

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年4月30日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2012

課題番号：22653040

研究課題名（和文）リサイクル・イノベーションの低迷原因の研究

研究課題名（英文） Why does recycle innovation decrease recently in Japan?

研究代表者 古川 柳蔵 (FURUKAWA RYUZO)

東北大学・大学院環境科学研究科・准教授

研究者番号：60420006

研究成果の概要（和文）：本研究では、リサイクル関連のイノベーションの類型化、諸外国のリサイクル事業と政策の関係、イノベーション・システムの役割を分析し、リサイクル関連のイノベーションの3つの低迷の原因を明らかにした。リサイクル技術を持つ企業ではなく、リサイクル材料を廃棄している製造業の経済的合理化の追求が促進される必要があること、リサイクル事業を行う組織が、イノベーションへ再投資するシステムを構築することが望まれる。

研究成果の概要（英文）：The research question is why does recycle innovation decrease recently in Japan. I focused on research of successful cases in the recycle business in Japan and the world. I found 3 reasons. Finally, the manufacture company should find more economical merit in the recycling process in its own company, and should build innovation system in the company.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,000,000	0	1,000,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：経営学・3701

キーワード：環境イノベーション、リサイクル法、リサイクル

## 1. 研究開始当初の背景

日本においては、1995年以来、容器包装リサイクル法、家電リサイクル法、資源有効利用促進法、建設リサイクル法、食品リサイク

ル法、自動車リサイクル法が相次ぎ施行され、リサイクル関連のイノベーションは、これらのリサイクル法の影響を強く受け、特許出願数が急上昇した。ところが、2007年になると、日本のリサイクル関連の特許出願数は、

1996年以前の水準にまで戻ってしまった。リサイクル法は維持されているが、リサイクル化に伴い生じるイノベーションが持続していない。省エネ関連のイノベーションについては、規制によりかろうじて特許出願数の水準が継続されている。なぜ、リサイクル関連のイノベーションは、低迷してしまったのだろうか。この原因について明らかにすることが、今後の循環型社会へ転換するために必要である。

## 2. 研究の目的

本研究では、リサイクル関連のイノベーションの類型化、諸外国のリサイクル事業と政策の関係、リサイクル事業におけるイノベーション・システムの役割を分析し、リサイクル関連のイノベーションの低迷の原因を明らかにし、イノベティブな循環型社会を目指す事業戦略及び環境政策の提案を行うことを目的とした。

## 3. 研究の方法

方法としては、諸外国のリサイクル事業及び政策について、現地訪問調査を主体として、リサイクル関連のイノベーションの成功事例を収集し、分析する。諸外国では、法規制が異なるため、日本の事例を比較することが有効である。また、リサイクル関連のイノベーション・プロセスについて、特許データを用いて、定量的に分析する。分析する事例としては、家電製品（エアコン、冷蔵庫、テレビ）、枯渇性資源依存製品（ペットボトル、紙）及び小電（携帯電話、デジタルカメラ）の性質の異なるリサイクル事業を対象とし、適切な事業戦略や政策提言を行う。

## 4. 研究成果

### (1) 類型化

法規制にしたがってリサイクル関連技術のイノベーションが起こるタイプと企業の経営の合理化あるいは経営陣のビジョンによってイノベーションが起こるタイプがある。

容器包装、家電などについては、法規制が制定され、それに従い、リサイクル関連技術のイノベーションが促進された。海外における DOWA ホールディングスの事例についても同様に海外の法規制にしたがい、現場の状況に合わせながらリサイクル事業が進展した。

一方、米国のショー・インダストリーやインターフェースといったカーペット事業においては、経営の合理化によってリサイクル技術の自社開発が進み、経営と環境の両立が

実現した。その他、日本リファインは、リチウムイオン電池や液晶パネルなどの生産工場が生じる有機溶媒のリサイクルの事業を行い、近年の生産工場の建設ラッシュにともない発生する無駄に廃棄されている有機溶媒のリサイクルを実現し、複数工場を顧客とすることでビジネス化を実現した。リチウムイオン電池や液晶パネルを生産する企業にとっての経営の合理化のために必要とされた事業である。

### (2) 特許分析

日本において、1995 年以來、容器包装リサイクル法、家電リサイクル法、資源有効利用促進法、建設リサイクル法、食品リサイクル法、自動車リサイクル法が相次ぎ制定された。これらのリサイクル法の制定に沿って、リサイクル関連特許出願数は急激に増加した。しかし、2006 年の特許出願数は、1996 年以前の水準にまで戻ってしまった。リサイクルに関するイノベーションが持続的でないことを示している。

リサイクル関連特許の中で、材料別に、紙、金属、プラスチック、ガラスに関する特許出願数の推移を見ても、同じように 2006 年には 1996 年の水準にまで落ちている。製品別、方法別にリサイクル特許を抽出しても同じような 2001 年あたりをピークに山の形状をしている。

個別製品や材料における特許出願数の推移を見てみたい。ペットボトル、カーペット、自動車、空気調和機のリサイクル関連特許出願数がリサイクル関連特許全体に占める割合の推移を示した。また、空気調和機及び自動車のリサイクル関連特許出願数がリサイクル関連特許全体に占める割合の推移のみに着目して比較した。ペットボトル、カーペットの方が、エアコンや自動車よりも、リサイクル関連特許の占める割合が高い。カーペットについては、業界が自主的にリサイクル技術開発を促している中で技術開発投資が行われているので、リサイクル法とは関係なしにイノベーションが生じている。1995 年と 2002 年当たりでリサイクル関連特許の占める割合が高くなっている。リサイクル関連技術の重要性が高いのである。エアコンと自動車については、リサイクル関連技術の占める割合は、ほぼ 2%以下と小さいが、家電リサイクル法や自動車リサイクル法が制定された時点で重点的に特許出願がなされていることがわかる。

### (3) 成功事例分析

#### ① 自社内でリサイクルする事例

リサイクルに関するイノベーションは、製

品の生産工程やリサイクル工程、製品の材料、構造、価格など複合的に関連している。まず、製造業における企業では、原材料を購入し、製品を生産し、製品を販売して、売り上げにより利益を上げる。その後、顧客がある一定の期間、製品を使用する。続いて、この企業が自社製品をリサイクルするためには、自社で使用済み製品を回収する、または、リサイクル事業者が使用済み製品を回収する必要がある。そのためには、設備投資を行い、使用済み製品を回収するルートやインフラを確保し、回収した使用済み製品を分解・分離・分別などするリサイクル技術を獲得する必要がある。特に、この企業はリサイクル技術を獲得するために、研究開発投資を行わなければならない（企業の外部から技術を購入する場合もありうる）。これによって、自社製品を回収し、リサイクル技術でリサイクル材料に分け、一部は生産工程の原材料として使用する。また、一部はリサイクル材料を販売することができる。リサイクルコストを低く抑えることができれば、市場の原材料よりも低コストでリサイクル材料を自社内で獲得できることになる。

ここで、リサイクル材料と原材料の価格差が問題になる。原材料の方がリサイクル材料よりも高価な場合、リサイクル材料を販売することにより利益が得られる。また、同様に製品の原材料の一部をリサイクル材料でまかなうことができれば、原材料のコスト削減が可能となる。

次に、リサイクル技術の改良等、リサイクルに関する技術イノベーションを促すことができれば、リサイクル工程におけるコスト削減につながる。また、リサイクルしやすく製品を再設計し、部品数を減らす等、製品・プロセスイノベーションを促すことができれば、リサイクル工程におけるコスト削減と同時に、生産工程におけるコスト削減も可能となる。さらに、使用済み製品の回収ルートにおいて、顧客を囲い込むことができるようなリース、機能の販売等の新しいサービスイノベーションを促すことができれば、顧客増と製品の付加価値増が可能となり、生産工程及びリサイクル工程において利益を得ることができる。

この時、問題になるのが、工程の境界である。研究開発投資のうち、製品・プロセスイノベーションとサービスイノベーションについては、そのメリットは生産工程とリサイクル工程の両方に及ぶ。同一企業で生産工程とリサイクル工程の両方を実施する場合には、リサイクル工程における利益を研究開発へ再投資可能になるため、さらにイノベーションを促進することができ、利益を獲得することができるから問題はない。他方で、別の企業がリサイクル工程を実施する場合には、

リサイクル工程へ研究開発投資をされにくくなる。さらに、リサイクル工程において得られる利益を自社内に回収しにくくなる。その結果、イノベーションを起こすインセンティブが弱まってしまうという問題を抱えることになる。

リサイクル化が進展すると、リサイクル事業の競争が起きる。例えば、通常原材料とリサイクル材料の価格差が大きい場合には、リサイクル材料を用いることで大きな収益を得ることができるため、リサイクル材料の資源獲得競争が活発になる。また、原材料とリサイクル材料の価格差がほとんどない場合においては、資源獲得競争は起こりにくくなり、リサイクル事業に要するコスト削減につながる技術競争が活発になる。この時、研究開発投資ができない企業は、リサイクル事業におけるコスト削減ができず、利益を得ることができなくなるため、厳しい事業環境を強いられることになることを示している。

リサイクルの技術競争が行われる段階では、エアコンや自動車のリサイクル事業は厳しいであろうが、原材料の価格差が広がり、資源獲得競争がなされるようになれば、リサイクル事業を自社内で抱えることにより多くのメリットを得る可能性が高まるのである。米国のカーペットメーカーのショーイングストリーやインターフェースは、リサイクル事業まで自社内で抱え、近い将来利益をあげる計画で研究開発投資を行っている。リサイクル事業から利益を出せるか否かについては、その企業が扱う製品によっても異なる。例えば、カーペットやペットボトルは使用段階ではエネルギーを消費しない製品であるが、エアコンや自動車は使用段階でエネルギーを消費する製品である。エネルギーを消費する製品は、金属や希少金属を用いた複雑な構造をなしており、複雑に組み立てられている。そのため、分解するプロセスが容易ではない。従って、リサイクル化に伴い、より多くの研究開発投資が必要になる。当然のことであるが、エアコンや自動車のような複雑な構造を持った製品のリサイクルには、単純な構造を持った製品よりもコストが余計にかかる。リサイクルにかかるコストは、さらに、製品の材料や構造設計に依存する。機械で分解・分離できる場合は低コストになるが、人が分解・分離する場合は高コストになってしまう。分離・分解のしやすさがコストを決定する。カーペットやペットボトルでは機械で分解・分離することが可能なため人によるコストがかからないため低コストになるが、エアコンや自動車では機械で分解するだけでなく、人が分解するプロセスが必要となるため高コストになってしまう。

②他社がリサイクルする事例

日本リファインの環境ビジネスは2つの機能からなる。1つは溶剤を精製リサイクルする機能、もう1つは、様々な工場から排出される排ガス・排水に含まれる微量溶剤成分を高効率で回収する装置を設計・製作する環境エンジニアリング機能である。次世代自動車として注目が集まる電気自動車・ハイブリット車に使用するリチウムイオン電池、この極板を製造するプロセスの中においても日本リファインの分離技術が重要な意味を持つ。リチウムイオン電池の極板製造プロセスで使用された溶剤（NMP）がガスとして排出される際、日本リファインが導入するガス回収装置『エコトラップ』によりNMPを回収する。回収NMPは日本リファインの精製工場では電池グレード品質に精製し、再び極板製造プロセスに供給する。NMPの循環型リサイクルにより、資源の再生、CO2の削減、VOCの排出抑制、製造コストの削減を同時に達成している。

溶剤の新液を購入してリチウムイオン電池を生産する工場など溶剤を使用する工場がメインの顧客である。リチウムイオン電池を生産するプロセスでPVDFという樹脂を塗布させるために必要となるNMPという溶剤は使用後に揮発し、ガス化するので、『エコトラップ』により液化する。回収したNMPは新液よりも高品質（使用時に弊害となる不純物が少ない）に精製してその工場に再納品する。または、高品質の溶剤を他社に販売する。これら一連のトータルエンジニアリングをサービスとするビジネスモデルである。一般工業グレード品を購入し、それを高品質に精製して販売するビジネスも行う。

今までは、リチウムイオン電池の生産プロセスの中で、溶剤であるNMPの廃ガスがそのまま大気に廃棄されていた。これを無駄なくリサイクルで回収し、再利用することにより、原料のコスト削減及び廃棄物処理コスト低減による利益をユーザーとこの企業で分配する、環境と経済の両立が実現するビジネスモデルでもある。

中国・蘇州周辺地区においても、同様のビジネスモデルを展開している。企業は2003年1月に、100%子会社である蘇州瑞環化工有限公司 Suzhou Refine Co., Ltd. を設立し（以下、蘇州リファインと呼ぶ）、現在は順調に事業展開している。競合企業は、蘇州にはほとんどいない。大手の化学品メーカーは既に自ら分留装置を持って行っている場合もあるが、大手ではない廃溶剤の量が少ない企業にとっては自社工場に設置するコストよりも、日本リファインに廃溶剤の処理を外注の方が低コストになる。あるいは電子関連産業など、化学品の知識が少ない企業では、自社でリサイクルすることが困難であることもあり、これらが日本リファインや蘇州リ

ファインが存続できる市場であると言える。

日本溶剤リサイクル工業会の資料によると、溶剤（揮発性有機化合物）全体の使用量は246万トン/年、このうち新品としては197万トン/年供給されている。使用後には71万トン/年以上が大気放出され、それ以外の126万トン/年は産業廃棄物として焼却処分されている。一方で、外部におけるリサイクルは年間22万トン/年（溶剤リサイクル業者約53社）、溶剤ユーザーによるオンサイトリサイクルは27万トン/年である。溶剤のリサイクル率は使用量全体の20.0%に過ぎない。溶剤リサイクル数量は、ほとんど変化なく推移している。溶剤の製造には石油が消費される。溶剤は揮発性有機化合物（VOC）に含まれ、蒸発しやすく、燃えやすい。従って、溶剤をリサイクルすることによって、石油消費が減少し、その結果、CO2排出量を削減することができる。しかし、これまでは溶剤を使い捨てのように、大気に放出して、リサイクルしてこなかったのが、多くのCO2を排出してきたのである。これはリサイクルすることにより経済的にメリットがある点について軽視されてきたため生じている問題である。まだ経営の合理化が進めば、リサイクル事業が広がり、関連イノベーションも生じると考えられる。

### ③法規制によりリサイクルする事例

DOWAホールディングス（以降はDOWA）は、日本とアジア間の資源循環ビジネスを目指すことをビジョンとして掲げている。電気電子部品は希少な金属資源を有し、この希金属が膨大にアジア諸国の都市化に伴いアジアの主要各都市に集まっており、これを日本とアジア間で循環させアジア近隣地域で利用しあうというビジネスである。この金属資源に着目したのは、古くは「都市鉱山」という概念であった。DOWAは、資源が限られている日本において、この金属資源をそのまま廃棄埋め立てるのではなく、可能な限り環境負荷をかけずに回収し、再びその地域内で再利用する資源循環システムのビジネスに着目した。DOWAは、この希少な製錬技術を資源循環ビジネスの要とし、壮大な日本・アジア資源循環ビジネス構想が生み出された。つまり、アジア地域が保有する技術では製錬できないが、DOWAの高度な小坂製錬所の技術であれば製錬できる有価物を含む電気電子部品を小坂製錬所に集約させ、引き出した後に、再びアジアへその有価物を提供していくというビジネスである。この仕組みによれば、希少資源は日本の小坂製錬所を必ず通過して循環することになる。

DOWAのアジア展開の一つであるPPLi社は、自社の環境水準を国の基準にすることにより他社の参入を防いでいる。これにより、圧

倒的に有利に事業を進めることができるため、高度な環境技術水準を維持したまま、インドネシアの環境負荷を下げることができ、かつ、企業としては利益を出すことができる。買収により DOWA が獲得した BPEC の技術（環境技術）は、米国基準、国際基準を満たしたものであり、タイでの基準を十分満たすものである。そして、国際基準を満たす高い基準を維持することを可能としている。グローバル企業は、コンプライアンスを重視し、適正に処理され、安全に管理されていることを求めるため、BPEC の第一の顧客となる。しかし、コスト高になる高度な適正処理を求めない地元企業を顧客にできないため、タイ国内の事業展開に限界がある。

DOWA といった企業からはどうしても解決できない問題がある。インドネシア、タイなどの新興国ではゴミの分別や廃棄物処理の適正処理の大切さを軽視している面がある。廃棄物処理のコストを、ビジネスに組み込まなければならないということをアジア企業や住民が理解する必要がある。このままでは、地域住民や現地企業が大きな損害を被る可能性がある。そして、リサイクル事業が拡大しない要因にもなる。イノベーションが起りにくい要因の一つであろう。

#### (4) 結論

日本においてリサイクル関連イノベーションが低迷した原因として、次の点が挙げられる。一つは、カーペットリサイクルと家電リサイクルを比較すると明確になる、システムの問題である。複数企業が係るリサイクル事業においては、イノベーションへの投資が回収できない場合があり、リサイクル関連技術のイノベーションが促進されないからである。

二つ目としては、日本リファインの事例のように、廃棄物を排出しているメーカーが排出物をリサイクルすることで企業の経済的メリットが生じていることに気がついていない、あるいは無視している場合があり、リサイクル事業が波及していかないという問題である。国際競争のスピードの中にある企業経営の合理化が不十分なところがあるからである。

三つ目としては、法規制に縛られるために、リサイクル関連イノベーションが促進していかないという問題がある。特に、アジアでの法規制で国際的に同レベルの法規制が制定されていればその水準の技術が維持されるが、低い技術水準で十分な場合には（法の運用がしっかりととなされていない場合を含めて）、さらなる技術開発の必要はなく、リサイクル関連のイノベーションが進まないのである。他国の異なる法規制の国へ行くこ

とがイノベーションを起こす好循環を生み出せば、イノベーションが促進される可能性が高まる。

#### (5) 提言

イノベーション・システムが不在であれば、環境イノベーションは促進されず、外部要因によって事業の継続が困難になる可能性がある。現在の日本のリサイクル事業は、生産工程とリサイクル工程が分断されている事例が目立つ。このままでは本格的な資源獲得競争が開始された時に、競争力を得られない。これからのリサイクル事業は、イノベーションによって得た利益を新たなイノベーション開発に再投資できるシステムを、事業の内部に構築しなければならない。

現状の日本のリサイクル事業の形態をそのまま維持するのであれば、リサイクル関連企業間でのリサイクル技術にかかわる共同研究開発を、国が支援すべきである。リサイクル関連企業は、リサイクル関連のイノベーションを起こすしくみを企業内に内在化させる必要がある。リサイクルにコストがかからない商品の技術開発を進め、また、廃材の回収量を確保するためのサービスイノベーションを進めなければならない。製品ごとに、リサイクル技術に対してトップランナー基準を設定し、低コストでリサイクルを進める技術を競争しあう環境を提供することも検討すべきである。

また、企業に対して、生産コスト削減を誘導する施策を検討すべきである。例えば、溶剤を使用している製造業に対して、環境配慮のために溶剤リサイクルを推進する施策や、企業経営のために溶剤を使用する企業の生産コストを削減するための生産工程変革とその技術開発競争を促す施策が考えられる。例えば、グリーンニューディール政策の一環として、生産コストを削減する、あるいは企業の競争力が向上することにつながる、環境対策への技術開発を支援すべきである。環境対策のみにしかならない技術開発よりも優先しなければ、企業の競争力を効果的に向上することができないと考えられる。

企業は、必ずしも、日本古来より伝わる“もったいない”などの限られた環境制約の中でいかに合理的に生き抜くかという知恵や理念にしたがって、経営を行っているわけではない。特に、かつて、資源やエネルギー制約が少なかったころに成功を収めた企業は、“もったいない”という理念から遠ざかっている人が多いのも事実である。したがって、環境と経済の両立を成功させた、本ケースのような事例とそのしくみを広く公表し、障壁が企業側の認識の方にもあることを共有すべきである。

日本が高度成長期に気がつかなかった環

環境配慮という考え方は、現在の途上国の発展期においても企業の中では不足している。例えば、途上国においては、日本市場よりも、環境配慮やCSRの考えが浸透していない。途上国において事業に成功するためには、本ケースを事例にすれば、環境配慮ではなく、生産コスト削減という事業が必要とされているのである。しかし、途上国の行政機関は、政策にも含まれていることから、環境配慮という考え方の重要性は認識しているのである。従って、日本企業の途上国進出においては、進出企業あるいは地元企業にも経済メリットがあり、かつ、現地の行政機関にも環境メリットがあるという点は評価される可能性が高い。環境と経済の両面から行政機関の信頼を獲得することが重要である。そのためにも、経済発展には環境配慮が重要であることを行政機関と最新技術や情報を共有すべきである。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計6件)

①増田拓也、古川柳蔵、石田秀輝、環境技術戦略立案ツールとしてのライフスタイル・ハザードマップ、環境経済・政策研究、査読有 Vol. 6, No. 1, 2013年, 53-64.

②古川柳蔵、バックキャストिंगから見た2030年の日本人のライフスタイル、AD STUDIES, 査読無, Vol. 39, 2012年, 24-28.

③石田秀輝、古川柳蔵、節電からその先へ—あたらしい時代のすてきなライフスタイル、都市問題、査読無, vol. 103, August 2012, 後藤・安田記念東京都市研究所, 2012年, 27-33.

④石田秀輝、古川柳蔵、地下資源文明からの離陸、日本粉体工業技術協会、粉体技術、査読無, 3(6), 2011年, 51-58.

⑤石田秀輝、古川柳蔵、自然に学ぶ新しい暮らし方とものづくり、宣伝会議環境会議、査読無, (33), 2011年, 268-273.

⑥石田秀輝、古川柳蔵、物部朋子、東日本大震災が教えてくれたテクノロジーとライフスタイルのパラダイムシフトへの道、工業製品技術協会(株)テクノプラザ)、Ceramic Data Book, 査読無, 39(93), 2011年, 44-47.

[学会発表] (計2件)

①古川柳蔵、星川晃城、太田貴仁、石田秀輝、東日本大震災後の消費財に対する意識変革の分析、研究・技術計画学会第27回年次学術大会、2012年10月28日、東京

②古川柳蔵、これからの社会とライフスタイルをどうつくるか—東日本大震災の復興と共に—、2011年度環境経営学会研究報告大会、2011年5月29日、東京

[図書] (計1件)

①古川柳蔵著『環境制約下におけるイノベーション力を持ち始めた環境ニューズー』、東北大学出版会、183p (2010)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

なし

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

古川 柳蔵 (FURUKAWA RYUZO)

東北大学・大学院環境科学研究科・准教授

研究者番号：60420006

(2) 研究分担者

なし ( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

なし ( )

研究者番号：