

26GHz 帯加入者無線アクセスシステムにおける樹木遮蔽対策の検討

上野衆太[†] 高橋直人[†] 水本幸秀[†] 安井由幸[†]
 仁平勝利[†] 白水哲也[†] 大本 隆太郎[†]

[†]日本電信電話株式会社 NTT アクセスサービスシステム研究所

〒239-0847 神奈川県横須賀市光の丘 1-1

1. はじめに

近年、都市部において光ファイバ網等のブロードバンドインフラの整備に伴い、ブロードバンドサービスエリアが急速に拡大している。しかし、需要度の低い過疎地等においては、ブロードバンドインフラの整備はあまり進んでおらず、デジタルデバイドの解消が課題となっている[1]。準ミリ波帯を使用する広帯域 FWA (Fixed Wireless Access) システムは、需要密度の低いエリアに低コストで、迅速にブロードバンドサービスを提供可能なため、デジタルデバイド解消の有力なソリューションと考えられる。また、都市部においても、FWA システムは光ファイバ網と組み合わせて使うことにより、ブロードバンドサービスのラストワンマイル問題の有力なソリューションである。

そのような目的の元、NTT が開発したワイヤレス IP アクセスシステム (WIPAS: Wireless IP Access System) は準ミリ波帯 (26GHz 帯) を用いた加入者系 FWA システムで、2003 年より商用サービスを開始している[2]。本システムは、光ファイバ網と無線を組み合わせることで、Ethernet 転送速度最大 46Mbit/s のブロードバンドサービスを迅速に提供する [3]。

WIPAS を含む準ミリ波帯を使用する FWA システムは、広い周波数帯を占有して使用できるため、安定して高速データ伝送が可能である。しかし、高周波数帯を使用するため、基地局と加入者局間の見通しが必要である。FWA システムでは基地局、加入者局とも設置地上高が低く低層伝搬となるため、実際の伝搬路では樹木等による遮蔽環境の伝搬路も想定される。

伝搬路が樹木で遮蔽された場合、信号レベルは低下、変動する[4]。樹木遮蔽損失は加入者系 FWA システムのみならず、その他の無線通信等でも重要な回線設計パラメータであるため、ITU-R において評価モデルと推定式が勧告により示されている[5]。

本論文では、準ミリ波帯 FWA システムにおける樹木遮蔽の影響とその対策を検討するため、WIPAS のパラメータを用いた FWA システムに対する樹木遮蔽損失の影響と、樹木遮蔽損失の対策としてダイバーシチ、適応変調、反射板を適用した場合の伝送実験および伝送品質改善効果について述べる。

2. 樹木遮蔽の影響

樹木遮蔽損失を決めるパラメータとして樹木の種類、葉の状態、遮蔽経路長、アンテナビーム幅等がある[6]。また、風で枝葉が揺れることにより損失は変動し、その変動幅は風速に依存する[7]。樹木遮蔽損失の風による影響を調べるため、異なる種類の樹木を室内に設置し、送風機で風を当てて損失を測定した。

図 1 に樹木遮蔽損失の室内実験系を、表 1 にその諸元をそれぞれ示す。送信機、受信機にはそれぞれ WIPAS の基地局 (AP: Access Point)、加入者局 (WT: Wireless Terminal) を用いた。

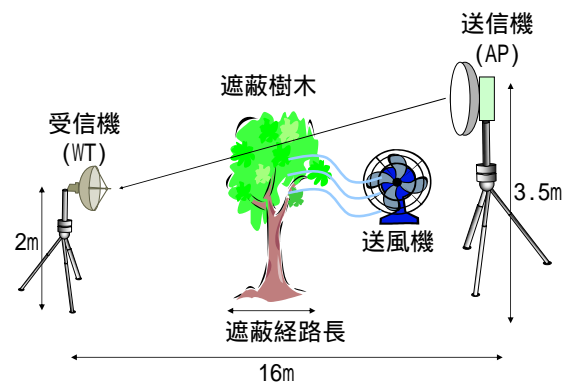


図 1 室内実験系

表 1 室内実験系諸元

項目		諸元	
装置 諸元	周波数帯	26GHz	
	偏波	水平	
	送信	ビーム幅	90°
		ゲイン	5dBi
	受信	ビーム幅	5°
ゲイン		31dBi	
送風機	風速	0 ~ 8m/s	
樹木	種別	クスノキ カイヅカイブキ	
	遮蔽長	2.6m (クスノキ) 0.6m (カイヅカイブキ)	

図2に樹木遮蔽損失の時間変動の一例として、クスノキを用いた実験結果を示す。

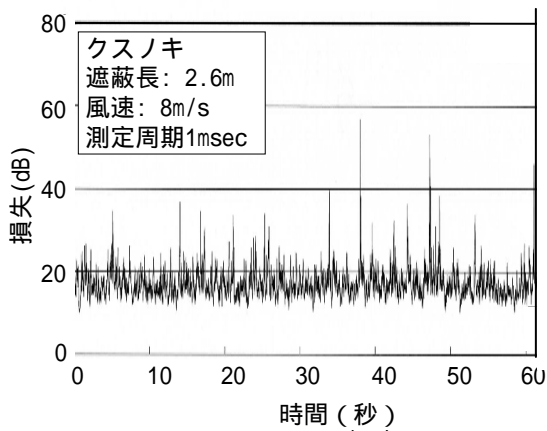


図2 樹木遮蔽損失の時間変動

損失はミリ秒単位で変動する。損失の平均値は約 20dB であるが、瞬間的に 50dB を上回る損失も発生する。

図3に樹木遮蔽損失の風速依存性を示す。

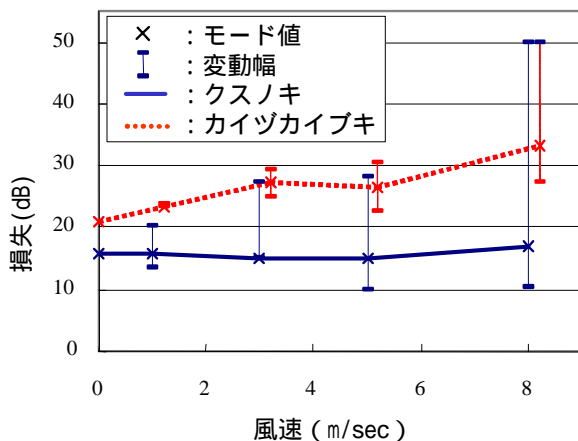


図3 樹木遮蔽損失の風速依存性

一般に、クスノキ等の広葉樹は無風時または風速 1m/s 以下の微風時には、損失のモード値は比較的小さいが、風速 3m/s 以上で枝葉が揺れ出すと損失は大きく変動する。一方、カイツカイブキ等の針葉樹は木全体が揺れるようになる風速 8m/s 以上になるまで損失の変動幅は比較的小さい。これらの損失の違いは樹種、樹木密度、枝葉の形状・付き方、枝の剛性等の違いに起因する。また、広葉樹、針葉樹に分類した中でも枝の剛性、葉の付き方により、樹木遮蔽損失の傾向は異なる。

3. 樹木遮蔽対策

樹木遮蔽対策は大きく以下の2つに分類される。

- (i) : 伝搬路を変更する。
- (ii) : 伝搬路はそのまま、システムマージンを拡大する技術を適用する。

対策(i)は、具体的には樹木遮蔽を避けるように位置への無線装置の移設、樹木の伐採等が単純な方法としてあるが、実現不可能なケースも多い。樹木を迂回する伝搬路を提供する反射板も設置場所を確保する等の条件が要求されるが、それをクリアできれば、無線装置へ機能追加することなく、経済的に樹木遮蔽環境を克服できる。

対策(ii)は、対策(i)が適用できない場合、樹木遮蔽損失を正面から受け止める方法で、具体的にはダイバーシチ、適応変調、イコライザ、誤り訂正、送信電力の増加等が挙げられる。これらの対策を実施する場合、装置コストの上昇、サイズの拡大は極力抑える必要がある。

これらの対策により、従来設置が困難であった樹木環境における準ミリ波 FWA システムの適用領域の拡大が実現できる。

以下の章では、通常、置局が困難と判定される程度の樹木遮蔽伝搬路に対し、スペースダイバーシチ、適応変調、反射板を適用した場合の伝送特性改善効果を検証実験結果により示す。

3.1 スペースダイバーシチ

樹木遮蔽損失は隣接する場所においても 10dB 以上のレベル差が存在し、時間変動することからダイバーシチの適用が有効と考えられる。図4に樹木遮蔽損失に対するダイバーシチの適用実験の構成を示す[8]。送信、受信アンテナは表1に記載のものを使った。

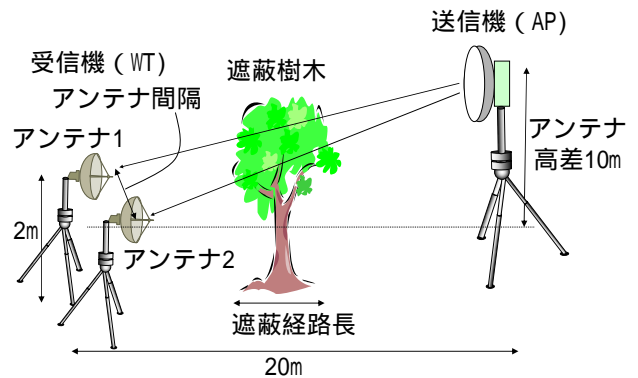


図4 ダイバーシチ適用実験系の構成

送信機と2台の受信機の見通しが両方とも樹木遮蔽される環境において、受信機2台を横に並べて、受信アンテナ間隔（アンテナ開口面中心間距離）をパラメータにして各アンテナの受信電力をサンプリング速度1kHzで約1分間測定した。遮蔽樹木は枝張り8.4m、緑葉状態の桜で、気象条件は天候晴れ、風速0~4m/sであった。また、上り回線についても同様の測定を行った。

受信電力が変動する時間帯における受信アンテナ間隔と空間相関係数との関係を図5に示す。アンテナサイズの制約による最短のアンテナ間隔20cm以上で、空間相関係数は最大0.2で、上下回線とも2台のアンテナ受信電力はほぼ無相関と言え、ダイバーシチ受信による伝送品質の改善効果が期待できる。

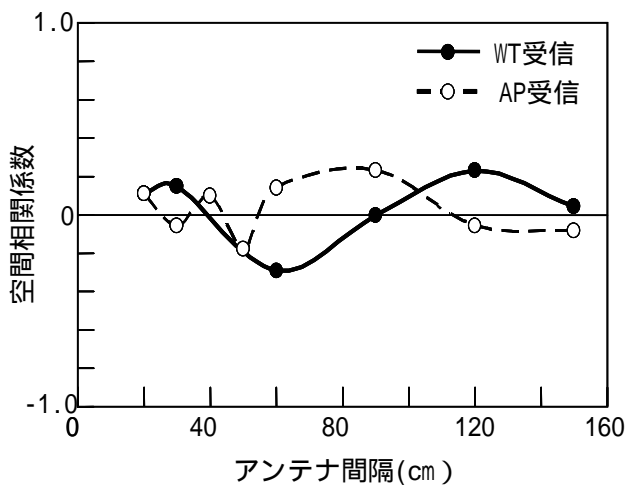


図5 受信アンテナ間隔と空間相関係数との関係

図6は、アンテナ間隔30cmの場合におけるアンテナ1、2および受信レベルの比較的高いアンテナを選択したダイバーシチ受信電力の累積確率をプロットしたもので、ダイバーシチ受信による伝送品質の改善効果を示す。受信アンテナ間隔30cmの場合、累積確率

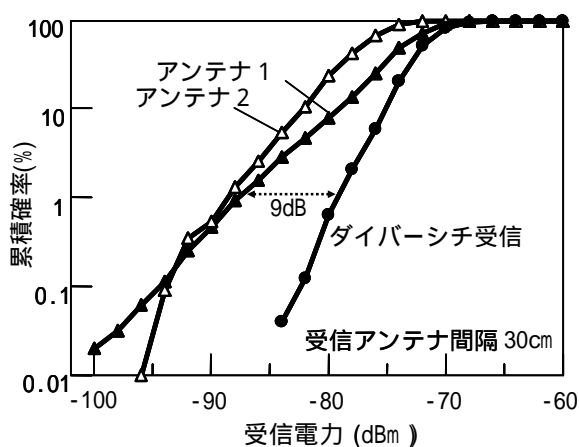


図6 ダイバーシチ受信による改善効果

1%におけるダイバーシチによる受信レベル改善量は約9dBであった。

アンテナ間隔を大きく離さなくともダイバーシチ受信の効果を得られるのは、樹木遮蔽経路がわずかに異なるだけで、樹木の枝葉の分布が大きく異なるためと考えられる。また、アンテナ間隔を離さずともダイバーシチ効果が得られるため、装置にダイバーシチをコンパクトに実装できる。

3.2 適応変調

適応変調は、無線回線品質に応じて変調方式を選択することにより、回線品質が良好な時の伝送速度の向上と稼働率の改善を実現する技術である[9]。

樹木遮蔽損失に対し適応変調を適用した場合、樹木遮蔽損失は風の影響により時間変動するため、通常の時で損失が小さい時は多値数の大きい変調方式を適用して伝送速度を上げ、風が強くと樹木遮蔽損失が大きくなった時は多値数の小さい変調方式に切り替えて通信を維持する。変調方式の切り替えは、伝送品質の切替しきい値を設定し、周期的に伝送品質の測定、変調方式の切替判定を行う。

図7に樹木遮蔽損失に対する適応変調の適用例を受信レベルの時間変化と変調方式の切り替えにより示す。WIPASを用い、送受信機の距離55m、遮蔽経路長10mの桜により遮蔽された伝搬路において測定周期1秒で4時間継続測定した。天候は晴れ、風速は0~4m/sであった。

ほとんどの時間、受信レベルは約-62dBmで16QAMにより通信可能している。しかし、受信レベルが16QAMの所要受信レベルを下回った場合、変調方式が16QAMからQPSKに切替わっている。受信レベルがQPSKの所要レベルよりも高い場合、不稼働を発生することなく通信が可能である。

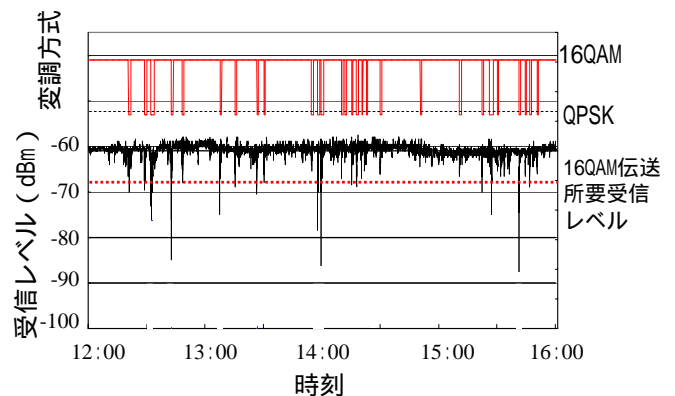


図7 樹木遮蔽損失に対する適応変調の適用例

図8に適応変調による稼働率改善の測定例として、適応変調適用時(16QAMとQPSKを切替)と適応変調不適用時(16QAM固定時)におけるそれぞれの変調方式および不稼働の時間率を示す。測定期間は5ヶ月である。

稼働率は16QAM固定時には90%であるのに対し、適応変調適用時には99%に改善した。これは、16QAM

固定時の 10% の不稼働時間のうち 9% が QPSK で通信することにより稼働時間に変わったためである。

本測定は特定の伝搬路条件、品質条件における一例であるが、一般的な樹木遮蔽環境においても適応変調を用いることで、樹木遮蔽損失による受信レベル低下に伴う不稼働を改善できると推測する。

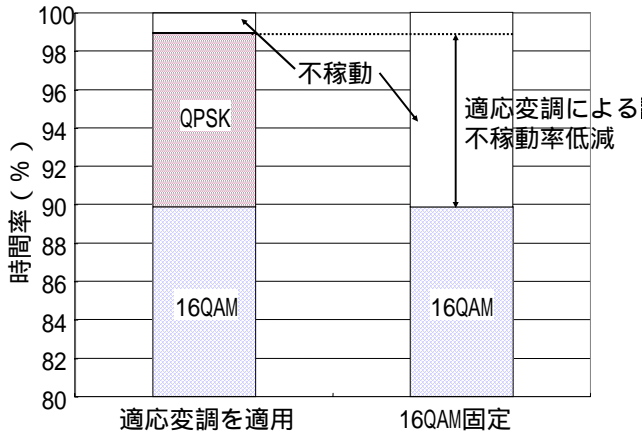


図 8 適応変調による稼働率改善の測定例

3.3 反射板

反射板は適切な設置場所を確保できさえすれば、無線装置への機能追加なしで樹木遮蔽損失を回避できる。

反射板により樹木遮蔽経路を迂回した場合の品質改善効果について検討した[10]。図 9 に樹木遮蔽に対する反射板適用実験系の平面見取り図を示す。

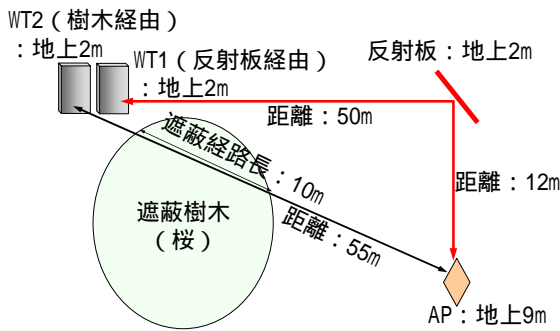


図 9 樹木遮蔽に対する反射板適用実験系の平面見取り図

WT1、WT2 を隣接して設置し、それぞれ反射板経由、樹木経由で AP と接続した。AP-WT2 間の距離 55m のうち 10m が樹木（桜）により遮蔽されている。送信、受信アンテナは表 1 に記載のものを用いた。反射板は AP から 12m、WT1 から 50m の双方から見通しのある

場所へ設置された。反射板の大きさは 40cm x 40cm、反射能率は 0.85 の平面型を用いた。

図 10 に反射板経由と樹木遮蔽経路経由の各 WT の受信レベルの測定例を示す。樹木遮蔽経路経由では、受

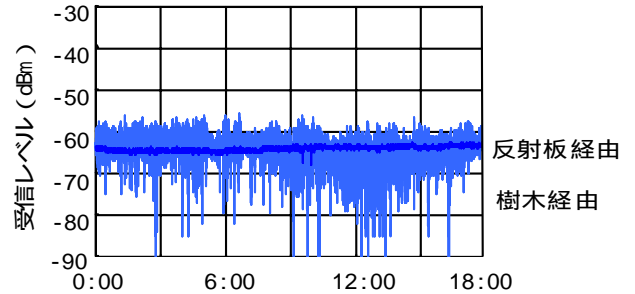


図 10 反射板経由と樹木遮蔽経路経由の WT 受信レベルの測定例

信レベルは 30dB 以上変動する。それに対し、反射板経由では、受信レベル変動は約 2dB で安定して通信可能である。

4. まとめ

準ミリ波帯を使用する FWA システムで問題となる樹木遮蔽の影響および樹木遮蔽損失の樹種、風速に対する傾向を示した。また、樹木遮蔽損失の対策として、ダイバーシチ、適応変調、反射板の適用について実験結果および伝送品質の改善効果例を示した。

樹木遮蔽損失の測定例として、クスノキ（広葉樹）とカイヅカイブキ（針葉樹）の測定例を示した。それらの樹木遮蔽損失は無風時、平均損失 10~20dB、変動幅 0dB であるのに対し、風で枝葉が揺れると最大 50dB を上回る損失になることを明らかにした。また、樹種等により風に対する平均損失、最大損失の応答が異なることを明らかにした。

樹木遮蔽経路に対し、2 台のアンテナを用いた受信ダイバーシチの適用実験を行った。ダイバーシチ受信レベルの空間相関係数は最大 0.2 で、2 台のアンテナ受信電力はほぼ無相関であった。受信アンテナ間隔 30cm の場合、累積確率 1% におけるダイバーシチによる受信レベル改善量は約 9dB であった。

樹木遮蔽経路に対する適応変調による稼働率の改善効果を 16QAM 固定時と適応変調適用時で比較した。測定例として、16QAM 固定時 90% の稼働率が適応変調適用時には 99% に改善されることを示した。

反射板により樹木遮蔽経路を迂回した場合の品質改善効果について実験結果を示した。反射板経由では、受信レベル変動は約 2dB で安定しており、反射板の適用が樹木遮蔽損失に対して有効であることを確認した。

樹木遮蔽損失は準ミリ波帯 FWA システムの伝送品質を大きく劣化される深刻な障害要因の一つである。しかし、本論文で示した対策を適用することにより、伝送品質を改善でき、樹木環境での準ミリ波帯 FWA の適用領域を拡大することができる。

文 献

- [1] 平成 16 年版情報通信白書, 総務省(編), pp.4-5, 264, 株式会社ぎょうせい, 2004.
- [2] 仁平勝利、馬場光浩、斉藤利夫, “ワイヤレス IP アクセスシステム(ステップ 2)の開発,” NTT 技術ジャーナル, Vol. 15, No. 6, pp.34-37, 2003.
- [3] http://fleets-w.com/bfleets/service_menu/wireless/index.html
- [4] Craig, K.H., et al., “Propagation studies for enhanced broadband wireless access,” URSI General Assembly, Maastricht, Netherlands, August 2002,
- [5] ITU, “Attenuation in vegetation”, Recommendation ITU-R P.833-4, 2003.
- [6] 大本隆太郎、高橋直人、根本能成, “準ミリ波帯無線アクセスシステムにおける樹木遮蔽損失の推定に関する一検討,” 信学総大 B-5-270, Mar. 2003.
- [7] R. Ohmoto, and N. Takahashi, “An experimental study on attenuation through vegetation for quasi-mm wave band fixed wireless access system,” URSI-F2004, Cairns, Australia, June.2004.
- [8] 上野衆太、高橋直人、大本隆太郎, “準ミリ波帯無線アクセスシステムにおける樹木遮蔽に対するダイバーシチ効果の実験的検討,” 信学ソ大 B-5-149, Sept. 2004.
- [9] 水本幸秀、吉江智孝、畠山康弘、杉本圭一郎、丸山秀幸、馬場光浩, “ワイヤレス IP アクセスシステムにおける適用領域拡大のための取り組み,” NTT 技術ジャーナル, vol.16, no.7, pp64-68, July 2004.
- [10] 本間文洋、白水哲也、原田耕一、仁平勝利、馬場光浩, “ワイヤレス IP アクセスシステムにおける反射板の評価,” 信学総大 B-5-237, Sept. 2003.