

# 次世代モバイルネットワークとその技術課題

今井 和雄

第4世代といわれる次世代のモバイルネットワークについて、サービス発展の観点から「モバイルユビキタス」という新たなコンセプトを示し、ネットワークのユビキタス化がブロードバンド化と合わせて重要であることを述べる。その構成の具体例として、モバイル端末をゲートウェイとしてモバイルネットワークをユビキタス世界に拡張する考え方を示し、これを実現する上での技術的課題ならびに通信キャリアの役割について解説する。

キーワード：第4世代移動網、モバイル、ユビキタス、インターネット、無線タグ、センサ

## 1. はじめに

携帯電話やPHSを含むいわゆるモバイルフォンは、市場に現れてまだ10数年の歴史しかないが、90年代中期以降の成長は著しく、100年以上かけて構築されてきた日本の固定電話網の規模をすでに超えてしまっている。また、90年代の前半に商用化されたインターネットは、世界的な発展とともに日本でも大いに受け入れられ、現在3000万を越える加入者を得ている。そして、なんとといっても日本市場の特徴は、i-modeをはじめとしたモバイルフォンを使ったインターネットへのアクセス（Webアクセス、コンテンツダウンロード、メールサービス等）の急激な普及であり、このモバイル・インターネットは、現在6000万以上の加入者を擁し、ユーザに完全に受け入れられた。

このようにインターネットというサービス媒体を得て、モバイル通信に新たな発展が起こったわけだが、依然トラフィックの主体は電話サービスであり、さらなる発展のためには、新たなサービス領域を開拓することが必須である。すでに日本では、世界に先駆け2001年より第3世代（3G）移動通信サービスが開始され、ネットワークの高速性を生かして通信サービスのマルチメディア化、コンテンツのリッチ化が盛んに進められている。

今後、次世代のモバイルネットワーク（いわゆる第4世代：4G）においては、よりリアリティの高い通信を提供するため、さらなる高速・広帯域化が目指される一方で、人と人との通信だけでなく、あらゆるモノ（＝コンピュータ）がネットワークにつながり、い

ろいろなシーンで目に見えないコンピュータが人々の生活を支え、新たな喜びや楽しみを提供するユビキタスサービス[1]が重要となろう。本稿では、来るユビキタス社会のインフラとしての4Gネットワーク構成の考え方や新たな研究課題について解説する。

## 2. モバイルサービスとネットワークの発展方向：超リアリティ通信とユビキタスサービス

モバイルサービスとネットワークの発展と今後の展開のステップは図1のように整理されよう。すなわち、セルラ網のデジタル化を実現した第2世代（2G）においては、パケット通信方式とブラウザフォンを用いて、インターネットとのゲートウェイ接続を提供するi-modeサービスが導入され、従来の音声中心のサービスからデータ、画像を含むコンテンツを扱うノンボイス通信へとシフトさせた。このi-modeサービスの成功は、“モバイルインターネットサービス”として定着した。次に、第3世代（3G）においては、ATM技術を使ったネットワークのブロードバンド化が図られ、2Gからのカメラ付携帯の普及も相まって、よりリッチな動画像を含むAV系のサービスが発展しつつある。3Gネットワークは「モバイル・マルチメディアサービス」を立ち上げたということができよう。ネットワークとしては、今後、経済性やサービス発展の柔軟性という点でインターネットと同様にIP技術を基本としたAll-IP化が進められる方向にある。

では、将来の4Gではどのようなサービスが現れ、それを支えるネットワークはどのような構造になるであろうか。これまでそうであったようにネットワークの世代交代には10年以上の歳月を要する。したがって4Gが登場するのは2010年から2015年のスパンで

いまい かずお

(株)NTTドコモ ネットワーク研究所

〒239-8536 横須賀市光の丘3-5

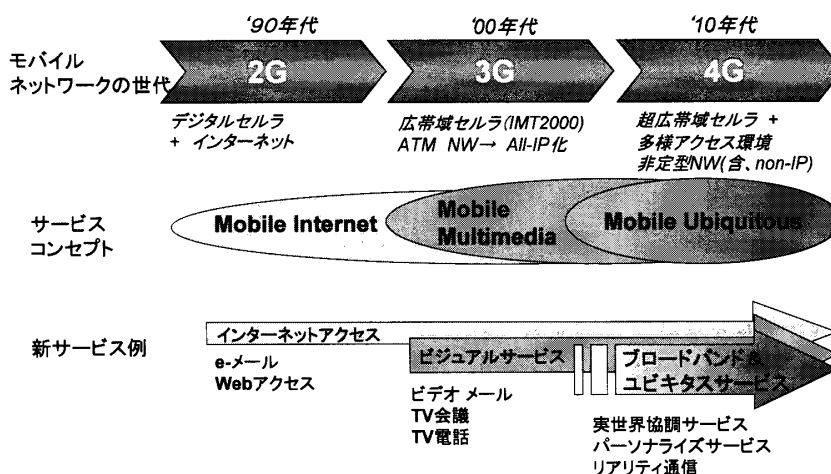


図1 4Gへむけた展開シナリオ

考えるのが妥当であろう。その時代には、これまでの音声・映像通信の常識を超えた、より臨場感のあるリアリティの高いコミュニケーションが人と人の通信の中核となっているものと期待される。例えば、あたかもそばにいるような映像、あるいは遠くにいてもどこから話しているのかその方向と遠近がわかるような、立体的（3D）な音声・映像通信[2]が実用化しているであろう。またロボット等を使って聴覚、視覚だけでなく触覚や動作を伝え、場の雰囲気や感情の伝達を支援する、いわゆる分身通信[2]もあらたな通信の形として誕生しているであろう。これらのサービスは、モバイルネットワークに新たな要求条件を提示する。すなわち、次元の高い情報をリアルタイムで伝達するための広帯域化と触覚等の微妙な変化を伝えるための極めて短い伝達遅延とすることである。

一方、もう一つのサービスの発展の軸として、4Gの時代には、無線タグや各種センサ、超小型のコンピューティングデバイスの発展により、人と人が直接対話する通信サービスから、実空間のあらゆる機器やモノがつながり情報を交換し、それらが直接または間接的に人にサービスを提供する新たなタイプのサービスが出てくる可能性が高い。これまでのインターネットのような「仮想空間」上の情報サービスだけでなく、実空間の情報が仮想空間の情報、サービスと連携、融合し、いつでもどこでも、生活において必要となるサービスを適切なタイミングで、様々なデバイスを通じてユーザへ提供することになる。このタイプのサービスを本稿では「ユビキタスサービス」と総称する。

ユビキタスサービスを支えるネットワークへの基本的な要求条件は、遍在するあらゆるデバイスをネットワーク化するため、環境に埋め込まれた微小デバイ

スから情報家電のような高機能な端末まで、多様で膨大な数の端末（ユビキタスデバイス）に対して接続性（コネクティビティ）を提供することにある。ユビキタスデバイスは、無線タグやセンサのように極めて限られた通信能力しか持たないものもあり、また、そのデバイスが機能する場所や期間に限界もあり、ネットワーク構成自体が部分的に非定形で一時的（アドホック）となる場合も考えられる。また、そのデバイスとネットワークの所有、管理も公衆網のように通信キャリアによる統一的な所有、集中的な管理が成されれば限らない。こういった条件の下でネットワークの接続性、情報の到達性（リーチャビリティ）を提供するというユビキタスネットワークが次世代ネットワークの（低遅延・ブロードバンドに加えて）もう一つの新たな特徴であると考えられる。

以上の二つの特徴を持つ次世代ネットワークによる新たなサービスのコンセプトを「モバイルユビキタス」と呼び、以下これを実現するためのネットワーク技術を中心に述べる。

### 3. 新たなモバイルネットワークの構成

#### 3.1 モバイルユビキタス・ネットワークの考え方

通信の超リアリティ化とユビキタス化により、ネットワークに新たな要求条件が発生するが、要求条件のすべての具体化は、現時点ではまだ未知な事象が多いため困難である。ただし、特に通信のマルチメディア化、超リアリティ化をサポートするためのネットワークのブロードバンド化という発展という軸でみれば、3Gセルラーネットワークのさらなる高速化と経済化という従来からの発展アプローチに乗っているものであり、すでに（狭義の）4Gアクセス無線技術の研究

開発のために、そのターゲットは明確にされている[3]。この能力をもつ4G(セルラ)モバイルネットワークは、携帯電話サービスを中心としたキャリアネットワーク発展の基本であり、モバイルユビキタスの時代にも、ネットワークとサービスのコアとして重要である。このセルラ網には、その広帯域性を生かす高度な携帯端末(4G端末)が接続され、人と人の通信のマルチメディア化、超リアルティ化を実現する。そこで、この4G(セルラ)モバイルネットワークを中核として、キャリアサービスのために次世代ネットワークを構築するという観点から、上記のユビキタス化も包含する広義の4Gネットワーク(4G+(プラス)と称する)の構成法を考える。

### 3.2 4G(セルラ)モバイルネットワーク

モバイルユビキタス・ネットワークの中核となる狭義の4Gネットワーク、すなわち3Gからのさらなる高速化と広帯域化を図り、サービスのマルチメディア化や超リアルティ化に対応するモバイルセルラネットワーク構成の基本的な方式について述べる。これについては、すでに3G以降の将来方式(Beyond 3G)として、世界の研究機関や標準化機関(ITU, ARIB等)においても検討が進められてきており、具体的な広帯域ワイヤレスアクセス方式やネットワーク方式も提案され始めている。

●広帯域ワイヤレスアクセス方式：有望な方式として可変拡散率直交周波数・符号分割多重(VSF-OFCDM: Variable Spreading Factor- Orthogonal Frequency and Code Division Multiplexing)[3]が提案されている。これは、無線LANなどに使われ、孤立セル環境で大容量化を図れるOFDM技術と、セルラのマルチセル環境で優れているCDMA技術を組み合わせ、拡散率を適宜変えることにより多様な周囲環境でも連続的にサポートできる方式である。屋内の孤立セルでの超高速な適用も有効であり、かつ屋内から屋外に持ち出したときも同じエアインタフェースのまま連続的に効率よく利用できるという特長がある。本方式は、すでに屋内実験を終え、2003年からは屋外の移動環境で100 Mbit/s伝送の実験を成功させている。

●ネットワーク方式：3Gの初期ネットワークデザインでは、回線交換ドメインとパケット交換ドメインは分離したアーキテクチャとなっている。しかし、今後は、インターネットと連携したデータを中心とした非電話系サービスが主体となり、回線交換系でサポートしてきた音声サービスもVoIP等のIP技術にて提

供可能となる。これに伴い、発展の著しいIPパケット技術を全面的に採用するネットワークの「All-IP化」を図ることが、その経済化や新サービスの迅速な創出のためにも有効であるとの見方が、モバイルキャリアやベンダの間で比較的早くから有力となってきた。日本においても、2000年頃からAll-IP化に向けた検討が本格的に開始されており、市場のIP機器をベースにしたシステム実験[7]による評価や検討が行われた。固定のインターネット技術との顕著な相違点は、移動する端末に対してIP到達性を高品質かつ安定的に保証しなければならない点である。この点について、インターネットにおいてもローミングを可能とするためモバイルIP技術[5]が開発されているものの、キャリアネットワークでの高速なハンドオーバーには能力が不十分であるとの点が指摘されてきた。また、新無線方式だけでなく3Gや無線LAN等の複数の無線システムを柔軟に収容し、かつ、それらの間の端末移動もシームレスに実現することが求められる。このような点を改良、実現し、通信キャリアが求める品質や安心・安全性を保証するため、All-IP化に向けた新たな研究[6]が開始されている。現在、All-IP化の要求条件、ATMベースの3GネットワークからAll-IP化に向けた展開シナリオ、標準化も含んだ開発課題等が主要なベンダやキャリアも巻き込んで議論されており、2010年よりも前に次世代のモバイルネットワークのコアとして導入展開されることが期待される。図2にAll-IPネットワークの構造イメージを示す。

### 3.3 4G+ネットワークアーキテクチャ

ユビキタスネットワークをあらためて定義すると、あらゆるモノや機器のネットワーク化により、どこにおいても、端末、ネットワーク、コンテンツを自在に意識せず、ストレスなく安心して利用できる環境であるということができよう。ネットワーク化されるユビキタスデバイスは微小な環境埋め込み型から情報家電といった個々の能力の高いものまで多様である。それらを活用して、環境情報やユーザのパーソナルな情報を取り込み、これまでの通信サービスではない、新たな価値を生むことが期待される。

では、そのネットワーク環境をどのように実現するのか。ユビキタスサービスは、ある場所、ある時間に密着した実世界、実環境を扱うことが新しい特質である。実世界の情報を扱うユビキタスデバイスは、当然、固有の場所、空間を基点としてネットワーク化される。すなわち、時空間的に閉じたローカルなネットワーキ

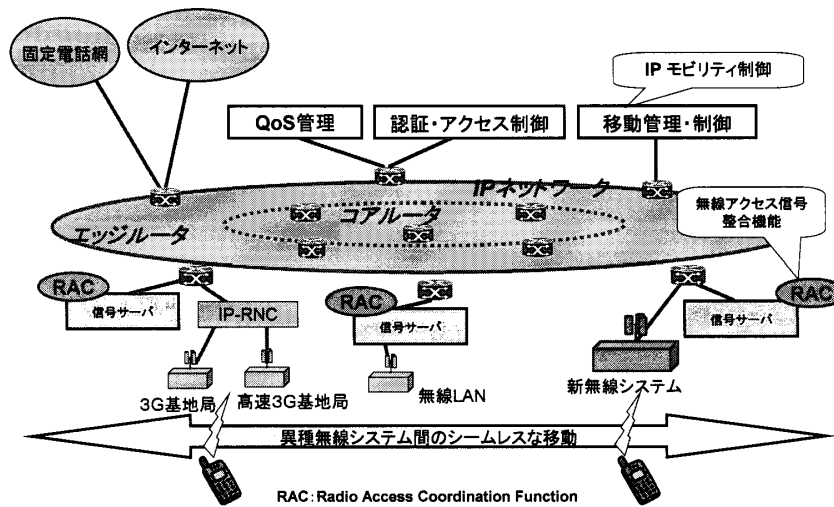


図2 All-IP モバイルネットワーク

ングが基本となっていると考えるのが自然である。そこで、これをユビキタスローカルネットワーク (Ubiquitous Local Network: ULN) と定義する。

一方、高機能なモバイルデバイスを接続するモバイルネットワーク (+インターネット) は場所フリーな通信と仮想世界を扱うことが得意である。このモバイルネットワークは、グローバルなネットワークとして (時空間的に移動性のある) ULN 間を相互につなぐことにより、ローカルな実空間情報をグローバル化し、またインターネット上の仮想空間へ導くことも容易にできる。したがってモバイルネットワークと ULN による実環境空間が「うまく接続」できれば、従来のインターネットの概念を超えた、実世界までを包含するあらたなユビキタス (グローバル) ネットワークが出現し、「モバイルユビキタス世界」を形成することが期待できる。

この接続のために、モバイルネットワークの「エッジ (縁)」においたゲートウェイによってこの接続を行うことを提案する。ここで注意したいのは、エッジとは、ネットワークのノードではなく、人が常時携帯する携帯端末を想定しているということである。人を中心として、この先にユビキタス世界が広がるものと考え、携帯端末を閘門 (ゲートウェイ) としようという考え方である。ただし、家庭における情報家電などのデバイスへの接続、制御については、必ずしも携帯端末がゲートウェイである必要ではなく、ゲートウェイ機能はモジュール化して様々な場所に設定することも求められる。

グローバルなモバイルネットワークと ULN は、多くの異なる特性を持っており、それらを結びつけるこ

とは困難が多いが、これが実現すれば多くの新たな価値が生まれると考えられる。いくつか例を挙げよう。

ユビキタスローカルネットワーク ULN はキャリアグレードでパワフルなモバイルネットワークから様々なサポートを受けることが可能である。インターネットの情報サーバへ接続するグローバル接続や離散した複数 ULN 間の相互接続は基本的なサービスであるし、時空間的にアドホック性の高いユビキタスネットワークの構造的脆弱性を迂回ルートを提供して補助したり、能力が限定的なユビキタスデバイスに処理パワーやメモリ機能を一時的に提供 (肩代わり) して支援したりすることも可能である。

一方、モバイルネットワーク自身も、多数の ULN との接続によってその価値が高まる。例えば、伝達能力で言えば、ユビキタスデバイスをホップバイホップにつないでいくことにより、従来セルラ信号が届かなかった空間領域への到達性を広げることが可能となる。また、人の周囲の入出力デバイスを一時的にネットワーク化して仮想端末や仮想オフィス空間を生成したりすることで、モバイルネットワークへのアクセス機会を増大させる効果もある。ビジネス的に言えば、ULN が接続されるということで、モバイルネットワークにおける位置情報サービスを超えて、様々な実空間情報を利用したユビキタスサービスが生まれる可能性が高い。図3にモバイルユビキタス (4G+) ネットワーキングの構成を示す。

次に、モバイルネットワークと ULN を結合させるモバイルユビキタス・アーキテクチャについて、特徴的かつ基本的な課題を述べる。

●モビリティ制御：ユビキタスデバイスで構成され

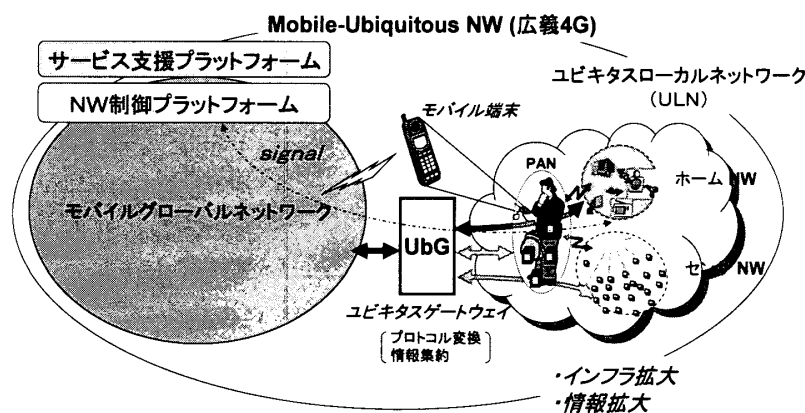


図3 モバイルユビキタスネットワーク

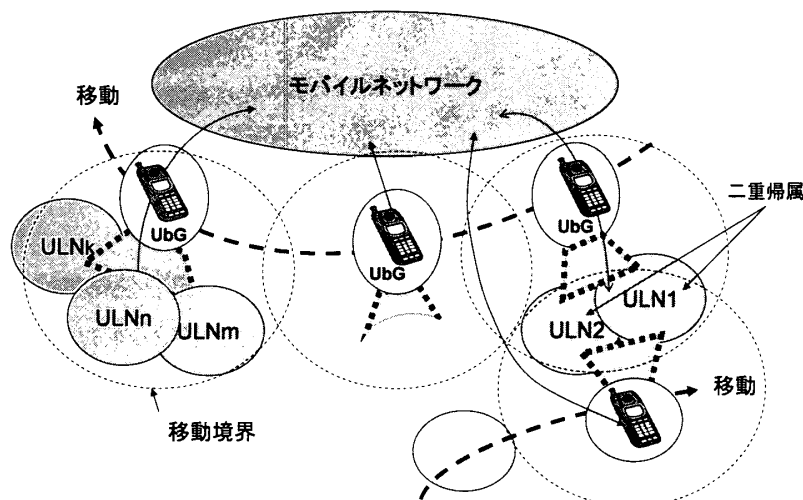


図4 携帯端末 (UbG) の移動に伴うネットワーク境界の変化

る ULN は、例えば車載のセンサネットワークや人とともに動くウェアラブルデバイスのように、自律的に移動する可能性がある。さらに、携帯デバイスのゲートウェイ (Ubiquitous Gateway: UbG) を介して、4G モバイルネットワークに接続されることを想定すると、より複雑な問題が生じる。人の動きに対応して UbG が移動するので、それに接続される ULN の構成要素は、時々刻々変化していく可能性がある。これは UbG 配下のネットワーク境界が移動するためであり、これは従来のモバイルネットワークになかった新たな移動性である (図4 参照)。新たなアドホック型ネットワーク制御という見方もできよう。多様なモビリティ制御能力が必要になる。

●通信プロトコル: ULN を構成するデバイスはその通信能力も含め、多種多様であり、センサのように特定の情報転送のみができればよいケースも多いと思われる。すべての ULN に対し高機能な IP を一様に用いることは適切でない可能性が高い。無線タグやセン

サのように一方向で小容量、単発的なデータ転送に適したプロトコル設計とモバイルネットワークとの適切なプロトコル変換が必要となる。

●ID・アドレッシング: これまでモノの識別のため ID (Identifier) の規定検討が盛んに行われてきたが、ネットワークのためにどのような ID を使い、ルーティングアドレスをどのように設定するかという点については、まだ、想定すべきネットワーク構造自体が明確になっていないこともあり、管理方式も含め課題も多い。例えば、All-IP 化されたモバイルネットワークでは当然保証されるべき IP パケットの到達性は、ULN にまでは保証されないと考えるべきである。多様な ID を持ち、IP ルーティングで到達できないユビキタスデバイスに対し情報の到達性をいかに保証するかが課題となる。さらに、使い捨てセンサのように個々のデバイスに ID やアドレスが付与されない弱い (Loose Coupling な) 関係でつながる ULN も存在する。無数にある ULN は、その管理主体が

様々であり、これらを一時的にせよどうつなぐかという問題は、技術面だけではなく運用上の問題（ルール）としても解決しなくてはならない。

●伝達ネットワーク制御と端末系との機能分担：ネットワーク制御については、これを伝達レイヤとは分離した形で、制御プラットフォームとしてコアとなるモバイルネットワーク上に設けることが有効と考えられる。これは制御処理機構を転送機構と分離して集中化することによって機能高度化、高信頼化等を容易かつ柔軟に図ることができるためである。ネットワーク全体の品質やセキュリティ管理、接続のためのサービス、アドレス解決等がこの制御プラットフォームで行われる。この制御プラットフォームからの指示は、信号としてゲートウェイ UbG を介して必要な ULN へ届けられる。一方、様々な ULN のネットワーク状況（接続状態やルーティング管理）は自律分散管理が基本となるが、グローバル接続やモバイルネットワークとの協調動作のために、必要に応じコアのモバイルネットワークの制御プラットフォームでも管理され、アクションを促す。ULN は時々刻々変化し、モバイルネットワークも拡大していく中で、このように ULN とコアネットワークの機能シェアリングを弾力的に行なうメカニズムを構築することは、ネットワークを恒常的に維持するために重要な課題となる。

モバイル端末に搭載されるゲートウェイ UbG は、これらの情報のやりとりの要として特に重要であるが、そのアクセスインタフェースや API の規定と標準化は、多様なユビキタスデバイスを対象とするために重要かつ必須であろう。携帯端末の限定された消費電力や処理能力への整合も配慮し、ネットワーク側との機能分担を決めていく必要がある。

#### 4. モバイルユビキタス・サービス提供機構

ユビキタスサービスの可能性についてはすでに本誌でも特集されており [1]、技術的な課題についても多方面から解説されている。モバイルユビキタス・ネットワークは、それらのサービスを提供する基盤としての情報流通の仕組みであり、サービスの提供機構と連携して初めて意味がある。ユビキタスサービス自体は様々なタイプがあるが、その基本的な提供機構は、(1)ユーザ・環境情報取得、(2)情報意味解釈・理解、(3)サービス決定・選択、(4)サービス提供制御、の大きな

機能ループに集約される。それぞれの実現には多くの研究課題があるが、紙面の関係もあり本稿では触れない。文献 [1] の山崎氏の記事を参照されたい。これらの仕組みをモバイルユビキタス・ネットワーク上のサービス支援プラットフォームとして形成することによって次世代ネットワークサービスシステムが完成する。

#### 5. まとめ

将来のモバイルサービスは、ネットワークの高速・広帯域化とともにあらゆるモノがつながり実空間と仮想空間が連携するユビキタス化を促し、「モバイル・ユビキタス」の世界へ発展するという考えを述べた。それを構成する次世代ネットワークとしては、3G までの（セルラ）モバイルネットワークの All-IP 化（高速・広帯域化）をコアとし、そのモバイル端末をゲートウェイとしてユビキタス環境にネットワークを拡張する「4G+（プラス）」方式を解説した。この 4G+アーキテクチャにおいても、端末とネットワークとサービス（支援）プラットフォームの三つがネットワークの主要な構成要素であり、これらの各主要構成要素間をうまく連携させることが通信キャリアの役割であると考えている。現在のインターネットでは、各構成要素が個別に発展し、それらの連携もまたサービス毎に独立になされている。モバイルユビキタス・ネットワークの世界では、キャリアがこれらをコーディネートし、サービスを迅速に提供しやすい「場」を整えることによって新たなマーケットを創造できるものと考えている。

#### 参考文献

- [1] ユビキタス・サービス特集, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 49 No. 4, 2004.
- [2] 新概念通信特集, NTT DoCoMo テクニカルジャーナル Vol 11. No. 1, pp. 6-62, 2003.
- [3] 第4世代無線アクセス技術特集, NTT DoCoMo テクニカルジャーナル, Vol. 11, No. 2, pp. 6-52, 2003.
- [4] 今井他: 移動通信ネットワークの IP 化の検討—All-IP 実験の概要—, NTT DoCoMo テクニカルジャーナル, Vol. 9, No. 1, pp. 38-44, 2001.
- [5] James D. Solomon, 詳細 Mobile IP, ピアソン・エデュケーション.
- [6] モバイルネットワーク All-IP 化特集, NTT DoCoMo テクニカルジャーナル, Vol. 10, No. 4, pp. 6-34, 2003.