

マテリアルフローコスト会計(MFCA)によるエネルギーロス改善にみるサステナビリティ管理会計手法への発展 ：企業 (A社) 現地調査をもとに¹⁾

中 嶋 道 靖

I はじめに

マテリアルフローコスト会計 (MFCA) は、MFCAを開発したドイツのIMU (Institut für Management und Umwelt, Augsburg) において、当初からMFCAにおけるマテリアルには、「エネルギー」も含むと定義していた (Strobel・Redmann 2001；中嶋・國部 2002；2008)。したがって、2001年から始まった日本でのマテリアルフローコスト会計 (MFCA) の調査研究 (企業導入事例) においても、ドイツのIMUのMFCAを手本として始めることとしたため、エネルギーもマテリアルに含めることとなった (経済産業省 2002)²⁾。MFCAとは、製造プロセスに投入したマテリアルのフロー (移動) をモニターする手法である。製造プロセス内³⁾の製造工程において、製造完了し、次の製造工程にフロー (移動) する「マテリアル (量)」と、次の製造工程にフローしない「マテリアロス (量)」区分し、これら2つの物量を測定 (状況によっては評価) し、当該製造プロセスにおける「製品」 (完了品または完成品) と「マテリアロス」の物量に基づいてコスト評価する手法である⁴⁾。一般手には製造プロセスとは、「製品」 (完了品または完成品) を産み出すプロセスと見なすが、MFCAは、「製品」 (完了品または完成品) と製品にならずに、たとえば、廃棄物となる「マテリアロス」も産み出している、物量次元で製造プロセスを見える化、評価し、マネジメントする環境管理会計手法である。

1) A社には、のべ10数回の訪問調査を実施し、本研究成果をまとめた。なお、本研究への資料提供などの許諾はA社よりいただいている。

2) 経済産業省委託事業の環境管理会計手法の開発プロジェクトは、2000年から開始された。その後、多くのMFCAの企業事例は実施され公表されている (2000年から10年以上、経済産業省委託事業の事業報告書が年次ごとに発行され多くの企業導入事例が掲載されている。また個別に、國部 2008；安城・下垣 2011なども参照のこと)。

3) 本論文では、(製品) 製造プロセスは、製品を製造するプロセス全体を指し、この製造プロセスは複数の製造工程で構成されているとする。したがって、本論文において「製造工程」と言うときは製造プロセスの一部分を指していることとする。

4) MFCAの基本的な手法は、経済産業省 2002；中嶋・國部 2002；2008を参照してほしい。

製品にならない材料は、材料ロスとして区分され、資源のムダとして削減対象となる。ところで、それに対して、「エネルギー、特に電力」は、一般的な製品製造プロセスでは、たとえば、設備に電力供給され、次の製造工程にフローしない⁵⁾。先にも述べたように、MFCAでは、投入した「材料」のうち、次の製造工程にフローしないものは「材料ロス」である(中畠・國部 2002; 2008)。したがって、たとえば、加工設備を稼働させるのに投入される全てのエネルギー(電力)は、MFCAにおいては材料ロス、エネルギーロスに区分される。

しかしながら、「投入される全てのエネルギーは、材料ロス、エネルギーロス」であることが統一化されていない。筆者は上記に示した通りに、次の製造工程にフローしないエネルギー(本論文では電力を対象とするが)は材料ロスとしてきた。筆者が考える重要なことは、MFCAの原則通りに「材料ロス」を定義し、「材料ロス」ゼロを目指すべきであるということである。当然ながら、材料ロスである「エネルギーロス」もゼロを目指すべきである。

本論文では、最近の筆者によるMFCAプロジェクト(企業での事例研究)において、なぜ、投入される全てのエネルギーを材料ロス、エネルギーロスと区分すべきかを示す有用な事例を紹介する。本論文は、MFCAにおけるエネルギーロスの理論化の出発点になると考える。次節では、まずは一般的なMFCAに関して概略を説明し、MFCAにおけるエネルギーロスの課題を明らかにする。

II MFCAにおける一般的な材料と材料ロス

MFCAの企業事例では、IMUのMFCAに基づいて、材料フローモデル(MFCAが対象とする範囲の製造プロセス図)を作成する。その作成された材料フローモデル図に示された各製造工程で、インプットされる材料とアウトプットする材料を記載する。そして、それぞれ材料のインプットとアウトプットの物量とコスト額を記載する。(詳しくは、経済産業省 2002; 中畠・國部 2002などを参照されたい)。経済産業省(2002)および中畠・國部(2002)では具体的にMFCA手法の説明がされ、企業で実施された企業でのMFCA分析結果(帳票)が公表された。ただし、MFCAは物量情報とコスト情報が示される手法であるが、コスト情報のみの帳票(下記で示した「フローチャート」)が、経済産業省(2002)

5) 近年、特にバッテリー充電や電池など、電力(エネルギー)が製造工程をフローする事例があることは承知している。本論文で対象とする期間、MFCAが日本で紹介される2001年からその後のMFCA普及期(約10年間)、またその後の企業事例で一般的な製造業で投入されるエネルギー(電力)を全て材料ロスとする事例は散見されなかった。ただし、現在の電気自動車など充電が重要な社会的要素としてなってきたことから、今後、MFCAにおいて「MFCA」に「エネルギー」を含むという意味は重要になると考えられる。

および中畠・國部（2002）では公表された。具体的に公表されたMFCA（分析結果）の主な帳票は、次の4つである。

- 1) マテリアルコスト・フローチャート
- 2) システムコスト・フローチャート
- 3) 用役⁶⁾ および廃棄物関連フローチャート
- 4) フローコストマトリックス

製造プロセスの物量情報は製品製造の秘密保持に関わるとのことで、コスト情報の帳票のみを公開することとなった。また、経済産業省委託事業プロジェクトの協力企業4社の意向で、コスト情報も実際のコスト額ではなく、それに近い擬似的なコスト額の情報となった。

このようにコスト（金額）情報で表記された帳票、たとえば、「マテリアルコスト・フローチャート」が公表されたことにより、多くの企業がコスト情報のみでの帳票がMFCAの帳票であると理解（誤解）することとなったと思われる。

しかしながら、これらの製造プロセスでのマテリアルに関する製品名や物量情報などが伏せられていても、投入された原材料に対してマテリアルロスが占める金額の割合（投入マテリアルの2割-3割以上がマテリアルロスコスト）が企業の想定以上に大きく、MFCAは有用な新たな環境管理会計手法（資源の非生産性の再検討）として注目されるのに十分であった⁷⁾。

Ⅲ マテリアルロスにおけるエネルギーロスのこれまでと現状の課題

このようにMFCAが注目される中で、本論文の対象であるエネルギー、特に電力に関しては、上記の3)「用役および廃棄物関連フローチャート」の帳票に含まれている。一定の生産数量に対して消費される電力量（kWh）のデータに基づいてコストが算定され、他の用役関係や廃棄物関連の金額と合算して、「用役および廃棄物関連フローチャート」に示されている（詳しくは、経済産業省2002；中畠・國部2002などを参照されたい）。

MFCAの導入初期において、経済産業省2002；中畠・國部2002で、用役および廃棄物に関連するコストも測定し分析したが、MFCAで対象とする製造プロセスコスト全体で見るとほんの数パーセント⁸⁾であった。企業にとっては、平均的に2割から3割以上を占めるマテリアル

6) 一般的に、製品を構成する原材料ではない、用水・水蒸気・電気・空気などを指す。

7) 私見によれば、製品や業種などにもよるが、マテリアルロスの発生量は、一般的に投入されるマテリアルの2-3割以上で、2割以下もあったが5割以上の事例もあった。

8) 当時、「用役関係や廃棄物関連のコスト額」は消費税（当時の消費税5%）程度もしくはそれ以下であると揶揄され、余り重要視されなかった。

アルロス（主に原材料）に関心が集中し、用役のひとつであるエネルギー、電力料に関心が向けられることがほとんどなかった。

また、エネルギー、特に電力の削減を製造プロセスで提案すると、企業からの回答として、一般的には「安定供給」することが最優先で、製造プロセスを安定的に稼働させる必須であり、電力消費（変更）の見直しに消極的であった。製造プロセスへの電力供給を操作することで、製造プロセスに影響し不良品の発生などの問題を起こしたくないという意識が強くあった。現在もその傾向は強くあり、エネルギー（ロス）の削減や見直しは、当然ながら慎重を期する必要がある。ただし、直近では、エネルギー費の高騰や温暖化ガス排出削減への関心も高まり、製造プロセスの安全、安定を前提に、エネルギー消費の在り方を見直そうという機運は高まっている。

IV これまでのマテリアルロスとしてのエネルギーロスの考え方

先に述べたように、IMUのMFCAの定義に従えば、製造プロセスに投入された電力すべては、原則的には全て「マテリアルロス」になると私は考える。しかしながら、日本で最初にMFCAが紹介された経済産業省（2002）や中罵・國部（2002）などにおいても、MFCAにおいてマテリアルである電力をどのように扱うのか、投入した電力全てをマテリアルロスとして良いのか、経済産業省委託事業内のMFCAに関する委員会でも意見は分かれた⁹⁾。

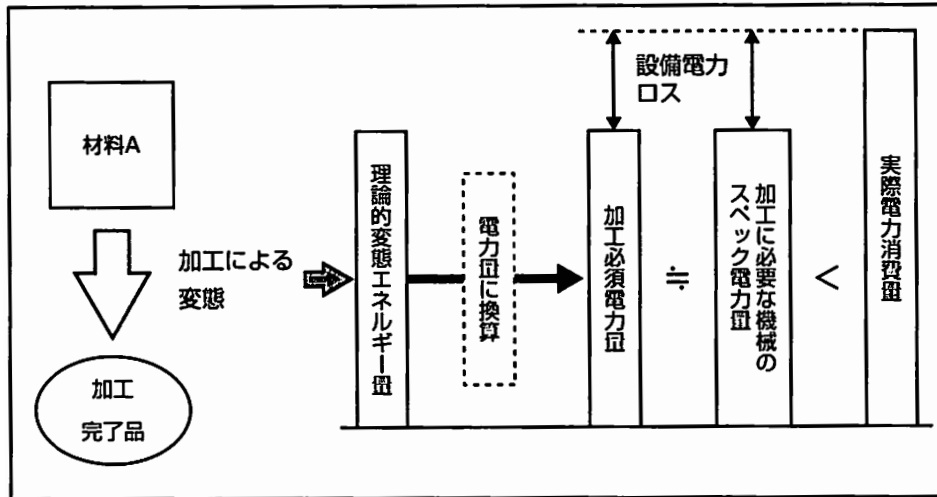
結果として、日本で最初のMFCAの企業事例を実施し紹介した経済産業省（2002）や中罵・國部（2002）において、企業事例ごとに、当該企業が受け入れられるエネルギーロスの考えに合わせて対応することとなった。たとえば、初期のMFCA導入企業の一社である「タキロン」の事例（中罵・國部 2002）では、エネルギー消費に関するロス算出の試案として、下記の図表1で示すように、理想値と実際の電力量の差分を「設備電力ロス」とした方が良いとなった。図表1に示したように、材料を設備に投入し加工するためには、理論的に最低限必要なエネルギー（電力）がある。そして、実際には、それ以上の電力消費を様々な条件・制約に応じて消費している。したがって、その差分を設備電力ロス（マテリアルロス：エネルギーロス）とすべきという案である。このMFCA導入初期（2000年代初め）では、いわゆる原材料に関するマテリアルロスに関心が高く、エネルギーロスに関しては議論するだけに終わった¹⁰⁾。設備ご

9) 筆者は、当該の経済産業省委託事業での「マテリアルフローコスト会計検討小委員会委員長」の委員長として、この課題を検討し、また、経済産業省（2002）や中罵・國部（2002）にある4社の企業事例を導入指導し、分析しMFCAによる分析結果をまとめ、報告書などをまとめた。

10) IGES（地球環境戦略研究機関）関西研究センターで委託によって日本ペイントでのMFCAプロジェクトを指導した。その際には、エネルギーに関する分析も試みることとなり、製造プロセスの製造設備に関する力率分析を行った（より詳しい力率の定義に関しては、たとえば、<https://www2.panasonic.biz/jp/basics/electric/electricity/power-factor/>（2023年8月8日）を参照ください。）。投入された電力が果たすべき

と、加工ごとなど、製造プロセスでの機械稼働全体の個々のエネルギー消費を測定し、図表1で示した内容のデータすべてを集計・整理することは非常に困難であり、現実的でなく、経済的效果も全く望めなかった。

図表1 エネルギー消費に関するロス概念の試案 (初期の一例)



(出所) (中嶋・國部 2002, 174)

MFCAの導入事例は、2001年度以降継続した経済産業省委託事業など、公私にわたり様々な展開したが、導入企業や導入指導者などに応じて、マテリアルロスとしてのエネルギーロスの扱いは、統一化、標準化されることはなかった。

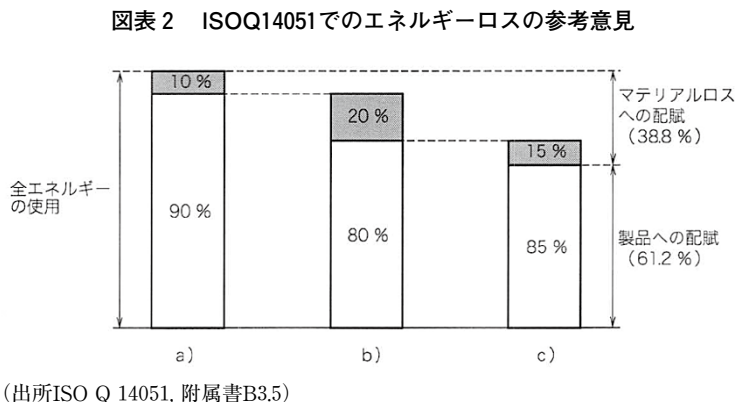
したがって、製造プロセスに投入される原材料（電力と違って有形のマテリアル）のマテリアルロスを見える化するMFCAが環境管理会計として今日も注目され続けている。また、企業はマテリアルロス（ロス金額）の大きさに改善の優先順位を決定する。業種にはよるが、一般的にエネルギー料金が一般的なマテリアルよりも金額的に大きいことはなく、エネルギーが重視されることはほとんどなかった。このような背景もあり、筆者のようにMFCAの原則論に基づき「次の製造工程にフローしないエネルギーは全てマテリアルロス（エネルギーロス）」としている事例を筆者自身のMFCAプロジェクト以外では知らない¹¹⁾。

〳 仕事量を力率と良い、長年使用されている設備の減価償却が完了して製造原価的には安価（ゼロ円）であると思われていたが、力率が想定より低く、ムダな電力投入をしていることが判明し、日本ペイント内での費用対効果の分析を経て、結果として新しい設備導入をした (IGES関西研究センター 2003)。ただし、これもこの設備のみで製造プロセス全体を分析する活動ではなかった。

11) 筆者が参画するMFCAプロジェクトでは、「次の製造工程にフローしないエネルギーは全てマテリアルロス（エネルギーロス）」の原則で実施している。しかしながら、対象となる事業所や工場は、筆者の考え方には否定的な場合がほとんどではある。なお、筆者以外のプロジェクトでも、同じ考えでの事例もあるかもしれない。

その後、ISO (2011) に、MFCAの基本的な考え方は14051として国際規格化され発行された。この国際規格化においても、国際会議の議論を経て、また筆者の考えと異なったエネルギーロスの定義が規格化された。

「エネルギーロス」¹²⁾は「意図した製品に必須なエネルギーを除くすべてのエネルギー」(ISO 2011; ISO Q 2012) と定義された。図表2に示すように、エネルギーを製品とマテリアルロスに配賦するという考えである。



以下、ISO Q 14051でのエネルギーロスの定義に基づいた参考例に関する説明する。(ISOQ14051, 附属書B3.5, 以下, 引用)

上記図表2の a) は、機械の稼働時間の10%が、実際の生産ではなく、準備、停止及び保守に費やされている場合、これらに費やされている10%のエネルギーは、生産に利用されていないと理解して、無駄と考えることができるであろう。したがって、当該エネルギー使用量を、製品ではなくマテリアルロスに配賦するのがよい。

図表2の b) とは、20%のマテリアルの非効率性は、残りのエネルギーの使用の80%が製品に対して配賦されるという結果になる。

図表2の c) とは、最適な機械の稼働と比べ15%効率が低いことが分かった場合は、残りのエネルギーの85%だけが製品に対して配賦されるという結果になる。

結果として、図表2に示すように、マテリアルフローによる配分率だけが配賦基準として使われる場合、製品へのエネルギーの使用は、次のように配賦される。

12) 「意図した製品に必須なエネルギーを除くすべてのエネルギー」(ISO 2011; ISO Q 2012) とISOでは定義されているが、これは日本でのMFCA導入後、約10年を経てからの定義である。また、ISO 2011およびISO Q 2012の「附属書B」の「B.3.5 エネルギーの使用に対する配賦基準の代替方法」が示され、投入されたエネルギーすべてをエネルギーロスとする考えに対して、製品とマテリアルロスに配賦する方法もあるとしている。

- ・製品に対するエネルギーの配賦 80%
- ・マテリアルロスに対するエネルギーの配賦 20%

ISOで参考として示された方法が、配賦基準の基礎として利用される場合、物量センターにおけるエネルギーの使用は、次のように配賦される。

- ・製品に対するエネルギーの配賦： $90\% \times 80\% \times 85\% = 61.2\%$
- ・マテリアルロスに対するエネルギーの配賦： $100\% - 61.2\% = 38.8\%$ となる。

以上が、ISO Q 14051でのエネルギーロス（参考例）に関する説明部分である。（ISOQ14051, 附属書B3.5, 以上, 引用）

この「ISOQ14051, 附属書B3.5」は、投入されるエネルギー、電力の全てをエネルギーロスとして考えることを否定している。たとえば、製品製造をする上で、加工設備などを使用する場合に、特定のエネルギー、電力を必要とすることは避けられず、製品にエネルギーを「配賦」すべきとしている。これは一般的な原価計算の考えをそのまま踏襲しているだけで、筆者がエネルギーコストの負担額を配分しているだけだと考える。投入したエネルギーが製品の製造だけに全て消費されているとは考えられない。よって、製造現場でのエネルギー消費の実態を必ずしも反映せずに、上記の図表2のようにマテリアルロスへの配賦率（エネルギーロス）を設定すべきとして、国際規格の「附属書」では同意された。

日本の代表エキスパートのひとりとして、このMFCAの国際規格化に参画した。MFCAの企業導入事例に長年参画し研究してきた経験を踏まえて、MFCAの原則に従い、次の製造工程にフローしないマテリアル（エネルギーを含む）は、全てマテリアルロスであると主張した。しかしながら、たとえば、設備を適正かつ有効に稼働させるエネルギーまでも、マテリアルロス（エネルギーロス）とすることに国際的に同意を得ることはできなかった。

次節以降では、一般的なマテリアルロス同様に、次の製造工程にフローしないエネルギー全て、特に電力をエネルギーロスとすることが、実務、実際において、エネルギーロスを削減することにいかに重要であるかを、企業事例をもとに示すこととする。

V マテリアルロス削減におけるエネルギーロス削減の重要性の向上

これは、電子部品の製造会社¹³⁾（本論文では「A社」と呼ぶ）事例である。A社は、すでに、一度、筆者とともにMFCAを導入し、マテリアルロスの見える化をし、自社をMFCA観点か

13) 本研究に協力していただいたA社は、中部地方にある中小企業（ある会社の子会社）で、電子部品種にもよるが、日本の主立った同業他社50数社内で売上高は業界20位以内である。

ら分析した。次いで、MFCAで作成した帳票によって、見える化した自社の問題点（マテリアロスなど）を明確にし、A社はマテリアロス改善を中心に活動し自社改善（発展）することとした。

A社での最初のMFCAプロジェクトは、これまでと全く同様で、MFCAの対象製品もしくは製造プロセスを決定し、その決定した対象製品もしくは製造プロセスのマテリアルフローモデルを作成し、マテリアルと用役、廃棄物関連の物量およびコストのフローチャートを作成した。そして、今回のMFCAプロジェクトで対象となったマテリアルのマテリアロスリストを作成した。このリストはロスコスト額の大きい順に並べられている。

一般的に、このマテリアロスリストのロスコストの金額の大きい順に改善検討される。また、この順位は単価に影響されるので、ロスコストの大きい上位の項目は、主原材料、補助材料、そして、その他のモノとなる。用役関係、たとえば、水は工業用水や井水などを製造で使用することも多いが、一般的に、「物量ベース」のマテリアロスリストの上位に位置づけられても、ロスコストでの上位に位置づけられることはほとんどない¹⁴⁾。

A社でのMFCAの分析結果をもとに、A社では2022年度から下記の3つの改善プロジェクト（チーム）が開始された。

- ・製品不良改善プロジェクト（チーム）
- ・製品在庫削減プロジェクト（チーム）
- ・省エネプロジェクト（チーム）

「製品不良改善プロジェクト（チーム）」は、製品製造プロセスにおいて何かしらの不具合が生じ、不良品となった製品仕掛品（不良品）を削減することを目的としている。一般的に不良品もMFCAではマテリアロスとして分類され、マテリアロス削減の対象とされる。ただし、一般的な生産管理でもこのような不良品の削減は管理対象とされる。今回のMFCAでは改めて様々な視点から製品不良（マテリアロス）を何とか削減できないか、挑戦的な削減（理想的にはゼロ）活動を実施している。

次の「製品在庫削減プロジェクト（チーム）」は、一般的には必ずしもMFCAでのマテリアロス削減対象とはならない製品在庫の削減を対象としている。根本的な理由として、受注量以上の完成品を製造し、受注量を超えた部分が在庫となっていることが問題である。なお、完

14) 私見ではあるが、洗浄等で水を多く使用する製造工程を持つ事業所などは、河川や井水の豊富な地域に立地していることが多いと思われる。過去には井水を使用している事業所で、MFCAを実施したときに、「水はタダ（無料）ですから、MFCAでマテリアロスとして区分されてもマテリアロスコストは、ゼロ円ですよ。」と言った発言を幾度と聞くことがあった（たとえば、経済産業省 2010, 20-21；Nakajima 2020を参照）。なお、今日極めて重要になっている自然資本における水資源に関して、たとえば、岡（2022）を参照されたい。

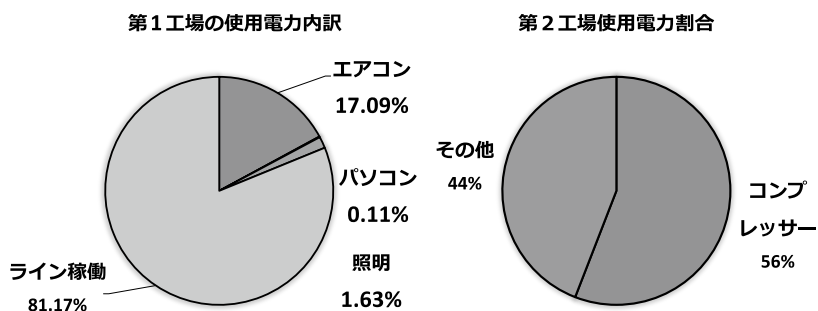
成した製品には顧客への納品期限があり、製品完成後、一定期間を過ぎると、先の在庫を廃棄・除却する決まりがあり、その廃棄・除却損を削減しようとするプロジェクトである。この廃棄（除却）品は、完成時は製品でも一定期間を過ぎるとマテリアルロスとなる。この問題は、自社の生産命令設定時に、適正な良品完成率を設定できれば解決する。どのように良品完成率（製品歩留まり）を的確に設定できるかを検討している。

3つめが「省エネプロジェクト（チーム）」（今後「省エネチーム」と称することとする）であり、MFCAのデータをもとにエネルギー、エネルギーロスの削減に関する取り組みを実施している。

VI 「省エネチーム」におけるエネルギーロス削減による新たなMFCAの可能性

A社でのMFCAプロジェクトにおいて、「次の製造工程にフローしないエネルギーはマテリアルロス、エネルギーロスである」、その定義に則って、A社では設備等に消費される「電力」（これ以降、問題がない限り「エネルギー」と称することとする）をマテリアルロスのひとつとしてデータ収集した。まず、プロジェクトの範囲は、第1工場と第2工場とした。第1工場、第2工場で消費されるこれらのエネルギーは、MFCAでは全てエネルギーロスであり、（筆者の）理想的にはこのエネルギーロスを削減することがMFCAプロジェクト（省エネチーム）の目的である。したがって、エネルギーロスを効果的かつ効率的に削減するために、何によってエネルギーが消費されているかを明らかにすることが重要である。

図表3 A社における工場ごとの電力（エネルギー）使用の内訳



A社の場合、図表3からわかるように、第1工場消費エネルギーの約81%がライン稼働で最も消費されている。第2工場消費エネルギーの約56%がコンプレッサで最も消費されていることがわかった。ところで、これらはエネルギー消費量であって、エネルギーロスの詳細な割合（内訳）ではない。したがって、省エネチームとしては、エネルギー消費量が多い項目をター

ゲットにして、効率的かつ効果的にエネルギーを消費しているのかを現場調査することとした。

その結果、第1工場では、ライン停止¹⁵⁾が多いことに気がついた。ライン停止の要因を取り除き稼働停止時間を削減することで生産効率を向上させ、エネルギー消費量の削減だけではなく、製品一単位当りのエネルギー消費量の削減（エネルギー原単位の向上）を図ることを目的とすることとした。

それに対して、第2工場は製造工程に（高圧）エア¹⁶⁾供給するコンプレッサーのエネルギー消費が多くを占めている。（高圧の）エアの製造設備ごとに、（高圧）エアを供給する範囲や機器を設定している。したがって、製造した（高圧）エアを使用する地点まで（高圧）エアをホースや配管で運び、必要に応じて、エアを使用する。（水道管や水道ホースでの水の供給と同じような仕組みである。）

（高圧）エアを製造プロセスの多くの地点に供給するため、エア漏れによる（高圧）エアの無駄がないかを現場で確認することとした。その結果、具体的には後述するが、予想以上のエア漏れを見つけたことができた。これらのエア漏れを削減できれば、ムダな（高圧）エアを製造するエネルギーロスを削減することができる。なお、エア漏れは、チョコ停と異なり、設備のスイッチを入れることで、設備稼働中、連続してエア漏れを発生させることになることから、エネルギーロス削減の効果は大きいと考えられる。

Ⅶ チョコ停によるエネルギーロスの削減

チョコ停は、製品製造自体の停滞によるエネルギーロスであり、エア漏れによるエネルギーロスとはマテリアルロス上、性格が異なると考える。チョコ停は製造工程での作業に起因するエネルギーロスである。それに対して、エア漏れは製造設備上でのムダである。そして、特定の製品製造に関係なく製造プロセス全体にムダな量を供給しているエネルギーロスである。したがって、チョコ停でのエネルギーロスとエア漏れによるエネルギーロスは発生原因が異なる¹⁷⁾。したがって、まずは本論文では、製造工程での製造活動において発生するチョコ停について、考察することとする。

A社は、まず今回のチョコ停改善において対象とする「チョコ停とは何か」を以下のように

15) 製造工程のことを一般的に「ライン」と呼び、製品の製造をしていない、または製造機器だけが稼働していることをラインが停止しているという。

16) ここでのエアとは一般的に「高圧の空気」を指し、高圧の風を当てることで、ゴミの付着などを除去したりする。なお、これは一例であり、製造プロセスに応じて、エアの用途は異なる。

17) 中嶋（2010）において、マテリアルロスを作業者の作業によるマテリアルロスの発生と、製造設備に起因して発生するマテリアルロスに区分したのと同じである。

定義した。¹⁸⁾

- ・チョコ停（トラブル）が発生し、製造工程が停止または停滞した場合に、5分以内に復旧する。
- ・チョコ停を解消するために、修理や部品交換を必要としない。
- ・1日（8時間2交代の場合には一交代）の中で何度もチョコ停が発生する。

このように、自社でチョコ停を定義し、チョコ停削減活動が実施されている。次に重要だと思われる「省エネチーム」の構成や、省エネチームの活動の内容や特徴を列挙する¹⁹⁾。

- ①製造（プロジェクト責任者）、環境、設備そして設計部署のマネジメント混成チームであり、用役および設計のスタッフが製造スタッフの協力のもと、製造プロセスのエネルギー消費を分析する。製造マネジメントのチームは、日常慣れた視点（疑問視せずに現状を素直に受け入れたり、安易に変化に納得したりする）で製造プロセスを見るので、他部署の異なった視点が有益な支援となっている。
- ②図表3に示したように、一般的なマテリアルロス分析と同様に、エネルギー消費量（この事例では電力消費量）全体において、どの設備や製造活動などでエネルギー消費されているかがわかるようにする。（本論文では詳細は省略している）
- ③この事例では、第1工場、第2工場の2カ所が対象であることから、それぞれにエネルギー消費量の多い順に順位づけする。このエネルギー消費量の多い順に、エネルギー消費量自体が、当該製造工程に対して、エネルギー消費量が適当であるかを製造現場に行って検証する必要がある。
- ④現場の作業者に担当する製造活動がスムーズに実施できているか、問題や困りごとはないか聞き取りをする。
- ⑤現場での聞き取り調査をもとに、予定されている通りに、設備や製造工程が稼働しているか、または、問題がどのように発生しているのか、Webカメラなどを活用して検証する。
- ⑥作業者の朝礼・夕礼での情報交換を実施しているが、今回、注視することとしたチョコ停に関しても情報交換することとした。前の勤務時間での問題などを共有し、同じチョコ停の発生を防止するとともに改善することに努める。 など

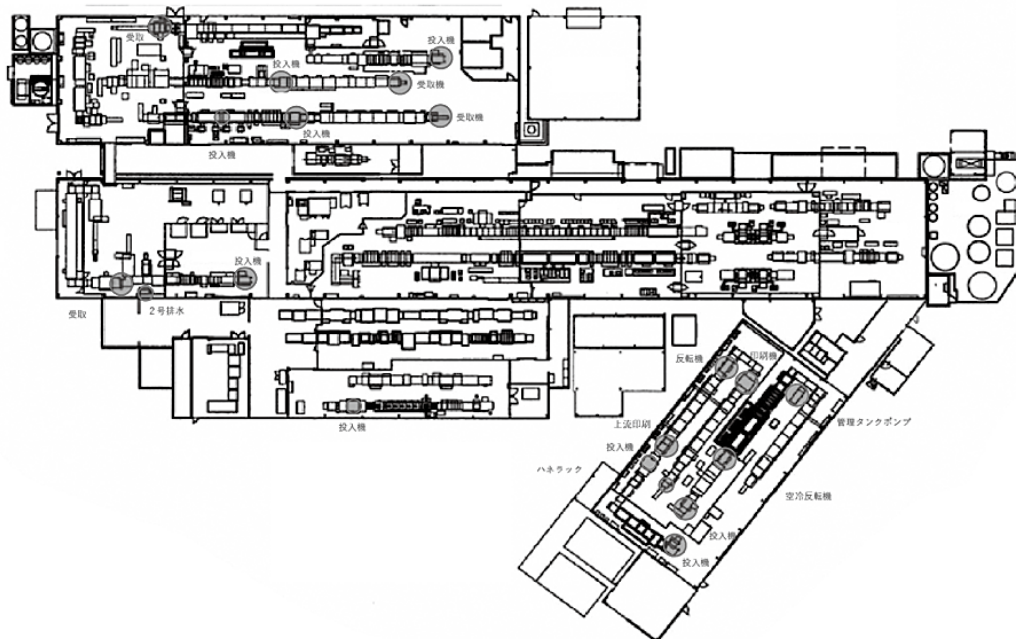
このような活動を日々実施することで、チョコ停が多い製造工程（複数工程）で、それぞれ

18) たとえば、杉浦（1995, 2）によれば、チョコ停とは、「故障では無いが一時的なトラブルのために設備が停止、または空転（生産しないで空運転）する現象で、簡単な処置により現状復帰するもの」をいう。

19) なお、列挙した全てを現状実施できているわけではなく、このような観点から、今回、チョコ停に焦点が当てられていることを示している。

に類発する不具合を現場作業員から聞き取り調査した。その結果を工場レイアウト（実際のレイアウトを論文用に加工している）上に示したのが図表4である。これはある一日の一例で、当然ながらチョコ停の発生場所、回数などは日々変化する。本論文では、図表4でのチョコ停発生カ所は20カ所で、それぞれカ所で5回のチョコ停が発生したとする。工場レイアウト図で、丸く印のあるカ所が、今回、チョコ停を発生させた場所となる。

図表4 製造プロセスのレイアウト図とチョコ停の発生カ所（ある日の一例）



(出所) A社提供（秘密保持に基づき変更済み）

これらのデータを活用して、チョコ停でのエネルギーロスをコストとCO₂排出量に関して評価することとした。A社が利用する中部電力のインターネット情報などを参考にして、1 kWh 当りの電力料金を仮に30円とし、2022年度のCO₂排出係数は0.433kg-CO₂/kWh²⁰⁾を使用することとした。

また、本論文での全てのチョコ停（1回）は、2 kWhの設備が3分間とする。（A社の実例を参考にした仮の設定）。そうすると、このチョコ停のエネルギーロスコストは、3円（30円 × (3分/60分) × 2 kWh）となる。

また、これをCO₂排出量にも換算することとする。中部電力の2022年度のCO₂排出係数は、0.433kg-CO₂/kWh²¹⁾であった。CO₂排出量という観点からすると、このチョコ停のCO₂排出量

20) <https://www.chuden.co.jp/csr/environment/>（2023年8月7日参照）

21) A会社が中部地方にあることから中部電力の2022年度のCO₂排出係数を利用した。なお、本論文では、再生可能エネルギーの固定価格買取制度による調整などを反映した値は使用していない。（<https://www.chuden.co.jp/csr/environment/> 2023年8月9日）

は、約0.043kg-CO₂（(0.433kg-CO₂/kWh×（3分/60分）×2kWh）となる。すなわち、製品を生み出していないという意味ではムダなCO₂排出量といえよう。

上記の算出例を使って、一交代で生じるチョコ停によるエネルギーロスとCO₂排出量を参考事例として算出してみることにしよう。

今回のチョコ停の発生は20カ所で、工場勤務が8時間2交代とする。そして、それぞれの8時間に同様なチョコ停が生じたとする。また、あくまでも仮説として、どの設備も消費電力量が同じ2kWhで、8時間中にチョコ停（3分間）を5回し、そのチョコ停は20カ所で生じたとする。

上記で算出（仮設定）した1回3分のチョコ停のエネルギーコスト（3円）とCO₂排出量（0.043kg-CO₂）をもとに、20カ所で生じた5回のチョコ停でのエネルギーロスコストとCO₂排出量は下記のように算出される。

$$3 \text{円} \times 20 \text{カ所} \times 5 \text{回} = 300 \text{円}$$

$$0.043 \text{kg-CO}_2 \times 20 \text{カ所} \times 5 \text{回} = 4.3 \text{kg-CO}_2 \text{（2Lペットボトル約1,075本分²²⁾）}$$

これは一日2交代の生産体制での1交代分と考えると、上記の一日に生じるマテリアロスとしてのエネルギーロス（コスト）、CO₂排出量は2倍となり、具体的には600円のエネルギーロスコストと、約8.6kgのCO₂排出量となる。さらには、月20日間の操業をしているとするならば、これらの20倍のエネルギーロスコスト（12,000円）と、CO₂排出量（約172kg-CO₂）になると推測される。

省エネチームは、このようにデータ分析とMFCAデータをもとに、エネルギーロスとCO₂排出量の削減を具体的な数値目標を設定し、一般的なマテリアロス改善チームと同様に改善活動を実施している。まだ緒に就いたばかりではあるが、これが、筆者が主張するMFCAの原則に基づいたマテリアロスとしてのエネルギーロスの見える化であり、MFCAによるエネルギーロスの削減である。

Ⅷ 省エネチームによる更なる分析対象：「エア漏れ」改善に向けて

上記の図表3において、第2工場の消費エネルギーの約60%がコンプレッサであった。省エネチームは、第2工場エア漏れがないか、工場現場を点検することとした。その結果、複数のカ所でエア漏れを発見することができた。エア漏れを修繕することで、下記に示すマテリアロスの削減を達成することができた（省エネチームによるある月当りのエア漏れの改善データ）。

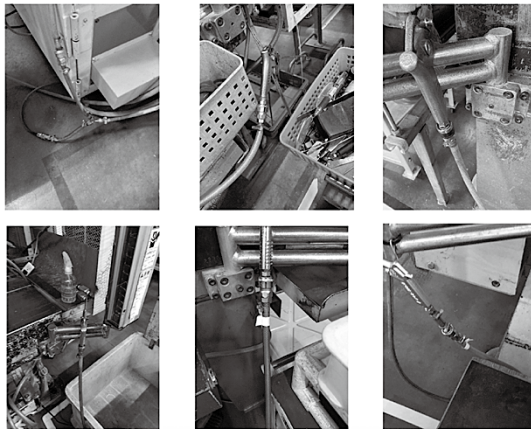
22) https://wastebbox.net/wp/wp-content/uploads/2015/06/conet_co2_kansan_rev1.pdf（2023年8月13日）の情報から換算した。

1.02m^3 (1時間当りのエア漏れ量) \times 24時間 (1日の稼働時間) \times 11台 (エア漏れカ所) \times 21日 (稼働日) = $5,654.88\text{m}^3$ (ある月のエア漏れ総量)

$5,654.88\text{m}^3 \times 2.95\text{円}/\text{m}^3$ (1 m^3 当りのエア製造コスト) = 16,682円 (上記のエア漏れ改善によるコスト改善額)

MFCAでは投入する空気自体も理論上はマテリアルであり、製造プロセスに投入され、次の製造工程にフローしない空気もマテリアルロスであると考えられる。しかし、現状においてそのような考えに基づいて実施したMFCAは稀で、一般的ではない²³⁾。しかしながら、次の図表5を見ていただきたい。製造プロセスは複雑でまた(高圧)エアを供給している配管・ホース等も複雑である。今後も、地道かつ注意深いエア漏れカ所の探索し、改善(エア漏れ止め)を継続することが重要である。

図表5 製造プロセスでのエア漏れカ所の事例



(出所) A社より提供より

IX おわりに：チョコ停によるエネルギーロス削減の意義

本研究で特に注目したいのは、これまで「MFCA」において注視されてこなかったエネルギーロス、特に電力量の見える化と電力消費量削減である。本論文で述べたように、MFCA

23) 筆者の知る事例としては、塩野義製薬のMFCAプロジェクトで、工場内に自然に存在する空気を取り込んで製品製造することから、自然界の空気を投入マテリアル、マテリアルロスとするかを議論したことはある(IGES 2003)。結果として、自然界の空気はMFCAの投入マテリアルとしなかったが、今後、地球環境の変化に応じて、自然界の空気もMFCAでのマテリアルとして考える必要が生じるかもしれない。

において一般的なマテリアルロスと同様に、エネルギーロスを考え、製造プロセスと直接に関係づけて論じることができることがMFCAを新たなサステナビリティ管理会計手法へさらに発展させる上で重要である。

このようにエネルギーロスの削減をMFCAによって可能になれば、産業界においてエネルギー削減のより大きな変革の可能性がある。たとえば、「中小機構」のデータによると、日本における中小企業数は3,578,176社である²⁴⁾。また別のデータに取ると、2019年度、中小規模企業のうちで製造業は、10.7%²⁵⁾である。直近の正確なデータとはいえないが、インターネット上の中小企業に関わる政府機関の数値を使って、ひとつの推論を立てることとする。

まずは、日本全国の中小企業3,578,176社のうち、10.7%が製造業とすると、約38万社となる。企業規模、業種など様々に異なる中小企業全社（製造業）を同じとするのは些か単純すぎる設定かもしれないが、今回のエネルギーロスを同様に発生ししているとするならば、1日当りのエネルギーロスコストとエネルギーロスによるCO₂排出量は次のようになる。

チョコ停によるエネルギーロスコスト：600円×38万社＝約2.3億円

チョコ停によるCO₂排出量：8.6kg-CO₂/kg×38万社＝約326.8万kg-CO₂（2Lペットボトル
約1,300百万本分）

このように、非常に大きなエネルギーロスコストの発生とCO₂排出量が、チョコ停だけでも生じていると推計される。本論文での手法（たとえば、MFCA）を活かし、発生場所である企業でエネルギーロスを見える化し、エネルギーロス削減を施すことができれば、サステナビリティ社会の実現に大いに役立つと考える。

公表財務諸表に代表される財務情報が企業の経済価値を企業外部のステークホルダーに報告し、開示する企業情報である²⁶⁾。企業にとっては、他社比較含めて経済的な優位性など自社の自信を示すことができる場合もあれば、対極的にはその逆で示したくない場合もあるであろう。今回、実在するA社でのマテリアルロスの削減を実現したことをもとにエネルギーロスに関して論じた。MFCAをサステナビリティ会計としてさらに発展させる可能性のひとつとして、たとえば、企業名を明かして、本論文が公開できることを期待する。

24) <https://www.smrj.go.jp/recruit/environment.html>（2023年8月11日）

25) https://www.chusho.meti.go.jp/pamflet/hakusyo/2020/chusho/b1_4_1.html（2023年8月10日）

26) 現在、ISSB（International Sustainability Standard Board、国際サステナビリティ基準審議会）のもとで財務情報と非財務情報の両面を公表する制度変更が、ESGならびにSDGsの観点で進められている。これから制度化され発展する会計情報ではあるが、MFCAのように、たとえば、企業の製造プロセスを環境、特に資源生産性の観点で細かく情報開示する経営情報ではないであろう。また、ISSBの情報は、半年や1年後の過去情報に基づく経営情報であるのに対して、MFCA情報は今すぐに資源の非生産性を改善できる経営情報であり、未来を迅速に変えようとする可能性を占めていると考えられる。

マテリアルロスの改善額は、A社にとって、顧客との価格交渉上、不利になるかもしれない。しかし、MFCAを導入し、資源生産性の観点から自社の見える化をはかり、マテリアルロス(新たな利益獲得機会)の見える化、マテリアルロス改善による改善力の見える化、さらにはCO₂を含めた地球温暖化ガスの削減の実行力を示すことができれば、A社の企業力の総合的な見える化に繋がると考える。価格だけでなく、資源生産性の究極化を図るサステナビリティ社会の会計情報を実現することができると思う。そして、A社が究極的な資源生産性の達成とそれに基づいたコスト(価格)の製品を生産する企業として評価されるようになることを願っている。

一般的に理解されているMFCAの手法の特徴は、マテリアルロス(エネルギーロスを含む)の見える化であり、マテリアルロス(エネルギーロスを含む)を削減し、それらのロス削減によって得られる主にコスト削減(利益獲得)を実現する環境管理会計手法として理解されている。しかしながら、MFCAの本質は、マテリアルロス(エネルギーロスを含む)を削減することではなく、たとえば、企業が産み出そうとするアウトプット一単位(原単位)に対するマテリアル(エネルギーを含む)のインプット量を削減(最少化)することにある²⁷⁾。MFCAは人類が望むサステナビリティ社会を究極的な資源生産性で実現させる可能性を秘めた手法であると思う。

(謝辞) A社の実名は伏せるが、本研究への資料提供の許諾、実状説明など協力いただいたA社様ならびにA社の社長始め社員の皆さまに心から御礼申し上げます。そして、A社様の今後の益々のご健勝、ご発展を心から願っております。

また、本研究は、2021年度関西大学研究拠点形成支援経費・研究課題「SDGs社会を支援するサステナビリティ会計システムの開発」、および、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)(一般)課題番号21K01800「サーキュラーエコノミーに資する環境管理会計手法の開発研究」(2021年度-2024年度)として研究費を受け、その成果を公表するものである。

【参考文献】

- 安城泰雄・下垣彰. 2011. 『マテリアル・エネルギーのロスを見る化するISO14051 図説MFCA (マテリアルフローコスト会計)』日本能率協会コンサルティング.
- 岡. 2022. 「日本企業におけるサステナビリティ会計と自然資本」『水資源・環境研究』35-1, 15-23.
- 経済産業省. 2002. 『環境管理会計手法ワークブック』経済産業省.
- 経済産業省. 2010. 『平成21年度 経済産業省委託事業 サプライチェーン省資源化連携促進事業 事例集』経済産業省 産業技術課環境局 リサイクル推進課.
- 國部克彦. 2008. 『MFCA 実践マテリアルフローコスト会計』産業環境管理協会.
- 杉浦正好編著. 1995. 『チョコ停0(ゼロ)への挑戦 自動化ラインの無人運転へのアプローチ』日本プラントメンテナンス協会.
- 中寫道靖. (2010). 「第1部 第1章環境配慮型生産を支援する環境管理会計」(日本会計研究学会特別委員会(主査: 國部克彦)「環境経営意思決定と会計システムに関する研究 最終報告書」.
- 中寫道靖・國部克彦. 2002. 『マテリアルフローコスト会計』日本経済新聞出版社. (第2版 2008).
- IGES (地球環境戦略研究機関) 関西研究センター. 2003. 『環境会計 国際シンポジウム2003 企業経営と環

27) 製品(MFCAにおける「正の製品」)のマテリアル(エネルギーを含む)の最少化も目的としている。

境保全に貢献する環境会計の最前線 ～日本型環境会計とマテリアルフローコスト会計の可能性～』IGES
関西研究センター

- ISO (International Organization for Standardization). 2011. *ISO14051 Environmental Management - Material Flow Cost Accounting General Framework*. ISO. (日本規格協会. 2012. 「JIS Q 14051 : 2012環境マネジメント-マテリアルフローコスト会計（MFCA）の一般的枠組み」日本規格協会.)
- Nakajima, M. 2020. Development and Possibilities of MFCA as a Tool of Sustainability Management: In View of Japanese, German and Some Asian Experiences. (Kokubu, K. and Nagasaka, Y. 2020. *Sustainability Management and Business Strategy in Asia, Japanese Management, and International Studies*. Vol. 16. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.) 65-80.
- Strobel, M. and C. Redmann. 2001. *Flow Cost Accounting*. IMU (Institut fuer Management und Umwelt, Augsburg). (「資料」として日本語訳が、中畠・國部 2002 : 2008の巻末付録されている)

