

第2章 MFCA 高度化研究テーマ1 『MFCA と LCA の統合化研究』 (マテリアルフローにおけるコストと環境影響の同時削減の追求)

2-1. 調査概要

(1) 背景

MFCA は、廃棄物になった材料を“負の製品”として、また、それに投入した材料費、加工費などのすべてのコストを“負の製品コスト”として、ロスを物量とコストで明確にする環境管理会計の手法である。多くの MFCA を導入した企業や工場で、MFCA 導入後に従来と異なる切り口での改善が進み、コストダウンが達成できただけでなく、廃棄物の排出量削減と材料使用量削減につながっている。そのため MFCA は、“経済効果追求と環境負荷低減の両立”を進めるための道具であるとされている。

しかし、MFCA の目的である“経済効果追求と環境負荷低減の両立”を、より効果的に追求するためには、MFCA をより積極的に活用し、その環境面の評価を強化・補足するものとして LCA (Life Cycle Assessment) との統合を行なうことが効果的であると思われる。

(2) 目的

MFCA-LCA 統合評価は、MFCA 単独の評価だけでは得られない課題やその優先度を示すというメリットがある。それは具体的には、次のようなものと考えられる。

- MFCA は、企業のものづくりの現場における、材料ロス (MFCA でいう“負の製品”) の削減を狙っている
- MFCA だけの計算では、その製造プロセスの影響負荷や、“負の製品”削減による環境負荷削減効果が、十分に評価できない。それは、MFCA の計算では、マテリアルの物量とコストの計算しか行なわないためである
- MFCA-LCA 統合評価によって、製造プロセスの影響負荷や、“負の製品”削減による環境負荷削減効果を正確に評価できる
- それは、企業の製造段階の環境負荷削減の取り組みを、より環境負荷削減に効果の高いものとするのが期待できる

従って今回、WG1 では、“経済効果追求と環境負荷低減の両立”を、より効果的に追求するために、MFCA と LCA を統合させた計算モデルを構築し、その結果の評価、議論を行うことで、次のような研究のアウトプットを策定することを目指した。

- 1) MFCA と LCA の統合化の価値と意味
- 2) MFCA と LCA を統合した計算結果の評価の視点、考え方
- 3) MFCA と LCA を統合した計算、分析を実施するうえでの課題と対策

(3) MFCA-LCA 統合化調査の調査方法と進め方

本 WG においては、WG 参加企業の協力で、MFCA と LCA の統合計算モデルの事例を作り、その計算結果を WG において評価、議論することで、調査・研究を行なった。

また、今回の研究では、MFCA がその製造段階の材料ロス（MFCA でいう“負の製品”）削減を狙った手法であることから、MFCA と LCA の比較検討に関しては、MFCA 計算における“負の製品コスト”部分に絞って行った。

また、システムコストに関しては、その大きな構成要素である製造設備に関して、その LCA 評価が膨大なものになる。従って、システムコストに関しては、MFCA と LCA の比較対象から除外した。

進め方は、下記の手順によっている。

1) MFCA 計算モデルの準備と、LCA 分析対象の材料、排出物の種類整理

MFCA の計算モデルの提供に協力したのは、サンデン株式会社、田辺製薬株式会社、キヤノン株式会社の 3 社である。

2) MFCA の計算モデルで使用する材料の LCA 実施、LIME 統合化係数の調査

LCA は、統合化評価を行うことをターゲットにおいたため、LCIA（Life Cycle Impact Assessment）まで行うこととし、LCIA の手法としては LIME（Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling）を採用した。LIME 統合化係数の調査は、伊坪委員に依頼した。

3) MFCA-LCA 統合化計算モデルの作成

4) MFCA と LCA の統合計算結果の評価、検討

- ・アウトプットの方式、評価の視点、検討
- ・MFCA-LCA 統合化の適用対象についての検討

5) 報告書まとめ

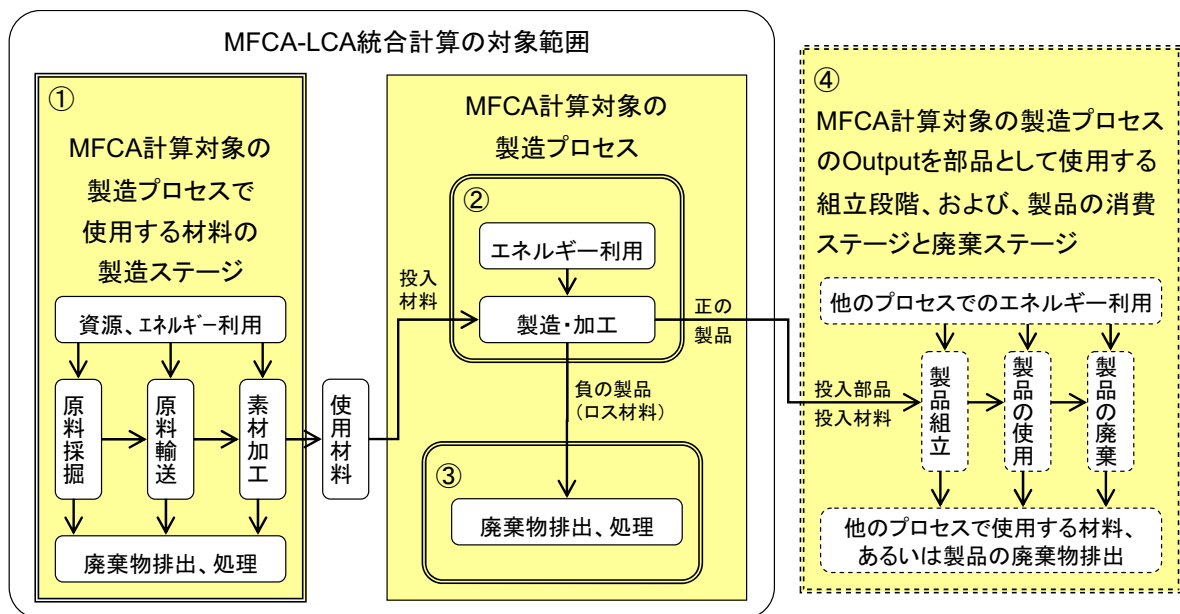
本研究は、MFCA 高度化研究 WG1 において、その内容を討議しながら推進した。WG1 の検討会は、次の 3 回実施した。

- 第 1 回 WG（平成 18 年 8 月 30 日）：研究方針討議、および研究計画、方法の確認
- 第 2 回 WG（平成 18 年 12 月 7 日）：MFCA-LCA 統合評価の計算結果（事例 1 件）の確認、評価視点の検討
- 第 3 回 WG（平成 19 年 1 月 26 日）：MFCA-LCA 統合評価の計算結果（事例 3 件）の確認、および報告書のまとめ検討

2-2. MFCA-LCA 統合計算の考え方と手順

2-2-1. MFCA-LCA 統合計算の LCA 対象範囲と環境影響評価手法（LIME）の概要

今回の研究における LCA の評価対象範囲は、図 2-1 のように、投入材料の製造と廃棄、製造時の廃棄物、エネルギーと排出物の環境影響を対象範囲とした。MFCA 計算対象の製造プロセス以降、たとえば製品組立、製品使用、製品廃棄などのステージは、MFCA-LCA 統合計算モデルの LCA 評価対象範囲から除外した。



（図 2-1 MFCA-LCA 統合計算の対象範囲）

ここで、図 2-1 の二重線で囲んだ範囲、①～④は、MFCA-LCA 統合評価モデルの LCA で考える環境影響に関して、次のような意味を持つ。

① 使用材料の製造段階の環境影響

MFCA 計算対象の製造プロセスに投入する材料が、その原料の採掘段階から、MFCA 対象の製造プロセスに投入されるまでの製造、およびそのステージの中の廃棄物の排出や処理による地球環境への影響

② MFCA 計算対象の製造プロセスの環境影響

MFCA 計算対象の製造プロセスにおける、エネルギーなどの利用、消費による地球環境への影響

③ MFCA 計算対象の製造プロセスの排出物、廃棄物の環境影響

MFCA 計算対象の製造プロセスで発生した廃棄物の処理、および廃棄物の埋め立てや自然界への放出による、地球環境への影響

④ 製品組立段階と、製品の消費段階、廃棄段階の環境影響

製品の消費と廃棄のステージ、および、MFCA の計算対象がある製品のひとつの部品である場合は、その製品組立段階を含めた地球環境への影響

MFCA の計算対象が最終製品である場合は、その使用段階以降のステージの LCA を比較的容易に行うことができるが、組立製品の中のひとつの部品が MFCA の計算対象である場合は、使用段階以降のステージの LCA が難しい。

今回、モデルとした 3 事例のうち 2 事例は、ある製品の部品のひとつにすぎない。従って、この④の範囲は、MFCA と LCA の統合計算時の LCA の評価対象から除外した。

次に、今回の研究の MFCA と LCA 統合評価において活用した LIME について、その概要を紹介する。

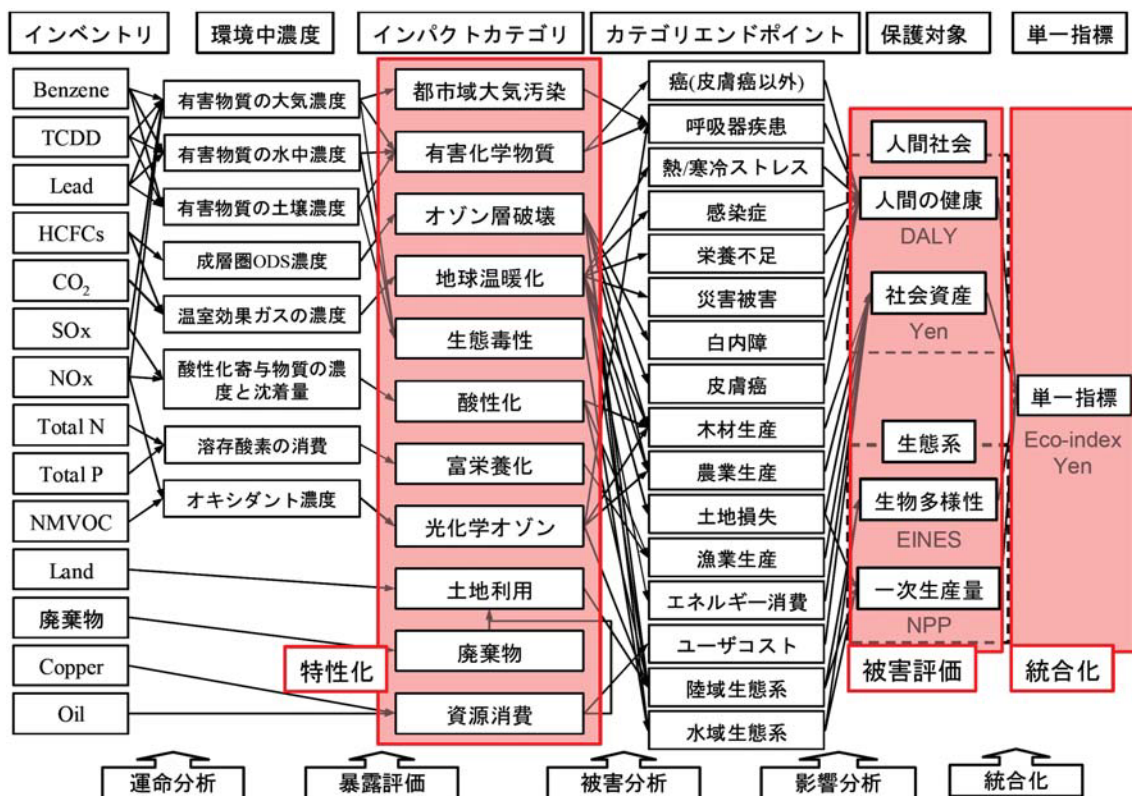
LIME は、産業技術総合研究所ライフサイクルアセスメント研究センターと LCA プロジェクト（正式名：製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発；新エネルギー・産業技術総合開発機構、委託先 産業環境管理協会）との連携を通じて開発された日本版被害算定型環境影響評価手法である。LIME を活用することで、製品が環境に与えている様々な環境影響（被害コスト）を、金額による単一指標に換算することができる。

LIME の概念図を、図 2-2 に示す。LIME では、LCIA を次のステップで行う。

- 1) 環境負荷物質の発生による大気、水などの環境媒体中の濃度変化を分析する(運命分析)
- 2) 環境媒体中における環境負荷物質の濃度の変化によって、人間などのレセプタによる暴露量の変化について分析する(暴露分析)
- 3) 暴露量の増加によるレセプタの潜在的被害量の変化を、被害態様ごとに評価する(被害分析)
- 4) 共通するエンドポイント(例えば人間健康)ごとに、それぞれの被害量を集約する(影響分析)
- 5) 最後にエンドポイント間の重要度を適用させることで、環境影響の統合化指標を得る(統合化)

LIME では、異なる種類の環境負荷物質について、人間健康などのいくつかの共通のエンドポイントに被害量が集約され、最終的に複数のエンドポイント間の重要度が勘案された上で統合化指標が得られる。このとき、疫学や生態学をはじめとする自然科学的知見や、経済学をはじめとする社会科学的知見が活用されている。

また LIME では、多様な利用目的に合致するように、特性化係数、被害係数、および統合化係数の三通りの係数が用意されている。今回の様に、金額による統合化された金額での単一指標を算出するには、インベントリ分析を行った後、各インベントリデータにそれに該当する統合化係数を乗じ、それらをすべて加算することで求められる。



(図 2-2 LIME の概念図 (LCA 日本フォーラムニュース第 34 号より引用))

LIME についての詳細や各種の係数については、「ライフサイクル環境影響評価手法 LIME—LCA,環境会計,環境効率のための評価手法・データベース」(発行: 社団法人産業環境管理協会) に詳しいので、それを参照されたい。また、本報告書第 3 部第 5 章「MFCA 高度化研究テーマ 4 『外部環境経営評価指標としての MFCA の研究』」にも、LIME を含めた適用方法の研究結果が述べられているので、必要に応じて参照していただきたい。

2-2-2. MFCA-LCA 統合評価の手順

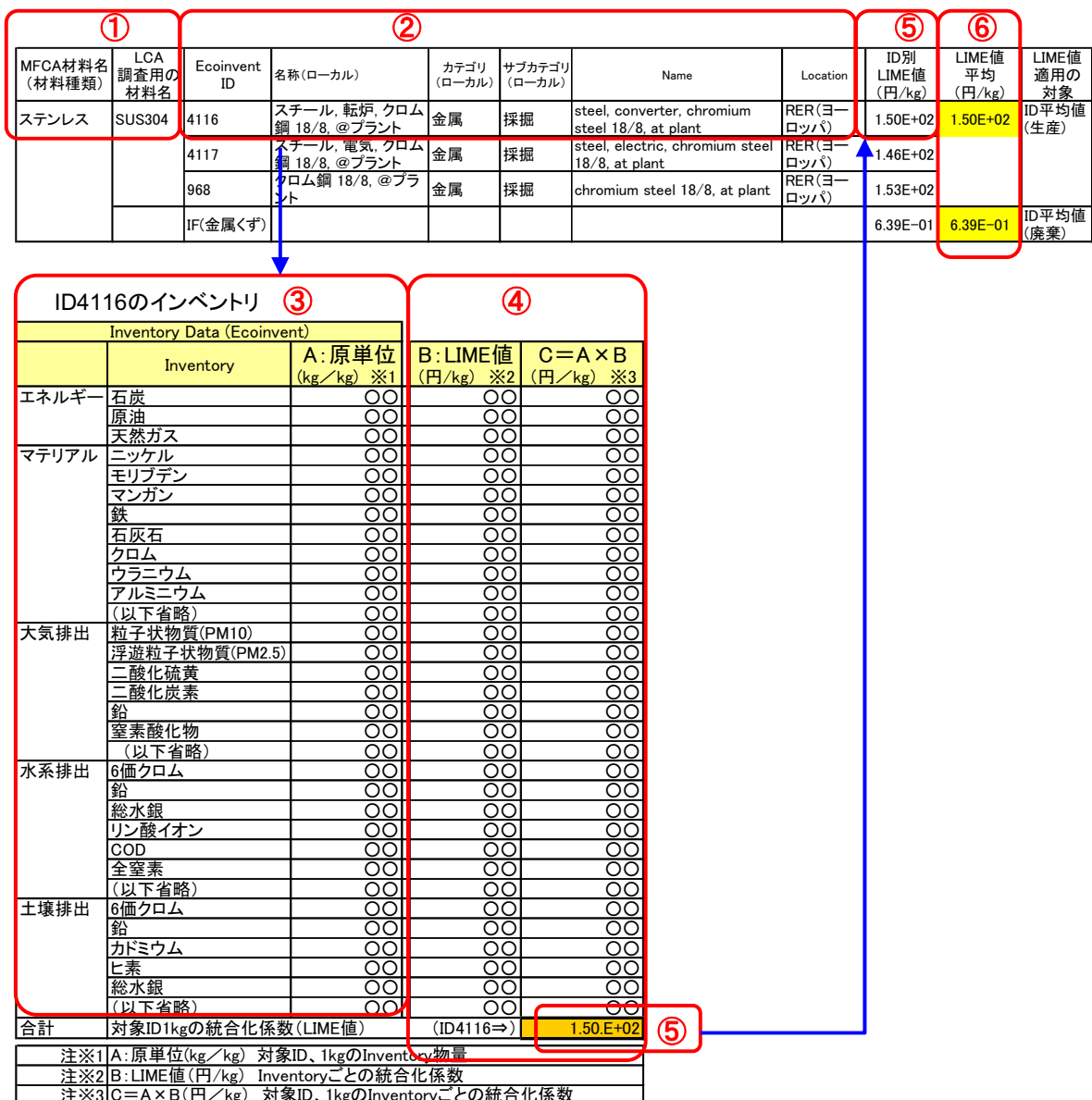
MFCA-LCA 統合評価は、次の手順で行なう。

(1) 材料種類、排出物種類別の LCIA (LIME 統合化係数の算出)

MFCA の計算の中で定義されている材料や廃棄物を、通常の手順で LCA を行う。

まず、それぞれの材料や廃棄物のインベントリ分析、インパクト分析 (LCIA) を実施する。さらに、その結果を元に、LIME のデータベースから、その特性化係数リスト、被害係数リスト、統合化係数リストのデータを引用し、材料種類ごとの“LIME 統合化係数 (円/kg)”を算出する。

その統合化係数の計算は、図 2-3 の①から⑥の手順で行う。



(図 2-3 MFCA で使用する材料の LIME 統合化係数算出までの流れ)

LIME の LCIA の統合化係数 (LIME 値平均) を計算する流れを、ステンレス (SUS304) の例で簡単に説明する。以下の①～⑥は、図 2-3 の①～⑥に対応している。

① データ項目 (投入物/排出物) の明確化

まず、MFCA の計算の中で定義されている、投入材料 (物質) や使用エネルギー、および排出される廃棄物を、次頁の表 2-1 「LCA 対象の投入材料、排出物の一覧表」の format で整理する。(表中の材料名称、成分材料の名称は、記入例)

MFCA 計算の中で定義されている (品種、仕様の) 材料が、そのまま、既存の LCA のインベントリ・データベースの中で定義されていることは、非常に少ない。

従って、MFCA 計算で定義されている材料を、既存の LCA インベントリ・データベースで定義された材料の中から、比較的近いものを探し出し、便宜的にその材料名に置き換えることが多い。右端の列の“LCA 実施上の成分”は、その LCA インベントリ分析のために、置き換えた材料名を記載する。

(表 2-1 LCA 対象の投入材料、排出物の一覧表)

区分		MFCAで定義した品目の物質	詳細な材質、成分など	(LCA実施上の成分)
		(物質や材料の名称)	(品目中の成分材料の名称)	
Input	物質の投入	素材	ステンレス(SUS304)	
		樹脂材料	ABS	
		溶剤	トルエン	
		洗浄剤	表面活性剤	
	水資源の投入			
	エネルギーの投入	電力	東京電力買電	
ガス		LNG		
Output	廃棄物の排出	素材端材	ステンレス(SUS304)	
	大気系への廃棄物の排出	溶剤(揮発)	トルエン	
	水系の廃棄物の排出	排水(所外で浄化処理)	水、表面活性剤	

② インベントリ・データベースの選定と対応データの選定

インベントリ分析を行うにあたって、インベントリ・データベースの選定を行う。インベントリ分析とは、対象となる製品や部品が、原料の採掘から、製造、運搬、使用、処分される過程で消費するエネルギーや、使う資源、排出物などの物質を集計し、分析することである。これらのデータ全てを自ら測定することは、現実的に不可能であるので、バックグラウンドデータといわれるデータベースを活用する。このデータベースには、Ecoinvent、AIST-LCA、産業連関表などがある。

今回は、MFCA と LCA の統合評価が目的であり、また MFCA が製造段階の環境負荷を削減するという目的の手法であるため、ヨーロッパにおけるプロセスを元にしたデータではあるものの、そのデータ量が最も多く、また網羅性が高い Ecoinvent を主に活用した。なお、Ecoinvent に対象とする物質が含まれていない場合は、産業連関表を用いることにした。

Ecoinvent のデータベースの場合、生産、消費、廃棄の段階に区分されて、プロセスとデータが定義されている。例えば、本事例で取り上げる「ステンレス (SUS304 : 18%の Cr と 8%の Ni を含むステンレス鋼)」の場合は、その生産段階 (材料採掘から素材の製造)、およびその廃棄段階における環境影響を考慮する必要がある。

Ecoinvent のデータベースには、材料別に、その成分や製造プロセスの違いによりいくつかの種類データがある。その中から、今回の LCA 分析に適したプロセスのデータを選定し、該当する材料の ID 番号を明確にする。前項①のデータ項目 (今回の事例の場合は SUS304) が、Ecoinvent の中にある成分やプロセスのデータと合致しない場合には、近いもので代替可能な複数のプロセスのデータを対象にして平均を取る等の対応をする。本事例では、後者のやり方で、ID : 4116、ID :

4117、ID968：という3種類のプロセスが該当すると判断した。

③ インベントリ原単位 (kg/kg) の定義

使用する材料（この事例ではステンレス、SUS304：Ecoinvent ID4116）の素材 1kg を作るのに必要なエネルギー、マテリアルの種類と消費量、および大気、水系、土壌などへの排出物質の種類とその排出量を、Ecoinvent のデータベースを用いて定義する。これは原単位（図 2-3 の A、単位は kg/kg）と呼ばれる。このインベントリデータの種類はかなり多く、図 2-3 の③に示したインベントリデータは、その一部である。

④ インベントリ項目毎の LIME 統合化係数 (円/kg) の定義

次にそれらのインベントリが与える環境影響の評価（LCIA、インパクトアセスメント）を行う。今回、LCIA の手法として選んだ LIME には、特性化、被害評価、統合化という3つの係数がある。

そのうち統合化係数を用いると、資源消費や地球温暖化、オゾン層破壊、有害化学物質汚染など、多くのインパクト項目に分かれて定義される環境への影響を、単一指標にすることができる。統合化係数とは、各々のインベントリデータ 1kg の消費もしくは排出による環境影響を、その被害金額で表したものである。LIME の統合化係数（図 2-3 の B）では、円/kg で表される。

インベントリ原単位（図 2-3、A）と LIME 統合化係数（図 2-3、B）を掛け合わせる（A×B）ことで、インベントリデータごとに、その 1kg の消費又は排出の各々のインベントリデータ別の LIME 統合化係数（円/kg）が求められる。

⑤ ID 単位の LIME 統合化係数 (円/kg) の計算

インベントリデータ別の LIME 統合化係数をすべて足し合わせると、Ecoinvent の ID 別の LIME 統合化係数が定義できる。この事例の ID：4116 の素材では、それを 1kg 製造する際の環境影響の被害金額は、LIME 統合化係数、“1.50E+02 円/kg”（図 2-3、⑤）となる。

⑥ MFCA 投入物／排出物の統合化係数

②で述べたように、この SUS304 の事例では、3つの Ecoinvent ID (4116、4117、968) を使って LCA の調査を行っている。この3つの ID の LIME 統合化係数は、それぞれ ID 4116：1.50E+02、ID 4117：1.46E+02、ID 968：1.53E+02 である。従って、SUS304 の製造時の LIME 統合化係数は、その平均：1.50E+02 になる。

SUS304 の廃棄時の LIME 統合化係数も、これと同じ手順で求める。

表 2-1 で定義する他の材料（ABS など）やエネルギーなども、ここで述べた①から⑥と

同じ手順で、それぞれの LIME 統合化係数を求める。

(2) 材料種類、排出物種類別の LIME 統合化係数の整理

(1) の計算結果は、表 2-2「LCA インパクト評価結果まとめ」のように整理する。なお、表中の①～⑥の項目は、以下のような内容である。

(表 2-2 LCA インパクト評価結果まとめ)

材料、 energy 種類	Input: 投入 Process: 使用 Output: 廃棄	MFCA材料名	LCA調査用の 材料名	区分	④～⑥			①	②	③
					Ecoinvent ID	ID別 LIME値 (円/kg)	LIME値 平均 (円/kg)			
主材料	Input	ステンレス	SUS304	生産	4116	1.50E+02	1.50E+02			
	Input				4117	1.46E+02				
	Input				968	1.53E+02				
	Output			廃棄	IF(金属くず)	6.39E-01	6.39E-01			
補助材料	Input	切削油	A重油	生産	1513	6.78E+00	8.04E+00			
	Input				1514	9.31E+00				
	Process				1589	3.30E+01				
	Process			消費	1590	5.96E+01				
	Process				1592	1.42E+00				
	Output			廃棄	IF(廃油)	1.42E+00	1.42E+00			
用益	Input	電力	電力	生産	2081	3.15E+00	3.35E+00			
	Input				2210	3.20E+00				
	Input				2209	3.26E+00				
	Input				2362	3.62E+00				
	Input				2332	3.68E+00				
	Input				2048	3.21E+00				

①Ecoinvent ID : Ecoinvent データベースの ID に対応したプロセスのナンバー

②ID 別 LIME 値 : インパクト評価結果の LIME 統合化係数のこと。その材料の生産、消費、廃棄の段階に分けて、Ecoinvent データベースの ID 別に計算したもの。

③LIME 値平均 : 生産、消費、廃棄それぞれの項目ごとに、Ecoinvent データベースの複数の ID でインベントリ分析を行った場合、ID 別に計算した LIME 統合化係数の平均値を、今回の LIME 統合化係数として使用する。

④区分／生産 : 製造段階（使用する材料の採掘、生産段階）の環境への影響評価

⑤区分／消費 : 燃料消費段階（燃料などが使用される際）の環境への影響評価

⑥区分／廃棄 : 廃棄段階（材料が廃棄物として処理される際）の環境への影響評価

この中で、⑤区分／消費は、図 2-1②の MFCA 計算対象の製造プロセスでエネルギーを消費する際の環境への影響評価である。表 2-2 の MFCA 使用材料の切削油は、LCA 調査用の材料名は A 重油であり、それには⑤区分／消費として、3 つの ID (1580、1590、1592) 別の LIME 統合化係数が記されている。しかしこのケースでは、切削油を燃焼させないため、この 3 つの ID 別の LIME 統合化係数は、使用しない。

ただし、A 重油を燃料として使用する場合の LCIA では、生産段階の LIME 統合化係数の平均値と消費段階の LIME 統合化係数の平均値の合計値を使用する。

(3) MFCA-LCA 統合計算

図 2-4 は、MFCA 計算の中のマテリアルコスト部分の計算の考え方を示している。基本的には、材料の種類別に計算を行なう。この例では、材料は SUS304 だけである。

MFCA計算方法				
物量値の計算 (材料別): 仮定の数値				MFCAコスト計算 (材料別)
材料種類: SUS304 (単位: kg)				材料購入単価: 300 円/kg(仮の数値) (単位: 円)
	工程1	工程2	工程3	工程1 工程2 工程3 合計
新規投入物量	100	0	0	新規投入コスト 30,000.0 0.0 0.0 30,000.0
前工程の引継ぎ物量	0	90	75	前工程の引継ぎコスト 0.0 27,000.0 22,500.0
工程毎の投入物量	100	90	75	工程毎の投入コスト 30,000.0 27,000.0 22,500.0
正の製品物量	90	75	55	正の製品コスト 27,000.0 22,500.0 16,500.0
負の製品物量	10	15	20	負の製品コスト 3,000.0 4,500.0 6,000.0 13,500.0
(単位: kg)				廃棄物処理単価: 5 円/kg (単位: 円)
廃棄物の処理物量	10	15	20	廃棄物の処理 50.0 75.0 100.0 225.0
				MFCA-LIME計算 (材料別)

(図 2-4 MFCA 計算の考え方)

工程ごとに整理した材料別の投入物量、正の製品物量、負の製品物量に、その材料の購入単価を乗じることで、材料費としての投入コスト、正の製品コスト、負の製品コストが計算できる。廃棄物処理費は、廃棄物処理の物量値に、廃棄物処理単価を乗ずれば、同様に廃棄物処理費用が計算できる。

一方、図 2-5 は、MFCA と LIME の統合化計算の考え方を示したものである。

工程ごとに整理した材料別の投入物量、正の製品物量、負の製品物量に、その材料の環境影響統合化係数の LIME 値を乗じることで、投入材料の材料製造段階の LIME 値、正の製品の材料製造段階の LIME 値、負の製品の材料製造段階の LIME 値が計算できる。

このように、MFCA-LIME 統合化計算モデルは、MFCA の計算における材料の購入単価を、その材料の生産時の LIME 値（工程中で消費燃料の場合は、消費時の LIME 値との合計値）に置き換え、廃棄物処理単価をその材料の廃棄処理時の LIME 値に置き換えることで、計算モデルを構築することができる。

MFCA-LIME統合計算方法				
物量値の計算 (材料別): 仮定の数値				MFCA-LIME計算 (材料別)
材料種類: SUS304 (単位: kg)				材料生産LIME: 1.48E+02 円/kg(調査値) (単位: 円)
	工程1	工程2	工程3	工程1 工程2 工程3 合計
新規投入物量	100	0	0	新規投入LIME 14,817.6 0.0 0.0 14,817.6
前工程の引継ぎ物量	0	90	75	前工程の引継ぎLIME 0.0 13,335.9 11,113.2
工程毎の投入物量	100	90	75	工程毎の投入LIME 14,817.6 13,335.9 11,113.2
正の製品物量	90	75	55	正の製品LIME 13,335.9 11,113.2 8,149.7
負の製品物量	10	15	20	負の製品LIME 1,481.8 2,222.6 2,963.5 6,667.9
(単位: kg)				廃棄物処理LIME: 6.39E-01 円/kg(調査値) (単位: 円)
廃棄物の処理物量	10	15	20	廃棄物の処理LIME 6.4 9.6 12.8 28.8

(図 2-5 MFCA-LIME 統合化計算の考え方)

(4) MFCA と LCA の統合計算結果の比較評価

図2-5のMFCA-LCA統合計算の例は、材料が1種類だけの場合の計算の事例であるが、実際には、製造工程の中で複数の材料を投入し、また複数の材料が廃棄物となる。

MFCA の計算と MFCA-LCA の統合計算を比較評価する。比較評価する際には、それぞれの計算結果に関して、次の視点で検討を行う。

- MFCA の計算だけでは導けない課題提起、および問題提起するべきものの有無の確認
- 製造コストで評価する場合と LIME 値で評価する場合の、負の製品コストと廃棄処理コスト、およびその LIME 値で見た課題や問題の大きさの順序の変化

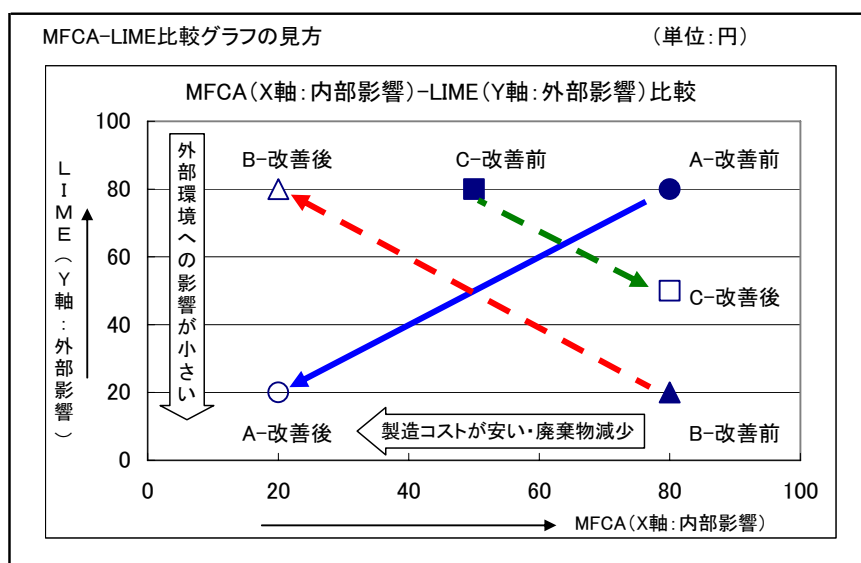
2-3. MFCA-LCA 統合計算、評価事例

2-3-1. MFCA-LCA 統合計算、評価の視点と事例の特徴

今回の MFCA-LCA 統合の計算結果は、図 2-6 に示した散布図を用いて表した。

この散布図は、横軸が MFCA 値 (MFCA 計算の製造コスト、企業内部のコスト)、縦軸がそれに対応した LIME 値 (環境負荷としての被害金額、社会の負担するコスト) を示している。LIME 値に関しては、ポイントで表す方法もあるが、今回は製造コストとの比較を行うため、円 (金額) の単位を用いている。

計算結果をこの図上に表したとき、右側にいくほど製造コストが高く、左側にいくほど製造コストが安くなる。上方に行くほど環境への影響度が大きく、下方に行くほど環境への影響度が小さくなる。



(図 2-6 MFCA-LCA 統合計算、評価の見方)

図 2-6 では、A、B、C、3 つのものに対して、それぞれ改善前後の製造コストと LIME 値を示している。

A は改善により、MFCA 値も LIME 値も小さくなっており、こうした改善が環境と経済の両立を図るための改善といえる。

B は改善により、MFCA 値は小さくなっているが、LIME 値は高くなっている。こうした改善は、環境を犠牲にした経済優先の改善といえ、改善方法として避けるべきものといえる。

C は、改善により、LIME 値は小さくなっているが、MFCA 値は逆に大きくなっている。環境への影響を削減するためだけに、製造コストが高くなるような改善は、通常はなかなか実施できない。法規制が制定されるなどの場合、例えば、重金属などの環境負荷の高い物質が含まれた排水の浄化装置を設置するなどは、こうした改善になると思われる。

今回は、次の 3 社の製品の製造に関する MFCA 計算モデルのデータを使って、MFCA-LCA 統合計算と評価を行なった。3 社の事例の詳細は次節以降で詳細に述べる。

- ・サンデン株式会社：アルミを主材料とした鋳造～切削加工プロセスの MFCA

この事例は、主材料のアルミインゴットを、最初の工程で溶解し鋳造した後、切削するという機械加工の典型的な事例である。この主材料のアルミニウムは、その材料の製造段階で電力を大量に使用し、その環境負荷が非常に大きい材料であることが知られている。

- ・キャノン株式会社：鉄とステンレスを主材料とした加工プロセスの MFCA

この事例は、鉄、ステンレスおよび複数の樹脂材料を原料とする加工品の事例である。材料別に、そのマテリアルコストの単価（円/kg）、および LIME 統合化係数（円/kg）が異なるため、複合材料の加工品の典型的な事例といえる。なお、この事例は、改善前後で、MFCA と LIME の比較評価を行った。

- ・田辺製薬株式会社：医薬品の製造プロセスの MFCA

この事例の MFCA 計算モデルには、非常に多くの医薬品の原材料と、その包装材料が定義されている。医薬品の原材料は、その詳細な成分材料の調査が難しいこともあり、産業連関表にもとづいてインベントリ分析を行い、LIME 統合化係数を求めた事例である。

今回の 3 社の事例では、改善前後の比較を行った事例は、キャノンの事例だけである。そのほかの事例は、現状だけを計算し、改善の方向性やその効果性を検討するための情報となっている。

計算結果の分析対象は、MFCA 値（MFCA 計算の製造コスト）に関しては負の製品の MC（マテリアルコスト）、負の製品 EC（エネルギーコスト）、および廃棄物の処理コスト（リサイクルして売却収益の出る場合も含めて計算）、およびそれぞれに対応した LIME 値（環境負荷としての被害金額）である。

負の製品 SC（システムコスト）とそれに対応した LIME 値は、今回の分析対象に含めなかった。それは、SC の主なものが、製造設備であり、LCA を行うことが時間的に許容できなかったためである。

また、それぞれの事例ともに、図 2-6 のような散布図で表し、分析する際に、次の 5 つの視点で分析を行った。

① MFCA 値と LIME 値の材料種類別の評価

材料の種類別に、MFCA 値（製造コストとしての材料費）と、それに対応した LIME 値（その材料の製造段階の環境負荷としての被害金額）を比較評価した。

② MFCA 値と LIME 値の工程別の評価

工程別に、その MFCA 値（MC、EC、廃棄物処理費の合計）と、それに対応した LIME 値（使用材料と燃料の製造段階、燃料の使用段階、および廃棄物の処理段階、それぞれの環境負荷としての被害金額）を比較評価した。

③ MFCA 値と LIME 値の項目別の評価

負の製品 MC、負の製品 EC、廃棄物の処理コストのコスト項目別に、その MFCA 値と、それに対応した LIME 値を、全工程の合計値で比較評価した。

④ MFCA 値と LIME 値の全体評価

負の製品 MC、負の製品 EC、廃棄物の処理コストの MFCA 値の合計と、それに対応した LIME 値の合計を、全工程の合計値で比較評価した。

⑤ CO₂ 排出量による評価

LIME 値の代わりに、CO₂ 排出量を使って計算し、LIME 値で計算した結果との比較評価、あるいは改善が CO₂ 排出量削減におよぼす効果を評価した。（これは散布図では表していない）

2-3-2. サンデン株式会社の事例

サンデン株式会社の MFCA 計算事例は、主材料がアルミニウム 1 種類で、その他の材料はすべて補助材料である。アルミニウムは、その製造段階で電力などを大量に消費するため、その LIME 値がかなり大きい材料である。また、リサイクルしやすい材料でもあり、この事例でも、（鋳造工程から溶解工程に戻る）工程内リサイクルが行われたり、工場外でのリサイクル（外部委託であり、売上になる）も行われたりしている。

したがって、MFCA-LCA の統合評価を行う際も、その対象は主にアルミニウムになる。特に、リサイクルして売上になる、すなわち製造コストを引き下げること、環境負荷を大きくしていることが読み取れるところが注目すべきポイントと思われる。

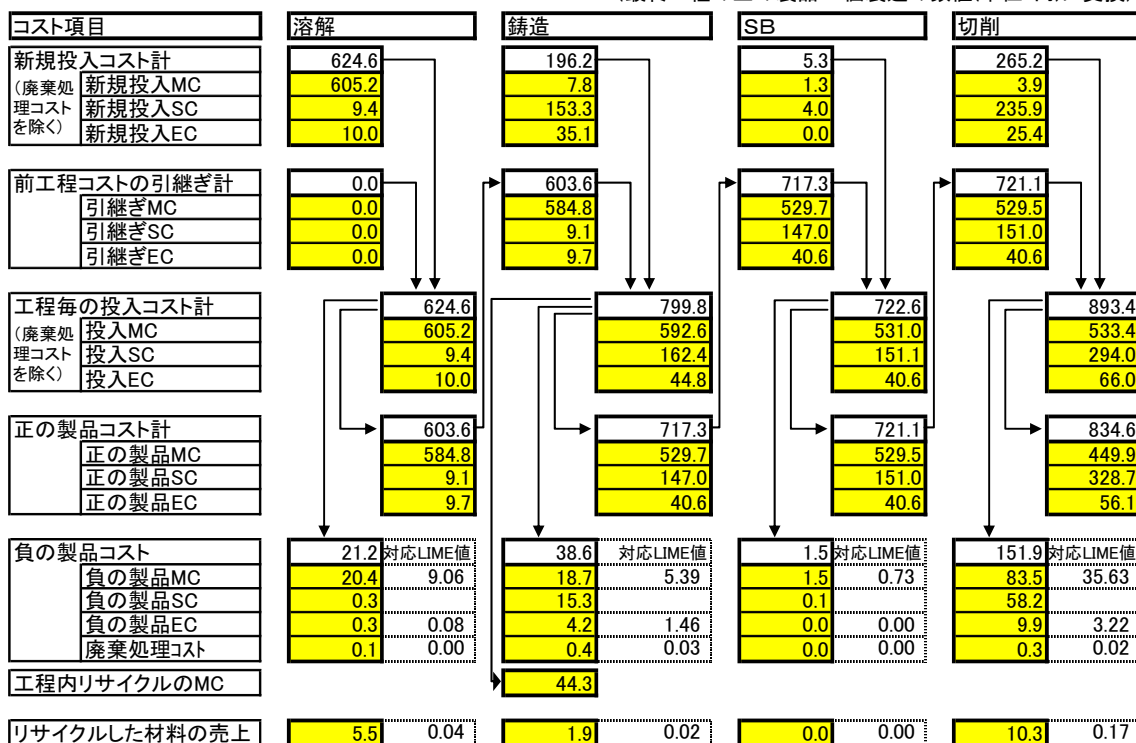
なお、本事例で使用した MFCA の計算では、材料の投入やロス の物量値、および材料の単価などを、架空の数値に置き換えている。

（1）MFCA 計算モデル

MFCA-LCA 統合評価を行った MFCA の計算結果のデータ付フローチャートを、図 2-7 に示す。この計算モデル内で定義されている材料と排出物の LCA を行い、それぞれの環境影響評価指標の係数としての LIME 値を算出した。

MFCA計算結果（データ付フローチャート：工程間統合）

（最終工程の正の製品 1個製造の数値(単位:円)に変換）



（図 2-7 サンデン MFCA-LCA 統合評価事例での MFCA 計算結果）

図 2-7 の“データ付フローチャート”の“負の製品コスト”に、今回の比較評価対象とした負の製品の MFCA 値と LIME 値を、工程別に四角の枠内に記載している。“負の製品 MC（マテリアルコスト）”、“負の製品 EC（エネルギーコスト）”、“廃棄処理コスト”、“リサイクルした材料の売上”のそれぞれの右側に、それぞれに対応した LIME 値を記載した。

なお、“リサイクルした材料の売上”は、廃棄処理を外部業者に委託する際に、リサイクルによって売上が発生する際の売上金額である。これはコストではなく、通常の MFCA の計算では、コストと別に売上としての計算を行ない、コストとリサイクル売却収益の総額評価を行う。しかし今回は、リサイクルによって売上が発生しても、その処理は環境への影響が発生するため、お金を支払う“廃棄処理委託”の中で、マイナスのコスト（すなわち売上）として、表すことにした。

（２）LIME 統合化係数

表 2-3 は、MFCA 計算モデルの中で定義されている使用材料の、LCA 分析の結果得られた材料別の LIME 統合化係数（円/kg）を、整理したものである。

（表 2-3 定義した材料の LIME 統合化係数の値）

工程	材料、energy 種類	MFCA材料名	LCA調査用の材料名	Input: 投入 Process: 使用 Output: 廃棄	区分	Ecoinvent ID	ID別 LIME 値 (円/kg)	LIME 値 平均 (円/kg)
溶解	主材料	アルミインゴット	アルミニウム	Input	生産	934	1.38E+02	1.38E+02
	主材料廃棄物	不良品	アルミニウム	Output	廃棄	IF(産廃、金属くず)	6.39E-01	6.39E-01
溶解	主材料廃棄物	アルミドロス	アルミドロス	Output	廃棄	IF(鉱さい)	6.62E-01	6.62E-01
溶解	主材料廃棄物	鉱さい	鉱さい	Output	廃棄	IF(鉱さい)	6.62E-01	6.62E-01
鑄造	主材料廃棄物	バリ	バリ	Output	廃棄	IF(鉱さい)	6.39E-01	6.39E-01
鑄造	主材料廃棄物	真空ランナー	真空ライナー	Output	廃棄	IF(金属くず)	6.39E-01	6.39E-01
鑄造	主材料廃棄物	ビスケット	ビスケット	Output	廃棄	IF(金属くず)	6.39E-01	6.39E-01
SB	主材料廃棄物	アルミ粉末	アルミ粉末	Output	廃棄	IF(金属くず)	6.39E-01	6.39E-01
切削	主材料廃棄物	アルミ切粉	アルミ切屑	Output	廃棄	IF(産廃、金属くず)	6.62E-01	6.62E-01
鑄造	補助材料	離型材	エマルジョン	Input	生産	1271	3.57E+01	3.57E+01
				Output	廃棄	IF(廃油)	1.42E+00	1.42E+00
鑄造	補助材料	潤滑油	A重油	Input	生産	1513	6.78E+00	8.04E+00
				Input		1514	9.31E+00	
				Output	廃棄	IF(廃油)	1.42E+00	1.42E+00
鑄造	補助材料	作動油	ポリグリコール	Input	生産	6217	2.49E+01	2.49E+01
				Output	廃棄	IF(廃棄)	1.42E+00	1.42E+00
SB	補助材料	ショット粒	SUS304	Input	生産	4116	1.50E+02	1.50E+02
				Input		4117	1.46E+02	
				Input		968	1.53E+02	
				Output	廃棄	IF(金属くず)	6.39E-01	6.39E-01
切削	補助材料	切削油	A重油	Input	生産	1513	6.78E+00	8.04E+00
				Input		1514	9.31E+00	
				Output	廃棄	IF(廃油)	3.98E+01	3.98E+01
切削	補助材料	含浸油	ケイ酸ナトリウム	Input	生産	1230	3.66E+01	3.66E+01
鑄造	廃棄物処理	排水汚泥	排水汚泥	Process	処理	1390	1.03E+01	1.16E+01
				Output	廃棄	IF(その他汚泥)	1.28E+00	
全工程	用益	電力	電力	Input	生産	2081	3.15E+00	3.35E+00
				Input		2210	3.20E+00	
				Input		2209	3.26E+00	
				Input		2362	3.62E+00	
				Input		2332	3.68E+00	
				Input		2048	3.21E+00	
鑄造	用益	灯油	灯油	Input	生産	1519	1.01E+01	2.09E+01
				Input		1520	9.83E+00	
				Process	消費	1601	1.10E+01	生産の平均値と消費の合計
鑄造切削	用益	LPG	LPG	Input	生産	1667	1.06E+01	2.67E+01
				Input		1671	6.37E+00	生産の平均値と消費の合計
				Process	消費	1606	1.82E+01	

補助材料の中の切削油と潤滑油は、A 重油として LCA を行った。従って、その灯油や

LPG と同様、区分項目の中に“消費”が入っていたが、今回の切削油と潤滑油は、燃料としての“消費”は行わないため、この MFCA-LCA 統合モデルでは“消費”の LIME 値は使用しなかった。

一方、灯油と LPG は、燃料として“消費”しているので、生産段階の LIME 値の平均と消費段階の平均の LIME 値の合計値を使用し、廃棄段階の LIME 値は使用しなかった。

(3) 材料別の MFCA-LCA 統合評価

表 2-4 は、表 2-3 で定義した統合化係数の LIME 値を使って、MFCA-LIMA 統合化計算を行なった結果である。溶解、鑄造、SB（ショットブラスト）、切削の 4 工程で、材料種類別に表している。

この MFCA の計算において、最終工程で正の製品が 1,000 個製造される場合の、各工程の負の製品物量（kg）を計算したものをベースにして計算を行なっている。なお、ここでは材料の単価と物量値を、仮定の数値に置き換えている。

(表 2-4 材料別の MFCA-LIMA 統合化計算結果)

MFCA-LIME 比較(工程別・材料別)

(最終工程の正の製品 1000個製造の数値に変換)

MFCA負の製品 材料別比較		負の製品物量(kg、電力はkWh)					負の製品MFCAコスト(千円)					負の製品LIME値(千円)					
		溶解	鑄造	SB	切削	合計	溶解	鑄造	SB	切削	合計	溶解	鑄造	SB	切削	合計	
主材料の	アルミニウム(廃棄物発生量)	65.8	177.9	0.6	256.8	501.1	20.40	55.15	0.18	79.61	155.33	9.06	24.49	0.08	35.35	68.98	
	材料ロス		-142.9			-142.9		-44.29			-44.29		-19.67			-19.67	
(A)	負の製品	アルミニウム(負の製品)	65.8	35.0	0.6	256.8	358.2	20.40	10.86	0.18	79.61	111.05	9.06	4.82	0.08	35.35	49.32
		作動油		5.9		5.9		1.48			1.48		0.15			0.15	
		潤滑油		4.9		4.9		0.99			0.99		0.04			0.04	
		離型材		10.7		10.7		5.37			5.37		0.38			0.38	
		ショット粒			4.4	4.4			1.31		1.31			0.65		0.65	
		切削油				4.5	4.5			0.89	0.89				0.04	0.04	
		潤滑油				6.7	6.7			1.67	1.67				0.05	0.05	
		作動油				0.9	0.9			0.23	0.23				0.02	0.02	
		含浸材				4.5	4.5			1.12	1.12				0.16	0.16	
		小計	65.8	56.6	4.9	273.3	400.7	20.40	18.69	1.48	83.52	124.09	9.06	5.39	0.73	35.63	50.81
(B)	負の製品	鋳さい(アルミ:処理費用)		0.2		0.2		0.10			0.10		0.00			0.00	
		アルミロス(アルミ:売却)		65.6		65.6		-5.51			-5.51		0.04			0.04	
		バリ(アルミ:売却)		21.9		21.9		-1.42			-1.42			0.01		0.01	
		アルミ粉(アルミ:売却)		13.1		13.1		-0.53			-0.53			0.01		0.01	
		アルミ粉末(アルミ:売却)			0.6	0.6			-0.00		-0.00			0.00		0.00	
		切粉(アルミ:売却)			130.1	130.1				-5.21	-5.21				0.09	0.09	
		不良品(アルミ:売却)				126.7	126.7				-5.07				0.08	0.08	
						0.0											
		作動油		5.9		5.9		0.11			0.11		0.01			0.01	
		潤滑油		4.9		4.9		0.09			0.09		0.01			0.01	
		離型材		10.7		10.7		0.20			0.20		0.02			0.02	
		ショット粒			4.4	4.4			-0.02		-0.02			0.00		0.00	
		切削油				4.5	4.5			0.08	0.08				0.01	0.01	
		潤滑油				6.7	6.7			0.13	0.13				0.01	0.01	
		作動油				0.9	0.9			0.02	0.02				0.00	0.00	
	含浸材				4.5	4.5			0.04	0.04				0.01	0.01		
	小計	65.8	56.6	4.9	273.3	400.7	-5.41	-1.54	-0.02	-10.00	-16.97	0.04	0.05	0.00	0.19	0.29	
(C)	負の製品	電力(kWh)	0.0	195.9	0.6	589.7	786.3	0.00	2.35	0.01	7.08	9.44	0.00	0.66	0.00	1.98	2.64
	エネルギー	灯油(kg)	3.9	10.4	0.0	15.0	29.4	0.34	0.91	0.00	1.32	2.57	0.08	0.22	0.00	0.31	0.61
		LPG(kg)	0.0	21.8	0.1	34.6	56.4	0.00	0.94	0.00	1.50	2.45	0.00	0.58	0.00	0.93	1.51
		小計						0.34	4.21	0.01	9.89	14.45	0.08	1.46	0.00	3.22	4.76
総計							15.33	21.36	1.47	83.41	121.57	9.18	6.90	0.74	39.04	55.86	

この表の中の 2 行目の材料“アルミニウム（工程内リサイクル量）”は、発生した廃棄物のうち、最初の溶解工程に戻り材料として再投入されるものを表している。従って、負の製品の 1 行目の材料“アルミニウム（負の製品）”は、“アルミニウム（廃棄物発生量）”から、“アルミニウム（工程内リサイクル量）”を相殺したものである。

表中の(A)“負の製品”では、工程ごとに、負の製品物量値、およびそれに材料別の購入

単価を乗じた負の製品コスト（MFCA 値）、材料別の LIME 値を乗じた負の製品 LIME 値を計算している。

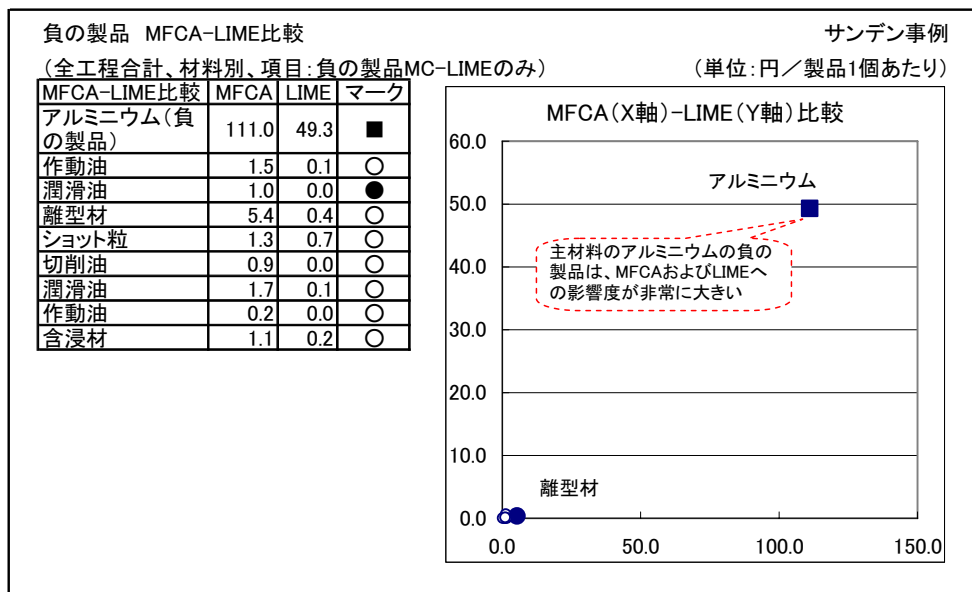
表中の(B)“負の製品廃棄処理”では、工程内でリサイクルされないで排出される負の製品を、廃棄物の種類別に物量値、廃棄処理コスト、廃棄処理の LIME 値を計算している。

このうち、アルミドロス、バリなど、アルミ材料の廃棄物の多くは、リサイクル材料として売却され、廃棄処理コストとしては売却価格であるマイナス値を示している。通常、MFCA の計算において、売却される廃棄物はコストに計上しない。しかし MFCA-LIME 統合計算においては、売却される材料もその廃棄処理段階で環境に影響を与え、その負荷が LIME 値として計算されている。従って、通常はコスト計算に含めない廃棄物の売却価格も負のコストとして計算に含めることにした。

表中の(C)“負の製品エネルギー”では、それぞれの負の製品エネルギー量、それにエネルギー種類別の購入単価を乗じた負の製品エネルギーコスト、エネルギー種類別の LIME 値を乗じた負の製品エネルギーの LIME 値を計算している。負の製品エネルギー量は、投入エネルギー量に、MFCA 計算における負の製品比率を乗じて計算した。

図 2-8 は、表 2-4 の負の製品 (A) の材料の MFCA 値と LIME 値を比較するために、散布図上に、材料種類別にプロットしたものである。主材料のアルミニウムが、MFCA 値に関しても、LIME 値に関しても、その要因の大部分を占めていることがわかる。

従ってこの製品の製造に関しては、主材料のアルミニウムの材料ロスを削減することが、製造コストを削減することであり、かつ環境負荷を削減することであるといえる。



(図 2-8 材料別の MFCA-LIME 値の比較)

(4) 工程別、項目別、全体の MFCA-LCA 統合評価

表 2-5 は、(3) で計算した材料別、工程別の計算を、工程別にまとめたものである。

通常の MFCA 計算では、リサイクルとして売却される（売上になる）材料は、コストと別に、その売上が計上される。

一方、MFCA-LCA 統合計算においては、リサイクルとして売上になるものでも、廃棄処理費用のかかるものと同様に、環境への負荷がかかり、LIME 値が同じように計上されている。従って (1) でも述べたように、この計算においては、リサイクルとして売上になるものはマイナスのコストとして、MFCA のコスト計算に含めて表すようにしている。

(表 2-5 工程別の MFCA-LIME 統合化計算結果)

MFCA-LIME 比較(工程別)

(最終工程の正の製品 1個製造の数値に変換)

(単位:円/製品1個あたり)

通常のMFCA計算		溶解	鋳造	SB	切削	全工程合計	
負の製品のMFCAコスト	負の製品マテリアルコスト	20.40	18.69	1.48	83.52	124.09	139.33
	負の製品エネルギーコスト	0.34	4.21	0.01	9.89	14.45	上の数値にはリサイクル材
	負の製品の廃棄処理コスト	0.10	0.41	0.00	0.27	0.78	料の売上は含まれない
	リサイクルした材料の売上(マイナスのコスト)	-5.51	-1.95	-0.02	-10.27	-17.75	
小計(コスト-リサイクル材料の売上)		15.33	21.36	1.47	83.41	121.57	
MFCA-LCA統合計算		溶解	鋳造	SB	切削	全工程合計	
負の製品に関わるLIME値	負の製品の材料生産-LIME	9.06	5.39	0.73	35.63	50.81	55.86
	負の製品エネルギー-LIME	0.08	1.46	0.00	3.22	4.76	上の数値には、リサイクル
	負の製品の廃棄処理-LIME	0.00	0.03	0.00	0.02	0.05	材料処理のLIME値が含ま
	リサイクル材料処理LIME値	0.04	0.02	0.00	0.17	0.24	れる
小計(LIME値)		9.18	6.90	0.74	39.04	55.86	

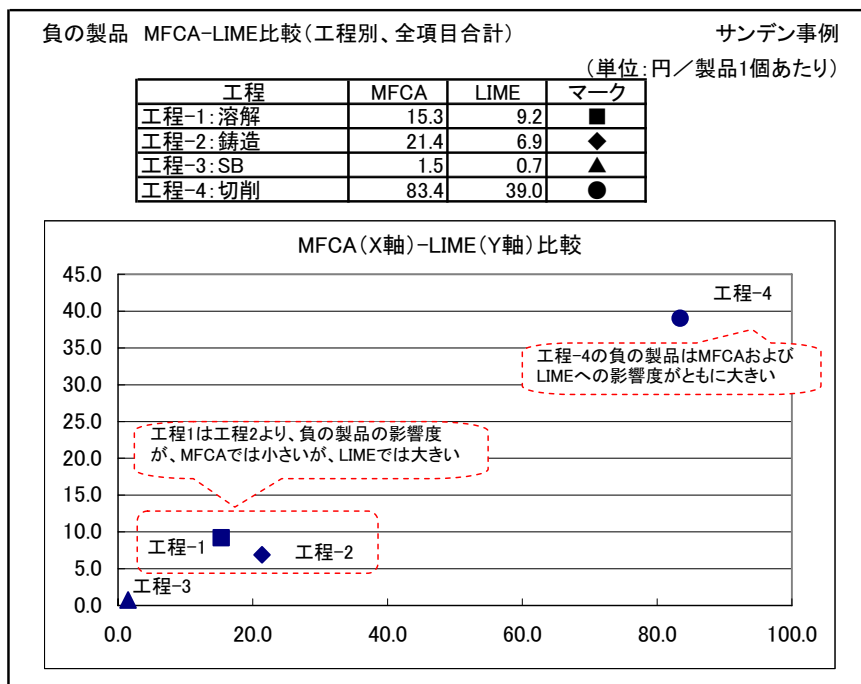
図 2-9 は、表 2-5 の MFCA 値を散布図の横軸 (X 軸) に、LIME 値を散布図の縦軸 (Y 軸) に、工程別にプロットしたものである。

この製品の製造では、(3) で述べたように、MFCA 値、LIME 値、どちらに関しても、主材料のアルミニウムがその要因のほとんどを占めている。

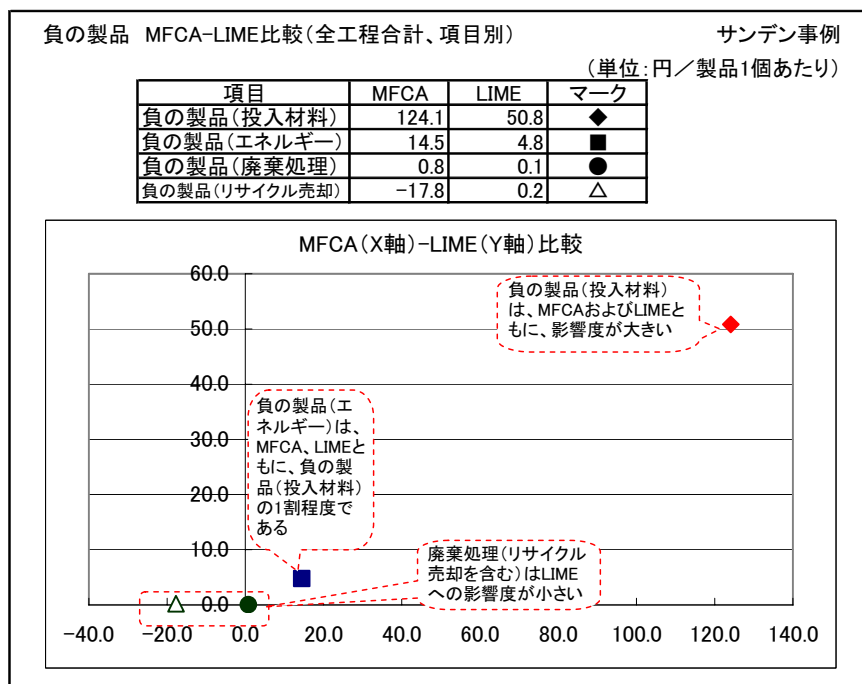
図 2-9 の工程別の散布図を見ると、主材料のアルミニウムの負の製品の発生量 (kg) が最も大きい工程-4 の切削工程で、負の製品の MFCA 値、LIME 値ともに、最も大きい数値になっている。

また、工程 1 は工程 2 より、負の製品の MFCA 値では小さいが、LIME 値では大きくなっている。これは、溶解工程の主材料アルミニウムのロスが外部リサイクルによって売上になり、製造コストとしては MFCA 値を引き下げるが、環境面では LIME 値を引き上げることによる影響である。

図 2-10 は、表 2-5 の MFCA 値、LIME 値を、負の製品の“投入材料”、“エネルギー”、“廃棄処理”、“リサイクル売却”の項目別に、その MFCA 値と LIME 値を散布図上にプロットしたものである。



(図 2-9 工程別の MFCA-LIME 値の比較)



(図 2-10 項目別の MFCA-LIME 値の比較)

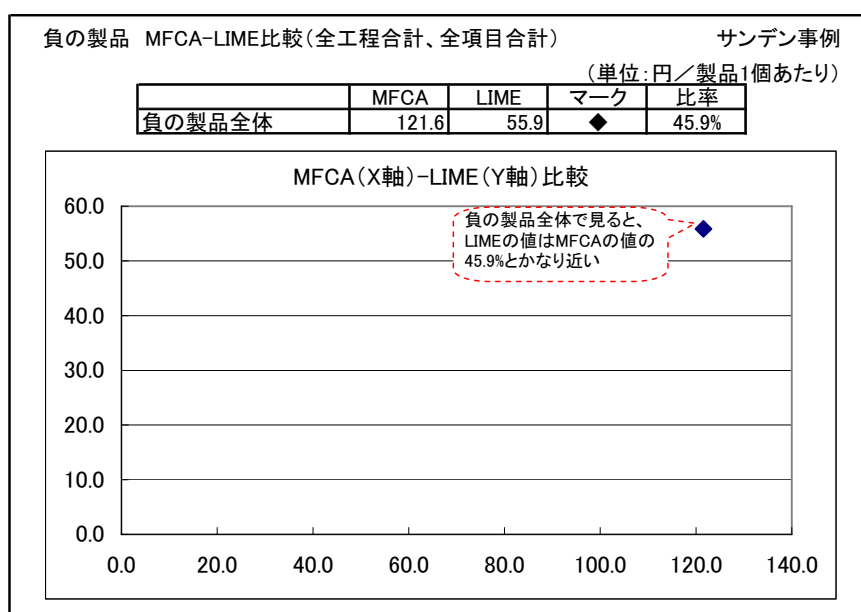
ここでは、負の製品の“投入材料”に関する MFCA 値、LIME 値が最も大きくなっている。この製品の製造では、アルミニウムの溶解、鋳造という比較的エネルギーを大量に使用する工程が含まれているが、それでも負の製品の“エネルギー”は、MFCA 値、LIME 値ともに、“投入材料”の MFCA 値、LIME 値の 1 割程度となっている。

負の製品の“廃棄処理”は、上記の 2 項目に比較すると非常に小さい。負の製品の“リサイクル売却”は、会計的には（コストを相殺する）売上になり、マイナスのコストとして現れている。LIME 値では、値は小さいもののプラスで表れ、リサイクルといえども環境に負荷を与えていることを示している。

図 2-11 は、負の製品全体の MFCA 値と LIME 値を散布図上にプロットしたものである。

負の製品全体では、MFCA 値（負の製品コストトータル：製造コストのロス）121.6 円に対して、LIME 値（負の製品の環境への負荷トータル：社会的コスト）は 55.9 円となっており、LIME 値は MFCA 値の 45.9%となっている。

この製品の製造における負の製品（材料のロス）が、製品 1 個あたり 121.6 円の製造コストのロスになり、かつ 55.9 円の社会的なコストにつながっているという意味である。



(図 2-11 全体の MFCA-LIME 値の比較)

(5) 環境影響を CO₂ 排出量で評価

(表 2-6 CO₂ 排出量で MFCA-LCA 統合評価した結果)

CO₂排出量換算のマテリアルフローコストマトリックス(工程間統合)

最終工程の正の製品重量 =1.451 ton/1000個

(CO₂排出量 単位 ton-CO₂、製品1000個製造あたり)

	マテリアル コスト	エネルギー コスト	システム コスト	廃棄処理 コスト	計
良品 (正の製品)	13.888 66.1%	2.910 13.8%			16.798 79.9%
マテリアルロス (負の製品)	3.501 16.7%	0.726 3.5%			4.227 20.1%
廃棄/リサイクル				0.000 0.0%	0.000 0.0%
小計	17.389 82.7%	3.637 17.3%		0.000 0.0%	21.025 100.0%

表 2-6 は、図 2-7 の MFCA 計算を、材料、エネルギー種類別のコスト単価の代わりに、材料、エネルギー種類別の CO₂ 排出量で計算を行なった計算結果を、マテリアル・フローコスト・マトリクスで表したものである。

表 2-6 を見ると、この製品製造で使用する材料の環境影響（図 2-1 の①）を CO₂ 排出量に換算すると、製品 1000 個あたりで 17.389 ton・CO₂ と計算できる。MFCA 計算対象の製造プロセスにおける燃料消費（図 2-1 の②）の環境影響は、CO₂ 排出量に換算すると 3.637 ton・CO₂ と計算される。廃棄処理段階（図 2-1 の③）の環境影響は、CO₂ 排出量に換算するとゼロとなっている。

このケースの場合、電力や LPG などのエネルギー使用設備の省エネ改善が 10%の省エネ効果があると仮定すると、CO₂ 排出量削減効果として 0.364ton・CO₂ になると推定される。

一方、表 2-6 のマテリアルロス（負の製品）部分を、MFCA の工程別、項目別に表したものが表 2-7 である。そのマテリアルロスの環境影響を CO₂ 排出量に換算すると 4.227 ton・CO₂ と計算される。

表 2-7 の最終工程（切削）のアルミ廃棄物の発生量は 256.8kg（製品 1000 個製造あたり）という数値になっている。表 2-8 は、それを 227.1kg へと 10%削減したと想定した場合の計算結果である。この場合のマテリアルロスの環境影響を CO₂ 排出量に換算すると 3.861ton・CO₂ になる。その削減効果は、0.366ton・CO₂ と計算される。

（表 2-7 CO₂ 排出量に換算した改善前のマテリアルロスの環境影響）

改善前		溶解 発生CO2	鋳造 発生CO2	SB 発生CO2	切削 発生CO2	全工程合計 発生CO2
負の製品 CO2(ton)	負の製品MC	0.630	0.377	0.025	2.469	3.501
	負の製品EC	0.000	0.211	0.001	0.515	0.726
	廃棄処理コスト	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
リサイクル材料処理CO2(ton)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
合計		0.630	0.587	0.026	2.984	4.227

（表 2-8 CO₂ 排出量に換算した改善後のマテリアルロスの環境影響）

改善後		溶解 発生CO2	鋳造 発生CO2	SB 発生CO2	切削 発生CO2	全工程合計 発生CO2
負の製品 CO2(ton)	負の製品MC	0.619	0.370	0.025	2.185	3.198
	負の製品EC	0.000	0.207	0.001	0.455	0.663
	廃棄処理コスト	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
リサイクル材料処理CO2(ton)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
合計		0.619	0.577	0.025	2.640	3.861

この結果を見ると、この製品の製造の場合、エネルギー設備における 10%の省エネは、切削工程の材料ロスの 10%削減（この計算の場合では、材料投入量の 1.7%削減に相当する）と、CO₂ 排出量削減効果として同等である。この製品における材料ロスの削減は、CO₂ 排出量削減に非常に効果の大きな取り組みであるといえる。

（6）MFCA-LCA 統合評価結果の全体考察

（3）（4）（5）の結果を要約すると、次のようになる。

① MFCA 値と LIME 値の材料種類別の評価

この製品の製造に関しては、主材料のアルミニウムの材料ロスを削減すること
が、製造コストを削減することであり、かつ環境負荷を削減することであるとい
える。

② MFCA 値と LIME 値の工程別の評価

主材料のアルミニウムの負の製品の発生量が最も大きい工程-4で、MFCA 値、
LIME 値ともに、最も大きい数値になっている。

工程-1 は工程-2 より、負の製品の MFCA 値では小さいが、LIME 値では大きい
数値になっている。これは外部リサイクルによる廃棄物の売却の影響である。

③ MFCA 値と LIME 値の項目別の評価

この製品の製造では、負の製品の“エネルギー”の MFCA 値、LIME 値は、負
の製品の“投入材料”の MFCA 値、LIME 値の、それぞれ 1 割程度である。

④ MFCA 値と LIME 値の全体評価

この製品の製造においては、負の製品（材料のロス）が、製品 1 個あたり 121.6
円の製造コストのロスになり、55.9 円の社会的なコストにつながっている。

⑤ CO₂ 排出量による評価

この製品の製造の場合、材料ロスの削減は、CO₂ 排出量削減に非常に効果の大
きな取り組みである。

MFCA-LCA 統合評価として、材料やエネルギーの単価を、LIME 統合化係数（円/kg）
に置き換えた計算、あるいは CO₂ 排出量の原単位（ton・CO₂/kg）に置き換えた計算から、
上記の①～⑤のような結論が導き出せた。

この事例の場合、上記のことは、製造プロセスにおける主材料であるアルミニウムのロ
ス削減が、環境負荷低減とコストダウンを両立させる取り組みとして、非常に有効である
ことを示している。

また、この事例の場合、材料のロス削減の改善とエネルギー設備の省エネ改善の効果を
比較し、その製造コスト面、環境面の両面から、その取り組みの重要性を判断する情報と
しても、価値が大きいと思われる。

2-3-3. キヤノン株式会社の事例

キヤノン株式会社の用意した MFCA の計算モデルでは、改善前後の物量値の変化、MFCA の計算値の変化、MFCA-LCA 統合計算値の変化を比較した。

なお、本事例で使用した MFCA の計算では、材料の投入やロス物の物量値、および材料の単価などを、架空の数値に置き換えている。

(1) MFCA 計算モデル

MFCA-LCA 統合評価を行った MFCA の計算結果のデータ付フローチャートを、図 2-12 に示す。この計算モデル内で定義されている材料と排出物の LCA を行い、それぞれの環境影響評価指標の係数としての LIME 値を算出した。

なお、この MFCA の計算においては、最終工程で正の製品が 1,000kg 製造される場合の各工程の負の製品物量を計算したものに換算して、計算を行なっている。

また、ここでは材料の単価と物量値を、仮定の数値に置き換えている。また、この図のシステムコストのデータに関しては、表示から除外している。

なおこの事例では改善前後の比較を行っているが、図 2-12 は、改善前のものである。

改善前MFCA計算結果(データ付フローチャート: 工程間統合)

(最終工程の正の製品 1kg製造の数値(単位:円)に変換)

コスト項目	工程 I	工程 II	工程 III
新規投入コスト計	464.9	8.8	2.5
新規投入MC	451.6	0.0	0.0
新規投入SC	0.0	0.0	0.0
新規投入EC	13.4	8.8	2.5
前工程コストの引継ぎ計	0.0	423.7	414.4
引継ぎMC	0.0	410.8	393.1
引継ぎSC	0.0	0.0	0.0
引継ぎEC	0.0	12.9	21.3
工程毎の投入コスト計	464.9	432.5	416.9
投入MC	451.6	410.8	393.1
投入SC	0.0	0.0	0.0
投入EC	13.4	21.7	23.7
正の製品コスト計	423.7	414.4	380.3
正の製品MC	410.8	393.1	358.7
正の製品SC	0.0	0.0	0.0
正の製品EC	12.9	21.3	21.6
負の製品コスト	43.9 対応LIME値	19.2 対応LIME値	39.4 対応LIME値
負の製品MC	40.8 2.28	17.7 0.42	34.4 10.33
負の製品SC	0.0	0.0	0.0
負の製品EC	0.5 0.14	0.4 0.11	2.1 0.60
廃棄処理コスト	2.7 0.19	1.1 0.06	2.8 0.07

(図 2-12 キヤノン MFCA-LCA 統合評価事例での MFCA 計算結果、改善前)

この研究では、負の製品部分に関する MFCA 値と LCA 値の比較を、改善前後で行っている。この改善前後の MFCA 計算における負の製品の物量値を表 2-10 で整理している。

(2) LIME 統合化係数

表 2-9 は、MFCA 計算モデルの中で定義されている使用材料の LCA 分析の結果得られた、材料別の LIME 統合化係数 (円/kg) を整理したものである。

(表 2-9 定義した材料の LIME 統合化係数の値)

材料、energy 種類	MFCA材料名	LCA調査用の材料名	Input:投入 Process:使用 Output:廃棄	区分	Ecoinvent ID	ID別 LIME値 (円/kg)	LIME値 平均 (円/kg)
主材料	鉄	鉄	Input	生産	1150	5.75E+01	4.73E+01
					1151	3.68E+01	
					1154	4.76E+01	
			Output	廃棄	IF(金属くず)	6.39E-01	6.39E-01
主材料	ステンレス	ステンレス	Input	生産	1149	1.50E+02	1.48E+02
					1152	1.46E+02	
					IF(金属くず)	6.39E-01	6.39E-01
			Output	廃棄	IF(金属くず)	6.39E-01	6.39E-01
主材料	ポリオール、 イソシアネート	ウレタン	Input	生産	1838	6.07E+01	5.68E+01
					1839	5.30E+01	
					IF(廃プラスチック)	3.94E+00	3.94E+00
			Output	廃棄	IF(廃プラスチック)	3.94E+00	3.94E+00
主材料	EPDM計ゴム材	ゴム	Input	生産	1847	5.89E+00	5.89E+00
					IF(ゴムくず)	2.27E+00	2.27E+00
					1676	4.43E+00	4.43E+00
			Output	廃棄	IF(不明・一律)	1.18E+00	1.18E+00
副材料	接着剤エラストマ、 炭化水素系溶剤	トルエン	Input	生産	1676	4.43E+00	4.43E+00
補助材料	メチルエチルケトン、 トルエン	トルエン	Input	生産	1676	4.43E+00	4.43E+00
補助材料	メチルエチルケトン、 トルエン	トルエン	Output	廃棄	VOCとして大気排出	1.97E+01	1.97E+01
用益	電力	電力	Input	生産	2081	3.15E+00	3.35E+00
					2210	3.20E+00	
					2209	3.26E+00	
					2362	3.62E+00	
					2332	3.68E+00	
					2048	3.21E+00	

複数種類ある主材料の中でもステンレスは、生産段階の LIME 統合化係数が 1.48E+02 円/kg となっており、他の使用材料と比べて、特に LIME 統合化係数の高い材料である。

その他、ウレタンの生産段階 (5.68E+01)、鉄の生産段階 (4.73E+01) は、その他の材料よりも比較的 LIME 統合化係数の高い材料であるといえる。

(3) 材料別の MFCA-LCA 統合評価

表 2-10 は改善前後の負の製品物量の変化を整理したものである。

(表 2-10 材料別、工程別の負の製品物量値の変化)

		(最終工程の正の製品 1000kg製造の数値に変換)							
		改善前				改善後			
		負の製品物量(kg、電力はkWh)				負の製品物量(kg、電力はkWh)			
MFCA負の製品 材料別比較		工程 I	工程 II	工程 III	合計	工程 I	工程 II	工程 III	合計
負の製品	鉄	0.000	0.000	31.216	31.216	0.000	0.000	23.131	23.131
	ステンレス	0.000	0.000	59.031	59.031	0.000	0.000	49.631	49.631
	ポリオール	36.251	5.447	1.446	43.144	3.390	2.568	1.074	7.032
	イソシアネート	2.172	0.328	0.091	2.591	0.204	0.150	0.064	0.419
	EPDM系ゴム材	3.953	15.308	3.645	22.906	2.955	9.885	3.067	15.907
	接着剤エラストマ	0.000	0.000	0.007	0.007	0.000	0.000	0.005	0.005
	炭化水素系溶剤	15.797	0.000	0.000	15.797	15.503	0.000	0.000	15.503
	メチルエチルケトン	0.419	0.000	0.000	0.419	0.414	0.000	0.000	0.414
	トルエン	0.237	0.000	0.000	0.237	0.231	0.000	0.000	0.231
小計		58.829	21.083	95.436	175.348	22.696	12.604	76.974	112.274
									63.075

主材料の鉄、ステンレス、ポリオール、イソシアネート、EPDM 系ゴム材、ほとんどす

すべての材料で、負の製品物量が少なくなっている。

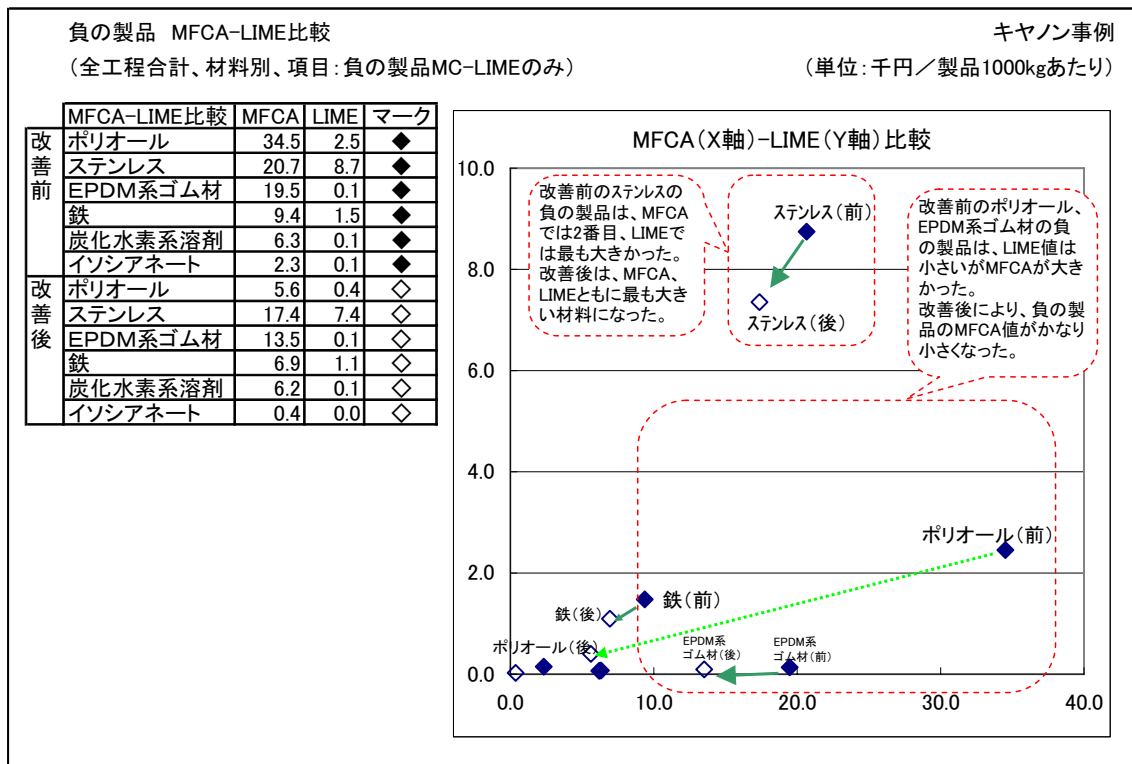
表 2-11 は、負の製品に関する MFCA 値と LIME 値を、材料別に計算した結果である。

(表 2-11 材料別の MFCA、LIME 計算結果：改善前後の比較)

(最終工程の正の製品 1000kg製造の数値に変換、単位千円)

		MFCA計算結果 改善前後比較			LIME計算結果 改善前後比較		
MFCA負の製品 材料別比較		負の製品コスト 改善前	負の製品コスト 改善後	負の製品コスト 変化	負の製品LIME 改善前	負の製品LIME 改善後	負の製品LIME 変化
負の製品	鉄	9.36	6.94	2.43	1.48	1.09	0.38
	ステンレス	20.66	17.37	3.29	8.75	7.35	1.39
	ポリオール	34.52	5.63	28.89	2.45	0.40	2.05
	イソシアネート	2.33	0.38	1.95	0.15	0.02	0.12
	EPDM系ゴム材	19.47	13.52	5.95	0.14	0.09	0.04
	接着剤エラストマ	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
	炭化水素系溶剤	6.32	6.20	0.12	0.07	0.07	0.00
	メチルエチルケトン	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
	トルエン	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
	小計	92.83	50.20	42.64	13.03	9.04	3.99
負の製品廃棄 処理	鉄	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01
	ステンレス	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	0.01
	ポリオール	2.08	0.30	1.79	0.17	0.03	0.14
	イソシアネート	0.13	0.02	0.11	0.01	0.00	0.01
	EPDM系ゴム材	1.06	0.71	0.35	0.05	0.04	0.02
	接着剤エラストマ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	炭化水素系溶剤	0.55	0.54	0.01	0.02	0.02	0.00
	メチルエチルケトン	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
	トルエン	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	(鉄+ウレタンゴム) (ステンレス+EPDM系ゴ ム+接着剤エラストマ)	0.66	0.49	0.17	0.00	0.00	0.00
	小計	6.67	3.89	2.78	0.32	0.14	0.18
負の製品EC	電力(kWh)	3.03	1.32	1.71	0.85	0.37	0.48
総計		102.54	55.41	47.13	14.20	9.55	4.65

図 2-13 は、表 2-11 の負の製品部分だけを、散布図上にプロットしたものである。



(図 2-13 材料別の MFCA-LIME 値の比較)

改善前の材料別の数値で見ると、負の製品となったステンレスは、MFCA 値では 2 番目、LIME 値では最も大きい数値を示している。またポリオールおよび EPDM 系ゴム材の負の製品は、LIME 値は小さいが MFCA 値が大きいという材料であることを示している。

改善後の材料別の数値で見ると、負の製品となったステンレスは、MFCA 値、LIME 値ともに最も大きい数値を示す材料になっている。また、ポリオールおよび EPDM 系ゴム材の負の製品は、改善により負の製品物量が大幅に削減された結果、負の製品の MFCA 値も、かなり小さい数値になった。

負の製品の MFCA 値の改善前後の変化を見ると、負の製品の MFCA 値が最も大きかった材料、ポリオールが、改善後の負の製品 MFCA 値では、5 番目の大きさになっている。一方、ステンレスは、改善前の負の製品 MFCA 値が 2 番目だったが、改善後は、負の製品 MFCA 値が最も大きな材料になった。

負の製品の LIME 値で改善前後の変化を見ると、負の製品物量の削減量の大きいポリオールが最も大きい、ステンレスもそれに近い変化を示している。これは、表 2-6 で定義した LIME 統合化係数で、ステンレスはポリオールより 3 倍程度の大きさであったことが理由である。当たり前のことであるが、ステンレスなど LIME 値の大きい（環境影響の大きい）材料は、負の製品物量の少量の削減でも、環境負荷の削減効果が大きいことを示している。

（４）工程別、項目別、全体の MFCA-LCA 統合評価

表 2-12 は、表 2-11 の材料別、工程別の MFCA 値、LIME 値の計算を、改善前後の項目別、工程別にまとめたものである。

（表 2-12 工程別の MFCA と LIME 計算結果：改善前後の比較）

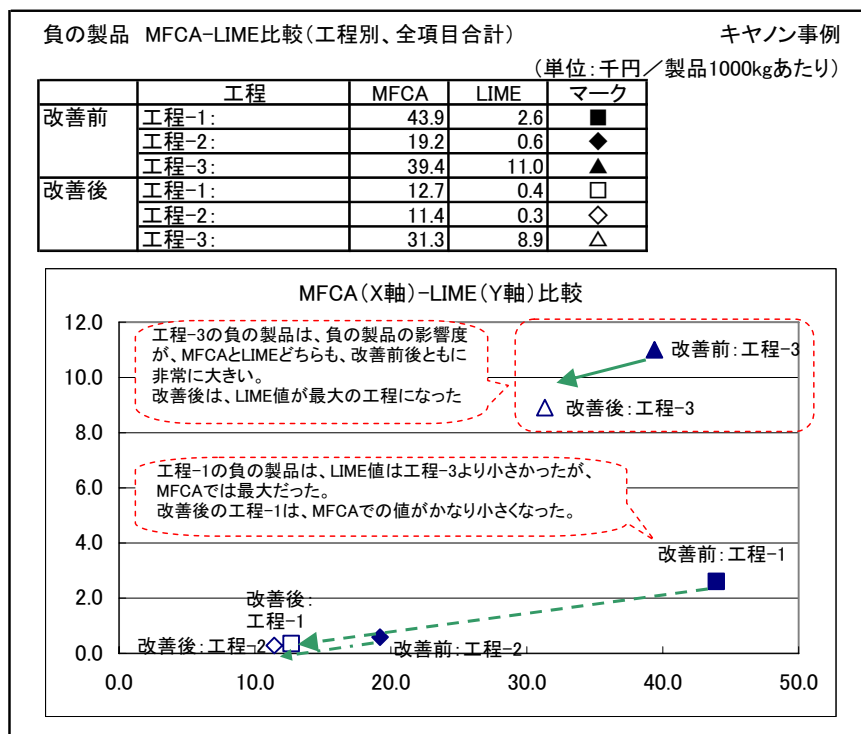
MFCA-LIME 比較(工程別)

(最終工程の正の製品 1000kg 製造の数値に変換、単位千円)

MFCA改善前後比較		工程Ⅰ	工程Ⅱ	工程Ⅲ	全工程合計	コメント 全工程のトータルで負の製品コストを削減 46%
改善前 負の製品 MFCAコスト	負の製品マテリアルコスト	40.77	17.66	34.40	92.83	
	負の製品エネルギーコスト	0.49	0.41	2.14	3.03	
	負の製品の廃棄処理コスト	2.69	1.13	2.85	6.67	
	合計	43.95	19.20	39.39	102.54	
改善後 負の製品 MFCAコスト	負の製品マテリアルコスト	11.74	10.59	27.87	50.20	
	負の製品エネルギーコスト	0.04	0.16	1.13	1.32	
	負の製品の廃棄処理コスト	0.88	0.68	2.33	3.89	
	合計	12.66	11.43	31.32	55.41	
LIME改善前後比較		工程Ⅰ	工程Ⅱ	工程Ⅲ	全工程合計	コメント 全工程のトータルで負の製品材料(材料ロス)の環境影響を削減 33%
改善前 負の製品 LIME値	負の製品の材料生産-LIME	2.28	0.42	10.33	13.03	
	負の製品エネルギー-LIME	0.14	0.11	0.60	0.85	
	負の製品の廃棄処理-LIME	0.19	0.06	0.07	0.32	
	合計	2.61	0.59	11.00	14.20	
改善後 負の製品 LIME値	負の製品の材料生産-LIME	0.29	0.21	8.53	9.04	
	負の製品エネルギー-LIME	0.01	0.04	0.31	0.37	
	負の製品の廃棄処理-LIME	0.05	0.03	0.06	0.14	
	合計	0.36	0.29	8.90	9.55	

表 2-12 を見ると、改善前の工程別、項目別負の製品の MFCA 値では、工程-1 の負の製品マテリアルコストが最も大きい。

図 2-14 は、表 2-12 を工程別にまとめたものである。



(図 2-14 工程別の MFCA-LIME 値、改善前後の比較)

改善前の工程別の数値で見ると、負の製品の MFCA 値では工程-1 (43.9 千円) のほうが工程-3 (39.4 千円) よりも若干大きく、工程-2 (19.2 千円) はそれらよりもかなり小さい数値を示している。しかし、負の製品の LIME 値では、工程-1 と工程-3 の数値が逆転し、工程-3 (11.00 千円) のほうが工程-1 (2.6 千円) よりもかなり大きな数値を示している。

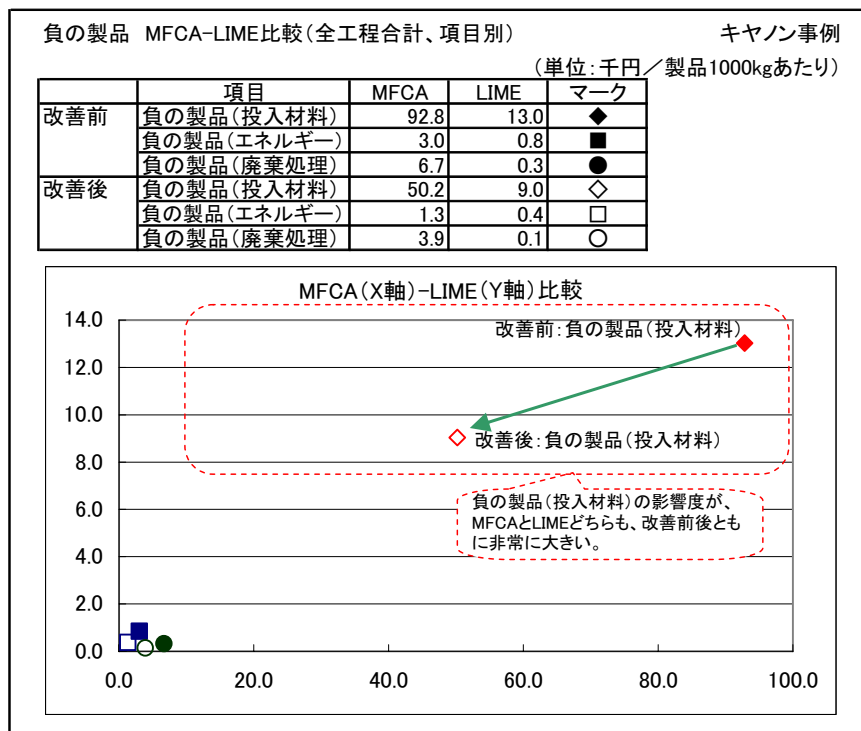
改善後の工程別の数値で見ると、負の製品の MFCA 値、および LIME 値ともに、工程-3 (MFCA 値 : 31.3 千円、LIME 値 : 8.9 千円) が、他の工程よりもかなり大きな数値を示している。

次に、図 2-15 は表 2-12 を項目別にまとめたものである。

負の製品 (投入材料) の影響度が、MFCA と LIME どちらも、改善前後ともに非常に大きい。

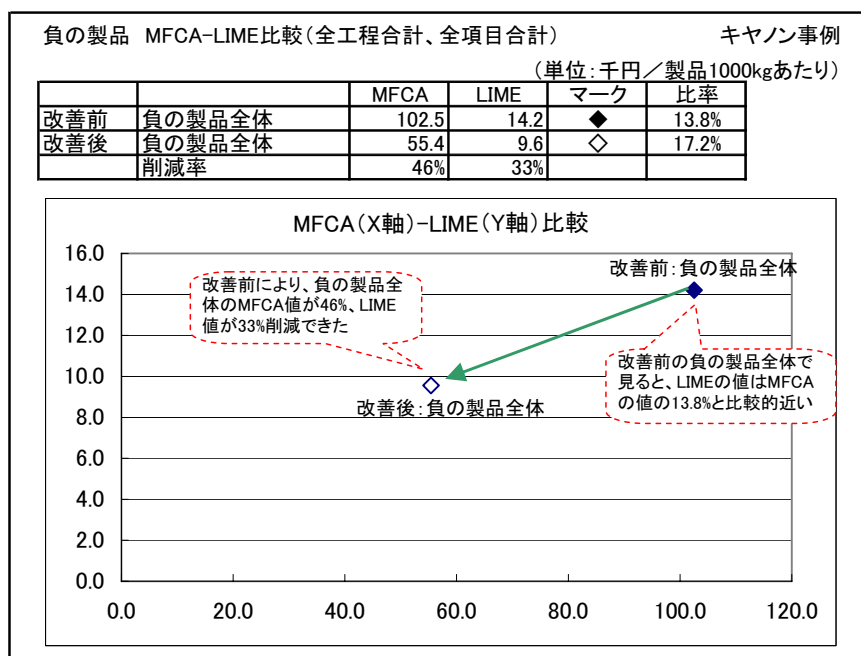
改善前の項目別の数値で見ると、負の製品の“投入材料”が、MFCA 値 (92.8 千円) と LIME 値 (13.0 千円) と、どちらの数値も“エネルギー”や“廃棄処理”の項目の数値より、非常に大きな数値となっている。

改善後も、その項目別の数値で見ると、負の製品の“投入材料”が、MFCA 値 (50.2 千円) と LIME 値 (9.0 千円) と、どちらの数値も“エネルギー”や“廃棄処理”の項目の数値より、非常に大きな数値となっている。



(図 2-15 項目別の MFCA-LIME 値、改善前後の比較)

次に、図 2-16 は、負の製品全体の MFCA 値と LIME 値を散布図上にプロットしたものである。



(図 2-16 全体の MFCA-LIME 値、改善前後の比較)

改善前の負の製品全体では、MFCA 値(負の製品コストトータル:製造コストのロス)102.5 千円に対して、LIME 値(負の製品の環境への負荷トータル:社会的コスト)は 14.2

千円となっており、LIME 値は MFCA 値の 13.8%となっている。

改善前のこの製品の製造における負の製品（材料のロス）が、製品 1,000kg あたり 102.5 千円の製造コストのロスになり、かつ 14.2 千円の社会的なコストにつながっているといえる。

改善後の負の製品全体では、MFCA 値（負の製品コストトータル：製造コストのロス）55.4 千円に対して、LIME 値（負の製品の環境への負荷トータル：社会的コスト）は 9.6 千円となっており、LIME 値は MFCA 値の 17.2%となっている。

表 2-12 の右端の列のコメントにあるように、この改善により、MFCA の負の製品コストが全工程合計で 46%削減された。またそれは、負の製品による環境影響を、LIME 値で 33%削減する効果であった。

また、改善前の負の製品全体の LIME 値は、MFCA 値の 13.8%であった。改善後はそれが 17.2%に変化している。これは、改善の結果、負の製品（廃棄物）の構成する材料の中で、LIME 統合化係数の大きい材料の比率が高まったことを示している。

（５）環境影響を CO₂ 排出量で評価

（表 2-13 CO₂ 排出量で MFCA-LCA 統合評価した結果、改善前）

CO₂排出量換算のマテリアルフローコストマトリックス（工程間統合）

（CO₂排出量 単位 ton-CO₂、製品1000kg製造あたり）

改善前	マテリアル コスト	エネルギー コスト	システム コスト	廃棄処理 コスト	計
良品 (正の製品)	2.998 61.1%	1.163 23.7%			4.161 84.8%
マテリアルロス (負の製品)	0.582 11.9%	0.163 3.3%			0.745 15.2%
廃棄／リサイクル				0.000 0.0%	0.000 0.0%
小計	3.580 73.0%	1.326 27.0%		0.000 0.0%	4.907 100.0%

（表 2-14 CO₂ 排出量で MFCA-LCA 統合評価した結果、改善後）

CO₂排出量換算のマテリアルフローコストマトリックス（工程間統合）

（CO₂排出量 単位 ton-CO₂、製品1000kg製造あたり）

改善後	マテリアル コスト	エネルギー コスト	システム コスト	廃棄処理 コスト	計
良品 (正の製品)	2.998 71.1%	0.788 18.7%			3.786 89.7%
マテリアルロス (負の製品)	0.361 8.6%	0.071 1.7%			0.433 10.3%
廃棄／リサイクル				0.000 0.0%	0.000 0.0%
小計	3.360 79.6%	0.859 20.4%		0.000 0.0%	4.219 100.0%

表 2-13 は、図 2-12 の改善前の MFCA 計算を、材料、エネルギー種類別のコスト単価の

代わりに、材料種類別の CO₂ 排出量で計算を行なった計算結果を、マテリアル・フローコスト・マトリクスで表したものである。また、表 2-14 は、改善後の MFCA 計算を CO₂ 排出量で行った計算結果を、同じくマテリアル・フローコスト・マトリクスで表したものである。

表 2-13、表 2-14 を見ると、改善前では、製品 1,000kg を製造するにあたり、正の製品、負の製品トータルの環境への影響は、CO₂ 排出量に換算すると、4.907 ton- CO₂ に相当していた。改善後のそれは 4.219 ton- CO₂ に相当し、全体で 0.6887 ton- CO₂ の CO₂ 排出量削減が図れた結果になっている。

これは、マテリアルの生産段階で 0.221 ton- CO₂、エネルギー消費段階（MFCA 計算対象の製造プロセス）で 0.467 ton- CO₂ の排出量削減になっている。エネルギーに関しての CO₂ 排出量は、良品（正の製品）の部分で 0.375 ton- CO₂ の排出量削減になっており、この改善の中で取られた対策が、材料のロス削減だけでなかったことを物語っている。

（6）MFCA-LCA 統合評価結果の全体考察

（3）（4）（5）の結果を要約すると、以下のようになる。

① MFCA 値と LIME 値の材料種類別の評価

改善前、負の製品となったステンレスは、MFCA 値で 2 番目、LIME 値では最も大きい数値を示している。ポリオールおよび EPDM 系ゴム材の負の製品は、LIME 値は小さいが MFCA 値が大きいという材料であることを示している。

改善後、負の製品となったステンレスは、MFCA 値、LIME 値ともに最も大きい数値を示す。ポリオールおよび EPDM 系ゴム材は、改善により負の製品物量が大幅に削減され、負の製品の MFCA 値も、かなり小さい数値になった。

② MFCA 値と LIME 値の工程別の評価

改善前、負の製品の MFCA 値では、工程-1 のほうが工程-3 よりも若干大きい、負の製品の LIME 値では、工程-3 のほうが工程-1 よりもかなり大きい。

改善後、負の製品の MFCA 値、および LIME 値ともに、工程-3 が、他の工程よりもかなり大きな数値を示している。

③ MFCA 値と LIME 値の項目別の評価

改善前、改善後ともに、負の製品の“投入材料”は、MFCA 値と LIME 値、どちらも“エネルギー”や“廃棄処理”の項目の数値より、非常に大きな数値となっている。

④ MFCA 値と LIME 値の全体評価

改善前のこの製品の製造全体では、製品 1,000kg あたり 102.5 千円の製造コストのロスになり、かつ 14.2 千円の社会的なコストにつながっているといえる。

この改善により、MFCA の負の製品コストが全工程合計で 46%削減された。そ

の改善によって、負の製品の環境負荷を、**LIME** 値で 33%削減する効果があった。

⑤ CO₂排出量による評価

この改善の結果、製品 1,000kg 製造に、正の製品、負の製品トータルの環境への影響は、CO₂排出量に換算すると、4.907 ton- CO₂ から 4.219 ton- CO₂ に削減された。

MFCA-LCA 統合評価として、材料やエネルギーの単価を、**LIME** 統合化係数 (円/kg) に置き換えた計算、あるいは CO₂排出量の原単位 (ton- CO₂/kg) に置き換えた計算から、上記の①～⑤のような結論が導き出せた。

上記のことから、この事例のように主材料でロスになる材料が複数種類ある場合、製造プロセスにおける材料のロス削減の環境負荷の削減効果は、コストダウンの効果と比例関係にないことが明確に示された。**MFCA** によるロスになった材料の物量とコスト面の評価だけでなく、それぞれの材料が特性として持つ環境負荷 (**LIME** 統合化係数) をもとに、環境面の影響も同時に評価し、改善の取り組みを行うことの有用性が認識された。

2-3-4. 田辺製薬株式会社の事例

田辺製薬株式会社の用意した MFCA の計算モデルでは、インベントリ分析にあたり、Ecoinvent と産業連関表を併用した。

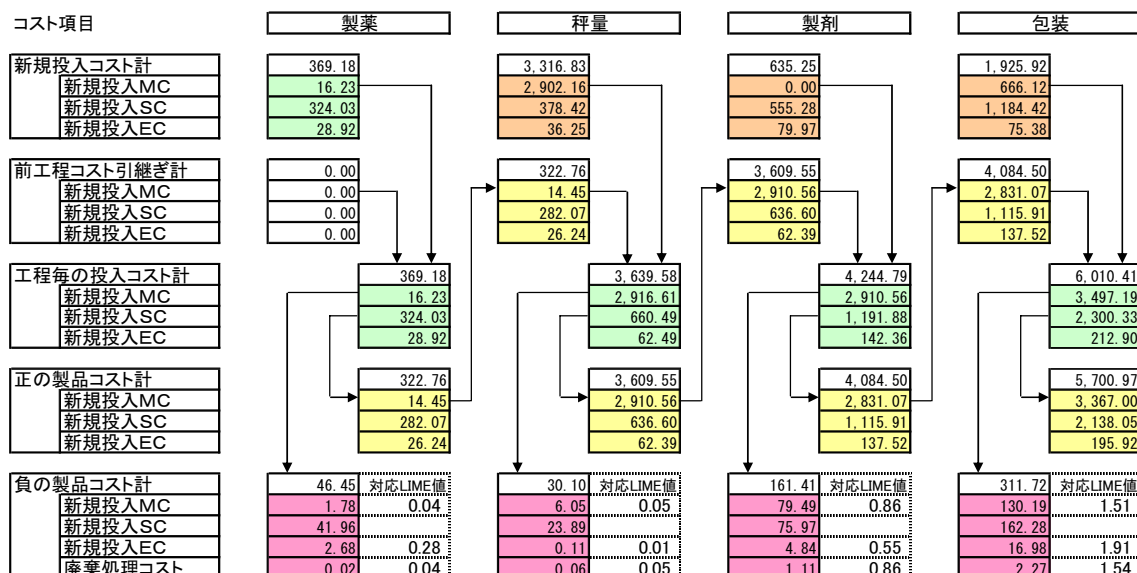
(1) MFCA 計算モデル

MFCA-LCA 統合評価を行った MFCA の計算結果のデータ付フローチャートを、図 2-17 に示す。MFCA 評価において、包装工程における負の製品コストが高額となることがわかった。

医薬品原料 MFCA-LIME統合計算モデルのMFCA

医薬品製造におけるデータ付きフローチャート

(製品1個当たりの製造コスト、単位:円)



(図 2-17 田辺製薬 MFCA-LCA 統合評価事例での MFCA 計算結果)

(2) LIME 統合化係数

表 2-15 に、MFCA-LCA の統合計算において使用した統合化係数の算出方法をまとめた。今回、各材料の統合化係数の算出方法は、“構成原材料の Ecoinvent をデータベースに使うインベントリ分析”する方法と“産業連関表をデータベースに使うインベントリ分析”する方法の 2 種類を用いた。前者は、LCA のインベントリ分析としての精度が高い反面、成分が不明の材料については適用できない。一方、後者は、材料の価格と製造元の製造種が分かれば、成分が不明の材料にも適用できる反面、Ecoinvent を使ったインベントリ分析よりも、LCA のインベントリ分析としての精度が低い。したがって、Ecoinvent を使ったイ

ンベントリ分析が可能な場合は、その統合化係数値を使用し、それができない場合は、産業連関表をデータベースに使うインベントリ分析からの統合化係数を用いた。

(表 2-15 定義した材料の LIME 統合化係数の値)

MFCA計算中の材料名					使用した統合化係数値	
	MFCA種類	投入、廃棄物の材料名称	産業名	構成原材料の種類、内容	生産・消費 (円/kg)	廃棄処理 (円/kg)
負の製品 および 廃棄処理	包装材料	元箱	段ボール箱	クラフト紙から製したダンボール	A	A
	包装材料	添付文書	洋紙・和紙	再生紙	A	A
	包装材料	カートン	板紙	コートボール	A	A
	包装材料	ポリセロ-表	熱可塑性樹脂	ポリエチレン、セロハン	A	A
	包装材料	ポリセロ-白	熱可塑性樹脂	ポリエチレンテレフタレート	A	A
	包装材料	アルミビロー	熱可塑性樹脂	ポリエチレンテレフタレート/ポリエチレン	A	A
	包装材料	CPPバンド	熱可塑性樹脂	ポリプロピレン	A	A
	原薬	原薬	医薬品	廃棄物処理は、廃棄物(不明一律)	B	A
	原料1	原料1	ぶどう糖・水あめ・異性化糖	廃棄物処理は、廃棄物(不明一律)	B	A
	原料2	原料2	無機顔料	廃棄物処理は、廃棄物(不明一律)	B	A
	原料3	原料3	調味料	廃棄物処理は、廃棄物(不明一律)	B	A
	原料4	原料4	高機能性樹脂	廃棄物処理は、廃棄物(不明一律)	B	A
	原料5	原料5	石けん・合成洗剤・界面活性剤	廃棄物処理は、廃棄物(不明一律)	B	A
	原料6	原料6	医薬品	廃棄物処理は、廃棄物(不明一律)	B	A
	原料7	原料7	その他の化学最終製品	廃棄物処理は、廃棄物(不明一律)	B	A
	原料8	原料8	無機顔料	廃棄物処理は、廃棄物(不明一律)	B	A
	原料9	エタノール/メタノール変性#G	その他の化学最終製品	廃棄物処理は、廃棄物(不明一律)	B	A
	原料10	塩化ナトリウム*日局	塩	廃棄物処理は、廃棄物(不明一律)	B	A
	原料11	塩酸	その他の化学最終製品	廃棄物処理は、廃棄物(不明一律)	B	A
	原料12	クロロホルム	その他の化学最終製品	廃棄物処理は、廃棄物(不明一律)	B	A
	原料13	クロロホルム	その他の化学最終製品	廃棄物処理は、廃棄物(不明一律)	B	A
	原料14	氷酢酸/80%	その他の化学最終製品	廃棄物処理は、廃棄物(不明一律)	B	A
	原料15	液体窒素	圧縮ガス・液化ガス	廃棄物処理は、廃棄物(不明一律)	B	A
	原料16	水酸化ナトリウム液	医薬品	廃棄物処理は、廃棄物(不明一律)	B	A
	再利用原料	再利用原料1	医薬品	廃棄物処理は、廃棄物(不明一律)	B	A
	再利用原料	再利用原料2	医薬品	廃棄物処理は、廃棄物(不明一律)	B	A
	再利用原料	再利用エタノール	医薬品	廃棄物処理は、廃棄物(不明一律)	B	A
負の製品 エネルギー	用役	電力			A	
	用役	灯油			A	

A: 統合化係数は、構成原材料のecoinventを用いてインベントリ分析し、算出した。

B: 統合化係数は、産業連関表を用いてインベントリ分析し、算出した。

ただし、“産業連関表”を用いてインベント分析を行う場合は、その生産段階のデータのみで、廃棄処理の統合化係数は算出できない。そのため、今回、原薬、原料など“産業連関表”だけでインベント分析した材料については、Ecoinventにおける“廃棄物処理（材料不明）”としたときの統合化係数：1.18E+0 を一律に使用することにした。

(3) 材料別の MFCA-LCA 統合計算

表 2-16 は、前述の統合化係数値を使って、材料別に MFCA-LIMA 統合化計算をした結果である。この MFCA の計算においては、最終工程で正の製品が 1,000 個製造される場合の各工程の負の製品物量を計算したものをベースにして計算した。なお、ここの MFCA における負の製品エネルギーは、全エネルギーコストから灯油および電気を抜粋しており、全エネルギーコストには、その他に工業用水等も含まれる（全エネルギーコストについては、図 2-17 および後述の表 2-17、表 2-18 を参照されたい）。

(表 2-16 材料別の MFCA-LIME 統合化計算結果)

MFCA-LIME比較(医薬品原料 製造工程別・材料別)

(最終工程の正の製品 1000個製造の数値に変換)

MFCA負の製品 材料別比較		負の製品MFCAコスト(円)					負の製品LIME値(円)				
		製薬	秤量	製剤	包装	合計	製薬	秤量	製剤	包装	合計
負の製品	元箱	0.0	0.0	0.0	406.7	406.7	0.0	0.0	0.0	12.6	12.6
	添付文書	0.0	0.0	0.0	29.9	29.9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
	カートン	0.0	0.0	0.0	4,079.3	4,079.3	0.0	0.0	0.0	89.9	89.9
	ホリセロ-表	0.0	0.0	0.0	1,236.8	1,236.8	0.0	0.0	0.0	20.7	20.7
	ホリセロ-白	0.0	0.0	0.0	1,386.6	1,386.6	0.0	0.0	0.0	22.9	22.9
	アルミロー	0.0	0.0	0.0	1,198.1	1,198.1	0.0	0.0	0.0	45.1	45.1
	CPPバンド	0.0	0.0	0.0	73.1	73.1	0.0	0.0	0.0	1.9	1.9
	原薬	0.0	5,977.0	72,921.0	111,693.2	190,591.1	0.0	48.5	592.0	906.8	1,547.4
	原料1	0.0	58.9	4,098.6	6,277.7	10,435.2	0.0	3.2	222.7	341.2	567.1
	原料2	425.0	0.0	0.7	0.0	425.8	12.3	0.0	0.0	0.0	12.4
	原料3	0.0	0.0	1,288.0	1,968.8	3,256.8	0.0	0.0	18.3	27.9	46.2
	原料4	0.0	0.0	53.1	81.7	134.8	0.0	0.0	1.5	2.4	3.9
	原料5	0.0	0.0	664.6	1,018.0	1,682.7	0.0	0.0	9.9	15.2	25.0
	原料6	0.0	0.0	18.0	22.5	40.5	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3
	原料7	139.0	0.8	57.0	86.9	283.7	2.9	0.0	1.2	1.8	6.0
	原料8	447.3	1.4	104.3	159.0	712.0	13.0	0.0	3.0	4.6	20.7
	原料9	108.8	0.7	44.5	68.2	222.2	2.3	0.0	0.9	1.4	4.7
	原料10	0.0	0.4	58.5	89.6	148.5	0.0	0.1	7.6	11.7	19.4
	原料11	5.1	0.0	2.1	3.2	10.4	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2
	原料12	30.5	0.2	12.5	19.1	62.3	0.6	0.0	0.3	0.4	1.3
	原料13	21.7	0.0	8.9	13.5	44.0	0.5	0.0	0.2	0.3	0.9
	原料14	8.4	0.0	3.4	5.3	17.1	0.2	0.0	0.1	0.1	0.4
	原料15	194.9	0.0	1.6	2.5	199.1	5.6	0.0	0.0	0.1	5.7
	原料16	40.4	0.0	0.0	40.4	80.9	0.3	0.0	0.0	0.3	0.7
	再利用原料1	349.6	6.7	141.2	221.9	719.5	2.8	0.1	1.1	1.8	5.8
	再利用原料2	36.2	0.2	14.8	22.7	73.8	0.9	0.0	0.4	0.6	1.8
	再利用エタノール	-22.0	-0.2	-9.0	-13.8	-45.1	-0.2	-0.0	-0.1	-0.1	-0.4
	小計	1,784.9	6,046.1	79,483.8	130,190.9	217,505.8	41.4	51.9	859.5	1,509.9	2,462.7
負の製品 廃棄処理	元箱	0.0	0.0	0.0	62.9	62.9	0.0	0.0	0.0	2.2	2.2
	添付文書	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	カートン	0.0	0.0	0.0	348.8	348.8	0.0	0.0	0.0	12.4	12.4
	ホリセロ-表	0.0	0.0	0.0	43.2	43.2	0.0	0.0	0.0	4.1	4.1
	ホリセロ-白	0.0	0.0	0.0	43.2	43.2	0.0	0.0	0.0	4.1	4.1
	アルミロー	0.0	0.0	0.0	32.1	32.1	0.0	0.0	0.0	3.0	3.0
	CPPバンド	0.0	0.0	0.0	3.4	3.4	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3
	原薬	0.0	56.5	689.6	1,056.2	1,802.3	0.0	1.7	20.3	31.2	53.2
	原料1	0.0	4.3	298.1	456.6	758.9	0.0	0.1	8.8	13.5	22.4
	原料2	1.6	0.0	0.0	0.0	1.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.7
	原料3	0.0	0.0	5.6	8.6	14.2	0.0	0.0	0.2	0.3	0.4
	原料4	0.0	0.0	5.6	8.6	14.1	0.0	0.0	0.2	0.3	0.4
	原料5	0.0	0.0	44.7	68.4	113.1	0.0	0.0	1.3	2.0	3.3
	原料6	0.0	0.0	0.2	0.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	原料7	0.9	0.1	5.6	8.5	15.0	0.4	0.0	0.2	0.3	0.8
	原料8	3.6	0.2	12.2	18.6	34.5	1.5	0.0	0.4	0.5	2.5
	エタノール/メタノール変性#G	2.4	0.2	14.3	21.9	38.9	1.0	0.0	0.4	0.6	2.1
	塩化ナトリウム*日局	0.0	0.1	18.0	27.6	45.7	0.0	0.0	0.5	0.8	1.3
	塩酸	0.5	0.0	3.3	5.0	8.9	0.2	0.0	0.1	0.1	0.5
	クロムスホン酸	0.8	0.1	4.6	6.9	12.3	0.3	0.0	0.1	0.2	0.7
	クロホルム	0.5	0.0	2.9	4.4	7.8	0.2	0.0	0.1	0.1	0.4
	水酢酸/80%	0.2	0.0	1.2	2.0	3.4	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2
	液体窒素	5.3	0.0	0.6	1.0	6.9	2.3	0.0	0.0	0.0	2.3
	水酸化ナトリウム液	2.7	0.0	0.0	40.0	42.7	1.2	0.0	0.0	1.2	2.4
	再利用原料1	0.1	0.0	0.8	1.3	2.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1
	再利用原料2	1.1	0.1	6.5	10.0	17.6	0.5	0.0	0.2	0.3	1.0
	再利用エタノール	-0.5	-0.1	-3.2	-5.0	-8.8	-0.2	0.0	-0.1	-0.1	-0.5
	小計	19.2	61.6	1,110.5	2,274.7	3,466.0	8.3	1.8	32.8	77.5	120.4
負の製品 エネルギー	電力(kWh)	187.2	7.2	364.4	1,275.1	1,833.8	49.3	1.9	96.0	336.0	483.3
	灯油(kg)	608.0	23.6	1,183.7	4,142.4	5,957.7	230.8	8.9	449.4	1,572.7	2,262.0
	小計	795.1	30.8	1,548.1	5,417.5	7,791.5	280.2	10.9	545.5	1,908.8	2,745.2
総計		2,599.2	6,138.5	82,142.4	137,883.2	228,763.3	329.9	64.6	1,437.7	3,496.2	5,328.4

図 2-18 は、表 2-16 の負の製品部分を、散布図上にプロットしたものである。なお、この事例は、材料の種類が非常に多く、かつ MFCA 値、LIME 値ともにその数値が非常にばらついたため、この事例に限り、対数目盛で散布図を作成した。

この事例の材料の負の製品を見ると、他の材料と比較すると、原薬、および原料 1 が、MFCA 値、LIME 値ともに非常に大きな数値になった。

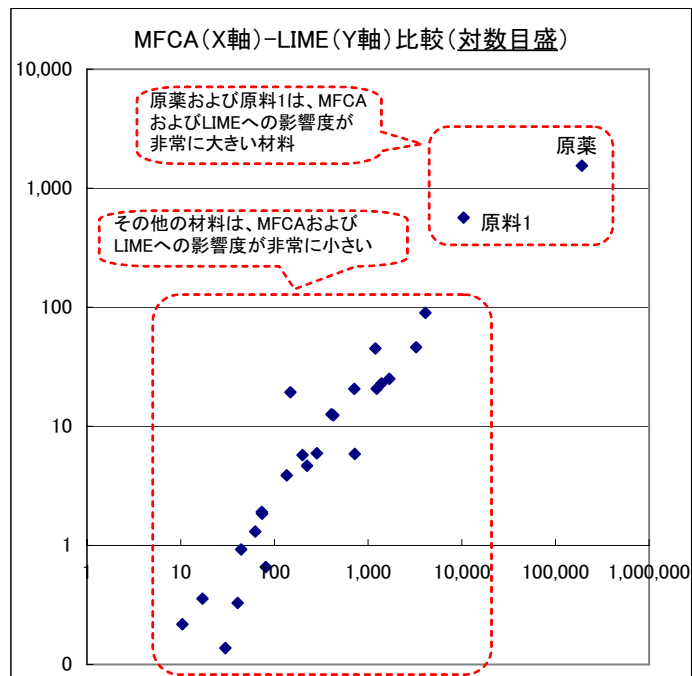
負の製品 MFCA-LIME比較

田辺製薬事例

(全工程合計、材料別、項目：負の製品MC-LIMEのみ)

(単位：円／製品1000個あたり)

MFCA-LIME比較	MFCA	LIME
原薬	190,591	1,547
原料1	10,435	567
カートン	4,079	90
原料3	3,257	46
アルミロー	1,198	45
原料5	1,683	25
ポリセロ-白	1,387	23
ポリセロ-表	1,237	21
原料8	712	21
原料10	148	19
元箱	407	13
原料2	426	12
原料7	284	6
再利用原料1	719	6
原料15	199	6
原料9	222	5
原料4	135	4
CPPバンド	73	2
再利用原料2	74	2
原料12	62	1
原料13	44	1
原料16	81	1
原料14	17	0
原料6	41	0
原料11	10	0
添付文書	30	0



(図 2-18 材料別の MFCA 値、LIME 値の比較)

(4) 工程別、項目別、全体の MFCA-LCA 統合評価

図 2-17 を工程別、項目別に集約したものが、表 2-17 である。

(表 2-17 材料別の MFCA-LIME 統合化計算結果)

医薬品製造におけるMFCA-LIME結果概要(工程別評価)

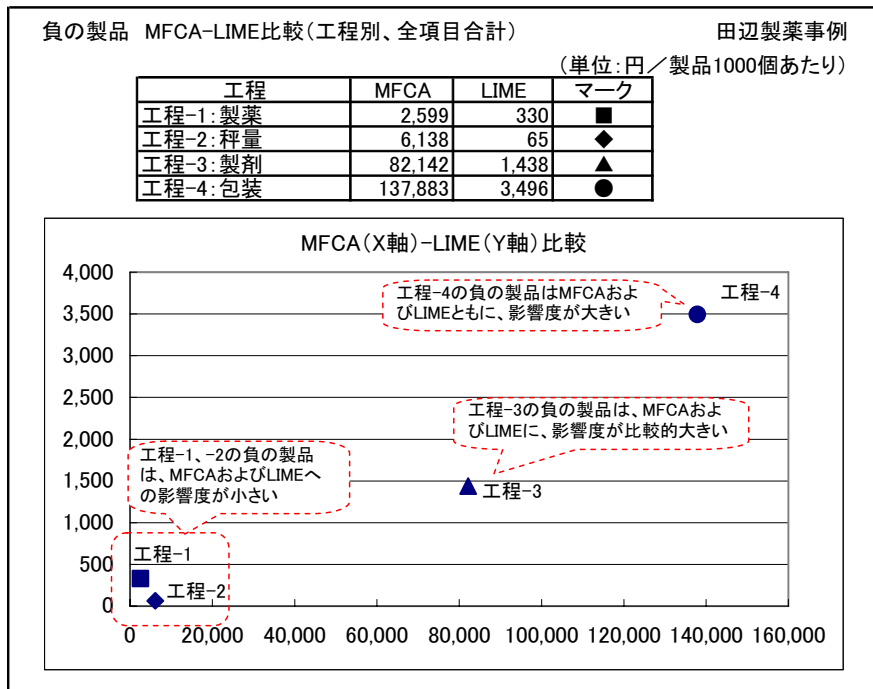
MFCA計算結果概要

分類	コスト項目	単位	製薬	秤量	製剤	包装	合計
負の製品 コスト合計	負の製品MCの合計	コスト:円/個	1.8	6.0	79.5	130.2	217.5
	負の製品SCの合計	コスト:円/個	42.0	23.9	76.0	162.3	304.1
	負の製品ECの合計	コスト:円/個	2.7	0.1	4.8	17.0	24.6
	廃棄物処理費用	コスト:円/個	0.0	0.1	1.1	2.3	3.5

LIME計算結果概要

分類	コスト項目	単位	製薬	秤量	製剤	包装	合計
負の製品 LIME合計	負の製品Material-LIMEの合計	コスト:円/個	0.0	0.1	0.9	1.5	2.5
	負の製品Energy-LIMEの合計	コスト:円/個	0.3	0.0	0.5	1.9	2.7
	廃棄物処理LIMEの合計	コスト:円/個	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1

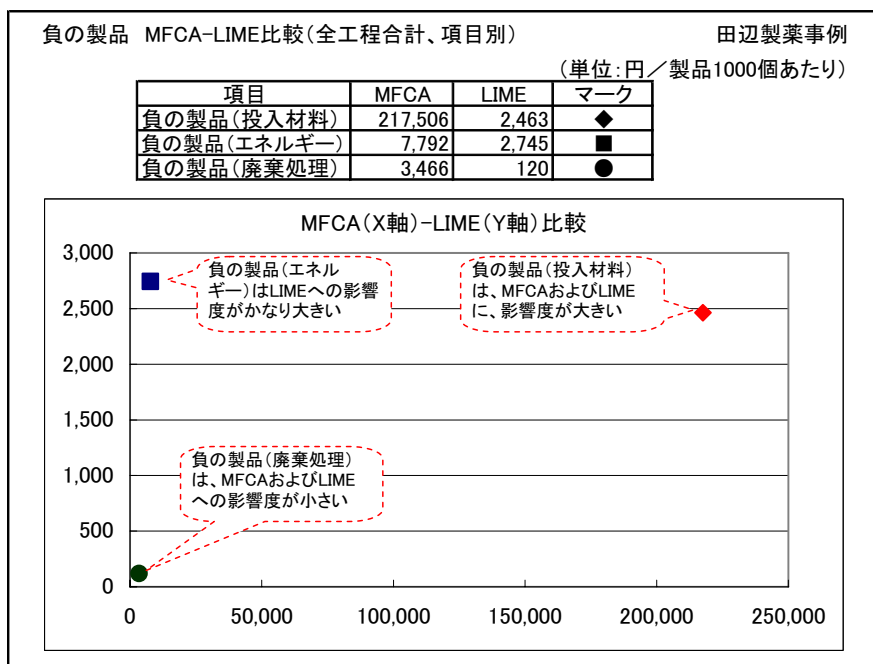
また、表 2-16 の工程別の MFCA 値と LIME 値の合計を、散布図上にプロットしたものが図 2-19、表 2-16 の項目別の MFCA 値と LIME 値の合計を、散布図上にプロットしたものが図 2-20 である。



(図 2-19 工程別の MFCA-LIME 値の比較)

図 2-19 を見ると、以下の特徴があることが分かる。

工程-1 (製薬工程)、工程-2 (秤量工程) は、負の製品 MFCA 値、負の製品 LIME 値とも、他の工程に比べ小さい。それに比較し、工程-3 (製剤工程)、工程-4 (包装工程) は、それぞれの負の製品 MFCA 値、負の製品 LIME 値ともに大きく、工程-4 の数値がどちらも一番大きい数値になっている。



(図 2-20 項目別の MFCA 値、LIME 値の比較)

図 2-20 を見ると、以下の特徴があることが分かる。

項目“負の製品（投入材料）”は、その MFCA 値では他の 2 項目に対して、非常に大きな数値になっているが、その LIME 値は、項目“負の製品（エネルギー）”よりも若干小さい数値になっている。項目“負の製品（エネルギー）”は、その MFCA 値は小さいが、LIME 値では一番大きい数値になっている。項目“負の製品（廃棄処理）”は、その MFCA 値、LIME 値ともに、非常に小さい数値になっている。

この製品の製造の負の製品に関しては、MFCA 値に関してはそのほとんどを、ロスになった材料のコストが決めている。しかし LIME 値に関しては、材料のロスに伴う“負の製品エネルギー”が、数値の半分を占めている。

これは、負の製品部分だけでなく、表 2-18 のマテリアル・フローコスト・マトリクスで、MFCA 計算の全体を MFCA 値、LIME 値で比較しても、顕著な特徴として表れる。

（表 2-18 マテリアル・フローコスト・マトリクスの比較）

医薬品製造におけるMFCA-LIME結果概要（総合評価）

製造コストのマテリアルフローコストマトリックス（製品1個当たり）（単位：円）

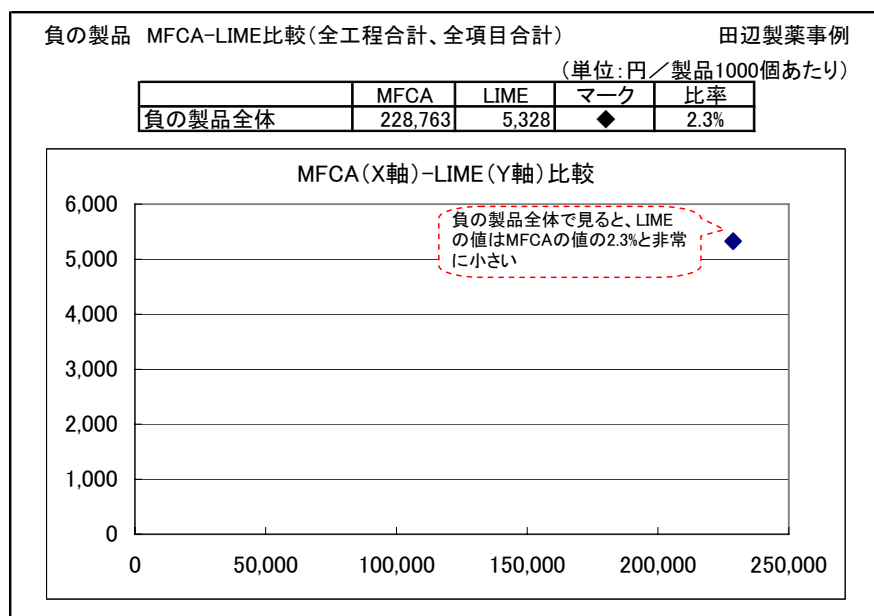
	マテリアル コスト	エネルギー コスト	システム コスト	廃棄物処理 コスト	計
良品 (正の製品)	3367.0 53.9%	195.9 3.1%	2138.1 34.2%		5701.0 91.2%
マテリアルロス (負の製品)	217.5 3.5%	24.6 0.4%	304.1 4.9%		546.2 8.7%
廃棄ノリサイクル				3.5 0.1%	3.5 0.1%
計	3584.5 57.3%	220.5 3.5%	2442.1 39.1%	3.5 0.1%	6250.6 100.0%

LIMEによるマテリアルフローコストマトリックス（単位：円）

	マテリアル LIME	エネルギー LIME		廃棄物処理 LIME	計
良品 (正の製品)	42.9 61.0%	22.0 31.4%			64.9 92.4%
マテリアルロス (負の製品)	2.5 3.5%	2.7 3.9%			5.2 7.4%
廃棄ノリサイクル				0.1 0.2%	0.1 0.2%
計	45.3 64.6%	24.8 35.3%		0.1 0.2%	70.2 100.0%

良品とマテリアルロスの合計の製造コストでは、マテリアルコストの 3584.5 円に対してエネルギーコストは 220.5 円となっており、エネルギーコストはマテリアルコストの 6%に過ぎなかった。しかし、良品とマテリアルロスの合計の LIME 値では、マテリアル LIME 値の 45.3 円に対してエネルギー LIME 値は 24.8 円となっており、エネルギー LIME 値はマテリアル LIME 値の 55%になった。この製品においては、MFCA の金額に比して、LIME 値の金額が非常に小さかったため、MFCA 評価で十分であると思われるが、MFCA の金額に比して LIME 値の金額が無視できない場合は、LIME 値全体におけるエネルギー LIME 値の比率の高さが、意味を持つようになる。すなわち、MFCA の計算による製造コストの評価だけではあまり浮き上がってこないエネルギー消費量削減の重要性が、LIME 値（環境影響）も合わせた評価を行うことによって明確となる。

図 2-21 は、負の製品全体の MFCA 値と LIME 値を、散布図上で表したものである。



(図 2-21 全体の MFCA-LIME 値の比較)

負の製品全体では、MFCA 値（負の製品コストトータル：製造コストのロス）228,763 円に対して、LIME 値（負の製品の環境への負荷トータル：社会的コスト）は 5,328 円となっており、LIME 値は MFCA 値の 2.3%に過ぎない。

(5) 環境影響を CO₂ 排出量で評価

表 2-19 は、図 2-17 の MFCA 計算の負の製品に関する部分を、材料、エネルギーの種類別のコスト単価の代わりに、材料種類別の CO₂ 排出量に置き換えて計算を行った結果（製品 1,000 個当たり）である。

(表 2-19 CO₂ 排出量で MFCA-LIME 統合評価した結果)

分類	コスト項目	製薬	秤量	造粒	包装	合計
負の製品 CO ₂ (kg)	負の製品(材料)	14.4	12.2	186.5	307.5	520.5
	負の製品(エネルギー)	53.5	2.1	104.2	364.7	524.6
	廃棄物処理	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
合計		67.9	14.2	290.7	672.2	1045.1

項目別の LIME 値で評価した場合と同じように、CO₂ 排出量で評価しても、“負の製品（エネルギー）”の環境影響としての CO₂ 排出量 524.6kg- CO₂ は、“負の製品（材料）”のそれ 520.5kg- CO₂ とほとんど同じである。

CO₂ 排出量削減の対策の方向性として、マテリアル面とエネルギー面の両面の改善活動が示唆された。

（６）MFCA-LCA 統合評価結果の全体考察

（３）（４）（５）の結果を要約すると、以下のようになる。

① MFCA 値と LIME 値の材料種類別の評価

この事例の材料の負の製品においては、他の材料と比較すると、原薬、および原料 1 が、MFCA 値、LIME 値ともに非常に大きな数値になっている。

② MFCA 値と LIME 値の工程別の評価

工程-3、工程-4 は、それぞれの負の製品 MFCA 値、負の製品 LIME 値ともに大きく、工程-4 の数値がどちらも一番大きい数値になっている。

③ MFCA 値と LIME 値の項目別の評価

項目“負の製品（エネルギー）”は、MFCA 値に比べて LIME 値は極僅かであったが、LIME 値の中でエネルギーLIME の占める割合が、MFCA の場合に比べて高かった。

④ MFCA 値と LIME 値の全体評価

負の製品全体では、LIME 値は MFCA 値の 2.3%に過ぎない。

表 2-18 のマテリアル・フローコスト・マトリクスで、製造工程全体の製造コスト合計と LIME 値合計を比較した場合、LIME 値（70.2）は MFCA 値（6250.6）の 1.1%程度だった。

⑤ CO₂ 排出量による評価

CO₂ 排出量削減の対策の方向性として、マテリアルとエネルギーの両面の改善活動が示唆された。

当品目については、MFCA 評価と LIME 評価を比較した場合、LIME 評価金額は MFCA 評価金額に対し約 1.1%と少額である。また、工程別割合についても、LIME 評価と MFCA 評価との間で、大きな差異は認められない。

従って、当品目について、資源生産性の向上の取り組みとしては、当面の間は MFCA の結果のみを、改善活動の指標としても差し支えないと考えられる。

ただし、項目別の LIME 値を見ると、環境面の取り組みとして、材料のロスだけでなく、エネルギー消費量（投入量）の削減の取り組みが、重要性であると思われる。

2-4. MFCA-LCA 統合評価の意味、メリット

ここでは、MFCA 値による評価（経済性）と、LIME 値もしくは CO₂ 排出量による評価（環境性）の活用視点として採用した 5 つの視点ごとに、その MFCA-LCA 統合評価の意味、メリットを整理する。

5 つの視点とは、“材料種類別の評価”、“工程別の評価”、“項目別の評価”、“全体評価”、“CO₂ 排出量による評価”である。

（1）MFCA 値と LIME 値の材料種類別の評価

3 つの事例の評価結果の要約を、再度、整理すると、以下のようになる。

① サンデン

主材料のアルミニウムの材料ロス削減することが、製造コストを削減することであり、かつ環境負荷を削減するといえる。

② キヤノン

改善前、ステンレスの負の製品は MFCA 値で 2 番目、LIME 値では最も大きい。ポリオールおよび EPDM 系ゴム材の負の製品は、LIME 値は小さいが MFCA 値が大きいという材料であることを示している。

改善後、ステンレスの負の製品は、MFCA 値、LIME 値ともに最も大きい数値を示す。ポリオールおよび EPDM 系ゴム材は、改善により負の製品物量が大幅に削減され、負の製品の MFCA 値も、かなり小さい数値になった。

③ 田辺製薬

この事例の材料の負の製品を見ると、他の材料と比較すると、原薬、および原料 1 が、MFCA 値、LIME 値ともに非常に大きな数値になっている。

今回の 3 つの事例では、主材料が 1 種類の製品、複数種類の製品、非常に多くの材料で構成される製品と、それぞれ異なったタイプの MFCA モデルで、その負の製品の MFCA 値（製造コスト）と LIME 値（社会的コスト）を比較評価した。

主材料が 1 種類の製品の場合、主材料のロス削減の効果が、製造コストダウンと環境負荷（LIME 値）低減に、ほぼ比例的な効果を与えるといえる。

複数種類の材料で構成される場合、構成材料の材料ロス削減が製造コストダウンと環境負荷（LIME 値）低減につながることは変わらない。ただし、その製造コストダウンと環境負荷（LIME 値）低減への寄与度は、それぞれの材料単価（円/kg）および LIME 統合化係数（円/kg）によって異なる。

従って、複数種類の材料で構成される場合、材料ロス削減の製造コストダウンと環境負荷低減へのトータルの寄与度の把握、あるいは製造コストダウンと環境負荷低減に関する

優先度の高い材料を明確にするためには、**MFCA-LCA** 統合評価が有効と思われる。

コストダウンを行う際、材料単価が安い材料はコストダウン余地が小さいとみなされ、（何も評価されないまま）改善の検討対象から外されることが少なくない。**MFCA** 値と **LIME** 値の材料種類別の評価は、そうした材料単価は安くても環境負荷の大きい材料の使用量削減や、ロス量削減の改善を考えるきっかけになることが期待される。（**MFCA** 単独でも、そうした材料も含め、すべてのロスが明確になり、改善のきっかけになることが多い）

（２）MFCA 値と LIME 値の工程別の評価

3 つの事例の評価結果の要約を、再度、整理すると、以下のようになる。

① サンデン

主材料のアルミニウムの負の製品の発生量が最も大きい工程-4で、**MFCA** 値、**LIME** 値ともに、最も大きい数値になっている。

工程-1は工程-2より、負の製品の **MFCA** 値では小さいが、**LIME** 値では大きい数値になっている。これはリサイクルによる売却の影響である。

② キヤノン

改善前、負の製品の **MFCA** 値では、工程-1のほうが工程-3よりも若干大きい、負の製品の **LIME** 値では、工程-3のほうが工程-1よりもかなり大きい。

改善後、負の製品の **MFCA** 値、および **LIME** 値ともに、工程-3が、他の工程よりもかなり大きな数値を示している。

③ 田辺製薬

工程-3、工程-4は、それぞれの負の製品 **MFCA** 値、負の製品 **LIME** 値ともに大きく、工程-4の数値がどちらも一番大きい数値になっている。

材料別、工程別に見ると、負の製品の **MFCA** 値、**LIME** 値は、それぞれの工程で発生する材料の負の製品物量に比例する。ただし、材料が外部リサイクルにより売却できる場合、それは製造コストを引き下げる効果をもたらす。この場合は、単純に材料の負の製品物量に比例することにはならない。

また、複数材料で構成される場合、それぞれの工程でロスになる材料の材料単価（円／kg）および **LIME** 統合化係数（円／kg）により、負の製品マテリアルコスト、および負の製品 **LIME** 値は異なる。

従って、負の製品マテリアルコストの順位は、負の製品 **LIME** 値の順位と等しいとは限らない。

MFCA 単独の改善では、製造コストダウンに寄与度の大きい工程だけを注目することがありえる。**MFCA** 値と **LIME** 値の工程別評価は、製造コストダウンに寄与度の大きい工程と環境負荷低減の寄与度の大きい工程が異なる場合、それを明確にするメリットがある。

(3) MFCA 値と LIME 値の項目別の評価

ここで述べる項目とは、MFCA に関するマテリアルコスト、エネルギーコスト、廃棄処理コストと、それぞれに対応したマテリアルの LIME 値、エネルギーの LIME 値、廃棄処理の LIME 値のことである。

3 つの事例の評価結果の要約を、再度、整理すると、以下のようになる。

① サンデン

この製品の製造では、負の製品の“エネルギー”の MFCA 値、LIME 値は、負の製品の“投入材料”の MFCA 値、LIME 値の、それぞれ 1 割程度である。

② キヤノン

改善前、改善後ともに、負の製品の“投入材料”は、MFCA 値と LIME 値、どちらも“エネルギー”や“廃棄処理”の項目の数値より、非常に大きな数値となっている。

③ 田辺製薬

MFCA の金額に比して、LIME 値の金額が非常に小さかったため、MFCA 評価で十分であると思われるが、MFCA の金額に比して LIME 値の金額が無視できない場合は、LIME 値全体におけるエネルギー LIME 値の比率の高さが、意味を持つようになる。すなわち、MFCA の計算による製造コストの評価だけではあまり浮き上がってこないエネルギー消費量削減の重要性が、LIME 値（環境影響）も合わせた評価を行うことによって明確となるとと思われる。

マテリアルコストとマテリアルの LIME 値は、最初に述べた図 2-1 の①の領域、すなわち使用する材料そのものの製造ステージのものである。その環境面の特性は、使用する材料が特性として持っている環境負荷を表している。

エネルギーコストエネルギーの LIME 値は、図 2-1 の②の領域、すなわち MFCA 計算対象の製造プロセスのものである。その環境面の特性は、MFCA 対象の製造プロセスそのものが与えている環境負荷を表している。

廃棄処理コストと廃棄処理の LIME 値は、図 2-1 の③の領域、すなわち MFCA 計算対象の製造から排出される廃棄物の処理ステージのものである。その環境面の特性は、製造プロセスから発生する廃棄物が与えている環境負荷を表している。

これらの大きさは、使用する材料やエネルギー、廃棄物のコストの単価（円/kg）、LIME 統合化指標（円/kg）、および、その投入物量、負の製品物量に依存して決まる。この項目別のコストおよび LIME 値も、3 つの事例でそれぞれ異なった表れ方をした。

MFCA は、廃棄物になった材料の物量と経済的な価値を評価する手法であり、それ単独で用いると、廃棄物の発生量そのものを削減する取り組みを促進させる。それは材料の使用量削減になり、使用材料の製造ステージの環境負荷を低減させる。しかし、廃棄物の発

生量の削減よりも、その廃棄物の処理方法の改善、あるいはエネルギー設備の改善に着目したほうが、環境負荷を低減する効果が大きいこともある。

MFCA 値と LIME 値の項目別の評価は、材料のロス物量よりも環境負荷低減の効果の大きい課題の有無を確認できる。

（４）MFCA 値と LIME 値の全体評価

全体評価は（材料別、工程別、項目別ではない）トータルな評価であり、製造プロセス全体としてのコスト面、環境負荷面での変化や、改善による製造コストダウンと環境負荷低減への寄与度、影響を総合評価するという面での意義を持つと思われる。

3つの事例の評価結果の要約を下に整理したが、上記の意義を考慮すると、キヤノンの事例のように、経済面、環境面の両面による改善効果の確認する場合に、その価値が最も現れると思われる。

① サンデン

この製品の製造においては、負の製品（材料のロス）が、製品 1 個あたり 121.6 円の製造コストのロスを生み出し、55.9 円の社会的なコストを生み出している。

② キヤノン

改善前のこの製品の製造全体では、製品 1,000kg あたり 102.5 千円の製造コストのロスを生み出し、かつ 14.2 千円の社会的なコストを生み出しているといえる。

この改善により、MFCA の負の製品コストが全工程合計で 46%削減された。その改善によって、負の製品の環境負荷を、LIME 値で 33%削減する効果があった。

③ 田辺製薬

負の製品全体では、LIME 値は MFCA 値の 2.3%に過ぎない。

表 2-18 のマテリアル・フローコスト・マトリクスで、製造工程全体の製造コスト合計と LIME 値合計を比較した場合、LIME 値（70.2）は MFCA 値（6250.6）の 1.1%程度だった。

MFCA は、廃棄物発生量削減の取り組みの経済的な効果を、かなり正確に定量化する。この種の改善は、MFCA 単独では、材料（すなわち資源）の使用量の削減としてでしか、その環境面の効果を表すことができない。MFCA 値と LIME 値の全体評価は、改善によるコストダウン効果と対比しつつ、その環境面の効果を定量的、かつ総合的に表す意味がある。これは、企業の経済性向上の取り組みを、環境貢献活動として評価し、アピールする材料になる。

(5) CO₂排出量による評価

LCA のインベントリ分析を行う中で、個々の材料の生産段階、使用段階、廃棄段階の CO₂ 排出量の原単位が求められる。今回の MFCA-LCA 統合評価の中で、LIME 統合化指標 (円/kg) に代わりに CO₂ 排出量の原単位 (ton・CO₂/kg) を使い、3 つの事例の負の製品やその廃棄処理が、どの程度の CO₂ 排出量になっているかを評価した。

3 つの事例の評価結果の要約を、再度、整理すると、以下のようになる。

① サンデン

この製品の製造の場合、材料ロスの削減は、CO₂ 排出量削減に非常に効果の大きな取り組みである。

② キヤノン

この改善の結果、製品 1,000kg 製造あたりの、負の製品の環境への影響は、CO₂ 排出量に換算すると、4.907 ton・CO₂ から 4.219 ton・CO₂ に削減された。

③ 田辺製薬

CO₂ 排出量削減の対策の方向性として、マテリアル面とエネルギー面の両面の改善活動が示唆された。

LIME 統合化指標と CO₂ 排出量の原単位は、比例的な関係にあるわけではない。しかし今回の 3 事例では、それぞれ LIME 値で評価した場合と同じ方向性の結果が導かれたといえる。また、使用する材料によっては、材料の使用量の削減が、その工場の中での省エネルギーの取り組みよりも、CO₂ 排出量削減効果が大きいこともある。CO₂ 排出量による評価は、工場における CO₂ 排出量削減の取り組みを行う場合に、その重点課題を明確にするメリットがある。

ただし、地球温暖化への影響は、CO₂ 排出量だけでは評価しきれない。地球温暖化への影響を測る指標として、通常は GWP (地球温暖化係数) が用いられる。メタンや CFC などは CO₂ よりも GWP の値が大きく、インベントリ分析でそうした物質の量が大きい場合は、地球温暖化への影響度はより大きいなものになる。地球温暖化への影響 (GWP) を見るためには、LCIA の特性化評価を行う必要がある。

(6) MFCA-LCA 統合評価のメリットのまとめ

(1) から (5) をまとめると、MFCA-LCA 統合評価には次のメリットや意味があると思われる。

- ① MFCA 値と LIME 値の材料種類別の評価は、材料単価は安くても環境負荷の大きい材料の使用量削減や、ロス量削減の改善を考えるきっかけになることが期待される
- ② MFCA 値と LIME 値の工程別評価は、製造コストダウンに寄与度の大きい工程と環境負荷低減の寄与度の大きい工程が異なる場合、それを明確にするメリットがある

- ③ MFCA 値と LIME 値の項目別の評価は、材料のロス物量の削減よりも環境負荷低減の効果の大きい課題の有無を確認できる
- ④ MFCA 値と LIME 値の全体評価は、改善によるコストダウン効果と対比しつつ、その環境面の効果を定量的、かつ総合的に表す意味がある。これは、企業の経済性向上の取り組みを、環境貢献活動として評価し、アピールする材料になる
- ⑤ CO₂ 排出量による評価は、CO₂ 排出量削減の取り組みを行う場合に、その重点課題を明確にするメリットがある

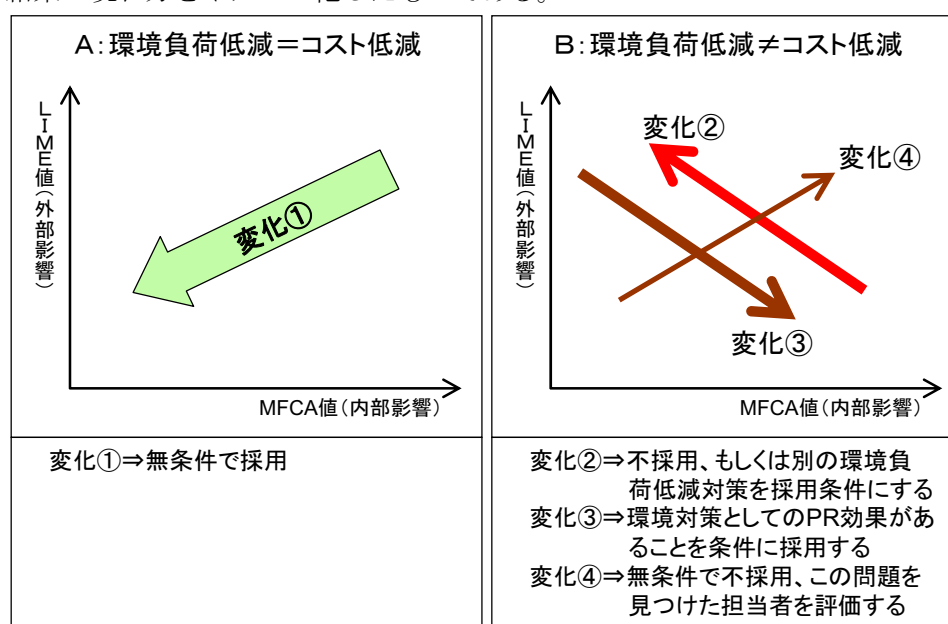
(7) MFCA-LCA 統合評価情報、結果の活用

(6) で述べたメリットは、モノづくりにおける環境性と経済性の両立を目指す企業にとって、企業内部の意思決定のための情報として、非常に有効な情報といえるであろう。

特に(6)の①から③は、具体的な管理、改善を行なう役割を担う、製造、技術、原価、環境などの部門の担当者や管理者に、環境負荷低減とコストダウンの両立をするための具体的な改善課題や改善効果を見せる働きがある。

また(6)の④の MFCA 値と LIME 値の全体評価は、その取り組みを外部にアピールする情報としても価値が高いと思われるほか、企業の経営者層にとって、製品開発、製造技術開発、製造ライン建設などにおいては、その意思決定の重要な情報にもなりえるものである。

図 2-22 は、新しい製造技術開発、製造ライン建設などの場合に、MFCA-LIME 統合評価を活用して、従来の製造技術、製造ラインと新しく開発、建設するものとを、比較評価した際の結果の現れ方をイメージ化したものである。



(図 2-22 MFCA-LIME 統合評価結果とそのアクション)

基本的な製造方法や製造プロセスが従来と変わらない場合は、図 2-22 の左の A：環境負荷低減＝コスト低減の Type①になることが多いと思われる。しかし、製造方法や使用材料が大きく変わる場合などにおいては、図 2-22 の右の B：環境負荷低減≠コスト低減の Type ②～Type④になることもありえる。

経営者、管理者は、この評価結果を踏まえて、この方法による製造技術の開発、製造ラインの建設を行なうかどうかなどの判断が求められる。評価結果のタイプ別に、環境経営を志す経営者、管理者の判断、アクションとして、ありたい姿の例を、以下に記す。

方法①：無条件で採用

この場合は、環境負荷もコストも下がるため、どのような場合も、ほぼ無条件で採用されられると思われる。

方法②：条件付きで採用

この場合は、コストダウンにはなる一方で、環境負荷が高くなる。この方法は、環境と経済の両立の視点からは、経営者、管理者としては、認められないと判断するべきであろう。しかし場合によっては、何らかの理由でこの方法を採用せざるを得ないこともありえる。その際には、この MFCA・LIME 統合評価対象の製造プロセスで増加する LIME 値を、相殺してもなお余るような環境負荷低減対策を別に行う（例えば、CO₂ 排出量増加分以上の効果の植林を行う）ことを条件とするような判断、指示を行うべきと思われる。

方法③：条件付きで採用

この場合は、環境負荷低減にはなっても、コストアップになるものである。公害対策などの場合は、ほぼ無条件で行わないといけませんが、そうでなければ、企業としては採用を躊躇せざるを得ない。環境負荷低減の取り組みや効果を、消費者や顧客、株主などにアピールし、その支持をもらうことが条件として求められる。それも難しい場合は、競争力低下を招くものであり、採用は難しいものと思われる。

方法④：ほぼ無条件で不採用

この場合は、評価結果がでた時点で、ほぼ不採用と判断できるであろう。担当者は、別の方法の検討に、すぐに取り掛かることになる。しかし、顧客からの要請など、別の理由によって、この方法による製造を行わざるを得ないこともある。その際は、コストアップに見合った販売価格の設定を行うと同時に、改善②と同様に、別の環境負荷低減の対策を行うことを条件とした採用をするべきと思われる。

2-5. 今後の課題

前節で述べたように、MFCA-LCA 統合評価は、MFCA 単独の評価だけでは得られない課題やその優先度を示すというメリットがある。MFCA を活用してモノづくりの改善を行なうことは、材料の使用量削減につながり、経済性向上と同時に資源生産性向上が果たせるのは間違いない。ただし、その資源生産性向上の環境負荷低減効果の定量的な評価には、LCA は欠かせない。

MFCA-LCA 統合評価の活用は、MFCA の管理ツールとして持つ経済性向上のメリットを、より大きな環境性向上につなげるマネジメントを行うためには、非常に大きな価値を持つと思われる。

ただし、次にあげるような点で課題があり、それを克服することで、この手法の普及、活用が進むと思われる。

1) MFCA-LCA 統合評価のための LCA データの標準化による効率的な LCA の実施

今回、3 事例で MFCA-LCA 統合評価を行ったが、LIME 統合評価係数の算出を行うまでのところに、課題が多い。

日本では、LCA そのもののデータベースが充実しているというわけではない。今回は LCA のインベントリ分析に関しては、インベントリデータが豊富な Ecoinvent（ヨーロッパの LCA データベース）を活用した。使用材料によっては複数の Ecoinvent のデータの平均値を使用した。

また、一度、算出した LIME 統合化係数を用いて MFCA-LCA 統合評価をした上で、六価クロムの影響を除外して、再度、MFCA-LCA 統合評価を行った。これは、今回用いた Ecoinvent のデータを用いると、LIME 統合化係数に占める六価クロムの影響度が非常に高くなるが、日本における化学物質管理の水準で考えると、六価クロムの影響はそれほどではなく、現実的ではないと判断したためである。

精度の高い LCA も必要ではあるが、そのためには LCA に時間がかかることも事実で、この手法の普及のためには、MFCA-LCA 統合評価のための LCIA データ（LIME 統合化係数）の標準化が望まれる。

2) 評価視点の明確化による、効果的な MFCA-LCA 統合評価の実施

今回の 3 事例では、それぞれ材料別、工程別、項目別など、あるいはその組み合わせをして MFCA-LCA 統合評価を行った。

それぞれの製品の材料特性や生産特性などにより、評価結果が大きく異なることが分かったが、一方で、材料特性や生産特性などを整理することで、細かく分析する必要のない評価視点も、場合によってはありえると思われる。

各社の製造で用いる材料種類の特徴や、その製造プロセスの特徴を層別し、そのタ

イブごとに、どのような視点による評価を行うとどんな結果が得られるかなどの傾向が分かっていると、効果的な MFCA-LCA 統合評価が実施できると思われる。

ここで、材料種類の特徴の層別とは、次のようなものが考えられる。

- ・ 材料の購入単価も、環境負荷としての LIME 統合化係数も、両方が大きい材料
 - ・ 材料の購入単価は大きい、LIME 統合化係数は小さい材料
 - ・ その反対に、材料の購入単価は小さい、LIME 統合化係数が大きい材料
 - ・ 材料の購入単価も、環境負荷としての LIME 統合化係数も、両方が小さい材料
- また製造プロセスの特徴の層別とは、次のようなものが考えられる。

- ・ 切削加工のように、1 種類の材料だけを加工する製造プロセス
- ・ 複数の材料を組み合わせた加工を行う製造プロセス
- ・ 化学反応など、材料そのものが変化していく製造プロセス
- ・ 工程内で材料がリサイクルされる（再利用、再投入される）製造プロセス

層別の視点は、まだ他にも多くあると思われるが、ある程度、こうしたものでその重点的な評価視点と、そこで得られる結果の傾向と、その情報の活用方法が明確になると、効果的な MFCA-LCA 統合評価になるとと思われる。

またそのためには、MFCA-LCA 統合評価は、その適用研究事例を充実することが望まれる。

3) MFCA-LCA 統合評価結果の活用する仕組みの構築

2-4.(7) で述べたように、MFCA-LCA 統合評価結果は、製造部門、原価管理部門、技術部門などが、その管理、改善のアクションを取るために、非常に有益な情報を与える。また、製造技術開発やライン開発などの設備投資を行う際に、経営者や管理者が、そこで採用する方法の選択や、条件などを検討する上でも、非常に有益な情報を与える。

しかし LCA の評価結果は、MFCA と異なる視点のものである。この手法の普及のためには、LCA の評価結果を、企業の組織の中で生かすために、どのような部門がどのようなアクションを取るべきか、また、MFCA-LCA 統合計算や評価を行うタイミングや場面など、その活用方法や仕組みを明確にすることも必要と考えられる。