

# MFCA と TRIZ の連携による 生産革新の促進について

中嶋道靖

関西大学商学部教授

山田明寿

株式会社環境管理会計研究所上席コンサルタント

マテリアルフローコスト会計 (MFCA) は、資源生産性の向上を図り、「環境と経営を連携させる有効な手法」として注目されている。特に近年では MFCA 導入企業の川上・川下に位置するサプライヤーや顧客企業へ MFCA 分析を拡張することで、単独企業によるマテリアルロス削減よりもより多くの効果を上げはじめている。しかし、MFCA によって可視化されたマテリアルロスの改善は、試行錯誤や経験によるものが多い。本稿では、MFCA と発明的問題解決手法 (TRIZ: Theory of Inventive Problem Solving) とを連携させることによって、体系的かつ論理的に生産革新を促進できないかを、鋳造工場での事例研究も踏まえて検討した。

## はじめに

筆者らは 2006 年より(社)大阪府工業協会「マテリアルフローコスト会計 (MFCA) 研究会」を設立し、MFCA 導入企業の事例調査研究、参加企業とのワークショップを通して職場での MFCA 導入効果、TPM (全員参加の生産保全) などの既存の現場改善活動との統合などの検討を通じて、MFCA の有用性を検証し MFCA を普及してきた。この研究活動を通じて検討課題として指摘されたのは、従来の現場レベルでの改善に比べて製造方法や生産設備などに起因するマテリアルロスが大きいことである。したがって、設備更新や製造方法の変更など生産革新によるマテリアルロス削減効果は、たとえば、次頁の日東電工の事例 (図 1) にあるように現場改善に比べてはるかに大きく、このようなことは一般的な製造業の生産ラインにも当てはまるであろう。

図 1 に示しているように、MFCA では、物

量およびコストそれぞれを基準に、マテリアルロスの大きさ別に経営課題として優先順位付けが可能である。しかし、MFCA はこのようなマテリアルロスの大きさとマテリアルロスの発生原因を明らかにするが、改善方法そのものを提示する手法ではない。したがって、改善方法については個人的な経験や気づきによってマテリアルロス改善を実施することとなるが、必ずしも独創的な生産革新を導き出せるとは限らない。また、具体的課題に対して論理的に改善方法が見出せる方法があれば、MFCA によるマネジメントの有用性はさらに増すものと考えられる。

このような問題意識から、本年度は新たに独創的現場改善手法として、MFCA と TRIZ<sup>\*1</sup>

\*1 TRIZ は旧ソ連のアルトシュラーによって過去の特許分析の結果「発明にいたる法則」を見出し手法として開発され、その後米国で拡張し、特許 240 万件にわたる分析により充実した手法として開発され、日本には 1997 年に紹介された。

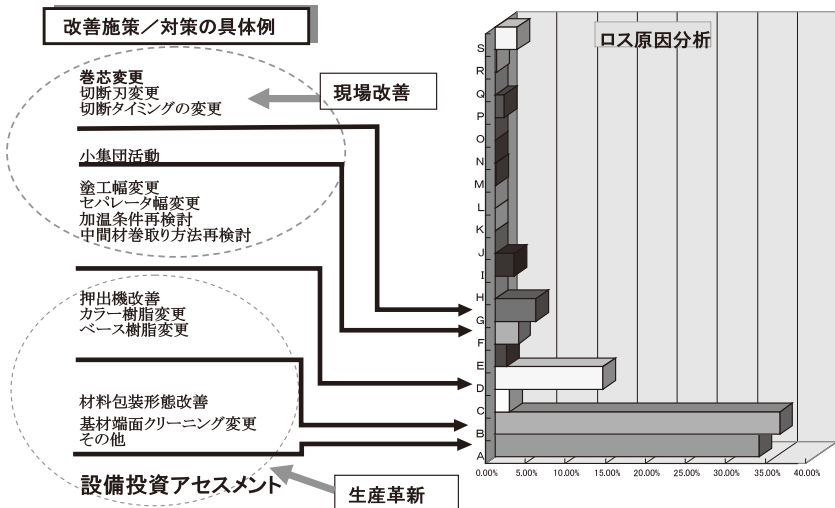


図1 日東電工において見出されたマテリアルロス改善ポイント  
(出所：日東電工 古川芳邦氏よりの資料提供)

を連携させ、MFCAの持つ「見える化」から独自の現場改善・生産革新への適応について検討を行っている。ものづくりの視点を1)サプライチェーン、2)商品開発、3)生産技術の3軸に分けて考えると、下の図2のように示すことができる。これまでMFCAの多くの事例では、生産ラインでの細部に渡っての改善や材料調達時や製品物流時に発生するマテリアルロスの削減、すなわちマテリアルフローに即したサ

プライチェーン軸での調達・製造・物流に対する改善が中心であった。これに対して、マテリアルロスの構造的原因を改善するために、商品開発軸や生産技術軸に関わる独自の生産革新的アプローチを導き出そうということである。改善の手法として商品企画・設計段階での適応を考慮した品質機能展開(QFD: Quality Function Deployment)などの手法の適応も考えられるが、本稿では改善の対策活動を設計・

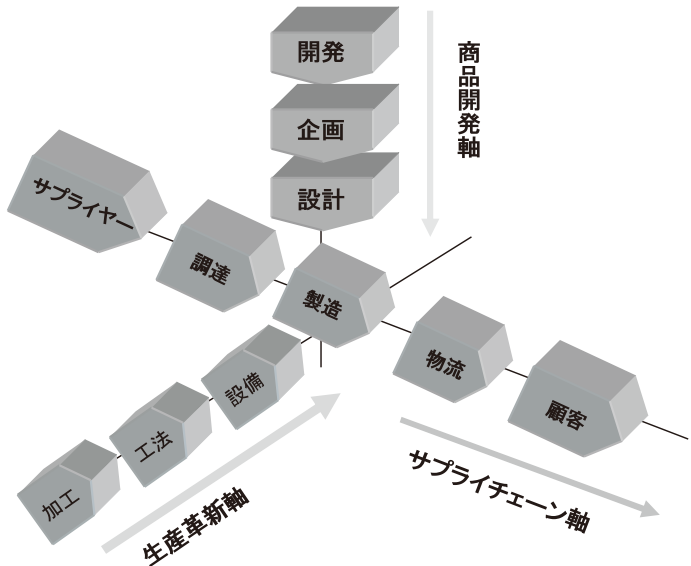


図2 ものづくりの3軸

製造段階での改善を行う必要から TRIZ の導入をすることとした。

## 1 MFCA による見える化から TRIZ の適用

MFCA から得られたマテリアロス改善という課題に対して、TRIZ の適応は次のように5ステップで実施される。

### (1) ステップ1：MFCA によるマテリアロスの可視化とマテリアロスの根本原因の抽出

MFCA 分析を行うことで生産ラインのマテリアロスに関する課題は抽出され、現場レベルの対策案が出され、改善活動が行われている。さらに、ここでは細部に渡っての技術課題を抽出するため、MFCA によって可視化されたマテリアロスと物量センターごとにマテリアロス発生の根本原因を抽出する。

この根本原因の抽出方法として様々な方法が考えられるが、ここでは「なぜなぜ分析」を用いて実施する。「なぜなぜ分析」とは、製品に関わる設計・製造などの担当者で構成されるグループ（検討チーム）を作り、MFCA で見出された個々の課題に関してグループ構成員が「なぜ?」「なぜ：?～だから」との問いかけを行い、ポストイットなどを用いて階層的に掲示しながら5～6層に原因の深堀りを行う手法である。さらに、マテリアロスの発生原因を人 (Man)、機械 (Machine)、材料 (Material)、方法 (Method)、管理 (Management) の5M +  $\alpha$  (環境、劣化) の階層化を行い、各要因の

上下関係、時間関係などの関連付けを行い、要因のツリー化を行うことで、問題の根本原因の抽出を行う。

### (2) ステップ2：工学的矛盾展開

工学的矛盾展開とは、問題や課題の解決や性能改善のために実施される改善が直接的な改善効果をもたらすが、副作用として別の不具合を発生させることに対する工学的展開分析である。たとえば、省資源化を図るために「厚さを薄くしたい、しかし薄くすることで強度が確保できない」など不具合が発生してくる。このような場合を、「工学的矛盾」とよび、TRIZ では「40の発明原理」という解決策が与えられている。さらに、発明原理の選択のために39の技術パラメータから得られる「工学的矛盾マトリックス」が準備されている。TRIZ では課題発生原因をエンジニアリングシステムとして捕らえ、根本原因に含まれる部品を「ツール」と呼び、その目的物を「プロダクト」、さらにそこから派生する「有害作用」を定め、EC1 (Engineering Contradiction) として定義し、さらに EC1 の対立として EC2 を定義する。

たとえば、電球の寿命が短い課題に関して「フィラメントが細いから」として根本原因を抽出した場合、根本原因に含まれるツール（部品）を「細いフィラメント」、プロダクトを「光」、有用作用として「明るさ」、有害作用を「寿命（短い）」として EC1 を定義する。次いで、それに対立するエンジニアリングシステムとして「太いフィラメント」をツールとした構成で EC2 を定義する。

根本原因	工学的矛盾定義	技術パラメータ	発明原理	アイデア創出
フィラメントが細いから	<p>EC1</p>	改善：静止物体の面積 悪化：信頼性	32. 変色利用原理 35. パラメータ変更原理 40. 複合材料原理 4. 非対称原理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フィラメントの切れやすい部分を別の材料(色が違う)で構成</li> <li>・フィラメントを水銀のような液体で作り、切れても直ぐに着く</li> <li>・フィラメントの切れ易い部分の色を変える →部分的に材料を変える</li> </ul>
	<p>EC2</p>			

図3 工学的矛盾定義表

これまでに求めた根本原因や工学的矛盾定義を図3のように工学的矛盾表に記入し、改善パラメータを「静止物体の面積」、悪化パラメータを「信頼性」として定義し、39×39で構成される矛盾マトリックスから発明原理32番（変色利用原理）、35番（パラメータ変更原理）、40番（複合材料原理）、4番（非対称原理）を求め、この原理に従って、たとえば、フィラメントの切れやすい部分を別の材料（色が違う）で構成するなどのアイデアを導き出す。現在、実用化されているアイデアとしては、光る部分の面積を稼ぐためにコイル状にフィラメントを形状変更するアイデアとして実用化されている。

### (3) ステップ3：物理的矛盾展開

物理的矛盾展開とは、工学的矛盾マトリックスでも解法のない問題解決を目的として、TRIZでは用意されている。たとえば、「大きくしたいし、同時に小さくもしたい」など技術パラメータが同一で互いに相反する場合は、工学的マトリックスでは解くことができない。この場合に物理的矛盾で解く方法が与えられている。物理的矛盾解決には「分離の法則」を用い、具体的には1)空間による分離、2)時間による分離、3)部分と全体の分離、4)状況による分離など分離の法則を適応する。

航空機の翼を例に取ってみると、「航空機の翼は、離陸を容易にするためには翼の面積を大きくすべきだが、速度を速めるためには小さくすべきである」など各種の物理的矛盾がある。ここでは2)の時間による分離法則を適応することにより、「離陸時には翼の面積を大きく、上空に上がった状態では翼の面積を小さくする」など時間的に面積の変化をつけることにより解決される。実際に物理的矛盾展開を行うには、図3のような「工学的矛盾定義表」を用いて工学的矛盾 EC1 および対立する EC2 から物理的矛盾を参照する。例題の「電球の寿命」における物理的矛盾は、「明るくするためにはフィラメントを細く、寿命を長くするためには太くしなければならない」と定義される。次いで、与えられた有効資源（Substances Fields Resource）を明確にし、物理的矛盾表を作成

し最終的理想解を導き出す。この分離の法則においても40の発明の原理を適応することも可能である。

### (4) ステップ4：コンセプト結合

コンセプト結合とは、アイデアを結合することで、個々のアイデアを有機的に結び付け、「単独」のアイデアを、さらに良いアイデアに育てることを目的とする。コンセプト結合の作業として、まず各アイデアをカテゴリー別に分類し、そして分類されたアイデアを評価し有機的に結合する。この段階において、個々のアイデアと MFCA から得られた負の製品コスト（マテリアルコスト、システムコスト、エネルギーコスト、廃棄物処理コスト）とを統合して評価する。この統合評価において、当初から全アイデアを MFCA シミュレーションによってコスト評価するには時間がかかる場合、まずは相対評価として行うことも可能である。

このようにして第1番目のアイデアを構成するメンバーで仮決定し、その他のアイデアを選んだ第1番のアイデアと相対評価する。このようにして出されたアイデアをすべて評価し順位付けを行う。さらにカテゴリー別に分類され評価された一番のアイデアをさらに結合して最強のアイデアコンセプトとして洗練する。コンセプト結合の各フェーズで出されたアイデアもさらに結合して新たなコンセプトとして評価することも必要である。特に、MFCA の特徴である非累加法での原価計算情報は複数のコンセプト結合によって得られるコスト削減をシミュレーションする上で大変有効である。

### (5) ステップ5：行動計画書の策定

コンセプト結合で得られた各コンセプトの結合を見て、短期的に取り組む課題、中期的課題、長期的課題に分けて将来技術へのロードマップを作成し行動計画書としてまとめる。

以上が、TRIZ の適用方法と MFCA 情報との統合に関する理論的説明である。次節でこのような方法による具体的な事例を紹介する。

## 2 MFCA と TRIZ の統合的適用：鋳造工場での事例

MFCA と TRIZ の統合的適用の有用性を実

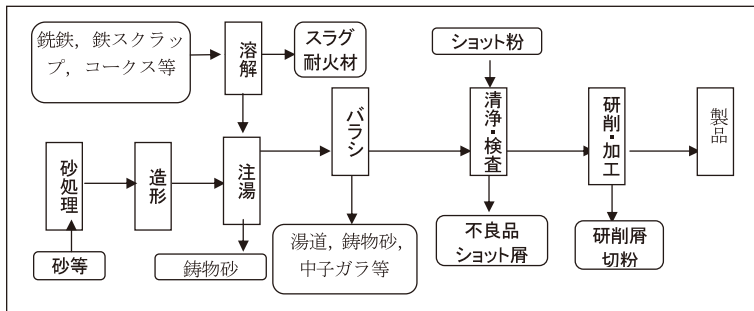
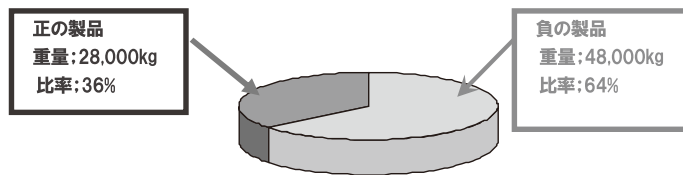


図4 鑄造工程



※データは公開用に架空の数値に変更

図5 鑄造工程における物量面でのMFC分析結果

際に検証するために、鑄造工場でのMFC分析から得られた改善検討に対してTRIZを適用することとした。今回の鑄造工程を説明すると、次の図4に示すように、砂型を用い、銑鉄やスクラップなどをキューボラで溶解し、中子と砂型で作られた鑄型へ投入（注湯）し、注湯工程を経て固化した後、バラシ工程で砂などを除去し、湯道、堰、湯押し部分などを放し、清掃・検査工程を経て研削加工を行い最終製品として仕上げるといふ工程である。

ここで、各工程から排出される負の製品（マテリアロス：廃棄物・リサイクル材）はキューボラからのスラグ類、バラシ工程での鑄物砂、鑄型内部の中子ガラなどである。MFCの分析結果から、図5で示すように、全体のマテリアルの物量ベースでの正の製品は36%、負の製品は64%と圧倒的に負の製品比率が高いことがわかる。しかし、主な負の製品は鑄型に用いる外部から購入する砂で、対策として中子の自社生産あるいはサプライヤーへのリサイクルによって負の製品の削減ができないかを検討した。その他の負の製品の中で主なも

のは注湯時、型の中に湯を押し込むための湯道・堰、押湯の方案部分であり、再度リサイクル材として利用される。しかし工程内でリサイクルされてもエネルギーコスト等は実質的にロスの発生としてマイナスの影響を及ぼす。このような課題を論理的に解決するために、TRIZを適用し新たな鑄造工程について検討した。

まず、同社では不良削減のためにPM分析<sup>\*2</sup>を用いて製造課題の析出を行っていたので、その結果を用いて根本原因の抽出を行った。一般的に鑄造工程では「押し湯」「湯道」などは製品を製造するために仕方がないものとして認識されている。この部分は通常、設計値として製品重量の30%から複雑な形状では50%の値で設計されており、この部分を極小化することはシステムコスト、エネルギーコストの削減と同時に、リサイクル材を削減することで材料の在庫削減にも結びつくと考えられる。また、同時に製品の不良（肌荒れ、湯回り不足）などの解消にもつながる。したがって「湯回りの改善（湯が充填されないこと）」を課題として「なぜなぜ展開」（TRIZ）をスタートとした。根本原因を「保持炉での湯の加熱が不十分」とし、さらに鑄型に関して「鑄型の湯の回りが不十分」として工学的矛盾展開、物理的矛盾展開を行っ

\*2 不具合現象を物理的に解析し、設備・人・材料・方法との関連性を追求する要因解析の考え方



た。

結果的に注湯時に使用されるトリベ（キューボラから鋳型に移す際に、一旦保持炉にためて小口に分けて鋳型に注湯するための装置）の改善アイデアと、注湯の際に特殊な鋳型を用いるコンセプトが新しい製造として創造された。さらに、このコンセプトにしたがって多数のコンセプトの創造が可能となった。推定される効果としては、不良の削減はもとより今まで必要としていた湯道などのマテリアルロス部分を現行に比して30%から50%削減することが期待でき、エネルギー使用量も削減される。なお、新製造法によってエネルギー消費量が部分的に増加するが、工場全体のエネルギーコストから見ると、削減量が増加量を上回り、結果として10%から20%の削減が可能である。さらに、今回創造された新製造法に関しては知財性も高く、詳細な説明は機密事項のためこれまでに止めるが、これまでの改善活動をさらに進めるとともに、新たな改善の具体的な推進が図られたことは非常に高く評価できる。

## おわりに

今回、実際のMFCA導入工場においてマテリアルロスの改善課題手法としてTRIZの適用を試みた。工場に対して時間の関係で十分にTRIZの研修や実施を行うことはできなかったが、30件を越えるアイデアが創造され、その

アイデアからある程度の成果が出され、新製造法の創造にまで至ることができた。TRIZを用いずに他の手法、たとえば一般的なプラスチック成型などの流動解析手法で湯回りを解析し、その結果から鋳型設計や湯口、堰、押し湯などの最適値を得ることも考えられる。しかし鋳造工程では解析に時間もかかり、今回のような新製造法を創造することに至らなかったと考える。

今回はMFCAとTRIZを連携することによる独創的な製造方法開発について言及した。MFCAと他の手法との連携および統合によって新たな可能性が展開できることが明らかになった。日本の「ものづくり」のさらなる強化を考えた場合、資源生産性の視点と、更なる加工技術の向上、新工法の開発など生産技術力の強化が必要であり、今回の事例はMFCAマネジメントにおいて非常に重要な理論的かつ手法的発展であると考えられる。

最後に、今回TRIZの導入に協力いただいた工場関係各位ならびに(株)アイデア笠井肇氏に感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 中島道靖, 國部克彦: マテリアルフローコスト会計 第2版 (2008), 日本経済新聞社
- 2) 笠井 肇: 開発設計のためのTRIZ入門 (2006), 日科技連出版社

