

# 2.4GHz 帯高速無線 LAN システム

無線 LAN は、PC 端末までの支線配線工事が不要であり、LAN に接続したまま移動できるなどの特長を持ち、LAN の自由度と移動性を拡張する非常に有効なツールである。

ドコモ本社ビルへ 1,000 台規模で導入した高速無線 LAN システムについて、システムの特徴、アクセスポイント設置法、活用例などについて述べる。

ふるの たつお みうら しゅんじ しいはし まさはる あらき まさはる  
古野 辰男 三浦 俊二 椎橋 正治 荒木 正治

## 1. まえがき

無線 LAN とは、PC などの端末機器と構内通信網（LAN：Local Area Network）の間の接続線（LAN 支線）を無線化するものである。無線 LAN の導入メリットとしては大きく分けて 2 つあり、1 つは LAN 支線の配線工事が不要になることで、机の配置を変更するたびに面倒な配線工事をする必要がなくなりオフィスレイアウト変更時のコストが削減できる。さらに、パッセージ（事業所コードレス電話システム）との組み合わせにより電話線工事も LAN 工事も不要なワイヤレスオフィスの実現が可能となる。もう 1 つのメリットとしては、ノート PC との組み合わせにより、場所を移動してもそのまま自席と同じ環境で LAN に接続できることである。

たとえば、応接室などでのプレゼンテーションの際に急に必要となったファイルを LAN 経由で取り出したり、無線 LAN を装備したノート PC を持ち寄ってペーパーレス会議を行ったり、打ち合わせをしながら文書を変更するような共同作業を効率的に行ったりすることができるようになる。その結果、業務の効率化、機動性・即応性の向上を図ることができる。

当初、2.4GHz 帯無線 LAN は最大伝送速度が 2Mbit/s であったため、オフィスなどの多人数での利用には向か

ず、主に個人利用向けであった。1999 年から最大伝送速度が 11Mbit/s に高速化されたものが製品化され、また、使用できる周波数帯域が約 4 倍に拡大されたことによって、オフィスでも利用できる環境が整った。

このような背景を受けて、ドコモでは 2000 年 3 月の本社移転を機に、本社ビルに 1,000 台以上という大規模な 2.4GHz 帯無線 LAN システムを導入することとしたが、無線 LAN を企業 LAN にこれほど大規模に導入した事例はこれまでになく、市販品のみでは対応できない部分もあることから市販品をベースに大規模オフィス用無線 LAN システムを新たに開発し、導入に至った。

本稿では、本社ビルに導入した高速無線 LAN システムを中心に、標準規格、システム要求条件、システム構成、アクセスポイント設置法、無線 LAN 活用例について述べる。

## 2. 無線 LAN の標準規格

現在、日本国内で使用可能な無線 LAN としては 2.4GHz 帯、5.2GHz 帯、19GHz 帯の各システムがある。これらのシステムの中で、すでに製品化されており、かつ無線局免許の取得が不要で簡易に利用できるシステムとして 2.4GHz 帯高速無線 LAN システムが注目されている。以下では主に 2.4GHz 帯無線 LAN システムについて述べる。

現在、LAN のための標準規格のほとんどは電気電子技術者協会（IEEE：Institute of Electrical and Electronics Engineers）において標準化作業が行われたものであり、有線、無線を問わずデファクトスタンダードとなっている。そのなかで、IEEE 802.11 は屋内などのごく近距離間の LAN 配線を無線化することを主目的とした規格である。この規格は 5.2GHz 帯の電波を使用する 802.11a と、2.4GHz 帯を使用する 802.11b がある。

日本にも 2.4GHz 帯無線 LAN システムに関する規格として、社団法人電波産業会<sup>\*1</sup>（ARIB：Association of Radio Industries and Business）が制定した RCR STD-33<sup>\*2</sup>および ARIB STD-T66<sup>\*3</sup>がある。ARIB 規格とは日本国内で使用する無線機器に関する技術的要件を規定したものであり、主に無線機器としての技術的条件と、無線チャネルに対するアクセス方法について規定している。一方、IEEE 規格はハードウェアに関する規定から無線パケットの伝送方法まで幅広く規定したものである。表 1 に 2.4GHz 無線 LAN システム標準規格の概要を示す。ARIB 規格と IEEE 規格は相互に矛盾したものではないため、IEEE 規格で製造された無線 LAN 装置は ARIB 規格にも合致するものとなっている。以下では、IEEE 規格のみ簡単にふれる。

IEEE802.11b においては無線信号の伝送速度として 1, 2, 5.5, 11Mbit/s

の4つの速度が規定されている。今回の本社導入システムは11Mbit/sを最高速とする機器を使用し、さらに通信品質の劣化に応じ、より遅い速度に遷移することで通信を継続する、いわゆる「フォールバック」機能が搭載されたものである。

無線信号では、IEEE802.11bにおいてはSS（スペクトル拡散）方式が採用されている。SS方式には信号拡散の方法として直接拡散（DS：Direct Sequence）方式<sup>4</sup>と周波数ホッピング（FH：Frequency Hopping）方式<sup>5</sup>があり、IEEE802.11bでは、どちらも規定されている。FH方式は最大伝送速度が2Mbit/sであることから、本社導入システムは11Mbit/sで運用可能なDS方式を採用している。

無線回線アクセス方式として、IEEE802.11bではCSMA/CA（Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance）と呼ばれる衝突回避形のランダムアクセス方式が採用されている。これは、有線Ethernetのアクセス方式標準であるIEEE802.3で規定されるCSMA/CD（Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect）方式の基本動作を無線へ適用したものである。このためIEEE802.11機器は有線・無線間のアクセス方式の親和性が高い。

### 3. 本社導入システムの開発内容

#### 3.1 前提条件

高速無線LANシステムを本社ビルに導入するにあたっての前提条件は以下の通りである。

##### (1) 導入規模

ユーザ数は、最大3,000とする。ただし、初期導入規模は1,000台程度である。

##### (2) セキュリティ強化

企業の社内LANに導入することから、無線LANにおいても有線と同等以上のセキュリティが必要である。無線区間で最も心配される盗聴と不正アク

表1 2.4GHz帯無線LANに関する標準語元

標準化団体	ARIB（日本）	IEEE（米国）
標準規格	RCR STD-33, ARIB STD-T66	IEEE 802.11b
無線伝送速度	1, 2, 5.5, 11Mbit/s	同左
最大送信電力	10mW/1MHz	同左
変調方式	DS方式またはFH方式	同左
ランダムアクセス方法	規定なし	CSMA/CA

ARIB：Association of Radio Industries and Businesses（社団法人電波産業会）  
 DS：Direct Sequence（直接拡散）  
 FH：Frequency Hopping（周波数ホッピング）  
 CSMA/CA：Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance  
 IEEE：Institute of Electrical and Electronics Engineers（電気電子技術者協会）

セスに対処するため、暗号化によるデータの秘匿と、登録された端末以外のアクセスを拒否する端末認証機能が必須である。

#### (3) 保守機能強化

本社ビルに導入する無線LANシステムのAP（（アクセスポイント）無線基地局に相当するもの）は100台以上であり、これらの設定情報や運用状況の管理を簡単に行うためには、一元的に管理できる保守管理システムが必要である。

#### (4) 標準規格準拠

無線LANカードおよびAPはIEEE 802.11b準拠の市販品のハードウェアを用いる。

#### (5) ローミング

すべての無線LAN端末が全フロアにおいて同じ環境でLANに接続できるようにする。

#### 3.2 開発方針

セキュリティ強化のために、暗号鍵を定期的かつ自動的に更新する機能を付加することとした。また、市販品無線LANではAPが端末認証管理機能を持っているが、本システムでは1,000台以上の無線LAN端末がどのフロアに移動しても認証確認ができるようにするためにサーバを設け、端末の認証情報を一元的に管理することとした。また、本管理サーバには、端末認証情報管理機能のほかに、AP保守管理機能、および前述の暗号鍵自動更新機能を持たせ、1台のサーバによりすべてを管理できる構成とした。また、サー

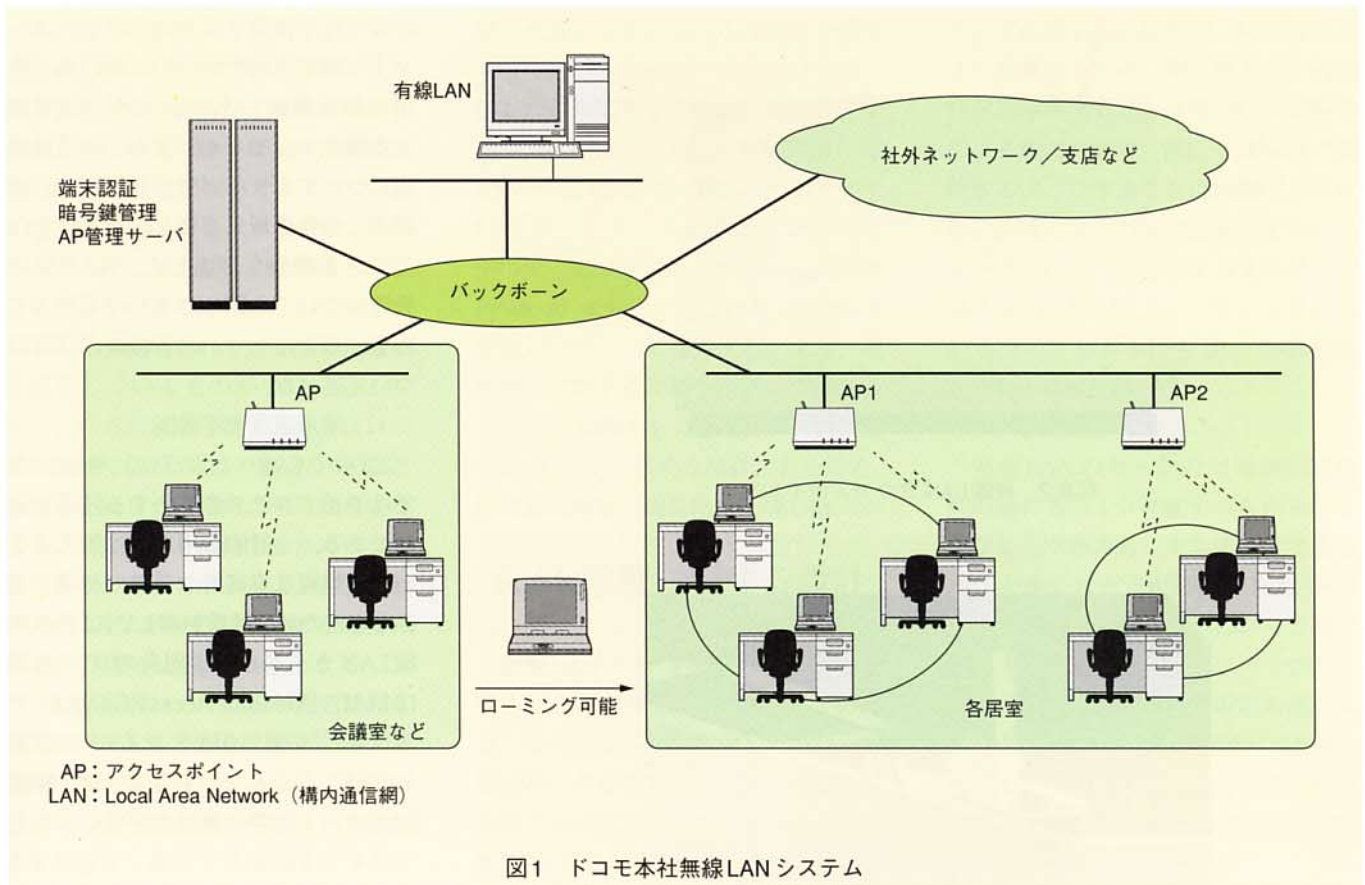
バの故障時などに対応するため、各APにもそのAPをランチャイズとする端末情報を書き込み、サーバ故障時でも最低限の接続は確保できるようにすることとした。

## 4. システム構成

### 4.1 基本構成

無線LANのシステム構成例を図1に示す。無線LANは有線LANにおけるHUBから各端末までの部分を無線化するという使用法が一般的であり、本社ビルに導入したのもこのような使い方を前提としている。無線LANシステムはバックボーンに接続されたAPと、APの構成するセル（無線LANカードが通信可能な範囲）内で動作しPCMCIA（Personal Computer Memory Card International Association）インタフェースを介し、直接ノートPCのカードスロットに挿入し使用される複数の無線LANカードから構成される。

各部屋へのAPの設置については、居室など比較的広い空間に対しては部屋あたり2台のAPを、また会議室などの小部屋については基本的に1台のAPを設置した。また、設置したAP間に電波干渉があると実質的な伝送速度が低下することから、干渉波を減衰させるためにドアや吹き抜けガラス面などの電波を透過しやすい部分に対し電磁シールド効果のあるフィルムを貼付した。現在、ビル全体としてはAPを約140台設置し、また無線LANカードは1,000台以上配布し運用している。



また、本システムでは前章で述べたセキュリティの確保と保守容易性のために、端末管理・暗号鍵更新・アクセスポイント保守管理の各機能について一元的に運用管理するサーバを有線LAN上に配備している。

#### 4.2 無線LANカード

写真1にノートPCに装着した無線LANカードの外観を示す。無線LANカードはPCMCIAインタフェースに準拠しており、PCのカードスロットに装着され、写真1のようにアンテナ部のみがPC筐体外部に突き出た形になる。無線LANカードの使用に際しては、PCに専用のドライバーソフトと、3.2項で述べる暗号鍵の自動更新を行うためのソフトのインストールが必要となる。

#### 4.3 AP

APの外観を写真2に示す。APは前述の無線LANカードと同一のカードタイプ無線装置と制御部から構成され



る。APは10BASE-TのRJ-45タイプコネクタを備え、ここで有線バックボーンネットワークと接続する。後述の管理サーバからの遠隔監視制御のため、各APにはIP (Internet Protocol) アドレスを付与している。

APは無線LANカードと同一のカードを内蔵しているため、無線LANカードに付属するアンテナをそのまま利用

して運用することが可能である。この場合、APの接続はEthernetケーブルを介してバックボーンに接続するだけである。さらに、できるだけ遠方まで電波を飛ばし、エリアを確保したい場合には拡張用の外付けアンテナを使用することも可能である。本社導入システムの場合には、美観と省スペースへの配慮から居室ではAP本体をパーテ

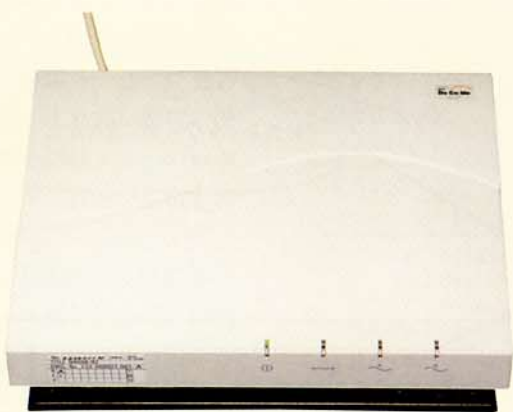


写真2 無線LANアクセスポイント

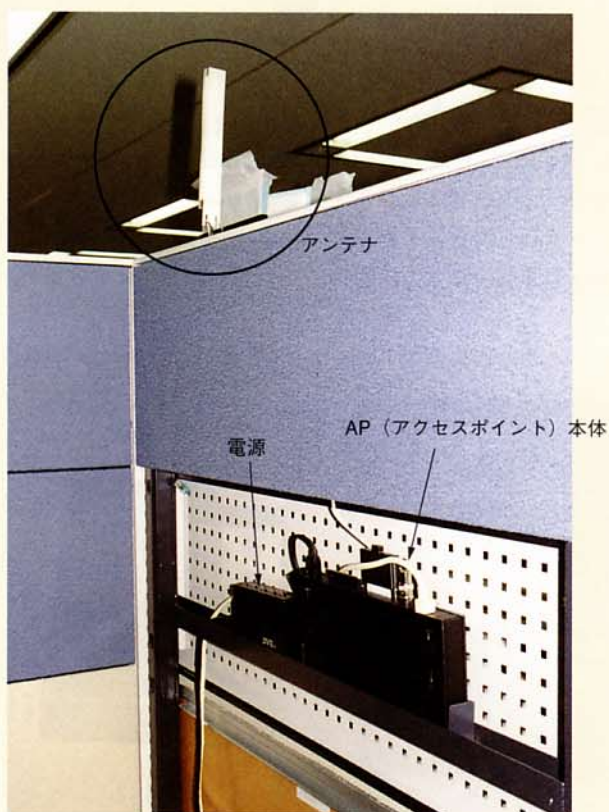


図2 パーティション埋め込み形設置例

ィションに内蔵し、外付けアンテナをパーティション上に設置することとした。パーティション内に設置した場合の設置例を図2に示す。

#### 4.4 管理サーバ

一般に無線LAN機器ではLANに対する不正なアクセスを防止するため、各APに自局配下で通信を行うことの

できる端末のIDを登録し、APはそれら登録済端末の間とのみ通信を行うという機能が装備されている。また、セキュリティを確保するため、APと端末との間であらかじめ暗号鍵を設定し、無線区間の通信に秘匿性を持たせることが可能となっている。

本システムでは、前述の秘匿・端末管理機能に加えて、さらに強力に通信

の安全性を確保するため、バックボーン上に設置されたサーバにおいて、使用可能な無線LANカードを一元管理する機能を付加した。また、暗号鍵情報についてもサーバで一元管理し、定期的に自動更新することで秘匿性を向上できる機能を付加した。APの保守管理についても同一のサーバで行っている。以下にサーバの各機能の詳細について述べる。

##### (1) 端末認証管理機能

2.3項でも述べたように、無線LANでは不正アクセスを防止する技術が重要である。一般的な用途では個人あるいは小規模な事務所などでの利用が主体となるため、通常無線LANはその無線LANカードの持つ固有のID（通常はMAC（Medium Access Control）アドレス）<sup>\*6</sup>を通信相手となるAPに個別に登録することで、特定のAPと無線LANカードの間の通信を許可し、不正アクセスを防止している。ところが、今回の本社システムのように運用する無線LANカードの数が多く、かつ無線LANカードと通信するAPが一定でない上、ネットワークへの接続中の移動によるAP間のローミングがあるというような大規模な運用形態の場合、先に述べた個別に登録する方法では現実的な運用管理は不可能であり、運用上で重大な問題が生じる。そこで、本社システムではすべての無線LANカードのMACアドレスを一括管理する端末認証管理サーバを開発し、ネットワーク上に配置した（図1）。これにより、APは各無線LANカードから通信要求が上がった場合に、その無線LANカードとの通信可否を認証管理サーバに問い合わせ、その結果により接続の可否を判断することで不正アクセスを防止している。本端末認証機能により、無線LANカードはビル内の任意のAP配下で通信を開始しても、APに依存することなく同一の端末認証管理サーバから通信開始許可を得られるようになり、本社ビル内においてどこからでもLANにアクセス可能となった。

## (2) 暗号鍵管理

無線LANは電波を使用しているため、外部からの盗聴などの可能性が存在する。これを排除するために無線区間の暗号化は重要なポイントである。一般に無線LAN機器においては、無線LANカードとAPの間で暗号鍵と呼ばれる情報を相互にあらかじめ設定しておくことで実現されている暗号化機能を搭載しているものが多い。ところが、この方法は暗号鍵さえ合えばいつでも解読可能であり、パスワードなどの場合と同じく定期的に暗号鍵を変更することが秘匿を維持するためには重要である。本システムのように、多数の無線LANカードが存在する場合にはその作業が非常に煩雑となる。また、無線LANユーザに暗号鍵更新の作業を行ってもらう場合、暗号に関する情報を配布する必要がある。これが暗号自体の安全性を低下するという問題も生じる。

これを解決するために、本システムでは端末認証の場合と同じくネットワーク上で暗号鍵管理を行うサーバを開発した。また、端末側PCに自動的に暗号鍵管理サーバから暗号鍵情報を取得し設定するソフトウェアを搭載することとした。これらにより、現在使用すべき暗号鍵をユーザが認識することなく、かつ複数の暗号鍵から自動的に暗号鍵が選択され、随時更新されるシステムを構築することに成功した。また、この自動暗号鍵更新機能は、不正アクセス防止に対する耐性を高める点でも役立っている。

## (3) AP保守管理

前述のように、本社内に配備されたAPは140台以上に達する。通常、ネットワーク機器の保守は通信により個別の機器にアクセスし、動作状況などのチェックを行うが、大量の機器に対して個別に対応することは現実的でない。さらに、これらのAPのうち多くのはパーティション内部などアクセスしにくい位置に設置されていることが多く、保守・管理作業に大きな稼

動が必要となる。これらの問題を解決するため、本社システムにおいては一括した遠隔監視を実現し、保守管理作業を容易化している。遠隔監視にはLANの遠隔監視で一般的に使用されているネットワーク管理用プロトコルSNMP (Simple Network Management Protocol) を使用し、これを1台の保守監視用のサーバで運用する。また、複数機器に対する制御を一括して行うことができる機能を実装し、これにより多数のAPが存在する場合においても、保守監視作業の簡易化を実現した。

## 5. AP設置に対する設計

無線LANのAPを一定の伝送品質を保ちながら効率良く配置するためには、電波伝搬特性を考慮した設計（置局設計）が必要である。置局設計には大きく分けて2つあり、1つは設置したAPを中心としたセル（サービスエリアの最小単位）の大きさを決めるセル設計である。もう1つはセル間の電波干渉に関する設計である。電波干渉に関する設計は、限られた周波数を有効に繰り返し利用するための周波数利用法の問題である。

### 5.1 セル設計

#### (1) 伝送品質

本社に導入した無線LANには、2章で述べたフォールバック機能が備わっている。しかし、高速で通信を行っている無線LAN端末の中に伝送速度の低い端末が混在すると、たとえば高速道路に遅い車が混ざると渋滞を引き起こすのと同じように、全体としてスループットが低下する。このため、あまり低い伝送速度にまでフォールバックさせないようなエリア設計をする必要がある。すなわち、伝送品質の悪い場所をできるだけ作らず、高品質のセルで埋め尽くすようにすることが必要となる。

しかし、オフィスのような屋内環境

りして伝送品質が場所的、時間的に大きく変動するため、常に最も良い通信状況を確保することは難しい。実験等による検討の結果、常に11Mbit/sで通信するようにすることは困難であるため、本社ビルでは5.5Mbit/sまでのフォールバックは許容するものとし、2Mbit/s以下にはフォールバックしないように、セル半径を20～30m程度とした。

#### (2) トラヒック

無線LANのセル設計で電波伝搬特性の他にもう1つ考慮すべき点としてトラヒックがある。セル半径はできるだけ大きくした方が設置するAPが少なく済むが、セル当りのユーザ密度が高すぎると逆にスループットの低下を招く。1つのAP当りで収容可能なユーザ数はユーザの利用形態に依存する。本システムは有線LANの補完的利用を想定しており、1AP当り30～50端末程度を収容可能とした。

### 5.2 周波数管理

セル設計によりAPの設置場所を決めた後、各APにどの周波数（チャンネル）を割り当てるかが問題となる。同じチャンネルを割り当てたセル同士が近接していると干渉を起こし、スループットが低下する場合がある。

2.4GHz帯無線LANにおいて、隣のチャンネルと干渉を起こさずに独立に取れるチャンネル数は最大4チャンネルである。大規模なビル内に導入する場合には、この4つのチャンネルのみを使って立体的にチャンネル繰り返しを行う必要がある。チャンネルの繰り返しを考える場合、同じチャンネルをどれだけ離せば再利用できるかというチャンネル繰り返し距離が問題となる。チャンネル繰り返し距離は建物の構造および壁や天井の材質によって異なる。本社ビルの場合は建物中央に吹き抜けがあり、干渉に対しては厳しい条件のため、実際に測定し検討を行った。その結果、吹き抜けに面する廊下のドアのガラス部分に電磁シールドフィルムを貼ることで上

下階の干渉を軽減することとした。

## 6. 無線LAN活用例

ここでは、現在ドコモ本社内において実施されている無線LANを活用した業務の例について、いくつか紹介する。

まず例1として、フリーアドレスオフィスを挙げる。フリーアドレスとは、所属する各社員がオフィスにおいて自分専用の机を持たないオフィスの形態であり、オフィスの省スペース化を図るのがその主な目的である。この場合、オフィスにはすべての社員で共有するデスクが配備されており、社員が出社した場合には共有のデスクの中の空席を適宜利用する。たとえば、営業部門のように比較的社員が外出していることが多いような組織において特に有効である。各デスクには個人保管の書類はおろか、パソコンや電話も設置されておらず、社員は携帯電話とノートPCを持ち歩いて業務を行う。この場合、無線LANを利用することにより、社内においては、社員は自己の持ち歩いているノートPCをデスクに設置し、電源投入をするだけでそのまま社内LAN環境にアクセスでき、従来のオフィスで行っていた場合と変わらない業務環境を実現できる。また、外出時には同じノートPCを社外に持ち出し、携帯電話を介して社内LANに接続することにより、社内と社外の区別なくLANを利用した業務を推進することができ、情報の共有や業務の効率化を図ることが可能となる。

例2としてはペーパーレス会議を紹介する。ペーパーレス会議とは会議において紙に印刷された資料を使用せず、代わりにPCの画面上で資料を閲覧しながら会議を行うものである。ペーパーレス会議の様子を写真3に示す。これを実現するうえでは、資料となるファイルを会議参加者がアクセス可能なサーバに置き、会議参加者全員のPCで共有する必要がある。そのた



写真3 ペーパーレス会議の様子

め、使用するデータ量が大量になり、通常高速有線LANを用いてペーパーレス会議が実現される。それに対し、現在本社ビルで使用している無線LANでは10BASE-Tなどの有線LANと遜色ない伝送速度が得られるため、このような大容量なデータの送受を必要とするような用途に対しても十分無線LANを適用可能である。本社ビルの場合、建物内のすべての場所で無線LANが利用できるようにAPが設置されている。そのため、必要があるときには任意の会議室、あるいは打ち合わせ卓にノートPCを会議参加者がそれぞれ持ち寄り、すぐに会議を開催することができる。また、ペーパーレス会議では、会議中の決定事項や資料の変更点があった場合にそれをリアルタイムで

修正し、出席者全員が瞬時に最新の資料を共有して議論できるという、紙ベースの会議にはない長所を備え持つ。さらに会議資料を紙へ印刷しないため、紙の使用量を削減でき、最近問題になっている地球環境保全に対する貢献という意味でも、将来の会議の形態として注目されているものである。

## 7. あとがき

本稿では、ドコモ本社ビル移転にあわせて導入した2.4GHz帯高速無線LANシステムの概要について述べた。今後は5.2GHz帯システムも視野に入れ、新たなサービスの提供や本社以外のビルへのシステム拡張を行っていく予定である。

### 用語解説

- \* 1 社団法人電波産業会：旧名称は財団法人電波システム開発センター（RCR：Reserch and Development Center for Radio System）
- \* 2 RCR STD-33：「小電力データ通信システム／ワイヤレスLANシステム」に関する標準規格。1993年3月17日策定。
- \* 3 ARIB STD-T66：「第2世代小電力データ通信システム／ワイヤレスLANシステム」に関する標準規格。1999年12月14日策定。
- \* 4 直接拡散（DS：Direct Sequence）方式：情報信号の帯域幅に比べはるかに高速のデジタル符号系列により搬送波位相を二次変調することによりスペクトルを拡散する方式
- \* 5 周波数ホッピング（FH：Frequency Hopping）方式：符号系列によって決められるパターンに従って、搬送周波数を不連続に偏移することでスペクトルを拡散する方式
- \* 6 MACアドレス：Ethernetにおいて、データ伝送路上で媒体を共有する複数のノード（ここでは無線LANカード）を、ネットワーク層上で識別するために付与された、ノードに固有のID。

## 用語一覧

AP：アクセスポイント	Engineers（電気電子技術者協会）
ARIB：Association of Radio Industries and Businesses（社団法人電波産業会）	IP：Internet Protocol
CSMA/CA：Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance	LAN：Local Area Network（構内通信網）
CSMA/CD：Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect	MAC：Medium Access Control
DS：Direct Sequence（直接拡散）	PCMCIA：Personal Computer Memory Card International Association
FH：Frequency Hopping（周波数ホッピング）	RCR：財団法人電波システム開発センター
IEEE：Institute of Electrical and Electronics	SNMP：Simple Network Management Protocol
	SS：Spread Spectrum（スペクトル拡散）