

中小製造業における生産の揺らぎ対応と
TOC理論による企業スループットに関する研究

2015年7月

大田住吉

目次

第1章 緒言	1
1.1 研究の背景	1
1.2 先行研究の課題	2
1.3 本研究の構成	2
1.4 本研究における生産の「揺らぎ」の範囲	4
1.5 実在企業のデータによる結果の検証	5
第2章 中小製造業における「内的」な生産の揺らぎへの対応	7
2.1 既存製品における「外的」な生産の揺らぎへの対応	7
2.1.1 「外的」な生産の揺らぎと需要予測	7
2.1.2 中小製造業における需要予測の留意点	8
2.1.3 従来の需要予測技法の課題	9
2.1.4 本研究における提案手法	11
(1) GPを用いた新しい需要予測モデル	11
(2) デルファイ法による経験的予測要因の考慮	14
(3) 景気動向指数によるマクロ経済的視点の考慮	15
(4) ファジィ推論による駆け込み需要補正	16
2.1.5 企業実データによる結果の検証	17
(1) GPを用いた新しい需要予測モデル	17
(2) デルファイ法による経験的予測要因の考慮	20
(3) 景気動向指数によるマクロ経済的視点の考慮	21
(4) ファジィ推論による駆け込み需要補正	24
2.1.6 まとめ	25
2.2 新製品における「外的」な生産の揺らぎへの対応	26
2.2.1 「外的」な生産の揺らぎと新製品開発	26
2.2.2 新製品開発におけるQFD	27
2.2.3 先行研究におけるQFDの課題	28
2.2.4 技術品質と市場品質	29
2.2.5 本研究における提案手法	31
(1) 「時間軸」を考慮したQFDマトリクス表	31
(2) 知的財産権の出願戦略を考慮したQFDマトリクス表	32
(3) 「点数配分のルール」における考察	34
(4) デルファイ法による点数化における客観性の向上	35
2.2.6 企業実データによる結果の検証	35
(1) 「時間軸」を考慮したQFDマトリクス表	36
(2) QFDマトリクス表における知的財産権の出願戦略の明確化	36
(3) 「点数配分のルール」にもとづく考察	37
(4) デルファイ法による意見収束	39
(5) バランススコアカードによる戦略ロードマップ作成	39

第3章 中小製造業における「内的」な生産の揺らぎへの対応	43
3.1 既存製品における「内的」な生産の揺らぎへの対応	43
3.1.1 既存製品における「内的」な生産の揺らぎの現状	43
3.1.2 内的」な生産の揺らぎとTOC理論	44
3.1.3 ボトルネック工程とDBR理論	45
3.1.4 本研究における提案手法	46
(1) ペトリネットによるバッファコントロールの図式化	46
(2) 移動ロットサイズによるバッファコントロール	47
3.1.5 企業実データによる結果の検証	47
(1) ペトリネットによるバッファコントロールの図式化の検証	48
(2) 移動ロットサイズによるバッファコントロールの検証	49
3.2 新製品における「内的」な生産の揺らぎへの対応	50
3.2.1 新技術の導入による「内的」な生産の揺らぎへの対応	50
3.2.2 本研究における提案手法	50
3.2.3 企業実データによる結果の検証	51
第4章 生産の揺らぎへの対応とプロダクトミックスの戦略的決定	55
4.1 中小製造業における生産の揺らぎとプロダクトミックス	55
4.2 先行研究の課題	55
4.3 本研究における提案手法	57
4.3.1 新しい需要予測モデルと利益貢献度分析によるプロダクトミックスの戦略的決定	57
4.3.2 新しい生産技術の導入と利益貢献度分析によるプロダクトミックスの戦略的決定	58
4.4 企業実データによる結果の検証	59
4.4.1 新しい需要予測モデルによる在庫回転率の向上	59
4.4.2 新技術の導入による利益率の向上	60
4.5 プロダクトミックスの再構築による企業戦略	62
第5章 生産の揺らぎへの対応とTOCスループット会計	64
5.1 TOC理論とスループット会計	64
5.2 先行研究の課題	64
5.3 本研究における提案手法	65
5.3.1 需要予測誤差による「外的」な揺らぎとスループット会計	66
5.3.2 限界利益を考慮した「外的」な揺らぎへの対応	67
5.3.3 バッファコントロールによる「内的」な揺らぎとスループット会計	68
5.3.4 新技術の導入による「内的」な揺らぎとマシンレートによるスループット会計	70
5.4 企業実データによる結果の検証	72
5.4.1 需要予測の精度向上によるスループット会計への影響	72
5.4.2 限界利益の考慮によるスループット会計への影響	73
5.4.3 バッファコントロールによるスループット会計への影響	75
5.4.4 新技術の導入とマシンレートによるスループット会計への影響	76
第6章 総括および結論	
注	82
謝辞	83
参考文献	84

目次

1.1	中小製造業における「生産の揺らぎ」の例	1
2.1	購入意思決定モデル	8
2.2	GPの学習フロー	12
2.3	GPにおける木構造	12
2.4	デルファイ法の流れ	14
2.5	新しい需要予測モデルの作成フロー	17
2.6	デルファイ法による経験的予測要因の抽出	20
2.7	従来手法①の予測結果	23
2.8	新しい予測モデル⑨の予測結果	24
2.9	ファジィ推論におけるメンバシップ関数	25
2.10	ファジィ推論における補正後の需要予測比較	25
2.11	QFDの基本的なモデル	27
2.12	品質の4つの段階	30
2.13	知財出願の意思決定フロー	34
2.14	B社「点数配分のルール」にもとづく考察①	38
2.15	QFD技術品質項目の標的市場別の結果	40
3.1	TOC理論の概念	44
3.2	生産工程におけるDBR理論の考え方	45
3.3	ペトリネットモデルの一例	46
3.4	A社の生産工程（概略図、前掲）	47
3.5	圧着端子の構造	47
3.6	バッファを設けない場合のペトリネットモデル	48
3.7	バッファを設ける場合のペトリネットモデル	49
3.8	バッファサイズのコントロールによる生産リードタイムへの影響	49
3.9	圧着端子のJoint部分（前掲）	51
3.10	A社の新技術導入による生産工程比較	53
4.1	A社の新技術導入による生産工程比較（前掲）	60
4.2	A社における棒状端子（品目E）の需要予測	62
4.3	A社における新しい需要予測モデルと新技術導入による利益貢献度の比較 （主要5品目）	63
5.1	4つのケースにおけるフローチャート	69
5.2	A社における需要予測的中率のバラツキ	72
5.3	A社における需要予測誤差による比較シミュレーション	72
5.4	A社の生産工程（概略図、前掲）	73
5.5	バッファサイズのコントロールによる生産リードタイムへの影響（前掲）	75

表目次

1.1	本研究の構成	3
1.2	本研究における生産の「揺らぎ」の範囲	4
2.1	消費財と生産財のマーケティング手法の比較	9
2.2	従来の主な需要予測技法と評価基準	10
2.3	営業部員の経験的予測要因の例	15
2.4	景気動向指数（先行指数、一致指数）	16
2.5	G Pの設定	18
2.6	5指数とA社の売上第1位の品目の販売個数との相関関係	21
2.7	5指数の相互の相関関係	22
2.8	需要予測結果	23
2.9	ファジィ推論におけるルール設定	24
2.10	ラジコン模型飛行機のQFDマトリクス表	28
2.11	「時間軸」を考慮したQFDマトリクス表	32
2.12	知的財産権の出願戦略を考慮したQFDマトリクス表	33
2.13	点数配分ルールにおける考察	35
2.14	B社のQFDマトリクス表	37
2.15	B社「点数配分のルール」にもとづく考察②	38
2.16	デルファイ法によるB社テーマの意見収束の状況	39
2.17	B社のBSCの手法による「戦略ロードマップ」	41
3.1	ペトリネットの定義	46
3.2	A社の生産工程のペトリネットモデル	48
3.3	代表的な溶接技法	52
3.4	新技術の導入による総生産時間比較	54
4.1	需要予測モデルによる利益貢献度への影響	59
4.2	新技術導入による利益貢献度への影響	61
5.1	本研究における提案手法と他の原価計算手法との比較	65
5.2	可否判断の前提条件	73
5.3	4つのケースのシミュレーション結果	74
5.4	前提条件と検証結果	76
5.5	A社の売上上位5品目の生産状況	76
5.6	マシンレートをを用いた原価計算シミュレーション	77

写真目次

1.1	代表的な圧着端子	……	5
1.2	B社製品「小型チューブポンプ」	……	5
2.1	B社製品「小型チューブポンプ」(前掲)	……	36
4.1	棒状端子	……	61

第1章 緒論

1.1 研究の背景

近年、製造業の生産現場においては、様々な「揺らぎ」が生じている。「揺らぎ」とは、当初予定の生産計画（品質、価格、納期など）とのズレ、つまり誤差である。

生産現場における「揺らぎ」の発生原因は様々であるが、自社である程度コントロールできる「内的」な要因と、自社単独では到底コントロールできない「外的」な要因に大別される（Fig.1.1 参照）。前者には、機械の故障、不良品発生による製品歩留まりの低下、難易度や熟練度の差によって生ずる工程間のバラツキ（いわゆる『ボトルネック工程』の発生）、改善のための新技術の開発・導入による生産方法の変更等が挙げられる。

また、後者には、市場ニーズの多様化、それに伴う販売市場からの多品種少量生産の恒常的な要求、景気変動、政治・国際情勢、法税制や業界規制等のルール改定、取引先の事情に伴う受注量変動、取引先からの特急注文等による生産計画の変更等が挙げられる。



Fig.1.1 製造業における「生産の揺らぎ」の例

とくに、地方に生産拠点を有し、東京や大阪など大都市圏の販売市場へ様々な生産財（機械、部品類など）を供給するわが国の大多数の中小製造業にとっては、常にこうした「生産の揺らぎ」を抱えながら日々の企業活動に取り組んでいる。地方の中小製造業にとっては、例え「揺らぎ」の発生原因が自社でコントロールできない「外的」な要因であっても、それを決して放置するのではなく、そのダメージを最小化すべく、様々な工夫に取り組んでいる。

本研究は、こうした地方の中小製造業が抱える「生産の揺らぎ」にフォーカスする。「揺らぎ」の発生原因を「外的」なものと「内的」なものに区分し、さらに各々の区分について既存製品（既に市場で販売されている製品）の場合と新製品（これから製品開発を行うもの）の場合の2通り、つまり計4通りのケースに分けて考察する。

なお、地方の中小製造業においては、市場ニーズの高い製品群に絞って新技術導入による製品歩留まりの改善を行うなど、「外的」な揺らぎと「内的」な揺らぎを相互に関連づけて戦略展開されるケースが多い。こうした場合は、当該企業の技術経営戦略にとって「何が最適か？」という全社的視点で捉え、考察する。

1.2 先行研究の課題

製造業における「生産の揺らぎ」に関しては、従来も様々な研究が行われてきた[1][2][3]。しかし、地方に生産拠点を有し、大都市圏の販売市場へ様々な生産財を供給する中小製造業の視点にフォーカスした研究はほとんどない。とくに、地方の中小製造業の「外的な生産の揺らぎ」の代表例である需要予測に関しては、消費財とは異なる生産財のマーケティング手法の特性や大都市圏の大企業との取引交渉など定性的な要因を考慮した研究は見当たらず、この結果、従来手法は必ずしも実用的な予測精度を確保できていない。

また、「外的」な生産の揺らぎと「内的」な生産の揺らぎの関連性を実在企業のケーススタディを通じて体系的かつ具体的に考察したり、さらにはこれらの「揺らぎ」への対応が企業のプロダクトミックス戦略や最終的な企業利益の向上にどのように関係するかについて考察・言及している従来研究は見当たらない。

1.3 本研究の構成

上述のとおり、本研究では中小製造業の生産の「揺らぎ」について、計4通りのケースに分けて考察する（Table1.1 参照）。

第2章第1節では、「外的」な揺らぎのうち、既存製品の場合について考察する。ここでは、とくに「揺らぎ」の解決手法として、生産財マーケティングの特性を活かした新しい需要予測モデルについて提案する。なぜならば、需要予測は既存製品を生産する場合における「外的」な揺らぎの代表例であるからである。需要予測は、市場ニーズの変動や取引先の事情等によって多様化・複雑化することから、地方の中小製造業にとっては最も悩ましい経営課題のひとつである。本研究では、地方の中小製造業が、生産拠点と大都市圏

Table1.1 本研究の構成

	第2章 「外的」な生産の揺らぎ	第3章 「内的」な生産の揺らぎ
既存製品 の場合	2. 1 既存製品における 「外的」な生産の揺らぎ	3. 1 既存製品における 「内的」な生産の揺らぎ
新製品 の場合	2. 2 新製品における 「外的」な生産の揺らぎ	3. 2 新製品における 「内的」な生産の揺らぎ

の販売市場が遠離している点に着眼し、企業において日常の需要予測がどのように行われるかについて実態を解明し、アプローチする。

また、第2章第2節では、「外的」な揺らぎのうち、新製品の場合について考察する。新製品の場合は、既存製品のように「過去にどれだけ売れたか」という実績データがないため、定量的な予測は困難であるのが通常である。したがって、新製品が今後どれだけの市場優位性を維持できるかという、定性的な価値判断が必要となる。ここでは、製品の技術品質特性と標的市場の要求ニーズとのマッチング性を検証する手法であるQFD (Quality Functional Deployment, 品質機能展開) を用い、時間軸の視点や知的財産権との関連性などについて考察・検証する。

第3章では、中小製造業の「内的」な生産の揺らぎを取り上げる。このうち、第1節では既存製品の場合について考察する。ここでは、TOC (Theory Of Constraints) 理論およびDBR (Drum Buffer Rope) 理論にもとづく生産工程の制約条件やバッファコントロールについて考察・検証する。

また、第3章第2節では、「内的」な揺らぎのうち、新製品の場合について考察する。ここでは、経験値が少ない新製品生産において、不良品率を軽減させ、製品歩留まりを向上させる新技術の導入効果等について考察・検証する。

第4章では、第2章および第3章における生産の「揺らぎ」の考察・検証結果をもとに、利益貢献度分析の手法を用い、多品種少量生産時代に適応する中小製造業のプロダクトミックス戦略について考察・検証する。とくに、第2章および第3章において示された本研究の新しい提案手法が、従来手法と比較して中小製造業のプロダクトミックス戦略にどのような変化をもたらすのかについて、考察・検証する。

さらに、第5章では、TOCスループット会計理論の視点から、これまで述べた中小製造業における「生産の揺らぎ」への対応が、最終的に企業スループットにどのような影響を与えるかについて考察・検証する。「スループット(Throughput)」とは、「企業が販売を通じてお金を作り出す速度・割合」であり、「生産のみでなく、適切な販売がなければスループットは生まれない」[4]という基本的考え方にもとづく。ここでは、これまで述べた「外的」および「内的」な生産の「揺らぎ」への対応が、どのように企業スループットの向上に反映するかについて、TOCスループット会計理論にもとづく定量的な分析を行い、考察・検証する。

1.4 本研究における生産の「揺らぎ」の範囲

本研究においては、生産の「外的な揺らぎ」および「内的な揺らぎ」のうち、代表的なものを取り上げる。上述のとおり、生産の揺らぎには様々な種類がある。本研究で取り上げる生産の「揺らぎ」の範囲は、Table1.2のとおりである。

Table1.2 本研究における生産の「揺らぎ」の範囲

	第2章		第3章		第4章	第5章
	第1節	第2節	第1節	第2節		
「外的」な生産の揺らぎの例						
需要予測	◎				◎	◎
取引先の意向による受注量変動	◎				◎	
取引先からの特急注文						
市場ニーズの時間的变化	◎	◎			◎	
市場ニーズと技術シーズの関係性		◎				
市場優位性、知的財産権		◎				
技術革新、新技術開発		◎			◎	
景気動向、経済情勢、外国為替変動	◎				◎	
政治・国際情勢	○					
法改正、業界規制等の改正	◎				◎	
その他						
「内的」な生産の揺らぎの例						
機械の故障				○		
不良品発生による製品歩留まりの低下				◎	◎	◎
新技術の開発・導入				◎	◎	◎
多品種生産による段取り替え回数の増加						
特急注文による生産計画のリスケジューリング						
前日からの作業積み残しによる生産調整						
仕掛品(バッファ)の発生、コントロール			◎			◎
工程間のバラツキ(ボトルネックの発生)			◎	○	○	◎
工程間の移動ロットサイズ調整			◎			◎
その他						

1.5 実在企業のデータによる結果の検証

本研究においては、全体を通じ、以下の2社の実データを使用したケーススタディにより、その結果を検証する。2社は、いずれも鳥取県内に実在する中小製造業である。

(1) A社（鳥取市，電機部品製造業，資本金98百万円，従業員55名）

鳥取市内に本社および生産工場を有する一方で、東京、大阪、名古屋など大都市圏に営業拠点を展開し、大手電機メーカーなどへ電機部品を販売する。わが国における典型的な地方中小製造業のひとつである。

A社の主要生産品目は、「圧着端子」である。「圧着端子」とは、電線の先端に取り付け、配電盤などの電気設備の端子台と電線との接続・脱着を容易にする部品である。作業性に優れるF型、引張抵抗性の強いR型および差込タイプのA型（新製品）など、用途・目的によって様々な種類がある（写真1.1参照）。



写真 1.1 代表的な圧着端子（左からF型，R型および新製品A型）

(2) B社（米子市，小型電子モーター精密部品等製造業，資本金10百万円，従業員20名）

大手電機メーカーの一部が分離独立して設立された中小製造業である。社長以下、技術集団の集まりであり、特許など知的財産権についても深い関心を持つ。

B社の主要生産品目は、「小型チューブポンプ」である（写真1.2参照）。従来のモーター製品と比較し、薄型サイズ、高吐出圧力、省電力・長寿命、簡易着脱性など多くの技術優位性を有し、医療分野、水冷分野、家庭用燃料電池分野などへの市場販売が期待されている。

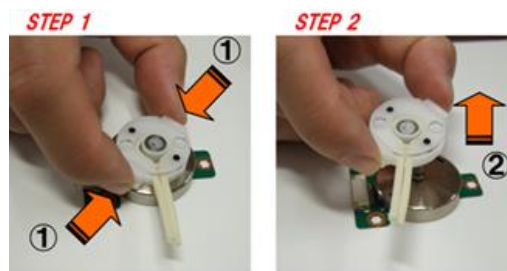


写真 1.2 B社製品「小型チューブポンプ」

本研究においては、以上の2つの中小製造業の業種および製品特性等を十分に考慮し、それぞれ実データを使用した実用的な検証を行う。ただし、当然ながら、本研究の提案手法は、いずれも決して上記の特定企業のみの特化したケーススタディとしてではなく、普遍性かつ汎用性を想定した考察を行うものとする。

わが国の企業の99.7%は、上記2社に代表される中小企業である。市場ニーズの多様化・複雑化が急速に加速する近年の状況下においては、本研究における新しい提案手法が中小製造業において実証されてこそ、その実用的な有効性が検証されたとと言える。

第2章 中小製造業における「外的」な生産の揺らぎへの対応

市場に生産財を供給する中小製造業にとって、その生産工程において様々な「揺らぎ」が発生することは既に述べた。生産の「揺らぎ」は、その発生原因によって「外的」なものと「内的」なものに大別されるが、本章では前者を取り上げる。

このうち、第1節では「外的」な揺らぎのうち、既存製品の場合について考察する。ながでも、中小製造業にとって代表的な「外的」な揺らぎ要因ともいえる「需要予測」にフォーカスし、営業部員の経験的予測や景気動向指数などの「市場性要因」という視点にもとづく新しい予測技法を提案する。

また、第2節では、「外的」な揺らぎのうち、新製品の場合について考察する。ここでは、製品の技術品質特性と標的市場の要求ニーズとの関連性を検証する手法であるQFD（品質機能展開）の手法を用い、時間軸の視点や知的財産権との関連性などについて考察する。

2.1 既存製品における「外的」な生産の揺らぎへの対応

2.1.1 「外的」な生産の揺らぎと需要予測

近年、市場ニーズの多様化が加速する製造業において、頭を悩ます問題のひとつに需要予測がある。需要予測とは、「売れる数量を前もって予測すること」である [5]。すなわち、予測が過大であれば、作り過ぎのムダによる余剰在庫、死蔵品、返品リスク等が発生し、逆に過小であれば、欠品発生によるビジネスチャンスの逸失、取引先との信頼性失墜等を招く。

とくに、地方に生産拠点を有し、東京や大阪など大都市圏の販売市場へ多様な生産財（機械類、部品等）を供給するわが国の大多数の中小製造業にとっては、取引先ニーズや市場・景気動向など、「外的」な揺らぎに対応する正確な需要予測にもとづく生産計画の立案が求められる。すなわち、需要予測は、企業戦略上、極めて重要な経営課題のひとつと言える。

2.1.2 中小製造業における需要予測の留意点

中小製造業における需要予測について考察する場合、必ず留意しなければならない点がある。それは、予測するのは、消費財ではなく、生産財であるという点である。生産財はその購入行動において、消費財とは全く異なる特性を有する。

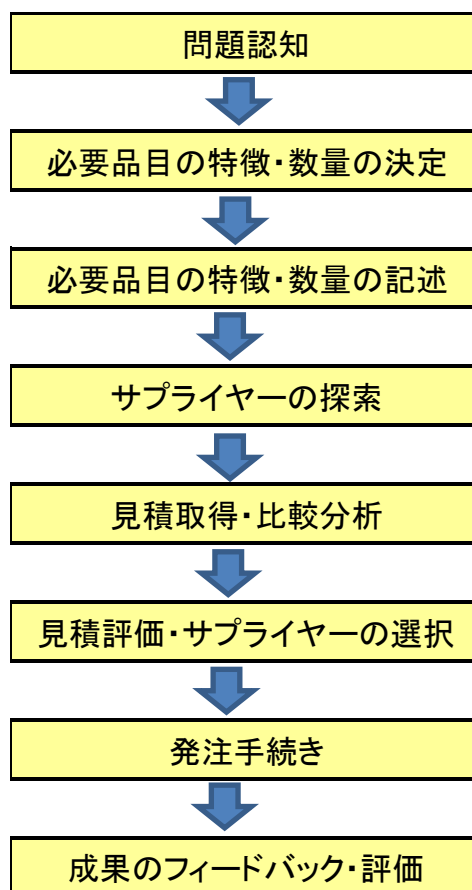


Fig. 2.1 購買意思決定モデル

(資料) 参考文献[7] p.24 を一部修正.

生産財とは、「鉱工業及び他の産業に原材料等として投入される製品。ただし、企業消費財を含み、建設財を除く」（総務省統計局）と定義される。その購入行動モデルとしては、「購買意思決定モデル」（Robinson, Faris & Wind, 1967） [6] が知られている（Fig.2.1 参照）。つまり、生産財の購買意思決定は、問題認知から製品・サプライヤーの選択、購買から事後評価に至るまでの一連の段階的プロセスとして捉えられる [7] 。

ここで、生産財と消費財のマーケティング手法の比較を Table2.1 に示す。すなわち、消費財では、購入者は不特定多数、価格決定は店頭の世界価格、販売促進方法は広

告宣伝が中心となる。また、顧客の趣味・嗜好、流行トレンドやいわゆる衝動買いといった要因を内包する。

これに対し、生産財のマーケティング手法は全く異なる。生産財の購入者は特定少数、価格決定は取引先との個別交渉による相対取引価格、販売促進は主に自社の営業部員の日常活動によって行われる。営業部員は、自分が担当する取引先を巡回訪問し、取引先のそれぞれの個別ニーズを把握したうえで、見積書を提出し、価格交渉を行う。そこには、特定少数の取引先との相互信頼にもとづく持続安定性が重視される。

とくに、地方に生産拠点を有し、大都市圏に販売市場を持つ中小製造業にとっては、需要予測時において重要な要因である取引先のニーズを把握するのは自社の営業部員であり、こうした「市場の代弁者」ともいえる自社の営業部員の経験的予測要因こそが需要予測時において大きな「判断材料」となる。

Table2.1 消費財と生産財のマーケティング手法の比較

		消費財	生産材
購入者		不特定多数	特定少数
購入者の商品知識		一般的	専門的
流通チャネル		開放的	限定的
価格決定		店頭価格	相対交渉
販売促進手段		広告宣伝	営業部員の活動
購入者の重視事項	品質	○	○
	価格	○	○
	納期	△	◎
	信頼性	○	◎
	イメージ	○	×
需要予測時の重要事項		市場ニーズ トレンド	取引先ニーズ 製品仕様

2.1.3 従来の需要予測技法の課題

従来の主な需要予測技法は、Table2.2のとおりである。また、その需要予測手法の合理性判断の基準としては、Milton H Spencer 及び Louis Siegelman は“Managerial Economics”にて、以下の項目を掲げており [8]，いわゆる「ABCDE基準」として実務上知られている。「ABCDE基準」とは、以下の5項目をいう。

- (1) Accuracy(正確性)……予測の相対誤差が少ない.
- (2) Bending(柔軟性)…短期的な変動だけでなく, 中長期的な傾向トレンド予測への
適応性が高い.
- (3) Convincing(納得性)…利用者にとって判断材料が合理的かつ信用できる.
- (4) Durability(持続性)…一定期間の有効性があり, 継続的に利用できる.
- (5) Easiness(簡便性)…利用者にとって, データ収集や予測手法の運用・実行が簡便
である.

しかしながら, このうち, Accuracy y(正確性)と Easiness(簡便性)は相反するケースが多いなど, 中小製造業にとっては必ずしも実用的な使用に至っていないという課題がある.

Table2.2 従来の主な需要予測技法と評価基準

区分	No.	名称	評価基準					生産財にお ける市場性
			A 正確性	B 柔軟性	C 納得性	D 持続性	E 簡易性	
時系列型	1	単純移動平均法	×	◎	○	◎	◎	×
	2	加重移動平均法	△	△	×	△	○	×
	3	MAモデル	△	△	×	×	×	×
	4	一次指数平滑法	△	△	×	△	○	×
	5	ウィンターズモデル	○	△	×	×	×	×
	6	最小二乗法	△	△	△	×	○	×
回帰型	7	AR(自己回帰)モデル	○	○	△	○	○	×
	8	ARXモデル	○	○	△	○	○	×
	9	重回帰モデル	○	○	○	△	○	×
	10	GPモデル(今回)	○	○	○	○	○	◎
混合型	11	ARMAモデル	○	△	△	×	×	×
	12	ARIMAモデル	○	△	△	×	×	×

(注) ○×等の記号は, 参考文献[5]を参考に著者独自の判断によるもの.

さらには, 従来の需要予測において使用されるデータは, 過去の販売実績や在庫量など過去の「社内データ」が大半であり, 前述の生産財のマーケティング手法を考慮した社外の「市場性要因」や中小製造業が自社ではなかなかコントロールできない「外部トレンド変動」等の予測要因が入り込む余地は, これまでほとんどなかった.

つまり、これまで多くの需要予測に関する研究の中で、こうした生産財を念頭に置いて需要予測技法を論じたものはほとんど見当たらないと言って良い。

2.1.4 本研究における提案手法

以上の考察により、とくに地方に立地する中小製造業にとっては、生産財マーケティングの特性を考慮した実用的な新しい需要予測技法を開発することが解決すべき課題となる。すなわち、新しい需要予測モデルの開発にあたっては、以下の点を考慮する必要がある。

- ① 中小製造業における生産財マーケティングの特性を考慮し、「市場の代弁者」である営業部員の「日常的な経験的予測要因」を需要予測モデルの中に組み込む必要がある。
- ② 中小製造業の販売先である大都市圏の取引先企業が重視する景気動向や企業の設備投資意欲など、マクロ経済的な視点を需要予測モデルの中に組み込む必要がある。
- ③ 生産財マーケティングにおいては取引先との相対交渉で需要量が決まるという点を考慮し、価格改定時など駆け込み需要およびその直後の急反動が予想されるケースでは、それらを通常の前測値から補正する仕組みを需要予測モデルの中に組み込む必要がある。

以上の考察から、本研究において提案する新しい需要予測モデルのポイントは、以下の4点である。

(1) GPを用いた新しい需要予測モデル

本研究では、遺伝的プログラミング (GP : Genetic Programming) を用いて需要予測モデルを構築する。GPは、GA (Genetic Algorithm : 遺伝的アルゴリズム) の遺伝子型を構造的な表現が扱えるように拡張した進化論的計算手法の一手法である[9]。

つまり、GPは生物の進化のプロセスをモデル化したものであり、計算機内に仮想の生物を大量に生成し、世代毎に交叉・突然変異・逆位といった遺伝子操作と適合度の計算による選択・淘汰等を繰り返すことで、終端ノードに与えた入力によって計算された値が、世代を重ねる毎に与えられた出力値に最も合致する数式モデルを構築することで適切な解へと近づいていくという、適合的な学習手法である (Fig. 2.2 参照)。

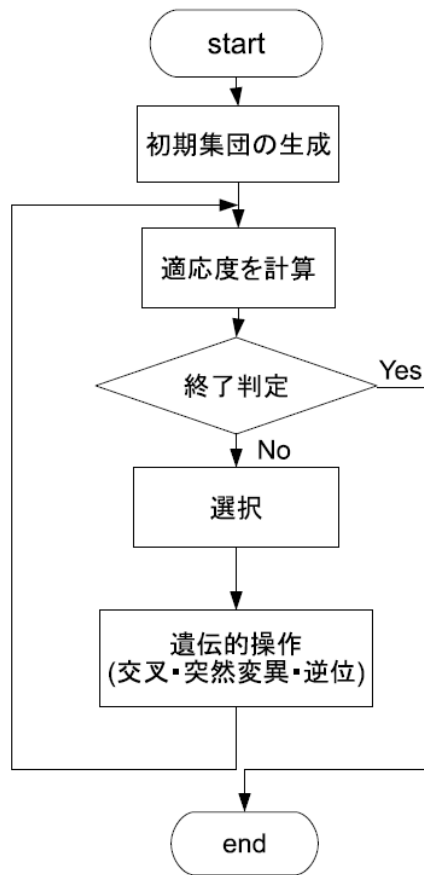


Fig.2.2 GPの学習フロー

GPでは、遺伝子を木構造で表わす。Fig.2.3の木構造は、出力をZとすると、(2.1)式を意味する。

$$Z=(0.8+Y)\times(X-Y) \quad (2.1)$$

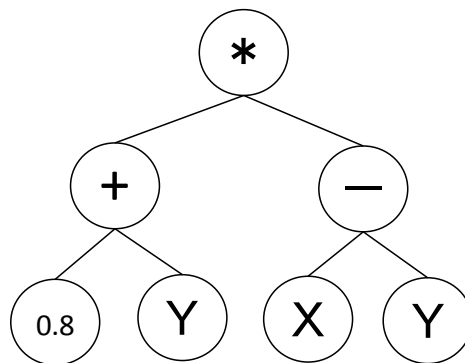


Fig.2.3 GPにおける木構造

本研究で提案するG P手法を用いた新しい需要予測モデルを、以下の(2.2)式に示す。

$$y(t) = f(x_0, x_1, x_2) \quad (2.2)$$

(2.2) 式における3つの決定変数は、いずれも上述した中小製造業の「特性」及び「市場性要因」を考慮したものである。具体的には、2.1.5節の予測①から⑩にある入力項目のいずれかに対応する。

G Pの基本思想は、Stanford大学のKozaらにより提案され、進化型手法において一分野を確立している[10]。本研究では、Ramped Half-and-Half法(Koza 1992)を用いて初期個体(木構造で表現した数式モデル)を生成する[11]。

ここで、本研究の提案モデルとしてG Pを適用した理由について述べる。本研究では、今回、G Pを用い、複数の要因を考慮した需要予測を提案しているが、複数の要因間の因果関係を求める手法としては重回帰分析モデルが広く普及している。今回、重回帰分析モデルではなく、G Pモデルとした理由は以下のとおりである。

- ① 需要の変動は、周期変動、誤差変動、トレンド変動に大別されるが、このうち重回帰モデルは一般に中長期的なトレンド変動の分解に弱点がある(浅田ら、2005)とされることから、前述の「ABCDE基準」におけるBending(柔軟性)およびDurability(持続性)にやや劣ると判断できる。
- ② とくに、中小製造業の生産財マーケティングにおける需要予測においては、自社ではなかなかコントロールできない大都市圏の主要取引先の事業戦略の動向や今後の景気動向等の中長期的な「外部トレンド変動」が極めて重要であり、学習・訓練にもとづくG Pモデルの方がよりこれらを反映できると考えられる。
- ③ 重回帰モデルでは、確定した数式モデルの係数のみを決定するのに対し、本研究の重要予測モデルは、営業部員の「経験的予測による定性的情報」などこれまでない入力項目を抽出し、式全体を決定する予測モデルであるため、Convincing(納得性)に優れると判断できる。
- ④ 本研究で提案するG Pによる予測モデルでは、以下に述べる入力変数Xや出力変数Yの過去の影響や x_1, x_2 などの非線形項を考慮した予測になっており、予測精度つまりAccuracy(正確性)が優れると考えられる。

なお、本研究においては、後述のとおり、重回帰モデルを含む多くの既存の予測モデルと本提案手法との比較検討を行っている。

(2) デルファイ法による経験的予測要因の考慮

本研究では、生産財マーケティングにおいて「市場の代弁者」と言える営業部員へのアンケートやヒアリングにもとづき、彼らが取引先への営業活動の中で日常的に体感している「経験的な予測要因」をデルファイ法により抽出し、需要予測モデルの決定変数として盛り込む。

デルファイ法[注1]は、1950年代に米国シンクタンクのランド・コーポレーションによって開発された分析手法であり、専門家グループなどが持つ直観的意見や経験的判断を反復型アンケート、ヒアリング及びグループインタビュー等を繰り返すことで組織的に集約・洗練する意見収束技法である（Fig.2.4 参照）。

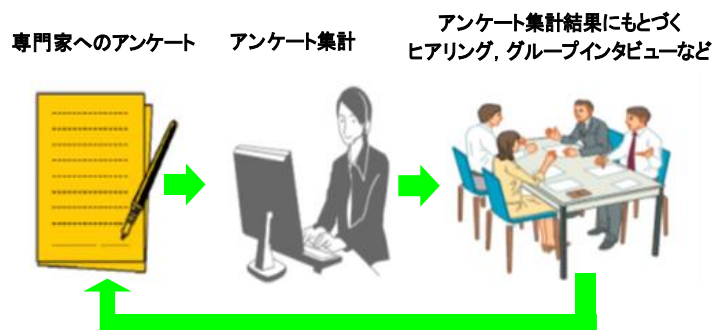


Fig.2.4 デルファイ法の流れ

本研究では、以下の手順により、中小製造業の「特性」及び「市場性情報」を抽出している。

- ① 大都市圏の営業部員全員に対し、「需要予測に影響する経験的要因は何か」について、事前アンケートを行う。この「経験的な予測要因」の例としては、Table2.3のような項目が挙げられる。
- ② 事前アンケート結果の回答（「かなり影響する」「ある程度影響する」など4段階評価）を、それぞれ点数化（9点、6点、3点、1点の4段階）し、集計する。
- ③ 上記の集計結果をもとに、とくに売上実績の大きい首都圏の営業部員に対し、ヒアリングおよびグループインタビューを行い、傾向を絞り込む。
- ④ ヒアリングおよびグループインタビューにて新たな課題（取引先が関心を寄せるマクロ経済情報など）が発見されたり、その内容をさらに深掘りする必要がある場合（価格改定時の値上げ率など）は、さらなるアンケート、ヒアリング、個別およびグループインタビューを繰り返し、意見収束を行う。

本研究において、デルファイ法により抽出する営業部員の「経験的な予測要因」の例としては、Table2.3のような項目が挙げられる。

Table2.3 営業部員の経験的予測要因の例

項目		需要予測に影響する経験的要因
1	販売単価	単価の高い製品を多く販売すれば営業成績が上がるため、需要予測を大きくしようとする心理が働く可能性がある。
2	利益率	利益率の高い製品を多く販売すれば営業成績が上がるため、需要予測を大きくしようとする心理が働く可能性がある。
3	受注頻度	受注頻度が稀な製品は、1回の需要予測が外れると生産計画へのダメージが大きいため、予測を大きめにしようとする心理が働く。
4	受注サイクルの規則性	受注サイクルが不規則な製品は、受注の有無によって生産計画が大きく変動するため、予測を大きめにしようとする心理が働く。
5	販売顧客数	販売顧客数が少ない製品は、受注の有無によって生産計画が大きく変動するため、予測を大きめにしようとする心理が働く。
6	顧客重要度	重要度が高い取引先へ納品する製品は、欠品による取引信頼性失墜を避けたいという心理から、予測が大きめになる傾向がある。
7	製造リードタイム	製造リードタイムが長い製品は、欠品による取引信頼性失墜を避けたいという心理から、予測が大きめになる傾向がある。

(3) 景気動向指数によるマクロ経済的視点の考慮

中小製造業の取引先の大多数は、大都市圏の大企業である点を考慮し、本研究では景気動向指数からその中小製造業の事業内容と関連性の深いものを選出し、需要予測モデルの決定変数として盛り込む。

景気動向指数は、内閣府が毎月公表するマクロ経済指標であり、先行、一致、遅行系列の合計 32 指数から構成される (Table2.4 参照)。また、景気動向指数には景気拡大・悪化の方向性を示す D I (Diffusion Index) と 景気拡大・悪化の程度を量的に示す C I (Composite Index) の 2 種類があるが、本研究では需要予測値を定量的に示す必要性から後者を使用する。C I は、ある年度を基準とし、一定のルールのもとに変化率を指数化したものである。

Table2.4 景気動向指数（先行指数，一致指数のみ 26 指数）

先行指数	L3	新規求人数(除学卒)	一致指数	C5	所定外労働時間指数(調査産業計)
	L1	最終需要財在庫率指数(逆)		C11	有効求人倍率(除学卒)
	L2	鉱工業生産財在庫率指数(逆)		C1	生産指数(鉱工業)
	L4	実質機械受注(船舶・電力を除く民需)		C2	鉱工業生産財出荷指数
	L5	新設住宅着工床面積		C4	耐久消費財出荷指数
	L10	投資環境指数(製造業)		C6	投資財出荷指数(除輸送機械)
	L6	消費者態度指数		C10	中小企業出荷指数(製造業)
	L7	日経商品指数(4 2種)		C3	大口電力使用量
	L11	中小企業売上げ見通しD. I.		C7	商業販売額(小売業)(前年同月比)
	L8	長短金利差		C8	商業販売額(卸売業)(前年同月比)
	L8A	長期国債(10年)新発債流通利回り		C9	営業利益(全産業)
	L8B	T I B O R (3か月)			
	L9	東証株価指数			
	L10A	総資本営業利益率(製造業)			
	L10B	長期国債(10年)新発債流通利回り			

(注) 色塗りは、今回入力項目として使用したもの。(逆)は、逆サイクル。

(4) ファジィ推論による駆け込み需要補正

GPにより構築した需要予測モデルによって、通常時の需要予測を行うことは可能となるが、特別な要因で発生する駆け込み需要には対応できない。

例えば、価格改定により市場からの駆け込み需要が予想されるケースにおいては、通常時に比較し、需要予測は大きく変動する。また、この時の需要予測においては、「価格の値上げ率が何%程度であれば、おそらく通常時より何%ぐらい需要が増加するだろう」といった人間の判断の曖昧さが含まれる。

したがって、本研究では、ファジィ推論を用いて駆け込み需要時に通常時よりどれだけ需要が増加するかを推論する。ファジィ推論は、命題論理の演算に「曖昧さ」を用いることにより拡張を行った推論法である。

本研究におけるファジィ推論による需要予測の補正の流れについては、以下のとおりである (Fig.2.5 参照)。

- ① 企業の過去の実績データを入力し、GPにより構築した需要予測モデル式により、予測値を算出する。
- ② 需要予測月に駆け込み需要が発生するか否かを判定する。

③ 駆け込み需要が発生する月である場合には、ファジイ推論により通常時に比べてどれだけ販売個数が増加するかを推論する。

④ ファジイ推論により推論された増加量を補正值として、①で算出した予測値を補正する。

以上により、駆け込み需要発生時の販売個数の増加量が推論できれば、GPによる需要予測モデルから得られた予測値を推論結果で補正することで、駆け込み需要発生時の需要予測が可能となる。

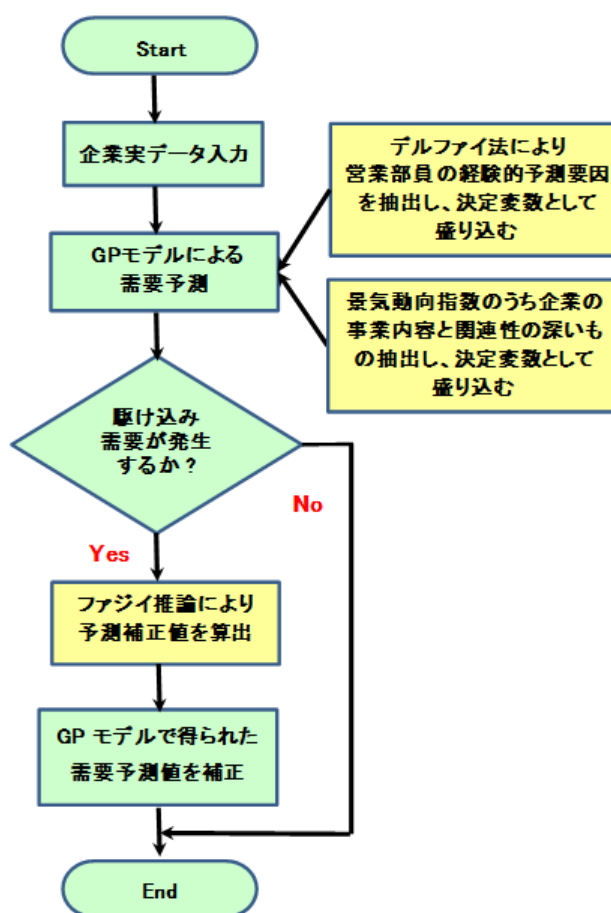


Fig.2.5 新しい需要予測モデルの作成フロー

2.1.5 企業実データによる結果の検証

(1) GPによる需要予測モデル比較

本研究では、A社の実データを用い、GPによる以下の11通りの需要予測モデルについて比較を行った。

- ・予測①：(従手法) 直近3カ月の単純移動平均法×1.25
- ・予測②：直近12カ月の単純移動平均法×1.25

- ・ 予測③：一次指数平滑法 ($\alpha = 0.5$) … $\alpha \times$ 前月実績値 + $(1 - \alpha) \times$ 前月予測値
- ・ 予測④：G Pモデル…月別受注頻度，月別販売先数の2入力。
- ・ 予測⑤：G Pモデル…月別受注頻度，月別販売先数，東証株価指数の3入力
- ・ 予測⑥：G Pモデル…月別受注頻度，月別販売先数，新設住宅着工床面積の3入力
- ・ 予測⑦：G Pモデル…月別受注頻度，月別販売先数，大口電力使用量の3入力。
- ・ 予測⑧：G Pモデル…月別受注頻度，月別販売先数，生産指数(鉱工業)の3入力
- ・ 予測⑨：G Pモデル…月別受注頻度，月別販売先数，中小企業出荷指数の3入力
- ・ 予測⑩：G Pモデル…中小企業出荷指数のみ入力。
- ・ 予測⑪：重回帰モデル…月別受注頻度，月別販売先数，中小企業出荷指数の3入力

なお，G Pの設定を Table2.5 に示す。このG Pモデルでは，42 カ月分（2007 年 11 月～11 年 4 月）の実データのうち，前半 21 カ月分（2007 年 11 月～09 年 7 月）を訓練データ，後半 21 カ月分（209 年 8 月～11 年 4 月）を検証データとしている。

Table2.5 G P の設定

データ数	21
親の個体数	600
子の個体数	700
世代数	1,500
交叉の確率 (%)	60
逆位の確率 (%)	15
突然変異の確率 (%)	25
木の深さの最大値	12
遅れ数の最大数	3
平均絶対誤差率の閾値 (%)	5

上記の 11 通りの需要予測モデルのうち，最も有効な結果（詳細後述）を示した予測⑨のG Pモデルを(2.3)式に示す。

$$\begin{aligned}
 y^{\wedge}(t) = & (((x_{2}[t-1] - 0.45) / (x_{2}[t-1] + 0.34)) * (x_{2}[t-2] + x_{2}[t-1]) - 0.22 * (0.16 + ((0.31 / 0.43) * x_{2}[t-1]))) + x_{2}[t-2] * ((((((0.81 * 0.58) / ((y[t-2] + x_{2}[t-2]) * (1.95 * x_{1}[t-3]))) * (((x_{1}[t-3] + x_{2}[t-2]) * (y[t-2] + y[t-1])) - 0.12) + ((x_{1}[t-3] / x_{2}[t-2]) + (0.05 * 0.75)) + ((x_{1}[t-1] * x_{1}[t-3]) - (x_{1}[t-3] / 0.46)))) * (((0.78 * (0.38 * x_{0}[t-3])) * (2.00 * 0.81)) + ((0.14 + (0.75 / 0.56)) * ((x_{0}[t-3] / y[t-1]) - (x_{1}[t-3] / 0.80))) - (x_{0}[t-3] * (y[t-1] + 0.07) * (x_{1}[t-3] * x_{2}[t-1]) + (x_{1}[t-1] + 0.43)))) * (((0.59 * x_{0}[t-3]) - (x_{1}[t-1] + 0.15)) / ((y[t-3] + 0.37) + (x_{2}[t-3] + 0.70))) * 0.35 / ((x_{1}[t-1] * (0.51 - y[t-2])) * ((x_{0}[t-3] + 0.81) + (x_{0}[t-3] / 0.70)))) / (((x_{1}[t-3] + 0.38) - (0.51 - x_{0}[t-1]) - (x_{1}[t-3] / (y[t-1] * 0.12))) - ((x_{2}[t-2] * 0.92) * 0.91) / (x_{1}[t-2] * (x_{1}[t-1] * 0.64) * (0.03 /
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& x_{2}[t-2])))))*((((x_{1}[t-1]+x_{2}[t-2])-(0.92-x_{2}[t-3]))-x_{2}[t-3]+1.06)-((0.46/0.30)*(0.57*x_{0}[t-3]))*(((x_{2}[t-3]-0.58)*0.43/x_{1}[t-2])+(y[t-3]+((y[t-3]/x_{0}[t-1])-(0.16/y[t-1]))-(y[t-3]-0.40))))*(((1.15*((-0.04)*0.95)/0.26)-(x_{2}[t-2]*y[t-2])*(x_{0}[t-1]/0.93))))*((1.56*x_{0}[t-2])/0.57)*0.43/x_{1}[t-3]*(x_{0}[t-3]+0.17))))-(((0.20/0.72)-((0.98*y[t-3])/(0.92*y[t-1])))-((0.20-(0.99/0.01))/(y[t-1]*0.31)-(x_{1}[t-1]/x_{0}[t-2])))))*(((y[t-3]+((x_{2}[t-1]-0.97)*(0.28*0.20))*(x_{0}[t-3]-x_{0}[t-1])-(x_{2}[t-1]+0.12))))*(x_{2}[t-1]+0.55)/(0.14*(y[t-3]-0.83))))*((0.74/0.68)*(0.10-x_{2}[t-1]))/(x_{0}[t-3]-y[t-2])-(x_{0}[t-3]*0.98))))*((((((x_{0}[t-1]+x_{0}[t-2])/(x_{2}[t-3]*y[t-3]))+0.17)+((1.06*0.24)*(x_{0}[t-2]-0.24))+0.26)+((((y[t-1]*0.12)+x_{0}[t-3])*(x_{0}[t-1]/x_{2}[t-3]))-(1.56*x_{0}[t-2])/0.57)-(0.43+x_{1}[t-1])/(x_{2}[t-3]*0.92)*((0.13-x_{0}[t-2])-(x_{0}[t-3]/0.73)))))*((((0.42*0.30)-(y[t-3]/0.59)-(x_{1}[t-3]*(x_{0}[t-3]/0.70))+x_{1}[t-3]+x_{0}[t-1])))*((0.20*0.53)/(0.87*x_{0}[t-3]))+((x_{2}[t-1]-0.86)*y[t-2])/x_{2}[t-1]))/(((x_{1}[t-2]-x_{2}[t-2])*(x_{0}[t-1]*0.25))*((0.52+y[t-3])+(0.64/0.72)))+((y[t-2]*0.71)/(x_{1}[t-3]*0.76))-(0.24-(x_{1}[t-2]/0.03)))))*((((0.26-x_{0}[t-1])/(-0.15))*(x_{2}[t-2]*y[t-1])/x_{2}[t-2]*1.82))*0.43)*(((((-0.02)-(0.84*0.90))+((0.25*0.77)+(y[t-3]*0.72))*((0.31/(0.44-y[t-2]))-(0.19*x_{2}[t-3])/(0.12*0.89))))-(((0.65*x_{1}[t-1])-(x_{1}[t-3]/x_{0}[t-3]))/(x_{0}[t-1]*x_{0}[t-3])-(x_{1}[t-3]/x_{2}[t-3])))-((0.31-x_{2}[t-1])-(x_{2}[t-3]*x_{2}[t-3]))/(x_{2}[t-2]*0.78)+(0.98*x_{2}[t-3])))))/((((0.89-(x_{0}[t-3]+0.15)-(x_{0}[t-2]*x_{1}[t-2]))*(0.55*0.41))/(x_{2}[t-1]*x_{0}[t-3]))+((x_{0}[t-1]-0.87)/(x_{2}[t-1]-0.63))-(0.40-(x_{2}[t-2]*x_{1}[t-3])))*((x_{2}[t-3]-0.43)-(0.17-y[t-3])))))*3749105.000000
\end{aligned}$$

(2.3)

$\hat{y}(t)$: t 月の販売個数（予測値）, x_1 : 受注頻度,
 x_2 : 販売先数, x_3 : 中小企業出荷指数

(2.3)式は、GP手法においてランダムに作成されたものであり、式自体が特別な意味を持つものではないが、一方では入出力間の誤差を最小限にする非線形モデルであり、本研究の主旨に沿った全ての入力変数を含んだモデルが構築できていると捉えられる。また、本研究で用いたGPでは、入力変数 $x_2(t-1)$, $x_2(t-2)$ や出力変数 $y(t-3)$ などの過去のデータを用いて需要予測を行っており、後述する検証結果（誤差率）からもわかるように、過去の情報を利用して需要予測を行うことが有効であるといえる。

なお、本研究では、GPモデルの構築時にブロートの発生抑制と過学習（オーバーフィッティング）の防止を考慮している [12] . その施策と評価は以下のとおりである。

- ① GPモデル構築時の木構造の突然変異率の調整や生成深度の制限によってブロートの発生を抑制し、過度な解構造の複雑化を回避している。なお、計算時間は30～60分程度であり、実応用を考慮しても問題はない。
- ② GPにおける解の収束判断において平均絶対誤差率を調整し、過学習を防止している。また、Cross-Validation Approach（交差検定）によって汎化能力を検証しており、過学習の防止を確認している。

(2) デルファイ法による入力項目の抽出

上記の新しい需要予測モデルの入力項目を抽出するため、A社の本社および東京営業所（東京都大田区）の営業部員に対し、事前アンケート及びその結果にもとづく個人およびグループインタビュー等を行った。その理由としては、以下のとおりである。

- ① A社は、典型的な地方中小製造業であり、生産拠点は地方、営業拠点は東京、大阪など大都市圏に有すること。
- ② したがって、需要予測においては「市場の代弁者」ともいえる大都市圏の営業部員の経験的な「市場性予測要因」が重要な判断要因となること。

今回実施したA社の営業部員へのインタビューにおいては、「生産財マーケティングにおいては、販売先数や受注頻度が少ない場合、予測誤差のリスク分散がしにくい。ため、特定先からの受注量や受注回数の予測を見誤れば、予測誤差による企業ダメージが大」等の意見が浮き彫りになった。

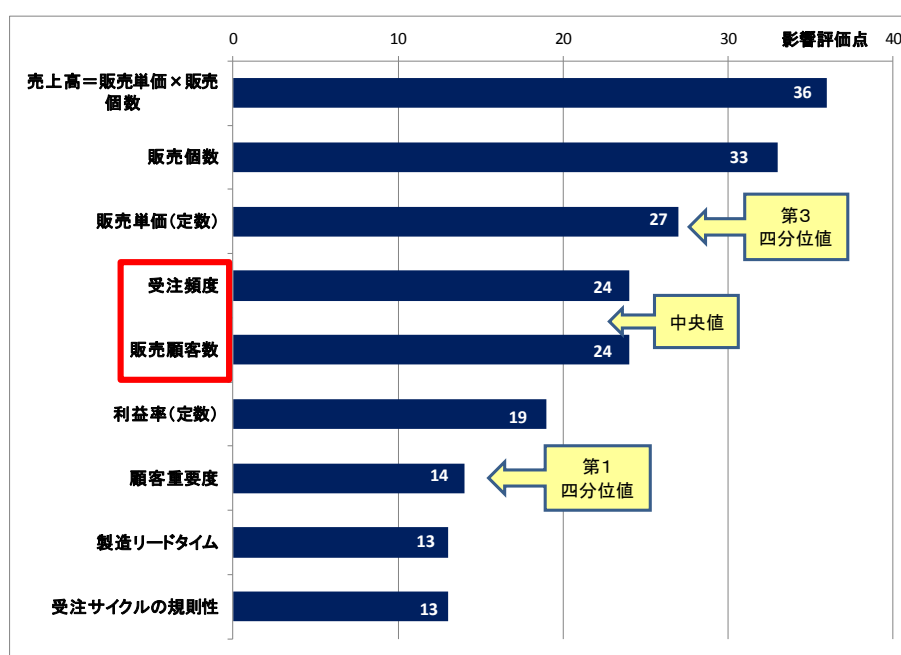


Fig.2.6 デルファイ法による経験的予測要因の抽出

以上の結果、四分位範囲により、月別販売先数および月別受注頻度の2項目を入力項目(決定変数)として選定した(Fig.2.6参照)。この2項目の選定理由としては、以下が挙げられる。

- ① 事前アンケートで一番点数が高かった売上高は、営業部員の業績貢献評価等を勘案すると当然の結果と言えるが、一方で売上高=販売単価×販売個数という式に分解できるため、右辺の販売単価、販売個数の各項目別に考察する。
- ② 販売個数は、これが目的関数であるため、入力項目としては除外する。
- ③ 販売単価、利益率は、データ期間中は定数であるため、入力項目としては除外する。

(3) 景気動向指数による入力項目の抽出

本研究では、合計32の景気動向指数のうち、

- ① 需要予測という目的性
- ② A社の事業内容(電機部品製造)との関連性、
- ③ A社の主要製品(圧着端子)の製品特性
- ④ 上述のデルファイ法により、A社の営業部員へのインタビュー等によって得られた大都市圏の主要取引先が重視している事項

など、中小製造業の生産財マーケティングにおける様々な諸要因を考慮し、景気動向指数のうち東証株価指数、新設住宅着工床面積(以上、先行系列)、大口電力使用量、生産指数(鉱工業)、中小企業出荷指数(以上、一致系列)の計5指数について、GPモデルの3項目目の入力項目として使用した(Table2.6参照)。この5指数とA社の売上ランキング第1位の品目の販売個数との相関係数は、ともに0.63~0.75程度であり、A社の販売個数と高い相関関係があることから、使用する入力項目として適していると判断される。

Table2.6 5指数とA社の売上第1位の品目の販売個数との相関係数

景気動向指数	相関係数
新設住宅着工床面積	0.742
東証株価指数	0.630
生産指数(鉱工業)	0.695
大口電気使用量	0.700
中小企業出荷指数	0.750

また、5指数の相互の相関係数をTable2.7に示す。相関係数はいずれも0.74以上と高いことから、入力項目として用いる際は5指数の全てを使用する必要はなく、この中から1つを用いれば良いことがわかる。

Table2.7 5 指数の相互の相関係数

	新設住宅 着工床面積	東証株価 指数	生産指数 (鉱工業)	大口電気 使用量	中小企業 出荷指数
新設住宅着工床面積	—	0.753	0.788	0.785	0.869
東証株価指数	0.753	—	0.817	0.742	0.853
生産指数 (鉱工業)	0.788	0.817	—	0.981	0.975
大口電気使用量	0.785	0.742	0.981	—	0.959
中小企業出荷指数	0.869	0.853	0.975	0.959	—

さらに、この5指数のうち最も好結果であった中小企業出荷指数のみを入力変数としたGPモデル(予測⑩)を加え、計11通りの需要予測モデルについて比較を行った。予測⑩の式(2.4)を以下に示す。

$$y^{\wedge}[t]=\left(\frac{((0.08*0.77)*((x_{\{0\}}[t-3]*(((0.80*x_{\{0\}}[t-2]+x_{\{0\}}[t-1])*(0.67/0.92))-x_{\{0\}}[t-3])))/((((x_{\{0\}}[t-3]-x_{\{0\}}[t-1])-x_{\{0\}}[t-1])*(x_{\{0\}}[t-3]+x_{\{0\}}[t-1]))+(0.26*x_{\{0\}}[t-3])+((0.21*x_{\{0\}}[t-1])/2.00))*0.19)+(1.00-(((0.83*x_{\{0\}}[t-2])*(x_{\{0\}}[t-2]+x_{\{0\}}[t-1]))/(x_{\{0\}}[t-1]-x_{\{0\}}[t-3]*0.88)))))+((x_{\{0\}}[t-1]*((x_{\{0\}}[t-3]*(x_{\{0\}}[t-1]*x_{\{0\}}[t-2]))-(0.21/x_{\{0\}}[t-4])*(0.25*x_{\{0\}}[t-1]))))*((2.00*x_{\{0\}}[t-3]*(x_{\{0\}}[t-1]/0.26))*x_{\{0\}}[t-1])*(2.00*x_{\{0\}}[t-2]))*(0.86-((0.85/(0.80*x_{\{0\}}[t-2]))-(x_{\{0\}}[t-2]*0.76))))-x_{\{0\}}[t-3])-(0.10-(x_{\{0\}}[t-1]*x_{\{0\}}[t-3]))+(-0.02))*3749105.000000$$

(2.4)

$y^{\wedge}[t]$: 予測値

$x_{\{0\}}[t-1]$: 1 か月前の中小企業出荷指数

$x_{\{0\}}[t-2]$: 2 か月前の中小企業出荷指数

$x_{\{0\}}[t-3]$: 3 か月前の中小企業出荷指数

なお、本研究では需要予測の精度を評価する際、以下の式(2.5)による平均絶対誤差率を使用している。

$$error(\%) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \left(\frac{|y(t) - \hat{y}(t)|}{y(t)} \times 100 \right)$$

(2.5)

$error$: 平均絶対誤差率, $y(t)$: t 月の販売個数(実績値), \hat{y} : t 月の販売個数(予測値),

N : データ数

上記の 11 通りの G P による需要予測モデルの予測結果（平均絶対誤差率）は、Table2.8 のとおりであり、予測⑨（(2.3)式）の多変数モデル（月別受注頻度，月別販売先数，中小企業出荷指数の 3 入力）が最も優れた結果を示した。

Table2.8 需要予測結果

	平均絶対誤差率	
	駆け込み需要 補正なし	駆け込み需要 補正あり
予測 1	23.79	—
予測 2	26.90	—
予測 3	20.42	—
予測 4	21.83	—
予測 5	16.14	8.69
予測 6	20.52	13.42
予測 7	14.28	6.77
予測 8	13.84	6.87
予測 9	13.17	5.95
予測10	17.88	11.76
予測11	14.96	—

前述のとおり，予測⑨は入出力間の誤差を最小限にする様な非線形モデルであり，生産財マーケティングにおける市場性や定性的要因など本研究の趣旨に沿った全ての入力変数を含む．さらに，入力変数 $x_2(t-1)$ ， $x_2(t-2)$ や出力変数 $y(t-3)$ などの過去のデータを用いており，予測⑨で試みた手法による需要予測が有効であることが検証されたと言える．

なお，Fig.2.7～2.8 は，A社の売上最上位品目における従来手法①と予測⑨の予測値と実績値の差異比較を示している．差異が小さいほど，需要予測の精度は高い．

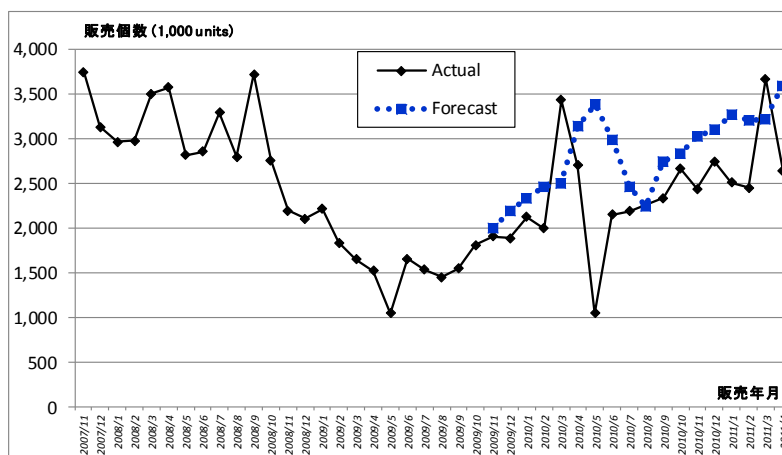


Fig.2.7 従来手法①の予測結果

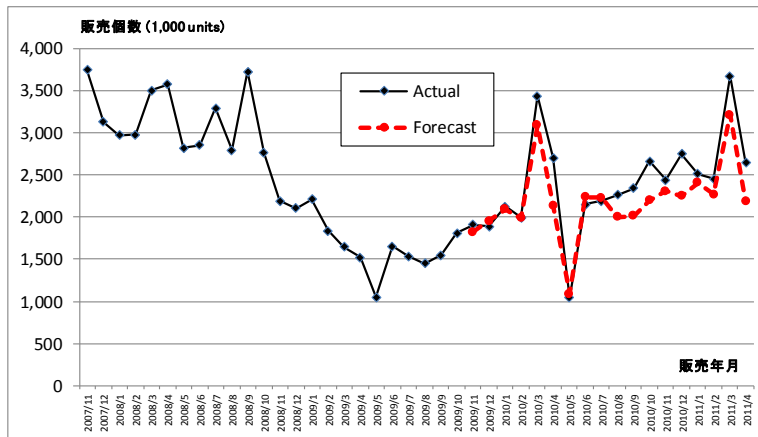


Fig.2.8 新しい予測モデル⑨の予測結果

(4) ファジィ推論による補正後の需要予測比較

A社では、製品の値上げなど価格改定時に駆け込み需要が発生する。この値上げに関する情報は、例えば「20pp年q月以降、従来の価格よりr%値上げします」というように、通常、改定月の少なくとも3カ月前までには取引先企業に通達される。A社の取引先企業は、製品の値上げ率を考慮し、値上げ前に予め買い溜めしようとする。これが駆け込み需要である。

本研究では、製品の値上げ率と販売個数の増加量の間係を用いて、ファジィ推論における以下のルールを作成する(Table2.9 参照)。

Table2.9 ファジィ推論におけるルール設定

グレード 値上げ率	f=0	f=1
高位	15%	20%
中位	10%、20%	15%
低位	15%	10%

駆け込み需要時において、if製品の値上げ率が高位 then 販売個数が大きく増加する。
 駆け込み需要時において、if製品の値上げ率が中位 then 販売個数が大きく増加する。
 駆け込み需要時において、if製品の値上げ率が低位 then 販売個数が大きく増加する。

このとき、メンバシップ関数は Fig.2.9 のとおりであり、重心法による重心 X_0 は(2.6)式により求められる。

$$X_0 = \frac{\sum_{x=a}^b f(x) \cdot x}{\sum_{x=a}^b f(x)} \quad (2.6)$$

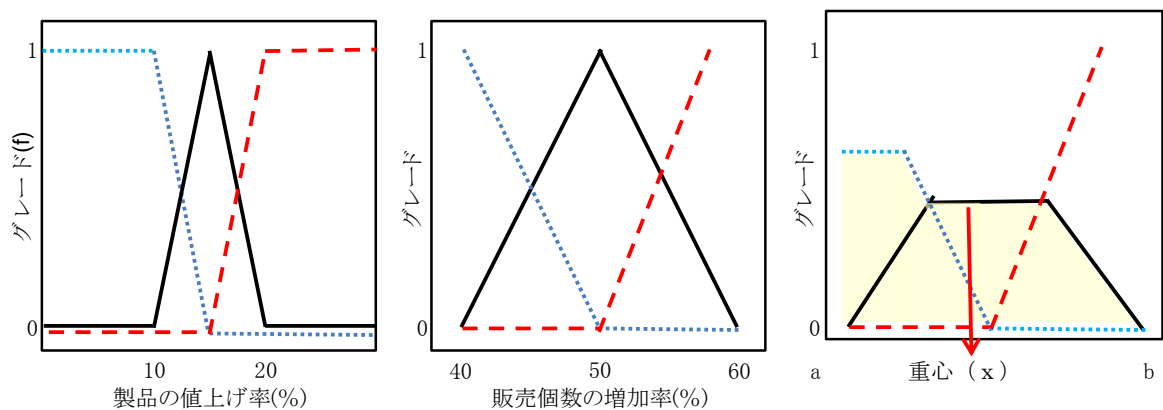


Fig.2.9 ファジィ推論におけるメンバシップ関数

上記の Table2.8 の需要予測結果の平均絶対誤差率においては、ファジィ推論による駆け込み需要の補正を行った方がいずれも誤差率が小さくなっている。また、予測⑨における補正による需要予測比較を Fig.2.10 に示す。いずれも、ファジィ推論による補正が有効であることを示している。

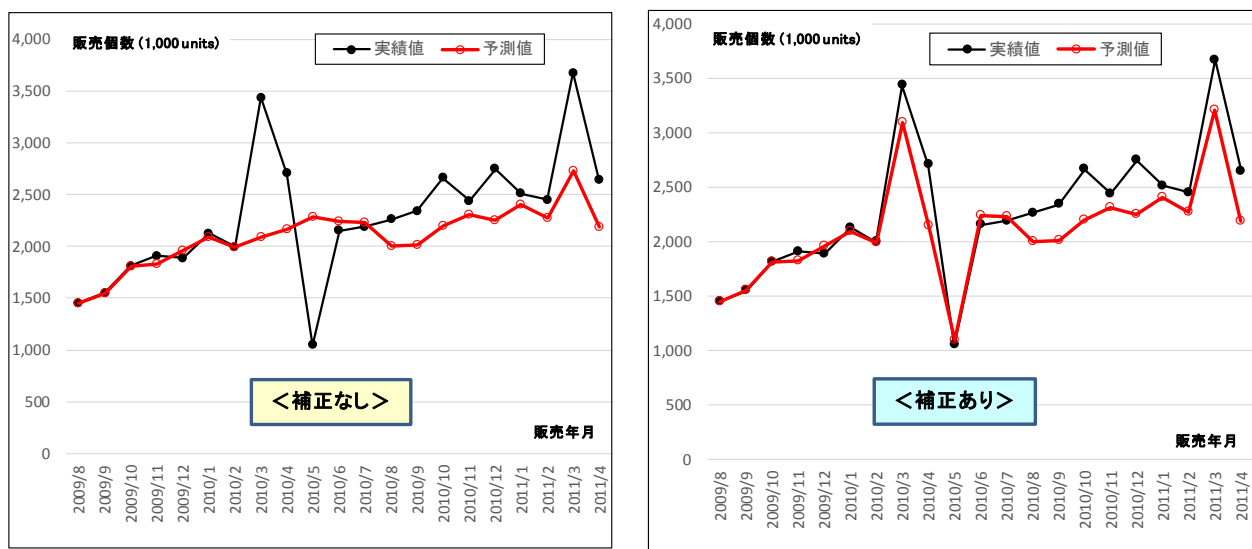


Fig.2.10 ファジィ推論による補正後の需要予測比較

2.1.6 まとめ

本研究では、中小製造業の生産財マーケティングにおける需要予測に着眼し、GP、デルファイ法、景気動向指数およびファジィ推論などの技法を用い、新しい需要予測モデルを提案した。また、地方の中小製造業の実データを用い、その有用性を検証した。

本研究において提案したGPモデルの決定変数である受注頻度、販売先数、中小企業出荷指数（景気動向指数）等は、いずれもA社の社内会議資料、政府統計ネット情報等から容易に入手可能なものであるとともに、A社の日常業務と大きな関連性を有することから、Table2.2で示したABCDE基準においても簡便性かつ納得性に優れた需要予測モデルと言える。

また、これらの結果は、地方の中小製造業の生産財マーケティングにおいて、大都市圏における市場性の定性的および定量的要因を考慮し、それらを決定変数として盛り込んだ需要予測モデルが有効であることを示している。わが国の企業の99.7%はA社に代表される中小企業であるが、市場ニーズの多様化が急速に加速する状況下、生産財マーケティングの様々な特性を考慮した需要予測モデルの開発が有効であると言える。

2.2 新製品における「外的」な生産の揺らぎへの対応

2.2.1 「外的」な生産の揺らぎと新製品開発

製造業が新製品の生産を行う場合において、生産の「揺らぎ」の最大の要因は「一体、どれだけ量を生産すれば良いのか」という点である。言い換えれば、「一体、どれだけ市場で売れるのか」ということになる。既存製品であれば、過去の販売実績等からある程度の予測は可能である。ところが、「実績」が全くない新製品の場合は、予測はとて難しい。もちろん、実際には自社または他社の類似製品など過去の経験値をもとに販売計画を立案したりするが、それでも客観的な根拠は薄いのが現状である。

一般に、新製品の販売予測は、その製品がどれだけ市場競争力（優位性）を有する製品であるかという「質的要因」（定性的要因）によって、大きく左右される。この市場競争力を一定の客観性を持って判定することが可能であれば、生産量（または販売量）の予測はある程度の正確性を有することになり、生産の「揺らぎ」は軽減される。逆に、市場競争力の判定が困難な場合には、生産量の予測は不確実性なものとなり、「揺らぎ」の発生となる。

つまり、新製品の場合、生産の「揺らぎ」に大きな影響を与えるのは、市場競争力という極めて「質的」な要因である。また、市場競争力は、他社製品との相対的比較によって決定されるため、自社ではコントロールできない「外的」な要因である。製造業としては、標的市場のニーズにどれだけ適応した新製品であるか、また他社製品と比較してどの

程度の市場優位性を訴求・維持できるかという点について、一定の客観性を持って判定することが「外的」な生産の揺らぎを最小化するための重要ポイントとなる。

本研究では、上記の「一定の客観性」を持って判定する手法として、QFD (Quality Functional Deployment, 品質機能展開) を用いる。さらに、QFDに関する先行研究においてこれまで指摘されてきた複数の課題について、独自の視点から新たな提案を試みる。

2.2.2 新製品開発におけるQFD

QFDは、企業が新製品開発を行う際に、設計段階から自社の技術品質と標的となる市場品質との関係性を検討し、製品設計や製造工程に活かすための代表的な方法論のひとつである。QFDは、1978年に赤尾洋二、水野滋の両博士によって体系化され、その後、三菱重工業、ブリヂストン、トヨタ車体など国内外の多くの企業において実践されてきた。QFDの開発者である赤尾(1990)は、その基本的な仕組みを Fig.2.10 に示すとともに[13]、さらにラジコン模型飛行機の製品開発における、ある製造業のQFDマトリクス表を紹介している (Table 2.11 参照) [14]。

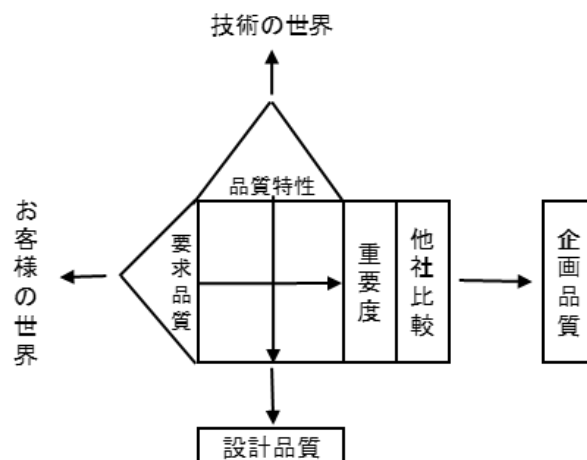


Fig.2.11 QFDの基本的なモデル

Table 2.10 ラジコン模型飛行機のQFDマトリクス表

品質特性			1次										
			2次										
要求品質			品質要素	3次	...								
				特性値									
			1次	2次	3次								
1.操作しやすい			11.持ちやすい			111.持ち運びしやすい							
						112.小さくて持ちやすい							
						113.軽くて持ちやすい							
						114.持った時安定感がある							
						115.安定した置き方ができる							
			12.操作中疲れない			121.適度に重さがある							
						122.適度な大きさがある							
			13.操作がわかりやすい			131.使用方法がわかりやすい							
						132.初心者でも操縦しやすい							
			14.楽に操作ができる			141.小さくても操縦しやすい							
						142.表示が読みやすい							
						...							
						...							
									操作性				
						電氣的性能							
						携帯性		TRS特性		TS特性			
						寸法	形状	重量	消費電流	電氣的温度特性	動作電圧範囲	周波数	...
						5	5	5					
						3	3						
						5	5	5					
						5	5	5					
						3	3	3					
												3	
												3	
						3	3	3					
												3	

つまり、QFDは二次元マトリクス表を用い、要求品質（市場品質）と品質特性（技術品質）の関係性を定量化（点数化）し、その重要度を見極めるものである。QFDが提案された1970年代は、既存製品の量産時における生産管理工学の研究が主体であり、開発設計段階から製品として具現化するまでの研究が希薄であった経緯がある。新製品の需要予測を見誤らないためには、開発設計段階から製品の技術品質と標的顧客の市場品質との関係性を明確かつ戦略的な手法により客観的に分析するとともに、多くの競合他社が存在する市場において比較優位性を発揮できる技術品質強化の見極めが不可欠である。

2.2.3 先行研究におけるQFDの課題

QFDは、中小製造業において、新製品の「外的」な揺らぎを客観的に判定するための有効な手法であるが、しかしながら一方で、これまで以下の様な複数の問題点が指摘されてきた。

(1) 「時間軸」が考慮されていない

QFDマトリクス表に記載される要求品質（市場品質）には、「時間軸」という視点が考慮されておらず、これが従来のQFDの弱点であるという指摘がある[15]。また、実際に「時間軸」を考慮したQFDマトリクス表の具体例はこれまで示されていない。

一方、現代のように企業間の技術開発競争がスピードアップし、製品のライフサイクルが短縮化する状況下においては、市場ニーズは目まぐるしく変貌する。したがって、企業としては短期的な視点だけでなく、ある程度中長期を見据えた視点において、生産の「揺らぎ」を捉える必要がある。

(2) 「知的財産権」との関連性が明確化されていない

QFDマトリクス表に記載される品質特性（技術品質）の中には、競合他社との市場優位性を保つため、知的財産権（特許権、意匠権など）の取得を目指す（あるいは既に出願している）ものが含まれるが、この出願戦略とQFDの関係性が明確化されていないという指摘がある。QFDへの特許情報の活用については、鶴見(2012)は「新製品開発における特許情報の重要性を考えれば、QFDのプロセスの中に特許情報活用の手順が組み込まれており、その手順を実行することによって効率的かつ効果的に特許情報が活用される仕組みになっていることが望ましい」と述べている[16]。

また、出願後に公開された特許情報の活用だけでなく、これから出願すべきか、あるいは出願せずに「営業秘密」（Trade secret）として社内ノウハウに留めるのかという判断基準は示させておらず、市場優位性を客観的に判断する上では不足感がある。

(3) 「点数配分のルール」が明確化されていない

QFDは、二次元マトリクス表に品質特性（技術品質）と要求品質（市場品質）の関係性について、1点、3点、5点などの点数を記入し、定量的に分析する手法である。しかし、この点数配分は1点、2点、3点や1点、3点、5点、あるいは1点、3点、9点など様々な事例があり、統一されたルールは示されていない。QFD開発者の赤尾(1990)は、「これらは経験則によっている。これらの合理性については今後の研究を待たねばならない」と述べていることから[17]、客観性のあるスコア判定が望まれる。

(4) 「点数化」における客観性の向上のための明確な手法は示されていない

QFDマトリクス表において点数付けを行う際、どうしても採点者の経験値など主観的判断となる側面があることが従来から指摘されてきた[18]。ただし、その客観性を向上させる具体的な手法が示されている訳ではない。

2.2.4 技術品質と市場品質

ここで、QFDの基本である品質特性（技術品質）と要求品質（市場品質）について触れておきたい。本研究では、品質特性を「技術品質」、要求品質を「市場品質」という表現に統一している。

「技術品質」とは、以下の(2.7)式で示され、機械故障などの機能のばらつき、振動、騒音など、消費者が望まないもの総和であり、「システムが技術的に望ましくない項目によって社会に与える損失」と定義される[19][20].

$$TQ=Ue+E \quad (2.7)$$

TQ : 技術品質

Ue : 機能（働き）のばらつきによる損失

E : 弊害事項による損失（使用コスト・騒音・振動・副作用など）

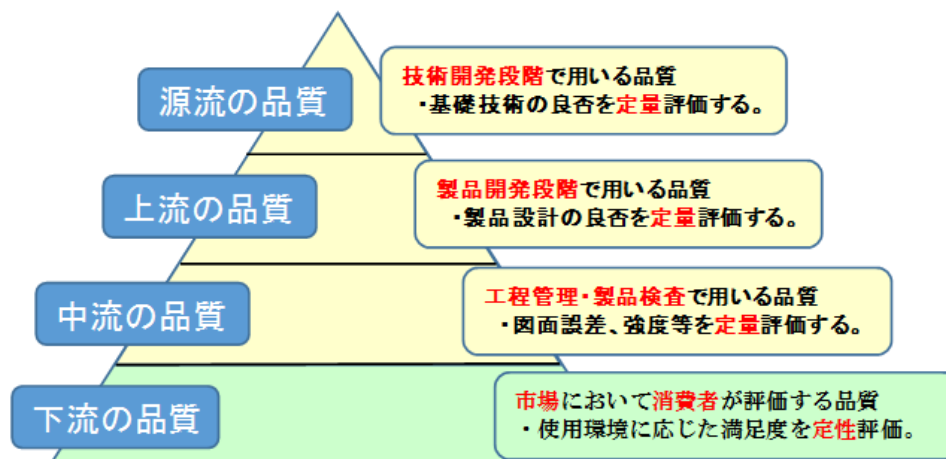


Fig.2.12 品質の4つの段階

(資料)参考文献[19][20]に一部加筆.

また、「技術品質」は、Fig.2.12に示すとおり、品質の4つの段階において最も上流に位置する「源流の品質（技術開発段階で用いる品質）」から「中流の品質」（工程管理や製品検査で用いる品質）までの3つの階層を指すものと位置付けられている。つまり、「技術品質」とは、研究段階の基礎技術から、工場内の製品生産を経て、検査・出荷されるまでの全てのプロセスにおける「技術的な品質」を意味する。

一方、「市場品質」とは、Fig.2.12において最も底辺に位置する「下流の品質（市場において消費者が評価する品質）」と位置付けられる。これには、市場における様々な使い方や環境条件による変化などを含め、消費者の便益や満足度が含まれる。

ここで注意すべきは、「顧客満足度」という概念である。現代のように、多種多様な製品が市場に氾濫している状況下では、「顧客満足度」は極めて曖昧かつ主観的な概念である。とくに、生産の3要素である「品質」「価格」「納期」のうち、「市場満足度」は「価格」との対比（いわゆるコストパフォーマンス）に大きく左右される。つまり、実際の「市場品質」とは、「価格」との対比を含めた広義の（あるいは総合的な）「顧客満足度」と捉えた方がベターと言える。

したがって、本研究においてはQFDマトリクス表を用いて市場競争力の判定を行う際に、上述の「技術品質」および「市場品質」の定義を考慮し、項目の抽出を行っている。

2.2.5 本研究における提案手法

先行研究におけるQFDの課題を踏まえ、本研究においては以下の4つの新しい提案を試みる。

(1) 「時間軸」を考慮したQFDマトリクス表

本研究では、QFDマトリクス表に記載される市場品質に、これまでなかった「時間軸」という視点を加え、市場競争力の判定を試みた。具体的には、Table 2.11のとおりであり、市場品質の下段にはそれぞれの技術品質の項目毎に、短期的重要度と中長期的重要度の点数合計を集計し、記入する欄を新たに設けている。

この場合、技術品質項目Aの短期的重要度合計は、(2.8)式で表わされる。

$$IST_A = \sum_{i=1}^n ST_i a_i \quad (2.8)$$

IST_A : 技術品質項目Aの短期的重要度の合計値

ST_i : 市場品質項目(1)の短期的重要度の点数値

a_i : 技術品質項目Aと市場品質項目(1)の関係性の点数値

Table 2.11 「時間軸」を考慮したQFDマトリクス表

				技術品質				
				A	B	C	D	...
市場品質	項目	短期	中長期					
	(1)	ST_1	LT_1	a_1	b_1	c_1	d_1	...
	(2)	ST_2	LT_2	a_2	b_2	c_2	d_2	...
	(3)	ST_3	LT_3	a_3	b_3	c_3	d_3	...
	(4)	ST_4	LT_4	a_4	b_4	c_4	d_4	...
	(5)	ST_5	LT_5	a_5	b_5	c_5	d_5	...
		⋮	...	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	(n)	ST_n	LT_n	a_n	b_n	c_n	d_n	...
短期的重要度 合計				IST_A	IST_B	IST_C	IST_D	...
中長期的重要度 合計				ILT_A	ILT_B	ILT_C	ILT_D	...

また、同様に、技術品質項目 A の中長期的重要度合計は、(2.9) 式で表わされる。

$$ILT_A = \sum_{i=1}^n LT_i a_i \quad (2.9)$$

ILT_A : 技術品質項目 A の中長期重要度の合計値

LT_i : 市場品質項目(1)の中長期重要度の点数値

a_i : 技術品質項目 A と市場品質項目(1)の関係性の点数値

なお、この場合の短期、中長期の期間（年数）の考え方は、企業や製品によって異なるが、今日のように変化が目まぐるしい状況下においては、短期は概ね 1~2 年程度、中長期は概ね 2~7 年程度が一般的と考えられる。

(2) 知的財産権の出願戦略を考慮した QFD マトリクス表

本研究では、QFD マトリクス表に記載される技術品質に、新しく知的財産権（特許権、意匠権など）との関係性を明記した。具体的には、Table 2.12 のとおりであるが、これは Table 2.11 の QFD マトリクス表にさらに以下の内容を追記したものである。

① 既に知的財産権を出願済みの技術品質項目

…項目毎に、出願番号や請求項別の関係性を明記した。

② 今後、出願を検討する技術品質項目

…出願するのか、あるいは営業秘密として社内ノウハウに留めるかについて、当該技術の「検出可能性」の観点から判断し、記載した。

Table 2.12 知的財産権の出願戦略を考慮したQFDマトリクス表

		技術品質							
		項目	A	B	C	D	E	…	
		出願済知財(注1)	$\alpha 1$	$\alpha 2$			$\beta 1$		…
検出可能性(注2)	◎	○	×	○	◎		…		
市場品質	項目	短期	中長期						
	(1)	ST_1	LT_1	a_1	b_1	c_1	d_1	e_1	…
	(2)	ST_2	LT_2	a_2	b_2	c_2	d_2	e_2	…
	(3)	ST_3	LT_3	a_3	b_3	c_3	d_3	e_3	…
	(4)	ST_4	LT_4	a_4	b_4	c_4	d_4	e_4	…
	(5)	ST_5	LT_5	a_5	b_5	c_5	d_5	e_5	…
		⋮	…	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
(n)	ST_n	LT_n	a_n	b_n	c_n	d_n	e_n	…	
短期的重要度 合計				IST_A	IST_B	IST_C	IST_D	IST_E	…
中長期的重要度 合計				ILL_A	ILL_B	ILL_C	ILL_D	ILL_E	…

(注1)出願済知財の α 、 β …は出願番号を示す。 $\alpha 1$ とは出願番号 α (特許権)の請求項1を意味する。

(注2)検出可能性の記入例…◎:高い, ○:やや高い, ×:低い(または多額のコストを要する)

Table2.12において、今後、知的財産権の出願を検討する判断基準として「検出可能性」を示したが、「検出可能性」とは、競合他社等の模倣製品や権利侵害製品が市場に出回った場合、その製品をティアダウン(注:分解・分析すること。リバースエンジニアリングとも言う)することで、権利侵害を検出できるか否かを意味するものである[21]。

知的財産権は、出願後一定期間を経過すると、その内容・ノウハウ等は公開されてしまうため、一般的には「検出可能性」が高いと判断される場合(Aのケース)は出願・権利取得することで自社の市場優位性を確保し、逆に「検出可能性」が低い場合(Bのケース)は出願せずに、社内の「営業秘密」[注2]としてノウハウに留めることが、市場戦略上は有効とされる(Fig.2.13参照)[22]。

また、既に出願済みの知財について、さらに検討を加える場合においては、

A-1 早期審査請求[注 3]を行い、出願済みの知財の早期権利化を目指す。

A-2 先に出願した内容に改良を加えた国内優先権主張[注 4]を行い、権利化の確実性を向上させる。

A-3 とくに何もしない。

の3つの選択肢が考えられるが、とくに A-1 の早期審査請求はわが国では中小企業にのみ認められた制度であり、中小・ベンチャー企業にとっては機動的な意思決定が求められる。同様に、A-2 の国内優先権主張は最初の特許出願後 1 年以内に行う必要があることから、戦略的かつ時限性ある経営判断が求められる。

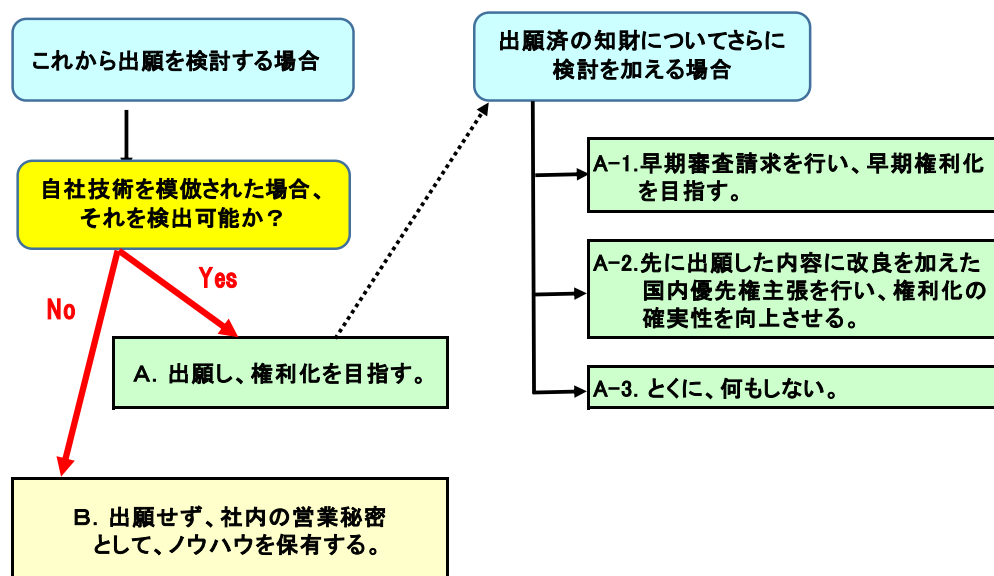


Fig.2.13 知財出願の意思決定フロー

重要な点は、以上のような知的財産権の出願戦略に関して、単に技術品質のみの視点から判断するのではなく、

- ① QFDマトリクス表における市場品質との関係性において有益か、
- ② 短期的または中長期的重要度の分析視点から市場競争力を維持できるか、
- ③ 新製品の生産の「揺らぎ」にどの程度の影響をもたらすのか、

等について冷静に判定することである。とくに、中小・ベンチャー企業にとっては、大企業との比較優位性を発揮する上で、こうした判断の視点は不可欠と言える。

(3) 「点数配分のルール」における考察

前述のとおり、QFDマトリクス表は技術品質と市場品質の関係性について、1点、3

点、5点などの点数を記入し、定量的に分析するものである。しかし、この点数配分の仕方は1点、2点、3点や1点、3点、5点、あるいは1点、3点、9点など様々な事例があり、統一されたルールは示されていない。

本研究では、以下の視点から、計5通りのケースについて比較し、最も有効なケースについて考察した (Table2.13 参照)。

- ① 指数法則の視点 (4 : 2 : 1 と 9 : 3 : 1 の2通り)
- ② 「評価の中心化傾向」 [注 5] を排除するという考え方から、3段階 (奇数) と4段階の比較

Table2.13 点数配分ルールにおける考察

区分	段階評価	点数配分
case1	3 (奇数) 段階評価	4点、2点、1点
case2	3 (奇数) 段階評価	9点、3点、1点
case3	4 (偶数) 段階評価	4点、3点、2点、1点
case4	4 (偶数) 段階評価	7点、5点、3点、1点
case5	4 (偶数) 段階評価	9点、5点、3点、1点

(4) デルファイ法による点数化における客観性の向上

本研究では、デルファイ法の手法を用い、QFDマトリクス表における点数化の客観性向上を試みた。

とくに中小製造業の知的財産戦略を含めた市場競争力の有効性や持続性について客観的に判定する必要があるとの観点から、企業幹部など社内関係者に加え、弁理士、発明協会、中小企業診断士、中小企業支援機関、行政機関、金融機関など外部専門家による支援グループを結成し、複数回の反復ヒアリング及びグループインタビュー等を繰り返すことで、個人の主観的判断を極力排除し、客観性ある意見収束を実施した。

2.2.6 企業実データによる結果の検証

本研究では、B社 (小型電子モーター製造) の実データを使い、提案手法の有効性について検証した。B社の代表的な新製品として、「小型チューブポンプ」 (ブラシレスモーター駆動、写真3) であるが、同製品は従来製品と比較し、薄型サイズ、高吐出圧力、省電力・長寿命、簡易着脱性など多くの技術優位性を有する。支援当初 (2008年9月) は、特許1件を出願済み (2007年10月)、さらに1件を出願準備中であった。

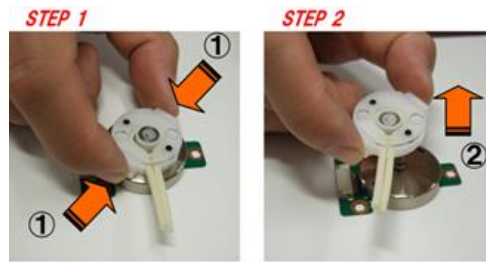


写真2.1 B社の新製品「小型チューブポンプ」(前掲)

しかし、B社は社長以下、社員の多くが技術者であったため、自社製品がどのような市場ニーズにマッチングし、販売実績へと結び付くのか、そして何よりも「どれだけの販売量を見積って、生産計画を立案すれば良いのか」、つまり生産の「揺らぎ」については今ひとつ見極められていなかった。そこで、弁理士、中小企業支援機関など外部専門家による支援グループを結成し、約3年間にわたり、以下の様な本研究に係わる支援活動を実施した[注6]。

(1) 「時間軸」を考慮したQFDマトリクス表の作成

B社製品「小型チューブポンプ」の標的市場のひとつとして「家庭用燃料電池」が検討されていたが、この市場の成長性が不透明であったため、「時間軸」を考慮したQFDマトリクス表(Table2.14参照)を作成し、当社の持続性ある市場競争力および今後の技術強化ポイントの絞り込み作業を行った。

その結果、技術項目において、短期的には重要度が高くなくても(100点未満)、中長期的には重要度が高い(120点以上)項目(ダイレクトドライブ、モーター・ポンプサイズ等)が明らかになり、中長期的な視点における技術強化ポイントが明確化された。

(2) QFDマトリクス表作成における知的財産権の出願戦略の明確化

Table2.14のQFDマトリクス表に、知的財産権の出願戦略を明確化するため、技術品質項目の検出可能性、知的財産権との関係性などについて明記した。また、上述の技術強化ポイントの明確化により、当初出願準備中であった技術品質項目については、早急に出願し、技術優位性を確保することの必要性が明らかになった。

その結果、特許βの出願(請求項は、ダイレクトドライブ、ガタツキ防止構造、工具レス着脱など)および出願後1年以内の国内優先権主張(請求項として、モーター・ポンプサイズを追加し、その数値範囲を特定)の実現に成功した。

Table2.14 B社のQFDマトリクス表

		技術品質																	
		区分	モーター・ポンプ					チューブ					その他						
		項目	B L モ ー タ 駆 動	ダ イ レ ク ト ド ラ イ ブ	チ ュー ブ ポ ン プ 方 式	サ イ ズ	駆 動 トル ク	軸 受 (強 靱 性)	回 転 数 検 出 ・ 制 御	ガ タ ツ キ 防 止 構 造	サ イ ズ (径)	材 質		バ ラ ツ キ (個 体 差)	駆 動 回 路		工 具 レ ス 着 脱	エ ア チ ャ ン バ ー (外 付)	
耐久 性	柔軟 性		電 磁 音	省 電 力	電 磁 音	省 電 力	電 磁 音	省 電 力	電 磁 音	省 電 力	電 磁 音	省 電 力	電 磁 音	省 電 力	電 磁 音	省 電 力			
検出可能性		◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	×	◎	◎	◎	◎	
知的 財産権	特許α(2007.10出願)			請1			請2	請3											
	特許β(2009.4出願)		請1						請2								請1		
	特許β(2010.4国内優先権主張)		請1		請3					請2							請1		
項目		顧客重要度																	
		短期	中長期																
市場品質	小型・薄型	1	3	3	9	1	9	3	1	1	1	1						9	
	静音	1	3	9	9	1	1		1		9	1	3	3		9		3	
	長寿命	9	9	9	1	9	1		9	1	9	3	9	1				3	
	吐出量	最大流量増	3	3			1	9	9		3	1	9		1	1			
		最小流量減	1	1			1	9	9		3	1	9		1	1			
	吐出圧力	1	1			9	1	3				1		3	1		1		
	吐出 安定性	精度	3	3	3		9				9	1	9		3	9		9	
		経年変化	1	1			3	1			3	1	3	9	3	3			
		少脈動	1	1			1	9	1				3		3	1		9	
	メンテナンス(着脱)	3	3			3	3	3				3		1				9	
	その他	消費電力	1	3	3	1	1	3	3	1	3	1	3		3			9	
		耐薬品性	3	3			3							9					
		気体搬送	1	1			9									1			
価格	3	9	9	9	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	3	
短期的重要度	合計	132	65	172	79	55	93	64	118	111	132	40	40	12	13	60	54		
中長期的重要度	合計	216	157	196	123	85	117	90	158	139	156	58	46	36	37	72	90		

(注) 9 : 3 : 1 の3段階評価による点数配分。

(3) 「点数配分のルール」にもとづく考察

本研究では、B社のQFDマトリクス表作成にあたり、Table2.13の点数配分ルールにもとづき、計5通りのケースについて比較した。その結果、最高点から最低点までの範囲を重要度の分散の範囲とみなすと、短期的重要度ではcase2が、中長期的重要度ではcase5が最も範囲が広く、有効な結果を示した (Fig.2.14 参照)。

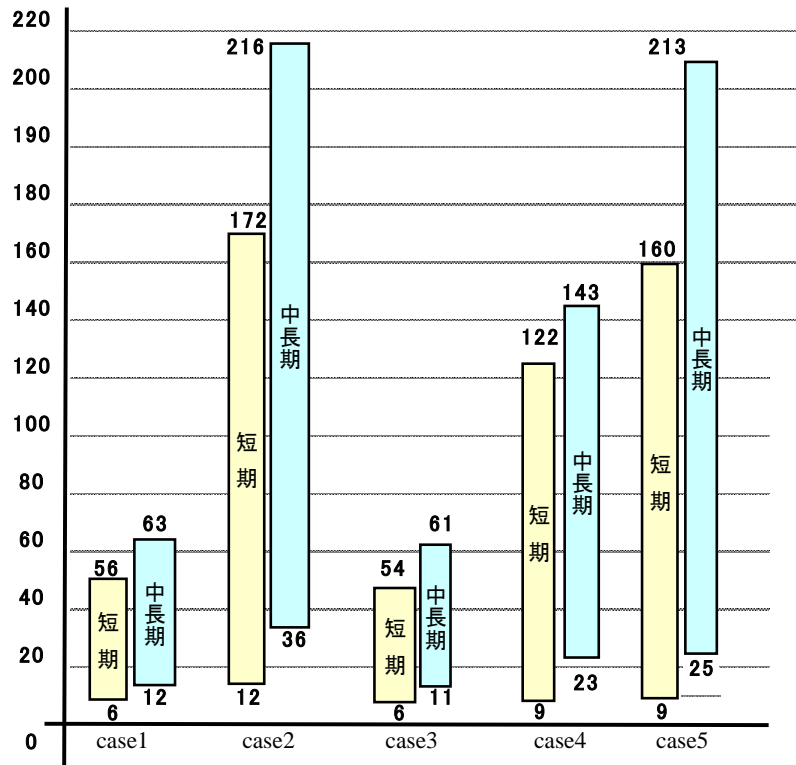


Fig.2.14 B社「点数配分のルール」にもとづく考察①

なお、case2とcase5については、技術品質の各項目の点数結果に大きな違いはない (Table2.15 参照)。

Table2.15 B社「点数配分のルール」にもとづく考察②

ケース	点数配分基準	区分	技術品質																																
			項目	モーター・ポンプ							チューブ				その他																				
				B L モータ 駆動	ダイ レク トド ライ ブ	チュ ーブ ポン プ 方 式	サイ ズ	駆 動 トル ク	軸 受 (強 韌 性)	回 転 数 検 出 ・ 制 御	ガ タ ツ キ 防 止 構 造	サイ ズ (径)	材質		バラツキ (個体差)		駆動回路		工具レス着脱		エア チャン バー (外付)														
case1	3 (奇数) 段階評価 4点、2点、1点	短期の重要度 合計	36	26	56	34	23	23	27	36	41	36	23	18	6	7	20	20	中長期の重要度 合計	52	43	63	45	31	30	34	46	49	42	29	20	12	13	24	28
case2	3 (奇数) 段階評価 9点、3点、1点	短期の重要度 合計	132	65	172	79	55	93	64	118	111	132	40	40	12	13	60	54	中長期の重要度 合計	216	157	196	123	85	117	90	158	139	156	58	46	36	37	72	90
case3	4 (偶数) 段階評価 4点、3点、2点、1点	短期の重要度 合計	36	26	54	31	20	23	25	31	36	29	23	16	6	6	20	18	中長期の重要度 合計	52	43	61	42	28	30	32	40	44	35	29	18	12	11	24	26
case4	4 (偶数) 段階評価 7点、5点、3点、1点	短期の重要度 合計	91	53	122	59	39	61	50	68	77	70	38	28	10	9	48	38	中長期の重要度 合計	143	111	140	93	63	79	70	94	99	88	54	32	28	23	58	64
case5	4 (偶数) 段階評価 9点、5点、3点、1点	短期の重要度 合計	131	65	160	63	39	93	52	78	83	80	40	28	12	9	60	42	中長期の重要度 合計	213	157	184	107	69	117	78	110	111	104	58	34	36	25	72	78

以上の結果から、B社のような中小企業であり、とくに知的財産権について迅速かつ明確な戦略上の判断が求められる場合には、

- ① 点数配分は、3段階が作業が平易であるとともに、有効な結果を示す。
 - ② 点数配分ルールが、指数法則にもとづいており、一定の客観性がある。
- 等の理由から、case2（9：3：1）が最適であることが判明した。

（４）デルファイ法による意見収束

本研究では、B社のQFDマトリクス作成にあたり、製品特性と標的市場の関係性をはじめ、上述した時間軸の考慮、知的財産権の出願戦略の明確化、点数配分ルールなど、全てのテーマをデルファイ法の手法にもとづき、意見収束を図った。

Table2.16 デルファイ法によるB社テーマの意見収束の状況

回数	年月日	主なテーマ	当社メンバー	外部専門家		
1	2013. 8. 26	製品特性と標的市場の関係性	社長、 開発技術課長 製造技術課長ほか	5名	6名	
2	2013. 9. 15	技術品質、市場品質の精査		4名	3名	
3	2013. 9. 30	QFD作成基準の明確化		3名	中小企業診断士、 弁理士、 中小企業支援機関 行政関係者 金融機関関係者ほか	5名
4	2013. 10. 14	QFD時間軸の精査			3名	
5	2013. 10. 21	QFDと知財出願戦略の整合性			5名	
6	2013. 11. 19	QFD点数配分ルールの精査			3名	
7	2013. 11. 25	QFDと技術経営戦略の整合性			3名	
8	2013. 12. 18	最終まとめ、総括				

具体的には、当社メンバーおよび外部専門家による合同作業チームを結成し、計8回のヒアリングアンケートおよびグループミーティングを重ね、内容・テーマの絞り込みと意見収束を繰り返した（Table2.16参照）。また、何よりも作業偏重にならず、当社の最終的な技術経営戦略に繋げることを目的とし、回数を重ねる毎にミーティング出席人数を絞り込み、前回の意見集約を次回ミーティングまでに精査する手法を繰り返した。

B社の主要製品「小型チューブポンプ」の標的市場としては、本研究以前から、①医療分野（薬液供給の点滴用シリンジポンプ等）、②水冷分野（電子機器等への冷却液体搬送用）があり、さらに今後有望な標的市場として③家庭用燃料電池（短期、中長期）を加え、計4つの標的市場についてQFDマトリクス表による技術品質と市場品質の関係性を明確化し、一定の客観性ある市場競争力の判定を行った。

（５）バランススコアカードによる戦略ロードマップ作成

本研究の一環として企業支援にあたったB社に対しては、まず、前述のQFD技術品質項目の標的市場別の分析結果を可視化し（Fig.2.15参照）、当社メンバーおよび外部専門家による合同作業チームメンバー全員による意識共有を図った。

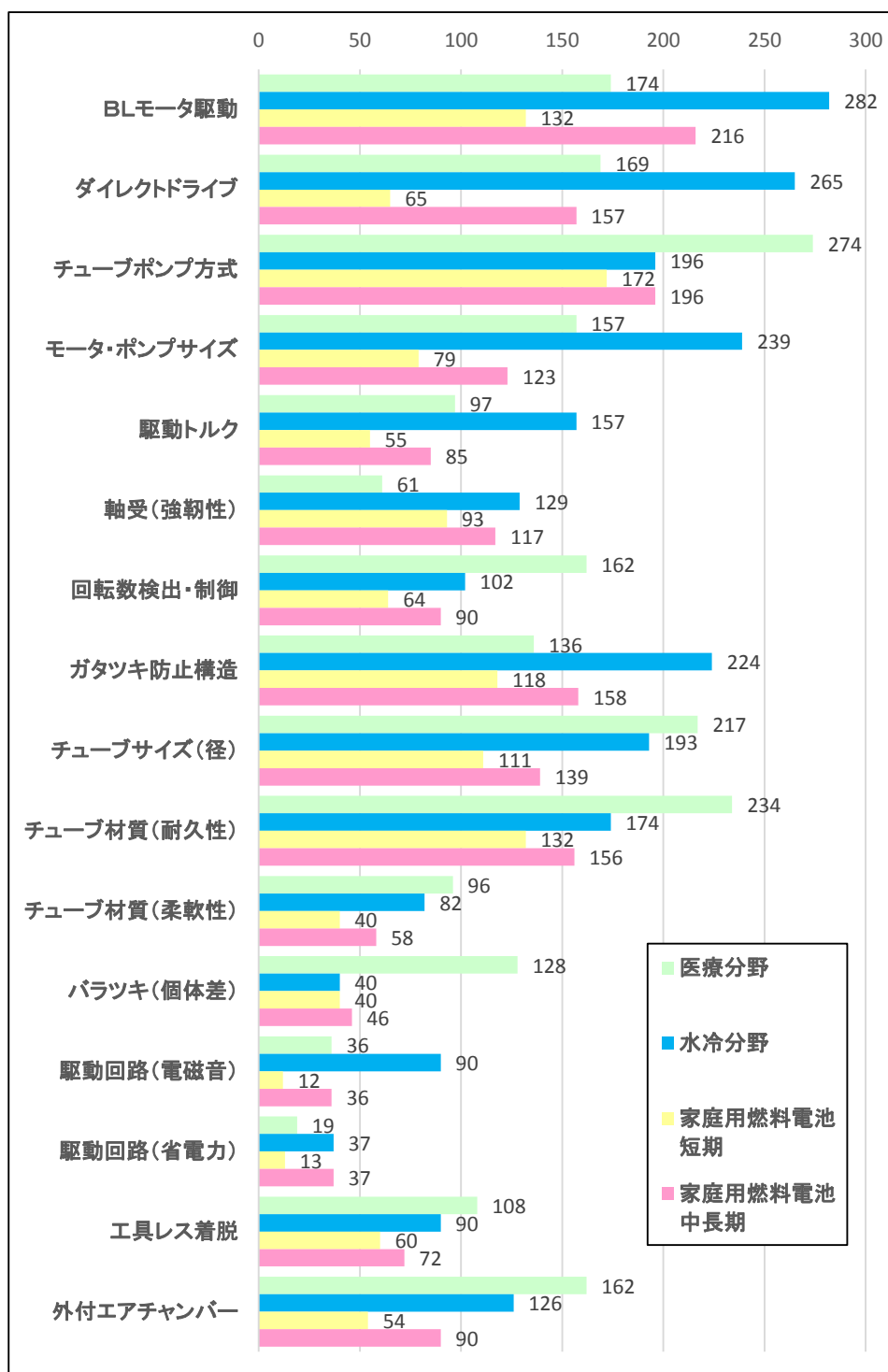


Fig.2.15 QFD技術品質項目の標的市場別の結果

次に、この分析結果を踏まえた上で、バランススコアカード（BSC）の手法を用い、標的市場を想定した今後の技術強化ポイントや知的財産権の出願戦略（国内優先権主張等

を含む)等について「時間軸」を考慮した「戦略ロードマップ」を作成した (Table2.17 参照)。

Table2.17 B社のBSCの手法による「戦略ロードマップ」

		昨年度	現在 (2009年度)	課題・目標	短期 (2010年度)	中期 (2011~12年度)	長期 (2013年度~)	
カネ	財務の視点	部門売上高	-	532百万円 (注1)	サンプル 出荷段階	10億円	20億円	
	部門P売上高	-	-	12百万円 (注1)		33百万円	67百万円	
	部門粗利益	-	-	91百万円 (注1)		2億円	5億円	
	部門粗利益率	-	-	17.1% (注1)		20.0%	25.0%	
顧客の視点	医療薬液供給市場		・医療機器認定申請 ・医療機器メーカーとの連携 (OEM生産) ・製品の安定供給体制の確立	①チューブ耐久性向上ニーズ ②流量範囲拡大ニーズ ③吐出安定化、流量制御ニーズ ④脈動低減ニーズ ⑤耐薬品性ニーズ	→	チューブ材質再検討 → 回転数検出・制御 → エアチャンバー開発 → メーカーとの共同開発	→ チューブ径設計変更	
	冷却 (水冷) 市場		・安定受注による量産化体制の確立 ・市場競争力の強化	①ガタツキ防止ニーズ ②流量範囲拡大ニーズ ③チューブ耐久性ニーズ	→ 特許国内優先権主張	→	→ チューブ径設計変更	
	家庭用燃料電池市場		・導入期、今後の市場成熟 ・技術開発競争激化に伴うメーカー系列化	①ガタツキ防止ニーズ ②チューブ耐久性ニーズ	→ 特許国内優先権主張	→ チューブ材質再検討	→	
モノ	業務プロセスの視点	顧客取引に伴う生産体制	切削製造	早期量産化のための設備投資	金型製作、月100個量産化 →コストダウン	複数社取引、月3万個量産化 →コストダウン	複数社安定取引継続、 月10万個量産化→コストダウン	
		長寿命化技術	1,500h	5,000h	チューブの耐久性向上 (チューブメーカーとの共同開発)	1万h (冷却 (水冷) 市場)	4~5万h (家庭用燃料電池市場)	
		薄型化技術	φ28×H14.5mm	φ33×H14.5mm 特願2009-100644 優先権主張	さらなる小型化技術	→	→	さらなる小型化技術 (冷却 (水冷) 市場、 家庭用燃料電池市場)
		静穏化技術		33dB	駆動回路 (電磁音) の改善	→	→	現状の技術レベルで市場ニーズを十分充足していると判断される
		流量範囲拡大技術	0.8~15ml/分	1~70ml/分	モータートルクとポンプ径の 良好バランス	→	1~150ml/分 (冷却 (水冷) 市場)	→ 引き続き、さらなる改良
		吐出安定化技術 (吐出量)		±20%	組立てによる個々のバラつき修正 (チューブ材質安定化)	→ ±10% (医療機器市場)	→ ±8% (医療機器市場)	→ 引き続き、さらなる改良
		吐出安定化技術 (脈動防止)		脈動あり	脈動低減	→	→ 外付けエアチャンバーによる脈動低減 (医療機器市場)	
		メンテナンス簡易化技術		工具レス着脱 特願2009-100644	Dカットのさらなる改良	→ シャフト寸法変更		
		ガタツキ防止技術		ガタツキ防止構造 特願2009-100644	ガタツキ防止構造のさらなる改良	→ 改善完了		
		省エネ技術			駆動回路 (省電力) の改善	→	→	→ 駆動回路の改善 (医療機器市場)
耐薬品性技術			チューブの材質改善 (チューブメーカーとの共同開発)	→	→ 耐薬品性の表現 (医療機器市場)			
チエ	知的財産戦略	特願2008-252837 (チューブポンプ) 当初出願2007.10.3	2008.9.30 優先権主張	2009.4 公開	①権利化による企業信頼性の向上 ②優先権主張による市場競争力の強化 ③早期審査請求促進 ④拒絶対策	取得・登録		
		特願2009-100644 (ポンプ着脱交換)		2009.4.17 出願		2010春 国内優先権主張 (薄型化技術を追加)	2010.10 公開	取得・登録
		新たな特許出願			①吐出安定化、②長寿命化、③脈動防止 (低減)、④小型化、⑤流量範囲拡大、⑥省電力化、⑦耐薬品性、⑧流量監視、⑨その他組合せ等			
ヒト	成長視点と学習	従業員数	185名	20名、親企業グループの再編により製造部門を分離	企業信頼性の向上による新規人材採用	20名	30名	80名 (内部社員30名、 製造50名)
		組織、外注、業務提携		製造は外部委託	医療機器メーカーとの連携 (OEM生産)	チューブメーカーとの 共同開発	安定量産化に向けた 生産組織体制	製造部門の人員確保 (外部委託、人材派遣等)

(注1) 2010年度TKC経営指標「電子部品・デバイス・電子回路製造業」(日本産業標準分類・中分類)の黒字企業平均値。

(注2) 上表は、実際にB社にて作成されたものをベースに営業秘密・秘匿情報等を省略したもの。

BSCは、1990年代にハーバードビジネススクールで生まれた戦略経営のためのマネジメント手法であり、企業業績の結果である「財務の視点」に加え、「顧客の視点」(市場品質との適合性など)、「業務プロセスの視点」(製品の技術品質など)および「成長と学習の視点」(組織体制、人材育成など)の4つの視点から総合的に経営を評価し、バランスのとれた戦略経営を行うための業績評価ツールである。また、「戦略ロードマップ」

とは、企業の現・短期から中長期にわたる経営課題と解決手段、方向性などを示す計画書を意味する。

本研究において、この「戦略ロードマップ」を作成する上で、とくに留意した点は以下のとおりである。

- ① 通常のBSCでは、「財務の視点」（カネ）、「顧客の視点」（キヤク）、「業務プロセスの視点」（モノ）、「成長と学習の視点」（ヒト）の4つの視点を用いるが、さらに、「知的財産戦略」（チエ）の視点を加える。
- ② この理由は、本節においては「外的」な生産の揺らぎを軽減させるための知的財産戦略（市場競争力の強化）をテーマとしており、「業務プロセスの視点」に知財戦略を関連づけた方が、より有効と考えられるからである。
- ③ 「顧客の視点」（キヤク）における標的市場の市場品質ニーズに番号を付し、「業務プロセスの視点」（モノ）における要素技術開発と対応させることで、両者のマッチング性が確保されているかを明確化した。
- ④ 総合的な技術経営戦略の視点から、財務資料、生産体制、人材確保、外部関係先との共同開発等について検証し、R&D型企业へ「軸足」を移しつつあるB社にとって有効となる支援ロードマップの作成を心掛けた。

一般に、新製品の市場競争力や生産の「揺らぎ」を100%客観的に判定することは困難ではあるが、本研究における提案手法により、その有効性が一定程度は検証された。また、何よりも、市場優位性を発揮するための技術経営戦略上の視点においては、本研究における手法は有益と言える。

第3章 中小製造業における「内的」な生産の揺らぎへの対応

市場に生産財を供給する中小製造業にとって、その生産工程において様々な「揺らぎ」が発生することは既に述べた。生産の「揺らぎ」は、その発生原因によって、「外的」なものと「内的」なものに大別されるが、本章では後者を取り上げる。

「内的」な生産の揺らぎとは、あくまで社内の「内部環境」における生産の揺らぎであり、「外的」な生産の揺らぎとは別次元のものを意味する。例えば、仮に「外的」な生産の揺らぎの代表例（既存製品の場合）である需要予測的中率が100%であったとしても（現実的にはそういうケースは皆無と言えるが）、また仮にQFDなどの手法を用いて市場競争力が極めて強い新製品を開発できたとしても、それらのこととは別次元の企業内部の生産現場で展開される「揺らぎ」を意味する。

したがって、中小製造業においては、「外的」な生産の揺らぎへの対応に加え、「内的」な生産の揺らぎへの対応を合わせて実施できれば、さらに効果的な生産現場の改善につながり、最終的には企業競争力が向上する結果となる。

本章では、「内的」な生産の揺らぎへの対応について、前章と同様に、既存製品の場合と新製品の場合に分けて、その具体的手法について考察する。

3.1 既存製品における「内的」な生産の揺らぎへの対応

3.1.1 既存製品における「内的」な生産の揺らぎの現状

一般に、製造業（とくに中小製造業）において既存製品を生産する場合、予め決められた生産計画に対し、何の「揺らぎ」も発生せずに順調に生産活動が行われるケースは、極めて少ないのが現状である。

中小製造業における「内的」な生産の揺らぎの代表例としては、以下の様なものが挙げられる。

- ① 前日作業の積み残し等による生産計画の調整
- ② ボトルネック工程の発生による工程間の仕掛品の発生

- ③ 多品種生産による段取り替え回数の増加
- ④ 特急注文による生産計画のリスケジューリング
- ⑤ 不良品発生による製品歩留まりの変動

上記の代表例のうち、本研究では、まず②にフォーカスする。なぜならば、②は業種や製品の種類を問わず、どんな生産工程においても必ず存在するものであり、またその対策を講ずることで、②以外の要因に対し、ダメージを軽減する効果を持つためである。

3.1.2 「内的」な生産の揺らぎとTOC理論

生産工程における「内的」な生産の揺らぎの代表例であるボトルネック工程への対応を考察する場合、先行研究の代表的なものとしては、TOC (Theory Of Constraints) 理論が挙げられる。

TOC理論とは、イスラエルの物理学者であるエリヤフ・ゴールドラット博士によって提唱された理論であり、企業において目的（ゴール）の達成を妨げる制約条件（Constraints）に着眼し、その改善を進めることによって企業業績の急速な改善をもたらすことを目的とする手法として知られている[23][24]。

TOC理論においては、Fig.3.1のように、企業における個々の活動がチェーンの輪として例えられる。輪の中にひとつだけ強度の弱い輪（ボトルネック）があれば、それがチェーン全体の強度となる。すなわち、チェーン全体の強度は、最も弱い輪の強度と等しい。また、チェーン全体の強度を上げるためには、最も弱い輪を探してその強度を高めれば良く、逆にそれ以外の輪の強度をいくら高めてもチェーン全体の強度の向上にはつながらない。つまり、チェーン全体の強度は、最も弱い輪の強度に制約を受けることになる。

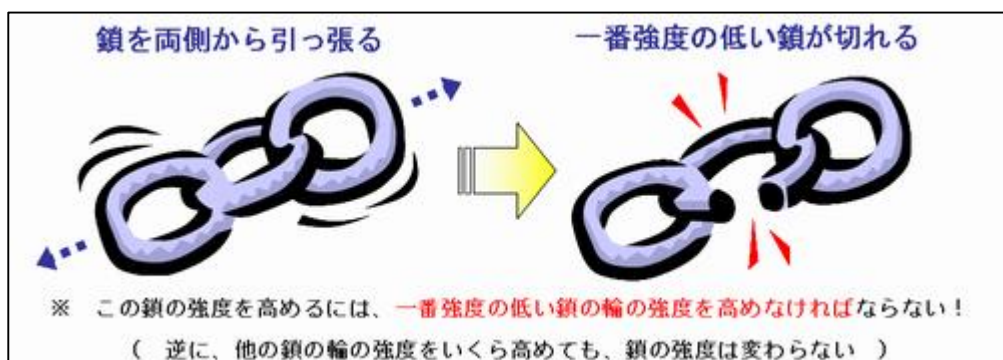


Fig.3.1 TOC理論の概念 [25]

3.1.3 ボトルネック工程とDBR理論

生産工程においてTOC理論を適用させるためには、生産工程において制約（ボトルネック）になっているものに着眼し、それを集中的に管理・改善することで全体最適を目指す必要がある。このボトルネックを管理・改善する手法としては、先述のゴールドラット博士らのDBR（Drum Buffer Rope）理論がよく知られている[4]。

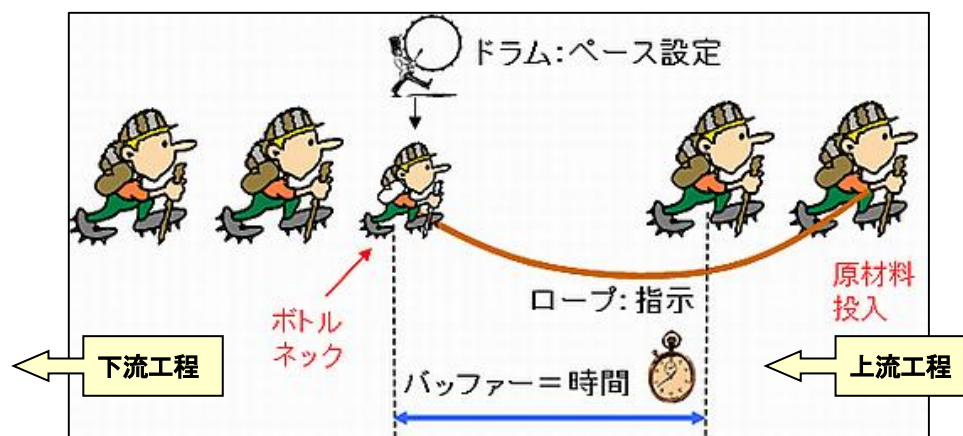


Fig.3.2 生産工程におけるDBR理論の考え方[26]

DBR理論は、TOC理論にもとづき、全体として生産アウトプットの最適化を達成することを理論化した生産計画手法である。ゴールドラット博士らは、著書「ザ・ゴール」[1]の中で、生産工程をボーイスカウトの行進に例え（Fig.3.2参照）、最小限のバッファ（仕掛品）でボトルネック工程の能力を最大限引き出すことを狙いとしている。

DBR理論におけるドラム、バッファ、ロープの各々の役割は以下のとおりである。

①ドラム（Drum）

- ・歩くスピードが一番遅い少年（ボトルネック）のペースに合わせてドラム（太鼓）を叩くことで、隊列全体のスピードやペースをコントロールする。

②バッファ（Buffer）

- ・ボトルネックの少年が停止してしまうと、さらに全体の行進が遅れるため、ボトルネックが停止することがなく、常に歩けるよう前の少年（前工程）との間に一定量（または時間相当）の余裕（生産工程においては仕掛品を意味する）を設ける。

③ロープ（Rope）

- ・隊列の先頭者（上流工程）が必要以上に前に進まない様に、ボトルネックの少年と先頭者をロープで結び、隊列全体の間延びをコントロールする（上流工程からの材料投入を規制する）。

3.1.4 本研究における提案手法

本研究では、DBR理論にもとづき、独自の手法として、以下の2つのバッファコントロール手法を用い、中小製造業における「内的」な生産の揺らぎ（既存製品の場合）について考察する。

(1) ペトリネットによるバッファコントロールの図式化

生産工程において、ボトルネック工程の前にバッファを設ける効果を視覚的にわかりやすく表現するため、独自の図式化モデルとして、ペトリネットの手法を用いる。

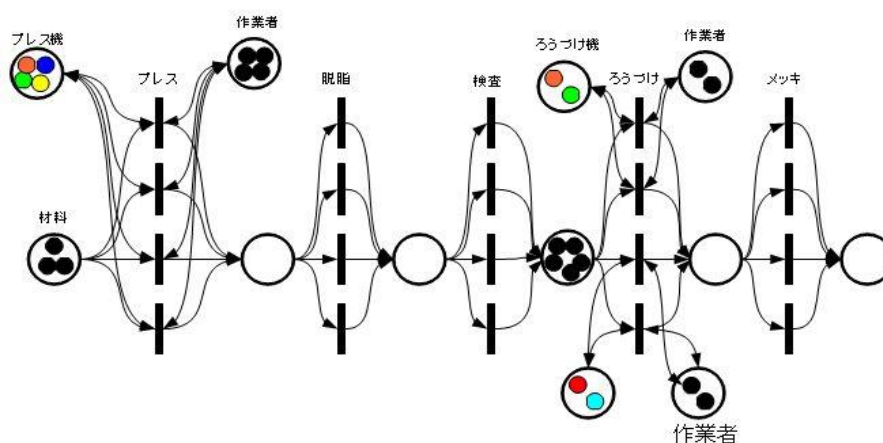


Fig.3.3 ペトリネットモデルの一例（A社のケース，詳細後述）

ペトリネット[27]は、非同期的でかつ並列的に振る舞うシステムに対し、その中で情報の流れや制御を記述し、解析するために考え出された視覚的かつ数学的な離散事象システムをモデル化するツールである（Fig.3.3 参照）。ペトリネットの要素と離散事象システムの構成要素との間には、Table 3.1 に示すような対応関係があり、離散的要素を持つモデルの記述能力に優れている。

Table 3.1 ペトリネットの定義

要素	記号	意味
プレース	○	状態
トランジション		事象
トランジションの発火		事象の生起
トークン	●	要素
カラートークン		要素の属性
アーク	→	要素の流れの方向

(2) 移動ロットサイズによるバッファコントロール

前述のとおり、ボトルネック工程前にバッファを設けることは、円滑な生産活動を行う上で有効であるが、だからと言って必要量以上のバッファは工程間のムダを生み、生産リードタイムの長期化を招く。したがって、実際の生産現場においては、このバッファサイズの適正なコントロールが不可欠となる。

本研究では、DBR理論にもとづき、独自の手法として、バッファサイズの適正なコントロールにおいて効果的な方法である移動ロットサイズの調整によって生産の「揺らぎ」を最小化することを試みる。移動ロットサイズとは、次の生産工程へ1回に渡すロットサイズであり、総生産個数が同じでも移動ロットサイズを小さくする（いわゆる「小分け」にする）ことで生産リードタイム（総生産時間）が短縮化される効果がある。

3.1.5 企業実データによる結果の検証

上述した本研究における2つの提案について、A社の実データを用い、その結果を検証する。

A社の主要品目である圧着端子の生産工程の流れ（概略図）を Fig.3.4 に示す。A社では、①平板状の無酸素銅をプレス機で成形・型抜きし（プレス工程）、②脱脂後（脱脂工程）、③筒部の合わせ目を溶接で接合し（ろう付け工程）、④メッキ処理（メッキ工程）を施した後に、⑤検査工程を経て出荷している。

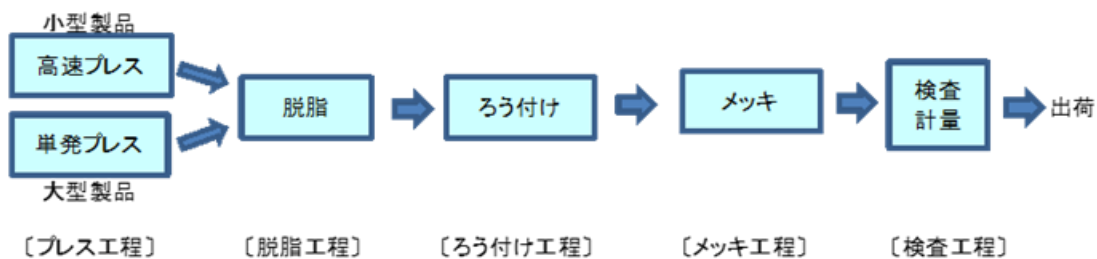
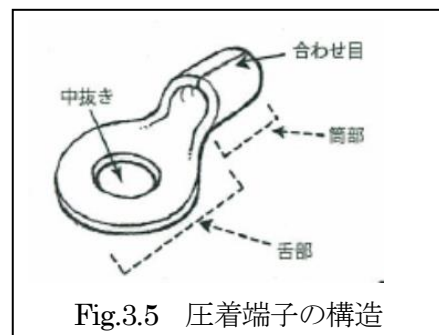


Fig.3.4 A社の生産工程（概略図、前掲）

A社の生産工程のうち、ボトルネック工程は「ろう付け工程」である。ろう付け工程とは、圧着端子の筒部の Joint 部分（合わせ目）を溶接で接合する工程であり（Fig.3.5 参照）、製品群によっては加工難易度が高く、最も慎重かつ時間を要する工程である。



(1) ペトリネットによるバッファコントロールの図式化の検証

このボトルネック工程において、DBR理論にもとづくバッファを設ける場合と設けない場合とを、ペトリネットモデルを用いた図式化によって比較する。

① バッファを設けない場合

ボトルネック工程前にバッファを設けず、仕掛品が滞留している状況を、図式化モデルであるペトリネットモデルを用い、Fig.3.6に示す。

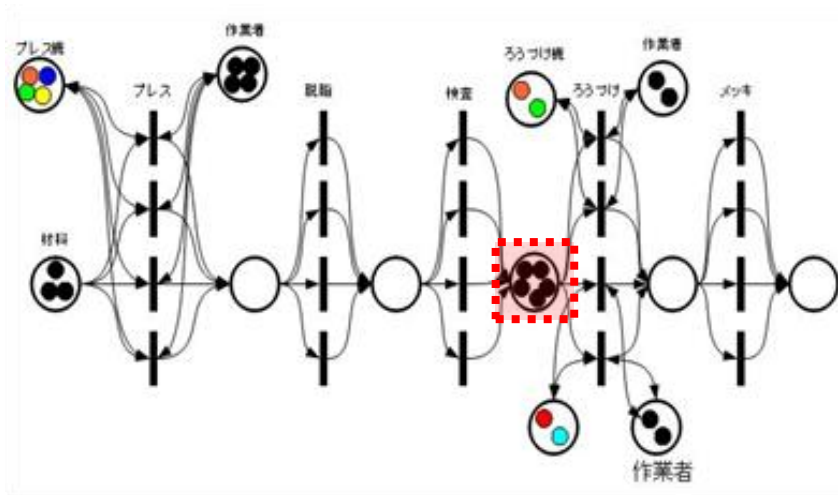


Fig. 3.6 バッファを設けない場合のペトリネットモデル

A社の生産工程のペトリネットモデルにおいて、Fig.3.6は以下のそれぞれの構成要素を示しており（Table 3.2 参照），ボトルネック工程前に仕掛品が滞留していることが視覚的にわかる。

Table 3.2 A社の生産工程のペトリネットモデル

要素	記号	意味	A社のモデル
プレース	○	状態	それぞれの生産工程
トランジション		事象	各工程における加工作業
トークン	●	要素	一定ロットサイズの仕掛品
アーク	→	要素の流れの方向	工程の流れる方向

② バッファを設ける場合

上記の状況において、DBR理論にもとづき、ボトルネック工程前にバッファを設けた場合のペトリネットモデルを Fig.3.7に示す。

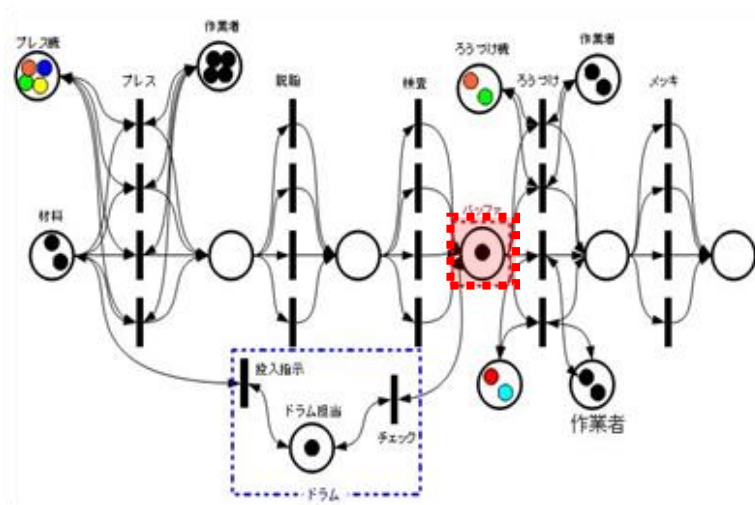


Fig.3.7 バッファを設ける場合のペトリネットモデル

Fig.3.6 は、DBR理論にもとづき、以下の事象を示している。

- ① ボトルネック工程（ろう付け工程）前に1ロット分のバッファ（仕掛品）を設ける。
- ② バッファ量を適正にコントロールするために、上流工程に投入される原材料をドラムによってコントロールする。
- ③ 以上により、ボトルネック工程の能力を最大限活用する。

Fig.3.7 によれば、バッファを設け、かつドラムで生産ペースをコントロールすることで、ボトルネック工程前の仕掛品が減少していることが視覚的に検証されている。

(2) 移動ロットサイズによるバッファコントロールの検証

A社の生産工程において、移動ロットサイズのコントロールによる生産リードタイムへの影響を Fig.3.8 に示す。

ロットサイズ	工程	時間									
		1h		2h		3h		4h		5h	
3,000個	プレス	A1		A2		A3					
	ろう付け			A1		A2		A3			
	めっき					A1		A2		A3	
1,500個	プレス	A11	A12	A21	A22	A31	A32				
	ろう付け		A11	A12	A21	A22	A31	A32			
	めっき			A11	A12	A21	A22	A31	A32		

Fig.3.8 移動ロットサイズのコントロールによる生産リードタイムへの影響

Fig.3.8 は、ある製品を 9,000 個生産する場合において、一度に加工するロットサイズが 3,000 個であっても、次の生産工程へ 1 回に移動するロットサイズ（移動ロットサイズ）を 3,000 個→1,500 個にする（1,500 個の加工を終える毎に次工程へ送る）ことで、生産リードタイムが 5 時間→4 時間と、1 時間短縮化されることを示している。生産リードタイムが短縮できれば、生産現場においては次の製品生産などへの早期移行、すなわち生産回転率の向上につながるなど、製造業にとって好循環サイクルをもたらす。

移動ロットサイズを工夫・調整すること自体は、製造業においては従来からも経験則から実施されてきた手法である。ただし、本研究においては、これを DBR 理論にもとづき、既存製品の「内的」な生産の揺らぎを最小化するという視点で、改めて検証している。

3.2 新製品における「内的」な生産の揺らぎへの対応

3.2.1 新技術の導入による「内的」な生産の揺らぎへの対応

本研究では、TOC・DBR 理論にもとづき、新技術の導入による「内的」な生産の揺らぎへの対応について考察する。

ひとつの技術革新が、製造業の「内的」な生産の揺らぎを大きく改善する場合がある。製造業においては、日々新しい技術の開発や導入が検討され、実行される。その目的としては、製品の品質化のほか、製法特許など知的財産権取得による競合他社との差別化、生産技法の効率化によるコストダウン、生産時間の短縮による取引先への短納期化など様々であるが、それらは結果的にボトルネック工程の改善など、「内的」な生産の揺らぎの低減させる効果をもたらす場合が多い。

3.2.2 本研究における提案手法

本研究では、TOC・DBR 理論にもとづき、ボトルネック工程に対し、新技術を集中導入する手法を提案する。

実際の企業においては、生産工程や製品毎に加工難易度、加工時間、不良率（歩留まり率）、新技術への適応性などが異なるのが通例であるが、以下のような場合が最も効果的といえる。

- ① 新しい技術の導入は、全ての製品に適用されることが理想であるが、とくに中小製造業の場合、限られた経営資源の中では現実的には難しい面がある。その場合、

高い需要と利益率が見込まれる新製品など、その企業にとって最も戦略的に有効な製品に集中導入されるのがベターである。

- ② 新しい技術の導入は、新製品の生産工程のうち、最も加工難易度が高く、他の工程と比較して作業に時間を要する工程（いわゆる「ボトルネック工程」）に導入するのが、最も効果的である。

3.2.3 企業実データによる結果の検証

本研究では、新製品における「内的」な生産の揺らぎについて検証するため、A社の実データを用い、A社の生産工程において最も有効となる新技術の導入について考察した。

先述のとおり、A社の生産工程のうち、ボトルネック工程は「ろう付け工程」である。ろう付け工程とは、A社の主要製品である圧着端子の筒部の Joint 部分（合わせ目）を溶接で接合する工程である (Fig.3.9 参照)。

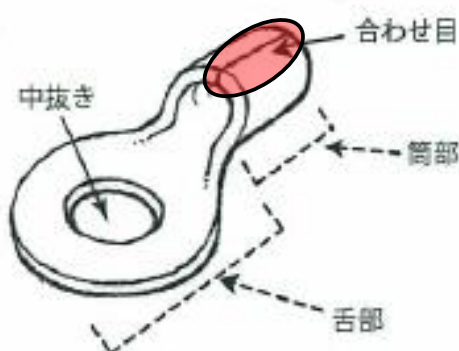






Fig.3.9 圧着端子の Joint 部分（前掲）

A社では、これまで Joint 部分を溶接する際、一般的なガス溶接を採用していた。この従来技法の課題としては、以下の点が挙げられる。

- ① 不良率が高く、製品の歩留まりが悪い。
- ② ガス、酸素、ろう材が必要であり、加工コストが大。
- ③ ガス使用により、多量のCO₂が発生。
- ④ ガス溶接メーカーが廃業しているため設備更新ができず、老朽化が進んでいる。

A社では、この課題解決のため、ガス溶接に代替できる溶接工法の技術開発を進めてきた。現在、製造業において採用されている代表的な溶接技法を Table 3.3 に示す。

Table 3.3 代表的な溶接技法

	ガス溶接 (旧技法)	アーク溶接	レーザー溶接	電子ビーム溶接 (新技法)
				
初期導入コスト	○ 50~1,170万円	○ 680万円	△ 3,000~5,000万円	△ 約6,000万円
ランニングコスト	△ 160,000円/月	× 568,560円/月	× 483,000円/月	○ 138,000円/月
溶接品質	△	×	○	◎
生産性	× 不良率30%	△	◎	◎
ろう材の要否	必要	不要	不要	不要
備考	設備メーカー廃業	技術熟練度必要 大量生産不向き	銅は反射するため、 加工困難	亜真空の作業環境 が必要

(注) A社の社内検討資料を一部加工。

A社では、この中で、新たな技法として既に自動車業界などで導入実績のある電子ビーム溶接の導入が有効と考えている。電子ビーム溶接の導入は、圧着端子業界においては過去に例がなく、作業工法としては新規性があるため、成功すれば競合他社に対し優位性を発揮することが期待できる。

また、電子ビーム溶接のメリットとしては、

- ① 非常に高いエネルギー効率を有するため、電気代などランニングコストが削減
- ② 治具や加工設計が整えば、不良品はまず発生しない
- ③ 電子を衝突させる工法のため、銅のような反射する金属同士でも加工可能
- ④ 検査工程を含めた作業簡略化による人員削減

等が挙げられ、前述の従来技法の課題をほぼクリアできる。

一方で、電子ビーム溶接には、以下のデメリットも指摘されている。

- ① 真空に近い超低気圧の作業環境が必要
- ② 初期の設備導入コストが高い（1台約6,000万円）

したがって、A社ではこの新しい生産技術の設備投資効果を最大限に発揮するため、今後の需要拡大が見込め、かつ加工難易度が高い新製品品目に絞り込み、よりスムーズかつ効果的な技術導入効果を狙った。

本研究では、A社の実データを用い、以下の前提条件による総生産時間の比較を行った。

- ① 新技術（電子ビーム溶接）の導入は、A社の主要5品目のうち、新製品であり、かつ最も加工難易度が高い品目Cの生産において導入する。
- ② 新技術は、品目Cの生産工程のうち、ボトルネック工程である「ろう付け工程」に導入される。
- ③ 品目Cの生産個数は、通常月平均の3,000個×5ロット=15,000個とする。

なお、A社の主要5品目について、新技術の導入前・導入後の生産工程の比較をFig.3.10に示す。

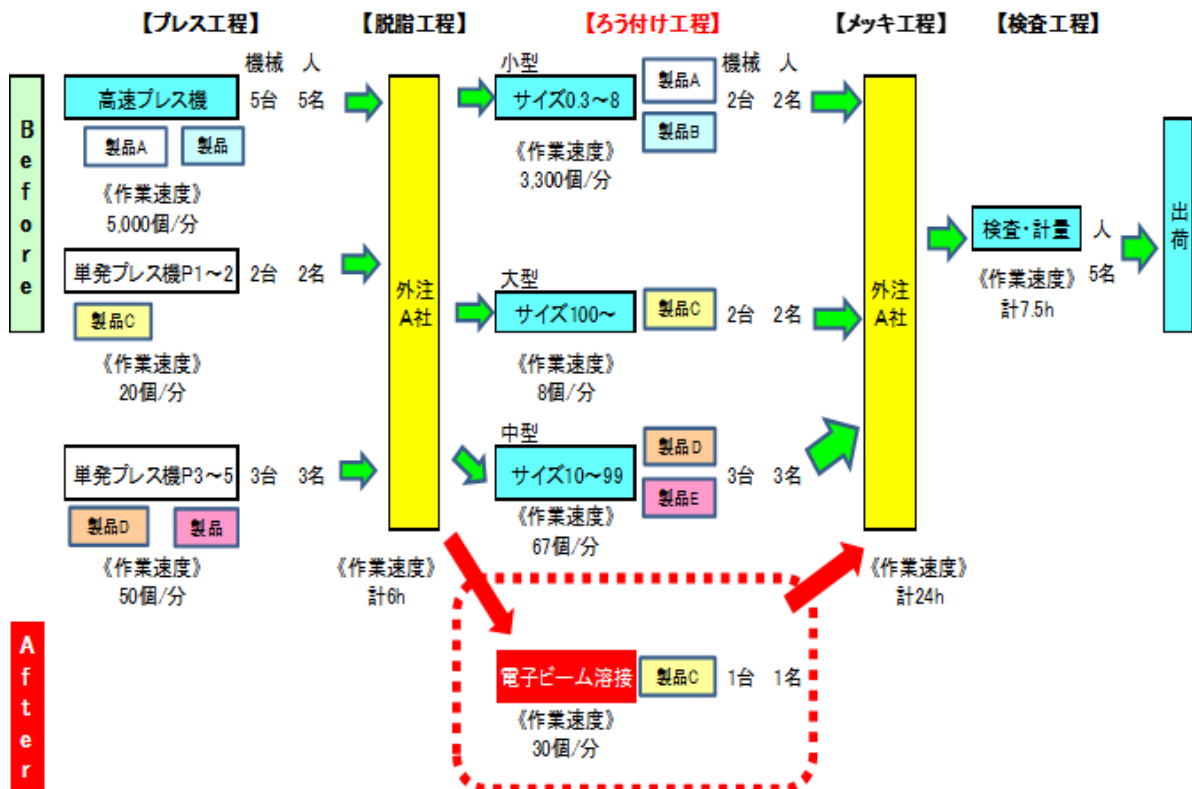


Fig.3.10 A社の新技術導入による生産工程比較

また、総生産時間の比較結果を Table3.4 に示す。新技術導入後は、従来工法と比較して総時間で削減の23時間（▲44.8%）の短縮となっている。

Table3.4 新技術の導入による総生産時間比較

		従来工法	新技術導入	差異
1ロットあたり 生産速度(分)	①プレス工程	150	150	—
	②脱脂工程	360	360	—
	③ろう付け工程	375	100	▲275
	④メッキ工程	1,440	1,440	—
	⑤検査・計量工程	450	450	—
	計	2,775	2,500	▲275
全生産時間 (時間)	①プレス工程	12.5	12.5	—
	②脱脂工程	1.2	1.2	—
	③ろう付け工程	31.3	8.3	▲23.0
	④メッキ工程	4.8	4.8	—
	⑤検査・計量工程	1.5	1.5	—
	計	51.3	28.3	▲23.0

一般に、新技術の導入が生産時間の短縮をもたらすことは当然ながら予測可能である。しかしながら、とくに中小製造業の場合、設備投資や技能訓練等の導入コストがネックとなり、なかなか踏み切れないケースも多い。

中小製造業にとっては、本事例のように対象製品の絞り込みや生産工程におけるボトルネック工程への集中投下等を行うことで、その導入効果を最大限に引き出すことができるといえる。

第4章 生産の揺らぎへの対応と プロダクトミックスの戦略的決定

4.1 中小製造業における生産の揺らぎとプロダクトミックス

本研究では、これまで第2章および第3章において、「外的」および「内的」な生産の揺らぎについて、それぞれ考察した。

本来、製造業においては、「外的」な生産の揺らぎと「内的」な揺らぎはそれぞれ独立した要因である。例えば、需要予測の的中率が例え100%であったとしても、企業はバッファコントロールによる生産リードタイム短縮や新技術導入によるボトルネック工程の改善等に取り組む必要があり、逆に企業内部の生産管理体制が例え万全であったとしても、市場の変動要因等によって生産計画が左右されるケースは多い。

一方で、近年、とくに中小製造業においては、市場ニーズの多様化に伴う多品種少量生産が恒常化し、さらにはそのニーズを実現するための新技術導入による生産体制の確立など、内外の環境変化に伴う経営革新の必要性が加速している。したがって、中小製造業においては、「揺らぎ」の少ない生産体制の確立とともに、多くの製品群の中で最適なプロダクトミックスを決定するための正当な評価手法を確立する必要がある。

本章では、中小製造業において「揺らぎ」の少ない生産体制の確立を目指すことが、
(1) 最適なプロダクトミックスの戦略的な決定にどのような影響を及ぼすのか、
(2) 最適なプロダクトミックスを客観的に評価する手法はどのようなものが考えられるか、
等について考察する。

4.2 先行研究の課題

製造業のプロダクトミックスを決定するための代表的な判断指標のひとつに利益貢献度分析が挙げられる。利益貢献度分析は、製品別の販売状況が企業全体の業績向上にどれほど貢献しているかを正当に評価する代表的な指標のひとつであり、以下の(4.1)式によって算出される。

$$CP_i = CS_i \times PR_i \times 100 \times TO_i \quad (4.1)$$

CP_i : 品目 i の利益貢献度

CS_i : 品目 i の売上構成比 (%)

PR_i : 品目 i の利益率 (%)

TO_i : 品目 i の在庫回転率 (回)

また、品目 i の在庫回転率は、(3)式によって求められる。

$$TO_i = S R_i / A I_i \quad (4.2)$$

TO_i : 品目 i の在庫回転率(%),

$S R_i$: 品目 i の売上総収入

$A I_i$: 品目 i の平均在庫高

しかしながら、利益貢献度分析は、売上構成比や利益率など企業内部の過去の会計データによって計算されるのみであり、将来の市場ニーズを的確に考慮した需要予測手法やそれらを戦略的に活用したプロダクトミックスの決定手法に関連させて考察する研究は、これまでなされてこなかった。

また、これ以外に、製造業プロダクトミックスに関わる主な先行研究としては、以下が挙げられる。

- ① Sharma (2007)は、製造業の多品目生産における評価に関する研究として、一定の総生産時間の制約条件下において、品目別の生産コストと生産割合 (production rate) の置き換えモデルを示している [28].
- ② 足立(2010)は、地方のある中小製造業における製造部門との営業部門との技術経営的アプローチにより、時間当たりの限界利益による評価アプローチについて論じている [29].
- ③ 加賀美(2010)は、営業部員による生産財マーケティングの必要性和新事業展開の関連性を指摘している [30].

しかしながら、これらの先行研究では、以下の問題点が指摘できる。

- (1) プロダクトミックスの決定手法は、生産ではなく、「販売」や企業全体の利益貢献度との関連性を重視する必要がある。なぜならば、企業のスループット (売上高ー原

材料費)は、適切な「販売」を通じてのみ生まれるものであり、決して「生産」を通じて生まれるものではないからである[4].

- (2) 先行研究では、製品の年間需要量が計算上の前提条件として与えられており、需要予測の精度がプロダクトミックスの決定にどのような影響を与えるかについては考察されていない。
- (3) 販売マーケットと密接な関係を有する営業部員の経験的な予測要因の重要性は指摘されているが、それを決定変数として盛り込んだ需要予測モデルが提案されている訳ではない。(注：本研究では、この点に関し、第2章第1節で新しい需要予測モデルを提案した)
- (4) 今後、需要増が予測される製品の円滑な生産を実現するための新技術導入が、生産工程改善にどのように関連し、さらにプロダクトミックスの戦略的決定にどのように活かされるのかについては、考察されていない。

以上により、これらの問題点がより具体的なケーススタディにもとづくアプローチ手法として提案されるならば、これまで以上に実用性の高い研究となるであろうという仮説が成り立つ。

4.3 本研究における提案手法

4.3.1 新しい需要予測モデルと利益貢献度分析によるプロダクトミックスの戦略的決定

本研究では、第2章および第3章で提案した生産の揺らぎへの対応手法が、実際に中小製造業において、プロダクトミックスの決定にどのように影響するかについて、その仕組みを明らかにする。

本研究では、プロダクトミックス決定の判断指標として、利益貢献度分析を用いる。まず、利益貢献度を構成する(4.1)式の右辺項目のうち在庫回転率 TO_i に着眼し、これが需要予測の精度向上によってどのように変化するか、またその結果として、プロダクトミックス決定の判断にどのような変化が生ずるかについて検証を行う。

$$CP_i = CS_i \times PR_i \times 100 \times TO_i \quad (4.1, \text{再掲})$$

$$TO_i = SR_i / AI_i \quad (4.2, \text{再掲})$$

その具体的な仕組みは、以下のとおりである。

- ① 製造業においては、とくに需要予測値>実績値の場合、予実誤差がそのまま余剰在庫となることから、需要予測の精度が向上すれば、上記(4.2)式における平均在庫高 AI_i が減少する。
- ② 平均在庫高 AI_i が減少すれば、上記(4.2)式における在庫回転率 TO_i は向上する。
- ③ 在庫回転率 TO_i が向上すれば、上記(4.1)式における利益貢献度 CP_i は増大する。

なお、卸小売業の「在庫」は完成品在庫のみであるのに対し、製造業の「在庫」は生産進捗度によって材料在庫、仕掛品在庫、完成品在庫の3つに区分される。したがって、製造業においてプロダクトミックスを決定する際は、生産工程の進捗度に応じた「在庫」を正確に把握することが重要な意味を持つ。

4.3.2 新しい生産技術の導入と利益貢献度分析によるプロダクトミックスの戦略的決定

中小製造業においては、新しい需要予測手法により市場の要求量が高いことが証明されたり、あるいは将来的に需要増が見込める品目であっても、製造加工難易度が高いという技術的制約のために、市場の需要量に見合う生産体制を実現できないというケースがよくある。もし、このようなケースにおいて、新しい生産技術が開発され、製品品質の向上や生産リードタイムの短縮化が実現すれば、企業内のプロダクトミックスに大きな影響を与えることが予想される。

本研究では、需要予測により市場ニーズは高いことは証明されたが、一方で加工難易度が高い品目を取り上げ、新しい生産技術の導入前と導入後でプロダクトミックス戦略にどのような効果が生ずるかについて定量的に比較することで、新しい生産技術導入の必要性を判断する。

また、プロダクトミックス決定の判断指標である利益貢献度を構成する(4.1)式の右辺項目のうち利益率 PR_i に着眼し、これが新しい生産技術の導入によってどのように変化するかについて検証を行う。なぜならば、製造業において、新しい生産技術の導入は一般的に作業時間の短縮化、人員および機械設備の省力化等による製造コストの削減につながることから、その結果として利益率を向上させ、利益貢献度を増大させる要因となるからである。

品目 i の粗利益率は、(4.3)式によって求められる。

$$GPR_i = (SRI - PC_i) / SRI \quad (4.3)$$

GPR_i : 品目 i の粗利益率 (%)

SR_i : 品目 i の売上総収入 (円)

PC_i : 品目 i の製造総費用 (円)

なお、企業会計上の利益率には、粗利益率、営業利益率、経常利益率などいくつかの種類があるが、本研究では「粗利益率」を用いる。なぜならば、「粗利益率」は製造業において品目別の配賦が困難な固定費（販売費・一般管理費）を控除する前の段階の利益率であるため、生産段階における品目別の利益率をより正確かつ実態に近い状態で把握でき、プロダクトミックス決定の判断指標としては有効と判断されるためである。

4.4 企業実データによる検証

4.4.1 新しい需要予測モデルによる在庫回転率の向上

A社の実データと利益貢献度分析を用い、新しい需要予測モデルがプロダクトミックスの決定に与える影響について、検証を行う。

Table4.1は、A社の主要5品目について、第2章で述べた新しい需要予測モデルにより利益貢献度がどのように変化するかを示している。これによれば、需要予測モデル①（従来技法）と需要予測モデル⑨（本研究における提案技法）との比較で在庫回転率が大きく異なり、その結果が利益貢献度に反映している。

注目すべきは、品目Dである。従来の需要予測モデル①による利益貢献度は、売上上位5品目中最下位であったが、新しい需要予測モデル⑨による利益貢献度では第3位と、順位が向上している。

Table4.1 需要予測モデルによる利益貢献度への影響

	売上構成比 A	粗利益率 B	在庫回転率 C		利益貢献度 $A \times B \times C$			
			予測 ①	予測 ⑨	予測 ①	順位	予測 ⑨	順位
品目 A	5.3%	29.9%	1.37	3.08	2.19	1	4.91	1
品目 B	5.5%	32.1%	0.66	1.79	1.17	2	3.16	2
品目 C	3.3%	25.1%	0.32	0.86	0.26	4	0.71	5
品目 D	1.7%	31.1%	0.43	3.06	0.23	5	1.65	3
品目 E	1.6%	29.1%	1.81	3.47	0.83	3	1.59	4

この結果は、中小製造業において市場性要因を考慮した新しい需要予測モデルの開発が、単に予測精度の向上だけでなく、それまではプロダクトミックス上においては隠れていた品目の利益貢献度をクローズアップさせたことを意味する。

つまり、新しい需要予測モデルの開発が、最適なプロダクトミックス戦略に大きな影響を与えることの証左といえる。

4.4.2 新技術の導入による利益率の向上

A社の実データと利益貢献度分析を用い、望ましいプロダクトミックスを実現するための新しい生産技術導入の必要性について、考察を行う。

Fig.4.1に、A社の上記5品目について、新技術導入による製造工程の比較を示す。これによれば、A社では電子ビーム溶接の導入により、ボトルネック工程である「ろう付け工程」の作業速度が向上するとともに、製品歩留まりの改善ともなう製造コストの大幅な削減が達成できたことになる。

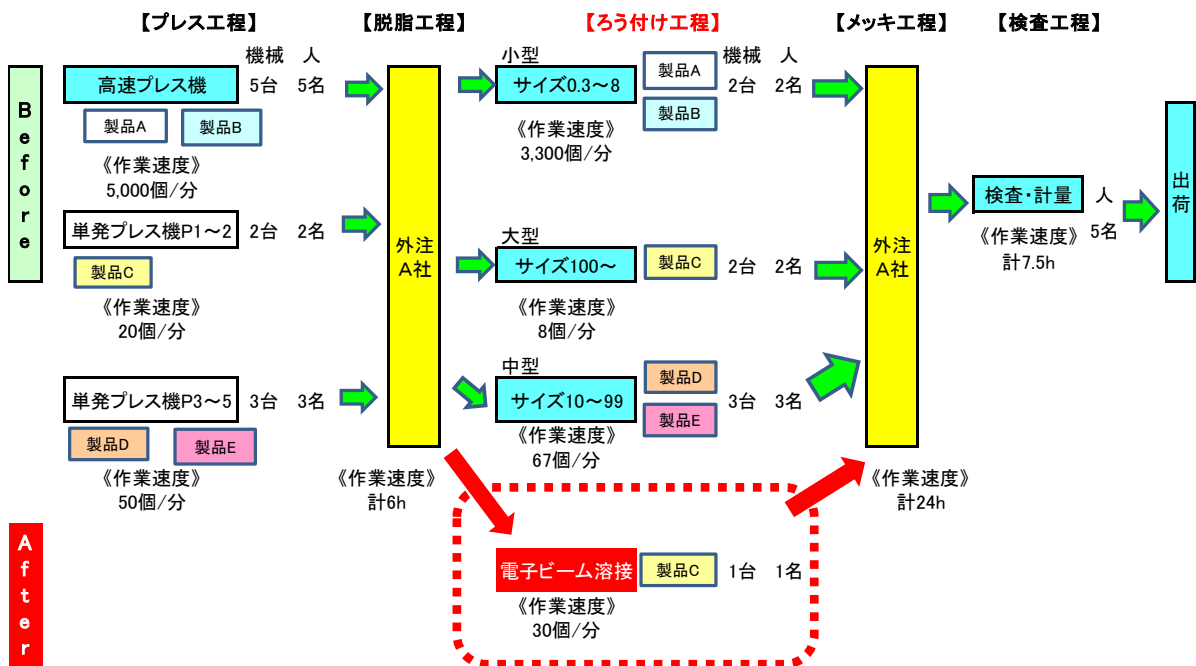


Fig.4.1 A社の新技術導入による生産工程の新旧比較 (前掲)

A社において、主要5品目のうち、需要予測により市場ニーズが高いことは証明されたものの、生産上の技術的課題により市場の要求量に十分応えられていないのは、以下の3品目である。

・品目CおよびD

製品サイズが大きく、ボトルネック工程の加工難易度が高い。もし、この工程に新生産技術が導入されれば、大幅な作業時間の短縮が期待できる。

・品目E

棒状タイプの端子であり（写真 4.1 参照），全品目の中でも最も加工難易度が高く，製造歩留まりが悪い。一方で，差し込みタイプで着脱作業が容易であるため，市場ニーズは高く，技術的課題さえクリアされれば，今後の需要急増が予想される。



写真 4.1 棒状端子

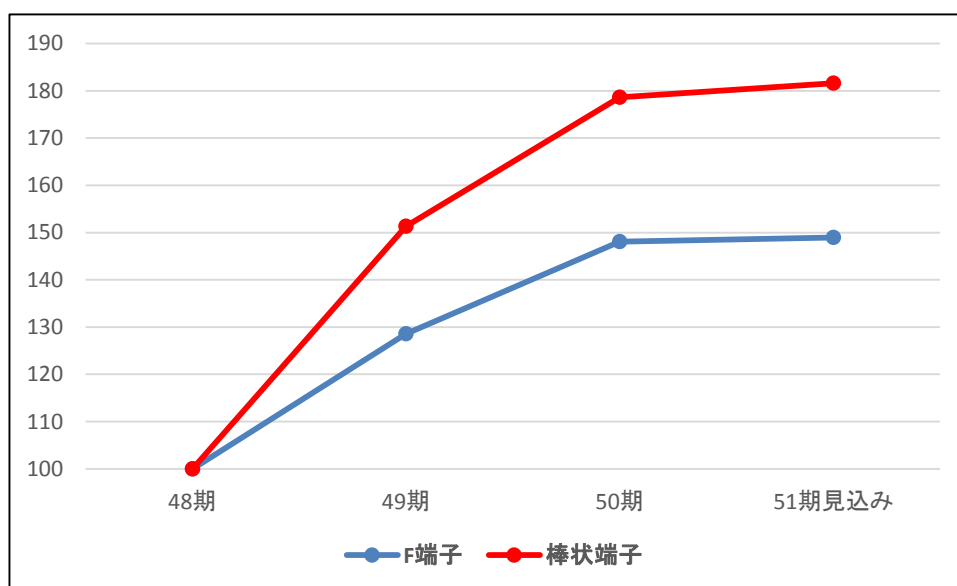
A社では，上記3品目に対し，新しい生産技術として第3章で述べた電子ビーム溶接を限定かつ集中的に導入することを計画している。電子ビーム溶接は，自動車業界等においては既に導入済みの技法であるが，圧着端子業界では初の技術開発である。

次に，A社におけるボトルネック工程への新生産技術導入が，実際にどのように利益貢献度に影響し，プロダクトミックスの決定に変化をもたらすのかについて，以下に検証する。Table4.2は，A社における新生産技術の導入前と導入後の比較において，ボトルネック工程改善による利益率の向上および利益貢献度への影響を示している。

Table4.2 : 新技術導入による利益貢献度への影響

	売上構成比 A	粗利益率 B		在庫回転率 C 予測⑨	利益貢献度 A × B × C			
		従来技法	新技術導入		従来技法		新技術導入	
					値	順位	値	順位
品目 A	5.3%	29.9%	29.9%	3.08	4.91	1	4.91	1
品目 B	5.5%	32.1%	32.1%	1.79	3.16	2	3.16	3
品目 C	3.3%	25.1%	27.6%	0.86	0.71	5	0.78	5
品目 D	1.7%	31.1%	33.9%	3.06	1.65	3	1.80	4
品目 E	1.6%	29.1%	58.2%	3.47	1.59	4	3.18	2

ここで注目すべきは，品目 E（棒状端子）である。この品目 E は，前述のとおり，加工難易度が極めて高いため，現時点においては市場に多くは産出されていない。しかし，一方で，差し込みタイプで着脱作業が容易であるため，市場ニーズは高く，技術的課題さえクリアされれば，一般的な端子に比べ，今後の需要急増が予想される（Fig. 4.2 参照）。



(注) 48期を100とした指数

Fig. 4.2 A社における棒状端子（品目E）の需要予測

もし、A社において新生産技術が導入されれば、品目Eの利益貢献度度は1.59→3.18に向上し、主要5品目のうち第2位にまで躍進する（Table4.2参照）。この事実は、A社のプロダクトミックス戦略に大きな影響を与えることを意味する。

4.5 プロダクトミックスの再構築による企業戦略

本章では、多品種少量生産が定着化しつつある現代の中小製造業において、プロダクトミックスの戦略決定がどのようになされるかについて、企業の「外部要因」である需要予測と「内部要因」である新生産技術の導入の2つの側面から考察を行った。

また、プロダクトミックス決定の判断指標として利益貢献度分析を用い、本研究で提案する手法について地方の中小製造業の実データを用いて、その結果を定量的に検証した。Fig.4.3は、A社の主要5品目について、新しい需要予測モデルや新生産技術の導入が利益貢献度にどう関連するかについて、まとめて示している。A社では、新しい需要予測モデルおよび新生産技術の導入が、主要品目の利益貢献度に明確な変化をもたらし、その結果、プロダクトミックス戦略に大きな影響を与えている。

つまり、需要予測の精度向上と新生産技術導入を同時並行して推進することにより、従来は製品群の中で隠れていた品目や将来的に需要増が見込める品目について、プロダクトミックス上の位置付けを再構築すべきという、企業戦略上のヒントを示している。

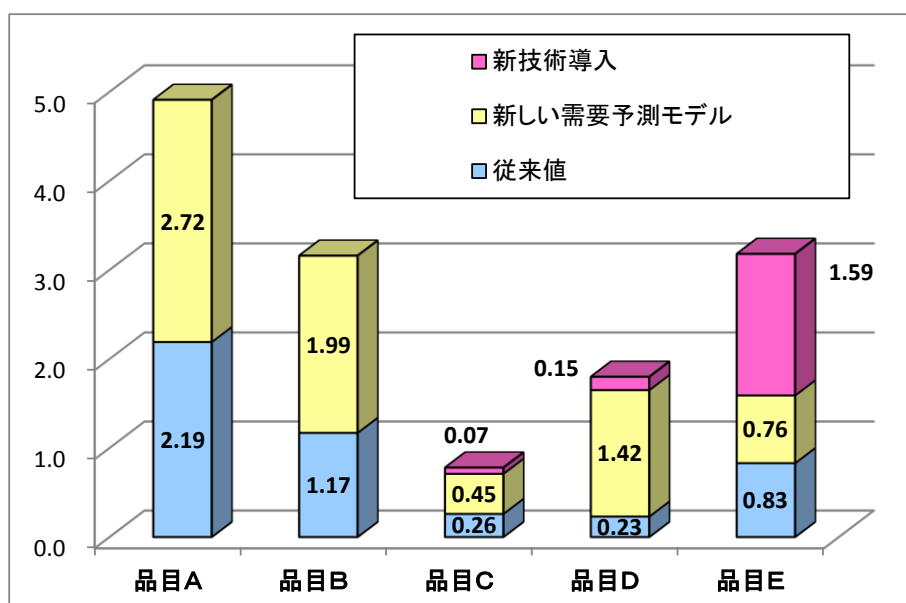


Fig.4.3 A社における新しい需要予測モデルと新技術導入による利益貢献度の比較
(主要5品目)

一般に、製造業において新しい技術が導入されれば、それが企業業績の向上に寄与するのは当然ともいえる。しかしながら、とくにA社に代表される中小製造業においては、大企業に比べ経営資源が限られているため、最も有効な特定品目に対し、新しい技術を選択的かつ集中的に投下する必要がある。その場合、市場のニーズが高く、プロダクトミックス戦略上の有効性が大であることを定量的に証明したうえで、それを実行することに大きな意義がある。つまり、A社はこの新しい生産技術の導入により、効果的なプロダクトミックスの戦略決定を行うことが可能となり、利益を拡大させ、最終的には市場において競争優位を実現できることになる。

なお、利益貢献度分析は、これまで企業内部の過去の会計データによって計算され、将来の市場予測との関係性等について考察されるケースはほとんどなかった。また、ビジネス現場においては、利益貢献度分析はこれまではどちらかと言えば製造業よりも卸小売業での利用が中心であった。しかし、卸小売業とは異なる製造業の特性に着眼し、需要予測や新生産技術開発との関連性を考慮することにより、利益貢献度分析は製造業においても最適なプロダクトミックス戦略を導き出す手法であることが、本研究によって示されたとと言える。

第5章 生産の揺らぎへの対応と TOCスループット会計

前章では、需要予測モデルの精度向上や新生産技術の導入が、生産の揺らぎへの対応策として有効であるばかりでなく、企業の製品群の中で隠れていた品目や将来的に需要増が見込める品目を焙り出すという、最適なプロダクトミックス戦略を導き出すプロセスについて明らかにした。

本章では、TOCスループット会計理論の視点から、需要予測モデルの精度向上や新生産技術の導入などの生産の揺らぎへの対応が、中小製造業にとって、どのようなかたちでスループットの向上をもたらすかについて考察する。

5.1 TOC理論とスループット会計

1980年代にゴールドラット（Goldratt）博士らによって提唱されたTOC理論にもとづくスループット会計は、それまでの原価計算の概念を大きく変貌させた手法としてあまりにも有名である。

TOC（Theory of Constraints）理論では、第3章で述べたとおり、企業を鎖の連鎖に捉え、企業の業績は目標（ゴール）の達成を妨げる最も強度の弱い環によって決まると考える[25]。TOCでは、この最も弱い環は制約条件（Constraints）と呼ばれ、企業の業績を決定づけることから、これを強化・改善しないかぎり企業業績は向上しないと考える[26]。

また、Goldratt (1984)は、「スループットとは、企業が販売を通じてお金を作り出す速度・割合である（Throughput is the rate at which the system generates money through sales.）」と定義する[32]。さらに、Corbett (1998)は、スループットの計算式を以下のように記す（訳 p. 35）[33]。

$$TP = P - TVC \quad (5.1)$$

TP ：製品1単位あたりのスループット

P ：製品1単位あたりの売り値

TVC：純変動費。製品の販売が増える毎に変化する費用（原材料費のみとする考え方が一般的である）

5.2 先行研究の課題

TOCスループット会計では、上述(5.1)式のように、スループットを定義する。しかし、純変動費が何を含み、何を含まないかは明確には示されておらず、諸説により解釈が異なるため、実際に企業において導入する際には戸惑いも散見される。

Table5.1は、伝統的な原価計算手法である全部原価計算、直接原価計算とTOCスループット会計および本研究における提案手法（後述）の4つの原価計算手法の比較を示すものだが、本来の計算目的や用途がそれぞれ異なるため、これに伴い計算式、製造原価に含まれるもの、分析評価指標などがすべて異なる。

Table 5.1 本研究における提案手法と他の原価計算手法との比較

区分	全部原価計算	直接原価計算	TOCスループット会計	本研究における提案手法
会計計算の目的	過去の原価は、どのようであったか？	将来、いくら売れば良いのか？	現在から将来に向けて儲け続けるためには？	同左
会計の分類	財務会計		管理会計	
公開の対象	社外向け		社内向け	
計算式	営業利益＝売上高－製造原価－一般管理費	利益＝売上高－変動費－固定費	明確な計算式は示されていない	営業粗利益＝売上高－製造原価
含まれるもの 製造原価に の	製造直接費	○	○(一部のみ)	○
	材料費	○	○	○
	部品費	○	○	×
	外注加工費	○	○	×
	直接労務費	○	○	×
	製造間接費	○	原則×	×
	間接材料費	○	原則×	×
製造総費	○	原則×	×	○
間接費の製品別賦課	一般管理費を含む全ての間接費を個別賦課	×	×(考え方そのものを否定)	マンorマシンレートをを使い、製造間接費のみを個別賦課
メリット	<ul style="list-style-type: none"> 製品別の固定費が判明。 他社との比較も容易。 	<ul style="list-style-type: none"> 「販売」が原価計算に反映。 採算性の判断が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 「販売」が原価計算に反映。 生産速度が原価計算に反映。 	<ul style="list-style-type: none"> 「販売」が原価計算に反映。 間接費の製品別原価計算を加味。
デメリット (課題)	<ul style="list-style-type: none"> 生産量で原価計算するため、売上に関係なく利益が計算される。 間接費の製品別賦課計算がとても煩雑。 	<ul style="list-style-type: none"> 製品別の固定費は不明。 企業によってルール不統一であり、他社比較は不可。 	<ul style="list-style-type: none"> 日々の生産活動の揺らぎとの関連性を明確に示すものではない。 製品別の在庫量や業務費用の計算方法は不明確。 	

このうち、TOCスループット会計は「生産のみではなく、適切な販売がなければスループットは生まれぬ」[4]という基本的な考え方から、

- ① 全部原価計算とは異なり、「販売結果」を原価計算に反映している

② 直接原価計算とは異なり、「利益を生み出す生産のスピード」という概念を原価計算に取り入れている

など、それまでの原価計算手法の考え方を大きく変えた、企業活動の実態に即した優れた原価計算手法である。しかし、一方では、

① 明確な計算式を示したものではないため、製造業において日々発生する生産活動の揺らぎ（変動）をどう反映させるかが、明確でない

② このため、実際に製造業において導入する際は、計算方法などについてやや戸惑いが見られる

③ コストの個別配賦という考え方そのものを否定しているため[34]、製品別の在庫量や業務費用などを計算する手法は示されていない

等の課題がある。

5.3 本研究における提案手法

本研究では、TOCスループット会計理論ではむしろ否定されている製品別コスト配賦の考え方を一部取り入れるとともに、製造業における生産の揺らぎに着眼し、TOCスループット会計理論にもとづく製品別の原価計算を試みる[41]。つまり、

① 本研究の考察にもとづき、製造業における生産の揺らぎを「外的」なもの（第2章）と「内的」なもの（第3章）に分類する。

② 前者（「外的」な揺らぎ）については、

- ・ 需要予測誤差に伴う余剰在庫や在庫量の変動
- ・ 需要予測の的中率による変動

等を考慮した原価計算手法について考察を行う。

③ また、後者（「内的」な揺らぎ）については、

- ・ DBR理論にもとづくボトルネック工程前のバッファサイズの変動
- ・ 新技術導入による製品別の業務費用等の変動

等を考慮した原価計算手法について考察を行う。

これは、TOCスループット会計理論にもとづく原価計算手法が、今日の多品種少量生産時代の状況下においても、製造業において有効に個別の製品別に導入・展開されることを狙うものである。

5.3.1 需要予測誤差による「外的」な揺らぎとスループット会計

本研究では、第2章において、精度の高い需要予測の重要性について述べた。しかしながら、一方で、製造業の日常の生産現場において需要予測が100%的中するケースは残念ながらほとんどない。

第2章 Table2.8 (22頁)において、最も優れた結果を示した予測⑨(補正あり)のケースでも平均誤差率は5.95%であることを勘案すると、製造業にとっては例え需要予測的中率に多少のバラツキがあっても、それをある程度は想定した上で、生産計画や在庫管理に与えるダメージを最小限にとどめる工夫が必要となる。

一般に、需要予測が外れるケースには、以下の2通りに大別される。

① 予測値>実績値 (予測に反し、販売が不調なケース)

② 予測値<実績値 (予測以上に、販売が好調なケース)

この2通りのうち、製造業にとってとくにダメージの大きいのは上記①のケースである。なぜならば、上記②のケースでは、欠品発生によるビジネスチャンスの逸失や取引信頼性の失墜等のリスクがあるものの、社内の材料在庫に一定の余裕さえあれば、労働時間延長等による追加生産など社内の自助努力、つまり内部事情のやりくり等で一定程度のリカバリーは可能な場合が多い。

一方、上記①のケースでは、自社のみで直ちに有効な対応策を見出すことは困難なケースが多い。なぜならば、その主な発生原因が景気動向や取引先の事情など外部要因に起因する場合が多いからである。このケースの場合、生産現場においては、作り過ぎによる余剰在庫の発生や作業員の生産余力が発生する。

本研究では、TOCスループット会計理論にもとづく原価計算を試みる。上記①のような需要予測誤差は、スループット会計においては、直接材料費、業務費用および在庫量の計算に影響を与える。つまり、予測値>実績値となるケースにおいては、

① 余剰生産分の製品に投入された直接材料費

② " 業務費用

がムダとなり、それが余剰在庫となれば期末在庫量に影響する。

また、こうした需要予測誤差によるスループット会計への影響を評価する指標としては、(5.2)式および以下の指標が挙げられる[35]。

$$\begin{aligned} NP &= TP - OE \\ &= S - I - OE \end{aligned} \tag{5.2}$$

NP : 利益, TP : スループット, OE : 業務費用, S : 売上高, I : 投入された材料費

- TP/I : 投入材料あたりのスループット (生産活動のスピードを表す)
- TP/OE : 業務費用あたりのスループット (業務や組織の効率性を表す)

本研究では, 新しい需要予測モデルによる予測的中率の向上が, 上記のそれぞれの指標にどんな影響をもたらすかについて明らかにする.

5.3.2 限界利益を考慮した「外的」な揺らぎへの対応

本研究では, さらに上記①のようなケース (予測値 > 実績値) において, 需要予測が外れた場合であっても, それを放置するのではなく, 「限界利益」という考え方により, 最終的に企業収益が最適となる手法について提案する.

「限界利益」とは, 下記 (5.3)式によって求められるが, もともとは社内の製品別の原価計算を行う際に使われる会計概念である (スループットの定義に近い).

$$L_P = S - V_C \quad (5.3)$$

L_P : 限界利益, S : 売上高, V_C : 変動費

一般に, 製造業において, 工場内の設備が完全に 100%稼働しているケースはほとんどなく, 多くの場合, その稼働率には余力がある. その理由としては, 機械故障時のバックアップなどリスク回避対策なども挙げられるが, その最も多い理由は需要予測によって立案した生産計画と実際の生産量のズレ, つまり「需要と供給のミスマッチ」による生産余力である.

したがって, 製造業にとっては, 生産余力がある場合, そのまま自社の工場内の機械設備を遊ばせておくのか, あるいは従来品より多少利益率の低い製品であっても受注を受け入れるのかについて, 「限界利益」の視点による見極めにより経営判断を迫られるケースが発生する. さらには, 例え「限界利益」が従来よりも多少低くとも, 新規取引により他社シェアを積極的に獲得するケースなど, 市場需要と自社生産の動向を見ながら, 最終的にプラスとなるような戦略を選択するという, いわば「逆転の発想」も必要になる.

本研究では, 需要予測が外れた場合の対策として, 「限界利益」の考え方にもとづき, 追加受注を受諾するか否かの経営判断について提案する.

本研究では、以下のフローチャート（Fig.5.1 参照）にもとづき、需要予測の的中率に応じた以下の4つのケースについてシミュレーションを行い、最終的に企業収益が最適となる対策について考察する。

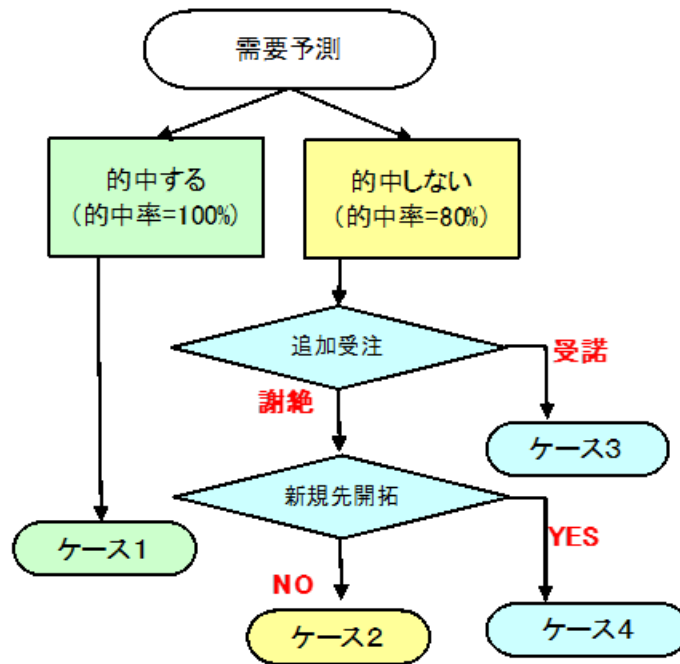


Fig.5.1 4つのケースにおけるフローチャート

<ケース1>需要予測が的中した場合（的中率=100%）

<ケース2>予測値>実績値（的中率=80%）のケースで、生産余力があるが、追加受注を謝絶する場合

<ケース3>予測値>実績値（的中率=80%）のケースで、生産余力があり、追加受注を受諾する場合.

<ケース4>予測値>実績値（的中率=80%）のケースで、生産余力があり、新規取引による他社シェア獲得を狙う場合.

5.3.3 バッファコントロールによる「内的」な揺らぎとスループット会計

一般に、中小製造業においては、

- ① 前日の生産の積み残し
- ② ボトルネック工程など工程間の仕掛品

③ 不良品発生による製品歩留まりの変動

④ 特急注文によるリスケジュール

など、さまざまな要因によって「内的」な生産の揺らぎが発生する。

第3章では、これらの「内的」な揺らぎ要因のうち、TOC・DBR理論の考え方にもとづき、ボトルネック工程と移動ロットサイズの工夫によるバッファコントロールについて考察した。この場合、生産工程において、ボトルネック工程前にバッファを設けることで生産活動における「内的」な揺らぎをコントロールすることは有効であるが、だからと言って無制限なバッファは工程間のムダを生み、生産リードタイムの長期化を招く。したがって、製造業の実際の生産工程においては、このバッファサイズの適正なコントロールが不可欠となる。

本章では、移動ロットサイズ（次の工程へ1回に移動するロットサイズ）の工夫によるボトルネック工程における加工時間をもとに原価計算を行い、単位時間あたりの製品1個の利益の変化を明らかにする。その計算式を(5.4)に示す。

$$\begin{aligned} NP &= TP \times Nbn - FC \\ &= TP \times P \div LTbn - FC \end{aligned} \quad (5.4)$$

NP ：単位時間あたりの製品1個の利益(円)

TP ：製品1個あたりのスループット(円)

Nbn ：ボトルネック工程における単位時間あたりの生産個数

FC ：単位時間あたりの固定費（人件費のみ）

P ：生産個数

$LTbn$ ：ボトルネック工程における加工時間(分)

なお、この場合、 Nbn はボトルネック工程における生産性を示すもので、工場全体の生産性を決定する制約条件となる。

5.3.4 新技術の導入による「内的」な揺らぎとマシンレートによるスループット会計

生産工程において、新技術の導入・開発が「内的」な生産の揺らぎに大きな影響を与えることは第3章で述べたが、本章ではマシンレート（機械貸率）を使い、製品別の原価計算について考察する。

一般に、製品の原価集計ルールには、マンレート（人賃率、人手による組み立て工程が中心の場合）とマシンレート（機械賃率、機械による組み立て工程が中心の場合）の2通りがあるが、本研究では後者を用いる。マシンレートを用いた製品別の原価計算は、以下の(5.5)式によって示される。

$$\begin{aligned}
 C_i &= MT_i + OE_i \\
 &= MT_i + MCR_i \times T_i \\
 &= MT_i + (TCW + TCP) \div (T_m \times N_{mc}) \times (AT_i \times N_i)
 \end{aligned}
 \tag{5.5}$$

C_i : 製品 i の製造原価（1 unit あたり）

MT_i : 製品 i の原材料費（同）

OE_i : 製品 i の業務費用（同）

MCR_i : 製品 i のマシンレート（同）

T_i : 製品 i の加工時間（同）

TCW : 工場全体の労務費

TCP : 工場全体の製造経費

T_m : 工場全体の機械1台あたりの年間稼働時間

N_{mc} : 工場全体の機械台数

AT_i : 製品 i の機械1台あたりの平均加工時間（同）

N_i : 製品 i を生産するのに必要な機械台数（同）

前述のとおり、TOCスループット会計においては、費用の個別賦課という考え方そのものを否定しているが、現実の企業においては製品によって加工難易度、加工時間、不良率による製品の歩留まり、新しい生産加工技術の適合度などが異なるのが通例である。

例えば、ある製品の不良率が高ければ、その廃棄費用などがムダとなり、(5.2)式で示した業務費用（OE）が増大する。また、ある特定の製品の加工に有効な新しい生産技術が開発され、加工作業が迅速化すれば、(5.5)式で示した加工時間（ T_i ）が短縮となる。つまり、それぞれのケースにおいて、製造原価が変動することとなる。

本研究では、ボトルネック工程における新技術を導入した場合において、マシンレートによる原価計算の比較シミュレーションを行う。

5.4 企業実データによる結果の検証

5.4.1 需要予測の精度向上によるスループット会計への影響

本研究では、A社の実データを使い、結果を検証する[41]。A社の売上上位20品目の一定期間（2010年11月～11年4月）における需要予測の的中率は、従来手法による需要予測の場合、正規分布の $\pm 2\sigma$ （94.45%～104.55%）から外れるケースが全体の50.8%である（Fig. 5.2 参照）。

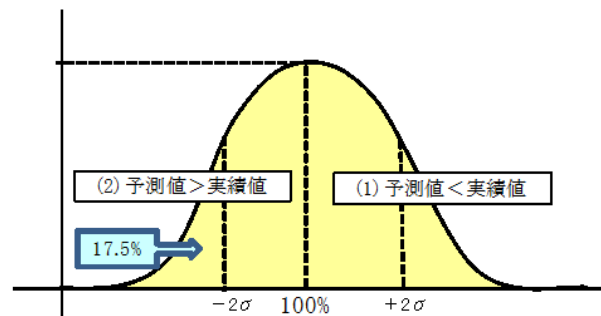


Fig. 5.2 A社における需要予測の的中率のバラツキ

このうち、需要予測の的中率が85%、95%および100%の3つのケースについて、上記(5.2)式のTP/I, TP/OEを比較シミュレーションした結果をFig. 5.3に示す。

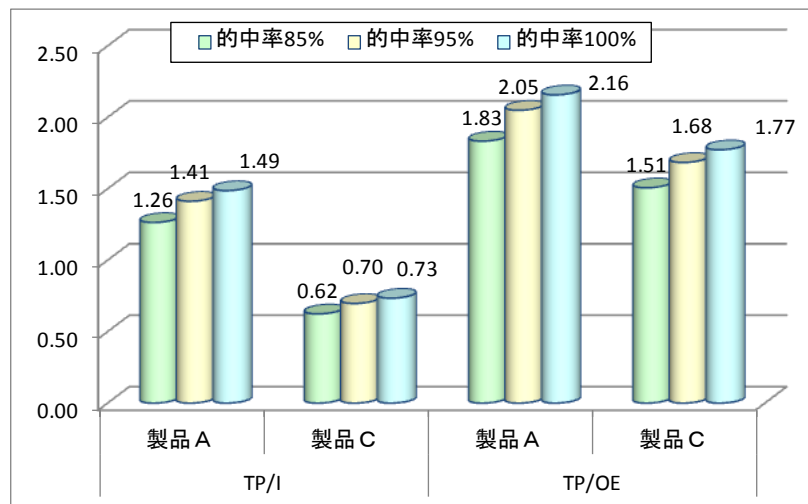


Fig. 5.3 A社における需要予測誤差による比較シミュレーション

このとき、TP/I, TP/OEはそれぞれ以下を表す。

- TP/I : 投入材料あたりのスループット（生産活動のスピードを表す）
- TP/OE : 業務費用あたりのスループット（業務や組織の効率性を表す）

Fig. 5.3 において、製品AおよびCは、いずれも売上上位5品目に含まれるが、両品目ともに需要予測的中率が向上するのに伴い、TP/IおよびTP/OEが向上している。

これは、需要予測的中率のバラツキという「外的」な生産の揺らぎへの適切な対応が、スループット会計における生産活動のスピードや業務・組織の効率性に影響を与えている証左である。つまり、外的な要因である需要予測的中率を向上させることができれば、より多くのスループットを生み出すことが可能となる。

5.4.2 限界利益の考慮によるスループット会計への影響

A社の実データを使い、Fig.5.1 (69頁) で示した4つのケースについて、結果を検証する。A社の生産工程(概略図)はFig.5.4のとおりであり、可否判断の前提条件は、以下のとおりである。

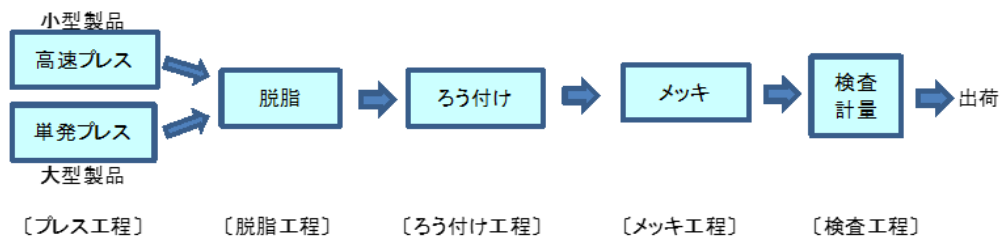


Fig.5.4 A社の生産工程(概略図)

<可否判断の前提条件>

(1) 製品A 1個あたりの売価、生産コストおよび1,000個あたりの各工程の生産時間等については、Table 5.2のとおりである。

Table5.2 可否判断の前提条件

製品A 1個あたり	売価	3,500円
	変動費(原材料費)	2,000円
	固定費	1,300円
	営業利益	200円
需要予測的中率100%の場合の 生産個数		500千個
製品A 1000個あたり 生産時間	プレス工程	24秒
	脱脂工程	60秒
	ろう付け工程	40秒
	メッキ工程	72秒
	検査・計量工程	考慮しない

- (2) 営業利益＝売価－変動費（原材料費）－固定費．限界利益＝売価－変動費（原材料費）とする．
- (3) A社に生産余力がある場合において，売価 3,200 円（営業利益は単純計算で▲100 円）で 100 千個の追加受注の申し出があり，受諾 or 謝絶について経営判断するものとする．この場合，従来価格より低価格で受注することによる既存取引先への影響等については考慮しない．
- (4) A社に生産余力がある場合において，A社の新製品（戦略製品，売価 3,750 円）を新規取引先に売り込み，他社シェアを奪取するケースについても試算する．
- (5) 生産時間は従来製品，追加受注製品，新製品すべて同一とする．
- (6) 固定費 650 千円（@1,300 円×500 千個）は，すべてのケースにおいて不変とする．
- (7) 追加受注受諾，新製品を追加生産する場合でも，生産時間合計は当初（ケース 1）の総生産時間を上限とする．
- 上記 4 つのケースのシミュレーション結果は，Table5.3 のとおりである．

Table5.3 4つのケースのシミュレーション結果

		ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
需要予測の的中率		100%	80%	80%	80%
生産個数 (千個)	従来品	500	400	400	400
	追加受注	—	—	100	—
	新製品	—	—	—	100
	計	500	400	500	500
限界利益 (千個)		1,500	1,500	1,200	1,750
工程別 生産時間 (秒/千個)	プレス	200	160	200	200
	脱脂	500	400	500	500
	ろう付け	333	267	333	333
	メッキ	600	480	600	600
	計	1,633	1,307	1,633	1,633
(千円) 企業利益	売上高	1,750	1,400	1,720	1,775
	原材料費	1,000	800	1,000	1,000
	限界利益	750	600	720	775
	固定費	650	650	650	650
	営業利益	100	▲ 50	70	125

一般に，製造業において，需要予測が外れ，予測値>実績値のケースとなる場合では，多くの場合，生産余力を生じている．この場合，これをそのまま放置すれば（<ケース 2 >），生産稼働率の低下により，営業利益は▲50 千円となる．

しかし，例え従来売価を下回る追加受注であっても，限界利益>0 となるケース（<ケース 3 >）では，総生産時間の上限範囲内の条件下においても営業利益は 70 千円となり，

需要予測的中率が 100%の場合（＜ケース 1＞）に近づく結果となる。

さらに、生産余力を新規先開拓のチャンスと捉え、積極的な営業活動を行うなどの企業努力を行えば、営業利益は 125 千円となり、企業利益の向上とともに市場シェア拡大に発展する結果となる（＜ケース 4＞）。

すなわち、製造業においては、例え需要予測が外れた場合であっても、それを放置するのではなく、限界利益の考え方により、生産余力の範囲内で最終的に企業利益が最適となる戦略を講ずることが有効であるといえる。

一般に、製造業においては、採算管理の観点から限界利益を用いること自体は以前から行われていた。しかし、限界利益は、単に会計上の採算管理の観点のみでなく、需要予測的中率のバラツキや自社の工程フローによる生産能力など、企業スループットの向上の視点から総合的かつ戦略的に活用されるべきと言える。

5.4.3 バッファサイズコントロールによるスループット会計への影響

A社の生産工程において、バッファサイズのコントロールによる生産リードタイムへの影響について、一般的なモデルケースは Fig. 5.5 のとおりである。

ロットサイズ	工程	時間									
		1h		2h		3h		4h		5h	
3,000個	プレス	A1		A2		A3					
	ろう付け			A1		A2		A3			
	めっき					A1		A2		A3	
1,500個	プレス	A11	A12	A21	A22	A31	A32				
	ろう付け	A11		A12		A21		A22		A31	
	めっき			A11		A12		A21		A22	

Fig. 5.5 バッファサイズのコントロールによる生産リードタイムへの影響（前掲）

Fig. 5.5 によれば、ある製品を 9,000 個生産する場合において、一度に加工するロットサイズが 3,000 個であっても、次の工程へ 1 回に移動するロットサイズ（移動ロットサイズ）をその 1/2 の 1,500 個とする（1,500 個の加工を終えた段階で次工程へ流す）ことにより、生産リードタイムは 5 時間→4 時間に短縮される。

上記のケースについて、ボトルネック工程の加工時間をもとに、単位時間あたりの製品 1 個の利益を(5.3)式を用いて計算し、結果を検証する。このケースにおける前提

条件および結果は、Table 5.4 のとおりである。移動ロットサイズを 3,000 個→1,500 個とすることで、単位時間あたりの製品 1 個の利益は 332 円→402 円と増加する。

つまり、バッファサイズ（この場合は、移動ロットサイズ）を適正にコントロールすることで、生産リードタイムの短縮やそれに伴う製品利益の向上をもたらすことが証明されたと言える。

Table 5.4 前提条件と検証結果

記号	内容	移動ロットサイズ	
		3,000個	1,500個
NP	単位時間あたりの製品1個の利益	332円	402円
TP	製品1個あたりのスループット	70円	
P	生産個数	12,000個	
LTbn	ボトルネック工程における加工時間	40時間	33.3時間
Nbn	ボトルネック工程における単位時間あたりの生産個数	5個	6個
FC	単位時間あたりの固定費(人件費のみ)	18円	

5.4.4 新技術の導入とマシンレートによるスループット会計への影響

Table 5.5 は、A社における売上上位 5 品目の生産状況を示すものである。このうち、製品 C は、加工難易度が高く、合計作業時間は標準品の約 11 倍という課題を抱えていた。

Table 5.5 A社の売上上位 5 品目の生産状況

	1単位 あたり 材料費	工場全体		1台あたり 年間 平均稼働時間	マシン レート	加工時間			1単位 あたり 原価	不良 率							
		業務 費用	機械 台数			BN 工程	BN 以外	計									
											OE	N _{mc}	T _m	MCR		T _i	C _i
											円	百万円	台	千秒	円/秒	秒	円
製品A	0.8	307	55	3,042	1.84	0.9	0.9	1.8	4.1	2.0%							
製品B	0.6	318			1.90	0.9	0.9	1.8	4.0	1.9%							
製品C	98.0	374			2.23	9.6	10.6	20.2	143.1	12.4%							
製品D	27.0	370			2.21	2.6	2.8	5.4	38.9	7.2%							
製品E	12.0	367			2.19	1.9	2.0	3.9	20.6	4.7%							

(注)製品 1 個あたりの数値。秘密保持のため、A社の実データを一部加工。

A社では、この課題を解決するため、今回、製品Cのろう付け工程（ボトルネック工程）において新技術の導入を検討している。この新技術導入により、

- ① 不良率が 12.4%→5%に低減
- ② ボトルネック工程における製品 1 単位あたりの作業時間が 9.6 秒→3 秒に短縮の 2 つのケースについて、マシンレートをを用いた原価計算シミュレーションによる比較を試みる。A社のボトルネック工程における新技術導入による比較シミュレーション結果は、Table 5.6 のとおりである。

Table 5.6 マシンレートをを用いた原価計算シミュレーション

	現状					①不良率12.4%→5.0%					②BN工程9.6秒→3.0秒				
	不良率	加工時間	業務費用	レマシントン	た1り単位原価あ	不良率	加工時間	業務費用	レマシントン	た1り単位原価あ	不良率	BN工程加工時間	業務費用	レマシントン	た1り単位原価あ
	%	秒	百万円	円/秒	円	%	秒	百万円	円/秒	円	%	秒	百万円	円/秒	円
製品A	2.0%	0.9	307	1.836	4.1	2.0%	0.9	307	1.836	4.1	2.0%	0.9	307	1.836	4.1
製品B	1.9%	0.9	318	1.901	4.0	1.9%	0.9	318	1.901	4.0	1.9%	0.9	318	1.901	4.0
製品C	12.4%	9.6	374	2.233	143.1	5.0%	9.6	373	2.229	142.0	12.4%	3.0	374	2.233	128.4
製品D	7.2%	2.6	370	2.212	38.9	7.2%	2.6	370	2.212	38.9	7.2%	2.6	370	2.212	38.9
製品E	4.7%	1.9	367	2.195	20.6	4.7%	1.9	367	2.195	20.6	4.7%	1.9	367	2.195	20.6

製品Cの1単位あたりの製造原価は、

- ① 不良率の低下が業務費用およびマシンレートの削減につながり、製造原価は 143.1 円→142 円にコストダウン
 - ② ボトルネック工程における加工時間の削減により、製造原価は 143.1 円→128.4 円にコストダウン
- という結果となる。

これは、新技術導入がTOCスループット会計において、製品Cの業務費用とスループット産出のスピード向上に寄与していることを示している。

A社では、今回の新技術導入を当面は加工難易度が高い製品Cに集中導入する予定であり、TOCスループット会計においても製品別の業務費用や加工時間を考慮した原価計算を行うことは価値があると言える。

第6章 総括および結論

本研究では、生産拠点と販売市場が遠離する地方の中小製造業の視点に立ち、それらが日常的に抱える「生産の揺らぎ」にフォーカスするとともに、その対応によって生ずるT O C理論による企業スループットの変化等について論じた。なぜなら、わが国の企業の99.7%は経営資源（ヒト、モノ、カネ）の少ない中小企業であり、その多くは地方に立地するからである。地方の中小製造業は、取引先の大企業が位置する大都市圏の市場・景気動向など、自社ではコントロールできない「揺らぎ」を抱えながら日々生産活動に従事している。

第1章では、本研究の背景、先行研究の課題および本構成の構成について述べた。とくに、

- (1) 「生産の揺らぎ」は、自社ではコントロールできない「外的」な揺らぎと自社でコントロール可能な「内的」な揺らぎに大別されること、
- (2) 本研究においては、様々な種類の「生産の揺らぎ」のうち、需要予測、ボトルネック工程、新技術の導入など、その代表的なものを取り上げていること、
- (3) 本論文の第2章および第3章において、「外的」な揺らぎと「内的」な揺らぎを、さらに既存製品を生産する場合と新製品を開発する場合に分け、計4通りのケースについて考察していること、
- (4) 本論文で述べる全ての新しい手法や提案について、鳥取県内に実在する中小製造業2社の実データを用い、その結果を検証していること

の4点について述べた。

第2章第1節では、「外的」な生産の揺らぎのうち、既存製品を生産する場合について考察した。とくに、本節では「外的」な生産の揺らぎの代表例である需要予測について、これまでにない新しい需要予測モデルを開発・提案した。この新しい需要予測モデルは、GPの手法を用いるとともに、以下の様ないくつかのこれまでない特徴を有する。

- (1) 地方の中小製造業の生産財マーケティング手法が、一般的な消費財マーケティング手法と大きく異なる点に着眼し、取引先の大企業の動向を日々肌で感じている大都市圏の営業部員の経験的暗黙知をデルファイ法の手法により抽出し、決定変数として使用。
- (2) 大企業が重視するマクロ経済指標のうち、本研究において事業関連性の高い景気動向指数を決定変数として使用。
- (3) 価格改定による駆け込み需要など突発的な需要変動に対しては、ファジィ推論により

補正.

また、この需要予測モデルは、従来手法に比較し、①予測精度が大幅に向上（正確性）、②決定変数となるデータ等は容易に入手可能（簡易性）、③利用者にとって使用するデータや判断材料が社員にとって合理的（納得性）など、需要予測モデルに必要とされる複数の評価基準を充たしており、地方の中小製造業にとっては実用性の高い予測が可能となった。

第2章第2節では、「外的」な生産の揺らぎのうち、新製品を開発する場合について考察した。新製品の場合、「揺らぎ」を抑えるためには、いかに市場ニーズに適合し、かつ技術優位性が高いかという点が重要なポイントとなるが、本節では技術品質と市場品質のマッチング性を判定する代表的な手法であるQFD（品質機能展開）に着眼し、独自の手法による複数の提案を試みた。QFDは、国内外の多くの企業において使用される一方で、これまで弱点と指摘されてきた複数の課題があったが、本研究ではこれらの課題に対し、

- (1) 「時間軸」の視点を加え、変遷する市場ニーズを点数化、
- (2) 中小製造業が市場優位性を確保するための「武器」となる知的財産権（特許権など）の出願戦略を考慮し、QFD分析表に表示、
- (3) 指数法則にもとづく3段階評価の点数配分ルールを提案、
- (4) デルファイ法の手法により、採点における客観性を向上

など、独自の解決策を提案した。さらに、これらの分析結果を踏まえ、バランススコアカードの手法による実在企業の戦略ロードマップを作成し、その効果を検証した。以上の新しい試みにより、新製品開発における標的市場別の技術経営戦略の方向性、知財戦略との関連性および今後の技術強化ポイント等が明確化され、結果として「外的」な生産の揺らぎを最小限にとどめることが検証された。

第3章第1節では、「内的」な生産の揺らぎのうち、既存製品を生産する場合について取り上げ、TOC理論およびDBR理論にもとづき、ボトルネック工程におけるバッファコントロールおよび移動ロットサイズによるバッファコントロールについて考察した。具体的には、ボトルネック工程の前にバッファを設ける効果を視覚的にわかりやすくするため、ペトリネットの手法を用い、図式化した。ボトルネック工程の前にバッファを設けること自体は従来手法であるが、DBR理論にもとづき、これを視覚的にわかりやすく表現する手法はこれまでになかった。また、移動ロットサイズを小さくする（小分けにする）ことによる生産リードタイム（総生産時間）の短縮化効果についても、DBR理論にもとづく検証を行った。

第3章第2節では、「内的」な生産の揺らぎのうち、新製品を生産する場合について取

り上げ、業界初となる新技術（例：電子ビーム溶接）が「内的」な揺らぎに与える効果について考察した。中小製造業にとって、新技術の導入は大きな効果をもたらす反面、そのコストは高く、導入をためらうケースも多い。本研究では、需要予測により今後の市場拡大は見込めるものの、加工難易度が高く、製品歩留まりが低い特定の品目を取り上げ、新技術をその品目へ集中投下することで、製品の技術品質、生産時間（納期）の短縮および企業利益（またはスループット）の向上を図る新しい手法を明らかにした。

第4章では、第2章および第3章において論じた新たな手法と提案が、中小製造業のプロダクトミックス戦略の決定にどのような影響を及ぼすのかについて明らかにするとともに、利益貢献度分析の手法を用い、その決定を支援する新たな手法を提案した。市場ニーズが多様化する状況下、地方の中小製造業においては多品種少量生産が恒常化しているが、本章では実在企業が製造する主要5品目について、

- (1) これまでにない新しい需要予測モデルの開発、
- (2) 高い需要ニーズは見込めるが、加工難易度が高く、製品歩留まりが低い品目に対し、そのボトルネック工程へ業界初となる新技術の集中導入

という生産の「揺らぎ」を抑える新たな2つの提案手法について、利益貢献度分析の手法を用い、新手法の導入前と導入後をによって比較した。その結果、これまで利益貢献度が高くなく、言わば隠れていた特定品目の利益貢献度が順位を上げ、クローズアップされる効果が明らかになった。つまり、本研究の提案手法が、生産の「揺らぎ」を抑える効果だけでなく、中小製造業のプロダクトミックス戦略の再構築の必要性を顕在化させる効果をも持つことが検証された。

第5章では、TOCスループット会計理論の視点から、第2章から第4章までに論じた新たな手法や提案が、中小製造業のTOC理論にもとづく企業スループット（販売を通じてキャッシュを生み出す速度・割合）にどのように寄与するのかについて考察した。とくに、従来の代表的な原価計算手法とTOCスループット会計を比較し、マシンレート（機械賃率）を用いた独自の原価計算手法を提案した。さらに、この独自の原価計算手法を用い、「外的」な揺らぎに対する限界利益の手法を用いた新たな対応策や、「内的」な揺らぎに対するバッファコントロールおよび新技術の導入による対応策について論じ、これまで論じた本研究の様々な提案手法が、生産の「揺らぎ」を最小限に抑えるとともに、中小製造業のスループット向上に大きく貢献することを明らかにした。

以上のとおり、地方の中小製造業には日々様々な生産の「揺らぎ」が生ずるが、本論文ではそれぞれ有効な対応策（技術経営戦略）を講ずることで、「揺らぎ」によるダメージ

を最小限に抑えるとともに強い市場競争力を発揮できることを明らかにし、実在企業の実データを用いてその有効性を検証した。

なお、本研究において検証した実在企業2社は、ともに電機および電子部品製造という業種であった。今後の研究課題としては、他業種企業の実データ等での検証が挙げられる。また、生産の「揺らぎ」についても、本研究で取り上げた「揺らぎ」以外の項目についての考察が今後の研究課題である。

アジア諸国等への生産拠点の移転が加速する状況下、地方の中小製造業は日常的な生産の「揺らぎ」を抱えながら、生き残りを賭け、様々な工夫を重ねている。

本研究が、こうした地方の中小製造業の技術経営戦略の構築に、少しでも寄与できれば有り難い。

注

- [1] 「**デルファイ法**」は、技術革新や社会変動など未来予測を行う定性調査によく用いられる。意見の集約は中央値／四分位範囲を使うことが多い。
- [2] 「**営業秘密**」として保護していた技術を他社が特許として取得してしまう可能はある。そのような場合に備え、他社の出願前からその技術を実施もしくはその準備をしていたことを証明できる資料を残すことが必要となる。これを「先使用権の確保」といい、多くの場合、公証人役場で確定日付を取得することで、先使用権を確保するのが一般的である。ただし、この先使用権は、日本国内のみにしか通用しない[18]。
- [3] 「**早期審査制度**」は、特許の審査の着手から終了までを通常の出願よりかなり早期（平均数カ月程度）に受けることができる制度である。ただし、出願件数の多いわが国においては、多くの出願者が早期の審査を望んでいることから、その発明を実施または予定しているもの、出願人の全部または一部が中小企業または個人であるものなど、いくつかの要件を満たす必要がある。また、当然ながら、早期に権利化できる可能性とともに、早期に拒絶査定が確定してしまうというリスクもある。
- [4] 「**国内優先権主張**」とは、日本国内において、先に特許出願したものに新たな内容を改良・付加して出願した場合、最初の出願日を基準に要件審査を受ける権利のこと。ただし、先の出願日より1年以内に行う必要がある。
- [5] 「**評価の中心化傾向**」とは、アンケート調査や人事評価等において、例えば5段階評価の場合、真ん中の「3（普通）」が多く選択されてしまうことをいう。背景には、人間の心理があるとされ、評価者が陥りやすい過ちのひとつとされる。
- [6] B社への支援活動は、中国経済産業局「中国地域中小企業知財戦略支援モデル調査事業」（2008～2010年度）の一環として実施したものである。

謝辞

本研究は，鳥取大学大学院工学研究科知能情報エレクトロニクス専攻 において行われたものである。

本研究を遂行するにあたり，終始にわたり懇切丁寧な御指導を頂き，また本研究論文をまとめるに際して懇切な御鞭撻を頂きました，鳥取大学大学院工学研究科の北村章教授に心より感謝致します。

本研究を遂行するにあたり，多大なる御協力を頂きました鳥取大学大学院工学研究科 平本竜一氏（現，三菱電機インフォメーションシステムズ株式会社）をはじめ，情報エレクトロニクス専攻研究室の皆様に感謝致します。

本論文をまとめるにあたり，多大なる御助言を頂きました鳥取大学大学院工学研究科 山田茂教授に厚くお礼申し上げます。

本論文をまとめるにあたり，多大なる御助言を頂きました鳥取大学大学院工学研究科 横田孝義教授に厚くお礼申し上げます。

日頃より多大なる御助言を頂きました鳥取大学大学院工学研究科 竹森史暁准教授，櫛田大輔助教に厚く御礼申し上げます。

さらに，本研究を遂行するにあたり，企業実データの提供など多大なる御協力を頂きましたA社およびB社の代表取締役社長をはじめ，社員一同様に深く感謝申し上げます。

参考文献

第1章

- [1] 香村俊武, 黄海, 飯島正樹, 福島和伸, 木内正光利: “需要量の揺らぎ変動に対処するために受注残を在庫量と対等に扱う生産調整法”, 日本経営工学会論文誌, Vol.61, No.2, pp.32-45 (2010)
- [2] 高橋勝彦: “傾向変動を伴う需要系列に対する生産支持方式の特性解析”, 日本経営工学会論文誌, Vol.44, No.1, pp.64-70 (1992)
- [3] 水山元: “予測市場による経営の意思決定支援に向けて”, 日本経営工学会論文誌, Vol.20, No.5, pp.243-248 (2010)
- [4] Goldratt Eliyahu M. and Jeff Cox.: *The Goal*, 1984. 三本木亮 訳「ザ・ゴール: 企業の究極の目的とは何か」, ダイヤモンド社(2001)

第2章

- [5] 浅田克暢, 岩崎哲弥, 青山行宏: 「在庫管理のための需要予測入門」, 東洋経済新報社, p.2 (2005)
- [6] Robinson, Patrick J., Charles W. Faris, and Yoram Wind : *Industrial Buying and Creative Marketing*, Allyn & Bacon. (1967)
- [7] 高嶋克義, 南知恵子: 「生産財マーケティング」, (株)有斐閣, pp.23-24 (2006)
- [8] 武上幸之助: “需要予測と経営戦略モデル—市場データ分析におけるトラッキング・シグナル—”, 「日本福祉大学研究紀要—現代と文化」第106号,

pp.97-104 (2002)

- [9] J. Eggermont, : “ *Genetic Programming* ” ,
http://www.win.tue.nl/ipa/archive/falldays2007/Handout_Eggermont.pdf.
(2007)
- [10] J. R. Koza, : *Genetic Programming, On the Programming of
Computers by Means of Natural Selection*. MIT Press, Boston, MA, USA.
(1992).
- [11] J.R. Koza : “A genetic approach to the truck backer upper problem and
the intertwined spiral problem. In Proceedings of IJCNN International
Joint Conference on Neural Networks”, vol.IV, pp.310–318, IEEE Press.
(1992)
- [12] 辻岡卓, 山本耕司 : “取引戦略生成に適した評価指標の検討” ,人工知能学
会研究会資料, SIG-FIN-007-05, pp.26-30 (2011)
- [13] 赤尾洋二 : 「品質展開入門」, 日科技連, p.21 (1990)
- [14] 赤尾洋二, 小野禎俊, 原田明, 田中英舗, 岩沢和男 : 「コスト・信頼性・
技術を含めた品質展開」, 『品質』, Vol.13, No.3, pp.53-60 (1983)
- [15] 大藤正 : 「QFDと開発管理工学」 ,
[http://www.tamagawa.ac.jp/business_administration/teachers/ohfuji/Con-
tents/topic/topic199.html](http://www.tamagawa.ac.jp/business_administration/teachers/ohfuji/Contents/topic/topic199.html). (1991)
- [16] 鶴見隆 : 「特許情報のQFDへの活用」, 『Japio YEAR BOOK 2012』 ,(一
社)日本特許情報機構, p.218 (2012)
- [17] 赤尾洋二 : 「品質展開入門」, 日科技連, p.45 (1990)

- [18] 大藤正：「QFD 企画段階から質保証を実現する具体的手法」，(財)日本規格協会，p.51 (2010)
- [19] 宮川雅巳：「品質を獲得する技術 タグチメソッドがもたらしたもの」，日科技連，pp.17-22 (2000)
- [20] 立林和夫：「入門タグチメソッド」，日科技連，pp.248-249 (2004)
- [21] 特許庁総務部普及支援課：「中小・ベンチャー企業 知的財産戦略マニュアル」，pp.27-28 (2008)
- [22] 特許庁総務部普及支援課：「中小・ベンチャー企業 知的財産戦略マニュアル」，pp.31-32 (2008)

第3章

- [23] 小林英三，貝原俊也：“製造業復活の理論：制約理論(TOC)” システム御情報学会誌，Vol.46, No.10, pp.593-600 (2002)
- [24] 中野明：「エリヤフ・ゴールドラットの『制約理論』がわかる本」，秀和システム(2006)
- [25] 飯塚革新コンサルティング：「TOC講座 TOCの考え方」，
<http://ik-consul.jp/archives/870>
- [26] 飯塚革新コンサルティング：「TOC講座 生産ラインの能力を最大にするDBR」，<http://ik-consul.jp/archives/1096>
- [27] 椎塚久雄：「実例ペトリネット」，コロナ社(1992)

第4章

- [28] Sanjay Sharma : “A Fresh approach to performance evaluation in a multi-item production scenario”, *European Journal of Operational Research*. 178. pp. 627-630 (2007)
- [29] 足立洋 : 「アイテックにおける事業構造の転換とNEMA活動」, ふくい地域経済研究, pp.57-74 (2010)
- [30] 加賀美太記 : 「新事業展開とマーケティング能力の構築過程－地域中小企業「アイテック株式会社」を事例として, ふくい地域経済研究, pp.43-55 (2010)

第5章

- [31] 田村真介 : 「TOCとスループット会計に関する一考察－TOCの経営思考の観点からの検討－」, 石巻専修大学経営学会誌, vol.20,第2号,pp.37-56 (2009)
- [32] Goldratt Eliyahu M. : “*Necessary But Not Sufficient*, 2002.” 三本木亮 訳「チェンジ・ザ・ルール : なぜ, 出せるはずの利益が出せないのか」, ダイヤモンド社 (2002)
- [33] Corbett, Thomas. : “*Throughput Accounting : TOC’s Management Accounting System*, Great Barrington, MA : North River Press, 1998.” 佐々木俊雄 訳「TOCスループット会計 : この意思決定プロセスが最大利益を生み出す」, ダイヤモンド社 (2005)
- [34] 中瀬忠和 : 「原価計算は何を計算するのだろうか－「スループット会計」を巡って－」, 中央大学商學論纂, vol.51,第3・4号,pp.253-282 (2010)
- [35] 富岡萬守, 栗原治夫 : 「実践スループット会計」, 日本能率協会マネジメントセンター(2003)