

# 広域ユビキタスネットワークを実現する技術開発の取り組み

新たな産業の創出を目指す広域ユビキタスネットワークですが、実現するためには、さまざまな技術が必要です。本稿では、広域ユビキタスネットワークの特徴的な機能を実現する主な技術について解説します。

うちだ だいせい まつむら はじめ くわの しげる  
 内田 大誠 / 松村 一 / 桑野 茂  
 ぬの ふさお もちつき のぶあき こたべ ざとし  
 布 房夫 / 望月 伸晃 / 小田部 悟士  
 すずき けんじ ふじた たかふみ みたに こうき  
 鈴木 賢司 / 藤田 隆史 / 神谷 弘樹

NTT未来ねっと研究所

## 広域ユビキタスネットワークのシステム構成

広域ユビキタスネットワークは、「電池駆動で長寿命な小型無線端末」「既存の公衆無線サービスに比べて安価なサービス」「お客さま情報の安全性確保」「室内室外どこでも利用可能な利便性」といった特徴を持ち、モノが持つデータの配信・集信などの双方向ネットワークサービスを提供することが可能な通信インフラです<sup>(1)</sup>。

広域ユビキタスネットワークのシステム構成を図1に示します。本システムは、無線基地局（リモート基地局、およびマスタ基地局）と無線端末で構成される無線システムと、無線端末とお客さま端末との通信受付を行うIPゲートウェイ（IP-GW）と、端末の認証やID管理、および位置登録等を行うネットワーク管理装置群が設置されるコアネットワークから構成され、経済性・省電力化を実現するために制限した無線端末の機能を、ネットワーク全体で補い経済的なネットワークを実現しています。

以下、システム構成を実現するために確立した技術について説明します。

## 無線システムを実現する技術

無線システムでは、広いセルサイズ・広い利用環境を実現する技術として、複数の基地局を利用するサイトダイバーシチ技術と、そのサイトダイバーシチ技術を実現するために各基地局間の時刻同期および無線信号を集約・配信するデジタルファイバ無線技術、また、小型、低消費電力な無線端末を実現する省電力化技術を開発しました。これらの技術により、無線端末の送信出力10 mWで、セル半径3.5～5 km（広域性）とコイン電池

駆動で5年以上の無線端末の動作寿命（省電力化）の両立を実現しています。

### (1) サイトダイバーシチ技術

無線システムでは、周囲の環境によっては、セル内でも電波が届きにくい場所が存在します。モノとの通信を対象とし、広いセル半径を実現するためには、①人と異なり、通信時に自律的に電波が届きやすい場所に移動することを期待できない、②低能力な無線端末では、送信出力も限られており、その電波の到達距離は周囲の環境の影響を受けやすい、といった課題を解決

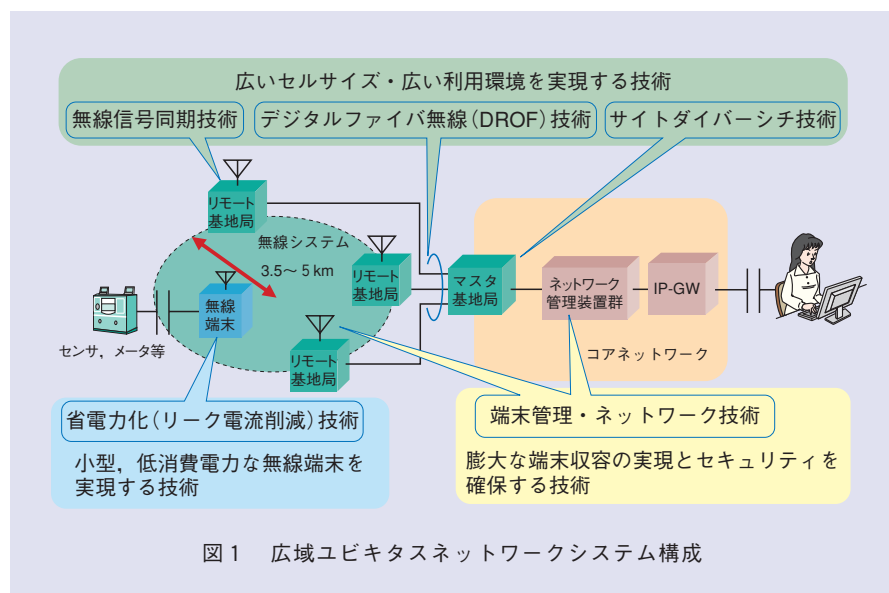


図1 広域ユビキタスネットワークシステム構成

する必要があります。特に都市部では、高層ビル等による建物遮蔽によるシャドウイング損失等を抑えることが必要です。このため、複数の電波伝搬経路を確保することが可能なサイトダイバーシチ技術を適用し大きなセル半径を実現しています。本ネットワークで用いたサイトダイバーシチ構成を図2に、開発したサイトダイバーシチ技術の概要を図3に示します。

広域ユビキタスネットワークでは、携帯電話等のセル中心に基地局を配置するセル構成（中心セル構成）ではなく、セル端に基地局を配置し、アンテナの指向性をセル中心方向に向け複数の基地局で1つのセルを構成するセル構成（サイトセル構成）を採用しています。このサイトセル構成を実現する技術とそのメリットについて以下に記します。

・下り回線

従来、基地局側が送信側となる下り信号において、サイトダイバーシチ技術を適用する場合、基地局数に応じ

たサイトダイバーシチ効果が得られない、端末側の復号処理が基地局数に応じて複雑になるといった問題がありました。そこで、各基地局の送信信号の周波数を一定の規則に従って互いに意図的にずらして送信し、端末側がその規則に従った復号処理をすることで、基地局数を増設しても、端末側の復号

処理を変えることなく、基地局数に応じたサイトダイバーシチ効果を得ることを可能としました<sup>(2)</sup>。この技術により、低能力な端末でも基地局数に制限のないサイトダイバーシチ効果が得られ、電波の到達度を向上しました。

・上り回線

従来、端末側が送信側となる上り

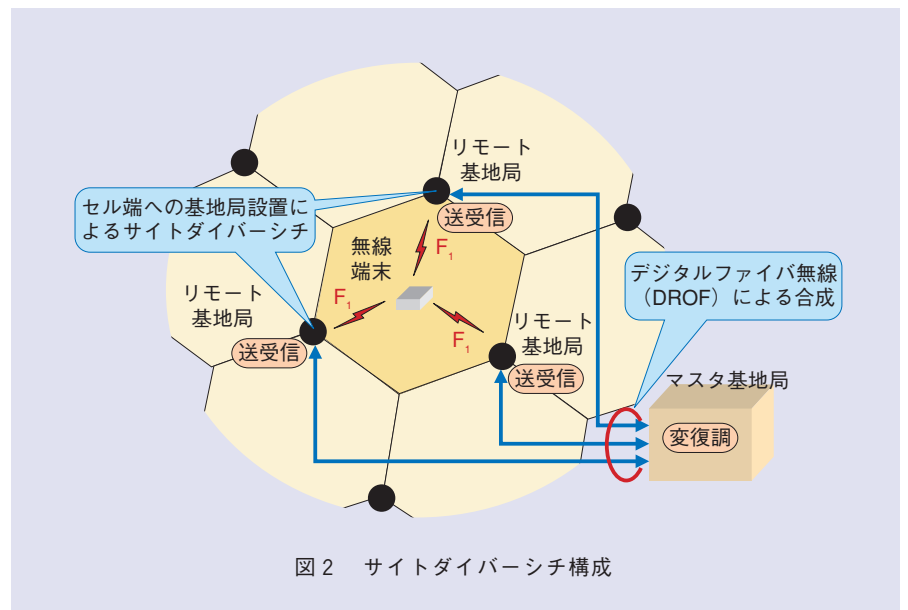


図2 サイトダイバーシチ構成

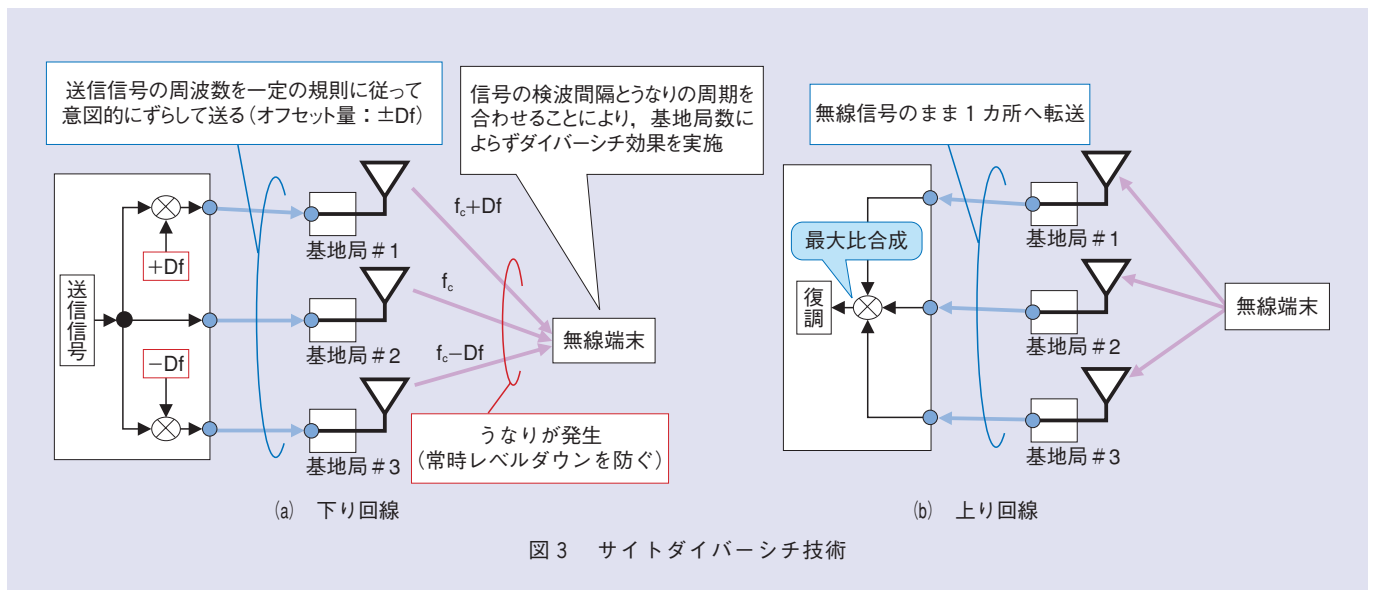


図3 サイトダイバーシチ技術

回線において、サイトダイバーシチ技術を適用する場合、各基地局が個別に復調していたため、基地局単体での不感地帯がカバーできないといった問題がありました。そこで、各基地局が受信した無線信号を1カ所に集約し、各無線信号を最大比合成（受信レベルに応じた重み付けした後に同相合成する合成法）の後に復調することで、基地局単体の不感地帯をカバーすることを可能としました。この技術により、基地局数に応じた最大限のサイトダイバーシチ効果が得られ、送信電力の低い端末でも、電波の到達度を向上しました。

(2) デジタルファイバ無線技術

サイトダイバーシチ技術においては、基地局を離して設置することが複数の伝搬経路の確保に効果的です。ただし、各基地局は、同じ無線信号を同時に送信・受信する必要があります。各基地局間で高精度な時刻同期を確立・

維持する必要があります。

そこで、広域ユビキタスネットワークでは、このような時刻同期が可能なデジタルファイバ無線（DROF）技術を開発し、基地局の機能を複数の無線送受信部（リモート基地局）と、無線変復調部（マスタ基地局）に分割し、両者をDROF技術により接続しています<sup>(3)</sup>。このDROF技術により、リモート基地局を任意な場所に設置できるため、セル端にリモート基地局を設置する効果的なサイトダイバーシチ構成が可能となりました。

3基地局を用いた場合（サイトダイバーシチ構成）、1基地局のみを用いた場合（中心セル構成）のセル内の屋外受信レベル分布を図4に示します。図4は、400 m<sup>2</sup>区間内（20 m×20 m）の平均受信レベルの分布を示しています。結果より、累積分布1%値に注目しますと、サイトダイバーシチ構成は中心セル構成よりも6 dB受信レ

ベルを向上することができます。これはセル半径を約1.5倍に拡大できる効果があります。

(3) 省電力化技術

広域ユビキタスネットワークが想定するモノとの通信は、通信頻度が少ないアプリケーションを想定しています。例えば、遠隔検針の場合、月に数回程度、環境センシングの場合、1時間に1回程度と、非常に通信間隔が長く、端末動作は、活性化率が非常に低い間欠動作が特徴です。このような端末では、通信時に必要なエネルギーよりも、待機時のエネルギーがそのエネルギー消費特性に大きく影響します。そこで、待機時のリーク（もれ）で電力を極限まで削減するマルチキイ値型CMOS（Complementary Metal Oxide Semiconductor）回路技術と、これを活用して短い時間で細かく待機時の電力のもれを数μWまで抑え、コイン電池で5年以上の動作を可能にしました。

コアネットワークを実現する技術

広域ユビキタスネットワークのコアネットワークは低能力無線端末の機能を補う役割を担っており、高いセキュリティ確保を実現する技術として、限られた無線帯域の中で種々の端末情報を管理する端末管理技術と、膨大な端末収容を実現する技術として、大量の無線端末のネットワーク処理を分散処理するネットワーク構成技術を開発し、セキュアかつ高スケーラビリティを確保可能なネットワークを実現しました。

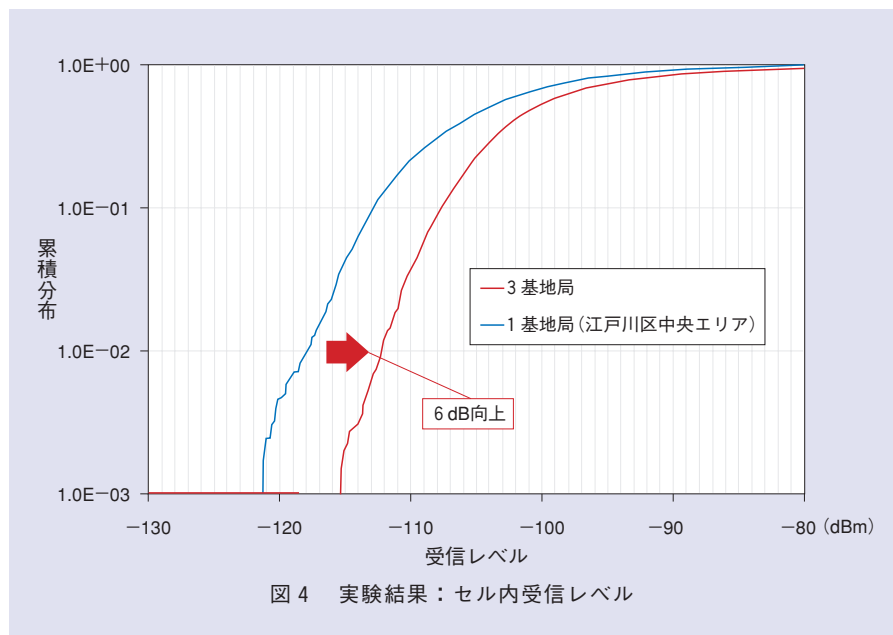


図4 実験結果：セル内受信レベル

(1) 端末管理技術

移動性のある端末を無線ネットワークに接続し通信サービスを提供するためには、端末の認証、移動管理の機能が必要になります。広域ユビキタスネットワークでは、低速通信において低能力端末で実現可能な帯域消費や計算量の少ない認証・移動管理プロトコルを開発しました。

セキュリティを担保する機能として、なりすましを防止する認証、通信の盗聴を防止する暗号化、通信の改ざん防止を実現しました<sup>(4)</sup>。これらのセキュリティの実現に必要な、無線端末とコアネットワーク装置の間でのメッセージ交換において、ハッシュ関数や無線

区間のパラメータを利用することにより帯域消費や処理計算量の低減などを図っています。

また、無線区間における端末識別については、端末固有の十分な長さを持った端末識別子とは別に、低速な無線回線を効率的に活用できるよう、無線区間（セルエリア）に閉じた短い識別子を用いて、低速な無線回線を効率的に活用しています。

以上の技術により、低能力端末でも他の無線システムと同等のセキュリティレベルのある認証・移動管理が可能となっています。

(2) ネットワーク構成技術

先に記したように、広域ユビキタス

ネットワークでは、人口の十倍、百倍規模の端末による認証、移動管理、データ転送を実現することを想定しています。このような膨大な処理を実現するには、複数サーバによる分散処理が必要となります。

特に、広域ユビキタスネットワークにおいては、個々の端末による通信は少量・低頻度ですが、その端末数が膨大である点が従来の移動体ネットワークとは異なります。そのため、個々の小さなデータの送信を少ないオーバーヘッドで処理するため、移動管理で得た情報を利用して、制御情報の転送負荷を軽減しています。

コアネットワークの構成を図5に記

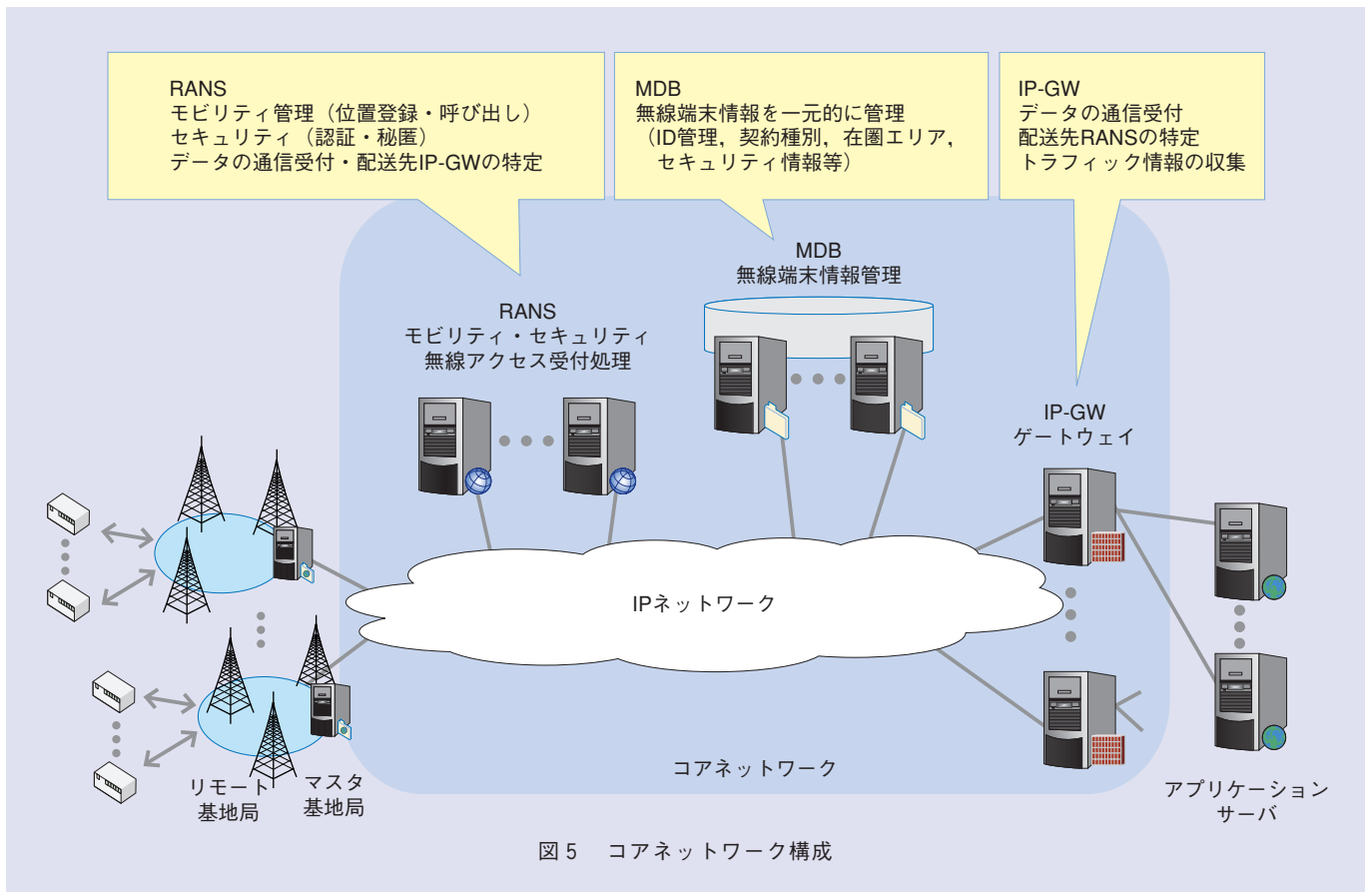


図5 コアネットワーク構成

します。コアネットワーク内の装置を、無線端末の移動管理や認証を行う基地局管理サーバ（RANS: Radio Access Network Server）と、インターネットとの間のゲートウェイ処理を行うIP-GW、および無線端末の情報を一元的に管理する端末データベース（MDB: Management Data Base）に機能を分離し、機能分散を図るとともに、呼び出しエリアに応じた分散化、また、固定端末の処理トラフィック量に応じた分散化を実現しており、処理性能や収容端末数などの増減に柔軟に対応可能なスケラビリティの高いネットワーク構成を実現しています<sup>(5)</sup>。

## 主要諸元

最後に広域ユビキタスネットワークの主要諸元を紹介します。各諸元を表に示します。

### (1) 使用周波数帯

マクロ的な電波到達度を考慮すると、無線伝搬損失の少ない低周波数が有利です。一方、無線特有の反射波によるミクロ的な電波レベル変動（フェージング）を考慮すると、その対策には1基地局に複数アンテナを設置

する空間ダイバーシチが必要であり、その効果は同じアンテナ離隔の場合、周波数が高いほうが有利です。

このような周波数のトレードオフ性を勘案し、使用周波数はVHF/UHF帯（200～500 MHz）を想定しています。

### (2) 変調方式

大セル化、高収容、端末の低消費電力化を考慮し、変復調特性、周波数利用効率、および電力効率に優れている $\pi/4$ -shift QPSKを採用しています。

### (3) 通信速度

低情報量・低通信頻度のM2M通信をターゲットにしていることから、無線LANや携帯電話のような高速伝送を必要としません。よって、伝送速度はRFIDなどの低速系無線システムと同等の9.6 kbit/s程度を想定しています。

### (4) セル半径、端末送信電力

経済的にカバーエリアを構築するためには、マクロセルと呼ばれる数km程度のセル半径が必要であり、バッテリー駆動を想定した端末の送信電力（10 mW）を勘案し、セル半径は3.5～5 kmとしています。

## おわりに

広域ユビキタスネットワークが普及すると、今まで以上に多種多様なモノからの情報を取得・蓄積可能となります。今後は、これらの情報を活用し、安心・安全やエコに貢献するデータ処理技術等の技術開発も進めます。

### 参考文献

(1) 加々見・松尾・原田・林・吉野：“モノとの

通信を実現する広域ユビキタスネットワーク,” NTT技術ジャーナル, Vol.22, No.3, pp.8-11, 2010.

- (2) 藤野・内田・藤田・渡邊：“広域ユビキタスネットワーク用ダイバーシチ技術(2)：周波数オフセット送信ダイバーシチ,” 2008信学総大, 2008.
- (3) 桑野・鈴木・藤野・藤田・内田・加々見・渡邊：“広域ユビキタスネットワーク用ダイバーシチ技術(1)：デジタル光ファイバ無線を用いたダイバーシチ構成,” 2008信学総大, 2008.
- (4) 俊長・神谷・柴田・小田部・石原・市村・佐久間：“広域ユビキタスネットワークのシステム構成と動作検証,” 信学技報, Vol.108, No.458, IN2008-194, pp.369-374, 2009.03.
- (5) 柴田・神谷・高杉・俊長・小田部・石原・斎藤：“膨大な数の無線端末を収容する無線アクセスサーバの負荷分散方式,” 信学技報, Vol.108, No.136, pp.95-100, IN2008-42, 2008.07.



(上段左から) 松村 一/ 神谷 弘樹/  
小田部 悟士

(下段後列左から) 布 房夫/ 鈴木 賢司/  
藤田 隆史

(下段前列左から) 望月 伸晃/ 内田 大誠/  
桑野 茂

ユビキタス社会の普及・発展に向けて、広域ユビキタスネットワークの社会インフラストラクチャを目指し、付加価値を向上させる技術開発を目指します。

### ◆問い合わせ先

NTT未来ねっと研究所  
ワイヤレスシステムイノベーション研究部  
TEL 046-859-2369  
FAX 046-855-1497  
E-mail uchida.daisei@lab.ntt.co.jp