

## 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

## A Study on Value Creation Manufacturing System Considering Interactions with Consumers

横井 伸太郎\*1 竹中 毅\*2 西野 成昭\*2 藤井 信忠\*3 上田 完次\*2  
 Yokoi Shintaro Takenaka Tsuyoshi Nishino Nariaki Fujii Nobutada Ueda Kanji

\*1 東京大学大学院工学系研究科  
 Faculty of Engineering The University of Tokyo

\*2 東京大学人工物工学研究センター  
 Research into Artifacts, Center for Engineering,  
 The University of Tokyo

\*3 神戸大学工学部  
 Graduate School of Engineering, Kobe University

This research proposes a mixed model of a manufacturing floor and a market that are handled at the same time to evaluate value of products. It introduces a method that the manufacturing floor and the consumer does interactions. Each processing machine at the manufacturing floor has learning mechanism and can obtain consumer's demands as a rule in the learning machine. To verify the effectiveness of the proposing method, we compared it with the order production model using computer simulation. The proposing system has learned to how to manufacture products responding to the consumer's demands. Both surpluses of consumers and a profit of producer were increasing. We confirmed the proposing system has adapt in the market where network externalities work and product's values are changing.

## 1. 背景

### 1.1 製品の価値

近年の製造業においては、生産コストの最小化だけでなく、製品の価値を高めることが大きな課題となってきた。例えば、価値工学の分野ではこれまでに「価値=機能/コスト」として、製品の付加価値を含めた設計の問題に着目してきた[手島 93]。

しかし、価値工学が追求してきた高機能かつ低コストな人工物が、必ずしも消費者が求めるものであるとは限らない。人工物の価値とは、人工物が環境で作動し市場で交換され、人に使用されて始めて生じるものである[上田 07]。

近年、「製造業のサービス業化」として製造業が期待されていることは、サービス業と同様、複雑化する市場において、消費者の価値観や社会での製品の価値を理解することであると思われる[竹中 08]。

### 1.2 製品設計のプロセス

人工物は、設計者によって消費者のニーズを汲み取って、使用価値を高めるように設計され、生産システムにおいてコストを最小化するように製造されるべきである。したがって製造者に求められるのは、使用価値とコストの同時最適化であるが、変動が激しい市場において、その達成は困難である。

コストの最小化を目的とする生産方式として、大量生産が存在する。T型フォードに代表される大量生産は、一括生産によって生産コストを削減してきたが、在庫リスクを持つ等の欠点がある。

一方、使用価値の最大化を目的とする生産方式として、消費者からの受注を受けてから生産計画を立案する受注生産が存在する。

連絡先:

横井伸太郎 東京大学大学院工学系研究科  
 千葉県柏市柏の葉 5-1-5 東京大学人工物工学研究センター  
 04-7136-4271 yokoi@race.u-tokyo.ac.jp

在する。JIT(Just In Time)式に代表される受注生産は、在庫リスクの排除によるコスト削減や顧客満足の向上を可能とする[中村 06]、生産コストの増加等の欠点がある。

これらの欠点を改善すべく、見込生産と受注生産の両極端に寄らない、柔軟な生産システムの必要性が指摘されている[石垣 03]。

### 1.3 市場予測の困難性

POS(Point Of Sales)システムを用いて、製品の売上を正確に把握する事で、「売れるものを売れる直前に売れるだけ作る」とする働きがある[山田 02]。

しかしながら、現行のPOSシステムは、予測が困難であるために、在庫自動管理等の業務の合理化に留まっているのがほとんどである。POSデータはあくまでも過去の実績を可視化するに過ぎず、売上の予測を有効に機能させる為には、経営環境を十分理解した管理者が必要とされる。即ち、POSシステムは不確実性の高いシステムとなっている[岡田 95]。

市場予測を困難とする一因として、ネットワーク外部性が注目され、盛んに研究が行われている。ネットワーク外部性とは、互換性を持つ他の消費者が多ければ多いほど、その価値が大きくなる性質を言う[Shy 03]。ネットワーク外部性が存在する市場の予測が困難なのは、製品の使用価値が利用者数と共に変化する為である。

### 1.4 人口市場

創発的な市場のモデルとして、人工市場アプローチが存在する[和泉 00]。人工市場では、市場の参加者は意思決定を行うエージェントとしてモデル化されており、エージェント間の相互作用の結果として、価格や購入者数などが定まる。

### 1.5 自己組織化する生産システム

創発的な生産システムのモデルを提案した研究として、生産システムの自己組織的構成法が存在する[藤井 04]. 文献[藤井 04]では、加工機械やAGV等の生産機械が意思決定を行うエージェントとしてモデル化されており、エージェント間の相互作用の結果として、システム全体の秩序や構造が創発し、生産が進行する。自己組織的に構成される生産システムをモデル内に含めることで、段取り替え等の生産フロア内の複雑さを取り扱う事が可能になる。

### 2.本研究の目的

本研究の目的は、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を提案することである。人工物の価値として、使用価値とコストを評価するため、2つの創発的システム、即ち多様な消費者が存在しネットワーク外部性が働く市場と自己組織的に構成される生産フロアを同時に取り扱うモデルを提案する。生産フロアの加工機に学習器を持たせ、製品の売上加えて、消費者の要求をルールとして取り入れることで、生産システムの効率化と同時に消費者の満足度を高める製品を製造する生産システムを提案する。提案手法の有効性を検証するために、計算機実験を行う。

### 3.モデル

製品の混流生産と流通を、生産フロア及び市場において、図1のように、モデル化する。提案手法においては、明示的な生産要求は存在せず、学習器を持つ加工機が、自律分散的に生産を行う事で、消費者に求められている製品の適応的な生産を試みる。

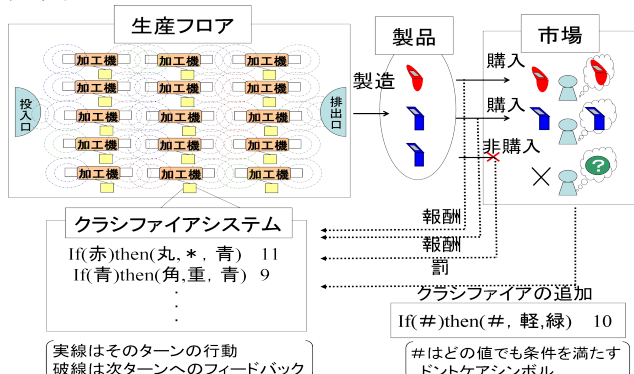


図1 モデル概要

#### 3.1 生産フロアのモデル

##### i) 製品

製品は3つの属性を持ち、1回の加工で1つの属性の値が定まる。

##### ii) 加工機

生産フロアには、各工程を担当する加工機が複数台存在し、それぞれが工具をつけている。担当する工程は変えられないが段取り替えを行うことで工具を変更することはできる。加工機は後述する学習器に従って、前工程から製品を取り寄せて、加工を行う。

##### iii) 製品加工のプロセス

製品の加工は次のような順序で行われる。

1. 製品は素材として投入口に保存されている
2. 製品は次工程からの要求を待ち、要求に従って搬送される
3. 製品は加工機のバッファに送られ、処理部が空くまで待つ
4. 加工機は必要があれば、段取り替えを行う

5. 加工機が加工処理を行う

6. 全ての工程の加工が完了するまで、2-5を繰り返す

7. 全ての工程の加工が完了した後、排出口より市場に送られる

### 3.2 市場のモデル

#### i) 製品

製品は3つの属性を持ち、それぞれの属性に機能として値が与えられている。それぞれの属性の値は等価である。製品の3つ目の属性はネットワーク外部性を持ち、同じ値を持つ製品間では互換性を持つ。

#### ii) 消費者

市場には多様な嗜好を持つ消費者が存在する。消費者は、一定間隔毎に支払意思額以下の製品を1つ購入する。

消費者はパラメータとして、製品の各属性の値への支払意思額  $P_{ij}$  を持っている。また、消費者は、互換性を持つ製品の利用者が一人当たり増加した際のその製品の属性の値への支払い意思額の増分を表す外部性パラメータ  $\alpha$  を持っている。

#### iii) 支払意思額の決定式

支払意思額  $R_p$  は、式1のように、製品単独への支払意思額  $R_{pi}$  と外部性から生じる支払意思額  $R_{po}$  の和で定まる。

$$R_p = R_{pi} + R_{po} \quad \dots(1)$$

製品単独への支払意思額  $R_{pi}$  は、式2のように、ある製品の属性の値への支払意思額  $P_{ij}$  の和で定まる。

$$R_{pi} = \sum_{j=1}^3 P_{ij} \quad \dots(2)$$

外部性から生じる支払意思額は、式3のように、共通する製品の利用者数  $\lambda$  と個人の外部性パラメータ  $\alpha$  の積で定まる。

$$R_{po} = \lambda \cdot \alpha \quad \dots(3)$$

#### iv) 購入製品決定のプロセス

市場に存在する消費者は、図2のようなフローチャートに従って、順に製品購入の意思決定を行う。

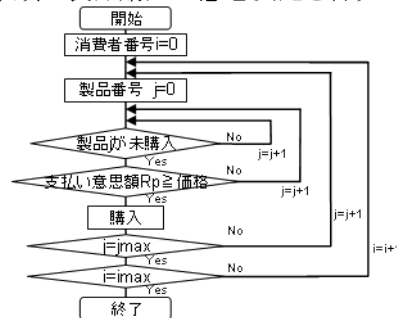


図2 購入製品決定のプロセス

### 3.3 学習のモデル

#### i) クラシファイアシステム

加工機は学習器としてクラシファイアシステムを持つ。クラシファイアシステムは(条件部、動作部、強度)から成るクラシファイアを一定個持ち、条件部を満たすクラシファイアのうち、もっとも強度の高いものの動作部を出力とする[Holland 92].

#### ii) クラシファイアの設定

クラシファイアの条件部は、自身の加工工具の状態とした。また動作部は前工程に要求する製品の属性の値と、自身が加工する属性の値とした。クラシファイアの各値は、{1,2,3,#}から成る。但し、#はドントケアシンボルであり、新規クラシファイアの各値を決める際に一定確率で生まれるとした。動作部の加工する属性の値が#を取った際には、段取り替えを行わないように定めた。

### iii) クラシファイアの更新

クラシファイアは以下のルールに従って、更新される。

1. 一定ステップ連続で製品を得られない時、強度が減少する
2. 製品が消費者に購入されなかった時、その製品の加工に関わったクラシファイア群の強度が減少する
3. 製品が消費者に購入された時、その製品の加工に関わったクラシファイア群の強度が増加する
4. 消費者が製品を購入できなかった時、要求する属性を設計・製造するようなクラシファイアを生成し、加工機に与える。新規クラシファイアの強度は、最大強度のクラシファイアと同じとする。また、最小強度のクラシファイアの削除を行う。

## 4. 計算機実験

### 4.1 設定

表 1 及び表 2 のような設定を用いて計算機実験を行う。消費者の各値への支払い意思額は高い順に 15,25,35 と定めた。

表 1 生産フロア・市場に関するパラメータ

加工時間	段取り替え時間	加工機数	購入意思決定間隔	製品価格	素材費	消費者数
10分	10分	15	60分	100	60	30

表 2 学習に関するパラメータ

素材未取得の判定期間	素材未取得の罰	売上生産の報酬	売残生産の罰	ドントケアの生成率	クラシファイアの数
5秒	1	10	100	0.1	100

### 4.2 受注生産モデルとの比較実験

生産フロアと人工市場とを同時に扱う提案手法のモデル及び消費者がクラシファイアを生成する提案手法の有効性を検討する比較対象として、消費者の要求に完全に従う受注生産モデルの計算機実験を行う。提案手法及び受注生産モデルは、以下のように加工機の製品要求と加工要求のみが異なる。

#### i) 提案手法における製品要求と加工要求

提案手法では、加工機がそれぞれの持つクラシファイアシステムにおいて発火しているクラシファイアに従って行動する。即ち、クラシファイアに沿わない製品は受け取らず、受け取った製品の加工種類はクラシファイアに従って決定する。

#### ii) 受注生産モデルにおける製品要求と加工要求

受注生産モデルでは、消費者から製品の受注を受けたとの前提で、加工要求が事前に定まっている。加工機は特別な製品要求を持たず、前工程が終了した全ての製品を受け取り、注文に従った加工を行う。

提案手法及び受注生産モデルについて、5回づつ計算機実験を行い、100時間までの1時間あたりの製造数・売残数・生産者利益・消費者余剰の平均を求めたところ、図 3・図 4 のようになった。外部性へのパラメータ  $\alpha$  は市場の複雑さを取り入れる為に 0,1,2,3 のいずれかを均等な確率でとるように定めた。但し、生産者利益・消費者余剰は次のように算出した。

- ・生産者利益 = 売上数・製品価格 - 製造数・素材費
- ・消費者余剰 = 支払い意思額 - 製品価格

図 3・図 4 から、提案手法は学習速度が速く、時間が経過した後も探索を行ない続ける手法であると考えられる。表 3 は図 3・4 の各値を示したものである。受注生産モデルと比べて、売残数は 0.4 個増えてしまった、製造数が 2 個程増えた為に、結果として、生産者余剰・消費者余剰共に、提案手法が受注生産モデルを上回った。

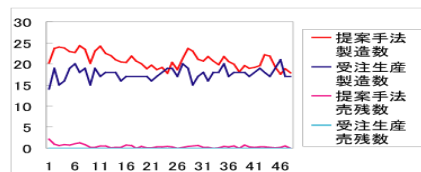


図 3 各手法における製造数・売残数の遷移

表 3 提案手法と受注生産における各指標値

	製造数 (個)	売残数 (個)	消費者総余剰	生産者利益
提案手法	19.93	0.40	377.9	757.3
受注生産	17.78	0.01	259.9	710.0

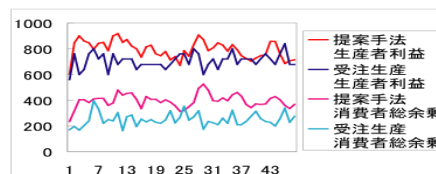


図 4 各手法における消費者総余剰・生産者利益の遷移

図 5 は学習過程の例としてある試行の 2 時間目の、図 6 は学習が一通り完了した例としてある試行の 100 時間目のガントチャートを示した。ガントチャートとは横軸に時間・縦軸に生産設備をとって、生産工程の進捗状況を示すグラフである。

図 5 に比べ図 6 では、茶色で示された段取り替えの回数が少なく、役割分担が創発されたと考えられる。図 7 は受注生産のガントチャートである。頻繁に段取り替えが行われている様子が分かる。加工機が消費者の要求にのみ従った加工を行うと、生産効率が低くなると考えられる。図 6 と図 7 より、提案手法は受注生産に比べて、加工機が何もしていない時間が多い事が分かる。それに関わらず、表 4 より、製造数が多いことが分かる、即ち、直ぐに加工を行わないことが、段取り替えを避けることに繋がり、生産の効率性を高めうる事が示唆される。

消費者の要求を考慮せずに、生産効率のみを高める事を考える。加工機は 1 時間の間に 6 回加工を行う事が可能であり、加工機は各工程に 5 台ずつ存在する為、1 時間に 30 個の製品を加工する事ができる。しかしながら、30 個の可能を行うには、段取り替えを行わない事が前提となっているので、5 種類しか製品を製造できない。本実験設定においては、5 種類の製品で全ての消費者の要求を満たすことは出来ない。

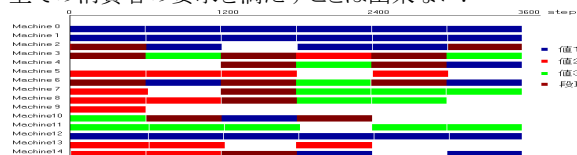


図 5 提案手法における学習初期のガントチャート例

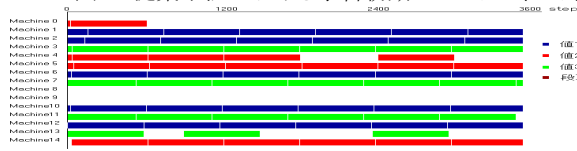


図 6 提案手法における学習後期のガントチャート例

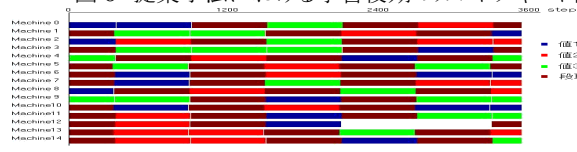


図 7 受注生産におけるガントチャート例

### 4.3 ネットワーク外部性を導入した比較実験

商品価値が変化する市場への、提案手法の適応性を検証するために、ネットワーク外部性パラメータ  $\alpha$  を 0,1,2,3 とそれぞれに固定して計算機実験を行う。各設定において 5 回ずつ計算機実験を行い、100 時間までの 1 時間当たりの製造数・売残数・消費者総余剰・生産者利益・外部性による支払意思額・製品本体への支払い意思額の平均を求めたところ、図 8・図 9 のようになった。

図 8 より、 $\alpha$  を増加させると製造数はほとんど変化せず、売残数が減少した事が分かる。売残数が減少したのは、ネットワーク外部性によって、消費者の支払意思額が増加して、購入数が増加したからだと考えられる。図 9 より、 $\alpha$  を増加させると消費者利益・生産者利益共に増加した事が分かる。消費者利益が増加したのは、製品を購入できた消費者数が増えたからであり、生産者利益が増加したのは、売上数が増加し、売残数が減少したからだと考えられる。

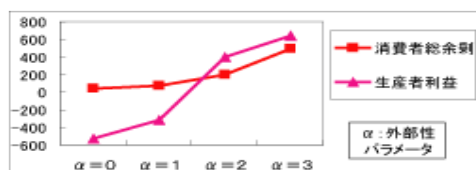


図 8  $\alpha$  と製造数及び売残数との関係

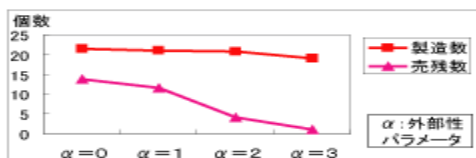


図 9  $\alpha$  と消費者総余剰及び生産者利益の関係

図 10 は製品購入者の支払意思額の製品本体・外部性への支払意思額・互換性を持つ製品の利用者数を見たグラフである。 $\alpha=1$  では外部性の影響は相対的に弱いのが、 $\alpha=2$  となると、外部性の影響が強くなり、市場の振る舞いに影響を与えたと考えられる。また、 $\alpha=2$  から  $\alpha=3$  において、互換性を持つ製品の利用者数が減少している。これは利用者がある製品に集中した状態よりも、複数種類の製品が販売されて、それぞれの外部性による支払い意思額が高まった状態の方がクラシファイアシステムが安定するからだと考えられる。

図 11 は外部性に関わる製品の値を示したグラフである。 $\alpha=0$  の際は、ほぼ均等に分散しているが、 $\alpha=1,2,3$  では値 2 に集中している事が分かる。 $\alpha=2$  から  $\alpha=3$  になった際に値 2 が減少したのは、 $\alpha=3$  において値 2 の比率が減少したのは、値 2 を取らない製品においても、外部性の影響が強く、支払意思額が価格を超えやすくなっているからと考えられる。

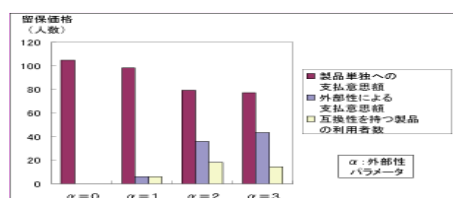


図 10  $\alpha$  と外部性及び製品本体への支払意思額との関係

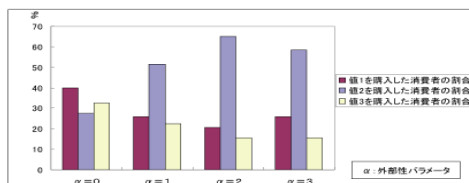


図 11  $\alpha$  と外部性に関わる製品の値との関係

### 5. 結論

本研究は、生産フロアと人工市場を同時に取り扱うモデルを提案し、価値を評価できるシステムを作成した。次に、生産フロアの加工機に学習器を持たせ、消費者の要求をルールとして取り入れることで、生産フロアと消費者がインタラクションを行う手法を提案した。受注生産モデルと提案手法の比較実験を行い、提案手法は段取り替え回数を減少させ、かつ消費者の求める製品を効率よく生産する可能性を確認した。結果として、消費者総余剰及び生産者利益の増加を確認した。また、ネットワーク外部性を変化させ、予測が困難な市場への適応能力を確認した。

今後の展望として、「クラシファイアの報酬体系を調整することで学習能力を高める事」「消費者の購入意思決定タイミングの頻度を上げてインタラクティブ性を高めた実験を行う事」等が考えられる。

### 参考文献

- [手島 93] 手島直明：実践価値工学—顧客満足度を高める技術—，日課議連出版社，1993
- [上田 07] 上田完次．価値共創型生産とサービスイノベーション．第 51 回システム制御情報学会研究発表講演会招待講演．2007
- [竹中 08] 竹中毅，内藤耕，上田完次：価値共創に向けたサービス研究戦略，情報処理学会論文誌，49(4)，2008
- [中村 06] 中村久人：日本発 MOT 革新としての「セル生産方式」の創成に関する一考察，『経営力創成研究』Vol. 2, No. 1, 2006
- [石垣 03] 石垣綾，平川保博：見込リスクを考慮した多段階生産システムにおける需要適応型かんぱん制御方式の設計．日本経営学会誌．Vol. 54, No. 2, pp. 113-123, 2003
- [山田 02] 山田周，鈴木敦司，大淵恒雄：POS 製造・販売を中心とする流通情報システム事業の SCM 構築，東芝レビュー 57(2)，2002
- [岡田 95] 岡田定：流通変革における情報システムの活用，経営情報研究 Vol. 3, No. 1, 1995
- [Shy 03] Oz Shy, 吉田 和男：ネットワーク産業の経済学，シュプリンガーフェアラーク東京，2003
- [和泉 00] 和泉潔，植田一博：人工市場入門，人工知能学会誌，Vol. 15, No. 6, pp. 941-950, 2000
- [藤井 04] 藤井信忠：生産システムの自己組織的構成法に関する研究，東京大学博士論文，2004
- [Holland 92] J.H. Holland : Introduction-process of interface, learning and discovery , The MIT Press, 1992