

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20360177

研究課題名（和文） ネットワーク外部性を考慮した生物指向型生産システムの拡張

研究課題名（英文） Extension of Biological Manufacturing Systems considering Network Externalities

研究代表者

上田 完次 (UEDA KANJI)

東京大学・人工物工学研究センター・名誉教授

研究者番号：50031133

研究成果の概要（和文）：

本研究課題は、研究代表者がこれまで提案し、構築してきている生物指向型生産システムにネットワーク外部性を導入することにより、現代のネットワーク社会における不完全情報下での製品やサービスの有効な設計のための方法論について研究している。生産システムの製造プロセスから、消費者のライフスタイル分析、製品普及シミュレーションを実施し、最終的にネットワーク外部性環境下での製品設計戦略について、その基礎モデルを提案し、戦略の議論を可能とする手法を構築している。

研究成果の概要（英文）：

This research project addresses a methodology of products/services development under complex-networked societies, introducing the idea of network externalities into biological manufacturing systems that have been developed by the project leader. By analysis from a process level in manufacturing floor to a product diffusion level in social systems, the basic properties are clarified in production environment where network externalities are present. Finally, this project proposes the new methodology to discuss product development strategy, constructing a fundamental model that includes technology development decisions.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
2009年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2010年度	2,800,000	840,000	3,640,000
総計	10,200,000	3,060,000	13,260,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・システム工学

キーワード：生産システム工学，設計工学，ネットワーク外部性，サービス，製品開発戦略

1. 研究開始当初の背景

現在の製造業においては、設計、生産、消費を含むバリューチェーン全体が急速にネットワーク化、複雑化しており、それぞれの単独のプロセスでの意思決定はますます困

難になってきている。例えば、携帯電話などの情報関連製品に代表されるように、製品やサービスの中には、他の利用が増えるにつれて、それらの消費から得られる効用が増大するものがあり、そのような市場にはネットワーク外部性が含まれると言われる。携帯電

話の例で言えば、ある携帯電話キャリア（会社）を利用する人が増えるほど、そのキャリアが提供するサービスは充実し、便利さと利益が増大する。いわゆるデファクトスタンダードの多くは、このようなネットワーク外部性の強い市場において成立するが、その成立過程には、企業の情報戦略やコミュニティにおける情報局在性、口コミなどを通じた普及特性が大きな影響を及ぼしており、このような要因を考慮することが、今後、製造業においてもますます重要になってくると考えられる。

研究代表者らは、不完全情報環境下において柔軟に環境変動に適応可能なシステムの構築手法として生物指向型生産システムを提案し、その構築と実用化展開に関する検討を行ってきた。生物指向型生産システムでは、自己組織化、進化、学習、適応といった生物システムが生来有している優れた特徴をメタファーとして取り入れた創発的シンセシスの方法論を用いる。すなわち、生産システムの秩序的振る舞いが、システムを構成する要素間の相互作用の結果として創発するというボトムアップ的システム構成法をその基本としている。これまでに、シンセシスにおける環境と目的（仕様）の不確実性によって生産システムを取り巻く環境を分類するとともに、生産フロアレベルの創発的設計から、サプライチェーンのデザイン、消費における経済主体間の意思決定問題に至るまで、様々なレベルの問題を研究対象としてきた。また、最近では行動主体の限定合理性を導入することで、システムの適応的振る舞いを実現する手法を提案している。

このような背景から、これまでの生物指向型生産システムの拡張として、ネットワーク外部性を考慮した新しい生産の在り方を検討する必要があるという考えに至った。

2. 研究の目的

前述の学術的背景から、本研究課題では、生物指向型生産システムにネットワーク外部性を導入することによって、生産者と消費者の相互作用を陽に考慮した製品やサービスの設計方法を探究し、現在、学術的にも注目される製品やサービスの社会的受容やイノベーションの問題、また、様々な価値観やライフスタイルを持つ個人間の社会的相互作用の問題に取り組むことを目的とする。現在、製造業において期待される「製造業のサービス化」という表現は、製造業においてもサービスの特徴である生産と消費のプロセスの同時性や不可分性を考慮し、環境や社会の不確実への適応を目指すものであると考えられる。そのためには、製造業とサービス業といった枠組みを超えて、背景にある問題

を明らかにすることが重要であり、本研究では従来の枠組みに囚われない広い視野から生産システムの問題を明らかにすることを目指す。

3. 研究の方法

本研究では、生物指向型生産システムにネットワーク外部性を導入することにより、製品やサービスの社会的受容や普及を考慮したモデルを構築する。モデルの構築にあたっては、情報ネットワーク社会におけるネットワーク外部性と情報局在性に着目し、生産者と消費者をエージェントとしたネットワーク環境下での意思決定問題としてモデルを構築し、エージェント間の相互作用を通じた製品やサービスの社会的受容や普及の問題を扱う。

エージェントモデル構築においては、人間のライフスタイルや性格、価値観、日常の購買行動に関する態度や情報への依存度に関する大規模なアンケート調査を実施し、その結果を基に、より現実に近い消費者エージェントのモデルを構築する。また、情報の伝播は購買行動の意思決定に関して、実験経済学的手法を用いた被験者実験を行い、ネットワーク外部性を有した市場メカニズムを分析する。さらに、構築されたエージェントモデルと被験者実験から得られた市場メカニズムの特性を用いて、エージェント間の相互作用によってどのような秩序が創発されるかを計算機実験により検討する。

以上をもとに、ネットワーク外部性が働く環境下における新たな製品開発戦略の方法論について議論する。

4. 研究成果

生産システムレベル、購買意思決定レベル、製品普及レベル、製品開発戦略レベルの階層別に4領域に分けて、得られた成果について説明する。

4-1. 生産システムレベル：ネットワーク外部性を考慮したインタラクティブな生産プロセスモデル

消費者間でポジティブフィードバックを生じさせるネットワーク外部性を扱うためには、設計者・生産者・消費者・そして人工物が互いに相互作用しながら生産を行うインタラクティブ生産システムを想定する必要がある。そのために、それぞれが担当工程を持つ生産機械と多様な嗜好を持つ消費者を、同時に取り扱える生産システムを構築する。モデルでは、生産機械と消費者が相互作用しながら生産を行うために、生産フ

ロア内の生産機械に学習器を持たせ、消費者の要求が学習器のルールに直接働きかける。具体的には、学習器として用いたクラシファイアシステムの if-Then 形式のルールを、消費者の行動結果により変化させるものである。消費者の行動結果については、取りうる選択肢から合理的な購買行動を行うものとした。提案するインタラクティブ生産システムでは、このような局所的な相互作用の結果として、ネットワーク外部性環境下で消費者が求める製品の製造が可能かを調べる。

モデルの概要を図 1 に示す。消費者の購買による満足度等の影響がそのまま加工機のルールへ直接働きかけるモデルとなっている。

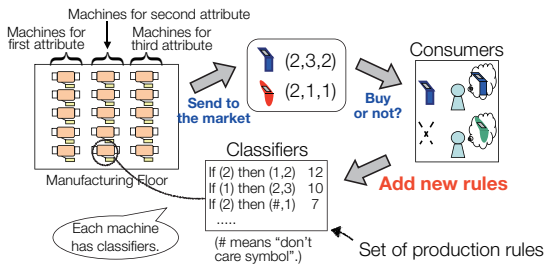


図 1 インタラクティブ生産のモデル概要

提案手法の有効性を検討するために、通常のクラシファイアシステム（インタラクション無し）と受注生産方式の生産計画手法との比較を計算機実験により行った。結果の一部を表 1 に示す。結果から、提案手法の有効性を確認できる。特に、消費者余剰が大きくなっていることは、消費者の満足度が高くなるような製品が生産できていることを意味する。生産数・利益共に大きくなっていることから、効率よい生産が実現できていることを示している。

表 1 他の生産計画手法との比較

	提案手法	クラシファイア	受注生産
生産数	27.5	25.7	17.6
販売数	26.2	23.7	17.6
廃棄数	1.3	2.0	0.0
生産者利益	574	469	439
消費者余剰	589	403	268
総余剰	1163	872	707

4-2. 購買意思決定レベル：アンケートデータを利用した消費者のライフスタイルを考慮した意思決定分析

ネットワーク外部性が働き、製品とサービスが融合する市場でありながら、製造業が強く関わっている対象の典型的な例が携帯電話市場である。そこで、携帯電話利用者に対して、消費者の利用状況、ライフスタイルに関わる項目について大規模なアンケート調

査を行った。直接関連する具体的質問項目の例は表 2 に示す通りである。アンケートには、男性 3286 人、女性 2835 人の計 6121 人が回答を行った。性別間および世代間の偏りをなくするため、この回答者の中から無作為抽出法を用いて、各世代各性別に 10 代から 50 代まで、100 人ずつの計 1000 人を分析対象として選択した。

表 2 アンケート項目例

No	質問項目
Q1	無駄遣いが多い
Q2	トレンドには敏感な方だ
Q3	新製品や変わった物を見つけると試しに買ってみる
Q4	友人が持っているのを見ると欲しくなる
Q5	口コミや評判を参考にして人気のあるものを選ぶ
Q6	モノを購入する際には価格を一番重視する
Q7	モノを購入する際には類似品を見比べて慎重に選択する
Q8	月々携帯電話の利用にかかる必要はいくらくらいですか
Q9	携帯電話で通話を行う頻度は平均どのくらいですか
Q10	携帯電話のメールの送受信の件数は平均どのくらいですか
Q11	携帯電話の機能でよく使うものを教えてください：カメラ、お財布ケータイ、音楽プレイヤー、ワンセグ、GPS 機能
Q13	今使っている携帯電話会社を変えたいと思いますか
Q21	携帯電話は通話やメールが使えれば他の事は気にしない
Q22	携帯電話を購入する際には必要な機能やサービスが利用できるか入念に確認する
Q23	携帯電話のデザインに対してこだわりが強い
Q25	現在ご利用の携帯通信会社を教えてください

携帯電話の利用に関する重要な因子を抽出するため、探索的因子分析を実施した。図 2 は各質問項目の因子負荷量をプロットしたものである。第一因子によって Q2, Q3, Q4, Q5 の質問項目が説明されていた。すなわち、第一因子は流行への関心と考えることができる。第二因子によって Q21 および Q22 が説明されていた。これは携帯電話本体の機能への関心と考えることができる。第三因子によって Q8, Q9, Q10 が説明されていた。これは携帯電話のコミュニケーションサービスの利用と考えることができる。以上より、携帯電話の利用に因子として、流行への関心、携帯電話本体の機能への関心、携帯電話のコミュニケーションサービスの利用の 3 つの因子が抽出された。

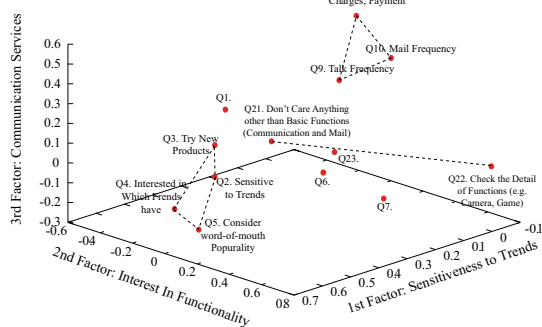


図2 因子分析の結果

これら3つの因子に関して、利用している事業者の違いによって利用の仕方によって利用の仕方に違いがあるかについて検証を行うため、分散分析を行った。その結果、第一因子である流行への関心によって説明された質問項目に関しては利用している事業者間で優位な違いが見られなかった。第二因子である携帯電話本体の機能への関心については、この因子によって説明されたQ22 および、実際の機能の利用状況について尋ねたQ11に関して事業者間に違いが見られた。第3因子である携帯電話のコミュニケーションサービスの利用に関してはQ10のメールの利用頻度に関して有意差がみられた。

以上の結果から、携帯電話サービスの選択と消費者の行動様式や嗜好の違いに関連性がみられることが示唆される。特に分散分析の結果からは携帯電話本体に付随する機能の利用と、携帯電話による通話やメールなどの通信サービスの利用に関して事業者ごとに違いが見られた。これらは消費者エージェントモデル構築の基礎となる知見である。

4-3. 製品普及レベル：製品・サービス普及のマルチエージェントシミュレーションと被験者実験

4-2節で得られた結果をもとに、消費者エージェントを構築し、普及シミュレーションを行った。モデルには、1000人の消費者エージェントと3人のサービス提供者エージェントから構成される。消費者エージェントはそれぞれアンケートの回答者と対応している。また、携帯電話サービスによって提供される機能は、数値として表現し、その数値に対する要求量がアンケート結果をもとに各エージェントに割り振られている。その状況下で、どのように購買状況変化するかをシミュレーションで調べた。結果例を図3に示す。

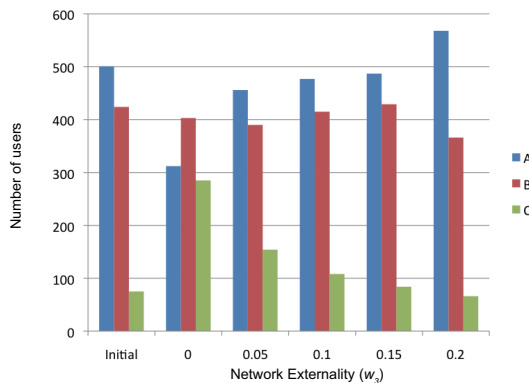


図3 ネットワーク外部性の影響の違いによる利用者数の変化

図中のA~Cは携帯電話事業者の種類を意味する。横軸はネットワーク外部性の強さを決定づける変数である。結果から、ネットワーク外部性の影響を強く受ける事業者と受けにくい事業者があることが明らかになった。

次いで、実験経済学的手法に基づく被験者実験によって、実際の人間の購買意思決定を実験室で観察する。実験室の規模の制約から、3人からなる単純な市場モデルを想定し、実験を行った。具体的には、図4のようなゲーム理論的枠組みで構築した意思決定モデルである。

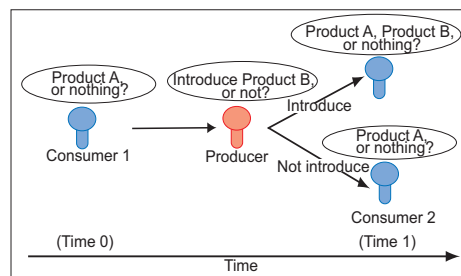


図4 ネットワーク外部性市場における意思決定モデル

実験の結果から、被験者の限定合理的な意思決定によって、製品普及の状況が大きく異なることが明らかになった。結果を図5に示す。リンク上にある数値はそのノードにおいて選択された割合を示す。また、赤色のリンクは限定合理的行動であることを意味する。ネットワーク外部性が働くために、他の消費者がどのように意思決定するかが、自身の効用に強く影響し、理論が想定するような完全な合理性に従って行動するとは限らず、その影響が顕著に現れている。この実験でのパラメータ設定では、理論均衡である(製品A, 非導入, 製品A)という普及状態に達したのは、被験者90人中25人程度であった。生産の段階から、実際の人間が持つ限定合理的側面を考慮する必要があることを示唆する結果である。

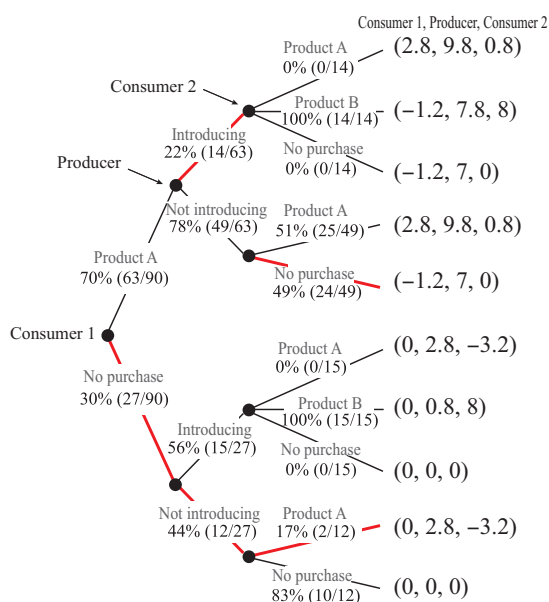


図5 被験者実験の結果

4-4. 製品開発戦略領域：ネットワーク外部性の影響度を決定づける製品機能の設計問題

4-3節で行った分析により、ネットワーク外部性を伴う環境下では、インタラクティブにかつ、消費者のライフスタイルや限定合理的行動を視野に入れながら生産を行う必要があることが明らかになった。そこで、生産者としてどのように製品設計戦略を立てるべきかについて、4-3節の普及モデルをベースに議論する。

単に定性的な議論に留めることなく、数理的モデルで設計戦略について考えるために、設計者の意思決定の問題として定式化した。モデルの概略を図6、7に示す。モデルでは設計者が、製品/サービスの機能に関わるパラメータを決定する。その機能により、ネットワーク外部性の影響度が異なるものとしている。例えば、ソーシャル・ネットワーク・サービス (SNS) などは、ユーザー間の繋がりが非常に強く、それを実現するために様々なICT技術が組み込まれている。これは強いネットワーク外部性効果を生み出すものと考えられる。一方、Blu-ray レコーダーも、ネットワーク外部性の典型的な例であるが、製品単体でも録画機として利用可能で、SNSと比べればネットワーク外部性の影響度は少ないと思われる。しかしながら、例えば録画データをクラウドで蓄積していくようなビデオレコーダーならば、ネットワーク外部性の効果は異なることも考えられる。このような、製品の技術的仕様の設計をパラメータの決定問題として捉えた。

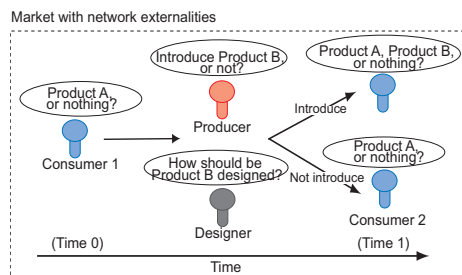


図6 設計者がシステムの中で意思決定

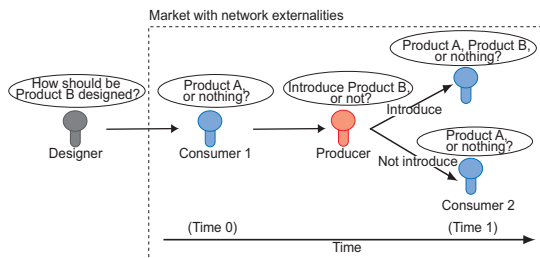


図7 設計者がシステムの外で意思決定

図6では、生産者が自己の利益追求のために、周辺の状況を把握した上で局所的な意思決定を行っている状況を表す。別の言い方をすれば、ネットワーク外部性が働く環境の中の一部となっている。一方で、図7はネットワーク外部性が働くシステムの外に立って、設計に関する意思決定を行う状況表現している。これは、生産者自身を1つのシステムの中に入れた状況を、外から俯瞰的に見て製品設計の意思決定をすることに相当する。

この製品設計戦略モデルの構造を明らかにするために、簡単な計算機実験と被験者実験を行った。複数のシナリオのうちで、ある設定下においては、設計者がシステムの外から意思決定をする場合に、製品機能を低くし、広く普及させる状況を作り出すことが有効戦略として明らかになった。一方、同じ設定下で、システム内部で設計者が意思決定する場合は、普及割合が低いが高機能の製品を生産し、利益を求める戦略の有効性が示されている。どちらの戦略も一長一短であり、置かれている環境と関連する行動主体の状況を見極めてどのような製品開発戦略を取るべきかを考えることが重要である。

ネットワーク外部性の効果は多種多様であり、広義に捉えればブランド価値のようなものも消費者間のフィードバックによって価値が高まるものであり、この枠組みに含まれる。ネットワーク外部性の性質を的確に捉え、どのように設計するかを慎重に検討する必要がある。本研究課題では、その基礎的な構造を明らかにできたが、抽象的な理論レベルでの議論が多いのも事実である。実社会での応用に向けて、今後さらに研究を発展させていく予定である。

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 8 件)

- ① N. Nishino, S. H. Oda, K. Ueda, “Bounded Rationality on Consumer Purchase Decisions and Product Diffusion under Network Externalities: A Study using Agent-based Simulation and Experiments with Human Subjects”, *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol.15, pp.212-219, 2011
- ② N. Nishino, Y. Sato, K. Ueda, “Modeling of Decision Making in Membership Services as Public Goods Problems”, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol.59, No.1, pp.473-476, 2010
- ③ N. Nishino, T. Takenaka, K. Ueda, “Product Development Strategy in Markets with Network Externalities”, *Proceedings of 43rd CIRP Conference on Manufacturing Systems*, pp. 316-323, 2010
- ④ T. Takenaka, K. Fujita, N. Nishino, T. Ishigaki, Y. Motomura, “Trans-disciplinary approach to service design based on consumer’s value and decision making”, *International Journal of Organizational and Collective Intelligence*, Vol.1, No.1, pp.58-75, 2010
- ⑤ 竹中毅, 西野成昭, 「実データに基づく生活者行動のモデル化とサービス工学への応用」, *計算工学*, Vol. 15, No.1, pp.2243-2246, 2010
- ⑤ K. Ueda, N. Nishino, T. Takenaka, “Producer Decision-making in Markets with Network Externalities”, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol.58, pp.413-416, 2009
- ⑥ S. Yokoi, T. Takenaka, N. Nishino, K. Ueda, “Interactive Manufacturing Systems Considering Interaction between Producers and Consumers”, *Asian International Journal of Science and Technology in Production and Manufacturing Engineering*, Vol. 2, No. 3, pp. 49-56, 2009
- ⑦ N. Nishino, T. Takenaka, K. Ueda, “Product Diffusion in a Market with Network Externalities: An Approach from the Viewpoint of Value-creation among Consumers”, *Mistui, Ueda, Kimura (Eds.), Manufacturing Systems*

and Technologies for the New Frontier, Springer, pp.473-476, 2008

- ⑧ 西野成昭, 金子陽平, 小田宗兵衛, 上田完次: 「ネットワーク外部性市場における不完全情報下での意思決定と製品普及プロセス」, *情報処理学会論文誌*, Vol. 49, No. 4, pp. 1527-1538, 2008

[学会発表] (計 5 件)

- ① K. Ueda, N. Nishino, “Value Creation in Network Society”, *The 2nd International Conference on Dynamics in Logistics (LDIC 2009)*, August 17 – 21, 2009, Bremen, Germany, 2009 (Keynote speech)
- ② 横井伸太郎, 竹中毅, 西野成昭, 上田完次, 「生産者と消費者の相互作用を考慮したインタラクティブ生産システム」, 2009年度精密工学会春季大会, 2009年3月11-13日, 中央大学, 2009
- ③ 藤田宏介, 竹中毅, 西野成昭, 上田完次, 浅間一, 「アンケートデータを用いた日本における携帯電話サービスの普及に関する研究」第19回インテリジェント・システム・シンポジウム (FAN2009), 2009年9月17-18日, 会津大学, 2009
- ④ 西野成昭, 金子陽平, 小田宗兵衛, 上田完次, 「ネットワーク外部性が働く市場での初期購買者の行動と製品普及: マルチエージェントシミュレーションと被験者実験によるアプローチ」, *合同エージェントワークショップ&シンポジウム*, 2008年10月29-31日, 大津, 2008
- ⑤ 横井伸太郎, 竹中毅, 西野成昭, 藤井信忠, 上田完次, 「消費者とのインタラクションを考慮した価値創成型生産システムに関する研究」, 2008年度人工知能学会全国大会, 2008年6月11-13日, 旭川, 2008

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上田 完次 (UEDA KANJI)

東京大学・人工物工学研究センター・名誉教授

研究者番号: 50031133

(2) 研究分担者

竹中 毅 (TAKENAKA KAKESHI)

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・研究員

研究者番号: 70396802

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