

特集 「センシングネットワーク：目的指向編」

センサネットワークによるユビキタスサービス —モノのスマート化と環境の見える化—

Ubiquitous Services Using Sensor Networks —Making Objects Smart and Visualization of Environment—

徳田 英幸
Hideyuki Tokuda

慶應義塾大学環境情報学部 / 大学院政策・メディア研究科
Faculty of Environment and Information Studies / Graduate School of Media and Governance, Keio University.
hxt@ht.sfc.keio.ac.jp, <http://www.ht.sfc.keio.ac.jp/~hxt/>

米澤 拓郎
Takuro Yonezawa

慶應義塾大学院政策・メディア研究科
Graduate School of Media and Governance, Keio University.
takuro@ht.sfc.keio.ac.jp, <http://www.ht.sfc.keio.ac.jp/~takuro/>

伊藤 昌毅
Masaki Ito

(同 上)
niya@ht.sfc.keio.ac.jp, <http://www.ht.sfc.keio.ac.jp/~niya/>

Keywords: sensor network, ubiquitous services, smart objects, environmental monitoring.

1. はじめに

従来からさまざまな分野で利用されてきたセンサネットワークは、アプリケーションに特化したセンサや特殊デバイスを利用した“閉じた専用システム”が多く利用されてきた。近年の無線センサネットワークの特徴は、“汎用的に”利用できるセンサノードとセンサデバイスが統合された“オープンな”ハードウェアプラットフォームをベースに、無線アドホックネットワーク技術により自律的にネットワークが構築でき、電池などで長期間駆動可能な応用システムが開発されてきている [徳田 07]。

応用領域も、防災・災害対策、防犯・セキュリティ、食・農業、環境保全、医療・福祉、ビル・工場・施設制御、交通モニタリング、環境モニタリング、物流・マーケティング、情報家電・ホームネットワーク、教育・学習、地域サービスなど身の回りといった狭い範囲のモノや空間から、街や地域全体といった非常に広域な空間を対象とするアプリケーションへと拡大してきている。利用するユーザ側も、個人や企業レベルにとどまらず、広く自治体なども対象となってきている。

ユビキタスコンピューティング分野においても、センサネットワークが、あらゆるモノや空間をネットワークにシームレスに接続することを可能にし、モノや空間のスマート化、環境の見える化、リアル空間とバーチャル空間の融合を加速する多様なアプリケーションが開発されてきている。本解説では、ユビキタスコンピューティングの視点から、超小型センサノードやセンサネットワ

ークを活用した「モノのスマート化」や環境モニタリングシステムによる「環境の見える化」の事例を中心に紹介し、先端的なユビキタスサービス実現に向けた課題について概説する。

2. スマート化と見える化の意義

ユビキタスコンピューティングがめざしている情報環境は、あらゆるモノや空間がシームレスにネットワークに接続し、人々の行動を支援してくる知的な環境である。最も初期のユビキタスコンピューティング環境を実現する実験場としては、Easy Living, AwareHome, Active Space, Smart Space Lab. などが構築され、部屋や家のスマート化を試みたものであった [徳田 04]。

モノや空間のスマート化や見える化の技術は、我々の行動支援や改善を可能とし、生活環境や地球環境の改善をも可能とするポテンシャルをもっている技術である。従来のIT技術が人や組織のエンパワーメントを可能にしてきたのに加えて、ユビキタス技術は、人間中心主義的な視点に立って、モノや部屋、都市や環境のエンパワーメントを加速させる技術である。

かつて、Gershenfeld は、人とモノとの役割分担を考えていくうえで、新しい「モノの権利」として 1) ID をもつ、2) ほかのモノと接続できる、3) モノの置かれて環境の性質を感知できる、の三つ権利を提唱した [Gershenfeld 99]。彼は、コンピュータを単に高速化するだけでなく、我々の身の回りのモノのもっている自然な使い勝手やモノ自身を改善したほうが、我々の行動支援になると指摘した。

日常的な身の回りのモノのスマート化や空間の見える化は、すべてのモノや空間が、ネットワークにつながり、ほかのモノや空間とコミュニケーションできることによって実現可能となる。したがって、上記の権利は、モノだけでなく、すべての空間についても拡張することが自然である。このような新しい知的環境の中で、スマート化と見える化の技術は、我々とモノとの新しい役割分担や関係性、空間や環境との関わりにおいて、何が問題であるかを気づかしてくれる“**problem finding**”を加速するだけでなく、新しい解決方法をもたらしてくれる重要なテクノロジーである。

3. モノのスマート化

我々の日常生活は無数のモノとのインタラクションに溢れており、ユビキタスコンピューティングにおいてスマートなモノ（以下、スマートオブジェクト）を利用したサービスの必要性は今後より一層高まっていく。本章では、現在までに開発されてきたスマートオブジェクトを利用したサービスの事例を紹介するとともに、スマートオブジェクトおよびユビキタスコンピューティング全般における問題の一つであるブートストラップ問題について述べる。

3.1 スマートオブジェクトサービス事例

スマートオブジェクトを利用したサービスは、いずれも単体および複数のモノの特定の状態から人や空間の状況を推測し、適切なアクションを行うというコンテキストウェアサービスに属する。本節ではスマートオブジェクトサービスを、1) モノが固有にもつ機能の利便性を高めるサービス、2) モノに関する共通的な問題を解決するサービス、3) モノの利用を通じてユーザを習慣づけるサービス、の3タイプについて、それぞれの事例について述べる。

§1 モノが固有にもつ機能の利便性を高めるサービス

センサによる状況認識能力、センサネットワークを利用したほかのデバイスとの通信機能を利用することで、モノが固有にもつ機能の利便性を高めることができる。**MediaCup**[Beigl 01]は、コップが備える「飲み物を飲むことを支援する」機能を、センサノードを利用して高めている。**MediaCup**は底面に温度センサを搭載し、温かい飲み物が冷める前にユーザに通知したり、同一環境に存在するすべての**MediaCup**の飲み物がなくなったことを検知するとコーヒーメーカーに新しいコーヒーをつくるよう命令を行うことで、コップが備える機能を拡張している。同様に**DigiClip**[Decker 04]はクリップをスマート化することでクリップのもつ書類管理の機能を拡張している。印刷された紙の書類に**DigiClip**を取り付けることで印刷元であるPDFファイルと関連づけ、PDFファイルが編集された場合に印刷した書類との整

合がとれていない場合は、そのことをユーザに通知する。

§2 モノに関する共通的な問題を解決するサービス

モノをスマート化することで、忘れ物、落とし物、捜し物など、誰もが遭遇する日常的問題の解決支援が行える。**SPECs** [Lamming 03]では、ユーザの持ち物に赤外線センサが搭載されたノードを取り付け、モノ同士の距離が離れたらモノを置き忘れていたとして通知する。

著者らは、ユーザが家を出る際に忘れ物があれば通知する**uReminder**というサービスを構築している[Yonezawa 07]。**uReminder**では2種類の異なる性質をもつモノを登録し、それらの動きを監視する。一つ目はユーザが出かける際にいつも装着する種類のモノ（例：靴）であり、二つ目は忘れる可能性がある種類のモノ（例：財布や手帳）である。**uReminder**は、もし登録された財布や手帳など忘れる可能性のあるモノが動いていないのに靴だけが動き出すと、アラームを鳴らしユーザに知らせるとともに、忘れたモノの一覧を玄関に設置したディスプレイに表示することができる。

§3 モノの利用を通じユーザ行動を習慣づけるサービス

片付け下手なユーザや、食後の歯磨きを面倒と思うユーザは、スマートオブジェクトサービスを利用することで習慣を改善できる可能性がある。**Fogg**[Fogg 02]は、ユーザの説得、習慣づけを行うためのコンピュータテクノロジーを**captology** (computer as persuasive technologies)と名づけ、ユーザを説得するための要素として最適なタイミングでユーザに働きかけを行うことが重要であることを示した。

スマートオブジェクトサービスはユーザの細かなアクティビティが認識できるため、日常生活における最適なタイミングで習慣づけを行える**captology**としての機能を備えており、子供の教育や高齢者の健康管理など、機器の自動制御サービス以上に人間の生活の質を向上させられる可能性がある。国内の研究事例の一つとして**Lifestyle Ubiquitous Gaming**[Kimura 07]がある。**Life Ubiquitous Gaming**では、ゲーム感覚で生活の質を向上させられるアプリケーションを提案している。例えば仮想水槽アプリケーションでは、センサが取り付けられた歯ブラシをユーザが使用することで、仮想水槽内に暮らす魚に餌が与えられたり、水槽内の汚れが取り除かれる。すなわち、ユーザは水槽をきれいに保つため、歯磨きをきちんと行う習慣を身につけることができる、というわけである。

3.2 スマートオブジェクトサービスのブートストラップ問題

本節では、スマートオブジェクトサービスのブートストラップ問題について述べ、著者らが研究開発を行っているブートストラップ手法を紹介する。

§1 ブートストラップ問題

ユビキタスコンピューティング環境を実現するための

問題の一つに、実空間にセンサやコンピュータを誰がどうやって配置し、サービスの設定を行うかというブートストラップ問題が存在する。この問題はユビキタスコンピューティング技術の実社会への適用を妨げる要因の一つでもあるため、近年では提案したシステムがいかに容易に導入可能であるかという点が評価指標の一つになっている。

スマートオブジェクトサービスに関して、家庭内に存在する多数のモノをどうやってスマート化するのか、すなわち誰がセンサを取り付け、必要な設定を行うかは重要な問題である。現在の家庭におけるインターネット接続の設定のように、サービス事業者から専門家を呼び設定をしてもらう方法も考えられるが、スマートオブジェクトサービスの対象は多数のモノであり、またその種類の移り変わりも激しいため現実的ではない。よって、エンドユーザ自身が自らの持ち物にセンサを取り付ける方法が考えられるが、センサの設置・設定はエンドユーザには困難な作業である。具体的な事例として、Intel Research が行ったエンドユーザによるセンサ設置作業実験では、設置支援ツールを用いても 10 個のセンサを導入するのに 2 時間を要している [Beckmann 04]。

§2 モノとセンサノードの関連付け手法

スマートオブジェクトサービスを利用するためには、センサ情報が示すモノを判別するために、どのセンサノードがどのモノに取り付けられているのか、という実世界での関連性を情報空間に反映する必要がある。この反映作業を、関連づけと呼ぶ。関連づけは、センサノードを区別するセンサノード ID と、モノを示す情報とを結びつけることで行う。しかしこの作業をユーザが行うには、センサノード ID の特定が複雑かつ、手作業で情報を登録する作業負荷が高く、困難で煩わしい作業である。著者らはスマートオブジェクトサービスのブートストラップにおいて関連づけの重要性に着目し、容易な関連づけ手法 Spot & Snap を開発した。

Spot & Snap では、センサノード ID の特定、およびセンサノード ID とモノの関連性入力を、スポットライトが取り付けられたカメラによって実現する。ユーザはまず、センサノードを任意のモノに取り付ける。そして、スポットライトを ON にし、センサノードとモノに光を 2～3 秒間照射する。スポットライトを OFF にすると、カメラはモノの撮影を行う。Spot & Snap は、スポットライトを照射により環境に存在するセンサノードのうち、ユーザの照射の影響を受けた照度センサを搭載するセンサノードを特定し、その ID を取得する。そして取得したセンサノード ID と撮影したモノの画像・情報を関連づけ、スマートオブジェクトサービスを実現するアプリケーションに登録する (図 1 参照)。関連づけられた情報は JPEG フォーマットの画像として保存され、センサノードなどの情報はその EXIF ヘッドに記述される。通常の画像ファイルとしても利用可能なため、既存

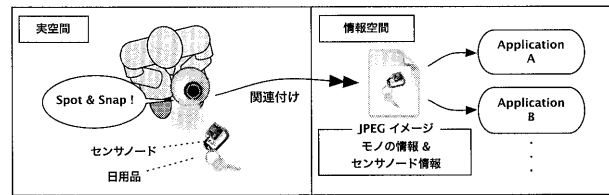


図 1 Spot & Snap によるセンサノードとモノの関連づけ



図 2 サービスモデルの評価実験

アプリケーションとの親和性も高い。このように、Spot & Snap はスポットライトを照射するという単純な動作で関連づけを行い、サービスのブートストラップを行うことができる。

ブートストラップ問題の技術的解決とともに、ユーザが容易に理解できるサービスの概念モデルを形成することも重要である。現状のデスクトップベースのアプリケーションと異なり、スマートオブジェクトサービスは環境内に分散した複数のソフトウェアおよびハードウェアコンポーネントを利用して動作する。よって、ユーザが直感的に理解できるモデルを提示できなければ、実社会への適用は難しい。著者らは 11～12 歳の小学生 100 人を対象に実際に Spot & Snap を利用してもらい、その後小学生自らにスマートオブジェクトサービスのアプリケーションを考案してもらうことでサービスモデルの評価を行った (図 2 参照)。その結果、「秘密の日記にセンサノードを取り付け、引出しの中から外に出されたら警告音を鳴らす」や「食事の後歯ブラシが使われていなかったら、歯を磨いてとコンピュータが伝える」などの、ユニークなアイデアが見受けられた。この実験から、Spot & Snap により実現されるサービスモデルの妥当性が確認できた。

4. 環境の見える化

センシング技術の進歩やセンサネットワーク技術の普及は、環境に関する膨大で多様な情報をリアルタイムで取得・発信し、その見える化を可能にし、Google Earth 以上のインパクトを我々にもたらしている。広範囲に設置されたセンサが気象や大気中の汚染物質、水質などを測定し、可視化した結果をリアルタイムに提供している。これらの情報を収集、整理し、これまでにないインタラクション方法を与えることで、環境を理解する新しい視点を創出している。本章では、こうした取組み事例を環境の見える化としてまとめ、いくつかの課題について述べる。

4.1 いくつかの事例

新しいセンサノードや無線ネットワークデバイスが開発されてきているが、センサノードを屋外環境に広範囲に、容易に設置することにはさまざまな困難が伴う。無線の到達距離や干渉問題、ネットワークの制約、バッテリー性能、省電力技術など、解決すべき課題も多い。本節では、こうした課題に挑戦している新しい応用例を紹介する。

§1 実環境へのセンサ設置事例

センサネットワークを利用した大規模な実証実験には、グレートダック島における鳥の生態調査実験 [Szewczyk 04] の事例などがある。環境モニタリングにおいては、Martinez らの研究 [Martinez 04] や Cardell-Oliver [Cardell-Oliver 04] の事例などがある。また国内では WIDE プロジェクトによる Live E! プロジェクト [江崎 06] が行われており、学校や企業などを中心に全国にデジタル百葉箱と呼ぶセンサ機器を設置し、気象データの収集や視覚化を行っている。

著者らは Airy Notes システムと名づけた小型センサノードを利用した環境モニタリングシステムを開発し、慶應義塾大学石川研究室（現 東京大学）と共同で、2006 年 5 月から 6 月にかけて約 2 週間、新宿御苑において環境モニタリング実験を行った [Ito 07]。実験は新宿御苑 100 周年記念イベント「玉川上水復活に向けて」の一環として行われ、新宿御苑構内および新宿区役所に合計 165 個のセンサを設置し、温度分布やその変化を観測した。新宿御苑は、都内有数のオフィス、商業地域に位置する広大な緑地であり、近年の調査によって新宿御苑が冷気溜まりとなることで周辺地域の環境保全の役割を果たしていることが明らかになっている。この実験では、異なる条件下に設置したセンサの観測値から、これまでの既存データと同様の観測結果を得られた。

§2 統合的なセンサネットワークの構築事例

特に都市環境を対象とした場合、ライブカメラや公共機関による環境モニタリングシステム、自動車や携帯電話が備えるセンサなどすでにさまざまなセンサが存在し、ネットワークに接続されているものも少なくない。こうした環境を対象にした見える化においては、センサデバイスから開発するアプローチに加え、既存の多様なセンサを生かすアプローチも有効である。

Microsoft Research による SenseWeb [Kansal 07] プロジェクトでは、特定のアプリケーションやセンサノードを想定するのではなく、カメラや温度計など多様なセンサがすでにネットワークに接続されている環境を前提に、多様なセンサを統合的に扱うフレームワークを開発している。センサやアプリケーションの多様性に応じるため、センサの種類やデータ形式などを統合的に取り扱う機能を提供している。SenseWeb プロジェクトでは、地図上でセンサを一覧できる SensorMap と呼ぶアプリケーションを開発しているほか、大気汚染や人の位

置などを管理するアプリケーションの基盤として用いられている。また、ハーバード大学を中心に進められている CitySense プロジェクトでは、気象センサ機器と接続した組み込み Linux 端末を 100 台程度、ケンブリッジ市街をカバーするように設置することを計画している [Murty 08]。CitySense は、センサネットワークアプリケーション開発のテストベッドとなることを目的にしており、開発中のアプリケーションを各端末に送り込み動作させることを目指している。

§3 新しい視覚化やインタラクションの開発事例

センサなどから得られた環境情報は、従来は専門家が地理情報システム (GIS) や統計アプリケーションを用いて視覚化、解析し、知見を導き出す利用が主だった。しかしこれらの情報が我々にとっての環境と触れる新しい視点となるためには、より直感的な表現や操作性が求められる。特に観測結果がリアルタイムに扱えることは、我々の日常行動と環境との対話性を向上させ、より緊密な関係とする契機となり得る。

MIT の WikiCity プロジェクトでは、都市の活動を把握し視覚化するために、センサなどの情報を複数人でリアルタイムに読み書き、共有できるシステムを開発している [Calabrese 07]。携帯電話のセルから取得したローマ市内の観光客の位置情報や、GPS によるバスやタクシーの位置情報などを、展示会場の大型スクリーンの地図上にリアルタイムに投影し都市の活動を視覚化した。

著者らが開発した Airy Notes システムにおいては、観測を行っているその場所でそのときのデータを閲覧できるよう、携帯電話を用いた閲覧を実現している。体感している気温や周辺の環境と観測結果とを容易に結びつけられることで、誰もが環境への理解を深められることを目指している。図 3 に、携帯電話からの観測結果閲覧の例を示す。センサパッケージに印刷した QR コードによって、Web を通じて現在までの気温グラフを閲覧できる。

また、センサから得られたデータを視覚化、解析するために図 4 に示すソフトウェアを開発した。本ソフトウェアでは地図上へ現在の観測値を表示するほか、任意の時刻の観測値を地図やグラフによって表示できる。また任意の軸線上の温度分布を視覚化する機能などを備え、環境の特徴をより捉えやすくなっている。

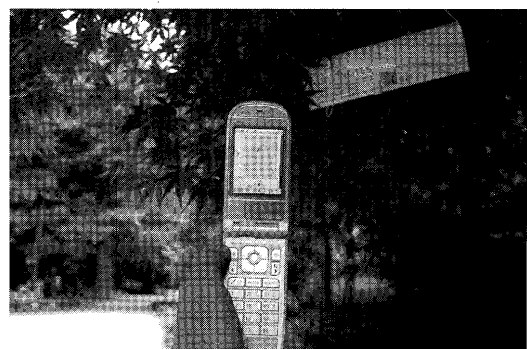


図 3 Airy Notes システムにおけるセンサと携帯電話による閲覧

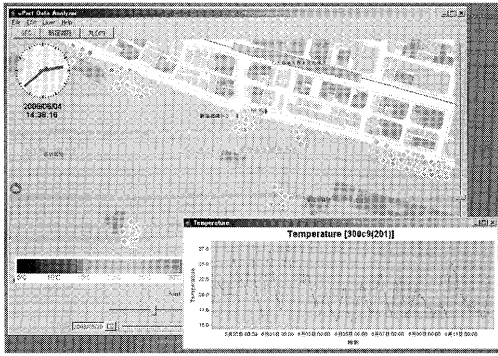


図4 データ解析ソフトウェア

4.2 環境の見える化における課題

ここでは、小型センサノードやセンサネットワークを応用して、リアルタイムに環境の見える化を加速していく際の技術的・社会的課題を整理し、著者らの取組みを紹介する。

§1 ブートストラップ問題：センサ設置・ネットワーク形成支援

センサネットワークを環境モニタリング領域で活用するためには、センサノードの設置からネットワークの形成、利用者が求める形式でのデータの取得の実現といった、対象とする空間に適応した形でのシステムの導入をさらに容易にする技術の開発が必須である。

各センサノードからの無線到達距離やセンサネットワークの安定性、バッテリー性能などを考慮すると、現在の小型センサノードでは広域な観測領域や数年にわたる観測期間を実現することは課題である。さらに環境モニタリングの場合、センサノードが設置され、データ通信が行われるだけでは不十分であり、各センサノードの設置位置が把握できるとともに、センサノードが観測対象の特徴的な箇所に適切に設置され、設置環境の日照や地表面の様相などの自然条件を含めた、センサのさまざまな属性を把握する必要がある。

著者らは、Airy Notes システムの実証実験として、2006年5月に新宿御苑へ設置した際には、1日当たり三人による作業で約6日間を要した。2006年5月25日に設置を開始し、5月30日に完了し、その日から観測を始めた。センサノードの設置作業は、受信機の設置やそのためのケーブル敷設を中心としたネットワークインフラ構築作業と、センサノードを各受信機周辺の木々の枝に設置するセンサ設置作業とに大別され、それぞれ約3日間を要した。センサノードの撤去作業は6月12日に行い、二人の作業で個々のセンサノードからケーブルの撤去まで含めすべての撤去作業を1日で完了した。

§2 センサ設置の促進

センサノードからもたらされる情報が環境と触れる新しい視点となるためには、十分な範囲にわたってセンサノードが設置され、情報が発信・取得できる必要がある。そのためには単一の組織による設置ではなく、さまざまな

組織や個人の創発的な共同作業による設置を可能とすることが大切である。これを実現するためには、センサノードの設置とネットワークへの接続を安価で、容易にできるようにするとともに、センサノード設置に対する動機づけを考慮する必要がある。

Airy Notes システムでは、センサの設置作業を補助する設置支援アプリケーションを開発し、技術の専門家以外の手によるセンサ設置を実現した。GPSを備えたタブレット PCに地図を表示し、センサ設置箇所をクリックして周辺環境の情報属性を選択するだけで、センサの設置作業が完了する。これにより、観測対象の専門家によるセンサ設置を容易にした。

§3 社会的合意の必要性

センサネットワーク技術による環境の見える化は、専門家による環境観測手法を代替、進化させるのみでなく、環境と人との関係性そのものを変える可能性を秘めている。一方でこれまでになかった視点の登場は、Google Earth がそうであったようにさまざまな社会的な軋轢を引き起こすだろう。最終的に我々は、新しい技術を前提にした社会的合意を創り出すことが必須である。

Google Earth では、鮮明な航空写真に自由にアクセスできることが安全保障上の懸念を生んだ。気象情報や環境情報にも安全保障上の問題があると同時に、リアルタイムに環境や気象の情報を提供することは、経済的な価値の認定問題や観測データの信頼性など、経済的な価値創出と密接に関係している。また、センサによって得られる情報は、直接的には特定の個人と結びつけられた情報ではない。しかし、特定の状況においては、センサ情報が個人の何らかの活動や意図を表現する情報となる可能性は十分考えられる。環境の見える化におけるこうした側面は、プライバシー保護の問題とも大きく関係している。

センサから出力される観測値は物理的な量を表す数値であるが、実際のところその場所にセンサが設置されたということ自体に、何らかの意図や仮説、作為が潜んでいる。現在、気象観測データの公開には気象業務法による制限があり、誰もが手近なセンサをネットワーク化して情報を公開できるわけではない。しかし、将来的にセンサネットワーク技術が一般化した際には、こうした制限を見直す必要が出てくるだろうし、その際には上述したような問題を一つずつ対処しながら、技術や社会制度を確立していく必要がある。

5. おわりに

オープンで、汎用的な超小型センサノードや無線センサネットワークの普及により、モノのスマート化と環境の見える化はますます加速していき、我々の日常的な行動支援や改善を促し、さまざまな社会や環境の問題をリアルタイムに気づかせてくれるであろう。これまでの IT 技術が、70年代のコンピュータ中心主義、80～90

年代のネットワーク中心主義で進化してきたのに対し、ユビキタスコンピューティング技術は、人間中心主義を掲げて進化を続けている。これらの新しい技術やサービスが、社会に浸透したユビキタス社会の実現に向けては、社会で起こり得る課題を予測し、それに対する解決策を創出するための技術と制度がバランスしたイノベーションを起こすことが重要な課題である。

謝 辞

本稿をまとめるにあたって、Ubilaプロジェクト、慶應義塾大学徳田・高汐・中澤研究室の各メンバに感謝する次第です。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Beckmann 04] Beckmann, C., Consolvo, S. and LaMarca, A.: Some assembly required: supporting end-user sensor installation in domestic ubiquitous computing environment, *6th Int. Conf. on Ubiquitous Computing*, pp. 107-124 (2004)
- [Beigl 01] Beigl, M., Gellersen, H.-W. and Schmidt, A.: Mediacups: Experience with design and use of computer-augmented everyday artifacts, *Computer Networks (Amsterdam, Netherlands: 1999)*, Vol. 35, No. 4, pp. 401-409 (2001)
- [Calabrese 07] Calabrese, F., Kloeckl, K. and Ratti, C.: WIKICITY: Real-time location-sensitive tools for the city, *Int. Conf. on Computers in Urban Planning and Urban Management* (2007)
- [Cardell-Oliver 04] Cardell-Oliver, R., Smettem, K., Kranz, M. and Mayer, K.: Field testing a wireless sensor network for reactive environmental monitoring, *Proc. Int. Conf. on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing* (2004)
- [Decker 04] Decker, C., Beigl, M., Eames, A. and Kubach, U.: DigiClip: Activating physical documents, *4th Int. Workshop on Smart Appliances and Wearable Computing (IWSAWC)*, Tokyo, Japan (2004)
- [江崎 06] 江崎 浩: サイバーワールド地球環境の“今”がネットでわかる, *Newton*, 1月号, pp. 10 (2006)
- [Fogg 02] Fogg, B. J.: *Persuasive Technology: Using Computers to Change What We Think and Do*, Kindle Book (2002)
- [Gershenfeld 99] Gershenfeld, N.: *When Things Start to Think*, Hery Holt and Company, LLC, New York, NY, USA (1999)
- [Ito 07] Ito, M., Katagiri, Y., Ishikawa, M. and Tokuda, H.: Airy Notes: An experiment of microclimate monitoring in Shinjuku Gyoen Garden, *4th Int. Conf. on Networked Sensing Systems (INSS 2007)*, pp. 260-266 (2007)
- [Kansal 07] Kansal, A., Nath, S., Liu, J. and Zhao, F.: SenseWeb: An Infrastructure for Shared Sensing, *IEEE Multimedia*, Vol. 14, No. 4, pp. 8-13 (2007)
- [Kimura 07] Kimura, H., Lehdonvirta, V., Okuda, Y. and Nakajima, T.: Lifestyle ubiquitous gaming: the use of daily objects for persuading players, *1st Int. Workshop on Design and Integration Principles for Smart Objects*, pp. 361-366 (2007)
- [Lamming 03] Lamming, M. and Bohm, D.: SPECS: Another approach to human context and activity sensing research, Using tiny peer-to-peer wireless computers, *Int. Conf. on Ubiquitous Computing (UbiComp)* (2003)
- [Martinez 04] Martinez, K., Hart, J. and Ong, R.: Environmental sensor networks, *Computer*, Vol. 37, No. 8, pp. 50-56 (2004)
- [Murty 08] Murty, R., Mainland, G., Rose, I., Chowdhury, A. R., Gosain, A., Bers, J. and Welsh, M.: CitySense: A vision for an urban-scale wireless networking testbed, *Proc. 2008 IEEE Int. Conf. on Technologies for Homeland Security* (2008)
- [Szewczyk 04] Szewczyk, R., Osterweil, E., Polastre, J., Hamilton, M., Mainwaring, A. and Estrin, D.: Habitat monitoring with sensor networks, *Commun. ACM*, Vol. 47, No. 6, pp. 34-40 (2004)
- [徳田 04] 徳田英幸: ユビキタスサービスとネットワーク社会の到来に向けて, *情報処理学会誌*, Vol. 45, No. 9 (2004)
- [徳田 07] 徳田英幸: センサネットワーク総論, 計測と制御, Vol. 46, No. 2 (2007)
- [Yonezawa 07] Yonezawa, T., Sakakibara, H., Koizumi, K., Miyajima, S., Nakazawa, J., Takashio, K. and Tokuda, H.: uPackage — A package to enable do-it-yourself style ubiquitous services with daily objects, in Ichikawa, H., Cho, W.-D., Satoh, I., and Youn, H. Y., eds., *UCS*, Vol. 4836 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 240-257, Springer (2007)

2008年5月7日 受理

著 者 紹 介



徳田 英幸

1975年慶應義塾大学工学部卒業。1977年同大学院工学研究科修士課程修了。1983年ウォータールー大学計算機科学科博士 (Ph. D. in Computer Science)。カーネギーメロン大学計算機科学科研究准教授を経て、1990年慶應義塾大学環境情報学部に入職、現在、同学部長兼大学院政策・メディア研究科教授。



米澤 拓郎

2005年慶應義塾大学環境情報学部卒業。2007年同大学院政策・メディア研究科修士課程修了。現在、同研究科後期博士課程所属。日本学術振興会特別研究員DC。主に、ユビキタスコンピューティング、スマートオブジェクトサービスの研究に従事。



伊藤 昌毅

2002年慶應義塾大学環境情報学部卒業。2004年同大学院政策・メディア研究科修士課程修了。現在、同研究科後期博士課程所属。主に、ユビキタスコンピューティング、コラボレーティブマッピング、環境モニタリングの研究に従事。