

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24510207

研究課題名(和文)環境調和型プロダクト・サービス・ビジネスの設計支援システムの開発

研究課題名(英文)Design support system of environmentally benign product service businesses

研究代表者

高田 祥三(takata, shozo)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：50120340

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)：環境問題の深刻化から、製造企業は低環境負荷のビジネスの実現を求められており、その方策として製品サービスシステム(PSS)に基づく環境調和型ビジネスが期待されている。本研究では、環境調和型PSSビジネスの設計において、シェアリングなどの複数顧客を必要とする提供方法も考慮し、環境負荷削減と顧客満足を実現することのできるサービスと提供方法の最適組合せを求める方法を提案し、マネージド・ドキュメントサービスへの適用によりその有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：The increasing seriousness of environmental problems is forcing manufacturing companies to make their businesses sustainable. Therefore, environmentally benign businesses based on the Product Service System (PSS) have gained attention recently, because it can increase the effectiveness of life cycle options, which could reduce the environmental load. We propose a design method for environmentally benign PSS business, in which the provider offers products through a combination of services, delivery modes, and life cycle options. Such business can meet the different customer needs while enabling the implementation of delivery modes requiring a group of customers such as sharing and pooling. The method is verified via application to managed document services, in which various services related document management are provided together with multifunction copiers.

研究分野：環境調和型生産、メンテナンスマネジメント、環境調和型製品サービスシステム

キーワード：環境調和型生産 ビジネスモデル設計 プロダクト・サービスシステム ライフサイクルシミュレーション

1. 研究開始当初の背景

環境問題の深刻化にともない、製造業に対しては資源とエネルギー消費を削減しながら、顧客の求める機能を提供できるようなビジネスの実現が求められている。環境負荷を低減するためには、製品ライフサイクル(以下製品 LC)に環境負荷削減方策であるライフサイクルオプション(以下 LCOP)を適用する必要がある。しかし、売り切り型の製品提供では、製品 LC の管理が顧客に任されてしまうために、LCOP が適切に実行されずに期待される効果が得られない場合が多い。この問題の解決のために、製品サービスシステム(以下 PSS)に基づく環境調和型ビジネス(以下環境調和型 PSS ビジネス)が期待されている。これは、PSS が、提供企業による製品 LC 全般の管理を容易するとともに、LCOP の効果を促進するサービスを付加することで、環境負荷削減に寄与できると考えられるためである。なお、本研究では、環境調和型 PSS ビジネスを、製品に LCOP、サービス、製品提供方法を組み合わせる顧客に機能を提供し、顧客価値と収益性を保ち、環境負荷削減を目指すビジネスと定義している。

これまで、PSS ビジネス設計に関して、様々な検討が行われている。また、PSS ビジネスが製品ライフサイクル管理を容易にし、LCOP の効果を促進することは広く認識されている。しかし、サービスの付加や提供方法の変更によってどの程度 LCOP の効果が促進されるのかについての定量的な評価方法は確立していない。また、そのような評価に基づいて、ユーザーニーズを満足させつつ環境負荷を削減できるような、サービス、提供方法、LCOP の組合せを導き出すビジネス設計手法も確立していない。

2. 研究の目的

本研究では、前節で述べた背景を踏まえて、以下の目的をもって研究を進めた。

資源消費、環境負荷の少ないものづくりビジネスを実現するためには、従来の製品提供ビジネスを PSS 化することが有効である。このためには、環境負荷削減効果が実際に得られるように、各ビジネス要素を整合的に設計する必要があるため、本研究では、以下の項目を達成することを目的とする。

- (1) LCOP とサービス、提供方法との関係の明確化
- (2) 環境調和型 PSS の設計手順の提案
- (3) 設計案を評価するためのライフサイクルシミュレーションの開発
- (4) マネージド・ドキュメント・サービスを例にとった提案手法の有効性の確認

3. 研究の方法

- (1) LCOP とサービス、提供方法との関係の明確化

まず、LCOP、サービス、提供方法それぞれに関して分類方法を検討した。LCOP について

は、ライフサイクルの段階ごとに 3R の観点から可能な方策を整理した。また、サービスについては、ユーザが製品を使用するために必要な、操作、消耗品の補給、メンテナンスなどの活動から提供可能なサービスを抽出する方法を検討した。すなわち、各活動を代行するサービスおよびその実行を支援する情報提供サービスをサービス候補として列挙することとした。さらに、提供方法については、環境調和型 PSS の事例分析を基に、提供方法を特徴付ける項目(提供方法項目)を抽出し、その選択肢を定義することで、分類体系を構築した。

次に、以上のようにして整理した、LCOP とサービス、提供方法の分類に基づいて、サービスの付加および提供方法の変更が LCOP の実行率の向上に貢献する度合いを推定した。推定に当たっては、各種調査結果、および独自アンケートなどの結果を活用した。

(2) 環境調和型 PSS の設計手順の提案

環境調和型 PSS の設計手順の導出においては、図 1 に示すような製品、サービス、提供方法、および LCOP の組み合わせ(e-PSS タイプと呼ぶ)と顧客の関係を想定した。顧客は、製品使用による機能の享受とともに、そのための負担(労力、コスト、時間等)を必要とする。機能および負担は複数の項目から構成されており、顧客ごとに項目に対する重み付けが異なる。各顧客が得る価値とそのための負担は、製品サービスによって提供される機能および必要な負担の値にこれらの重みを掛けたものとなる。設計方針としては、顧客ごとに適切な e-PSS タイプを選択した後で、シェアリングなどのような複数顧客を必要とする提供方法を考慮して、実際に提供する e-PSS タイプの組み合わせを決定するものとした。

(3) 設計案を評価するためのライフサイクルシミュレーションの開発

一定数の顧客が存在するマーケットに対して、一定期間、製品・サービスを提供することを想定したとき、可能性のある e-PSS タイプの組み合わせは多くなる。それらの中から環境負荷とコストの両者を考慮して最適な組み合わせを導出するための、ライフサイクルシミュレーションを開発した。ライフサイクルシミュレーションでは、使用段階での適正使用、故障発生、メンテナンス実施、およびエンドオブライフ段階での処置をそれ

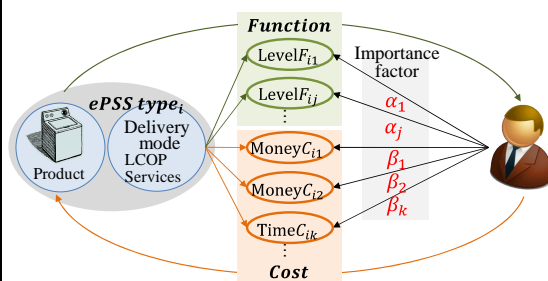


図 1 顧客と e-PSS タイプとの関係

ぞれの確率モデルに基づいて実行するようになってきている。ビジネスの評価には、以下に定義するトータルパフォーマンス指標  $TPI$  を用いた。 $TPI$ とは、製品  $LC$  全体で発生するコスト  $LCC$  と環境負荷  $EL$  に対して、どれだけ顧客価値  $UV$  があるかを表す指標で、(1)式により算出する。ここで、 $UV$  は顧客  $\gamma$  が e-PSS タイプ  $i$  によって得る機能  $F$  と負担  $B$  から(2)式により計算する。 $\alpha$  および  $\beta$  はそれぞれ機能・負担項目に対する顧客の相対重要度を表す。また、 $j, k, m, n$  はそれぞれ機能・負担項目の番号と数を表す

$$TPI = \frac{\sum UV_{i\gamma}}{\sqrt{EL_i \times LCC_i}} \quad (1)$$

$$UV_{i\gamma} = \sum_{j=1}^n F_{ij} \alpha_{ij} / \sum_{k=1}^m B_{ik} \beta_{ik} \quad (2)$$

(4) マネージド・ドキュメント・サービスを例にとった提案手法の有効性の確認

提案手法の有効性を検証するため、マネージドドキュメントサービス(以下 MDS)に適応した。MDS は複写機メーカーが事業者向けに提案するビジネスであり、消耗品の管理やドキュメントセンターの設置等、複写機とともに顧客のドキュメント業務に関わるサービスを提供する。評価に際しては、対象を 30 のオフィスを持つ企業とし、提供企業は一括契約のもとで、様々なサービスおよび提供方法を単一の製品に組み合わせてビジネスを行うものとする。この場合、顧客は 30 のオフィスであり、各オフィスで、図 1 に示した機能、負担に対する重みがそれぞれ異なっているとす。なお、これらの重みは、アンケート調査を行いコンジョイント分析により求める。

表 1 本研究で定義した LCOP

Life Cycle	LCOPs	Intended reduction
Middle of Life Cycle	Proper use of consumable	Consumable
	Inventory optimization	Inventory
	Proper use of energy	Energy
	Batch processing	Time in operation
	Increase operation rates	Products in operation
	Maintenance	Waste matter
End of Life Cycle	Optimization of transportation	vehicle emission
	Product reuse	Virgin material
	Parts reuse	
	Recycling	

表 2 提供方法項目とその取りうる値

Items of delivery mode	Product delivery mode						
	Manage			Operation			
	Owner	Contract period	Charging	Operator	Installation location	Usage mode	Customer
Possible values	Customer	Unlimited	Bullet payment	Specific customer	Customer	Exclusive use	Specific customer
	Provider	Specific	Specific payment	Specific group of customer	Provider	Time sharing	Specific group of customer
			Installment payment	Non-specific customers	Third-party	Pooling	Non-specific customers
			Pay per Provider				

4. 研究成果

(1) LCOP とサービス、提供方法との関係

表 1 に本研究で用いた LCOP を示す。今回は、製品設計段階での改善を考慮していないので、Beginning of Life Cycle 段階の環境負荷削減方策は考えない。また、表 2 に提供方法項目とその取りうる値を示す。さらに、提供方法の変更が LCOP の実行率に影響する程度を表現した結果が表 3 である。

(2) 環境調和型 PSS の設計手順

図 2 に今回提案した設計手順を示す。環境調和性を高めるサービスと顧客満足度を高めるサービスは必ずしも一致しないので、それぞれの観点からサービスを選択した後に、サービス、提供方法を組み合わせ、シミュレーションによる評価に基づき最適なビジネスモデルを選択する流れになっている。

(3) MDS への適用

評価期間を 10 年間、5 つのサービスを対象とし、LCOP、提供方法と組み合わせ、実現可能な 96 通りの e-PSS タイプを抽出した。さらに、シェアリングなどの複数顧客を要する提供方法についての制約を考慮して、30 顧客に対して提供する、e-PSS タイプの組み合わせである e-PSS ビジネスを構成した。これらの e-PSS ビジネスについてライフサイクルシミュレーションにより TPI を求め、最大値を与える案を最適ビジネス案として選択する。ただし、検討しなければならない組み合わせ数が莫大となるために、ライフサイクルシ

表 3 提供方法の変更が LCOP の実行率に与える影響

Delivery mode	Possible options		The life cycle options						
			Proper use	Batch process	Maintenance	Product reuse	Increase operation rates	Product and Parts reuse	Recycling
Owner	Customer	Provider			++			++	++
Period	Unlimited	Specific						+	
Operator	Specific customer	Provider	++	++		++	++		
		Specific group				+	+		
		Non-specific				+			
Installation location	Customer	Third party							
	Provider								
Usage mode	Exclusive use	Time sharing					+		
	Exclusive use	Pooling		+			+		

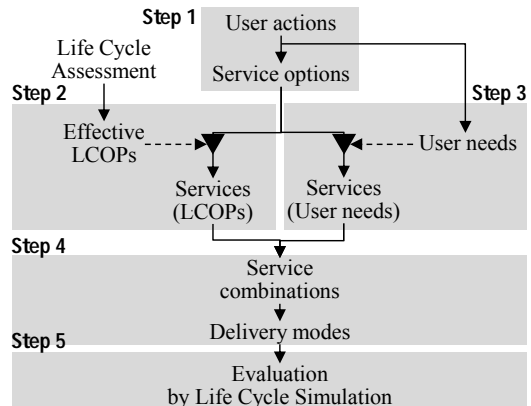


図 2 環境調和型ビジネス設計の概要

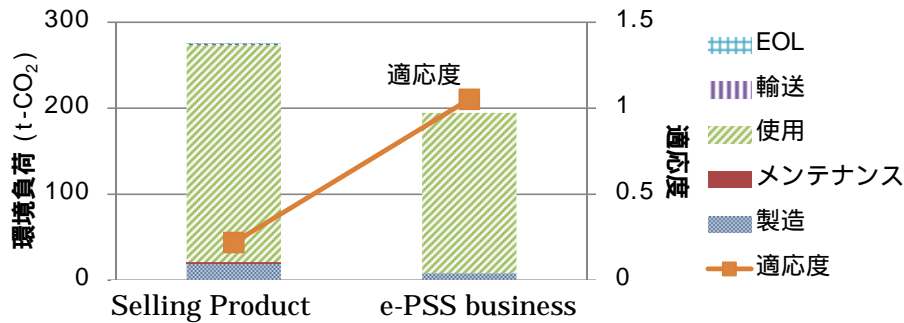


図3 最適な e-PSS ビジネスと売り切り型の比較

シミュレーションに遺伝的アルゴリズムを組み合わせたシステムを構築し評価を行った。評価結果を図3に示す。売り切り型に比べ適応度 (TPI) および環境負荷の優れた環境調和型 PSS ビジネスが提案できた。最適解は3つの e-PSS タイプから成り、それぞれ、顧客間の共同利用、ドキュメントセンターの活用、レンタル利用として特徴づけられる。ドキュメントセンターは顧客の業務を企業の管理下で代行するタイプであり、金銭以外の時間や労力等のコストを重視する顧客に対して選択された。一方、顧客間の共同利用は企業による業務代行を行わないため、金銭、環境負荷のコストを重視する顧客に対して選択された。

#### <引用文献>

- O. Mont, Clarifying the concept of product-service system, *Journal of Cleaner Production*, 10 巻 3 号, 2002, 237-245
- A. Tukker, Product services for a resource-efficient and circular economy -a review, *Journal of Cleaner Production*, 97 巻, 2015, 76-91
- S. Kondoh, K. Masui, N. Mishima, M. Matsumoto, Total performance analysis of product life cycle considering the uncertainties in product-use stage, *International Journal of Product Development*, 6 巻 3-4 号, 2008, 334-352

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計8件)

- J. Matsumura, Y. Dairokuno, S. Takata, Service Selection Method for Facilitating Life Cycle Options in Environmentally Benign Product and Service Business, *Proc. of 23rd CIRP-LCE*, 査読有, 2016, (出版準備中)
- Y. Dairokuno, J. Matsumura, S. Takata, A Method for Selecting Customer-oriented Service and Delivery Modes in Designing Environmentally

Benign Product Service Systems, *Sustainability Through Innovation in Product Life Cycle Design*, *Proceedings of the 9th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, 査読有, 2015, 343-350,  
DOI: 10.1007/978-981-10-0471-1

(出版準備中)

K. Urano, S. Takata, Module Reconfiguration Management for Circular Factories without Discriminating between Virgin and Reused Products, *Re-engineering Manufacturing for Sustainability*, *Proc. of the 20th CIRP Conference on Life Cycle Engineering*, 査読有, 2013, 603-608

DOI: 10.1007/978-981-4451-48-2\_98

S. Takata, Maintenance-centered Circular Manufacturing, *The 2nd International Through-life Engineering Services Conference*, *Procedia CIRP*, 査読有, 11 巻, 2013, 23-31

DOI: 10.1016/j.procir.2013.07.066

Y. Umeda, S. Takata, F. Kimura, T. Tomiyama, John W. Sutherland, S. Kara, C. Herrmann, J. R. Dufloy, Toward integrated product and process life cycle planning—An environmental perspective, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 査読有, 61 巻 2 号, 2012, 681-702

DOI: 10.1016/j.cirp.2012.05.004

T. Sakai, S. Takata, Reconfiguration Management of Remanufactured Products for Responding to Varied User Needs, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 査読有, 61 巻 1 号, 2012, 21-24

DOI: 10.1016/j.cirp.2012.03.121

S. Takata, K. Urano, Novel Reuse Management for Circular Manufacturing, *Proc. of 10th Global Conference on Sustainable Manufacturing Towards Implementing Sustainable Manufacturing*,

査読有, 2012, 359-364  
E. Matsumoto, J. Ohtake, J. Okada, S. Takata, A Method for Selecting Delivery Modes in Environmentally Benign Product Service System Design, The Philosopher's Stone for Sustainability, 査読有, 2012, 375-380  
DOI: 10.1007/978-3-642-32847-3

[学会発表](計7件)

大六野優、高田 祥三、環境調和型 PSS 設計における顧客志向のサービスおよび提供方法の選択手法、2016 年度精密工学会春季大会学術講演会、2016 年 3 月 17 日、東京理科大学野田キャンパス(千葉県野田市)

木山 大地、高田 祥三、太陽光パネルのライフサイクルビジネス設計、2015 年度精密工学会春季大会学術講演会、2015 年 3 月 19 日、東洋大学白山キャンパス(東京都文京区)

土岐 直弘、高田 祥三、新興国に対する低環境負荷リマニュファクチャリング自動車の提供シナリオ、2015 年度精密工学会春季大会学術講演会、2015 年 3 月 19 日、東洋大学白山キャンパス(東京都文京区)

荻野 俊光、高田 祥三、モジュール組換えリマニュファクチャリングにおける在庫管理方法、2015 年度精密工学会春季大会学術講演会、2015 年 3 月 19 日、東洋大学白山キャンパス(東京都文京区)

金 和寛、高田 祥三、モジュール組合せマニュファクチャリングのためのモジュール単位モデルチェンジ計画、2014 年度精密工学会春季大会学術講演会、2014 年 3 月 19 日、東京大学本郷キャンパス(東京都文京区)

中村 皓多、高田 祥三、自動車部品を対象とした金属元素有効利用のための老廃特殊鋼のリサイクル先鋼種決定法、2013 年度精密工学会春季大会学術講演会、2013 年 3 月 14 日、東京工業大学(東京都目黒区)

浦野 克哉、高田 祥三、モジュール組合せによる新造・再生を区別しないリマニュファクチャリング製品構成法、2012 年度精密工学会秋季大会学術講演会、2012 年 9 月 15 日、九州工業大学戸畑キャンパス(福岡県北九州市)

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

<http://www.takata.mgmt.waseda.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高田 祥三 (TAKATA, Shozo)  
早稲田大学・理工学術院・教授  
研究者番号: 50120340

(2) 研究分担者

( )

研究者番号:

(3) 連携研究者

( )

研究者番号: