

# 4 情報共有空間のための シームレスコンピューティング

北須賀輝明 九州大学大学院システム情報科学研究院

福田 晃 九州大学大学院システム情報科学研究院

情報共有空間の利用者に負担をかけないデータ通信の基本となるシームレスなコンピューティングについて解説する。シームレスコンピューティングを実現するために必要な個々のコンピュータの機能を有機的に結びつける技術として DLNA と UPnP について解説する。また、IEEE 802.11 系無線 LAN の性質を述べ、有線と無線の違いを解説する。

## 情報共有空間とコンピュータネットワーク

人と人が情報を共有することは、コンピュータやネットワークが登場する以前から行われてきた。筆者らの経験でも、昼食時の雑談や、すれ違いざまのちょっとした会話が非常に重要であることを痛感している。現在では、コンピュータとインターネットによって、メール、インスタントメッセージ、ブログ、Wiki、SNS (Social Networking Service) などのさまざまな手段で情報共有を行い、相手と自分自身の状況に応じてこれらを使い分けている。

情報は、2人または少人数での議論による意識の統一や、グループなどの多人数に対しての指示や報告による意識の伝達、不特定多数に対しての書籍や放送などによるある程度普遍性のある事柄の伝達などによって、人の間でやりとりされる。これらのやりとりは企業内を例にとれば順に、まず担当者同士が議論し、次に議論の結果を部門内の構成員に報告し、最後に部門で承認された内容を社内の関連部門に伝えるといったフローに対応させることができる。

従来、情報が伝わる範囲は、コンピュータとインターネットを中心とするネットワークを利用するしないにかかわらず、組織や知人などの人間関係の範囲を超えにくいといえる。ところが最近のブログや Wiki、SNS では、検索エンジンなどの検索性の向上によって、見ず知らずの人が発信した情報も容易に得られるようになった。ブログなどは企業内で利用されることも増えている。これは企業内組織をまたがった情報共有に有効で、階層型の

組織構造の短所を補う役割を担っている。

このように情報が伝わる範囲が変化し、以前より広く伝わるようになってきたことによって、情報の発信者や受信者の状況 (コンテキスト) 認識の重要度が増している。本特集1の岡田謙一教授の言葉を借りると「意識の共有」の程度に幅が出てきているといえる。たとえば、冒頭に述べた昼食時の雑談などは、常に情報交換をしている人同士で互いの状況が理解できているという前提があるから、短文であっても誤りが少ない価値ある情報伝達になると考える。一方で、見ず知らずの人が書いたブログなどでは、発信者と受信者の状況あるいは文脈が一致しているかを判断するという手順が余計に必要で、判断も難しい。

人が互いに情報を共有することをコンピュータが支援する、すなわち情報共有空間の提供をコンピュータが支援するためには、コンピュータが人の状況 (コンテキスト) をより的確に認識できる必要がある。そのためには、多数の多種多様なセンサがネットワーク上に配置される環境と、それらのセンサやコンピュータが利用者から見てシームレスに (継ぎ目なく) 結合したシステムが実現されることが望ましい。たとえば、利用者の携帯する端末が行く先々のネットワークに接続し、その場にあるセンサから利用者や周辺の状態を把握するといった処理を、利用者の操作を伴わずに行うシステムが求められる。

本稿では、まず利用者の操作を伴わずにコンピュータ間の連携を実現するシームレスコンピューティングについて述べる。これにより、情報共有空間において人がコンピュータの支援を受ける際に、コンピュータを意識

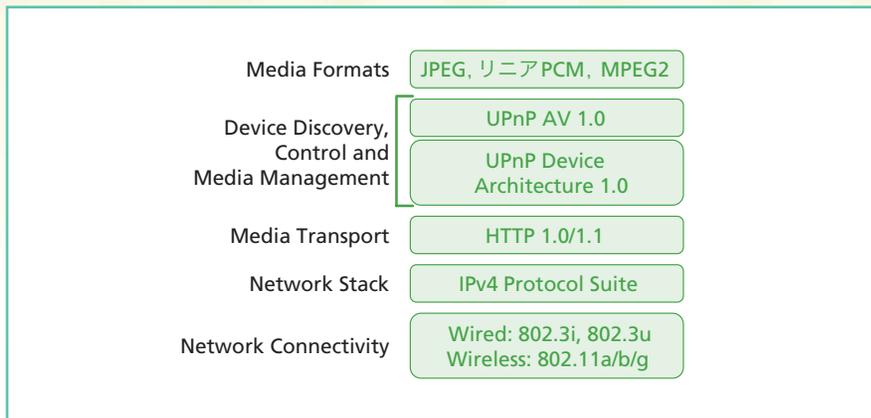


図-1 DLNA のコンテンツ共有相互接続ガイドライン文献 1) より引用 (Overview and Vision White Paper 2006)

| Media Class | Required Format Set (must implement all) | Optional Format Set (must implement 1 or more) |
|-------------|--|--|
| Image       | JPEG                                     | PNG, GIF, TIFF                                 |
| Audio       | リニア PCM                                  | AAC, AC-3, ATRAC 3plus, MP3, WMA9              |
| AV          | MPEG2                                    | MPEG-1, MPEG-4, AVC, WMV9                      |

表-1 DLNA のメディアフォーマット文献 1) より引用 (Overview and Vision White Paper 2006)

せざるを得ない機会を極力減らすことが可能となる。また、シームレスコンピューティングを実現する上で必須といえる無線によるコンピュータ間の通信方式として、IEEE 802.11 系の無線ネットワークを取り上げ、その性質について述べる。無線ネットワークによって、情報共有空間でコンピュータの支援を受ける人が自由な場所に移動することが可能となり、情報共有空間を提供し得る状況がより多様になる。

### シームレスコンピューティング

シームレスコンピューティングとは、利用者から見てシームレスに（継ぎ目なく）結合したコンピュータ群の有様である。実際には複数のコンピュータが同時あるいは時間を前後して協調して処理を行っているにもかかわらず、その様子を利用者に感じさせないシステムによって実現される。シームレスコンピューティングによって、利用者は情報共有空間を利用する際にコンピュータのわずらわしい操作から開放され、情報共有空間に没入することが可能となる。

ここでは、すでに実用化されているシームレスコンピューティングについて解説することで、その実現に必要な技術を概観する。音楽・写真・映像コンテンツを主に家庭内でシームレスに共有する DLNA と、さまざまな機器間のシームレスな連携手順の標準化を進めている UPnP について述べる。

### ● DLNA

DLNA (Digital Living Network Alliance, <http://www.dlna.org/>) は家庭内で音楽・写真・映像コンテンツを扱う機器間の相互接続を実現するための標準化団体である<sup>1)</sup>。家庭内でネットワークに接続された家電・コンピュータ・モバイル機器間でのコンテンツのやりとりのガイドラインを定め、DLNA ロゴ認証プログラムによってガイドラインに沿った製品を認定する活動を行っている。

DLNA は、2003 年 6 月に家電、コンピュータなどの企業 17 社が参加する非営利団体としてスタートし、翌 2004 年 6 月に第 1 版のガイドライン (Home Networked Device Interoperability Guidelines) を公開した。ガイドラインの概要を図-1 に示す。2005 年 1 月には、PNG 形式の画像など表-1 に示すオプションのファイル形式をガイドラインに追加した。さらに、2006 年 3 月にはガイドラインに新たにモバイルデバイスや QoS、印刷などが追加され、2006 年末には著作権管理 (DRM; Digital Rights Management) 技術も盛り込まれる予定である。

DLNA で採用されている技術の概要を、図-1 に示す。JPEG、リニア PCM、MPEG2 といった写真・音楽・映像コンテンツの表現形式から、有線・無線 LAN のネットワーク接続規格まで縦断的に標準を定めることで、機器でのコンテンツのシームレスなやりとりを実現している。ネットワークに接続された DLNA ガイドライン対応の機器間では、たとえば CD/DVD プレーヤ内のメ

| カテゴリ名・サービス名              | 2001年 | 2002年  | 2003年  | 2004年  | 2005年                                    | 2006年  |
|--------------------------|-------|--|--|--|--|--|
| オーディオ・ビデオ                |       | ●MediaServer V 1.0 and MediaRenderer V 1.0 (2002年6月)                               |  |  |  | ●MediaServer V 2.0 and MediaRenderer V 2.0 (2006年1月) |
| 基本デバイス                   |       | ●Basic Device V 1.0 (2002年12月)   |  |  |  |  |
| ホームオートメーション              |       |  | ●HVAC V 1.0 (2003年4月)                                  |  | ●Digital Security Camera V 1.0 (2005年2月) |  |
|                          |       |  | ●Lighting Controls V 1.0 (2003年11月)                    |  |  |  |
| ネットワーキング                 |       | ●Internet Gateway Device (IGD) V 1.0 (2001年11月)                                    |  | ●WLAN Access Point Device V 1.0 (2003年10月)   |  |  |
| プリンタ                     |       | ●Printer Device V 1.0 and Printer Basic Service V 1.0 (2002年7月)                    |  |  | ●Printer Enhanced V 1.0 (2005年4月)        |  |
| リモート制御                   |       |  |  | ●Remote UI Client and Server V 1.0 (2004年8月) |  |  |
| スキャナ                     |       | ●Scanner (External Activity V1.0, Scan V1.0, Feeder V1.0, Scanner V 1.0) (2002年9月) |  |  |  |  |
| デバイスセキュリティとデバイスコンソール     |       |  | ●Device Security and Security Console V 1.0 (2003年11月) |  |  |  |
| QoS (Quality of Service) |       |  |  |  | ●Quality of Service V 1.0 (2005年2月)      | ●Quality of Service V 2.0 (2006年5月)                  |

カッコ内はUPnPフォーラムで承認された年月。HVACはエアコン。

表-2 UPnPの各種デバイス仕様の標準化時期

ディアの音楽や映像をテレビで再生したり、デジタルカメラの写真をテレビで表示することができる。

すでに国内でもテレビ、DVDプレーヤ、HDDビデオレコーダなどの対応製品が多数出荷されている。HDDビデオレコーダの登場により利用者は個人録画した多数のビデオテープやDVDの山から開放されたのであるが、HDDビデオレコーダがDLNAに対応することで家庭内に1台レコーダがあれば、複数のテレビで同時に異なる録画番組を再生することができるようになった。これにより、コンテンツは限定されるが家族の情報共有が容易に実現できる環境が整ったといえる。

● UPnP

UPnP (Universal Plug and Play, <http://www.upnp.org/>) は、1999年10月に設立されたUPnPフォーラム<sup>2)</sup>で現在も活発に標準化が進められている規格である。このフォーラムには、本稿執筆時点で800社を超える企業が参加している。すでに市販のブロードバンドルータなどに搭載されており、今後はさらに搭載機器の種類が増えていくものと思われる。

UPnPは、ネットワークに接続された機器がその機能をネットワーク上のほかの機器から利用するための仕様である。UPnPによるシームレスコンピューティングは、以降で述べる手順を守りながら、機器の種類(デバイスカテゴリ)ごとに記述や制御などの仕方を具体的に定め、標準化することによって実現している。

仕様はAV機器など機器の種類ごとに定められるデバ

イスカテゴリと、追加サービスの2種類の仕様に分類される。表-2に標準化された仕様とその標準化時期を示す。表の上からスキャナまでがデバイスカテゴリに属し、その下2つは追加サービスである。

デバイスカテゴリのうち、インターネットゲートウェイが最初に対応製品が出荷された標準規格の一つである。UPnPインターネットゲートウェイ対応のブロードバンドルータでは、インスタントメッセージやネットワークゲーム、P2P(ピアツーピア)アプリケーションなどがUPnPを使ってルータのポートを空けることができる。その結果、アプリケーションがインターネット側からのリクエストを自動的に受信できるようになる。従来は、利用者自身がルータのポートを空ける作業をしなければならなかった。

UPnPの動作手順について述べる。次の6つの手順で構成される。0. アドレス割り当て (Addressing), 1. 発見 (Discovery), 2. 記述 (Description), 3. 制御 (Control), 4. イベント処理 (Eventing), 5. 提示 (Presentation)。このうちシームレスコンピューティングを実現するにあたって重要なのは、発見、記述、制御、イベント処理である。

利用される側の機器をUPnPデバイスと呼び、利用する側の機器をコントロールポイントと呼ぶ。「発見」の手順によって、コントロールポイントがネットワーク上のUPnPデバイスの存在を知る。「記述」によってUPnPデバイスが自身の機能をコントロールポイントに知らせる。UPnPデバイスの機能は、制御やイベント

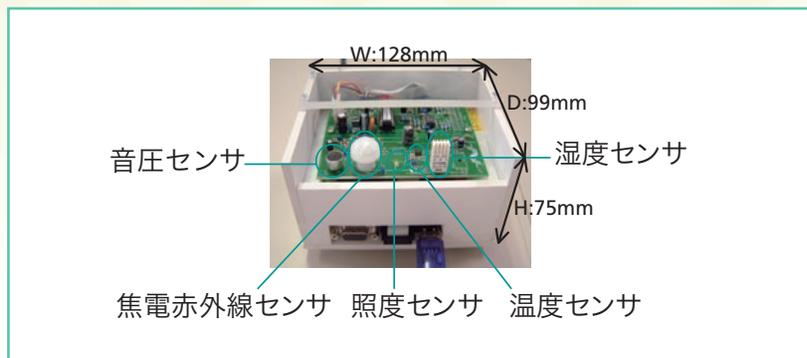


図-2 UPnP 対応センサデバイス (UDSS)

処理，提示の各手順によって利用する。「制御」と「イベント処理」は，コントロールポイントが UPnP デバイスを制御したり，UPnP デバイスの状態変化を知るために用いる。なお，これらの手順は SOAP (Simple Object Access Protocol) や購読型の通信モデル (publisher/subscriber) で実現されている。これらの手順により人が介することなく機器間の連携，つまりシームレスコンピューティングが可能となる。

### ● UPnP 対応センサデバイス

容易にネットワークで利用できるセンサを目指して，UPnP 対応のセンサデバイス UDSS が研究・開発されている<sup>3)</sup>。UDSS は，温度，湿度，照度，音圧，人感の 5 種類のセンサを搭載する Linux ボックスで，図-2 に示す試作機は幅 128mm，高さ 75mm，奥行き 99mm である。UPnP に対応することで，センサを利用するシームレスコンピューティング環境が容易に実現できると考えられる。UDSS の設置場所として，研究室や職場の各自の机や，家庭の食卓・リビングテーブルなどが想定され，人の存在の有無や，人の話し声といった状況，周囲の環境を取得できるセンサとしての利用が想定されている。たとえば，インスタントメッセージサービスが提供する利用者プレゼンスの一部に UDSS のセンサ値を利用することで，遠隔地の利用者間での状況 (コンテキスト) の伝達が自然に行えると考える。

### IEEE 802.11 系無線 LAN

近年普及の著しい IEEE 802.11 系無線 LAN について，有線 LAN と比較しながら，その性質を述べる。これまでに紹介したシームレスコンピューティングはいずれも IP ネットワーク上に構築され，下位層が有線ネットワークであるか無線ネットワークであるかを意識していない。ところが，IP ネットワーク上に情報共有空間を構築する際にも，下位層の有線と無線の特性の違いを認識し，その長所短所をうまく扱うことがより利便性の高い

情報共有空間の提供につながる。

以降では，シームレスコンピューティングを無線・有線混在環境で実現する際に配慮が必要な無線 LAN の通信品質と，無線の盗聴を防ぐためのセキュリティ機能に起因する接続の煩雑さについて述べる。また，シームレスコンピューティングであつても最終的には利用者を特定の機器 (プロジェクタやプリンタなど) に誘導する必要性が発生し得る。その際に人や機器の位置を把握していれば利用者の誘導が可能である。そこで，最後に無線 LAN を使ったロケーションセンシングについて述べる。

### ● 無線接続とは

無線接続はケーブルの代わりに空中に電波を送ることで機器間を接続する。古くからある例では，固定電話機の子機と親機は無線接続している。テレビやエアコンなど家電のリモコンなども，電波ではなく赤外線を使っているものの，無線で本体と通信していることには変わりはない。ただし，リモコンは一部を除いて片方向のデータ通信であるため機能が制限されている。最近では，携帯電話機，無線 LAN 内蔵ノートパソコン，携帯ゲーム機などさまざまな機器が無線で通信する機能を備えている。現行の第 3 世代携帯電話機は CDMA 方式で無線通信し，無線 LAN 内蔵ノートパソコンや携帯ゲーム機は IEEE 802.11 系の規格で無線通信している。このほかにも，欧州の携帯電話機に多く搭載されている Bluetooth や，省電力でセンサネットワークでの採用が期待される ZigBee，さらには UWB (Ultra WideBand)，WiMAX などさまざまな規格の策定が進んでいる。UWB は 2006 年 1 月までは IEEE 802.15.3a で検討が進められていたが，現在は UWB Forum と WiMedia Alliance によって進められている。

### ● 通信品質とアクセス制御方式

有線 LAN であるイーサネットはスイッチングハブによってスター型のネットワークトポロジが構成されているのに対して，IEEE 802.11 系無線 LAN は，かつて

のダムハブで構成したバス型のイーサネットと同様に、1つの無線チャンネルを複数の端末とアクセスポイントで共有するため、通信品質の保証は難しい。

帯域幅も無線LANは有線LANより低速である。1000Base-Tスイッチングハブで構成された有線LANでは各端末が上り下りを独立に1000Mbpsで通信できるのに対して、無線はMIMO (Multiple Input Multiple Output) 技術を利用したIEEE 802.11n草案においても100Mbps程度超の性能にとどまっており、さらにこの帯域を複数の端末やアクセスポイントによって共有している。

無線LANのアクセス制御方式は、CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) を用いている。CSMA/CAは、バス型のイーサネットで用いられていたアクセス制御方式CSMA/CD (CSMA with Collision Detection) に似ている。CSMAは、端末やアクセスポイントがパケット送信前に無線チャンネルが使用中でないことを確認することを意味する。イーサネットは送信開始直後に衝突を検出できるため、CSMA/CDは媒体の空きを検出したら直ちに送信を開始する。これに対して、無線LANは送信中は衝突の判定ができないので、CSMA/CAはチャンネルの累積空き時間がランダムに決定した送信待ち時間と一致するまで送信しないことで、衝突の確率を下げる。さらに受信者は正常に受信できた際にACKを返す。

通信品質が要求される音声と映像のストリーミングに関しては、2005年に承認されたIEEE 802.11eでQoSが規定されている。音声、映像、ベストエフォート、背景 (バックグラウンド) の4種類に対して、この順に優先度制御を行うことができる。さらに、アクセス制御を集中的に行うチャンネルアクセス方式も定義されている。

ただし、無線LANの伝送速度は端末とアクセスポイントを取り巻く環境によって変化し、端末が移動する場合や周辺環境の変化によって通信容量は時間変動を伴うことに注意する必要がある。たとえばIEEE 802.11bは最大で11Mbpsの通信が可能であるが、伝送速度は1, 2, 5.5, 11Mbpsの4種類が規定されている。端末の移動や周辺環境によってパケットエラー率が変化すると伝送速度が変化する仕組みになっている。

さらに、複数の端末が1つのアクセスポイントに接続する場合は、すべての端末で1つのチャンネルを共有するため、通信速度はさらに低下する。Heusseらの報告<sup>4)</sup>によれば、このチャンネル共有による速度低下がたった1台の低速 (たとえば2Mbps) で通信する端末が存在するだけで、他の端末のスループットも極端に低下する。この現象はこれまでのイーサネットでは経験することがなかったため、特に注意する必要があると考える。この

現象はCSMA/CAアクセス制御方式が主な原因であると述べられている。

### ●ケーブルレスと盗聴

無線LANは通信ケーブルが不要であり設置が容易である。ところが、任意の端末にアクセスポイントへの接続を許可してしまうとセキュリティの観点から問題が生じる場合がある。さらに、アクセスポイントのそばにいれば通信の盗聴も容易である。そのため、許された端末のみに接続を許可し、通信の暗号化をすることが一般的である。許可や通信暗号化の機能はWEP (Wired Equivalent Privacy) やWPA (Wi-Fi Protected Access), IEEE 802.11i (別名WPA2) と順に進化してきた。

この接続許可と暗号化の仕組みが逆に接続容易性を低下させているという面も否定できない。有線であればケーブルさえ接続すれば多くの場合DHCPでIPアドレスの設定まで自動的に完了するのに対して、無線の場合はWEPパスワードなどの設定をアクセスポイントと端末の双方に行う必要がある。一部の製品では、AOSS (AirStation One-Touch Secure System) やJumpStartなどにより接続許可の操作を容易に行えるようになっている。前者のAOSSはアクセスポイントのボタンを押した後、接続したい端末上のソフトウェアボタンを押すという2つの操作で、端末が接続でき安全な通信路を確保できる。後者はアクセスポイントの状態をLEDで確認した後に、接続したい端末側で設定用のパスワードを入力するという手順だけで端末が接続できる。

### ●ロケーションセンシング

無線LANは、端末位置を測定できるという点でも有線LANと比較して優れているといえる。いわゆるロケーションウェア・アプリケーションを作成する際に利用できる。ロケーションウェア・アプリケーションとは、利用者 (端末) の位置に応じて利用者に適した動作をするアプリケーションのことである。アプリケーションがロケーションウェアネスを備えるという言い方もされる。たとえば、アプリケーションの印刷機能を利用する際に、プリンタの選択肢として目の前にあるプリンタを優先して利用者に提示するといった機能がロケーションウェアネスである。有線LANでも、ネットワークセグメントの地理的な範囲が分かれば、接続しているネットワークセグメントの単位での位置情報を得ることができる。

無線LANによるロケーションセンシングは、基地局ベース、TDOA (Time Difference of Arrival) と受信信号強度の大きく3つの方式に分類できる。いずれもアクセスポイントまたはレシーバの位置があらかじめ分かっ

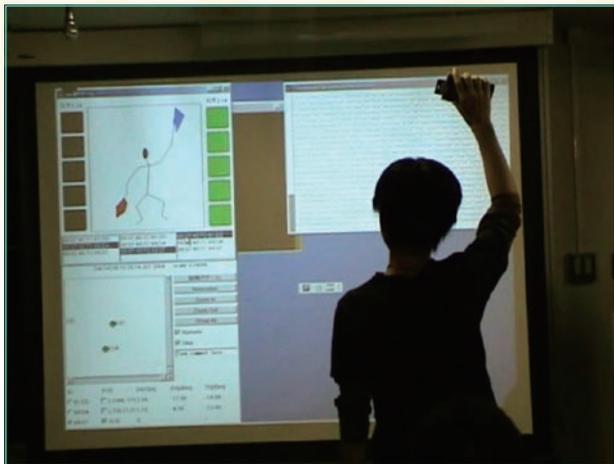


図-3 WiPSによる旗揚げゲームの様子

ているという前提で無線LAN端末の位置を測定する。基地局ベースは、接続している基地局の位置を端末位置と見なす簡単な方法であるが、位置測定精度は最も低い。TDOAは、端末の送信パケットの受信時刻を複数のアクセスポイントで計測し、計測した時刻の差から端末の位置を測定する方式である。専用ハードウェアを搭載したアクセスポイントまたはレシーバが必要である。最後の受信信号強度は、パケットの信号強度の減衰量が送受信アンテナ間の距離などによって決まることを利用する。減衰量は距離以外にも構造物の影響を受けるため、利用場所の減衰特性を測定する更正作業が必要である。

受信信号強度を利用する方式では、アクセスポイントと端末間の受信信号強度のみならず、端末間でも受信信号強度を測定することで位置測定精度を向上させる方式も研究・開発されている<sup>5)</sup>。オフィスなどでは、アクセスポイントの密度に比べて端末の密度は高いといえるので、端末間の距離はアクセスポイントまでの距離に比べて短い。受信信号強度の減衰量は距離が短いほうが大きいのでより高い分解能で位置測定が可能であるとの考えに基づいた方式である。図-3にデモアプリケーションである旗揚げゲームの様子を示す。机上の端末と両手の端末間の距離を計測することで、手の上げ下げを判定している。また、応用例として近距離端末間で位置情報を利用したアプリケーションの開発も行われており、対面での情報共有における位置情報の利用可能性を示している<sup>6)</sup>。

### おわりに

シームレスコンピューティング技術は、機器間の協調動作を容易にする。次第に利用者はごく少数の機器だけを意識すれば事足りるようになり、本来の人同士のコミュニケーションに集中できる環境が構築されていくと

考える。さらに、コンピュータが人の状況を的確に認識できるようになることで、人の情報共有を自然に支援することが可能になっていく。本稿で紹介したDLNAやUPnPなどの技術の発展と、無線通信の有効利用によって、リッチで扱いやすい情報共有空間が構築されていくことが期待される。そのためには、本稿では扱わなかった人の状況をセンサから判断する論理や、SNSなどのアプリケーションの進化、ウェアラブルコンピュータやセンサの普及などの課題がある。

### 参考文献

- 1) DLNA, "Overview and Vision White Paper 2006" (2006); [http://www.dlna.org/en/industry/about/dlna\\_white\\_paper\\_2006.pdf](http://www.dlna.org/en/industry/about/dlna_white_paper_2006.pdf)
- 2) UPnP Forum, "UPnP Device Architecture 1.0" (Dec. 2003); <http://www.upnp.org/resources/documents/CleanUPnPDA101-20031202s.pdf>
- 3) 松浦知子, 久住憲嗣, 北須賀輝明, 中西恒夫, 福田 晃: ホームネットワーク向けセンサデバイスUDSSの設計と実装, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2006)シンポジウム論文集(II), pp.653-656 (July 2006).
- 4) Heusse, M., Rousseau, F., Berger-Sabbatel, G. and Duda, A.: Performance Anomaly of 802.11b, IEEE INFOCOM 2003, Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, pp.836-843, Vol.2 (Mar. - Apr. 2003).
- 5) 北須賀輝明, 中西恒夫, 福田 晃ほか: 無線LANを用いた屋内向け位置測定方式WiPS; <http://www.f.csce.kyushu-u.ac.jp/rde/WiPS/>
- 6) 片桐誉裕, 野田厚志, 北須賀輝明, 久住憲嗣, 福田 晃: 位置情報を使った近くの端末との直感的アドホック通信ソフトウェア, 情報処理学会第47回プログラミング・シンポジウム報告書, pp.199-202 (Jan. 2006).

(平成18年12月20日受付)

#### 北須賀輝明 (正会員)

kitasuka@f.csce.kyushu-u.ac.jp

1993年京大工学部情報工学科卒業。1995年奈良先端大情報科学研究科博士前期課程修了。シャープ(株)を経て、2001年より九大助手。モバイルコンピューティング、組み込みシステムの研究に従事。博士(工学)。

#### 福田 晃 (正会員)

fukuda@f.csce.kyushu-u.ac.jp

1979年九大情報工学専攻修士課程修了。NTT, 九大助手, 助教, 奈良先端大教授を経て、2001年より九大教授。工学博士。組み込みソフトウェア、ユビキタスコンピューティング等の研究に従事。