

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：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24760309

研究課題名(和文) 経済実験によるプロダクトサービスシステムの構成原理の追究

研究課題名(英文) A Study on Principle of Product Service System Synthesis Using Economic Experiments

研究代表者

西野 成昭(Nishino, Nariaki)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90401299

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、経済実験を用いてプロダクトサービスシステム(PSS)のメカニズムを明らかにすることを目的に研究を進めた。まず、現実の実サービスを調査し、基本構造として5つのタイプに分類した。次いで、ゲーム理論的アプローチで、各タイプの均衡分析を行い、PSSの構成とその普及状態の違いを明らかにした。さらに、具体的事例としてカーシェアリングを取り上げ、経済実験の実施によって意思決定モデルを構築し、評価シミュレーションを実施した。結果として、生産コストの条件に応じたPSSの構成の在り方について取りまとめている。

研究成果の概要(英文)：The project studied about the structure of product service systems (PSS) with the purpose of elucidating its mechanisms using economic experiments. First, actual services in reality were investigated and five types of basic structures were obtained as its classification. Second, the game theoretic analysis was conducted for each type of the models and it theoretically clarified about the synthesis of PSS and the state of diffusion at equilibrium. In addition, as a case study, a car-sharing service was modeled and economic experiments were conducted to create decision-making model. Evaluation on the car-sharing mechanism was done by simulation with the decision-making model. As a result, synthesis principles of PSS structure in car-sharing service are summarized, which clarifies the manufacturer's profit-maximizing strategies depending on production cost conditions.

研究分野：社会システム工学，実験経済学，マルチエージェントシステム

キーワード：サービス工学 経済実験 プラットフォーム パターン分類

1. 研究開始当初の背景

近年、高い技術力を持つ日本が事業で勝てないという批判が、経営学者をはじめ様々なところで指摘されている(例えば[1]など)。申請者がこれまで議論してきた価値創成モデルの視点から言えば、図1に示しているように、一般的に工学は要素の構造化により機能を発現するが、そこでの中心課題は機能性の高い技術を効率良く最小のコストでいかに実現するかである。しかし、そこで終わりではなく、人工物の価値は人と人工物と環境との相互作用を通じて発現する。複雑化する現代社会において、高い技術力を活かすためには、そこでの相互作用まで考慮した生産活動が必要である。このことは、製造業のサービス化という言葉が意味するところとほぼ同義である。

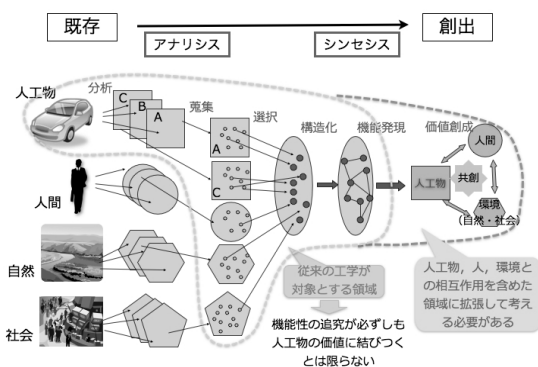


図1：人工物の創出と社会における価値創成～要求から機能へ、機能から構造へ、構造から価値へ～(文献[2]をもとに作成)

一方、現在ではサービス科学やサービス工学という新しい分野が形成され、多くの学術研究がなされている。サービスをどのようにデザインするかという観点では、サービス工学がその根幹を担っている。例えば、新井ら[3]が開発しているサービスCADは、サービスの機能要素を中心に記述がなされているが、本研究課題で問題意識としている社会における相互作用でどのように価値を創出するかという視点とは異なる立場である。

このような背景のもと、申請者がこれまで進めてきた、生産者や消費者などの行動主体と製品の関係性を明示的に含んだ社会システム研究は、人工物・人・環境との相互作用をプロダクトサービスシステムの構成原理を追究することが可能であると考えられる。特に、社会システムでの意思決定者の行動や相互作用を分析するために、実験経済学で用いられる被験者実験の手法を用いてきたが、統制された環境での被験者実験は、社会システムまで含めた製造業のあり方について、理論的根拠をもって取り扱うことが出来ると期待される。以上の理由から、本研究課題の着想に至った。

2. 研究の目的

本研究は、経済実験の手法を基礎に、関連ステークホルダー間の相互作用を考慮したプロダクトサービスシステムの構成原理を明らかにすることを目的とする。

従来の製造業は単純な製品提供型のビジネスが行われる(図2(a))が、プロダクトサービスシステムの場合には、図2(b)に示すように、プラットフォーム等の基盤を通じて、生産者と消費者、製品が構成要素となり、一体化した1つのシステムとして提供される。そこでの要素間の関係は相互依存的であり、製品がどのような機能を有し、消費者にいかいに効用をもたらすかという視点で、ゲーム理論をベースにしたモデルとして記述する。そのような枠組みを用いて、サービスシステムの効率性や社会における価値創成の視点から、適切なサービスシステムの体系について経済実験を用いて明らかにしていく。

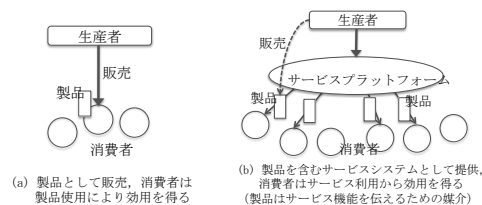


図2：製品とプロダクトサービスシステム

3. 研究の方法

先述の目的の達成のため、本研究は以下の通りの手順を進めた。

1. 現実のサービスの調査
2. プロダクトサービスシステムの基本的フレームワークの抽出
3. 事例の整理と基本モデルに基づくタイプの分類
4. ゲーム理論の枠組みを用いた理論モデルの構築と均衡分析
5. 具体的事例を取り上げて詳細モデル化
6. 経済実験の実施による人間の行動分析と意思決定モデルの構築
7. 経済実験によって得た意思決定モデルを用いた評価シミュレーション

4. 研究成果

本研究の成果を、4.1～4.5節の5つのパートに分けて述べる。4.1節では構築した基本モデルについて説明し、4.2節でそれに基づいて現実社会での実サービスを整理している。その実サービス構造に基づいて、4.3節で基本となる5つのプロダクトサービスシステムの構造を定義し、定式化した。4.4節で理論分析の結果を示し、4.5節で具体的事例の分析結果を説明する。

4.1. 基本モデルの構築

プロダクトサービスシステムの構成要素として、補完財であるコンテンツ、デバイス端末、そして、コンテンツとデバイス端末を繋げるプラットフォーム（端末とコンテンツを繋げる統一規格、ミドルウェアなどのコンテンツ開発環境やOSなどのプラットフォーム技術や規格が具体例としてあげられる）の3つがを主要素として基本モデルを構築した。これらが複合的に組み合わせられた1つのシステムとして消費者に提供されることになる。よって、モデルを構成する基本的ステークホルダは、これら3種類のコンポーネントを開発・製造する

1. コンテンツ開発者
2. プラットフォーム提供者
3. デバイス製造者

の非固定的な3種類とする。さらに基本モデルにはそれを利用する消費者を加える。各コンポーネント製品の流れは図3の通りである。

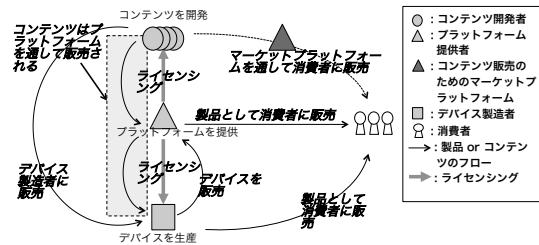


図3：プロダクトサービスシステムの基本モデル

4.2 基本モデルに基づく実サービス整理

幾つかの事例を調査し、実社会に存在するプロダクトサービスシステムのビジネスモデルを本フレームワークで記述し、整理と分類を行った。結果の一例を以下の図にまとめる。

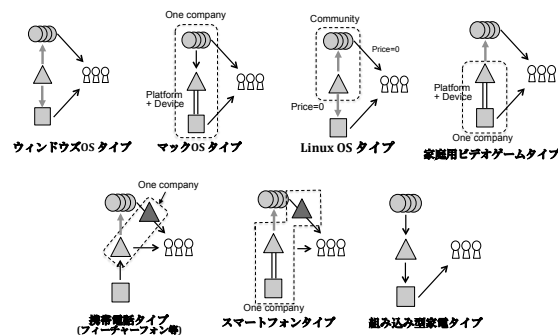


図4：基本モデルに基づく実サービス整理

4.3 定式化

コンテンツ開発者はプラットフォーム提供者からコンテンツ開発に必要なライセンス料を支払い、コンテンツを開発する。デバイス製造者はプラットフォーム提供者か

らライセンスを得て、デバイスを生産する。その関係性と定式化における変数の関係を図5に示す。

これら3種類の主体は、各自の生産可能な製品の選択肢等はあらかじめ決まっているものとするが、生産された財がどういった経路で消費者に届くか、すなわち、どの主体がどのコンポーネント製品の流通を担うのか、各主体間での仕入価格や顧客への販売価格によって、プロダクトサービスシステムの異なる形式として表現可能である。したがって、実サービスの調査を踏まえて、サービス提供形態及び流通形態の組み合わせ方により、図5に示すような5つの構造を基本構造として設定した。

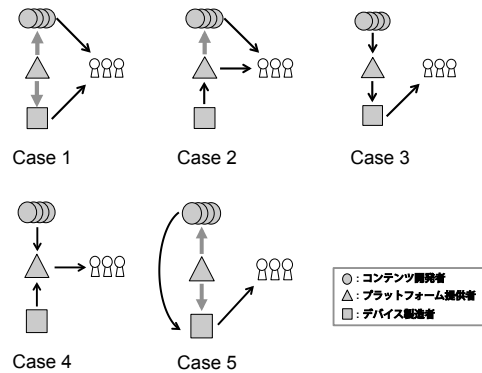


図5：5種類の基本構造

4.3.1 デバイス製造者

デバイス製造業者の利益は、ケース毎に以下のように定式化される。

$$\Pi_{dm} = \begin{cases} (P_{dm}^C - L^{dm} - c) - c_F & \text{(Case 1)} \\ (w_{pp}^{dm} - c)D - c_F & \text{(Cases 2 and 4)} \\ (P_{dm}^C - w_{pp}^{dm} - c)D - c_F & \text{(Case 3)} \\ (P_{dm}^C - L_{pp}^{dm} - c)D - w_{dm}^{cd} - c_F & \text{(Case 5)} \end{cases}$$

ここで、 P_{dm}^C は製品価格、 w_{pp}^{dm} はプラットフォームのデバイスの仕入れ価格を表し、 L^{dm} がライセンス料、 D がハードに対する消費者需要を表す。 c がハードを生産するための可変費用で、 c_F を固定費とする。

なお、表記方法として、価格のパラメータに下付き文字、もしくは、上付き文字で、pp, cd, dm, C を付与する。pp がプロバイダ、cd がコンテンツ開発業者、dm がデバイス製造業者、C が消費者を表すものとする。下付き文字で表しているのは価格設定をする主体であり、上付き文字で表しているのはその対象である。例えば、 P_{dm}^C は、dm が C に対して価格設定したものであることを意味する。

4.3.2 プラットフォーム提供者

プラットフォーム提供者の利益は以下のように定式化される。

$$\Pi_{pp} = \begin{cases} (L^{cd}S + L^{dm})D - \varphi & \text{(Case 1)} \\ (P_{pp}^C + L^{cd}S - w_{pp}^{dm})D - \varphi & \text{(Case 2)} \\ w_{pp}^{dm}D - w_{pp}^{cd}S - \varphi & \text{(Case 3)} \\ (P_{pp}^C - w_{pp}^{dm})D - w_{pp}^{cd}S - \varphi & \text{(Case 4)} \\ L^{cd}S + L^{dm}D - \varphi & \text{(Case 5)} \end{cases}$$

ここで、 S はコンテンツの供給量を表し、 φ はプラットフォーム構築のための初期の固定費を表す。

4.3.3 コンテンツ開発者

コンテンツ開発者の利益は、それぞれ以下のようになる。

$$\Pi_{cd,i} = \begin{cases} (P_{cd,i}^C - L^{cd})D_i^C - f_i & \text{(Cases 1 and 2)} \\ w_{pp}^{cd} - L^{cd} - f_i & \text{(Cases 3 and 4)} \\ w_{dm}^{cd} - L^{cd} - f_i & \text{(Case 5)} \end{cases}$$

ここで、 $P_{cd,i}^C$ は、消費者へ販売する場合のコンテンツの価格を表し、 w_{pp}^{cd} はプラットフォーム提供者への販売価格を表す。 f_i をコンテンツ制作のための固定費とし、 D_i^C は消費者の需要量を表すものとする。

4.3.4 消費者

消費者 i ($1 \leq i \leq N$) の効用関数は、Case 1 と 2 の場合は、コンテンツとデバイスとを別々に購入するため以下のように定式化される。

$$U_i = \begin{cases} v_i \frac{D_i^C}{S} + v(S) - \sum_{j \in \mathcal{D}_i} P_{cd,j}^C - P_{dm}^C & \text{(Case 1)} \\ v_i \frac{D_i^C}{S} + v(S) - \sum_{j \in \mathcal{D}_i} P_{cd,j}^C - P_{pp}^C & \text{(Case 2)} \end{cases}$$

ここで、 v_i は消費者 i の留保価格を表し、 $v(S)$ はネットワーク外部性の効果を表す。なお、 $v(S) = kS$ であると仮定し、ここで k をネットワーク外部性の効果の大きさを表現したパラメータとする。

一方、Case 3, 4, 5 については、コンテンツが組み込まれた1つのシステム製品として販売されるため、その時の効用関数は以下となる。

$$U_i = \begin{cases} v_i + v(S) - P_{dm}^C & \text{(Cases 3 and 5)} \\ v_i + v(S) - P_{pp}^C & \text{(Case 4)} \end{cases}$$

4.4 5種類の構造に対する理論分析

ゲーム理論の枠組みで理論均衡を導出した結果を表1に示す。均衡解の詳細説明は割愛するが、ネットワーク外部性の効果 k と生産コスト c の関係性から場合分けが生じ、様々なタイプの均衡状態が得られている。理論分析の結果から、次のことが分かった。

- k と c の値により製品の「全普及」が実現これは「市場支配」、即ちシステム製品の「全普及」を意味する。デバイス製造の生産

表1：各ケースの均衡解

	デバイス製造業者の利益 Π_{dm}^C	プラットフォーム提供者の利益 Π_{pp}^C	コンテンツ業者の利益の和 $\Pi_{ca} = \sum \Pi_{ca,i}$	消費者余剰 $CS = \sum U_i$
Cases 1 and 2	$k - c - 3 - c_f$	$2 - \varphi$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
Case 3				
(i) $\frac{c+1+\sqrt{c^2+2c+9}}{2} \leq k$	$1 - c_f$	$\frac{(c+1)(k^2 - c^2 - 4)}{(k^2 - 3)^2} - \varphi$	$\frac{k^2(c+1)^2}{2(2-k^2)^2}$	$\frac{1}{2}$
(ii) $\frac{c-1+\sqrt{c^2-2c+9}}{2} \leq k < \frac{c+1+\sqrt{c^2+2c+9}}{2}$	$\frac{k^2+k-ck-2}{4k^2} - c$	$\frac{k-ck-2}{k^2} - \varphi$	$\frac{1}{2}$	$\frac{(k^2+ck+k-2)^2}{8k^2}$
(iii) $k < \frac{c-1+\sqrt{c^2-2c+9}}{2}$	$-c_f$	$\frac{(4-k^2)(c-1)^2}{(2-k^2)^2} - \varphi$	$\frac{k^2(c-1)^2}{2(2-k^2)^2}$	0
Case 4				
(i) $2 \leq k$	$-c_f$	$-\varphi$	0	0
(ii) $\sqrt{2} \leq k < 2$	$\frac{k^2-3c-2}{2} - c_f$	$\frac{4-k^2}{4} - \varphi$	$\frac{k^2}{8}$	$\frac{1}{2}$
(iii) $0 < k < \sqrt{2}$	$-\frac{2c}{4-k^2} - c_f$	$\frac{1}{4-k^2} - \varphi$	$\frac{k^2}{2(2-k^2)^2}$	$\frac{2}{(4-k^2)^2}$
Case 5				
(i) $\sqrt{6} \leq k$	$(c-1)^2 - c_f$	$-(c-1)^2 - \varphi$	0	$\frac{(1-c)^2}{2}$
(ii) $\frac{c+1+\sqrt{2c^2}}{2} \leq k < \sqrt{6}$	$\frac{3-k^2+c^2-3c-2c^2+9}{(k^2-3)^2} - c_f$	$\frac{k^2-9c-2c^2}{(k^2-3)^2} - 1 - \varphi$	$\frac{c^2k^2}{2(k^2-3)^2}$	$\frac{1}{2}$
(iii) $\frac{c-1+\sqrt{c^2-2c+9}}{2} \leq k < \frac{c+1+\sqrt{2c^2}}{2}$	$\frac{-1+c^2+c(-2+k-k)}{4-k^2} - c_f$	$\frac{3-c^2-\frac{1}{2}+k}{4-k^2} - \varphi$	$\frac{1}{2}$	$\frac{(k^2-ck+k-3)^2}{2k^2}$
(iv) $0 < k < \frac{c-1+\sqrt{c^2-2c+9}}{2}$	$\frac{k^2(c-1)^2}{(k^2-3)^2} - c_f$	$\frac{2k^2(c-1)^2}{(k^2-3)^2} - \varphi$	$\frac{k^2(c-1)^2}{2(k^2-3)^2}$	0

コスト c に対して間接的外部性 k が十分に大きい時、コンテンツ開発者は一部のみの参入（以降「部分参入」とする）となり、システム製品の需要量は最大となり、即ち全ての消費者が購入する（以降「全普及」）状態が市場均衡となる。

また、Case 3~5 では、コンテンツ開発者が「部分参入」と「全普及」の両パターンとなり、それが意味するのは、ネットワーク外部性 k が十分に大きければ、コンテンツの仕入れ価格である w_{pp}^{cd} を高く設定せず、開発者が「部分参入」の状態でも、消費者がコンテンツの種類に対する便益が高いため「全普及」が達成でき、プラットフォーム提供者とデバイス製造業者の利益最大が実現できることが理論均衡状態として得られている。

- システム製品提供者の違いと参入・普及状況との関係

システム製品がプラットフォーム提供者か、デバイス製造業者のどちらの主体から消費者に提供されるかに応じて、 k と需要供給の関係に異なる傾向が見られた。Case 3 と Case 5 の製造業者が消費者に最終財を販売するケースでは、外部性効果の k が十分に大きい場合、システム製品の「全普及」が均衡となる望ましい状況が実現できるが、 k が小さいと普及失敗の状態に陥る。一方、Case 4 ではその逆の傾向があり、 k が小さい時のみ普及が実現できる。

以上の通り、抽象的構造としてプロダクトサービスシステムの理論均衡状態を明らかにすることができた。

4.5 具体的事例の分析：カーシェアリングサービス

カーシェアリングは、デバイス端末メーカーとしては自動車メーカー、プラットフォーム

ム提供者はカーシェアリング運営主体、カーシェアリングのオンライン予約システム等がコンテンツに相当する。先述の基本フレームワークに基づき具体化されたモデルとして構築し、その構造下で経済実験を行い、それぞれのプレイヤーの意思決定モデルを構築した。さらに、その意思決定モデルを用いたマルチエージェントシミュレーションにより、プロダクトサービスシステムのパフォーマンス比較を行った。

具体的には、以下の3つのシナリオを作成し、その比較を行った。

- (1) 製造業による通常の製品販売
 - (2) レンタル形式によるサービス提供
 - (3) カーシェアリングによるサービス提供
- 以下に理論分析、経済実験結果、シミュレーション結果をまとめて示す。

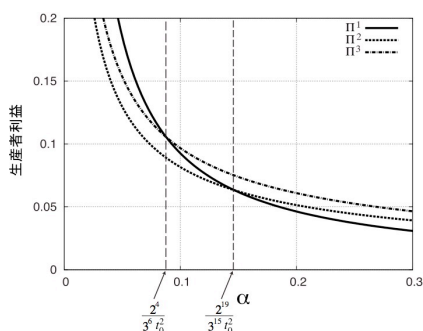


図6：各シナリオの生産者利益比較（理論解）

図6は生産コストの大きさ（ α により表現されている）による各シナリオにおける生産者の均衡解の利益をプロットしたものである。さらに、経済実験を実施し、被験者の行動を用いてエージェントの意思決定モデルを構築した。シナリオ3が最も利益が大きくなる領域でのパラメータ設定（図6の右側の領域）で行ったシミュレーション結果を表2に示す。また、シミュレーション設定下の理論解を表3に示す。表より、理論解と同じ傾向を示すことが示され、本カーシェアリングモデルの理論解の妥当性が経済実験に基づくシミュレーションによって示されている。

表2：シミュレーション結果

	製品機能	価格	入会価格	購入者数	生産者利益	消費者余剰	社会的余剰
モデル1	1.2	4.4	n/a	82.4	52.4	134.1	186.5
モデル2	2.0	3.0	n/a	100.0	73.5	36.7	110.2
モデル3	2.0	2.6	2.5	80.0	80.3	35.2	111.5

（表中の数値説明：製品機能は1が最も低く4が最も高い、価格は1が最も低く5が最も高い、入会価格は1が最も低く3が最も高い、購入者は最大で100を取る）

表2：シミュレーション設定下の理論解

	製品機能	価格	入会価格	購入者数	生産者利益	消費者余剰	社会的余剰
モデル1	1	5	n/a	80	56.8	118.0	174.8
モデル2	2	3	n/a	100	73.5	36.7	110.2
モデル3	2	3	2	80	81.8	23.3	105.1

以上の分析から、自動車の生産コストの高い場合にはカーシェアリングを行うことで生産者の利益を大きくすることができ、生産コストが低い場合には通常販売が良いことが示されている。

（参考文献）

- [1] 妹尾堅一郎, 技術力で勝る日本が、なぜ事業で負けるのか, ダイヤモンド社, 2009
- [2] K. Ueda et al., “Value Creation and Decision-making in Sustainable Society”, CIRP Annals — Manufacturing Technology, 58(2):681-700, 2009
- [3] T. Arai et al., “Proposal of Service CAD System -A Tool for Service Engineering-”, CIRP Annals — Manufacturing Technology, 53(1):397-400, 2004

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）

- ① Nariaki Nishino, Sihui Wang, Nobuyuki Tsuji, Kazuro Kageyama, Kanji Ueda, “Categorization and mechanism of platform-type product-service systems in manufacturing”, CIRP Annals – Manufacturing Technology, Vol.61, No.1, pp.391-394, (2012)
- ② Nariaki Nishino, “Co-creative Value Manufacturing: a methodology for treating interaction and value amongst artefacts and humans in society”, Nanotechnology Perception, Vol. 9, pp.6-15, (2013)
- ③ 西野成昭, 奥田啓介, “経済実験とマルチエージェントシミュレーションの統合的アプローチによる製造業会員型サービスの分析”, 日本経営工学会論文誌, Vol. 65, No.3, pp. 168-179, (2014)

〔学会発表〕（計 6 件）

- ① Ryohei Kitagawa, Nariaki Nishino, “Mechanism of Decision Making in Membership Services under Competitive Circumstances”, 4th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems, AIST Waterfront, Tokyo, November 8-9, (2012)
- ② 西野成昭, 奥田啓介, “製造業による会員型サービスフレームワークのモデル化とマルチエージェントシミュレーション”, 日本経営工学会 平成 2012 年度秋季研究大会予稿集, pp.168-169, 大阪工業大学 大宮キャンパス, (2012)
- ③ Nariaki Nishino, Sihui Wang, Nobuyuki Tsuji, Kazuro Kageyama, Kanji Ueda, “Five Models of Platform-type Product Service Systems in Manufacturing”, Procedia CIRP, Vol. 7, pp. 389-394, (2013)

- ④ Shota Shimizu, Kenju Akai, Nariaki Nishino, “Modeling and Multi-Agent Simulation of Bicycle Sharing”, Proceedings of The 1st International Conference on Serviceology, pp. 27-30, (2013)
- ⑤ 志水彰太, 赤井研樹, 西野成昭, “コミュニティサイクルサービスのモデル化とマルチエージェントシミュレーション分析”, サービス学会第1回国内大会講演論文集, pp. 127-129, 2013年4月10-11日, 同志社大学, (2013)
- ⑥ 西野成昭, 奥田啓介, “ゲーム理論を用いた製品サービスシステムとしての電子書籍ビジネスの分析”, サービス学会第2回国内大会講演論文集, pp.207-214, 2014年4月28-29日, はこだて未来大学, (2014)

[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]

本研究の成果の一部である論文 (雑誌論文
③) が経営工学会論文賞を受賞

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西野 成昭 (NISHINO, Nariaki)
東京大学・大学院工学系研究科・准教授
研究者番号 : 90401299