

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01219

研究課題名（和文）製品リマニュファクチャリングの成立条件分析と需要予測モデルの研究

研究課題名（英文）Study on requirements of product remanufacturing businesses and demand timing forecasting model for reman

研究代表者

松本 光崇（Matsumoto, Mitsutaka）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・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） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では製品リマニュファクチャリング（リマン）に関わる次の三つの研究項目を実施した。（1）リマンの成立条件分析、（2）リマンの消費者受容性の日米比較、（3）リマンの需要タイミング推定モデルの構築と検証。第一点については、リマンの社会普及に向けた課題整理と取り組み事例収集、および特にメーカー企業にとってのカニバリゼーション問題の解消条件の分析のための数理モデル構築と分析を実施し、第二点について日米の消費者の自動車パーツリマン製品に対する受容性分析と日米比較分析を実施した。第三点について、自動車パーツと複写機トナーカートリッジの企業の実データを用いたモデル構築と精度検証を行った。

研究成果の概要（英文）：In this research, we conducted three research topics related to product remanufacturing (reman). (1) Analysis of requirements for reman to diffuse in the market, (2) Comparison of consumer acceptance of reman products in the US and Japan, (3) Development and validation of reman demand-timing forecasting model. For the first topic, we developed a mathematical model for analyzing the condition for solving the cannibalization problem in reman. For the second topic, we conducted a comparative analysis of consumers' acceptance of reman auto parts in the US and Japan. For the third topic, we developed demand timing forecasting models for reman auto parts and reman toner cartridges. We used the actual data from industry and verified their accuracies.

研究分野：製品ライフサイクル工学

キーワード：リマニュファクチャリング 循環型生産モデル カニバリゼーション 消費者受容性 製品ライフサイクルモデル 生産管理 需要予測モデル

## 1. 研究開始当初の背景

製品リマニュファクチャリング(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、検査して新品と同様の機能状態にする取り組みを指し、新品の製造と比較すると省エネ・省資源であることから今後持続可能な社会・ものづくりの実現のために必要な要件である。またリユースやリサイクルと比べても、省エネ、長期使用可、高付加価値であることから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やレンズ付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、重機、医療機器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立ち遅れている。本研究ではリマンの社会普及推進を目標として、そのための基礎研究を実施する。

## 2. 研究の目的

リマン推進の障害要因は一般に次の四点がある。(a)メーカーにとって新品製品事業と競合する(カニバリゼーションと呼ばれる)、(b)使用済み製品の収集が困難、(c)需要側がリマン製品を受容しない、(d)リマンのコスト低減が困難である。

本研究では(a),(c),(d)に関わる基礎研究を行うこととし、それぞれに対応して次の三項目を実施することを目的とした。

- (1) リマンの成立条件分析
- (2) リマンの消費者受容性の国際比較
- (3) リマンの需要予測モデルの構築と検証

## 3. 研究の方法

### (1) リマンの成立条件分析

定性的なインタビュー等による分析と、定量的な数理モデル分析とを進めた。定性的な分析として、リマンの成立条件は前項で記載した(a)から(d)の四点の障害要因を解消することであることから、リマンを実施している企業がこれらの解消のために実施している取り組みを企業インタビューや海外研究者インタビューにより抽出した。定性的な分析としては、特に障害要因の第一点として上述した、メーカーにとって新品製品事業と競合するというカニバリゼーションの問題に焦点を当て、メーカーが新品製品とリマン製品とを市場に供給する状況を数理モデルによりモデル化し、リマンの実施がその企業にとって収益増加につながること、すなわちカニバリゼーションが解消されることについて、モデル分析を通じて明らかにすることを行った。

### (2) リマンの消費者受容性の国際比較

リマンの市場規模は日本よりも米国や欧州諸国の方が大きい。その要因として需要側のリマンの受容性の違いに起因する部分が大いことが予想される(知識不足も非受容

に含める)。リマンの代表的な対象であり、日米でリマンの市場規模の差異が大きい自動車パーツを対象として、リマン製品(リビルトパーツ)の消費者受容性の日米比較を実施した。それまでリマン製品の受容性の分析(WTP(支払意思額)や購買意思の分析)の研究は見られたが、その国際比較をしたものは見られない。本研究では補修用自動車パーツに対する消費者購買意思決定モデルを作成し、Web アンケートと回帰分析によりモデルの定量化を行い、その分析と日米比較を実施した。分析を通じて、前項で記した「需要側がリマン製品を受容しない」ことの要因と解消手段について得られる示唆を議論した。

### (3) リマンの需要予測モデルの構築と検証

前項で記載の「リマンのコスト低減」の問題は普遍的な課題でありその対策も多種多様である。本研究では対策の中でリマンの生産管理の問題に焦点を当て、その中でも、リマン製品の需要タイミング予測モデルを構築し、需要予測により生産計画や在庫管理を効率化することを図った。本研究では需要予測モデルの構築と精度検証、効果検証を実施した。対象製品として自動車パーツと複写機のトナーカートリッジを選定した。

## 4. 研究成果

### (1) リマンの成立条件分析

リマンの成立条件として、カニバリゼーション解消、使用済み製品の回収体制構築、リマン製品の需要確立、リマン工程の効率化、が挙げられ、これらの実現に寄与する技術課題、ビジネス課題(ビジネスモデル変革を含む)、制度・政策課題の検討を行った。技術課題としては、劣化した材料表面の補修技術や洗浄技術、信頼性評価技術、生産管理技術、リマン配慮製品設計等の課題があり、ビジネス課題としては回収体制の構築や、製品販売から機能販売への転換(製造業のサービス化)の中でのリマンの組み込み等、また制度・政策的課題としては消費者認知の向上や品質認証の制度の構築が課題となる。これらの課題に対する産業界での取り組みや海外の取り組みについて調査とレビューを行い、得られた知見は学術論文や学会発表として発信した(次項記載の雑誌論文、学会発表等)。

またリマンの成立条件の中で、カニバリゼーションの問題、つまりメーカー企業がリマンを実施する場合に発生し得る新品製品とリマン製品の競合の問題を解消する条件を分析するために、数理モデルの構築を行い、モデル分析を行った。リマン製品はその利潤が新品製品よりも大きければ、企業にとってリマンの実施が利益になるが、利潤が新品製品よりも小さく(現実には小さいことが多い)、かつリマン製品の販売が新品製品の販売を減らす場合には企業の利益を減らすことになる。よってメーカーやリマンのインセ

ンタイプを持たない。一方で、リマン製品は新品製品よりも廉価であるから、新規の顧客セグメントの開拓につながる可能性がある。したがってメーカーの利益がリマン実施で増加するか減少するかは、リマンによる新品製品販売の減少影響と新規の需要開拓とのトレードオフで決定される。こうした関係について、リマンのタイミングの制約（リマン製品は新品製品と同時発売はできず、新品製品が回収された後に初めて供給が可能になる）も含めた動的モデルとして数理モデルを構築し、数値分析によってその条件の分析を行った。図1に分析の例を示す。製品回収率やリマン実施率、価格設定、コスト、リマン製品供給のタイミング、顧客の支払意思額分布等によって企業の総利益は決定づけられる。モデル構築と分析を実施し、学術成果とした（次項記載の雑誌論文、学会発表等）。

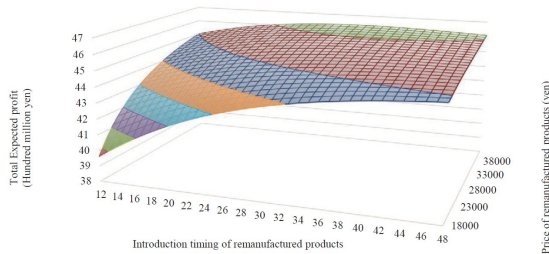


図1. カニバリゼーション解消条件分析

(2) リマンの消費者受容性の国際比較

リマンの代表的な対象である自動車パーツの中で、その中でも代表的な対象であるオルタネータとスターターを対象として、日本と米国で消費者（自動車運転者）Web アンケートを実施し、消費者のリマン製品の受容性の分析と購買意思構造の分析、およびその日米比較を行った。エコ製品に対する消費者選好分析の既存研究を参照して、消費者の「製品購買意思」が、製品に対する知識、製品の便益認識、製品のリスク認識、価格意識、から影響されるとする仮説モデルを構成した。モデルを図2に示す。各要因（購買意思と説明4変数）に対して3~5問のアンケート設問を設定し、Web アンケートにより回答を収集した。各要因のクローンバッハ値を確認し、その上で t 検定による日米比較と、回帰分析による図2のモデルの日米それぞれの成立の可否の検証を行った。

結果は、まずアンケートの直接の結果からは、米国ではリマンパーツ（リビルトパーツ）を70%の消費者が聞いたことがあると回答したのに対して、日本では80%もの消費者は聞いたことがないという結果が得られ、リマンに対する知識の顕著な違いが明らかとなった。また分析の結果、図2のモデルは日米の両国でいずれも成立することが検証された（次項記載の雑誌論文）。また t 検定による日米比較の結果、上記の5変数について、いずれも日本の消費者の値は米国の消費者

の値よりもリマン製品の受容性が有意に低いという結果が得られた。すなわち、製品知識は低く、便益認識は低く、リスク認識は高く、価格意識は低く、製品の購買意思が低い、という結果が得られた（次項記載の雑誌論文）。これらの結果から、特に日本でリマンパーツの購買意思、すなわち社会受容性を高めるための手段を議論し、提起した。

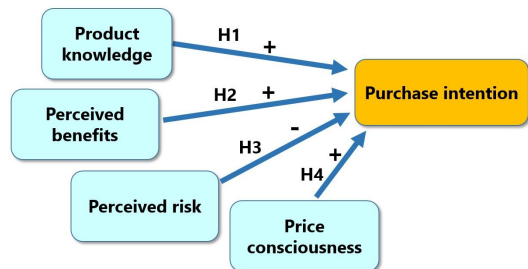


図2. 消費者のリマン製品購買意思モデル

(3) リマンの需要予測モデルの構築と検証

リマン製品の需要タイミング予測モデルについて、既存の研究では製品寿命モデルを用いた予測モデルが研究されてきた。しかし需要に季節性がある場合や、新品製品の出荷時期の情報が完全でない場合への対応等、実用上起こり得る状況に対応した研究は少ない。本研究では具体的なケースを想定して有効なモデル構築と精度検証を実施し、自動車パーツおよび複写機トナーカートリッジのリマン事業者から販売履歴のデータの提供を受け、そのデータを用いて実施した（次項記載の雑誌論文、学会発表等）。

図1は提携企業の特定の製品（特定のオルタネータ製品）のリマン品の12年間の月次販売履歴のデータを示す。140種類のオルタネータの販売履歴のデータを用いた。これらのデータを用いて、最初の11年間のデータから最後の1年間の推移を構築予測モデルにより推定し、実際の推移と比較することによりその予測精度を検証することを行った。予測モデルとして、時系列分析（指数平滑化、ARIMAモデル等）、Weibull分布モデル、および両者を組み合わせた手法を用いた。図4は図3の推移の12カ月移動平均の推移である。年次推移の予測と精度検証にはこの推移を用いた。図5、図6、図7は予測結果を示す。図5は三次指数平滑化法による月次推移の予測、図6は二次指数平滑化法による年次推移の予測、図7はWeibull分布モデルによる年次推移の予測の結果をそれぞれ示す。年次推移の予測について、140製品種のデータを用いて予測精度を検証した結果、140種の平均予測誤差として、二次指数平滑化法による予測が35.2%、Weibull分布モデルによる予測が42.2%、両者を組み合わせた手法が29.3%であった。このことより平均ではWeibull分布モデルよりも二次指数平滑化法の方が予

測精度が高く、また両者を組み合わせた方法が最も精度が高いという結果を得た（次項記載の雑誌論文）。組み合わせた方法の精度が高かったことは、いくつかの手法を適切に組み合わせることや、各種情報の付加等が予測精度の向上に寄与する可能性を示唆する。同様に複写機のトナーカートリッジのデータを用いたモデル構築と精度検証も本研究の中で行った（次項記載の学会発表）。本研究は企業の実データを用いた研究として注目された。今後予測精度向上の可能性の検討や、予測結果の生産計画作成や在庫管理への適用およびその有効性検証が課題である。

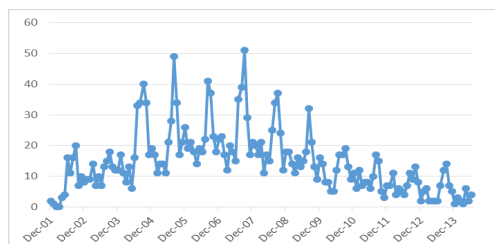


図3.特定のオルタネータの月次販売数履歴

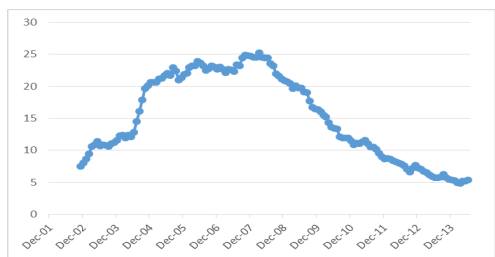


図4. 図3の12カ月移動平均

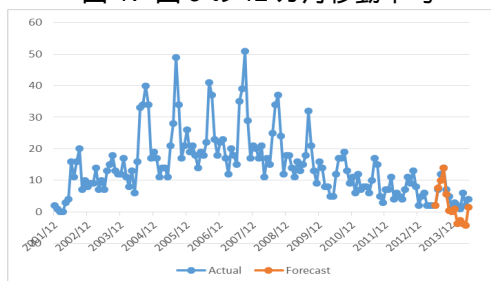


図5. 三次指数平滑化法による月次予測



図6. 二次指数平滑化法による年次予測

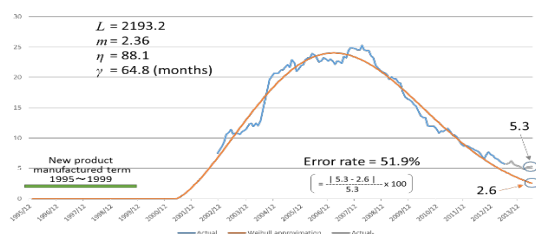


図7. Weibull 分布モデルによる年次予測

## 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6件)

Mitsutaka Matsumoto, Kenichiro Chinen, Hideki Endo, Remanufactured auto parts market in Japan: Historical review and factors affecting green purchasing behavior, Journal of Cleaner Production, 査読有, Vol.172, pp.4494-4505, 2018.  
DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.10.266

Mitsutaka Matsumoto, Kenichiro Chinen, Hideki Endo, Comparison of U.S. and Japanese consumers' perceptions of remanufactured auto parts, Journal of Industrial Ecology, 査読有, Vol.21(4), pp.966-979, 2017.  
DOI: 10.1111/jiec.12478

Takumi Nanasawa, Yasutaka Kainuma, Profitability of hybrid manufacturing/remanufacturing system in closed supply chain, Proceedings of the 17<sup>th</sup> Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, 査読有, 2016.

Mitsutaka Matsumoto, Yasushi Umeda, Shuto Tsuchiya, Li Tang, Development of demand forecasting model for automotive electric component remanufacturing, Proceedings of Electronics Goes Green 2016+, 査読無, pp.1-7, 2016.  
DOI: 10.1109/EGG.2016.7829817

Takumi Nanasawa, Yasutaka Kainuma, Quantifying the cannibalization effect of hybrid manufacturing/remanufacturing system in closed-loop supply chain, 査読有, Procedia CIRP, Vol.61, pp.201-205, 2016.  
DOI: 10.1016/j.procir.2017.03.134

Mitsutaka Matsumoto, Shanshan Yang, Kristian Martinsen, Yasutaka Kainuma, Trends and research challenges in remanufacturing, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology, 査読有, Vol.3(1), pp.129-142, 2016.  
DOI: 10.1007/s40684-016-0016-4

〔学会発表〕(計 27 件)

Yasutaka Kainuma, Yoshihiko Sasaki, Stephen Disney, Impact of cannibalization in remanufacturing supply chain, 24<sup>th</sup> International Conference on Production Research, 2017.7.28-30, Poland

岡田遥, 開沼泰隆, 成長曲線による市場投入初期の新製品需要予測方法, 平成 29 年度日本経営工学会春季大会, 2017.5.26-27, 京都

松本光崇, 梅田靖, 土屋秀人, 車パーツのリビルドの生産需要予測モデルの構築, 日本機械学会 第 26 回設計工学・システム部門講演会, 2016.10.8-10, 横浜

Mitsutaka Matsumoto, An overview of reman businesses in Japan and challenges for reman, 2<sup>nd</sup> Asia Pacific Reman Summit, 2015.11.12-13, Singapore

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松本 光崇 (MATSUMOTO, Mitsutaka)  
国立研究開発法人産業技術総合研究所・製造技術研究部門・主任研究員  
研究者番号：00443226

(2) 研究分担者

開沼 泰隆 (KAINUMA, Yasutaka)  
首都大学東京・システムデザイン学部・准教授  
研究者番号：90204312