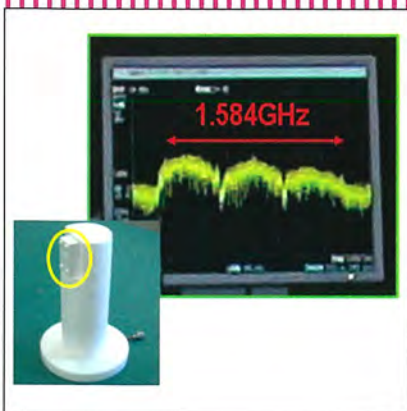
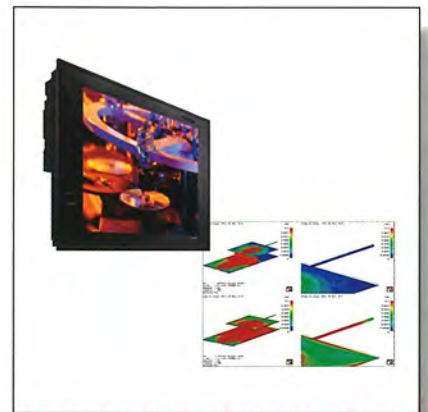


# MITSUBISHI

## 三菱電機技報 Vol.80 No.9

2006 9

特集「近距離無線／無線LANシステム」



## 目次

### 特集「近距離無線／無線LANシステム」

センサネットワークとアドホック、マルチホップ技術 … 1	仙石正和
近距離無線アクセス技術の動向と今後の方向性 …… 2	石津文雄・伊藤修治
950MHz帯RFID技術とその応用 …… 6	高畑泰志・亀丸敏久・飯塚 剛・宝来憲次
センサネットワーク …… 10	稲坂朋義・平岡精一・斎藤 隆
センサノードの低消費電力方式 …… 14	西山博仁・徳永雄一・武田保孝
ミリ波帯通信技術とその応用システム …… 18	山内尚久・川浪正史・宮前靖彦
Ultra Wide Band …… 22	平井博昭・Jinyun Zhang
モバイルオフィス構築技術 …… 26	渡辺 透・守川修平
構内無線LANシステム …… 30	夏川真二・中岡正喜・松原茂正・城倉義彦
無線LANメッシュネットワーク技術 …… 35	八木章好・松川康一・田村智只・高田憲一・矢野雅嗣・吉田浩平
アドホックルーティング技術 …… 39	石橋孝一・高田憲一・田村智只・矢野雅嗣
無線LANを用いた映像ストリーム伝送技術 …… 43	井上禎之・志田哲郎
小電力セルラネットワーク技術 …… 47	御宿哲也・渋谷昭宏
高周波小電力EMC技術 …… 51	岡 尚人
普通論文	
プロセス改善による高品質ITソリューションの 提供に向けたCMMIレベル5達成への軌跡 …… 55	藤原良一・本間敏夫・細谷和伸・中前雅之・遠藤和彦
衛星通信用高速デジタル変復調器 …… 61	佐々木 源・西村修司・渡邊栄司・藤井秀奇・木村好信

### 特許と新案

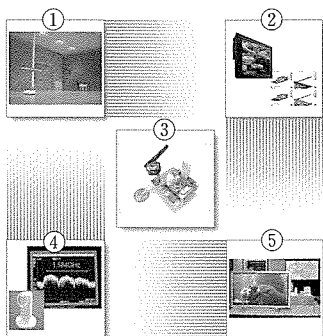
「OFDM通信システム用受信装置」 …… 65
「液晶表示装置及びこれを用いた電気・電子機器」 …… 66

### Short Range Wireless Communication Systems

Sensor Networks and Ad hoc, Multihop Technologies Masakazu Sengoku
A Technical Trend and Prospect of The Short Range Wireless Access Systems Fumio Ishizu, Shuji Ito
950MHz-band RFID Technologies and Their Applications Yasushi Takahata, Toshihisa Kamemaru, Tsuyoshi Iizuka, Kenji Horai
Sensor Networks Tomoyoshi Inasaka, Seichi Hiraoka, Takashi Saito
A Method of Power Saving for Sensor Nodes Hirohito Nishiyama, Yuichi Tokunaga, Yasutaka Takeda
Communication Technologies on Millimeter Wave and Its Application Systems Takahisa Yamauchi, Masashi Kawanami, Yasuhiko Miyamae
Ultra Wide Band Hiroaki Hirai, Jinyun Zhang
Mobile Office Solutions Toboru Watanabe, Syuhei Morikawa
Enterprise Wireless LAN System Shinji Natsukawa, Masaki Nakaoka, Shigemasa Matsubara, Yoshitiko Shirokura
WLAN Mesh Network Technologies Akiyoshi Yagi, Koichi Matsukawa, Satoshi Tamura, Kenichi Takada, Masatsugu Yano, Kohei Yoshida
Ad Hoc Routing Technologies Koichi Ishibashi, Kenichi Takada, Satoshi Tamura, Masatsugu Yano
Video Stream Transmission Technologies for Wireless LAN Sadayuki Inoue, Tetsuro Shida
Low Power Cellular Network Technologies Tetsuya Mishuku, Akihiro Shibuya
EMC Technologies for High Frequency—Low Power Electric System Naoto Oka
Achievement of CMMI Maturity Level 5 for High Quality IT Solutions Ryoichi Fujihara, Toshio Honma, Kazunobu Hosoya, Masayuki Nakamae, Kazuhiko Endo
High Speed Digital MODEM for Satellite Communication Systems Gen Sasaki, Shuji Nishimura, Eiji Watanabe, Hideki Fujii, Yoshinobu Kimura

### スポットライト

モバイルオフィス・ソリューション



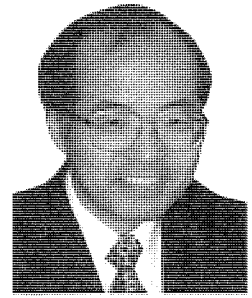
表紙：近距離無線／無線LANシステム

“いつでも、どこでも、何でも、だれでも”ネットワークに接続できるユビキタス社会を実現するための重要な要素技術が無線アクセス技術である。三菱電機は、センサネットワーク、RFID、低出力ミリ波、UWBの近距離無線技術、及び携帯(構内)IP電話、メッシュネットワーク、アドホックルーティングなど無線LANの各種応用技術、小電力セルラネットワーク技術、高周波小電力EMC技術に関する研究開発を通して各無線アクセス方式の実用化を推進すると同時に、これら無線アクセス方式のネットワーク化を検討していく予定である。

表紙は、EMC棟大型電波暗室(①)、FA用表示装置(GOT)の放射ノイズ抑制設計結果(②)、センサネットワークノード装置(③)、UWB受信スペクトルとアンテナ(④)、高精細動画伝送展示風景(⑤)である。

## センサネットワークとアドホック、マルチホップ技術

Sensor Networks and Ad hoc, Multihop Technologies



仙石正和  
Masakazu Sengoku

最近の世界のニュースで地震の頻発が伝えられ、その被害も甚大なものとなっている。国内では、7月に各地で局所的な大雨で、土砂崩れを含めて被害も大きなものであった。このような災害に対して、防災・救助活動などにセンサネットワークが役立つであろうことが知られている。自分自身が住むローカルな話で恐縮だが、新潟県の中中部では、2004年7月13日に記録的な大雨で三条市の五十嵐川が破堤し、大きな被害をもたらした。また、同年10月23日には新潟県中越地震が発生して、大きな被害がニュースになった。この水害、地震の両方で情報通信の役割の重要性が再認識された。新潟県中越地震の特徴は被害地が都会ではなく中山間地であり、日本の都会以外の多くがこのような中山間地にあることから、今後の防災・災害対策のモデルとして注目された。一つの村(山古志村)が全員で避難せざるを得ない状況になり、現在、その復旧にもまだまだ長い道のりがある。今年の10月に新潟大学の研究プロジェクトチームが中心になり、産学官連携で、山古志村において災害対策用のアドホックネットワークの大きかりな実験を行うことになっている。

センサネットワークは、数多くのセンサ端末(センサノード)がネットワーク化されている。センサノードは、固定されていても移動することも可能である。ネットワークは無線でつながれ、移動によってネットワーク構造が動的に変化することになる。センサで得た情報は、ノードを無線で中継しながらフェュージョンセンター(融合センター)に集められ、情報処理される。複数のセンサの情報をコラボレーション(協調)させて、データの信頼性を高めていく。ノードの移動によってネットワーク構造が動的に変化するが、その意味でネットワークはアドホックに自律的に動作

する。この技術がアドホックネットワークの技術である。センサで得た情報は、ノードとノードを無線で中継しながら伝送されるが、この部分にマルチホップネットワークの技術が使われている。センサノードは、センシング機能を持つ素子などのほかに、無線通信機能、情報処理機能を持ち、電源も内蔵しなくてはならない。空間的な位置を知るためにGPS(Global Positioning System)なども付加する場合もある。いずれも小型化、低電力化が要求されており、その技術開発も必要である。また、オープン化のためには、標準化も必要である。この特集では、近距離無線/無線LANシステムの特集であるが、センサネットワークにかかわる重要な先端的な研究開発結果が紹介されている。

設計に必要な理論的な面の進展も必要である。多数のセンサノードからの情報の収集と処理は多端子情報理論とかかわりがある。また、マルチホップネットワークの通信性能の理論的な解析には未解決な問題がたくさんある。ところで、センサの情報は温度、湿度、気圧、速度、加速度、交通量、人の流れなどの物理量を三次元空間と時間を加えた四次元空間で取得するのが一般的であろうと思われる。一般には、この物理量のみが必要と言うより、具体的使用目的に合った情報収集の最適化が要求されることになる。現在での応用の多くは物理量のモニタリングが主体である。この最適化技術が進展して、近い将来、モニタリングだけでなく、センサネットワークからの様々な情報の組合せで複雑なビジネス、サービスの新しい企画を見付け出すようなことができるようになるかもしれない。

最後に、無線、ネットワークなどこの分野の更なる発展を願う次第である。

# 近距離無線アクセス技術の動向と今後の方向性



石津文雄\*



伊藤修治\*\*

A Technical Trend and Prospect of The Short Range Wireless Access Systems

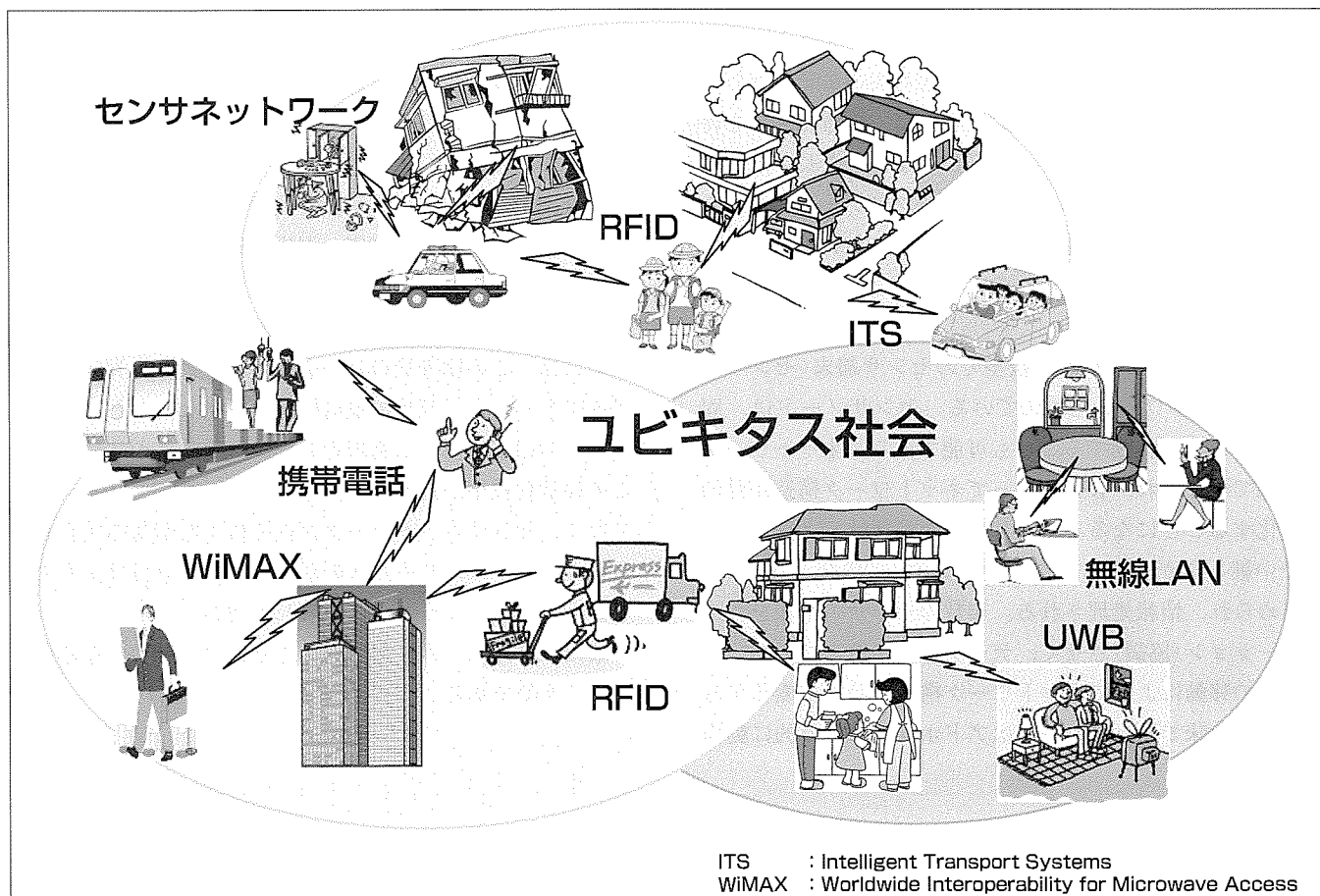
Fumio Ishizu, Shuji Ito

## 要旨

携帯電話・業務無線など中長距離無線アクセス方式に加え、近年、無線LAN(Local Area Network)、UWB(Ultra Wide Band)、RFID(Radio Frequency Identification)、センサネットワーク、DSRC(Dedicated Short Range Communications)などのデータ伝送を目的とした様々な近距離/低出力無線アクセス方式が研究開発、実用化されている。これら無線アクセス方式の登場により情報機器間データ伝送の無線接続が可能になり、その結果、無線技術の業務・コンシューマ分野での展開が進み、ユビキタス社会の実現に向けた環境が整いつつある。技術的には、小型・低消費電力化、高機能化、大容量化が急速に進んで

おり、利便性が高くなっている。そして、近い将来、無線アクセス同士のネットワーク化により各種情報システムの連携動作が可能となることで、“無線アクセスネットワーク”がネットワークシステム全体の中でより重要な位置付けになると考えられる。

三菱電機は、ユビキタス社会の実現に向けて、様々な無線アクセス技術の開発に取り組んできた。この特集では、中・近距離通信を中心とした無線アクセスシステムについて述べ、その基礎となる技術・標準化への取り組み、そして、アプリケーション例を含めたシステムの有効性を示す。



## 近距離無線アクセスシステム

主に、データ、センサ情報伝送を目的として展開してきた無線技術で、将来のユビキタスネットワーク化で重要な位置付けを占めることが期待されている。小型・低消費電力化、大容量化などアプリケーションに応じて発展している。

### 1. ま え が き

図1に、各無線アクセスシステムと通信距離の関係を、また、図2に各無線アクセスシステムの通信距離と伝送速度の関係を示す。無線アクセスシステムは、図1のように大別でき、WWAN(Wireless Wide Area Network)、WMAN(Wireless Metropolitan Area Network)に加え、WLAN(Wireless Local Area Network)、WPAN(Wireless Personal Area Network)システムが急速に発展し、展開してきた。特に、WLAN、WPANは、データ、センサ情報伝送を主目的としており、急速に進化する情報機器の無線接続を実現している。

一般的に、無線アクセスシステムの最大伝送速度は、通信距離が短いほど大きくでき、次世代無線LAN(IEEE802.11n)では100Mbps以上、UWB(IEEE802.15.3a)では数百Mbpsの伝送速度が実現可能で、急速に高速化が進む有線通信とのシームレスな接続を可能にしている。また、大容量化に加え、小型化、低消費電力化、EMC(Electro-Magnetic Compatibility)など、実用化のための

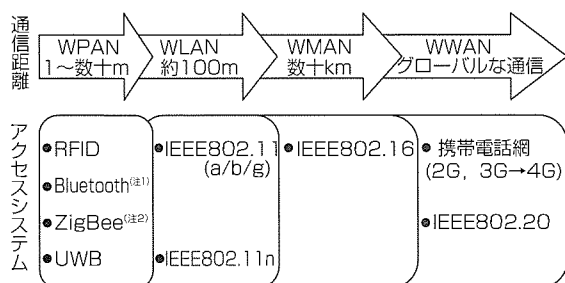


図1. 各無線アクセスシステムと通信距離の関係

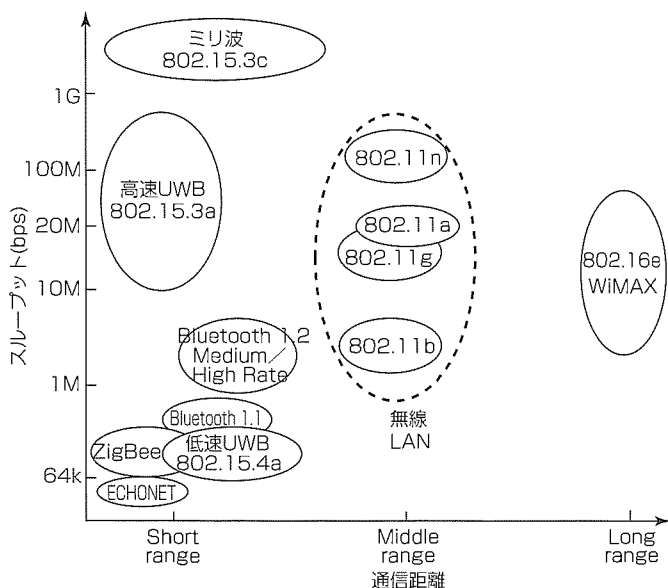


図2. 各無線アクセスシステムの通信距離と伝送速度の関係

(注1) Bluetoothは、Bluetooth-SIG Inc.の登録商標である。

(注2) ZigBeeは、Koninklijke Philips Electronics N.V.の登録商標である。

必要技術の開発、アドホックネットワーク、メッシュネットワークなど無線通信のシステム化技術開発、動画などのデータを実時間無線伝送するためのQoS(Quality of Service)制御技術開発により多様なアプリケーション展開が実現できる。さらに、標準化活動を通じた技術貢献もますます重要な位置付けとなっている。

本稿では、これら中・近距離無線アクセスシステム、低消費電力無線アクセスシステムの特徴と当社取り組みについて述べる。

### 2. W P A N

10m程度までの無線通信を実現するWPAN(UWB, ZigBee等)は、最終接続の短距離無線接続手段としてユビキタスネットワークで重要な位置付けを担う。アプリケーションも高速データ通信、測位、測距、また、設置した各種センサ情報の無線伝送など、様々な形態が考えられており、実用化に向けた研究開発が推進され、一部は既に実用化されている。

代表的なUWBの規格として、IEEE802.15.3aとIEEE802.15.4aがある。IEEE802.15.3aは、非常に小さな送信電力(FCC(Federal Communication Commission)規格: -41.25dBm/MHz以下)での最大数百Mbpsの大容量伝送が特長であり、パソコン周辺機器、AV機器接続などがアプリケーションとして想定され、既に実用化可能な段階に入っている。当社も、試作装置を構築し、2ch高精度動画伝送のデモンストレーションにより有効性を実証した。

IEEE802.15.4aは、高精度測位を特徴とした中低速伝送方式であり、パルス幅が非常に狭いことから数cmレベルの測位精度が可能となる。IEEE(The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc)委員会では標準化中であり、当社も米国研究所を中心に提案を行っている(図3)。

### 3. 無線LAN(WLAN)

表1は、IEEE802.11標準化委員会で検討されている各

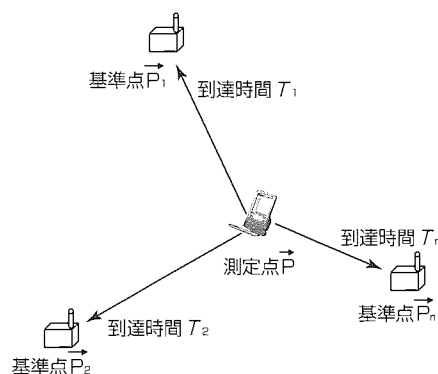


図3. TDOA(Time Difference of Arrival)方式による測位原理図



表 1. IEEE802.11規格の一覧表

	Group	検討内容	状況(2006年7月)
基本規格	MAC TG	MAC	完了→IEEE Std 802.11-1999 Edition
	PHY TG	PHY	完了→IEEE Std 802.11-1999 Edition
拡張規格 (完了)	TGa	5GHz帯WLAN(OFDM)	完了→IEEE Std 802.11a-1999
	TGb	2.4GHz帯WLAN(CCK)	完了→IEEE Std 802.11b-1999
	TGc	MAC Supplement to IEEE802.1d	完了
	TGd	Update of Regulatory Domains	完了→IEEE Std 802.11d 2001
	TGe	MAC拡張(QoSサポート)	2003年9月→2005年7月作業完了
	TGf	IAPP(アクセスポイント間プロトコル)	完了→IEEE Std 802.11f-2003
	TGg	High Rate Extensions to 802.11b	完了→IEEE Std 802.11g-2003
	TGh	Spectrum Management for 802.11a	完了→IEEE Std 802.11h-2003
	TGi	Enhanced Security Mechanisms	2003年9月→2004年9月作業完了
	TGj	Japanese 4.9-5.0, 5.03-5.091GHz	2003年1月設立2004年11月完了
拡張規格 (継続)	TGk	Radio Resource Measurement	2003年1月初会合, LB83に対するコメント処理が完了
	TGm	Standard Maintenance	2003年3月より開始, Draft8.0, 3rd SBからのコメント募集
	TGn	Enhancement for Higher Throughput	2003年9月より開始, LBに対するコメント処理
	TGp	Wireless Access for Vehicular Env.	北米DSRCの規格化, LB81に対するコメント処理
	TGr	Fast Roaming	2004年7月から開始, Draft2.2, LB82に対するコメント処理
	TGs	ESS Mesh Networking	2004年9月にCall for Proposal, Draft0.01改定中
	TGt	Wireless Performance Prediction	2004年11月から開始(旧WPP SG), コメント処理中
	TGu	Inter Working with External Networking	2005年1月にTG.ビジョン, 要求資料の作成中
	TGv	Wireless Networking Management	2005年1月にTG. Draftに対して, 寄書提案中
	TGw	Protected Management Frames	コメント処理, 誤記を修正したDraft 0.04を準備中
TGy	Contention Based Protocol	議長の選出, 寄書提案中	
	5GSG		中止

CCK : Complementary Code Keying  
 ESS : Extended Service Set  
 DSRC : Dedicated Short Range Communication  
 MAC : Medium Access Control  
 PHY : PHYSical layer  
 LB : Letter Ballot  
 RLB : Recirculation Letter Ballot  
 SG : Study Group  
 TG : Task Group

種無線LAN規格の概要を示している。無線LANは、Mbpsクラスの高速データ伝送を実現する無線技術として進化しており、例えば、5GHz帯無線LAN IEEE802.11aでは、OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)などの広帯域伝送に適した変復調技術を取り入れている。近年、この無線LANの大容量化とIP(Internet Protocol)通信との親和性に着目し、アプリケーション領域を拡大するための様々な技術開発が進められている。一例として、基本アクセス方式CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)にQoSを導入することで、音声、動画など実時間情報に対する時間的品質を向上し、無線IP電話、AV(Audio Visual)動画伝送、さらにオフィスLANの無線化などへの展開が図られている。また、急速に増大する通信容量、高速化する有線系とシームレス接続するため、IEEE802.11nでは、MIMO(Multiple Input-Multiple Output)技術やフレーム結合などの新しい技術を導入し、スループットで100Mbps以上という更なる高速化が実現されている。なお、11nは、オプション機能も含めると最大数百Mbps伝送も可能な仕様になっている。

さらに、無線LANをシステム化して利用するために、アドホックネットワークやメッシュネットワークの技術開発が進められている。メッシュネットワークは、IEEE802.11sで検討が進められており、複数無線LAN装置を無線通信でマルチホップ接続することで、直接無線通信できない装置間での情報のやり取りを可能にし、通信エリ

ア拡大、伝送速度向上を図ることができるものである。

このように、無線LANは、新しい技術の導入、システム化設計をすることで、適用領域を大きく拡大しており、今後も継続して発展していくと考えられる。

#### 4. RFID

RFIDは、非接触型の自動認識技術で、近年、物流管理に加え、児童・生徒の安全管理など、アプリケーション領域が急速に拡大している。当社でも、従来の近距離型RFIDシステムを応用した物品管理などを展開してきた。さらに、長距離通信を目指したUHF(Ultra High Frequency)帯RFIDに早くから注目し、研究開発を進めてきた。特に、UHF帯RFIDに関しては、標準化活動にも積極的に参画し、伝送技術の確立と並行して、耐干渉技術などの提案を行ってきた。また、金属タグなど適用範囲拡大のための技術開発や、試作装置を用いたデモンストレーションを実施し、流通管理、入退場管理などにおいてもその有効性を実証してきた。

RFIDは、その簡易さに加え、想定されるアプリケーション領域が大きく、ユビキタス社会の一要素として重要な位置付けを担うと思われる。

### 5. センサネットワーク

多数のセンサを近距離無線通信で相互接続し、離れたサーバ等にセンサ情報を伝達するセンサネットワークの実用化が進められている。センサネットワークは主に業務用遠隔制御、遠隔監視に適用されてきたが、今後、一般家庭のホームセキュリティシステム、情報家電の相互接続などへの適用を目指した研究開発が進められている。特に、アドホックネットワーク技術により、新規ノード追加時に自動的に無線接続を構築でき、新規配線不要という簡便さが特長である。このシステムの普及には小型・低消費電力化が重要であり、特に、数年間バッテリー駆動するために低消費電力化は不可欠で、様々な技術開発が行われている。当社は、このセンサネットワーク分野の研究開発に早くから着手し、技術開発と並行して、デモンストレーションにより有効性を実証してきた。

また、近年、遠距離無線通信を用いた広エリアセンサネットワークシステムの研究が進められている。これは、数kmの距離をカバーするシステムであり、“小電力セルラネットワーク”と呼ばれる。このシステムでは、広エリアに起因する多数ノードとの接続が必要であり、また、ノードの小型・低消費電力化が課題である。当社は、このシステム検証用装置を試作し、実験室レベルで数kmエリアの無線通信が可能であることを示した。

上記のように、近距離、長距離と様々なセンサネットワークシステムの研究開発、及び実証試験が進められている。

### 6. 標準化動向

近距離、小電力システムにおいて、IEEE標準化は重要であり、当社も米国研究所を中心に早い段階から参画し提案活動を実施してきた。図4に、近年の主なIEEE802標準化スケジュールの概要を示す。データ系を中心に発展しているIEEE802技術であるが、大容量化(802.11n)、高品質(802.11e)、システム化(802.11s)、他アプリケーションへの展開(802.11p)など多様性を示している。UWB分野では、802.15.3aが終了し、802.15.4aの測位技術など適用領域の拡大が図られている。さらに、802.16eなどWMANなども注目されており、適用領域拡大が進んでいる。

IEEE802は、データ通信を中心に発展してきたため、OFDMなど大容量化伝送技術や小型・低消費電力に適したアクセス制御方式など先進的技術が提案・採用されており、適用分野の拡大が急速に進んでいる。当社は、これらIEEE委員会に今後も注目し、提案活動など標準化貢献をしていく。

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
802.11e							☆
802.11n	SG決定	TG決定	CFP				☆
802.11p		TG決定					☆
802.11s							☆
802.15.3a				Down Selection & Confirmation Vote			
802.15.4a							☆
802.16e			2002/12にWG決定			2005/12承認	

△: Working Group Letter Ballot □: Sponsor Ballot ☆: IEEE Publication ■■■■: 予定

CFP: Call For Proposal

図4. IEEE802委員会標準化スケジュール(2006年7月時点)

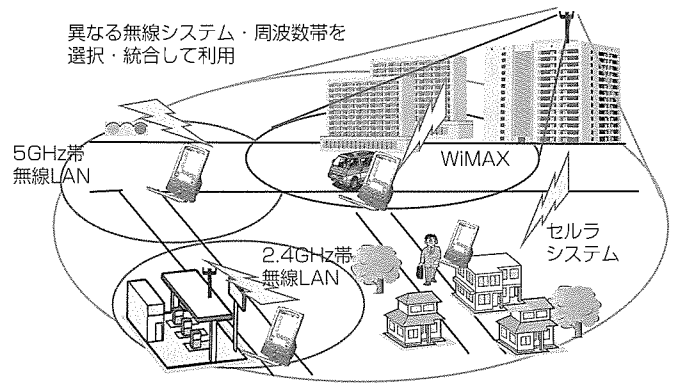


図5. コグニティブ無線通信技術

### 7. むすび

以上述べてきたように、現在様々な無線アクセス方式が研究開発・実用化されている。今後、これら無線アクセス方式は、それぞれの特長(大容量, 低価格, 低消費電力, 小型)を生かした領域で発展し、適材・適所で効果的に利用されていくと考えられる。また、ミリ波伝送のような新しい技術も今後確立されていくと思われる。

そして、これら様々な無線アクセス方式は、将来、無線ネットワークとして相互接続され、ユビキタス社会構築へ展開されることが予想される。また、複数無線アクセスシステムを選択して利用し、周波数利用効率を向上するコグニティブ無線通信技術の研究開発も進んできている(図5)。

当社は、個別アクセス方式の研究開発・実用化を進めると同時に、無線ネットワーク化の検討を推進していく予定である。

### 参考文献

- (1) 阪田史郎(監):ワイヤレス・ユビキタス, 秀和システム (2004)
- (2) 守倉正博, ほか(監):改訂版802.11高速無線LAN教科書, インプレス (2004)

# 950MHz帯RFID技術とその応用

## 950MHz-band RFID Technologies and Their Applications

Yasushi Takahata, Toshihisa Kamemaru, Tsuyoshi Iizuka, Kenji Horai

高畑泰志\* 宝来憲次\*\*\*  
 亀丸敏久\*\*  
 飯塚 剛\*\*

### 要 旨

ユビキタスネットワーク社会を構成する要素技術として、無線を使用した非接触型の自動認識技術であるRFID (Radio Frequency Identification, RFタグ, ICタグ, 電子タグなどと呼ばれることもある)が注目されている。

RFIDは、e-Japan戦略IIにおいて“元気・安心・感動・便利”社会を実現するための基盤的ツールとして、さらに、e-Japan重点計画-2004では、より広い分野でのRFIDの高度利活用への期待の高まりに対して、開発・実証実験、ガイドライン策定、制度化を図ることが掲げられている。

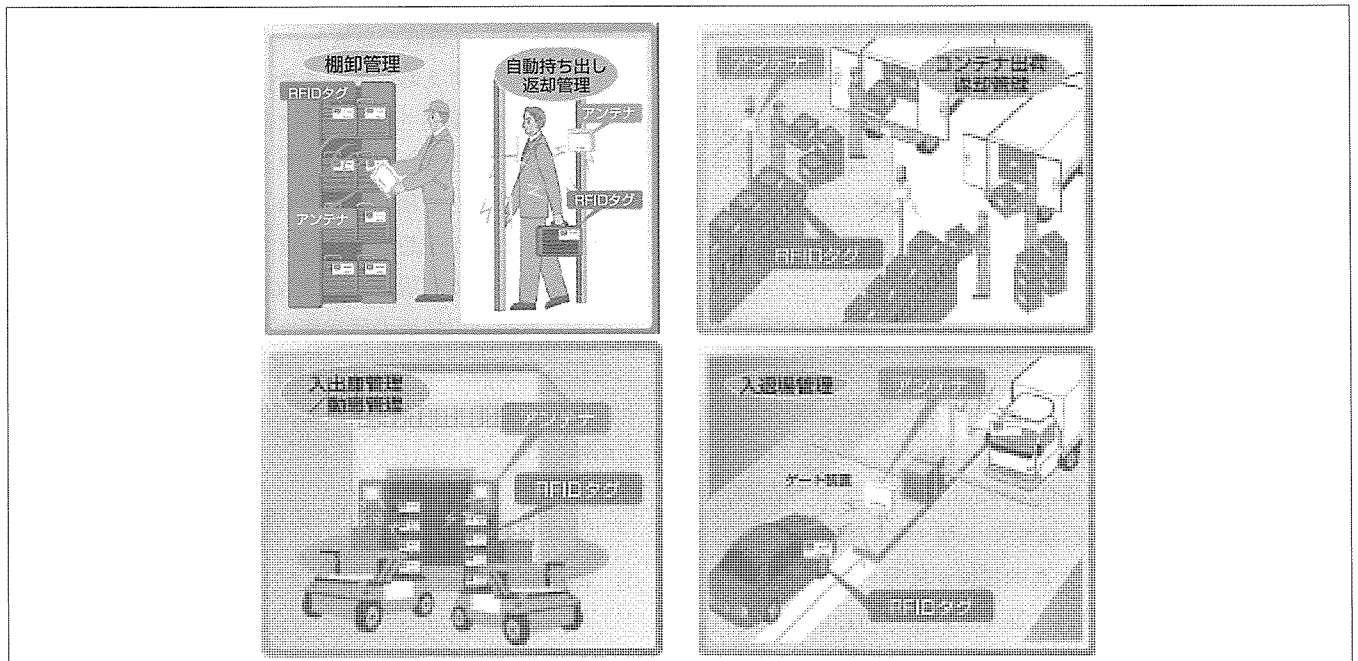
RFIDは、電池の有無や周波数など様々な分類方法がある。その中でも、国際間の流通に向け、長距離での読み取りが可能な860~950MHz帯のRFIDが注目を集めている。このRFIDは、UHF(Ultra High Frequency)帯RFIDと呼ばれ、ISOなどでの標準化への取り組みが進められている。日本でも、2005年4月には950MHz帯が使用周波数として開放され、その実用化が急がれている。

三菱電機では、135kHz帯や13.56MHz帯などの既存の

RFIDを応用した各種ソリューションに加え、長距離通信が可能という特長を持つUHF帯RFIDの実用化に向けた技術開発を進めており、本稿では例として主に以下の内容について述べる。

- (1) 長距離においてUHF帯RFIDシステムを高信頼かつ安定的に稼働させるためのハードウェアの特長
- (2) 複数のリーダライタ装置間の連携と構成を隠蔽(いんべい)するソフトウェアの構造
- (3) 平成17年度経済産業省公募実験である「自衛隊の国際平和協力活動における補給業務での電子タグ利活用検討のための実証実験」の概要とその結果

今後、ユビキタス社会の到来とともに、物のネットワーク化も進展し、物に関する情報を今以上に簡単・正確・迅速に収集管理できることが要望されている。当社も、RFID技術の高度化とともに、各分野向けのソリューションを拡大していく所存である。



### UHF帯RFIDを用いたソリューション例

UHF帯RFIDを活用することによって長距離での読み取りが可能となり、例えば倉庫での自動検品、リターナブルコンテナの管理、さらには自動車に乗ったままの入退場管理を実現することが可能になる。



## 1. ま え が き

RFIDは、“いつでも、どこでも、何でも、だれでも”ネットワークに簡単につながるユビキタス社会を担う重要なハードウェアである。例えば、周波数13.56MHz帯のRFIDは、東日本旅客鉄道(株)(JR東日本)のSuica<sup>(注1)</sup>(スイカ)、西日本旅客鉄道(株)(JR西日本)のICOCA<sup>(注2)</sup>(イコカ)、ビットワレット(株)の電子マネーであるEdy<sup>(注3)</sup>などとして、既に我々の生活の中で利用されている。

一方、860~960MHzのUHF帯を使用するRFID(UHF帯RFID)は、電池を持たないパッシブ型でありながら、13.56MHz帯などの他の周波数帯に比べて長距離(~7m)でのアクセスを実現できるため、物流、入退場管理など様々な用途への適用が期待されている。

本稿では、UHF帯RFID実用化に向けた当社技術の特長と、その特長を活用した先進的なシステム適用事例について述べる。

## 2. UHF帯RFIDの動向

UHF帯RFIDは、世界最大の小売チェーンであるWal-Mart Stores, Inc.による採用が始まっており、世界的に普及する兆しが見えている。現在各国において、その技術開発、実証実験が進められている。さらに、標準化についても、国際標準であるISO18000-6での規格化や、ITU(International Telecommunication Union)での議論が進められている。

日本でも、2004年度から総務省において950~956MHz帯でのRFIDの使用が検討され、2005年4月には高出力型のパッシブ型RFIDが、さらに2006年1月には低出力型のパッシブ型RFIDの使用が認許された(表1)。さらに、現在は433MHz帯を含むアクティブ型のRFIDに関する議論が行われている。

一方、経済産業省では、2003年度から様々な実験を進め

(注1) Suicaは、JR東日本の登録商標である。

(注2) ICOCAは、JR西日本の登録商標である。

(注3) Edy(エディ)は、ビットワレット(株)が管理するプライベート型電子マネーサービスのブランドである。

表1. 950~956MHz帯パッシブ型RFIDの規格

	高出力型	低出力型
出力	空中線電力：1W以下 空中線利得：6dBi以下	空中線電力：10mW以下 空中線利得：3dBi以下
周波数	952~954MHz	952~955MHz
免許	構内無線局	特定小電力無線局 (免許不要)
チャネル	9チャネル(200kHz)	14チャネル(200kHz)
キャリアセンス	5~10m秒, -74dBm	10~15m秒, -76dBm
送信時間	連続4秒, 50m秒休止	連続1秒, 100m秒休止
距離	7m程度	50cm程度

てきた。2005年度は産業構造改革・行革推進型、新産業創造型、産業間連携型、国際連携型の4つの分野において合計8件の実験を採択し、実用化に向けた取り組みを進めている。

また、利用者側の動向としては、(株)ヨドバシカメラが2006年5月末にUHF帯RFIDを納入商品の検品などに導入することを表明し、その実現に取り組んでいる<sup>(1)</sup>。

このような動向を踏まえ、当社においても、UHF帯RFIDシステムの開発を進めている。そのねらいは、UHF帯RFIDの特長である長距離化に向けた技術開発を進め、セキュリティ・生産・物流など様々な分野のシステムなどへの適用を進めることである。そのため、次章以降に述べる特長を持つハードウェア、ソフトウェアを開発した。

## 3. ハードウェアの特長

長距離においてUHF帯RFIDシステムを高信頼かつ安定的に稼働させタグを確実に読み取るために、リーダライタ装置には、①高い受信感度の実現、②読み取り速度の向上、③干渉回避方式の実現が必要である。また、タグには、④金属などの特殊な物品に張り付ける場合には、張り付け対象に最適化された専用タグが必要である。これらを実現するため、当社のハードウェアは、以下のような特長を持っている。

### 3.1 高い受信感度の実現

電池を持たないパッシブ型のタグでは、タグからの応答信号はリーダライタ装置の送信する無変調波を反射させて発生させる。この信号は、リーダライタ装置が送信する無変調波に比べて非常に微弱なものであり、7mの通信距離の場合、 $10^{-9}$ ~ $10^{-10}$ 程度の大きさとなる。このため、リーダライタ装置の送信信号が装置内部やアンテナを通じて受信回路に回り込んでくるノイズが受信信号に誤りを発生させる大きな原因となる。この問題を解決するために受信電力に重畳された送信電力成分を打ち消すキャンセラ回路を開発した。この回路により、2dBiの利得を持つ標準的なタグとの通信において7mの読み取り距離を実現した。

### 3.2 読み取り速度の向上

物流用のゲートなどで利用する場合、タグが張り付けられた多数の物品を台車やフォークリフトに積載し、アンテナを設置したゲートを通過する間に、すべて読み取らなければならない。しかし、電波の反射の影響、他の物品の陰による影響、タグの向きや距離の違いによる影響などにより、タグの受ける受信電力が大きく異なるため、常に1回で100%のタグを読み取ることは困難である。そのため、通常複数回の読み取りを実現してシステムの読み取り精度を100%に近づける必要がある。例えば1回の読み取りで80%程度の読み取り精度であっても、5回の読み取り機会があれば、システムとしての読み取り率は99.97%まで高め

られる。このように、物品を積んだ台車やフォークリフトがゲートを通過する数秒の時間に複数回の読み取りを実現することが必要である。

一方、100個の物品を80%の確率で4秒間に5回読むためには、一回の読み取り時間800ミリ秒で80枚(100個×80%)のタグを読み出す必要がある。したがって、複数タグからの応答の輻輳(ふくそう)制御(アンチコリジョン)処理を含め、タグ1個当たり約10ミリ秒で読み取る必要がある。これを実現するためにリーダライタ装置の受信状況を判断し動的に最適なタイムスロット数を選択する高速マルチリードアルゴリズムを開発した。

### 3.3 干渉回避方式の実現

RFIDシステムは、上述したとおり、リーダライタ装置の送信電力とタグの応答電力の差が大きいため、他のシステムからの送信電力による電波的な干渉も大きな問題となっている。干渉問題には、同一周波数使用時のリーダライタ装置同士の干渉(リーダ間干渉)と、リーダライタ装置が他システムのタグに与える干渉(リーダ・タグ干渉)の2種類がある<sup>(2)</sup>。

リーダ間干渉に関しては、日本の電波法で規定されたLBT(Listen Before Talk)方式により、他システムが動作しているときは別のシステムを動作させないという制御を行い、干渉発生を抑止する。しかしながら、リーダ・タグ干渉に関しては、システム同士が数十m程度と近接している設置条件では通常のLBT方式では必ずしも干渉が回避されるとは限らず、読み取り精度が大幅に低下することが確認されている。

この問題に対し、当社では、このような設置条件でも干渉を発生させないAdvanced-LBT方式を開発し、実装し、読み取り精度の向上に効果を上げた。

### 3.4 金属用タグ

金属体に通常のダイポールアンテナで構成したタグを張り付けると、金属体が電波を反射するためアンテナの利得が大幅に低下しタグが電波をうまく受信できなくなる。その結果、タグの読み取りができなくなる。

当社では、この問題に対し、金属に張り付けてもアンテナ利得が低下しないパッチアンテナを利用した金属用タグを開発した(図1)。このタグは、工場において台車などへの張り付けを想定し、現場での扱いが容易であること、及びより長距離での読み取り(10m)を目指し、大きめのサイズ(100mm×200mm×4mm、アンテナ利得6dBi)とした。なお、この技術を使用した名刺大の金属用タグでは7mでの読み取りを実現できる。

以上のように、リーダライタ装置にキャンセラ回路、高速マルチリードアルゴリズム、Advanced-LBT方式、金属用タグなど新規技術を実装し、高い読み取り精度を実現した。

## 4. ソフトウェアの特長

RFIDの適用分野拡大に向けては、タグ読み取り率の向上と、システム構築の容易化が課題となる。前述したように、読み取り率はタグやリーダライタ装置のアンテナの位置と向き、周辺環境による電波の吸収/反射、他の通信設備からの電波による妨害等、様々な要素により影響を受ける。このように不確実な条件下でも安定的な読み取り率を得るためには、ハードウェアによる読み取り速度の向上だけでなく、複数のリーダライタ装置及びアンテナを用いて、繰り返し読み取ることが有効である。一方、システム構築の容易化には、物理的な構成の隠蔽、小規模構成からの柔軟な拡張、タグ読み取りにかかわる煩雑な処理の隠蔽等が望まれる。このような相反するニーズを満たすために、図2に示すような構成のソフトウェアを開発した。

以下、それぞれの機能の概要を示す。

- (1) リーダライタ装置制御機能：リーダライタ装置との制御コマンド発行/応答をつかさどる機能である。制御コマンドは、ISO/IEC15961規格に準拠する。
- (2) リーダライタ装置連携機能：複数のリーダライタ装置及びアンテナを連携動作させるとともに、仮想化により物理的な構成を隠蔽して柔軟なシステム構築を可能にする。
- (3) 情報抽出機能：読み取りの繰り返し、冗長データの削

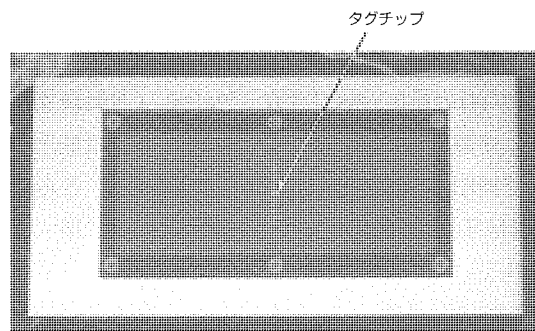


図1. 金属張り付け用タグ

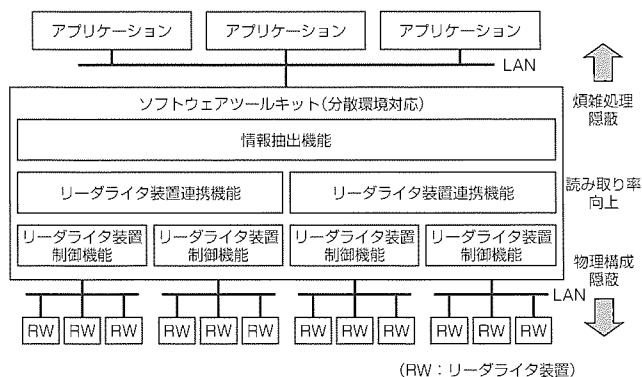


図2. ソフトウェア構成

除、アプリケーションにとって有用な情報(イベント)の抽出等を行い、煩雑な処理からアプリケーションを開放する。

以上のような共通機能をツールキット化してシステム構築に用いることにより、タグ読み取り率の向上とシステム構築の容易化を両立できる。各機能モジュールは分散環境に対応しており、システム拡張には複数のパソコンをLAN(Local Area Network)接続することで対応可能である。今後、このツールキットの機能拡張により、適用システムでの読み取り率や性能等の向上が期待できる。

### 5. システム事例(経済産業省実証実験)

当社は、平成17年度経済産業省の公募実験において、産業構造改革・行革推進型に属する「自衛隊の国際平和協力活動における補給業務での電子タグ利活用検討のための実証実験」に参画した。この実験の目的としては、従来に増して海外における多様な任務に有効に対処し、効率的、かつ迅速な補給の実現を目指したRFIDの利活用の可能性を検証することである。そのため、国際平和協力活動の補給サプライチェーンを模擬した広範囲な領域で、防衛庁の全面的な協力による総合的な補給業務の実証実験を実施した。

実験の内容は、管理単位にタグを張り付け、関東補給処から開始して横須賀、硫黄島、入間の各基地を經由し、最後に関東補給処に戻るルートで、サプライチェーンにおける高度な追跡管理、効率的な物品管理、リアルタイム在庫管理・ロケーション管理を実現するため各場所で出入荷検品を行うものである。

管理単位として、陸、海、空の機材、飲食料、衣服関連をダンボール、アルミコンテナ、木枠に梱包(こんぼう)、パレットに搭載した状態で、フォークリフトでゲートシステムを通過し、出入荷検品を実施した(図3)。タグとしては、アルミコンテナについては金属用タグを、それ以外のものには金属用ではない通常のタグを張り付けた。また、全体システムの構成としては、3章と4章で述べたハードウェア、ソフトウェアをベースに上記の機能を実現するアプリケーションを開発した(図4)。

実際の実験では、各場所で合計48回のゲート検品、物資数としては622個の検品を実施した。その結果、いったん停止を含むリカバリ処理を行うことで、パレットレベルで100%、物資レベルで98%の読み取り率を確認できた。なお、物資レベルでの読み落としは、対象物資が金属、飲料水などであり、これらについては金属用タグを張り付けることで対応が可能である。

引き続き、読み取り精度の向上に向けた技術開発を継続



図3. 実験風景

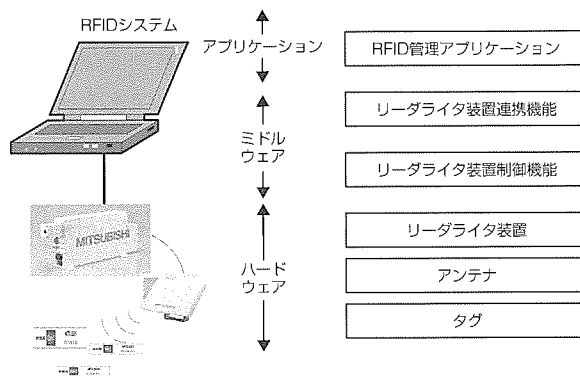


図4. 全体システム構成図

するが、今回の実験において、実用化のめどが立ったものとする。

### 6. むすび

ユビキタス社会では、様々な物のネットワークを構築する必要がある。UHF帯RFIDは、電池を持たないパッシブ型でありながら長距離での読み取りが可能という特長を備えており、ユビキタス社会実現に向けた重要な技術である。当社では、その実用化に向けた技術開発とともに、それを用いたソリューションの開発に注力している。今後も、各種分野向けにユビキタス社会に対応したソリューションを提供していく。

### 参考文献

- (1) 「無線タグにヨドバシ・ショック UHF帯タグが日本でも船出」, NIKKEI ELECTRONICS, 2005年10月10日号, 59~65 (2005)
- (2) 曾我部靖志, ほか: 解説UHF帯電子タグシステムにおけるシステム間干渉問題, 電子情報通信学会誌, 89, No.2, 156~161 (2006)

# センサネットワーク

稲坂朋義\*  
平岡精一\*  
齋藤 隆\*

Sensor Networks

Tomoyoshi Inasaka, Seiichi Hiraoka, Takashi Saito

## 要 旨

安全・安心・快適で豊かなユビキタスネットワーク社会を実現するキーテクノロジーの1つとして、センサネットワークが期待されている。センサネットワークは、人・“モノ”の状況やそれらの周辺環境などを自動認識する多種多様なセンサや、周辺環境などを制御するアクチュエータを接続するネットワークアーキテクチャである。

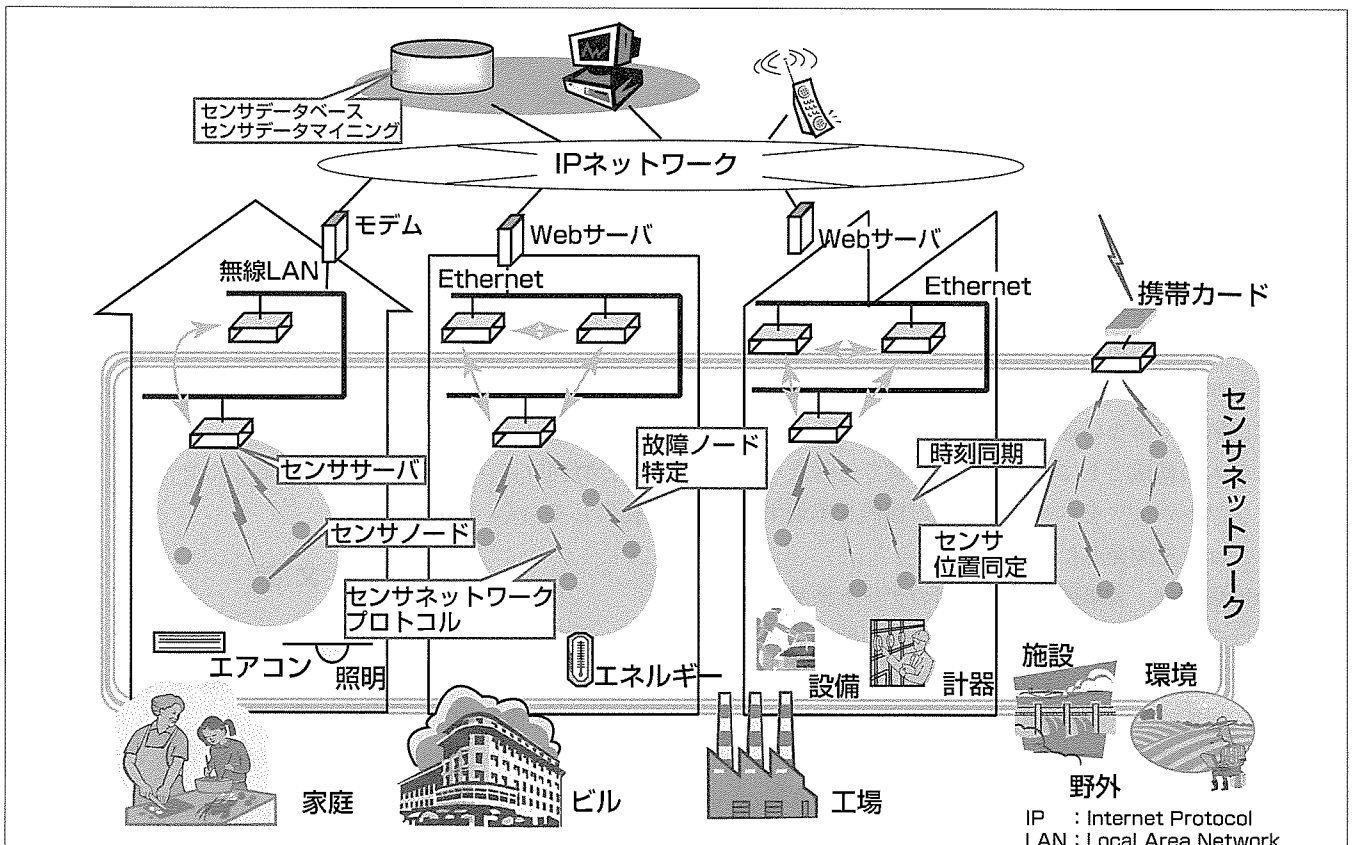
三菱電機は、センサネットワークに適した、低コスト・低消費電力を特長とする近距離無線通信方式ZigBee<sup>(注1)</sup>の普及を目指すZigBee Allianceの設立メンバーとしての標準化活動や、総務省「ユビキタスセンサネットワーク技

術に関する研究開発」への参画、ユビキタスネットワークングフォーラム「センサネットワーク部会」での主体的活動などを行っている。

センサネットワークは、センサや制御データを無線通信で送受信するセンサノード、それらを相互に接続するためのセンサネットワークプロトコル、センサネットワークを既存の通信インフラに接続するセンササーバで構成される。

これらの技術開発を進め、多彩なアプリケーションのコアとなるプラットフォームを実現していく。

(注1) ZigBeeは、Koninklijke Philips Electronics N.V.の登録商標である。



## センサネットワークのシステム構成

センサやアクチュエータをつないで無線通信するセンサノード、センサノードとインターネットなどの上位のネットワークとの通信を行うゲートウェイ機能を持ったセンササーバ、センサノード同士の通信を制御するセンサネットワークプロトコルでセンサネットワークのゾーンを構成する。必要なところに構成されるセンサネットワークのゾーンを、上位のネットワークでつなぐ仕組みにより、スケーラブルなセンサネットワークシステムの構築を可能とする。

1. ま え が き

コンピュータ技術，ネットワーク技術などのIT技術の進歩に伴い，あらゆるモノがネットワークにつながるユビキタスネットワークの実現が現実的になってきた。このネットワークインフラの活用により，安全・安心・快適で豊かなユビキタスネットワーク社会の実現が期待されている。

このような社会を実現するキー技術の1つとして，人・モノの状況やそれらの周辺環境など，様々な状況や環境を自動認識し，その結果に基づいて，最適な動作を実現するセンサネットワーク技術が注目されている。

本稿では，センサネットワークシステムに要求される主要技術，及びシステムを構成するプラットフォームについて述べる。

2. センサネットワークの主要技術

センサネットワークでは，状況や環境を自動認識するセンサやそれらを制御するアクチュエータが，どこにでも置いて，だれでもが使えて，今ある既存のシステムと簡単に連携できることが重要となる。

これらを実現するためには，センサネットワークシステムを構成するモジュールは，次に挙げる技術を満たす方向でベクトルが合っている必要がある。

(1) どこにでも置ける

- 給電配線を不要にする技術：低消費電力技術，高効率バッテリー技術，自立電源方式技術
- 通信配線を不要にする技術：低電力無線通信技術，電波伝搬特性評価解析技術
- 強い耐環境性を実現する技術：高密度実装技術（防塵（ぼうじん），防水，衝撃耐性など），高低温環境対応技術

(2) だれでもが使える

- 設定を不要にする技術：アドホックネットワーク技術，時刻同期技術，センサ位置同定技術
- 利用者の状況確認を不要とする技術：遠隔管理技術（故障ノード特定，縮退など），遠隔保守技術

(3) 既存のシステムと簡単に連携できる

- 既存のネットワークにつなぐ技術：ゲートウェイ技術

これら主要技術のうち，ユビキタスネットワーク社会が目指す“だれでも”を実現するアドホックネットワーク技術，時刻同期技術，故障ノード特定技術，センサ位置同定技術の概要について以下に述べる。

2.1 アドホックネットワーク技術

アドホックネットワークは，無線で接続できる端末のみで構成され，アクセスポイントを必要としない。また，通信相手先まで電波が直接届かない場合は，電波が届く範囲

の無線端末で中継しながらバケツリレー的に通信するマルチホップ機能をもっている。

アドホックネットワークの概念を図1に示す。

アドホックネットワークの特徴を，一般的なネットワークと対比して表1に示す

2.2 時刻同期技術

人・モノの状況やそれらの周辺環境などを判断するためには，分散配備された個々のセンサで検出される事象の時間関係を正確に把握することが重要になる。例えば，複数のポイントで検出した音の時間関係から音源位置を特定したり，事象がA点からB点を通り過ぎるまでの時間から事象の伝搬速度を導き出すなどが挙げられる。

センサやアクチュエータを接続した無線端末の時刻同期精度を保つための時刻同期技術における時刻交換方式の概念を図2に示す。

時刻を設定する際に，設定時刻が送信されてから設定されるまでの“時刻の通信遅延=時刻誤差”時間を正確に求め，受信した時刻を“時刻の通信遅延”時間で補正することによ

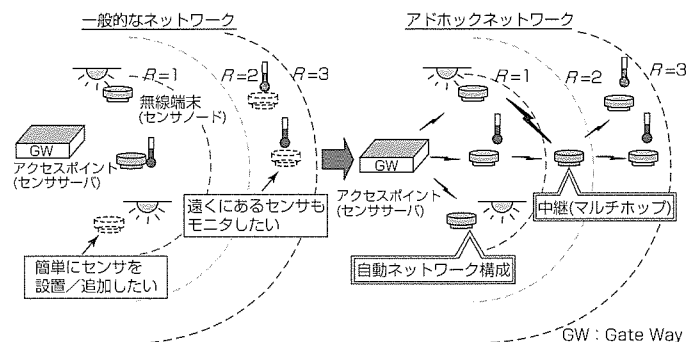


図1. アドホックネットワーク概念図

表1. アドホックネットワークの特徴

項目	アドホックネットワーク	一般的なネットワーク
通信形態	無線端末同士が直接通信	アクセスポイントと無線端末が通信
通信範囲	相手先まで電波が直接届かなければ，近くの無線端末を中継して通信	アクセスポイントから電波が届く範囲。電波が届かない場合はアクセスポイントを増設
無線端末追加/削除	ネットワークの設定不要	ネットワークの設定必要

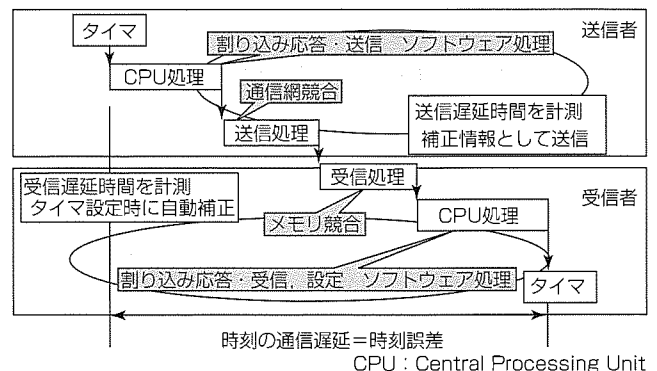


図2. 時刻交換方式の概念図

り、正確な時刻を設定する。

### 2.3 故障ノード特定技術

センサやアクチュエータを搭載した膨大な数のセンサノードを分散的に配置するセンサネットワークでは、センサノードの数にかかわらず、故障したノードをリアルタイムに特定する故障ノード特定技術が必要となる。

この実現方式の概念を図3に示す。

無線リンクの切断を検出したノードが、周辺ノードに対して故障診断を要求し、周辺ノードからの診断結果によって故障判定し、故障と判定した場合はセンササーバ経由で管理サーバへ故障ノードの情報を通知する。

### 2.4 センサ位置同定技術

ユビキタスセンサネットワークでは、いつ(時間:時刻同期技術)、どこで(位置)、何が(センシングされた情報)起きているかが重要である。

膨大な数のセンサやアクチュエータを分散的に配置する際に、それぞれの位置を個別に設定するのは現実的ではなく、自律的に自分の位置を取得する技術が必要となる。

ノードの位置は、あらかじめ位置が分かっている複数の基準ノードまでの距離をそれぞれ測定して、複数の基準ノードからの距離を基に、三角法の要領で求める。そのため必要となる基準ノードまでの距離を正確に測る測距技術が重要であり、その概念を図4に示す。

基準ノードとの距離を求めたいセンサノードAが信号を送信し、基準のセンサノードBから折り返されてくる信号を受信するまでの時間( $T_{a1} + 2T_d + T_b + T_{a2}$ )と、ノード内部の既知の時間( $T_{a1}$ ,  $T_b$ ,  $T_{a2}$ )の差から無線通信時間

( $2T_d$ )を求め、センサノード間の距離を得る。センサノード間の測距精度は、無線通信時間の測定精度がキーとなる。例えば、1mの精度で距離を求めるには3ナノ秒の精度(1/無線通信速度30万km)が必要となる。

### 3. センサネットワークを構成するプラットフォーム

センサネットワークは、センサや制御データを無線通信で送受信するセンサノード、それらを相互に接続するためのセンサネットワークプロトコル、センサネットワークを既存の通信インフラに接続するセンササーバで構成する。

#### 3.1 センサノード

センサノードは、人・モノの状況や周辺環境の状況を認識するセンサを接続し、センサから採取した情報のデータ変換結果や上限値/下限値を超えたかどうかなどの判定結果をセンサネットワークへ伝達したり、センサネットワークからの指示に従いスイッチのON/OFFや比較的単純な機器の制御を行うことができる双方向通信機能を持った超小型の無線モジュールである。

また、無線通信によるセンサネットワークでは、センサ情報の漏洩(ろうえい)や、なりすましによる機器制御の防御が必要であり、そのためのセキュリティ機能が不可欠である。

センサネットワークシステムの研究評価用に試作したハードウェアの外観とその主な仕様を図5に示す。

#### 3.2 センサネットワークプロトコル

簡単、低コスト、低消費電力を実現する低転送レートの近距離無線通信方式を採用し、センサ情報、機器のスイッチON/OFFや単純な制御情報など、比較的低速で数バイトのデータを扱うような通信に最適化されたネットワークである。微弱無線や特定小電力無線を使った独自プロトコルのものがある。

また、IEEE802委員会規定されたIEEE802.15.4(物理層)の上に標準化されたネットワークを実装してセンサノードの相互接続性を実現する活動がZigBee Alliance (<http://www.zigbee.org>)で展開されている(表2)。

ZigBeeネットワークでは、ネットワークを制御するすべての機能と十分なメモリ容量とコンピューティングパワ

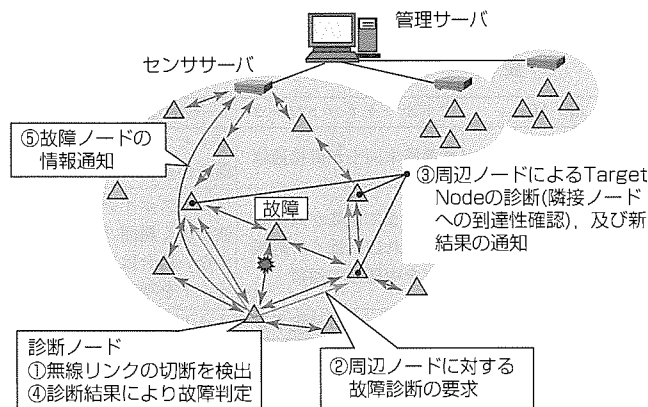


図3. 故障ノード特定技術の概念図

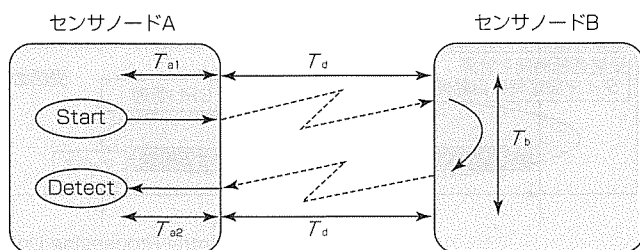
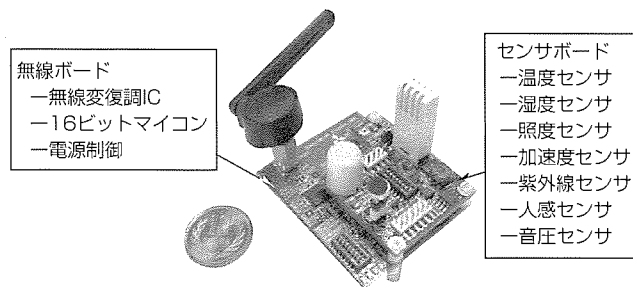


図4. 測距技術の概念図



無線ボードの外観: 54×44×8(mm)

図5. センサノード概要



表 2. 低消費電力無線通信技術

物理層	微弱無線	特定小電力	IEEE802.15.4
NW層	独自	独自	ZigBee
周波数	307kHz	429MHz	2.4GHz
速度 (bps)	2k	2.4k	250k
通信距離	10~30m	30~300m	10~75m
消費電力 (通信)	66mW	50mW	< 60mW

一を持つ“ZigBee Coordinator”, IEEE802.15.4の全機能とルーティングに必要なメモリやコンピュータパワーを持つ“ZigBee Router”, ルーティング機能を排除し末端デバイスとしてコスト優先で最適化した“ZigBee End Device”の3種類のデバイスを定義している。ZigBeeでサポートする3種類のネットワークのトポロジーを図6に示す。

### 3.3 センササーバ

センササーバは、センサネットワークと上位のネットワークをつなぐゲートウェイ機能のほか、パソコンや携帯電話などの情報端末などからのセンサネットワークのアクセスを可能とするWebサーバ機能などを持っている。一般のパソコンを使って構築することも可能だが、それ専用のスペースなしで棚の上や壁に取り付けて使えるような超小型のサーバが要求される。センサネットワークシステムの評価用に試作したハードウェアの外観とその主な仕様を図7に示す。

センササーバが持つゲートウェイ機能は、ユビキタスネットワークのかなめとなる。ユビキタスネットワークは、あらゆるモノをネットワークに接続する方向に進んでいくが、その際には、それぞれのモノに最適化された末端のネットワークがIPネットワークに接続され、それらが結合・連携していく形態をとるものと考えており、それを実現するのがゲートウェイ機能である。ゲートウェイ機能の位置付けを図8に示す。

## 4. む す び

センサネットワーク技術は、安全・安心・快適で豊かなユビキタスネットワーク社会を実現するキーテクノロジーとして位置付けられている。この技術開発を進め、ユビキタスネットワーク社会を支えるシステムに発展させていく。

なお、時刻同期技術、故障ノード特定技術、センサ位置同定技術に関する研究は、総務省委託研究「ユビキタスセンサネットワーク技術に関する研究開発」の一環である。

### 参 考 文 献

- (1) 「ユビキタスセンサネットワーク技術に関する調査研究会」最終報告  
http://www.soumu.go.jp/s-news/2004/040806\_4.html
- (2) ZigBee Alliance  
http://www.zigbee.org/en/index.asp
- (3) 徳永雄一, ほか: 無線センサネットワークにおける高

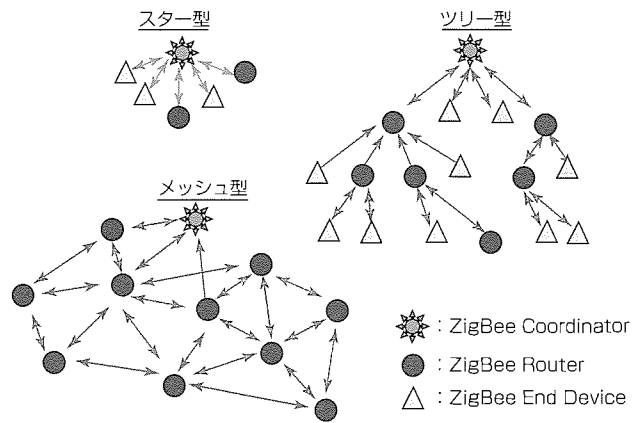
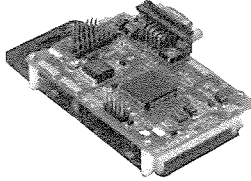


図 6. ZigBeeネットワークのトポロジー

名刺箱にすっぽり入る“世界最小クラスのLinuxサーバ”



**センササーバ機能**

- ・ネットワークのゲートウェイ機能
- ・ネットワーク同士の自立連携機能
- ・Web Server機能

**システム仕様**

- ・CPU : CFサイズCPUカード
- ・ネットワーク : 市販CFカード
- ・その他 : RS-232C×2

**CPUカード仕様**

- ・マイコン : 32ビット
- ・OS : Linux<sup>(注2)</sup>
- ・SDRAM : 32Mバイト, Flash : 8Mバイト
- ・I/F Con. : System, Debug, Power Supply

(注2) Linuxは, Linus Torvalds氏の登録商標である。

図 7. センササーバ試作機

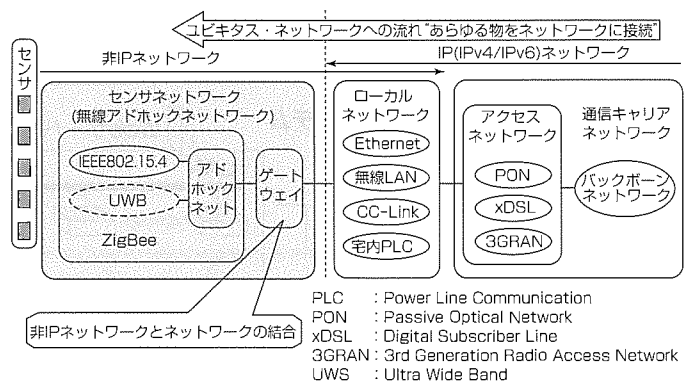


図 8. ゲートウェイの位置付け

精度時刻同期ノードの設計, (社)映像情報メディア学会技術報告, 29, No.63, 65~68 (2005)

- (4) 高田憲一, ほか: ユビキタス・ワイヤレス・センサネットワークにおける故障ノード特定手法の一検討, 電子情報通信学会技術研究報告, IN2005-162, 37~42 (2006-3)
- (5) 稲坂朋義, ほか: ユビキタスセンサネットワーク技術, 第50回システム制御情報学会研究発表講演会, 8F3-i, 47~50 (2006)
- (6) 平岡精一, ほか: ワイヤレスセンサネットワーク技術, 三菱電機技報, 79, No.7, 485~488 (2005)

# センサノードの低消費電力方式

A Method of Power Saving for Sensor Nodes

Hirohito Nishiyama, Yuichi Tokunaga, Yasutaka Takeda

## 要旨

近年、実空間上のセンシング情報を計算機に取り込み、機器の制御やシステムの運用を行うセンサネットワークの研究が盛んに行われており、環境モニタリング、セキュリティ、設備管理など様々な用途への応用が期待されている。センシング情報を供給するセンサノードは、設置が容易である必要上バッテリー動作が期待される。したがって、センサノードは低消費電力であることが極めて重要である。

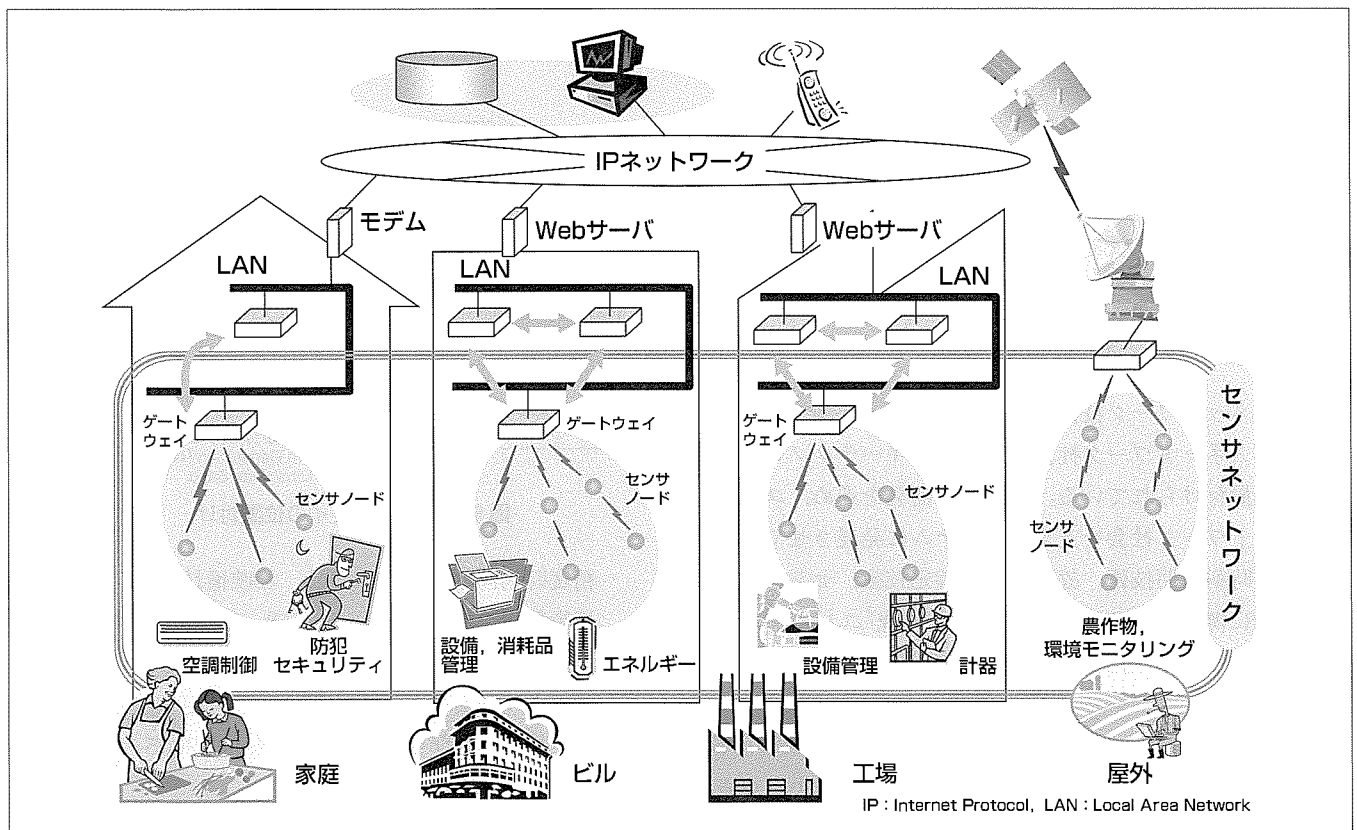
センサネットワークに利用されている無線通信プロトコルの標準規格であるZigBee<sup>(注1)</sup>では、ノードの低電力化のために、ノードをネットワークに間欠的に参入/離脱させる方法を提供しているが、不定期通信を扱うことができないという課題がある。

この課題を解決するために、本稿では、非常に小さな消

費電力で不定期通信を扱うことが可能な低消費電力技術“RF WakeUp方式”を提案する。RF WakeUp方式は、通信を行わない場合は非常に低電力なモードで動作させつつ、WakeUp信号と呼ぶ無線信号の出力と検出機能によりノードの通信機能を有効にし、LINK制御機能により通信機能の有効期間を最適に制御することで、非常に小さな消費電力で不定期通信を扱うことを可能にする。

試作機を用いた評価では、非通信時の平均消費電力はおおよそ689 $\mu$ Wと非常に良好な結果を得た。この値は、市販のアルカリ単三電池2本で1年間の連続運用が可能で値である。また、通信時の消費電力についても、1回の通信に要する消費電力量は7.39 $\mu$ W $\cdot$ hと良好な結果を得た。

(注1) ZigBeeは、Koninklijke Philips Electronics N.V.の登録商標である。



## センサネットワークシステム

実空間上にセンサを搭載した小型無線端末(=センサノード)を多数配置し、収集したセンシング情報を機器の制御やシステムの運用に活用する。環境モニタリング、セキュリティ、設備管理等への応用が期待される。通信プロトコルの標準規格として、ZigBeeがZigBee Allianceにより策定されている。

## 1. ま え が き

近年、実空間に多数のセンサを設置し、センシングデータやイベント情報を機器の制御やシステム運用に利用するセンサネットワークの研究が盛んであり、環境モニタリング、セキュリティ、設備管理など様々な用途への応用が期待されている。センシング情報を供給するセンサノードは、設置が容易である必要上、バッテリー動作が期待される。したがって、センサノードは低消費電力であることが極めて重要である。

そこで、本稿では、センサノードの低消費電力技術で特に不定期通信を扱った場合の消費電力を飛躍的に削減できる“RF WakeUp方式”について述べる。

## 2. センサノードの消費電力における課題

### 2.1 ZigBeeにおける低電力の現状と課題

センサネットワークに利用されている無線通信プロトコルの標準規格であるZigBee<sup>(1)</sup>では、低消費電力の要求にこたえるために、センサノード(以後、単にノードという。)はネットワークへ参入(JOIN)/離脱(LEAVE)ができる仕組みが提供されている。ノードは通信を行う場合のみJOINし、通信の必要がない場合はLEAVEすることで低電力化を図る。表1にノードの消費電力を示す。ノードは、JOINしている期間はACTIVEモードで動作し、LEAVEしている期間はSLEEPモードで動作する。

しかしながら、JOIN/LEAVEを用いた手法では、不定期に生じる通信要求を処理できないという課題がある。図1を用いて具体的に例を示す。①ノードCが、ノードB経由で不定期にイベント通知を行うケースでは、ノードCがJOINする時点でノードBもJOINしている必要がある。しかしながら、ノードBにはJOINするタイミングが与えられない。②ノードCからの不定期イベントを受けてノード

表1. ノード動作モードと消費電力

動作モード	モードの内容	消費電力
ACTIVE	ネットワークにJOINし、通信機能が有効な状態	約90mW
SLEEP	ネットワークからLEAVEし、通信機能が無効な状態	約300μW

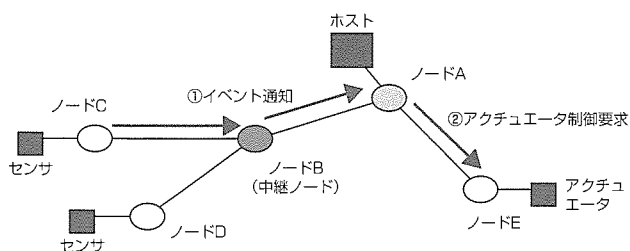


図1. バッテリー動作不可の例

AがノードEに対してアクチュエータを制御するためのパケットを送信するケースでは、やはり、ノードEにはJOINするタイミングが与えられない。これらJOINするタイミングが与えられないケースでは、常時JOINしている以外に方法がない。

このように不定期通信を扱うケースでは、ノードを常時ACTIVEモードに設定する必要があり常時90mW程度の電力を消費する。一般に最も普及している単三アルカリ電池を2本使用した場合のバッテリー容量は約6,000mW・hであり、バッテリーでの長期間運用は不可能である。

### 2.2 関連研究

不定期通信をバッテリーで扱えるようにするための研究として、S-MAC<sup>(2)</sup>や、これを改良した中村らによる間欠通信を考慮した同期制御手法<sup>(3)</sup>が提案されている。これらの手法は、いずれもACTIVEモードとSLEEPモードを繰り返すことで低電力化を図り、ACTIVEモードに設定する期間を同期することで通信を可能にしている。

中村らの手法では、ノードは常態ではACTIVE/SLEEP繰り返し動作をしており、ACTIVE期間だけ間欠的にパケット受信が可能である。この状態において、データ送信要求が生じたノードは、ACTIVE/SLEEPの一周期にわたってACTIVE期間より短い周期で断続的にSYNCパケットを送信する。一方で、ACTIVE期間にSYNCパケットを受信した受信側ノードは、SYNCパケットに含まれる送信側ノードがACTIVEになるタイミング情報に従ってACTIVEになるタイミングを調整することで、送受信ノード間を同期させる手法をとる(図2)。

消費電力を決定するのはACTIVE期間とSLEEP期間の比であり、ACTIVE期間がSLEEP期間に比して短時間であるほど低電力化される。ここで、ACTIVE期間を決定する必要条件は、“SYNCパケットを連続して2パケット送信するのに要する時間より大きい”ことである。CSMA(Carrier Sense Multiple Access)方式を採用する場合は、2パケットを連続送信するために要する時間は、ノイズ環境や他ノードの通信状況といった外部要因の影響を受ける。このため、ACTIVE期間は、ある程度のマージンを見込んで決定する必要があり、極端に短くすることができない

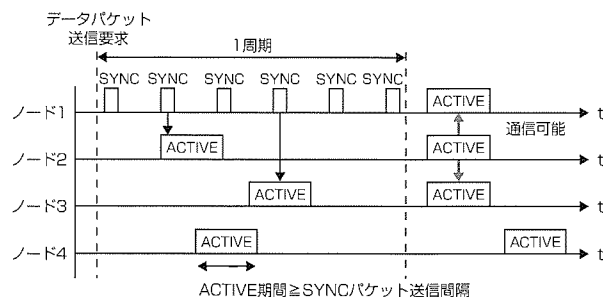


図2. 間欠動作の同期手法

課題がある。

### 3. RF WakeUp方式による低電力方式

#### 3.1 概要

この章では、非常に低電力で不定期通信を実現するRF WakeUp方式を提案する。

この方式では、ノードは通信を行わない状態では、RF WakeUpモードと呼ぶ非常に低電力なモードで動作する。通信を行う場合は、WakeUp信号の出力と検出処理により、ノードをACTIVEモードにする。これに加えて、通信にかかわるノード間でLINK制御を行うことで、ACTIVE動作期間を最小化して消費電力を抑える。

本稿では、データ通信のプロトコルにはZigBeeを利用することを前提として述べる。

#### 3.2 RF WakeUpモード

ノードは、通信を行わない状態ではRF WakeUpモードで動作する。RF WakeUpモードは、所定の周期で間欠的にWakeUp信号の検出処理を行う。検出処理時間は、WakeUp信号を検出しない場合は512 $\mu$ s(=128ビット長)である。それ以外の時間はSLEEP状態に設定される。

このモードの消費電力を決定するのは検出処理期間とSLEEP期間の比であり、検出処理期間がSLEEP期間に比して非常に短時間であるため、消費電力を非常に小さく抑えることが可能である。

#### 3.3 WakeUp信号の出力と検出

図3は、WakeUp信号の出力と検出動作の一連のシーケンスを示したものである。データ送信要求が生じたノードは、WakeUp信号と呼ぶ特別な信号を出力する。WakeUp信号はデータとしては意味を持たない一定の電波強度を持った無線信号であり、WakeUp信号の検出処理周期にZigBeeの最大フレーム長を加えた信号長を持つ。

RF WakeUpモードで動作しているノードは、WakeUp信号検出処理により、一定の電波強度を検出した場合は、検波強度が存在する期間継続して検出処理を行い、検出時間がZigBeeの最大フレーム長より大きい場合にWakeUp信号を検出したと判定し、自身をACTIVEモードに切り換える。

検出条件に検出時間がZigBeeの最大フレーム長より大きいことを加えることで、WakeUp信号と通信フレームを

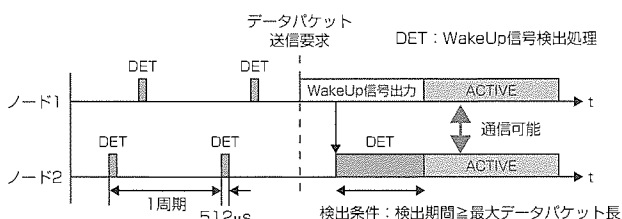


図3. WakeUp信号の出力と検出

区別することを可能にしている。また、受信電波強度の評価に当たっては、64 $\mu$ s(16ビット長)にわたる平均とヒステリシスを用いることで、ノイズによる誤検出対策を実施している。

#### 3.4 LINK制御

省電力化のためには、ノードをACTIVEモードに設定する期間を最小にすることが望ましい。そこで、通信経路上に存在するノードのACTIVE動作期間を最適に制御する目的でLINK制御を行う。

通信の発信元ノードからあて先ノードまでの通信経路をLINKと呼ぶ。LINKは、発信元(=Link Source)とあて先(=Link Destination)により特定されるIDを持ち、IDごとに個別に管理される。LINK制御はZigBeeのプロトコルスタックを用いたパケット通信により実現され、LINK確立、LINK切断、LINK維持の3つのシーケンスを持っている。

##### (1) LINK確立

図4(a)に示すノードAがLink Source、ノードCがLink DestinationであるLINK[A→C]を確立をする場合について述べる。まず、ノードAはノードCに対する次ホップノードであるノードBにLinkUpパケットを送信する。LinkUpパケットには、制御対象のLINKを特定するID情報が付加されている。次に、LinkUpパケットを受信したノードBは、LINKのID情報から自身の次ホップノード、すなわちノードCにLinkUpパケットを送信する。最後に、Link DestinationであるノードCは、Link SourceであるノードAに対してLinkUpConfirmパケットを送信する。Link SourceであるノードAは、これを受信することでLINK確立を認識しアプリケーションレベルの通信を開始する。

なお、LinkUpパケットを送信する際に、次ホップノードがACTIVEでない場合に、3.3節に述べたWakeUp信号の出力を行う。また、WakeUp信号を検出していったんACTIVEモードになったもののLinkUpパケットを受信しなかったノードは、所定時間経過後に自律的にRF WakeUpモードに戻る(図4(a)のノードDの例)。

##### (2) LINK切断

図4(b)に示すLINK[A→C]を切断する場合について述べる。まず、ノードAはノードCに対する次ホップノードであるノードBにLinkDownパケットを送信しLINK[A→C]

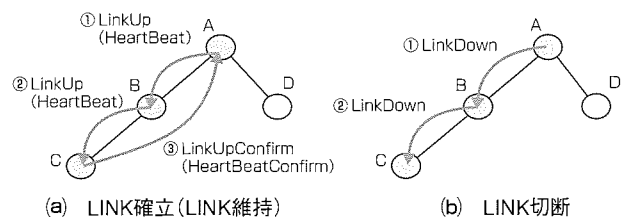


図4. LINK制御パケットシーケンス

が切断されたと認識する。同様に、LinkDownパケットを受け取ったノードBは、ノードCにLinkDownパケットを送信しLINK[A→C]が切断されたと認識する。最後に、ノードCは、ノードBからLinkDownパケットを受信した時点でLINK[A→C]が切断されたことを認識する。LINK切断を認識した各ノードは、自身が関係する確立されたLINKが、他にない場合にRF WakeUpモードに戻る。

(3) LINK維持(ハートビート)

アプリケーションによる長時間にわたる通信経路の維持や通信経路上の故障等のためにLINK切断処理ができなくなった場合のために、ハートビート機能を備える。各ノードは、HeartBeat/HeartBeatConfirmパケットを一定期間以内に受信している間はLINKを維持し、受信しなくなった場合は自動的にLINK切断と認識する。ハートビートのためのパケットシーケンスは、LinkUp/LinkUpConfirmに準じる。

4. 評価

この章では、試作したZigBeeノードにRF WakeUp方式を適用して消費電力を測定した結果について述べる。

4.1 RF WakeUpモード電力

WakeUp信号の検出周期を変更した場合のRF WakeUpモードでの平均消費電力の測定結果を図5に示す。測定値はほぼ直線上にプロットされており、RF WakeUpモードの消費電力はおそよ以下の式で与えられると言える。

$$P=0.153 \times n + 0.252 [\text{mW}]$$

P: 平均消費電力, n: 1秒当たりの検波処理回数

4.2 通信電力

1対1のネットワーク構成において、1パケットのアプリケーション通信を行った場合の消費電力量について測定を行った。この結果、WakeUp信号を検出するための電力量とLINK管理及びアプリケーション通信のための電力量の総計は7.39μW・hであった。オシロスコープの波形を図6に示す。

4.3 評価結果

RF WakeUpモードの消費電力に関しては、アルカリ単三電池2本の電池寿命に換算すると、検波周期350msの場合に約1年間である。今後期待できるハードウェアの低電力化や電池の大容量化を合わせて考えると年単位の連続動作に見込みが立ったと言える。

また、1回当たりの通信に要する電力も7.39μW・hと非常に小さく、ある程度通信量の多いシステムにも利用可能な方式となっていると考える。

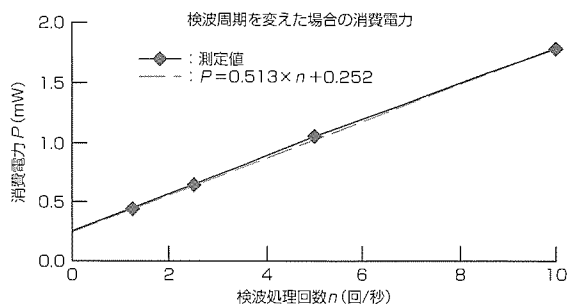


図5. RF WakeUpモード消費電力測定結果

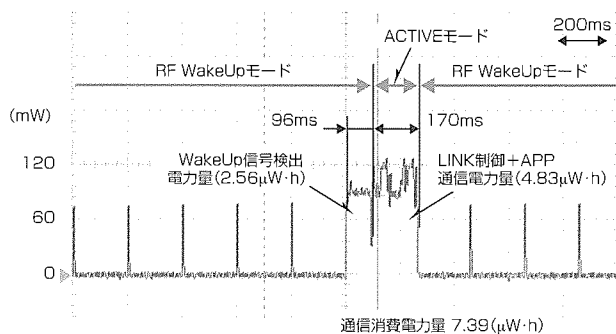


図6. 消費電力測定結果(電力波形)

5. むすび

センサノードの低消費電力技術として、従来バッテリー駆動では実現できなかった不定期通信を扱うことを可能にするRF WakeUp方式について述べた。

さらに、この方式を試作機に実装し実際の消費電力を測定した結果について示した。その結果、この方式は数年間のバッテリー寿命を実現し得ることが分かった。

センサネットワークシステムにおいて、不定期通信を扱えるようにすることは、システムの適用範囲を大きく拡大できる点で意義がある。今後は、バッテリーの小型化や自律発電を用いた給電の実現を目標に、更なる低電力化を目指す予定である。

参考文献

- (1) ZigBee Alliance : ZigBee Document 02130r10 Network Specification Revision1.0
- (2) Ye, W., et al. : An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks, Proc. of the IEEE Infocom, 1567~1576 (2002)
- (3) 中村新治, ほか : センサーネットワークにおける間欠通信を考慮した同期制御に関する一検討, 電子情報通信学会技術研究報告, NS2005-211, 213~216 (2006)

# ミリ波帯通信技術とその応用システム

Communication Technologies on Millimeter Wave and Its Application Systems

Takahisa Yamauchi, Masashi Kawanami, Yasuhiko Miyamae

## 要旨

近年の情報化の急激な進展に伴って、電波の需要も著しく増大してきた。特に携帯電話や無線LAN等の普及によって、マイクロ波帯までの周波数資源は大変逼迫(ひっばく)した状況となっている。

貴重な周波数資源を有効利用する方法として、高効率な変復調技術や情報の圧縮符号化技術など、数々の方式が開発されてきた。

しかし、無線通信における多様化するニーズや大容量化の潮流は時とともにますます加速しており、新たな周波数帯の開拓と実用化が必要不可欠な社会情勢となっている。

その開拓への期待を担う注目すべき周波数帯として、ミリ波帯(30~300GHz)が挙げられる。

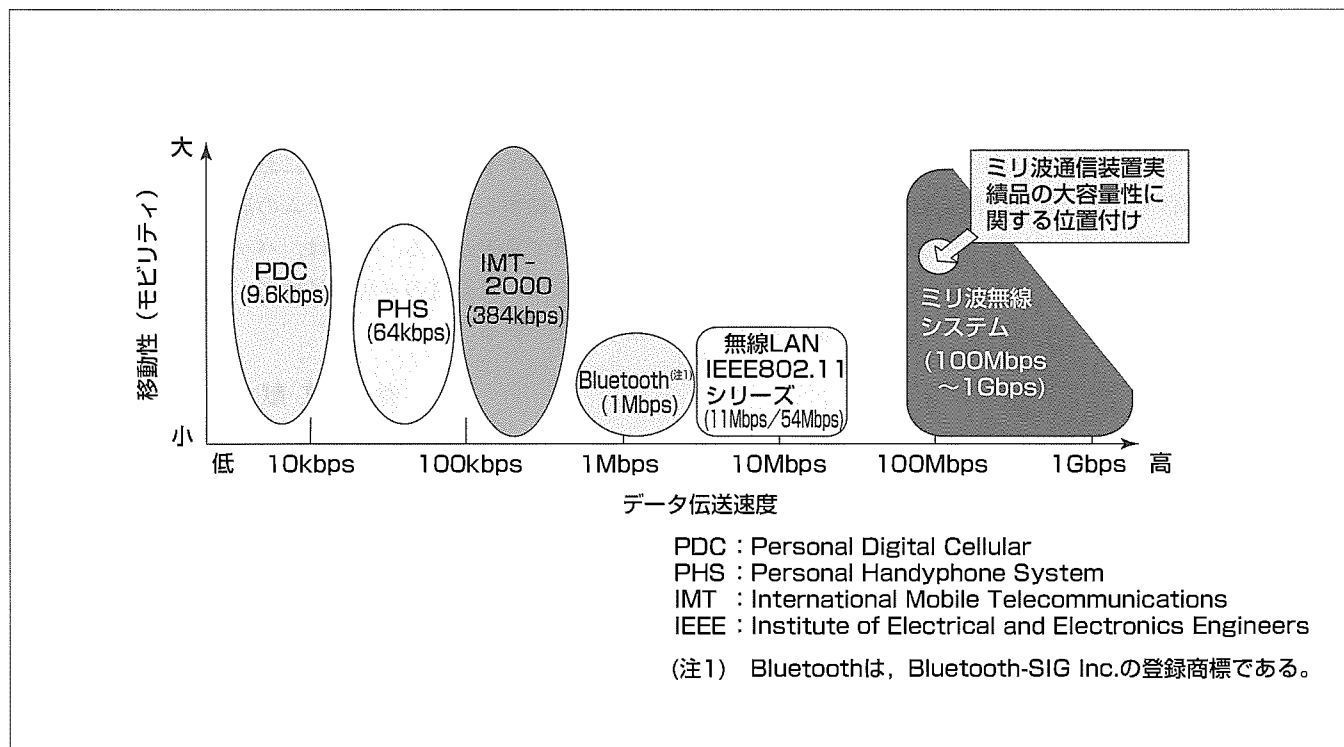
三菱電機は、無線通信におけるミリ波帯開拓の必要性に早くから着目し、社会に貢献できる製品開発を目指して継続的に研究を進めてきた。現在も、ミリ波帯の基盤技術か

らシステム応用技術まで、研究所部門と製作所部門との連携で積極的に進めている。

ミリ波通信システムの開発コンセプトとしては、ミリ波帯の電波が保有する特徴を実際に利用される応用システム上の実用的効果としていかに活用すべきかということを中心に進めてきた。

そこで、本稿では、まずミリ波帯の電波が保有する基本的特徴を整理する。次に、その特徴が応用システムの運用メリットにどのようにつながるのかを明確化する。そして、その成果として、実際に利用されている製品システム事例を示す。

それによって、幅広い方面から意見や要望、さらには開発方向性に関する貴重な示唆を得ながら、ミリ波帯という新しい周波数帯の開拓を積極的に行い、社会に貢献できる製品開発を進めていきたいと希望するものである。



## ミリ波無線システム

ミリ波帯(30~300GHz)の広帯域特性から超高速(100Mbps以上の情報伝送速度)アクセスシステムを実現する上で有効な周波数帯と考えられ、幾つかのアクセスシステムが標準化、さらには、実用化されている。大容量のコンテンツをストレスなく扱うことのできるブロードバンド化を図る上でキャリア周波数として適しており、WMAN(Wireless Metropolitan Area Network)、WLAN(Wireless Local Area Network)及びWPAN(Wireless Personal Area Network)のいずれの領域においても数百Mbpsから数Gbpsが伝送可能なシステム提案が行われている。



## 1. ま え が き

他の周波数帯(主としてマイクロ波帯までを指す)との比較において、ミリ波帯の電波が保有する特徴を下記に示す。ここでは、システム応用につながる特徴を主眼に示しており、ミリ波の全特徴を網羅している訳ではない。

### (1) 大容量通信特性

ミリ波の最大の特徴でありメリットである。利用可能な周波数帯が広帯域に確保されており、各種デジタル変復調との整合性も高い。そのため、大容量通信技術に適した周波数帯である。代表的な無線システムの事例とともに、ミリ波通信システムのデータ伝送速度と移動性に関する概略的な位置付けを要旨の図に示す。

### (2) 小型化特性

周波数が高く波長が短いため、アンテナや電子部品は小型化が可能である。

### (3) 高指向特性

周波数が高いためミリ波の伝搬特性は直進性が強くアンテナビームは高い指向性を持っている。

### (4) 耐干渉特性

周波数が高いため電波伝搬は高減衰特性を示し、隣接通信システム間の電波干渉が少ない。

### (5) 距離測定への適合性

電波伝搬の直進性を活用してミリ波無線装置間の距離を正確に測定しやすい。

以下の章では、上記のミリ波帯の電波が持つ技術的な特長を生かした応用システムについて述べる。

## 2. 大容量通信特性のシステム応用

ミリ波通信の大容量通信特性を応用したシステムで、既に実用化されている事例としては、鉄道分野におけるワンマン運転用のホーム画像伝送システムやコンテンツ伝送システム等がある。

### 2.1 ミリ波ホーム監視画像伝送システム

ホーム画像伝送システムでは、ミリ波で伝送する情報は、電車の運転士の方がドアを開閉操作する際、安全確認のため用いる複数チャンネル分のホーム監視映像情報である。

ミリ波の大容量通信特性を活用することで視認性に優れた複数の映像情報を提供可能であり、システム運用面での効果としては、乗客乗降時の安全性確認を重視したシステムとして多くの路線で採用されている。

さらに、ミリ波を用いたこのシステムの場合、後述するようにアンテナ指向性を高めて電波干渉を防止するとともに、乗客の安全監視にかかわるため免許波を採用している。これにより、電波干渉障害リスクに対する対策を十分に強化し、実際に安定したシステム運用を実現している。図1にこのシステムの運用イメージを示す。

図2に標準モデルの外観写真と基本仕様を示す。

### 2.2 ミリ波コンテンツ伝送システム

最近急速に普及しつつあるコンテンツ伝送システムにおいて、ミリ波で伝送する情報は、電車の車両内ディスプレイ装置で表示する広告やニュース等のコンテンツ情報である。

ミリ波の大容量通信特性を活用することで、動画映像付きの最新ニュースや広告という大容量なコンテンツ情報を瞬時に自動更新することが可能となる。システム運用面での効果としては、文字ニュースや静止画広告と比較して、臨場感にあふれた映像表示で広告としての伝達効果を高めるとともに、車両内の乗客に対して快適な乗車空間を提供する上でも貢献しており利用が広がりつつあるシステムである。

図3に標準モデルの運用イメージ、装置外観、基本仕様を示す。

## 3. 小型化のシステム応用

ミリ波の特徴として小型化があるが、上述したミリ波装置ではアンテナを小型化することで筐体(きょうたい)に内蔵しており、地下鉄等のトンネル壁面やホーム柵と車両との間などの大変狭い空間においても装置設置を可能としており、システム運用面でのメリットにミリ波の特徴を生かしている。

ミリ波アンテナとしては通常はホーンアンテナが利用される場合が多いが、当社では、薄型平面アンテナも開発し、

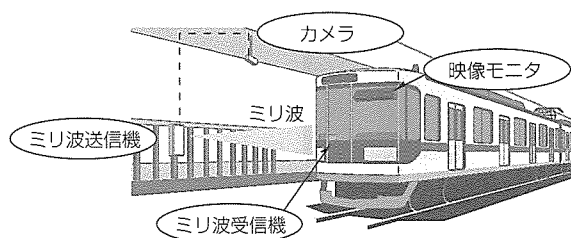
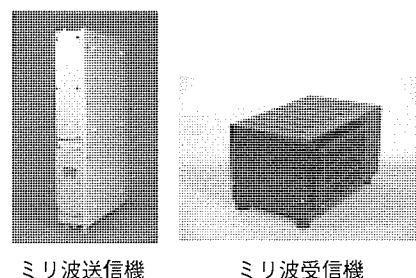


図1. ホーム画像伝送システム運用イメージ



ミリ波送信機

ミリ波受信機

- ◇使用周波数 : 44GHz帯(免許波)
- ◇伝送チャンネル: 4チャンネル同時伝送
- ◇伝送エリア : ホーム停車位置近傍エリア
- ◇伝送映像信号: NTSCカラー信号

NTSC: National Television System Committee

図2. ホーム画像伝送システム装置の外観・仕様

装置の設置条件が極めて厳しい場所等において積極的に活用している。

図4に平面アンテナの事例を示す。仮にミリ波帯ではなく2.4GHz帯や5GHz帯の汎用無線LANの周波数で同等のアンテナビーム幅と利得を実現しようとすると、サイズの格段に大きなアンテナとなり、狭い場所への設置は難しくなる傾向がある。

#### 4. 高指向特性のシステム応用

ミリ波通信の高指向特性を応用したシステムとして既に実用化されている他の事例としては、エレベーターの籠(かご)内監視カメラ画像を監視室側へミリ波電波で伝送するシステムの事例がある(図5)。

通常、エレベーターの場合は、籠の移動経路は周囲を鉄筋コンクリートや鉄骨等で囲われている場合が多く、移動体無線通信条件としては電波が四方の壁やロープで複雑に反射するためマルチパスが発生し、籠が移動するにつれて激しいフェージング状態(受信電力が落ち込む状態)を引き起こし安定した無線通信が難しい。しかし、ミリ波の高指向特性を活用し極めて鋭い指向性ビームアンテナを採用することで、約100mまでのエレベーターでも安定したミリ波無線通信が可能となる。

システム運用面での効果として、エレベーター籠内のカメラ監視ニーズ等が発生した際、既設ケーブルの変更や新規のケーブル追加を行わずに所要機能を実現できる点がある。

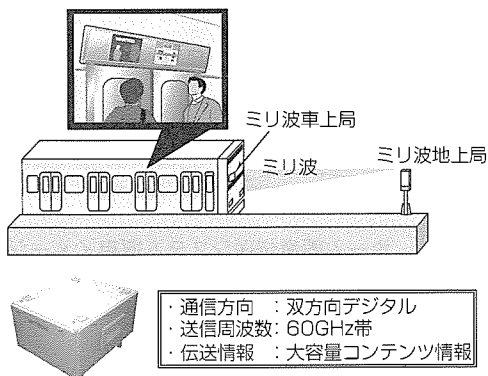


図3. コンテンツ伝送システム運用のイメージ・装置外観・仕様

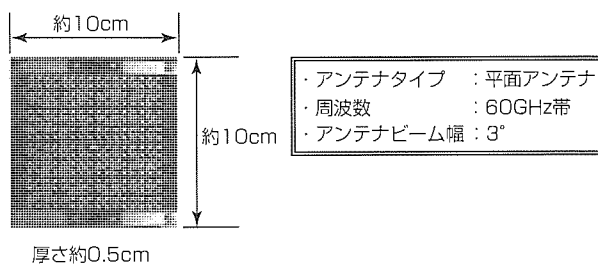


図4. ミリ波平面アンテナの外観・仕様

#### 5. 耐干渉特性のシステム応用

ミリ波通信の耐干渉特性を実現する技術的な方法としては2つある。1つは、上述のようにアンテナ指向性を鋭くして不要エリアへの電力放射を防止する方法であり、もう1つはミリ波帯の電波が持つ高い伝搬減衰特性により通信が必要なエリア以外への電力放射を抑える方法である。

一般にミリ波帯の周波数としては、30GHz以上であり、波長的には1cm以下(：ミリメートル単位)の電波を示すが、その中でも特に60GHz帯は酸素(O<sub>2</sub>)に吸収されやすく、減衰係数は約16dB/kmとなることが報告されている<sup>(1)</sup>。したがって、60GHz帯のミリ波周波数は、必要エリア以外への電力放射を同じミリ波帯の電波の中でも最も強く抑えることが可能なため、無線干渉に強く無線傍受行為等に対してもセキュリティ性の高い通信が可能となる。

#### 6. 距離測定システムのシステム応用

ミリ波通信の距離測定特性を応用したシステムとして既に実用化されている事例には、ミリ波衝突防止レーダがある。本稿のテーマは、ミリ波通信なので、通信を用いた距離測定システムについて述べる。

ミリ波の特徴として直進性に優れており、対向した無線機間の直線距離を測定する上で優位性がある。

通信を用いて無線機間の距離を測定する原理としては、一般的に、通信パケットを無線機間で送受信して、パケットデータを送出してから戻ってくるまでの往復時間(Time of Arrival: TOA)を無線機間の距離に換算して求める方法が知られている(図6)。

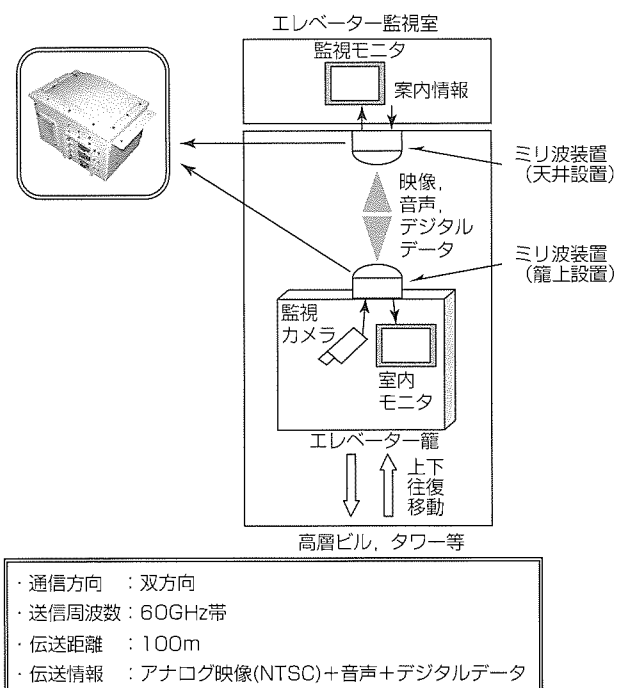


図5. エレベーターへのミリ波通信システム適用事例

当社は、この原理を応用して通信機能と距離測定機能を同時ハイブリッドで実現できるミリ波システムを開発した。このシステムを用いると両方のミリ波無線機が相互に通信を行いながら両者間の距離を正確にリアルタイムで測定できるため、様々な応用システムへの利用が可能となる。

開発した装置内部の信号処理部には、高精度な距離分解能を持つハードウェア回路と距離計算アルゴリズムソフトウェアが搭載されており、高精度な距離測定性能を実現している。

実機を用いたフィールド試験として、2台のミリ波通信装置をアンテナビーム角度の範囲内で見通し条件を維持しつつ相互移動させながらリアルタイムに距離を測定した。

その場合の誤差としては、標準偏差として15cm以下で両無線装置間の距離測定が可能であった(両者間距離100m以内)。

図7に、上記試験において両方の無線装置が45m離れた時点における測定事例を示しており、測定誤差の標準偏差は3.2cmという高精度な性能が実現できている。

この装置は、今後様々な分野で応用システムとして利用可能と考えられるが、移動体(車両等)間で通信機能を用いて情報を共有しつつ、かつ、移動体(車両等)間の距離を高精度でリアルタイムに相互把握できることから、鉄道分野やエレベーター分野等での制御システムにおける安全補助システム等において効果を発揮できるものと考えられる。

### 7. 標準化の動向

現在、ミリ波帯の中でも60GHz帯の周波数を想定したARIB(Association of Radio Industries and Businesses)規格には、ミリ波無線LANとしての利用を想定したSTD-T74「特定省電力無線局ミリ波データ伝送用無線設備(超高速無線LANシステム)標準規格」、及び映像信号伝送システムに特化したSTD-T69「特定省電力無線局ミリ波画像伝送用無線設備標準規格」等がある。また、今後広く一般向けにミリ波が普及するシステムを想定し、高速データ伝送サービスを行うミリ波パーソナルエリア通信システムの国内標準を策定するミリ波WPAN WGが2005年8月にMMAC(Multimedia Mobile Access Communication Systems)フォーラム内に設置された。また、海外でも、IEEE802.15.3cにおいて、非圧縮の高精細ビデオストリーミング、アドホック通信及びギガビットイーサネット等、パーソナルエリア通信システムのアプリケーションをターゲットとし、2Gbps以上の伝送速度を達成する物理レイヤに関する標準化が進められている(2008年1月完了予定)状況である。

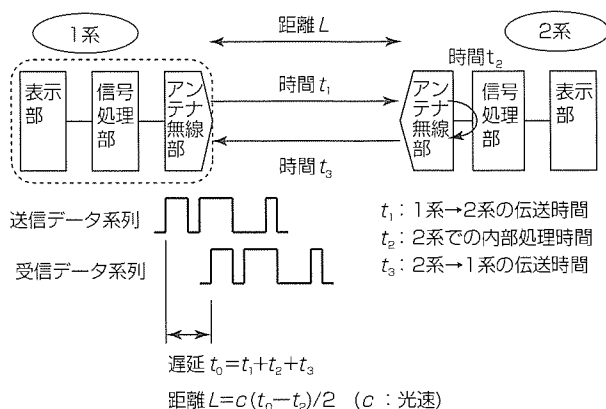


図6. ミリ波通信による距離測定の原理

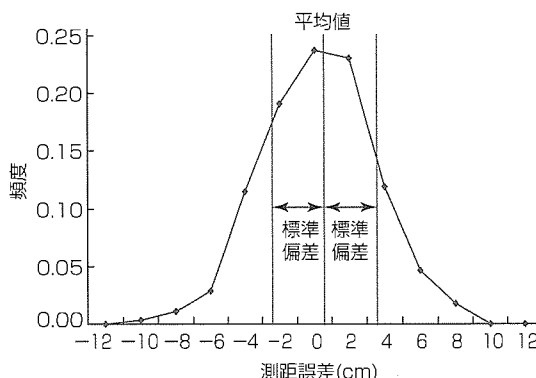


図7. ミリ波通信による距離測定結果

### 8. 今後の技術課題

標準化動向でも明らかのように、無線通信における大容量化へのニーズはますます高まり、通信の更なる高速大容量化が望まれる。今後、1Gbps超の無線通信の実用化と普及を目指すためには、より周波数利用効率の高い無線方式及び多値化といった信号処理のみならず、高伝送効率を実現するMAC(Medium Access Control)プロトコル等の開発が必要になると考えられる。

### 9. むすび

本稿では、ミリ波帯の電波が保有する技術的特長を実際のシステム応用面での効果につなげている実用システム事例について述べた。ミリ波帯を利用したシステム開発と実用化は今後ますます盛んになると予想される。当社としても、豊富な可能性を持つミリ波帯電波の様々な特徴を存分に生かして社会に貢献できる通信システムを開発していく所存である。

### 参考文献

- (1) 細谷良雄(監)：電波伝搬ハンドブック，リアライズ社，第10章 (1999)

# Ultra Wide Band

平井博昭\*  
Jinyun Zhang\*\*

Ultra Wide Band

Hiroaki Hirai, Jinyun Zhang

## 要旨

通信距離や伝送速度に応じた様々な無線アクセス技術が標準化されている中、近距離・大容量無線通信方式の代表としてUltra Wide Band(UWB)がある。UWBは、既存無線システムと使用周波数帯域を共存させる超広帯域無線方式のため、既存無線システムへの干渉を抑圧するために送信出力を低くする必要があり、通信距離が10m程度の近距離通信に特化したシステムである。

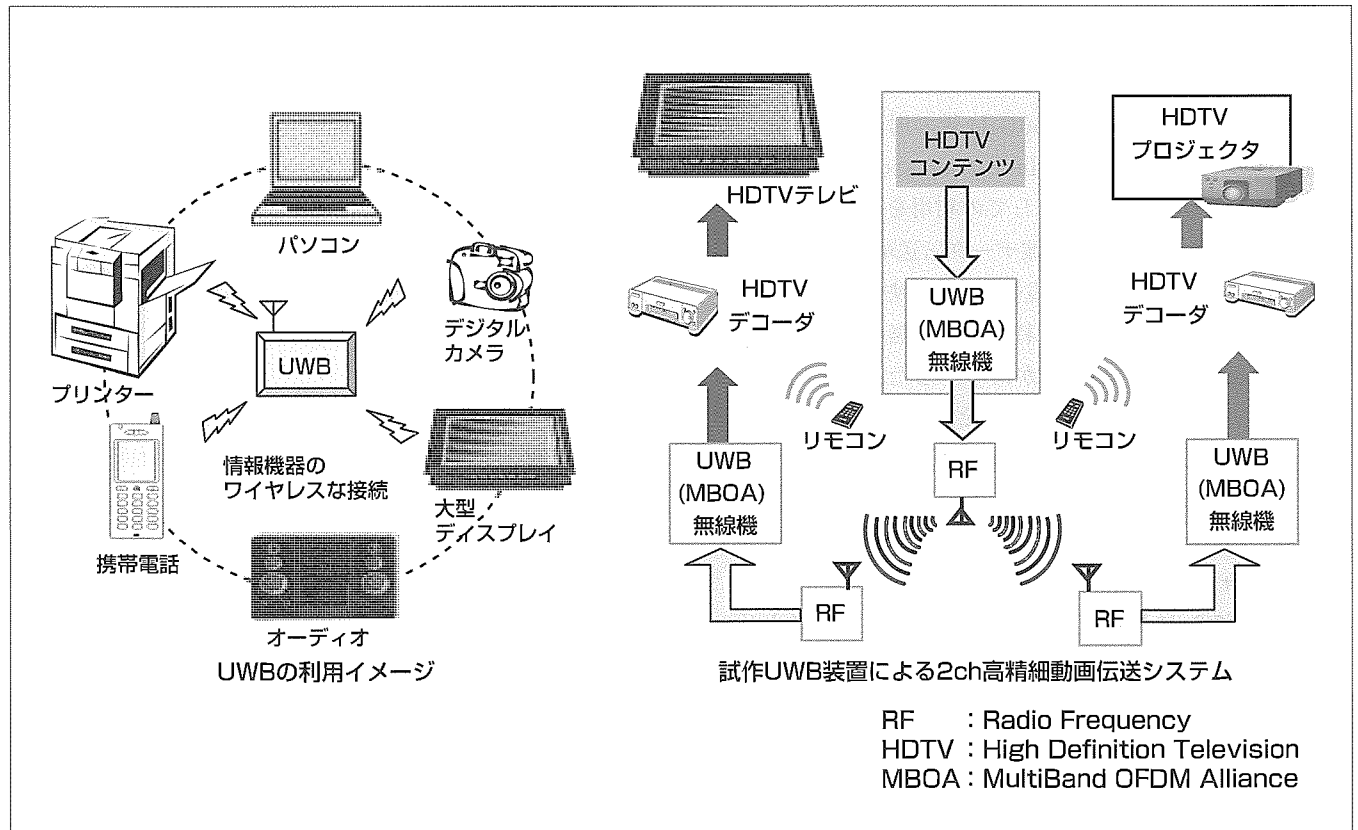
UWBの変調方式として、最大480Mbps伝送が可能なMB-OFDM(MultiBand Orthogonal Frequency Division Multiplexing)方式が提案されており、大容量データ、高精細画像/動画データなど、様々な情報機器との無線接続方式として期待されている。三菱電機は、MB-OFDM方式に関して、標準化活動、技術開発に加えて、試作MB-OFDM装置を用いた動画伝送システムによる有効性を実

証してきた。

本稿では、以下の内容について述べる。

- (1) UWB (MB-OFDM) 方式の特徴
- (2) IEEE802.15.3a標準化活動における技術標準化に提案した“Symbol Spreading Multi-band OFDM技術”の概要と効果
- (3) 開発した試作装置と有効性を実証した高精細動画伝送システムの概要
- (4) 受信感度向上に向けた復調処理技術

UWBは、年々増加する情報通信量や様々なアプリケーションに対して、無線接続することでストレスなく利用できる可能性を持っている。今後も、要素技術開発、アプリケーション技術開発を通じて、様々な分野への展開を進めていく予定である。



## Ultra Wide Band(UWB)

超広帯域を利用する無線通信技術で、米連邦通信委員会(FCC)の定義では、10dB比帯域幅が中心周波数の20%以上、又は500MHz以上の帯域幅を使用する無線通信とされている。既存無線システムと周波数帯を共存して使うため、送信信号電力を小さく抑え、混信を避ける必要がある。最大数百Mbpsの近距離無線伝送が可能であり、今後、情報機器間通信技術として展開が期待される。

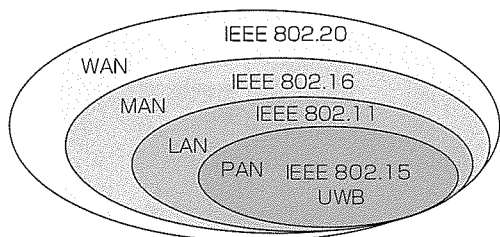
## 1. ま え が き

超広帯域・低送信電力で数百Mbpsの無線伝送が可能なUWBは、パソコン周辺機器間伝送や大型ディスプレイへの動画伝送など、大容量・短距離情報機器間無線通信技術として注目を集めている。本稿では、UWBの特徴、及び標準化における当社取り組み、UWBを応用した例として開発したHDTVの2ch動画伝送システムについて述べる。

## 2. UWBの特徴とMB-OFDM方式<sup>(1)</sup>

UWBは3.1~10.6GHz帯域で規定されているが、この周波数帯は既に複数の他の無線システムに割り当てられているため、他のシステムとの共存というアプローチが必要である。このため、既存ユーザーに対する干渉を抑えるため送信電力密度を他の無線システムと比較して非常に小さくしている。そのため、通信範囲は、3~10m程度の近距離となっている。

図1は、IEEE802標準化における各委員会の位置付けを示したもので、楕円(だえん)が大きいほど通信距離が大きいことを示しており、WAN(Wide Area Network), MAN(Metropolitan Area Network), LAN(Local Area Network), PAN(Private Area Network)と大別されている。この中で、UWBは最も小さい円のPANに属している。また、図2は国内におけるUWBの送信スペクトルマスク



IEEE : The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

図1. IEEE802標準化の各委員会位置付け

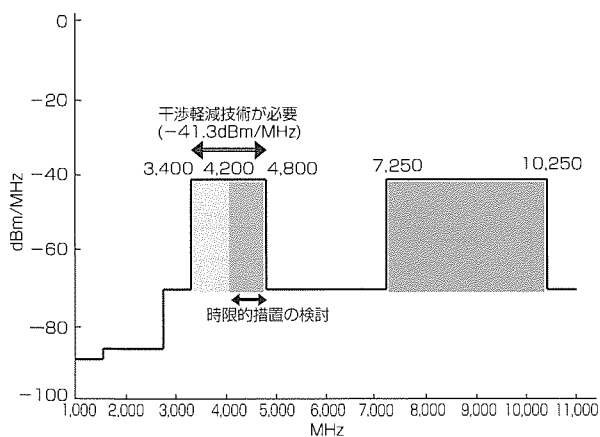


図2. 国内UWB送信スペクトルマスク  
(出典: [http://www.soumu.go.jp/s-news/2006/pdf/060202\\_2\\_1.pdf](http://www.soumu.go.jp/s-news/2006/pdf/060202_2_1.pdf))

であり、送信できる電力は、 $-41.25 \sim -70 \text{ dBm/MHz}$ と非常に小さく抑えられ、薄く(電力密度)広く(帯域)を実現する必要がある。

IEEE802.15.3aでは、高速伝送UWB標準規格候補として、MB-OFDM(MultiBand Orthogonal Frequency Division Multiplexing)方式とDS-UWB(Direct Sequence UWB)方式の2方式が提案されてきたが一本化できず、2006年1月に解散が決まった。この中でMB-OFDM方式は、WiMedia Allianceで、Wireless USB(Universal Serial Bus)標準化などが進められている。

MB-OFDM方式は、図3のように、528MHzをバンドの単位としてUWB帯域全体(3.1~10.6GHz)を14個のバンドに分割する。このように細かい周波数単位に分割するため、図2のような複雑な周波数マスクへの対応も容易である。

また、528MHzバンドの送信帯域をシンボルごとに高速ホッピングすることにより、対干渉対策の強化、送信電力の増大化を図ることを可能にしている(図4)。また、MB-OFDMは、伝搬環境などにより、送信速度を適応的に制御する方式が採用されている。表1に送信速度と各パラメータを示す。

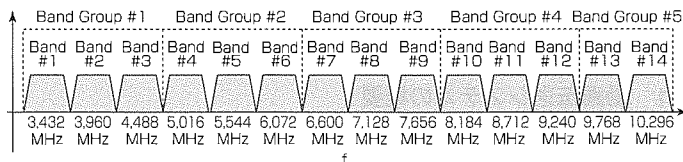


図3 MB-OFDM方式バンド割当て

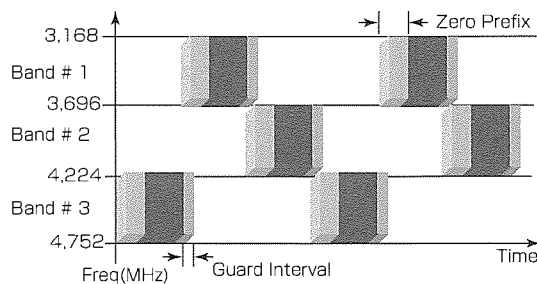


図4. ホッピングを含むシンボル送信方法

表1. 通信速度と各送信パラメータ

Data Rate (Mbps)	Modulation	Coding Rate (R)	FDS	TDS
53.3	QPSK	1/3	YES	YES
80	QPSK	1/2	YES	YES
106.7	QPSK	1/3	NO	YES
160	QPSK	1/2	NO	YES
200	QPSK	5/8	NO	YES
320	DCM	1/2	NO	NO
400	DCM	5/8	NO	NO
480	DCM	3/4	NO	NO

FDS : Frequency Domain Spreading  
TDS : Time Domain Spreading

### 3. 標準化活動<sup>(1)</sup>

当社は、米国研究所(MERL)を中心にIEEE802.15.3a標準化活動に発足当初から参画し、MB-OFDM方式を中心に積極的な提案活動を実施してきた。その結果、“Symbol Spreading MultiBand OFDM”技術を提案し、標準化に貢献できた。上記技術は、DCM(Dual Carrier Modulation)と呼ばれ、表1に示す高ビットレート(320Mbps以上)で適用される。通常QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)変調では2ビットの情報をOFDMの1サブキャリアにマッピングするのに対し、DCMでは、4ビットの情報をグルーピングされた離れた2本のサブキャリアにペアでマッピングする。サブキャリアグルーピングの様子、マッピングの例を図5、表2に示す。

高ビットレート時はFDS, TDSによるダイバーシティ効果がないため受信性能が大きく劣化してしまうが、DCMの場合、200MHz以上離れた2サブキャリアを関連付けることで、ダイバーシティ効果により、劣化を約1.5dB程度に抑圧できる。

### 4. 高精細動画伝送システム

UWB(MB-OFDM)送受信機を試作し、アプリケーションとして高精細動画伝送システムを構築し、UWBの有効性を実証した。このシステムは、米国CES2005(Consumer Electronics Show 2005)で動態展示を行った。

#### 4.1 動画伝送システムの概要

図6に展示風景、表3にシステム仕様を示す。システム

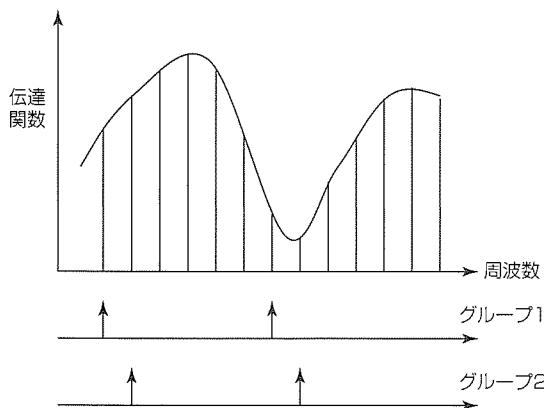


図5. DCMサブキャリアグルーピング

表2. DCMマッピング法則

Input Bit	d(k) I ch	d(k) Q ch	d(k+50) I ch	d(k+50) Q ch
0000	-3	-3	1	1
0001	-3	-1	1	-3
0010	-3	-1	1	3
...	...	...	...	...
1111	3	3	-1	-1

d(k) : k番目のサブキャリア

は、1台のコンテンツサーバ(送信機)と2台のクライアント(受信機)から構成されている。各クライアントは、リモコン操作により受信したいコンテンツを選択する。コンテンツサーバは、高精細なHDTV動画コンテンツを2チャンネル(約20Mbps×2ch)多重化して1つのUWB無線機から送信している。各クライアント側では、UWB無線機で受信した信号を復調・復号処理を行った後、自分あてのコンテンツのみを選択し、ディスプレイやプロジェクトに映している。デモでは、送受間アンテナ約3mの距離、-42dBm/MHz以下の小さな送信電力で高精細動画を2チャンネル伝送することができた。

#### 4.2 UWB試作装置

UWB試作装置の構成を図7に示す。試作装置は、アンテナ部、RF部、ベースバンド処理部から構成される。図8に、アンテナ(装着台含む)を示す。表3記載の周波数帯において、利得が4.5dBi以上と良好な特性を示している。RF部は、3つのPLL(Phase Locked Loop)と高速スイッチにより、MB-OFDM方式の高速ホッピング処理を実現している(スイッチ応答4.7ns以下)。図9は、試作装置の受信スペクトルであり、3つのバンドをホッピングしているのがわかる。

ベースバンド処理部は、市販の汎用FPGA(Field Pro-

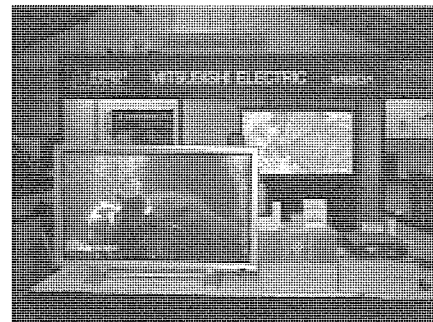
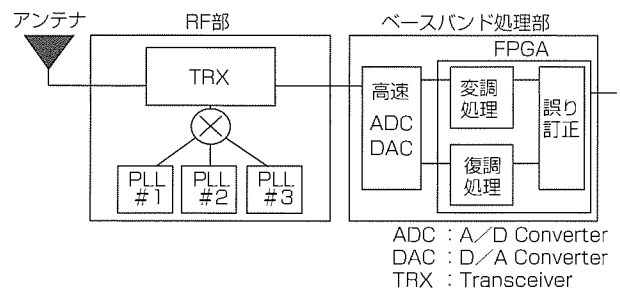


図6. CES2005における動画伝送

表3. 高精細動画伝送システム仕様

送信周波数	3.168~4.752GHz
占有帯域幅	1.584GHz(3Band合計)
サンプリング周波数	528MHz(Band幅)
無線方式	MB-OFDM UWB
無線物理伝送速度	106.7Mbps
動画伝送速度	約40Mbps(約20Mbps×2ch)



ADC : A/D Converter  
DAC : D/A Converter  
TRX : Transceiver

図7. UWB試作装置の構成



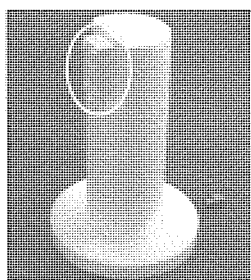


図8. アンテナ

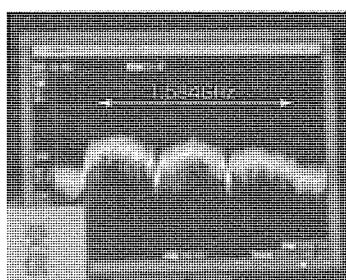


図9. 受信スペクトル

programmable Gate Array) 基板で構成した。528MHzの高速サンプリングによるAD/DA変換処理でRF部と接続し、OFDMベースの変復調/誤り訂正処理をFPGAで実現している。

### 4.3 受信感度向上化技術<sup>(2)(3)</sup>

MB-OFDM UWBの受信性能向上のため、復調処理部に下記技術を開発し適用している。

#### (1) 耐マルチパスタイミング同期

MB-OFDMは、OFDM変復調技術を基本にしているため、受信側でFFT(Fast Fourier Transform)処理を行うタイミング設定が重要である。特に遅延波が存在する伝送路の場合、設定するタイミングが理想からずれると、ISI(Inter-Symbol Interference)やICI(Inter-Channel Interference)が生じ、誤り率特性を大きく劣化させる。今回のタイミング同期では、遅延波伝送路でも良好な動作をする“相互相関処理”を改良した方式を採用し、MB-OFDMのフレーム構成に適合させた。その結果を図10に示す。図から、自己相関処理に比べて良好で、理想タイミング時とほぼ同じ特性が得られている。

#### (2) 高精度周波数同期

MB-OFDMの仕様では、復調部は最大±40ppmの送受間周波数偏差、また-80.8dBm(53.3Mbps時)の低S/N(Signal to Noise)環境での動作が要求される。今回、低C/N(Carrier to Noise)環境で良好な周波数同期性能を実現するため、搬送波周波数偏差情報をサンプリング周波数偏差情報として使用・補正する方式を採用した。その結果を図11に示す。図から、実装方式は、低C/N環境下でも良好な性能を示すことが分かる。

## 5. む す び

大容量・近距離無線UWBについて、MB-OFDM方式を

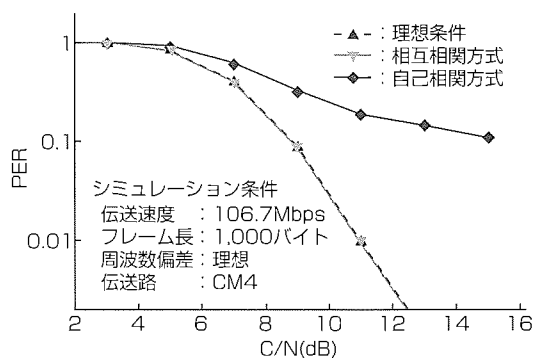
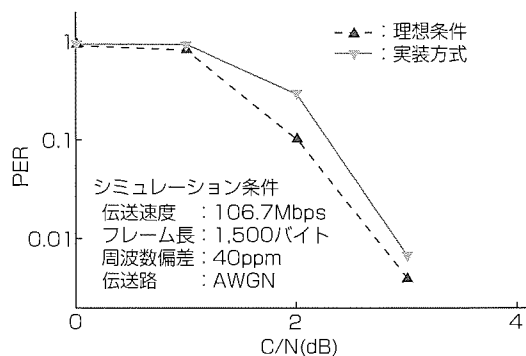


図10. 耐マルチパス環境タイミング同期特性



AWGN : Additive White Gaussian Noise

図11. 高精度周波数同期特性

中心にした特徴と、開発したUWB試作装置を用いた高精細動画伝送システムの概要について述べた。UWBは、“周波数共存”をアプローチとするため各国の周波数送信電力規制の問題を解決していく必要があるが、大容量・低送信電力の特徴を持つため、様々なアプリケーション分野での展開が期待される。

## 参考文献

- (1) MULTIBAND OFDM PHYSICAL LAYER SPECIFICATION, Rel1.1 (2005-7)
- (2) 平 明德, ほか: 周波数選択性フェージング環境におけるOFDM通信システムのタイミング同期方式, 電子情報通信学会論文誌(B), J84-B, No.7, 1255~1264 (2001-7)
- (3) 平井博昭, ほか: MBOA-UWB におけるタイミング同期方式の検討, 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, B-5-168

# モバイルオフィス構築技術

渡辺 透\*  
守川修平\*

Mobile Office Solutions

Tohoru Watanabe, Syuuhei Morikawa

## 要旨

三菱電機インフォメーションテクノロジー(株) (MDIT)では、上質でセキュリティのしっかりしたワークプレイスを創造することが、モバイルオフィスの基本コンセプトと考えている。それは、オフィスの内外、オンタイムやオフタイムなど、時間や場所といった既存の制約に縛られずに創造的かつ効率的なビジネスを実現できるオフィスである。

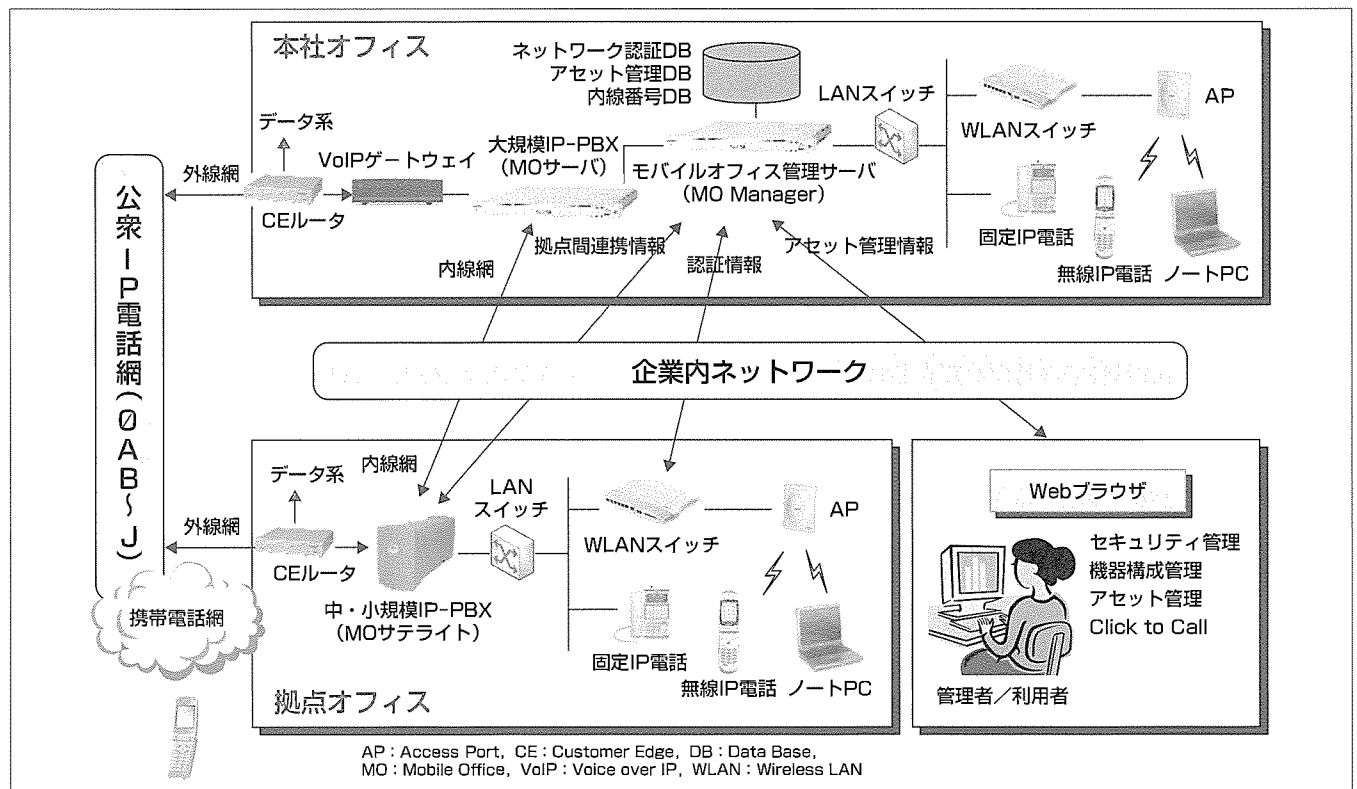
モバイルオフィスを導入すると、オフィスのどこにいても、いつでも、ノートPC(Personal Computer)を使って世界の情報(データ)にアクセスし、IP(Internet Protocol)電話を使って相手と直接コミュニケーションできる。その結果として、“フリーアドレス”や“ペーパーレス”のような便利で快適なオフィス形態を生み出すことができ、オフィスの生産性も向上させることができる。

このようなモバイルオフィスでは、ユーザーが自由に移

動できるように無線LAN(Local Area Network)を導入する。無線LAN環境上では、データ通信だけでなく、電話も無線IP電話を使用して、データと音声とを統合する。また、セキュリティ管理も本社(センター)で一元管理することでユーザーの移動に対処する。

MDITは、モバイルオフィスの実現のために無線LAN環境とIPベースのPBX(Private Branch eXchange)であるIP-PBXを導入することで、データ+音声+セキュリティの統合を実現する“モバイルオフィス・セントレックス”の技術を確立し、自社オフィスに導入してその成果を検証した。

本稿では、このようなモバイルオフィスを実現するモバイルオフィス・セントレックス技術とその導入効果について述べる。



## モバイルオフィス・セントレックスの実現

本社と各拠点のオフィスには無線LAN環境とIP-PBXが導入され、社員はノートPCと無線IP電話で、どの場所においても仕事ができる。そのために、本社オフィス(センター)に“モバイルオフィス管理サーバ(MO Manager)”が、ネットワーク認証DB、アセット管理DB、内線番号DBを保持し“ネットワーク認証”“アセット管理”“内線番号管理”などを一元的に行う。その結果、組織変更や異動に伴う費用は激減し、とくに紛失したりしやすいノートPCや無線IP電話の管理がしっかり行われる。さらに、ペーパーレスも自然に実現し、整理整頓の行き届いた便利で快適なオフィス環境が実現でき、オフィスの生産性も向上させることができる。

## 1. ま え が き

最近、公衆電話網においても、NTT(日本電信電話(株))グループの“ひかり電話”に代表されるように、FTTH(Fiber To The Home)網を使った公衆IP電話網が非常に勢いで普及を始めている。従来の050を使用した公衆IP電話網との違いは、地域性を考慮した局番を持つ点(0 AB~J)と音声品質が固定電話並み(クラスA)である点である。

ひかり電話などに接続される家庭用の電話は、従来のアナログ電話をBB(Broadband)ルータに接続するだけの場合が多いので、従来と比べ、それほど大きな変化はないように見える。しかし、“公衆IP電話網”に接続される企業内の電話は、電話そのものがIP電話化されるのに加え、従来のPBXからIP化されたIP-PBXに移行することで、企業のオフィス環境に大きな変革をもたらしつつある。家庭用のBBルータですら既に家庭用IP-PBXと呼べる機能を内蔵しており、例えば無線LANカードを追加することでコードレスな無線IP電話を接続できる。

ところが、企業のオフィス環境にIP電話を導入しようとすると、使い勝手の観点では“データと音声を融合させたい”が、セキュリティの観点では両者を分離させたいという矛盾した二つの要求が発生する。この矛盾した二つの要求を両立させないと、特に無線LANの場合は、“無線LAN環境ではIP電話は使えない”ということになり、“だから、無線LANは導入できない”という由々しき問題が起きる。MDITは、電話キャリアの動向から見て、このような問題を解決することが企業内ネットワークでも避けられないと判断し、モバイルオフィス・セントレックスと呼ばれるデータ+音声+セキュリティの統合を無線LAN環境で実現する技術を確立したので、その構築手法と導入効果について述べる。

## 2. モバイルオフィス・セントレックス技術

### 2.1 モバイルオフィスの動向

“いつでもどこでも仕事ができるオフィス環境”であるモバイルオフィスの構築は、電話キャリアの提供する公衆電話網(固定電話、携帯電話)の技術と無線LAN技術の発達により、大きな変貌(へんぼう)を遂げつつある。以下では、その電話キャリアの動向と無線LAN技術の動向を概観する。

#### 2.1.1 電話キャリアのFMCサービス

屋外においては、かつての公衆電話の数は激減し、携帯電話を使う利用者が大半になり、家庭においても固定電話を使わないで携帯電話を使うという現象が発生している。電話キャリアは、ここきて固定電話と携帯電話の融合を行い、事業者に新たな収益とコスト削減を、利用者には新たなメリットを打ち出そうとしている。

このような動きは、固定(Fixed)と携帯(Mobile)を融合

(Convergence)させるという意味で、FMC(Fixed Mobile Convergence)と呼ばれている。

#### 2.1.2 企業内の無線LANによるFMCサービス

企業内においても、屋外や家庭と同様に、オフィス内で固定電話を使わず、携帯電話を多く使っているという問題が表面化している。そのため、モバイル性のない固定電話をモバイル性のある無線電話化しようというニーズが増え、無線LANを使った無線IP電話のWiFi(Wireless Fidelity)フォンが生まれた。WiFiフォンは、IP電話であるからIP-PBXを導入しないと使うことができない。

このように電話キャリアにおけるFMCサービス化の流れは企業内の内線電話サービスに対しても企業内版FMCサービスの実現を求めるような影響を与えており、従来のPBXは徐々にIP-PBXへの転換を余儀なくされている。

#### 2.1.3 デュアルフォンの出現

しかし、社内でWiFiフォンを使い社外で携帯電話を使うのは2つの電話を持ち歩くことになり、いかにも面倒である。そこで、WiFiフォンの機能を内蔵した携帯電話のデュアルフォンが出現した。デュアルフォンは従来はNTTドコモ社のFOMA<sup>(注1)</sup>N900iLだけであったが、KDDI<sup>(注2)</sup>(au)社もデュアルフォンの発売を発表している。

#### 2.1.4 無線LAN技術の動向

“無線LANは便利だがセキュリティが心配だ”というユーザーは多い。しかし、無線LANのセキュリティ技術はIEEE802.1x認証など飛躍的に進歩しており、その運用管理さえ円滑にできれば、全く問題ないレベルに達している。

これに加えて、2006年中に予想される有線LAN並みの高速無線LAN(IEEE802.11n)の出現など、帯域的にも問題ないレベルに達している。WiFiフォンやデュアルフォンのような無線IP電話も従来のPHS(Personal Handyphone System)電話に比べるとWebブラウザが使えるなどいろいろな長所があり、その導入事例が急激に増えつつある。

### 2.2 モバイルオフィス・セントレックスの実現技術

モバイルオフィスは、キャリアのサービスに似ており、構築だけでなく、その円滑な運用管理が重要である。モバイルオフィスの運用管理を集中して行い、利用者に対して安全で快適なネットワークの利用を保証し、各種のサービスを提供する必要がある。モバイルオフィス・セントレックスと呼ぶデータ+音声+セキュリティの統合を無線LAN環境で実現する技術について述べる。

#### 2.2.1 無線LAN環境の構築

モバイルオフィスで使用される無線LAN機器は、図1に示すように、WLANスイッチとそれにPoE(Power over Ethernet)ケーブルで接続される複数のアクセスポートAP(Access Port)で構成されている。これは、従来のPCだけ

(注1) FOMAは、(株)NTTドコモの商標又は登録商標である。

(注2) auは、KDDI(株)の商標又は登録商標である。

のための無線LAN環境とは異なり、AP間を移動する無線IP電話のハンドオーバーやローミングの高速処理をWLANスイッチで行うために有効な方式である。

無線LAN環境では、データ+音声+セキュリティの統合のために、さらに、以下のような機能が必要である。

- (1) 音声系のネットワークとデータ系(PC系)のネットワークを物理的・論理的に分離できる。セキュリティ及びQoS(Quality of Service)上の観点から、これらのネットワークを分離することが望ましい。
- (2) データ系と音声系で割り当てる周波数を変えられる。
  - データ系(ノートPC)：IEEE802.11a(5GHz帯)
  - 音声系(無線IP電話)：IEEE802.11b(2.4GHz帯)
- (3) 1つのAPの通話数を12以下に抑えることができる。
  - 無線IP電話で一般的に使用されるIEEE802.11bの場合、12を越す通話があると帯域不足で一斉に通話が止まる。

MDITは、上記の機能を無線LANのセキュリティ技術とAPの高密度配置技術を組み合わせることで実現した。

無線LAN環境では、オフィス内のAPの数や什器(じゅうき)の配置などで、無線LANの電波状態が変動し、ノートPCや無線IP電話に必要な帯域が得られない場合が発生する。APの高密度配置技術は、APを高密度に配置して、一人当たりの帯域を十分に確保する技術であるが、目安はおよそ20人に1つの割合でAPを配置するようにしている。しかし、APを高密度に配置すると、同じチャンネルを持つAP間で電波の干渉問題が発生する。そこで、図2に示すような“狭ビーム化電波反射体”と呼ぶ電灯の笠のようなものを三菱電機(株)情報技術総合研究所で開発し、APに被せて使用し、AP同士の干渉を非常に少なくした。

さらに、もし1つのAPの通話数が12を超えた場合に、新しい発呼をビジー状態にするCall Admission Control機能についてもサポートする予定である。

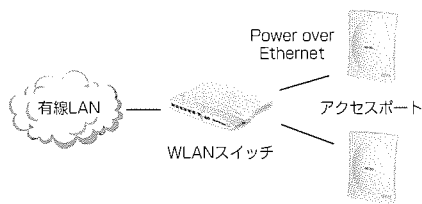


図1. WLANスイッチとアクセスポート

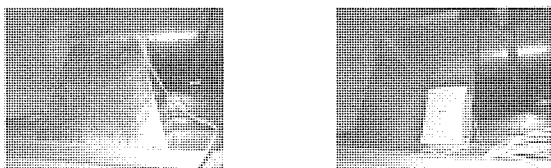


図2. 狭ビーム化電波反射体(左：横視，右：下視)

## 2.2.2 IP-PBXシステムの構築

無線IP電話環境を構築するには、IP-PBXが必要である。IP-PBXは、標準的なSIP(Session Initiation Protocol)プロトコルを使用しているが、日本特有の“ピックアップ”や“パーク保留”などのPBX機能が追加されている。

MDITは、コンピュータ技術と比較的オープンなソフトウェア技術でIP-PBXを構築し、図3で示すように、アプリケーションサーバ型のIP-PBX(MOサテライト)と、汎用サーバ型のIP-PBX(MOサーバ)を製品化した。これらのIP-PBX製品は、デュアルフォン(FOMA N900iL)を始め、図4で示されるような様々なIP電話を接続できるとともに、公衆IP電話網にIPインタフェースで接続できる。

## 2.2.3 一元化された拠点間IP-PBX連携

本社オフィスにはMOサーバ、各拠点オフィスにMOサテライトというIP-PBXが設置され、ある拠点から他の拠点への内線通話は、“拠点番号+内線番号”という番号が使用される。このため、これらのIP-PBXには、各拠点番号に対応したIP-PBXのIPアドレス表を保持する必要があるが、拠点や内線電話の増減が発生した場合の保守性が悪い。

そこでMDITは、図5に示すように、本社(センター)に設置されたモバイルオフィス管理サーバ(MO Manager)が、拠点のIP-PBXからのINVITEメッセージを解釈して、宛先(あてさき)の拠点コード(例：610)のIP-PBXに転送することで、MO Managerで一元化した拠点間IP-PBX間連携を実現した。

## 2.2.4 一元化されたセキュリティ管理

社内のどの拠点のオフィスに移動しても自分のノートPCや無線IP電話がそのまま使えるようにするには、社内のネットワークのセキュリティ管理を一元化する必要がある。



図3. MOサテライト(左)とMOサーバ(右)



図4. WiFiフォン(左)と固定IP電話(右)

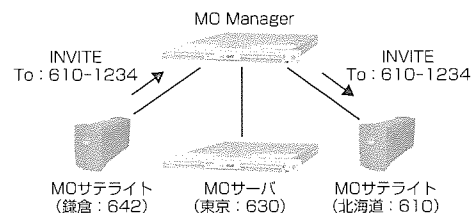


図5. MO Managerによる拠点間IP-PBX連携

る。MDITは、社内のネットワークの認証をインターネットと同じような仕組みで行うようにした。

インターネットのネットワーク認証は、一般にPPPoE (Point-to-Point Protocol over Ethernet)と呼ばれるプロトコルを使用してRADIUS(Remote Authentication Dial-In User Service)サーバで認証するが、企業内のネットワーク認証は、IEEE802.1x認証と呼ばれるプロトコルを使用してRADIUSサーバで認証する。MO Managerは、RADIUSサーバ機能を内蔵しており、企業内のネットワーク認証を集中して行う。このため、社内のどの拠点のオフィスでも、企業内ネットワークを利用することが可能になるとともに、不正な利用者の企業内ネットワークへの侵入を排除できる。

無線LAN環境においては、認証だけでなく暗号化も必要である。暗号化はCCMP (Counter-mode/CBC-MAC Protocol)と呼ばれる方式(暗号アルゴリズムは強力なAES (Advanced Encryption Standard))を採用することで、盗聴の危険性を非常に小さくした。

### 2.2.5 コンピュータと電話の融合

IPネットワークの中でIP電話が当たり前に使われるようになると、電話とコンピュータの融合するCTI(Computer Telephony Integration)機能が求められるようになる。従来はコールセンターのような特殊な場所ではしか利用されなかったCTI機能を普通のオフィスでも利用したいとの要望が出てくる。

MDITでは、IP-PBX(MOサテライト、MOサーバ)でCTI機能を標準サポートすることで、CTIアプリケーションを容易に構築できるようにした。そのCTI機能の1つが、“Click to Call”であり、Webブラウザ上の電話帳をクリックするだけで、相手に電話をかけることができる。

## 3. モバイルオフィスの導入効果

以上のようなモバイルオフィスの導入の効果として最も大きなものは、“フリーアドレス化”“ペーパーレス化”と“高セキュリティ化”である。以下にMDIT品川オフィスに実際に導入し、得られた効果について述べる。

### 3.1 フリーアドレスのオフィス実現

モバイルオフィスを導入すると、フリーアドレスのオフィスが実現できる。フリーアドレスとは、社員の席が固定されておらず、空いている席に座る形態を言う。営業部門などの場合は社員数の60~70%程度の座席数で足りることが多いので、オフィスのスペースを有効に使える。また、組織変更が簡単になると同時に、社員の上下、横の間のコミュニケーションが良くなる効果があった。

### 3.2 ペーパーレス化

フリーアドレスのオフィスの社員は、帰社時に机上の書類をすべて自分のロッカーに片付ける必要があるので、自

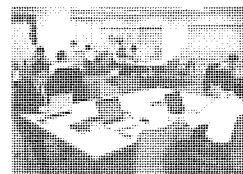


図6. モバイルオフィス例(MDIT品川オフィス)

然にペーパーレスと整理整頓が実現できる。必要な情報(データ)は、紙ではなく電子化することで、Webサーバ等からネットワーク経由で容易にアクセスできるようになり、情報の有効利用ができるようになった。

### 3.3 高セキュリティ化

モバイルオフィスでは、インターネットと同レベルの高度なネットワーク認証機能、暗号化機能及びその円滑な運用機能を導入するため、上記のペーパーレス化の効果と相乗して非常にセキュアなオフィスが構築できる。

図6に、フリーアドレスのモバイルオフィス例(MDIT品川オフィス)を示す。

## 4. むすび

MDITは、自治体向けの大規模無線LANインフラの構築や、マンションの無線LANインフラ構築などで実績を上げてきた。2004年には、某大手通信会社の本社ビル移転に伴うモバイルオフィスの無線LAN構築工事を受注し、無線LANによるモバイルオフィス構築事業をスタートさせた。2006年2月には、MDITの本社移転に伴い、品川地区に自らモバイルオフィスを構築・運用し、無線LAN、セキュリティ、無線IP電話に関する技術を蓄積すると同時に、デモルームとしてお客様に見学いただいている。

無線LANが脆弱(ぜいじゃく)で危険なネットワーク環境であった時代は終わり、的確な技術の組合せで生産性に優れた、使いやすいセキュアなオフィス環境を低コストで実現できる時代になっている。

今回の技術は、これから予想されるWiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access)やRFID(Radio Frequency Identification)の実用化でも中核になる技術であると考えている。MDITは、自社での運用による技術ノウハウを生かし、各社と協力して、更に安全で快適なモバイルオフィスの実現に向け努力していく所存である。

## 参考文献

- (1) 守倉正博, ほか: 802.11高速無線LAN教科書(改定版), インプレス(2004)
- (2) 澤田拓也: 実践SIP詳解テキスト, リックテレコム(2005)
- (3) Meggelen, J. V., ほか: Asterisk — テレフォニーの未来 —, オイラリー・ジャパン(2006)

# 構内無線LANシステム

## Enterprise Wireless LAN System

Shinji Natsukawa, Masaki Nakaoka, Shigemasa Matsubara, Yoshihiko Shirokura

### 要旨

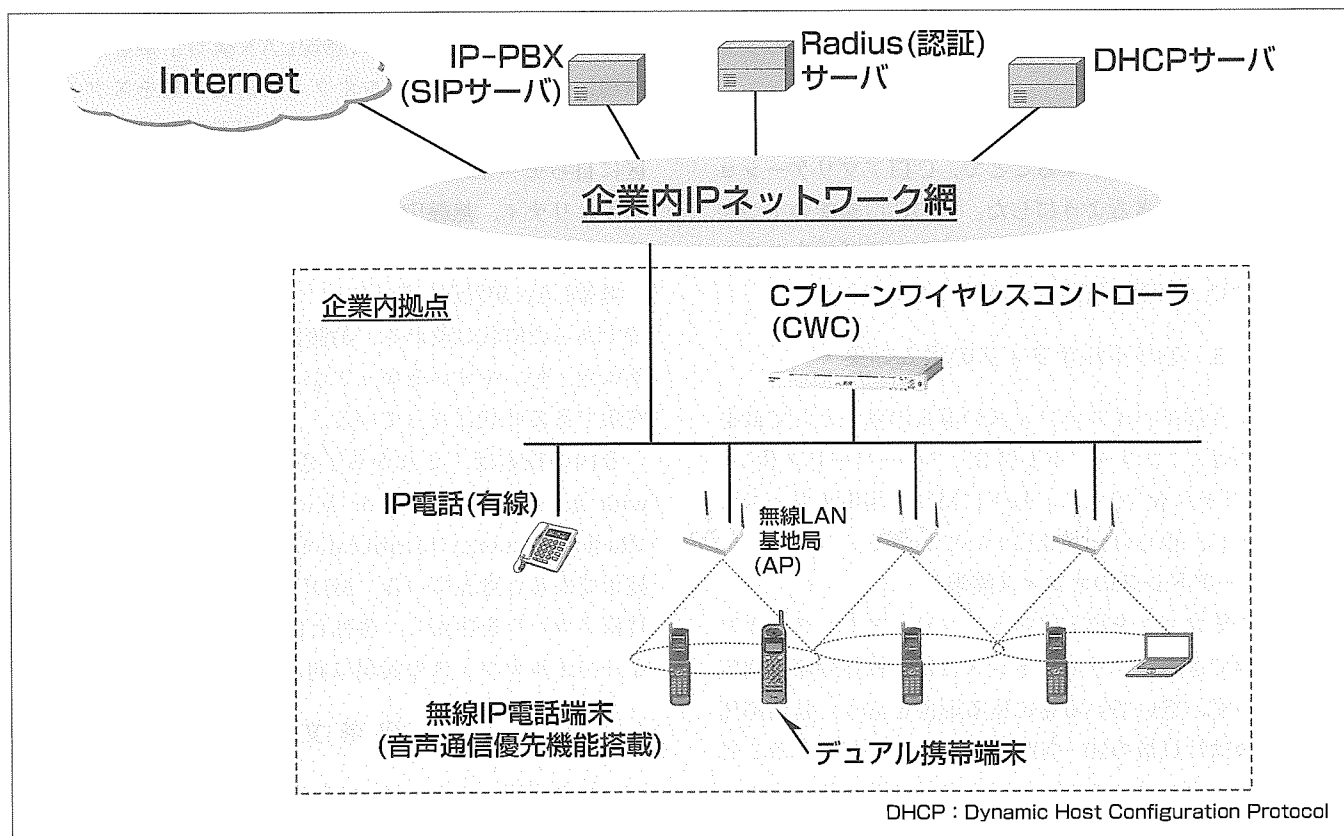
近年、企業内においても構内LAN(Local Area Network)が構築され、データ通信ネットワークのIP(Internet Protocol)化が浸透してきた。また、無線を使ったデータ通信方式として、2.4GHzや5GHz帯の無線LANシステムを利用した構内無線LANを導入する企業が増加している。

一方、音声通話については、アナログ又はデジタル方式によるレガシー系の電話システムから、通信コストの削減、ネットワークの共通化が可能なIP方式に移行が進んでいる。

これに対応し、従来のPHS(Personal Handyphone System)、コードレス電話等に代わる構内無線電話システム

に適用する“構内無線LANシステム”を開発した。このシステムの主な仕様、特長は次のとおりである。

- 使用周波数：2.4～2.497GHz／5.15～5.25GHz
- 無線アクセス方式：IEEE802.11b及び802.11a準拠
- 基地局の置局設計、変更が容易なバーチャルセル構成
- 音声通話品質を確保するQoS(Quality of Service)、同時通話数制御機能
- 基地局間をまたがる移動の際にも通話に支障が出ない高速ハンドオーバー機能



### 構内無線LANシステム

構内無線LANシステムの構成図である。基地局は、企業内の事務所や廊下に設置され、複数の無線IP電話端末の親局として動作する。Cプレーンワイヤレスコントローラは、企業の構内などに設置され、複数の基地局を制御し、通話数の管理やハンドオーバーの制御を行う。



## 1. ま え が き

構内無線LANシステムは、音声通話とデータ通信の両方に対応し、安定かつ良好な通話品質を提供する無線LANシステムである。無線LANを利用したIP電話としては、IEEE802.11b準拠の2.4GHz帯を利用した無線IP電話システムがあるが、従来の802.11bの標準規格を利用したものでは、通話する端末数が増加した場合、又は大容量のデータ通信と混在すると、通話品質が急に劣化するなどの課題があった。一方、PHSによる構内無線電話システムを利用する企業の中では、設備の老朽化による更新時期を迎え、無線LANによる無線IP電話システムの導入が始まった。今回、これに対応する構内無線LANシステムを開発した。

本稿では、このシステム及び装置の概要を述べるとともに、技術的な課題とその解決策について述べる。

## 2. システム概要

### 2.1 開発のねらい

構内無線LANシステムは、主に次のような特長を持っている。

#### (1) 通話品質が良好な無線IP電話の実現

通話中の端末数が増加した場合に通話品質の急激な劣化が発生しないように、同時に通話できる端末の台数を制御し、通話とデータ通信が混在した場合に音声信号(VoIP)の優先制御を実施することにより、通話品質を確保した。

#### (2) バーチャルセル構成

同一周波数の基地局を隣接させて配置し、仮想的な大きなセルを構成し、基地局間の干渉を抑えて、置局設計、運用開始後の変更を容易にした。

#### (3) 高速ハンドオーバー機能

無線IP電話端末が通話しながら基地局間を移動した場合に、通話の途切れを抑え、通話に支障がない高速ハンドオーバーを実現した。

#### (4) 無線区間のセキュリティ機能

無線区間は、高いセキュリティレベルを確保した。

#### (5) 遠隔からの保守機能

遠隔からの基地局及びコントローラの監視、制御機能と、さらに、基地局のファームウェアダウンロード機能を持っている。

### 2.2 システム構成

このシステムの構成を図1に示す。

このシステムは、企業内ネットワーク網及びIP-PBX (Private Branch eXchange)やRadiusサーバ等のネットワーク機器、基地局(AP)、Cプレーン(Control Plane: 制御信号)ワイヤレスコントローラ(CWC)及び無線IP電話端末から構成される。基地局は、企業内IPネットワークと接続され無線LANネットワークを構成し、事務所や通路に設

置される。CWCは、複数の基地局と接続し、通話する端末数の制御や、ハンドオーバーを高速に行うための制御を行う。1つのCWCで最大180台の基地局を制御することが可能で、無線IP電話端末は、基地局を経由してIP-PBXに接続される。

### 2.3 システムの主要諸元

システムの主要諸元を表1に示す。無線規格IEEE802.11b及び802.11aに準拠し、周波数(2.4GHz帯、5GHz帯)に対応している。

## 3. 装置概要

### 3.1 基地局

基地局は、無線部1(802.11b)、無線部2(802.11a)、有線-無線ブリッジ部、制御部、電源等で構成され、単一筐体(きょうたい)に実装される。

(1) 無線部1及び2: ベースバンドチップ、無線チップから構成され、RF(Radio Frequency)アンプ(High Power Amplifier: HPA)を搭載した2.4GHz、5GHz帯両用無線送受信機である。

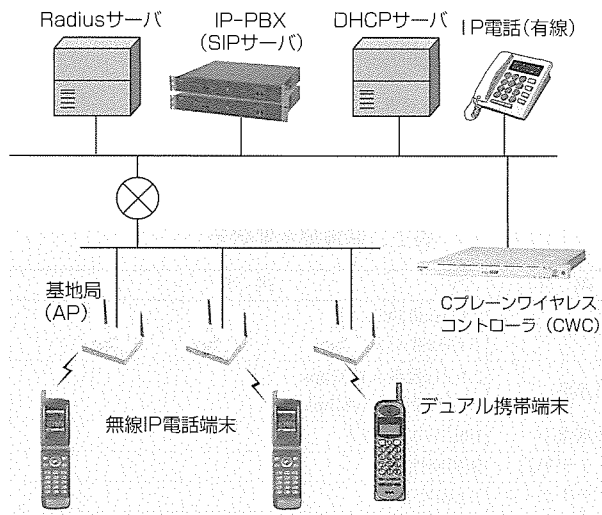


図1. システムの構成

表1. システムの主要諸元

項目	内容
1 規格	IEEE802.11a/b(5GHz/2.4GHz Dual RF搭載, 同時使用可能)
2 収容端末数	CWC1台当たり最大4,000台(アソシエーション数)
3 収容基地局数	CWC1台当たり最大180台
4 バーチャルセル構成	隣接する複数基地局を同一周波数で使用, 1つの仮想的なセルを構成
5 同時通話数制御	1バーチャルセル当たりの最大通話端末数を制御
6 無線区間QoS	IEEE802.11e及び独自方式を採用
7 ハンドオーバー	約60ms
8 セキュリティ	暗号: TKIP, AES-CCM 認証: PEAP, EAP-TTLS, EAP-PSK

TKIP : Temporal Key Integrity Protocol  
 AES-CCM : Advanced Encryption Standard-Counter mode with CBC-MAC  
 PEAP : Protected Extensible Authentication Protocol  
 TTLS : Tunneled Transport Layer Security  
 PSK : Pre-Shared Key

- (2) 有線-無線ブリッジ部：有線LANと無線部1及び2を接続するブリッジである。
- (3) 制御部：無線部1及び2，有線-無線ブリッジ部を制御し、無線LAN通信を制御する。
- (4) 電源：LANケーブルからDC48Vを分離し，又は外部電源の入力により，装置内の各部へ供給する電源である。

ブロック図を図2に示す。

### 3.2 Cプレーンワイヤレスコントローラ(CWC)

CWCは，OS(Operating System)にLinux<sup>(注1)</sup>を搭載したPCサーバで，基地局が接続される構内ネットワークに接続する。

### 3.3 装置の特長

基地局は事務所内設置用として放熱性の向上及び小型化を図り，さらに，CWCについては汎用のPCサーバを使用することで，装置の低コスト化を実現した。基地局，CWCの主要諸元を表2，表3に示す。

(注1) Linuxは，Linux Torvalds氏の登録商標である。

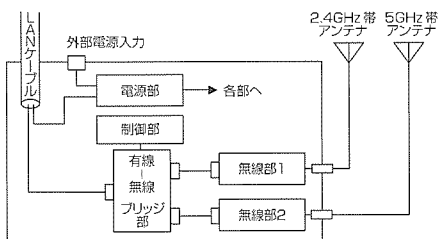


図2. 基地局ブロック図

表2. 基地局主要諸元

項目	内容
チャンネル数	2.4GHz帯14ch 5 GHz帯 4 ch
伝送速度	2.4GHz帯最大11Mbps 5 GHz帯最大54Mbps
空中線電力	10mW/MHz以下
アンテナ形式	無指向性
アンテナゲイン	2 dBi以下
LED表示	4種類 電源/無線1/無線2/有線インタフェース
環境条件	温度 5~40℃ 湿度 5~85% (結露なし)
電源	PoE対応(802.3af準拠) ACアダプタ(オプション)によるローカル給電可能
消費電力	12W以下
サイズ	(W)190×(D)140×(H)50(mm)以下
質量	550g以下

LED : Light Emitting Diode

表3. Cプレーンワイヤレスコントローラ主要諸元

項目	内容
冗長化構成	あり(Cold&Standby方式)
主な機能	無線IP電話バーチャルセル制御，通話数制御，ハンドオーバー機能，基地局管理
監視制御	Web(HTTP)，SNMP
管理機能	設定値アップロード，ダウンロード機能，各種状態表示機能
設置形態	19インチラックマウント

HTTP : HyperText Transport Protocol  
SNMP : Simple Network Management Protocol

### 3.3.1 基地局の特長

#### (1) デュアルバンド対応

IEEE802.11b(2.4GHz)と802.11a(5GHz)に対応する2系統の無線部を搭載し，2.4GHz帯と5GHz帯の両方で同時に通信を可能とした。

#### (2) 小型化，放熱性の向上

無線部をユニット化し，装置の小型化を実現した。電源はPoE(Power over Ethernet)及び外部電源の両用が可能な電源部を搭載した。発熱量が大きい電子部品を筐体金属部に直接放熱可能な構造とし，壁面，天井など多様な設置形態に対応可能とした。

### 3.3.2 CWCの特長

#### (1) 汎用PCサーバ利用

汎用のPCサーバに専用ソフトウェアを搭載して制御を行うことで特殊なハードウェアを不要とした。

#### (2) 多数の基地局を制御

主信号は基地局から直接IPネットワークに接続するように構成し，Cプレーンのみを制御することで，主信号がワイヤレスコントローラに集中することによる処理速度の制約が発生せず，1台のCWCで多数(最大180台)の基地局を収容，制御可能とした。また，CWCに障害が発生した場合にも通信を継続することが可能で，障害への対応力が向上した。

## 4. バーチャルセル構成

### 4.1 一般的な無線LANシステム(個別セル方式)における問題点

#### (1) 同時に使用できるチャンネル数の制約

IEEE802.11b(2.4GHz帯)で使用できるチャンネル数は14チャンネルあるが，周波数が重なって配置されているため，同時に使用できるチャンネル数は最大4チャンネルである。

一般的な無線LANシステムでは，置局の仕方によって，同一周波数を使用する基地局の間隔を十分確保できないため，干渉が発生する場合がある(図3)。

#### (2) 不感帯対策

置局の後で通話に支障を及ぼす電波の不感帯が発生した場合に近接する基地局の周波数と違う周波数で基地局を追

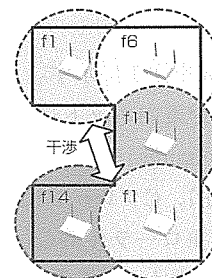


図3. 個別セル方式における干渉の発生

加する必要があるが、既に配置した基地局との間で新たな干渉が発生する可能性が高く、既に配置済みの基地局も含め、再度配置を検討する必要がある(図4)。

#### 4.2 バーチャルセル構成の仕組みと効果

##### (1) チャンネル数対策

バーチャルセル構成は同一周波数の基地局を隣接させて配置し、仮想的に1つの大きなセルを構成する方式である(図5)。この方式により、サービスエリアを収容するためのチャンネル数を少なくすることができる。

##### (2) 不感帯対策

不感帯が発生した場合の基地局の追加も、近接するバーチャルセルと同一チャンネルの基地局を配置するのみで、図6のように容易に追加が可能である。

同一周波数の基地局で配置できるため、干渉を気にせずに、基地局の配置を行うことができる。

### 5. 通話品質の確保

#### 5.1 一般的な無線LANシステムにおける問題点

##### (1) 同時通話数が多い場合の音声品質の低下

一般的な無線LANシステムでは限られた通信帯域に対し、通話端末の台数が増えた場合は、通話端末に均等に通信帯域が割り当てられる。このため、各端末の通話に必要な通信帯域が不足すると、既に通話中の端末の通話品質が一斉に劣化する問題があった(図7)。

##### (2) データ通信と混在時の通話品質低下

通話とデータ通信を混在して利用する場合も、データ通

信が通信帯域を占有することにより、通話品質が劣化する問題がある。

#### 5.2 QoS, 同時通話数制御の仕組みと効果

##### (1) 同時通話数制御

基地局で通話開始時のSIP(Session Initiation Protocol)プロトコルをモニタしCWCに伝え、同時通話数を管理する。同時通話数が制限値を超えた場合は、無線の接続は許可するが、SIPの話中を表示するパケットを基地局から送信するようにした。この方法により、ユーザーは通話ができない状態であることを知り、後で掛け直してもらう運用が可能となった(図8)。

##### (2) 音声通信の優先制御

基地局において、音声通信をデータ通信より優先して送受信する制御を行い、通話数に応じてデータ通信の通信量を制限する機能を搭載した。図9は同時に通話する端末の台数とデータ通信のトラフィック量の関係を示したもので、通話数の増加に従い、データトラフィック量が抑えられることを示している。

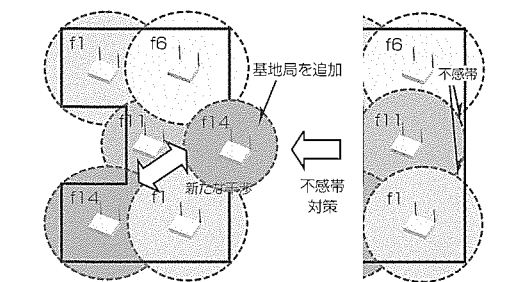


図4. 個別セル方式の不感帯対策による干渉の発生

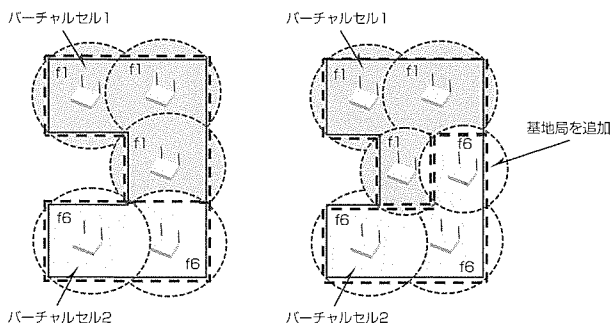


図5. バーチャルセル構成の置局例

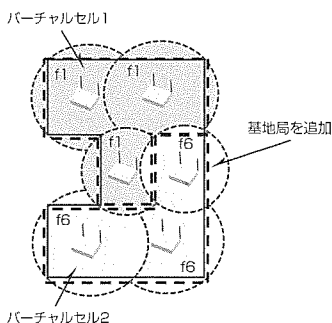


図6. バーチャルセル構成の不感帯対策例

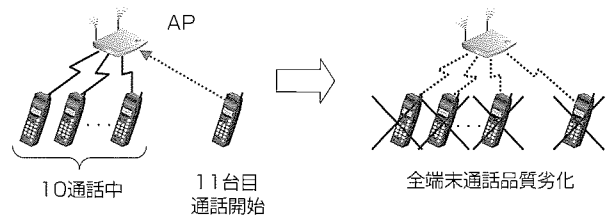


図7. 同時通話による通話品質劣化

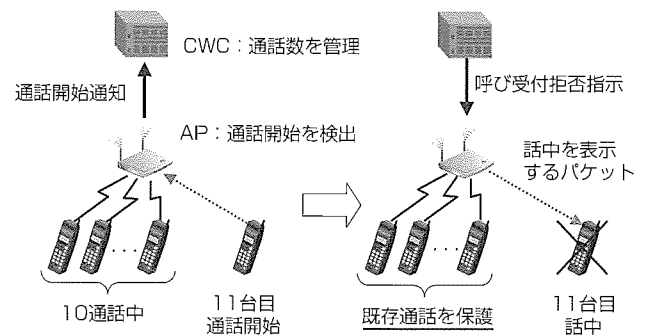


図8. 同時通話数制御機能

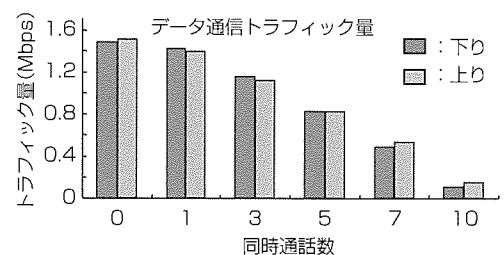


図9. 音声通信の優先制御の効果

6. む す び

以上、今回開発した構内無線LANシステムについて概要を述べ、技術的課題とその解決方法について述べた。

これらの装置が使用される構内無線LANシステムは、今後、企業内の音声通信サービスとデータ通信サービスを統合して提供可能であり、PHSによる構内無線電話システムの更新、電話システムのIP化として、大きく発展すると予想される。また、更なる通話品質の向上、高セキュリティ化に向けて検討を進めている。

最後に、このシステムの開発に当たり、共同開発者としてご指導をいただいた東京電力㈱を始めとする関係各位に深く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY)specifications, IEEE 802.11 (1999)
- (2) High-speed Physical Layer in the 5GHz Band, IEEE Std 802.11a (1999)
- (3) ARIB STD-T71広帯域移動アクセスシステム(CSMA) 2.1版
- (4) ARIB STD-T66広帯域移動アクセスシステム(CSMA) 2.0版
- (5) 守倉 正博, ほか: 改訂版802.11高速無線LAN教科書, インプレス標準教科書シリーズ (2005)



# 無線LANメッシュネットワーク技術

八木章好\* 高田憲一\*  
 松川康一\* 矢野雅嗣\*  
 田村智只\* 吉田浩平\*\*

WLAN Mesh Network Technologies

Akiyoshi Yagi, Koichi Matsukawa, Satoshi Tamura, Kenichi Takada, Masatsugu Yano, Kohei Yoshida

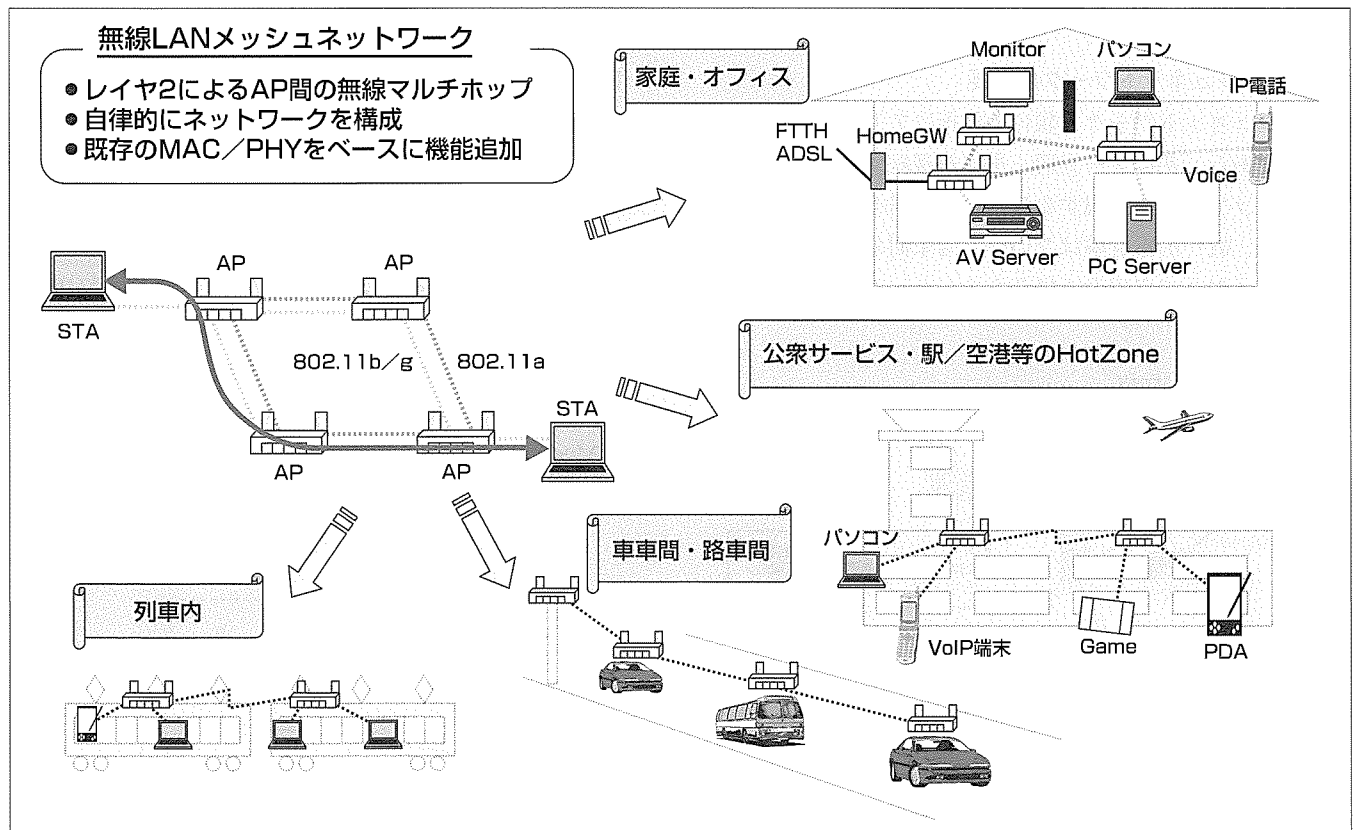
## 要旨

近年、無線LAN(Wireless Local Area Networks: WLAN)が普及し、ケーブルの煩わしさから開放されることの利便性を知ったユーザーからは、更に広いエリアで無線LANを使いたいという要求が高まっている。特に、家庭やオフィスでも、厚い壁や異なるフロア間では、十分な品質での通信ができない場合がある。また、無線LANサービスを面的にカバーするには、ケーブル敷設や回線コストが増大するなど課題は多い。そのため、近年、無線LANのAP(Access Point)間を無線マルチホップ接続することにより、簡易にエリア拡大できるメッシュネットワーク技術が注目されている。メッシュネットワークは、それらの課題を解決するだけでなく、自律的にメッシュを構築できるため、APの設置・追加の容易性と障害時の自律的

な再構築など運用・保守面でもメリットが大きい。

無線LANのメッシュネットワークは、国際標準化団体で知られるIEEE(Institute of Electrical and Electronic Engineers)の802.11s(ESS Mesh Networking)で標準化が行われており、既存の802.11のMAC/PHY(Medium Access Control/PHYSICAL layer)をベースに機能追加される。主な技術課題は、自律的なトポロジー構成技術、無線環境を意識したレイヤ2ルーティング技術、メッシュセキュリティ技術などがあり、標準化とともに活発な研究・開発が行われている。

本稿では、メッシュネットワークの概要を解説するとともに、試作したメッシュセキュリティ技術について述べる。



## 無線LANメッシュネットワーク

無線LANメッシュネットワークは、自律分散制御により無線LANのAP間を無線マルチホップ接続する技術で、既存の802.11のMAC/PHYをベースに機能追加しているため、一般的にはチップレベルの変更は必要なく、既存のハードウェアの上でソフトウェアの変更・追加で実現できることを想定している。また、STA(STation)側には変更はなく、既存のSTAを接続可能である。

## 1. ま え が き

低価格化とパソコンへの標準装備により無線LANが家庭やオフィスで広く利用されるにつれて、ケーブルの煩わしさから開放されることの利便性を知ったユーザーからは、更に広いエリアで無線LANを使いたいという要求が高まっている。近年、無線LANのAP間を無線マルチホップ接続することにより簡易にエリア拡大できる無線LANメッシュネットワーク技術が注目されている。

本稿では、この無線LANメッシュネットワーク技術の概要を解説し、特に多重処理が必要となるメッシュセキュリティ技術に着目し、試作した機能について述べる。

## 2. メッシュネットワークの概要

### 2.1 メッシュネットワークの必要性

家庭やオフィスでも、厚い壁越しや異なるフロア間では、伝送レートの低下や、十分な品質での通信ができない場合がある。また、無線LANサービスを面的にカバーするには、ケーブル敷設や回線コストが増大するなど課題は多い。メッシュネットワークは、それらの課題を解決するだけでなく、自律的にメッシュを構築できるので、APの設置・追加の容易性と障害時の自律的な再構築など運用・保守面でもメリットが大きい。図1にメッシュネットワークの必要性を示す。

### 2.2 メッシュネットワークの概要

メッシュネットワークと類似の技術にアドホックネットワークがある。共にノード同士を無線接続することによりマルチホップ通信を実現する技術として基本的には同じものであり、統一的な見解はないが、端末間の無線マルチホップをレイヤ3で実現する場合をアドホックネットワーク、

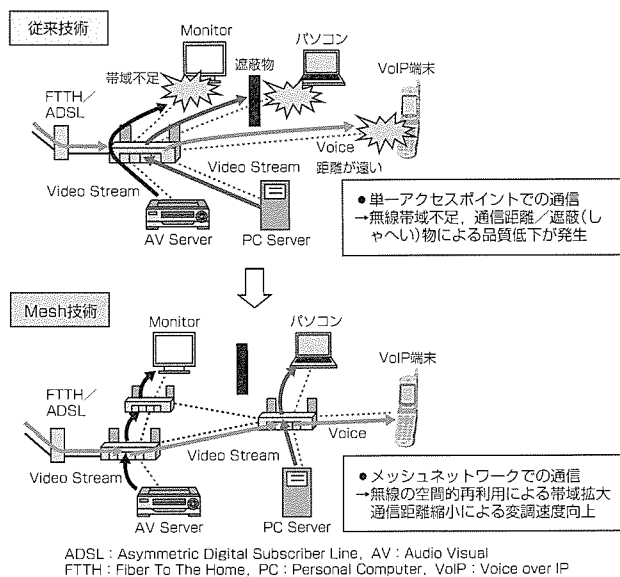


図1. メッシュネットワークの必要性

基地局間の無線マルチホップをレイヤ2で実現する場合にメッシュネットワークと呼ぶことがある。レイヤ3のアドホックネットワークは、IETF(Internet Engineering Task Force)MANET(Mobile Ad\_hoc NETworks)で標準化が行われ、レイヤ2のメッシュネットワークは、IEEE 802.11s(ESS Mesh Networking)で標準化が行われている。

## 3. 国際標準化動向

### 3.1 IEEE802.11sの標準化状況

2003年ごろから行われていたIEEE802.11委員会でのメッシュの議論は、2004年5月に802.11sとしてTask Group eに昇格し、本格的な標準化が開始された。近年、IEEE802の標準化は、2つの陣営に分かれて膠着(こうちやく)状態となるケースが目立っていたが、802.11sでは、早期標準化を目指して慎重に議論を重ねてきた。その結果、最終的に残ったSEE(Simple Efficient Extensible) Mesh AllianceとWi-Mesh Allianceの両案での一本化が行われ、両陣営によるJoint Proposalが提出された。このJoint Proposalは、2006年3月会合のConformation Vote(承認投票)で100%の得票率で可決された。これにより、基本方式が決定し、技術仕様の作成フェーズに移った。今後は、幾つかの投票・承認プロセス等を経て、最終的には2008年前半での標準化完了を目指し作業が進められる予定である。

### 3.2 IEEE802.11sの主要技術

IEEE802.11sは、WDS(Wireless Distribute System)によるESS(Extended Service Set) Meshであり、自律分散制御によって802.11のMAC/PHYを用いたBroadcast/MulticastとUnicast通信をサポートする。メッシュ機能を持ったノードをMP(Mesh Point)、MPとAPの機能を持ったノードをMAP(Mesh Access Point)と呼び、MP又はMAP間のMACヘッダには、4アドレスのWDSモードヘッダと802.11eのQoS(Quality of Service) Controlフィールドの後に、TTL(Time To Live)とシーケンス番号で構成されるMesh Forwarding Controlフィールドが挿入される。図2にメッシュのMACヘッダを示す。

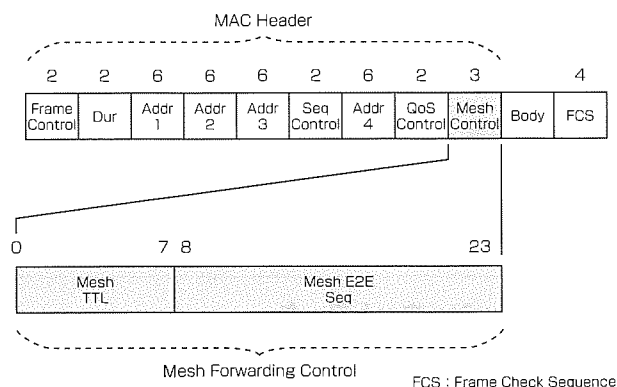


図2. メッシュのMACヘッダ

802.11sの主要技術について、以下に述べる。

(1) Topology and Discovery

MPごとに802.11a, 802.11b/g(Single-Radio又はMultiple-Radio)をサポートし、メッシュのグルーピングを識別して自律的にトポロジーを構成する。

(2) Extensible Path Selection and Forwarding

経路探索は、IETF MANETのAODV(Ad hoc On Demand Distance Vector)をベースとしたレイヤ2ルーティングである。AODVは、通信開始時に通信経路を生成するOn-demand型であり、このAODVベースにTree Baseルーティングの機能を付加したルーティングプロトコルがHybrid Wireless Mesh Protocol(HWMP)と呼ばれている。さらに、オプションでは、Proactive型のOLSR(Optimized Link State Routing Protocol)ベースも定義されている。

また、経路選択の条件には、レイヤ2ルーティングの特長として無線環境の情報を用いている。具体的には、Airtime Cost(C<sub>a</sub>)として、Linkごとに図3の式で求められ、テストフレームの変調速度に応じた無線使用時間に実際のロス率を加味した値が定義されている。

(3) Mesh Security

MP間の無線Linkに802.11iのセキュリティを適用し、メッシュネットワーク参入時に自律的に認証を行う。

(4) その他

802.11eのEDCA(Enhanced Distributed Channel Access)ベースのMAC拡張機能や外部ネットワークとの接続機能などが定義されている。

4. メッシュセキュリティ機能の試作と評価

4.1 802.11sでのセキュリティ機能

802.11sのセキュリティ機能では、MPのネットワークへの参入の認証について、802.11i同様、①Centralized 802.1x model(AS(Authenticator Server)で集中管理)、②Distributed 802.1x model(ノード内に分散されたASで管理)、③Pre-Shared Key model(あらかじめ設定されているPSKを用いる)が定義されている。また、MP間の鍵(かぎ)交換の4 Way-handshakeも802.11iと同様の方式である。図4に認証方式の分類、図5にCentralized 802.1x

$$C_a = \left[ O_{ca} + O_p + \frac{B_t}{r} \right] \frac{1}{1 - e_{pt}}$$

Parameter	Value(802.11a)	Value(802.11b)	Description
O <sub>ca</sub>	75μs	335μs	Channel access overhead
O <sub>p</sub>	110μs	364μs	Protocol overhead
B <sub>t</sub>	8,224	8,224	Number of bits in test frame

r: bit rate, e<sub>pt</sub>: frame error rate for the test frame size B<sub>t</sub>

図3. Airtime Cost

認証モデルの例を示す。

4.2 試作セキュリティ機能とその動作確認

認証には認証を要求するSupplicantと認証を受け付けるAuthenticatorの機能があり、MP1-MP2間の認証では、MP1(Supplicant)→MP2(Authenticator)への認証と、MP2(Supplicant)→MP1(Authenticator)への認証が行われ、STA間のIBSS(Independent Basic Service Set)モードのような双方向認証の機能が必要である。また、3台以上のMP間認証では、同時に複数のMPからの認証要求を受け付けるAP-STA間でのAP側のようなマルチAuthenticatorの機能が必要である。

例えば、3台のMP1, MP2, MP3がトライアングルにメッシュを構成する場合、1台ずつ順番に立ち上がるケースと2台又は3台が同時に立ち上がるケースがある。また、台数が増えれば更にいろいろなケースが想定され、その場合でも正しく認証が行われなければならない。そのため、試作セキュリティ機能では、特に、Authentication→Association→4 Way-handshakeなどの認証処理を一連の動作で行うのではなく、それぞれの処理を各メッセージごとに個別に行うことと、その場合でも処理時間が少ない作りとなっている。また、MAPの場合のMAP-MAP間と

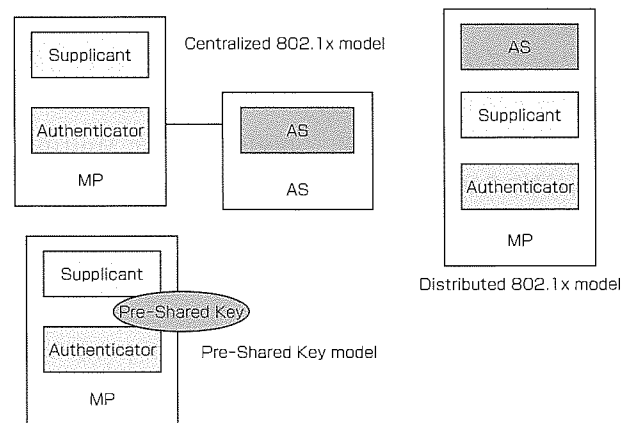


図4. 認証方式の分類

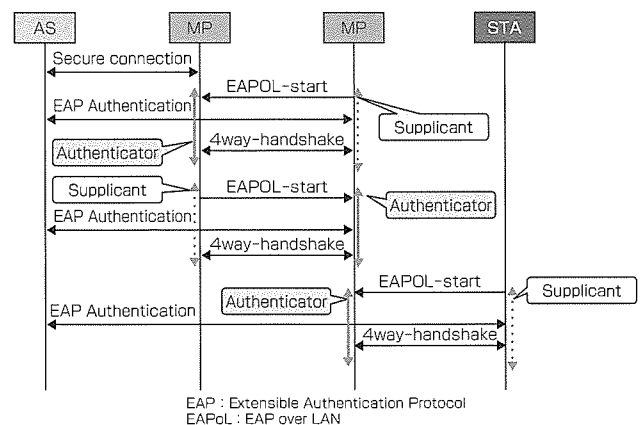


図5. Centralized 802.1x認証モデルの例



MAP-STA間の同時認証や802.11sでMultiple-Radioも定義されているため、複数の無線Linkの同時認証など、更に処理が複合することも想定している。

以上を試作したメッシュセキュリティ機能において、Pre-Shared Keyの場合の4Way-handshakeの動作について述べる。図6に3台のMPでの相互認証のシーケンス例を示す。ここでは、MP3→MP2の4Way-handshakeとMP1→MP3の4Way-handshakeが重なっているが、その場合でも正常に動作することを確認できた。

4.3 802.11sのセキュリティの追加検討

現状の802.11sのセキュリティでは、前述のとおり、MP間での無線Linkごとのセキュリティとなっているが、メッシュネットワークでは、それだけでは不十分な場合もあるという議論が高まってきており、セキュリティの追加機能の検討も始まりつつある。今後は、その検討も行っていく予定である。

5. ハードウェアプラットフォーム

MPのハードウェアは、802.11sで定義されているように、Single-RadioとMultiple-Radioのどちらにも対応可能な構成が望ましい。今回、Single-Radioの無線LANモジュールとMultiple-Radioの無線LANモジュールを互換性のある共通インタフェースとし、ノバテック(株)に協力を求め、ハードウェアプラットフォームの試作も行った(表1, 図7)。このハードウェアプラットフォームでは、無線LANモジュールを差し替えるだけで、Single-RadioとMultiple-Radio(試作ではDual-Radio)に対応でき、処理能力としても実現可能であることが検証できた。

6. 今後の展開

メッシュネットワーク技術は、家庭・オフィスから公衆サービスまで屋内・屋外も含めて応用範囲が広く、その適用先として、以下が考えられる。

- (1) ADSL/FTTH等と接続し、Home Gateway、家電等にメッシュ機能を搭載する。
- (2) 公衆無線LAN、企業内無線LANのメッシュ化やケーブル施設困難なビルにも柔軟に対応できる。
- (3) 防災や災害時の緊急用ネットワークに用いる。
- (4) 列車ネットワークのメッシュ化や将来的な車車間、路車間通信などにメッシュ技術を応用する。

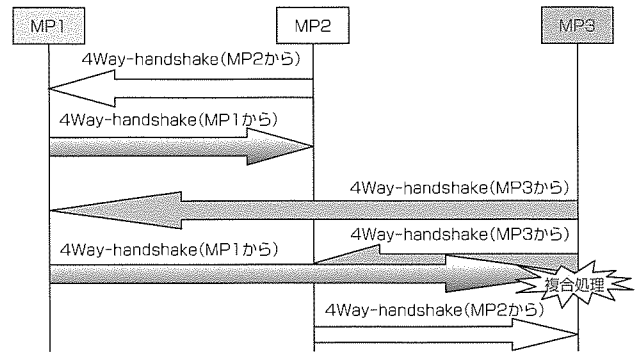
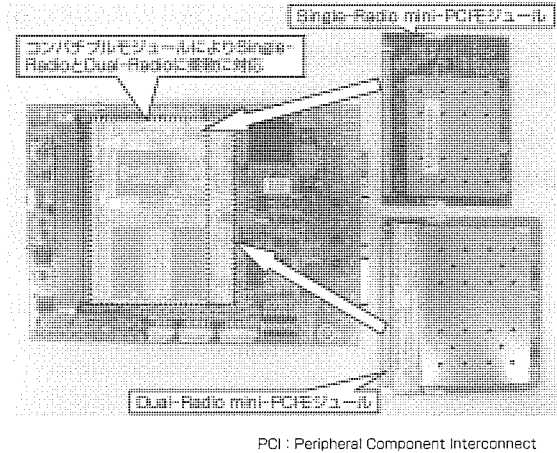


図6. 3台のMPでの相互認証シーケンス例

表1. ハードウェアプラットフォーム仕様

項目	仕様
CPU	Intel社製IXP425
インタフェース	WLAN(802.11a, 802.11b/g)
OS	Linux <sup>(注1)</sup>

(注1) Linuxは、Linus Torvalds氏の登録商標である。



PCI: Peripheral Component Interconnect

図7. ハードウェアプラットフォーム

7. むすび

以上、今回試作したメッシュセキュリティ機能とハードウェアプラットフォームについて述べた。最後に、今回の試作にご協力いただいた関係各位に深く感謝する。

参考文献

- (1) Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specification: ESS Mesh Networking IEEE802.11s/D0.01

# アドホックルーティング技術

石橋孝一\* 矢野雅嗣\*  
高田憲一\*  
田村智只\*

## Ad Hoc Routing Technologies

Koichi Ishibashi, Kenichi Takada, Satoshi Tamura, Masatsugu Yano

### 要旨

あらゆる人や“モノ”がネットワークにつながり、いつでも、どこでも、だれにでも欲しいサービスが利用できるユビキタスネットワーク社会の実現に向けて、既存のネットワークインフラを利用することなく、端末間での通信を可能とするアドホックネットワークへの関心が高まっている。アドホックネットワークは、元来、戦場における軍用情報の交換手段の確保を目指して研究がスタートし、近年では、民生通信への応用をねらって研究が活発化しており、多様な分野への適用に向けた議論が行われている。例えば、その応用例としては、災害時の利用や防災向け、Personal Area Networkによる各種サービス、車車間・路車間通信、センサネットワークなどがある。

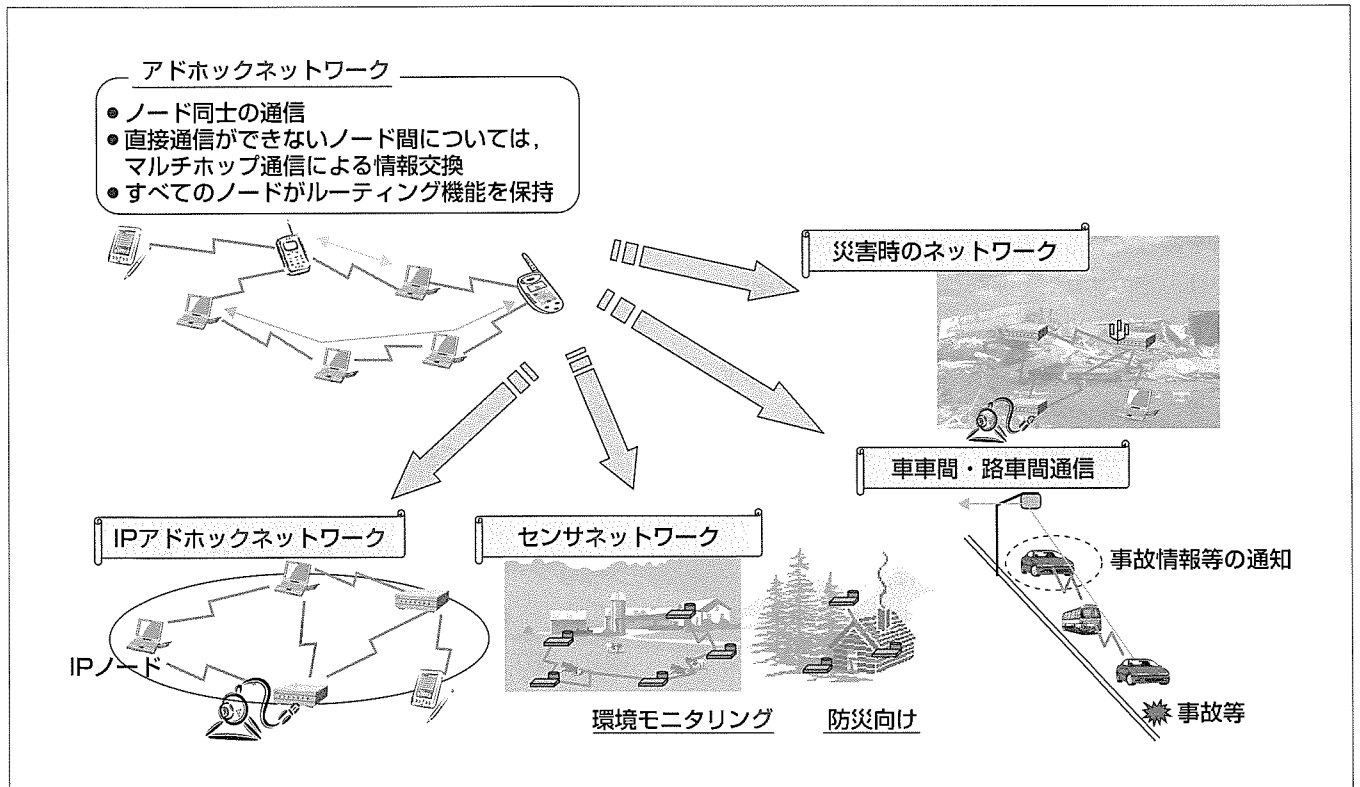
ここで、アドホックネットワークの技術的課題は、アーキテクチャ、ルーティング技術、MAC(Medium Access

Control)プロトコル、アプリケーション、エネルギー管理、セキュリティなどと多岐にわたっており、現在、活発な研究・開発がなされている。

本稿では、ルーティング技術に焦点を当て、アドホックネットワークの応用例として、IP(Internet Protocol)アドホックネットワークとセンサネットワークへの適用について述べる。

IPアドホックネットワークでは、複数の接続点によりインターネット接続を実現しており、多様な接続形態を持つアドホックネットワークを可能としている。

また、センサネットワークへの適用では、センサノードの持つメモリリソースの制約を考慮し、数千規模のセンサノードからなるセンサネットワークを実現可能な経路探索/制御技術の検討を行っている。



### アドホックルーティング技術の応用イメージ

アドホックネットワークは、すべてのノードがルーティング機能を持つことにより、ノード同士による通信や直接通信ができないノード間についてはマルチホップ通信による情報交換が可能なネットワークである。また、固定の通信インフラに依存しない自律分散型のネットワークであることから、いつでも・どこでも・どのようなエリアでも構築可能であり、様々な分野への応用が期待されている。

1. ま え が き

近年の無線インフラの整備やモバイル端末の普及に伴い、固定的な通信インフラを必要とせず無線端末間によりネットワークを構築できる無線アドホックネットワークが注目されている。ここで、アドホックネットワークの技術的課題は、多岐にわたっており、活発な研究・開発がなされている。

本稿では、特にルーティング技術に焦点を当て、アドホックルーティング技術の概要と技術動向を解説し、世界最小クラスのLinux<sup>(注1)</sup>搭載コントローラ(三菱電機インフォメーションテクノロジー(MDIT)製マイクロサーバ)上で動作可能であり複数の接続点によるインターネット接続を特徴とするアドホック対応ルーティングプロトコル、及びセンサネットワークへのアドホックルーティング技術の適用について述べる

2. アドホックルーティング技術動向

2.1 技術概要

無線アドホックネットワークでは、すべての端末がメッセージの転送を行い、すべての端末が移動可能であることから、既存のルーティングプロトコルとは異なるルーティングプロトコルが必要となり、米国におけるDARPA(Defense Advanced Research Projects Agency)研究プログラムやIETF(Internet Engineering Task Force) Mobile Ad hoc NETworks(MANET)WGを始めとして各所で研究が行われている。提案されているルーティングプロトコルは、フラット型(Proactive型やOn-demand型)、階層型、位置情報補助型などに分類され、各々のプロトコルは、仮定するノード数やモビリティ、通信頻度等に対して長所・短所を持っている。そのため、無線アドホックネットワークでは、どのプロトコルの性能が一番良いのかといった比較はできず、どのような環境でどのプロトコルの性能が良いといった議論が重要となり、実環境での評価やアプリケーション(適用シナリオ)が重要となる。

また、最近では、IEEE 802.11s(メッシュネットワーク)や基地局間ネットワークでの検討も行われている。

(1) Proactive型ルーティングプロトコル

Proactive型ルーティングプロトコルは、すべてのノードが共通の情報を前もって共有するプロトコルであり、通信の有無にかかわらず、バックグラウンドで経路情報の交換を行っている。このプロトコルでは、リアルタイム通信やQoS(Quality of Service)サポートに対して各種の属性を含む経路情報の交換による対応が可能である。しかし、ノード数の増大に対して、各ノードで保持する経路情報の増大やバックグラウンドで交換される制御メッセージ量の増大といった問題がある。

(注1) Linuxは、Linus Torvalds氏の登録商標である。

(2) On-demand型ルーティングプロトコル

On-demand型ルーティングプロトコルは、通信の必要に応じて各ノードが経路探索及び維持(Route Discovery & Maintenance)を行うプロトコルであり、経路情報の維持に要するオーバーヘッドを削減することを目的としている。このプロトコルでは、通信の発生時に送信先ノードに向けた経路を求めため、通信の発生頻度が小さいときには大幅なオーバーヘッドの削減が可能である。しかし、送信先ノードに向けた経路探索において、floodingと呼ぶ手法を用いるため、ノード数の増加に伴い、floodingによるトラフィックが増大するといった問題がある。

なお、図1に、一般的に言われているProactive型とOn-demand型の適している適用領域を示す。

(3) 階層型ルーティングプロトコル

階層型ルーティングプロトコルは、ノードを複数のクラスタに分割し、クラスタ内とクラスタ間のルーティングに分けた階層構造で経路探索/制御を行うプロトコルである。しかし、ネットワークの特性(トポロジーの変更頻度や通信の発生頻度、通信パターン等)に応じた最適なクラスタリングが困難であることや、クラスタヘッド同士の通信によるクラスタ間のルーティングでは、クラスタヘッドがSingle points of failureとなる問題、クラスタヘッドへのトラフィックの集中や不均衡なリソース利用といった問題がある。

2.2 アドホックネットワークの応用例

元来、無線アドホックネットワークは戦場における軍用情報の交換手段の確保を目指して研究がスタートし、近年では、民生通信への応用も含めて、様々な用途への応用が期待されている。応用例としては、災害時の利用、Personal Area Network(PAN)による各種サービス、コミュニティネットワークの形成、ITS(Intelligent Transport Systems)における車車間・路車間通信、センサネットワークなどがある。

本稿では、IPアドホックネットワークを実現するアドホック対応ルーティングプロトコルの開発、及びユビキタスネットワーク社会において重要な役割を担うセンサネットワークへのアドホックルーティング技術の適用について以降で述べる。

3. IPアドホックネットワーク

3.1 概要

現在、IETF MANET WGでは、アドホック対応ルーテ

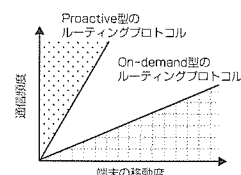


図1. フラット型ルーティングプロトコルの適用領域

イングプロトコルとしてProactive型のOLSRv2<sup>(1)</sup>とOn-demand型のDYMO<sup>(2)</sup>の2つに絞り議論が進められている。

今回、複数の接続点によりインターネット接続を可能とするOn-demand型のDYMOをベースとするアドホック対応ルーティングプロトコルを開発した<sup>(3)</sup>。On-demand型を採用した理由は、情報収集などの通信頻度が小さいアプリケーションをターゲットとし、上記アプリケーションのトラフィック転送に対して、経路探索のオーバーヘッドが小さいためである。特徴は以下のとおりである。

- インターネット上の端末との通信に対する最適な(最短ホップの)経路選択
- 途中ノードの移動や無線環境の変化等による複数の接続点をまたがった経路変更に対して、IP端末の移動性を実現するMobile IPとの連携による通信の継続性

なお、今回開発したアドホック対応ルーティングプロトコルは、世界最小クラスのLinux搭載コントローラであるMDIT製マイクロサーバ上で動作可能である。

### 3.2 インターネット接続

ここでは、複数の接続点によるインターネット接続を実現するための拡張機能(Gateway Discovery, Gateway Selection, 及びMobile IP based Function)について述べる。なお、図2のネットワークモデルにおいて、アドホックネットワークに1つのNetwork Prefixを割り当てるものとする。

Gateway Discoveryは、アドホックネットワーク内のノードがインターネットとの接続点となるノードを発見するための機能であり、各ノードが複数の接続点に対する情報を保持する。

Gateway Selectionは、インターネット上の端末と通信を行う際に保持する接続点の情報より最適な接続点を選択し、接続点に対する経路を確立する機能である。

Mobile IP based Functionは、接続点となるノードがアドホックネットワーク内のノードの代わりにMobile IP Home Agentに対して登録手順及びトンネリング処理を実現し、インターネット上の端末との通信を実現する機能である。

## 4. センサネットワークへの適用

### 4.1 概要

近年の無線テクノロジーや電子デバイスの進展に伴い、

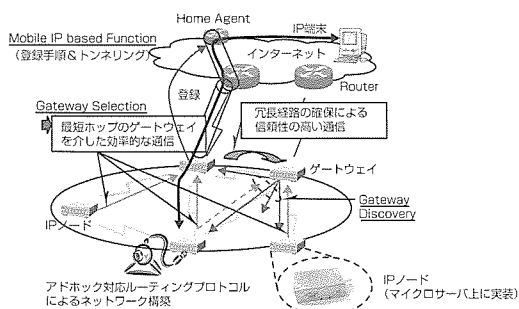


図2. ネットワークモデル(IPアドホックネットワーク)

ワイヤレスセンサネットワークに対する関心が高まっている。ワイヤレスセンサネットワークは、センシングやコンピューティング、無線通信の機能を持つセンサノードよりなるネットワークであり、モニタリング等を必要とするエリアに任意に配置されるアドホックネットワークである。ここで、ワイヤレスセンサネットワークの構築では、センサノードに起因する種々の制約条件の下でのルーティングやパワーマネジメント、データ収集に向けたプロトコルなどの課題があり、各種の取り組みが行われている。

本稿では、ワイヤレスセンサネットワークにアドホックルーティング技術を適用する際の技術課題を明確にし、大規模センサネットワークの実現に向けた経路探索/制御技術について述べる。

なお、ワイヤレスセンサネットワークに期待される利活用の一例としては、ターゲットフィールドのイメージングや不正侵入・盗難検知、防犯・セキュリティ、気象や農業分野での環境モニタリング、温度・圧力等の状態検知、工業分野での制御、防災・災害対策などがある。

### 4.2 技術課題

ここでは、単一のセンサネットワーク上に多様なアプリケーションがオーバーレイする形態(図3)を想定し、大規模・広域にまたがるセンサネットワークに既存のアドホックルーティング技術を適用する際の課題について述べる。

既存のアドホックルーティング技術を適用する際の課題は以下のとおりである。

- スケーラビリティを持つ大規模経路探索/制御技術
- 複数のサブネットワーク間の連携を実現する広域対応経路探索/制御技術
- センサノードの持つリソース(処理能力、メモリリソース、バッテリー残量等)を考慮した経路制御技術
- 自律分散的にアドレス割当てやサービス発見・広告などを実現する構成管理技術(Self-Organization)
- 自律的に故障ノードの特定を行いネットワークを自己修復する保守管理技術
- 重要なセンシングデータに対する転送制御技術
- セキュリティ

上記の技術課題のうち、ここでは、今回開発した大規模経路探索/制御技術について述べる<sup>(4)</sup>。

### 4.3 大規模対応経路探索/制御技術

大規模センサネットワークでは、無線帯域の制約やセン

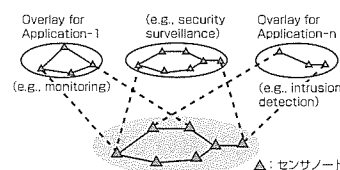


図3. 今後のワイヤレスセンサネットワーク

サノードの持つメモリリソースの制限を考慮する必要がある。ここで、センサノードの持つメモリリソースの制限を考慮すると、あらかじめネットワーク内の各ノードに対する経路情報を保持するProactive型ではなく、On-demand型のルーティングプロトコルが有用となる。しかし、On-demand型のルーティングプロトコルでは、経路探索などにおいてfloodingと呼ばれる転送手法により、制御メッセージをブロードキャストしており、ノード数の増大に対して、floodingによるトラフィック量を抑える仕組みが必要になる。

今回、開発した大規模対応経路探索/制御技術では、以下の機能を導入し、floodingにおけるトラフィック量の抑制及び各ノードにおいて保持する経路情報量の削減を図っている。

- MPR (Multi-Point Relaying)
- Prolonged Route Caching method
- Aggregated Route Discovery

(1) MPR

従来では、すべてのノードが受信した新パケットの再転送を行っている。上記に対して、MPRは、“MPR set”というノードの集まりを規定することにより、floodingを効率良く行う手法である(図4)。なお、MPRでは、MPR setの選択アルゴリズムが重要となり、メモリリソースの制約の下で効率的なMPR setの選択アルゴリズムの実装が必要である。

(2) Prolonged Route Caching method

Prolonged Route Caching methodは、センサノードの移動性は小さく、ネットワークトポロジーの変更頻度が小さいとの仮定の下、floodingによるオーバーヘッドの削減とメモリリソースの制約に対処するための各ノードにおける経路情報の管理メカニズムである。

Prolonged Route Caching methodでは、各ノードは、アクティブな通信の終了後も経路情報をキャッシュ(Prolonged caching)しており、経路探索要求を受信時に、要求先に対する経路情報を保持する際には、Unicastで経路探索要求を転送する。また、経路情報を保持しない際には、従来のOn-demand型ルーティングプロトコルと同様に受信する経路探索要求をfloodingする(図5)。上記により、新たな通信の発生時の経路探索によるトラフィック量の削減が可能であり、また、各センサノードの持つリソースの制約に応じた柔軟な経路情報の管理が可能である。

(3) Aggregated Route Discovery

Aggregated Route Discoveryは、複数の経路が同時に存在する中継ノード間で自律的に経路を集約するメカニズムである(図6)。このAggregated Route Discoveryにより、センサネットワークにおける代表的なアプリケーションであるモニタリング等において発生するSink node周辺のノードにおける経路の集中に対して、集約される経路上のノードにおける経路情報の削減を図るものである。

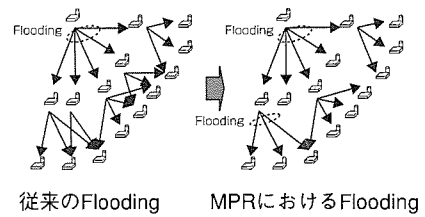


図4. Flooding手法の比較

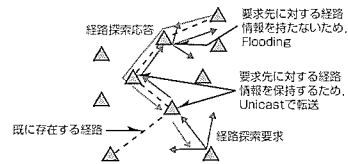


図5. Prolonged Route Caching method

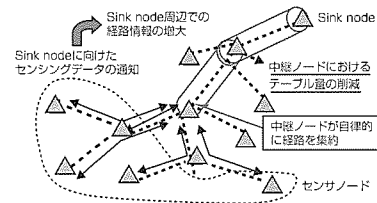


図6. Aggregated Route Discovery

5. む す び

いつでもどこでもネットワークの構築を可能とするアドホックルーティング技術の概要について述べ、IPアドホックネットワーク及びセンサネットワークへのアドホックネットワーク技術の適用とその課題について述べた。

なお、センサネットワークへの適用については、総務省委託研究「ユビキタスセンサーネットワーク技術に関する研究開発」の一環として研究を実施している。

参 考 文 献

- (1) Clausen, T., et al.: The Optimized Link-State Routing Protocol version 2, draft-ietf-manet-olsrv2-01 (2006)
- (2) Chakeres, I., et al.: Dynamic MANET On-demand (DYMO) Routing, draft-ietf-manet-dymo-04 (2006)
- (3) 石橋孝一, ほか: 複数ゲートウェイを跨ったインターネット接続をサポートするアドホック・ネットワーク実現に向けた一検討, 2006年電子情報通信学会総合大会, B-21-58 (2006)
- (4) 高田憲一, ほか: 大規模センサーネットワーク実現に向けた経路制御手法の一検討, 2006年電子情報通信学会総合大会, B-7-105 (2006)

# 無線LANを用いた映像ストリーム伝送技術

井上禎之\*  
志田哲郎\*

Video Stream Transmission Technologies for Wireless LAN

Sadayuki Inoue, Tetsuro Shida

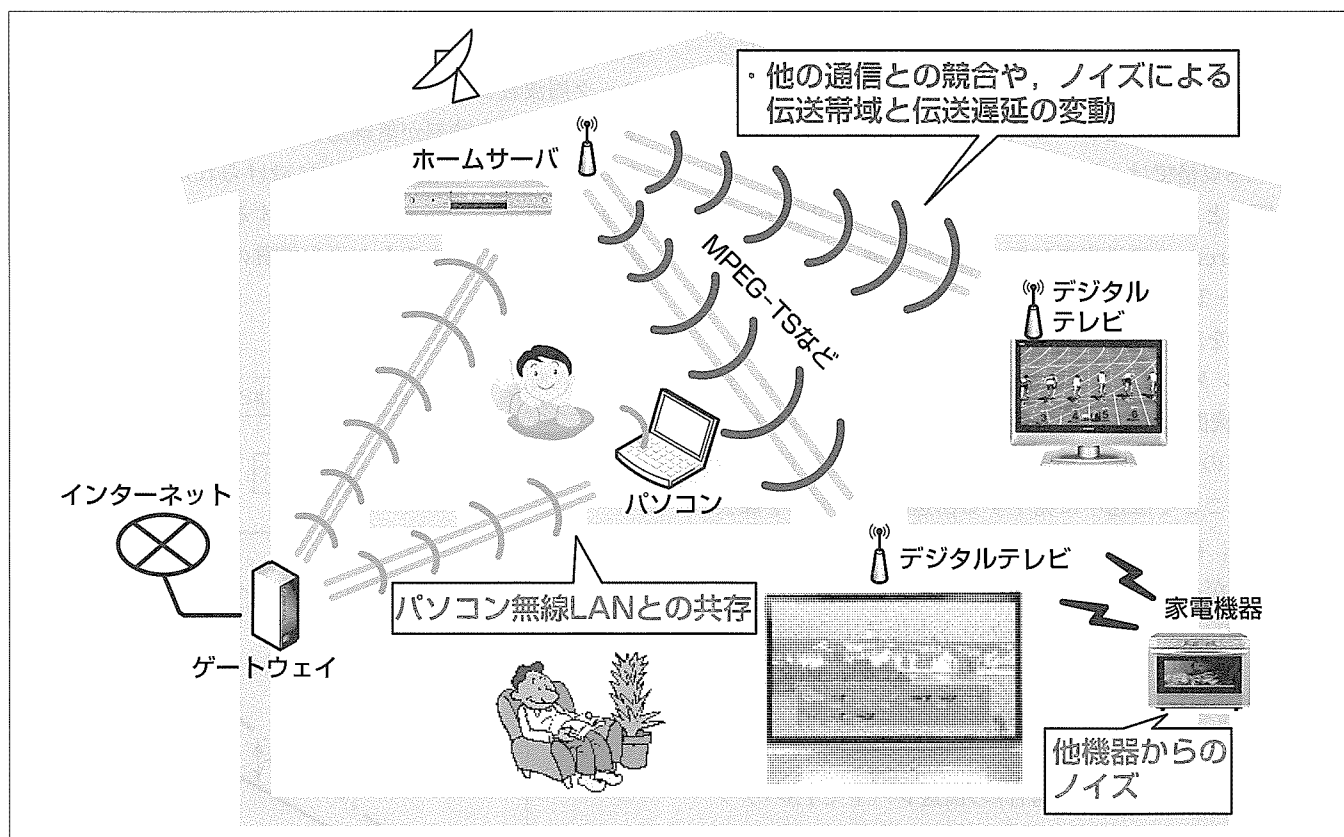
## 要旨

無線LAN(Local Area Network)の伝送帯域の拡大に伴い、無線を利用してハイビジョンの映像ストリームをこま落ちなく伝送する映像ストリーム伝送技術の開発を進めている。IEEE802.11aに代表されるデータ伝送系ネットワークでは、以下に示す2つの要因により、データパケットの到着時刻の乱れ(以下“伝送遅延ジッタ”という。)が発生する。

- (1) ネットワークの伝送帯域差に起因して発生するジッタ
- (2) 無線送信機-受信機間のクロック周波数偏差に起因して発生するジッタ

本稿では、MPEG-TS(Motion Picture Expert Group-Transport Stream)の伝送を対象として上記要因で発生するジッタを抑制しハイビジョン映像ストリームを無線で途切れなく伝送する映像ストリーム伝送技術について述べる。

伝送帯域の異なる非同期系のネットワークを介してMPEG-TSの伝送を行う場合は、①受信機から適切なタイミングで受信TSパケットを出力する機能、②送信機-受信機間の基準クロックの同期機能を実装する必要がある。①については、TSパケットの先頭にタイムスタンプを付加し、受信機側でタイムスタンプ情報を基に受信したTSパケットの出力タイミングを生成することで実現する。また、②については、受信機側に設けたバッファのデータ残量の変化に注目し、送信機側の基準クロックの周波数を推定する方式を開発した。この方式をIEEE802.11aを用いた試作機に実装し性能評価を行ったところ、PCR(Program Clock Reference)の到着時刻変動を500ns以下とする目標性能を達成することができた。



## 無線映像伝送を中心としたホームネットワーク

パソコン無線LANとの競合や家電機器などからのノイズ等の外乱に対して映像ストリームを無線で高品質に伝送するために、伝送帯域や伝送遅延の変動を補償する映像ストリーム伝送技術を開発した。

## 1. ま え が き

デジタル放送などのデジタルコンテンツ対応機器の普及や無線LANの伝送帯域の拡大に伴い、無線を利用してAV (Audio Visual) 機器間を接続し映像ストリームを送送するネットワークを構成する試みが各社で研究されている。デジタル放送などの標準ストリームフォーマットであるMPEG-TSは、本来、地上波放送や衛星放送等の伝送遅延時間が変化しないネットワークで配信する前提で設計されている。しかしながら、無線LANのIEEE802.11に代表されるような非同期系ネットワークでは、ネットワーク上で発生する通信競合や通信エラーに伴う再送制御などに起因するデータパケットの到着時刻の乱れ(以下“伝送遅延ジッタ”という。)により、MPEG-TSが要求する伝送品質を満足させることが困難である。その結果、受信機内の受信バッファ及びデコーダバッファの破綻(はたん)、MPEGデコーダ内の基準クロックの乱れによる再生画質の劣化などが発生する。

本稿では、無線LANを使用してMPEG-TSを送送する際の伝送遅延ジッタの抑圧方法について述べる。

## 2. 伝送遅延ジッタ発生要因

一般に、MPEGエンコーダは、MPEGデコーダ内のデコーダバッファの状態(データ残量)を想定し、デコーダバッファがオーバーフロー又はアンダーフローしないように符号量を調整し符号化データを出力する。このとき、MPEG-TS規格では、MPEGエンコーダ-MPEGデコーダ間の同期をとるため、タイムスタンプ(PCR: Program Clock Reference)の送出を100ms以内に1回、かつPCRを含むMPEG-TSパケット(以下“TSパケット”という。)の到着時間精度を500ns以下に抑えることを要求している。

AV系インタフェースとして使用されるIEEE1394は、送信機-受信機間の基準クロックを同期させる仕組みを持っており、この同期したクロックを基準としてTSパケットを送送することで伝送中に発生する伝送遅延ジッタを除去しているが、非同期系の無線ネットワークでは、上記のような仕組みがないため、伝送遅延ジッタが問題となる。以下、IEEE802.11aを介してTSパケットを送送する際に発生する伝送遅延ジッタの発生要因について述べる。

### 2.1 伝送帯域の差に起因する伝送遅延ジッタ

MPEG2-TSのシステム仕様では、MPEGエンコーダから最大80Mbps(MP@HLの場合)の伝送レートでTSパケットが出力される。一方、非同期系であるIEEE802.11aの実効伝送レートは約25Mbps程度である。図1にMPEGエンコーダから出力されたTSパケットをIEEE802.11aで伝送する際のタイミングを示す。図中、上段はMPEGエンコーダのTSパケット出力タイミング、中段は無線送信機がTSパ

ケットを出力するタイミング、下段は無線受信機において受信したTSパケットがMPEGデコーダに入力されるタイミングを示す。図に示すように、MPEGエンコーダのTSパケット最大レートよりも無線伝送帯域が低いため、TSパケットのMPEGデコーダへの入力タイミングが乱れ伝送遅延ジッタが発生する。

### 2.2 クロック周波数偏差に起因する伝送遅延ジッタ

一般に、上記ネットワークの伝送帯域の差などに起因して発生する伝送遅延ジッタは、無線送信機側でタイムスタンプ情報をTSパケットに付加し、無線受信機側で付加されたタイムスタンプ情報に基づいてTSパケットの出力タイミングを決定することにより吸収する。その前提として、無線送信機内部の基準クロック(基準時刻)と無線受信機内部の基準クロックを同期させる必要がある。

その方法として基準クロック情報をネットワーク伝送することが考えられるが、非同期の無線ネットワークでは、基準クロック情報の伝送そのものが伝送遅延ジッタに影響されるため、結果として、基準クロックを精度良く同期させることは困難である。また、水晶発振子を利用する方法もあるが、発振周波数のばらつきや温度変化により1秒間で最大100 $\mu$ s程度の基準時刻のずれが発生してしまう。

図2に、クロック周波数偏差に起因して無線送信機-受信機間の基準時刻がずれていく様子を示す。同図では、無線送信機側の基準クロック周波数が無線受信機側の基準クロック周波数より遅い場合を示している。この場合、無線受信機側の基準時刻が無線送信機側の基準時刻に対して進んでいくため、無線受信機内に設けられた後述するTSパケットの受信バッファがしばらくするとアンダーフローし、再生画像が急に止まるなど再生画質の劣化を招く。

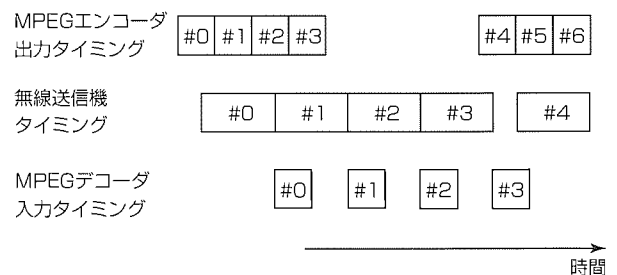


図1. TSパケット伝送タイミング

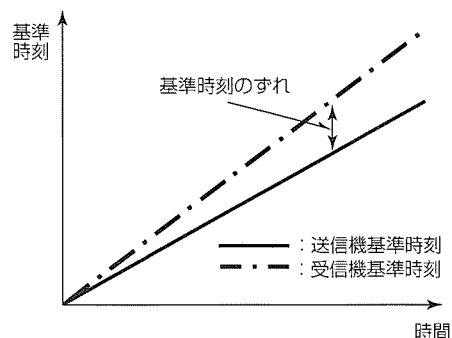


図2. 無線送信機-受信機間のクロック周波数偏差



### 3. 無線ネットワークでの伝送遅延ジッタ抑圧方法

TSパケットへのタイムスタンプの付加により、ネットワーク伝送帯域の差に起因する伝送遅延ジッタの吸収は可能である。しかしながら、無線送信機-受信機の互いの基準クロック周波数の同期が確立できないと、無線受信機内の受信バッファの破綻や、再生画質の劣化が発生してしまう。上記課題を解決するため、下記の2つの機能を実装した。

#### 3.1 TSパケット出力タイミング生成

今回開発を行ったTSパケット出力タイミング生成方式では、TSパケットを無線送信機側で適切なタイミングで出力するため、送信機内部の基準時刻情報をタイムスタンプとしてTSパケットに付加し伝送する。図3に、タイムスタンプを用いたTSパケットの出力タイミング生成方式の概要を示す。図に示すように、無線送信機はTSパケットが入力されると、その時刻情報を基にタイムスタンプを生成しTSパケットに付加して無線伝送する。タイムスタンプの付加されたTSパケットを受信すると、無線受信機は、付加されているタイムスタンプ情報を無線受信機内部の基準時刻情報と比較して出力タイミングを生成し、TSパケットを無線受信機から出力することにより伝送遅延ジッタを抑圧する。

#### 3.2 送信機-受信機間の基準クロックの同期

無線送信機内部と無線受信機内部のそれぞれの基準時刻を同期させるために、無線受信機内に設けた受信バッファのデータ残量変化に注目し、無線受信機側で無線送信機側の基準クロックとの周波数偏差を推定する方式を開発した。

図4にクロック同期している場合(実線)と、同期していない場合(一点鎖線)の受信バッファデータ残量の変化を示す。1ピクチャ当たりのデータ量が比較的大きいイントラフレームの読み出し時には、受信バッファ内のデータ残量が急峻(きゅうしゅん)に減少するが、クロック同期している場合には、GOP(Group Of Picture)内の残フレームの時間をかけて徐々にデータ残量が元の値に戻る。クロック同期していない場合には、時間が経過するにつれて受信バッ

ファのデータ残量の平均値が徐々に変化する。図の網かけ部分が無線送信機-受信機間の基準クロックの周波数の差(以下“クロック周波数偏差”という。)に起因する受信バッファのデータ残量の変化量で、ほぼリニアに変化する。

### 4. クロック周波数同期制御方法

#### 4.1 クロック周波数偏差推定

送信側と受信側のクロック周波数がずれている場合、受信機内部の受信バッファの入力量と出力量がアンバランスとなり、データ残量は想定値から徐々に外れていく。そこで、受信バッファ内のデータ残量の時間的な変化に基づいて、送信側のクロック周波数を推定し、受信側のクロック周波数を補正する制御を行う。具体的には、図5に示すように、受信バッファ内のデータ残量を定期的に監視し、前

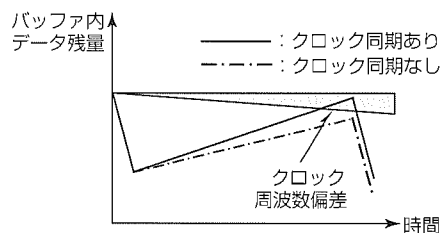


図4. 受信バッファデータ残量の変化

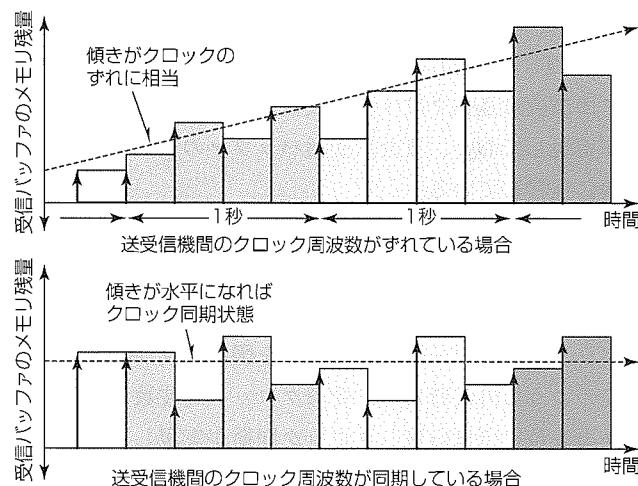


図5. クロック周波数偏差の推定

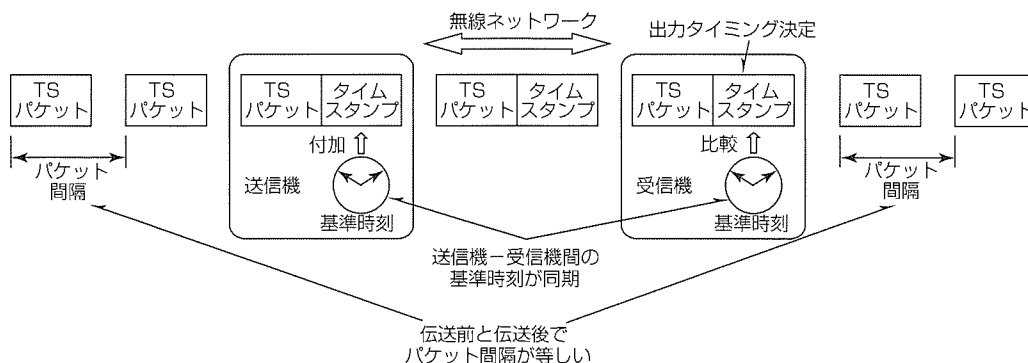


図3. TSパケット伝送方式概要

後のデータ残量の差に基づいてクロック周波数偏差を推定し、受信側クロック周波数の補正值を算出する。

#### 4.2 受信バッファ破綻防止制御

前節のクロック同期制御の結果、受信バッファがオーバーフロー又はアンダーフローの危険性が高くなった場合、フェールセーフ機能として、受信側クロック周波数補正值を安全な方向へ補正する。

#### 4.3 周波数補正值振幅制限

ストリームの切換えによるビットレート変動や伝送遅延ジッタなどにより、クロック周波数偏差とは異なる要因でクロック周波数推定値が大きく変化した場合でも、MPEG-TS規格(PCR到着時刻変動500ns以内)へ適合するように、受信側クロック周波数補正值の振幅を制限する。

### 5. 実機測定結果

上記の議論から、無線受信機の受信バッファが破綻せずMPEG-TSのPCR到着時刻変動規格を満たすような制御により、無線送信機と無線受信機間の基準クロック同期が実現できればよいこととなる。そこで、無線LANとしてIEEE 802.11aを使用し、無線送信機と無線受信機の初期クロック周波数差を100ppm(送信側クロック周波数33.000MHz, 受信側クロック周波数32.997MHz)とした場合の、受信機側での基準クロック同期制御、及び受信バッファ内のデータ残量の変化を測定した。図6は6MbpsのMPEG-TSを伝送した場合の測定結果であるが、受信クロック周波数は送信クロック周波数にほぼ収束しクロック同期が実現しており、また、受信バッファのデータ残量も安定的に推移している。

また、外乱要因として、①無線区間での300msの伝送遅延を挿入した場合、②MPEG-TSのビットレートを変更した場合、それぞれの受信側クロック周波数の制御結果と受信バッファ内のデータ残量の変化を図7、及び図8に示す。上述のような外乱時にも、受信クロック周波数は送信クロック周波数にほぼ収束しクロック同期が実現しており、受信バッファのデータ残量も安定的に推移することが確認された。

また、受信機側で実際に再生された映像でもブロックノイズ等の劣化は見られず、良好な結果が得られた。

### 6. むすび

無線送信機と受信機間でクロック同期を実現することにより、伝送品質が劣化しやすく帯域予約等の映像伝送サポート機能のない無線LAN上でも、MPEG-TSが安定して伝送できる映像伝送技術を開発した。今後は、AV系ホームネットワークの実現に向けて、更なる開発を進める予定

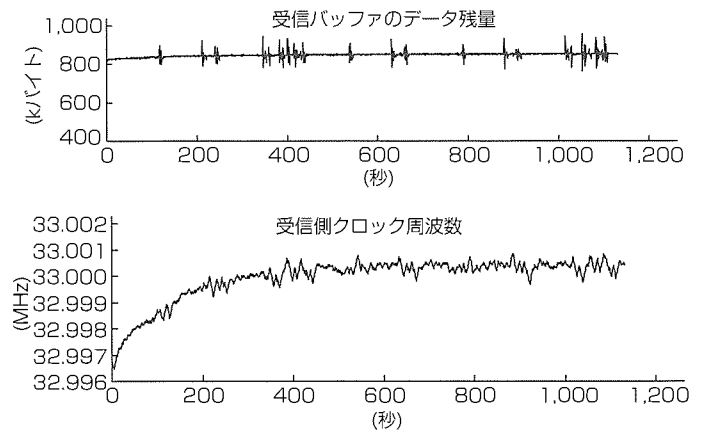


図6. 6 MbpsのMPEG-TS伝送時の実測結果

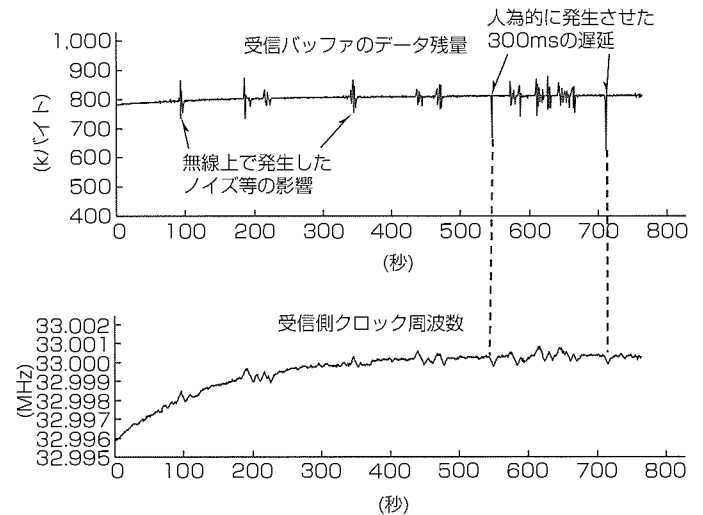


図7. 300msの伝送遅延を挿入した場合の実測結果

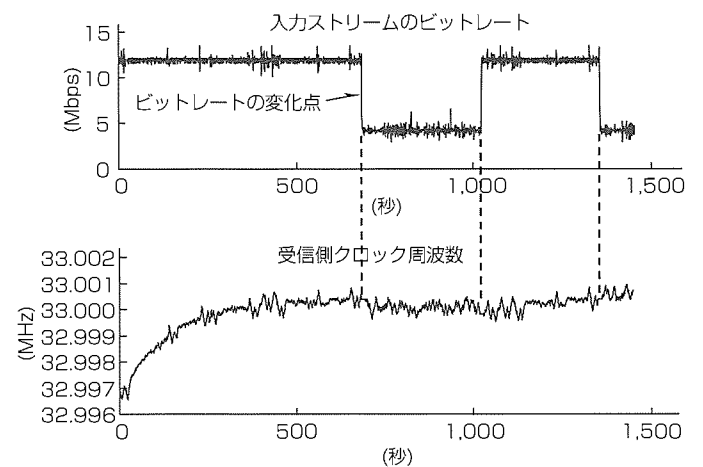


図8. 伝送ビットレート変更時の実測結果

である。

なお、この内容は、独立行政法人NEDO(新エネルギー産業技術総合開発機構)の平成15年度課題設定型産業技術開発費助成事業において開発した成果の一部に基づくものであり、関係者各位に感謝する。

# 小電力セルラネットワーク技術

御宿哲也\*  
渋谷昭宏\*

Low Power Cellular Network Technologies

Tetsuya Mishuku, Akihiro Shibuya

## 要旨

あらゆるものがネットワークに接続されるユビキタスネットワークを活用して、セキュリティ、省エネルギー、設備維持管理、環境モニタリング、防災、など様々な分野で安全・安心・快適、更に豊かさを提供する社会サービスを享受したいというニーズが拡大している。

このようなユビキタス向け無線システムには、無線端末の電池の長寿命化が可能なRFID (Radio Frequency Identification), Bluetooth<sup>(注1)</sup>, ZigBee<sup>(注2)</sup>等が挙げられるが、これらはいずれも短距離の無線システムである。そのため、広いエリアでサービスすることを考えた場合、多数の中継ノードを設置するだけでなく、中継ノードの電源確保又は定期的なバッテリー交換が必要となるため、設置コスト、ランニングコストの双方がサービスプロバイダーにとって大きな負担となる。

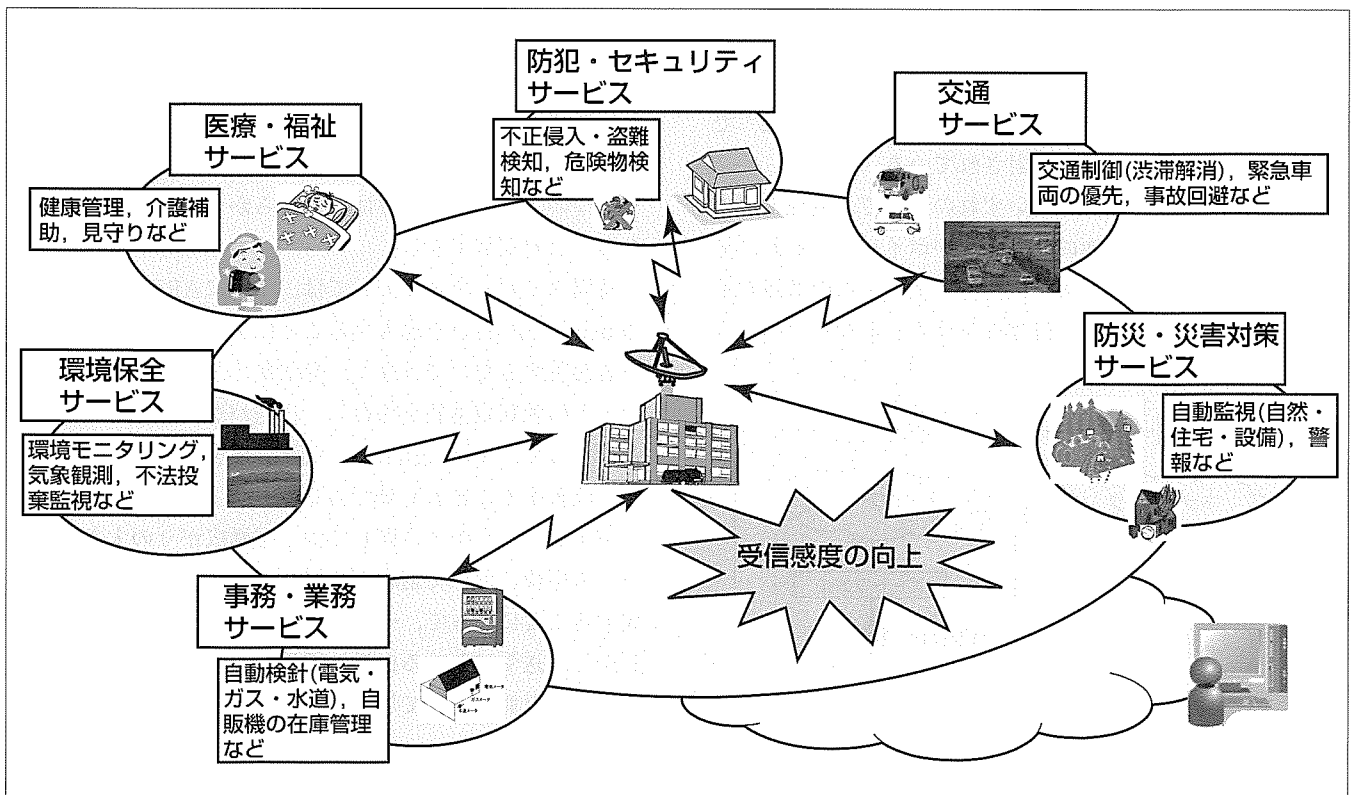
中継ノードを設置しないで広域をカバーするためには、

携帯電話に代表されるようなセルラネットワークや衛星回線でサービスを提供する方式が考えられるが、既存の携帯電話や衛星回線では、前述のRFID等とは対照的に無線端末の電池を頻繁に充電しなければならないという問題がある。

そこで、本稿では、屋外型センサネットワークのような広域に分布する移動性がある低送信電力無線端末を経済的に収容するのに好適な無線システムを“小電力セルラネットワーク”と呼び、2011年の地上テレビジョン放送のデジタル化に併せたVHF (Very High Frequency) 帯周波数再編を想定し、この無線システムに必要な無線技術と、それらを検証するために試作した評価プラットフォームについて述べる。

(注1) Bluetoothは、Bluetooth SIG, Inc.の登録商標である。

(注2) Zigbeeは、Koninklijke Philips Electronics NV.の登録商標である。



## 小電力セルラネットワーク

あらゆるものがネットワークに接続されるユビキタスネットワークにおいて、中継ノードを設置しないで広域をカバーするためには、携帯電話に代表されるようなセルラネットワークの導入が不可欠であるが、既存のインフラでは、無線端末の電池の長寿命化を実現できない。そのため、屋外型センサネットワークのような広域に分布する移動性がある低送信電力無線端末を経済的に収容するのに好適な新たな無線システム“小電力セルラネットワーク”が必要となる。無線基地局の受信感度をいかに向上させるかがキー技術となる。

\*情報技術総合研究所

1. ま え が き

あらゆるものがネットワークに接続されるユビキタスネットワークを活用して、セキュリティ、省エネルギー、設備維持管理、環境モニタリング、防災、など様々な分野で安全・安心・快適、更に豊かさを提供する社会サービスを享受したいというニーズが拡大している。

本稿では、小電力セルラネットワークに必要な無線技術と、それらを検証するために試作した評価プラットフォームについて述べる。

2. 小電力セルラネットワークとは

近年、ユビキタスネットワーク社会の実現に向けて、広範囲に多数のセンサを配置して環境データなどを取得するセンサネットワークの検討が進められている<sup>(1)</sup>。センサネットワークを社会インフラとし、安全・安心・快適、更に豊かさを提供する社会サービスの実用化に向けて、次世代のセンサネットワーク技術として国際的に標準化が進められているZigBee規格を活用した実証試験が行われている<sup>(2)</sup>。

有線ネットワークのゲートウェイからセンサやアクチュエータに接続された無線端末までの無線区間の実現方法は、図1に示すように、マルチホップ型と直取型に大別できる。ZigBeeやBluetoothはマルチホップ型に分類でき、短距離(10~100m程度)の無線システムであるため、広いエリアでサービスすることを考えた場合、有線ネットワークのゲートウェイまで多数の中継ノードを設置する必要がある。一方、中継ノードを設置しない直取型としては、携帯電話に代表されるようなセルラネットワーク<sup>(3)</sup>や衛星回線<sup>(4)</sup>でサービスを提供することも検討されている。

マルチホップ型、直取型、いずれの形態でも無線端末の省電力化を考えると電池の長寿命化がポイントであり、無線端末では、長間隔の間欠受信動作や送信電力の低減が不可欠となる。本稿では、屋外型センサネットワークのよう

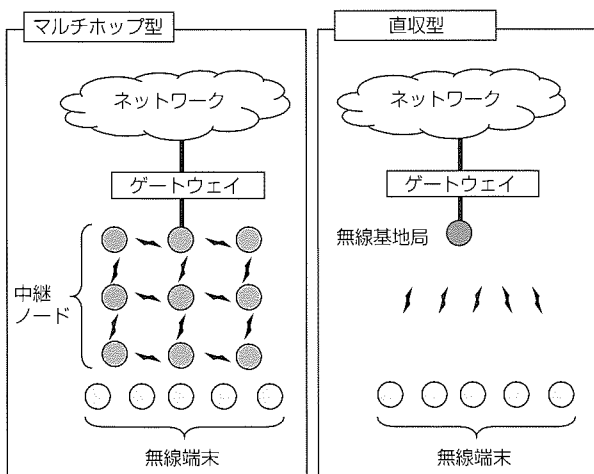


図1. センサネットワークの形態

な広域に分布する移動性がある低送信電力の無線端末(例、10mW以下の特定小電力無線機)を広いサービスエリア(例、セル半径数km)で経済的に収容するのに好適な直取型無線システムを小電力セルラネットワークと呼ぶ。

3. 小電力セルラネットワークに求められる無線技術

低送信電力の無線端末を広いサービスエリアに収容するには、無線基地局における受信感度を向上する必要がある。そこで、小電力セルラネットワークに求められる無線技術として、変復調技術・ダイバシティ技術・誤り訂正技術について述べる。

3.1 変復調技術

復調方式には、①同期検波、②遅延検波の2つの方式がある。同期検波は受信信号から搬送波を再生し、その再生された搬送波を基準に検波する方法である。一方、遅延検波は位相基準として1シンボル前の信号を用いる方法である。QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)の場合、遅延検波方式は同期検波方式に比べてCN(Carrier to Noise)比で約3dB受信特性が劣化する。そのため、受信感度を上げるためには、同期検波方式の採用が望ましい。

3.2 ダイバシティ技術

無線通信では、マルチパスフェージングによって受信レベルが減衰し、その減衰量は位置、周波数又は時間によって変化する。そのため、独立な複数の受信信号を得る手段を設け、それらを選択・合成して、フェージングの影響を軽減する方法をダイバシティと呼ぶ。ダイバシティには表1に示すように様々な方式が挙げられる。

空間ダイバシティに関しては、1つのアンテナでは受信レベルの減衰が激しい場合でも半波長以上離れた場所にもう1つのアンテナを置けば、どちらか一方は良好な特性であることが期待できる。

時間ダイバシティに関しては、単純にARQ(Automatic Repeat reQuest)を導入することによって、パケット誤り率を改善するだけでなく、受信側で誤りが検出されたパケットの軟判定情報を保存し、再送パケットと合成することによって、SN(Signal to Noise)比を向上させ、受信特性を改善することも有効である<sup>(5)</sup>。

パスダイバシティに関しては、遅延広がりの大きいマルチパス環境において適応等化器により遅延波を分離し、合成することによって、受信特性を向上させることができる。しかし、送受における搬送波周波数オフセットが存在する場合、受信側において周波数オフセット補償が不可欠であ

表1. 各種ダイバシティ方式

ダイバシティ方式	内容
空間ダイバシティ	複数のアンテナを半波長以上離す
時間ダイバシティ	時間間隔において同一情報を送信する
パスダイバシティ	適応等化器により遅延波を分離する

る<sup>6)</sup>。

受信感度を上げるためにはこれらダイバシティ技術を組み合わせて適用することが望ましいが、例えば、キャリア周波数が低い場合、アンテナ間の距離を広くとる必要があるため、装置のサイズが大きくなってしまい、無線端末向きではないが、無線基地局の場合はそれほど大きな問題にはならない。このように、装置のコスト・サイズ及び伝搬環境を勘案の上、取捨選択する必要がある。

### 3.3 誤り訂正技術

送信側で情報を送出する際に一定の規則に則した冗長性を付与し、受信側で誤りを検出して訂正する誤り制御方法をFEC(Forward Error Correction)と呼ぶ。送信データに冗長性を付与する誤り訂正符号には、ブロック符号、畳み込み符号、Turbo符号、LDPC(Low Density Parity Check)符号など様々なものがあり、誤り訂正能力に応じて使い分けられる。SN比が悪い場合は、符号化率が小さい誤り訂正符号を採用する必要があるが、第三代携帯電話で使われているTurbo符号(符号化率=1/3)に比べて、更に符号化率が小さい符号も提案されている<sup>7)</sup>。

符号化利得は、送信データの長さによって特性が変化するため、誤り訂正符号を選択する際、復号処理の複雑さだけでなく、どのようなサイズのデータを扱うのかというアプリケーションサービスの側面からも検討する必要がある。

## 4. 試作装置

小電力セルラネットワークに求められる無線技術の評価のために試作した無線基地局と、無線端末から構成される評価プラットフォームについて述べる。

評価プラットフォームでは表2に示す無線技術を実装している。特にこのプラットフォームではサービスエリア内の不感地帯を減らすために、図2に示すように、アンテナを分散配置するDBS(Distributed Base Station)構成<sup>8)</sup>に基

表2. 無線システムの諸元

諸元	内容
変調方式	QPSK, 同期検波
ダイバシティ方式	空間ダイバシティ
誤り訂正方式	畳み込み符号(符号化率=1/2)
伝送速度	10kbps

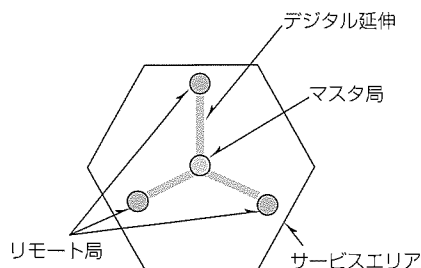


図2. Distributed Base Station構成

づき、無線基地局ではアンテナとアナログ部をリモート局、デジタル部をマスタ局に分散配置し、リモート局とマスタ局を光ケーブルで接続するデジタル延伸アーキテクチャを採用している。このような構成をとることによって、各リモート局で受信した信号をマスタ局で最大比合成することにより、前述の空間ダイバシティ効果を得ることができる。

この試作装置においてデジタル部の信号処理機能を実装したベースバンド基板を図3に示す。様々な無線技術の評価できるようにするため、このベースバンド基板は、複数のDSP(Digital Signal Processor)、FPGA(Field Programmable Gate Array)により構成されている。

また、この試作装置で実現した無線システムの諸元(uplink)を表2に示す。

この評価プラットフォームにおいて、基地局における受信感度特性を取得したところ、誤り訂正後のBER(Bit Error Rate)= $10^{-4}$ が受信電力=-124dBmで達成できることが確認できた。周波数:200MHz、セル半径:5kmとしたときの上りリンクバジェット計算例を表3に示す。無線端末の送信電力(a)に対する各種ロス(b, e, f)、各種ゲイン(c, d)と最大マージン(h)及び所要受信電力(g)には式(1)のような関係がある。

$$a - b + c - f + d - e - h \leq g \dots\dots\dots(1)$$

この試算結果から、距離減衰以外のマージンとして16.0dBあることから周波数:200MHzの場合、送信電力:10mWの無線端末をセル半径:5kmで収容することに十

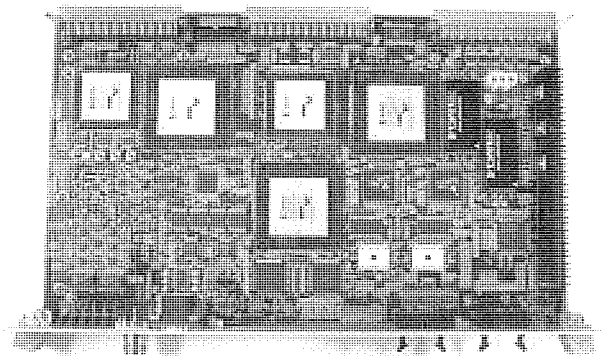


図3. ベースバンド基板

表3. 上りリンクバジェット計算例

諸元	値
a 送信電力 (dBm)	10
b 送信ケーブルロス (dB)	0
c 送信アンテナゲイン (dBi)	0
d 受信アンテナゲイン (dBi)	17
e 受信ケーブルロス (dB)	1
f 距離減衰 (dB)	134.0
g 所要受信電力@BER= $10^{-4}$ (dBm)	-124.0
h 最大マージン (dB)	16.0

【距離減衰算出条件<sup>9)</sup>】

周波数:200MHz、セル半径:5km

基地局アンテナ高:30m、移動局アンテナ高:1.5m

分な実現性があることが分かる。

### 5. む す び

屋外型センサネットワークのような広域に分布する移動性がある低送信電力無線端末を経済的に収容するのに好適な無線システムを小電力セルラネットワークと呼び、この無線システムに必要な無線技術と、無線基地局及び無線端末の試作装置について述べた。

総務省では、VHF/UHF帯について、2011年の地上テレビジョン放送のデジタル化に併せて、移動、放送などの業務にまたがる大規模な周波数再編を想定している。VHF帯は距離減衰の影響が小さく、かつ、回折により障害物に対する回り込みも期待できるため、本稿で述べた小電力セルラネットワークには好適な周波数帯である。そのため、小電力セルラネットワークはVHF帯再編において有力な無線システムとして期待できる。

本稿で述べた評価プラットフォームを活用し、小電力セルラネットワークに必要な無線技術の検討を進めていく予定である。

### 参 考 文 献

- (1) 総務省：「ユビキタスセンサネットワーク技術に関する調査報告会」最終報告  
[http://www.soumu.go.jp/s-news/2004/040806\\_4.html](http://www.soumu.go.jp/s-news/2004/040806_4.html)
- (2) 北海道総合通信局：酪農分野におけるモバイルセンサネットワークに関する調査検討報告書を取りまとめ  
<http://www.hokkaido-bt.go.jp/2006/0323c.htm>
- (3) 齊藤 洋, ほか：広域ユビキタスネットワークインフラストラクチャに向けた考察, 電子情報通信学会論文誌B, **J88-B**, No.11, 2128~2136 (2005)
- (4) 田中 博, ほか：衛星を用いた多地点広域情報集信システムの基本検討, 電子情報通信学会技術研究報告, SAT2004-13, 13~18 (2003)
- (5) Chase, D.: Code Combining-A Maximum Likelihood Decoding Approach for Combining an Arbitrary Number of Noisy Packets, IEEE Transactions on Communications, **33**, Issue 5, 385~393 (1985)
- (6) 富塚浩司, ほか：符号間干渉伝送路における繰返し等化処理を用いた周波数オフセット補償法, 2005年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-5-85 (2005)
- (7) Ping, L., et al.: Low Rate Turbo-Hadamard Codes, IEEE Transactions on Information Theory, **49**, Issue 12, 3213~3224 (2003)
- (8) Jung, P., et al.: Exploitation of Intracell Macrodiversity in Mobile Radio Systems by Development of Remote Antennas, Spread Spectrum Techniques and Applications Proceedings, IEEE 4th International Symposium, **1**, 302~307 (1996)
- (9) Hata, M.: Empirical formula for propagation loss in land mobile radio service, IEEE Transactions on Vehicular Technology, **VT29**, No.3, 317~325 (1980)

# 高周波小電力EMC技術

岡 尚人\*

EMC Technologies for High Frequency-Low Power Electric System

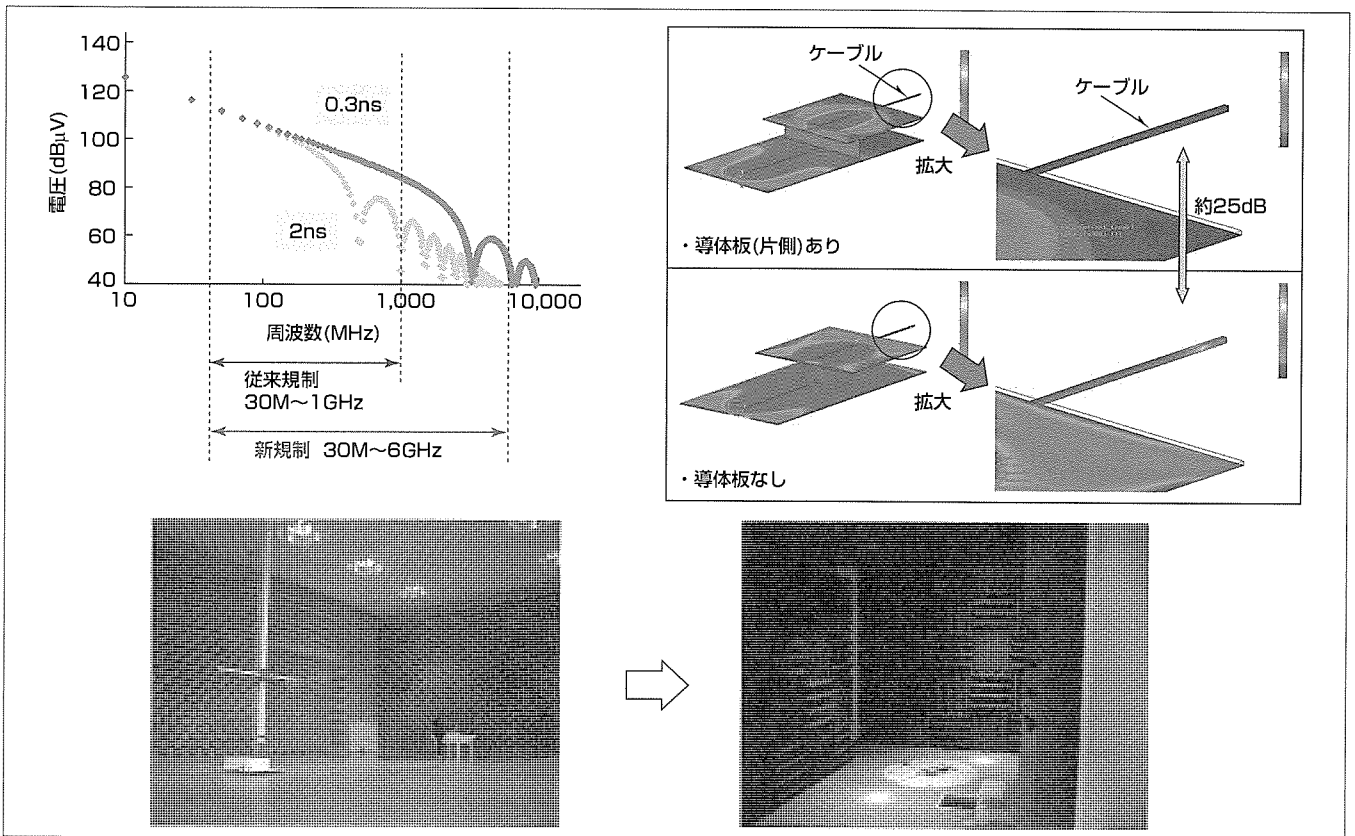
Naoto Oka

## 要 旨

情報技術装置ではシステムの基本周波数が数百MHzから1GHzを超えるケースが出てきており、これによって発生するノイズもGHz帯の周波数となっている。さらに、基本周波数の低い信号についても、立ち上がり時間が短くなり、これらの高調波は、狭い周波数間隔を持ちながらGHz帯までエネルギーを減衰させない広帯域のノイズを発生させている。一方、ノイズの影響を受ける受信側でも、GHz帯を使用する小電力無線システム(特に受信時)が普及している。このような技術動向を受けて、高周波小電力システムに対応するEMC(Electromagnetic Compatibility)技術

の重要性が増している。

本稿では、まず、“EMC技術動向と規格の動向”で、高周波化するEMC技術と高周波・低ノイズ化を要求する規制動向について述べる。次に、“高周波化するEMC”として、信号パルスとEMCとの関連を述べ、“EMC設計技術”で回路基板から発生する放射ノイズの解析例と電気設計と機械設計を組み合わせた放射エミッション抑制方法を製品に適用した検討例を示す。以上により、高周波化、広帯域化、小電力化を切り口としたEMC技術の現状について述べる。



## 高周波化/小電力化するノイズとEMC設計及び測定設備

信号パルスの性質による発生ノイズの高周波化が進み、EMC規制帯域もGHzになろうとしている。これに加えて、低ノイズ化が求められており、設計段階でのEMC検討に一層の充実化が必要になった。測定設備も従来からのEMI測定用暗室(5面吸収帯)から6面吸収体の暗室による高周波帯かつ高精度なノイズ測定評価が必要になる

\*情報技術総合研究所(工博)



1. ま え が き

情報技術装置では、プロセッサやDDR(Double Data Rate)等のメモリシステムを始めとする回路動作の高速化や、インタフェースの高速化が進み、システムの基本周波数は数百MHzから1GHzを超えるケースが出てきている。これにより、発生するノイズの周波数も高くなり、2次、3次といったエネルギーの高い低次の高調波も数GHzの周波数となっている。さらに、基本周波数の低い信号も、半導体プロセスの微細化に伴い、信号の立ち上がり時間が短くなり、1nsを切る事が起きている。このため、これらの信号の高調波は、狭い周波数間隔を持ちながらGHz帯までエネルギーを減衰させない広帯域のノイズ源となっている。

一方、ノイズの影響を受ける受信側では、携帯電話や無線LAN(Local Area Network)などGHz帯を使用する小電力無線システム(特に受信時)が普及している。こうした技術動向を受けて、従来、EMI規制は1GHzまでであったものが、CISPR(Comite International Special des Perturbations Radioelectriques)では18GHzまで拡張することが検討されている。これは段階的に引き上げられ、当面6GHzが対象になり、早ければ2007年にも適用される見通しである。次に、放射EMI(Electromagnetic Interference)を規定している電界強度では、例えば情報技術装置の場合、前述のCISPRでは、離隔距離10mで30dBuV/mに規定されている。これは、電力では-55dBmに相当する(無指向性アンテナを仮定)。また、車載機器や航空機搭載機器では、更に40dBほど低い電界強度に規定されている。

携帯電話や無線LAN、RFID(Radio Frequency Identification)、GPS(Global Positioning System)への干渉からGHz帯及び小電力EMCが重要になる。UWB(Ultra Wide Band)のように広帯域の小電力無線システムなども想定され<sup>(1)</sup>、エミッション、イミュニティともにこの高周波小電力EMC技術への要求はますます高まるものと予想される。また、従来は電源回路のように1MHz以下のスイッチング回路からの干渉が問題になるケースは少なかったが、上記の無線システムでは、感度の高い回路が使用されるため新たな課題となっている。しかも、基本周波数が低いため密な周波数スペクトラムを持つことから広い帯域で干渉が発生する。このため対応も難しい。

本稿では、高周波小電力システムに対応するEMC規制の動向、技術動向、必要な技術について述べる。

2. EMC技術動向と規格の動向

図1に放射EMIの規制値を示す。現在規制されている周波数は放射エミッションで30MHzから1GHzである。米国FCC(Federal Communications Commission)では40GHz

ではあるが、CISPRでの基準は現在1GHzであり、前述のように早ければ2007年に6GHzへ拡張される。また、放射EMIの規制値を小電力EMCという立場から見ると、車載機器を対象としたCISPR25のクラス5では150kHz~960MHzで12~25dBuV/mという非常に低い電界強度で規定されている。

図2に前述のCISPR22の規制値、対象製品の放射EMIの例と合わせてCISPR25(クラス5)のレベルを示す。周波数ごとに不連続に規定されているため図では線表示をしていないが、最も厳しい周波数帯域では12dBuV/mである。測定距離の3m(情報技術装置)と1m(車載装置)の違いを考慮しなくても30dBの違いがあり、同じ設計ではこの基準を満たすことはできない。さらに、メーカー独自に基準を定めている例もあり、この場合は、より難しい課題になっているケースが多い。特にカーナビゲーションなどでは、デジタル系の信号周波数や処理系統がCISPR22対象製品と同等であり、規制適合が開発スピードを左右し、適合自体へのハードルも高い。また、航空機搭載機器に対してもRTCA(Radio Technical Commission for Aeronautics)-DO-160Eなどの規定(米国)があり、CISPR22よりも厳しい技術基準となっている。

以上のような高周波小電力EMCに対応するために、従来は、信号線のシールド、電源ライン用フィルタ、セット用のシールドケースをきっちり作り込むこと、これに加えてセット内電磁干渉ではモジュールの配置検討を含めて上記に準じた手法が適用されてきた。これにより、EMC設

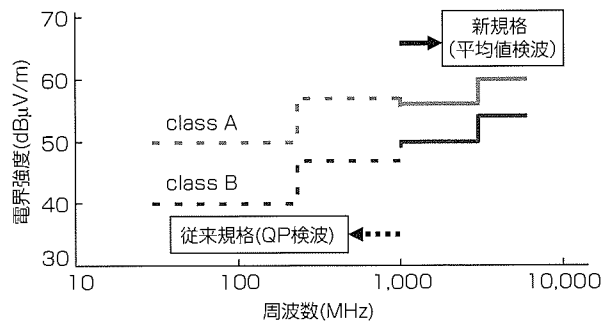


図1. 放射EMI規制値(CISPR22, 3m法)  
【現規格】30M~1GHz, 【新規格】30M~6GHz

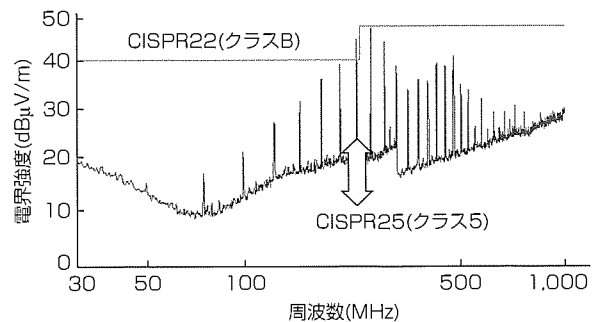


図2. 放射EMI規制の比較  
情報技術装置(CISPR22, 3m法)と  
車載装置(CISPR25, 1m法)

計の基本である妨害源と被妨害回路について、伝搬経路でのノイズ増減や変調波の発生を含めて周波数とイミュニティレベルの関係から必要なアイソレーション量を確保して対処してきた。これらに加えて、低コスト化と安定したEMC性能を得るためには、このシールドケースや回路(基板)グラウンドの不要な電流分布の抑制、できればコントロールが必要になる。これは、信号ラインのノイズ電流よりはるかに低く、これからの課題でもある。以降では、この一例についても述べる。

### 3. 高周波化するEMC

図3に周期パルスとその高調波の周波数スペクトラムの関係を示す。高調波は基本周波数の整数倍の間隔で、図のエンベロープを示す。パルス幅が狭く、立ち上がり/下がり時間が短いほど高調波は高い周波数まで減衰しないことが分かる。

図4には、立ち上がり時間によるスペクトラムの比較を示している。3V、10MHzの周期パルスでもGHz帯、すなわち100次を超える高調波でも高い電圧を保持している。図では連続したスペクトラムに見えるが、10MHz間隔で

- $t_r = t_f$  であるときの高調波の電圧スペクトラム

$$V_n = 2V_e \tau f_0 \frac{\sin(n\pi\tau f_0)}{n\pi\tau f_0} \frac{\sin(n\pi t_r f_0)}{n\pi t_r f_0}$$

- 高調波電圧スペクトラムの包絡線を求める。

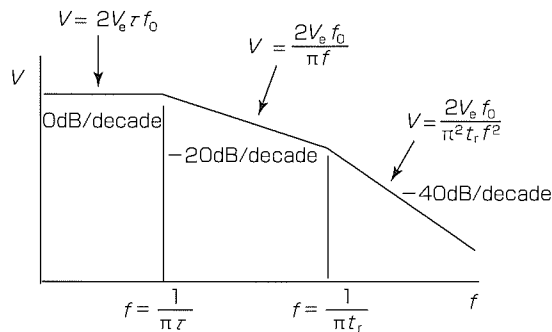


図3. 周期パルスの周波数スペクトラム(フーリエ級数展開)

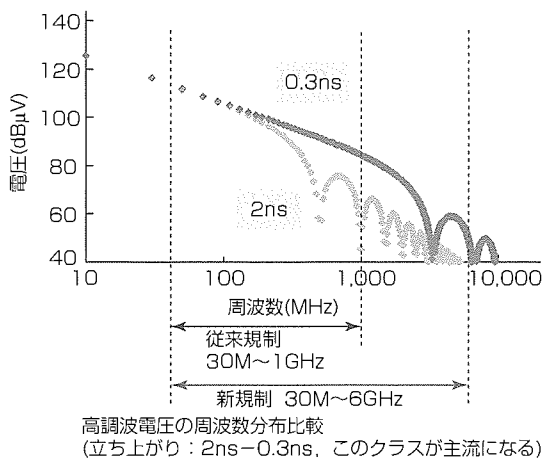


図4. 技術動向とEMI規制の関係

分布している。一般に、クロック周波数が高くなるほど高調波のエネルギーも高く干渉を与えやすい。しかし、広い周波数帯域を使用する通信などで受信感度が高い場合は、周波数の低い方が、高調波の間隔が狭いために、干渉を避ける手段がとりにくく難しい場合が多い。例えば、互いの周波数が重ならないように分離することができない。次に、放射EMIの測定環境について述べる。放射EMIの測定には、従来、床面に金属を敷設したオープンサイトが使用されてきた。現在、国内では主に外来雑音を避けて30~40dBμV/mクラスの微弱電界を測定する必要性から、シールド機能を備えた専用の電波暗室が使用されるケースがほとんどである。シールドルームの天井と壁面に電波吸収体を取り付けた構造の電波暗室が使用され、当社情報技術総合研究所のEMC技術センターでは、10m法を対象とした大型の暗室と3m法を対象にした小型の電波暗室を備えている。しかし、GHz帯では、床面にも電波吸収体を敷設した6面の電波暗室が提案されている。さらに、微弱な小電力EMCの計測においても、床面の反射波を避けて詳細な測定を行い放射メカニズムを分析し、設計ルールを構築していく必要性から6面電波暗室(図5)の有効性が期待される。

### 4. EMC設計技術

図6は、多層プリント基板の信号パターンからの放射EMIを示したものである。計算結果と測定結果を示しており、互いによく一致している。条件は、グラウンド面に対する信号線からの放射電界であり、これはディファレン



図5. 6面電波暗室

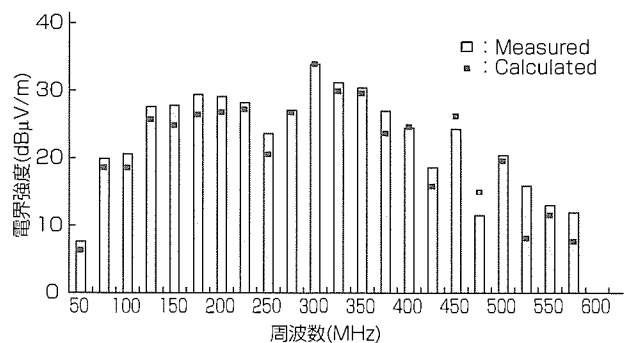


図6. 多層プリント基板上の信号パターンからの放射電界

シャルモード電流による放射であり、この基板から発生するEMIの下限値であると考えられる。また、この場合は、信号線でのノイズ抑制がそのまま放射EMIに結び付く。

一方、コモンモード電流による放射EMIの一つに、グラウンド導体上の微弱な不要電流によるものがある。図7は、グラウンド導体層のある基板、いわゆるべたグラウンド基板の電流分布である。信号線は下部中央にあるが、グラウンド面上にも電流が広がっていることが分かる。これによる放射EMIやイミュニティレベルの低い回路への干渉を小電力EMCでは考慮する必要がある。この基板からの放射EMIは、全く同じ回路構成、信号パターン実装でありながらグラウンド導体の条件により20dBの違いが発生することが確かめられている<sup>(2)</sup>。信号品質は同じでも基板やセットの実装設計によりEMCは異なることを示しており、再現性を持って低ノイズ設計を行うためには回路設計、回路実装についても管理する必要がある。

次に、基板上の不要電流を抑制することで放射EMIを低くしている例を示す。図8に、基板間の信号伝送を行うコネクタの構成検討例を示す。小電力EMC対応のEMI技術基準に適合させるためには基板上のコモンモード電流の発生を抑えることが一つのポイントであることを前述した。基板上のコモンモード電流はシールドケースや外部機器との接続ケーブルに伝搬して放射する。このため、変動要因(外部へのケーブルが変わるなど)があると、放射EMIも変動し、同じセットでも規制をクリアできたりできなかつたりという原因になる。また、事後対策が難しくなる原因にもなっている。基板間に信号を伝送するコネクタ(いわゆるボード to ボード)の場合、基板上ではグラウンド導体上の信号配線でありマイクロストリップ線路構造の不均衡伝送線路を構成する。しかし、通常使用されるコネクタではグラウンド端子は、線状導体で構成されるため、構造的には平衡線路となる。このため、平衡/不均衡線路を接続したことになりEMI発生の原因になる。これを抑えるために、コネクタでも基板上と同じ伝送線路構造を維持できるように導体板を使用した。図8は、この効果をシミュレーションにより示している。導体板により基板グラウンド面上の電流分布、接続されたケーブル上の電流分布が、共に25dBほどの低減されていることを示している。これらは測定結果でも同様で、電流分布、放射EMIともにシミュレーション結果に対応する結果を得た。このように電気設計だけでなく機械設計を含めた実装設計が要求されている。

### 5. む す び

高周波化、広帯域化、小電力化を切り口としたEMC技



図7. 基板のグラウンド導体層の電流分布(近傍磁界分布)

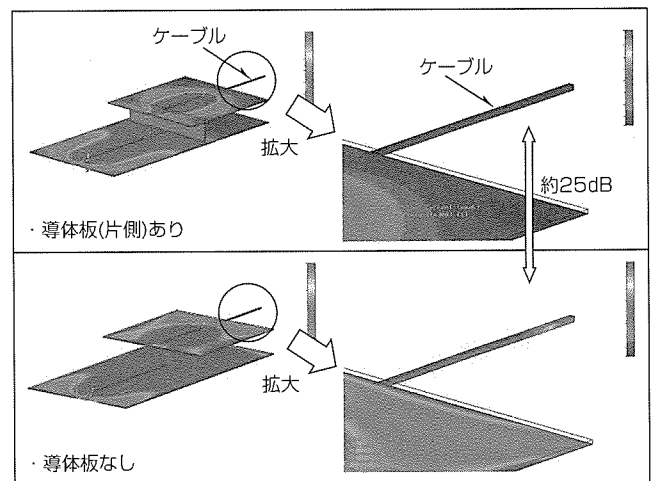


図8. コネクタ接続構成の放射ノイズへの影響(近傍磁界シミュレーション)

術の現状について述べた。今後もこのようなEMC問題に対応することは多くなり、必要になるEMC技術を必要に応じて適用できるよう開発を進めることがますます重要になる。

### 参考文献

- (1) 山田将史, ほか: GTEMセルを用いたUWB/無線LAN間の電磁干渉の評価, 電子情報通信学会技術研究報告, EMC-J2006-13 (2006-6)
- (2) 岡 尚人, ほか: プリント基板からの放射エミッションに於ける信号線長とグラウンド導体層の影響, 電子情報通信学会論文誌(B-II), J81-B-II, No.8, 814~822 (1998)

# プロセス改善による高品質ITソリューションの提供に向けたCMMIレベル5達成への軌跡

藤原良一\* 中前雅之\*  
本間敏夫\* 遠藤和彦\*  
細谷和伸\*

## Achievement of CMMI Maturity Level 5 for High Quality IT Solutions

Ryoichi Fujihara, Toshio Honma, Kazunobu Hosoya, Masayuki Nakamae, Kazuhiko Endo

### 要旨

ネットワークが進化し、社会の隅々までIT化が行き渡りつつあり、品質の高いITソリューションの提供がますます重要になってきている。三菱電機インフォメーションシステムズ㈱(MDIS)では、お客様の期待にこたえる高品質ITソリューションの提供を目指し、CMMI<sup>(注1)</sup>(Capability Maturity Model Integration)の最上位レベルであるレベル5を達成した。レベル5達成までの主な軌跡は以下のとおりである。

#### (1) システム生産標準を基盤としたISO9001への準拠

商談から保守までのシステムインテグレーションのライフサイクル全般を対象に、システム生産標準SPRINGAM<sup>(注2)</sup>をベースに、ISO9001準拠の品質マネジメントシステムQMS(Quality Management System)を整備し、組織的なプロセスを活用する基盤を確立した。

#### (2) CMMIレベル3達成

年々厳しくなるビジネスゴールの確実な達成をねらい、CMMIを導入してプロセス改善を推進する組織の確立や品質保証部門の強化などの改善を図った。上記(1)の基盤もあり、約1年という短期間でCMMIレベル3を達成した。

#### (3) PMIS構築

プロジェクト支援情報システムPMIS(Project Management Information System)を構築し、プロジェクト活動の可視化、組織的プロセス資産の集約と提供、ソフトウェア生産支援の強化・拡張を図った。

#### (4) CMMIレベル5達成

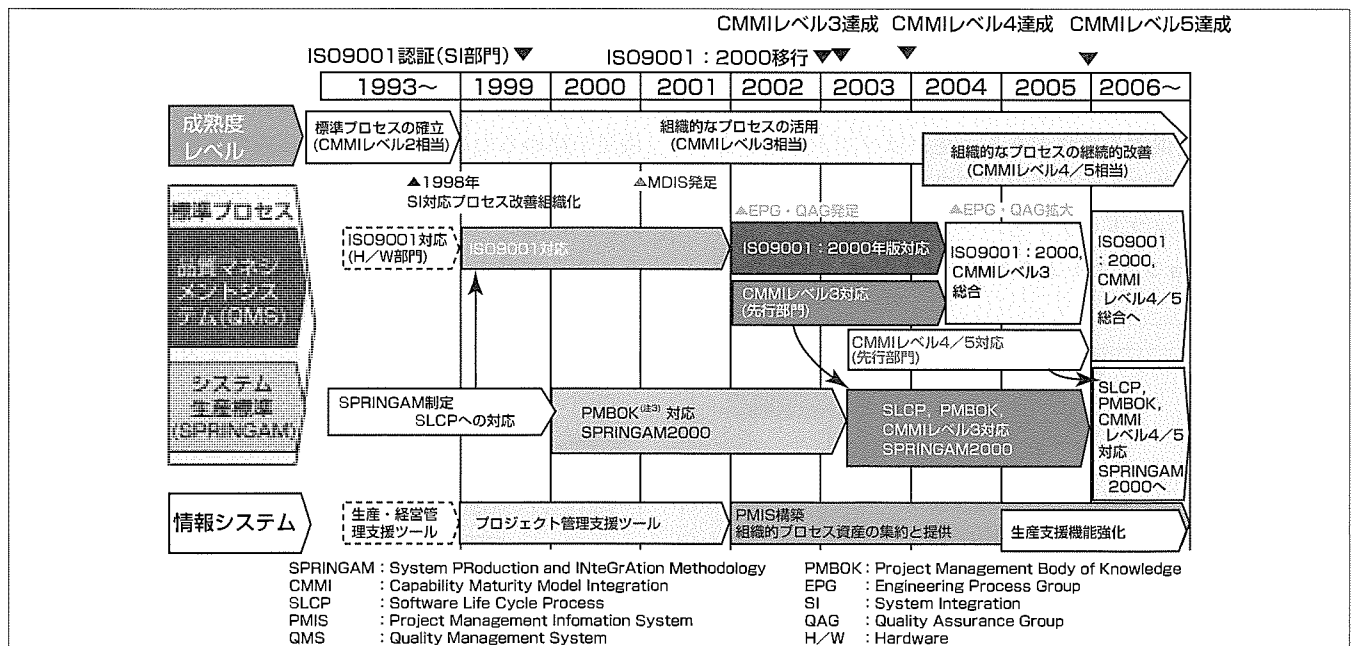
品質・生産性向上によるより高いビジネスゴールの達成をねらい、定量的プロジェクトマネジメントや新技術導入などの組織的なプロセス改善活動を継続することにより、CMMIの最も上位のレベルであるレベル5を先行部門で達成した。

上記プロセス改善活動SPI(Software Process Improvement)の結果、フィールドでの重大不具合の減少や品質コストの削減効果もたらされ、お客様のMDISへの信頼度も向上した。

(注1) CMMI, CMM及びIDEALは、米国Carnegie Mellon大学の米国における登録商標である。

(注2) SPRINGAMは、三菱電機㈱の登録商標である。

(注3) PMBOKは、米国Project Management Institute, Inc.の米国その他の国における登録商標である。



### MDISのプロセス改善ロードマップ

1993年に自社のノウハウを体系化し、システム生産標準SPRINGAMを整備した。1999年にSPRINGAMを基盤にISO9001を導入し品質保証を強化した。2002年から品質・生産性向上を目的にCMMIをモデルとしたSPI活動を開始した。一方、1996年に“生産・経営管理支援ツール”によるプロジェクト状況の可視化を図り、その後、ワークフロー化し“プロジェクト管理支援ツール”へ発展し、さらに、プロジェクトマネジメント支援にシステム開発支援を統合しPMISを構築して、プロジェクト支援及びプロセス改善のインフラ整備を推進している。

\*三菱電機インフォメーションシステムズ㈱

## 1. ま え が き

ネットワークが進化し、社会の隅々までIT化が行き渡りつつあり、品質の高いITソリューションの提供がますます重要になってきている。MDISでは、お客様の期待にこたえる高品質ITソリューションの提供を目指し、システム生産標準“SPRINGAM”を基盤に、ISO9001による品質保証の強化、CMMIをモデルとしたプロセス改善活動(SPI)に取り組んでいる。

このような継続的なプロセス改善活動を行うことにより、2002年の公共システム事業分野でのSW-CMM(Capability Maturity Model for Software)レベル3達成をスタートポイントに、金融・流通サービス、通信・交通・航空システム、電子政府の事業分野でCMMIレベル3を達成し、2006年に公共システム事業分野でCMMIの最上位レベルであるレベル5を達成した(図1)。

本稿では、CMMIレベル5達成に至るまでの軌跡とその効果について述べる。

## 2. ISO9001への取り組み

MDISのシステム生産における活動基盤は、三菱電機から分社化する以前の1993年に、有識者の知恵とノウハウを体系化したシステム生産標準SPRINGAMにある。システム事業の多様化やグローバル化に対応し、お客様にも分かりやすい品質保証体系の構築や、水準の高い品質保証を目的に、SPRINGAMをベースに国際的な品質保証モデルであるISO9001を導入し、品質向上及び顧客満足の上を全社一丸となって推進している。

### 2.1 ISO9001によるITソリューションの品質保証確立

システムインテグレータ(Sier)は、お客様の業務革新のために、ソフトウェアとハードウェアを駆使したITソリューションを提供する責務がある。従来はソフトウェアとハードウェアが独立して品質保証活動を行っていたが、お客様に提供するソフトウェアとハードウェアの両者を含むITソリューションシステムを対象とした品質保証活動を、

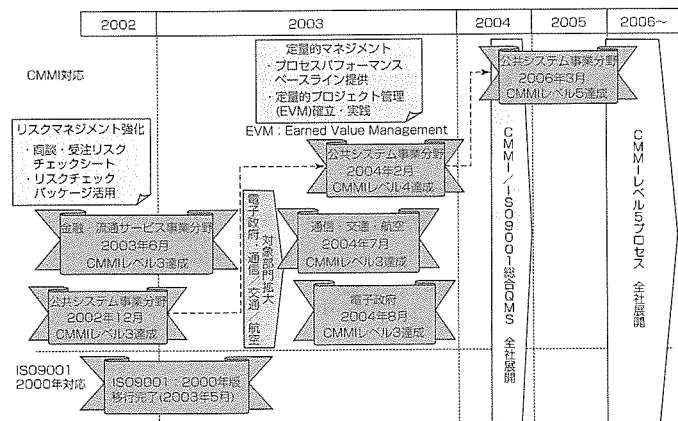


図1. 組織的なプロセス成熟度の推移

ISO9001の国際標準に照らして体系的に整理した品質マネジメントシステム(QMS)を確立した。また、お客様の企業に対する信頼感向上をねらい、確立したQMSが確実に機能していることの客観的な照査として、1999年にISO9001の認証を取得した。

### 2.2 MDISとしてのQMS再構築による品質保証強化

MDISは、お客様への迅速な対応・サービス向上を目的に、2001年4月に三菱電機から分社化し、独立したSierとして新たなスタートを切った。従来にも増してお客様から信用を得つつ信頼関係を構築することを目的に、営業と技術部門が連携してお客様への確実な対応を目指し、商談から保守までを一貫したQMSを再構築した(図2)。特に受注前の状態がプロジェクトの成否に大きな影響を与えることが判明し、全社一丸となって、最上流段階からのQCDR(Quality, Cost, Delivery, Risk)のマネジメント力の向上を目指した。

### 2.3 ISO9001:2000年版によるQMSと経営管理の連携強化

2002年に“時代の変化に適応した継続的かつ確実な改革”を目指し、Challenge for “all Good”をMDISの共有ビジョンとして掲げた。この活動の一環として、経営の観点が強化的されているISO9001:2000年版を導入し、プロセス改善と経営目標の関係が連動したQMSに拡張した。特にプロセスアプローチ、継続的改善、顧客重視を強化して品質保証活動を活性化させ、品質向上及び顧客満足の上を一定の成果を上げている。

## 3. CMMIレベル3の全社展開

CMMIは、人と技術をプロセスが有機的に結び付け、生産性や品質を改善するための、組織の成熟度を向上させるSPI活動を5段階で表現したモデルである(表1)。

独立会社として経営体質を一層強化し、かつ、お客様の満足度を高めるため、組織の更なる成熟度向上を目指し、トラブルを未然に防ぐプロアクティブな組織への強化をねらい、CMMIレベル3への到達を目指した。CMMI導入からレベル3到達までに通常2~3年を要するが、MDISでは、既存のQMSやSPRINGAMを活動基盤としていたため、ほぼ1年で達成できた<sup>(1)</sup>。確立したプロセスは、2004年から

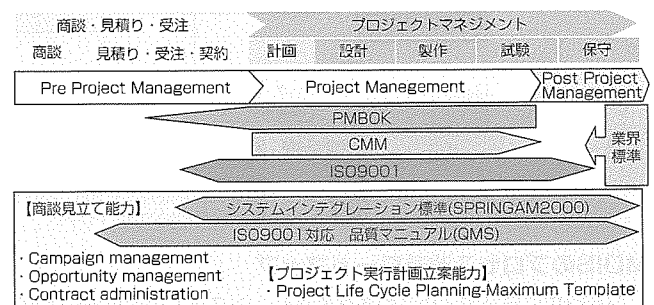


図2. MDISのQMSの位置付け

表 1. 組織の成熟度レベル

レベル	組織の特徴	
5	最適化段階	革新的アイデアや技術導入例からの定量的フィードバックにより、プロセス改善が継続的に実現されている。
4	定量的管理	プロセスと成果物の品質について詳細な測定基準があり、定量的に把握され制御されている。
3	定義段階	ソフトウェア生産と管理のプロセスが文書化・標準化され、組織のプロセスとして統合されている。
2	管理段階	基本的なプロジェクト管理プロセスが確立されている。類似のプロジェクト成功事例の再現が可能。
1	初期段階	プロセスのほとんどは定義されておらず、場当たり的で実績が予測できない。

QMSに導入し、全社員を対象にプロセストレーニングを実施し全社展開を図った。

### 3.1 プロセス改善の進め方

プロセス改善は、米国カーネギーメロン大学(CMU)のソフトウェアエンジニアリング研究所(SEI)のIDEAL<sup>(注1)</sup>モデルを基に、表2に示す手順で推進した。

特に、経営者層からのプロセス改善活動への強力なコミットメントは、組織変革や新規プロセスの導入などを円滑に進める上で効果があった。プロセス評価では、CMMI要求事項とMDIS現状とのギャップ分析を行うことで、網羅的にウィークポイントが洗い出せ、改善計画の精度が向上した。また、体系的なプロセス改善手法を修得したことで、継続的にPDCA(Plan, Do, Check, Action)を回せる組織体質に変革することができた。

### 3.2 主な改善ポイントとその効果

#### (1) 継続的なプロセス改善の推進体制確立

プロセスを組織的に継続して改善するための部門であるEPG(Engineering Process Group)を設立し、プロセスの改善提案や課題抽出の窓口を一本化した。EPGはプロセス改善を取りまとめるとともに、プロジェクトに有用なベストプラクティスやノウハウなどの情報を社内・外から収集し、社内イントラネットや品質保証部門などを通して積極的に提供する役割も担っている。また、プロセス改善の見直しサイクルを四半期以内にする事で、改善スピードも加速させた。これらの活動を通じ、EPGが継続的な情報の蓄積と公開を行う部門として定着した。

#### (2) 品質保証の更なる強化

お客様への品質保証を更に強化するため、品質保証のプロフェッショナル部門であるQAG(Quality Assurance Group)を独立させ、組織とプロジェクトに対する品質保証活動を明確にした(表3)。プロジェクトでプロセスのテラリングやプロセスとプロダクトの評価を行っているが、QAGもテラリング支援やプロセスのモニタリングなどを行うことで、品質保証の客観性を強化している。

#### (3) 最上流からのリスクマネジメントの強化

QCD(Quality, Cost, Delivery)を阻害する要因の早期検出を目的に、商談段階からリスクマネジメントが行える

表 2. IDEALモデルによるプロセス改善の手順

IDEALの手順	改善手順	改善活動の概要
Initiating	準備	・経営者層の活動のコミットメント ・活動方針や推進協力体制・環境の準備
Diagnosing	プロセス評価	・CMMIの要求事項と現状のギャップ分析
Establishing	改善計画作成	・プロセス定義から展開までの改善計画の作成
Acting	プロセス定義	・新組織の定義と役割/責任の明文化 ・手続き、ガイド、リファレンスなどの生産・管理規程の整備
	プロセス展開(プロセス実装)	・新組織の設立 ・教育での生産・管理プロセスの訓練と実践
Learning	アセスメント	・アセスメントの実施と効果の検証

表 3. 品質保証活動のポイント

対象	活動項目	QAGの活動概要
組織	内部品質監査	QMSに組織が適合しているかを監査する。
プロジェクト	コンサルテーション	プロジェクトで実施するプロセスについて、QMSを基に助言し、最適なテラリング(修整)を支援する。
	プロジェクトプロセスモニタリング	テラリングしたプロセスに沿って実施しているかをフェーズごとにモニタリングし、次フェーズへの移行可否をプロジェクトとともに判断する。また、問題が予見される場合は、エスカレーションプロセスに乗せる。
	作業成果物レビュー	作業成果物のレビュー/インスペクションを実施する。

リスクチェックシート群RCP(Risk Check Package)と、その考え方や運用方法をガイドしたリスクマネジメントガイドを整備している(表4)。RCPをMDIS内に展開することで、最上流の商談段階からプロアクティブに活動する習慣付けを行った。

#### (4) 共有ビジョン手法による関係者間のベクトル合わせ

プロセス改善は、品質や生産性向上を目的とした経営に直結した活動である。したがって、全社員がプロセス改善の意義を十分に理解することが重要である。経営層も含め階層別にプロセスの重要性やプロセスの理解を深めるトレーニングを実施し、組織やプロジェクトの共有ビジョンを関係者によって作成することを浸透させた。この活動は、組織全体でのプロセス改善の意識向上と、プロジェクト推進におけるお客様や社内関係者間でのベクトル合わせを行う風土形成に役立っている。

上記(1)~(4)の活動の結果、顧客満足度のアンケートで“提案内容”“設計・製造の技術力”“品質”の評価がCMMI導入前に比べて8ポイント上昇しており、お客様の満足度向上が伺える。

## 4. CMMIレベル5への挑戦

ISO9001やCMMIレベル3による組織的なプロセス改善活動を行ってきたが、SIerは短納期や低価格化が常に求められるとされており、品質・生産性の継続的かつ革新的な改善が行える企業体質へと変革する必要がある。SEIが公表している“CMMI Performance Results”によると、CMMIレベル

表 4. RCPの種類と適用範囲

Risk Check Package (RCP)	プロジェクトマネジメント							
	商談	見積り	受注	計画	設計	製作	試験	保守
重要商談見立て チェックシート	○	○	○					
見積り回答 チェックリスト		○	○	○				
ビジネスオポチュニティ ダイヤグノーシス	○	○	○	○	○			
仕様確定度 チェックシート		○	○	○	○			
製作アイテムの実現性及びクリ ティカリティチェックシート		○	○	○	○	○		
プロジェクト状態 チェックリスト		○	○	○	○	○	○	○
リスクコンテインジェン シート	○	○	○	○	○	○	○	○

5を達成することにより、“ソフトウェア生産性が60%向上”“出荷後誤りが80%削減”などの改善効果が報告されている。これらの効果を期待し、MDISでは、社会的に影響が大きく、かつコストや納期の要求が特に厳しい、公共システム事業分野をモデル部門として、CMMIレベル5へのチャレンジを開始した。

4.1 CMMIレベル5とは

CMMIレベル5の組織とは、より高くなっていくプロジェクトの目標を達成するために、プロセスを最適化し、作業品質や作業能力を上げたり、そのばらつき幅を小さくしたりする定量的なプロセス改善を、自発的、自立的、かつ継続的に推進できる組織を言う。

4.2 レベル5に向けたプロセス改善

レベル5の組織を目指すには、レベル3までの活動に加え、レベル4の定量的プロジェクトマネジメントや、レベル5の新技术導入プロセスなど、段階的かつ体系的な改善がポイントとなる。以下に、MDISにおけるプロセス実績データの活用、統計的な監視、最終目標達成度予測の具体的な改善事例について述べる<sup>(2)</sup>。

(1) プロセスの実績把握による見積り・計画精度の向上

一つ目は、プロジェクトの見積りに品質や生産性に関するプロセス実績データを活用した点である<sup>(3)(4)</sup>。

同じプロセスでもプロジェクトの特性によりパフォーマンスは変動するので、類似プロジェクトごとにプロセス実績データを統計処理することで、各プロセスのプロセス実績(プロセスの実践能力)を定量的に把握した。このプロセス実績をベースにプロジェクトの特性を加味して見積りを行うことで、見積り根拠が明確になり、見積り精度を向上させることができた(図3)。

例えば、納期が3か月で経験のないJava<sup>(注4)</sup>による開発が必要な商談の工数を見積る場合、商談内容と類似なプロジェクトの実績データを統計処理した値を参考とすることで、見積り精度が向上する。

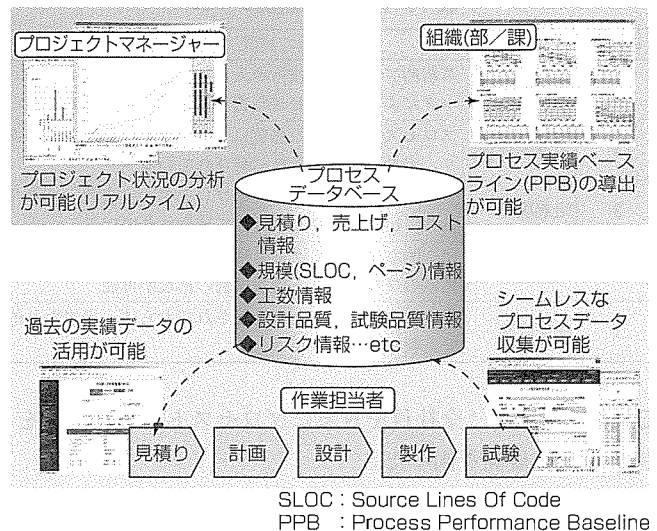


図 3. プロセス実績とその活用イメージ

(2) 上流での統計的誤り検出管理による品質の改善

二つ目は、統計的な監視を行うプロセスを上流まで拡大し、効率的な不具合の監視を行った点である。

テストフェーズでの誤りの検出傾向と成功プロジェクトの関係に相関が見えたので、当初はテストフェーズに注力して統計的な監視を行っていた。更に相関分析を進めた結果、プロジェクトで検出した総欠陥数に占めるレビュー指摘件数の割合が大きいほどフィールドトラブル(ロスコスト)が少ないことが判明した。このため、上流の要件定義・設計・コーディングフェーズでも欠陥検出の統計的な監視を行うようにプロセスを改善し、統計的手法としてコントロールチャート(管理図)を採用した。計測指標はレビューフェーズではレビュー指摘率(件/ページ)、テストフェーズでは誤り検出率(件/ライン数)を監視し、3σの管理限界値(上限と下限の範囲)からの逸脱を監視することとした。実績データが管理限界値を逸脱した場合に“改善チケット”の発行を義務付け、関係者による原因分析と改善提案の検討を行うことで、プロセスに内在する原因を特定し、それに対する早期対策の実施と再発防止策のプロジェクト内への適用により、計画した高い品質目標を達成することができた(図4)。

(3) 目標達成度の予測による早期対策の実施

三つ目は、プロジェクトの進行中に最終目標の達成度を予測した点である。

プロジェクトは、短納期・低価格を実現するため、生産性向上や品質改善をねらった新技术や新プロセスの導入による改善を見込んだ納期・コスト・品質などの目標を設定して推進する必要がある。この高度な目標達成を確実にするため、EVM(Earned Value Management)を応用したコスト・進捗(しんちよく)管理ツールの活用、成功したプロジェクトのフェーズごとのレビューやテストでの欠陥検出

(注4) Javaは、Sun Microsystems社の登録商標である。



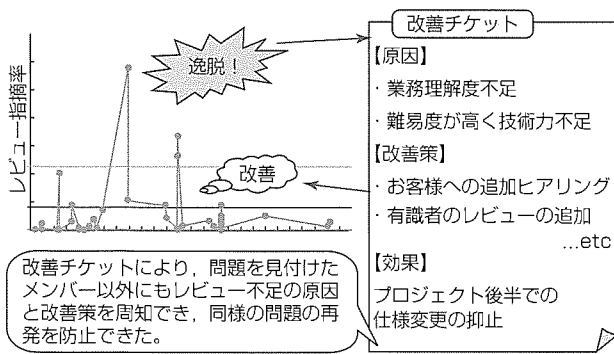


図4. レビュー不足の是正事例

傾向のモデルから最終品質を予測する“品質目標達成度予測システム”の開発と活用<sup>(5)</sup>などQCDの最終目標達成度を局面ごとに予測することで、目標未達成の予兆を早期に検知し、目標の達成に向けた早期対策の実施を可能とした。

#### 4.3 レベル5プロセス実践による効果

前述した上流でのレビューなどにより、要件定義・設計・コーディングの上流フェーズでの誤り検出率が60%から84%へ増えた。その結果、上流品質が向上したことで、出荷後の不具合件数を40%以上も削減し、計画と実績の乖離(かいり)半減の目標を達成できた。また、プロジェクトメンバーが改善効果を体感できたことから、メンバー全員が“問題が起きたことを責める”から“前向きに改善課題に取り組む”姿勢へと変化してきた。

前述の改善との相乗効果により、公共システム事業分野では、複数の大規模プロジェクトを成功裏に完遂することができ、事業目標を確実に達成する組織成熟度に到達した。また、このような活動をお客様に知ってもらうことにより、MDISの信頼度が向上するとともに、受注の機会が増加するといった副次効果も出てきている。

### 5. 改善を支えるPMIS

プロセス改善と並行して、データに基づく効果的かつ効率的なプロセス改善活動とプロジェクト活動を支援する情報システムとして、PMIS(Project Management Information System)を以下のシナリオで構築した(図5)。

- (1) プロジェクトの状況が第三者からも分かるように、プロジェクトの情報を蓄積し可視化する。
- (2) 可視化された情報を基にプロジェクトをモニタリングできるプロジェクトマネジメント環境を整備する。
- (3) 上記環境に生産支援環境を統合し、生産性や品質改善の把握とフィードバックが行える環境へ拡大する。

以下に、PMIS構築の概略を述べる。

#### 5.1 プロジェクト活動の可視化(第1期)

1996~2001年までは、プロジェクト管理のために、組織横断的にプロジェクト活動の可視化を推進してきた。可視化したプロジェクトのQCDRデータは、月次単位に組織的

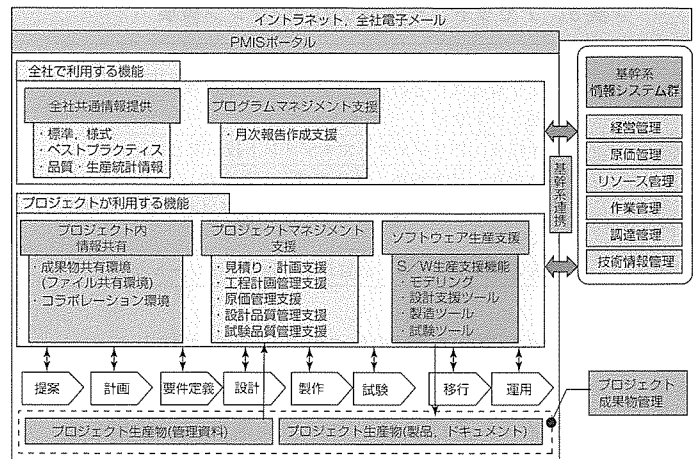


図5. PMIS全体像

に蓄積し、部門と全社レベルで行うプロジェクトの進捗会議で、プロジェクト健全性のモニタリングやフォローアップ、プロジェクト間の調整などのプログラムマネジメントに活用できるように整備した。

#### 5.2 組織的プロセス資産の集約と提供(第2期)

2002~2004年は、プロジェクトの可視化に加え、プロジェクトマネジメントの支援を目的に、プロジェクトで実践したノウハウなども全社共通の資産として蓄積・提供する環境を“アセットライブラリ”として整備した。また、定量的なマネジメントのために必要な品質及び生産性に関連するプロダクト及びプロセスのデータを蓄積する“測定データのデータベース”も整備した<sup>(6)</sup>。

##### (1) アセットライブラリ

アセットライブラリは、標準類やテンプレートなどのフレームワークの提供による、プロジェクト環境の迅速な立ち上げ、プロセス実践事例などの先人の知恵からの学習、プロジェクトの成果物をプロセス資産として蓄積し再利用することによるシステム生産の効率化を目的としている(表5)。また、公開している情報の鮮度を保つため、アセットライブラリ内のコンテンツごとの活用状況をモニタリングできる仕組みを具備している。

##### (2) 測定データのデータベース

見積り・計画・設計などのプロセスの実践データを測定し、計画値とのギャップ分析を行うことで、プロジェクトやプロセスの改善点の把握が可能となる。また、プロジェクトの実績データの統計値を見積りに活用することで、見積り精度が向上する。MDISでは、プロセスで発生する主な作業成果物、プロジェクトの状況及び作業実績のデータを蓄積し、組織プロセスの弱点分析やプロジェクトのQCD見積りなどに活用している。

#### 5.3 ソフトウェア生産支援の強化・拡張(第3期)

2005年度から、プロジェクトマネジメントの支援に加え、生産性向上のためのソフトウェア生産の支援機能を強化・

表5. アセットライブラリのコンテンツ概要

コンテンツ	コンテンツ概要
標準類	生産プロセスごとのテンプレート・様式、チェックリスト、評価シートなど
技法	生産技法、プロジェクトマネジメント技法など
ベストプラクティス	要件定義、品質管理、外注管理などを実践したプロジェクトの成果物から、他プロジェクトの参考になるものを選定して蓄積
ツール	障害管理支援ツール、品質評価・分析支援ツールなど

拡張し、全社での運用を展開中である。生産支援としては、標準アーキテクチャやフレームワークなどの設計、製作、試験の技法とツール及びソフトウェア共通部品の整備を進めている。また、プロジェクト内の情報共有や、分散開発のためのインターネットによる社外や遠隔地での情報共有環境も整備を進めている。また、プロジェクトから発生する技術情報の管理は、技術情報の保全と再利用を促進する機能を強化している。

## 6. むすび

経営者層のコミットメントの下、SPRINGAMやISO9001に準拠したQMSを活動基盤とし、世界的に実績のあるCMMIに基づくプロセス改善を段階的かつ継続的に行うことで、お客様業務へのインパクトが大きなカットオーバー後の重大不具合件数やダウン時間の減少(図6)、競合力強化につながる品質コスト(ロスコスト)の確実な削減が進んできた(図7)。

継続的なプロセス改善が行える風土への変革は、プロセスを整備するだけでは達成できない。品質・生産性改善に寄与できかつプロセスの利用者が合意できるプロセスの確立、プロセスの主旨・目的を理解させるトレーニング、プロセスを実践する上でのモチベーションの向上など、組織が一丸となってプロセス改善に取り組むムードを醸し出せるかがSPI活動の成否の鍵(かぎ)を握る。

10年以上にわたるSPI活動による品質・生産性改善の取り組みから得た教訓としては、“風土変革は継続が重要(CMMIレベル5の成熟度は1年にしてならず)”や、“目的の理解は自らの実践を誘発させる(“やらせられる”から“やってみよう”へ)”などが挙げられる。

上記の教訓を踏まえ、MDIS全社として継続的にプロセス改善活動を活性化し、品質と生産性を向上させることで、お客様の快適・安心・発展をサポートする価値あるソリューションの提供を今後も追求していく所存である。

## 参考文献

(1) 芝田 晃, ほか: ITソリューションを支えるプロジ

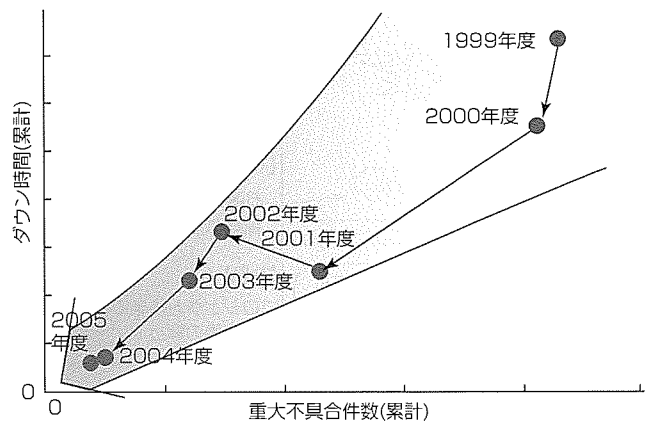


図6. フィールド品質の改善経緯

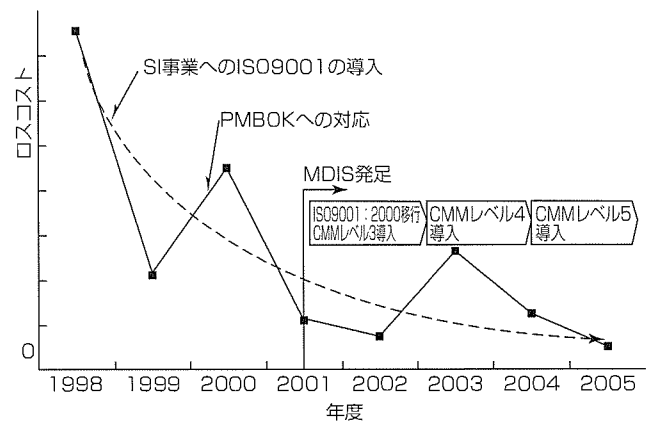


図7. 適用施策と品質コスト推移

ジェクトマネジメント(ISO9001, CMM), 三菱電機技報, 77, No.4, 291~294 (2003)

- (2) 岩切 博, ほか: 高度化プロセスにおける定量的プロジェクト管理の実践と効果, プロジェクトマネジメント学会, 2006年度春季研究発表大会予稿集, 2609 (2006)
- (3) 神崎光司, ほか: 実績データの活用による見積りプロセスの改善, プロジェクトマネジメント学会, 2006年度春季研究発表大会予稿集, 1205 (2006)
- (4) 山本美子: タイムマネジメント実践の為のMS-Project活用の勘所, プロジェクトマネジメント学会, 2003年度秋季研究発表大会予稿集, 1203 (2003)
- (5) 桑田すみれ, ほか: 実践データに基づく品質目標の達成度予測, プロジェクトマネジメント学会, 2006年度春季研究発表大会予稿集, 1404 (2006)
- (6) 由崎令子, ほか: プロセス資産の組織的活用の段階的ステップアップ, プロジェクトマネジメント学会, 2006年度春季研究発表大会予稿集, 1403 (2006)

# 衛星通信用高速デジタル変復調器

佐々木 源\* 藤井秀奇\*\*  
西村修司\* 木村好信\*\*  
渡邊栄司\*

High Speed Digital MODEM for Satellite Communication Systems

Gen Sasaki, Shuji Nishimura, Eiji Watanabe, Hideki Fujii, Yoshinobu Kimura

## 要 旨

放送局における衛星通信システム (Satellite News Gathering : SNG) は、1989年導入当初のアナログ伝送からSDデジタル伝送を経て、本格的なHDデジタル伝送時代を迎えている。

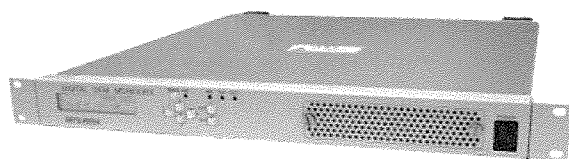
2003年の地上デジタル放送開始に伴い、HDTV (High Definition Television) 番組製作が増加する中、情報量が多く広い伝送帯域を必要とするHDTV信号の伝送効率の向上が課題であり、三菱電機は従来のSDTV (Standard Definition Television) と同様にHDTVの1トランスポンダ4チャンネル伝送を可能とする、DVB-S2方式の衛星通信用高速デジタル変復調器“MS8100TX (変調器) / MS8100RX (復調器)”を国内メーカーで初めて開発した。

DVB-S2は、2005年3月に欧州の標準化団体DVB (Digital Video Broadcasting) により規格化された新しい

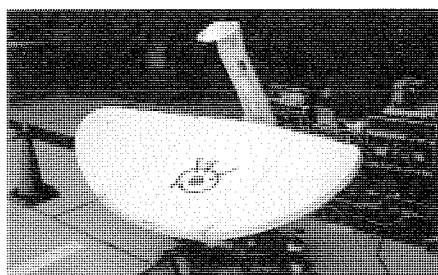
衛星伝送規格であり、誤り訂正方式にLDPC (Low Density Parity Check codes) 符号 + BCH (Base-Chaudhuri-Hocquenghem) 符号の接続符号を採用し、多値変調方式である16APSKや32APSKを用いて、従来規格のDVB-S / DSNG (Digital SNG) に比べて伝送効率を約30%向上している。

今回開発した変復調器は従来規格のDVB-S / DSNGにも準拠し、既存装置との相互接続性を確保しておりシステム更新や拡張に対応できる。

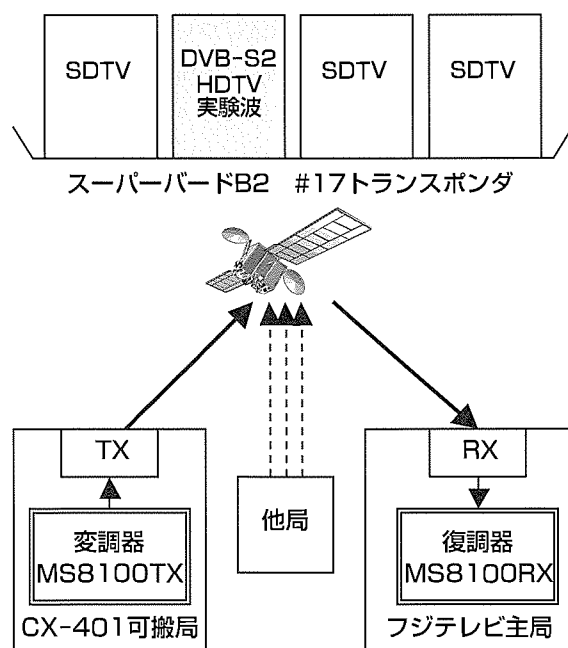
また (株)フジテレビジョン、宇宙通信(株)と共同で衛星伝送実験を行い、SNGシステムにおいてDVB-S2方式を使用してHDTVの4チャンネル伝送が可能であることを実証した。フジテレビジョンでは、今年度からDVB-S2方式を採用したSNGシステムを順次導入して運用を開始した。



高速デジタル変復調器MS8100の外観



衛星伝送実験の様子



衛星伝送実験 系統図

## 高速デジタル変復調器MS8100

今回開発した高速デジタル変復調器MS8100の外観、及びMS8100を使用した衛星伝送実験の様子、衛星伝送実験の系統図である。衛星伝送実験は2005年10月17日、18日の2日間、(株)フジテレビジョンの可搬局及び主局にMS8100を設置して行い、DVB-S2方式の衛星伝送に成功した。

## 1. ま え が き

1989年の民間通信衛星打ち上げに伴い各放送局に導入されたSNGシステムは、その広域性、同報性、多元接続性、耐災害性等衛星通信の特長を十二分に発揮し、今では報道中継、番組制作に必要な不可欠なシステムとなっている<sup>(1)</sup>。導入当初はアナログFM(Frequency Modulation)変調方式で1トランスポンダ当たり2チャンネルのSDTVを送信するシステムであったが、その後映像圧縮技術の導入により1996年ごろにMPEG2(Moving Picture Experts Group Phase2)符号化+8相PSK変調方式によるデジタル化が図られ、1トランスポンダあたりSDTV4チャンネル伝送を基本とした、いわば第二世代SNGシステムが現在稼働している<sup>(2)</sup>。

昨今地上デジタル放送の開始に伴い映像のHDTV化が急速に進んでいるが、これに伴いSNGシステムにおいてもHDTV伝送の頻度が増加している。この第三代とも言えるHDTV対応SNGシステムの実現のために、当社ではDVB-S2方式の衛星通信用高速デジタル変調器MS8100TX、復調器MS8100RXを開発した。

本稿では開発した高速デジタル変復調器MS8100TX/RXの概要、及びこの装置を使用して実施した衛星伝送実験の内容について述べる。

## 2. SNGシステムでのHDTV伝送の課題

SNGシステムでのHDTV伝送について、従来は必要な画質を得るためにSDTVの2倍以上の帯域を使用する必要があり、1トランスポンダ当たり2チャンネル伝送が限界

であった。

2003年に開始された地上デジタル放送は2006年中には全国で放送開始される予定であるが、これに伴いSNGシステムでのHDTV伝送の運用が年々増加している。これに対応するためHDTVの伝送効率向上(4チャンネル伝送化)が急務となっている。

## 3. 高速デジタル変復調器MS8100TX/RX

今回開発した高速デジタル変復調器MS8100TX/RXは、2005年3月に規格化された衛星映像伝送の新規格であるDVB-S2方式(ETSI(European Telecommunications Standards Institute)EN 302 307 V1.1.1)を採用した。DVB-S2方式の強力な誤り訂正符号(LDPC符号+BCH符号)、多値変調(16APSK/32APSK)及び狭帯域フィルタによる伝送効率の改善により、SNGシステムでのHDTVの4チャンネル伝送を可能とする。以下にその概要を述べる。

### 3.1 MS8100TX/RXの構成と仕様

MS8100TX/RXの系統図を図1に、主要諸元を表1に示す。以下にMS8100TX/RXの動作について述べる。

変調器MS8100TXのコーデックインターフェースはDVB-ASI(Asynchronous Serial Interface)でTS(Transport Stream)レート15~73.72Mbpsに対応する。受信したTSデータに対しTS同期、独自スクランブル処理を行う。その後符号化、マッピング処理を行う。

DVB-S2用の符号化処理はCRC(Cyclic Redundancy Check)符号化、BB(BaseBand)スクランブル、BCH符号化、LDPC符号化、インタリーブ、PL(Physical Layer)スクランブルを行う。マッピングはQPSK、8PSK、16APSK、32APSKの4つの変調方式に対応している。ま

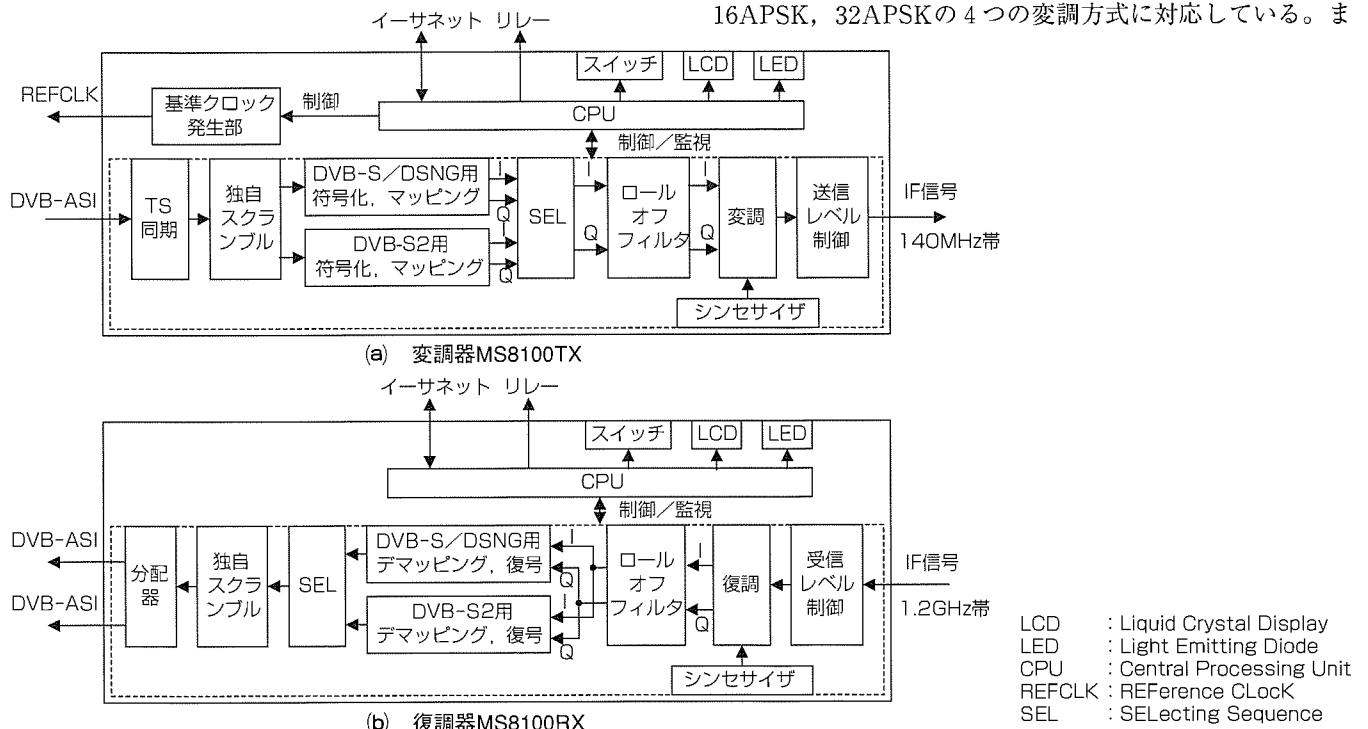


図1. 高速デジタル変復調器MS8100系統図

た、従来規格のDVB-S/DSNGにも対応しており、DVB-S/DSNG時の符号化処理はエネルギー拡散、RS (Reed Solomon)符号化、インタリーブ、畳込み符号化、パンクチャド符号化処理を行う。マッピングはQPSK、8PSK、16QAMの3つの変調方式に対応している。

その後ロールオフ率( $\alpha$ )=0.20等に対応したロールオフフィルタで波形整形を行い、変調処理、送信周波数設定を行い、送信レベル制御を行ってIF (Intermediate Frequency)信号を出力する。

またREFCLKからはTSレートと同一周波数のクロックを出力する。リモートインタフェースはイーサネット (Simple Network Management Protocol: SNMP)及びリレー接点を持っている。

復調器MS8100RXは、950~1,500MHzのIF信号を受信し、変調器とほぼ逆の動作を行ってTSデータを出力する。

### 3.2 特長

DVB-S2方式の特長を以下に示す。

(a) LDPC符号による伝送効率の向上

表1. 高速デジタル変復調器MS8100TX/RXの主要諸元

変復調部・インタフェース	
変調方式	4 相位相変調 (QPSK) 8 相位相変調 (8 PSK) 16値直交振幅変調 (16QAM) 16値振幅位相変調 (16APSK) 32値振幅位相変調 (32APSK)
TSレート	1.5Mbps~73.72Mbps, 1bps可変
シンボルレート	1.628Msps~35Msps, 1sps可変
誤り訂正符号化	・ DVB-S, DSNG (RS符号化/畳込み符号化) QPSK : R=1/2,2/3,3/4,5/6,7/8 8PSK : R=2/3,5/6,8/9 16QAM : R=3/4,7/8 ・ DVB-S2 (BCH符号化/LDPC符号化) QPSK : R=1/2,3/5,2/3,3/4,4/5,5/6,8/9,9/10 8PSK : R=3/5,2/3,3/4,4/5,6/8,9/10 16APSK : R=2/3,3/4,4/5,5/6,8/9,9/10 32APSK : R=3/4,4/5,5/6,8/9,9/10 *LDPC符号はnormalモードに対応
送信/受信周波数	140MHz ± 38MHz / 950~1,500MHz
送信/受信レベル	-20dBm ~ +5dBm / AGC範囲25dB
送信周波数安定度	± 1ppm
受信AFC範囲	± 75kHz (@SR=30Msps)
送信スプリアス	-60dBc
送信スペクトラム	ロールオフ率: √35%, √25%, √20%
情報レート調整	Nullパケット除去, デミーフレーム挿入
データ入力/出力	電氣的条件: DVB-ASI TSパケット周期: 188/204byte 転送モード: バースト/パケット
監視制御	・ 10/100BASE-T (SNMP) ・ RS-485シリアルインタフェース ・ リレー接点
電源	
入力電圧	AC100V~240V (50Hz~60Hz)
外形寸法	19インチラックマウント, 高さ1U
質量	8kg以下

AFC: Automatic Frequency Control  
AGC: Automatic Gain Control

誤り訂正方式にLDPC符号+BCH符号の接続符号を採用し、従来の畳込み符号+リード・ソロモン符号に比べると限界C/N (Carrier to Noise ratio)が約2 dB低い。

(b) 狭帯域フィルタによる伝送効率の向上

波形整形フィルタとして、従来の $\alpha = 0.35$ に比べてより狭帯域な $\alpha = 0.20$ のフィルタが追加されており、同じ伝送帯域でより高い情報速度の信号を伝送できる。

(c) APSK変調による伝送ひずみ耐性の改善

変調方式としてAPSK変調が採用されており、送信機或いは衛星トランスポンダの非線形ひずみに強い。

DVB-S2方式とDVB-DSNGによる従来方式の変調方式の比較を図2に示す。

### 3.3 LDPC符号化/復号部

LDPC符号化部はBCH符号、インタリーブも含めてFPGA (Field Programmable Gate Array) 1チップ実装を実現した。

LDPC復号部は、符号化利得を維持しながら回路規模を削減することが大きな課題であったが、当社独自の巡回近似 $\delta$ -min復号法<sup>(3)(4)</sup>を適用し、FPGA 1チップ実装を実現した。この方式の計算機シミュレーション結果では、規格書のリファレンス値からの劣化量は、概ね0.2dB@PER=1E-7となり良好な結果を得た。一例を図3

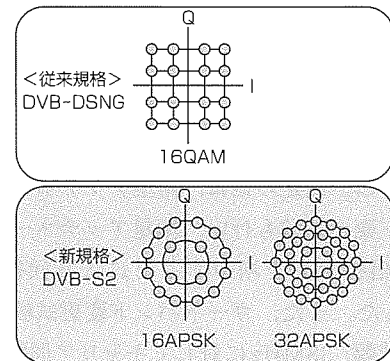
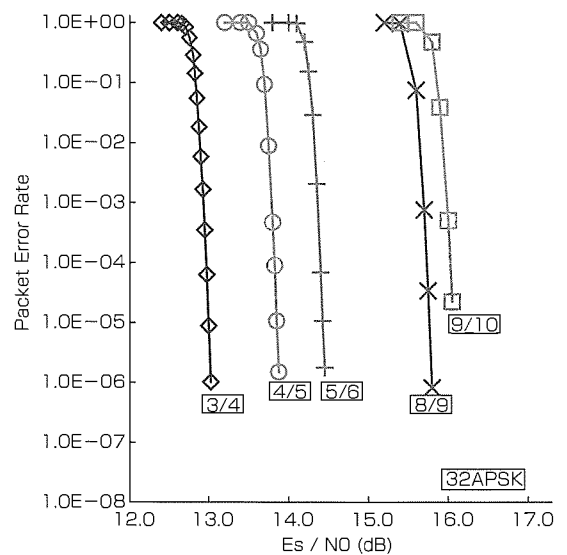


図2. 変調方式の比較



normalモード, 32APSKの各シミュレーション結果

図3. LDPC復号PER特性

に示す。

商用機ではnormalモード及びこの復号法を適用したことで、試作機(shortモード)に比べて0.4dBの利得向上を図ることができた。

### 3.4 APSK変復調部

DVB-S2方式に採用されている16APSKや32APSKは、符号化率ごとにマッピングの振幅値が異なるため、受信信号の基準を正確に再生できないと安定した受信性能を出すことができない。復調器では、規定間隔で挿入されているパイロット信号(QPSK相当)を利用して受信レベル調整機能の最適化を図った。

## 4. 衛星伝送実験<sup>(5)</sup>

### 4.1 実験概要

MS8100TX/RXを使用した衛星伝送実験を(株)フジテレビジョン及び宇宙通信(株)と共同で実施した。

実験はフジテレビ主局及びCX-401可搬局にMS8100TX/RX試作機を設置しShortモードで伝送した。

### 4.2 実験結果, 考察

限界C/N, 回線マージンの測定結果を図4に示す。

限界C/Nについては、IF折り返しの特性とほぼ同等の特性が得られ、送信機或いは衛星の影響がほとんどないことが確認できた。従来の16QAM方式では衛星伝送により1~2dB劣化することが知られており、今回の結果は衛星の性能改善(スーパーバードB2号機のリニアライザの効果)及び伝送ひずみに強いAPSK変調の効果と考えられる。

また、限界C/N測定の際に、衛星アッテネータ試験及びガードバンド変更試験も行い、衛星アッテネータ量を2dB増やして送信機出力を増やすことにより回線C/Nが約2.5dB向上した。また、ガードバンド変更試験では現在のキャリア帯域幅7.38MHzに対してキャリア間隔を8.5MHz⇒7.5MHzに狭めても影響がないことが確認できた。

これらの実験結果より、実運用を考慮してF・SATシステムでの最適なシステムパラメータを検討し、基本パラメータを表2のとおり定めた。DVB-S2方式をSNGシステムに採用することにより、HDTVの4チャンネル伝送が十分可能であることを実証できた。

## 5. む す び

今回開発した高速デジタル変復調器MS8100TX/RXの概要及びMS8100TX/RXを使って実施した衛星伝送実験の概要について述べた。(株)フジテレビジョンでは主局、可搬局及び今年度新規に配備した車載局にMS8100TX/RXを採用しDVB-S2での運用を開始した。今後更に実運用での伝送評価を実施して最終的な運用パラメータを決定し、

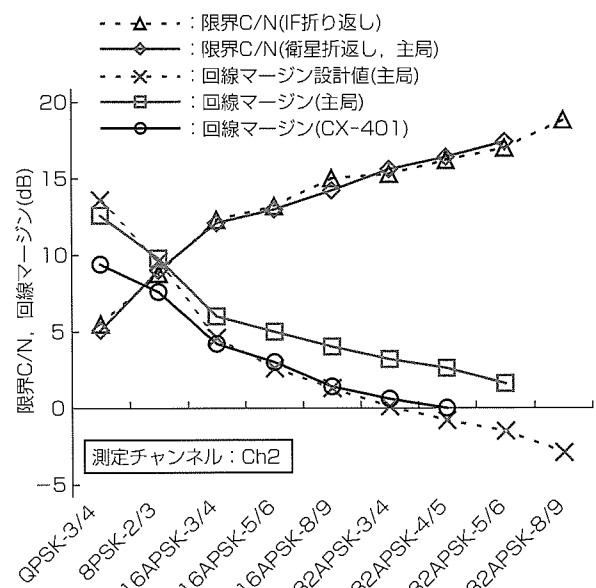


図4. 衛星伝送実験結果

表2. F・SAT HDTV伝送パラメータ案

項目	モード1	モード2
割当帯域	8.5MHz	
占有帯域幅	8.0MHz	
変調	16APSK	32APSK
FEC	5/6	3/4
シンボルレート	7.072Mbps	
TSレート	22.8Mbps	25.6Mbps
回線	主局	6.5dB
	系列局	4.5dB
マージン	主局	6 dB
	系列局	4 dB

FEC: Forward Error Correction

FNS(Fuji Network System)系列としてのDVB-S2運用を実現する予定である。

最後に衛星伝送実験に際してご協力を頂いた(株)フジテレビジョン、宇宙通信(株)の関係各位に感謝の意を表す。

### 参考文献

- (1) 清水芳之, ほか: SNGネットワーク, 三菱電機技報, **64**, No.2, 137~141 (1990)
- (2) 杉原正巳, ほか: SNGシステム完全デジタル化, 放送技術, **50**, No.2, 153~157 (1997)
- (3) 松本 渉, ほか: 巡回近似MINアルゴリズム, 電子情報通信学会技術研究報告, **105**, No.196, RCS2005-40, 13~18 (2005)
- (4) 阪井 豊, ほか: LDPC符号の簡易復号法とその離散化密度発展法, 電子情報通信学会技術研究報告, **105**, No.196, RCS2005-42, 13~18 (2005)
- (5) 木村好信, ほか: 新方式(DVB-S2)衛星モデムによるHDTV衛星伝送実験報告, 放送技術, **59**, No.6, 651~654 (2006)



# 特許と新案 \* \* \*

三菱電機は特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは  
三菱電機株式会社 知的財産渉外部  
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

## OFDM通信システム用受信装置 特許第3085944号(特開2000-236314)

発明者 平 明德

この発明は、移動体通信等に用いられるOFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)通信システムにおいて、受信信号のタイミング同期を行う受信装置に関するものである。

広帯域移動体通信では、距離偏差やマルチパスの影響により、受信信号の到達タイミングが動的に変化する。特に、OFDMに代表されるマルチキャリア通信では、受信タイミング誤差に敏感であり、何らかの補償が必要である。

従来のOFDM通信システム用受信装置では、ノイズのない理想的な伝送路を前提に、受信信号に含まれる特定パターンを複数回取り、最大の相関値を示す位置を同期位置とする方式が知られている。しかし、現実の通信環境では、必ずしも遅延波の方が先行波より受信電力が小さいとは限らない。先行波より遅延波の電力が大きくなる特

性を持つ伝送路の場合、従来の方式では遅延波のタイミングを同期タイミングとするため、先行波が干渉波となってしまうという問題があった。

この問題を解決するために、この発明では、図1に示すように、最大相関値探索部で最大相関値を示す位置を探索した後、先行波探索部で最大相関位置の前方にある先行波の先頭位置を探索して受信信号の同期位置を決定する構成を採った。先行波探索部では、図2に示すように、最大相関値を基にしきい値を決定し、最大相関位置の前方でしきい値以上の信号が存在する位置を検出することにより、受信信号の同期位置を決定する。

以上により、マルチパス伝送路においても、常に良好な同期特性を得ることができる。

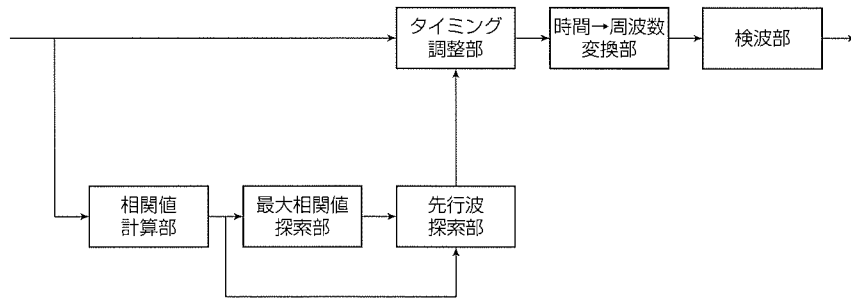


図1

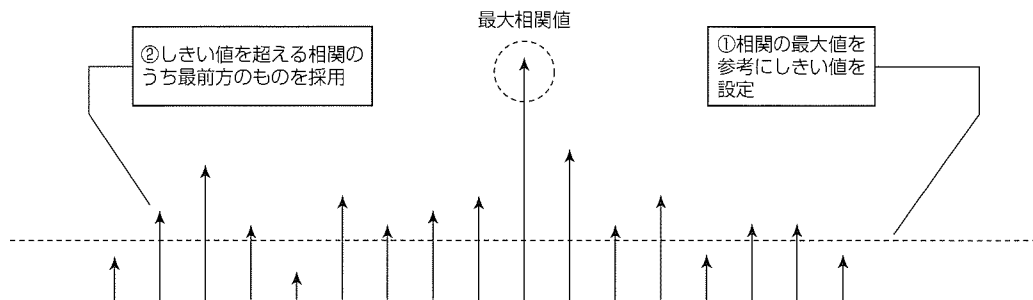


図2



# 特許と新案 \* \* \*

三菱電機は特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは  
三菱電機株式会社 知的財産渉外部  
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

## 液晶表示装置及びこれを用いた電気・電子機器 特許第3773732号(特開2001-188222)

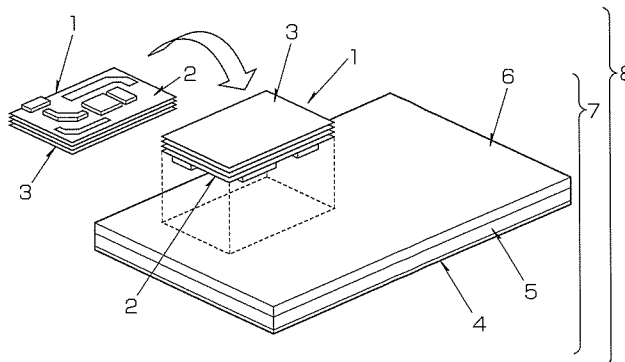
この発明は、液晶表示装置及びこれを用いた電気・電子機器からの不要電磁輻射(ふくしゃ)抑制に関するものである。

液晶表示装置及びこれを用いた電気・電子機器には、不要な電磁輻射の発生を抑制し、さらに、液晶駆動用回路から発生する熱を放熱することが要求される。

従来の液晶表示装置は、プリント基板に実装した電子部品が遮蔽(しゃへい)されていないために、電子部品からの不要輻射電波を十分に抑制することができないという課題があった。また、プリント基板上に実装した電子部品から発生する熱を放熱する機構がないためにプリント基板の直下のみが高温となり、電子部品の特性を劣化させる可能性があるという問題があった。

この発明は、以上の問題点を解消するためになされたもので、図に示すように、液晶駆動用基板が、一方の面に部品実装面、他方の面に接地面を持ち、この接地面と導電性反射板とを電氣的に接続するとともに、部品実装面側から導電性反射板に支持固定するものである。

発明者 内田 雄, 岡 尚人, 宮崎千春, 神田光彦  
以上により、液晶表示装置の主たるノイズ源である液晶駆動用回路を構成する電子部品から発生する電波を遮蔽することができることから、不要電磁輻射を抑制した液晶表示装置及びこれを用いた電気・電子機器を得ることができる。さらに、導電性反射板に設けられ、液晶駆動用回路から発生する熱を放熱する放熱手段を備えるので、基板に実装した部品から発生する熱による液晶表示装置の動作の不安定化を抑えることができる。



### <本号記載の商標について>

本号に記載されている会社名、製品名はそれぞれの会社の商標又は登録商標である。

### <次号予定> 三菱電機技報 Vol.80 No.10 特集「情報セキュリティシステム/サービス基盤」/

#### 「設計・開発手法の革新(フロントローディング型 開発設計)」

三菱電機技報編集委員	三菱電機技報 80巻9号	2006年9月22日 印刷
委員長 三嶋吉一	(無断転載・複製を禁ず)	2006年9月25日 発行
委員 小林智里 増田正幸 山本比呂志	編集人 三嶋吉一	
佐野康之 中山保夫 世木逸雄	発行人 園田克己	
岡本尚郎 河合清司 長谷勝弘	発行所 三菱電機エンジニアリング株式会社 e-ソリューション&サービス事業部	
木槻純一 逸見和久 光永一正	〒102-0073 東京都千代田区九段北一丁目13番5号	
河内浩明 赤川正英	日本地所第一ビル 電話 (03)3288局1847	
事務局 園田克己	印刷所 株式会社 三菱電機ドキュメンテクス	
本号取りまとめ委員 石津文雄	発売元 株式会社 オーム社	
	〒101-0054 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地	
	電話 (03)3233局0641	
	定 価 1部945円(本体900円) 送料別	
三菱電機技報 URL	URL <a href="http://www.MitsubishiElectric.co.jp/giho/">http://www.MitsubishiElectric.co.jp/giho/</a>	
三菱電機技報に関するお問い合わせ先	URL <a href="http://www.MitsubishiElectric.co.jp/support/corporate/giho.html">http://www.MitsubishiElectric.co.jp/support/corporate/giho.html</a>	
英文季刊誌「MITSUBISHI ELECTRIC ADVANCE」がご覧いただけます	URL <a href="http://global.mitsubishielectric.com/company/r_and_d/advance/">http://global.mitsubishielectric.com/company/r_and_d/advance/</a>	



# スポットライト モバイルオフィス・ソリューション

モバイルオフィス・ソリューションは、数人規模のオフィスから数千人規模のオフィスに無線LAN、IP電話を導入し、オフィスの配線レス化でモバイル性に富む高セキュリティで作業性の良いオフィス環境を提供します。モバイルオフィスの主な導入効果は次のとおりです。

- (1) 組織の移動・移転、個人の異動に掛かるアナログ電話、LANの配線工事費用を削減します。
- (2) 電話網として“OAB～J網”などIP電話網を採用することで通信費用を削減できます。
- (3) 無線IP電話を全員が所有することにより、利用場所を固定されずに確実に相手とコンタクト、電話取次ぎの手間をなくすなど、生産性を改善する効果があります。
- (4) フリーアドレススペースの実現により自由な場所で作業できる環境を提供し、外出が多い職場の場合には、座席数を60～70%に削減し、スペースを有効活用できます。
- (5) オフィスのペーパーレスが自然に実現できます。個人のロッカーから必要な資料のみ机の上に持ち出し、作業終了時すべて片付けるので、整理整頓が進み情報のデジタル化、高セキュリティ化の促進になります。
- (6) PBX関連設備費用が下がることで保守費用が低減し、運用費用も通常のサーバ並みに下げることができます。モバイルオフィス・ソリューションを構成する製品を以下に紹介します。

## ■製品の特長

### (1) MOサーバ

中・大規模なオフィス向けの汎用サーバ型IP-PBXです。

150以上の内線電話を登録でき、サーバの性能を選択することで接続ユーザー規模を拡大できます。各種ゲートウェイを経由し、ISDN網、ひかり電話ビジネスタイプ網などへ接続します。

### (2) MOサテライト

オールインワン型のアプライアンスサーバで、アナログ電話、FAX、50内線までは“単一BOXモデル”でカバーします。PBX機能とゲートウェイ機能を分離した“分離BOXタイプ”は最大150内線まで拡大できます。

### (3) MOフォン

802.11b,g対応無線IP電話。Webブラウザ搭載(SWP-3)、リダイヤル件数20件、着信履歴20件、着信音40和音MIDI音源、7段階音量調整、バイブレータ機能、17曲内蔵、待ち受け時間60時間、TFT1.8インチ、折りたたみ式の各性能を持っています。

### (4) その他の電話

FOMA<sup>(注1)</sup>N900iL、固定IP電話、ソフトフォンなども利用可能です。

### (5) MOマネージャ

“拠点番号+内線番号”による拠点間の内線通話(イントラネット経由)に必要な情報を各拠点のMOサテライトと共有します。また、ネットワーク認証DB(データベース)、アセット管理DB、電話番号DBを保持し“ネットワーク認証”“アセット管理”“電話番号管理”などを一元的に行います。

(注1) FOMAは、(株)エヌ・ティ・ティ・ドコモの商標又は登録商標です。

(注2) Bフレックスは、NTT東日本電信電話(株)及びNTT西日本電信電話(株)の商標又は登録商標です。

(注3) BRIは、Basic Rate Interfaceの略です。

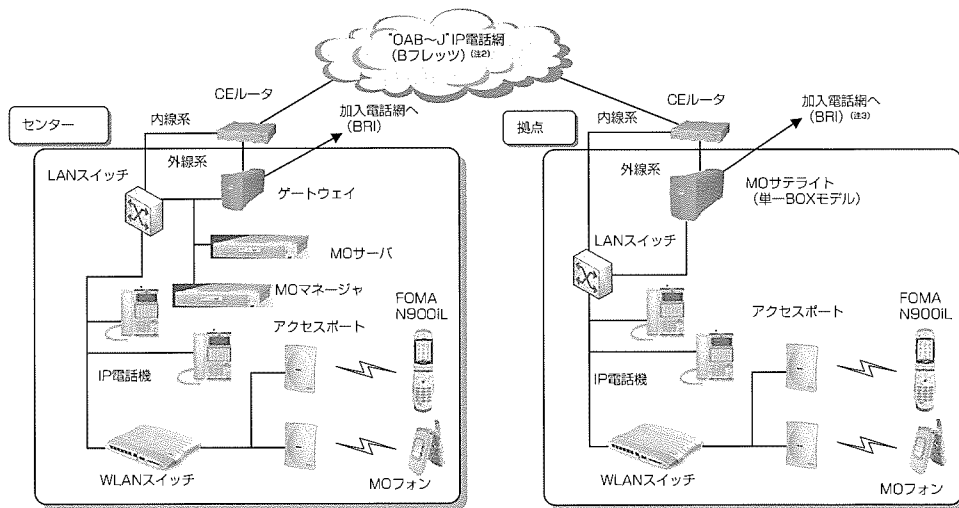


図1. システム構成