

修士論文

次世代Network Controllable Artifactsの検討

同志社大学大学院 工学研究科 情報工学専攻
博士前期課程 2008年度 757番

篠原 翔

指導教授 三木 光範

2010年1月23日

Abstract

Be developing electronic device technologies and information technologies, many artifacts have intelligent functions. At the same time, these intelligent artifacts are connected to the network. In the near future, most artifacts are connected to the network and can be controlled over the network. Also, there are several types of sensors are existed and they are also connected to the network in ubiquitous computing society. In this kind of system, if there is judgment modules are on the network, the total system becomes intelligent systems with networked artifacts and sensors. We define these devices as Network Controllable Artifacts (NCA). When sensors and judge modules are prepared on the network, the system with NCAs becomes intelligent system. In this paper, how to develop intelligent system with NCAs are discussed. At the same time, what are the strong points and the difficulties of the system with NCAs are discussed.

In addition, we propose the system creating and customizing interfaces and controlling the NCAs. This system solves the problem concerning the usability that is one of the difficulties of the system with NCAs. In the proposed system, we can design interfaces freely, and we can adapt the interfaces to increasing NCAs and them functions. Furthermore, as the prototype system, the system that NCAs limited to the networked lighting system was constructed and confirmed the working of the system. By using the proposed system, we can present potential of the systems with NCAs.

目次

1	序論	1
2	知的人工物	2
2.1	知的人工物の定義	2
2.2	知的化と知的性の高度化	2
3	Network Controllable Artifacts	3
3.1	Network Controllable Artifacts の定義	3
3.2	NCA を有したシステムの知的化	4
3.3	Judge の設計	5
3.4	HD , メモリなど計算資源からの解放	6
3.5	仮想的な知的人工物の組み合わせの増加による可能性	8
4	センサや NCA の増加に伴う課題	8
5	携帯端末を利用した次世代インタフェースシステム	9
5.1	システム要件	9
5.2	NCA コントロールプロトタイプシステム	13
6	結論	17

1 序論

システムが、その振る舞いをシステムの持つセンサ情報によって変化させることができれば、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近年多くの人工物が知的化している。また、同時にネットワーク技術も急速に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、人工物同士、もしくは人間と人工物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、センサとこれら的人工物を設置することで、個々の人工物はたとえ知的でない振る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、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。

また、本研究では、ネットワーク化するセンサやNCAの増加に伴う課題の一つ、ユーザビリティの向上を目的としたシステムを提案する。本システムでは、ネットワークで接続されたNCAの操作とNCAの増加やNCAの機能の増加への対応、そしてユーザビリティの向上といった要件を満たすため、インタフェース作成・カスタマイズ機能、インタフェース表示機能を導入した。ユーザがインタフェースを自由にデザインできるため、全てのユーザが好みのインタフェースを作成する事ができ、同時に、NCAの増加やNCAの機能の増加への対応ができると考えられる。また、提案システムのプロトタイプとして、NCAをネットワーク接続された照明システムに限定したシステムを構築し、動作の検証を行った。

以降、第2章では知的人工物について述べる。第3章では、NCAの定義と、NCAを含む知的システムにおいて有効な制御モジュールの設計とその可能性について述べる。第4章では、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。第5章では、ユーザビリティの向上を目

的としたシステムの提案と，そのプロトタイプシステムの構築，動作検証について述べ，最後に第6章で結論を述べる．

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. 2.1 に示す．

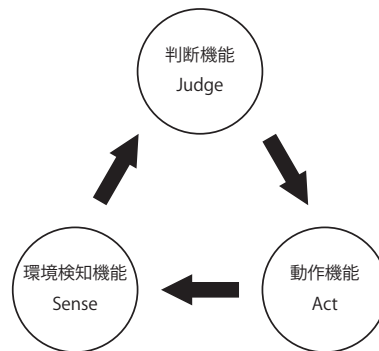


Fig. 2.1 Element of intelligent artifacts

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・量の向上，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. 2.2）

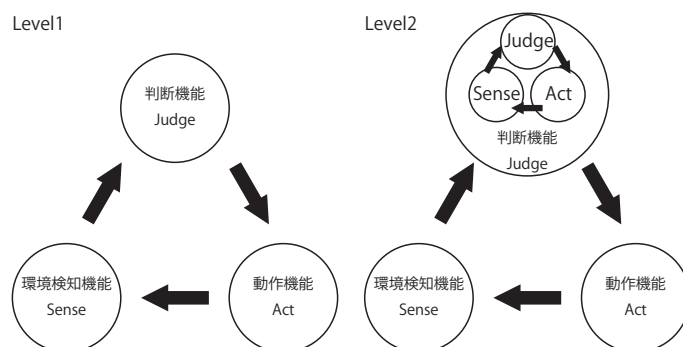


Fig. 2.2 Intelligent Artifacts Level

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，人のいる範囲にしば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考えられる．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」と定義した．定義の通り，NCA は現在既に存在するものである．例えば，インターネットを利用してリモート予約が可能な HDD レコーダなどが NCA と呼ぶ事ができる．リモート予約が可

能な HDD レコーダでは、まず、インターネット上のサービスで番組録画予約設定を行い、その後、自身の登録している HDD レコーダに予約情報を送信、その情報をもとに HDD レコーダの録画予約設定完了となる。

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とそれらのセンサ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. 3.1 に示す。

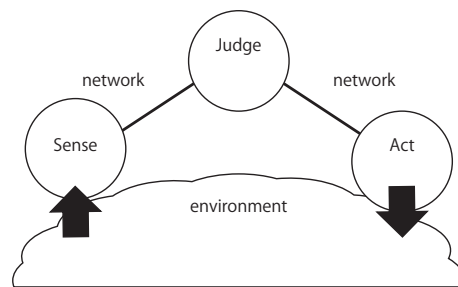


Fig. 3.1 Network Controllable Artifacts

NCA を有したシステムの知的化をドアとインターフォンのカメラを例に説明する。ドアの鍵で知的なもの多くないが、遠隔操作でロックの解除ができるものは多く存在する。例えばインターフォンが鳴ると、インターフォンのカメラの映像や音声などにより誰が来たのかを確認し、その場で解錠ボタン等を押す事によって、実際ドアのところに行く事なくロックの解錠が可能である。これらのインターフォンやドアがネットワークで接続され、ネットワーク上に Judge を設置する事でシステム全体として知的化する事ができる。知的化により、例えば、Judge として顔認証が可能になると、「うちの子が帰ってきたら解錠する」などとあらかじめ設定しておく事でインターフォンのカメラの映像から顔認証を行い、自動で解錠する事ができるようになる。

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れている。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. 3.2)。

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にされるようになる。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、知的人工物でいう 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

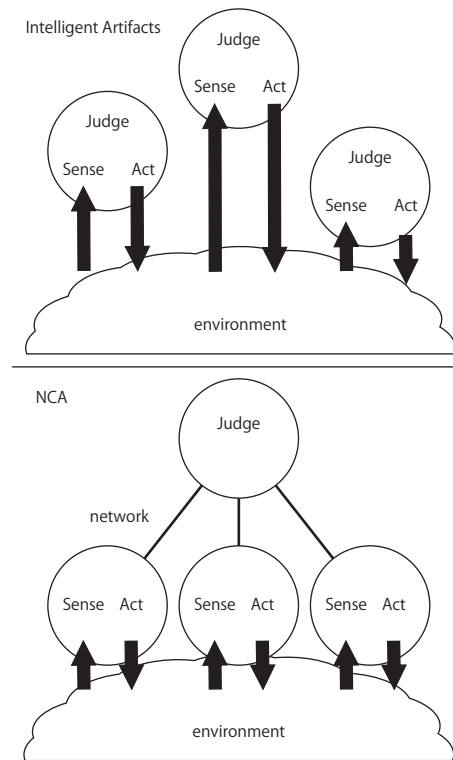


Fig. 3.2 Compare Intelligent Artifacts with Network Controllable Artifacts

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を行い、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、上述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、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. 3.3）。

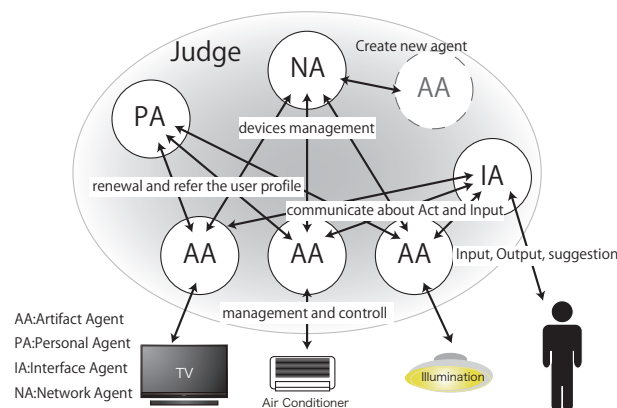


Fig. 3.3 Judge Design

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の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。

莫大な計算資源を利用できれば次のシナリオに見られるような、システムの知的性の高度化が可能となる。現在のエアコンは既に知的で、例えば、温度センサを利用して人の居場所や動き、状態を見

極め、最適な気流を算出し一人一人に合わせた快適空調を実現する事ができる。このエアコンがネットワーク接続され、ネットワーク上の Judge 部としてスーパーコンピュータが利用できるような仮想的な知的人工物のシステムになったとする。すると、エアフロー（空流）センサなどを設置する事で、実際の空気の流れを測定し、空気の流れを実時間シミュレートする事でより高度な快適空調が実現できる。

次に莫大な記憶容量を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 とすることで使いやすいインタフェースを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、パーソナライズし、駅毎・ユーザ毎によく使う駅を表示するなどが考えられる (Fig. 3.4)。



Fig. 3.4 自動券売機におけるフレキシブルなインタフェース

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る、それだけの記憶容量が必要となる。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、同様に記憶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 などの記憶容量からの解放が可能となる。

また、計算量から解放することができれば、これまで不可能であ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の増加による可能性

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ようになり、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ようになった。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する、屋外からの自動録画制御するなどが可能である。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、NCA 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実現されると、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し、より細かな生活支援が可能となる。

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. 4.1)。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、変化や複雑化、多様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

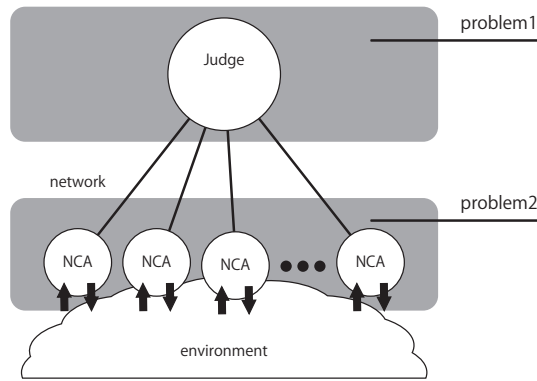


Fig. 4.1 problems of Network Controllable Artifacts

機器を制御できる様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、障がい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 携帯端末を利用した次世代インタフェースシステム

本章では、上述したNCAの操作性向上を目的としたシステムを提案する。提案システムを利用することにより、NCAの増加や機能の増加にもフレキシブルに対応しNCAを操作する事が可能になり、また同時に、ユーザビリティ向上もできると考えられる。

5.1 システム要件

提案システムの目的は、NCA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うNCAの操作の複雑化・多様化に対応し、NCA操作のユーザビリティを向上させることである。したがって、システム要件として以下が挙げられる。

- NCAの操作

まず、対象となるNCAを含む仮想的な知的人工物となるシステムを構築する。提案システムでは、操作端末としては様々なセンサ（加速度センサ、タッチパネル、GPSなど）を有する携帯端末iPhoneを利用する。

- NCAの増加やNCAの機能の増加への対応

NCAの増加やNCAの機能の増加に対応するための機能として、インタフェース作成・カスタマイズ機能を考える。新たな操作対象となるNCAが増えるたびに、また、NCAに新たな機能が追加されるたびに、それらに合わせてインタフェースを作成する事で、NCAの増加やNCAの機能の増加に対応できると考えられる。

- ユーザビリティの向上

ユーザビリティの向上は，上で述べたインタフェース作成・カスタマイズ機能により実現できると考えられる．インタフェース作成カスタマイズ機能により，全てのユーザがそれぞれ好みのインタフェースを作成する事ができる．

インタフェース作成・カスタマイズ機能，インタフェース表示機能を導入したシステムの概要を Fig. 5.1 に示す．

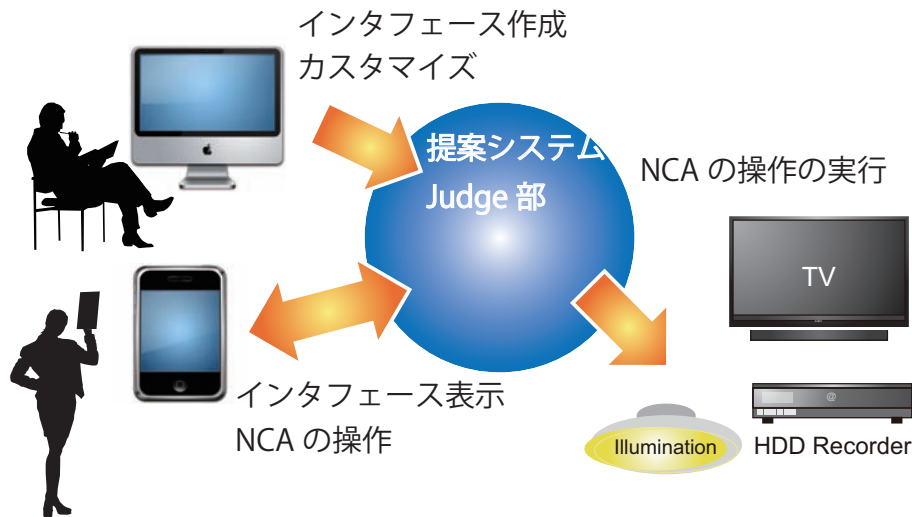


Fig. 5.1 提案システム概要

提案システムでは，ユーザは web ブラウザを利用し，インタフェースの作成・カスタマイズを行う．ここで作成されたインタフェースは，iPhone から利用する事ができ，それにより NCA を操作する事ができる．以降，インタフェース作成・カスタマイズ機能，インタフェース表示機能について述べる．

5.1.1 インタフェース作成・カスタマイズ機能

インタフェース作成・カスタマイズ画面を Fig. 5.2 に示す．ユーザはボタンオブジェクトを iPhone インタフェース上にドラッグ&ドロップすることで，ボタンを配置する事ができる．ボタンプロパティ上の値を変更する事で，ボタンの配置，ボタンの大きさ，ボタンの色，ボタンのラベル，ラベルの色，ボタンの機能を自由に設計できる．ただし，ボタンプロパティに表示されている値は，Fig. 5.2 に示している iPhone インタフェース上で最後にクリックされたボタンの値である．それぞれ，label がボタンのラベルに表示される文字列，width がボタンの幅，height がボタンの高さ，x・y はボタンの位置で iPhone インタフェースの左上を原点としている，color がボタンの色，text color がラベルの色，action がボタンを押した時に実行される Act を示す文字列を表している．ただし，x・y は，ボタンの配置に関係する要素なので，値の入力とボタンオブジェクトのドラッグ&ドロップとのどちらでもボタンの配置を変更する事ができるため，おおよその位置の調節はドラッグ&ドロップで行い，細かい位置の調節は値の入力にするなど，ユーザの好みによって操作方法を選択できる．また，interface name は作成しているインタフェースの名前である．SAVE ボタンを押すことで，インタフェース情報は web 上に保存される．インタフェース情報は XML 形式で保存される．保存される XML データサンプルを Fig. 5.3 に示す．今後，ボタン以外のインタフェース，例えば，指のジェスチャやスラ

イドバー，加速度の検知などを NCA の入力に利用することも考え，インタフェースの拡張が容易な XML 形式を採用した．

ボタンオブジェクト iPhone インタフェース

ボタンプロパティ

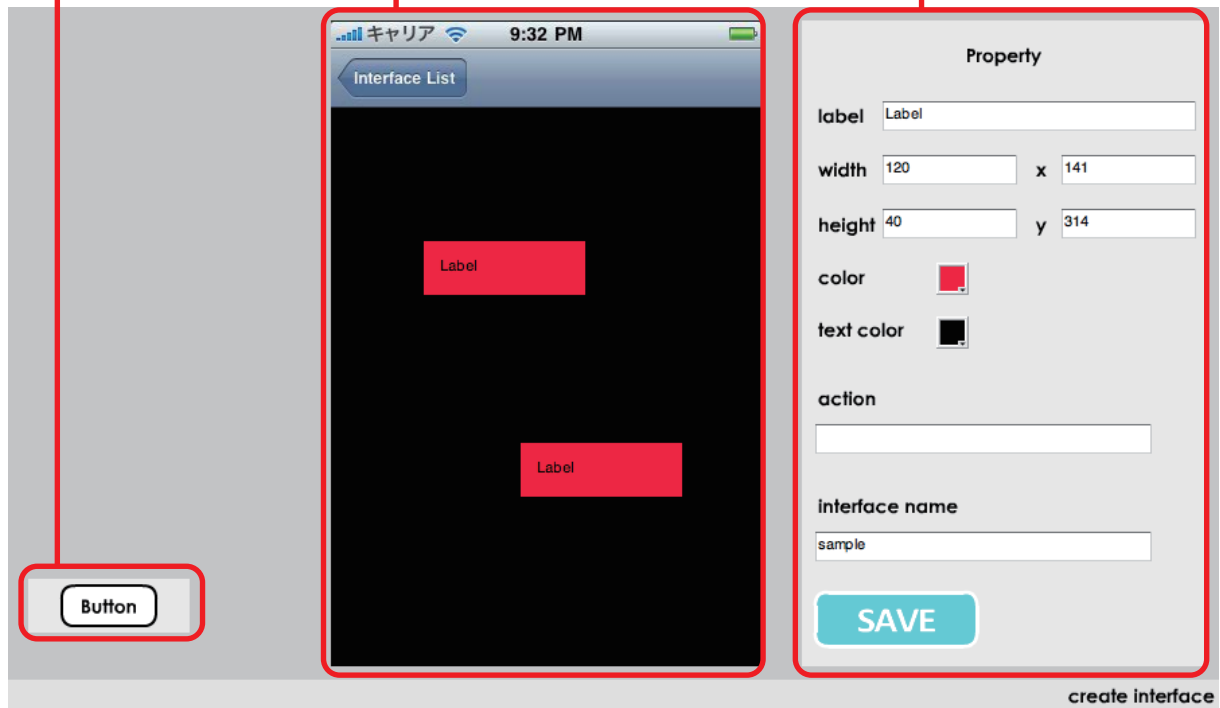


Fig. 5.2 インタフェース作成・カスタマイズ画面インタフェース

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<interfaces>
<interface>
  <interface_name>sample</interface_name>
  <button id="button2">
    <label>Label</label>
    <width>120</width>
    <height>40</height>
    <x>141</x>
    <y>314</y>
    <color>0xFF0033</color>
    <text_color>0x000000</text_color>
    <action/>
  </button>
  <button id="button3">
    <label>Label</label>
    <width>120</width>
    <height>40</height>
    <x>51</x>
    <y>157</y>
    <color>0xFF0033</color>
    <text_color>0x000000</text_color>
    <action/>
  </button>
</interface>
</interfaces>
```

Fig. 5.3 xml データサンプル

5.1.2 インタフェース表示機能

インタフェース作成・カスタマイズ機能で作成したインタフェースは web ブラウザから閲覧, iPhone から閲覧・利用することができる。web ブラウザでのインタフェース表示画面を Fig. 5.4 に, iPhone でのインタフェース表示画面を Fig. 5.5 に示す。web ブラウザからは, まず Fig. 5.4 左図に示すように, 作成したインタフェースのリストが画面左下部に表示される。インタフェースをクリックする事により Fig. 5.4 右図のように, 拡大して閲覧する事ができる。一方, iPhone からは, まず Fig. 5.5 左図に示すような TOP 画面で, 作成したインタフェースのリストが表示される。TOP 画面のインタフェースリストから, インタフェースを選択する事で, Fig. 5.5 の右図のように作成したインタフェースを表示する。表示されたインタフェース上のボタンを押す事で, 対象となる NCA に設定した命令を送信する。

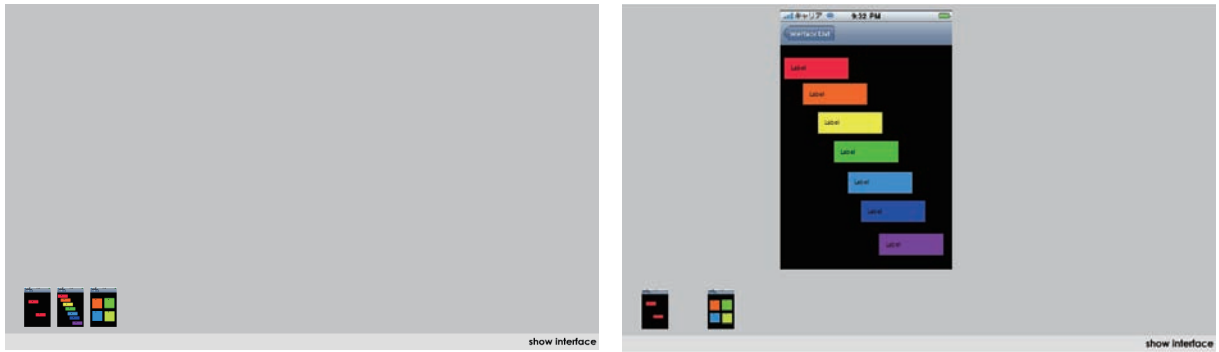


Fig. 5.4 インタフェース表示画面 (web ブラウザ)



Fig. 5.5 インタフェース表示画面 (iPhone)

5.2 NCA コントロールプロトタイプシステム

本研究では、提案システムのプロトタイプとして操作対象となる NCA を照明システムに限定した NCA コントロールプロトタイプシステムを構築した。この照明システムでは、ネットワークに接続された 48 灯の照明を、マスターコントローラを介して個別制御することができる¹⁰⁾。本節では、この照明システム操作のためのプロトタイプシステムの構成と照明システムのための Act の設計、プロトタイプシステムの動作検証について述べる。

5.2.1 プロトタイプシステム構成

プロトタイプシステムの構成図を Fig. 5.6 に示す。

Fig. 5.6 に示すように本システムでは、web ブラウザを用いたインタフェース作成・カスタマイズ

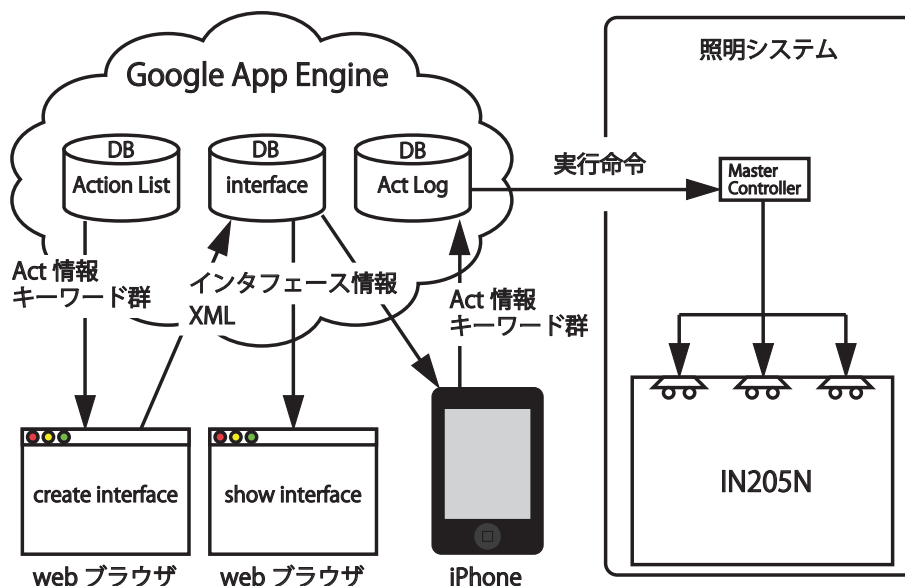


Fig. 5.6 プロトタイプシステム構成図

機能 (create interface), インタフェース表示機能 (show interface), iPhone を用いたインタフェース表示機能を利用する事ができる。また, インタフェースの情報は interface データベースに, 照明システムで実行可能な Act のリストは Action List データベースに, iPhone から実行された Act は Act Log データベースにそれぞれ格納される。web ブラウザ表示用の HTML や Flash の保存, データベースは Google App Engine¹を利用している。Act Log データベースに格納された Act は, 照明システムコントロール用のデータ形式に変換され, マスターコントローラに送信される。

5.2.2 Act の設計

近年, 家電やセンサを家庭内のネットワークに接続することで, 家庭内のネット家電をもとに多様なサービスを提供するホームネットワークシステム (HNS) の開発が進みつつある¹¹⁾¹²⁾。また, 政府機関なども新たな HNS サービスの開発支援や普及促進を行っている¹³⁾。HNS では, ホームネットワークに接続された各種ネット家電がその機能を利用するための API を公開しており, HNS サービスは, これらの API を決められた手順で呼び出すソフトウェアによって実現される。以上の背景より, NCA でも同様に, 機能を利用するための API を利用する事で NCA を操作する事を考えている。しかし, 家電の API と同様に, 結果的に製品間での差別化を図ることができなくなるなどの理由から, API の仕様の厳格な決定は現実的ではない。そこで, NCA への操作の実行は, 複数のキーワードによって行う事を考えている。例えば, キーワードとしては, NCA の種類, ロケーション, 設定値, ID などが挙げられ, 「Room1 の照明 No.3 を設定値 80 で点灯させる」という実行命令は「Objecet:Lighting Location:Room1 order:80 ID:3」のように表現する。この実行命令を提案システムの Judge で, NCA の機能を利用するための API 向けに変換し実行する事で, NCA への操作を行う。このように, キーワードで命令文を作成し, API 向けに変換する事で, 多様な API に対応できると考えている。Act の設計は, NCA の機能を利用するための API や, API 向け変換モジュールに関する専門知識を持ったユーザが利用するものとしている。ここで設計された実行命令は, Action List データベースに格納

¹<http://code.google.com/appengine/>

され、インタフェース作成・カスタマイズ機能利用時にボタンの action として設計する事ができる。

5.2.3 動作検証

本実験では構築したプロトタイプシステムを用いて、web ブラウザから照明用のインタフェースを作成した後、iPhone から作成したインタフェースを利用し、照明システムが動作することを確認する。動作検証の流れを以下に示す。

(1) Act の設計

照明システムの実行命令を作成する。本動作検証では、全点灯と全消灯を Act として設計した。それぞれ「Objecet:Lighting Location:IN205N order:255 ID:0-47」「Objecet:Lighting Location:IN205N order:0 ID:0-47」とした。ここで「order:255」は点灯「order:0」は消灯を表し、「ID:0-47」は照明 0 から照明 47 を表す。

(2) インタフェースの作成 (web ブラウザ)

web ブラウザを利用して全点灯と全消灯を行えるインタフェースを作成する。作成したインタフェースを Fig. 5.7 に示す。

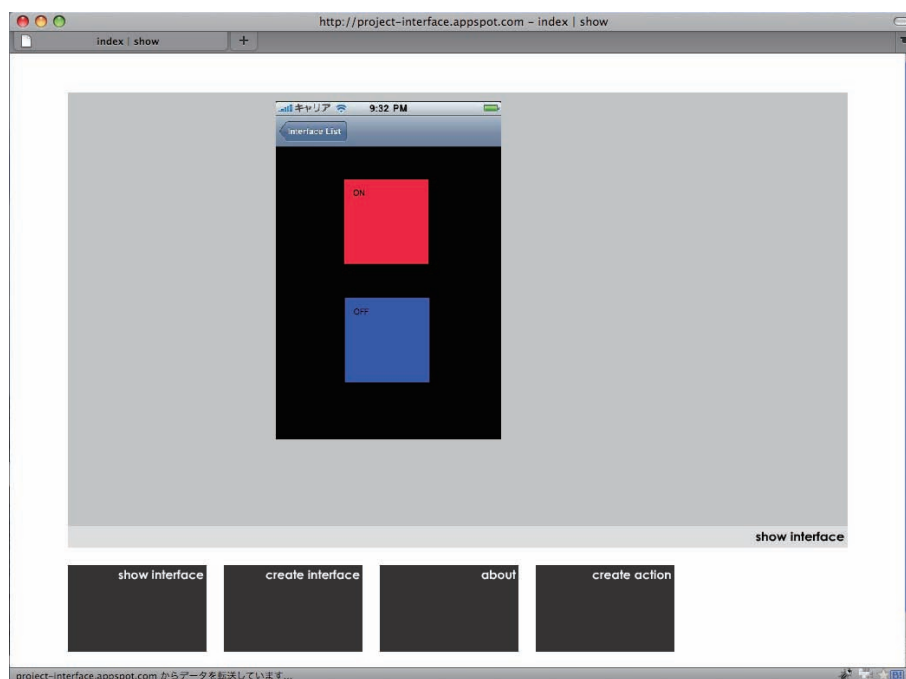


Fig. 5.7 全点灯全消灯インタフェース

このインタフェースでは、interface_name を ON-OFF、ON ボタンの label を ON、width を 120、height を 120、x を 97、y を 111、color を 0xFF0033、text_color を 0x000000、action を Lighting:255:IN205N:0-47、OFF ボタンの label を OFF、width を 120、height を 120、x を 98、y を 279、color を 0x3333ff、text_color を 0x000000、action を Lighting:0:IN205N:0-47 とした。

(3) インタフェースの表示 (iPhone)

iPhone を利用して作成したインタフェースを Fig. 5.8 に表示する。

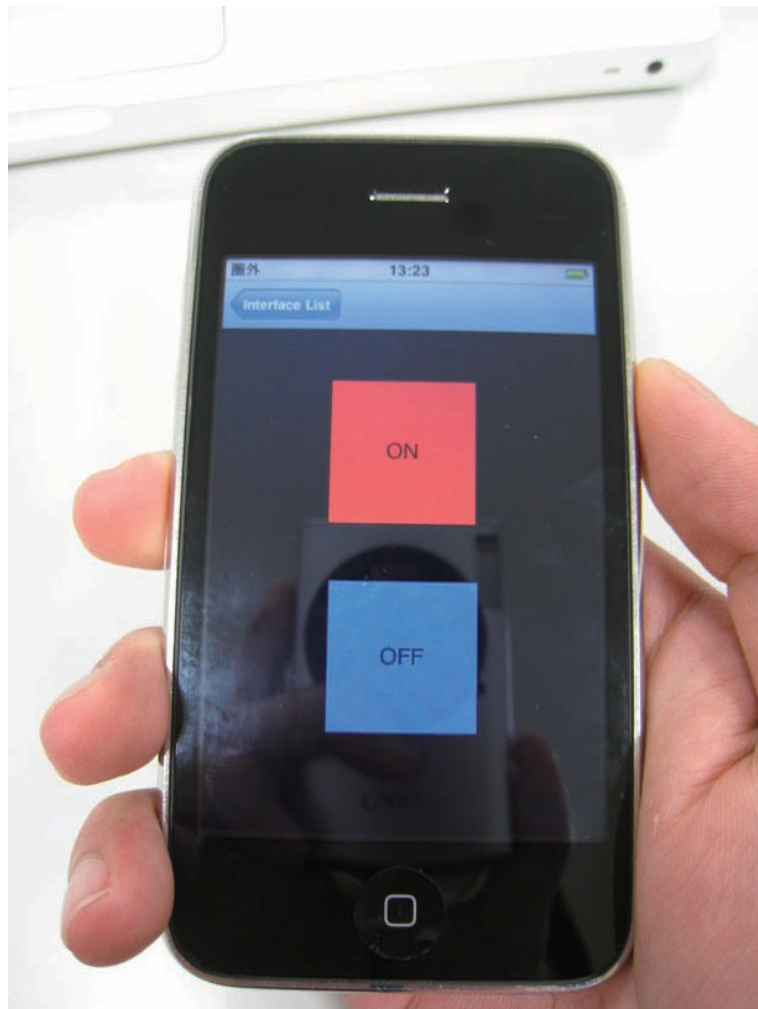


Fig. 5.8 インタフェースの表示

(4) インタフェースの利用 (iPhone)

iPhone を利用して作成したインタフェースを利用する .

ON ボタンを押すと全点灯 , OFF ボタンを押すと全消灯する事が確認できた .

プロトタイプシステムの構築により「ネットワークで接続された NCA の操作」「NCA の増加や NCA の機能の増加への対応」, またインタフェース作成・カスタマイズ機能より「ユーザビリティの向上」が確認できた .

6 結論

本研究では、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) を「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」と定義した。また、NCA の他にネットワーク上にセンサとそれらのセンサ情報を入手しそのデータ情報を基に NCA を制御する Judge を設置することで、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り、これにより、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することができる。また、NCA や仮想的な知的人工物の組み合わせの増加によって実現できる未来の可能性について紹介した。次に、NCA の実現とそれに伴う課題と、その課題の一つであるユーザビリティに関する課題の解決案を提案した。提案システムでは、ネットワークで接続された NCA の操作、NCA の増加や NCA の機能の増加への対応、ユーザビリティの向上を目指し、インタフェース作成・カスタマイズ機能、インタフェース表示機能を実装した。さらに、動作検証のためにそのプロトタイプシステムの作成を行い、NCA を含む知的システムの可能性を確認する事ができた。以上より、人工物の知的化やユビキタスコンピューティング時代の到来に伴う、システム全体としての高度な知的性の実現とそれに向けた課題の解決に貢献できたと考えられる。

今後の課題として、Act の設計の一般化やユーザビリティのさらなる向上などが挙げられる。Act の設計は、プロトタイプシステムにおいて、照明システムへの操作の実行を複数のキーワードによって行っていたが、その他 NCA に適用した時に問題が発生しないか検討する必要がある。ユーザビリティの向上として、Nielsen は著書 Usability Engineering¹⁴⁾ で「十分なカスタマイズの適応性を備えることで全てのユーザがまさに好みのインタフェースを持つことができるが、そのような場合にも、初心者ユーザはインタフェースをカスタマイズすることはせず、熟練したユーザはカスタマイズ設定を使用することがわかっている」と述べている。このような立場から、Nielsen はユーザ自身にカスタマイズを任せる場合の注意点として「カスタマイズ設定は前もってよくデザインされた選択肢の中から選択するという形式を取っているときのみ簡単に行うことができる」、「カスタマイズ設定自体ユーザインタフェースが必要であり、そのことでシステムの複雑性とユーザの学習量が増える」、「多大なカスタマイズの可能性は各ユーザが他のユーザと大きく異なるインタフェースを持つ事につながるとともに、他人からの助けが困難になる」、「ユーザは必ずしもデザインに関して最適な決定をするとは限らない」の4つを挙げている。ユーザはデザイナーではないのですべてをユーザ自身にカスタマイズさせることは、使いやすいインタフェースを生まないだけでなく、ユーザにとって大きな負担となる。よって、ユーザ自身によるカスタマイズはできるだけ熟練者を対象としたものにし、初心者に対しては、ユーザ自身によるカスタマイズを必要としないよう注意することが重要である。また、「十分なカスタマイズの適応性」とあるが、プロトタイプシステムでは、ボタンによる操作のみカスタマイズ可能であるため、十分とは言えない。今後、指によるジェスチャや加速センサの利用など、自由な入力を可能にするとともに、あらかじめ予想されるインタフェーステンプレートを準備するなどして、初心者ユーザに考慮する事で、ユーザビリティの向上が見込める。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、主担当教員として3年間に渡り多大なる御指導を頂きました、同志社大学生命医科学部の廣安知之教授に心より感謝いたします。また、副担当教員として様々な指摘や助言をして頂き、様々な研究活動の機会を与えて頂きました、同志社大学理工学部の三木光範教授に心より感謝いたします。これまで三木先生、廣安先生のご指導の下、3年間の研究活動に尽力して今に至りましたことを、この場を借りて重ねて厚く御礼申し上げます。本当にありがとうございました。また、様々な指摘、助言をしてくださいました、同志社大学理工学部助教の吉見真聡氏に心より感謝いたします。さらに、本研究を進める上で幾度も相談に乗り、本論文の修正に時間を割き、最後まで心配してくれた、医療空間グループの中村彰之さんに心より感謝いたします。また、本論文の修正に時間を割いてくれた、クラスタリンググループの水野珠季さん、および、研究の相談に乗ってくれた医療空間グループのメンバーの田辺竜也さん、里村宏章さん、横田山都さん、大西佑奈さんに感謝いたします。また、研究に関して議論、およびアドバイスしていただいた松村冬子さんに心より感謝いたします。いくつもの苦難を共にし、励ましあい、多くの経験を共にした11期生の皆さん、特に医心館で生活を共にした渡辺章人さん、王路易さん、渋谷翔吾さん、川崎考蔵さん、田中美里さんに心より感謝いたします。そして、知的システムデザイン研究室の皆様にも心より感謝いたします。3年間にわたり知的システムデザイン研究室において、非常に意欲的で活動的な皆さんと切磋琢磨しつつ、素晴らしい環境の下で研究ができたことを心から嬉しく思います。最後に、私の研究活動に理解を示し、様々な面で支えとなってくれた家族、そして私を支えてくれた全ての方々に深く感謝し、修士論文とさせていただきます。

参考文献

- 1) 坂村健，ユ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）
- 10) 中村彰之，知的医療空間システムの環境構築 ～個別制御可能な照明システムにおける照明制御 UI の提案～，同志社大学工学部知識工学科卒業論文（2009）
- 11) エンドユーザのためのセンサ駆動サービス構築支援環境
<http://www27.cs.kobe-u.ac.jp/wiki/home/index.php>
- 12) 福岡佑介，ネットワーク家電と標準インタフェースとの動的結びつけによるマルチベンダホームネットワークシステム構築手法，奈良先端科学技術大学院大学修士論文（2008）
- 13) ネット KADEN2007
<http://www.meti.go.jp/policy/netkaden.html>
- 14) Jakob Nielsen，Usability Engineering（Academic Press Inc，1993）

付 図

2.1	Element of intelligent artifacts	2
2.2	Intelligent Artifacts Level	3
3.1	Network Controllable Artifacts	4
3.2	Compare Intelligent Artifacts with Network Controllable Artifacts	5
3.3	Judge Design	6
3.4	自動券売機におけるフレキシブルなインタフェース	7
4.1	problems of Network Controllable Artifacts	9
5.1	提案システム概要	10
5.2	インタフェース作成・カスタマイズ画面インタフェース	11
5.3	xml データサンプル	12
5.4	インタフェース表示画面 (web ブラウザ)	13
5.5	インタフェース表示画面 (iPhone)	13
5.6	プロトタイプシステム構成図	14
5.7	全点灯全消灯インタフェース	15
5.8	インタフェースの表示	16

付 表