

地域の循環連鎖を評価する マテリアルフローコスト会計の構築

柴田 学¹・松本 亨²

¹正会員 工修 北九州市立大学 特任研究員 国際環境工学部 (〒808-0135 北九州市若松区ひびきの 1-1)

E-mail: shibatam@newjec.co.jp

²正会員 工博 北九州市立大学 助教授 国際環境工学部

matsumoto-t@env.kitakyu-u.ac.jp

本研究は、企業の新たな環境管理会計として開発が進むマテリアルフローコスト会計を用いて、地域の循環連鎖を評価する環境会計のモデルを構築したものである。具体的には、我が国と海外におけるマテリアルフローコスト会計の導入動向を踏まえ、同手法を地域の循環連鎖の評価に拡張するための理論的検討を行うとともに、具体的な基本フレームを開発した。また、北九州エコタウンを対象にケーススタディを行い、構築した手法の有効性を検証した。その結果、地域の資源循環管理における現状把握と課題の抽出、立案した対策の評価とその確認といった作業が統一的なフレームで実行可能となることが実証され、本研究の提案手法が実際の政策過程においても有効な管理ツールとなることを示した。

Key Words: *material flow cost accounting (MFCA), Kitakyushu eco-town project, material flow analysis (MFA), zero emission*

1. はじめに

地域の資源循環においては、様々な立場の主体によって循環の鎖が作られ、さらにその鎖どうしが相互に連なりあった結果、2つの大きな循環の連鎖を形成している。一方は、原材料の採取から素材の生産、加工・製造を経て最終的な消費者へと送り届ける動脈側の産業間連鎖である。他方は、消費後に不要物として排出された廃棄物に人工的な処置を施すことで動脈側に再度資源供給を図ろうとする静脈側の産業間連鎖である。地域がこうした循環連鎖の構造を有している以上、地域資源循環の評価にあたっては個々の構成要素を見るだけでは全体最適の面から不十分が多く、複数主体によって構成される循環連鎖全体をやはり対象とすべきであろう。

ところで現在、新たな環境管理会計手法の一つとしてマテリアルフローコスト会計の開発が企業への導入実験を通じて進められている。これまでマテリアルフローコスト会計は工場の製造ラインへの導入にとどまることがほとんどであったが、もともと原理的には

これを工場の外に拡大することは可能であり、さらに範囲を拡大してサプライチェーン全体に適用しようとする究極的な考えをも提唱されている¹⁾。

これまでに著者らは、地域の資源循環の評価においてマテリアルフローコスト会計の考え方が有効と考え、これを応用した新たな評価手法の提案に関する研究を行い、提案手法の有効性に関する議論を重ねてきた^{2,3)}。本研究はこれまでの研究経緯を踏まえ、著者らの既往研究における概念整理を行いながら、地域を対象としたマテリアルフローコスト会計に関する理論を再構築するものである。具体的には、まずは、現在もなお発展途上にある企業版のマテリアルフローコスト会計に関する国内外の導入事例をレビューする。次に、提案手法に関する理論的検討を行うとともに、地域版のマテリアルフローコスト会計の基本フレームを構築する。最後に、構築した手法の有効性を検証するために、本研究では北九州エコタウン事業を対象としたケーススタディを行う。

2. 関連研究のレビュー

(1) 地域レベルの環境会計の導入研究

環境会計は適用範囲の空間的広がりによって、企業を対象としたマイクロ環境会計、自治体を対象としたメゾ環境会計、国家を対象としたマクロ環境会計に区分される⁴⁾。近年は、自治体レベルあるいは複数の自治体を含む地域レベルにおける環境会計の開発・導入が活発化している。

自治体が行う政策や事業の効率評価のため、環境保全のために投下した費用とそれによって得られた価値を対比するという、いわゆる環境省ガイドラインの拡張型と位置づけられる研究や導入事例がいくつかある。岩尾ら⁵⁾や辻岡ら⁶⁾は自治体の排水処理事業や一般廃棄物処理事業を対象とした環境会計表を作成し、事業評価を試みている。岡野ら⁷⁾は複数主体対応型の環境会計表を開発し、エコタウン事業の評価に適用している。また、横須賀市⁸⁾や東京都下水道局⁹⁾など、先進的な自治体では早くから環境会計に取り組んでおり、環境政策における積極的な外部コミュニケーションの形成に努力している。新しい考え方として、環境負荷物質の排出量などのフローの影響だけでなく、自然資産や人工資産のストックの価値も積極的に評価に組み入れた創造型環境会計¹⁰⁾が提案されており、橋本ら¹¹⁾はこの考え方を援用した廃棄物環境会計の枠組みを示している。

一方、自治体の産業連関表や廃棄物統計、個々の企業や産業セクターの操業データなどを収集・活用して、地域レベルにおける投入産出型の環境会計表を開発した研究例もいくつか見られる。田畑ら¹²⁾は廃棄物産業連関表を基本としたマテリアルバランス表を開発し、自治体の廃棄物処理計画の評価を行っている。また、鶴田ら¹³⁾はエコタウン内外のモノの行き来を記述する物質フロー表を開発し、ヒアリング等で得られた操業データにもとづくマテリアルフロー分析(MFA)とライフサイクルアセスメント(LCA)の結果の表現を試みている。

(2) マテリアルフローコスト会計の導入研究

マテリアルフローコスト会計(以下、MFCA)はドイツの環境経営研究所(IMU)によって開発された組織内部管理のための環境管理会計の一種である。手法の技術的原理の詳細は中畠ら¹⁴⁾が詳しいが、簡単に述べると、MFCAは製品製造に伴う廃棄物に着目し、これら廃棄物の製造原価を製品の場合と同様に顕在化することによって廃棄物削減のための気づきと貨幣・物量の両面の定量情報を提供する管理ツールであると言える。国連持続可能開発部の環境管理プロジェクト

表-1 環境効率プロジェクトに示される MFCA 導入事例

SITE	INDUSTRY SECTOR	STAFF
Fujitsu Siemens Computers, GmbH, Augsburg	Computer	2,000
Firmengruppe Merckle/ratiopharm, Ulm/Weiler/Blauweuren	Pharmaceutical	1,800
Novartis Pharma GmbH, Nürnberg (ehem. Ciba Geigy)	Pharmaceutical	850
Tanabe Seiyaku Co., Japan	Pharmaceutical	3,800
Ciba Spezialitätenchemie Pforsee GmbH, Langweid a. L.	Chemical	400
Takiron Co., Japan	Chemical	1,200
PCI Augsburg GmbH, Augsburg	Chemical	570
Lucent Technologies Network Systems GmbH, Augsburg	Cable	120
Freudenberg Haushaltsprodukte Augsburg KG, Augsburg	Textile	350
ITT Automotive Europe, Frankfurt	Automotive	100
Sortimo International GmbH, Zusmarshausen	Automotive	400
J. Stehle + Söhne AG, Aichwald	Automotive	160
Carl Zeiss, Oberkochen	Optics	6,000
Canon Co., Japan	Optics	400
Nitto Denko Co., Japan	Plastics	3,242
Konrad Hornschuch AG, Weilbach	Plastics	730
Hörauf & Köhler GmbH, Augsburg	Plastics	200
Dr. Grandel GmbH, Augsburg	Nutrition, cosmetics	180
Keimfarben GmbH & Co. KG, Driedorf	Mineral dyes	155

表-2 国内の MFCA 導入事例

導入年	導入企業	導入数
2000年	日東電工	1社
2001年	田辺製薬、タキロン、キヤノン	3社
2002年	日本ペイント、塩野義製薬	2社
2003年	東芝、清水印刷紙工、古林紙工、リード	4社
2004年	松下電器産業、NTV、クンゼ ほか20企業	23社

¹⁴⁾においては「一歩進んだ環境管理会計」として取り上げられるなど世界的な注目度が高まりつつある手法である。

MFCAの導入研究はこれまでドイツが国際的に先行しており、2000年から始まったバイエルン州の環境効率プロジェクト¹⁵⁾(ECO-Effizienz)を中心に既に数十社で導入されている¹⁾。同プロジェクトの解説書¹⁶⁾に示されるMFCAの導入事例を表-1に示す。我が国においては、2000年から始まった経済産業省の導入プロジェクトによって国内企業に初めて導入され、その後の同プロジェクトや地球環境戦略研究機関(IGES)によるMFCA導入プロジェクトのほか、企業独自の取組を加えると現在までに30社を超える導入実績となっている^{17)~20)}。同プロジェクトによる導入事例を表-2に示す。

これまでのMFCAの導入検討企業は全てが製造業であり、サービス産業や排水・廃棄物処理業への導入事例は見られない。企業規模は小さきままであり、MFCAの適用性に対してほとんど無関係である。具体的な適用対象については、ドイツでは多くの場合において工場を一つの単位とするのに対して、我が国では一つの製造ラインにとどまっている。しかし、原材料調達先の企業にまで遡ってサプライチェーンでの適用を目指す国内企業も現れ始めており、MFCAの適用範囲の拡大が今後多くの企業に広がることが予想される。なお、廃棄物処理については基本的に外部委託であるため、社外に排出された廃棄物フローは補足外の扱いとなる。

MFCAの構成要素であるマテリアルロスやコスト種は個々の導入事例ごとに細かく設定されているが、これらの詳細については筆者らの既往研究³⁾を参照されたい。

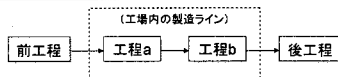
3. 提案手法の概要

(1) 基本的な考え方

MFCA の構築にあたっては、投入原材料（マテリアル）が良品および廃棄物として域外に出荷・排出されるまでの間のマテリアルフローを測定することが基本であり、物質収支はプロセス間に設定された「物量センター」と呼ばれる個々の測定点においてマテリアルの種類ごとに測定・記録される。単一の製造ラインへの適用を前提とした従来の MFCA ではライン中の工程が物量センターに対応するものであったが、個々の工場やサプライチェーンを構成するセクターが物量センターとして認識されるものとして考えれば、工場群あるいは地域に展開するサプライチェーンへと MFCA の適用を拡大することが可能である（図-1）。

なお、以下では従来の MFCA を「企業 MFCA」、本研究で提案する MFCA を「地域 MFCA」と呼ぶこととする。また、地域 MFCA の構築に際しての留意点や要求性能などの設計条件については、後章にて詳述する。

■従来のMFCAの考え方



■本研究のMFCAの考え方

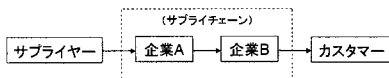


図-1 提案手法の考え方

(2) MFCA の手法的特徴

MFCA は、ある特定の良品と付随する廃棄物の生産過程に着目し、特に廃棄物の生産に要する原価を明らかにすることを主な目的とした会計学的な枠組みである（図-2）。したがって、MFCA は地域レベルでの適用であっても、個々の明確な分析目的があって初めて具体的に作成されるものであり、定期的なデータ整備を図り様々な分析の用途に供する MDPIOT²¹⁾やマテリアルバランス表¹²⁾などをはじめとする統計的環境会計とはこの点において基本的に異なる。しかし、地域の資源循環管理に関する特定の目的のもとでのモニタリングや内部構造の分析などを行う場合においては、統計情報基盤としての MFCA の構築も考えられる。

(3) 地域 MFCA の利点

これまで企業への導入が前提とされてきた MFCA を地域の資源循環に適用することで地域の「見える化」が図られ、具体的には次のようなメリットがうま

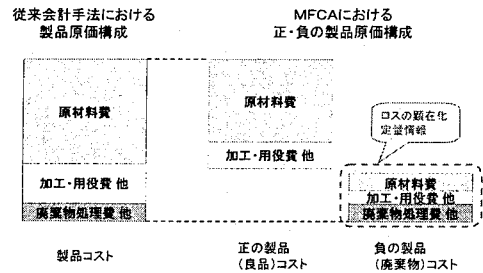


図-2 MFCAにおける原価計算の考え方

れるものと考えられる。

まずは地域管理を担う自治体にとって不可欠な管理情報を提供できる点である。地域の資源循環の最適化を考える場合、MFCA の出力表に用意された各要素の定量情報をもとに算出された管理指標や、場合によっては MFCA データを直接見ることによって、サプライチェーンあるいは地域全体の環境・経済最適化の観点から問題と思われる主体やその程度を認識し易くなり、効果的な対策立案に繋がりがやすくなる。例えば、ある財やサービスのライフサイクル全体を MFCA の対象とした場合、生産・消費・廃棄の各段階における廃棄物の発生そのものや「廃棄物の生産」に付随するコストやエネルギーが明示できるため、ライフサイクルを通じた上流側のリデュース対策や下流側のリサイクル対策の効果を定量的に評価することが可能であり、具体的な対策立案に資する判断材料の提供に繋がるものと考えられる。また、安全・安定性状の物質だけでなく、少量ながらも人体や生態系に甚大な影響を与えるような有害物質の追跡も可能なため、地域の安全性管理における有効な手段ともなり得る。さらに、MFCA はフロー情報とあわせて生産施設等ストック情報についても同一の会計フレーム上で扱うことができるため、既存施設更新の必要性や時期の評価や、新規施設整備のインフラ評価などに利用できる。循環連鎖を構成する各主体にとっても、他組織との比較や全体における自己組織の位置づけを明確に確認できるなど、有益な情報を提供することができる。この点は、多主体が関係する協業事業や相互連携を意識した産業集積などの場において、主体間の合意形成を支援するものであり、全体最適の推進を図る政策上、非常に重要な観点であると思われる。

一方、企業の社会的責任が社会的に定着しつつあり、地域経営を担う自治体にとっても地域管理や行政事務に関する情報開示と説明責任の重要性が増している。MFCA を導入することで個別の循環施策に関する統合的な評価情報を提供することができ、自治体の外部管理においても有益な管理ツールであると言える。

留意すべき点としては、元来 MFCA は特定の製品製造プロセスに投入された原材料のマテリアルフローにもとづく手法原理であるため、非常に多くの企業や産業セクターによって構成される複雑な循環連鎖のネットワーク状況を網羅的に表現するには不向きである。こうした場合の分析目的においては、投入産出型（I-O 型）の環境会計表の利用が適していると思われる。

4. 地域 MFCA の構築

(1) 構築の考え方

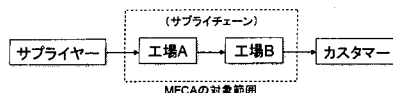
設計条件の検討にあたっては、MFCA の適用対象の空間的広がりやマクロ的な資源循環における位置づけによって地域 MFCA を 3 つの類型に区分することができる。第一は複数の工場が集積してできた工業団地における動脈側の循環連鎖であり、第二としてはリサイクル工場が集積団地における静脈側の循環連鎖、第三は市町村域や県域における生産・消費・廃棄を包含した動脈・静脈全体の循環連鎖である。

以下、地域 MFCA の枠組みを構築するための設計条件について、企業 MFCA との比較の中で表-3 の通り検討した。

a) 動脈産業・静脈産業

企業 MFCA は製造業への導入を意識して設計されたツールであり²²⁾、2 章で見てきたように実際に全ての導入事例がそうした動脈側の産業であった。しかし、原理的にはサービス業への適用も可能であるため¹⁾、廃棄物の適正処理や再生資材の供給を通じて財・サー

① 複数工場群の MFCA (サプライチェーンの形成)



② 地域全体の MFCA (サプライチェーンの並存・連携)

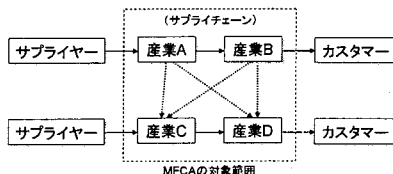


図-3 地域 MFCA の対象範囲

ビスを提供する静脈側の産業に対しても MFCA は適用可能である。この考えを応用すれば、動脈産業と静脈産業の双方を含む資源循環システム全体を対象とした「究極の MFCA」を構築することも可能である。

b) 適用範囲と物量センター

ドイツをはじめとして海外では工場単位での導入が行われているが、我が国の企業 MFCA では工場内の一つの製造ラインが適用の範囲である。これに対し、地域 MFCA では工場群や地域全体が対象であり、複数の工場がサプライチェーンを形成している場合もあればそうしたサプライチェーンが並存または連携するような内部構造を有する場合も考えられる（図-3）。この場合は、工場あるいは産業セクターが物量センターとなる。

c) 地域別の由来・帰着先

地域レベルにまで拡大した資源循環について議論

表-3 地域 MFCA の設計条件

条件	企業MFCA	地域MFCA		
循環上の位置づけ	動脈	動脈	静脈	動脈・静脈
適用範囲	製造ライン	複数工場群	複数工場群	地域全体
適用対象	直列型のライン	並列型のライン (相互連結もあり)	並列型のライン (相互連結もあり)	並列型のライン (相互連結もあり)
物量センター	工程	工場	工場	産業セクター
原材料由来の地域別表現	なし	可能	可能	可能
良品・ロス補正先の地域別表現	なし	可能	可能	可能
フローコストマトリックス	貨幣	貨幣・物量	貨幣・物量	全体表（貨幣・物量）、 動脈表（貨幣・物量）と静脈表（貨幣・物量）のハイブリッド
良品	次工程への引渡製品	各工場からの出荷製品・サービス (熱・電気供給など)	各工場からの出荷製品・サービス、 適正処理（処分量削減、公衆衛生）	各セクターが産出する財・サービス、 適正処理（処分量削減、公衆衛生）
代替効果の扱い	なし	なし	既存生産の代替	既存生産の代替
マテリアルロス	工程で発生した廃棄物	各工場で発生した廃棄物	各工場で発生した廃棄物・最終廃棄物	各セクターで発生した廃棄物・最終廃棄物
輸送・廃棄物処理の扱い	系外	系内・外	系内・外	系内・外
マテリアルコスト	投入原材料 (貨幣) (物量) — (上記の購入費)	購入原材料、系内ストック材 (上記の購入費) (上記の重量)	受入廃棄物、系内ストック材 (上記の購入費) (上記の重量)	移入材、系外廃棄物、系内ストック材 (上記の購入費) (上記の重量)
システムコスト	工場内の生産・管理・維持 (貨幣) (物量) — (上記の費用)	系内の生産・管理・維持・輸送 (貨幣) (物量) (系内で発生する環境負荷)	系内の生産・管理・維持・輸送 (貨幣) (物量) (系内で発生する環境負荷)	系内の生産・管理・維持・輸送 (貨幣) (物量) (系内で発生する環境負荷)
システム外部コスト	工場外への委託 (貨幣) (物量) — (上記の費用)	系外への委託 (貨幣) (物量) (系外で発生する環境負荷)	系外への委託 (貨幣) (物量) (系外で発生する環境負荷)	系外への委託 (貨幣) (物量) (系外で発生する環境負荷)

表-4 FCM の標準的な様式

製造コスト (in US \$ a.)	マテリアル コスト	システム コスト	配送/廃棄物 処理コスト	合計
製品	85	22	0	125
包装	27	18	2	47
マテリアルロス	19	4	1	24
合計	131	44	3	196

注) 表中の値はドイツ製薬会社での適用結果である (参考値)

する場合、対象とする域内部の循環だけでなく、域外との資源や廃棄物のやり取りに関しても留意することが重要である。つまり、投入原材料や良品・廃棄物の由来元と帰着先を地域別に捉える必要がある。

d) フローコストマトリックス

MFCA におけるデータ集計・報告様式には、フローコストマトリックス (以下、FCM) と呼ばれる表形式がある。Strobel ら¹⁶⁾が提唱する FCM の標準様式は表-4 の通りである。これまでの企業 MFCA では貨幣単位で作成されているが、これは廃棄物発生を抑え資源生産性を高めていくための内部管理をコスト概念で集計していくことによる。これに対して、地域を対象に考える場合は、資源循環を構成する複数の企業や異種のセクターが計測単位となるため、MFCA 構築に対する各主体の理解度の相違や利害関係の構図から、貨幣単位での計測及び公開の方法について一般的により大きな困難が伴う。地域 MFCA においては、着目する循環連鎖が総体としての環境負荷を低減しているのかどうかを分析することが第一義的な関心事であり、その観点からも、まずは投入資源量や廃棄物発生量、生産に付随する環境負荷などを物質固有の物量単位のまま集計・評価することに価値を見いだすことができる。ただし、貨幣単位での集計を否定するものではなく、データの計測・公開が可能ならば貨幣単位の会計表作成も重要な意味を持つであろう。

また、先に述べたように、地域 MFCA は様々な空間スケールにおいて動脈産業のみならず静脈産業や循環全体をも適用対象とするため、フローコストマトリックスもそれらに対応する形で構築する必要がある。つまり、動脈産業には動脈 FCM を、静脈産業には静脈 FCM をそれぞれ作成することとなる。また、静脈産業は再生品製造など動脈産業的な一面も有しており、動静脈を含む循環全体が対象範囲であるとも考えられるため、循環全体の FCM は静脈 FCM をベースに考えれば良いと言える。一方では、動脈 FCM と静脈 FCM をつなぐハイブリッド方式による開発も想定できる。

e) 良品・代替効果・マテリアルロス

製造業への導入が前提であった企業 MFCA においては、良品の概念は物質的なモノに限定されていたが、特に静脈部門をも取り扱う地域 MFCA においては良品の概念を拡張する必要があると思われる。具体的

は、良品とは投入原材料のうち、当該工程の目的である財やサービスの産出に使用されたものが良品、残りがマテリアルロスというように定義することができよう。例えば、熱供給業や電気供給業では物質的な原材料の投入の結果生み出すものは非物質的なサービスと言え、こうした業種も含む範囲が MFCA の対象となる場合は、これら無形のサービスについても良品として捉えることが適当である。

廃棄物を投入原材料として受け入れ、処分量低減や公衆衛生の確保のための処理・処分を行う静脈産業においては、これら廃棄物の適正処理サービスを良品として認識する必要があることも重要な点である。また、近年の静脈産業は再生品の供給産業としての面も大きくなってきているため、再生品製造による天然資源由来の同等品製造の代替効果についても MFCA の枠組みの中で表現する必要がある。一方、マテリアルロスについては、静脈産業で発生する廃棄物は域外におけるリサイクルにまわるものもあれば、最終処分場に向かうものもあるため、これらを区別して取り扱う必要がある。

f) 輸送・廃棄物処理

企業 MFCA は工場内の単一製造ラインへの導入が前提であったため、輸送や廃棄物処理の工程は MFCA の境界の外としての扱いである。これに対して、地域 MFCA では境界の内部に複数の工場や産業セクターが存在するため輸送や廃棄物処理の工程が境界内に位置づけられることも大いにあり得る。工程が境界の内外に存在するかによって、後述するコストの検討に影響することになるため留意する必要がある。

g) コスト要素

MFCA では良品およびマテリアルロスの製造原価は、原材料費にあたるマテリアルコスト、工場等稼働に必要なシステムコスト、外部に委託する場合の輸送・廃棄物処理コストの3つによって構成される。企業 MFCA ではこれら全ては貨幣単位で測定・評価されるものであったが、本研究では先に述べた通り、物量単位の FCM も提案しており、3つのコスト全てを物量の面から評価する必要がある。

マテリアルコストとして補足する対象は、基本的には域外からの投入原材料であり、一般の購入材のほかに、域外からのリサイクル材や受入廃棄物である。域内におけるリサイクル等による再投入はマテリアルコストとして捉えるべきではないが、域内ストック材の切り崩しフローについては外部からの供給として考えることができる。貨幣単位の評価はあくまでも投入原材料の購入費がベースであり、費用のかからないものはゼロあるいはマイナスの評価となる。物量での表示は、全ての投入原材料の重量によって評価する。

企業 MFCA において、システムコストは生産活動の実施・継続のために境界内で必要となるフロー・ストック両面のコスト概念を指す。それに即して地域 MFCA を考えると、物量単位で表現するシステムコストとしては、資源循環に係る資源消費と環境負荷として捉えることができる。なお、システムコストを環境負荷として表現する場合は、物質固有の物量単位を持つマテリアルコストとの合算が単純には行えない点に留意する必要がある。

輸送・廃棄物処理コストは域外部に支払う外注費としてのコスト概念である。地域 MFCA の場合は域内で行われる工場間輸送や廃棄物処理も想定されるが、これらは上記のシステムコストの一部として捉えるべきであろう。コスト概念における空間的境界を明確にする意味においても、システム外部コストなどの名称に変更するのが適当と思われる。物量単位での表現はシステムコストと同様の考え方であり、製造等活動に伴い域外部で発生する環境負荷と捉えることができる。

g) 評価指標

MFCA を導入する大きな意義は、マテリアルロスに付随する製造原価（物量表示の場合は付随する環境負荷）が観察できるため、マテリアルロスの低減を通じた投入原材料の削減が図られることにある。動脈の MFCA や循環全体の MFCA においては、主にこうした観点から循環連鎖の資源生産性などが評価され、環境と経済の両面から利益が得られる代替案の検討などに活用されよう。しかし、静脈プロセスに限ってみれば、多くの企業では処理費を徴収する形で投入原材料（廃棄物）を調達しており、投入資源の削減が必ずしも経営上のメリットとはならないこととなる。したがって、従来から言われている最終マテリアルロスに付

随する環境負荷や、本質的な静脈機能である最終処分量の低減効果あるいはプロセス全体の環境負荷といった指標に加えて、特に静脈の MFCA においては、投入廃棄物を所与とした上での再生資源への変換効率などといった静脈経営に配慮した形の指標整備も必要であると考えられる。

(2) 地域 MFCA の FCM

ここでは、地域 MFCA の構築例として、静脈側の工場群への適用を想定した FCM の基本フォーマット（物量表示）を表-5 に示す。また、FCM を使った具体的な分析の流れを図-4 に示す。表頭の 3 つの要素のうち域内部での再投入分とは、対象範囲に既に投入された原材料が内部連携のために域内の他の物量センターに再投入される場合を想定しており、域内で閉じたフローの物量をここに計上する。マテリアルコストは域内に投入される原材料の重量で表す。システムコストはライフサイクルの CO₂ 排出量で評価し、CO₂

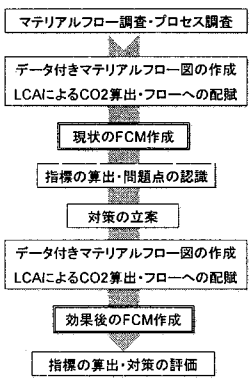


図-4 FCM による分析の流れ

表-5 静脈側の工場群への適用を想定したフローコストマトリックス（物量表示）

			系内での再投入分			マテリアルコスト			システムコスト								
			廃棄物	再生材	合計	(産業廃棄物)		計	建設		運輸		輸送・廃棄物処理		計		
						域外(市内)	域外(市外)		域内	域外	域内	域外	域内	域外			
域内	良品		対象範囲内の相互連携 (既投入材の域内再投入)			最終のマテリアルロス			最終マテリアルロスに付随する環境負荷(LCCO2)								
	マテリアルロス	リサイクル															
	最終処分																
	計																
域外	良品		-	-	-	対象範囲における物質収支											
	マテリアルロス	リサイクル	-	-	-												
		最終処分		-	-												-
		計		-	-												-
	計		-	-	-												最終のマテリアルロス
計		-	-	-													
計			-	-	-	廃棄物の総受入量			静脈プロセスに係る全環境負荷(LCCO2)								
リサイクルによる代替効果			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			

の発生場所によって域内と域外とに区分する。域外のシステムコストとは MFCA 対象範囲外で生じる CO₂ 排出量のことを指し、企業 MFCA における配送／廃棄物処理コストの概念と同一である。表側は域内および域外に帰着する良品およびマテリアロスであり、マテリアロスはさらに帰着先に応じてそれぞれリサイクルと最終処分とに区分した。また、静脈プロセスに関わる項目としてリサイクルによる代替効果を表現するための行も設けた。

(3) データ整備の方法

本研究で提案する地域 MFCA の具体的な適用対象には、その循環規模に応じて大きく次の2つのレベルが想定される。すなわち、複数の企業群・工場群から成る産業連鎖（サプライチェーンやエコタウンなど）と、複数の産業セクターを包含する行政区全体の資源循環構造（有機性資源の地域資源循環など）である。両者において、物量センターとして捉えられる対象のレベルは異なるものであり、それによりデータ整備も各々に適したアプローチが取られるべきと考えられる。

産業連鎖を対象とする場合、企業や工場が物量センターとなり、個々の企業のマイクロデータを積み上げるボトムアップ方式によるデータ整備のアプローチが考えられる。ただし、この場合は適用対象に複数企業が含まれることとなり、企業のマテリアルフローや LCA に関するデータの入手・加工にはその可能性も含めて留意する必要がある。なお、この種の問題は MFCA に限ったものではなく、製品の LCA や RoHS 対応など、複数企業が関連するサプライチェーンを分析対象とした場合、全般的に言えることでもある。

一方、行政区全体の資源循環構造を対象とする場合、物量センターは地域内の農業や加工業などの産業セクターとして捉えられる。その際のデータ整備としては、物量センターの定義がより上位概念となることに加えて対象とする循環システムがより広範となることから、地域や国の既存統計といったマクロデータをもとに生産額や地域人口などから当該セクターの活動データを推計するトップダウン方式を基本とすることが考えられる。一部データについては積み上げを行うなどして、マイクロデータを組み入れることも望まれる。

本研究で提案する地域 MFCA はメゾレベルの環境会計であると言える。そのデータ整備にあたっては企業等のマイクロデータと国等のマクロデータの利用が考えられることは前述のとおりであるが、これらのデータについて企業と国がそれぞれの環境会計として整備することを想定した場合、地域 MFCA の構築を通じて、環境会計における効果的なマイクロ・メゾ・マクロ連携が図られることが可能となると考えている。

5. 北九州エコタウンのケーススタディ

本研究で提案・構築した手法の有効性を検証するため、静脈側の工場群の好例として北九州エコタウン事業を取り上げ、立地企業の MFA データおよび LCA データにもとづく現状評価と、さらなるゼロエミッション推進を目指した相互連携の可能性について分析を試みた。

(1) 分析対象

北九州エコタウンは、平成 9 年度に川崎市など 3 つの自治体とともに全国ではじめて計画承認されて以来、全国エコタウンの先駆けとして我が国で最も注目される取組の一つとなっている。北九州エコタウンには現在 20 を超えるリサイクル企業が立地しており、各工場では主に福岡県内や周辺の広い地域から産業廃棄物を受け入れるとともに、それらを鉄、アルミ、プラスチック、および木質チップ等の資源に再生し、北九州内外の需要家に供給している。平成 14 年度には第 2 期の計画が策定され、今後さらなる地域ゼロエミッションの推進に向けた取組が活発化することとなっている。

北九州エコタウンには様々な物質が行き交っており、地域 MFCA の具体的な分析対象を設定しなければならないが、本研究では木質系資源のフローに着目することとした。木質系資源は性状が安定しており廃棄物中の選別状態も比較的良好で、またエコタウン内の複数工場での取り扱い実績や工場間の相互融通の可能性も高いと考えられるため、本研究で提案する手法の有効性検証に適した分析対象ケースであると判断した。北九州エコタウンにおいて処理・リサイクルされる木くずは、建設系の廃木材、遊具や OA 機器の木質構成部品、木質チップ、木質パレットなどであり、これらはすべて有価での受入となっている。

本研究では、木質系資源に関連するエコタウン企業のうち、筆者らが過去から続けているヒアリング等において有効な情報が得られた 3 つの工場と、平成 17 年度に新たに稼働を開始した複合中核施設を取り上げ、これらの工場間でやり取りされる木質系資源のフローについて地域 MFCA の適用を試みた。

(2) 現状推計と課題の抽出

ヒアリング情報にもとづき整理した木質系資源のデータ付きマテリアルフローモデルは、図-5 に示す通りである。なお、ヒアリングで得た情報には各企業の機密情報が数多く含まれており、本稿では包括的な表現としておくことをあらかじめことわっておく。エコタウンで受け入れる木質系資源は年間約 1.9 万 t で

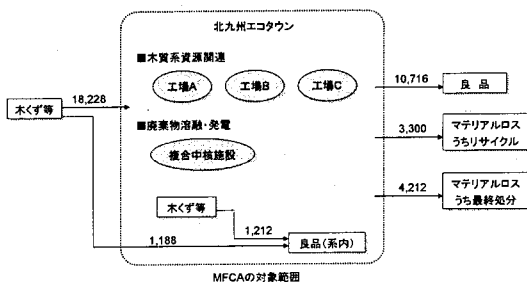


図-5 北九州エコタウンにおける木質系資源の現状フロー（単位：t/年）

あり、域内の工場で処理・リサイクルされた後は、約半数が木質チップや建材用木質製品として域外に出荷されるほか、多くの処理済みの木くずが最終処分やそれを前提とした中間処理場へと運ばれている。また、エコタウン内部で消費されるものもわずかなのであるが存在している。

次に、工場のプロセスデータや輸送に関するデータをもとに各工場のリサイクルに伴う CO₂ 排出量を算出し、これを投入原材料が最終的に帰着する良品およびマテリアルロスに配分した。CO₂ 排出量の配分は主に重量ベースで評価した。

これらの情報を整理し、先に示した FCM のフレームで表現したものが表-6 である。なお、工場ストックの整備に伴う建設データは入手できていない。エコタウンに投入される木くず等産業廃棄物のうち良品として再生されるものは 60%程度であり、残りはマテリアルロスとして域外に搬出されている。マテリアルロスの半分以上は最終処分されるものであり、これを最小化することがまず課題として見えてくる。次に、

マテリアルフローに伴う環境負荷を見ると、今回評価対象としたエコタウンの範囲における CO₂ 排出量は 0.47 万 t ほどである。これは北九州市域全体の CO₂ 排出量²³⁾の 0.03%ほどを占めるに過ぎないが、地方の小規模な自治体組織の CO₂ 排出量にも匹敵する量であり、削減に向けた取組を図る必要があると思われる。また、最終処分されることとなるマテリアルロスの製造のために要する CO₂ 排出量の割合、すなわちマテリアルロスコスト率は評価対象範囲全体の 16%ほどと高く、マテリアルロスの極小化を通じた CO₂ 排出量の削減が課題である。

エコタウンに既に投入された原材料のうち、再度域内で原材料として利用されたものは現状で 0.12t ほどであり、エコタウンのマテリアルフローと比較すると 6%ほどの規模である。この量は域内における現状の相互連携量として捉えられるが、域内で発生したマテリアルロスについて相互連携等によりできる限りの内部融通を図ることで、現状の連携規模をさらに拡大していくことが望まれる。

(3) 立地企業の相互連携による効果分析

多くの工場が集積した地域では、廃棄物の削減と製造活動に伴う環境負荷の低減に向けた一体的な取組として工場間における資源や資本等の相互融通が有効である。実際、北九州エコタウンにおいても域内の工場間相互連携に関する取組が注目され始めており、本研究で提案する地域 MFCAs の枠組みによってその効果を検証する意義は相応にあると思われる。

相互連携方策案の設定にあたっては、工場単位の現状のマテリアルフローと、ヒアリング等で得られた連携に関する各工場の意向などをもとに検討を行った。

表-6 北九州エコタウンにおける木質系資源の現状のフローコストマトリックス（物量表示）

1 年										1 年										1 t CO ₂ 当り			
				域内での再投入分				マテリアルコスト						システムコスト									
				廃棄物		再生材		合計		(産業廃棄物)		合計		建設		運輸		輸送・廃棄物処理		合計			
										域外(市外)	域外(市外)			域内	域外	域内	域外	域内	域外				
域内	良品			1,212		1,212	6%		1,188	1,188	6%	N/A	N/A	11	9	1,635	276	1,932	41%				
	マテリアルロス	リサイクル									N/A	N/A											
		最終処分									N/A	N/A											
	計			1,212		1,212	6%					N/A	N/A	11	9	1,635	276	1,932	41%				
				6%		6%	—	—															
域外	良品			—	—	—	—		10,716	10,716	55%	N/A	N/A	81	1,394	8	403	1,886	40%				
	マテリアルロス	リサイクル	—	—	—			3,300	3,300	17%	N/A	N/A	29	26		68	123	3%					
		最終処分	—	—	—			4,212	4,212	22%	N/A	N/A	8	200		535	713	16%					
	計			—	—	—						N/A	N/A	118	1,620	8	1,006	2,752	59%				
	合計			—	—	—			19,416	19,416	100%	N/A	N/A	129	1,630	1,613	1,282	4,681	100%				
	リサイクルによる代替効果			—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▲17,615	—			

(注) — : 存在しない N/A : 存在するが算出不能

表-7 相互連携方策の検討

改善対象	連携方策
市外の産廃処理場に焼却委託する木くず	・一部を別の木製品製造工場の原材料として活用 ・一部を複合中核施設の原燃料として活用
各工場で使用する電力	・複合中核施設の供給電力に変更

相互連携方策を表-7 に示す。工場から発生する木くず等廃棄物の多くが市外の産廃焼却場に運ばれているため、これら最終マテリアルロスの一部を比較的受入余裕のある別工場と複合中核施設が投入原材料の代替材あるいは燃料材としてそれぞれ受け入れることを想定した。新たに域内の木くずを受け入れると設定した別工場では、従前の原材料調達先をエコタウン内の工場に変更することのみを想定し、原材料の増量に伴う生産規模の拡大は想定しない。また、複合中核施設が発電する電力の CO₂ 原単位を試算したところ、事業用電力の原単位よりも小さくなる可能性が認められたため、各工場が使用する事業用電力を複合中核施設からの供給電力によって賄うことを想定した。なお、ここで示す連携方策はコストや廃棄物の性状など、実際上考えられる多くの制約条件を考慮したものではなく、あくまでもマテリアルフローと環境負荷の見地から発想できる一つの方策を示したものである。

相互連携後の最終マテリアルロス全体の 9%ほどに低減した一方で、域内の良品が 19%へと増加し、相互連携規模は 12%と連携前に比べて倍増した。システムコストについて見ると、エコタウン全体の CO₂ 排出量は 0.32 万 t ほどであり、連携前の CO₂ 排出量を 31%削減できる見込みとなった。マテリアルロスコスト率は 17%と連携前よりも逆に増加したが、こ

れはマテリアルロス自体が削減したことによる CO₂ 削減効果よりも使用電力変更によって達成された対象範囲全体の CO₂ 削減効果の方が大きく影響したため、マテリアルロスコストの対象範囲全体に対する相対的な比率が増大したことによる。いずれにしても、最終のマテリアルロスに付随する CO₂ 排出量、すなわち無駄と言える部分の生産に必要であった環境負荷が 743t から 533t へと 28%削減できるという可能性が示された。また、本研究の提案手法によって、地域の資源循環における相互連携方策による効果を、その発現場所を明示する形で表現と、それによるロスコスト率などの変化を明確にすることが可能となった。

6. おわりに

本研究では、企業の新たな環境管理会計として開発が進むマテリアルフローコスト会計を用いて、地域の循環連鎖を評価する環境会計のモデルを構築した。また、北九州エコタウンのケーススタディを行い、構築した手法の有効性を検証した。その結果、地域の資源循環管理における現状把握と課題の抽出、立案した対策の評価とその確認といった作業が統一的なフレームで実行可能となることが実証され、本研究の提案手法が実際の政策過程においても有効な管理ツールとなることを示せたと考える。

今後は、貨幣単位も加えた地域 MFCA を構築し、経営・経済・環境からの多面的なエコタウン評価に拡大していく予定である。また、エコタウンを内包する都市レベルの資源・エネルギーの循環システムについても、地域 MFCA の有効性検証に関する実施検討を

表-8 相互連携後の木質系資源のフローコストマトリックス (物量表示)

		1 年				1 年				1 年 (102 年)							
		域内での投入分				マテリアルコスト				システムコスト							
		廃棄物	再生材	合計		(産業廃棄物)		合計		建設		運輸		輸送・廃棄物処理		合計	
						域外(市外)	域外(市外)			域内	域外	域内	域外	域内	域外		
域内	良品	2,304		2,304	12%		3,600	3,600	19%	N/A	N/A	15	101	1,635	276	2,027	63%
	マテリアルロス									N/A	N/A						
	最終処分									N/A	N/A						
	計	2,304		2,304	12%					N/A	N/A	15	101	1,635	276	2,027	63%
		12%		12%						-							
域外	良品	-	-	-			10,716	10,716	55%	N/A	N/A	81	68	16	378	543	17%
	マテリアルロス	-	-	-			3,300	3,300	17%	N/A	N/A	29	21		68	118	4%
	最終処分	-	-	-			1,800	1,800	9%	N/A	N/A	3	70		160	533	17%
	計	-	-	-						N/A	N/A	114	159	16	906	1,194	37%
合計		-	-	-			19,116	19,116	100%	N/A	N/A	129	260	1,651	1,182	3,229	100%
リサイクルによる代替効果		-	-	-			-	-	-	-	-	-	-	-	-	▲17,615	-

注：-：存在しない N/A：存在するが算出不能

蓄積していきたい。

謝辞： 研究を進めるにあたり、情報の提供やアンケート調査にご協力頂いたエコタウン立地企業に対し、ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 中島道靖, 國部克彦: マテリアルフローコスト会計, 日本経済新聞社, 2002.
- 2) 松本亨, 左健, 岩尾拓美: 都市の有機物資源循環構造を記述するマテリアルフローコスト会計の提案, 環境システム研究論文集, vol.32, pp.305-313, 2002.
- 3) 柴田学, 松本亨: 地域の循環形成プロセスへのマテリアルフローコスト会計の導入に関する検討, 第 33 回環境システム研究論文発表会講演集, pp.315-322, 2005.
- 4) 河野正男: 環境会計 A-Z, 株式会社ビジョンティ, 2005 年
- 5) 岩尾拓美, 三角直紀, 松本亨: 自治体の排水及び廃棄物処理事業の評価のための環境会計の検討, 第 29 回環境システム研究論文発表会講演集, pp.275-284, 2001.
- 6) 辻岡信也, 森杉雅史, 井村秀文: 名古屋市の一般廃棄物処理事業における環境会計作成の研究, 第 29 回環境システム研究論文発表会講演集, pp.269-274, 2001.
- 7) 岡野雅道, 盛岡通: 循環型社会の構築を支援する環境会計システム, 環境情報科学論文集, pp.7-12, 2002.
- 8) 横須賀市: 横須賀市の環境会計
- 9) 東京都下水道局: 下水道局環境報告書
- 10) ハウステンボス環境研究会: 知新, vol.10, 2004.
- 11) 橋本征二, 田畑智博, 松本亨, 田崎智宏, 森口祐一, 井村秀文: 廃棄物処理事業を対象とした環境会計の枠組み試案, 第 33 回環境システム研究論文発表会講演集, pp.143-148, 2005.
- 12) 鶴田直, 松本亨, 柴田学, 垣迫裕俊, 篠原弘志: 環境会計と LCA の連携による地域資源循環施策の評価手法の開発, 第 32 回環境システム研究論文発表会講演集, pp.223-228, 2004.
- 13) 田畑智博, 岩本薫, 奥田隆明, 森杉雅史, 井村秀文: 地域廃棄物管理のためのマテリアルバランス表の作成, 環境システム研究論文集, vol.31, pp.287-306, 2003.
- 14) United Nations Division for Sustainable Development: Environmental Management Accounting: Procedures and Principles, 2001.
- 15) <http://www.eco-effizienz.de>
- 16) Strobel, M. and C. Redmann: FLOW COST ACCOUNTING, 2001.
- 17) 産業環境管理協会: 平成 15 年度 経済産業省委託 環境ビジネス発展促進等調査研究 (環境管理会計) 報告書, 2004.
- 18) 日本能率協会コンサルティング: 平成 16 年度 経済産業省委託 エネルギー使用合理化環境経営管理システムの構築事業 (大企業向け MFCA 導入共同研究モデル事業) 調査報告書, 2005.
- 19) 中小企業基盤整備機構: 平成 16 年度 中小企業車環境配慮型経営システム構築事業「マテリアルフローコスト会計 (MFCA) 導入共同研究モデル事業 (中小企業向け)」報告書, 2005.
- 20) 地球環境戦略研究機関 (IGES): 環境会計 国際シンポジウム 2003 報告書, 2003.
- 21) 森口祐一, 松井重和: 循環資源のマテリアルフロー分析のための物量投入産出表の設計, 第 13 回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp.54-56, 2002.
- 22) Bas van der Schaaf, SIMTech SCM center: An agent-based integration of Flow Cost Accounting in the SCOR-model, iCognitive white paper, 2003.
- 23) 北九州市: 北九州市地球温暖化対策地域推進計画策定委員会第 1 回委員会資料, 2005.

DEVELOPMENT OF MATERIAL FLOW COST ACCOUNTING FOR ANALYSIS OF RESOURCE CIRCULATION IN THE REGIONAL SUPPLY CHAIN

Manabu SHIBATA and Toru MATSUMOTO

Material flow cost accounting (MFCA) is an approach for environmental management accounting. MFCA has been developed among a manufacturing industry in Japan. In this paper, we proposed a method to apply MFCA to the regional resource circulation process. First of all, we reviewed introductory example of MFCA. In the next place, we developed a framework of the regional MFCA. Finally, we made the table usually regarded as flow cost matrix (FCM) for the Kitakyushu eco-town project in order to prove the validity of the proposed method. In the result, this method was available to an environmental management for the local government and others.