

Fundamental Aspects of Network Controllable Artifacts

Sho SHINOHARA* Tomoyuki HIROYASU** and Mitsunori MIKI***

(Received January 20, 2010)

Recently, many electric devices and artifacts have intelligent functions, and most of them are connected to the network. In the near future, more artifacts and several types of sensors will be connected to the network. These artifacts are not only connected to the network but also can be controlled over the network. In this paper, we defined these controllable devices as Network Controllable Artifacts (NCAs). The conventional artifacts are controlled by own controller, but in most of the cases, calculation resources and memory capacities are limited in these controllers. Meanwhile, the conventional artifacts use the sensors which are installed in the artifacts. In the next generation system, we proposed that all artifacts would become NCAs and they would use the sensors which located on the network, not using installed sensors in NCAs. If we can design judgment modules which also existed on the network, this next generation system becomes virtual intelligent artifact system. In this case, controller for this next generation system can be released from the limitation of calculation resources and memory capacities. In this paper, how to develop virtual intelligent artifact system with NCAs was discussed. At the same time, strong points, defects, and challenges of this system were discussed.

Key words : intelligent artifacts, ubiquitous computing, user interface

キーワード : 知的人工物, ユビキタスコンピューティング, ユーザインタフェース

Network Controllable Artifacts についての基本的考察

篠原翔・廣安知之・三木光範

1. 背景

システムが、その振る舞いをシステムの持つセンサー情報によって変化することができれば、そのシステムは知的化されたシステムであると言える。電子デバイス技術と情報処理技術の発展により多くの人工物が近年知的化している。また、同時に急速にネット

ワーク技術も進歩しておりこの情報通信技術の発達によりユビキタスコンピューティング時代が到来しようとしている。ユビキタスコンピューティングは、社会の至る所にコンピュータが存在し、コンピュータ同士が自律的に連携して動作する情報環境であるが、机上の議論だけでなく実際のシステム構築の到来が間近である。現実の世界の中にコンピュータの要素を組み込

* Graduate Student, Department of Knowledge Engineering and Computer Sciences, Doshisha University, Kyoto

Telephone:+81-774-65-6716, Fax:+81-774-65-6716, E-mail:sshinohara@mikilab.doshisha.ac.jp

** Department of Life and Medical Sciences, Doshisha University, Kyoto

Telephone:+81-774-65-6932, Fax:+81-774-65-6932, E-mail:tomo@is.doshisha.ac.jp

*** Department of Intelligent Information Engineering and Sciences, Doshisha University, Kyoto

Telephone:+81-774-65-6930, Fax:+81-774-65-6796, E-mail:mmiki@mail.doshisha.ac.jp

み、環境の情報を取得し、それらのコンピュータをネットワーク接続することで、現実世界と情報世界をつなぎ、細かい最適制御が可能になる¹⁾。

坂村は、早い段階でユビキタス・コンピューティングの実現イメージをあげ、その要素技術の構築を行ってきた²⁾。その実現イメージ内では、人間をとりまく各人工物が知的化され、それらの知的な人工物がネットワークに接続され、人工物どおし、もしくは人間と人工物間とのやりとりの中で、人工物や環境に埋込まれたコンピュータが実世界の状況を理解し、状況に応じて自律的に動作が可能となるのである。

将来、ネットワークは社会の隅々にまで張りめぐられ、無数の端末やセンサがネットワークに接続されるようになると考えられる³⁾。また、それらの接続された人工物は直接操作することも可能であるが、ネットワーク越しに操作が可能となる。この場合、同一のネットワーク上にセンサー情報を判断し人工物に制御信号を送るモジュールが存在すれば、センサーとこれらの人工物を設置することで、個々の人工物は例えば知的でない振り舞いしかできないとしても、もしくは非常に低レベルな知的性のみが実現可能だとしても、システム全体としては、非常に高度なシステムを構築することが可能である。ここで重要なことは、個々の人工物が高い知的性を有することではなく、ネットワークに接続され、ネットワーク越しに制御可能であることである。本稿では、このような人工物を Network Controllable Artifacts (NCA) と定義する。さらに、センサー、NCA が存在するネットワークにおいて、どのような制御モジュールが存在すれば、システム全体が高い知的性を有するかを議論する。さらに、このようなシステム全体が高い知的性を有した場合、どのようなシステムが構築可能であるか、ネットワーク化するセンサや NCA の増加に伴う課題についても検討する。

2. 知的人工物

2.1 知的人工物の定義

我々の研究室では賢い人工物を知的人工物と呼び、「人工物が、使われる環境や利用の仕方に依存する多くのパラメータを持ち、センスした情報と与えられた知識や学習で得た知識を基に、適切なパラメータの組み合わせを人工物自身が選択し、利用者の要望や環境に応じた最高の機能と性能を提供してくれる時、その人工物は知的であり、その人工物は知能（知能とは人工物の運用・管理の自動化能力と言い換えることができ、人工物の機能や性能とは異なるもの）を持つと考える」⁴⁾と定義した。そのため、人工物が利用者を含む広義の環境条件の変化に対応して自身のパラメータを自律的に変化させるには、まず第一にその環境条件の変化をセンスするための各種センサが必要である（環境検知機能-Sense）。第二に、センサで得た情報を基に人工物の機能や性能を最適化する計画を立てる機構が必要となる（判断機能-Judge）。第三に、その計画に沿って人工物のパラメータを変化させる必要がある（動作機能-Act）。これら3つの動作を Fig. 1 に示す。

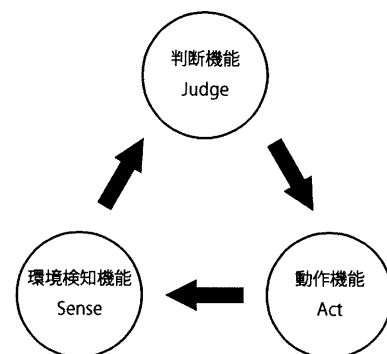


Fig. 1. Elements of Intelligent Artifacts.

2.2 知的化と知的性の高度化

知的化とは、人工物の環境インタフェースの高度化と捉えることができる。環境インタフェースが高度になることで、使用者や自然環境への負荷が軽減するとともに、人工物の性能を十分に引き出すことが可能になる。既に述べた様に、Judge はセンサで得た情報を

基に人工物の機能や性能を最適化する計画を立てる機構であるが、そのためには変化のための知識・ルール・手順が必要である。そこで知的化には、変化のための知識・ルール・手順を与えることが必要となる。知識の獲得方法には大別して先天的方法と後天的方法が考えられる。前者は人工物にあらかじめ全ての知識を組み込むものであり、後者では学習により個別の知識を獲得するものである⁵⁾。現在ではそれらに加え、ネットワークを利用した先天的知識の随時更新がある。知的人工物は、これらの方法の組み合わせにより知的化される。また、知能の程度を知識の質・量、ルール・手順の複雑性多様性で表せるとすると、知的性の高度化とは、知識の質・量の増加、ルール・手順の複雑化多様化と言い換えることができる。特に、ルール・手順の複雑化多様化は、Judge にさらに知的な構造を内包する知的人工物と見ることができる (Fig. 2)。

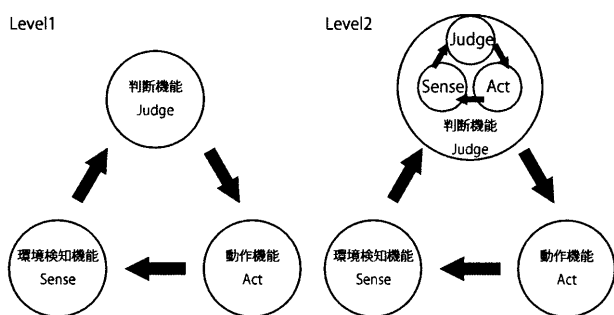


Fig. 2. Intelligent Artifacts Levels.

知的化と知的性の高度化について具体的な例としてエアコンを挙げる。エアコンでは、室温検知センサが Sense, 設定温度と室温を比較しどのような戦略で空調するかを考える部分が Judge, Judge の戦略に従い冷風 (温風) を出す部分が Act と考えることができる。そのため、エアコンは知能を有する知的人工物であると言える。ここで、知的化について考える。エアコンが Act 機能のみ有し、室温を適温に保とうとするとき、ユーザが暑いと感じれば冷風を ON に、寒いと感じれば冷風を OFF にするなど、人の手により Act の ON・OFF を操作しなければならない。つまり、この例では知的化とは人間が判断し行っていた運用・管理の自動化と考えることができる。つぎに、知的性の高

度化について考える。現存するエアコンは、上で示したエアコンよりも高度な機能を有する。例えば、温度センサを利用し人体の温度を測定し、人の状態 (運動中・読書中・TV 視聴中など) を判断し、その状態に適した空調を行うものや、人の位置を検知し、人のいる範囲にしぼって空調を行う省電力モードが挙げられる。これらでは、自身の持つ知識で体温と人の状態との照らし合わせや必要に合わせた戦略の変更を行っている。つまり、知的性の高度化とは Judge の高度化、言い換えると Judge の持つ知識の質・量の向上、ルール・手順の複雑化多様化と考えることができる。

3. Network Controllable Artifacts

3.1 Network Controllable Artifacts の定義

家庭内機器をネットワーク化するホームネットワークや、人・道路・車両をネットワーク化する高度道路交通システム (ITS) といった例をみてもわかる通り人工物のネットワーク化が進行している。将来、ネットワークは社会の隅々にまで張りめぐらされ、無数の端末やセンサがネットワークに接続されるようになると思われる。これらのネットワークに接続された人工物は、ネットワークを通じて制御可能となるであろう。すなわち、個々の照明がスイッチによりオン・オフされるのと同様にすべての人工物が、ネットワーク越しに制御できるのである。本稿では、「ネットワークに接続されており、ネットワークを通じてその機能を制御可能な人工物を Network Controllable Artifacts (NCA) と呼ぶ」こととする。

3.2 NCA を有したシステムの知的化

NCA の定義からわかるように、NCA が高度な知的性を有する場合もあるが、知的性を持たない (Sense か Judge, もしくはその両方の機能を持たない)、もしくは知的性のレベルの低い人工物である場合も存在する。

しかしながら、NCA を利用すると非常に簡単に多様な知的性を有したシステムを構築することが可能である。すなわち、NCA の他にネットワーク上にセンサーとそれらのセンサー情報を入手しそのデータ情報

を基に NCA を制御する Judge を設置するのである。これによりシステム全体として知的性を持たせることが可能である。概念図を Fig. 3 に示す。

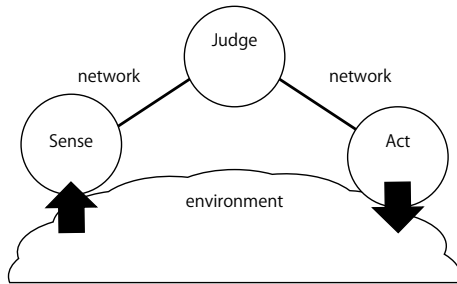


Fig. 3. Network Controllable Artifacts.

NCA による知的システムでは、Judge と Sense・Act の機構がそれぞれハードウェアとして切り離させている。そのため、従来の知的人工物では知的人工物ごとに Judge を行っていたが、NCA による知的システムでは Sense・Act が複数存在し、Judge がそれらの Sense・Act を統合し、それぞれに対して判断を行うことが可能となる (Fig. 4)。

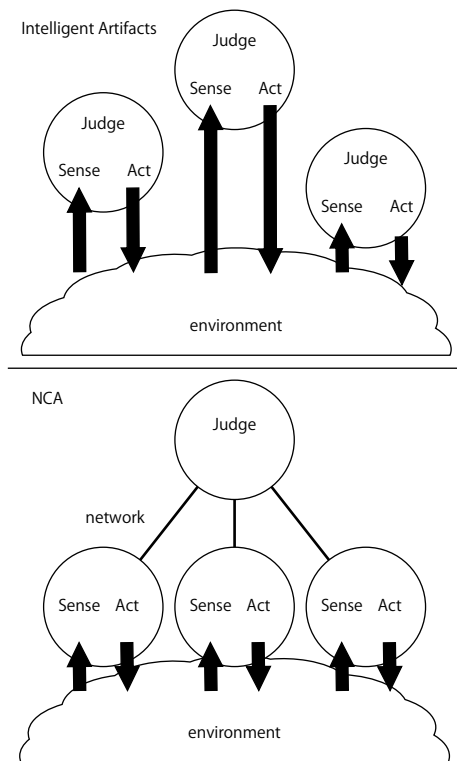


Fig. 4. Comparison between Intelligent Artifacts with Network Controllable Artifacts.

上で述べた様に、ユビキタスコンピューティング時代の到来に伴い、センサやセンサを持った人工物がネットワーク接続されるようになる。同様に、NCA のような Act を行う人工物もネットワークに接続されるようになる。すなわち、知的人工物という Sense と Act がネットワークに接続しているということである。そこで、ネットワーク上に Judge を設けることで仮想的な知的人工物を構築することが可能となる。この仮想的な知的人工物は、Sense・Judge・Act がそれぞれネットワークで接続されているため、自由に組み合わせることが可能であり、また、Sense・Judge・Act を増やすことでその組み合わせは爆発的に増える。

この時 Judge では、得られた多くの情報から必要な情報を抽出、分析し、それらを基に判断を行う。そのため、Sense や NCA の数が増加すればするほど、必要な情報を取り出し最適な判断、Sense・Judge・Act の組み合わせを決定するためのアルゴリズムの開発が必要となる。また、Judge と Sense・Act 間の通信や認証などに関する課題も解決する必要がある。

3.3 Judge の設計

上でも述べた様に、Judge では NCA の情報の抽出や分析、判断、実行、ネットワーク状態の監視、NCA の増減の管理、ユーザのデータやプロフィールの管理、ユーザへのインタフェースの提示など様々な振る舞いをする必要がある。これらの振る舞いは、知的性の高度化で述べた Judge の知的な構造の内包の Sense・Judge・Act に大別することができる。実際のセンサを現す Sense や NCA などの Act と区別するため、Judge に内包される Sense・Judge・Act を Sense'・Judge'・Act' とする。

Sense' : Sense' には、センサ情報の抽出やユーザの入力情報、ユーザプロフィール情報、ネットワーク状態の取得などが挙げられる。また、センサから得られる情報だけでなく、インターネット上から得られる情報 (天候や路線情報、事故情報、センサなどの個体識別番号など) の取得も Sense' に含む。Sense' では、Judge' や Act' で利用しやす

い様にデータの加工や分類を行う必要がある。

Judge' : Judge' では、上のような外部の状況を認識し、行動計画に取り込む。また、ユーザの指示や他のシステムにより起動されるだけではなく、自ら行動することも必要となる。行動計画は、持っている知識や意図から推論しプランニングを行う。また、過去の経験を保持し、一般化し行動計画を改善する学習機構も必要となる。

Act' : Act' には、行動計画に基づいた NCA の操作や、ユーザへのインタフェースの提示などが挙げられる。

このような Judge の実現方法の一例としてエージェント技術の導入を検討する。ここで言うエージェントとは、意思決定原理・機構に基づき、外部から得られた情報に対して、自己の信念や興味（願望、意図）に応じて行動するモジュールとする⁶⁾⁷⁾。例えば、照明やエアコン、テレビなどの NCA のアクションや状態の管理を行うアーティファクトエージェント（AA）、ユーザのデータやプロフィールを管理するパーソナルエージェント（PA）、ユーザの入出力を管理したり、ユーザの作業代行や示唆を与えたりするインタフェースエージェント（IA）、ネットワークの状態を管理し、端末の監視管理を行うネットワークエージェント（NA）が連携してユーザ毎に、またユーザの行動・嗜好、環境に合わせた最適なアクションを実行する（Fig. 5）。

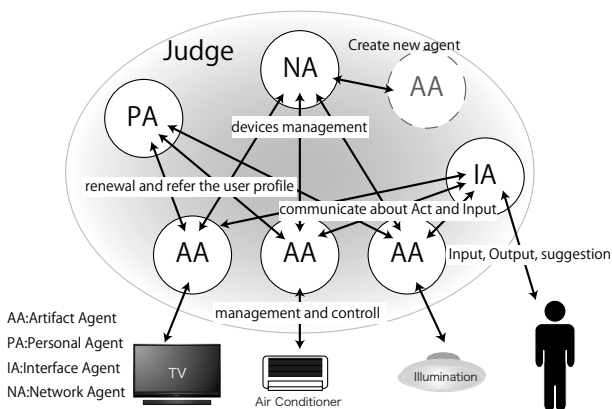


Fig. 5. Judge Design.

以下、NCA や仮想的な知的人工物により実現されると考えられるシナリオとして、知的人工物のハードディスク（HD）やメモリなど計算資源からの解放と NCA や仮想的な知的人工物の組み合わせ増加による可能性を紹介し、NCA や仮想的な知的人工物の可能性について述べる。

3.4 HD, メモリなど計算資源からの解放

従来の知的人工物は、単一端末内で Sense・Judge・Act を行っているためメモリやハードディスクの容量などの各種リソースに大きな制限がある。そのため、資源制約から Judge 部が持つ機能に制限が生じる。一方、NCA を利用した知的なシステムでは、ネットワーク上に個別に Judge 部を設置することが可能である。例えば、Judge 部としてスーパーコンピュータの利用も可能である。そのため、知的人工物が有する Judge 部として制約を受けていた計算量や記憶容量を莫大に利用することも可能である。

記憶容量が莫大に利用できれば次のシナリオに見られるような、非常に多くのユーザーごとに対応することが可能となる。現在、自動券売機はすべてのユーザに同じ画面を表示するインタフェースが一般的である。しかし、自動券売機を使うユーザは老若男女、障がいの有無、言語の違い、慣れ不慣れなど様々であり、ユーザ毎にインタフェースを変更することで、より使いやすいインタフェースを実現できると考えられる。そこで、自動券売機をネットワークと繋ぐことにより知的化、つまり NCA とすることで実現することができる。例えば、お年寄りの方が使う場合には、文字やボタンを大きく表示する、また、カスタマイズを可能にし、よく利用する駅を大きく表示したり、色分けをする、もしくは、駅毎にパーソナライズし、駅毎によく使う駅をユーザ毎に表示するなどが考えられる（Fig. 6）。

文字やボタンの拡大表示、カスタマイズの例では、ユーザ毎にインタフェースを変更するため、ユーザ毎にデータを保存する必要があり、それだけの HD 容量が必要となる。また、パーソナライズの例では、ユーザの利用履歴などを利用するため、同様に HD 容量の確保が必要となる。従来の自動券売機で以上のことを

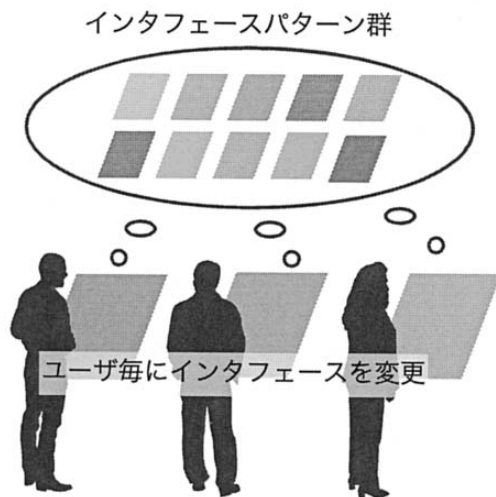


Fig. 6. Flexible Interfaces in Ticket Vending Machines.

実現するならば、ユーザ毎のデータを保存するだけのHDを準備することで実現することが可能だが、あまり現実的ではない。しかし、自動券売機をネットワークとつなぎ、NCAとすることでHD、メモリなど計算資源からの解放が可能となる。

計算量から解放することができれば、これまで可能でなかったデータマイニングを利用したユーザーのプロファイリングを行い、それに応じて人工物の振る舞いを変化することが可能となる。

3.5 仮想的な知的人工物の組み合わせ増加による可能性

近年、従来の家庭用電気製品（家電）とは異なる、IT技術を利用した情報家電が家庭に導入される様になり、ホームネットワークやホームリンクと呼ばれるネットワークを形成する様になった。ホームネットワークでは、機器同士を接続し、一つの操作系（リモコンなど）で全機器を制御可能にすることや、ホームネットワークを介してさまざまな機器を繋ぎ、動画や音楽、写真などを楽しむ、屋外からのドアホンの映像監視による不審者侵入検知、屋外からの自動録画制御などが可能である。このようなネットワークで接続されている情報家電はNCAと捉えることができるが、それぞれが単独で動作することが多く、複数機器が連携して動作する場合も「DVDレコーダーの電源をオン

にするだけで、テレビの電源オンと入力切替が同時に実行される」といった既に決められた動作をするものである。このようなホームネットワークは、Network Controllable Artifactsの定義で述べた様にネットワーク上にJudgeを設けることで、仮想的な知的人工物となる。また、現実世界の状況認識が可能なユビキタスコンピューティングが可能になると、屋内の家具や壁、床、天井、ドア、服、窓、照明、エアコンなどを認識するセンサともつながり、より細かな生活支援が可能となる。例えば、「朝、目が覚めると照明が点灯し、カーテンが開き、コーヒーポットの電源が入り、今日の天気や路線情報、今日の予定がディスプレイに表示され、傘が必要であること勧めたり、TVがつき、いつも見ているチャンネルに変更したり」ということが可能となる。この例は、照明やカーテン、コーヒーポットなど従来の情報家電には含まれない家電がネットワークにつながることで実現している。このように、ネットワークにつながるセンサやNCAが増えれば増えるほど、仮想的な知的人工物の組み合わせは増加する。

以上の様に、人工物がネットワークに接続されることで、HD、メモリなど計算資源からの解放が可能となり、また、センサやNCAの数および種類が増加するにつれて、仮想的な知的人工物の組み合わせは増加すると考えられる。しかし、これらの実現には解決すべき課題がある。以下、センサやNCAの増加に伴う課題について述べる。

4. センサやNCAの増加に伴う課題

ユビキタスコンピューティング時代が到来すると、ネットワークは社会中に張り巡らされ、NCAやセンサがネットワークに接続されるようになると考えられる。以下、ネットワーク化するセンサやNCAの増加に伴う課題について検討する。ここでは、ユビキタスコンピューティングが抱える個体識別やプライバシーなどの課題については割愛する。

ここで、課題となるのがJudgeの設計とNCAの操作である（Fig. 7）。Judgeについては、3.2 Judgeの設計で述べた通りである。一方NCAの操作は、操作

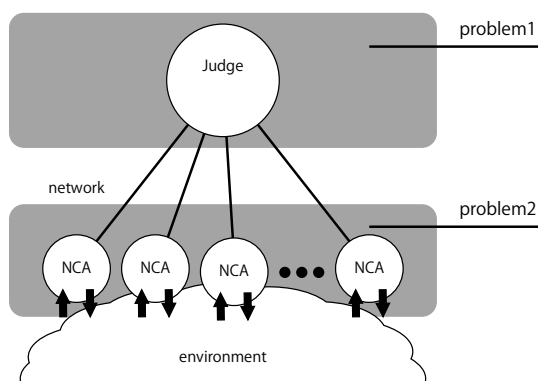


Fig. 7. Problems of Network Controllable Artifacts.

する対象の増加や NCA 間での連携、機能の増加や性能の向上などに伴い NCA の操作が複雑化・多様化していく。そのため、変化に対応できるユーザビリティを持ったユーザインタフェース (UI) が必要となる。ここで、ユーザビリティとは、「特定の利用状況において、特定の利用者によって、ある製品が、指定された目標を達成するために用いられる際の、有効さ、効率、利用者の満足度の度合い⁸⁾」のことで、使いやすさを意味するが、現在、UI の開発の方向性として「直感的な操作性」と「より多くの人に使いやすい操作性」が考えられている⁹⁾。直感的な操作性とは、日常で人間が行う動作に近い動きによって機器を制御できるように設計された操作性で、たとえば、iPhone におけるタッチパネル方式の UI や、Wii リモコンの加速度センサーを利用した操作性などである。より多くの人に使いやすい操作性とは、ユニバーサルデザイン (UD) の概念を考慮した操作性で、障害者などの特定のユーザへの配慮だけでなく、利用者に合わせて UI の見え方を変化させるなど、それぞれの人に合った使いやすさを実現させる操作性である。特に、NCA の操作では操作する対象が増加するため、「誰にでも何にでも便利で使いやすい」を実現できる UD の概念を考慮した操作性が必要がある。

5. おわりに

知的人工物についての説明と、その次世代形である Network Controllable Artifacts (NCA) の定義し、「動作機能を有し知的性を持たない (Sense か Judge,

もしくはその両方の機能を持たない)、もしくは知的性のレベルの低い人工物が、ネットワークとつながることで計算リソースの制限から解放され、高い知的性を取得する時、その人工物を Network Controllable Artifacts (NCA) と呼ぶ」とした。また、NCA の実現とそれに伴う課題とその解決案について述べた。

参考文献

- 1) 坂村健, コビキタスでつくる情報社会基盤, (東京大学出版会, 東京, 2006) .
- 2) 研究インタビュー「コンピュータ・アーキテクチャ」(話:坂村健 教授, 聞き手:中尾彰宏 准教授), http://www.utacs.org/admission/s3_res_sakamura/index.html
- 3) 野村総合研究所 技術調査部, IT ロードマップ 2009 年版, (東洋経済新報社, 東京, 2009) .
- 4) 三木光範, 進化する人工物, (オーム社, 東京, 1999) .
- 5) 三木光範, 河岡司, 知的人工物についての基本的考察, 同志社大学理工学研究報告, 37(3), pp.138-158 (1996) .
- 6) 石田亨, エージェントを考える, 人工知能学会誌, 10(5), pp.663-667 (1995) .
- 7) 西田豊明:ソフトウェアエージェント, 人工知能学会誌, 10(5), pp.704-711 (1995) .
- 8) ユーザビリティとは 【usability】: IT 用語辞典, <http://e-words.jp/w/E383A6E383BCE382B6E38393E383AAE38386E382A3.html>
- 9) みずほ情報総研株式会社, NAVIS 005 — OCTOBER 2008, pp.4-11 (2008) .