

汎用 I P 無線通信システムに関する研究会
報 告 書

平成 1 5 年 3 月

汎用 I P 無線通信システムに関する研究会
総 務 省 北 陸 総 合 通 信 局

はじめに

北陸管内の無線局数は、平成 14 年 3 月末には 177 万局と、平成元年に比べ 10 倍を超えていますが、その内訳では、携帯電話が装置の低廉化、小型・軽量化やネットワーク接続などから爆発的に普及し、無線局全体の 9 割を超える一方、国、公共団体、民間企業や商店などが自身の事業運営や業務の効率化のために開設・運用している自営無線は減少傾向にあります。これは、携帯電話の利便性の高さを反映しているものと考えられますが、非常災害時における通信の輻輳等の問題を考慮すると、無線通信の利用が携帯電話に過度に集中することは情報通信基盤の脆弱性につながりかねないとの懸念もあります。

このため、本研究会では、自営無線の高度化と利便性の向上を実現し、一層の発展を図るため、通信プロトコルの方式にインターネット等で広く普及しているインターネットプロトコル(IP)方式を使用する「汎用 IP 無線通信システム」の導入に向け、自営無線における IP 通信の有用性を明らかにするとともに、適用無線通信技術の検討を踏まえた実証実験などにより実用化に向けた課題と方策について明らかし、報告書として取りまとめました。

平成 13 年度に北陸総合通信局が開催した「北陸における電波利用の促進に関する研究会」が実施した自営無線利用者の利用者ニーズに対するアンケート調査では、本来の優れた音声通信に加え高速データ伝送のニーズが 60 % を超え、またシステム構築の観点では、構築費用の低廉化や他ネットワークとの親和性の向上を期待する声が多く寄せられています。研究会では、利用用途に応じた使い分けを可能とするため、適用する技術に応じて汎用 IP 無線通信システムを第 1 世代から第 3 世代に分類し、それぞれの特徴に応じて想定される利用例についても検討を行ってきました。

本研究会で示された課題と方策は、実用化に向けては通信速度等の向上など、新たな無線通信技術の確立や現行の規則等の整備が待たれる項目も多く見受けられますが、今後これらの課題解決に向け、引き続き研究が進められ、自営無線の高度化と低廉化、ひいては電波の有効利用の促進が、北陸から全国あるいは世界に広まることを期待して、研究会のまとめとさせていただきます。

最後に、昨年 10 月から開催してきた研究会において、熱心な論議をいただいた委員の皆様をはじめ、実証実験に協力をしていただいた方々など、関係各位のご尽力に心から感謝申し上げます。

平成 15 年 3 月

汎用 IP 無線通信システムに関する研究会座長
金沢工業大学教授 大洞 喜正

目 次

第1章 自営無線の現状と利用者ニーズ	
1.1	自営無線の範囲 ----- 1
1.2	自営無線の現状と課題 ----- 1
1.3	利用者ニーズ ----- 4
1.4	汎用IP無線通信システムの提案 ----- 8
第2章 自営無線におけるIP通信の有用性	
2.1	既存の自営無線システムと汎用IP無線通信システムの比較 ----- 11
2.2	IP通信の有用性 ----- 11
2.2.1	新たな通信サービスの実現
2.2.2	機能上のメリット
2.2.3	システム導入コストの低廉化
2.2.4	電波の有効利用の促進
第3章 汎用IP無線通信システムの世代構成と利用例	
3.1	汎用IP無線通信システムの世代構成 ----- 18
3.2	第1世代汎用IP無線通信システム ----- 19
3.3	第2世代汎用IP無線通信システム ----- 22
3.4	第3世代汎用IP無線通信システム ----- 26
3.5	平成14年度の実証実験対象 ----- 29
第4章 第1世代汎用IP無線通信システムの変調方式の性能比較	
4.1	検討対象の変調方式 ----- 30
4.2	検討条件 ----- 32
4.3	シミュレーションの結果 ----- 37
第5章 第1世代汎用IP無線通信システムの実証実験	
5.1	実証実験の概要 ----- 42
5.2	実証実験結果 ----- 47
第6章 第1世代汎用IP無線通信システムの課題と方策	
6.1	通信速度の向上 ----- 50
6.2	IPネットワークへの接続動作の改善 ----- 59
6.3	情報端末との接続インターフェースの改善 ----- 60

第7章 今後必要な取り組み

7.1	第1世代の早期実用化をめざした継続研究	61
7.2	第2世代の実証システム構築に向けた研究	62
7.3	第3世代に求められる機能等の研究	63
7.4	周波数の確保	64
7.5	まとめ	64

技術資料

技術資料 各種変調方式の実効伝送速度等シミュレーション結果

1	変調方式による誤り率のシミュレーション	65
2	スループットのシミュレーション	77
3	サービスエリアのシミュレーション	83

参考資料

参考資料1 主な自営無線システムの概要

1	都道府県防災行政無線システム	87
2	市町村防災行政無線システム	89
2.1	防災行政用デジタル同報無線システム	
2.2	市町村デジタル移動通信システム	
3	消防無線システム	95
4	MCA無線システム	97
5	タクシー無線システム	99

参考資料2 狭帯域デジタル通信方式の概要

参考資料3 800MHz帯デジタルMCA陸上移動通信システムの概要

参考資料4 開催趣旨

参考資料5 開催要綱

参考資料6 構成員名簿

参考資料7 開催状況

本 編

第1章 自営無線の現状と利用者ニーズ

1.1 自営無線の範囲

自営無線は、国、公共団体、一般企業や商店などが自身の事業運営や業務の効率化のために開設・運用している無線通信システムで、電気通信事業者が提供する携帯電話、PHS、無線アクセス等の無線通信サービスと区分されるものである。

また、その通信の形態から「固定系」、「移動系」、「衛星系」等に分類され、本研究会が高度化等に取り組むのは、移動系の自営用陸上移動無線通信（以下、「自営無線」という。）に分類されるものである。

この自営無線は、更に、警察、行政、消防・救急、電力・ガス、水道、バス、鉄道などの分野で行政機関や公共・公益の事業者等が使用する「公共業務用」と製造・販売、物流、運輸、報道、サービスなどの分野で民間企業、商店や個人などが使用する「一般業務用」に区分され、タクシー無線やMCA無線は、一般業務用に分類される。



汎用IP無線通信システムの適用範囲

1.2 自営無線の現状と課題

(1) 自営無線の減少と利用の低迷

平成13年度に北陸総合通信局が開催した「北陸における電波利用の促進に関する研究会」（以下、「電波利用促進研究会」という。）の調査・研究によると、端末機売り切り制度が導入された平成6年度以降、インターネット接続サービスなどの高性能化と装置の小型・軽量化や低廉化の進展が相まって、携帯電話等（PHSを含む）

が爆発的に普及し、平成 12 年度末現在で 6,273 万局に達しており、これは無線局全体の 94.2 %を占めている。

一方、携帯電話等以外の自家用を含むその他の無線局（アマチュア局を除く。）は、携帯電話の普及とともに減少傾向が顕著になっており、平成 7 年度末に 356.7 万局あったものが、平成 12 年度末には 294.6 万局と、この 5 年間で約 20 %減少している。これは無線局全体の 4.4 %弱を占めるに過ぎない。

特に、公共業務用（ - 16 万局、 - 20 %）、各種業務用（ - 22.6 万局、 - 32 %）及び簡易無線（ - 43.7 万局、 - 37 %）の減少傾向が顕著であり、これら無線局（図 1.2 では「その他の無線局」）の著しい減少傾向は今も続いている。

なお、アマチュア局も同様にこの 5 年間で約 45.2 万局、約 33.5 %の大幅な減少傾向を示している。

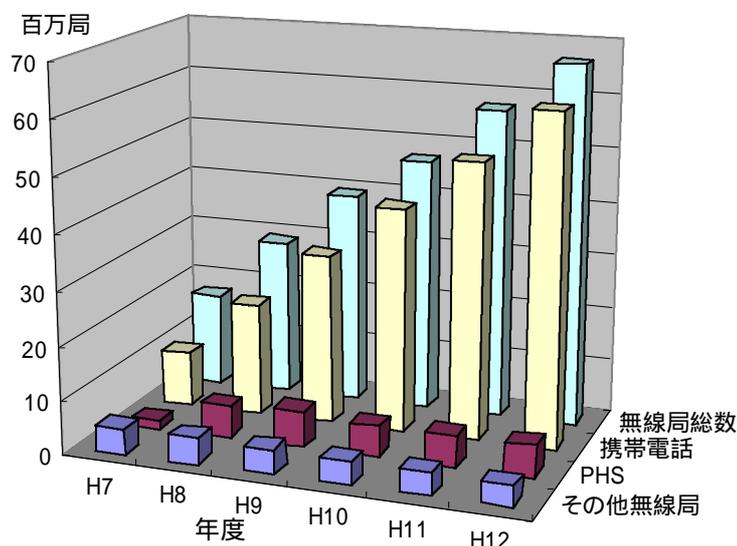


図 1.2 無線局数の推移

(2) 携帯電話の爆発的普及と通信の一極集中

IT 社会の進展と携帯電話の普及は、移動体通信の需要を爆発的に増大させ、その通信が携帯電話に一極集中する状況を招き、地震などの非常災害時において、被災地への安否確認などの通信の輻輳などから、防災行政機関、公共機関や一般企業などが行う被災状況の把握、ライフラインの復旧活動や救急・救援活動などに必要な通信ができなくなる事態が懸念されている。

(3) 進まないデジタル化

警察無線や市町村の防災行政無線など一部の分野でデジタル化の進展が見られるものの、自営無線の大半は、従来のアナログ方式の無線システムを使用しており、この

デジタル化が進まない現状が自営無線の高度化・高機能化や利用拡大の妨げの要因であるとともに、我が国の周波数事情の逼迫の遠因にもなっている。

(4) IT 社会の進展と周波数需要の増大

IT 社会の進展に伴い、今後、無線 LAN 等の広帯域で高速な移動体通信の一層の拡大が予想されるとともに、第 4 世代の移動通信システムや情報家電、電波タグなど新たな電波利用システムが実用化されることが予想されている。これらの膨大な周波数需要は、現在でも逼迫している我が国の周波数事情を一層、深刻なものにすることが懸念されており、周波数利用効率の向上と電波の有効利用の促進が喫緊の課題になっている。

(5) 情報通信基盤の脆弱化が懸念

自営無線の低迷と通信が携帯電話に過度に集中する現状は、大都市圏に比べ通信手段が限られる地域の情報通信基盤の脆弱化につながることを懸念されており、自営無線の利用を促進・拡大することにより、地域における携帯電話と自営無線の均衡ある発展を図り、非常災害時等における情報通信基盤の多様性の確保と信頼性の向上が望まれている。

(6) IP (インターネットプロトコル) ネットワークが普及

IT 社会の進展とともに、インターネットやイントラネット等のインターネットプロトコル (IP) を使用する、いわゆる IP ネットワークが社会の隅々まで普及しつつあり、近い将来、我が国の情報通信基盤として重要な位置を占めることが予想されている。

このことから、IT 社会に対応した自営無線システムの高度化と利便性の向上の実現において、IP ネットワークへのモバイルアクセスは必要不可欠な機能となっている。

(7) 利用者ニーズが多様化・高度化

IT 社会の進展に伴い、写真等の動画像の伝送、GPS 等の位置情報データの伝送、電子ファイルや電子メールの交換などマルチメディア通信への利用者ニーズが高まっている。

また、インターネットやイントラネット等と接続して、タクシー等の営業用車両からカード会社の決済システムにアクセスしての料金等のカード決済や自営無線に接続したパソコンから自社又は汎用のホームページやデータベースにアクセスして、必要な情報検索・収集を行うなど、その利用者ニーズは高度化している。

1.3 利用者ニーズ

平成 13 年度に「電波利用促進研究会」が北陸管内の自営無線の利用者を対象に実施した自営無線のメリット、自営無線に対する不満及び利用者ニーズに関するアンケート調査の結果は、次のとおりであった。

(1) 自営無線のメリット

自営無線のメリットとして、多くの利用者が、「移動体との通信が可能」、「非常災害時でも通信が可能」、「一斉呼出しが可能（同報性）」など、移動体無線通信が本来持っている、優れた音声通信機能を挙げている。

また、自由回答において、「通信操作が簡単」なことをメリットとして挙げる者が少なからずあったことが注目される。

(1) 自営無線のメリット

移動体との通信が可能
非常災害時でも通信が可能
一斉呼出しが可能（同報性）
通話料金が不要
遠隔地との通信が可能
A V M 等付加機能が利用可能
通信操作が簡単

ア 移動体との通信が可能（59 %）

移動体との通信が可能であることは、自営無線に限らず携帯電話も含め、有線にはない無線のメリットであり、今後も I T 社会の様々な場面で移動体通信のニーズは一層高まるものと考えられ、移動体通信が社会活動の利便性の向上に必要不可欠なものとなっていることを顕著に示している。

イ 非常災害時でも通信可能（56 %）

過半数の者が「非常災害時でも通信が可能」を自営無線のメリットとしており、また、自由回答でも「非常災害時における信頼度の高い情報伝達手段として、無線に替わるものは無い」、「緊急報道、非常災害時での連絡手投として有効」といった同様の意見が多く出されている。

このことは、携帯電話はそのシステムの性質上、非常災害時等において他者の通信が輻輳することにより、必要な通信ができなくなることは避けられないことであり、自営無線の方が携帯電話に比べて非常災害時等の通信の確保に有効であることを、自営無線の利用者が十分に認識していることを示している。

ウ 一斉呼出しが可能（53 %）

自営無線は様々な分野で利用されており、その用途によっては 1 対 1 ではなく、一カ所から複数の相手を一斉に呼び出す 1 対 N の通信が有効な場合がある。

携帯電話は基本的に 1 対 1 の通信を目的としたシステムであるため一斉呼出しは困難であるが、基地局と複数の移動局から構成される自営無線では容易に一斉呼出

しやグループ通信、同報通信が可能であることから、携帯電話にはない利便性としてこれをメリットに挙げたものと推察される。

エ 通話料金が不要（51 %）

携帯電話など電気通信事業者が提供する通信サービスを利用するには通信料金が必要となるが、利用者自らが無線設備等を設置・運用する自営無線は基本的に通信料金が不要である。このことが自営無線利用者から見て、携帯電話等との比較において最も優位性の高いメリットと考えられる。

オ 遠隔地との通信が可能（24 %）

遠隔地との通信は、相手側が移動体でない場合には有線を利用することでも可能であるが、一般に無線は有線に比べて山間部であっても柔軟に回線設定が可能であり、24 %の利用者が無線のメリットとして挙げている。

カ AVM 等付加機能（5 %）

付加機能をメリットとして挙げている利用者は 5 %にとどまっている。これは現在利用されている無線システムに AVM(Automatic Vehicle Monitoring System：車両位置自動表示システム)等の機能が付加されているものが少ないためと考えられる。

(2) 自営無線に対する不満

自営無線に対する不満として、「設置等費用が高額」、「通信エリアが狭い」、「機器が大きい」など携帯電話の経済性や利便性を意識したと思われる事項が上位を占めるとともに、「パソコンやネットワークとの親和性が低い」、「周辺機器による機能が貧弱」など自営無線の高度化の観点からの不満がそれらに続いている。

(2) 自営無線に対する不満

設置等費用が高額
通話エリアが狭い
交互通話の単信方式である
機器が大きい
パソコン等との親和性が低い
周辺機器による機能が貧弱
秘話性（セキュリティ性）が低い

ア 設置等費用が高額（59 %）

自営無線は、設置・維持の両方のコストとも極めて「高い」と回答している。

自由回答においても、多くの利用者が、システムの構築・導入に多額の経費と労力がかかる上に、システムの機能拡張や修繕等の維持コストも極めて高く付くことが、導入を躊躇させる最大の要因としている。

このことから、機器の汎用性を高めるなどにより、無線装置の低廉化を図るとともに、モバイルインターネットアクセスなど高度化・高機能化を図ることによ

り、自営無線のトータルなコスト・パフォーマンスの向上が強く望まれている。

イ 通話エリアが狭い（43 %）

携帯電話や PHS は、膨大な数の基地局を設置して、広いサービスエリアを確保している。

これに対して自営無線は、一つの基地局の通信エリアは携帯電話基地局に比べ広いものが多いものの、多数の基地局を設置することは経済的な面から困難であり、必要最小限の通信エリアとなっている。このことが北陸3県や全県域など広い地域を事業エリアとする利用者にとって大きな障害となっている。

なお、防災行政用や水防道路用等に利用する無線は、山間・僻地を含む事業エリア全域をくまなくカバーする必要から、山頂等に中継局を設置することにより広い通信エリアを確保している。

ウ 交互通話の単信方式である（30 %）

携帯電話などでは双方の通話者が同時に話すことができる複信方式となっているが、自営無線では交互に通話をする単信（プレストーク）方式が一般的であり、これを操作性、利便性に対する不満として挙げている。

一方、メリットに関するアンケートでは、多くものが単信方式の特徴である一斉呼出しやグループ通信・同報通信ができることを自営無線のメリットとして挙げており、このことから利用者は用途によって単信方式と複信方式の使い分けが可能な自営無線システムを望んでいるものと思われる。

エ 機器が大きい（21 %）

技術革新の進展により無線機器は従来のものに比べて小さくなってきているが、携帯電話や PHS の端末が極めて小型・軽量であるのに比べると、自営無線の機器はまだまだ大きく、これが利用者の不満となっている。

自営無線の端末は、携帯電話や PHS と比べて一般に送信出力が大きいことから、小型・軽量化には不利となる面もある。

オ パソコンやネットワークとの親和性が低い（11 %）

自営無線は音声通信又は専用システムとしてのデータ通信に活用されてきたが、今日の IT（情報通信技術）の急速な発展を考えると、自営無線を IP ネットワークへのモバイルアクセスツールとして活用したいとのニーズが一層高まってくるものと思われる。

カ 周辺機器による機能が貧弱（8 %）

最近の携帯電話等は、インターネット接続、写真伝送や GPS(Global Positioning System：全世界測位システム)などの付加機能の高度化・高機能化が著しく、また、

周辺機器等の接続によって様々な用途への利用を可能にする優れた拡張性を有するようになっている。今後、自営無線においても同様の拡張性が求められるものと思われる。

キ 秘話性（セキュリティ性）が低い

アンケート調査の自由回答において、自営無線の秘話性及びセキュリティ性に対する不満が多く挙げられている。

デジタル方式の携帯電話は、一般の受信機で電波を受信しても音声として聞くことができないため、非常に秘話性に優れている。一方、自営無線は、市町村の防災行政用無線等デジタル化されたものを除けば比較的簡単に受信可能であることから、携帯電話に比べて秘話性、セキュリティ性に劣るものが多い。

(3) 利用者ニーズ（要求機能）

これからの自営無線に新たに付加する又は拡充・強化することが望まれる機能として、画像情報、位置情報及び遠隔監視・制御など高速データ伝送に関する機能を挙げる者が利用者の 60 % 以上と最も多く、インターネット等へのモバイルアクセスに関する機能の拡充・強化に関する要望がそれに続いている。

また、防災・防犯の観点から、防災、警察及び消防・救急等の周波数が異なる無線システムとの直接の通信を望む声や工事現場、工場・集荷場の建物内などの特定のエリア（小ゾーン）における作業、売上、在庫等の遠隔監視、遠隔管理に応用が可能な安価な無線システムを望む声が少なからずあったことが注目される。

(3) 利用者ニーズ（要求機能）

- 画像伝送に関する機能
- ・工事や報道の現場からの画像伝送
- 位置情報に関する機能
- ・車両等の位置情報データの伝送
- 無線アクセスに関する機能
- ・ネットワークへのモバイルアクセス
- 他機関との連携に関する機能
- ・警察、消防等機関への緊急連絡
- 監視制御に関する機能
- ・テレメータ、テレメートリング

ア 画像伝送に関する機能

緊急報道の現場等からの写真伝送など出先の作業現場等から本社等へ簡単に高品質の映像や画像を送りたいとのニーズが多くあり、自営無線にこれらのニーズに対応した機能を付加することが望まれている。

併せて、市販の安価なムービーカメラやデジタルカメラ等の周辺機器を簡単に接続できるシステムが望まれている。

イ 位置情報に関する機能

カーナビゲーションや携帯電話等による GPS の普及を受け、車両等の位置情報

を元にした動態監視など、GPS を活用した情報システムの構築に関するアイデアや要望が多く出されている。

また、位置情報システムの超小型化を図り、野鳥観察、徘徊老人の探索、山岳遭難者の救助等に利用ができるようになれば、新たなニーズの開拓にもつながるとの意見も出されている。

ウ 無線アクセスに関する機能

インターネット時代を迎えて、携帯電話等のネットワークを利用したデータ通信は、山間地等のサービスエリア確保の自由度が低く、通信料等の維持経費が高いなどの問題があることから、インターネット等の IP ネットワークに簡単に無線アクセスでき、自由度（柔軟性）の高いネットワーク構築を可能にする自営無線システム（IP 無線）の必要性に関する要望が出されている。また、IP 無線用の周波数帯の確保に関する要望も出されている。

その他、無線 LAN の拡大や空中線電力の増力の要望がある。

エ 他機関との連携に関する機能

現在、タクシー等の営業車両が事故や火災等の緊急事態に遭遇したときは、一旦、無線で自社基地局のオペレーターに連絡し、オペレーターが警察等関係機関に電話連絡する体制となっているため、スピーディで正確な情報伝達ができないケースが発生している。このような状況を改善するため、自動化された通信操作により関係機関に直接、通報・連絡できる機能への要望が多く出されている。

また、仕事等において緊密な関係にある取引先や系列会社等の無線システム等との通信や情報交換など、いわゆる異免許人間の通信を望む声も多く寄せられている。

オ 監視・制御に関する機能

中継局等の無人施設の監視・制御を行う場合は、山上まで有線を敷設したりマイク口無線回線等を設置する必要があったが、これに替わる低廉なシステムの要望がある。

1.4 汎用IP無線通信システムの提案

(1) 提案の背景

自営無線の利用者は、自営無線が持つ一斉呼出しやグループ通信が可能、通話料金が不要など優れた機能や利便性を認識しつつも、携帯電話や PHS サービスに比較してシステムの設置等経費が高額、通信エリアが狭い、ネットワークとの親和性に欠けるなどの現在の自営無線に対する不満から、携帯電話や PHS に切り替えており、このため自営無線は著しい減少傾向にある。

また、携帯電話の爆発的普及は、非常災害時等における通信の携帯電話への一極集中を招き、通信の輻輳等から携帯電話では、被災状況の把握、復旧活動や救急活動に必要な通信ができなくなるなどの事態が懸念されている。

さらに、IT 社会の進展に伴って移動体通信用の周波数需要が爆発的に増大すると予想されており、既に逼迫している周波数事情の一層の深刻化が懸念されている。

このような要因から、我が国の IT 社会を支える情報通信基盤全体の脆弱化につながるものが懸念されている。

一方、我が国の IT 社会を支える重要な情報通信基盤として、インターネットやイントラネット等の高速通信ネットワークが社会生活や企業活動の隅々にまで普及しつつあることから、インターネット等との接続が可能であることが今後の無線通信の重要な要件となっており、これらモバイルアクセスが可能な無線 LAN 等の利用ニーズが急速に高まっている。

なお、これら無線 LAN 等の移动通信システムでは、多元接続（マルチアクセス）方式としてパケット通信方式が、通信プロトコルとしてインターネットプロトコル（IP）方式（以下「IP 通信」という。）が広く普及している。

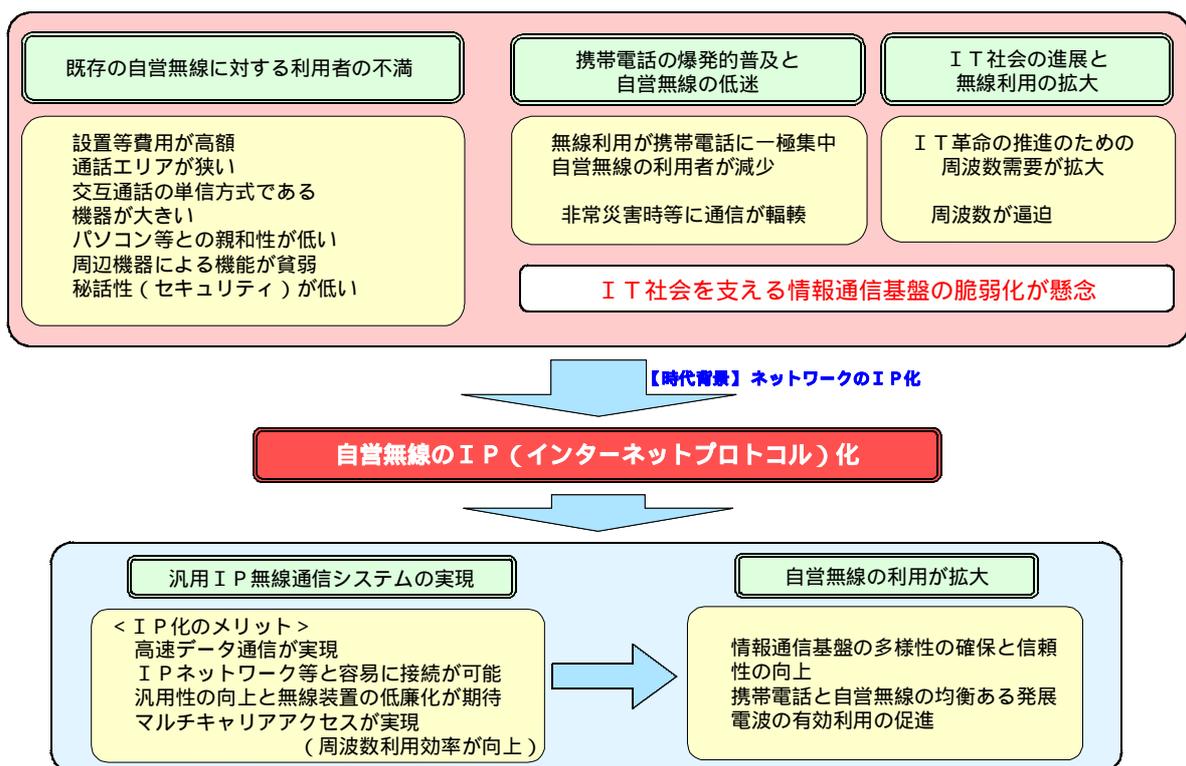


図 1.4 汎用IP無線通信システムの実用化が望まれる背景

(2) 汎用 IP 無線通信システムの提案

「電波利用促進研究会」はその研究成果として、自営無線の利用の拡大と一層の発展を図るには、高速データ通信や IP ネットワークへのモバイルアクセスが実現し、無線装置の低廉化や周波数利用効率の向上などが期待できる「汎用 IP 無線通信システム」の導入が有効であると提案している。

ここでは、昨年度提案されたシステム概要を改めて整理しておく。

なお、以下の昨年度提案されたシステム概要は、大まかなシステム要件であったことから、本研究会においては、第 2 章で自営無線における IP 通信の有用性を明らかにした上で、第 3 章で汎用 IP 無線通信システムを適用ニーズ毎に世代構成を分類して基本的な技術要件を改めて整理する。

ア 通信エリア

- ・ 既存の自営無線システムと同様の通信エリアが確保が望ましい。
- ・ 大ゾーン方式を基本とするが、用途に応じて小ゾーン方式の使い分けが必要。

イ 周波数帯

- ・ 150MHz 帯 ~ 1GHz 帯以下

ウ 通信速度

- ・ PHS、ISDN 並みの 64kbps ~ 128kbps 程度以上の通信速度が望ましい。

エ 通信方式

- ・ パケット方式等の多元接続方式が望ましい。

オ ネットワークルータ機能

- ・ ルータ機能を持たせることが望ましい。

カ ネットワーク端子

- ・ Ethernet 等の標準的な端子の装備が望ましい。
また、無線 LAN 又は Bluetooth の装備にも期待。

第2章 自営無線におけるIP通信の有用性

2.1 既存の自営無線システムと汎用IP無線通信システムの比較

現在、実用化されている狭帯域デジタル通信方式の自営無線システムで最も高度なものとされる市町村デジタル移動通信システムと汎用IP無線通信システム（以下、「汎用IP無線」という。）の性能・機能等について、次表に比較する。

表2.1 既存システムとの機能比較

比較項目	既存の自営無線	汎用IP無線
通信速度	低速 狭帯域システムの場合、 2.4kbps程度	高速 第1世代:2.4～9.6kbps 第2世代:20～64kbps程度 第3世代:数百k～数Mbps級
多元接続	狭帯域デジタルで3通話	複数可能
電子メール利用	不可	可能
Web利用	不可	可能
イントラネットへのモバイルアクセス	不可	可能
異システム間通信	制約多い	インターネットを介して可能
前進基地局	固定局又は専用線によるアプローチ回線が必要 = 高価	アプローチ回線としてインターネットが利用可能 = 低廉
データ通信システムの構築	専用システム = 高価	汎用システム = 低廉
周辺機器	専用機器 = 高価	IPカメラ等汎用機器 = 低廉
音声通話	適している	第2世代までは不適
通信品質	保証	第1世代:保証 第2、3世代:ベストエフォート

(注)世代構成については、第3章で記述。

2.2 IP通信の有用性

2.2.1 新たな通信サービスの実現

(1) 高速データ伝送

従来のアナログ方式や狭帯域デジタル通信方式では、2.4kbps程度のデータ伝送速度が一般的であったが、汎用IP無線ではその数倍から数十倍のデータ伝送が可能になることから、画像、電子ファイルやデータの伝送等マルチメディア通信が可能になる。

また、通信速度が高速化することにより、画像等データの伝送時間の短縮が図られる。

(2) 電子メール

これまでの自営無線は、簡単なメッセージ程度の伝送が自社限りのクローズドなシステムの中に限って可能であったが、汎用 IP 無線ではインターネットに接続した全てのシステムとの電子メールの交換が可能になる。

(3) Webアクセス

これまで自営無線では、Webの利用を想定していなかったが、汎用 IP 無線ではイントラネット（企業内 LAN）のホームページやデータベースによる情報共有やインターネットのホームページからの情報収集・検索などの利用が可能になる。

(4) モバイルアクセス

移動中の車両無線からイントラネットやインターネットに直接接続（モバイルアクセス）して、それに接続されている様々な企業内システムやインターネットの情報システム等にアクセスすることが可能になる。

2.2.2 機能上のメリット

(1) 異システム間の相互通信機能

都道府県自らが整備した行政通信ネットワーク等を介して、都道府県の防災無線と市町村の防災無線といった免許人や周波数が異なる無線システム間の通信やインターネットを介して、タクシー等の営業車両からカード会社の電子決済システムに直接アクセスしてカード決済をするなどの通信が可能になる。

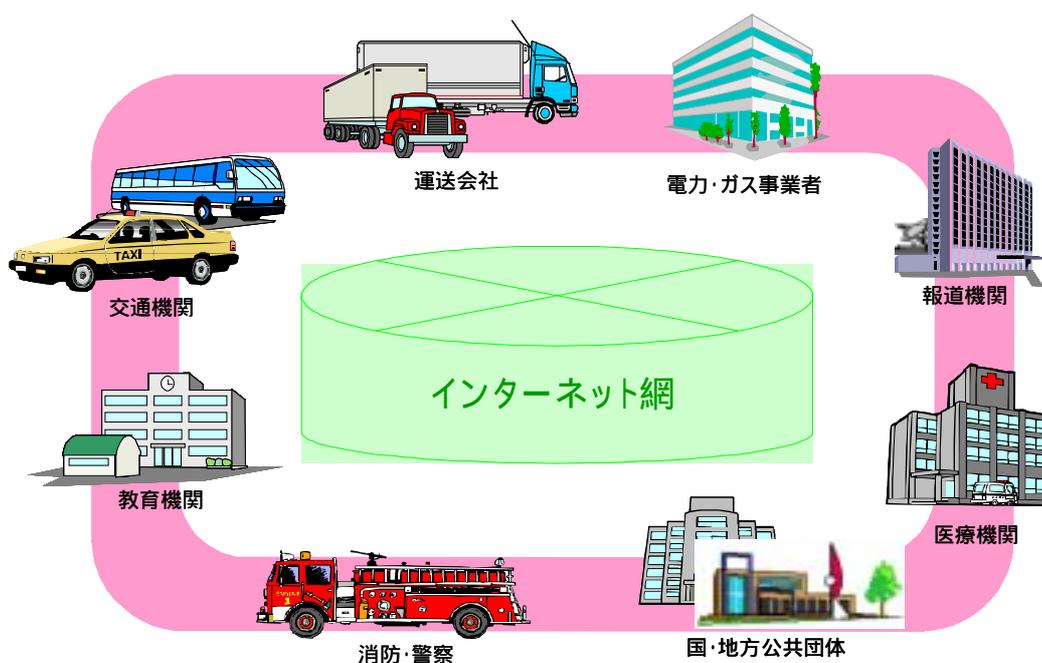


図2.2.2-1 異システム間の相互通信機能

(2) リレー中継（マルチホッピング）機能

従来の無線通信は、基地局と陸上移動局、陸上移動局と陸上移動局が通信エリアを越えて通信する場合は陸上移動中継局等の中継局を介する必要があったが、汎用 IP 無線においてパケット通信方式とした場合は、移動局から移動局へのいわゆるパケツリレー方式での通信が可能になる。

これにより、中継局を不要にするとともに、車両やセンサー設備の小電力・小型化が図られ、設置・維持コストの低廉化も期待できる。

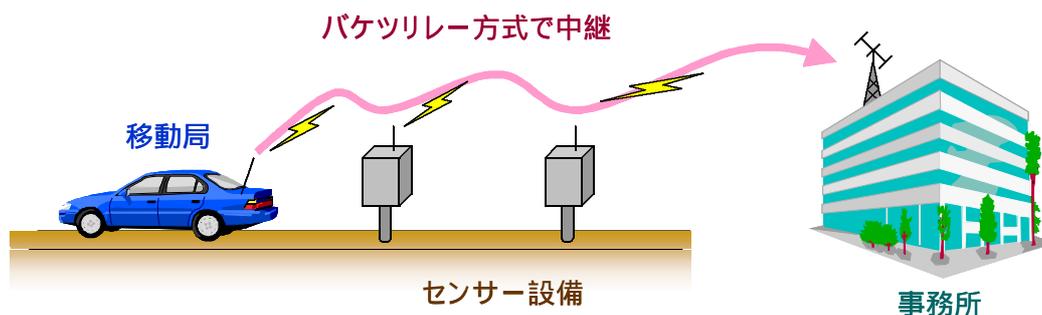


図2.2.2-2 リレー中継機能

(3) 非常災害時等における通信確保に有効

自営無線は、非常災害時等であっても携帯電話・PHS や有線の公衆通信網のように通信事業者による発信規制の影響を受けない。

また、インターネットは、通信経路の一部が損壊しても迂回ルートを介した通信が行われるため、阪神・淡路大震災におけるインターネットの活躍にも見られたとおり、局所的な通信障害に比較的強い。

したがって、汎用 IP 無線では、異システム間の相互通信や前進基地局との通信回線にインターネット網を用いた場合、極端にインターネットの通信量が増えれば輻輳の影響を受けることはあるものの、自営無線であることと合わせ、非常災害時等における通信確保に有効である。

このため、公衆通信網が混乱している状況にあっても、被災現場から役場の防災担当者や災害関係機関に被災状況の写真や被災者リストを電子メールで直接送付できるなど、救援や復旧活動の迅速化も期待できる。

2.2.3 システム導入コストの低廉化

(1) 前進基地局の設置が安価で容易

ア アプローチ回線が不要

これまで通信エリアの確保・拡大のために前進基地局等を設置する場合は、固定無線回線や専用線によるアプローチ回線が必要であったが、汎用 IP 無線では、インターネット網をアプローチ回線として利用することが容易に可能になることから、低廉なコストで前進基地局を設置することができる。

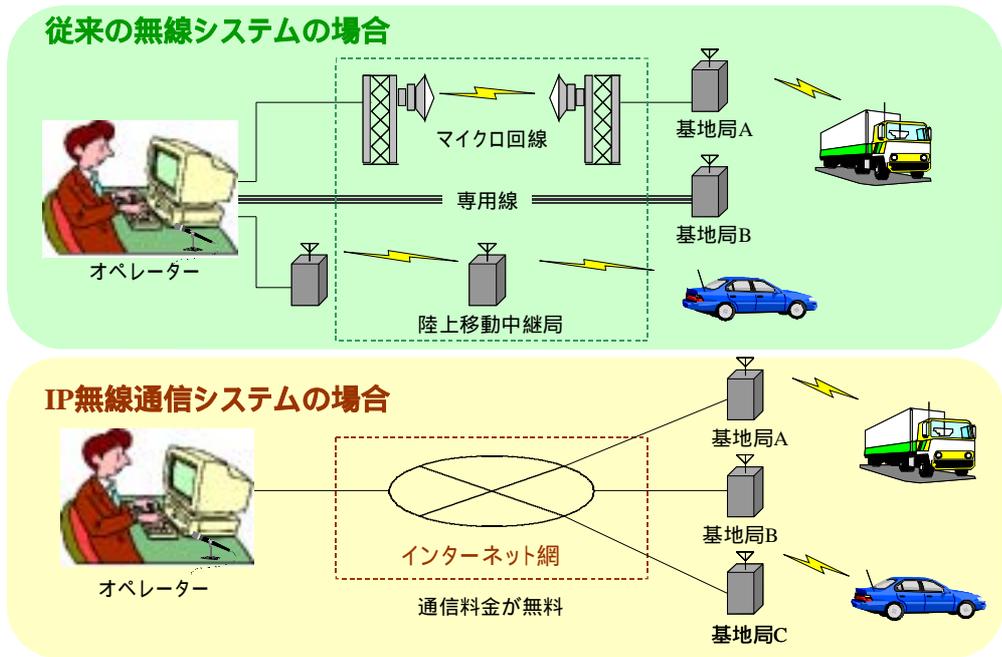


図2.2.3 - 1 アプローチ回線が不要

イ 段階的なエリア拡大等が可能

前進基地局の設置が廉価で容易なことから、システムの導入後に事業の拡大等必要に応じて段階的に通信エリアの拡大（前進基地局の増設）や機能の拡張を行うことができ、必要最小限の構築コストでシステムの導入が可能になる。

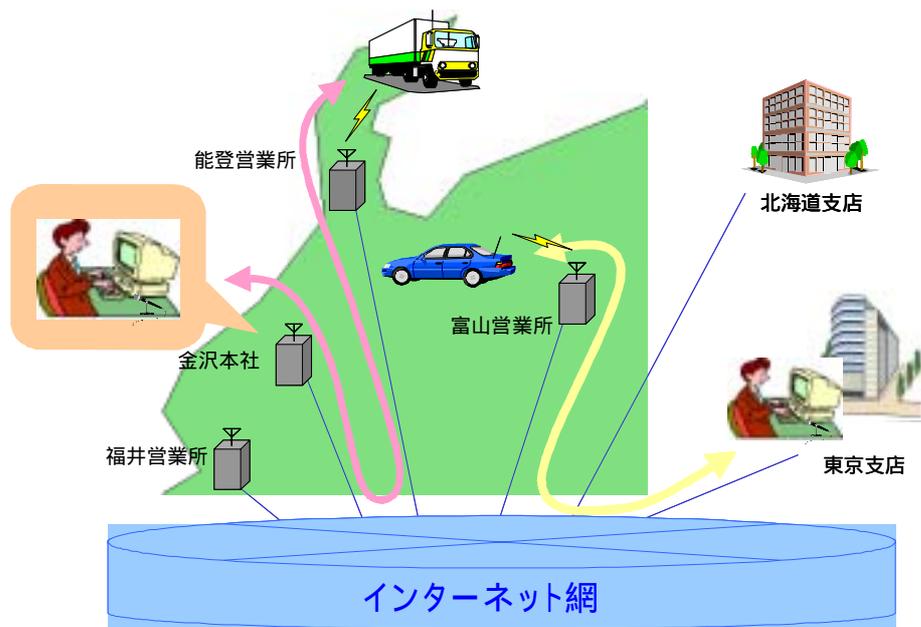


図2.2.3 - 2 段階的なエリア拡大が可能

(2) 通信料金が極めて安価

汎用 IP 無線の通信料金（回線利用料）は、自前回線である無線区間が無料であることに加え、連絡回線等にインターネット網を利用することから、その通信料金（回線利用料）は極めて安価である。

(3) ソフトの開発のみでシステム構築が可能

新たな通信システムを構築する場合、システムを構成する個々の装置とそのソフトを開発する必要があるが、汎用 IP 無線では、各種装置の基本仕様が共通であることからソフトの開発のみで済むことになり、安価にシステムの構築が可能になる。

(4) インターネット接続の専用装置が不要

従来の無線機では、インターネット等の他システムと接続する際に専用の接続装置が必要であったが、汎用 IP 無線で汎用インターフェイスを装備した場合は、接続装置が不要となるため、低廉かつ容易にネットワーク接続が可能になる。

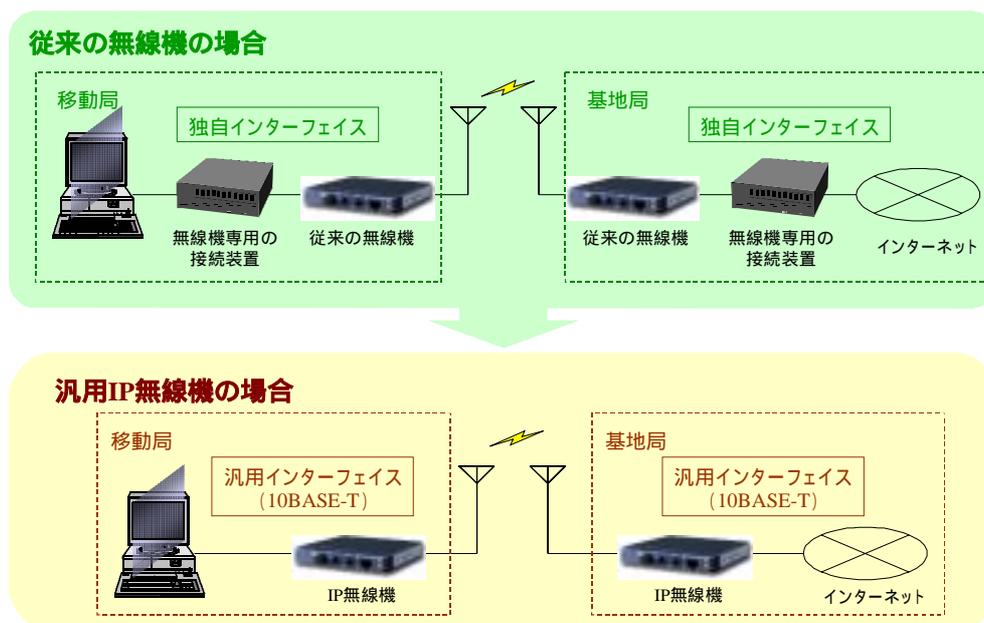


図 2.2.3 - 3 インターネット接続装置の専用装置が不要

(5) 無線装置が安価

汎用 IP 無線でパケット通信（回線制御：キャリアセンス方式）とした場合は、従来のマルチチャンネルアクセス制御や時分割多重制御を行うための装置等が不要になり、また、一免許人一周波数が可能になることからローミングを行うための装置等が不要になるなどから、無線装置の簡素化（部品数や製造工程の削減）と低廉化が可能になる。併せて、無線装置の基本仕様が共通であることから、量産効果による低廉化も期待できる。

(6) 低廉な周辺装置の利用が可能

これまで監視カメラ等の周辺装置は、簡易な画像情報の収集が目的であっても個々のシステム向けに開発された高価な装置を使用しなければならなかったが、汎用 IP 無線では市販されているインターネットやイントラネット用の低廉な周辺装置等の利用可能になる。

2.2.4 電波の有効利用の促進

電波の有効利用を図るためには、周波数利用効率の向上が必要である。
汎用 IP 無線では、次のような点において電波の有効利用の促進が図られる。

(1) 複数免許人の周波数共用が可能

汎用 IP 無線でパケット通信による多元接続方式とした場合は、パケット制御の工夫次第で容易に複数免許人による周波数共用が実現できる。

これにより複数免許人による基地局設備の共同利用も期待できる。

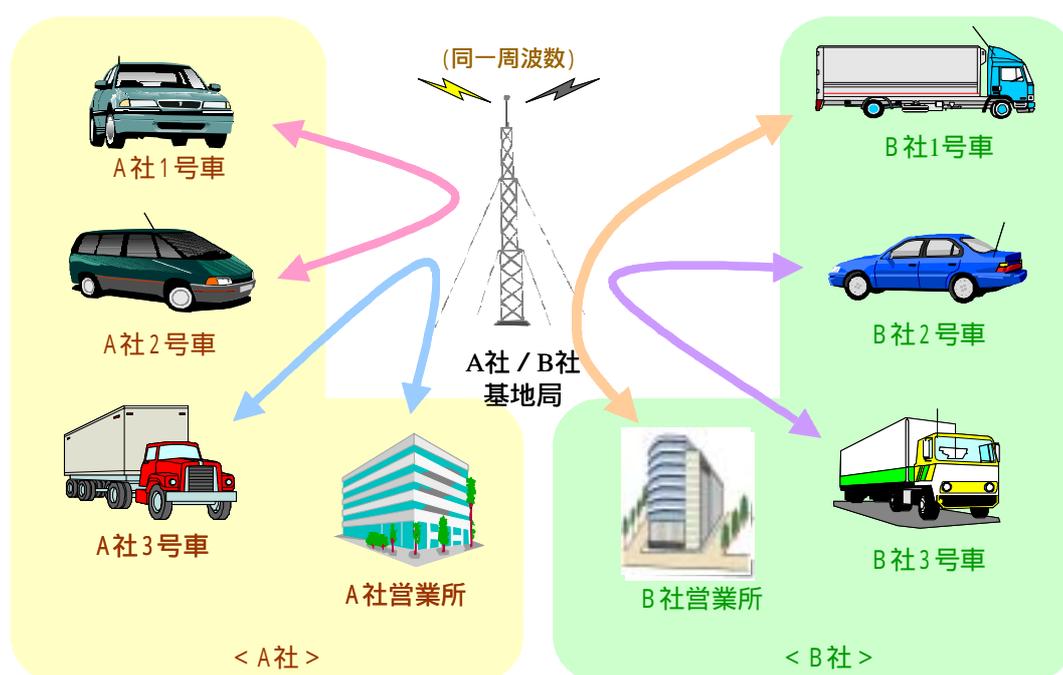


図2.2.4 複数免許人による周波数共用

(2) 一周波数当たりの収容可能無線局数が増大

汎用 IP 無線は、従来の自営無線システムに比べて高速通信が可能であることから、データの伝送時間を短縮することができる。

また、自律的パケット送出制御とした場合は、例えば車両の動態監視において各車両は停車中は送信を控え、ある速度以上で必要に応じて信号を送出する方式にできる

ことから、従来のようなポーリング制御が不要となり、ポーリング周期による一周波数当たりの収容局数の制限はなくなる。

このため、一周波数当たりの収容可能無線局数の増大が期待できる。

(3) 周波数利用効率の向上

音声通信においては、できる限り狭い周波数帯域に制限することにより周波数利用効率を改善できることから、無線局相互の混信・干渉や輻輳を避けつつ、多くの電波利用者を効率的に収容するためには、周波数の細分化（ナロー化）又は1キャリアのスロット分割は有効な手段である。

しかし、データ通信においては、周波数又はスロットの細分化によって個々のチャンネルで低速データ伝送を行うよりも、高速で短時間に伝送した方がユーザーメリットが大きい。

汎用 IP 無線は、一定の広さの周波数帯域をフルに使ったバースト伝送を想定していることから、最大伝送速度の高速化が図られるとともに、FDM（周波数分割多重方式）のガードバンドや TDM（時分割多重方式）の冗長信号が不要となることによって、周波数利用効率の向上が図られる。

第3章 汎用IP無線通信システムの世代構成と利用例

3.1 汎用IP無線通信システムの世代構成

第2章で自営無線におけるIP通信の一般的な有用性について整理したところであるが、利用者から見た場合は大きく分けて導入コストの低廉化以外では、IPネットワークとの親和性が高くなるためインターネット（電子メールやWeb）が容易に利用できるというアプリケーション面でのメリットと、パケット通信により非常に多数のセンサー局をリレー中継でツリー状あるいはメッシュ状に構成する高度なシステムが実現できるというハード（通信方式）的なメリットの二つの要素に分類できる。

しかし、実際のニーズとしては、導入済みの無線設備を活用したい、通信速度は遅くても良いから音声通信しながら電子メールを使いたい、テレメータ系の用途でブロードバンドクラスの通信速度は必要ないがシームレスにIPネットワークに接続したいなど様々であることが昨年度研究会のアンケート結果からも推察できる。

このため本研究会においては、IP通信の有用性の二つの要素並びにニーズを踏まえ、狭帯域デジタル通信方式（無線設備規則第57条の3の2）、小電力データ通信システム（無線LAN）や地上テレビ放送等で使われ始めた直交波周波数分割多重（OFDM）等の最新のデジタル無線方式を基に、汎用IP無線通信システムを下表のとおり3世代構成に分類して、適用技術や適用例を検討していくこととした。

なお、ここで述べる『世代』は、技術革新に応じて次の世代に移り変わるものではなく、利用用途に応じた形でオーバーラップしながら共存し使い分けられるものである。

表3.1 汎用IP無線通信システムの世代構成

	第1世代 (狭帯域デジタル通信方式)	第2世代 (仮称:高速データ通信システム)	第3世代 (仮称:超高速データ通信システム)
通信速度	2.4kbps(1スロット) 9.6kbps(フルスロット)	20 ~ 64kbps程度	数百k ~ 数Mbps程度
プロトコル	IP(PPP接続)	IP(拡張)	IP(拡張)
周波数間隔	狭帯域 (25kHz)	狭帯域 (25kHz / 50kHz / 75kHz / 100kHz)	広帯域 (数百kHz程度)
変調方式	/ 4シフトQPSK	/ 4シフトQPSK等	OFDM等
アクセス方式	TDMA	パケット通信	パケット通信等
無線方式	複雑 (ハード的に用途が制限される)	簡素 (ソフト的に応用範囲が広い)	高度 (ポテンシャルが高い)
特長	既存無線上でIP伝送を実現。	帯域をフルに使った バースト伝送により高速化。 静的経路選択等による リレー伝送を実現。	OFDM等を用いて高速化。 動的通信経路選択による 中継を実現。
適用例	メールやWebアプリケーション等の テキストベース情報の送受信。	非常に多数のセンサー局で構成されるシステムや画像データの送受信。	動画やVoIP等の マルチメディアアプリケーション。

3.2 第1世代汎用IP無線通信システム

第1世代の汎用IP無線通信システムは、既存資産を活用してIP通信を実現する方式であり、音声通信が主な用途であるが稀に小容量のデータ通信を行いたい場合に適した方式である。

自営無線用で最新の通信方式として、狭帯域デジタル通信方式がある。この方式は、デジタル変調した狭帯域の一つの電波を時分割によって複数チャンネル(スロット)使用可能にするもので、アナログ方式に比べ周波数利用効率が良く、音声・データの同時通信を実現している。

したがって、第1世代に適用する無線通信技術は、最新の通信方式で実用化済みの狭帯域デジタル通信方式が適当である。

(1) 通信速度

占有周波数帯域幅が25kHzの場合、狭帯域デジタル移動通信方式で規定されている4値デジタル変調方式では、物理的な通信速度としては32kbpsの伝送能力を有する。

ただし、アクセス方式としてスロット数4の時分割多元接続(TDMA:Time Division Multiple Access)方式を採用した場合、時分割等の制御信号や音声通信に合わせた比較的強めの誤り訂正符号等があるため、実際のデータ伝送能力は1スロットの場合は2.4kbps、フルスロット時で9.6kbpsとなる。

なお、狭帯域デジタル通信方式には16値デジタル変調も規定されており、この場合は倍程度の伝送速度となる。

(2) プロトコル

既存資産の活用が図られるよう、PPP(Point-to-Point Protocol)接続により回線確保した上でIP通信する方式が適当である。

したがって、利用形態はアナログ電話のダイヤルアップ接続に類似したものとなる。

(3) 占有周波数帯幅

狭帯域デジタル通信方式の占有周波数帯幅は、無線設備規則において、

チャンネル間隔が6.25kHzのものは	5.8kHz
チャンネル間隔が12.5kHzのものは	11.5kHz
チャンネル間隔が25kHzのものは	24.3kHz

と定められており、第1世代の汎用IP無線通信システムでは、音声・データ同時通信や通信速度の高速化を考慮すれば、同方式のチャンネル間隔25kHzのものが適当であることから、占有周波数帯幅は24.3kHzとなる。

(4) 変調方式

狭帯域デジタル通信方式には、次の二種類の変調方式が規定されている。

- 4 値デジタル変調： /4 シフト QPSK(QPSK:Quadrature Phase Shift Keying)
- 16 値デジタル変調： 16QAM(16 Quadrature Amplitude Modulation)

当面、4 値デジタル変調の無線設備が実用化済みであることから、この変調方式を基本に実証的な研究を進めていくこととする。

(5) アクセス方式

狭帯域デジタル通信方式ではアクセス方式として、TDMA が規定されており、音声・データ同時通信が可能であるメリットも大きいことから、TDMA とすることが適当である。

(6) 無線方式

TDMA 方式は、時分割の制御が必要となることから、アナログ変調方式に比べて複雑な回路構成となる。また、音声通信を前提に、その上でデータ通信を可能としていることから、音声コーデックやオーディオ回路とデータ通信用回路の両方が必要となり、装置全体として見ると複雑な構成になる傾向にある。

(7) 特徴

ア 長所

既にデジタル方式の無線設備を導入したユーザーであっても、既存資産（無線設備）を生かして IP 通信を実現。

TDMA 方式であるため、音声とデータの同時通信が可能。

イ 短所

通信速度は 2.4 ~ 9.6kbps 程度と低速なため、大容量データ伝送に適さない。接続動作に時間を要するため、車両の動態監視等のテレメータ用途に適さない。

【参考】デジタル変調方式の利点

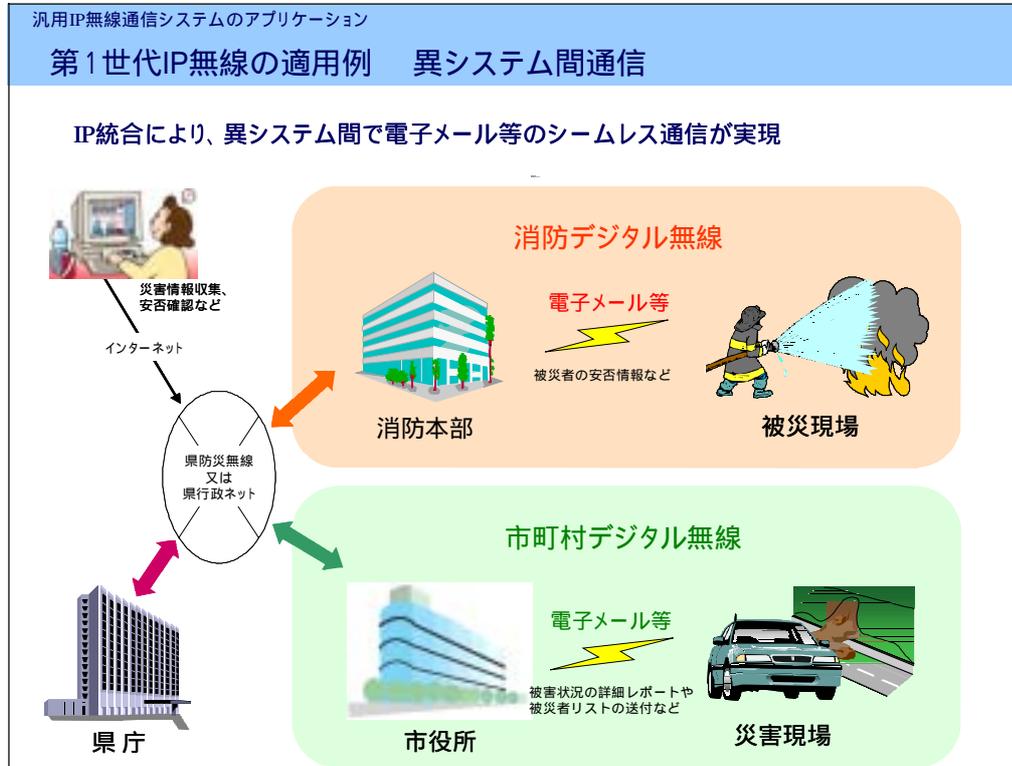
現行設備規則の定包絡角度変調方式では 1bit/Hz でしか伝送できないのに対して、狭帯域デジタル通信方式では、 /4 シフト QPSK（四相位相変調）は 2bit/Hz、16QAM（16 値直交振幅変調）では 4bit/Hz の変調効率（伝送速度/受信機の等価雑音帯域幅）が得られる。

注：受信機の等価雑音帯域幅は、定包絡角度変調方式では一律に占有周波数帯幅、狭帯域デジタル通信方式では隣接チャネル漏洩電力を規定する測定帯域幅の値（4 値変調は伝送速度/2、16 値変調は伝送速度/4）と同一としている。

(8) 適用例

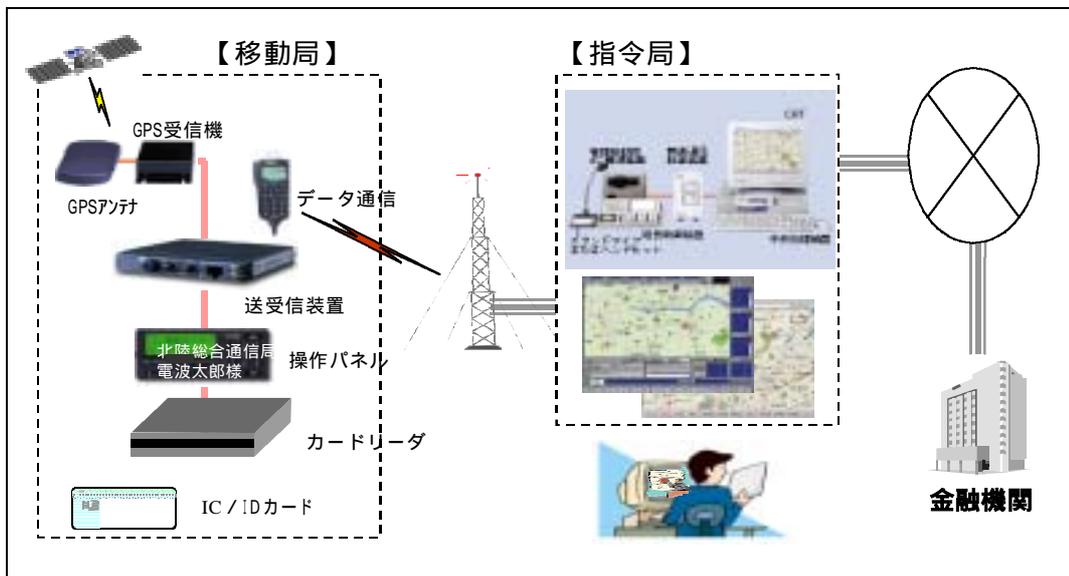
ア 電子メール

電子メールで、被害状況や被災者リスト等のテキスト情報を災害現場や避難所等から災害対策本部や役場の担当者に直接送付することができる。



イ モバイルアクセス

タクシー運賃のカード決済において、タクシーから直接クレジット照会できる。



3.3 第2世代汎用IP無線通信システム

第2世代の汎用IP無線通信システムは、パケット通信による新たな通信方式を想定したものであり、多数の端末局（移動局）との中容量データ通信に適した方式である。

第2世代では、第1世代におけるTDMA制御等の冗長信号を省略し、パケット通信により占有周波数帯幅をフルに活用したバースト的なデータ伝送によって、伝送速度の高速化と周波数利用効率の向上を図った『高速データ通信システム』と位置付けられる。

また、通信方法としては、第1世代のように意識的なIP接続操作をすることなく、無線LANなどと同様にシームレスにIP通信できることが望ましい。

(1) 通信速度

第1世代は、通信速度的にテキスト情報伝送が適しているが、第2世代では監視カメラからの静止画伝送やセンサー局からの情報の高速・短時間伝送などへの導入を見込んでいるため、通信速度は20kbps～64kbps（ISDN並み）程度を目標とすることが適当である。

(2) プロトコル

IPパケットに無線区間固有の情報を付加した方式が適当である。

利用形態としては、無線LANのように初期設定さえ行っておけば必要な時にパケットが自動送受され、操作する者が意識することなくIP通信できる状態になることから、常時接続（但し、速度はISDN程度）に類似したものとなる。

(3) 占有周波数帯幅

無線データ通信の通信速度は、大まかに言って、同じ変調方式においては電波の占有周波数帯幅に比例して速くすることができることから、第2世代の変調方式が第1世代と同じと仮定するならば、第1世代が24.3kHzの占有周波数帯幅で物理的な通信速度が32kbpsであるため、第2世代でISDN程度の通信速度を達成するためには、第1世代の倍以上の占有周波数帯幅が必要になる。

また、現在、自営無線向けの割当周波数ポイントは、150MHz/260MHz帯は25kHz間隔、400MHz帯は12.5kHz間隔で配置されているものが多い。

したがって、占有周波数帯幅は、変調方式及び目標とする実効伝送速度を判断要素として、25kHz、50kHz、75kHz、100kHzの何れかの周波数間隔に収まる値とすることが望ましい。

(4) 変調方式

第1世代で用いられる4値デジタル変調を基本に、GMSK(Gaussian Filtered MSK)、16値デジタル変調、64値デジタル変調等について、パケット通信に適した方式を検討することが望ましい。

(5) アクセス方式

第1世代では、連続的な情報伝送が求められる音声通信を利用主体にしたシステムであったため、TDMAで自分の通信回線を確保してデータ通信を行う方式であったが、データ通信は連続性よりもバースト的に短時間で情報伝送する方が適している事が多いことから、第2世代では帯域をフルに使うパケット通信が適当である。

したがって、アクセス方式は、パケット通信による多元接続方式が望ましい。

(6) 無線方式

パケット通信とした場合は、FDMA(周波数分割多元接続方式)の周波数制御やTDMAのスロット制御等が必要なくなるため、第1世代の無線設備に比べて単純な回路構成にすることができる。また、データ通信を前提にしていることから、音声コーデックやオーディオ回路を省略することもでき、全体として簡素な構成にできる。

なお、第2世代において音声通信を行う場合は、VoIP(Voice over IP)によりIP通信のアプリケーションの一つとして実現可能である。ただし、電波の受信状況の変動や同一周波数の混み具合によって音声の途切れが発生してしまうことから、音声通信は緊急連絡用として捉え音声パケットを優先的に伝送させるなどの工夫が必要になるものと考えられる。

(7) 特徴

ア 長所

エラー訂正等の機能をネットワークレイヤに任せることで、無線区間の各種制御を簡素化でき、無線装置の低廉化が期待できる。

データ専用にすることで、無線装置の小型軽量化と低廉化が期待できる。

占有周波数帯幅を最大限活用した高速通信が可能である。

(データ通信においては、周波数利用効率が良い。)

第1世代より簡便にIP通信が可能である。

移動局間のリレー中継など高度なシステム構築が可能である。

各無線局が自律的に混信回避する。

イ 短所

伝送の多少の遅延が許されるデータ通信には適しているが、時間的連続性が求められる音声通信には不向きである。

【参考】GMSK

GMSKは、変調指数0.5のCPFSK(Continuous Phase FSK)であるMSK変調方式である。

(8) 適用例

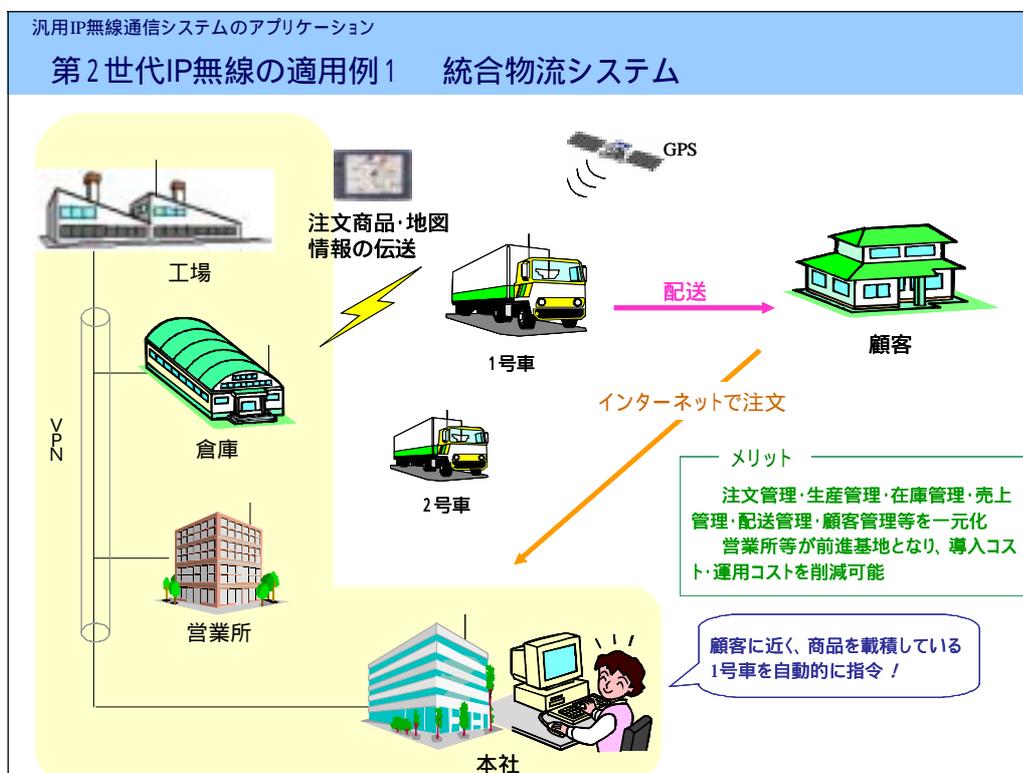
ア 統合物流システム

本社・工場に加え、配送トラックもネットワーク化することにより、注文管理・生産管理・在庫管理等の各種データベースの一元的な管理が実現し、的確かつ柔軟な物流システムを構築することができる。これを実現するためには、本社・工場等を接続する専用線や高度な無線データ通信システムを導入する必要があった。

第2世代の汎用 IP 無線通信システムの IP 統合機能を生かせば、インターネットの VPN (仮想プライベートネットワーク) を使って遠隔地の自社工場等を容易に前進基地化することができるため、事業の拡大に伴って迅速かつ安価に無線エリアの拡大が図られるとともに、運用コストの軽減が可能となる。

【想定されるシステムの特長】

- ・ 遠隔地の基地局をインターネットを使って前進基地化
- ・ 物流システムのトータル管理が可能
- ・ 本社・支社等で一元的な車両動態管理が可能
- ・ 運転手が荷物の集配の際に車から離れても、携帯型の情報端末兼 IP 無線があれば、配送トラックの移動局を中継して基地局と通信可能



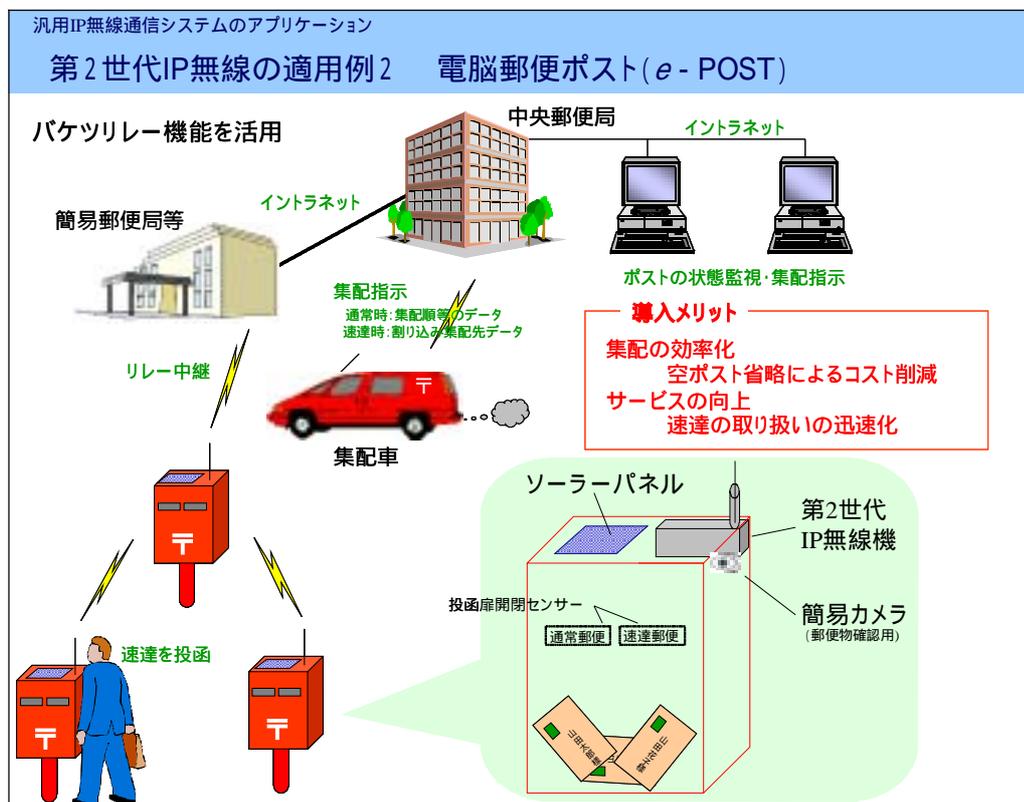
イ 電腦郵便ポスト (e - POST)

現在の郵便ポストは定期的に集配車が投函を点検しているが、速達を投函しても設置場所によっては次の点検まで時間があり、取扱の開始自体が遅れる可能性があった。これを改善するには、郵便ポストに投函センサーを取り付け、投函情報を最寄りの集配郵便局に逐次伝える仕組みが必要となる。しかし、有線網又は従来の無線システムで、全国隈無く設置されている郵便ポストをカバーすることはコスト的に困難であった。

第2世代の汎用 IP 無線通信システムのリレー中継機能を活用すれば、最寄りの郵便ポストを順次経由して集配郵便局に情報伝達でき、速達郵便の取扱を迅速化するなどのサービス向上が期待できる。また、イントラネットを経由して中央郵便局で情報集約し、投函状況等の郵便ポストの動態把握を行えば、効率的な点検の実施等コスト削減も期待できる。

【想定されるシステムの特長】

- ・ 隣接ポストを経由して集配郵便局まで自動リレー中継
- ・ 隣接郵便ポストまで電波が飛べば良いので、0.1W ~ 1W 程度と小型・小電力化が可能
- ・ 小電力化により太陽電池で駆動可能
- ・ 携帯電話のカメラ程度の簡易カメラを装着すれば、投函状況を映像で把握可能
- ・ 一つの周波数チャンネルで全国カバーの可能性
- ・ 集配車への集配指示データ伝送の中継も可能



3.4 第3世代汎用IP無線通信システム

第3世代の汎用IP無線通信システムは、第2世代と同様にパケット通信による新たな通信方式を想定したものであり、動画伝送など大容量・高速データ通信に適した方式である。

第1世代は音声通信にIP通信機能を付加して低速通信を行うシステム、第2世代は音声通信はアプリケーションレベルでの対応と割り切ってデータ通信に特化して高速通信を行うシステムであったが、第3世代では、動画伝送も可能な『超高速データ通信システム』で、音声、動画、データの何れも伝送可能なオールマイティ的な位置付けとなる。

しかし、第3世代では、第1世代や第2世代と比べて格段に広帯域の占有周波数帯幅が必要となるため、周波数確保に時間を要することが予想され、また、トラフィックまで考慮した周波数利用効率の観点からすると全ての用途に第3世代を適用するのではなく、第1世代、第2世代との棲み分けが必要である。

(1) 通信速度

近年、インターネットでは、動画の圧縮技術の進歩によりVHS並みの動画が数百kbps、S-VHS並みの動画が1Mbps程度の通信速度で行えるようになってきた。自営無線における動画伝送は、この程度の品質で一応満足できるものと考えられることから、第3世代の通信速度は、数百kbps～1Mbps程度が適当である。

なお、更に高速通信を希望する場合は、V,UHF帯では周波数帯域の確保が困難であることから、マイクロ波帯の無線又は衛星通信の利用を検討すべきである。

(2) プロトコル

第2世代同様、IPパケットに無線区間固有の情報を付加した方式が適当である。利用形態としては、ブロードバンドの常時接続に類似したものとなる。

(3) 占有周波数帯幅

占有周波数帯幅を無線LAN等のように超広帯域にした場合は、周波数の有効利用の観点から非常に多くの移動局を収容する必要がある。しかし、V,UHF帯の電波は、自由空間伝搬損失が低く、電波伝搬条件が良ければ相当な遠距離まで到達する特性があるため、移動局間のパケット衝突が発生する確率が高くなってしまう。

また、周波数帯域自体が低いところで広帯域を確保しようと思っても、移動通信向けの小型無線装置の高周波回路において良好なフィルター特性を確保することは技術的に困難である。

したがって、第3世代の汎用IP無線通信システムでは、適度な数の移動局の収容と、現実的な装置設計の観点から、さらに、電波の繰り返し利用のためのチャンネル数を確保するためにも、占有周波数帯幅は1Mbps程度の通信速度が実現可能な数百kHz程度とすることが適当と思われる。

(4) 変調方式

V,UHF 帯の周波数帯においては、スペクトル拡散方式や位相変調に符号分割多元接続方式 (CDMA:Code Division Multiple Access) をかけた場合など隣接周波数帯を使用する無線局に与える影響が大きいことを考慮して、第3世代では OFDM を基本に検討することが望ましい。

(5) アクセス方式

第2世代と同様に、パケット通信を基本に検討することが望ましい。

(6) 無線方式

第2世代同様に全体としては簡素な構成とすることができるが、第2世代と異なり通信速度が非常に高速なため、より高度な機能を付加できる可能性が高い。

(7) 特徴

ア 長所

画像情報等の大容量データの伝送時間が短縮される。

音声や動画像の通信も実現可能。

マルチホッピング等の高度なシステム構築が可能。

イ 短所

占有周波数帯幅が広いと、周波数確保に時間を要する可能性が高い。

高度な機能を付加した場合は、価格が高くなる恐れがある。

【参考】OFDM (直交周波数分割多重)

OFDM とは、無線 LAN の IEEE802.11a や 802.11g、地上デジタル放送に採用されているデジタル変調方式のことである。OFDM 方式は、FDM (周波数分割多重) と同様、複数のサブキャリアを周波数軸上に立てて伝送を行うもので、サブキャリアに分割することで個々のキャリア当たりの伝送速度を低くすることによりシンボル長が大きくなるので、耐マルチパス特性を向上させることができる。

通常の FDM ではサブキャリア間の干渉を避けるためにフィルタリングを行うとともにガードバンドが必要であるのに対し、OFDM ではサブキャリアをポーレート周波数間隔に並べること (これによりサブキャリア間を直交させることができる。) により、互いに干渉することなくサブキャリア同士の、周波数軸上のスペクトルのオーバーラップを許容している。このように、OFDM はサブキャリアを密に並べることで周波数利用効率を向上させている。

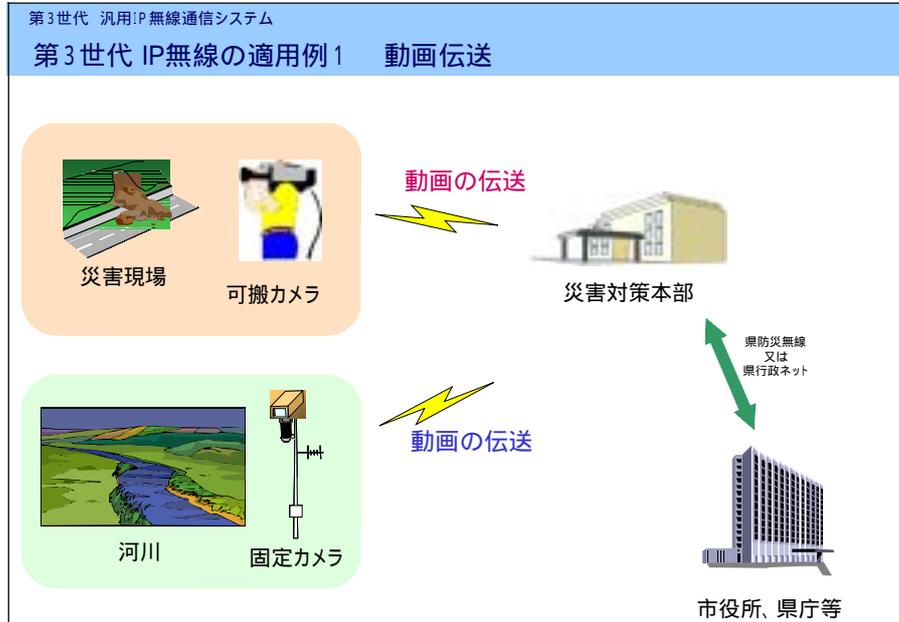
ただし、OFDM では各サブキャリア内では矩形波伝送となっているため、サブキャリア数が十分多い場合は周波数利用効率を高くできるが、サブキャリア数が少なくなると、必要帯域幅に対する両端のサブキャリアの矩形波スペクトルのサイドローブの比率が大きくなるため、諸元の選定には十分留意する必要がある。

なお、OFDM は通信方式に分類される FDM の一種なので通信方式とも捉えられるが、全サブキャリアを一体的に電波として送出する方式であり、一般的に変調方式に分類されていることから、ここでは変調方式として捉えている。

(8) 適用例

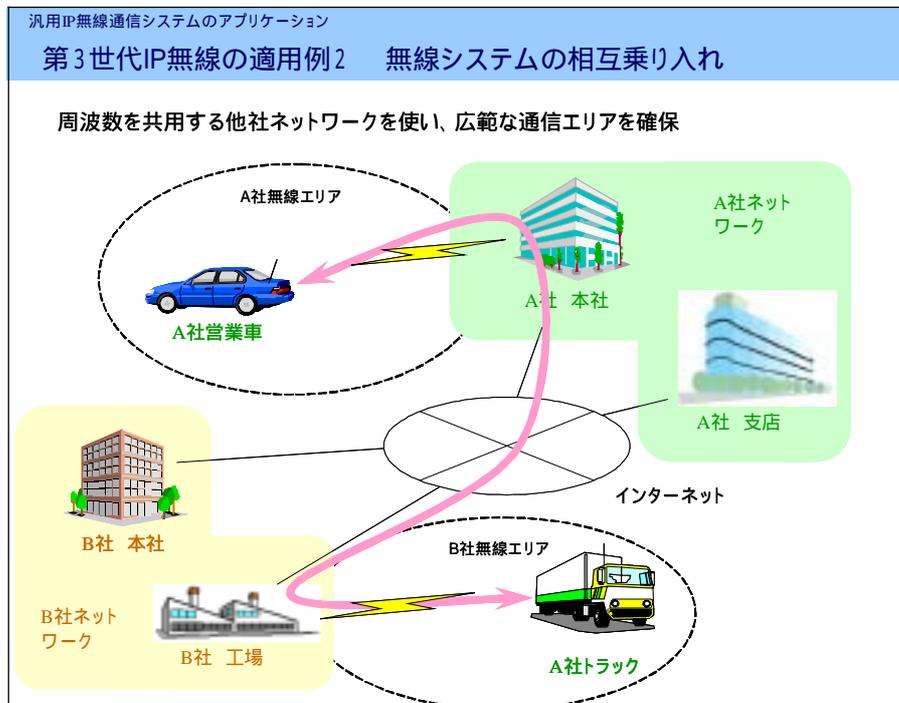
ア 動画伝送

動画像を含めたマルチメディア情報の伝送が可能。



イ 高度利用

周波数を共用する他社ネットワークを経由した通信など、高度な利用が可能。



3.5 平成14年度の実証実験対象

3.1において汎用 IP 無線通信システムを IP 通信の有用性とニーズに基づき、無線通信技術や適用用途等に応じて3世代に分類整理し、3.2～3.4において各世代の基本的な適用技術や適用例を検討してきたところであるが、3世代に渡る汎用 IP 無線通信システムを単年度だけで研究することは不可能であり、長期的な取組が必要である。

したがって、平成 14 年度の研究においては、汎用 IP 無線通信システムに関する研究の初年度ということもあり、第 1 世代に相当する基礎的な実証システムを構築し、自営無線における IP 通信の有用性の検証と、第 1 世代の実用化に向けた課題と方策の整理を行うこととした。

第4章 第1世代汎用IP無線通信システムの変調方式の性能比較

第3章において、IP通信の有用性とニーズに基づき汎用IP無線通信システムを3世代構成に分類し、それぞれについて適用技術や適用例について検討を行った。その上で3.5項において平成14年度の実証研究対象を第1世代に設定したところである。

本章では、自営無線で用いられている主要技術を整理した上で、第1世代に適用可能性のある各種変調方式について、伝送路条件を変動させた場合の実効伝送速度等の性能をシミュレーションにより比較検討した。

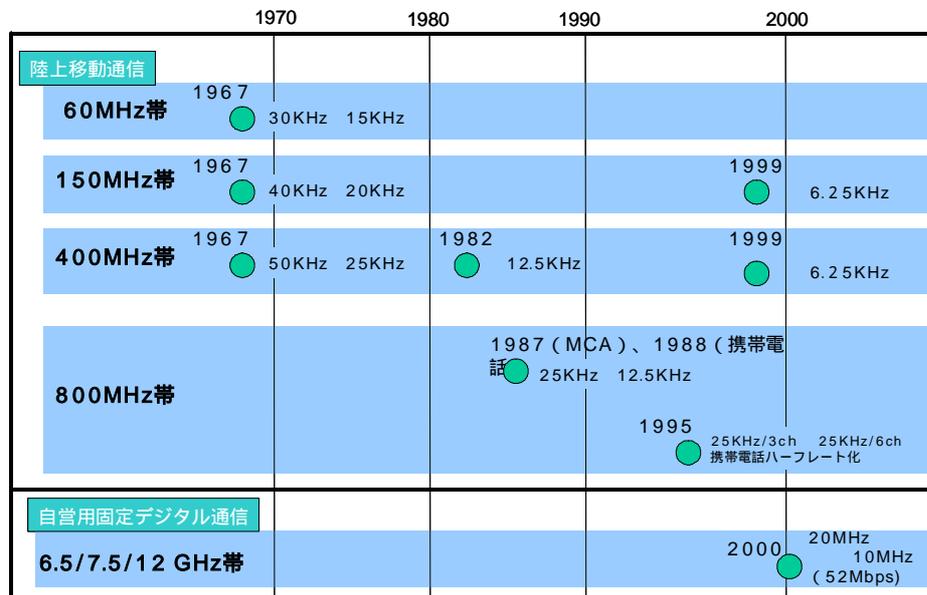
4.1 検討対象の変調方式

(1) アナログ方式

自営無線で一般的に用いられるアナログ変調方式には、音声信号の振幅によって搬送波の振幅を変化させる振幅変調方式(AM:Amplitude Modulation)、搬送波の周波数を変化させる周波数変調方式(FM:Frequency Modulation)、また、周波数の代わりに位相を変化させる位相変調方式(PM:Phase Modulation)の3種類がある。

自営無線用のアナログ無線では、周波数変調方式の音声通信主体(F3E)に設計されてきたため、フィルタ技術等の向上に応じて狭帯域化が図られ、電波の有効利用が行われてきたところである。

図4.1 狭帯域化の歴史



アナログ方式でデータ伝送を行う方法としてはサブキャリア変調方式(F2D)があるが、利用できる帯域幅は音声伝送の帯域幅(0.3 ~ 3kHz)に限定されてしまうため、信頼性を要求される制御信号等の伝送では1200bpsのMSK方式、回線品質が安定な固定回線でも9600bps(FAXモデム)が限界とされてきた。サブキャリア変調

方式で更に高速化を行うためには伝送帯域の広帯域化が必須と思われるが、狭帯域化による周波数の細分化によって占有周波数帯幅が制限されることから、周波数の逼迫状況に応えつつ高速データ通信ニーズを実現することはできないため、汎用 IP 無線通信システムには適さない方式である。

(2) デジタル方式

デジタル変調方式は、振幅に変調をかける ASK(Amplitude Shift Keying)、周波数に変調をかける FSK(Frequency Shift Keying)、位相に変調をかける PSK(Phase Shift Keying)、位相と振幅の両方に変調を掛ける QAM(Quadrature Amplitude Modulation)が基本的な方式となっており、以下のようなメリットが一般的に言われている。

周波数利用効率の向上 : QAM
 送信電力効率の向上 : FSK
 秘話性の向上 : ASK、FSK、PSK、QAM
 データ通信等の高度利用 : ASK、FSK、PSK、QAM

現在、標準規格が進んでいる自営無線における主要なデジタル方式として、無線設備規則において定められている狭帯域デジタル通信方式及び 800MHz デジタル M C A 陸上移動通信システムの二つの方式があげられる。この両方式で規定されている変調方式は、 $1/4$ シフト QPSK、オフセット QPSK、MQPSK、16QAM、M16QAM、64QAM、M64QAM がある。

(3) 検討対象の変調方式

第 1 世代汎用 IP 無線通信システムは、既存資産を活用した方式と定義していることから、その場合の IP 通信性能を把握するため、表 4.1 の各変調方式について実現可能な実効伝送速度等をシミュレーションにより求めることとした。

表 4.1 検討対象の変調方式

項番	変調方式	伝送速度	備 考
1	$1/4$ シフト QPSK	32kbit/s	遅延検波
2	16QAM	64 kbit/s	パイロット同期検波
3	64QAM	96 kbit/s	パイロット同期検波
4	M16QAM	64 kbit/s	4 サブキャリア サブキャリア間隔 4.5kHz パイロット同期検波
5	M64QAM	96 kbit/s	4 サブキャリア サブキャリア間隔 4.5kHz パイロット同期検波

4.2 検討条件

(1) 誤り訂正方式

誤り訂正符号は、ARIB STD-T79 で使用されている以下に示す符号を採用する。

復号方式については、標準規格では未定義なので、一般的に使用されていると思われる「軟判定ビタビ復号」で評価する。更に、一部「硬判定ビタビ復号」も併せて評価する。

ア 符号化方式

畳込み符号

符号化率 1/2

生成多項式 $G_1(D) = 1 + D + D^3 + D^5$

$G_2(D) = 1 + D^2 + D^3 + D^4 + D^5$

テールビット 5ビット

パンクチャ処理 無し

ビットインタリーブ (注)

2フレーム間インタリーブ

注：nフレーム伝送に対して『2フレーム間インタリーブ』を施すと伝送時間はn+1フレームとなるが、以後の議論における実効伝送速度の計算に当たっては+1を省略している

イ 復号方式

軟判定ビタビ復号

遅延検波/同期検波出力（アナログ値）データ列をビタビ・アルゴリズムで復号する。（ユークリッド距離を尤度関数として利用）

硬判定ビタビ復号

復調されたビット列をビタビ・アルゴリズムで復号する。（ハミング距離を尤度関数として利用）

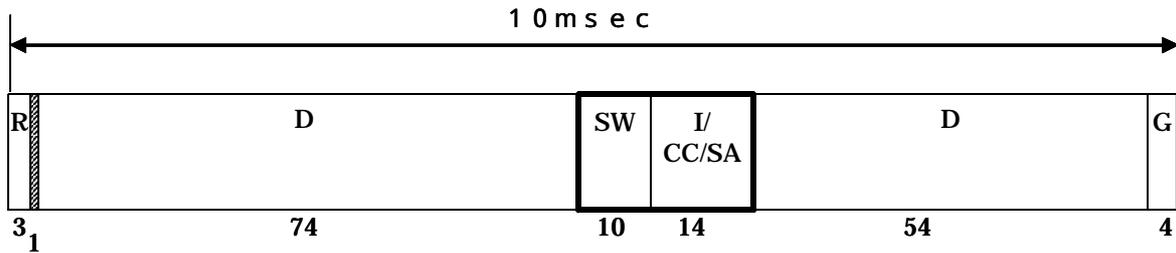
(2) スロットフォーマットの設計

検討対象とした多値変調方式のうち、一部は既存の無線システムで使用されているが、多重数その他の諸元が異なるため、同列に性能比較をすることが困難である。ここでは ARIB STD-T79 をベースとして各多値変調方式に対応したスロットフォーマットをシミュレーション用に設計した。

なお、ARIB STD-T79 のスロットフォーマットは上り下り非対称となっているが、シミュレーションする際には、伝送特性上特段の差異は無いことから、ここでは上りフォーマットを基本として、他の変調方式に拡張するものとした。

拡張する変調方式は全て QAM 系であることから、RCR STD-39 の M16QAM 方式を参考に、同期検波に必要なパイロットシンボルを最大 1msec 間隔で配置するものとした。また、I、CC、SA 等の付随制御情報領域は、ARIB STD-T79 と同数のシンボル（14 シンボル）を確保するものとした。以下に各変調方式のスロットフォーマットを示す。

／ 4シフトQ P S K方式

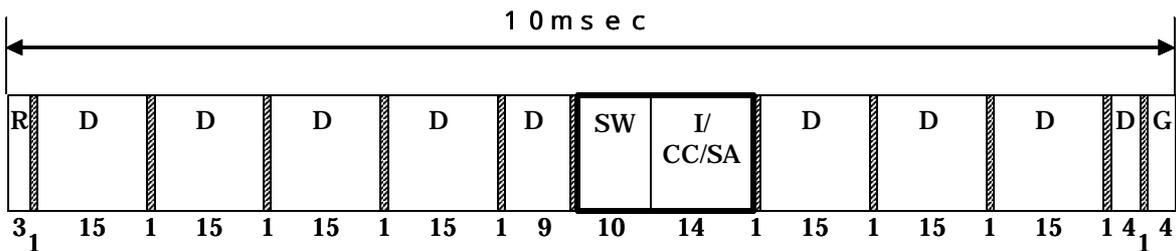


(注1) 数字は変調シンボル数 (又はシンボル間隔(62.5 μs)を単位とする時間)

(注2) 斜線部はスタートシンボル (プリアンブル)

(注3) R: ランプ時間、D: データ領域 (TCH)、SW: 同期ワード、I: アイドルビット、CC: カラーコード、SA: 低速付随制御チャネル、G: ガード時間。(以下、共通)

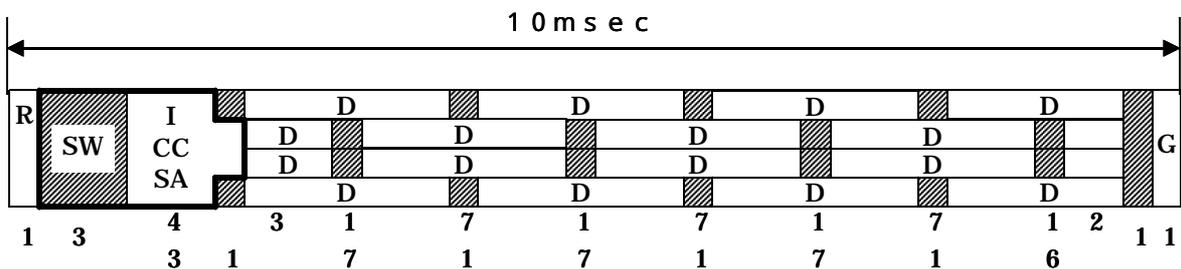
16QAM / 64QAM方式



(注4) 数字は変調シンボル数 (又はシンボル間隔(62.5 μs)を単位とする時間)

(注5) 斜線部はパイロットシンボル

M16QAM / M64QAM方式



(注6) 数字は変調シンボル数 (又はシンボル間隔(250 μs)を単位とする時間)。中間の上段は第2第3サブキャリア、下段は第1第4サブキャリアの変調シンボル数。

(注7) 「SW」(同期シンボル) 以外の斜線部はパイロットシンボル

以上のスロットフォーマットに対し、Dのデータ領域 (TCH) に対して畳込み符号を次のようにマッピングした。

表4.2-1 畳込み符号のマッピング

変調方式	1バースト内の 符号個数	符号長	情報点数	1バースト当たり の総ビット数	1バースト当たりの 総情報点数
/4シフトQPSK	1	256	123	256	123
16QAM	2	236	113	472	226
64QAM	3	234	112	702	336
M16QAM	2	212	101	424	202
M64QAM	3	210	100	630	300

なお、ARIB STD-T79 に準じてレイヤ1 (L1) 領域を誤り訂正符号毎に割当てた。従って、実効伝送速度の算出を行う場合に基本となる1誤り訂正符号当りの上位レイヤ(L2) フィールドのビット数、及び、1誤り訂正符号1スロット当りの伝送速度は以下ようになる。

表4.2-2 上位レイヤフィールドのビット数及び1誤り訂正符号当たりの伝送速度

変調方式	L1 ヘッダ	ダミー ビット	CRC	L2 フィールド のビット数	1符号当たりの 伝送速度 kbit/s
/4シフトQPSK	8	3	16	96	2.4
16QAM	8	1	16	88	2.2
64QAM	8	0	16	88	2.2
M16QAM	8	0	13	80	2.0
M64QAM	8	0	12	80	2.0

したがって、1スロット当りの伝送速度、及び、4スロット同時割当て時の伝送速度は次のようになる。

表4.2-3 1スロット当りの伝送速度及び4スロット同時割当て時の伝送速度

変調方式	1スロット当りの 伝送速度 kbit/s	4スロット割当て時の 伝送速度 kbit/s
/4シフト QPSK	2.4	9.6
16QAM	4.4	17.6
64QAM	6.6	26.4
M16QAM	4.0	16.0
M64QAM	6.0	24.0

次表に各変調方式の諸元をまとめて記す。

表4.2 - 4 各変調方式の諸元

変調方式	1/4シフト QPSK	16QAM	64QAM	M16QAM	M64QAM	備考
変調速度	16	16	16	4	4	ksymbol/sec
伝送速度	32	64	96	16 × 4=64	24 × 4=96	kbit/s
シンボル長	62.5	62.5	62.5	250	250	ms
キャリア数	1	1	1	-	-	
サブキャリア数	-	-	-	4	4	
サブキャリア間隔	-	-	-	4.5	4.5	kHz
帯域制限	ル-トナ付スト特性 ロールオフ率=0.5			ル-トナ付スト特性 ロールオフ率=0.2		
等価雑音帯域幅	16			16		kHz
占有周波数帯幅	24.3			20		kHz
TDMA フレーム長	40					ms
多重数	4					CH
スロット長	10					ms
シンボル時間	3	3	3	1	1	シンボル
ガード時間	4	4	4	1	1	シンボル
同期ワード	10	10	10	3	3	シンボル
付帯情報 (I/CC/SA)	14 (28ビット)	14 (56ビット)	14 (84ビット)	3.5 (56ビット)	3.5 (84ビット)	シンボル
パイロットシンボル	1 (スタートシンボル)	11	11	5	5	シンボル
データシンボル	128 (256ビット)	118 (472ビット)	118 (708ビット)	26.5 (424ビット)	26.5 (636ビット)	シンボル
シンボル配列	円形配列	格子状配列				

(3) シミュレータのアルゴリズム

本シミュレーションに当たっては、カンニング同期（復調時のシンボル識別点のタイミング誤差を0とする。）を採用し、送受信機が理想的に構成されている状態を前提にシミュレータを構築した。

また、復調・復号における信号処理は、すべて浮動小数点シミュレーションで実施することとした。

パイロット同期検波については、時間的に隣接するパイロットシンボル間を1次補間することとした。

(4) 仮想伝搬路

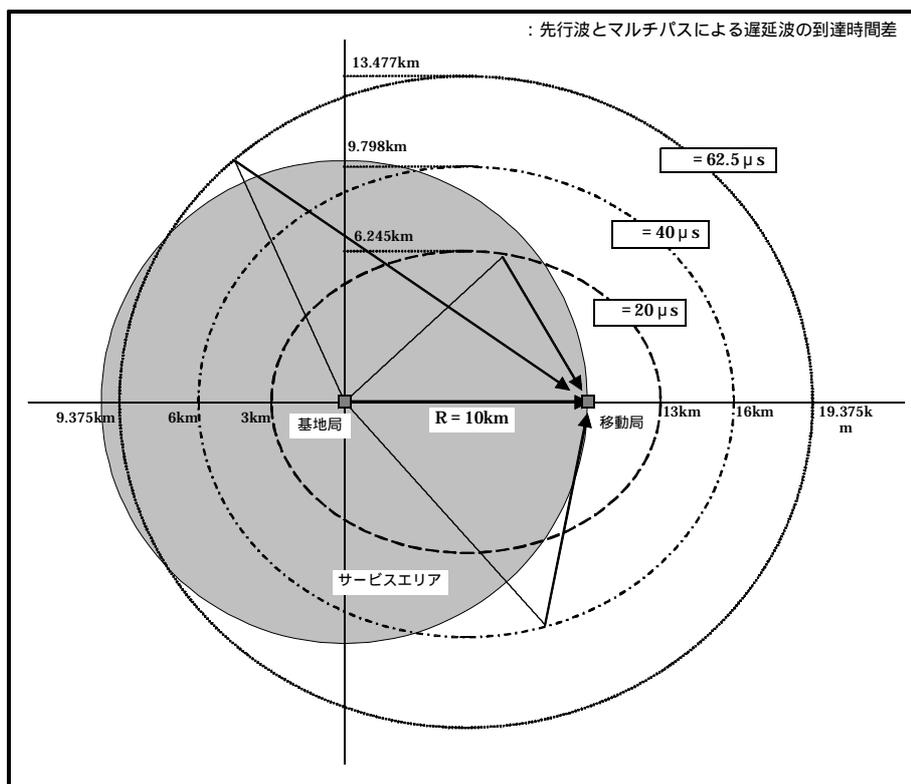
仮想伝送路を表4.2 - 5に示す。

表4.2 - 5 仮想伝搬路

回線種別	マルチパス	最大ドップラー周波数
停止状態	有り	0Hz
低速移動回線		1Hz（時速 4km 相当 260MHz 換算）
高速移動回線		13Hz（時速 50km 相当 260MHz 換算） 標準規格（STD-T79）の値

（注）報告書に掲載するグラフは、誌面の都合上、静止時及び高速移動時のものとした。

本シミュレーションで使用するマルチパスモデルを下図に示す。



本シミュレーションでは、先行波とマルチパスによる遅延波 1 波の 2 パスモデルとした。到達時間差は、単一キャリア方式のマルチパスの影響を見るため 1 シンボル区間（シンボル間隔）に相当する $62.5 \mu s$ を最大値とした。また、中間値として $40 \mu s$ 及び $20 \mu s$ を採用した。これらの到達時間差は例えば、 $20 \mu s$ は市街地における比較的近傍のビル反射波を想定した場合に、 $40 \mu s$ は比較的大都市における遠方のビル反射波を想定した場合に、 $62.5 \mu s$ は遠方の山に反射した場合にそれぞれ対応づけられる。

また、基地局から 10km 地点での先行波と遅延波の平均レベル差を一律に 10dB（便宜上、 $D/U=10dB$ と表記）と想定した。一方、ゾーンの内側（基地局の近傍）では、先行波の電界強度が遅延波に比べ強くなるため、前述のようなマルチパスは発生しないと推測される。

4.3 シミュレーションの結果

4.1 の各変調方式について、4.2 の検討条件に基づき表 4.2 - 5 の仮想伝送路に関するシミュレーションを行い、次の二つの値を求めた。

受信入力電圧（ E_r ）対ビット誤り率（BER）

受信入力電圧（ E_r ）対フレーム誤り率（FER）

シミュレーション結果をもとに各変調方式におけるサービスエリア（基地局からの距離対実効伝送速度）を算出した。

なお、これらシミュレーション結果は、技術資料「各種変調方式の実効伝送速度等のシミュレーション結果」（P65）を参照されたい。

(1) 各変調方式における実効伝送速度

本シミュレーションでは、通常、伝送特性として着目される BER 特性とは別に、ユニット受信率（1 誤り訂正符号毎の復号誤り無しの確率 = 正受信率、又は、受信成功率）に注目し、再送制御を前提として実効伝送速度を算出し、これを評価の指標とした。

STD-T79（ $1/4$ シフト QPSK : 16kbaud）の多値変調への拡張にあたっては、畳込み符号のサイズが同程度となるよう符号を分割し、表 4.2 - 1 に示したような符号多重を行い、同一スロット内に複数の符号を重畳した。これは、符号長が異なると同一の生成多項式の符号であっても受信率が異なるためである。その結果、 $1/4$ シフト QPSK では 1 符号 / 1 スロットのところ、16QAM 及び M16QAM では 2 符号 / 1 スロット、64QAM 及び M64QAM では 3 符号 / 1 スロットとなった。

シミュレーションでは、停止状態（static）と高速移動回線（ $f_D=13Hz$ ）については 4 秒間（100TDMA フレーム）、低速移動回線（ $f_D=1Hz$ ）では 40 秒間（1000TDMA フレーム）におけるユニット受信率について伝送路条件を種々変えて観測した。

	(4 秒間)	(40 秒間)
/4 シフト QPSK	100 ユニット	1000 ユニット
16QAM 及び M16QAM	200 ユニット	2000 ユニット
64QAM 及び M64QAM	300 ユニット	3000 ユニット

全スロット割当て時を想定し、各変調方式の最大伝送速度（畳込み符号化後の伝送速度 × 4：全スロット割当て時を想定）を受信率で割ることにより（再送回数に制限がない場合の期待値を算出）、実効伝送速度を求めた。

/4 シフト QPSK	$2.4\text{kbit/s} \times 4 = 9.6\text{kbit/s}$
16QAM	$4.4\text{kbit/s} \times 4 = 17.6\text{kbit/s}$
64QAM	$6.6\text{kbit/s} \times 4 = 26.4\text{kbit/s}$
M16QAM	$4.0\text{kbit/s} \times 4 = 16.0\text{kbit/s}$
M64QAM	$6.0\text{kbit/s} \times 4 = 24.0\text{kbit/s}$

ここで、同じ 4bit / symbol の 16QAM と M16QAM や、6bit / symbol の 64QAM と M64QAM とで伝送速度が異なっているのは、同期検波のためのパイロットシンボルの数（比率）が多少異なるためである。（参照した標準規格の差による。）

マルチサブキャリア方式は STD32（STD39）を参照したが、本来は 1.5GHz まで利用可能な諸元であることから、今後見直しを行えば、単一キャリア方式と同等の伝送速度は確保可能と思われる。

なお、「技術資料 2．スループットのシミュレーション」（P77）における『受信入力電圧 対 実効伝送速度』の算出法は、個別的な再送制御が的確に行われた場合の式を採用しており、遅滞なくセレクトティブ・リピート方式で動作しているときの値である。

本シミュレーションでは、マルチパスに関して先行波とマルチパスによる遅延波 1 波の 2 パスモデルで実施し、基地局から 10km 地点に着目して先行波と遅延波の到達時間差を 3 条件に限定して検討した。「技術資料 3．サービスエリアのシミュレーション」（P83）のグラフでは、基地局の近傍（ゾーンの内側）までプロットしているが、実際には先行波の電界強度が遅延波に比べ強くなるため、このようなマルチパスは発生しないと推測される。この部分の値は参考値として掲載した。今後、現実のマルチパスの条件ではどうなるかなど、電波伝搬特性等の調査を別途改めて研究する必要がある。

また、上記技術資料では、受信点での外来雑音を - 5dB μ の場合のみをグラフ化した。回線種別については停止状態と高速移動回線を掲載し、低速移動回線については結果のみ本節で言及するに留めた。

以上の仮定から、今回の検討の中で最も厳しい結果となった回線条件での各変調方式における基地局から 10km の距離の実効伝送速度は、表 4.3 - 1 に示す値となった。

なお、その回線条件は ~ の通りであった。

先行波とマルチパスによる遅延波 1 波の 2 パスモデル
 先行波と遅延波の到達時間差 =62.5 μ s
 (単一キャリア方式の 1 シンボル区間に相当)
 先行波と遅延波の平均レベル差 D/U=10dB
 最大ドプラー周波数 $f_D=13$ Hz
 レイリーフェージング

表 4.3 各変調方式における外来雑音レベルと実効伝送速度(10km地点)

外来レベル	/4 シフト QPSK	16QAM	64QAM	M16QAM	M64QAM
- 5dB μ	3.6	3.2	0.7	8.3	5.8
- 10dB μ	4.4	4.3	1.1	10.7	8.7
- 50dB μ (無雑音)	5.0	5.3	1.5	12.7	11.6

(単位: kbit/s)

表 4.3 に示すように、10km 地点での最悪マルチパス条件下の実効伝送速度は、M16QAM が最も高速という結果となった。因みに、外来雑音レベルが - 10dB μ の場合、/4シフトQPSK で 4.4kbit/s、16QAM で 4.3kbit/s、64QAM で 1.1kbit/s、M64QAM で 8.7kbit/s であるのに対して、M16QAM は 10.7kbit/s であった。

以降に、各変調方式の 10km 地点における実効伝送速度について、伝搬路条件毎に比較できるようにグラフ化して示した。

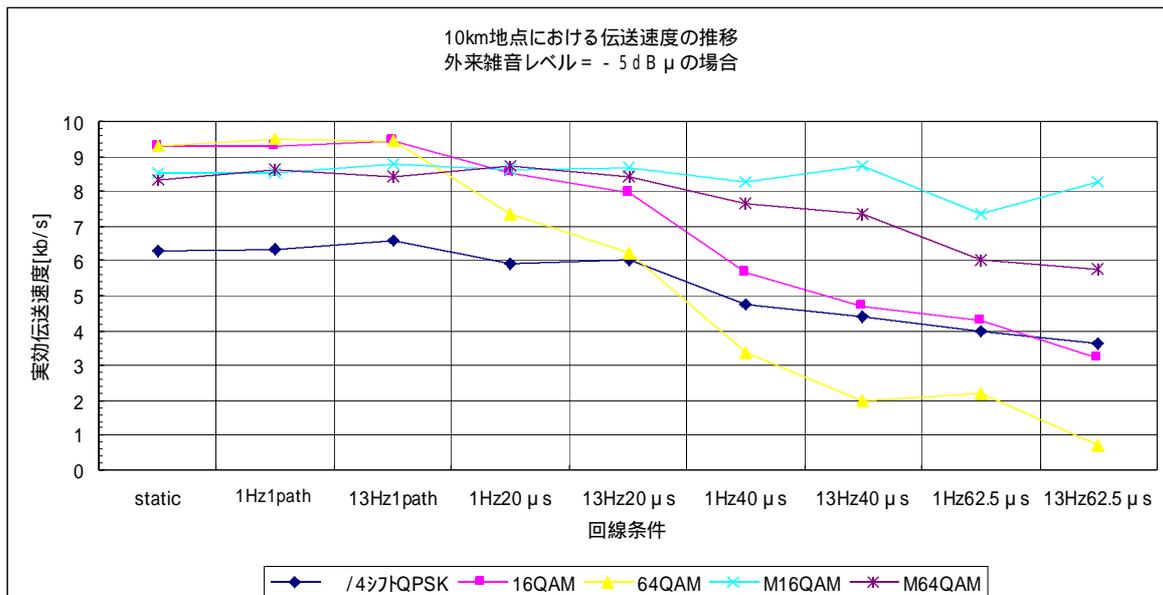


図 4.3 - 1 10km地点における実効伝送速度の推移 (外来雑音レベル-5dB μ)

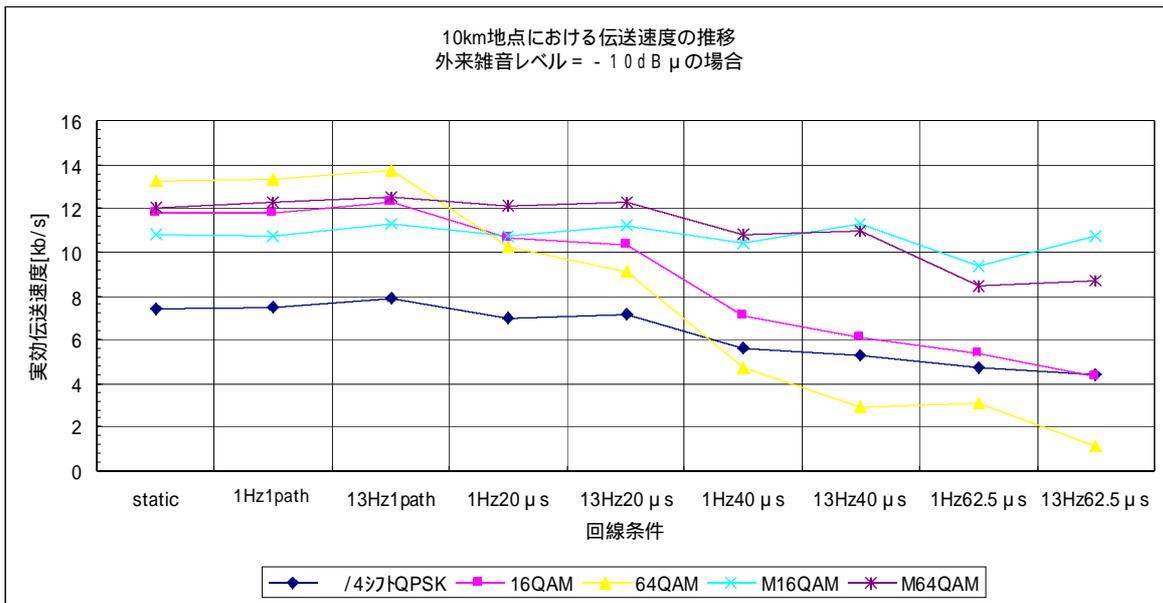


図 4.3 - 2 10km地点における実効伝送速度の推移 (外来雑音レベル-10dB μ)

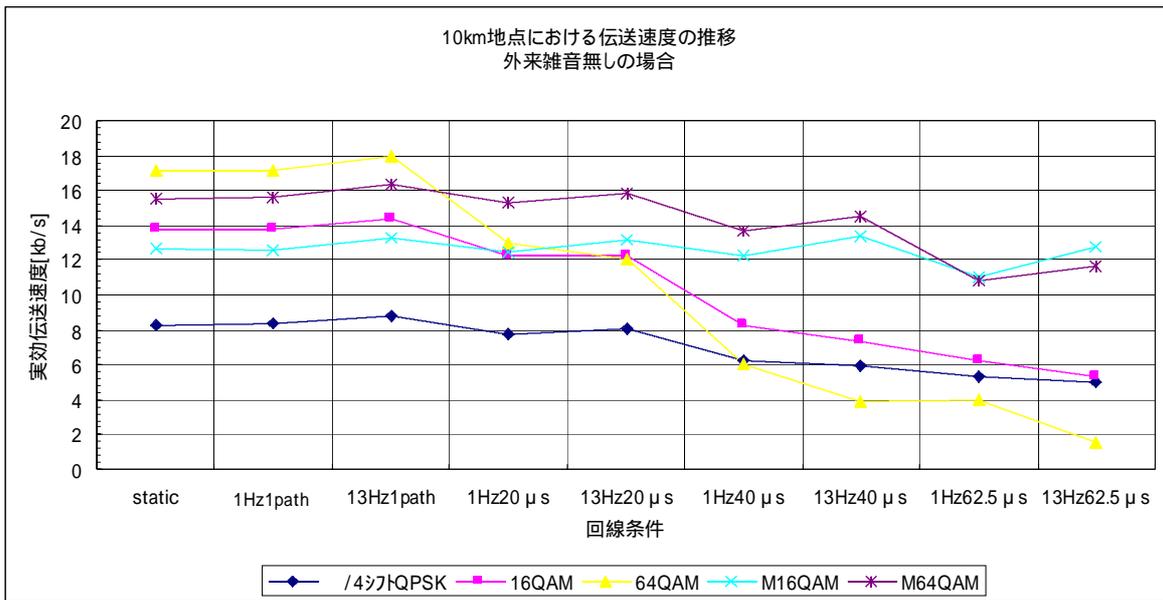


図 4.3 - 3 10km地点における実効伝送速度の推移 (外来雑音なし (-50dB μ))

(2) シミュレーション結果の考察

物理層における各変調方式の伝送速度は、次の順に高速性能を有する。

64QAM	26.4kbit/s	M64QAM	24.0kbit/s
16QAM	17.6kbit/s	M16QAM	16.0kbit/s
/4シフトQPSK	9.6kbit/s		

しかし、実際の運用状態を想定して各変調方式を比較した場合は、表 4.3 - 1 にあるとおりマルチパスや外来雑音を考慮すると、

(注：雑音レベル - 10dB μ の場合)

M16QAM	10.7kbit/s	M64QAM	8.7kbit/s
1/4 シフト QPSK	4.4kbit/s	16QAM	4.3kbit/s
64QAM	1.1kbit/s		

の順となる。

この内、64QAM は、図 4.3 - 1 ~ 3 にも見られるとおり伝搬条件の悪化（到達時間差の増大）による実効伝送速度の低下が顕著で、また、16QAM も 64QAM 程ではないものの伝搬条件が悪化すると 1/4 シフト QPSK 以下まで低下することから、他の変調方式に比べて移動データ通信に適さないものと考えられる。

一方、M16QAM は伝送条件の悪化に関わらず殆ど実効伝送速度の低下がなく、M64QAM と 1/4 シフト QPSK も比較的速度低下が少ないことが分かる。

各変調方式をサービスエリア（距離による実効伝送速度の低下）で比較した場合は、技術資料の図 3 - 4 「サービスエリア マルチパス特性(40 μ s)」(P85)に見られるように、近距離（約 7km 以内）では M64QAM が最も高速であるが、それ以上の距離になると M16QAM の方が高速になっている。

また、この図において、3kbit/s を確保できる距離を比較してみると、

M16QAM	16.3km	M64QAM	14.1km
1/4 シフト QPSK	13.3km	16QAM	12.7km
64QAM	8.0km		

の順となっている。

今回のシミュレーション結果においては、概して M16QAM が優れた特性を示しているが、実際のシステムを実現するためには、送信電力効率や符号化方式等を含めたシステム全般としての検討に加え、実用化済み技術か否かやコストなども考慮する必要がある。

したがって、第 1 世代汎用 IP 無線通信システムに適用可能性のある変調方式としては、特性的には M16QAM、M64QAM、1/4 シフト QPSK が適していると考えられ、自営移動通信に実用化済みであることも考慮すると、1/4 シフト QPSK を基本に導入を検討していくことが望ましいとの結論に至った。

なお、実運用に当たっては、東京、大阪のような大都市圏の場合と金沢などの中小都市ではマルチパス条件や外来雑音レベルが異なり、加えて移動通信では場所的にも時間的にも伝搬条件が変動するため、使用する地理的条件や運用条件によって最適な変調方式が異なる場合があることから、適応変調方式（回線品質に応じて自動的に変調方式を切り替える方式）を開発・導入することも一つの方策として検討することが求められる。

第5章 第1世代汎用IP無線通信システムの実証実験

5.1 実証実験の概要

第4章において、第1世代汎用IP無線通信システムに適用可能性のある各種変調方式について伝送路条件変動時の実効伝送速度等の性能検討を行った結果、 $1/4$ シフトQPSKが最も耐変動特性に優れており、移動系において16値以上のデジタル変調を用いる場合はシステム全体の総合的な検討が必要とされている。

また、実用化されている最新のデジタル方式として市町村デジタル移動通信システムがあり、近く実用化される方式に800MHz帯デジタルMCA陸上移動通信システムがある。

表5.1-1 最新のデジタル移動通信システムの概要

システム	市町村デジタル移動通信システム	800MHz帯デジタルMCA陸上移動通信システム
周波数	260MHz帯	800MHz帯
変調方式	$1/4$ シフトQPSK	
アクセス方式	TDMA	
多重数	4多重	
伝送速度	32kbps	

以上のことから、第1世代の実証システムは、狭帯域デジタル通信方式の内、 $1/4$ シフトQPSKを採用して既に実用化済みの市町村デジタル移動通信システムをモデルに構築することとした。

(1) 実験の目的と概要

既存技術である狭帯域デジタル通信方式の市町村デジタル移動通信システム(以降、本無線システム)を利用し、自営無線によるIP通信が実現可能であることを実証する。

このため、本無線システムを使用し、移動局側IP通信パソコン(IP通信PC)内のメールクライアント(以降、移動局メールクライアントと略す)と統制局側メールサーバとの間で通信を行い、電子メールの送受信機能を実証する。

また、統制局側のLANをインターネットと接続し、移動局側IP通信PCのブラウザ(以降、移動局ブラウザ)を用いたWeb表示機能の実証も行う。

(2) 実験システムの構成

ア 実験で使用した無線回線の諸元

実験で使用した本無線システムの諸元を示す。

変調方式 : / 4シフト QPSK
周波数帯 : 260MHz 帯
周波数間隔 : 25kHz
アクセス方式 : TDM-TDMA (時分割 - 時分割多元接続方式)
多重数 : 4 多重
音声符号化速度 : 6.4kbps
データ伝送速度 : 2.4kbps (誤り訂正あり)

イ 機器構成

実験システムの構成図を図 5.1 に示す。

実験では基地局と端末局間を高周波ケーブルで直結し、ほぼエラーフリーの状態を確保した。

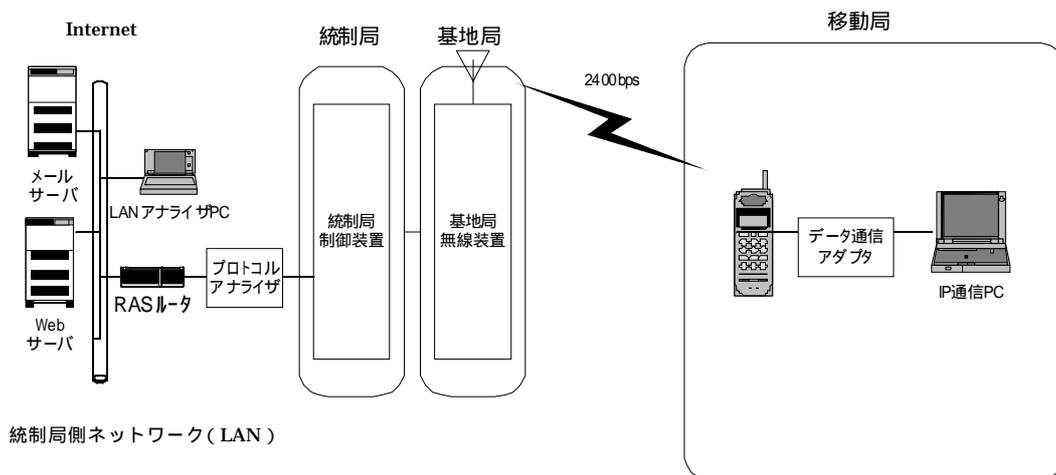


図 5.1 実験システムの構成図

使用した測定器とその目的を以下に示す。

プロトコルアナライザ

PPP フレームのモニタとして使用する。

LAN アナライザ用 PC

汎用パソコン上で LAN アナライザソフト (Sniffer) を動作させ、Ethernet フレームモニタとして使用する。

表5.1-2 実験システム機器構成

区 分	機 材	員数	備 考
統制局	統制局制御装置	1	
	非音声インタフェース	1	
	データ通信アダプタ	1	
その他	RAS ルータ	1	株式会社マイクロ総合研究所製 NetGenrsis MR-NWGSW
	統制局側サーバ群	1 式	
	プロトコルアナライザ	1	モニタ用
	LAN アナライザ用 PC	1 式	Sniffer を使用
	携帯電話	1	

注：RAS：Remote Access Service

ウ 接続プロトコル

IP 通信 PC と統制局側機器との間は、以下の接続プロトコルを用いた。

IP 通信 PC - RAS ルータ間の接続プロトコル：PPP

IP 通信 PC - 統制局側サーバ群：SMTP、POP、HTTP

(3) 実験項目

ア メール送受信

移動局メールクライアントと統制局側メールサーバとの間で通信を行い、電子メールの送受信機能を実証する。合わせて、統制局側の LAN をインターネットと接続し、移動局メールクライアントと携帯電話との間で、電子メール送受信の実験も行う。

移動局メールクライアントから統制局側メールサーバに対してメールを送信する。

移動局メールクライアントから携帯電話に対してメールの送信を行う。本実験は機能確認のみとする。

メールサーバにメールを蓄積し、移動局メールクライアントでそのメールを受信する。

イ Web 表示

統制局側の LAN をインターネットと接続し、移動局ブラウザから Web 表示を行う。

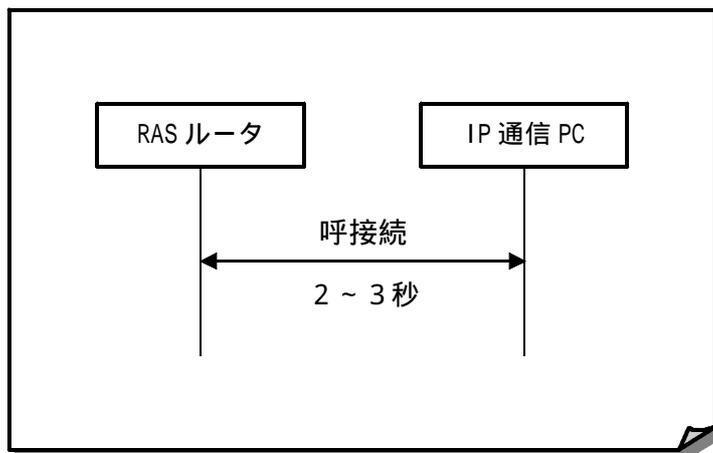
(4) 実験内容

ア PPP 接続

メール送受信及び Web 表示の前段階として、IP 通信 PC と RAS ルータとの間で PPP 接続を行った。

(ア) 呼接続（無線区間）フェーズ

本無線システム内の内線として割当てた RAS ルータに IP 通信 PC よりダイヤルアップによる呼接続を行う。



(イ) PPP 接続フェーズ

IP 通信 PC から RAS ルータへ PPP 接続を行う。

この際、IP 通信 PC の Windows のダイヤルアップ設定は以下のとおりとした。

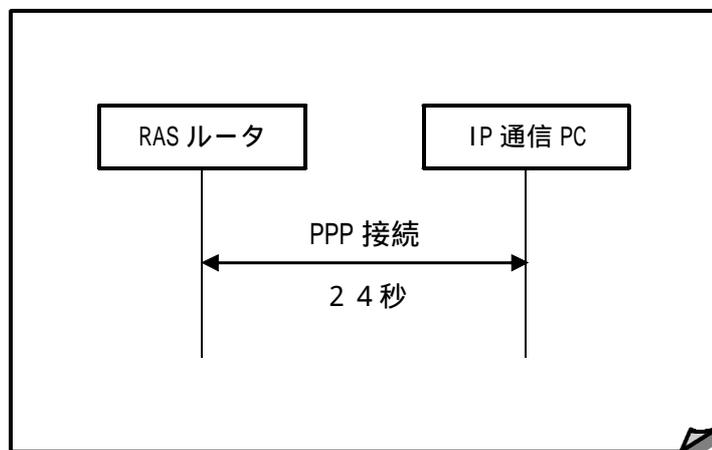
ダイヤルアップサーバの種類

PPP : インターネット、Windows NT Server、Windows98

詳細オプション : ソフトウェア圧縮を行う。

プロトコル : TCP/IP

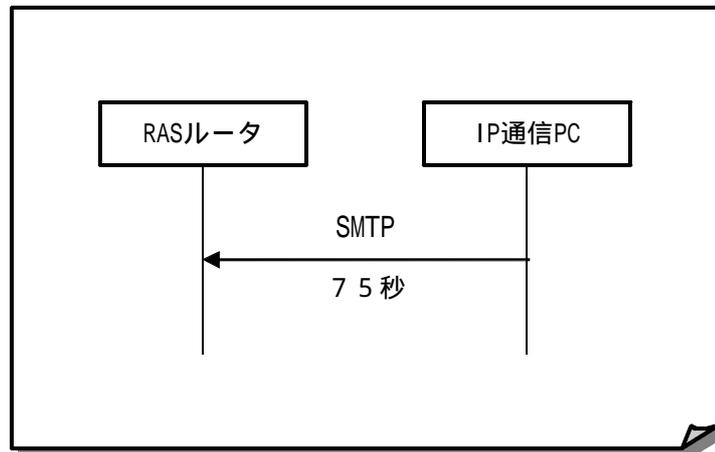
IP ヘッダの圧縮を使う。



イ メール送受信

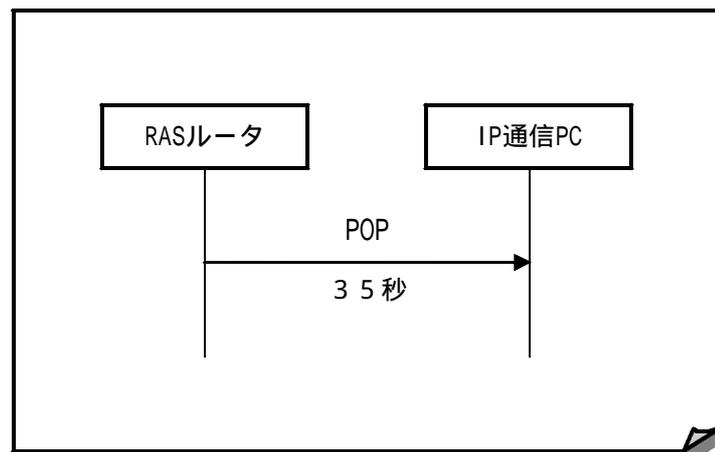
メール送信

PPP 接続完了後、移動局メールクライアントから統制局側ネットワークに接続した PC 宛にメールの送信を行った。送信容量は、ヘッダ、本文及び添付ファイルを含め 5kB とした。



メール受信

統制局側ネットワークに接続した PC から移動局宛てのメールをメールサーバに蓄積し、移動局メールクライアントでそのメールを受信する。受信容量は、ヘッダ、本文及び添付ファイルを含め 5kB とした。



携帯電話へのメール送信

移動局メールクライアントから携帯電話へメールの送信を行った。

ウ Web 表示

統制局側の LAN をインターネットと接続し、移動局側 IP 通信 PC のブラウザ(以降、移動局ブラウザ)を用い、以下の URL の Web 表示を行った。

Web は、本無線システムのデータ伝送速度を勘案して、容量の大・中・小のサイトを例として選定した。

北陸総合通信局トップページ (124kbyte)

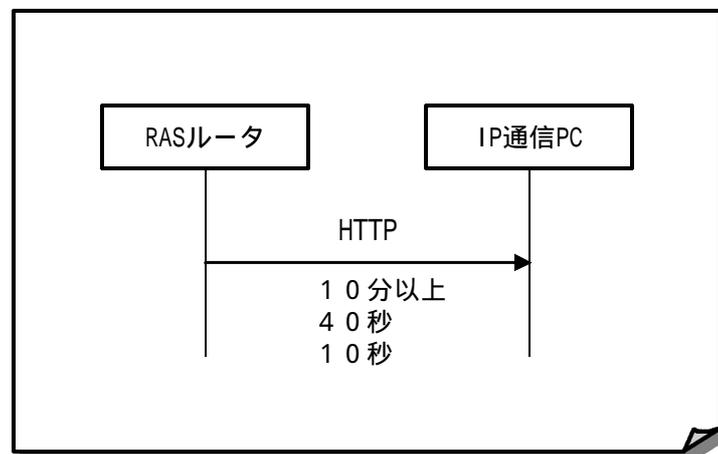
<http://www.hokuriku-bt.go.jp/index.html>

北陸総合通信局平成15年モニタ募集 (6.5kbyte)

<http://www.hokuriku-bt.go.jp/press/2002/pre030120-1.htm>

i モードホテル予約サイト (717byte)

http://*****.com/



5.2 実証実験結果

(1) 実験の結果

ア PPP 接続

無線区間を経由した IP 通信 PC と RAS ルータ間の PPP 接続について、正常接続を確認できた。

PPP 接続は当初 90 秒程度を要していた。90 秒から 24 秒に短縮したのは、IP 通信 PC の Windows 設定で、当初『ネットワークへのログオン』が有効になるなど、不要オプションの設定がされていた。不要オプションをダイアルアップの設定項目から外すことにより大幅に接続時間が短縮した。

イ メール送受信

移動局メールクライアントから統制局側ネットワークに接続した PC 宛にメール

送信、及びメールサーバに蓄積されたメールを移動局メールクライアントで受信する実験は、ともに正常に動作することを確認した。

また、機能確認のみとしたが、携帯電話へのメール送信も正常動作を確認した。

今回の実験における、実効伝送速度は以下ようになった。

なお、送受信ともヘッダ等を含めた総容量は、5kBとした。

メール送信

$$5 \text{ (kB)} \times 8 \text{ (bit)} / 75 \text{ (秒)} = 546.1 \text{ (bit/s)}$$

メール受信

$$5 \text{ (kB)} \times 8 \text{ (bit)} / 35 \text{ (秒)} = 1170.3 \text{ (bit/s)}$$

ウ Web 表示

統制局側の LAN をインターネットと接続し、以降、移動局ブラウザを用いた Web 表示機能が正常動作することを確認した。ただ、比較的重いページはダウンロードに時間が掛かったため中断した。

Web 表示に要した時間から、本実験における実効伝送速度は以下ようになる。

この値は、先方のサーバの負荷状態、通信経路のトラヒック状態により変化するため、一応の目安として示す。

北陸総合通信局平成 15 年モニタ募集 (6581byte) アクセス時

$$6581 \text{ (byte)} \times 8 \text{ (bit)} / 40 \text{ (秒)} = 1316.2 \text{ (bit/s)}$$

i モードホテル予約サイト (717byte) アクセス時

$$717 \text{ (byte)} \times 8 \text{ (bit)} / 10 \text{ (秒)} = 573.6 \text{ (bit/s)}$$

(2) 実験結果の考察

ア IP 通信の有用性の検証

本実験では市町村デジタル移動通信システムを利用した IP 通信の有用性について検証作業を行った。

その結果、電子メールの送受信及び Web 表示といったアプリケーションが正常に動作することを確認し、接続時間を要する等の問題はあるものの、SMTP、POP、HTTP の各アプリケーション層のプロトコルが動作することを実証することができた。

即ち、現行の市町村デジタル移動通信システムにアダプタを付加しただけで、簡易的な IP 通信を実現することができることを本実験は実証したことになる。

これにより、大地震等の災害時において、避難所から被災者リストを災害対策本部に送付することを想定した場合など、電話網や携帯電話網が損壊や輻輳により使用不能な状況に陥ったとしても、災害対策本部の関係者にメールで直接かつ迅速な

情報伝達が可能となり、市町村デジタル移動通信システムを用いた IP 通信の有用性が具体的に確認されたといえる。

イ 実用化に向けた課題

通信速度の向上

本実験の結果、電子メールの送受信及び Web 表示について正常動作を確認できたが、前述のように、市町村デジタル移動通信システムの物理層が上位レイヤに提供するデータ伝送速度 2.4kbps に比べ、実効伝送速度は遅いものとなった。

各レイヤにおけるプロトコルを分析するとともに、対処可能な速度低下要因を除去し、システムの持つ性能を最大限に引き出すための検討が必要である。

IP ネットワークへの接続動作の改善

本実験では、PPP 接続に 24 秒の時間を要していた。

PPP 接続における各フェーズの所要時間を詳細に解析し、対処可能な遅延要因を排除し、より短時間での接続を実現するための検討が必要である。

第6章 第1世代汎用IP無線通信システムの課題と方策

第5章の実証実験では、現行の市町村デジタル移動通信システムで簡易的なIP通信を実現できることを実証した。更に、第1世代を実用化するにあたり『通信速度の向上』並びに『接続動作の改善』という課題を明らかにした。

本章では、特に『通信速度の向上』を中心に詳細に分析し、そこから導き出される課題を明らかにするとともに、課題解決に向けた方策について述べる。

6.1 通信速度の向上

(1) 実証実験結果の分析

第5章における実証実験の内、Web表示の実験結果を元に通信速度に関する詳細な分析を行った結果、各レイヤ毎の通信速度は下表のとおりと推察できる。

表6.1 - 1 レイヤ毎の通信速度

レイヤ	通信速度	備 考
物理層	32000bps	キャリアの伝送速度
	6400bps	1スロット割当て時のペアラ伝送速度
	2400bps	1スロット割当て時のレイヤ2フィールドの伝送速度(誤り訂正有り)
データリンク層	2000bps	1スロット割当て時のレイヤ3フィールドの最大伝送速度(レイヤ2のオーバーヘッドのみ。再送制御が無い場合)
ネットワーク層	1814bps	1スロット割当て時のパケットモニターでの実測値(Web)
トランスポート層	1316bps	1スロット割当て時のアプリケーションからみた実測値(Web)

(注)レイヤの分類は必ずしも的確でない面もあるが、便宜上、上表のように整理した。

なお、各レイヤ毎の分析は、以下のとおりである。

ア 物理層

物理層の32kbpsは、市町村デジタル移動通信システム(ARIB STD-T79)として規格化された無線区間の物理的な信号伝送速度である。ただし、ガード時間やプリアンブル時間分を含んだ値となっている。

なお、時分割多重で4多重になっていることから、スロット当たりの物理的な信号伝送速度は、8kbpsとなる。

イ 物理層及びデータリンク層の分析

無線区間の1フレーム長は40ms、TDMA多重数が4の場合の1スロット長は10msと規定されていることから、1フレームの1スロット当たりのビット数は、以下のようになる。

$$32\text{kbps} \times 10\text{ms} / 1000\text{ms} = 320\text{bit}$$

この320bitについては、通信用物理チャンネルとして次のとおり信号フォーマットが決められている。

R	P	TCH (FACCH)	SW	I	CC	SACCH (RCH)	TCH (FACH)	G
6	2	148	20	2	6	20	108	8

- G : ガード時間
- R : バースト過渡応答用ガード時間
- P : プリアンブル
- SW : 同期ワード
- CC : カラーコード(干渉対策コード)
- TCH : トラヒックチャンネル
- SACCH : 低速付随制御チャンネル
- RCH : ハウスキーピングチャンネル
- B/I : ビジー/アイドルビット
- I : アイドルビット(常に"0"とする。)
- CI : キャリア情報

(注) 数字はビット数(又はビット間隔(31.25 μs)を単位とする時間)

トラヒックチャンネルの利用可能ビット数は、

$$148 + 108 = 256\text{bit}$$

であり、スロット長の8割に相当する。

また、残り2割の64bit相当は、ガード時間や同期ワード等の送受信制御に必要な領域であることが分かる。

フレーム長が40msであることから、毎秒、

$$1000\text{ms} / 40\text{ms} = 25 \text{ フレーム}$$

の伝送が行われるので、1秒間の1スロット当たりの伝送能力は、

$$256\text{bit/フレーム} \times 25 \text{ フレーム/秒} = 6400\text{bit/秒} = 6.4\text{kbps} \text{ (誤り訂正無)}$$

となる。

したがって、1キャリア当たりの最大伝送能力は、

$$6.4\text{kbps} \times 4 \text{ スロット} = 25.6\text{kbps} \text{ (誤り訂正無)}$$

となる。

これは、フレーム構成中の8割がトラヒックチャンネルであることから、物理的な伝送速度32kbpsの8割の値になる。

次に、誤り訂正を行う場合の伝送能力について分析する。

誤り訂正を行う場合、トラヒックチャンネル単位で符号化されることから、

符号長は、256bit

となる。

この規格では、符号化率1/2、生成多項式の次数は5となっている。

符号長256bitで符号化率1/2の畳込み符号の符号器入力ビット数は、

$$256\text{bit} / 2 = 128\text{bit}$$

となる。ただし、この符号生成多項式は5次であり、誤り訂正能力を高めるために符号器は全零状態に終結させる仕様となっていることから、5ビットのテールビットが必要となる。

ここで5次の生成多項式で5bitを使用しているため、レイヤ1で利用可能なビット数(実質的な情報点数)は、

$$128 - 5 = 123\text{bit}$$

となる。

なお、レイヤ1では、誤り訂正符号単位(ユニット単位)で誤り検出を行うとともに、送信順序番号管理を行っていることから、以下のビット数だけヘッダ及びフッタが必要となる。

信号構成情報	8bit (ヘッダ)
ダミービット	3bit (ヘッダ)
誤り検出用(CRC)	16bit (フッタ)

以上のことから、レイヤ1がレイヤ2に対して提供できる領域は、ユニット当たり、

$$123 - (8 + 3 + 16) = 96\text{bit}$$

となり、伝送能力(1スロット当たり)は、

$$96\text{bit} / 40\text{ms} = 2.4\text{kbps}$$

となる。

また、L2 ヘッダが毎秒 400bit あるので、データリンク層の伝送能力は、

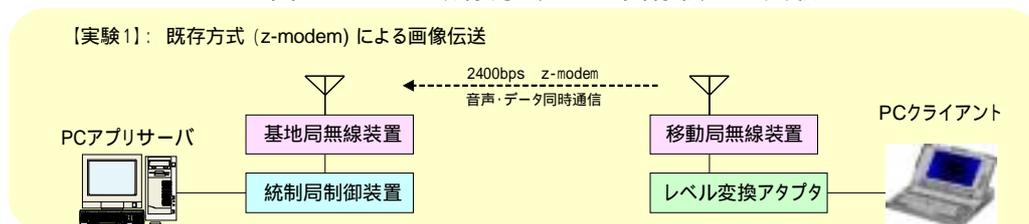
$$2400\text{bps} - 400\text{bps} = 2000\text{bps}$$

となる。

【参考実験】既存データ通信方式における実効伝送速度の把握

市町村デジタル移動通信システムの既存データ通信方式（IP 通信ではない）では、ファイル転送を z-modem 等のプロトコルにより接続している。

図 6.1 - 1 既存方式による画像伝送の実験



上図の実験システムにより、72.6kbyte の画像伝送を行い実効伝送速度を測定した結果、次のとおりとなった。

$$\text{実効伝送速度 (既存方式)} = 72.6\text{kbyte} / 346 \text{ 秒} = 1678\text{bps}$$

ウ ネットワーク層の分析

右図のホームページを表示する際の packets 送受信の様子をモニターすると、表 6.1 - 2 のとおりとなった。

ホームページの表示に 40 秒を要し、その間に送受信された packets 総計は、9070byte であったことから、ネットワーク層における通信速度は、次のとおりとなる。

$$(9070\text{byte} \times 8\text{bit}) / 40\text{s} = 1814\text{bps}$$

(注)次表は Windows2000 で追試したもの。

図 6.1 - 2 Web画面



表 6.1 - 2 IPパケット送受の様様

動作	送受方向	Packet Size			Packet 内容
		送信	受信		
		IP 制御	IP 制御	実データ + L4 ヘッダ	
SYN	PC Server	62			
ACK/SYN	PC Server		60		
ACK	PC Server	60			
ACK/PSH	PC Server	444			
ACK	PC Server			1514	HTML
ACK	PC Server			1514	HTML
ACK	PC Server	60			
ACK/PSH/FIN	PC Server			949	HTML
ACK	PC Server	60			
ACK/FIN	PC Server	60			
SYN	PC Server	62			
ACK	PC Server		60		
ACK/SYN	PC Server		60		
ACK	PC Server	60			
ACK/PSH	PC Server	337			
ACK	PC Server			1514	GIF
ACK	PC Server			1514	GIF
ACK	PC Server	60			
ACK/PSH/FIN	PC Server			440	GIF
ACK	PC Server	60			
ACK/FIN	PC Server	60			
ACK	PC Server		60		
計		1385	240	7445	
合計	9070byte (受信:7685byte 送信:1385byte)				

エ トランスポート層の分析

実験に用いたホームページは、HTML データとしてテキスト(3577byte)と GIF イメージ(3004byte)を合わせて 6581byte の容量を持っており、表示に 40 秒を要していることから、実効伝送速度は次のとおりとなる。

$$6581\text{byte} \times 8\text{bit} / 40\text{s} = 1316.2\text{bps}$$

前述のイとウの分析結果と合わせ、40 秒間の通信時間中に占める各レイヤ固有の信号長の割合を取りまとめると、下表のとおりとなる。

表 6.1 - 3 各レイヤーにおける40秒間の信号長比較(1スロット当たり)

レイヤー	内 容		各層符号長	割合(%)		
アプリケーション層 (1,316bps) × 8/40		実データ	6,581		72.6	
		L 4 ヘッダ	864		9.5	
トランスポート層 (1,489bps) × 8/40		データ	7,445			
		IP 制御(送信)	1,385		15.3	
ネットワーク層 (1,814bps) × 8/40		IP 制御(受信)	240		2.6	
		送受信データ	9,070		22.7	100.0
		フロー制御(ロス)分	930		2.3	
		L 3 フィールド	10,000		25.0	
データリンク層 (2,000bps) (-) × 8/40		L 2 ヘッダ	2,000		5.0	
		L 2 フィールド	12,000		30.0	
物理層 (8,000bps) × 8 / 40		ガードタイム、同期ワード等	8,000		20.0	
		畳込み符号化による増加分	20,000		50.0	
		L 1 フィールド	40,000		100.0	

(2) 課題と考察

ア 誤り訂正方式

今回の実験システムにおける実効伝送速度低下の原因は、強力な誤り訂正方式である「1/2 畳込み符号」を用いていることその他、符号器入力の 25%前後を占めるレイヤ 1 ヘッダ・フッタの存在がある。これは再送単位を小さくするために必要な情報である。

ここで、BCH 符号等の符号化率の高い誤り訂正符号を採用すれば、より高速化は期待できるが、伝搬条件の良い静止時など利用環境が限定され、運用形態と誤り訂正強度の適切なバランスを見極める必要がある。

イ IP パケットサイズと実効伝送速度の関係

市町村デジタル移動通信システムでは、IP 通信でない従来のデータ通信方式においては(1) - イの参考実験結果からデータリンク層が提供する通信速度 2000bps に近い実効伝送速度が得られているが、今回実験した IP 通信においては実効伝送速度がデータリンク層の約 2 / 3 に低下する現象が見られた。

データリンク層が提供する通信速度 : 2000bps
 従来方式の実効伝送速度 : 1678bps
 IP通信のネットワーク層の通信速度 : 1814bps
 IP通信実験時(Web)の実効伝送速度 : 1316.2bps (約 6.5kbyte の Web)

IP通信の実効伝送速度が低下した主な原因は、表6.1-2に示されているように、実データ以外にコネクション確立・維持のためのTCP特有の制御データの送受信が行われるためである。

試験的に様々なWebアクセスや電子メールの送受信を行い、送受パケット長に対する実データの割合を伝送効率として求めた結果、次のとおりとなった。

表6.1-4 データサイズと伝送効率の関係(Web)

実データ(byte)	1024	10240	20480	30720	40960	51200
送受パケット長(byte)	2003	11755	22643	33531	44473	55361
伝送効率(%)	49.9	85.1	88.3	89.5	89.9	90.3

この結果、IP通信においては実データサイズによって実効伝送速度が変化することが分かり、ネットワーク層の伝送速度 = 1814bps と伝送効率から実データサイズに応じた実効伝送速度は、 $(1814 \times \text{伝送効率})$ で求まるものと推測できる。

表6.1-5 データサイズと実効伝送速度の関係(Web)

実データ(kbyte)	1	10	20	30	40	50
伝送効率(%)	49.9	85.1	88.3	89.5	89.9	90.3
実効伝送速度(bps)	905.2	1543.7	1601.8	1623.5	1630.8	1638.0

上表から、IP通信においては、10kbyte程度以上の実データサイズでないと、実効伝送速度が極端に悪化するものと予測でき、第5章の実験で携帯電話用のホームページアクセス時の実効伝送速度が極端に遅くなった結果を裏付けるものとなっている。また、20kbyte以上のデータサイズであれば、従来方式の実効伝送速度(参考実験結果)の1678bpsに近い速度が得られることを示している。

なお、実運用時における実効伝送速度は、上記伝送効率(送受パケット長に対する実データの割合)がデータ構造やネットワーク環境等で若干変動するものであることと、IPネットワークの輻輳等によってパケットの遅延・再送が発生したりするため、更に速度低下する場合がある。

以上のことから、今回の実験システム(市町村デジタル移動通信システムの1スロットを用いたIP通信)において、無線区間での再送がないと仮定した場合の実効伝送速度の期待値は、およそ1600bps(毎秒200byte)程度と推測することが

でき、電子メール及び画像の伝送所要時間の例を示すと次のようになる。

12kbyte の電子メール (全角 6000 文字相当)	約 1 分
36kbyte の画像	約 3 分

仮に、地震等の災害時を想定し、避難所から氏名(全角 6 文字)・年齢(数字 3 桁)・住所(全角 13 文字)からなる被災者リスト(テキスト)を電子メールで送付したとすると、

$$12000\text{byte} / (6 \times 2 + 1 + 3 + 1 + 13 \times 2 + 2)\text{byte} = 267 \text{ 人}$$

(注)テキストデータフォーマット：項目間は Tab 区切り、行末は改行(CR/LF)と仮定した。

となり、267 人分のリストを 1 分で伝送できることとなる。



図 6 . 1 - 3 サンプル画像 800 × 600pixelのJPEG圧縮画像(29812byte)

また、上図のサンプル映像のような写真を被災現場から送る場合は、

$$29812\text{byte} / \text{毎秒 } 200\text{byte} = 149.06 \text{ 秒}$$

となり、約 2 分半で伝送できる見込みとなる。

この程度の画像であれば、パソコンの画面で表示させたり、インクジェットプリンターで L 版程度の印画紙に印刷したとしても、被災地の模様を把握するには十分に実用に耐える品質と考えられる。

しかも、TDM4 多重の 1 スロットを使った IP 通信なので、データを伝送している最中であっても、他スロットを使った音声通信が可能である。

したがって、IP 通信では、データサイズによっては既存のデータ通信方式に比べて実効伝送速度が低くなる場合もあるが、その程度は小さく、むしろ、電子メールで直接担当者や関係機関に情報伝達できるメリットの方が大きいと考えられる。

しかし、伝送効率の良い 10kbyte 以上のデータをスムーズに取り扱えるようにす

るためには、物理層並びにデータリンク層の速度向上などによって実効伝送速度を改善することが課題となった。

(3) 課題の改善方策

これまで述べたように、今回実験で用いたモデルシステムにおいても一定程度実用性があると考えられるが、複数の画像データや表計算ソフトでデータを作成し、そのまま電子メールに添付して送りたい場合など、もう少し高速（短時間）伝送したいとのニーズも想定される。

このため、第1世代の汎用 IP 無線通信システムの早期実用化を図るためには、高速化の改善策として考えられる次の事項について、実証実験も含めた継続研究が必要である。

ア 適切な誤り訂正方式の選択

(2)のアの項で、誤り訂正方式を畳込み符号から BCH 符号に変更した場合の速度改善の可能性について言及したが、これを実現するためには以下に示す課題を解決する必要がある。

実際の無線通信では、静止時と移動時で回線品質が大きく異なることから、理想的な回線品質が得られやすい静止時と、フェージングによる伝搬品質劣化が繰り返し起きる移動時を分けて考える必要がある。第4章で行ったシミュレーション結果の「受信入力電圧(E_r)対フレーム誤り率(FER)」における $1/4$ シフト QPSK のグラフ（技術資料 P64 参照。）を見ると、静特性では平均受信入力電圧が $-5\text{dB } \mu$ 以上で急激にフレームエラーが無くなっているが、移動時（レイリーフェージング特性）では $5\text{dB } \mu$ までフレームエラーが発生していることが分かる。（注1）

したがって、回線状態を簡易な方法で同定することが出来れば、その回線状態に最適な符号化方式を選択して通信を行うことにより、ベストエフォート型のサービスを提供することが可能となる。但し、送信局側が受信局側の回線状態を知るためには、その応答回線の回線品質を確保する必要があるとともに、迅速なレスポンス性能が要求されることになる。

なお、回線状態毎の最適な符号化方式を決定するには、実フィールドで誤り訂正の有無や強度、IP パケットサイズの組合せを色々と切り替えて実験し、得られる実効伝送速度から汎用 IP 無線通信システムに適した誤り訂正方式を検討していく必要がある。（注2）

（注1）本シミュレーションでは、フレーム再送制御があるものとして実効伝送速度推定を行っているが、実証実験では通信フェーズにおけるデータリンク層（無線区間の通信方式）のプロトコルが未実装であったため、TCP プロトコルによる IP パケット単位での再送となったことから、ビットエラー発生頻度とパケットサイズの関係が問題になった。

（注2）無線区間での再送制御は実施しないことを前提とすると、静止時においては誤り訂正機能を省いてしまうか、BCH 符号による誤り訂正にすることの方がメリットは大きいものと考えられるが、逆に、移動時においては誤り訂正を強くしてパケット再送確率を下げる方が良い可能性もある。

イ IP パケットサイズの調整等

今回実験で用いた移動局側パソコンの OS は Windows98 であったため、MTU (Maximum Transmission Unit) の値は標準の 576byte としてあった。伝送品質が変動する移動通信においては、頻繁にパケット再送の発生が考えられることから、この MTU 値の設定によって実効伝送速度も変動する。しかし、今回の実験環境では、無線区間の伝搬路を安定にして伝送品質の劣化によるパケット再送が起きないようにしてあったため、MTU 値を 576byte としても 1500byte としても、フラグメントロスや若干制御信号が増えた程度で、実効伝送速度に大きな差はなかったと思われる。(したがって、第 6 章の考察では MTU 値を 1500byte として計算を行っている。実際に双方の MTU 値における送受パケット長を比較してみると、同じ Web 画面表示するのに要した送受パケット長に 3 % 程度の違いしか見られなかった。)

汎用 IP 無線通信システムを実運用で使用した場合は、静止時と移動時でフレームエラーによるパケット再送確率が大きく異なることから、利用形態に応じた適切な MTU 値を求めておく必要がある。

このため、様々な利用条件を想定した実フィールドによる実験が望まれる。

ウ フルスロット化

今回の実験システムでは、TDM4 多重の 1 スロットを使用して IP 通信を行ったが、他のスロットも使った高速化の実証実験に取り組むことが望まれる。

【参考】 MTU

IP 通信において、1 回に送信するデータの最大値(byte)。通信する際に送信する側が値を設定し、送信側が受信側より大きい MTU 値であった場合は、送信側が受信側の MTU サイズに従ってデータを分割して送信する。パケットの伝送エラーが発生した時は、MTU 単位に再送信する。したがって、劣悪な通信環境では MTU を小さい値に設定した方が実効転送速度が速くなり、逆に安定した通信環境では制御パケットを減らすために MTU を大きくした方が速くなる。一般的に MTU は、Ethernet 環境では 1500 程度、電話回線によるダイヤルアップ接続では 576 程度が良いと言われている。

6.2 IPネットワークへの接続動作の改善

(1) 課題と考察

今回の実験システムにおいては、無線区間の通信リンク確立に要する時間と PPP 接続時間を合わせて 24 秒要しており、操作性の面で課題となった。

無線区間の通信リンク確立時間は数秒程度で、この通信方式においては固定的な時間であるが、これとは別に PPP の接続に 20 秒程度の時間がかかっている。この PPP

接続時間は、電話回線で 2400bps 程度のアナログモデムを用いたインターネット接続時間と同程度である。(アナログモデムの場合は、信号の同期時間が長いため接続に時間がかかる。)

しかし、今回の実験システムでは、デジタル無線区間の同期確立後に PPP を起動しているため、本来であれば、同じデジタル通信である ISDN 回線 (D チャネルの信号速度 : 16kbps) の PPP 接続時間が 1 ~ 2 秒であることから類推すると、実験システム (物理層の信号速度 : 2.4kbps) に期待される PPP 接続時間は $6.7 \sim 13.3$ 秒 ($16 \div 2.4 = \text{ISDN の } 6.7 \text{ 倍の接続時間}$) と考えられる。

したがって、今後、接続方法を改良することで接続時間を短縮できる可能性が高い。

(2) 接続動作の改善方策

IP ネットワークへの接続動作については、汎用 IP 無線がデジタル無線方式であることの特長を生かすことによって、同期時間の短縮化など PPP 接続時間の改善が期待されることから、今後さらに実験結果の詳細な分析が必要であるとともに、実用化に向け接続動作を改良した実証実験が求められる。

なお、PPP 接続方式では、移動局側から IP ネットワークに接続するしかなく、電子メールの着信確認を行う度に PPP 接続操作を要し煩雑であるため、統制局 (基地局) 側から市町村デジタル移動通信システムの本来機能であるショートメッセージ機能を活用して移動局側にメール着信を知らせるなどの工夫も検討する必要がある。

6.3 情報端末との接続インターフェースの改善

無線装置としての技術的な課題と改善方策は、6.1 及び 6.2 で述べたところであるが、その他にも実用化に当たって利用者の利便性の向上に関し、無線装置と情報端末との接続インターフェースの改善が課題となった。

(1) 課題と考察

今回の実験では、無線装置にプロトコル変換アダプタ (データ通信アダプタ) を付加するとともに、そのインターフェースが無線機側と PC 側の両方ともシリアルポートであった。利用者の利便性やコストを考慮すると、パソコンや PDA (携帯情報端末) とはプロトコル変換アダプタ等の付加装置無しで、直接、無線装置と接続できることが望ましい。

また、最近のパソコンや PDA は、IP 網の普及と小型化の流れを受け、シリアルポートではなく 10BASE-T や USB の端子を備えるようになってきていることから、これに対応できるようなインターフェースへの改善が課題である。

(2) 今後の方策

情報端末と直接接続するための無線装置のインターフェースとしては、最近の動向を踏まえ、10BASE-T 等の標準的なポートにすることが望まれる。

これにより、接続動作の改良による接続時間の短縮化と合わせ、実用性が一層向上するものと考えられる。

第7章 今後必要な取り組み

7.1 第1世代の早期実用化をめざした継続研究

(1) 継続研究の必要性

今年度は、IT社会に相応しい自営無線の高度化を図るとともに電波の有効利用の促進をめざして、V,UHF帯の自営移動無線におけるIP通信の有用性等について総合的な研究を行ってきた。

また、その具体化研究の初期段階として、第1世代の基礎的な実証実験を行った結果、自営無線における第1世代IP通信の有用性は認められたものの、第6章に挙げたような誤り訂正強度の問題、通信速度やIPネットワークとの接続性等について課題が明らかになるとともに、改善方策が示されている。

したがって、第1世代の早期実用化に一定の目処を付けるため、今年度課題とされた事項に関して1年程度の継続研究が必要である。

(2) 求められる継続研究の概要

今年度の研究成果を基に、市町村デジタル移動通信システムのフルスロット利用等による高速化を図った上で、適切なIPパケットサイズや接続性の改善について実証実験により検証するとともに、実用化後のアプリケーションの例としてインターネットを介した異無線システム間のIP統合を想定し、800MHz帯デジタルMCA陸上移動通信システムとの相互接続実験などの研究が求められる。

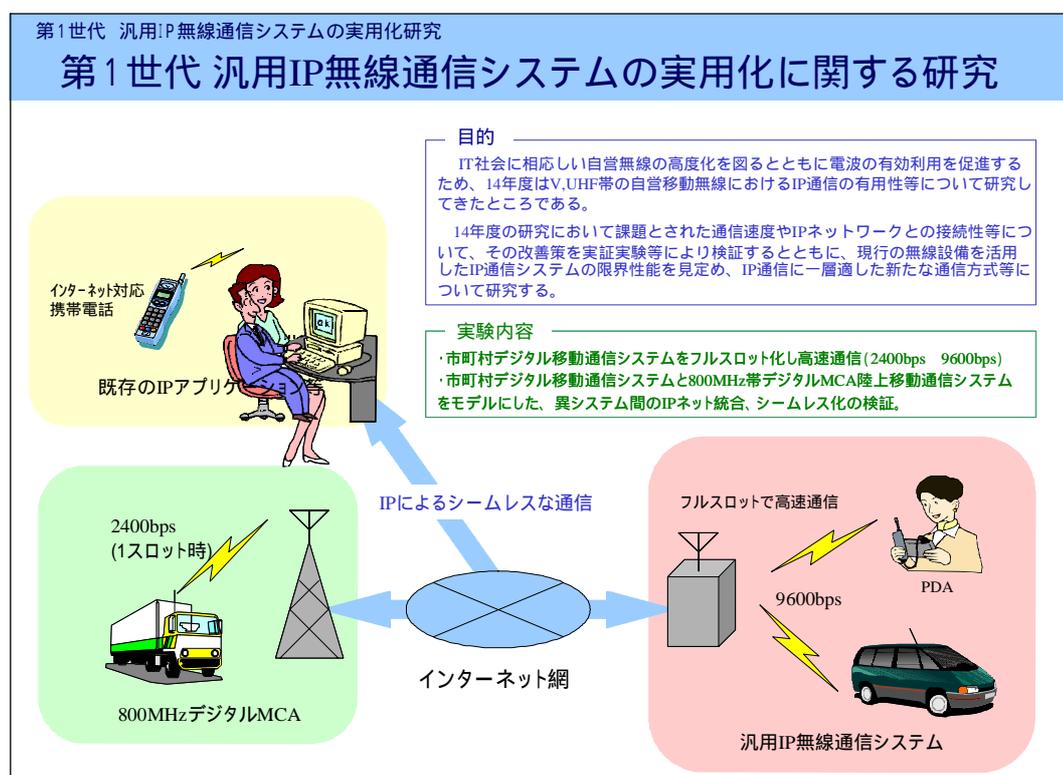


図7.1 第1世代継続研究の概念図

7.2 第2世代の実証システム構築に向けた研究

(1) 研究の必要性

第1世代の汎用IP無線通信システムの通信方式は、安定的に音声通信しながら電子メールが使えるというメリットがあったが、逆に、高速通信ニーズに十分に応えられないというデメリットもあった。

第2世代では、データ通信専用と割り切った通信方式にすることによって、高速データ通信のニーズに応えるとともに、データ通信における周波数利用効率の向上が図られ、第1世代と棲み分けた利用が期待される。

したがって、第2世代の汎用IP無線通信システムの実用化に向け、実証システムの構築に必要な技術の検討を行うとともに、実証システムの構築による実フィールド実験を通じて、実用化に必要な無線設備の技術的条件を把握するための研究が必要である。なお、新たな通信方式となることから、実証システムの検討、基礎実験、実証実験のステップを踏んだ研究が必要で、3カ年程度の研究期間の確保が望ましい。

(2) 求められる研究の概要

第2世代研究においては、IP通信に適した新たな通信方式の研究と、それを実現する物理層（無線通信方式）並びにデータリンク層（無線区間のプロトコル）の研究が求められる。

また、実用化に当たっては、性能を十分に活用するためのアプリケーション面からの研究も必要とされる。

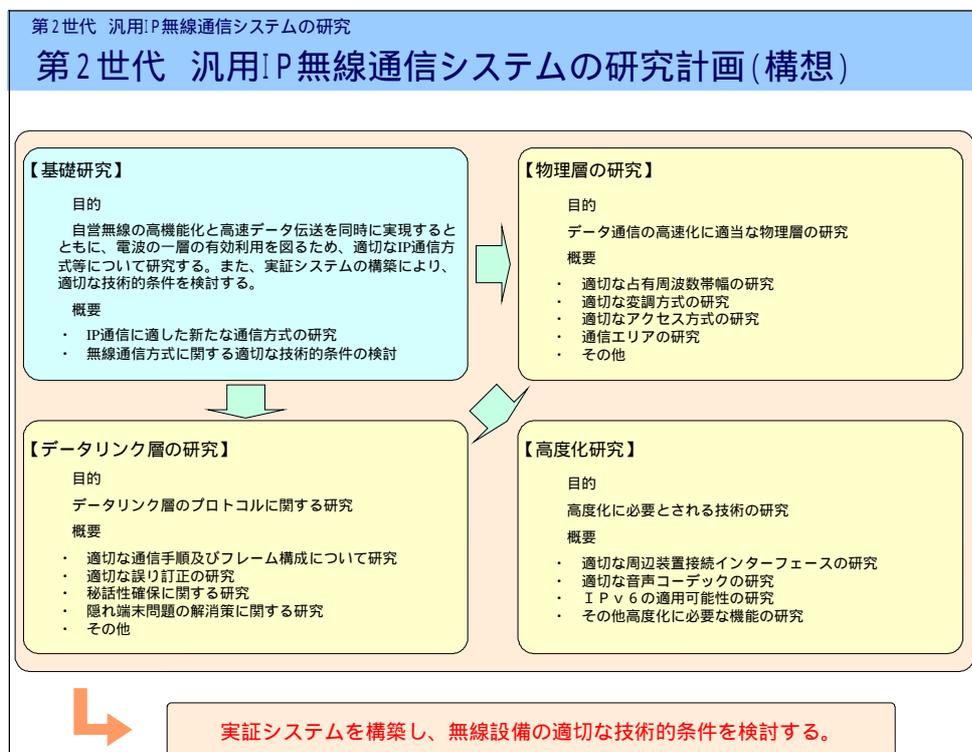


図7.2 第2世代研究の概念図

7.3 第3世代に求められる機能等の研究

(1) 研究の必要性

第3世代の汎用IP無線通信システムは、第1世代、第2世代と異なり、動画伝送も可能なブロードバンド対応の超高速データ通信システムとして位置付けられている。近年のブロードバンド化の状況から、自営無線においても超高速データ通信のニーズが高まるものと予測され、実用化に向けた研究が必要である。

(2) 求められる研究の概要

超高速データ通信をV, UHF帯で実現するためには、広帯域無線通信技術の研究が必要であるとともに、周波数確保の問題が出てくるため、長期的展望に立って継続的に研究していくことが求められる。

このため、当面、第2世代研究を元に、第3世代に求められる機能や技術の把握に努めることとし、研究機関における研究成果等との連携も視野に取り組みることが望まれる。

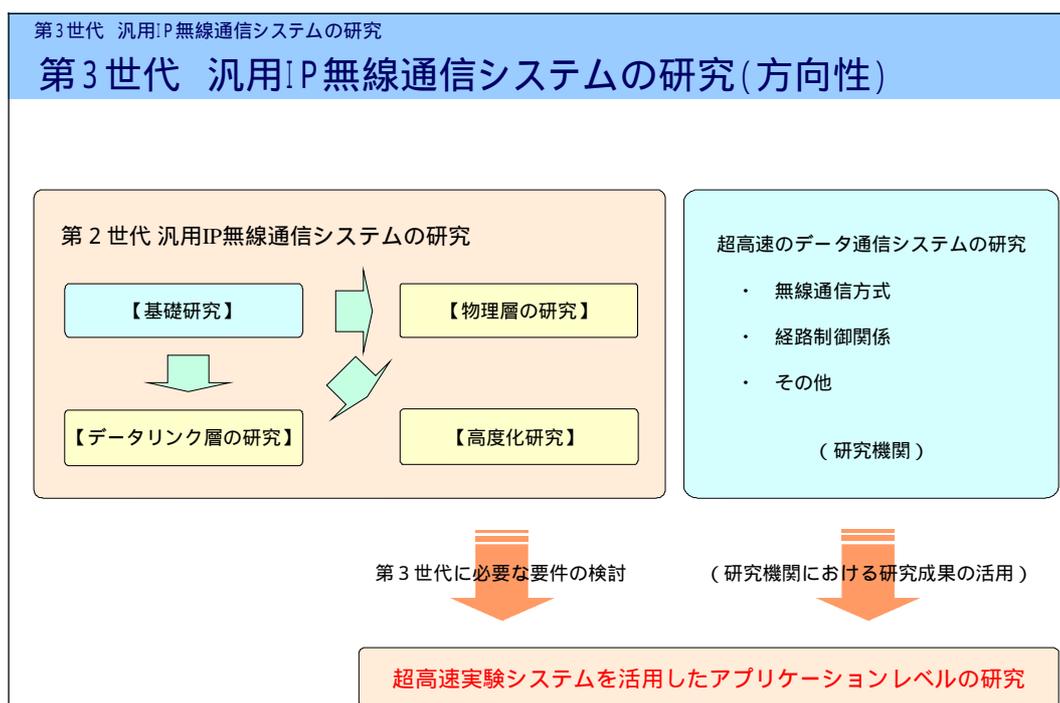


図7.3 第3世代研究の概念図

7.4 周波数の確保

狭帯域デジタル通信方式の占有周波数帯幅は 24.3kHz と定められており、周波数割当は 25kHz 間隔になっている。しかし、この周波数幅で実現可能な通信速度には限界がある。第2世代の実用化に当たっては、占有周波数帯幅を 24.3 ~ 100kHz 程度とした新たな無線通信方式について技術基準等を整備する必要がある。また、25kHz 間隔の周波数 2 ~ 4 波相当の帯域を一つの周波数としての割当の検討が必要である。

第3世代の実用化に当たっても、占有周波数帯幅が数百 kHz 以上必要になるので、十分な周波数帯域の確保が必要となる。

なお、データ通信速度を上げるため広帯域化した場合は、周波数利用効率の観点から 1 周波数チャンネル当たりの収容局数を増やす必要がある。しかし、収容局数を増やすと、1 通話のデータ量にもよるがパケットの衝突又は送待ち時間が増えてくる。この相関関係については、パケットサイズ等の無線区間のプロトコルによるところが大きいことから、プロトコル設計に合わせて適切な収容局数の検討が求められるとともに、実フィールドでの検証が必要である。

7.5 まとめ

研究に当たっては、まず最初に自営無線のニーズを踏まえ IP 通信の有用性を整理したところであるが、有用性を示す要因がハード的な要素とソフト的な要素が複雑に絡み合っており、一つのシステムで全てのニーズを満足させることはコストパフォーマンスや周波数利用効率の面から適当ではないと判断し、汎用 IP 無線通信システムをニーズの種類等に応じて3世代構成に分類している。

それぞれの世代のシステムは、

既存システムを活用したいか、新たなシステム導入でもよいか。

伝送情報が音声中心か、データ中心か。

通信速度は低速でよいか、高速又は超高速が必要か。

データの場合、1 通信当たりのデータ量、頻度・回数

導入コスト

など、利用者のニーズに応じて使い分けられるものである。

ユーザーが何れの世代を選択するにせよ、IT 社会の進展に伴って多様化するニーズに的確に応えるためには、適切な選択肢を提供しておくことが重要であると考え。そのためにも3世代ともに実用化が望まれるが、汎用 IP 無線通信システムの研究は無線とネットワークに関する非常に広範な検討を要することから、必然的に複数年に渡る取組が必要となる。

したがって、今後も引き続き、早期実用化をめざした第1世代の継続研究と第2世代の実証システム構築に向けた研究が必要であり、併せて、第3世代として求められる技術・機能等の研究も望まれるとの結論に至ったものである。

技 術 資 料

技術資料 各種変調方式の実効伝送速度等のシミュレーション結果

1 変調方式による誤り率のシミュレーション

本編 4.3 (P37) について、各変調方式の

受信入力電圧 (E_r) 対 ビット誤り率 (BER)

受信入力電圧 (E_r) 対 フレーム誤り率 (FER)

のシミュレーション結果を列記する。

1.1 受信入力電圧 (E_r) 対 ビット誤り率 (BER)

先ず初めに、伝送特性の基礎データである『受信入力電圧 (E_r) 対 ビット誤り率 (BER) 特性』を以下に示す。本データからサービス品質を直接推定することはできないが、シミュレーションの第1ステップとして掲載している。

シミュレーション結果としては、各変調方式、各伝搬路条件に対し、BER (= 誤り訂正前 BER)、硬判定ビタビ復号 (= 誤り訂正後 BER)、軟判定ビタビ復号 (= 誤り訂正後 BER) の3種類をプロットした。また、シミュレーションの正常性を確認するため BER には理論値を併記した。

「受信入力電圧 対 誤り訂正前 BER」は、静特性 (図中では「BER 理論値 (static)」と表記) とレイリーフェージング特性 (遅延波無し) のフェージング (図中では「BER 特性 (Fading)」と表記) については理論値が存在するが、マルチパスに関しては一般に理論値は存在しない。従って、マルチパス・フェージングに関しては比較参照用として併記したので、遅延波の影響について確認されたい。(図1-3~図1-5参照)

なお、図1-1、図1-2において、 $1/4$ シフト QPSK (遅延検波) 以外は同期検波のため、理想的同期検波を前提としている「BER 理論値」に対して 1~2dB の劣化が見られる。これは、理論値ではパイロットシンボルへの雑音相加による特性劣化を考慮していないことによる。

一方、「受信入力電圧 対 誤り訂正後 BER」については、畳込み符号のビタビ復号に関する理論値が一般には存在しないことから理論値は割愛した。

図1-1~図1-5では、受信機の雑音指数は 8dB (従って、内部雑音電圧の二乗平均値は $-10.8\text{dB}\mu$) とし、外来雑音が無い場合の特性を示した。なお、横軸の平均受信入力電圧は、線形変調による包絡線変動、及び、フェージングによる瞬時値変動のバースト内二乗平均値を示している。また、マルチパス・フェージングについては、先行波の値を示している。(遅延波との合成値ではない。)

平均受信入力電圧がある程度以上大きい場合、誤り訂正前 BER > 硬判定ビタビ > 軟判定ビタビの順となる。

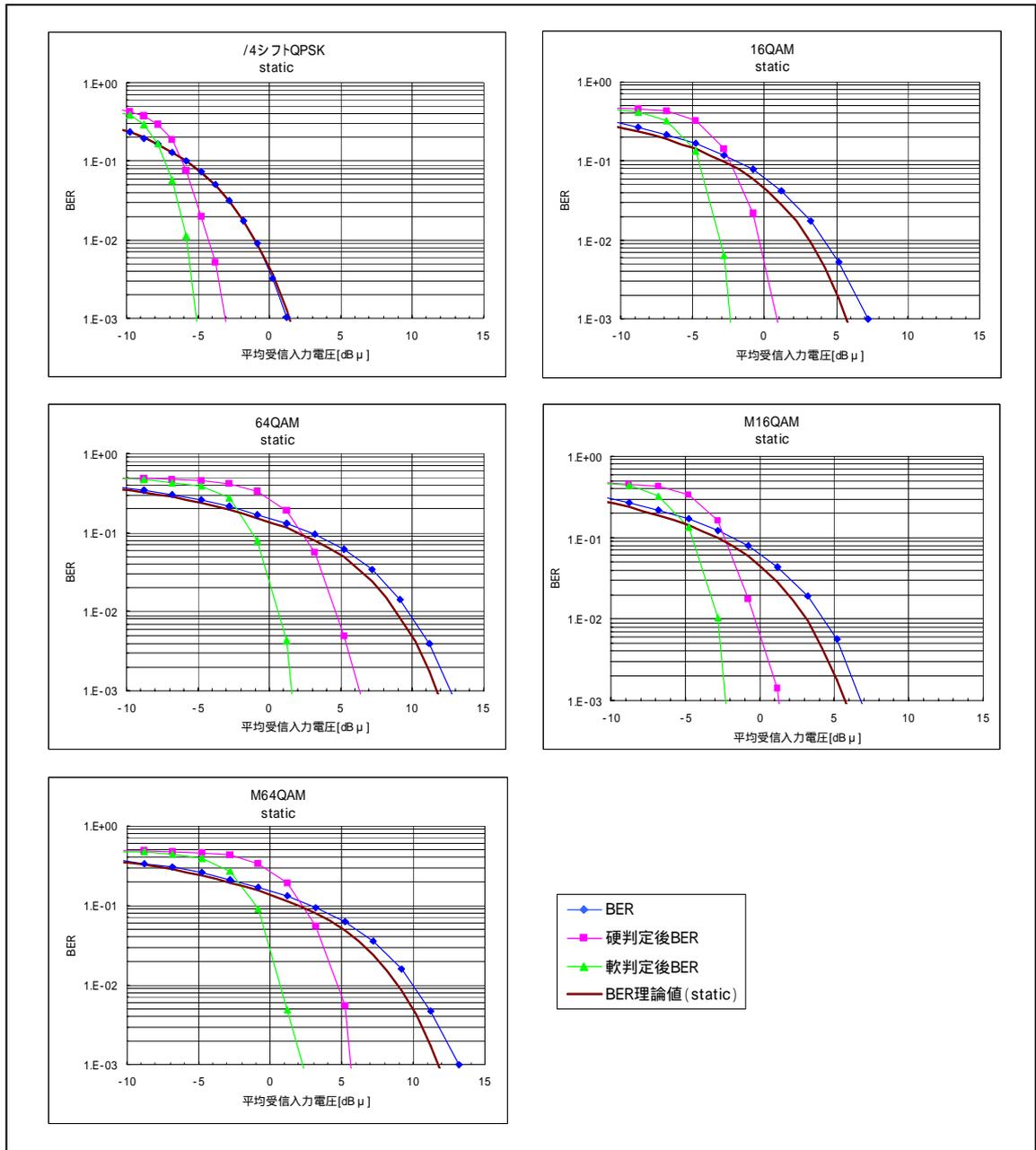


図1 - 1 受信入力電圧(E_r)対ビット誤り率(BER) 静特性

静特性における誤り訂正前 BER は、ほぼ理論値と同一となり、シミュレーションの正常性が確認できた。

誤り訂正後 BER は、硬判定ビタビ復号では誤り訂正前 BER が 10%近傍、軟判定ビタビ復号では誤り訂正前が BER20%近傍で特性が逆転している。

BER1%で比較すると、4 値系 (/4 シフト QPSK) は硬判定で約 3dB、軟判定で 5dB の改善が見られるが、16 値系では硬判定で約 4dB、軟判定で約 7dB、64 値系では硬判定で約 5dB、軟判定で 8~9dB の改善効果が得られている。

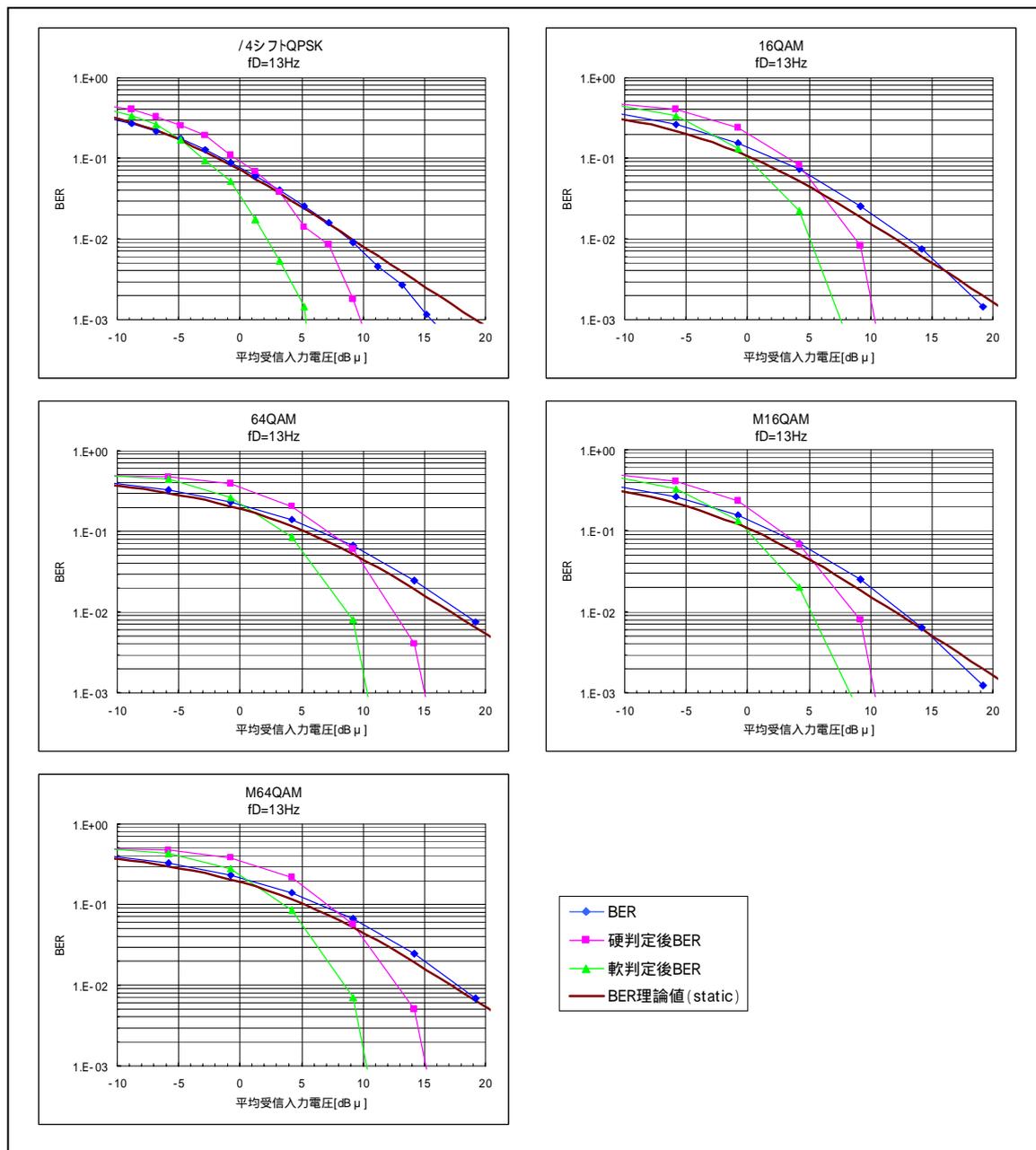


図1 - 2 受信入力電圧(E_r)対ビット誤り率(BER) レイリーフェージング特性(マルチパス無しで計算)

静特性と同様、レイリーフェージング特性における誤り訂正前 BER は、ほぼ理論値と同一となり、シミュレーションの正常性が確認できた。ただ、 /4シフト QPSK の 13Hz フェージング特性が理論値より良くなっている (BER が低い) のは、サンプル数が少ないのでデータに多少偏りがあるためと推測される。

誤り訂正後 BER は、硬判定ビタビ復号では誤り訂正前 BER が 5~8%近傍、軟判定ビタビ復号では誤り訂正前が BER20%近傍で特性が逆転している。BER1%で比較すると、4 値系(/4シフト QPSK) は硬判定で約 2dB、軟判定で約 7dB の改善が見られるが、16 値系では硬判定で 3~4dB、軟判定で 7~8dB、64 値系では硬判定で 4~5dB、軟判定で約 8dB の改善効果が得られている。

次に、マルチパスモデルで示した端末局が、移動中で通信をする場合のシミュレーション結果を以降に示す。(先行波と遅延波の2パスモデル。先行波と遅延波は平均レベル差10dB、最大ドップラー周波数13Hzとした。)

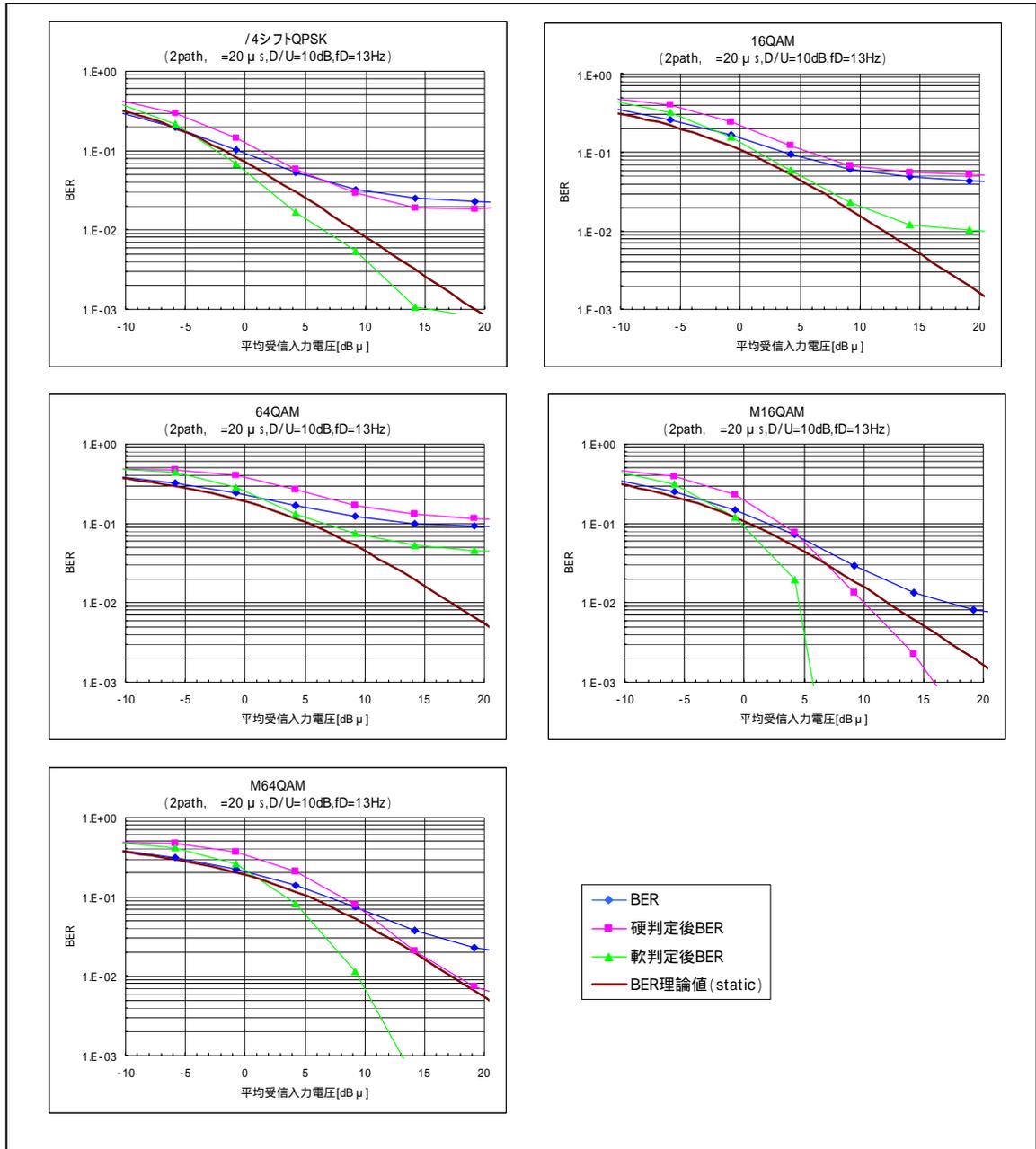


図1 - 3 受信入力電圧(E_r)対ビット誤り率(BER) マルチパス特性(到達時間差 $20 \mu s$)

$D/U=10dB$ 、到達時間差 $=20 \mu s$ のマルチパス・フェージングでは、訂正前 BER において顕著なフロア（受信入力電圧が増加しても一定値以上 BER が改善されない現象）があることがわかる。誤り訂正後 BER では、単一キャリア方式の 16QAM、64QAM でフロアが確認されるものの、他の方式では、特に軟判定ビタビ復号では、フロアは観測されない。

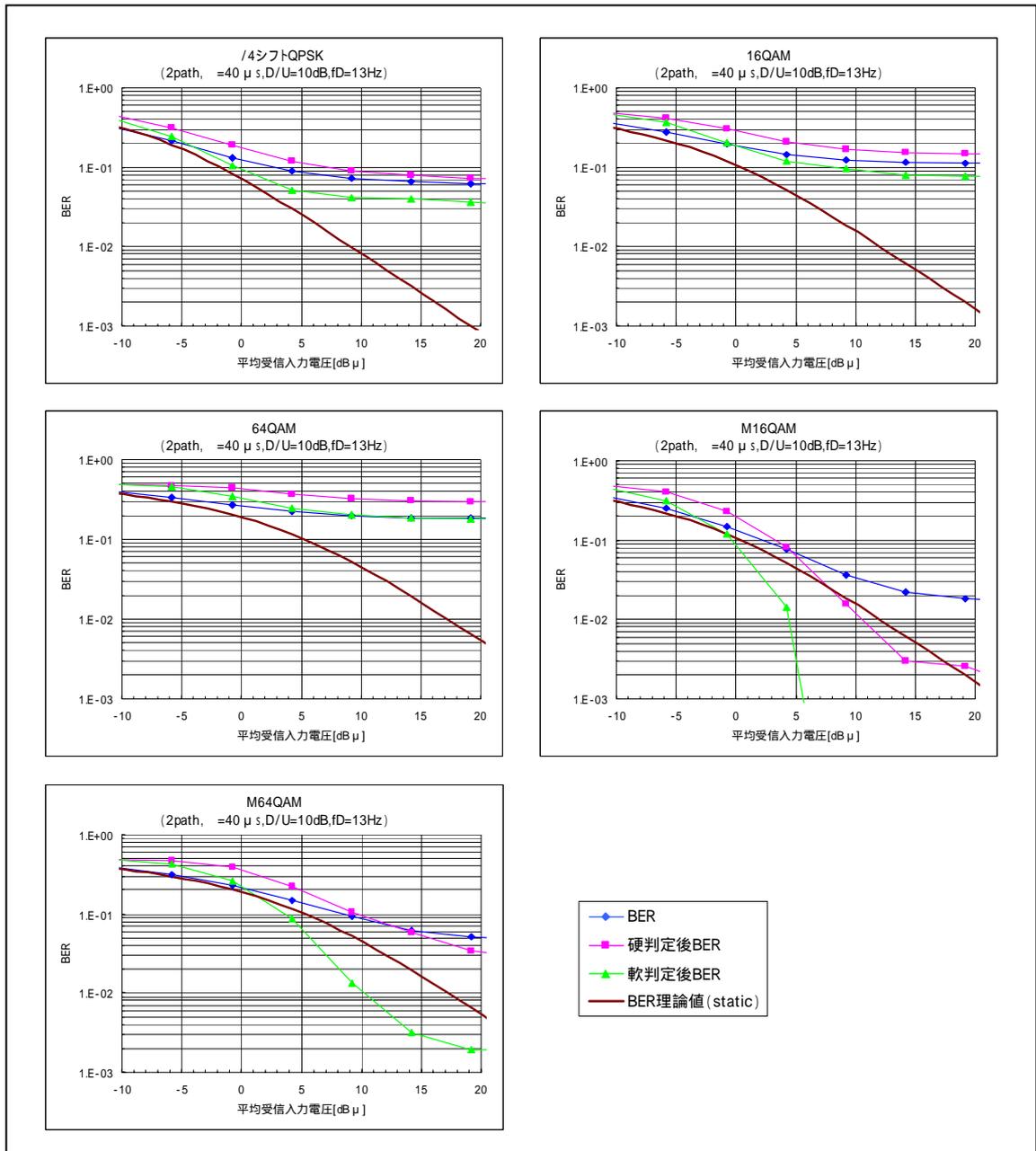


図1 - 4 受信入力電圧(E_r)対ビット誤り率(BER) マルチパス特性(到達時間差 $40 \mu s$)

到達時間差 $=40 \mu s$ では、軟判定ビタビ復号に着目すると、単一キャリア方式では BER 4% ~ 20%のフロアが現れるが、マルチサブキャリア方式では、M16QAM ではフロアは観測されず、M64QAM では約 0.2%のフロアが観測される程度である。

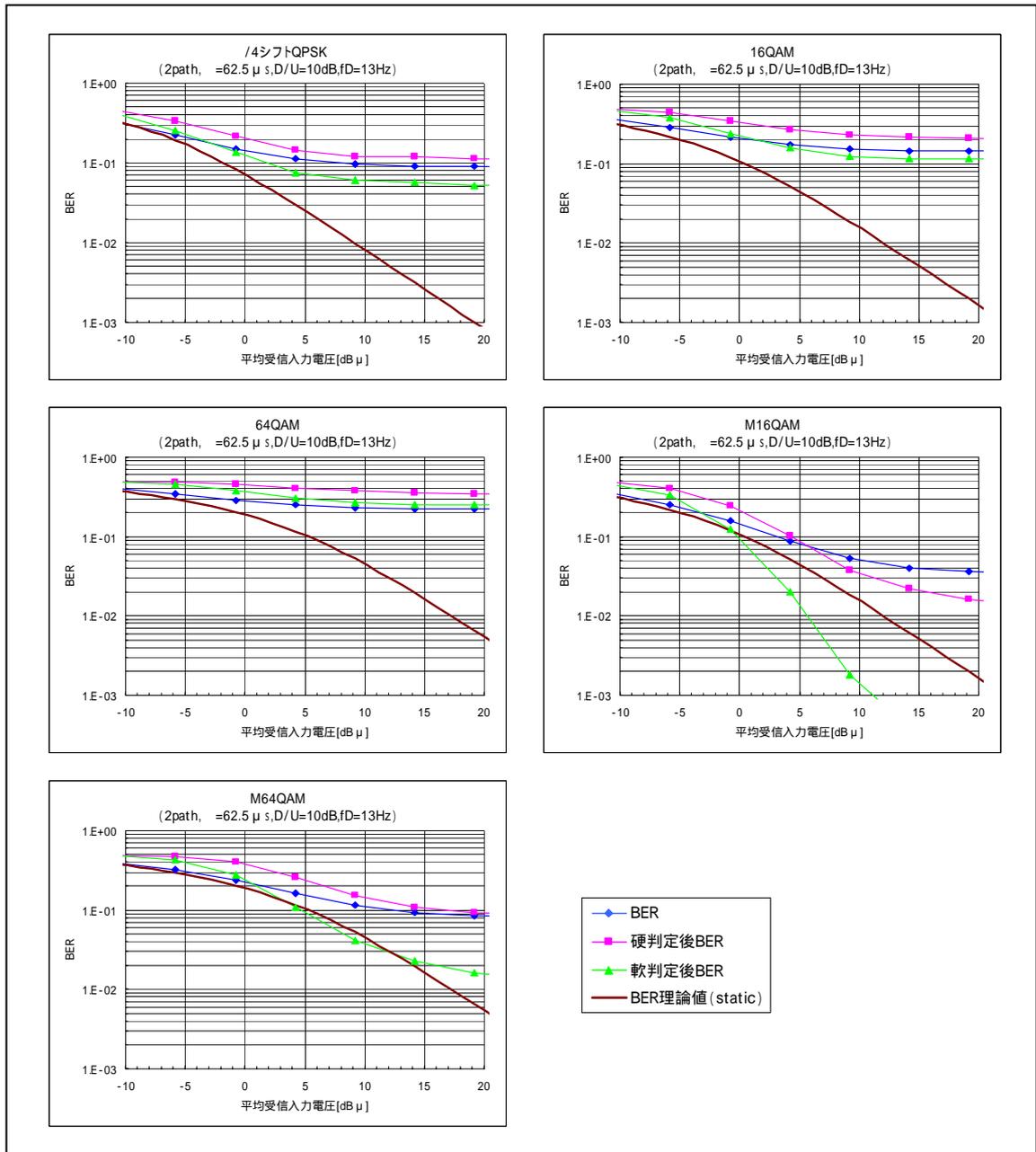


図1 - 5 受信入力電圧(E_r)対ビット誤り率(BER) マルチバス特性(到達時間差 $62.5 \mu s$)

到達時間差 $=62.5 \mu s$ では、前項と同様、軟判定ビタビ復号に着目すると、単一キャリア方式では BER 5% ~ 20% のフロアが現れるが、マルチサブキャリア方式では、M16QAM ではフロアは観測されず、M64QAM では約 2% のフロアが観測される程度である。

1.2 受信入力電圧(E_r) 対 フレーム誤り率(FER)

シミュレーションの第2ステップとして、IP通信のサービス品質を推定するための重要な指標である『受信入力電圧(E_r)対フレーム誤り率(FER)特性』を示す。フレーム誤り率とは、一般には誤り訂正符号単位の受信成功率(復号誤りが1ビットも無い確率)の補数(即ち、各誤り訂正符号において1ビット以上の復号誤りを生じる確率)を指すが、本シミュレーションでは、変調方式によってはバースト内で符号多重を行っている場合もあることから、TDMAフレームとの混同を避けるため、本文中ではユニット誤り率とも表記している。

本シミュレーションが前提とした伝送フォーマットでは、誤り訂正符号毎にCRCが付加されており、誤り訂正符号毎の再送制御が可能な構造となっている。従って、ここではフレーム誤り率は再送率の下限値を与えることになる。

なお、前節と同様、受信機の雑音指数は8dB(従って、内部雑音電圧の二乗平均値は-10.8dB μ)とし、外来雑音が無い場合の特性を示した。

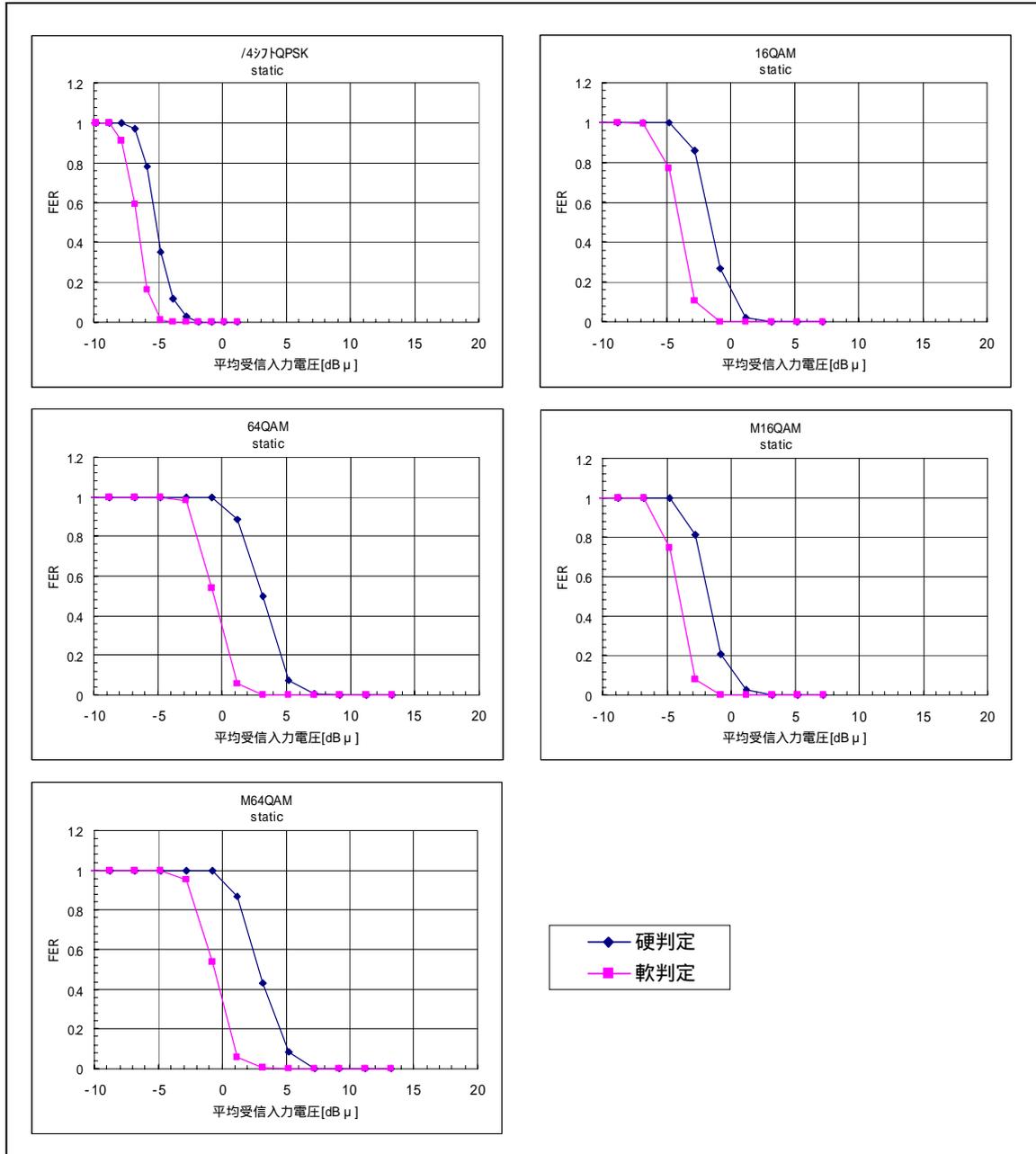


図1 - 6 受信入力電圧(E_r)対フレーム誤り率(FER) 静特性

静特性において、各変調方式により、FER が 0 に収束する平均受信入力電圧が異なるのが分かる。

/4 シフト QPSK が最も低い値となり、次いで 16QAM 及び M16QAM、更に 64QAM 及び M64QAM の順となった。

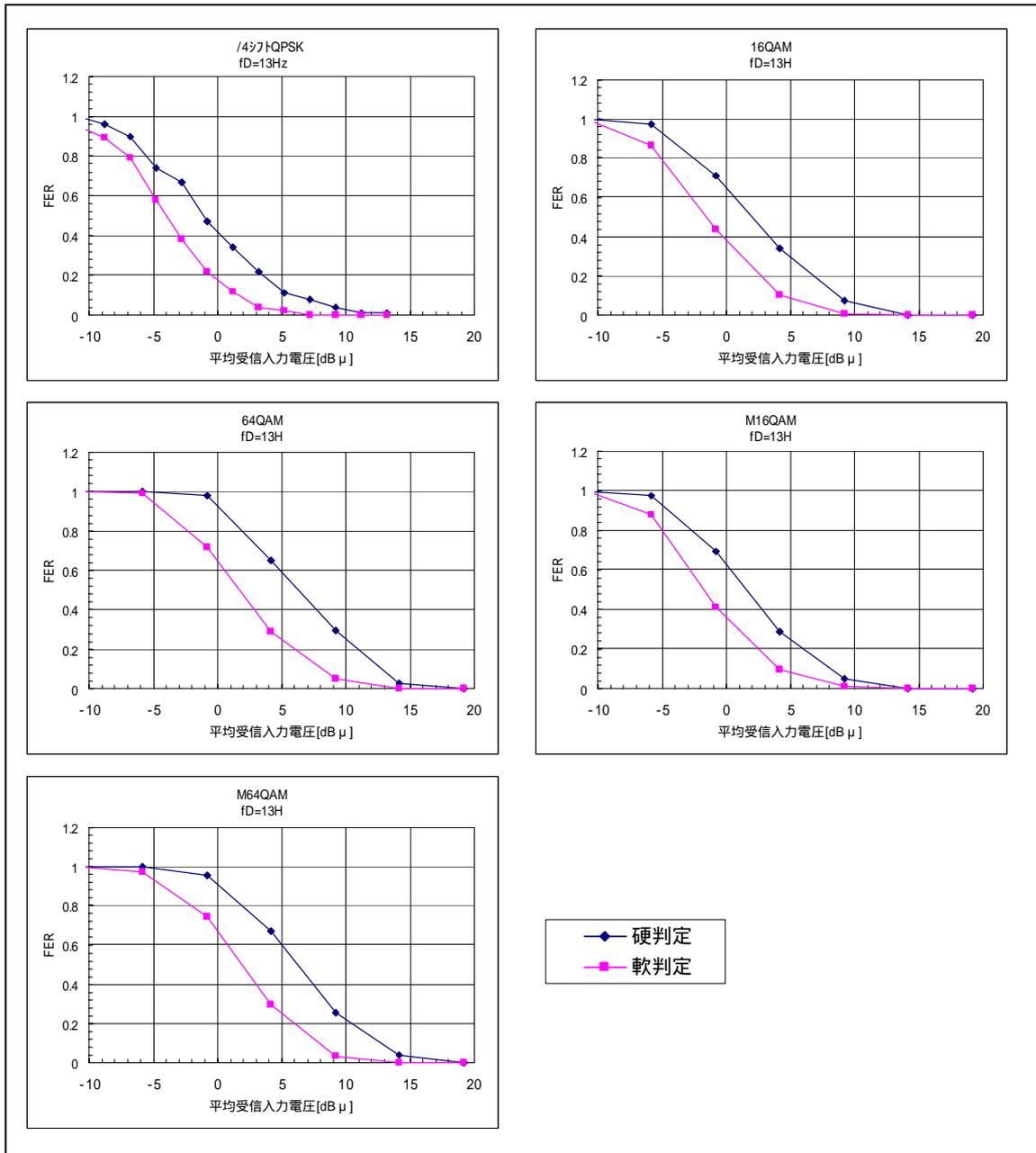


図1 - 7 受信入力電圧(E_r)対フレーム誤り率(FER) レイリーフェージング特性

レイリーフェージング特性においては、FER が 0 に収束するまでの傾きが緩やかになっている。

平均受信入力電圧が増加しても、FER が徐々にしか低下しないことを示している。

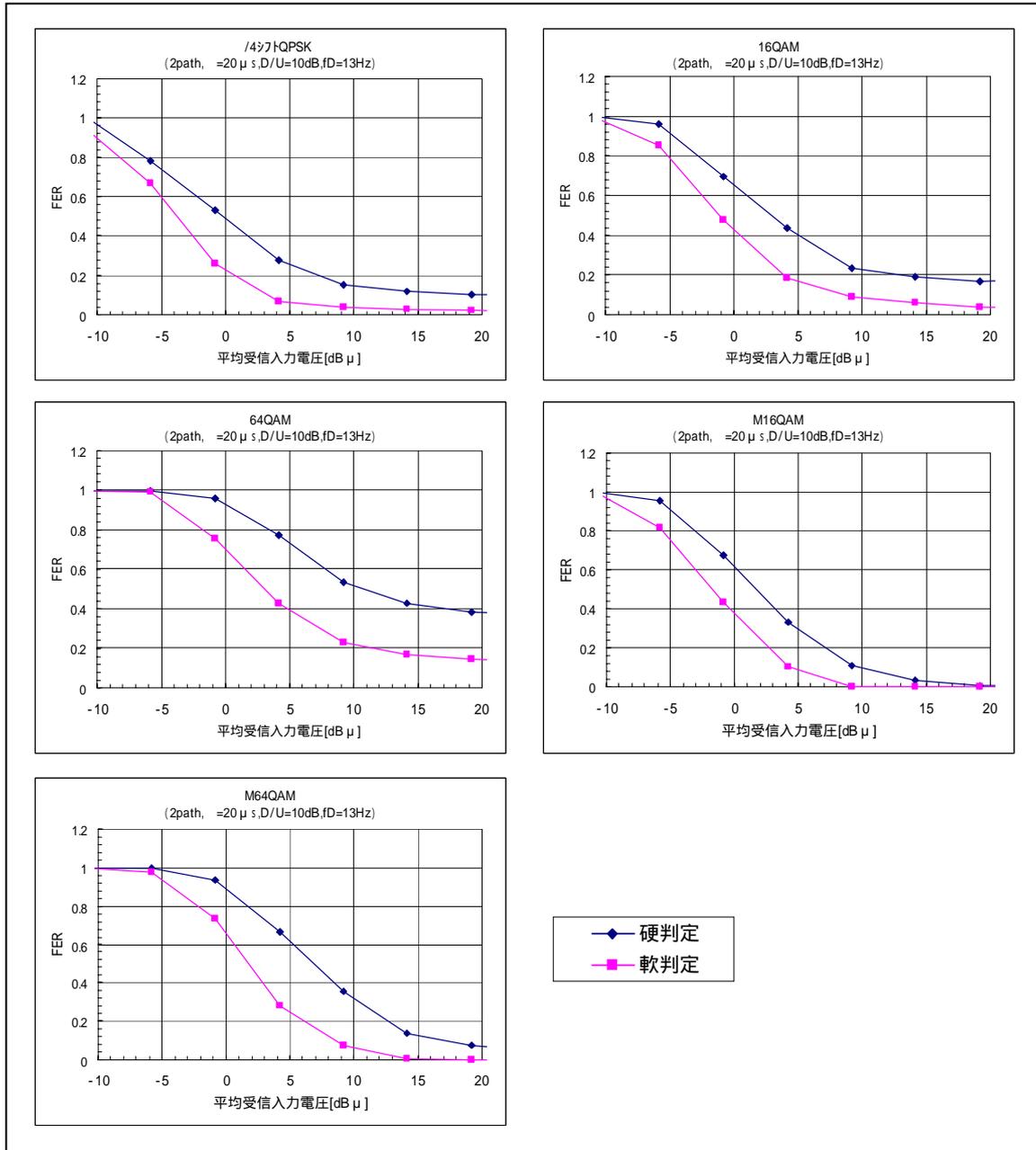


図1 - 8 受信入力電圧(E_r)対フレーム誤り率(FER) マルチパス特性(到達時間差 20 μs)

D/U=10dB、到達時間差 ≈20 μs のマルチパス特性においては、硬判定ビタビ復号における FER でフロアがあることが分かる。軟判定ビタビ復号においても、単一キャリア方式で FER のフロアが見られる。特に、16QAM と 64QAM が顕著である。

また、マルチサブキャリア方式 (M16QAM 及び M64QAM) は単一キャリア方式に比べて劣化量が少ないことが確認できる。

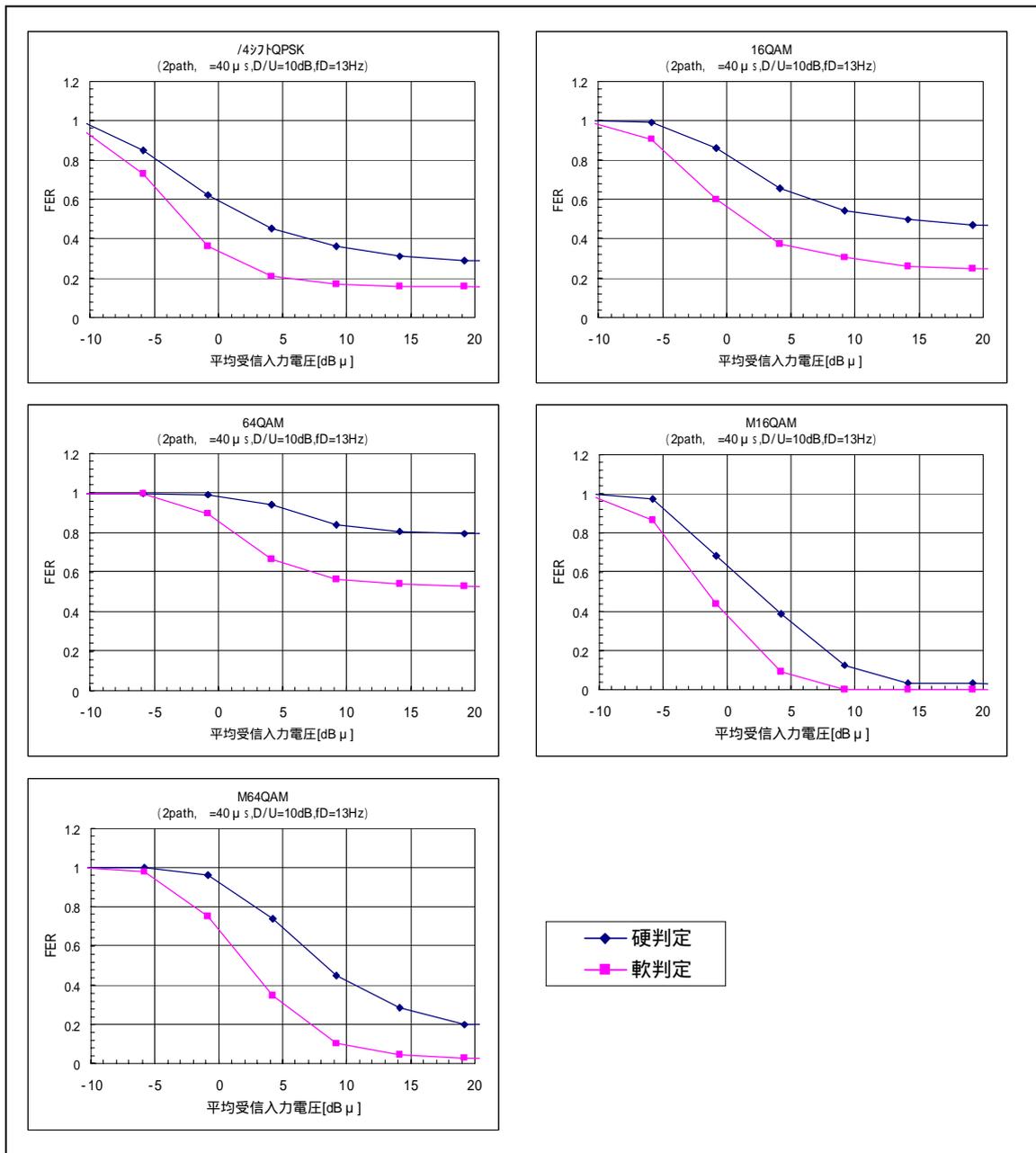


図1 - 9 受信入力電圧(E_r)対フレーム誤り率(FER) マルチパス特性(到達時間差 40 μs)

到達時間差 =40 μs では、軟判定ビタビ復号においても、単一キャリア方式で FER の著しいフロアが見られる。

また、M64QAM でも幾分フロアが見られるが、M16QAM ではフロアは見られない。

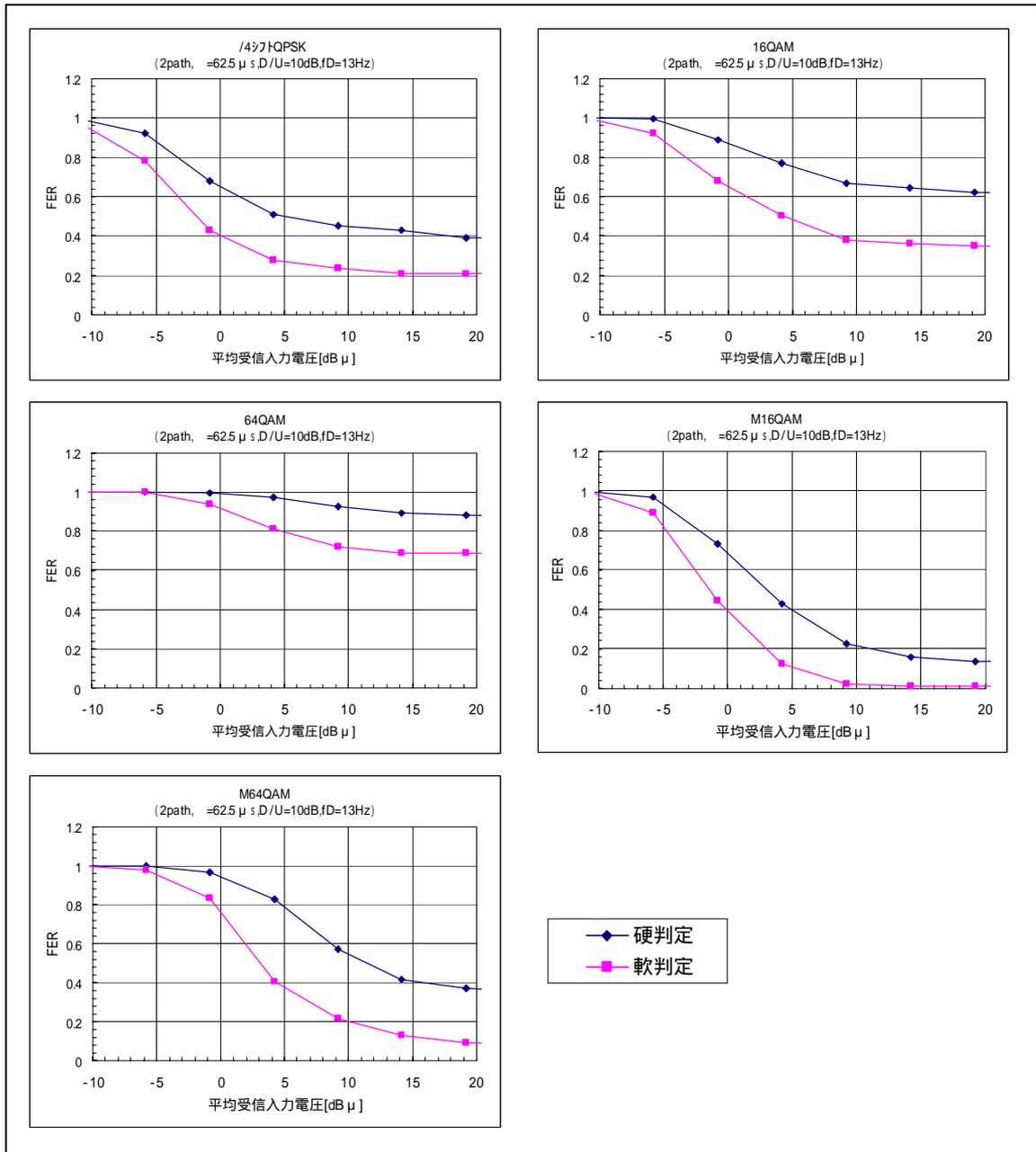


図1 - 10 受信入力電圧(E_r)対フレーム誤り率(FER) マルチパス特性(到達時間差 62.5 μs)

到達時間差 = 62.5 μs では、軟判定ビタビ復号において、単一キャリア方式で FER の上昇が進行している。

また、M64QAM でもフロアの更なる上昇が見られるが、M16QAM ではフロアは見られない。

2 スループットのシミュレーション

シミュレーションの第3ステップとして、前項のフレーム誤り率のシミュレーションを基に、各変調方式のスループット（実効伝送速度）を計算により求めた。なお、本計算では条件として、4スロット同時割当において、スロット毎に逐次的な部分再送形の再送制御（あるユニットのACK信号を受信できなかった場合、または、NACK信号を受信した場合、そのユニット（誤り訂正符号）のみを選択的に再送）を行ったと仮定して、次式により算出した。

$$\text{実効伝送速度} = (\text{最大伝送速度}) \times (1 - FER)^2$$

なお、最大伝送速度は、本編 P34 表 4.2 - 3 に示した通りであり、以下に再掲する。

表 2 最大伝送速度

変調方式	最大伝送速度
/4 シフト QPSK	9.6 kbit/s
16QAM	17.6 kbit/s
64QAM	26.4 kbit/s
M16QAM	16.0 kbit/s
M64QAM	24.0 kbit/s

前節と同様、受信機の雑音指数は 8dB(従って、内部雑音電圧の二乗平均値は - 10.8dB μ)とし、外来雑音が無い場合の特性を示した。

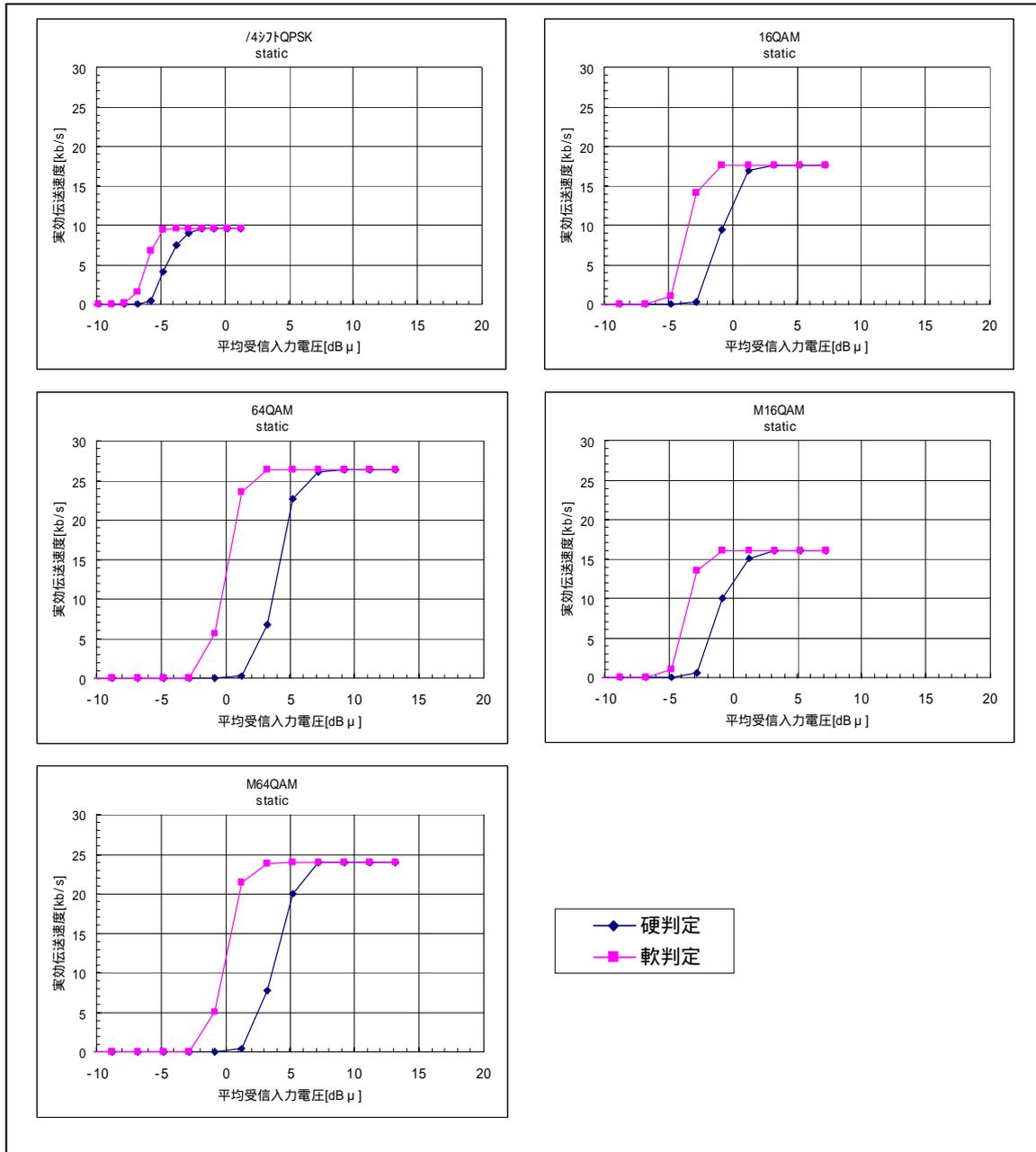


図2 - 1 実効伝送速度 静特性

静特性において、各変調方式により、実効伝送速度の最大値に収束する平均受信入力電圧が異なるのが分かる。

1/4シフトQPSKが最も低い値となり、次いで16QAM及びM16QAM、更に64QAM及びM64QAMの順となった。

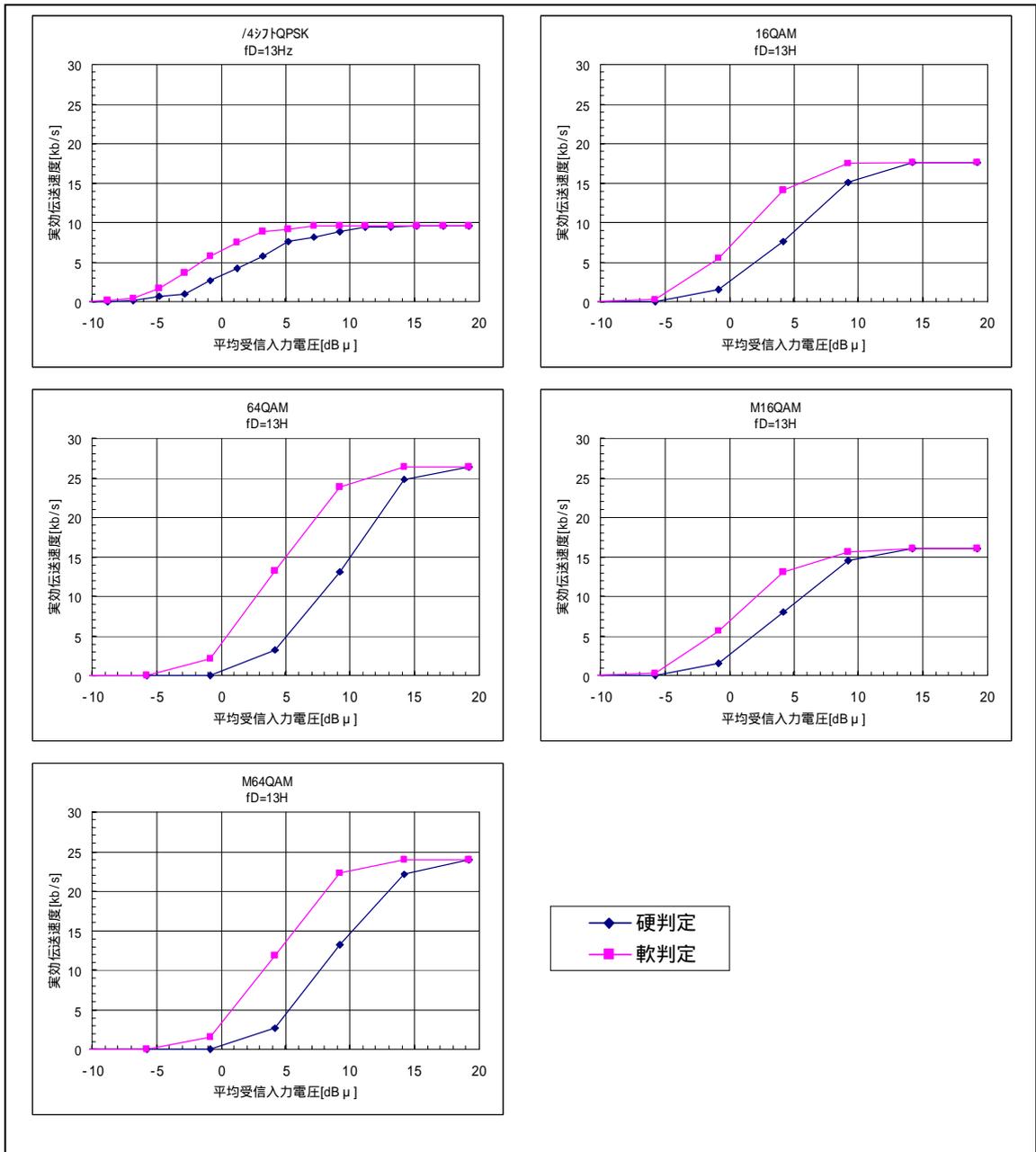


図2 - 2 実効伝送速度 レイリーフェージング特性

レイリーフェージング特性においては、実効伝送速度の最大値に収束するまでの傾きが緩やかになっている。平均受信入力電圧が増加しても、実効伝送速度が上昇しないことを示している。

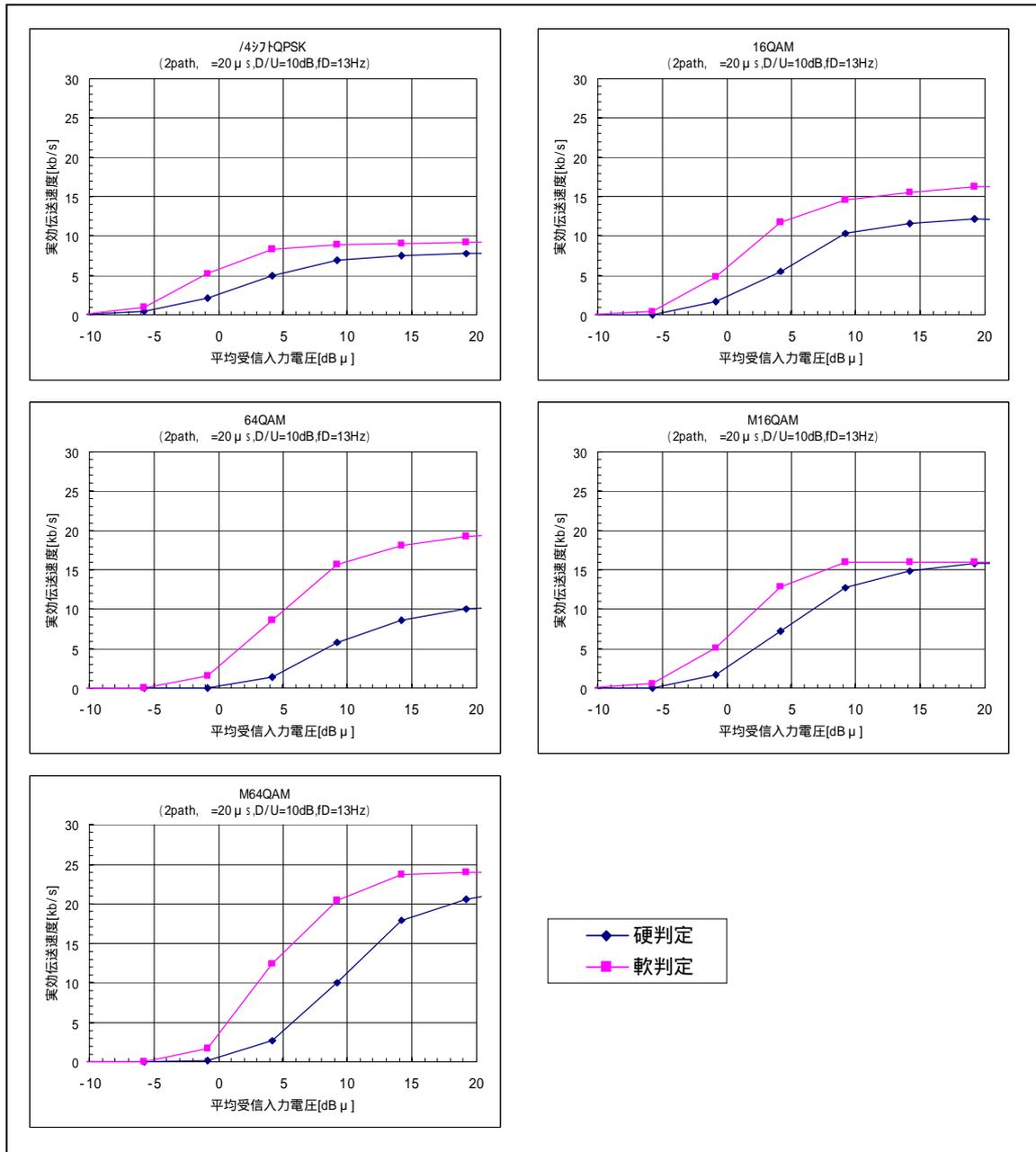


図2 - 3 実効伝送速度 マルチパス特性(到達時間差 20 μs)

D/U=10dB、到達時間差 =20 μs のマルチパス特性においては、硬判定ビタビ復号における実効伝送速度の最大値が低下していることが分かる。軟判定ビタビ復号においても、単一キャリア方式で実効伝送速度の低下が見られる。特に、16QAM と 64QAM が顕著である。

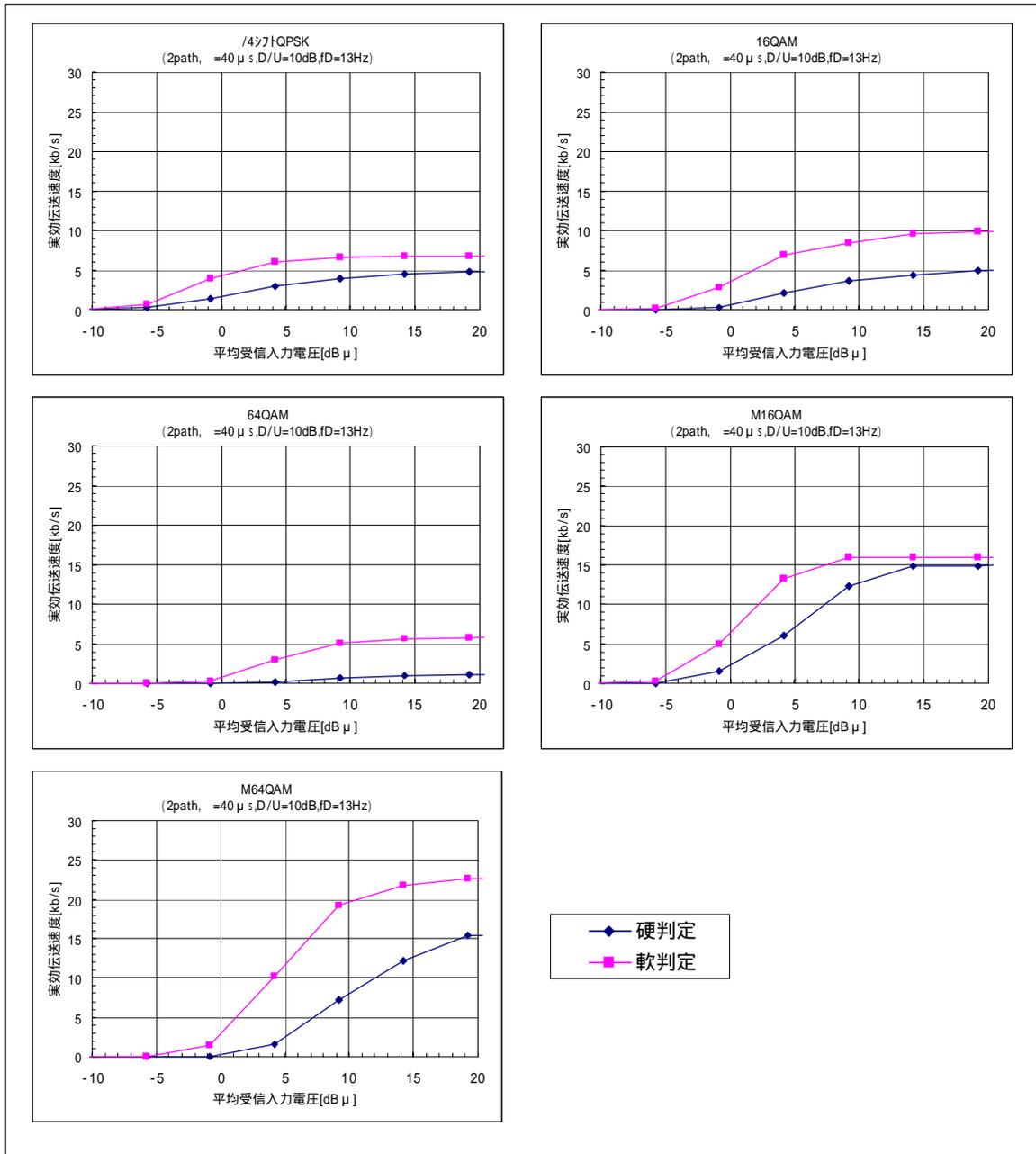


図2 - 4 実効伝送速度 マルチパス特性(到達時間差 40 μs)

到達時間差 =40 μs では、軟判定ビタビ復号においても、単一キャリア方式で実効伝送速度の著しい低下が見られる。また、M64QAM でも幾分最大値の低下が見られるが、M16QAM では最大値の低下は見られない。

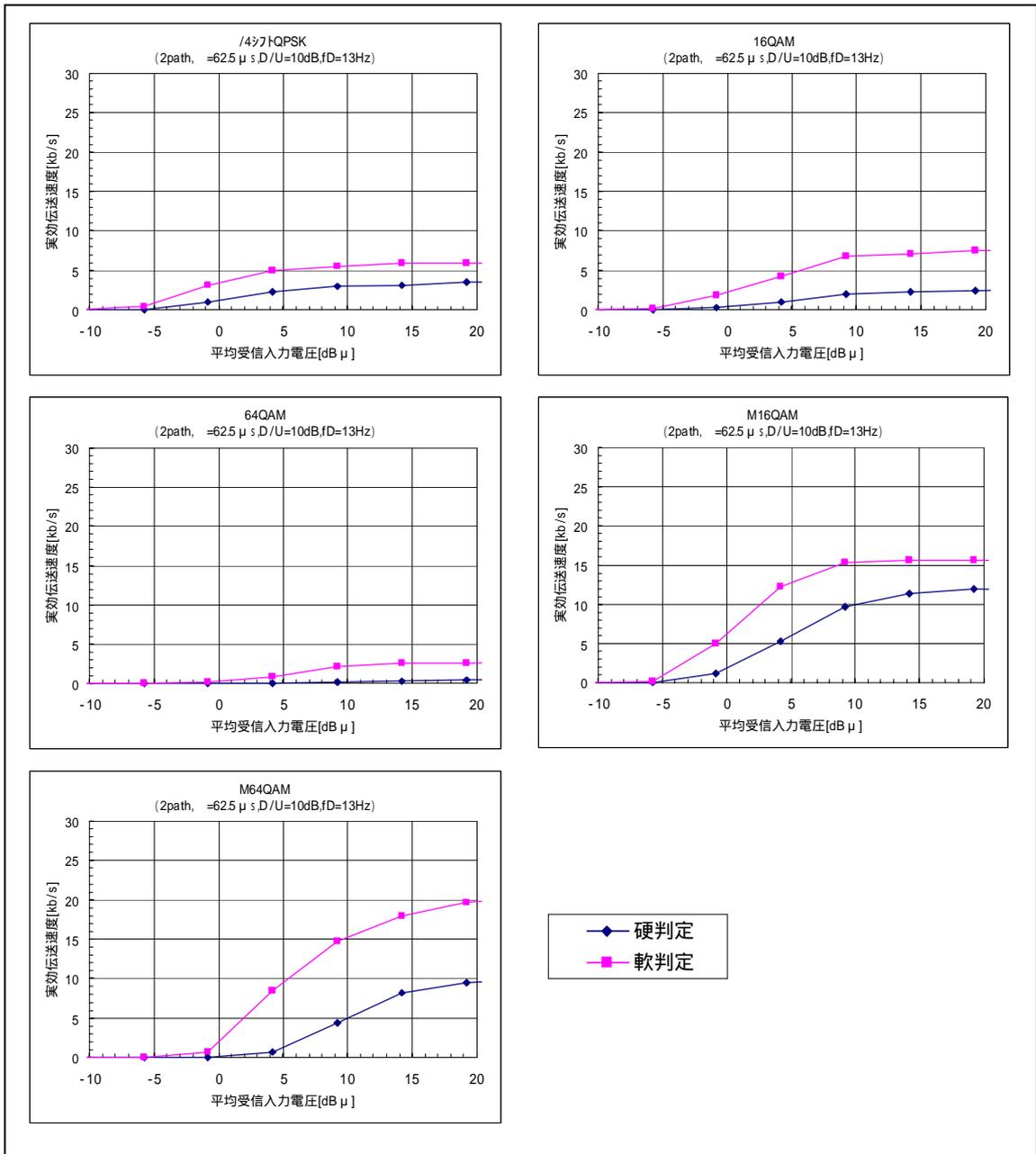


図2 - 5 実効伝送速度 マルチパス特性(到達時間差 62.5 μs)

到達時間差 =62.5 μs では、軟判定ビタビ復号において、単一キャリア方式で実効伝送速度の低下が進行している。また、M64QAM でも最大値の更なる低下が見られるが、M16QAM では最大値の低下は見られない。

3 サービスエリアのシミュレーション

シミュレーションの最終ステップとして、前章のスループットのシミュレーションシミュレーション結果から、回線設計モデルに基づく確率計算(モンテカルロ法)によりサービスエリア(基地局からの距離対実効伝送速度)を算出した。なお、サービスエリア算出で使用した回線設計モデルを表3に示す。

表3 回線設計モデル

項目	規定値	備考
基地局実効輻射電力(ERP)	10W	153+2.15=155.15dB μ
基地局実効空中線高	30m	距離減衰係数 =3.52
回線周波数	260MHz	
伝搬路特性	市街地 (中小都市モデル)	短区間中央値変動分布の 標準偏差 =5.6dB
端末局実効空中線高	1.5m	
端末局空中線利得	2.15dBi	
端末局給電線損失	1.0dB	
端末局等価雑音帯域幅	16kHz	内部雑音レベル=-10.8dB μ
端末局受信機雑音指数	8dB	
端末局外来雑音レベル	-5dB μ	総合雑音レベル=-4.0dB μ

なお、本編P36 4.2(4)仮想伝搬路で想定したマルチパスは、サービスエリアの周辺部(基地局からの距離10km近傍の地点)における条件としていることから、図3-3~図3-5では、10km近傍以外は参考値として掲載している。基地局近傍の特性については、図3-1、図3-2を参照されたい。

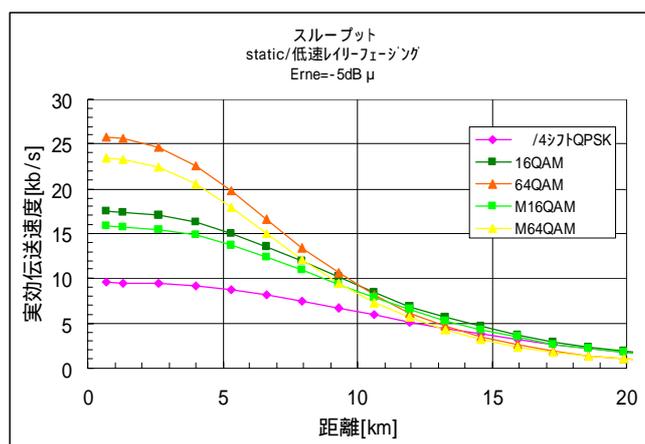


図3-1 サービスエリア 静特性及び低速レイリーフェージング特性

基地局から10km前後の円環状のエリアにおける実効伝送速度の平均値は、1/4シフトQPSKで6.3kb/s、16QAMで9.3kb/s、64QAMで9.3kb/s、M16QAMで8.5kb/s、M64QAMで8.3kb/sとなった。

ゾーンのフリッジにおいて停止状態の回線では、16QAMと64QAMが9.3kb/sで実効伝送速度の平均値が最大であった。

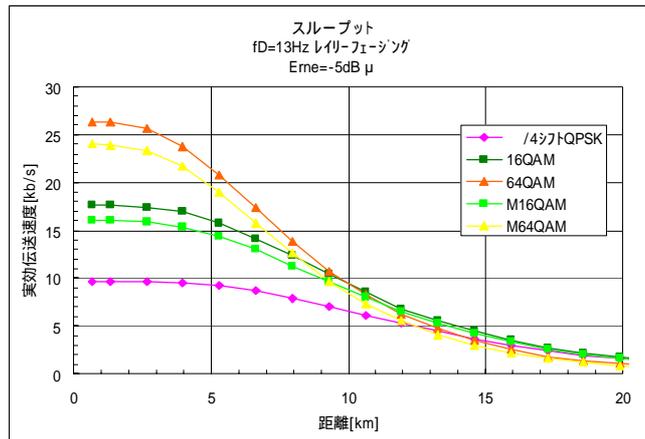


図3 - 2 サービスエリア レイリーフェージング特性

レイリーフェージング特性においては、基地局から 10km 前後の円環状のエリアにおける実効伝送速度の平均値は、 $1/4$ シフト QPSK で 6.6kb/s、16QAM で 9.4kb/s、64QAM で 9.5kb/s、M16QAM で 8.8kb/s、M64QAM で 8.4kb/s となった。

ゾーンのフリッジにおいて最大ドップラー周波数 13Hz の回線では、64QAM が 9.5kb/s で実効伝送速度の平均値が最大であった。

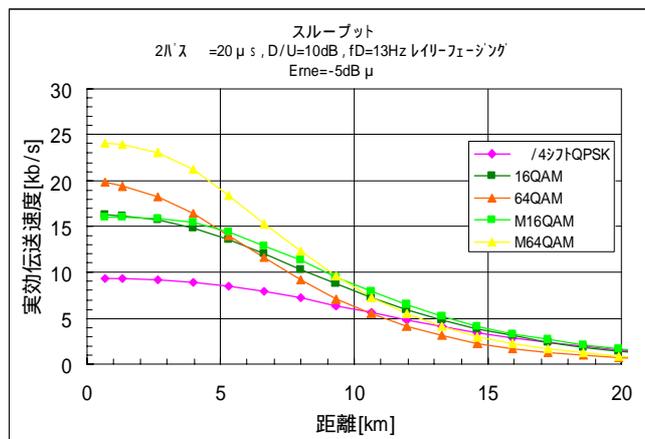


図3 - 3 サービスエリア マルチパス特性 (到達時間差 20 μ s)

マルチパス特性 (到達時間差 20 μ s) においては、基地局から 10km 前後の円環状のエリアにおける実効伝送速度の平均値は、 $1/4$ シフト QPSK で 6.0kb/s、16QAM で 8.0kb/s、64QAM で 6.2kb/s、M16QAM で 8.7kb/s、M64QAM で 8.4kb/s となった。

ゾーンのフリッジにおいて D/U=10dB、到達時間差 =20 μ s、最大ドップラー周波数 13Hz の回線では、M16QAM が 8.7kb/s で実効伝送速度の平均値が最大であった。

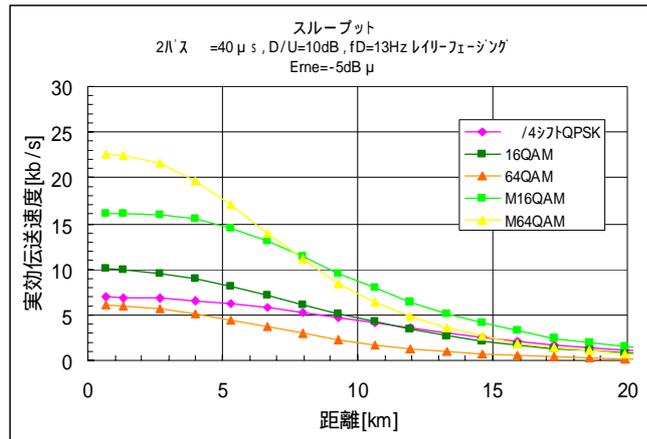


図3 - 4 サービスエリア マルチパス特性(到達時間差 40 μ s)

マルチパス特性 (到達時間差 40 μ s) においては、基地局から 10km 前後の円環状のエリアにおける実効伝送速度の平均値は、1/4シフト QPSK で 4.4kb/s、16QAM で 4.7kb/s、64QAM で 2.0kb/s、M16QAM で 8.7kb/s、M64QAM で 7.4kb/s となった。

ゾーンのフリッジにおいて D/U=10dB、到達時間差 =40 μ s、最大ドップラー周波数 13Hz の回線では、M16QAM が 8.7kb/s で実効伝送速度の平均値が最大であった。

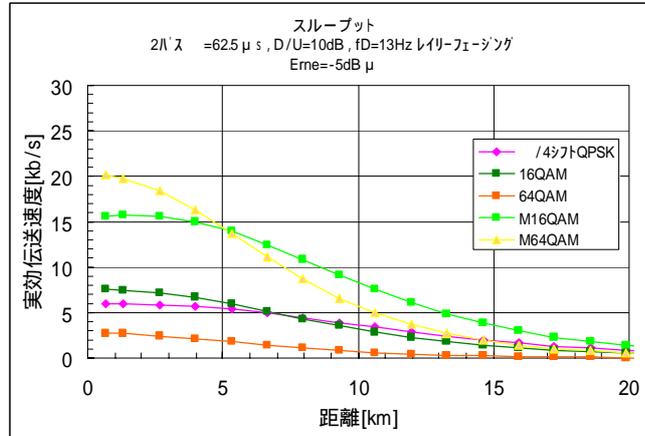


図3 - 5 サービスエリア マルチパス特性(到達時間差 62.5 μ s)

マルチパス特性 (到達時間差 62.5 μ s) においては、基地局から 10km 前後の円環状のエリアにおける実効伝送速度の平均値は、1/4シフト QPSK で 3.6kb/s、16QAM で 3.2kb/s、64QAM で 0.7kb/s、M16QAM で 8.3kb/s、M64QAM で 5.8kb/s となった。

ゾーンのフリッジにおいて D/U=10dB、到達時間差 =62.5 μ s、最大ドップラー周波数 13Hz の回線では、M16QAM が 8.3kb/s で実効伝送速度の平均値が最大であった。

參 考 資 料

都道府県防災行政用無線システムは地上系回線と衛星系回線による構成を基本に、都道府県が整備を図っている。

この地上系回線のうち、支部局と端末局を結ぶ端末回線で使用されてきた 60MHz 帯については、市町村防災行政用無線の需要増大等により周波数の逼迫状況が著しいことから、現在、400MHz 帯への周波数移行が進められている。この回線はアナログ方式の単一回線で 10 局前後の端末局で共用しているため災害発生時の通信量の増加に十分対応できないとの指摘や、多様化・高度化する情報に適した伝送路を確保することが求められていた。

そこで、狭帯域デジタル通信方式を導入し、通信機能の向上により現行アナログ方式の問題点を改善するとともに、周波数利用効率の向上、データ伝送機能の向上による通信の高度化、秘話機能の向上などを図ったのが、「都道府県防災デジタル無線システム」である。

都道府県防災デジタル無線システムは、統制局、基地局及び端末局（車載、携帯、半固定）で構成される。統制局と基地局間は 7.5GHz 帯及び 12GHz 帯の多重無線装置で接続し、基地局と端末局間を 400MHz 帯デジタル無線回線で接続する。

本システムの概念図を図 1 - 2 に示す。

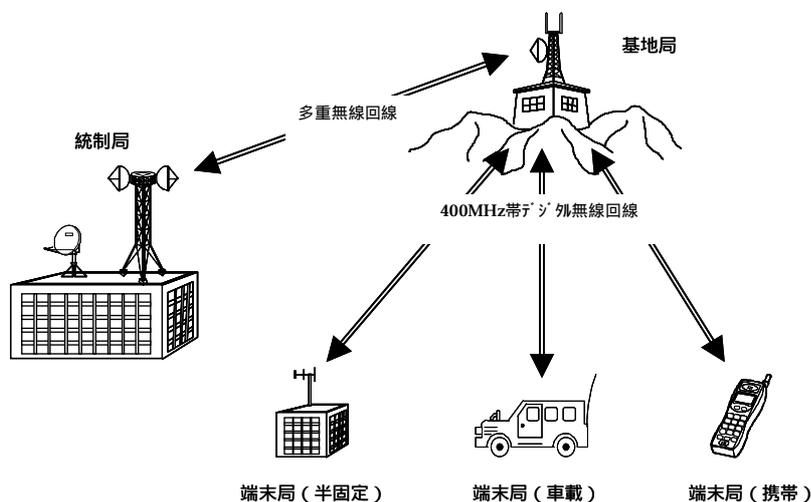


図 1 - 2 都道府県防災デジタル無線システムの概念図

(2) 特長

ア 同時に複数の通信が可能

周波数利用効率が向上したため、現行アナログ方式と同一の周波数間隔 12.5kHz で比較すると 2 倍の通話路を確保できる。

イ 通話中の一斉通信

TDMA 方式の場合、1 対の無線周波数を使用して、統制局から複数端末局に対して一斉通信を行い、別チャンネルで双方向通信を同時に実現できる。これは現行のアナログ方式にはない、デジタル方式特有の機能である。

ウ FAX 通信

本システムの情報速度が 6.4kbps であり、汎用 FAX の通信速度と整合を取る必要がある。

このため、FAX 通信は、統制局には FAX サーバ、端末局には FAX アダプタを設置した蓄積交換方式で行う。端末局は FAX アダプタで画情報のアナログ / デジタル変換及び蓄積を行う。

FAX アダプタを有しない他網の FAX と通信する場合は、統制局の FAX サーバを経由する「セカンドダイヤル方式（他網からの場合はサーバが相手局番号入力を促すメッセージを音声で応答し、相手局番号を PB で入力する方式）」となる。

FAX アダプタ又は FAX 蓄積装置と FAX 本体の間の伝送速度は最大速度 14400bps の通信が可能であるが、無線区間は伝送路の速度に制限されるために最大速度 6.4kbps 程度となり、伝送速度が異なることから、完全に蓄積してから通信を開始する方式とする。

エ データ通信

データ通信は統制局のルータを中心としたコネクション型（End～End でリンクを確立後、データを転送する）通信方式とし、統制局と半固定端末局に市販品のダイヤルアップルータを設置し、統制局と端末局間の通信路を確立後はルータ間で IP 通信を行うものとする。

リアルタイム通信ではあるが、通信速度は最大 6.4kbps 程度となる。

(3) 通信方式の概要

都道府県防災デジタル無線システムの主な導入事例における通信方式の概要を以下に示す。

表1 都道府県防災デジタル無線システムの通信方式の概要

	導入事例 1	導入事例 2
周波数帯	400MHz帯	400MHz帯
変調方式	/4シフトQPSK	/4シフトQPSK
周波数間隔	25kHz	6.25kHz
アクセス方式	TDMA	FDMA / SCPC
多重数	4	1
伝送速度	32kbps	9.6kbps
情報速度	6.4kbps / ch	6.4kbps

2 市町村防災行政無線システム

市町村が災害情報を収集し、また、地域住民に対し災害情報を周知するために整備している無線網であり、市町村庁舎と屋外拡声器（スピーカ）や家庭内の戸別受信機を結ぶ「同報系」、市町村庁舎（基地局）と車載型・可搬型の無線電話装置間または無線電話装置相互間で運用される「移動系」で構成されている。

本システムの概念図を図 2 に示す。

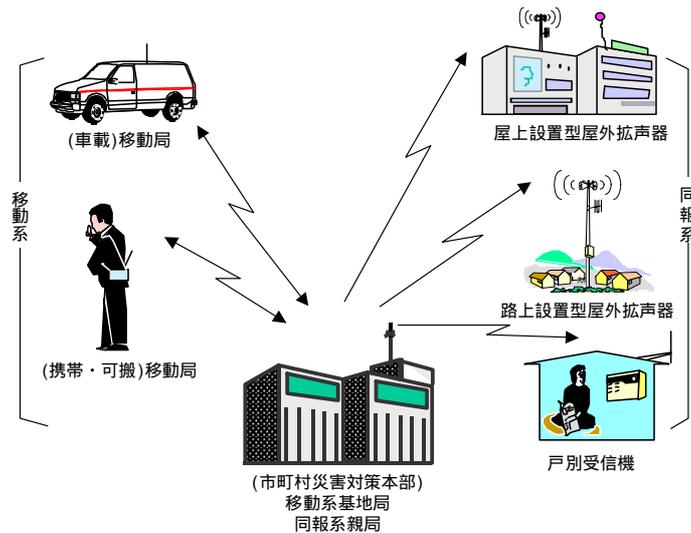


図2 市町村防災行政無線システムの概念図

2.1 防災行政用デジタル同報無線システム

(1) 概要

デジタル同報無線システムは、現在 60MHz 帯のアナログ方式で運用されている。

これをデジタル化することにより、従来の屋外拡声子局や個別受信機による拡声放送を中心としたシステム機能に加え、双方向通信、データ通信等を可能とし、画像による災害情報の収集、避難場所等との情報交換、文字表示盤による防災行政情報の周知などにも利用できるようになった。基本的な構成は現行のアナログシステムと同様であり、役場内に設置される親局設備や中継局設備、避難場所ほかに設置される屋外拡声子局及び戸別受信機により構成される。デジタル同報系の構成図を図2.1-1に示す。

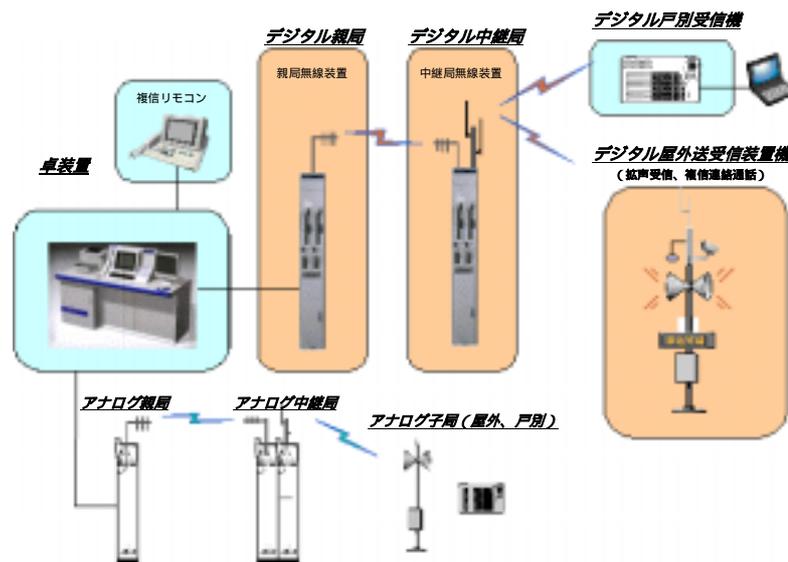


図2.1-1 デジタル同報系の構成図

(2) 特 長

現行システムとデジタル同報無線システムとの比較を図2.1-2に示す。

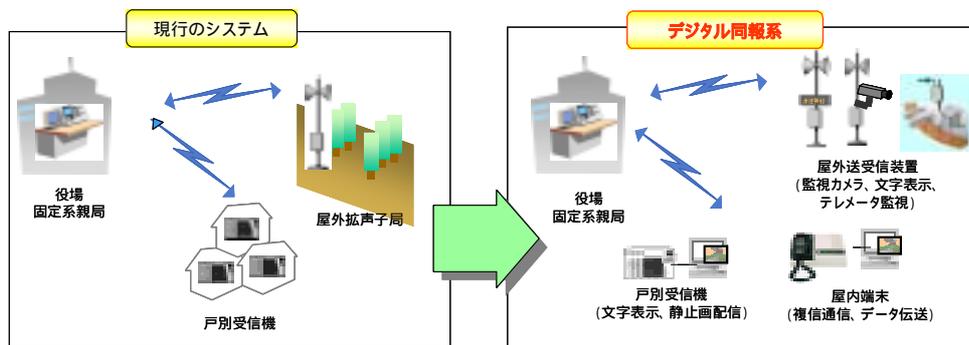


図2.1-2 現行システムとデジタル同報無線システムの比較

デジタル同報無線システムの主な特長を以下に示す。

ア 双方向通信

役場と避難場所との情報連絡において、電話ように送信と受信を同時に行うことが可能となる。

イ 複数チャネル化

役場から住民への情報伝達中に、職員等の招集連絡または災害現場からの緊急通信が可能となる。

ウ データ通信

画像による情報収集ができるとともに、文字情報による伝達が可能となる。

エ 他システムとの親和性

各種情報、データの伝送・蓄積・加工が容易である。

オ 同時複合サービスの実現とデータ伝送機能の強化

声中の緊急連絡通話

拡声 + 文字放送

拡声中のテレメータ情報収集

画像・文字データの伝送

画像（静止画・準動画） + 各種センサー

同時複合サービスについて、図2.1-3（次頁）に示す。

(3) 通信方式の概要

デジタル同報系の通信方式の概要を以下に示す。

周波数帯 : 60MHz 帯 (54MHz ~ 70MHz)

チャンネル間隔 : 15kHz

多元接続方式 : 時分割多元接続 (TDMA) 方式

伝送速度 : 45kbps 以下
 通信方式 : 同報通信・単向通信・単信・複信・半複信の5方式
 占有周波数帯幅 : 15kHz
 変調方式 : 16QAM
 空中線電力 : 10W 以下

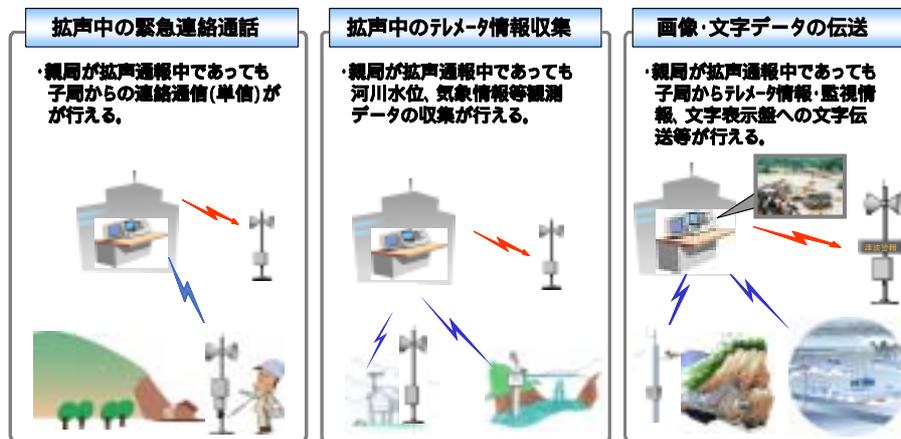


図2.1-3 同時複合サービスの実現

2.2 市町村デジタル移動通信システム

(1) 概要

市町村デジタル移動通信システムは、市町村と防災関係機関・生活関連機関との情報収集・連絡を目的とする移動系の無線システムが地域防災無線システムである。

災害時には、市町村の災害対策本部を中心にして防災関係機関（消防・警察）、生活関連機関（電力・水道・ガス）、避難所・学校・病院などを無線ネットワークで結び、災害直後からの迅速な対応、混乱時における正確な情報収集・情報連絡に使用する。また、平常時には自営無線システムの利点を活かし、役場の業務連絡や行政連絡に利用することで業務の効率化やコスト削減を図ることができた。近年の大規模災害の発生を受けて、市町村防災無線システムにもこれまで以上に多様化・高度化した通信ニーズ（データ伝送・画像伝送等）への対応が求められていた。また、平常時の有効活用を図るために、更なる使いやすさが求められている。

これらの要求を同時に満足するべく、『市町村デジタル移動通信システム』は、アナログ方式の地域防災無線システム（800MHz帯）や移動系無線システムから更に高度化したシステムとして、また、防災無線の機能と携帯電話の使いやすさを兼ね揃えたシステムとして構築された。

市町村デジタル移動通信システムは、災害発生時に迅速な情報収集や指揮命令等、円滑な通信手段を確保するとともに、データ及び静止画伝送等の多様化する通信ニーズに柔軟に応じ、かつ近接市町村からの応援や他の防災関係機関、生活関連機関等と連携が容易な地域的な防災行政無線等の高度化を図る事を目的とした、公共用途の移動通信システムと位置付けられる。

本システムは、地域防災無線システムと市町村防災行政無線移動系システムを統合したシステムとして、最新の狭帯域デジタル通信方式を活用した高度なシステムを構築するものである。『市町村デジタル移動通信システム』（260MHz帯）の概念図を図2.2に示す。

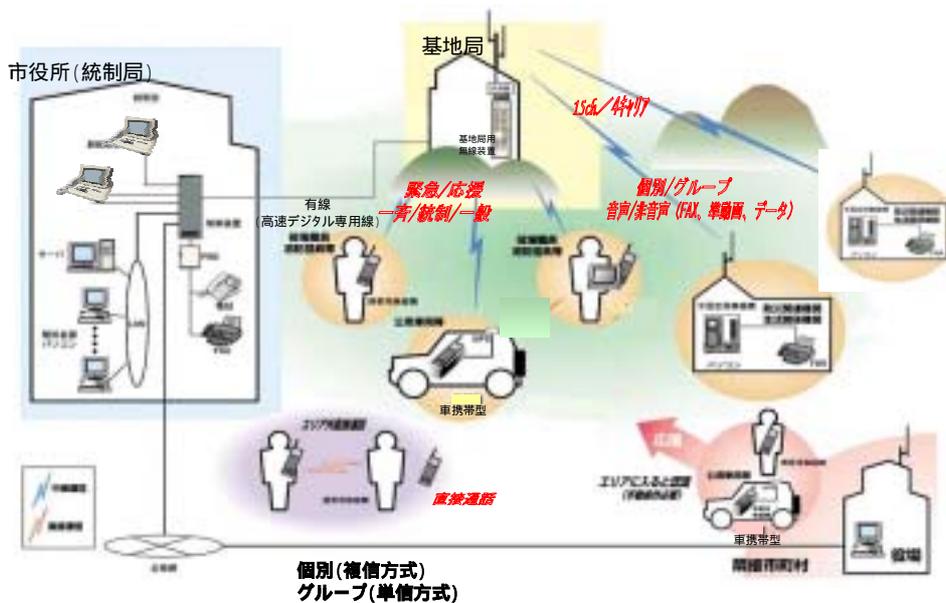


図2.2 市町村デジタル移動通信システム概念図

(2) 通信方式の概要

市町村デジタル移動通信システムの通信方式の概要を以下に示す。

- 変調方式 : /4シフトQPSK
- 周波数帯 : 260MHz帯
- 周波数間隔 : 25kHz
- アクセス方式 : TDM-TDMA (時分割 - 時分割多元接続方式)
- 多重数 : 4多重
- 音声符号化速度 : 6.4kbps

(3) 従来システムとの比較

市町村デジタル移動通信システムと従来システムとの比較を表2.2に示す。

表2.2 市町村デジタル移動通信システムと従来システムとの比較

	地域防災無線システム (800MHz帯) アナログ方式	市町村防災移動系システム (400MHz帯) アナログ方式	市町村デジタル移動通信システム (260MHz帯) デジタル方式
複信通信 音質	×	×	
サービスエリア	移動系より狭い		400MHz帯移動系と同等
PBX通信 (庁舎内PBX)	×	×	
他系通信		全国共通波1波のみ	可能
チャンネル数	直接通信30(全国共通) 中継通信4(専用)	市町村波1 全国共通1	直接通信16(全国共通) 基地局通信 最大15(専
拡張性	制限あり	× 拡張性ほとんど無し	拡張性あり

(4) 主な特長

- ア 同時に複数の通信が可能
基地局との通信は複信で最大 15 通話、端末局同士の直接通信は最大 16 通話が可能である。
- イ 使いやすさ
個別通信では電話と同じ感覚で話せる複信通話機能を実現し、プレストーク操作が不要。
- ウ 豊富な通信方式
 - 一般通信：統制局と端末局、端末局相互間で双方向通信が行える。
 - 一斉通信：統制局から全ての端末局または任意のグループに対して一斉片方向通信が行える。
 - 統制通信：統制局の操作によって、特定の端末局と双方向通信が行える。
 - 緊急連絡通信：端末局から統制局に対し、ワンタッチ操作で緊急連絡をすることができる。
- エ 内線電話接続（PBX 通信）
庁舎内 PBX と接続することで、内線電話との通話ができる。また、半固定局側でも PBX と接続できるので、内線通話を無線回線で実現できる。
- オ 近隣市町村との相互接続通信（応援通信）
大規模災害の発生時、近隣市町村との相互応援を目的とした通話が可能。
- カ 非音声通信への拡張性
 - 無線 FAX 通信
 - 静止画伝送
 - 文字伝送（定型文・自由文メッセージ）

3 消防無線システム

(1) 概要

一般に、消防無線システムは各自治体の消防本部ごとに整備が進められている。ここでは消防無線システムの位置付けを明確にするため、わが国で最大規模の東京消防庁の現状について述べる。

現在、東京消防庁では、東京都 23 区内からの 119 番通報は、千代田区大手町の本部庁舎に設置されている「災害救急情報センター」が、また、多摩地域内の 119 番通報は、立川市に設置されている立川消防合同庁舎に付設された「多摩災害救急情報センター」が受信し、各消防署に消防ポンプ車、救急車などの出場を指令している。

このセンターでは無線を利用して、災害現場などに出場している消防ポンプ車や救急車などに対して、現場活動に必要な情報をタイムリーに送信し、効果的な消防活動を支援している。一方、災害現場からは本センターに対し、災害状況の報告や応援の要請などが行われている。

次に、東京消防庁が初めて無線を導入した時期と、現在使用している無線の種類を紹介する。

現在、東京消防庁の無線通信系は、警防本部（災害救急情報センター）と出場隊間を結ぶ移動通信系、災害現場における指揮者と隊員間を結ぶ携帯通信系、本部庁舎、方面本部、消防署および出張所の消防庁舎間を結ぶ固定通信系、その他の通信系に分類されている。これら消防無線通信網の関係を図 3 に示す。

次に、図に記した各無線系の概要を示す。

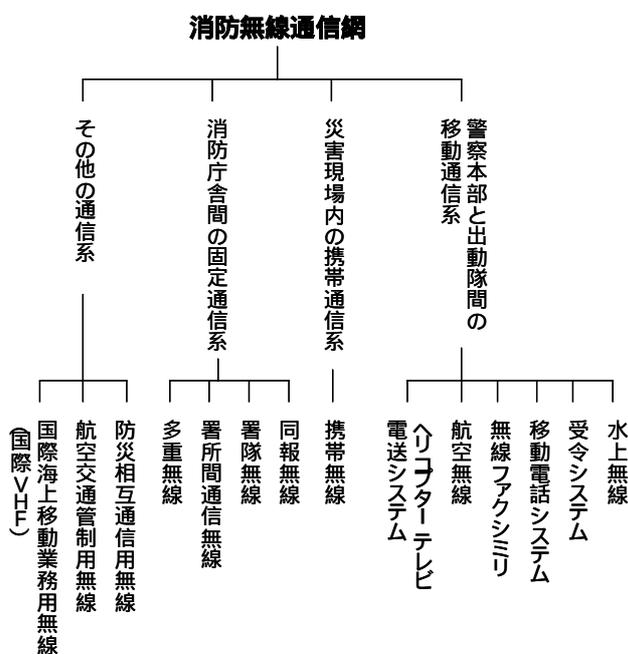


図3 東京消防庁における消防無線通信の関係

ア 消防無線

災害救急情報センターと、ポンプ車、化学車、はしご車などの消防車両との間および消防車両間を結ぶ通信系のこと、全ての消防車両には単信方式の車載無線機が備え付けられている。

周波数は、東京消防庁管轄下全域で使用する東京消防庁共通波、データ波（ファクシミリ等の伝送等で使用）、全国共通波（大規模な災害が発生した時、全国の消防機関が相互応援時に使用）に分かれている。

イ 救急無線

救急隊と災害救急情報センター並びに救急病院との間を結ぶ通信系である。

複信方式で通信が行えることから、救急隊と医療機関との直接電話接続、観察情報の送信、病院情報の検索などが可能で、救急患者の救護活動が的確に行える。

ウ 水上無線

災害救急情報センターと消防艇との間を結ぶ通信系である。

消防艇は、東京湾内を航行中でも災害救急情報センターと交信を行うことから、水上無線系の無線機には、150MHz 帯の消防無線の電波に比べて、到達距離が長い27MHz 帯の周波数が使用されている。

エ 無線ファクシミリ

有線ファクシミリの電話線に当たる部分を、無線回線に置き換えたものである。災害現場の状況などを災害救急情報センターに電送し、また、災害救急情報センターから災害現場に消火活動などに必要な資料を電送して、消防活動を支援するために用いられている。

オ 航空無線

災害救急情報センターと消防ヘリコプター間およびヘリコプター相互間を結ぶ通信系である。

カ ヘリコプターテレビ電送システム

山林火災や地震災害などのように災害現場が広範囲にわたるものや、高層建物火災のように地上からでは災害状況の把握が困難な時に、ヘリコプターに搭載したカメラで上空から撮影した映像を、災害救急情報センターに電送して、災害活動を支援するシステムである。

キ 携帯無線

災害現場などにおいて、各指揮者および消防隊員が携帯して、相互に指揮命令や情報連絡の伝達手段として使用している通信系である。

災害現場以外に、予約査察、消防特別警戒、消防訓練を行う時などにも使用している。

このような各種の無線を用いて、災害救急情報センターと災害現場に出場した部隊・指揮者・隊員相互間で、指揮、命令、情報の交換、報告などがスムーズに行われている。防火水槽や消火栓などの消防水利が、消火活動を行う上での大切な命綱であると同じように、消防無線も円滑な消防活動を行う上での大切な命綱となっている。

一般に日本国内の消防無線は 150MHz 帯 70 波を用いた単信方式、救急無線としては 150MHz 帯 19 組波を用いた複信方式で、音声伝送を主体としたアナログ通信システムである。但し、小規模消防機関の救急無線では単信方式を採用している場合もある。

また、一部の大規模救急無線においては 400MHz 帯 24 組波を用いた音声伝送 / データ伝送を行っている。

大規模消防機関では、現場活動用に 400MHz 帯 17 波を単信方式で用いるアナログ通信システムを署活動用無線として使用している。

(2) 問題点

現状のアナログ方式の消防無線システムにおいては次のような問題点が指摘されている。

- ア 秘匿性が低く個人のプライバシーを保護できない。
- イ 画像伝送等のような大容量、高速データ伝送には不適當である。
- ウ 周波数の逼迫により増波が難しい。

これらを踏まえ、現在、デジタル化のついでの検討が進められているところである。

4 MCA 無線システム

(1) 概要

MCA 無線システムは、一定数の周波数を特定多数の利用者が共同で利用する MCA 方式 (Multi Channel Access System) を採用した業務用無線システムで、陸上移動通信分野 (運送業、製造・販売、タクシー等) において広く利用されている。

システムは、事業主体が設置管理する「制御局」と、利用者が設置管理する「移動局」及び「指令局」で構成され、利用者は、同じ識別符号を持った会社等のグループ単位ごとに無線通話を行うことができ、他のグループとは通話できないようになっている。

情報のやりとりは、指令局 MCA 制御局 移動局と移動局 MCA 制御局 指令局の双方向で、必ず制御局を経由して行う。例えば、指令局または移動局から情報のやりとりをするとき、制御局は制御チャンネルを通して発呼信号を受け、空いている通話チャンネルを探して接続し、空きチャンネルがない場合は、予約をして、空いてから接続する。図4-1にMCAシステムの概念図を示す。

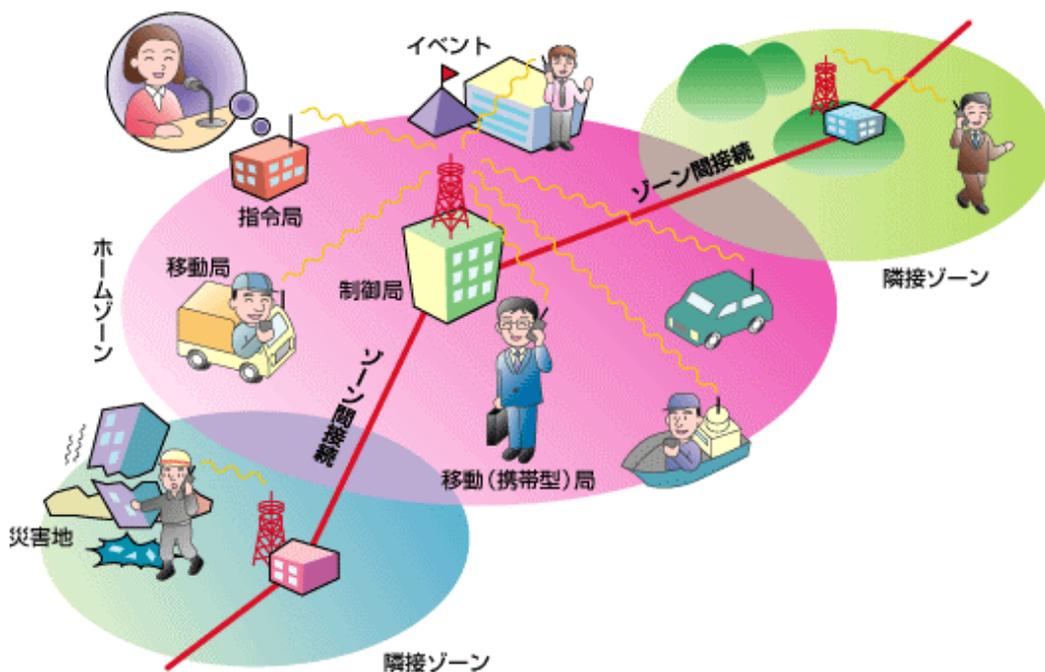


図4-1 MCA 無線システムの概念図

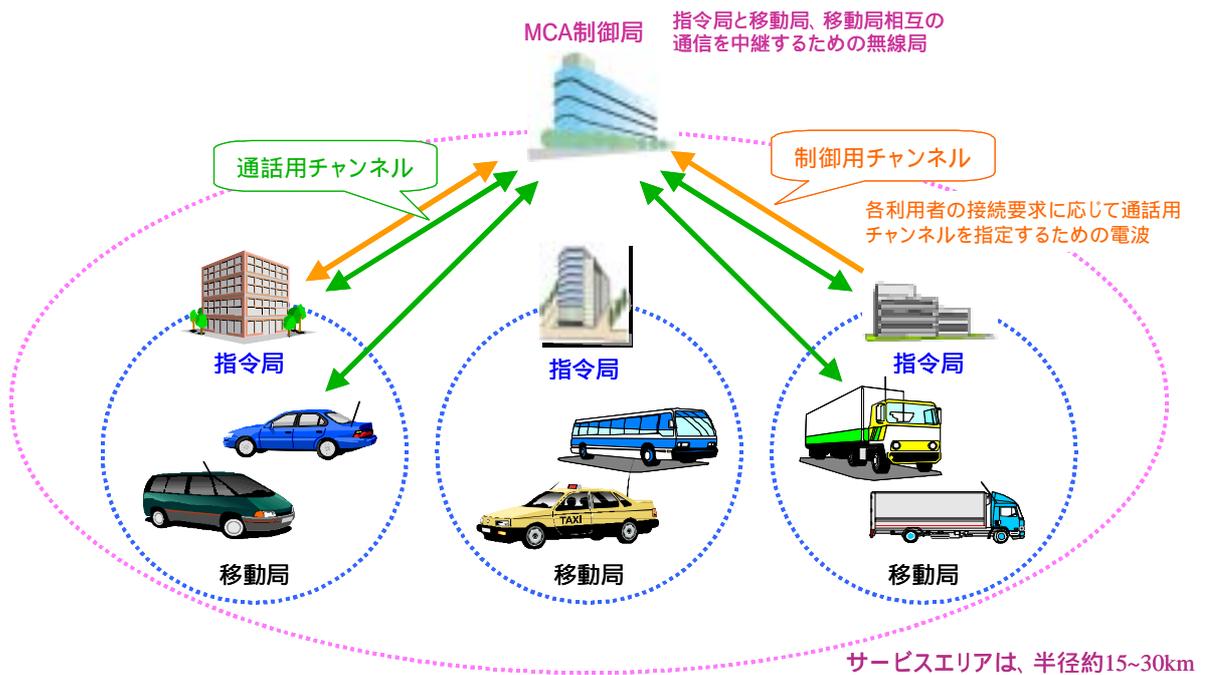


図4 - 2 MCA 無線システムの構成図

制御局には、あらかじめ複数の通信チャンネルが割り当てられ、ユーザ局からの要求に応じて空きチャンネルを指定するという、有限な電波資源である周波数の利用効率を一層高めた方式を採用している。このため、一回の通信時間は制限されていますが、混信のないクリアで秘話性の高い通信ができ、また、同報（一斉指令）機能を持ち、簡単な操作と低廉な利用料金で使用できる。

さらに、デジタル方式では、高速データ通信、マルチメディア通信や、制御局間広域接続、PSTN（加入電話）接続等のサービスが受けられる。

(2) 特長

- ア 1回の通話は3分から5分間
- イ 混信に強く、クリアな音質
- ウ 同報（一斉指令）機能
- エ 周波数の利用効率が高い
- オ グループ通信機能

(3) 通信方式の概要

MCA システムの通信方式の概要を表4に示す。

表4 MCA システムの通信方式概要

		アナログ方式		デジタル方式
周波数帯		800MHz	1.5GHz	1.5GHz
送信電力	制御局	40W以下	80W以下	40W以下
	指令局	10W以下	5W以下	2W以下
	移動局	10W以下	5W以下	2W以下
変調方式		周波数変調		M16QAM (時分割多重)
通信方式		2周波単信		2チャンネル単信及び複信
広域接続		一部地域で可		可

5 タクシー無線システム

(1) 概要

タクシー無線システムは、会社・営業所の配車部門に無線基地局を設置し、タクシー車両側に陸上移動局を搭載して、営業所とタクシー車両間で無線を介して配車指示の通信・車両位置情報の伝送等の通信を行うものである。タクシー会社ごとに基地局を設置するので分散基地局方式と呼ばれている。

これに対し、東京都特別区や横浜市のような大都市では、複数のタクシー事業者が協同組合を組織して配車センターを置き、あるいは、同一事業系列の事業者が共同配車センターを作り、これらの配車センターが一個所の鉄塔に基地局を集中して、タクシー車両の陸上移動局と通信を行うシステムがある。これは集中基地方式といわれている。

タクシー事業では、流し営業を別として、利用客への配車業務が重要であり、そのために配車センターは車両位置を常に把握すること及びできる限り早く利用客の所へ配車することが必要である。これを実現する手段として、サインポスト - AVM (車両位置等自動表示システム) あるいは GPS-AVM による車両位置情報、利用客へ配車する最適車両の選定と配車指示等の伝送にタクシー無線を利用している。

(2) タクシー無線の高度利用

タクシー無線を高度に利用したシステムとして以下のようなシステムが導入されている。

タクシー無線を利用し、多様な情報・データを伝送するもので、車両の位置・動態情報が配車センターに、配車指示がタクシー車両に伝える「無線の領域」と、タクシーと配車センター両者の情報を適切な情報に加工する「コンピュータの領域」が統合・システム化されて実現している。

ア GPS-AVM システム

運行の稼働率向上、利用者をより早く安全に、確実に送迎する GPS ナビゲーションシステム。

イ CTI 電話受付け自動配車システム

ナンバーディスプレイに対応する CTI 受付けにより受注し、全車両中から利用者に最適な車両を自動検索、データ伝送により「文字 + 音声合成」で配車指示を行う自動配車システム。

ウ IC 公衆電話対応配車サービス

IC 公衆電話機に専用のオートダイヤル機能付 IC 会員カードを挿入し、自動的に配車センターのディスプレイに会員情報と IC 公衆電話の位置情報が表示され、迅速な配車を行うシステム。

エ 非常通報システム

タクシーに不審な利用客が乗車した場合等の警察への通報、タクシー強盗にあった場合等におけるタクシー非常通報システム。

(3) 通信方式等

ア 使用周波数	400MHz 帯 241 波 (12.5kHz 間隔)
イ 無線方式	アナログ FM (周波数変調)
ウ 通信方式	集中基地方式：2 周波半複信方式 分散基地方式：2 周波単信方式または 1 周波単信方式
エ 通信形態	基地局～陸上移動局間の通信が基本
オ 空中線電力	基地局 10W (集中基地局は 20W) 以下、 移動局 5W 以下
カ 空中線高	20m 以下
キ 移動範囲	事業区域内

これら、タクシー無線を高度化することにより、経営の合理化、乗務員の負担軽減、利用者サービスの向上、公共交通機関としての社会的貢献等のニーズを実現可能としている。

しかし、音声通信とデータ通信が同一周波数で行われているためデータ収集時には音声通信ができない等の「通信方法の問題」、大都市では割当周波数が逼迫して今日ではタクシー配車業務に必要不可欠となってきた GPS-AVM の利用ができない等「周波数の問題」、また、中小の都市においては営業エリア拡大に伴って前進基地局の設置あるいはアンテナの嵩上げが必要となってもスムーズに周波数割当ができない等「チャンネルプランの問題」がある。現在のタクシー無線においては、これらの問題を早急に解決していかなければならない。

参考資料2 狭帯域デジタル通信方式の概要

平成 10 年度 電気通信技術審議会答申 (No.139) 抜粋

1 無線設備規則の抜粋

狭帯域デジタル通信方式の無線局の周波数は、142～170MHz、255～275MHz、335.4～470MHz 間であり、変調方式は、4 値デジタル変調又は 16 値デジタル変調でなければならない。チャンネル間隔及び隣接漏えい電力は、表 1 の通り。

表1 変調方式別のチャンネル間隔及び隣接漏えい電力

変調方式	分割方式	多重度	チャンネル間隔	漏えい電力
4値デジタル	-	1	6.25kHz	搬送波の周波数から、チャンネル間隔kHz離れた周波数の(±変調信号の伝送速度の1/4)の帯域内に輻射される電力が、搬送波電力より55dB低い値、または32μW以下。1W以下の無線局の場合は45dB以下
	時分割多重方式	2	12.5kHz	
		4	25kHz	
	時分割複信方式	1	12.5kHz	
		2	25kHz	
	時分割多元接続方式	2ch	12.5kHz	
4ch		25kHz		
16値デジタル	-	1	6.25kHz	搬送波の周波数から、チャンネル間隔kHz離れた周波数の(±変調信号の伝送速度の1/8)の帯域内に輻射される電力が、搬送波電力より55dB低い値、または32μW以下。1W以下の無線局の場合は45dB以下
	時分割多重方式	4	12.5kHz	
		6	25kHz	
	時分割複信方式	2	12.5kHz	
		4ch	12.5kHz	
	時分割多元接続方式	6ch	25kHz	

2 変調方式

移動通信用の変調方式には、移動無線回線特有のフラットフェージング及び周波数選択性フェージングに対して良好な性能が必要とされている。また、自営通信においては、情報信号として、音声のみならずデータについても想定しておく必要がある。現在、実現可能な狭帯域変調方式としては、QPSK 系変調方式、QAM 系変調方式等がある。

上記の要請を同時に満足する変調方式としては 2 ビット / シンボルの伝送効率を有する 4 値のデジタル変調の / 4 シフト QPSK 方式 (QPSK : 直交位相変調) 及びオフセット QPSK、4 ビット / シンボルの伝送効率を有する 16 値のデジタル変調の 16QAM 方式 (16 値直交振幅変調) 及び M16QAM 方式 (マルチサブキャリア 16 値直交振幅変調) が優れた性能を有している。各変調方式の諸元や機能・性能を表 2 - 1 及び表 2 - 2 に示す。

表2 - 1 代表的なモデルシステムの諸元と到達距離

モデルシステム		モデル1	モデル2	モデル3	モデル4	モデル5	現行FMシステム	
諸元	変調方式	/4シフトQPSK	/4シフトQPSK	オフセットQPSK	16QAM	M16QAM	FM	
	アクセス方式	FDMA 又は SCPC	TDMA	TDMA	FDMA	TDMA	SCPC	
	複信方式	FDD	FDD	FDD	FDD 又は TDD	FDD	FDD	
	多重度	1	4	4	1 又は 2	6	1	
	チャンネル間隔	6.25kHz	25kHz	25kHz	6.25kHz	25kHz	12.5kHz	
	伝送速度	9.6kbps	32kbps	32kbps	16kbps	64kbps	0.3~3kbps (帯域)	
	ロールオフ率	0.2	0.5	0.5	0.25	0.2	-	
	ピークファクタ	約5dB	約3dB	約3dB	約10dB	約12dB	0dB	
	周波数利用効率 (チャンネル間隔/チャンネル数)	6.25	6.25	6.25	3.125	4.167	12.5	
	周波数利用効率 (伝送速度/チャンネル間隔)	1.536	1.28	1.28	2.56	2.56	-	
到達距離	ダイバシティ無	等価受信帯域幅	4.8kHz	16kHz	16kHz	4kHz	16kHz	8kHz
		受信感度	+0.5dBu	+7.0dBu	+6.4dBu	+3.0dBu	+9.0dBu	+5.2dBu
		所要受信入力電圧中央値	-1.1dBu	+5.4dBu	+4.8dBu	+1.4dBu	+7.4dBu	+5.2dBu
		許容伝搬損失	160.4dBu	153.9dBu	154.5dB	157.9dBu	151.9dBu	155.7dBu
		到達距離	23km	15km	16km	19km	13km	17km
	ダイバシティ有	等価受信帯域幅	4.8kHz	16kHz	16kHz	4kHz	16kHz	8kHz
		ダイバシティ方式	等利得合成方式	最大比合成方式	最大比合成方式	最大比合成方式	最大比合成方式	検波後切替方式
		検波方式	遅延検波	遅延検波	準同期検波	準同期検波	準同期検波	リミッタ検波
		受信感度	-4dBu	+2.5dBu	-1.5dBu	-1.5dBu	+0.5dBu	+0.7dBu
		所要受信入力電圧中央値	-5.6dBu	+0.9dBu	-3.1dBu	-3.1dBu	-1.1dBu	-0.9dBu
		許容伝搬損失	164.9dB	158.4dB	162.4dB	162.4dB	160.4dB	160.2dB
		到達距離	32km	20km	27km	27km	23km	23km

表2 - 2 一般的なモデルシステムの機能・性能

	モデル1	モデル2	モデル3	モデル4	モデル5	現行FMシステム
変調方式	/4シフトQPSK	/4シフトQPSK	オフセットQPSK	16QAM	M16QAM	FM
アクセス方式	FDMA 又は SCPC	TDMA	TDMA	FDMA	TDMA	SCPC
耐レイリーフェージング	リミッタ遅延検波によりフェージング耐性に優れている		標本化タイミングのずれによるBER特性の劣化が少ない方式であるため耐フェージングに優れている	ハイロットシングル挿入方式により耐レイリーフェージング特性改善可能		高品質伝送を実現する場合は障害となる
耐周波数選択性フェージング	低シンボル速度のためあまり問題にならない	遅延等化器を用いることにより耐周波数選択性フェージングの改善が可能	遅延等化器を用いることにより耐周波数選択性フェージングの改善が可能	遅延等化器により改善可能	低シンボル速度のためあまり問題にならない	同上
音声コーデック	高能率音声符号化方式による音声コーデックを採用					不要
音声通話	一斉、グループ通信、個別通信					
非音声通信	低速データ伝送が可能	低中速データ伝送可能、複数スロット使用により高速データ伝送可能		低中速データ伝送が可能	低中速データ伝送可能、複数のスロット使用により高速データ伝送可能	低速データ伝送が可能
音声・非音声並行通信	不適	適	適	不適	適	不適
秘話性	可能					不可
MCA化	いずれの場合も必要に応じて可能					
ハンドオフ、追跡接続	いずれの場合も必要に応じて可能					
自営網、他網接続	いずれの場合も必要に応じて可能					
トラフィック管理	いずれの場合も必要に応じて可能					
移動局間直接通信	適	不適	不適	適	不適	適
相互接続性	音声コーデック、プロトコルを共通化することにより同一モデルシステム内では可能					可能
干渉検出の有無（FMを含めたデジタル）	フレーム同期、シンボル同期により検出可能					ノイズ・スケルチ、トーンスケルチにより可能
適合性評価	・トラフィックの少ない小規模システムに適合する。 ・移動局間直接通信を必要とするシステムに適合する。	・高トラフィック、高速データ通信、音声/非音声並行通信等を必要とする大規模システムに適している。	・高トラフィック、高速データ通信、音声/非音声並行通信等を必要とする大規模システムに適している。	・トラフィックの少ない小規模システムに適合する。 ・一波複信による移動局間直接通信のシステムに適合する。	・高トラフィック、高速データ通信、音声/非音声並行通信等を必要とする大規模システムに適している。	

3 /4シフト QPSK

(1) 原理

/4シフト QPSK は、QPSK の一種であるが、QPSK の位相遷移とは異なり、急激な位相変化を避けて変調波の包絡線変動が小さくなる動きをする。よって、電力増幅器において非線形歪みが抑圧される。

変調は図3 - 1 に示すように、入力信号 a_n を、シリアル・パラレル変換によって、2 ビットの系列に変換し、差動符号化を行った値によって、位相回転を与える。その後帯域制限し、I,Q の直交変調を行い出力する。

このときに、表3 に示すように、入力 $X_k \cdot Y_k$ によって、位相の遷移量が異なっている。1 つ前に送信したデータの位相を θ_{n-1} をとしたとき、次に送信すべき位相 θ_n を $\theta_n = \theta_{n-1} + \Delta\theta$ と与える。

例えば、1 時刻前に、 $\pi/4$ の位置の信号点位置で、 $X_k=1, Y_k=1$ の場合、その遷移は $-3\pi/4$ のため、 $\pi/4 + (-3\pi/4) = -2\pi/4$ の点に遷移する。このため、 $\pi/4$ の点の組と $-2\pi/4$ の点の組を交互に遷移し、シンボル間での遷移は矢印で示すようになる。みかけは、8相 PSK の信号点配置に見えるが、上述のような位相遷移の制限があるため、QPSK と同等の伝送効率と特性を持っている。

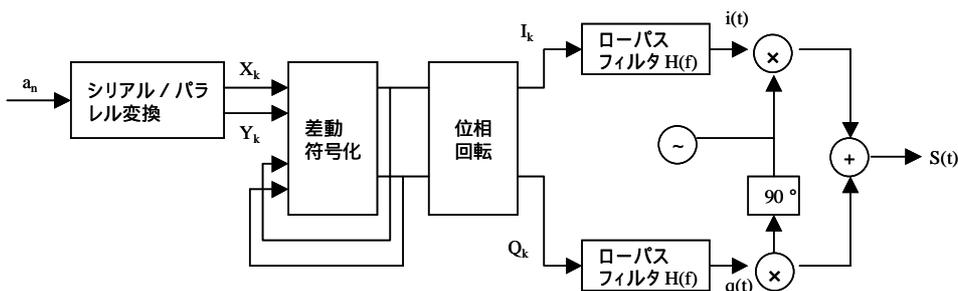


図3 - 1 変調路の構成

表3 - 1 位相遷移量

X_k	Y_k	遷移量
1	1	$-3\pi/4$
0	1	$3\pi/4$
0	0	$\pi/4$
1	0	$-\pi/4$

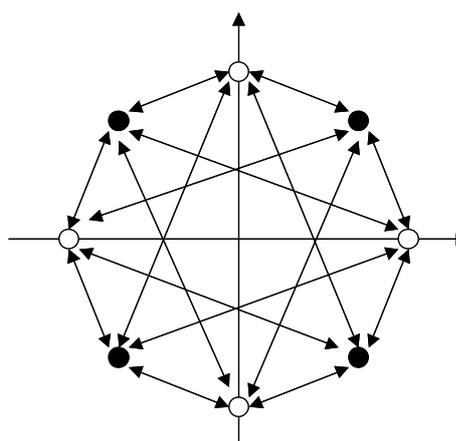


図3 - 2 /4シフト QPSK の遷移

受信側では、位相差を検出すれば差動復号ができるため遅延検波などのような簡易な方法を用いることができる。

QPSK では、同一位相にとどまっている場合が存在するが、 $\pi/4$ シフト QPSK では、必ず $\pi/4$ の位相遷移が加えられるため同一位相にとどまることはない。同一シンボルが連続しても位相が常に変化するためタイミング再生が容易になる。

なお、送信フィルタに通す前の QPSK 信号に対して、1シンボル毎に $\pi/4$ ずつ搬送波位相を回転させる方法もあり、この場合は受信側において同期検波が可能となる。

(2) 狭帯域デジタル伝送の検討例

ア 周波数利用効率及び伝送品質

$\pi/4$ シフト QPSK 方式による情報 1 チャンネルの伝送に必要なチャンネル間隔は、6.25kHz であり、12.5kHzFM の 2 倍の周波数利用効率となる。

伝送品質に関しては、遅延検波で受信機の雑音指数を 8dB の場合、ビット誤り率 $BER=1 \times 10^{-2}$ を得るのに受信感度は $0\text{dB}\mu\text{V}$ であり、ビット誤り率 $BER=3 \times 10^{-2}$ では受信感度 $-5.0\text{dB}\mu\text{V}$ である。

イ 送受信機のコスト

$\pi/4$ シフト QPSK の受信機はリミッタ遅延検波により受信部の構成が簡単であり、また送信電力増幅器の小型化が容易であることからコストとしては 12.5kHzFM の約 1.2 ~ 1.5 倍程度となるとみられる。

ウ 使用形態

伝送する情報は、符号化音声とデジタルデータ伝送に適している。通信方式は SCPC (FDMA) に適用できる。

エ 課題

$\pi/4$ シフト QPSK は既に PDC、PHS 等で実用化されており、今後は、VHF 帯の試作機による実験の継続及び専用装置の開発等が課題とされている。また、高効率音声コーデックの性能向上が期待されるところでもある。

表3 - 2 /4シフトQPSK 方位比較表

		/4シフトQPSK	備考
方式概要	チャンネル間隔	6.25kHz, 12.5kHz, 25kHz	=0.2の場合
	総伝送速度 (チャンネルデータ速度)	9.6kbps, 19.2kbps, 38.4kbps	
	無線伝送帯域	5.76kbps, 11.52kbps, 23.04kbps	
周波数利用効率	音声伝送 (データ伝送)	6.4kbps	
	データ信号伝送	1.55bps/Hz (=9.6/6.25)	
伝送品質		BER= 1×10^{-2} ・遅延検波の例 雑音指数約8dBの場合、 受信感度は+5.2dB μ V 総伝送速度9.6kbps BER= 3×10^{-2} ・遅延検波の例 雑音指数約8dBの場合、 受信感度は+0.5dB μ V 総伝送速度9.6kbps	但し、チャンネル間隔6.25kHz、フェージング周波数20Hzでの計算機シミュレーション特性値
使用形態 適正	伝送可能な情報	音声 (音声コーデックを使用) デジタルデータ	
	通信方式	SCPC (FDMA)	
送受信機コスト (相対値)		約1.2 ~ 1.5倍	基準: 12.5kHz FM

4 オフセットQPSK(OQPSK)

(1) 原理

OQPSKは、2ビット/シンボルの伝送効率を有する4相変調(OQPSK)のベースバンド信号をお互いに1/2シンボル、時間的にオフセットさせたものである。

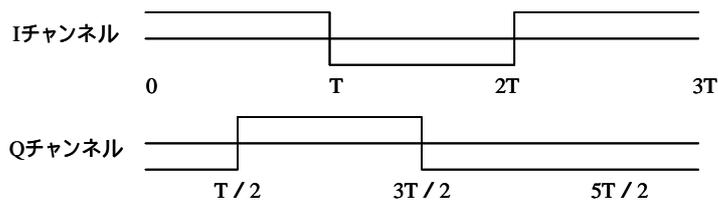


図4 オフセットQPSKの位相遷移(ルートロールオフ、 $\alpha=0.5$)

(2) 特長

ア オフセットさせることにより、同相成分と直交成分が同時に変化することがなく、変調波の位相が変化する場合は、 $\pm \pi/2$ の位相変化となる。/4シフトQPSKと同様に位相偏移が振幅零点を通過しない。この事は送信パワーアンプのダイナミックレンジが小さくても良いことを意味する。マルチパスによる遅延分散特性を向上するために適応等化器を採用する場合、OQPSKは/4シフトQPSKよりも優位性を持つことがシミュレーションにより確認されている。

イ FDMA 方式、TDMA 方式に適用可能であるが、耐遅延分散特性が必要となる TDMA 方式に適していると考えられる

(3) 狭帯域デジタル伝送の検討例

ア 周波数の利用効率および伝送品質

OQPSK による情報 1 チャンネルの伝送に必要なチャンネル間隔は 6.25kHz であり、12.5kHz の FM の 2 倍の周波数利用効率となる。

伝送品質に関しては、準同期検波で適応等化器を用いて、受信機の雑音指数 8dB の場合、ビット誤り率 $BER=3 \times 10^{-2}$ では、6.4dB μV である。

イ 送受信機のコスト

OQPSK 変調方式は遅延分散特性の向上のために適応等化器を使用することを前提としているので、受信機は準同期検波となる。送信機は 1/4 シフト QPSK 変調方式と同等となるため、送信電力増幅器の小型化も 1/4 シフト QPSK に準ずる。コストとしては 12.5kHzFM の 1.5 倍程度になるとみられる。

ウ 使用形態

伝送する情報は、符号化音声とデジタルデータ伝送に適している。FDMA 方式、TDMA 方式に適用できるが、耐遅延分散特性に優れた送受信機が構成できるため、高速なビットレートが必要な TDMA 方式に適している。

エ 課題

適応等化器の実現に必要な部品のコストダウン、低消費電力化が課題となっている。

表4 OQPSK 方位比較表

		OQPSK	備考
方式概要	チャンネル間隔	25kHz	
	総伝送速度 (チャンネルデータ速度)	32kbps	
	無線伝送帯域	21kHz	
周波数利用効率	音声伝送 (データ伝送)	5.6kbps	
	データ信号伝送	1.28bps/Hz(=32/25)	
伝送品質		$BER=3 \times 10^{-2}$ ・準同期検波(適応等化器)の例 雑音指数約8dBの場合、受信感度は 6.4dB μV 総伝送速度32kbps	但し、フェージングは2波であり、それぞれは等電力で、各パスはレイリー分布でのシミュレーション値。スロット内のフェージング変動は無視している。
使用形態適正	伝送可能な情報	音声(音声コーデックを使用) デジタルデータ	
	通信方式	TDMA	
送受信機コスト(相対値)		約1.5倍	基準: 12.5kHz FM

5 16QAM/M16QAM

(1) 原理

16QAM は、位相遷移のみならず振幅にも情報を乗せることにより 1 シンボル当り 4 ビットの情報を送ることができる、周波数の利用効率の高い変調方式である。信号配置は図 5 のようになっており、各配置に 4 ビットのアドレスが割り当てられており、遷移の制約はなく自由な情報を送ることができる。

古くから伝搬経路の安定した固定通信では使用されていたが、伝搬経路が不安定なフェージング下の移動体通信への応用は各所で研究され実用化された。その一般的な方法は送信側で固定パターンを周期的に入れ、受信側でそれを参照することにより位相変化や振幅変動の大きい伝搬経路でもデータ伝送を可能としている。

16QAM を利用した M16QAM は、25kHz のチャンネル間隔で 64kbps という高速データ通信を行うために、最適化した変調方式である。高速データ通信を行うために 4 波のキャリア（マルチキャリア方式）を使用し、各々に 16QAM 変調をかけシンボルレートを $1/4$ に下げて遅延分散耐力を増してある。

通常、25kHz 以下のチャンネル間隔の狭帯域通信システムは、もともとシンボルレートが低いので、遅延分散の広がりはあまり問題とならないので、マルチキャリアにするメリットは少ない。また、狭いチャンネル間隔に複数のキャリアを入れることは高い周波数安定度が要求される等、技術的に困難が予想される。

(1,0,0,0)	(1,1,0,0)	(0,1,0,0)	(0,0,0,0)
(1,0,0,1)	(1,1,0,1)	(0,1,0,1)	(0,0,0,1)
(1,0,1,1)	(1,1,1,1)	(0,1,1,1)	(0,0,1,1)
(1,0,1,0)	(1,1,1,0)	(0,1,1,0)	(0,0,1,0)

図5 16QAM の信号配置

(2) 特長

- ア 周波数効率が非常に高い。
- イ 線形増幅器が必要なので、非線形送信機（FM、GMSK 等）と比較すると電力効率が下がる。
- ウ 固定パターンを参照する準同期検波を使用するので、比較的良好な復調特性が期待できる。
- エ シンボル間隔が QPSK より狭いため大きな C/N が必要である。

(3) 狭帯域デジタル伝送の検討例

ア 周波数利用効率および伝送品質

チャンネル間隔 6.25kHz の 16QAM 方式で比較すると、情報 1 チャンネル当たりの使用帯域幅で 12.5kHz FM の 2 倍の周波数利用効率である。同じシンボルレートの $\pi/4$ シフト QPSK と比較すると、データ伝送量は約 2 倍と大きな有利性を持つ。

伝送品質に関しては準同期検波方式で受信機の雑音指数が 8dB の場合、フェージング時で、ビット誤り率 $BER=3 \times 10^{-2}$ となる受信感度は、雑音指数 8dB の場合、約 4dB μV である。

チャンネル間隔 25kHz の 16QAM または、M16QAM の場合は、時分割により 6 多重が可能であるので、情報 1 チャンネル当たりの使用帯域幅は 4.167kHz となり、12.5kHz FM の 3 倍の周波数利用効率となる。

伝送品質に関しては、準同期検波方式で受信機の雑音指数が 8dB の場合、フェージング時で、ビット誤り率 $BER=3 \times 10^{-2}$ となる受信感度は、16QAM と M16QAM は変わりなく、理論値で約 9dB μV となる。

イ 送受信機のコスト

送信電力増幅器は、 $\eta=0.5$ の $\pi/4$ シフト QPSK と比較しピークファクタが大きい分、サイズが大きくなるが、 $\eta=0.2$ の $\pi/4$ シフト QPSK と同程度のサイズ、コストになると見られている。

また、受信機は DSP を使用した準同期検波となり複雑となる。トータルコストとしては、12.5kHz FM 送受信機に比べると約 1.5 倍程度になると見込まれるが、量産化によるコストダウンが期待される。

ウ 使用形態

伝送する情報は、 $\pi/4$ シフト QPSK と同様に符号化音声、デジタルデータ伝送に適しているが、同一占有周波数帯域幅で約 2 倍のデータ伝送が可能である。通信方式は、TDMA、SCPC (FDMA)、TDD、FDD または単信方式に利用できる。TDD の場合、送受信の割合を変えることにより片方向では有線が複信方式の 2 倍のデータ転送が可能となる。

エ 課題

1.5GHz 帯デジタル MCA で M16QAM はすでに実用化されており、今後は、それらの部品を使用した、16QAM 狭帯域通信システムのコストダウン、低消費電力化が課題とされている。

表5 16QAM / M16QAM 方位比較表

		16QAM / M16QAM	備考
方式概要	チャンネル間隔	25kHz † † † 12.5kHz * 6.25kHz **	(=0.5†, 0.2††) (=0.25*) (=0.25**)
	総伝送速度 (チャンネルデータ速度)	64kbps † † † 32kbps * 16kbps **	
	無線伝送帯域	20kHz † † † 9.6kHz * 4.8kHz **	
周波数利用効率	音声伝送 (データ伝送)	44.8kHz † † † 22.8kHz * 11.4kHz **	パイロット信号等を含 まず
	データ信号伝送	76bps/Hz † † † 1.82bps/Hz * 1.82bps/Hz **	
伝送品質		BER=3 × 10 ⁻² ・準同期検波 雑音指数8dB 受信感度は15.2dB μV † † † 受信感度は12.2dB μV * 受信感度は9.2dB μV **	フェージングあり
使用形態 適正	伝送可能な情報	音声 (音声コーデックを使用) デジタルデータ	
	通信方式	SCPC(FDMA)、TDMA、 TDD、FDD又は単信	
送受信機コスト (相対値)		約1.5倍	基準 : 12.5kHz FM

† 印 チャンネル間隔が 25kHz の 16QAM の場合 * 印 チャンネル間隔が 12.5kHz の場合
† † 印 チャンネル間隔が 25kHz の M16QAM の場合 ** 印 チャンネル間隔が 6.25kHz の場合

参考資料3 800MHz 帯デジタル MCA 陸上移動通信システムの概要

平成 12 年度 電気通信技術審議会答申 (No.171) 抜粋

1 無線設備規則の抜粋

デジタル MCA 陸上移動通信を行う無線局等の無線設備についての規定の概要を表 1 にあげる。

表1 デジタル MCA 陸上移動通信を行う無線局等の無線設備

周波数	850～860MHz (制御局・試験局) 905～915MHz (制御局・試験局・陸上移動局・指令局) 1453～1477MHz (制御局・試験局) 1501～1525MHz (制御局・試験局・陸上移動局・試験局)
通信方式	時分割多重方式(制御局から陸上移動局・指令局) 時分割多元接続方式(陸上移動局・指令局から制御局)
変調方式	音声 : M16QAM データ : MQPSK・M16QAM・M64QAM (M=4)
ロールオフ	変調の際に50%ロールオフ ロールオフ率0.2
隣接チャンネルの漏洩電力	搬送波電力より45dB以上低い値 (搬送波周波数から25kHz離れた周波数の±9kHz)
搬送波を送信していない時の漏洩電力	搬送波を送信時の平均電力より60dB低い値または2.5μW以下の値
変調速度	64kbps(M16QAM) 32kbps(MQPSK) 96kbps(M64QAM)

2 MQPSK、M16QAM、M64QAM について

ア マルチサブキャリア方式

マルチサブキャリア方式は、M 個のサブキャリアに変調をかける変調方式で、通常のシングルキャリア方式と比べて変調速度が $1/M$ に低下する。遅延広がりによる影響は変調速度に比例するため、マルチサブキャリア方式では従来のシングルキャリアに比べ、伝送特性をおよそ M 倍改善することができる。

マルチサブキャリア送信装置の送信動作は最初に、伝送される全体のビット列を M 個の並列したビット列に分け、個々のビット列毎に対応するサブキャリアを QPSK、16QAM、64QAM 等の方式により変調する。次に変調された各サブキャリアを周波数分割多重方式と同様の形で合成し、マルチサブキャリア信号を生成する。

マルチサブキャリア受信装置では送信動作の逆を行い、個々のサブキャリア毎に QPSK、16QAM、64QAM 変調信号の復調処理によって各ビット列を再生後、それらを合成して原信号を得る。無線チャンネルスペクトルは、従来のシングルキャリア信号の $1/M$ の帯域を持つ M 個の相互に独立したサブキャリアから構成され、全体の所要信号帯域は従来のシングルキャリア方式の信号とほぼ同じとなる。なお、MQPSK、M16QAM 等の『M』(Multi-subcarrier)はサブキャリア数を表し、伝送速度、キャリア間隔、周波数安定度、遅延広がり、フェージング速度、方式の複雑さ等を検討して最適値を決定する。

イ MQPSK、M16QAM、M64QAM 方式

現行のデジタル MCA では、音声伝送用として使用している音声コーデックの性能及び変復調技術等を考慮し、変調方式を M16QAM (1 シンボル当たり 4 ビット) とし、6 多重にすると、変調速度 4 シンボル/秒、キャリア間隔は 25kHz、 $M=4$ が最適値となるので、これらのパラメータを標準として使用している。M16QAM を使用した音声伝送の場合、現状の誤り制御技術で使用可能なビット誤り率を 3%とした場合、マルチサブキャリア方式では許容できる遅延分散は約 $12\mu\text{s}$ とすることが可能で、特に遅延等化器等の対策を行わないうで実用上問題のないシステムを構築することができる。

耐干渉特性、伝搬距離に着目すると QPSK のようにシンボル点が 4 点 (2 ビット) と少ない。つまり、情報量の少ない変調方式が有利になり、また、データ伝送量のみに着目すると 64QAM のようにシンボル点が 64 点 (6 ビット) と情報量の多い多値変調方式が有利なのは明らかである。したがって、電波伝搬路の距離、状況により上記の 3 つの変調方式を切り替えて使用することにより、各変調方式のメリットを享受することができると考えられる。

ウ 同期 / パイロットシンボル

M16QAM 方式をデジタル移動通信システムに使用する場合には、シンボル、スロット、同期及び振幅、位相基準として既知のシンボルで構成される同期、パイロットシンボルをスロット中に配置しているが、MQPSK、M64QAM でも同様なシンボルを配置している。同期、パイロットシンボルは、受信側での識別を容易にし、かつ所要の精度を得るために信号空間座標上の最大振幅の点を通る円周上に配置する。

同期シンボルは、連続した 3 シンボルで構成され、スロットの先頭を示す。パイロットシンボルは、データシンボル中の予め定められた位置に分散配置され、信号復号時の基準信号として使用できる。

エ プリアンブル

マルチサブキャリア方式のデジタル変調では、受信復調処理において所要のダイナミックレンジを確保するために AGC が必要になる。デジタル MCA システムにおいては、中継局の受信は全てバースト信号であり、かつ隣接するスロットで異なる移動局が送信を行うため、スロット毎の受信レベルが変動する。このような条件下で中継局の受信復調性能を維持するためには、各スロット毎に AGC の設定を適切に行えることが必要であり、そのためには中継局でスロット毎に当該バースト信号を受信する前にレベル基準を検知できる方式である必要がある。

このための一方式として、移動局の送信においてキャリア信号による AGC プリアンブルをデジタル変調方式と併用する方法がある。この方式では、移動局はバースト信号の前に AGC プリアンブルを送信し、中継局ではこの信号の受信レベルを基準として当該バースト信号を受信するための AGC の設定を行うことができる。これによって中継局での所要受信復調性能の確保が可能となる。

オ 多数の変調方式を並存する送受信機の構成

マルチサブキャリアのデジタル変調のような複雑な変調方式で変復調するには、DSP によるソフトウェア処理を行う方法が容易なので一般的に用いられている。

(ア) 送信機の構成

デジタル MCA はマルチサブキャリア方式であり 1 秒間に 4000 シンボルの伝送を行う (変調速度 4k シンボル/秒) 構成となっている。64QAM の場合は、1 シンボルは 64 とおりの内の 1 状態を表すことができ、その結果 6 ビットの情報を伝送する。同様に 16QAM では 1 シンボル当たり 4 ビット、QPSK では 2 ビットの情報を伝送する。その結果、M64QAM では、6 (ビット/シンボル) × 4000 (シンボル/秒) × 4 (サブキャリア数) = 96kbps のビットレートが得られる。同様の計算で、M16QAM は 64kbps、MQPSK は 32kbps が得られる。このように本適応変調方式では変調速度を一定に保ったまま、ビットレートを可変とすることが可能となる。

デジタル変調では、帯域を制限し定められた周波数帯域の外に不要な電波を放射しないようにするためにルートナイキスト特性のスペクトル整形フィルタが用いられる。発射される電波のスペクトルは、スペクトル整形フィルタの特性によって決定される。本方式では変調速度が変化しないため、スペクトル整形フィルタにデジタル MCA (現行の M16QAM) と全く同一のフィルタを用いることができる。そのため、帯域制限及び不要な電波の抑圧は従来の送信機と全く同等の性能・特性であり、占有帯域幅や隣接チャンネル漏洩電力といった特性は変化しない。つまり、変調速度が一定であれば、所要周波数帯域幅は変化しない。

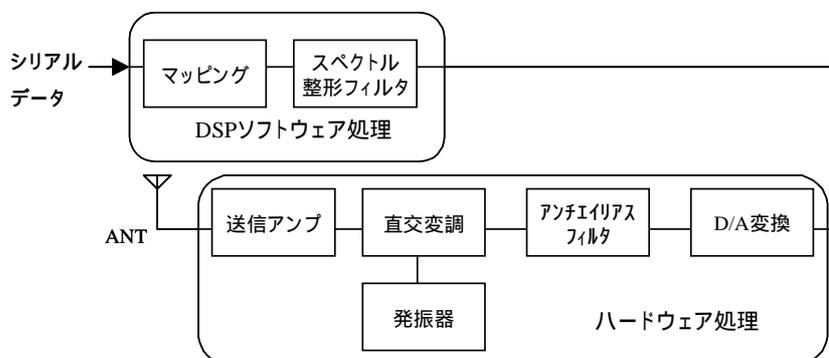


図2 - 1 送信機のブロック図

シンボルレート (変調速度) を変えないでビットレートを変える適応変調方式については変調方式を変えても占有帯域幅や隣接チャンネル漏洩電力は不変であり、ビットレートを可変しても他局への影響の程度が変化しないことがわかる。

(1) 受信機の構成

マルチサブキャリアのデジタル変調のように複雑な変調方式において復調するには DSP によるソフトウェア処理を行う方法が一般的である。

本適応変調方式は、MQPSK、M16QAM、M64QAM のいずれの変調方式においても、シンボルレート、帯域制限フィルタ（ルートナイキスト特性のロールオフ率）、サブキャリア間隔、サブキャリア数を変更しないことにより、M16QAM 用の変復調器のハードウェア全てと DSP ソフトウェアのスペクトル整形フィルタ、フェージング補正、同期検波部分のほとんどと多くの部分の共用が可能となる。

したがって、このようにほとんど同一の部分を使用する受信機にあっては、MQPSK、M64QAM の感度、隣接選択度、IMD 等の受信特性は、M16QAM の測定値に理論値を考慮することにより容易に推定できる。

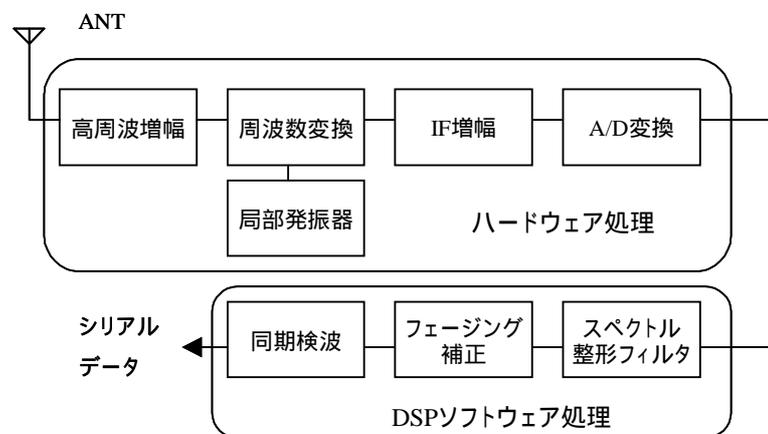


図2 - 2 受信機のブロック図

3 適応変調方式について

現在、携帯電話、PHS 等移動通信で使用されている、4 値位相変調（QPSK、 π /4QPSK 等）方式は回路構成が容易でフェージングに強いという利点を有するが、1 シンボル当たり 2 ビットの情報伝達しか行えない。デジタル MCA 陸上移動通信システムで採用されている 16 値直交変調（16QAM）方式は、1 シンボル当たり 4 ビットの情報伝達が可能であり、陸上移動通信における周波数の逼迫解消に有効な変調方式である。

固定マイクロ波通信で使用されている 64 値、256 値、あるいはそれ以上多値化した直交変調（QAM）方式は、1 シンボル当たりさらに多くのビットを伝送できるため周波数の有効利用のため非常に優れている方式である。しかしながら、符号間距離が小さいため干渉妨害に弱く、フェージング、干渉妨害に対する耐量が少ないため陸上移動通信で使用するには不向きと考えられている。

移動体通信において常に変動する干渉妨害、電波伝搬経路の状態を総合的に判断し、その時点での最良の変調方式を動的に選ぶことにより周波数利用効率の改善が図られ、限られた周波数を有効に利用できることは明らかである。

デジタル MCA システムに用いる適応変調方式は、M16QAM を中心とし、1 シンボル当たりの

情報量が2ビット多く、近距離の大量のデータ伝送に適した M64QAM と、データ伝送量は少ないがフェージング干渉耐量に優れ信頼性の高いデータ伝送ができる MQPSK の3通りの変調方式を用いることにより周波数の有効利用を図るものである。さらに将来においては、伝搬路の条件の非常に良い所で、より多値の直交変調方式を活用することが可能となり、更なる有効利用が図られる。

なお、理論上の伝搬距離よりサービスエリアを計算すると、M16QAM のそれを基準とし、その約 33%のエリアで M64QAM の利用が可能となる。MQPSK の使用はサービスエリアの拡大を狙うというより、ビル、山岳等の遮蔽効果への対応を主眼とする。

ここで、デジタル MCA システムと適応変調方式パケット伝送を組み合わせ使用することの利点を述べる。

特定スロットを1ユーザに占有させる回線接続方式ではスロットをいったん占有してしまうとデータの大小に関らず、しかも即時性の比較的低いデータに対しても通信完了までスロットを保持するので、移動通信下で主に想定されるデータ量が少なく、離散的なデータ通信においては周波数の効率化に結びつかない。

業務用無線の主な用途である音声通話はその性格上、多くの場合1通話につき30秒~1分と比較的短い時間、スロットに空きができる。パケット伝送方式はその空きを積極的に活用することにより既存の音声通話に影響を与えることなくサービスを行うことができるので、周波数有効利用に結びつく。さらに、パケット伝送方式はデータが無い場合、スロットを占有しないという利点がある。

データ伝送方式として従来から使用されている回線接続方式に加え、パケット伝送方式の選択肢を付加することにより、スロットを複数ユーザで共有することが可能となる。そのため、スロットに空きが少ない場合、またはデータ量が多い場合にスループットが悪化する恐れがあるが、適応変調方式パケット伝送の場合、利用可能となったスロット毎に最適な変調方式が選択されることから、スループットの改善を期待することができる。

表3 データ伝送実験例

データ伝送の種類	受信入力電圧	読込時間	伝送速度
パケット通信	強電界 20dB μ V (M64QAM)	約25秒	最高 38kbps 平均 12.0kbps
パケット通信	中電界 10dB μ V (M16QAM)	約35秒	最高 19kbps 平均 8.5kbps
回線接続	強電界 20dB μ V (M16QAM固定)	約40秒	最高 9.6kbps 平均 7.5kbps
回線接続	中電界 10dB μ V (M16QAM固定)	約45秒	最高 9.6kbps 平均 6.6kbps

(約 37kB の画像を含む、インターネットコンテンツの読込時間を測定した結果)

参考資料 4

「汎用IP無線通信システムに関する研究会」 開 催 趣 旨

北陸管内の無線局数は、平成14年3月末には177万局を超え、平成元年に比べ10倍を超えています。また、本年3月末の携帯電話・PHSの普及率は、石川県が62.1%と全国平均の59.0%を超えているほか、北陸三県平均でも二人に1台以上の普及率となっています。こうした中、無線局全体に占める携帯電話の割合が9割を超える一方で、自営無線の無線局数は減少傾向にあります。これは、携帯電話の利便性の高さを反映しているものと考えられますが、非常災害時における通信の輻輳等の問題を考慮すると、無線通信の利用が携帯電話に過度に集中することは情報通信基盤の脆弱性につながりかねないとの懸念もあります。

自営無線は、国、地方公共団体、公益事業の公共業務用やタクシー、運輸等の一般業務用等に広く使用され、地域社会の発展と安全の確保に大きな役割を果たすとともに、これら電波利用ニーズの増大に応えるため、デジタル化やナロー化により電波の有効利用が図られてきました。しかし、携帯電話・PHSや無線LANが容易にインターネットアクセス等のデータ通信が可能であるのに対し、音声通話を中心に発達してきた自営無線では、バスの運行情報、タクシーの位置情報などのデータ通信を行う場合、個々にシステム開発が必要となり導入コストの低廉化が困難であったり、また、コンピュータ等の情報機器を接続して簡便にデータ通信を行うことが難しいなどの課題があります。

一方、近年、無線通信技術は、一度により多くの情報を送れるデジタル変調方式や、同時に多くの利用者が通信できる多元アクセス方式、通信状態に応じて通信速度を可変する適応変調方式など高度な技術が開発され、無線LANなどで実用化が図られています。

このような最新技術を自営無線に適用し汎用性を高めることが可能であれば、一層、電波の有効利用が促進されるとともに、自営無線の高度化と低廉化を同時に実現できることから、携帯電話・PHSと自営無線の均衡ある発展が図られ、情報通信基盤の多様化と信頼性の向上が期待できます。

このことから、最新の無線通信技術を用いた汎用IP無線通信システムのモデルシステムを構築し、実証実験を通じて電波の有効利用に関する技術的特性を検証するとともに、自営無線におけるデジタル通信方式の有効性等について研究を行い、同システムの実用化に向けた課題と方策を明らかにすることを目的として本研究会を開催するものです。

平成14年10月

参考資料5

「汎用IP無線通信システムに関する研究会」 開 催 要 綱

1 目 的

情報通信基盤の多様性と信頼性の向上を図るためには、自営無線の利便性を高め携帯電話との均衡ある発展が望まれている。また、電波のひっ迫が深刻化していることから一層の有効利用が求められており、IT社会に相応しい自営無線の高度化が急務である。

このため、最新の無線通信技術を用いた汎用IP無線通信システムのモデルシステムを構築し、実証実験を通じて電波の有効利用に関する技術的特性等を検証するとともに、自営無線におけるデジタル通信方式の有効性等の研究を行い、同システムの実用化に向けた課題と方策を明らかにすることを目的とする。

2 名 称

この研究会の名称は、「汎用IP無線通信システムに関する研究会」とする。

3 検討事項

研究会は、上記の目的を達成するために次の研究を行う。

- (1) 最新の多元接続方式における電波の有効利用に関する技術的特性の検証
- (2) 自営無線におけるデジタル通信方式の有効性に関する研究
- (3) 自営無線に適した通信手順及びフレーム構成の研究
- (4) 自営無線の高度化に必要な機能等の研究
- (5) その他、システムの実用化に向けた課題と方策の検討

4 組 織

- (1) 本研究会は、北陸総合通信局長の委嘱を受けた委員により構成する。
- (2) 座長は、構成委員の互選により選出する。
- (3) 副座長は、座長が指名する。

5 運 営

- (1) 本研究会は、座長が招集し、主宰する。
- (2) 副座長は、座長を補佐し、座長不在の場合は座長の職務を代行する。
- (2) 本研究会の運営に関して必要な事項は、研究会において定める。

6 開催期間

平成14年10月から平成15年3月までとする。

7 事務局

本研究会の事務局は、北陸総合通信局無線通信部航空海上課が行う。

参考資料 6

「汎用IP無線通信システムに関する研究会」構成員名簿

(敬称略、順不同)

【座長】

大洞 喜正 金沢工業大学工学部情報工学科教授

【副座長】

丹 康雄 北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授

【委員】

坂中 靖志 石川県企画開発部情報政策課電子県庁推進室長

藤谷 忠安 北陸経済連合会専務理事

河合 成海 北陸電力株式会社情報通信部長

自営無線ユーザ協会北陸・信越支部長

竹嶋 英幸 財団法人近畿移動無線センター北陸事務所長

野路 光男 社団法人北陸自動車無線協会会長

田中 憲治 社団法人全国陸上無線協会北陸支部長

細野 昭雄 株式会社アイ・オー・データ機器代表取締役社長

中川 郁夫 株式会社インテック・ネットコア取締役CSO

緒明 春雄 株式会社東芝北陸支社長

坂井 俊夫 日本電気株式会社北陸支社長

西村 正 富士通株式会社北陸支社長

永見 英弘 松下電器産業株式会社北陸支店長

安齋 雄二 三菱電機株式会社北陸支社長

坂爪 秀彰 株式会社日立国際電気北陸支店支店長代理

八木 義男 総合通信基盤局電波部電波政策課周波数調整官

小川 博世 独立行政法人通信総合研究所横須賀無線通信研究センター研究主管

(第1回まで)

藤瀬 雅行 独立行政法人通信総合研究所無線通信部門

横須賀無線通信研究センター研究主管(第2回から)

参考資料7

「汎用IP無線通信システムに関する研究会」開催状況

1 第1回（平成14年10月16日（水） 於：北陸総合通信局会議室）

議題

- 1 開催趣旨の確認及び開催要領の承認等
- 2 座長の選出、副座長の指名
- 3 汎用IP無線通信システムの概要
- 4 実証実験及び研究項目の検討
- 5 最新の電波利用技術の動向
無線LANにおけるIP無線通信の現状
電波利用の現状と今後の展望

2 汎用IP無線通信システム公開実験

（平成15年2月12日（水） 於：北陸総合通信局会議室）

公開実験

- 1 汎用IP無線通信システムに関する研究の概要
- 2 公開実験の概要紹介と実験

3 第2回（平成15年2月28日（金） 於：北陸総合通信局会議室）

議題

- 1 研究及び実験結果について
- 2 報告書（案）について
- 3 自営無線システムの最新動向
 - ・ 自営用移動通信システムのデジタル化動向について

4 第3回（平成15年3月36日（水） 於：北陸総合通信局会議室）

議題

- 1 報告書について

平成15年3月

汎用IP無線通信システムに関する研究会報告書

発 行 総務省 北陸総合通信局

連絡先 総務省 北陸総合通信局
無線通信部航空海上課
〒920-8795 金沢市広坂2 - 2 - 6 0
TEL 076-233-4450 FAX 076-233-4489