

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	環境配慮型社会形成に向けた環境情報システムの方法
Title(English)	
著者(和文)	在間敬子
Author(English)	Keiko Zaima
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10223号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:出口 弘,寺野 隆雄,新田 克己,小野 功,吉川 厚
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10223号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

博士学位論文

環境配慮型社会形成に向けた
環境情報システムの方法

在間 敬子

2016 年 3 月

博士学位論文の概要

本研究の目的は、環境配慮型社会を構築するための手法として、ボトムアップに構成する環境情報システムの方法を提示することである。本研究が新たに提示した方法を、「環境多元簿記システム」と名づける。以下、本論文の各章の主要な点を挙げる。

1. 本研究の背景と目的（第1章）

第1章では、本研究における「環境」「環境配慮型社会」「環境経営」といった用語を定義し、環境多元簿記システムの方法論を提示するに至った研究の背景について、問題意識と研究目的を含めて述べた。その上で改めて研究の目的および構成を示した。用語の定義と研究の背景の主要点は次のとおりである。

(1) 用語の定義

- ・本研究の「環境」とは「人間社会と影響を及ぼし合う自然環境」を指す。本研究では「環境配慮型社会」を「環境マネジメントの普及により人間社会が及ぼす環境への影響が最小化される持続可能な社会」、「環境マネジメント」を「人間社会が環境を適切にマネジメントすること」と定義する。「持続可能な社会」が環境・経済・社会という3側面のバランスを捉えるのに対し、環境配慮型社会は、環境と経済という2つの側面のバランス、あるいは、両者の向上に焦点を当てるものである。
- ・環境マネジメントのうち企業が行うものは「環境経営」である。本研究では環境経営を、「環境理念を組織の中心に位置づけ、企業活動のプロセスに環境配慮の視点を組み込み、環境性と経済性の向上を目指すこと。その結果、環境配慮型社会の構築に貢献すること」と定義する。

(2) 研究の背景

- ・企業の環境経営が求められる背景として、環境問題の多様化に伴う環境政策手段の直接制御から間接制御への広がり、環境マネジメントシステム ISO14001 の認証取得が国際取引の要件になったこと、資本市場において企業評価に非財務情報 ESG が含まれるようになったこと、および、企業自身が環境活動によるメリットを見出し、最近では Porter 等が提唱する「共通価値の創造 (CSV)」が経営者に受容されていることがある。
- ・環境規制の直接の対象から外れている場合も多い中小企業でも、取引先企業からの環境配慮要求を受け、環境経営を行う企業も登場している。しかし、企業数で 99% を占める中小企業の一部にとどまっており、中小企業の環境経営推進は社会的課題の一つである。
- ・経営資源制約が大きい中小企業では市場圧力により直ちに環境経営を実行できるわけで

はなく、様々な支援策が実施されている。中小企業の環境経営推進の条件を解明しようという実証研究も数多く行われてきた。第2章では既存研究のサーベイに加えて、筆者が行った環境配慮要求、情報支援、市場環境、企業属性、経済性、環境性を含めた実証分析結果も紹介する。

- ・これまで中小企業への情報支援に着目してきたが、その理由は、ボトムアップに態度や行動を変容させる自主的アプローチと期待され、潜在的な効果があると考えられるにも関わらず、理論的分析がなされてこなかったからである。第3章では、情報支援の効果についてエージェントベースモデリング（ABM）によりシミュレーション分析を行う。

- ・経営資源制約下で様々な課題に直面する中小企業では、環境対策が最重要課題ではなく、情報支援を受けても必ずしも実行しない。そのような中小企業であっても、環境経営を意識せずとも通常業務として活用できる手法を開発できないか。中小企業研究を通して新たな問題意識を持つに至った。

- ・既存の環境負荷評価手法は企業の通常業務に反映されるものではなく、サプライチェーンにおけるトップダウン型情報収集の課題もある。環境負荷に目を向けるのは環境対策や環境経営に限定される。環境負荷を選択し記述するのではなく、企業活動で扱うモノの流れを実物簿記として記述して、そこから必要に応じて環境負荷を抽出すればよいのではないか。それを各工程で行い、現場からボトムアップに情報を構成していけばよいのではないか。本研究の第4章以降は、これらの問題意識に基づき、方法を検討している。

- ・多元簿記システムに基づく環境多元簿記システムは、環境情報のミクロ・マクロリンクを可能にするものであり、企業レベル、および、地域・国レベルでの環境マネジメントに貢献しうる。その意味で本研究の方法は環境配慮型社会の形成へのアプローチである。

2. 中小企業の環境経営推進の条件に関する実証分析（第2章）

第2章は、環境多元簿記システム研究の発端となる中小企業の環境経営に関する研究である。第2章では、既存研究をサーベイした上で、中小企業への環境配慮要求、情報支援利用、市場環境、企業属性、経済性、EMS 認証取得と、環境指標の関係について、日本の製造業中小企業を対象にした筆者の実証分析結果の概要を示す。主な内容を以下に示す。

(1) 既存の実証分析

- ・中小企業の環境経営に関する既存の学術研究は、「環境経営の活動と戦略タイプ」「環境経営の内部・外部の要因」「環境性と経済性」「イノベーション」「政策・支援」といったカテゴリーに分類できる。

- ・環境経営の活動と戦略タイプに関する研究では、中小企業が環境経営に対してリアクティブかプロアクティブかを実証分析する研究や、自主的活動内容の解明などがある。近年は中小企業でもプロアクティブな環境経営が広がりつつあることが示されている。

・環境経営の外部要因としては、環境規制、および、市場やステイクホルダーの圧力・要求が挙げられている。内部要因としては、経営者の環境やコストに対する意識、企業属性や経営資源、組織文化や組織能力が挙げられている。

・環境性と経済性の関係に関しては、「環境経営により経済性を向上させるか」および「経済性の高さが環境経営促進に結びつくか」というアプローチがある。前者については明確にポジティブな結果を示す実証研究は一部に留まっている。後者については、ポジティブな関係を指摘する研究がある。内部・外部要因と環境性、経済性の関係については、研究者の関心によりモデルが設定されているが、確立したモデルがあるわけではない。

・イノベーションに関する研究では、イノベーションのタイプと必要な支援策の分類や、イノベーションを引き起こす要因分析がある。

・政策・支援に関する研究では、規制や外部圧力の必要性和限界、中小企業に向けた EMS の必要性や効果、情報・知識に関する外部支援の必要性や役割というテーマについて分析されている。また、中小企業の多様性に着目した政策デザインの指摘もなされている。

(2) 筆者の実証分析

・中小企業の環境性向上と、認証取得、情報支援利用、企業の経済性、および、規模、形態、開発力等の内部要因、取引先からの環境配慮要求や直面する市場の状況といった外部要因との関わりについて分析モデルを提示し、在間(2008a)と在間(2016)で結果を示した。

・中小企業の環境性に最も影響を及ぼすものは環境配慮要求である。ただし、環境配慮要求の大きさ自体が直接的に中小企業の環境性を高める効果よりも、環境配慮要求を通じて、経営者の環境意識を高めて情報支援利用や EMS 認証取得を促すといった間接効果が、より大きな役割を果たすことが示された。

・環境性への直接効果が最も大きいものは EMS 認証取得であった。これは、EMS の導入や運用が契機となり環境経営が推進されるという事例を裏づけるものである。

・環境性向上に情報支援利用が与える影響では、間接効果よりも、情報支援利用によって環境活動が推進される直接効果の方が大きいことが示された。

3. 中小企業の環境経営に対する情報支援の役割：エージェントベースアプローチ (第3章)

第3章も環境多元簿記システム研究の発端となる中小企業の環境経営に関する研究である。第3章では、中小企業の環境経営推進に対する情報支援の役割について、ABM により、モデルを設定しシミュレーション分析を行った。それに先立ち、情報支援に関する理論分析の必要性を述べ、中小企業の環境経営普及を分析するために必要なモデル設計の要素を抽出し、ABM の必要性を論じた。また、環境問題およびイノベーション普及に関する ABM 研究を概観し、本研究のモデルの特色も示した。主な結果は以下のとおりである。

(1) 本研究の ABM 研究における位置づけと特徴

- ・中小企業の環境経営に対する情報支援の効果を分析するためのモデル設計では、複数の市場・エージェント・ルール、エージェントの学習による行動変容、ミクロなエージェント間の相互作用から創発されるマクロなダイナミクスを含む必要があり、これらを含む方法として ABM が適している。
- ・環境問題に関する ABM 研究には、企業の汚染制御、資源の利用や供給、環境配慮の普及、地球規模の環境問題といった内容で分類される。
- ・本研究の ABM は、中小企業の環境経営の普及に関するものであり、環境配慮の普及に関する問題分野に属している。しかし、この問題分野の ABM では、中小企業を対象とするもの、特に、2つの市場を含む経済取引を記述するモデルは皆無である。本研究は既存研究とはこの点で異なる。
- ・環境配慮の普及はイノベーション普及一つであり、イノベーション普及に関する既存の ABM 研究では、モデル設定の分類が提示されている。本研究のモデルは、その一部を含んでいる単純なものである。

(2) ABM 分析の結果

- ・基本モデルのシミュレーション結果から得られた2つのパターンが得られた。両者とも、大企業に環境経営は浸透しているが中小企業にまで環境経営が十分普及していない現在の状況を再現していると言える。その点で、基本モデルの設計を妥当であるとした。
- ・集計利得最大企業の行動分析により、市場競争における効果的な戦略を示唆している。大企業の効果的な戦略は、価格を平均レベルに維持しつつ、環境レベルを平均より早く向上させることである。逆に、中小企業の効果的な戦略は、環境レベルを平均程度に保ちながら、平均よりも価格を早く下げることである。
- ・感度分析により、中小企業への環境経営普及の条件として、消費者の環境意識の重要性は低いこと、および、コストは重要な要因であることが示された。
- ・応用モデルでは、ヒアリング調査から得た知見に基づき、情報支援の効果としてコスト削減効果を設定した。大企業と中小企業とも環境レベルが向上させるパターンが得られた。この結果から、外部からの情報提供が中小企業の環境経営普及に有効であることが示唆されるが、企業内に蓄積された環境知識が中小企業の不足する情動的経営資源を補完し、環境コストを減らすことができるという条件の下で成り立つ。

(3) 中小企業の環境経営推進に関する残された研究課題

第3章の最後では、残された研究課題を提示した。まず、中小企業のタイプという視点、経営課題と環境経営のリンク、オープン・イノベーションの役割といった分析視点を組み込むことである。さらに、環境経営に目を向けない・向ける余裕がないという中小企業に対して、環境経営を意識せずとも、導入して数値を改善すれば環境性の向上に結びつく容

易に使える情報管理手法を開発することである。

4. 環境経営の環境情報に関するパラダイムの転換（第4章）

第4章は、本研究の核となる環境多元簿記システム研究の根拠を提示するものである。本章では、企業経営・会計と環境経営・会計の関係を示し、既存の環境負荷評価手法と環境会計の概要を述べ、潜在的な環境負荷という概念を提示し、企業活動を測定する方法についてパラダイムの転換が必要であることを論じた。主な内容は以下のとおりである。

- ・環境経営で用いられる組織の環境パフォーマンス評価や製品のライフサイクルアセスメント（LCA）といった環境負荷評価手法には IPO 分析という共通点がある。
- ・既存の環境負荷評価手法には、トップダウン型の情報収集による作業の困難さや情報正確性の課題、環境認識に基づく環境負荷という課題、および、環境経営の手法としての限界という課題がある。
- ・環境管理会計のうちドイツのエコバランスは、企業のインプットとアウトプットを物量で把握するものであり、環境多元簿記システムの方法に近い。しかし、エコバランスの方法は、簿記ベースにはなっておらず、ボトムアップ型でもない。また、LCA の手法開発により、エコバランスの方法はコスト効果を表す手法 MFCA へと発展し、管理会計として物量記述という方向には発展しなかった。
- ・環境負荷は、一般的には、投入する資源やエネルギー、および、排出する不要物とされる。しかし、不要か否かは環境認識に依存する。環境認識に影響を与える事項には、環境政策・制度の導入や変更、科学的知見、当該負荷に係る問題の深刻さ、企業評価の変化、ステイクホルダーの環境配慮の要求、組織や製品の当該環境負荷の発生量の大きさがある。
- ・本研究では、「企業活動にかかわるあらゆる投入・利用および産出・排出されるもの」を「潜在的な環境負荷」と定義する。潜在的な環境負荷とは、資源・エネルギーや原材料の投入、機械・設備の利用、製品・サービスや副産物の産出、汚染物質や廃棄物の排出である。すなわち、「潜在的な環境負荷」は、あらゆるマテリアルやサービスは、「環境負荷と認識される可能性を持つ」とことを意味する。
- ・本研究の環境多元簿記システムの方法では、「潜在的な環境負荷」という概念の導入により、環境認識に依存することなく、環境負荷となりうるマテリアルやサービスをすべて記述する。その上で環境認識に基づき管理や報告が必要な環境負荷を選択する。
- ・本研究では、経済活動の背景となる環境負荷を企業会計とは異なる体系の環境会計で捉えるという従来の考え方に対して、潜在的な環境負荷としてあらゆるマテリアルとサービスを実物量で把握し、それをベースとして企業会計や環境会計に変換するという、企業活動記述のパラダイムの転換を提案する。

5. 代数的多元簿記に基づく環境多元簿記システムの方法（第5章）

第5章では本研究の核となる方法論である。主な点は、以下のとおりである。

- ・環境多元簿記システムを設計するに際して、工程のシステム概念を踏まえ、マテリアル、サービス、シナリオを定義した。
- ・環境多元簿記システムの方法は、出口(2000)・Deguchi(2004)の「交換代数に基づく多元簿記（以下、代数的多元簿記）システム」に基づくが、潜在的な環境負荷の記述へと拡張するには、工程、マテリアル、潜在的な環境負荷の分類、IPO 分析と連動可能なマテリアルに関する実物簿記の記述方法、潜在的な環境負荷の交換代数の定義、工程間の連結といった新たな方法の導入が必要となる。
- ・代数的多元簿記システムはマテリアル・フロー図、多元簿記テーブル、交換代数という3点で構成され、相互に変換可能であり、いずれからでも始められる。環境多元簿記システムも相互変換可能であるが、マテリアル・フロー図でマテリアルの種類を把握することから段階的に進める方法を導入した。その理由は、環境負荷の記述においては、共通の単位で表せる貨幣とは異なり、測定や算定の方法は環境負荷の種類に依存するからである。
- ・工程の二分法として、「メイン工程」と「環境対策工程」への分類を導入した。メイン工程は製品の製造に直接かかわる工程で、環境対策工程はメイン工程に付随する環境対策の工程である。この二分法により、通常は同一工程とみなされる場合であっても、別工程と捉えることで、マテリアル・フローを明確化できる。
- ・マテリアルを、工程で産出する「メイン・アウトプット」と「副産物・アウトプット」、メイン・アウトプットを産出するための「メイン・インプット」、利用する「機械・設備・道具」、主に機械・設備・道具の利用に要する「光熱水・インプット」、および、廃棄物や汚染物質の「要処理・アウトプット」の6種類に分類した。「要処理・アウトプット」には、大気中や公共水域に直接排出する場合も含む。この6分類によって、マテリアル・フロー図の作成、マテリアル・フローから環境多元簿記テーブルへの変換、さらに交換代数への変換が容易になる。
- ・潜在的な環境負荷について直接的・間接的という視点を導入し、工程に直接投入または排出されるものと、本来は他の場所で発生するが責任量として直接的環境負荷から算定が求められるものに分けた。
- ・環境多元簿記テーブルにおいて、潜在的な環境負荷としてのマテリアルとサービスについて、物量としての増減で分類して記載する方法を導入した。借方は「当該工程において産出・排出され物量として増加するもの」、貸方は「当該工程において投入・利用され物量として減少するもの」とする。この振分け方法によって、環境多元簿記テーブルの借方、貸方を、IPO 分析のインプット、アウトプットと対応させることができる。
- ・環境多元簿記テーブルの記述の「期間」について、各工程のメイン・アウトプットの生産単位を基本とすることを提案した。これは、各工程では、当該工程にとって最も都合が

良い期間の記述を行い、全体の算定で統合すれば良いという方法の提案である。

- ・潜在的な環境負荷の交換代数について定義を与えた。

- ・膨大なマテリアルについて、交換代数の基底の設定方法を共通化しておく必要があり、今後の研究課題の1つであるが、化学物質、鉱物・エネルギー資源、および、廃棄物について方向性を提案した。例えば、化学物質については化合物に対する既存の IUPAC の命名法に基づき設定するという方法が考えられる。

- ・各工程からボトムアップに全体を統合する方法を提示した。各工程では正確な計測と記述を行い、計算で済むことは情報処理部門に任せるという補完性原則による方法を採用する。また、バックキャスティングの導入により、基本数量の統合だけでなく、環境経営の目標から各段階への計画設定にも応用できることが期待できる。

6. 環境多元簿記システムの作成と応用：鋼製造企業（第6章）

第6章では、鋼製造企業を想定して環境多元簿記システムを作成し、応用の方法を検討した。主な内容は以下のとおりである。

(1) 鋼製造の環境簿記システムの作成

- ・鋼の製造に関する工程やマテリアルについては、新日鉄住金、JFE スチール、関西熱化学といった企業の HP、および、業界誌の情報から集めた。マテリアルの量については、メインのインプットとアウトプットおよび副産物については、集めた資料を参考に適当と思われる値を記した。

- ・環境対策の工程については、環境省の資料、環境汚染防止装置製造企業の HP の情報をもとに記述した。環境対策工程におけるインプットやアウトプットのマテリアルについては量が不明な場合は、適当と思われる数値を入れた。

- ・化学反応を含む工程におけるマテリアルの量については、反応式から計算した。機械・設備について、温度設定は資料から記載したが、稼働時間や電力量については不明であったため、適当と思われる数値を記載した。

- ・本研究では、第5章の方法に基づいて、記述の可能性の提示を第一義とした。実際の工程での記述については今後の課題に残されている。

(2) 環境多元簿記システムの応用

- ・シナリオ変更に関する比較評価と、企業情報システムとのリンクによる不具合時等の多元簿記レベルでの管理への活用の可能性を示した。

- ・環境多元簿記から環境コスト評価への算定方法を提案した。インプット側では、通常の会計と同様に購入費用を対応させる。アウトプット側では、インプット側の総費用について、アウトプットの重量で按分する MFCA 的な環境コスト評価の考え方を提案した。この

按分方法の導入により、環境多元簿記システムで、MFCA の考え方を一般化してあらゆるマテリアルに適用でき、環境負荷発生の機会費用を捉えることができる。そのため、企業がその機会費用の削減を目的とすることによって、環境負荷削減が可能になる。

7. サプライチェーンの環境多元簿記システム：鋼製造と釘製造企業のモデル（第7章）

第7章では、釘企業の例を加えて、2社モデルであるが、サプライチェーンの上流から下流への環境情報収集システムに応用する方法について提示した。また、環境多元簿記システムの方法が持続可能なモノづくりに果たしうる貢献についても論じた。主な内容は以下のとおりである。

- ・釘製造の工程例については、古くから八幡製鉄の鋼から釘を製造してきた中小企業である安田工業株式会社を参照した。本研究の環境多元簿記システムにおいては、規模の大小を問わず、記述することが可能である。
- ・本研究で提案するサプライチェーンの環境情報収集の方法では、報告すべき環境負荷について、当該企業の基本単位について、環境負荷伝票を作成し、取引先に渡す。当該企業の環境負荷の総量から、取引先の購入数量に応じて按分するのではなく、受け取った取引先の側が算定する。このような方法により、企業が数多くの取引先に対して、個々に発注数や購入量に基づき按分計算を行う作業を省くことができる。
- ・環境負荷伝票を受け取った取引先は、自社の基本単位に換算し、環境負荷伝票に追記する。自らの活動範囲を正確に行い、算定で済むところは算定側に任せることによって、作業を単純化できる。
- ・上記のチェーンにより、全体の環境情報をコア企業が集めるのではなく、直接取引する2社間で、ボトムアップに構成する。このような方法により、アクセス出来ないという問題を解消することが可能になる。
- ・本研究で提案した直接取引する2社間の環境負荷伝票の積み上げにより全体を構成する方法は、グローバルレベルでのクローズドループリサイクルのマテリアル・スチュワードシップが求められる持続可能なモノづくりに必要とされる方法である。巨大な全体像をコア企業が統括するという発想ではなく、各企業が自社の範囲を正確に記述し、直接取引する2社間で環境負荷伝票により情報を積み上げ、その連鎖により全体を構成するという方法が、単純で合理的である。実践にはルールづくりなども必要になるが、今後の研究課題として残されている。

8. 環境多元簿記システムを活用する環境学習シミュレーションの方法（第8章）

環境多元簿記システムの第一段階は、現場で、工程に係るあらゆるマテリアルとサービ

スのフローを洗い出すことである。第8章では、工程のマテリアルとサービスのインプットとアウトプット、つまり、潜在的な環境負荷をシミュレーションするためのビジュアルでアナログな「環境学習用ボード」を提示し、学習内容、利用場面、利用方法を説明した。さらに、有効性を検討し、ゲーミング・シミュレーションの作成方法も示した。主な内容は以下のとおりである。

- ・提示した環境学習用ボードで学習できる事項は、次の3つである。第1に、あらゆるマテリアルの潜在的環境負荷の意味、および、環境負荷の管理と経済的側面の理解である。第2に、マテリアルの変更や他のシナリオ変更による比較分析である。第3に、環境学習用ボードから環境多元簿記への変換方法である。

- ・環境学習用ボードの使用場面としては、工場・店舗・オフィスなど事業活動の現場、代数的多元簿記テーブルや環境多元簿記テーブル作成の前段階、IPO 分析の概念の学習がある。

- ・大学教育の現場で試行し、多様な工程に適用可能であること、文系学生でも工程に関するマテリアル・フローを捉えることが可能であることが示された。

- ・企業現場での活用や、第8章で提示した方法によるゲーミング・シミュレーション作成については、今後の課題として残されている。

9. 環境多元簿記システムによる環境配慮型社会形成に向けた検討課題（第9章）

第9章では、個々の企業による環境多元簿記システムの活用を環境配慮型社会に結びつけるために必要な検討課題を示した。さらに、環境多元簿記システムの研究や普及に関する展望を示し、環境経営に関するイノベーションという観点から環境多元簿記システムが果たす意義を述べた。主に以下の5点を挙げた。

- ・環境多元簿記システムの企業経営へのメリットについて、環境経営に取り組んでいない企業には「工程の学習によるケイパビリティの向上」、環境経営に取り組んでいる企業には「環境経営の高度化」、先進的環境経営に取り組む企業には「社会における環境負荷削減のハブ」という機会を与える。これらのメリットを伝達し、環境多元簿記システムの利用を促進することが課題である。

- ・環境多元簿記システムと環境負荷伝票による情報伝達に関するトレーサビリティについて、作成の手続き、計測方法と計測値の保証、相互参照、および、履歴追跡に関して、既存の制度等を反映させた上でのガイドラインの策定や仕組みの設計が必要となる。

- ・個々の企業の環境多元簿記システムの情報からマクロな環境情報システムを構築するには、交換代数の活用と環境という主体の環境多元簿記システムの作成によって行うことが可能である。それによって、政策主体に適切な情報を与え、より効果的な環境政策を設計できると期待される。

・環境多元簿記システムは飲食店のようなサービス業でも適用でき、食品廃棄物の発生抑制に有用であると考えられる。

・環境多元簿記システムは、「工程に着目した企業経営の活動の充実から環境経営に結びつける新たな企業経営スタイルの提案」「新たな手法の提供」および「導入と活用の普及による社会変革へのアプローチ」という点で、環境経営のイノベーションとしての意義がある。

10. 総括と今後の研究課題（第10章）

第10章では、第1章を踏まえて第2章から第9章を総括し、今後の研究課題を述べた。主な今後の研究課題は以下のとおりである。

・第1は、環境多元簿記システムの方法について、精緻化することである。記述の期間やマテリアルの交換代数の基底について、提示した内容の合理性を検討する必要がある。

・第2は、製造業・非製造業の多様な工程において実際の工程のデータを用いて、多元簿記システムを構成することである。これは、上記の精緻化とも関連するが、現場の工程で試行し、実行可能性を高める方法を再検討する必要がある。

・第3は、複数の工程のデータを用いた環境多元簿記の交換代数から、データ統合の情報処理システムを設計することである。

・第4は、環境負荷伝票の設計や実現可能性の検討である。本研究の方法は、コアとなる組織が全体情報を集めるのではなく、直接取引の2社間の情報伝達でボトムアップに構築しようというものである。グローバルなマテリアル・スチュワードシップの基本情報収集についての適用可能性を検討する必要がある。

・第5は、提示した環境学習用ボードを、実際の工程で使ってもらい、適用可能性を検討することである。また、環境学習用ボードを用いたゲーミング・シミュレーションの設計を行い、環境学習に役立てることである。

・第6は、長期的な課題であるが、経済情報とのリンクの方法を開発することである。本研究が提示したのは環境情報システムであり、環境経営や環境配慮型社会という視点では、環境性と経済性の情報をリンクして使える方法を提供する必要がある。第6章で、MFCA的環境コストの一般化の方法を示したが、精緻化することが必要である。

・第7は、長期的な課題であるが、現在の化学物質や廃棄物に関するいくつかの環境対策法で定められている企業の情報提供システムとのリンクや、現在サテライト勘定である環境経済統合勘定についても、企業活動のデータからボトムアップに構成するマイクロ・マクロリンクの方法を検討することである。

・第8も長期的な課題であるが、第9章で示したように、環境多元簿記システムの方法を企業に普及させ、環境情報プラットフォームの構築に向けて、トレーサビリティやマイクロ・マクロリンクをベースとする仕組みを設計することである。

目 次

第1章 研究の背景と目的	・ ・ 1
1. 研究の背景	
1.1 環境と環境配慮型社会の定義	
1.2 環境経営の背景と定義	
1.3 中小企業の環境経営促進の必要性	
1.4 中小企業の環境経営支援策に関する分析課題	
1.5 新たな環境情報システムの必要性和研究課題	
1.6 環境多元簿記システムの環境配慮型社会への貢献	
2. 本研究の目的と構成	
第2章 中小企業の環境経営推進の条件に関する実証分析	・ ・ 10
本章の概要	
1. 環境経営の戦略と要因に関する実証研究	
1.1 環境経営の活動と戦略タイプ	
1.2 環境経営の要因	
1.3 外部要因と内部要因	
2. 中小企業の環境経営における環境性と経済性に関する実証研究	
2.1 環境性と経済性の関係	
2.2 要因等を含めた分析モデル	
3. 中小企業の環境イノベーションに関する実証研究	
4. 中小企業の環境経営に対する政策・支援の実証研究	
4.1 規制や外部圧力の必要性和限界	
4.2 経済的支援	
4.3 中小企業に向けた環境マネジメントシステムの必要性和効果	
4.4 情報・知識に関する外部支援の必要性和役割	
5. 取引先から中小企業への環境配慮要求に関する実証分析	
5.1 本研究に用いたアンケート調査の焦点	
5.2 取引先から中小企業への環境配慮要求とその影響	
6. 中小企業の環境経営推進の条件	
6.1 情報支援利用と求める情報支援	
6.2 経営者意識と不足する経営資源	
6.3 回帰分析のモデルと結果	
6.4 構造方程式モデリングによる分析モデルと結果	

1. 中小企業の情報支援に関する理論分析の必要性
2. 中小企業の環境経営の普及分析に対する ABM の必要性
 - 2.1 モデル分析に必要な要素
 - 2.2 ABM の方法
3. 環境問題とイノベーション普及に関する ABM 研究
 - 3.1 環境問題に関する ABM 研究
 - 3.2 イノベーション普及に関する ABM 研究
4. 基本モデルの設定
 - 4.1 モデルの対象
 - 4.2 社会
 - 4.3 製品と部品
 - 4.4 環境経営に関する設定
 - 4.5 消費者行動
 - 4.6 企業行動
5. 基本モデルのシミュレーション分析の結果
 - 5.1 シミュレーションのパラメータ
 - 5.2 基本モデルのシミュレーション結果
 - 5.3 集計利得最大企業の行動分析
 - 5.4 基本モデルの分析結果に関する考察
6. 感度分析
 - 6.1 消費者の初期の環境配慮レベル
 - 6.2 環境コスト
 - 6.3 感度分析に関する考察
7. 情報支援の効果に関する分析モデルと結果
 - 7.1 応用モデルの設定となる事例
 - 7.2 応用モデルの設定
 - 7.3 応用モデルのシミュレーション結果
 - 7.4 応用モデルの分析結果に関する考察
 - 7.5 環境政策へのインプリケーション
8. 中小企業の環境経営推進に関して残された研究課題
 - 8.1 中小企業のタイプに関する分析視点
 - 8.2 中小企業の経営課題という分析視点
 - 8.3 オープン・イノベーションの視点
 - 8.4 企業経営に環境性を組み込む新たな手法の開発

第4章 環境経営の環境情報に関するパラダイムの転換

・ ・ 47

本章の概要

1. 企業経営と環境経営の関係
2. 環境会計の役割と環境経営のマネジメント技術
 - 2.1 環境価値の把握とアカウンタビリティ
 - 2.2 環境経営のマネジメント技術
3. 組織や製品の環境負荷・環境影響の評価
 - 3.1 環境パフォーマンス評価
 - 3.2 製品のライフサイクルアセスメント
 - 3.3 その他の手法
 - 3.4 諸手法の共通点と相違点
4. 従来の環境負荷評価手法の課題
 - 4.1 トップダウン型情報収集に関する課題
 - 4.2 環境認識に基づく環境負荷という課題
 - 4.3 環境経営実践の手法という課題
5. 企業活動記述に関するパラダイム転換と環境負荷の再定義
 - 5.1 環境会計の系譜の概要
 - 5.2 従来の環境会計手法の発想
 - 5.3 「潜在的な環境負荷」の概念
 - 5.4 企業活動記述のパラダイムの転換
6. ボトムアップ型環境情報収集システムの提案

第5章 代数的多元簿記に基づく環境多元簿記システムの方法

・ ・ 63

本章の概要

1. マテリアル、サービス、シナリオの定義
 - 1.1 工程のシステム概念
 - 1.2 マテリアル、サービス、シナリオ
2. 環境多元簿記システムの段階的構成方法
 - 2.1 交換代数に基づく代数的多元簿記システム
 - 2.2 環境多元簿記システムのステップ
3. 環境多元簿記システムにおける工程・マテリアル・環境負荷の分類
 - 3.1 工程の二分法
 - 3.2 マテリアルの分類
 - 3.3 環境負荷の二分法
4. 環境多元簿記テーブル記述の方法
 - 4.1 環境多元簿記の定義

- 4.2 借方・貸方の振分け方法：経済価値に基づかない記述の理由
- 4.3 簿記の「期間」：メイン・アウトプットの生産単位
- 4.4 マテリアル・フローから環境多元簿記テーブルの構成方法
- 5. 環境多元簿記システムの交換代数
 - 5.1 多元簿記と交換代数
 - 5.2 交換代数の基底と基本演算
 - 5.3 環境多元簿記テーブルから交換代数への変換
 - 5.4 潜在的な環境負荷の交換代数の定義
 - 5.5 潜在的な環境負荷の交換代数の定義：労働サービスを除外する場合
 - 5.6 環境多元簿記システムの交換代数の基底の設定方法
- 6. 組織における全工程の統合の方法
 - 6.1 各工程から全体工程の把握
 - 6.2 マテリアルフロー量のバックキャスト設定
- 7. 全工程の潜在的な環境負荷の算定方法
 - 7.1 潜在的な環境負荷の合計
 - 7.2 間接的な環境負荷の算定
- 8. 環境多元簿記システムの特徴と情報システム設計の課題
 - 8.1 既存の環境負荷評価手法との相違
 - 8.2 情報システムの設計の課題

第6章 環境多元簿記システムの作成と応用：鋼製造企業

・ ・ 88

本章の概要

- 1. 鋼の製造工程
 - 1.1 鋼の製造と環境対策に関する情報収集
 - 1.2 鋼の生産のメイン工程と環境対策工程
- 2. 乾留工程
 - 2.1 マテリアル・フロー
 - 2.2 交換代数の基底
 - 2.3 環境多元簿記テーブル
 - 2.4 環境多元簿記の交換代数
 - 2.5 潜在的な環境負荷の交換代数
- 3. 乾留工程以降のメイン工程
 - 3.1 焼結工程
 - 3.2 製鉄工程
 - 3.3 製鋼工程

- 4. 環境対策工程
 - 4.1 乾留工程に付随する脱硫工程：コークス炉ガス精製
 - 4.2 排水浄化工程
 - 4.3 粉じんの集塵工程
- 5. 潜在的な環境負荷の合計
 - 5.1 各工程の環境負荷の合計を求めるための計算
 - 5.2 計算結果
 - 5.3 間接的な環境負荷
- 6. 環境多元簿記システムの応用
 - 6.1 シナリオ変更による比較評価
 - 6.2 企業のマネジメント情報とのリンク
- 7. 環境経営の実践に向けたコスト評価の方法
 - 7.1 環境多元簿記からコスト評価への変換方法
 - 7.2 環境経営実践への応用

第7章 サプライチェーンの環境多元簿記システム：鋼製造と釘製造企業のモデル

本章の概要

・ ・ 110

- 1. 釘製造企業の環境多元簿記システム
 - 1.1 工程
 - 1.2 マテリアル・フロー
 - 1.3 交換代数の基底
 - 1.4 各工程の環境多元簿記テーブル
 - 1.5 各工程の環境多元簿記の交換代数
 - 1.6 各工程の潜在的な環境負荷の交換代数
 - 1.7 全体の潜在的な環境負荷
- 2. 複数企業の環境負荷の合計
 - 2.1 報告が求められる環境負荷の抽出
 - 2.2 環境負荷伝票による表示
 - 2.3 サプライヤーの環境負荷の交換代数
 - 2.4 サプライヤーの環境負荷に関する環境多元簿記テーブル
- 3. 工程環境管理とサプライチェーンの情報管理システムの意義
 - 3.1 工程管理に関する3つの階層
 - 3.2 工程の環境管理
- 4. 持続可能なモノづくりを実現する情報システムの課題
 - 4.1 サプライチェーンのボトムアップ型情報収集システム
 - 4.2 持続可能なモノづくりへの発展

4.3 持続可能なモノづくりにおける環境負荷情報収集の課題

第8章 環境多元簿記システムを活用する環境学習シミュレーションの方法

本章の概要

・ ・ 1 2 6

1. 環境学習ボードの必要性
2. 環境学習用ボード
 - 2.1 環境学習用ボードの構成
 - 2.2 環境学習用ボードの具体例
3. 環境学習用ボードを用いた学習の要素
 - 3.1 各ボックスの環境負荷の管理と経済的側面
 - 3.2 同一工程に関する比較
 - 3.3 環境学習ボードから環境多元簿記テーブルへの変換
4. 環境学習用ボードを活用する場面
5. ファシリテーション
 - 5.1 実施のスタイル
 - 5.2 準備
 - 5.3 学習のフロー
 - 5.4 ファシリテータに求められる力量
6. 環境学習ボードを活用した学習例
7. 環境学習用ボードを活用するゲーミング作成の方法と課題
 - 7.1 ゲーミング作成の方法
 - 7.2 ゲーミング作成の課題

第9章 環境多元簿記システムの活用による環境配慮型社会形成に向けた検討課題

本章の概要

・ ・ 1 3 8

1. 環境多元簿記システムの企業経営に対する意義
 - 1.1 環境経営に取り組んでいない企業に対するメリット
 - 1.2 環境経営に取り組む企業に対するメリット
 - 1.3 環境経営先進企業に対するメリット
 - 1.4 環境多元簿記システムの活用による環境経営の発展
2. 環境多元簿記システムのトレーサビリティ
 - 2.1 環境多元簿記システムに関する判定の課題
 - 2.2 トレーサビリティのタイプ
 - 2.3 環境多元簿記システムに関するトレーサビリティ構築の意義と課題
3. 環境多元簿記システムによる環境情報のマイクロ・マクロリンク
 - 3.1 環境多元簿記システムを活用した環境情報プラットフォーム

3.2 環境を主体とする環境多元簿記システム	
3.3 ミクロ・マクロリンクに活用できる交換代数	
3.4 環境情報のミクロ・マクロリンクへの交換代数の適用	
4. 環境多元簿記システムの活用による環境配慮型社会の形成に向けて	
4.1 サービス業における環境多元簿記システム活用の意義	
4.2 環境配慮型社会形成に向けた環境多元簿記システム普及の課題	
4.3 環境多元簿記システムがもたらす環境経営に関するイノベーション	
第10章 総括と今後の研究課題	・ ・ 162
本章の概要	
1. 本研究のまとめと意義	
1.1 ABM による中小企業の環境経営への情報支援の効果分析	
1.2 潜在的な環境負荷という概念と企業活動記述のパラダイム転換の提案	
1.3 環境多元簿記システムの方法の提示	
1.4 環境多元簿記システムの作成と環境負荷の MFCA 的機会費用の提示	
1.5 ボトムアップ型サプライチェーンの環境情報収集の方法	
1.6 環境多元簿記システムを活用する環境学習シミュレーションの提示	
1.7 環境配慮型社会形成に向けた環境多元簿記システム活用における課題の検討	
2. 今後の研究課題	
謝辞	・ ・ 169
参考文献	・ ・ 171
業績一覧	・ ・ 182

各章に関する公表論文

章	章に関する公表論文
第1章 第10章	・書きおろし
第2章	・在間敬子(2008)「中小企業の環境経営推進の条件に関する実証分析: 機械・金属業とプラスチック加工業のケース」『社会・経済システム』No.29, pp.67-76. ・在間敬子(2016)「第5章 中小企業の環境経営イノベーションに関する分析課題」「第6章 中小企業への環境配慮要求と環境経営イノベーション」「第7章 中小企業の環境経営推進の条件と環境経営イノベーション」『中小企業の環境経営イノベーション』中央経済社
第3章	・在間敬子(2008)「環境配慮型社会をデザインするエージェントベースモデリング: 研究の現状と今後の分析課題」『オペレーションズ・リサーチ』Vol.53, No.12, pp.678-685. ・在間敬子(2012)「中小企業の環境経営の普及に関するエージェントベースモデリング: 方法と分析課題」『進化経済学論集』、第16集 (http://jafeeosaka.web.fc2.com/pdf/B3-3zaima2.pdf) ・Zaima, Keiko (2013) “Conditions to Diffuse Green Management into SMEs and the Role of Knowledge Support: Agent-Based Modeling,” <i>Journal of Advanced Computational Intelligence & Intelligent Informatics (JACIII)</i>, Vol.17, No.2, pp.252-262. ・在間敬子(2016)「第8章 中小企業の環境経営イノベーションに対する支援ー環境コミュニケーションの役割」『中小企業の環境経営イノベーション』中央経済社
第4章	・在間敬子(2016)「第2章 企業経営としての環境経営」「第3章 組織マネジメントとしての環境経営」「第4章 大企業の環境経営におけるイノベーション」『中小企業の環境経営イノベーション』中央経済社 ・在間敬子・出口弘・李 皓(2016)「代数的多元簿記に基づく統合的環境情報システムの方法」、『進化経済学論集』第20集
第5章・ 第6章・ 第7章 および 第9章 の一部	・Zaima, Keiko, Hiroshi Deguchi & Hao Lee (2015) “A Methodology for Environmental Information System Based on Multi-dimensional Bookkeeping System for Material & Service Accounts”, <i>Proceedings of 2015IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)</i>, pp. 895-892, December 11-13, 2015. Meijo University, Nagoya, Japan. ・在間敬子・出口弘・李 皓(2016)「代数的多元簿記に基づく統合的環境情報システムの方法」、『進化経済学論集』第20集(第20回進化経済学会東京大会2015、2016年3月26・27日、東京大学) ・在間敬子・李 皓・出口弘(2015)「工場管理に活用できる環境経済簿記システムの構築: 概念モデルとシミュレーションに向けた検討」『進化経済学論集』、第19集 ・在間敬子・出口弘(2013)「多元的簿記による環境マネジメントのミクロ・マクロリンク: 概念と体系構築の方法」『進化経済学論集』、第17集 (http://c-faculty.chuo-u.ac.jp/~jafee/papers/Zaima_Deguchi2.pdf)
第8章	・在間敬子・李 皓・出口弘(2015)「環境簿記システムを活用する環境学習シミュレーションの方法」『日本シミュレーション&ゲーミング学会全国大会論文集2015年秋号』pp. 50-55

第1章 研究の背景と目的

1. 研究の背景

1.1 環境と環境配慮型社会の定義

『広辞苑(第6版)』で「環境」を引くと、「①めぐり囲む区域」「②四囲の外界。周囲の事物。特に、人間または生物をとりまき、それと相互作用を及ぼし合うものとして見た外界。自然的環境と社会的環境がある。」と記されている。本研究における「環境」は、自然的環境の意味であり、人間社会と影響を及ぼし合うものを指す。

環境問題は、人間社会と自然環境の相互作用において発生し、人間社会にとって望ましくない状況になるという問題である。例えば、気候変動の要因には気候システムの内部要因と外部要因がある。内部要因の代表例は熱帯太平洋の海面水温が数年規模で変動するエルニーニョ現象である。外部要因には、太陽活動や公転軌道の変動といった自然的要因と、人間活動に伴う化石燃料の燃焼や土地利用の変化等による温室効果ガスの増加という人為的要因がある。気候変動問題は人為的要因で生じている問題を対象としている。

環境政策は、そのような人間社会と係る環境問題に対処するためになされるものである。日本の環境政策の根幹となる環境基本法には「環境」という用語の定義は示されていないが、倉阪(2015)によれば「人間活動の基盤であるもの」「人間活動が影響を及ぼす(損なわれる恐れがある)もの」「生態系の均衡により成り立つもの」「限りあるもの」という特徴をもつものを意味している¹⁾。

人類にとって1つしかない地球²⁾は、地球外とエネルギー以外には物質の出入りがないクローズド・システムであり、地球の環境容量は無限ではない。環境容量は「ある生物種の個体数において、将来にも維持しうる最大個体数」と定義される³⁾が、「資源の再生産能力」や「自然環境が本来もっている浄化能力」に加えて「地球が持続可能であるための環境負荷の最大値」という意味でも用いられる⁴⁾。なお、環境負荷の定義は本研究の核となる要素の1つであり、一般的定義と本研究の定義については該当章で示す。

現代世代の人間社会は、地球の環境容量の有限性を踏まえて、世代間衡平性と世代内衡平性に配慮して活動を行い、将来世代に地球を引き渡す責務を負っている。このような「持続可能な発展」の概念は、1987年の国連「環境と開発に関する世界委員会」が公表した報告書⁵⁾で明記され、1992年の国連環境開発会議のテーマとなり、環境政策における基本理念となった。

「持続可能な社会」という概念は、持続可能な発展の概念に由来する。矢口(2010)は、持続可能な発展に関する歴史的過程を整理した上で、「持続可能な社会」を、「環境・経済・社会という3側面の均衡的定常的状态で表される持続可能性をもつ社会、もしくは持続可能性をもちつつ発展する社会」と定義している。

本研究では、持続可能な社会が環境・経済・社会という3側面のバランスを捉えるのに

対し、環境と経済という2つの側面のバランス、あるいは、両者の向上に焦点を当てるために、「環境配慮型社会」という言葉を意味で用いている。植田(1996)が指摘するように、環境問題は「人間社会による環境のミスマネジメントの問題」である⁶⁾。本研究では、「人間社会が環境を適切にマネジメントすること」を「環境マネジメント」、「環境マネジメントの普及により人間社会が及ぼす環境への影響が最小化される持続可能な社会」を「環境配慮型社会」と定義する。

1.2 環境経営の背景と定義

環境問題に対処するためになされる環境政策は、環境マネジメントの主要な方策である。伝統的な環境政策手段は、規制的手法による汚染者の直接制御である。日本では、従来、厳格な法規制に、環境防止の技術開発や設備導入への経済助成措置が組み合わされてきた。局所的に発生し原因企業が比較的明確で数も限定されていた産業公害に対しては、規制的手法の効果があつた。

しかし、「原因者が特定されない」「被害の範囲が国境を越える」「個々の経済活動の集積により発生する」「科学的な不確実性がある」といった特徴を持つ多様な地球環境問題が顕在化し、従来の地域や対象を限定した規制的手法には限界があつた。そのため、環境税や補助金のような経済的手法、温室効果ガス算定報告制度や製品の環境ラベルのような情報的手法、さらに環境マネジメントシステム (Environmental Management System, EMS) の認証制度への参加啓発のような合意的手法といった、企業の自主的な取り組みを促進する間接制御も組み合わせられるようになった⁷⁾。1992年の国連環境開発会議で採択された「アジェンダ 21」には、「企業や産業界の役割」の行動原則として、「環境マネジメントを最優先事項とすること」が明記されている。

企業の自主的な取り組みが、環境マネジメントの新たな方策になった背景には、市場の圧力もある。1996年に国際標準化機構 (International Organization for Standardization, ISO) はEMSの国際標準化規格ISO14001を策定した。EMSは、組織が環境面での方針や目標を設定し・計画を立て・ルールを決め実行し・見直す一連のオペレーションに関する体系化された仕組みであり、標準規格は仕組み構築の手續に関するルール体系である。ISO14001は特に欧州で事業を行う企業の取引要件とみなされ、日本の製造業大企業では取り組みを進めた⁸⁾。

近年は資本市場における企業評価の変化も企業への圧力となっている。Elkington (1999) が提唱した「トリプルボトムライン」は、社会性・財務性・環境性の3側面でバランスがとれた経営を行うことを企業に求める考え方で、企業の社会的責任 (Corporate Social Responsibility, CSR) に関する企業評価に影響を与えた。また、従来の企業評価の指標には売上や自己資本利益率といった企業の財務情報を用いてきたが、近年では、財務情報に加えて、環境性・社会性・ガバナンス (ESGと呼ばれる。Environment, Society, Governance) の非財務情報も重要な指標になっている。これは、投資家の倫理観や環境意識が高まった

ということではなく、気候変動や不祥事への対応など、多様なリスクに対する企業の対応を財務指標だけでは把握できなくなっているからである⁹⁾。

政策や市場の圧力だけではなく、企業自身が自主的な取り組みを発展させてきたという側面もある。日本では、ISO14001 をいち早く導入した大企業が、環境への影響を減らす取り組みが、コスト削減、技術開発、ビジネス機会と結びつくことを見出し、活動内容を発展させてきた。さらに、Porter & Kramer (2011)が提示した「共通価値の創造 (Creating Shared Value, CSV)」により、「ビジネスを通して環境問題や社会の課題を解決し、自社の利益と社会の価値を向上させる」という考え方が企業経営者に浸透しつつある¹⁰⁾。

企業の環境マネジメントは「環境経営」と呼ばれるが、環境経営は、単なる環境活動の寄せ集めでも、単なるEMS導入でもなく、「企業経営のあらゆる側面に環境配慮を組み込む経営スタイル」¹¹⁾である。本研究では、環境経営を「環境理念を組織の中心に位置づけ、企業活動のプロセスに環境配慮の視点を組み込み、環境性と経済性の向上を目指すこと。その結果、環境配慮型社会の構築に貢献すること」と定義する。この定義は谷本(2004)のCSRの定義を踏まえている¹²⁾。

1.3 中小企業の環境経営促進の必要性

大企業と中小企業の分類は国による相違があるが、概ね資本金や従業員数に基づき定義されている。日本では、中小企業法で範囲が指定されており、製造業企業では、従業員数 300 人以下、または、資本金 3 億円以下の企業が該当する。

中小企業は環境規制の対象外である場合も少なくないが、次の 3 点で、中小企業にも環境配慮が要求されている。

第 1 は、ISO14001 認証を取得した大企業から取引先への要求である。ISO14001 の「4.4.6 運用」の要求事項には、購入物品や外注サービスにも「著しい環境側面」を洗い出す手順書を作成し、相手先に関連手順と要求事項を伝達することも含まれている。

第 2 は、EUのRoHS指令¹³⁾のような化学物質規制の強化への対応として、製造業大企業からサプライヤーへの要求である。化学物質規制の焦点が、従来の製造プロセスにおける使用や排出から、製品の含有へと変化しており、製品自体の規制という側面が強まっている。

第 3 は、グローバル大企業に対するサプライチェーンを含めた環境情報の把握・開示の要求である。それにより、取引先企業にも、水収支、エネルギー使用量や温室効果ガス排出量といったデータを求める流れが発生している。

これらの市場圧力により、EMSの導入や環境ビジネスに取り組む中小企業は増えつつあるが、全企業数の 99%以上を占める中小企業の隅々に浸透するまでには至っていない。中小企業にも環境経営を浸透させることは、環境政策の課題の一つである。環境問題は、個々の合理性と全体合理性が乖離する社会的ジレンマという側面がある。地球規模で見ると、個々の人や企業が及ぼす環境への影響は小さく「自分ひとりくらいは」¹⁴⁾「自社 1 社くら

いは」と考えて行動してしまう。その結果、全体として望ましくない結果を招く。そのような社会的ジレンマ問題を解決するためには、個々の人や企業が、たとえ影響が小さくても「自分が」「自社が」と考えて取り組むことが必要である。従って、相対的に規模が小さい中小企業にも環境経営を浸透させることが求められる。

1.4 中小企業の環境経営支援策に関する分析課題

中小企業は大企業と比べて経営資源の制約は大きく、取引先からの要求を受けたからと言って直ちに対応できるわけではない¹⁵⁾。経営者の環境意識にも依存するが、意識の高さが必ずしも行動に結びつくわけではなく、知識や技術の不足により実践が困難な場合もある。そのような中小企業に対して、環境経営を進めるための支援が行われてきた。

中小企業の環境経営を推進する条件は何か。どのような支援策が有効か。これらの点について、2000年頃から特に欧州を中心に実証研究が行われてきた。第2章では、既存の実証研究をサーベイした上で、日本の中小企業製造業を対象とした実証分析の概要を示す。

本研究では中小企業への支援策のうち、情報支援、特にアドバイスや学習機会のような双方向のコミュニケーションを含む支援策に着目している。その理由は、ボトムアップに態度や行動を変容させる自主的アプローチと期待され、潜在的な効果があると考えられるにも関わらず、理論的分析がされてこなかった¹⁶⁾からである。筆者の事例調査では情報支援がコスト削減に結びついており、第3章ではそのようなケースについての分析を示す。

環境政策の自主的アプローチを分析するためには、情報支援による態度や行動の変容や、社会の環境配慮の普及という事象をモデル化できることが必要である。環境政策に関する理論分析は、従来、伝統的経済理論モデルの数理解析が中心であり、その理論モデルは代表的意思決定主体としてのエージェントの合理性を前提とする規範分析である。自主的アプローチの効果を分析するためには、多様な内部モデルを持ち自律的意思決定を行うエージェントの学習や相互作用による変化のダイナミクスを記述できる手法が有用であると考えられる。第3章では、中小企業の環境経営推進に対する情報支援の役割について、エージェントベースモデリングによりシミュレーション分析を行う。

1.5 新たな環境情報システムの必要性和研究課題

環境経営に関する情報支援が行われていても、それに目を向ける中小企業はやはり限定されている。中小企業は様々な経営課題に直面しており、環境対策が最重要というわけではない¹⁷⁾。また、実際に省エネ等のアドバイスを受けた中小企業が、コスト削減など経済的メリットが提示された場合であっても、必ずしもアドバイスの具体策を実行するわけではない¹⁸⁾。

環境経営に取り組まない、あるいは、取り組めない企業であっても、使って数字を改善すれば環境経営につながる簡単な手法はないのだろうか。

企業は、取引を簿記に記録しボトムラインの数字を向上すべく事業活動を改善していく。

そのような通常業務に組み込まれた活動として、企業の環境負荷を把握する手法はないのだろうか。

企業活動の環境負荷を把握・評価する手法として組織の環境影響評価（Environmental Impact Assessment, EIA）があり、製品の環境負荷を把握・評価する手法として製品のライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment, LCA）がある。前者は EMS の導入や運用において用いられ、後者は製品の環境配慮設計に活用されている。両者を採用する企業は増えてきたが、企業全体から見れば一部に留まっている。この点は第 4 章で述べる。

また、大企業と中小企業の一部では、企業活動における環境負荷の総量や原単位といった環境情報について、CSR 報告書の冊子や企業のホームページで公表している。

しかし、企業の決算書は簿記から構成できるのに対し、これらの情報は、環境負荷の簿記をベースとしていない。環境負荷の把握・評価がすべての企業に通常業務として普及するには、基盤となる簿記ベースの情報作成の仕組みが必要なのではないだろうか。そもそも、環境負荷に目を向けるのは環境対策や環境経営を行う場合である。企業の通常業務に反映されるには、通常の活動であるモノの流れを実物簿記で捉え、そこから環境負荷の情報を抽出できる仕組みが必要なのではないだろうか。

さらに、既存の EIA や LCA では、企業内の各工程の情報、あるいは、サプライチェーンの企業情報にアクセスする必要がある。近年グローバル企業はサプライチェーン全体での環境負荷情報を収集し公表することが求められているが、大企業であっても直接取引の関係がなければアクセスしづらいのが現状である。それを補うためにデータベースが構築されており、必要に応じてバックグラウンドデータとして活用できる。しかし、バックグラウンドデータの提供企業の工程と、利用企業の工程が全く同じわけではなく、情報の正確性に課題がある。

現場のことは現場が最もよくわかるのではないか。現場で環境情報を把握してボトムアップに全体を構成すればよいのではないだろうか。では、現場の工程で簡単に使える手法を用いて環境情報を把握し、それをボトムアップに積み上げていけばよいのではないだろうか。そのような情報体系を構築する方法を提示できないのだろうか。

出口(2000)・Deguchi (2004)は、交換代数に基づく多元簿記システムを提案した。この方法は、貨幣ベースだけではなく工程にかかわるあらゆるマテリアルとサービスを実物ベースでダブルエントリーの簿記形式で捉える新たな方法である。本研究では、この方法をベースに、「環境多元簿記システム」を構成する方法を提示する。ただし、単なる拡張ではなく、環境負荷の再定義、工程やマテリアルの分類といった概念を加え、再構成する必要がある。

本研究の後半では、既存の環境負荷評価手法の課題を踏まえて、環境多元簿記システムを定義し構成する方法を示す。また、その手法を活用して環境学習シミュレーションにも発展させる。

1.6 環境多元簿記システムの環境配慮型社会への貢献

出口(2000)・Deguchi(2004)の代数的多元簿記システムの方法は、ミクロの経済活動記述からボトムアップにマクロの経済情報を把握するシステムの構築を可能にするものである。それに基づく本研究の環境多元簿記システムの方法も、ミクロの工程の環境多元簿記の情報から、事業活動全体、企業活動全体、サプライチェーン、地域というように、長期的研究の視点であるが、マクロの環境情報へのリンクを目標としている。

環境情報のミクロ・マクロリンクが可能になれば、企業レベルと地域・国レベルの環境マネジメントのリンクが可能になると考えられる。例えば、「環境政策の導入が企業活動のどの部分に影響を与え効果を発揮できるのか」「企業の環境ビジネスがどの程度全体の環境負荷に影響を与えるのか」という事項は、現在でも推計されるが、実測レベルで解明することが可能になる。ビッグデータを扱える時代の到来は、環境情報のミクロ・マクロリンクとそれに基づく環境マネジメントを実現可能にするものと期待できる。本研究は、その基本的な方法として環境多元簿記システムの概念と方法を提示するものである。

水口(2012)は、企業は共有財産である地球の自然的環境を一定の限度で適切に利用することを委託されており、その取り組みなどの状況を社会に報告する責任があると述べ、これを「環境アカウンタビリティ」と呼んでいる¹⁹⁾。企業と同様に、人間社会は、環境配慮型を構築し地球を存続させることを次世代から委託され、その活動や状況の説明責任があると考えることができる。環境アカウンタビリティの基本は、環境情報の把握と開示である。ボトムアップに構成しミクロ・マクロリンクを可能にする環境情報システムは、企業レベル、および、地域・国レベルでの環境アカウンタビリティに基づく環境マネジメントに貢献しうる。その意味で本研究の方法は環境配慮型社会の形成へのアプローチである。

2. 本研究の目的と構成

本研究の目的は、環境配慮型社会を構築するための手法として、ボトムアップに構成する環境情報システムの方法を提示することである。

本研究が提示する環境情報システムのベースとなる方法は、出口(2000)・Deguchi(2004)の多元簿記システム、すなわち、工程におけるあらゆるマテリアルとサービスのフローを捉え、交換代数に基づく代数的多元簿記により数値情報を把握するシステムである。この方法をベースとして本研究が新たに提示する方法を、「環境多元簿記システム」と呼ぶ。

多元簿記システムをベースに環境多元簿記システムを構成するためには、環境負荷の再定義、工程、マテリアル、潜在的な環境負荷の分類、既存の環境負荷評価手法と連動可能なマテリアルに関する実物簿記の記述方法、潜在的な環境負荷の交換代数の定義、工程間の連結といった新たな方法の導入が必要となる。本研究の核となる環境多元簿記システムの方法は、第5章で提示し、具体例と環境多元簿記システムの応用の方法について第6章で示す。

本研究が提示する環境多元簿記システムは、既存の環境会計手法の考え方に対して、新たなパラダイムを提示するものである。この点について、第 4 章で、既存の環境経営のマネジメント手法としての環境負荷評価手法を概観しその課題を踏まえた上で論じる。

既存の環境負荷評価手法の課題の一つに、トップダウン型の情報収集の問題がある。本研究の環境多元簿記システムは、現場からボトムアップに情報収集する方法が含まれる。それによって、既存の環境負荷評価手法による企業全体やサプライチェーン全体でのトップダウン型情報収集による問題を回避することが可能になる。この点については第 4 章でも触れるが、具体例を第 7 章で示し、持続可能なモノづくりに対して果たしうる役割を論じる。

環境多元簿記システムの第一段階は工程に係るマテリアルとサービスの把握である。第 8 章では、あらゆる工程で誰でも活用できるようにするために「環境学習用ボード」を提示し、その内容と使用方法、および有効性を示す。

本研究の目的である環境多元簿記システムを提示する背景には、中小企業の環境経営普及という社会的な課題がある。第 2 章では、中小企業の環境経営普及の条件に関して、既存の実証研究をサーベイし、日本の中小企業製造業を対象とした実証分析の背景を述べ、結果の概要を提示する。分析結果では、環境配慮要求の直接的な効果よりも、環境配慮要求を受けてなされた EMS 導入や情報支援利用の間接的効果が大きい。第 3 章では、第 2 章で示された中小企業の環境経営推進に対する情報支援の役割について、エージェントベースモデリングによりシミュレーション分析を行う。

環境多元簿記システムの研究の発端は、中小企業、環境経営に関心のない、あるいは、目を向ける余裕がない中小企業でも通常業務で実物簿記として利用できるように考案したものであるが、適用範囲は中小企業に限らず、EMS を既に導入した企業も含まれる。第 9 章では、環境経営に関して多様な段階の企業に対して環境多元簿記システムがどのように役立つかを述べる。その上で、個々の企業の環境多元簿記システムから環境配慮型社会の形成に活かすための検討課題について、トレーサビリティとミクロ・マクロリンクという観点から提示する。それらを踏まえて、今後の展望を示し、最後に環境多元簿記システムが環境経営にもたらすイノベーションとしての意義を述べる。

次ページの図 1-1 に、本論文の構成を示す。

第 2 章と第 3 章の中小企業の環境経営推進に関する実証分析および ABM 分析は、環境多元簿記システムの発端となった研究である。第 4 章は、研究の経緯から生まれた新たな問題意識に基づき、環境多元簿記システムの方法を提示する根拠を示すものである。第 5 章は本研究の核となる方法論で、第 6 章および第 7 章は具体例と応用の方法である。第 8 章も応用の方法であるが、環境学習シミュレーションとしても独立に実施できるものである。さらに、第 9 章では、環境多元簿記システムと環境配慮型社会形成の結びつきについて、多様な企業に対する活用の利点、トレーサビリティの仕組みのあり方、環境情報のミクロ・

マクロリンクという点から示している。第10章では総括と今後の研究課題を提示する。

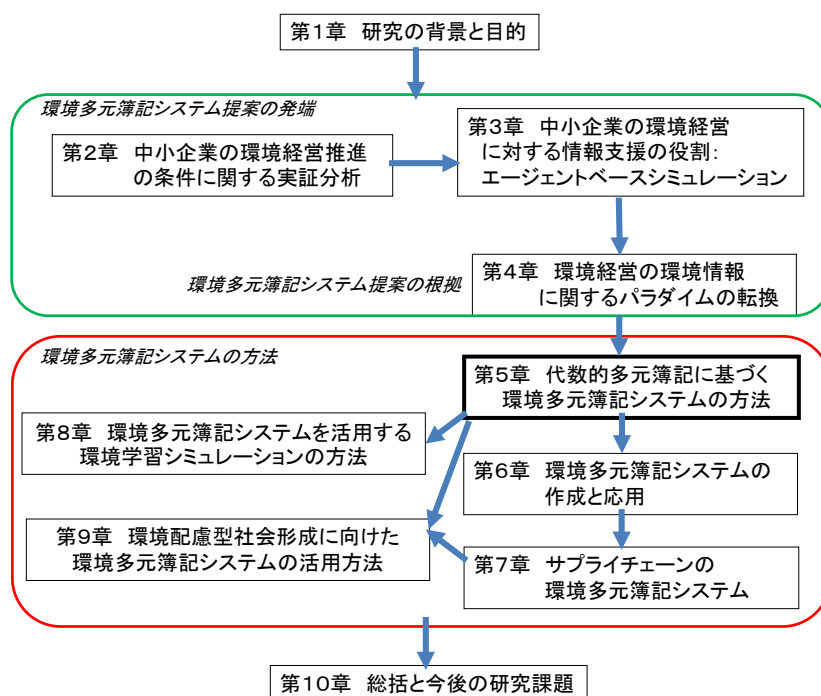


図1-1 本論文の構成

注

- 1) 倉阪(2015)pp. 1-3。環境基本法で「環境」を定義している国もある。
- 2) ケプラー-186fのように地球によく似た太陽系外惑星が発見されているが、仮に地球に似た構造や資源を有していてもアクセスの課題がある。
- 3) 閉じたシステムである地球に関しては、Botkin & Keller (2012) p.37。環境容量に関しては、同 pp.8-10。
- 4) 環境省(2001)第1章・第1節-1「地球の環境容量と物質循環上の問題」の記述。
- 5) WCED (1987)の8-9ページ。この解釈については、例えば、環境省(1992)の総説・第2章第1節の解説にも記されている。持続可能な発展は持続可能な開発とも表記される。
- 6) 植田(1996) p. 3。
- 7) 環境政策の変遷や政策手法については、倉阪(2015)。
- 8) 在間(2003)および在間(2016)第4章。
- 9) 國部編(2013)第3章。
- 10) 企業の環境経営の変遷について在間(2016)第4章。
- 11) 國部他(2012) p. 2。
- 12) 谷本編(2004)p.5は、CSRを「企業活動のプロセスに社会的公正感や環境への配慮などを組み込み、ステイクホルダー(株主、従業員、顧客、環境、コミュニティなど)に対しアカウンタビリティを果たしていくこと。その結果、「経済的・社会的・環境的パフォーマンスの向上を目指すこと」と定義している。環境経営に関する包括的な定義の試みには Haden et al (2009)がある。
- 13) RoHS指令は、「電気・電子機器に対する特定有害物質の使用を制限するEU指令」で、RoHSは Restriction of Hazardous Substances の略で「ローズ」と読む。これは、鉛、水銀、カド

ミウム、六価クロム、ポリ臭化ビフェニール、ポリ臭化ジフェニルエーテルの 6 物質を含む電気・電子機器の販売を、2006 年 7 月より原則禁止にした措置である。RoHS 指令と類似の規制は、アメリカ、中国、日本などでも実施されている。

- 14) 山岸 (1990)を参照。
- 15) 在間(2005a)では、取引先から環境配慮要求への対応ができない企業から、受注を譲られた中小企業の事例が示されている。
- 16) 藤井(2003)は、社会的ジレンマ解決の政策を構造的方略と行動的方略に分類し、情報やコミュニケーションを含む行動的方略については理論分析による根拠が提示されていないという課題を指摘している。
- 17) 日経 BP コンサルティング（以下、日経 BP）が 2011 年 7 月に発行した「中小企業 経営課題 実態調査 2011」は、従業員 100 名以下の中小企業 3213 社に対して網羅的に経営課題のアンケート調査を行っている。日経 BP の調査データによると「環境保全対策／エコに対する取り組み」が課題であると回答した企業は 19.3%の 621 社で、約 8 割の企業が環境・エコは課題でないと考えていることがわかる。ただし、既に取り組んでいるため課題ではないか、関心がなくて課題がないのかは、このデータからはわからない。
- 18) 中小企業支援組織へのインタビューでしばしば聞かれることである。オフレコを求められるため、研究倫理を踏まえ明記は避ける。
- 19) 水口(2012)p.186 を参照。

第2章 中小企業の環境経営推進の条件に関する実証分析

本章の概要

本章は、本研究の核となる環境多元簿記システム研究の発端となる中小企業の環境経営に関する研究である。第1章で述べたように、大企業から取引先へ環境配慮の要求が広がっているが、一般に経営資源制約が大きい中小企業では、隅々にまで環境経営が行き渡っているという状況には至っていない。1990年代後半より欧州を中心に、中小企業の環境経営戦略のタイプ、促進や阻害の要因、支援等に関する実証研究が行われている。本章は、これらの既存研究をサーベイした上で、中小企業への環境配慮要求、情報支援利用、市場環境、企業属性、経済性、EMS認証取得と、環境指標の関係について、日本の製造業中小企業を対象にした筆者の実証分析結果の概要を示す。なお、中小企業の環境経営に関する研究論文では「環境改善」「環境活動」等の用語も使用されているが、ここでは「環境経営」と記す。

1. 環境経営の戦略と要因に関する実証研究

1.1 環境経営の活動と戦略タイプ

環境経営の戦略は、規制順守にとどまる「リアクティブ型」と、規制順守にとどまらず自主的活動に取り組む「プロアクティブ型」の2つに大別される¹⁾。

中小企業の環境経営に関してリアクティブであることを示す実証分析は、2000年前後の研究に多く見られ、Petts (2000)、Williamson & Lynch-Wood (2001)、der Brío & Junquera (2003)、Patton & Worthington (2003)、Worthington & Patton (2005)、Williamson et al. (2006)がある。例えば、Worthington & Patton (2005)、Williamson et al. (2006)では、中小企業の環境経営はリアクティブで自発的活動や競争力に結びついていないことを示している。

ただし、同時期の分析においてプロアクティブなケースは存在し、例えば、Noci, & Verganti (1999)では、製品の環境パフォーマンスの改善は、製品のライフサイクルに関する知見やステイクホルダーの環境配慮要求の予測が必要であるため中小企業にとって難しいが、一部の中小企業では戦略的に研究開発に取り組んでいることを示している。

Hitchens et al.(eds.)(2003)は、ドイツ、英国、アイルランド、イタリアの染色・プリント加工業、家具製造業、青果加工業の対する調査において「規制志向」「コスト削減志向」「エコプロダクツ促進志向」という環境戦略について分析した。Hitchensらは、全体では規制志向が多いが、ドイツではコスト削減志向やエコプロダクツ促進志向も多く見られることを示している。ただし、エコプロダクツによる差別化が競争戦略となっている中小企業はドイツでも一部に限定されることも指摘されている。

Aragón-Correa et al. (2008)は、既存研究のレビューから、中小企業の環境経営がリアクティブからプロアクティブまで幅広く存在することを示している。また、Bos-Brouwers (2010)は、規制志向は少数派で、多くは環境効率性の向上を求めてプロアクティブな取り組みを行うエコ効率志向であることを明らかにしている。これらで示されるように、近年は、プロアクティブな環境経営に取り組む中小企業の増加が推察される。

自主的活動の内容については、Bos-Brouwers (2010)の実証分析では、廃棄物削減防止や省エネが最も多い環境活動であることが示されている。近年は、EU だけではなく、アジアやアフリカ等の国における実証分析も増えている。例えば、Lee (2009)は韓国の実証研究で、環境ビジネスに取り組むプロアクティブな中小企業の事例分析を行っている。また、Meité et al. (2009)では、アフリカ西部 8 カ国の実証分析から、途上国の中小企業について、安全・健康・環境の取り組みの現状を整理し、いずれも未発達の段階にあることを指摘している。

1.2 環境経営の要因

González-Benito (2006)は、大企業に関する実証研究をレビューし、環境経営に取り組む要因として、「ステイクホルダーの圧力」「立地や業界等の外部要因」「規模、国際化、バリューチェーンでの位置」「経営や戦略に対する態度等の企業属性」を挙げている。中小企業の環境経営に関する実証分析においても、外部要因と内部要因が示されている。

①外部要因

リアクティブ型に関する実証研究が示されているように、「環境規制」は中小企業が環境経営に取り組む主要な外部要因である。Petts, et al.(1999)、Petts (2000)、Patton & Worthington (2003)はいずれも英国の調査で、中小企業の環境経営の本質は規制対応であり、経営者が規制を順守すべきものとして認識していることを明らかにしている。

van Hemel & Cramer (2002)、Zhang et al. (2008)、Granly & Welo (2014)では、「顧客」「サプライチェーン」「業界」「市場機会」「コミュニティ」といった外部要因を示している。他方、阻害要因例えば、He et al. (2014)は、中国の地方の化学企業に関する分析で、中小企業と地方政府の強い関係が環境活動を阻害していると指摘している。

②経営者の環境意識

環境経営の阻害要因の 1 つに、「経営者の知識や認識の不足」がある。Merritt et al. (1998)は、経営者は環境に関心があるが知識不足で実行していないことを指摘している。最近の研究においても、Wilson et al. (2012)は、環境法規制に関する知識やレスポンスビリティに関する経営者の認識の不足を示している。

他方、Petts et al. (1998)や Cordano et al. (2010)では、プロアクティブな環境経営の要因として「経営者等の環境意識の強さ」を明らかにした。Battisti & Perry (2011)では、経営者の環境意識と企業規模に「逆 U 字関係」があることを示しており、Rodgers (2010)は、

企業家（起業家）が経済性のみを意識するわけではないことをケース分析から指摘している。Williams & Schaefer (2013)は、気候変動に対する取り組みを積極的に行う中小企業では経営者の価値観や信念に基づくものであることを示し、政府や支援組織はビジネス事例やコスト削減効果を強調するが、個人の価値観に働きかけるほうが有効であると指摘している。

③経済性に関する経営者の認識

Taylor (2003)、Simpson et al.(2004)、Revell & Blackburn (2007)、Cassells & Lewis (2011)、Brammer et al. (2012)は、環境経営の阻害要因として、経営者が環境活動をコストと認識すること、あるいは、コスト削減といったメリットと考えていないことを挙げている。

他方、Epstein (2000)や Madsen et al.(1997)では、環境活動によるコスト削減効果の認識がプロアクティブな環境経営の要因となっていることを示している。Granek & Hassanali (2006)は、カナダの工業地域における大気汚染物質等の未然防止プログラムに参加した中小企業のケーススタディから、財政援助やコスト削減効果がインセンティブとなっていることを指摘している。プラスの経済性の認識が環境経営推進要因となる点については、Hitchens et al.(eds.)(2003)や Bos-Brouwers (2010)が示したコスト効率志向やエコ効率志向にも示されている。

④企業属性・経営資源・組織文化

中小企業は大企業と比べて経営資源制約が大きい。Hitchens et al.(eds.)(2003)は、「新規投資への資金制約」「人員に余力不足により環境活動への人材不足」「環境面での正しいスキルに関する知識欠如」を挙げている。他方、「企業規模」について、規模の大きい企業の方が、小さい企業よりプロアクティブな活動が多いことを示している。さらに、ドイツの中小企業を対象とする調査では、「最新設備」「R&D 従事者」「輸出」といった企業属性に係る項目が環境パフォーマンスに効果を与えることを明らかにしている。ただし、ドイツ以外の調査では特に相関は見られないと述べている。

Hillary (2004)は環境マネジメントシステムの取り組みを阻害する要因として、環境対策をネガティブに考える企業文化があることを示し、環境経営に取り組むためには人的資源に課題があることを指摘している。

⑤組織能力

環境経営を促進する要因として「組織能力」との関わりを示す研究として、Biondi et al. (2002)や Aragón-Correa et al. (2008)がある。Aragón-Correa et al. (2008)は、ビジョンの共有、プロアクティブな環境経営戦略、ステイクホルダーのマネジメント能力といった特定のケイパビリティがある場合には、環境経営の取り組みが経済性の向上に結びつくこと

を明らかにしている。また、Petts et al. (1998)は環境の取り組みには訓練、双方向コミュニケーション、および、組織学習といった要素が必要であることを示唆している。Epstein et al. (2000)も、環境に取り組むために適切なスキルやケイパビリティ開発が必要であると指摘している。

Oxborrow & Brindley (2013)は英国の 15 の中小企業の事例から、中小企業のエコアドバンテージ創出と組織学習について、ケイパビリティの蓄積の重要性を指摘し、環境影響志向、潜在的コスト削減志向、市場機会志向の 3 タイプの学習モデルを提示している。

1.3 外部要因と内部要因

多くの実証研究では複数の要因を明らかにしている。例えば、Biondi et al. (2002)は、中小企業の環境経営について、阻害要因には経営資源・組織文化・投資リスク・情報不足、促進要因にはステイクホルダーの圧力・環境規制・コスト削減・廃棄物削減・リスク廃棄があることを示し、促進のキーワードとしてネットワークや協働、技術のイノベーション等を挙げている。Cambra-Fierro et al. (2008)では、中小企業の環境に関する倫理行動を促進する要因として、法律、経営者の価値観、社会文化、所有と経営の形態、産業を挙げている。

また、環境経営の活動レベルと要因の関係では、例えば、Uhlaner et al. (2012)は、産業部門、企業規模、イノベーションの方向性、エネルギー保全からの経済的便益の認知といった内部要因が個々の環境マネジメントの活動への取り組みのレベルに影響を与えることを示している。

2. 中小企業の環境経営における環境性と経済性に関する実証研究

2.1 環境性と経済性の関係

環境性と経済性の関係に関しては、「環境経営により経済性を向上させるか」および「経済性の高さが環境経営促進に結びつくか」という異なる 2 つの方向からアプローチされる。

環境への取り組みによる競争優位性や経済性のへの影響については、ポジティブとネガティブの両者の関係が明らかになっている。Hitchens et al.(eds.)(2003)は、EU の実証研究から、環境の取り組みが優れた企業ほど経済的便益が高い傾向があるものの、全体として明確な結果は得られていないとしている。また、Worthington & Patton (2005)の英国の印刷業を対象にした調査でも、環境への取り組みと競争優位の関係は見られないことを示している。他方、Luken & Stares (2005)のアジア 4 カ国を対象とした国連プロジェクトによる調査では、企業に適した環境活動は短期の利益と長期の競争力を向上させることを示している。

経済性の高さと環境経営の関係については、例えば、Aragón-Correa et al. (2008)では、最もプロアクティブな環境活動を行う中小企業は経済性が高いことを示している。

2.2 要因等を含めた分析モデル

中小企業の内部や外部の要因、および、環境性・経済性の関係等については、いくつかの分析モデルが提示されている。

Gadenme et al. (2009)は、顧客・サプライヤー・規制といった外部要因が企業の環境に関する認知や態度に影響を与え、それが環境活動に影響するというモデルを設定している。このモデルにおいて外部要因を緩和する変数として所有者と経営者の関係、環境情報、時間、資金を挙げている。

Lefebvre et al. (2003)は、企業の属性、製品の属性、変化の誘因が企業の環境パフォーマンスに影響を与え、それが企業のイノベーションや競争力に影響を及ぼすというモデルについて、カナダの木材製品、印刷、金属加工製品、電気電子製品の4産業で分析し、競争優位は産業により異なることを示している。

Rao et al. (2009)は、フィリピンの中小企業の実証研究において、環境パフォーマンス指標、環境マネジメント指標、企業の事業パフォーマンス、企業の環境パフォーマンス、競争力という5つの関係を分析している。その結果、環境マネジメント指標が環境パフォーマンス指標に影響し、それが企業の環境パフォーマンスを向上させ、さらに企業の事業パフォーマンスと競争力に影響を及ぼすという関係が示されている。

3. 中小企業の環境イノベーションに関する実証研究

イノベーションに関する実証研究では、技術、製品、組織といったイノベーションのタイプやイノベーションを引き起こす要因が分析されている。また、研究結果から、必要な支援策について言及するものも少なくない。用いられる用語は環境イノベーション(environmental innovation)、エコイノベーション(eco-innovation)、グリーンイノベーション(green innovation)、サステナブルイノベーション(sustainable innovation)と様々である。Klewitz & Hansen (2014)は、1987年から2010年の約20年間における中小企業のエコイノベーションとサステナブルイノベーションに関するレビューを行い、既存研究の多くはエコイノベーションに関する分析であり、トリプルボトムラインの観点を含めたサステナブルイノベーション研究は少ないことも指摘している。イノベーションに関する実証研究は、主に3つのカテゴリーに分類できる。

第1は、先に上げた環境経営の外部・内部要因と同様に、イノベーション採用の要因に関する分析である。Hansen et al. (2002)は、EUの20事例の分析から、中小企業の環境イノベーションについて、採用プロセスは、イノベーションの種類、特殊な事業の機会の有無、規制圧力等の要因により多様であることを示している。Weng & Lin (2011)はアフリカの実証研究で、グリーンイノベーションを採用する要因として、グリーンイノベーションの技術特性、組織の属性、政府の支援、顧客圧力、規制圧力を示している。

第2は、イノベーションと組織能力に関する分析である。Hansen et al. (2002)は、調査分析から、中小企業の環境イノベーション能力の分析フレームワークとして、企業のコンピタンスと戦略的方向性、および、外部とのネットワークという「ダイナミックトライアングル」の相互関係を提示している。Bos-Brouwers (2010)は、オランダのゴム・プラスチック業の実証研究から、サステナブルイノベーションは環境効率を高める技術や低コスト化の生産といった改善に見られることを示し、それらに取り組む企業には新製品市場開拓やステイクホルダーとの関係構築という価値創造がもたらされることを指摘している。

第3は、イノベーションのタイプや要因と政策の関わりに関する分析である。Triguero et al. (2013)は、欧州27カ国を対象とする実証研究から、エコイノベーション採用に対する供給サイド、需要サイド、規制といった異なる要因が果たす役割を整理している。彼らは、研究機関等とのコラボレーションやエコ製品の需要増加を重視する企業でイノベーションが活発であることを見出した。さらに、供給サイドの要因は組織やプロセスのイノベーションに、市場シェアはエコ製品とエコ組織に、コスト削減はプロセスイノベーションに、既存の規制はエコ製品とエコ組織に影響を与えることが示されている。他方、将来の規制や補助金の有無はイノベーションに影響を及ぼさないことも指摘されている。

Cuerva et al. (2014)は、スペインの食品・飲料企業について、通常のイノベーションとグリーンイノベーションの相違を分析している。R&Dや人的資源のような技術的ケイパビリティは通常のイノベーションを促進するがグリーンイノベーションを生み出す要素とならないことを示している。さらに、グリーンイノベーションの採用行動には、品質管理システム(以下 QMS)の実行や差別化という要因だけが影響することを明らかにしている。その点から、エコイノベーションには公的助成よりもQMSのような自発的参加型認証制度が有効であることを指摘している。

4. 中小企業の環境経営に対する政策・支援の実証研究

多くの実証研究で、中小企業は大企業と比較して経営資源の制約があるため、環境経営を促進する支援策が必要であると指摘されている。

4.1 規制や外部圧力の必要性和限界

リアクティブ型の中小企業の存在から、中小企業に環境活動を促すためには、政策やステイクホルダーによる圧力が有効であると考えられる。近年の研究では、Lin & Lan (2013)は、環境規制がグリーンサプライチェーンマネジメントの推進力となることを示している。また、Guében & Skerratt (2007)は、環境経営を行う中小企業であっても、環境報告書の取り組みは、費用便益面でメリットを感じないため、外部からの圧力がある場合に限られることを明らかにしている。彼らは、環境報告書に対するイメージが変わるか、規制や中心的なステイクホルダーからの圧力が不可欠であることを指摘している。Studer et al.

(2008)は香港における調査で、中小企業の環境意識を高める上で、表彰制度や自発的合意アプローチはあまり効果的でないが、サプライチェーンの圧力は有効であることを示している。

しかし、外部圧力の影響の限界も実証されている。Baden et al. (2011)は、英国の CSR に関する調査において、厳しい基準を課すとフラストレーションで天井効果が生じ CSR の取り組みが減少してしまうことを指摘している。環境経営について、Lynch-Wood & Williamson (2013)は、英国の中小企業への調査で、規制は中小企業に対して環境への取り組みを促すが、民間の圧力も規制のような刺激となることを示している。ただし、彼らは、中小企業はオーバークンプライアンス行動を取らず規制順守にとどまるため、民間圧力の効果は狭い範囲の課題に限定されることを指摘している。

4.2 経済的支援

Clement & Hansen (2003)は北欧 4 カ国における経済的支援策について、マネジメント、雇用、技術、エネルギーの 4 分野に分類し、デンマークとスウェーデンではマネジメントに、フィンランドとノルウェーでは技術に、それぞれ重点的であることを示している。また、エネルギー利用に関する支援はいつでも行われているが、環境改善というよりもエネルギー効率性向上を促すものであると指摘している。彼らはさらに、それらの経済的支援が及ぼす中小企業の意識や取り組みへの効果に関する分析が必要であるという課題を提示している。

4.3 中小企業に向けた環境マネジメントシステムの必要性や効果

Hutchinson & Hutchinson (1995)は、EMS の先駆けである英国の BS7750 について、理論的にはあらゆる組織に適用可能だが中小企業向けの規格が必要であることを指摘している。Wells & Galbraith (1999)は、メキシコ政府が世界銀行の支援を得て実施した Guadalajara プロジェクトによって中小企業がコスト効率的に EMS を導入できたという成果を示した上で、中小企業の取得を促す低価格の認証制度が必要であると指摘している。

Biondi et al. (2000)は、中小企業の EMS 導入に関するパイロットプロジェクトから、中小企業の導入の阻害要因は、直接の資金投入ではなく、間接的コストであると示している。間接的コストとは、EMS というマネジメントに必要な時間、環境対策に必要な技術や人材である。彼らは、中小企業の EMS 導入を促進するために必要な措置として、個々の中小企業への技術支援、経済支援や経済的インセンティブ、要求事項の単純化または中小企業をターゲットとしたガイドライン、中小企業の内部人材に対するトレーニング、認証単一企業ではなく地域全体等での認証取得の可能性という 5 つを提言している。

現在では、日本のエコアクション 21、KES、エコステージのように、国内で事業を行う中小企業が対応しやすい EMS 認証制度がある。

Heras & Arana (2010)は、EU において ISO14001 や国内版 EMS を導入する中小企業に

対して推進要因（モチベーション）・阻害要因・便益の3項目について実証分析を行い、両者で推進要因のみ異なることを明らかにしている。それによると、ISO14001の採用については企業イメージの向上や顧客圧力の緩和が推進要因であるが、国内版では自社の環境活動の向上という要因が示されている。

EMS導入の効果に関する分析としては、例えば、Zorpas（2010）では、EUの中小企業を対象とした環境マネジメントシステムによるメリットに関するレビューで、環境マネジメントシステムの導入とその取組みが「見えざる資産」を蓄積する点を指摘している。

4.4 情報・知識に関する外部支援の必要性・役割

①外部支援の必要性

der Brío & Junquera（2003）は、実証研究のレビューから環境経営推進に関するステイクホルダーとの関係性に着目し、技術に関するアドバイスや知識の提供、および、外部のステイクホルダーとの協働するトレーニングプログラムといった特別な活動が必要であることを指摘している。Peters & Turner（2004）は、英国の工業団地における自発参加型アプローチの調査から、適切な知識やスキルの提供が必要であることを指摘している。ただし、Hitchens et al.(eds.)(2003)の実証研究では、外部の助言サービスがあるにもかかわらず、中小企業にとって環境は最優先事項ではないため必要性をあまり感じていないことが示されている。

Friedman & Miles（2002）は、中小企業の環境性と経済性を向上させる BBT（Better Business Pack）プログラムの事例から、地域ベースで、人が関与する、中小企業に適した柔軟性のある「寄り添う」支援が重要であることを示している。Lee & Klassen（2008）は、外部支援による環境知識が環境マネジメントのケイパビリティ向上に重要であることを示している。

②協働やネットワークの役割

Biondi et al.（2000）は、事例分析から、中小企業間やサプライチェーンの取引先などとの協働がEMSの取り組みに重要な役割を果たすことを示している。Ammenberg et al.（1999）は、スウェーデンの Hackefors 地域の中小企業がネットワークを構築し共同で ISO14001 に取り組みコスト削減にもつながっている事例を紹介している。同じ取り組みについて、Ammenberg & Hjelm（2003）では、共同のEMSの取り組みによって、既存および潜在的に重要な顧客との関係がよりよくなるという効果を示している。Halila（2007）は、既存の学習ネットワークプロジェクトを活用して中小企業のEMS導入支援を実施し、ネットワークにおける学習によるEMS普及モデルを提示している。

③取引先企業による支援

取引先大企業からの支援の重要性を示すものとしては、先に挙げた Wells & Galbraith

(1999)の Guadalajara プロジェクトのケースや、グリーンサプライチェーンに関する実証研究である Lee et al. (2012) がある。Wells & Galbraith (1999)の研究における Guadalajara プロジェクトは、Guadalajara 地域にある 11 の大企業と各社のサプライヤーである中小企業数社を選び、大企業の支援や助言を受けて中小企業が EMS に関する訓練を受けるものである。他方、Hitchens et al.(eds.)(2003)の実証研究では、中小企業は取引先大企業によるアドバイスをほとんど受けていないことが示されている。

④事業者団体の役割

Revell & Rutherford (2003)は中小企業に環境への取り組みを促すには、事業者団体へのアプローチが鍵となることを指摘している。他方、Clarke (2004)は、英国の旅行業に関する事業者団体に対する調査において、事業者団体が環境に対して必ずしも積極的ではなく中小企業への影響も限定されることを示している。

⑤ビジネス支援

環境経営の促進に関して中小企業に対するビジネス支援の必要性を指摘する調査分析には、Holt et al. (2000)、Shearlock et al. (2000)、van Berkel (2007)、Oxborrow & Brindley (2013)などがある。中小企業のエコアドバンテージと組織学習の関係を示した Oxborrow & Brindley (2013)は、公的なサステナブル調達に中小企業にとって市場機会となりイノベーションを生み出す触媒としての役割をもつこと、および、ビジネス支援や知識移転の強化の必要性を指摘している。

van Berkel (2007)は、オーストラリアにおいて低環境負荷型生産(Cleaner Production)プログラムへの参加企業に対する調査分析から、それらの企業は、「環境配慮が主目的か否か」および「標準的な技術や実践か、より精巧な技術や実践か」という 2 軸により 4 つに分類されることを示している。その上で、政策インプリケーションとして、資源生産性や環境効率性の課題に対してビジネスアプローチを促進するためには、さらに、中小企業の総合的なイノベーション能力を向上させるためには、管理者訓練や能力開発（キャパシティ・ビルディング）が必要であると指摘している。

⑤中小企業の多様性と政策

中小企業は、業種や規模、経営資源など様々な点で多様である。初期の実証研究においても Merritt (1998)や Patton & Worthington (2003)は、中小企業の多様性に応じた政策が必要であると指摘している。また、Revell & Rutherford (2003)は英国とオランダの政策を比較して、明確なターゲットに対して行われるオランダの政策の方が中小企業の環境経営促進に有効であると述べている。

Parker et al. (2009)は、中小企業の環境経営推進に関する既存研究のレビューから、既存の研究論文や実際の環境政策では、中小企業の「タイプ」という視点が欠けていることを

指摘し、さらに、中小企業はさまざまなタイプがあるため単一の政策でなくタイプに応じた複数の政策が必要であることを示した。Parker et al. (2009)は、経営者の環境優先・事業優先の意思によって4つのタイプに分類し、政策カテゴリーと政策が効果的な中小企業のタイプについて、表2-1に示す関係があることを明らかにしている。

表2-1 Parker et al. (2009)による中小企業のタイプと有効な政策

	順守志向 Compliance driven	利益志向 Profit driven	環境志向 Environment driven	優位志向 Advantage driven
自主的規制・基準 Voluntary regulations & standards			○	○
強制的規制 Compulsory regulations	○			○
経済的ペナルティ Financial penalties	○	○		
経済的支援 Financial support			○	○
教育 Self-directed & facilitated education	△	△	○	○
監査とレビュー Audits & reviews			○	○
事業等への助言 Business advice & help lines	△	△	○	○

○:効果的、△:難しいが提供可能

出所) Parker et al. (2009)より筆者作成

5. 取引先から中小企業への環境配慮要求に関する実証分析

5.1 本研究に用いたアンケート調査の焦点

第1章で述べたように、大企業から取引先への環境配慮要求が中小企業に影響を及ぼしてきた。しかし、2000年代前半までの既存研究では、ステイクホルダーの圧力が中小企業の環境活動を促進する要因となることは示されていたものの、どの程度の影響を及ぼしているかは明確ではなかった。

在間(2005b, 2007)は、2004年と2006年に、機械・金属業やプラスチック加工業に対して実施したアンケート調査²⁾から、中小企業への環境配慮要求の実態、および、それによる環境活動への影響を分析した。新たな分析を加えて在間(2016)にもまとめた。この調査の特徴は3つある。

第1に、取引先大企業からの環境配慮要求が中小企業の環境活動に及ぼす影響に焦点を当てていることである。2000年代は、第1章でも述べたように、大企業による取引先への環境配慮を求める動きが広まりつつあり、その背景には、ISO14001規格条文「4.4.6 運用」

の取引先への要求事項や、EU の RoHS 指令など有害化学物質に関する環境規制強化などがあった。

第 2 に、情報・知識に対する支援について、中小企業が利用した支援と求める支援を調査していることである。アンケート調査に先駆けて実施したヒアリング調査では、取引先の大企業が実施する勉強会への参加により環境活動を進めている事例がある一方で、そのようなサポートを受けていない企業の事例では、情報収集の困難さが示された³⁾。2000 年代前半の実証研究においても情報・知識提供に関する分析を含むものはある。ただし、それらとの相違は、調査から、中小企業が活用した支援と求める支援の乖離を明らかにした点である。

第 3 に、調査では既存研究と同様に環境性の向上と外部・内部の要因に関する項目が含まれているが、当時の市場環境要因も考慮していることである。事前調査では、取引先からの環境配慮要求に直面している中小企業は厳しい価格競争にもさらされており、その点も加えている。

5.2 取引先から中小企業への環境配慮要求とその影響

在間(2016)は、同データの再分析により、中小企業への環境配慮要求の実態とその効果について、主な結果として、次の 3 点を挙げている。

第 1 に、環境配慮要求には環境マネジメントシステム(EMS)関連と化学物質関連の事項があり、調査対象の機械・金属業やプラスチック加工業では、環境配慮要求が広まっていた。2006 年の調査では、何らかの要求を受けていた中小企業の割合は約 6 割にも上り、2004 年度よりも増加していた。

第 2 に、中小企業の EMS 認証取得は、多くの場合、取引先からの環境配慮要求の影響によると推察される。

第 3 に、環境配慮要求を受けた企業群の環境活動は、受けていない企業群と比較すると、「環境理念、体制、目的・目標・計画、社員環境教育といった EMS 構築に関する活動」「リスク未然防止」「環境製品・部品」の項目が推進されていたことがわかった。環境製品・部品については取引先大企業のグリーン調達が一因であると考えられる。調達などのリスクの未然防止に関する活動は、EMS を導入する以前にはほとんど行われていないため、環境配慮要求がきっかけになると考えられる。

さらに、在間(2016)は、アンケート調査後に行った中小企業へのヒアリング調査から、取引先大企業からの環境配慮要求は、単なる EMS 認証取得の圧力なのではなく、中小企業自身がそれを契機として、組織の活動や事業に環境配慮を組み込み、組織の能力を向上させ、環境性と経済性を向上させる機会を獲得してきたケースがあることを示している。

6. 中小企業の環境経営推進の条件

6.1 情報支援利用と求める情報支援

在間(2016)は、環境経営の取り組みが進んでいた S 社では、活動の初期段階において取引先大企業から、EMS の認証取得に関する学習会や内部監査員研修といった情報支援も受けていたことを示している。中小企業の環境経営に対する情報支援を提供する組織には、取引先、中小企業関連団体、自治体、認証機関があり、提供される場には、セミナー・学習会、および、アドバイス・コンサルティングがある。

在間(2005, 2007, 2016)は、アンケート調査から情報支援の現状や課題についても分析した。主な結果として次の3点が示されている。

第1に、EMS 関連、化学物質関連とも、約半数の中小企業が何らかの情報支援の利用経験があり、環境配慮要求を受けた中小企業では約7割が利用していた。

第2に、中小企業が求めている環境情報としては、自社に関わる法規制や化学物質などの具体的内容やその対策である。中小企業のニーズにあう情報支援が課題であると言える。

第3に、環境に関する不足情報の認知では、環境配慮要求を受けた企業群と受けていない企業群、あるいは、情報支援を利用した企業群と利用していない企業群で、相違があった。何らかの環境配慮要求を受けた7割以上の中小企業では不足情報を認識していた。また、EMS や化学物質に関する情報支援を利用した中小企業では8割以上が不足情報を認識していた。他方、環境配慮要求を受けていない場合、あるいは、情報支援利用がない場合では、6割前後の中小企業では不足する情報は特にないと回答していた。これらのことから、取引先からの環境配慮要求を受けて環境活動を始めた中小企業は情報の必要性に直面し、情報支援を利用し、さらに活動等に必要な情報の不足にも気づくと推察できる。他方、環境配慮要求を受けていない場合には環境活動を進める必要性が低く、必要な環境情報について「特にない」という回答が増えるものと考えられる。

6.2 経営者意識と不足する経営資源

在間(2016)は、環境経営に対する経営者の意識、および、不足すると感じている経営資源について、次の2点を分析結果から提示している。

第1に、環境活動の推進に積極的・やや積極的と回答した中小企業が全体約4分の3を占めた。それらの企業では、コスト削減、事業面のメリット、差別化、信頼性という環境経営のメリットに関して、複数の項目を、積極的な理由として挙げていた。このことから、それらの経営者には、環境経営に関するプラスの認識が広まっていたことがわかる。他方、消極的・やや消極的な中小企業では、「取引上は必要ない」「環境以外の優先課題がある」「事業に結びつかない」のいずれかを挙げていた。

第2に、環境活動推進に関して資金、専門知識・情報、人材の3つの経営資源について、約75%の中小企業では少なくとも1つは不足と認識していた。調査では約7割の中小企業は、専門知識・情報と人材の少なくとも1つを課題として挙げており、「人材」という場合

にも関連するスキルのような「情動的経営資源を有する人材」が含まれていると考えられるため、情動的経営資源の不足が顕著であると指摘できる。

6.3 回帰分析のモデルと結果

在間(2008)では、同データを用いて、図2-1に示すモデルについて回帰分析を行った。

中小企業の環境経営推進の要因分析において、中小企業の経済性を、環境性向上の要因の1つと仮定してモデルを設定している。その理由は以下のとおりである。在間(2016)の第4章で示されるように、製造業大企業では、初期時点の環境経営の特徴は「コストに耐えた」EMS構築や環境対策であり、環境ビジネスによる利益向上が顕著になるのは、その後であった。このアンケート調査を実施した2000年代前半は、中小企業にとって環境経営の初期段階であった。従って、以下の分析モデルでは、「環境性ゆえに経済性の向上」ではなく、「経済性の高さゆえに環境性の向上」という仮定を設け、モデル化している。

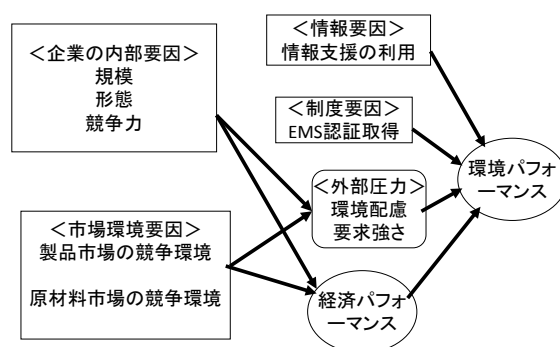


図2-1 在間(2008)の分析モデル

在間(2008)の分析結果から、中小企業の環境経営推進の条件として、以下の3つが明らかになった。

1つは、厳しい市場環境に直面している中小企業、あるいは、下請け型の中小企業では、取引先の環境配慮要求が強いことにより、受動的ではあるが環境経営を推進しうることである。

2つは、市場環境が緩い中小企業、あるいは、経営資源に余裕がある、下請けに頼らず自社開発とバランス型である、競争面での強みがあるという中小企業では、経済パフォーマンスを高めることにより、能動的な環境経営を推進しうることである。

3つは、いずれにしても、情報利用の中でも、取引先や認証機関による環境情報サポートの役割が重要であることである。

6.4 構造方程式モデリングによる分析モデルと結果

在間(2008)では、EMS認証取得および情報支援の利用を、外生変数として扱っていたが、

それらは、環境配慮要求や経済性のような要因にも関係している。在間(2016)では、その点も考慮し、図2-2のようなモデルを設定した。これは、企業属性、事業形態、競争力、市場環境といった要因が、環境配慮要求や経済性に影響を及ぼし、環境配慮要求、経済性に加えて、経営者の環境意識、情報支援利用、EMS 認証取得が環境総合指標に影響を及ぼす、というモデルである。

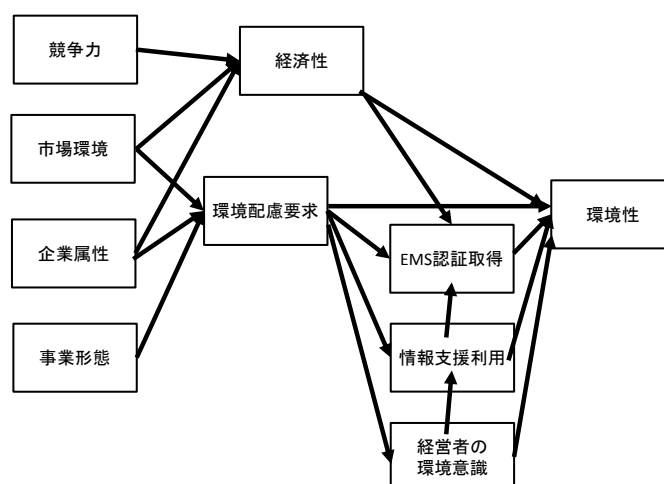


図2-2 在間(2016)の分析モデル

図2-3は分析結果の概要である。

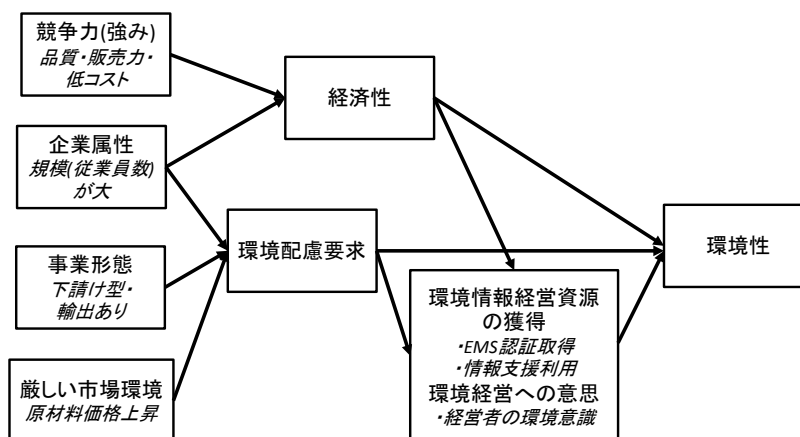


図2-3 共分散構造分析結果の概要

中小企業の環境性向上と、認証取得、情報支援利用、企業の経済性、および、規模・形態・開発力等の内部要因、取引先からの環境配慮要求や直面する市場の状況といった外部要因との関わりについて、主な分析結果は、以下の6点である。

第1に、中小企業の環境性に最も影響を及ぼすものは環境配慮要求であった。ただし、

環境配慮要求の大きさ自体が直接的に中小企業の環境性を高める効果よりも、環境配慮要求を通じて、経営者の環境意識を高めて情報支援利用や EMS 認証取得を促すといった間接効果が、より大きな役割を果たすことが明らかになった。

第 2 に、環境性への直接効果が最も大きいものは EMS 認証取得であった。これは、EMS の導入や運用が契機となり環境経営が推進されるという事例を裏づけるものである。

第 3 に、環境性向上に情報支援利用が与える影響では、間接効果よりも、情報支援利用によって環境活動が推進される直接効果の方が大きいことが示された。

第 4 に、経済性の高さは直接的・間接的に環境性向上に影響を与えるが、環境配慮要求、EMS 認証取得、経営者環境意識、情報支援利用の各効果の方が、経済性による効果よりも大きいことが示された。また、経済性による直接効果と間接効果は同程度であった。これらのことは、この分析モデルで設定した「経済性ゆえの環境性」に対して、次の 2 つを示唆するものと言える。1 つは、経済性が大きい中小企業が「自動的に」環境性を向上できるというよりも、むしろ、経済性が EMS 認証取得を支えることを通じて環境性を向上させることである。もう 1 つは、経済性の効果に加えて、経営者の環境意識、および、EMS 認証取得や情報支援利用の効果も効果があることである。

第 5 に、経済性以外の企業活動に係る要因のうち、間接効果が最も大きいものは従業員数であり、規模が大きい中小企業ほど環境活動に取り組む傾向があると言える。また、輸出、下請け比率、原材料価格変化、低コスト・販売力・品質といった強みも、小さい値であるが間接効果があることが明らかになった。

第 6 に、中小企業の企業活動要因と環境性向上について、2 つの経路がある。第 1 の経路では、「規模が大きい」「下請け型である」「輸出している」「厳しい市場環境にある」という特徴をもつ中小企業では、取引先からの環境配慮要求に応えることによって環境性を高めることが可能である。第 2 の経路では、「規模が大きい」「品質・販売力・低コストといった強みがある」という特徴をもつ中小企業では、高い経済性を活かして環境性を向上させることが可能である。いずれの経路においても、EMS 認証の取得や情報支援の利用が重要な役割を果たすことから、外部情報へのアクセスによる情動的経営資源獲得が環境経営の原動力となることを意味する。ただし、環境経営に関する新たな仕組みや情報の採用は、環境経営の情動的経営資源に目を向けようという経営者の意思決定が不可欠である。

注

- 1) 環境経営の戦略の分類に関しては、例えば、金原・金子(2005)を参照。
- 2) アンケート調査は、文部科学省私立大学学術研究高度化推進事業オープンリサーチセンター整備事業・専修大学社会知性開発研究センター／中小企業研究センター「アジア諸国の産業発展と中小企業」(研究代表者：小口登良専修大学教授(当時)、研究期間：2003～2008 年度)の一環として、助成を受けた。
- 3) アンケートに先立ち実施したヒアリング調査については、在間(2005a)を参照。

第3章 中小企業の環境経営に対する情報支援の役割：

エージェントベースアプローチ

本章の概要

本章も環境多元簿記システム研究の発端となる研究である。第2章で示したように、中小企業への環境配慮要求を含めた中小企業の環境経営推進の条件に関する実証分析において、環境配慮要求の大きさ自体が直接的に中小企業の環境性を高める直接効果よりも、環境配慮要求を通じて、経営者の環境意識を高めて情報支援利用やEMS認証取得を促すといった間接効果の方が、より大きな役割を果たすことが明らかになった。

本章では、中小企業の環境経営推進に対する情報支援の役割について、エージェントベースモデリング（Agent-based Modeling、ABM）により、モデルを設定しシミュレーション分析を行う。それに先立ち、まず、情報支援という行動的方略について理論分析の必要性を述べる。次に、中小企業の環境経営普及を分析するために必要なモデル設計の要素を抽出し、ABMの必要性を示す。さらに、環境問題およびイノベーション普及に関するABM分析を概観し、本研究のモデルの特色も示す。応用モデルでは、ヒアリング調査から得た知見に基づき、情報支援の効果としてコスト削減効果を設定した。

1. 中小企業の情報支援に関する理論分析の必要性

在間(2010)は、中小企業のタイプ別の環境経営支援を提示した上で、ヒアリング調査に基づき中小企業に対する情報支援を示し、地域社会における環境経営の普及策を論じている。また、在間(2016)の第8章では、経営活動プロセスの環境活動に関する支援では、環境法規制やEMS導入・運用に関する情報支援、省エネなどについてのアドバイスのように経営改善と結びつける支援がある。環境ビジネスの支援では、環境配慮型製品の認定、新たな環境ビジネスの可能性の提示、地域の環境ビジネスの掘り起こしと情報交流といった内容がある。それらは必ずしも環境に特化したものでなく、既存のビジネス支援の枠組みによる支援もある。その他の支援としては、社会貢献として企業による環境教育を実践する場の提供や、企業間ネットワーク構築による支援がある。さらに、市民団体と企業との対話により環境経営を進めた企業の事例もある。

在間(2016)は、これらの情報支援では、単なる情報伝達というよりも、支援者と中小企業間、あるいは、中小企業間における双方向のコミュニケーションを含む仕組みがあることを指摘している。

情報提供やコミュニケーションによる支援は、環境問題を含めた社会的ジレンマに対する政策では、行動的方略と呼ばれる。藤井(2003)は、社会的ジレンマを解決するための政策のほとんどが構造的方略であり、行動的方略がキャンペーンの域を出ないものに留まって

いることを指摘し、その理由の1つとして、行動的方略について十分な理論的根拠がないことを挙げている。従来、行動的方略については社会心理学実験による分析が中心であったが、Zaima(2005, 2006)は、エージェントベースモデルを用いてシミュレーション分析することが可能であることを示した。

2. 中小企業の環境経営の普及分析に対する ABM の必要性

2.1 モデル分析に必要な要素

中小企業の環境経営の普及条件をシミュレーション分析するためには、モデル化が必要な要素を、表3-1に示す。

表3-1 モデル設計に必要な要素

項目	要素
①市場	製品市場、部品市場
②経済主体	消費者、大企業、中小企業
③企業の意思決定 競争戦略	経済性・環境性の意思決定変数 経済性・環境性の「ルール」
④消費者の意思決定	選好、環境配慮の意識と行動
⑤行動変容・普及プロセス	経済主体の学習 個々の学習・集団の相互作用と学習
⑥支援策分析 関連組織 中小企業	自治体、EMS認証機関、銀行、NPO 環境経営に関するタイプ

まず、本研究では、中小企業の多数を占め、これまで実証研究において主な対象としてきた下請け型の製造業の中小企業に焦点を当てる。そのため、少なくとも、中小企業が直面する市場、それらの取引先大手企業が直面する市場という2つ市場取引をモデル化する必要がある。従って、モデルには、消費者、大企業、中小企業という少なくとも3つのカテゴリーの経済主体の意思決定が含まれる。

企業の意思決定では、経済性と環境性の意思決定変数を組み込む必要がある。また、経済理論分析の代表的エージェントの合理的意思決定モデルではなく、環境経営の意思決定に係る経済性・環境性の評価関数や戦略ルール、外部要因・内部要因に基づく意思決定等について、多様性をモデル化することが必要である。

消費者行動についても、製品の価格や環境面について多様な選好のモデル化が必要である。また、分析課題に対する必要性に応じて、環境配慮の態度や行動といった社会心理学の要素を組み込むことを可能にする手法が求められる。

普及のプロセスは、意思決定を行う経済主体の行動変容や相互作用により生じる。行動変容や相互作用によるダイナミクスを表現するためには、行動変容を表す学習モデルや、

相互作用による変化を表現できる社会学習を組み込むことが必要になる。個々のルールに基づく学習、集団相互の相互作用や学習をモデル化することが必要である。

2.2 ABM の方法

上述のように、中小企業の環境経営普及を分析するためのモデル設計においては、複数の市場取引、複数の意思決定主体、複数の意思決定ルール、複数の学習モデルを組み込む必要がある。また、経済学、経営学、社会心理学といった複数領域を視野に入れたモデルを設計することになる。ABMは、領域横断的なアプローチを可能にする有効な方法で、社会科学でもすでに活用が広がっている¹⁾。

ABM では、内部モデルを持ち自律的に意思決定を行うエージェントが相互作用することにより創発されるダイナミクスを明らかにすることができる。異なるカテゴリーのエージェントや、エージェントの多様な意思決定を、内部モデルやルールで記述することができる。Heckbert et al (2010)は、学問分野によりいくつかのエージェントベースモデリングの定義があるが、共通点は、ミクロなエージェントの相互作用によりマクロな結果が創発されることと、ヘテロなエージェントの行動のダイナミクスを明示的に表現することであると指摘している。さらに、Heckbert et al (2010)は、エージェントベースモデリングと他の方法の相違点を表 3-2 のように示している。ABM は、「ダイナミックフィードバック (dynamic feedback)」「進化 (evolve)」「自律性 (autonomous)」「多様な相互作用 (heterogeneous interaction)」「明確な適応的意思決定 (explicit adaptive decision making)」を含む。

表 3-2 方法の比較

	ダイナミック フィードバック	進化	自律性	多様な 相互作用	明確な適応 的意思決定
数理解析・統計解析	×				
システムダイナミクス	○	×			
進化モデル	○	○	×		
エージェントベースモデリング	○	○	○	○	○

出所) Heckbert et al (2010)をもとに筆者作成

本研究では、中小企業が環境経営に取り組みそれが広まるプロセスを表現できるモデルを作成し、情報支援が普及を促す効果について、シミュレーションから明らかにしようとしている。モデル設計においては、中小企業・大企業・消費者といった自律的な意思決定を行う多様なエージェント、ルールや周囲の状況への適応も含めた多様な意思決定を表現する内部モデル、エージェントの学習による行動変容、ミクロなエージェント間の相互作用から創発されるマクロなダイナミクスを含む必要がある。これらを含む方法として、ABMが必要である

3. 環境問題とイノベーション普及に関する ABM 研究

3.1 環境問題に関する ABM 研究

在間(2008b)のレビュー論文では、環境問題に対する政策・制度デザインについて、ABMを用いた既存研究をサーベイし、ABMの利点やモデルの特徴を整理している。既存研究が対象としている問題分野は、主として以下の4つである。

1つは、企業の汚染排出制御という環境経済学の古典的問題の分野である。例えば、Kuscsik et al (2007)は、セルオートマトン型のモデルで汚染排出工場への分散型制御におけるフィードバックメカニズムの効果を分析している。

2つは、資源の利用や供給に関する問題分野である。土地利用に関するエージェントベースモデリング研究を網羅したレビューとしては、例えば、Parker et al (2003)やMatthews et al (2007)がある。実証データや実験結果を踏まえたリアルなモデル設計やシミュレータ開発により、現実のケース分析が行われている²⁾。資源問題を取り巻くステイクホルダーが分析過程に参加して課題解決をはかるツールとしてもABMが活用されている³⁾。

3つは、環境配慮の普及に関する問題分野である。例えば、Mosler, and Martens (2007)は環境配慮の態度の普及に対するキャンペーンの効果を分析している。環境配慮型製品の普及に関する市場取引を含むモデル分析には、Zaima (2005, 2006)および Janssen, and Jager (2002) がある。これらはエージェントの内部モデルに社会心理学の研究を踏まえていることが特徴である。最近では、具体的な製品・サービスを対象として実証研究やケース分析を踏まえたモデル設計がなされている。例えば、Schwoon (2006)や Zhang et al (2011)燃料電池自動車を対象としている。

4つは、気候変動など地球規模の環境問題の分野である。例えば、山形・水田 (2001)は排出権取引に関する国際交渉を分析している。

本研究は、中小企業の環境経営の普及に関するものであり、環境配慮の普及に関する問題分野に属していると言える。しかし、この問題分野のABMでは、中小企業を対象とするもの、特に、2つの市場を含む経済取引を記述するモデルは皆無である。本研究は既存研究とはこの点で異なるものである。本研究では、中小企業の環境経営の普及を扱う第一段階のエージェントベースの基本モデルを提示する。

3.2 イノベーション普及に関する ABM 研究

上述のように、本研究は環境配慮の普及問題に位置づけられる。この問題分野は、消費者や企業による環境配慮行動の採択という点で、イノベーション普及を扱うものである。近年、イノベーション普及を扱うABM研究は増えており、agent-based diffusion models と呼ばれている。この分野の優れたレビュー論文としては、Kiesling et al (2011)がある。

表3-4は、表3-3の分類を踏まえて、本研究のモデル設計を示したものである。本研究のモデルには表3-3の一部の要素を含むにとどまり、単純なモデル設計になっている。ただし、上述のように本研究の分析視点は既存研究には皆無であり、本研究が提示す

る基本モデルは、中小企業の環境経営というイノベーション普及に関する ABM の第一段階として位置づけられる。なお、モデル化に際しては、実証研究の知見を考慮している。

表 3－3 イノベーション普及に関する ABM の要素

項目	モデル設計の分類
①消費者の意思決定ルール・目的関数	採用者の割合の閾値 コスト最小化 期待利得最大化、期待利得の閾値
②消費者の状態・選択オプション	2 状態：採用・非採用 4 状態：感染モデル 2 状態間を確率的遷移 2 状態以上で条件(採用者数や情報有無など)により遷移
③消費者の意思決定における社会心理	行動意図の決定要因に関する計画行動理論 コンシューマット・アプローチ 環境配慮の態度と行動の不一致
④消費者の多様性	消費者の採用性向（採用者数・期待利得などの閾値） 採用や製品の予定価格 コミュニケーション行動（コンタクトの頻度など）
⑤社会的影響のモデル化のレベル	ミクロレベル（ロコミ） メゾレベル（近隣の相互作用） マクロレベル（全体で）
⑥社会的影響で広まるもの	イノベーションの認知 信念・メッセージ 製品などに関する主観的な情報
⑦相互作用のトポロジー	完全グラフ レギュラーネットワーク ランダムネットワーク スモールワールドネットワーク スケールフリーネットワーク
⑧イノベーションの次元	内生的なイノベーションのモデル 共進化のモデル イノベーション間の競争のモデル
⑨経済取引を含むモデル	企業間競争を含まない（需要曲線や生産の学習曲線） 企業間競争を含む（価格や生産量の意思決定や調整）
⑩モデルの妥当性	具体的な地域や具体的な製品 実証データ・ケース分析

Kiesling et al (2011)をもとに筆者作成

表 3－4 本研究のモデル設計

項目	モデル設計の分類
①目的関数	消費者：効用関数なし 大企業・中小企業：利得最大化
②状態・選択オプション	消費者：選好のタイプは固定 大企業・中小企業：タイプにより価格と環境レベルの調整 それぞれタイプは相互参照・学習により変化
③意思決定における社会心理	導入なし
④多様性	消費者：タイプによる選択行動の多様性 大企業・中小企業：タイプによる選択行動の多様性 応用モデルでは情報アクセスの多様化
⑤社会的影響のモデル化のレベル	同カテゴリーの集団学習でマクロレベル
⑥社会的影響で広まるもの	タイプに対する平均利得
⑦相互作用のトポロジー	導入なし
⑧イノベーションの次元	2つの市場の共進化
⑨経済取引を含むモデル	企業間競争を含む（価格や生産量の意思決定や調整） 大企業、中小企業
⑩モデルの妥当性	抽象的な製品 モデル設計に実証研究の知見を考慮

4. 基本モデルの設定

4.1 モデルの対象

作成する基本モデルでは、自動車や電気製品のような特定の製品を対象として設計するのではなく、抽象的な財の取引について、実証研究を踏まえて以下のような状況を組み込む。

モデルでは、下請け型の中小企業に焦点を当てる。第6章および第7章で用いた2006年度のアンケート調査では、402社中、下請けを全く行っていない中小企業は48社であった。残り354社は、比率は異なるものの、何らかの割合は下請けを行っていた。中小企業の取引先大企業は必ずしも最終製品のメーカーではない。しかし、単純化のため、取引先大企業は最終製品の生産者と設定し、中小企業と大企業、大企業と消費者の2つの市場取引をモデル化する。

モデルでは、大企業は取引する中小企業を選択するが、1つは継続的に取引する固定相手としての中小企業で、もう1つは該当期間の一時的な相手としての中小企業である。また、大企業は継続的な取引先中小企業に生産量の3分の1を発注する。中小企業アンケート調査では97%の中小企業は2社以上と取引していた。また、売上高が最も多い取引先について、その販売額が売上高に占める割合の平均値は33.2%であった。このような知見を踏まえている。

モデルでは、中小企業の価格競争を設定している。これは、第2章で用いたアンケート調査において、約7割の中小企業が製品価格は取引先や競合相手に影響を受けると回答していたこと、および、4分の1の中小企業が販売価格は低下していると回答していたことに基づく。

モデルでは単純化のため、初期時点では中小企業は環境活動を行っていないものと仮定している。先のアンケート調査では、2006年度のアンケート調査では約70%の中小企業がEMSや化学物質に関する要求を受けており、75.4%の経営者は環境に取り組みたいと回答していた。ただし、ISO14001や国内版EMSの認証取得企業は15.2%であった。現状では中小企業の環境経営に関するレベルは様々であるが、モデルでは単純化のため、環境活動の取り組みが始まっていない時点を想定している。

作成するモデルは第一段階の設計であり、特定の製品に関して現実のデータを用いて分析するのではなく、抽象的な取引モデルであるため、消費者の製品選択行動は単純化する。

4.2 社会

社会は、消費者、大企業、中小企業の3つのカテゴリーのエージェントから構成される。 t 時点の消費者、大企業、中小企業のエージェント数は、それぞれ、 $N_c(t)$ 、 $N_L(t)$ 、 $N_s(t)$ である。単純化のため消費者数は一定と仮定する。つまり、 $N_c(t) = N_c(0)$ である。企業が倒産した場合、該当企業は市場から退出するものとし、そのようなケースでは企業数が減少する。このモデルでは新規参入は考えない。

社会には2つの市場がある。1つは製品市場で、大企業が供給する製品を消費者が購入する。もう1つは部品市場で、製品に必要な部品を中小企業が供給し、大企業が購入する。

4.3 製品と部品

製品と部品はそれぞれ1種類で、大企業間、中小企業間で、それぞれ価格競争を行う。

t 時点の第 i 大企業の製品価格は $P_{Li}(t)$ で、第 j 中小企業の製品価格は $P_{Sj}(t)$ である。初期時点では、製品価格、部品価格、それぞれ均一とする。すなわち、 $P_{Li}(0)=P_L(0)$ 、および、 $P_{Si}(0)=P_S(0)$ である。

4.4 環境経営に関する設定

(a) 環境経営のレベル

企業が環境経営に取り組む程度を「環境レベル」と呼ぶ。 t 時点の第 i 大企業および第 j 中小企業の環境レベルは、それぞれ、 $E_{Li}(t)$ および $E_{Sj}(t)$ である。環境レベルは0以上100以下の整数で表わされる。数値が大きいほど、環境活動の程度が進んでいることを意味する。環境レベルは、工場やオフィスでの環境負荷削減、流通段階や製品の使用・廃棄段階の環境負荷削減、社会的活動等、何らかの活動を追加することで向上する。モデルの単純化のため、何らかの活動を行った場合にレベルが1段階向上するものとする。企業の環境レベルは公表されているものとする。

初期時点では、大企業、中小企業とも環境レベルは均一とする。すなわち、 $P_{Li}(0)=P_L(0)$ 、および、 $P_{Si}(0)=P_S(0)$ である。また、 $E_L(0) > E_S(0)$ 大企業の環境レベルは中小企業より高いものとする。

(b) 環境経営のコスト

t 時点の第 i 大企業および第 j 中小企業の環境経営のコストを、それぞれ、 $C_{Li}(t)$ および $C_{Sj}(t)$ とする。環境レベルを上げる場合に必要となる。ただし、レベルを上げる度に大きな費用を要するわけではない。環境レベルを上げて値が、 $1+3(z-1)$ 、(z は自然数)となる場合に、大きな費用 C_L または C_S が必要となり、他の場合は小さな費用 c_L または c_S ですむものとする。また、環境レベルを維持するか下げる場合には費用を要しないものとする。

これまでの調査で得られた知見では、企業の環境経営では、初期費用や環境関連設備の投資費用は大きい、環境負荷削減による処理コスト削減のようなメリットもあるため維持費用は小さくなる。モデルでは、この点を考慮している。環境設備によりコスト削減が生じる場合には、ペイバック期間をすぎると費用が浮く効果もあるが、モデルの単純化のため、基本モデルでは考えない。

4.5 消費者行動

(a) 環境配慮レベルと製品の購入

消費者の環境意識の程度を「環境配慮レベル」と呼ぶ。t時点の第k消費者の環境配慮レベルを $E_{ck}(t)$ で表す。環境配慮レベルは0以上100以下の整数とする。環境配慮レベルの値が大きいほど、環境意識の程度が高いものとする。初期時点において、消費者の環境配慮レベルは $E_c(0)$ を超えないものとする。

表 3－5 消費者の製品選択ルール

ルール名	環境配慮レベル	製品選択のルール
価格	$E_c \leq 50$	最も安い価格
エコ	$E_c > 50$	最も高い環境レベル
ランダム		ランダム

每期、消費者は表3－5に示すルールに基づき製品を1単位購入する。環境配慮レベルが50以下のとき、消費者は製品価格に関心があり、最も安い価格づけをしている企業の製品を選択する。このルールを「価格」と呼ぶ。消費者の環境配慮レベルが50より大きいとき、消費者は企業の環境経営に関心があり、環境レベルが最も高い企業の製品を選択する。このルールを「エコ」と呼ぶ。ルールに該当する企業が2社以上ある場合には、それらの中からランダムに選択するものとする。ほとんどの消費者はこれらのルールに従うが、少数の消費者は気まぐれであるとする。每期、 R_1 の比率の消費者は製品をランダムに選択する。 R_1 は0より大きく1より十分小さい値とする。

(b) 効用関数

t時点で第i大企業の製品を選択した第k消費者の効用関数は、(1)式で与えられる。効用関数は消費者の満足度を表し、製品の環境レベルが高いほど、あるいは、製品価格が安いほど、効用が高くなる。

$$U_{ck}(t) = E_{ck}(t) E_{Li}(t)/100 + (100 - E_{ck}(t))P_L(0)/P_{Li}(t) \quad (1)$$

(c) 学習と環境配慮レベルの調整

製品選択の2つのルールに関する評価関数は、該当するルールを選択した消費者の効用の平均値として定義する。 T_1 期間ごとに、消費者は各ルールの評価値を知り、自らの環境配慮レベルを表3－6に従って調整する。消費者が「価格」ルールを選択している場合、「エコ」の平均効用が「価格」のそれを上回っていれば、環境配慮レベルを1だけ上げる。消費者が「エコ」ルールを選択している場合、「価格」の平均効用が「エコ」より大きければ、環境配慮レベルを1だけ下げる。その他のケースでは、消費者は環境配慮レベルを変えない

いものとする。

表 3－6 消費者の環境配慮レベル調整ルール

当期のルール	平均効用が高いルール	環境配慮レベルの調整
価格	エコ	+1
エコ	価格	-1
	他のケース	0

4.6 企業行動

(a) 意思決定と環境レベル

企業は、価格と環境レベルを調整するルールをもつ。価格、環境レベルとも、選択肢は「上げる」「下げる」「変えない」であり、ルールは表 3－7 に示すように 9 通りある。表には各ルールの名前も記している。初期時点では、ルールは企業にランダムに割り振られる。

表 3－7 企業の価格と環境レベルの調整ルール

		価格		
		上げる	変えない	下げる
環境 レベル	上げる	(+1, +1)	(+1, 0)	(+1, -1)
	変えない	(0, +1)	(0, 0)	(0, -1)
	下げる	(-1, +1)	(-1, 0)	(-1, -1)

(b) 生産量

t 時点の第 i 大企業の生産量は $V_{Li}(t)$ で、製品市場の需要で決まる。第 j 中小企業の生産量は $V_{Si}(t)$ で、部品市場の需要で以下のように決まる。

各大企業には長期的に取引を行う中小企業 1 社がある。大企業は、長期取引先以外に、每期、取引する中小企業を 1 社選ぶものとする。短期取引先の中小企業の選択基準の基本は、価格が最も安い中小企業の中から選ぶ。大企業が環境レベルを上げる場合には、環境レベルが最大の中小企業で最低価格の相手を選ぶ。2 社以上の中小企業が該当する場合には、それらの中からランダムに選択する。

製品 1 単位につき、部品 1 単位を必要とする。大企業は、每期、生産量のうち $2/3$ の整数値の部品を選択した短期取引先企業に発注し、残りを長期取引先の中小企業に発注する。ただし、長期取引先企業が倒産した場合には、全生産量分を短期取引先の中小企業に発注する。

(c) 利得

t 時点の第 i 企業の利得関数は(2)式で定義される。ここで、固定および短期サプライヤーは第 i 中小企業および第 n 中小企業とする。

$$\Pi_{Li}(t) = P_{Li}(t)V_{Li}(t) - (1/3)P_{Si}(t)V_{Li}(t) - (2/3)P_{Sn}(t)V_{Li}(t) - C_{Li}(t) \quad (2)$$

第 j 中小企業の利得関数は(3)式で定義される。

$$\Pi_{Sj}(t) = P_{Sj}(t)V_{Sj}(t) - C_{Sj}(t) \quad (3)$$

(d) 学習とルールの変更

各ルールの評価関数は、該当するルールを選択する企業の平均利得で定義される。 T_2 期間ごとに、大企業、中小企業とも各ルールの評価値を知り、学習する。評価値で表される確率に従って、企業は新たなルールを選択する。評価値が大きいほど、選択される確率が高いものとする。

(e) 初期資金と倒産条件

大企業、中小企業の初期時点の資金は、それぞれ、 M_L 、 M_S とする。集計利得が下がり、 $-M_L$ 、 $-M_S$ になった場合には、倒産するものとし、市場から退出する。

5. 基本モデルのシミュレーション分析の結果

5.1 シミュレーションのパラメータ

基本モデルを Java で実装した。シミュレーションに使用したパラメータを表 3－8 に示す。

表 3－8 シミュレーションで用いたパラメータ

項目	パラメータ値
エージェント数	$N_C(0)=1000, N_L(0)=100, N_S(0)=100$
価格	$P_L(0)=500, P_S(0)=100$
環境レベル	$E_L(0)=10, E_S(0)=3$
環境配慮レベル	$E_C(0)=70$ (max value at initial period)
ランダム選択の比率	$R=0.005$
環境コスト	$C_L=5000, C_S=1000, c_L=500, c_S=100$
初期資金	$M_L=10000, M_S=1000$
学習	$T_1=12, T_2=3$
シミュレーション期間	$T=600$

5.2 基本モデルのシミュレーション結果

シミュレーションを 10 回行った。シミュレーション結果は 2 つのパターンに分かれた。図 3-1 および図 3-2 に、それぞれのパターンについて、企業の環境レベルの平均値および消費者の環境配慮レベルの平均値の変化、価格の変化を示す。

図 3-1 (a) および (b) に第 1 のパターンを示す。このパターンは 10 回中 6 回現れた。このケースでは、消費者の平均環境配慮レベルが中程度にもかかわらず、大企業、中小企業の平均環境レベルが、いずれも低いレベルに収束した。製品価格は部品価格と同程度まで下がり、部品価格は最低価格に収束した。このパターンを「ノーマルケース」と名づけた。

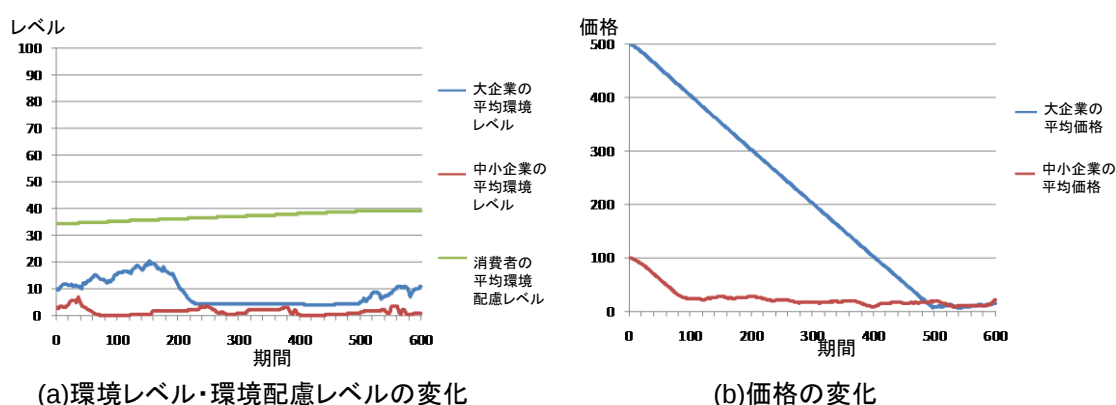


図 3-1 基本モデルのシミュレーション結果：ノーマル・ケース

図 3-2 (a) および (b) に第 2 のパターンを示す。このパターンは 10 回中 4 回現れた。このケースでは、中小企業の平均環境レベルは低レベルに収束したが、大企業の平均環境レベルは、消費者の環境配慮レベルに反応して向上し、最大値レベル近くで収束した。中小企業の部品価格は最低価格に収束したが、大企業の製品価格は低下するものの部品価格と同じレベルにまで至らなかった。このパターンを「過剰反応ケース」と名づけた。

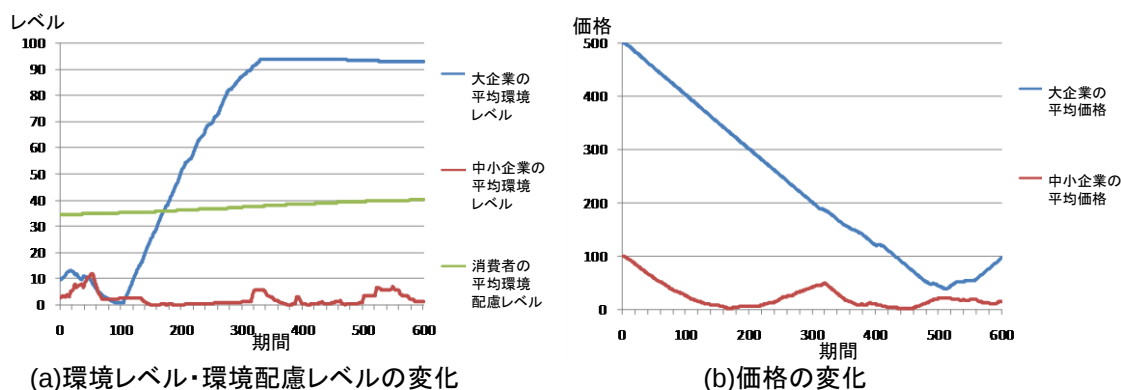


図 3-2 基本モデルのシミュレーション結果：過剰反応・ケース

5.3 集計利得最大企業の行動分析

シミュレーションでは各企業エージェントの行動ログを記録し、10回のシミュレーションにおいて集計利得がトップであった企業エージェントの行動を分析する。表3-9は、10回の集計利得最大の企業が存在する回において、破綻し市場から退出した企業の数を示す。ノーマルケース、過剰反応ケースとも、半数以上の企業が倒産し市場から退出した。

表3-8 退出企業数：集計利得最大企業の存在するケース

	大企業	中小企業
ノーマルケース	76	52
過剰反応ケース	66	61

図3-3(a)および(b)に、大企業、中小企業、それぞれについて、ノーマルケースおよび過剰反応ケースにおける「集計利得最大の企業」の集計利得の時間変化を示す。大企業では、過剰反応ケースよりもノーマルケースの方が、大きな利得を得ていた。逆に、中小企業では、ノーマルケースの方が過剰反応ケースよりも集計利得が小さかった。

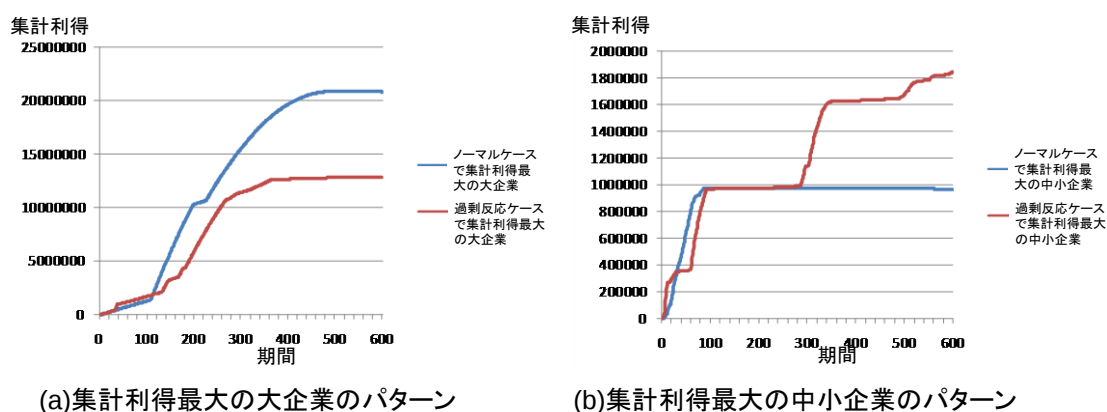


図3-3 集計利得最大企業の集計利得

図3-4(a)および(b)に、ノーマルケースおよび過剰反応ケースにおける集計利得最大の大企業の環境レベルを、平均環境レベルと比較する。いずれのケースでも、集計利得最大の大企業は、平均レベルよりも環境レベルが高い。図3-5(a)および(b)に、集計利得最大の大企業の価格変化を示す。ノーマルケース、過剰反応ケースとも、集計利得最大の大企業の価格は平均価格とほぼ同じだった。

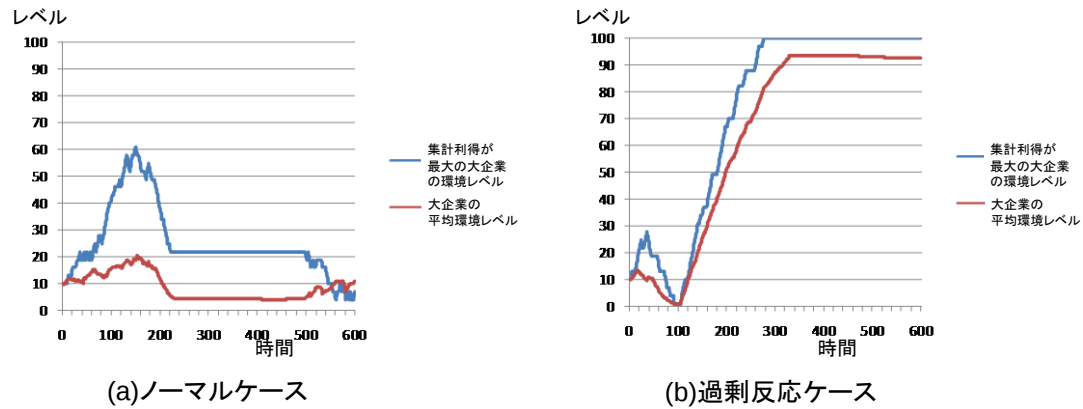


図 3-4 集計利得最大の大企業の環境レベル

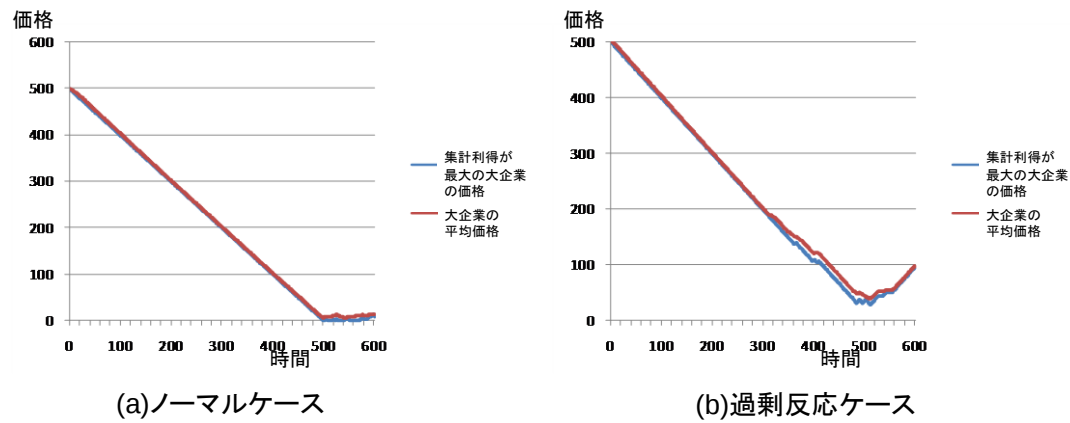


図 3-5 集計利得最大の大企業の価格

図 3-6 (a)および(b)に、ノーマルケースおよび過剰反応ケースにおける集計利得最大の中小企業の環境レベルの変化を示す。ノーマルケースでは初期の 80 期間くらいまでは、集計利得最大の中小企業の環境レベルは平均レベルよりも高かったが、それ以後はほぼ同じレベルであった。過剰反応ケースでは、集計利得最大の中小企業の環境レベルは平均レベルとほぼ同じであった。図 3-7 (a)および(b)に、集計利得最大の中小企業の価格変化を示す。ノーマルケースでは、集計利得最大の中小企業の価格は、160 時点までは平均価格よりも低かったが、350 時点以後は平均価格よりも大幅に高かった。過剰反応ケースでは、集計利得最大の中小企業の価格は、平均利得よりも常に低かった。

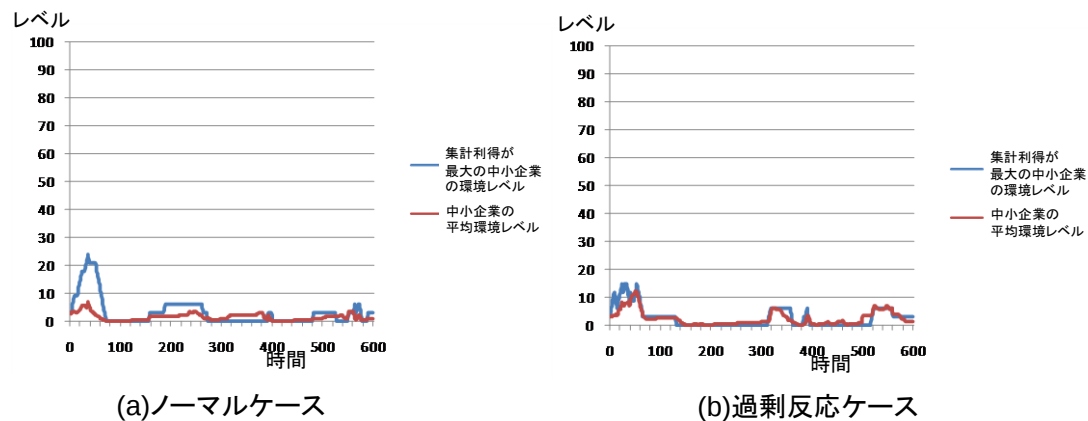


図 3－6 集計利得最大の中小企業の実環境レベル

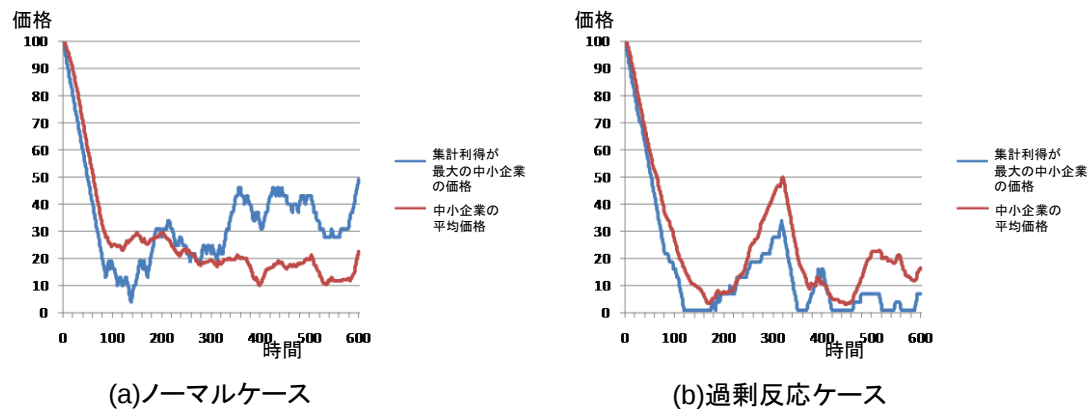


図 3－7 集計利得最大の中小企業の価格

5.4 基本モデルの分析結果に関する考察

①効果的な戦略に関するインプリケーション

前節で得られた集計利得最大企業の行動に関する結果は、市場競争における効果的な戦略を示唆している。大企業の効果的な戦略は、価格を平均レベルに維持しつつ、環境レベルを平均より早く向上させることである。逆に、中小企業の効果的な戦略は、環境レベルを平均程度に保ちながら、平均よりも価格を早く下げることである。これによって中小企業は十分な発注量を確保し、その後に価格を上げることができる。

図 3－3 から図 3－7 に示すように、環境レベルと価格の平均値は、集計利得最大企業の値と類似の変化を示した。このことは、集計利得最大企業が選択したルールが、同じカテゴリのエージェント間の学習を通じて広がっていたことを示唆している。

図 3－4 に示したように、集計利得最大の大企業の環境レベルは、いずれの場合も平均よりも高い傾向であった。しかし、ノーマルケースと過剰反応ケースでは、収束した環境レベルは異なっている。ノーマルケースの収束した環境レベルは低かったが、過剰反応ケ

ースではほぼ最高値に達していた。両者のパターンの相違は、トップ企業が選択したルールに由来すると思われます。図3-8は、150期から225期まで期間における集計利得最大の大企業によって選択されたルールを示す。ノーマルケースの集計利得最大の大企業は、ルール「EdPd」、つまり、「環境レベルを下げる・価格を下げる」を多く選択していたが、過剰反応ケースの場合には、ルール「EuPd」、つまり、「環境レベルを上げる・価格を下げる」を多く選択していた。

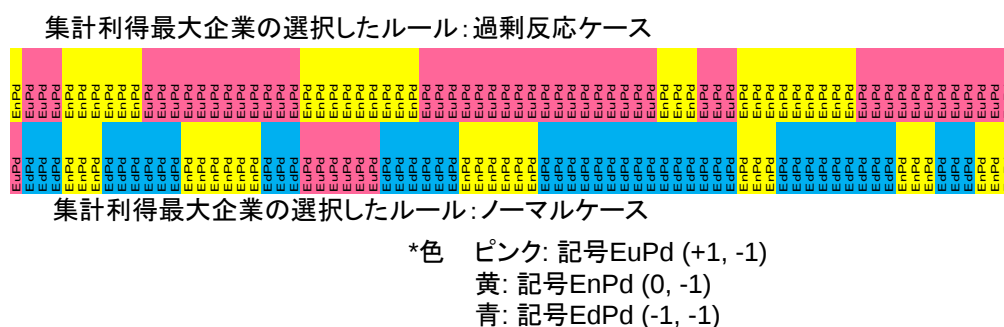


図3-8 集計利得最大の大企業の選択したルール：150～225期

②基本モデルの妥当性

いずれのケースのパターンにおいても、大企業に環境経営は浸透しているが中小企業にまで環境経営が十分普及していない現在の状況を再現していると言える。その点で、基本モデルの設計について妥当であると確認できた。

基本モデルでは、消費者の平均環境配慮レベルは相対的に高く設定されている。図3-2(a)では、大企業だけが、消費者の高い環境配慮レベルに対応し、環境レベルを高め、ほぼ最高レベルに達した。この結果は、大企業に環境経営は浸透しているが中小企業にまで環境経営が十分普及していない現在の状況を再現していると言える。

図3-7に示すように、集計利得最大の中小企業の価格は、特に初期の段階では、他の企業の価格より速く、その価格を下げる傾向にあった。この結果も、中小企業が価格競争に直面しているという状況を再現していると言える。

6. 感度分析

モデルでは、企業の環境レベルに影響を与える2つの要因が組み込まれている。1つは初期時点における消費者の環境配慮レベルの最大値であり、もう1つは企業が環境レベルを上げる場合に要するコストである。この2つのパラメータの値に関する感度分析を行った。

6.1 消費者の初期の環境配慮レベル

基本モデルでは、消費者の環境配慮レベルの初期時点における最大値は 70 である。ここでは、(1)初期の最大値が 100 のケース、(2)初期の最大値が 100 で最小値が 40 のケース、(3)初期の最大値が 100 で最小値が 40 で、かつ、消費者が環境配慮レベルを下げないケースを設定した。

これらのケースのパターンは、基本的モデルのシミュレーションにおける過剰反応ケースのパターンと同じだった。上記の(3)のケースの典型的なパターンを、図 3-9 に示す。

消費者の環境配慮レベルに応じて大企業の平均環境レベルは向上するが、中小企業は低レベルに収束した。平均価格については、中小企業は最低価格に収束したが、製品価格は高止まりした。

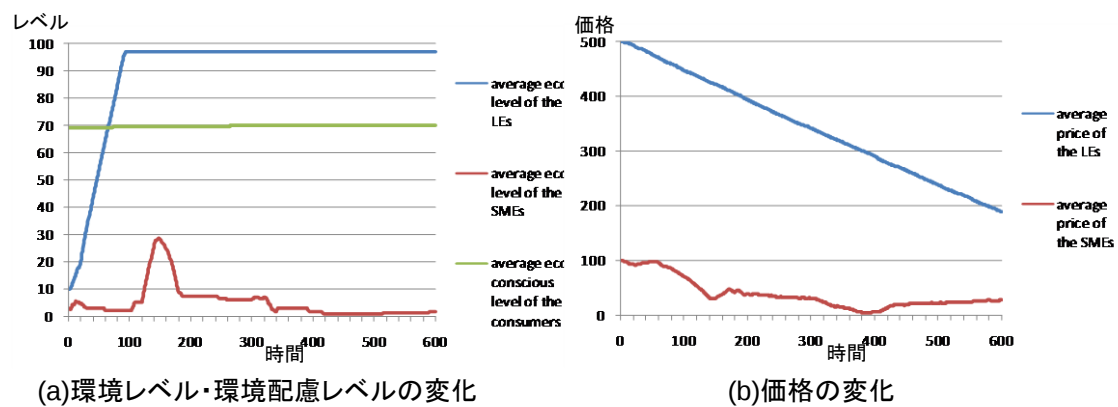


図 3-9 消費者の環境配慮レベルの初期値：最大 100・最小 40・レベル下げないケース

6.2 環境コスト

企業が環境レベルを上げる際に費用がかからない、環境コストが 0 のケースを分析した。シミュレーションを 5 回行い、典型的なパターンを図 3-10 に示す。

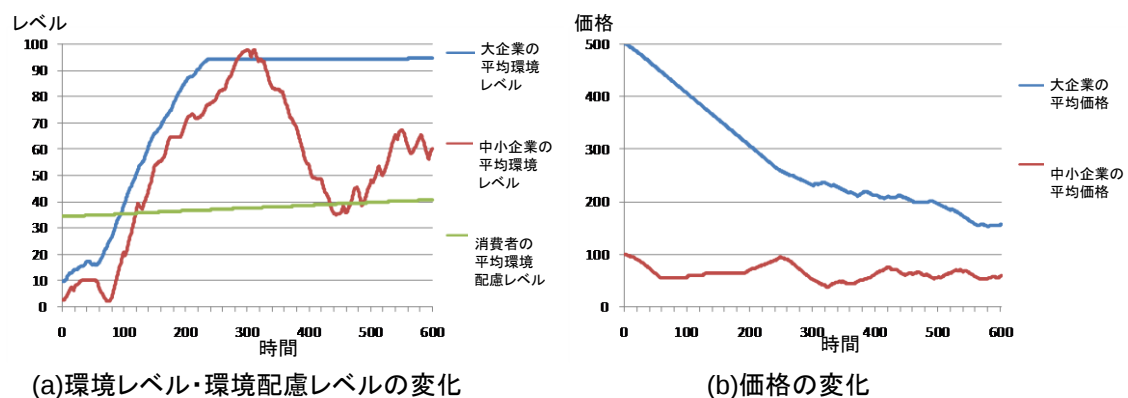


図 3-10 環境コストが 0 のケース

このケースでは、大企業は消費者の環境配慮レベルに反応し環境レベルを上げる。その結果、大企業の平均環境レベルは上がる。中小企業は大企業の行動に反応し平均環境レベルが高くなる。製品および部品の平均価格は、減少傾向はあるものの、基本モデルのシミュレーションパターンより高い価格に収束した。基本モデルでは倒産し退出する企業は半数以上あったが、このケースでは倒産・退出した企業はなかった。

6.3 感度分析に関する考察

これらの感度分析から以下の2点が示された。

第1に、消費者の環境意識は、中小企業への環境経営の普及条件として重要性は低いことである。この理由は、消費者は中小企業に間接的にしか影響を及ぼさないからであると考えられる。

第2に、コスト条件は、中小企業への環境経営の普及のための重要な要因であることである。環境経営の実施においては、常に大規模な費用を要するわけではないが、新たな環境技術や機器への投資が必要となる状況は存在する。

図3-10(a)に示されるように、中小企業の平均環境レベルは、他の期間に増加する傾向にあったが、300～450期で急速に落ちている。これは、大企業と中小企業間の取引に由来する。基本モデルでは、大企業は自らの環境レベルを上げる場合にのみ、一時的サプライヤーとして、最大の環境レベルを持つ中小企業のうち最低価格の企業を選択する。その他の場合には最低価格の中小企業を選択する。図3-10(a)より、大企業の平均環境レベルは300期付近で最高に達していたことがわかる。これは、その期間後には、大企業が環境レベルを上げる機会は少なく、一時的なサプライヤーとして選択された中小企業は最低価格であったことを示唆している。従って、中小企業の環境レベルは価格ほど重要ではないと指摘できる。

7. 情報支援の効果に関する分析モデルと結果

7.1 応用モデルの設定となる事例

応用モデルでは、ヒアリング調査から得た知見を踏まえて、情報支援によるコスト削減効果を設定する。例えば、S社⁴⁾は、東大阪市に本社・工場がある従業員約150名（アンケート調査時）のプラスチック加工業の中小企業であるが、取引先からの環境配慮要求によりEMS認証を取得したことを契機として、製造プロセスでの環境負荷削減、再生資源利用の製品、環境活動による経済性の効果の把握と共有、従業員の意識変革や内部監査員養成など、独自の活動を進め、その過程で組織能力を向上させた。地域でもそれまでにしていなかった清掃活動を始め、銀行からの環境面での評価を得た。S社は、これらの環境経営の過程で、認証取得、内部監査員要請、化学物質調査、および、製造現場の対策について、

取引先からの情報支援を活用していた。S社の担当者は、コンサルティングを依頼する必要がなかったことや、化学物質調査の費用負担がなかったことについて、コスト削減効果を実感していた。S社のケーススタディの詳細は在間(2016)に記している。

情報支援による収益増加という事例もある。在間(2013)は、(財)京都市中小企業支援センターが実施する「企業価値創出(バリュークリエーション)制度(通称、オスカー認定制度)」で認定された中小企業のうち、環境ビジネスを手掛ける7社についてヒアリング調査し、環境ビジネス・イノベーションを志向する中小企業の特性、環境ビジネス成功の条件、および、情報支援制度の効果を明らかにしている。オスカー認定制度の特色は、事業計画の「タマゴ」の段階ではなく、少なくとも試験販売に至っている第二創業の「ヒヨコ」の段階を対象とし、「ヒヨコ」が「ニワトリ」になる期間を半分にする支援を行うことである。また、オスカー認定制度の支援内容は、補助金ではなく、「知恵」の提供を主としている。主な支援メニューとしては、様々な支援制度の紹介、民間企業OBの支援員の人脈を生かした情報支援、金融機関のビジネスショーへの推薦、交流会「オスカークラブ」での専門家や他企業との交流の機会提供である。在間(2013)は、7社のうち支援制度を受けて売上増加に結びついた2社の事例では、情報支援によりPDCAのチェック段階が機能するようになったり、販路拡大に結びついたことを示している。なお、調査した7社では、手がけた環境ビジネスの展開においても、外部からの情報を積極的に取り入れているという特色もあった。これらの事例については在間(2016)にも記している。

7.2 応用モデルの設定

情報支援の効果を分析するために、応用モデルを作成した。外部から情報的経営資源獲得に関する経営者の積極性、外部からの情報支援への中小企業へのアクセスの頻度、および、外部からの情報提供量という3つの要素を導入する。応用モデルでは、知識獲得により環境改善費用を抑制する効果を組み込んでいる。

環境経営に関する外部の情報を獲得しようという第j中小企業の経営者の積極性は A_{sj} で、0から1までの実数で表され、初期時点にランダムに割り振られる。每期、 A_{sj} で経営者は外部情報にアクセスするか否かを決定する。t時点での第j中小企業の環境面の知識ストックを $K_{sj}(t)$ で表す。知識ストックは0以上100以下の整数である。初期時点では中小企業の環境知識ストックは0であるものとする。中小企業の経営者が外部情報へのアクセスを決めた場合、その企業の知識ストックは1だけ増える。t時点での第j中小企業の環境経営のコスト関数は(4)式で定義される。これは、知識ストックが大きくなるとコスト削減をもたらされることを意味している。

$$C_{sj}(t) = C_{sj}(t)(1 - K_{sj}(t)/100) \quad (4)$$

7.3 応用モデルのシミュレーション結果

応用モデルでは、経営者の積極性に応じて環境経営の知識蓄積が進むケースを分析した。シミュレーションを 5 回行ったが、同じパターンになった。シミュレーション結果の典型的なパターンを図 3-11 に示す。

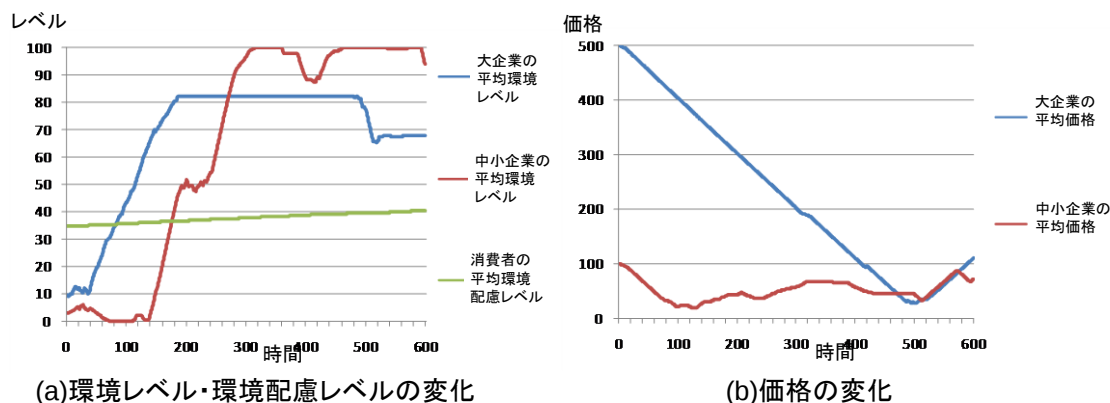


図 3-11 応用モデルのシミュレーション結果

大企業が消費者の環境配慮レベルに対応して環境レベルを向上させ、その結果、大企業の平均環境レベルは向上する。中小企業も大企業の環境レベルに応じて自らの環境レベルを向上させ、その結果、中小企業の平均環境レベルも高くなる。

7.4 応用モデルの分析結果に関する考察

図 3-11 に示すように、大企業と中小企業に関わる 2 つの市場で環境経営のイノベーション普及の共進化を表すパターンが得られた。これは、先に示した環境コストが 0 のケースと同じパターンであった。

応用モデルのシミュレーション分析から、外部からの情報提供が中小企業の環境経営の普及に有効であることが示唆されるが、これは、企業内に蓄積された環境知識が中小企業の不足する情動的経営資源を補完し、環境コストを減らすことができるという条件の下で実現することができる。

在間(2010, 2016)で事例が挙げられているように、実際に、EMS 認証機関、取引先大企業、銀行、非営利組織等によって、中小企業への環境経営に関する情報支援がなされている。応用モデルの分析結果は、これらの活動の有効性を支持するものである。

7.4 環境政策へのインプリケーション

このような ABM 分析から環境政策へのインプリケーションとしては、外部の情報にアクセスする中小企業への支援を行うこと、および、中小企業へ情報支援を行う外部機関に対する支援を行うことの重要性を指摘することができる。

従来の中小企業への直接的な政策だけではなく、支援を行う組織にプラスのサンクションを与える政策により、中小企業に対して適切な情報支援を行う組織自体を増やすことも有効であると指摘できる。

8. 中小企業の環境経営推進に関して残された研究課題

8.1 中小企業のタイプに関する分析視点

本章では、環境経営に関する環境情報支援策の効果について、エージェントベースモデリングの方法でシミュレーション分析した。応用モデルでは、外部情報獲得について経営者の積極性の程度をモデル化したが、現実にも、環境経営への取り組む意欲にはばらつきがある。また、環境経営の取り組みの程度によって、求める支援は異なる。環境経営に関して、中小企業を分類し、効果的な支援策を実施する必要があると考えられる。

第2章で紹介したように、Parker, C., et al. (2009)は、中小企業はさまざまなタイプがあるため単一の政策でなくタイプに応じた複数の政策が必要であることを指摘し、経営者の環境優先・事業優先の意思によって4つのタイプ「順守志向」「利益志向」「環境志向」「優位志向」に分類している。表2-1に示したように、Parker, C., et al. (2009)は、実証研究のサーベイから、各タイプに対する有効な政策を整理し、リアクティブ型の中小企業へは強制的な規制や金銭的ペナルティが有効であるが、プロアクティブ型では、自発的規制、財政支援、事業へのアドバイスなどが有効であると述べている。

Parker, C., et al. (2009)では、経営者の意思を分類軸としているが、環境対策の制度設計を行う際に、行政が経営者の意思に関する地域での分布等を把握することは困難であると考えられる。また、環境配慮に関する態度と行動のギャップという問題もあり、取り組む意思の表明が必ずしも実行を意図するとは限らない。それに対し、企業は環境経営の状況を環境報告書等で公表していることが多く、それらの情報は客観的に把握しやすい。

そこで、在間(2010, 2016)は、中小企業を環境経営の観点から分類する軸として、環境経営の概念を踏まえて、「環境マネジメントシステム (EMS)」と「環境ビジネス」の2軸で分類する方法を提示している。EMSの分類軸には、国際規格 ISO14001 認証取得、国内版・地域版の認証取得に加えて、取引先のガイドライン順守も含む。環境ビジネスの分類軸には、自社開発か下請けを問わず、環境配慮型の製品に加えて、部品・素材を含む。

在間(2010, 2016)では、提示した2軸に関する4タイプについて、アンケート調査データから潜在的な実在数を示し、それぞれの環境経営推進の課題を挙げている。今後は、それらのタイプに関する支援策について分析を進めることが課題である。

8.2 中小企業の経営課題という分析視点

中小企業は経営資源に限りがあり、多くの経営課題を抱えている。日経 BP コンサルティング(以下、日経 BP と略す)が2011年7月に発行した「中小企業 経営課題 実態調査 2011」

は、従業員 100 名以下の中小企業 3213 社に対する網羅的に経営課題のアンケート調査を行っている。

日経 BP の調査データによると「環境保全対策／エコに対する取り組み」が課題であると回答した企業は 19.3%の 621 社で、内訳は「やや課題」が 1.8%、「課題である」が 9.7%、「大いに課題である」が 7.8%であった。つまり残りの約 8 割の企業が環境・エコは課題でないと考えていることが示されている。ただし、既に取り組んでいるため課題ではないか、関心がなくて課題がないのかは、このデータからはわからない。

在間(2016)は、日経 BP のデータを用いて経営課題に関するクラスタ分析を行い、経営課題に関して中小企業を 4 つのクラスタに分類できると述べている。第 1 は、いずれの項目も課題だと回答していない企業である。第 2 は、「品質・製造、人材・経費」が課題であると回答した企業である。第 3 は、海外進出等一部の課題を除きほぼ全ての項目が課題であると回答している企業である。第 4 は、「人材・経費、コンプライアンス・環境」が課題であると回答している企業である。クラスタ分析から、環境活動の課題が含まれている割合は、約 28%であった。この分析に示されるように、中小企業にとって環境への取り組みは単独の課題なのではなく、複数の課題の 1 つである。

中小企業の環境経営への支援を分析するためには、中小企業の環境経営と経営課題の関わりも焦点を当てる必要がある。

8.3 オープン・イノベーションの視点

筆者はこれまで中小企業の環境経営推進について、情報支援を含めた「環境コミュニケーション」という切り口から、従来の補助金型支援策とは異なり、中小企業自身の知識やノウハウの獲得や学習を促進する支援に焦点を当てて研究を進めてきた。在間(2013)や在間(2016)では、優れた環境ビジネスに取り組む中小企業では、外部との環境コミュニケーションの過程で、社外の技術等を利用するインバウンド型の「オープン・イノベーション」が生じていることを見出した。

オープン・イノベーションはChesbrough (2003)が提唱した概念で、従来型のクローズド・イノベーションからのパラダイム・シフトが着目されている。従来型のクローズド・イノベーションは、企業が自社の研究所で行うもので、研究プロジェクトが社内開発されて新製品がマーケットに出されるまで、研究と開発が一体としてなされるものである。それに対し、オープン・イノベーションは、「企業内部と外部のアイデアを有機的に結合させ、価値を創造すること」⁵⁾である。企業の外から内への技術・知識フローの利用は「インバウンド型」、内から外へは「アウトバウンド型」のオープン・イノベーションと定義されている。Chesbrough (2003)が指摘するように、現在、アイデアは世の中に溢れているため、企業内部で研究開発を行うことが効率的でなくなっており、企業内部のアイデアと外部のアイデアを用いて発展させるための新しいマネジメントが必要になっている。

従来、オープン・イノベーションに関する研究は大企業に焦点を当ててきたが、近年、

中小企業を対象とする研究も行われている。例えば、伊藤(2015)は、中小企業のインバウンド型オープン・イノベーションに対する公的機関の仲介機能や、経営者の事業構想力の重要性を指摘している。Brunswick & van de Vrande (2014)は、中小企業のオープン・イノベーションに関する既存研究を整理した上で、研究は端緒についたばかりであり、理論的・実証的研究テーマが多く残されていると述べている。

中小企業の環境経営推進の研究において、オープン・イノベーションの視点を組み込むことも残された分析課題である。「中小企業が関わるオープン・イノベーションにはどのようなものがあるか」「環境経営を促進する有効なオープン・イノベーションとはどのようなものか」、さらに、「どのようにオープン・イノベーションを支援すれば、中小企業の経営課題解決と環境経営促進を両立させうるか。」について分析することも課題である。筆者は、2014年度から新たな科研費の助成を受けて、これらの点について調査研究を行っている。

8.4 企業経営に環境性を組み込む新たな手法の開発

環境経営は経営者の意思決定から始まるが、経営資源制約が相対的に大きく様々な経営課題を抱える中小企業では環境経営の導入に積極的になれない場合もある。また、環境経営に関する情報支援が必ずしも実践に結びつくわけではない。環境経営に目を向けない・向けられない企業に対して、組織に踏み込んで具体的な支援を行うことは実際には難しいことが、中小企業支援組織へのインタビューではしばしば聞かれる⁶⁾。

環境経営の支援策をデザインする研究では、その支援策に対して環境経営を対象外と考える企業が目を向けることがなく、それらの企業には届かない。つまり、中小企業のタイプという視点では、環境経営に目を向けない・関心がないといったタイプに対しては、環境経営の支援とは異なるアプローチが必要であると言える。

企業は、簿記と会計により取引に関する経済情報を記述し、数値を改善することで企業経営を改善できる。環境経営という経営を意識せずとも、導入して数値を改善すれば環境性の向上に結びつく容易に使える情報管理手法があればよいのではないだろうか。それはどのように設計できるのか。中小企業の環境経営推進の研究を通して、このような問題意識を持つに至った。これは本研究の中心課題であり、次章以降はこのテーマを扱う。

注

- 1) 出口(2004)や Squazzoni(2010)を参照。
- 2) 例えば、Evans and Kelley (2004)を参照。
- 3) 例えば、Barreteau et al (2003)を参照。
- 4) S社(東大阪市)へのインタビューは、2009年2月17日(火)時点のものである。当時の取締役・経営統括推進部チーフI氏にお話を伺った。
- 5) Chesbrough (2003) 邦訳 p.8。
- 6) それらの情報はオフレコを求められるため、具体的に記載することは差し控える。

第4章 環境経営の環境情報に関するパラダイムの転換

本章の概要

企業数の99%以上を占める中小企業にも環境経営を浸透させることは、環境配慮型社会を形成するために重要である。第2章と第3章では、中小企業の環境経営を推進する条件や方策について、実証分析とABM分析を行った。第3章では、情報支援による知識獲得がコスト削減効果を持つという事実を踏まえ、その効果を理論的に示した。

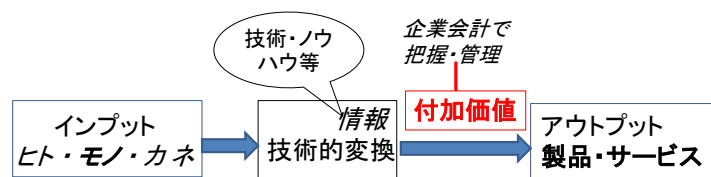
第3章で述べたように、情報支援により、EMSや省エネ対策の導入や環境ビジネスの販路拡大といった成果が見られる。しかし、中小企業は、経営資源制約が相対的に大きく、様々な経営課題にも直面しており、環境経営に関する情報支援が必ずしも実践に結びつくわけではない。また、環境経営は、「自社が環境経営に取り組む」という経営者の意思決定の上で成り立つが、環境経営や情報支援に関心を向けない、あるいは、向けられない経営者も存在する。前章の最後で述べたように、中小企業の環境経営推進に関する研究において、そのようなタイプへのアプローチは、残された課題の1つである。

企業は、簿記と会計により経済活動を測定する。企業活動に伴う環境負荷や環境影響を把握する手法がいくつか開発されているが、環境会計手法は環境経営に取り組む企業が用いているに留まる。環境経営という経営を意識せずとも、導入して数値を改善すれば環境性の向上に結びつく容易に使える情報管理手法はどのように設計できるのか。本章以降はこのテーマを扱う。

本章は、本研究の核となる環境多元簿記システム研究の根拠を提示するものである。本章では、企業経営・会計と環境経営・会計の関係を示し、既存の環境評価手法と環境会計を概説し、実践上の課題を述べる。その上で、企業活動を測定する方法についてパラダイムの転換が必要であることを論じる。

1. 企業経営と環境経営の関係

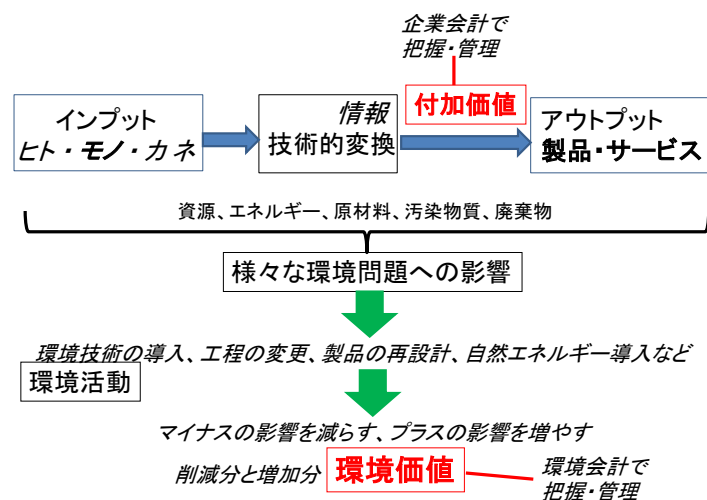
企業経営プロセスは、図4-1に示すように、ヒト・モノ・カネという経営資源をインプットし、技術的変換を加えて、製品・サービスをアウトプットするプロセスである。技術的変換によって、バリューチェーンの活動において付加価値を生み出す。技術的変換のプロセスにおいて、企業は、技術やノウハウなどの情動的経営資源を蓄積し、組織能力を獲得してゆく。付加価値をはじめとする企業活動プロセスの成果は、企業会計によって把握し管理される¹⁾。



出所)伊丹・加護野(2003)pp.1-6の説明をもとに筆者作成

図4-1 企業経営プロセスの概念図

図4-2は、この企業経営プロセスをベースに、環境経営の関わりを示したものである。企業は、ヒト・モノ・カネをインプットし技術的変換を加えて製品・サービスをアウトプットするプロセスにおいて、様々な環境負荷と関わっており、環境への影響を与える。インプット面では、水や金属、木材等の資源を利用し、燃料や電力を投入する。製造プロセス等の自社における技術的変換プロセスでは、汚染物質や廃棄物などを排出する。製品・サービスの流通過程や消費・使用過程、廃棄・リサイクル過程においても、資源・エネルギー、廃棄物や環境汚染と関わっている。



出所)在間(2016)より作成

図4-2 企業経営と環境経営の関係

環境経営では、環境法規制の順守による汚染削減に加えて、法令より厳しい自主基準の設定・順守、エネルギー効率の向上のような自主的な活動が行われている。これらは、環境へのマイナスの影響を減らすことにつながる。また、環境経営では、グリーン電力による発電、汚染浄化やリサイクルの設備・システムのような環境ビジネス、地域の自然保護のような社会貢献活動についても、幅広く行われている。これらは、環境へのプラスの影響を増やすことにつながる。

環境活動によるマイナスの影響の削減とプラスの影響の増加は、環境面での価値を生み

出すことを意味する。企業経営プロセスが付加価値を創造するプロセスであるのと同様に、環境経営は環境価値を創造するプロセスである。環境への影響や環境価値の把握においては、付加価値を企業会計で捉えるように、環境情報の把握や公表については、環境会計手法が開発されている。

2. 環境会計の役割と環境経営のマネジメント技術

2.1 環境価値の把握とアカウンタビリティ

企業経営では、企業会計の手法を用いて経済性のパフォーマンスを把握し公表する。企業会計の意義は主に 2 点ある。第 1 は、外部会計によりアカウンタビリティを果たすことである。株式会社では企業は株主の資金を預かって経営しており、毎年決算を行い、経営成果を株主に報告する責任がある。これは法制度として確立されている。第 2 は、内部会計により原価計算等を通して企業の事業活動を改善することである。

図 4-2 で示したように、環境経営は、付加価値を生み出す企業経営の活動プロセスにおいて、環境へのマイナスの影響を減らし、プラスの影響を増やす環境活動を通して、環境価値を創造するプロセスである。付加価値を企業会計で捉えるように、環境価値は環境会計によって把握される。

環境会計でも企業会計と同様に内部会計と外部会計があり、2つの役割がある。1つは、環境負荷や環境への影響を定量的に把握することで、自社の現状の把握や削減の管理に有用なことである。第 2 は、環境活動による環境価値を把握し公表することで、社内でのモチベーションを高め、投資家等への非財務情報の提供を行い、さらに「環境アカウンタビリティ」を果たすことである。地球環境は、すべての国や地域、組織や人にとっての共有財産であり、企業はステイクホルダー全てに対して環境面での説明責任がある。水口(2012)は、企業は共有財産である地球環境を一定の限度で適切に利用することを委託されており、その取り組みなどの状況を社会に報告する責任があると述べ、これを「環境アカウンタビリティ」と呼んでいる²⁾。

2.2 環境経営のマネジメント技術

國部他(2012)は、企業の環境経営を成立させる要件として、企業の環境経営理念、環境経営を実行するためのマネジメント技術、および、環境経営企業を支援する市場メカニズムの 3 点を指摘している³⁾。環境経営は経営者の意思決定から開始するものであるので、環境理念は不可欠である。また、消費者や投資家による市場での選択行動の判断基準に環境配慮が組み込まれる仕組みも必要である。

環境経営のマネジメント技術は、表 4-1 に示されるように、適用対象による 2 つの区分、および、内容による 3 つの区分から、6 つのタイプに分類される。表 4-1 は代表的手法を挙げている。

環境負荷の測定・評価手法には、環境パフォーマンス評価（環境影響評価）や製品のライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment, LCA）がある。これらについては、次節で取り上げる。

環境負荷削減のための手法には、環境マネジメントシステム（Environmental Management System, EMS）や製品の環境適合設計がある。

EMS は、環境経営の組織マネジメントの主要な手法で、組織が環境面での方針や目標を設定し・計画を立て・ルールを決め実行し・見直す一連のオペレーションに関する体系化された仕組みである。ISO14001 は、EMS の国際認証規格である。ISO14001 が順守を求めるのは、組織に該当する法規制と環境影響評価に基づき設定した自主目標であり、組織マネジメントの骨格は PDCA と継続的改善である。国内版の EMS では、日本には KES、エコアクション 21、エコステージがある。

表 4－1 環境経営の主なマネジメント技術

	企業・事業所に適用	製品に適用
環境負荷の測定・評価の手法	環境パフォーマンス評価	ライフサイクルアセスメント
環境負荷削減のための手法	環境マネジメントシステム	環境適合設計
環境パフォーマンス情報の外部開示の手法	環境報告書	環境ラベル

出所) 國部他(2012)p.10の図1-1をもとに筆者作成

環境適合設計は、環境配慮設計、環境調和型設計とも呼ばれ、Design for Environment から DfE とも表記される。環境適合設計は環境側面を製品の設計・開発に統合することであり、製品の製造やサービスの提供に際してその設計、企画段階において環境負荷を可能な限り低減させることを目指す設計のあり方を指す。

環境パフォーマンス情報の外部開示の手法には、環境報告書や製品の環境ラベルがある。

環境報告書は、環境理念や環境活動の状況、環境負荷の状況やその変化などを包括的に報告するものであり、「サステナビリティ報告書」「環境・社会報告書」「CSR 報告書」など名称は様々である。近年、グローバル企業では、年次報告書と環境・社会的活動を包括的に報告する「統合報告」を行う動きも生まれている。環境報告書の作成については、Global Reporting Initiative (GRI)や環境省がガイドラインを公表している。

製品の環境ラベルは、製品が環境に配慮していることを消費者に知らせるための表示である。環境ラベルはタイプ I、II、III の 3 つに大別され、ISO の標準規格がある。タイプ I は、第三者機関が環境配慮型商品の判定基準を制定し認証を行うもので、同じカテゴリーの製品と比較して相対的に環境によいことを示す。タイプ II は、企業等が独自の基準で製品の環境に関する主張を行う自己宣言型のラベルである。タイプ III は、製品の環境負荷についてライフサイクルインベントリのデータを表示するものである。

3. 組織や製品の環境負荷・環境影響の評価

3.1 環境パフォーマンス評価

①組織の環境影響評価

組織の環境影響評価は EMS を構成する要素の 1 つである。環境影響評価の概念図を、図 4－3 に示す。

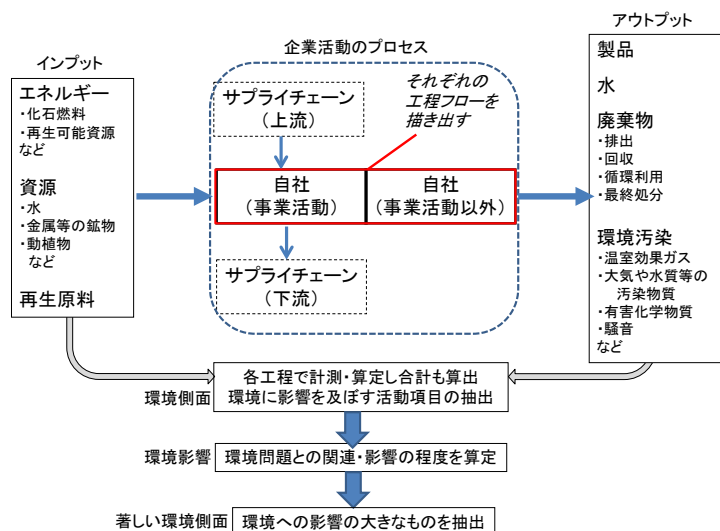


図 4－3 組織の環境影響評価の概念図

組織の環境影響評価は、自社の事業活動と事業活動以外について、それぞれの工程フローを描き出し、エネルギーや水等の資源のインプット、廃棄物や汚染物質等のアウトプットについて、定量的に計測または算定を行う。環境負荷や環境影響を及ぼす活動項目は、ISO14001 では「環境側面」と呼ばれる。環境側面と環境問題の結びつきを把握し、環境影響の大きさを算定する。最後に全体の中から、特に環境影響の大きな項目を抽出する。これらは、ISO14001 では「著しい環境側面」と呼ばれ、組織の環境活動の目標に組み込まれる。環境影響評価には統一的な手法はなく、必ずしも数値化する必要はない。計測・算定や判定基準について、企業は自社の業種や活動範囲に適した方法で選択する。

②サプライチェーンの環境パフォーマンス評価

ISO14001 ではサプライチェーン全体の環境影響評価を行うことを求めているわけではないが、最近では、先に述べたように資本市場において企業の非財務情報を求める動きがあり、特にグローバル企業では、サプライチェーン全体の環境負荷の情報が求められている。例えば、機関投資家による NPO であるカーボン・ディスクロージャー・プロジェクト(CDP) は、対象企業の温室効果ガス算定の範囲について、事業活動プロセスに加えて、非事業活動やサプライチェーンも含める範囲「スコープ 3」を求めている。

大企業では、水収支、エネルギー消費量、二酸化炭素排出量といった項目について、図4-4に示すようにサプライチェーン全体でインプットとアウトプットを把握し、その全体像をホームページなどで公表するケースが増加している。これは、「事業活動の環境負荷の全体像」または「マテリアル・バランス」¹³⁾とも呼ばれている。マテリアル・バランス（物質収支）は、物質の流れを伴う系における物質のインプットとアウトプットの量の収支を指す科学用語である。資源や廃棄物の循環という意味でも用いられており、『環境白書・循環型社会白書』では、資源の投入量と廃棄物の排出量に関する物質フローが示されている。最近では、上述のように、企業活動におけるエネルギーや水、二酸化炭素排出量などの全体像のことも、マテリアル・バランスという用語が用いられる。

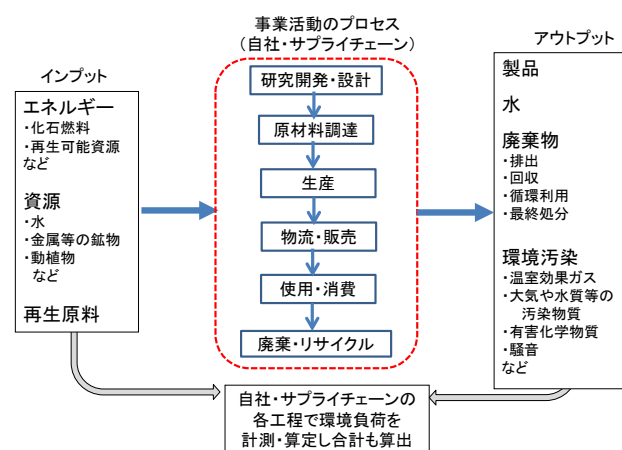


図4-4 サプライチェーンの環境パフォーマンス評価の概念図

3.2 製品のライフサイクルアセスメント

製品のLCAは、製品1単位が及ぼす環境への影響を、原材料採取から製造や使用、廃棄に至るまでのライフサイクル全体について定量的に評価する手法である。LCAは、図4-5に示すように、環境負荷を把握するライフサイクルインベントリ(Life Cycle Inventory, LCI)と、ライフサイクル影響評価(Life Cycle Impact Assessment, LCIA)から構成される。

LCAでは、まず実施の目的や対象と範囲を決めLCIを行う。さらにLCIを踏まえてLCIAを実施し、得られた結果の解釈を行う。LCIAは、環境負荷と環境問題を結びつける分類化、それぞれの環境影響を算定する特性化が、得られた環境影響を1つの指標に算定する統合化の段階がある。

LCAは、手順や原則などがガイドライン規格ISO14040に示されている。LCAの実施においては、把握対象の範囲における全工程を詳細に洗い出す。多くの部品や材料が構成される製品では、対象となる工程数が多いため、LCAの実施には知識と時間と労力を要する。

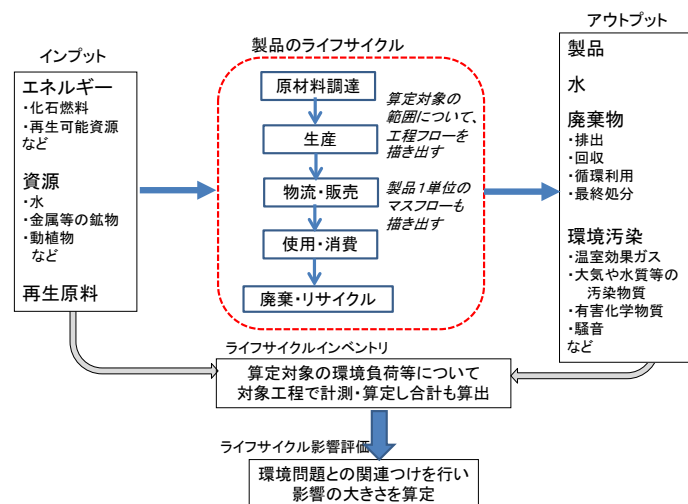


図4-5 LCAの概念図

製品の環境フットプリントは、製品の LCI で得られた環境負荷のデータを公表し、合計値を製品に表示するものである。すでにカーボン・フットプリントがあり、2014 年 4 月からは日本でもカーボン・フットプリント制度が実施されている。最近では、水資源に関するウォーター・フットプリントもあり、洗濯機等の製品に表示する企業もある。

フットプリントについては、製品だけではなくサプライチェーンを含めた環境パフォーマンス評価のデータを公表する「組織の環境フットプリント」の導入が、EU 等で検討され、ISO でも規格化が検討されている。

3.3 その他の手法

①ライフサイクルコストニング

ライフサイクルコストニング(Life Cycle Costing, LCC)は、LCA と同じ考え方で、製品のライフサイクルにおけるコストを把握する管理会計の 1 手法である。LCC の目的は、企業の研究開発コスト、生産コスト、流通コストに加えて、製品の運用コストや廃棄コストも含めて把握し、トータルのコストの最適化を行うことである。

②マテリアルフローコスト会計

マテリアルフローコスト会計 (Material Flow Cost Accounting, MFCA) は、図4-6に示すように、製造工程における物質の流れを物量と貨幣で計測・算定し、製品と廃棄物の経済性を明確化する環境管理会計の一手法である。特に、廃棄物・排出物の正確な原価が算定できる。MFCA は、資源生産性の向上や、製造工程の改善に役立つ手法として注目されている。

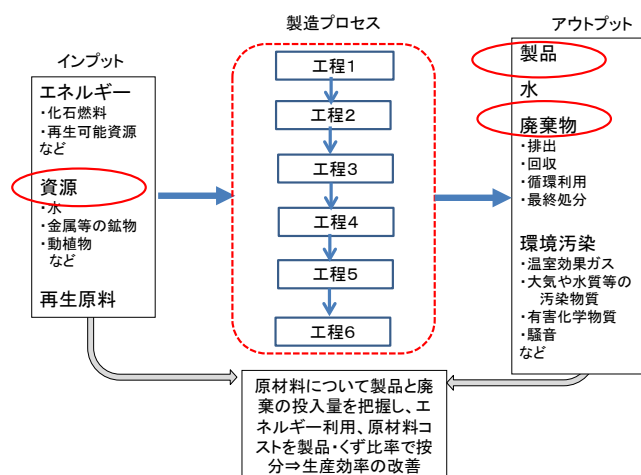


図 4－6 MFCA の概念図

3.4 諸手法の共通点と相違点

図 4－3 から図 4－6 を見るとわかるように、組織の環境影響評価、サプライチェーンの環境パフォーマンス評価、製品の LCA、MFCA は、基本的には、工程に関する環境負荷のインプットとアウトプットを計測・算定を行い、環境負荷からその環境影響を算定するという同じ考えに基づくものである。共通要素を図 4－7 に示す。図 4－7 の左側で示したような、工程におけるインプットとアウトプットを把握する手法は、IPO (Input-Process-Output) 分析と呼ばれる。

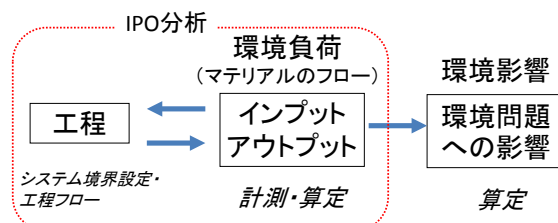


図 4－7 諸手法の共通要素

相違点は、評価の範囲、評価の対象、および、測定粒度である。

評価の範囲はいずれも実施者が目的に応じて決定するが、EMS における組織の環境影響評価は主に自社の範囲、サプライチェーンの環境パフォーマンス評価では、理想的にはサプライチェーンの末端まで全てを対象とする。

評価の対象とする環境負荷について、製品や組織活動に係るあらゆるものを対象とすることが理想的であるものの、実践上は実施者が目的に応じて決めればよい。サプライチェーンの環境パフォーマンス評価では、二酸化炭素、水、エネルギー、主要資源や廃棄物といったケースが多い。MFCA では、主要な原材料・資源、エネルギー、廃棄物を対象としている。

測定の粒度では、製品の LCA では評価対象の範囲における全工程を詳細に洗い出し、対象物質の測定や算定が行われる。それに対し、組織の環境影響評価は、どの程度詳細に把握するかという点は、実施目的、組織の規模や能力に応じて実施者が選択する。一般に、EMS の運用において継続的に改善するためには、最初は大雑把な把握で済ませた場合には改善の余地がすぐに小さくなってしまうため、ある程度細かく把握することが重要であるとされる。サプライチェーンの環境パフォーマンス評価については、二酸化炭素に関するガイドライン「スコープ 3」があるケースでも、測定の粒度は LCA より粗い。

4. 従来の環境負荷評価手法の課題

4.1 トップダウン型情報収集に関する課題

前節で概説した環境負荷の評価手法における情報収集は、図 4-8 で示すように、トップダウン型である。実施者が企業の対象工程や活動全体について環境負荷情報を収集する。サプライチェーンの場合は、コア企業が、サプライチェーン全体の情報を収集する。

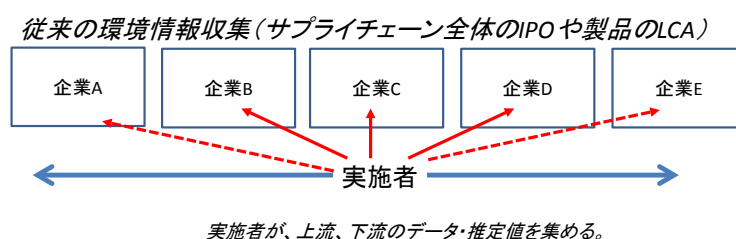


図 4-8 トップダウン型の情報収集

既存手法はトップダウン型の情報収集に基づくため、次の 2 つの課題がある。

第 1 に、情報収集を行う実施者にとって、煩雑で困難な作業を伴う。

第 2 に、サプライチェーンを対象とする場合、取引先の取引先というように、コア企業であってもアクセスが困難なケースが多い。そのような場合にはバックグラウンドデータが用いられるが、情報の正確性という点で課題がある。

4.2 環境認識に基づく環境負荷という課題

環境負荷は、一般に、「投入される資源・エネルギー、および、排出される不要物」と定義される⁴⁾。前章で挙げた手法は、いずれも、測定や算定からそれらの量を把握するが、対象とする環境負荷については、実施者が決定する。

しかし、不要物か否かは環境認識に依存しており、普遍的ではない。例えば、江戸時代には糞尿は肥料として活用されていたが、1900 年に制定された下水道法や汚物清掃法は、欧米から持ち込まれたため資源循環の考えが入っておらず、糞尿も公衆衛生の観点から適

正に捨てることを重視されることになった⁵⁾。また、気候変動問題がクローズアップされるまでは二酸化炭素の排出量に着目されることはなかった。オゾン層を破壊する特定フロン⁶⁾の全廃により登場した代替フロンは、オゾン層破壊の影響は小さいが、温室効果ガスの1つであり、気候変動問題の観点から避けるべきものとなった。最近の事件では、鉄鋼スラグは従来、建設資材として再利用されているが、2015年9月に、群馬県が、有害物質含有調査に基づき、大同特殊鋼のスラグを「廃棄物」として認定した。

これらの例のように、不要物か否かといった環境認識に関わる事項には、環境政策・制度の導入や変更、科学的知見、当該負荷に係る問題の深刻さがある。さらに、企業活動については、カーボンディスクロージャー・プロジェクトのように企業評価による要求とのかかわりや、組織における当該環境負荷の発生量の大きさといったことがある。

4.3 環境経営実践の手法という課題

①環境負荷評価手法の導入の現状

上記の環境負荷の評価手法は、環境経営を行う企業で導入されている。

組織の環境影響評価はEMSの実践において位置づけられている。日本の認証取得事業者数で見ると、2014年4月時点でISO14001が19206、国内版のエコアクション21が8099、KESが4355である。また、エコステージは2006年の公表では約500である⁷⁾。これらの認証取得企業が、自らの環境影響評価を実施するとともに、取引先の環境負荷に関する調査を行っている場合もある。従って、組織の環境負荷を把握する活動を行っている企業は、認証取得数よりは多いと推測される。しかし、全企業数は、『中小企業白書 2015年版』の付属統計資料によると、製造業で約43万、企業全体で約385万であり、この数字と比較すると、環境影響評価を行う企業は一部に限られている。

製品のLCAについては、例えば、日経環境経営度調査で2003年の第7回調査において、製造業599社のうち36%が導入していた。LCA導入企業では、環境情報インフラを整備して製品設計に活用している。第7回調査では、LCA導入企業のうち、電機で43%、精密で44%の企業が環境負荷の算定をシステム化していた⁸⁾。当時の記事では、LCIのデータを公表する環境ラベル「エコリーフ」の認証を受けたキャノンの例が先進事例として示されていた。2008年の第10回調査でソニーが前年の31位から6位に躍進した。その要因として、LCAの活用により、製品が関与するあらゆる段階における環境負荷削減の工夫が徹底されており、省エネテレビという成果も現れていることが指摘されていた⁹⁾。2009年の第13回調査では、製造業484社のうち59.9%が導入しており、導入していない割合32.9%を上回っていた¹⁰⁾。比率から上記の第7回とLCA採用企業数を比較すると、第7回では215社、第13回では290社で、数でも増えていることがわかる。

日経環境経営度調査は上場企業と有力な非上場企業にアンケート調査を行うもので、その結果からは、主として先進的な環境経営に取り組む大企業の活動の特徴を知ることができる。近年は、ライフサイクル全体、サプライチェーン全体で環境負荷を把握し削減の管

理をする企業が高く評価されている。例えば、2013年の第17回調査で、リコーは前年49位から6位に躍進した。リコーでは、米国の厳しい基準で認証される環境ラベル「EPEAT」で19の製品について最高ランクを取得した。それを機に世界各地でリサイクルシステムを構築し、ライフサイクル全体での環境負荷を削減し経済合理性を追求する活動に取り組んでいる点が評価された¹¹⁾。

第17回調査では、製造業では、廃棄物の排出量について、国内拠点で把握している企業の割合は98%であり、海外拠点は68%であった。海外拠点での把握に関して業種別では、自動車・自動車部品が85%、ゴムが80%、電気機器が79%、軽工業が77%であった。記事では、これらの企業が1990年代から引き続き、欧州で厳しい規制に直面していることが指摘されている¹²⁾。また、同調査では、GHGプロトコルの温室効果ガスの算定範囲「スコープ3」について、「すでに算出し公表している」製造業の企業は53.7%で、前年比で22.4ポイント上昇となっている。また、公表していないが算出している企業は15.7%であり、このうち10.3%は今後公表する予定と回答している¹³⁾。

サプライチェーン全体で環境負荷を把握するためには、計測や算定方法の伝達やデータ提供を始めとして環境情報に関する他社とのコミュニケーションが必要になる。例えば、コニカミノルタでは、欧米や中国の海外拠点やサプライヤーへの「伝道」活動を、海外拠点を含めたゼロ・エミッション活動を開始した2006年から実施している。開始時には、例えば、中国では分別の概念も希薄といった状況であり、廃プラを有償で売りコスト削減、外気導入によるエアコン利用の抑制など、細々と伝道師がアドバイスをしていた¹⁴⁾。同社では、サプライチェーン全体の環境パフォーマンス評価により、二酸化炭素排出量の27%が原材料調達由来であると判明したため、中国サプライヤー30社に人員派遣を行い削減のための改善提案を実施している¹⁵⁾。

②環境経営の手法という課題

上述のコニカミノルタの伝道活動は、先に述べたサプライチェーンのコア企業からトップダウン型で環境経営を推進する場合における実施の困難さを示している。ただし、伝道活動によって、それ以前にはなかったであろう新たなコミュニケーションが生まれ、パフォーマンス改善にも結びついている。

日経環境経営度調査で見られるように、大企業製造業では、環境負荷の評価手法の導入は広がってきている。しかし、それらはグローバル市場競争に直面する製造業大企業を中心とする動きであり、環境経営を実践する手法であって必ずしも通常の活動には組み込まれていないという側面がある。例えば、ヒアリングしたあるグローバル企業では、環境経営の革新企業を標榜し組織の隅々に渡る環境情報把握や管理を実施していたが、経営不振に陥った際には経営者の意思で「環境」の看板を下ろした。それに伴い、環境管理部門が各現場の協力を得て実施していた詳細な環境情報把握や管理を含む活動はストップされた。その後、経営回復に伴い、一部の活動は再開された。このように、たとえ先進的な大企業

であっても、組織に行き渡る環境情報評価手法が、企業経営に不可欠な活動として定着するまでに至っているとは言えない。

5. 企業活動記述に関するパラダイム転換と環境負荷の再定義

企業活動による環境負荷削減のためには、環境負荷の情報を把握し管理することは必須である。しかし、環境負荷の評価手法の導入は現状では一部の環境経営実践企業に留まり、それらの企業においても、必ずしも本来の企業経営活動として組み込まれているわけではない。

では、カネの流れを把握する簿記や会計のように、どのような企業でも、また、現場で誰でも使える環境情報を把握する手法は、どのような方法で可能になるのだろうか。具体的な方法については次章以後で提示するが、本節では、その前提として、環境負荷の再定義が必要であること、および、環境会計の考え方を転換することを論じる。

5.1 環境会計の系譜の概要

環境会計は、ミクロレベルとマクロレベルに大別される。環境会計という用語は、マクロ会計において用いられてきた用語であり、1990年代以降、企業活動に対しても用いられるようになった¹⁶⁾。

国民経済計算(SNA)に相当するマクロレベルの環境会計には、SNAのサテライト勘定として構成される環境・経済統合会計と、水や森林などの自然資源に関する資源環境会計がある。例えば、有吉(2005)や佐藤(2005)は、日本版の環境経済統合勘定の方法を示している。また、内閣府経済社会総合研究所(2010)は、水に関する資源勘定の推計を行なっている。

ミクロレベルでは、企業の環境会計がある。企業会計と同様に、外部環境会計と内部環境会計(環境管理会計)に分類される。國部編(2011)によると、企業の環境会計に関する研究は、英国のGray et al. (1987)から始まった。Grayらの社会環境会計は企業の環境情報開示に批判的立場から、社会的アカウンタビリティに基づいた環境情報公開を求めるというものである。1990年代には、米国環境保護庁が環境会計プロジェクトを実施し、特に環境設備投資に関して改善されるコストを把握する「トータルコストアセスメント」と呼ばれる手法を開発した。1990年代末から、欧州でEUの支援により「エコ管理会計」の研究が始まり、研究者と実務家が参加する環境管理会計ネットワークに発展した。

1999年には、国連持続可能開発部(USDSD)が環境管理会計の手法開発と普及活動を開始した。これを契機として2005年に、国際会計士連盟(IFAC)が環境管理会計に関するガイダンスを公表した。環境管理会計の代表的手法であるマテリアルフローコスト会計(MFCA)については、2011年に国際標準化機構(ISO)が、ISO14051を発行した¹⁷⁾。

外部環境会計では、環境情報の開示の実践に関する検討がなされてきた。環境情報の公表手法には環境報告書がある。日本では、2004年の環境配慮促進法によって、独立行政法

人や国立大学法人に義務づけている。民間企業は努力義務であるが、発行する企業は少ない。環境報告書の作成についてはガイドラインが示されている。国際的には、環境を含めたサステナブル報告書に関して、**Global Reporting Initiative (GRI)**が発行している。日本では環境省がガイドラインを公表している。

企業の財務情報に関する年次報告書・有価証券報告書の開示は法律で義務づけられる制度開示であるが、非財務情報の制度開示についても検討されている。これは、統合報告（**Integrated Reporting**）と呼ばれるもので、国際統合報告委員会（**International Integrated Reporting Committee, IIRC**）が、統合報告の必要性や定義を示し、統合報告のフレームワークを検討し公表している。IIRCは、英国の**Accounting for Sustainability**を母体として結成された国際的なネットワークである。日本の大企業の一部でも、統合報告を公表している¹⁸⁾。

河野(2006)によると、環境管理会計について **UNSD** では、貨幣ベースと物量ベースに分けて体系を提示している。物量ベースの基本は、エネルギーや水について企業レベルのマテリアル・フロー・バランスである。貨幣ベースの基本は、簿記・原価計算からの環境部分の転記である。前者については **LCA** の環境管理会計以外の専門分野で研究が進んでいるという理由で、貨幣ベースの環境管理会計に中心が置かれるようになった。その中心的課題は、企業の環境コストの把握である。環境コストについては、上述のように米国のトータルコストアセスメントが開発された。これは、環境コストを、通常コスト、隠れたコスト、負債コスト、無形コストに分類し、環境設備投資の意思決定の判断材料として提供できるようにするものである。

河野(2006)は米国の環境管理会計が「意思決定指向型」であるのに対し、ドイツは「システム指向型」とであると指摘する。ドイツの環境管理会計の原点は 1980 年代に開発された「エコバランス」である。エコバランスは企業のインプットとアウトプットを物質ベースで捉えて、物量単位で示す手法である。エコバランスは、特定の意思決定を目的とするものではなく、物質のインプット・アウトプット情報の正確な計算を目的とするものであり、その点で河野(2006)は「システム指向型」としている。エコバランスの研究は、企業の意思決定と結びつけるために、コストと連結させる環境原価計算の手法開発へと移り、**MFCA**へと発展した¹⁹⁾。

環境管理会計のうちドイツのエコバランスは、企業のインプットとアウトプットを物量で把握するものであり、第5章で提案する環境多元簿記システムの方法に近い。しかし、エコバランスの方法は、ダブルエントリーの簿記ベースにはなっておらず、ボトムアップ型ではない。また、**LCA** の手法開発により、エコバランスの方法はコスト効果を表す手法 **MFCA** へと発展し、管理会計として物量記述という方向には発展しなかった。

5.2 従来の環境会計手法の発想

図4-9は、従来の環境会計手法の発想を示す。企業活動の評価・測定は貨幣計算体系

である。通常、貨幣計算体系では、経済価値のないもの、実測できないものは記述されない。貨幣の流れの背景には物量の流れがあり、物量は環境負荷と関係がある。環境負荷には、経済価値のないものやマイナスのもの、推定しかできないものもある。そのような環境負荷に係る物量について、通常の企業会計とは異なる体系である環境会計によって評価・測定する。

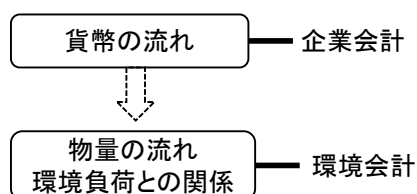


図4-9 従来の環境会計手法の発想

5.3 「潜在的な環境負荷」の概念

従来の環境会計では、評価しようとする環境負荷を選び、その物量を把握する。先に述べたように環境負荷は、資源やエネルギーの投入、および、排出する不要物と定義され、要不要は環境認識に基づく。しかし、上述のように環境認識は普遍ではない。

本研究では、「潜在的な環境負荷」という概念を導入し、「企業活動にかかわるあらゆる投入・利用および産出・排出されるもの」と定義する。投入面では、資源・エネルギー、原材料、機械・設備というカテゴリーがある。排出面では、製品・サービス、副産物、汚染物質、廃棄物というカテゴリーを含む。

すなわち、「潜在的な環境負荷」は、あらゆるマテリアルやサービスは、「環境負荷と認識される可能性を持つ」ということを意味している。このような定義に対して、例えば、「コメからポン菓子を作る場合、コメは環境負荷なのか」という疑問が湧くだろう。コメ自体の生産過程において、水資源や農薬を使用し、資源消費問題や汚水廃水問題に関わっている。また、余ったコメの廃棄問題が生じる場合もある。

環境への影響を伴わない経済活動はなく、その影響の種類や大きさが違うにすぎない。従って、従来の環境会計のように特定の環境負荷に焦点を当てて把握するのではなく、一旦、あらゆるマテリアルやサービスを「潜在的な環境負荷」と位置づけて、それらの量を把握する。つまり、「潜在的な環境負荷」という概念の導入により、環境認識に依存することなく、環境負荷となりうるマテリアルやサービスを把握し、その上で環境認識に基づき管理や報告が必要な環境負荷を選択すればよいことになる。

5.4 企業活動記述のパラダイムの転換

本研究では、あらゆるマテリアルやサービスに関する実物簿記を企業活動記述のベースとする図4-10で示す企業活動記述の方法を提案する。

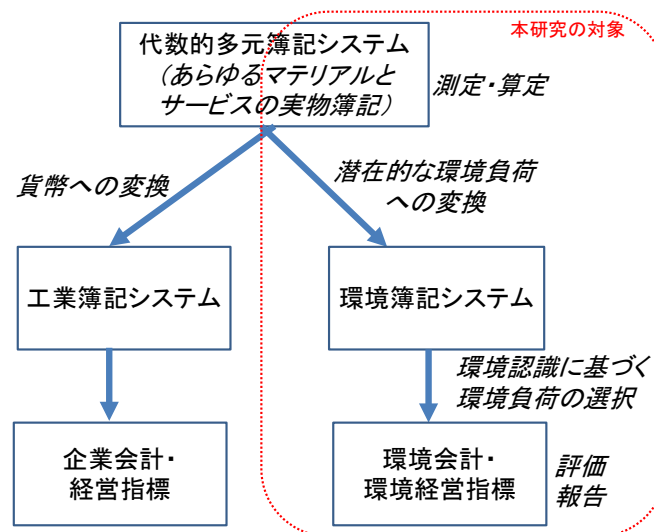


図 4－10 企業活動記述のパラダイム転換

あらゆるマテリアルとサービスの実物簿記は、従来の定義の環境負荷を含み、本研究で定義した「潜在的な環境負荷」の簿記とほぼ一致する。ここで「ほぼ」と記す理由は、実物簿記から直接的あるいは間接的環境負荷を算定する過程が必要になるからである。詳しくは次章で示す。また、ベースとなる実物簿記から貨幣変換により工業簿記システムを構成できる。本研究の方法のベースである代数的多元簿記は Deguchi(2000)・出口(2004)が開発した交換代数に基づく方法であり、次章で述べる。

6. ボトムアップ型環境情報収集システムの提案

本研究では、企業活動記述のベースを転換するという方法の導入によって、通常の活動として現場で潜在的な環境負荷を把握する方法を提示する。それによって、組織やサプライチェーンの環境パフォーマンス評価で求められる環境負荷について、現場の工程あるいはサプライヤーから、必要な情報を抜き出し提供することで、ボトムアップな環境情報収集の構築を可能にする。ボトムアップ型環境情報収集システムを概念を図 4－11 に示す。

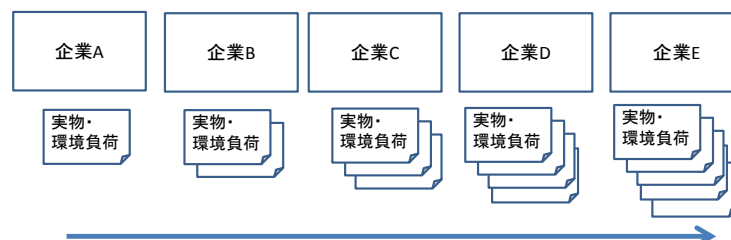


図 4－11 ボトムアップ型環境情報収集システムの概念図

企業の各工程で潜在的な環境負荷を正確に把握し、全工程を集計する。各社のデータから、取引相手が求める環境負荷について、取引相手の按分量を算定し、環境負荷インベントリとして伝票で送る。その伝票を含め、次の企業では、自社分を合わせて算定し伝票に記述し、次に送る。このように追加記述によるマニフェストシステムを構成する。

一般に、現場のことは現場が一番よく知っている。現場で正確に把握すれば企業や製品について正確に把握できる。これをボトムアップに積み重ねることによって、サプライチェーン全体での環境情報把握が、現状より正確にできることになる。

注

- 1) 伊丹・加護野(2003) pp. 1-6。
- 2) 水口(2012)p.186 を参照。
- 3) 國部他(2012)pp.4-16。
- 4) 藤倉・藤倉(2008)p.6。
- 5) 倉阪(2015) p. 18。
- 6) 2015 年 9 月 17 日付の日本経済新聞電子版「大同特殊鋼のスラグは「廃棄物」、群馬県が刑事告発」 <http://www.nikkei.com/article/DGXMZO91797530W5A910C1000000/>
(最終アクセス日：2015 年 12 月 9 日)
- 7) 在間(2016)第 3 章。
- 8) 2003 年 12 月 12 日付の日経産業新聞「第 7 回環境経営度調査 1 製品対策広がるすそ野 LCA、電機から建設まで」
- 9) 2008 年 12 月 4 日付の日経産業新聞「環境経営実力診断 ソニー 製品 再生までエコ徹底 輸送も地球に優しく」
- 10) 2009 年 12 月 17 日付の日経産業新聞「環境経営度特集 環境対策、手法広がる ライフサイクルアセスメント」
- 11) 2014 年 1 月 29 日付の日経産業新聞「攻める企業 2 環境経営度調査から 海外の厳しい基準に対応 リコー、環境ラベルで先行 省エネ・合理性同時に追求」
- 12) 2014 年 1 月 28 日付の日経産業新聞「データ 製造業、海外での排出物把握 68%」
- 13) 2014 年 1 月 27 日付の日経産業新聞「CO₂幅広く算定 5 割に 国際競争に不可欠」
- 14) 2008 年 12 月 8 日付の日経産業新聞「環境経営実力診断 コニカミノルタ 廃棄ゼロ、海外に伝道 細やかな改善 省エネも支援」
- 15) 2013 年 8 月 23 日付の日経産業新聞「コニカミノルタ 部品調達先の CO₂削減 工程改善提案 コスト圧縮と両立」
- 16) 國部編(2011)p.6。
- 17) 同掲書、pp. 6-11。
- 18) 統合報告の増加については、2014 年 2 月 12 日付の日本経済新聞「統合報告書 導入企業広がる」や 2015 年 2 月 21 日付の日本経済新聞「統合報告書の発行急増 投資家との対話に備え」。非財務情報の開示や統合報告については國部(2013)。
- 19) 河野(2006) pp. 184-192。エコバランスについてはブラウンシュバイク(1996)。

第5章 代数的多元簿記に基づく環境多元簿記システム の方法

本章の概要

前章では、既存の環境会計手法を挙げ、トップダウン型の情報収集、環境認識に基づく環境負荷、および、環境経営の手法としての限界という課題を述べた。それらに対して、潜在的環境負荷の概念を定義し、企業活動記述に関して、代数的多元簿記システムをベースとする方法を提示した。

本章は、本研究の核となるもので、環境多元簿記システムの方法を提示する。本章では、まず、環境多元簿記システムを設計するに際して、工程のシステム概念を述べ、それとの関連においてマテリアル、サービス、シナリオを定義する。本研究の環境多元簿記システムの方法は、出口(2000)・Deguchi(2004)の「交換代数に基づく多元簿記（以下、代数的多元簿記）システム」に基づく。しかし、潜在的な環境負荷の記述へと拡張するには、工程、マテリアル、潜在的な環境負荷の分類、IPO 分析と連動可能なマテリアルに関する実物簿記の記述方法、潜在的な環境負荷の交換代数の定義、工程間の連結といった新たな方法の導入が必要となる。本章では、それらについて述べ、環境多元簿記システムを構成する方法を提示する。さらに、環境多元簿記システムの、既存の環境負荷評価手法との相違およびその意義について述べる。また、最後に、情報システム構築の課題を示す。

1. マテリアル、サービス、シナリオの定義

1.1 工程のシステム概念

工程のシステム概念は、次ページの図5-1のように示される。

Arnold(1997)の説明¹⁾に基づく、工程は「システム境界における仕事の流れ」である。

システム境界として定義される工程の範囲は、企業、ある事業、ある事業の個別の業務範囲など、管理の目的に応じて様々に設定できる。工程では、原材料やデータ等がインプットされ、技術的変換により、何らかのより有益なものがアウトプットされる。

工程は、「構成要素」、「供給者」（邦訳の表記は「供給業者」）、「提供相手」（邦訳の表記は「顧客」）、および、「コントロール要因（制約要因）」で構成される。

構成要素は、インプットをアウトプットに変換するときに用いられる経営資源で、人材、設備、および、ノウハウや技術など情報的経営資源である。

供給者は、原材料供給者のみを指すのではなく、「企業の内部・外部を問わずインプットを供給するもの」を指す。提供相手も、企業が提供する製品等の顧客というよりも、「工程が提供するものを受ける対象」であり、企業の内部・外部を問わない。

コントロール要因は、工程に制約を与える企業の内部・外部の要因である。外部要因は、政府の規制、競合他社の動向、工程アウトプットに対する提供相手の容認などであり、企業がコントロールできない要因である。内部要因は、業績の目標や計画、予算など、企業がコントロールできる要因である。

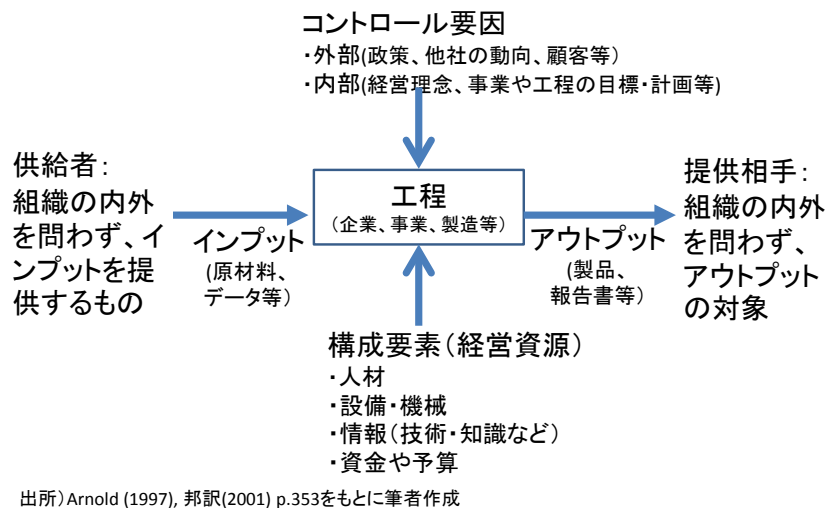


図5-1 工程のシステム概念

1.2 マテリアル、サービス、シナリオ

工程のシステム概念を踏まえて、図5-2のように、マテリアル、サービス、および、シナリオの定義を与える。

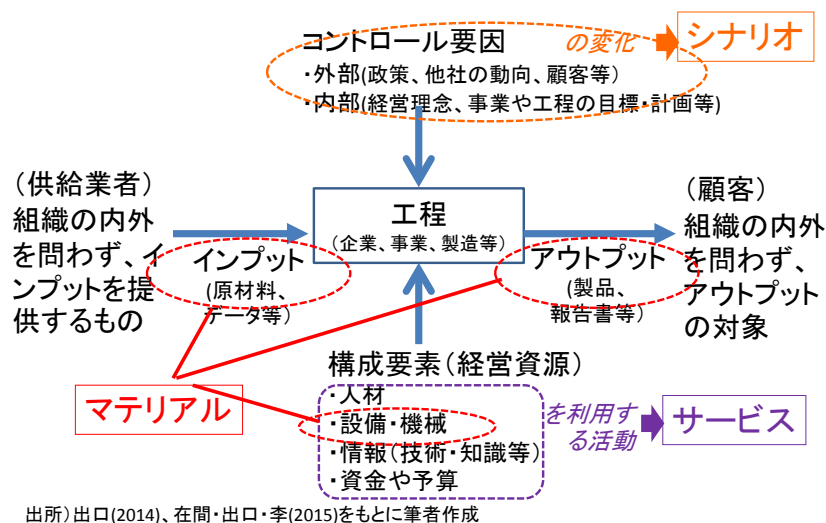


図5-2 マテリアル、サービス、シナリオ

マテリアルとは、「当該工程で投入・利用、および、産出・排出されるもの」と定義する。つまり、マテリアルは、企業活動に係る潜在的な環境負荷のうち、対象とする工程にかかわるものを指す。従って、投入・利用面では、資源・エネルギー、原材料・設備がある。また、産出・排出面では、製品・サービス、副産物、汚染物質、廃棄物がある。これらについての分類は後述する。

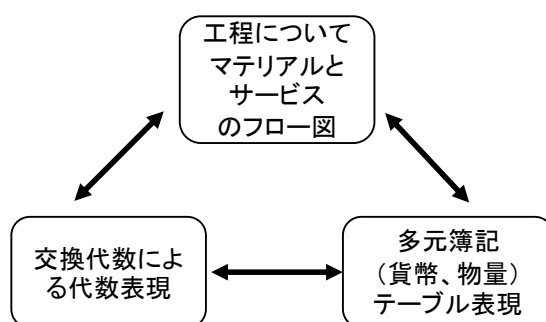
サービスとは、「当該工程において経営資源を利用する活動」と定義する。人材、機械・設備、情報、資金・予算という経営資源の中で、本研究で提示する環境多元簿記システムに最も関わりがあるのは、機械・設備である。

シナリオとは、「コントロール要因の変化、特に、企業または当該工程に係るもの」と定義する。環境面でのコントロール要因の変化には、次のような事項がある。外部要因の変化では、規制強化のような環境政策の変化、他社の環境対策やビジネスの変化、顧客の環境配慮要求の変化がある。内部要因には、環境活動に係る経営理念の変化、事業や工程の計画や目標の環境面での変化といった事項がある。内部要因は外部要因の変化により引き起こされることも少なくない。例えば、環境問題の深刻化に基づき環境対策法が強化される、あるいは、自然エネルギー分野の促進のために補助金政策の導入のような外部環境の変化があれば、環境事業での新たな目標設定や既存の環境ビジネスの計画実行の促進といった内部要因の変化が起こるであろう。

2. 環境多元簿記システムの段階的構成方法

2.1 交換代数に基づく代数的多元簿記システム

交換代数に基づく代数的多元簿記システムは出口(2000)・Deguchi(2004)が開発した方法で、工程のマテリアルとサービスのフロー図から、多元簿記テーブルを作成し、交換代数を用いて数理表現を可能にするものである。多元簿記は貨幣単位だけでなく実物の物量単位で記述できる。代数的多元簿記システムの方法は、一方通行ではなく、図5-3に示すように相互変換が可能である。交換代数と多元簿記については本章の第5節で述べる。



出所) 出口(2000)・Deguchi(2004)をもとに筆者作成

図5-3 代数的多元簿記システムの方法

代数的多元簿記システムの方法の特長は、工程に関する実物データの実績値を把握できるだけでなく、計画段階における予測値の把握、および実績との変化の把握など、多様な使い方ができることである。

2.2 環境多元簿記システムのステップ

代数的多元簿記システムは、マテリアルとサービスのフロー図、簿記テーブル、交換代数表現のいずれからでも始められるが、潜在的な環境負荷という意味において、工程にかかわるあらゆるマテリアルとサービスを把握するためには、図5-4で示すように、工程に関するマテリアルとサービスの「種類」をフロー図で洗い出すことを第一段階で行うべきである。その理由は、環境負荷の種類によって、測定方法や算定方法が異なり、記述の単位も異なるからである。単一の貨幣単位で記述できる通常の簿記システムとは異なり、環境多元簿記における簿記テーブルや交換代数表現での「数値」の把握は、「種類」を把握して初めて可能になるのである。

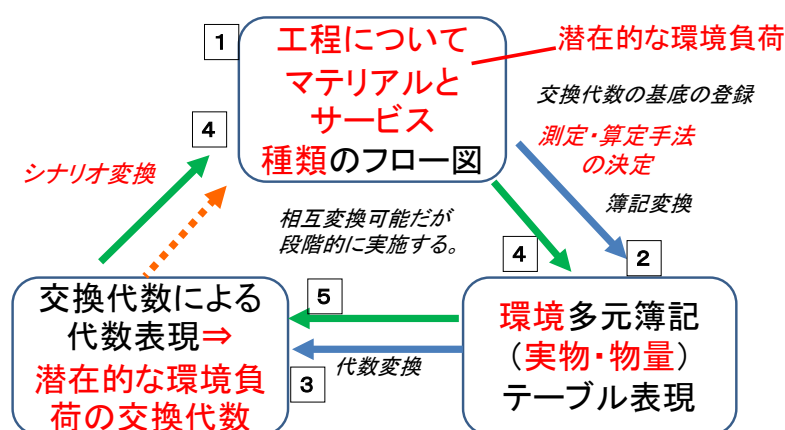


図5-4 環境多元簿記システムのステップ

提案する環境多元簿記システムは代数的多元簿記システムに基づくため、フロー図・簿記テーブル・交換代数が相互に変換できるが、実施では、図5-4に示すような段階を踏むことになる。

第1段階で、マテリアルとサービスの種類をフロー図で把握する。第2段階で、それぞれの測定・算定の単位と手法を決定し、実物簿記への変換、つまり、各環境負荷について種類と量を簿記テーブルに記述する。第2段階で、マテリアルとサービスの名称と単位が決定されるので、この段階で交換代数の基底も構成することができる。第3段階で、交換代数によりマテリアルとサービスの生産関数、後述する環境工程の場合は環境対策関数を作成する。それらから、後述する方法で、最後に工程に関する潜在的な環境負荷を交換代数で表す。

さらに、マテリアルや設備の変更のようなシナリオ変更のケースを検討する場合や、比較評価の場合には、マテリアルとサービスのフロー図に戻り、改めて作成を繰り返す。

3. 環境多元簿記システムにおける工程・マテリアル・環境負荷の分類

3.1 工程の二分法

上述のように、環境多元簿記システムでは、工程に係るあらゆるマテリアルとサービスをフロー図で捉えることが最初であるが、正確に把握するためには、フロー図の複雑化は避けるべきである。また、環境多元簿記システムでは、シナリオ変更の場合、環境対策の変更なのか、製造の効率化なのかといった違いを明示的に記述する必要がある。

そのため、本研究では、図5-5のように、「メイン工程」と「環境対策工程」として、工程を二分化する方法を提案する。

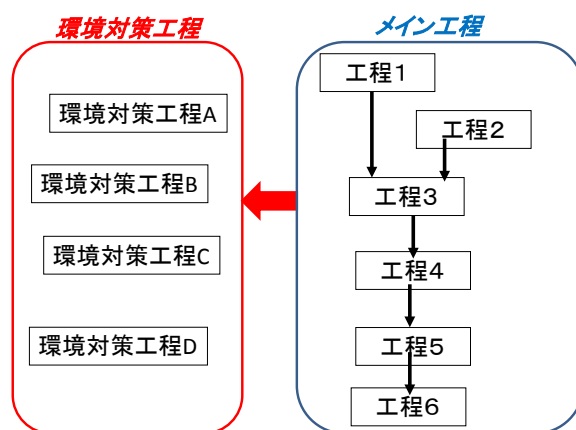


図5-5 工程の二分法

メイン工程を、製品の製造に直接かかわる工程と定義する。また、環境対策工程を、メイン工程に付随する環境対策の工程と定義する。メイン工程は一連の流れがあるのに対し、環境対策工程はそれぞれの対策工程として記述する。

環境対策は、実際には、工程と同じ場所でなされるケースや、廃棄物や汚染物質を他の場所へ移して対策が施されるケースもある。しかし、メイン工程を分けて記述することで、工程のマテリアルとサービスのフロー図がシンプルになり、より正確に把握できるようになる。また、対策の変更などを捉えやすくなる。

環境対策工程は、各工程に1つが特定されるというわけではない。複数の工程で同様の種類の環境対策を実施する場合、それぞれの環境対策として分けて記述することも、統合して記述することもできる。

3.2 マテリアルの基本分類

マテリアルは「当該工程で投入・利用、および、産出・排出されるもの」と定義したが、それらは基本的には6つのタイプに分類でき、工程に関して、図5－6に示すようなマテリアルのフロー図として表現できる。

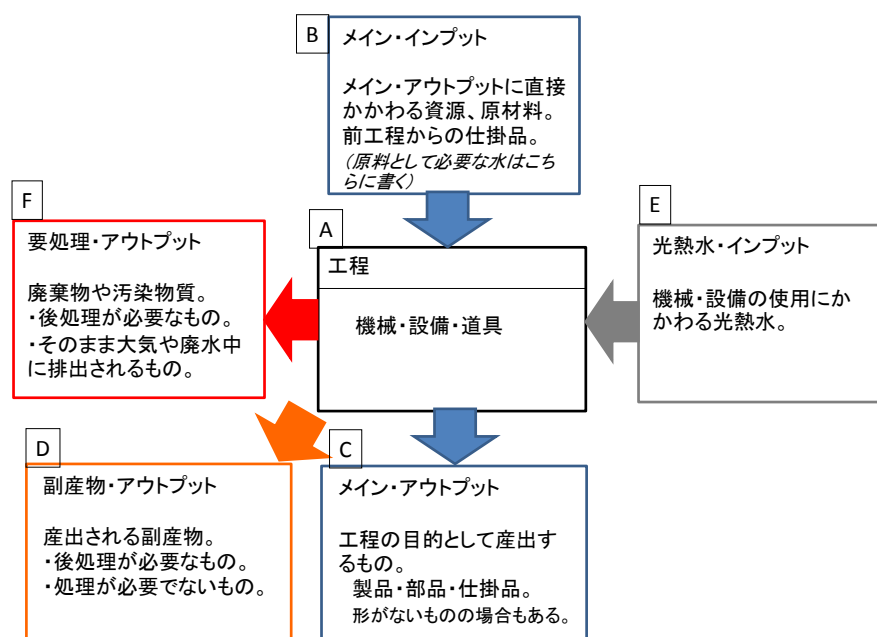


図5－6 マテリアルの分類

第1は、当該工程が目的とする「メイン・アウトプット」であり、図中では C のボックスで示している。製品、部品、仕掛品といったものが当てはまる。ただし、形がないものの場合もある。

第2は、経営資源のうち当該工程で用いる「機械・設備・道具」である。図中では A のボックスに示している。

第3は、メイン・アウトプットに関わり投入される「メイン・インプット」であり、図中では B のボックスに示している。資源、原材料、前工程からの仕掛品といったものが当てはまる。

第4は、当該工程で算出される「副産物」で、図中では D のボックスに示している。副産物には、浄化や加工などの後処理が必要な場合と、そのまま副産物として利用できる場合がある。

第5は、主として機械・設備・道具の利用にかかわる光熱水で、図中では E のボックスに示している。電力、燃料、水といったものが当てはまる。

第6は、廃棄物や汚染物質で「要処理・アウトプット」である。図中では F のボックスに示している。「要処理」という名称をつけているが、そのまま大気や排水中に排出される

ものも含む。

後で示すが、この分類により、環境多元簿記テーブルへの変換が容易になる。また、環境学習シミュレーションにも用いることができる。

3.3 マテリアルの分類に関する検討事項

本研究では、マテリアルを基本的に6つに分ける方法を提示している。ここでは、マテリアルの分類の普遍性に関して検討する。具体的には、「6分類で十分なのか。」および「マテリアルが属するカテゴリーは不変なのか。」という点について、想定されるケースとその論じる。

①カテゴリーの拡張の方法

本研究では、現場で情報を記述しボトムアップに情報収集を行う方法を提案している。そのため、現場で誰でも簡単に使えることが必要であり、記述の際に混乱の余地を最小限にするため、最も単純な分類を設けている。

しかし、実際には追加の分類枠を設けたほうが、よりマテリアルの性質や環境負荷を把握できる場合もある。

まず、インプット側について、例えば、エチレングリコールとテレフタル酸ジメチルから、エステル交換反応によりポリエチレンテレフタレート（PET、ポリエステル）を合成する場合について考えよう。

エステル交換反応には触媒が用いられる。触媒は化学反応をサポートする存在であり、生成物を構成するわけではないが、基本的には図5-6に示した6分類によって「メイン・マテリアル」に分類すればよい。簿記レベルでは「何を使っているか」がわかればよく、「それがどのような役割を果たしているか」という詳細まで知る必要がないためである。

しかし、実際の製造工程においては、化学物質のリスクに関して触媒の変更を検討することが重要になっている。例えば、帝人株式会社では、PET樹脂の触媒に関して「当社では製造時に使用する触媒に、各種規制があり、酸化物が劇物に指定されているアンチモン金属を全く使用しないPET樹脂を積極的に展開しています。」「通常のゲルマニウム触媒を使用したグレードに加え、チタンを触媒に用いたグレードを新しく開発し、好評を得ております。チタンはゲルマニウムのような希少金属ではなく安定調達が図れるほか、歯科材料に用いられるほど衛生的で、使用する量も少ないことなどからアンチモン触媒のPET樹脂に比べて、より安心してご使用いただけます。」と記載している²⁾。この記述にあるように、この反応ではアンチモン、ゲルマニウム、チタンという少なくとも3つの金属触媒の候補があり、リスク面からの変更や調達面や効率面からの検討がなされている。

帝人の例のように、触媒の変更が重要な検討課題となる場合、図5-6の「メイン・マテリアル」以外に、「サブ・マテリアル」の分類枠を設けるという拡張が可能である。それによって、現場では検討課題であることを明確に把握でき、簿記テーブルや交換代数の数

値把握においては、それぞれの量の相違がより明確になる。

アウトプット側についても必要に応じて拡張することができる。図5-6では、「副産物・アウトプット」では、後処理の要不要に関わらず副産物を同じ枠に入れるほう法を、また「要処理・アウトプット」でも、大気や公域水中に排出されるものもこの枠に入れる方法を提示している。これらは先に述べたように無用の混乱を避けるためであるが、2つに分類してもよい。過去の公害対策の事例を示すまでもなく、従来は大気に排出されていた物質でも法規制の変化により汚染防止対策を講じた後に排出されることもある。このような変化を明確に捉えるには「放出・アウトプット」「要処理・アウトプット」と分けてもよい。また、副産物についても、後処理の有無によって分類することが可能である。

ただし、分類枠を増やすことで、分類が複雑になる。従って、下記の図5-6の補足図のように、基本的には6分類で把握し、必要に応じて分類内において階層化する方法を提案する。例えば、上記のPETの例では、まず「メイン・マテリアル」のカテゴリーにエチレングリコール、テレフタル酸ジメチル、および、触媒名を記入し、次に、反応に係るメインの2物質と触媒を整理すればよい。

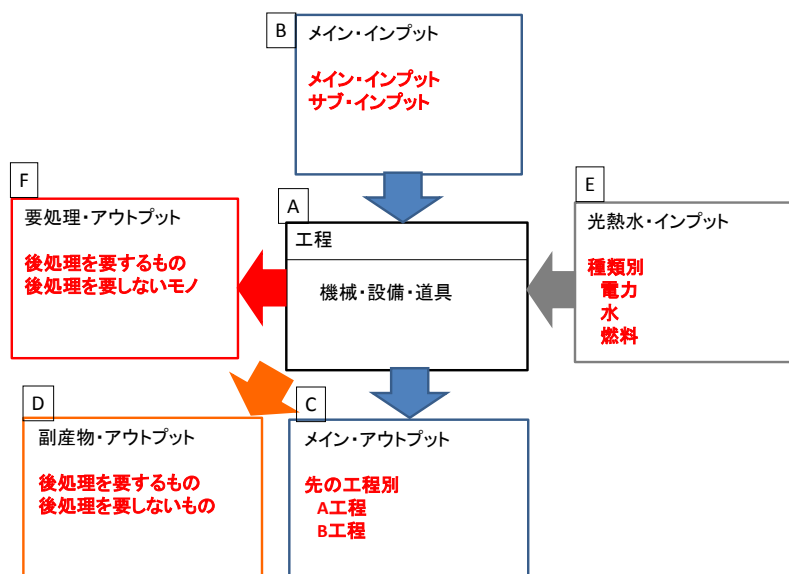


図5-6の補足 マテリアル分類の階層化

②マテリアルのカテゴリーと環境負荷

マテリアルが属するカテゴリーは普遍的なものではない。特にアウトプットにおいて、同一のマテリアルであっても活動主体や工程の相違により、属する分類枠が異なる場合がある。

例えば、卵の殻は、小さな個人経営のレストランでは廃棄物となるが、マヨネーズ工場では回収され副産物となる。副産物としての卵の殻は、卵殻カルシウムとしてお菓子の原料として活用され、卵殻膜は化粧品の原料として、あるいは、衣類に配合されて使用され

ている³⁾。この場合、レストランでは「要処理・アウトプット」になるが、マヨネーズ工場では「副産物・アウトプット」となる。マヨネーズ工場では大量に排出されるため、循環資源として再資源化することに意義がある。レストランにおいても、近くに卵殻の再資源化業者がある場合には、廃棄物から副産物に変更することは可能であるだろう。しかし、一般にはレストランの排出量は工場と比べて少なく、回収・輸送による環境負荷やコストを考えると、副産物としての活用は非効率になってしまう。

また、環境政策への対応により、属するカテゴリーが変化する場合もある。

例えば、食品廃棄物の発生を抑制し、食品循環資源として再資源化と再生利用を促進するために、食品リサイクル法が制定されている。この法律により、年間の食品廃棄物等の発生量 100 トン以上の事業者は、毎年度、食品廃棄物等の発生量、再生利用等の状況を報告することが義務づけられている。また、業種ごとに「再生利用等実施率」の目標値が定められており、目標値は実施状況に応じて改定されている。例えば、食品製造業、食品卸売業、食品小売業、外食産業について、これまでは、85%、70%、45%、40%であったが、平成 27 年に、平成 31 年目標値として、それぞれ、95%、70%、55%、50%と改定されている。

平成 25 年度の再生利用等実施率の実績値は、食品製造業は 95%、食品卸売業は 58%、食品小売業は 45%、外食産業は 25%であった。平成 22 年の実績値は、それぞれ、94%、53%、37%、17%であったので、改善されていることがわかる。

例えば、食品小売の食品スーパーでは、売れ残り、消費期限・賞味期限切れ、傷物といった食品廃棄が多く排出される。食品リサイクルの取り組みの報告義務がある食品スーパー等の企業では、廃棄食品を堆肥化して契約する農場や牧場で用い、再びその生産物を店舗で販売するというリサイクルループに取り組みむようになった。食品リサイクル法において、廃棄物の広域回収を可能にする特例措置が、広域でのリサイクルループを可能にした。リサイクルループは大手企業の広域的取り組みだけではなく、ホテルやレストランによる地域的な取り組みも広がっている。

このように食品リサイクル法の強化を受けて食品廃棄物のリサイクルループを導入する場合、マテリアルのカテゴリーは、食品廃棄物の「要処理・アウトプット」から、「副産物・アウトプット」に変化する。ただし、食品廃棄物が循環資源として「副産物・アウトプット」として扱われる場合でも、輸送や処理といった追加の環境負荷を要する。最も推進すべき事項は発生抑制であるが、現場で廃棄物発生を抑制するための明示的な手法はないのが現状である。環境多元簿記システムは、製造、出荷、販売などの各工程において現場で廃棄物の発生量を捉えることを可能にする手法であるとともに、第 8 章で示すように、現場の環境学習シミュレーションとしても利用できるため、発生抑制の一助となることが期待できる。この点については、第 9 章の最後で改めて述べる。

3.4 環境負荷の二分法

本研究では、「潜在的な環境負荷」という概念を導入し、「潜在的な環境負荷のうち管理するもの」を「環境負荷」と定義している。

本研究では、環境負荷について、直接的・間接的という観点で2つに分ける。

「直接的な潜在的環境負荷」は、「潜在的な環境負荷」と同義で、「当該工程において直接排出されるもの」で、実際に投入・利用、および、産出・排出されるマテリアルが該当する。このうち環境負荷として管理するものを「直接的な環境負荷」あるいは単に「環境負荷」と呼ぶ。

「間接的な環境負荷」とは、「本来、別の工程・場所・組織で負荷が生じるが、『責任量』として算定が求められるもの」と定義する。この場合は、把握・管理が求められているので「環境負荷」として扱うため、「間接的な環境負荷」と呼ぶ。

「間接的な環境負荷」の典型例としては、電力会社から購入した電力による二酸化炭素の排出がある。二酸化炭素は発電所で発生するが、慣例として電力利用に付随する排出として算定が求められている。この値は直接的環境負荷である電力消費量から算定できる。責任量は直接的環境負荷から算定されるものであるため、個々の工程で算定する必要はなく、全工程分を集計後に算定すればよい。なお、ボイラー利用の自家発電の場合は、自社の発電工程で二酸化炭素が発生するので、直接的環境負荷の排出分として算定する。

なお、Braunschweig, et al. (1993)は、企業が直接引き起こした環境負荷を「直接環境負荷」、当該企業の前段階および後段階の企業が引き起こす環境負荷を「間接環境負荷」、エネルギー供給業者や廃棄物処理業者を介して生じる業者の環境負荷を「第1次環境負荷」、エネルギー供給や廃棄物処理により自然環境に対して直接及ぼす環境負荷を「第2次環境負荷」と分類していた⁴⁾。本研究における「間接的な環境負荷」は、Braunschweig, et al. (1993)の「第2次環境負荷」のうち、責任量として算定が求められるものが該当する。

Braunschweig, et al. (1993)の分類は、自然環境への直接・間接という視点、および、取引関係といった複数の事項を含めたものである。また、Braunschweig, et al. (1993)が提示するエコバランスの手法は、サプライチェーンを包括的に記述するものである。そのため、直接・間接という分類の観点は複雑になってしまう。それに対し、本研究では、ボトムアップに環境情報を収集するシステムであるため、各企業、各工程は、当該企業あるいは当該工程に直接的な環境負荷にのみ集中できる。それにより、よりシンプルな環境負荷の情報収集が可能になる。

4. 環境多元簿記テーブル記述の方法

4.1 環境多元簿記の定義

本研究では、多元簿記に、潜在的な環境負荷を記述する多元簿記を組み込んだものを、「環境多元簿記」と定義する。工程に係るすべてのマテリアルとサービスを「潜在的な環境負荷」と定義しているため、環境多元簿記が多元簿記と同一になる場合もある。ただし、通常の経済活動に関する多元簿記テーブルでは、経済価値のない環境負荷やマイナスの価値の環境負荷も含める場合は限定されている。そのような点を考慮して、あらゆる潜在的な環境負荷を記述する方法として「環境多元簿記」と明記している。

4.2 借方・貸方の振分け方法：経済価値に基づかない記述の理由

通常の貨幣単位の簿記テーブルでは、経済価値の増加するものを借方（左側）に、減少するものを貸方（右側）に記載する。しかし、環境負荷については、経済価値と連動させることは合理的ではない。例えば、廃ペットボトルでは再生原料の需給、バージン原料である石油価格により、循環資源としての廃ペットボトルの価格は左右される。通常の財「グッズ」として販売できるケースだけではなく、「バズ」つまり逆有償となり処理費用を支払ってリサイクル業者に引き取ってもらわなければならないケースもある。経済学ではプラスの価値を持つ財をグッズ、マイナスの価値を持つ財をバズと呼ぶが、グッズ、バズの位置づけは普遍的ではないため、環境多元簿記ではこれらの用語を用いない。

本研究では、潜在的な環境負荷としてのマテリアルとサービスについて、経済価値ではなく、物量としての増減で分類して記載する方法を提案する。借方には「当該工程において産出・排出され物量として増加するもの」、貸方には「当該工程において投入・利用され物量として減少するもの」とする。

このような方法により、環境多元簿記テーブルの借方および貸方が、IPO 分析のインプットおよびアウトプットと一致させることができる。そのため、環境多元簿記テーブルおよびその交換代数を用いて、組織の環境パフォーマンス評価や LCA のインベントリー分析を構成することが可能になる。

4.3 簿記の「期間」：メイン・アウトプットの生産単位

各工程では、当該工程のメイン・アウトプットの生産単位を基本として、環境多元簿記テーブルを作成する。活動期間としない理由は、製品の LCA への適用が可能になるからである。組織の環境パフォーマンス評価に用いる場合は、「算定期間に生産単位の活動をどれだけ実施したか」という観点から数値を算出する。現場での把握と情報処理部門での算定という方法とそのメリットについては後述する。

4.4 マテリアルフローから環境多元簿記テーブルの構成方法

環境多元簿記テーブルは、工程のメイン・アウトプットの生産に関する図 5-6 のマテ

リアルフローから、機械・設備・道具および労働によるサービス生産を含めて、図5-7のように構成することができる。

取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位
メイン・アウト プット生産	C:メイン・アウト・プット			B:メイン・イン・プット		
	D:副産物・アウト・プット			A:機械・設備・道具利用 サービス・イン・プット		
	F:要処理・アウト・プット			労働サービス・イン・プット		
取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位
機械・設備・道具 利用サービス 生産	A:機械・設備・道具利用の サービス・アウト・プット			A:機械・設備・道具利用の 減価償却引当時間		
				E:光熱水・イン・プット		
取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位
労働サービス 生産	労働サービス・アウト・プット			労働の担当者・工数・		

図5-7 環境多元簿記テーブル

図5-7で示すように、環境多元簿記テーブルは、「工程のメイン・アウトプットの生産」、「機械・設備・道具のサービス生産」、「労働サービス生産」の3つの表から構成される。出口(2000)・Deguchi(2004)の代数的多元簿記システムに基づく多元簿記の実物テーブルでは、機械・設備・道具の利用を「サービス生産」、労働投入を「労働サービス生産」として扱い、それらのサービス生産の投入は、別テーブルで記載する。本研究の環境多元簿記テーブルにおいても、その記述方法を踏襲している。

「工程のメイン・アウトプットの生産」の簿記テーブルは、以下のように構成する。まず、借方には、工程において物量が増加するものなので、図3-7に示すように、メイン・アウトプット、副産物・アウトプット、要処理・アウトプットの順で記述する。次に、貸方には、工程において物量が減少するものなので、メイン・イン・プットを記入し、図5-7に示すように、機械・設備・道具サービス・イン・プット、労働サービス・イン・プットも加える。

「機械・設備・道具のサービス生産」の簿記テーブルは、借方に機械・設備・道具のサービス・アウト・プット、貸方に機械・設備・道具の減価償却引当時間を記入する。さらに、図5-7に示すように、当該の機械・設備・道具を利用するために要した電力、燃料や水の投入を記入する。通常、電力や水については、インフラによる供給であり、個々の機械や設備に計測機器がついていない限り、個々の利用量は計測されておらず、建物や組織全体の量から当該分を割り当てて算定することが必要になる。

「労働サービス生産」の簿記テーブルは、借方に労働サービス・アウトプット、貸方に労働サービス・インプットを記入する。労働サービス・インプットは、労働の担当者名と工数あるいは時間で表される。なお、本研究は、「環境」に着目するため、特に明記を要する場合を除いて、単純化のために労働サービスのテーブルや交換代数の記述を省略する。

5. 環境多元簿記システムの交換代数

5.1 多元簿記と交換代数

交換代数とは多元簿記を抽象化した代数系で、出口(2000)・Deguchi(2004)が考案し確立したものである。経済活動における会計的取引は複式簿記により金銭的に記述されるが、多元簿記は、金銭的記述の複式簿記を拡張した簿記を指す。

多元簿記における金銭的な簿記の拡張方法には、2つのアプローチがある。第1は、金銭的な記述の背後にある物量記述を含む形で拡張するアプローチである。第2は、金銭的記述を通常の2次元の複式から、時間軸の導入等で多次元に拡張するアプローチである。前者のアプローチには、井尻(1975)の記述方法の研究や Ellerman (1986)の不動産会系の数理化の研究がある。後者のアプローチには、井尻(1984)に始まる三式簿記の研究がある。

出口(2000)・Deguchi(2004)の交換代数とそれを用いた代数的多元簿記システム、および、本研究が提示する環境多元簿記システムは、第1のアプローチの多元簿記である。このアプローチに関する従来の研究には、本研究が対象とするような、あらゆるマテリアルやサービスの実物記述について実現可能な方法は示されていない。

交換代数は、経済主体の取引、製造、消費といったあらゆる行為を交換という概念で捉え、あらゆる交換イベントを記述できるように構成された代数系である。通常の取引、例えば原材料の購入や製品の販売のような経済取引はカネとモノの交換であるが、製造は原材料が製品へと変換されるというタイプの交換である。また、消費は、例えば購入した食品を料理に変換するというようなタイプの交換である。

交換代数は、概念提示の段階から、あらゆる交換を対象とできることを想定されていたが、開発段階では主として会計的取引の複式簿記を対象とし、その抽象化として体系が構築された。会計的取引とは、簿記において資産・負債・資本・費用・収益に増減を生じるような事項に関する取引を指す。出口(2000)・Deguchi(2004)では、まず、簿記のダブルエントリーの記述を特徴づける会計ベクトルの代数系を構成する。次に、負の性質を用いない簿記の性質を特徴づける冗長代数と呼ばれる代数系を構成する。その上に簿記的交換を特徴づける交換関係の公理を満たす体系化により、交換代数の代数系を完成させている。

社会経済の状態や活動の記述方法として、出口(2000)・Deguchi(2004)の交換代数が果たした画期的な役割には、次の2点がある。

第1に、交換代数は、金銭的な勘定体系の抽象化をイメージして構成された代数系であるが、抽象化によって、貨幣単位だけではなく実物単位への拡張を可能にしたことである。

交換代数は会計的簿記の記述で満たすべき「対象を測定するための分類がある粒度で与えられること」「負債のような負のストック概念を扱えること」「ダブルエントリーで交換を記述できること」という3つの条件を満たすように構成された。交換代数の体系化は、これらの3つの条件を満たす抽象化によって、社会経済におけるあらゆる交換イベントについて、状態やその変化を表すデータを、貨幣単位だけではなく実物単位でも表現可能なものとした。本研究では、交換代数のこの特徴を活用している。

第2に、交換代数は、経済活動記述のミクロ・マクロリンクを可能にする理論的方法となることである。交換代数の活用によって、現在は様々な統計データから構成されている国民経済計算のようなマクロ会計は、個々の企業の会計データから構成できる。なお、上述のように交換代数は貨幣単位だけではなく実物単位であらゆる交換イベントを記述するため、環境情報のミクロ・マクロリンクも理論的に可能になる。ただし、その構成のためには、自然環境という主体や自然環境に関する工程の概念の導入や収集方法の検討が必要になる。これらの点については、第9章で改めて述べる。

5.2 交換代数の基底と基本演算

交換代数では、測定の対象となるあらゆる財を代数的な基底で表現する。最も単純な基底の代数的表現は、〈名称, 単位〉というように2項目のベクトル表現で与えられる。例えば、りんごとみかんという財について、〈りんご, 円〉、〈みかん, 円〉、〈りんご, 個〉、〈みかん, 個〉という基底を設定することができる。これにより、例えば、りんご2個は、 $2\langle\text{りんご}, \text{個}\rangle$ 、300円のりんごは $300\langle\text{りんご}, \text{円}\rangle$ というように表す。

様々な基底を用いて取引という交換イベントを表現できる。交換代数のデータ表現は、交換イベントにより増加する場合、つまり会計的には借方の要素を、数値〈基底〉で表し、減少する側つまり貸方の要素を、数値と基底の間に「^ (ハット)」をつけて、数値 $\wedge$ 〈基底〉と表記する。例えば、「りんご2個を300円払って購入する」という交換イベントXは、 $X=2\langle\text{りんご}, \text{個}\rangle+300\wedge\langle\text{りんご}, \text{円}\rangle$ という式で表す。

交換代数では、同じ基底について合計が可能である。例えば「りんご3個を400円で購入」という交換イベントYがあった場合、 $X+Y=3\langle\text{りんご}, \text{個}\rangle+700\wedge\langle\text{りんご}, \text{円}\rangle$ となる。

なお、基底には上位基底を設けることができる。例えば、りんごとみかんは果物に属するので〈果物, 円〉、〈果物, 個〉という上位基底を用いて合計することができる。例えば、上記の交換X、Yに加えて「みかん10個を300円で購入」というイベントが加わる場合、果物全体で、 $Z=10\langle\text{果物}, \text{個}\rangle+1000\wedge\langle\text{果物}, \text{円}\rangle$ ということになる。

多元簿記の交換代数において、交換代数の基底は、〈名前, 単位, 時間, 取引相手〉で表現される。本研究において、マテリアルとサービスを扱う環境多元簿記では、基底は、〈マテリアル／サービスの名称, 単位, 日時, 取引相手〉で構成される。本研究における環境多元簿記では、日時は当該工程の実行日時であり、本研究は理論的研究であるため以

下では第3項を「#」で表す。また、本研究が提示する環境多元簿記は基本的には現場の各工程で記述する方法であるため、他者との経済取引を扱わない。その性質上、第4項も「#」で表す。従って、以下では、環境多元簿記の基底を、＜マテリアル／サービスの名称，単位，#，#＞で表現する。なお、#は任意という意味である。

環境多元簿記の表現では、環境負荷に関する多様な基底が必要になる。環境負荷の基底の設定方法については、以下の第5.6節で述べる。

通常の交換代数と同様に、環境多元簿記の交換代数も「^」の有無により、工程でのマテリアルやサービスの増減を表す。

また、通常の交換代数と同様に、同じ基底は合計できる。

交換代数では、「^」や合計以外の演算も設定されているが、本研究における環境多元簿記は上記の基本要素を用いれば構成できる。

5.3 環境多元簿記テーブルから交換代数への変換

図5-7に示す環境多元簿記テーブルから、交換代数は以下の3つの式で表すことができる。

メイン・アウトプットの生産[工程名]

$$\begin{aligned}
 &= \text{数値} < \text{メイン・アウトプット名, 単位, \#, \#} > \\
 &+ \quad \Sigma \text{ 数値} < \text{副産物・アウトプット名, 単位, \#, \#} > \\
 &+ \quad \Sigma \text{ 数値} < \text{要処理・アウトプット名, 単位, \#, \#} > \\
 &+ \quad \Sigma \text{ 数値}^{\wedge} < \text{メイン・インプット名, 単位, \#, \#} > \\
 &+ \text{数値}^{\wedge} < \text{機械設備道具サービス・インプット名, 単位, \#, \#} > \\
 &+ \text{数値}^{\wedge} < \text{労働サービス・インプット名, 単位, \#, \#} >
 \end{aligned} \tag{1}$$

機械設備道具のサービス生産[工程名]

$$\begin{aligned}
 &= \text{数値} < \text{機械設備道具サービス・アウトプット名, 単位, \#, \#} > \\
 &+ \text{数値}^{\wedge} < \text{機械設備道具利用の減価償却引当時間, 単位, \#, \#} > \\
 &+ \quad \Sigma \text{ 数値}^{\wedge} < \text{光熱水・インプット名, 単位, \#, \#} >
 \end{aligned} \tag{2}$$

労働サービス生産[工程名]

$$\begin{aligned}
 &= \text{数値} < \text{労働サービス・アウトプット名, 単位, \#, \#} > \\
 &+ \quad \Sigma \text{ 数値}^{\wedge} < \text{労働者名, 単位, \#, \#} >
 \end{aligned} \tag{3}$$

5.4 潜在的な環境負荷の交換代数の定義

潜在的な環境負荷の交換代数を、(1)式への(2)式および(3)式の導入により、次ページの(4)式で表すものと定義する。この定義による交換代数は、マテリアルフロー図の6つのカテゴリーのすべてを含んでおり、潜在的な環境負荷の定義と一致する。

潜在的な環境負荷[工程名]

$$\begin{aligned} &= \text{数値} < \text{メイン・アウトプット名, 単位, \#} > \\ &+ \Sigma \text{数値} < \text{副産物・アウトプット名, 単位, \#} > \\ &+ \Sigma \text{数値} < \text{要処理・アウトプット名, 単位, \#} > \\ &+ \Sigma \text{数値}^{\wedge} < \text{メイン・インプット名, 単位, \#} > \\ &+ \text{数値}^{\wedge} < \text{機械設備道具利用の減価償却引当時間, 単位, \#} > \\ &+ \Sigma \text{数値}^{\wedge} < \text{光熱水・インプット名, 単位, \#} > \\ &+ \Sigma \text{数値}^{\wedge} < \text{労働者名, 単位, \#} > \end{aligned} \quad (4)$$

(1)式の機械・設備・道具を利用するサービス項目に(2)式を代入することにより、機械・設備・道具の利用に要する光熱水、および、機械・設備・道具の減価償却引当時間も含めることができ、潜在的な環境負荷の定義と一致する。なお、時間単位で表される後者を含める意味は、機械等の稼働効率がその光熱水使用に影響を及ぼすためである。

同様に、(1)式の労働サービス項目に(3)式を代入する理由は、製造や作業の担当者により、作業に要する時間や、加工での廃棄物の発生量といった事項は変化するからである。つまり、労働サービスによるケイパビリティの環境的側面も、潜在的な環境負荷として捉えることができる。

既存の環境負荷評価手法である組織の環境影響評価や製品のLCAでは、労働サービスに関する環境負荷は含まれない。しかし、本研究の方法では労働サービスを含めることができる。それにより、同じ工程においても、熟練工と未熟工との相違、管理者の存在下と不在時の相違といったケイパビリティの相違に関する環境負荷の比較が可能になる。

5.5 潜在的な環境負荷の交換代数の定義：労働サービスを除外する場合

上述のように、潜在的な環境負荷の交換代数として、労働サービスによる環境的側面も含めることができる。ただし、環境負荷評価において、労働サービスによる相違が常に必要となるわけではない。そこで、労働サービスを含まない潜在的な環境負荷の交換代数を、(1)式への(2)式の導入、かつ、(1)式から労働サービス・インプットの削除により、次ページの(5)式で表すものと定義する。

潜在的な環境負荷[工程名]

$$\begin{aligned} &= \text{数値} < \text{メイン・アウトプット名, 単位, \#, \#} > \\ &+ \Sigma \text{数値} < \text{副産物・アウトプット名, 単位, \#, \#} > \\ &+ \Sigma \text{数値} < \text{要処理・アウトプット名, 単位, \#, \#} > \\ &+ \Sigma \text{数値}^{\wedge} < \text{メイン・インプット名, 単位, \#, \#} > \\ &+ \text{数値}^{\wedge} < \text{機械設備道具利用の減価償却引当時間, 単位, \#, \#} > \\ &+ \Sigma \text{数値}^{\wedge} < \text{光熱水・インプット名, 単位, \#, \#} > \end{aligned} \quad (5)$$

本論文の以下では、特に断らない限り、潜在的な環境負荷の交換代数として、(5)式の定義を用いる。その理由は、本研究は環境多元簿記システムの第一段階として方法の提示を目的としており、労働サービスによる環境的側面の議論を主目的として含めていないからである。

5.6 環境多元簿記システムの交換代数の基底の設定方法

環境多元簿記システムでは、1つの工程でマテリアル・フロー図、環境多元簿記テーブル、環境多元簿記の交換代数を作成する。社会全体ではマテリアルの種類は膨大な数で存在するが、1つの小さな工程に関係するマテリアルは限定される。そのため、1つの工程マテリアルを洗い出す場合、マテリアル・フロー図や環境多元簿記テーブルの作成においては、工程が判別可能な名称であっても問題は生じない。

しかし、交換代数の作成においては、マテリアルの種類や名称が問題となる。企業内の全工程やサプライチェーンの全工程の統合は、交換代数によるデータ構築がベースとなる。従って、マテリアルについて、交換代数の基底の設定方法を共通化しておく必要がある。これは今後の研究課題の1つであり、ここでは、化学物質、鉱物・エネルギー資源、および、廃棄物について方向性を提案する。

①化学物質

国際的な国際純正・応用化学連合 (International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC) は、元素と化合物の命名法を公表しており、IUPAC 命名法として国際的に用いられている。日本化学会が、IUPAC 命名法に準拠した日本語の化合物命名法を公表している。また、アメリカ化学会が、Chemical Abstract に記載される化合物を登録して CAS 番号を公表している。日本の化学物質審査規制法 (化審法) や化学物質排出把握管理促進法規制 (化管法) といった化学物質の登録や報告を求める制度において、IUPAC 命名法に基づく名称や参考として CAS 番号が示されている。

有機化合物については、国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST) が有機化合物辞書データベース「日本化学物質辞書 (日化辞)」を作成し、Web公開されている⁵⁾。このデータベースでは、化合物について、物質タイプ、分子式、分子量、CAS登録番号、化審法や労

働安全衛生法で定められた法規制番号、欧州や米国、国連の該当する法制度で定められた番号、IUPAC命名法に準拠した体系名、慣用名などの情報が掲載されている。

同様に、独立行政法人製品技術基盤機構では、「化学物質総合情報提供システム(CHRIP)」をWeb公開している⁶⁾。このシステムにより、化学物質の番号や名称から、有害性情報、法規制情報などを検索できる。

化学物質の交換代数の基底については、IUPAC 命名法を基に、すでに存在するデータベース情報とリンクさせ、作成することできる。ただし、化合物の名称としては、慣用名がある場合も多く、それらについても既存のデータベースを参照することが必要である。

化学組成が一定の汚染物質についても、基本的には化合物命名法に基づく方法で記述が可能である。混合物に関しては、配分が多い組成の物質を記載し、配分が不明の場合には「混合物」として記載しておく方法が採用できると考えられる。

② 鉱物資源・エネルギー資源

IUPACと同様に、国際鉱物学連合(International Mineralogical Association、IMA)は、鉱物リストを公表している⁷⁾。

エネルギー資源については、化石燃料、核燃料、再生可能エネルギーに大別され、それぞれの分類もされている。化学物質の分類とは粒度が異なるが、すでに知られている分類で分けることができる。

③ 廃棄物・循環資源

日本では、廃棄物処理法において、廃棄物のうち、事業活動に伴って生じ、質・量の面で処理が難しいものを産業廃棄物と定義し、20 種類が指定され、それぞれの小分類も示されている。公益財団法人日本産業廃棄物処理振興センターでは、廃棄物処理法に基づく電子マニフェストシステムを提供し、20 種類の産業廃棄物、20 種類以外の廃棄物、特別管理廃棄物の分類マスタを提示している。このような既存の分類を用いて、交換代数の基底とすることができる。

6. 組織における全工程の統合の方法

6.1 各工程から全体工程の把握

本研究の方法は、現場で工程の潜在的環境負荷を捉え、ボトムアップに全体工程を構成するものである。最初の工程で産出するメイン・アウトプットは、次工程ではメイン・インプットとなる。従って、工程の順序にもとづいて、メイン・インプットとメイン・アウトプットを連結させることで、ボトムアップに全体工程を構成することができる。

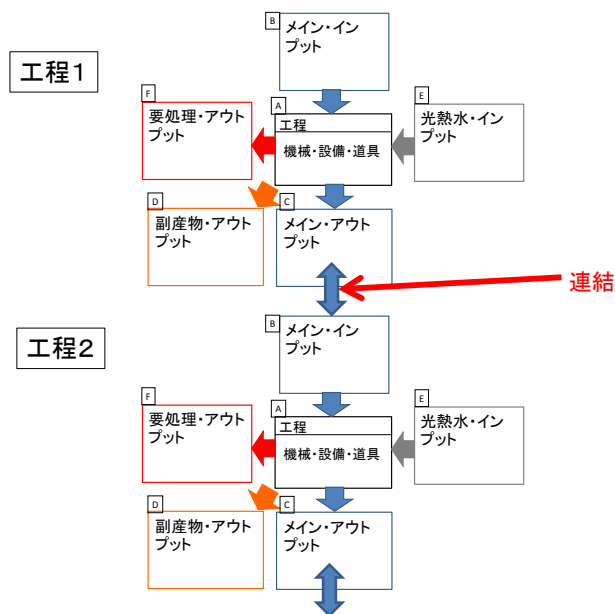


図5－8 工程間の連結

6.2 マテリアルフロー量のバックキャスティング設定

各工程では、各工程の生産単位を基本として環境多元簿記を記述する。全体工程の構成においては、当該工程のメイン・アウトプットと次工程のメイン・インプットのマテリアルの量は、一致させる必要がある。

しかし、その量を最初に決める必要はなく、本研究では、全体を構成する情報処理の段階で行うことを提案する。情報処理の段階で、次ページの図5－9に示すようにバックキャスティングでメイン・インプット、メイン・アウトプットの量を算定し、全体を構成する。

通常、単に数量を調整することを「バックキャスティング」とは呼ばない。最終段階の望ましい目標値を設定しておき、それに前段階を調整することを指す。出口(2000)・Deguchi(2004)が開発した代数的多元簿記システムの特長は、工程に関する実物データの実績値を把握できるだけではなく、計画段階における予測値の把握、および実績との変化の把握など、多様な使い方ができることである。代数的多元簿記システムをベースとする環

境多元簿記システムにおいても、これらの特長を持ちうる。従って、環境経営の実施において、あるいは、製品の環境配慮設計において、望ましい目標を設定し、それを踏まえて計画を作成することにも活用できると考えられる。その意味で、バックキャスティングという用語を用いている。

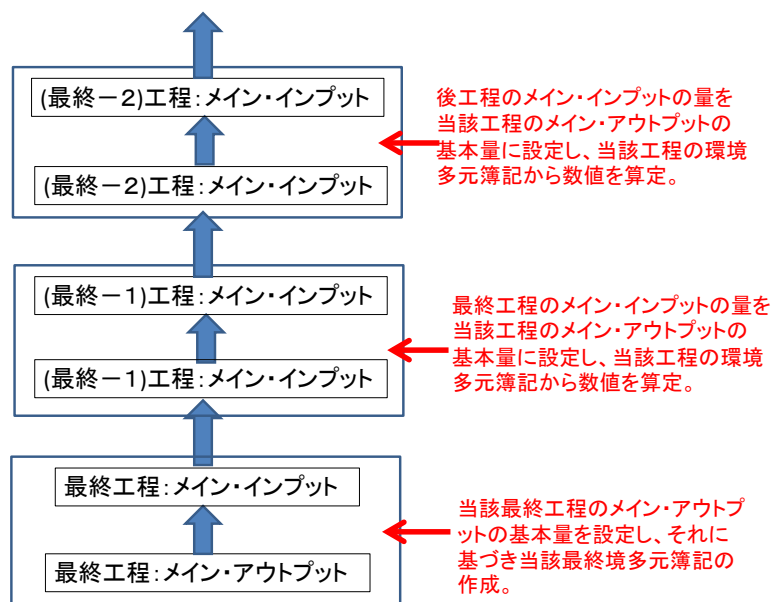


図5-9 バックキャスティングによるボトムアップ型全体構成

7. 全工程の潜在的な環境負荷の算定方法

7.1 潜在的な環境負荷の合計

各工程の環境多元簿記では、潜在的な環境負荷の交換代数は、先の(4)式または(5)式で表される。全工程での潜在的な環境負荷を合計すれば、全体の潜在的な環境負荷の合計が算出できる。交換代数は、ハットなしの数値はプラスの値を、ハットつきの数値はマイナスの値を示しており、同じ基底の数値は加減演算ができる。この演算規則を、潜在的な環境負荷についての計算でも適用する。

従って、潜在的な環境負荷の合計では、潜在的な環境負荷の種類とその合計量を表すことができる。なお、ここで算定される潜在的な環境負荷の合計は、各工程で直接的に投入・排出されるものの合計であるので、直接的な潜在的環境負荷の合計である。

7.2 間接的な環境負荷の算定

潜在的な環境負荷のうち、それと関連のあるため責任量として算定すべき間接的な環境負荷の排出量について、当該の基底の合計量、および、排出係数から、計算できる。当然

ながら、各工程のデータから各工程の責任量も計算できる。

本研究では、ここでも、「現場の工程では直接かかわる環境負荷を把握・管理し、計算上でできることは情報処理部門で行う。」という補完性原則に基づき、実行することを提案する。

8. 環境多元簿記システムの特徴と情報システム設計の課題

8.1 既存の環境負荷評価手法との相違

組織や事業活動の環境パフォーマンス評価や製品の LCA では、最初に全工程のフローとマテリアルフローを把握し、個々の工程の把握へと移るトップダウン型である。それに対して、本研究の方法は、図 5－9 に示したように、各工程で、当該工程について把握をして、情報処理段階で、最終段階のメイン・アウトプットの基本量、および、工程の順序から、マテリアル量を算定し、全体像を積み上げるボトムアップ型である。

本研究の方法は、図 5－10 に示すように、「現場の工程で正確にできることは現場で。計算上で処理可能なことは情報処理部門で。」という役割分担を意味している。このような言わば補完性原則に基づき環境負荷を把握することは、既存の環境負荷評価手法における課題を解決する方法となりうる。つまり、実施者が全体像を作成し各工程でデータを収集する困難さを回避し、正確な情報の収集や提供が可能になる。

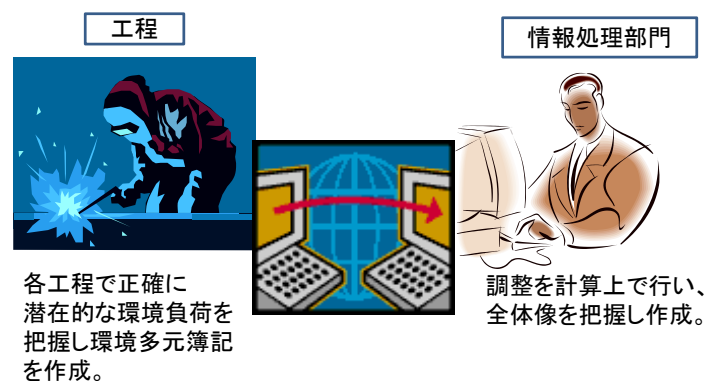


図 5－10 工程と情報処理の補完性原則

また、「1つの工程について環境パフォーマンス評価や LCA を行う場合には、本研究の方法と同じではないか」という疑問が湧くだろう。本研究の方法は、多元簿記システムをベースにしており、ダブルエントリーの実物簿記テーブルと交換代数での計算を活用するものである。ダブルエントリーの簿記テーブルは IPO 分析に変換でき、交換代数の計算体系をシステム化することで、1つの工程の記述を積み上げて全体工程の潜在的環境負荷を算出できる。さらに、本章では、製造工程のイメージで記述したが、環境学習シミュレー

ションに活用することで、非製造工程や日常の行動まで幅広い工程を捉えることが可能になる。現在、環境パフォーマンス評価や LCA は環境保全に取り組む企業でのみ使われているが、環境学習シミュレーションと組み合わせることによって、本研究の方法を中小企業や店舗などで活用できる。

8.2 情報システムの設計の課題

ここでは、本研究が提示する環境多元簿記システムのために必要な情報システムの概要を述べる。情報システムの具体的な設計については、今後の研究課題の一つである。

①マテリアルフローのボード

第1に、図5-6で提示したマテリアルフロー図のボードをつくり、各工程で記入できるようなシステムが必要である。

②マテリアルフロー図から交換代数の基底の作成

第2に、図5-11に示すように、マテリアルフロー図を作成すると、交換代数の基底が自動作成されるシステムをつくる必要がある。

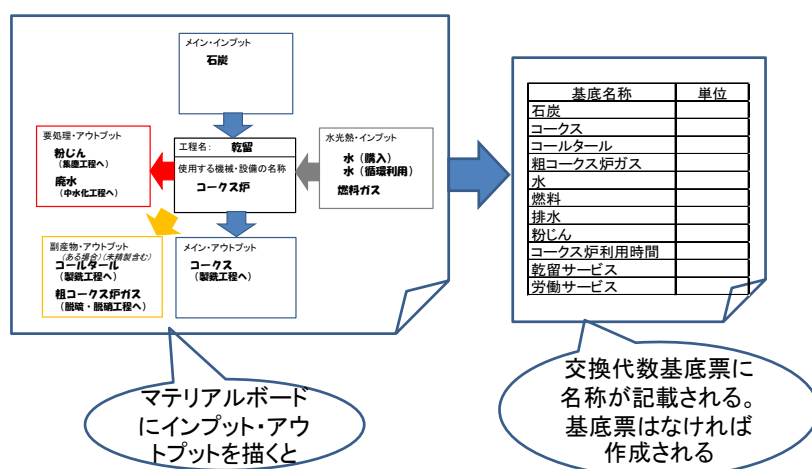


図5-11 マテリアルフローと交換代数の基底票のリンク

③マテリアルフローから環境多元簿記の基本テーブルの作成

第3に、図5-12に示すように、マテリアルフロー図の作成により、図5-7に示した方法により、環境多元簿記の基本テーブルが作成されるシステムが必要である。

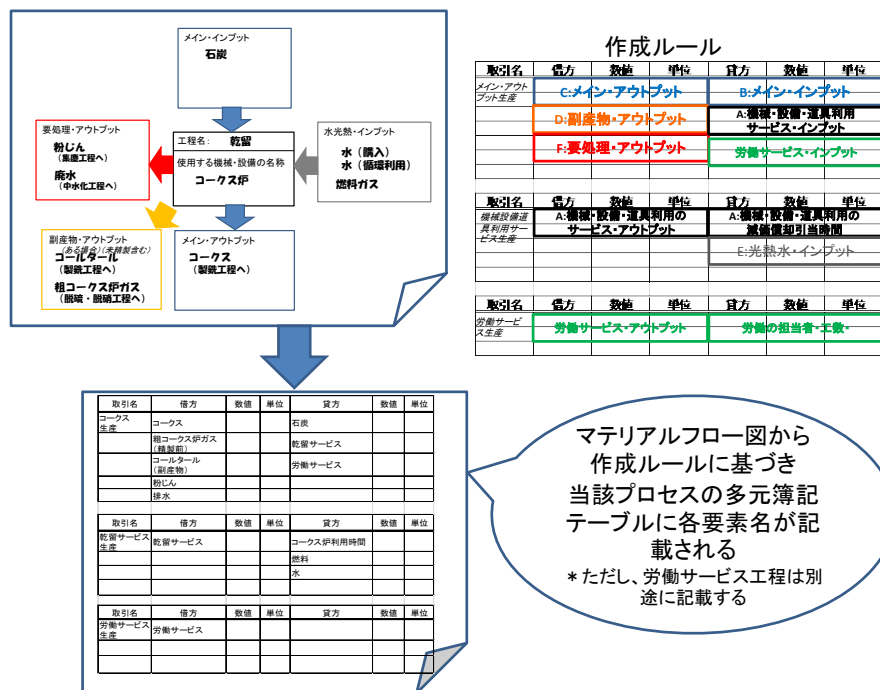


図5-12 マテリアルフロー図と環境多元簿記の基本テーブル

④交換代数の基底と環境多元簿記テーブルの単位設定

第4は、図5-13に示すように、交換代数の基底票で各マテリアルとサービスの単位を設定し、環境多元簿記テーブルに反映されるシステムである。

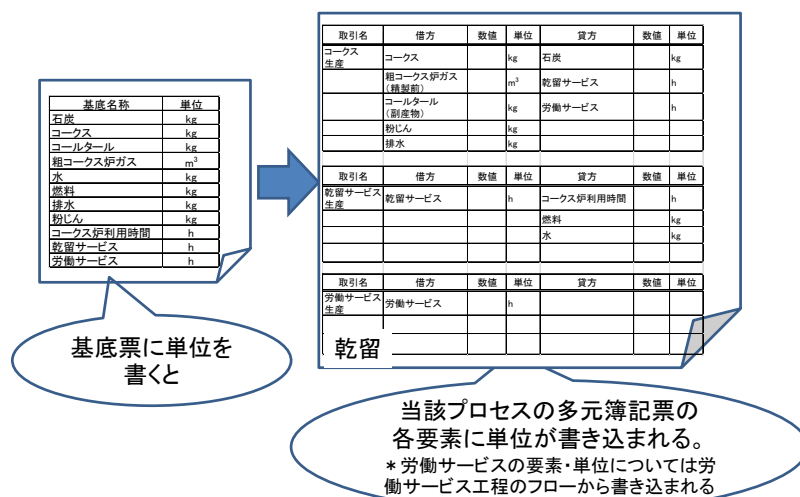


図5-13 交換代数の基底票と環境多元簿記テーブルのリンク

⑤環境多元簿記テーブルから交換代数の作成

第5は、図5-14に示すように、環境多元簿記テーブルに数値を工程で記入すると、交換代数が作成され、本研究で定義された潜在的な環境負荷の交換代数が導かれるシステムである。

各工程で行う

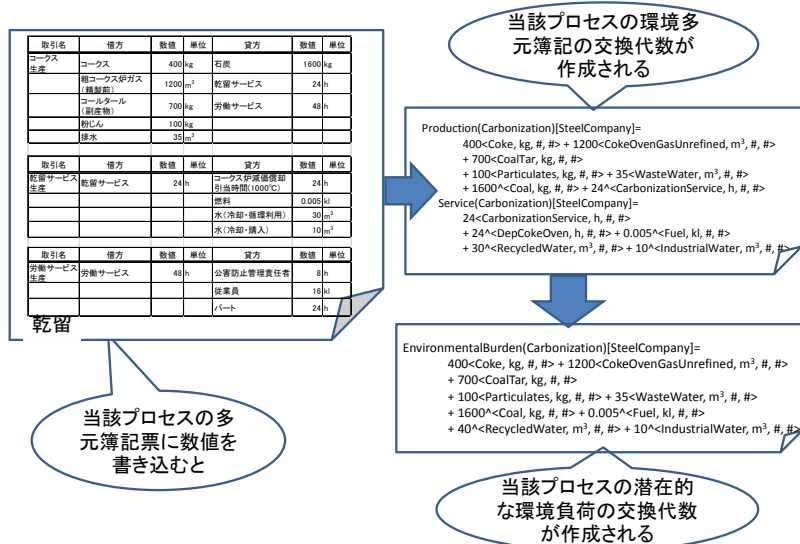


図5-14 環境多元簿記テーブルと交換代数のリンク

⑥全工程の連結

第6は、図5-15のように、全工程を連結するシステムである。なお、先に述べたように、バックキャスティングにより集計する単位を調整し、各工程の潜在的な環境負荷を合計する。

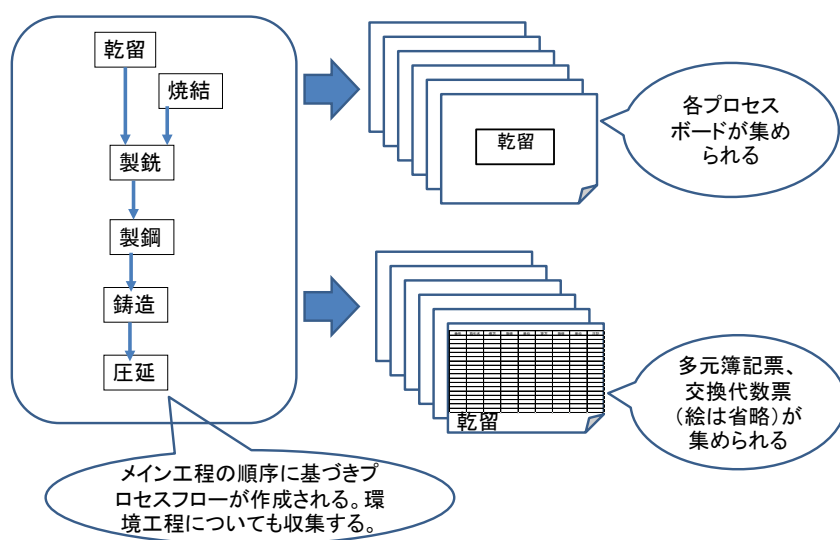


図5-15 全工程の連結

注

- 1) 工程のシステム概念の説明は、Arnold (1997)、 邦訳(2001)pp.352-354 に基づく。
- 2) 帝人株式会社の樹脂情報における「PET 樹脂」に関する記載は下記の URL を参照。
<http://www.teijin.co.jp/products/resin/products/pet/>
最終アクセス日：2016 年 2 月 4 日
- 3) 卵殻の活用については、例えば、キューピー株式会社の環境活動の「タマゴの有効活用」を参照。
<http://www.kewpie.co.jp/company/activity/eco/02/>
最終アクセス日：2016 年 2 月 4 日
- 4) Braunschweig, et al. (1993) 邦訳、ブラウンシュバイク他(1996) pp. 19-21。
- 5) 日本化学物質辞書 Web は、以下の URL である。
http://nikkajweb.jst.go.jp/nikkaji_web/pages/top.jsp?MENU=about
最終アクセス日：2015 年 12 月 20 日
- 6) 独立行政法人製品技術基盤機構の「化学物質総合情報提供システム (CHRIP)」は、以下の URL である。
<http://www.safe.nite.go.jp/japan/db.html>
最終アクセス日：2015 年 12 月 20 日
- 7) IMA の鉱物リストに関する情報は、下記の URL に記されている。
<http://www.ima-mineralogy.org/Minlist.htm>
最終アクセス日：2015 年 12 月 20 日

第6章 環境多元簿記システムの作成と応用：鋼製造企業

本章の概要

前章では、代数的多元簿記システムを基本として、工程とマテリアルを分類し、潜在的な環境負荷の交換代数の定義を与え、マテリアル・フロー図から潜在的な環境負荷の交換代数を構成する段階的方法を提示した。本章では、鋼の生産を例に上げ、環境多元簿記システムにおけるマテリアル・フローから潜在的な環境負荷を作成する。さらに、鋼の製造例を踏まえて、シナリオ変更と不具合発生時の応用方法を提示する。最後に、環境多元簿記システムに基づく MFCA 的環境コストという概念を導入し、環境多元簿記の応用による環境経営の実践へ活用する方法を示す。なお、参照した主な資料を章末に示す。

1. 鋼の製造工程

1.1 鋼の製造と環境対策に関する情報収集

鋼の製造に関する工程やマテリアルについては、新日鉄住金、JFE スチール、関西熱化学といった企業の HP、および、業界誌の情報から集めた。マテリアルの量については、メインのインプットとアウトプットおよび副産物については、集めた資料を参考に適当と思われる値を記した。化学反応を含む工程におけるマテリアルの量については、反応式から計算した。機械・設備について、温度設定は資料から記載したが、稼働時間や電力量については不明であったため、適当と思われる数値を記載した。

環境対策の工程については、環境省の資料、環境汚染防止装置製造企業の HP の情報をもとに記述した。環境対策工程におけるインプットやアウトプットのマテリアルについては量が不明な場合は、適当と思われる数値を入れた。化学反応については上記のとおりである。

既存の LCA データベースを用いると、これらの値は、より正確に記述できる。しかし、本章では、前章で示した環境多元簿記システムの概念と方法に基づき、具体的な工程についてマテリアル・フロー、環境多元簿記テーブル、交換代数に、仮の数値を入れながら、構成できることを示すことが目的である。そのため、ここでは数値の正確さは重視していない。むしろ、本研究の方法を確立後、企業の協力により工程のデータを得て、環境多元簿記システムを構築する。この点は今後の研究課題に残されている。

1.2 鋼の生産のメイン工程と環境対策工程

図6-1に、鋼の生産について、メイン工程と環境対策工程の概要を示す。

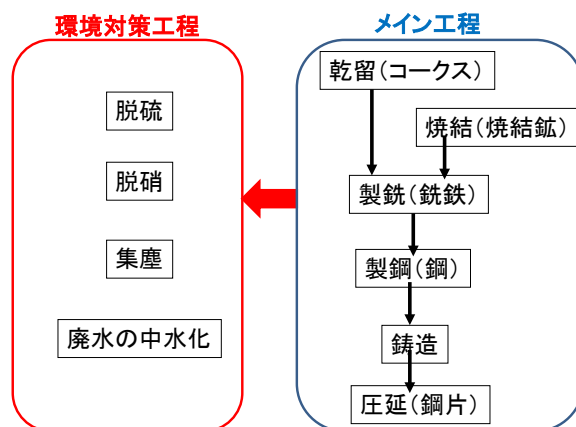


図6-1 鋼製造のメイン工程と環境対策工程

以下では、製鋼の段階までを作成し、合計の際にもその工程までの数値を用いる。

2. 乾留工程

2.1 マテリアル・フロー

図6-2に、乾留工程に関するマテリアル・フローを示す。乾留は、コークス炉で、石炭からコークスを精製する過程である。投入される原材料は石炭で、コークスが生産される以外に、コールタールと粗コークス炉ガスが副産物として産出されるが、後者は脱硫・脱硝の処理が必要である。それらの環境対策工程については別工程として記述する。図6-3は、環境対策に係る説明を除いて、乾留工程を図5-6のマテリアルの分類に基づきボックスを用いて表したものである。

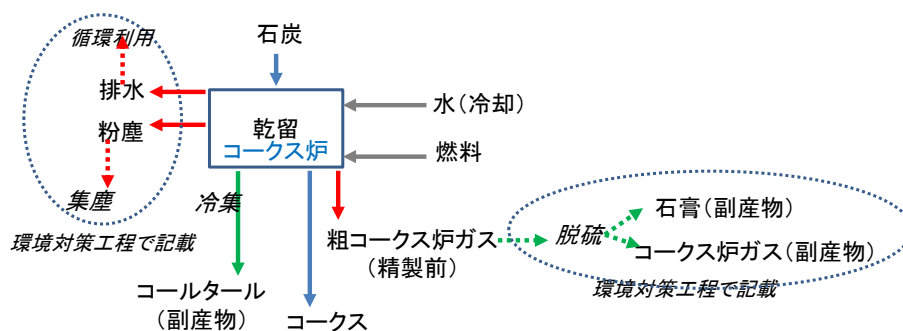


図6-2 乾留工程のマテリアルのフロー

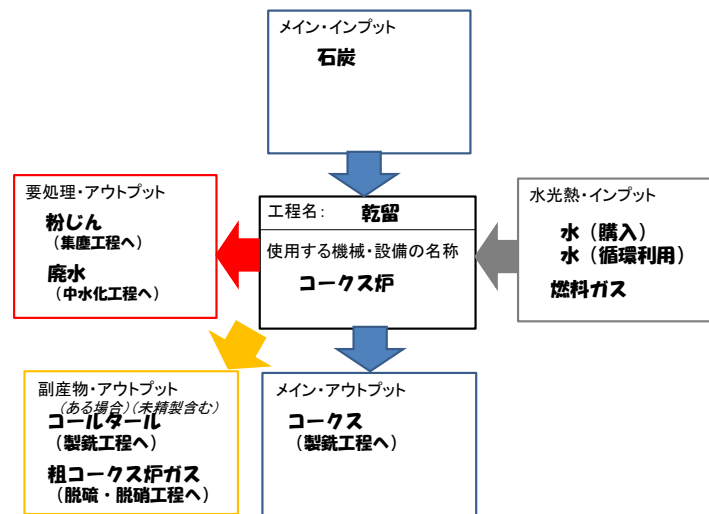


図 6－3 乾留工程のマテリアルのフロー：マテリアル分類

2.2 交換代数の基底

乾留工程について、交換代数の基底を表 6－1 に示す。なお、ここでは労働サービスは省略する。

表 6－1 乾留工程の交換代数基底

名称	交換代数の基底
石炭	<Coal, kg, #, #>
コークス	<Coke, kg, #, #>
粗コークス炉ガス	<CokeOvenGasUnrefined, m ³ , #, #>
コールタール	<CoalTar, kg, #, #>
乾留サービス	<CarbonizationService, h, #, #>
コークス炉減価償却引当時間	<DepCokeOven, h, #, #>
水(工業用水購入)	<IndustrialWater, m ³ , #, #>
水(循環利用)	<RecycledWater, m ³ , #, #>
燃料ガス	<Fuel, kl, #, #>
廃水	<WasteWater, m ³ , #, #>
粉じん	<Particulates, kg, #, #>

2.3 環境多元簿記テーブル

乾留工程の環境多元簿記テーブルを表 6－2 に示す。

表 6－2 乾留工程の環境多元簿記テーブル

取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位
コークス 生産	コークス	400	kg	石炭	1600	kg
	粗コークス炉ガス (精製前)	1200	m ³	乾留サービス	24	h
	コールタール (副産物)	700	kg			
	粉じん	100	kg			
	排水	35	m ³			
取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位
乾留サービス 生産	乾留サービス	24	h	コークス炉減価償却 引当時間(1000℃)	24	h
				燃料	0.005	kl
				水(冷却・循環利用)	30	m ³
				水(冷却・購入)	10	m ³

表 6－2 において、石炭の投入量、コールタールや粗コークス炉ガスの排出量、コークス炉ガスの温度と使用時間については、製鉄企業 JFE スチール、新日鉄住金、関西鉄化学の資料等を参照し記載したが、他は架空で記載している。

2.4 環境多元簿記の交換代数

表 6－2 の環境多元簿記の交換代数は、(1)式および(2)式で表される。

Production(Carbonization)[SteelCompany]=

$$\begin{aligned}
 & 400<\text{Coke, kg, \#, \#}> \\
 & + 1200<\text{CokeOvenGasUnrefined, m}^3, \#, \#> \\
 & + 700<\text{CoalTar, kg, \#, \#}> \\
 & + 100<\text{Particulates, kg, \#, \#}> \\
 & + 35<\text{WasteWater, m}^3, \#, \#> \\
 & + 1600^{\wedge}<\text{Coal, kg, \#, \#}> \\
 & + 24^{\wedge}<\text{CarbonizationService, h, \#, \#}> \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\text{Service(Carbonization)[SteelCompany]}= \\
&\quad 24<\text{CarbonizationService, h, \#, \#}> \\
&\quad + 24^<\text{DepCokeOven, h, \#, \#}> \\
&\quad + 0.005^<\text{Fuel, kl, \#, \#}> \\
&\quad + 30^<\text{RecycledWater, m}^3, \#, \#> \\
&\quad + 10^<\text{IndustrialWater, m}^3, \#, \#> \quad (2)
\end{aligned}$$

2.5 潜在的な環境負荷の交換代数

前章での定義により、労働サービスを含めない場合の潜在的な環境負荷の交換代数は、メインの生産関数におけるサービスの交換代数に、サービス生産関数を代入することで表現される。乾留工程については、式(3)となる。

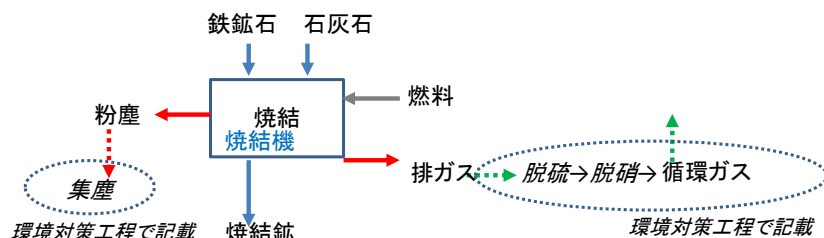
$$\begin{aligned}
&\text{EnvironmentalBurden(Carbonization)[SteelCompany]}= \\
&\quad 400<\text{Coke, kg, \#, \#}> \\
&\quad + 1200<\text{CokeOvenGasUnrefined, m}^3, \#, \#> \\
&\quad + 700<\text{CoalTar, kg, \#, \#}> \\
&\quad + 100<\text{Particulates, kg, \#, \#}> \\
&\quad + 35<\text{WasteWater, m}^3, \#, \#> \\
&\quad + 1600^<\text{Coal, kg, \#, \#}> \\
&\quad + 24^<\text{DepCokeOven, h, \#, \#}> \\
&\quad + 0.005^<\text{Fuel, kl, \#, \#}> \\
&\quad + 30^<\text{RecycledWater, m}^3, \#, \#> \\
&\quad + 10^<\text{IndustrialWater, m}^3, \#, \#> \quad (3)
\end{aligned}$$

3. 乾留工程以降のメイン工程

焼結工程、銑鉄工程、製鋼工程についても、乾留工程と同様に前章で示した環境多元簿記システムを段階に構成する方法に基づき、作成することができる。以下では、説明は省略する。なお、鑄造工程、圧延工程については、省略する。上述のように、本章では、全体を正確に記載することが目的ではなく、段階的に環境多元簿記システムが記述できることを示すことが目的とするためである。

3.1 焼結工程

①マテリアル・フロー



②交換代数の基底

焼結鉱 <SinteredOre, kg, #, #>

鉄鉱石 <IronOre, kg, #, #>

石灰石 <Limestone, kg, #, #>

粉じん <Particulates, kg, #, #>

排ガス <ExhaustedGas, m³, #, #>

燃料 <Fuel, kl, #, #>

焼結サービス <SinteringService, h, #, #>

焼結機減価償却引当時間 <DepMachineSintering, h, #, #>

③環境多元簿記テーブル

取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位
焼結鉱生産	焼結鉱	1300	kg	鉄鉱石	1600	kg
	排ガス	1000	m ³	石灰石	100	kg
	粉じん	100	kg	焼結サービス	10	h
取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位
焼結サービス生産	焼結サービス	10	h	焼結機減価償却引当時間(1200℃)	10	h
				燃料	0.005	kl

④環境多元簿記の交換代数

Production(Sintering)[SteelCompany]=

1300<SinteredOre, kg, #, #> + 1000<ExhaustedGas, m³, #, #>
 + 100<Particulates, kg, #, #>
 + 1600<IronOre, kg, #, #> + 100<Limestone, kg, #, #>
 + 10<SinteringService, h, #, #>

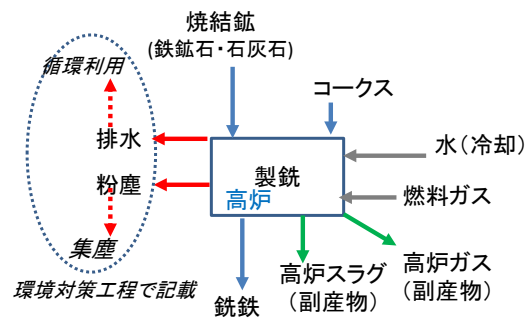
Service(Sintering)[SteelCompany]=
 10<SinteringService, h, #, #>
 + 10^< DepMachineSintering, h, #, #> + 0.005^<Fuel, kl, #, #>

⑤潜在的な環境負荷の交換代数

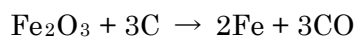
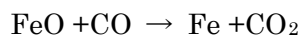
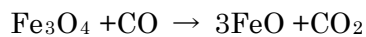
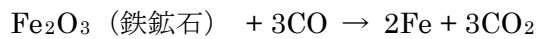
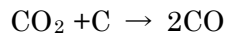
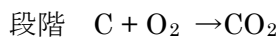
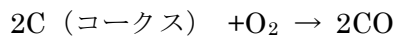
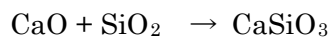
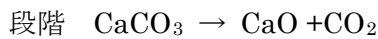
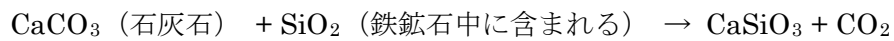
EnvironmentalBurden(Sintering)[SteelCompany]=
 1300<SinteredOre, kg, #, #> + 1000<ExhaustedGas, m³, #, #>
 + 100<Particulates, kg, #, #>
 + 1600^<IronOre, kg, #, #> + 100^<Limestone, kg, #, #>
 + 0.005^<Fuel, kl, #, #>

3.2 製鉄工程

①マテリアルのフロー



②原理の概要



③交換代数の基底

鉄鉄 <PigIron, kg, #, #>

焼結鉱 <SinteredOre, kg, #, #>

コークス <Coke, kg, #, #>
 粉じん <Particulates, kg, #, #>
 高炉ガス <BlastFurnaceGas, m³, #, #>
 高炉スラグ <BlastFurnaceSlag, m³, #, #>
 燃料 <Fuel, kl, #, #>
 水（循環利用） <RecycledWater, m³, #, #>
 水（購入） <IndustrialWater, m³, #, #>
 排水 <WasteWater, m³, #, #>
 高炉サービス <BlastFurnaceService, h, #, #>
 高炉減価償却引当時間 <DepBlastFurnace, h, #, #>

④環境多元簿記テーブル

取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位
銑鉄生産	銑鉄	1100	kg	焼結鉱	1300	kg
	高炉ガス(副産物)	2000	m ³	コークス	400	kg
	高炉スラグ(副産物)	300	kg	高炉サービス	24	h
	粉じん	50	kg			
	排水	45	m ³			
取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位
高炉サービス生産	高炉サービス	24	h	高炉減価償却引当時間(2000℃)	24	h
				燃料	0.005	kl
				水(冷却・循環利用)	40	m ³
				水(冷却・購入)	10	m ³

⑤環境多元簿記の交換代数

Production(BlastFurnace)[SteelCompany]=

1100<PigIron, kg, #, #> + 2000<BlastFurnaceGas, m³, #, #>
 + 300<BlastFurnaceSlag, m³, #, #>
 + 50<Particulates, kg, #, #> + 45<WasteWater, m³, #, #>
 + 1300<SinteredOre, kg, #, #> + 400<Coke, kg, #, #>
 + 24<BlastFurnaceService, h, #, #>

Service(BlastFurnace)[SteelCompany]=

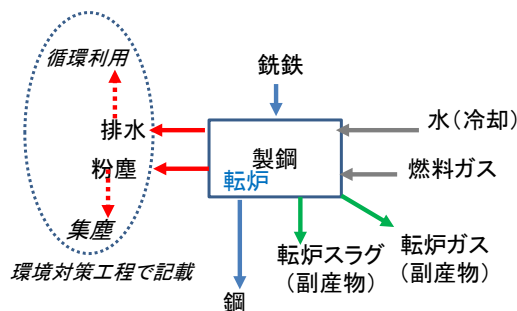
24<BlastFurnaceService, h, #, #>
 + 24<DepBlastFurnace, h, #, #> + 0.005<Fuel, kl, #, #>
 + 40<RecycledWater, m³, #, #> + 10<IndustrialWater, m³, #, #>

⑥潜在的な環境負荷の交換代数

$$\begin{aligned} \text{EnvironmentalBurden}(\text{BlastFurnace})[\text{SteelCompany}] = & \\ & 1100 \langle \text{PigIron, kg, \#, \#} \rangle + 2000 \langle \text{BlastFurnaceGas, m}^3, \#, \# \rangle \\ & + 300 \langle \text{BlastFurnaceSlag, m}^3, \#, \# \rangle \\ & + 50 \langle \text{Particulates, kg, \#, \#} \rangle + 45 \langle \text{WasteWater, m}^3, \#, \# \rangle \\ & + 1300 \langle \text{SinteredOre, kg, \#, \#} \rangle + 400 \langle \text{Coke, kg, \#, \#} \rangle \\ & + 0.005 \langle \text{Fuel, kl, \#, \#} \rangle \\ & + 40 \langle \text{RecycledWater, m}^3, \#, \# \rangle + 10 \langle \text{IndustrialWater, m}^3, \#, \# \rangle \end{aligned}$$

3.3 製鋼工程

①マテリアルのフロー（銑鉄の炭素分の調整）



②交換代数の基底

鋼 $\langle \text{Steel, kg, \#, \#} \rangle$
 銑鉄 $\langle \text{PigIron, kg, \#, \#} \rangle$
 粉じん $\langle \text{Particulates, kg, \#, \#} \rangle$
 転炉ガス $\langle \text{SteelConverterGas, m}^3, \#, \# \rangle$
 転炉スラグ $\langle \text{SteelConverterSlag, m}^3, \#, \# \rangle$
 燃料 $\langle \text{Fuel, kl, \#, \#} \rangle$
 水（循環利用） $\langle \text{RecycledWater, m}^3, \#, \# \rangle$
 水（購入） $\langle \text{IndustrialWater, m}^3, \#, \# \rangle$
 排水 $\langle \text{WasteWater, m}^3, \#, \# \rangle$
 転炉サービス $\langle \text{SteelConverterService, h, \#, \#} \rangle$
 転炉減価償却引当時間 $\langle \text{DepSteelConverter, h, \#, \#} \rangle$

③環境多元簿記テーブル

取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位
鋼 生産	鋼	1000	kg	銑鉄	1100	kg
	転炉ガス(副産物)	1000	m ³	転炉サービス	24	h
	転炉スラグ(副産物)	100	kg			
	粉じん	10	kg			
	排水	45	m ³			
取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位
転炉サービス 生産	転炉サービス	24	h	転炉減価償却引当時間(2000℃)	24	h
				燃料	0.005	kl
				水(冷却・循環利用)	20	m ³
				水(冷却・購入)	30	m ³

④環境多元簿記の交換代数

$$\begin{aligned}
 & \text{Production(SteelConverter)[SteelCompany]} = \\
 & 1000\langle \text{Steel, kg, \#, \#} \rangle + 1000\langle \text{SteelConverterGas, m}^3, \#, \# \rangle \\
 & + 100\langle \text{SteelConverterSlag, m}^3, \#, \# \rangle \\
 & + 50\langle \text{Particulates, kg, \#, \#} \rangle + 45\langle \text{WasteWater, m}^3, \#, \# \rangle \\
 & + 1100^{\wedge}\langle \text{PigIron, kg, \#, \#} \rangle + 24^{\wedge}\langle \text{SteelConverterService, h, \#, \#} \rangle \\
 & \text{Service(SteelConverter)[SteelCompany]} = \\
 & 24\langle \text{SteelConverterService, h, \#, \#} \rangle \\
 & + 24^{\wedge}\langle \text{DepSteelConverter, h, \#, \#} \rangle + 0.005^{\wedge}\langle \text{Fuel, kl, \#, \#} \rangle \\
 & + 20^{\wedge}\langle \text{RecycledWater, m}^3, \#, \# \rangle + 30^{\wedge}\langle \text{IndustrialWater, m}^3, \#, \# \rangle
 \end{aligned}$$

⑤潜在的な環境負荷の交換代数

$$\begin{aligned}
 & \text{EnvironmentalBurden(SteelConverter)[SteelCompany]} = \\
 & 1000\langle \text{Steel, kg, \#, \#} \rangle + 1000\langle \text{SteelConverterGas, m}^3, \#, \# \rangle \\
 & + 100\langle \text{SteelConverterSlag, m}^3, \#, \# \rangle \\
 & + 50\langle \text{Particulates, kg, \#, \#} \rangle + 45\langle \text{WasteWater, m}^3, \#, \# \rangle \\
 & + 1100^{\wedge}\langle \text{PigIron, kg, \#, \#} \rangle + 0.005^{\wedge}\langle \text{Fuel, kl, \#, \#} \rangle \\
 & + 20^{\wedge}\langle \text{RecycledWater, m}^3, \#, \# \rangle + 30^{\wedge}\langle \text{IndustrialWater, m}^3, \#, \# \rangle
 \end{aligned}$$

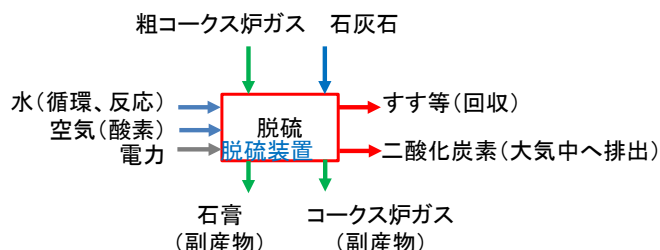
4. 環境対策工程

乾留工程の副産物・アウトプットである粗コークス炉ガスは、脱硫精製されてコークス炉ガスとして産出される。また、焼結工程についても、排ガスは脱硫・脱硝処理を経て燃料ガスとして活用されるが、ここでは記述の単純化のために省略する。さらに、各工程で

の排水浄化処理、および、粉じんの集塵処理が必要である。

4.1 乾留工程に付随する脱硫工程：コークス炉ガス精製

①マテリアルのフロー



②脱硫の原理の概要



③交換代数の基底（基底で化学式を名称にする場合は添え数字も大文字）

コークス炉ガス <CokeOvenGas, m³, #, #> または <CokeOvenGas, kg, #, #>

粗コークス炉ガス(精製前) <CokeOvenGasUnrefined, m³, #, #> または

<CokeOvenGasUnrefined, kg, #, #>

すす等 <Soot, kg, #, #>

石灰石 (CaCO₃) <CaCO₃, kg, #, #>

水 (H₂O) <H₂O, kg, #, #>

酸素 (O₂) <O₂, kg, #, #>

石膏 (CaSO₄) <CaSO₄, kg, #, #> ⇒ 副産物

二酸化炭素 (CO₂) <CO₂, kg, #, #> ⇒ 大気中へ排出

脱硫装置サービス <DesulfurizationService, h, #, #>

脱硫装置減価償却引当時間 <DepEquipDesulf, h, #, #>

電力 <Electricity, kWh, #, #>

水（循環利用） <RecycledWater, m³, #, #>

排水 <WasteWater, m³, #, #>

④環境多元簿記テーブル

*原子量 Ca : 40.08、C : 12.01、O : 16.00、H : 1.008、S : 32.07

*分子量 CaCO₃ : 100.09、SO₂ : 64.07、O₂ : 32.00、H₂O : 18.016、CO₂ : 44.01

CaSO₄ : 136.15、CaSO₄ · 2H₂O : 172.182

②の反応式に記載される物質について、以下の各重量は反応式と分子量から概算している。また、排ガス中のSO₂濃度が約 32%と仮定し、400kg排気中に約 128kg存在するものと算定している。

取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位
コークス炉ガス 生産	コークス炉ガス(副 産物)	344	kg	粗コークス炉ガス (精製前)	1200 400	m ³ kg
	石膏(副産物)	344	kg	石灰石	200	kg
	二酸化炭素(大気 中へ排出)	88	kg	酸素(反応量)	32	kg
	すす等(回収)	272	kg	水(反応量・循環利 用)	72	kg
	排水(浄化済み・循 環利用)	20	m ³	脱硫装置サービス	3	h
取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位
脱硫装置サービス 生産	脱硫装置サービス	3	h	脱硫装置減価償却 引当時間	3	h
				電力	1500	kWh
				工業用水(洗浄等、 循環利用)	20	m ³

⑤環境多元簿記の交換代数

Production (CokeOvenGas) [SteelCompany]=

344<CokeOvenGas, kg, #, #> + 344<CaSO₄, kg, #, #> + 88<CO₂, kg, #, #>
+ 272<Soot, kg, #, #> + 20<WasteWater, m³, #, #>
+ 1200<CokeOvenGasUnrefined, m³, #, #>
+ 100<CaCO₃, kg, #, #> + 16<O₂, kg, #, #> + 36<H₂O, kg, #, #>
+ 3<DesulfurizationService, h, #, #>

Service (DesulfurizationService) [SteelCompany]=

3<DesulfurizationService, h, #, #>
+ 3<DepEquipDesulf, h, #, #>
+ 1000<Electricity, kWh, #, #> + 20<RecycledWater, m³, #, #>

⑥潜在的な環境負荷の交換代数

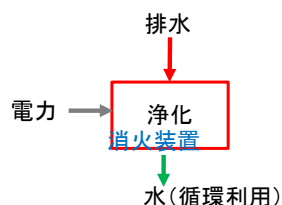
EnvironmentalBurden (CokeOvenGas) [SteelCompany]=

344<CokeOvenGas, kg, #, #> + 344<CaSO₄, kg, #, #> + 88<CO₂, kg, #, #>
+ 272<Soot, kg, #, #> + 20<WasteWater, m³, #, #>
+ 1200<CokeOvenGasUnrefined, m³, #, #>
+ 100<CaCO₃, kg, #, #> + 16<O₂, kg, #, #> + 36<H₂O, kg, #, #>
+ 1000<Electricity, kWh, #, #> + 20<RecycledWater, m³, #, #>

4.2 排水浄化工程

乾留、製鉄、製鋼の工程に付随する排水浄化について、各工程でマテリアルが異なる場合は個別に記載する。ここでは全工程で同じ処理と仮定して、全工程を統合して記述する。また、廃水浄化には複数の方法があるが、物理的処理による浄化と仮定する。

①マテリアルのフロー



②交換代数の基底

排水浄化装置サービス <WaterPurificationService, h, #, #>

排水浄化装置減価償却引当時間 <DepEquipWaterPurification, h, #, #>

電力 <Electricity, kWh, #, #>

水（循環利用） <RecycledWater, m³, #, #>

排水 <WasteWater, m³, #, #>

③環境多元簿記テーブル

取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位	Remarks
循環利用水 生産	水(循環利用)	120	m ³	排水(乾留・製鉄・製鋼 工程)	125	m ³	
				排水浄化装置装置 サービス	4	h	
排水浄化装置サービス 生産	排水浄化装置サービ ス	4	h	排水浄化装置減価償 却引当時間	4	h	装置使用電力 250kW
				電力	1000	kWh	

④環境多元簿記の交換代数

Production (RecycledWater) [SteelCompany]=

120<RecycledWater, m³, #, #>

+ 125^<WasteWater, m³, #, #> + 4^<WaterPurificationService, h, #, #>

Service (WaterPurification) [SteelCompany]=

4 <WaterPurificationService, h, #, #>

+ 4^<DepEquipWaterPurification, h, #, #> + 1000^<Electricity, kWh, #, #>

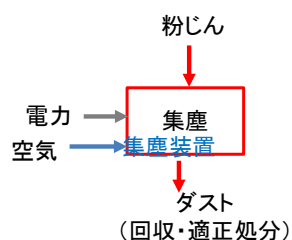
⑤潜在的な環境負荷の交換代数

$$\begin{aligned} \text{EnvironmentalBurden (RecycledWater) [SteelCompany]} = & \\ & 120 \langle \text{RecycledWater, m}^3, \#, \# \rangle \\ & + 125 \langle \text{WasteWater, m}^3, \#, \# \rangle + 1000 \langle \text{Electricity, kWh, \#, \#} \rangle \end{aligned}$$

4.3 粉じんの集塵工程

乾留、焼結、製銑、製鋼の工程では集塵の環境対策工程を伴う。簡略化のため、ここでは全工程が同一処理と仮定して、統合して記述する。

①マテリアルのフロー



②集塵の原理

サイクロン、送風で物理的に集める

③交換代数の基底

粉じん <Particulates, kg, #, #>

ダスト <Dust, kg, #, #>

集塵サービス <DustCollectionService, h, #, #>

集塵装置減価償却引当時間 <DepEquipDustCollection, h, #, #>

電力 <Electricity, kWh, #, #>

④環境多元簿記テーブル

取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位
ダスト生産	ダスト(回収)	260	kg	粉じん(乾留、焼結、製銑、製鋼工程)	260	kg
				集塵装置サービス	4	h
取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位
集塵装置サービス生産	集塵装置サービス	4	h	集塵装置減価償却引当時間	4	h
				電力	1000	kWh

⑤環境多元簿記の交換代数

$$\begin{aligned} \text{Production (Dust) [SteelCompany]} &= \\ &260 \langle \text{Dust, kg, \#, \#} \rangle \\ &+ 260^{\wedge} \langle \text{Particulates, kg, \#, \#} \rangle + 1^{\wedge} \langle \text{DustCollectionService, time, \#, \#} \rangle \\ \text{Service (DustCollection) [SteelCompany]} &= \\ &1 \langle \text{DustCollectionService, time, \#, \#} \rangle \\ &+ 4^{\wedge} \langle \text{DepEquipDustCollection, h, \#, \#} \rangle + 1000^{\wedge} \langle \text{Electricity, kWh, \#, \#} \rangle \end{aligned}$$

⑥潜在的な環境負荷の交換代数

$$\begin{aligned} \text{EnvironmentalBurden (Dust) [SteelCompany]} &= \\ &260 \langle \text{Dust, kg, \#, \#} \rangle \\ &+ 260^{\wedge} \langle \text{Particulates, kg, \#, \#} \rangle + 1000^{\wedge} \langle \text{Electricity, kWh, \#, \#} \rangle \end{aligned}$$

5. 潜在的な環境負荷の合計

メイン、および、環境対策の各工程で導いた潜在的な環境負荷の交換代数から、トータルを算出できる。ただし、上述のように、製鋼以降の工程、および、焼結工程の排ガスの脱硫・脱硝については省略している。

5.1 各工程の環境負荷の合計を求めるための計算

$$\begin{aligned} \text{EnvironmentalBurden (Total) =} \\ &\text{EnvironmentalBurden(Carbonization)[SteelCompany]} = \\ &+ \text{EnvironmentalBurden(Sintering)[SteelCompany]} \\ &+ \text{EnvironmentalBurden(BlastFurnace)[SteelCompany]} \\ &+ \text{EnvironmentalBurden(SteelConverter)[SteelCompany]} \\ &+ \text{EnvironmentalBurden (CokeOvenGas) [SteelCompany]} \\ &+ \text{EnvironmentalBurden (RecycledWater) [SteelCompany]} \\ &+ \text{EnvironmentalBurden (Dust) [SteelCompany]} \\ \\ \text{EnvironmentalBurden (Total) =} \\ &400 \langle \text{Coke, kg, \#, \#} \rangle + 1200 \langle \text{CokeOvenGasUnrefined, m}^3, \#, \# \rangle \\ &+ 700 \langle \text{CoalTar, kg, \#, \#} \rangle \\ &+ 100 \langle \text{Particulates, kg, \#, \#} \rangle + 35 \langle \text{WasteWater, m}^3, \#, \# \rangle \\ &+ 1600^{\wedge} \langle \text{Coal, kg, \#, \#} \rangle + 0.005^{\wedge} \langle \text{Fuel, kl, \#, \#} \rangle \\ &+ 40^{\wedge} \langle \text{RecycledWater, m}^3, \#, \# \rangle + 10^{\wedge} \langle \text{IndustrialWater, m}^3, \#, \# \rangle \end{aligned}$$

+ 1300<SinteredOre, kg, #, #> + 1000<ExhaustedGas, m³, #, #>
 + 100<Particulates, kg, #, #>
 + 1600<IronOre, kg, #, #> + 100<Limestone, kg, #, #>
 + 0.005<Fuel, kl, #, #>

+ 1100<PigIron, kg, #, #> + 2000<BlastFurnaceGas, m³, #, #>
 + 300<BlastFurnaceSlag, m³, #, #>
 + 50<Particulates, kg, #, #> + 45<WasteWater, m³, #, #>
 + 1300<SinteredOre, kg, #, #> + 400<Coke, kg, #, #>
 + 0.005<Fuel, kl, #, #>
 + 40<RecycledWater, m³, #, #> + 10<IndustrialWater, m³, #, #>

+ 1000<Steel, kg, #, #> + 1000<SteelConverterGas, m³, #, #>
 + 100<SteelConverterSlag, m³, #, #>
 + 50<Particulates, kg, #, #> + 45<WasteWater, m³, #, #>
 + 1100<PigIron, kg, #, #> + 0.005<Fuel, kl, #, #>
 + 20<RecycledWater, m³, #, #> + 30<IndustrialWater, m³, #, #>

+ 344<CokeOvenGas, kg, #, #> + 344<CaSO₄, kg, #, #> + 88<CO₂, kg, #, #>
 + 272<Soot, kg, #, #> + 20<WasteWater, m³, #, #>
 + 1200<CokeOvenGasUnrefined, m³, #, #>
 + 100<CaCO₃, kg, #, #> + 16<O₂, kg, #, #> + 36<H₂O, kg, #, #>
 + 1000<Electricity, kWh, #, #> + 20<RecycledWater, m³, #, #>

+ 120<RecycledWater, m³, #, #>
 + 125<WasteWater, m³, #, #> + 1000<Electricity, kWh, #, #>

+ 260<Dust, kg, #, #>
 + 260<Particulates, kg, #, #> + 1000<Electricity, kWh, #, #>

5.2 計算結果

計算結果は以下のようなになる。なお、主な名称も便宜上記載している。また、工程を統合する際に、当該工程のメインのインプットは前工程のメインのアウトプットで加減演算により相殺されるが、マテリアル・フローの記載には量が必要なるので、それらについては相殺せずに記載している。

EnvironmentalBurden (Total) =

製品 1000<Steel, kg, #, #>

副産物 + 700<CoalTar, kg, #, #>
+ 344<CokeOvenGas, kg, #, #> + 344<CaSO4(石膏), kg, #, #>
+ 2000<BlastFurnaceGas, m³, #, #> + 1000<SteelConverterGas, m³, #, #>
+ 300<BlastFurnaceSlag, m³, #, #> + 100<SteelConverterSlag, m³, #, #>

原材料 + 1600<Coal, kg, #, #> + 1600<IronOre, kg, #, #>
+ 100<Limestone, kg, #, #>

仕掛け + 400<Coke, kg, #, #> + 400<Coke, kg, #, #>
+ 1300<SinteredOre, kg, #, #> + 1300<SinteredOre, kg, #, #>
+ 1100<PigIron, kg, #, #> + 1100<PigIron, kg, #, #>

脱硫用 + 100<CaCO₃ (石灰石・脱硫), kg, #, #>
+ 16<O₂, kg, #, #> + 36<H₂O, kg, #, #>

エネルギー + 0.020<Fuel, kl, #, #> + 3000<Electricity, kWh, #, #>

水利用 + 120<RecycledWater, m³, #, #> + 50<IndustrialWater, m³, #, #>

排出 + 88<CO₂ (脱硫反応による排出), kg, #, #> (大気中へ排出)
+ 260<Dust, kg, #, #> + 272<Soot, kg, #, #> (回収、適正処分)

再生水 + 120<RecycledWater, m³, #, #>
+ 125<WasteWater, m³, #, #> + 125<WasteWater, m³, #, #>

5.3 間接的な環境負荷

電力消費に関する二酸化炭素の排出は、責任量として算定する必要がある。この例では、電力使用量の合計 3000<Electricity, kWh, #, #> より 3000kWh について、電力会社が公表する排出係数をかけて計算する。なお、各工程が別の電力会社のエリアにある場合は、各工程の値に各排出係数をかけて算出する。

排出係数は、温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度に関する環境省のホームページに公表されており、例えば、平成関西電力エリアの場合、平成 27 年度の値は、 $0.000523\text{t-CO}_2/\text{kWh}$ ($0.523\text{kg-CO}_2/\text{kWh}$) である。この値をかけると、間接的な二酸化炭素排出量は、 1569kg となる。

従って、二酸化炭素排出量の合計は、粗コークス炉ガスの脱硫反応における直接的な排出 88kg と合算して、 1657kg となる。

6. 環境多元簿記システムの応用

6.1 シナリオ変更による比較評価

環境多元簿記システムでは、シナリオ変更による比較評価ができる。シナリオの定義は第 5 章で示したが、シナリオ変更のケースは、内部コントロール要因の変更のケースと外部コントロール要因の変更のケースがある。

内部コントロール要因の変更には、経営理念、事業目標・計画、製造法・原材料などの変更がある。鋼の製造の例では、実際に複数の製造方法がある。

本章では、粗コークス炉ガスを精製する脱硫工程では、副産物として石膏を製造する方法を設定したが、硫酸を製造する方法もある。例えば、関西熱化学の「コークス資料館」の HP に掲載されている資料によると、メインの乾留工程で冷集しコールタールを集めた後、脱硫し濃硫酸を精製する。さらに、軽油を捕集して粗軽油を得た後、液安からアンモニアを精製するという工程が可能である。

また、近年では、廃プラスチックのリサイクルにも貢献する手法として化学原料化法が採用されつつある。この方法では、コークス炉の乾留工程で廃プラスチックを原料の一部に利用する。このような用いる製造技術の違いによる工程について、マテリアル・フローから環境多元簿記テーブルを書き、潜在的な環境負荷に関する交換代数を作成することで、環境負荷の相違に焦点を当てた分析をすることが可能になる。

他の例としては、最近では気候変動問題へのアプローチとして、鉄鋼の製造企業において、二酸化炭素の貯留・回収技術の導入に関する実証実験が進んでいる。このように新たな工程の追加による環境負荷の増減を算定することも可能である。

外部のコントロール要因の変更として、環境面では、環境規制の強化や、例えば温室効果ガスの排出枠取引制度の実施といったケースがある。これらのケースについて、規制強化や制度導入の前後について、比較が可能である。

6.2 企業のマネジメント情報とのリンク

環境多元簿記システムが企業の他のマネジメント情報とリンクできれば、例えば、不具合や事故の際に、図 6-4 にイメージするような、環境多元簿記システムの交換代数情報から、個別の情報の検証をすることが可能になると考えられる。

取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位
コークス 生産	コークス	400	kg	石炭	1600	kg
	粗コークス炉ガス (精製前)	1200	m ³	乾留サービス	24	h
	コールタール (副産物)	700	kg	労働サービス	48	h
	粉じん	100	kg			
	排水	35	m ³			

購入先情報
品質・環境情報
とのリンク

取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位
乾留サービス 生産	乾留サービス	24	h	コークス炉減価償却 引当時間(1000℃)	24	h
				燃料	0.005	kl
				水(冷却・循環利用)	30	m ³
				水(冷却・購入)	10	m ³

機種・仕様情報
保守・点検情報
とのリンク

取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位
労働サービス 生産	労働サービス	48	h	公害防止管理責任者	8	h
				従業員	16	kl
				パート	24	h

労務情報
とのリンク

図6-4 企業のマネジメント情報とのリンクによる応用

不具合発生の際に、原材料の投入量や調達先、機械・設備の使用や保守点検、労働管理の状況などをチェックするというような使い方が可能である。

7. 環境経営の実践に向けたコスト評価の方法

7.1 環境多元簿記からコスト評価への変換方法

本研究で提示した環境多元簿記テーブルは、実物ベースで記載されているが、第4章で示したように、マテリアルやサービスに関する貨幣ベースの簿記と連動させることも可能である。それにより、環境負荷のコストの算定に応用できる。

①インプット側のマテリアルのコスト

インプット側の例を、図6-5に示す。投入側のマテリアルやサービスについては、原材料や資源の単価情報から当該費用を算定する。また、電力利用については、個々の機械・設備に計測メーターを設置している場合は、その利用量に基づき工場全体から按分して利用による料金を算定する。

取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位	備考
コークス 生産	コークス(400kg)	34115	円	石炭(1600kg)	24960	円	石炭130ドル/トン、 1ドル120円
	粗コークス炉ガス (精製前)(1200m³)	34115	円	乾留サービス(24h)	32400	円	
	コールタール (副産物)(700kg)	59700	円	労働サービス(48h)	80000	円	
	粉じん(100kg)	8530	円				
	排水(35m³)	900	円				
貸方は各単価 などから費用を 計算							
取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位	備考
乾留サービス 生産	乾留サービス(24h)	32400	円	コークス炉減価償却 引当(24時間)	24000	円	1時間1000円
				燃料(5リットル)	7500	円	1リットル1500円
				水(冷却・循環利用) (30m³)	500	円	サイト内供給 供給設備減価償却 引当から配賦
				水(冷却・購入) (10m³)	400	円	サイト料金から該当 額を配賦
取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位	備考
労働サービス 生産	労働サービス	80000	円	公害防止管理責任者 (8h)	24000	円	時給換算3000円
				従業員(16h)	32000	円	時給換算2000円
				パート(24h)	24000	円	時給1000円

出所)石炭は市場価格、燃料は灯油、
水(購入)は工業用水料金を適用。
その他は、想定の数値。

図6-5 インプットのマテリアルやサービスのコスト

②アウトプット側のマテリアルのコスト

アウトプット側の例を、図6-5と内容は同じであるが、解説を加えたものを、図6-6に示す。

取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位	備考
コークス 生産	コークス(400kg)	34115	円	石炭(1600kg)	24960	円	石炭130ドル/トン、 1ドル120円
	粗コークス炉ガス (精製前)(1200m³)	34115	円	乾留サービス(24h)	32400	円	
	コールタール (副産物)(700kg)	59700	円	労働サービス(48h)	80000	円	
	粉じん(100kg)	8530	円				
	排水(35m³)	900	円				
取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位	備考
乾留サービス 生産	乾留サービス(24h)	32400	円	コークス炉減価償却 引当(24時間)	24000	円	1時間1000円
				燃料(5リットル)	7500	円	1リットル1500円
				水(冷却・循環利用)	500	円	サイト内供給 供給設備減価償却 引当から配賦
				水(冷却・購入)	400	円	サイト料金から該当 額を配賦
取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位	備考
				公害防止管理責任者	24000	円	時給換算3000円
				従業員(16h)	32000	円	時給換算2000円
				パート(24h)	24000	円	時給1000円

借方のマテリアルについて
貸方の総費用を用いて
借方の各マテリアルの物量により、
金額を割り当てる
⇒「環境負荷の発生コスト」という意味

図6-6 アウトプットのマテリアルとサービスの MFCA 的環境コスト

本研究では、借方のマテリアルについて、貸方の総費用を用いて、借方の各マテリアルの物量により、金額を割り当てる方法を提案する。物量は重量とする。これは MFCA の考え方を環境負荷排出に拡張した考え方である。この方法で算定された値は、「環境負荷の発生コスト」という意味を持つ。

例えば、図6-6のコールタールは、副産物として700kg算出される。上記のMFCAのコスト割当方法で算定すると、その額は59,700円となる。コールタールが例えば、70,000円で売却される場合には、利益は10,300円と算定できる。

別の例として、粉じんは、上記の工程で廃棄物として100kg排出される。MFCAのコスト割当方法によると、そのコストの金額は、8,530円となる。したがって、環境負荷発生コストと解釈できる。粉じんは集塵工程で処理される。集塵工程では粉じんは借方に記載される。集塵工程では、集塵機にによる電力使用があり、その料金について、当該100kgの該当分を算定する。これが1500円と算定されるとすると、粉じん100kgの環境対策コストは、この1,500円に、先の発生コスト8,530円を加えて、10,030円と算定される。通常の算定方法では、環境対策コストは集塵に要するコストのみであるので1500円になる。本研究の方法では、単に集塵に要するコストだけではなく、MFCA的な意味で環境負荷の発生コストを合わせて環境コストと考える。

7.2 環境経営実践への応用

MFCAでは原材料の費用を製品分とくず分に按分する。本研究の方法では、排出される各マテリアルの金額を、物量ベースで評価し、MFCAの考え方を一般化してあらゆるマテリアルに適用できることを示している。この方法により、

「マイナスの環境負荷の機会費用＝狭義の環境対策コスト＋環境負荷の発生コスト」
という環境負荷発生の機会費用を捉えることになる。

このような機会費用を削減することは、環境経営の目的である環境性と経済性の向上に結びつく。

環境多元簿記システムの構成とコスト変換の組み合わせにより、環境経営の実践に結びつく機会費用を捉えることができる。

*参照した主な資料

下記のURLの最終アクセス日はいずれも2015年12月22日である。

(1) 鉄鋼の工程に関して

- ・新日鐵住金「バーチャル工場見学」
http://www.nssmc.com/company/tour/vr_tour.html
- ・新日鐵住金「よくわかる鉄づくり」
<http://www.nssmc.com/company/nssmc/index.html>
- ・新日鐵住金「エネルギー・マテリアル・バランス」
<http://www.nssmc.com/csr/env/balance/index.html>
- ・JFE21世紀財団「鉄鋼プロセス工学入門」
<http://www.jfe-21st-cf.or.jp/jpn/index2.html>
- ・JFEスチール株式会社「主要設備と製造工程」
http://www.jfe-steel.co.jp/works/west/west_japan/process.html
- ・バーチャルコークス資料館
<http://www.coke-museum.jp/museum/htmltype/index.html>

- ・ 鉄鋼スラグ協会「鉄鋼スラグの種類」
<http://www.slg.jp/slag/kind.html>
- ・ COURSE50「COURSE50を支える技術」
<http://www.jisf.or.jp/course50/tecnology03/>
- ・ 関西熱化学株式会社「資源を有効に活用する技術」
http://www.tkcc.co.jp/what/feature001_3.html
- ・ 関西熱化学株式会社「コークスについて」
http://www.tkcc.co.jp/business/cokes_1.html
- ・ JX 日鉱日石エネルギー「大阪精油所 精油所紹介 2. 石灰石膏法」
http://www.noe.jx-group.co.jp/company/about/gaiyou/jigyousho/osaka/refinery/e71_cobgajiosre_product02.html
- ・ 奥野嘉雄(監修)(2004)「鉄鉱石から鉄を生み出す(中)」『NIPPON STEEL MONTHLY』2004年3月号、pp. 11-14.
- ・ 奥野嘉雄(監修)(2004)「鉄鉱石から鉄を生み出す(下)」『NIPPON STEEL MONTHLY』2004年4月号、pp. 5-8.
- ・ 長野研一(監修)(2008)「鉄鋼原料(2) 鉄鉱石をつかいこなす技術」『NIPPON STEEL MONTHLY』2008年6月号、pp. 13-16.
- ・ 山川 理・竹原正治・福田哲生(監修)(2010)「コールタール蒸留・製品化技術(上) 鉄づくりの副産物を炭素材と化学原料に変える石油化学」『NIPPON STEEL MONTHLY』2010年10月号、pp.10-13.
- ・ 新日鐵住金株式会社(2015)『環境・社会報告書 2015』
- ・ 新日本製鐵株式会社(2003)『環境報告書 2003』
- ・ 新日本製鐵株式会社『コークス炉化学原料化法』2007年2月26日付資料
- ・ 西藤将之・藤岡裕二・齋藤公児・石原口裕二・植木誠(2010)「ガスモニタリングによる石炭の乾留反応の解析とコークス炉発生ガスの連続測定」『新日鉄技報』第390号、pp. 101-111.
- ・ 新日本製鐵株式会社(2012)「平成23年度石炭基礎講座 No.12 製鉄技術 製鉄業(製鉄プロセス)における石炭利用転換技術」2012年2月10日付資料
- ・ 新日鉄エンジニアリング㈱『新日鉄エンジニアリングの省エネ・環境分野への取り組み』2012年8月6日付資料
- ・ アクアス株式会社「製鉄所の水処理」AQUAS Info., Vol. 74. (リーフレット)

(2) 環境対策に関して

- ・ 国立環境研究所 環境展望台 「排煙脱硝技術」
enbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=33
- ・ 三菱日立パワーシステムズ「脱硝装置(板状触媒)」
https://www.mhps.com/products/category/plate_selective_catalytic_reduction_system.html
- ・ 三菱重工「排煙脱硫装置のプロセスフロー」
https://www.mhi.co.jp/products/detail/fgdp_process_flow.html
- ・ 環境省「7.7 排煙脱硫装置と副生品」
<https://www.env.go.jp/earth/coop/coop/document/02-apctmj1/02-apctmj1-0707.pdf>
- ・ 環境省「窒素酸化物削減に関する技術リスト」
<https://www.env.go.jp/air/tech/ine/asia/china/files/needs/china-technology-list-jp.pdf>
- ・ 永瀬成世(2010)「石炭焚火力発電所脱硫プラントにおける液分析」『IIC REVIEW』No.43, pp. 35-42.
- ・ 中山喜雄・小島信夫・大石剛司・沖野進・鬼塚雅和(2004)「排煙脱硫最新技術」『三菱重工技報』Vol.41, No.4, pp. 228-231.
- ・ 吉河敏和「排煙脱硝装置」『エネルギー総研レビュー』No.33, p. 23.
- ・ JFE エンジニアリング株式会社・水エンジニアリング事業部『JFE 生物脱硫装置』(リーフレット)
- ・ 環境科学研究所(2012)「大気の基礎講座—公害防止管理者になるための—」2012年6月15日付資料

第7章 サプライチェーンの環境多元簿記システム：

鋼製造と釘製造企業のモデル

本章の概要

前章では、鋼製造を例として、環境多元簿記システムを段階的に作成し、応用の方法として、シナリオ変更の評価が可能であることを示した。また、MFCA 的な環境コスト割当の方法を提示し、環境負荷の機会費用の算定により環境経営の実践に結びつけることを提案した。

本章では、釘企業の例を加えて、2 社モデルであるが、サプライチェーンの上流から下流への環境情報収集システムの方法について提示する。本研究における環境情報システムの構成方法は、報告すべき環境負荷について、当該企業と直接取引する企業間での情報収集である。これを環境負荷伝票としてボトムアップに上流から下流へ伝達する方法を示す。このようなボトムアップ型環境負荷情報収集の方法は、近年地球規模で求められるマテリアルの環境管理において有用であると考えられる。本章の最後では、持続可能なモノづくりの発展段階を示し、その有用性を述べる。

なお、鋼製造の工程例では JFE スチールを参照したが、釘製造の工程例については、古くから八幡製鉄の鋼から釘を製造してきた中小企業である安田工業株式会社を参照した。本研究の環境多元簿記システムにおいては、規模の大小を問わず、記述することが可能である。釘製造に関して参照した主な資料は章末に示す。

1. 釘製造企業の環境多元簿記システム

1.1 工程

釘の製造工程は、皮膜除去のスケール落とし、伸線、製釘、研磨の4段階で構成される。スケール落としは鋼材の表面処理で、研磨と酸処理の2タイプの処理方法がある。以下では、酸処理を行うものとする。また、伸線、研磨、研磨はそれぞれの機械を使用する工程であるが、以下では単純化のために、切削加工という一つの工程として扱う。

釘製造における環境対策工程については、一般的に考えられる処理を設定する。酸処理時の排水はアルカリ剤による浄化を行うものとし、中和処理時の沈殿物は廃棄物処理業者へ、および、切削加工で排出される鋼材くずはリサイクル業者に引き渡すものとする。

釘製造企業のメイン工程、環境対策工程は、図7-1のように分けられる。

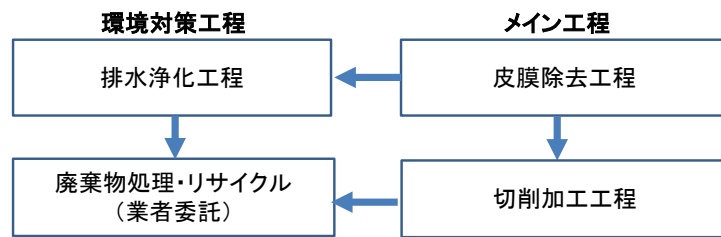


図 7-1 釘製造のメイン工程と環境対策工程

1.2 マテリアル・フロー

製造工程が少なく、マテリアルやサービスの種類も限定されるので、各工程ではなく、全工程のマテリアル・フローを描くと、図 7-2 のように示すことができる。

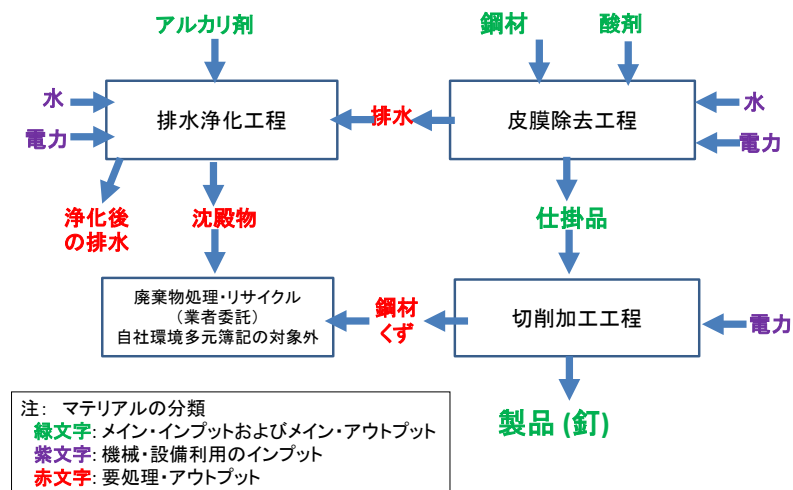


図 7-2 全工程のマテリアル・フロー

1.3 交換代数の基底

表 7-1 は釘製造企業の交換代数の基底である。なお、釘製造についても、労働サービスは省略している。

表 7-1 交換代数の基底

分類	交換代数の基底
鋼材	<SteelWire, kg, #, #>
仕掛品	<ProductInProcess, kg, #, #>
釘(製品)	<Nails, kg, #, #>
鋼材くず	<SteelWaste, kg, #, #>
酸剤	<Acid, kg, #, #>
アルカリ剤	<Alkali, kg, #, #>
皮膜除去サービス	<RemovingService, h, #, #>
切削加工サービス	<MachiningService, h, #, #>
排水浄化サービス	<PurifyingService, h, #, #>
皮膜除去装置減価償却引当時間	<DepEquipRemoving, h, #, #>
切削加工機械減価償却引当時間	<DepMachinMachining, h, #, #>
排水浄化装置減価償却引当時間	<DepEquipPurifying, h, #, #>
水(工業用水)	<Water, kg, #, #>
電力	<Electricity, kWh, #, #>
沈殿物	<ChemSediment, kg, #, #>
排水	<WasteWater, kg, #, #>
浄化後の排水	<PurifiedWater, kg, #, #>
二酸化炭素	<CO2, kg, #, #>

1.4 各工程の環境多元簿記テーブル

皮膜除去、切削加工、排水浄化の各工程についての環境多元簿記テーブルは、表 7-2、表 7-3、表 7-4 のように示すことができる。

表 7-2 皮膜除去工程

取引名	借り方	数値	単位	貸し方	数値	単位
釘製品仕掛品製造	釘製品仕掛品(皮膜除去鋼材)	1040	kg	鋼材	1050	kg
	排水(皮膜除去後の排水)	1015	kg	除去剤(酸剤)	5	kg
				皮膜除去サービス	5	時間
取引名	借り方	数値	単位	貸し方	数値	単位
皮膜除去サービス生産	皮膜除去サービス	5	時間	皮膜除去用洗浄装置減価償却引当時間	5	時間
				工業用水(皮膜除去用)	1000	kg
				電力	5	kWh

表 7-3 切削加工工程

取引名	借り方	数値	単位	貸し方	数値	単位
釘製品製造	釘製品	1000	kg	釘製品仕掛品	1040	kg
	鋼材くず	40	kg	切削加工サービス	10	時間
取引名	借り方	数値	単位	貸し方	数値	単位
切削加工サービス生産	切削加工サービス	10	時間	切削加工装置減価償却引当時間	5	時間
				電力	50	kWh

表 7－4 排水浄化工程

取引名	借り方	数値	単位	貸し方	数値	単位
処理済み排水 生産	処理済み排水 (公共水域へ排水)	3000	kg	排水 (皮膜除去後の排水)	1015	kg
	沈殿物	20	kg	中和剤(アルカリ剤)	5	kg
				排水処理サービス	5	時間
取引名	借り方	数値	単位	貸し方	数値	単位
排水処理サービス 生産	排水処理サービス	5	時間	排水処理装置減価償却 引当時間	2	時間
				工業用水 (皮膜除去用)	2000	kg
				電力	10	kWh

1.5 各工程の環境多元簿記の交換代数

表 7－2 から表 7－4 に示した環境多元簿記テーブルから、各工程の交換代数は、以下の(1)から(6)式で表すことができる。

①皮膜除去工程

ProductInProcess(Removing)[NailCompany]=

$$\begin{aligned}
 &1040<\text{ProductInProcess, kg, \#, \#}> \\
 &+ 1015<\text{WasteWater, kg, \#, \#}> \\
 &+ 1050^{\wedge}<\text{SteelWire, kg, \#, \#}> \\
 &+ 5^{\wedge}<\text{Acid, kg, \#, \#}> \\
 &+ 5^{\wedge}<\text{RemovingService, h, \#, \#}> \quad (1)
 \end{aligned}$$

Service (Removing)[NailCompany]=

$$\begin{aligned}
 &5<\text{RemovingService, h, \#, \#}> \\
 &+ 1000^{\wedge}<\text{Water, kg, \#, \#}> \\
 &+ 1^{\wedge}<\text{DepEquipRemoving, h, \#, \#}> \\
 &+ 5^{\wedge}<\text{Electricity, kWh, \#, \#}> \quad (2)
 \end{aligned}$$

②切削加工工程

Product(Machining)[NailCompany]=

$$\begin{aligned}
 &1000<\text{Nails, kg, \#, \#}> \\
 &+ 40<\text{SteelWaste, kg, \#, \#}> \\
 &+ 1040^{\wedge}<\text{ProductInProcess, kg, \#, \#}> \\
 &+ 10^{\wedge}<\text{MachiningService, h, \#, \#}> \quad (3)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\text{Service (Macining)[NailCompany]}= \\
&\quad 10<\text{MachiningService, h, \#, \#}> \\
&\quad + 5^<\text{DepMachinMachining, h, \#, \#}> \\
&\quad + 50^<\text{Electricity, kWh, \#, \#}> \quad (4)
\end{aligned}$$

③排水浄化工程

$$\begin{aligned}
&\text{PurifiedWater(Purifying)[NailCompany]}= \\
&\quad 3000<\text{PurifiedWater, kg, \#, \#}> \\
&\quad 20<\text{ChemSediment, kg, \#, \#}> \\
&\quad + 1015^<\text{WasteWater, kg, \#, \#}> \\
&\quad + 5^<\text{Alkali, kg, \#, \#}> \\
&\quad + 5^<\text{PurifyingService, h, \#, \#}> \quad (5)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\text{Service (Purifying)[NailCompany]}= \\
&\quad 5<\text{PurifyingService, h, \#, \#}> \\
&\quad + 2000^<\text{Water, kg, \#, \#}> \\
&\quad + 2^<\text{DepEquipPurifying, h, \#, \#}> \\
&\quad + 10^<\text{Electricity, kWh, \#, \#}> \quad (6)
\end{aligned}$$

1.6 各工程の潜在的な環境負荷の交換代数

潜在的な環境負荷の交換代数の定義から、各工程では、以下の(7)から(9)式のようになる。

①皮膜除去工程

$$\begin{aligned}
&\text{EnvironmentalBurden(Removing)[NailCompany]}= \\
&\quad 1040<\text{ProductInProcess, kg, \#, \#}> \\
&\quad + 1015<\text{WasteWater, kg, \#, \#}> \\
&\quad + 1050^<\text{SteelWire, kg, \#, \#}> \\
&\quad + 5^<\text{Acid, kg, \#, \#}> \\
&\quad + 1000^<\text{Water, kg, \#, \#}> \\
&\quad + 1^<\text{DepEquipRemoving, h, \#, \#}> \\
&\quad + 5^<\text{Electricity, kWh, \#, \#}> \quad (7)
\end{aligned}$$

②切削加工工程

$$\begin{aligned}
&\text{EnvironmentalBurden(Machining)[NailCompany]}= \\
&\quad 1000<\text{Nails, kg, \#, \#}> \\
&\quad + 40<\text{SteelWaste, kg, \#, \#}> \\
&\quad + 1040^<\text{ProductInProcess, kg, \#, \#}>
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + 5^{\wedge} < \text{DepMachinMachining, h, \#, \#} > \\
& + 50^{\wedge} < \text{Electricity, kWh, \#, \#} > \quad (8)
\end{aligned}$$

③排水浄化工程

EnvironmentalBurden(Purifying)[NailCompany]=

$$\begin{aligned}
& 3000 < \text{PurifiedWater, kg, \#, \#} > \\
& 20 < \text{ChemSediment, kg, \#, \#} > \\
& + 1015^{\wedge} < \text{WasteWater, kg, \#, \#} > \\
& + 5^{\wedge} < \text{Alkali, kg, \#, \#} > \\
& + 2000^{\wedge} < \text{Water, kg, \#, \#} > \\
& + 2^{\wedge} < \text{DepEquipPurifying, h, \#, \#} > \\
& + 10^{\wedge} < \text{Electricity, kWh, \#, \#} > \quad (9)
\end{aligned}$$

1.7 全体の潜在的な環境負荷

①直接的な潜在的環境負荷

先に記した(7)から(9)式を合計して、直接的な潜在的環境負荷は、以下の(10)式で表すことができる。

EnvironmentalBurden(Total)[NailCompany]=

$$\begin{aligned}
& 1000 < \text{Nails, kg, \#, \#} > \\
& + 1040 < \text{ProductInProcess, kg, \#, \#} > + 1040^{\wedge} < \text{ProductInProcess, kg, \#, \#} > \\
& + 1015 < \text{WasteWater, kg, \#, \#} > + 1015^{\wedge} < \text{WasteWater, kg, \#, \#} > \\
& + 3000 < \text{PurifiedWater, kg, \#, \#} > \\
& + 40 < \text{SteelWaste, kg, \#, \#} > \\
& + 20 < \text{ChemSediment, kg, \#, \#} > \\
& + 1050^{\wedge} < \text{SteelWire, kg, \#, \#} > \\
& + 5^{\wedge} < \text{Acid, kg, \#, \#} > \\
& + 5^{\wedge} < \text{Alkali, kg, \#, \#} > \\
& + 1000^{\wedge} < \text{Water, kg, \#, \#} > + 2000^{\wedge} < \text{Water, kg, \#, \#} > \\
& + 1^{\wedge} < \text{DepEquipRemoving, h, \#, \#} > \\
& + 5^{\wedge} < \text{DepMachinMachining, h, \#, \#} > \\
& + 2^{\wedge} < \text{DepEquipPurifying, h, \#, \#} > \\
& + 5^{\wedge} < \text{Electricity, kWh, \#, \#} > + 50^{\wedge} < \text{Electricity, kWh, \#, \#} > \\
& + 10^{\wedge} < \text{Electricity, kWh, \#, \#} >
\end{aligned}$$

EnvironmentalBurden(Total)[NailCompany]=

製品	1000<Nails, kg, #, #>	
化学物質	+ 5^<Acid, kg, #, #> + 5^<Alkali, kg, #, #>	
工業用水	+ 3000^<Water, kg, #, #>	⇒工業用水の投入
排水（下水へ）	+ 3000<PurifiedWater, kg, #, #>	
業者委託	+ 40<SteelWaste, kg, #, #> + 20<ChemSediment, kg, #, #>	
鋼材	+1050^<SteelWire, kg, #, #>	⇒鋼材
機械・設備	+ 1^<DepEquipRemoving, h, #, #> + 5^<DepMachinMachining, h, #, #> + 2^<DepEquipPurifying, h, #, #>	
電力	+ 65^<Electricity, kWh, #, #>	(10)

②間接的な潜在的環境負荷

ここでは電力利用による二酸化炭素の排出を算出する。排出係数は、温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度に関する環境省のホームページに公表されており、例えば、平成関西電力エリアの場合、平成 27 年度の値は、0.000523t-CO₂/kWh（0.523kg-CO₂/kWh）である。

この値を用いると、責任量としての排出量は以下の結果となる。

$$\text{EnvironmentalBurden(CO2)[NailCompany]}=34.0\text{<CO2, kg, \#, \#>}$$

2. 複数企業の環境負荷の合計

2.1 報告が求められる環境負荷の抽出

本研究の環境多元簿記システムの方法では、工程に係るマテリアルとサービスを潜在的な環境負荷と認めて実物量を把握した上で、管理すべき環境負荷、報告すべき環境負荷のデータを取り出すということを提案している。

近年、二酸化炭素や水資源について、サプライチェーン全体のフットプリントを表示する動きがある。二酸化炭素については、カーボンディスクロージャープロジェクトが投資における非財務情報の一つとして、サプライチェーン全体及び非製造工程も加えた排出量の公表を求めている。

以下において、複数企業の環境負荷合計の対象として、二酸化炭素を公表するものとして、情報収集の方法を提示する。

2.2 環境負荷伝票による表示

前章の第 5.3 節で示したように、鋼製造企業では直接的・間接的な二酸化炭素排出量の合計は、鋼 1000kg の生産あたり、1657kg であった。釘製造企業では、釘 1000kg 生産あた

り、鋼を 1050kg 使用し、二酸化炭素排出量は 34kg である。

本研究では、これらを、図 7-3 に示すように、「環境負荷伝票」として表示する方法を提案する。

この方法では、各社は、相手先への納入量に対して毎回産出するのではなく、自社生産の基本量に関する情報を提示する。上流企業から原材料として購入する企業が、表示された環境負荷量をもとに、自社利用分相当を算定することになる。従って、この例では、例えば、次の棚製造企業が釘を 2000kg 使用した場合、釘製造企業の基本量から算定して、自社分に追加することになる。

この方法の特徴は、自社および、自社が直接取引する直前の企業の環境負荷を知るだけでよいことになる。

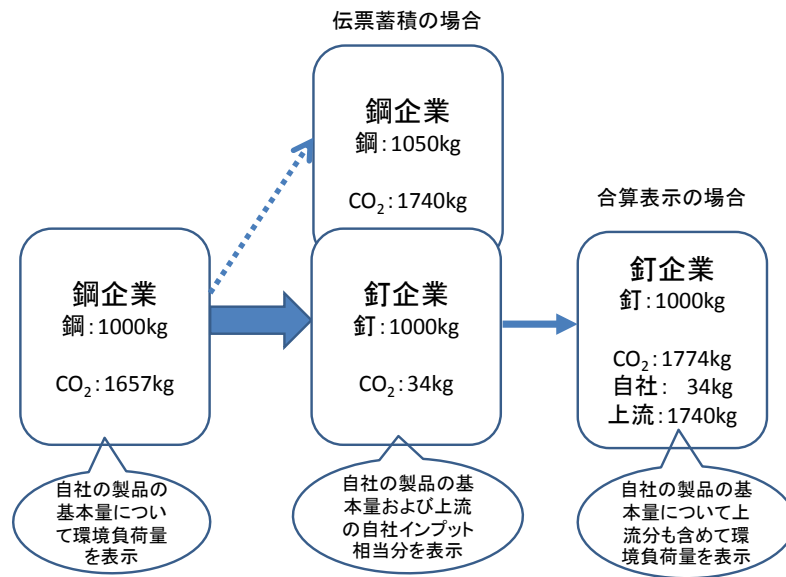


図 7-3 環境負荷伝票の仕組み

2.3 サプライヤーの環境負荷の交換代数

通常、製造には多くの原材料が投入されている。

各企業が、製品等を取引先に納入する際に、基本生産量とその生産に係る指定の環境負荷量について、交換代数を(11)式で提示する。

$$\begin{aligned}
 \text{製品と環境負荷の基本量 [サプライヤー名]} = \\
 & \text{基本排出量} < \text{特定環境負荷名, 単位, \#, \#} > \\
 & + \text{基本量} < \text{品名, 単位, \#, \#} > \quad (11)
 \end{aligned}$$

納入側の企業が、サプライヤーの基本量の交換代数から、サプライヤー分の負荷量を算定する時に、(12)式による返還を定義する。

(12)式において、負荷量＝基本負荷量×(投入量／基本量) である。

$$\begin{aligned} \text{サプライヤーの環境負荷 [企業名]} = & \\ & \text{負荷量} \times \text{特定環境負荷名, 単位, \#, サプライヤー名} > \\ & + \text{投入量} \times \text{品名, 単位, \#, サプライヤー名} > \end{aligned} \quad (12)$$

サプライヤー由来の環境負荷に関する交換代数の合計は、(12)式の合計として表す。

2.4 サプライヤーの環境負荷に関する環境多元簿記テーブル

サプライヤー各社の(12)式の交換代数は、環境多元簿記テーブルに返還できる。例えば、釘企業の場合、表 7－5 のように表すことができる。ここでは、酸剤やアルカリ剤の製造における二酸化炭素排出量も想定して記載している。貸方には当該企業が直接する原材料、借方にはそれらのサプライヤー由来の二酸化炭素排出量を記入する。

表 7－5 サプライヤー由来の環境負荷の多元簿記テーブル

取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位	基本量情報	取引先
サプライヤー由来の排出	二酸化炭素	1774	kg	コークス	1050	kg	1657kg/1000kg	A社
	二酸化炭素	10	kg	酸剤	5	kg	20kg/10kg	B社
	二酸化炭素	7.5	kg	アルカリ剤	5	kg	15kg/10kg	C社

3. 工程環境管理とサプライチェーンの情報管理システムの意義

3.1 工程管理に関する 3つの階層

出口(2013, 2010)は、IOE 時代に対応する工場の管理会計において、工程マネジメントを、図 7－4 に示すように、3階層のデータ分析を用いて行うことを提示している。

第 1 階層は「データ計測層」で、工程の入出力に関して必要なデータを計測する層である。これはドイツ発のIndustry4.0⁸⁾の推進に伴い、今後工場のセンサー化で充実することが予想される領域である。

第 2 階層、「責任按分層」である。これは、工程のインプットやアウトプットについて、製品単位、顧客単位というように、把握の必要性に基づき責任按分するステップである。このステップの導入は、インプットやアウトプットの責任を製造プロセス単位、製品単位、サービス単位などで明確化することを意味する。

第 3 階層は「会計層」で、責任按分された様々なデータを用いて企業会計を組み立てる層である。会計層では、企業の外部へ公表する財務会計、および内部で活用する管理会計の両者を構成する。

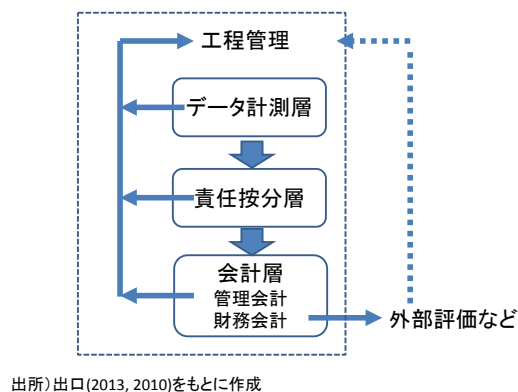


図 7-4 工程管理の3階層

3.2 工程の環境管理

工程管理の3階層に基づき、工程の環境管理をまとめると、図7-5のように示すことができる。

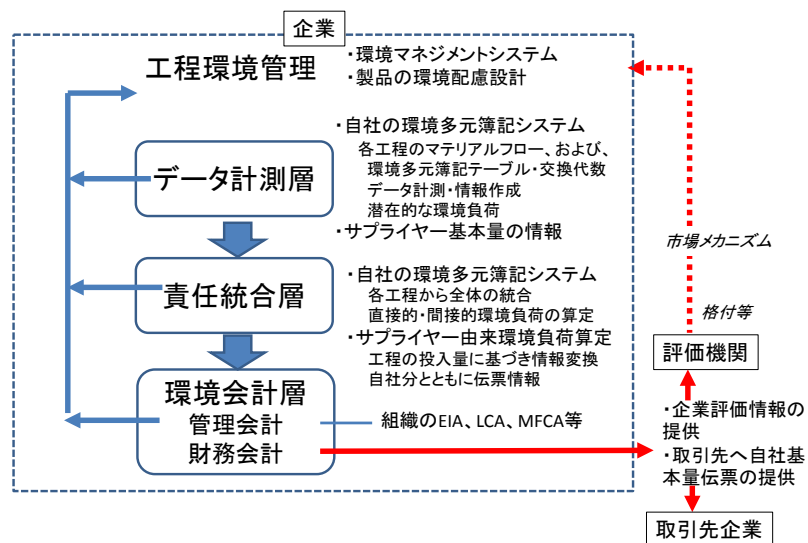


図 7-5 工程環境管理の3階層

①潜在的な環境負荷に関するデータ計測層

第1階層のデータ計測層では、自社の各工程での環境多元簿記システムを構成し、取引先の環境負荷に関する基本情報を収集する。

各工程では、第5章で述べたように、マテリアル・フローを踏まえて、データ計測を行い、環境多元簿記テーブルおよび交換代数を作成する。さらに、環境多元簿記の交換代数から潜在的な環境負荷の交換代数を求める。

サプライヤーの情報については、本章で提示したように、直接的取引先からマテリアルを調達する際に、基本生産量およびその単位に関する特定の環境負荷の量を示す伝票の導入により、購入企業では、それらの情報について、交換代数を作成しておくことが可能になる。

②潜在的な環境負荷に関するデータ統合層

第2階層は「責任統合層」では、各工程で計測されたデータを統合する。自社の環境多元簿記システムでは、第5章で述べたように、各工程の環境多元簿記システムにおける計測データから企業全体を連結し、潜在的な環境負荷の全体像を把握する。

第6章および本章で示した鋼製造企業や釘製造企業の例では、機械・設備利用や空調の電力、工業用水利用といった事項について、各工程で把握することを前提として数値を記載していた。近年は、計測装置の開発により、個別の機械・設備利用による電力や水資源のデータを計測できるようになりつつある。しかし、現状では、工場単位、企業単位の計測値しか得られないケースがほとんどである。そのようなケースでは、工程における電力や水に関する項目については、数値を空欄にしておき、統合データ上で全体の数値を入れるという方法を提案する。

サプライヤー由来の環境負荷については、データ計測層で得た基本情報から、当該企業でのインプット量についてデータを変換する。サプライヤー由来の環境負荷と、当該環境負荷の自社由来分を合わせて、環境負荷伝票の情報とする。

③環境会計層

第3階層は「環境会計層」である。

責任統合層に集められた各工程のデータおよび統合データを用いて、組織の環境影響評価や製品のLCA、MFCAに活用することができる。それらの内部環境会計情報は、環境経営におけるマネジメントシステム運用に関する目標設定や、製品の環境配慮設計に用いることができる。

外部環境会計では、自社と直接のサプライヤーを合わせた特定の環境負荷データについて、環境負荷伝票によって情報提供を行うことができる。また、格付機関等が求める環境負荷情報を提供する。それらの情報が資本市場で評価される場合には、企業価値に影響し、自社の環境経営に反映される。

4. 持続可能なモノづくりを実現する情報システムの課題

4.1 サプライチェーンのボトムアップ型情報収集システム

すでに述べたように、サプライチェーン全体での環境負荷を把握する場合、コア企業が上流・下流を含めて特定の環境負荷に関するデータを収集し算定している。サプライヤーのサプライヤーなど実際にはアクセスできない情報も多く、推計に頼らざるをえない場合も少なくはない。

それに対し、本研究では、自社および直接取引企業の情報収集のみで構成される。企業が自社のデータ計測および収集、および、特定の環境負荷については直接の取引先から提供される基本情報も得て、それらを統合し、自らの基本情報を作成し、製品などの出荷の際には環境負荷伝票を掲載する。図7-6に示すように、2社間のモノと情報の取引で、ボトムアップにサプライチェーン全体の環境負荷の情報収集が可能になる。

なお、環境負荷伝票については、統合表示だけではなく、各社の伝票を積み重ねて伝搬する方式であれば、サプライチェーンの個々の情報を落とすことなく把握することが可能である。

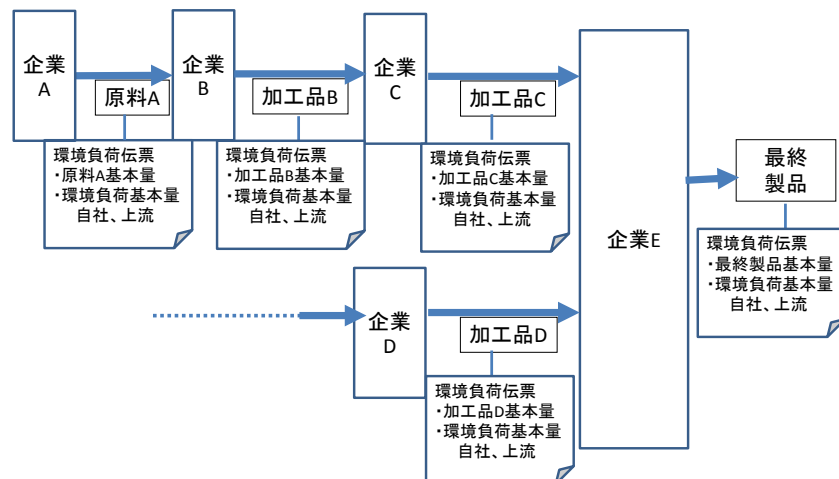


図7-6 2社間のモノと情報取引によるサプライチェーンの環境情報収集

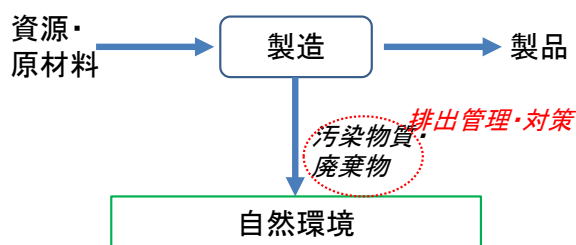
4.2 持続可能なモノづくりへの発展

図7-6に示すような環境情報システム体系は、持続可能なモノづくり（Sustainable Manufacturing）の実現に対して貢献しうる仕組みである。その点を述べる前に、ここでは、持続可能なモノづくりの概念の発展を概観する。

近年Sustainable Manufacturingの概念は、Pollution Control（汚染制御）、Cleaner Production（環境配慮型生産）から、Eco-efficiency（環境効率）の向上、さらにLife Cycle Thinking（ライフサイクルアプローチ）やClosed-loop Production（クローズドループの生産）を経て、資源調達における物質管理を含めたIndustrial Ecology（インダストリアルエコロジー）へと変化してきた¹⁾。

①汚染制御の段階

第1段階は Pollution Control で、図7-7に示すように、製造プロセスで発生する汚染物質に対するエンドオブパイプ型の処理である。この段階で必要な環境負荷の情報は、汚染物質や廃棄物のアウトプットである。

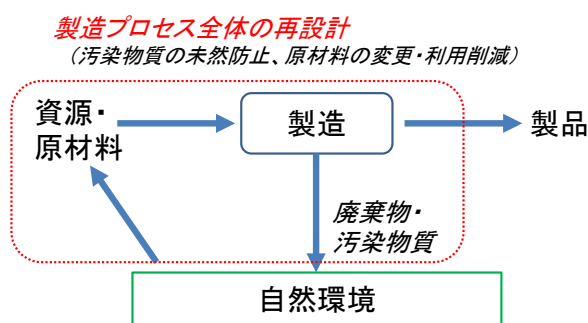


出所) OECD (2009) をもとに筆者作成

図7-7 Pollution Control の概念

②環境配慮型生産の段階

第2段階は Cleaner Production で、図7-8に示すように、製造プロセスだけではなく原材料の投入量削減や変更を含めた製造プロセスの再設計である。この段階で必要となる環境負荷の情報は、汚染物質や廃棄物の排出量に加えて、資源や原材料のインプットである。



出所) OECD (2009) をもとに筆者作成

図7-8 Cleaner Production の概念

③環境効率の段階

第3段階は、環境マネジメントシステムを導入し、製造プロセスだけではなく組織の非製造活動において汚染の未然防止を実施する。この段階では、組織の環境影響評価を実施し、環境負荷の総量や原単位を算出し、生産と環境負荷とのバランスを考慮して環境への影響の最小化を図ることになる。また、環境性と経済性を向上させる環境経営の指標として環境効率も把握することが重要になる。そのため、この段階は Eco-Efficiency と呼ばれる。

④循環資源サイクルの段階

第4段階は Life Cycle Thinking で、図7-9に示すように、製品の使用・消費後に廃棄する Cradle to Grave（ゆりかごから墓場まで）ではなく、再使用や再資源化を含めた製品の再設計を意味する。この段階では、自社工程から廃棄物としてではなく循環資源としてリサイクルに回した量、再生資源の利用量といった情報も必要になる。また、自社の範囲を超えて資源調達から流通や販売の工程の情報、最終的な自社製品の廃棄・リサイクル量も管理に加わることになる。

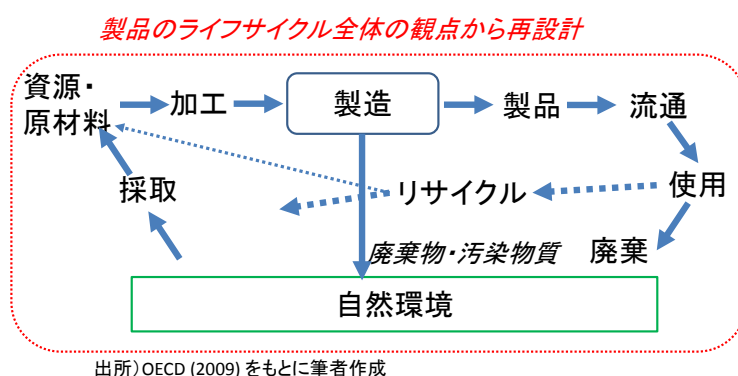


図7-9 Life Cycle Thinking の概念

⑤クローズドループの段階

第5段階は Closed-loop Production で、図7-10に示すように、使用後の製品を回収し、再使用・再資源化を行い、再生資源を当該製品の再生原料として投入するプロセスを含むものである。いわゆる Cradle to Cradle（ゆりかごからゆりかごまで）のリサイクルループを意味する。

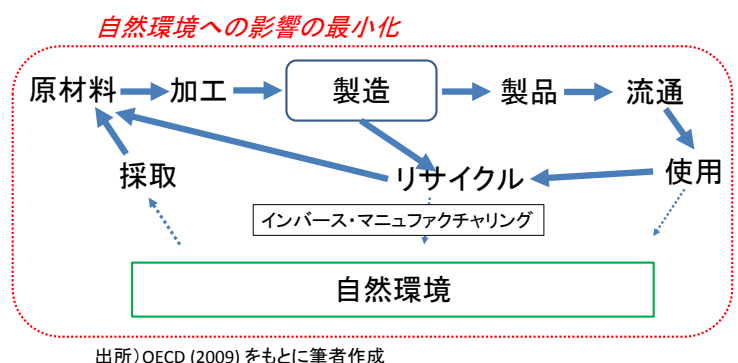


図7-10 Closed-loop Production の概念

図7-9の Life Cycle Thinking の段階では、再生資源を必ずしも当該製品に利用せず、

他の産業用途であってもよい。つまり Open-loop の Cradle to Gate（ゆりかごからゲートまで）であってもよい。それに対して図 7-10 の Closed-loop Production では、可能な限り環境への影響を低減するために自然環境からの採取を最小化し、再生資源を当該製品の再生原料として再投入するのである。

クローズドループのモノづくりでは、インバース・マニュファクチャリングを含めた製品設計により、自然環境への影響を最小化する。インバース・マニュファクチャリングは、使用済み製品の回収 → 分解・分別 → 再資源化 → 再生資源の利用という従来の生産とは逆の工程を入れて、環境に配慮した製品設計を行うことである。

この段階では、製品のライフサイクルの各工程、および、全体での環境負荷の情報が必要になり、インバース・マニュファクチャリングによりどのように環境負荷が低減したかを把握する必要がある。

⑥地球規模のインダストリアルエコロジーの段階

さらに第 6 段階は、産業全体を巻き込み地球規模でマテリアル・フローを考慮する Industrial Ecology の段階へと発展させるものである。

Industrial Ecology に関して、例えば、国際金属鉱業評議会（The International Council on Mining and Metals: ICMM）は、「マテリアル・スチュワードシップ（Material Stewardship）」の概念を提示した。これは、簡単に言うと、グローバルな観点で「ゆりかごからゆりかごまで（Cradle to Cradle）」というクローズドループによって、質を劣化させることなく鉱物資源を繰り返し利用するという考え方である。スチュワードシップは、鉱物資源の採取から製品の原材料として提供するプロセスのスチュワードシップと、原材料を用いて製品を製造し使用後の再資源化とその利用まで含めたプロダクトのスチュワードシップに大別される²⁾。

このような流れを受けて、OECD の環境政策では Sustainable Materials Management³⁾ が基本となっており、今後は、産業全体、地球規模で、環境情報の管理が求められる傾向が強まることが予測される。

4.3 持続可能なモノづくりにおける環境負荷情報収集の課題

上述のように、地球規模で製品管理と環境負荷情報が求められる現在、従来のコア企業によるトップダウン型の情報収集は困難であると考えられる。

本研究において提案する、直接取引するサプライヤーの情報を含めて、自社の基本情報を提供すること、取引先企業は基本情報から該当数量を算定して情報を加工し、その企業自身の基本情報を提示する。このような流れによって、ボトムアップに構成することは可能だと考えられる。第 7 章では材料と製品の環境多元簿記システム例を示したが、インバース・マニュファクチャリングにおいて、各工程のマテリアル・フローを環境多元簿記システムで把握し、2 社間の取引におけるボトムアップ型情報伝達の仕組みを構築すること

で全体の情報収集を構成することが可能である。この点については第9章でも述べる。

本研究が構築を目指す環境・経済情報システムは、このような Sustainable Manufacturing の発展に対応するものである。ただし、環境情報の計測や算定の方法に加えて、公開の方法やルールに関する合意を、業界だけではなく国際的な規模で検討する必要がある。

注

- 1) Sustainable Manufacturing の変遷と概念については、OECD(2009)を参照。
- 2) Materials Stewardship については、ICMM(2007)を参照。
- 3) Sustainable Materials Management の概念と政策については、Fiksel(2011)および OECD(2012)を参照。

*参照した主な資料

下記 URL の最終アクセス日は 2015 年 12 月 22 日である。

- ・安田工業株式会社「釘ができるまで」
<http://www.ysd-kk.co.jp/kugimake.html>
- ・美鈴ハサミ株式会社「ハサミの雑学 鋼について」
<http://www.misuzu-hasami.co.jp/zatugaku/zatugaku/hagane.html>
- ・釘の種類、特徴、用途
<http://www.handsman.co.jp/myweb/D03-3-1.html>
- ・佐々木化学薬品株式会社「酸化皮膜除去（スケール落とし）」
<http://www.sasaki-c.co.jp/business/metal-surface/sankahimaku.html>
- ・ジャパン九州ツーリスト株式会社「釘づくりのパイオニア安田工業」
<http://www.japan-kyushu-tourist.com/defaultService.asp?aIdx=37502>

第8章 環境多元簿記システムを活用する

環境学習シミュレーションの方法

本章の概要

第5章では、マテリアル、工程、環境負荷の分類、および、潜在的な環境負荷の再定義を代数的多元簿記システムに導入することによって、環境多元簿記システムを構成する方法を示し、第6章と第7章で鋼製造と釘製造を例として具体的に作成した。環境多元簿記システムの第一段階は、現場で、工程に係るあらゆるマテリアルとサービスのフローを洗い出すことである。本章では、工程のマテリアルとサービスのインプットとアウトプット、および、潜在的な環境負荷をシミュレーションするためのビジュアルでアナログな「環境学習用ボード」を提示し、その有効性を検討する。ゲーミングシミュレーションへの応用する方法についても述べる。

1. 環境学習ボードの必要性

本研究において提示した環境多元簿記システムでは、工程に係るマテリアルとサービスについてのマテリアル・フロー図、環境多元簿記テーブル、環境多元簿記の交換代数、潜在的環境負荷の交換代数と、段階的に構成する。

環境多元簿記システムの第一段階は、現場で、工程に係るあらゆるマテリアルとサービスのフローを洗い出すことである。環境負荷を的確に管理するためには、定量的な計測や算定の評価に先立ち、「マテリアルやサービスが何か」、および、「管理すべき・減らすべき環境負荷は何か」を正確に把握することが必要である。従来の手法では、環境科学の知識を持った担当者が、環境負荷の洗い出しやデータ収集を行うものであり、環境会計分野の専門的手法と考えられている。

本研究では、マテリアルとサービスのインプットとアウトプットを把握し、潜在的な環境負荷の認識、さらに、管理すべき環境負荷を、現場の工程において実践する方法を提示するものである。その実践のためには、あらゆる現場であらゆる人が使用できる簡単なマテリアルのインプットやアウトプットを把握する方法が必要である。

ここでは、それらをシミュレーションするためのビジュアルでアナログな「環境学習用ボード」を提示する。

これまでの章では製造業の事例で示したが、本来、本研究が提示する環境多元簿記システムは、製造工程だけではなく、非製造工程、日常生活の諸活動など、あらゆる工程を対象にできるものである。本章の環境学習用ボードの使用例において、その点についても明確にする。また、環境学習用ボードは、様々な現場で誰でも使える方法であることを、実

施例からも示す。

2. 環境学習用ボード

2.1 環境学習用ボードの構成

本研究では、マテリアル・フローを描くために、図5－6で示したマテリアルの基本分類を用いて、図8－1のような環境学習ボードを提案する。

環境学習用ボード：何か1つの工程を選びインプット・アウトプットを描いてみよう

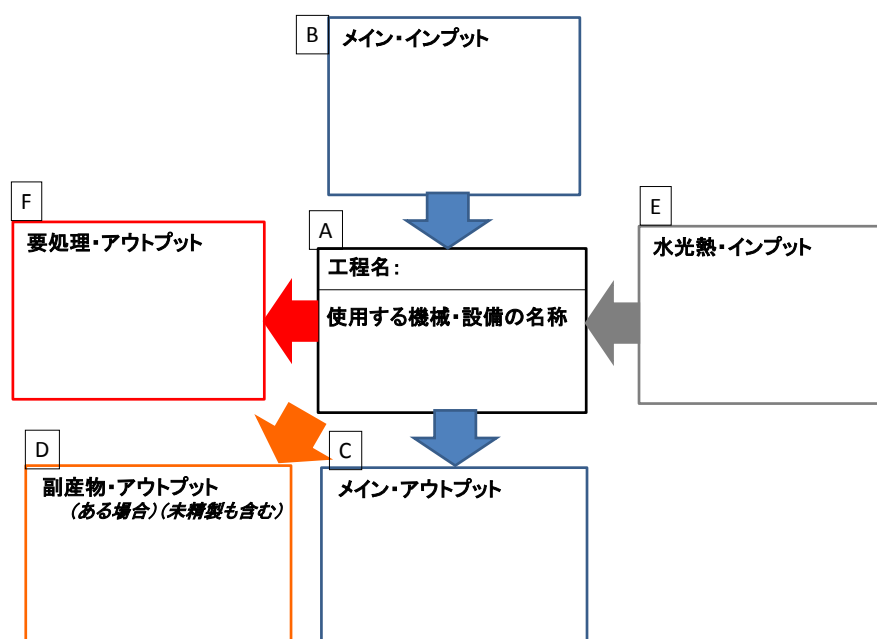


図8－1 環境学習用ボード

環境学習用ボードは、A から F までの 6 つのボックスで構成される。

A は、工程の名称と、主に使用する機械・設備を記載する。

B は、当該工程において主要な資源や材料などメインのインプットである。

C は、当該工程の主要なアウトプットである。

D は、副産物がある場合に記入する。副産物は精製や加工、処理などを要するものも含む。

E は、主として機械・設備利用に伴う水、電力、ガス、燃料のインプットである。ただし、メインの資源として水資源を使用する場合は B に書く。

F は、廃棄物や汚染物質などの処理を要するもの、および、大気や下水中に排出される物質などのアウトプットを書き込む。

2.2 環境学習用ボードの具体例

第6章で取り上げた鋼製造における乾留工程は、図8-2のように表される。

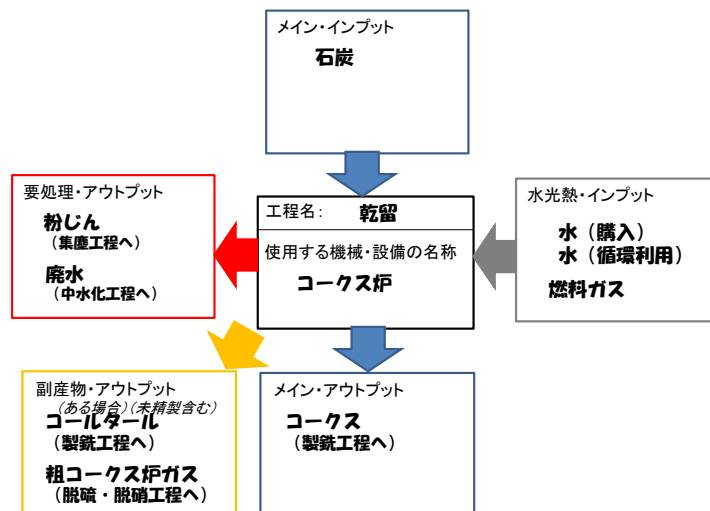


図8-2 乾留工程の例

上記では製造過程の例を挙げたが、このボードは、非製造過程や日常生活などの多様な活動について、利用することができる。例えば、図8-3は、衣服の洗濯の例である。

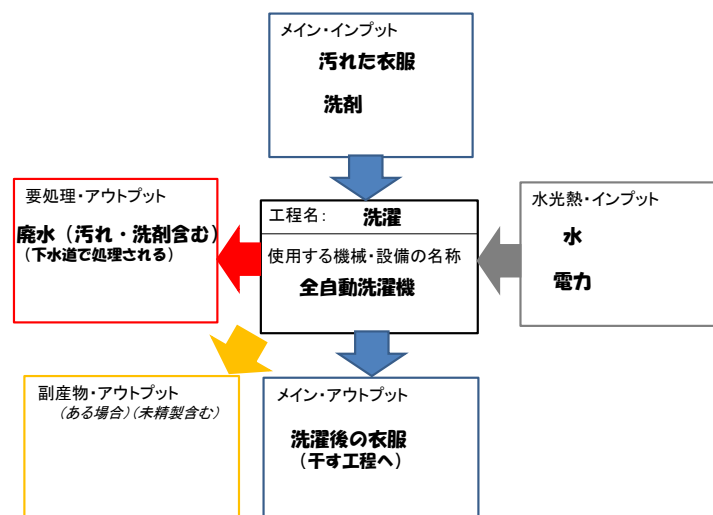


図8-3 洗濯の例

3. 環境学習用ボードを用いた学習の要素

3.1 各ボックスの環境負荷の管理と経済的側面

図8-1に示したように、環境学習用ボードはAからFの6つのボックスで構成され、図8-2や図8-3で示したように、様々な工程について適用することができる。本研究の方法では、工程に係るあらゆるマテリアルのインプットとアウトプットを潜在的な環境負荷と捉える。第5章でも述べたが、AからFのボックスは、それらが6つに分類できることを示すものである。この環境学習用ボードを、あらゆるマテリアルを潜在的な環境負荷として認識した上で、管理すべき、あるいは、低減すべき環境負荷を見出すために用いる。

AからFのボードに記される潜在的な環境負荷は、いずれも、「適量であること」や「削減すること」が望ましいが、それぞれの管理の内容、および、その経済的意味は異なる。図8-4に概要を示す。

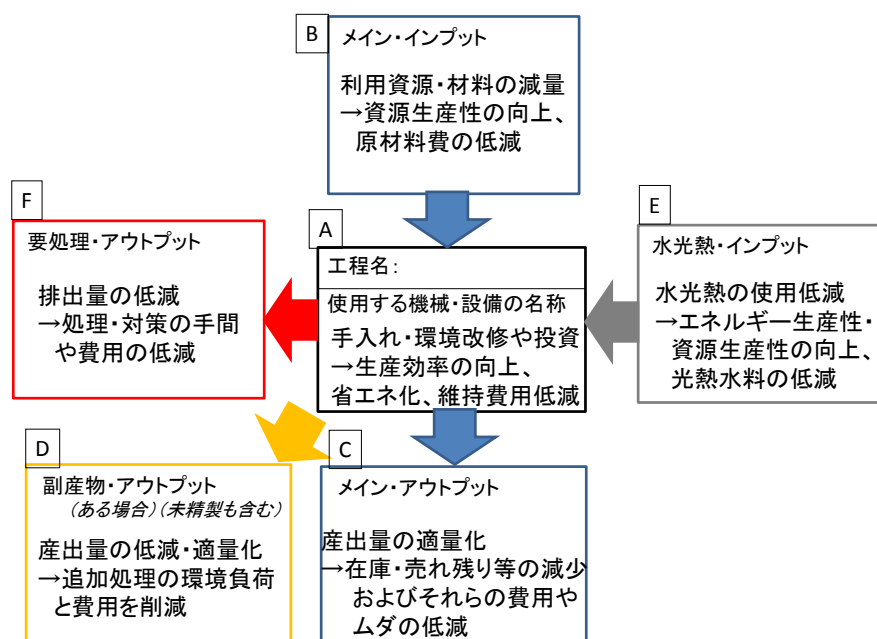


図8-4 各ボックスの環境負荷の管理と経済的側面

Aは、工程の名称と、主に使用する機械・設備を記載するボックスである。生産設備のメンテナンスは生産効率向上に結びつき、故障などを回避して長期間の使用に役立つ。また、空調設備のメンテナンスはエネルギー効率の改善になる。さらに、例えば、省エネ型機械への更新は、初期投資は必要だが、ペイバック期間後には光熱費が低減するため、維持費用の低減につながる。

Bは、当該工程の主要な資源や材料といったメイン・インプットを記入するボックスである。利用する資源や材料の低減は、資源生産性を向上させ、資源や材料の購入費用の削減

に結びつく。

Cは、当該工程の主要なアウトプットを記入するボックスである。たとえメインのアウトプットであっても、潜在的な環境負荷という側面だけではなく、経済的側面からも、適量であることが望ましい。その理由は、部品や製品の在庫が増えると保管費用が増大し、ムダが発生するからである。また、使用や消費期限があるものの場合は、過剰分が廃棄につながり、その環境負荷が増加し、処分のための費用も要する。

Dは、副産物がある場合に記入するボックスである。副産物として活用や売却ができる場合であっても、産出量の低減や適量化が望ましい。特に、精製など追加の処理を要する場合には、そのための環境負荷や費用が増加するからである。また、切削加工による金属くずを副産物として売却するケースでは、ムダをなくし本来の製品への配分を増やすことにつながる。

Eは、主として機械・設備利用に伴う水、電力、ガス、燃料のインプットを記入するボックスである。これらの使用低減は、資源生産性やエネルギー生産性の向上に結びつき、光熱水料金の削減になる。

Fは、廃棄物や汚染物質などの処理を要するもの、および、大気や下水中に排出される物質のアウトプットを記入するボックスである。廃棄物や汚染物質の排出低減は、対策や処理の費用の低減に結びつく。

以上のように、各ボックスに記される潜在的な環境負荷について、低減や適量化する経済的側面も含めた意味を学ぶことができる。その上で、製造等の現場では、法規制や社会の要請も考慮し、特に管理すべき環境負荷、低減すべき環境負荷を抽出することが可能になる。

3.2 同一工程に関する比較

環境学習用ボードを使って、同一工程について、インプットとアウトプットが異なる工程や、使用機器や道具が異なる工程の方法、および、それらの相違による環境負荷の相違を学ぶことができる。ただし、これらの相違による環境負荷の大きさの相違は、環境多元簿記テーブルを作成し計測や算定を実施して初めて明らかになる。

例えば、図8-5は、家庭でカレーライスを作る場合の野菜カット工程についてのマテリアルフローである。図8-5(a)のケースでは、じゃがいもとたまねぎの皮は、一般ごみとして廃棄されるが、にんじんの皮はきんぴらの材料として使われる。図8-5(b)は、野菜の皮すべてをコンポストで堆肥化するケースである。

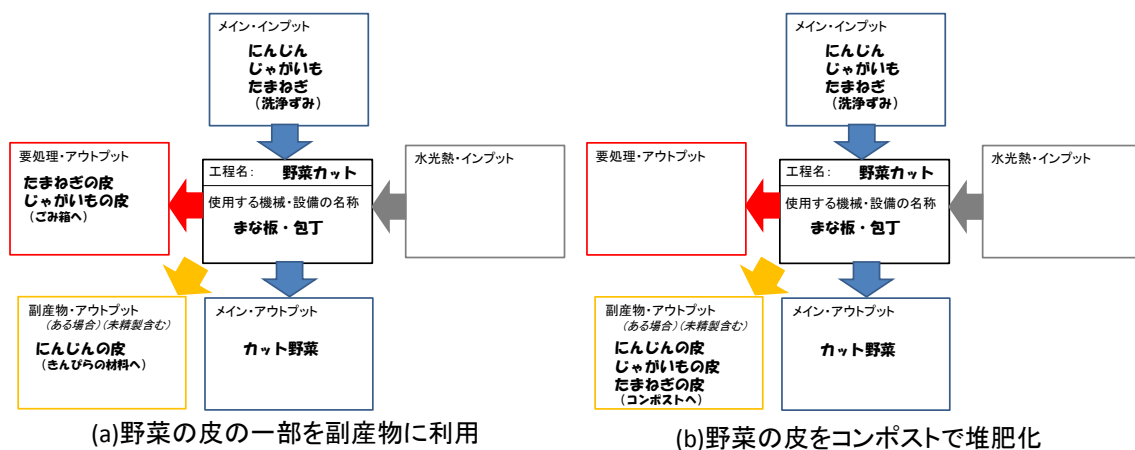


図 8-5 野菜のカット工程の比較

図 8-6 は、カレーライスを作る場合、野菜カット後のボイル工程についてのマテリアル・フローである。一般にはなべを用いるが、なべで短時間ボイルした後、布カバーをかぶせておくケースや、圧力なべを用いるケースもある。これらのケースでは、インプットとアウトプットは変化しないが、その量には違いが生じると考えられる。それらについては、環境多元簿記テーブルの作成の段階で、計測や算定をすることになる。

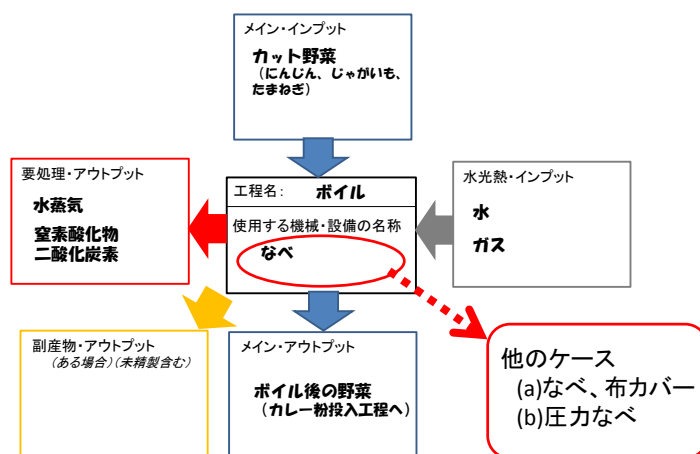


図 8-6 野菜のボイル工程の比較

3.3 環境学習ボードから環境多元簿記テーブルへの変換

先にも述べたように、環境学習ボードは、環境多元簿記テーブルの作成の前段階としてマテリアルフローをするために利用することができる。

図 8-2 に示した乾留工程を例として、環境学習ボードの各ボックスと環境多元簿記テ

ーブルの対応を図8-7に示す。環境多元簿記では、経済的価値の正負に関わらず、物量として増加するものを左側の借方に記入し、物量として減少するものを右側の貸方に記入する。

取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位
コークス 生産	コークス C:メイン・アウトプット			石炭 B:メイン・インプット		
	粗コークス炉ガス (精製前) D:副産物・			乾留サービス A:機械等利用		
	コールタール (副産物) アウトプット			労働サービス		
	粉じん F:要処理・アウトプット					
	排水					
取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位
乾留サービス 生産	乾留サービス A:機械・設備等利			コークス炉減価償却 引当時間(1000℃) 機械等減価償却		
				燃料		
				水(冷却・循環利用) F:機械・設備の 水光熱		
				水(冷却・購入)		

図8-7 環境学習ボードと環境多元簿記テーブルの対応

借方の一番上にCボックスのメインのアウトプット、貸方の一番上にBボックスのメインのインプットを書く。上記の乾留の例ではB、Cとも1つのマテリアルであるが、複数の場合は、メインのものから順に記入する。

先に述べたように、機械・設備などの経営資源の利用を「サービス」として扱う。Aボックスの機械・設備はサービスとして、貸方の投入側に、メインの次にサービス名をつけて記入する。

借方では、メインの次には、Dの副産物を記入し、さらに、Fの排出を記入する。

以上で、メインのマテリアルを生産する工程の環境多元簿記となる。

第5章で説明したように、Aの機械・設備を利用するサービスについては、「サービス生産」を、メインのマテリアル生産とは分けて作成する。サービス生産の借方には、マテリアル生産の貸方の2番めに書いたサービス名を書き、借方には、機械・設備の減価償却引当時間（稼働時間）と記入する。

さらに、サービス生産については、貸方に、Eボックスの機械・設備を稼働するための水光熱を記入する。

4. 環境学習用ボードを活用する場面

本研究で提示する環境学習用ボードは、以下の 3 つの場面で活用することを想定している。

第 1 は、工場・店舗・オフィスなど事業活動の現場での環境学習である。先に述べたように、従来、組織全体のマテリアルバランスや製品の LCA の実施においては、実施者が工程を洗い出し関連する環境負荷を把握する。本研究の方法は、現場での環境学習を通して、現場からその情報を収集者に提供するものである。

第 2 は、代数的多元簿記および、それを活用した環境多元簿記の作成に際して、前段階の学習である。企業会計では、貨幣ベースの簿記体系が構築されているが、貨幣の流れはマテリアルやサービスの活動から生ずるものである。本研究の環境多元簿記システムの方法は、貨幣ベースの簿記の背景としての実物簿記ではなく、マテリアルやサービスの流れを代数的多元簿記で捉え、それをベースとして、貨幣簿記や環境多元簿記に変換する。この方法により、貨幣ベースの簿記では、経済的価値をもたないため記載されなかった潜在的な環境負荷についても、明示的に把握でき、その経済性や環境性を定量化できるようになる。

第 3 は、大学教育等において、環境経営、環境マネジメント、環境科学といった科目の学習において、IPO 分析の概念を理解するためのツールとしての活用である。

5. ファシリテーション

5.1 実施のスタイル

本研究のボードを用いた学習は、グループ、個人、いずれでも可能である。企業の製造現場や少人数学習の場では、情報や理解を共有するために、グループ分けを行い、ワークショップスタイルで行う。

5.2 準備

グループワークの場合、ホワイトボードまたは模造紙、ポストイット、マジックを用意する。ホワイトボードや模造紙を用いて、作業段階で図 8-1 の環境学習ボードを描く。大人数教室の授業で個人学習として実施する場合は、事前に図 8-1 の環境学習ボードを印刷しておく。

5.3 学習のフロー

学習は図 8－8 の手順で行う。

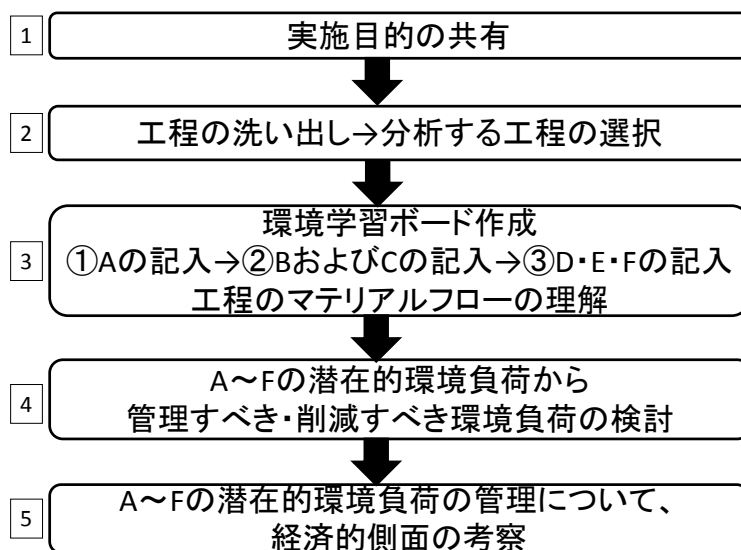


図 8－8 学習のフロー

第 1 段階では、ファシリテータが実施の目的を説明し、メンバーで共有する。実施の目的については、前節で述べたように、主として 3 つのケースがある。グループワークの場合はグループを作る。

第 2 段階では、現場でのタスクをリストアップする。教育目的の場合は、自身が行っているアルバイトや日常生活の行動で思いつくものを 5 つ程度書き出してもらう。

それぞれのタスクや行動を「工程」と呼び、リストの中で、マテリアルフローと IPO 分析の対象とする工程を 1 つ選んでもらう。

第 3 段階では、以下の手順で工程のマテリアルフローを作成する。グループワークの場合は、この段階で、ホワイトボードや模造紙に図 8－1 の環境学習ボードを描く。

まず、A ボックスの工程欄に工程名を記入する。A 欄の機械・設備に入るものを書き込む。個人の場合は用紙に直接書き込む。グループワークの場合は、思いついたメンバーが、ポストイットに書き込み貼り付ける。次に、B ボックスと C ボックスに、当該工程のメインのインプットとアウトプットを入れる。さらに、副産物にある場合は D ボックスに入れ、機械・設備に要する水光熱を E ボックスに入れる。最後に、処理を要する廃棄物や汚染物質の排出や、大気や下水に放出されるものを F のボックスに入れる。

グループワークにおいて、不明確なものがある場合には、未記載のポストイットを貼り付けておく、ファシリテータへの相談や現場のデータ確認などにより明らかになった時点で具体名を書く。特に F ボックスについては環境科学の知識が必要となるため、不明な場合は、グループメンバーで分かる範囲で書いておいてもらう。

完成したら、工程についてマテリアルフローの全体像を理解する。

第 4 段階では、記入したボックスのマテリアルが潜在的なマテリアルであることを、ファシリテータが解説した上で、現場で管理すべき、あるいは、削減すべき環境負荷は何かという点について話し合ってもらおう。

第 5 段階は、それぞれのボックスの潜在的環境負荷の管理について、その経済的側面をグループで考えてもらい、最後にファシリテータが、図 8-4 にまとめた内容について解説する。

さらに、同一工程のマテリアルや機械の変更による環境負荷の相違を学習する場合には、必要に応じて解説し、参加者に検討してもらおう。また、環境多元簿記システムの学習として実施する場合には、図 8-7 で示した対応を学習し、作成する。

5.4 ファシリテータに求められる力量

ファシリテータは、上記のような環境学習をすすめる力量をもつ人材として、環境経営、環境マネジメント、環境技術、環境科学の知識を持つ人材が望ましい。企業では、環境管理部門の担当者や現場の管理責任者が担うことが可能であると考えられる。また、生産現場の場合には、生産工程や用いている技術に詳しい人も、ファシリテータまたは実施メンバーに加わってもらふ必要がある。

6. 環境学習ボードを活用した学習例

本研究で開発した環境学習用ボードを用いて、京都産業大学経営学部の専門科目「環境マネジメント論」において、IPO 分析を理解するための学習を実施した。

実施日は 2015 年 11 月 9 日(月)の 3 時限目、図 8-8 の第 1 段階から第 3 段階を実施した。大教室で文系の学生のため、第 4 段階は難しいので省き、第 5 段階の解説の際に環境負荷と管理の経済的意味を解説した。

表 8-1 に、学生が記した工程の内訳、および、ほぼ適切に作成された数を示す。

表 8-1 から、本研究で提示した環境学習用ボードは多様な工程に適用可能であり、文系学生でも工程に関するマテリアル・フローを捉えることは可能であることがわかった。学生からも、「小さな工程でもマテリアル・フローを捉えられることがわかった」という感想が多く寄せられた。

予想外の回答としては、レジの副産物に「募金」、バイクによる宅配便の副産物に「事故の危険性」というものがあつた。後者のケースから、リスクを把握するツールとして適用する可能性もあると考えられる。

また、洗濯の副産物に「香り」「匂い」というものがあつたが、それらが「臭い」と捉えられる場合には、要処理・アウトプットに入ることになるだろう。

表 8－1 学生が記した工程の内訳

分類	項目	人数	ほぼ適切に 作成
仕事・ 生活	調理(仕事50(飲食店等)、生活12)	62	62
	清掃・片付け(仕事14(店舗等)、生活2)	16	16
	洗濯・アイロン(仕事3、生活9)	12	12
	食器洗浄(仕事10(飲食店等)、生活2)	12	12
仕事	品出し・陳列・整理	23	23
	接客(注文とり・料理等提供)	13	11
	レジ打ち	9	9
	情報管理(商品発注・情報入力等)	8	8
	商品配達	3	3
	製造(鉄材・木材・茶葉の加工)	3	3
	機械・設備のメンテナンス	2	2
	測量(家屋の測量)	1	1
	商品開発	1	1
個人の 行動 など	風呂(自分の身体を洗う)	4	4
	スポーツ	3	1
	タブレット絵画、スマホ利用	2	1
	買い物(定期券、服)	2	1
	喫煙	1	1
	不明(課題を理解していない)	1	0
	合計	178	171

7. 環境学習用ボードを活用するゲーミング作成の方法と課題

7.1 ゲーミング作成の方法

本研究で提示した環境学習用ボードを用いて、以下のようにゲーミングを作成することが可能である。

まず、製造、洗浄など、特定の工程について、環境学習用ボードによりマテリアルフロー図を描き、実際の数値を用いて環境多元簿記テーブルを作成する。工程と数値はゲーミング設計者がきめておくが、参加者に作業をしてもらう。これを基本型とする。

次に、機械・設備やマテリアルの変更のケースを、参加者がグループに分かれて選び、それぞれの環境学習用ボードを作成する。環境多元簿記テーブルを用いて、それらの変更による数値の変化を基本型と比較する。この過程では、ゲーミング設計者が変更による数値変更について、事例などから設定しておく。

最後に各グループの結果を比較する。

7.2 ゲーミング作成の課題

本章では、あらゆる工程について、マテリアルのインプットとアウトプットを把握できる環境学習用ボードを提示し、学習内容、利用場面、利用方法を説明した。このボードに

より、経済的側面も含めた環境負荷の管理の意味を学ぶことができるため、環境性と経済性を向上させる環境経営を捉えることが可能になる。また、大学の授業で試行し、多様な工程に適用できることと、現場で働く人が使えることから、有効性が確認できた。

ゲーミング作成のための今後の課題は、主に2つある。

第1に、ここに記載した設計に基づきゲーミングを作成し試行することである。

第2に、企業の現場で使ってもらい、環境多元簿記システムへの活用が可能であることを確認することである。さらに、当てはまりが悪いケースについて原因を解明し、環境学習用ボードの修正点を見つけることも必要である。

第9章 環境多元簿記システムの活用による

環境配慮型社会形成に向けた検討課題

本章の概要

第5章では本研究の核となる環境多元簿記システムの方法を提示し、第6章と第7章で鋼製造と釘製造を例として具体的に作成した。さらに、第8章では、環境多元簿記システムの第一段階で用いることができる環境学習用ボードを提示し、環境学習シミュレーションに活用する方法を提示した。

本章では、環境多元簿記システムの活用を環境配慮型社会に結びつけるために必要な検討課題を示す。まず、環境多元簿記システムの活用が企業経営にもたらす意義を述べる。次に、個々に作成された環境多元簿記システムの適切性を判定する方法について、トレーサビリティの観点から提示し、実現に向けた検討課題を挙げる。さらに、ミクロ・マクロリンクという観点から、個々の企業の環境多元簿記システムから提出される環境情報を、環境政策における情報収集および環境統計に結びつけるためのプラットフォームの構想を挙げ検討課題を述べる。最後に本研究の手法の展望として、サービス業への適用の意義と普及のための検討課題を挙げ、環境多元簿記システムが環境経営に対してもたらすイノベーションの意義を提示する。

1. 環境多元簿記システムの企業経営に対する意義

第5章の第8.1節で、従来の環境負荷評価手法との比較における環境多元簿記システムのメリットを挙げた。それらは、ボトムアップ型情報収集、現場と情報管理部門の役割分担、IPO 分析を適用する手法への応用を可能にするダブルエントリーの記述、および、現場での環境学習シミュレーションの実施という4点である。

本節では、環境多元簿記システムを導入することによる企業経営に対するメリットについて、環境経営に取り組んでいない企業、環境経営に取り組んでいる企業、環境経営先進企業のそれぞれについて述べる。

環境経営に取り組んでいない企業、環境経営に取り組んでいる企業、環境経営先進企業に関する正確な統計データはないが、以下のように推察することはできる。第4章の第4.3節①で述べたように、全企業数は約385万でそのうち製造業は約43万であり、全企業のうちISO14001または国内版EMSの認証を取得している企業数は約33000である。製造業ではEMS認証取得をしていなくても取引先の指針を踏まえて環境対策を行っている中小企業も多い。その点を考慮して全製造業が環境経営に取り組んでいると仮定した場合でも、環境経営に取り組んでいない企業の方が大多数を占めることが推察される。また、毎年実

施されている日経 BP の環境経営度調査への回答企業数は約 500 程度である。先進的環境経営を行う企業を環境経営度調査の回答企業と仮定した場合、全企業数に対してごく一部であることが推察される。

1.1 環境経営に取り組んでいない企業に対するメリット

第 1 章の第 1.2 節で、環境経営は、単なる環境活動の寄せ集めや EMS 導入ではなく、新たな企業経営スタイルであり、「環境理念を組織の中心に位置づけ、企業活動のプロセスに環境配慮の視点を組み込み、環境性と経済性の向上を目指すこと。その結果、環境配慮型社会の構築に貢献すること」という定義を示した。この定義にも記されているように、環境経営の基盤は環境理念であり、出発点は経営者の意思決定である。しかし、既に述べたように、環境経営は社会全体に浸透するまでには至っていない。

第 3 章の第 8.4 節で述べたように、環境多元簿記システムの研究の発端は、環境経営に関心がない、あるいは、目を向ける余裕がない中小企業であっても、通常業務で実物簿記として活用すれば環境経営の実践に結びつく手法があればよいのではないかという問題意識であった。環境経営に取り組んでいない企業にとって、環境多元簿記システムの導入は、以下の 4 点で工程におけるケイパビリティを向上させる機会となる。

①工程の理解

第 6 章と第 7 章では、鋼製造と釘製造について環境多元簿記システムを作成した。その際に、鋼工程では例えば乾留、焼結、製銑、製鋼といった工程、釘製造では皮膜除去工程と切削加工工程に分類した。しかし、実際の工程では更に複雑である。例えば、第 7 章で述べたように、切削加工工程とした工程は、実際には伸線、製釘、研磨という 3 つの工程がある。一つの名称で同じ場所において行われる場合であっても、さらに複数の工程に分解可能な場合がある。環境多元簿記システムにおいて企業活動に係るマテリアルとサービスを詳細に把握するためには、最小単位の工程で、マテリアルとサービスをシンプルに捉えられる範囲に落としこむ必要がある。

このことは、現場において、工程の分解、各工程の作業の種類、作業に用いられるあらゆるマテリアルとサービスの種類、およびそのフローについて、詳細な把握を可能にする。このような作業を通して、工程、作業、マテリアルの再検討が可能になる。

②計測の継続と効率性向上への活用

環境多元簿記システムは、現場での情報把握を基本としており、最小単位の工程に関するマテリアルやサービスの量について、計測方法を習得し計測することを現場に求める。将来はセンサー技術やモノの情報化によって人間が作業をする必要は減少するだろうが、基本は現場での計測である。計測作業を通して、マテリアルやサービスの量が明示的に理解されるようになる。さらに、例えば 1 ロットの製造毎など一定期間ごとの計測の継続に

より、工程における作業の見直しによる量的変化の把握ができる。それは、資源効率性や廃棄物削減といった効率性の改善に結びつく要素を見出すことにつながる。

③潜在的な環境負荷の理解

環境多元簿記システムにおいては、あらゆるマテリアルとサービスを潜在的な環境負荷と捉え、マテリアルの6分類の把握により、その潜在的な環境負荷としての意味、および、その管理の経済的な意味を理解できる。この環境学習は、第8章で示した環境学習シミュレーションで行うことができる。このような学習を可能にする方法は、従来の環境負荷評価手法には組み込まれていなかった。

④数値改善による環境経営の実践

第6章の第7節で、環境多元簿記テーブルを用いて、インプットのコスト把握、さらに、アウトプットのMFCA的なコスト按分法により環境負荷発生のお金費用を把握する方法を提示した。この手法を活用して、お金費用を削減することを目的として工程を見直すことにより、環境経営の実践に結びつく。つまり、工程の再検討から始めた環境多元簿記システムの利用を、結果として環境経営に結びつけることが可能である。

1.2 環境経営に取り組む企業に対するメリット

すでに環境経営を導入し取り組みを進めている企業にも、先に上げた環境経営に取り組んでいない企業に対するメリットは同様に生じる。従って、工程における上述の4つの学習機会によってケイパビリティ向上に結びつく。

さらに、環境経営の取り組みを進めている企業には、以下の3点で、現在の環境経営を高度化する機会となる。

①環境多元簿記システムから既存の環境負荷評価手法への展開

第4章の第3節で示したように、EMSにおける組織の環境影響評価、製品のLCA、製品と廃棄物に着目するMFCAは、いずれも各工程の環境負荷に関するインプットとアウトプットを把握するIPO分析を基盤としている。環境多元簿記システムは、工程に関するあらゆるマテリアルとサービスのフローを実物で把握する手法であり、次ページの図9-1に示すように、これをベースとして既存の環境負荷評価手法を構成することができる。

環境多元簿記システムでは、各工程の生産基本単位をベースとしてマテリアルとサービスの量を把握し、第5章の第6節で述べたように、バックキャストिंगにより対象製品の基本生産単位に基づき各データの調整を行う。その全体統合において、LCAの対象とする環境負荷について製品1単位の算定を行う場合には、製品のLCAのインベントリデータを構成することができ、主要マテリアルのフローとそのコストを把握することでMFCAに結びつけることができる。

また、把握管理の対象とする環境負荷について、1年間などの一定期間の各工程における計測または算定されたデータから、当該組織の環境影響評価の基礎データとすることができる。その値は、当該組織における環境負荷の全体像としてまとめることができる。

つまり、既存の環境負荷評価手法は、それぞれ個別に用いられているが、IPO 分析をベースとした共通の環境多元簿記システムから構成することができるのである。

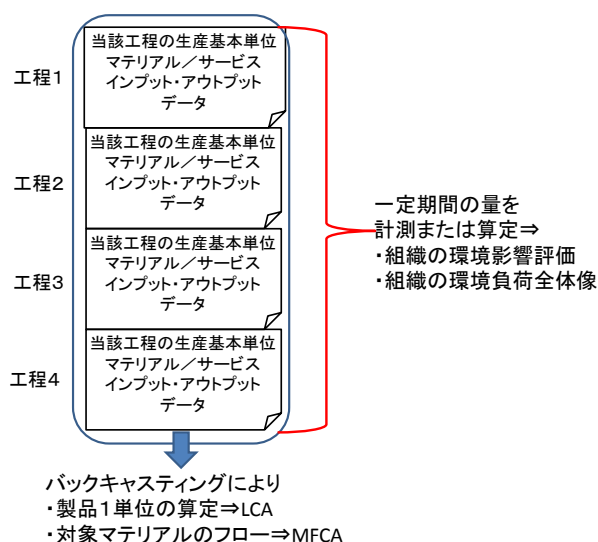


図 9-1 環境多元簿記システムによる内部環境会計への展開

第4章の第4.3節で述べたように、すでに環境経営に取り組んでいる企業であっても、製品のLCAを行っている企業は限定されている。また、LCAを実施している企業であっても全ての製品を対象としているわけではない。そのような企業にとって、環境多元簿記システムという共通のフレームワークにより、既に実施している組織の環境影響評価と未実施のLCAをリンクさせることができ、環境経営を高度化させることができる。

また、組織の環境影響評価を活用している場合でも、必ずしも、各工程にかかわるマテリアルとサービスを対象にした実物把握を徹底して行っているとは限らない。例えば、使用する化学物質が少量であるため、現状では重点的に対策を講じるべき環境負荷であると位置付けていない場合もあるだろう。そのような場合であっても、環境多元簿記システムで量を把握し、化学物質管理情報とリンクする仕組みを構築することで、化学物質に関するリスクマネジメントの実施が可能になり、将来に起こりうる化学物質規制強化へも対応ができる。この点でも環境経営を高度化につながる。

②情報提供型環境政策への対応

環境政策の中には、一定条件を満たす事業者に対し環境負荷の排出量等の報告を求めるものもある。有害物質に関する情報提供型として、化学物質排出把握管理促進法(Pollutant

Release and Transfer Register、PRTR 法)は、特定化学物質について事業者の自主管理の促進を目的とする法律で、指定される特定化学物質を一定量以上使用・排出する事業者に対し、排出量や移動量を把握し報告することを義務づけている。移動量とは業者委託の処分量を指す。

エネルギーと気候変動問題に関するものとして、エネルギー使用の合理化に関する法律(省エネ法)では、エネルギー使用量大が原油換算で年間 1500kl 以上の工場・事業場に対し、エネルギーの使用量と消費原単位等を毎年報告することを義務づけている。また、省エネ法でエネルギー使用量の報告義務がある特定事業者に対し、温暖化ガス排出量の算定・報告・公表制度では、温暖化ガス排出量を算定し国に報告することを義務づけている。

廃棄物関連では、食品リサイクル法では年間 100t 以上の食品廃棄物を排出する事業者に対し、食品廃棄物の発生量や食品循環資源の再生利用等の状況を報告することを、容器包装リサイクル法では、年間 50t 以上の容器・包装を利用する事業者に対し、容器包装の利用量や発生抑制の取り組み状況などを報告することを義務づけている。

図 9-1 に示したように、環境多元簿記システムは、報告対象の環境負荷について一定期間のデータを作成することができるため、これを報告に用いることができる。従来は個別に集計されていたものについて、同じ共通の方法で集約できるため、効率的な管理や報告を行うことが可能になる。

また、後述するが、環境多元簿記システムのマイクロ・マクロリンクのシステム化により、個々の企業報告から国全体のデータに集計することが可能になる。

③社内外における環境教育の実践

既に述べたように、環境多元簿記システムを用いる環境学習シミュレーションによって、企業内で環境学習ができる。

環境経営に取り組む企業には、地域の教育委員会や商工会議所等と連携して、環境教育を行うケースも多い。主な活動には、自社への見学の受け入れ、および、自社の環境専門家を学校に派遣して授業や体験学習の実施がある。後者は「出前授業」と呼ばれている。

第 8 章で示したように、環境多元簿記システムは生活における活動でも使えるため、出前授業で環境教育ツールとして活用することができる。環境経営の活動領域には、工場・オフィス・店舗での環境負荷削減、環境ビジネス、環境面での社会貢献という 3 つの領域がある。環境多元簿記システムの活用は、いずれの領域でも活用できるもので、社会貢献面でも新たな活動の選択肢を増やすことになる。

1.3 環境経営先進企業に対するメリット

日経 BP の環境経営度調査では、上位に評価される大企業の顔ぶれがあまり大きく変化することはなく、上位企業の得点差は小さい。環境経営を先進的に進め可能なかぎりの活動をしている大企業にとって、わざわざ環境多元簿記システムを導入することにメリットは

あるのか、という疑問が湧くだろう。

そのような大企業であっても、まず、上述の現場の工程での学習機会となるツールとして活用できること、および、環境経営の高度化や環境情報の報告への対応に活用できることというメリットがある。それらに加えて、以下の4点で、社会における環境負荷削減のハブとして貢献する機会となる。

①サプライチェーンの情報収集に関する役割の変化

第7章で示したように、本研究における環境多元簿記システムはボトムアップ型の情報収集を基本としており、2社間の取引において環境負荷伝票をつなぐことによって、サプライチェーンにおける製品の環境負荷を把握できる。

第1章の第1.2節および第1.3節で述べたように、大企業はサプライチェーン全体の環境負荷情報を把握することが求められている。本研究のボトムアップ型の手法によって、これまでコア企業が果たしてきたトップダウン型の情報収集の負担が削減される。ただし、コア企業の役割の重要性が低下するわけではなく、環境多元簿記システムと環境負荷伝票のシステムをサプライチェーンに伝達し、利用を推進するハブとなる役割がある。

②取引先への環境経営アドバイスの連鎖

第7章で示したように、環境多元簿記システムでは、製品の最終データの記載から、自社範囲外の環境負荷も把握できる。そのため、サプライチェーンのコア企業は、その値を踏まえて、直接的・間接的な取引先へのアドバイスを行うことも可能である。

第1章の第1.3節で述べたように、1996年にISO14001の認証制度が開始され、製造業大企業に認証取得が進むと、取引先である中小企業にも環境配慮要求が波及した。その中で、先進的環境経営に取り組む大企業では、取引先の中小企業へのアドバイスを行っていた¹⁾。第4章の第4.3節でもコニカミノルタによる取引先への伝道活動を挙げた。

取引先へのアドバイスはコア企業にとってサプライチェーンの環境負荷の低減に結びつくが、既に述べたように大企業であっても取引先の取引先にまでアクセスすることは難しい。

本研究のサプライチェーンの環境負荷のフローを表示する仕組みは、コア企業でなくてもその情報を把握できるようになる。コア企業によるアドバイスのノウハウを、直接的な取引先へ伝達し、伝達された企業からさらに取引先にアドバイスをすることが可能になる。つまり、ボトムアップ型の環境多元簿記システムと環境負荷伝票の仕組みを通して、「環境経営アドバイスの連鎖」を生み出すことができる。先進的環境経営を行う大企業は、環境経営アドバイス・チェーンにおけるハブとなる役割を果たすことができる。

③段階的な環境教育による環境人材の育成

環境多元簿記システムを社内外の環境教育に活用できると述べたが、環境教育活動を徹

底して普及させることで、環境人材の育成にもつながる。潜在的な環境負荷について、小学生に対する生活場面に関する学習、中学生に対する職業体験の場における学習、高校生への地域社会に関する学習、大学生に対する企業と社会の活動に関する学習というように、環境多元簿記システムを活用して「段階的な環境教育」を構成することができる。

環境教育は段階的な積み重ねが必要である。筆者自身の経験だが、大学生に環境活動の企画提案をさせる場で最初に必ずあがるのは「マイカップ・マイ箸・マイバック」運動である。中にはそれ以外はイメージしにくいという声もある。現代の学生は小中高校で多くの環境教育を受けたはずだが、基本的な知識にとどまっている。

先進的な環境経営を行う大企業は自社の経営資源を活かして、段階的な環境教育の中心的役割を果たすことができる。継続的な段階的環境教育の中心的役割を果たすことは企業自身にも、環境多元簿記システムの考え方や使い方を身につけた人材の獲得というメリットをもたらす。さらに、環境人材が企業において日常業務に環境多元簿記システムを反映させることは、企業活動のあらゆる側面に環境配慮を組み込むという本来の環境経営に結びつく。

④サステナブル・マニファクチャリングへの活用

本研究の第6章や第7章の具体例では、原材料加工や製品加工という、いわゆる動脈のモノづくりを取り上げて環境多元簿記システムを作成した。しかし、第7章の第4.2節で述べたように、社会の流れは、クローズドループのモノづくりや、地球規模でマテリアル・スチュワードシップを組み込むインダストリアル・エコロジーへと転換しつつある。最近では、キヤノンのトナーカートリッジや日産の自動車などが、自社製品由来の再生原料を製造に利用するクローズドループの取り組みを進めている。

クローズドループのモノづくりにおいては、静脈側、つまり使用後製品から回収、分別・分解、再資源化、再生利用に至るインバース・マニファクチャリングの工程においてマテリアルフローを捉える必要がある。また、インバース・マニファクチャリングの流通システムを構成するリバース・ロジスティクスにおいて、エネルギーなどのマネジメントも必要となっている。

動脈側のサプライチェーンマネジメントやロジスティクスでは情報管理システムが構築されているが、インバース・マニファクチャリングやリバース・ロジスティクスは研究途上である。サプライチェーンの情報収集と同様に、インバース・マニファクチャリングやリバース・ロジスティクスも含めた体系の全情報を製品製造のコア企業がトップダウン型で収集するのは困難である。第7章ではサプライチェーンに関して環境多元簿記システムと環境負荷伝票によるボトムアップ型の情報伝達の方法を提示したが、本研究の方法は、インバース・マニファクチャリングにおいても、図9-2に示すように適用することが可能である。

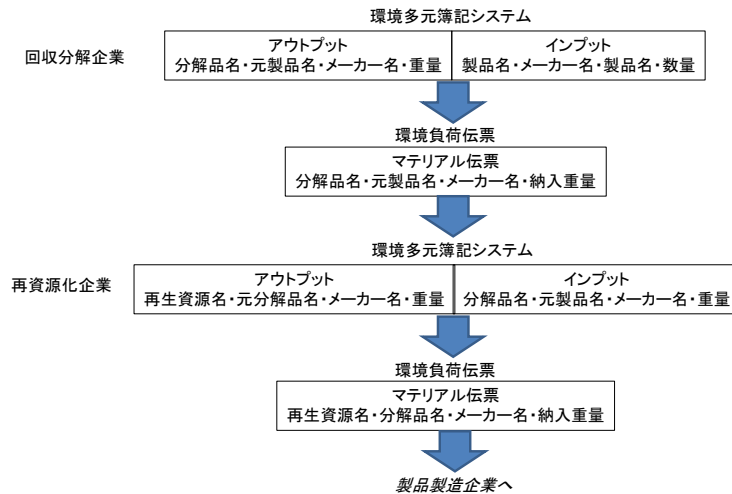


図 9－2 静脈における環境多元簿記システムと情報伝達

図 9－2 に示すように、製品の回収・分解業者は、環境多元簿記システムにおいて、メーカー名・車種・数量というインプットと、それぞれの部品のアウトプットを記録し、分解された部品の出所を次の再資源化業者に伝達する。さらに再資源化業者も、元のメーカー名の情報を落とさずに伝達するというシステムを構成することで、クローズドループの情報伝達となる。

製品のコア企業は、動脈のサプライチェーンにおける役割と同様に静脈側においても、環境多元簿記システムと環境負荷伝票のシステムを伝達し、利用を推進するハブとなる役割がある。これらのサステナブル・マニュファクチャリングにおける役割は、次節で述べるトレーサビリティのシステム構築とも関係している。

1.4 環境多元簿記システムの活用による環境経営の発展

上述のように、環境経営に取り組んでいない企業、環境経営に取り組んでいる企業、先進的環境経営に取り組んでいる企業という分類で、環境多元簿記システムの方法が企業経営にもたらす意義を述べた。ここでは、それらと環境経営との関係を示す。

第 1 章の定義で述べたように環境経営は環境性と経済性の向上を目指す。ここでは、環境性と経済性向上の 4 つの機会について概説し、上述のメリットとの関係を示す。

①環境性と経済性向上の機会

Esty & Winston (2006) は、環境性と経済性を向上させる機会には、「Costs (コスト)」、「Risks (リスク)」、「Revenues (収益)」、「Intangibles (無形価値)」と名づけられた 4 つの機会があることを示している。それぞれ、reducing costs (コストの削減)、avoiding risks (リスクの回避)、acquiring revenues (収益の獲得)、creating intangibles (無形価値の構築) という意味である。一方、環境経営の活動領域には、工場・オフィス・店舗での環境負荷削

減のような「経営活動における環境配慮」、「環境ビジネス」「社会貢献活動」という3つがある。在間(2016)では、4つの機会を3領域を考慮して、図9-3のように、Esty & Winston (2006)のフレームワークを加筆修正し、4つの機会を「環境コスト」「環境リスク」「環境ビジネス」「環境ブランド」と名づけている。詳しくは在間(2016)第2章を参照されたい。

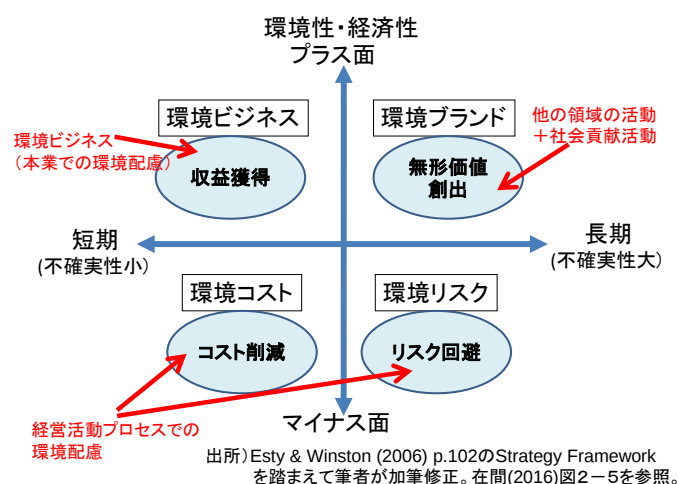


図9-3 環境性と経済性向上の4つの機会

環境コスト領域は、電力や燃料の利用削減による電気代や燃料費の削減、廃棄物の排出量の削減による委託処理費用の削減というように、マイナスの環境への影響を減らして、要するコストも減らすという活動領域である。

環境リスク領域は、予期せぬ天災や事故、将来の気候変動など起こりうる事態を可能な限り想定して対策を事前に講じることで、起こった場合の環境や健康への悪影響を回避し、対応を怠った場合に企業が被るダメージを回避するという活動領域である。

環境ビジネス領域は、環境ビジネスにより収益に結びつけるという活動領域である。環境ビジネスには、大別して2つのタイプがある。1つは、製品のライフサイクルの何らかの段階で環境負荷を減らした環境配慮型製品で、2つは、水質浄化装置や太陽光発電のようにそれをを用いることで環境やエネルギー問題解決に結びつくものである。様々なリスクへの対応は長期的な視点が必要である。

環境ブランド領域は、環境面での企業価値の向上を目指す活動である。ブランド構築は短期でなしうるものではなく長期的な視点で取り組む領域である。社会貢献活動はこの領域の活動に含まれるが、社会貢献を行う企業が、工場で環境汚染を引き起こしていたら、実施した貢献活動は社会において評価されない。環境コストや環境リスク領域での地道で継続的な環境へのマイナスの影響を増やす活動が、社会貢献活動の背景として求められる。また、環境問題解決に結びつく画期的な製品を発売し市場で評価される場合でも、長年研究開発を行った成果である場合も少なくはないだろう。これらのように、この領域の活動

は、「他の領域の活動や社会貢献活動を積み重ねることによって、環境面でのブランド力獲得を目指す活動」である。

②環境多元簿記システムの活用と環境経営

図9-4は、上述の環境経営の段階が異なる3タイプの企業についてのメリットを、環境性と経済性向上の4つの機会と関連づけたものである。

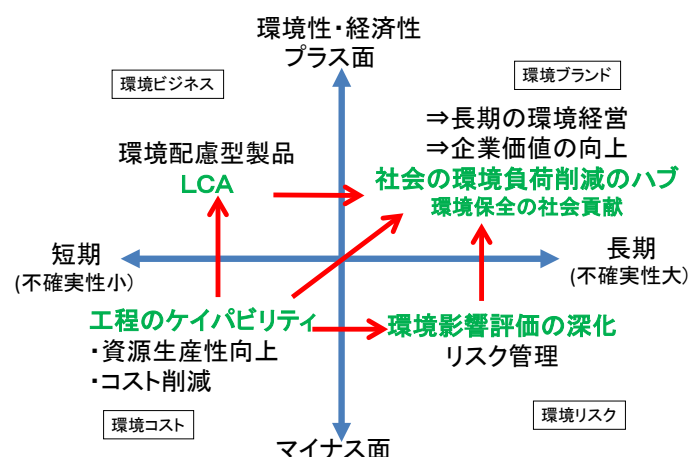


図9-4 環境多元簿記システムによる環境経営の発展

環境経営に取り組んでいない企業では、環境多元簿記システムを用いて工程に関してケイパビリティを高めて、資源生産性やコスト削減に結びつけることができる。これは、環境経営では環境コスト領域における基本的な対策と一致する。それにより、環境性と経済性を向上させることができる。

環境経営に取り組んでいる企業では、環境多元簿記システムの工程管理からLCAや環境影響評価の進化へと、環境経営を高度化させることができる。また、環境多元簿記システムを活かした社会貢献に取り組むこともできる。環境コスト領域の活動から、環境ビジネス、環境リスク、環境ブランド領域の活動に発展させることを意味する。

先進的環境経営に取り組んでいる企業では、環境多元簿記システムを自社以外に拡大することができる。サプライチェーン全体、インバース・マニュファクチャリングを含めたチェーンで環境情報の管理、その情報を活用したアドバイスの連鎖の推進、また、段階的な環境教育による環境人材の育成の中心となるのが、それらの企業には期待される。これらの活動は、短期的に見れば社会貢献という意味になるが、長期的には、サステナブル・マニュファクチャリングの確立や人材のキャパシティ・ビルディングとなり、自らの企業価値の向上に結びつく。

2. 環境多元簿記システムのトレーサビリティ

2.1 環境多元簿記システムに関する判定の課題

第6章から第8章において、環境多元簿記システムを用いて工程の活動が「記述可能である」ということが示された。しかし、情報が記述できることは、その情報が正しいことを保証するわけではない。本節では、環境多元簿記システムと環境負荷伝票によるボトムアップ型情報収集に関して、トレーサビリティという観点から、仕組みを構築するための主要要素を抽出し、その意義を述べる。

トレーサビリティの考察を行う前に、環境多元簿記システムと環境負荷伝票の情報伝達において、適切性の判定が必要となる事項を挙げる。

①企業の環境多元簿記システムに関する事項

自社の環境多元簿記システムを用いて作成する場合、マテリアルとサービスのフロー図、環境多元簿記テーブル、環境多元簿記の交換代数の各段階において、表9-1に示すような事項について、適切性の判定を要する。

表9-1 環境多元簿記システムに関する適切性判定の必要事項

環境多元簿記システムの各段階	適切性の判定が必要な事項
マテリアルとサービスのフロー図	・工程が適切に分解されているか。最小単位となっているか。 ・各工程のマテリアルの種類はもれなく把握されているか。 ・各工程のマテリアルの種類は適切か。 ・各工程のサービスはもれなく把握されているか。それは適切か。 ・各工程のマテリアルとサービスフロー図は正しく描けているか。
環境多元簿記テーブル	・各マテリアルの単位は適切か。 ・各マテリアルの計測または算定方法は適切か。 ・各マテリアルの計測・算定値は正しいか。 ・各サービスの単位は適切か。 ・各サービスの計測または算定方法は適切か。 ・各サービスの計測・算定値は正しいか。 ・環境多元簿記テーブルは正しく作成されているか。
環境多元簿記の交換代数	・環境多元簿記テーブルから交換代数への変換は正しいか。 ・潜在的な環境負荷の交換代数は正しいか。 ・全体の統合が適切になされているか。 ・個々の工程と全体の合計が正しいか。 ・管理・報告すべき環境負荷を適切に抽出しているか。 ・管理・報告すべき間接的環境負荷を適切に抽出しているか。 ・直接的・間接的環境負荷の値を正しく示しているか。

表9-1に記された項目を分類すると、環境多元簿記システム作成に関する判定の課題は、「①工程の分解や統合」、「②マテリアルやサービスの種類」、「③単位、計測や算定の方法、計測値・算定値」、「④図、テーブル、交換代数の記述」、および、「⑤環境負荷の抽出」という5項目があることがわかる。

②環境負荷伝票による情報伝達に関する事項

本研究では、サプライチェーンについて、取引される２社間の環境負荷伝票によって、管理・報告すべき環境負荷情報をボトムアップに構成する方法を提示した。また、上述のようにインバース・マニュファクチャリングのチェーンについても同じ手法を適用できる。

サステナブル・マニュファクチャリングの動脈、静脈において、適切性の判定が必要となる項目には、表９－２に示すようなものがある。

表 9－2 環境負荷伝票による情報伝達に関する適切性判定の必要事項

分類	適切性の判定が必要な事項
動脈	・工程は適切か。 ・かかわる企業が適切に示されているか。 ・環境負荷情報は正しいか。
静脈	・工程は適切か。 ・かかわる企業が適切に示されているか。 ・環境負荷情報は正しいか。 ・クローズドとオープンいずれのループか。

表 9－2 に示すように、動脈と静脈と共通する事項には「①工程は適切か」「②かかわる企業の開示」および「③環境負荷情報の正しさ」がある。さらに静脈側で再生原料を利用する場合には「④クローズドとオープンの相違」という点も加わる。

2.2 トレーサビリティのタイプ

トレーサビリティという用語は、主として、商品等の履歴把握、および、計量学の２つの分野で使われている。それぞれについて、その概要を述べる。

①商品等の履歴追跡

トレーサビリティは、一般的に、商品の品質・安全を保证する観点での「商品の追跡可能性」「商品の履歴追跡」という意味で用いられている。『広辞苑(第 6 版)』で「トレーサビリティ」を引くと、「追跡可能性の意」および「農産物や製造品の生産者や流通経路などが、さかのぼってたどれること」と記されている。つまり、農産物や食品では、栽培・飼育、加工・製造、流通といった消費者に渡る経路の情報を追跡できるようにすることである。日本での履歴追跡の意味での取り組みには、以下のようなものがある。また、食品や商品の履歴追跡について、QR コードや IC タグの活用について研究もなされている。

(a)牛トレーサビリティ制度

BSE(Bovine Spongiform Encephalopathy,牛海綿状脳症)問題をきっかけに、2003 年に「牛の個体識別のための情報の管理及び伝達に関する特別措置法」(通称「牛トレサ法」)が制定され、この法律に基づき農林水産省の管轄において「牛トレーサビリティ制度」が導入されている。この制度は、輸入牛も含め国内で飼育されるすべての牛を対象として、

個体識別番号を付与し、生産から流通・消費の各段階において個体識別番号を正確に伝達することによって、消費者に対して個体識別情報の提供するものである。この制度の導入により、食品スーパー等で牛肉のトレーに貼り付けられた QR コードから、消費者は牛の履歴を調べることができるようになった。

(b)産業廃棄物のマニフェスト制度

産業廃棄物について、不法投棄問題を背景として、1990 年より廃棄物を管理票で追跡するマニフェスト制度が導入されている。廃棄物処理法において、汚染者負担の原則に基づき、産業廃棄物は排出する事業者が処理することを義務づけている。ただし、事業者は処理費用を負担して、都道府県知事または政令市長の許可を受けた処理業者に委託することができる。その場合には、産業廃棄物の名称、運搬業者名、処分業者名、取扱い上の注意事項等を記載した「マニフェスト(産業廃棄物管理票)」により、最終処分までの流れを追跡し管理することが、事業者に求められている。1998 年からは、マニフェスト制度が強化され、すべての産業廃棄物が対象となった。また、同年から、従来の複写式伝票（紙マニフェスト）に加えて、電子マニフェスト制度が導入された。産業廃棄物に関する政策は環境省が主として担っている。

(c)ファッション業界の取り組み

最近では、日本ファッション産業協議会が日本繊維産業連盟の協力を得て、2015 年に純正国産衣料に対して「J ∞ QUALITY 認証制度」を開始した。これは、日本国内で複数の生産工程を手掛ける衣料品を「純国産品」として認証するもので、認証された商品には専用の IC タグを付け、その履歴を追跡可能にするものである。2015 年の秋冬物衣料から導入されている。この制度に対して、経済産業省も高付加価値化という繊維政策の観点から支援している。従来からの「日本製」という表示は、最後の縫製を日本で行っていれば表示できる。例えば有名な岡山の純国産デニムであっても、従来は履歴を追跡できる仕組みはなかった。新たな取り組みはそのような課題を解決して、ブランド力を高めることが期待されている。

②測定トレーサビリティ・計量トレーサビリティ

トレーサビリティは計量学における専門用語であり、測定器や測定方法に関して「測定トレーサビリティ」「計量トレーサビリティ」という分野がある。

独立行政法人産業総合技術研究所・計量標準管理センター・国際計量室がHPで公表している計量学(metrology)の用語集²⁾において、metrologyという英語は、日本語では「計量学」「計量」「計測」と訳されるが、国際的には計量学・計量を指し、「測定の科学とその科学の応用」である。また、英語のmeasurementは日本語では「測定」で、「ある量に合理的に帰属することができる一つ以上の値を、実験的に得るためのプロセス。量の値を決定する

ことを目的とした一連の操作」という意味である。

また、同HPで公開されている『計量学早わかり(第3版)』³⁾では、計量の主要な営みとして、「国際的に受け入れられる計量単位の定義」「科学的方法による計量単位の実現」「測定器および測定の正確さを決定して文書化し、その知識を普及することによるトレーサビリティチェーンの確立」の3つが挙げられている。なお、先に挙げた用語集では、「計量トレーサビリティ(traceability, metrological)とは「測定の持つ特質であり、途切れのない校正の連鎖により、測定結果が計量参照まで関係付けられること」であり、「トレーサビリティチェーン(トレーサビリティ連鎖、traceability chain)」とは「測定結果から計量参照までの連鎖を関連づける測定標準と校正の道筋」を指している。

同資料によると、計量には「科学計量」「産業計量」「法定計量」の3つのカテゴリーがあり、トレーサビリティの主たる対象は科学計量と産業計量である。同資料では、計量や測定は産業や生活の活動自体やそのプロセスの質を確保するために必要であり、トレーサビリティチェーンの各階層で計量の能力の承認等を確立することが重要であると述べられている⁴⁾。計量組織には、国際条約の基づく国際組織や国家計量標準機関、国際的な活動を行う組織、および、地域計量組織がある。国際的な活動を行う組織には、第5章の第5.6節で挙げたIUPAC（国際純正・応用化学連合）も含まれている。

各国内では、国際条約に基づき、国家計量標準機関を設け、各分野に関して計量トレーサビリティの階層構造を決めている。日本の国家計量標準機関は産業技術総合研究所であり、経済産業省の「測定のトレーサビリティについて」というHPにおいて、「長さ」「質量」「時間・周波数」「温度」「光」「角度」「体積」「流量・流速」「振動加速度」「電気等（直流・低周波）」「電気等（高周波）」「密度」「力」「トルク」「圧力」「粘度」「音響」「濃度（標準物質）」「放射線・放射能」「硬さ」「湿度」の各測定器・測定に関するトレーサビリティ体系が示されている。

2.3 環境多元簿記システムに関するトレーサビリティ構築の意義と課題

先に述べたように、環境多元簿記システム作成に関する判定の課題には、「①工程の分解や統合」「②マテリアルやサービスの種類」「③単位、計測や算定の方法、計測値・算定値」「④図、テーブル、交換代数の記述」「⑤環境負荷の抽出」の4項目がある。また、環境負荷伝票による情報伝達に関する判定の課題には、「①工程は適切か」「②かかわる企業の開示」「③環境負荷情報の正しさ」「④クローズドとオープンの変遷」がある。

これらの項目についてトレーサビリティという観点での検討課題を図9-5に示した。

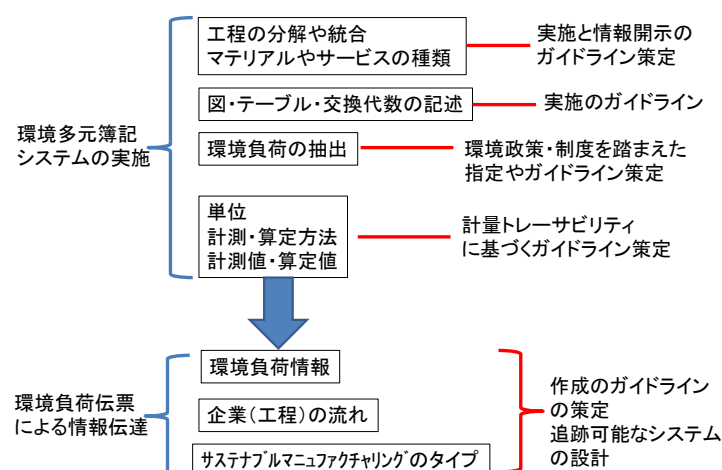


図 9－5 環境多元簿記システムの実施におけるトレーサビリティの検討課題

①環境多元簿記システムに関するトレーサビリティ

まず、社会において新たな手法となる環境多元簿記システムに関して、その構成要素であるマテリアルとサービスのフロー図、環境多元簿記テーブル、環境多元簿記の交換代数の作成方法や作成の適切性の判定基準、それらのガイドラインの策定が必要となる。

適切性の判定基準やガイドライン策定にあたっては、マテリアルやサービスの測定方法や測定器、得られた値の保証については、既存の計量トレーサビリティに基づくことが求められる。また、管理や公表をする環境負荷の抽出や計測方法等については環境政策・制度の要求事項を踏まえることが必要である。従って、ガイドラインには、それらの観点を含めなければならない。

現場では、マテリアルやサービスを適切にシンプルに把握するために工程を細分化することが必要である。また、情報管理部門では、各工程での環境多元簿記システムを統合して全体を作成する。それらの工程の分解・統合についても、適切性の判定基準やガイドラインが必要になる。

工程や、マテリアルとサービスの種類については、上述のような適切性や作成法のガイドラインに加えて、追跡可能性という意味でのトレーサビリティの観点からも検討する必要がある。工程やマテリアル、サービスに関する情報は、企業活動のケイパビリティに係ることであり、技術流出の回避や競争力向上という点で非公開にメリットがある。その一方で、工程の活動に関する情報公開は不祥事の回避という点で社会にメリットがある。それらの相反する両面を考慮して、工程やマテリアルの情報をどの程度まで公表すべきか、という点を検討する必要がある。

情報公開という点で、工程のマテリアルやサービスに関して、計測・算定され、テーブルや交換代数に書かれた数値自体を公表する必要はないだろう。計量トレーサビリティの保証があれば、正確な算定とみなすことができるからである。ただし、工程やマテリアルの種類については、上述の社会へのメリットという点だけではなく、近年は企業にとって

も情報公開は企業価値を高める機会となりつつある。既に述べたように、企業活動に対して求められる開示の範囲は拡大しているからである。

企業における工程とマテリアルやサービスの種類について追跡可能性の仕組みを構築することは、相互参照という点でも意義がある。現在の環境影響評価や LCA では、実施者が目的に応じて対象物質や範囲等を決定する。そのため、相互参照や比較が可能ではない。本章の第 1.2 節で述べたように、環境多元簿記システムを導入すれば、既存の LCA や環境影響評価のデータを構成できる。共通の手法として用いることができる環境多元簿記システムに工程やマテリアルに関するトレーサビリティの仕組みを入れると、相互参照や比較ができるようになる。ただし、そのためには、企業の簿記や会計が会計原則に基づくように、手続きの標準化についても検討する必要がある。

②環境負荷伝票による情報伝達に関するトレーサビリティ

まず、社会において新たな方法と成る環境負荷伝票とその情報提供システムについては、その作成方法や作成の適切性の判定基準について、ガイドライン策定が必要である。

環境負荷情報の正しさについては、環境多元簿記システム作成における環境負荷の抽出が環境政策・制度を踏まえていること、および、計測が計量トレーサビリティに基づきなされていることで保証される。

サプライチェーンやインバース・マニュファクチャリングの流れ、その企業情報や環境負荷情報について、追跡可能性という意味でのトレーサビリティを保証するシステムを構築することも求められる。

既に述べたように、従来は、トップダウン型でサプライチェーンの情報をコア企業が管理しチェックする仕組みである。それに対し、本研究の方法は、ボトムアップ型の情報収集である。トレーサビリティを保証する仕組みの構築は、ボトムアップ型での情報収集についての信頼性を高めることにつながる。

3. 環境多元簿記システムによる環境情報のミクロ・マクロリンク

3.1 環境多元簿記システムを活用した環境情報プラットフォーム

第 1 章で述べたように、環境配慮型社会形成のための環境マネジメントには、環境政策と環境経営という 2 つのアプローチがある。環境政策を適切にデザインするためには、個々の企業の環境負荷の排出といったミクロな環境情報と、国や地域の環境資源ストックや汚染排出フローといったマクロな環境情報の両者が必要である。従来、両者をリンクする仕組みはない。

図 9-1 で示し本章の第 1.2 節で説明したように、企業は、環境多元簿記システムから、製品の LCA、組織の環境影響評価のデータを構成でき、情報提供を求められる環境政策への対応も可能である。この点を踏まえて、本研究では、企業の環境多元簿記システムを環

境政策とリンクした図9-6のような環境情報プラットフォームを提案する。

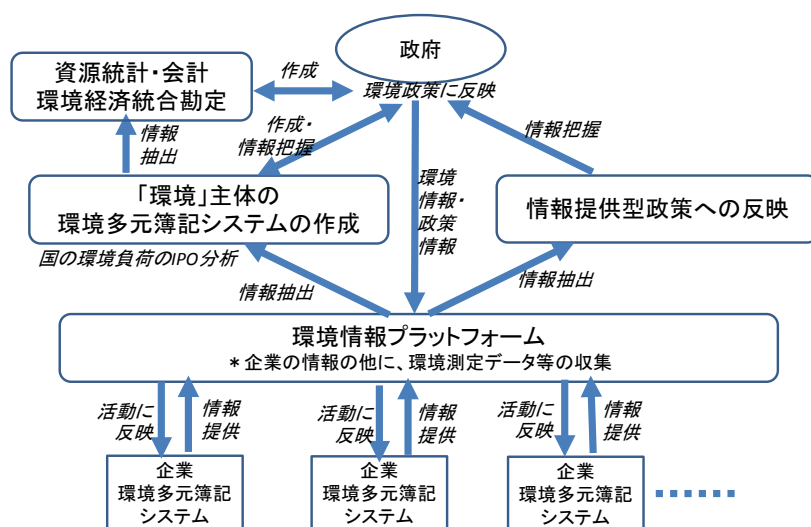


図9-6 環境多元簿記システムを活用した環境情報プラットフォーム

環境情報プラットフォームを通して、以下の事項を行う。

第1に、各企業は自社の環境多元簿記システムから、政策主体が指定する環境負荷の情報を提出する。また、環境情報プラットフォームに提供された政策情報等を自社の取り組みに反映させる。

第2に、政策主体は、環境情報プラットフォームの情報から、情報提供型環境政策が求める情報を抽出し政策に反映させる。また、環境政策の情報や国の自然環境のマクロ情報を環境情報プラットフォームに提供する。

第3に、環境情報プラットフォームでは、企業の環境情報以外にも、環境省等が現在、汚染物質等について計測・公表している様々な情報を収集し、公開する。

第4に、環境を主体とするマクロな環境情報を作成し、国の資源や環境統計に反映させる。この点は次に述べる。

このような環境情報プラットフォームにより、ミクロとマクロの環境情報を活用して環境政策をデザインすることが可能になる。社会全体の環境負荷を知るためには、企業だけではなく他の経済主体の環境情報が必要である。本研究の第8章で示したように、環境多元簿記システムはあらゆる活動に対応が可能であるので、家計など企業以外の経済主体においても活用しうる。

3.2 環境を主体とする環境多元簿記システム

本研究が提示した環境多元簿記システムは、現場で情報を作成しボトムアップに集計するアプローチである。経済主体の活動は、資源利用や大気等への排出という点において、自然環境と関わっている。社会における最初と最後の「工程」は自然環境が担っている。

しかし当然ながら、自然環境という主体が意思を持って情報を作成してくれるわけではない。従って、誰かがその情報を作成する必要がある。その役割は、環境政策の責任を持つ政府が担うことが妥当である。それは、マクロ環境情報を反映させて政策を実施することができるからである。

①環境主体のマテリアルフロー

環境主体の環境多元簿記システムにおける「工程」とマテリアルフローの「インプット」と「アウトプット」の概念図を図9-7に示す。

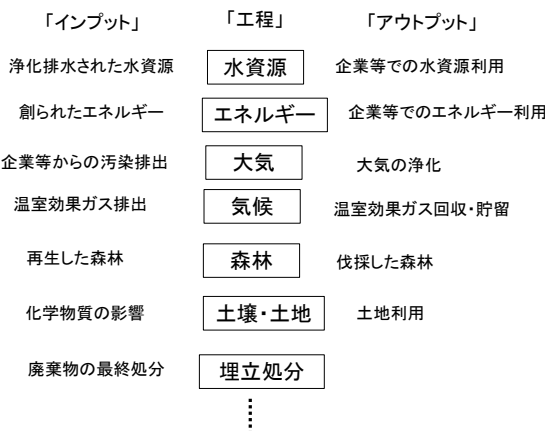


図9-7 環境主体のIPO分析の概念図

「工程」とかっこつきで記しているのは、自然環境自体が工程をもっているわけではなく仮想的な設定のためである。この工程では、水資源、大気、森林など、環境政策に必要な分類を用いる。

「インプット」と「アウトプット」もかっこつきで表記しているが、企業の環境多元簿記システムと、マテリアルの出入りが逆になるため、注意が必要だからである。

図9-4に示したように、環境主体による環境多元簿記システムでは、「人間活動に由来する情報」に限定して把握することを基本とする。それは、第1章の最初に述べたように、環境政策は人間活動による環境への悪影響を対象とするからである。

しかし、自然環境には自己浄化作用があるので、環境主体の環境多元簿記システムを正確に記述するためには各工程の「自然環境サービス」を設定し、その「サービス生産」を反映する必要がある。この点は今後の研究課題とする。

②環境主体の環境多元簿記テーブルと交換代数

環境主体の各工程のマテリアルフローについて、環境情報プラットフォームで収集した企業の提供情報やモニタリングポストの計測値などの環境情報を用いて、環境主体の環境多元簿記テーブルを作成することができる。さらに、環境主体の環境多元簿記テーブルか

らその環境多元簿記の交換代数を作成できる。このような方法で、環境情報のマイクロ・マクロリンクが可能になる。

出口(2000)・Deguchi(2004)は、経済主体の取引に関する交換代数の方法を提示したが、通常の経済主体に加えて「環境」という主体を導入し、天然資源の採取や自然環境への排出などを交換として表せることを指摘している。本研究では、この考えを発展させ、自然環境という主体について、その工程を分類し、ミクロな経済主体の情報提供から、自然環境のマクロ会計を構成する方法を提示している。

3.3 ミクロ・マクロリンクに活用できる交換代数

第5章の第5.1節で述べたように、出口(2000)・Deguchi(2004)が開発した交換代数は、経済活動記述のマイクロ・マクロリンクを可能にする理論的方法となる。出口(2000)・Deguchi(2004)では、ミクロな企業や家計の簿記情報から、一国のマクロな経済勘定を構成できることが示されている。

GDP(国内総生産、Gross Domestic Product)のような国の経済性を表す経済指標は、国民経済計算(System of National Accounts, SNA)の統計から作成される。SNAは、生産や消費という貨幣単位のフロー、資産や負債というストックを把握して一国の経済状況を表す体系であり、国連は加盟国にSNAの導入を勧告している。

GDPは一定期間内に国内で産み出された付加価値である。個々の経済主体による付加価値は、その経済主体の活動を記述した簿記から作成できる。出口(2000)・Deguchi(2004)の交換代数の方法は、個々の経済主体の簿記からの合成を可能にする。

実際の国民経済計算で示される数値は、様々な統計データを用いて記述されており、企業など個々の財務状況の簿記を統合したものではない。出口(2000)によると、ミクロとマクロの会計情報の統合に関して、マテシッチに始まる行列簿記を用いた試論はあったものの体系化は完成されなかった⁵⁾。交換代数は、ミクロとマクロの経済勘定を代数的に体系化する方法である。榊・大貫・出口(2008)や榊(2010)は、ミクロレベルの取引の会計データからマクロレベルの国民経済計算に直接記録する会計的インターフェースを提示している。

3.4 環境情報のマイクロ・マクロリンクへの交換代数の適用

本研究で具体的に示したように、交換代数は実物単位であらゆるマテリアルとサービスの交換イベントを記述できる。経済勘定に関する交換代数のマイクロ・マクロリンクの方法を適用することで、ミクロとマクロの環境情報も交換代数を用いてリンクさせられる。上述のように、それを可能にするために環境情報プラットフォームを提案した。

現在の環境経済統合勘定は国民経済計算のサテライト勘定で、環境対策等に係る項目の経済情報を集約したものである。また、資源統計も様々な統計情報から構成されている。

環境政策は人間活動による環境への影響を問題にするため、経済主体の環境負荷の情報を環境負荷の統計情報に反映させることが求められる。交換代数に基づく環境多元簿記シ

システムの活用は、それを可能にする新たな方法になりうる。

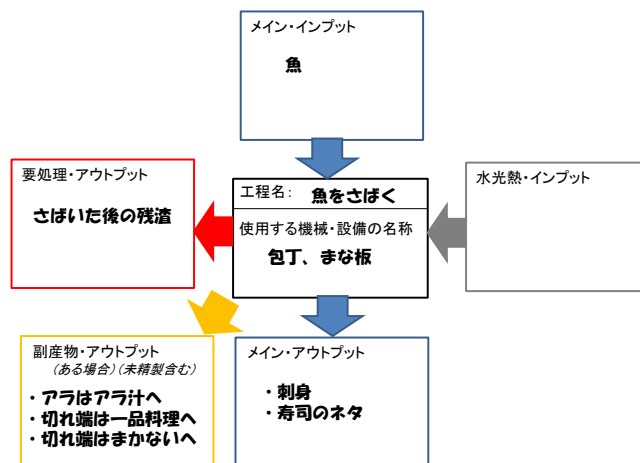
4. 環境多元簿記システムの活用による環境配慮型社会の形成に向けて

4.1 サービス業における環境多元簿記システム活用の意義

第6章および第7章では、製造業の工程に関する環境多元簿記システムを具体的に示したが、第8章で述べたように、日常生活やサービス業についても適用可能である。第5章のマテリアルの検討課題に関連して述べたように、食品リサイクルでは、食品製造業、食品卸業、食品小売業、外食産業の順で、再生利用の実施率は小さく、外食産業での廃棄物と循環資源の対策が重要な課題となっている。ここでは、サービス業の例として外食産業を取り上げ、環境多元簿記システムを活用する意義を検討する。

①飲食店の環境多元簿記システム活用の意義

第8章で実施した環境学習シミュレーションで、飲食店での「魚をさばく」工程が挙げられており、メイン・アウトプットでは、「寿司のネタ」と「刺身」の2パターン、副産物・アウトプットでは「アラはアラ汁へ」「切れ端は一品料理へ」「切れ端はまかないへ」の3パターンがあった。図9-8は、それらをまとめて示したものである。



注) 魚をさばく工程に関する複数のパターンを1つにまとめて記している。

図9-8 飲食店の魚をさばく工程

魚をさばく工程のマテリアルとサービスのフロー図から、例えば、鯛を刺身にする工程について、表9-3のような環境多元簿記テーブルを書くことができる。表中の数字について、鯛を刺身にする場合、切り身にしてから刺身にされるが、魚から切り身の歩留まりが約35%、切り身から刺身への歩留まりが約95%という記述があり⁶⁾、その値を参考に刺身の重量を算定した。その他は想定で記載した。

表 9－3 鯛をさばく工程の環境多元簿記テーブル

取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位
刺身の生産	刺身(30切れ)	330	g	鯛	1000	g
	アラ汁材料	300	g	魚カットサービス	1	h
	魚残渣	370	g	労働サービス	1	h
取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位
魚カットサービス 生産	魚カットサービス	1	h	包丁(減価償却引当時間)	1	h
				まな板(減価償却引当時間)	1	h
取引名	借方	数値	単位	貸方	数値	単位
労働サービス 生産	労働サービス	1	h	アルバイト(氏名・経験年数)	1	h

環境多元簿記テーブルから、元の魚の重量、および、商品の重量と廃棄物の重量が明確になる。また、この工程において「管理すべき環境負荷」は魚残渣であるが、第6章第7節で示したように、MFCAの考え方を拡張し、「環境負荷の発生コスト」を導くことができる。具体的には、上記の貸方の鯛の仕入れ値、道具の減価償却費用、アルバイトへの支払いを含めた総費用を、借方の刺身、アラ汁材料、魚残渣の重量で割って算定する。第6章でも述べたが、業者への処理委託費用だけでなく廃棄物発生のコストの合計を、マイナスの環境負荷の機会費用を見なすことができる。この値を削減することが、環境性と経済性の向上に結びつく。

また、環境多元簿記テーブルから、労働サービスの提供者による刺身の生産量や魚残渣の発生量の相違を知ることも可能である。労働は単なるコストではなく、経験を積んだ能力という資源を投入するという意味がある。環境多元簿記テーブルを用いて、その点について理解を深めることができる。

さらに、環境多元簿記テーブルから交換代数に変換することによって集計が容易になり、飲食店の1ヶ月の合計、魚の種類に基づく合計を算定することができる。また、貨幣ベースに変換された値と合わせて、年間あるいは魚の種類ごとの環境負荷の発生費用といった数値を算定できる。それらを通して、環境負荷の発生抑制の必要性への理解を高めることができる。

②飲食店のサプライチェーンにおける環境多元簿記システム活用の意義

2016年1月に、飲食チェーン店等から排出された食品廃棄物が、処理委託を受けた業者から食品卸やスーパー等に転売され、再販されていたという不祥事が明らかになった。この事件では、法律違反や食品の安全衛生という観点から関わった企業が批判を受けたが、それと同時に、非常に大量の食品が廃棄されているという現状が明らかになった。

第5章のマテリアル分類の検討課題の項目でも触れたが、循環型社会形成の政策では、循環資源や廃棄物について、発生抑制、再利用、再資源化、熱回収、適正処分という順序

が決められ、リサイクルの取り組みが進んできた。しかし、本来の最優先事項である発生抑制の取り組みは遅れている。

飲食店チェーンに環境多元簿記システムを導入することによって、上述のように各飲食店で個別の環境多元簿記テーブルを活用することによって、食品廃棄物の排出は、リサイクルへの処理費用に加えて、MFCA 的な環境負荷発生コストも含めたマイナスの環境負荷の機会費用として捉えることができる。

環境多元簿記の交換代数での算定により、各飲食店のマテリアル、サービス、および廃棄物の実物データから、飲食店チェーン全体の状況が把握できる。それによって、チェーン全体でもマイナスの環境負荷の機会費用を算定することができる。その機会費用の削減を新たな目標として、全体的なマテリアルと廃棄物の管理の体制を再検討することも可能になると考えられる。

第5章第6節で、1つの企業の各工程のデータからバックキャスティングにより全体を算定する方法を提示した。バックキャスティングによって、単なる数値の調整だけでなく、目標等が変更された場合にも、川下側から川上側にその目標値を反映させていくことができることを指摘した。この考え方は、企業内の工程だけではなく、サプライチェーンにおける工程間でも可能である。

例えば、飲食店チェーンと、それらに提供する食品加工企業のサプライチェーンを考えよう。食品廃棄物には、飲食店や製造工程から排出される食品残渣だけではなく、消費期限や賞味期限切れによる売れ残り、賞味期限間近の商品回収もある。環境多元簿記システムにより、各企業が自社内で管理を行うだけではなく、川下の食品廃棄のデータを川上と共有することで、発生量の内訳や、廃棄物発生の機会費用を知ることができる。さらに、飲食店チェーンにおける売れ残り等を削減するために、川上の食品加工企業においても生産や在庫の調整をすることが可能になる。環境多元簿記システムの特徴は、廃棄物管理、および、生産におけるマテリアルやサービスの管理を、環境多元簿記システムという共通のツールを用いてできることである。

4.2 環境配慮型社会形成に向けた環境多元簿記システム普及の課題

本研究が提案した環境多元簿記システムを環境配慮型社会の形成につなげるには、以下の活動を進めていく必要がある。

第1に、製造業・非製造業について多様なモデルを抽出し、環境多元簿記システムの作成を行い、課題があれば洗い出すことである。

第2に、本章の第1節で示した企業に対するメリットを伝達し、環境多元簿記システムの活用を促進することである。第8章で提示した環境学習用ボードを用いたゲーミングシミュレーションを用いることも有用であると考えられる。

第3に、サプライチェーンのコア企業に働きかけ、環境負荷伝票によるボトムアップ型の環境情報収集を促し、その情報を活かした「アドバイスの連鎖」を促進することである。

第4に、試行段階で様々な課題を抽出し、本章で述べたトレーサビリティに関するガイドラインや情報提供、追跡の仕組みに関して基本的な設計を行うことである。

第5に、国レベルでの環境情報プラットフォームの設計、環境多元簿記システムによるマクロ環境簿記の作成および環境統計との連結を検討することである。これらを通して、ミクロな環境情報がマクロな環境情報に反映され、環境政策を、より効果的に行うことができるようになることを期待できる。

4.3 環境多元簿記システムがもたらす環境経営に関するイノベーション

①環境経営に関する3つのイノベーション

「イノベーション」は、一般的に「刷新、革新、新機軸」という意味である。経済や経営の分野においては、「技術革新」だけでなく、「新製品の開発、新生産の方法、新市場の開拓、新原材料の開発、新組織の構築、および、これら5つの新たな組み合わせ」⁷⁾を含めた意味で用いられる。

イノベーションの「新しさの次元」は、社会全体、産業界、企業・組織というように複数存在し1つではない。イノベーション普及学という分野では、「それを採用する人や組織にとっての新しさ」としてイノベーションを定義している。イノベーション普及学は、主として「新製品や新技術を採用するという行為はどのように広まるか・どのように広めることができるか」に焦点を当てて調査研究を行う分野である。イノベーション普及学の礎を築いたロジャーズは、「イノベーション」を「個人あるいは他の採用単位によって新しいと知覚されたアイデア、習慣、あるいは対象物」⁸⁾と定義している。

以上のイノベーションの意味を踏まえ、在間(2016)は環境経営に関するイノベーションとして3つの意味があると指摘している。

第1は、「企業経営の新しい概念・スタイル」というイノベーションという意味である。環境経営が登場する前は、主として産業公害に関する法規制の順守が、企業の環境活動の中心であった。これは、公害対策、環境対策と呼ばれ、環境経営とは呼ばれなかった。定義に示されるように、環境経営は、経営者が環境に取り組む意思を環境理念で明確化し、組織の中心に位置づけ、それを具現化するために、環境配慮の視点を戦略的意思決定や組織マネジメントに反映させることである。つまり、環境経営は、公害対策や環境対策という概念には含まれない概念であり、企業経営の新たなスタイルの提案なのである。

第2は、環境経営を通じた、新製品の開発、新生産の方法、新市場の開拓、新原材料の開発というイノベーションという意味である。環境経営の諸活動において、新たな環境技術の開発、省エネ・省資源や環境負荷削減となる新たな生産方法や原材料の開拓、新たな環境ビジネスの創出や市場の開拓がなされてきている。また、環境経営の組織マネジメントに関する諸手法も開発されてきた。

第3は、イノベーション普及による社会の変革という意味である。新たな経営スタイルとしてのイノベーションである環境経営は、普及することで社会全体の環境性向上という

価値をもたらす。

②環境多元簿記システムによる環境経営のイノベーション

本研究で提示した環境多元簿記システム、および、環境負荷伝票によるボトムアップの情報収集と管理という方法は、環境経営の3つのイノベーションに関して、次のような意義を持つ。

第1に、環境経営は、企業経営に環境配慮を組み込む企業経営の新たなスタイルというイノベーションであるのに対し、本研究では、企業経営そのものを充実させて環境経営に結びつけるという考えを基本にしている。その意味で、従来の環境経営の概念に対して、新たな方向を提示したと言える。本章で述べたように各工程の現場においてあらゆるマテリアルとサービスを把握することは、その工程における活動を再検討しケイパビリティの向上にむすびつく。企業経営から環境経営に結びつける重要性は、特に中小企業の環境経営促進の分野では指摘されながらも、概念と方法が構築されるには至っていない。本研究はその点で寄与するものである。

第2に、環境多元簿記システム、環境負荷伝票によるボトムアップの環境情報収集、バックキャストによる環境情報管理、環境情報プラットフォームによる環境情報のミクロ・マクロリンクというように、本研究では、環境経営に結びつく新たな方法を提示した。これは新手法の開発というイノベーションである。

第3に、本研究では、提示した手法を用いて、先進的な環境経営に取り組む企業をコアとして、環境多元簿記システムの活用を普及させ、アドバイスの連鎖や段階的環境教育を行う可能性を述べた。それにより、社会全体の環境負荷削減につなげることができる。従来は、環境負荷削減のミクロとマクロな側面をリンクさせる方法はなかった。本研究の方法は、環境多元簿記システムという方法によりそれを可能にし、社会を環境配慮型に変革しようというアプローチである。

注

- 1) この点については、例えば、在間(2016)第6章を参照。
- 2) 独立行政法人産業総合技術研究所・計量標準管理センター・国際計量室の用語集は以下のURLを参照。(最終アクセス日：2016年2月5日)
<https://www.nmij.jp/~imco/yougo/IMCOyougo.pdf>
- 3) 『計量学早わかり(第3版)』は、EURAMAT(欧州国家計量標準機関協会) Metrology—In Short 3rd ed.を、産業総合技術研究所・計量標準管理センター等が訳したもので、下記のURLで公表されている。(最終アクセス日：2016年2月5日)
https://www.nmij.jp/~imco/yougo/PPmetrology_in_short.pdf
- 4) 上記『計量学早わかり(第3版)』のp.16。
- 5) 出口(2000)p.266
- 6) ここでは、個人の提供する情報サイトだが、「水産部門の為の勉強部屋!」を参照した。
<http://fanblogs.jp/kobarutodesk/archive/5/0> (最終アクセス日：2016年2月12日)
- 7) これは、Shumpeter (1926)、邦訳、シュムペーター(1977)上巻 pp. 182-183 に由来している。
- 8) Rogers (2003)の邦訳(2007) p.16 を参照。

第10章 総括と今後の研究課題

1. 本研究のまとめと意義

1.1 ABMによる中小企業の環境経営への情報支援の効果分析

本研究における「環境」は、人間社会と影響を及ぼし合う自然的環境で、生態系の均衡により成り立つ限りあるもので、人間活動の基盤であるが、人間活動が影響を及ぼし損なわれる恐れがあるものである。環境問題が人間社会による環境のミスマネジメントにより発生する問題であり、それを回避するには人間社会が環境を適切にマネジメントする「環境マネジメント」が必要である。「環境配慮型社会」とは、「環境マネジメントの普及により人間社会が及ぼす環境への影響が最小化される持続可能な社会」である。

環境マネジメントの主要な方策は環境政策であるが、近年は企業の環境経営もその一翼を担うことになった。その背景には、環境問題の多様化に伴い、規制的手法に加えて、情報支援などの自主促進型アプローチも必要となったことや、市場環境の変化がある。

しかし、環境経営は、企業数の99%以上を占める中小企業の隅々にまで浸透しているというわけではない。中小企業にも環境経営を普及させ、小さな積み重ねによる大きな効果を得ることは、環境政策の課題の一つである。環境規制の対象外であることも多い中小企業に影響を及ぼす要因の一つは、取引先企業からの環境配慮要求である。また、取引先や中小企業支援組織によって中小企業への情報支援策も行われている。

第2章では、中小企業の環境経営に関する既存の実証研究を整理した上で、中小企業への環境配慮要求、情報支援利用、市場環境、企業属性、経済性、EMS認証取得と、環境指標の関係について、日本の製造業中小企業を対象にした筆者の実証分析結果の概要を示した。得られた結果から、環境配慮要求の大きさ自体が直接的に中小企業の環境性を高める直接効果に加えて、環境配慮要求を通じて、経営者の環境意識を高めて情報支援利用や環境マネジメントシステムの認証取得を促すといった間接効果も、環境性を向上させる役割を果たすと考えられる。

第3章では、中小企業の環境経営推進に対する情報支援の効果を分析するために、エージェントベースモデリングの方法により、学習エージェントのモデルを設計し、シミュレーション分析した。分析に先立ち、分析に必要なモデルの要素を抽出し、ABMで分析する必要性を述べた。また、環境問題に関するABMの既存研究、および、イノベーション普及に関するABMの既存研究もサーベイし、本研究の分析の焦点が既存研究には見られないことも示した。情報支援による知識獲得がコスト削減効果を持つという事例を踏まえ、その効果を理論的に示した。本研究の分析は情報支援への理論的根拠となりうる。

第3章の最後では、中小企業の環境経営推進について残された研究課題を提示した。まず、中小企業のタイプという視点、経営課題と環境経営のリンク、オープン・イノベーションの役割といった分析視点を組み込むことである。さらに、環境経営に目を向けない・

向ける余裕がないという中小企業に対して、環境経営を意識せずとも、導入して数値を改善すれば環境性の向上に結びつく容易に使える情報管理手法を開発することである。

1.2 潜在的な環境負荷という概念と企業活動記述のパラダイム転換の提案

中小企業は、経営資源制約が相対的に大きく、様々な経営課題にも直面しており、環境経営に関する情報支援が必ずしも実践に結びつくわけではない。また、環境経営は、「自社が環境経営に取り組む」という経営者の意思決定の上で成り立つが、環境経営や情報支援に関心を向けない、あるいは、向けられない経営者も存在する。

企業は、簿記と会計により経済活動を測定する。企業活動に伴う環境負荷や環境影響を把握する手法がいくつか開発されているが、環境会計手法は環境経営に取り組む企業が用いているに留まる。本研究は、「環境経営という経営を意識せずとも、導入して数値を改善すれば環境性の向上に結びつく容易に使える情報管理手法はどのように設計できるのか」というテーマにアプローチした。

第4章では、既存の環境評価手法を挙げ、トップダウン型の情報収集、環境認識に基づく環境負荷、および、環境経営の手法としての限界という課題を述べた。

また、環境管理会計のうちドイツのエコバランスは、企業のインプットとアウトプットを物量で把握するものであり、環境多元簿記システムの方法に近い。しかし、エコバランスの方法は、簿記ベースにはなっておらず、ボトムアップ型ではない。また、LCAの手法開発により、エコバランスの方法はコスト効果を表す手法 MFCA へと発展し、管理会計として物量記述という方向には発展しなかった。

既存の環境会計手法の考え方は、経済活動の背景にはモノの流れがあり、モノの流れと関連する環境負荷を選ぶというものである。

環境負荷は、一般的には、投入する資源やエネルギー、および、排出する不要物とされる。しかし、不要か否かは環境認識に依存する。環境認識に影響を与える事項には、環境政策・制度の導入や変更、科学的知見、当該負荷に係る問題の深刻さ、企業評価の変化、ステイクホルダーの環境配慮の要求、組織や製品の当該環境負荷の発生量の大きさがある。

本研究では、「企業活動にかかわるあらゆる投入・利用および産出・排出されるもの」を「潜在的な環境負荷」と定義した。潜在的な環境負荷とは、資源・エネルギーや原材料の投入、機械・設備の利用、製品・サービスや副産物の産出、汚染物質や廃棄物の排出である。すなわち、「潜在的な環境負荷」は、あらゆるマテリアルやサービスは、「環境負荷と認識される可能性を持つ」とことを意味する。

環境への影響を伴わない経済活動はなく、その影響の種類や大きさが違うにすぎない。従って、従来の環境会計のように特定の環境負荷に焦点を当てて把握するのではなく、一旦、あらゆるマテリアルやサービスを「潜在的な環境負荷」と位置づけて、それらの量を把握する。つまり、「潜在的な環境負荷」という概念の導入により、環境認識に依存するこ

となく、環境負荷となりうるマテリアルやサービスを把握し、その上で環境認識に基づき管理や報告が必要な環境負荷を選択すればよい。

本研究は、経済活動の背景となる環境負荷を企業会計とは異なる体系の環境会計で捉えるという従来の考え方に対して、潜在的な環境負荷としてあらゆるマテリアルとサービスを実物量で把握し、それをベースとして、企業会計や環境会計に変換するという、企業活動記述のパラダイムの転換を提案した。

1.3 環境多元簿記システムの方法の提示

第5章では、あらゆるマテリアルとサービスを潜在的な環境負荷として記述する手法として、「環境多元簿記システム」の概念と方法を示した。環境多元簿記システムの方法は、出口(2000)・Deguchi(2004)の代数的多元簿記システムをベースとしている。しかしながら、潜在的な環境負荷の記述へと拡張するためには、以下の新たな概念や方法の導入が必要であった。

第1は、環境多元簿記システムの段階的な実践方法である。代数的多元簿記システムはマテリアル・フロー図、多元簿記テーブル、交換代数という3点で構成され、相互に変換可能であり、いずれからでも始められる。環境多元簿記システムも相互変換可能であるが、実践では、マテリアル・フロー図でマテリアルの種類を把握することから段階的に進める。その理由は、環境負荷の記述においては、共通の単位で表せる貨幣とは異なり、測定や算定の方法は環境負荷の種類に依存するからである。

第2は、工程の二分法で、「メイン工程」と「環境対策工程」に分けることである。メイン工程は製品の製造に直接かわる工程で、環境対策工程はメイン工程に付随する環境対策の工程である。この二分法により、通常は同一工程とみなされる場合であっても、別工程と捉えることで、マテリアル・フローを明確化できる。

第3は、マテリアルの分類で、工程で産出する「メイン・アウトプット」と「副産物・アウトプット」、メイン・アウトプットを産出するための「メイン・インプット」、利用する「機械・設備・道具」、主に機械・設備・道具の利用に要する「光熱水・インプット」、および、廃棄物や汚染物質の「要処理・アウトプット」の6種類に分類することを提案した。「要処理・アウトプット」には、大気中や公共水域に直接排出する場合も含む。この6分類によって、マテリアル・フロー図の作成、マテリアル・フローから環境多元簿記テーブルへの変換、さらに交換代数への変換が容易になる。

第4は、環境負荷の直接的・間接的関与という視点で、工程に直接投入または排出されるものと、本来は他の場所で発生するが責任量として直接的環境負荷から算定が求められるものに分けた。

第5は、環境多元簿記テーブルにおいて経済価値に基づかない実物の貸方・借方の振分け方法である。潜在的な環境負荷としてのマテリアルとサービスについて、物量としての増減で分類して記載する方法を提案した。借方には「当該工程において産出・排出され物

量として増加するもの」、貸方には「当該工程において投入・利用され物量として減少するもの」とする。この振分け方法によって、環境多元簿記テーブルの借方、貸方を、IPO 分析のインプット、アウトプットと対応させることができる。

第6は、環境多元簿記テーブルの記述の「期間」について、各工程のメイン・アウトプットの生産単位を基本とすることを提案した。これは、各工程では、当該工程にとって最も都合が良い期間の記述を行い、全体の算定で統合すれば良いという方法の提案である。

第7は、潜在的な環境負荷の交換代数について定義を与えた。

第8は、膨大なマテリアルについて、交換代数の基底の設定方法を共通化しておく必要があり、今後の研究課題の1つであるが、ここでは、化学物質、鉱物・エネルギー資源、および、廃棄物について方向性を提案した。例えば、化学物質については化合物に対する既存の IUPAC の命名法に基づき設定するという方法が考えられる。

第9は、各工程からボトムアップに全体を統合する方法の提示である。各工程では正確な計測と記述を行い、計算で済むことは情報処理部門に任せるという補完性原則を示した。また、バックキャスティングの導入により、基本数量の統合だけでなく、環境経営の目標から各段階への計画設定にも応用できることが期待できる。

1.4 環境多元簿記システムの作成と環境負荷の MFCA 的機会費用の提示

第6章では、鋼製造企業を想定して環境多元簿記システムを作成した。鋼の製造に関する工程やマテリアルについては、新日鉄住金、JFE スチール、関西熱化学といった企業の HP、および、業界誌の情報から集めた。マテリアルの量については、メインのインプットとアウトプットおよび副産物については、集めた資料を参考に適当と思われる値を記した。

環境対策の工程については、環境省の資料、環境汚染防止装置製造企業の HP の情報をもとに記述した。環境対策工程におけるインプットやアウトプットのマテリアルについては量が不明な場合は、適当と思われる数値を入れた。

化学反応を含む工程におけるマテリアルの量については、反応式から計算した。機械・設備について、温度設定は資料から記載したが、稼働時間や電力量については不明であったため、適当と思われる数値を記載した。

本研究では、第5章の方法に基づいて、記述の可能性の提示を第一義とした。実際の工程での記述については今後の課題に残されている。

第6章では、環境多元簿記システムを応用して、以下の活用の可能性を示した。

第1は、シナリオ変更に関する比較評価と、企業情報システムとのリンクによる不具合時等の多元簿記レベルでの管理への活用である。

第2は、環境多元簿記から環境コスト評価への算定方法の提案である。インプット側では、通常の会計と同様に購入費用を当てはめる。アウトプット側では、インプット側の総費用について、アウトプットの重量で按分する MFCA 的な環境コスト評価の考え方を提案した。この按分方法の導入により、環境多元簿記システムにおいて、MFCA の考え方を一

般化してあらゆるマテリアルに適用でき、環境負荷発生の機会費用を捉えることができる。そのため、企業がその機会費用の削減を目的とすることによって、環境負荷削減が可能になる。

1.5 ボトムアップ型サプライチェーンの環境情報収集の方法

第7章では、鋼と釘の2企業モデルで、サプライチェーンの上流から下流への環境情報収集システムの方法を示した。本研究で提示した方法は、以下の特徴がある。

第1に、報告すべき環境負荷について、当該企業の基本単位について、環境負荷伝票を作成し、取引先に渡す。当該企業の環境負荷の総量から、取引先の購入数量に応じて按分するのではなく、受け取った取引先の側が算定する。このような方法により、企業が数多くの取引先に対して、個々に発注数や購入量に基づき按分計算を行う作業を省くことができる。

第2に、受け取った取引先は、自社の基本単位に換算し、環境負荷伝票に追記する。自らの活動範囲を正確に行い、算定で済むところは算定側に任せることによって、作業を単純化できる。どのような方法であれ、算定では誤差が生じるので、煩雑な作業を回避するという意味である。

第3に、上記のチェーンにより、全体の環境情報をコア企業が集めるのではなく、直接取引する2社間で、ボトムアップに構成する。このような方法により、アクセス出来ないという問題を解消することが可能になる。

第7章では、本研究で提案した直接取引する2社間の環境負荷伝票の積み上げにより全体を構成する方法は、サステナブル・マニュファクチャリングに必要とされる方法である。現在、モノづくりでは、グローバルレベルでのクローズドループリサイクルのマテリアル・スチュワードシップが求められている。巨大な全体像をコア企業が統括するという発想ではなく、各企業が自社の範囲を正確に記述し、直接取引する2社間で環境負荷伝票により情報を積み上げ、その連鎖により全体を構成するという方法が、単純で合理的である。実践にはルールづくりなども必要になるが、今後の研究課題として残されている。

1.6 環境多元簿記システムを活用する環境学習シミュレーションの提示

環境多元簿記システムの第一段階は、現場で、工程に係るあらゆるマテリアルとサービスのフローを洗い出すことである。第8章では、マテリアルとサービスのインプットとアウトプット、つまり、潜在的な環境負荷をシミュレーションするためのビジュアルでアナログな「環境学習用ボード」を提示し、学習内容、利用場面、利用方法を説明し、ゲーミング・シミュレーションの作成方法も示した。

この環境学習用ボードで学習できる事項には、以下の3つがある。

第1に、あらゆるマテリアルの潜在的環境負荷の意味、および、環境負荷の管理と経済的側面の理解である。

第2に、マテリアルの変更や他のシナリオ変更による比較分析である。

第3に、環境学習用ボードから環境多元簿記への変換方法である。

環境学習用ボードの使用場面としては、工場・店舗・オフィスなど事業活動の現場、代数的多元簿記テーブルや環境多元簿記テーブル作成の前段階、IPO 分析の概念の学習がある。

大学教育の現場で試行し、多様な工程に適用可能であること、文系学生でも工程に関するマテリアル・フローを捉えることが可能であることが示された。

企業現場での活用や、ゲーミング・シミュレーション作成については、今後の課題として残されている。

1.7 環境配慮型社会形成に向けた環境多元簿記システム活用における課題の検討

第9章では、個々の企業による環境多元簿記システムの活用を環境配慮型社会に結びつけるために必要な検討課題を示した。まず、環境多元簿記システムの活用が企業経営にもたらす意義を述べ、次に、環境多元簿記システムの適切性の判定に関して、トレーサビリティの観点から課題を提示した。さらに、ミクロ・マクロリンクという観点から、個々の企業の環境多元簿記システムと環境政策の情報収集とマクロな環境統計にリンクさせるための検討課題を示した。主な点は以下のとおりである。

第1に、環境多元簿記システムの企業経営へのメリットは、環境経営に取り組んでいない企業には「工程の学習によるケイパビリティの向上」、環境経営に取り組んでいる企業には「環境経営の高度化」、先進的環境経営に取り組む企業には「社会における環境負荷削減のハブ」という機会を与えることである。

第2に、環境多元簿記システムと環境負荷伝票による情報伝達に関するトレーサビリティについて、作成の手続き、計測方法と計測値の保証、相互参照、および、履歴追跡に関して、既存の制度等を反映させた上でのガイドラインの策定や仕組みの設計が必要となる。

第3に、個々の企業の環境多元簿記システムの情報からマクロな環境情報システムを構築するには、交換代数の活用と環境という主体の環境多元簿記システムの作成によって行うことが可能である。それによって、政策主体に適切な情報を与え、より効果的な環境政策を設計できると期待される。本研究では環境情報プラットフォームの構築を提案した。

第9章では、最後に、本研究の手法の展望として、サービス業への適用の意義と普及のための検討課題を挙げ、環境多元簿記システムが環境経営に対してもたらすイノベーションの意義を提示した。主な点は以下の2つである。

第1に、環境多元簿記システムは飲食店のようなサービス業でも適用でき、食品廃棄物の発生抑制に有用であると考えられる。

第2に、環境多元簿記システムは、「工程に着目した企業経営の活動の充実から環境経営に結びつける新たな企業経営スタイルの提案」「新たな手法の提供」および「導入と活用の普及による社会変革へのアプローチ」という点で、環境経営のイノベーションとしての意

義がある。

2. 今後の研究課題

本研究では、環境多元簿記システムの方法を提示し、応用の方法、および、第一段階に用いることができる環境学習用ボードを提示した。本研究は、既存の環境会計手法とは発想が異なる新たな方法を提示したが、方法論にとどまり、多くの今後の研究課題が残されている。主な研究課題としては、以下の7つがある。

第1は、環境多元簿記システムの方法について、精緻化することである。記述の期間やマテリアルの交換代数の基底について、提示した内容の合理性を検討する必要がある。

第2は、実際の工程のデータを用いて、多元簿記システムを構成することである。これは、上記の精緻化とも関連するが、現場の工程で試行し、実行可能性を高める方法を再検討する必要がある。多様な業種の工程について適用の課題を抽出することも重要である。

第3は、複数の工程のデータを用いた環境多元簿記の交換代数から、データ統合の情報処理システムを設計することである。

第4は、環境負荷伝票の設計や実現可能性の検討である。本研究の方法は、コアとなる組織が全体情報を集めるのではなく、直接取引の2社間の情報伝達でボトムアップに構築しようというものである。グローバルなマテリアル・スチュワードシップの基本情報収集についての適用可能性を検討する必要がある。

第5は、提示した環境学習用ボードを、実際の工程で使ってもらい、適用可能性を検討することである。また、環境学習用ボードを用いたゲーミング・シミュレーションの設計を行い、環境学習に役立てることである。

第6は、長期的な課題であるが、経済情報とのリンクの方法を開発することである。本研究が提示したのは環境情報システムであり、環境経営や環境配慮型社会という視点では、環境性と経済性の情報をリンクして使える必要がある。第6章で、MFCA的環境コストの一般化の方法を示したが、精緻化することが必要である。

第7は、長期的な課題であるが、現在の化学物質や廃棄物に関するいくつかの環境対策法で定められている企業の情報提供システムとのリンクや、現在サテライト勘定である環境経済統合勘定についても、企業活動のデータからボトムアップに構成するマイクロ・マクロリンクの方法を検討することである。

最後に、やはり長期的な課題であるが、環境多元簿記システムの方法を企業に普及させ、環境情報プラットフォームの構築に向けて、トレーサビリティやマイクロ・マクロリンクをベースとする仕組みを設計することである。

謝 辞

2001年9月に、京都大学大学院経済学研究科博士後期課程を修了し、博士（経済学）の学位を授与されました。出口弘先生には京大大学院時代からお世話になりました。本当に長きに渡りご指導くださり、ありがとうございました。心より感謝申し上げます。

この東京工業大学大学院総合理工学研究科の博士学位論文を書く時に、京大当時の学位論文を見返してみたら、同じ問題意識を持ち続けていたことに改めて気づきました。当時の学位論文は「環境情報提供の経済分析」と題し、情報提供型環境政策の効果を分析することが目的でした。従来の規制的手法とは異なり、自主的参加型の制度がボトムアップに企業を環境配慮型に変容させられるのかという点を、当時新しかったエージェントベースモデリング（ABM）を用いて分析しました。伝統的経済理論モデルでは態度や行動変容の多様性や変化のダイナミクスを捉えることが困難だったからです。

京大での学位取得後、2002年4月より専修大学商学部で教職につき、オープン・リサーチにお声がけをいただいたことがきっかけで中小企業を対象とした研究を始めました。2007年4月より京都産業大学経営学部に移りましたが、2008年度からは科研費の助成を受け研究を発展させてきました。中小企業の環境経営普及に対して、やはりボトムアップ型の情報提供や学習に焦点を当て、実証分析とABMによるシミュレーション分析を行いました。本文にも書きましたが、その研究の過程で、環境経営ということを意識しなくても通常業務で使える手法を作ればよいのではないかという問題意識を持つに至りました。

そこで出口先生が開発された交換代数に基づく多元簿記システムの方法に着目しました。それは、貨幣だけでなく実物を扱え、経済勘定や実物勘定のミクロ・マクロリンクを可能にするという特徴をもつユニークな方法だからです。しかし、既存の環境会計の考え方である「通常の経済取引をベースとして、その背景にあるモノの流れを記述する」という方法では、なかなか環境負荷の交換代数に辿りつけませんでした。出口先生からは、「腐ったりんごの廃棄モデルや、産業公害時代の汚染排出モデルとか、単純なものから作ってはどうか。」とアドバイスをもらいました。しかし、環境分野の研究者としては、グローバルレベルでのクローズドループのマテリアル・スチュワードシップが求められる現代において、そのような「環境無関心型」企業モデルではなく、現代の通常の企業活動のモデルにこだわりました。とは言っても、交換代数を眺めていても方法を思いつきませんでした。

大学院の年限の間際になって、経済活動に伴う環境負荷を記述するのではなく、あらゆるマテリアルとサービスを一旦「潜在的な環境負荷」と捉えて、実物記述をベースにするという「発想の転換」に気づきました。きっかけは、出口先生が環境経済学を踏まえて廃棄物に関してグッズとバズという用語が使われていたのですが、私がそれに対し「グッズかバズかは市場価格に依存するという側面があるので、あらゆる環境負荷を捉えるにはその用語を使ってほしくない。」と反論していたことにありました。環境負荷を伴わない経済活動はありません。そうであるならば、あらゆるモノ、マテリアルを財か環境負荷と

いう分類で捉えるのではなく、すべてを潜在的な環境負荷とみなし、その実物記述を先にすればよいではないかと思いついたのです。

同時期に、代数的多元簿記システムが、マテリアル・フロー、多元簿記テーブル、交換代数の3点セットだと理解し、マテリアル・フローは環境負荷を把握する IPO 分析とマッチするので、ようやく本研究の環境多元簿記システムの方法を提示することができました。とても時間がかかってしまいましたが、絡まっていた紐がやっと解けたように感じました。

本研究で提示した方法は、単に実物簿記を書こうというのではなく工程のマテリアルや環境負荷の管理に役立てるものであり、工程のデータをボトムアップに収集し、企業活動全体およびサプライチェーンの環境情報の収集と管理に応用しようというものです。さらに、論文の中で書きましたが、ミクロ・マクロリンクを可能にする交換代数の特徴を踏まえて環境多元簿記システムを応用し、環境政策に必要な環境情報プラットフォームの構築に活用できると考えています。「潜在的な環境負荷」の概念を導入しボトムアップにミクロ・マクロリンクの環境情報システムを構築する方法という点で、環境多元簿記システムは、環境管理会計のエコバランスや既存の環境負荷評価手法とは全く異なる新たな方法です。

この博士学位論文は方法論の提示でとどまり、動くシステムの構築までは至りませんでしたが、私自身のライフワークとしての研究テーマに、第1歩を踏み出せたと思います。知能システム科学専攻の寺野隆雄先生、新田克己先生、小野 功先生、吉川 厚先生から、たくさんのご指摘やアドバイスをいただきました。それらを踏まえて検討を進めるうちに、方法を明確化できました。また、審査過程では「面白い」と評価してくださり、大変励みになりました。丁寧にご指導くださいました先生方に心よりお礼申し上げます。

今後は、出口弘先生はじめ知能システム科学専攻の先生方、および、静岡大学の李 皓先生にもご協力をお願いして、さらに研究を発展させて参ります。また、本研究の方法論について学術論文を公表するだけでなく、企業での実践や、英語での著書出版など、環境配慮型社会形成に向けて環境多元簿記システムの普及にも努める所存です。

京都産業大学に入職した際に、当時の学長・坂井東洋男先生に「工学分野でも研究を進めて2つ目の学位を取得したいと思っています。」と申しあげました所、「それはいいことです。大いにやりなさい。」と坂井先生が背中を押してくださいました。もうお忘れかもしれませんが、お礼を申し上げます。大学の仕事には教育・研究・組織業務という3分野がありますが、当然ながら授業やゼミでの教育、委員会活動等にも力の限り取り組んできました。今後も私自身の大学人としての能力も高めていきたいと思っています。

東工大の大学院の諸手続きなどで、出口研究室の林原雅美様に、とてもお世話になりました。途中でやめようかと思っておりました時も、「最後まで応援します。」と言ってくださったことが心に残っております。ありがとうございました。

最後に、博士学位論文の完成まで温かく見守ってくれた夫と息子にも感謝します。

2016年2月 在間 敬子

参考文献

- Ammemberg, J., B. Börjesson and O. Hjelm (1999) “Joint EMS and Group Certification: A Cost-Effective Route for SMEs to Achieve ISO 14001”, *Greener Management International*, Vol. 28, pp. 23-31.
- Ammemberg, J., and O. Hjelm (2003) “Tracing business and environmental effects of environmental management systems—a study of networking small and medium-sized enterprises using a joint environmental management system”, *Business Strategy and the Environment*, Vol. 12, No. 3, pp. 163–174.
- Aragón-Correa, J.A., Hurtado-Torres, N., Sharma, S., and V. J. García-Morales (2008) “Environmental strategy and performance in small firms: A resource-based perspective”, *Journal of Environmental Management*, Vol. 86, pp. 88-103.
- Arnold, J. R. Tony (1997) *Introduction to Materials Management*, 3rd edition, Prentice-Hall Inc., (中根甚一郎(訳) (翻訳)(2001)『生産管理入門—ERPを支えるマテリアルマネジメント』日刊工業新聞社)
- Baden, D., Harwood, I.A., and Woodward, D.G. (2011) “The effects of procurement policies on 'downstream' corporate social responsibility activity: Content-analytic insights into the views and actions of sme owner-managers”, *International Small Business Journal*, Vol. 29, No. 3, pp. 259-277.
- Barreteau, O., P. Garin, A. Dumontier, and G. Abrami (2003) “Agent-based facilitation of water allocation: case study in the Drome River Valley,” *Group Decision and Negotiation*, Vol.12, pp.441-461.
- Battisti, M., and M. Perry (2011) “Walking the talk? Environmental responsibility from the perspective of small-business owners”, *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, Vol. 18, No. 3, pp. 172-185.
- Biondi, V., M. Frey and F. Iraldo (2000) “Environmental Management Systems and SMEs”, *Green Management International*, Vol. 29, pp. 55-69.
- Biondi, V., F. Iraldo, and S. Meredith (2002) “Achieving sustainability through environmental innovation: the role of SMEs”, *International Journal of Technology Management*, Vol. 24, No. 5-6, pp. 612-626.
- Bos-Brouwers, H.E.J. (2010) “Corporate Sustainability and Innovation in SMEs: Evidence of Themes and Activities in Practice”, *Business Strategy and the Environment*, Vol. 19, pp. 417-435.
- Botkin, D.B., and E.A. Keller (2012), *Environmental Science: Earth as a Living Planet*, 8th edition, John Wiley & Sons Ltd.]
- Braunschweig, A., & R. Mueller-Wenk (1993) *Ökobilanzen für Unternehmen: Eine*

- Wegleitung für die Praxis*, Verlag Paul Haupt AG, Berne. (宮崎修行(訳)(1996)『企業のエコバランス—環境会計の理論と実践』白桃書房)
- Brammer, S., S. Hojmoser, and K. Marchant (2012) “Environmental Management in SMEs in the UK: Practices, Pressures and Perceived Benefits”, *Business Strategy and the Environment*, Vol. 21, No. 7, pp. 423-434.
- Brunswick, S., and V. van de Vrande (2014) “7. Exploring Open Innovation in Small and Medium-Sized Enterprises”, in Chesbrough, H., W. Vanhaverbeke, and J. West (eds.) *New Frontiers in Open Innovation*, Oxford University Press.
- Cambra-Fierro, J., S. Hart, and Y. Polo-Redondo (2008) “Environmental respect: Ethics or simply business? A study in the Small and Medium Enterprise (SME) context”, *Journal of Business Ethics*, Vol. 82, No. 3, pp. 645-656.
- Cassells, S., and K. Lewis (2011) “SMEs and environmental responsibility: Do actions reflect attitudes?”, *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, Vol. 18, No. 3, pp. 186-199.
- Chesbrough, H. W. (2003) *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*, Harvard Business School Corporation. ヘンリー・チエスブロウ著・大前恵一朗訳『OPEN INNOVATION—ハーバード流イノベーション戦略のすべて』産業能率大学出版部、2004年
- Clarke, J. (2004) “Trade associations: An appropriate channel for developing sustainable practice in SMEs”, *Journal of Sustainable Tourism*, Vol. 12, No. 3, pp. 194-208.
- Clement, K., and M. Hansen (2003) “Financial incentives to improve environmental performance: A review of nordic public sector support for SMEs”, *European Environment*, Vol. 13, No. 1, pp. 34-47.
- Cordano, M., R.S. Marshall, and M. Silverman (2010) “How do Small and Medium Enterprises Go “Green”? A Study of Environmental Management Programs in the U.S. Wine Industry”, *Journal of Business Ethics*, Vol. 92, No. 3, pp. 463-478.
- Cuerva, M.C., Á. Triguero-Cano, and D. Córcoles (2014) “Drivers of green and non-green innovation: Empirical evidence in Low-Tech SMEs”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 68, pp. 104-113.
- Deguchi, H. (2004) *Economics as an agent-based complex system: toward agent-based social systems sciences*, Springer Tokyo.
- der Brío, J. Á and B. Junquera (2003) “A review of the literature on environmental innovation management in SMEs: implications for public policies”, *Technovation*, Vol. 23, pp. 939-948.
- Ellerman, D. P. (1986) “Double Entry Multidimensional Accounting”, *Omega*

- International Journal of Management Science*, Vol. 14, No. 1, pp. 13-22.
- Evans, T. P. and H. Kelley (2004) "Multi-scale analysis of a household level agent-based model of landcover change," *Journal of Environmental Management*, Vol.72, No.1-2, pp.57-72.
- Elkington, J. (1999) *Cannibals with Forks: Triple Bottom Line of 21st Century Business*, Capstone Publishing Ltd.
- Epstein, M. J. and M.-J. Roy (2000) "Strategic evaluation of environmental projects in SMEs", *Environmental Quality Management*, Vol. 9, No. 3, pp. 37-47.
- Esty, D. C., and A. S. Winston, (2006) *Green to Gold: How Smart Companies Use Environmental Strategy to Innovate, Create Value, and Build Competitive Advantage*, Yale University Press. (ダニエル C.エステイ, アンドリュー S.ウインストン著、村井 章子訳『グリーン・トゥ・ゴールド 企業に高収益をもたらす「環境マネジメント」戦略』アスペクト、2008 年)
- Fiksel, Joseph (2011) "A Framework for Sustainable Materials Management", *JOM (Journal of Materials)*, August 2006, pp. 15-22.
- Friedman, A. L., and S. Miles (2002) "SMEs and the environment: evaluating dissemination routes and handholding levels", *Business Strategy and the Environment*, Vol. 11, No. 5, pp. 324-341.
- Gadenme, D. L., J. Kennedy and G. McKeiver (2009) "An Empirical Study of Environmental Awareness and Practices in SMEs", *Journal of Business Ethics*, Vol. 84, No. 1, pp 45-63.
- González-Benito, J. and Ó. González-Benito (2006) "A Review of Determinant Factors of Environmental Proactivity", *Business Strategy and the Environment*, Vol. 15, pp. 87-102.
- Granek, F., and M. Hassanali (2006) "The Toronto Region Sustainability Program: Insights on the adoption of pollution prevention practices by small to medium-sized manufacturers in the Greater Toronto Area (GTA)", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 14, No. 6-7, pp. 572-579.
- Granly, B.M., and T. Welo (2014) "EMS and sustainability: Experiences with ISO 14001 and Eco-Lighthouse in Norwegian metal processing SMEs", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 64, pp. 194-204.
- Gray R., D. Owen, and K. Maunders (1987) *Corporate Social Reporting: Accounting and Accountability*, Prentice-Hall. (山上達人(訳)『企業の社会報告—会計とアカウンタビリティ』白桃書房、1992 年)
- Guében, C., and R.G. Skerratt (2007) "SMEs and environmental communications: Motivations and barriers to environmental reporting", *International Journal of*

- Environment and Sustainable Development*, Vol. 6, No. 1, pp. 1-16.
- Haden, S. S. P., Oyler, J. D. and J. H. Humphreys (2009) "Historical, practical and theoretical perspectives on green management: An exploratory analysis", *Management Decision*, Vol. 47, No.7, pp.1041-1055.
- Halila, F. (2007) "Networks as a means of supporting the adoption of organizational innovations in SMEs: the case of Environmental Management Systems (EMSs) based on ISO 14001", *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, Vol. 14, No. 3, pp. 167–181.
- Hansen, O.E., B. Sondergard, and S. Meredith (2002) "Environmental innovations in small and medium sized enterprises", *Technology Analysis and Strategic Management*, Vol. 14, No. 1, pp. 37-56.
- He, G., L. Zhang, A.P.J. Mol, T. Wang, and Y. Lu (2014) "Why small and medium chemical companies continue to pose severe environmental risks in rural China", *Environmental Pollution*, Vol. 185, pp. 158-167.
- Heckbert, S., B. Tim, and A. Reeson (2010) "Agent-based modeling in ecological economics," *Annals of the New York Academy of Sciences, Issue: Ecological Economics Reviews*, Vol.1185, pp.39-53.
- Heras, I., and G. Arana (2010) "Alternative models for environmental management in SMEs: the case of Ekoscan vs. ISO 14001", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 18, No. 8, pp. 726-735.
- Hillary, R. (2004) "Environmental management systems and the smaller enterprise", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 12, No. 6, pp. 561-569.
- Hitchens, D., M. Trainor, J. Clausen, S. Thankappan and B. de Marchi (eds.) (2003) *Small and Medium Sized Companies in Europe: Environmental Performance, Competitiveness and Management: International EU Case Studies*, Springer, GW
- Holt, D., S. Anthony, and H. Viney (2000) "Supporting Environmental Improvements in Small and Medium-Sized Enterprises in the UK", *Greener Management International*, Vol. 30, pp. 29-49.
- Hutchinson, A., and F. Hutchinson (1995) "Sustainable regeneration of the UK's small and medium-sized enterprise sector: some implications of SME response to BS 7750", *Greener Management International*, Vol. 9, pp. 73-84.
- ICMM (2007) *Materials Stewardship, Eco-efficiency and Product Policy*
- Janssen, M. A., and W. Jager (2002) "Simulating diffusion of green products: Co-evolution between firms and consumers," *Journal of Evolutionary Economics*, Vol.12, pp. 283-306.
- Kiesling, E., M. Gunther, C. Stummer, and L. M. Wakolbinger (2012) "Agent-based

- simulation of innovation diffusion: a review”, *Central European Journal of Operations Research*, Vol. 20, No.2, pp. 183-230.
- Kuscsik, Z., D. Holvath, and M. Gmitra (2007) “The critical properties of the agent-based model with environmental-economic interaction,” *Physica A*, Vol.379, pp.199-206.
- Lee, K.-H. (2009) “Why and how to adopt green management into business organizations? The case study of Korean SMEs in manufacturing industry”, *Management Decision*, Vol.47, No. 7, pp. 1101-1121.
- Lee, S.M., S.T. Kim, and D. Choi, D (2012) “Green supply chain management and organizational performance”, *Industrial Management and Data Systems*, Vol. 112, No. 8, pp. 1148-1180.
- Lee, S.-Y., and R.D. Klassen (2008) “Drivers and enablers that foster environmental management capabilities in small- and medium-sized suppliers in supply chains”, *Production and Operations Management*, Vol. 17, No. 6, pp. 573-586.
- Lefebvre, É., L. A. Lefebvre, and S. Talbot (2003) “Determinants and impacts of environmental performance in SMEs”, *R&D Management*, Vol. 33 No. 3, pp. 263-283.
- Lin, L.-H., and J.-F. Lan, (2013) “Green supply chain management for the SME automotive suppliers”, *International Journal of Automotive Technology and Management*, Vol. 13, No. 4, pp. 372-390.
- Luken, R. and R. Stares (2005) “Small Business Responsibility in Developing Countries: A Threat or an Opportunity?”, *Business Strategy and the Environment*, Vol. 14, pp. 38-53.
- Lynch-Wood, G., and D. Williamson (2014) “Civil Regulation, the Environment and the Compliance Orientations of SMEs”, *Journal of Business Ethics*, Vol. 125, pp. 467-480.
- Madsen, H., K. Sinding, and J. P. Ulhoi (1997) “Sustainability and corporate environmental focus: An analysis of Danish small and medium sized companies”, *Managerial & Decision Economics*, Vol. 18 No. 6, pp. 443-453.
- Matthews, R. B., N. G. Gilbert, A. Roach, J. G. Polhill, and N. M. Gotts (2007) “Agent-based land-use models: a review of applications,” *Landscape Ecology*, Vol.22, No.10, pp.1447-1459.
- Meité, V., J. Baeyens, and R. Dewil (2009) “Towards safety, hygiene and environmental (SHE) management in African small and medium companies”, *Journal of Environmental Management*, Vol. 90, No. 3, pp. 1463-1468.
- Merritt, J. Q. (1998) “EM into SME won't go? Attitudes, awareness and practices in the

- London Borough of Croydon”, *Business Strategy and the Environment*, Vol. 7, No. 2, pp. 90–100.
- Mosler, H.-J., and T. Martens (2007) “Designing environmental campaigns by using agent-based simulations: Strategies for changing environmental attitudes,” *Journal of Environmental Management*, Vol.88, pp.805-816.
- Noci, G., and R. Verganti (1999) “Managing ‘green’ product innovation in small firms”, *R&D Management*, Vol. 29, No.1, pp. 3-15.
- OECD (2009) *Eco-Innovation in Industry: Enabling Economic Growth*
- OECD (2012) *Sustainable Materials Management - Making Better Use of Resources*
- OECD/Cedefop (2014) *Greener Skills and Jobs, OECD Green Growth Studies*
- Oxborrow, L., and C. Brindley (2013) “Adoption of "eco-advantage" by SMEs: Emerging opportunities and constraints”, *European Journal of Innovation Management*, Vol. 16, No. 3, pp. 355-375.
- Parker, D. C., S. M. Manson, M. A. Janssen, M. J. Hoffmann, and P. Deadman (2003) “Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review,” *Annals of the Association of American Geographers*, Vol.93, pp.316-340
- Parker, C. M., J. Redmond, and M. Simpson (2009) “A review of interventions to encourage SMEs to make environmental improvements,” *Environment and Planning C: Government and Policy*, Vol. 27, pp. 279-301.
- Patton, D., and I. Worthington (2003) “SMEs and environmental regulations: A study of the UK screen-printing sector”, *Environment and Planning C: Government and Policy*, Vol. 21, No. 4, pp. 549-566.
- Peters, M. and R. K. Turner (2004) “SME Environmental Attitudes and Participation in Local-scale Voluntary Initiatives: Some Practical Applications”, *Journal of Environmental Planning and Management*, Vol. 47, No. 3, pp. 449-473.
- Petts, J., A. Herd, and M. O’Heocha (1998) “Environmental responsiveness, individuals and organizational learning: SME experience”, *Journal of Environmental Planning and Management*, Vol. 41, No. 6, pp. 711-730.
- Petts, J. (2000) “The Regulator-Regulated Relationship and Environmental Protection: Perceptions in Small and Medium-Sized Enterprises”, *Environment and Planning C: Government and Policy*. Vol. 18, No. 2, Pp. 191-206.
- Porter, M. E., and M. R. Kramer (2011) “Creating Shared Value: How to reinvent capitalism -- and unleash a wave of innovation and growth”, *Harvard Business Review*, January-February, 2011. (マイケル E. ポーター、マーク R. クラマー
「Creating Shared Value : 経済的価値と社会的価値を同時実現する共通価値の戦略」
ダイヤモンド Harvard Business Review, 2011 年 6 月号)

- Rao, P., A.K. Singh, O. La O'Castillo, P.S. Intal Jr., and A. Sajid (2009) "A metric for corporate environmental indicators for small and medium enterprises in the Philippines", *Business Strategy and the Environment*, Vol. 18, No. 1, pp. 14-31.
- Revell, A., and B. Rutherford (2003) "UK Environmental Policy and the Small Firm: Broadening the Focus", *Business Strategy and the Environment*, Vol. 12, pp. 26-35.
- Revell, A., and B. Blackburn (2007) "The business case for sustainability? An examination of small firms in the UK's construction and restaurant sectors", *Business Strategy and the Environment*, Vol. 16, No. 6, pp. 404-420.
- Rodgers, C. (2010) "Sustainable entrepreneurship in SMEs: A case study analysis", *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, Vol. 17, No. 3, pp. 125-132.
- Rogers, E. M. (2003) *Diffusion of Innovations 5th edition*, Free Press. (邦訳：三藤利雄訳『イノベーションの普及』翔泳社、2007年)
- Schroll, A. and A. Mild (2012) "A critical review of empirical research on open innovation adoption", *Journal für Betriebswirtschaft*, Vol. 62, pp. 85-118.
- Schumpeter, J. A. (1926) *Theorie der Wirtschaftlichen Entwicklung*, 2. Aufl., (邦訳：塩野谷祐一・中山伊知郎・東畑精一訳『経済発展の理論』岩波文庫、1977年)
- Schwoon, M. (2006) "Simulating the adoption of fuel cell vehicles," *Journal of Evolutionary Economics*, Vol. 16, pp.435-472.
- Shearlock, C., P. Hooper, and S. Millington (2000) "Environmental Improvements in Small and Medium-Sized Enterprises", *Greener Management International*, Vol. 30, pp.50-60.
- Simpson, M., N. Taylor and K. Barker (2004) "Environmental responsibility in SMEs: does it deliver competitive advantage?", *Business Strategy and the Environment*, Vol. 13, No. 3, pp. 156-171.
- Squazzoni, F. (2010) "The impact of agent-based models in the social sciences after 15 years of incursions", *History of Economic Ideas*, Vol. 18, No. 2, pp. 197-234.
- Studer, S., S. Tsang, R. Welford, and P. Hills (2008) "SMEs and voluntary environmental initiatives: A study of stakeholders' perspectives in Hong Kong", *Journal of Environmental Planning and Management*, Vol. 51, No. 2, pp. 285-301.
- Taylor, N., K. Barker, and M. Simpson (2003) "Achieving 'sustainable business': a study of perceptions of environmental best practice by SMEs in South Yorkshire", *Environment and Planning C: Government and Policy*, Vol. 21, No. 1, pp. 89-105.
- Triguero, A., L. Moreno-Mondéjar, and M.A. Davia (2013) "Drivers of different types of eco-innovation in European SMEs", *Ecological Economics*, Vol. 92, pp. 25-33.
- Uhlener, L.M., M.M. Berent-Braun, R.J.M. Jeurissen, and G. de Wit (2012) "Beyond

- Size: Predicting Engagement in Environmental Management Practices of Dutch SME”, *Journal of Business Ethics*, Vol. 109, No. 4, pp. 411-429.
- van Berkel, R. (2007) “Cleaner production and eco-efficiency in Australian small firms”, *International Journal of Environmental Technology and Management*, Vol. 7, No. 5-6, pp. 672-693.
- van Hemel, C., and J. Cramer (2002) “Barriers and stimuli for ecodesign in SMEs”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 10, No. 5, pp. 439-453.
- Wells, R.P., and D. Galbraith (1999) “Proyecto Guadalajara: Promoting sustainable development through the adoption of ISO 14001 by small and medium-sized enterprises”, *Greener Management International*, Vol. 28, pp. 90-102.
- Weng, M.-H., and C.-Y. Lin (2011) “Determinants of green innovation adoption for small and medium-size enterprises (SMES)”, *African Journal of Business Management*, Vol. 5, No. 22, pp. 9154-91.
- Williams, S. and A. Schaefer (2013) “Small and Medium Sized Enterprises and Sustainability: Managers' Values and Engagement with Environmental Climate Change Issues”, *Business Strategy and the Environment*, Vol. 22, pp. 173-186.
- Williamson, D., and G. Lynch-Wood (2001) “A new paradigm for SME environmental practice”, *TQM Magazine*, Vol. 13, No. 6, pp. 424-432.
- Williamson D., G. Lynch-Wood, and J. Ramsay (2006) “Drivers of Environmental Behavior in Manufacturing SMEs and the Implications for CSR”, *Journal of Business Ethics*, Vol. 67, pp. 317-330.
- Wilson, C.D.H., I.D. Williams and S. Kemp (2012) “An evaluation of the impact and effectiveness of environmental legislation in small and medium-sized enterprises: Experiences from the UK”, *Business Strategy and the Environment*, Vol. 21, No. 3, pp. 141-156.
- World Commission on Environment and Development (WCED) (1987) *Our Common Future*, Oxford University Press, USA. (邦訳：環境と開発に関する世界委員会著・大来佐武郎監修、『地球の未来を守るために』福武書店、1987年)
- Worthington, I., and D. Patton (2005) “Strategic Intent in the Management of the Green Environment within SMEs”, *Long Range Planning*, Vol. 38, pp. 197-212.
- Zaima, K. (2005) “Effects of structural and behavioral strategies toward the environmentally conscious society: Agent-Based Approach,” in T. Terano, H. Kita, T. Kaneda, K. Arai, and H. Deguchi (eds.) *Agent-Based Simulation From Modeling Methodologies to Real-World Applications*, pp. 233-246, Springer-Verlag Tokyo.
- Zaima, K. (2006) “Agent-based simulation on the diffusion of research and development for environmentally conscious products,” in K. Arai, H. Deguchi, and H. Matsui

- (eds.), *Agent-Based Modeling Meets Gaming Simulation*, pp. 119-138, Springer-Verlag Tokyo.
- Zaima, K., H. Deguchi and H. Lee (2015) “A Methodology for Environmental Information System Based on Multi-dimensional Bookkeeping System for Material & Service Accounts”, *Proceedings of 2015IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)*, pp. 895-892, December 11-13, 2015. Meijo University, Nagoya, Japan.
- Zhang, B., J. Bi, Z. Yuan, J. Ge, B. Liu, and M. Bu (2008) “Why do firms engage in environmental management? An empirical study in China”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 16, No. 10, pp. 1036-1045.
- Zhang, T., G., Sonja and R. Garcia (2011) “A study of the diffusion of alternative fuel vehicles: An agent-based modeling approach,” *Journal of Product Innovation Management*, Vol.28, pp.152-168.
- Zorpas, A. (2010) “Environmental management systems as sustainable tools in the way of life for the SMEs and VSMEs”, *Bioresource Technology*, Vol. 101, No. 6, pp. 1544-1557.
- 有吉範敏(2005)「環境・経済統合勘定の展開--日本版 SEEA とハイブリッド勘定」『Business journal of PAPIOS』(環太平洋産業連関分析学会誌) Vol.13(2), pp.32-41
- 井尻雄士(1975)『会計測定の理論』東洋経済新報社
- 井尻雄士(1984)『三式簿記の研究—複式簿記の論理的拡張をめざして』中央経済社
- 伊丹敬之・加護野忠男(2003)『ゼミナール経営学 第3版』日本経済新聞社.
- 伊藤誠悟 (2015)「8 中小企業 経営資源の制約を乗り越える」米倉誠一郎・清水 洋編『オープン・イノベーションのマネジメント』有斐閣.
- 植田和弘 (1996)『環境経済学』岩波書店.
- カーボン・ディスクロージャー・プロジェクト(Carbon Disclosure Project, CDP) (2012)『CDP ジャパン 500 気候変動レポート 2012 レジリエンスを再考し事業を変革すべき時』
- 河野正男(2006)『環境会計の構築と国際的展開』森山書店
- 環境庁(1992)『環境白書 平成4年版』
- 環境省(2001)『環境白書 平成13年版』
- 金原達夫・金子慎治(2005)『環境経営の分析』白桃書房.
- 倉阪秀史(2008)『環境政策論 第2版』信山社
- 倉阪秀史(2015)『環境政策論 第3版』信山社
- 國部克彦(編著)(2011)『環境経営意思決定を支援する会計システム』中央経済社
- 國部克彦・伊坪徳宏・水口剛 (2012)『環境経営・会計 第2版』有斐閣

- 國部克彦(編著)(2013)『社会環境情報ディスクロージャーの展開』中央経済社
- 在間敬子(2003)「企業組織と環境保全活動：株式会社島津製作所の事例を中心に」『調査と研究』第 26 号、pp.92-110
- 在間敬子(2005a)「中小企業の環境対策の現状と課題」『専修大学商学研究年報』第 30 号、pp. 95-120.
- 在間敬子(2005b)「グリーン圧力が中小企業に及ぼす影響に関する実証分析：機械・金属業のケース」『商工金融』第 55 巻第 11 号、pp. 21-37.
- 在間敬子(2007)「中小企業の環境経営の現状と課題：機械・金属業とプラスチック業の業種間比較と経年比較から」『商工金融』第 57 巻第 5 号、pp. 47-60
- 在間敬子(2008a)「中小企業の環境経営推進の条件に関する実証分析：機械・金属業とプラスチック加工業のケース」『社会・経済システム』No.29, pp.67-76.
- 在間敬子(2008b)「環境配慮型社会をデザインするエージェントベースモデリング：研究の現状と今後の分析課題」『オペレーションズ・リサーチ』Vol.53 No.12, pp.678-685.
- 在間敬子(2010)「中小企業の環境経営に対する支援の現状と課題：地域社会における環境コミュニケーションデザインに向けて」『社会・経済システム』第 31 号(No.31), pp.45-58.
- 在間敬子(2012)「中小企業の環境経営の普及に関するエージェントベースモデリング：方法と分析課題」『進化経済学論集』、第 16 集
(<http://jafeeosaka.web.fc2.com/pdf/B3-3zaima2.pdf>)
- 在間敬子(2013)「中小企業の環境ビジネス・イノベーション：成功する企業特性と情報支援の効果」企業と社会フォーラム編『持続可能な発展とイノベーション』（企業と社会フォーラム年報 2013）、pp. 145-185、千倉書房
- 在間敬子(2016)『中小企業の環境経営イノベーション』中央経済社
- 榊俊吾・大貫裕二・出口弘(2008)「国民経済計算(SNA)推計システムの社会情報アーキテクチャデザイン」『社会・経済システム』No.29, pp.101-110
- 榊俊吾(2010)「トランザクションベースエコノミクス構想：企業トランザクションベースの SNA 推計について」『社会・経済システム』No.31, pp.131-151
- 佐藤勢津子(2005)「サテライト勘定の意義と我が国の新しい環境経済統合勘定について」『Eco-forum』Vol. 23, No.2, pp. 22-30.
- 杉浦淳吉(2003)『環境配慮の社会心理学』ナカニシヤ出版.
- 谷本寛治(編著)(2004)『CSR 経営 企業の社会的責任とステイクホルダー』中央経済社
- 出口 弘(2000)『複雑系としての経済学—自律的エージェント集団の科学としての経済学を目指して』日科技連出版社
- 出口弘(2004)「エージェントベースモデリングによる問題解決—エージェントベース社会システム科学としての ABM—」『オペレーションズ・リサーチ』Vol.49、No.3、pp.161-167

- 出口 弘, 榑 俊吾, 大貫 裕二 (2010) 電子スキニング統計の構想とそのアーキテクチャ
デザイン, 社会・経済システム第 31 号, 社会・経済システム学会 2010, pp115-120
- 出口 弘 (2013) トランザクションベースの経済システム学—そのリサーチプログラムと方法論, 進化経済学論集第 17 集,
http://c-faculty.chuo-u.ac.jp/~jafee/papers/Deguchi_Hiroshi2.pdf
- 内閣府経済社会総合研究所(2010)「水に関する環境・経済統合勘定の推計作業 報告書」『季刊国民経済計算』 Vol.143, pp.1-218
- 広瀬幸雄 (1995) 『環境と消費の社会心理学：共益と私益のジレンマ』 名古屋大学出版会
- 藤井 聡(2003)『社会的ジレンマの処方箋』ナカニシヤ出版.
- 藤倉 良・藤倉まなみ (2008)『文系のための環境科学入門』有斐閣
- 水口剛(編著)(2011)『環境と金融・投資の潮流』中央経済社
- 水口剛(2012)「第 8 章 環境情報開示と環境報告書」、國部克彦・伊坪徳宏・水口剛『環境経営・会計 第 2 版』有斐閣
- 矢口克也(2010)「『持続可能な発展』理念の実践過程と到達点」国立国会図書館調査及び立法考査局『持続可能な社会の構築 総合調査報告書』
- 山形与志樹・水田秀行(2001)「京都議定書・国際排出量取引のエージェントベースシミュレーション」『オペレーションズ・リサーチ』 Vol.46, No.10, pp.555-560.
- 山岸俊男(1990)『社会的ジレンマのしくみ：「自分ひとりぐらいの心理」の招くもの』サイエンス社.

研究業績一覧 (2007 年度～2015 年度)

1. 著書

在間敬子(2016)『中小企業の環境経営イノベーション』中央経済社 (2016 年 1 月)

2. 学術論文 (査読つき)

在間敬子(2013)「中小企業の環境ビジネス・イノベーション：成功する企業特性と情報支援の効果」企業と社会フォーラム編『持続可能な発展とイノベーション』(企業と社会フォーラム年報 2013)、pp. 145-185、千倉書房。

Zaima, Keiko (2013) “Conditions to Diffuse Green Management into SMEs and the Role of Knowledge Support: Agent-Based Modeling,” *Journal of Advanced Computational Intelligence & Intelligent Informatics (JACIII)*, Vol.17, No.2, pp.252-262.

在間敬子(2010)「中小企業の環境経営に対する支援の現状と課題：地域社会における環境コミュニケーションデザインに向けて」『社会・経済システム』第 31 号(No.31), pp.45-58.

在間敬子(2008)「中小企業の環境経営推進の条件に関する実証分析：機械・金属業とプラスチック加工業のケース」『社会・経済システム』No.29, pp.67-76.

3. 学術論文 (査読なし)

Zaima, Keiko (2015) “Green Management: Environmental-Financial Performance Nexus and Dimensions of Innovation,” in Japan Forum of Business and Society (ed.) *Sustainability and Strategy* (企業と社会フォーラム編『年報 第 4 集「持続可能性と戦略」』千倉書房) pp. 118-135. (招待論文)

在間敬子(2008)「環境配慮型社会をデザインするエージェントベースモデリング：研究の現状と今後の分析課題」『オペレーションズ・リサーチ』Vol.53 No.12, pp.678-685.

4. 国際学会プロシーディングス (査読つき)

Zaima, Keiko, Hiroshi Deguchi & Hao Lee (2015) “A Methodology for Environmental Information System Based on Multi-dimensional Bookkeeping System for Material & Service Accounts”, *Proceedings of 2015IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)*, pp. 895-892, December 11-13, 2015. Meijo University, Nagoya, Japan.

Zaima, Keiko (2012) “Agent-Based Diffusion Model for Green Management in Small and Medium-Sized Enterprises”, *Proceedings of International Symposium on Soft Computing, The Asian Science and Technology Pioneering Institutes of Research and Education (ASPIRE) League*, November 8-9 2012, Tokyo Institute of Technology

(Suzukakedai-campus), Japan.

5. 学会論集・学会予稿集（査読なし）

在間敬子・李 皓・出口弘(2015)「環境簿記システムを活用する環境学習シミュレーションの方法」『日本シミュレーション&ゲーミング学会全国大会論文集 2015 年秋号』 pp. 50-55

在間敬子・李 皓・出口弘(2015)「工場管理に活用できる環境経済簿記システムの構築：概念モデルとシミュレーションに向けた検討」『進化経済学論集』、第 19 集

在間敬子・出口弘(2013)「多元的簿記による環境マネジメントのミクロ・マクロリンク：概念と体系構築の方法」『進化経済学論集』、第 17 集

(http://c-faculty.chuo-u.ac.jp/~jafef/papers/Zaima_Deguchi2.pdf)

在間敬子(2012)「中小企業の環境経営の普及に関するエージェントベースモデリング：方法と分析課題」『進化経済学論集』、第 16 集

(<http://jafeeosaka.web.fc2.com/pdf/B3-3zaima2.pdf>)

在間敬子(2011)「環境コミュニケーションの効果に関するエージェントベースシミュレーション分析」『進化経済学論集』、第 15 集

6. 口頭発表

Zaima, Keiko, Hiroshi Deguchi & Hao Lee、演題：A Methodology for Environmental Information System Based on Multi-dimensional Bookkeeping System for Material & Service Accounts、2015IEEE/SICE International Symposium on System Integration, December 11-13, Meijo University, Nagoya, Japan.

在間敬子・李 皓・出口弘、演題：環境簿記システムを活用する環境学習シミュレーションの方法、日本シミュレーション&ゲーミング学会 2015 秋期全国大会、2015 年 12 月 5 日・6 日、福岡大学

在間敬子・李 皓・出口弘、演題：工場管理に活用できる環境経済簿記システムの構築：概念モデルとシミュレーションに向けた検討、第 19 回進化経済学会北海道大会、2015 年 3 月 21・22 日、小樽商科大学

Keiko Zaima、演題：Green Management:Environmental - Financial Performance Nexus and Dimensions of Innovation、企業と社会フォーラム第 4 回年次大会、2014 年 9 月 18・19 日、早稲田大学。

在間敬子・出口弘、演題：多元的簿記による環境マネジメントのミクロ・マクロリンク：概念と体系構築の方法、進化経済学会第 17 回中央大学大会、2013 年 3 月 16・17 日、中央大学

在間敬子、演題：グリーン・イノベーション普及に関する ABM：共進化のメカニズム、計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 (SSI2012)、2012 年 11 月 21・22・

23 日、名古屋・ウィルあいち（愛知県女性総合センター）

Keiko Zaima、演題：Agent-Based Diffusion Model for Green Management in Small and Medium-Sized Enterprises、International Symposium on Soft Computing, The Asian Science and Technology Pioneering Institutes of Research and Education (ASPIRE) League, November 8-9 2012, Tokyo Institute of Technology, Japan.

在間敬子、演題：中小企業の環境ビジネス・イノベーション：成功する企業属性と情報支援の効果、企業と社会フォーラム第2回年次大会 2012年9月20・21日、早稲田大学

在間敬子、演題：中小企業の環境経営の普及に関するエージェントベースモデリング：方法と分析課題、第16回進化経済学会大阪大会、2012年3月17・18日、摂南大学

在間敬子、演題：環境コミュニケーションの効果に関するエージェントベースシミュレーション分析、第15回進化経済学会名古屋大会、2011年3月19・20日、名古屋大学.

在間敬子、演題：中小企業の環境経営に対する支援策に関するエージェントベースシミュレーション、日本シミュレーション&ゲーミング学会2010年大会、2010年11月27・28日、江戸川大学.

在間敬子、演題：中小企業の環境経営を推進する制度デザインに関するエージェントベースモデリング、経営情報学会2010年秋季全国研究発表大会、2010年11月6・7日、中京大学.

在間敬子、演題：企業をハブとした家庭でのCO₂削減：事例分析に基づく多様性を含む環境政策デザイン、第14回進化経済学会大阪大会、2010年3月27・28日、四天王寺大学.

在間敬子、演題：環境経営を推進するための地域社会における環境コミュニケーションデザイン検討、第28回社会・経済システム学会大会、2009年10月17・18日、関西大学千里山キャンパス.

在間敬子、演題：中小企業の環境経営戦略の検討ー環境経営推進の条件に関する実証分析からー、環境経済政策学会2007年滋賀大会研究報告、2007年10月7・8日、滋賀大学.

在間敬子、演題：中小企業の環境経営の課題ー実証分析からの検討と社会システムの観点からの考察ー、第26回社会・経済システム学会大会、2007年10月13・14日、東京工業大学.

7. 2015年度中の口頭発表（採択・研究論文提出済み）

在間敬子・出口弘・李 皓、演題：代数的多元簿記に基づく統合的環境情報システムの方法」、第20回進化経済学会東京大会2015、2016年3月26・27日、東京大学

8. 競争的研究資金

- 2008 年度～2010 年度、日本学術振興会、科学研究費補助金・基盤研究（C）・課題番号 20510042・「企業の環境コミュニケーション活動が社会と組織にもたらす環境的・経済的価値の分析」・研究代表者：在間敬子
- 2011 年度～2013 年度、日本学術振興会、科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）・基盤研究（C）・課題番号 23510057・「中小企業の環境経営を促進する有効な「環境コミュニケーションの場」に関する制度設計」・研究代表者：在間敬子
- 2014 年度～2016 年度、日本学術振興会、科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）・基盤研究（C）・課題番号 26340124・「中小企業の経営課題解決と環境経営を両立させるオープン・イノベーション支援の設計」・研究代表者：在間敬子

以上