



TOKYO METROPOLITAN UNIVERSITY

首都大学東京

2015 年度修士論文

ハイブリッド製造／再製造システムにおける
再製造品のカニバリゼーション効果に関する研究

指導教員 開沼 泰隆

首都大学東京大学院
システムデザイン研究科
システムデザイン専攻
経営システムデザイン学域

14892513 佐々木慶彦

目次

第1章	序論	1
1.1	はじめに	1
1.2	研究背景	1
1.3	研究目的	2
1.4	本論文の構成	3
第2章	クローズド・ループ・サプライ・チェーン	5
2.1	はじめに	5
2.2	サプライ・チェーン・マネジメント	5
2.3	クローズド・ループ・サプライ・チェーン	12
2.4	おわりに	23
第3章	ハイブリッド製造／再製造システム	24
3.1	はじめに	24
3.2	ハイブリッド製造／再製造システムの概要と関連研究	24
3.3	おわりに	35
第4章	ハイブリッド製造／再製造モデル	36
4.1	はじめに	36
4.2	モデルの提案と概要	36
4.3	需要モデル	44
4.4	シナリオを用いた実験によるモデルの検証	52
4.5	おわりに	58

第5章 数値実験 59

5.1 はじめに 59

5.2 数値実験モデル 59

5.3 結果と考察 67

5.4 おわりに 83

第6章 結論 84

6.1 得られた成果のまとめ 84

6.2 今後の展望 85

謝辞 86

参考文献 87

付録

第1章 序論

1.1 はじめに

近年、サプライ・チェーン・マネジメント（SCM）と呼ばれる各種の方法論や事例について極めて大きな関心をもたれている。それはかつての生産者主導の経済から消費者主導の経済へと移行してきたため、顧客の望む製品やサービスを、いかにタイムリーに提供するかが求められているからである。

一方、企業の社会的責任という観点から、企業の環境問題への取り組みも評価されるようになってきている。これまで製造業は、生産における経済性のみを追求し資源を大量に消費することによって、大量生産を行ってきた。そして、多くの製品は、設計・製造する段階で環境への配慮が足りないまま生産され、その製品寿命が終えると、必然的に大量に廃棄されていくこととなり、それらの廃棄物処理が社会的問題となっている。地球環境問題や資源枯渇問題の解決は今後必須と考えられる。

この問題を解決するために、廃棄される製品を回収して新しい製品の生産に活用するといった循環型生産システムの確立が望まれている。現在、循環型生産システムの確立に向け、リユース、リサイクルが強く求められている。ここで重要となるのが、従来のサプライ・チェーン・マネジメントの対象であるフォワード・サプライ・チェーンに加え、リユース、リサイクルを考慮したリバース・サプライ・チェーンをもつクローズド・ループ・サプライ・チェーン（CLSC）であると考えられる。

1.2 研究背景

近年、生産活動や消費活動の間に排出される温室効果ガスによる地球温暖化や、資源を調達するための森林の破壊といった、経済活動を行う際に発生する地球環境問題や資源枯渇問題が我々の生活を脅かす問題となっている。

また、製品に対するニーズにも変化が起きてきた。日本は戦後、大量生産・大量消費を目指して生産活動を行い、経済環境が急速に発展してきた。その結果、国民生活の利便性が向上し、企業も大量生産によりコストを低減から利益を導出することができた。しかし、そのような時代も終わり、「必要な時に」、「必要なものを」、「必要な場所に」、「必要な量だけ」供給するといった、顧客満足の上昇と生産の効率性が必要となった。

顧客満足の上昇、生産の効率性、地球環境問題の解決のために、社会の物

質循環を確保し、天然資源の消費を抑制し、環境への負荷を軽減する循環型社会を形成することは必要であると考えられる。

このような状況を踏まえ、日本においてもリサイクル関連法が整備されている。平成 12 年に制定されたのが、循環型社会形成推進基本法である。この法律は、廃棄物・リサイクル対策を総合的かつ計画的に推進するための基盤を確立するとともに、個別の廃棄物、リサイクル関係法律の整備と相まって、循環型社会の形成に向け実効ある取り組みの推進を図るものである。この循環型社会形成促進基本法を上位法として、廃棄物減量、リサイクル促進に対する個別法がそれぞれ制定されている。具体的には、生産段階での資源有効利用促進法や、消費・使用段階でのグリーン購入法、回収・リサイクル段階での容器包装リサイクル法、家電リサイクル法、食品リサイクル法、建設リサイクル法、自動車リサイクル法、廃棄段階での廃棄物処理法であり、これらは製品のライフサイクルに合わせて法律が体系化されている。また、デジタルカメラやゲーム機、携帯電話等の使用済小型電子機器等に利用されている金属やその他の有用なものの相当部分が回収されずに廃棄されている状況を踏まえ、使用済み小型電子機器等の再資源化の促進、適正な廃棄物処理及び有効利用な資源の確保、加えて生活環境の保全及び国民経済の健全な発展に寄与するために、小型家電リサイクル法が平成 25 年 4 月に施行された[1]。

このように、近年ますます環境問題は深刻性を増し、循環型社会の必要性が増大している。そしてそれに伴い、リユース、リサイクルシステムを確立しようとしている。

1.3 研究目的

リユース、リサイクルの方法は現在徐々に整備され始めているが、サプライ・チェーンの中でどのような戦略で製品の回収、リユース、リサイクルを行えば効率的に製品を繰り返し使用できるかなどの課題がある。またコストの部分でも製品回収・洗浄などの課題を残す。

企業経営を考える際、地球環境問題解決と持続可能なシステムの構築においても、利益は重要なポイントとなる。製品の回収、リユース、リサイクルを行うが利益を大きく損なうと企業経営に問題が生じる。

そこで本研究では従来のサプライ・チェーン・マネジメントのように、フォワード・サプライ・チェーンにおける収益性の向上と競争優位性を確保す

ることだけを考えるのではなく、使用済み製品の回収も考え、分解・検査を行い再び製品生産へとつながる再生産も考慮した、製造業者におけるクローズド・ループ・サプライ・チェーンに着目し検討を行う。

さらに、本研究の特徴として、再製造品販売における新製品需要への影響を考慮した点が挙げられる。クローズド・ループ・サプライ・チェーン構築に向けた課題の一つとして、企業が再製造品販売を行えるポテンシャルを有しながら行わない場合がある。それは、企業は再製造品を販売することで新製品需要へ影響があることを懸念するためである。そこで、本研究は、再製造品販売における需要への影響を明らかにし、利益に着目した定量的評価を行い、クローズド・ループ・サプライ・チェーン構築の促進につなげる。

1.4 本論文の構成

本論文の構成及び対応関係を図 1.1 に表す。第 2 章ではサプライ・チェーン・マネジメントの概要と課題、クローズド・ループ・サプライ・チェーンについて概要と課題について述べる。第 3 章ではハイブリッド製造／再製造システムの概要、先行研究とそれに対する課題の一つである Cannibalization 効果と Market expansion 効果について述べる。第 4 章ではモデル提案と需要モデルについて述べ、モデルの検証と考察を行う。第 5 章では第 4 章で得た課題解決に向けた数値実験を行い、結果をまとめ、考察を行う。第 6 章では結論と今後の課題を述べる。

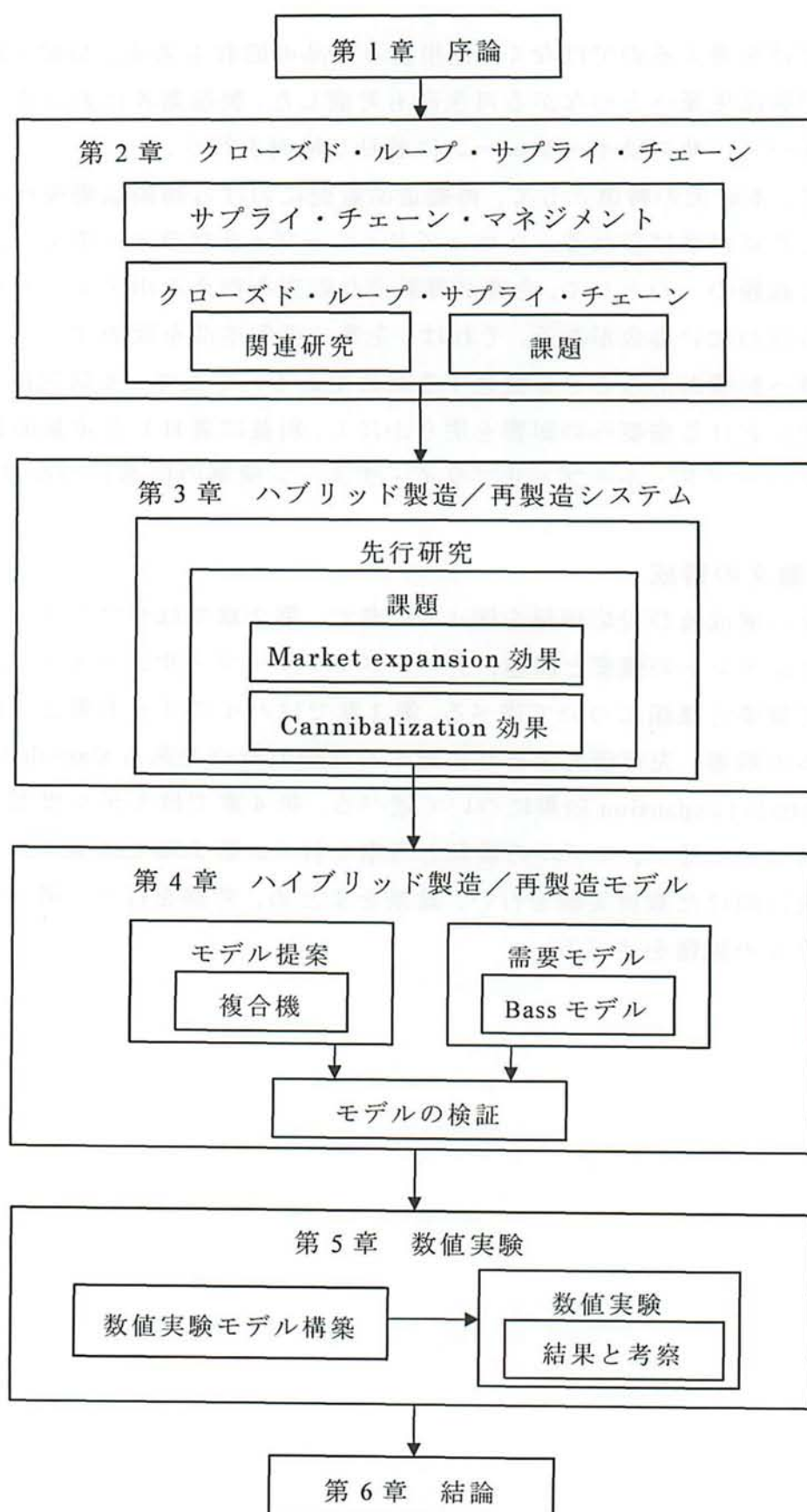


図 1.1 本論文の構成

第2章 クローズド・ループ・サプライ・チェーン

2.1 はじめに

近年サプライ・チェーン・マネジメントと呼ばれる概念に大きな関心が抱かれている。さらに、地球環境問題や資源枯渇問題などが顕在化される中で、企業は環境負荷に配慮したモノづくりを求められている。本章ではサプライ・チェーン・マネジメントの概要についてまとめるとともに、社会の環境に対する意識の変化と、循環型社会について述べる。その後、循環型社会構築に期待される、クローズド・ループ・サプライ・チェーンの概要、課題について記す。

2.2 サプライ・チェーン・マネジメント

2.2.1 サプライ・チェーン・マネジメントとは

近年サプライ・チェーン・マネジメントと呼ばれる概念に大きな関心が抱かれ、多くの企業がその戦略、手法を取り入れている。その背景の一つには市場の変化が挙げられる。

戦後の日本は、何が売れるのか、何を作ればいいのかある程度予測することが可能であった。製造業内のそれぞれの部門で考えると、生産部門は生産効率を追求し、大ロット生産を行い、仕掛在庫を増加させ、物流部門は輸送コストを抑えるため、一度に大量の輸送を行う大ロット輸送を行い、流通在庫を増加させ、販売部門は品切れによる機会損失は多大な損失と考え、欠品率を最小にするために在庫を増加させた。この時代は在庫の増加が起きても一時的なものであり、いつかは売れて利益へとつなげることができた。つまり、生産部門、物流部門、販売部門がそれぞれの状況を把握せず、在庫を持つことに大きな問題はなかった。

このように工業化社会はいわば生産者が主導の経済として発展してきたが、1970～80年代頃から供給能力が過剰傾向となって顧客の立場が強くなり、顧客の望む製品やサービスをいかにタイムリーに提供するかが求められる消費者主導の経済への移行が始まった[2]。

近年ますます急速な進展を見せ、消費市場の成熟化は一段と進み、消費の多様化と呼ばれる傾向はますます強くなっている。消費者の好みは個人によって異なり（消費個人化）、消費者が購入するブランドや品目の数は増加し（消費多角化）、使用期間の短縮化が進んでいる（消費短サイクル化）[3]。

加えて、成熟した先進国での企業は、これまでの国内から海外にまで市場範囲を広げ、それが理由で企業間の国際競争などもより一層激しさを増している。これらがサプライ・チェーン・マネジメント発展の背景の一つといえるだろう。

サプライ・チェーン・マネジメントは生産管理、物流管理、マーケティング管理といった幅広い専門分野において研究が進められている研究である。圓川ら[4]によると、サプライ・チェーンという言葉は自動車産業におけるサプライヤー（supplier）である部品メーカーと組立メーカーの長期的関係のもとでの、部品供給の連鎖や新製品部品開発活動のオーバーラップについて、系列批判の一方でその組織連携・学習モデルの強みを、米国がベンチマークすることによって生まれたものである。サプライ・チェーン・マネジメントの定義は様々あり、論者により異なる。

例えば JIS Z 8141[5]には、「サプライ・チェーン・マネジメントは資材供給から生産、流通、販売に至る物又はサービスの供給連鎖をネットワークで結び、販売情報、需要情報などを部門間又は企業間でリアルタイムに共有することによって、経營業務全体のスピード及び効率を高めながら顧客満足を実現する経営コンセプト」と記載されている。

徳山ら[2]は、サプライ・チェーンとは、「原材料の調達、部品の加工、製品の組立て、倉庫や配送センターでの保管や仕分け、そして小売りを経て最終顧客に至る全てのモノの流れを、各企業や事業体の活動なりとして、すなわち「供給連鎖」として捉える考え方」であるとしている。

そして森田[7]は、サプライ・チェーンとは、企業や製品やサービスを顧客に供給するために必要な様々な活動が繋がっている状態を指すことであり、サプライ・チェーン・マネジメントはそのチェーン・システムを設計し、作り上げ、システムの稼働を計画し、稼働状況を管理することとしている。

サプライ・チェーン・マネジメントの目標はキャッシュフローマネジメントを実現するとともに、最新の情報技術（IT）及び制約理論、サプライ・チェーン計画などの管理技術に基づき、市場の変化に対してサプライ・チェーン全体を俊敏に対応させ、ダイナミックな環境のもとで部門間や企業間における業務の全体最適化を図ることである[8]。さらに、サプライ・チェーン・マネジメントは、製造業や流通業の競争優位性を左右する取り組みとも言われている[9]。

Mentzer ら[10]は、戦力的な脈絡（すなわち、統合サプライ・チェーン・

マネジメントによる顧客価値と顧客満足の実現)で効率性(すなわちコスト削減)及び効果性(すなわち顧客サービス)を実現し最終的に収益性をもたらす競争優位性を創出することにある。すなわち、サプライ・チェーン・マネジメントの目的は、コスト削減、顧客価値と顧客満足の向上、競争優位性の確保にあるとしている。

いずれにせよ、サプライ・チェーンの川上に位置する原材料メーカーから、川下の販売業者までの一連の活動を統合し、サプライ・チェーンの効率的な流れを実現することは、サプライ・チェーン・マネジメントの主要な目的であるといえる。しかし、競争力のあるサプライ・チェーンの構築には、サプライ・チェーン全体のコストを下げるというコスト削減力の向上だけでなく、需要変動などリスクへの対応力も必要となる。

ただし、サプライ・チェーン・マネジメントを実施し、激しい市場変化に対し最適化を達成することは容易なことではない。次節ではサプライ・チェーンの構築における注視すべき点についてまとめる。

2.2.2 サプライ・チェーン・マネジメントの障害

Lee [11] は、高いパフォーマンスを誇るサプライ・チェーンの性能として、迅速さ(Agile)、適応性(Adaptable)、連携(Align)の3つ挙げている。需要や供給への急激な変動へ迅速に適応する迅速さ、市場構造の変化に対応する長期的な対応を行う適応性、さらには自社の収益を上げるためにサプライ・ネットワーク内全ての企業のインセンティブ体系を整える必要がある。迅速さ、適応性、連携を備えたサプライ・チェーンは持続可能な競争優位性を企業にもたすことが出来る。これらの条件を軽視し、少しの無駄を許容することを恐れ、効率性のみの追求に偏りすぎること、需要や供給の予期せぬ変化に対応することができないと指摘している。

また、適応性は同じ業種、業態であっても企業あるいはサプライ・チェーンを取り巻く環境は常に変化していることから、サプライ・チェーン・マネジメントに完成形はなく、環境変化に合わせて適応していく必要がある。

さらに、迅速さ、適応性は、需要変動への対応はサプライ・チェーン・マネジメントを行う上で重要となるが、近年の商品サイクル短縮化により、市場動向の予測が非常に困難になり、需要予測の不確実性が増している。特に、消費財の場合にはサイズや色などの商品属性が多岐にわたるため、それぞれについて売れ行きを分析する必要がある。また、製品サイクルの短縮化と多

品種化が同時に進展した結果、市場変化が激しくなり不確実性が拡大したために、販売機会の損失や不良在庫の発生といった問題が発生する。その一方で、供給システムは大量生産システムのパラダイムから脱却できなければ、生産した製品が売れず、売れる製品は欠品になる。納期が長く顧客が待ってくれないという現象が起き、値引き、不良在庫の廃棄コストが膨大になって利益が出なくなる。その結果、キャッシュフロー効率が低下するのである。連携についてもサプライ・チェーン・マネジメントを行う上で大事となる。一般に原材料供給や製造を行う企業にとっては、大ロットで安定したペースで操業を行うことが品質安定とコスト削減の面から望ましいとされている。一方小売にとっては、変動する顧客の需要に対して柔軟に対応するためには適時適量の小口補充を受けることが重要であり、これは製造や配送の企業にとっては不利になる。このように相反する利害関係が、複雑なネットワーク構成から成るサプライ・チェーンの随所に発生する[12]。

また、サプライ・チェーンが時間遅れのある多段階ダイナミックシステムであるために生じる複雑な問題も存在する。図 2.2.1 からわかるように、サプライ・チェーンの川上から川下に向かうまでの間に多段階の意思決定によって需要予測が劣化していく危険性があるため、サプライ・チェーン・マネジメントの実現が困難になっている。例えば図 2.2.1 のような場合、各段階が個別に在庫管理行動を行い、各段階には所定の発注リードタイムと供給リードタイムが存在し、工場では所定の製造リードタイムで製品を製造とする。このような場合、顧客の需要が変動するのに対して、これを大きく上回る発注の変動が上流の段階で起こる。これはサプライ・チェーン・マネジメントを考える際に最も重要な現象の 1 つである、鞭の効果といわれるものである。鞭の効果の抑制には、各段階が需要変動情報を共有化し協調することが重要である。具体的には、情報の共有、企業間の在庫政策、価格政策、輸配送のコーディネーション、価格の安定化、過去の売り上げの実績による在庫の割当て政策の採用などの手法があるとされている[2]。

本節では、サプライ・チェーンの構築における注視すべき点についてまとめた。次節において、先に述べた、鞭の効果に関する研究についてまとめる。

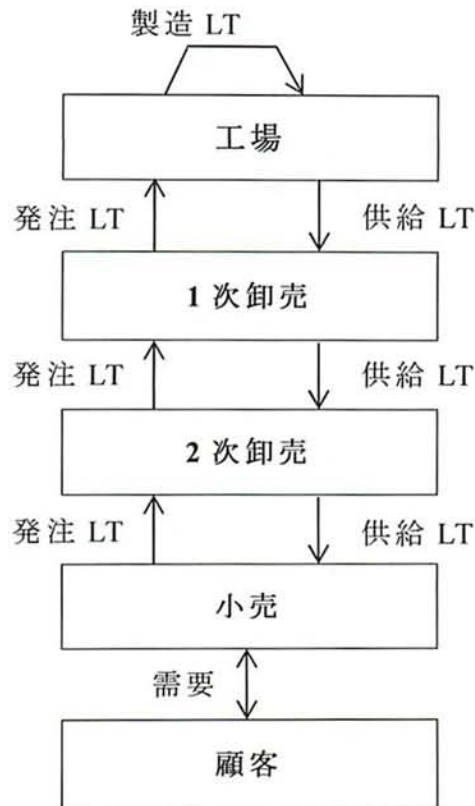


図 2.2.1 サプライ・チェーン・モデル

※ [2]を基に加筆・修正

2.2.3 鞭の効果

前節でも述べたようにサプライ・チェーンには各段階において需要と供給の関係で結ばれている。しかし、需要は不確実性をもつ場合がほとんどであり、受注生産を行える場合を除き、必要量だけを供給することは困難である。

特に需要情報はサプライ・チェーン上で川上に伝達されていくとき、各段階における意思決定の方法、リードタイムの存在、需要予測の方法など様々な要因の影響を受けて歪められ、川上段階に行くほど需要の不確実性が大きくなってしまう。この効果のことを鞭の効果という。

意思決定条件の基でこの現象が存在することを証明したのが Lee ら [13] の研究である。特に Lee ら [13] は鞭の効果の 4 つの原因を特定した。需要予測の更新、一括注文、価格変動、供給と品切れである。

一つ目の需要予測の更新についてであるが、もしサプライ・チェーンに関わる全てのメンバーが需要変動に適応し加えて、すべてのメンバーが平滑化

する技術を使って変動に反応するならば、変動はサプライ・チェーン全体で増加すると考えられる。

二つ目の一括注文については、注文過程のコストが高いならば一括注文は合理的な注文政策であるが、一括注文の効果は需要の変動性を増幅させる。

さらに、価格変動に関しては、顧客は数量割引や値引きを含む魅力的な値引きによって購買意欲を掻き立てられるとき、購買パターンは消費パターンに反映されなくなる。そして、需要が供給を越えたとき品切れがおこり、供給が需要をカバーできなくなりそうとき顧客の実需と比べて誇張し始める。

これらの4つの原因は相互に依存している。それは原因が互いに影響し合いが調整するからである。さらに、Leeら[13]は鞭の効果を減らすためにいくつかの経営慣行（需要情報の集中化など）の提案や予測方法を使った研究方法を提案している。

また、他にも鞭の効果に関する研究は多くの研究者が行っている。Sucky[14]は鞭の効果の研究は鞭の効果の定量化を目的としたもの、鞭の効果の分析、検証に焦点を当てるもの、いくつかの産業または個々の製品や企業からの多数の例から生じる鞭の効果の観察研究、鞭の効果を減らすための方法の取り組み、システム挙動のシミュレーションに焦点を当てたもの、鞭の効果の実験的検証に焦点を当てた論文を六つのカテゴリに分けることができる」と述べている。

このような鞭の効果をなくす、あるいは軽減するための一番効果的な方法は意思決定段階数を減らすことであり、それができなければ情報を共有することにより各段階の意思決定をより全体最適化に近づけるように努力することである。実需のコントロールはできないが、小売店と工場で実需を共有できれば工場の生産量も小売店の発注量程度の変動に抑えることが出来る。しかし、これは組織内での業務連鎖の視点であるが、組織間でこれを可能とするためには、情報共有によるメリットを双方でシェアできる関係の構築が必要となる。

2.2.3 サプライ・チェーン・マネジメントの事例

サプライ・チェーン・マネジメントの成功事例として、以下の3社の事例を挙げ、そのビジネスについて紹介をする。

(1) オムロン[6]

オムロンは、そのセンシング&コントロール部門を担っている IAB 事業における生産拠点を中国の上海に設立する取り組みを 2005 年から開始した。日本国内の事業所は製品開発の技術拠点とし、生産については部品調達から設計、生産までを一貫して上海で行うように変更した。これは製品の付加価値などを高めつつも生産コストを抑え、また製品の機会損失と在庫過多を抑えたサプライ・チェーンを構築するために、こうした生産拠点の整備や新システムの導入などによる工場主体の在庫管理を行い、各リードタイムの短縮や供給体制の強化を図ることで、事業の効率化を推進している。

(2) P&G (プロクター・アンド・ギャンブル) [15]

P&G は、大きな食料品日曜雑貨店と量販店に対して在庫を管理している。P&G の顧客担当サービス担当者は、日々の基本的な商品補充を、商品の動きや在庫と短期予測をベースにして、小売物流センターでの商品の動きを監視するために CRP (Continuous Replenishment Program) を活用している。これは、従来の小売店が各種情報や経済性に基づいた発注から、需要予測を加味した商品補充へと商品補充プロセスを変革するものである。このシステムの導入により、顧客サービス担当者は販売促進のための補充よりもさらに正確に予測するために、小売店と密接な協力関係を維持することができている。

(3) トヨタ自動車[15]

トヨタ自動車は、トヨタ生産システム(JIT)を用いている。これは、リードタイムを徹底的に管理し、在庫、リードタイム、補充、品質などの無駄を排除する戦略である。トヨタ自動車は、必要な部品や資材を必要な場所に必要となときに必要なだけ供給するために、発注指示票としてカンバンを利用している。すなわち、サプライヤーや上流工程との間で必要とされる部品や資材の納入数量、日時を指定する。従ってこの生産システムは、カンバン方式とも呼ばれることがある。トヨタ自動車が現在世界トップの自動車メーカーであるのは、こうした生産マネジメント活動の強化と推進による、短納期生産、段取り時間の最小化、ロットサイズやリードタイムの短縮化、品質改善やサプライヤーとのパートナーシップ化などが貢献してきたことは有名である。

以上がサプライ・チェーン・マネジメントで成功した企業の事例である。他にもデルや ZARA、花王、ライオン、TOYOTA、コカ・コーラなど様々な

業界や企業で、サプライ・チェーン・マネジメントが導入されている。その一方で、成功と同様にサプライ・チェーン・マネジメントを行う上で失敗事例もある。

例えば、FoxMeyer 社の事例では、新しい自動倉庫システムと ERP システムの導入をすることで、多大なコスト削減を行える予定であった。しかし、システムは全く機能せず、むしろ多大な損失を被ることとなった[16]。昨今、IT 技術は飛躍的に成長しており、様々なパッケージソフトも販売されている。先にも述べたようにサプライ・チェーン・マネジメントの成功には情報共有が必要になるが、これは IT 技術の導入だけでこれが行えると考えたために機能しなかったと考えられる。一部の効率化を図るのではなく全体の効率化やさらには、部門間のコミュニケーションが重要となることが、この失敗事例からもわかる。

ここまでは、本研究の基礎概念となる、サプライ・チェーン・マネジメントについてまとめた。次節ではクローズド・ループ・サプライ・チェーンについて述べる。

2.3 クローズド・ループ・サプライ・チェーン

2.3.1 はじめに

前節でも述べたようにサプライ・チェーン・マネジメントを取り入れている企業は年々増加し、サプライ・チェーン・マネジメントは企業にとって不可欠なものになってきている。さらに、このサプライ・チェーン・マネジメントは商業的なものだけではなく、人道支援の場面においても行われている。このように様々な場面で活用される SCM の概念であるが、多くの企業がサプライ・チェーンを行えばさらなる競争の激化が予想される。そこで企業の社会的使命を果たし、さらに差別化を図るべく、クローズド・ループ・サプライ・チェーンを推奨する。

昨今、地球温暖化のニュースをよく目にするが、企業はこの環境問題に配慮したモノづくりを求められている。本章では、社会の環境に対する意識の変化と、循環型社会について説明する。その後、循環型社会構築に期待される、クローズド・ループ・サプライ・チェーンの概要、課題について記す。

2.3.2 循環型社会

近年、二酸化炭素による地球温暖化問題、原油価格の上昇とピークオイル論が引き金となった原油枯渇説、レアメタルに代表される希少資源問題など、「有限の地球観」が必要とされる事象が顕在化してきている。このような事象すべてが十分な科学的根拠があるわけではないが、世界全体が 20 世紀後半の先進諸国の成長を続けていくことは不可能に近いと考えられる。

すなわち今後の成長は、従来型の生産・消費・廃棄を繰り返すのではなく、持続可能性を担保したうえで成り立つと考えられる。

環境問題に対する意識は大きく高まっているが、その背景には、地球温暖化や、それに伴う異常気象、また消費活動の結果として排出される産業廃棄物の環境への悪影響がある。産業革命以降、近代工業が発達し、地球資源の発掘によって化石燃料である石油エネルギーが大量に消費されてきた。また、高度経済成長期においては、環境問題に対する意識が低く、環境への負荷を無視した大量生産・大量消費の経営が行われ、また消費者により大量廃棄が行われた。その結果、廃棄物による大気汚染や水質汚染、生産過程において排出される二酸化炭素等の温室効果ガスによる地球温暖化が大きな問題となった。

そして、大気汚染や水質汚染が引き起こす自然界の生物、または人体への影響や、地球温暖化による水位上昇等がニュース・新聞で報道されることにより、環境問題への意識は次第に高まることとなった。

このような社会の構造を根本的に変え、自然界から採取する資源をできるだけ少なくし、それをリサイクル等によって有効に使うことによって、廃棄されるものを最小限におさえる社会へと転換しようとして打ち出されたのが「循環型社会」である。日本ではこの循環型社会実現に向けて、2001 年に循環型社会形成推進基本法が施行された。この法律の目的は、廃棄物の発生量の膨大、廃棄物の最終廃棄場の確保の困難、不法投棄の増大などの問題から、廃棄物・リサイクル問題の解決のため「大量生産・大量消費・大量廃棄」型の経済社会から脱却し、環境への負荷が少ない「循環型社会」の形成を推進するとともに、循環型社会の形成について、基本原則を定め、並びに国、地方公共団体、事業者及び国民の責務を明らかにし、現在及び将来の国民の健康で文化的な生活の確保に寄与することである。そして、この法律は従来のリサイクル対策（廃棄物の原材料としての再利用対策）の効果に加えて、リデュース対策（廃棄物の発生抑制対策）およびリユース対策（部品等の再使

用対策)を本格的に導入し総合的な資源有効利用対策の推進を図ることを目的としている。リサイクル、リデュース、リユース(3R)を推進することで循環型社会の形成を実現しようとするものである。

さらには、資源の有効な利用の促進に関する法律(資源有効活利用促進法)、特定家庭用機器の再商品化に関する法律(家電リサイクル法)、使用済自動車の再資源化等に関する法律(自動車リサイクル法)、使用済小型電子機器等の再資源化の促進に関する法律(小型家電リサイクル法)などが成立・施行されるようになり、日本社会の循環型社会への変遷がうかがえるようになった[1]。

循環型社会形成推進基本法には拡大生産者責任(Extended Producer Responsibility : EPR)という考え方が取り入れられ、これは経済協力開発機構(OECD)加盟国政府に対するガイダンス・マニュアルに策定されている。この考えは、生産者に製品のライフサイクルにおける責任を課すことで、製品から発生する環境負荷の低減を目指す戦略である[1]。具体的には、製品設計の工夫、製品の材質・成分表示、一定製品について廃棄等の後に生産者が引き取りやリサイクルを実施することなどが含まれ、企業・メーカーは自社の事業を、自然と共生できる社会や持続可能な社会の構築といった社会的課題の解決に導くことが強く望まれている。

こういった環境への意識は諸外国にも広がっている。特にドイツ人の環境意識は高く、国も「環境先進国」として各国の模範とされ、高い環境意識を持つ国民は有権者として政党にプレッシャーをかけ、1972年に廃棄物を規制する「廃棄物処理法」が制定から始まり、政権政党は厳しい環境関連立法で主として産業界に規制をかけている。また、EU全体で見ても WEEE 指令が 2003 年に施行されてからは、より一層厳しい環境対応が社会的に求められている[17]。

この持続可能な社会構築のための方策として、循環型生産システムが重要視されている。循環型生産システムは、廃棄される製品を回収して新しい製品の生産に活用するといったシステムであり、このシステムの確立が望まれている[18]。図 2.3.1 に循環型生産システムの概要を示す。

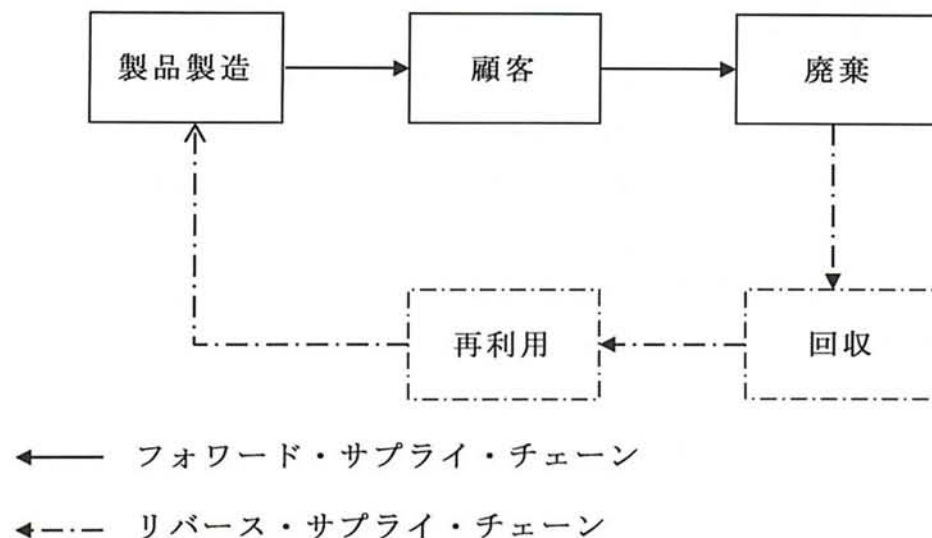


図 2.3.1 循環型生産システムの概要
 ※有光ら[18]を基に加筆・修正

廃棄される製品量を削減することと、資源の消費量を削減するという観点から、循環型生産システムの構築は今後ますます重要になると考えられる。企業・メーカーは、自社の事業を製品・サービスに関わる資源の採取から設計、製造、使用、廃棄、提供といった各段階を通じての投入資源，あるいは排出されるものによる環境負荷や、地球や生態系への負担を出来るだけ減少させる必要がある。

現在、電気機器や電子機器のような新しい製品・製品グループ・廃棄物のフローへと拡大している。さらに、使用済み製品を使った、新たなビジネスモデルが生み出されている。次節では循環型生産システム確立に期待されるクローズド・ループ・サプライ・チェーンについてまとめる。

2.3.3 クローズド・ループ・サプライ・チェーン

地球環境問題や資源枯渇問題への対応は真に豊かに安心できる暮らしを得るために避けては通ることができない。現在は、物が有り余るといった供給過剰時代である。さらに市場の成熟化に伴い、消費者のニーズはますます多様化し、多品種少量生産が求められ、そのため企業もその要求に対応せざるを得なくなった。2.2.2 節で述べたようにサプライ・チェーン・マネジメントはこうした時代の変化に対応するためにサプライ・チェーン全体での最

適化を目指した。ただ、サプライ・チェーン・マネジメントはあくまでもサプライヤーから最終消費者に至るサプライ・チェーン内での最適化である。つまり、物を作り、それを売るといった、あくまでも企業側の論理を最優先にし、彼らの利益のみを追求した経営戦略論である。

しかし、サプライ・チェーンを構成する個々の企業は必ず廃棄物を発生させている。例えば商品を梱包する段ボールは、供給者である生産者が商品を梱包する際使用するが、廃棄するのは消費者である。現在の環境問題を考えると、サプライ・チェーン・マネジメントの領域においても一方通行的な発想ではなく、リサイクルも含めた「環境の適合化」が必要である。

ここで重要となるのが、従来のサプライ・チェーン・マネジメントの対象であるフォワード・サプライ・チェーンに加え、リユース、リサイクルを考慮したリバース・サプライ・チェーンをもつクローズド・ループ・サプライ・チェーンであると考えられる。

今までのサプライ・チェーン・マネジメントでは、生産・流通・消費・廃棄といった流れを対象としてきた。この流れをフォワード・フローとする。しかし、循環型生産システムの構築を考慮すると、今までのようなサプライ・チェーンの捉え方だけでは十分であるとは言えない。生産・流通・消費・廃棄の流れのあとに、回収・再生産・流通といった流れを付け加える必要がある。この回収・再生産・流通といった流れをリバース・フローとする。今までの、生産を行い消費者に商品を提供する流れと、消費者から廃棄された商品を回収、再生産する流れが一体となり、閉じた循環をなすサプライ・チェーンをクローズド・ループ・サプライ・チェーンと呼ぶ。

2.3.4 クローズド・ループ・サプライ・チェーンの事例

製品は採取された資源とエネルギーを投入して製造した素材に、エネルギーとコストを投入して製造され、消費者によって使用される。その製品はやがて使用済み製品として使用者の手を離れる。使用済み製品はその後、製品リユース（自動車の場合中古車）、状態の良い部品がリユースされたり（部品リユース）、あるいは鉄や銅、希少金属などのマテリアルレベルでリサイクルされたり、それ以外は廃棄され埋め立てられる。メンテナンスによる製品の長寿命化も含めて、リサイクル・リユースをいかにして適切に実現していくかが求められている[19]。

本論文では市場から回収した製品を分解、検査、洗浄、修理及び再組立て

を含む大規模なプロセスで再生することを再製造という。再製造は一部の領域ではすでにビジネスとして成立しているが、その他の製品領域では限定的である。この原因の一つとして、製品は陳腐化によって、たとえ再生されたとしても市場価値を失ってしまうことがある[23]。

現在、クローズド・ループ・サプライ・チェーンに取り組んでいる業界・企業は増えてきている。しかし、クローズド・ループ・サプライ・チェーンには課題も多く、なかなか成立しないことが多いのが現状である。そこで、成功企業の事例として複写機・複合機メーカーを取り上げる。複写機・複合機メーカーは企業向けに事業を展開しているため、製品の販売状況を把握し、高い回収率を維持することが出来、クローズド・ループ・サプライ・チェーンの構築に成功している。ここで例、富士ゼロックスとリコーの例を挙げる。

(1) 富士ゼロックス[20]

富士ゼロックスは使用済みの商品も廃棄物ではなく資源として捉え、部品リユースや再資源化を行い、環境負荷軽減に貢献するという考え方に立って、商品の企画の段階から、回収・リサイクルまで資源の有効利用を目指した活動を行っている。そしてCSR（企業の社会的責任）の取り組みの一つとして資源循環システムがあげられる。このシステムの特徴として、使用済みの商品を回収し、選別した部品を厳格な品質保証に基づき循環させるクローズド・ループ・システムを根幹に、部品の再利用を前提に環境負荷の少ない商品作りを目指すインバース・マニュファクチャリング（逆工場）、再使用できない部品を分別・資源化し、資源として徹底的に活用するゼロエミッションの3つがあげられる。

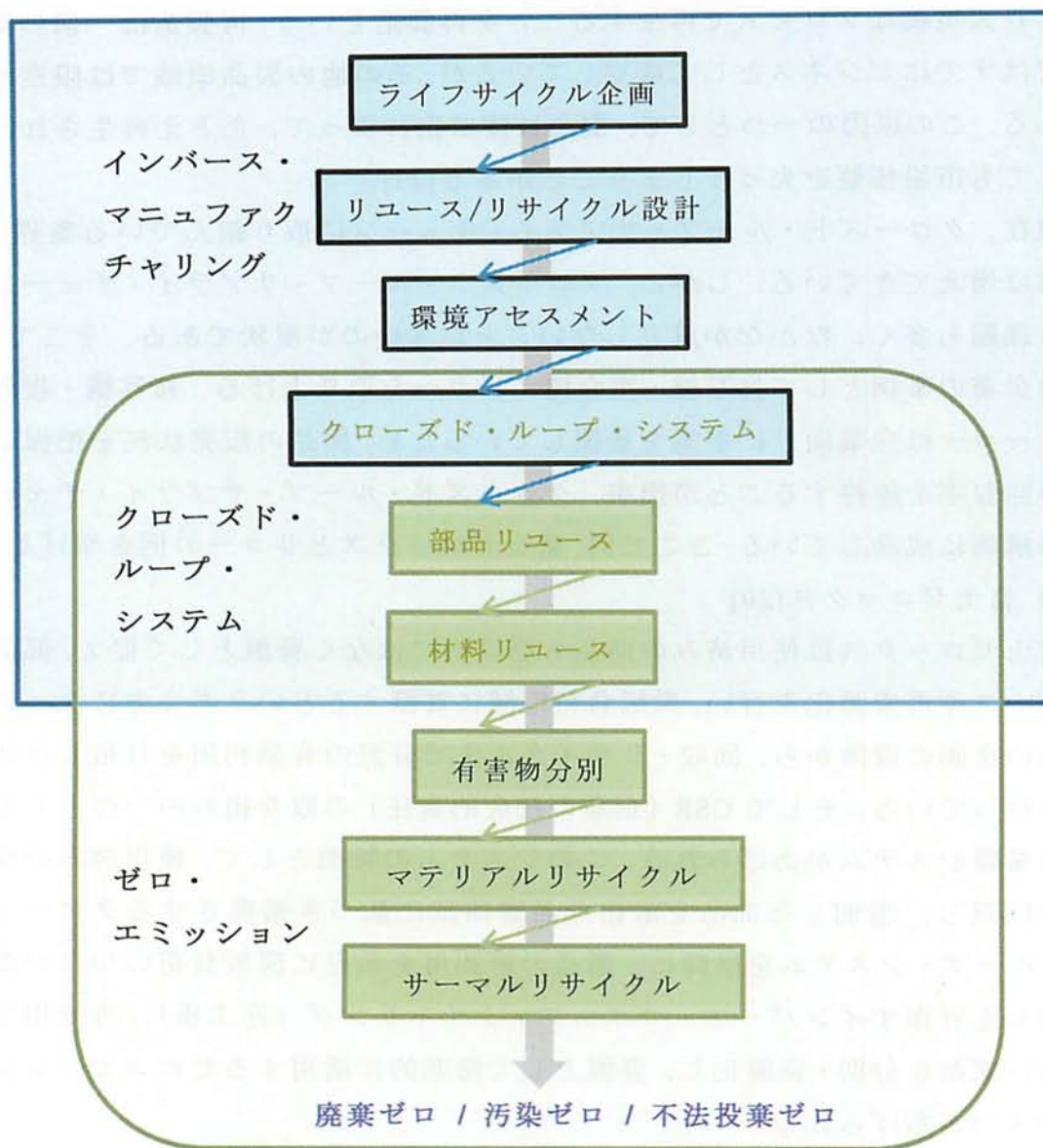


図 2.3.2 富士ゼロックスのクローズド・ループ・システム

※[20]を基に加筆・修正

インバース・マニユファクチャリングは、部品の再使用を前提としたライフサイクル企画、使用部品の拡大のためのリユース/リサイクル設計、環境負荷の少ない商品作りを目指す環境影響アセスメントをモノづくりの上流で行っている。このライフサイクル企画では、使用期間が3～5年と予想される複写機は、回収されるまでの間に機種の世界交代が予想される。リユース部品を効果的に使用するために、後続機の部品として再使用できるような多世代に亘る企画を行っている。

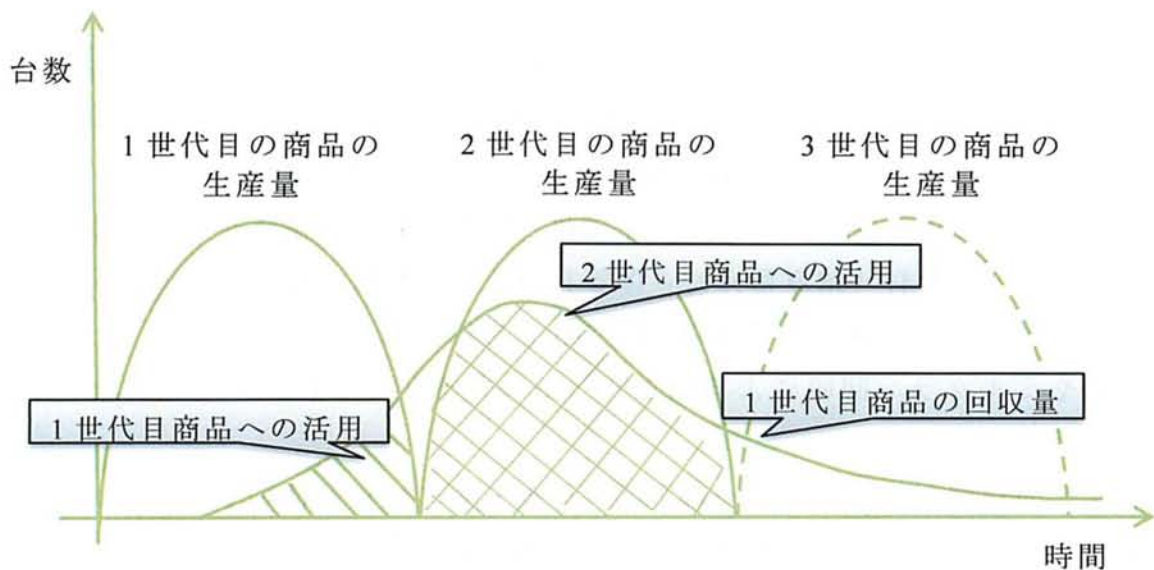


図 2.3.3 3 世代にわたる部品リユースモデル
※[20]を基に加筆・修正

資源循環システムの根底となるクローズド・ループ・システムは、部品のリユースを最優先にしており、これを実現するために、部品の寿命予測するワイブル解析や機械の分岐調査などを行い、ひとつひとつの部品の寿命を徹底的に把握し、リユースを可能とする選別技術、洗浄技術があることから新部品と同等の品質を保証できるようになっている。

ゼロエミッションは、廃棄ゼロ化に向けた活動であり、ここでも部品のリユースを最優先にしている。再使用できない部品は再資源化工程で分別し、再資源化される。これまで再資源化率が低かったガラス・ゴム系も資源として活用されている。

このように、富士ゼロックスではリユース部品を新部品と区別することなく使用することにより、新しい資源の使用をできるだけ抑え、環境負荷軽減に貢献している。近年はグローバル企業として国際資源循環システムを構築し事業展開する地域全体で、日本と同等のリサイクルシステムを構築している。富士ゼロックスでは、リユース部品を使った商品は中古機として売り出さず、新品同様のメーカー保証をしている。

(2) リコー[21]

リコーでは 3R の取り組みに対してライフサイクルやサプライ・チェーン全体に着目した取り組みを行っている。調達物流、生産物流、販売物流においても CO₂ およびコスト削減の視点によるサプライ・チェーン・マネジメントを展開している。リコーグループでは、物流プロセス全体を見て「包装」、「輸送」、「空間」、「積み替え」、「保管」の 5 つの無駄の視点を切り口に、包装材の見直しや混載による積載効率向上、倉庫間物流のモーダルシフト、直送化やミルクラン回収による輸送ルート最適化などの活動をグローバルで進めている。

具体的な例として、リコーは、デジタルモノクロ複合機の新製品は、使用済みの製品を回収し、先進技術によって再生処理を行った、リコンディショニング (RC) 機である。リユース部品の使用率は質量比で平均 85% を達成し、製造工程における二酸化炭素の排出量は新造機と比較して約 97% 削減するなど環境負荷の低減を実現している。またリユース部品を使用しながら、新造機と同等の品質検査をクリアしている。

リコーの近年の取り組みとして、リコーは更新時に回収した古いコピー機を日本などから中国に運び、再生機として組み立てなおして販売する体制を整えている。従来は日米欧で地域ごとに完成されていた再生サイクルを、国境を越えて広げる。企業の社会的責任やイメージ向上の目的に加えて、一定の収益も見込める。まず、日本から中国にコピー機を運び、分解・選別を施した上で、足りない部品は新品を使いながら再生機を量産する。中国では再生した複合機を 3 年後に 1 万台販売する計画。世界では 3 割増の年 8 万台を目指す。

分速 60 枚の高速機を再生して販売する。再生機の価格は新品に比べて数割安いことが多い。リコーは中国ではオフィス向けに新品を販売しているが既存の顧客層とは重ならないとみる。日本では更新時などに約 90%、欧州でも 70% を自社で回収している。ただ再生機の需要があまり多くないときもあり、回収した製品の有効活用には課題があった。

中国では更新を迎えた複合機が少なく、再生機の生産をしていなかったが、ニーズは高まってきた。欧米からお使用済みコピー機を運ぶことも検討している。再生機は価格の安さに加え、環境意識の強い先進国では政府調達などで需要があり、リコーは年 6 万台規模を販売している。従来は各地域で回収、再生、販売のリサイクルを行っていたが地域を越えた循環システムを作るこ

とで再生率を高めることが期待される[22].

富士ゼロックスでは、リユース部品を使った商品は中古機として売り出さず、新製品に使用し、この新製品を新品同様のメーカー保証をしているのに対して、リコーではリユース部品を使った商品は中古機（RC 機）として売り出している。具体的な例として、リコーは、デジタルモノクロ複合機の新製品として、「imagicMP 7501RC シリーズ」など、2 シリーズ 4 モデルを発売した。これらの新製品は、使用済みの「imagic MP 7501 シリーズ」などを回収し、先進技術によって再生処理を行った、リコンディショニング（RC）機である。リユース部品の使用率は質量比で平均 85%を達成し、製造工程における二酸化炭素の排出量は新造機と比較して約 97%削減するなど環境負荷の低減を実現している。またリユース部品を使用しながら、新造機と同等の品質検査をクリアしている。

2.3.5 クローズド・ループ・サプライ・チェーンの課題

クローズド・ループ・サプライ・チェーンにおける課題の代表的なものをまとめる。図 2.3.4 に示すようにクローズド・ループ・サプライ・チェーン構築には数多くの課題が存在する。以下に代表的なものを挙げる。

(1) 製品寿命、価値の陳腐化

クローズド・ループ・サプライ・チェーンの成立は、製品そのものの特性に依存しているケースが多い。物理的寿命の短いものは一般的に再製造が難しいといわれている。また、時間経過につれて価値の陳腐化はしばしば生じる。価値の陳腐化が大きい製品はたとえ再生されても消費者が購入しない場合がある[23]。再製造やリユースに使用するのならば、長期間にわたり製品は使用される。それに耐えうる製品耐久性を追求しない限り、再製造ビジネスは成り立たない[24]。

(2) 使用済み製品の回収

再製造を行うためには企業が使用済み製品を回収することが可能である必要がある。回収システムをいかに行うかが再製造を行うビジネス構築の重要な鍵となる[23]。回収率、回収量が安定しない場合、製造段階でばらつきが大きくなりコストが高くなってしまう。さらには、回収製品の品質はコストに大きな影響があることが考えられ、せっかく回収した場合でも廃棄量が多くては再製造ビジネスとしては成立しない。こういった観点からも、回収

製品の分解のしやすさや、部品の耐久性は重要となる。

(3) 消費者受容性

ここまでに挙げた例は供給側からの色合いが強いが、需要側からの受容性も重要な要件である。最終的には需要者が再製造製品を求めるかが再製造市場の成立の可否を決める。再製造製品が消費者から十分に認識されていない場合や、信頼感を持たれていない場合がある。これは市場拡大の障害になっていることもある。供給する企業側の広報の努力や品質管理の強化などし、消費者の受容性を高めることが必要となる[23]。

(4) 新製品との競合性

企業が再製造を行うポテンシャルを持ちながら再製造を行わない場合がある。その理由の一つとして、企業にとって新製品販売の方が再製造品販売よりも利益が大きい場合や、新製品市場に再製造品市場が影響を与える場合が挙げられる。この問題については第3章でさらに詳細に考える。

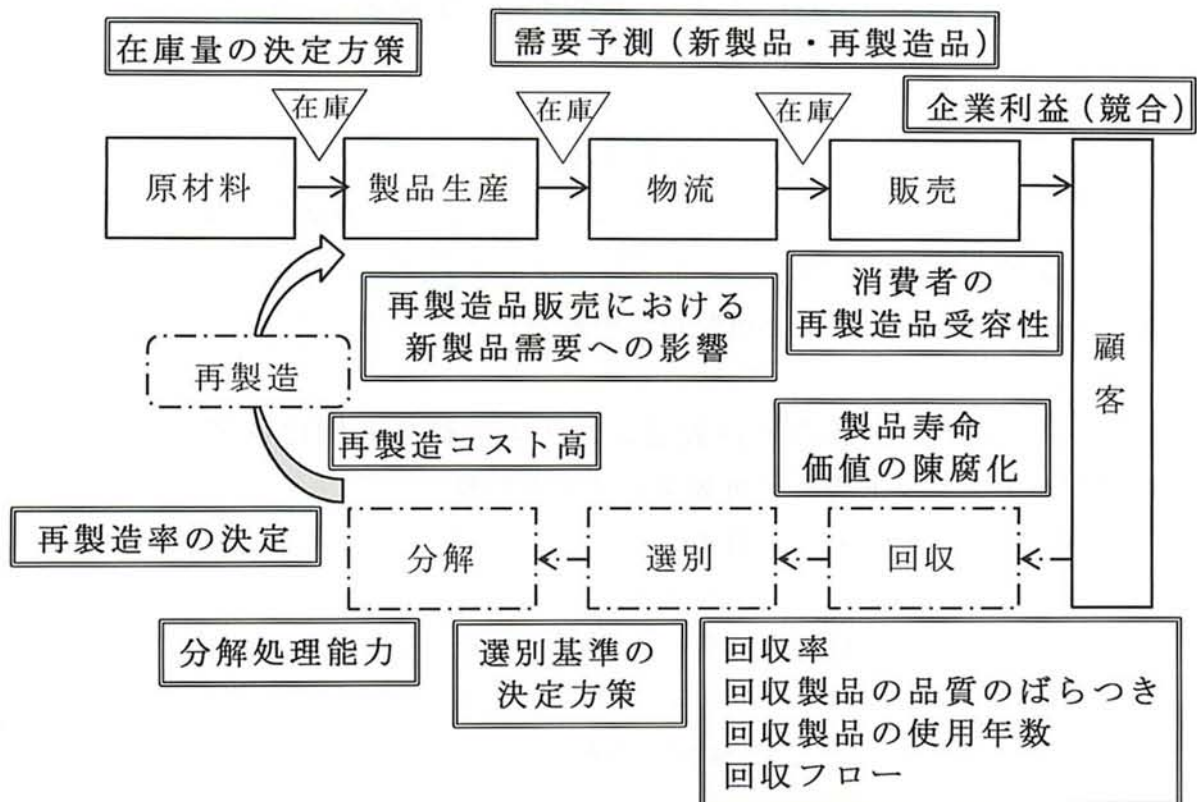


図 2.3.4 クローズド・ループ・サプライ・チェーンにおける課題

※[30]を基に加筆・修正

2.4 おわりに

本章ではサプライ・チェーン・マネジメントの概要についてまとめるとともに、循環型社会構築に期待されるクローズド・ループ・サプライ・チェーンの概要、課題について述べた。次章ではクローズド・ループ・サプライ・チェーンの枠内に含まれており、製品生産を行う際に、新製品のみではなく再製造品も生産するハイブリッド生産システムについて述べる。

第3章 ハイブリッド製造／再製造システム

3.1 はじめに

本章ではクローズド・ループ・サプライ・チェーンに含まれるハイブリッド製造／再製造システムについて述べるとともに、関連研究を紹介する。その後、第2章で述べたクローズド・ループ・サプライ・チェーンにおける課題の一つである、新製品と再製造品の競合についてまとめる。

3.2 ハイブリッド製造／再製造システムの概要と関連研究

3.2.1 ハイブリッド製造／再製造システムの概要

ハイブリッドとは英語の Hybrid である。意味としては混血、混成物、混種語が挙げられる。近年、ハイブリッド米、ハイブリッドカー、ハイブリッド経営、ハイブリッド携帯などハイブリッドという言葉をよく目にする。アナログとデジタルでハイブリッドコンピュータ、ガソリンエンジンと電気モータでハイブリッドカー、異属間の交配によって生じたハイブリッド米といった例に見られるように、観点の異なる2つのものや考えを結合することによって、より性能の良い新しいものが生み出される[25]。

ここで、本研究におけるハイブリッド製造／再製造システムについて説明する。ハイブリッド製造／再製造システムは、クローズド・ループ・サプライ・チェーンの枠内に含まれており、製品生産を行う際に、新製品のみではなく再製造品も生産するシステムのことを示す。次節で、ハイブリッド製造／再製造システムに関する研究を紹介する。

3.2.2 ハイブリッド製造／再製造システムにおける関連研究

多くの研究者がクローズド・ループ・サプライ・チェーン及びハイブリッド製造／再製造システムに関する研究を行っている。Neto ら[26]は支払意志額とエネルギーの観点から新製品と再製造を比較し、パソコンと携帯電話産業における再製造の有効性と環境効率について検討している。Wang[27]はシステムの総コストを最小化することを目的として、確率的需要と回収率を持つ短いライフサイクルのハイブリッド製造/再製造システムについて研究した。Umeda ら[28]は製品リユースを考える上で、リユース可能性の上限を表す「限界リユース率」を示し、定式化を行っている。この限界リユース率を用いてリユースの実現可能性を分析し、リユース可能性を高める方法を示し

ている。Kenne ら [29]はランダムな故障や修理に依存する機械を使ったクローズド・ループ・ネットワーク内の製造と再製造の組み合わせを含む単一の製品の生産計画や制御について扱った。消費者が従来通りライフサイクルの最後に製品を廃棄するが、使用済み製品の再生が廃棄よりもより魅力的で経済的になる可能性があるため、製品の再製造による持続可能な開発の目標を追求している。この論文では、製造と再製造のための保持と在庫の合計の最小化のための製造と再製造の政策を提案している。

上記のように様々な視点からクローズド・ループ・サプライ・チェーン及びハイブリッド製造／再製造システムに関する研究は行われている。ここで、本研究において特に、関わりの強い研究をまとめる。

(1) 新部品とリユース部品を使用したハイブリッド生産モデル[30]

大下はカスケード・リユースを考慮したハイブリッド・モデルを提案している。カスケード・リユースとは、リユースをする部品の品質の劣化はなく、製品のグレードの低下を考慮したリユースのことをいう。ここでのグレードとは、製品の等級を表し、カスケード・リユースとは、販売当時は最も機能が高く、機能重視の顧客に使用された製品から取り出されたリユース部品を、機能が一番高くはなく、価格重視の顧客が使用する現行の製品を生産するのに割り当てるといった流れのリユースを意味する。

大下の研究の目的は、クローズド・ループ・サプライ・チェーンを構成する生産拠点で、グレードの異なる製品を生産する場合に、総コストが最小となる新部品とリユース部品の最適発注量を求めることである。製品の在庫保管コストや機会損失コスト、また部品の発注コストを考慮し、総コストが最小となるときには、新部品とリユース部品のどれだけ発注するのがよいか、新聞売り子問題として定式化し、最適な発注量を求めている。図 3.2.1 で大下のモデルを示す。そのとき記号を以下のように定義している。

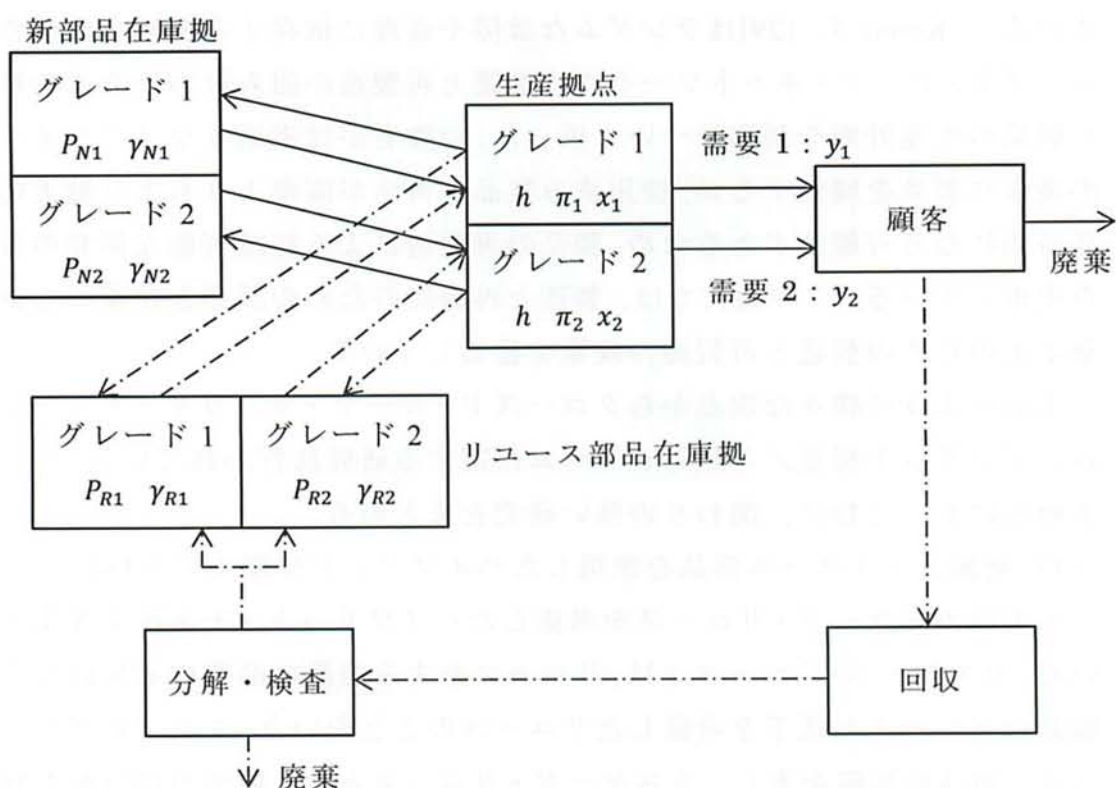


図 3.2.1 カスケード・リユース・モデル

※[30]を基に加筆・修正

記号

y_i	グレード i 製品の需要 ($i=1, 2$)
$f(y_i)$	グレード i 製品の需要の確率密度関数
$F(y_i)$	グレード i 製品の需要の分布関数
P_{Ni}	単位グレード i 新部品あたりの価格
P_{Ri}	単位グレード i リユース部品あたりの価格
w_{Ni}	生産側から新部品供給側へのグレード i 部品の発注量
w_{Ri}	生産側からリユース部品供給側へのグレード i 部品の発注量
h	単位製品あたりの保管コスト
π_i	グレード i 製品の機会損失コスト
y_{Ni}	生産拠点に供給できるグレード i 新部品の最大量
y_{Ri}	生産拠点に供給できるグレード i リユース部品の最大量
x_i	生産拠点におけるグレード i 製品の手持ち在庫量

生産拠点では、部品の発注コスト、製品の在庫保管コスト、機会損失コストが発生し、これらの合計を総コストとし、新聞売り子問題の考え方を応用して、総コストを目的関数として設定している。

この研究では、新部品とリユース部品を用いたハイブリッド・システムとなっている。本研究では、新製品と再製造品に対するハイブリッド・システムを提案したい。そのため Gallo ら[31]の研究に着目する。

(2) 新製品と再製造品におけるハイブリッド・システム[31]

Gallo らの研究では、新製品と再製造品のハイブリッド・モデルについて研究している。この論文におけるモデルの特徴として図 3.2.2 のように再製造品を扱う第 2 市場が存在する。顧客から使用済み製品を回収し品質によって 3 つに選別する。品質の最もいいランクに選別されたものは軽度の再製造を行い第 2 市場で販売される。その他のものは品質の状態に合わせ再製造され新製品と組み合わせられて、第 1 市場で販売される。第 1 市場では新製品を値段 (P) で、第 2 市場では再製造品を安い値段 (p) で販売する。回収率、品質の配合率、設備の平均稼働率を組み合わせた異なったシナリオで市場に製品を供給するときのハイブリッド・システムの利益に影響する要因を特化する。このとき、第 2 市場へ供給する回収製品の再製造の利益性を示し、値化している。さらに第 2 市場の最小売値についても考察されている。

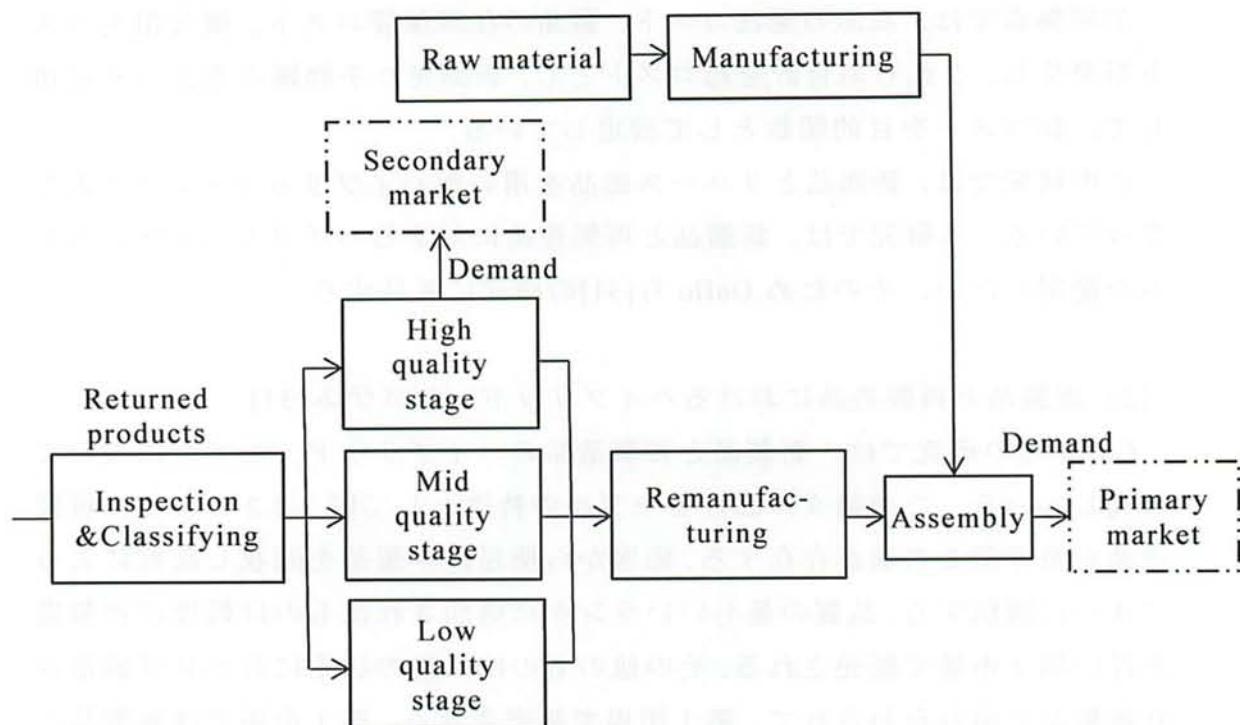


図 3.2.2 回収製品の品質に着目したハイブリット・システム

※Gallo ら[31] の研究を基に加筆・修正

Gallo らの研究では異なる市場に再製造品と新製品を販売し、その中で第 2 市場には再製造品のみを販売した。つまり、第 2 市場には再製造品のみが販売されている。この研究を基に、回収製品を品質ごとに選別し、再利用にも着目したのが佐々木[32]の研究である。

(3) 再利用品と再製造品を含むハイブリッド製造／再製造モデル[32]

佐々木は新製品と再製造におけるハイブリッド・モデルに加えて再利用に着目した。佐々木の研究におけるモデルでは、顧客に提供される最終製品は、原材料から部品まですべて新しいものを使用して作られた新製品製造による新製品と、顧客によって使用された使用済み製品を回収して再び製品として販売するためのプロセスを加えた製品である再利用品、再製造品を考慮したものである。

顧客に渡った最終製品は使用され、その後顧客の手を離れ、廃棄もしくは回収される。回収された使用済み製品は、選別し、再利用品として利用するために洗浄するか、再製造品として利用するために分解・検査するか、もし

くは廃棄される。

図 3.2.3 のように示される，このモデルにおける新製品，再利用品，再製造品の語彙の定義は以下のようにになっている。

- ・新製品

原材料，部品すべて新しいものを使用して製造した製品。

- ・再利用品

市場から回収した製品のなかで使用期間が短いもしくは展示品，多少の不具合で返品された製品を一部修繕，洗浄し，新品同様に市場で販売する製品。軽度の再製造品と考える。

- ・再製造品

市場から回収した製品を分解，検査，洗浄，修理及び再組立てを含むプロセスで再生した製品。

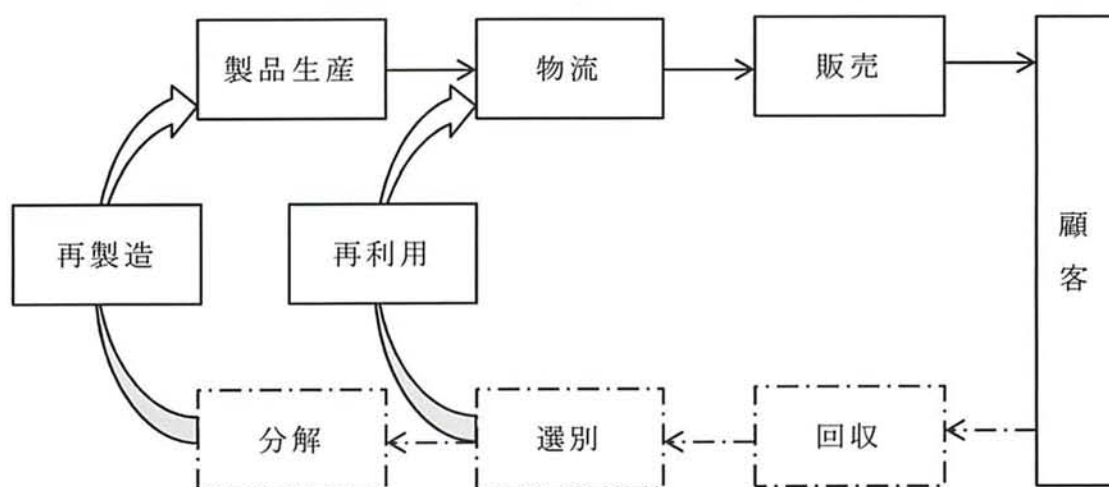


図 3.2.3 再利用と再製造を考慮した生産システムの流れ

※[32]を基に加筆・修正

ここで、この研究は他の多くの研究で考えられている回収した使用済み製品を再製造品としてのみ利用するのではなく、再利用品としても利用している。さらに、再利用品は新製品と同等のものとして扱っている。新製品と再利用品の売価と再製造品の売価、及び需要は異なる。つまり、再製造品は新製品より安値であり、再製造品として顧客へ販売される。それぞれ回収・選別する際には回収・選別コストが、回収製品を再利用する際には洗浄コストが、製品を再製造する際には分解・検査コスト、再製造コストが発生する。これらを含んだものを定式化し利益を求めている。図 3.2.4 で提案されているモデルを示す。

また、企業ごとに回収される量、また回収される量の違いにより再利用される量、再製造される量が異なる。提案したモデルの中で総利益に回収率、再利用率、再製造率の変化とともにどのような影響があるのか数値実験を通して検討している。そのとき、パソコンの普及台数が増加していることで、今後廃棄物量が増加することや、循環型社会推進基本法が施行されパソコン回収機会が増加することなどを理由に、パソコンを想定した数値実験を行っている。

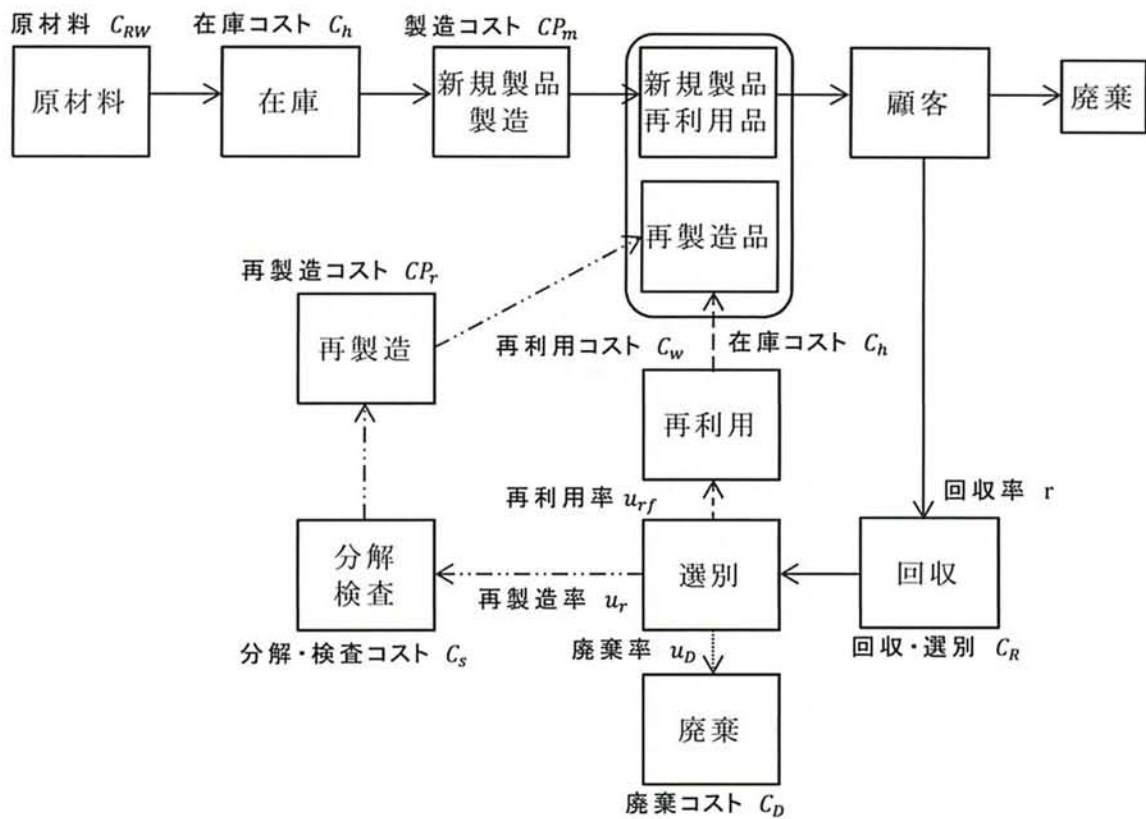


図 3.2.4 再利用を考慮したハイブリッド製造／再製造システム

※[32]を基に加筆・修正

ここで、モデルで使われたパラメータを以下に示す。

パラメータ	
Π	総利益
P_1	新製品・再利用製品の売値
P_2	再製造品の売値
d_1	顧客の新製品・再利用品の需要量
d_2	再製造品の需要量
C_{RW}	原材料コスト
C_R	回収・選別コスト
CP_r	再製造コスト
CP_m	製造コスト
C_D	回収品の廃棄コスト
C_h	在庫コスト
C_b	バックオーダーコスト
C_w	洗浄コスト
C_s	分解・検査コスト
RW	原材料到着量
R	回収品到着量
N_D	回収品の使用不可製品の廃棄量
変数	
r	使用済み製品の回収率
u_{rf}	再利用率
u_r	再製造率
u_D	廃棄率

この研究の課題として、新製品需要と再製造品需要をそれぞれ独立にして考えている。つまり、再製造品販売における新規製品需要への影響が考慮されていない点が挙げられる。

(4) 再製造品販売における新製品需要への影響

第2章で述べたように、クローズド・ループ・サプライ・チェーンの確立には多くの課題が存在する。

企業が再製造を行うポテンシャルを持ちながら再製造を行わない理由の一つとして、企業にとって新製品販売の方が再製造品販売よりも利益が大きい場合や、新製品市場に再製造品市場が影響を与える場合が挙げられる。つまり、新製品需要と再製造品需要の競合性である。ここで、再製造品販売による新製品需要への影響について考える。

まず、Souza[24]の研究についてまとめる。Souzaはこの論文でネットワーク設計など戦略的な問題と、使用済み製品の使用と処分について戦術的な問題に焦点を当て、クローズド・ループ・サプライ・チェーンにおける文献の論評を行っている。

その中で再製造品販売における効果は二つの場合に分けられると述べている。一つ目は Market expansion 効果 (Market expansion effect: 市場拡大効果) である。これは、低価格の再製造品が新製品の購入を望んでいない消費者にまで購入意欲をもたらし、市場が拡大することを意味する。二つ目は Cannibalization 効果 (Cannibalization effect: 共食い効果) である。これは再製造品を販売することで、新製品を購入していただろう消費者のなかで再製造品へ切り替える者もいるため、新製品需要に影響を与えることを意味する。図 3.2.5 で Market expansion 効果、図 3.2.6 で Cannibalization 効果の概略図を示す。

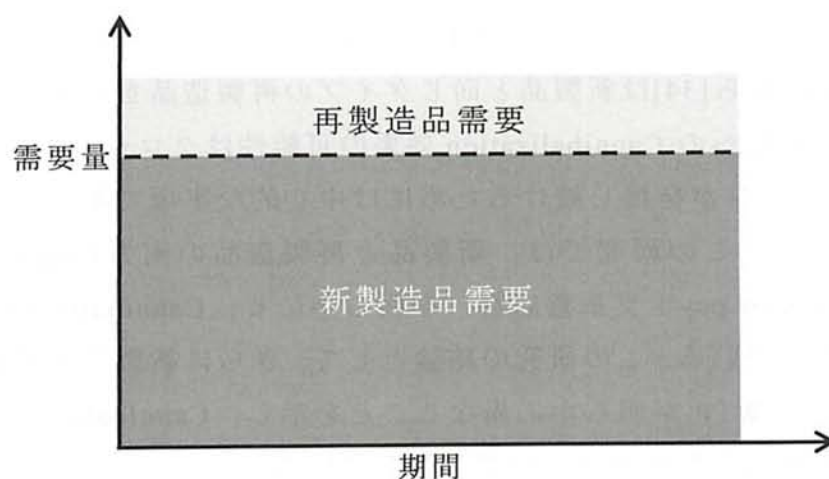


図 3.2.5 Market expansion 効果

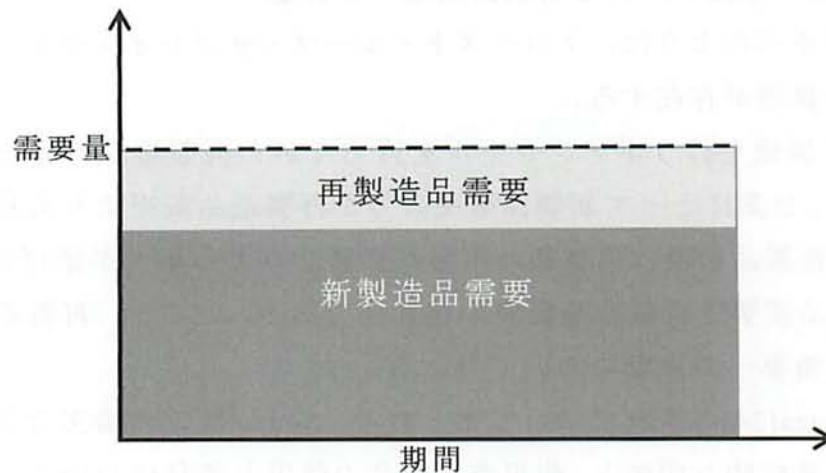


図 3.2.6 Cannibalization 効果

ここで、Cannibalization 効果のみに着目すると新製品需要が減少したことで総利益は減少するように見える。しかし、Atasu ら[33]は再製造製品の販売が新製品の販売に影響があるかについて、議論を行い、必ずしも再製造品は新製品需要を食いつぶすだけではないと述べている。さらに、Cannibalization 効果が起こった場合、必ずしも悪いことではないとしている。そして、Cannibalization 効果を最小にし、利益を増加させるために会社経営者は市場が再製造に対してどのような評価をしているか理解するとともに、製品販売価格、プロダクト・ライフサイクルにも着目する必要があるとしている。プロダクト・ライフサイクルを考えることで Cannibalization 効果を最小にすることもできる。つまり、利益最大化を考える上では新製品の利益を最大化することだけを考えるのでは不十分であるとしている。

さらに Guide ら[34]は新製品と同じタイプの再製造品を販売することによる新製品販売量への Cannibalization 効果の可能性はクローズド・ループ・サプライ・チェーンが発展し続けるためには中心的な事項であると言及している。その中で、この研究では、新製品と再製造品の両方の消費者の WTP (Willingness to pay: 支払意志額) を明らかにし、Cannibalization 効果の問題に取り組んでいる。この研究の結論として、さらに新製品と再製造品の両方の消費者の WTP が明らかに異なることを示し、Cannibalization 効果のリスクを最も抑えるケースについて言及している。

ただし、これらの研究では Market expansion 効果や Cannibalization 効果の現象については言及されているものの、これらの現象の定量的評価がされて

いるとは言えず，さらには利益への影響に言及されていない．他の研究も同様であり，利益への影響に着目した Cannibalization 効果の研究は多くない．また，ある企業のみが製品を販売していた市場に，新規参入した企業との競合問題に関する研究では製品特徴や価格などを考慮に入れたものはあるが，新製品と再製造品の同一企業間での同一製品の競合に対する研究は多くはない．

従って，本研究では再製造品販売におけるこの二つの効果に着目した研究を行う．この効果を定量的に評価することで，企業における，クローズド・ループ・サプライ・チェーン構築の推進につながると考えられる．

3.3 おわりに

本章では，ハイブリッド・システムについてまとめるとともに，関連研究を紹介した．その中で，それぞれの持つ課題を述べた．これらを基に，次章では本研究におけるモデル提案と Cannibalization 効果と Market expansion 効果を考慮した特徴を述べるとする．

第4章 ハイブリッド製造／再製造モデル

4.1 はじめに

本研究では再製造品販売における新製品需要への影響を考慮したハイブリッド製造／再製造モデルの提案と検証を行う。

4.2 モデルの提案と概要

4.2.1 モデルの提案

前章でも示したように再製造品を販売することによって新製品需要へ影響があることが考えられている。その影響として主にマーケット・エクспанション・エフェクト（Market expansion effect：市場拡大効果）とカニバリゼーション・エフェクト（Cannibalization effect：共食い効果）があるとされている。これらの影響を定量的に評価することを試みる。

また、第2章でも述べたように、再製造品の製造・販売は既にいくつかの企業で行われている。使い捨てカメラ、家電、パソコン、複写機、複合機、自動車などが一例としてあげられる。その中で、本研究では複合機に着目した。

複合機は先にも述べたように、複合機メーカーの中でも、富士ゼロックスやリコーなどがクローズド・ループ・サプライ・チェーンを構築し、再製造品やリユース部品の製造・販売を行っている。複合機がクローズド・ループ・サプライ・チェーンの構築を行える理由としては複合機の物理的製品寿命が長いことや、リース契約を行っていることが多いことから安定した回収ルートと回収量を確保することが出来る点が挙げられる。これは第2章で述べたクローズド・ループ・サプライ・チェーンの課題をクリアしているといえる。しかし、ここで課題の一つとして、再製造品販売における新製品との競合性についても述べたが、この点についてはこの2社の戦略は異なるといえる。

富士ゼロックスは、使用済み製品を回収後、主にリユース部品を製造し新部品と共に、新規製品を製造する。一方でリコーは使用済み製品を回収後、RC機（Reconditioning machine）を製造する。このRC機は本研究でいう再製造製品にあたるものである。このとき、新製品と再製造品を同時に販売していることとなる。

この2社を比較すると富士ゼロックスは再製造品販売における新製品への影響を考慮する必要はないが、リコーはこれを考慮する必要があるといえ

る。

これらのことを考慮し、本研究ではリコーに着目し、モデルを構築した。これに際し、リコー御殿場事業所に聞き取り調査を行った。リコーは 2015 年より稼働したリコー御殿場事業所を拠点に再利用に必要な機能を集約し、効率を高めている。省エネルギーや環境対応事業を成長事業に据えており、拠点を活用しながら 2020 年度に環境関連事業で 1000 億円の売り上げを目指すなど、再生産に力を入れているといえる。

従来は拠点ごとの回収量が少ないため輸送効率が悪い部品などは廃棄されていたが、回収と分解を 1 か所に集約することで再生サービスパーツの拡大や保管費の削減、回収物流費の削減が可能となっている[22]。

モデルの特徴について述べる。従来のフォワード・フローで原材料を調達し、部品を製造し、製品製造を行う。その後、物流を通して顧客へ販売される。このフォワード・フローに加えて、使用済み製品を回収し、再製造するリバース・フローを考慮する。ここで回収された使用済み製品は 3 つに選別される。リコーでは製品使用年数、プリント枚数、メンテナンスの回数など様々な情報を使って青色（優）、黄色（良）、赤色（不可）の 3 つに選別される。青色（優）、黄色（良）と判定された回収された使用済み製品は再製造品として販売するために再製造処理を行う。一方で、赤色（不可）と判定された製品に関しては、解体し、リユース可能な部品のみを抜き取り再製造品に利用するか、メンテナンス部品と利用するか、もしくは破碎し再資源化される。

ここで、新製品、再製造品と青色（優）、黄色（良）、赤色（不可）の語彙の定義を行う。

新製品	原材料，部品すべて新しいものを使用して行った製品。
再製造品	市場から回収した製品を分解，検査，洗浄，修理及び再組立てを含むプロセスで再生した製品。
青色 (優)	一つの製品の中でほとんど部品が再利用可能な状態。
黄色 (良)	一つの製品の中で 70% 程度の部品が再利用可能な状態。
赤色 (不可)	一つの製品の中で 30% 程度の部品が再利用可能な状態。

ここで，図 4.2.2 に本研究におけるハブリッド製造／再製造モデルを示し，概略を再度まとめる．このモデルは，部品の調達，生産，使用という従来の生産ラインに，地球環境問題や資源枯渇問題のことを考え，回収，分解，選別，再製造という回収・リバース・フローを加えたものである．本研究におけるリバース・フローでは，リユース部品だけを製造するのではなく，分解，検査，洗浄，修理及び再組立てを含むプロセスで製品の再製造を行う．使用済み製品を回収後，製品製造を行う際，回収製品の状態によって 3 つに選別される．青色（優），黄色（良）と判定された回収された使用済み製品は再製造品として販売するために再製造処理を行う．一方で，赤色（不可）と判定された製品に関しては，解体し，リユース可能な部品のみを抜き取り再製造品に利用するか，メンテナンス部品と利用するか，もしくは破砕し再資源化される．また，在庫は原材料，部品，新製品，再製造品の工程で持ち，それぞれが定量発注点方式で発注行う．善哉の研究[35]のように，新製品製造と再製造品製造の発注方策に関する研究もあるが，本研究では発注に対する利益への影響を検討するものではないため，簡略化している．

再製造処理が行われた製品は，新製品とは異なる再製造品として販売される．このとき，新製品と再製造品に対する需要は異なるものとする．また，価格も新製品と再製造品は異なる．

先にも述べたように，クローズド・ループ・サプライ・チェーンの構築の課題として，再製造品販売における，新製品需要への影響や消費者の再製造品に対する受容性の問題がある．ここで，本研究で考慮すべき点を，消費者，メーカーそれぞれの立場からまとめる．

(1) 消費者

製品の新製品を購入予定だった消費者にとって、再製造品は選択肢の一つであり、再製造品を購入する可能性もある。そのとき新製品を購入するか再製造品を購入するか判断する事項の一つとして価格が挙げられる。さらに、本来製品を購入予定でなかった消費者にとっても低価格であることが要因で購入する可能性がある。

(2) メーカー

メーカーは地球環境問題や資源枯渇問題を考慮すれば、社会的責任の観点から使用済み製品を回収する。その回収製品をただ廃棄するのではなく再利用を行うことを考える。さらに、回収製品を使って、再製造品を販売することで、製造コストを抑えることが出来、利益につながる可能性もある。さらには、新製品を購入予定ではなかった消費者が、低価格である再製造品を購入する可能性もあり、新製品のみを販売していた場合より、総需要の増加も望める。一方で、再製造品を販売することで利益が減少する可能性もあり、再製造品を販売できない懸念材料となる。

このように再製造品を販売することには新製品需要に対して様々な影響や可能性がある。これらが利益にどのような影響があるか、数値実験を行い、定量的に評価を行う。この結果から、利益が減少しないことを示すことで、企業のクローズド・ループ・サプライ・チェーン構築の推進につなげたい。

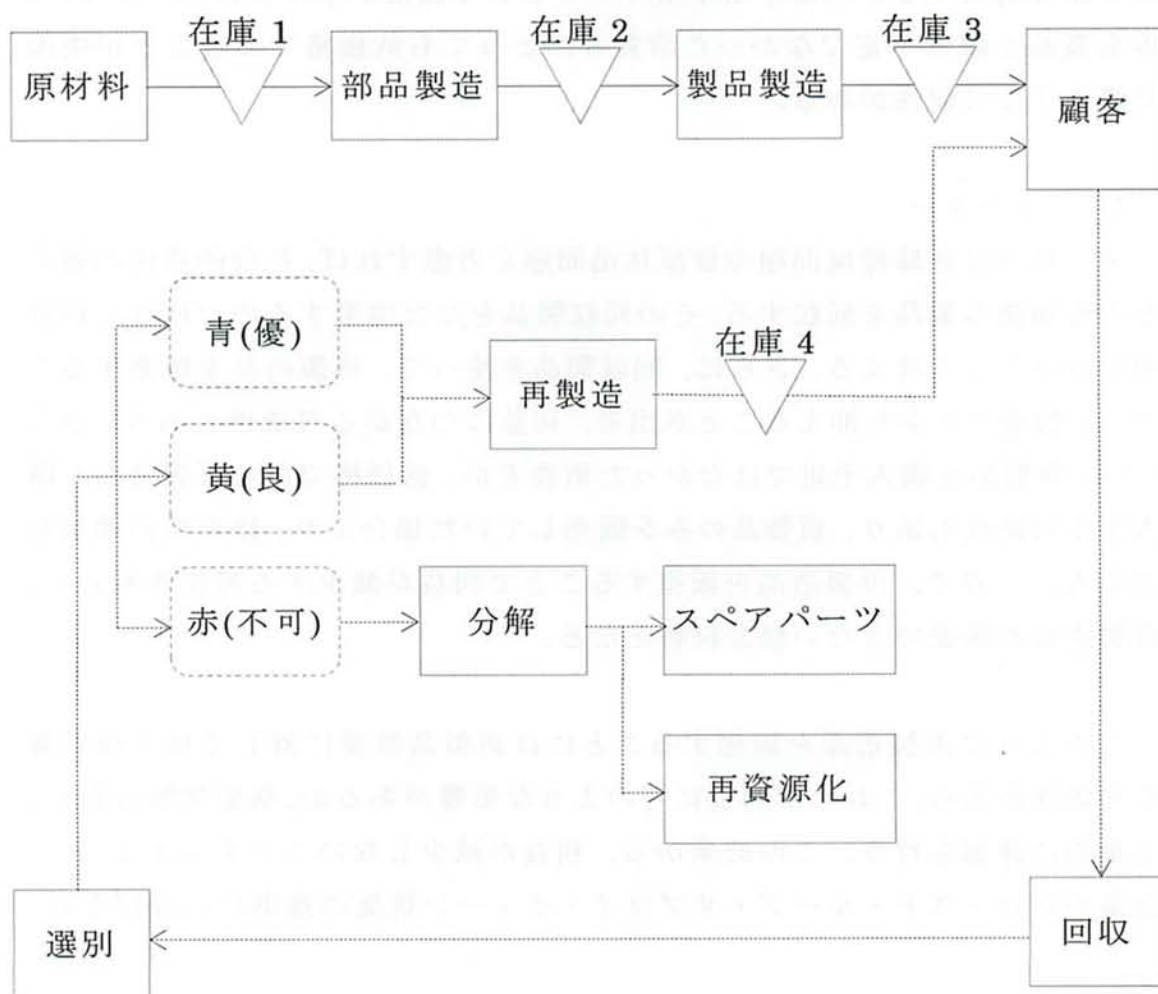


図 4.2.2 本研究における提案モデル

4.2.2 定式化

前節で構築したモデルの定式化を行う。本研究では利益に着目する。既存の研究ではコスト最小化を行う研究が多いが、本研究は需要における影響を加味する必要があるため利益に着目している。そのため式 (4.1) のようにして求める。

$$\text{Sales} - \text{Total cost} \quad (4.1)$$

ここで、定式化を行う際に使用する，記号，パラメータを以下に示す．

記号	
Π	期待総利益
t	対象期間， $t = 1, 2, \dots, T$
i	回収された使用済み製品の状態レベル このとき $i = 1$ は優， $i = 2$ は良， $i = 3$ は不可を表す
j	在庫 j ， $j = 1, 2, \dots, J$
変数	
u_i	回収された製品のうち，状態 i の割合
r	顧客が使用した製品の回収率
パラメータ	
P	新製品の販売価格
p	再製造品の販売価格
D_t	期間 t の新製品需要
d_t	期間 t の再製造品需要
C_t^{mr}	期間 t の新製品製造のための原材料コスト
C_t^{mp}	期間 t の新製品製造のための部品製造コスト
C_t^m	期間 t の新製品製造のための製品製造コスト
w_t^{mr}	期間 t の新製品製造のための原材料量
w_t^{mp}	期間 t の新製品製造のための部品製造量
w_t^m	期間 t の新製品製造のための製品製造量
C_t^R	期間 t の回収コスト
C_t^S	期間 t の選別コスト
CR_{it}^m	期間 t における状態 i の回収品にかかる再製造コスト このとき $i = 1, 2$
CR_{it}^{da}	回収製品が状態 i のときの分解コスト このとき $i = 3$
CR_{it}^{sp}	回収製品が状態 i のときのスペアパーツの製造コスト このとき $i = 3$
C_{jt}^h	期間 t における在庫 j の保管コスト

N_{jt}^h	期間 t における在庫 j の保管量
C^b	新製品のバックオーダーコスト
CR^b	再製造品のバックオーダーコスト
N_t^b	期間 t における新製品のバックオーダー量
NR_t^b	期間 t における再製造品のバックオーダー量

このとき，売上高及びコストは以下のようになる．

新製品及び再製造品の売上高

$$\sum_{t=1}^T (PD_t + pd_t) \quad (4.2)$$

新製品製造コスト

$$\sum_{t=1}^T (C_t^{mr} w_t^{mr} + C_t^{mp} w_t^{mp} + C_t^m w_t^m) \quad (4.3)$$

再製造コスト

$$\begin{aligned} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^3 & (D_t \Gamma C_t^R + D_t \Gamma C_t^S + D_t \Gamma u_i CR_t^m + D_t \Gamma u_i CR_t^{mp} + D_t \Gamma u_3 CR_t^{da} \\ & + D_t \Gamma u_3 CR_t^{sp} + D_t \Gamma u_3 CR_{3t}^{mr}) \end{aligned} \quad (4.4)$$

保管コスト

$$\sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J C_{jt}^h N_{jt}^h \quad (4.5)$$

バックオーダーコスト

$$\sum_{t=1}^T (C^b N_t^b + CR^b NR_t^b) \quad (4.6)$$

以上のことから，このモデルにおける対象期間の期待総利益 Π は式 (4.7) のようにして求めることが出来る．

$$\begin{aligned} \Pi = & \sum_{t=1}^T (PD_t + pd_t) \\ & - \left[\sum_{t=1}^T (C_t^{mr} w_t^{mr} + C_t^{mp} w_t^{mp} + C_t^m w_t^m) \right. \\ & + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^3 (D_t r C_t^R + D_t r C_t^S + D_t r u_i C_t^m \\ & + D_t r u_i C_t^{mp} + D_t r u_3 C_t^{da} + D_t r u_3 C_t^{sp} \\ & + D_t r u_3 C_t^{mr}) + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J C_{jt}^h N_{jt}^h \\ & \left. + \sum_{t=1}^T (C^b N_t^b + CR^b NR_t^b) \right] \quad (4.7) \end{aligned}$$

また，回収された使用済み製品は必ず青色（優），黄色（良），赤色（不可）の3つのいずれかに選別される．故に，式 (4.8) が得られる．

$$\sum_{i=1}^3 u_i = 1 \quad (4.8)$$

また，本研究ではバックオーダーも考慮されたモデルとなっているため，式 (4.9)，式 (4.10) を示す．

$$N_{3,t-1}^h + w_t^m + N_t^b = D_t + N_{3,t}^h \quad (4.9)$$

$$N_{4,t-1}^h + w_t^r + NR_t^b = d_t + N_{4,t}^h \quad (4.10)$$

ここまでは、期待利益の定式化を行った。これを基に数値実験を行う。その際に本研究において採用した需要モデルについて次節で述べる。

4.3 需要モデル

4.3.1 はじめに

今節では数値実験における需要モデルについて述べる。まず、製品成長曲線についてまとめ、その後 Cannibalization 効果や Market expansion 効果を考慮した需要モデルについて述べる。

4.3.2 製品成長曲線

本数値実験における製品の普及課程のモデルとして、Bass モデルを採用した。Bass モデルはマーケティング業界で最も普及したモデルの一つである[36]。Bass モデルは、新製品の普及速度を、革新者と模倣者という2つの採用者の特徴に考慮したモデルである[37]。Bass モデルは、3つの変数のみを用いて新製品の販売量を予測できる簡単なモデルであり、耐久消費財に関する販売量予測の解析に用いられている。プロダクト・ライフ・サイクル (PLC) 曲線を表現するのに、代表的なものとしてゴンペルツ曲線やモノモレキュラー曲線などもあるが[30]、本研究では最も基本的な Bass モデルを採用した。

そもそも、Bass モデルは、Fourt ら[38]と Mansfield[39]によって提唱された2つのモデルから成り立っている[36]。Fourt ら[38]のモデルは、新製品の普及過程は主に普及促進者による情報によって影響を受けると仮定した。一方で、Mansfield[39]のモデルでは、新製品の普及課程は主に既購入者による情報伝達によって影響を受けると仮定している。

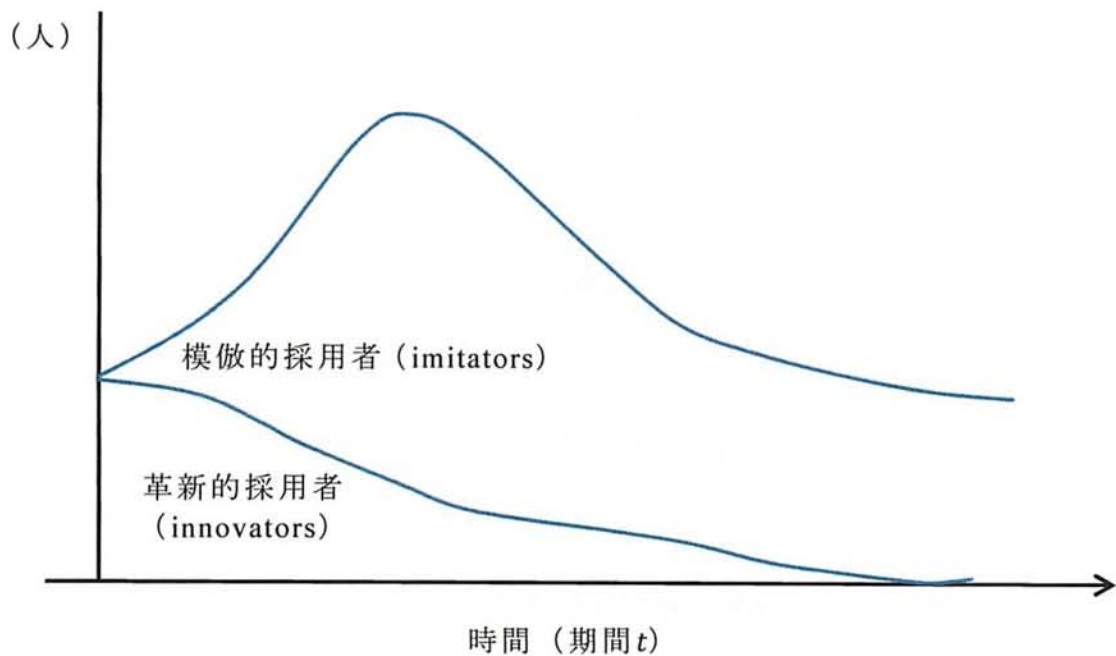


図 4.3.1 Bass モデルの構造

※[36]を基に加筆・修正

これら 2 つのモデルを取り入れて、Bass[37]は新製品の潜在的採用者は、自らの意志のみで購入を決定するイノベーターと、普及のようすを見ながら購入を決定するイミテーターから構成されると考えた普及モデルである。

この 2 つのコミュニケーション・チャネルについてみる。イノベーターはマスコミ（広告メディア）などのメッセージを媒介とした外在的な影響を受ける人である。一方で、イミテーターは周囲の人、特に初期使用者などへの追従や、彼らとのインターパーソナル・コミュニケーション（口コミ）などを媒介とした内在的な影響を受ける人である[36]。

以上が Bass モデルの構造である。ここで、式 (4.10) に Bass モデルを示す。 $F(t)$ は新製品が採用される累積分布関数であり、 $f(t)$ はその確率密度関数である。ここで、使われる記号などは以下のようにになっている。

記号

t	対象期間, $t = 1, 2, \dots, T$
Δt	回収開始時刻
t^*	再製造品の販売開始時刻
$f(t)$	新製品が採用される確率密度関数
$F(t)$	新製品が採用される累積分布関数
$Y(t)$	新製品の累積既採用者数
$S(t)$	t 期の新規採用者数
$V(t)$	t 期の使用済み製品の回収量
$g(t)$	再製造品が採用される確率密度関数

パラメータ

p	革新性 (イノベーション係数)
q	模倣性 (イミテーション係数)
M	新製品の潜在的市場規模
m	再製造品の潜在的市場規模
r	回収率

$$\frac{f(t)}{1 - F(t)} = p + qF(t) \quad (4.10)$$

ここで, $F(T)$ と $f(T)$ は以下のような関係である.

$$F(t) = \int_0^T f(t) dt \quad (4.11)$$

ただし，初期条件は以下のようにになっている．

$$F(0) = 0 \quad (4.12)$$

このとき， $F(t)$ は以下のようにして導出する．

$$dt = \frac{1}{p + (q - p)F - qF^2} dF \quad (4.13)$$

これを解くと，

$$F = \frac{(q - pe^{-(t+C)(p+q)})}{q(1 + pe^{-(t+C)(p+q)})} dF \quad (4.14)$$

ただし， C は積分定数を示す．ここで，式 (4.12) から，

$$-C = \frac{1}{(q + p)} \log \left(\frac{q}{p} \right) \quad (4.15)$$

故に， $F(t)$ は

$$F(t) = \frac{1 - e^{-(p+q)t}}{\frac{q}{p} e^{-(p+q)t} + 1} \quad (4.16)$$

さらに， $f(t)$ は

$$f(t) = \frac{(p + q)^2 e^{-(p+q)t}}{p \left(\frac{q}{p} e^{-(p+q)t} + 1 \right)^2} \quad (4.17)$$

$$f(t) = \frac{p(p + q)^2 e^{-(p+q)t}}{(p + qe^{-(p+q)t})^2} \quad (4.18)$$

ここで、新製品の累積既採用者数 $Y(t)$ は、 t 期の新規採用者数 $S(t)$ から、以下のようにして表すことが出来る。

$$Y(t) = \int_0^T S(t)dt = M \int_0^T f(t) = MF(t) \quad (4.19)$$

故に、 t 期の新製品の新規採用者数 $S(t)$ は以下のようになる。

$$S(t) = Mf(t) = M \frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)t}}{(p+q e^{-(p+q)t})^2} \quad (4.20)$$

また、回収率を r 、回収開始時刻を Δt とすると、 t 期の使用済み製品の回収量 $V(t)$ は以下のようになる。

$$V(t) = rMf(t - \Delta t) = \begin{cases} rM \frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)(t-\Delta t)}}{(p+q e^{-(p+q)(t-\Delta t)})^2} & (t > \Delta t) \\ 0 & (0 \leq t \leq \Delta t) \end{cases} \quad (4.21)$$

また、同様にして、再製造品需要についても考える。ただし、 t^* は再製造品販売時刻とする。

$$g(t) = \begin{cases} m \frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)(t-t^*)}}{(p+q e^{-(p+q)(t-t^*)})^2} & (t > t^*) \\ 0 & (0 \leq t \leq t^*) \end{cases} \quad (4.22)$$

以上のことを踏まえて、図 4.3.2 に需要の概略図を示す。

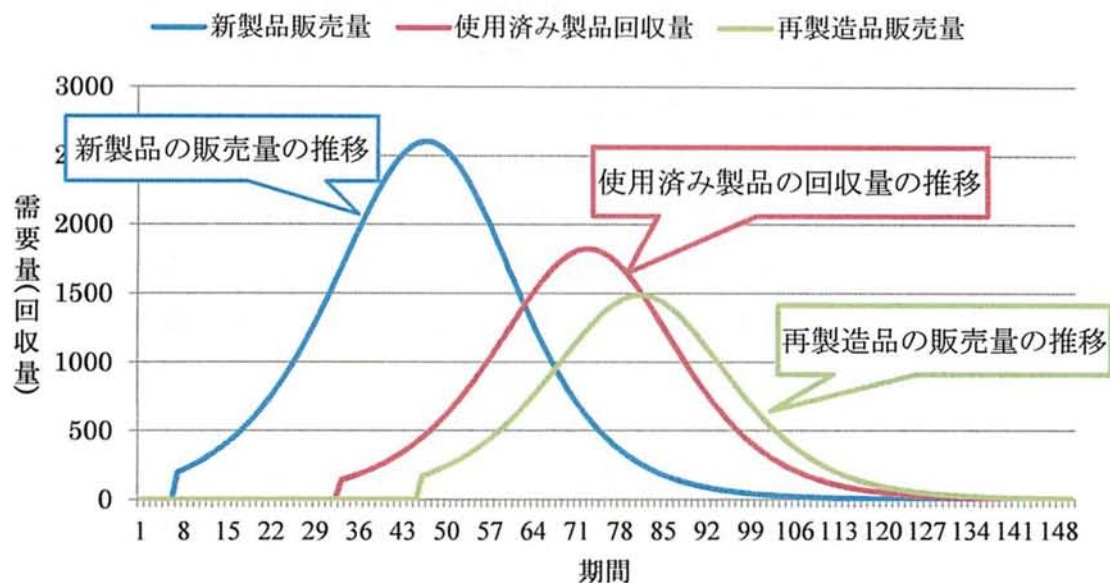


図 4.3.2 新製品と再製造品の需要モデル

ここで、第2章、第3章で述べた、クローズド・ループ・サプライ・チェーン構築の中の課題の1つとなる、再製造品販売における新製品需要への影響について考える。図4.3.3で示される需要推移を考えた場合、斜線部分が新製品と再製造品が同時に販売される部分となる。

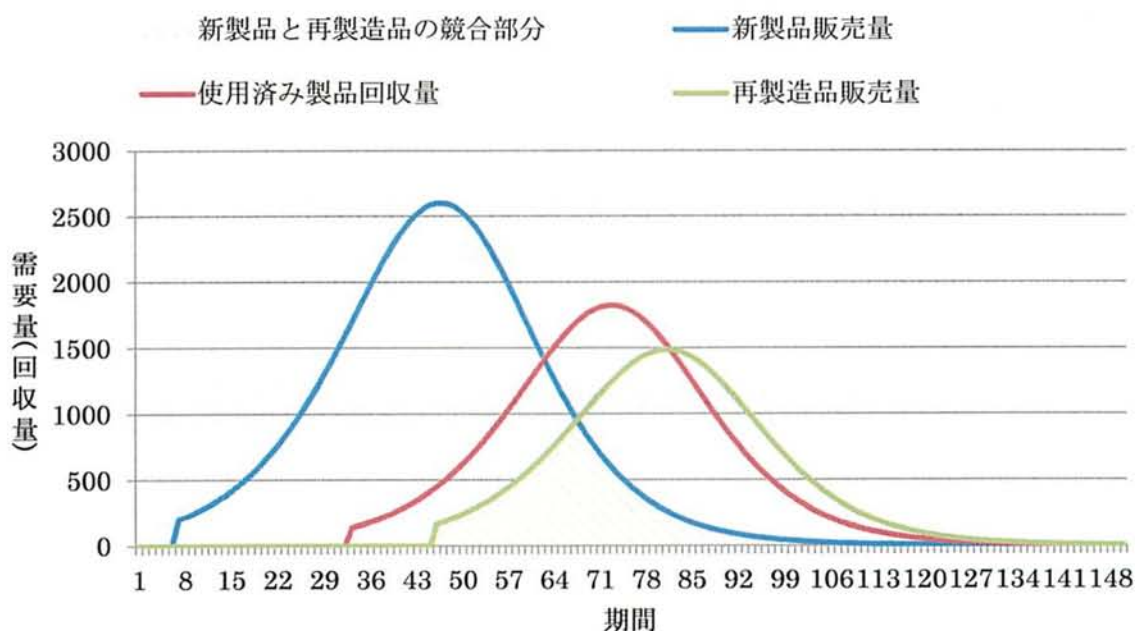


図 4.3.3 新製品と再製造品の競合

この部分について、第3章で述べた Market expansion 効果と Cannibalization 効果を考える。まず、先にも述べたが、簡単にそれぞれの効果の概要を述べる。再製造品販売における新製品需要への影響は Market expansion 効果と Cannibalization 効果が考えられる。Market expansion 効果は、低価格の再製造製品は新製品に対して支払うことを望んでいない消費者区分まで及び、市場が拡大することを意味し、Cannibalization 効果は、新製品を購入していたであろう購入者の中に、再製造製品へ切り替える者もいるため、需要は拡大せず、新製品の需要に影響を与えることを意味する。ここで、上記の斜線部分においてそれぞれの効果が起こった場合を考える。

まず、Market expansion 効果を考える。再製造品販売時に新製品需要へ全く影響を与えず、製品の総需要としては新製品に上乗せされた場合、製品の総需要は図 4.3.4 のような推移をたどる。

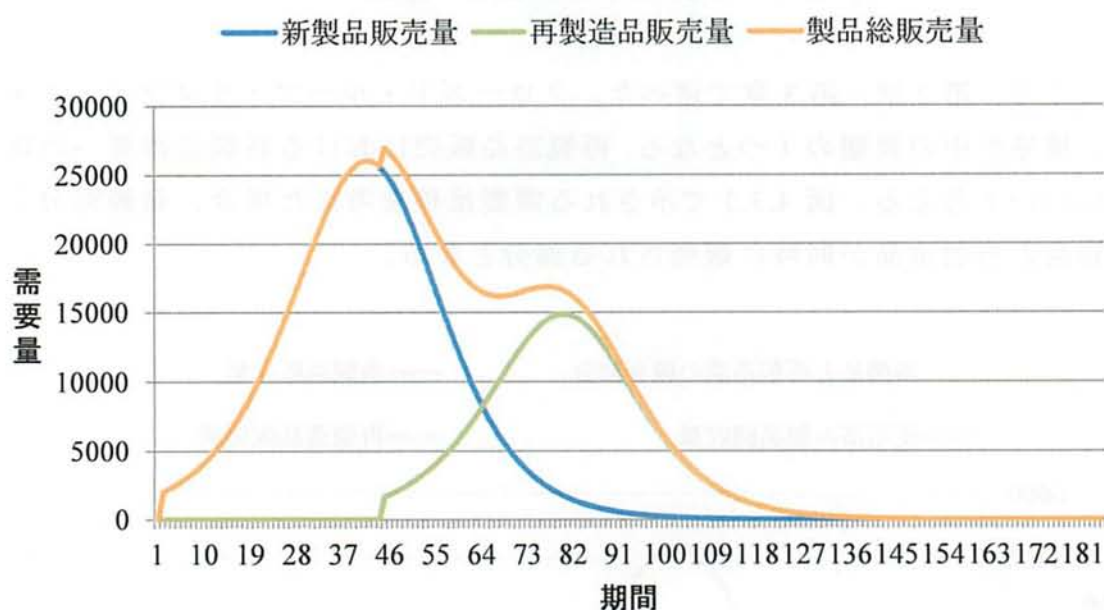


図 4.3.4 Market expansion 効果を考慮した需要推移

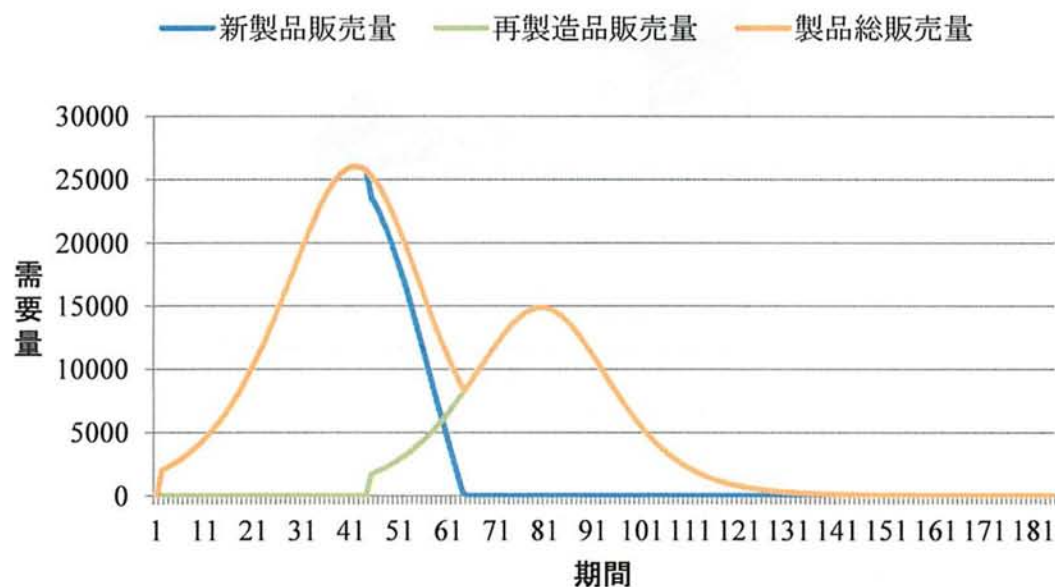


図 4.3.5 Cannibalization 効果を考慮した需要推移

一方で, Cannibalization 効果を考慮すると, 再製造品を販売することで, 新製品需要が減少する. 今回, 再製造品が販売された分だけ新製品需要が減少した場合の推移を図 4.3.5 で示す.

このような2つの効果が再製造品で販売することで考えられたが, 図 4.3.4, 図 4.3.5 の需要モデルはどちらかの効果が起きたときの結果である. しかし, 実際は両方同時に起こることが考えられる. そこで, Cannibalization 効果の割合を α とする. ただし, $0 \leq \alpha \leq 1$ である. このときのモデル図を図 4.3.6, 図 4.3.7 で示す.

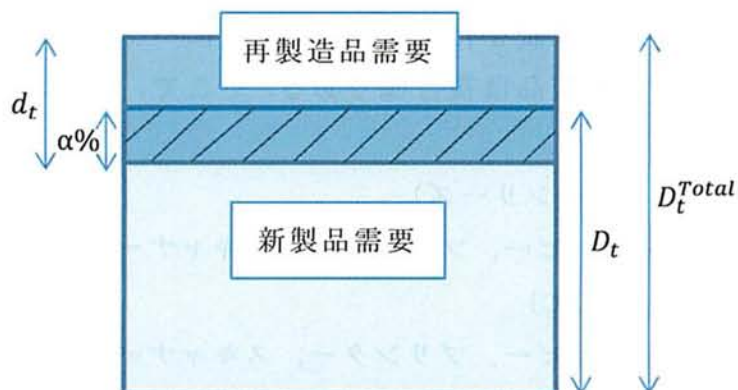


図 4.3.6 需要モデル図

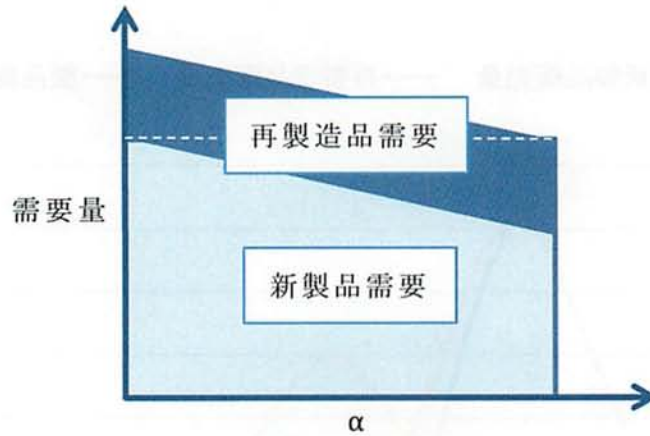


図 4.3.7 α 値と需要の関係

このとき，新製品のみを販売していたときの新製品の需要 D_t^N を使って，式 (4.23) で総需要 D_t^{Total} が求まる．

$$D_t = D_t^N - \alpha d_t \quad (4.23)$$

$$D_t^{Total} = \begin{cases} D_t + (1 - \alpha)d_t & (D_t^N - \alpha d_t \geq 0) \\ d_t & (D_t^N - \alpha d_t < 0) \end{cases} \quad (4.24)$$

つまり， $\alpha = 0$ が Market expansion 効果， $\alpha = 1$ が Cannibalization 効果を意味する．ここで利益への影響を，数値実験を通して検討する．

4.4 シナリオを用いた実験によるモデルの検討

4.4.1 パラメータとシナリオ

4.2 節，4.3 節で述べたモデルを使った数値実験を行い，シナリオを用いた実験によるモデルの検証を行う．以下のようにパラメータを設定する．先にも述べたように対象製品は複合機である．そこで，以下の性能の有する製品を想定する．

- ・新製品 (MP C4001it シリーズ)

連続速度 40 枚/分，コピー，プリンター，スキャナー，ファックス，両面

- ・再生機 (MP C4000RC)

連続速度 40 枚/分，コピー，プリンター，スキャナー，ファックス，両面

この複合機の新製品の価格は 2,000,000 円である．このとき，リコーでは再生機を新製品の 50% の価格で販売を行っている [21]．そのため本研究では

再製造品を 1,000,000 円とする．また，回収開始時刻を $\Delta t = 30$ ，再製造品販売時刻を $t^* = 36$ とした．さらに，複合機は販売と同時に急に売れるものでもなく，ゆったりとした成長曲線をたどることが考えられる．つまり，売れ始めるスピードが非常に遅く，売上が鈍化するスピードも遅いと考えられる．そこで $(p, q) = (0.01, 0.2)$ として数値実験を行う．また，回収率はリコーでの回収率である 90% を採用し， $\pm 5\%$ した 3 パターンで数値実験を行う．これは，リコーではほとんどの複合機が企業向けに製造され，多くがリース契約となっているため高い回収率となっている．また，回収された使用済み製品の製品状態の割合はリコーでの調査で得た割合を使用して考える．その他のコストについては Gallo の研究[31]を基に作成した．以下にパラメータをまとめる．

価格及びコスト パラメータ	
P	2,000,000[円/台]
p	1,000,000[円/台]
C_t^{mr}	25,000[円/台]
C_t^{mp}	250,000[円/台]
C_t^m	1,500,000[円/台]
C_t^R	75,000[円/台]
C_t^S	150,000[円/台]
CR_{good}^m	4,000[円/台]
CR_{medium}^m	6,000[円/台]
CR_{bad}^{da}	300,000[円/台]
CR_{bad}^{sp}	300,000[円/台]
C_{jt}^h	1,500[円/台]

需要における パラメータ	
M	10,000[台]
m	5,000[台]
p	0.01
q	0.2
Δt	30 [期]
t^*	35[期]
α	$0 \leq \alpha \leq 1$

さらに，上記のモデルで述べたように使用済み製品を回収後，回収製品の品質によって3つに分けられている．リコーへの聞き取り調査から，青色に選別されるものは20%，黄色に選別されるものは50%，赤色に選別されるものは30%であることがわかっている．これらの値が変化した場合を想定し，以下のシナリオで数値実験を行う．

表 4.4.1 回収製品の品質と回収率におけるシナリオ

	青色 (Good)	黄色 (Medium)	赤色 (Bad)	回収率
現状値 (シナリオ 0)	20%	50%	30%	90%
シナリオ 1	25%	45%	30%	85%,90%,95%
シナリオ 2	25%	50%	55%	
シナリオ 3	25%	55%	20%	
シナリオ 4	30%	40%	30%	
シナリオ 5	30%	45%	25%	
シナリオ 6	30%	50%	20%	

4.4.2 結果と考察

4.4.1 節で示した条件の基，数値実験を行った結果を以下に示す．図 4.4.1 では，新製品及び再製造品の利益の推移を表している．緑色の線は新製品のみを販売し，使用済み製品の回収及び新製品の製造は行っていない場合の利益である．また，新製品需要への影響に対して，赤い線はカニバリゼーション効果 ($\alpha = 1$)，青い線はマーケット・エクспанション効果 ($\alpha = 0$) が起きている場合である．紫色の線は再製造品のみに着目した利益となっている．

このときの利益の総和は表 4.4.2 のようになっている．さらに，図 4.4.2 の結果から新製品需要に対して再製造品販売による Cannibalization 効果が起こった場合，新製品のみを販売していた場合より，利益は減少していることがわかる．一方で，Market expansion 効果が起こった場合，新製品のみを販売していた場合より総利益は増加していることがわかる．また，シナリオにもよるが， α 値が 0.4 程度までは再製造品を販売することで新製品のみ利益より増大していることがわかる．つまり，再製造品需要の 40%程度が Cannibalization 効果をもたらした場合でも製品のみを販売していた場合より総利益は増加することがわかる．

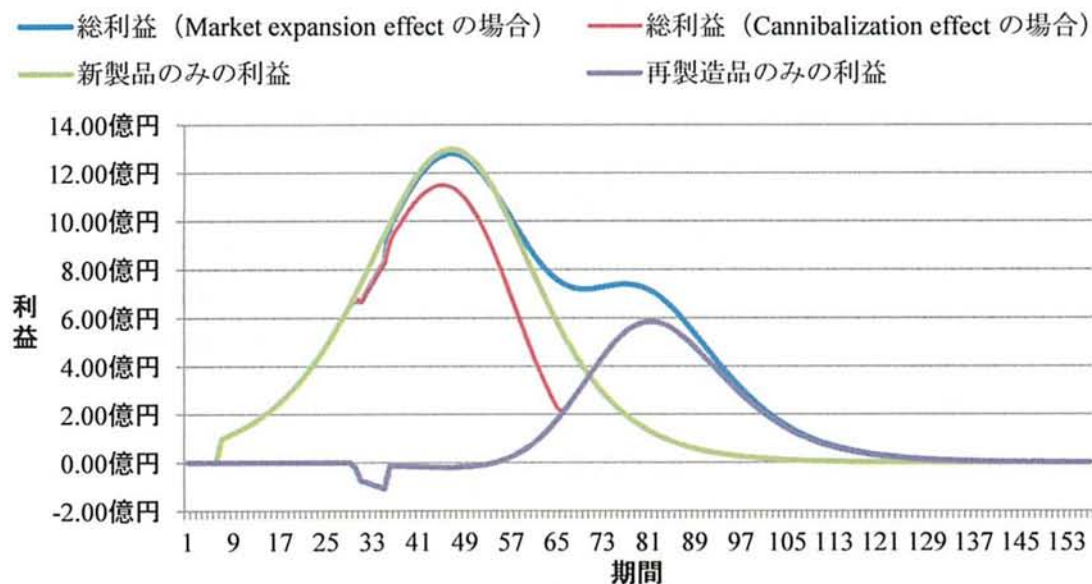


図 4.4.1 新製品及び再製造品の利益の推移
($u_{good} = 0.2$, $u_{medium} = 0.5$, $u_{bad} = 0.3$, $r = 0.9$)

表 4.4.2 総利益

総利益 (新製品のみ)	総利益 (Cannibalization 効果)	総利益 (Market expansion 効果)
¥7,120,668,000	¥6,264,412,000	¥8,227,668,000

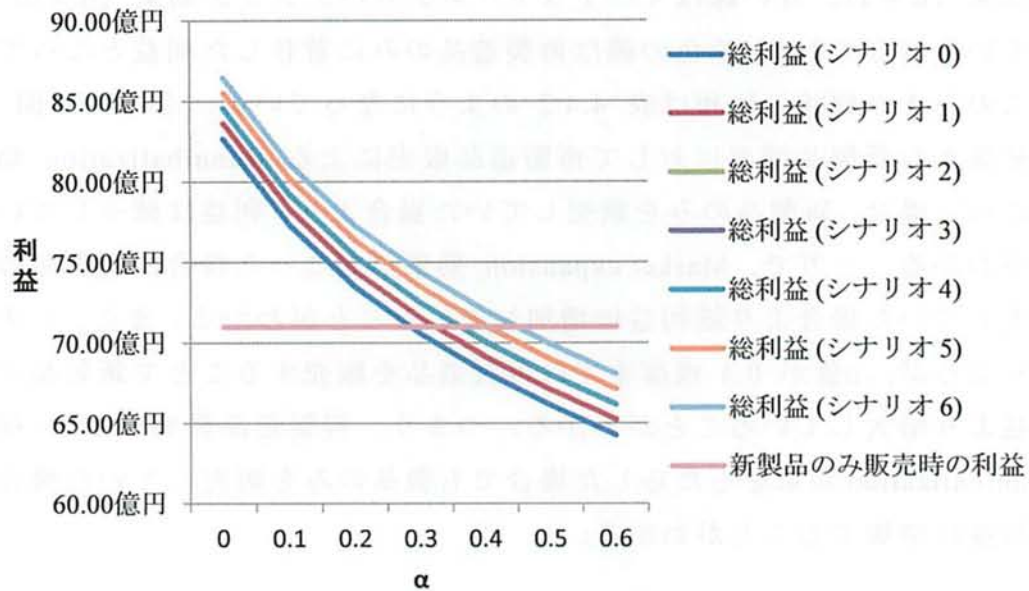


図 4.4.2 α 値と利益の関係

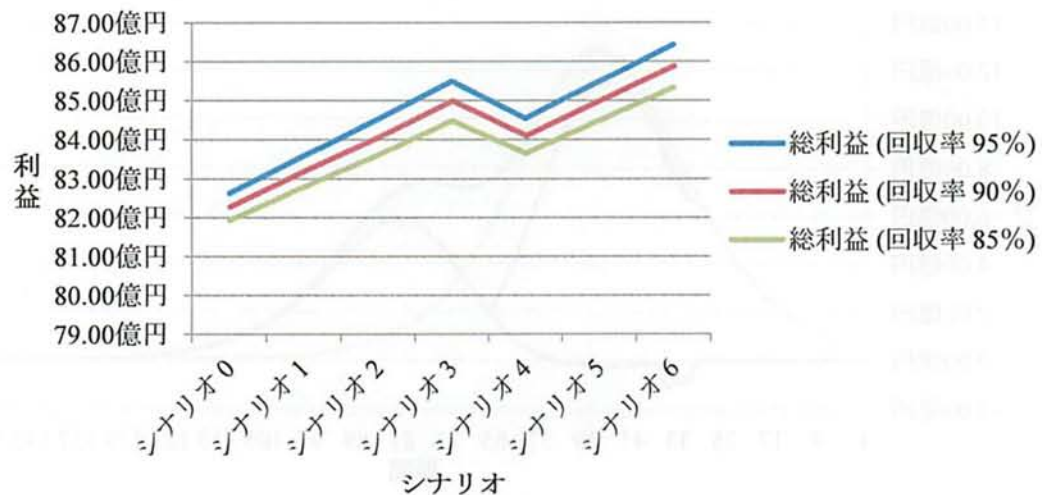


図 4.4.3 シナリオと総利益の関係 (Market expansion 効果)

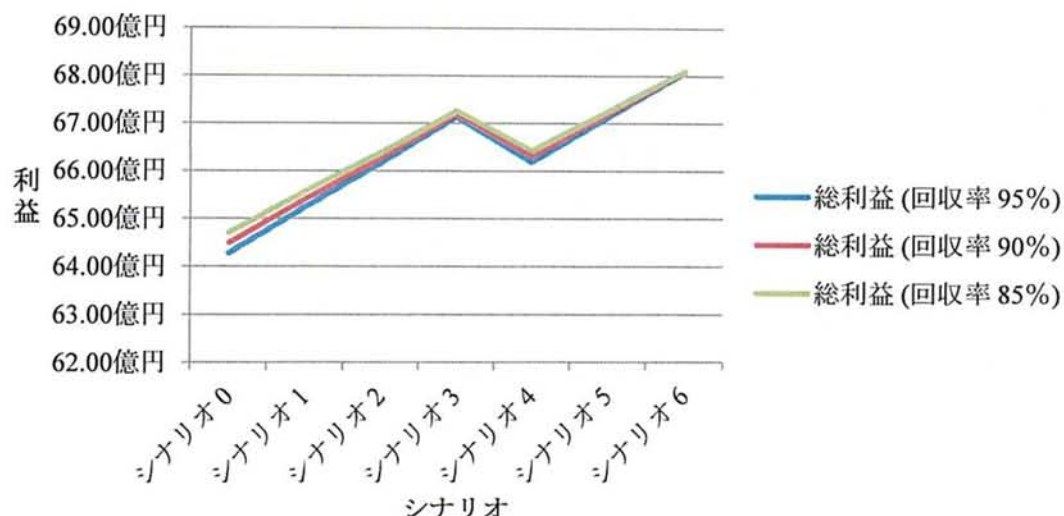


図 4.4.4 シナリオと総利益の関係（Cannibalization 効果）

また、シナリオと総利益の関係は図 4.4.3、図 4.4.4 のようになっている。図 4.4.3 から Cannibalization 効果が起きている場合、回収率が高い方が利益は高く、使用済み製品の品質状態が良いものが多い方が利益としては大きいことがわかる。一方で、Market expansion 効果が起きている場合、回収率が低い方が利益としては高いが、回収製品の品質の割合に依存し、状態の良い製品が多い場合は回収率が高いときに利益が大きくなることが予想できる。

ただし、この数値実験の結果は 4.4.1 節で設定した条件の中での一例となる。再製造品の販売開始時刻や、 p 値や q 値が変わることによる製品の成長曲線の変化によって新製品と再製造品が同時に販売される量、期間は変わる。さらに、新製品及び再製造品の販売価格やそれにかかるコストなどで利益は変化することが考えられる。

しかし、この数値実験は価格やコストの変化が利益にどのような影響をもたらすのかが考慮されていない。Cannibalization 効果及び Market expansion 効果が起きる要因として一つは価格が上げられる。例えば、再製造品の価格が高いとき、多くの消費者はそのまま新製品を購入する。一方で、再製造品の価格が安く、新製品を購入しようとしていた消費者のなかには再製造へと移行する場合がある。そして、再製造品の価格が安くなることで新たな需要が生まれる可能性もある。そこで、価格、需要、コストを考慮した数値実験を行い、Cannibalization 効果及び Market expansion 効果を定量的に評価することを次章で行う。

4.5 おわりに

本章では、モデル提案と、Bass モデルを使って Cannibalization 効果及び Market expansion 効果を表した。その中で、数値実験を行い、結果から、Cannibalization 効果及び Market expansion 効果を利益で評価を行った。しかし、その数値実験では価格、需要、コストが与える利益への影響の評価を行うことが出来ていない。Cannibalization 効果及び Market expansion 効果を考慮した価格、需要、コストが与える利益への影響を明らかにすることで、Cannibalization 効果及び Market expansion 効果を定量的に評価することを次章で行う。

第 5 章 数値実験

5.1 はじめに

本章では、数値実験及びその考察を行う。本実験における目的は Cannibalization 効果及び Market expansion 効果を、定量的に評価を行うことである。第 4 章で行った数値実験ではシナリオを用いて提案モデルを検討し、再製造品販売における新製品需要への影響を考える際、Bass モデルを使ってそれぞれの効果を利益の観点から評価を行った。しかし、そこでの課題として新製品、再製造品の販売価格とその需要の関係、コストがもたらす影響が考慮されていない点が挙げられた。これらを考慮した数値実験を行うことで、Cannibalization 効果及び Market expansion 効果を定量的に評価し、再製造品販売の戦略について考察する。

5.2 数値実験モデル

5.2.1 目的

はじめに、本実験の目的を述べる。第 3 章、第 4 章でも述べたように、ハイブリッド製造／再製造システムを構築した中で、新製品と再製造品を異なる製品（品質や機能は同等）として販売する場合、再製造品を販売することで新製品需要へ影響を及ぼすことが考えられる。

第 4 章では Bass モデルに従った需要モデルの中で、Cannibalization 効果及び Market expansion 効果を評価した。その結果から、再製造品販売によって Cannibalization 効果が起こると、使用済み製品の回収及び再製造品の販売を行わず新製品のみを販売していた場合と比較をすると利益は減少することがわかった。

しかし、ここでの課題として、価格と需要の関係、コストの影響が考慮されていないことが挙げられた。そこで、本実験は価格と需要の関係、コストの影響が利益にどのように影響があるかを考慮し、Cannibalization 効果及び Market expansion 効果の定量的評価を行うために、2 つのケースを考える。

(1) ケース 1 製品市場の大きさは不変

製品市場の大きさは変わらず、再製造品が販売されると新製品需要は減少する。つまり、Cannibalization 効果の検証を行う。ここで、再製造品価格を考慮する。再製造品価格が低価格だと需要は増加する。一方で、高価格だと再製造品需要は減少することを想定する。

(2) ケース 2 製品市場の大きさが増加

ケース 2 はケース 1 と同様の価格と需要の関係を想定する．ただし，新製品を販売することで，市場の大きさが増加する．つまり，Market expansion 効果も考慮する．しかし，ケース 2 では同時に Cannibalization 効果も考慮する．さらに，Market expansion 効果により増加した需要量は潜在的な需要と捉え，増加した需要に対して新製品が販売されていた場合と比較をする．

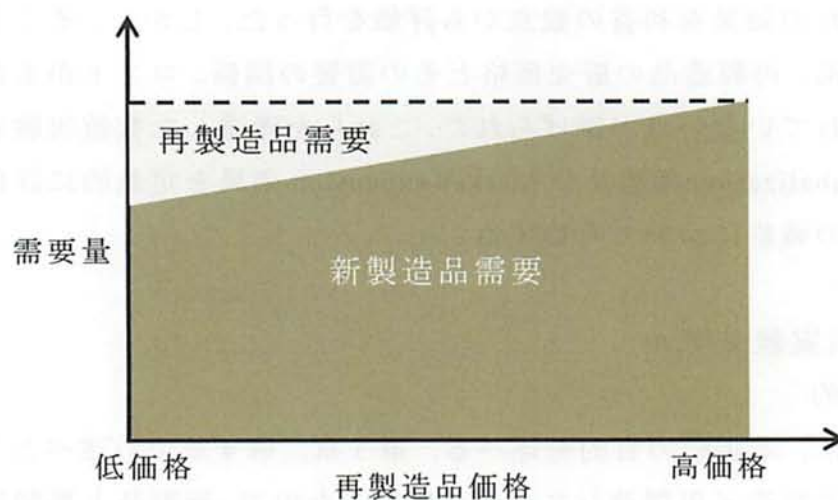


図 5.2.1 ケース 1 の概略図

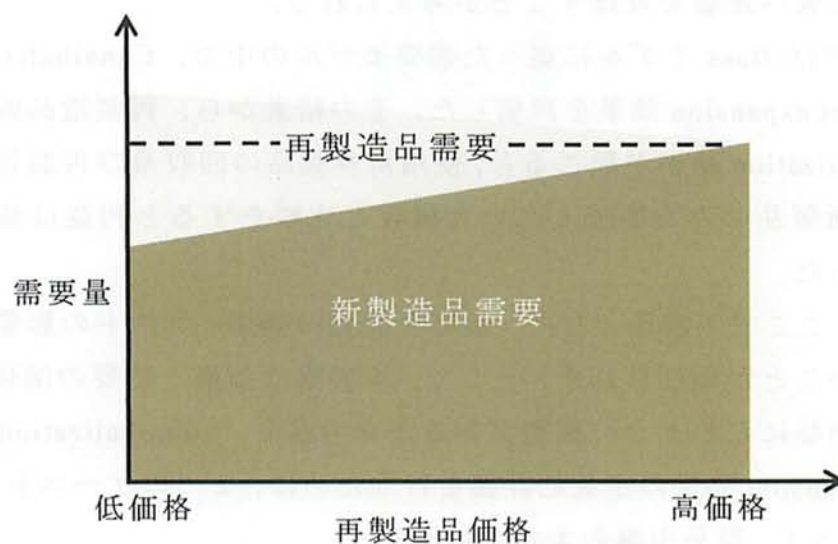


図 5.2.2 ケース 2 の概略図

これら 2 つのケースを想定し、数値実験を通して評価及び検討を行い、再製造品販売における効果を考慮したハイブリッド製造／再製造システムの戦略を考察する。

5.2.2 数値実験におけるモデル構築

製品需要と価格、コストの関係に焦点を当てたモデル構築する。まず、式 (5.1) で利益を導出する。さらに製品市場は一定と仮定した中で、再製造品が販売されると新製品需要は減少することを式 (5.2) で示す。

記号	
Π	期待総利益
D_N	再製造品を販売しない場合の新製品の需要
D	再製造品販売を考慮した新製品需要
d	再製造品需要
P_n	新製品価格
P_r	再製造品価格
C^n	新製品製造コスト
C^r	再製造品製造コスト

$$\Pi = D(P_n - C^n) + d(P_r - C^r) \quad (5.1)$$

$$D = D_N - d \quad (5.2)$$

$$C^n \geq C^r, D_N \geq D \geq d \quad (5.3)$$

次に、価格と需要の関係を考える。再製造品価格が低価格だと需要は増加し、高価格だと再製造品需要は減少することを、価格弾力性を用いて示す。価格弾力性 ε は、価格と需要の関係を表す指標であり、価格 $price$ が変化したとき、その結果として需要量 $demand$ がどれだけ変化するかを考え、両者の比として式 (5.4) で定義できる。これを変形し、積分を行うことで式 (5.6) が求まる。ただし、 C_0 は積分定数である。

$$\varepsilon = - \frac{\Delta \text{demand} / \text{demand}}{\Delta \text{price} / \text{price}} \quad (5.4)$$

$$-\varepsilon \frac{1}{\text{price}} = - \frac{1}{\text{demand}} \frac{d \text{demand}}{d \text{price}} \quad (5.5)$$

$$\text{demand} = C_0 \text{price}^{-\varepsilon} \quad (5.6)$$

これを基に再製造品の価格と需要量を考える．再製造品価格 p と再製造品需要量 d は式(5.6)を基に求めることが出来る．ただし，新製品の価格と再製造品の価格が同じとき消費者は新製品を購入することを考慮する必要がある．そのため再製造品の価格と需要の関係は式(5.7)で求めることが出来る．

記号	
C_0	積分定数
ε	価格弾力性

$$d = C_0 P_r^{-\varepsilon} - C_0 P_n^{-\varepsilon} \quad (5.7)$$

5.2.3 変数及びパラメータ

(1) 価格・コスト

数値実験におけるパラメータを考える．第4章でも述べたように，本実験における，対象製品は複合機である．そこで，以下の性能の有する製品を想定する．

・新製品 (MP C4001it シリーズ)

連続速度 40 枚/分，コピー，プリンター，スキャナー，ファックス，両面

・再生機 (MP C4000RC)

連続速度 40 枚/分，コピー，プリンター，スキャナー，ファックス，両面

この複合機の新製品の価格は 2,000,000 円である．第4章の数値実験では再製造品価格を新製品価格の 50%とした，1,000,000 円を想定していた．しかし，本実験では新製品価格と再製造品価格の関係は $0.400 \leq P_r/P_n \leq 0.800$ の

範囲で数値実験を行う。これは、再製造品価格における、再製造品需要の変化を考慮するためである。この再製造品価格の範囲は Souza[24]らの研究を基に決定した。

さらに、新製品の製造コストは、新製品 1 台当たり 10%の利益が出ることとを想定したコストとなっている。また、再製造品コストは $0.300 \leq C_r/C_n \leq 0.700$ の範囲で数値実験を行う。これは、リコーへの聞き取り調査で現在の再製造コストが新製品コストの 50%であることがわかり、その $\pm 20\%$ の範囲を想定した。表 5.2.1 に以上のパラメータをまとめる。

表 5.2.1 数値実験 2 におけるパラメータ

P_n	新製品価格	¥ 2,000,000
P_r	再製造品価格	$0.400 \leq P_r/P_n \leq 0.800$
C^n	新製品製造コスト	¥ 1,800,000
C^r	再製造品製造コスト	$0.300 \leq C_r/C_n \leq 0.700$

(2) 需要

次に、需要について考える．5.2.1 で考察した，ケース 1 及びケース 2 における，Cannibalization 効果と Market expansion 効果に対する再製造品の価格弾力性は異なると考えられる．Cannibalization 効果による価格弾力性 ε^{Ce} は Market expansion 効果 ε^{Me} より大きいものと捉え， $\varepsilon^{Me} \leq \varepsilon^{Ce}$ とする．

また，第 4 章で行った数値実験では需要モデルにおいて Bass モデルを使った多期間での数値実験を行ったが，本実験では単期間での需要に対する数値実験を行う．

リコーでは，再製造品価格を新製品価格の 50% と想定した場合 Cannibalization 効果は 20% 程度を想定している．さらに，本実験では Market expansion 効果は 10% 程度を想定する．以上のことから新製品需要を 10,500 台とした場合，価格弾力性を考慮した再製造品需要量は表 5.2.2 のようになり，これらの関係を図 5.2.4，図 5.2.5 で表す．以上のことを考慮した数値実験結果を次節で述べる．

表 5.2.2 需要の値

P_r/P_n	Market expansion 効果による 再製造品需要量	Cannibalization 効果による再 製造品需要量	新製品 のみの需要量	新製品の需要量 (Cannibalization 効果が起きた場合)
0.400	1575	3675	10500	6825
0.425	1421	3175		7325
0.450	1283	2757		7743
0.475	1161	2402		8098
0.500	1050	2100		8400
0.525	950	1840		8660
0.550	859	1614		8886
0.575	776	1417		9083
0.600	700	1244		9256
0.625	630	1092		9408
0.650	565	957		9543
0.675	506	836		9664
0.700	450	729		9771
0.725	398	632		9868
0.750	350	544		9956
0.775	305	465		10035
0.800	263	394		10106

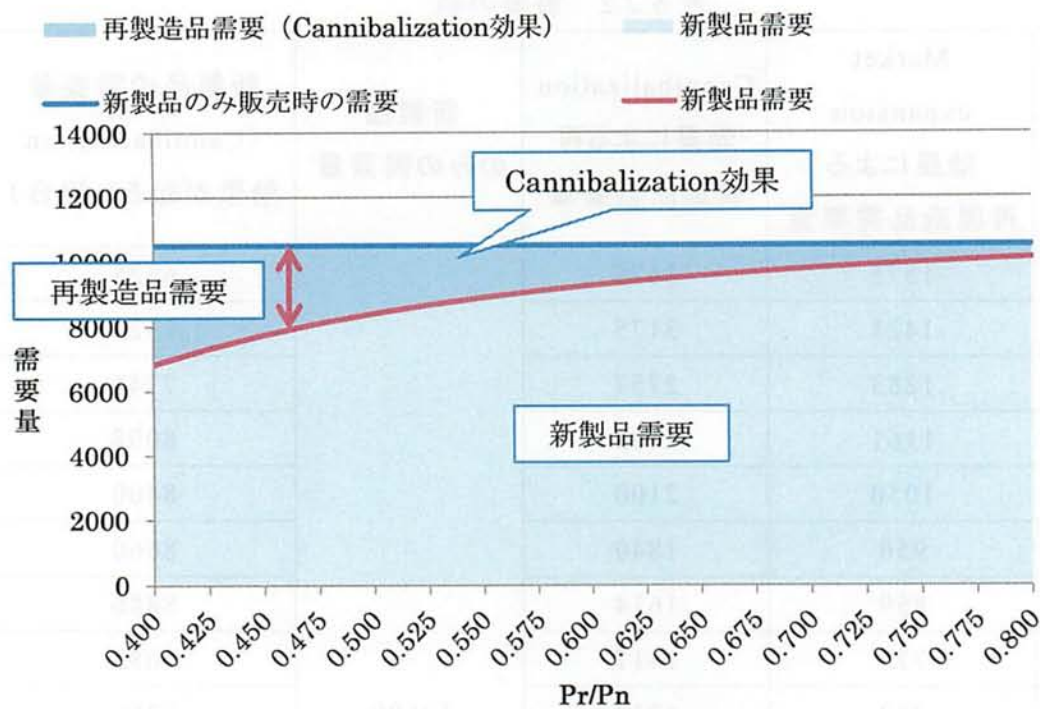


図 5.2.4 ケース 1 における需要

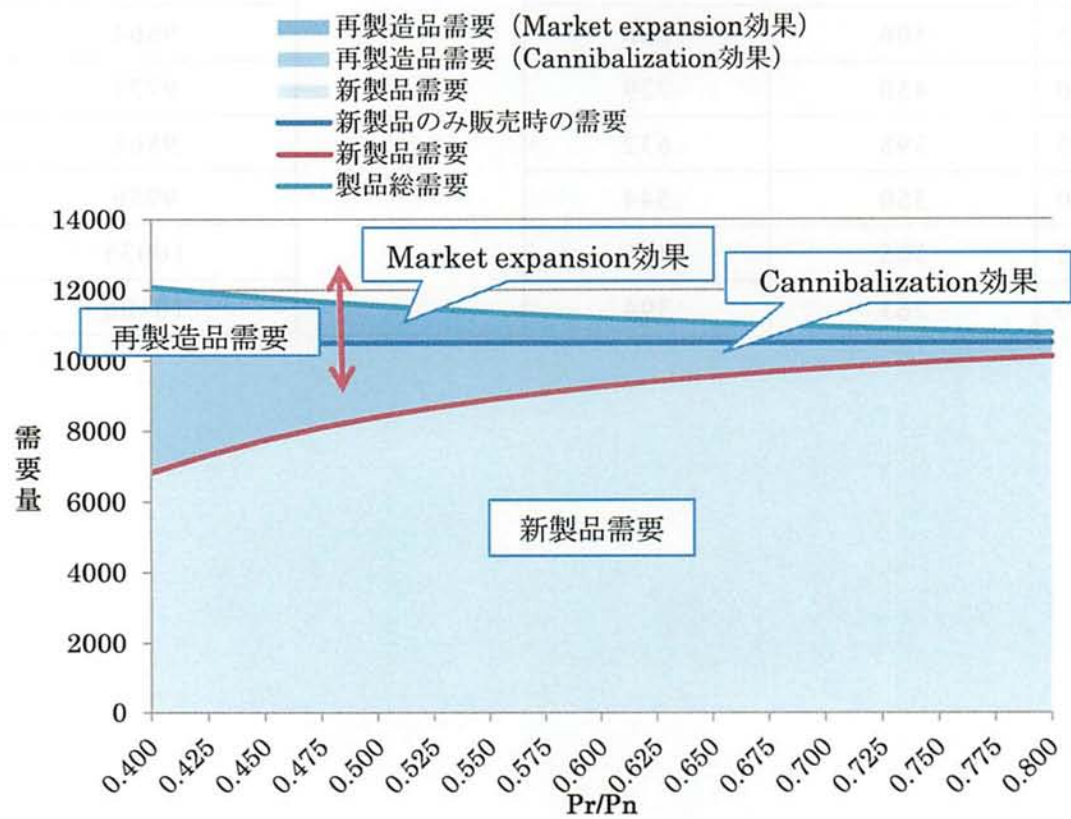


図 5.2.5 ケース 2 における需要

5.3 結果及び考察

前節で述べたパラメータ及び需要構造の基で数値実験を行った。それぞれの条件の基での利益を比較する。ここで、比較対象として考えるものは新製品のみを販売していた場合との比較である。

(1) ケース 1

ケース 1 では、再製造品が販売されることによる Cannibalization 効果に着目したものである。

図 5.3.1, 図 5.3.2 は価格とコストと利益の関係を示す。ともに同じ結果を示すが、異なる視点となっている。

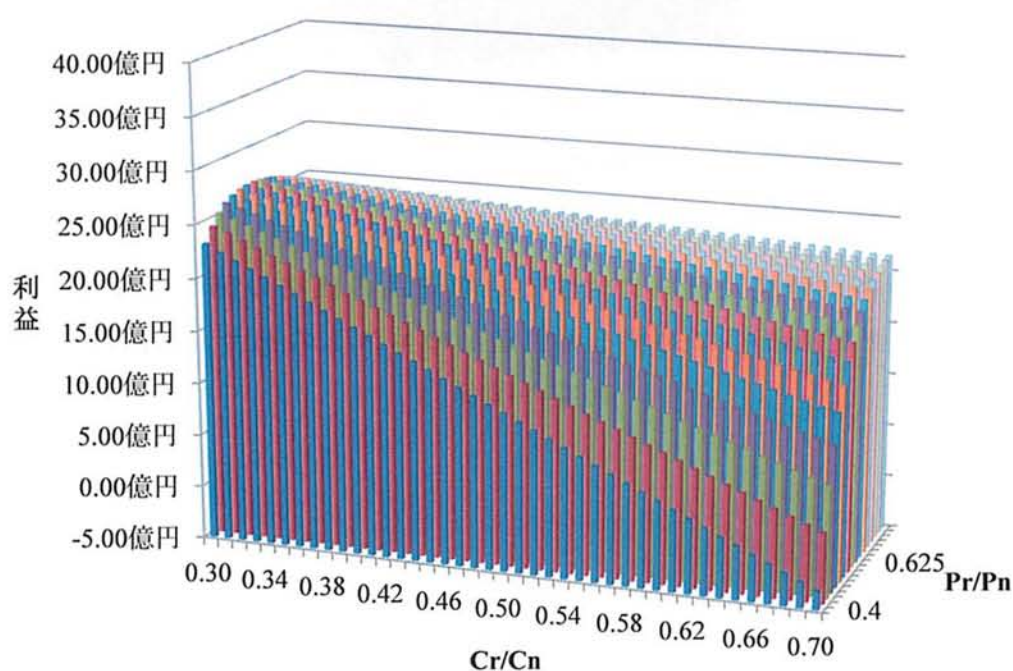


図 5.3.1 価格（新製品価格に対する再製造品の価格の割合： P_r/P_n ）とコスト（新製品価格に対する再製造品のコストの割合： C_r/C_n ）と利益の関係

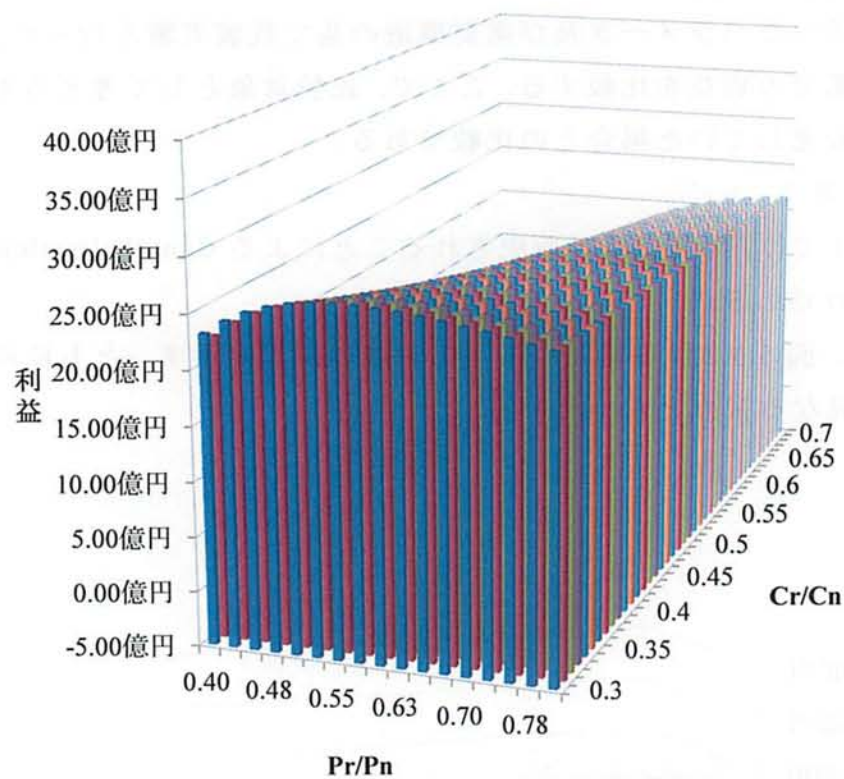


図 5.3.2 価格（新製品価格に対する再製造品の価格の割合： P_r/P_n ）と
コスト（新製品価格に対する再製造品のコストの割合： C_r/C_n ）と
利益の関係

上記の結果の中で、利益が新製品のための販売時より大きい範囲を図 5.3.3, 図 5.3.4 では示す. 先と同様, この 2 つの図は同じ結果を示すが, 視点が異なる.

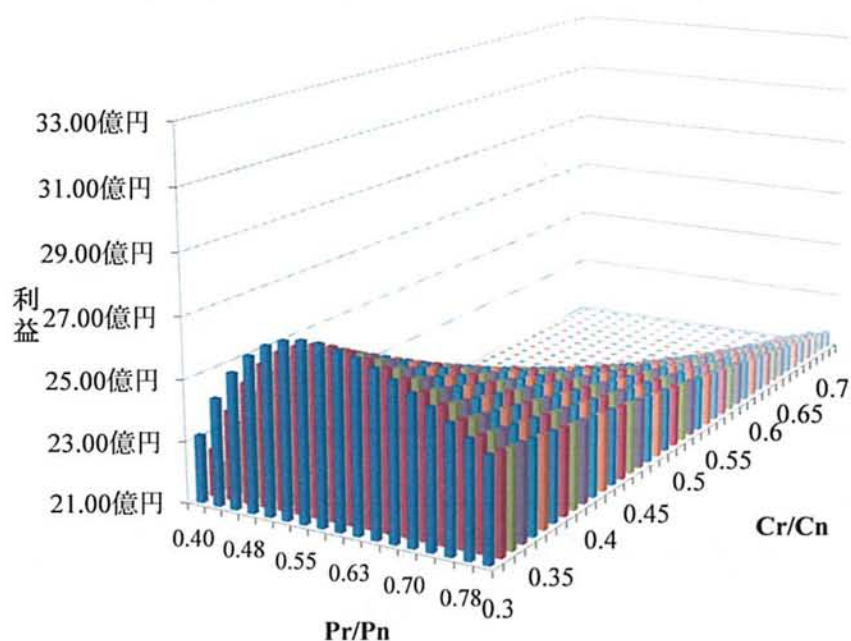


図 5.3.3 新製品のみを販売していた場合より大きい利益

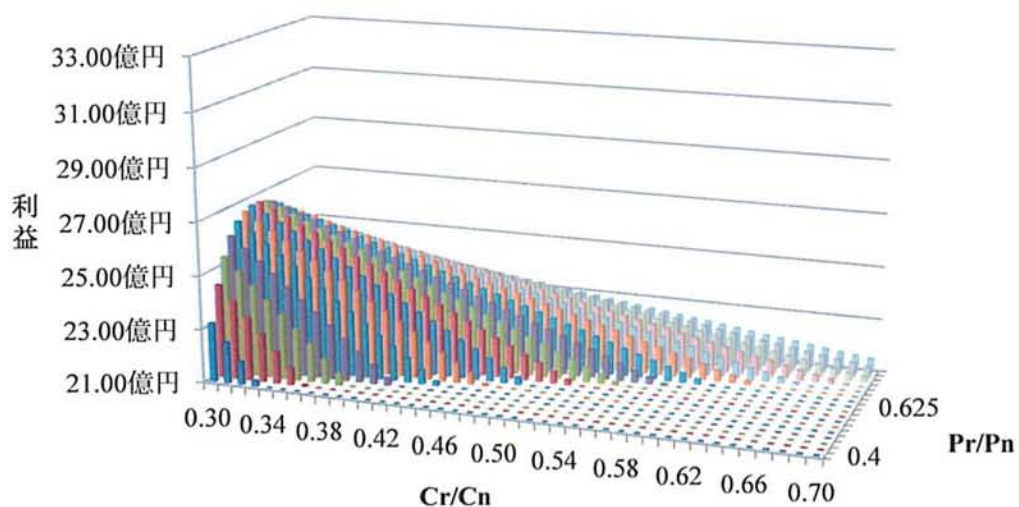


図 5.3.4 新製品のみを販売していた場合より大きい利益

ここで、それぞれのコストにおける P_r/P_n と総利益の推移を観察する。ただし、ここでは $C_r/C_n = 0.30$ から 0.10 刻みで観察する。

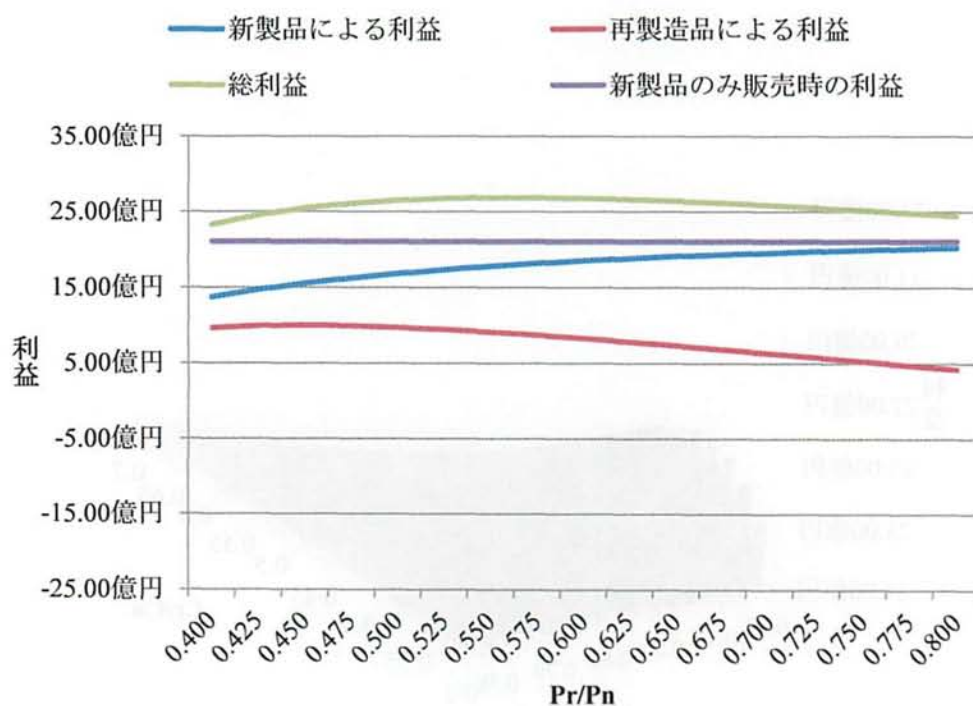


図 5.3.5 $C_r/C_n = 0.30$ のときの利益と P_r/P_n の関係

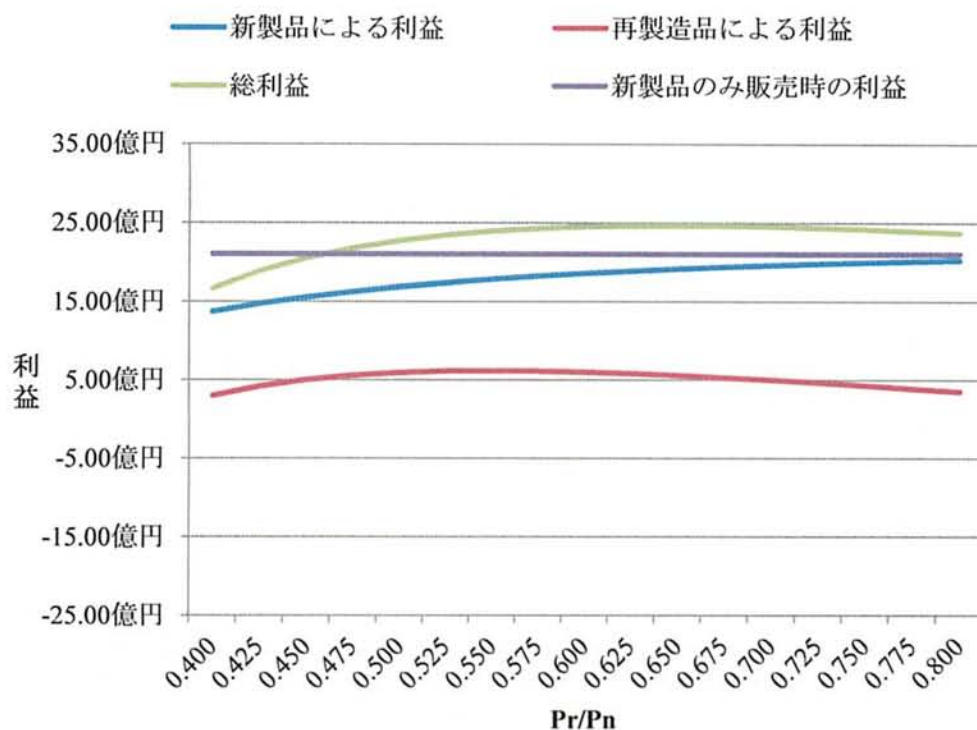


図 5.3.6 $C_r/C_n = 0.40$ のときの利益と Pr/P_n の関係

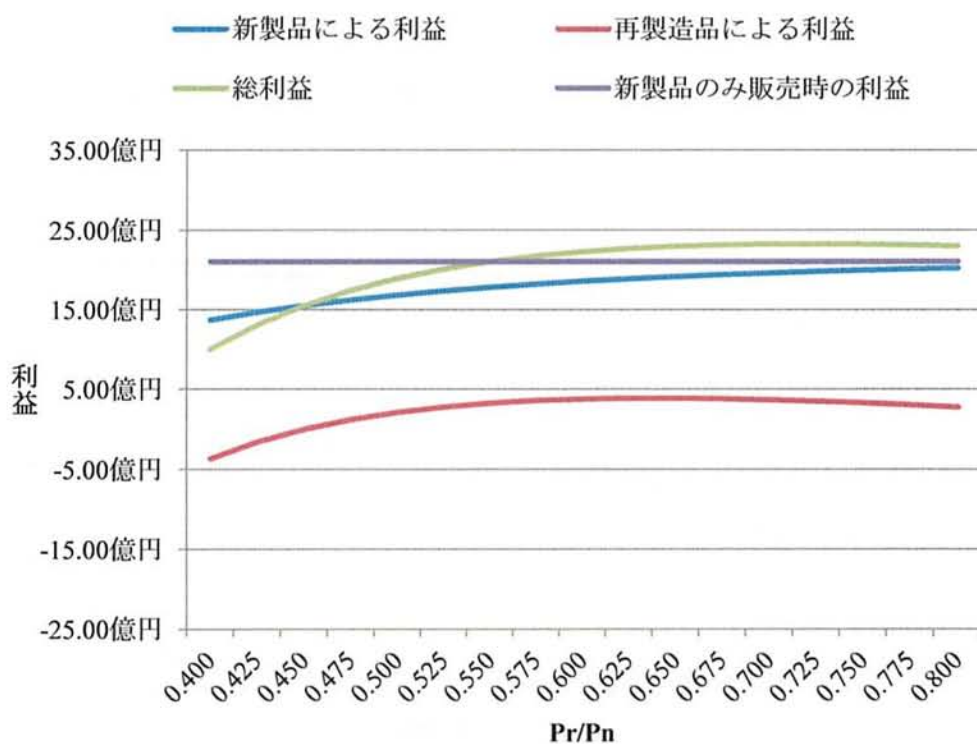


図 5.3.7 $C_r/C_n = 0.50$ のときの利益と Pr/P_n の関係

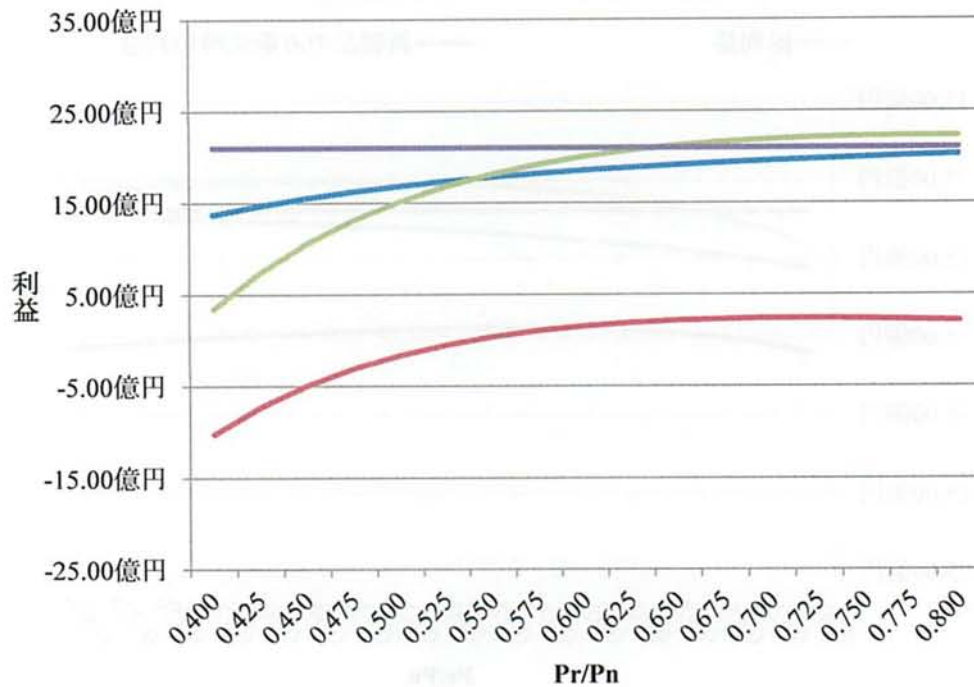


図 5.3.8 $C_r/C_n = 0.60$ のときの利益と Pr/P_n の関係

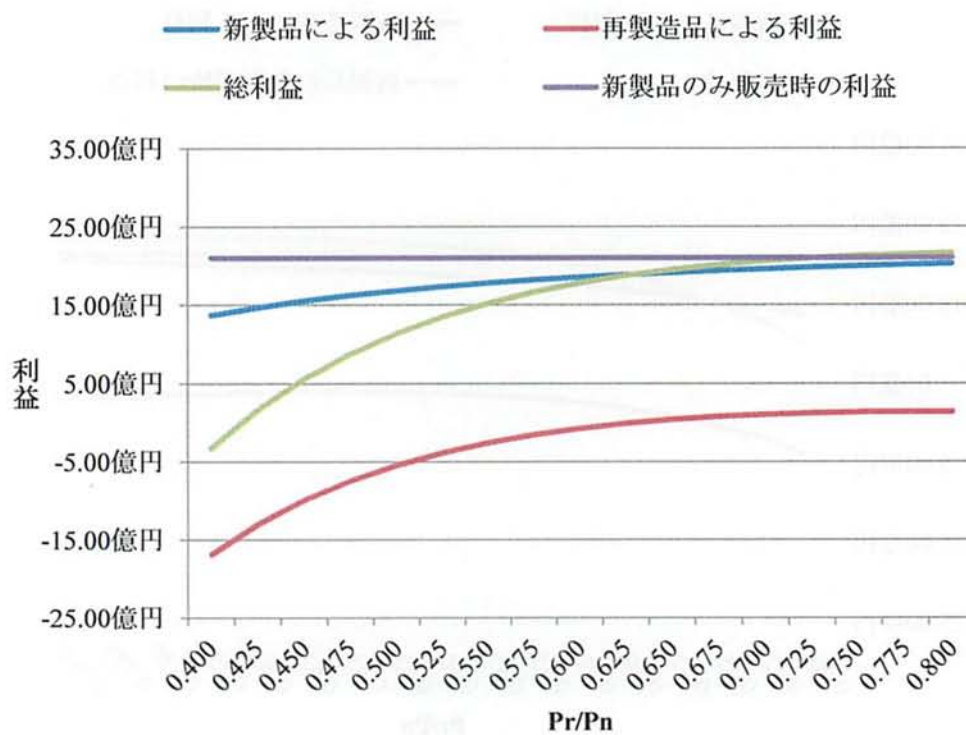


図 5.3.9 $C_r/C_n = 0.70$ のときの利益と Pr/P_n の関係

ここで、それぞれの C_r/C_n の値に対して利益が最も高くなる P_r/P_n の値と利益を抽出したものを、表 5.3.1 と図 5.3.10, 図 5.3.11 で示す。図 5.3.10, 図 5.3.11 では赤い部分が利益最大値を示す。

表 5.3.1 C_r/C_n における利益最大値となる P_r/P_n の値と利益

C_r/C_n	0.3	0.35	0.4
P_r/P_n	0.550	0.600	0.650
Profit	¥2,681,040,000	¥2,560,280,000	¥2,463,660,000
C_r/C_n	0.45	0.5	0.55
P_r/P_n	0.700	0.725	0.750
Profit	¥2,384,310,000	¥2,321,200,000	¥2,268,640,000
C_r/C_n	0.6	0.65	0.7
P_r/P_n	0.800	0.825	0.850
Profit	¥2,226,080,000	¥2,191,840,000	¥2,164,560,000

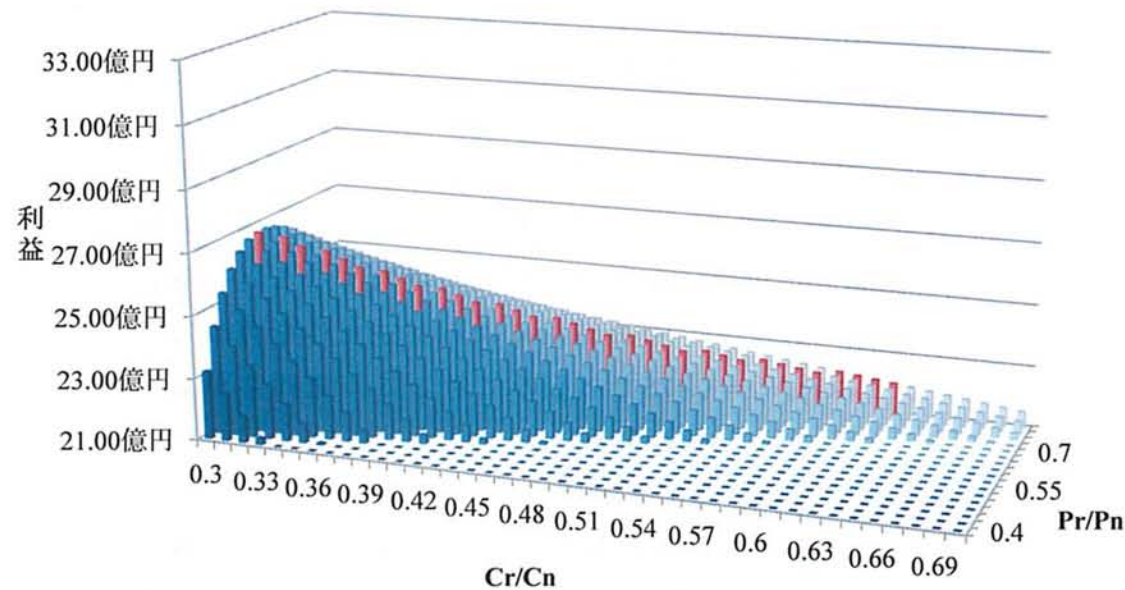


図 5.3.10 C_r/C_n における利益最大値となる P_r/P_n の値と利益

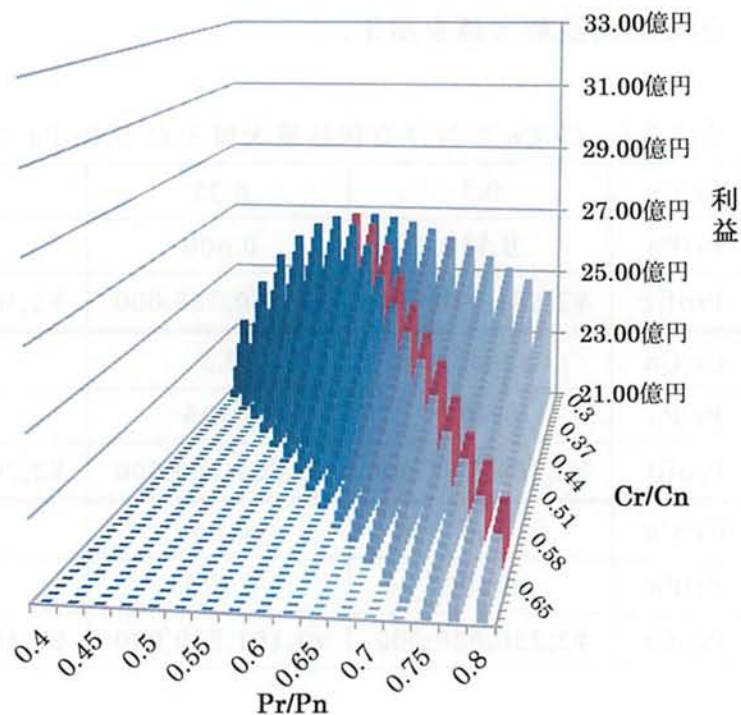


図 5.3.11 Cr/Cn における利益最大値となる Pr/Pn の値と利益

図 5.3.5 の結果から、再製造品コストが低いとき、再製造品を販売することで新製品需要に Cannibalization 効果が起こる場合でも利益は新製品のみを販売していた場合よりも増加していることがわかる。ただし、表 5.3.1 からわかるように、 $C_r/C_n = 0.30$ のとき利益が最も出るときは $P_r/P_n = 0.550$ のときであり、コストが低い場合でも再製造品を低価格にし、大量に販売することで、新製品需要量への Cannibalization 効果が増大することで利益は減少していることがわかる。これは、再製造品による利益だけを見ても最も利益が増大するときは $P_r/P_n = 0.475$ であるのに対して、総利益が最も高い場合は $P_r/P_n = 0.550$ である点からもわかる。

一方で、図 5.3.7 では $C_r/C_n = 0.500$ のときの結果を示すが、 $P_r/P_n = 0.550$ 以下の価格で販売したとき利益は新製品のみ販売時の利益より減少していることがわかる。つまり、この結果からも Cannibalization 効果が増大することで利益は減少していることがわかる。ただし、 $C_r/C_n = 0.500$ のとき総利益が最大となるのは $P_r/P_n = 0.725$ のときであり、販売価格を上げることで新製品のみ販売時より利益は増大している。これも、再製造品による利益だけを見て

みると最も利益が増大するときは $P_r/P_n = 0.650$ の場合であるのに対して、総利益が最も高い場合は $P_r/P_n = 0.725$ である点からもわかる。

以上のことから、コストに対して、需要量を考慮した価格戦略を持つことで、Cannibalization 効果が起きた場合でも、新製品のみを販売していた場合より利益が増加することがわかった。

(2) ケース 2

ケース 2 では、ケース 1 で行った Cannibalization 効果の検証に加え、再製造品を販売することで期待される、Market expansion 効果の検証を行う。結果は新製品のみ販売した場合の利益との比較を行う。また、Market expansion 効果を検討することでその製品の総需要は増加している。Market expansion 効果は再製造品を販売することで増加する需要とも考えられるが、その製品の潜在的な需要とも考えることが出来る。そこで、再製造品が販売された製品の需要量の増加分も含め、製品の総需要全てが新製品として販売されていた場合の利益とも比較を行う。

まず、図 5.3.13, 図 5.3.14 ではコストと価格と利益の推移を記す。図 5.3.13, 図 5.3.14 は同じ結果を示すが、異なる視点から見たものである。

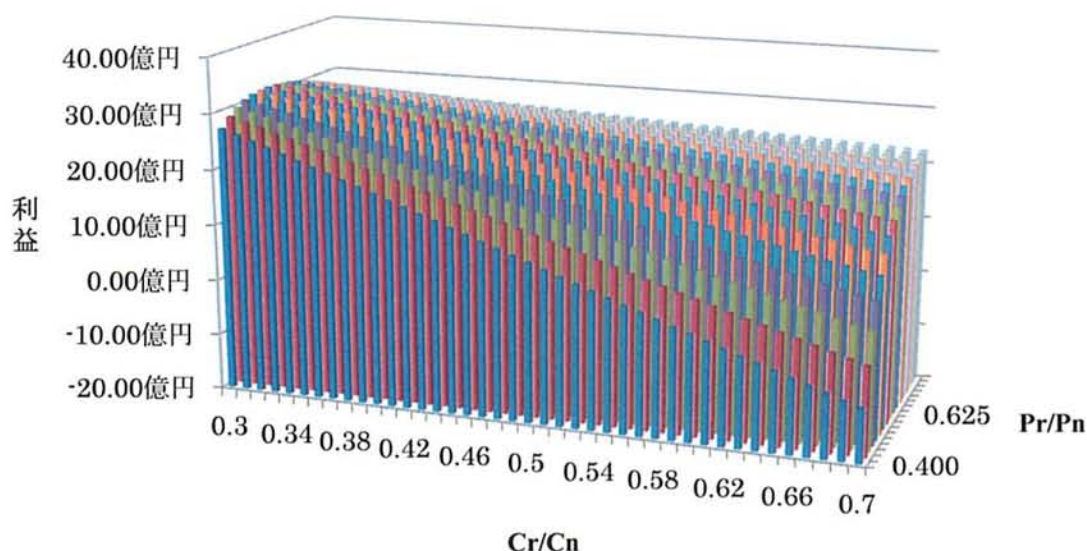


図 5.3.13 価格（新製品価格に対する再製造品の価格の割合： P_r/P_n ）とコスト（新製品価格に対する再製造品のコストの割合： C_r/C_n ）と利益の関係

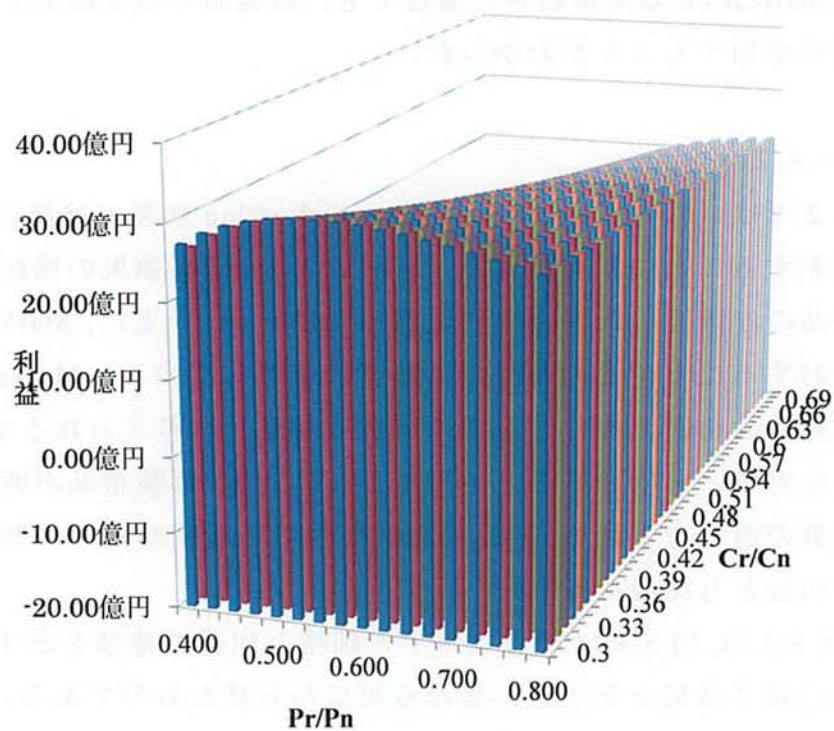


図 5.3.14 価格（新製品価格に対する再製造品の価格の割合： P_r/P_n ）と
コスト（新製品価格に対する再製造品のコストの割合： C_r/C_n ）と
利益の関係

図 5.3.13, 図 5.3.14 の結果の中で, 利益が新製品のための販売時より大きい範囲を図 5.3.15, 図 5.3.16 では示す. 先と同様, 同じ結果を示すが, 視点が異なる.

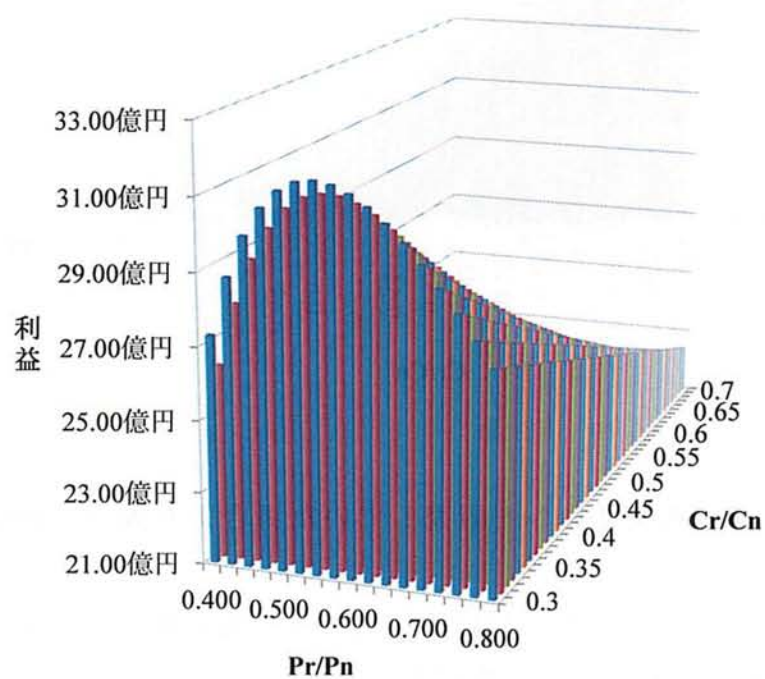


図 5.3.15 新製品のみを販売していた場合より大きい利益

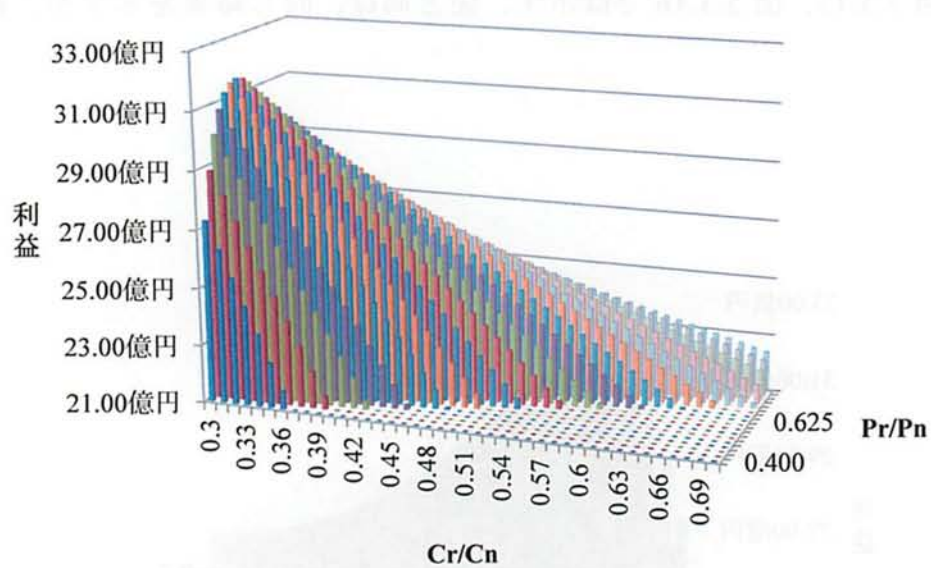


図 5.3.16 新製品のみを販売していた場合より大きい利益

ここで、それぞれのコストにおける P_r/P_n と総利益の推移を観察する。ただし、 $C_r/C_n = 0.30$ から 0.10 刻みで観察する。

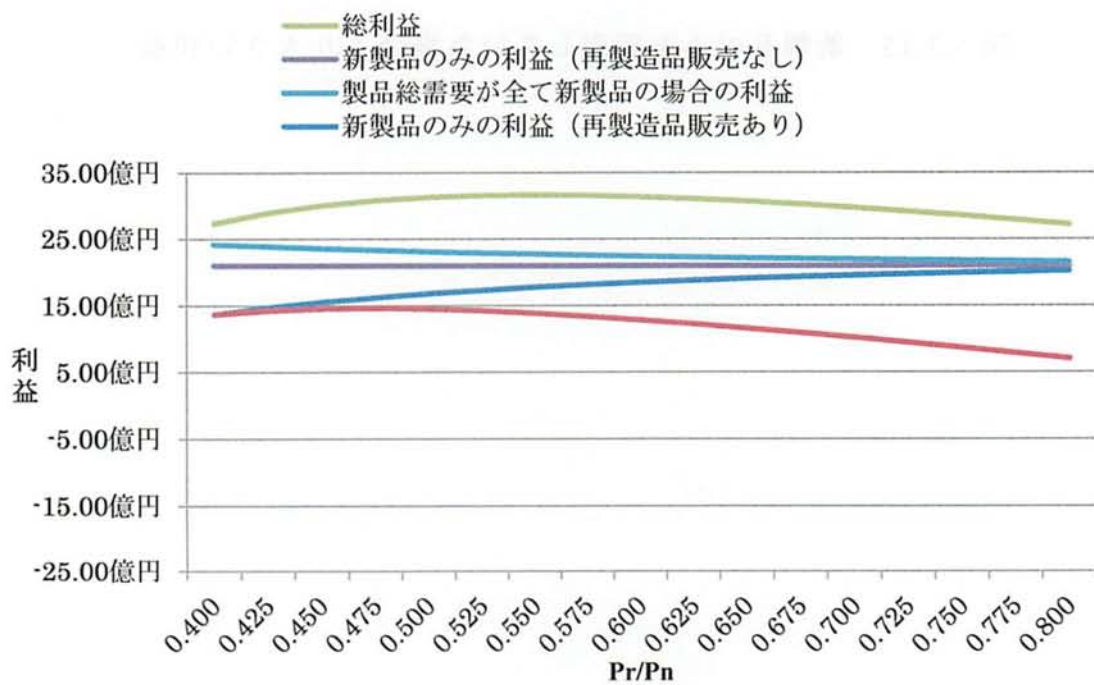


図 5.3.17 $C_r/C_n = 0.30$ のときの利益と P_r/P_n の関係

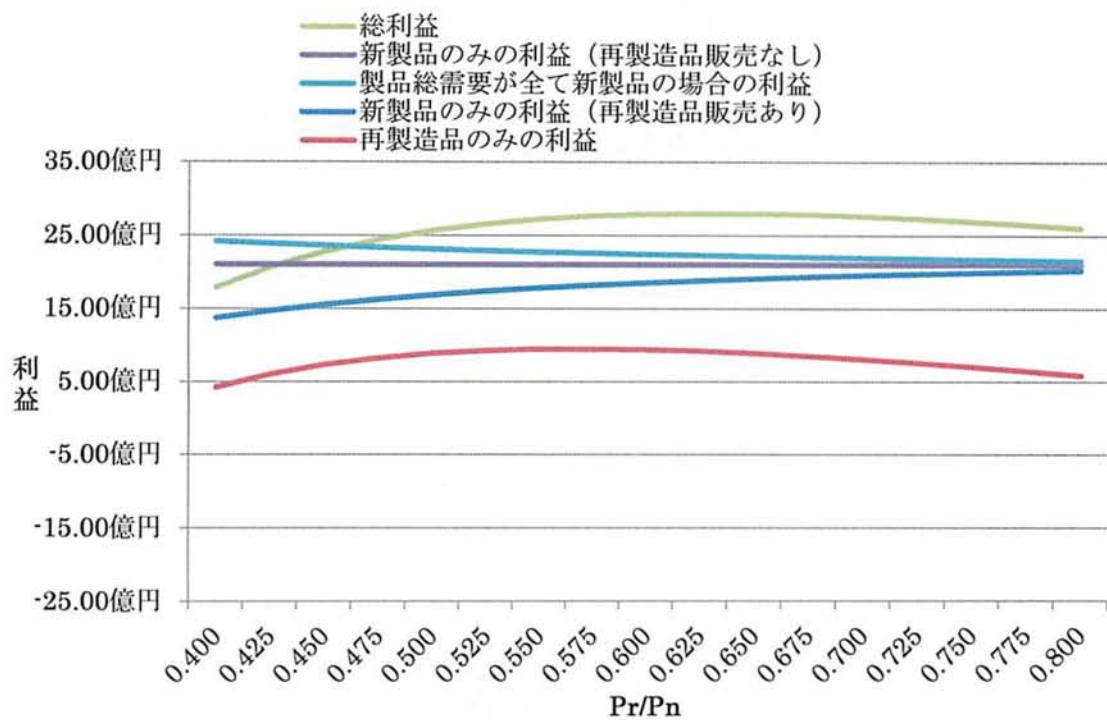


図 5.3.18 $C_r/C_n = 0.40$ のときの利益と Pr/Pn の関係

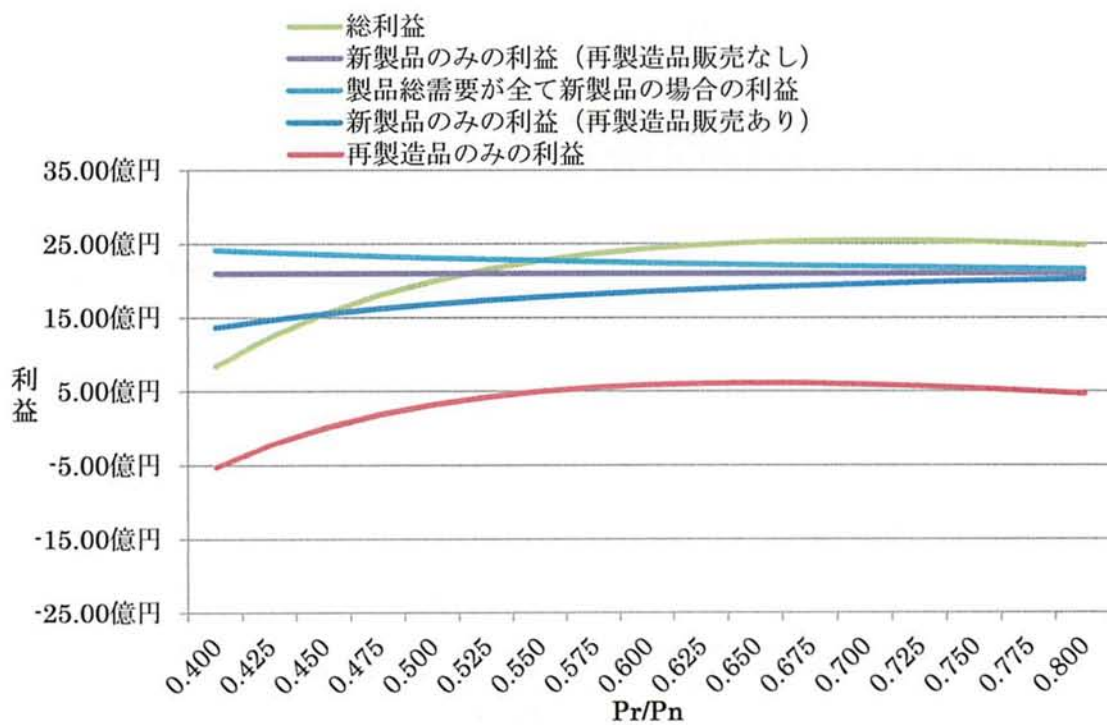


図 5.3.19 $C_r/C_n = 0.50$ のときの利益と Pr/Pn の関係

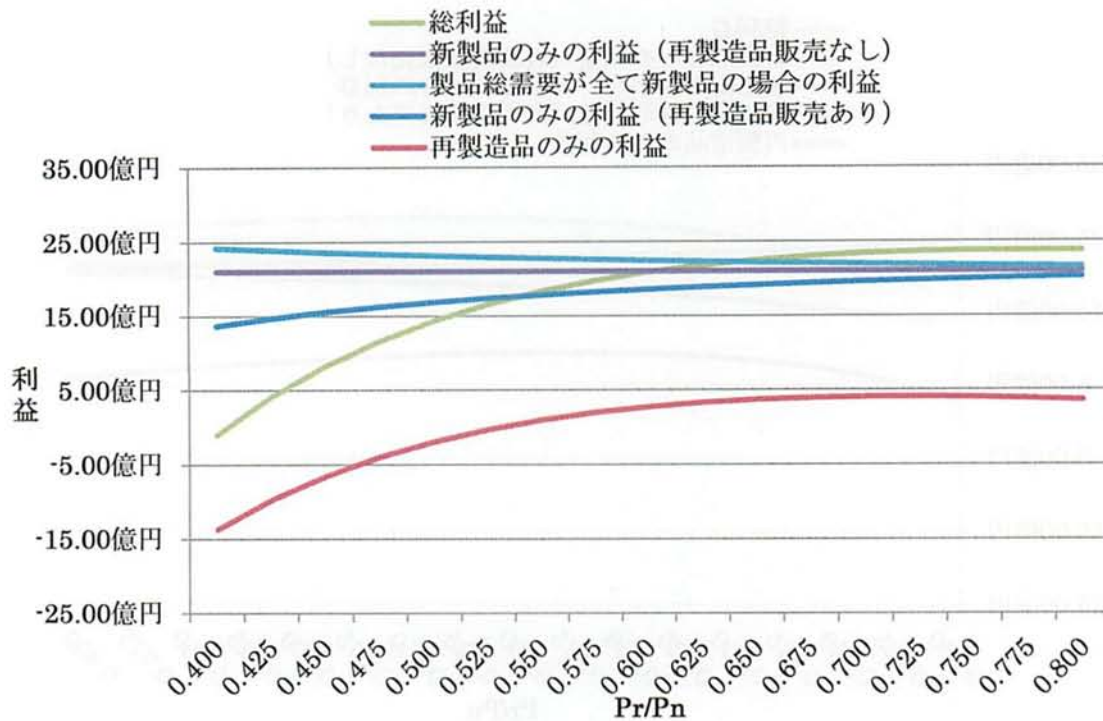


図 5.3.20 $C_r/C_n = 0.60$ のときの利益と Pr/Pn の関係

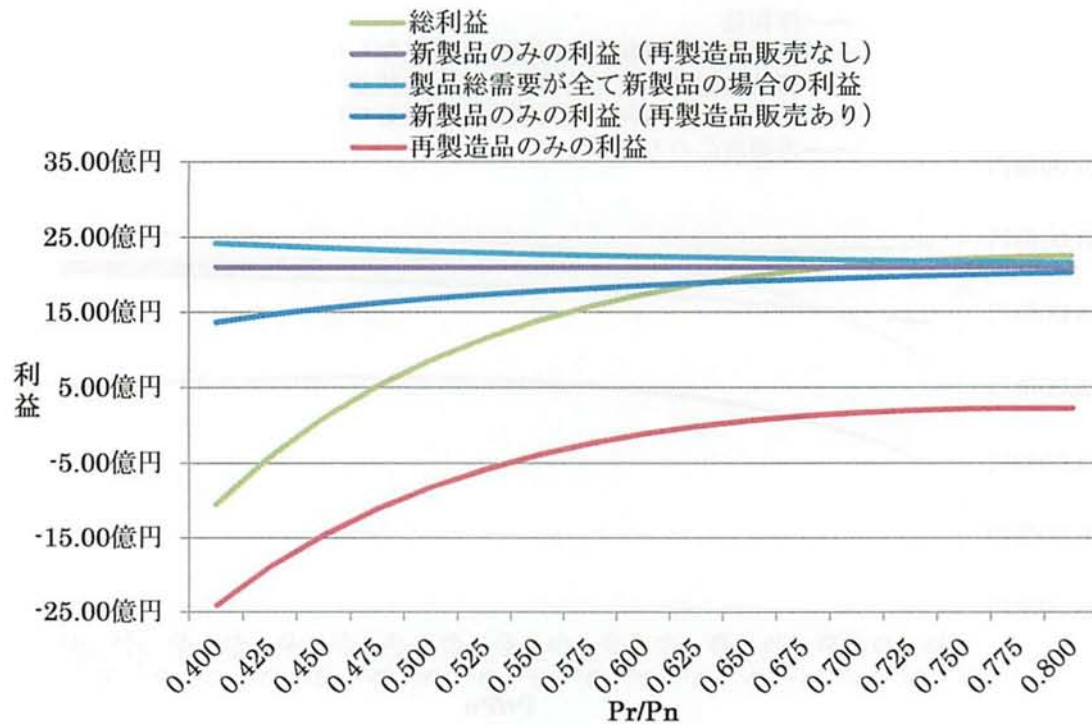


図 5.3.21 $C_r/C_n = 0.70$ のときの利益と Pr/Pn の関係

ここで、それぞれの C_r/C_n の値に対して利益が最も高くなる P_r/P_n と利益を抽出したものを、表 5.3.2 と図 5.3.22, 図 5.3.23 で示す。図 5.2.26, 図 5.2.27 では赤い部分が利益最大値を示す。

表 5.3.2 C_r/C_n における利益最大値のときの P_r/P_n の値と利益

Cr/Cn	0.3	0.35	0.4
Pr/Pn	0.550	0.600	0.625
Profit	¥3,162,080,000	¥2,959,280,000	¥2,794,260,000
Cr/Cn	0.45	0.5	0.55
Pr/Pn	0.675	0.700	0.725
Profit	¥2,657,480,000	¥2,543,700,000	¥2,447,400,000
Cr/Cn	0.6	0.65	0.7
Pr/Pn	0.775	0.800	0.800
Profit	¥2,368,900,000	¥2,303,710,000	¥2,244,580,000

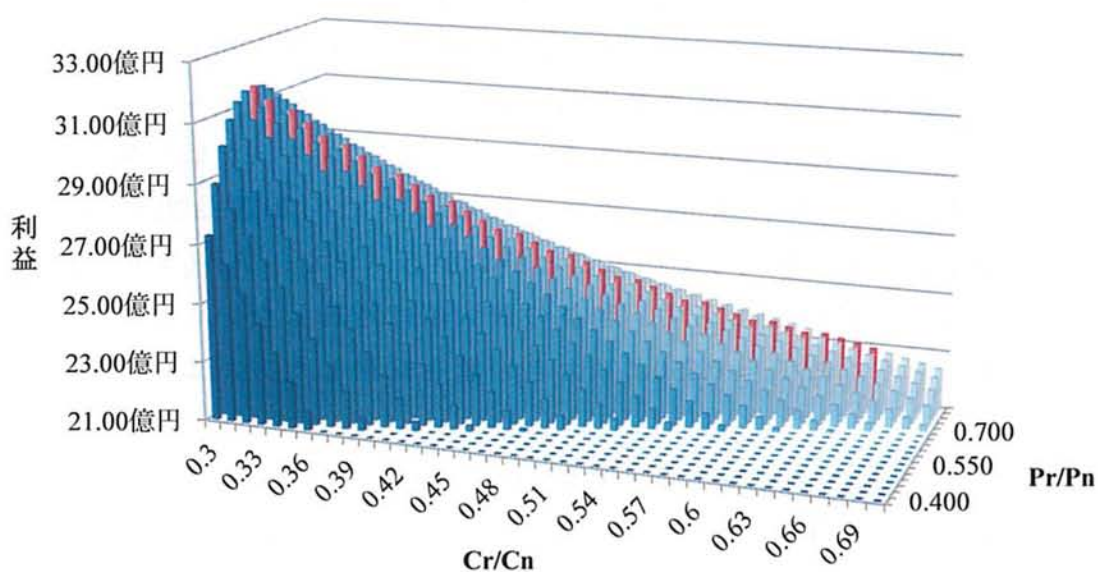


図 5.3.22 C_r/C_n における利益最大値となる P_r/P_n の値と利益

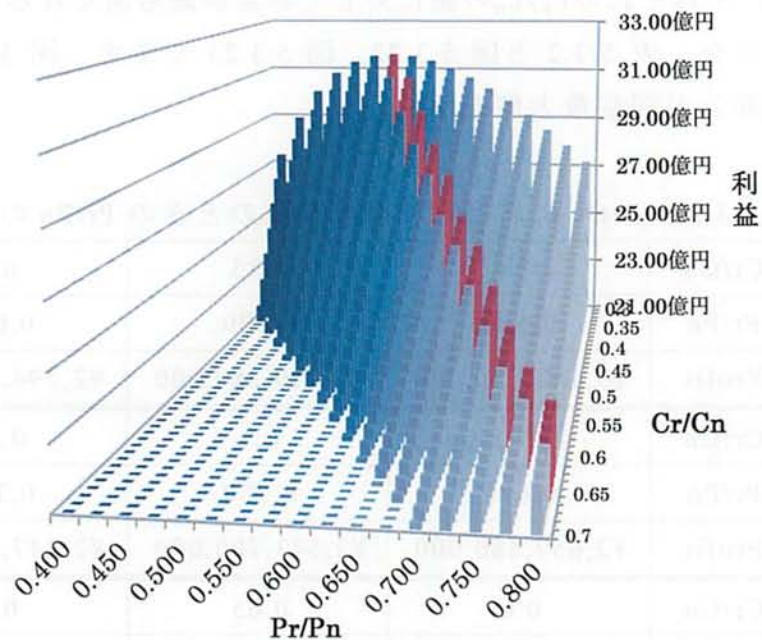


図 5.3.23 Cr/Cn における利益最大値となる Pr/Pn の値と利益

図 5.3.15 の結果から、ケース 1 と同様に再製造品コストが低いとき、再製造品を販売することで新製品需要に Cannibalization 効果が起こる場合でも利益は新製品のみを販売していた場合よりも増加していることがわかる。ただし、表 5.3.2 からわかるように、 $C_r/C_n = 0.30$ のとき利益が最も出るときは $P_r/P_n = 0.550$ のときであるが、再製造品による利益だけを見てみると最も利益が増大するときは $P_r/P_n = 0.475$ である。ここから、コストが低い場合でも再製造品を低価格にし、大量に販売されることで、新製品需要量への Cannibalization 効果が増大していることがわかる。また、 $P_r/P_n = 0.550$ より小さい値は C_r/C_n の値に関わらず、利益の最大値は増加しないことから、再製造品の販売価格は $P_r/P_n = 0.550$ より大きい値を採用した方がよいことがわかる。

図 5.3.3 と図 5.3.15 を比較すると新製品のための利益より増大する範囲は、Market expansion 効果によって増えていることがわかる。また、Market expansion 効果によって需要が拡大した場合、Cannibalization 効果のみのときより、同じコスト条件で利益の最大値を比較すると利益は増大していることがわかる。しかし、同じコスト条件で利益最小値を比較すると、Cannibalization 効果のみの方が利益は大きく、再製造の需要量が増加すると、損益を出すリスクが高まることがわかる。ここからも再製造品を販売する場

合，コストと価格の関係を考慮した戦略の重要性がわかる。

5.2.5 考察

以上の結果から考察を行う。ケース 1 では Cannibalization 効果を，ケース 2 では Cannibalization 効果と Market expansion 効果を検証した。両方のケースから，再製造品販売を行うことで新製品需要に Cannibalization 効果が起こる場合，そのコストに応じた価格戦略が必要であることがわかった。再製造品価格が低く，再製造品需要が増加した場合，Cannibalization 効果が大きく，総利益が減少する場合もあるが，コストに対して適切な価格設定が行われている場合，新製品を販売していた場合より利益が増加する。さらに，Market expansion 効果を望める場合利益としては再製造品を販売することで新製品のみの販売時と比較すると増加する場合が増えることがわかった。

これらの結果は，企業にとって再製造品販売における Cannibalization 効果がもたらす利益への影響を懸念する事案に対して，解消する一つの結果であると言える。但し，これらはコストに大きく依存していることも考えられる。企業にとっては如何に再製造品コストを抑えた中で，いかなる価格戦略を持つべきかが重要となることもわかった。

5.4 おわりに

本章では数値実験を行い，その中で Cannibalization 効果と Market expansion 効果の定量的評価を利益の観点から行った。この数値実験から，再製造品を販売することで，新製品需要に対して Cannibalization 効果が起こった場合でも，価格とコストの関係を考慮することで利益は増加する場合があることが示すことが出来た。

第 6 章 結論

6.1 得られた成果のまとめ

地球環境問題や資源枯渇問題などが顕在化される中で、企業は環境負荷に配慮したモノづくりを求められている。本研究ではクローズド・ループ・サプライ・チェーン及びハイブリッド製造／再製造システムに着目した。ハイブリッド製造／再製造システムの構築には様々な課題が存在するが、本研究では再製造品販売による新製品需要への影響に着目した。

再製造品を販売することで、需要には 2 つの影響を及ぼす。新製品需要を減少させる、Cannibalization 効果と、再製造品による新たな需要層を生み出す Market expansion 効果である。再製造品を販売することで新製品需要に対して Cannibalization 効果が起こるため、利益が減少することを懸念し、再製造品を販売するポテンシャルを持ちながら再製造品販売を行わない企業もある。これらの効果を言及した論文はいくつかあるが、利益の観点から定量的評価を行ったものは少ないのが現状である。本研究ではこれらの効果の定量的評価を利益の観点から行った。

本研究の数値実験では 2 つのケースを想定した。ケース 1 では Cannibalization 効果を、ケース 2 では Cannibalization 効果と Market expansion 効果がともに起こる場合を検討した。

数値実験の結果から、両方のケースを検討すると、再製造品販売を行うことで新製品需要に Cannibalization 効果が起こる場合、そのコストに応じた価格戦略が必要であることがわかった。再製造品価格が低く、再製造品需要が増加した場合、Cannibalization 効果が大きく、総利益が減少する場合もあるが、コストに対して適切な価格設定が行われている場合、新製品を販売していた場合より利益が増加している。さらに、Market expansion 効果を望める場合、利益としては再製造品を販売することで新製品のための販売時と比較すると増加する場合が増えることがわかった。これは、企業にとって再製造品販売における Cannibalization 効果がもたらす利益への影響を懸念する事案に対して、解消する一つの結果であると言える。但し、これらはコストに大きく依存していることも考えられる。企業は再製造品コストを抑えた中で、いかなる価格戦略を持つべきかが重要となることもわかった。

6.2 今後の展望

本研究の課題として、本研究では再製造品の需要に対して価格弾力性考慮したが、消費者の再製造品に対する WTP を考慮するなど需要構造のモデルを確立する必要がある点が挙げられる。また、本研究では高価格の複合機を対象に行ったが、様々な価格帯の製品、製品特徴をもった数値実験が必要となる。

この研究を基に、環境負荷低減に向けたモノづくりに関する研究に役立てることが出来れば幸いである。

謝辞

本研究にあたり、日頃より暖かいご指導を賜りました開沼泰隆先生に心から感謝の気持ちを申し上げます。開沼泰隆先生には、研究に関するご指導だけでなく、未熟な私に教養など、私の知らなかった多くのことをご教授いただきました。

同研究室において2年間共に切磋琢磨して研究に励み、研究に対する叱咤激励を下さりました孫新晨さん、小林毅央さんに感謝申し上げます。

研究室を支えてくださり、助け合って研究室生活を過ごさせて頂いた奥村治さん、軽部元久さん、栗田和也さん、山下陽介さん、井上理恵さん、大和田智美さん、小鍛冶啓さん、七澤巧さん、並木櫻子さん、森晃大さん、斉礼さんに感謝申し上げます。

研究室の雰囲気明るくし、また時には研究に対する叱咤激励を下さりました加幡美音さん、天野大輔さん、添田大智さん、千野宗博さん、戸張弘さんに感謝申し上げます。

これまで、研究を共に励み、研究室生活をサポートしてくださった飯島祐基さん、伊坂萌里さん、榎本祐介さん、田中佑弥さん、岩間寛貴さん、栄冠瑋さん、孫靖玉さんに感謝申し上げます。

共にクローズド・ループ・サプライ・チェーンの研究をし、たくさんの有益なご意見を下さった佐藤遥香さん、小林洋介さんに感謝申し上げます。

さらに、本研究において再製造品におけるコストデータの提供にご協力くださいました株式会社リコーに心より感謝致します。

その他、多数の方々への謝辞を述べさせていただきます。ありがとうございました。研究室で多くの人に支えられ過ごした3年間での貴重な経験を忘れずに、今後の生活に活かしたいと思っております。

参考文献

- [1] 環境省 HP : https://www.env.go.jp/recycle/recycling/raremetals/index_rel.html
(2015/12/20)
- [2] 徳山博子, 曹徳弼, 熊本和浩 : 「生産マネジメント」, 朝倉書店 (2002)
- [3] 中野幹久 : 「サプライチェーン・プロセスの運営と変革—部門間の調整とパフォーマンスの関係—」, 白桃書房 (2010)
- [4] 圓川隆夫 : 「オペレーションズ・マネジメントの基礎—現代の経営工学—」, 朝倉書店 (2009)
- [5] 日本規格協会 : 「JIS ハンドブック 57 品質管理」, 一般財団法人日本規格協会 (2015)
- [6] 藤川裕晃 : 「サプライチェーン・マネジメントとロジスティクス管理入門」, 日刊工業新聞社 (2008)
- [7] 森田道也 : 「サプライチェーンの原理と経営」, 新成社 (2004)
- [8] 高桑宗右エ門, 「オペレーションズマネジメント 生産・サプライチェーンの管理」, 中央経済社 (2015)
- [9] 中野幹久 : “サプライチェーンにおける戦略, 構造, プロセスの適合とパフォーマンスの関係”, 京都産業大学総合学術研究所所報, Vol.7, pp.111-115 (2012)
- [10] Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C.D., Zacharia, Z.G.: “Definig supply chain management”, *Journal of Business Logistics*, Vol.22, No.2, pp.1-25 (2001)
- [11] Lee, H. L.: “The Triple-A Supply Chain”, *Harvard Business Review October* (2004)
- [12] 下野由貴 : “サプライチェーンの変動対応力, 欧州における日系自動車メーカーの事例研究”, 尾道大学経済情報論集, Vol.7, No.1, pp.229-244 (2007)
- [13] Lee, H. L., Padmanabhann, V., Whang, S.: “The bull whip effect in supply chains”, *Sloan Management Review*, vol.38, Issue3, pp.93-102 (1997)
- [14] Sucky, E.: “The bull whip effect in supply chains—An over estimated problem?” *Int. J. Production Economics*, Vol.118, pp.311-322 (2009)
- [15] 菊池康也 : 「実践 SCM の基礎知識」, 税務経理教会 (2008)
- [16] 久保幹雄 : 「サプライチェーン最適化の新潮流」, 朝倉書店 (2011)
- [17] 大阪・神戸ドイツ連邦共和国総領事館 HP :
<http://eureka.tu.chiba-u.ac.jp/study/enen/germany/germany.pdf> (2014/12/20)
- [18] 有光大幸, 中島健一, 能勢豊一, 栗山仙之助 : “循環型生産システムの構築に関する研究”, 日本経営工学会論文, Vol.54, No.1, pp.19-25 (2003)
- [19] 山田哲男 : “循環型生産システムの国内事例と異なる製品生産ライフサイクルを考慮した設計課題”, 武蔵工業大学環境情報学部紀要, 第 10 号, pp.100-107 (2009)

- [20] 富士ゼロックス HP : <http://www.fujixerox.co.jp/company/eco/cycle/concept.html>
(2015/12/20)
- [21] リコーHP : <https://jp.ricoh.com/ecology/management/concept.html> (2015/12/20)
- [22] 日本経済新聞 (2015.7.17 朝刊)
- [23] 松本光崇: “リマニュファクチャリングの成立要件と事例”, 精密工学会誌 Vol.76,
No.3, pp.261-263(2010)
- [24] Souza, G. C.: “Closed-Loop Supply Chains: A Critical Review and Future Research”,
Decision Sciences, Vol.44, Issue 1, pp.7-38 (2013)
- [25] 平川保博: 「オペレーションズ・マネジメントーハイブリッド生産管理への誘いー」,
森北出版株式会社 (2000)
- [26] Neto, J. Q. F., Bloemhof, J.: “ An Analysis of the Eco-Efficiency of Remanufactured
Personal Computers and Mobile Phones”, *Production and Operations Management
Society*, Vol. 21, No.1, pp.101-114 (2012)
- [27] Wang, J.: “Optimum policy in hybrid manufacturing/remanufacturing system”,
Computers & Industrial Engineering, Vol.21, pp.411-419 (2011)
- [28] Umeda, Y., Kondoh, S., Sugino, T.: “Analysis of Reusability using ‘Marginal Reuse Rate’”,
CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol.55, pp.41-44 (2006)
- [29] Kenne, J. P., Dejax, P., Gharbi, A.: “Production planning of a hybrid manufacturing–
remanufacturing system under uncertainty within a closed-loop supply chain”, *Int. J.
Production Economics* ,Vol.135, pp.81-93 (2012)
- [30] 大下祐輝: “カスケードリユースを考慮したハイブリッド生産/再生産に関する研
究”, 首都大学東京大学院システムデザイン研究科修士論文 (2010)
- [31] Gallo, M., Guerra, L., Guizzi, G.: “Hybrid Remanufacturing/Manufacturing Systems:
secondary markets issues and opportunities”, *Department of Materials Engineering and
Operations Management*, Vol.6, pp.31-41 (2009)
- [32] 佐々木慶彦: “クローズド・ループ・サプライ・チェーンにおけるハイブリッド製
造/再製造システムの利益の評価”, 首都大学東京システムデザイン学部卒業論文
(2014)
- [33] Atasu, A., Guide, V. D. R., Van Wassenhov, L. N.: “So what if remanufacturing
cannibalizes my new product sales?”, *California management review*, Vol.52, No.2 (2010)
- [34] Guide, V. D. R., Li, J.: “The potential for cannibalization of new products sales by
remanufactured products”, *Decision Sciences*, Vol.41, No.3 (2010)
- [35] 善哉伸也: “クローズド・ループ・サプライ・チェーンにおけるリユース部品の最
適発注方策”, 東京都立科学技術大学卒業論文 (2007)
- [36] 木戸茂: 「消費者行動のモデル」, 朝倉書店 (2014)

- [37] Bass, F.M.: "A New Product Growth Model for Consumer Durables", *Management Science*, Vol.15, No.5, pp.215-227 (1969)
- [38] Fourt, L.A., Woodlock, J.W.: "Early prediction of market success for grocery products", *Journal of Marketing*, Vol.25, pp.31-38 (1960)
- [39] Mansfield, E.: "Technical Change and the Rate of Imitation", *Econometrica*, Vol.29, No.4, pp.741-766 (1961)

付録

付録として，第 4 章及び第 5 章で行った数値実験の結果として，数多くに及ぶため記載できなかったものを記載する

1 数値実験（第4章）の結果

本論で述べた数値実験1における結果の中で、記載できなかった α 値を変化させた結果を以下にまとめる。

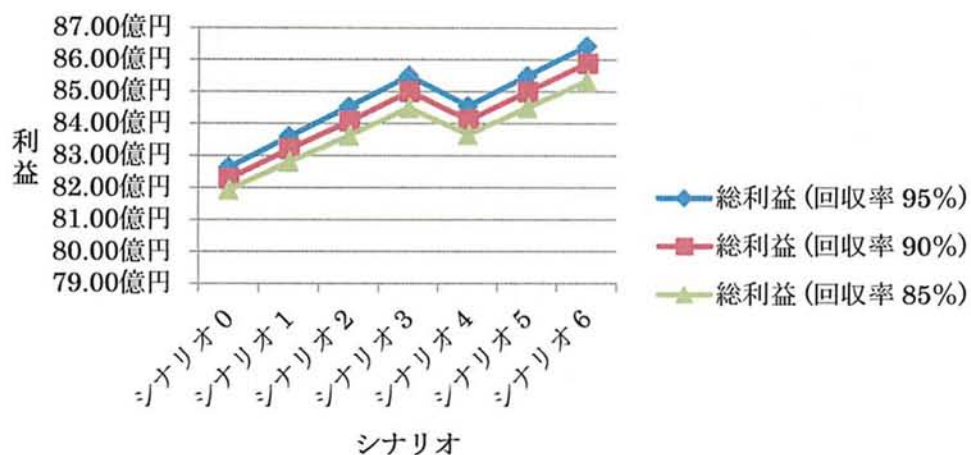


図1 シナリオと利益の関係 ($\alpha = 0.0$)

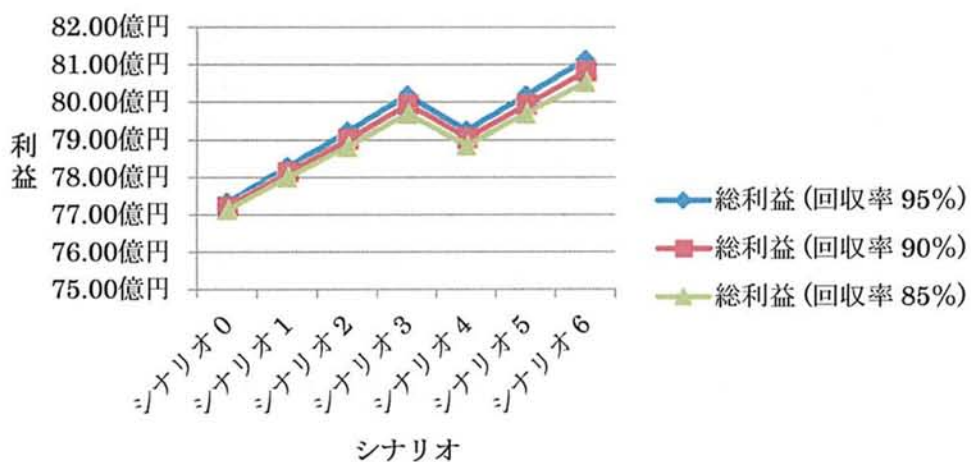


図2 シナリオと利益の関係 ($\alpha = 0.1$)

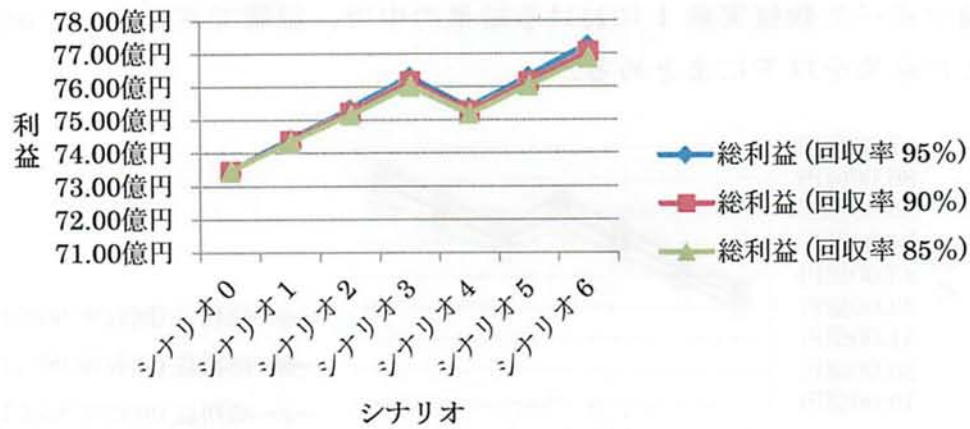


図 3 シナリオと利益の関係 ($\alpha = 0.2$)

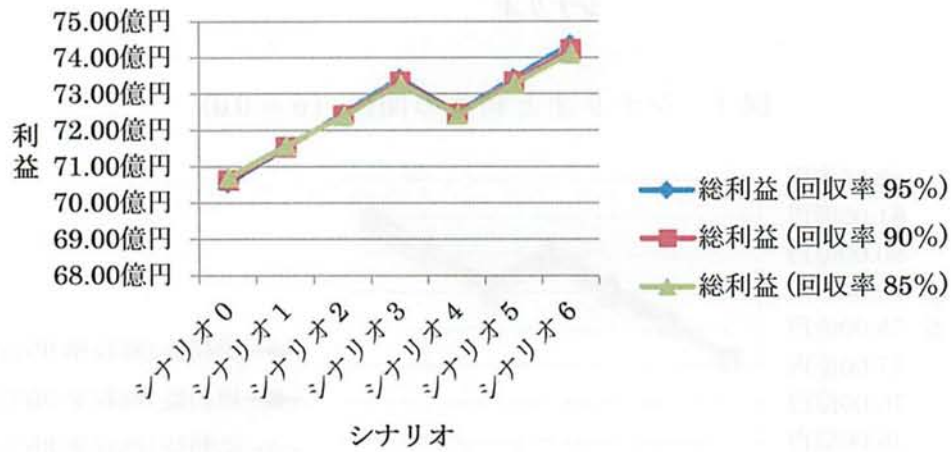


図 4 シナリオと利益の関係 ($\alpha = 0.3$)

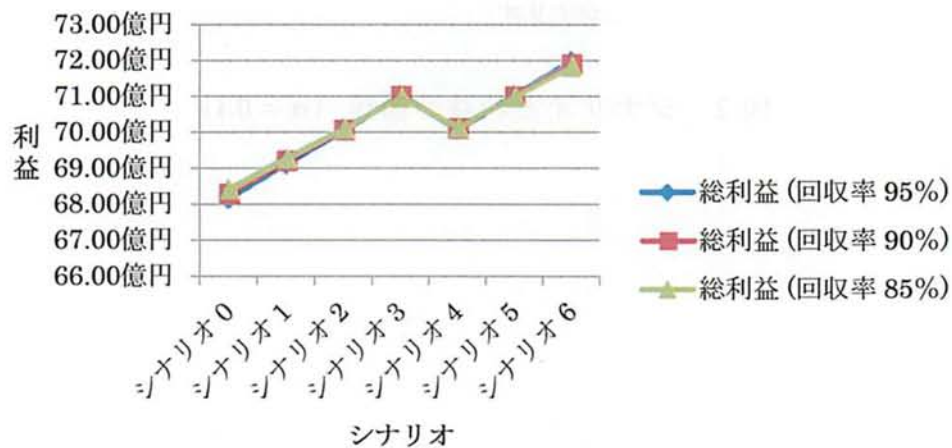


図 5 シナリオと利益の関係 ($\alpha = 0.4$)

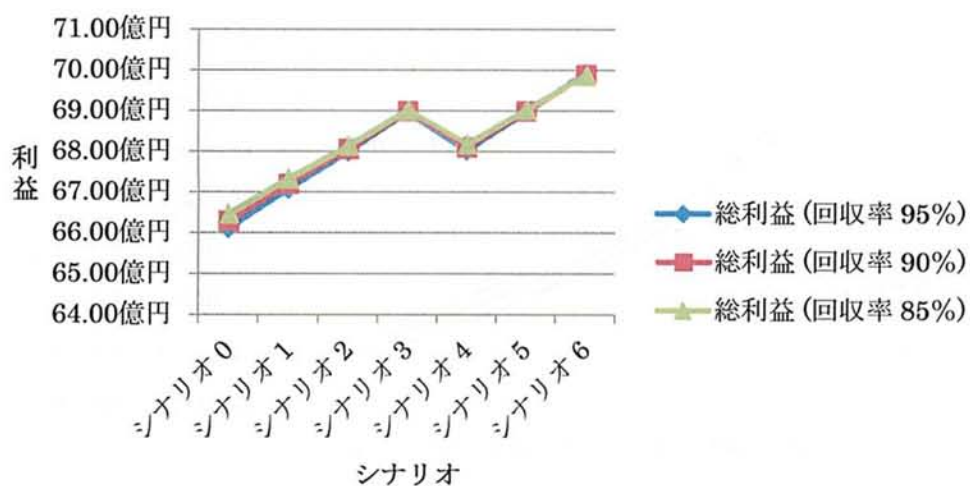


図 6 シナリオと利益の関係 ($\alpha = 0.5$)

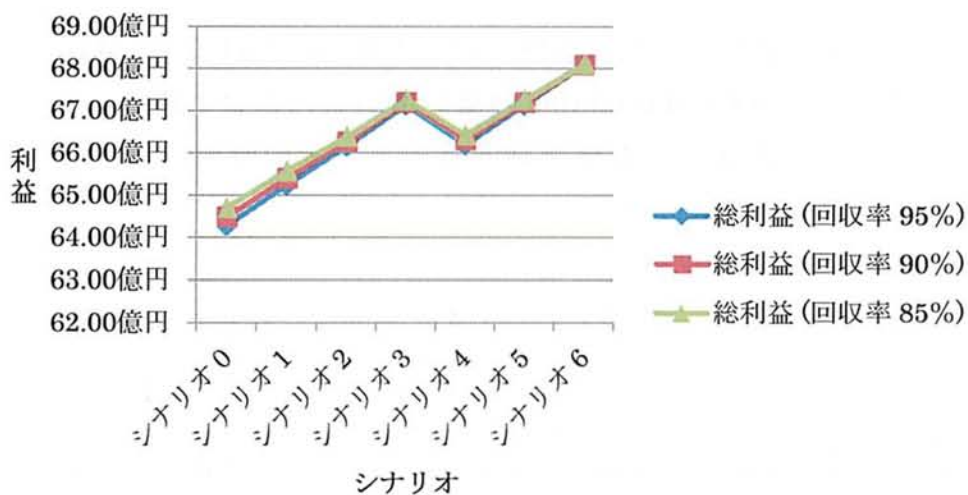


図 7 シナリオと利益の関係 ($\alpha = 0.6$)

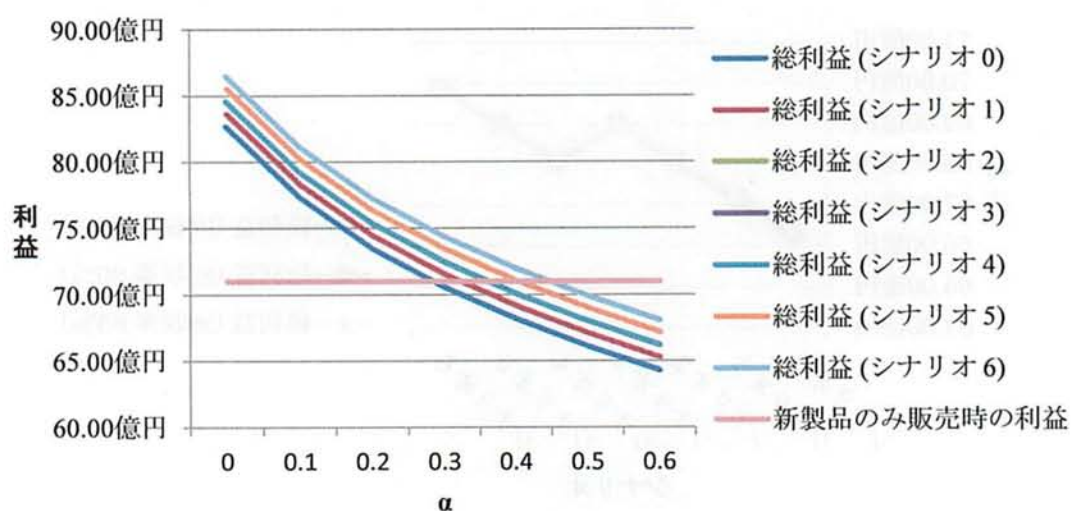


図 8 シナリオと利益の関係 ($r = 0.85$)

ここで、本論で記載した数値実験では、再製造における Good condition コストを一定としたが Good condition の量が増加した場合 1 個当たりのコストが低くなることを想定した数値実験を行った。その時のパラメータを表 1 に記載し、結果を以下に示す。

表 1 シナリオとコスト

	シナリオ 0	シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 3	シナリオ 4	シナリオ 5	シナリオ 6
Remanufacturing cost (good condition)	4000	3600	3600	3600	3200	3200	3200
Good condition	20%	25%	25%	25%	30%	30%	30%
Medium condition	50%	45%	50%	55%	40%	45%	50%
Bad condition	30%	30%	25%	20%	30%	25%	20%

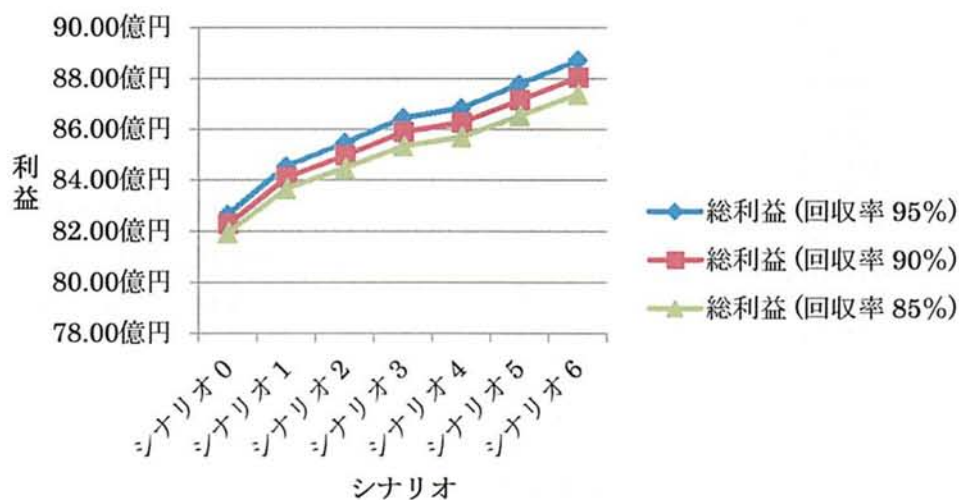


図 9 シナリオと利益の関係 ($\alpha = 0.0$)

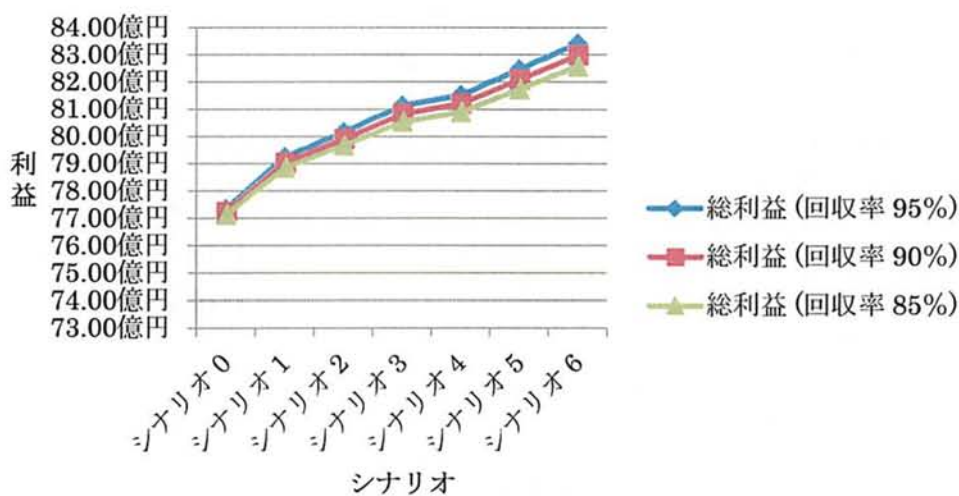


図 10 シナリオと利益の関係 ($\alpha = 0.1$)

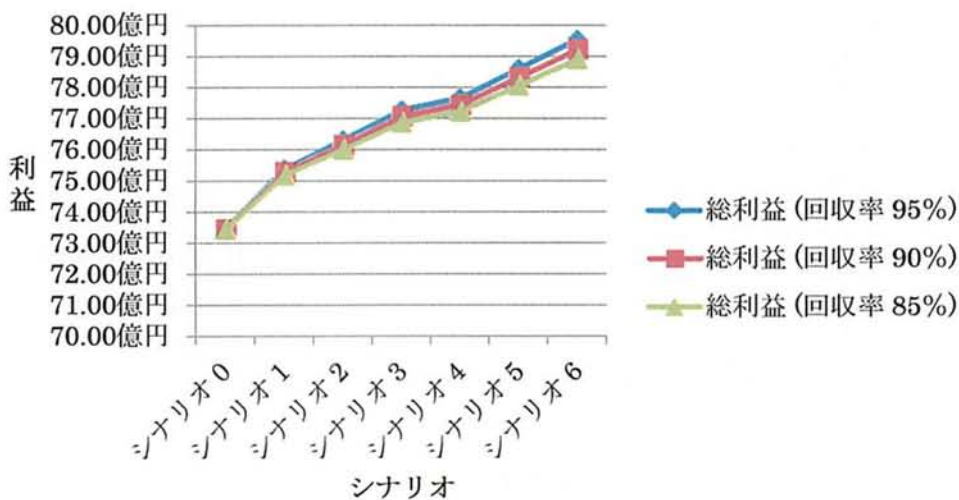


図 11 シナリオと利益の関係 ($\alpha = 0.2$)

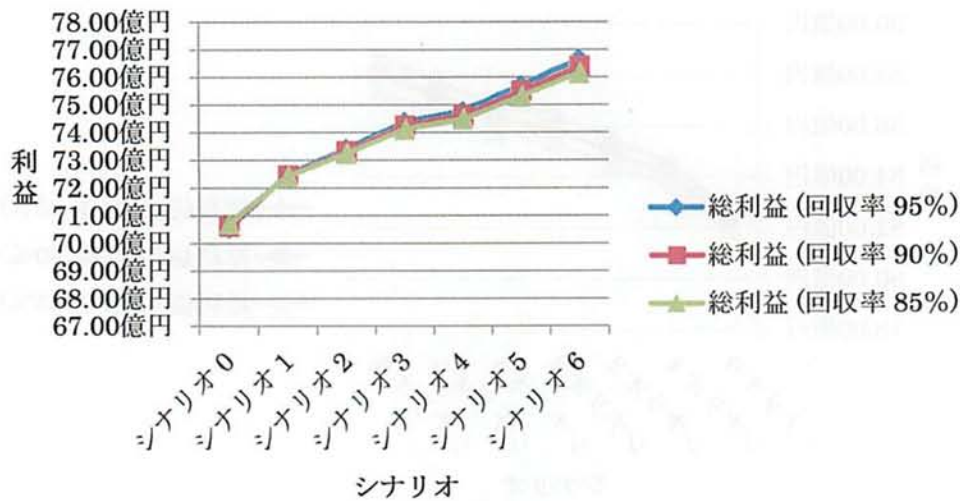


図 12 シナリオと利益の関係 ($\alpha = 0.3$)

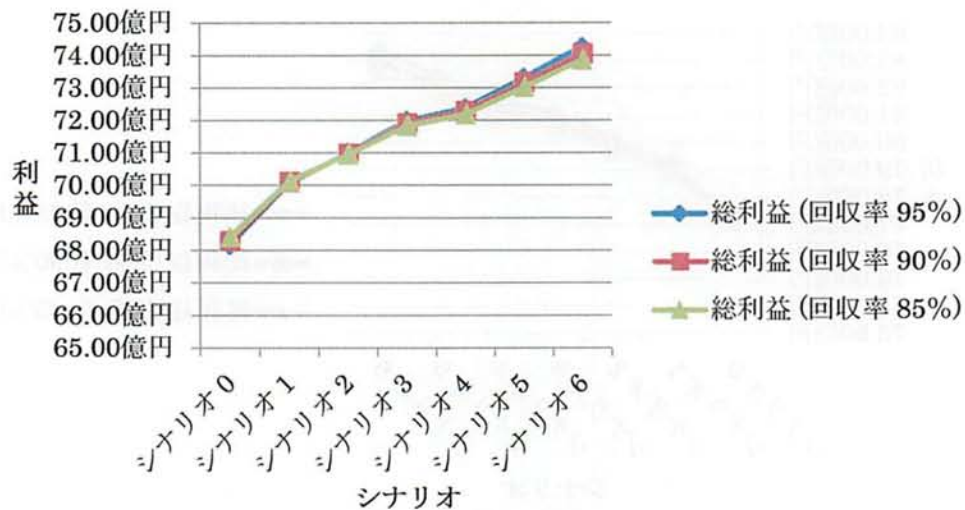


図 13 シナリオと利益の関係 ($\alpha = 0.4$)

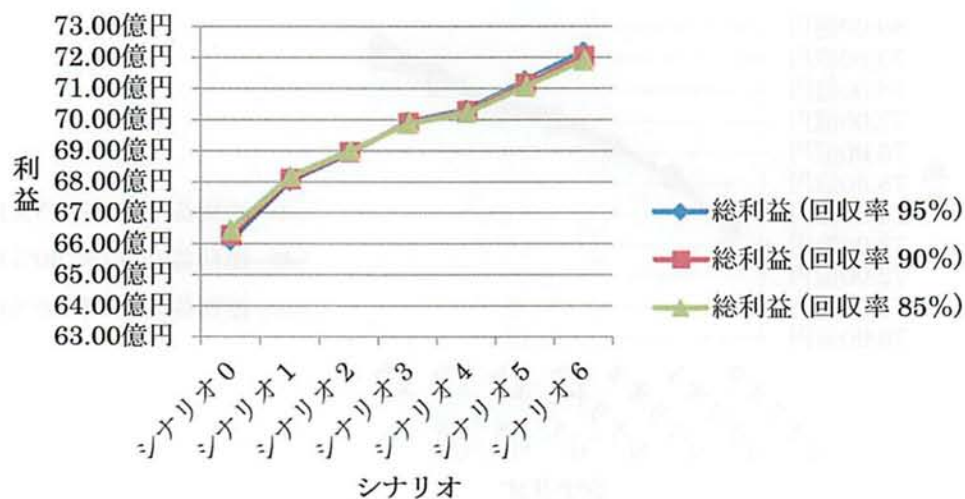


図 14 シナリオと利益の関係 ($\alpha = 0.5$)

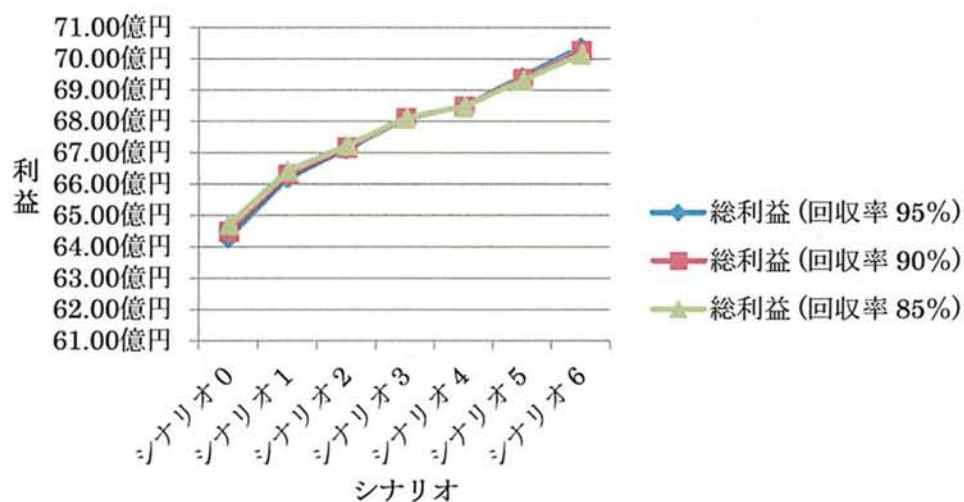


図 15 シナリオと利益の関係 ($\alpha = 0.6$)

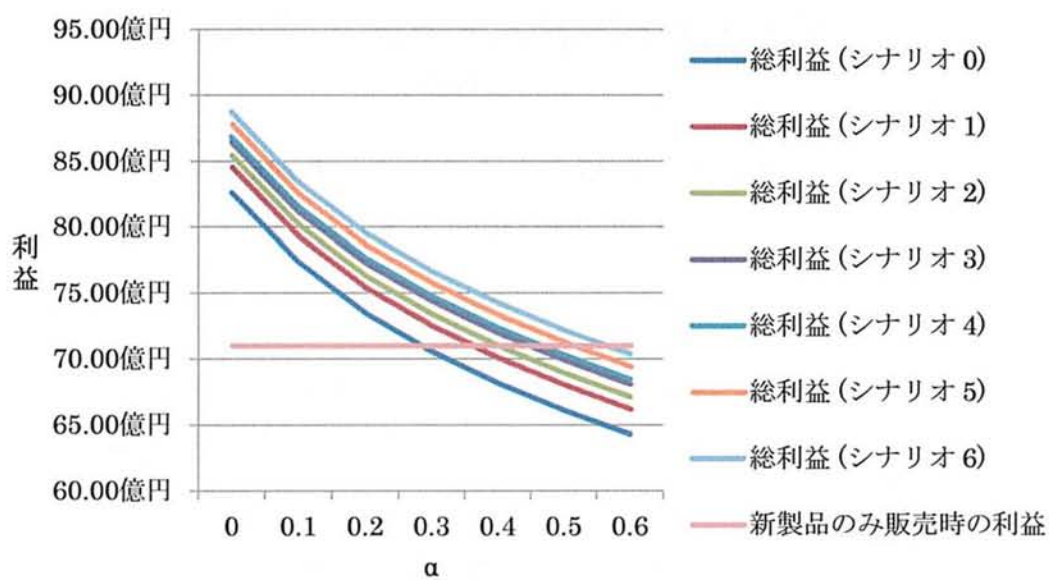


図 16 シナリオと利益の関係 ($r = 0.85$)

2 数値実験 2（第 5 章）の結果

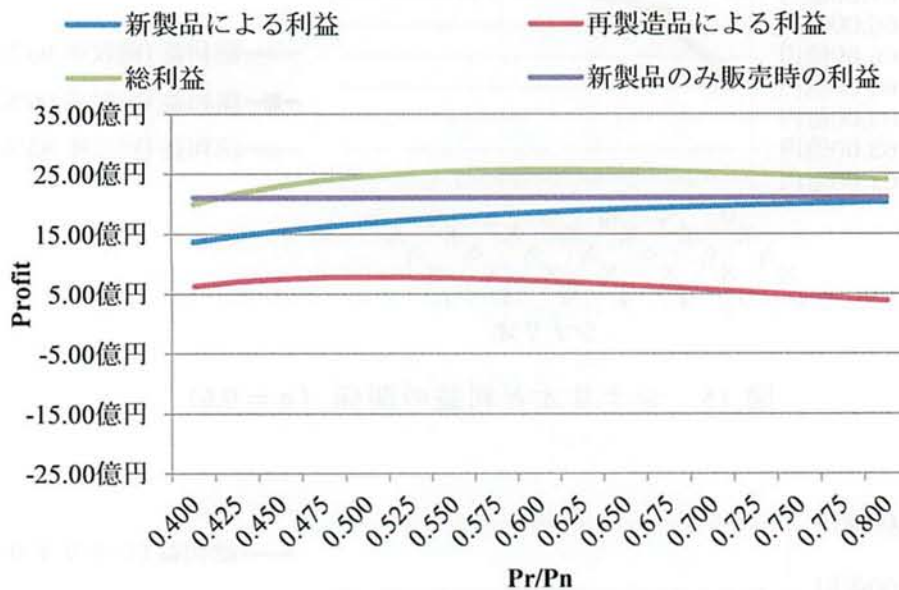


図 17 $Cr/Cn = 0.35$ のときの利益と Pr/Pn の関係
(Cannibalization 効果)

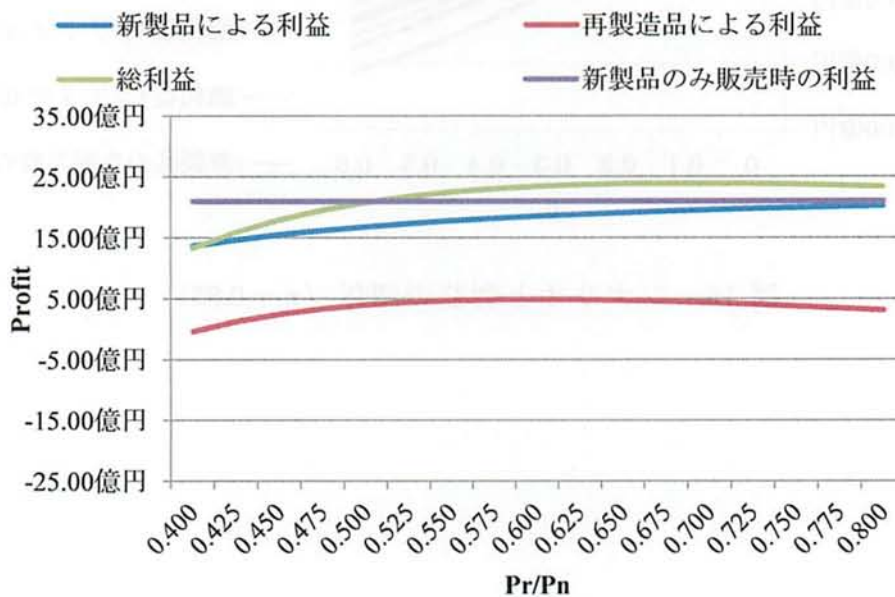


図 18 $Cr/Cn = 0.45$ のときの利益と Pr/Pn の関係
(Cannibalization 効果)

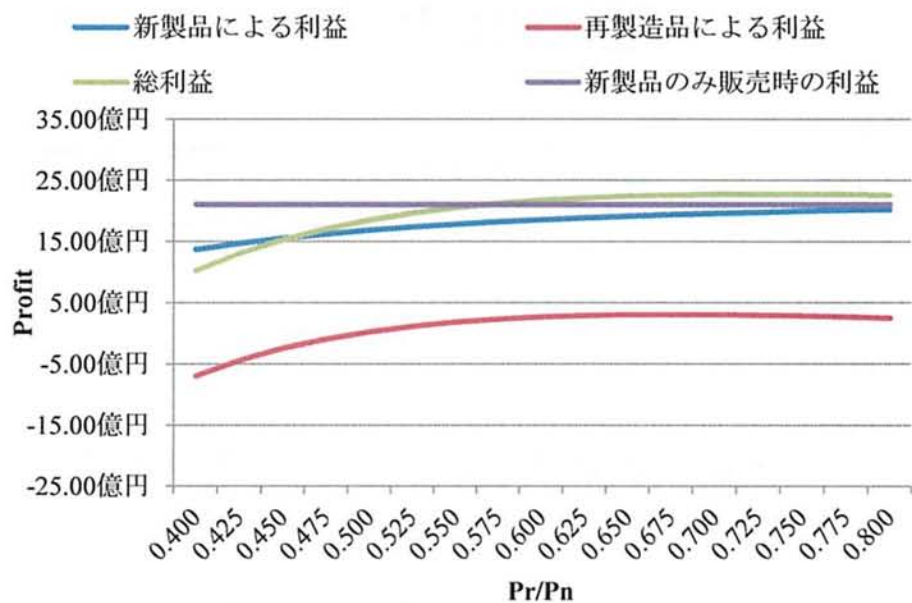


図 19 $Cr/Cn=0.55$ のときの利益と Pr/Pn の関係
(Cannibalization 効果)

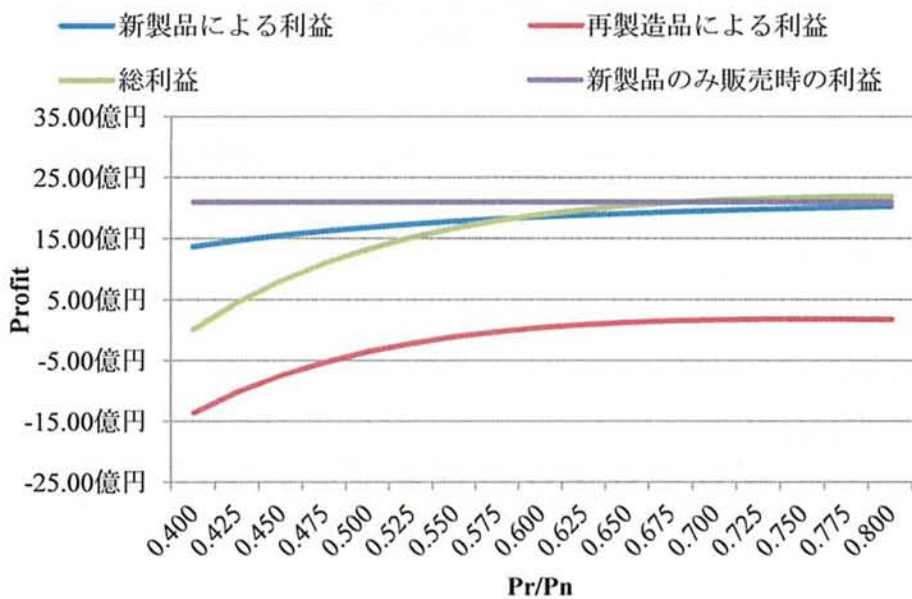


図 20 $Cr/Cn=0.65$ のときの利益と Pr/Pn の関係
(Cannibalization 効果)

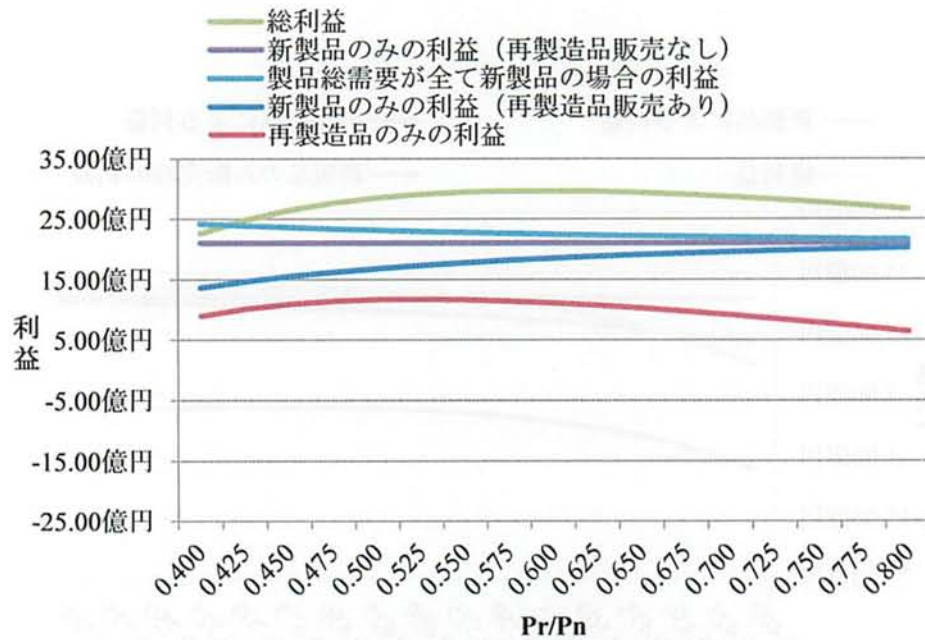


図 21 $Cr/Cn = 0.35$ のときの利益と Pr/Pn の関係
(Cannibalization 効果+Market expansion 効果)

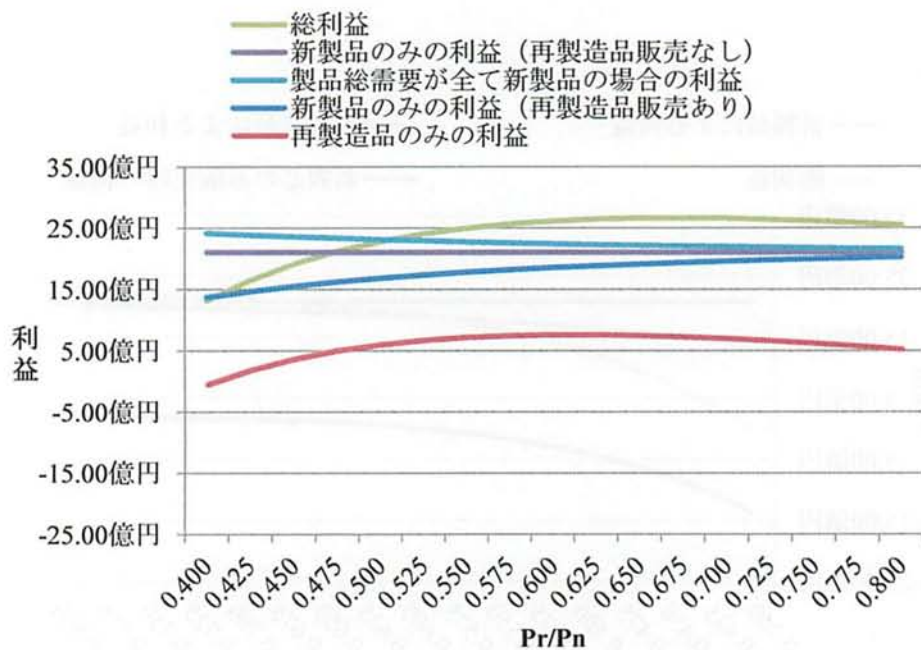


図 22 $Cr/Cn = 0.45$ のときの利益と Pr/Pn の関係
(Cannibalization 効果+Market expansion 効果)

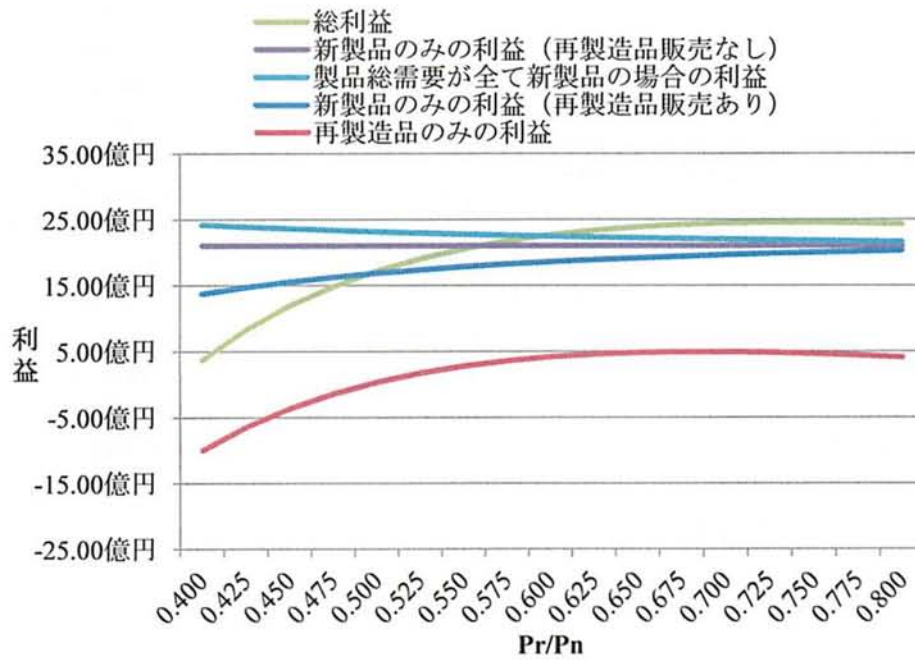


図 23 $Cr/Cn=0.55$ のときの利益と Pr/Pn の関係
(Cannibalization 効果+Market expansion 効果)

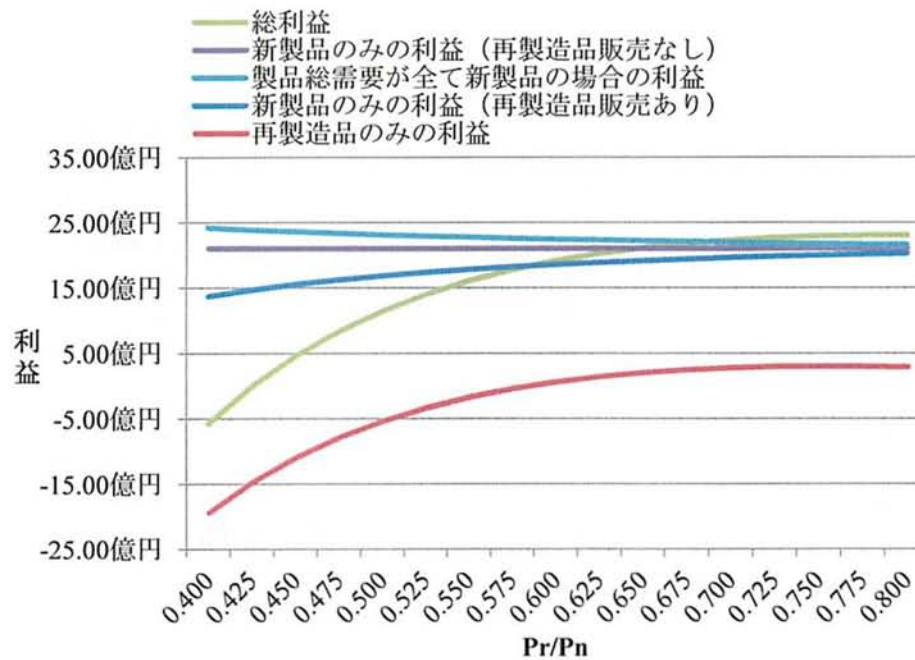


図 24 $Cr/Cn=0.65$ のときの利益と Pr/Pn の関係
(Cannibalization 効果+Market expansion 効果)

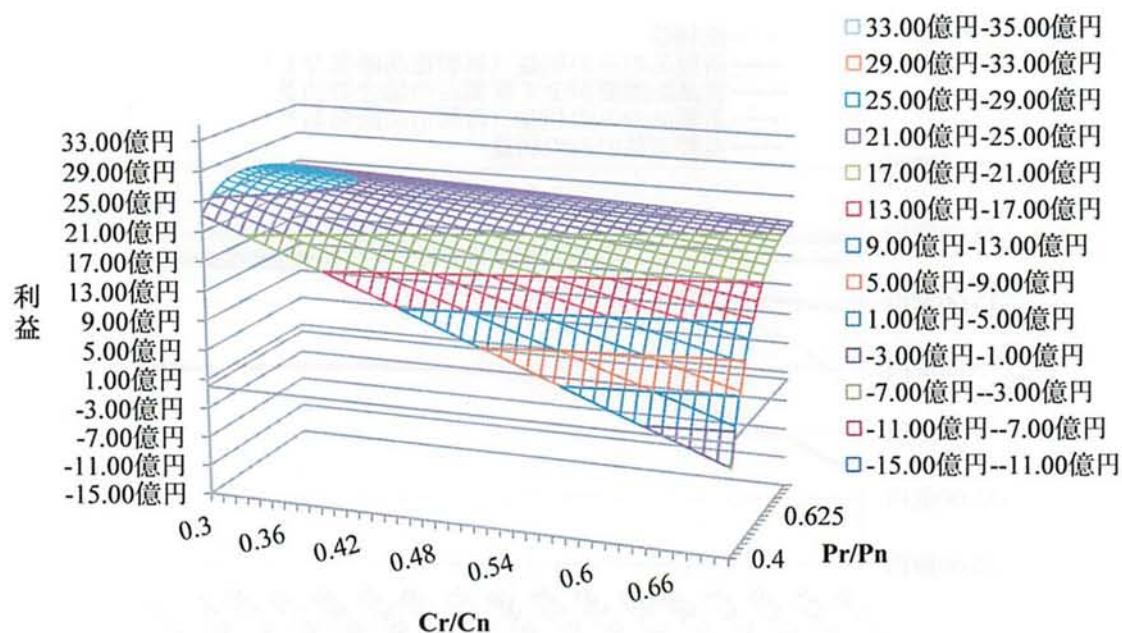


図 25 利益と Pr/Pn と Cr/Cn の関係 (Cannibalization 効果)

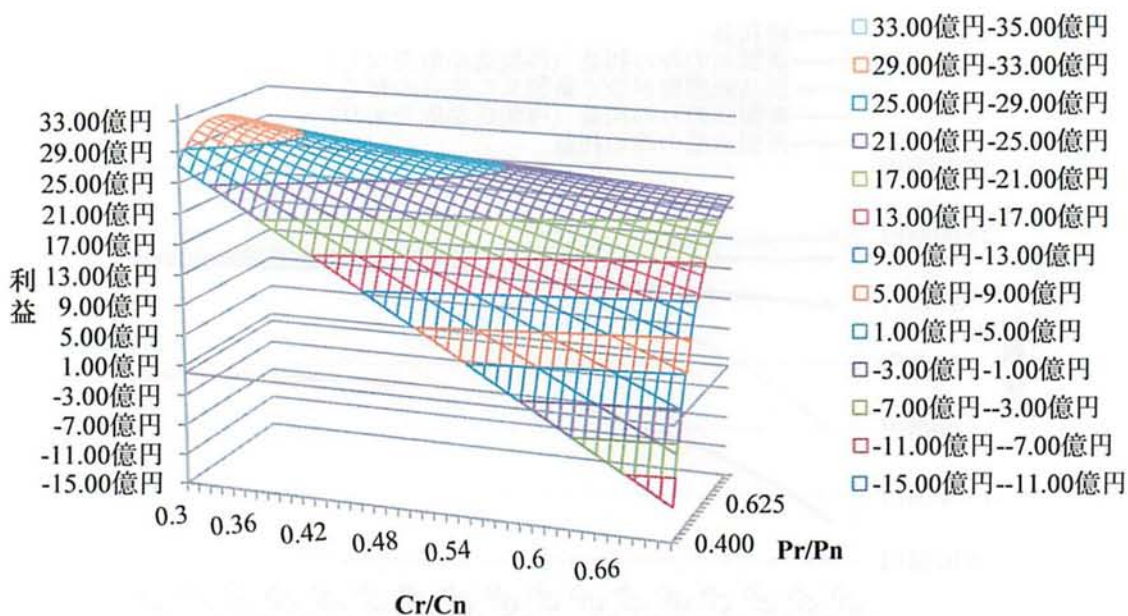


図 26 利益と Pr/Pn と Cr/Cn の関係
(Cannibalization 効果+Market expansion 効果)