel}}}}{\max_i \left(\sqrt{\text{env } R_i^{\text{rel}} \cdot \text{env } S_i^{\text{rel}}} \right)} \end{aligned}$$

最終的な数式(30)は、分子に用いられる最大値を決定するための関数がまだ数式に残ったままである。そのようにして計算した平均値は、分析の途中のステップでの結果について議論する際に有用である。一方、環境負荷を考慮しているエコ効率分析の本質は、式(31)の各製品の正規化総平均値 $\text{tot } \hat{U}_i^{\text{rel}}$ で表される。

$$\text{tot } \hat{U}_i = \sqrt{\text{tot } B_i \cdot \text{tot } L_i} = \sqrt{\text{tot } R_i^{\text{rel}} \cdot \text{tot } S_i^{\text{rel}}} \quad (30)$$

$$\text{tot } \hat{U}_{\max} = \max_i \left(\text{tot } \hat{U}_i \right) = \max_i \left(\sqrt{\text{tot } R_i^{\text{rel}} \cdot \text{tot } S_i^{\text{rel}}} \right)$$

$$\text{tot } \hat{U}_i^{\text{rel}} = \frac{\sqrt{\text{tot } R_i^{\text{rel}} \cdot \text{tot } S_i^{\text{rel}}}}{\max_i \left(\sqrt{\text{tot } R_i^{\text{rel}} \cdot \text{tot } S_i^{\text{rel}}} \right)} \quad (31)$$

8 図示

BASF 社のエコ効率分析の特徴の一つは、中間と最終の結果を、表中の数値としてだけでなく、理解を助けるようなグラフィカルな手法を用いても表現することである。企業内の意思決定のための必要十分条件として、少なくとも二種類の図示の方法が必要である。一つの図示方法は、エコロジカル・フィンガープリントであり、もう一つはエコ効率マップである。

8.1 エコロジカル・フィンガープリント

エネルギー消費 $erg\hat{U}^{rel}$ と原料消費 $mat\hat{U}^{rel}$ 、土地使用 $ind\hat{U}^{rel}$ 、環境排出 $env\hat{U}^{rel}$ 、毒性 $tox\hat{U}^{rel}$ 、リスクポテン(i) シヤル $rsk\hat{U}^{rel}$ に関する正規化されたデータが、六軸のレーダーチャートを作成するのに使用される。このチャートをエコロジカル・フィンガープリントとよぶ。影響カテゴリーの評価値が全評価製品間で最大である製品は、各評価軸の端（レーダーチャートが大きくなる側）に現れ、それ以外の製品は値が相対的に小さくなればなるほど同じ軸の中心に近い所に現れる。このようにして、各製品の相対的な性能を現わす指紋のような評価値の六角形図を得る。あるカテゴリーにおいて相対的に最も悪い性能を示す製品であっても他のカテゴリーにおいては良い性能を示すかもしれないので、別の六角形が重なったり辺が交差したりしていても不思議ではない。

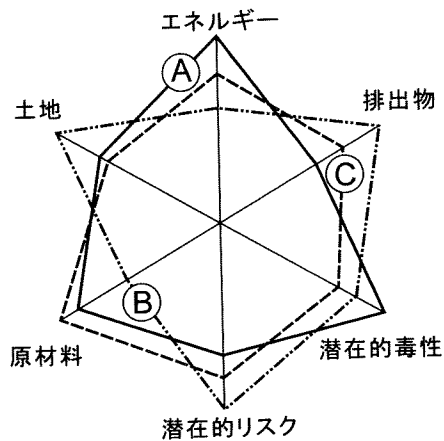


図1: エコロジカル・フィンガープリント

8.2 エコ効率マップ

エコロジカル・フィンガープリントは、調査する製品に関して十分な情報を提供するが、その情報を解釈するのは、企業の中・上層部の人間にとってはまだ非常に難しい。そのうえ、エコロジカル・フィンガープリントは、プロセス、製品、サービスの環境的なパフォーマンスについての情報のみを提供する。BASF 社のエコ効率分析は環境的および経済的情報のもとで意思決定をすることを意図して開発されたので、環境的な情報は環境影響を表す単一値へとさらに集約されなくてはならない。加えて、製品の最終使用者に課せられた金銭的負荷を表すもう一つの値をチャートに導入する。そのようなチャートを作成するために、いくつかの変換計算を行わなければならない。

$$y_m = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} (tot\hat{U}_i^{rel}) \quad y_i = (y_m - tot\hat{U}_i^{rel}) + 1 \quad (32)$$

同様の方法で、末端消費者の相対的な金銭負担（コスト） C_i^{rel} も変換する。

$$x_m = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} C_i^{rel} \qquad x_i = (x_m - C_i^{rel}) + 1 \qquad (33)$$

両方の値は、経済学で一般的に使用されるポートフォリオ図と同様の形式にまとめられる。エコ効率マップとよばれるこのチャートの縦軸は、相対環境影響をあらわす。横軸は相対金銭的負担を表す。環境影響が低くなればなるほど、製品はマップの上の方に位置するようになり、また、金銭的負担が小さくなればなるほど製品はマップの右の方に位置するようになる。 $0 < (tot \hat{U}_i^{rel}) \leq 1, 0 < (C_i^{rel}) \leq 1$ という定義に基づき、変換された値の境界条件は $0 < y_i < 2, 0 < x_i < 2$ となる。エコ効率マップは、長さが2（または2未満）の四角形となる（大きさはスケールに依る）。そして、中心は直交座標系するとき $P_0(1|1)$ に位置する。

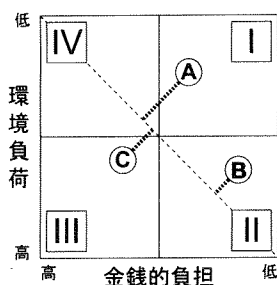


図 2: エコ効率マップ

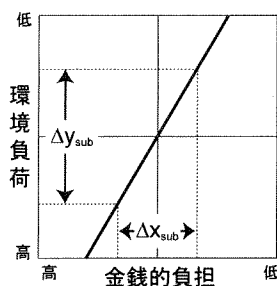


図 3: サブシステムのエコ効率マップ

四角形の大きさは、調査において比較されるプロセス、製品、サービスが実際の国家経済の一部、つまりあるサブシステムを表しているという条件のもとで決定される。分析の対象となっている製品における最高の性能と最低の性能は、それぞれ異なる金銭的負担と環境影響を引き起こす。最大変化 Δx_{sub} と Δy_{sub} の関係はサブシステムの挙動をあらわす関数であり、製品の金銭的負担および環境影響の差によって決定される。環境面で最高の性能を持つ製品は、必ずしも最も金銭的負担が低くなくてはならないというわけではないし、逆も同様である。たとえ、サブシステムが実際の国家経済であったとしても、それとリンクしているわけではなく、独立にふるまう。

国家経済とリンクしたサブシステムを得るためには、四角形の両軸の相対スケールを製品が属する製品グループや産業部門別の国内総生産を比較調査した製品における環境影響を考慮して補正する必要がある。

$$f_{nat} = \frac{y_{nat}}{x_{nat}} \qquad f_{sub} = \frac{y_m}{x_m}$$

$$f_{nat} = f_{BIP} \cdot f_{sub} \qquad f_{BIP} = \frac{f_{nat}}{f_{sub}}$$

国家経済のサブシステムと同調させるために必要な係数 f_{BIP} は、BIP 係数と呼ばれる。

9 おわりに

現在、230 を超えるエコ効率プロジェクトがすでに行われた。この数字は、平均すると約 2 週間ごとに行われる、(分析が) 完了したプロジェクトの発表に基づいている。ドイツでは、この手法は、州当局で利用され、政治家に認知されている。現在では TÜV マーク認定を受けたことによって認知されている BASF 社のエコ効率分析は、ドイツ技術査察機関 (TÜV) によって製品の環境影響と経済影響を評価する 23 の異なる手法の中でも信頼できる手法であると認められた。2002 年にヨハネスブルグで開催された持続可能な発展のサミットで、この概念が発表され、国連機関 UNIDO (国連産業開発機構)、UNEP (国連環境プログラム) によって採択されており、今後は地域労働条件の改善を助けるために 27 の発展途上国の中小規模の企業に導入されるであろう。

参考文献

- [1] Karl-Heinz Feuerherd. Eco-efficiency analysis by BASF—Calculation procedure following the original. Kobe Yamate University Seminar Materials, (3E):1-20, 2003.
- [2] Peter Saling, Andreas Kicherer, Brigitte Dittrich-Krämer, Rolf Wittlinger, Winfried Zombik, Isabell Schmidt, Wolfgang Schrott, and Silke Schmidt. Eco-efficiency analysis by BASF: The method. Int J LCA, 7(4):203-218, 2002.
- [3] Peter Saling and Robert Landsiedel. Assessment of toxicological risks for life cycle assessment and eco-efficiency analysis. Int J LCA, 7(5):261-268, 2002.

