

博士論文

マテリアルフローコスト会計の適用に関する考察

—生産性評価を中心に—

長崎大学大学院経済学研究科
博士後期課程経営意思決定専攻

朱 玲

令和6年1月

目次

第1章 序章	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 日本における研究の現状	1
1.1.2 海外における研究の現状	6
1.1.3 問題提起	8
1.2 本研究の内容と構成	9
1.3 本研究の研究目的と研究方法	10
1.4 本研究の位置づけ	12
第2章 MFCA の概要と適用課題と生産性	13
2.1 MFCA の概要	13
2.1.1 MFCA の原則	13
2.1.2 MFCA の発展経緯	14
2.1.3 MFCA の計算原理	16
2.1.4 MFCA の機能	21
2.1.5 MFCA の理論ベース	21
2.2 MFCA の適用	25
2.2.1 MFCA 適用による資源生産性向上	25
2.2.2 MFCA 適用問題と限界	26
2.2.3 解決の提案及び考察	29
2.3 MFCA 適用による生産性	31
2.3.1 企業経営における生産性の評価	31
2.3.2 MFCA 適用による生産性	32
2.3.3 MFCA 適用企業における効率性の測定	33
2.3.3.1 絶対評価である効率性の測定指標とする生産性	33
2.3.3.2 相対評価である効率性の測定方法	36
2.3.3.3 TFP 生産性と DEA 効率値の比較	38
2.4 まとめ	39
第3章 DEA による MFCA 事例分析の構築	40
3.1 DEA の概要	40
3.1.1 DEA の特性と実用性	40

3.1.2	DEA の基本的なモデル	41
3.1.2.1	CCR モデル	43
3.1.2.2	BCC モデル	45
3.1.2.3	SBM モデル	47
3.1.2.4	各モデルの比較と制約および限界	53
3.1.3	DEA と MFCA の統合	55
3.2	入力項目と出力項目の構造	57
3.2.1	入力と出力項目選定と配置の一般的方針	57
3.2.2	入力項目と出力項目の選択	58
3.3	まとめ	60
第 4 章	MFCA 適用企業の効率性の評価	61
4.1	測定事例と数値データ	61
4.1.1	測定事例	61
4.1.2	効率性の測定データ	64
4.2	CCR モデルによる MFCA 適用企業の効率性評価	69
4.2.1	MFCA と CCR-O の統合	69
4.2.2	CCR による MFCA の効率性評価	70
4.3	BCC モデルによる MFCA 適用企業の効率性評価	72
4.3.1	MFCA と BCC-O の統合	72
4.3.2	BCC-O による MFCA の効率性評価	72
4.4	SBM モデルによる MFCA 適用企業の効率性評価	74
4.4.1	MFCA と SBM の統合	74
4.4.2	SBM-C モデルによる MFCA の効率性評価	75
4.4.3	SBM-V モデルによる MFCA の効率性評価	76
4.4.4	SBM-O-C モデルによる MFCA の効率性評価	78
4.4.5	SBM-O-V モデルによる MFCA の効率性評価	79
4.5	CCR と BCC と SBM モデルによる効率値結果	81
4.5.1	効率値結果への考察	81
4.5.2	各 DEA モデルによる効率値のばらつき	83
4.5.3	DMU ごとの効率値の格差	84
4.6	各モデルによるプロジェクション	87

4.6.1	CCR モデルによる参照DMUとプロジェクション	87
4.6.2	BCC モデルによる参照DMUとプロジェクション	88
4.6.3	SBM-C モデルによる参照DMUとプロジェクション	90
4.6.4	SBM-V モデルによる参照 DMUとプロジェクション	91
4.6.5	SBM-O-C モデルによる参照 DMU とプロジェクション	93
4.6.6	SBM-O-V モデルによる参照 DMU とプロジェクション	94
4.7	効率性の格差への分析	96
4.7.1	DEA 効率値に格差が生じる理由	96
4.7.2	生産性指標への再考察.....	99
4.7.3	MFCA 視点からのエコ生産性指標	100
4.7.4	Tobit モデルによる要因分析	101
4.7.5	CCR モデルによる効率値格差への分析.....	105
4.7.6	BCC モデルによる効率値格差への分析.....	107
4.7.7	SBM-C モデルによる効率値格差への分析.....	109
4.7.8	SBM-V モデルによる効率値格差への分析	110
4.7.9	SBM-O-C モデルによる効率値格差への分析	112
4.7.10	SBM-O-V モデルによる効率値格差への分析	113
4.7.11	推定結果への考察.....	115
4.8	結論および改善案.....	116
4.8.1	結論.....	116
4.8.2	改善案	117
4.8.2	低効率性 DMU への分析.....	119
4.8.3	結論と MFCA の結び	123
4.9	まとめ.....	125
第5章	終章.....	126
5.1	研究成果のまとめ.....	126
5.2	環境経営意思決定支援への新指標	127
5.3	今後の研究課題	128
	参考文献	129
	付録	
	謝辞	

第1章 序章

企業の環境保全活動と経済活動を統合する手段として登場してきた環境会計は、外部情報開示面で効果を発揮するが、企業経営の内部管理面への役立ちという面で限界を抱えている¹。企業内部でのマネジメントに活用するための内部環境会計は、環境管理会計

(Environmental Management Accounting: EMA) と呼ばれる。この分野では、マテリアルフローコスト会計 (Material Flow Cost Accounting: MFCA) が企業経営における革新的で主要な手法として強調されている²。日本の経済産業省 (2009a) によると、日本企業への MFCA の適用・実施により、廃棄物の削減と生産資源の効率的な利用の両面で顕著な効果が得られている。中畠 (2009) は、MFCA が環境時代のものづくりマネジメントを構築する上で重要な機能を果たすと指摘している。

1.1 研究背景

MFCA の原型は 1990 年代にドイツで開発され、日本では 2000 年代から経済産業省の主導で積極的に展開されてきた。日本からの提案により、2011 年には MFCA の国際規格 ISO14051 が公表され、2017 年にはサプライチェーンへの MFCA 導入に関する国際規格 ISO14052 が発行された。さらに、2018 年には中小企業向け MFCA の国際規格 ISO14053 の審議³が進められた。この結果、2020 年 9 月には ISO14053 の策定に向けた国際規格案 (Draft International Standard: DIS) の段階を終え、最終国際規格案 (Final Draft International Standard: FDIS) の段階に入り、2021 年に国際規格 (International Standard: IS) として発行された⁴。

1.1.1 日本における研究の現状

MFCA の導入の国際的に進展に対して、日本における MFCA に関する学術論文の動向を調査するために、学術情報データベースである CiNii を使用した。ここで「MFCA」

¹ 中畠・國部 (2008) p.17.

² 中畠・國部 (2008) p.17.

³ 國部・中畠 (2018) p.3.

⁴ ISO/TC/207/sc1 Environmental management systems
<https://committee.iso.org/sites/tc207sc1/home/projects/ongoing/iso-14053--material-flow-cost-ac.html> (2020 年 10 月 15 日).

と「マテリアルフローコスト会計」をキーワードとして、2000年から2022年までの論文掲載状況を検索した。その結果は図 1.1 に示された通りである⁵。さらに MFCA と密接に関連する環境経営に関する学術論文の掲載状況も、CiNii で「環境経営」というキーワードを使用して 2000 年から 2022 年までにおいては、図 1.1 に示す通りである。

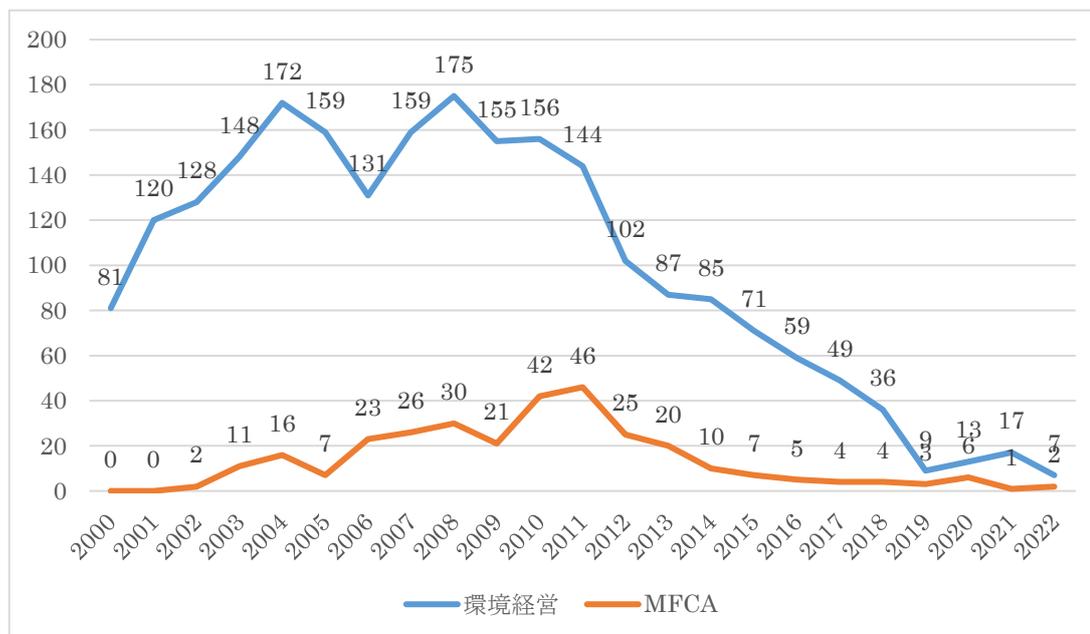


図 1.1 日本における「環境経営」と「MFCA」に関する研究文献数

出所：CiNii に基づいて筆者作成。

図 1.1 によると、過去 22 年間で日本における「環境経営」と「MFCA」(Material Flow Cost Accounting) に関する研究は、2007 年から 2011 年にかけて増加傾向にあったが、その後は急激に減少していることが明らかになった。MFCA と環境経営に関する研究論文の数の変動がほぼ同じであることから、両者の間に正の疑似相関関係が存在すると推測される。MFCA に関する研究が環境経営研究に影響を及ぼしており、MFCA 関連の研究件数が再び増加すれば、環境経営に関する研究件数も増加すると予想される。

日本における先行研究のレビューからは、これまでの MFCA に関する研究手法が主に規範的研究やケーススタディであること、研究対象が製造業に多く集中していること、そして研究内容が「国際・国内動向」、「MFCA の技法」、「適用」、「成果」などに大別されることが判明した。これらの結果は表 1.1 にまとめられている。

⁵ 雑誌の全論文を対象として、まずタイトルに「マテリアルフローコスト会計」と「MFCA」を含めている（重複論文を除く）、あるいは MFCA に関する研究を参考文献に挙げている論文を抽出して個別に MFCA の研究論文であるかどうかを判断した。

表 1.1 日本における MFCA の研究内容に分類された先行研究（一部）

研究内容	先行研究（一部）
国際動向	<ul style="list-style-type: none"> ● MFCA の国際標準化：國部，2008；古川・立川，2011；中島・木村，2012）や，中国（賀・國部，2013），韓国（張，2009；金・國部，2013），ベトナム（中島・木村，2012），マレーシア（立川，2012a；中島・木村 201，2012）等 ● 国際学会による MFCA 研究の紹介：國部，2012；國部・中島，2013 等
国内動向	<ul style="list-style-type: none"> ● 経済産業省による MFCA の普及プロジェクト：（経済産業省，2007） ● 地域による MFCA 普及：滋賀県（前川，2006），東北地域（今田，2008），大阪と京都府（中島，2008；岡田・北田，2009），長野県（関，2012）等
技法	<ul style="list-style-type: none"> ● MFCA の解説・考察・課題整理の研究（中島・國部，2003；國部，2005；2007；2009；伊藤，2009；中島，2012；下垣，2013b；國部，2014）等 ● MFCA の機能の考察（國部，2003；中島，2003；國部・中島，2003；下垣，2005；下垣・安城，2011；安城，2012）等 ● MFCA と他のマネジメントシステムとの連携を考察した研究：生産管理や現場改善の観点での連携（MFCA と伝統的原価計算との連携（中島・國部，2008），TPM（Total Productive Maintenance）との連携（圓川，2007），TRIZ（Theory of Inventive Problem Solving）との連携（中島・山田，2009），予算管理との連携（中島・木村，2012），TOC（Theory of Constraints）との連携（飛田他，2013））等 ● 環境負荷削減の観点からの連携（LCA（Life Cycle Assessment）との統合として LIME（Life Cycle Impact Assessment Method based on Endpoint Modeling）との連携（河野，2007；國部・下垣，2007a；2007b）や環境影響統合評価指標（LIME，JEPIX，MAC）との連携（國部・山田，2007），CO2 の追跡手法との連携（伊藤，2010）等
適用	<ul style="list-style-type: none"> ● MFCA 適用に阻害となる問題研究：（安城，2007）；（國部・下垣，2008）；（今井，2012）；（関利・安城 2016） ● MFCA 促進に意義と理解：（河野，2006；2007；廣岡，2008；佐久間，2010） ● MFCA 適用目的（河野，2006；安城，2007） ● MFCA 適用対象の選択（河野，2006；2007） ● MFCA のシステム化とデータの共有化（河野，2006；2007；船坂・河野，2008；佐久間，2010；廣岡，2008） ● 経営トップの関与（廣岡，2008；原田，2009）等
成果	<ul style="list-style-type: none"> ● マテリアルロス削減によるコスト削減と環境負荷低減：多くの企業事例 ● 現場での環境活動の変化（安城，2006；2007；廣岡，2008） ● 製造現場と経営層の情報の共有・迅速化（沼田，2006） ● 従業員のモチベーションの向上（関，2011） ● 企業単独の場合とサプライチェーンの場合の導入効果の比較（岡田・國部，2013）等

出所：國部・中島（2018）第 8 章 pp. 116-125 を参考して筆者作成。

また，國部・中島（2018）に掲載されている和文参考文献を発表年度別に整理し，それを表 1.2 にまとめた。

表 1.2 國部・中島（2018）各章の和文参考文献の年度のリスト

章	参考文献数	年 度	2011 年後 文献数	2011 年 後割合
第 1 章 MFCA の意義と本質	9	2003, 2005, 2008, 2008, 2010, 2011, 2015, 2015, 2017	3	33%
第 2 章 MFCA とサステナビリティマネジメント	11	2002, 2011, 2006, 2015, 2009, 2015, 2012, 2014, 2002, 2008, 2014	5	45%
第 3 章 MFCA と管理会計システム	15	1978, 2008, 1985, 1991, 1996, 2009, 2007, 2011, 1991, 1997, 2009, 2003, 2008, 1997, 2001	0	0%
第 4 章 MFCA による改善活動と予算管理	14	2007, 2011, 2004, 2007, 2008, 2008, 2009, 2011, 2008, 2012, 2010, 2007, 2007, 2005	1	7%
第 5 章 MFCA とイノベーション	11	2007, 2010, 2010, 2017, 1977, 2012, 2011, 2012, 2017, 2006, 2015	5	45%
第 6 章 MFCA のサプライチェーンへの導入	6	2013, 2011, 2011, 2011, 2011, 2009	1	17%
第 7 章 MFCA と LCA の統合モデルの可能性	6	2007, 2011, 2006, 2012, 2015, 2008	2	33%
第 8 章 日本における MFCA の研究動向	10	2012, 2010, 2012, 2013, 2002, 2001, 2007, 2000, 2009, 2010	3	30%
第 9 章 MFCA による資源管理活動のフレームワーク	15	2010, 2007, 2008, 2008, 2009, 2010, 2007, 2004, 2008, 2011, 2006, 2008, 2011, 2007	0	0%
第 10 章 MFCA の継続的適用	11	2013, 2017, 2010, 2009, 2011, 2011, 2007, 2017, 2013, 2009, 2010	4	36%
第 11 章 MFCA による知識創造	7	2009, 2005, 2008, 2017, 2010, 2008, 2009	1	14%
第 12 章 MFCA による環境と経済の統合と離反	8	2010, 2007, 2017, 2003, 2012, 2008, 2011, 2013	3	38%
第 13 章 MFCA の実践への普及（日本）	38	2008, 2012, 2011, 2008, 2009, 2008,	5	13%

		2012, 2002, 2007, 2008, 2008, 2009, 2009, 2010, 2010, 2011, 2011, 2011, 2000, 2010, 2014, 2003, 2004, 2005, 2014, 2010, 2012, 2011, 2008, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2010, 2011, 2011		
第 14 章サプライチェーンにおける MFCA 情報の共有	19	2003, 2013, 2006, 2009, 2002, 2011, 2011, 2007, 2001, 2010, 2005, 2009, 2010, 2002, 2008, 2007, 2008, 2011, 2008	1	5%
第 15 章中国における MFCA の展開	14	2003, 2013, 2013, 2012, 2015, 2015, 2012, 2013, 2011, 2008, 2005, 2014, 2006, 2006	8	57%
第 16 章韓国における MFCA の展開	14	2002, 2009, 2008, 2008, 2012, 2011, 2010, 2012, 2007, 2004, 2006, 2008, 2009, 2011	2	14%
第 17 章ベトナムにおける MFCA の展開	5	2008, 2015, 2008, 2015, 2016	3	60%
第 18 章台湾, タイ, マレーシア, インドにおける MFCA の展開	4	2008, 2012, 2012, 2008	2	50%
合計	217		49	23%

出所：國部・中寫（2018）を参照して筆者作成。

表 1.2 から以下の点が明らかになった。

- (1) MFCA に関する著書の中で、2011 年以降の参考文献は全体の 23%にとどまり、比較的低い割合であることが確認された。
- (2) 第 13 章では、日本における MFCA の普及に関する実践事例が 38 件と最も多いが、2011 年以降の事例研究はわずか 5 件に限られている。
- (3) 2011 年以降に出版された著書で、その割合が 50%を超える章・節では、主に中国、ベトナム、台湾、タイ、マレーシア、インドなど、製造業が発展している途上国における MFCA の導入に焦点を当てた議論がなされている。

一方、日本における MFCA の適用事例に関するサーベイから、以下の事実が判明した。

- (1) 2009 年から 2011 年にかけて経済産業省により公開された MFCA 適用企業の事例は 57 件であったが 2011 年以降は同省による新たな事例の報告は見られない。
- (2) 2000 年から 2009 年までの期間に、経済産業省、中小企業基盤整備機構、東北経済産業局などにより行われた企業の MFCA 事例研究は合計 77 件にのぼる（これには経済産業省による 57 件も含まれる）。
- (3) 國部・中畠（2018）によると、2011 年以降に発表された事例研究はわずか 5 件である。
- (4) 先行文献のレビューにより、2011 年以降、MFCA を継続的に使用している企業は少ないとの報告がある。
- (5) 事例研究については、2018 から 2022 年にかけて日本における MFCA の適用事例報告はなかった。

以上の結果から、2000 年以降、日本で注目されてきた MFCA に関する研究や事例報告が近年減少傾向にあることが明らかになった。さらに、國部・中畠（2018）の事例および参考文献の分析、ならびに CiNii での調査結果から、2011 年以降の資料が少ないこと、およびマテリアルフローコスト会計と関連があると考えられる環境経営に関する研究文献も減少していることが判明した。これらの事実から、日本における MFCA の研究及び実施が下火になり、実践される頻度が減少していることが窺える。

1.1.2 海外における研究の現状

海外における MFCA に関する学術論文の掲載状況について、学術情報データベースである Scopus を用いて調査を行った。キーワード「Material Flow Cost Accounting」を使用し、2000 年から 2022 年までの論文掲載状況を検索したところ、図 1.2 に示されるように論文数は合計 92 本であることが判明した。

これらの論文の中で、特に多く見られたのは、MFCA を環境と経済の両方に利益をもたらす革新的な手法として紹介し、その国際規格化、計算原理、機能、適用可能性について論じる文献である。2015 年に文献数がピークに達した理由としては、2014 年前後の MFCA に関する ISO14051 と ISO14052 の国際規格化、および 2015 年に国連が策定した持続可能な開発目標（SDGs）への国際的な対応の動きが影響していると考えられる。

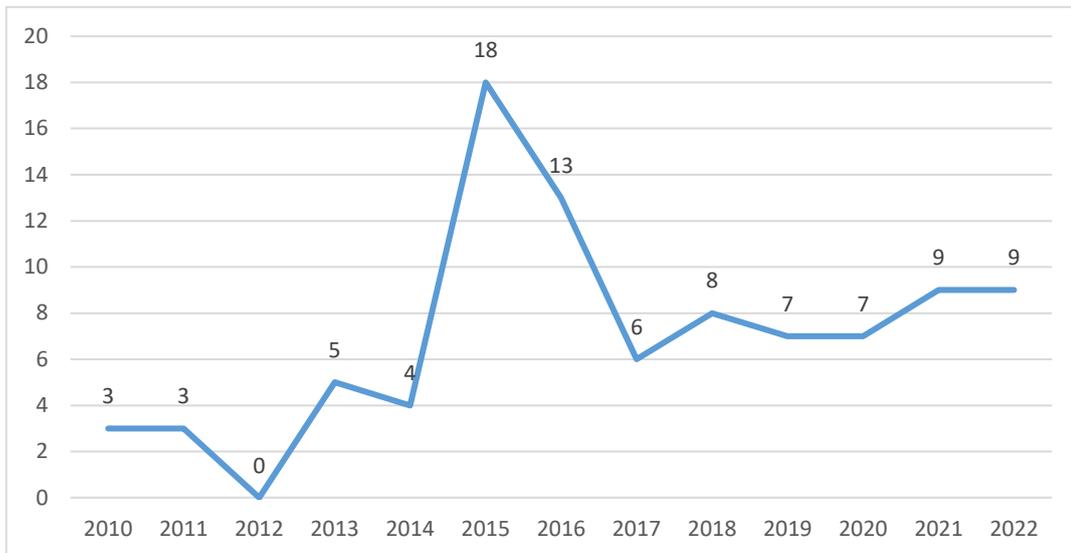


図 1.2 海外における MFCA 研究の論文数

出所：Scopus を利用して筆者作成。

ドイツにおける MFCA 研究文献のうち 6 本に着目し、特に MFCA の開発者であるワグナー教授 (Wagner B.)⁶ の 4 本の論文を詳細にレビューした。これらの論文では、MFCA とサプライチェーンへの適用 [Nakajima M, Kimura A, Wagner B (2015)], MFCA の起源 [Wagner B (2015)], MFCA の回顧と展望 [Guenther E, Jasch C, Schmidt M, Wagner B (2015)], MFCA の計算方法 [Guenther E, Jasch C, Schmidt M, Wagner B, Huisingh D (2012)] について議論されていた。また、ドイツの他の研究者たち、例えば Dierkes S, Siepelmeyer D (2019) は、企業意思決定に関連する情報を提供する限界費用会計システムとしてのマテリアルコスト会計の実施に必要なステップについて議論し、Lütje A, Wohlgemuth V. (2020) は、持続可能な社会を実現するために環境面だけでなく、経済面および社会面も組み込むシステムの重要性を主張している。

さらに、海外における MFCA 事例研究は 19 本あり、表 1.3 に示されるように、タイやインド、インドネシア、マレーシアなどの発展途上国の製造業における適用例が多い。これらの事例研究は、MFCA を通じてマテリアルロスの削減によるコスト削減と環境負荷の低減を実現した事例として紹介されている。

⁶ ベルン・ワグナー教授はドイツ・アウグスブルグの経営・環境研究所 (Institut für Management und Umwelt, Augsburg Germany, IMU) であり、MFCA を環境管理手法として開発した。

表 1.3 海外における MFCA 事例

国	事例件数	適用業種
タイ	4	物流株式会社, 紡織製造, 食品製造, 木製品製造
インド	2	プラスチック製造
インドネシア	2	コンクリートの製造, パーム油の製造
スウェーデン	1	自動車製造
マレーシア	2	中小企業 (不明), 下水処理場
南アフリカ	3	ビール製造,
イラン	2	石油精製所, 下水処理場
チェコ	1	瀬戸物製造
スリランカ	1	ゴム製造
ホンジュラス	1	廃水の処置に改善

出所：Scopus を利用して筆者作成。

1.1.3 問題提起

以上の研究レビューを踏まえると、発展途上国における MFCA の研究では、環境経営への有益な展開が期待されている一方で、日本における MFCA の研究や事例報告は近年進展が見られないことが明らかになった。MFCA の適用事例が多数公表され、国際規格化の動きも促進されているにもかかわらず、2011 年以降、研究文献や適用事例の報告は減少傾向にあるのが現状である。

さらに、多くの導入企業が MFCA を継続的に活用しているのか、あるいは断念しているのかについての詳細な追跡調査や報告がほとんどないという指摘⁷も存在する。

この状況が生じている背景について考えると、MFCA が環境と経済の両面を考慮できる手法として企業に適用された際に直面した問題や限界、そして MFCA の適用による企業の生産性への影響に関する評価について検討することが重要である。MFCA が適用された多数の企業で同様の効果をもたらすのか、もし効果に格差があるとすれば、その原因は何なのかを企業の観点から明確にする必要がある。

さらに、MFCA の適用が企業経営者や利害関係者の意思決定に新たな指標と評価モデルを提供する可能性について考察することも重要である。これにより MFCA が環境に配慮した企業の持続的発展における経営意思決定を支援する手法としての継続性があるかどうかを評価できる。

⁷ 篠原 (2016) p.110.

1.2 本研究の内容と構成

本研究では、MFCA の理論と実践に関する深い理解を追求し、特に MFCA を適用した企業の効率性と効率性の格差をもたらす要因に焦点を当てている。

本第 1 章では、日本および海外における MFCA の研究現状と動向を探る。研究の問題意識を述べ、研究内容と構成、研究目的と方法、研究の位置づけを明確にする。

第 2 章では、MFCA の基本原則、発展経緯、計算原理、機能、および理論的基盤を詳細に分析する。また、MFCA の適用に伴う問題点と限界についても考察する。

第 3 章では、MFCA の適用に関する問題解決のため、DEA を用いた MFCA 事例分析の構築について論じる。DEA の概要と特性、MFCA と DEA の統合性、入力項目と出力項目の構造について説明し、MFCA 適用企業の効率性評価における方法論の枠組みを提示する。

第 4 章では、Two-stage analysis（二段階分析）を用いて分析を行う。まず DEA モデル（CCR, BCC, SBM）を用いて MFCA 適用企業の効率性を評価し、効率値の比較分析を行う。次に、一般的な生産性の定義と計算式を再考察して、MFCA 視点からの生産性（資本、労働、材料）に関する「エコ生産性」という新たな指標の概念と計算式を提案する。その上で、経済面のみを考慮した全要素生産性（TFP）と、環境面も考慮する MFCA 視点からの生産性（資本、労働、材料）とを比較する。さらに、これらの環境と経済の両面を考慮する「エコ生産性指標」を、MFCA 適用企業の効率値の格差をもたらす要因（説明変数）として用いる。最後に、Tobit モデル回帰分析を用いて、企業間の効率値（被説明変数）の格差をもたらす要因（説明変数）を分析し、MFCA の適用が企業の環境・経済的パフォーマンスに与える影響について新たな洞察を提供する。

第 5 章では、研究成果をまとめ、MFCA 視点からの生産性（資本、労働、材料）に関する新たな指標の提案と、DEA モデル及び Tobit モデルと MFCA の統合による環境・経営意思決定への貢献について展開する。最後に、今後の研究課題について考察する。

本研究は、MFCA 理論と実践先行研究と事例をレビューし、MFCA の適用に伴う問題点と限界の解決するため、MFCA 適用企業の効率性およびその格差に関する要因を明らかにすることを目的としている。環境と経済の両面を考慮する MFCA 視点からの生産性（資本、労働、材料）を新たな指標として提案する。さらに DEA と Tobit モデル分析を活用し、MFCA の適用が環境経営学と会計学の分野における新たな貢献を目指している。

本研究の構成は図 1.3 の通りである.

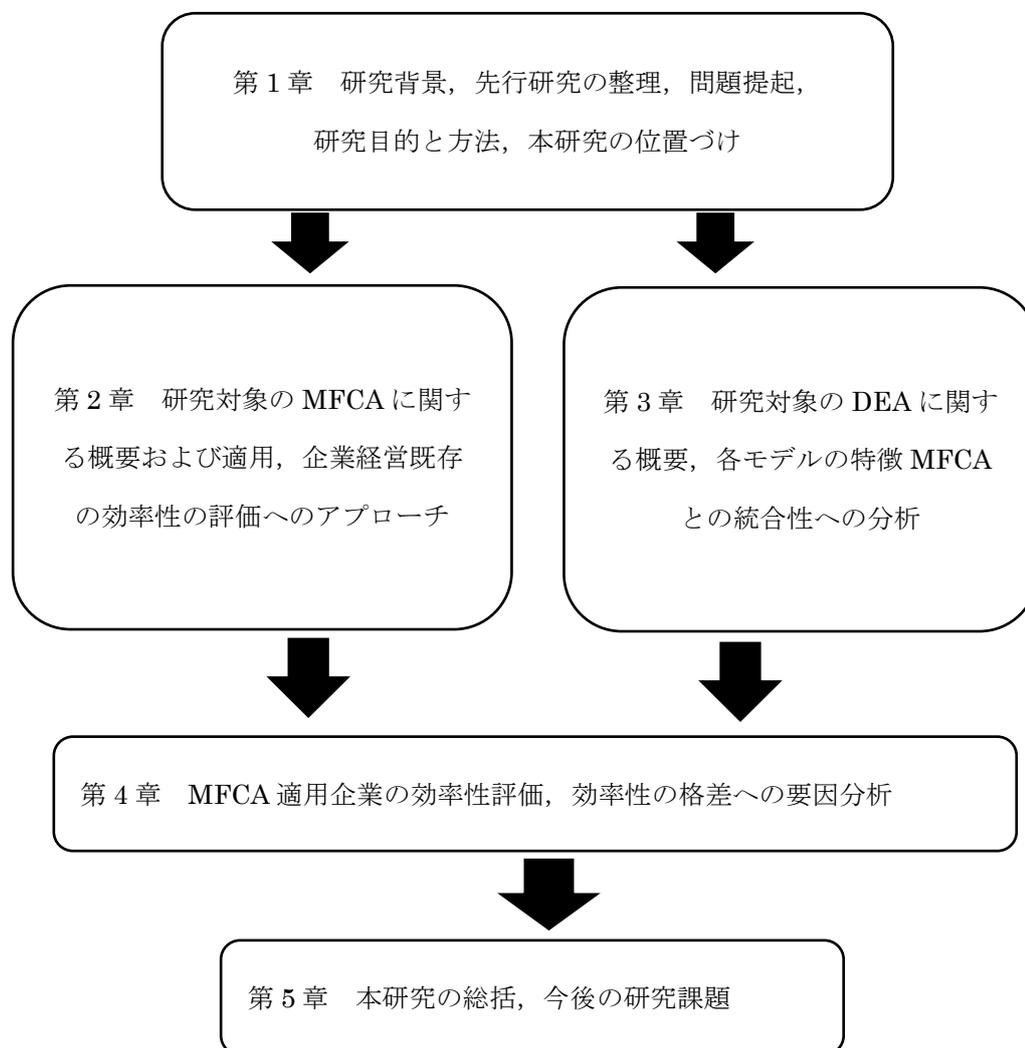


図 1.3 本論文の構成

1.3 本研究の研究目的と研究方法

本研究の主目的は MFCA の理論と実践に関する深い理解を得るとともに、MFCA の適用に伴う問題点と限界の解決するように、MFCA 適用企業の効率性とその格差に関する要因を詳細に分析することである。

この目的を達成するために、以下の研究課題を設定し、それらを解決するための研究方法を図 1.4 に述べている。

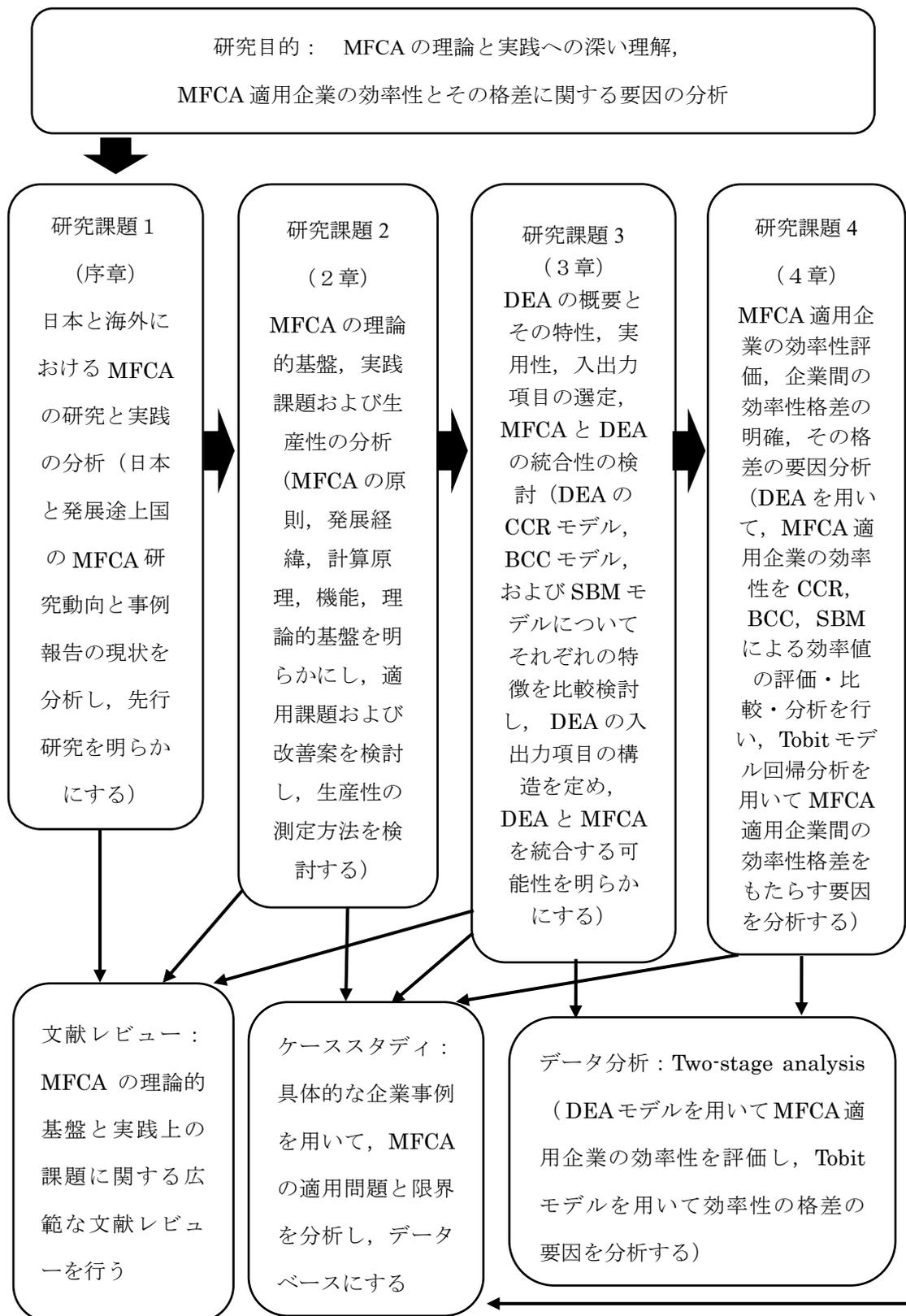


図 1.4 本研究の研究目的と研究方法

1.4 本研究の位置づけ

本研究は、MFCA の理論と実践の先行研究を明らかにし、MFCA 適用企業の効率性とその格差の原因を詳細に分析することで、企業の環境経営戦略に対する実践的な意義を提供することを目指す。本研究は、環境経営学、会計学、および経営戦略学において重要な貢献をすることを目指している。

本研究は、MFCA の理論と実践に関する従来の研究とは異なる新しいアプローチを採用している。具体的には、Two-stage analysis（二段階分析）を用いて MFCA を適用した企業の生産性に注目し、その生産性を DEA で評価し、Tobit 分析を通じて企業間の効率性に格差をもたらす要因を推定・分析している。このアプローチにより、MFCA 視点から、環境と経済とも配慮する生産性（資本、労働、材料）の新指標を提案し、初めて MFCA と DEA モデル及び Tobit モデルの統合・活用することで MFCA の継続性がある新しいモデルを構築する。

MFCA の適用が企業の経済的なパフォーマンスにどのように影響するかについて、新たな洞察を提供する本研究は以下の点において、環境経営学と会計学の分野における重要な位置を占めると考えられる。

- (1) 理論と実践の統合：MFCA の理論的基盤と実践上の課題を統合し、より包括的な理解を目指す。
- (2) 生産性への新たな指標の提供：MFCA 適用企業の生産性に焦点を当て、DEA を用いた効率性評価で「エコ生産性」という新たな指標を提供する。
- (3) 効率性格差の詳細な分析：企業間の効率性の格差をもたらす要因を Tobit 分析により明らかにし、MFCA の適用における経営意思決定への影響を深く理解する。
- (4) 実践的意義と政策への応用：本研究は、企業の実践者や政策立案者にとって有用な洞察を提供し、環境経営の意思決定戦略の策定に役立つ知見を提供する。

本研究の位置づけは、MFCA の適用が企業の生産性に与える影響を新しい角度から評価し、その結果を環境経営学と会計学の分野における理論と実践の統合に役立てることである。

第2章 MFCA の概要と適用課題と生産性

2.1 MFCA の概要

MFCA (Material Flow Cost Accounting : マテリアルフローコスト会計) とは、製造プロセスにおいてマテリアル (原材料, 副資材, エネルギー) のロス を物量とコストで見える原価計算の手法である。廃棄処理, リサイクルされる材料に投入した材料費, 加工費, 設備償却費などのコストを「負の製品のコスト」として明確化し, コスト削減を達成することを目的としている。また, マテリアルロスの削減によって環境負荷も低減でき, 環境と経済の両方に資するマネジメントツールである⁸。

この手法で注目されるのは, 経営者や現場管理者の意思決定に, MFCA が提供するロスの情報を用いることより, 環境負荷 (資源使用量) の低減による環境保全とコストダウンによる経済性の二つを両立できる点である。MFCA を使って製造プロセスでの資源の無駄の見える化をすることは, 省資源や省エネにもつながる。

2.1.1 MFCA の原則

MFCA の原則はマテリアルフロー (MF) に関する実測値をベースにした計算手法である。歩留管理なども何らかの標準を基準に行われる場合が多いが, その際には標準を設定する際に許容される材料廃棄などの部分が管理対象から抜け落ちてしまうことが多い⁹。

MFCA の最も重要な理論的な根拠はマテリアルのフローを物量単位で捕捉するマスバランス¹⁰である。マスバランスの基本原理は「質量保存の法則」という化学変化と物質量の関係を表す法則である。

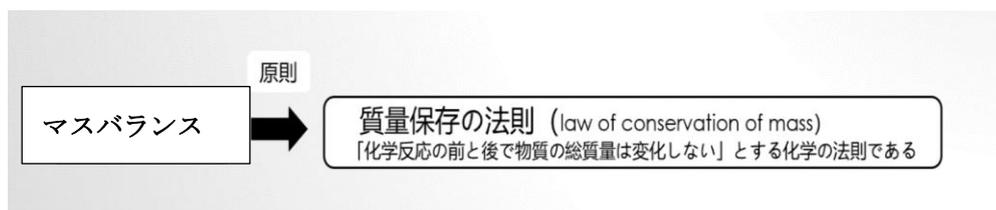


図 2.1 MFCA の理論的な根拠

出所：國部・中寫 (2018) p.4 を参照して筆者作成。

⁸ 日本能率協会コンサルティング
<https://www.jmac.co.jp/glossary/2016/09/mca.html>(2020年11月25日)。

⁹ 國部 (2005) pp.58-63.

¹⁰ 國部・中寫 (2018) p.4.

図 2.1 は MFCA が存在できる基本的な原則を示すものである。図 2.1 に示す理論を基に、MFCA は、生産工程でのマテリアルフローに着目して、マスバランスを観測し、製造プロセスにおける資源やエネルギーのロスに注目して、工程中のこれらのロスの内容を詳細に分析し、そのロスに投入した材料費、加工費、設備の償却費などを「負の製品コスト」として、総合的にコスト評価を行い、生産工程での問題点を摘出し、ロスを生じる問題点を改善に役立てようという手法である。

図 2.2 は、マテリアルのフローを物量単位で捕捉するマスバランスに単価を乗じてコスト情報を追加することによって、MFCA の計算方法が開発されたことを示すものである。開発者のワグナー教授は、コスト情報を追加することで、マテリアルのフローへの経営者の関心が格段に高まったと述べている¹¹。

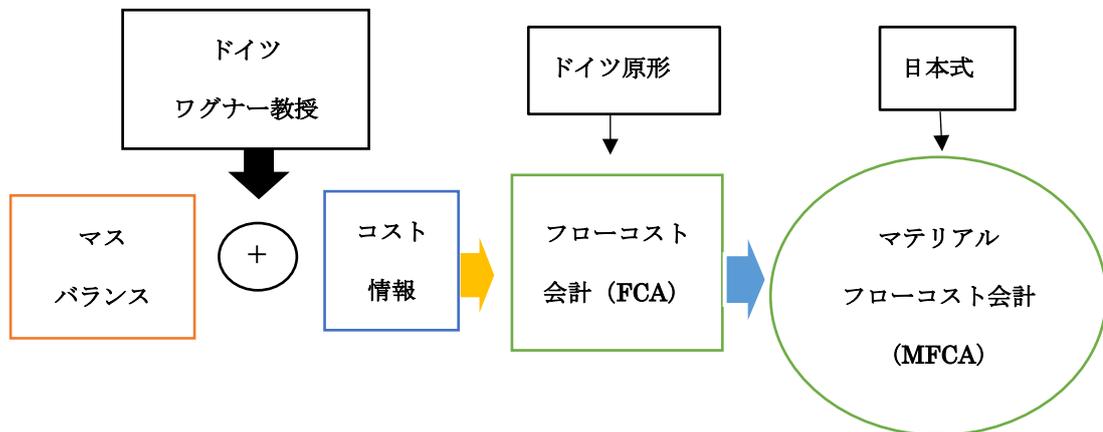


図 2.2 MFCA の開発経緯

出所：筆者作成。

2.1.2 MFCA の発展経緯

MFCA の原型は 1990 年代後半にドイツで提唱されたフローコスト会計である。その後、2000 年に日本に紹介され、日本の経済産業省が導入を促進することで、200 社以上の日本企業に MFCA が導入された。

2000 年から 2019 年まで、MFCA に関する発展経緯を整理した。その結果を示したのが図 2.3 である。図 2.3 が示すように、MFCA はその原形がドイツで FCA として開発されたが、日本で MFCA として発展した。

¹¹ 國部・中畠 (2018) p.5.

その過程で日本からの提案で 2011 年に MFCA の一般的な枠組みを定めた国際規格 ISO14051 が発行された。その後、サプライチェーンへの MFCA の導入に関する規格が提案され、2017年に MFCA の導入に関する国際規格 ISO14052 として発行された。2018 年には、中小企業向けの MFCA の国際規格 ISO14053 の審議に至った¹²。2020 年 9 月の ISO14053 の策定は、国際規格案 (Draft International Standard: DIS) の段階を終え、最終国際規格案 (Final Draft International Standard: FDIS) の段階に入っており、2021 年には国際規格 (International Standard: IS) として発行された¹³。

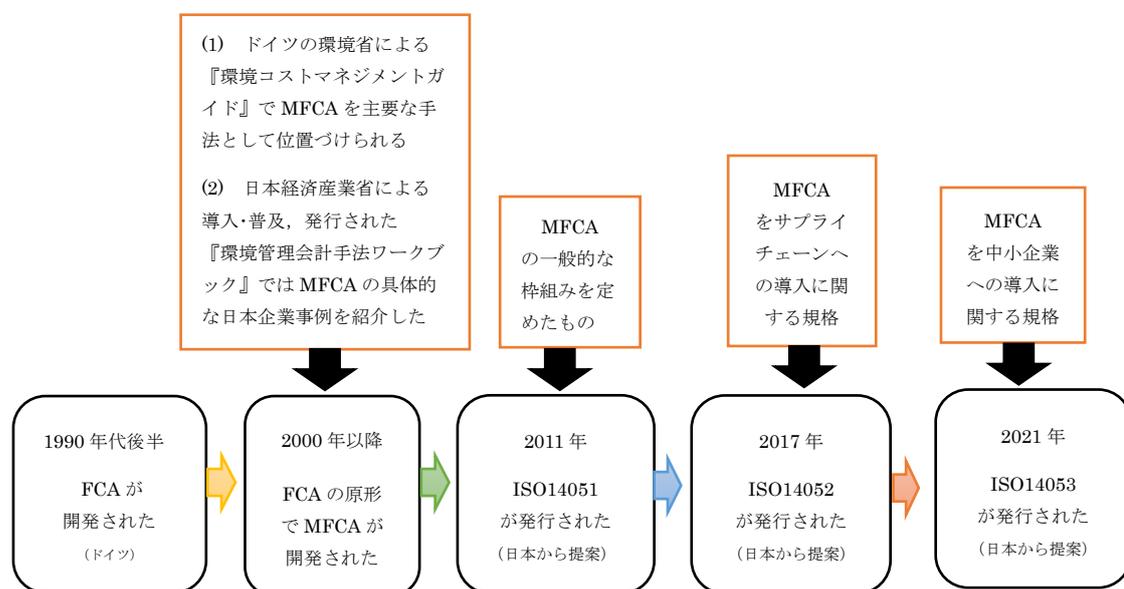


図 2.3 MFCA の発展経緯

出所：筆者作成。

表 2.1 は、ドイツの FCA と日本の MFCA との相違をまとめたものである。表 2.1 では、日本における MFCA は、ドイツ FCA の手法より簡易であり、EXCEL 表で日本企業に柔軟的な形で導入されていることを示している。

¹² 國部・中嶋 (2018) p.3.

¹³ ISO/TC/207/sc1 Environmental management systems
<https://committee.iso.org/sites/tc207sc1/home/projects/ongoing/iso-14053--material-flow-cost-ac.html>
 (2022 年 10 月 15 日).

表 2.1 ドイツの FCA と日本の MFCA との相違

	ドイツにおける FCA	日本における MFCA
経緯	1990 年代から起源	2000 年から発展
対象	究極的には工場全体のマテリアルのフローすべてを物量とコストで測定することを目指す	一製品、一プロセス単位で導入可能なもので、対象とするコストの範囲も目的に応じて柔軟に変更できる
計算方法	原材料区別をフロー全体で維持する詳細な計算	簡易型の計算方法
必要条件	ERP システム必要	Excel で計算できる

出所：筆者作成.

2.1.3 MFCA の計算原理

MFCA の計算原理は 2.1.1 で述べたマスバランス¹⁴である。マスバランスは、物理学上の質量保存の法則に基づいており、投入された物質は質量的には消滅せずに、企業内にストックされるか企業外に排出されるかのいずれかとなる。このようなマスバランスを企業内プロセスに導入し、物質のフローとストックを把握・記録するとともに価値評価する。MFCA では、この価値評価する測定点を物量センターと呼び、その物量センターへのインプット・アウトプット・ストック（期首・期末の在庫若しくは仕掛品）を各材料別に物量で把握・記録する。そして、次のような考え方でマテリアルロス測定する¹⁵。

$$\text{投入されたマテリアル} + \text{期首在庫} - (\text{良品を構成するマテリアル} + \text{期末在庫}) = \text{差額 (マテリアルロス)}$$

このように物量センターごとに、インプット/アウトプット、ストック/マテリアルロスが材料別に物量で把握され、それぞれに単価を乗じて価値評価される。

つまり、MFCA では、インプット（量）－アウトプット（量）＝ロス（量）と捉え、投入された資源のうち、製品にならなかった部分がすべて廃棄物としてみなされる。MFCA の計算は、原価計算・分析の手法として、次の 5 つの特徴¹⁶を持っている。

¹⁴ マスバランスとは、一般に企業内に外部からインプットされた物質を物質名と物量で把握・表記し、他方それに対して企業から外部アウトプットされた物質と物量を把握・表記する対照表であり、企業を中心に据えた物質収支の一覧表である。具体的に、経済産業省（2002）p.79. のご参照。

¹⁵ 経済産業省（2002）pp.79-80.

¹⁶ 日本能率協会コンサルティング MFCA 事業事務局 <http://www.jmac.co.jp/mfca/thinking/01.php>（2020 年 10 月 1 日）。

- (1) 正の製品コストと負の製品コストに分離，計算する
- (2) 正の製品コスト：次工程に受け渡されたものに投入したコスト
- (3) 負の製品コスト：廃棄物やリサイクルされたものに投入したコスト
- (4) 全工程を通じたコスト計算を行う．正の製品コストは，次工程では（前工程のコストとして）投入コストに含めて計算する
- (5) 総合的なコスト計算を行う．マテリアルコスト（材料費），エネルギーコスト（電力費，燃料費），システムコスト（労務費，設備償却費，間接労務費など），廃棄，リサイクルのコストもすべて計算に含める

図 2.4 は，MFCA に関するホームページ¹⁷からダウンロードできた MFCA 簡易計算ツールの MS-Excel のファイルの中にある MFCA 簡易体験ツールを使った MFCA の計算結果の一つであるコストフロー図のイメージを示している。

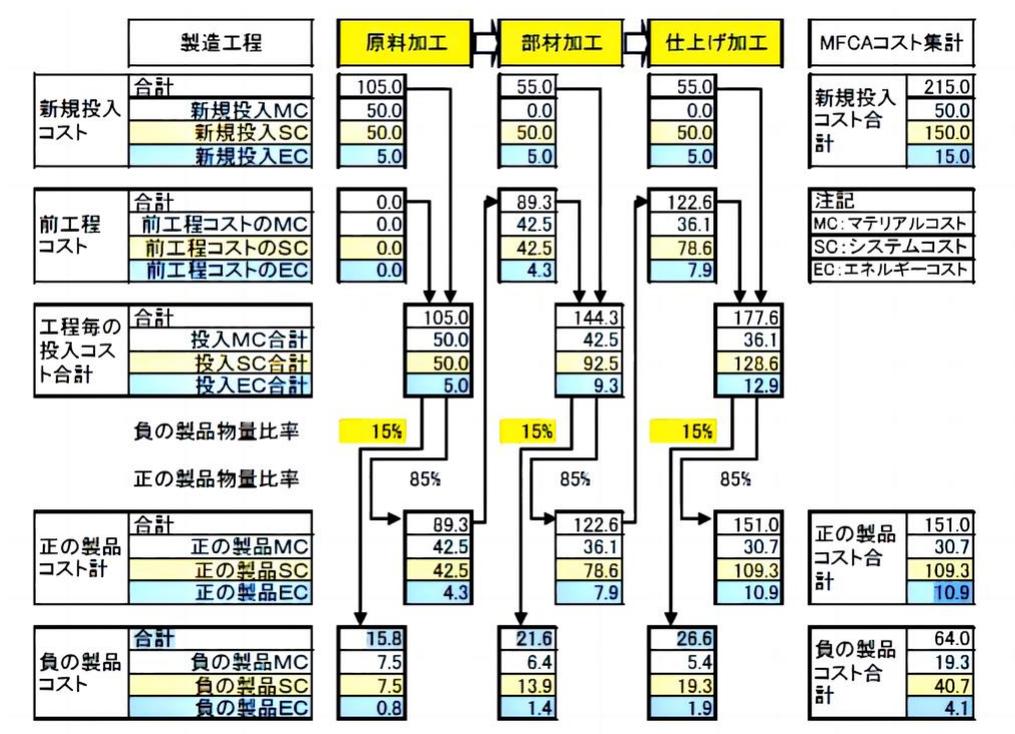


図 2.4 MFCA 簡易体験ツールによる計算事例

出所：経済産業省(2009b) p.8.

¹⁷ 日本能率協会コンサルティング MFCA 事業事務局：http://www.jmac.co.jp/mfca/thinking/01.php (2020年10月1日).

この例では、製品にならない部分、すなわち負の製品コスト、特に負の MF（マテリアルコスト：材料費）と EC（エネルギーコスト：電力費、燃料費）について、改善可能な金額を明示している。この部分を改善すると、材料（主材料、補助材料、洗浄用水など）、電力、燃料のようなエネルギー・資源の使用量の削減となり、汚水、電力と燃料による CO₂ の排出量の削減も可能になる。つまり、MFCA の計算結果から、省エネ・排出削減すべき工程（場所）が、数字で明確に分かる。

日本における MFCA の導入事例では、製造指示書に示されているマテリアルの重量でなく、各物量センターで使用している原材料を実測計量し、各マテリアルの価格を乗じて算出している¹⁸。さらに、現実の生産過程には、目で見えるロスと見えないロスの両方が存在している。

MFCAにおいては、伝統的な生産管理や原価計算とは異なった現場の見方やデータの収集が必要となる。MFCAの計算は、工程内の原材料を実際の流れ（フローとストック）に応じて投入物質ごとに物量を計算し、それに単価を乗じることでコスト計算を行う手法である¹⁹。経済産業省（2009b）では、MFCA おける製品の製造原価の計算手順が、図 2.5のように示されている。

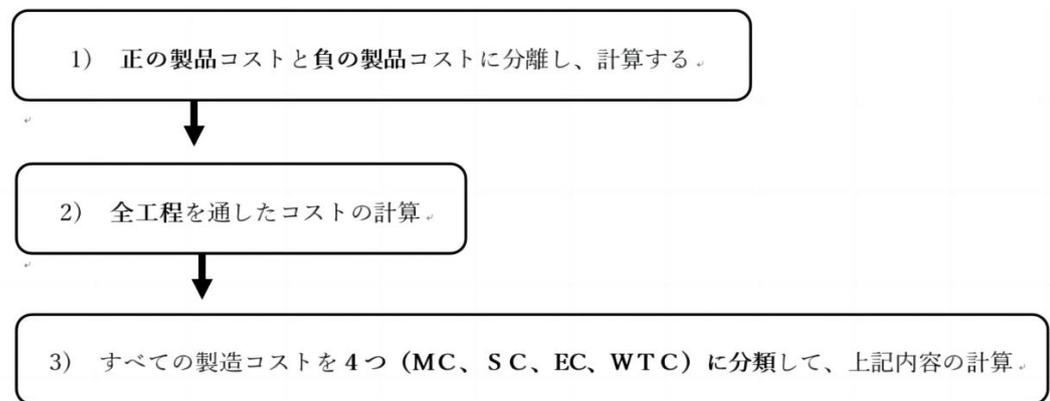


図 2.5 MFCA の計算の手順

出所：経済産業省（2009b）p.5 を基に筆者作成。

この計算手順では、MFCA におけるすべての製造コストを4つに分類し、上記の計算を行う。MFCA の製造コストに含まれる要素については以下のような定義がある²⁰。

¹⁸ 経済産業省(2009b) p.20.

¹⁹ 國部・中嶋 (2018) p.6.

²⁰ 國部 (2008) p.20.

- (1) MC (Material Cost) : 材料費, ただし最初の工程から投入する主材料だけでなく途中の工程で追加する副材料・洗浄剤・溶剤・触媒などの補助材料も含める
- (2) SC (System Cost) : 労務費・減価償却費などの加工費
- (3) EC (Energy Cost) : 電力費・燃料費などエネルギー費
- (4) WTC (Waste Treatment Cost) : 廃棄物の処理費用

そして、「正の製品コスト」とは、次工程に受け渡されたもの(正の製品)に投入したコスト, 「負の製品コスト」とは廃棄物やリサイクルされたもの(負の製品)に投入したコストと説明されている。

さらに、図 2.4 に示された MFCA 簡易体験ツールを用いた計算事例から、「正の製品コスト」には「正の製品 MC」が含まれることが明らかになった。したがって、次工程に受け渡されたもの(正の製品)に投入した MC (材料費) は、「正の製品 MC」と定められる。

一方、「負の製品」については、経済産業省 (2009) によると、「製造においては様々な段階で廃棄物, 原材料のロスが発生するが, 加工における廃棄物」ということである²¹。表 2.2 は、それを示すものである。

表 2.2 MFCA における「負の製品」

1) 加工における廃棄物というのは、次のようなものである。加工時の材料ロス (端材や切粉など), 不良品, 不純物・切り替え時の装置内に残った残渣
2) 補助材料 (溶剤など揮発する材料, 切り替え時に装置を洗浄する洗剤, 触媒など)
3) 原材料在庫, 中間在庫, 製品在庫が, 品質劣化などで使用できなくなり廃棄したもの

出所: 経済産業省 (2009) p.3.

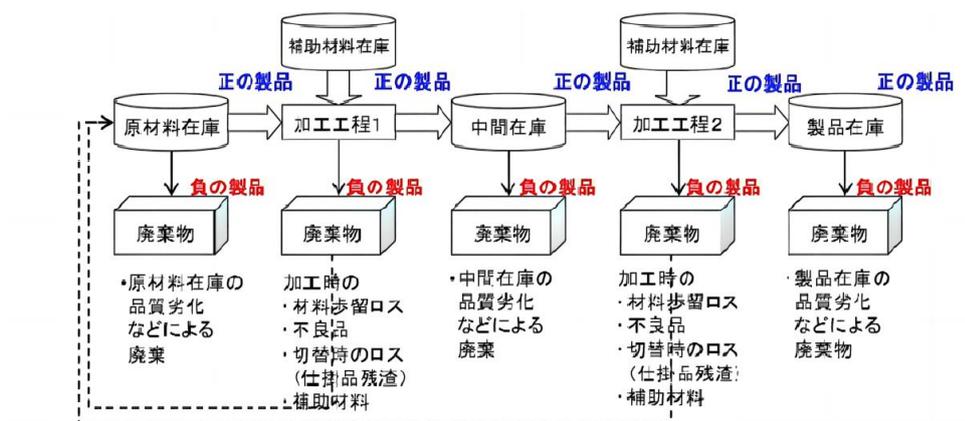


図 2.6 MFCA における「正の製品」と「負の製品」

出所: 経済産業省 (2009b) p.3.

²¹ 経済産業省 (2009b) p.5.

表 2.2 と図 2.6 が示すように、MFCA では製品になった材料を「正の製品」、製品にならなかった材料、つまり廃棄物、排出物はすべて「負の製品」という。さらに、MFCA において、「負の製品」つまりマテリアルロスは次の式で示される。

$$\text{負の製品 (マテリアルロス)} = \text{投入コスト} - \text{正の製品コスト}$$

ただし、原価計算とは異なり、MFCAでは、MC, SC, ECはすべてマテリアルの重量比で「正の製品」と「負の製品」に配分され、WTCはマテリアルロスに関係してのみ生じるので、「負の製品」に計上される。

伝統的な原価計算は、目で見える部分を物量で表示するが、目で見えない部分の物量と金額には注意してこなかった。MFCAと原価計算との比較から、以下に示すような製造原価分類、計算方法、計算目的の相違があることが分かった²²。

- (1) MFCA におけるコスト要素は伝統的な原価計算コスト要素を詳しく再分類したものである。
- (2) MFCA 計算における手順、考え方、ロスの見方などは、原価計算とは異なっているが、MFCA 計算による結果から原価計算の情報が得られることが分かった。
- (3) 企業にとって、MFCA 計算の目的より原価計算目的の方が利益との繋がりがあると言える。

要するに、MFCA の計算方法は原価計算より企業に提供する情報が多くて詳しく、さらに MFCA の計算プロセスから伝統的な原価計算の情報を抽出することができる。ただし、MFCA が市場から回収すべき製品に金額という情報の提供を中心としないため、経営者が十分に注意をしていないことが分かった。

企業経営の立場から見ると、利益に注目するためには原価計算が不可欠な情報だと考えられる。しかし、マテリアルロス（廃棄物）に注目する MFCA は、原価計算と比較して直接的な企業利益を反映することはできない。このことが、企業が積極的に MFCA を受け入れるネックとなり、MFCA の普及・発展にとって一つの限界になっていると考えられる。

²² 朱・徐 (2018) p.104.

2.1.4 MFCA の機能

MFCA は、マスバランスを原点として、工程内の原材料（マテリアル）を実際の流れ（フローとストック）に応じて投入物質ごとに物量を計算し、それに単価を乗じることでコストを評価して計算を行う手法である。

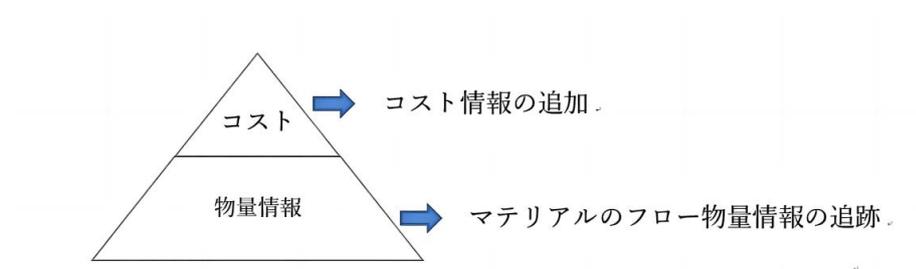


図 2.7 MFCA 機能のイメージ図

出所：筆者作成。

図 2.7 が示すように、MFCA の機能は、サプライヤーからマテリアルが導入され、最終的に製品とマテリアルロス²³として企業の外へ出ていくまでの流れを、物量情報を基礎として、物量単位と金額単位で追跡することにあると考えられる。すなわち、MFCA は物量とコストの 2 つの情報を測定し管理するシステムである²⁴。

2.1.5 MFCA の理論ベース

MFCA の機能についての説明を受けて、ここでは MFCA の存在を支える基礎理論（以下理論ベースという）を探求してみることにする。MFCA 研究の理論ベースについては、表 2.2 が示すように「経済学」「社会学」「心理学/行動科学」「その他」「不明」に分類された²⁵が、MFCA について理論ベースが明確な研究がほとんどいないという指摘もある²⁶。

表 2.3 で示す経済学と社会学の視点からの研究文献のレビューによると、MFCA の理論ベースについては、以下の研究が挙げられる。北田（2011）や天王寺谷（2012）など社会学、特にアクターネットワーク理論の視点からの研究や、岡田（2015）のような

²³ 國部・中嶋（2018）p.8 により、マテリアルロスの多くは廃棄物だが、エネルギーロスや化学物質の自然発揮などもマテリアルロスに含まれる。

²⁴ 中嶋・國部（2008）p.96.

²⁵ 國部・中嶋（2008）p.115.

²⁶ 篠原（2016）p.109.

MFCA のサプライチェーン展開についてフレームワークを経済学と社会学の視点から検討した研究も行われている²⁷.

表 2.3 MFCA 研究の理論ベース

理論ベース	経済学	社会学	心理学/行動	その他	不明
論文数	2	2	0	3	136

出所：國部・中畷（2008） p.115.

企業経営意思決定からみると、馬奈木（2013）により企業は利潤最大化を目的としており、利潤を下げる方向に寄与する汚染対策には消極的となるが、仮に環境汚染に関する情報の提供により、環境パフォーマンスが改善でき、経済パフォーマンスもよくなれば、環境保全と経済発展が同時達成されたと解釈できる²⁸という研究もある。

環境と経済の連携に関する先行研究としては、國部（2016）がある。國部（2016）では、MFCA による環境と経済の連携の意義と限界があり、MFCA-LCA 統合モデル²⁹の展開が期待されると指摘されている。

具体的に、MFCA はマテリアルのフローを重量とコストで評価することで、経済評価を環境管理の手法に導入し、廃棄物コストを測定することで、経営者に廃棄物削減による資源生産性を動機付ける手法として注目されてきた³⁰。MFCA に基づき、経営者が廃棄物削減による環境改善とコスト改善を同時に達成すれば、それは典型的な環境と経済の win-win 関係とされた³¹。

しかし、MFCA による環境と経済の連携は部分的・局所的な場面で生じるもので、環境と経済の本質的な対立は残されたままであり、MFCA をコスト削減の手法と位置付ければ、企業内の他のコスト削減手法との比較になり、かえって MFCA の普及を阻害する可能性があることも示された³²。

以上述べた MFCA の本質から、MFCA が依拠する理論ベースを分析した結果を示したのが表 2.4 である。

²⁷ 國部・中畷（2008） p.115.

²⁸ 馬奈木（2013） p.3.

²⁹ MFCA と LCA（Life Cycle Assessment：ライフサイクルアセスメント）の統合モデルは、環境管理とコスト管理の手法を組み合わせたものである。このモデルは、製品やサービスの全生命周期にわたる環境影響とコストを同時に評価してより持続可能な経営戦略の策定を支援する。

³⁰ 國部（2016） p.5.

³¹ 國部（2016） p.5.

³² 國部（2016） p.5.

表 2.4 MFCA に関する理論ベースへのアプローチ

視点	分野	理論	解釈
資源 形や質変化	物理	物質収支	ある反応の系において，その系に投入した物質の量と系から得られた物質の量との収支を指す．物質収支式は「原子は消滅したり，新たに生成したりしない」という質量保存法則に基づいており，特定の装置またはプラント内で物質は増えも減りもしないということに基づいて立てる式である ³³
資源 生産性	経済	持続可能な発展	持続可能な発展とは，将来世代が自らの必要を充足する能力を損なうことなく，現在世代の必要を充足するような発展である．持続可能な発展には，2 つの重要な概念が内含されている．一つは，世界の貧しい人々にとっての不可欠な「必要」という概念である．もう一つは，技術や社会組織のあり方によって規定される現在および将来の世代の必要を充足する環境の能力の限界という概念である ³⁴

出所：筆者作成.

まず，資源の形や質量の変化の視点から，MFCA に関わる資源理論ベースを検討する．MFCA が提供できる「物量」情報は，資源が生産プロセスの流れに従って形や質量が変わっていく過程の情報だと考えられる．

MFCA はこの物量情報を測定し，物質収支 (Mass Balance : マスバランス) という質量保存法則に基づく物量情報を提供するシステムと理解しておく．マスバランスによる環境負荷の全体像の例で示すように (図 2.8 参照)，

製品の製造プロセス中で，資源の形や質量いくら変わっても質量保存法則に従ってインプットの時点と同じ質量で，総質量が不変であることがわかる．MFCA ではこの質量保存法則の物質収支式を使うことにより，資源の物量情報が提供できると理解する．

³³ 山本 (2003) p.13.

³⁴ World Commission on Environment and Development . Our Common Future. London : Oxford University Press (1987) p.43.

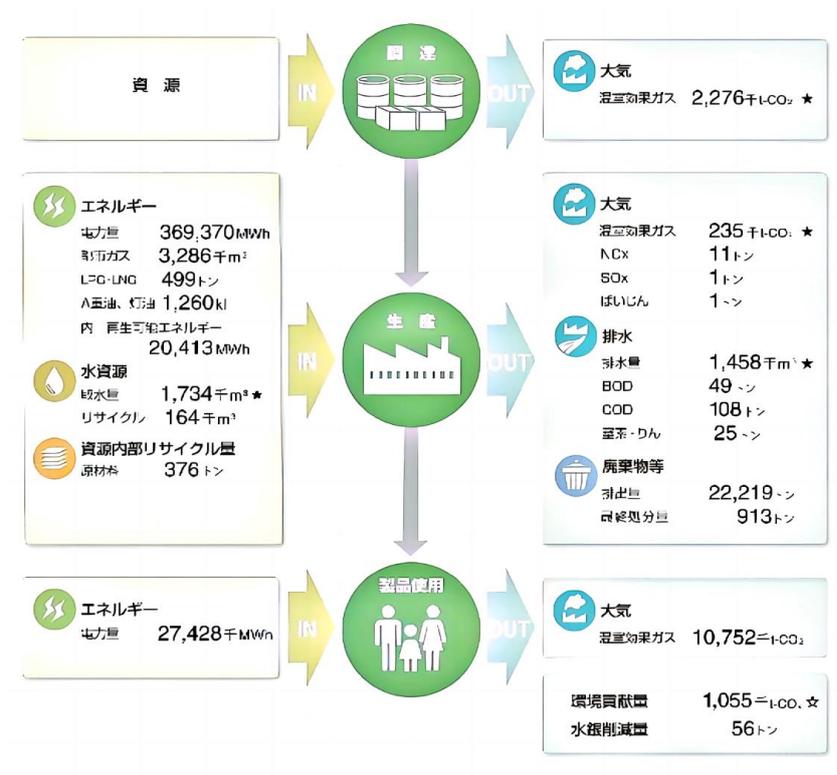


図 2.8 マスバランスによる環境負荷の全体像例³⁵

出所：オムロン株式会社のホームページ。

次に、資源生産性の視点から MFCA に関わる持続可能な発展の経済理論ベースを検討する。World Commission on Environment and Development (1987)では、初めて「持続可能な発展」という概念が提唱された。持続可能な発展について、主に「成長の限界」論への応答として展開された枯渇性資源制約下での成長理論をめぐる経済的な議論が多い。近年、世代間公正や環境的正義などの社会的な問題領域を巻き込みながら広範な研究が増えている³⁶。

ここでは、経済学における持続可能な発展理論を用いて資源生産性の視点に絞って検討する。1990年代にドイツで MFCA が生まれたのと同時に、ドイツではファクター4、ファクター10として「資源生産性」を4倍、10倍に高めることによる地球環境に負荷の少ない持続可能な社会への転換が提唱され、イギリスでは内閣官房から「資源生産性」イニ

³⁵ オムロン株式会社 https://sustainability.omron.com/jp/environ/mass_balance/?newwindow=true (2020年6月16日)。

³⁶ 桑田 (2010) p.20.

シアチブ」が提唱された。このような動きは、省エネ・省資源化を進める考え方が強まっていることを示している³⁷。

さらに、経済成長には資源制約があることで、経済成長と環境との分析によって、生産性向上の重要性が示されており、特に生産性の向上は生産に必要な資源需要を低下させ、最終的に環境汚染の排出を削減するという指摘がある³⁸。

MFCA は、資源のインプットから最終的に製品とマテリアロスとして企業の外へ出ていくまでの流れの資源情報を物量単位と金額単位で明確にするシステムである。したがって、MFCA により提供される物量とコスト情報は、コストダウンと環境負荷低減のための生産技術や設備投資の意思決定のために必要な判断材料になり、それにより廃棄物が少なく、資源生産性の高い生産現場を実現するためのノウハウを蓄積できるようになる。

2.2 MFCA の適用

廃棄物削減と生産性向上を同時に実現し「環境と経済の両立」を可能にすると言われる MFCA は、廃棄物の物質構成を明確にし、フローとストックを物量と金額により測定することによって、利益を出すことに廃棄物削減がどの程度の効果があるかを示すという特徴がある³⁹。

2.2.1 MFCA 適用による資源生産性向上

MFCA の先行研究では MFCA 適用による資源生産性向上を達成するという指摘が多い。理論と事例の双方において、以下の研究成果が挙げられる。

まず、廃棄物削減による資源生産性向上の研究⁴⁰がある。MFCA においては製造によるアウトプットが製品（正の製品）と廃棄物（負の製品）に区分され、それぞれに主に物量比に基づいて原価が配賦される。廃棄物である「負の製品」に原価を配賦し、マテリアロスの価値を可視化することで、廃棄物削減による資源生産性向上および、その結果としての投入材料減少による原価削減に結び付く。

具体的な事例としては、MFCA を導入した工場のオムロン倉吉（株）がある。同社は、スイッチの部品工程に MFCA を導入し、資源生産性向上をした。同社では MFCA を活用し材料ロスを物量と金額の両面で定量的に見える化したことでマテリアロス削減とコス

³⁷ 物質創製工学研究連絡委員会報告(2003) p.1.

³⁸ Akao, K., & Managi, S. (2007) pp.3778–3790.

³⁹ 國部・中嶋 (2018) p.5.

⁴⁰ 関 (2019) p.21.

ト削減という環境と経済の両立を実現することができた⁴¹。

次に、経済産業省（2009b）によると、MFCAの適用は生産性向上の取り組みにおいて有効であるとの報告が多くある。具体的には、同じ計算モデルの工程範囲において、「正の製品」コスト比率（正の製品MCの割合）あるいは「負の製品」コスト比率（ロスの割合）の比較を行うことで、改善余地の大きな製品、機種、ライン、または工場を明確に特定し、それに基づいて改善目標を設定することが可能である。

すなわち、MFCAで計算された材料効率指標を理想状態の目標として設定することにより、製造設備の変更や新設などの取り組みが可能になる。これらの取り組みにより、資源生産性向上が実現できることが判明した。

2.2.2 MFCA適用問題と限界

MFCAの適用による資源生産性向上を達成したという報告がある一方、企業に導入する際に、適用問題や課題も存在する。MFCAの適用の際には、1) MFCAと業種・業態・生産工程の関係、2) MFCAと既存の管理手法との関係、3) MFCAの導入プロセスにより、示された効果が一致しないという議論がある⁴²。

たとえば、MFCAの適用が導入企業の意思決定に依存することで、すべての企業に対する効果が一律でないことが國部（2005）で指摘されている。國部（2016）はMFCAによる環境と経済の連携は部分的・局所的な場面で生じるもので、環境と経済の本質的な対立は残されたままであり、MFCAをコスト削減の手法と位置付ければ、企業内の他のコスト削減手法との比較になり、かえってMFCAの普及を阻害する可能性があるという指摘がある。安城（2007）は、キヤノンにおけるMFCAの導入展開の背景は、全生産職場においてIEあるいはPDCAなどに取組んでおり、工場の理解がスムーズに得られたからであると指摘した。今井（2012）は、とりわけ生産・物流プロセスを対象とするマテリアルフローコスト会計の発展とその特徴を明確にするとともに、環境貢献性を有する効率的生産方式であるトヨタ生産システムとの関係を考察したうえで、MFCAはTPS⁴³のジャストインタイムによるリードタイム削減には、直接的には貢献し得ないという点において一定の限界があったと指摘した。TPSとマテリアルフローコスト会計の統合的進化を促進しうる新たな管理会計概念として「マテリアルフロータイムコスト」の概念を提唱した。

⁴¹ 原田（2009）p.6.

⁴² 國部（2005）pp.58-63.

⁴³ TPSはトヨタ生産方式（Toyota Production System）の略。

國部・下垣（2007）は MFCA では、経済面の効果は、コストによって精緻に計算することができる反面、環境負荷の低減効果についてはマテリアルインプット量でしか測定できないと指摘している。つまり、MFCA が直接的な環境負荷量の変動を反映できないため、ほかの環境経営取組みと組み合わせる使用すれば、スムーズに企業に導入可能であると考えられる。関・安城（2016）は MFCA の継続的導入とマネジメントツールとしての展開可能性の論述で、株式会社駒ヶ根電化における考察現場で、MFCA 導入時における作業負担の重さや人的資源の制約などの理由から中小企業では普及しにくいことを指摘している。中嶋・飛田（2018）は MFCA で得た新たな視点や情報は、コスト削減目的のための補完的な追加情報として位置づけられるにとまり、既存の原価情報と関連つけられないことが指摘された。

以上の MFCA 適用の主な問題に関する検討結果をまとめたのが表 2.5 である。

表 2.5 先行研究に指摘された MFCA 適用の主な問題

先行研究	適用問題
國部（2005）	MFCA と業種・業態・生産工程の関係、既存の管理手法との関係、MFCA 導入プロセスの差異によっては、示された効果が一致しない
國部（2016）	MFCA をコスト削減の手法と位置付ければ、企業内の他のコスト削減手法との比較になるが、MFCA の普及を阻害する可能性がある
安城（2007）	MFCA の導入展開の背景は、全生産職場において IE あるいは PDCA、TPS など取組んでおり、工場の理解がスムーズに得られた。
今井（2012）	MFCA は TPS のジャストインタイムによるリードタイム削減には、直接的には貢献し得ないという点において一定の限界があった。MFCA が「時間」の属性を具備していないことである
國部・下垣（2007）	MFCA が直接的な環境負荷量の変動が反映できないため、ほかの環境経営取組みと合わせる使用すれば、スムーズに企業に導入可能である
関利・安城（2016）	MFCA 導入時における作業負担の重さや人的資源の制約などの理由から中小企業では普及しにくい
中嶋・飛田（2018）	MFCA で得た新たな視点や情報は、コスト削減目的のための補完的な追加情報として位置づけられるに留まり、既存の原価情報と関連つけられないことで、普及しにくい

出所：筆者作成。

以上の先行研究において指摘された MFCA 適用問題点と限界から以下のことが明らかになった。

- (1) MFCA を導入するには、企業が IE あるいは PDCA, TPS, 環境関連の LCA などの取組みと統合・補助することが必要である
- (2) MFCA 導入時における作業負担の重さや人的資源の制約がある
- (3) MFCA 計算コスト項目と従来原価計算のコスト情報と関連付けられない

一方、MFCA 適用時の限界や問題だけではなく、MFCA 適用失敗の事例研究として、オムロングループでは MFCA に有用性があるからといってすべての工程に導入できるわけではないことも判明した。日本オムロングループは、EMC 事業の部品加工工程を中心に導入を進めてきたことで、MFCA 活用による資源生産性向上への取り組みを活性化すると考えていたが、すべての工程には円滑に導入できなかった⁴⁴。表 2.6 では導入が失敗した理由とその内容をまとめている。それらの理由と MFCA 適用限界・問題点を照合すると、結果は表 2.6 で示されているとおりである。

表 2.6 オムロングループ全体に MFCA 導入の失敗理由と MFCA 適用限界・問題点

導入失敗理由	具体内容	MFCA 適用限界・問題点
物量データの収集作業の多さ	データ収集が高負荷になり、苦勞する割には改善効果（この時点では、ロス量が少なく改善の余地が少ない）が小さい。したがって物量データ収集の効率化が必要である	導入時の作業負担の重さ 人的資源の制約
いくつかの事例であがっているが組立工程への導入の難しさ	組立工程は物量ではなく数量（数量歩留り）で管理されている場合がほとんどであり、MFCA 分析によって発見されたロスは今まで改善活動で発見されているロスにほぼ一致しているため、物量によるデータ収集の負荷軽減と MFCA の有用性を示すべきである	導入時の作業負担の重さ 人的資源の制約 企業内の他の既存コスト削減手法との比較になる障害
MFCA の導入、適用活動、さらに提供する情報を基づく改善活動は、事業推進部門のトップが関与し続けることが重要	MFCA の導入を進めてきた感は否めないが、MFCA を新しいシステムとして導入・展開し、さらなる飛躍を果たし、改善を継続していくためには、事業推進部門のトップが関与し続けることが非常に重要である	MFCA 適用前後、他の部門からの支援が必要

出所：原田（2009）を参照して筆者作成。

しかし、原田（2009）は、MFCA について「さまざまなロスへの気づきを与えてくれる手法であるが、究極の目標であるマテリアルロスゼロにむけて取り組まなければならない

⁴⁴ 原田（2009）p.643.

い。これらの取り組みこそが管理技術をはじめ、製造技術、生産技術などの技術力向上につながる」と確信している」と積極的に評価もしている。

ところが、本研究の 2.1.3 で検討したように、企業経営の立場から見ると利益に注目するためには原価計算が不可欠な情報だと考えられる。しかし、マテリアルロス（廃棄物）に注目する MFCA は、原価計算ほど直接的な企業利益を反映することはできない。このことが、企業が積極的に MFCA を受け入れるネックとなり、MFCA の普及・発展に一つの限界になると考えられる。

以上の MFCA の適用問題や限界は、企業の立場と MFCA 自体をめぐって検討したものである。さらに MFCA の普及・発展のための要因としては、政府誘導の力が必要だということである。1999 年度から経済産業省の環境管理会計の調査・研究の事業が始まったが、その中の MFCA ワーキング等において、MFCA の基本コンセプトが固められた 2004 年からは、経済産業省は MFCA の開発、普及等を目的とした事業を開始し、多くの MFCA の導入事例の構築が図られてきた。2008 年からは経済産業省のサプライチェーン省資源化連携促進事業が始まり、サプライチェーンを通じた企業間で、MFCA を活用してマテリアルロスを共有化し、そのロスを削減する取り組みが始まり、多くの事例が構築された。このように、MFCA は経済産業省の事業を通して開発や普及が図られてきた⁴⁵。日本における MFCA の導入が進んだ理由は、2000 年から 2010 年までの経済産業省の主導により企業への推進と普及活動があったと考えられる。

2.2.3 解決の提案及び考察

前述の 2.2.2 で明らかにした MFCA の適用問題と限界を基に、以下のことを整理した。

- (1) MFCA と経営管理の関係性から見ると、MFCA の導入企業の状況による効果の差異があることが分かった。そして企業に MFCA 適用した効果をどう測るのか、どう比較するのかに関する考察は非常に意義があると考えられる。
- (2) MFCA の位置付けの視点から見ると、MFCA を単なるコスト削減手法として位置付けると、企業内の他のコスト削減手法と比較され、MFCA の普及を阻害する可能性があることを示唆している。これは、MFCA が持つ他の価値や特徴を十分に理解し活用する必要があると考えられる。
- (3) MFCA の導入と展開の背景から見ると、MFCA が成功導入される背景として、

⁴⁵ 日本能率協会コンサルティング (2010) p.162.

全生産職場での IE (Industrial Engineering), PDCA, TPS (Toyota Production System) などの取組みが挙げられている。これは MFCA 導入にあたり既存の経営管理手法との連携が重要であると考えられる。

- (4) MFCA と環境経営の組み合わせから見ると MFCA が環境負荷量の変動を直接反映できず、他の環境経営取組みとの組み合わせが重要であると述べられている。これにより MFCA を企業にスムーズな適用することが可能になると考えられる。
- (5) MFCA 導入の課題として、作業負担の重さや人的資源の制約などの理由で、中小企業における MFCA の普及が困難であると考えられる。
- (6) MFCA の情報活用の限界から見ると、MFCA で得た情報は、既存の原価情報と関連付けられず、コスト削減目的の補完的な情報に留まると指摘されている。

以上の整理した内容から、MFCA の情報活用の限界を示しており、経営上の意思決定には、MFCA の役割を再考する必要があると考えられる。MFCA が持つ潜在的な価値とともに、その導入と実践における課題や限界が浮き彫りにされている。経営学の観点からこれらの知見を利用して、経営戦略や環境経営における MFCA の役割を再評価し、その効果的な活用方法を模索することが重要であると判明した。表 2.5 と表 2.6 及び以上の判明した内容に対する考察と解決提案を示したのが、表 2.7 である。

表 2.7 MFCA 適用の主な問題と限界への考察と解決提案

問題と限界	考 察	解決提案
MFCA の適用企業の状況による効果の差異がある	<ul style="list-style-type: none"> ● MFCA 適用した効果をどう測るのか、ほかの企業とはこの効果をどう比較するのか 	それぞれの MFCA 適用企業の効果あるいは効率値を比較する手法を望む
MFCA 適用際、ほかのツールや取組みと統合して活用する必要があること	<ul style="list-style-type: none"> ● 業種と既存管理システム別々で、どのような取組みと組み合わせると該当企業に最適であろうか ● 別の取り組みと統合して活用する効果がどのように評価すれば適当であろうか 	業種と既存管理システムを考慮した上で、MFCA 適用効果を評価する指標と手法を望む
MFCA 計算コスト項目と既存の来原価計算のコスト情報と関連付けられない	<ul style="list-style-type: none"> ● MFCA のコスト要素が伝統的な原価計算コスト要素を詳しく再分類したものである ● MFCA 計算プロセスから伝統的な原価計算の情報が抽出できる 	自動換算システムがあれば、MFCA の情報に基づき、原価計算の必要なデータと情報が簡単に入手可能である

出所：筆者作成。

まず、MFCA 適用時の限界の一つは、他のツールや取組みと統合して活用することが必要なことである。この点に対応するためには、考慮しなければならないことがいくつか

あると考える。1つ目は、企業業種と既存管理や環境システムによっては、MFCA 導入の方法が違うので、どのような取組みと組み合わせると当該企業に最適であるのかを検討することである。2つ目は、別の取組みと統合して活用する効果が、どのように測定すれば適当であるかなどの課題もある。つまり、簡単に別のツールや取組みと統合すれば MFCA がスムーズに適用や活用できるとは言えないと考えられる。

次に、MFCA 計算コスト項目と既存の原価計算のコスト情報と関連付けられないことである。2.1.3 による MFCA と伝統的原価計算との関係を述べたように、MFCA のコスト要素が伝統的な原価計算コスト要素を詳しく再分類したものであり、さらに MFCA の計算プロセスから伝統的な原価計算の情報を抽出することができる。このように考えると、MFCA と伝統的な原価計算との間にもしある換算システムがあれば、MFCA の情報に基づき、伝統的原価計算の必要なデータと情報が入手できると考えられる。

特に、MFCA の適用企業の状況による効果の差異があり、適用した効果を評価・比較できないことを、本研究の着目点にして MFCA 適用企業のそれぞれの効果あるいは生産性（効率値）を比較する手法を構築すると考えられる。

2.3 MFCA 適用による生産性

前節 2.2 では、MFCA 適用に関する問題点と限界及び解決策について考察された。特に、企業間で MFCA を適用する効果に差異が存在することが問題として挙げられる。この問題の考察において重要なのは MFCA 適用時の効果の測定方法と他企業との比較方法の確立である。解決策としては、MFCA を適用した企業間の効果や効率値を比較可能にする手法の開発が求められる。本節では MFCA の適用による成果を明確に評価し、比較可能な分析手法について深く考察される。

2.3.1 企業経営における生産性の評価

生産性の代表的な定義としては「生産性とは、生産諸要素の有効利用の度合いである」（ヨーロッパ生産性本部）がある。企業経営における生産性は以下のように解釈できる。有形のものであっても無形のものであっても、何かを生産する場合には、機械設備や土地、建物、エネルギー、さらには原材料などが必要になる。また、実際にこれらの設備を操作する人間も欠くことができない。生産を行うために必要となるこれらのものを生産要素というが、生産性とはこのような生産要素を投入することによって得られる産出物（製

品・サービスなどの生産物/産出)との相対的な割合のことをいう⁴⁶。この定義を生産要素の投入と産出物との相対割合(指標)であると言える。投入量と産出量の比率を用いるので、投入量に対して産出量の割合が大きいほど生産性が高いことになる⁴⁷。

「生産性向上」とは、保有する資源を最大限に有効活用し、最小限の投資で最大の成果を生み出すということである。企業生産性を分析することで、企業自体の効率性やどのくらいの付加価値を生み出したかを把握することができる。経営資源を適切に活用できているかの課題が見えてくるので、企業経営にとっては欠かせない分析である。企業だけでなく労働者(社員)のモチベーションアップにも繋がる。

以上の企業生産性の分析に対して、企業の基本的な経営効率性(収益性)分析には、売上高総利益率や売上高営業利益率、ROA(総資産利益率)、ROE(自己資本利益率)、総資産回転率、売上債権回転期間、損益分岐点などの指標が挙げられる。これらは財務諸表に基づいて算定される企業の効率性の指標により構成される。しかしこれらの財務指標による経営効率分析からみると、ほぼ貨幣金額という一次元的な単位でしか表せない。また、財務指標は企業活動の一断面しか表すことができない。企業の経営分析は財務指標にあまりに依存しすぎると、かえって多くのものが見えなくなる⁴⁸。さらに、従来の経営効率性を表す財務指標分析における問題点が2つあると考えられる。

- (1) 貨幣金額が用いられているため、非財務情報を考慮せずに、環境配慮への経営情報を提供しにくい。
- (2) 個別の比率尺度ではなく、多数の入力や出力項目で総合的な効率性の評価ができず、企業の資源(人、資本、材料)最小限の投資で最大の成果を生み出すには、明確な改善方向や解決案も提示しにくい。

以上の分析を踏まえ、本研究では、MFCA適用企業の効率性を評価し、企業間の効率性を比較することができるため、MFCAの適用による生産性を把握する意義があると考えられる。

2.3.2 MFCA適用による生産性

ここまで検討したことにより、MFCAが廃棄物削減と生産性向上を同時に実現する「環境と経済の両立」ができると言われるが、2000年から2012年までの十数年の成長期を経た現時点では、MFCAの相関研究と適用事例報告の数が逡減しているという現状で

⁴⁶ 日本生産性本部 <https://www.jpc-net.jp/movement/productivity.html> (2020年6月18日)。

⁴⁷ 日本生産性本部 <https://www.jpc-net.jp/movement/productivity.html> (2020年6月18日)。

⁴⁸ 韓, 周. (2007).p.42.

あり、さらに MFCA の適用への問題や限界について明らかになった。

2.2.2 の表 2.5 から、MFCA の適用企業の状況による効果の差異があるという問題が分かった。そして MFCA 適用した効果をどう測るのか、企業間でこの効果をどう比較するのかに対して、企業の生産性を測定する案を提出した。しかし、マネジメント方法が新しく開発され、現実に導入されたことにより、生産性の改善は経済発展を推し進めるうえで重要である⁴⁹という指摘があって、環境配慮型の MFCA のようなマネジメント方法自体は企業経営には必ず役立つとは言えないと考えられる。

企業経営について、何かの効率性の評価手法を利用して分析することにより、企業経営上の MFCA の適用が、生産性を上げる状況なのか、あるいは下げる状況なのか、またなぜその状況なのかの理由、改善案どうなるのかを理解していくことができる。もし MFCA が環境汚染に関する情報を提供でき、環境パフォーマンスを改善できれば経済パフォーマンスもよくなり、環境保全および経済発展が同時に達成されたと解釈できると考えられる。

2.3.3 MFCA 適用企業における効率性の測定

2.3.2 での考察において、MFCA を適用する企業の効率性の測定は、MFCA 適用における問題や限界の改善に意義があると考えられる。本章では、通常よく用いられる絶対評価である効率性の測定指標とする生産性、または相対的な効率性が測定できる手法による効率値については、それぞれの理論や計算式を説明して比較した上で、MFCA を適用する企業における効率性の測定方法を確定すると考えられる。

2.3.3.1 絶対評価である効率性の測定指標とする生産性

効率性を測る指標として利用されるものとして、生産性という指標がある⁵⁰。生産性は、一国の経済成長の根底にあるものとして、資本投入・労働投入とならぶ重要な経済指標である⁵¹。経済学では、ある一定の投入量でどれだけ多くの生産量を実現できるか、つまり投入要素を 1 単位増やしたときに、生産物が何単位増加するかを表す指標でもある⁵²。

式 (2-1) は生産性を一般的に示す指標式である。

⁴⁹ 馬奈木 (2013) p.195.

⁵⁰ 厚生労働省ホームページにより「第 2 章 労働生産性の向上に向けた我が国の現状と課題」 p.80.

<https://www.mhlw.go.jp/wp/hakusyo/roudou/16/dl/16-1-2.pdf>.p.80 (2023 年 12 月 16 日).

⁵¹ 1957 年にロバート・ソローが、米国の過去 50 年の経済成長の大半は、技術進歩 (生産性の改善) によって説明できるという論文を発表し、大きな論争を引き起こしたことが知られている。その後、さまざまな国・地域の研究者・政策担当者により、生産性の計測方法の精緻化が進められてきた。

⁵² 小西 (2014) p.4.

$$\text{生産性} = \frac{\text{Output(産出)}}{\text{Input(投入)}} \quad (2-1)$$

式 (2-1) からみると、投入量が変化しないのに総生産量が増加した場合、生産性が上がることがわかる。生産性指標は、一国全体の経済を分析するときや産業の効率性を分析するときのみならず、個別企業データを用いた分析にも用いられる。生産性指標は、企業の収益率と密接な関係にあるので、企業の競争力の指標としてみることもできる⁵³。

企業の生産性とは、ある一定期間に生み出された生産量と、生産に使用した労働や機械設備（資本）などの投入量の比率で、生産活動の効率性を示す指標である⁵⁴。最も簡単に頻繁に利用される指標としては、労働生産性があるがこれは労働者あたりの生産量（または総出力）であり、式 (2-2) で示される比率である。この指標が改善されれば、生産活動がより効率的に行われていると解釈できる。

$$\text{労働生産性} = \frac{\text{総出力(または収益)}}{\text{労働投入}} \quad (2-2)$$

さらに、企業の製造過程では、原材料のような資源や設備が不可欠であるし、資本生産性の計算式は式 (2-3) で、材料生産性の計算式は式 (2-4) で示される。

$$\text{資本生産性} = \frac{\text{総出力(または収益)}}{\text{資本投資額}} \quad (2-3)$$

また

$$\text{材料生産性} = \frac{\text{総出力(または収益)}}{\text{材料投入量}} \quad (2-4)$$

これら全ての生産要素の集計値を X とし、生産量を Y とすることで、全生産を考慮した生産性指標が得られる。この生産性指標は全要素生産性（Total Factor Productivity : TFP）として定義される⁵⁵。

$$\text{全要素生産性(TFP)} = \frac{X}{Y} = \frac{\text{生産量}}{\text{全要素投入量}} \quad (2-5)$$

TFP は労働力だけでなく機械設備や原材料の投入も含めた生産性指標であるため、その改善は物量投入に頼らない生産効率の向上を意味する。これは生産工程の見直しや、同

⁵³ 松浦・早川・加藤 (2016) p.3.

⁵⁴ 松浦・早川・加藤 (2016) p.2.

⁵⁵ 松浦・早川・加藤 (2016) p.3.

じ機械設備を用いてもより多くの生産が可能になるような技術革新が進んでいることを示している⁵⁶.

TFP を簡潔に表現すると、Output と Input 集計量の比率であり⁵⁷、これは、通常よく使われる絶対評価である効率性の測定指標である。生産性 TFP は広い意味で技術進歩を表す指標と考えられるため、この変化率はしばしば技術進歩率とも呼ばれる。

TFPの計測方法としては、一般的に以下の2つの方法がある⁵⁸。

(TFP-1) 生産関数を特定化し、生産量と投入量の関係を示す方法である。生産量の変動に対する投入量の変動を回帰分析などで調整し、その結果として得られる残差をTFPとして定める。

(TFP-2) 指数算式を使用して複数の投入要素を集計し、この集計値と生産量の集計値を比較することで、TFPを定義する方法である。このアプローチにより、生産量と投入量の関係性を明確に把握し、計算が行われる。

このTFP-1の方法は、例として Y を付加価値、投入要素 X として K を資本ストック、 L を労働投入とするとき、生産関数（投入量と生産量の関係を数式で示したもの）をコブ・ダグラス型で定義すると、次のように表される。

$$Y = AX = AK^\alpha L^\beta \quad (2-6)$$

ここで $K^\alpha L^\beta$ は全投入要素の集計値であり、式 (2-7) から、 A は全要素生産性であることが明らかになる。

$$A = \frac{\text{生産量}}{\text{投入量}} = \frac{Y}{X} = Y / (K^\alpha L^\beta) \quad (2-7)$$

さらに、式 (2-6) の対数をとった以下の式 (2-8) を推定した残差 u をTFPと定義するか、あるいは、式 (2-9) のように生産性に影響を及ぼしそうな要因 Z を説明変数に加え、その係数をみることで、要因 Z の生産性変動への影響を分析することができる。

$$\ln Y = A + \alpha \ln K + \beta \ln L + u \quad (2-8)$$

$$\ln Y = A + \alpha \ln K + \beta \ln L + Y_1 Z_1 + Y_2 Z_2 + u \quad (2-9)$$

⁵⁶ 松浦・早川・加藤 (2016) p.4.

⁵⁷ 日本生産性本部 https://www.jpc-net.jp/research/rd/db/pdf/index_jamp01_2.pdf
(2020年10月10日).

⁵⁸ 松浦・早川・加藤 (2016) p.3.

しかし、TFP-1方法の欠点は、生産要素の数が増加すると多重共線性が生じやすくなり、その結果、 α や β の推計値が不安定になることが挙げられる⁵⁹。これにより、回帰分析に基づくTFPの推定が難しくなることがある。そのため、TFP-2の方法である指数算式による集計指数が用いられる。例えば Y を生産量、 X を投入量とした場合、TFPの変化率は式(2-10)のように定義される。

$$\Delta TFP = \ln Y_t - \ln Y_{t-1} - (\ln X_t - \ln X_{t-1}) \quad (2-10)$$

さらに、式(2-10)で用いられる指数算式においては、Törnqvist指数が一般的に使用される。具体的には投入要素が資本投入 K と労働投入 L の場合、式(2-11)のように表現できる。ここで、 w は各生産投入要素のコストシェアを示している。

$$\ln X_t - \ln X_{t-1} = \frac{1}{2}(w_{k,t} + w_{k,t-1})(\ln K_t - \ln K_{t-1}) + \frac{1}{2}(w_{L,t} + w_{L,t-1})(\ln L_t - \ln L_{t-1}) \quad (2-11)$$

しかし、TFP-2方法の欠点として、TFP指数は規模に関して収穫一定、完全競争、産出物の均質性などの諸仮定が前提とされ、これらの仮定が満たされていれば、TFP指数は技術進歩を示すが、実際にはこうした仮定が成り立たない場合が少なくない。さらに、仮にこれらの条件が満たされていたとしても、様々な摩擦や規制などの制度的要因で企業によっては生産フロンティアからの乖離(技術非効率性)が生じたり、特定の投入要素を過剰に投入することによる資源配分非効率性が生じたりすることがある⁶⁰。

2.3.3.2 相対評価である効率性の測定方法

実際の生産現場では、さまざまな問題や制約により、企業が非効率的な出力量と投入量の組み合わせで生産活動を行うことが少なくない。このような現象を明確に分析するために用いられる手法として、包絡分析法(Data Envelopment Analysis: DEA)と確率的フロンティアモデル(Stochastic Frontier Model: SFM)がある。

DEAは線形計画法を用いて生産フロンティアを測定する手法であり、SFMは生産フロンティアからの偏差を確率変数として捉え、計量経済学手法でその推計を行う。これらは企業や組織の生産性や効率性を測定するために使用される分析方法である(表2.8参照)。

⁵⁹ 松浦・早川・加藤(2016) p.4.

⁶⁰ 松浦・早川・加藤(2016) p.7.

表2.8 DEAとSFMの比較

方法	概要	特徴
DEA	線形計画法で生産フロンティアを計測する方法である	<ul style="list-style-type: none"> 生産関数を特定する必要がない 関数形の特定に伴うバイアスを排除できる 効率指標の分布を特定する必要もない 入・出力データのみで効率性の計測が可能 多入力・多出力システムに対応が可能である 効率値は$0 \leq \theta \leq 1$の範囲で表される 定量的に効率化への改善案の提示が可能である
SFM	各企業の生産フロンティアからの乖離・分布を伴う確率変数とみなし	<ul style="list-style-type: none"> 関数形を工夫することにより(1)方法から(2)の方法までを考慮しつつ、非効率指標の分布を計測できる 推計すべきパラメーターが増加すると推計が困難になる

出所：松浦・早川・加藤（2016）と平井・小池・喜多（2009）を参照して筆者作成。

表2.8でまとめられている通り、DEAによる分析の利点は生産関数の特定が不要であるため、関数形の特定に伴うバイアスを排除できる点にある。入・出力データのみを使用して効率性を測定でき、多入力・多出力システムに対応可能であるため、定量的に効率化の改善案を提示することが可能である。さらに、SFMと異なり、効率指標の分布を特定する必要がなく、推定が容易であるという利点がある。

一方で、SFMは関数形を工夫することで2つのTFPの計測方法、TFP-1の方法およびTFP-2の方法を考慮しつつ、非効率指標の分布を計測できるという利点があるが、推計すべきパラメーターが増加するため、推計が困難になる場合もあるという問題点が指摘されている⁶¹。

特に、効率性の評価には絶対尺度と相対尺度があり、社会科学では相対尺度を用いた比較が必要である⁶²。DEA分析法は相対尺度に基づき⁶³、各事業主体の比率を用いて評価する。DEAによる効率性評価では、複数のInputで、複数のOutputを生産している主体に対し、より少ないInputで、より大きなOutputを達成している主体がより効率的と考えられる。

以上の効率性を評価する方法を比較することに基づき、本研究では、DEAを使用してMFCAの適用企業の相対的な効率性を評価する方法を提案する。

⁶¹ 松浦・早川・加藤（2008） p.9.

⁶² 馬奈木（2013） p.19.

⁶³ 馬奈木（2013） p.19.

2.3.3.3 TFP 生産性と DEA 効率値の比較

2.3.3.1と2.3.3.2における検討で、TFP生産性と DEA効率値、それぞれ異なる視点から生産性を測定していることが分かった。さらに、前述を基に TFP生産性と DEA効率値の区別と関係を表2.9にまとめた。

表2.9 TFP生産性と DEA効率値の比較

	TFP	DEA
定義	入力を出力に変換する効率性と効果を測定	企業の相対的な効率を複数の入力と出力を比較して測定
焦点	全ての入力要素を総合的に考慮した生産性の成長	入力から出力への効率的な変換
方法論	パラメトリック、生産関数に基づく	非パラメトリック、効率フロンティアを作成するために線形計画法を使用
入力の考慮	全ての入力要素が総合的に考慮される	複数の入力（労働、資本、材料）と出力が考慮される
効率性・生産性	絶対評価である生産性を測定：全体的な経済成長に焦点	相対的な効率性を測定：より運用面に焦点
典型的な使用	経済成長や技術変化の影響の分析に使用	効率であるフロンティアと改善方向のプロジェクトの使用
改善案	提示できない	提示できる

出所：筆者作成。

この比較から明らかなように、DEA効率値とTFPはそれぞれ異なる視点から生産性を測定している。DEAは相対的な効率性に焦点を当てている一方、TFPは経済成長や技術進歩を考慮した生産性の全体的な測定を行っている。本研究対象のMFCA適用企業の効率値を測定して比較し、改善案を求めるには、DEAがより妥当性であると考えられる。

本章での考察と分析内容に基づき、本研究ではDEAを用いてMFCA適用企業の相対的な効率性を評価する方法を提案する。その理由を以下の4点にまとめている。

- (1) 先行研究から、MFCA適用企業の状況による効果の差異があることが明らかになった。MFCA適用による効果をどのように測定し、企業間でどのように比較するかについては、MFCA適用企業の生産性測定が必要である(2.2.1参照)。
- (2) これまでのMFCAの先行研究と適用事例から、企業はMFCAの結果を「正の製品」コスト比率(正の製品MCの割合)や「負の製品」コスト比率(ロスの割合)で比較し、改善余地の大きな製品や機種、ライン、工場などを特定する。しかし多数の入出力項目から総合的な効率性を評価し、明確な改善方向や解決案を提示することが困難である(2.2.1参照)。

- (3) 既存の経営効率性指標を考察した結果、貨幣金額の使用により非財務情報を考慮せず、環境配慮への経営情報提供が不足していることがわかった。多数の入出力項目から総合的な効率性を評価し、資源最小限の投資で最大の成果を生み出すには、明確な改善方向や解決案を提示することも困難である (2.3.1 参照)。
- (4) TFP という既存の生産性指標を考察した上で、実際の生産現場では問題や制約により、企業が非効率的な出力量と投入量の組み合わせが多く、生産性の計りが難しいこと、経済の面のみを考慮して環境配慮への経営情報提供が不足していることが明らかになった (2.3.3 参照)。

これらの理由から、本研究では DEA を用いて MFCA 適用企業の効率性を評価することとする。第 3 章では DEA に関する解釈を通じて MFCA と DEA の統合性を再考察する。

さらに、DEA 効率値の格差を分析・検証する際には、TFP に含まれる資本生産性、労働生産性、材料生産性のような経済的な指標ではなく、環境的な側面も配慮できる新たなエコ生産性指標を提案して使用すると考えられる。これにより、企業の環境経営における意思決定支援のための新たな指標と評価プロセス・手順を構築することを目指す。

2.4 まとめ

本章の終わりに、章全体を振り返り、まとめを行う。

2.1 節では、MFCA の機能、発展経緯、計算原理、理論ベースへのアプローチをして MFCA の理論部分を明らかにした。

2.2 節では、既存研究のレビューを基に、MFCA の適用課題と限界について議論し、改善案を検討した。

2.3 節では、まずは企業経営における生産性評価に焦点を当て、既存の経営効率性指標を考察した。次に、MFCA 適用企業の生産性に対する判断を述べ、効率性の測定方法について考察した。最後に TFP 生産性と DEA 効率値の比較を行い、DEA を用いる理由を論じた。

本章では、MFCA の理論と実践への深い理解するため、MFCA の原則、発展経緯、計算原理、機能、理論的基盤を明らかにし、適用課題および改善案を検討した。さらに、生産性の測る方法を議論したうえで、DEA を用いて MFCA 適用企業の効率性を評価する方法を提案した。

第3章 DEAによるMFCA事例分析の構築

3.1 DEAの概要

本章では、MFCAを適用した企業の効果や効率を比較するため、多入力多出力のシステムの相対評価である効率性を分析するための包絡分析法（Data Envelopment Analysis : DEA）を中心の分析手法とする。

多入力多出力系のシステムの効率性を相対的に評価するための手法であるDEA⁶⁴は、入力と出力のデータを基に、各事業体の効率スコアを計算し、それに基づいて各事業体の相対評価である効率を比較する。

この分析では、各DMUが生産する出力量に対して消費する入力量の比率を、他のDMUと比較して評価する。効率的なDMUは、与えられた入力に対して最大限の出力を生み出していると見なされる。一方、非効率的なDMUは、同じ入力でより多くの出力を生産することが可能であることを示している。

Charnesらにより1978年に導入されたこの分析法は、初めは学校や図書館、公立病院の効率的な運用のためのツールとして開発され、効率性の評価において広く使用されて、後に盈利を追求する企業のパフォーマンス評価にも取り入れられるようになった。

3.1.1 DEAの特性と実用性

DEAは生産やサービスの効率性を評価するためのツールとして多くの分野で採用されている。さらに、DEAの特性が多岐にわたる実用的なアプリケーションを可能にしている。DEAの基本的特性、DEAの実用性の強みを整理した（表3.1参照）。

そして、表3.1は、以下の主要な3点にまとめられる。

- (1) DEAには非パラメトリック性や多次元評価といった基本的な特性があり、これらの特性はDEAの強力な実用性を形成している。
- (2) DEAの主な実用性の強みとして客観的な評価や柔軟性、ベンチマーキングのサポート、資源配分の最適化の改善案などが挙げられる。
- (3) これらの特性と実用性により、DEAは効率評価のための強力なツールとして広く認識されている。

⁶⁴ 刀根（1996）p.1.

表 3.1 DEA の特性と実用性の強み

DEA の基本特性	非パラメトリック性	DEA は非パラメトリック手法であり、伝統的な回帰分析のように特定の関数形を仮定しない。これにより、事前の仮定が少なく、データ自体が効率のフロンティアを形成する
	多次元評価	DEA は複数の入力と出力を同時に考慮する。異なる資源（人的、物的など）と成果（製品、サービスなど）を一度に評価する
	スケールの柔軟性	従来手法とは異なり、DEA はスケールの影響を明示的に考慮し、異なる規模の DMU 間での比較が可能になる
	効率フロンティアの形成	DEA はデータに基づいて効率のフロンティアを形成する。このフロンティアは、最も効率的な DMU によって形成され、他の DMU はこのフロンティアとの関係で評価される
DEA 実用性の強み	客観的な評価	DEA は数学的なモデルに基づいているため、結果は客観的である。主観的な重み付けや仮定が必要ないため、異なるステークホルダー間での共通の評価基準として採用されることが多い
	柔軟性	DEA は、異なるセクターや業種、さまざまな状況での適用が可能である。公共部門から民間企業まで、多岐にわたる組織での効率評価ツールとしての適応性が高い
	ベンチマーキングのサポート	DEA は効率的な DMU を特定することで、他の DMU のベンチマークとしての役割を果たす。これにより、最適なプラクティスの識別や改善エリアの特定が可能となる
	資源配分の改善案	DEA の結果を使用して、資源の再配分や再構築の改善案が利用できる。これにより、組織全体の効率性を向上させるための意思決定をサポートすることが可能である

出所：参考文献⁶⁵をレビューに基づき筆者作成。

3.1.2 DEA の基本的なモデル

事業活動の本質は、資源の投入とその結果としての産出の間の変換プロセスとして捉えられる。この変換の効率性は、以下の式で表記するのが一般的である。

$$\frac{\text{産出}}{\text{投入}}$$

このような指標を比率尺度と呼ばれている。この指標は技術的な評価や工学の領域でしばしば使用され、熱効率や燃費などの例もある。複数の事業体が同じような資源の投入と

⁶⁵ Seiford, LM (1996) pp. 99-137.

産出の項目を持つ場合、比率尺度を利用して相対評価である効率性を評価することは、経営の場面でも利用できる。

包絡分析法の英語標記“Data Envelopment Analysis”の“Envelopment”は包囲を意味し、その包囲のフロンティアラインは最高のパフォーマンスを持つ事業体を示す。このフロンティアラインを基準にして他の部門のパフォーマンスを評価するのが、DEAの基本的なコンセプトである。この分析手法は特定の「入力」と「出力」の比較を通じて資源の使用効率を測定することを目的としている。

初歩的な事例として、1入力1出力のシナリオを考察する。例えば、学校の文脈において、投入される費用（入力）とそこから生じる卒業生の数（出力）を比較することが考えられる。この場合、少ない費用で多くの学生を卒業させる学校は「効率的」と評価される。

しかし、実際の組織や事業体では、通常複数の入力（例：資金、労働、設備、材料など）と複数の出力（例えば製品の量と価値、サービスの質、顧客満足度など）が存在する。DEAは、これらの多様な入力と出力を総合的に考慮し、組織やプロジェクトの効率を評価する。

この分析において重要な概念がDMU（Decision Making Unit：意思決定主体）である。DMUは、効率性の評価対象となる組織やプロジェクトを指す。例としては企業や病院、学校などが挙げられる。DEAによる分析では、これらのDMUがどの程度効率的に運営されているかを評価する。簡単に言うと、DMUは効率性や生産性の分析において、比較や評価の基本単位となる対象である。

DEAの主要な特徴は、各DMUの相対評価である効率性を評価するだけでなく、非効率的な部門の効率化の方向性（改善案）を示すことである。

まず、各DMUのデータが以下のように与えられたとする：

$$x_{ij} = \text{DMU}_j \text{の } i \text{ 番目の入力値}$$

$$y_{rj} = \text{DMU}_j \text{の } r \text{ 番目の出力値}$$

ここで、 $i=1, 2, \dots, m; r=1, 2, \dots, s; j=1, 2, \dots, n$ とする。

また、すべての入力と出力が正の値であるとする。

DEAの主要なモデルとしては、次のような双対線形計画モデルが使用される。

主問題：

$$\min h_0 = \theta_0 - \varepsilon \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \quad (3-1)$$

制約：

$$\begin{aligned}
 \mathbf{0} &= \theta_0 \mathbf{x}_{i0} - \sum_{j=1}^n \mathbf{x}_{ij} \lambda_j - \mathbf{s}_i^- \\
 i &= 1, \dots, m \\
 \mathbf{y}_{r0} &= \sum_{j=1}^n \mathbf{y}_{ij} \lambda_j - \mathbf{s}_r^+ \\
 r &= 1, \dots, s \\
 \mathbf{0} &\leq \lambda_j, \mathbf{s}_r^+, \mathbf{s}_i^-, j = 1, \dots, n
 \end{aligned} \tag{3-2}$$

相対問題：

$$\max \mathbf{y}_0 = \sum_{r=1}^s \mu_r \mathbf{y}_{r0} \tag{3-3}$$

制約：

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^m v_i \mathbf{x}_{i0} &= 1 \\
 \sum_{r=1}^s \mu_r \mathbf{y}_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i \mathbf{x}_{ij} &\leq 0, j = 1, \dots, n \\
 -\mu_r, -v_i &\leq -\varepsilon, \\
 r &= 1, \dots, s \\
 i &= 1, \dots, m
 \end{aligned} \tag{3-4}$$

最後に、DMU が効率的であるか非効率的であるかについて定義⁶⁶を行う。

DEA 効率値 = 1 ならば、DMU は効率的であるという、

DEA 効率値 < 1 ならば、DMU は効率的であるという。

3.1.2.1 CCR モデル

CCR モデルは、DEA の基本的なモデルの一つである。このモデルは Charnes, Cooper, および Rhodes によって 1978 年に初めて提唱されたことから、彼らの頭文字を取って CCR モデルと呼ばれる。CCR モデルは、規模の収穫一定の仮定のもとで、効率的な単位 DMU を識別する。CCR モデルの特徴は以下の 3 つにまとめられる：

- (1) 規模の収穫一定仮定：CCR モデルは規模の収穫一定 (CRS: Constant Returns to Scale) の仮定の下で、効率値を計算する。これは入力が増加が出力の増加に比

⁶⁶ 刀根・筒井・丸山・濱口・福山・橋本・岩本・大里(2022) p.19.

例するという仮定である。

- (2) 効率評価：CCR モデルは DMU の効率を計算するための手法であり，効率的な DMU は効率値が 1 となり，それ以外の DMU は 0 と 1 の間の値を取る。
- (3) 複数の入力と出力：CCR モデルは複数の入力変数と複数の出力変数を持つ DMU の効率を評価することができる。

CCR モデルは入力指向の CCR モデル (CCR-I) と出力指向の CCR モデル (CCR-O) に分けられる。

まずは CCR-I モデルについて述べる。この目的関数は以下のように表現される。

目的関数：
$$\max \theta \tag{3-5}$$

以下の制約条件の下で，上述の目的関数を最適化する。

制約条件：

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} &\geq y_{ro} \\ \theta x_{io} &\geq \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \\ \lambda_j &\geq 0, \forall j \end{aligned} \tag{3-6}$$

θ は目的の DMU の効率スコア

y_{rj} は j 番目の DMU の r 番目の出力

x_{ij} は j 番目の DMU の i 番目の入力

λ_j は j 番目の DMU の重み

次に CCR-O モデルについて述べる。この目的関数は以下のように表現される。

目的関数：
$$\min \phi \tag{3-7}$$

以下の制約条件の下で，上述の目的関数を最適化する。

制約条件：

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} &\geq \phi y_{ro} \\ x_{io} &\geq \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \\ \lambda_j &\geq 0, \forall j \end{aligned} \tag{3-8}$$

θ は目的の DMU の効率スコア

y_{rj} は j 番目の DMU の r 番目の出力

x_{ij} は j 番目の DMU の i 番目の入力

λ_j は j 番目の DMU の重み

CCR モデルでは、対象となる DMU の効率を他のすべての DMU との比較に基づいて計算する。具体的には与えられた入力で最大の出力を生成する DMU、または与えられた出力で最小の入力を使用する DMU を基準として、その DMU の相対評価である効率性を評価する。

CCR モデルの計算結果として、各非効率的 DMU には参照対象が与えられる。これはその DMU が効率的になるためのベンチマークとしての役割を果たす DMU の集合である。非効率的な DMU は、この参照対象の DMU を参考に、入力の削減や出力の増加の指向性を導き出すことができる。

3.1.2.2 BCC モデル

BCC モデルは、Banker, Charnes, and Cooper (1984) によって提案され、規模収穫の変動 (VRS: Variable Returns to Scale) を仮定することに顕著な特徴がある⁶⁷。

このモデルは、CCR モデルを拡張したもので、制約条件を追加することにより、規模収穫の変動を考慮することができる。DMU が最適な規模で運用されていない場合の規模の効果を分離できるという利点がある。これは、全ての生産規模において一定の収益性を仮定しないという点で CCR モデルと異なる。

BCC モデルの特徴は以下の 2 つにまとめられる。

- (1) 効率の計測は、入力を最小化する方向あるいは出力を最大化する方向で行われる。
- (2) このモデルもスケールの影響を排除し、純粋な技術効率を評価する。

BCC モデルは入力指向の BCC モデル (BCC-I) と出力指向の BCC モデル (BCC-O) に分けられる。

まずは BCC-I モデルについて述べる。この目的関数は以下のように表現される。

目的関数：

$$\min \theta \tag{3-9}$$

以下の制約条件の下で、上述の目的関数を最適化する。

⁶⁷ Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W (1984) pp.1078-1092.

制約条件：

$$\begin{aligned}
 \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} &\leq \theta x_{i0} \text{ for all } i \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} &= y_{r0} \text{ for all } r \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \text{ (VRS 条件)} \\
 \lambda_j &\geq 0 \text{ for all } j
 \end{aligned}
 \tag{3-10}$$

θ は入力の縮小率

x_{ij} は j 番目の DMU の i 番目の入力

y_{rj} は j 番目の DMU の r 番目の出力

x_{i0} および y_{r0} は評価対象の DMU の入力と出力のそれぞれ

λ_j は j 番目の DMU に関連する重み

入力指向の BCC モデルは、一定の出力を維持しながら、どれだけ入力を削減できるかを評価するための有効な方法を提供する。このモデルはリソースの効率的な使用や組織の運営効率の向上を目指す際の意思決定の参考として使用される。

次に BCC-O モデルについて述べる。この目的関数は以下のように表現される。

目的関数：

$$\max \rho
 \tag{3-11}$$

以下の制約条件の下で、上述の目的関数を最適化する：

制約条件：

$$\begin{aligned}
 \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} &= x_{i0} \text{ for all } i \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} &\geq \rho y_{r0} \text{ for all } r \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \text{ (VRS 条件)} \\
 \lambda_j &\geq 0 \text{ for all } j
 \end{aligned}
 \tag{3-12}$$

ρ は出力の拡大率

x_{ij} は j 番目の DMU の i 番目の入力

y_{rj} は j 番目の DMU の r 番目の出力

x_{i0} および y_{r0} は評価対象の DMU の入力と出力のそれぞれ

λ_j は j 番目の DMU に関連する重み

出力指向の BCC モデルは固定された資源の下で、出力の最大化の可能性を評価するための強力な手法を提供する。このモデルは生産性の向上や組織の性能の最大化を目指す際の基準として広く活用されている。

BCC モデルは変動従属スケールの下での効率評価を可能にするモデルである。入力指向では入力の削減を、出力指向では出力の増加を目指して効率を評価する。どちらの方向にも共通し、スケールの影響を排除して技術効率だけを評価するという特性がある。

3.1.2.3 SBM モデル

SBM (Slack-Based Measure) モデルは、DEA のノンパラメトリックなフレームワークの中で、生産やサービスの効率性を評価するためのツールとして提案されたものであり、スラック (Slack) を直接考慮することにより、効率スコアを計算する⁶⁸。

SBM モデルの特徴は以下の 3 つにまとめられる。

- (1) 入力および出力の過剰およびスラックをモデリングに直接取り入れる。
- (2) CCR や BCC モデルとは異なり、スラック情報を無視せずに効率評価が行える。
- (3) 非効率的な単位の具体的な改善領域を明確に指摘することが可能である。

そして、本章では、SBM モデルを、1) 入力指向の SBM モデル (SBM-I)、2) 出力指向の規模収穫一定の SBM モデル (SBM-O-C)、3) 出力指向の規模収穫変動の SBM モデル (SBM-O-V)、4) 無指向の規模収穫一定の SBM モデル (SBM-C)、5) 無指向の規模収穫変動の SBM モデル (SBM-V) に分けて検討する。

まず、1) SBM-I (入力指向の SBM モデル) について述べる。SBM-I モデルとは、DMU の効率性を入力の削減の観点から評価するモデルである。つまり、どれだけ入力を削減できるか、または最小化できるかを目的としている。具体的には、与えられた出力量を維持しながら入力を最小限に抑えることを目指す。

この目的関数は以下のように表現される。

⁶⁸ Tone, K (2001), pp. 498-509.

目的関数：

$$\min \rho = 1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{i0}} \quad (3-13)$$

入力制約条件：

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{i0} \text{ for all } i \quad (3-14)$$

出力制約条件：

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{r0} \text{ for all } r \quad (3-15)$$

$$\lambda_j \geq 0 \text{ for all } j$$

$$s_i^- \geq 0 \text{ for all } i$$

$$s_r^+ \geq 0 \text{ for all } r$$

ここで、 λ は重みベクトル、つまり各 DMU の相対的な重要性や影響を示す。 x_{i0} 、 y_{r0} は評価する DMU の入力および出力である。 s_i^- は入力のスラック（不足）であり、この値は DMU が効率的に動作するために必要な追加の出力を示すが、通常出力指向のモデルではこの値は 0 とされる。 s_r^+ は入力のスラック過剰であり、これは DMU が最も効率的である場合に理論的に拡大可能な出力の量を示す。

次に、2) SBM-O-C（出力指向の規模の収穫一定の SBM モデル）について述べる。 SBM-O-C モデルは DEA の一つの形態で、特に企業やプロセスの効率性を評価するために使われる分析ツールである。「SBM」は「Slacks-Based Measure」、つまり「スラックベース測定法」を意味し、「O-C」は「Orientation-Constant」という意味である。出力指向の SBM モデルである SBM-O-C (Slacks-Based Measure Output-Oriented with Constant Returns to Scale) は、DMU の効率性を出力の増加の観点から評価するモデルである。

以下にこのモデルについて主な特徴を説明する。

- (1) スラックベースで測定 (SBM) すること。非効率性の程度を具体的に測定するためにスラック（余剰または不足している資源）を考慮する。これにより組織やプロセスがどれだけ非効率であるか、そしてその非効率性をどのように改善できるかについて、より具体的な情報を提供する。

- (2) 指向性 (Orientation) がある. SBM-O-C モデルは出力指向で, 特定の入力で出力を最大化することに焦点を当てる.
- (3) 規模の収穫一定 (CRS) の仮定は規模の変化が効率性に影響を与えないというものである. 生産規模が拡大または縮小しても, 効率性が変わらないと考えられる. これによりさまざまなサイズ DMU を一定の基準で比較することができる.
- (4) 効率スコアの提供できる. SBM-O-C モデルは非効率性の程度を示す効率スコアを提供し, これにより組織は自身のパフォーマンスを他の DMU と比較し, 改善点を特定できる.

この目的関数は以下のように表現される :

目的関数 :

$$\max \rho = 1 + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \frac{s_r^+}{y_{r0}} \quad (3-16)$$

ここで, ρ は効率性スコア, s_r^+ は出力 r のスラック (不足量), y_{r0} は DMU の出力 r の量である.

入力制約条件 :

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} = x_{i0} \quad \text{for all } i \quad (3-17)$$

出力制約条件 :

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{r0} \quad \text{for all } r \quad (3-18)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad \text{for all } j$$

$$s_i^- \geq 0 \quad \text{for all } i$$

$$s_r^+ \geq 0 \quad \text{for all } r$$

このモデルは, 特に一定規模収穫の状況下での効率性を測定するために設計されている. つまり, 入力量が増加しても出力量は比例して増加するという仮定がなされている. SBM-O-C モデルの目的は与えられた入力量を維持しながら, 出力をどれだけ増加させることができるかを測定することである.

そして、3) SBM-O-V (出力指向の変動収穫規模の SBM モデル) について述べる。SBM-O-VモデルはDEAの一形態であり、企業や組織の効率性を評価するために用いられる分析手法である。「SBM」は「Slacks-Based Measure」(スラックベース測定法)を意味し、「O-V」は「Orientation-Variable」(指向性-変数)を示している。

以下に、このモデルについて、主な特徴を説明する。

- (1) スラックベース測定 (SBM) する。非効率性の程度を具体的に測定するためにスラック (余剰または不足している資源) を考慮する。これにより組織やプロセスがどれだけ非効率的であるか、そしてその非効率性をどのように改善できるかについて、より具体的な情報を提供する。
- (2) 指向性 (Orientation) がある。SBM-O-Vモデルでは出力指向で特定の入力での出力を最大化することに焦点を当てる。
- (3) 規模の収穫変動の仮定は生産規模の変化が効率性に影響を与えることを認識している。これにより、小規模な DMU と大規模な DMU をより公平に比較することが可能になり、効率性の評価がより現実的になる。
- (4) SBM-O-V モデルは非効率性の程度を示す効率スコアを提供し、これにより企業は自身のパフォーマンスを他の DMU と比較し、改善点を特定できる。

このモデルは、入力量に対する出力量の変化が一定でない、つまり入力量が増えると出力量が非比例的に変化するという規模収穫の可変状況下での効率性を測定するために設計されている。

この目的関数は以下のように表現される。

目的関数：

$$\max \rho = 1 + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \frac{s_r^+}{y_{r0}} \quad (3-19)$$

ここで、 ρ は効率性スコア、 s_r^+ は出力 r のスラック (不足量)、 y_{r0} は DMU の出力 r の量である。

入力制約条件：

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{i0} \quad \text{for all } i \quad (3-20)$$

出力制約条件：

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{r0} \quad \text{for all } r \quad (3-21)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (\text{VRS 条件})$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad \text{for all } j$$

$$s_i^- \geq 0 \quad \text{for all } i$$

$$s_r^+ \geq 0 \quad \text{for all } r$$

さらに、4) SBM-C (無指向の規模の収穫一定の SBM モデル) について述べる。SBM-C モデル (Slack-Based Measure under Constant returns to scale) は、効率性評価の手法として Data Envelopment Analysis (DEA) の枠組み内で展開される。このモデルは、スラック (余剰) 変数を直接的に取り入れるることによって、伝統的な DEA モデルが抱える一部の限界を克服する。

このモデルは、無指向で規模の収穫一定を仮定する DEA の一つのモデルであり、DMU の効率性を入力と出力の両方から同時に評価する。規模の収穫一定 (CRS) の仮定の下では、生産規模が効率性に影響を与えないため、DMU の性能はこの状況下で分析される。

具体的には、SBM-C モデルは入出力間の比率ではなく、スラック変数を用いて効率性を測定することにより、より包括的かつ詳細な効率性の分析を可能にする。一定収穫規模の下で運用される SBM-C モデルは、投入量の変化が出力量に比例する状況を前提とする。これにより、企業や組織の規模が効率性評価に影響を与えることなく、純粋に運用の効率性を評価することが可能となる。

本研究において、SBM-C モデルを採用する主要な目的は、従来の DEA モデルでは見落とされがちなスラック変数を明示的に扱うことにより、より精確で全面的な効率性評価を実施することにある。

このアプローチにより、特に MFCA を適用している企業において、投入資源の利用最適化の度合いをより正確に把握し、効率性向上のための具体的な指針を得ることができると考えられる。

SBM-C モデルの目的関数は、入力スラックの合計と出力スラックの合計を出力と入力の合計で割った値を最大化することにある。この目的関数は以下のように表現される。

目的関数：

$$\rho_{10}^* = \min_{\lambda, s^-, s^+} \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{i0}}}{1 + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \frac{s_r^+}{y_{r0}}} \quad (3-22)$$

ここで、 s_r^+ は出力のスラック過剰、 s_i^- は入力のスラック不足を示し、 y_{r0} と x_{i0} は評価する DMU の出力と入力である。

入力制約条件：

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} - s_i^- = x_{i0} \text{ for all } i \quad (3-23)$$

出力制約条件：

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} + s_r^+ = y_{r0} \text{ for all } r \quad (3-24)$$

$$\begin{aligned} \lambda_j &\geq 0 && \text{for all } j \\ s_i^- &\geq 0 && \text{for all } i \\ s_r^+ &\geq 0 && \text{for all } r \end{aligned}$$

SBM-C モデルは、DMU の生産規模に関係なく、その効率性を評価するために用いられる。

最後に、5) SBM-V (無指向の規模の収穫変動 SBM モデル) について述べる。

SBM-V モデルは、無指向で変動収穫規模を仮定する DEA の一つのモデルである。このモデルは、DMU の効率性を入力と出力の両方の観点から同時に評価し、生産規模の変動が効率性に与える影響を考慮する。SBM-V モデルの目的関数は、入力スラックと出力スラックの合計を出力と入力の合計で割った値を最大化することにある。

この目的関数は以下のように表現される。

目的関数：

$$\rho_{10}^* = \min_{\lambda, s^-, s^+} \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{i0}}}{1 + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \frac{s_r^+}{y_{r0}}} \quad (3-25)$$

ここでも、 y_{r0} と x_{i0} は評価する DMU の出力と入力である。

入力制約条件：

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} - s_i^- = x_{i0} \quad \text{for all } i \quad (3-26)$$

出力制約条件：

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} + s_r^+ = y_{r0} \quad \text{for all } r \quad (3-27)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (\text{VRS 条件})$$

$$\begin{aligned} \lambda_j &\geq 0 \quad \text{for all } j \\ s_i^- &\geq 0 \quad \text{for all } i \\ s_r^+ &\geq 0 \quad \text{for all } r \end{aligned}$$

ここでは、VRS 条件は、全ての λ_j の合計が 1 であることを要求する。SBM-V モデルは、生産規模の変動が効率性に与える影響を考慮しながら、DMU の効率性を評価するために用いられる。

そして、SBM-C と SBM-V モデルは、収穫規模の仮定に基づいて異なる制約条件を持つ。SBM-C と SBM-V の制約条件の異なるところは、式 (3-28) の有無のことである。

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (\text{VRS 条件}) \quad (3-28)$$

以上の SBM 各モデルの解釈から SBM モデルは、過剰と不足を直接取り入れることにより、総合的で詳細な効率の評価を提供することがわかった。これにより、非効率 DMU の具体的な改善案を特定する上で有用な手段を持つことになる。SBM モデルは、スラックを中心に置くことで、より包括的で直感的な効率の評価が提供できる。

3.1.2.4 各モデルの比較と制約および限界

CCR, BCC および SBM モデルは多くの適用分野で利用されているが、それぞれに独自の制約と限界が存在する。CCR モデルは DEA の基本的なモデルとして広く知られている。規模の収穫一定の仮定の下で、DMU の相対的な効率を測定することができる。このモデルは、すべての DMU が同じ規模の効果（収益）で運営されるべきであるというシナリオを反映している。しかし、CCR モデルは規模収穫の一定を前提としており、実際の

データセットにおいて規模収穫変数を示す場合には適切ではない⁶⁹.

BCCモデルは、変動収穫規模の仮定を導入することで、DMUの規模の効果を考慮することができる。実際の運営環境では、すべてのDMUが最適な規模で運営されているわけではないため、BCCモデルは現実の状況をより反映することもできる。しかし、BCCモデルは変数収穫規模を前提としているため、より柔軟な評価が可能だが、一部のシチュエーションでは制約が生じることが知られている⁷⁰。

最後に、SBMモデルは入力と出力のスラックを明示的に考慮することで、非効率的なDMUがどのように改善すれば効率的になるのかを具体的に示すことができる。これによりDMUの運営の改善点や方向性を具体的に把握することもできる。しかし、SBMモデルは、過剰な入力や不足な出力を考慮したモデルであるため、実際の業界状況を忠実に反映していることが期待されるが、その計算複雑性が高いという課題が指摘されている⁷¹。

CCR、BCCおよびSBMモデルの比較、制約と限界に関する詳細を表3.2に示す。

表3.2は、各モデルの主要な特徴、制約、および限界を一覧で示している。これらのモデルはDMUの相対的な効率を評価する際の強力なツールとして知られているが、それぞれのモデルには特有の制約や限界が存在する。したがって、本研究では、DEAによりMFCA適用企業の効率値の評価の際に、以上の3つモデル（6種類）をすべて採用し、総合的に評価することとする。

表 3.2 CCR と BCC と SBM モデルの比較と制約および限界

カテゴリー	CCR モデル	BCC モデル	SBM モデル
基本考え方	入力と出力の比率を最大化	入力と出力の比率を最大化、規模に応じて	入力の過剰と出力の不足を直接考慮
基本仮定	規模収穫の一定	規模収穫の可変	関連しない
適用強み	単純さと広範な応用	実際の収穫規模の変動を捉える	過剰な入力や不足な出力を考慮
制約	スケールの効果を考慮しない	一部のシチュエーションで制約が生じる	計算が複雑で専門的知識が必要
限界	異なるサイズの DMU 間での比較が適切でない可能性がある	具体的な規模収穫性の形状（増加、減少、一定）に関する情報を提供しない	非ラジアルな効率評価を行うが、特定の方向性（入力指向または出力指向）を持つ

出所：Charnes et al (1978)と Banker et al (1984)と Tone (2001)を参照して筆者作成。

⁶⁹ Cook, W. D., Tone, K., Zhu, J (2014) pp.1-4.
⁷⁰ Cooper, W. W., Seiford, L. M., Zhu, J (2011).
⁷¹ Färe, R. Grosskopf, S (2010).

3.1.3 DEA と MFCA の統合

本研究の 2.2 節の MFCA の適用課題と限界及び解決提案から、先行研究に指摘された MFCA の適用の問題点と限界があることがわかった。すなわち、MFCA を導入するには、ほかの評価手法と統合・補助することが必要である。

したがって、MFCA 適用企業の効率性の測定の際、ほかのツールあるいは手法と合併して利用することが必要不可欠である。そして、DEA と MFCA は、それぞれ異なる分野からの効率性とコスト分析の手法である。これらの統合は、環境効率性やコスト効率性を同時に評価し、より包括的な意思決定をサポートすることができると考えられる。

DEA は、複数の入力と出力を持つ組織やユニットの相対的な効率性を評価するための非パラメトリック手法である。そして主要なモデルには CCR, BCC, SBM があり、それぞれ異なる仮定や特性を持つ。これらの数学的モデルに基づき、効率的なフロンティアを形成することで、対象となる DMU の効率性を評価する。

一方、MFCA は、生産プロセス中の材料の流れとそれに関連するコストを追跡・計算するための環境管理会計ツールであり、環境パフォーマンスと経済パフォーマンスの双方を統合的に評価することを目的としている。MFCA 適用したことで、材料の損失や廃棄物のコストなど、環境に関連するコストを特定し、それに基づいて改善策を検討することができると考えられる。

DEA と MFCA を統合する研究は、効率性と持続可能性を組み合わせる試みであると考えられる。これら二つを統合することで、組織の環境的な側面と経済的な側面を同時に考慮しながら、全体的な効率性を評価することが可能となる。

これら二つの方法論の統合の可能性と意義は以下の 3 点にまとめられる (表 3.3 参照)。

表 3.3 DEA と MFCA の統合の可能性・意義

カテゴリー	可能性・意義
環境と経済効率性	DEA による効率評価と MFCA によるコスト評価を統合することで、企業の環境効率性と経済効率性の両方を同時に評価することができる
具体的な改善案	MFCA の結果から特定されるコスト (負の製品コスト) の損失部分と、DEA による非効率性を組み合わせることで、具体的な改善策の提案が可能となる
経営意思決定の情報	両手法の結果を基に、リソース配分や投資判断などの経営意思決定をより多くの情報に基づいて行うことができる

出所：筆者作成。

表 3.3 で示すように、DEA と MFCA の統合は企業が環境面と経済面のバランスを取りながら効率的な運営を目指すため、重要なツールとなり得る。すなわち、「環境経営効率」を測定する手法である。環境保全とコスト削減の両方を達成するための具体的な改善策の特定は持続可能な経営の推進に貢献すると考えられる。

さらに、具体的な応用については、持続可能な効率評価の面から見ると DEA のフレームワーク内で、MFCA から得られるデータ（材料の使用、関連するコスト、無駄など）を入力または出力として取り込むことで、持続可能な効率の評価が行える。そして、環境負荷の最小化の面から見ると、DEA を使用して最適な DMU を確定した後、MFCA の情報を用いて、材料使用の効率性やコスト削減の機会を明確できる。その上、ベンチマーキングと改善のサポートの面から見ると DEA で効率的な DMU を確定した後、MFCA の情報を利用して具体的な改善策やベンチマーキングを行うための指針が提供できる。

DEA モデルと MFCA の適用には、いくつかの面において機能あるいは目的が一致していると考えられる（表 3.3 と表 3.4 を参照）。DEA モデルを用いて MFCA 適用企業の効率値を評価することは、両者を効果的に統合して資源の最適利用、持続可能な経営意思決定への支援戦略の実施において重要であり、このアプローチは企業が環境への影響を減らしながらも、経済的効率性を高めるための有効な手段を提供すると考えられる。

DEA と MFCA を比較すると、効率と生産性に対する注目すること、データに基づく意思決定プロセス、決定単位の比較とベンチマーキング、持続可能性と環境への配慮、改善と最適化への貢献などに共通点があることが明らかになった（表 3.4 参照）。これらを活用することにより企業は効率性と環境への配慮を両立させた運営を実現することが可能だと考えられる。

表 3.4 DEA と MFCA の統合的アプローチ

一致項目	DEA	MFCA
効率と生産性に対する注目	DEA は生産プロセスの効率性を測定し、入力（原材料、労働、資本）と出力（製品）の間の関係を分析する	MFCA は生産プロセスにおける材料の流れとコストを重視する。これにより、材料の効率的な利用と廃棄物の削減が強調される
データに基づく意思決定プロセス	DEA も詳細なデータに基づいて分析を行うが、多くの変数を考慮する	MFCA も詳細なデータに基づいて分析を行うが、マテリアルフローコストに関する詳細な情報を提供する

決定単位の比較とベンチマーキング	DEA は複数の決定単位のパフォーマンスを相対的に評価し、効率的な単位とそうでない単位を区別する	MFCA はマテリアルフローコストの効率を特定し、生産プロセスの改善案を明確にすることでベンチマーキングを促進する
持続可能性と環境への配慮	DEA は環境効率やエコ効率の評価にも応用可能で環境への影響を考慮した効率分析が行える	MFCA は環境責任を強調し、材料の無駄遣いを減らし、環境への影響を軽減することを目指す
改善と最適化への貢献	DEA は効率性の向上への貢献を行う	MFCA はマテリアルフローコストを最適化する方法を提案する

出所：筆者作成。

3.2 入力項目と出力項目の構造

第 2 章において MFCA に関する研究には DEA を用いた研究がないことが明らかにした。本研究では、日本経済産業省により開示される 14 業種の 55 社の MFCA 適用事例を DEA における測定対象の DMU とみなす。効率値を測定するため、経済産業省(2009a)に掲載された入出力項目に関するデータ (図 3.1 参照) 収集できるデータを DMU ごとにまとめた。

3.2.1 入力と出力項目選定と配置の一般的方針

DEA においては、入力と出力の項目を選ぶ際に、一般的に次の方針をとることとされている⁷²。

- (1) 投入項目と産出項目とも数値データで全活動についてその値は正であること。
- (2) 項目の選定はみたいと思う効率性の特徴をよく表しているものを選ぶ。
- (3) ある出力を得るための入力に関して、値の小さいものほど好ましく、ある入力による出力に関しては、大きいものほど好ましい。
- (4) 投入項目、産出項目の数値の単位は任意である

ただし、MFCA 研究においては、DEA を利用する研究はこれまでなされていない。そこで、DEA の効率値測定における入力項目と出力項目の選び方を確認する必要がある。

⁷² 刀根 (1993) pp.15-16.

3.2.2 入力項目と出力項目の選択

入力と出力の項目を選ぶにあたり、一般的な方針（１）～（４）に沿い、さらに企業のものづくりの流れに準じてMFCAの計算の特徴を配慮する。

本研究で企業効率性を測定する上で、現場で投入される材料、労働、資本を入力項目に、最終出力である「正の製品MC」（製品へのマテリアルコスト、つまりMFCAにおける正の製品になるマテリアルコスト、2.1.3参照）を出力項目に設定する。

相対的な効率性の評価においては、最終出力である「正の製品MC」を最大にする活動を求める出力指向モデルを用いる。その上、投入された、人、資源（材料）、資本を使って投入される資産や費用を最小にする活動を共に求める。

前述のように、絶対値としての計算結果であるTFPは入力資源全体が出力に与える効率性の度合いを示す指標であり、資本や労働、材料などの投入量だけでなく、これらの要素がどのように組み合わせられて効率的な出力をもたらすかを捉える。

一方、相対的に評価するDEAモデルでも、すべての資源の配分と利用の最適化に不可欠な洞察を提供することができる。従業員数と資本金およびマテリアルコスト（MC）⁷³の入力項目は、企業の主要な資源の利用状況を反映している。

これらは、MFCA適用企業の効率性を評価する際の重要な構成要素であり、特にMFCAを適用する企業においては、マテリアルの効率的な使用がコスト削減と環境影響の両方に重要な役割を果たすと考えられる。

図3.1は本研究における入力項目と出力項目を表示するものである。

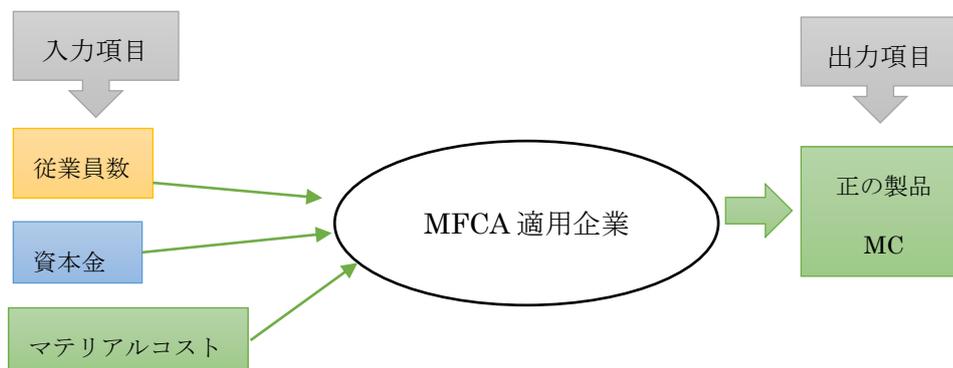


図 3.1 入力項目と出力項目

⁷³ 「マテリアルコスト」の内容については、2.1.3の参照。

DEA は、複数の入力と出力を持つ DMU の相対的な効率性を測定するのに適した手法である。この方法を用いることで、どの企業が資源を最も効率的に利用しているか、または効率性を改善する必要がある部分を明らかにすることができる。DEA を使用するにより、図 3.1 で示された入力項目がどの程度効率的に出力項目に変換されているかを定量的に評価することが可能である。さらに、企業の主要な目的は、投入された資源（人的、財務的、物質的）を利用して価値の高い製品を生産し、市場で販売することである。出力としての製品へのマテリアルコスト（価値）の測定は、企業の全体的な効率性を評価する上で非常に重要である。DEA を用いた MFCA 適用企業の効率性を評価する際、入力と出力の選択は、研究の目的や分析対象と密接に関連している。表 3.5 は選択された各項目の理由とその選択の合理性について詳細にまとめているものである。

表 3.5 入力項目と出力項目の選択の合理性

分類	項目	選択の合理性
入力	資本金	<ul style="list-style-type: none"> ● 資本金は企業の財務的基盤として投資の可能性や企業の規模を示す ● 資本の規模は企業が取り組むことができるプロジェクトの種類と規模に直接影響し、効率性と生産性の評価において不可欠な変数である ● 企業が保有する資本設備や技術的設備の利用効率を示し、これによって生産性の改善が可能かどうかを評価できる
	従業員数	<ul style="list-style-type: none"> ● 人的資源は企業の運営において最も基本的な要素の一つである ● 労働力の規模は生産性や効率性の重要なドライバーとして機能する ● 効率性評価において従業員数を含めることで労働に関連する生産性を測定し、それが総合的な効率性にどのように影響しているかを評価できる ● 労働の量を示し、企業の生産活動における人的資本の利用の効率を測定できる
	マテリアルコスト	<ul style="list-style-type: none"> ● MFCA はマテリアルフローのコスト（MC）に焦点を当てるため、マテリアルコストは直接的な経済的入力として重要である ● マテリアルコストを入力として用いることで資源の消費に対する企業の効率性を直接評価することが可能となる
出力	正の製品 MC	<ul style="list-style-type: none"> ● 製品へのマテリアルコストは、入力資源がどれだけ効率的に製品に変換されているかを直接示す指標である ● 同じ資源を用いてより多くの製品を生産する企業の効率性を評価する ● 生産された製品の量や価値は、企業の生産性を反映する ● MFCA を採用する企業では、資源の効率的な使用と廃棄物の削減を通じて環境への影響を軽減する

出所：筆者作成。

出力項目としての「正の製品 MC」は、入力された資源がどの程度製品としての価値に変換されているかを示す。これは効率的な利用と廃棄物の最小化が企業の生産性に与える影響を明らかにすることで、企業の生産性向上に寄与すると考えられる。

このように、入力項目と出力項目を適切に配置することで、MFCA 適用した企業の生産プロセスの中における資源の使用効率を評価し、改善の余地がある領域を特定することができる。また、効率的に資源を使用する企業は、持続可能な運営と市場競争力の強化に寄与すると考えられる。DEA 入出項目の構造と MFCA の計算原理をマッチすることは、企業の効率性と持続可能性の向上に向けた重要なステップであると言える。

3.3 まとめ

本章では、DEA を用いた MFCA の事例分析の構築について論じていた。

3.1 節では、DEA の概要とその特性、実用性に言及していた。続いて、DEA の基本モデルである CCR モデル、BCC モデル、および SBM モデルについて述べ、それぞれの特徴と利用シーンを比較検討した。これらのモデルを比較することで、それぞれの制約と限界を明らかにし、DEA を分析手法としてどのように活用できるかの範囲を示した。また、DEA と MFCA の統合についても考察した。MFCA を適用した企業の効率性を評価する際、DEA がいかに有効に機能するかを検討した。

3.2 節では、入力項目と出力項目の選定を行い、それらの項目の合理性について述べた。これにより、DEA 分析時に適切な入出力項目を選択し、配置する基準を提供できた。特に、本研究における MFCA 適用事例とデータの特徴が、DEA の特徴と強みに適合することから、DEA と MFCA を統合することが可能であることを明らかになった。

本章では、MFCA 適用企業の効率性とその格差に関する要因を分析するため、MFCA を適用した企業の効率性を評価する際の DEA の適用可能性と有効性に焦点を当て、MFCA の計算原理に適合する DEA の入出項目の構造を定めた。これにより、MFCA の実践における効率性評価の枠組みとして DEA の重要性を確認した。

第4章 MFCA 適用企業の効率性の評価

MFCAの効率化⁷⁴とえば、MFCA適用により、費やした労力や投入した資源に対して、得られた製品と売上との比を表すと考えられる。

本章では、第3章で構築されたDEAを用いたMFCA効率値分析の枠組みを適用し、DEAの基本モデルであるCCR、BCC、SBMモデルを使用して、MFCAを適用した企業の効率値を測定し、生産性分析を行う。

まず、構築されたDEAの枠組みを用いてMFCA適用企業の効率性を分析するための入出力項目を整理し、DEAで測定されたDMUごとの数値データを整理する。次に、DEAの各モデルを使用してMFCA適用企業の効率性を評価し、その結果を比較する。最後にDEAによるMFCA適用効率性の格差の要因についてTobit分析を用いて探求する。

MFCAとTwo-stage analysis（二段階分析）を統合することで、DEAによる効率値分析及びTobitによる要因分析から得られた情報を活用し、企業の経営効率を評価し、非効率性の改善方向を示すことができる。この結果は、経営意思決定への貢献することを検証するものである。

4.1 測定事例と数値データ

4.1.1 測定事例

2006年から2008年の間に、MFCAの計算ツールや導入ガイドが開発され、多くの実証事業での適用が行われると同時に、セミナーや研修会で紹介された。それらの実証事業の成果は、MFCA導入事例集として整理されて公開された。

本研究では、これらの成果をもとに効率値を測定するため、日本経済産業省(2009a)に公開したデータをDEA分析に使用する。日本経済産業省によって開示された14業種の55社の適用事例を測定対象のDMUとして扱う。

表4.1には、DEAの測定対象となる14業種の55社におけるMFCA適用事例リストを掲載しており、この業種分類は上場企業の場合はその証券コードを、未上場企業の場合は証券コード協議会の「業種別分類に関する取扱い要領」にしたがって設定した。

⁷⁴ 「効率化」とは、費やした労力や投入した資源に対して、より能率的に成果を得られたことである。

表 4.1 DEA 測定対象とする 14 業種の 55 社 MFCA 適用事例

業種分類	事例No.	企業名	事業所・工場名	掲載事例の適用対象製品
化学	1-01	日東電工株式会社	豊橋事業所	エレクトロニクス用粘着テープ
	1-02	日本ペイント株式会社	大阪工場	水性塗料
	1-03	積水化学工業株式会社	(34事業所へ展開事例)	樹脂素材、樹脂加工品など
	1-04	ダイソー株式会社	尼崎研究所	ファインケミカル製品
	1-05	新日本理化株式会社	徳島工場	アルコール製品
	1-06	日本フィルム株式会社	本社工場	ロール式ゴミ袋
	1-07	株式会社スミロン	三重工場	工業用粘着テープ
医薬品	2-01	田辺製薬株式会社	小野田工場	医薬品
	2-02	田辺製薬株式会社	グループ全事業所	医薬品
	2-03	塩野義製薬株式会社	金ヶ崎工場	医薬品
電気機器	3-01	キャノン株式会社	宇都宮工場	カメラ用レンズ
	3-02	キャノン化成株式会社	全事業所展開	ゴムローラー(加硫、研削)
	3-03	日立マクセル株式会社	京都事業所	情報メディア
	3-04	松下電器産業株式会社	モータ社家電電装 モータ事業部武生地区	家電用モーター
	3-05	NECトーキン株式会社	白石事業所	セラミック製品
	3-06	ジェイティシイエムケイ株式会社	本社工場	プリント配線板
	3-07	四変テック株式会社	本社工場	標準変圧器
	3-08	四変テック株式会社	高瀬工場	蛍光灯用安定器
	3-09	株式会社ディ・エム・シー	福島工場	デジタルタッチパネル
	3-10	株式会社ハマダテクノス	川越本社工場	汎用ICパッケージ
	3-11	ファインネクス株式会社	上条工場	電子部品
	3-12	シンド静電気株式会社	横浜工場	除電装置
	3-13	株式会社信州光電	本社工場	自動車用コントロール部品
	3-14	株式会社アイベックス	八尾木工場	FA機器に使用する基板部
	3-15	テイ・エス・コーポレーション株式会社	小山工場	板金加工部品
精密機器	4-01	株式会社島津製作所	三条工場	メッキ部品
機械	5-01	NTN株式会社	岡山製作所	金属の機械加工部品
	5-02	サンデン株式会社	赤城事業所	コンプレッサー部品
	5-03	サンワアルテック株式会社	本社工場	コンプレッサー部品
輸送用機器	6-01	株式会社秋葉ダイカスト工業所	高崎工場	自動車用バルブボディ
	6-02	やまと興業株式会社	本社工場	二輪車用の配管部品
	6-03	株式会社リード	本社工場	自動車用樹脂部品
	6-04	株式会社サワイ	本社工場	自動車部品
金属製品	7-01	メークス株式会社	茨城工場	ユニット基礎鉄筋
	7-02	有限会社南進熱練工業	本社工場	金属部品の熱処理
鉄鋼	8-01	JFEグループ企業3社	JFEエンジニアリング・ JFE技研・JFEテクノリサーチ	高効率空調システムの導入工事
	8-02	吉村工業株式会社	川口工場	マンホールの鉄蓋
非鉄金属	9-01	矢崎電線株式会社	沼津製作所	電力用ケーブル
パルプ、紙	10-01	日本トーカーパッケージ株式会社	厚木工場	紙器製品
	10-02	日本トーカーパッケージ株式会社	茨城工場	段ボール製品
	10-03	古林紙工株式会社	戸塚工場	コンシューマーパッケージ 紙製パッケージ
	10-04	合同容器株式会社	本社工場	段ボール
	10-05	清水印刷紙工株式会社	群馬工場	紙器製品
繊維製品	11-01	グンゼ株式会社	宮津工場	男性用衣料品
	11-02	グンゼ株式会社	電子部品事業部亀岡工場	液晶タッチパネル
	11-03	グンゼ株式会社	エンブラ事業部江南工場	OA機器ベルト
	11-04	グンゼ株式会社	メンズ&キッズカンパニー 及びグンゼ	衣料品
食料品	12-01	ハウス食品株式会社	関東工場	シチューミックス製品
	12-02	株式会社果香	山形工場	リングストレート果汁
	12-03	あさ川製菓株式会社	本社工場	菓子製品
ゴム製品	13-01	弘進ゴム株式会社	亘理工場	輸送用フレキシブルコンテナ バッグの原反
その他製品	14-01	ホクシン株式会社	岸和田工場	スターウッド合板材
	14-02	エーワン株式会社	東金工場	事務用シール製品 (OAラベル)
	14-03	株式会社第一印刷	福島工場団地内工	パンフレット類の印刷・製本
	14-04	株式会社光大産業	本社工場	家庭用木工製品

出所：日本経済産業省(2009a)を基に筆者作成。

ただし、DMU ごとの分析データを集めるにあたり、分析のための 4 つの入出力項目を全部揃える 31 社の測定事例を本研究のサンプルとした。本研究では DEA による経営効率値を測定する DMU として表 4.2 で示す 31 社とする。

表 4.2 DEA 分析の 31 社 (DMU_s)

事例 NO.	DMU _s
NO.1-01	日東電工豊橋事業所
NO.1-02	日本ペイント大阪工場
NO.1-04	ダイソー株式会社尼崎研究所
NO.1-05	新日本理化株式会社徳島工場
NO.1-06	日本フィルム株式会社本社工場
NO.1-07	株式会社スミロン三重工場
NO.2-01	田辺製薬株式会社小野田工場
NO.2-03	塩野義製薬株式会社金ヶ崎工場
NO.3-05	NEC トーキョー株式会社白石事業所
NO.3-12	シシド静電気株式会社本社
NO.3-13	株式会社信州光電本社
NO.3-14	株式会社アイバック本社
NO.3-15	ティ・エス・コーポレーション株式会社
NO.5-01	NTN 株式会社岡山製作所
NO.6-01	株式会社秋葉ダイカスト工業所本社
NO.6-02	やまと興業株式会社本社
NO.6-03	株式会社リード本社
NO.6-04	株式会社サワイ本社
NO.7-01	メークス株式会社茨城工場
NO.7-02	有限会社南信熱錬工業本社
NO.8-02	吉村工業株式会社本社
NO.9-01	矢崎電線株式会社沼津製作所
NO.10-03	古林紙工株式会社戸塚工場
NO.11-01	グンゼ株式会社宮津工場
NO.11-02	グンゼ株式会社電子部品事業部亀岡工場
NO.11-03	グンゼ株式会社エンブラ事業部江南工場
NO.12-02	株式会社果香本社
NO.12-03	あさ川製菓株式会社本社工場
NO.14-02	エーワン株式会社本社
NO.14-03	株式会社第一印刷福島工業団地内工場
NO.14-04	光大産業本社

出所：筆者作成。

本章では、日本経済産業省により開示される55社適用事例から31社を測定対象として入出項目のデータがすべて得られるDMUとした。MFCAを適用した企業の経営効率を把握するために、労働・資本・材料のどちらも企業生産活動における投入要素として扱い、その生産活動の結果として、製品になる部分のコストを産出要素として、MFCAの適用企業の効率性を評価する。

4.1.2 効率性の測定データ

本研究では、MFCAを適用した企業の効率性を評価するため、日本経済産業省（2009a）に基づき、各DMUの入出項目データを整理した。さらに、この中には公表用に架空の数値に変更されているものも含まれている。

分析には、上場企業と非上場企業の両方が含まれる。非上場企業に関して詳細な調査を行った結果、すべての企業が本社でMFCAを導入しており、必要な入出項目データが完全に揃っていることが判明した。一方、上場企業の中では、複数の工場を有しているが、すべての工場でMFCAが適用されていないことを日本経済産業省（2009a）から明らかにした。そのため、DEA分析を行うにあたり、MFCAを導入している工場の事例のみを選択し、入出項目データを収集した。

しかし、「入力項目」の「資本金」に関しては、上場企業のデータは確認できたものの、各工場の「資本金」データの入手は困難であった。この問題に対処するため、複数の工場を有する上場企業の有価証券報告書を精査し、各上場会社グループの「資本金」を調査した。さらに、報告書に記載されている各工場の「設備帳簿価額」に基づき、工場ごとに資本金を割り当てた。

このように、DEA分析用のサンプル事例には、様々な業種の会社と工場が含まれているが、DEAの特性と強み（3.1.1参照）により、異なる規模のDMU同士の比較、異なる業種への適用が可能であることが明らかとなった。

MFCAを適用した上場企業の「資本金（百万円）」を、MFCAを適用した工場に分配する際には、資本金と密接に関連する「設備帳簿価額（百万円）」を基準にした。この分配には、企業グループから工場への資本金分配を計算するための式（4-1）を使用した。

$$\text{工場資本金額} = \text{企業グループ資本金額} \times \frac{\text{工場設備帳簿価額}}{\text{工場設備帳簿価額の合計}} \quad (4-1)$$

表 4.3 複数工場を持つ上場企業に関する有価証券報告書のリスト

DMU	有価証券報告書
NO. 1-01 日東電工 (2000)	第 136 期(自 平成 12 年 4 月 1 日 至 平成 13 年 3 月 31 日)
NO. 1-02 日本ペイント (2002)	第 177 期(自 平成 14 年 4 月 1 日 至 平成 15 年 3 月 31 日)
NO. 1-04 ダイソー株式会社 (2005)	第 151 期(自 平成 17 年 4 月 1 日 至 平成 18 年 3 月 31 日)
NO. 1-05 新日本理化株式会社 (2005)	第 134 期(自 平成 17 年 4 月 1 日 至 平成 18 年 3 月 31 日)
NO. 2-01 田辺製薬 (2001)	第 98 期(自 平成 13 年 4 月 1 日 至 平成 14 年 3 月 31 日)
NO. 2-03 塩野義製薬株式会社 (2002)	第 138 期(自 平成 14 年 4 月 1 日 至 平成 15 年 3 月 31 日)
NO. 3-5 NEC トーキン株式会社 (2007)	第 99 期(自 平成 19 年 4 月 1 日 至 平成 20 年 3 月 31 日)
NO. 5-01 NTN 株式会社 (2004)	第 106 期(自 平成 16 年 4 月 1 日 至 平成 17 年 3 月 31 日)
NO. 6-03 株式会社リード (2003)	第 71 期(自 平成 15 年 4 月 1 日 至 平成 16 年 3 月 31 日)
NO. 10-03 古林紙工株式会社 (2003)	第 74 期(自 平成 15 年 4 月 1 日 至 平成 16 年 3 月 31 日)
NO. 11-01/ NO.11-02 /NO.11-03 グンゼ株式会社 (2004)	第 109 期(自 平成 16 年 4 月 1 日 至 平成 17 年 3 月 31 日)

出所：企業情報データベース eol を基に筆者作成。

そして、式 (4-1) で MFCA 適用工場に分配された結果を表 4.4 にまとめている。

表 4.4 MFCA 適用工場に分配された資本金

単位：百万円

上場企業	資本金	工場	設備帳簿価額	工場資本金
日東電工	22,029.00	東北	5,432	1,487.61
		関東	5,578	1,527.59
		豊橋	28,373	7,770.22
		亀山	14,050	3,847.73
		滋賀	3,146	861.56
		尾道	16,928	4,635.90
		九州	2,373	649.87
		東部	1,133	310.28
		中部	24	6.57
		西部	49	13.42
		本社・研究所他	3,353	918.25
		合計	80,439	22,029.00
日本ペイント	27,712.00	大阪工場	1260	1,237.67
		広島工場	1159	1,138.46
		愛知工場	3913	3,843.65
		岡山工場	3714	3,648.18
		千葉工場	2585	2,539.19
		栃木工場	3710	3,644.25
		福岡工場	1301	1,277.94
		本社・大阪事業所	3106	3,050.95
		東京事業所	3995	3,924.20
		寝屋川事業所	3469	3,407.52
				合計
ダイソー株式会社	10,435.00	小倉工場	675	630
		尼崎工場	3,716	3,469.62
		松山工場	3,009	2,809.49
		水島工場	2,887	2,695.58
		静岡工場	889	830.06
		合計	11176	10,435
新日本理化株式会社	5,660.00	京都工場・研究所	1,077	1,091.27
		徳島工場	1,369	1,387.14
		川崎工場	311	315.12
		福井工場用地	427	432.66
		千葉工場	1,831	1,855.26
		堺工場	571	578.56
		合計	5,586	60.00
田辺製薬株式会社	44,261.00	大阪工場	8,974	10,668.48
		小野田工場	9,824	11,678.98
		大阪市淀川研究所	2,014	2,394.29
		埼玉県戸田市研究所	8,477	10,077.64
		本社	5,960	7,085.37
		東京事業所	1,982	2,356.24
		合計	37,231	44,261.00
塩野義製薬株式会社	21,279.00	杭瀬工場	4,707	1,846.44
		赤穂工場	1,677	657.85
		撰津工場	13,250	5,197.65
		金ヶ崎工場	13,553	5,316.51
		中央研究所	3,317	1,301.18
		新薬研究所	5,827	2,285.79
		油日ラボラトリーズ	1,774	695.90
		本社	3,685	1,445.54
		支店及び営業所ほか	6,455	2,532
		合計	54,245	21,279.00

NEC トーキン 株式会社	12,990.00	仙台事業所	2,287	1,408.64
		白石事業所	8,397	5,171.98
		富山事業所	4,821	2,969.41
		栃木事業所	2,126	1,309.47
		兵庫事業所	2,092	1,288.53
		岩手事業所	1,367	841.98
		合 計	21,090	12,990.00
NTN 株式会社	39,599.00	桑名製作所	17,997	7,734.49
		磐田製作所	35,385	15,207.24
		岡山製作所	17,473	7,509.29
		長野製作所	5,089	2,187.08
		宝塚製作所	2,795	1,201.19
		本社他	13,402	5,759.71
合 計	92,141	39,599.00		
株式会社リード	658.24	本社工場	3,608,951	533.56
		西野工場	119,903	17.73
		熊谷工場	381,903	56.46
		関東営業所	167,630	24.78
		その他	173,877	25.71
		合 計	4,452,264	658.24
古林紙工株式会社	2,151.24	藤井寺工場	729,235	398.12
		戸塚工場	1,133,688	618.92
		滝野工場	1,666,178	909.63
		和歌山工場・営業所	33,619	18.35
		本社・関西営業部	314,332	171.61
		営業本部	11,048	6.03
		MD センター	3,576	1.95
		名古屋営業所	48,777	26.63
合 計	3,940,453	2,151.24		
グンゼ株式会社	26,071.00	宮津工場	1,606	1,547.99
		梁瀬工場	1,429	1,377.38
		久世工場	769	741.22
		本工場	1,903	1,834.26
		津山工場	511	492.54
		守山工場	2,285	2,202.46
		亀岡工場	1,575	1,518.11
		江南工場	3,522	3,394.78
		SOZ 事業本部	1,043	1,005.33
		機械製作	164	158.08
		メディカル材料センター	726	699.78
		綾部本社	638	614.95
		東京支社	1,114	1,073.76
		大阪本社	952	917.61
		その他	8,811	8,492.74
合 計	27,048	26,071.00		

出所：企業情報データベース eol における各上場企業の有価証券報告書を基に筆者作成。

本節では、MFCA を適用した企業の効率性を測定するために集めた DMU ごとの数値データを表 4.5 に整理して示している。表 4.5 では、DEA を用いて MFCA 適用企業の効率性を測定するために、日本経済産業省（2009a）から従業員数（名）、資本金（百万

円), マテリアルコスト (円), 正の製品 MC (円)⁷⁵のデータを, 各 DMU に収集した内容を掲載している. 分析には「DEA-SOLVER」ソフトを利用する.

表 4.5 DEA による測定 DMU ごとの数値データ

DMU	従業員数	資本金	マテリアルコスト	正の製品 MC
NO.1-01 日東電工豊橋事業所	1162	7,770.22	3,660,774	2,499,944
NO.1-02 日本ペイント大阪工場	141	1,237.67	3,472,122	3,467,205
NO.1-04 ダイソー株式会社尼崎研究所	111	3,469.62	708,000	540,000
NO.1-05 新日本理化学株式会社徳島工場	76	1,387.14	61,652	41,565
NO.1-06 日本フィルム株式会社本社工場	98	50	5,096,275	4,904,030
NO.1-07 株式会社スミロン三重工場	138	96	56,900,000	40,300,000
NO.2-01 田辺製薬株式会社小野田工場	396	11,678.98	958,509,000	371,748,000
NO.2-03 塩野義製薬株式会社金ヶ崎工場	251	5,316.51	12,017,000	8,867,000
NO.3-05 NEC トーキョー株式会社白石事業所	643	5,171.98	1,330,000	1,150,000
NO.3-12 シンド静電気株式会社本社	98	90	671,108	633,581
NO.3-13 株式会社信州光電本社	40	10	618,737	461,778
NO.3-14 株式会社アイベックス本社	70	10	45,620,474	45,468,961
NO.3-15 ティ・エス・コーポレーション株式会社	47	20.4	245,000	132,000
NO.5-01NTN 株式会社岡山製作所	792	7,509.29	1,284,000	1,070,000
NO.6-01 株式会社秋葉ダイカスト工業所本社	118	20	4,661,790	1,842,670
NO.6-02 やまと興業株式会社本社	310	50	1,304,390	1,134,492
NO.6-03 株式会社リード本社	266	533.56	23,594,432	9,611,064
NO.6-04 株式会社サワイ本社	48	20	5,215,165	5,018,291
NO.7-01 メークス株式会社茨城工場	80	100	63,268,068	62,436,081
NO.7-02 有限会社南信熱練工業本社	47	8.5	64,550	4,400
NO.8-02 吉村工業株式会社本社	17	20	6,833	4,641
NO.9-01 矢崎電線株式会社沼津製作所	450	50	28,792,834	28,308,298
NO.10-03 古林紙工株式会社戸塚工場	100	618.92	9,711,615	6,599,406
NO.11-01 グンゼ株式会社宮津工場	266	1,547.99	110,760,000	84,300,000
NO.11-02 グンゼ株式会社亀岡工場	64	1,518.11	64,404,174	32,437,130
NO.11-03 グンゼ株式会社江南工場	130	3,394.78	2,445	1,183
NO.12-02 株式会社果香本社	52	80	784,041	689,098
NO.12-03 あさ川製菓株式会社本社工場	290	7	717,141	703,546
NO.14-02 エーワン株式会社本社	127	2	36,578,598	36,113,406
NO.14-03 株式会社第一印刷福島工業団地内工場	60	12	1,008,465	634,412
NO.14-04 光大産業本社	39	3	450,000	300,000

出所：経済産業省（2009a）及び本章の表 4.4 を参照して筆者作成。

⁷⁵ 正の製品 MC は MFCA において製品に転化される材料のフローコストを指す。これは製品になった材料がもたらす経済的価値を表し、製造プロセスにおける材料の効率的な使用とコスト削減のバランスを示す重要な指標である。具体的に 2.1.3 の参照。

4.2 CCR モデルによる MFCA 適用企業の効率性評価

本節では、経済産業省により公表された一時点で複数の MFCA 適用企業等のデータを使い、出力指向型 CCR-O (Output Oriented CCR モデル) で適用事例の経営効率性を計測する。

4.2.1 MFCA と CCR-O の統合

第 2 章で述べたように MFCA の機能はマテリアルフロー (MF) に関する実測値をベースにした計算手法である。そして MFCA が注目するところは、製品になった部分の物量情報である。さらに MFCA の機能に従って製品へのマテリアルフローが大きければ、製品にならないロス (廃棄物) が小さくなることが分かった。

DEA の 1 つの目的は非効率的な事業体を効率的フロンティアに投影することである。そのために、入力指向型 (Input Oriented : 現状の出力レベルを最低限保証しながら入力をできるだけ縮小する) と、出力指向型 (Output Oriented : 現状の入力レベルでできるだけ出力を増加させる) がある⁷⁶が、入力値の改善に着目したものを入力指向、出力値の改善に着目したものを出力指向と呼ぶ⁷⁷。本研究では、出力指向 CCR-O モデルによる効率性を測定することは、出力値の改善に着目したものである。

CCR-O を使って MFCA 適用企業の効率性を評価する理由は、企業が資源の使用を最小限に抑えつつ、出力 (製品) の最大化を目指していることを反映するためである。出力指向型の CCR モデルは生産可能な最大出力を与えられた入力で達成することに焦点を当てている。これにより MFCA を通じて製品へのマテリアルフローコストを計算し、持続可能性を重視する企業が、資源効率性の観点からもそのパフォーマンスを定量的に評価することが可能になる。このアプローチは、資源を効果的に活用し、環境への影響を最小化しながら経済的な成長を追求する企業にとっては特に有益な評価手法を提供できる。

要するに MFCA と CCR-O との関係とえば、MFCA の着目点と出力指向 CCR-O モデルの着目点が一致することである。続いて、DEA の CCR-O モデルを用いて MFCA 適用企業の効率性を測定して分析する。

⁷⁶ 刀根 (1995) pp.683-684.

⁷⁷ 金成・篠原(2009)p.169.

4.2.2 CCR による MFCA の効率性評価

フロンティア生産曲線の同定方法の決定に、生産性過程を収穫一定に仮定し、環境規制仮定を弱い処分可能性 (weak disposability) にする。

分析中の入出力変数の基本統計量を表4.6で入出力変数間の相関係数を表4.7で示す。入力変数間及び出力変数間に強い相関は認められず変数の妥当性は担保していると判断した。

表 4.6 基本統計量

	従業員数 (名)	資本金 (百万円)	マテリアルコスト (円)	正の製品 MC (円)
最大値	1,162	11,678.98	958,509,000	371,748,000
最小値	17	2	2,445	1,183
平均値	210.5484	1,671.086	46,500,603	24,239,393
標準偏差	249.2409	2,862.671	168,534,198	66,751,376

表 4.7 変数間の相関

	従業員数	資本金	マテリアルコスト	正の製品 MC
従業員数	1	0.689906	0.1247547	0.1099729
資本金	0.689906	1	0.6153614	0.5696262
マテリアルコスト	0.124755	0.615361	1	0.9856663
正の製品 MC	0.109973	0.569626	0.9856663	1

出力指向 CCR-O モデルにより効率値を測定して分析した結果は、付録 A1 にまとめた。さらに、DEA 分析を通じて MFCA を適用した企業の経営効率性を示すため、図 4.1 では DEA 分析結果の効率値の順位比較を行っている。

CCR-O による MFCA 適用企業の効率性評価の結果及び順位 (付録 A1 と図 4.1 参照) から、以下のことを明らかになった。

- (1) 31 社の DMUs の中、5 社の効率値が 1 であり、効率的フロンティア上に存在していることがわかった。
- (2) 分析対象となる会社においては、NO.1-02 日本ペイント大阪工場、NO.2-01 田辺製薬株式会社小野田工場、NO.3-14 株式会社アイベックス本社、NO.7-01 メークス株式会社茨城工場、NO.14-02 エーワン株式本社工場の効率値 1 を獲得している。これは「正の製品 MC」の出力に不足がなく、有効な DEA 効率を示していることを意味する。

- (3) MFCA を適用した企業の効率値を定めるにあたり、効率値が最大値の 1 を達成した 5 社が参考モデルとして用いられていることが分かった。例として NO.3-12 シンド静電気株式会社本社の効率値を決定する際、効率的フロンティア上に位置する NO.1-02 日本ペイント大阪工場および NO.3-14 株式会社アイベックス本社が参照にされていることが明らかになった。
- (4) 一方、NO.7-02 有限会社南信熱錬工業本社の効率値は 0.1 の以下であり、これらの企業の環境経営効率（3.1.3 参照）が悪化していることが明らかになった。そして、NO.11-03 グンゼ株式会社エンプラ事業部江南工場、NO.6-01 株式会社秋葉ダイカスト工業所本社、NO.6-03 株式会社リード本社工場、NO.8-02 吉村工業株式会社本社の 4 社の効率値が 0.1 から 0.5 の範囲にある。これにより、これらの企業の環境経営効率が低いことが明らかになった。

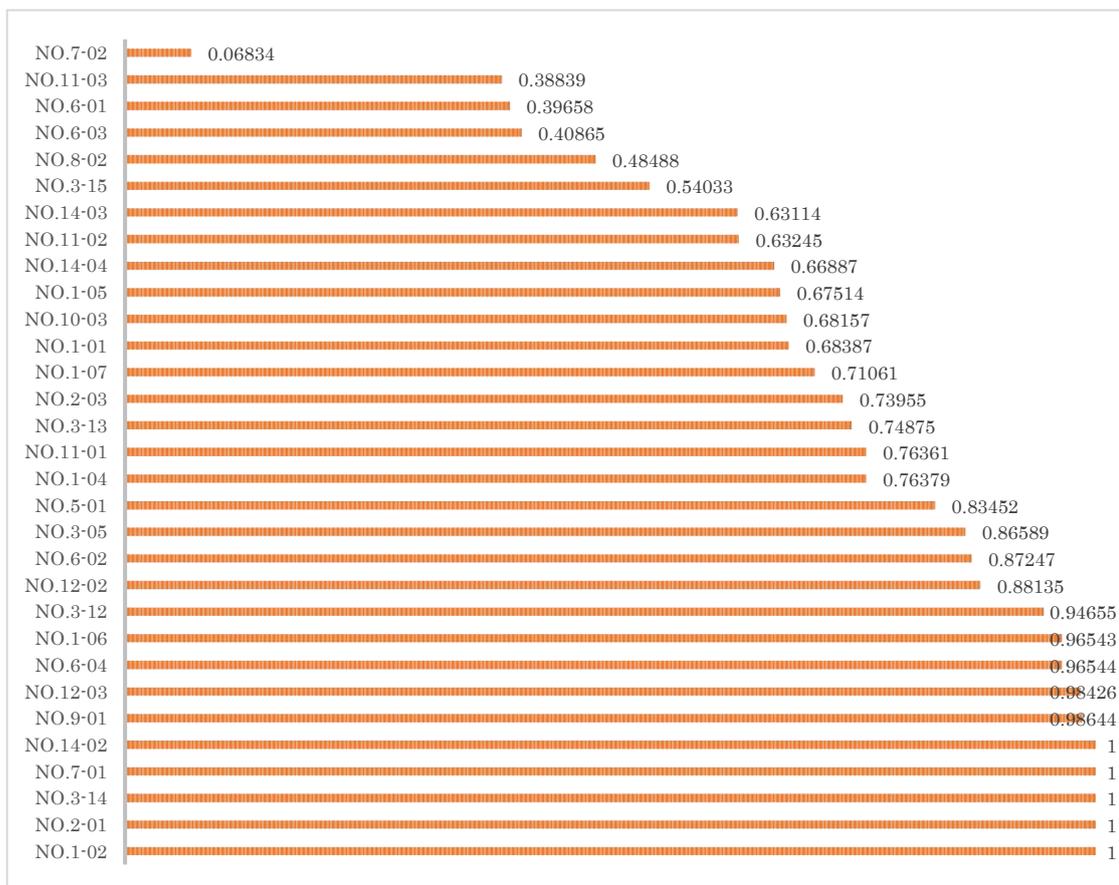


図 4.1 CCR-O モデルの効率値ランキング

出所：DEA-SOLVER ソフトを用いて計測した結果を基に筆者作成。

4.3 BCC モデルによる MFCA 適用企業の効率性評価

本節では、複数の MFCA 適用企業のデータを使い、出力指向型 BCC-O モデル (Best Cost Charge Output-Oriented model) で適用事例の経営効率性を計測する。

4.3.1 MFCA と BCC-O の統合

MFCA は製造プロセスにおける物質の流れと関連コストに注目して、資源の無駄を特定してコスト削減と環境負荷の軽減を図り、物質とエネルギーの流れを分析し、それに伴うコストを割り当てる手法である。BCC-O 出力指向型は、出力 (本研究では正の製品 MC とする) に関するコスト効率と環境パフォーマンスを焦点にして、生産プロセスの出力を最適化し、コスト効率と環境的持続可能性を高めることを図り、製品やサービスの出力に焦点を当て、最適なコストと環境パフォーマンスを達成する手法である。

BCC 出力指向型を用いて MFCA 適用企業の効率性を評価することは、製造プロセス全体の持続可能性を高めるために不可欠である。MFCA は原材料やエネルギーなど入力から製品になるマテリアルフローや製品にならないロスフローなど出力に焦点を当て、無駄を削減し、コストと環境負荷を軽減することを目的としている。一方、BCC 出力指向型は正の製品マテリアルという出力側に重点を置き、収穫可変の仮定でコスト効率と環境パフォーマンスを最適化する。これら二つのアプローチを統合することで、企業は製品開発やプロセス改善における戦略的な意思決定をサポートし、市場競争力を高めることになると考えられる。

4.3.2 BCC-O による MFCA の効率性評価

表4.5のDEAによる測定DMUごとの数値データをベースとして、BCC-OモデルによるMFCA適用企業の効率性を計測した。出力指向BCC-Oモデルにより効率性を測定して分析した結果は、付録A2にまとめた。さらに、DEA分析を通じてMFCAを適用した企業の経営効率性を示すため、図4.2ではDEA分析結果の効率性の順位比較を行っている。

BCC-OによるMFCA適用企業の効率性評価の結果及び順位 (付録A2と図4.2参照) から、以下のことを明らかになった。

- (1) 31社のDMUsの中、10社の効率性が1であり、効率的フロンティア上に存在していることがわかった。
- (2) NO.1-02 日本ペイント大阪工場、NO.2-01 田辺製薬株式会社小野田工場、NO.3-

14 株式会社アイベックス本社, NO.7-01 メークス株式会社茨城工場, NO.7-02 有限会社南信熱錬工業本社, NO.8-02 吉村工業株式会社本社, NO.11-01 グンゼ株式会社宮津工場, NO.12-03 あさ川製菓株式会社本社, NO.14-02 エーワン株式会社, NO.14-04 光大産業本社の効率値 1 を獲得している. これらは有効な DEA 効率を示していることを意味する.

- (3) MFCA を適用した企業の効率値を定め, 効率値が最大値の 1 を達成した 10 社が参考企業として用いられている. 例えば, NO.3-12 シシド静電気株式会社本社の効率値を決定する際, 効率値 1 の NO.1-02 日本ペイント大阪工場, NO.3-14 株式会社アイベックス本社, NO.8-02 吉村工業株式会社本社が参照にされる.
- (4) 一方, BCC-O モデルによる結果からは, 効率値が 0.1 以下に位置する企業は存在していないことが明らかとなった. BCC では企業の規模が効率性に影響を及ぼすことを考慮しているため, すべての企業が 0.1 の効率基準を満たしていることが分かった. また NO.6-01 株式会社秋葉ダイカスト工業所本社, NO.6-03 株式会社リード本社工場の効率値が 0.1 から 0.5 の範囲にある. それらの環境経営効率が良くないことが明らかになった.

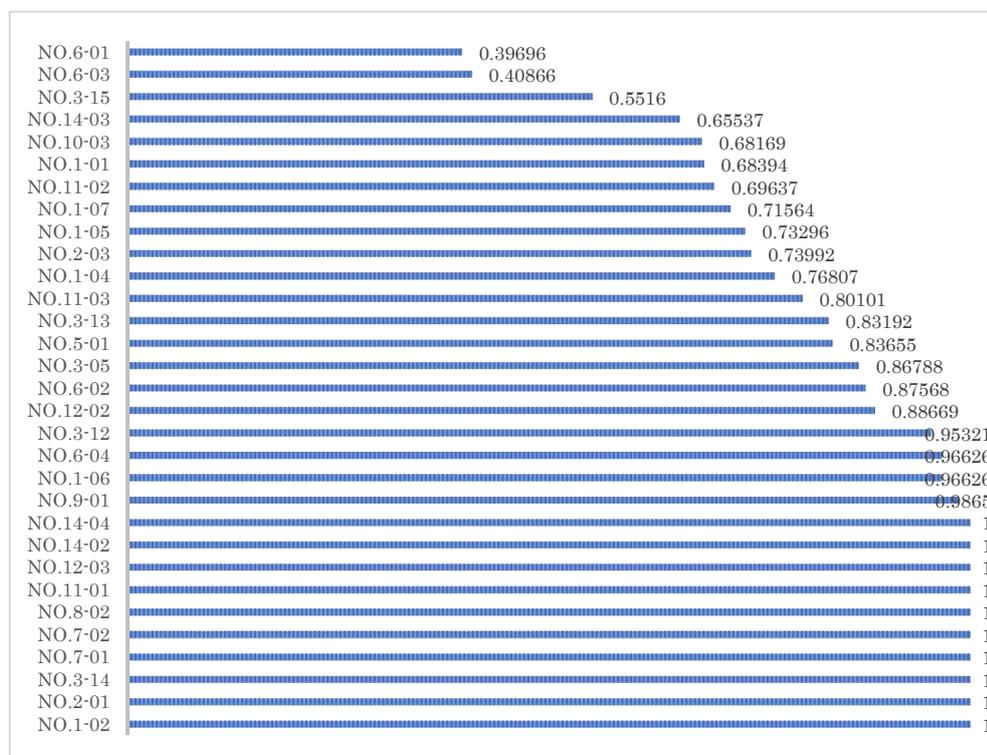


図 4.2 BCC-O モデルの効率値ランキング

出所 : DEA-SOLVER ソフトを用いて計測した結果を基に筆者作成.

4.4 SBM モデルによる MFCA 適用企業の効率性評価

本節では複数の MFCA 適用企業等のデータを使い、指向なしの SBM-C モデル (Slack-Based Measure under Constant returns to scale) , 指向なしの SBM-V モデル (Slack-Based Measure under Variable returns to scale) , 出力指向型 (Output Oriented) の SBM-O-C モデル (Slacks-Based Measure Constant Returns to Scale) と SBM-O-V モデル (Slacks-Based Measure Orientation-Variable) を用いて MFCA 適用事例の効率性を計測する。

4.4.1 MFCA と SBM の統合

MFCA (Material Flow Cost Accounting) と SBM (Slacks-Based Measure) の統合は効率性の評価においては有用性が高いアプローチだと考えられる。SBM は組織やプロセスの相対的な効率性を評価するために使用される DEA の一つ手法であり、スラック (余剰または不足) を考慮し、非効率性の具体的な原因と改善策を特定する。効率性の評価において、単に効率的か非効率的かを判断するだけでなく、非効率性の具体的な程度を把握し、改善のための方向性を提供できる。以下に、MFCA と SBM の統合に関する論述を展開する。

MFCA と SBM モデルの統合については、以下のような利点があると考えられる。

- (1) MFCA は材料コストと環境影響に焦点を当てているが、SBM は効率性の全体的な評価を行う。これらを統合することで、組織の環境と経済の両面におけるパフォーマンスを包括的に評価できる。
- (2) MFCA により特定された材料の損失や廃棄物は SBM を通じて効率性評価の一部として組み込むことができる。これにより、リソースの使用を最適化し、コストを削減すると同時に環境への影響を軽減することが可能になる。この統合は経済的効率性と環境保護のバランスを取ることに重点を置き、持続可能なビジネスモデルへの促進のため、実践的な洞察を提供することができる。
- (3) MFCA と SBM を組み合わせることでより情報に基づいた意思決定が可能になる。例えば材料の使用効率を改善することでコスト削減と環境パフォーマンスの両方を同時に達成できる。
- (4) SBM による効率性の評価を基に MFCA の枠組み内で改善策を特定し、具体的な行動計画を立てることができる。

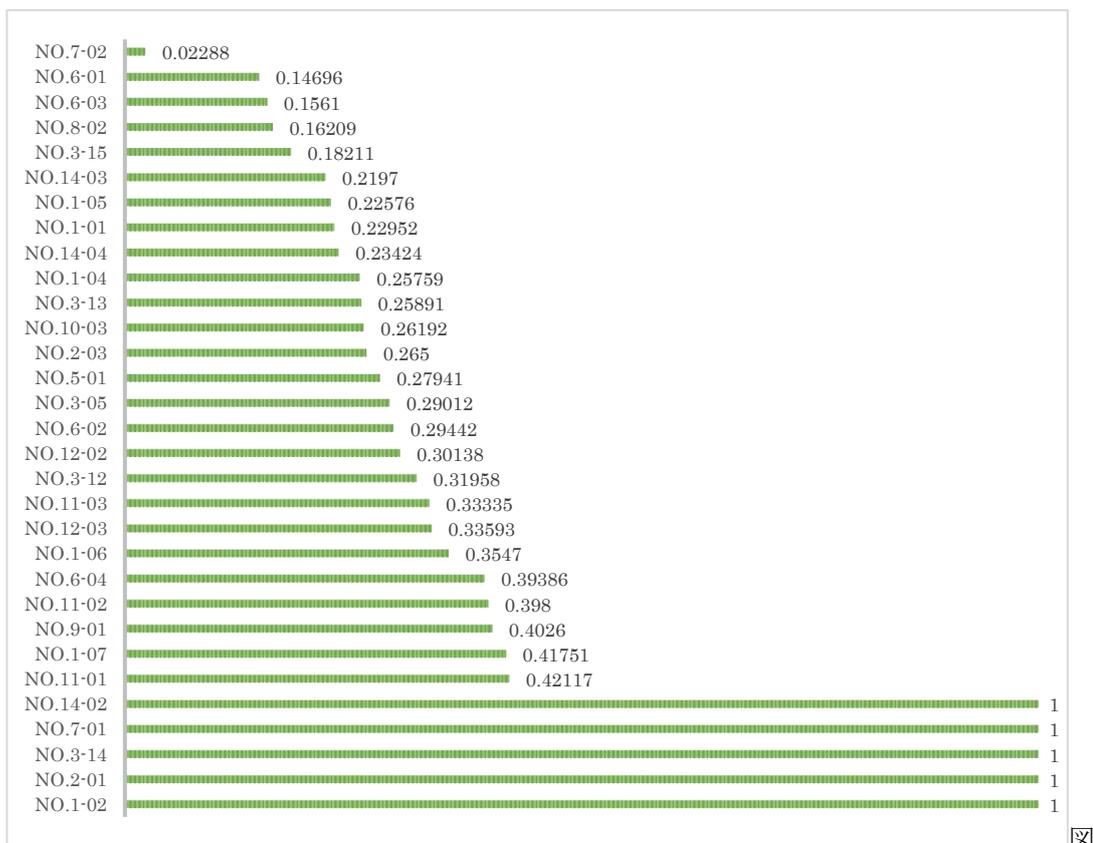
このように、MFCAとSBMを統合することで、環境と経済の両方の視点から組織の持続可能性を高めることができる。組織は資源使用の効率化、コスト削減、環境影響の低減という3つの重要な側面で改善を図ることが可能になる。MFCAとSBMモデルの統合は、企業がその持続可能性と効率性を高めるための新たな手法を提供できると考えられる。

4.4.2 SBM-CモデルによるMFCAの効率性評価

表4.5のDEAによる測定DMUごとの数値データをベースとして、SBM-CモデルによるMFCA適用企業の効率値を計測した。無指向SBM-Cモデルの効率値を測定して分析した結果は付録A3にまとめた。さらに、DEA分析を通じてMFCAを適用した企業の経営効率性を示すため、図4.3ではDEA分析結果の効率値の順位比較を行っている。

SBM-CによるMFCA適用企業の効率性評価の結果及び順位（付録A3と図4.3参照）から、以下のことを明らかになった。

- (1) 31社のDMUsの中、5社の効率値が1であり、効率的フロンティア上に存在していることがわかった。
- (2) 分析対象となる会社においては、NO.1-02 日本ペイント大阪工場、NO.2-01 田辺製薬株式会社小野田工場、NO.3-14 株式会社アイベックス本社、NO.7-01 メークス株式会社茨城工場、NO.14-02 エーワン株式本社工場の効率値1を獲得している。これは「正の製品MC」の出力に不足がなく、有効なDEA効率を示していることを意味する。
- (3) MFCAを適用した企業の効率値を定めるにあたり、効率値が最大値の1を達成した5社が参考モデルとして用いられていることが分かった。例としてNO.3-12 シンド静電気株式会社本社の効率値を決定する際、効率的なNO.3-14 株式会社アイベックス本社が参照にされていることが明らかになった。
- (4) 一方、NO.7-02 有限会社南信熱錬工業本社の効率値は0.1の以下であり、これらの企業の環境経営効率（3.1.3 参照）が悪化していることが明らかになった。また、NO.7-02と効率値が1に達した5社を除くと、残る25社の効率値が0.1から0.5の範囲内に位置している。SBM-CモデルによるDMUsの平均効率値が0.3924であり、多くの企業が環境経営の効率化において改善の余地があることが示唆されている。



4.3 SBM-C モデルの効率値ランキング

出所：DEA-SOLVER ソフトを用いて計測した結果を基に筆者作成。

4.4.3 SBM-V モデルによる MFCA の効率性評価

表4.5のDEAによる測定DMUごとの数値データをベースとしてSBM-VモデルによるMFCA適用企業の効率値を計測した。無指向SBM-Vモデルの効率値を測定して分析した結果は付録A4にまとめた。さらに、DEA分析を通じてMFCAを適用した企業の経営効率性を示すため、図4.4ではDEA分析結果の効率値の順位比較を行っている。

SBM-VによるMFCA適用企業の効率性評価の結果及び順位（付録A4と図4.4参照）から、以下のことを明らかになった。

- (1) 31社のDMUsの中、10社の効率値が1であり、効率的フロンティア上に存在していることがわかった。
- (2) NO.1-02 日本ペイント大阪工場，NO.2-01 田辺製薬株式会社小野田工場，NO.3-14 株式会社アイベックス本社，NO.7-01 メークス株式会社茨城工場，NO.7-02 有限会社南信熱錬工業本社，NO.8-02 吉村工業株式会社本社，NO.11-01 グンゼ

株式会社宮津工場, NO.12-03 あさ川製菓株式会社本社, NO.14-02 エーワン株式会社本社, NO.14-04 光大産業本社の効率値 1 を獲得している。これらは有効な DEA 効率を示していることを意味する。

- (3) MFCA を適用した企業の効率値を定め, 効率値が最大値の 1 を達成した 10 社が参考企業として用いられている。たとえば NO.3-12 シシド静電気株式会社本社の効率値を決定する際, 効率値 1 の NO.1-02 日本ペイント大阪工場, NO.3-14 株式会社アイベックス本社, NO.8-02 吉村工業株式会社本社が参照にされる。
- (4) 一方, 効率値が 0.1 以下に位置する企業は存在していないことが明らかとなった。SBM-V では企業の規模が効率性に影響を及ぼすことを考慮しているため, すべての企業が 0.1 の効率基準を満たしていることが分かった。また 19 社の効率値が 0.1 から 0.5 の範囲内に位置しているので, SBM-V モデルによる DMUs の平均効率値が 0.5852 であるので, 多くの企業が環境経営の効率化において改善の余地があることが示唆されている。

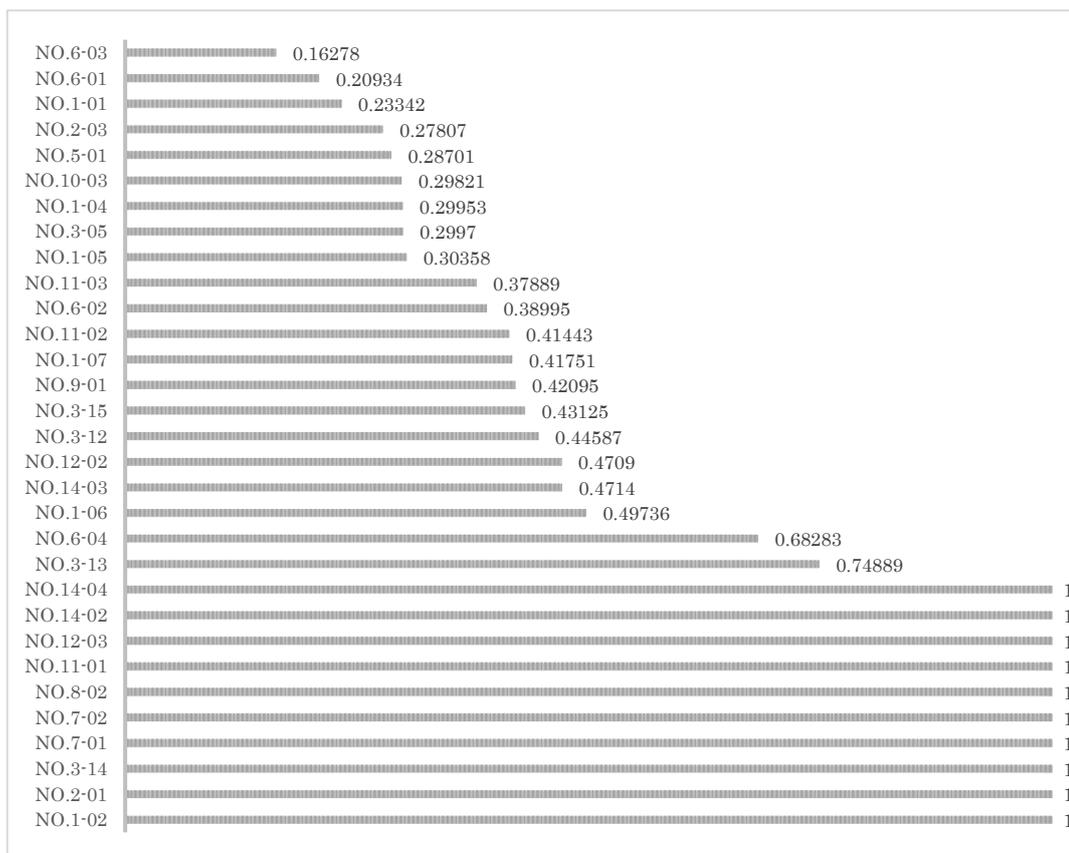


図 4.4 SBM-V モデルの効率値ランキング

出所：DEA-SOLVER ソフトを用いて計測した結果を基に筆者作成。

4.4.4 SBM-O-C モデルによる MFCA の効率性評価

表4.5のDEAによる測定DMUごとの数値データをベースとして、SBM-O-CモデルによるMFCA適用企業の効率値を計測した。SBM-O-CによるMFCAの効率性評価の結果は付録A5のとおりである。

さらに、DEA分析を通じてMFCAを適用した企業の経営効率性を示すため、図4.5ではDEA分析結果の効率値の順位比較を行っている。SBM-O-CによるMFCA適用企業の効率性評価の結果及び順位（付録A5と図4.5参照）から、以下のことを明らかになった。

- (1) 31社のDMUsの中、9社の効率値が1であり、効率的フロンティア上に存在していることがわかった。
- (2) NO.1-02 日本ペイント大阪工場、NO.1-05 新日本理化株式会社徳島工場、NO.2-01 田辺製薬株式会社小野田工場、NO.3-14 株式会社アイベックス本社、NO.7-01 メークス株式会社茨城工場、NO.7-02 有限会社南信熱錬工業本社、NO.8-02 吉村工業株式会社本社、NO.11-03 グンゼ株式会社エンブラ事業部江南工場、NO.14-02 エーワン株式本社の9社の効率値が1を獲得している。これらは有効なDEA効率を示していることを意味する。
- (3) MFCAを適用した企業の効率値を定めるに際し、効率値が最大値の1を達成した参考企業として用いられていることが分かった。例としては、NO.3-12 シンド静電気株式会社本社の効率値を決定する際、NO.1-02 日本ペイント大阪工場及びNO.3-14 株式会社アイベックス本社が参照にされていることが明らかになった。
- (4) 効率値が0.1以下に位置する企業は存在していないことが分かった。またNO.6-01 株式会社秋葉ダイカスト工業所本社、NO.6-03 株式会社リード本社工場、NO.3-15 ティ・エス・コーポレーション株式会社の効率値が0.1から0.5の範囲にある。SBM-O-Cモデルによる平均効率値は0.8281であるので、それらの環境経営効率が良くない、改善余地があることが明らかになった。

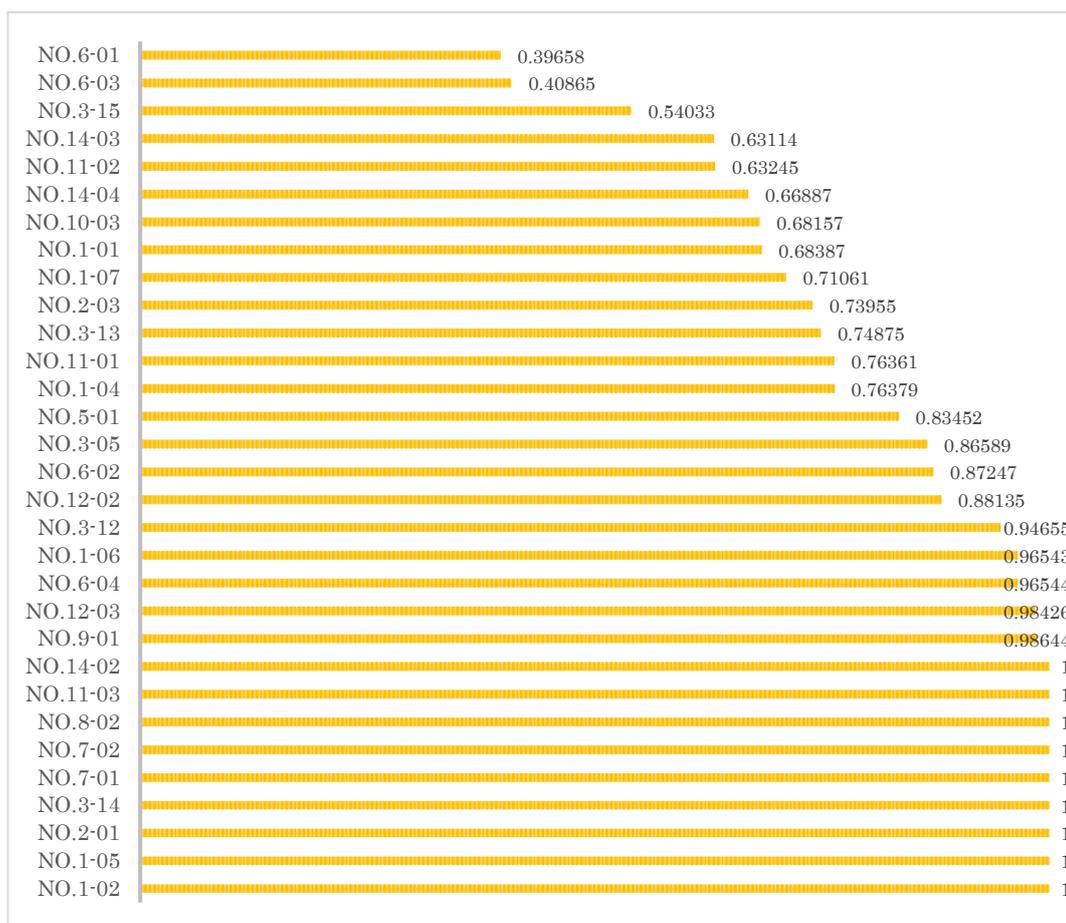


図 4.5 SBM-O-C モデルの効率値ランキング

出所：DEA-SOLVER ソフトを用いて計測した結果を基に筆者作成。

4.4.5 SBM-O-V モデルによる MFCA の効率性評価

表4.5のDEAによる測定DMUごとの数値データをベースとして、SBM-O-VモデルによるMFCA適用企業の効率値を計測した。SBM-O-VによるMFCAの効率性評価結果は付録A6のとおりである。さらに、DEA分析を通じてMFCAを適用した企業の経営効率性を示すため、図4.6ではDEA分析結果の効率値の順位比較を行っている。

SBM-O-V による MFCA 適用企業の効率性評価の結果及び順位（付録 A6 と図 4.6 参照）から、以下のことを明らかになった。

- (1) 31社のDMUsの中、11社の効率値が1であり、効率的フロンティア上に存在していることがわかった。
- (2) NO.1-02 日本ペイント大阪工場，NO.2-01 田辺製薬株式会社小野田工場，NO.3-14 株式会社アイベックス本社，NO.7-01 メーカー株式会社茨城工場，NO.7-02

有限会社南信熱練工業本社, NO.8-02 吉村工業株式会社本社, NO.11-01 グンゼ株式会社宮津工場, NO.11-03 グンゼ株式会社エンプラ事業部江南工場, NO.12-03 あさ川製菓株式会社本社, NO.14-02 エーワン株式本社, NO.14-04 光大産業本社は効率値 1 を獲得している. これらの 11 社は有効な DEA 効率を持っていると明らかになった.

- (3) MFCA を適用した企業の効率値を定め, 効率値が 1 の 11 社を参考企業として用いられている. 例えば NO.3-12 シシド静電気株式会社本社の効率値を決定する際, 効率値 1 の NO.1-02 日本ペイント大阪工場, NO.3-14 株式会社アイベックス本社, NO.8-02 吉村工業株式会社本社が参照にされることが分かった.
- (4) 効率値が0.1以下に位置する企業は存在していないことが明らかとなった. また2社の効率値が0.1から0.5の範囲内にあり, 多数のDMUの効率値が0.5以上であることが確認された. この結果は環境経営の効率化において改善の余地があることを示しているが, SBM-O-Vモデルの評価では, DMUsがよい効率値を持っていることも示唆されている.

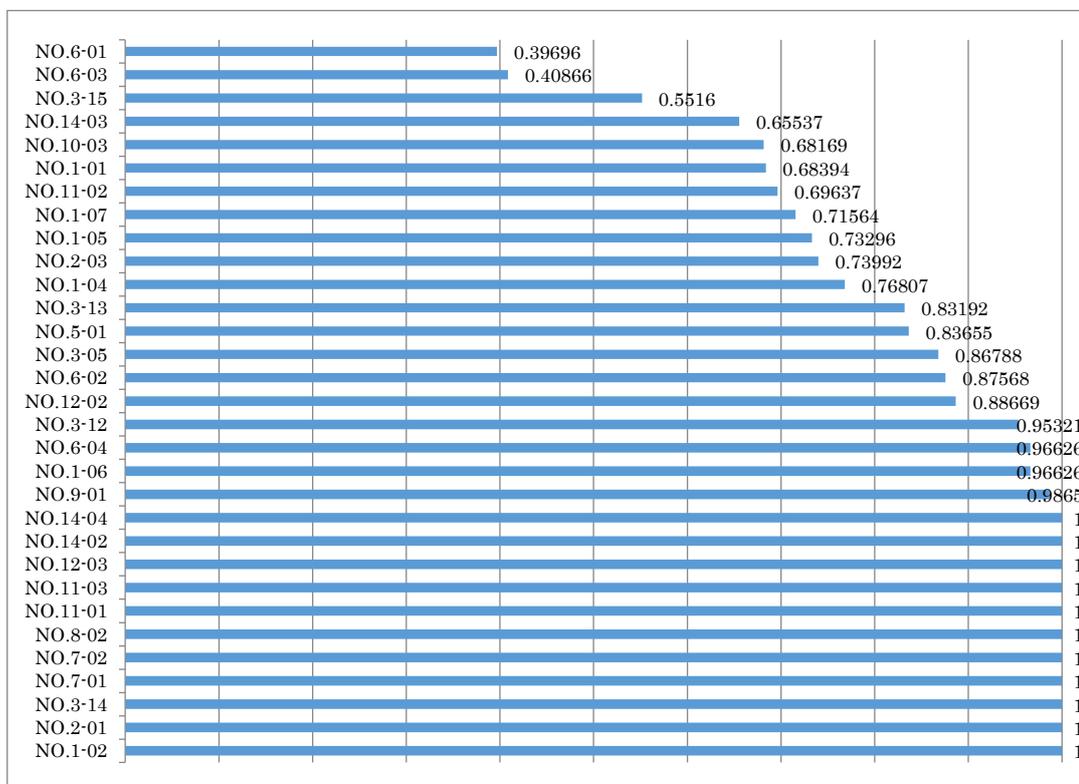


図 4.6 SBM-O-V モデルの効率値ランキング

出所: DEA-SOLVER ソフトを用いて計測した結果を基に筆者作成.

4.5 CCR と BCC と SBM モデルによる効率値結果

4.2 から 4.4 にかけて、DEA の複数のモデルを用いて、特定のセットの DMU の効率性を評価した。DEA における CCR, BCC, SBM モデルを用いて MFCA 適用企業の効率値がある。本節では CCR と BCC と SBM モデルによる効率値結果を考察して比較を行う。

4.5.1 効率値結果への考察

DEA は特定の入力と出力を持つ DMU の相対的な効率性を非パラメトリックに評価する手法である。本研究では、CCR-O (出力指向の CCR モデル)、SBM-O-C (出力指向で規模収穫一定を仮定するスラックベースのモデル)、BCC-O (出力指向の BCC モデル)、SBM-O-V (出力指向で規模収穫可変を仮定するスラックベースのモデル)、SBM-C (無指向で規模収穫一定を仮定するスラックベースのモデル)、SBM-V (無指向で規模収穫可変を仮定するスラックベースのモデル) の 6 つのモデルを用いて、MFCA 適用企業の効率値を評価した。

CCR と SBM-O-C モデルは、共に規模収穫一定を仮定し、生産規模の変化が出力に比例すると考える方法である。両モデルの効率値の結果は大体同じであるが、SBM-O-C モデルは生産の過剰または不足分を考慮に入れ、より正確な効率評価を可能にする。

また、BCC と SBM-O-V モデルは、規模による収穫の可変性を仮定しており、これは生産規模の変化が出力に非比例的に影響すると考えるものである。規模の経済性を考慮に入れるこれらのモデルは、両モデルの効率値の結果が大体同じであるが、SBM-O-V モデルの方がスラックを考慮しつつ規模の経済性を反映した効率評価が可能である。

さらに、SBM-C と SBM-V モデルは方向性を持たないスラックベースのモデルであり、これらのモデルは、それぞれ規模の収益性に関して異なる仮定を置いているため、結果として得られる効率値も異なる。SBM-C は規模収穫一定を前提としているのに対し、SBM-V は規模収穫可変を仮定している。したがって、同じデータセットに対してもこれら 2 つのモデルが示す効率評価は、異なる特徴を持つと分かった。

さらに、MFCA 適用企業の効率値を総合的に評価するため、各モデルによる DMU 効率値の結果を表 4.8 に示している。

表 4.8 各 DEA モデルによる DMUs の効率値

DMU	CCR-O	SBM-O-C	BCC-O	SBM-O-V	SBM-C	SBM-V
NO.1-01	0.68387	0.68387	0.68394	0.68394	0.22952	0.23342
NO.1-02	1	1	1	1	1	1
NO.1-04	0.76379	0.76379	0.76807	0.76807	0.25759	0.29953
NO.1-05	0.67514	1	0.73296	0.73296	0.22576	0.30358
NO.1-06	0.96543	0.96543	0.96626	0.96626	0.3547	0.49736
NO.1-07	0.71061	0.71061	0.71564	0.71564	0.41751	0.41751
NO.2-01	1	1	1	1	1	1
NO.2-03	0.73955	0.73955	0.73992	0.73992	0.265	0.27807
NO.3-05	0.86589	0.86589	0.86788	0.86788	0.29012	0.2997
NO.3-12	0.94655	0.94655	0.95321	0.95321	0.31958	0.44587
NO.3-13	0.74875	0.74875	0.83192	0.83192	0.25891	0.74889
NO.3-14	1	1	1	1	1	1
NO.3-15	0.54033	0.54033	0.5516	0.5516	0.18211	0.43125
NO.5-01	0.83452	0.83452	0.83655	0.83655	0.27941	0.28701
NO.6-01	0.39658	0.39658	0.39696	0.39696	0.14696	0.20934
NO.6-02	0.87247	0.87247	0.87568	0.87568	0.29442	0.38995
NO.6-03	0.40865	0.40865	0.40866	0.40866	0.1561	0.16278
NO.6-04	0.96544	0.96544	0.96626	0.96626	0.39386	0.68283
NO.7-01	1	1	1	1	1	1
NO.7-02	0.06834	1	1	1	0.02288	1
NO.8-02	0.48488	1	1	1	0.16209	1
NO.9-01	0.98644	0.98644	0.9865	0.9865	0.4026	0.42095
NO.10-03	0.68157	0.68157	0.68169	0.68169	0.26192	0.29821
NO.11-01	0.76361	0.76361	1	1	0.42117	1
NO.11-02	0.63245	0.63245	0.69637	0.69637	0.398	0.41443
NO.11-03	0.38839	1	0.80101	1	0.33335	0.37889
NO.12-02	0.88135	0.88135	0.88669	0.88669	0.30138	0.4709
NO.12-03	0.98426	0.98426	1	1	0.33593	1
NO.14-02	1	1	1	1	1	1
NO.14-03	0.63114	0.63114	0.65537	0.65537	0.2197	0.4714
NO.14-04	0.66887	0.66887	1	1	0.23424	1

出所：筆者作成.

4.5.2 各 DEA モデルによる効率値のばらつき

本研究で利用している 6 種類の DEA モデルが、DMU の効率をどのように評価するかを理解するために、異なる DEA モデルによる効率値のばらつきをボックスプロットで示す。図 4.7 では、これらのモデルによる異なる効率値のばらつきを示している。そして図 4.7 から以下の 6 点が明らかになった。

- (1) CCR-O モデルに関しては、中央値が約 0.8 であり、効率値の分布が比較的広いことが分かった。四分位範囲が 0.6 から約 0.9 までと広く、効率値にかなりのばらつきが存在している。また、効率値が 0 付近の外れ値が 1 つ確認できるが、全体的には効率値が高い DMU が多いことが示されている。
- (2) BCC-O モデルのボックスプロットは、中央値が 0.8 以上と高く、効率値の分布が狭いことを示している。これは DMU の効率性が高く、ばらつきが少ないことを意味している
- (3) SBM-O-C モデルは、効率値が全体的に高く分布しており、中央値が 1 に近い。これは、多数の DMU が効率的であると評価されていることを意味している。四分位範囲は狭く、効率値のばらつきが他のモデルに比べて小さいことが示されている。
- (4) SBM-O-V モデルについては、中央値が 0.8 より少し低く、四分位範囲が 0.6 から約 0.9 までとやや広い。効率値の分布に幅があることを示しており、効率性が一定ではない DMU が存在することが分かった。
- (5) SBM-C モデルのボックスプロットは、他のモデルとは異なり、効率値の中央値が 0.4 と低く、四分位範囲も 0.2 から 0.6 と非常に広い。これは DMU 間で効率値に大きなばらつきがあり、多くの DMU が低い効率値を示していることを意味している。
- (6) 最後に SBM-V モデルでは、中央値が 1 であり、四分位範囲も非常に狭い。ほとんどの DMU が非常に高い効率値を持っていることが示されている。しかし、他のモデルには見られない外れ値があり、一部の DMU では効率値が低いことが示唆されている。

これらの観察結果から、各 DEA モデルが示す DMU の効率値には顕著な違いがあることが明らかである。また異なる DEA モデルを適用することで、DMU の効率性を評価す

る上での視点の多様性が得られることも示唆される。これらの結果は、各モデル選択の重要性を強調し、本研究において複数のモデルを用いることの有効性を示している。

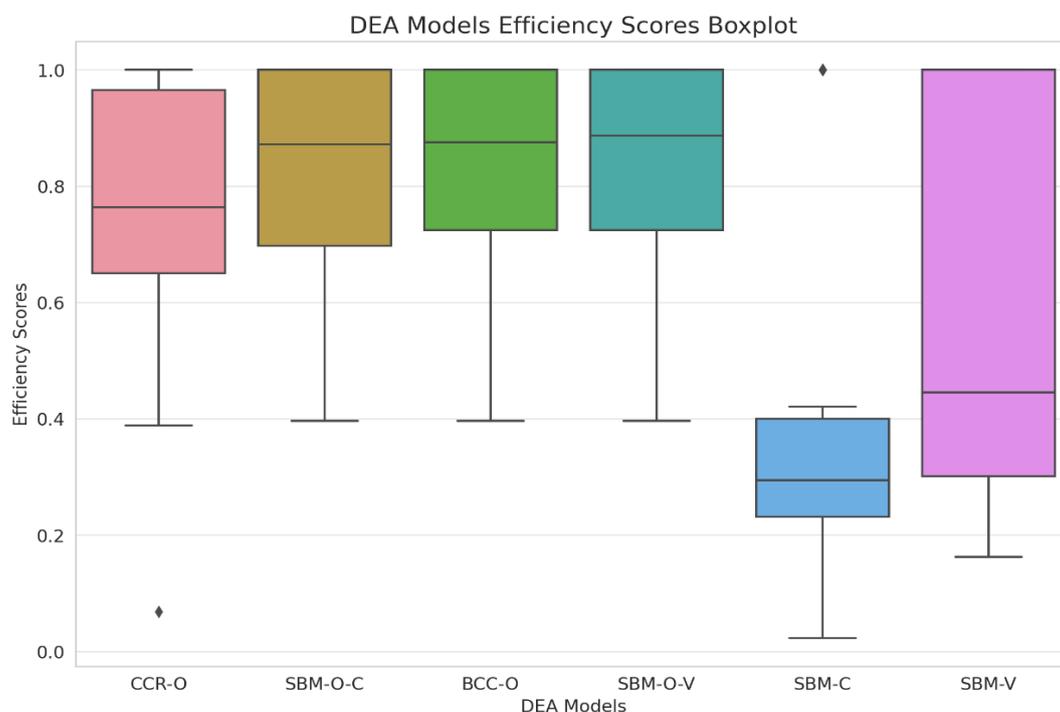


図 4.7 異なる DEA モデルによる効率値のばらつき

出所：筆者作成。

4.5.3 DMU ごとの効率値の格差

4.5.1.1 では、異なる DEA モデルを用いた効率値の特徴分析が行われた。そして、MFCA を適用している企業間での効率値の格差も明らかにすると考えられる。この格差を把握するために、表 4.8 に示された各 DEA モデルによる DMU の効率値を基に、図 4.8 (DMU ごとの各 DEA モデルの効率値を示す図) および図 4.9 (DMU ごとの各 DEA モデルの平均効率値を示す図) の作成が行われた。

そして、表 4.8 および図 4.8、さらに図 4.9 を基に、各 DMU の異なる DEA モデルの効率値について以下のことが明らかになった。

また、各 DMU の 6 種類 DEA モデルの平均効率値は図 4.9 で示される。さらに、図 4.9 を基に、各 DEA モデルで評価した各 DMU の平均値効率値は、0.7068 となることが明らかになった。

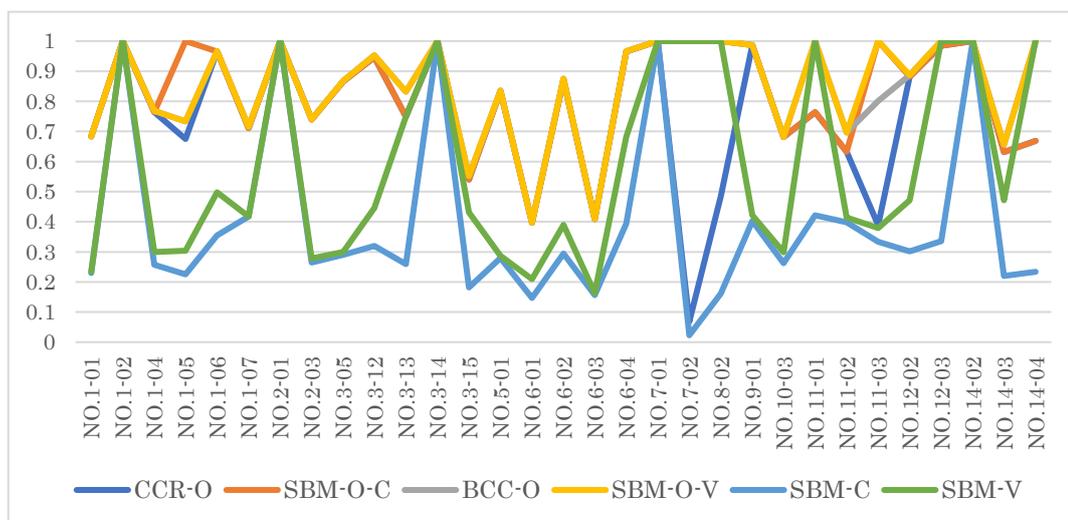


図 4.8 DMU ごとに各 DEA モデルの効率値

出所：筆者作成.

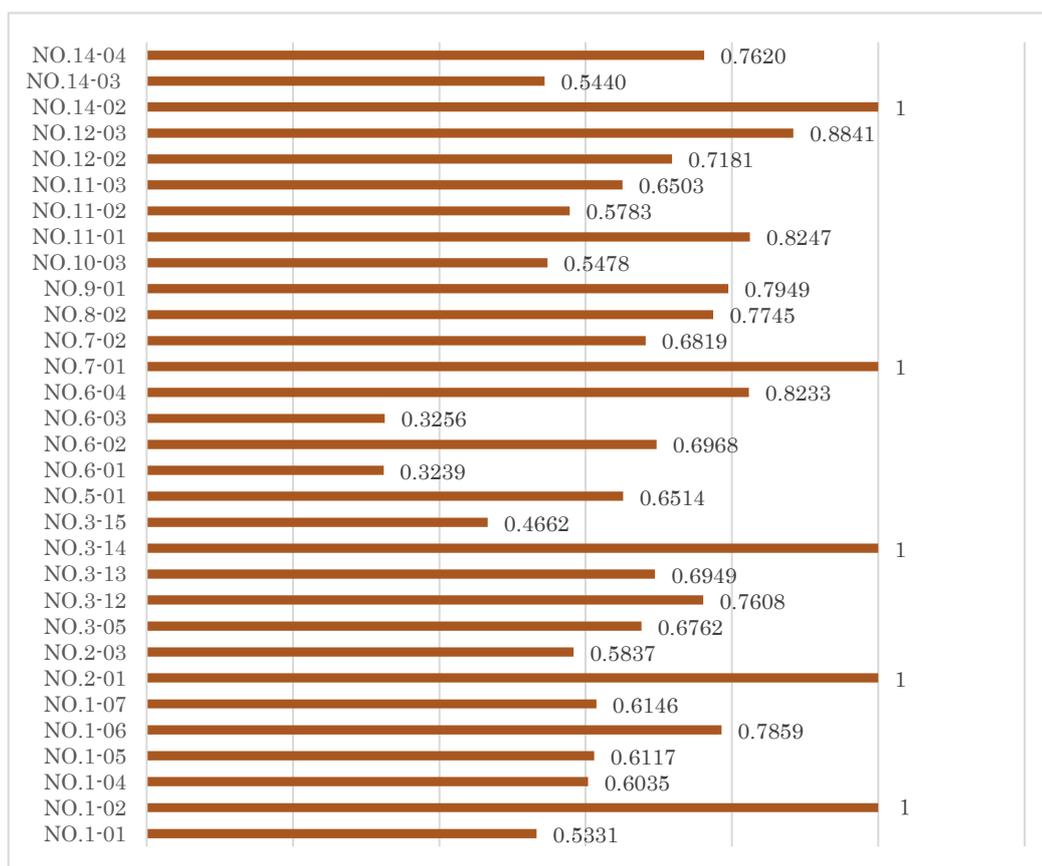


図 4.9 DMU ごとの各 DEA モデルの平均効率値

出所：筆者作成.

そして、図 4.9 の各 DMU の平均効率値を基に、各 DEA モデルによる効率値の結果をまとめて表 4.9 のように分類した。

表 4.9 DEA 各モデルの 31 社の効率値による DMU の分類

類別	DMU	特 徴
各 DEA モデル で高効率性の DMU	「NO.1-02」 「NO.2-01」 「NO.3-14」 「NO.7-01」 「NO.14-02」	すべての DEA モデルにおいて効率値が 1 であることから、これらの単位は高い効率性を持っていると評価される。他の DMU は、これらの DMU を参照にして効率性を向上させることができる。これらの DMU は利用可能なリソースを最大限に活用し、出力を最大化していると認識している
各 DEA モデル で低効率性の DMU	「NO.1-01」 「NO.1-04」 「NO.1-06」 「NO.1-07」 「NO.2-03」 「NO.3-05」 「NO.3-12」 「NO.3-13」 「NO.3-15」 「NO.5-01」 「NO.6-01」 「NO.6-02」 「NO.6-03」 「NO.6-04」 「NO.9-01」 「NO.10-03」 「NO.11-02」 「NO.12-02」 「NO.14-03」	全てのモデルにおいて少なくとも 1 つのモデルで効率値が 1 未満である。これらはリソースの利用において顕著な非効率性があることを示唆しており、改善の余地が大きいことを示している
モデル間で効率 値の差が大きい DMU	「NO.1-05」 「NO.7-02」 「NO.8-02」 「NO.11-01」 「NO.11-03」 「NO.12-03」 「NO.14-04」	BCC で効率値が 1 であるが、CCR では 1 未満である。これは、これらの DMU が適切な規模で運営されている場合にのみ効率的であることを示している。可変規模収益の下では効率的であるが、規模を変更することでさらなる効率性の向上が可能である。これらは特定の条件や仮定の下でのみ効率的であり、その他の条件では改善が必要であることを示す

出所：筆者作成。

4.6 各モデルによるプロジェクション

各 DEA モデルによる効率的な DMU (効率値=1) (3.1.2 参照) 及び非効率 DMU (効率値<1) の改善方向を明確にするため、本研究では、CCR モデル BCC モデル、SBM モデルを用いた参照 DMU と改善方向を示す。しかし、DEA 測定用のデータベースの中には公表用に架空の数値に変更されているものも含まれ、それに基づく非効率 DMU のプロジェクションの解釈であることに注意する。

4.6.1 CCR モデルによる参照 DMU とプロジェクション

付録 A7 の CCR モデルによるプロジェクションと付録 A1 の CCR-O による MFCA 適用企業の効率性評価の結果に基づいて各非効率的な DMU の改善方向を分析する。

表 4.10 は CCR モデルによる非効率的な DMU のプロジェクションに関する結果について効率値が高い、中程度、に低い DMU から代表的な DMU について述べるものである。

表 4.10 CCR モデルによる非効率的な DMU のプロジェクションの解釈 (一部)

DMU	プロジェクション
NO.1-06 日本フィルム株式会社 本社工場	効率性スコアが 0.96543 と高く、9 位にランクインしており、極めて効率的な運営がなされていることが示唆される。従業員数に関しては、実データ 98 名に対し、プロジェクションは約 13.18 名となり、約 86.55% の大幅な削減が示唆されている。一方で、資本金は変動がなく、マテリアルコストにおいても実データとプロジェクションに差異も見られず、一致している。出力の正の製品 MC に関しては、プロジェクションが実データの 4,904,030 円から 5,424,703.5 円に増加しており、約 10.617% の増加が見られる
NO.12-02 株式会社果香本社	効率性スコアが 0.88135 で 11 位にランクされるこの DMU は、比較的高い効率性を有している。従業員数は実データが 52 名、プロジェクションが約 9.96 名であり、約 80.848% の削減が示されている。資本金においては実データとプロジェクションが共に 80 百万円で差異は 0% である。マテリアルコストも実データとプロジェクションが 784,041 円で一致している。一方で正の製品 MC は実データ 689098 円に対してプロジェクションが 956389.46 円となり、約 38.789% の増加が見られる
NO.6-01 株式会社秋葉ダイカスト工業所本社	効率性スコアが 0.39658 と低く、29 位に位置するこの DMU は大幅な効率性の向上が必要であることを示している。従業員数の実データは 118 名だが、プロジェクションは約 9.23 名となり、実データに対して約 92.174% の削減が必要であるとされる。資本金とマテリアルコストは、実データとプロジェクションがそれぞれ変わらず差異は 0% である。しかし、正の製品 MC は実データ 1,842,670 円に対し、プロジェクションが 8,562,052.9 円となり、364.655% という著しい増加が示されている

出所：筆者作成。

しかし、表 4.10 ではプロジェクションが実データに対して非現実的に低い場合がある。たとえば、NO.1-06、NO.12-02 および NO.6-01 においても、従業員数のプロジェクションが実データに対して非現実的に、約 80%以上の大幅な削減を示唆されている。この結果は、これらの企業では従業員の生産性が低いことを示している。

これに対して、経営戦略を実施する際には以下のようなアプローチが考えられる。

まず、業務プロセスを効率化することで、少ない人員でより多くの仕事をこなせるようにすることができる。次に、日本フィルム株式会社本社工場に技術を投資することを推奨する。自動化や情報技術の導入により、労働集約型の作業を機械化することで、従業員の負担を軽減し、生産性を向上させることができる。そして、現存する従業員のスキルを向上させ、多能工化を図ることで、少ない人数で幅広い作業をカバーすることが可能になる。最後に、効率化のために売上に直結しない業務を外部に委託することで、従業員の労働負荷を減少させ、コア業務に集中させることができる。

プロジェクションが非現実的であることが明らかな場合、戦略的な目標を設定し直し、現実的な範囲内で最適化を図ることが必要である。その上で、環境経営持続可能な成長を目指す経営戦略を策定することが重要である。

4.6.2 BCC モデルによる参照 DMU とプロジェクション

付録 A8 の BCC-O モデルによるプロジェクションと付録 A2 の BCC-O による MFCA 適用企業の効率性評価の結果に基づいて、各非効率的な DMU の改善方向を分析する。

表 4.11 は BCC モデルによる各非効率的な DMU のプロジェクションに関する結果について、効率値が高い、中程度、低い DMU から代表的な DMU について述べるものである。

そして BCC-O モデルによるプロジェクションが実現不可能であることを踏まえ、現実的な戦略的目標を設定する。たとえば、NO.1-06、NO.12-02 および NO.6-01 においても、従業員数のプロジェクションが実データに対して非現実的に、すべて 50%以上の大幅な削減を示唆されている。この結果は、これらの企業では従業員の生産性が低いことを示している。この解決案として、CCR-O モデルによるプロジェクションを参照する。

さらに、NO.6-01 から「正の製品 MC」に関する極端なプロジェクションデータが存在すること分かった。これは出力項目「正の製品 MC」極めて低いことを示している。これに対して、以下のようなアプローチを取り入れることが考えられる。まず、効率的な生産ラインの設計と改善により、材料の無駄を削減し、製品になる材料の割合を高める。材料

の利用効率を高め、正の製品 MC を増やすことができる。次に、品質管理を徹底することで、不良品の発生を抑制し、使用材料の製品化率を高める。これにより、廃棄される材料が減少し、製品としての価値が最大化される。さらに、環境負荷の少ない材料への置き換えや、材料の仕様を見直すことで生産コストを削減しつつ正の製品 MC を増加させる。または、製造過程で発生する廃棄物を減らし、リサイクル可能な材料を再利用することで、材料コストを削減し、正の製品 MC を増やす。最後に、従業員が材料の重要性を理解し、無駄なく効率的に使用する文化を醸成するための教育とトレーニングを実施する。

これらの政策は、製品になったマテリアルフローコストの増加を目指すものであり、MFCA の原則に基づいた持続可能で効率的な生産を実現するためのものである。正の製品 MC の増加は、コスト削減だけでなく環境責任の観点からも企業価値を高めることに寄与する。

表 4.11 BCC モデルによる非効率的な DMU のプロジェクションの解釈（一部）

DMU	プロジェクション
<p>NO.1-06 日本フィルム株式会社本社工場</p>	<p>この DMU のスコアは 0.96626 であり、ランクは 12 位である。従業員数の実データは 98 名であるが、プロジェクションでは約 26 名となり、その差異は約 73.495%の減少を示している。資本金の実データとプロジェクションはともに 50 百万円であり、変化はない。マテリアルコストに関しても実データとプロジェクションが一致しており、差異は 0%である。正の製品 MC は、実データが 4,904,030 円であるのに対し、プロジェクションでは約 5,411,972 円となり、約 10.358%の増加が見られる</p>
<p>NO.12-02 株式会社果香本社</p>	<p>スコアは 0.88669 であり、ランクは 15 位である。従業員数については実データが 52 名、プロジェクションが約 23.8 名となり、54.183%の削減が示されている。資本金及びマテリアルコストは実データとプロジェクションが差異は 0%である。正の製品 MC に関しては、実データの 689,098 円からプロジェクションの 943,303 円へと約 36.889%の増加がある</p>
<p>NO.6-01 株式会社秋葉ダイカスト工業所本社</p>	<p>効率性スコアが 0.39696 であり、ランクは 31 位となっている。従業員数は実データで 118 名であるが、プロジェクションは約 22.5 名となり、約 80.927%の大幅な減少が示されている。資本金及びマテリアルコストについては、実データとプロジェクションに差異はない。しかし正の製品 MC は実データの 1,842,670 円に対してプロジェクションが約 8,552,337 円となり、増加率は 364.127%と非常に高い</p>

出所：筆者作成。

4.6.3 SBM-C モデルによる参照 DMU とプロジェクション

付録 A9 の SBM-C モデルによるプロジェクションと付録 A3 の SBM-C による MFCA 適用企業の効率性評価の結果に基づいて、各非効率的な DMU の改善方向を分析する。

表 4.12 の SBM-C モデルによる各非効率的な DMU のプロジェクションに関する結果により、効率値が高い、中程度、低い DMU から代表的な DMU について述べる。

表 4.12 SBM-C モデルによる非効率的な DMU のプロジェクションの解釈（一部）

DMU	プロジェクション
<p>NO.1-06 日本フィルム株式会社 本社工場</p>	<p>効率性スコアが 0.3547 と評価された本 DMU は、ランク 11 位に位置している。従業員数は実データで 98 名であるが、プロジェクションでは約 7.82 名となり、約 92.021% の削減が示されている。資本金については、実データが 50 百万円であるのに対し、プロジェクションは約 1.12 百万円となり、97.766% の大幅な減少が示唆される。マテリアルコストは実データとプロジェクションで変化がない。正の製品 MC は実データが 4,904,030 円からプロジェクションで約 5,079,349.443 円に増加して 3.575% の上昇が観察される</p>
<p>NO.12-02 株式会社果香本社</p>	<p>効率性スコア 0.30138 でランク 15 位の本 DMU は、従業員数に関して実データが 52 名、プロジェクションが約 1.20 名となり、97.686% の削減が示唆される。資本金は実データ 80 百万円に対してプロジェクションが約 0.17 百万円となり、99.785% の大幅な減少が見られる。マテリアルコストは実データとプロジェクションが共に 784,041 円であり、変化はない。正の製品 MC については実データが 689,098 円でプロジェクションが 781,437.0726 円となり、13.4% の増加がある</p>
<p>NO.6-01 株式会社秋葉ダイカスト 工業所本社</p>	<p>効率性スコアは 0.14696 であり、ランクは 30 位となる。従業員数は実データで 118 名であるが、プロジェクションでは約 7.15 名となり、93.938% の削減が必要とされる。資本金は実データで 20 百万円であり、プロジェクションでは約 1.02 百万円となり、94.891% の減少が示されている。マテリアルコストに差異はなく一致する。正の製品 MC は、実データの 1,842,670 円に対してプロジェクションで約 4,646,307 円となり、152.151% の顕著な増加が示される</p>

出所：筆者作成。

SBM-C モデルによるこれらのプロジェクションは、従業員数と資本金に関しては極端な削減を示しており、現実の経営戦略に直接適用するには非現実的である。これらの指標については、より実現可能な目標値への調整が必要となる。一方で、正の製品MCに関しては、特に NO.6-01 において大幅な増加が見られ、資源の有効活用と収益性の向上に繋がる可能性が示されている。これらのデータを基に、現実的な改善策と戦略の策定が考えられる。

たとえば、資本金に対する大幅な削減は実現が困難であるが、資本効率の良い投資を行い、無駄な資本支出を削減することで、効率の良い資本構成を目指すことが可能である。従業員数や資本金および正の製品MCに関しては現実的な範囲内の政策提案として、以下のように考えられる。

まず、生産性向上のために、自動化技術を導入して単純作業を減らすことで従業員の負担を軽減する。最新の情報技術を活用して業務効率を向上させ、必要な人員の最適化に努める。次に、無駄を削減し、価値のないプロセスを排除することで従業員一人あたりの生産性を向上させる。これにより、人員削減に頼らない生産性向上を実現する。

さらに、投資の見直しを行い、不要な資産や非効率な投資を削減する。ROI（投資収益率）が高いプロジェクトに焦点を当て、資本を最も効率的に使用することを目指す。最後に、材料の利用効率を高め、廃棄物を減らすことで、製品化される材料の割合を増やす。また、製品設計を見直してコスト削減と資源の有効活用を図る。

これらの戦略的目標と政策提案は、SBM-C モデルの非現実的なプロジェクションに代わり、現実的な経営戦略を実現するための政策である。経営者はこれらの提案を元に、具体的な行動計画を策定し、効率性と生産性の向上に取り組む必要がある。

4.6.4 SBM-V モデルによる参照 DMU とプロジェクション

付録 A10 の SBM-V モデルによるプロジェクションと付録 A4 の SBM-V による MFCA 適用企業の効率性評価の結果に基づいて、DMU の改善方向を分析する。

表 4.13 の SBM-V モデルによる各非効率的な DMU のプロジェクションに関する結果により、効率値が高い、中程度、低い DMU から代表的な DMU について述べる。

表 4.13 SBM-V モデルによる非効率的な DMU のプロジェクションの解釈 (一部)

DMU	プロジェクション
<p>NO.1-06 日本フィルム株式会社 本社工場</p>	<p>効率性スコアは 0.49736 であり、ランクは 13 位である。従業員数に関しては、実データが 98 名に対してプロジェクションは約 42.19 名であり、約 56.95%の減少が示されている。資本金は実データで 50 百万円であるが、プロジェクションは約 3.72 百万円となり、92.56%の大幅な減少が見られる、マテリアルコストは実データとプロジェクションで変化がなく一致している。正の製品 MC は実データの 4,904,030 円からプロジェクションで 4,946,119 円へと若干増加し、0.858%の上昇が観察される</p>
<p>NO.12-02 株式会社果香本社</p>	<p>効率性スコアは 0.4709 でランクは 15 位である。従業員数は実データが 52 名、プロジェクションが約 17.90 名であり、65.577%の削減が示されている。資本金は実データが 80 百万円である一方で、プロジェクションは約 19.83 百万円となり、75.212%の減少が見られる。マテリアルコストは実データとプロジェクションで一致する。正の製品 MC は実データが 689,098 円からプロジェクションで約 776,608 円に増加し、12.699%の上昇がある</p>
<p>NO.6-01 株式会社秋葉ダイカスト 工業所本社</p>	<p>効率性スコアが 0.20934 であり、ランクは 30 位となっている。従業員数の実データは 118 名であるが、プロジェクションは約 41.89 名となり、64.5%の減少が必要とされる。資本金は実データで 20 百万円に対して、プロジェクションは約 3.65 百万円となり、81.737%の減少が示されている。マテリアルコストについては、実データとプロジェクションが 4,661,790 円に変動はない。正の製品 MC に関しては、実データ 1,842,670 円に対してプロジェクションで約 4,511,649 円となり、144.843%の大幅な増加が示される</p>

出所：筆者作成。

以上の SBM-V モデルのプロジェクションによれば、従業員数と資本金については、実際の経営環境において大幅な削減を実現することは困難であるとされる。これらの結果を受け、前述の解決案のように現実的な範囲での効率性向上とコスト削減を目指す戦略が求められる。正の製品 MC については、NO.6-01 と NO.12-02 では顕著な増加が予測されるが、これは製品の価値向上や市場戦略の最適化を通じて実現可能であると考えられる。

4.6.5 SBM-O-C モデルによる参照 DMU とプロジェクション

付録 A11 の SBM-O-C モデルによるプロジェクションと付録 A5 の SBM-O-C による MFCA 適用企業の効率性評価の結果に基づいて、各非効率的な DMU の改善方向を分析する。表 4.14 の SBM-O-C モデルによる各非効率的な DMU のプロジェクションに関する結果により、効率値が高い、中程度、低い DMU から代表的な DMU について述べる。

表 4.14 SBM-O-C モデルによる非効率的な DMU のプロジェクションの解釈 (一部)

DMU	プロジェクション
NO.1-06 日本フィルム株式会社 本社工場	本 DMU は効率性スコアが 0.96543 でランク 13 位に位置している。従業員数に関しては、実データが 98 名であるのに対し、プロジェクションは約 13.18 名とされており、これは実データに比べて 86.549%の減少を示している。資本金については実データとプロジェクションが変化はない。マテリアルコストも実データとプロジェクションで変わらず、正の製品 MC は実データが 4,904,030 円に対し、プロジェクションが約 5,079,610 円となり、3.58%の僅かな増加が見られる
NO.12-02 株式会社果香本社	効率性スコアは 0.88135 でランク 15 位である。従業員数については実データが 52 名、プロジェクションが約 9.96 名とされ、80.848%の削減が示されている。資本金は実データとプロジェクションでは一致しており、変化はない。マテリアルコストも実データとプロジェクションと同じである。正の製品 MC に関しては実データが 689,098 円に対して、プロジェクションが約 781,863 円となり、13.462%の増加がある
NO.6-01 株式会社秋葉ダイカスト 工業所本社	この DMU の効率性スコアは 0.39658 であり、ランクは 31 位である。従業員数に関しては、実データが 118 名に対してプロジェクションは約 9.23 名となり、92.174%の大幅な削減が示唆される。資本金とマテリアルコストに変動はない。正の製品 MC は、実データが 1,842,670 円からプロジェクションで約 4,646,408 円に大幅に増加し、152.156%の増加が見られる

出所：筆者作成。

以上の SBM-O-C モデルによるプロジェクションを踏まえると、特に従業員数に関する削減は現実的な経営戦略としては非常に厳しいものである。したがって、より実現可能な範囲内での目標値に設定しなおす必要がある。資本金に関するプロジェクションは変化がないため、現状維持と見られる。マテリアルコストも同様に実データと変わらず、正の製品 MC のわずかな増加は効率化の成果として受け取ることができるが、これをさらに伸ばすための改善策が求められる。

4.6.6 SBM-O-V モデルによる参照 DMU とプロジェクション

付録 A12 の SBM-O-V モデルによるプロジェクションと付録 A6 の SBM-O-V による MFCA 適用企業の効率性評価の結果を基に、各非効率的な DMU の改善方向を分析する。

表 4.15 の SBM-O-V モデルによる各非効率的な DMU のプロジェクションの解釈について述べたものである。ただし、効率値が高い、中程度、低い DMU から代表的な DMU を選び、述べる。

表 4.15 SBM-O-V モデルによる非効率的な DMU のプロジェクションの解釈（一部）

DMU	プロジェクション
NO.1-06 日本フィルム株式会社 本社工場	効率性スコアが 0.96626 であり、ランクは 13 位である。従業員数の実データは 98 名であるが、プロジェクションでは約 26 名への減少が示唆され、これは 73.495%の削減に相当する。資本金については変動がない。マテリアルコストも同様に変動は見られない。正の製品 MC に関しては、実データ 4,904,030 円に対し、プロジェクションで約 5,075,269 円となり、3.492%のわずかな増加が見られる
NO.12-02 株式会社果香本社	効率性スコア 0.88669 であり、従業員数が実データで 52 名に対してプロジェクションで約 24 名への減少が示唆されており、54.183%の削減が見られる。資本金については、実データとプロジェクションで変動はない。マテリアルコストも実データとプロジェクションが一致している。正の製品 MC は、実データが 689,098 円からプロジェクションで約 777,159 円に増加し、12.779%の上昇が観察される
NO.6-01 株式会社秋葉ダイカスト 工業所本社	効率性スコアが 0.39696 であり、ランク 31 位に位置している。従業員数は実データで 118 名であるが、プロジェクションでは約 22 名となり、80.927%の削減が示されている。資本金とマテリアルコストに関しては、実データとプロジェクションで差異がない。正の製品 MC は、実データの 1842670 円がプロジェクションでは約 4,641,905 円へと大幅に増加し、151.912%の増加が示される

出所：筆者作成。

SBM-O-V モデルによるこれらのプロジェクションは、特に従業員数に関する大幅な削減が示されているが、これは現実的な経営においては実現が困難である。資本金とマテリアルコストのプロジェクションに変化は見られず、安定していることから、これらの項目に対しては現状維持の戦略を継続することが望ましい。正の製品 MC の増加は効率的な資源の活用とプロセスの改善を通じて、さらに向上させることができる。これらの結果を基に、より実現可能な目標設定と、適切な経営戦略の策定が求められる。

以上の各モデルを用いて行ったプロジェクションの検討結果から、資本金、従業員数、マテリアルの生産性が低いことが明らかになった。これらについては、ほとんどの企業（DMU）において、生産性を大幅な向上させる必要があることが判明した。特に、資本金やマテリアルの生産性を改善する必要性に比べ、従業員の生産性の低下が顕著であることも判明した。このような生産性の差異は、MFCFA が適用された企業間で効率値の格差が生じる原因と考えられる。

さらに、各モデルでも効率値が 1 になる企業（DMU）の特徴や優れたところを探るために、表 4.16 は効率的な企業が参照企業となる回数を集計したものである。

表 4.16 効率的な企業が参照企業になる回数の集計 単位：回

DMU=1	CCR	BCC	SBM-C	SBM-V	SBM-O-C	SBM-O-V
NO.1-02	26	15	1	1	22	14
NO.2-01	2	2	1	1	2	1
NO.3-14	18	16	23	20	18	16
NO.7-01	2	3	2	2	2	3
NO.14-02	1	1	2	1	1	1

出所：筆者作成。

表 4.16 から異なる効率性の評価モデル（CCR、BCC、SBM-C、SBM-V、SBM-O-C、SBM-O-V）を用いた際に、効率値=1のDMUが「効率的な企業」として参照される回数を示している。これにより、以下のことが分かった。

- (1) NO.1-02：CCRモデルでは26回、BCCモデルでは15回と評価されている。これは、NO.1-02が規模収穫一定のもとでより効率が低いことを示している。SBMモデルにおいては、入力と出力のスラックが大きいことが示唆されている（特にSBM-O-CとSBM-O-Vでのスコアが低い）。
- (2) NO.2-01：このDMUは全てのモデルにおいて高い効率性を持っている。特にCCRとBCCモデルでのスコアは最高1位である。SBMモデルでも高い効率性を示している。
- (3) NO.3-14：このDMUはCCRモデルとBCCモデルで似たような効率性を示しているが、SBMモデルでは効率性が低下していることが分かった。特にSBM-CとSBM-Vでのスコアが低いことから、入力または出力のスラックが存在する可能性がある。
- (4) NO.7-01：このDMUは、BCCモデルとSBMモデルでやや高い効率性を示して

いる。これは規模収穫可変のもとでの効率が比較的良好であることを意味する。

- (5) NO.14-02：この DMU は全てのモデルにおいて高い効率性を持っているが、SBM-C でのみ効率スコアが 2 になっている。これは特定の条件下での効率性にいくらかの問題があることを示唆している。

総じて、各 DMU の効率性はモデルによって異なる側面が浮き彫りになり、特定の DMU における改善の余地や特定の条件下での効率性の問題点を示している。これらの結果は、企業の経営や管理の改善に向けた有益な洞察を提供することができると考えられる。

4.7 効率性の格差への分析

4.6 節における各 DEA モデルを用いて行ったプロジェクションの検討結果から、資本金、従業員数、マテリアルの生産性が低いことが判明した。特に、資本金やマテリアルの生産性を改善する必要性に比べ、従業員の生産性の低下が顕著であることも判明した。このような生産性の差異は、MFCA が適用された企業間で効率値の格差が生じる原因と考えられる。

DEA は意思決定単位 (DMU) の相対的な効率性を評価するための非パラメトリックな手法であるが、その効率性スコアは 0 と 1 の間に限定されるため、通常の最小二乗回帰モデルでは不適切である。こうした限界依存変数に対処するために、Tobit モデルが用いられる。

本節では、Two-stage analysis (二段階分析) を用いて分析を行う。DEA モデルを用いて計測された効率性スコアの格差を深く理解するために、Tobit 回帰分析を採用した。二段階分析のとおり、Tobit 分析を用いて DEA による効率性スコアの決定要因を分析し、効率性格差の背後にある潜在的な変数を探る。このアプローチにより、効率性の向上に向けた戦略的な洞察を提供するとともに、経営意思決定者に対して有用な情報を提供することを目的とする。

4.7.1 DEA 効率値に格差が生じる理由

DEA で得られた効率値に格差が生じる要因を探求するため、第 2 章では各 MFCA 適用企業の事例研究結果を再考察していた。この再考察を通じて、MFCA 適用企業間で DEA の効率値に格差が見られる理由は、MFCA 適用時の問題点や MFCA 自体の限界に起因していると推測される。第 2 章における表 2.5 と表 2.6 では、MFCA 適用の主な問題と MFCA 自体の限界が以下のように述べられている。

- 1) MFCA と別のツールの取り組みと統合・補助することが必要である
- 2) 導入時の作業負担や労働者資源の制約がある
- 3) MFCA 計算コスト項目と従来原価系のコスト情報と関連つけられない
- 4) MFCA と業種・生産工程，既存の管理手法との差異によっては，示された効果が一致しない

つまり，MFCA 適用企業間の効率値格差は，企業の業種，生産プロセス，企業の技術更新状態，労働者資源など関係があると考えられる．通常の場合は企業の生産効率に影響にかける可能な要因を考察して表 4.17 にまとめた．

さらに，本章の 4.5 節では，MFCA を適用した企業の効率値に関して考察が行われ，DEA モデルを用いたプロジェクションからは労働者，技術，材料の生産性という要素が異なることにより，企業間でも効率値に差が生じることが明らかになった．このプロジェクション分析により，ほとんどの DMU において，資本金，従業員数，マテリアルに関して大きな改善の必要性が示唆されている．

以上の各生産性は，MFCA を適用した企業間の環境経営効率性における格差の原因と仮設した．各生産性については，具体的には，使用される材料の種類，労働者のスキルと人数，採用されている技術，生産プロセスの設計，従業員の管理及びコスト構造が，効率値に格差をもたらす主要因として同定された．

表 4.17 企業の生産効率に影響する可能な要因

原材料の質と供給安定性	原材料の質や供給の安定性が生産効率に影響を与える可能性がある
企業規模	大企業は規模の経済を生かし，より効率的な資源管理を実現できることがある．一方小規模企業は柔軟性があり，迅速に新しい環境管理戦略を採用できる可能性がある
資本構造	資本豊富な企業は，先進的な環境管理技術への投資が容易であり，これが効率性向上に寄与する可能性がある
業界特性	異なる業界では原材料の使用，生産プロセス，廃棄物管理などにおいて効率値が異なる可能性がある
技術的進歩	新しい製造技術やプロセス管理技術の採用が，原材料の利用効率やエネルギー効率を向上させる可能性がある
イノベーションの速度	業界または企業によってイノベーションを取り入れる速度が異なり，これが長期的な効率性に影響を与える可能性がある

	ある
経営戦略と環境ポリシー	企業の環境に対する姿勢や持続可能性に関する戦略が効率に影響を与える
製品の多様性と複雑性	製品の種類や複雑性が生産工程に影響し、効率に差を生じさせる場合がある
労働力の技能と生産性	従業員の技能レベルや生産性が、生産効率に影響する
品質管理と廃棄物の管理	製品の品質管理と廃棄物の管理が、効率値に直接的な影響を与える
在庫管理とロジスティクス	効率的な在庫管理とロジスティクスが、全体のコスト削減と効率向上に寄与する
環境規制と持続可能性へ対応	環境規制への対応や持続可能な生産方法の採用が、長期的な効率に影響を与える

出所：筆者作成。

まず、第2章において MFCA の適用が企業の生産効率に与える影響についても考察した。この過程では、生産プロセスの環境条件、労働者の作業効率に寄与する補助ツール、生産管理手法などが重要な役割を果たしていることが確認された。これらの要素が環境経営効率に及ぼす影響を理解し、MFCA を効果的に適用する際の指標となることを述べた。

次に、4.6 節の各 DEA モデルによるプロジェクトの検討結果を示すように、TFP に含まれる資本生産性、労働生産性及び材料生産性が、効率性における差異を生じる主要な要因を包括的に説明していることが示唆される。

そして、資本生産性は、投資された資本（機械、設備、建物など）に対する出力の比率を指す。高い資本生産性は、より少ない資本投入でより多くの出力を生み出すことを意味し、DEA 効率値において高いスコアをもたらす可能性がある。逆に、低い資本生産性は非効率性の指標となり得る。

労働生産性は従業員の労働に対する出力の比率を指す。高い労働生産性は、労働力が効率的に活用されていることを示し、DEA 効率値を向上させる可能性がある。

材料生産性は使用された材料に対する出力の比率を指す。材料の効率的な使用はコスト削減と生産効率の向上に寄与し、結果として DEA 効率値の向上につながる可能性がある。

したがって、TFP に含まれるこれらの生産性要素が DEA の効率値の格差が生じる要因として解釈する可能である。これらの生産性指標の向上は、企業の全体的な効率性を高め、持続可能な成長を促進すると考えられる。

要するに、企業の DEA 効率値に与える影響を分析し、資本生産性、労働生産性、材料生産性が効率性の差異を生じさせる主要なドライバーであることを明らかにするため、TFP 生産性指標への再考察が重要であると考えられる。

4.7.2 生産性指標への再考察

生産性指標における分子は、「総出力」や「収益」などが用いられる。ここでいう「総出力」とは、一定期間内に企業や経済セクターが生産する財やサービスの総量を示すものである。生産性の分子に含まれる項目は通常、「総出力」または「生産量」であるが、この総出力は、企業や経済全体が特定の期間内に生産した商品やサービスの量または価値を表す。

表 4.18 は、一般的な TFP 指標の計算式とその意味を説明している。この TFP 生産性指標の計算式と意味を基に、MFCA の適用企業間における効率値の差異をもたらす要因としての生産性指標の合理性を考察する。

表 4.18 TFP 生産性指標の計算式と意味

計算式	意味
資本生産性 = $\frac{\text{生産量 (または総出力)}}{\text{資本投資額}}$	投資された資本（機械、建物、設備など）に対してどれだけの企業やの生産する財の総量が得られているかを示す。 高い資本生産性は少ない資本投資で多くの生産量や収益を達成していることを意味する
労働生産性 = $\frac{\text{生産量 (または総出力)}}{\text{労働時間 (または労働者数)}}$	労働者一人当たりの生産量を示す。これは労働者のスキル、技術、効率などに影響される。この指標が高いほど、労働者はより効率的に働いていると言える
材料生産性 = $\frac{\text{生産量 (または総出力)}}{\text{材料投入量}}$	材料生産性は使用される材料（原材料、エネルギーなど）に対する出力の効率を測定する。この指標が高い場合より少ない材料でより多くの製品を生産していることを示す

出所：2.3 節を基に筆者作成。

生産性の分子については具体的には以下のように測定される⁷⁸。

- (1) 数量ベース：物理的な量で測定され、製造業や農業などのセクターで一般的である。例えば、製造された製品の単位数やトン数などがこれに該当する。
- (2) 価値ベース：製品やサービスの市場価値で測定され、金額で表される。この方法はサービス業や複数の製品を取り扱う製造業において一般的である。

⁷⁸ 日本生産性本部 <https://www.jpc-net.jp> (2023 年 12 月 2 日)。

したがって、本研究では、MFCA を適用した企業が全て製造業であり、複数の製品を取り扱っていることから、生産性指標における分子は「価値ベース」で定められる。

さらに、既存の資本生産性、労働生産性、材料生産性の指標を生産プロセスの効率性を評価する上で考察する際には、TFP は生産性の経済的側面にのみ重点を置いていることが判明した。

MFCA の考え方は、環境的持続可能性も考慮に入れているため、一般的な資本生産性、労働生産性、材料生産性の指標を用いてMFCAを適用した企業間のDEA効率値の格差を説明することは不適切であると考えられる。

そこで、持続可能な経営や環境への影響を評価するためには、MFCA の視点から新たな生産性指標を提案することが必要である。

4.7.3 MFCA 視点からのエコ生産性指標

以上の研究を踏まえ、本研究では採用している MFCA 適用企業における生産性指標の計算式と意味を、表 4.19 で表示する。すなわち、経済的面とも配慮するので、エコ生産性指標と定める。表 4.18 の一般的な TFP 生産性指標の計算式と表 4.19 の MFCA 適用企業におけるエコ生産性指標の計算式と比較すると、各生産性の分子には、「生産量または総出力」から「製品へのマテリアルコスト」に入れ替えたという違いがある。

表 4.19 MFCA 適用企業におけるエコ生産性指標の計算式

計算式	解釈
$\text{エコ資本生産性} = \frac{\text{正の製品 MC (百万円)}}{\text{設備投資資本金 (百万円)}}$	<p>この指標は投資された資本（機械、建物、設備など）に対してどれだけの製品化された材料コストが得られているかを示す。企業がどの程度の資本投資を行って、どれだけの製品になった材料がもたらす経済的価値を表す指標として解釈できる。MFCA の視点では資本投資による材料の流れやコストも考慮し、投資の環境効率性を評価する。目的はより少ない資本投入でより多くの出力を得ることにある</p>
$\text{エコ労働生産性} = \frac{\text{正の製品 MC (百万円)}}{\text{労働者数 (人)}}$	<p>この指標は労働者一人当たりがどれだけの製品化された材料コスト価値を示す。労働生産性を基に環境の概念を取り入れている。これにより単に労働と生産量の関係だけでなく、環境への影響も考慮している。高いエコ労働生産性の値は、少ない労働者数で高い製品化の価値を生産していることを意味し、労働効率の良さを示唆している</p>
$\text{エコ材料生産性} = \frac{\text{正の製品 MC (百万円)}}{\text{材料投入量 (百万円)}}$	<p>この指標はどれだけの材料を製品化されたのかを表す指標である。生産された製品あたりの真実的な材料使用量を評価する。MFCA の視点からは単に材料の量だけでなく、そのコストと環境への影響も考慮することが重要である。高い材料生産性は効率的な材料使用とコスト削減、そして環境への低い影響を示している</p>

出所：筆者作成。

本研究では、統合された労働、資本、材料の効率を反映する指標として「エコ生産性指標」という名前を提案する。エコ生産性指標は、それぞれ異なる視点から生産プロセスを評価し、企業や経済全体の持続可能な成長に貢献する重要なツールとなる可能性がある。この新しい指標は、労働、資本、材料の統合された効率を反映し、環境的持続可能性も考慮している。

さらに、本研究では従来の全要素生産性（TFP）と「エコ生産性指標」との間の相違点についても検討する。両指標は生産プロセスの効率性を評価するという共通の目的を持ちながら、そのアプローチには重要な違いが存在する。TFP は生産性の経済的側面に重点を置き、広範な経済的分析に適している一方、「エコ生産性指標」は環境的持続可能性を考慮し、持続可能な経営や環境への影響を評価するために適用可能である。

「エコ生産性指標」は、企業が経済的効率性と環境保全の両立をどのように達成しているかを包括的に評価する指標であり、企業の全体的な持続可能性パフォーマンスの一つの測定基準として使用することが期待されている。

最後、4.6 節で述べた通り、生産性指標が企業の生産効率における格差を生じる要因として十分に解釈可能であり、これらの生産性指標の向上は企業の全体的な効率性を高め、持続可能な成長を促進すると検討された。そして、本研究では MFCA を適用した企業の生産効率に与える影響について深く分析し、「エコ生産性指標」が効率性の差異を生じさせる主要な原因であることを明らかにすることを目指している。

4.7.4 Tobit モデルによる要因分析

Tobit モデル (Tobit Model) は 1958 年に James Tobin によって提案され、彼の名前を取って命名された回帰モデルである。Tobit 回帰モデルは、説明変数がある一定値までは被説明変数が常に 0 の値をとるが、説明変数がある「しきい値」を超えると、説明変数に比例して被説明変数が増加するような関係を分析するときに使われる手法である。

Tobit モデルは限界のある依存変数（例えば、DEA 効率値のように 0 と 1 の間でしか取らない変数）を持つ回帰分析に適した統計手法である。DEA 効率値のような限界があるデータに対して以下の理由で Tobit モデルが適していると考えられる。

まず、限界があるデータの適切な処理ができる。DEA 効率値は通常 0 から 1 の間の値を取る。このような限界があるデータに通常の線形回帰モデルを適用すると、予測値が 0 や 1 の外側に出ることがあるが、Tobit モデルはこの問題が解決できる。

次に、センサリングデータを考慮する。DEA 効率値はセンサリングデータ（特定の値以下または以上のデータが観測されない）の特性を持つ。Tobit モデルはこのようなデータ特性を適切に扱うことができる。

最後、より正確な推定値を提供する。Tobit モデルは限界がある依存変数に関してより正確な推定値と標準誤差が提供できる。

以上の Tobit モデルの特徴をまとめると、Tobit モデルは従属変数が特定の閾値以下で「センサリング」（観測されない）され、閾値以上では正規に観測される場合に使用される手法である。観測されない潜在変数 y_i^* が考えられ、この潜在変数は独立変数 X_i に線形に依存し誤差項 ε_i を含む。数式では以下のように表される。

$$y_i^* = \beta X_i + \varepsilon_i \quad (4-2)$$

ここで、 β は推定すべき係数のベクトルである。

観測される従属変数 y_i は、潜在変数が閾値（例えば 0）以上の場合にのみ観測される。

$$y_i = \begin{cases} y_i^*, & \text{if } y_i^* > 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4-3)$$

さらに、Tobit モデルでは、誤差項は通常、正規分布に従うと仮定される。これは最尤推定法（MLE）を用いる際に重要である。

本研究では、DEA を用いて得られる各種モデルの効率値が 0 から 1 の範囲に属することを踏まえ、これらの効率値を被説明変数として Tobit モデルによる回帰分析を行う。

MFCA を適用した企業を対象に、DEA で得られた効率値を被説明変数として使用し、Tobit 回帰分析を通じて効率性に影響を与える要因を検討する。Tobit 回帰分析で扱う変数を表 4.20 にまとめて示す。

表 4.20 効率値の格差をもたらす要因分析の変数

被説明変数	説明変数
CCR による効率値 BBC による効率値 SBM-C による効率値 SBM-V による効率値 SBM-O-C による効率値 SBM-O-V による効率値	エコ資本生産性 エコ労働生産性 エコ材料生産性 上場企業ダミー ("有"=1, "無"=0)

出所：筆者作成。

これらの変数を計算する用のデータベースは表 4.21 である。

表 4.21 各エコ生産性の計算へのデータベース 単位：百万円

DMU	資本	労働者数 (人)	材料	正の製品 MC
NO.1-01	7770.22	1162	3.6608	2.499944
NO.1-02	1237.67	141	3.4721	3.467205
NO.1-04	3469.62	111	0.708	0.54
NO.1-05	1387.14	76	0.0617	0.041565
NO.1-06	50	98	5.0963	4.90403
NO.1-07	96	138	56.9	40.3
NO.2-01	11678.98	396	958.509	371.748
NO.2-03	5316.51	251	12.017	8.867
NO.3-05	5171.98	643	1.33	1.15
NO.3-12	90	98	0.6711	0.633581
NO.3-13	10	40	0.6187	0.461778
NO.3-14	10	70	45.6205	45.46896
NO.3-15	20.4	47	0.245	0.132
NO.5-01	7509.29	792	1.284	1.07
NO.6-01	20	118	4.6618	1.84267
NO.6-02	50	310	1.3044	1.134492
NO.6-03	533.56	266	23.5944	9.611064
NO.6-04	20	48	5.2152	5.018291
NO.7-01	100	80	63.2681	62.43608
NO.7-02	8.5	47	0.0646	0.0044
NO.8-02	20	17	0.0068	0.004641
NO.9-01	50	450	28.7928	28.3083
NO.10-03	618.92	100	9.7116	6.599406
NO.11-01	1547.99	266	110.76	84.3
NO.11-02	1518.11	64	64.4042	32.43713
NO.11-03	3394.78	130	0.0024	0.001183
NO.12-02	80	52	0.784	0.689098
NO.12-03	7	290	0.7171	0.703546
NO.14-02	2	127	36.5786	36.11341
NO.14-03	12	60	1.0085	0.634412
NO.14-04	3	39	0.45	0.3

出所：経済産業省（2009a）の MFCA の適用事例を参照して筆者作成。

表 4.21 の 各エコ生産性の計算へのデータベースを利用してエコ生産性指標の計算式により、各生産性の結果を表 4.22 で示している。

表 4.22 DMUs の要因分析への変数データベース

DMU	エコ資本 生産性	エコ労働 生産性	エコ材料 生産性	上場企業(1or0)
NO.1-01	0.00032	0.00215	0.68290	1
NO.1-02	0.00280	0.02459	0.99859	1
NO.1-04	0.00016	0.00486	0.76271	1
NO.1-05	0.00003	0.00055	0.67366	1
NO.1-06	0.09808	0.05004	0.96227	0
NO.1-07	0.41979	0.29203	0.70826	0
NO.2-01	0.03183	0.93876	0.38784	1
NO.2-03	0.00167	0.03532	0.73779	1
NO.3-05	0.00022	0.00179	0.86466	1
NO.3-12	0.00704	0.00647	0.94409	0
NO.3-13	0.04618	0.01154	0.74637	0
NO.3-14	4.54690	0.64956	0.99668	0
NO.3-15	0.00647	0.00281	0.53878	0
NO.5-01	0.00014	0.00135	0.83333	1
NO.6-01	0.09213	0.01562	0.39527	0
NO.6-02	0.02269	0.00366	0.86974	0
NO.6-03	0.01801	0.03613	0.40735	1
NO.6-04	0.25091	0.10455	0.96224	0
NO.7-01	0.62436	0.78045	0.98685	0
NO.7-02	0.00052	0.00009	0.06811	0
NO.8-02	0.00023	0.00027	0.68250	0
NO.9-01	0.56617	0.06291	0.98317	0
NO.10-03	0.01066	0.06599	0.67954	1
NO.11-01	0.05446	0.31692	0.76111	1
NO.11-02	0.02137	0.50683	0.50365	1
NO.11-03	0.00000	0.00001	0.49292	1
NO.12-02	0.00861	0.01325	0.87895	0
NO.12-03	0.10051	0.00243	0.98110	0
NO.14-02	18.05670	0.28436	0.98728	0
NO.14-03	0.05287	0.01057	0.62906	0
NO.14-04	0.10000	0.00769	0.66667	0

出所：筆者作成。

Tobit 回帰モデルを用いて、DEA 効率値 Y と複数の説明変数（資本生産性： $X1$ 、労働生産性： $X2$ 、材料生産性： $X3$ 、および上場企業 $Z1$ との関連を分析した。DEA 効率値は 0 から 1 の間で截断される特性を持つため、Tobit モデルが適用され、モデルの形式は以下の通りである。

$$Y^* = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 Z_1 + \epsilon \quad (4-4)$$

$$Y = \begin{cases} 1 & \text{if } 1 \leq Y^* \\ Y^* & \text{if } 0 < Y^* < 1 \\ 0 & \text{if } Y^* \leq 0 \end{cases}$$

さらに、統計的な回帰分析の結果を示しており、各変数の回帰係数 (Coefficient)、標準誤差 (Std. err.)、t 値 (t)、P 値 ($P > |t|$)、そして 95%信頼区間 ([95% conf. interval]) が含まれている。有意の判断する基準は以下の通りである。

- (1) P 値 ($P > |t|$): P 値 ≤ 0.05 であれば、統計的に有意であり、帰無仮説を棄却し、変数が目的変数に有意な影響を与える可能性が高いことを示す。P 値 > 0.05 と統計的に非有意である。
- (2) 信頼区間 ([95% conf.interval])については真の係数がこの区間内にあると 95%確信できる範囲であり、信頼区間が 0 を含まない場合、その変数は統計的に有意と見なされる。

さらに、4.6 節における DEA プロジェクションの検討結果、および本節では生産性指標についての検討に基づき、各 DEA モデルの効率値の格差の要因を分析する際、以下の仮説を立てて検証を行う。

- (1) エコ資本生産性が弱い正の影響を与える。
- (2) エコ労働生産性が強い正の影響を与える。
- (3) エコ材料生産性が強い正の影響を与える。
- (4) 上場企業は弱い負の影響を与える。

そして、Tobit モデルの分析のため、Stata/MP17 ソフトを利用する。

4.7.5 CCR モデルによる効率値格差への分析

CCR モデルの DEA 効率値の格差要因を分析する際、CCR モデル DEA 効率値と表 4.223 の DMUs の要因分析への変数データベースを利用する。記述統計量は表 4.23 のとおりである。

表 4.23 CCR モデルによる DEA 効率値の格差要因の記述統計量

Variable	Obs	Mean	Std.dev.	Min	Max
効率値	31	0.7512539	0.231649	0.6834	1
エコ資本生産性	31	0.8110268	3.303161	0	18.0567
エコ労働生産性	31	0.1365661	0.2505547	0.0001	0.93876
エコ材料生産性	31	0.7346271	0.2286707	0.06811	0.99859
上場企業	31	0.4193548	0.5016103	0	1

出所：筆者作成。

表 4.23 から以下のことが分かった。

- (1) 効率値は 0 から 1 の範囲で、1 に近いほど高い効率を示す。平均値が 0.7513 であることは、これらの MFCA の適用企業が比較的高い効率を示していることを意味する。標準偏差が 0.2316 であることから、企業間での効率値のバラツキもある程度存在することが分かった。
- (2) エコ資本生産性の平均値が低いものの、最大値が非常に高いことから、いくつかの企業で非常に高い資本生産性が観測されている。しかし、標準偏差が大きいことから、企業間での差異が非常に大きいことも示されている。
- (3) エコ労働生産性の平均値が比較的低く、標準偏差が平均値よりも大きいため、企業間での労働生産性に大きなばらつきがあることが示されている。一部の企業は高い労働生産性を達成しているが、多くの企業では低い労働生産性を示している可能性がある。
- (4) エコ材料生産性では比較的高い材料生産性を示しており、ほとんどの企業が良いパフォーマンスを発揮している。最小値と最大値の間には大きな差があるが、平均値は高いである。
- (5) 企業が上場しているかどうかを示すバイナリ変数の平均値が 0.4194 であることから、約 42% の企業が上場企業であることが示されている。また、標準偏差が 0.5016 であることから、企業には上場企業と非上場企業の両方が含まれていることが確認できた。

さらに、CCR モデル効率値の格差をもたらす要因推定の結果は、表 4.24 で示すものである。

表 4.24 CCR モデル効率値による Tobit 推定結果

説明変数	係数	標準誤差	t 値	P 値	95%信頼区間
エコ資本生産性	0.0018615	0.012714	0.15	0.885	[-0.242255, 0.0279485]
エコ労働生産性	0.5460983	0.0711014	7.68	0.000***	[0.4002102, 0.6919863]
エコ材料生産性	1.000929	0.061283	16.33	0.000***	[0.8751862, 1.126671]
上場企業ダミー	0.0069617	0.0270192	0.26	0.799	[-0.484771, 0.0624005]

注：***, **, *それぞれは 1%, 5%, 10%水準で有意を示す

出所：Stata/MP17 ソフトによる Tobit 結果を基に筆者作成。

そして、表 4.24 から明らかになったものを表 4.25 にまとめた。

表 4.25 CCR モデル効率値による推定結果の解釈

説明変数	解 釈	有意性
エコ資本生産性	係数は非常に小さく、エコ資本生産性が効率値に与える影響は限定的であることを示唆している t 値が 0.15 であり、P 値が 0.885 と非常に高いため この係数は統計的に有意ではない 95%信頼区間が[-0.242255, 0.0279485]であり、ゼロを含んでいるため、統計的に有意とは言えない	有意ではない
エコ労働生産性	係数は 0.5460983 で効率値に与える肯定的な影響が大きいことを示している t 値が 7.68 であり、P 値が 0.000 と非常に小さいため、この係数は統計的に非常に有意である 95%信頼区間が[0.4002102, 0.6919863]であり、ゼロを含まないため、この影響は統計的に有意である	有意
エコ材料生産性	係数は 1.000929 で効率値に与える肯定的な影響が非常に大きいことを示している t 値が 16.33 であり、P 値が 0.000 と非常に小さいため、統計的に非常に有意である。 95%信頼区間が[0.8751862, 1.126671]であり、ゼロを含まないため、この影響は統計的に有意である	有意
上場企業ダミー	係数は 0.0069617 で上場企業であるかどうかは効率値に与える影響は非常に小さいことを示している t 値が 0.26 であり、P 値が 0.799 と高いため、この係数は統計的に有意ではない 95%信頼区間が[-0.484771, 0.0624005]であり、ゼロを含んでいるため、この係数は統計的に有意ではない	有意ではない

出所：筆者作成。

総じて、エコ労働生産性とエコ材料生産性は、効率値に対して統計的に有意な肯定的な影響を持っていることが分かった。一方では、エコ資本生産性と上場企業ダミーは効率値に対して統計的に有意な影響を持っていないと判明した。

4.7.6 BCC モデルによる効率値格差への分析

表 4.23 をもとに BCC モデルによる DEA 効率値の格差をもたらす要因分析の記述統計量は表 4.26 のとおりである。

表 4.26 BCC モデルによる DEA 効率値の格差要因の記述統計量

Variable	Obs	Mean	Std.dev.	Min	Max
効率値	31	0.838811	0.1769846	0.39696	1
エコ資本生産性	31	0.8110268	3.303161	0.0000	18.0567
エコ労働生産性	31	0.1365661	0.2505547	0.0001	0.93876
エコ材料生産性	31	0.7346271	0.2286707	0.06811	0.99859
上場企業	31	0.4193548	0.5016103	0	1

出所：筆者作成。

表 4.26 から、BCC モデル効率値の平均値は 0.838811 で、これはサンプルの平均的な

効率がかなり高いことを示している。標準偏差は 0.1769846 であり、効率値にはある程度のばらつきが存在することを示している。最小値は 0.39696 であり、最大値は 1.0 である。これは効率が非常に低い場合から完全に効率的な場合まで、様々な状況がサンプルに含まれていることを示している。

そして、表 4.27 は BCC モデルによる効率値の推定結果である。

表 4.27 BCC モデルと SBM-O-V モデルによる推定結果

説明変数	係数	標準誤差	t 値	P 値	95%信頼区間
エコ資本生産性	0.0212835	0.0476351	0.45	0.659	[-0.0764556, 0.1190226]
エコ労働生産性	0.4247126	0.2026623	2.10	0.046**	[0.0088839, 0.8405414]
エコ材料生産性	0.4044113	0.1708728	2.37	0.025**	[0.0538092, 0.7550133]
上場企業ダミー	-0.0859356	0.1366848	-1.15	0.260	[-0.2392737, 0.0674025]

注：***, **, *それぞれは 1%, 5%, 10%水準で有意を示す
出所：Stata/MP17 ソフトによる Tobit 結果を基に筆者作成。

そして、表 4.27 から明らかになったものを表 4.28 にまとめた。

表 4.28 BCC モデル効率値による推定結果の解釈

説明変数	解 釈	有意
エコ資本生産性	係数は 0.0212835 であり、エコ資本生産性が効率値に与える影響は小さいことを示している t 値は 0.45 であり、P 値は 0.659 であるため、この影響は統計的に有意ではない 95%信頼区間が[-0.0764556, 0.1190226]であり、この区間にゼロが含まれているため、統計的に有意な影響は確認できない	有意ではない
エコ労働生産性	係数は 0.4247126 であり、エコ労働生産性が効率値に与える正の影響があることを示している t 値は 2.10 であり、P 値は 0.046 で 5%の水準で統計的に有意である 95%信頼区間は[0.0088839, 0.8405414]であり、この区間にゼロが含まれていないために統計的に有意な影響がある	有意
エコ材料生産性	係数は 0.4044113 であり、エコ材料生産性が効率値に対して正の影響を与えることを示している t 値は 2.37 であり、P 値は 0.025 で、5%の水準で統計的に有意である 95%信頼区間は[0.0538092, 0.7550133]であり、この区間にゼロが含まれていないために統計的に有意な影響がある	有意
上場企業ダミー	係数は-0.0859356 であり、上場企業であることが効率値に与える影響は負であるが、その影響は小さい t 値は-1.15 であり、P 値は 0.260 であるためにこの影響は統計的に有意ではない 95%信頼区間は[-0.2392737, 0.0674025]であり、この区間にゼロが含まれているために統計的に有意な影響は確認できない	有意ではない

出所：筆者作成。

結果として、エコ労働生産性及びエコ材料生産性は、DEA 効率値に対して正の影響を

持ち、統計的に有意であることが確認された。一方、エコ資本生産性と上場企業ダミーの影響は統計的に有意ではない。これらの結果は、環境経営効率性の分析において、エコ労働生産性とエコ材料生産性が重要な要因であることを示唆している。

4.7.7 SBM-C モデルによる効率値格差への分析

SBM-C モデルによる DEA 効率値の格差をもたらす要因分析の記述統計量は表 4.29 のとおりである。

表 4.29 SBM-C モデルによる DEA 効率値の格差要因の記述統計量

Variable	Obs	Mean	Std.dev.	Min	Max
効率値	31	0.3924132	0.284621	0.02288	1
エコ資本生産性	31	0.8110268	3.303161	0	18.0567
エコ労働生産性	31	0.1365661	0.2505547	0.0001	0.93876
エコ材料生産性	31	0.7346271	0.2286707	0.06811	0.99859
上場企業	31	0.4193548	0.5016103	0	1

出所：筆者作成。

表 4.29 により、SBM-C モデルによる DEA 効率値の平均値は 0.3924132 であり、サンプルの平均的な効率が中程度であることを示している。標準偏差は 0.284621 であり、効率値にはかなりのばらつきがあることを示している。最小値は 0.02288 で、最大値は 1 である。これは、サンプル内の効率が非常に低い値から完全に効率的な値まで幅広く分布していることを示している。

さらに、SBM-C モデルによる推定結果を表 4.30 で示している。

表 4.30 SBM-C モデルによる推定結果

変数	係数	標準誤差	t 値	P 値	95%信頼区間
エコ資本生産性	0.0789508	0.0898372	0.88	0.387	[-0.10538, 0.2632815]
エコ労働生産性	0.85363	0.1387096	6.15	0.000***	[0.5690214, 1.138239]
エコ材料生産性	0.4688691	0.1226456	3.82	0.001***	[0.2172212, 0.720517]
上場企業	0.0701047	0.0551387	1.27	0.214	[-0.0430306, 0.18324]

注：***, **, *それぞれは 1%, 5%, 10%水準で有意を示す

出所：Stata/MP17 ソフトによる Tobit 結果を基に筆者作成。

そして、表 4.30 から明らかになったものを表 4.31 にまとめた。

表 4.31 SBM-C モデル効率値による推定結果の解釈

説明変数	解 釈	有意
エコ資本生産性	係数は 0.0789508 であり、エコ資本生産性が効率値に与える影響は比較的小さいことを示している t 値は 0.88 であり、P 値は 0.387 であるためにこの影響は統計的に有意ではない 95%信頼区間は[-0.10538, 0.2632815]であり、ゼロを含んでいるために統計的に有意な影響を持たない	有意ではない
エコ労働生産性	係数は 0.85363 であり、エコ労働生産性が効率値に与える正の影響が強いことを示している t 値は 6.15 であり、P 値は 0.000 で、1%の水準で統計的に非常に有意である 95%信頼区間は[0.5690214, 1.138239]であり、ゼロを含まないために統計的に有意である	有意
エコ材料生産性	係数は 0.4688691 であり、エコ材料生産性が効率値に対して正の影響を持つことを示している t 値は 3.82 であり、P 値は 0.001 で、1%の水準で統計的に有意である 95%信頼区間は[0.2172212, 0.720517]であり、ゼロを含まないためにこの影響は統計的に有意である	有意
上場企業ダミー	係数は 0.0701047 であり、上場企業であることが効率値に与える影響は小さく方向性も不明確である t 値は 1.27 であり、P 値は 0.214 であるため、この影響は統計的に有意ではない 95%信頼区間は[-0.0430306, 0.18324]であり、ゼロを含んでいるためにこの係数は統計的に有意な影響を持たない	有意ではない

出所：筆者作成。

これらの結果から、エコ労働生産性及びエコ材料生産性が、効率値に対して統計的に有意かつ正の影響を持つことが明らかとなった。一方、エコ資本生産性および上場企業の影響は統計的に有意ではなく、効率値に対するその影響は限定的であると考えられる。

4.7.8 SBM-V モデルによる効率値格差への分析

SBM-V モデルによる DEA 効率値の格差をもたらす要因分析の記述統計量は表 4.32 のとおりである。

表 4.32 SBM-V モデルによる DEA 効率値の格差要因の記述統計量

Variable	Obs	Mean	Std.dev.	Min	Max
効率値	31	0.5852216	0.3135922	0.16278	1
エコ資本生産性	31	0.8110268	3.303161	0	18.0567
エコ労働生産性	31	0.1365661	0.2505547	0.0001	0.93876
エコ材料生産性	31	0.7346271	0.2286707	0.06811	0.99859
上場企業	31	0.4193548	0.5016103	0	1

出所：筆者作成。

表 4.32 により、SBM-V モデルによる DEA 効率値の平均値は 0.5852216 である。これはサンプル全体の効率が比較的高い水準にあることを示している。標準偏差は 0.3135922 で効率値にはかなりのばらつきが存在することを示している。最小値は 0.16278 であり、最大値は 1 である。この範囲は非常に低い効率値から完全な効率値まで幅広いことを示している。さらに、SBM-V モデルによる推定結果を表 4.33 で示している。

表 4.33 SBM-V モデルによる推定結果

変数	係数	標準誤差	t 値	P 値	95%信頼区間
エコ資本生産性	0.0567379	0.0977272	0,58	0.566	[-0.1437817, 0.2572576]
エコ労働生産性	0.9074932	0.3682959	2,46	0.020**	[0.1518124, 1.6631740]
エコ材料生産性	0.0602311	0.3116068	0,19	0.848	[-0.5791331, 0.6995954]
上場企業	-0.2465099	0.1351414	-1,82	0.079*	[-0.5237971, 0.0307773]

注：***, **, *それぞれは 1%, 5%, 10%水準で有意を示す

出所：Stata/MP17 ソフトによる Tobit 結果を基に筆者作成。

そして、表 4.33 から明らかになったものを表 4.34 にまとめた。

表 4.34 SBM-V モデル効率値による推定結果の解釈

説明変数	解釈	有意
エコ資本生産性	係数は 0.0567379 であり、エコ資本生産性が効率値に与える影響は比較的小さいことを示している t 値は 0.58 であり、P 値は 0.566 であるためにこの影響は統計的に有意ではない 95%信頼区間は[-0.1437817, 0.2572576]であり、ゼロを含んでいるためにこの係数は統計的に有意な影響を持たない	有意ではない
エコ労働生産性	係数は 0.9074932 であり、エコ労働生産性が効率値に与える正の影響が非常に強いことを示している。 t 値は 2.46 であり、P 値は 0.020 であり、5%の水準で統計的に有意である 95%信頼区間は[0.1518124, 1.663174]であり、ゼロを含まないためにこの影響は統計的に有意である	有意
エコ材料生産性	係数は 0.0602311 であり、エコ材料生産性が効率値に対して持つ影響は小さく、統計的に有意ではない t 値は 0.19 であり、P 値は 0.848 であるためにこの影響は統計的に有意ではない 95%信頼区間は[-0.5791331, 0.6995954]であり、ゼロを含んでいるためにこの係数は統計的に有意な影響を持たない	有意ではない
上場企業ダミー	係数は-0.2465099 であり、上場企業であることが効率値に与える影響は負であるが、その影響は中程度である t 値は-1.82 であり、P 値は 0.079 で 10%の水準で統計的に有意である可能性がある 95%信頼区間は[-0.5237971, 0.0307773]であり、この区間にゼロが含まれているため、この係数は統計的に有意な影響を持つ可能性がある	有意

出所：筆者作成。

これらの結果から、エコ労働生産性が効率値に対して統計的に有意かつ正の影響を持つことが明らかとなった。一方、エコ資本生産性とエコ材料生産性の影響は統計的に有意ではなく、効率値に対するその影響は限定的であると考えられる。また、上場企業の影響は負であり、10%の水準で統計的に有意である可能性がある。

4.7.9 SBM-O-C モデルによる効率値格差への分析

SBM-O-C モデルの DEA 効率値の格差要因分析の記述統計量は表 4.35 である。

表 4.35 SBM-O-C モデルによる DEA 効率値の格差要因の記述統計量

Variable	Obs	Mean	Std.dev.	Min	Max
効率値	31	0.8281329	0.1825126	0.39658	1
エコ資本生産性	31	0.8110268	3.303161	0	18.0567
エコ労働生産性	31	0.1365661	0.2505547	0.0001	0.93876
エコ材料生産性	31	0.7346271	0.2286707	0.06811	0.99859
上場企業	31	0.4193548	0.5016103	0	1

出所：筆者作成。

表 4.35 から、SBM-O-C モデルによる DEA 効率値の平均値は 0.8281329 である。これはサンプル全体の効率が低い水準にあることを示している。標準偏差は 0.1825126 であり、効率値にはある程度のばらつきが存在することを示している。最小値は 0.39658 であり、最大値は 1 である。これはサンプル内の効率が中程度から完全な効率まで幅広く分布していることを示している。

さらに、SBM-O-C モデルによる推定結果を表 4.36 で示している。

表 4.36 SBM-O-C モデルによる推定結果

変数	係数	標準誤差	t 値	P 値	95%信頼区間
エコ資本生産性	0.653098	0.1242161	0.53	0.603	[-0.1895607, 0.3201802]
エコ労働生産性	0.2683297	0.2096728	1.28	0.212	[-0.1618833, 0.6985428]
エコ材料生産性	0.3142017	0.187424	1.68	0.105	[-0.0703606, 0.698764]
上場企業	-0.0078726	0.0829998	-0.09	0.925	[-0.1781741, 0.1624289]

注：***, **, *それぞれは 1%, 5%, 10%水準で有意を示す

出所：Stata/MP17 ソフトによる Tobit 結果を基に筆者作成。

そして、表 4.36 から明らかになったものを表 4.37 にまとめた。

表 4.37 SBM-O-C モデル効率値による推定結果の解釈

説明変数	解釈	有意
エコ資本生産性	係数は 0.653098 であり、エコ資本生産性が効率値に与える影響は比較的大きいが、統計的には有意ではないことを示している t 値は 0.53 であり、P 値は 0.603 であるため、この影響は統計的に有意ではない 95%信頼区間は[-0.1895607, 0.3201802]であり、ゼロを含んでいるためにこの係数は統計的に有意な影響を持たない	有意ではない
エコ労働生産性	係数は 0.2683297 であり、エコ労働生産性が効率値に与える影響はある程度あるが、統計的には有意ではない t 値は 1.28 であり、P 値は 0.212 であるためにこの影響は統計的に有意ではない 95%信頼区間は[-0.1618833, 0.6985428]であり、ゼロを含んでいるため、この係数は統計的に有意な影響を持たない	有意ではない
エコ材料生産性	係数は 0.3142017 であり、エコ材料生産性が効率値に対して持つ影響はある程度あるが、統計的には有意ではない t 値は 1.68 であり、P 値は 0.105 であるためにこの影響は統計的に有意ではない 95%信頼区間は[-0.0703606, 0.698764]であり、ゼロを含んでいるためにこの係数は統計的に有意な影響を持たない	有意ではない
上場企業ダミー	係数は-0.0078726 であり、上場企業であることが効率値に与える影響は非常に小さく、統計的に有意ではない t 値は-0.09 であり、P 値は 0.925 であるため、この影響は統計的に有意ではない 95%信頼区間は[-0.1781741, 0.1624289]であり、この区間にゼロが含まれているためにこの係数は統計的に有意な影響を持たない	有意ではない

出所：筆者作成.

結果として、エコ資本生産性、エコ労働生産性、エコ材料生産性、上場企業のいずれの変数も、効率値に対して統計的に有意な影響を持つことは確認できなかった。これらの変数の影響はある程度観測されるが、統計的な有意性は確立されていないことが分かった。

4.7.10 SBM-O-V モデルによる効率値格差への分析

SBM-O-V モデルの DEA 効率値の格差要因分析の記述統計量は表 4.38 である。

表 4.38 SBM-O-V モデルによる DEA 効率値の格差要因の記述統計量

Variable	Obs	Mean	Std.dev.	Min	Max
効率値	31	0.84523	0.1791631	0.39696	1
エコ資本生産性	31	0.8110268	3.303161	0	18.0567
エコ労働生産性	31	0.1365661	0.2505547	0.0001	0.93876
エコ材料生産性	31	0.7346271	0.2286707	0.06811	0.99859
上場企業	31	0.4193548	0.5016103	0	1

出所：筆者作成.

表 4.38 から、SBM-O-V モデルによる DEA 効率値の平均値は 0.84523 であり、サンプル全体の効率が低い水準にあることを示している。標準偏差は 0.1791631 であり、効率値にはある程度のばらつきが存在することを示している。最小値は 0.39696 で最大値は 1 である。この範囲は効率が中程度から完全な効率まで幅広いことを示している。

さらに、SBM-O-V モデルによる推定結果を表 4.39 で示している。

表 4.39 SBM-O-V モデルによる推定結果

変数	係数	標準誤差	t 値	P 値	95%信頼区間
エコ資本生産性	0.02994	0.0753686	0.40	0.694	[-0.1247037, 0.1845837]
エコ労働生産性	0.3991916	0.2260862	1.77	0.089*	[-0.064699, 0.8630821]
エコ材料生産性	0.3537251	0.1925482	1.84	0.077*	[-0.0413512, 0.7488014]
上場企業	-0.629746	0.0841343	-0.75	0.461	[-0.235604, 0.1096548]

注：***, **, *それぞれは 1%, 5%, 10%水準で有意を示す

出所：Stata/MP17 ソフトによる Tobit 結果を基に筆者作成。

そして、表 4.39 から明らかになったものを表 4.40 にまとめた。

表 4.40 SBM-O-V モデル効率値による推定結果の解釈

説明変数	解 釈	有意
エコ資本生産性	係数は 0.02994 であり、エコ資本生産性が効率値に与える影響は非常に小さいことを示している t 値は 0.40 であり、P 値は 0.694 であるためにこの影響は統計的に有意ではない 95%信頼区間は[-0.1247037, 0.1845837]であり、ゼロを含んでいるため、この係数は統計的に有意な影響を持たない	有意ではない
エコ労働生産性	係数は 0.3991916 でエコ労働生産性が効率値に与える影響はある程度あるが、統計的には有意ではない可能性がある t 値は 1.77 であり、P 値は 0.089 で 10%の水準で統計的に有意である可能性がある 95%信頼区間は[-0.064699, 0.8630821]であり、この区間にゼロが含まれているため、この係数は統計的に有意な影響を持つ可能性がある	有意ではない
エコ材料生産性	係数は 0.3537251 であり、エコ材料生産性が効率値に対して持つ影響はある程度あるが、統計的には有意ではない可能性がある t 値は 1.84 であり、P 値は 0.077 で 10%の水準で統計的に有意である可能性がある 95%信頼区間は[-0.0413512, 0.7488014]であり、この区間にゼロが含まれているためにこの係数は統計的に有意な影響を持つ可能性がある	有意ではない
上場企業ダミー	係数は-0.629746 であり、上場企業であることが効率値に与える影響は負であるが、その影響は中程度であり、統計的には有意ではない。 t 値は-0.75 であり、P 値は 0.461 であるため、この影響は統計的に有意ではない 95%信頼区間は[-0.235604, 0.1096548]であり、この区間にゼロが含まれているため、この係数は統計的に有意な影響を持たない	有意ではない

出所：筆者作成。

これらの結果からみると、エコ労働生産性とエコ材料生産性は効率値に対して正の影響を持つ可能性があるが、統計的に有意とは断言できない。また、エコ資本生産性と上場企業の影響は統計的に有意ではない。これらの知見は効率値に対するこれらの変数の影響を理解する上でさらなる他の DEA モデルの推定研究の必要性を示唆している。

4.7.11 推定結果への考察

各 DEA モデルにおける説明変数（各エコ生産性と上場企業要因）による環境経営効率性への影響をより深く理解するため、各要因の統計的有意性および効率値への影響度合いを表 4.41 にまとめた。

表 4.41 各要因による DEA 効率値への影響度合い

モデル	エコ資本生産性	エコ労働生産性	エコ材料生産性	上場企業
CCR	0.0018615 (ns)	0.5460983 (***)	1.000929 (***)	0.0069617 (ns)
BCC	0.0212835 (ns)	0.4247126 (**)	0.4044113 (**)	0.0859356 (ns)
SBM-C	0.0789508 (ns)	0.85363 (***)	0.4688691 (***)	0.0701047 (ns)
SBM-V	0.0567379 (ns)	0.9074932 (**)	0.0602311 (ns)	-0.2465099 (*)
SBM-O-C	0.653098 (ns)	0.2683297 (ns)	0.3142017 (ns)	-0.0078726 (ns)
SBM-O-V	0.02994 (ns)	0.3991916 (*)	-0.629746 (*)	-0.629746 (ns)

出所：筆者作成。

この表では、各 DEA モデル（CCR モデル、BCC モデル、SBM-O-V モデル、SBM-O-C モデル、SBM-C モデル、SBM-V モデル）におけるエコ資本生産性、エコ労働生産性、エコ材料生産性、上場企業の係数を示しており、それぞれの統計的有意性を"*"（10%水準）、"*"*（5%水準）、"*"*"*（1%水準）で表している。"ns"は非有意（not significant）を意味する。

表 4.41 から、MFCA 適用企業の DEA 効率値に影響を与える要因は多岐にわたり、それぞれの要因が環境経営効率性に与える影響の度合いは異なることが明らかになった。

まず、エコ資本生産性に関しては、その影響が統計的に有意ではない結果が見られた。これは資本生産性の向上が必ずしも効率性の向上に直接結びつかないことを示唆している。資本投資は、その利用方法や他の生産要素との組み合わせに依存するため、効率性を高めるためには単に資本を増やすだけでは不十分である可能性が高い。

次に、エコ労働生産性は、5種類の DEA モデルにおいて DEA 効率値に正の影響を与え

ることが示された。これは労働力の生産性が企業全体の効率性に重要な寄与をしていることを示しており、特に労働生産性の向上には、スキルアップ、教育、効率的な労働プロセスの導入などが重要となる。

さらに、エコ材料生産性については、その影響が DEA モデルによって異なる結果が出ている。4 種類のモデルでは統計的に有意な結果が見られたが、2 種類の DEA モデルでは有意ではない結果が出ておる。総合的に考えると、材料の効率的な利用が全体の効率性に直接寄与することが示唆される。材料コストの管理、資源の利用効率、その他の生産要素との組み合わせが、効率性において重要な要因となる。

最後、上場企業であることの影響については、その係数が負であることが 1 種類のモデルで確認された。これは、上場企業が直面する特有の課題や制約が効率性を低下させる可能性があることを弱めに示しており、規制の遵守や株主への報告義務、短期的な業績圧力などが、企業の柔軟性や長期的な効率性を妨げる要因となっている可能性がある。

これらの結果から、エコ労働生産性とエコ材料生産性が多くのモデルにおいて効率値に対して正の影響を持つことが示されている。一方、エコ資本生産性と上場企業の影響は多くのモデルにおいて統計的に有意ではないことが判明した。

環境経営効率性を表す DEA 効率値に影響を与える要因は非常に複雑であり、資本、労働、材料の各生産要素の効率性が組織全体の効率性にどのように影響するかは、それらがどのように統合され、活用されるかに大きく依存していることも明らかになった。

労働生産性および材料生産性の向上が自動的に効率性を高めるわけではなく、これらの要素をどのように最適化し、組織の戦略や目標に合わせて適切に配置するかが鍵となる。したがって、企業の環境経営の効率性を高めるためには、これらの要素を総合的に考慮したアプローチが必要である。

4.8 結論および改善案

4.8.1 結論

4.2 から 4.7 までの各 DEA モデル効率値の評価、および各 MFCA の適用企業の効率値格差をもたらす要因分析を通じて、MFCA 適用企業の環境経営効率性に影響を与える複数の要因が明らかになった。これらの要因には、エコ資本生産性、エコ労働生産性、エコ材料生産性、上場企業が含まれる。

表 4.42 はエコ資本生産性、エコ労働生産性、エコ材料生産性、上場企業という要因が

DEA モデルにおける環境経営効率性に与える影響の研究をまとめるものである。

表 4.42 DEA モデルにおける各要因の結論

結論	エコ資本生産性	エコ労働生産性	エコ材料生産性	上場企業の影響
1	すべてのモデルで統計的に有意ではない	ほとんどのモデルで DEA 効率値に正の影響	多数のモデルによって DEA 効率値に正の影響	少数のモデルで負の影響が統計的に有意
2	資本生産性の向上が効率性の向上に直接結びつかない可能性	労働力の生産性が企業全体の効率性に重要な寄与	材料の効率的な利用が全体の効率性に直接寄与する	上場企業が直面する特有の課題や制約が効率性を低下させる可能性
3	資本投資の利用方法や他の生産要素との相互作用が重要	労働生産性の向上はスキルアップや効率的な労働プロセスによる	材料コストの管理や資源の利用効率の重要性	規制の遵守や株主への報告義務が長期的な効率性に影響

出所：筆者作成。

表 4.42 は、各要因が環境経営効率性に与える影響を理解する全体像である。エコ資本生産性、エコ労働生産性、エコ材料生産性、上場企業という説明変数が、それぞれ異なる影響を持ち、企業全体の効率性に対して複合的な影響を及ぼすことが明らかになった。

さらに、4.7.4 節においては、以下の仮説を立てた。

- (1) エコ資本生産性が弱い正の影響を与える。
- (2) エコ労働生産性が強い正の影響を与える。
- (3) エコ材料生産性が強い正の影響を与える。
- (4) 上場企業は弱い負の影響を与える。

DEA モデルにおける各要因の結論から、以下の検証結果が分かった。

- (1) エコ資本生産性が弱い正の影響を与えるという仮説が検証されなかった。
- (2) エコ労働生産性が強い正の影響を与えるという仮説が検証された。
- (3) エコ材料生産性が強い正の影響を与えるという仮説が検証された。
- (4) 上場企業は弱い負の影響を与えるという仮説が検証された。

4.8.2 改善案

これらの分析結果は、特定の変数が企業の効率性にどのように影響を与えるかを理解するための重要な手がかりを提供している。特に、労働生産性が効率性向上に最も重要な要

素であること、そして上場企業のステータスが効率性に影響を与える可能性があることが示された。これらの結果に基づいて、企業は環境経営効率性を高めるための戦略をより具体的に策定することができる。以上の分析結果と結論に基づき、改善案を表 4.43 にまとめた。

表 4.43 分析結果と改善案

結 論	分析結果	改善案
エコ労働生産性の高い重要性	ほとんどのモデルで労働生産性が DEA 効率値に正の影響を与えることが示されている	改善策としては、労働力のスキルアップ、より効率的な労働プロセスの導入、そして労働者のモチベーション向上が挙げられる
上場企業のステータス	上場企業であることが効率値に弱い負の影響を与えることが確認された	上場企業は、透明性の向上やガバナンスの強化、コンプライアンスの徹底などを通じて、負の影響を最小限に抑えるべきである。
エコ資本生産性の影響	資本生産性の影響はほとんど見られない	投資の効率化、資本の戦略的な配分、および資本利用の最適化を通じて改善することが推奨される。
エコ材料生産性の高め	多数のモデルで材料生産性の影響が有意であることが示された	材料コストの削減、廃棄物の最小化、資源の再利用といった施策を通じて効率性を高めることができる

出所：筆者作成。

さらに、分析結果から導かれる具体的な改善策を変数ごとに以下のことを挙げられる。

表 4.44 の改善策は、企業の環境経営効率性を高めるための幅広いアプローチを提供する。重要なのは、これらの施策を組織の特定のニーズに合わせて適応させ、統合的かつ戦略的な方法で実施することである。また、これらの改善策は、企業の文化や倫理、ビジョンに適合するように調整する必要があると考えられる。

表 4.44 分析結果からの具体的な改善案

<p>エコ労働生産性の向上</p>	<p>人材開発: 労働生産性の向上には、従業員のスキルアップと能力開発が重要である。定期的な研修プログラム、スキル向上のためのワークショップ、キャリア開発の機会を提供することが推奨である</p> <p>労働環境の改善: 効率的な労働環境を整えることで、従業員の生産性を高めることができる。例えば、適切な作業スペース、高品質のツールや機器、効果的なコミュニケーションツールの導入などが考えられる</p> <p>モチベーションとエンゲージメント: 従業員のモチベーションを高めるために、適正な報酬体系、インセンティブプログラム、職場の福利厚生の実施などを検討する</p>
<p>上場企業のステータスに関する改善</p>	<p>コンプライアンスと透明性の強化: 上場企業は規制や法律に準拠する必要がある。コンプライアンスを確保しつつ、経営の透明性を高めることで、投資家やステークホルダーの信頼を得ることができる</p> <p>運営の柔軟性の確保: 上場企業はしばしば市場の圧力に晒されるが、運営の柔軟性を保ちながら、長期的なビジョンと戦略を追求することが重要である</p>
<p>エコ資本生産性の最適化</p>	<p>資本投資の戦略: 資本投資は効率性の向上に直接的な影響を及ぼす可能性がある。投資は慎重に計画し、最大のリターンをもたらすプロジェクトに焦点を当てるべきである</p> <p>資本の効率的な利用: 既存の資本資源を最大限に活用するための施策を実施する。設備の最適化、メンテナンスの強化、余剰資産の処分や再配分が含まれる</p>
<p>エコ材料生産性の強化</p>	<p>材料コストの削減: 原材料の購入コストを見直し、よりコスト効率の高いサプライヤーとの取引を検討する。材料の購入量や在庫管理の最適化により、無駄を減らすことが可能である</p> <p>廃棄物の削減: 生産プロセスにおける廃棄物の削減を目指す。これには廃棄物を減らすためのプロセスの改善や、廃棄物のリサイクル、再利用の取り組みが含まれる</p>

出所：筆者作成。

4.8.2 低効率性 DMU への分析

本節では、得られた結論を用いて低効率性の DMU (MFCA 適用企業) への提案を行う。4.5.3 節の DMU ごとの効率値の格差から、全ての DEA モデルにおいて極めて低い効率値を示している DMU が存在することがわかった。

図 4.9 の各 DMU の平均効率値より、低効率性の代表的な DMU として、「NO.6-01」、「NO.6-03」、「NO.3-15」に対して分析し、改善案を提供する。まず、これらについての企業情報を表 4.45 にまとめる。

表 4.45 低効率性 DMU の情報ベース

業種	輸送用機器	輸送用機器	電気機器
事例 NO.	NO. 6-01	NO. 6-03	NO. 3-15
適用製品	自動車用バルブボディの製造	自動車用樹脂部品, 成型・塗装	ステンレス鋼の板金外形・成形加工, 曲げ加工
平均効率値	0.3239	0.3256	0.4662
エコ資本生産性	0.09213	0.01801	0.00647
エコ労働生産性	0.01562	0.03613	0.00281
エコ材料生産性	0.39527	0.40735	0.53878
上場企業	非上場企業	上場企業	非上場企業

出所：4.5 節および 4.7 節を参照して日本経済産業省（2009a）の事例を基に筆者作成。

これらの事例から、エコ労働生産性とエコ資本生産性が低い DMU は、効率値が低い傾向にあることが示されている。特に、エコ労働生産性が他の指標に比べて著しく低い事例が見受けられる。また、上場企業であるか否かは効率値と明確な関連性は見られない。これらの結果は、製造業における環境経営効率性の分析においては、生産過程の各要素が効率値に与える影響を理解する上で重要な示唆を与えている。

さらに、低効率性 DMU ごとへの具体的な改善案を提出する。

まず、事例 NO. 6-01（輸送用機器）において観測される低効率性は、特にエコ労働生産性が著しく低い点に起因していると考えられる。この問題を解決するために、以下のよう具体的な策を提案する。

（1）従業員のスキルアップと教育投資を行う。

この DMU では従業員の技術研修や教育プログラムへの投資が不可欠である。特に自動車用バルブボディ製造における最新技術や工程改善に関する研修を実施することで、従業員のスキルを高め、生産プロセスの効率化を図るべきである。

（2）作業プロセスの見直しと改善を行う。

製造プロセス全体を詳細に分析し、非効率的な工程や無駄を特定する。その後、リーン製造手法などを適用して作業プロセスを効率化する。

（3）高度な技術を導入する。

自動化技術や AI を活用して、作業の効率化と精度の向上を図る。特に繰り返し作業や精密な作業において自動化が生産性向上に寄与する可能性がある。

(4) 労働環境を改善する。

従業員の作業環境を改善することで、労働意欲と生産性を高める。例えば、作業スペースの快適性を向上させ、休憩時間の適切な管理、健康と安全に対する配慮などが含まれる。

(5) フィードバックとコミュニケーションを強化する。

従業員との定期的なフィードバックセッションを設け、改善点や提案を共有する文化を醸成する。これにより、従業員が自らの作業に対してより積極的な姿勢を取り、生産性向上に貢献することが期待できる。

これらの施策の実施には、組織全体のコミットメントと継続的な努力が必要であり、長期的な視点での計画と評価が求められる。また、これらの施策が実施される際には、効果のモニタリングと評価が不可欠であり、必要に応じて追加的な改善策を講じるべきである。

次に、事例 NO. 6-03（自動車用樹脂部品の成型・塗装）において観測される低効率性は、エコ資本生産性が特に低い点に着目する必要がある。この問題に対処するための具体的な解決策は以下の通りである。

(1) 設備の近代化と技術革新を行う。

自動車用樹脂部品の成型・塗装に関わる設備を最新のものに更新するによる新しい技術エネルギー効率が高く、生産性を向上させる可能性がある。製造プロセスにおける自動化を推進し、手作業によるエラーを減らすことで全体の品質と効率を向上させる。

(2) 環境に配慮した材料を使用する。

より環境に優しい樹脂や塗料の使用を検討する。これは製品の環境への影響を減らすと同時に、エコ資本生産性の向上にも寄与する。さらに、リサイクル可能な材料の使用を促進し、廃棄物の削減に努める。

(3) 生産プロセスを最適化する。

製造プロセスの各段階を詳細に分析し、非効率的な工程を特定する。リーン製造や改善のための方法論を適用してプロセスを効率化する。品質管理の強化を図り、不良品の発生を減らすことで材料の無駄遣いを削減する。

(4) 研究開発へ投資する。

新しい成型・塗装技術の開発に投資して生産性と環境効率の両方を向上させる。継続的な技術革新を通じて、競争力のある製品を市場に提供する。

(5) 従業員の意識向上と教育を行う。

従業員に対して、エコ効率性と資源の持続可能な使用に関する意識向上プログラムを実施する。定期的な研修を通じ、従業員のスキルを高め、新しい技術や方法論を効果的に適用できるようにする。

これらの解決策の実施は、事例 NO. 6-03 におけるエコ資本生産性の向上に寄与するとともに、総合的な効率性の向上にも繋がると期待される。また、これらの施策は製品の品質向上や環境への影響軽減にも寄与し、企業の持続可能性にも貢献する可能性がある。

最後に、事例 NO. 3-15（電気機器業、ステンレス鋼の板金外形・成形加工、曲げ加工）に対する具体的な解決策は以下のように提案される。この DMU は、エコ労働生産性が特に低いという課題を有していることに注目が必要である。

（1）労働プロセスを改善する。

効率的な労働プロセスの確立が必要である。工程の見直しを行い、無駄な作業を削減することで、労働生産性を高める。ステンレス鋼の加工に特化した研修を実施し、従業員の技術レベルを向上させる。これにより、品質の高い製品をより効率的に生産することが可能となる。

（2）高度な技術を導入する。

現代的な機械や自動化技術の導入を検討する。特に、精密な曲げ加工や成形加工において、高度な機械の利用が効率性の向上に寄与する。製造プロセスにおけるデジタル技術の活用を図り、生産管理を最適化する。

（3）作業環境を改善する。

作業効率に影響を与える作業環境の改善が重要である。例えば、照明や換気の改善、適切な作業スペースの提供などが挙げられる。安全かつ快適な作業環境を提供することで、従業員の作業効率とモチベーションを向上させる。

（4）品質管理を徹底する。

製品の品質管理を徹底し、不良品の発生率を低減する。これにより、材料の無駄遣いを減らし、全体の生産効率を向上させる。品質管理プロセスの標準化と、それに基づいた従業員の継続的な教育が重要である。

（5）持続可能な生産プラクティスを採用する。

環境への影響を考慮した持続可能な生産プラクティスの採用を検討する。これには、エネルギー効率の高い機械の使用や廃棄物の削減策が含まれる。

これらの解決策は、事例 NO. 3-15 における低効率性の課題に対処し、労働生産性の向上を目指すものである。重要なのは、これらの施策が持続的に実施され、定期的な評価を通じてその効果が検証されることである。また、これらの施策は単に生産性の向上だけでなく、製品の品質向上や環境への配慮という面でも企業の競争力を高めることに寄与すると期待される。

4.8.3 結論と MFCA の結び

本研究における DEA モデルの分析結果（分析データには公表用に架空の数値に変更されているものも含まれている）は、環境経営効率性に影響を与える諸要因に関して、貴重な洞察を提供している。具体的には、エコ資本生産性、エコ労働生産性、エコ材料生産性、そして上場企業の影響という四つの主要な要因が検討された。

エコ資本生産性については、全てのモデルでその影響が統計的に有意ではなかった。この結果は、資本生産性の向上が必ずしも企業の環境経営効率性の向上に直接結びつかない可能性を示唆している。また、資本投資の利用方法や他の生産要素との相互作用が、企業の効率性においてより重要であることが強調されている。

エコ労働生産性は、ほとんどのモデルで DEA 効率値に正の影響を与えることが確認された。これは、労働生産性の向上が企業の環境経営効率性に重要な寄与をしていることを意味し、労働力のスキルアップや効率的な労働プロセスの重要性を示している。

エコ材料生産性に関しても、多くのモデルで DEA 効率値に正の影響が見られた。材料の効率的な利用が企業の環境経営効率性に直接寄与することが明らかになり、材料コストの管理や資源の利用効率が特に重要であるとされている。

上場企業における影響は、少数のモデルで統計的に有意な負の影響が見られた。これは、上場企業が直面する特有の課題や制約、例えば規制の遵守や株主への報告義務などが、環境経営効率性に悪影響を及ぼす可能性があることを示している。

以上の分析結果は、環境経営効率性を高めるためには、エコ労働生産性やエコ材料生産性に注目することが重要であること、そしてエコ資本生産性の影響が限定的であること、上場企業独自の課題が効率性に影響を与える可能性があることを示唆している。これらの知見は、企業が持続可能な経営戦略を策定する際の基礎となり得るものであり、今後の研究においてもさらなる探求が求められる。

最後に、本研究の結論と MFCA との関連性を考察する。

- (1) エコ資本生産性と MFCA の関連がある。資本生産性が DEA 効率値に直接的な影響を与えていない可能性が示されたが、MFCA を通じて、資本の効率的な利用とその環境への影響をより明確に理解できる。MFCA は、資本投資の効率性を評価し、資本と材料の使用を最適化するための情報を提供する。資本の利用方法や資源配分に関する詳細なデータに基づいて、環境効率性と経済効率性のバランスを取ることが可能になる。
- (2) エコ労働生産性と MFCA の関連がある。労働生産性が効率値に対して正の影響を与えることが明らかになったが、MFCA を利用することで、労働力の効率性と物質使用の効率性を結びつけることができる。労働の生産性を向上させることは、物質の無駄を減らし、全体的なコスト削減と環境負荷の軽減に寄与する。MFCA は、労働過程における物質の流れを分析し、効率的な労働方法と物質利用の最適化が推進可能である。
- (3) エコ材料生産性と MFCA との関連がある。材料生産性の影響が統計的に有意であるが、全体的な効率性に直接寄与しないことが示唆された。MFCA を用いることで、材料の使用と廃棄、それに伴うコストを明確に把握し、材料の効率的な利用やリサイクルを促進することができる。材料コストの管理と環境負荷の低減は、組織の環境経営効率性を高める重要な要素であり、MFCA はそのための実践的なツールを提供する。
- (4) 上場企業の特性と MFCA の関連がある。上場企業が直面する特有の制約やプレッシャーが効率性を低下させる可能性が示されたが、MFCA を活用することで、これらの制約の中で最適な物質使用戦略を策定することが可能になる。MFCA は、外部の圧力や規制とのバランスを取りながら、環境負荷の軽減とコスト削減を同時に達成するための意思決定をサポートする。

これらの分析から、MFCA は企業の効率性を高めるための重要なツールであることがわかる。MFCA を通じて、資本、労働、材料の効率性をより詳細に分析し、環境経営効率性を向上させるための戦略を策定することが可能である。

効率性と環境負荷の低減を同時に実現することができるため、MFCA は企業の持続可能な発展において重要な役割を果たすことが期待される。

4.9 まとめ

第4章の主要な成果は、以下の通りである。

4.1節では、日本経済産業省によって開示された55社の適用事例から、31社のDEA測定対象(DMU)を確定した。DEA効率性を測定するため、集めて整理したDMUごとの数値データが示された。

4.2節から4.4節まで、各DEAモデルによる効率性評価を行った。CCRモデル、BCCモデル、およびSBMモデルの各バリエーションを使用して、MFCA適用企業の効率性を評価した。これらのモデルは、異なる角度から効率性を捉え、各企業の強みと改善点を明らかにした。

4.5節では、各DEAモデルによる効率値結果の比較をした。さまざまなDEAモデルを用いて得られた効率値の結果は比較され、各モデルの適用性および制約が議論された。この比較により、MFCA適用企業の効率性の格差を明らかになった。

4.6節において、各DEAモデルによるプロジェクションを検討し、代表的なDMUを選び、対応する改善案を解釈した。プロジェクションの結果を分析することにより、効率値の格差をもたらす要因を明らかになった。

4.7節では、MFCA適用企業の効率性の格差への分析を進めた。DEA効率性に格差が生じる要因を分析した。生産性指標への再考察により、MFCA視点からの「エコ生産性指標」を提案し、解釈して定めた。さらに、仮説を立て、Tobitモデルを通じて各DEA効率値による効率値格差への分析を行った。最後に、各DEAモデルのTobit推定結果を考察した。

4.8節では、本研究の結論と改善案をまとめた。そして、各DEAモデルによっても効率値が低いDMUs(3社のMFCA適用企業)を個別案として分析した。最後に、結論からMFCAとの関連性を述べた。

本章ではMFCA適用企業の効率性評価、企業間の効率性格差の明確、その格差の要因分析した。DEAを用いて、MFCA適用企業の効率性をCCR、BCC、SBMによる効率値の評価・比較・分析を行い、Tobitモデル回帰分析を用いてMFCA適用企業間の効率性格差をもたらす要因を考察した。さらに低効率値の3社のMFCA適用企業を個別案として分析し、結論からMFCAとの関連性を述べた。

第5章 終章

本研究は、MFCA の理論と事例を深く理解し、MFCA 適用企業の効率性とその格差の原因を分析することで、企業の環境経営戦略に対する実践的な意義を提供した。この成果は、環境経営学、会計学、および経営戦略学に重要な貢献をすると考えられる。

本研究は MFCA の理論と実践に関する従来の研究とは異なる新しいアプローチを採用し、MFCA を適用した企業の生産性に注目し、その効率性を DEA で評価した。さらに、Tobit 分析を通じて企業間の効率性に格差をもたらす要因を詳細に分析していた。このアプローチにより、MFCA の適用が企業の経済的なパフォーマンスにどのように影響するかについて、新たな洞察を提供する本研究は以下の点において、環境経営学と会計学の分野における重要な位置を占めることを目指している。

本章においては、第1章から第4章までの総括を行い、研究目的を達成する成果をあげることができたことを示すとともに、残された課題について述べる。

5.1 研究成果のまとめ

本研究では、MFCA の理論と実践に関する深い理解を追求し、特に MFCA を適用した企業の効率性に焦点を当てた。MFCA の適用が企業の生産性へどのように影響するかについての新たな洞察を提供した。DEA と Tobit 分析を活用することで、MFCA の適用が環境経営学と会計学の分野に新たな貢献を目指している。

第1章では、日本および海外における MFCA の研究現状と動向を探り、MFCA の理論と実践に関する先行研究を明らかにした。さらに、MFCA の理論的基盤と実践上の課題に関する広範な文献レビューとケーススタディを通じて、MFCA 適用における課題とその解決策を探求した。

第2章では、まず、MFCA の機能、発展経緯、計算原理、理論ベースへのアプローチをして MFCA の理論部分を明らかにした。次に、既存研究のレビューを基に MFCA の適用課題と限界について議論し、改善案を検討した。そして、企業経営における生産性評価に焦点を当て、既存の経営効率性指標を考察した。さらに、MFCA 適用企業の生産性に対する判断を述べ、効率性の測定方法について考察した。最後に TFP 生産性と DEA 効率値の比較を行い、DEA を用いる理由を論じた。

第3章では、まず、DEA の概要とその特性、実用性に述べていた。DEA の基本モデルである CCR モデル、BCC モデル、および SBM モデルについて述べ、それぞれの特徴と

利用シーンを比較検討した。次に、DEA と MFCA の統合についても考察した。MFCA を適用した企業の効率性を評価する際、DEA がいかに有効に機能するかを検討した。そして、入力項目と出力項目の選定を行い、それらの項目の合理性について述べた。これにより、DEA 分析時に適切な入出力項目を選択し、配置する基準を提供できた。特に、本研究における MFCA 適用事例とデータの特徴が、DEA の特徴と強みに適合することから、DEA と MFCA を統合することが可能であることを明らかになった。

第 4 章では、まず、DEA 測定対象 (DMU) を確定した。DEA 効率性を測定するため、集めて整理した DMU ごとの数値データも示された。次に、各 DEA モデルによる効率性評価を行った。CCR モデル、BCC モデル、および SBM モデルの各バリエーションを使用して、MFCA 適用企業の効率性を評価した。そして、各 DEA モデルによる効率値結果の比較をした。さまざまな DEA モデルを用いて得られた効率値の結果は比較され、各モデルの適用性および制約が議論された。この比較により、MFCA 適用企業の効率性の格差を明らかになった。さらに、各 DEA モデルによるプロジェクションを検討し、代表的な DMU を選び、対応する改善案を解釈した。プロジェクションの結果を分析することにより、効率値の格差をもたらす要因を明らかになった。または、MFCA 適用企業の DEA 効率性に格差が生じる要因を分析した。生産性指標への再考察により、MFCA 視点から「エコ生産性指標」を提案し、解釈して定め、仮説を立て、Tobit モデルを通じて各 DEA 効率値による効率値格差への分析検証を行った。最後に、各 DEA モデルの Tobit 推定結果を考察した。

5.2 環境経営意思決定支援への新指標

MFCA の適用問題や限界に対応するため、DEA という経営意思決定を支援するツールを用いて MFCA と組み合わせて企業の経営効率性を評価した。DEA による MFCA 適用企業の経営効率値が新たな環境配慮型の経営効率を分析する指標となることで、MFCA は環境配慮型な企業の持続発展へ経営意思決定を支援する手法として適用する継続性があると考えられる。

DEA による MFCA 効率値が、「人」、「物」、「金」、「環境配慮」いう基礎的な要素が多様に組み合わさっている多面的なものとして、企業経営者や利害関係者には、新たな環境配慮型の経営効率を判断する指標を提供できることこそ、本研究の研究意義となるところである。

MFCA 手法にしか提供できない「正の製品 MC」という環境配慮への情報に対し、本研究で構築した DEA と MFCA の統合は、同じく「正の製品 MC」にも注目し、企業効率性を評価した上で非効率ところの改善案が提示できる。それらの改善案を実施すれば、環境配慮型の経営効率値がアップすることができる。

本研究の主張として、MFCA の適用問題と継続性を配慮して、MFCA と DEA と Tobit モデルの組み合わせによる経営意思決定支援への「エコ生産性」という新たな指標を経営意思決定者や利害関係者に提供できる。

まずは、MFCA と DEA モデルの統合による意思決定支援の面から見ると、MFCA は材料の流れとコストを明らかにし、資源の効率的な使用を目指す手法であり、これを DEA モデルと統合することで、企業の資源利用の効率性をより深く理解し、改善のための意思決定に役立つ洞察を提供できる。DEA モデルは複数の入力と出力を考慮して、組織の相対的な効率性を評価する。

次に、資源利用の最適化の面から見ると、MFCA の分析結果は DEA モデルを通じて、どの入力（資源）が効率性に最も大きな影響を与えているかを明確できる。これにより、特定の資源の使用を減らすかより効果的に活用する方法があると考えられる。

最後に、コスト削減の面から見ると MFCA により明らかにされたコストは DEA モデルを用いてさらに分析することで、コスト削減の場合を確認できる。効率性の低い領域を特定し、改善策を講じることで、全体的なコスト効率を向上させることが可能である。

5.3 今後の研究課題

本研究では、MFCA の理論と実践に関する従来の研究とは異なる新しいアプローチを採用していた。具体的には、Two-stage analysis（二段階分析）を用いて MFCA を適用した企業の生産性に注目し、その生産性を DEA で評価した。さらに、Tobit 分析を通じて企業間の効率性に格差をもたらす要因を詳細に分析した。ただし、本研究では一部のデータは公表用に架空の数値に変更されたものなので、実データに基づく分析はより現場に則したものとなる。さらに、DEA 効率値を分析する際、スラックに関する分析および研究には及ばなかった。SBM モデルのスラックの分析より、複雑なネットワークデータに対して新たな洞察を提供することが可能である。この課題を今後の研究として残される。

参考文献

1. Akao, K., Managi, S. (2007). The Feasibility and Optimality of Sustainable Growth under Materials Balance. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 31(11), 3778-3790.
2. Amemiya, T. (1984). Tobit models: A survey. *Journal of econometrics*, 24(1-2), 3-61.
3. Anjo, Y. (2007). Introduction of Material Flow Cost Accounting in Canon. *Corporate Accounting*, 59(11), 40-47.
4. Banker, R. D. (1984). Estimating most productive scale size using data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 17(1), 35-44.
5. Banker, R. D., Charnes, A., Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092.
6. Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E. (1978). Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, 3, 429-444.
7. Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.
8. Cook, W. D., Tone, K., Zhu, J. (2014). Data envelopment analysis: Prior to choosing a model. *Omega*, 44, 1-4.
9. Cooper, W. W., Seiford, L. M., Zhu, J. (2007). Some models and measures for evaluating performances with DEA: past accomplishments and future prospects. *Journal of Productivity Analysis*, 28, 151-163.
10. Cooper, W. W., Seiford, L. M., Zhu, J. (Eds.). (2011). Handbook on data envelopment analysis.
11. Dai, Y., Izumi, H., Liu, L. (2019), A comparison of Productivity Level among China, Japan, ROK and USA using international input-output tables. 27th International Input-Output Association Conference, 30th June to 5th July 2019, Glasgow, Scotland.
12. Dierkes, S., Siepelmeyer, D. (2019). Production and cost theory-based material flow cost accounting. *Journal of Cleaner Production*, 235, 483-492.
13. Emrouznejad, A., De Witte, K. (2010). COOPER-framework: A Unified Process for Non-parametric Projects. *European Journal of Operational Research*, 207(3), 1573-1586.
14. Färe, R., Grosskopf, S. (2010). Directional distance functions and slacks-based measures of efficiency. *European Journal of Operational Research*, 200(1), 320-322.
15. Guenther, E., Jasch, C., Schmidt, M., Wagner, B., Huisingh, D. (2012). Material flow cost accounting. *Journal of Cleaner Production*, (29-30), 291-292.
16. Guenther, E., Jasch, C., Schmidt, M., Wagner, B., Ilg, P. (2015). Material flow cost accounting—looking back and ahead. *Journal of Cleaner Production*, 108, 1249-1254.

17. Imai, N. (2012). Advocating the Concept of “Material Flow Time Cost”: A Study on the Possibility of Integrated Evolution of Toyota Production Systems and Material Flow Cost Accounting. *Journal of Japanese Society of Management Diagnostics*, 12(0), 138-144.
18. Imai, N. (2014). A Study on the Possibility of Evolution of Toyota Production System: Application and Significance of Environmental and Accounting Perspectives. *Meijo Theory*, 14(4), 29-42.
19. Ito, Y. (2010a). Economic Evaluation of CSR Activities: Possibility of Material Flow Cost Accounting Innovation. *Management Accounting*, 18(2), 53–64.
20. Ito, Y. (2010b). Deepening and Expansion Direction of Material Flow Cost Accounting: A Case-Focused Study of Nihon Unisisap Rai Co., Ltd. *Environmental Management*, 46(11), 40–46.
21. Lütje, A., Wohlgemuth, V. (2020). Tracking sustainability targets with quantitative indicator systems for performance measurement of industrial symbiosis in industrial parks. *Administrative sciences*, 10(1), 3.
22. Nakajima, M., Kimura, A., Wagner, B. (2015). Introduction of material flow cost accounting (MFCA) to the supply chain: a questionnaire study on the challenges of constructing a low-carbon supply chain to promote resource efficiency. *Journal of Cleaner Production*, 108, 1302-1309.
23. Seiford, L. M. (1996). Data envelopment analysis: the evolution of the state of the art (1978–1995). *Journal of Productivity Analysis*, 7, 99-137.
24. Tone, K. (2001). A Slacks-based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research*, 130(3), 498-509.
25. Tone, K. (2011). Slacks-based Measure of Efficiency. In *Handbook on Data Envelopment Analysis*, 195-209.
26. Tone, K., Toloo, M., Izadikhah, M. (2020). A Modified Slacks-based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research*, 287(2), 560-571.
27. Wagner, B. (2015). A report on the origins of Material Flow Cost Accounting (MFCA) research activities. *Journal of Cleaner Production*, 108, 1255-1261.
28. World Commission on Environment and Development. (1987). *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press.
29. Zhu, J. (2009). Quantitative models for performance evaluation and benchmarking: data envelopment analysis with spreadsheets (Vol. 2). New York: Springer.
30. Zhu, L., Xu, Y., Maruyama, Y. (2020). Comparison of Material Flow Cost Accounting Research in Japan and China. *China-USA Business Review*, 19(1), 1-9.

31. 今井範行. (2012). マテリアルフロータイムコスト概念の提唱—トヨタ生産システムとマテリアルフローコスト会計の統合的進化の可能性に関する一考察. 日本経営診断学会論集, 12, 138-144.
32. 泉弘志, 任文. (2005). TLP (全労働生産性) による中国の部門別生産性上昇率の計測. 産業連関, 13(3), 29-39.
33. William W.Cooper, 刀根薫, 高森寛, 末吉俊幸. (1994). DEA の解釈と展望その 1. 日本オペレーションズ・リサーチ学会 1994 年 8 月号, 419-425.
34. 岡田華奈. (2015). 組織間管理会計とマテリアルフローコスト会計. 社会関連会計研究= Research in corporate social accounting and reporting/日本社会関連会計学会 編, 27, 17-29.
35. 岡田華奈. (2017). 実践としてのマテリアルフローコスト会計. (Doctoral dissertation, 神戸大学).
36. 岡田みずほ. (2019). 急性期病院における看護部門の効率性と職務満足の関連: 包絡分析法 (DEA) による効率性分析を応用した看護部門の可視化. (Doctoral dissertation, 長崎大学).
37. 岡照二, 中寫道靖. (2016). 意思決定支援ツールとしてのマテリアルフローコスト会計. 日本 LCA 学会誌, 12(2), 71-76.
38. 賀振華, 國部克彦. (2013). 実践マテリアルフローコスト会計 (第 95 回) 中国における資源フローコスト会計の展開. 環境管理, 49(9), 79-83.
39. 河井啓希, 乾友彦. (2003). TFP の計測とその要因分析. 内閣府経済社会総合研究所「経済分析」, 170 号.
40. 金成賢作, 篠原正明. (2009). DEA における入力指向と出力指向の比較 (その 1) . 日本大学生産工学部第 42 回学術講演会, 169-172.
41. 韓尚秀, 周湘. (2007). DEA によるビジネスゲームの経営効率分析. 国際研究論叢: 大阪国際大学紀要, 21(1), 41-49.
42. 北田皓嗣. (2011). マテリアルフローコスト会計による管理実践の拡張. 原価計算研究, 35(2),
43. 企業会計審議会. (1962). 原価計算基準.
44. 金幸弘, 國部克彦. (2013). 実践マテリアルフローコスト会計 (第 94 回) 韓国におけるマテリアルフローコスト会計の展開. 環境管理, 49(8), 71-77.
45. 桑田学. (2010). 持続可能性の規範理論の基礎: 福祉・代替・資本. 歴史と経済, 52(4), 16-31.
46. 経済産業省. (2002). 環境管理会計手法ワークブック.
47. 経済産業省. (2009a). マテリアルフローコスト会計 (MFCA) 導入事例集 ver. 2.
48. 経済産業省. (2009b). マテリアルフローコスト会計 (MFCA) 導入ガイド ver. 3.
49. 経済産業省. (2011). マテリアルフローコスト会計事例集 2011.

50. 厚生労働省ホームページ. 第2章 労働生産性の向上に向けた我が国の現状と課題.
Retrieved from <https://www.mhlw.go.jp/wp/hakusyo/roudou/16/dl/16-1-2.pdf>, p.80 (2023年12月16日).
51. 國部克彦. (2005). 日本におけるマテリアルフローコスト会計の展開. 環境管理, 41(10), 58 - 63.
52. 國部克彦. (2007). マテリアルフローコスト会計の意義と展望. 特集: マテリアルフローコスト会計の実践—環境管理会計による原価低減と環境配慮.
53. 國部克彦. (2008). 実践マテリアルフローコスト会計. 産業環境管理協会.
54. 國部克彦, 下垣彰. (2008). MFCA と LCA の統合と活用の意義. 実践マテリアルフローコスト会計, 産業環境管理協会, 89-91.
55. 國部克彦. (2016). MFCA による経済と環境の連携を再考する: MFCA-LCA 統合モデルの展開へ. 日本 LCA 学会誌, 12(2), 60-65.
56. 國部克彦, 中寫道靖. (2018). マテリアルフローコスト会計の理論と実践. 同文館出版.
57. 小西葉子. (2014). 生産性を計測するという—技術を正しく評価するために. RIETI BBL セミナー, 独立行政法人経済産業研究所.
58. 天王寺谷達将. (2012). 普及の視点からみるマテリアルフローコスト会計の位置づけの再考. 社会関連会計研究, 24, 53-68.
59. 立川博巳. (2012a). マテリアルフローコスト会計の意義と国際標準化. 日本情報経営学会誌, 33(1), 31-36.
60. 立川博巳. (2012b). 実践マテリアルフローコスト会計 (第 86 回) MFCA の次なる国際標準に向けた議論の最新動向: ISO/TC207 バンコク総会の報告. 環境管理, 48(12), 64-67.
61. 張志仁, 北田皓嗣 [訳]. (2009). 実践マテリアルフローコスト会計 (44) 韓国におけるマテリアルフローコスト会計の実践—現状と今後の展開. 環境管理, 45(5), 450-458.
62. 刀根薫. (1993). 経営効率性の測定と改善: 包絡分析法 DEA による. 日科技連出版社.
63. 刀根薫. (1995). DEA のモデルをめぐって—再論—. 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 681-685.
64. 刀根薫. (1996). 包絡分析法 DEA. 日本ファジィ学会誌, 8(1), 1-14.
65. 刀根薫, 筒井美樹, 丸山幸宏, 濱口由子, 福山博文, 橋本敦夫, 岩本大輝, 大里怜史. (2022). 経営効率性の測定の基礎 DEA 分析の事例で学ぶ (生産性・効率性向上への挑戦). 日本評論社.
66. 中寫道靖. (2003). パディスカッション PART-1: 企業からの報告—日本国内のマテリアルフローコスト会計導入事例について. 環境会計国際シンポジウム.
67. 中寫道靖, 國部克彦. (2008). マテリアルフローコスト会計 (第 2 版). 日本経済新聞出版社.
68. 中寫道靖. (2009). サプライチェーンにおけるマテリアルフローコスト会計の可能性について—環境系列化の可能性. 環境管理, 45(4), 348-353.

69. 中嶋道靖, 木村麻子. (2012). 実践マテリアルフローコスト会計 (82) MFCA の ISO 化によるアジアへの展開: マレーシア・ベトナムを例として. 環境管理, 48(7), 621-627.
70. 中嶋道靖, 飛田甲次郎. (2018). マテリアルフローコスト会計 (MFCA) およびスループット会計 (TA) による新たな管理会計の再構築に向けて: 機会原価概念の新たな展開. 關西大學商學論集, 63(1), 1-12.
71. 日本能率協会コンサルティング. (2010). 平成 22 年度マテリアルフローコスト会計導入実証・国内対策等事業報告書 第 4 部: おわりに - MFCA の進化、発展、普及に向けて.
72. 日本経営分析学会編. (2005). 経営分析事典—経営分析: その伝統と革新. 税務経理協会.
73. 日本 MFCA フォーラム. (2018). Retrieved from <http://www.mfca-forum.com/>
74. 日本政策金融公庫. (2013). マテリアルフローコスト会計 (MFCA), 経営情報, NO.391.
75. 日本生産性本部. Retrieved from <https://www.jpc-net.jp/movement/productivity.html>
76. 日本能率協会コンサルティング. Retrieved from <https://www.jmac.co.jp/glossary/2016/09/mca.html> (2020 年 11 月 25 日).
77. 日本能率協会コンサルティング MFCA 事業事務局. Retrieved from <http://www.jmac.co.jp/mfca/thinking/01.php> (2020 年 10 月 1 日).
78. 清水孝. (2012). 原価計算. 税務経理協会.
79. 篠原阿紀. (2016). マテリアルフローコスト会計に関する文献レビュー. 日本 LCA 学会誌, 12(2), 106-110.
80. 朱玲. (2011). MFCA に基づく中国企業における「節能減排」. (Doctoral dissertation, 長崎大学).
81. 朱玲. (2014). MFCA 与原価計算比較へのアプローチ. 科技諮訊 (Science Technology Information), 2014(34), 122-123.
82. 朱玲. (2018). MFCA と中国企業の省エネ・排出削減. 研究論集長崎大学大学院経済学研究科, 第 13 号.
83. 朱玲, 徐陽. (2018). マテリアルフローコスト会計 (MFCA) と原価計算との比較. 経営と経済= Journal of Business and Economics, 98(1-4), 87-125.
84. 関洋平. (2019). サプライチェーンにおける MFCA 情報の共有—組織間管理会計研究に基づく考察. 管理会計学: 日本管理会計学会誌, 27(1), 19-34.
85. 関利恵子, 安城泰雄. (2016). MFCA の継続的導入とマネジメントツールとしての展開可能性: 株式会社駒ヶ根電化における考察. メルコ管理会計研究, 8(2), 35-47.
86. 原田聖明. (2009). MFCA の活用によるオムロングループ全体での資源生産性向上への挑戦. 環境管理, 45(7), 642-646.
87. 東海幹夫. (2010). 原価計算管理会計. 清文社.
88. 平井健二, 小池淳司, 喜多秀行. (2009). DEA 手法による公営企業の運営効率性評価—公営バス事業を事例とした評価. 土木計画学研究・論文集, 26(1), 133-140.
89. 廣本敏郎, 挽文子. (2015). 原価計算論 (第 3 版). 中央経済社.

90. 古川芳邦, 立川博巳. (2011). マネジメントシステム規格情報: 日本が主導するマテリアルフローコスト会計 (ISO14051) の国際標準化. 標準化と品質管理, 64(8), 42-44.
91. 古川芳邦, 立川博巳, 古川英潤. (2014). ムダを利益に料理するマテリアルフローコスト経営. 日本経済新聞出版社.
92. 物質創製工学研究連絡委員会報告. (2003). 資源生産性向上のための材料戦略. 日本学術会議物質創製工学研究連絡委員会, p.1.
93. 物理学辞典. (1824-1825 頁). 培風館.
94. 馬奈木俊介. (2013). 環境と効率の経済分析. 日本経済新聞出版社, p.19.
95. 松浦寿幸, 早川和伸, 加藤雅俊. (2007). ミクロ・データによる生産性分析の研究動向. PDP RI・ETI Policy Discussion Paper Series, 経済産業省, 8(7).
96. 宮川努, 滝澤美帆. (2011). グラフィックマクロ経済学 (第2版). 新世社.
97. 山本恒雄. (2003). 化学工学 (第3版). 槇書店, 13-18.
98. 安城泰雄. (2007). 実践マテリアルフローコスト会計 (21) リサイクル工程・リサイクル事業へのマテリアルフローコスト会計の適用. 環境管理, 43(6), 603-610.
99. ISO/TC/207/sc1 Environmental management systems. Retrieved from <https://committee.iso.org/sites/tc207sc1/home/projects/ongoing/iso-14053--material-flow-cost-ac.html> (2022年10月15日).

付録 A1 : CCR-O による MFCA 適用企業の効率性評価の結果

DMU	効率値	参照			
NO.1-01	0.68387	NO.1-02	1.054		
NO.1-02	1	NO.1-02	1		
NO.1-04	0.76379	NO.1-02	0.204		
NO.1-05	0.67514	NO.1-02	0.018		
NO.1-06	0.96543	NO.1-02	0.04	NO.3-14	0.109
NO.1-07	0.71061	NO.1-02	0.068	NO.3-14	1.242
NO.2-01	1	NO.2-01	1		
NO.2-03	0.73955	NO.1-02	1.714	NO.3-14	0.133
NO.3-5	0.86589	NO.1-02	0.383		
NO.3-12	0.94655	NO.1-02	0.073	NO.3-14	0.009
NO.3-13	0.74875	NO.1-02	0.008	NO.3-14	0.013
NO.3-14	1	NO.3-14	1		
NO.3-15	0.54033	NO.1-02	0.016	NO.3-14	0.004
NO.5-01	0.83452	NO.1-02	0.37		
NO.6-01	0.39658	NO.1-02	0.015	NO.3-14	0.101
NO.6-02	0.87247	NO.1-02	0.04	NO.3-14	0.026
NO.6-03	0.40865	NO.1-02	0.427	NO.3-14	0.485
NO.6-04	0.96544	NO.1-02	0.015	NO.3-14	0.113
NO.7-01	1	NO.7-01	1		
NO.7-02	0.06834	NO.1-02	0.007		
NO.8-02	0.48488	NO.1-02	0.003		
NO.9-01	0.98644	NO.1-02	0.035	NO.3-14	0.628
NO.10-03	0.68157	NO.1-02	0.499	NO.3-14	0.175
NO.11-01	0.76361	NO.1-02	0.708	NO.3-14	2.374
NO.11-02	0.63245	NO.2-01	0.021	NO.7-01	0.694
NO.11-03	0.38839	NO.1-02	0.003		
NO.12-02	0.88135	NO.1-02	0.065	NO.3-14	0.012
NO.12-03	0.98426	NO.1-02	0.006	NO.3-14	0.015
NO.14-02	1	NO.14-02	1		
NO.14-03	0.63114	NO.1-02	0.01	NO.3-14	0.021
NO.14-04	0.66887	NO.1-02	0.002	NO.3-14	0.01

付録 A2 : BCC-O による MFCA 適用企業の効率性評価

DMU	効率値	参照							
NO.1-01	0.68394	NO.1-02	0.996	NO.3-14	0.004				
NO.1-02	1	NO.1-02	1						
NO.1-04	0.76807	NO.1-02	0.202	NO.8-02	0.798				
NO.1-05	0.73296	NO.1-02	0.015	NO.8-02	0.985				
NO.1-06	0.96626	NO.1-02	0.026	NO.3-14	0.11	NO.8-02	0.865		
NO.1-07	0.71564	NO.3-14	0.361	NO.7-01	0.639				
NO.2-01	1	NO.2-01	1						
NO.2-03	0.73992	NO.1-02	0.797	NO.3-14	0.203				
NO.3-5	0.86788	NO.1-02	0.381	NO.8-02	0.619				
NO.3-12	0.95321	NO.1-02	0.058	NO.3-14	0.01	NO.8-02	0.932		
NO.3-13	0.83192	NO.3-14	0.011	NO.7-02	0.636	NO.8-02	0.201	NO.14-04	0.152
NO.3-14	1	NO.3-14	1						
NO.3-15	0.5516	NO.3-14	0.005	NO.8-02	0.994				
NO.5-01	0.83655	NO.1-02	0.368	NO.8-02	0.632				
NO.6-01	0.39696	NO.3-14	0.102	NO.8-02	0.897				
NO.6-02	0.87568	NO.1-02	0.025	NO.3-14	0.027	NO.8-02	0.949		
NO.6-03	0.40866	NO.1-02	0.426	NO.3-14	0.485	NO.8-02	0.089		
NO.6-04	0.96626	NO.3-14	0.114	NO.8-02	0.885				
NO.7-01	1	NO.7-01	1						
NO.7-02	1	NO.7-02	1						
NO.8-02	1	NO.8-02	1						
NO.9-01	0.9865	NO.1-02	0.03	NO.3-14	0.629	NO.8-02	0.341		
NO.10-03	0.68169	NO.1-02	0.493	NO.3-14	0.175	NO.8-02	0.331		
NO.11-01	1	NO.11-01	1						
NO.11-02	0.69637	NO.7-01	0.746	NO.8-02	0.254				
NO.11-03	0.80101	NO.8-02	1						
NO.12-02	0.88669	NO.1-02	0.049	NO.3-14	0.013	NO.8-02	0.937		
NO.12-03	1	NO.12-03	1						
NO.14-02	1	NO.14-02	1						
NO.14-03	0.65537	NO.3-14	0.02	NO.7-02	0.576	NO.8-02	0.314	NO.12-03	0.09
NO.14-04	1	NO.14-04	1						

付録 A3 : SBM-C による MFCA 適用企業の効率性評価

DMU	効率値	参照	
NO.1-01	0.22952	NO.3-14	0.055
NO.1-02	1	NO.1-02	1
NO.1-04	0.25759	NO.3-14	0.016
NO.1-05	0.22576	NO.3-14	0.001
NO.1-06	0.3547	NO.3-14	0.112
NO.1-07	0.41751	NO.3-14	0.886
NO.2-01	1	NO.2-01	1
NO.2-03	0.265	NO.3-14	0.195
NO.3-05	0.29012	NO.3-14	0.025
NO.3-12	0.31958	NO.3-14	0.015
NO.3-13	0.25891	NO.3-14	0.014
NO.3-14	1	NO.3-14	1
NO.3-15	0.18211	NO.3-14	0.005
NO.5-01	0.27941	NO.3-14	0.024
NO.6-01	0.14696	NO.3-14	0.102
NO.6-02	0.29442	NO.3-14	0.025
NO.6-03	0.1561	NO.3-14	0.517
NO.6-04	0.39386	NO.3-14	0.114
NO.7-01	1	NO.7-01	1
NO.7-02	0.02288	NO.3-14	0.001
NO.8-02	0.16209		
NO.9-01	0.4026	NO.3-14	0.623
NO.10-03	0.26192	NO.3-14	0.213
NO.11-01	0.42117	NO.3-14	2.428
NO.11-02	0.398	NO.7-01	0.8
NO.11-03	0.33335		
NO.12-02	0.30138	NO.3-14	0.017
NO.12-03	0.33593	NO.14-02	0.02
NO.14-02	1	NO.14-02	1
NO.14-03	0.2197	NO.3-14	0.022
NO.14-04	0.23424	NO.3-14	0.01

付録 A4 : SBM-V による MFCA 適用企業の効率性評価の結果

DMU	効率値	参照			
NO.1-01	0.23342	NO.3-14	0.08	NO.8-02	0.92
NO.1-02	1	NO.1-02	1		
NO.1-04	0.29953	NO.3-14	0.015	NO.8-02	0.985
NO.1-05	0.30358	NO.3-14	0.001	NO.8-02	0.999
NO.1-06	0.49736	NO.3-14	0.103	NO.14-04	0.897
NO.1-07	0.41751	NO.3-14	1		
NO.2-01	1	NO.2-01	1		
NO.2-03	0.27807	NO.3-14	0.263	NO.8-02	0.737
NO.3-5	0.2997	NO.3-14	0.029	NO.8-02	0.971
NO.3-12	0.44587	NO.3-14	0.015	NO.8-02	0.985
NO.3-13	0.74889	NO.3-14	0.004	NO.14-04	0.996
NO.3-14	1	NO.3-14	1		
NO.3-15	0.43125	NO.3-14	0.005	NO.8-02	0.995
NO.5-01	0.28701	NO.3-14	0.028	NO.8-02	0.972
NO.6-01	0.20934	NO.3-14	0.093	NO.14-04	0.907
NO.6-02	0.38995	NO.3-14	0.019	NO.14-04	0.981
NO.6-03	0.16278	NO.3-14	0.517	NO.8-02	0.483
NO.6-04	0.68283	NO.3-14	0.105	NO.14-04	0.895
NO.7-01	1	NO.7-01	1		
NO.7-02	1	NO.7-02	1		
NO.8-02	1	NO.8-02	1		
NO.9-01	0.42095	NO.3-14	0.627	NO.14-04	0.373
NO.10-03	0.29821	NO.3-14	0.213	NO.8-02	0.787
NO.11-01	1	NO.11-01	1		
NO.11-02	0.41443	NO.7-01	0.746	NO.8-02	0.254
NO.11-03	0.37889	NO.8-02	1		
NO.12-02	0.4709	NO.3-14	0.017	NO.8-02	0.983
NO.12-03	1	NO.12-03	1		
NO.14-02	1	NO.14-02	1		
NO.14-03	0.4714	NO.3-14	0.012	NO.14-04	0.988
NO.14-04	1	NO.14-04	1		

付録 A5 : SBM-O-C による MFCA 適用企業の効率性評価の結果

DMU	効率値	参照			
NO.1-01	0.68387	NO.1-02	1.054		
NO.1-02	1	NO.1-02	1		
NO.1-04	0.76379	NO.1-02	0.204		
NO.1-05	1				
NO.1-06	0.96543	NO.1-02	0.04	NO.3-14	0.109
NO.1-07	0.71061	NO.1-02	0.068	NO.3-14	1.242
NO.2-01	1	NO.2-01	1		
NO.2-03	0.73955	NO.1-02	1.714	NO.3-14	0.133
NO.3-5	0.86589	NO.1-02	0.383		
NO.3-12	0.94655	NO.1-02	0.073	NO.3-14	0.009
NO.3-13	0.74875	NO.1-02	0.008	NO.3-14	0.013
NO.3-14	1	NO.3-14	1		
NO.3-15	0.54033	NO.1-02	0.016	NO.3-14	0.004
NO.5-01	0.83452	NO.1-02	0.37		
NO.6-01	0.39658	NO.1-02	0.015	NO.3-14	0.101
NO.6-02	0.87247	NO.1-02	0.04	NO.3-14	0.026
NO.6-03	0.40865	NO.1-02	0.427	NO.3-14	0.485
NO.6-04	0.96544	NO.1-02	0.015	NO.3-14	0.113
NO.7-01	1	NO.7-01	1		
NO.7-02	1				
NO.8-02	1				
NO.9-01	0.98644	NO.1-02	0.035	NO.3-14	0.628
NO.10-03	0.68157	NO.1-02	0.499	NO.3-14	0.175
NO.11-01	0.76361	NO.1-02	0.708	NO.3-14	2.374
NO.11-02	0.63245	NO.2-01	0.021	NO.7-01	0.694
NO.11-03	1				
NO.12-02	0.88135	NO.1-02	0.065	NO.3-14	0.012
NO.12-03	0.98426	NO.1-02	0.006	NO.3-14	0.015
NO.14-02	1	NO.14-02	1		
NO.14-03	0.63114	NO.1-02	0.01	NO.3-14	0.021
NO.14-04	0.66887	NO.1-02	0.002	NO.3-14	0.01

付録 A6 : SBM-O-V による MFCA 適用企業の効率性評価の結果

DMU	効率値	参照							
NO.1-01	0.68394	NO.1-02	0.996	NO.3-14	0.004				
NO.1-02	1	NO.1-02	1						
NO.1-04	0.76807	NO.1-02	0.202	NO.8-02	0.798				
NO.1-05	0.73296	NO.1-02	0.015	NO.8-02	0.985				
NO.1-06	0.96626	NO.1-02	0.026	NO.3-14	0.11	NO.8-02	0.865		
NO.1-07	0.71564	NO.3-14	0.361	NO.7-01	0.639				
NO.2-01	1	NO.2-01	1						
NO.2-03	0.73992	NO.1-02	0.797	NO.3-14	0.203				
NO.3-5	0.86788	NO.1-02	0.381	NO.8-02	0.619				
NO.3-12	0.95321	NO.1-02	0.058	NO.3-14	0.01	NO.8-02	0.932		
NO.3-13	0.83192	NO.3-14	0.011	NO.7-02	0.636	NO.8-02	0.201	NO.14-04	0.152
NO.3-14	1	NO.3-14	1						
NO.3-15	0.5516	NO.3-14	0.005	NO.8-02	0.994				
NO.5-01	0.83655	NO.1-02	0.368	NO.8-02	0.632				
NO.6-01	0.39696	NO.3-14	0.102	NO.8-02	0.897				
NO.6-02	0.87568	NO.1-02	0.025	NO.3-14	0.027	NO.8-02	0.949		
NO.6-03	0.40866	NO.1-02	0.426	NO.3-14	0.485	NO.8-02	0.089		
NO.6-04	0.96626	NO.3-14	0.114	NO.8-02	0.885				
NO.7-01	1	NO.7-01	1						
NO.7-02	1	NO.7-02	1						
NO.8-02	1	NO.8-02	1						
NO.9-01	0.9865	NO.1-02	0.03	NO.3-14	0.629	NO.8-02	0.341		
NO.10-03	0.68169	NO.1-02	0.493	NO.3-14	0.175	NO.8-02	0.331		
NO.11-01	1	NO.11-01	1						
NO.11-02	0.69637	NO.7-01	0.746	NO.8-02	0.254				
NO.11-03	1	NO.11-03	1						
NO.12-02	0.88669	NO.1-02	0.049	NO.3-14	0.013	NO.8-02	0.937		
NO.12-03	1	NO.12-03	1						
NO.14-02	1	NO.14-02	1						
NO.14-03	0.65537	NO.3-14	0.02	NO.7-02	0.576	NO.8-02	0.314	NO.12-03	0.09
NO.14-04	1	NO.14-04	1						

付録 A7: CCR - O モデルによるプロジェクション

DMU	Score	Rank	従業員数 (名)		資本金 (百万円)		マテリアルコスト (円)		正の製品MC (円)		Diff.(%)			
			Data	Projection	Data	Projection	Data	Projection	Data	Projection				
NO.1-01	0.68387	20	1162	148.661	-87.206	7770.22	1304.917	-83.206	3660774	3660774	0	5601545.9	124.067	
NO.1-02	1	1	141	141	0	1237.67	1237.67	0	3472122	3472122	0	3467205	0	
NO.1-04	0.76379	15	111	28.75129	-74.098	3469.62	252.3731	-92.726	708000	708000	0	1001546.3	85.472	
NO.1-05	0.67514	22	76	2.503637	-96.706	1387.14	21.97643	-98.416	61652	61652	0	95067.046	128.719	
NO.1-06	0.96543	9	98	13.18152	-86.549	50	50	0	5096275	5096275	0	5424703.5	10.617	
NO.1-07	0.71061	19	138	96.46914	-30.095	96	96	0	56900000	56900000	0	84785177	110.385	
NO.2-01	1	1	396	396	0	11678.98	11678.98	0	958509000	958509000	0	371748000	0	
NO.2-03	0.73955	18	251	251	0	5316.51	2122.866	-60.07	12017000	12017000	0	8866000	17420036	96.481
NO.3-05	0.86589	13	643	54.0102	-91.6	5171.98	474.0908	-90.833	1330000	1330000	0	1150000	1660462	44.388
NO.3-12	0.94655	10	98	10.88541	-88.892	90	90	0	6711108	6711108	0	633581	739004.47	16.639
NO.3-13	0.74875	17	40	2.031379	-94.922	10	10	0	618737	618737	0	461778	887715.02	92.238
NO.3-14	1	1	70	70	0	10	10	0	45620474	45620474	0	45468961	0	0
NO.3-15	0.54033	26	47	2.607645	-94.452	20.4	20.4	0	245000	245000	0	132000	417266.67	216.111
NO.5-01	0.83452	14	792	52.14218	-93.416	7509.29	457.6937	-93.905	1284000	1284000	0	1070000	1671432.2	56.209
NO.6-01	0.39658	29	118	9.234693	-92.174	20	20	0	4661790	4661790	0	1842670	8562052.9	364.655
NO.6-02	0.87247	12	310	7.454425	-97.595	50	50	0	1304390	1304390	0	1134492	1610838.6	41.988
NO.6-03	0.40865	28	266	94.16038	-64.601	533.56	533.56	0	23594432	23594432	0	9611064	43110205	348.548
NO.6-04	0.96544	8	48	10.07049	-79.02	20	20	0	5215165	5215165	0	5018291	5551045	10.616
NO.7-01	1	1	80	80	0	100	100	0	63268068	63268068	0	62436081	0	0
NO.7-02	0.06834	31	47	1.02983	-97.809	8.5	8.5	0	64550	64550	0	4400	128461.29	2819.575
NO.8-02	0.48488	27	17	0.389243	-97.71	20	3.416694	-82.917	6833	6833	0	4641	16892.722	263.989
NO.9-01	0.98644	6	450	48.97175	-89.117	50	50	0	28792834	28792834	0	28308298	29470453	4.105
NO.10-03	0.68157	21	100	82.55525	-17.445	618.92	618.92	0	9711615	9711615	0	6599406	14867365	125.283
NO.11-01	0.76361	16	266	266	0	1547.99	899.9549	-41.863	110760000	110760000	0	84300000	156421433	85.553
NO.11-02	0.63245	24	64	64	0	1518.11	318.9839	-78.988	64404174	64404174	0	32437130	82062165	152.988
NO.11-03	0.38839	30	130	0.389243	-99.701	3394.78	3.416694	-99.899	2445	2445	0	1183	11173.593	844.513
NO.12-02	0.88135	11	52	9.959112	-80.848	80	80	0	784041	784041	0	689098	956389.46	38.789
NO.12-03	0.98426	7	290	1.850944	-99.362	7	7	0	717141	717141	0	703546	737118.5	4.772
NO.14-02	1	1	127	127	0	2	2	0	36578598	36578598	0	36113406	36113406	0
NO.14-03	0.63114	25	60	2.83938	-95.268	12	12	0	1008465	1008465	0	634412	1609952.4	153.771
NO.14-04	0.66887	23	39	1.00872	-97.414	3	3	0	450000	450000	0	300000	696382.48	132.127

付録A8： BCC - O モデルによるプロジェクト

DMU	Score	Rank	従業員数 (名)			資本金 (百万円)			マテリアルコスト (円)			正の製品MC (円)		
			Data	Projection	Diff.(%)	Data	Projection	Diff.(%)	Data	Projection	Diff.(%)	Data	Projection	Diff.(%)
NO.1-01	0.68394	26	1162	140.6822	-87.993	7770.22	1232.175	-84.142	3660774	3660774	0	2499944	5600585.9	124.028
NO.1-02	1	1	141	141	0	1237.67	1237.67	0	3472122	3472122	0	3467205	3467205	0
NO.1-04	0.76807	21	111	42.01156	-62.152	3469.62	265.6115	-92.345	708000	708000	0	540000	991365.22	83.586
NO.1-05	0.73296	23	76	64.02837	-15.752	1387.14	1387.14	0	61652	61652	0	41565	82581.988	98.682
NO.1-06	0.96626	12	98	25.97461	-73.495	50	50	0	5096275	5096275	0	4904030	5411971.9	10.358
NO.1-07	0.71564	24	138	76.39154	-44.644	96	67.52384	-29.663	56900000	56900000	0	40300000	83786996	107.908
NO.2-01	1	1	396	396	0	11678.98	11678.98	0	958509000	958509000	0	371748000	371748000	0
NO.2-03	0.73992	22	251	126.6059	-49.559	5316.51	988.7803	-81.402	12017000	12017000	0	8866000	17404588	96.307
NO.3-05	0.86788	17	643	64.28656	-90.002	5171.98	484.3502	-90.635	1330000	1330000	0	1150000	1652069.2	43.658
NO.3-12	0.95321	14	98	24.67575	-74.821	90	90	0	671108	671108	0	633581	725423.69	14.496
NO.3-13	0.83192	19	40	40	0	10	10	0	618737	618737	0	461778	725992.87	57.217
NO.3-14	1	1	70	70	0	10	10	0	45620474	45620474	0	45468961	45468961	0
NO.3-15	0.5516	29	47	17.31802	-63.153	20.4	20.4	0	245000	245000	0	132000	405795.8	207.421
NO.5-01	0.83655	18	792	134.0486	-83.075	7509.29	2600.838	-65.365	1284000	1284000	0	1070000	1662441.8	55.368
NO.6-01	0.39696	31	118	22.50631	-80.927	20	20	0	4661790	4661790	0	1842670	8552337.2	364.127
NO.6-02	0.87568	16	310	21.48657	-93.069	50	50	0	1304390	1304390	0	1134492	1597678	40.828
NO.6-03	0.40866	30	266	95.48416	-64.104	533.56	533.56	0	23594432	23594432	0	9611064	43109231	348.538
NO.6-04	0.96626	12	48	23.16128	-51.747	20	20	0	5215165	5215165	0	5018291	5538017.1	10.357
NO.7-01	1	1	80	80	0	100	100	0	63268068	63268068	0	62436081	62436081	0
NO.7-02	1	1	47	47	0	8.5	8.5	0	64550	64550	0	4400	4400	0
NO.8-02	1	1	17	17	0	20	20	0	6833	6833	0	4641	4641	0
NO.9-01	0.9865	11	450	54.02167	-87.995	50	50	0	28792834	28792834	0	28308298	29465358	4.087
NO.10-03	0.68169	27	100	87.45782	-12.542	618.92	618.92	0	9711615	9711615	0	6599406	14863265	125.221
NO.11-01	1	1	266	266	0	1547.99	1547.99	0	110760000	110760000	0	84300000	84300000	0
NO.11-02	0.69637	25	64	64	0	1518.11	79.68254	-94.751	64404174	47202422	-26.709	32437130	70572792	117.568
NO.11-03	0.80101	20	130	130	0	3394.78	3394.78	0	2445	2445	0	1183	2216.6357	87.374
NO.12-02	0.88669	15	52	23.82473	-54.183	80	80	0	784041	784041	0	689098	943302.78	36.889
NO.12-03	1	1	290	290	0	7	7	0	717141	717141	0	703546	703546	0
NO.14-02	1	1	127	127	0	2	2	0	36578598	36578598	0	36113406	36113406	0
NO.14-03	0.65537	28	60	60	0	12	12	0	1008465	1008465	0	634412	1520266.7	139.634
NO.14-04	1	1	39	39	0	3	3	0	450000	450000	0	300000	300000	0

付録 A9： SBM-C モデルによるプロジェクション

DMU	Score	Rank	従業員数 (名)			資本金 (百万円)			マテリアルコスト (円)			正の製品MC (円)		
			Data	Projection	Diff.(%)	Data	Projection	Diff.(%)	Data	Projection	Diff.(%)	Data	Projection	Diff.(%)
NO.1-01	0.22952	24	1162	3,848693	-99.669	7770.22	0.549813	-99.993	3660774	2508274.4	-31.482	2499944	2499944	0
NO.1-02	1	1	141	141	0	1237.67	1237.67	0	3472122	3472122	0	3467205	3467205	0
NO.1-04	0.25759	22	111	1,086354	-99.021	3469.62	0.155193	-99.996	708000	708000	0	540000	705648.62	30.676
NO.1-05	0.22576	25	76	0,094599	-99.876	1387.14	0.013514	-99.999	61652	61652	0	41565	61447.244	47.834
NO.1-06	0.3547	11	98	7,819718	-92.021	50	1,117103	-97.766	5096275	5096275	0	4904030	5079349.4	3.575
NO.1-07	0.41751	7	138	62,04232	-55.042	96	8,863189	-90.768	56900000	40434289	-28.938	40300000	40300000	0
NO.2-01	1	1	396	396	0	11678.98	11678.98	0	958509000	958509000	0	371748000	371748000	0
NO.2-03	0.265	19	251	13,64931	-94.562	5316.51	1,949902	-99.963	12017000	8895543.5	-25.975	8866000	8866000	0
NO.3-05	0.29012	17	643	1,770439	-99.725	5171.98	0.25292	-99.995	1330000	1153832.1	-13.246	1150000	1150000	0
NO.3-12	0.31958	14	98	1,029747	-98.949	90	0.147107	-99.837	671108	671108	0	633581	668879.14	5.571
NO.3-13	0.25891	21	40	0,949389	-97.627	10	0.135627	-98.644	618737	618737	0	461778	616682.07	33.545
NO.3-14	1	1	70	70	0	10	10	0	45620474	45620474	0	45468961	45468961	0
NO.3-15	0.18211	27	47	0,375928	-99.2	20.4	0.053704	-99.737	245000	245000	0	132000	244186.32	84.99
NO.5-01	0.27941	18	792	1,647278	-99.792	7509.29	0.235325	-99.997	1284000	1073565.5	-16.389	1070000	1070000	0
NO.6-01	0.14696	30	118	7,153045	-93.938	20	1,021864	-94.891	4661790	4661790	0	1842670	4646307.4	152.151
NO.6-02	0.29442	16	310	1,746564	-99.437	50	0.249509	-99.501	1304390	1138272.4	-12.735	1134492	1134492	0
NO.6-03	0.1561	29	266	36,20327	-86.39	533.56	5,171895	-99.031	23594432	23594432	0	9611064	23516071	144.677
NO.6-04	0.39386	10	48	8,002143	-83.329	20	1,143163	-94.284	5215165	5215165	0	5018291	5197844.6	3.578
NO.7-01	1	1	80	80	0	100	100	0	63268068	63268068	0	62436081	62436081	0
NO.7-02	0.02288	31	47	0,099045	-99.789	8.5	0.014149	-99.834	64550	64550	0	4400	64335.619	1362.173
NO.8-02	0.16209	28	17	0,014707	-99.913	20	0.002101	-99.989	6833	6833	0	4641	9553.2564	105.845
NO.9-01	0.4026	8	450	43,58096	-90.315	50	6,225851	-87.548	28792834	28402628	-1.355	28308298	28308298	0
NO.10-03	0.26192	20	100	14,90149	-85.099	618.92	2,128784	-99.656	9711615	9711615	0	6599406	9679361.2	46.67
NO.11-01	0.42117	6	266	169.95	-36.109	1547.99	24,27857	-98.432	110760000	110760000	0	84300000	110392148	30.952
NO.11-02	0.398	9	64	64	0	1518.11	80	-94.73	64404174	50614454	-21.411	32437130	49948865	53.987
NO.11-03	0.33335	13	130	0,004763	-99.996	3394.78	0.005954	-100	2445	-3373.073	-237.958	1183	1183	0
NO.12-02	0.30138	15	52	1,203032	-97.686	80	0,171862	-99.785	784041	784041	0	689098	781437.07	13.4
NO.12-03	0.33593	12	290	2,489896	-99.141	7	0,039211	-99.44	717141	717141	0	703546	708020.69	0.636
NO.14-02	1	1	127	127	0	2	2	0	36578598	36578598	0	36113406	36113406	0
NO.14-03	0.2197	26	60	1,547387	-97.421	12	0,221055	-98.158	1008465	1008465	0	634412	1005115.7	58.433
NO.14-04	0.23424	23	39	0,690479	-98.23	3	0,09864	-96.712	450000	450000	0	300000	448505.48	49.502

付録 A10： SBM-V モデルによるプロジェクション

DMU	Score	Rank	従業員数 (名)		資金 (百万円)		マテリアルコスト (円)		正の製品MC (円)		Diff.(%)			
			Data	Projection	Diff.(%)	Data	Projection	Diff.(%)	Data	Projection		Diff.(%)		
NO.1-01	0.23342	29	1162	21.24269	-98.172	7770.22	19.19949	-99.753	3660774	3660774	0	2499944	3644096.9	45.767
NO.1-02	1	1	141	141	0	1237.67	1237.67	0	3472122	3472122	0	3467205	3467205	0
NO.1-04	0.29953	25	111	17.81156	-83.954	3469.62	19.84688	-99.428	708000	708000	0	540000	700811.58	29.78
NO.1-05	0.30358	23	76	17.0605	-77.552	1387.14	19.98858	-98.559	61652	61652	0	41565	56540.595	36.029
NO.1-06	0.49736	13	98	42.18869	-56.95	50	3.720026	-92.56	5096275	5096275	0	4904030	4946119.4	0.858
NO.1-07	0.41751	19	138	70	-49.275	96	10	-89.583	56900000	45620474	-19.823	40300000	45468961	12.826
NO.2-01	1	1	396	396	0	11678.98	11678.98	0	958509000	958509000	0	371748000	371748000	0
NO.2-03	0.27807	28	251	30.95265	-87.668	5316.51	17.36742	-99.673	12017000	12017000	0	8866000	11973471	35.049
NO.3-05	0.2997	24	643	18.53433	-97.118	5171.98	19.7105	-99.619	1330000	1330000	0	1150000	1320812.8	14.853
NO.3-12	0.44587	16	98	17.76869	-81.869	90	19.85496	-77.939	671108	671108	0	633581	664038.13	4.807
NO.3-13	0.74889	11	40	39.1158	-2.21	10	3.026149	-69.739	618737	618737	0	461778	468731.35	1.506
NO.3-14	1	1	70	70	0	10	10	0	45620474	45620474	0	45468961	45468961	0
NO.3-15	0.43125	17	47	17.27355	-63.248	20.4	19.94839	-2.214	245000	245000	0	132000	239299.41	81.287
NO.5-01	0.28701	27	792	18.48087	-97.667	7509.29	19.72059	-99.737	1284000	1284000	0	1070000	1274960.6	19.155
NO.6-01	0.20934	30	118	41.89051	-64.5	20	3.652695	-81.737	4661790	4661790	0	1842670	4511648.9	144.843
NO.6-02	0.38995	21	310	39.58636	-87.23	50	3.132404	-93.735	1304390	1304390	0	1134492	1154361.4	1.751
NO.6-03	0.16278	31	266	44.40567	-83.306	533.56	14.82912	-97.221	23594432	23594432	0	9611064	23513699	144.652
NO.6-04	0.68283	12	48	42.27028	-11.937	20	3.73845	-81.308	5215165	5215165	0	5018291	5065005.4	0.931
NO.7-01	1	1	80	80	0	100	100	0	63268068	63268068	0	62436081	62436081	0
NO.7-02	1	1	47	47	0	8.5	8.5	0	64550	64550	0	4400	4400	0
NO.8-02	1	1	17	17	0	20	20	0	6833	6833	0	4641	4641	0
NO.9-01	0.42095	18	450	58.45138	-87.011	50	7.392246	-85.216	28792834	28792834	0	28308298	28641885	1.178
NO.10-03	0.29821	26	100	28.27379	-71.726	618.92	17.87287	-97.112	9711615	9711615	0	6599406	9675493.8	46.612
NO.11-01	1	1	266	266	0	1547.99	1547.99	0	110760000	110760000	0	84300000	84300000	0
NO.11-02	0.41443	20	64	64	0	1518.11	79.68254	-94.751	64404174	47202422	-26.709	32437130	46580477	43.602
NO.11-03	0.37889	22	130	17	-86.923	3394.78	20	-99.411	2445	2445	0	1183	2106.52	78.066
NO.12-02	0.4709	15	52	17.89992	-65.577	80	19.8302	-75.212	784041	784041	0	689098	776608.22	12.699
NO.12-03	1	1	290	290	0	7	7	0	717141	717141	0	703546	703546	0
NO.14-02	1	1	127	127	0	2	2	0	36578598	36578598	0	36113406	36113406	0
NO.14-03	0.4714	14	60	39.38327	-34.361	12	3.086544	-74.279	1008465	1008465	0	634412	858446.29	35.314
NO.14-04	1	1	39	39	0	3	3	0	450000	450000	0	300000	300000	0

付録 A11： SBM-O-C モデルによるプロジェクション

DMU	Score	Rank	従業員数 (名)			資本金 (百万円)			マテリアルコスト (円)			正の製品MC (円)		
			Data	Projection	Diff.(%)	Data	Projection	Diff.(%)	Data	Projection	Diff.(%)	Data	Projection	Diff.(%)
NO.1-01	0.68387	24	1162	148.661	-87.206	7770.22	1304.917	-83.206	3660774	3660774	0	2499944	3655589.8	46.227
NO.1-02	1	1	141	141	0	1237.67	1237.67	0	3472122	3472122	0	3467205	3467205	0
NO.1-04	0.76379	19	111	28.75129	-74.098	3469.62	252.3731	-92.726	708000	708000	0	540000	706997.38	30.925
NO.1-05	1	1	76	76	0	1387.14	1387.14	0	61652	61652	0	41565	41565	0
NO.1-06	0.96543	13	98	13.18152	-86.549	50	50	0	5096275	5096275	0	4904030	5079610.8	3.58
NO.1-07	0.71061	23	138	96.46914	-30.095	96	96	0	56900000	56900000	0	40300000	56711473	40.723
NO.2-01	1	1	396	396	0	11678.98	11678.98	0	958509000	958509000	0	371748000	371748000	0
NO.2-03	0.73955	22	251	251	0	5316.51	2122.866	-60.07	12017000	12017000	0	8866000	11988428	35.218
NO.3-05	0.86589	17	643	54.0102	-91.6	5171.98	474.0908	-90.833	1330000	1330000	0	1150000	1328116.5	15.488
NO.3-12	0.94655	14	98	10.88541	-88.892	90	90	0	671108	671108	0	633581	669359.64	5.647
NO.3-13	0.74875	21	40	2.031379	-94.922	10	10	0	618737	618737	0	461778	616734.82	33.557
NO.3-14	1	1	70	70	0	10	10	0	45620474	45620474	0	45468961	45468961	0
NO.3-15	0.54033	29	47	2.607645	-94.452	20.4	20.4	0	245000	245000	0	132000	244295.12	85.072
NO.5-01	0.83452	18	792	52.14218	-93.416	7509.29	457.6937	-93.905	1284000	1284000	0	1070000	1282181.7	19.83
NO.6-01	0.39658	31	118	9.234693	-92.174	20	20	0	4661790	4661790	0	1842670	4646408.9	152.156
NO.6-02	0.87247	16	310	7.454425	-97.595	50	50	0	1304390	1304390	0	1134492	1300323.8	14.617
NO.6-03	0.40865	30	266	94.16038	-64.601	533.56	533.56	0	23594432	23594432	0	9611064	23518897	144.706
NO.6-04	0.96544	12	48	10.07049	-79.02	20	20	0	5215165	5215165	0	5018291	5197945.4	3.58
NO.7-01	1	1	80	80	0	100	100	0	63268068	63268068	0	62436081	62436081	0
NO.7-02	1	1	47	47	0	8.5	8.5	0	64550	64550	0	4400	4400	0
NO.8-02	1	1	17	17	0	20	20	0	6833	6833	0	4641	4641	0
NO.9-01	0.98644	10	450	48.97175	-89.117	50	50	0	28792834	28792834	0	28308298	28697442	1.375
NO.10-03	0.68157	25	100	82.55525	-17.445	618.92	618.92	0	9711615	9711615	0	6599406	9682659.5	46.72
NO.11-01	0.76361	20	266	266	0	1547.99	899.9549	-41.863	110760000	110760000	0	84300000	110396831	30.957
NO.11-02	0.63245	27	64	64	0	1518.11	318.9839	-78.988	64404174	64404174	0	32437130	51288438	58.116
NO.11-03	1	1	130	0.00396	-99.997	3394.78	0.11679	-99.997	2445	2445	0	1183	1183	0
NO.12-02	0.88135	15	52	9.959112	-80.848	80	80	0	784041	784041	0	689098	781863.96	13.462
NO.12-03	0.98426	11	290	1.850944	-99.362	7	7	0	717141	717141	0	703546	714795.85	1.599
NO.14-02	1	1	127	127	0	2	2	0	36578598	36578598	0	36113406	36113406	0
NO.14-03	0.63114	28	60	2.83938	-95.268	12	12	0	1008465	1008465	0	634412	1005178.7	58.443
NO.14-04	0.66887	26	39	1.00872	-97.414	3	3	0	450000	450000	0	300000	448520.99	49.507

付録 A12： SBM-O-V モデルによるプロジェクション

DMU	Score	Rank	従業員数 (名)		資本金 (百万円)		マテリアルコスト (円)		正の製品MC (円)		Diff.(%)	Diff.(%)		
			Data	Projection	Diff.(%)	Projection	Data	Projection	Diff.(%)	Data			Projection	
NO.1-01	0.68394	26	1162	140.6822	-87.893	7770.22	1232.175	-84.142	3660774	3660774	0	2499944	3655200.9	46.211
NO.1-02	1	1	141	141	0	1237.67	1237.67	0	3472122	3472122	0	3467205	3467205	0
NO.1-04	0.76807	21	111	42.01156	-62.152	3469.62	265.6115	-92.345	708000	708000	0	540000	703061.37	30.197
NO.1-05	0.73296	23	76	18.86461	-75.178	1387.14	38.31036	-97.238	61652	61652	0	41565	56708.317	36.433
NO.1-06	0.96626	13	98	25.97461	-73.495	50	50	0	5096275	5096275	0	4904030	5075269.9	3.492
NO.1-07	0.71564	24	138	76.39154	-44.644	96	67.52384	-29.663	56900000	56900000	0	40300000	56313559	39.736
NO.2-01	1	1	396	396	0	11678.98	11678.98	0	958509000	958509000	0	371748000	371748000	0
NO.2-03	0.73992	22	251	126.6059	-49.559	5316.51	988.7803	-81.402	12017000	12017000	0	8866000	11982363	35.15
NO.3-05	0.86788	18	643	64.28656	-90.002	5171.98	484.3502	-90.635	1330000	1330000	0	1150000	1325066.2	15.223
NO.3-12	0.95321	15	98	24.67575	-74.821	90	90	0	671108	671108	0	633581	664680.26	4.908
NO.3-13	0.83192	20	40	40	0	10	10	0	618737	618737	0	461778	555076.94	20.204
NO.3-14	1	1	70	70	0	10	10	0	45620474	45620474	0	45468961	45468961	0
NO.3-15	0.5516	29	47	17.31802	-63.153	20.4	20.4	0	245000	245000	0	132000	239303.55	81.291
NO.5-01	0.83655	19	792	62.63921	-92.091	7509.29	468.1734	-93.765	1284000	1284000	0	1070000	1279065.9	19.539
NO.6-01	0.39696	31	118	22.50631	-80.927	20	20	0	4661790	4661790	0	1842670	4641905.6	151.912
NO.6-02	0.87568	17	310	21.48657	-93.069	50	50	0	1304390	1304390	0	1134492	1295562.3	14.198
NO.6-03	0.40866	30	266	95.48416	-64.104	533.56	533.56	0	23594432	23594432	0	9611064	23518447	144.702
NO.6-04	0.96626	13	48	23.16128	-51.747	20	20	0	5215165	5215165	0	5018291	5193503.4	3.491
NO.7-01	1	1	80	80	0	100	100	0	63268068	63268068	0	62436081	62436081	0
NO.7-02	1	1	47	47	0	8.5	8.5	0	64550	64550	0	4400	4400	0
NO.8-02	1	1	17	17	0	20	20	0	6833	6833	0	4641	4641	0
NO.9-01	0.9865	12	450	54.02167	-87.995	50	50	0	28792834	28792834	0	28308298	28695728	1.369
NO.10-03	0.68169	27	100	87.45782	-12.542	618.92	618.92	0	9711615	9711615	0	6599406	9680995.9	46.695
NO.11-01	1	1	266	266	0	1547.99	1547.99	0	110760000	110760000	0	84300000	84300000	0
NO.11-02	0.69637	25	64	64	0	1518.11	79.68254	-94.751	64404174	47202422	-26.709	32437130	46580477	43.602
NO.11-03	1	1	130	130	0	3394.78	3394.78	0	2445	2445	0	1183	1183	0
NO.12-02	0.88669	16	52	23.82473	-54.183	80	80	0	784041	784041	0	689098	777159.03	12.779
NO.12-03	1	1	290	290	0	7	7	0	717141	717141	0	703546	703546	0
NO.14-02	1	1	127	127	0	2	2	0	36578598	36578598	0	36113406	36113406	0
NO.14-03	0.65537	28	60	60	0	12	12	0	1008465	1008465	0	634412	968020.74	52.586
NO.14-04	1	1	39	39	0	3	3	0	450000	450000	0	300000	300000	0

謝 辞

この博士論文の完成を迎え、多くの方々への深い感謝の気持ちと共に、私の研究への情熱と努力の旅路を振り返ります。

まず、私の指導教授である丸山幸宏先生には計り知れない感謝を申し上げます。先生のご指導は、ただのアカデミックなものではなく、人生の指針となりました。

厳しくも温かいアドバイス、絶え間ない励まし、そして何よりも学問への深い情熱は、私の研究への熱意を更に高め、困難な時も諦めずに前進する力を与えてくださいました。また、長崎大学の西村宣彦、徐陽先生、その他の教授陣にも心からの感謝を表したいと思います。

次に、私の家族に対しても、最大限の感謝を述べたいと思います。特に娘からの絶え間ない愛とサポートがあったからこそ、私はこの長い学問の道を歩み続けることができました。娘の支えがあったからこそ、数々の挑戦に立ち向かい、この重要な節目に到達することができました。

この論文はこれらすべての方々への支援、励ましに深く感謝し、この謝辞を捧げます。