

RVMを用いたリサイクルシステムの  
経済効果評価

Economic Effect Evaluation  
of Recycling System  
Using Reverse Vending Machine

2017年12月

鈴木 広人

Hiroto SUZUKI

RVMを用いたリサイクルシステムの  
経済効果評価

Economic Effect Evaluation  
of Recycling System  
Using Reverse Vending Machine

2017年12月

早稲田大学大学院 創造理工学研究科

鈴木 広人  
Hiroto SUZUKI



# 目次

<b>第1章</b>	<b>序論</b>	<b>1</b>
1.1	研究背景	1
1.2	研究目的	3
1.3	本論文の構成	7
<b>第2章</b>	<b>従来研究と本論文の取り組み</b>	<b>9</b>
2.1	ペットボトルリサイクルに関する従来研究	9
2.1.1	リサイクルシステムを構成する各主体を対象とした研究	9
2.1.2	リサイクルシステム全体を対象とした研究	11
2.2	本論文の位置づけ	13
<b>第3章</b>	<b>RVMを用いた回収の効果評価モデル</b>	<b>14</b>
3.1	はじめに	14
3.2	従来研究	15
3.2.1	調達量と需要量の変動を扱った研究	15
3.2.2	本論文の位置づけ	17
3.3	提案モデル	18
3.3.1	前提条件	18
3.3.2	状況設定	19
3.3.3	RVMを用いない場合	20
3.3.4	RVMを用いる場合	22
3.3.5	RVMを用いた回収の効果	24
3.4	数値実験	24
3.4.1	概要	24
3.4.2	パラメータ設定	25
3.4.3	結果	27
3.5	本章のまとめ	37
<b>第4章</b>	<b>経済的インセンティブを用いる効果評価モデル</b>	<b>39</b>
4.1	はじめに	39
4.2	従来研究	40
4.2.1	消費者の分別廃棄行動とその規定要因に関する研究	41

4.2.2	経済的インセンティブに関する研究 . . . . .	41
4.2.3	本論文の位置づけ . . . . .	43
4.3	提案モデル . . . . .	44
4.3.1	RVM への投入割合とクーポンが購買に使用される割合 . . . . .	46
4.3.2	クーポン加盟小売事業者の利益増加額 . . . . .	47
4.3.3	RVM 事業者の利益 . . . . .	47
4.4	数値実験 . . . . .	48
4.4.1	概要 . . . . .	48
4.4.2	パラメータ設定 . . . . .	50
4.4.3	結果 . . . . .	50
4.5	本章のまとめ . . . . .	57
<b>第 5 章</b>	<b>結論</b>	<b>59</b>
5.1	本論文のまとめ . . . . .	59
5.2	今後の展望 . . . . .	61
	<b>謝辞</b>	<b>62</b>
	<b>参考文献</b>	<b>63</b>
	<b>研究業績</b>	<b>67</b>

# 第1章 序論

## 1.1 研究背景

環境省がまとめた「日本の廃棄物処理の歴史と現状」[34]によると、時代の経過と共に日本が抱えてきた環境問題は変化を遂げてきている。1800年代後半から1950年代では公衆衛生の向上が課題とされている。近代化以降においては、廃棄物による伝染病が流行したことから、1900年に「汚物掃除法」が制定され、清掃行政の仕組みが構築されている。戦後は都市部への人口集中による都市ごみ増加から清掃行政の改革に迫られ、「生活環境施設整備緊急措置法」が制定され、ごみの焼却施設が積極的に建設されたとしている。次に1960年代から1970年代の高度成長期においては、水俣病やイタイイタイ病に見られるように、公害問題が課題であったとされる。高度経済成長と共に工業化が進んだものの、有害物質の排出規制が十分でなかったため、1967年には「公害対策基本法」、1968年には「大気汚染防止法」、1970年には「水質汚濁防止法」が制定され、1971年には環境庁が置かれている。そして1980年代から1990年代前半のバブル期においては、大量生産、大量消費、大量廃棄が本格化し、最終処分場の不足や最終処分場からのダイオキシンが問題とされていた。その後の1990年代から2000年代においては、さらに大量生産、大量消費、大量廃棄が進み、最終処分場の不足に対して抜本的な対策に迫られていた。そこで2000年に「循環型社会形成推進基本法」が制定され、循環型社会構築に向け3Rが実施されてきている。このように日本においては、最終処分場の不足や大気汚染、水質汚染、土壌汚染といった課題から3Rが推進され、また地球規模の環境問題である温暖化や資源枯渇といった課題から、リサイクルを含む3R(Reduce, Reuse, Recycle)は持続的発展を遂げるため必要不可欠な課題である。そして使用済み商品のReduce, Reuseは重要課題ではあるものの、経済的、技術的、品質的理由により限界が存在するため、Recycle(以下、リサイクル)による資源の有効活用が重要であるといえる。

現在リサイクルという言葉は、その再資源化の方法により以下の3つとして分類されることが多い。1つ目はマテリアルリサイクルであり、廃棄物であるマテリアルを異物除去し、原料としてのマテリアルとして再利用することである。代表的事例としてはアルミ缶が挙げられ、ヴァージン素材としてのアルミ製造過程における電気消費量と比較し、マテリアルリサイクル時の電気消費量が少ないことから積極的にリサイクルが行われている。2つ目はケミカルリサイクルであり、廃棄物に対して化学的処理を施すことによって、原材料として再利用することであり、マテリアルリサイクルとの大きな違いは、化学的処理を施すか否かである。最近では使用済みペットボトルに対してケミカルリサイクルを行うことにより、バージン樹脂と同等品質のPET樹脂に再生可能になったことから、ペットボトルからペットボ

トルへのリサイクルが見られるようになっている。3つ目はサーマルリサイクルであり、廃棄物を熱源として利用することである。これは石油から作られる材料を用いている場合に行われることが多く、熱源として再利用される。

次にリサイクルはその循環過程から、同一製品、もしくはカテゴリ製品内で繰り返し再利用されるクローズドリサイクルと、他カテゴリ商品に再利用されるオープンリサイクルとに大別される。クローズドリサイクルの特徴としては、使用原料や素材が明確であり、不純物が少ないことから高度なリサイクルが可能であることが挙げられる。これに対してオープンリサイクルは、様々な使用済み製品が混合回収されるため、選別に係るコストや、選別では除去できない不純物のため高度なリサイクルが行えないことが多い。これに対し本論文では、再資源化の方法や循環過程に関わらず、廃棄物が円滑に再利用されることを目的とすることから、廃棄物が製品、部品、素材のいずれかで再利用されることを「リサイクル」と定義する。また「システム」とは、目的達成のため、相互に影響し合う要素から構成されたものである。したがって本論文では「リサイクルシステム」を、リサイクルを行うために、相互に影響し合う要素から構成されたものと定義する。

本論文で対象とするペットボトルは、1982年より飲料容器として使用され、販売量はその利便性より右肩上がりとなっており、回収、リサイクルは容器包装リサイクル法下において行われている。まず回収については、消費者から分別排出され、市町村が分別回収する市町村ルート、オフィスや工場、自動販売機脇、スーパーマーケット、コンビニエンスストア等から日常的に排出される使用済みペットボトルに対して回収・リサイクルを行う事業系ルートが存在する。市町村ルートにて回収された使用済みペットボトルは、容器包装リサイクル協会により入札が行われる指定法人ルート、または指定法人によらない独自ルートによって再生加工事業者に渡り、リサイクルが行われる。事業系ルートはそれぞれの回収主体によって再生加工事業者が決定され、リサイクルが行われる。PETボトルリサイクル推進協議会 [42] によると、平成23年度においては、市町村ルートは全体の約60%、事業系ルートでは約40%が回収され、市町村ルートのうち指定法人ルートは約70%、独自ルートでは約30%といった割合になっている。また使用済みペットボトルの約40%が海外へ輸出されていると推定されていること、指定法人ルートは使用済みペットボトル全体の約42%であることから、再生加工事業者の多くが指定法人ルートに依存した原料調達を行っている。ここで指定法人ルートにおける原料調達は、容器包装リサイクル協会が実施する入札により原料調達を行うものであり、そのリサイクルの流れを図1.1に示している。

ここで使用済みペットボトルの再生加工を担う再生加工事業者は、近年、その調達量が不安定となっている。再生加工事業者は使用済みペットボトルを、自治体の回収物に対する入札によって大部分の調達を行っているが、自治体は国内の再生加工事業者への売却価格と比較し、海外への売却価格が高い場合、海外へ輸出を行う自治体も存在する。このように市況に依存した輸出を行う自治体も存在することから、入札に供される使用済みペットボトルの量の変動するため、再生加工事業者の原料調達量は不安定となっている。そのため、再生加工事業者の生産量が不安定となり、需要とのミスマッチによる多大な損失を強いられている







調達課題となる。これに対し RVM を用いたリサイクルシステムでは、消費者から直接回収されたペットボトルを原料調達することから、安定的な原料調達が可能となり、その期待利益が増加するものと考えられる。しかし RVM を用いた回収が、再生加工事業者の利益に及ぼす影響はこれまで定量的には明らかにされておらず、普及促進の前段階としてその影響を確認しておくべきであるといえる。すなわち、まず、安定性の低い入札による調達量を削減し、RVM を用いた原料調達量を増加することによる再生加工事業者の利益に与える影響の度合を確認すべきである。さらに、再生加工事業者は調達量や最終製品である再生ペット樹脂に対する需要量の変動に直面しており、その変動の大きさが再生加工事業者の利益に与える影響も確認すべきである。これらを確認することにより、RVM を用いたリサイクルシステムの普及が再生加工事業者の利益向上に有効であること、また、その必要性を示すことが可能となる。

RVM を用いた回収による再生加工事業者の利益に与える影響への効果は、RVM を用いた原料調達を行う場合と行わない場合との期待利益の差分により導出することが可能である。この期待利益を導出するためには、再生加工事業者の生産量、調達量のモデル化が必要となる。また、再生加工事業者は RVM 事業者が設置する RVM に対し、事前に契約を交わすことによって回収された使用済みペットボトルを調達できるが、その回収量は天候等によって変動する。さらに、再生加工商品の生産量によっては RVM を用いた回収量のみでは不足する場合もあり、その場合には変動の高い入札により調達を行う必要がある。このように、入札における調達量と RVM を用いた回収量は変動し、また、再生加工商品に対する需要量においても変動する性質を有する。したがって、再生加工事業者は以上の変動要因を考慮しながら、調達量、生産量を決定することから、これらを考慮したモデル化を行うことが必要となる。

これに対し、調達量や需要量の変動を扱った研究として、Jones et al. [2], Kazaz [4] がある。これらの研究ではそれぞれ、コーン種子、オリーブオイルの生産、販売を想定し、生産、販売を行う事業者の期待利益が最大となる生産量、農家との最適な契約面積を導出している。原材料の調達においては、農家との契約面積当たりの収穫量が天候等により調達量は変動し、最終製品に対する需要量も変動するため、これらの変動を考慮したモデル化を行っている。次に Mukhopadhyay and Ma [5], 渡邊ら [32] は、製品販売を行う販売業者が使用済み製品の回収を行い、製造業者が製品製造と再生産を行うグリーンサプライチェーンを想定して、製造業者が直面する調達量と需要量の変動を扱った研究を行っている。調達される使用済み製品はその品質が変動することから再生可能量は変動し、また、再生加工商品に対する需要量も変動するとしている。しかし、本論文で対象とする RVM を用いた回収による原料調達を行う再生加工事業者においては、自治体の回収するペットボトルを入札により調達するが、入札量に対する落札量の変動、天候等によってペットボトル消費量の変動することから、その回収量も変動する。また RVM を用いた原料調達量においても、天候等によって回収量は変動する。さらに最終製品に対する需要量も変動する。したがって従来研究のモデルによって、RVM を用いた原料調達を行う再生加工事業者の調達の構造を捉えることがで

きないため、調達量の変動要因を拡張し、RVMを用いた回収の効果を評価するモデルを構築する必要がある。

RVMを用いた回収により再生加工事業者の利益改善が示されたならば、次の課題として、RVMを用いたリサイクルシステムはどのようにすれば社会的に普及するか、ということが挙げられる。この普及には、まず第一に消費者がRVMへの投入を積極的に行うということ、そして第二にはこのリサイクルシステムの全ての構成主体が利益を獲得可能であり、積極的な参加を促すシステムであることが不可欠となる。

消費者がRVMへ投入することを促進するためには、消費者へのインセンティブが求められる。消費者の分別廃棄を促進するインセンティブは、従来研究によって経済的インセンティブが重要な規定要因であることが明らかになっている。また、消費者に負担を強いるネガティブインセンティブはペットボトル飲料の売上低下等、負の効果が存在することも従来研究により指摘されていることから、消費者に経済的メリットを付与するようなポジティブインセンティブが必要となる。これに対し、RVMを用いた従来事例においては、商品券や金券等の経済的メリットを消費者に付与するポジティブインセンティブを付与しているものの、消費者にペットボトルをRVMへの投入を促進させる効果を持つが、自治体や商店街が経済的負担を担う構造になっているために、政策的な補助金等の終了と共に中止され、持続可能性に問題があるといえる。そこで本論文では、小売業界において多用されている割引（%引）クーポンをペットボトル回収促進のためのインセンティブとして活用する、RVMを用いたリサイクルシステムを提案する。消費者が購買時に割引クーポンを使用できる小売事業者であるクーポン加盟小売事業者は、クーポンにより売上を増加させ、これに伴う利益を増加できる可能性がある。一方、このシステムにおける他の構成主体はクーポン加盟小売事業者の利益増の一部が分配される等によって利益を獲得可能となるリサイクルシステムである。このようなポジティブインセンティブを用いた自立的なエコシステムを構築するためには、経済的側面からリサイクルシステムを評価し、社会的に普及可能となる条件を検証する必要がある。

これに対し、Palmer and Walls [6]、小出 [15] は、デポジット制度の与える影響を「効用」の概念を用いて理論的に分析を行っている。しかし本論文で提案する割引（%引）クーポンを用いたリサイクルシステムにおいて、全ての構成主体が利益を獲得可能となるシステムの条件を検証するためには、より具体的なシステムの条件を分析可能とするモデルが必要となる。具体的には、クーポンの割引率やクーポンを用いて割引購入する商品が、消費者のRVMへの投入やクーポンを用いた割引購入に影響を与えることから、これらの影響要因を考慮した消費者の行動をモデル化する必要がある。さらに、消費者がクーポンを用いて割引購入を行うクーポン加盟小売事業者の利益率等の売上特性により、その利益増加額は異なることから、その特性も考慮可能なモデルが必要となる。従来研究ではこれらが考慮されておらず、具体的なシステムの条件を検討することができないため、リサイクルシステムにおける全ての構成主体が、利益を獲得可能となるシステムの条件を検証可能とするモデルの構築が必要である。

そこで本論文では、再生加工事業者の原料調達量が不安定であり、需要とのミスマッチによる多大な損失を強いられているといった問題点に対し、RVMを用いたリサイクルシステムの経済効果評価モデルを構築する。すなわち、まず、RVMを用いたリサイクルシステムの普及を促進する前段階として、RVMを用いた回収の効果を評価するモデルを構築し、再生加工事業者の利益に対する有効性を示す。次に、RVMを用いたリサイクルシステムにおいて、割引（%引）クーポンを経済的インセンティブとするシステムの評価モデルを構築し、RVMを用いたリサイクルシステムの全ての構成主体が利益を獲得可能な条件を検証することにより、RVMを用いたリサイクルシステムの普及が促進可能であることを示す。

### 1.3 本論文の構成

本論文は全5章から成り、次章以降は以下のように構成されている。第2章では、ペットボトルリサイクルにおける本論文の位置付けを説明し、第3-4章は、RVMを用いたリサイクルシステムの経済効果評価に関するモデルの提案、そして第5章は結論と今後の展望を説明する。

第2章ではペットボトルのリサイクルに関する従来研究を整理し、本論文の位置付けを示している。すなわちリサイクルシステムの各構成主体に関する研究については、最終製品の高付加価値化に向けたリサイクル技術に関する研究、環境負荷低減に向けた容器軽量化に関する研究、および消費者の分別廃棄行動促進に向けた分別廃棄行動の規定要因に関する研究の3つの分野に整理している。次にリサイクルシステム全体に関する研究としては、容器包装リサイクル法における役割分担や費用負担の現状分析に関する研究、およびリユースやデポジット制度といった分別廃棄を促進する方策に関する研究の2つの分野に整理している。しかし、再生加工事業者の原料調達量の安定化に着目した研究が見受けられないこと、経済的インセンティブを付与するRVMを用いたリサイクルシステムを対象とし、その定量的な経済効果評価を行い、社会的に普及可能とする条件を検証する研究は未だ見受けられないことを指摘している。

第3章では、RVMを用いた回収の効果を再生加工事業者の利益の面から評価可能にする、経済効果評価モデルを提案している。RVMを用いた回収の効果は、再生加工事業者がRVMを用いた回収による原料調達を行う場合と行わない場合の期待利益の差で表すことが可能だが、その期待利益導出には、再生加工事業者の調達量と生産量のモデル化が不可欠である。また、再生加工事業者は需要量と調達量の変動に直面しており、従来研究に対し、調達量の変動要因を拡張したモデルを提案している。また、RVM回収を用いない場合の期待利益との差分をRVMを用いた回収の効果とし、その効果を比較静学によって分析している。

第4章では、RVMを用いたリサイクルシステムにおいて、リサイクルシステムの全ての構成主体が利益を獲得可能となるシステムの条件を検証する効果評価モデルを構築している。消費者がRVMへペットボトルを投入するインセンティブを、小売業界において多用されている割引（%引）クーポンによって付与することで、クーポン加盟小売事業者は売上を増加させ、これに伴う利益を増加させることができる。一方、このシステムへの他の構成主

体は、クーポン加盟小売事業者の利益増の一部が分配される等によって利益を獲得するという仕組みになっている。消費者がペットボトル回収によって得られるクーポンについては、その割引率やクーポンを用いた割引購買に与える影響を考慮した、経済効果評価モデルを構築し、全ての構成主体が利益を獲得可能なシステムの条件を検証している。また、本章では、再生加工事業者が使用済みペットボトルの調達と共に、リサイクル費用を受け取る逆有償の場合について検証を行う。使用済みペットボトルの取引は、時代と共に逆有償から有償に変化を遂げており、その主な原因として使用済みペットボトルに対する海外需要の増加が挙げられる。ただし、廃棄物に関する規制強化等により海外需要が常に存在するとは限らず、現在の有償から逆有償へその取引が変化することも十分に考えることが可能である。また逆有償の場合は、有償の場合と比較し、リサイクルシステムの全ての構成主体が利益を獲得することが難しい状況となる。したがって数値実験においては、逆有償という困難な状況においても提案するリサイクルシステムが社会的に普及可能である、すなわち全ての構成主体が利益を獲得可能である条件を検証するため、クーポンの割引率やクーポン加盟小売事業者の特徴を用いて、比較静学により分析を行っている。

第5章では、本論文のまとめと、今後の展望を述べる。本論文のまとめでは分析の結果として得られた知見から、RVMを用いたリサイクルシステムを今後普及させていくべきであることを述べる。また今後の展望では、本論文の拡張可能性といった観点から展望を述べる。



## 第2章 従来研究と本論文の取り組み

本章では、ペットボトルのリサイクルに関する従来研究を整理し、本研究の位置付けを示す。リサイクルシステムを構成する各主体を対象にした研究として、①最終製品の高付加価値化に向けたリサイクル技術に関する研究、②環境負荷低減に向けた容器軽量化に関する研究、あるいは③消費者の分別廃棄行動促進に向けた分別廃棄行動の規定要因に関する研究の3つの分野に整理する。またリサイクルシステム全体を対象とした研究として、①容器包装リサイクル法における役割分担や費用負担の現状分析に関する研究、②リユースやデポジット制度といった分別廃棄を促進する方策に関する研究の2つの分野に整理する。以上を容器包装リサイクル法におけるリサイクルプロセスにマッピングしたものが、図2.1である。2.1節ではそれらを整理し、2.2節において本研究の位置付けを示す。

### 2.1 ペットボトルリサイクルに関する従来研究

#### 2.1.1 リサイクルシステムを構成する各主体を対象とした研究

リサイクルシステムを構成する各主体を対象にした従来研究を、以下の3つの分野に整理する。

##### ①最終製品の高付加価値化に向けたリサイクル技術に関する研究

ペットボトルはプラスチック製品にリサイクルされることが多いが、近年ではペットボトルからペットボトルを再生するリサイクルが行われるようになってきている。これらのリサイクルにおいて、再生された製品の純度や強度が非常に重要であり、それらによって再生製品の用途が決定される。また、その純度や強度が再生製品の価値を決定することから、再生加工事業者にとって価値の高い再生製品を低コストで再生することは非常に重要だといえる。そのため、最終製品の高付加価値化に向けたリサイクル技術に関する研究として、平野ら [24] がある。平野ら [24] は、ペットボトルをポリエステル繊維等へリサイクルする際、変色や糸切れが発生しているといった問題点に対し、品質低下物質の特定、不純物の除去方法の確立を目指す研究を行っている。次に平野ら [25] は、マテリアルリサイクル時における加熱により、強度が低下するといった問題点に対し、その強度の保持が可能な技術を提案している。具体的には、強度保持のためバージンペット樹脂を添加することの検討を行っている。これまでの技術では、バージンペット樹脂の添加量を増加させた場合においても破断伸び率の低下は避けられないことが示されていた。そこで金属イオンの有する凝集力を用い、



源の消費や環境への負荷がそれぞれ相対的に小さい行動 [27]」を行うことと定義している。また、環境配慮的な行動は、環境問題についての認知と、環境配慮的行動の評価から形成されるとしている。ここで環境問題についての認知とは、環境リスク認知、責任帰属の認知、対処有効性認知から形成され、環境配慮的行動の評価は、実行可能性評価、便益・費用効果、社会規範評価から形成されるとしている。また、環境問題についての認知より環境にやさしくとの目標意図が形成され、環境にやさしくとの目標意識と環境配慮行動の評価により、環境配慮的な行動意図が形成されるとしている。

これに対し、環境配慮的な行動のひとつである消費者の分別廃棄行動については以下の研究がなされてきている。秋田ら [10] は、大学内においてデポジット制度を導入することを想定し、アンケート調査を行った非集計データを分析することにより、デポジット制度における返却行動において危機感、責任感、環境に対する有効感が重要な規定要因であることを明らかにしている。次に松井ら [29] は、板橋区の住民を対象にアンケート調査を行い、行政施策による分別廃棄行動の変化をモデル化し、分別廃棄行動を規定する要因を分析している。ここで行政施策とは、自治体の行う広報活動による意識啓発や情報提供、また収集日や収集場所といった収集サービスを指している。具体的には、行政施策毎の分別廃棄行動についてロジスティック回帰分析を行い、各行政施策の影響度合いを分析している。分析の結果、情報認知の徹底、負担感の最小化が重要な規定要因であることが示されている。広瀬 [26] は、資源リサイクルを行う地域活動について、環境ボランティア活動が地域住民の分別行動に与える影響を分析している。分析の結果、環境ボランティアによって収集場所が増加することでリサイクルの実行可能性が変化すること、また、広報活動などにより社会規範が変化するという影響があることを指摘している。さらに、Vining and Ebreo [9] は、適切に分別廃棄を行う人と行っていない人とを比較し、その違いを分析している。分析対象はイリノイ州に住む 197 家計とし、リサイクルに対する知識、動機、デモグラフィック属性によって比較を行っている。その結果、分別廃棄を行う人はリサイクルやリサイクル対象となる資源に関する知識が豊富であること、また、分別廃棄を行う人の動機としては環境意識が強いのに対し、分別廃棄を行わない人は利便性やリサイクルを行うことに対する経済的なインセンティブが動機となっていることを示している。

### 2.1.2 リサイクルシステム全体を対象とした研究

リサイクルシステム全体を対象とした従来研究を、以下の 2 つの分野に整理する。

#### ① 容器包装リサイクル法における役割分担や費用負担の現状分析に関する研究

1995 年に制定された容器包装リサイクル法について、役割分担や費用負担といった観点から現状分析を行った研究として、大塚 [11] が挙げられる。大塚 [11] は容器包装リサイクル法に対し、以下の 5 つの問題点を指摘している。1 つ目の問題点としては、自治体は分別収集を行う義務を負っているが、その費用は税金により賄われており、市町村とボトラーで



ある事業者の役割分担を見直す必要があると指摘している。2つ目として、リユース可能なリターナブル容器は分別基準適合物でないことから、事業者が自ら回収を行う必要があり、ワンウェイ容器と比較して経済的に不利になってしまう点を指摘している。3つ目としては、その他プラと呼ばれる袋やパック、パッケージといった商品のプラスチック製容器において、社会的費用増大や、再商品化委託費を支払わない事業者が存在することを指摘している。4つ目としては、事業者が負担する再商品化委託単価が市場価格によって決められているものの、環境負荷の度合いは各製品で異なることから、環境負荷を考慮した再商品化委託単価を設定する必要があると指摘している。5つ目としては、使用済みペットボトルが海外へ輸出されることによって、日本国内でリサイクルされる量が減少していること、またこれに伴い廃棄物リサイクルの循環に変化が生じていることを示している。これは自治体が回収した使用済みペットボトルを国内でリサイクルを行うことが義務付けられていないこと、また海外への輸出が自治体にとって有利となっていることが原因である。この海外への輸出が継続した場合には、日本国内の再資源化事業者が衰退し、リサイクルシステム全体が崩壊しかねない。また海外の使用済みペットボトルの需要は永続的に続くとは言えず、需要が途切れた場合には市場に使用済みペットボトルが再生処理されずに廃棄物として滞留するといった事態が予想される。そのため、大塚 [11] は国内の資源循環の重要性を指摘している。

ペットボトルリサイクルの環境負荷測定に関する研究として、安田 [31] が挙げられる。安田 [31] は、Life Cycle Assessment を適用し、ペットボトルリサイクルの環境負荷を貨幣換算し、社会的便益を分析している。容器包装リサイクル法に基づく指定法人ルートと比較し、自治体が独自にリサイクル先を選択する市場ルートの方が社会的便益が大きいことを指摘している。また平成 17 年に財団法人 政策科学研究所が行った調査 [36] によると、500ml の炭酸用ペットボトルをリサイクルした場合と廃棄した場合の  $CO_2$  排出量は、リサイクルした場合の方が少なく、リサイクルを行うことの有用性が示されている。ただしリサイクル技術は進化を遂げており、また回収ルートにも依存することから、リサイクルを行うことの実効性は更に向上していると考えられる。

## ② リユースやデポジット制度といった分別廃棄を促進する方策に関する研究

リユースやデポジット制度といった分別廃棄を促進する方策に関する研究については、福原、本藤 [28] がリユースペットボトルのライフサイクル・インベントリ分析を行っている。福原、本藤 [28] は、2007 年 9 月から 12 月まで、リユース容器を用いたペットボトル飲料を個別配送にて提供し、提供時に使用済みペットボトルを回収の上リユースを行うといった実験を、のべ 2000 本の飲料水を用いて行っている。実験の結果、エネルギー消費量、廃棄物排出量、 $CO_2$  排出量、硫黄酸化物、窒素酸化物排出量の全てにおいて低減することが可能であるとしている。ただし、ペットボトルのリユースは、有害物質の付着や衛生上の問題から実現は困難となっている。デポジット制度については、華山 [13] がデポジット制度の経済的影響を分析し、飲料業界はデポジット制度により販売価格が上昇することで、売上減少を憂いていることを指摘している。また、羽田 [23] は、デポジット制度は分別廃棄されない場

合には課税，分別廃棄される場合には補助金が支払われることに等しいという見方を示し，課税と補助金の組み合わせとしての性質を有することを指摘している．ただし，沼田 [22] も，デポジット制度は対象財の需要を減らす効果があることを指摘している．次に，山川，上田 [31] はごみ有料化に関する研究をレビューし，可燃ごみ等の混合ごみの排出に対し有料化を行うことで分別が進んでごみの減量に繋がっており，有料化から時間が経過しても持続的にごみの減量効果が見られることを指摘している．ごみ減量効果は，地域特性の影響，特に有料化実施前のごみ排出量が多い地域においては効果が高いこと，また家庭ごみにおいては有料化の価格が高いほどごみ減量効果が高いことが示されている．

## 2.2 本論文の位置づけ

本論文では，RVM を用いたリサイクルシステムの経済効果評価モデルを構築する．具体的には，RVM を用いたペットボトル回収を対象として，再生加工事業者の原料調達量が不安定であり，需要とのミスマッチによる多大な損失を強いられているといった問題点に対し，RVM を用いたリサイクルシステムの経済効果を評価し，その普及を促進すべきであるということを示すものである．

これに対し，リサイクルシステムの各構成主体を対象とした従来研究では，特定事業者である飲料メーカーの環境負荷低減，消費者の分別廃棄行動を規定する要因の分析，再生加工事業者のリサイクル技術向上により高付加価値化を目指す研究が行われている．しかし，再生加工事業者の調達量安定化に着目した研究はなされていない．そこで第3章では，RVM を用いたペットボトル回収が再生加工事業者の利益に与える影響を評価可能にする効果評価モデルを構築する．

次にリサイクルシステム全体に対する従来研究では，リユースによる環境負荷低減効果の測定，デポジット制度によって製品価格が上昇することの影響分析，容器包装リサイクル法の役割分担と費用負担の現状把握，またデポジット制度における理論的な経済効果分析が行われている．しかし，消費者に経済的インセンティブを付与できる RVM を用いたリサイクルシステムを対象とした研究は見られず，また，定量的な経済効果分析により，リサイクルシステムが成立する条件の検討はなされていない．そこで第4章では，RVM を用いたリサイクルシステムにおいて，リサイクルシステムの全ての構成主体が利益の獲得を可能とするシステムの条件を検証する効果評価モデルを構築する．

## 第3章 RVMを用いた回収の効果評価モデル

### 3.1 はじめに

使用済みペットボトルを原料としてリサイクルを行う再生加工事業者の多くは、入札に依存した調達を行っており、その調達量が不安定であることから、需要とのミスマッチによる多大な損失を強いられているといった課題を抱えている。リサイクルによる再生原料の確保が必要である我が国において、再生加工事業者の原料調達を安定化して経営基盤を確立することは、持続可能な資源循環を行うために重要な課題と位置づけられる。

使用済みペットボトルは、容器包装リサイクル法の下に、回収・リサイクルが行われている。回収については、家庭から分別排出され、自治体が分別回収する市町村ルート、事業者自らの責任で回収・リサイクルを行う事業系ルートが存在する。市町村ルートにおいて回収された使用済みペットボトルは、容器包装リサイクル協会により入札が行われる指定法人ルート、または指定法人によらない独自ルートによって再生加工事業者に渡り、再生処理が行われる。現在、事業系ルートや独自ルートで回収される使用済みペットボトルの多くが海外へ輸出されているため、再生加工事業者の多くが指定法人ルートに依存した原料調達を行っている。ここで指定法人ルートにおける原料調達は、容器包装リサイクル協会が実施する入札によって行う調達となる。しかし自治体は回収したペットボトルを指定法人ルートで処分することは義務付けられておらず、市況によっては海外へ輸出を行う市町村も存在する。そのため、指定法人ルートを経由するペットボトルの量は市況により変動することから、入札に依存する再生加工事業者の原料調達量は不安定となっている。

このような状況の中、RVMを活用した使用済みペットボトルの回収が行われるようになってきている。その大きな取り組みの1つとして、セブン&アイホールディングスの事例が挙げられる [41]。この取り組みは、当該事業者がRVM事業者、再生加工事業者と連携し、ペットボトルの回収から再商品化までを行うものである。具体的には、RVM事業者がスーパー店頭でRVMを設置し、地域住民はRVMに使用済みペットボトルを投入することでnanacoポイントを獲得する。回収された使用済みペットボトルは、連携する再生加工事業者に運ばれ、再度ペットボトル等へリサイクルされて再商品化されるといった仕組みである。この取り組みにおいて、ボトル to ボトル・リサイクル、店頭回収の効率化、RVMによって使用済みペットボトルが破碎されることによる輸送効率化、ポイントシステムによる集客効果等が注目されている。

この取り組みは、原料調達の安定化が課題となっている再生加工事業者にとって、非常に大きな意味を持つ。RVMによって消費者から回収された使用済みペットボトルは、再生加工事業者が原料調達することから、従来の入札による調達と比較して安定的な調達量確保が

可能になるためである。安定的な原料調達量の確保によって、需要とのミスマッチによる損失が低減されることから、再生加工事業者の利益増加に繋がると考えられる。したがって、国内資源確保のため、リサイクルの重要性が高い我が国にとって、RVMを用いたリサイクルシステムの普及によってリサイクルの一端を担う再生加工事業者の経営の安定に繋がることが今後必要になると考えられる。しかしRVM回収による原料確保が、再生加工事業者の利益に及ぼす影響はこれまで定量的に明らかにされておらず、普及促進の前段階としてその影響を確認しておくべきであるといえる。すなわち、まず、安定性の低い入札による調達量を削減し、RVMを用いた回収量を増加することによって再生加工事業者の利益に与える影響の度合を確認すべきである。さらに、再生加工事業者は調達量や最終製品に対する需要量の変動に直面しており、変動の大きさが再生加工事業者の利益に与える影響を確認すべきである。これらを確認することにより、RVMを用いたリサイクルシステムの普及が、再生加工事業者の利益増加に有効であることを示すことが可能となる。

そこで本論文では、RVMを用いた回収の効果評価モデルを構築する。具体的には、再生加工事業者の生産量、入札量を考慮したモデルを構築することによって、RVMを用いた回収を行う場合と行わない場合の期待利益額を導出し、その差分からRVMを用いた回収の効果を導出する。ここで再生加工事業者は調達量の変動だけでなく、再生加工商品に対する需要の変動にも直面している。したがって、需要量と調達量の変動を考慮した、RVMを用いた回収の効果評価モデルを構築する。

## 3.2 従来研究

### 3.2.1 調達量と需要量の変動を扱った研究

需要量の変動に基づく、調達量や生産量の決定を扱った代表的な問題として、新聞売り子問題が挙げられる。これは需要量の変動によって、調達量や生産量が需要量を下回る場合には機会損失が生じ、上回る場合には廃棄コストが生ずることから、期待利益を最大とする調達量、もしくは生産量を決定する問題である。これに対し、農作物を原料として製品を製造する製造業者は、天候等によりその原料調達量は変動する。またリサイクルにおいては、使用済み製品の調達を行う事業者の調達量は、回収量や回収された使用済み製品の品質により変動を有する。したがって、経営の意思決定を行う際には、需要量の変動のみならず、調達量の変動を考慮した意思決定を行う必要がある場合も多く存在する。

農作物を原料として調達する製造業者の意思決定問題として、Jones et al. [2], Kazaz [4]が挙げられる。Jones et al. [2]は、コーン種子を販売する事業者を対象とし、需要量と調達量の変動を考慮した意思決定をモデル化している。コーン種子を販売する事業者は、まず予想される需要量を元に必要な調達量を決定し、コーンを栽培する農家と作付面積を対象とした契約を行う。しかし面積当たりのコーン収穫量は、天候や害虫等により変動することから、コーン種子を販売する事業者は、調達先として以下のように北アメリカと南アメリカの2つを用いて経営を行っている。北アメリカのコーン農家は、4月に作付けを行い、9月に収



穫を行うのに対し、南アメリカでは、10月に作付け、3月に収穫を行う。したがって、9月の収穫時において、調達量が不足する場合には、南アメリカの農家と契約することが可能であり、これを Jones et al. [2] は、Second Chance と呼んで、期待利益を最大とする生産量、北アメリカ、南アメリカの農家との契約面積を導出している。次に Kazaz [4] は、オリーブオイルを製造する製造業者を対象とし、需要量と調達量の変動を考慮した意思決定をモデル化している。当該事業者は、予想される需要量に基づき生産量を決定し、オリーブを生産する事業者と作付面積を対象とした契約を行う。このケースも同様に収穫量は変動することから、収穫時に不足する場合には契約農家とは異なる農家からオリーブを調達することが可能である。ただしオリーブは収穫までに約2年を要することから、オリーブオイルに対する予想需要量は更新されることが少なくない。したがって、収穫時における最適な生産量を決定し、それに基づき収穫、もしくは購入したオリーブを用いてオリーブオイルの生産を行う。このように、オリーブオイルの生産量、契約農家と契約する作付面積、契約農家以外から購入するオリーブの量、生産に使用するオリーブの量に関し、意思決定をモデル化している。

これらの農作物を原材料として調達する製造業者を対象とした研究に対し、持続可能な発展に向け、資源の再利用や環境保護の必要性が高まりつつあることから、リサイクルを対象とした、使用済み製品の調達を行う事業者の調達量変動を扱った研究が見られる。リサイクルには、回収、回収物の品質検査、品質のランク付け、修復、再資源化、再商品化等の工程が存在し、このようなりサイクルを行う事業者にとっては、いかに変動を管理するかが重要となる。ここで変動は、再商品化された商品に対する需要量、また、回収された使用済み商品の回収量や品質に存在し、これらの変動を考慮したモデル化が求められる。

Mukhopadhyay and Ma [5] は、製品販売を行う販売業者が使用済み製品の回収を行い、製造業者が製品製造と再生産を行うグリーンサプライチェーンを想定し、再商品化された商品に対する需要量、回収された使用済み商品の品質には変動があるといった状況を扱っている。回収された使用済み商品の品質に変動があることから、再資源化を経て再生産に使用可能な量が変動することとなる。原料調達においては、回収された使用済み製品を利用する方法と、新たな部品を購入する方法の2通りとし、直面する需要量が回収された使用済み製品のみで満たされない場合においては、新たな部品を調達することが可能な状況を想定している。このような状況において、期待利益が最大となる生産量、使用済み製品の回収量、新たな部品の調達量を導出している。しかし現実社会では、回収された使用済み製品の品質が悪い場合には高い再資源化コストが掛かることから、再商品化に至る工程において品質の悪い回収物は除去されることが多い。これに対し Mukhopadhyay and Ma [5] においては、品質の悪い回収物の除去はモデル化されておらず、現実的なモデルとは言い難い。

また、グリーンサプライチェーンにおいて使用済み製品の調達は重要な課題であり、必ずしも期待利益が最大となる使用済み製品の回収量を調達できるとは限らない。その場合には消費者にインセンティブを付与することによって回収量を増加させることが求められ、Kaya [3] は消費者にインセンティブとして一定の金額を付与することにより回収を促進し、再資源化事業者の利益を最大とするインセンティブを導出している。しかしグリーンサプラ

イチェーンにおいては、意思決定者は製造業者と販売業者の2者が存在するものの、Kaya [3] はこれらの意思決定を考慮していない。

そこで渡邊ら [32] は、Mukhopadhyay and Ma [5] と同様にグリーンサプライチェーンにおける製造業者と販売業者に着目し、回収物の品質と回収に対するインセンティブを考慮した意思決定をモデル化している。ここで、回収された使用済み製品の品質は一定ではなく変動するものとして扱っている。さらに製造業者はある一定の品質レベルを超えない、言い換えれば品質レベルの下限を下回る回収物については、再資源化を行わないといった現実を考慮したモデル化を行っている。次に回収に対するインセンティブについては、販売業者が回収を行う際に消費者へ経済的インセンティブを付与するものとし、製造業者は販売業者の回収量に応じ、報奨金を販売業者へ支払うことを想定している。上記のような設定において、販売業者は自らの期待利益が最大となる回収に対するインセンティブの金額と、製造業者に対する生産指示量を決定する。ここで生産指示量は製品に対する需要量に基づいて決定されるものであるが、需要量は変動するものとしてモデル化している。次に製造業者は、生産指示量に基づき生産を行うこととなるが、生産に要する部品は、回収物を再資源化した部品を用い、不足する部品については、新たな部品を市場から調達する。ここで回収物の再資源化については、品質の下限を超えない回収物は廃棄するものとし、再資源化を行う場合については、品質レベルに依存した再資源化コストを要するものとしている。そこで製造業者は回収物の品質変動が存在する場合、期待利益が最大となる再資源化を行う品質レベルの下限を意思決定することとなる。

### 3.2.2 本論文の位置づけ

従来研究における本論文の位置付けを表3.1に示す。表3.1のように、Mukhopadhyay and Ma [5]、渡邊ら [32] は、回収物の品質が変動するとしているが、本論文で取り扱う使用済みペットボトルは、回収物の品質は安定している。自治体が回収した使用済みペットボトルは、自治体が洗浄、異物除去等を行い、その品質によってランク付けがなされるので、一定の品質が確保されている。また、RVMによる回収物は、家庭で洗浄されてから持ち込まれるケースが多く、高品質な使用済みペットボトルが回収されているといった特徴がある。そのため、品質の変動を考慮する必要性は低い。

次に、Jones et al. [2]、Kazaz [4] は、最終製品に対する需要量の変動、原料の収穫量の変動に伴う調達量の変動を考慮している。これに対し本論文で対象とするRVMを用いたリサイクルシステムにおいては、自治体が回収するペットボトルは入札により調達を行うが、入札量に対する落札量の変動、天候等による回収量変動がある。またRVMを用いた回収量においても、天候等によって回収量の変動がある。さらに最終製品に対する需要量も変動する。したがって、本論文で対象とする再生加工事業者をモデル化するためには、従来研究と調達構造が異なることから、調達量の変動要因を拡張し、RVMを用いた回収の効果を評価するモデルを構築する必要がある。

表 3.1: 本論文の位置付け

	研究対象	調達の変動	需要の変動
Jones et al. [2]	コーン種子販売	コーン収穫量	需要量
Kazaz [4]	オリーブオイル生産	オリーブ収穫量	需要量
Mukhopadhyay and Ma [5]	リサイクル	回収物品質	需要量
渡邊ら [32]	リサイクル	回収物品質	需要量
本論文 第3章	リサイクル	落札量, 実回収量	需要量

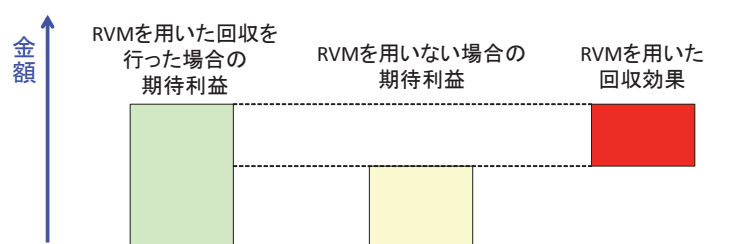


図 3.1: RVM を用いた回収効果

### 3.3 提案モデル

RVM を用いた回収によって安定した原料調達が可能となるため、再生加工事業者の期待利益は増加するものと考えられる。そこで本論文では、まず再生加工事業者の期待利益を導出するため、原料の調達量と最終製品に対する需要量が変動する再生加工事業者の生産量、入札量をモデル化し、再生加工事業者の期待利益を導出する。そして図 3.1 のように、RVM を用いた回収を行う場合の期待利益、行わない場合の期待利益の差分で表される RVM を用いた回収の効果を導出する。

#### 3.3.1 前提条件

本論文では、以下の前提条件の下、モデル化を行う。

- 再生加工事業者を合理的意思決定主体と仮定する
- 調達した使用済みペットボトルは、全て再生加工すると仮定する
- 入札は年 2 回のため、6ヶ月間を分析対象とする
- 設置された RVM の期待回収量は再生加工事業者にとって所与とする
- 再生加工事業者は、需要量、原料調達量に関する分布に基づき、期待利益が最大となる生産量、入札量を決定する

まず再生加工事業者は、経済活動を行う主体であるため期待利益を最大化するような行動を行う「合理的意思決定主体」と仮定する。また調達した使用済みペットボトルは、その品質等によって様々な最終製品にリサイクルされるが、一般的にRVMで回収されたペットボトルは汚れが少なく、不純物の混入も少ないことから、全て再生加工されるものと仮定する。そして分析対象期間は6ヶ月間とし、当該期間における調達量、生産量、需要量の総量に対してモデル化を行う。次に、再生加工事業者はRVM事業者とペットボトルの引取契約を長期間に渡って締結しているものとし、設置されているRVMで回収されると期待される量であるRVMの期待回収量は、再生加工事業者にとって所与であると仮定する。さらに、再生加工事業者は分布を有する需要量、原料調達量の下で、期待利益が最大となる生産量、入札量を決定するものとする。ここで生産に必要な調達量を超過する調達量、需要量を超過する生産量については、ペットボトルや最終製品の価値と比較して在庫コストが相対的に大きいことから、値下げをすることによって需要を新たに創出し、超過する分を他の再生加工事業者、もしくは原料加工メーカーに安く売却をし、在庫を保有しないこととする。

次に再生加工事業者の生産量、入札量は、以下の様に決定されるものとする。まず再生加工事業者は、需要量の分布に基づき、期待利益が最大となる最適な生産量を決定する。ここで、生産量が需要量と比較して少ない場合には機会損失、多い場合には他社へ安く売却することによるコストが発生することから、再生加工事業者は需要の変動の下で期待利益が最大となる最適な生産量を決定することになる。次に、再生加工事業者は期待利益が最大となる最適な入札量を決定する。入札による調達量は大きな変動を有するため、RVMを用いた回収による原料調達を優先的に行うが、RVMを用いた回収量では生産量を賄うことができない場合、入札によって不足分を調達する必要がある。また、調達量が生産量と比較して少ない場合には、需要を満たすことができないため機会損失、多い場合には他社へ使用済みペットボトルを安く売却することによるコストが発生することから、再生加工事業者は原料調達量の変動の下で期待利益が最大となる入札量を決定することとなる。

### 3.3.2 状況設定

使用済みペットボトルの原料調達方法は、入札による調達、RVMを用いた回収の2通りとする。各原料調達量は以下のように表すことができる。

入札による調達では、再生加工事業者は自治体が予想する回収量に対して入札を行う。実際には各自治体の予想回収量に対して個別に入札を行うが、本論文では原料調達量と需要量の変動を考慮することを含んでいるため、入札量の合計  $x$  として簡便的にモデル化を行う。この入札量  $x$  に対し、落札できる割合である落札率を  $r \in [0, 1]$  とし、その密度関数を  $g(r)$  とする。また、落札量に対し調達量は天候による回収量変動を有することから、これを天候等による回収量変動  $\delta (\geq 0)$  とし、その密度関数を  $f(\delta)$  とする。ここで  $\delta$  は、天候等による飲料売上げの変動等による影響を表すものと捉えられる。また  $G(r), F(\delta)$  は、それぞれ  $g(r), f(\delta)$  の分布関数であり、 $r, \delta$  で微分可能とする。



以上より，再生加工事業者の入札による調達量  $Q$  は

$$Q = xr\delta \quad (3.1)$$

のように表すことができる．次に RVM を用いた回収量  $Q'$  は，設置された RVM の期待回収量  $y$ ，また入札の場合と同様に，天候等による回収量変動  $\delta$  により，

$$Q' = y\delta \quad (3.2)$$

のように表すことができる．また使用済みペットボトルを再生加工したペット樹脂に対する需要量を  $z$  とし，その密度関数を  $h(z)$ ，分布関数を  $H(z)$  とし， $H(z)$  は  $z$  で微分可能とする．

ここで RVM 設置の意思決定は RVM 事業者が行うため，再生加工事業者はその期待回収量  $y$  を決めることはできない．また，再生加工事業者と RVM 事業者は長期契約を締結しているものと仮定している．したがって，再生加工事業者は期待利益を最大化する再生加工したペット樹脂の生産量  $q$ ，入札量  $x$  を決定することとなる．

### 3.3.3 RVM を用いない場合

再生加工事業者は，変動する最終製品に対する需要量  $z$  の下で，期待利益が最大となる生産量  $q^*$  を決定し，その上で入札量  $x^*$  を決定する．

そこでまず，ある入札量  $x$ ，落札率  $r$ ，天候等による回収量変動  $\delta$  とした場合の再生加工事業者の期待利益は，

$$\begin{aligned} \mathbb{E}[\pi_2|x, r, \delta] &= -(xr\delta - q)(c_1 - s_1) \\ &\quad - qc_2 - qc_1 \\ &\quad + \int_q^\infty [pq - (z - q)a]h(z)dz \\ &\quad + \int_0^q [pz - (q - z)(p - s_2)]h(z)dz \\ &\quad \text{s.t. } q \leq xr\delta \end{aligned} \quad (3.3)$$

のように表すことができる．第 1 項は生産に使用されなかった使用済みペットボトルを他の再生加工事業者に売却した際の損失であり，購入した際の単位当たり価格  $c_1$  に対し，単位当たり価格  $s_1$  ( $< c_1$ ) にて売却するものとする．これは，使用済みペットボトルの容積当たりの価値が低く，長期間在庫を持たない傾向があることから，売却するものとしている．第 2 項は使用済みペットボトルを最終製品に加工する加工費であり，単体量当たり  $c_2$  を要するものとする．第 3 項は生産に用いた使用済みペットボトルの原材料費である．第 4 項は需要量が生産量を上回る場合の売上および機会損失であり，需要を超過する機会損失は単位当たり  $a$  とし， $p$  は最終製品の販売単価とする．第 5 項は需要量が生産量を下回る場合の売上および売却損失であり，使用済みペットボトル同様，単位当たり  $s_2$  ( $< p$ ) にて他再生加工事業者，もしくは他の原料加工メーカーへ売却するものとしている．

ここで生産量  $q$  に対する (3.3) 式の再生加工事業者の期待利益  $\mathbb{E}_z[\pi_2|x, r, \delta]$  に関し,

$$\begin{aligned} \frac{d\mathbb{E}[\pi_2|x, r, \delta]}{dq} &= -s_1 - c_2 + p + a \\ &\quad - (2p + a - s_2) \int_0^q h(z)dz \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\frac{d^2\mathbb{E}[\pi_2|x, r, \delta]}{dq^2} = -(2p + a - s_2)h(q) < 0 \quad (3.6)$$

となる. (3.5), (3.6) 式より, 再生加工事業者はいかなる入札による調達量  $Q$  においても, 生産量  $q$  に対して凹関数であることが分かる. したがって最適な生産量は

$$q^* = \begin{cases} \tilde{q} & \text{for } \tilde{q} \leq xr\delta \\ xr\delta & \text{for } \tilde{q} > xr\delta \end{cases} \quad (3.7)$$

のように表すことができる. ただし,

$$\tilde{q} = H^{-1} \left( \frac{-s_1 - c_2 + p + a}{2p + a - s_2} \right) \quad (3.8)$$

である. したがって, 得られた最適な生産量  $q^*$  より, ある入札量  $x$  における期待利益は

$$\begin{aligned} \mathbb{E}[\pi_2(q^*)|\tilde{q} \leq xr\delta] &= -(xr\delta - \tilde{q})(c_1 - s_1) - \tilde{q}c_2 - \tilde{q}c_1 \\ &\quad + \int_{\tilde{q}}^{\infty} [p\tilde{q} - (z - \tilde{q})a]h(z)dz \\ &\quad + \int_0^{\tilde{q}} [pz - (\tilde{q} - z)s_2]h(z)dz \end{aligned} \quad (3.9)$$

$$\begin{aligned} \mathbb{E}[\pi_2(q^*)|\tilde{q} \geq xr\delta] &= -xr\delta c_2 - xr\delta c_1 \\ &\quad + \int_{xr\delta}^{\infty} [pxr\delta - (z - xr\delta)a]h(z)dz \\ &\quad + \int_0^{xr\delta} [pz - (xr\delta - z)s_2]h(z)dz \end{aligned} \quad (3.10)$$

のように表すことができる. (3.9), (3.10) 式は  $\tilde{q} = xr\delta$  について等しいため,  $\mathbb{E}[\pi_2|x, r, \delta]$  は  $xr\delta$  に対して連続であり, ただ 1 つの極値を有することが分かる.

次に再生加工事業者は最適な入札量  $x^*$  を決定するが, その期待利益

$$\begin{aligned} \mathbb{E}[\pi_1|x] &= \int_0^1 \int_0^{\frac{\tilde{q}}{xr}} \mathbb{E}[\pi_2(q^*) | \tilde{q} \leq xr\delta] \\ &\quad \times f(\delta)g(r)d\delta dr \\ &\quad + \int_0^1 \int_{\frac{\tilde{q}}{xr}}^{\infty} \mathbb{E}[\pi_2(q^*) | \tilde{q} \geq xr\delta] \\ &\quad \times f(\delta)g(r)d\delta dr \end{aligned} \quad (3.11)$$

を最大化することによって求まる．ここで (3.9) 式の 1 階，2 階微分は

$$\frac{d\mathbb{E}[\pi_2(q^*) \mid \tilde{q} \leq xr\delta]}{dx} = -c_1 + s_1 \quad (3.12)$$

$$\frac{d^2\mathbb{E}[\pi_2(q^*) \mid \tilde{q} \leq xr\delta]}{dx^2} = 0 \quad (3.13)$$

のように表すことができる．次に (3.10) 式の 1 階，2 階微分は

$$\begin{aligned} \frac{d\mathbb{E}[\pi_2(q^*) \mid \tilde{q} \geq xr\delta]}{dx} &= -r\delta c_1 - r\delta c_2 + (p+a)r\delta \int_{x\delta}^{\infty} h(z)dz \\ &\quad - (p-s_2)r\delta \int_0^{xr\delta} h(z)dz \end{aligned} \quad (3.14)$$

$$\frac{d^2\mathbb{E}[\pi_2(q^*) \mid \tilde{q} \geq xr\delta]}{dx^2} = - (2p+a-s_2)r\delta h(xr\delta) < 0 \quad (3.15)$$

のように表すことができる．したがって (3.9), (3.10) 式はいかなる  $r, \delta$  においても，入札量  $x$  に対して凹関数であることが分かる．また，(3.11) 式の再生加工事業者の期待利益  $\mathbb{E}[\pi_1|x]$  は，想定されるパラメータの範囲内において，入札量  $x$  に対して凹関数であることが数値実験により分かっている．そこで，数値実験により最適な入札量  $x^*$ ，再生加工事業者の期待利益  $\mathbb{E}[\pi_1|x^*]$  を導出する．

### 3.3.4 RVM を用いる場合

RVM を用いる場合，再生加工事業者は変動する最終製品の需要量  $z$ ，RVM を用いた回収量  $y$  の下で，期待利益が最大となる生産量  $q_R^*$  を決定し，その上で入札量  $x_R^*$  を決定する．

そこで，まず，ある入札量  $x$ ，落札率  $r$ ，天候等による回収量変動  $\delta$  とした場合の再生加工事業者の期待利益は，

$$\begin{aligned} \mathbb{E}[\pi_2^R|x, y, r, \delta] &= - [(xr\delta + y\delta) - q](c_1 - s_1) - qc_2 - qc_1 \\ &\quad + \int_q^{\infty} [pq - (z - q)a]h(z)dz \\ &\quad + \int_0^q [pz - (q - z)(p - s_2)]h(z)dz \end{aligned} \quad (3.16)$$

$$\text{s.t. } q \leq xr\delta + y\delta \quad (3.17)$$

のように表すことができる．RVM を用いない場合と同様に，第 1 項は生産に使用されなかった使用済みペットボトルを他社に売却した際の損失，第 2 項は使用済みペットボトルを最終製品に加工する加工費，第 3 項は生産に用いた使用済みペットボトルの原材料費である．ここでは簡便化のため，RVM からの調達価格と入札での調達価格は同一としている．第 4 項は需要量が生産量を上回る場合の製品売上および機会損失，第 5 項は需要量が生産量を下回る場合の製品売上および売却損失を表している．

ここで生産量  $q$  における, (3.16) 式の再生加工事業者の期待利益  $\mathbb{E}[\pi_2^R|x, y, r, \delta]$  に関し,

$$\begin{aligned} \frac{d\mathbb{E}[\pi_2^R|x, y, r, \delta]}{dq} &= -s_1 - c_2 + p + a \\ &\quad - (2p + a - s_2) \int_0^q h(z) dz \end{aligned} \quad (3.18)$$

$$\frac{d^2\mathbb{E}[\pi_2^R|x, y, r, \delta]}{dq^2} = -(2p + a - s_2)h(q) < 0 \quad (3.19)$$

となる. したがって, いかなる入札量  $x$  と RVM を用いた期待回収量  $y$  においても, 生産量  $q$  に対して凹関数である. このとき最適な生産量  $q_R^*$  は

$$q_R^* = \begin{cases} \tilde{q}_R & \text{for } \tilde{q}_R \leq xr\delta + y\delta \\ xr\delta + y\delta & \text{for } \tilde{q}_R > xr\delta + y\delta \end{cases} \quad (3.20)$$

のように表すことができる. ただし,

$$\tilde{q}_R = H^{-1} \left( \frac{-s_1 - c_2 + p + a}{2p + a - s_2} \right) \quad (3.21)$$

である. したがって, 得られた最適な生産量  $q_R^*$  より, ある入札量  $x$  における期待利益は

$$\begin{aligned} \mathbb{E}[\pi_2^R(q_R^*)|\tilde{q}_R \leq xr\delta + y\delta] &= -[(xr\delta + y\delta) - \tilde{q}_R](c_1 - s_1) - \tilde{q}_R c_2 - \tilde{q}_R c_1 \\ &\quad + \int_{\tilde{q}_R}^{\infty} [p\tilde{q}_R - (z - \tilde{q}_R)a]h(z)dz \\ &\quad + \int_0^{\tilde{q}_R} [pz - (\tilde{q}_R - z)(p - s_2)]h(z)dz \end{aligned} \quad (3.22)$$

$$\begin{aligned} \mathbb{E}[\pi_2^R(q_R^*)|\tilde{q}_R \geq xr\delta + y\delta] &= -(xr\delta + y\delta)c_2 - (xr\delta + y\delta)c_1 \\ &\quad + \int_{xr\delta + y\delta}^{\infty} [p(xr\delta + y\delta) \\ &\quad \quad - (z - (xr\delta + y\delta))a]h(z)dz \\ &\quad + \int_0^{xr\delta + y\delta} [pz - ((xr\delta + y\delta) - z) \\ &\quad \quad \quad \times (p - s_2)]h(z)dz \end{aligned} \quad (3.23)$$

のように表すことができる. (3.22), (3.23) 式は  $\tilde{q}_R = xr\delta + y\delta$  について等しいため,  $\mathbb{E}[\pi_2^R|x, y, r, \delta]$  は  $xr\delta + y\delta$  に対して連続であり, ただ1つの極値を有することが分かる.

次に再生加工事業者は最適な入札量  $x_R^*$  を決定するが, その期待利益

$$\begin{aligned} \mathbb{E}[\pi_1^R|x] &= \int_0^1 \int_0^{\frac{\tilde{q}_R}{xr+y}} \mathbb{E}[\pi_2^R(q_R^*) | \tilde{q}_R \leq xr\delta + y\delta] \\ &\quad \times f(\delta)g(r)d\delta dr \\ &\quad + \int_0^1 \int_{\frac{\tilde{q}_R}{xr+y}}^{\infty} \mathbb{E}[\pi_2^R(q_R^*) | \tilde{q}_R \geq xr\delta + y\delta] \\ &\quad \times f(\delta)g(r)d\delta dr \end{aligned} \quad (3.24)$$

を最大化することによって求めることが可能である。

RVM を用いる場合も同様に、(3.24) 式はいかなる  $r, \delta$  においても、入札量  $x$  に対して凹関数であることが分かる。また再生加工事業者の期待利益  $\mathbb{E}[\pi_1^R|x]$  は、想定されるパラメータの範囲内において入札量  $x$  に対して凹関数であることが数値実験により分かっている。そのため、数値計算により最適な入札量  $x_R^*$ 、再生加工事業者の期待利益  $\mathbb{E}[\pi_1|x_R^*]$  を導出する。

### 3.3.5 RVM を用いた回収の効果

RVM を用いた回収の効果は、RVM を用いた回収による原料調達を行なった場合の再生加工事業者の期待利益と、RVM を用いない場合の期待利益との差分として捉えることが可能である。したがって、RVM を用いた期待回収量  $y$ 、再生加工商品の需要量  $z$ 、天候等による回収量変動  $\delta$ 、落札率  $r$  において、RVM を用いた回収の効果  $V$  は、

$$V = \mathbb{E}[\pi_1^R|x_R^*] - \mathbb{E}[\pi_1|x^*] \quad (3.25)$$

のように表すことができる。

## 3.4 数値実験

### 3.4.1 概要

RVM 回収を原料調達の効果導出には、期待利益を最大とする生産量  $q$ 、入札量  $x$  を導出することが必要であり、本論文では期待利益を最大とする生産量  $q$  は解析解、入札量  $x$  とその期待利益についてはモンテカルロシミュレーションにより導出を行う。ここでは、各入札量に対する期待利益を算出し、山登り法によって最適な入札量  $x$  を導出する<sup>1</sup>。次に RVM を用いた回収の効果を導出する。この際、入札量  $x$  に対する落札率  $r$  ( $\in [0, 1]$ ) をベータ分布、天候等による回収量変動  $\delta$  ( $\geq 0$ ) と、使用済みペットボトルを再生加工したペット樹脂に対する需要量  $z$  ( $\geq 0$ ) をガンマ分布とする。落札率  $r$  については、競合他社の状況等により 0 もしくは 1 に限りなく近づくことがあり、また左右対称、もしくは左右に偏りのある分布になることが考えられる。そこで 0 から 1 の値を取り、分布の偏りを表現可能であるベータ分布を適用している。次に天候等による回収量変動  $\delta$  ( $\geq 0$ )、最終製品に対する需要量  $z$  ( $\geq 0$ ) については、両変数とも分布を持つものとして扱う。当該分布は上に凸、かつ正の値を取るといった特徴がある。需要量のように、上に凸、かつ正の値を取る分布は、多くの従来研究でガンマ分布が用いられていることから、本論文においてもガンマ分布を適用している。

RVM を用いた回収の効果は、再生加工事業者の直面する変動と、RVM を用いた期待回収量によって異なると考えられるため、以下の項目について感度分析を行う。再生加工事業者の直面する最終製品に対する需要量は一定とは言えず変動することから、需要変動と RVM を用いた回収の効果との関係性を分析することにより、その有効性を明らかにする。

<sup>1</sup>入札量  $x$  に対し期待利益は凹関数であることが数値実験により確認されているため、山登り法で最適解を導出することが可能である。

また再生加工事業者の立地により、入札における競合他社との競争が異なる。具体的には、使用済みペットボトルは容積に対し価値が低く、輸送費を考慮し近隣の自治体に入札する傾向が強い。したがって再生加工事業者の密集するエリアでは、入札量に対する落札量の割合は、競争が激しいことからその変動は大きいと考えることができる。したがって落札率と、RVMを用いた回収の効果との関係性を分析し、その有効性を明らかにする。さらに、落札量、RVMを用いた回収量は変動を有し、その変動はエリア、年度によって異なることも考えられる。具体的には、飲料の売上は天候や気温に左右されることが広く知られており、天候や気温は再生加工事業者の立地に依存すること、またそれらは年度により変動を有するものである。したがって天候等による回収量変動と、RVMを用いた回収の効果との関係性を分析し、その有効性を明らかにする。最後に、RVMを用いた回収量は、RVM事業者が設置した台数に依存するが、これはRVM事業者が採算を取ることが可能な場所に設置することが多い。RVM事業者は回収したペットボトルを売却することで収益を獲得するため、多くのペットボトルを回収することで、RVMの設置・維持・管理コストを上回り、利益を獲得することが可能となる。したがって大規模小売事業所や駅、公民館等の集客力のある場所に設置されることが多く、このような集客力のある場所は都心部に密集している。そのため、再生加工事業者の立地によって、その近隣のエリアにおいて設置されるRVMの台数は異なることから、予想されるRVMを用いた期待回収量は異なる。そこでRVMを用いた期待回収量と回収の効果との関係性を分析し、その有効性を明らかにする。

### 3.4.2 パラメータ設定

前述のようにRVMを用いた回収の効果は、再生加工事業者によって異なると考えられる。そこでこれらの変数についてはパラメータを変化させ、感度分析を行う。

最終製品に対する需要量 $z$ は、負の値を取らないガンマ分布に従うものとし、期待値25 [万t]、分散25 [(万t)<sup>2</sup>]となる形状母数と尺度母数を設定する。また、当該変数は再生加工事業者によって異なるため、以下のように期待値や分散を変化させ、その影響を分析する。期待値は17, 21, 25, 29, 33 [万t]、分散は11, 18, 25, 32, 39 [(万t)<sup>2</sup>]の各5通りについて分析を行う。自治体の予想回収量に対する落札率 $r$ は、0から1の値を取るベータ分布に従うものとし、期待値0.50、分散0.06となる形状母数を設定する。また、当該変数は再生加工事業者によって異なるため、以下のように期待値や分散を変化させ、その影響を分析する。期待値は0.20, 0.35, 0.50, 0.65, 0.80、分散は0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10の各5通りについて分析を行う。天候等による回収量変動 $\delta$ は、負の値を取らないガンマ分布に従うものとし、期待値1.00、分散0.040となる形状母数と尺度母数を設定する。ここで分散0.040は、実際のペットボトル回収量より設定している。また、本論文では対象期間を6ヵ月としていることから、当該変数は飲料消費量の季節性に強く影響を受け、さらに再加工事業者の所在地周辺における気温等によっても影響を受ける。そこで以下のように期待値や分散を変化させ、その影響を分析する。期待値は0.70, 0.85, 1.00, 1.15, 1.30、分散は0.010, 0.025, 0.040, 0.055, 0.070の各5通りについて分析を行う。



表 3.2: パラメータ設定

パラメータ	値	出典
落札率: $r$ ( $\in [0,1]$ )	期待値:0.5, 分散:0.06 となる形状母数	仮定
天候等による回収量変動: $\delta$ ( $\geq 0$ )	期待値1, 分散0.04 となる形状母数と尺度母数	仮定
需要量: $z$ ( $\geq 0$ )	期待値25 [万t], 分散25 となる形状母数と尺度母数	仮定
ペットボトル調達単価: $c_1$	45,000円/t	出典: 公共財団法人 日本容器包装リサイクル協会[40]
再生ペット樹脂販売単価: $p$	97,000円/t	出典: 公共財団法人 日本容器包装リサイクル協会[40]
調達余剰ペットボトルの 売却単価: $s_1$	35,000円/t	公共財団法人 日本容器包装リサイクル協会[40] に基づき設定
再生ペット樹脂の 機会損失: $a$	30,000円/t	公共財団法人 日本容器包装リサイクル協会[40] に基づき設定
生産余剰再生ペット樹脂の 売却単価: $s_2$	70,000円/t	公共財団法人 日本容器包装リサイクル協会[40] に基づき設定

また、RVMを用いた期待回収量  $y$  は、RVMを用いない 0 [万 t], RVMを用いる場合は 3, 6, 9, 12, 15 [万 t] に対して結果を求め、RVMを用いた回収の効果に与える影響を分析する。ここで RVM による期待回収量  $y$  と比較し、最終製品の需要量  $z$  が極端に少ない場合も考えることが可能である。しかし、再加工事業者は翌期より RVM からの調達量を減らすよう RVM 事業者と再契約することで回避される。実際の取引においても、RVM にて回収された廃ペットボトルは量が安定的であるだけでなく、廃ペットボトルに付着する不純物が少ないといった特徴から、引取先となる再加工事業者を見つけることは容易な状況となっている。したがって、対象期間である 6 ヶ月という期間において、原料調達量が安定的である RVM から、需要量の期待値を大きく上回る調達計画を立てることは合理的な意思決定とは言えないため、本研究ではこのようなケースについて分析対象から除外している。

その他の変数については、以下のように設定する。公益財団法人日本容器包装リサイクル協会にて平成 25 年 2 月 13 日に実施された、第 1 回 PET ボトル入札制度検討会資料 [40] より、使用済みペットボトルの調達単価  $c_1$  は 45,000 [円/t], 最終製品の販売単価  $p$  は 97,000 [円/t] としている。次に調達余剰ペットボトルの売却単価  $s_1$  は 35,000 [円/t], 最終製品の機会損失  $a$  は 30,000 [円/t], 生産余剰ペット樹脂の売却単価は  $s_2$  は 70,000 [円/t] と、第 1 回 PET ボトル入札制度検討会資料 [40] を元に推測して設定している。以上をパラメータ設定を、表 3.2 に示している。

### 3.4.3 結果

解の安定性から、入札量  $x$  は 1 以上の整数、再生加工事業者の期待利益は小数点以下第 1 位までとする。モンテカルロシミュレーションの試行回数については、以下の様に設定している。まず、 $r$  の期待値 0.5、分散 0.06、 $\delta$  の期待値 1、分散 0.04、 $z$  の期待値 25、分散 25、 $x = 56$ 、 $y = 9$  と設定し、試行回数 100 万回、1000 万回、3000 万回、6000 万回の 4 通りについて収束を確認する。各試行回数を 50 回実行し、得られた結果から各試行回数の 95%、99% 信頼区間を導出した結果は以下の通りである。

- ・ 100 万回 :  $146.268 \pm 0.261$  (95%) ,  $146.268 \pm 0.348$  (99%)
- ・ 1000 万回 :  $146.224 \pm 0.106$  (95%) ,  $146.224 \pm 0.142$  (99%)
- ・ 3000 万回 :  $146.215 \pm 0.014$  (95%) ,  $146.215 \pm 0.018$  (99%)
- ・ 6000 万回 :  $146.221 \pm 0.011$  (95%) ,  $146.221 \pm 0.014$  (99%)

以上の結果より、目的変数である再生加工事業者の利益を小数点以下第 1 位までとする本論文では、3000 万回で十分精度の高い結果を得られることが分かる。ただし、より厳密に計算を行うため、本論文では試行回数を 6000 万回としている。

#### 最適な入札量 ( $x^*$ , $x_R^*$ ) と期待利益 ( $\mathbb{E}[\pi_1|x^*]$ , $\mathbb{E}[\pi_1^R|x_R^*]$ )

本論文で扱う 3 つの変動について、その期待値と分散が最適な入札量と期待利益に与える影響を分析する。

表 3.3, 3.4 はそれぞれ、RVM を用いた期待回収量  $y$  における、最終製品に対する需要量  $z$  の期待値、分散ごとの最適な入札量  $x$  を算出した結果である。期待回収量の増加に伴い、最適な入札量は増加し、分散の増加に伴い減少している。また表 3.5, 3.6 より、期待利益は、RVM を用いた期待回収量の増加に伴い最適な入札量は増加し、また分散の増加に伴い減少している。これらは需要に用いているガンマ分布の特徴として、分散の増加に伴い小さな値が発生する頻度が増加することに起因する。低い需要量となる頻度が増加することで、最適な生産量  $\tilde{q}$  が減少し、最適な入札量は減少する。また分散増加に伴い、生産した最終製品の機会損失、調達余剰や生産余剰が増加するため、期待利益は減少、需要量  $z$  については、その期待値の増加に伴い需要量が増加するため、生産量が増え、入札量、期待利益は増加する。

表 3.7, 3.8 はそれぞれ、RVM を用いた期待回収量  $y$  における、落札率  $r$  の期待値、分散ごとの最適な入札量  $x$  を算出した結果である。期待回収量の増加に伴い、最適な入札量は減少し、分散の増加に伴い減少している。また表 3.9, 3.10 より、RVM を用いた期待回収量の増加に伴い最適な入札量は増加し、また分散の増加に伴い減少している。これは落札率に用いているベータ分布の特徴として、分散の増加に伴い大きな値が発生する頻度が増加することに起因する。高い落札率となる頻度が増加することで、最適な生産量  $\tilde{q}$  を超える調達となることが増加し、入札量を減らし使用済みペットボトルを他社に売却する損失を抑えることが有利となるためである。また分散増加に伴い、生産した最終製品の機会損失、調達余剰や生産余剰が増加するため、期待利益は減少する。落札率  $r$  については、その期待値が増加す



ること最適入札量は減少し、期待値の増加に伴い相対的に調達量のばらつきが小さくなるため、期待利益は増加する。

表 3.11, 3.12 はそれぞれ、RVM を用いた期待回収量  $y$  における、天候等による回収量変動  $\delta$  の期待値、分散ごとの最適入札量  $x$  を算出した結果である。天候等による回収量変動  $\delta$  の期待値、分散の増加に伴い、最適入札量は増加している。また表 3.13, 3.14 より、期待利益は RVM を用いた期待回収量の増加に伴い増加し、また分散の増加に伴い減少している。これは用いているガンマ分布の特徴として、分散の増加に伴い小さな値が発生する頻度が増加することに起因する。少ない回収量となる頻度が増加することで、最適生産量  $\bar{q}$  を超える調達となることが減少し、入札量を増やし機会損失を押さえることが有利となるためである。また天候等による回収量変動  $\delta$  の分散増加に伴い、生産した最終製品の機会損失、調達余剰や生産余剰が増加するため、期待利益は減少する。天候等による回収量変動  $\delta$  については、その期待値が増加することで最適入札量は減少し、期待値の増加に伴い相対的に調達量のばらつきが小さくなるため、期待利益は増加する。

表 3.3: 需要量  $z$  の期待値と最適入札量

期待回収量 $y$	$z$ の期待値				
	17	21	25	29	33
0	35	46	56	68	78
3	27	38	49	60	71
6	20	31	41	52	63
9	13	23	34	45	55
12	7	16	27	37	48
15	2	10	20	30	40

表 3.4: 需要量  $z$  の分散と最適入札量

期待回収量 $y$	$z$ の分散				
	11	18	25	32	39
0	60	59	56	55	54
3	53	51	49	47	46
6	45	43	41	40	39
9	38	35	34	32	31
12	30	28	27	26	24
15	23	21	20	19	18

表 3.5: 需要量  $z$  の期待値と期待利益

期待回収量 $y$	$z$ の期待値				
	17	21	25	29	33
0	36.4	91.2	146.2	201.6	256.9
3	69.9	125.4	181.0	236.4	292.0
6	100.9	158.2	214.6	270.7	326.4
9	126.5	188.3	246.7	303.7	360.2
12	143.5	213.6	276.1	335.2	392.7
15	150.5	231.8	301.2	364.0	423.5

表 3.6: 需要量  $z$  の分散と期待利益

期待回収量 $y$	$z$ の分散				
	11	18	25	32	39
0	213.4	176.4	146.2	120.2	97.0
3	248.5	211.4	181.0	154.7	131.3
6	282.8	245.3	214.6	188.1	164.3
9	315.8	277.8	246.7	219.7	195.5
12	346.7	307.9	276.1	248.3	223.5
15	374.2	334.2	301.2	272.4	246.5

表 3.7: 落札率  $r$  の期待値と最適な入札量

期待回収量 $y$	$r$ の期待値				
	0.20	0.35	0.50	0.65	0.80
0	108	81	56	42	32
3	93	69	49	36	28
6	78	58	41	31	24
9	62	47	34	26	20
12	47	37	27	20	16
15	32	26	20	16	13

表 3.8: 落札率  $r$  の分散と最適な入札量

期待回収量 $y$	$r$ の分散				
	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
0	57	57	56	54	52
3	49	49	49	47	45
6	42	42	41	40	38
9	34	34	34	33	31
12	27	27	27	26	24
15	21	20	20	19	18

表 3.9: 落札率  $r$  の期待値と期待利益

期待回収量 $y$	$r$ の期待値				
	0.20	0.35	0.50	0.65	0.80
0	-262.8	24.5	146.2	204.1	234.9
3	-165.4	78.1	181.0	229.5	255.0
6	-68.5	130.9	214.6	253.9	274.1
9	27.4	182.2	246.7	276.7	291.8
12	120.7	230.5	276.1	297.1	307.3
15	206.4	273.3	301.2	314.0	320.2

表 3.10: 落札率  $r$  の分散と期待利益

期待回収量 $y$	$r$ の分散				
	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
0	269.8	206.3	146.2	89.3	36.0
3	283.6	231.2	181.0	133.2	88.1
6	296.4	254.9	214.6	176.0	139.4
9	308.0	277.0	246.7	217.3	189.3
12	318.0	297.0	276.1	255.7	236.2
15	326.1	313.6	301.2	289.1	277.4

表 3.11: 天候等による回収量変動  $\delta$  の期待値と最適な入札量

期待回収量 $y$	$\delta$ の期待値				
	0.70	0.85	1.00	1.15	1.30
0	83	68	56	49	43
3	75	60	49	41	35
6	68	52	41	34	28
9	60	45	34	26	20
12	53	37	27	19	13
15	46	30	20	12	7

表 3.12: 天候等による回収量変動  $\delta$  の分散と最適な入札量

期待回収量 $y$	$\delta$ の分散				
	0.010	0.025	0.040	0.055	0.070
0	56	56	56	58	58
3	48	49	49	49	50
6	40	41	41	42	43
9	32	33	34	35	35
12	25	26	27	28	28
15	17	19	20	21	21

表 3.13: 天候等による回収量変動  $\delta$  の期待値と期待利益

期待回収量 $y$	$\delta$ の期待値				
	0.70	0.85	1.00	1.15	1.30
0	131.6	140.9	146.2	149.6	151.9
3	154.7	169.8	181.0	190.0	198.0
6	177.0	197.9	214.6	229.1	242.5
9	198.4	224.7	246.7	266.2	284.2
12	218.7	249.8	276.1	299.3	319.8
15	237.4	272.3	301.2	325.1	344.2

表 3.14: 天候等による回収量変動  $\delta$  の分散と期待利益

期待回収量 $y$	$\delta$ の分散				
	0.010	0.025	0.040	0.055	0.070
0	156.4	151.4	146.2	141.1	135.7
3	192.7	187.0	181.0	174.9	169.0
6	228.5	221.6	214.6	207.8	200.7
9	263.5	255.1	246.7	238.5	230.4
12	296.9	286.3	276.1	266.3	256.8
15	327.4	313.7	301.2	289.5	278.7

### RVM を用いた回収の効果

RVM ( $V$ ) を用いた回収の効果  $V$  は, (3.25) 式のように算出することが可能である. RVM を用いた期待回収量  $y$  における, 最終製品の需要量  $z$  に対する感度分析結果を表 3.15–3.16, 落札率  $r$  に対する結果を表 3.17–3.18, 天候等による回収量変動  $\delta$  に対する結果を表 3.19–3.20 に示す. 以上の結果から, RVM を用いた期待回収量  $y$  が増加することによって, RVM を用いた回収の効果は増加することが分かる.

また, 図 3.2 は落札率  $r$  の期待値, 図 3.3 は天候等による回収量変動  $\delta$  の期待値, 図 3.4 は需要量  $z$  の期待値と RVM を用いた回収の効果  $V$  との関係をグラフ化したものである. 図 3.2 より, 落札率  $r$  の期待値増加に伴い RVM を用いた回収の効果は大きく減少していること, 図 3.3 より, 天候等による回収量変動  $\delta$  の期待値増加に伴う RVM を用いた回収の効果は非常に小さいこと, 図 3.4 より, 需要量  $z$  の期待値増加に伴い RVM を用いた回収の効果は増加していることが分かる.

次に, 図 3.5 は落札率  $r$  の分散, 図 3.6 は天候等による回収量変動  $\delta$  の分散, 図 3.7 は需要量  $z$  の分散と RVM を用いた回収の効果  $V$  との関係をグラフ化したものである. 図 3.5 より, 落札率  $r$  の分散増加に伴い RVM を用いた回収の効果は大きく増加していること, 図 3.6 より, 天候等による回収量変動  $\delta$  の分散増加に伴い RVM を用いた回収の効果は減少していること, 図 3.7 より, 需要量  $z$  の分散増加に伴い RVM を用いた回収の効果は減少していることが分かる.

表 3.15: 需要量  $z$  の期待値と RVM を用いた回収の効果  $V$

期待回収量 $y$	$z$ の期待値				
	17	21	25	29	33
3	33.5	34.2	34.8	34.8	35.1
6	64.5	67.0	68.4	69.1	69.5
9	90.1	97.1	100.5	102.1	103.3
12	107.1	122.4	129.9	133.6	135.8
15	114.1	140.6	155.0	162.4	166.6

表 3.16: 需要量  $z$  の分散と RVM を用いた回収の効果  $V$

期待回収量 $y$	$z$ の分散				
	11	18	25	32	39
3	35.1	35.0	34.8	34.5	34.3
6	69.4	68.9	68.4	67.9	67.3
9	102.4	101.4	100.5	99.5	98.5
12	133.3	131.5	129.9	128.1	126.5
15	160.8	157.8	155.0	152.2	149.5

表 3.17: 落札率  $r$  の期待値と RVM を用いた回収の効果  $V$

期待回収量 $y$	$r$ の期待値				
	0.20	0.35	0.50	0.65	0.80
3	97.4	53.6	34.8	25.4	20.1
6	194.3	106.4	68.4	49.8	39.2
9	290.2	157.7	100.5	72.6	56.9
12	383.5	206.0	129.9	93.0	72.4
15	469.2	248.8	155.0	109.9	85.3

表 3.18: 落札率  $r$  の分散と RVM を用いた回収の効果  $V$

期待回収量 $y$	$r$ の分散				
	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
3	13.8	24.9	34.8	43.9	52.1
6	26.6	48.6	68.4	86.7	103.4
9	38.2	70.7	100.5	128.0	153.3
12	48.2	90.7	129.9	166.4	200.2
15	56.3	107.3	155.0	199.8	241.4

表 3.19: 天候等による回収量変動  $\delta$  の期待値と RVM を用いた回収の効果  $V$

期待回収量 $y$	$\delta$ の期待値				
	0.70	0.85	1.00	1.15	1.30
3	23.1	28.9	34.8	40.4	46.1
6	45.4	57.0	68.5	79.5	90.6
9	66.8	83.8	100.5	116.6	132.3
12	87.1	108.9	129.9	149.7	167.9
15	105.8	131.4	155.0	175.5	192.3

表 3.20: 天候等による回収量変動  $\delta$  の分散と RVM を用いた回収の効果  $V$

期待回収量 $y$	$\delta$ の分散				
	0.010	0.025	0.040	0.055	0.070
3	36.3	35.6	34.8	33.8	33.3
6	72.1	70.2	68.5	66.7	65.0
9	107.1	103.7	100.5	97.4	94.7
12	140.5	134.9	129.9	125.2	121.1
15	171.0	162.3	155.0	148.4	143.0

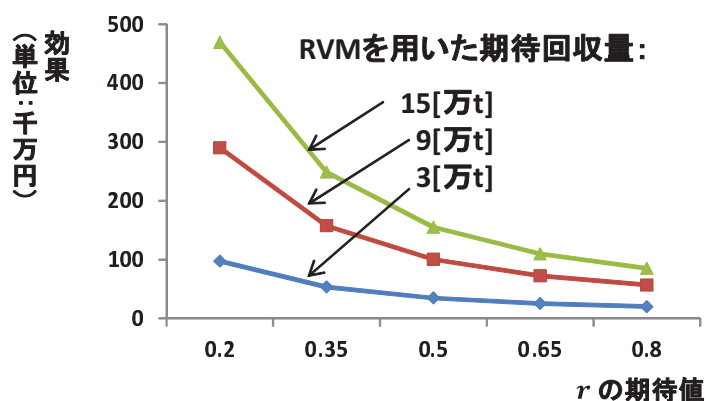


図 3.2: 落札率  $r$  の期待値と RVM を用いた回収の効果 ( $V$ )

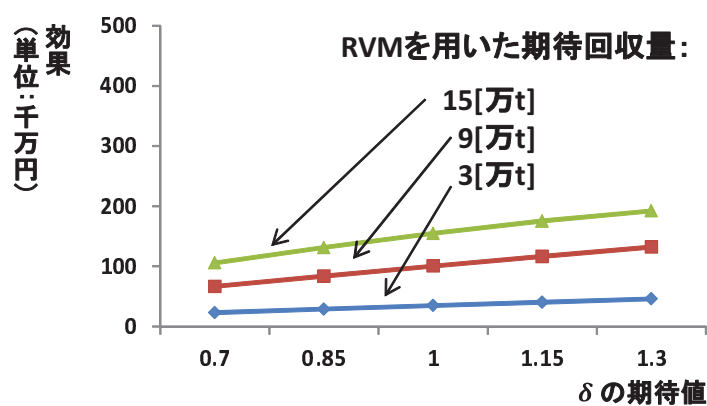


図 3.3: 天候等による回収量変動  $\delta$  の期待値と RVM を用いた回収の効果 ( $V$ )

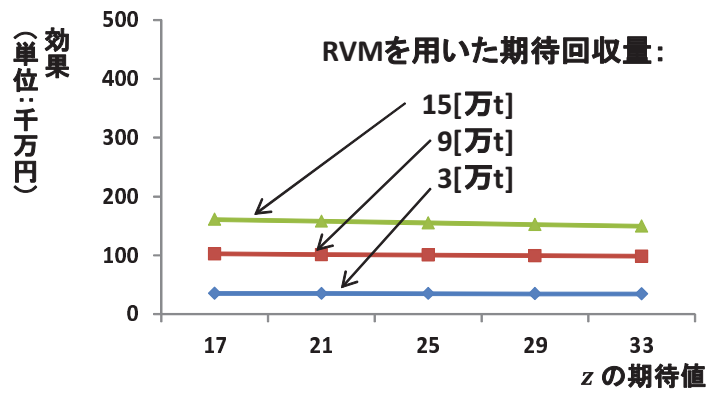


図 3.4: 需要量  $z$  の期待値と RVM を用いた回収の効果 ( $V$ )

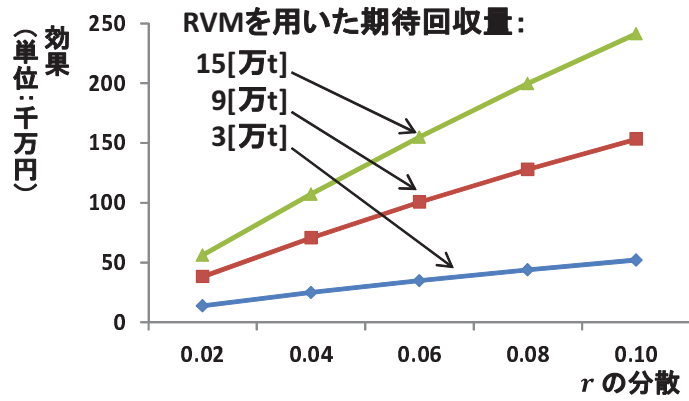


図 3.5: 落札率  $r$  の分散と RVM を用いた回収の効果 ( $V$ )

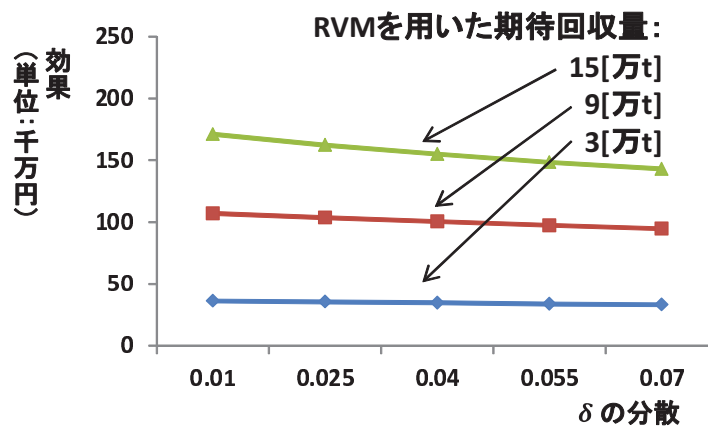


図 3.6: 天候等による回収量変動  $\delta$  の分散と RVM を用いた回収の効果 ( $V$ )



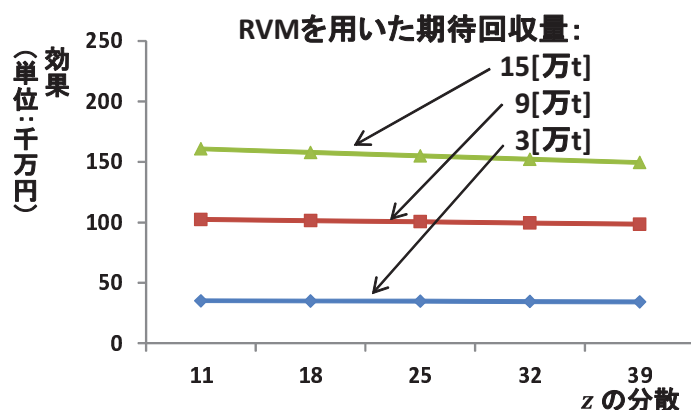


図 3.7: 需要量  $z$  の分散と RVM を用いた回収の効果 ( $V$ )

### RVM を用いた期待回収量 ( $y$ ) が回収の効果 ( $V$ ) に与える影響

表 3.21 は、最終製品の期待需要量が 25[万 t] に対し、RVM を用いた期待回収量を 3,9,15[万 t] と変化させた場合の回収の効果を示している。このように、回収の効果は RVM を用いた期待回収量の増加に伴い、回収の効果が増加していることが分かる。これは、RVM を用いた期待回収量を増加させることにより、変動の大きい入札による調達量を削減可能となることで、調達量の不安定性から生ずるコストを削減可能であることを意味している。したがって、変動の大きい入札による調達量を削減し、変動の小さい RVM を用いた原料調達量を増加するべきであるといえる。

表 3.21: RVM を用いた期待回収量 ( $y$ ) と回収の効果 ( $V$ )

RVM を用いた期待回収量	回収の効果
3[万 t]	348[百万円]
9[万 t]	1,005[百万円]
15[万 t]	1,550[百万円]

表 3.22: 落札率  $r$  の分散と RVM を用いた回収の効果 ( $V$ )

$r$ の分散	回収の効果	回収の効果 (t 当り)
0.02	382[百万円]	4,224[円/t]
0.06	1,005[百万円]	11,167[円/t]
0.10	1,533[百万円]	17,033[円/t]

## 落札率 $r$ の分散が回収の効果に与える影響

図 3.3 のように、天候等による回収量変動  $\delta$  の分散増加によって、RVM を用いた原料調達量は不安定となるため、RVM からの回収の効果は減少する。また、図 3.4 のように、最終製品に対する需要量  $z$  の分散増加によって、直面する需要が不安定となるため、RVM を用いた回収の効果は減少する。ただし、RVM を用いた期待回収量を増加させることで、再生加工事業者の調達量が安定的となり、その回収の効果は増加する。したがって、RVM を積極的に用いた調達を行うべきであることが分かる。一方、図 3.2 のように、落札率  $r$  については、その分散増加により回収の効果は増加する。これは分散増加によって入札による調達の変動が高まるため、RVM を用いない場合の期待利益は小さいが、RVM を用いることで変動の高い入札による調達の割合が減少し、期待利益の減少幅が小さくなるためである。したがって、落札率の変動が高い場合においては、積極的に RVM を用いた原料調達を行うことで、期待利益を大きく向上させることが可能であると言える。

表 3.22 は最終製品の期待需要量が 25[万 t]、RVM を用いた期待調達量が 9[万 t] の場合における、落札率  $r$  の分散が回収の効果に与える影響を示したものである。落札率  $r$  の分散が 0.02 の場合は 382 [百万円]、落札率  $r$  の分散が 0.06 の場合は 1,005 [百万円]、落札率  $r$  の分散が 0.10 の場合は 1,533 [百万円] といったように、その分散の増加に伴い回収の効果は増加することが分かる。また上記の回収の効果をも RVM を用いた回収量の期待値で除した  $t$  当たりの効果はそれぞれ、4,244 [円/t]、11,167 [円/t]、17,033 [円/t] となる。これに対し再生加工事業者のペットボトル調達単価は 45,000 [円/t] であり、落札率  $r$  の分散が 0.02 の場合は、調達単価の約 9 %、落札率  $r$  の分散が 0.10 の場合は、調達単価の約 38 % と高い回収の効果が存在することがわかる。この  $t$  当たりの効果は、ペットボトルの調達単価 45,000 [円/t] に対し、RVM を用いた原料調達において追加で支払った場合においても、RVM を用いた回収を行わない場合と同額の利益を獲得可能な金額を表している。したがって調達単価の約 9% 以上と高い金額を上乗せして調達することも可能であることから、RVM を用いた回収は再生加工事業者の期待利益増加に効果的であり、積極的に RVM を用いた回収をすべきであるといえる。

## 3.5 本章のまとめ

再生加工事業者は、入札により使用済みペットボトルを調達する指定法人ルートに多くを依存した原料調達を行っているが、その調達量が不安定であり、需要とのミスマッチによる多大な損失を強いられているといった問題点を抱えている。指定法人ルートは、自治体が回収したペットボトルを再生加工事業者が入札により調達する仕組みとなっているが、自治体は回収したペットボトルを独自のルートで処分することが認められており、市況によっては海外に輸出を行う自治体が存在する。この輸出量は市況に依存することから、市況変動の大きい昨今の状況において、輸出量の変動も大きく、再生加工事業者の入札による原料調達量の変動が大きくなっている。したがって原材料調達の変動が大きいことから、需要とのミス

マッチによる多大な損失を強いられている。したがってリサイクルによる再生原料の確保が必要である我が国において、再生加工事業者の原料調達を安定化して経営基盤を確立することは、持続可能な資源循環を行うために重要な課題と位置づけられる。

これに対し、RVMを用いたペットボトル回収では、直接的に再生加工事業者が原料調達することが可能である。入札を介さない調達方法であることから、再生加工事業者にとって安定的な原料調達量の確保が可能となる。そのため、再生加工事業者にとって、RVMを用いたリサイクルシステムの普及が今後必要になると考えられる。しかしその効果については、これまで定量的に明らかにされていないといった現状があった。

そこで本論文では、RVMを用いた回収の効果測定モデルを構築した。RVMを用いた回収の効果は、RVMを用いた回収を行う場合と行わない場合の再生加工事業者の期待利益の差で表すことが可能だが、その期待利益導出には、再生加工事業者の生産量、入札量をモデル化することが不可欠である。また、それらは需要量と調達量の変動により決定されるものであることから、変動を考慮したモデル化が必要であった。従来研究では、他の事業分野における需要量と調達量の変動を扱った研究がなされているものの、本論文で対象とする再生加工事業者をモデル化するためには、調達の構造が異なることから、調達量の変動要因を拡張したモデル構築が必要であった。具体的には、再生加工事業者の調達方法は、入札による調達とRVM回収を用いた原料調達方法の2通りが存在し、それらの調達量は落札率の変動や天候等による回収量変動といった変動要因を有している。したがって従来研究のモデルに対し、調達量の変動要因を拡張したモデルを構築した。

数値実験では、再生加工事業者が直面する変動、RVMを用いた期待回収量による比較静学を行うことにより、RVMを用いた回収の効果との関係性を分析し、その有効性を分析した。その結果、RVMを用いた期待回収量を増加させることによって、再生加工事業者の期待利益が増加することを示すことができた。これは、RVMを用いたリサイクルシステムを普及すべきであることを示す結果であるといえる。言い換えれば、変動の大きい入札による調達量を削減し、変動の小さいRVMを用いた回収による原料調達を促進すべきであるといえる。また、落札率の変動が大きい程、RVMを用いた回収により再生加工事業者の期待利益は増加することも示すことができた。

以上の結果より、RVMを用いたリサイクルシステムは再生加工事業者の調達量安定に繋がりが、その期待利益を増加させる効果があることを示すことができ、RVMを用いたリサイクルシステムは、再生加工事業者の利益向上に有効であるといえる。

## 第4章 経済的インセンティブを用いる効果評価モデル

### 4.1 はじめに

第3章では、RVMを用いた回収の効果を導出し、その有効性を示した。次の課題として、RVMを用いたリサイクルシステムはどのようにすれば社会的に普及するか、ということが挙げられる。この普及には、まず第一に消費者がRVMへ使用済みペットボトルの投入を積極的に行うということ、そして第二にはこのリサイクルシステムの全ての構成主体が利益を獲得可能であり、積極的参加を促すシステムであることが不可欠となる。消費者の分別廃棄については、従来研究によって経済的インセンティブが重要な規定要因であること、そして消費者に経済的メリットを付与するポジティブインセンティブを付与すべきであることが指摘されている。

これに対し、従来の経済的インセンティブ付けは、商品券や金券等の一定金額の値引クーポンが用いられる場合が多く、その負担が大きいため持続可能なリサイクルシステムとはいえない。具体的には、従来のリサイクルシステムの事例として、(株)エコシップ21によるものがある。エコシップ21は商店街にRVMを設置し、消費者はそこへ缶やペットボトルを廃棄する。するとゲームがスタートし、当選した場合は小売事業者の事業所で使用可能な値引券(円値引)や無料引換券のような値引クーポンを得ることができる。ここで小売事業者はリサイクルシステムを構成する一主体であり、値引クーポンを販売促進の道具として活用している。しかし値引クーポンに関するコストや、RVMの設置コスト、維持コスト、管理コストの負担が大きいため、その取り組みは中止されている。また穂積町では2000年にRVMにより年間約500万本の回収に対し、RVMに係るコストや消費者に付与する経済的インセンティブに要する約3500万円の支出を行っていたが、自治体負担が重くその取り組みは中止されている[37]。次に兵庫県出石町についても金券を付与していたが、取り組みは中止されており[33]、豊島区で行われていた「くうかん鳥事業」という、RVMを用いた回収も同様の理由で中止されている[40]。またその他の事例についても似たような状況であり、特定の構成主体が負担を強いられる経済的インセンティブを付与するシステムは持続可能とは言えず、社会的に普及可能なリサイクルシステムとはなり得ない。

そこで本論文では、RVMを用いたリサイクルシステムが社会的に普及可能となる条件を検証する経済効果評価モデルを提案する。消費者がRVMへ投入することを促進する経済的インセンティブは、消費者に負担を強いるネガティブインセンティブの場合、製品販売量の減少等、負の効果が存在すると従来研究により指摘されている。これに対し、ポジティブイ

ンセンティブを付与する事例においては、消費者にペットボトルを RVM への投入を促進させる効果を持つが、そのインセンティブを自治体や小売事業者等が負担する構造になっており、補助金終了と共に取り組みは中止され、持続可能性に問題がある。したがって本論文では、小売業界において多用されている割引（% 引）クーポンによってインセンティブを付与し、当該割引クーポンにより売上・利益の増加する小売事業者をクーポン加盟小売事業者として、リサイクルシステムの一構成主体とするリサイクルシステムを提案する。

ただし本章では第 3 章と異なり、再生加工事業者が使用済みペットボトルの調達と共に、ある一定金額をリサイクル費用として受け取る「逆有償」のケースについてモデル化を行う。その意図はまず、元に再生加工事業者は回収されたペットボトルを原料として受け入れる際に「委託処理費用」を受け取っていたという経緯がある。また、逆有償の方がリサイクルシステムとしての成立条件が厳しくなることから、実現可能性を吟味する上で、より妥当であると考えられる。その一方で、現在では使用済みペットボトルの取引は、時代の変化と共に逆有償から有償に変化を遂げており、その主な原因として使用済みペットボトルに対する海外需要の増加が挙げられる。ただし、廃棄物に関する規制強化等により海外需要が常に存在するとは限らず、現在の有償から逆有償へその取引が変化することも十分に考えることが可能である。逆有償の場合には、有償の場合と比較して、委託処理費用負担がリサイクルシステム全体に対して付加されるため、リサイクルシステムの全ての構成主体が利益を獲得することが難しい状況となる。したがって、提案するリサイクルシステムが逆有償という想定される困難な状況においても社会的に普及可能であることを検証する。

提案するリサイクルモデルにおいては、クーポン加盟小売事業者の増加する利益の一部をリサイクルコストとして適切に充当することで、全ての構成主体が利益を享受できる可能性がある。そしてその利益が負となる可能性がある構成主体である、クーポン加盟小売事業者と RVM を設置・維持・管理する RVM 事業者の収益、費用をモデル化し、それらの利益が正となる条件を検討する。消費者が RVM へ投入する割合はクーポンの割引率に依存し、またクーポンが割引購買に使用される割合については、クーポンの割引率、および割引購買を行おうと考える商品の特性である、選好度、購買の必要性に依存したモデル化を行う。さらに、クーポン加盟小売事業者の売上特性により、社会的に普及可能な条件が異なることから、売上特性を考慮した条件を分析可能な経済効果評価モデルを提案する。ここで売上特性については、クーポンが使用された売上における新たに創出された売上の比率、利益率、客単価を考慮する。数値実験では、クーポン加盟小売事業者の売上特性、割引購買対象となる商品特性と、リサイクルシステムの運用上の設定であるクーポンの割引率、クーポン加盟小売事業者から RVM 事業者へ支払われる手数料率の範囲を導出する。

## 4.2 従来研究

RVM を用いたリサイクルシステムの普及には、消費者がペットボトルを RVM に積極的に投入することが欠かせない。そこで、消費者の分別廃棄行動に関する従来研究と、それを促進するための経済的インセンティブに関する従来研究を整理し、本論文の位置付けを示す。



#### 4.2.1 消費者の分別廃棄行動とその規定要因に関する研究

消費者の分別廃棄行動を規定する要因は、以下の様に研究がなされてきている。

まず、広瀬 [27] は、従来研究の調査によって、環境配慮的な行動意図の要因連関モデルを構築し、環境問題についての認知と、環境配慮的行動の評価が規定要因であるとしている。ここで環境配慮的行動の評価は、実行可能性評価、便益・費用効果、社会規範評価から形成されており、経済的な要因が含まれている。

次に、秋田ら [10] は、大学内においてデポジット制度を導入することを想定し、アンケート調査を行った非集計データを分析することにより、分別廃棄行動の規定要因は、危機感、責任感、環境に対する有効感であることを明らかにしている。デポジット制度は、消費者を経済的な要因により分別廃棄行動を促す方策であり、その有効性を示していると捉えることも可能である。また松井ら [29] は、板橋区の住民を対象にアンケート調査を行い、行政施策による分別廃棄行動の変化をモデル化し、分別廃棄行動を規定する要因を分析し、情報認知の徹底、負担感の最小化が重要な規定要因であることが示されている。負担感には、回収場所までの運搬や分別に要する時間や労力、コストが含まれており、経済的な要因によって消費者の分別廃棄行動は規定されていると捉えることが可能である。広瀬 [26] は、資源リサイクルを行う地域活動について、環境ボランティア活動が地域住民の分別行動に与える影響を分析し、環境ボランティアによって収集場所が増加することによるリサイクルの実行可能性が変化することを指摘している。ここでリサイクルの実行可能性は、リサイクルを行うためには時間、手間、コストにより構成されるものであり、分別廃棄行動を規定する要因として、経済的要因は含まれていると捉えることが可能である。さらに、Vining and Ebreo [9] は、適切に分別廃棄を行う人と行っていない人とを比較し、その違いを分析した結果、分別廃棄を行わない人は利便性やリサイクルを行うことに対する経済的なインセンティブが動機となっていることを示している。このように消費者の分別廃棄行動において、消費者がリサイクルを行うために要する手間や時間、コストが重要な規定要因であり、経済的インセンティブを付与することによって分別廃棄行動を促進可能であるといえる。

経済的インセンティブの重要性については、ごみ有料化に関する研究においても示されている。ここでごみ有料化とは、家庭からのごみ排出量に応じた手数料を徴収することを指す。山川、上田 [31] はごみ有料化に関する研究をレビューし、ごみ有料化は持続的にごみ減量効果が見られること、特に家庭ごみにおいては有料化の価格が高いほどごみ減量効果が高いことが示されている。これは、有料化が分別廃棄を促進する効果があると捉えることが可能であり、消費者の分別廃棄行動において経済的インセンティブは重要な規定要因であるといえる。

#### 4.2.2 経済的インセンティブに関する研究

消費者の分別廃棄行動を促進する経済的インセンティブとして、ごみ袋有料化等の排出課徴金、また欧州等で採用されているデポジット制度が挙げられる。



排出課徴金については、山川、上田 [31] によって消費者の分別廃棄行動を促進可能であること、ごみ減量に有効であることが指摘されている。工藤、阿部 [14] は、2001 年に実施された、「滝沢村環境基本計画策定に関する住民意識調査」を用い、環境配慮行動とその規定要因、環境配慮行動に要する金銭的負担、労力的負担について分析を行っている。その結果、環境改善のための金銭的負担については、ごみ分別等に要する労力的負担と比較し、反対意見が多いことを指摘している。この結果は、排出課徴金は消費者のコスト負担が増加することから、消費者の反対を招きやすいということの意味している。

次にデポジット制度について、羽田 [23] は、容器返却を行わない場合は課税、行う場合は補助金としての性質を有し、容器回収の費用が相対的に低い場合には税に対して優位に働くことを指摘している。Palmer and Walls [6] は、デポジット制度における消費者の消費、廃棄行動、飲料製造業者の製造と原料調達の意思決定を理論的にモデル化し、デポジット制度の与える影響を分析している。デポジット制度は再生加工事業者、消費者の意思決定変容を考慮した場合、ほとんどの場合において有効な制度であるとしている。

このようにデポジット制度の有効性を示す研究が存在するのに対し、デポジット制度の弊害を指摘する研究も多くみられる。小出 [15] はデポジット金額、リファンド金額と、消費者の飲料容器廃棄量との関係性について、消費者を効用最大化する主体と仮定し、分析を行っている。その結果、リファンドの金額がデポジット金額と独立である場合には廃棄量は増加するのに対し、独立でない場合には減少する。したがってごみ減量を目的とする場合、リファンドの増額では不十分であり、デポジット金額と連動したリファンド金額を設定することが必要であることを指摘している。また、ごみ減量には飲料の販売量低下を伴うことから、飲料メーカーの経常状態が改善されることはないとしている。さらに羽田 [23] が指摘するように、デポジット制度は税としての性質も有しており、飲料容器に対する税金と飲料容器のシェアについて研究を行った Sjolander et al. [7] も、同様の指摘をしている。Sjolander et al. [7] は、1967 年から 1983 年のスウェーデンにおける飲料売上データを用い、税金が飲料容器のシェアに与える影響を分析した結果、税金導入によりシェアに大きな影響があったことを指摘している。そして沼田 [22] も、デポジット制度は対象財の需要を減らす効果があることを示している。具体的には、アメリカにおける容器別、州別のビール消費量のデータを用い、従来から指摘されているデポジット制度による需要量低下の有無について実証分析を行っている。その結果、デポジット制度導入により、ビール消費量は有意水準 5% で負の影響が確認されている。これに対し、大口需要家である飲食店等においては有意な差は確認されていない。この点については、飲食店は店内でビールを販売、飲料容器を回収することが可能であることから、容器返還に関する手間やコストが小さく、かつ容易に全額リファンドが可能であるため、飲食店の経営に与える影響は微小であるといった点を挙げている。

しかし、ペットボトルは持ち運びが便利であるといった利便性から普及したという経緯があり、飲食店等の大口需要家の下で販売、消費されるケースは稀である。したがってペットボトル飲料に対するデポジット制度の導入は、需要量の低下を招きかねず、税金も同様である。

このように、消費者に負担を強いるネガティブインセンティブは、負の効果が存在することから、消費者に経済的メリットとなるポジティブインセンティブを付与するべきであるといえる。

#### 4.2.3 本論文の位置づけ

ペットボトルのリサイクルを行う再生加工事業者の原料調達量安定させるためには、RVMを用いた回収量を増加させることが求められるが、そのためにはRVMを用いたリサイクルシステムを社会的に普及させていくことが必要となる。その普及には、まず第一に消費者がRVMへの投入を積極的に行うこと、そして第二にはこのリサイクルシステムの全ての構成主体が利益を獲得可能であることが不可欠となる。

消費者がRVMへの投入を積極的に行うよう促すためには、従来研究より経済的インセンティブを付与することが必要であるといえる。ここで経済的インセンティブは、消費者に負担を強いるネガティブインセンティブと、経済的メリットを付与するポジティブインセンティブが存在する。ネガティブインセンティブとしては、排出課徴金のようにごみ排出を有料化するもの、あるいは消費者が購入時にデポジット金額が上乘せされた金額で購入し、回収に協力した場合にリファンドを行うデポジット制度が代表例として挙げられる。しかし排出課徴金については消費者の反対が大きいこと、またデポジット制度は商品売上に負の影響が存在することが従来研究によって指摘されている。そのため、消費者に経済的メリットとなるポジティブインセンティブを付与することが求められるが、従来研究では、消費者に付与する経済的インセンティブとして、表4.1のようにネガティブインセンティブを対象としている。そこで本論文では、割引(%引き)クーポンといったポジティブインセンティブを対象とした研究を行う。

また従来のポジティブインセンティブを消費者に付与する事例では、インセンティブに係るコスト負担により社会的普及には至っていない。したがって、消費者にポジティブインセンティブを付与しつつ、リサイクルシステムの全ての構成主体が利益を獲得可能なリサイクルシステムを構築することによって、RVMを用いたリサイクルシステムを社会的に普及させることが可能となる。これに対し、表4.1のように、Palmer and Walls [6]、小出 [15]は、デポジット制度の与える影響を効用の概念を用いて理論的に分析を行っている。しかし本論文で提案する割引(%引)クーポンを用いたリサイクルシステムにおいて、全ての構成主体が利益を獲得可能となるシステムの条件を検討するためには、より具体的なシステムの条件を分析可能にする現実的なモデルが必要となる。具体的には、クーポンの割引率や割引購入する商品がRVMへの投入やクーポンを使用した割引購入に影響を与えることから、これらの影響要因を考慮した消費者の行動をモデル化する必要性がある。さらに、消費者がクーポンを使用した割引購入を行うクーポン加盟小売事業者の利益率等の売上特性により、構成主体の利益獲得に影響があることから、その特性を考慮可能なモデルが必要となる。従来研究では効用を扱った理論的なモデルに留まることから、リサイクルシステムの全ての構成主体が利益を獲得可能となるシステムの具体的条件を検討することができず、RVMを用いたり

表 4.1: 従来研究と本論文の位置付け

	経済的インセンティブ (ネガティブ or ポジティブ)	リサイクルシステム全体への影響
Sjolander (1996)	税金 (ネガティブインセンティブ)	—
Palmer and Walls (1997)	デポジット制度 (ネガティブインセンティブ)	理論的 (効用概念)
小出 (1999)	ごみ有料化 (ネガティブインセンティブ)	理論的 (効用概念)
秋田ら (2000)	デポジット制度 (ネガティブインセンティブ)	—
羽田 (2000)	デポジット制度 (ネガティブインセンティブ)	—
山川, 上田 (2001)	ごみ有料化 (ネガティブインセンティブ)	—
工藤, 阿部 (2004)	排出課徴金 (ネガティブインセンティブ)	—
沼田 (2006)	デポジット制度 (ネガティブインセンティブ)	—
第4章	割引(%引)クーポン (ポジティブインセンティブ)	現実的 (経済的評価)

サイクルシステムの社会的普及に関する検討を行うことができない。

そこで本論文では、小売業界において多用されている割引（%引）クーポンによって、ポジティブインセンティブを付与するリサイクルシステムを提案する。クーポン加盟小売事業者は割引（%引）クーポンによって売上を増加させ、これに伴う利益を増加させることができる。一方、このシステムの他の構成主体はその利益増の一部が分配される等によって利益を獲得可能とする仕組みである。ここで割引クーポンを%引にすることにより、原価を上回る金額で販売されることが保障されることとなる。ただし、社会的に普及可能となるリサイクルシステムを構築するためには、経済的側面からリサイクルシステムを評価し、その条件を検証する必要がある。具体的には、消費者がペットボトル回収によって得られるクーポンによって、その割引率や割引購買する商品がRVMへの投入やクーポンを用いた割引購買に与える影響を考慮した経済効果評価モデルを構築し、社会的普及が可能となる具体的な条件を検証可能なモデルを提案する。

### 4.3 提案モデル

本論文で提案する、経済的インセンティブとして割引（%引）クーポンを用いるリサイクルシステムを、図 4.1 に示す。消費者はまず、RVM 事業者が設置した RVM へペットボトルを投入し、投入本数に応じたポイントを貯め、クーポンを獲得する。ここで、クーポンはある一定のポイントが蓄積された場合に獲得可能なものであり、一回の購買行動に対して一回使用可能なものであるとする。次に消費者は、クーポン加盟小売事業者の店舗において、

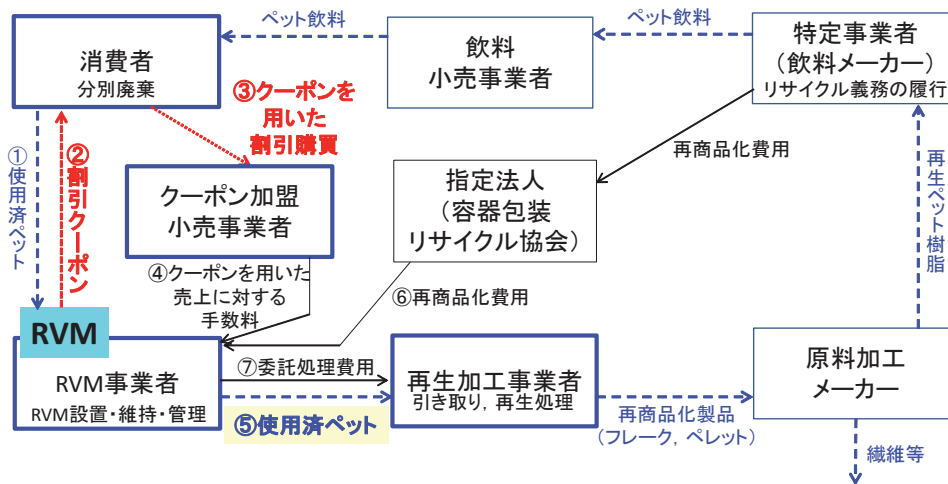


図 4.1: 提案するリサイクルシステム  
 (出典：経済産業省 [38] を元に筆者作成)

クーポンを使用した割引購買を行う。クーポン加盟小売事業者はクーポンが使用された売上に応じて、RVM 事業者へ手数料を支払う。RVM 事業者はペットボトルリサイクルに要するコストを、当該手数料により賄うこととする。

ここでクーポン加盟小売事業者は割引クーポンによる販売増加を目的にリサイクルシステムへ参加し、クーポンによって新たに創出された売上による利益を追加的に獲得することができる。ただし、クーポンが発行されない場合においてもその購買がなされていたであろう売上については、クーポン割引分の利益が毀損されることになる。例えばある店舗に対する固定客が割引クーポンを獲得し、通常行なっている購買行動に対してクーポンを用いた割引購買を行った場合は、利益の毀損が生ずることとなる。したがって、リサイクルシステムを構成する全ての主体が利益を獲得可能な条件を検討するためには、利益の毀損部分を考慮したモデル化を行う必要性がある。

また、提案するリサイクルシステムにおける各構成主体の利益については、特定事業者である飲料メーカー、原料加工メーカー、飲料を販売する飲料小売事業者、指定法人である容器包装リサイクル協会は、容器包装リサイクル法に基づくペットボトルリサイクルと同様の収益、費用となる。したがって RVM を用いたリサイクルシステムにおいても、それらの利益に影響を与えることは無いと考えてよい。次に、消費者は割引クーポンを獲得可能であることから、利益を獲得できると捉えることができ、また再生加工事業者は第 3 章で示されたように、RVM を用いた回収による原料調達によって原料調達量が安定化し、その期待利益は向上する。これに対し、クーポン加盟小売事業者は割引（% 引）クーポンによる新規顧客獲得や新たな購買の生起によって利益を獲得可能となるが、クーポンが発行されない場合においても実現可能であった売上がクーポンの使用によって利益が毀損されること、またクーポンを用いた売上に対する手数料を RVM 事業者へ支払うことから、その利益増加額は負となる可能性もある。また、RVM 事業者は RVM 設置、維持、管理コスト、委託処理費用を



負担することから、手数料の多寡によっては利益が負となる可能性がある。そこで本論文では、各構成主体の内、クーポン加盟小売事業者と RVM 事業者に着目し、それらの経済効果を測定するモデルを構築することにより、RVM を用いたりサイクルシステムの社会的普及が実現可能となる条件を検証する。

また、両者の利益額、利益増加額は消費者の RVM へのペットボトル投入量と、割引（% 引）クーポンを用いた割引購買に依存する。これは RVM への投入によってクーポン発行数が決まり、そして発行されたクーポンを用いて割引購買が生起するためである。したがって、消費者の 2 行動をモデル化した上で、クーポン加盟小売事業者の利益増加額、RVM 事業者の利益額をモデル化する。次に本論文では、以下の前提条件を仮定する。

- 消費者は、同質的であると仮定する
- 消費者はクーポンを獲得した段階において、割引購買したいという意図を有している
- 割引購買の意図は購買対象商品の特性によって実現する可能性が変化する

本論文は、提案する割引クーポンを経済的インセンティブとするリサイクルシステムが実現可能か否かを検証するものであり、消費者の異質性を考慮しない基本モデルを構築する。したがって消費者を同質的消費者と捉え、分析を行うこととする。次に消費者は、クーポンを獲得した段階において初めて具体的な購買する商品を検討することから、RVM へペットボトルを投入する段階においては、割引購買できることのみを期待して行動するものとする。また、クーポン獲得時には具体的に購買する商品を検討することから、クーポンの割引率と、その商品特性によってクーポンが割引購買に使用されるか否かが決定するものとする。

#### 4.3.1 RVM への投入割合とクーポンが購買に使用される割合

消費者が RVM へ使用済みペットボトルを投入する段階においては、どこかのクーポン加盟小売事業者で割引購買することを期待し、RVM へ投入するものと考えられるが、具体的に何を購買するかは明確に決まっていなると仮定する。そのため、使用済みペットボトルの内、RVM への投入割合はクーポンの割引率  $DC$  のみに依存する。そこで RVM への投入割合  $TP$  を以下の様に定式化する。

$$TP = TP(DC) \quad (4.1)$$

次に消費者がクーポンを獲得した段階においては、クーポン加盟小売事業者で購買したい商品具体的に検討するものと考えられる。その場合、消費者がクーポンを使用して割引購買するか否かは、クーポンの割引率と購買したい商品の特性によって決定されるものと考えられる。その商品の特性としては、その商品を買いたいと思う度合いである選好度  $\mu$ 、そして購買の必要性  $\sigma$  が考えられる。そこでクーポンが購買に使用される割合  $BP_{\sigma,\mu}$  とし以下のように定式化する。

$$BP_{\sigma,\mu} = BP_{\sigma,\mu}(DC) \quad (4.2)$$

### 4.3.2 クーポン加盟小売事業者の利益増加額

クーポン加盟小売事業者の利益増加額は、消費者の RVM への投入割合とクーポンが購買に使用される割合に規定される。そこでまず、発行されるクーポンの発行数  $N_c$  を以下の様に定式化する。

$$N_c = \left\lfloor \frac{TP \cdot A}{PM} \right\rfloor \quad (4.3)$$

ここで  $A$  はあるエリアにおけるペットボトル回収量であり、 $PM$  はクーポンへの転換可能となるポイント数を表している。

次にクーポンを用いた総購買金額  $TS_{\sigma,\mu}$  は、以下の様に表すことができる。

$$TS_{\sigma,\mu} = N_c \cdot BP_{\sigma,\mu} \cdot S \cdot (1 - DC) \quad (4.4)$$

ここで  $S$  はクーポンを用いた割引購買の客単価を表し、割引前の価格を意味している。以上から、クーポン加盟小売事業者の利益増加額  $U_{1,\sigma,\mu}$  は以下の様に表すことができる。

$$U_{1,\sigma,\mu} = NS \cdot TS_{\sigma,\mu} \cdot \frac{PP - DC}{1 - DC} - (1 - NS) \cdot TS_{\sigma,\mu} \cdot \frac{DC}{1 - DC} - TS_{\sigma,\mu} \cdot r_R \quad (4.5)$$

右辺の第一項はクーポンによって新たに創出された売上による利益を表し、第二項はクーポンによって毀損される利益、第三項は RVM 事業者への手数料を表している。ここで毀損される利益とは、クーポンが無い状態であっても購買されていたはずの売上に対して、クーポンが使用されたことによって減少した利益を指す。クーポンが使用された総売上に対する、新たに創出された売上の割合を  $NS$  としている。 $PP$  はクーポン加盟小売事業者利益率、 $r_R$  は RVM 事業者へ支払う手数料率を表している。

### 4.3.3 RVM 事業者の利益

RVM 事業者の収益は、クーポン加盟小売事業者から受け取るクーポンを用いた売上に対する手数料、容器包装リサイクル法に基づき飲料メーカーが負担する再商品化費用であり、費用は再生加工事業者に支払う委託処理費用、RVM にかかる設置・維持・管理コストである。そこで RVM 事業者の利益  $U_{2,\sigma,\mu}$  は下記のように表すことができる。

$$U_{2,\sigma,\mu} = a_1 \cdot TP \cdot A + r_R \cdot TS_{\sigma,\mu} - a_2 \cdot TP \cdot A - a_3 \cdot N_R \quad (4.6)$$

ここで右辺の第一項は再商品化費用であり  $a_1$  は再商品化費用単価、第二項はクーポン売上に関しクーポン加盟小売事業者より受け取る手数料、第三項は委託処理費用であり  $a_2$  は委託処理単価、第四項は RVM 設置・維持・管理コストであり  $a_3$  は RVM 設置・維持・管理単価を表している。また、 $N_R$  は RVM の設置台数を表しており、以下の様に表わされる。

$$N_R = \left\lfloor \frac{TP \cdot A}{M} \right\rfloor \quad (4.7)$$

ここで  $M$  は RVM 一台当たりの標準回収量を表す。これは RVM 事業者が設定する標準回収量であり、投入されたペットボトルを RVM から取り出す頻度や設置場所等によって設定されるものである。



## 4.4 数値実験

### 4.4.1 概要

提案する割引クーポンを経済的インセンティブとする，RVMを用いたリサイクルシステムの社会的普及が実現可能となる条件を検証する．社会的普及が実現可能となる必要条件是，クーポン加盟小売事業者の利益増加額  $U_{1,\sigma,\mu} \geq 0$ ，かつ RVM 事業者の利益額  $U_{2,\sigma,\mu} \geq 0$  である．ここで社会的普及が実現可能な条件は，消費者がどのような商品を割引購買したいかという商品の特性，割引購買を行うクーポン加盟小売事業者の特性に関するものと，それらの特性でいかに運用するかといった運用上の設定条件が存在する．商品の特性については，選好度  $\mu$ ，購買の必要性  $\sigma$  が考えられ，これらによって発行されたクーポンが使用される割合に影響を与える．また，クーポン加盟小売事業者の特性としては，クーポン使用売上における新規創出売上比率  $NS$ ，クーポン加盟小売事業者の利益率  $PP$ ，客単価  $S$  が，クーポン加盟小売事業者の利益増加額，また RVM 事業者の利益額に影響する．したがって，これらの特性下における，クーポン加盟小売事業者の利益増加額，RVM 事業者の利益額が正となる運用上の設定条件を分析する．ここで運用上の設定条件とは，発行されるクーポンの割引率  $DC$ ，RVM 事業者へ支払う手数料率  $r_R$  であり，数値実験によりこれらの設定可能な範囲を導出する．

- クーポン加盟小売事業者が RVM 事業者へ支払う手数料率を  $r_R^*$  に固定する
- 手数料率  $r_R^*$  において， $U_{1,\sigma,\mu}, U_{2,\sigma,\mu} \geq 0$  となるクーポン割引率の範囲  $(DC_{r_R^*,min}, DC_{r_R^*,max})$  を導出する
- 手数料率  $r_R^*$  を変化させ， $U_{1,\sigma,\mu}, U_{2,\sigma,\mu} \geq 0$  となる社会的普及可能領域を導出する

クーポンの割引率  $DC$ ，RVM 事業者へ支払う手数料率  $r_R$  の設定可能な範囲の導出方法は，まずクーポン加盟小売事業者が RVM 事業者へ支払う手数料率を  $r_R^*$  に固定する．そして，図 4.2 のように，クーポン加盟小売事業者の利益増加額  $U_{1,\sigma,\mu}$ ，RVM 事業者の利益額  $U_{2,\sigma,\mu}$  が共に正となる，クーポンの割引率の範囲  $(DC_{r_R^*,min}, DC_{r_R^*,max})$  を導出する．次に固定していた手数料率を  $r_R$  を変化させることによって，提案する RVM を用いたリサイクルシステムの社会的普及可能領域を図 4.3 のように導出する．ここで，図 4.3 は，横軸をクーポン加盟小売事業者が RVM 事業者へ支払う手数料率を  $r_R$ ，縦軸をクーポンの割引率  $DC$  としたものである．

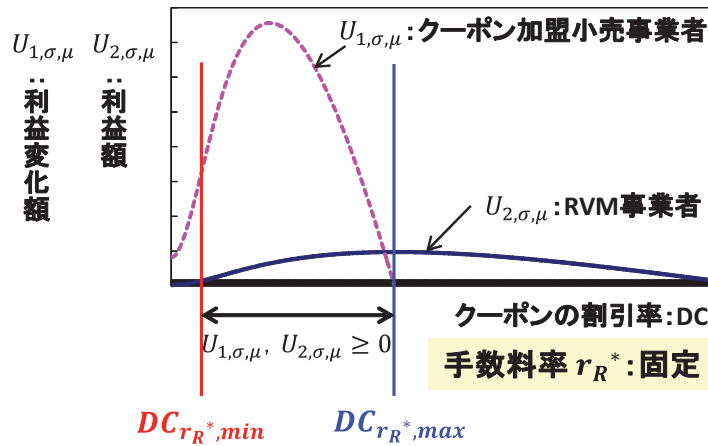


図 4.2: 手数料率  $r_R^*$  における割引率の範囲 ( $DC_{r_R^*,min}, DC_{r_R^*,max}$ )

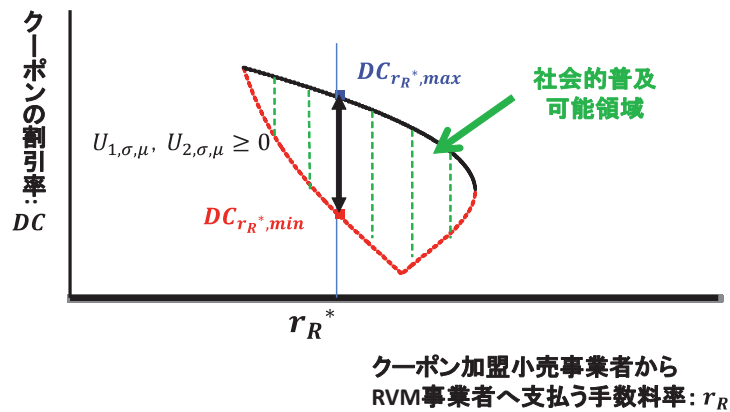


図 4.3: 社会的普及可能領域

また、RVM を用いたリサイクルシステムが社会的に普及可能となる条件を詳細に分析するため、購買したい商品の選好度  $\mu = 1, \dots, 4$  (1: 高, 2: 中, 3: 低, 4: 不明), 購買の必要性  $\sigma = 1, 2$  (1: 高, 2: 低) と設定し、アンケート調査により RVM への投入割合、クーポンが割引購買に使用される割合に関するパラメータを設定する。また、クーポン加盟小売事業者の売上特性として、クーポン使用売上に占める新規創出売上比率  $NS$  (70%, 80%, 90%), クーポン加盟小売事業者利益率  $PP$  (10%, 20%, 30%), クーポンを使用した購買の客単価  $S$  (5,000 円, 10,000 円, 20,000 円) と設定し、比較静学を行うことにより社会的普及可能領域に与える影響を分析する。

#### 4.4.2 パラメータ設定

数値実験で使用するパラメータは、現実性を考慮し、以下の様に設定している。

RVM 事業者へのヒアリングの結果に基づいて、RVM 標準回収量  $M : 25,000$ (本/台・月), 再商品化費用単価  $a_1 : 4.5$ (円/本), 委託処理単価  $a_2 : 3$ (円/本), RVM 設置・維持・管理単価  $a_3 : 30,000$ (円/台・月) と設定している。次に RVM に使用済みペットボトルを投入することで1ポイントずつ消費者は貯めていくが、割引(%引)クーポンに転換可能とする転換ポイント  $PM$  は、従来の金券を用いる場合には100から500ポイントとされているのに対し、本提案システムでは割引(%引)クーポンの発行数がクーポン加盟小売事業者の利益増加額に対して重要であることから、50(本)としている。次に RVM の設置を想定する地域としては、ペットボトル回収量  $A : 150,000$ (本/月) の地域を想定する。

表 4.2: クーポンが購買に使用される割合のパラメータ ( $l_{\sigma,\mu}$ ,  $m_{\sigma,\mu}$ ,  $n_{\sigma,\mu}$ )

購買の必要性 $\sigma$	選好度 $\mu$	$l_{\sigma,\mu}$	$m_{\sigma,\mu}$	$n_{\sigma,\mu}$
1:高	1:高	-0.12	0.08	98.10
1:高	2:中	1.05	0.09	87.35
1:高	3:低	2.65	0.06	26.29
1:高	4:不明	1.76	0.07	62.83
2:低	1:高	1.34	0.08	75.71
2:低	2:中	2.00	0.09	54.22
2:低	3:低	1.78	0.01	87.24
2:低	4:不明	1.75	0.05	46.46

次に消費者の RVM への投入割合、クーポンが割引購買に使用される割合に関するパラメータを設定するため、2002年12月25日から27日に東京都品川区戸越銀座商店街において、男女426人に対して行ったアンケート調査を実施している。

RVM への投入割合  $TP$  に関しては土肥ノ内ら [20] の結果より、

$$TP = \beta + (\alpha - \beta) \cdot \frac{DC^\gamma}{\beta + DC^\gamma} \quad (4.8)$$

と表し、そのパラメータは  $\alpha = 100.00$ ,  $\beta = 6.70$ ,  $\delta = 1.85$ ,  $\gamma = 24.56$  である。

次にクーポンが購買に使用される割合については、庄田、大野 [18] より、

$$BP_{\sigma,\mu} = n_{\sigma,\mu} \cdot \exp(-\exp(l_{\sigma,\mu} - m_{\sigma,\mu} \cdot DC)) \quad (4.9)$$

と表し、パラメータである  $l_{\sigma,\mu}$ ,  $m_{\sigma,\mu}$ ,  $n_{\sigma,\mu}$  は、表 4.2 に表す。

#### 4.4.3 結果

数値実験を行ったところ、クーポンを用いた客単価  $S$  は5,000円, 10,000円, 20,000円, クーポン加盟小売事業者の利益率  $PP$  は10%, 20%, 30%, クーポン使用売上占める新

新規創出売上比率  $NS$  は 10%, 20%, 30% の範囲において、候補商品の選好度  $\mu$  が「3: 低」, 「4: 不明」の場合、社会的普及可能領域は存在しないことが分かった。また、商品の選好度  $\mu$  が「1: 高」, 「2: 中」であっても、購買の必要性が「2: 低」の場合は社会的普及可能領域は存在しない。そのため、商品の選好度  $\mu$  が「1: 高」, 「2: 中」の 2 通り、購買の必要性  $\sigma$  が「1: 高」についてのみ結果を示す。

#### 商品の選好度 $\mu$ 「1: 高」の場合

商品の選好度が  $\mu$  「1: 高」において、図 4.4, 図 4.5, 図 4.6 は客単価  $S$  を 5,000 円, 10,000 円, 20,000 円とした場合の結果を示している。また図 4.7, 図 4.8 はクーポン加盟小売事業者の利益率  $PP$  を 10%, 30%, 図 4.9, 図 4.10 はクーポン使用売上に占める新規創出売上比率  $NS$  を 70%, 90% とした場合の結果を示している。

図 4.4, 図 4.5, 図 4.6 から、客単価  $S$  が高額になるほど、クーポン加盟小売事業から RVM 事業者へ支払う手数料率は低く設定可能となり、クーポンの割引率は高く設定可能となることが分かる。これはクーポンを使用した割引購買において、1 購買当たりの金額が増加することにより、少ない手数料率であっても RVM 事業者が多くの手数料率を受け取ることが可能となることで、両者が利益を獲得可能となっているものと考えられる。

次にクーポン加盟小売事業者の利益率  $PP$  については、図 4.7, 図 4.8 から、利益率が高い場合、クーポン加盟小売事業から RVM 事業者へ支払う手数料率は高く設定可能となり、また割引率は高く設定可能となることが分かる。利益率が増加することで、クーポン加盟小売事業者が多くの利益を獲得可能となり、RVM 事業者へ支払う手数料率は高く設定可能となる。また割引率については、割引率を高く設定し、クーポンを使用した割引購買を増加させることでクーポン加盟小売事業者が利益を獲得可能となり、それに伴い RVM 事業者も利益を獲得可能になる。

次に、クーポン使用売上に占める新規創出売上比率  $NS$  についても、図 4.9, 図 4.10 から、新規創出売上比率が増加することで、クーポン加盟小売事業から RVM 事業者へ支払う手数料率は高く設定可能となり、また割引率は高く設定可能となることが分かる。これはクーポンによって毀損される利益が減少することで、高い割引率、手数料率を設定可能となるためである。

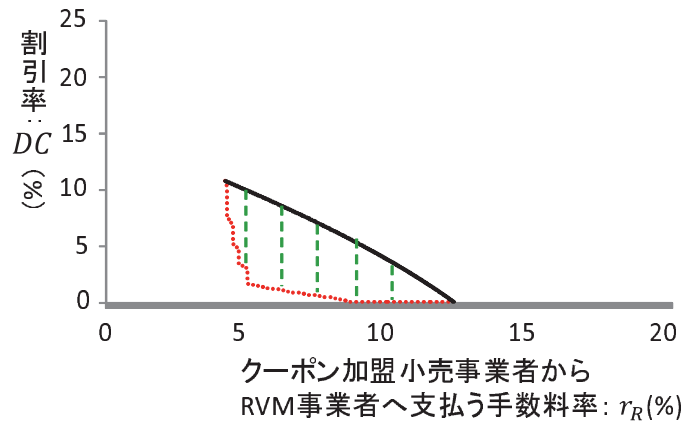


図 4.4: 分析結果 ( $S = 5,000$ ,  $PP = 20\%$ ,  $NS = 80\%$ ), 商品の選好度  $\mu$  「1: 高」

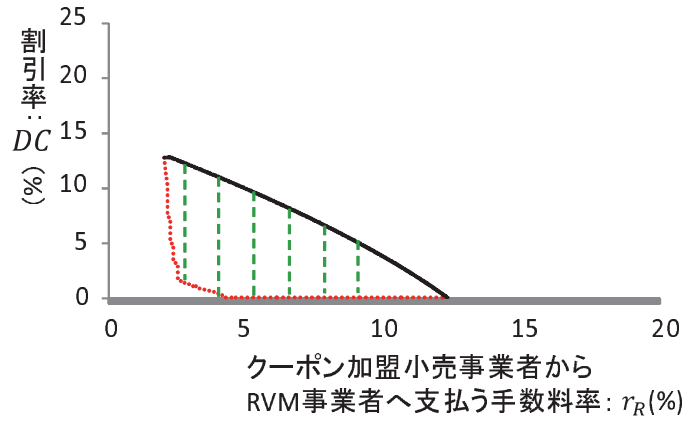


図 4.5: 分析結果 ( $S = 10,000$ ,  $PP = 20\%$ ,  $NS = 80\%$ ), 商品の選好度  $\mu$  「1: 高」

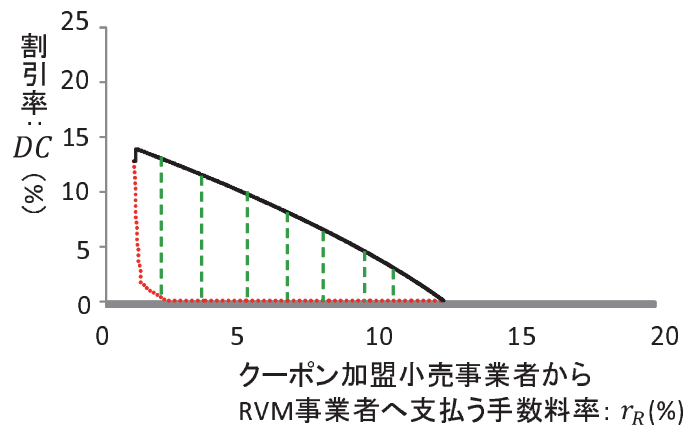


図 4.6: 分析結果 ( $S = 20,000$ ,  $PP = 20\%$ ,  $NS = 80\%$ ), 商品の選好度  $\mu$  「1: 高」

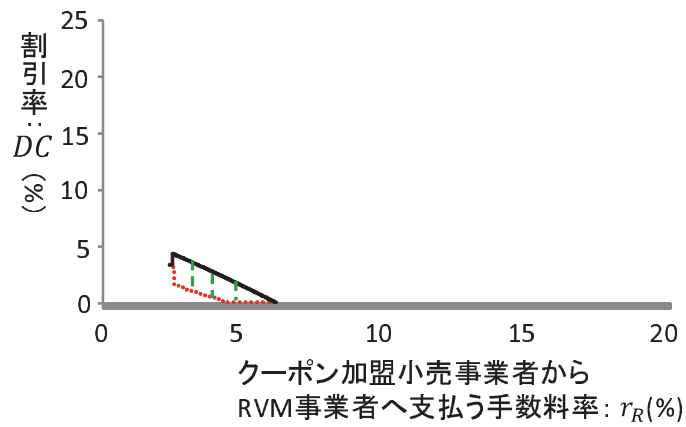


図 4.7: 分析結果 ( $S = 10,000, PP = 10\%, NS = 80\%$ ), 商品の選好度  $\mu$  「1 : 高」

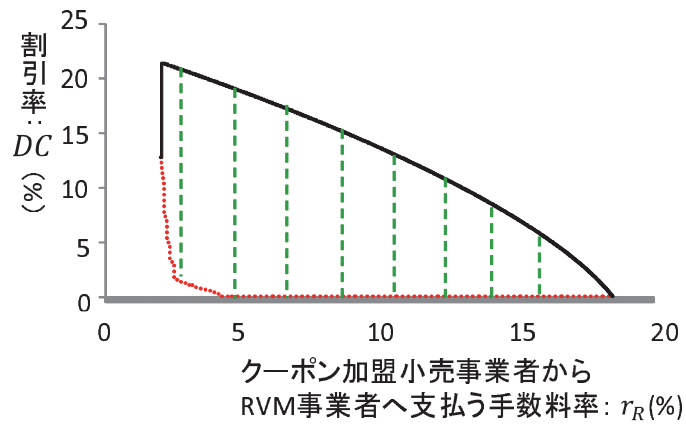


図 4.8: 分析結果 ( $S = 10,000, PP = 30\%, NS = 80\%$ ), 商品の選好度  $\mu$  「1 : 高」

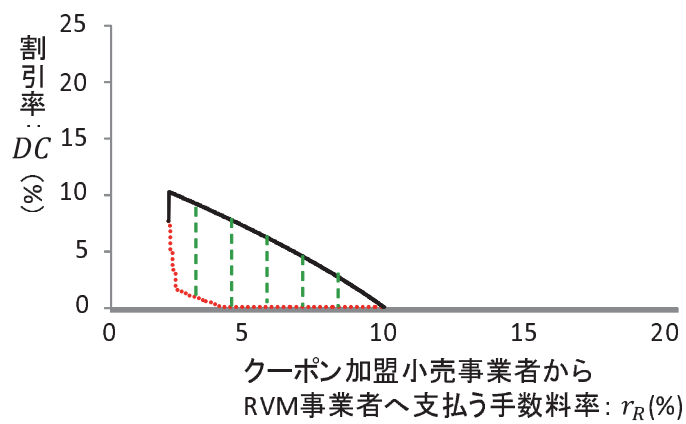


図 4.9: 分析結果 ( $S = 10,000, PP = 20\%, NS = 70\%$ ), 商品の選好度  $\mu$  「1 : 高」



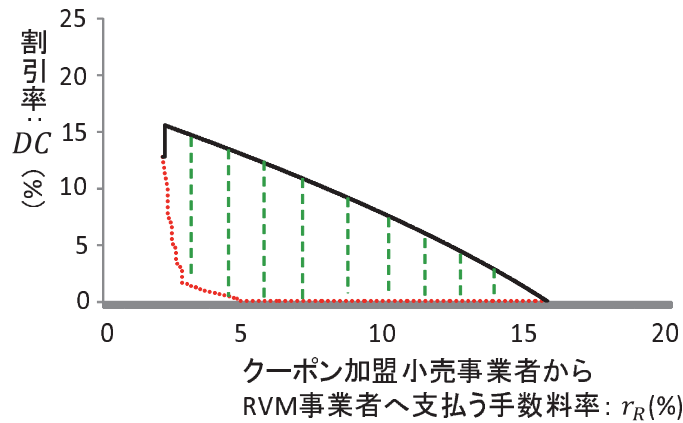


図 4.10: 分析結果 ( $S = 10,000$ ,  $PP = 20\%$ ,  $NS = 90\%$ ), 商品の選好度  $\mu$  「1 : 高」

#### 商品の選好度 $\mu$ 「2 : 中」 の場合

商品の選好度が  $\mu$  「2 : 中」 において, 図 4.11, 図 4.12 は客単価  $S$  を 10,000 円, 20,000 円とした場合の結果を示している. また図 4.13 はクーポン加盟小売事業者の利益率  $PP$  を 30%, 図 4.14 はクーポン使用売上に占める新規創出売上比率  $NS$  を 90% とした場合の結果を示している.

それらの結果から, 客単価  $S$  が 20,000 円の場合には非常に狭い社会的普及可能領域が存在し, クーポン加盟小売事業者の利益率  $PP$  が 30 % の場合は広く存在, クーポン使用売上に占める新規創出売上比率  $NS$  が 90% の場合は狭いことが見て取れる. また, 商品の選好度  $\mu$  が 「1 : 高」 の場合と比較すると, 選好度  $\mu$  が 「1 : 高」 の場合には非常に広範囲な社会的普及可能領域が存在することが分かる.

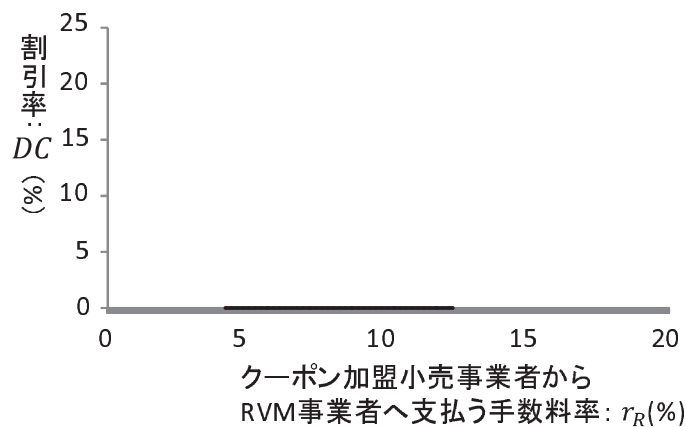


図 4.11: 分析結果 ( $S = 10,000$ ,  $PP = 20\%$ ,  $NS = 80\%$ ), 商品の選好度  $\mu$  「2 : 中」

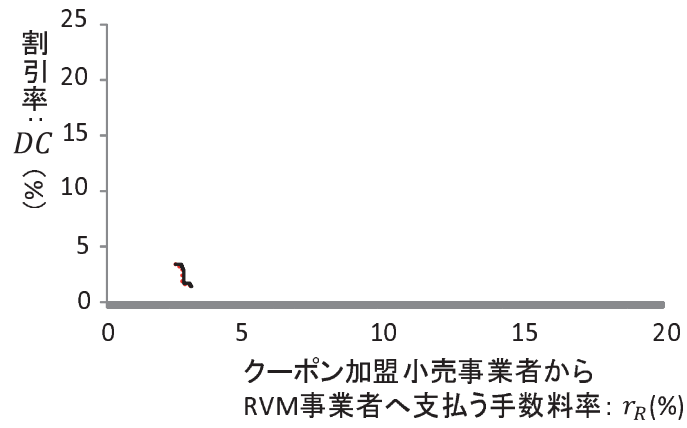


図 4.12: 分析結果 ( $S = 20,000$ ,  $PP = 20\%$ ,  $NS = 80\%$ ), 商品の選好度  $\mu$  「2 : 中」

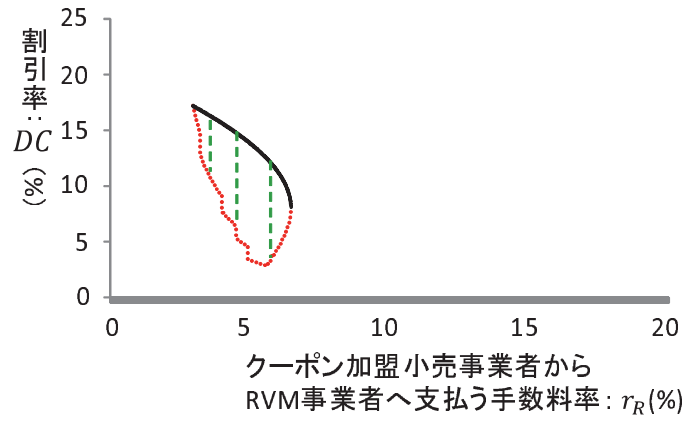


図 4.13: 分析結果 ( $S = 10,000$ ,  $PP = 30\%$ ,  $NS = 80\%$ ), 商品の選好度  $\mu$  「2 : 中」

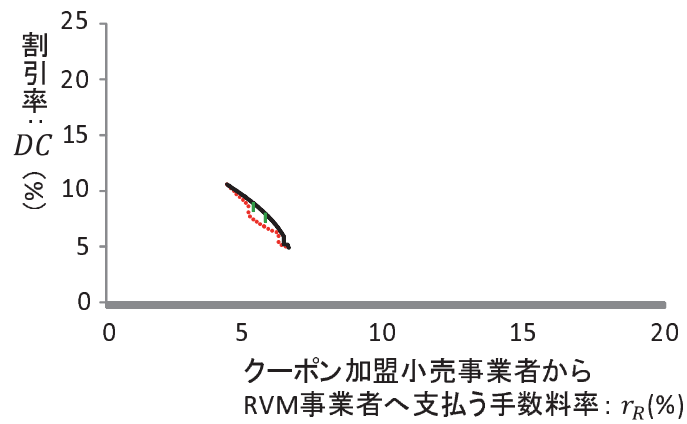


図 4.14: 分析結果 ( $S = 10,000$ ,  $PP = 20\%$ ,  $NS = 90\%$ ), 商品の選好度  $\mu$  「2 : 中」

表 4.3: 割引購買したい商品と社会的普及可能領域

購買の必要性	選好度	社会的普及可能領域
1:高	1:高	○
1:高	2:中	○
1:高	3:低	×
1:高	4:不明	×
2:低	1:高	×
2:低	2:中	×
2:低	3:低	×
2:低	4:不明	×

### 割引購買したい商品の特性について

クーポンを用いた割引購買したい商品と社会的普及可能領域に関する結果を表 4.3 に示す。この結果より、購買の必要性が高く、選好度が高または中の商品において社会的普及可能領域が存在することが分かる。次に選好度の高い商品であっても、必要性が低い場合には社会的普及可能領域が存在しないことが分かる。したがって、選好度の高い魅力的な商品、かつ必要性の高い商品であることが必要となる。

### クーポン加盟小売事業者の売上特性と社会的普及可能領域について

クーポンを用いた割引購買の客単価  $S$  が高額になるほど、クーポン加盟小売事業から RVM 事業者へ支払う手数料率は低く設定可能となっており、また割引率は高く設定可能となる。これはクーポンを使用した割引購買において、1 購買当たりの金額が増加することにより、少ない手数料率であっても RVM 事業者が多くの手数料率を受け取ることが可能となることで、両者が利益を獲得可能となっているものと考えられる。次にクーポン加盟小売事業者の利益率  $PP$  については、これが高ければクーポン加盟小売事業から RVM 事業者へ支払う手数料率は高く設定可能となっており、また割引率は高く設定することが可能となっている。これはクーポン使用売上に占める新規創出売上比率  $NS$  についても同様の結果である。利益率が増加することで、クーポン加盟小売事業者が多くの利益を獲得可能となり、RVM 事業者へ支払う手数料率は高く設定可能となる。また割引率については、割引率を高く設定し、クーポンを使用した割引購買を増加させることでクーポン加盟小売事業者が利益を獲得可能となり、それに伴い RVM 事業者も利益を獲得可能になる。クーポン使用売上に占める新規創出売上比率については、クーポンが無い状態であっても売上を獲得できていたであろう売上に対してクーポンが使用される割合が減少することにより、毀損される利益が減少し、高い割引率、手数料率を設定可能となる。

したがって、クーポン加盟小売事業者の売上特性であるクーポン使用売上に占める新規創出売上比率、利益率、客単価により、RVM を用いたリサイクルシステムの社会的普及を実現可能とする手数料率、割引率は異なることが分かる。ただし、クーポン対象商品の選好度

が中の場合においても、クーポン加盟小売事業者の利益率が30%の場合には広い社会的普及可能領域が存在すること、また、専門店であれば利益率が30%という小売事業者は多く存在していることから、専門店等の利益率が高い小売事業者をリサイクルシステムの構成主体とすることで容易に社会的普及を促進することが可能となると考えられる。

#### 4.5 本章のまとめ

再生加工事業者は、入札による原料調達量が不安定であり、需要とのミスマッチによる多大な損失を強いられているといった問題に直面している。この問題に対し、RVMによって消費者から直接回収されたペットボトルは再生加工事業者が原料調達することが可能であり、入札による原料調達と比較して安定的な調達が可能になる。そのため、再生加工事業者の安定的な原料調達のためには、RVMを用いたリサイクルシステムの普及が今後必要になると考えられる。しかしRVMを用いた回収による原料調達が、再生加工事業者の利益に及ぼす影響は定量的に明らかにされておらず、第3章では、その影響を普及促進の前段階として確認した。その結果、RVMを用いたリサイクルシステムは再生加工事業者の調達量安定に繋がり、その期待利益を増加させる効果があり、さらには落札の変動が高い場合に効果が高いことが示された。そこで本章では、RVMを用いたリサイクルシステムの普及を促進し、再生加工事業者の調達量の更なる安定化を図るため、RVMを用いたリサイクルシステムはどのようにすれば社会的に普及するか、という問題に着目した。

この普及には、まず第一に消費者がRVMへの投入を積極的に行うということ、そして第二にはこのリサイクルシステムの全ての構成主体が経済的メリットを享受可能であり、積極的参加を促すシステムであることが不可欠となる。消費者の分別廃棄を促進するインセンティブは、従来研究によって経済的インセンティブが重要な規定要因であることが明らかになっている。また、消費者に負担を強いるネガティブインセンティブはペットボトル飲料の売上低下等、負の効果が存在することも従来研究により指摘されていることから、消費者に経済的メリットを付与するようなポジティブインセンティブが必要となる。これに対し、RVMを用いた従来事例では、商品券や金券等の経済的メリットを消費者に付与するポジティブインセンティブを付与しており、消費者にペットボトルをRVMへの投入を促進させる効果を持つが、そのインセンティブを自治体等が負担する構造になっており、補助金終了と共に取り組みは中止され、持続可能性に問題がある。そのため、ポジティブインセンティブを用いた社会的普及可能なリサイクルシステムを構築するためには、経済的側面からリサイクルシステムを評価し、社会的に普及可能な具体的な条件を検討する必要がある。

そこで本章では、RVMを用いたリサイクルシステムが社会的に普及可能となる条件を検証することを目的とした、経済効果評価モデルを提案した。RVMへの投入促進のための消費者に対するインセンティブを、小売業界において多用されている割引(%引)クーポンによって付与することで、クーポン加盟小売事業者は売上を増加させ、これに伴って利益を増加させることが期待される。一方、このシステムの他の構成主体はクーポン加盟小売事業者の利益増の一部が適切に分配されることで、利益を獲得できる可能性がある。そして消費

者がペットボトル回収によって得られるクーポンについては、その割引率がRVMへの投入に対して与える影響、また割引購買したい商品の特性がクーポンを使用した割引購買に与える影響を考慮した、経済効果評価モデルを構築し、全ての構成主体が利益を獲得可能なシステムの条件を検証した。また本章では第3章と異なり、再生加工事業者が使用済みペットボトルの調達と共に、リサイクル費用を受け取る逆有償の場合を対象としている。逆有償の場合、有償の場合と比較し、リサイクルシステムの全ての構成主体が利益を獲得することが難しい状況となることから、逆有償の場合においても提案するリサイクルシステムが社会的に普及可能であることを検証した。

数値実験においては、全ての構成主体が利益を獲得可能とする、社会的普及可能となるシステムの条件を検証するために、消費者が購買したい商品の特性、消費者がクーポンを用いた購買を行うクーポン加盟小売事業者の特徴を用いて、数値実験により分析を行った。その結果、割引購買したい商品が、消費者にとって選好度が高く、購買の必要性が高い商品である場合に、社会的に普及が可能な条件が存在することを示すことができた。また、クーポン加盟小売事業者の売上特性であるクーポン使用売上に占める新規創出売上比率、利益率、客単価ごとの、RVMを用いたリサイクルシステムの社会的普及を実現可能とする手数料率、割引率を定量的に示すことができた。ただし、商品の選好度が「中」程度の場合においても、クーポン加盟小売事業者の利益率が30%の場合には広い社会的普及可能領域が存在すること、また、専門店であれば利益率が30%という小売事業者は多く存在していることから、利益率が高い小売事業者をリサイクルシステムの構成主体とすることで現実的に社会的普及を促進することが可能となると考えられる。ここでクーポン発行による新規売上の創出については、過去にクーポン発行を行ったことのある小売事業者は、新規に創出されうる売上高をある程度予測可能であると考えられ、クーポン発行を行っていない小売事業者では、実験的にクーポンを発行することで予測可能になると考えられる。

以上の結果より、リサイクルシステムの全ての構成主体が利益を獲得することが難しい逆有償の場合の場合においても、RVMを用いたリサイクルシステムの社会的普及を可能とする、クーポンの割引率やクーポン加盟小売事業者の存在を示すことができた。またその特徴を明らかにすることができたことから、本成果を基にしたRVMを用いたリサイクルシステム普及が可能であるといえる。

## 第5章 結論

### 5.1 本論文のまとめ

ペットボトルは容器包装リサイクル法に基づき資源再生が行われており、ペットボトルの再生加工事業者は、原料調達量の多くを自治体回収に対する入札に依存している。これに対し自治体は独自のルートで回収したペットボトルを再生処理することが認められているため、価格的に有利な場合には輸出を行う自治体も存在するが、近年、市況変動が大きいことから、その輸出量も大きく変動する。したがって、再生加工事業者が入札で確保できる原料調達量が不安定となり、需要とのミスマッチによる多大な損失を強いられている。リサイクルによる再生原料の確保が必要である我が国において、再生加工事業者の原料調達を安定化して経営基盤を確立することは、持続可能な資源循環を行うために重要な課題と位置づけられる。

一方、近年見受けられる、RVMを用いたペットボトル回収においては、再生加工事業者が直接原料調達することが可能であり、入札による調達方法と比較して安定的な原料調達が可能になる。したがって、RVMを用いたりサイクルシステムの社会的普及が今後必要になると考えられ、RVM回収による原料調達が、再生加工事業者の利益に及ぼす影響はこれまで定量的に明らかにされておらず、その影響を普及促進の前段階として確認しておくべきであるといえる。また、RVMを用いたりサイクルシステムの社会的普及には、第一に消費者がRVMへの投入を積極的に行うということ、第二にはこのリサイクルシステムの全ての構成主体が利益を獲得可能であることが不可欠である。消費者のRVMへの投入を促進するためには、従来研究によって経済的インセンティブが重要な規定要因であること、消費者に負担を強いネガティブインセンティブはペットボトル飲料の売上低下等、負の効果が存在することが指摘されており、消費者に経済的メリットを付与するようなポジティブインセンティブが必要となる。さらに、消費者にポジティブインセンティブを付与する事例においては、商品券や金券等の値引クーポンが用いられているものの、消費者にペットボトルをRVMへの投入を促進させる効果を持つが、自治体等が経済的負担を担う構造になっているために、政策的な補助金等の終了と共に中止されており、持続可能性に問題があるといえる。そのため、ポジティブインセンティブを用いた社会的普及可能なリサイクルシステムを構築するためには、経済的側面からリサイクルシステムを評価し、社会的に普及可能となる条件を検証する必要がある。

そこで本論文では、RVMを用いたりサイクルシステムの経済効果評価モデルを構築し、RVMを用いたりサイクルシステムが再生加工事業者の利益向上に有効であり、かつリサイクルシステムの全ての構成主体が利益を獲得可能なモデルが存在することを示し、その普及



を促進すべきであることを示した。

第3章ではRVMを用いた回収の効果を評価するモデルを構築し、RVMを用いた回収量による原料調達量が再生加工事業者の利益に与える影響、さらには再生加工事業者が直面している変動と回収の効果との関係性を明らかにする効果評価モデルを構築した。これらの効果を評価するためには、再生加工事業者の生産量、原料調達量を考慮した効果評価モデルが必要だが、従来研究と調達の構造が異なることから、調達量の変動要因を拡張したモデルを構築した。具体的には、再生加工事業者の最終製品に対する需要量、入札による原料調達量、RVMを用いたペットボトル回収量の変動を考慮した最適な生産量、入札量を導出するモデルを構築し、再生加工事業者の期待利益を導出した。また、RVM回収を行わない場合の期待利益との差分をRVMを用いた回収の効果とし、その効果を比較静学によって分析した。その結果、RVMを用いた期待回収量増加に伴い、その効果も大きくなることが確認された。そして、落札率の分散が大きいほど、その効果は大きいことが確認された。具体的にはペットボトルの調達単価45,000 [円/t] に対し、調達単価の約9%以上と高い金額を上乗せして調達することも可能であることが分かった。したがってRVMを用いた回収量増加により再生加工事業者の利益は増加すること、また、入札による原料調達量の変動が大きい場合にその効果は大きいことから、RVMを用いたリサイクルシステムは再生加工事業者の利益増加に有効であることを示すことができた。

第4章では、RVMを用いたリサイクルシステムが社会的に普及可能となる条件を検証可能とする経済効果評価モデルを提案した。本論文では、小売業界において多用されている割引(%引)クーポンによって消費者に経済的インセンティブを付与し、当該クーポンの利用によって売上・利益の増加が期待される小売事業者をクーポン加盟小売事業者として、リサイクルシステムの一構成主体とするモデルを提案した。そしてその利益が負となる可能性がある構成主体である、クーポン加盟小売事業者とRVMを設置・維持・管理するRVM事業者の収益、費用をモデル化し、それらの利益が正となる条件を検討した。消費者がペットボトルをRVMへ投入する割合はクーポンの割引率に依存する形で、またクーポンが割引購買に使用される割合については、クーポンの割引率、および割引購買を行おうと考える商品の特性である選好度、購買の必要性に依存したモデル化を行った。さらに、クーポン加盟小売事業者の売上特性により、社会的に普及可能な条件が異なることから、クーポンが使用された売上に占める新たに創出された売上の比率、利益率、客単価といった売上特性を考慮した経済効果評価モデルの提案を行った。また、第4章においては第3章と異なり、再生加工事業者が使用済みペットボトルの調達と共に、リサイクル費用を受け取る逆有償の場合について分析を行っている。これは、海外の情勢や市況によって、現在の有償から逆有償への転換も考えられること、また、逆有償の場合は有償の場合と比較し、リサイクルシステムの全ての構成主体が利益を獲得することが難しいことから、提案するモデルが想定される困難な状況においても社会的に普及可能であることを示すためである。数値実験では、クーポン加盟小売事業者の売上特性、割引購買対象となる商品特性と、リサイクルシステムの運用において設定されるクーポンの割引率、クーポン加盟小売事業者からRVM事業者へ支払われる手

数料率の範囲を導出した。その結果、選好度が高く、購買の必要性が高い商品特性の場合、このリサイクルシステムが普及可能であること、また、クーポン加盟小売事業者の3つの売上特性は、全てその値が高いことが重要であることが示された。さらに、商品の選好度が「中」程度の場合においても、クーポン加盟小売事業者の利益率が30%の場合には、広い社会的普及可能領域が存在することが示された。そして、リサイクルシステム運用において設定されるクーポンの割引率、RVMへ支払う手数料率を定量的に示すことが可能となった。

以上の結果より、RVMを用いたリサイクルシステムは、ペットボトルリサイクルを行う再生加工事業者の調達量安定に繋がり、その利益向上に対して有効であるといえる。また、割引（%引）クーポンを経済的インセンティブとすることで、逆有償という困難な状況においても、リサイクルシステムの全ての構成主体が利益を獲得可能な条件が存在することから、その社会的普及は可能であるといえる。したがって、RVMを用いたリサイクルシステムはその普及を促進すべきであると言え、リサイクルによる再生原料の確保が必要である我が国において、リサイクルの中核を担う再資源化事業者の利益向上に繋がることで、計画的な経営計画、リサイクル技術の開発が可能となり、リサイクルコストの低減や高付加価値化といった効果をも期待することが可能である。

## 5.2 今後の展望

本論文では、入札による調達量が不安定である再生加工事業者に着目し、RVMを用いたリサイクルシステムの経済効果を評価するモデルを構築している。これに対し、容器包装リサイクル法に基づくペットボトルリサイクルは、自治体負担が多いことが従来研究により指摘されており、RVMを用いたリサイクルシステムの普及により、自治体の回収量は減少するが、回収に要するコスト、また再生加工事業者への運搬コストの高い使用済みペットボトルのみを自治体が回収することになる可能性も存在する。また、ペットボトルリサイクルに関する自治体の固定費も存在することから、自治体における効果評価モデルを構築し、その影響を分析することで、自治体に対してもRVMを用いたリサイクルシステムを普及させるべきであることを示すことが今後の展望として挙げられる。

次に、本論文ではペットボトルを対象としているが、缶やビン等の他の飲料容器や古紙等に対象を拡大し、RVMを用いたリサイクルシステムの有効性、汎用性、拡張性を検証することも今後の展望として挙げられる。これらは現状ではペットボトルのように、再生加工事業者の原料調達量が不安定ということは見受けられていないが、市況の変化やリサイクル技術の向上等により、海外への輸出が有利となる可能性も大いに存在する。したがって、事前に対策を検討することは非常に重要であり、今後の我が国の持続的発展に貢献することができると考えられる。

## 謝辞

本論文作成に当たり、多くの方々のご支援、ご協力を賜りました。深く御礼申し上げます。

まず、指導教員である早稲田大学創造理工学部経営システム工学科 大野高裕教授には、研究室配属から研究全般に関しご指導、ご助言を頂き、また公私共にお世話になり、深甚なる感謝の意を表します。大野教授のご指導によって、ここまで来ることができたと思っております。

副査を務めて頂きました早稲田大学創造理工学部経営システム工学科 大成尚教授、高田祥三教授、吉本一穂教授には、検討会や審査会において、数多くの御助言を頂きました。私が早稲田大学に在籍中、北海道大学に着任後も大変お世話になり深く感謝し、御礼申し上げます。大成教授には、いつも気にかけて頂き、本当に感謝をしております。人を思いやり、熱心に指導をされる姿に、少しでも近づけるよう努力していきたいと思っております。高田教授には、リサイクルに関するプロジェクト、EDGE プロジェクト等、大変お世話になりました。全てに真摯に取り組まれる姿勢を見て、多くを学ばせて頂きました。吉本教授には、経産省の委託研究、海外インターンシッププログラム等、大変お世話になりました。柔軟かつ的確に物事を進めていく姿は、今後も見本とさせて頂きたく存じます。

早稲田大学創造理工学部経営システム工学科、早稲田大学創造理工学研究科経営システム専攻の先生方には、本当にお世話になりました。深く感謝し、御礼申し上げます。

北海道大学大学院経済学研究院 後藤允准教授には、研究、仕事等、大変お世話になり、深く感謝し、御礼申し上げます。この博士論文は、後藤准教授のサポート無しでは不可能であったと思います。本当にありがとうございました。

最後に、長年に渡り著者を支えてくれた両親、妻に、心からの感謝を送ります。

2017年12月

鈴木 広人

## 参考文献

- [1] Hong, s., and Richard, M.A.: “Household Responses to Price Incentives for Recycling: Some Further Evidence,” *Land Economics*, Vol.75, No.4, pp.505–514 (1999)
- [2] Jones, P.C., Lowe, T.J., Traub, R.D. and Kegler, G.: “Matching Supply and Demand: The Value of a Second Chance in Producing Hybrid Seed Corn,” *Manufacturing & Service Operation Management*, Vol.3, No.2, pp.122–137 (2001)
- [3] Kaya, O.: “Incentive and Production Decisions for Remanufacturing,” *European Journal Operations Research*, Vol.201, No.2, pp.442–453 (2010)
- [4] Kazaz, B.: “Production Planning under Yield and Demand Uncertainty with Yield-Dependent Cost and Price,” *Manufacturing & Service Operation Management*, Vol.6, No.3, pp.209–224 (2004)
- [5] Mukhopadhyay, S.K. and Ma, H.: “Joint Procurement and Production Decisions in Remanufacturing under Quality and Demand Uncertainty,” *International Journal of Production Economics*, Vol.120, No.1, pp.5–17 (2009)
- [6] Palmer, K., and Walls, M.: “Optimal Policies for Solid Waste Disposal Taxes, Subsidies, and Standards,” *Journal of Public Economics*, Vol.65, No.2, pp.193–205 (1997)
- [7] Sjolander, R.: “Market Effects of an “Environmental” Beverage Package Tax,” *Scandinavian Journal of Management*, Vol.12, No.3, pp.335–345 (1996)
- [8] Van, H., George, L., and Adams, M.: “Household Behavior under Alternative Pay-as-You-Throw Systems for Solid Waste Disposal,” *Land Economics*, Vol.75, No.4, pp.515–537 (1999)
- [9] Vining, J. and Ebreo, A.: “Market Effects of an “What Makes a Recycler? A Comparison of Recyclers and Nonrecyclers,” *Environment Behavior*, Vol.22, pp.55–73 (1996)
- [10] 秋田大介, 藤田壮, 盛岡通: “非集計モデルを用いた大学内デポジット・リファンド・システムの調査分析”, 土木学会年次学術講演会, Vol.55, No.7, pp.594–595 (2000)
- [11] 大塚直: “容器包装リサイクル法の改正の評価と課題”, 廃棄物学会誌, Vol.17, No.4, pp.12–19 (2006)

- [12] 小川竜一, 鈴木広人, 後藤允, 大野高裕: “北九州市エコマネー導入による環境配慮行動促進システムに関する研究”, 日本経営システム学会誌, Vol.23, No.2, pp.69–74 (2007)
- [13] 華山謙: “デポジット制度の経済的影響”, 公害研究, Vol.11, No.2, pp.27–31 (1981)
- [14] 工藤匠, 阿部晃士: “環境配慮行動とその規定要因の累計: 「滝沢村環境基本計画策定に関する住民意識調査」の計量分析”, 総合政策, Vol.5, No.3, pp.429–444 (2004)
- [15] 小出秀雄: “デポジット・リファンド制度が消費者の廃棄行動に及ぼす影響”, 慶応義塾経済学会, Vol.92, No.2, pp.313–325 (1999)
- [16] 笹尾俊明: “廃棄物処理有料化と分別回収の地域的影響を考慮した廃棄物減量効果に関する分析”, 廃棄物学会論文誌, Vol.11, No.1, pp.1–10 (2000)
- [17] 佐藤大介, 内海秀樹, 寺島泰: “ワンウェイペットボトルから他容器への代替による環境影響評価”, 第29回環境システム研究論文発表会講演集, pp.203–208 (2001)
- [18] 庄田佳史, 大野高裕: “買い置きできる商品のクーポン履行行動に関する研究”, 早稲田大学理工学部経営システム工学科 LiME 研究発表論文集, pp.69–70 (2001)
- [19] 鈴木広人, 大野高裕: “自動回収機 (RVM) を用いたリサイクルシステムの開発”, 日本経営システム学会誌, Vol.27, No.2, pp.1–9 (2010)
- [20] 土居ノ内雅史, 金建河, 田畑智章, 大野高裕: “消費者の缶ペットボトル回収協力行動に関する研究”, 日本経営工学会平成15年度春季大会予稿集, pp.218–221 (2003)
- [21] 西嶋孝紀: “PET ボトルの開発 デザインと強度の最適化 -”, 日本機械学会誌, Vol.112, No.1093, pp.962–963 (2009)
- [22] 沼田大輔: “デポジット制度は製品需要に影響を与えるか –アメリカのビール消費データを用いた実証分析–”, 環境科学会誌, Vol.19, No.5, pp.371–384 (2006)
- [23] 羽田亨: “デポジット制度について –税との比較を中心として–”, 関東学園大学経済学紀要, Vol.27, No.1, pp.63–71 (2000)
- [24] 平野勝巳, 印南雄介, 星野麻紀, 真下清, 金浜慶太郎, 小西武史, 豊田成紀, 菅野元行: “廃PETボトルのメカニカルリサイクルにおける品質低下物質の特定と除去法の確立”, 廃棄物資源循環学会論文誌, Vol.16, No.4, pp.325–332 (2005)
- [25] 平野勝巳, 岩崎普久, 角田雄亮, 菅野元行: “廃PETボトルの材料リサイクルにおける再生製品の強度保持の検討”, 廃棄物資源循環学会論文誌, Vol.21, No.5, pp.165–169 (2010)
- [26] 広瀬幸雄: “環境問題へのアクション・リサーチ・リサイクルのボランティア・グループの形成発展のプロセス (社会問題の社会心理学 –ミクロ現象とマクロ現象の相互関係”, 心理学評論誌, Vol.36, No.3, pp.373–397 (1993)



- [27] 広瀬幸雄：“環境配慮的行動の規定因について”，社会心理学研究誌，Vol.10, No.1, pp.44-55 (1994)
- [28] 福原一郎，本藤祐樹：“リユース PET ボトルのライフサイクルインベントリ分析”，第4回日本LCA学会研究発表会講演要旨集，pp.76-82 (2009)
- [29] 松井康弘，大迫政浩，田中勝：“ごみ分別に関する行政施策の市民参加への影響予測に関する研究”，廃棄物学会論文誌，Vol.15, No.5, pp.325-335 (2004)
- [30] 安田八十五：“ペットボトルリサイクルに関する評価と政策分析”，廃棄物学会論文誌，Vol.12, No.5, pp.229-234 (2001)
- [31] 山川肇，上田和弘：“ごみ有料化研究の成果と課題：文献レビュー”，廃棄物学会誌，Vol.12, No.4, pp.245-258 (2001)
- [32] 渡邊健史，楠川恵津子，有菌育生：“使用済み製品の回収インセンティブと品質を考慮したグリーンサプライチェーンでの最適運用方策”，日本経営工学会誌，Vol.63, No.4, pp.226-235 (2013)
- [33] 出石町商工会：“空缶自動回収機と商店街ポイントカード連動により環境対応と顧客化を図る”（閲覧日：2010年1月15日）  
[http://www.syoutengai.or.jp/pdf/13/13/izushicho\\_s.pdf](http://www.syoutengai.or.jp/pdf/13/13/izushicho_s.pdf)
- [34] 環境省：“日本の廃棄物処理の歴史と現状”（閲覧日：2017年4月2日）  
[https://www.env.go.jp/recycle/circul/venous\\_industry/ja/history.pdf](https://www.env.go.jp/recycle/circul/venous_industry/ja/history.pdf)
- [35] 環境省：“リサイクルシステムの経済性評価”（閲覧日：2016年1月9日）  
[https://www.env.go.jp/recycle/recycling/raremetals/conf\\_ruca/03\\_wg/mat02.pdf](https://www.env.go.jp/recycle/recycling/raremetals/conf_ruca/03_wg/mat02.pdf)
- [36] 環境省：“容器包装ライフ・サイクル・アセスメントに係る調査事業 報告書”（閲覧日：2017年9月08日）  
[https://www.env.go.jp/recycle/yoki/c\\_3\\_report/pdf/h16\\_lca\\_chousa\\_honpen.pdf](https://www.env.go.jp/recycle/yoki/c_3_report/pdf/h16_lca_chousa_honpen.pdf)
- [37] 関西広域連携協議会：“容器廃棄物回収システムの提案 「容器廃棄物研究ワーキンググループ」”（閲覧日：2010年1月15日）  
[http://www.kansai.gr.jp/ku/summer/pdf/01\\_report.pdf](http://www.kansai.gr.jp/ku/summer/pdf/01_report.pdf)
- [38] 経済産業省：“3R政策”（閲覧日：2014年9月25日）  
<http://www.meti.go.jp/policy/recycle/>
- [39] 公益財団法人日本容器包装リサイクル協会：“PET ボトル再商品化事業者 B 社 入札制度等に関する意見書”（閲覧日：2014年9月25日）  
[http://www.jcpra.or.jp/Portals/0/resource/circle/info/pdf/investigative\\_04.pdf](http://www.jcpra.or.jp/Portals/0/resource/circle/info/pdf/investigative_04.pdf)



- [40] 豊島区：“豊島区政の近年の動向”（閲覧日：2017年10月09日）  
[https://www.city.toshima.lg.jp/001/kuse/shingi/kaigichiran/005922/documents/26dai2-siryu2-2\\_2\\_1.pdf](https://www.city.toshima.lg.jp/001/kuse/shingi/kaigichiran/005922/documents/26dai2-siryu2-2_2_1.pdf)
- [41] トムラ・ジャパン株式会社：“セブン&アイ ペットボトル リサイクル プロジェクト”  
（閲覧日：2014年9月25日）  
<http://www.tomra.co.jp/retailer/retail-customer-cases/7andi/>
- [42] PET ボトルリサイクル推進協議会：“リサイクルの流れ”（閲覧日：2014年9月25日）  
<http://www.petbottle-rec.gr.jp/more/flow.html>

# 研究業績書

鈴木 広人

(2017年12月 現在)

博士論文に関する業績

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者 (申請者含む)
論文	<p>(論文)</p> <p>○ [1] ペットボトル再生加工業における RVM 導入効果測定モデル, 日本経営工学会論文誌, Vol. 66, No. 3, pp. 287-299 (2015-10) 鈴木広人, 後藤允, 大野高裕</p> <p>○ [2] 自動回収機 (RVM) を用いたリサイクルシステムの開発, 日本経営システム学会誌, Vol. 27, No. 2, pp. 1-9 (2010-11) 鈴木広人, 大野高裕</p>
総説	<p>(事例研究)</p> <p>[1] 北九州市エコマネー導入による環境配慮行動促進システムに関する研究, 日本経営システム学会誌, Vol. 23, No. 2, pp. 69-74 (2007-3) 小川竜一, 鈴木広人, 後藤允, 田畑智明, 大野高裕</p>
講演	<p>(研究ノート)</p> <p>[1] 逆工程における問題点抽出・改善方向性の体系化, 日本経営システム学会誌, Vol. 27, No. 1, pp. 51-57 (2010-7) 鈴木広人, 大野高裕</p> <p>(国際会議)</p> <p>[1] Development of an Analysis Tool at Reverse Process, The 18th International Conference on Production Research, Salerno (2005-8) Suzuki, H., Tanoue, Y., Ito, H., Ohno, T. and Takata, S.</p> <p>[2] Systematization of the Way to Extract Problems and to Develop the Course of Improvement at Reverse Process, Eighth International Conference on Manufacturing Management, Gold Coast (2004-12) Suzuki, H., Tanoue, Y., Ito, H., Ohno, T. and Takata, S.</p> <p>(講演)</p> <p>[1] 北九州市エコマネー導入による環境配慮行動促進システムに関する研究, 第 35 回日本経営システム学会全国研究発表大会 (2005-10) 小川竜一, 鈴木広人, 後藤允, 大野高裕</p> <p>[2] リサイクル部品を用いた車両保険に関する研究, 日本経営工学会平成 17 年度秋季大会 (2005-5) 上田陽介, 鈴木広人, 大野高裕</p> <p>[3] 使用済みアルミ缶リサイクルにおける最適政策に関する研究, 日本経営工学会平成 16 年度秋季大会 (2004-10) 丸山貴浩, 鈴木広人, 大野高裕</p> <p>[4] 再生原料の用途探索アルゴリズムの開発・分析, 第 33 回日本経営システム学会全国研究発表大会 (2004-10) 伊藤博志, 鈴木広人, 大野高裕</p>

# 研究業績書

鈴木 広人

(2017年12月 現在)

## その他業績

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者 (申請者含む)
その他	<p>(論文)</p> <p>[1] A Model of Purchase Behavior under Price Uncertainty: A Real Options Approach, International Journal of Real Options and Strategy, Vol. 3, pp. 1-12 (2015-2) Suzuki, H., Goto, M., and Ohno, T.</p> <p>[2] サービス生産性定量化に関する研究, 日本経営工学会論文誌, Vol. 64, No. 1, pp. 28-37 (2013-10) 山口真知, 鈴木広人, 吉本一穂</p> <p>(国際会議)</p> <p>[1] Finding Strong Relationships of Stock Prices Using Blockwise Symbolic Representation with Dynamic Time Warping, 2014 IEEE International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Application, Alberobello (2014-6) Thongmee, T., Suzuki, H., and Ohno, T.</p> <p>[2] The Determination of Service Coupling for Non-disruptive System, Third International Symposium on Business Modeling and Software Design, Noordwijkerhout (2013-6) Thongmee, T., Suzuki, H., and Ohno, T.</p> <p>[3] A Visitor Agent's Decision Making Model with Evoked Set in Theme Park Simulation, The 9th Asia-Pacific Complex Systems Conference, Tokyo (2009-11) Ohori, K., Suzuki, H., Saito, y., Iida, M., and Takahashi, S.</p> <p>[4] A Logit Model of Brand Choice and Purchase Incidence: A Real Options Approach 12th Annual International Real Options Conference (2008-7) Suzuki, H., Goto, M., and Ohno, T.</p> <p>(講演)</p> <p>[1] 値引き幅がブランド・ロイヤルティに与える影響を考慮した消費者購買行動モデル, 第51回日本経営システム学会全国研究発表大会 (2013-12) 小林祐貴, 鈴木広人, 大野高裕</p> <p>[2] Twitterの特性を考慮した社会的ネットワーク上の非対称な情報伝搬分析, 第51回日本経営システム学会全国研究発表大会 (2013-12) 鳥居壮志朗, 鈴木広人, 大野高裕</p> <p>[3] PB・NB間の相互作用を考慮した消費者購買行動モデルの構築, 第51回日本経営システム学会全国研究発表大会 (2013-12) 田中日瑛, 鈴木広人, 大野高裕</p> <p>[4] 従業員の自己啓発における学習行動と影響因子の関係性, 第49回日本経営システム学会全国研究発表大会 (2012-12) 高橋諒, 花木喜英, 鈴木広人, 大野高裕</p> <p>[5] Twitterにおける投稿間の時間間隔を考慮した消費者の意見抽出手法の提案, 第49回日本経営システム学会全国研究発表大会 (2012-12) 渡辺博之, 鈴木広人, 大野高裕</p> <p>[6] 消費者の製品知識を考慮した購買行動モデル, 第44回日本経営システム学会全国研究発表大会 (2010-6) 高橋正樹, 鈴木広人, 大野高裕</p>

# 研究業績書

鈴木 広人

(2017年12月 現在)

## その他業績

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者 (申請者含む)
その他	<p>(講演)</p> <p>[7]看護必要度予測モデルの構築, 第44回日本経営システム学会全国研究発表大会 (2010-6) 長井大輔, 鈴木広人, 大野高裕</p> <p>[8]回帰分析を用いたABCによる診療行為別原価計算方法の提案, 第44回日本経営システム学会全国研究発表大会 (2010-6) 野崎翔也, 鈴木広人, 大野高裕</p> <p>[9]医療機関の画像診断機器導入における影響分析, 第40回日本経営システム学会全国研究発表大会 (2008-6) 石田恒太, 鈴木広人, 大野高裕</p> <p>[10]ABCに基づいたコメディカル部門費配布方法の提案, 第40回日本経営システム学会全国研究発表大会 (2008-6) 鵜飼武志, 鈴木広人, 大野高裕</p> <p>[11]Variety-Seeking と Inertia 行動の残存効果を考慮した購買行動モデル, 第40回日本経営システム学会全国研究発表大会 (2008-6) 栗原和弘, 鈴木広人, 大野高裕</p> <p>[12]購買回数によるロイヤルティ変化を考慮した購買行動モデル, 第38回日本経営システム学会全国研究発表大会 (2007-6) 鈴木将章, 鈴木広人, 大野高裕</p> <p>[13]医療機関における原価差異分析方法の提案, 第38回日本経営システム学会全国研究発表大会 (2007-6) 谷内亮太, 鈴木広人, 大野高裕</p> <p>[14]消費者の飽きと商品間の影響を考慮したブランド選択モデル, 第37回日本経営システム学会全国研究発表大会 (2006-12) 上田陽介, 鈴木広人, 大野高裕</p> <p>[15]想起集合を考慮した娯楽選択モデル, 第37回日本経営システム学会全国研究発表大会 (2006-12) 香山雄一郎, 鈴木広人, 大野高裕, 田畑智章</p> <p>[16]Bundle 化された商品の最適販売戦略設定モデル, 第37回日本経営システム学会全国研究発表大会 (2006-12) 春日雄太, 鈴木広人, 大野高裕</p> <p>[17]パチンコ・スロットホールのイベントスケジューリングに関する研究, 第37回日本経営システム学会全国研究発表大会 (2006-12) 木内拓哉, 鈴木広人, 大野高裕</p> <p>[18]採用時における部署と人材の希望を考慮した最適人材配置, 経営情報学会 2005年度秋季全国研究発表大会 (2005-11) 斎藤大悟, 鈴木広人, 後藤允, 田畑智明, 大野高裕</p> <p>[19]CVS 店舗における消費者の複数カテゴリー購買行動モデル, 経営情報学会 2005年度秋季全国研究発表大会 (2005-11) 高島大輔, 鈴木広人, 田畑智明, 大野高裕</p> <p>[20]ポートフォリオ理論を用いたCVS店舗における商品構成決定モデル, 経営情報学会 2005年度秋季全国研究発表大会 (2005-11) 中村壮伸, 鈴木広人, 田畑智明, 大野高裕</p>