

# マルチエージェントに基づく 異種センサの柔軟な連携手法の提案

伊藤 大視<sup>1,2,a)</sup> 栗田 泰洋<sup>1,2,b)</sup> 高橋 秀幸<sup>1,2,c)</sup> 木下 哲男<sup>1,2,d)</sup>

**概要:** 近年, 様々なセンサと情報を利活用したサービスの実現へ期待が高まっている. 本研究の目的は, 家電と多様なセンサの柔軟な連携が可能となるセンサネットワーク基盤の実現である. 我々はマルチエージェントを用いたセンサ連携手法を提案する. 具体的には, 異種センサ間の動的な連携を実現する仕組みを設計し, プロトタイプシステムによる実験結果を述べる.

**キーワード:** ユビキタスコンピューティング, センサネットワーク, 連携手法, マルチエージェント

## An Flexible Cooperative Mechanism based on Multi-agent for Heterogeneous Sensor

TAISHI ITO<sup>1,2,a)</sup> YASUHIRO KURITA<sup>1,2,b)</sup> HIDEYUKI TAKAHASHI<sup>1,2,c)</sup> TETSUO KINOSHITA<sup>1,2,d)</sup>

**Abstract:** Recently, a service that utilize various sensors and information has been emerging. We aim to provide a flexible cooperative system for sensors and home appliances. We propose an cooperative mechanism to heterogeneous sensors based on a concept of multi-agent. The mechanism has a dynamic cooperative framework for heterogeneous sensors. We describe experimental results of prototype system.

**Keywords:** Ubiquitous Computing, Sensor Network, Cooperative Method, Multi-agent

### 1. はじめに

近年, 様々なセンサと情報を利活用したサービスの実現へ期待が高まっている. その背景として, これまでユビキタスコンピューティング, パーベシブコンピューティング, アンビエントコンピューティングなどのコンピューティング環境に関する様々な研究開発が行われてきた. それらの環境下において, ハードウェア, ソフトウェア, ネットワーク, センサなど多種多様なコンポーネントを用いて

見守り, ヘルスケア, マルチメディアサービスなど生活支援を行う研究成果が多く報告されている. 更に環境負荷低減, 省エネ, 電力の売買などエネルギー管理システムへの要求が高まっており, CO<sub>2</sub>削減を目指したグリーンICTやHome Energy Management System(HEMS)などスマートグリッド, スマートホームなどの研究も盛んに行われつつある. これらの実現には, 様々なセンサと情報をいかに利活用するかが重要となる.

本研究の目的は, 家電と多様なセンサの柔軟な連携が可能となるセンサネットワーク基盤の実現である. このセンサネットワーク基盤により, 様々なセンサ(スマートメータ, 居住環境内センサ, 位置センサ, 生体センサなど)および多様な家電(照明, 冷蔵庫, エアコンなど)が連携し, 一人暮らしの高齢者の見守り支援, ヘルスケア, 安否確認などの高度なサービスの提供が可能になる. しかし, これを実現する上で次の技術的課題が存在する.

<sup>1</sup> 東北大学大学院 情報科学研究科  
Graduate School of Information Sciences, Tohoku University  
<sup>2</sup> 東北大学 電気通信研究所  
Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, 宮城県 仙台市青葉区片平 2 丁目 1-1  
a) itot@k.riec.tohoku.ac.jp  
b) kurita@k.riec.tohoku.ac.jp  
c) hideyuki@riec.tohoku.ac.jp  
d) kino@riec.tohoku.ac.jp

- (P1) 異種センサ間の用途に応じた連携が困難
  - (P2) センサの即興的な追加・削除への対応が困難
- そこで問題解決のために本研究ではマルチエージェントに基づく異種センサの柔軟な連携手法を提案する．具体的には上記の技術的課題に対する提案として
- (R1) 異種センサ間の連携を可能にする構成要素のエージェント化
  - (R2) センサの即興的な追加・削除に対応可能な連携プロトコルを提案する．

## 2. 関連研究と技術的課題

従来研究として，異種センサ間の連携を可能にするためのフレームワークや要素技術の研究がおこなわれてきた．コンテキストウェアサービスの構築を支援するためのフレームワークとツールキットに関する研究 [1] では，context widget, aggregator, interpreter, service, discover というコンポーネントを定義し，それらのコンポーネントが相互に連携するフレームワークとツールキットをサービスの開発者に提供することでコンテキストウェアサービスの構築支援を行っている．

コンテキストウェアネスの実現に必要なイベントを効率的に検出するフレームワークに関する研究 [2] では，文献 [1] をもとにイベントを検出するステップを要求受付・判定・通知として定義し，センサを同一のインターフェースで扱える仕組みを提案し，コンテキストウェアネスの実現に必要なイベントを効率的に検出するフレームワークを提案している．

センサネットワークを制御・管理する機能をモバイルエージェントのコンポーネントにより階層化したミドルウェアに関する研究 [3] では，センサネットワークを制御・管理する機能をモバイルエージェントのコンポーネントにより階層化したミドルウェアを提案し，センサの追加・削除をコンポーネントの追加・削除によって行っている．モバイルエージェントを用いたセンサネットワークの通信量を削減するデータ収集システムに関する研究 [4] では，ユーザ端末でモバイルエージェントを生成し各地点に投入して各地点でデータを収集し，処理を行うことで，センサネットワークの通信量を削減するシステムを提案している．

ウェアラブルコンピューティングにおけるインクリメンタルな開発をサポートする Wearable Toolkit [5] の研究ではセンサデータから抽出された利用者のコンテキスト情報から特定の場面を抜き出し，独自のルール処理エンジンを用いることで，特定のコンテキスト状態に対するアプリケーションの実装・デバッグを容易に行うことができる．この研究におけるセンサは，実環境の物理量を獲得するデバイスに限らず，メールの受信やチャットクライアントソフトの挙動などの状態を獲得する機能として定義されている．

また，センサデバイスはツールキット中にプラグインの形で導入するため，実行時の追加・削除・変更が可能である．

センサデータを活用したアプリケーション開発手法に関する研究 [6] では，デバイスサーバと呼ばれるセンサアプリケーション間の中間に位置するソフトウェア層を導入することでアプリケーション動作とセンサ動作の結合度を抑え，それぞれの動作を個別かつ同時並行して開発することが可能である．ここでデバイスサーバとは特定のソフトウェアの実装を表わすものではなく，個々のセンサの種類に応じて個別に作られるネットワークサーバを表わしている．

以上の関連研究を基に異種センサを柔軟に連携するための技術的課題を整理する．まず本研究におけるセンサは実環境の人・物・空間の物理量を計測するデバイスである．この物理量は例として温度・湿度・照度・音量や質量・加速度等で，専用のセンサデバイスを用いて計測される．また，センサデバイスは同時に複数の計測機能を持つ場合（温度と湿度，照度と加速度など）がある．本研究ではこれらも“センサデバイス”と呼ぶ．センサデバイスの利用場面では，利用者自身によるセンサデバイスの追加・削除，利用方法の変化に伴うセンサデバイスの再配置などが行われる．このため，家電とセンサ間を連携させ高度なサービスを提供するためには，多種多様なセンサデバイスが出力する物理量の標準的な処理方法とデバイス毎に単位や精度が異なる場合への対応，センサデバイスの追加・削除・再配置への対応が必要となる．本研究ではこれらの技術的課題に対しマルチエージェントに基づく異種センサの柔軟な連携手法を提案する．

## 3. マルチエージェントに基づく異種センサの柔軟な連携手法の提案

本提案手法はセンサデバイスエージェント群，仮想実環境エージェント，センサ利用エージェント群の3層から成る（図1）．センサデバイスエージェント群はセンサデバイスをソフトウェアとして扱うエージェントプログラム（センサデバイスエージェント）から成る層である．この層に属するエージェントはセンサデバイスが観測する物理量を正規化し，自身が対応する仮想実環境エージェントへその物理量，観測場所を通知する機能を持つ．

仮想実環境エージェントは実環境の空間の場に対して，物理量を保存し公開する役割を持つエージェントである．この仮想実環境エージェントがセンサデバイスエージェントから通知を受け取った場合，その通知に含まれる物理量の観測場所をもとに，対応する空間の場に物理量と受信時刻を保存する．

センサ利用エージェント群に属するサービス構成エージェントは，実環境の情報を取得・利用し，省電力サービスや監視サービスなどを提供する．サービス構成エージェ

ントは仮想実環境エージェントに対して、利用したい場と物理量の種類を通知する。場がセンサデバイスエージェントの観測場所と重ならない場合は、仮想実環境エージェントは物理量の補間などでそれに対処する。このような3層の構造にすることで、センサデバイスの特質を抽象化しつつも実環境内の物理量の取得が可能である。

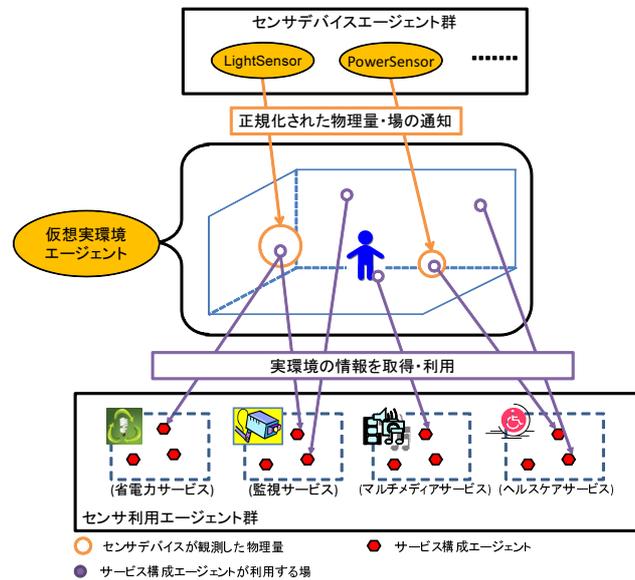


図 1 提案手法のアーキテクチャ

Fig. 1 An architecture of the proposed method

### 3.1 (R1) 異種センサ間の連携を可能にする構成要素のエージェント化

エージェントフレームワーク [7] に基づき、実環境の個々の構成要素 (センサデバイスやセンサ利用ソフトウェア) のエージェント化を行う。エージェント化とは、構成要素に対して知識を付加することでエージェントとして動作可能にすることである。エージェントは刻々と変化する構成要素の状態をコンテキストとして扱うことが可能である。個々のエージェントに、コンテキスト管理機能、エージェント間協調機構、エージェント間の通信の性質や計算機・ネットワークの状況に基づいて適応的に通信方式の切り替えを実現する適応型プラットフォーム間通信機構 [8] を与え、異種センサ間の連携時に発生する多様な要求を満たしながら柔軟なサービスの構成を行う。

センサデバイスエージェントから仮想実環境エージェントへ通知するセンサデータの要素は正規化された物理量・観測場所の2要素から成る。そのためセンサデバイスエージェントはセンサデバイスの実環境における場の取得、物理量に対する正規化処理を行わなければならない。取得される場所の例を表 1 に、物理量の例を表 2 に示す。

これらの処理を行った後に仮想実環境エージェントへ表 3 に示す Key-Value ペアの形のデータを通知する。この

表 1 実環境上の場所の例

Table 1 An example of a real environment location

場の名称	意味
W302	W302 という部屋
W303	W303 という部屋
(30.0, 15.0, 100.0)	実環境の相対位置

表 2 正規化された物理量の例

物理量の種類	説明	値の範囲
Force	圧力を表わす	0 ~ 1000
Light	照度を表わす	0 ~ 1000
Touch	接触・非接触状態を表わす	0 又は 1000
Rotation	回転角を表わす	0 ~ 1000
Slider	スライダの位置を表わす	0 ~ 1000
Motion	モーションセンサの状態を表わす	0 ~ 1000
RFID	検出した RFID タグ識別子を表わす	文字列
Power	消費電力を表わす	ワット数
...	...	...

表中の“<>”で囲まれた部分は実際にセンサデバイスエージェントが取得した物理量の種類・値が書き込まれる。

表 3 仮想実環境エージェントへ通知するデータの構造

Table 3 A data structure to inform a physical information to a virtual real-environmental agent

Key	Value
Location	< 実環境における場 >
< 物理量の種類 >	< 物理量 >
...	...

### 3.2 (R2) センサの動的な追加・削除に対応可能な連携プロトコル

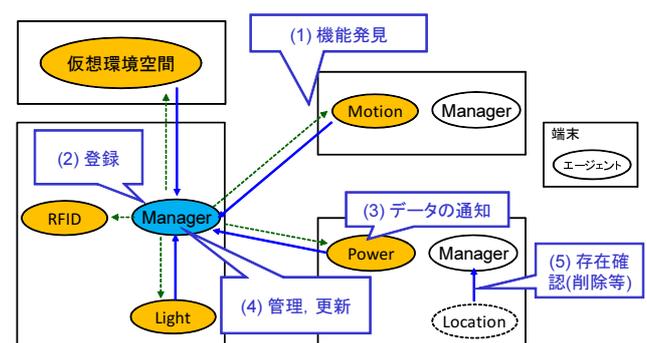


図 2 センサの動的な追加・削除に対応可能な連携プロトコル

Fig. 2 A protocol for addition and deletion of sensors

センサの動的な追加・削除に対応可能な連携プロトコルを図 2 に示す。まずブロードキャストによるセンサの発見 (機能発見) を行う。次に各センサの基本情報の登録を行い、サービスや要求、資源状況に応じたセンサデータの通知を行う。またやり取りされるデータの統合および他の

エージェントへの通知，定期的なポーリングによるセンサの存在確認を行い，センサの動的な追加・削除に対応する．提案手法の適用例を図3に示す．まず W302, W303 という実環境の場所に複数のセンサが設置されており，センサデバイスエージェント群にそれぞれのセンサを扱うエージェントが存在している．またそれぞれの場所に対して仮想実環境エージェントが存在し，センサ利用エージェント群の Sensor Application1, Sensor Application2 が実環境の情報を利用している．それぞれのセンサデバイスエージェントは 3.2 節で示したプロトコルに従って，動的に追加・削除される．

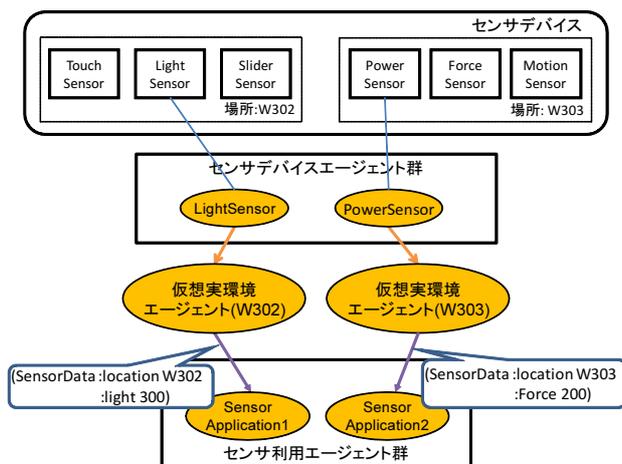


図3 提案プロトコルの適用例

Fig. 3 Application example of proposal mechanism

## 4. 実験と評価

提案手法の有効性を検証するため，センサとして Phidgets[9], e!NODE[10] および MOTE[11] を用いた．またプロトタイプシステムをエージェントの開発環境 IDEA[12] および Java 1.6 SE を用いて実装した．エージェントは 3.1 節で述べたデータ構造を，エージェント間通信言語 (ACL) で送受信するようにし，データ形式として以下の例に示す書式を用いた．

```
(SensorData :location W302 :light 300
:force 200 :RFID ...)
```

この例で “:location” は仮想実環境エージェント内の場を表わし，“:light”, “:force”, “:RFID” などは正規化された物理量の Key を表わしている．また “W302”, “300”, “200” などは正規化された物理量を表わす．センサデバイスエージェントは協調・連携時に，Key および物理量を動的に追加する．

### 4.1 実験方法

本実験ではプロトタイプアプリケーションとして以下の

3 つについて実験を行った．

- (実験 1) エアコン制御アプリケーション
- (実験 2) ガス警報アプリケーション
- (実験 3) 加湿器制御アプリケーション

センサデバイスとして Phidgets[9] の照度センサ，サーボモータ，タッチセンサ，圧力センサ，スライダ，RFID リーダ，および MOTE[11] の照度センサ，e!NODE[10] の電力センサ，SSR ユニットを用いた．MOTE は湿度センサ，温度センサなど複数の計測機能を持つセンサである．電力センサは消費電力をセンシングする機能と電力を制御する機能を持つ．実験 1 では，センサとして照度センサ，アクチュエータとしてサーボモータを用いた連携および制御の動作を確認する．実験 2 ではモーションセンサとソフトウェアアプリケーションとの連携を確認する．実験 3 では照度センサ，湿度センサ，RFID リーダ，電力センサ，SSR ユニットなどの異種センサの連携，センサの追加が可能であることを確認する．

### 4.2 実験 1: エアコン制御アプリケーション

エアコン制御アプリケーションは照度センサ，サーボモータ，またこれら 2 つをエージェント化した Light agent, Servo agent 及び照度の判断を行う Manager agent から構成される．Light Agent が照度を取得し，エージェント間通信により Manager agent に照度を送信する．照明の ON/OFF を判断することによって人の在席状況を判断し，状況に応じて Manager agent が Servo agent に回転角を通知することで制御し，エアコンの制御パネルに設置されたサーボモータが電源の ON/OFF を制御する．エージェントは取得した照度データと経過時間の関係から，在席状況を判断する知識を持つ．これにより人の入室・退室を判断し，なおかつ照度のゆらぎによる誤作動を防いでいる．それらを図にしたものを図 4 に示す．実験は以下の通りである．

- (1) 人が入室し照明を点ける
- (2) 人が退室し照明を消す

実験結果から，入室時に照明の照度が変化したことによってサーボモータが作動し，エアコンの制御が行え，センサ間の連携が確認できた．

### 4.3 実験 2: ガス警報アプリケーション

ガス警報アプリケーションは，ある一定時間ガスコンロが点火状態のままであるとモーションセンサが検知し，警報と警告の表示を行うことでガスの使用者に注意を促すアプリケーションである．本実験はモーションセンサ，ガスコンロを用いて行った (図 5)．実験シナリオは以下の通りである．

- (1) ガスコンロの火をつける
- (2) ガスコンロの火を消し忘れる



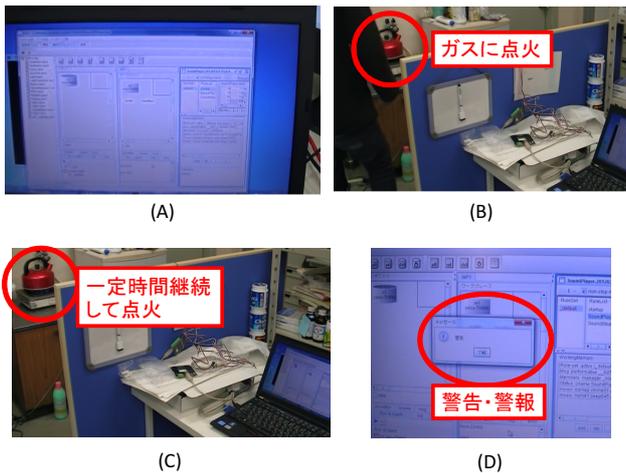


図 9 ガス警報アプリケーションのスナップショット  
 Fig. 9 A snapshot of the gas alarm application

#### 4.4 実験 3 : 加湿器制御アプリケーション

本アプリケーションは、人の在席状況や湿度・温度に応じて加湿器を制御するアプリケーションである。本実験では、異種センサと連携して加湿器の制御が可能かどうかを確認する。図 10 に加湿器制御アプリケーションの構成を示す。アプリケーションは、湿度による自動制御機能を持たない加湿器、照度センサ、湿度センサ (MOTE), RFID リーダ、給電制御センサ及び電力センサを用いた。MOTE には RFID タグを貼り付けている。RFID リーダは既知の場所に設置し、MOTE に取り付けた RFID タグを認識した時点で、センサデータに MOTЕ の位置情報を付加する。

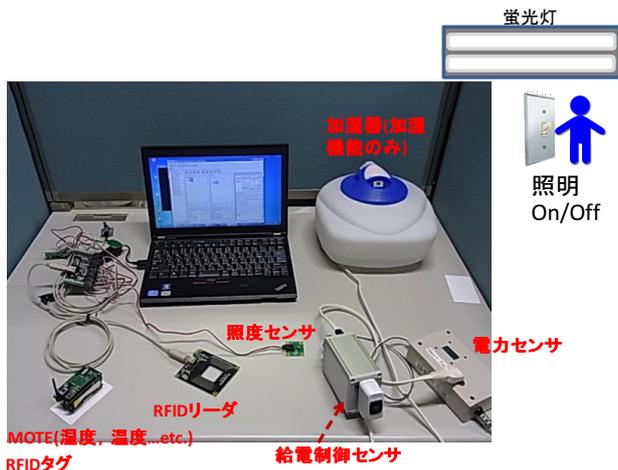


図 10 加湿器制御アプリケーションの構成

Fig. 10 Composition of the humidifier control application

アプリケーションにおけるエージェントの構成を図 11 に示す。Phidgets 管理 PC, Mote 管理 PC, 加湿器給電管理 PC および電力センサ管理 PC で制御を行う。まず Light agent が取得した照度データを Manager agent に送信し、在席状況を判断して SSR agent により加湿器の制御を行

う。Light agent は実験 1 で用いたエージェントを再利用している。

また RFID リーダに RFID タグをかざすと位置情報が付加された MOTЕ がアプリケーションに追加され、湿度と位置情報を Manager agent に送信し、照度データも加えた加湿器の制御が可能になる。湿度に関しては一定以下になると加湿器の給電を行う。

ここで電力センサ、湿度センサ、SSR ユニットを用いて加湿器の制御を行った実験結果を図 12 に示す。横軸は経過時間、縦軸は湿度と加湿器の消費電力を示す。また図中の破線は加湿器の ON/OFF を制御する閾値 (50%) である。この実験結果は、閾値の前後で加湿器の消費電力が変化しているため、湿度データに応じた加湿器の制御が実現可能であることを示している。

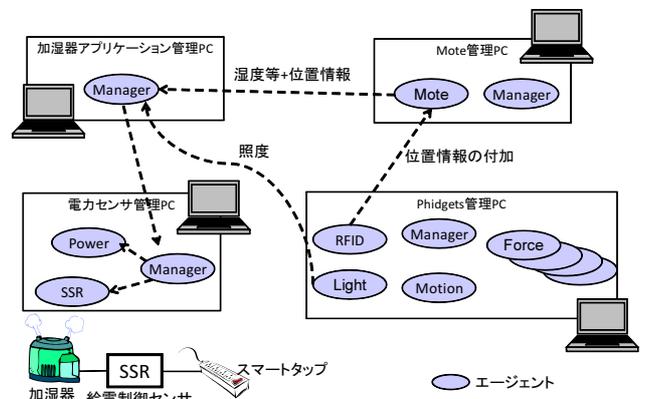


図 11 エージェントの構成

Fig. 11 The agent composition of the humidifier control application

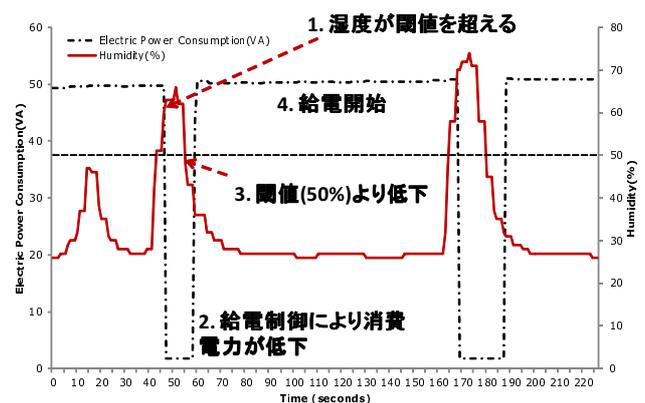


図 12 湿度と加湿器の消費電力の関係

Fig. 12 An experimental result of the relationship between humidity and power consumption of the humidifier

次に、実験シナリオについて説明する。実験は W302 の照明が OFF の状態から以下の流れで行う。

- (1) 入室時に照明 ON にする

(2) RFID タグの付いた湿度センサ RFID リーダにかざす  
(湿度センサの追加)

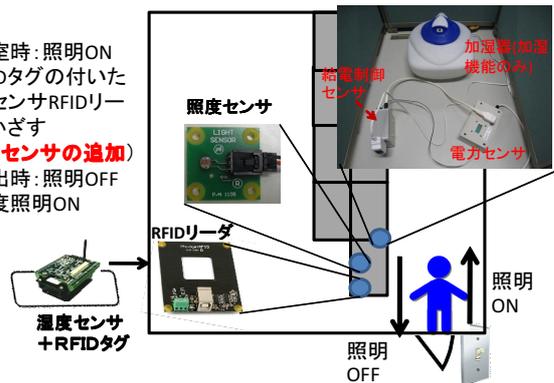


図 13 実験シナリオ

Fig. 13 The experimental scenario of the humidifier control application

実験結果を図 14 に示す．W302 に入室前に照明が OFF になっているため加湿器が停止している (図 14(A))．照明を ON にして入室すると照度データにより加湿器の給電を行い加湿器が ON になる (図 14(B))．続いて，RFID タグが貼り付けられた MOTE を RFID リーダにかざし，アプリケーションに湿度センサを追加する (図 14(C))．湿度が上昇すると照度データと湿度データにより加湿器を制御し加湿器が OFF になる (図 14(D))．実験 3 より異種センサの連携およびセンサの追加が実現できていることを示した．

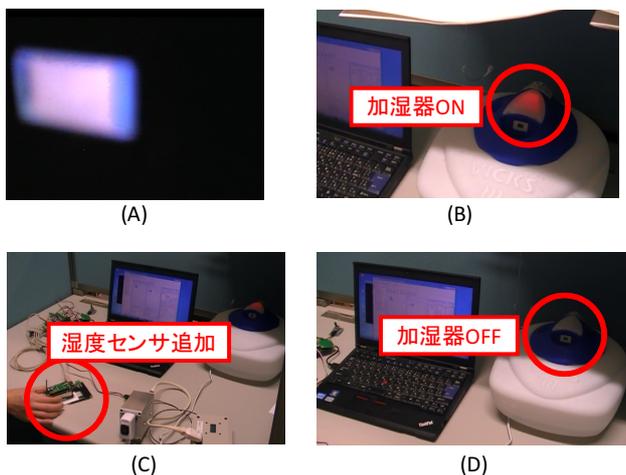


図 14 加湿器制御アプリケーションのスナップショット

Fig. 14 A snapshot of the humidifier controller application

#### 4.5 評価

実験結果より，エージェント化および連携プロトコルによって異種センサ間の用途に応じた連携が可能となった．またセンサの動的な追加・削除に対応可能な連携プロトコ

ルによって，センサの即興的な追加・削除への対応が可能となった．以上により，マルチエージェントに基づく異種センサの柔軟な連携が実現したことを確認した．

また，システム制御までの遅延時間は最大 3 秒程度であったため，実用に耐えうるレベルと判断できる．

#### 5. おわりに

本研究の目的は，家電と多様なセンサの柔軟な連携が可能となるセンサネットワーク基盤の実現である．このセンサネットワーク基盤により，様々なセンサおよび多様な家電が連携し，一人暮らしの高齢者の見守り支援，ヘルスケア，安否確認などの高度なサービスの提供が可能になる．しかしこれを実現する上で，異種センサ間の用途に応じた連携，センサの即興的な追加・削除への対応に技術的な課題があった．本研究では，これらの技術的課題に対し，マルチエージェントに基づく異種センサの柔軟な連携手法を提案した．

また提案手法の有効性を検証するためにプロトタイプシステムを実装し実験を行った．実験結果より，エージェント化および連携プロトコルによって異種センサ間の用途に応じた連携が可能となったことを確認した．

今後は，連携プロトコルの詳細化，センサの追加・削除の高度化，またセンサデータの収集・蓄積のメカニズムの設計，状況把握のための分析アルゴリズムの設計などが挙げられる．

謝辞 本研究の一部は，科研費 (23700069) の助成を受けたものである．

#### 参考文献

- [1] G.D. Abowd, A.K. Dey, and D. Salber, "A conceptual framework and a toolkit for supporting the rapid prototyping of context-aware applications." *HCI*, Vol.16, pp. 97-166, 2001.
- [2] 松浦 知子, 田頭 茂明, 北須賀 輝明, 中西 恒夫, 福田 晃, "ホームネットワークのためのセンサ連携を支援するイベント駆動フレームワーク." 電子情報通信学会論文誌. B, 通信 J92-B(7), 1050-1060, July 2009.
- [3] 安西 祐一郎, 梅澤 猛, "モバイルエージェントを用いたセンサネットワーク向けフレームワーク." 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 3, pp.779-788, Mar. 2003.
- [4] 義久 智樹, 神崎 映光, 原 隆浩, 石 芳正, 寺西 裕一, 下條 真司, "複数拠点統合型センサネットワークのためのモバイルエージェントを用いたデータ収集システム." 信学技報. USN, コピキタス・センサネットワーク 109(131), 147-151, July, 2009.
- [5] 寺田 努, 宮前 雅一, 山下 雅史, "Wearable Toolkit:その場プログラミング環境実現のためのイベント駆動型ルール処理エンジンおよび関連ツール." 情報処理学会論文誌, Vol. 50, No. 6, pp. 1587-1597, 2009.
- [6] 神原 啓介, 塚田 浩二, "コピキタスコンピューティングにおける GUI-デバイス複合型のアプリケーション開発手法," コンピュータソフトウェア, Vol. 28, No. 4, pp. 206-221, 2011.
- [7] H. Takahashi, Y. Tokairin, T. Suganuma, and N. Shira-

- tori, “Design and Implementation of An Agent-based middleware for Context-aware Ubiquitous Services,” *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, New Trends in Software Methodologies, Tools and Techniques*, Vol.129, pp. 330 – 350, 2005.
- [8] T. Ito, H. Takahashi, T. Suganuma, T. Kinoshita, and N. Shiratori “Design of Adaptive Communication Mechanism for Ubiquitous Multiagent System,” *Journal of Information Processing*, Vol. 18, No. 18, pp. 175 – 189, IPSJ, 2010.6.
- [9] Phidgets Inc. - Unique and Easy to Use USB Interfaces (<http://www.phidgets.com/>)
- [10] 無線センサノード e!NODE (<http://www.embedded-sys.co.jp/products/enode.html>)
- [11] 無線センサーネットワーク MOTE::MEMSIC::クロスボー株式会社 (<http://www.xbow.jp/01products/index.html>)
- [12] T. Uchiya, T. Maemura, H. Hara, K. Sugawara, and T. Kinoshita, “Interactive Design Method of Agent System for Symbiotic Computing,” *International Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence*, Vol. 3, No. 1, pp. 57–74, 2008.