

ユビキタスネットワークに向けた課題

Towards a Ubiquitous Network

谷 英明*
Hideaki Tani

竹内 章平**
Shohei Takeuchi

吉田 吉憲***
Yoshinori Yoshida

要 旨

ユビキタスとは、「どこにでも存在する」という意味のラテン語であり、ユビキタスネットワークには、次世代のあらゆる社会活動や経済活動を支えるインフラストラクチャに成長することが期待されています。

本稿では、ユビキタスネットワークのネットワーキングモデル、システムアーキテクチャ、システム実現課題について述べ、こうした課題に対する解決方針を示します。

The word “ubiquitous” comes from the Latin word “ubique” meaning “existing everywhere.” In this sense, the ubiquitous network is expected to become a next-generation infrastructure supporting a wide variety of social and economic activities.

This paper discusses the ubiquitous network in terms of a networking model, system architecture, system implementation issues, and several plans for addressing those issues.

1. はじめに

近年の広帯域ネットワーク技術、コンピュータ技術、小型デバイス技術の進化により、誰もが、いつどこで何をしても、どんな端末でも、お互いの状況を理解し会話を楽しめる「ユビキタスネットワーク」が現実のものとなっています。ユビキタスとは、「どこにでも存在する」という意味のラテン語であり、ユビキタスネットワークには次世代のあらゆる社会活動や経済活動を支えるインフラストラクチャに成長することが期待されています(図1)。

コンピュータの世界では、マイクロコンピュータの小型化・性能向上の発展により、今やほぼすべての電子機器に搭載されたコンピュータが互いに連携するユビキタスコンピューティングの時代が到来しています。

コンピュータアプリケーションもクライアント・サーバ

中心の形態からPeer-to-Peerの形態へと発展し、さらにはRFIDとの連携によって、Object-to-Objectの形態へと進化し続けています(図2)。一方、ブロードバンド技術および無線伝送技術の普及および広帯域化により、個人個人や企業が、いつでもどこでも、どんな機器からでもネットワークを利用できるユビキタスネットワーキング環境の整備が

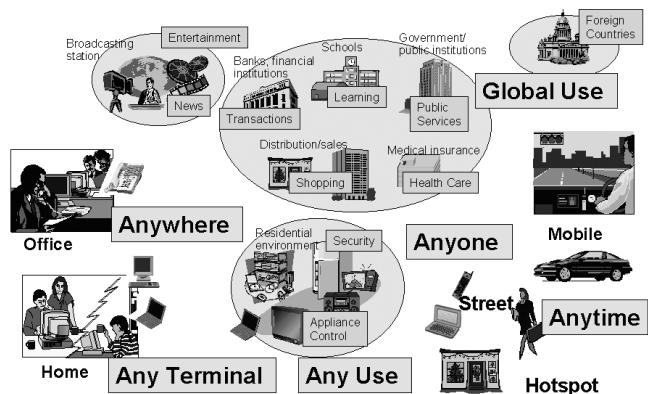


図1 ユビキタスネットワークの利用シーン

Fig.1 Usage scenarios of ubiquitous network.

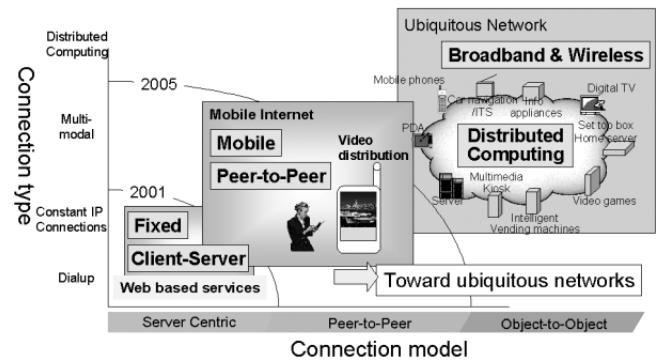


図2 ネットワークアプリケーションの進化

Fig.2 Evolution of network applications.

* システムプラットフォーム研究所
System Platforms Research Laboratories
** ユビキタス基盤開発本部
Ubiquitous Platform Development Division

*** 研究企画部
Research Planning Division

進んでいます。コンピュータ技術とネットワーキング技術が合わさって生まれてくる様々なユビキタスサービスが、社会的・経済的活動になくてはならない要素となっていました。

ユビキタスネットワークビジネスの例として、JR東日本が導入した非接触型ICカード「Suica」²⁾や、コンビニエンスストアで利用できるプリペイド型電子マネーサービス「Edy」³⁾、金融キャッシュカード⁴⁾などは、単に改札や支払いなどを簡便化するだけでなく、新しいビジネスモデルが新しい潮流を作る技術として注目を浴びています。将来的には、ユビキタスコンピューティングとユビキタスネットワークとの統合により、Utility Computingが日常的なものになることが期待されます。

ユビキタスネットワークは、従来の人と人、人と機械のトラヒックだけでなく、機械対機械、すなわち、Object-to-Objectの膨大なトラヒックを、即座に、適切に、安全に運ぶフレームワークと位置付けられます。以下、ユビキタスネットワークのネットワーキングモデル、システムアーキテクチャ、システム実現のための様々な課題、およびいくつかの解決方策についての考察を述べます。

2. ユビキタスネットワークにおける分散インテリジェンス連携

ノースウェスタン大学ケロッグ校のSawhney教授は、従来大型コンピュータに集中的に配備されていたインテリジェンスが近年のネットワーク技術の進歩によってバックエンドやフロントエンドに分散（デカプリング）されたと指摘しています⁵⁾。ユビキタスネットワークも、経済価値の源泉であるインテリジェンスと現実世界の出来事の間を、目的に応じて、自在に組み合わせて新しい価値を創造するフレームワークでなければなりません。

現在広まりつつあるユビキタスネットワーク環境では、ユーザ端末自体もフロントエンド・インテリジェンスを持ち、ネットワーク・インテリジェンスのサポートを介して様々なタイプのバックエンド・インテリジェンスと交信することができます。ネットワーク・インテリジェンスは、インテリジェンスどうしを相互作用させるプラットフォームであり、ブローカーサービスや位置管理、QoS保証などネットワークワイドな機能を提供するものと定義することができます。

図3にインテリジェンスの相互協調の例を示します。モバイルコマースが一般化する将来のインターネット社会において、フロントエンド・インテリジェンスは常に動き回りながら、それぞれの場所からバックエンド・インテリジェンスや共有ユーティリティを活用したり、フロントエンド・インテリジェンスどうしで協調したりします。

ユビキタスネットワークでは知的コラボレーションがサービス、アプリケーションの創出にとって鍵を握っています。図4に示すモバイルチケットサービスの例では、携帯電話、ICカード、RFIDデバイスなどのフロントエンド・インテリジェンスと、電子チケットの発券システムと認証、

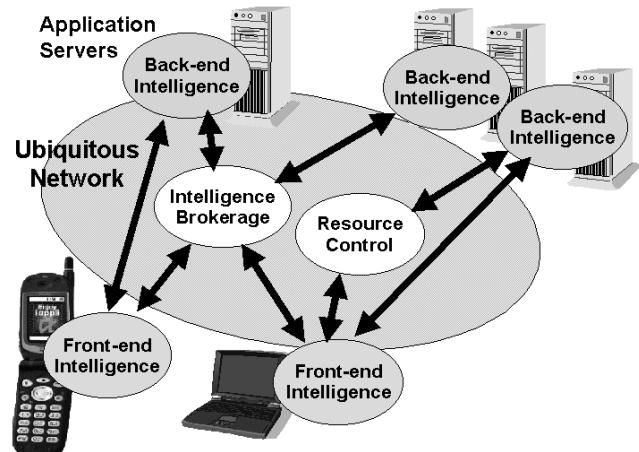


図3 モバイルインターネットにおける様々なインテリジェンスの連携

Fig.3 Types of intelligence on mobile internet.

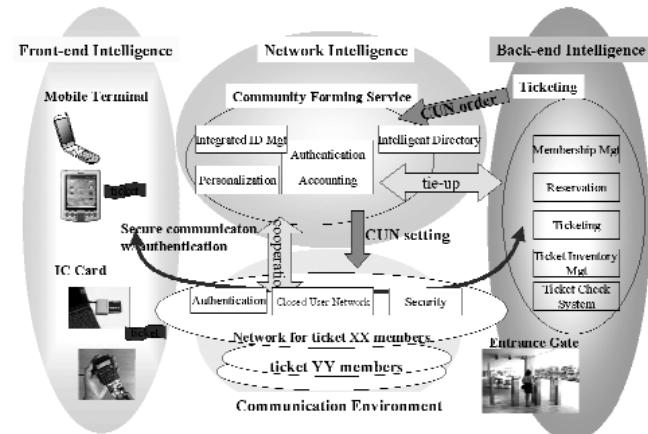


図4 モバイル電子チケットの例

Fig.4 Example of mobile electronic ticketing.

決済システム、自動ゲートコントロールシステムなどのバックエンド・インテリジェンスが相互連携します。

それらの仲立ちとしてディレクトリ、加入者認証、ネットワーク決済プラットフォームなどのネットワーク・インテリジェンスがサポートします。これらのインテリジェンスが強調することで、ユーザはキャッシュレスでいつでも所望のチケットを電子的に入手し、それをゲートにかざすだけで会場、競技場へ自動で入退場することができる新しいビジネス、サービスモデルが可能となります。

3. ユビキタスネットワーク実現のアーキテクチャ課題

3.1 ユビキタスネットワークの構成

図5に、ユビキタスネットワークシステムの物理的構成例を示します。現在のインターネットユーザは、固定アクセス網か移動アクセスかにより個別の手段でネットワークにアクセスしていますが、今後はその間の境界を意識する

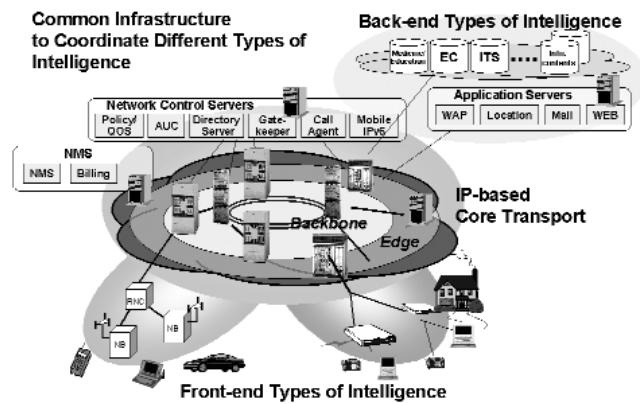


図5 ユビキタスネットワークのアーキテクチャ
Fig.5 Physical architecture of ubiquitous network.

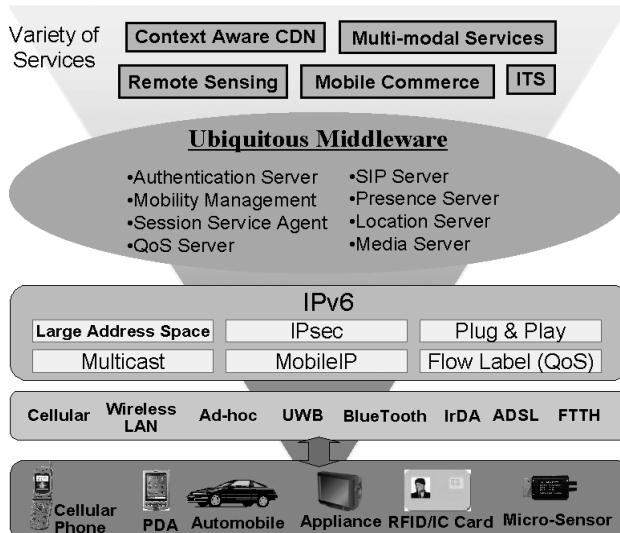


図6 ユビキタスネットワークの論理構成
Fig.6 Logical architecture of ubiquitous network.

ことなく3Gセララー網、xDSLなどブロードバンドアクセス、ホットスポット WiFi技術などがシームレスに使いこなせるために、認証機構、移動管理機能、セキュリティがグローバルな形で具備されることが必要になります。

図6にユビキタスネットワークの論理構成を示します。各種ユビキタスアプライアンスは、セララー網や無線LANなど各種のアクセス手段を介してIPv6によるネットワークインフラストラクチャに結び付けられ、さらにユビキタスミドルウェアを介して各種アプリケーションソフトウェアと連動しユビキタスサービスを構成します。

ユビキタスミドルウェアを実現するためには、IPv6の基本的な機能に加えて、シームレスアドレス方式やモビリティサポート、セッション管理、QoS管理、認証、および課金などの付加機能が必要となります。さらに、ユビキタスアプリケーションの利用性を高めるために、ネットワークのパーソナル化機能、位置情報機能、およびコミュニティ生成支援機能をもミドルウェアに取り込むことが求められます。

ユビキタスミドルウェアの基本機能のうち、以下では、ユビキタスネットワークのアーキテクチャに深くかかわるアドレス・ネーミング、およびモビリティの課題について述べます。

3.2 ユビキタスネットワークのアドレス問題

ありとあらゆるもののがObject-to-Object通信を行うユビキタスネットワークでは、膨大な数のアドレスが必要です。たとえば、いたる所に設置されるセンサのためのIDは10の14乗から15乗、サービスを特定するIDは10の12乗から13乗のオーダで必要になってきます。さらに、アプリケーションに応じて意味を持った呼び名やドメイン名、URL、URI、およびE.164アドレスなど様々な形式の名前表現が用いられます。

これらの名前空間の相互間を結びつけるためには、ベースとなるIPv6のアドレス体系の上に、リアルタイムでシームレスなアドレスマッピング機構が必要になります。表1に示すような4つのアドレス体系は、それぞれ世の中で使われているものですが、これらを強制的に統一するよりも、それぞれの体系を許容しながら、アドレス変換器やゲートウェイ、エージェントなどの機能を用いて相互に変換し通信し合える環境を作り出すことが極めて重要になります。

図7に、用途に応じて各種の名前スキームが適切に使い分けられる例を示します。1人のユーザから見て、通信相手はそのユーザURIで、ネットワーク上の情報コンテンツはURLで、サーバ装置はホスト名で、アドホックに接続される近隣デバイスは適切な意味を持つ呼称で呼ばれます。表2にはそうした状況で用いられる様々な名前空間を示します。

表1 様々なアドレス方式

Table 1 Various address types.

項目	ID	管理団体	ID長
ICタグ	EPC	—	96 bit
Internet端末、IPセンサ端末	Ipv6	ICANN	128 bit
電話端末	E.164	ITU	CC + 15 digit
インテリジェント家電	Echonet ⁶⁾ ID	—	16 bit

EPC: Electrical Product Code

ICANN: The Internet Corporation for Assigned Names and Numbers

ITU: The International Telecommunication Union

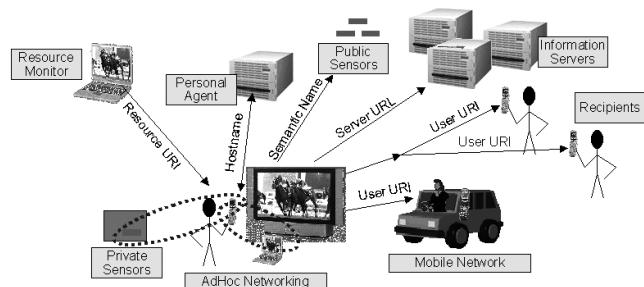


図7 ユビキタスネットワークにおけるアドレス解決

Fig.7 Address resolution in ubiquitous network.

表2 様々な名前空間
Table 2 Various naming styles.

Object	Naming Style	Example
IC-Tag/Sensor	Semantic Name	"Temperature", "Living Room"
Appliance	Semantic Name	"TV", "VCR", "Microwave Oven"
Server	Domain Name	www.nec.co.jp
Resource/Service	URL/URI	http://www.abc.com/product-info.html
Telephone	Telephone Number	+81-1-2345-6789
User	URI	User1@phone.abc.com

URL: Uniform Resource Locator

URI: Uniform Resource Identifier

3.3 モビリティサポートのアーキテクチャ

モビリティサポートとは、ネットワーク－端末間のコネクティビティの連続性と、サービス－端末間のセッションの継続性を維持するものです。図8は、移動しながらサービスを利用する際の、サービスとネットワークアクセス手段と移動端末との関係を表しています。

インターネットカーを例にとると、道路をカバーする様々な無線アクセス手段がこの車とネットワークとの通信接続を維持し、サービスを継続させます。異なるアクセス手段の間をスムーズに切り替えていくために、位置情報の活用と認証情報のハンドオーバーは不可欠であり、加えて、シングル・サイン・オンによる手続きの一括処理が求められます。

こうしたアプリケーションのために、モバイルIPv6プロトコル⁷⁾を用いて端末位置を管理するネットワークレベルのモビリティサポートに加え、その端末を使うユーザに関する空間位置、時間、周囲環境などを管理するセッションレベルのモビリティサポートが重要です。ユーザや端末のセッションやプレゼンスの管理に関しては、SIP (Session Initiation Protocol)⁸⁾のようなパーソナルIDの概念を持つセッション制御プロトコルが有効な手段となります。モビリティをサポートしながらプレゼンスに応じてサービスを最適化するためには、QoS情報、認証情報、最適化情報などのコンテキスト情報を異なるアクセス手段間でスムーズにハンドオーバーする、新しいスキームの導入が必要になります。

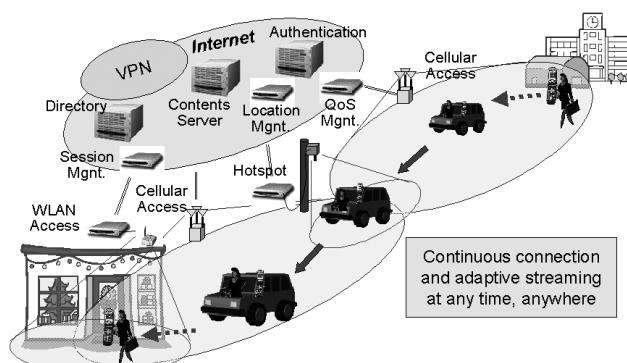


図8 モビリティサポート
Fig.8 Mobility support.

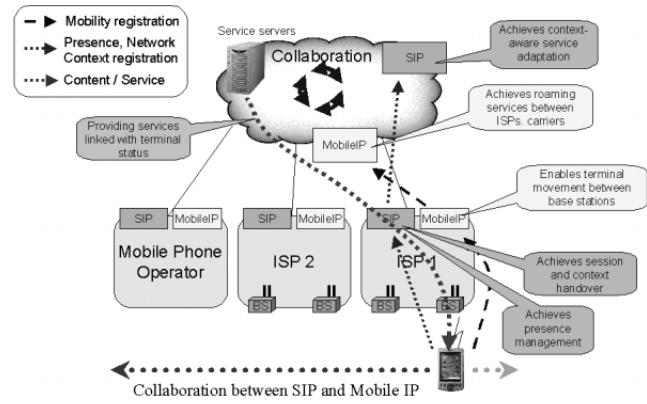


図9 ユビキタスネットワークにおけるモビリティサポート

Fig.9 Presence-aware service in ubiquitous network.

ます。図9に、SIPを用いたプレゼンス応用サービスの実現例を示します。

4. 安全でセキュアなユビキタスネットワークの実現

ユビキタスネットワークが持つ数々の「明るい側面」を活用するためには、反対側の「暗い側面」を克服しなければなりません。ユビキタスネットワークの「暗い側面」には、秘匿制御、デジタルデバイド、エネルギー問題などの課題があり、ユーザ認証、オブジェクト認証、暗号化などのセキュリティ技術や省電力技術をユビキタスプラットフォームに具備しなければなりません。

4.1 ユビキタスネットワークにおけるセキュリティの課題

ユビキタスネットワークの特性を活かしたアプリケーションとして、住宅の遠隔監視システムやIDS (Intrusion Detection System) が構築されています。住宅などの異常検出に加え、物流サービスの安全性を向上させるアプリケーションも有望です。図10に示したセキュアな物流機構の例では、配送される荷物に認証ラベルを貼付して受領側で確認することにより、配送誤りや作為によってすりかわった偽荷物を判別する機能を提供しており、商品の鮮度管理

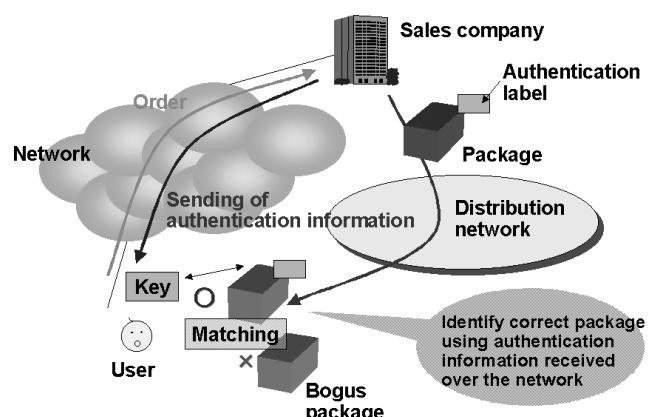


図10 物流サービスと連携したセキュアモバイルコマースの例
Fig.10 Secure mobile commerce in logistics service.

や店頭在庫管理から仕入れ管理、安全管理までをトータルにカバーするSCM(Supply Chain Management)システムに組み入れられます。

ユビキタス社会にとって、こうしたネットワークアプリケーションは、社会経済活動を支えるライフラインとなるため、そのインフラストラクチャを不正なアクセスやサイバーテロリズムから守ること、また万一攻撃を受けてもその被害を局所にとどめることができます。

頻繁に端末位置を移動させ、また無線アクセス手段や端末手段自身までも次々と切り替えられるユビキタスネットワークにおいては、障害監視の目的のみならず、ネットワーク犯罪検出の目的からも、通信状態の監視機能が欠かせません。ネットワーク犯罪検出の有効な手段である通信トレーシングには通信文モニタによる被疑端末の検出機能が必要ですが、広帯域化ネットワークではモニタ装置にも数Gbps以上のスループットが必要であり、新しいモニタリング技術の開発が求められます。

4.2 プライバシーの問題

ユーザの現在位置や周囲の状況を検出し、最適なサービスを選択するアプリケーションは、“Invisible Computer”とも呼ばれるユビキタスコンピューティングの代表的なアプリケーションの1つです。しかし、ユーザの明示的な操作のみによってサービスが起動される従来のアプリケーションと比較して、こうした取得情報のプライバシー情報を慎重に管理する機能が求められます。

プライバシーを代表とする知的所有権の取り扱いは、ユビキタスネットワーク時代の最も重要な課題の1つです。著作権保護や情報内容に応じた課金の機構を早期に整備し、価値ある情報を安全に流通させるフレームワークを構築することが肝要です。併せて、ユビキタス社会における社会ルールや倫理規定なども見直す必要があります。

4.3 省電力

ユビキタスネットワークでは、多数の通信デバイスが情報を常時交換してリアルタイムのサービス環境を提供しますが、このためにそれぞれの機器の消費エネルギーがトラヒックに比例して増大するのであっては、社会的に受け入れられらず、再び夢物語に戻ってしまうことでしょう。

ユビキタスネットワークでは、数多くのノード・端末に常時動作が求められるため、スタンバイモードから受信トリガで動作モードへ移行するウェイク・オン機能の搭載が不可欠となります。端末やサーバ、ネットワーク機器の省電力化にとっては、もちろんデバイス技術が鍵となります。システムアーキテクチャ、プロトコル、オペレーティングシステムなど、すべての構成要素を含んだトータルな省電力デザインが必須といえます。

5. おわりに

以上、ユビキタスネットワークについて、そのアーキテクチャを考察し、アドレス、モビリティ、セキュリティ、

省電力などの技術的要件を示しました。ユビキタスネットワークでは、これまで固定網と移動網で独立に提供されていたサービスを融合させながら発展していくでしょう。ユビキタス社会をドライブするポイントは、いかにユーザ(一般、企業)、ネットワークオペレータ、ベンダのバリューチェーンを回転させていくかにかかっています。NECはユビキタスネットワークの構築を通して、絶えず成長するユビキタス社会の構築に貢献していきます。

* この論文は、ITU TELECOM WORLD 2003に投稿された論文を基に作成したものです。

参考文献

- 1) Y. Yoshida et. al., "Towards a ubiquitous network," ITU Telecom World 2003.
- 2) Super Urban Intelligent Card (Suica), East Japan Railway Company, <http://www.jreast.co.jp/e/index.html> (in Japanese).
- 3) Edy, BitWallet Inc., <http://www.edy.jp/about/index.html> (in Japanese).
- 4) Yano Research Institute Ltd., <http://www.yanoresearch.com/>
- 5) M. Sawhney and D. Parikh, "Where Value Lives in a Networked World", Harvard Business Review.
- 6) Echonet consortium, <http://www.echonet.gr.jp/english/index.htm>
- 7) Request for Comments 2460, "Internet Protocol, Version 6 (Ipv6) Specification," Internet Engineering Task Force, December 1998.
- 8) Request for Comments 3261, "SIP: Session Initiation Protocol", Internet Engineering Task Force, June 2002.
- 9) Request for Comments: 3344, "IP Mobility Support for Ipv4", Internet Engineering Task Force, August 2002.

筆者紹介



Hideaki Tani
たに ひであき
谷 英明 1985年、NEC入社。現在、システムプラットフォーム研究所研究部長。電子情報通信学会会員。



Shohei Takeuchi
たけうち しょうへい
竹内 章平 1984年、NEC入社。現在、ユビキタス基盤開発本部シニアマネージャー。電子情報通信学会会員。



Yoshinori Yoshida
よしだ よしのり
吉田 吉憲 1969年、NEC入社。現在、研究企画部エグゼクティブエキスパート。電子情報通信学会、IEEE各会員。