

特集 「サービスイノベーションとAI その2」

# 人工物の価値とサービス研究

## Value of Artifacts and Service Study

上田 完次  
Kanji Ueda

東京大学人工物工学研究センター  
Research into Artifacts, Center for Engineering  
ueda@race.u-tokyo.ac.jp, <http://www.race.u-tokyo.ac.jp/~uedalab/>

浅間 一  
Hajime Asama

(同上)  
asama@race.u-tokyo.ac.jp, <http://www.race.u-tokyo.ac.jp/~asama/>

竹中 毅  
Takeshi Takenaka

(同上)  
takenaka@race.u-tokyo.ac.jp, <http://www.race.u-tokyo.ac.jp/~takenaka/>

**Keywords:** service, artifacts, value creation, lifestyle, service media.

### 1. はじめに

現在、日本経済の約7割を占めるサービス産業の生産性向上は、我が国の最重要課題の一つであり、大学や研究所をはじめとする学術界においても、その課題解決に向けた取組みが近年、活発化している。特に2006年7月に財政・経済一体改革会議において策定された「経済成長戦略」を受けて、この問題に対する産学官の連携は急速に進み、2007年5月には社会経済生産性本部にサービス生産性協議会[生産性]が発足するとともに、同年、経済産業省では「サービス産業生産性向上支援調査事業[経産省1]」が開始され、著者らも少なからずそれらの活動に関与してきた。このような協議会、委員会に共通する最大の問題意識は、サービス産業の生産性向上のために科学技術が担う役割が極めて重要であるということであり、これを受けて、学術界は、今、まさにサービスを科学的対象とするための研究、教育体制の確立に向けた途上にあるといえる。

そのような中、サービスを研究するうえで、日本の製造業の発展に寄与してきた工学の役割の重要性が再認識され、近年、「サービス工学」という言葉が、広く知られるようになってきた。例えば、現在、注目されるサービス産業の生産性向上に向けた有力なアプローチの一つは、これまで製造業において培われてきた製造管理のノウハウを用いて、サービス業務の効率化を図り、生産性を向上させようというものである[経産省2]。このような取組みは極めて重要であるが、サービス工学の研究対象はこれに限定されるものではない。なぜならば、「サービス」を科学的対象とするためには、サービスそのものの問題を対象とするだけでなく、サービス提供者と消費者、サービス自体の複雑な相互作用によってサービス

の「価値」がどのように生まれるかという社会全体のシステムに着目することが不可欠であるからである。

このような問題に対し、著者らが所属する東京大学人工物工学研究センターでは、人間、人工物、社会の新たな関係を探究するため、ライフサイクル工学、サービス工学、デジタル価値工学、共創工学を核とした取組みを行ってきた。例えば、センターの1部門であるサービス工学研究部門は、科学的対象としてのサービスの重要性を世界に先駆けて認識し、2002年に設立された。そこでは、特にサービスと人間との関係に着目し、人が満足するサービスの在り方に関する研究を行っている。また、共創工学研究部門では、さまざまな行動主体の相互作用を通じた人工物の共創的な価値創出を目指した研究を行っている。さらに、デジタル価値工学研究部門は脱物質的な視点から人工物の価値に関する研究を行っている。

このような背景から、本稿ではサービスが人間にとってもつ価値や、社会的価値について議論するとともに、いくつかの研究トピックを紹介したい。続く2章では、サービスを含む人工物の価値の問題を議論するとともに、これまでに著者らが提案してきた人工物の価値創成モデルについて述べる。3章では、ライフスタイルに着目したサービスの社会的普及に関する研究を紹介し、4章ではサービスを構成する人工物ネットワーク(サービスメディア)に関する研究トピックを紹介する。

### 2. 人工物の価値と価値創成モデル

#### 2.1 人工物の価値とサービス

そもそも製造物(製品)とサービスは、それを利用する人間にとって何らかの価値をもつという点において、どちらも同じ人工物と捉えられる。例えば、吉川[吉川08]は一般設計学的視点から、意図した機能の担体とし

でのサービスと製品の不可分性を指摘するとともに、サービス研究においては、特に、サービスの機能が人間にもたらす価値を解明する機能学を進展させることが重要であることを指摘している。これは、人工物の機能と人間が認識する価値（満足）の関係を制御可能なものにすることの重要性を指摘するものであるが、この関係は必ずしも固定的ではなく、また、設計時に事前によく知ることが本質的に難しい問題である。そのため、このような機能学を進展させるためには、人工物と人間の相互作用を通して、価値が発現、発展していくメカニズムに着目することが不可欠となる。

共創工学は、このような問題に対し、人工物・人・社会の三つのシステムの相互作用から人工物の価値を共創するための研究方法論を探究してきた。図1は、それぞれのシステムに含まれる問題やサブシステムと、そこで議論される価値を概念的に示したものである。

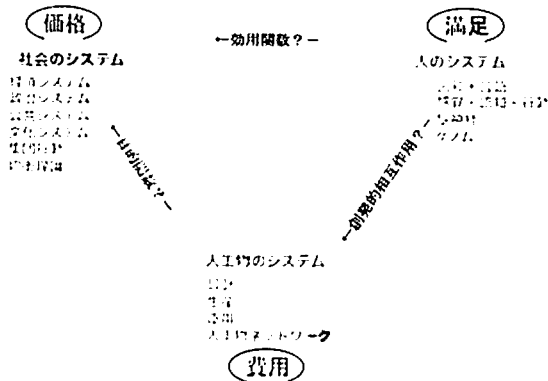


図1 人工物・人・社会の相互作用による価値の共創

例えば、伝統的工学において、人工物の価値を論じる場合、最大の関心は費用（コスト）の最小化問題であるといえる。すなわち、そこでの課題は、機能性に優れた人工物をより低コストで生産することを意味している。しかしながら、問題は高い機能をもつ人工物が必ずしも人間や社会にとって価値をもつとは限らないということである。一般的に社会における人工物の価値は「価格（Price）」として現れるが、新古典派経済学 [田中 06] においては、人間の満足と価格の関係を効用関数として記述する方法論を確立してきた。実際の市場がこのような効用関数を反映していることを受け止めれば、当然のことながら、人工物の価値を考えるうえにおいて、人工物のシステムを孤立的に考えることは許されない。つまり、人間にとって価値をもつ人工物を設計するためには、人工物の機能と人間の価値（満足）の関係だけではなく、社会（経済）を含めた、この三つのシステムを統合的に捉えることが極めて重要である。

さらに、この問題は、サービスを科学的対象とした場合には本質的な問題となる。なぜならば、これまで主に経営学の分野において指摘されてきたサービスの無形性や消失性、同時性といった特徴 [新井 06, フィスク 05] は、

サービスの設計行為が独立的なものではなく、サービスの提供者と消費者間のインタラクションを通して現れることを意味しているからである。したがって、価値のあるサービスを設計するためには、プロバイダやレシーバの相互作用を通して、どのようにサービスの価値が発現するかというメカニズムを明らかにすることが極めて重要になる。

## 2.2 行動主体の意思決定に着目した価値創成モデルの提案

それでは、人や社会にとって価値をもつ人工物をどのように設計できるのだろうか？

共創工学では、人工物の設計の問題を創発的シンセシス [上田 01] の立場から捉え、単独の行動主体のみでは得られない有効解を、行動主体間の相互作用の結果、システム全体として創出する方法論を探究してきた。共創的意思決定とは「多様な行動主体間の相互作用の結果、システム全体として有効解を創出する集合的意思の形成」である [上田 05]。サービスの設計の問題をこのような意思決定者間の共創の問題と捉えると、システムが提供する価値はプロバイダとレシーバ、環境との関係から、図2に示すように三つのモデルに分類できる [竹中 08, Ueda 07]。

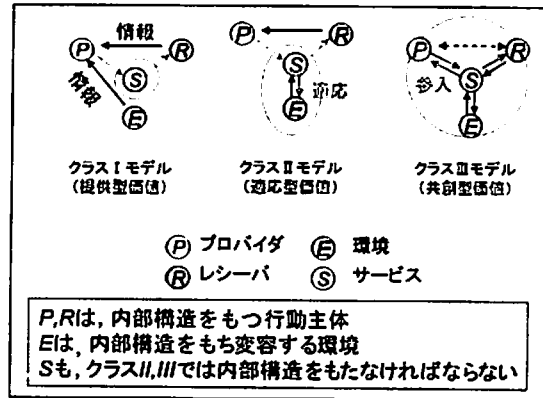


図2 価値創成のクラスとモデル

図2の濃い矢印は、環境やレシーバの情報の流れを示している。また破線の矢印はサービスのプロセスがプロバイダからレシーバへと一方向的に提供されることを示し、クラスII、クラスIIIにおける薄い双方向の矢印はサービス自体がそれぞれの要素と相互作用しなければならないことを示している。さらに丸い輪の領域はサービスが発現する場を示している。すなわちサービスの価値が発現するために必要な要素（プロバイダ、レシーバ、環境）とサービス自体の関係から、提供型価値、適応型価値、共創型価値の三つに分類される。以下にそれらの特徴をまとめる。

■クラスⅠ：価値創成モデル (提供型価値)

製品やサービスの主体(プロバイダ)と対象(レシーバ)の価値が独立に明示化でき、かつ、環境が事前に確定できる。モデルは閉じたシステムとして完全に記述が可能。最適解探索が課題。

■クラスⅡ：価値創成モデル (適応型価値)

製品やサービスの主体と対象の価値は明示化できるが、環境が変動し、予測困難である。モデルは環境に開いたシステム。適応的戦略が課題。

■クラスⅢ：価値創成モデル (共創型価値)

製品やサービスの主体の価値と対象の価値が独立に確定できない。両者が相互作用し、分離できない。主体が参入するシステム。共創価値が課題。

例えば、クラスⅠにおけるサービスは、ファーストフードのようなサービスと捉えることができる。そこでは、プロバイダはマジョリティ(多数者)の価値を事前に知っており、サービスの環境も事前に決定されている。そこでは、プロバイダはあらかじめ決められたメニューをいつも同じ手続きで提供することができる。したがって、提供可能なサービスの種類やサービスプロセスについての最適解探索が事前に可能である。一方、クラスⅡにおけるサービスは、個々のレシーバの価値は事前に知り得るものの、その種類が非常に多い場合や、レシーバの価値が社会的状況によって変動する場合に、結果としてサービスを提供すべき環境が変動するため、それに適応するサービスでなければならない。例えば、インターネット上の図書推薦サービスのような個別サービスがこれに当たるだろう。そこでは、レシーバの多様性と社会的状況の変動に柔軟に適応するシステムが必要となる。最後に、クラスⅢのサービスについては、例えばウィキペディアのような共同データベースはこれに当たる。この場合、プロバイダとレシーバは相互に依存しており、価値創成の視点から両者を分離できない。したがって、サービスの目的自体もプロバイダとレシーバの相互作用を通して共創されるため、設計者は本質的にサービスが発現する場に参入することとなる。さらに、デファクトスタンダードの形成も典型的なクラスⅢの問題として捉えられる。そこでは、レシーバ間の複雑な相互作用によって、あるサービスが選択的に利用されるような現象が起き、利用者が増えた結果として、そのサービスの価値(効用)が増幅される。この現象は、ネットワーク外部性[Katz 92]と呼ばれ、共創型価値を考えるうえで重要な要因である。

続く3章では、上述の価値創成モデルにおけるクラスⅡの問題に着目した消費者の多様なライフスタイルに関する調査研究と、その調査結果をもとに構築した消費者エージェントモデルを用いて、クラスⅢに相当するサービスの社会的普及メカニズムの解明を目指した研究例を紹介する。さらに4章においては、クラスⅡの問題への

アプローチの一つとして、多様な利用者へ適応的にサービスを提供する人工物ネットワークの構築を目指したサービスメディアに関する一連の研究を紹介する。

3. ライフスタイルを考慮したサービスの社会的普及に関する研究

3.1 大規模なライフスタイル調査と消費者エージェントモデルの構築

現在、サービス研究において、消費者がもつ価値観やライフスタイルへの関心が高まっている[Chiang 06]。その背景には、ネットワーク化する社会において、消費者の価値観やサービスの社会的価値を予測することがますます困難になってきていることがあげられる。ところで、ここでいう「ライフスタイル」とは、日常行動や価値観、パーソナリティなど、さまざまな人間的要素の総和として捉えることができる。また、それぞれの要素は独立ではなく、各要素間には複雑な相関があることが推測される。したがって、行動主体としての消費者の意思決定過程をモデル化するためには、このような相互依存関係を考慮したモデル化が必要となる。

そこで、著者らは、これまでに携帯電話を使った大規模なアンケート調査によって、ライフスタイルの背景にある人間的要素の相互依存関係を明らかにするとともに、その調査結果を用いて多様な消費者のエージェントモデルを構築する研究を行ってきた[Takenaka 08]。2007年1月に約8000人を対象として行われたアンケート調査では、年齢などの基本属性に加え、日常行動や余暇行動、パーソナリティや社会的態度、情報機器への接触時間や態度に関する41問の質問を行った。図3は、そのうちの27の質問項目に関して、因子分析を行った結果を示す。そこでは、第1因子として「行動の計画性」、第2因子として「情報機器への依存性」が取り出された。例えば、計画性の高い人は、インターネットで遊びの情報を積極的に調べ、コンサートへ出かけたり、新しいこ

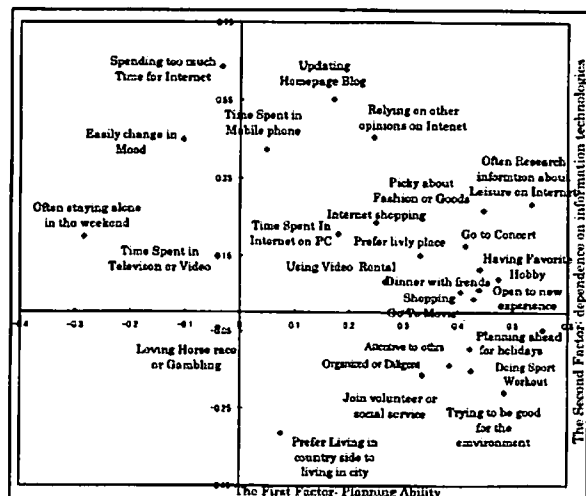


図3 ライフスタイル調査の分析例

とを経験したりすることが好きな傾向が示唆された。

このような分析はライフスタイルの理解を目的とした心理学的分析であるが、エージェントの意志決定をモデル化するうえで、何が重要なパラメータとなり得るかを特定することに利用される。さらに、個々人の各パラメータの数値をもとに、クラスタ分析などの手法を用いることによって、消費者を数個から数十個のエージェント群に分類することができる。著者らは、このような方法を用いることによって、個々人の多様性を無視することなく、より現実的で計算可能なエージェントモデルの構築を目指してきた。次節では、このライフスタイル調査結果を用いて構築したエージェントモデルを用いたサービスの社会的普及に関する研究を紹介したい。

### 3.2 ライフスタイルデータを用いたサービスの社会的普及に関するマルチエージェントシミュレーション

本節では、仮想的なサービス市場でのサービスの社会的普及をマルチエージェントシミュレーションによって検証した研究を紹介する [Ueda 08a, Ueda 08b].

#### サービス市場モデルの概要

本節で紹介するサービス市場モデルは、1人または2人のサービス提供者と  $N$  人の消費者から構成される。提供者がサービスを市場に提供し、消費者が自分の判断に基づいてそのサービスを利用するかどうかを決める。

#### サービス

ここでは、サービス  $S$  は三つの独立した機能によって実現されるものとする。

$$S = S(f_1, f_2, f_3), \quad f_1, f_2, f_3 = \{0, 1, 2, 3\}$$

$f_i (i=1, 2, 3)$  は各機能をどれだけ実現しているかという実現量を表す。サービスの価格は単位価格  $\Gamma(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3)$  を用いて以下の式で決まる。

$$P = S\Gamma^T = (f_1, f_2, f_3) \begin{pmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \gamma_3 \end{pmatrix} \quad (1)$$

#### 提供者

提供者は単位コスト  $T(\tau_1, \tau_2, \tau_3)$  を用いてサービスを提供し、市場からは以下の式に基づいて利得を得る。

$$\Pi = (P - ST^T) \times N \quad (2)$$

$N$  は  $S$  を利用する人数である。提供者は毎ステップ自分の利得を最大にすることを目的に市場に提供するサービスを定める。提供者は  $Q$  学習に基づく学習器をもつ。

#### 消費者

消費者  $C_n (n=1, 2, \dots, N)$  はサービスに対する要求量  $D_n(d_{n1}, d_{n2}, d_{n3})$  と、各機能が1単位増えることへの支払意志額  $V_n(v_{n1}, v_{n2}, v_{n3})$  をもち、そのサービスに対する留保価格  $RP_n$  を次のように定める。要求量の範囲は  $d_{n1}, d_{n2}, d_{n3} = \{0, 1, 2\}$  とした。

$$RP_n = D_n V_n = (d_{n1}, d_{n2}, d_{n3}) \begin{pmatrix} v_{n1} \\ v_{n2} \\ v_{n3} \end{pmatrix} \quad (3)$$

消費者はこの留保価格と要求量に基づいてあるサービスを利用するかどうかを決める。すなわち、そのサービスの各機能が要求量を上回り、かつ、留保価格と同じかそれよりも安いときにサービスを利用する。ここで、 $V_n(v_{n1}, v_{n2}, v_{n3})$  のうち、二つ目の機能への支払意志額  $v_{n2}$  に、ネットワーク外部性を考慮し、次のように定めた。すなわち、同じサービスを利用する消費者の数に比例して、 $v_{n2}$  の値が大きくなり、結果、そのサービスに対する留保価格が増大することとなる。

$$V_n(v_{n1}, v_{n2}, v_{n3}) = V_n(v_{n1}, a + bN, v_{n3}) \quad (4)$$

#### ライフスタイルデータに基づく消費者モデルの構築

3.1節で述べた一連のアンケート調査の回答をもとに消費者の要求量を以下のように決定した。本研究では特に携帯電話サービスを想定し、サービスの機能  $f_1, f_2, f_3$  を、アンケートの項目における

1. 携帯電話の通話・メール以外の利用時間
2. 携帯電話の通話・メールの利用時間
3. モノやファッションへのこだわりの強さ

と対応づけて、それぞれの回答の数値を消費者の要求量に割り当てた。約7000名の実データをもとに要求量を計算し、人口比率に従って、 $N=767$  のエージェントの要求量を図4のように分布させた。

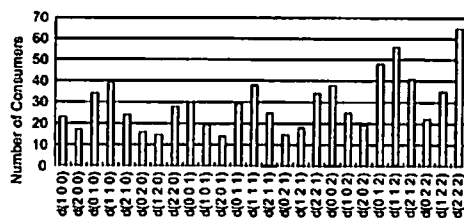


図4 実データに基づく消費者の要求量の分布

#### 計算機実験の設定

本稿では、サービス提供者が1人の場合 (Case 1) と2人の場合 (Case 2) を設定し、ネットワーク外部性の強度を操作することで (式 (4) の  $b$  の値を  $b=0, 0.005, 0.010$  とした)、市場でのサービス普及の違いを検証した。ここでの目的は、サービス提供者が1人で独占的な場合 (Case 1) とサービス提供者が複数存在し、競合する場合 (Case 2) において、ネットワーク外部性がサービスの社会的普及に与える影響を明らかにすることである。

#### 結果と考察

表1と図5はCase 1における結果を、表2と図6はCase 2における結果を示している。Case 1においては、ネットワーク外部性が働かない場合 ( $b=0$ )、消費者の大多数の要求量と合うサービス  $S(2, 2, 2)$  が提供されている (表1)。さらに、ネットワーク外部性が中程度に働く市場 ( $b=0.005$ ) においては、同じサービスが選択されるものの、ネットワーク外部性の影響によって留保価格が上昇し、より多くの消費者がそのサービスを利用しており、消費者余剰 (Consumer's Utility) と生産者

の利得 (Producer's Profit) がともに高くなっている (図5)。しかしながら、ネットワーク外部性が大きく働く市場 ( $b=0.01$ ) においては、結果的に消費者がもつ最大の要求量を上回るサービス  $S(2\ 3\ 3)$  が提供され、生産者の利得は増えるものの消費者余剰は  $b=0.005$  の場合と比べて低くなっている。

次に、Case 2におけるサービスの普及を見てみると、ネットワーク外部性の影響の大きさにかかわらず、一方は、消費者の大多数の要求量と合うサービス  $S(2\ 2\ 2)$  が提供され、もう一方は、それよりも機能量が低いサービスが提供されている。これは、2人の生産者 (Producer A, B) がうまく消費者の要求量に合ったサービスを提供する役割分担をしていることを示唆している。これにより、例えば、 $b=0$  の条件においても Case 1 のときと比べ、より多くの消費者が、自分の要求量に合ったサービスを利用できるようになっている。さらに、 $b=0.01$  の条件でも、Case 1 のときのように消費者の要求量を過度に超えるサービスは提供されておらず、結果、消費者余剰は高くなっている。ただし、ネットワーク外部性が高まることによって、生産者間の利得の差が大きくなる傾向も示されている。

表1 Case 1におけるサービスの普及

Network externality	Selected service	Number of users
$b=0$	$S(2\ 2\ 2)$	265
$b=0.005$	$S(2\ 2\ 2)$	397
$b=0.010$	$S(2\ 3\ 3)$	354

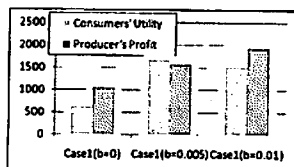


図5 提供者が1人の場合 (Case 1) における消費者余剰と生産者の利得

表2 Case 2におけるサービスの普及

Network externality	Producer A Selected service / Number of users	Producer B Selected service / Number of users
$b=0$	$S(2\ 1\ 2) / 165$	$S(2\ 2\ 2) / 180$
$b=0.005$	$S(1\ 2\ 2) / 199$	$S(2\ 2\ 2) / 236$
$b=0.010$	$S(1\ 1\ 2) / 235$	$S(2\ 2\ 2) / 357$

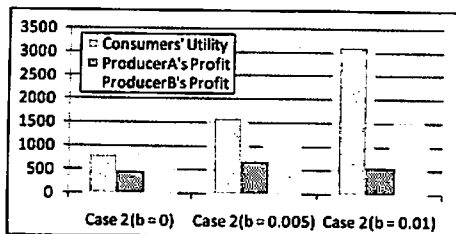


図6 提供者が2人の場合 (Case 2) における消費者余剰と生産者の利得

以上の実験結果は、現実社会における製品やサービスの普及やイノベーションにおいて観察される現象と多くの点で一致すると考えられる。すなわち、Case 1のように、あるサービスがユニークで、市場において独占的な場合、サービス利用者の増加によりネットワーク外部性の効果が高くなり、ある程度までは消費者余剰も高まるが、外部性が高くなりすぎると、提供する企業は過度に高機能なサービスを投入するようになり、結果的に価格が高くなることによって、消費者の利益が減少する結果となる。また、Case 2のように競合する提供者が存在する場合には、高機能なサービスと低機能なサービスの両者が存在することによって、より消費者の要求量にあったサービスが市場に提供されるが、ネットワーク外部性が高いサービスの場合、同じサービスを利用することによる消費者の効用が高まるために、結果的にある一つのサービスが大きく普及し、ほかのサービスは衰退することがある。このような現象はデファクトスタンダードの形成過程と類似する。現在、著者らは、消費者の要求量だけでなく、購買行動における計画性や限定合理性といった意思決定に関わる要素のモデル化を行っている。このような研究手法を用いて、今後、さらにサービスの社会的価値のメカニズムを明らかにしていきたい。

次章では、サービスに関するもう一つの研究例として、利用者に適応的にサービスを提供するサービスメディアに関する一連の研究を紹介したい。

#### 4. サービスメディアに関する研究

サービスプロバイダ (ヒト) がユーザ (ヒト) に対してサービスを提供するのが、サービスの基本であろう。しかし、サービスプロバイダの労働力不足や労働環境が不適であるために、すべてのサービスをヒトによって提供することが困難な場合がある。また、介護サービスにおいては、遠慮して依頼しにくい、尊厳が傷つけられる、セクハラが怖い、頼りにならないなど、ヒトであるために発生する問題があり、必ずしもすべてのサービスをヒトが提供するほうがよいとは限らない。このような観点からサービスプロバイダを代替する、あるいは支援する人工物や人工システムの開発が極めて重要となっている。

サービス工学では、脱物質化の観点から「人工物」を、サービスを提供するためのデバイスと捉える [富山 02]。サービス工学は、「ものを使うサイエンス」であり [浅間 08]、サービスシステムとしての人工物を設計するには、それがユーザによっていかに使用されるかを考慮する必要がある。ユーザは、一般的に環境内を移動する (空間的多様性を有する) 主観的存在である。このような性質をもつユーザに対し、サービスデザイナーが目標として与えたサービスを実時間で供給する媒体として、サービスメディアという概念が提案されている [浅間 05]。図7にその概念図を示す。

サービスデザイナーやサービスプロバイダがサービスを設計し、供給する際、ユーザのニーズの把握がオフラインで行われたり、そこにあいまいさや不明確さが内包されていたり、サービス供給に時間遅れが存在したりすることが問題となる。サービスメディアは、その解決策として提案されたものであり、まさに我々が生活する環境を、ロボティクスやセンサネットワーク技術などによって知能化することによって、人工環境がユーザの属性や行動、状態などを計測しながら、ユーザが求めているものを正確に把握し、あるいはユーザの満足度の評価、認識に基づき、それに適したサービスを実時間で生成したり、切り替えながら供給することを可能にする。サービスメディアは、分散化され環境に埋め込まれた人工物のネットワークと言い換えることもできる。

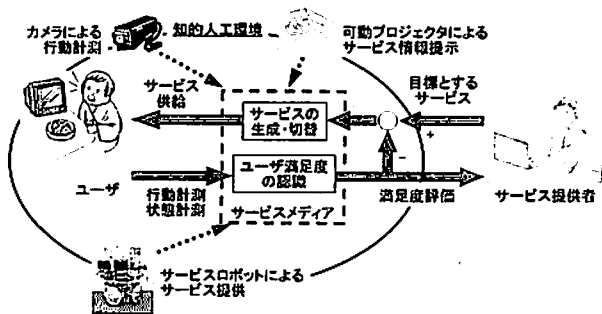


図7 サービスメディアの概念

これまでに我々が開発してきた、サービスメディアとしての環境知能化技術とそのサービス応用技術について紹介する。

4.1 知的データキャリアを用いたユーザ属性の認識とそれに基づく適応型サービスシステム

ユーザの属性を把握する最も単純で有効な方法は、ユーザに属性を記録した媒体を携帯させ、サービスシステムがそれを読み出すという手法であろう。これまでに開発してきた知的データキャリア (IDC: Intelligent Data Carrier) を用いたユーザ適応型可変環境システムでは [藤井 99], サービスシステム側にリーダを具備させ、それによってユーザが携帯する IDC に記録されたユーザ属性を読み出し、それに応じて、その動作をユーザに適応するように切り替えることができる。PC であれば、ユーザがその前に座っただけで、リーダが接続された PC が、ユーザの使用する言語や計算機使用環境などの情報を、ユーザが所持する IDC から読み取り、PC を、ユーザが普段使用しているのと同じ環境に適合させ動作させることが可能となる。

また、この考えを人に優しいエレベータに応用することも可能である。高齢者・障害者が、その情報を格納した IDC を携帯していれば、エレベータの前に立つだけで、エレベータにその情報を非接触で読み取って認識させ、



図8 案内ロボット

高齢者に対してはゆっくりと扉を開閉させたり、視覚障害者に対しては音声の案内を出力させるということが可能になる。図8は、訪問者に ID などを記録した IDC を携帯させることにより、前にいるヒトが案内すべき対象であるかどうか、どのような案内をすべきかを自律的に判断して動作できる案内ロボットの例である。

4.2 知的データキャリアを用いた被災者探索システム

震災などの災害時には、被災者をいち早く探索することが緊急のミッションとなる。しかし災害時には、探索領域が広範囲に及ぶ、被災者が瓦礫などに埋没する、外部とのコミュニケーションが困難である、通常の通信インフラが利用できなくなる、二次災害の危険性が存在する、など、レスキュー活動を妨げる多くの要因が存在する。我々は、レスキュー用 IDC によって瓦礫などの環境自体を知能化し、知能化環境によって被災者を探索するシステムを構築した [川端 07]。図9にレスキューコミュニケーター (R-Comm) と呼んでいる、レスキュー用 IDC の概観を示す。R-Comm は、小型のセンサノードということもできる。R-Comm やその子機を各建築物や各部屋に設置し、通常時にはセキュリティ、見守り、ホームサーバなどとして用いつつ、災害時には被災者探索用として機能させる。スピーカによる被災者への音声の呼びかけ、マイクロフォンによる被災者の音声の録音、揺れや電源供給の有無、地震警報などの受信・認識、アドホックネットワークの自動形成などの機能をもってお

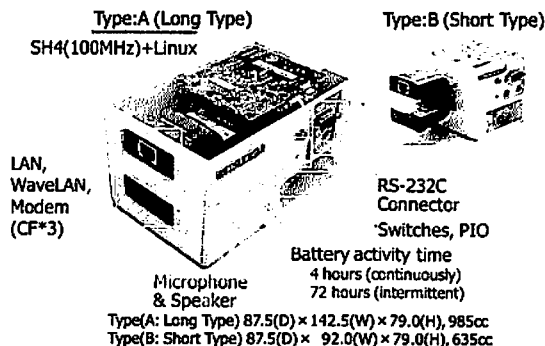


図9 レスキューコミュニケーター

り、災害時には、それを自律的に検出し、呼びかけに回答した被災者の音声を自動録音し、無線によって飛行ロボットへアップロードしたり、アドホックネットワークを経由して、災害本部まで伝送することが可能となる。

#### 4.3 カメラ画像処理によるヒトの行動計測とそれに基づく不審者判別・動線誘導

カメラや可動プロジェクタを環境に設置することによって環境を知能化し、それによってヒトの行動を計測したり、属性を判別したり、その結果に基づいてさまざまなサービスを実現することが可能である。

我々は、監視カメラなどの単眼カメラによって得られた画像の処理により、撮影された人物の身長や移動軌跡や移動速度などの行動を計測するシステムを構築した[森下 06]。背景差分による移動物体の抽出をベースとしているが、On-line M-estimation による適応的背景推定、局所相関値に基づく影領域判定などによって、ロバストな人物抽出・移動軌跡計測を可能とした[上端 07]。また、EM アルゴリズムを用いた混合分布推定による複数人物の位置推定[Hirose 08]や、隠れマルコフモデルに基づく移動目的地予測などの手法[西村 07]の開発も行った。また、UHF帯 RFID と動画画像処理を組み合わせることによって、動画画像中の人物同定(属性情報の取得)と位置計測を同時に行う手法[Fukuda 08]を開発し、数理統計的に人の位置や動きを高い信頼性で推定することを可能とした。

これらの手法によって計測したヒトの行動データから、そのヒトの不審者を判別するシステムを開発した[Asama 06]。これは、案内サービスを目的として、外来者と部内者を判別する手法として開発したが、不審者の判定にも応用可能である。部内者は目的地を知っているために軌跡が直線的で速度が速いのに対し、外来者や不審者はうろろする、すなわち軌跡の角度変化が大きく、速度が相対的に遅くなる。このことを利用して、移動速度と移動軌跡の角度変化に基づく動作指標を設計し、ベイズ推定によって外来者(不審者)の判定を行った。その結果、90%以上の信頼性で判定が可能であることが明らかになった。

また、計測した行動データや属性データに基づき、動線誘導を行うシステムを開発した[Narumi 08]。誘導は、可動プロジェクタを用いて、床や壁に投射した矢印映像を動的に移動させることによって実現した。移動する映像は周辺視によって気づきやすいというヒトの認知特性を利用しているが、計測データから得られたヒトの属性や位置に応じて、投射する矢印の位置や速度を認知されやすいように調整して投射することとした。サントリーミュージアム(大阪天保山)で実験を行った結果、96%以上の来場者を誘導することに成功し、またアンケート結果でも、見やすいという回答が多く寄せられた。

本稿では、環境知能化によってさまざまな実時間のサ

ービス提供を可能にしたサービスメディアの一例を示したが、この分野の技術開発は極めて活発である。今後、環境知能化によるヒトの行動・属性計測、ヒトのニーズや価値観の推定、適応的な実時間サービス提供などの技術も、急速に発展するであろうと考えられる。

## 5. ま と め

本稿では、サービスの価値に関する問題を人工物の価値創成の視点から議論するとともに、ライフスタイルに着目したサービスの社会的普及に関する研究とサービスメディアに関するいくつかの研究トピックを紹介した。冒頭で述べたように、サービス産業の生産性向上という社会的要請に対し、学术界は、今後も、さまざまな角度から研究を進めていかなければならない。著者らは、サービスの機能性の向上や効率化だけでなく、サービスが個人や社会に対してもつ価値に着目することによって、人工工学の立場から人間、人工物、社会の新たな関係を探究し、実世界における価値創成を目指していきたい。

## ◇ 参 考 文 献 ◇

- [新井 06] 新井民夫: 製造物価値創出のためのサービス工学, 術の動向, Vol. 11, 12, No. 129, pp. 68-73 (2006)
- [浅間 05] 浅間 一: サービス工学とシステム・インテグレーション, 計測と制御, Vol. 44, No. 4, pp. 278-283 (2005)
- [Asama 06] Asama, H., Morimoto, A., Kawabata, K. and Hada, Y.: A human behavior discrimination method based on motion trajectory measurement for indoor guiding services, *Proc. 9th Conference on Intelligent Autonomous Systems 9 (IAS-9)*, pp. 891-900 (2006)
- [浅間 08] 浅間 一: サービス工学, 精密工学会誌, Vol. 45, No. 1 (2009) (掲載予定)
- [Chiang 06] Chiang, T., et al.: Friends night out — A working prototype of a blended lifestyle service enabled through IMS, *Bell Labs Technical Journal*, Vol. 10 No. 4, pp. 17-23 (2006)
- [フィスク 05] フィスクら 著, 小川礼輔 監訳: サービスマーケティング入門, 法政大学出版会 (2005)
- [Fukuda 08] Fukuda, I., Morishita, S., Asama, H.: Personal identification in dynamic images using UHF band RFID system for service provision, *Proc. 2008 IEEE Conf. on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI 08)*, pp. 492-497 (2008)
- [藤井 99] 藤井輝夫, 浅間 一, 倉林大輔, 嘉悦早人, 遠藤 勲: 知的データキャリアによる群ロボットの機能創発, 日本ロボット学会誌, Vol. 17, No. 6, pp. 848-854 (1999)
- [Hirose 08] Hirose, T., Morishita, S. and Asama, H.: Foot position estimations for moving objects using a mixture model, *Proc. 2008 IEEE Conf. on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI 08)*, pp. 344-349 (Aug. 2008)
- [Katz 92] Katz, M. L. and Shapiro, C.: Network effects, Software provision, and Standardization, *J. Industrial Economics*, Vol. 40, No. 1, pp. 85-103 (1992)
- [川端 07] 川端邦明, 羽田靖史, 嘉悦早人, 浅間 一: 被災者探索のための知的データキャリアの設計・開発, 設計工学, pp. 589-594 (Oct. 2007)
- [経産省 1] 経済産業省サービス産業生産性向上支援調査事業, <http://www.meti.go.jp/press/20070910004/20070910004.html>
- [経産省 2] 経済産業省サービス産業の生産性向上に資する製造業のノウハウに関する調査研究報告書, <http://www.meti.go.jp/press/20070910004/20070910004.html>

- go.jp/press/20070712002/03\_report.pdf/  
 [森下 06] 森下壮一郎, 浅間 一: 固定カメラ画像における人物領域の重心からの足元位置同定に関する研究, 第7回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会概要集, pp. 1380-1381 (2006)
- [Narumi 08] Narumi, T., Hada, Y., Asama, H. and Tsuji, K.: Pedestrian route guidance system using moving projection based on personal feature extraction, *Proc. 2008 IEEE Conf. on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI 08)*, pp. 94-98 (2008)
- [西村 07] 西村彬宏, 森下壮一郎, 浅間 一: 隠れマルコフモデルによる歩行パターンからの目的地推定—推定結果評価手法の検討—, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2007, Vol. 7, No. 2, pp. 2P1-C10(1)-2P1-C10(3), 秋田 (May 2007)
- [生産性] サービス産業生産性協議会, <http://www.service-js.jp/cms/index.php>
- [吉川 08] 吉川弘之: サービス工学序説, シンセシオロジー, Vol. 1, No.2, pp. 111-122 (2008)
- [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, Vol. 49, No. 4, pp. 1539-1548 (2008)
- [Takenaka 08] Takenaka, T. and Ueda, K.: An analysis of service studies toward sustainable value creation, *Int. J. Sustainable Manufacturing*, Vol. 1, No. 1, pp. 168-179 (2008)
- [田中 06] 田中敏弘: アメリカ新古典派経済学の成立—J.B. クラーク研究, 名古屋大学出版会 (2006)
- [富山 02] 富山哲男: サービス工学の展開, 第6回人工物工学国内シンポジウム論文集, pp. 45-58 (2002)
- [上田 01] 上田完次ほか: 創発的シンセシスの方法論, 未来開拓プロジェクト成果報告書 (2001)
- [上田 05] 上田完次: 共創的意思決定とシステムインテグレーション, 計測と制御, Vol. 44, No. 1, pp. 64-67 (2005)
- [Ueda 07] Ueda, K. and Takenaka, T.: Classification of service model and value creation, *9th IEEE Int. Conference on E-Commerce Technology*, pp. 497-498 (2007)
- [Ueda 08a] Ueda, K., Takenaka, T. and Fujita, K.: Toward value co-creation in manufacturing and servicing, *CIRP J. Manufacturing Science and Technology*, Vol. 1, No. 1, pp. 53-58 (2008)
- [Ueda 08b] Ueda, K., Kito, T. and Takenaka, T.: Modelling of value creation based on emergent synthesis, *CIRP Annals*, Vol. 57, No.1, pp. 473-476 (2008)
- [上端 07] 上端純平, 森下壮一郎, 浅間 一: 動画像における移動物体抽出のための相関分析による影領域判定手法とその評価に関する研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2007, Vol. 7, No.2, pp. 2P1-C09(1)-2P1-C09(4), 秋田 (May 2007)

2008年9月11日 受理

---

 著者紹介
 

---

## 上田 完次



1972年大阪大学大学院精密工学専攻修士課程修了。同年神戸大学工学部助手。1980年金沢大学工学部助教授。1988年同教授を経て、1990年神戸大学工学部教授。2002年6月より東京大学人工物工学研究センター教授。創発的シンセシス、共創工学、人工物工学、生物指向型生産システム、人工生命の工学的展開などの研究に従事。工学博士。精密工学会論文賞、計測自動制御学会論文賞など受賞。日本機械学会フェロー、精密工学会、計測自動制御学会、日本ロボット学会、CIRPなどの各会員。

## 浅間 一 (正会員)



1984年3月東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。1986年9月理化学研究所化学工学研究室研究員補。同研究所研究員。副主任研究員を経て、2002年11月東京大学人工物工学研究センター教授。自律分散型ロボットシステム、環境知能化、サービス工学、移動知などの研究に従事。1995年日本機械学会ロボメック賞、2001年日本機械学会ロボメカ部門学術業績賞等受賞。2005年より科研費特定領域「移動知」の領域代表。2007年よりIEEE Robotics and Automation Society AdCom member, 2007年日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門部門長。日本機械学会フェロー、工学博士(東京大学)。

## 竹中 毅



1996年神戸大学文学部哲学科(心理学)卒業。1998年同大学院文学研究科社会学専攻修了。2002年同大学院文化学研究科社会文化専攻を修了。博士(学術)。同年より東京大学人工物工学研究センターにおいて研究員。助手を経て、2007年より同センター特任准教授。専門は認知心理学、共創工学、工学と心理学の融合によるサービスの創発的理解を目指した研究に従事。日本心理学会、計測自動制御学会などの各会員。