

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510220

研究課題名(和文) 製品リマニュファクチャリングの現状分析と普及シミュレータ開発の研究

研究課題名(英文) Investigation of product remanufacturing businesses and development of a market diffusion simulator

## 研究代表者

松本 光崇 (Matsumoto, Mitsutaka)

独立行政法人産業技術総合研究所・サービス工学研究センター・主任研究員

研究者番号：00443226

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：製品リマニュファクチャリングは製品製造の省エネ・省資源・資源循環に有効であり、欧米諸国では近年産学官の積極的な推進が見られる一方で、日本国内の取組みは相対的に立ち遅れている。本研究では製品リマニュファクチャリングの国内外の取組みの実態把握を進め、製品リマニュファクチャリングの実現要件の抽出を行った。またその知見を踏まえて、市場をシミュレートする数理モデルの構築を実施した。本研究では具体的な対象として自動車パーツを対象にし、事業者の需要推移の履歴データから将来の需要推移を推定するモデル構築を行い、その有効性を検証した。

研究成果の概要(英文)：Product remanufacturing is effective for energy saving, material saving, and fostering material circulation of product manufacturing. While in many developed countries such as in the US and European countries, remanufacturing has been promoted actively by industries, academia, and the governments, the practices in Japan are relatively undeveloped. In this study, we investigated the status quo of remanufacturing practices in Japan and in other countries, and addressed the requirements for remanufacturing to be successful in the market. Based on the insights on the requirements, a simulation model for remanufactured product markets was developed. In addition, a product life cycle model to estimate the future demands for remanufactured products by referring to the time series sales data was developed. The model was applied to data of an auto parts remanufacturing company, and the effectiveness of the model was investigated.

研究分野：製品ライフサイクル工学

キーワード：製品リマニュファクチャリング 製品ライフサイクルモデル 環境配慮設計 循環型生産システム オペレーションズマネジメント

## 1. 研究開始当初の背景

持続可能な社会・産業の実現のためにはものづくりの省資源・省エネが必須である。また日本はレアメタルやレアアースの世界最大の輸入国・消費国であり、資源循環の推進は日本の責務であるとともに、製造業の持続可能性のためにも必須である。省資源・資源循環の推進にはリユース、リマニユファクチャリング(以下リマンと記載)、リサイクル、製品の長期使用化の普及が必須である。リマンとは使用済みの製品を解体、部品洗浄、下加工、再組立、検査して新品と同等の状態にすることであり、新品の製造と比較すると大幅な省エネ・省資源である。またリマンはリユースやリサイクルと比べても省エネ、長期使用可能、高付加価値であり、今後の発展が期待される。リマンの事例としては日本では複写機のリマンや、レンズつきフィルムのリマンが注目されたところであり、世界的には自動車パーツや産業機械等が主な対象である。リマンは世界的にまだ発展途上の段階にあるが、特に日本は欧米諸国と比べて現状では大きく立ち遅れている。

## 2. 研究の目的

リマンの普及を考えるためのリマンのビジネス側面についての研究課題としては大きく三つあると考えられる。第一はリマンの実態の把握である。リマンはリマン研究の先駆者であるLund教授が「隠れた巨人(Hidden Giant)」と呼んだように、実態の把握が容易ではない。製品アフターサービスの一部として実施されることが多いことも一因である。特に日本のリマンの実態の把握は不十分であり、今後のリマンの可能性やリスク、推進策検討、また持続可能な製造業を展望していくためにもリマンの現状把握は必須である。

第二はリマンのビジネスモデルとの関連の把握である。これまでのリマン研究からはリマンは「エコ」を価値にしているだけでは普及は難しく、また「経済性(新品よりも安いこと)」を価値にしているだけでも普及が難しいことが明らかとなっている。製品が提供するより大きな価値の中にリマンを埋め込まない限りはその普及は困難である。既存事例の中では、ビジネスモデルを製品の売切りからリース型にすることで新たな価値を提供し、その中にリマンを組入れた日本の複写機や欧州の輸送機械(フォークリフト)等の事例がある。リマンの成功事例をビジネスモデルとの関連に注目してその成功要因を抽出し、リマン普及の条件を明らかにすることが重要な課題である。

第三はリマンの各種データ、すなわち市場データや、資源消費・エネルギー消費の関係データ、具体的にはライフサイクルアセスメント(LCA)のデータ、リマンプロセスのマテリアルフローデータ等を、現在は散在しているものを統合し、リマンの普及分析に利用可能にすることで必要である。

本研究では以上の三点を踏まえて、次の三項目を目的とした。

- (1) リマンの現状把握
  - (2) リマンの条件・成功要因分析
  - (3) リマン普及シミュレータの構築
- 第一と第二の項目は、それぞれ上述の第一点、第二点に対応しており、これらの実施と、第三点として挙げたデータ整備の必要性を踏まえて、第三項目のリマン普及シミュレータの構築を実施する。

## 3. 研究の方法

### (1) リマンの現状把握

国内のリマンの実態状況について、主に文献調査と企業ヒアリングを通じて実態把握を進める。また並行して、リマン市場の実態把握がより進んでいる欧米諸国の状況を調査し、リマンの対象となる製品群と各製品のリマンの適合性を明らかにする。諸外国の状況の調査分析は、文献調査と海外研究者との情報交換を通じて進める計画とした。

### (2) リマンの条件・成功要因分析

上記のリマンの実態調査とそのための企業ヒアリングを通じて、リマンが成立するための条件について検討する。また今日特に先進国の製造業企業はグローバル化やコモディティ化が進む中で、事業の付加価値の維持・向上のために、製品の製造・販売に加えて、製品サービスの拡充を推進しようとしている。こうした動きは一般に製造業のサービス化と呼ばれる。製造業のサービス化の動きの中にリマンを組み込むことが、リマン推進に有効である可能性が欧州の Product Service System 等の議論の中でこれまでも示唆されてきた。本研究では上述したリマン成立の条件抽出と併せて、製造業のサービス化の推進の条件抽出と、サービス化推進がリマンの推進に寄与する条件の抽出も併せて検討することとした。

### (3) リマン普及シミュレータの構築

リマンの条件・成功要因分析の検討結果を元に、リマンの普及の可否を左右する要因をパラメータ変数とし、関連ステークホルダーをエージェントとするリマン普及シミュレータを構築する。このシミュレータにより、リマン普及の影響要因と普及状況との関係を定量的に明らかにする。

また、本研究ではさらに具体的な製品を対象に据えて、リマン製品の売上の履歴推移から、将来のリマン製品の需要量予測を行うためのモデル構築を行う計画とした。個々の製品種の将来需要推定は、リマン市場全体の将来推定に寄与する可能性があることに加えて、各企業におけるリマンの生産計画作成や在庫管理支援に応用できる可能性も持つ。本研究ではそうしたモデルの試行的構築とその精度検証を実施する計画とした。

## 4. 研究成果

### (1) リマンの現状把握

国内のリマンの主な対象製品としては、自動車パーツ、建設機械・鉱山機械のパーツ、タイヤ（リトレッドタイヤ）、複写機、トナーカートリッジ・インクカートリッジ等が挙げられる。またアメリカではさらに医療機器や航空機パーツ、各種産業機械、情報通信機器、什器・家具等が対象である[1]。リマンの市場規模はほとんどの地域では明らかにされていないが、アメリカではリマン市場が2011年時点で43億ドルと推定されている[1]。日本の経済規模（GDP）がアメリカの約1/3であることを考慮すると、日本でもリマン製品の市場が1兆円以上の規模になり得ることを示唆している。

日本のリマンの状況を欧米諸国と比較するために、リマンの最も代表的な対象とされる自動車のアフター市場用（修理交換用）の電装部品（オルタネーター、スターター）の市場の分析と比較を行った。その結果、日本国内のリマン（リビルト）電装部品の市場は過去20年弱で成長してきており、欧米諸国と比較してその歴史が浅いことが明らかとなった。また今日のアフター市場用の電装部品に占めるリマン製品の割合が、北米市場では90% [2]、欧州市場では82% [3]であるとされるのに対して、本研究での日本の企業ヒアリングと消費者Webアンケートの結果（図1）からは、日本のその割合は50%弱であるという結果を得た。以上より欧米諸国と比較して日本のリマン市場はまだ発展途上にある可能性が高いことが明らかとなった。

日本のリマン市場の状況について、本研究の成果の中でも明らかにした[4]。

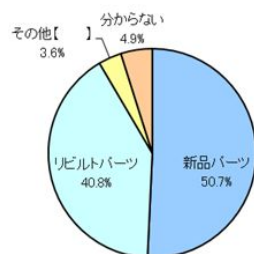


図1. 本研究で実施したWeb消費者アンケート結果（自家用車の電装部品の交換時の新品使用者とリビルト品使用者の割合（N=309））

## (2) リマンの条件・成功要因分析

リマン事業についての企業ヒアリング等を通じてリマンの条件・成功要因の分析を行った。少なくとも次の3点が成立の条件であることが明らかとなった。

- 使用済み製品の効率的な回収が可能であること
  - 効率的なリマン工程の構築が可能であること
  - 顧客がリマン製品を受容すること
- さらに製品メーカーがリマンを実施するための条件として、
- 新製品とリマン製品の強い競合が起き

ないことが挙げられる[4]。

また本研究ではこれまで実態があまり明らかとなっていなかった国内の製造業企業のサービス化の状況について、企業ヒアリングを実施して状況把握を進めた。9つの製品領域のメーカー企業にヒアリングを実施し、そこからは、サービス化が一般に企業にとって、経済的なメリット、顧客満足の上昇とロイヤリティ強化、競争力強化、の効果がある一方で、多くの企業はサービス化の高収益化に必ずしも成功していないことも明らかとなった[5,6]。またサービス化の阻害要因として、経営者や現場担当者のマインド転換の難しさ、顧客側のマインド転換の難しさ、人材資源等の確保の難しさ、といった要因に加えて、国際的に事業を展開している企業からは、日本を含む東アジア諸国ではサービスを有料化することが他地域よりも難しいということや、製品の保守修理を顧客側で担う商習慣など、欧米市場とは異なる阻害要因があることが明らかとなった[6]。

## (3) リマン普及シミュレータの構築

上述したリマンの成立条件の4項目に着目し、また市場の主なステークホルダーとして、製品メーカー（OEM）、独立系リマン事業者（IR）、消費者に焦点を当て、図2のように各項目とステークホルダーの関係を明示した上で、成立条件要因をパラメータ変数とし、関連ステークホルダーをエージェントとするリマン普及シミュレータを構築した。800の消費者エージェントから構成されるシミュレータを構築し、リマン普及の影響要因と普及状況の関係を定量的にモデル化する枠組みを構築した[7]。

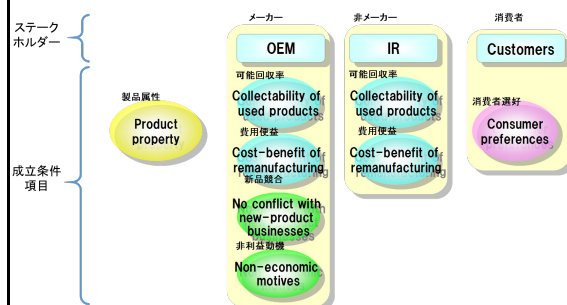


図2. リマン製品市場の主要ステークホルダーとリマンの成立条件要因の抽出 [7]

本研究では上記のシミュレータの応用として、具体的な製品を対象にして、リマン製品の売上の過去の推移から、将来のリマン製品の需要予測を行うモデルの構築を実施した。個々の製品種の将来需要推定は、リマン市場全体の将来推定に利用できることに加えて、各企業におけるリマンの生産計画作成や在庫管理支援に応用できる可能性も持つ。本研究では自動車パーツの電装部品のリマン事業者と連携して、同社の製品出荷履歴

のデータを利用し、履歴データから将来の需要量を予測するモデルを構築し、400種の製品の履歴データを用いて予測精度を検証した(図3)。精度向上の可能性と、当モデルの活用の可能性を検討した [8]。

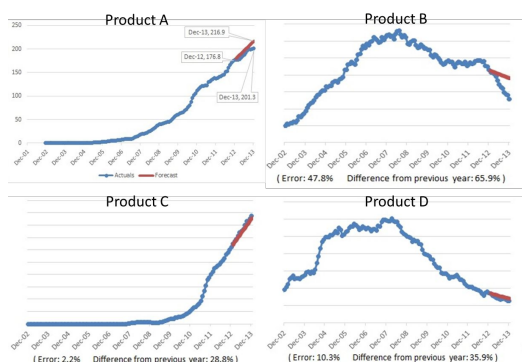


図3. リマン製品の将来の需要推定モデルの構築と精度検証の結果例

#### <参考文献>

- [1] US International Trade Commission, Remanufactured goods: an overview of the US and global industries, markets, and trade, 2012.
- [2] Frost & Sullivan, 360 degree perspective of the North American automotive aftermarket, 2011.
- [3] RL Polk & Co., The global vehicle population, Aftermarket potential for remanufactured parts, 2013.
- [4] 次項の「主な発表論文等」の図書
- [5] 次項の「主な発表論文等」の雑誌論文
- [6] 次項の「主な発表論文等」の学会発表
- [7] 次項の「主な発表論文等」の学会発表
- [8] 次項の「主な発表論文等」の雑誌論文

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

Mitsutaka Matsumoto, Shingo Komatsu, Demand forecasting for production planning in remanufacturing, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 査読有, Vol.79, pp.161-175, 2015.  
DOI: 10.1007/s00170-015-6787-x

Mitsutaka Matsumoto, Akira Ikeda, Examination of demand forecasting by time series analysis for auto parts remanufacturing, Journal of Remanufacturing, 査読有, 5:1, 2015, pp.1-20.  
DOI: 10.1186/s13243-015-0010-y

Mitsutaka Matsumoto and Koshi Kamigaki, Development and changes in the industrial product service systems - A case study of the photocopier PSS, In Y. Shimomura, K.Kimita (eds.), The Philosopher's Stone for Sustainability, Springer-Verlag, 査読有, 2013, pp.167-172.

[学会発表](計6件)

Mitsutaka Matsumoto, A study on the effectiveness of service and leasing models for remanufacturing, The 3rd Annual World Reman Summit, 2014.9.25-26, Rochester, USA.

Mitsutaka Matsumoto, Promotional and obstacles for auto-parts reuse and remanufacturing in Japan, 2014 International Symposium on Sustainable Systems and Technology, 2014.5.19, Oakland, USA.

Mitsutaka Matsumoto, Promoting and inhibiting factors for industrial product services, The 8th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, 2013.12.4, Jeju island, Korea.

Mitsutaka Matsumoto, Business practices and research challenges on remanufacturing, Ajou University Eco-design seminar, 2013.12.2, Suwon, Korea.

松本光崇, リユース市場の提供者と需要者の簡易なモデルに基づくリユース品普及モデル, 日本経営工学会2013年度春季大会発表, 2013.6.19, 横浜.

Mitsutaka Matsumoto, Koshi Kamigaki, Development and changes in the industrial product service systems - A case study of the photocopier PSS, The 4th CIRP Conference on Industrial Product Service Systems, 2012.11.7, 東京.

[図書](計1件)

Mitsutaka Matsumoto, Winifred Ijomah, Remanufacturing, In K.M.Lee, J.Kauffman (eds.), Handbook of Sustainable Engineering, Springer-Verlag, 2013, pp.389-408.

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

松本 光崇 (MATSUMOTO, Mitsutaka)

独立行政法人産業技術総合研究所・サービ

入工学研究センター・主任研究員  
研究者番号：00443226

(2)研究分担者

(3)連携研究者

中島 健一 (NAKASHIMA, Kenichi)  
神奈川大学・工学部・教授  
研究者番号：80278564

山田 哲男 (YAMADA, Tetsuo)  
電気通信大学・情報理工学研究科・准教授  
研究者番号：90334581

福重 真一 (FUKUSHIGE, Shinichi)  
大阪大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：10432527