



## ユビキタス・サービスに関する横断科学技術的考察

山本 修一郎<sup>\*1</sup>・神戸 雅一<sup>\*2</sup>・斎藤 忍<sup>\*1</sup>

## Transdisciplinary Considerations on Ubiquitous Services

Shuichiro YAMAMOTO<sup>\*1</sup>, Masakazu KANBE<sup>\*2</sup>, and Shinobu SAITO<sup>\*1</sup>

**Abstract**— The ubiquitous services are paid to attention as social infrastructure services in which the range of the applications reaches the entire society. The acceptability as a social system is required in such social infrastructure services. In this paper, both an integrated knowledge structure and the function creation process are clarified by classifying the Koto-Tukuri in the ubiquitous services using electronic tags.

**Keywords**— Koto-Tsukuri, electronic tag, ubiquitous service, knowledge integration

## 1. はじめに

自然科学ではものごとの原因と結果の合理的な関係を分析する。自然科学の基本的な考え方はシステムを構成要素に分解して原因と結果との因果関係を明らかにしていくことである。

これに対して、社会科学では目的や動機と行為の意味的な関係を分析する。社会科学の基本的な考え方はシステム全体の場を観察することにより社会関係を把握することである。

ユビキタス・サービスが社会に浸透していくためには、「社会システム」としての要件をユビキタス・サービスも満足する必要がある。したがって「自然科学的システム思考」と「社会科学的システム思考」をうまく調和させていくことが、社会に役立つユビキタス・サービスを創造するために必要となる。

本稿では、電子タグ (RFID, Radio Frequency Identification) を用いたユビキタス・サービスを事例として考える。電子タグでは IC チップの識別番号を無線通信で読み取るによりモノを自動的に認識することができる

るので、電子タグを無線 IC タグと呼ぶこともある。モノに電子タグを付与することにより、多様なサービスを実現できると期待されている。

以下では、まずどのようなコトづくりの可能性があるのかを示すとともに、これらのコトづくりにおける横断型システム思考のプロセスと、そこで必要となる知の統合の取り組みについて述べる。

## 2. ユビキタス・サービスのコトづくり

横断型基幹科学技術研究団体連合によるコトづくり長野宣言では、「コトづくり」が次のように定義されている [1]。

「コトづくり」とは、ものの形だけではなくその「機能」およびその機能を「創造するプロセス」を重視し体系化していくことである。そのためには、必然的に細分化されていく個別分野の「知の相互関係を探求」すること、個々の知見の中から普遍的な原理を抽出して「汎用的な知へ拡大する仕組み」を構築することが必要である。そしてその結果として、社会的課題の解決に役立つ真の「知の統合」を実現することである。

この定義に従って電子タグを用いたユビキタスサービスにおけるコトづくりについて考えよう。まずモノの機能を電子タグによって拡張することができる (①)。一方、モノに電子タグを付与することでモノに関するコトとしての人間活動を自動的に観測できる (②)。今度はまさにそのために個人の行動情報が追跡管理される可能性が生じるので、このような機能を法制度に適合させるためのプロセスが必要となる (③)。また人間活動を観測す

\*1 株式会社 NTT データ 技術開発本部 〒135-8671 東京都江東区豊洲 3-3-9 豊洲センタービルアネックス 10 階

\*2 株式会社 NTT データ 技術開発本部 システム科学研究所 〒135-8671 東京都江東区豊洲 3-3-9 豊洲センタービルアネックス

\*1 Research and Development Headquarters, NTT DATA CORPORATION, Toyosu Center Bldg. Annex, 3-9, Toyosu 3-chome, Koto-ku, Tokyo 135-8671, Japan

\*2 Research Institute for System Science, Research and Development Headquarters, NTT DATA CORPORATION, Toyosu Center Bldg. Annex, 3-9, Toyosu 3-chome, Koto-Ku, Tokyo 135-8671, Japan

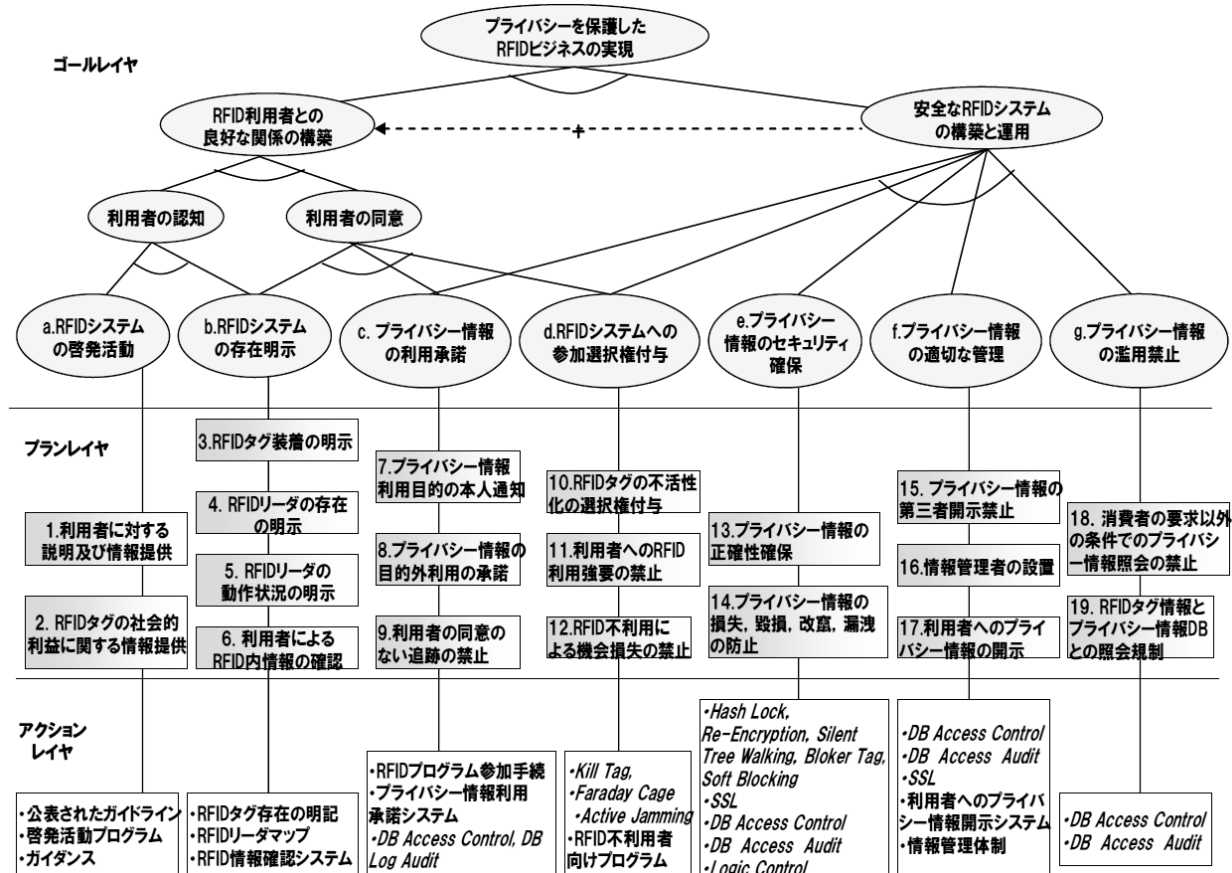


Fig. 1: RFIDのためのプライバシー保護フレームワーク

ることで、新たな活動を創造することもできる(④)。以上の議論をまとめると次の4種のコトづくりが必要になる。

- ① 電子タグでモノを識別することによって付加価値をモノに与えるというコトづくり
- ② 電子タグを付与されたモノがある場所から別の場所に移動することで、それぞれの場におけるヒトの活動や設備の状況を観察する機能としてのコトづくり
- ③ 電子タグによってモノが識別されることによって生じるプライバシー保護などの社会制度面からの要請に適應するために必要となるコトづくりのフレームワーク
- ④ 電子タグによって観察されるヒトの活動や設備の状況を改善するプロセスとしてのコトづくり

したがって、電子タグを用いたコトづくりとしての知的創造プロセスでは、次の4つの問が重要になる。

- 【問1】 電子タグの付加価値として何を求めるのか
- 【問2】 電子タグによって何を観測するのか
- 【問3】 電子タグサービスが法制度に適合するのか
- 【問4】 電子タグで人間活動のあり方をどのように変革するのか

モノの識別に関する電子タグの機能(第1種のコトづくり)についてはすでに述べている[2]。以下では制度

適應(③)と場の認識(②)とプロセス改善(③)という3つのコトづくりについて事例研究に基づいて具体的に述べる。

### 3. 事例研究

まず電子タグサービスに制度面から要求される機能を作り込むためのコトづくりの事例として、プライバシー保護を対象とした制度(ガイドライン)と技術の知の相互関係について述べる[3]。次に電子タグを用いたモノの移動に伴うコトと場の観察に基づく人間活動の改善についてのコトづくりの事例として、製造業における生産プロセスの改善手法を説明する。

#### 3.1 電子タグプライバシー保護における知の相互関係に基づくコトづくり

すでに述べたように電子タグの導入によって人間活動が自動認識されるようになると、その情報が無線ネットワークを通じて第三者によって目的外に使用される可能性がある。この問題に対処するために様々な制度が提案されているだけでなく、技術面でも安全対策技術の開発が進んでいる。しかし現状では、制度面と技

術面での取り組みをどのように横串をさして対応付けるかという議論が十分できていないわけではない。このため筆者らは Fig. 1 に示すような電子タグサービスのための 3 階層プライバシー保護フレームワーク (PPF, Privacy Protection Framework) の構築と評価を進めている [3]。この PPF では要求工学におけるゴール分析手法 NFR (Non-Functional Requirement, 非機能要求) フレームワークを用いた [4]。

まずゴールレイヤでは、「プライバシーを保護した電子タグサービスの実現」という最終ゴールに対して、電子タグサービス事業者の目標を詳細化する。プランレイヤでは、ゴールレイヤの最下位のサブゴールを実現するために必要となる機能としてのプランを記述する。

この 3 階層 PPF におけるゴールレイヤとプランレイヤの構築では、まず既存の 4 種の電子タグプライバシー保護ガイドラインが規定する事項の共通性を分析することで 19 種のプランを抽出した。次にこれらのプランの組合せにより実現されるゴールレイヤの最下位の 7 つのサブゴール (a から g) を抽出した。その後これらのサブゴールにより実現される上位のゴールを決定した。

アクションレイヤでは、プランを実現するための具体的な手段としての社会的な活動や技術的手段としてのアクションを記述する。電子タグシステムのプライバシー保護技術やアクセス制御機能が技術的アクションの例である。また事業者が取りうる社会活動プログラムあるいは利用者の同意を取るための手順などが社会的アクションとなる。ただし個々のプライバシー保護技術ごとに効果と限界があり単一の技術的対策だけでは十分なプライバシー保護は困難である。したがって複数の技術的対策の組み合わせや社会的な対策との併用が必要である。このようなアクションのリストの中から、システムの費用対効果やゴールの重要度などにより、実行されるアクションが選択される。

このように 3 階層 PPF は、プライバシー保護における社会制度的知識と技術知識とを体系的に統合することを試みている。また 3 階層 PPF の構築では既存の 4 種のガイドラインの規定事項を統合しており [3]、今後新たなガイドラインが登場した場合も適用できる可能性が高い。

また 3 階層 PPF を用いて電子タグサービスの機能を評価することによりプライバシー保護機能の不足を指摘できた [3] ことから、制度適応型のコトづくりの完備性を評価できることが分かった。しかし 3 階層 PPF は固定的なものではなく、電子タグサービスのプライバシー保護機能の新たな脅威に対して常に進化し続ける必要がある。

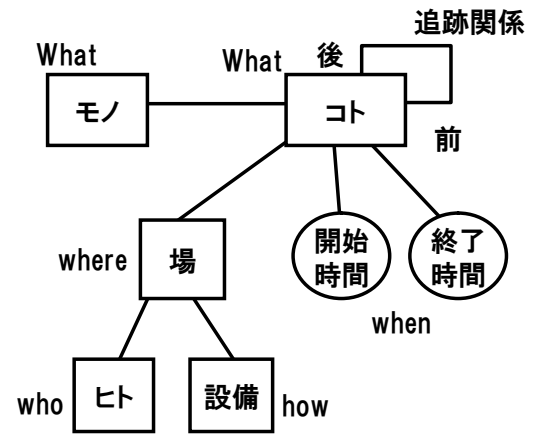


Fig. 2: RFID で「モノの流れ」と「コトの流れ」を一致

## 3.2 ユビキタス生産管理におけるコトづくり

### 3.2.1 コトデータ

電子タグが付与されたモノがいつからいつまでどこにあったかを記録する位置 (場) と開始終了時間の組みの系列をコトデータという。モノが移り変わる様子を認識できるような「モノの流れについてのデータ」がコトデータであるといえる。したがって流体力学の考え方を応用すればコトデータについて次のような分析方法を構成できることが分かる [5]。

- (1) コトを流体の個々の粒子の行動と考えて時間的に追跡するラグランジェの方法
- (2) コトに関する物理量 (速度など) が空間的にどのように分布し、またそれが時間的にどのように変動するかを調べるオイラーの方法

### 3.2.2 場データ

モノがある場から別の場に移動するとき、それぞれの場ごとにヒトや設備が対応していて、モノに対してヒトや設備が活動することで業務プロセスが構成されるとしよう。このとき、場の中でヒトや設備がモノに対してどのように活動しているのかを表すデータを場データと呼ぶ。コトデータに基づいてモノが場ごとにどれだけの時間で処理されているのかを計算することで場データを求めることができる。次のようにして場データを分析することでコトの問題の原因としてのヒトの活動や設備の使い方のバラツキや効率を調べることができる。

- (1) 作業時間分析: ヒトが繰り返し行う作業 (例えば、部品を加工組み立てする場合に、部品ごとに繰り返し行う同じ作業) の一つ一つの作業時間を測定しバラツキ等を調べる。
- (2) 稼働分析: 設備が、モノに対して付加価値を付けるための稼働状況を把握して設備の効率性や活用度を調べる。

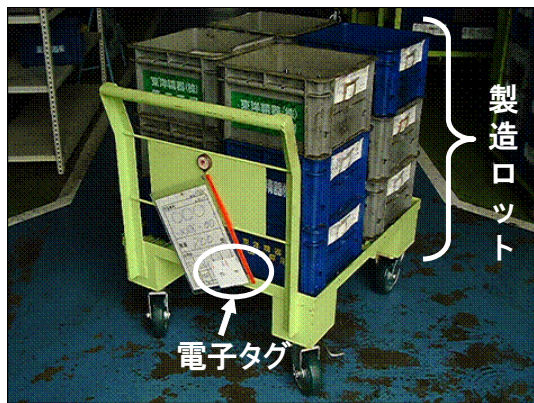


Fig. 3: 製造ロボットと電子タグの対応付け

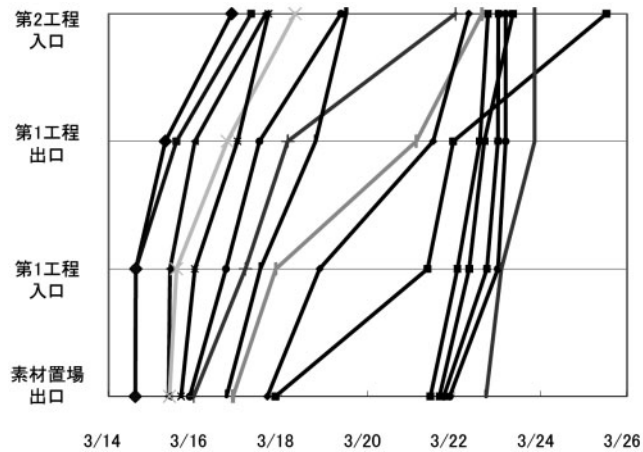


Fig. 4: コトデータの分析結果例

これまでに述べたモノとコトの関係構造をまとめると Fig. 2 のようになる。この関係構造は場の認識という第 3 のコトづくりが必要となる情報としての知の構造の事例である。ここで、矩形は実体、円は実体の属性である。実体間の関係と実体と属性の関係を実線で示している。

### 3.2.3 生産プロセスの創造的改善プロセス

以下では、上述したコトデータと場データを用いた生産プロセスの改善手法を提案することにより、場の改善という第 4 のコトづくりの事例を紹介する。

#### 【ステップ 1】コトデータによる問題発見

モノに着目してラグランジュとオイラーの方法でコトデータを分析することにより、業務プロセスの特徴やパターンを網羅的に把握し業務プロセスの問題を発見する。

#### 【ステップ 2】場データによる原因分析

コトデータを場データに変換することにより、場におけるヒトや設備の状況を分析する。活動状況にムリやムラ、そしてムダがあることを突き止めることにより、問題の原因を特定する。

#### 【ステップ 3】活動プロセスの改善案の導出

抽出された問題の原因に対して対応策を検討する。たとえば必要のないヒトの作業や設備を削減すると共に、必要な作業や設備については、最も良い方法（早く、正しく、楽に、安全に等）で実施することを目指す。ここで導出された対応策が活動プロセスの改善案となる。

### 3.2.4 具体例

生産管理プロセスの実行状況を把握するために、製造企業 A 社における素材や仕掛品の製造ロットに電子タグを対応付けてコトデータを測定した。ここでは製造ロットをモノと考えた。Fig. 3 に示すように、製造ロットは台車に搭載された複数の通い箱からなる。通い箱の

中には製造対象となる複数の部品を入れる。台車には製造ロットを識別するために電子タグを対応付けている。

#### 【ステップ 1】コトデータの把握による問題発見

電子タグのリーダを素材置場の出口、第 1 工程の入口と出口、第 2 工程の入口に設置して素材や仕掛品の製造ロットが通過する時刻を測定した。

まずオイラー的視点から製造ロットの工程での処理時間および工程間の移動時間の平均値を分析したところ、素材置き場出口から第一工程入口までの平均移動時間が 17.7 時間、第一工程入口から出口までの平均処理時間が 21.4 時間、第一工程出口から第二工程入口までの平均移動時間が 30.7 時間となった。この結果から第 2 工程の前での製造ロットの停滞時間が大きいという問題が明らかになった。

つぎに、ラグランジュ的視点から製造ロットの時間推移による進捗実績を分析すると Fig. 4 に示すようになった。この結果から第 2 工程に製造ロットが投入される際に、後からきた製造ロットが既に到着しているものを追い越すといった流れる順番が乱れていることが判明した。

#### 【ステップ 2】場データによる原因分析

ヒトの作業状況を分析するために、作業時間分析を行った。製造ロット毎のサイクルタイム（製品 1 個当たりの処理時間 = 処理時間 / 製造ロット数）を調査すると生産管理者や職長が想定していた時間（2 分）をオーバーしている製造ロットが全体の 54.9% に達していた（Fig. 5）。

またマシンの利用状況を調べるために、第 2 工程で稼働している 3 台のマシンの稼働分析を実施したところ、各マシンの稼働状況は、マシン 1 が 37.7%、マシン 2 が 45.9%、マシン 3 が 16.4% となりマシン 3 の活用度が低いことが判明した。

#### 【ステップ 3】活動プロセスの改善案の導出

ヒトの作業時間にバラツキがあることから作業時間

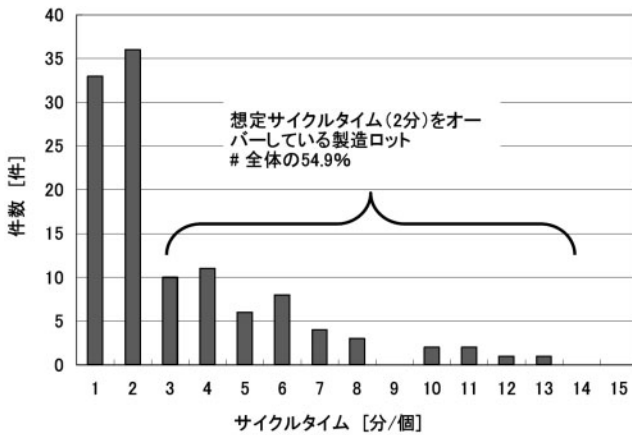


Fig. 5: 作業時間分析例

の短縮化と安定化を図るため「作業マニュアルの作成」を改善案とした。またマシンの稼働分析から「マシン1とマシン2の生産能力向上」と「マシン3の対応品種の汎用化」を改善案とすることでマシン1とマシン2が処理しているモノをマシン3に流すことで作業分散を図ることとした。

このように、場の改善に関するコトづくりでは、場の認識に基づいて新たな場の活動としてのコトづくりを創造することになる。

換言すると、コトづくりによって他のコトづくりを継続的に再生産するオートポイエティック・プロセスだといえる。そのためにはコトづくりが後続するコトづくりによって観察される「再帰プロセス」となる必要がある。この観察のしくみが場の認識というコトづくりが必要になる理由である。

また、従来から生産現場での「見える化」の取り組みが進められてきた。電子タグの導入によってリアルタイムでの観察データの自動収集が可能となることによって生産管理プロセスの見える化のための取り組みコストを低減できる。したがって、この再帰プロセスのフィードバック回数を増加させることで生産プロセスの進化速度を速めることができる。つまりイノベーションを高速化できると思われる。

実際に、今回の生産現場では、電子タグの導入に際して生産管理プロセスを手で追跡することを試行したが、手間がかかりすぎるだけでなく、製造ロットの加工経過を正確に追跡することができなくなり、最終的には人手による製造ロットの追跡をあきらめたのである。つまり、従来の「見える化」の取り組みでは生産プロセスの何をどのように改善すればいいかを客観的に知るためのデータ収集を正確に実施することは現実的には不可能であり、ある特定の時点でのサンプルデータに依存していたのである。したがって、従来の「見える化」はこのように限定されたデータに基づく仮説に頼ったプロセス

改善のレベルに留まっていたといえよう。これに対して電子タグでは、人間が介在することなく人間活動としての生産管理の状況を自動的に追跡提示することで生産プロセスのイノベーションを正確なデータに基づいてリアルタイムに実現できるのである。イノベーションを生物進化にたとえるなら進化の速度が速いことで種の競争優位性が生まれるように、電子タグを生産管理プロセスの改善に導入することの意義はその速度にあると考える。

もちろんモノそのものに電子タグを付与することによる生産プロセスの自動化というイノベーションも可能になる。たとえば加工素材に電子タグを付けておけば、その素材が生産工程に到着したときにどのような加工が必要になるかを自動認識して加工作業を効率化できるだろう。また今回の事例では製造ロットのカンバンというコトを表すモノに電子タグを付与することによる付加価値機能の例であるといえる。

### 3.3 システム思考の調和

以下では上述した2つの事例について、自然科学的システム思考と社会科学的システム思考の調和に向けた取り組みをまとめる。

#### 3.3.1 電子タグサービス

電子タグプライバシー保護フレームワークでは、「電子タグ」という新しい技術を用いたビジネス活動において「消費者のプライバシーを保護する」という社会制度面での取り組みを実現するために必要となる社会的活動と技術的施策をゴール階層という目的手段展開によって統合している。したがって、このようなゴール階層に基づく目的手段展開は自然科学的システム思考と社会科学的システム思考を統合する有効な手法であると考えられる。

#### 3.3.2 コピキタス生産管理

電子タグを生産プロセスに導入することにより、生産現場というモノづくりの場における生産管理という人間活動を観測し、改善するプロセスを構成できる。以下では電子タグによって生産活動に係る生産管理者と作業者の認識の変化について述べる。

このような新技術を用いたシステムの導入では、生産管理者の立場と現場の作業者の立場の対立という人間系の問題が発生することが予想される。たとえば生産管理者はいつも作業者が多忙であるにもかかわらず、納期遅れが発生する理由が分からないので、作業を可視化して原因を究明し納期遅れを削減したいと考えていた。これに対して現場の作業者は、今でも十分忙しいのに新たな技術を持ち込まれることで余分な時間がかかるのではないかと、あるいは生産管理が可視化されることで作業

が強化されるのではないかとということで不安視する声もあった。

このため、次のような段取りでコピキタス生産管理プロセスを構築した。

#### (1) 現場観察による生産管理対象の発見

まず電子タグを何に対応付けるかを発見する必要がある。当初は部品や通い箱に電子タグを対応付けようとしたが、より大きなまとまりである製造ロットをまず対象とすることとした。この理由は現場の実態が可視化できていない時点で細粒度の管理をしても逆に生産性を低下させ、現場の状況をさらに悪化させると考えたためである。つまり可能な限り現場作業への影響を抑え、作業者の心理的な抵抗感を軽減することにしたのである。

#### (2) 新技術の必要性の理解

当初は電子タグを使わなくても現場の実態を把握することができるのではないかとという想いが生産管理者にもあった。このため人間が生産ロットを追跡する実験も実施した。ところが前述したように作業の進行に従って製造ロットが混在したり異なる工程に分散していくために、すべての製造ロットを人間の視認だけではすぐに追跡しきれなくなった。こうして生産管理者が身をもって電子タグの必要性を理解したことで電子タグへの期待が高まったのである。

#### (3) 現場の作業への説明とデモ

電子タグへの漠然とした不安感を取り除くために現場導入に際してデモシステムを用いた説明会を実施した。これにより現場作業への負担がほとんどないこと、それによりたとえば現状では明確でなかった納期情報が提示されることなどを紹介し作業上の意志決定を支援できることなどを理解してもらうことができた。

#### (4) コピキタス生産管理システムの導入と運用

電子タグで計測する工程を限定することで導入時の負担を軽減した。この理由は一気に導入した場合現場の混乱が懸念されたためである。このような限定的な導入ではあったが生産作業が明確化できたことで、作業がしやすくなったという現場の評価を得ることができた。

#### (5) 観測データに基づく課題の発見と提示

電子タグによる製造ロット単位での生産作業プロセスに移行したことによりそれ以前の生産プロセスに比べて納期遅れの件数が実際に減少した。またコトデータを可視化したことにより生産プロセスの課題発見を効率化できただけでなく、その原因を分析することができるようになった。

#### (6) 継続的な生産プロセスの改善

今回は適用工程を限定していること、製造ロットを通い箱のまとまりを単位としていることなどの点で限定的な適用にとどまっている。適用工程の拡大や製造ロットの単位を小さくしていくことなどにより生産プロセス

の管理単位を精密化するという新たなコトづくりへの展開が期待できる。当初電子タグの効果を疑問視していた作業員自身がぜひ本格展開したいと逆に要望するようになったのである。

このような段取りを構成したことにより、自然科学的システム思考によって作成された電子タグシステムを現場という人間社会における作業員の抵抗に備え、管理者の期待に応えることができた。したがって、この段取りプロセスが自然科学的システム思考と社会科学システム思考をモノづくりの生産現場で調和させたコトづくりの一つの事例であると思われる。

## 4. おわりに

本稿では、電子タグを用いたコピキタスサービスを対象としてどのようなコトづくりが必要となるのかについて考察した。まずコトづくりには、識別型、制度適応型、場の認識型、場の改善型という4種があることを明らかにした。これにより電子タグにおけるコトづくりの可能性を具体的に示すことができた。

また知の構成法としては、制度適応型のコトづくりのための3階層プライバシー保護フレームワークの構成と、場の認識のためのコトづくりで要求されるモノとコトの関係構造を明らかにした。これによりコトづくりにおける知識の統合の構成法を具体的に示すことができた。

さらに場の改善のためのコトづくりの方法として、コトデータと場データに基づいて、場におけるヒトや設備を用いた活動の改善手法を提案しその有効性を明らかにした。これにより、電子タグを用いたコピキタスサービスにおける横断型システム思考のプロセスを具体的に示すことができた。

本稿では、電子タグを用いたコピキタスサービスにおけるコトづくりと知の構成を事例に基づいて明らかにした。しかし本研究の内容を他のコピキタスサービスや、一般的なサービスにおけるコトづくりに応用するためには、より多くの事例に適用することにより有効性を評価していく必要がある。また汎用的な知への拡大に向けた新たな検討として本研究で提示した手法を数学的に形式化することにより一般化する研究も必要である。

## 参考文献

- [1] 横断型基幹科学技術研究団体連合: コトづくり長野宣言, 2005. <http://www.trafst.jp/data.html>
- [2] 山本修一郎: コピキタス・サービスが変革する IT の世界, オペレーションズリサーチ, pp. 238-244, 2004年4月号.
- [3] 神戸, 桑田, 山本: RFID システムのビジネス適用におけるプライバシー保護に関する考察, 人工知能学会, 社会における AI 研究会, 情報社会の

デザインシンポジウム SIG-SAI-002-05, 2006. <http://ai-gakkai.iamas.ac.jp/log/prg/2006-002pdf/SIG-SAI-002-05.pdf>

- [4] S. Yamamoto, H. Kaiya, K. Cox, and S. Bleistein: Goal Oriented Requirements Engineering – trends and issues –, No.11, pp. 2701-2711, IEICE, 2006.  
 [5] 今井功: 流体力学, 岩波全書, 1970.

#### 神戸 雅一



平成 9 年, 日本電信電話株式会社入社。入社後, 同社ソフトウェア研究所, 情報流通プラットフォーム研究所にてグループウェア, IC カードサービス, ユビキタスサービスの研究開発に従事。現在は, (株)NTT データ 技術開発本部 システム科学研究所において「知識創造社会における組織・人材・ワークスタイル」の研究に従事。

#### 斎藤 忍



平成 11 年慶應義塾大学理工学部管理工学科卒業。平成 13 年同大学院理工学研究科修士課程修了。同年 (株)NTT データ入社。平成 19 年慶應義塾大学大学院理工学研究科博士課程修了。博士 (工学)。現在, 技術開発本部に所属。ユビキタスコンピューティング, エンタープライズ・アーキテクチャ等の研究開発に従事。

#### 山本 修一郎



(株)NTT データ 技術開発本部 副本部長。昭和 54 年名古屋大学大学院工学研究科情報工学専攻修了。同年日本電信電話公社入社。平成 14 年より現職。ソフトウェア工学, ユビキタスコンピューティングの研究に従事。平成 13 年度情報処理学会業績賞。平成 14 年度電子情報通信学会業績賞。平成 15 年度通信協会前島賞。

### コトづくり長野宣言

2005 年 11 月 25 日  
NPO 横断型基幹科学技術研究団体連合

横幹連合は、わが国の科学技術におけるコトづくりの重要性を訴え、その振興に力を尽くすことを以下のように宣言する。

#### 1. 知の統合に向けた学問の深化とその推進

横幹連合は、人類が蓄積してきた知を社会的価値として活用するために知の相互関係を探求し、専門分化の寄せ集めではない真の知の統合を実現するとともに、統合の手法を体系化し、新しい学問領域の創生を目指す。

#### 2. 横断型基幹科学技術を活用した社会問題解決

横幹連合は、既存縦型研究分野ならびに産業界と連携し、知を統合し活用するための横断的視点に立った具体的方法論を確立する。例えば「リスクの計量化・可視化と制御」、「人と機械の共生」などに関して、文理にまたがる学会が協力し、これまでにない大きなスケールで問題解決の道筋を明らかにする。

#### 3. 知の統合を推進・定着させるための人材育成

横幹連合は、俯瞰的視点を持って科学技術をマネージできる人材、横幹科学技術をベースとした新産業創出を主導できる人材の育成に向けた人材教育強化プログラムを提案し、関連学会や関連大学との連携により、その実現を目指す。

<http://www.trafst.jp/archive/200511appeal.pdf>