ミリ波帯高速無線伝送システムに関する
調査検討　報告書　概要版

平成22年3月

ミリ波帯高速無線伝送システムに関する調査検討会

ミリ波帯高速無線伝送システムに関する調査検討　報告書概要①

背　景

光ファイバ伝送路の敷設が困難な地域などに、柔軟かつ比較的容易に大容量伝送の回線構築ができる無線伝送システムの実現が求められている。

様々な高速無線伝送システムが検討されているが、ミリ波帯では降雨減衰等による回線瞬断に伴う信頼性の問題等から、これまで国内では実用化に至っていない

検証システムによる降雨降雪減衰等、電波伝搬特性に関する技術的データの収集・分析を行うことが重要

「ミリ波帯高速無線伝送システムに関する調査検討会」を開催

（目的）

未利用周波数帯である70/80GHz帯を使用するミリ波帯高速無線伝送システムの技術的調査検討を行い、システムの早期実用化に係る技術基準の策定に反映させ、もって周波数の有効利用に資する。

（主な検討項目）

- 電波の伝搬特性（雨・雪等による減衰の影響）に関する調査検討
- 実用化に向けた利活用分野の検討及び課題の整理
- その他、調査検討会の目的達成のために必要な事項

（組織）

「ミリ波帯高速無線伝送システムに関する調査検討会」を設置し、調査検討会内に「実用化検討部会」を組織して、部会では、実用化に向けた利用方策の提案及び課題を整理

（開催期間）

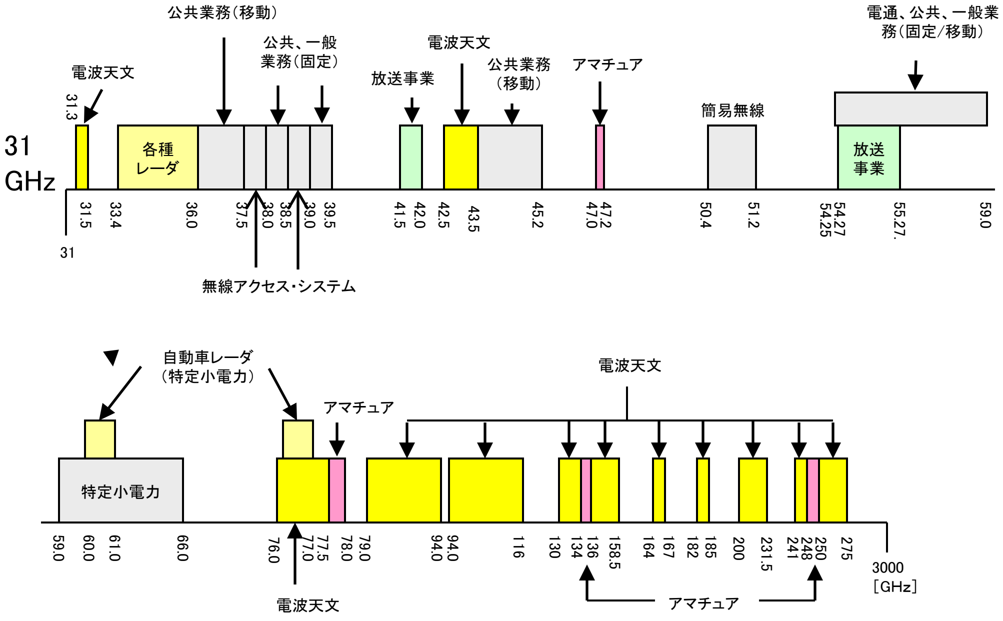
平成21年6月～平成22年3月

ミリ波帯高速無線伝送システムに関する調査検討　報告書概要②

ミリ波帯周波数の特性

ミリ波は、波長1mm～10mm、周波数30GHz～300GHzの電波の総称。
この電波は、大気中を伝搬する時、降雨等の降水粒子により散乱・吸収され、それによる減衰が顕著な影響を与える。

ミリ波帯周波数の割り当て状況



ミリ波帯周波数の利用状況

無線局の目的等	電波利用システムの形態	周波数帯	免許
電気通信業務用	無線アクセスシステム	60GHz	必要
公共・一般業務用	中継・エントランス回線	40GHz	
公共業務用	画像伝送システム		
放送業務用	放送事業用システム（FPU）	42/55GHz	
鉄道業務用	駅ホーム画像伝送	40GHz	
簡易な業務用	画像・データ伝送用簡易無線	50GHz	
アマチュア業務用	アマチュア無線	47/78/135/249GHz	
特定小電力無線局	ミリ波データ伝送（高速無線LAN）	60GHz	不要
	ミリ波画像伝送（家庭内再送信）		
	ミリ波レーダ（自動車衝突防止・車間計測）	60/76GHz	

ミリ波帯高速無線伝送システムに関する調査検討　報告書概要③

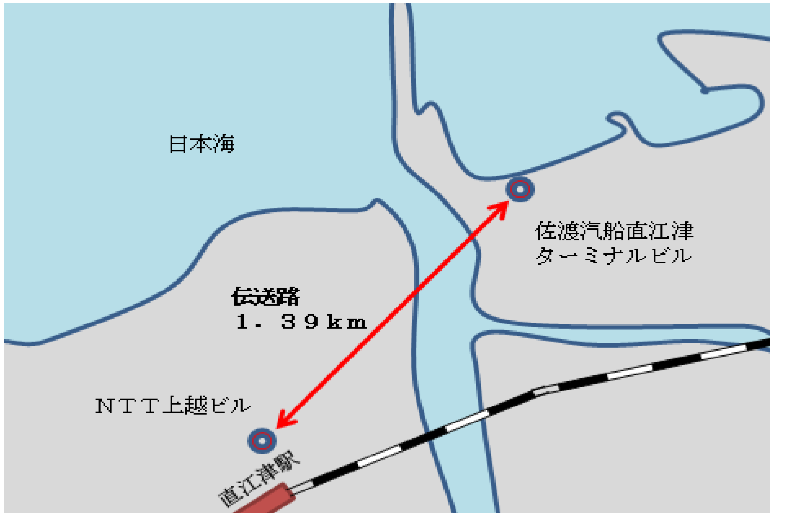
検証試験の概要

■無線局の位置

・新潟県上越市西本町4-3-3　NTT東日本　新潟上越ビル　アンテナ標高37m
（北緯37度10分21秒　　東経138度14分26秒）

・新潟県上越市港町1-9-1　佐渡汽船直江津ターミナルビル　アンテナ標高29m
（北緯37度10分58秒　　東経138度15分00秒）

■距離　1.39km



■測定期間　　平成21年10月28日から平成22年1月19日まで
（Ping伝送：平成21年11月19日から平成22年1月19日まで）

■測定項目等

・測定項目
受信電力、降雨強度、気温・湿度（佐渡汽船直江津ターミナルで取得）
Pingデータの到達状況（折り返しにより佐渡汽船直江津ターミナルで取得）

・測定に併せて、送受信アンテナ（2箇所）の状況を撮影

■検証試験に使用した検証システム

項目	仕様	備考
周波数	73.5GHz 83.5GHz	測定では83.5GHzを使用
送信出力	最大100mW	最大20dBm
変調方式	ASK（OOK変調）	
占有周波数帯幅	4.95GHz（70GHz帯） 3.66GHz（80GHz帯）	
最大伝送量	1.5Gbps	
アンテナサイズ	10inchLens	25cm
アンテナ利得	43.6dBi（70GHz帯） 44.5dBi（80GHz帯）	ビーム幅1.1°（70GHz帯） ビーム幅0.9°（80GHz帯）
スレッショルド	-54dBm@10^{-6}BER	

■受信電力と測定マージン

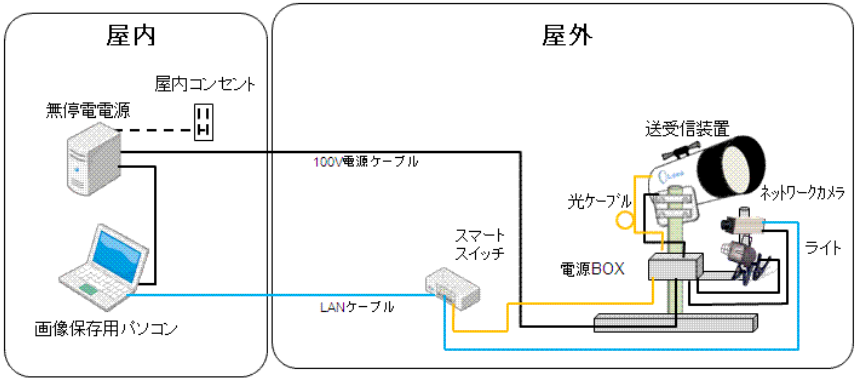
本試験での定常時受信電力は-27.0dBm
減衰測定マージンは同様に実測された最小受信電力から
約30dB

項番	項　　目	数値
1	中心周波数	83.5GHz
2	定常時受信電力	-27.0dBm
3	最小受信電力	-57.0dBm
4	測定マージン	30.0dB

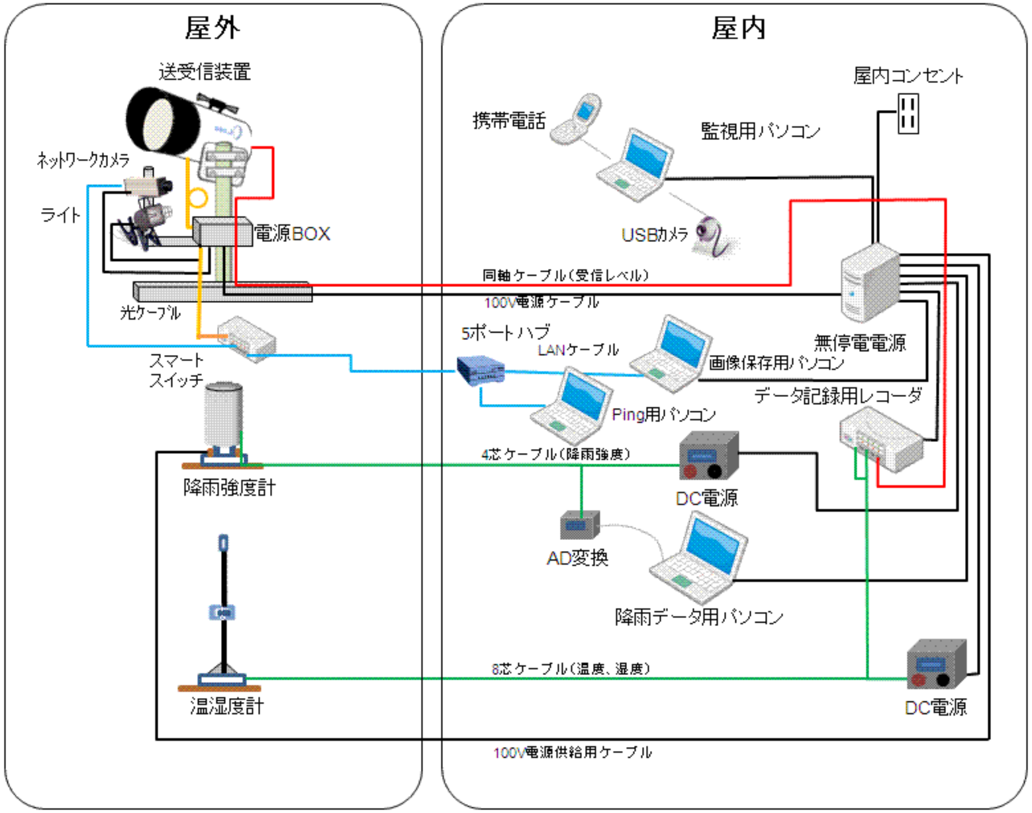
ミリ波帯高速無線伝送システムに関する調査検討　報告書概要④

システム構成図

【NTT東日本　新潟上越ビル】



【佐渡汽船直江津ターミナルビル】



降雪時のアンテナ面（12月19日）

ミリ波帯高速無線伝送システムに関する調査検討　報告書概要⑤

検証システムの電波伝搬試験結果と考察

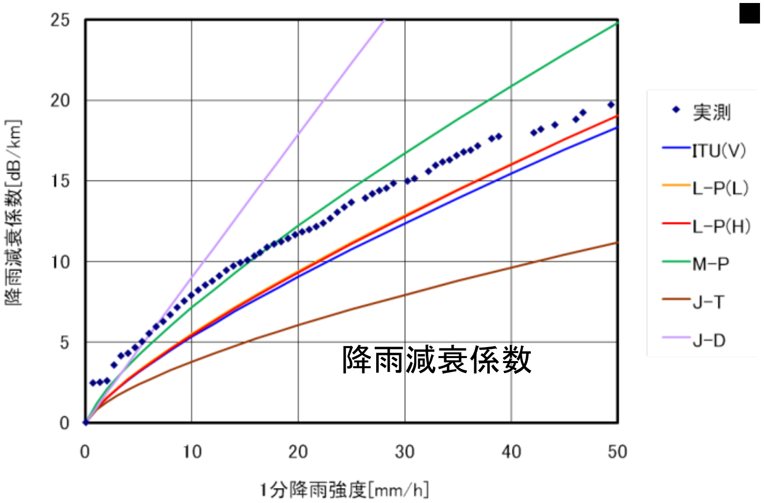
■ データ処理結果の取りまとめ方法

受信電力低下の原因となる降雨や降雪について、種類が比較的一定と考えられるイベント毎（降雨、降雪直前の降雨、みぞれと湿雪、湿雪とｱﾝﾃﾅ着雪、湿雪とｱﾝﾃﾅ積雪、乾雪とｱﾝﾃﾅ積雪）のデータを処理することにより、典型的な降雨や降雪イベントにおける減衰特性をそれぞれ切り分け、ミリ波帯回線設計法構築の基本となる降雨・降雪による減衰に関するデータの処理結果を中心にまとめた。

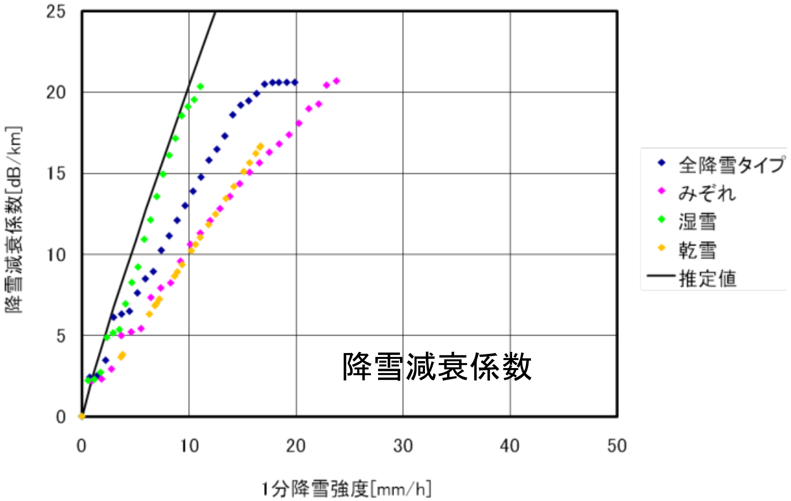
また、Ping伝送試験については、降雨強度・受信電力とタイムアウト回数の相関関係を示し、併せて、画像データを参考にして、湿雪と乾雪によるアンテナ面への着雪とタイムアウト回数についても取りまとめた。

■ 降雨減衰係数等の考察

【降雨減衰係数】
降雨強度が約20mm/hより小さい領域でM-P（Marshall-Palmer）モデルに近く、それより大きくなるに伴ってITU(V)※モデルに近づいている。
※ITU提示の80GHz帯の垂直偏波



【降雪減衰係数】
降雪タイプによって差異が表れており、湿雪時の降雪減衰係数が推定値※に近く、みぞれおよび乾雪時に降雪減衰係数が小さい特性がみられる。
※他地域のミリ波等の伝搬試験実測値との比較による推定値



■ Ping伝送・イベントから見る降雨・降雪減衰による回線状況の特徴と考察

【降雨】
受信電力が概ね-54 dBm以下になるとPingタイムアウトは発生しやすくなるが、-54 dBm付近であってもPingタイムアウトは発生していない。
降雨については、最大1分降雨強度45.3mm/h時に最大降雨減衰量27.49dB、最大BER 1.70E-04、5回のPingタイムアウトが生じている。
Ping試験中は、このほかには降雨によるPingタイムアウトは生じていない。

【降雪】
アンテナ着雪による減衰も含み、1分降雪強度10mm/h時に、みぞれや乾雪では10dB/km、湿雪では20dB/km程度生じている。
また、このことから着雪対策を施さない場合には、距離1.39kmで降雪・着雪により30dB程度の減衰を生じる。

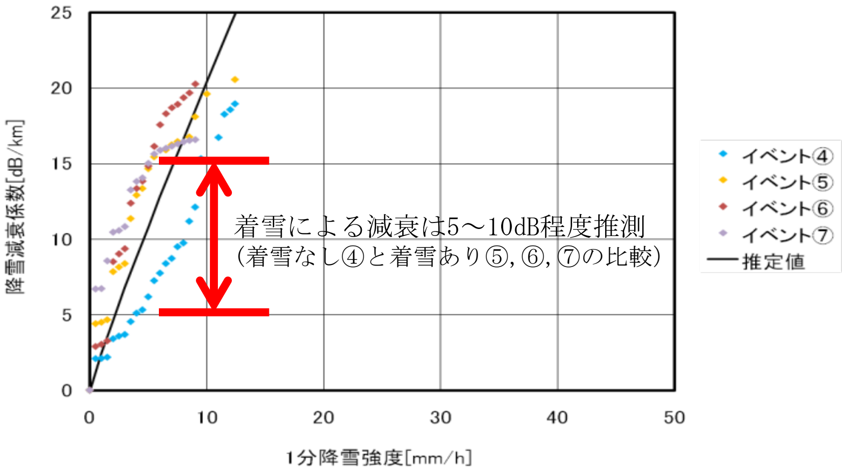
ミリ波帯高速無線伝送システムに関する調査検討　報告書概要⑥

■ イベントから見る降雨･降雪減衰による回線状況の特徴と考察 （アンテナ着雪）

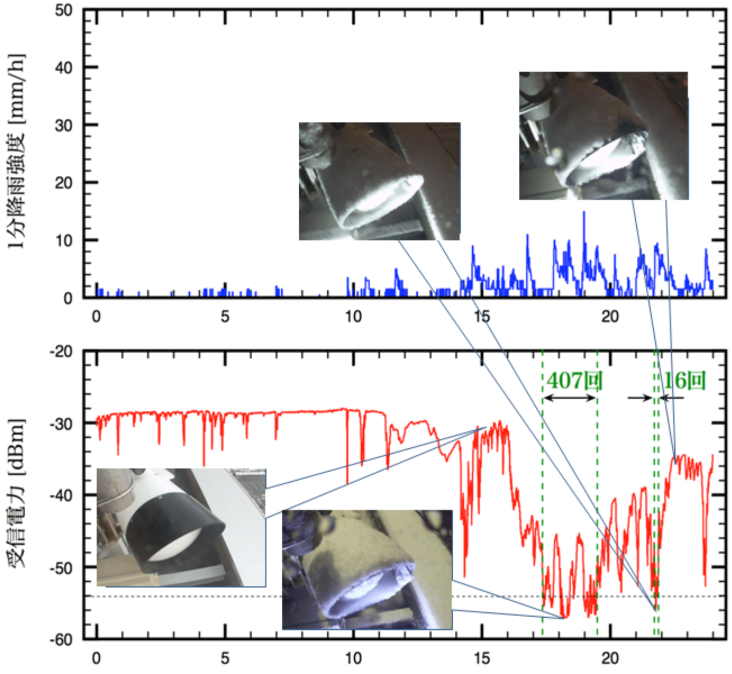
アンテナへの着雪の影響については、イベントごとの比較によると5～10dB程度の減衰が推測され、距離1.39kmで着雪対策をしていないこのモデルでは、12月19日～20日湿雪（最大1分降水強度14.9mm/h）とアンテナ着雪により最大BER 1.00E-02と400回を超えるPingタイムアウトが生じている。

しかし、1月13日～15日乾雪（最大1分降水強度10.5mm/h）では、アンテナ着雪があるにもかかわらず最大降雪減衰量24.91dBと、Pingタイムアウトは生じていない。

また、同日14時29分にアンテナに着雪していた雪が落下しており、このとき受信電力が階段状に急激に回復している。降雪がほぼ止んだと見られる同日13時と回復時である同日14時29分と比較すると着雪で10dB程度の減衰量があったことがわかる。

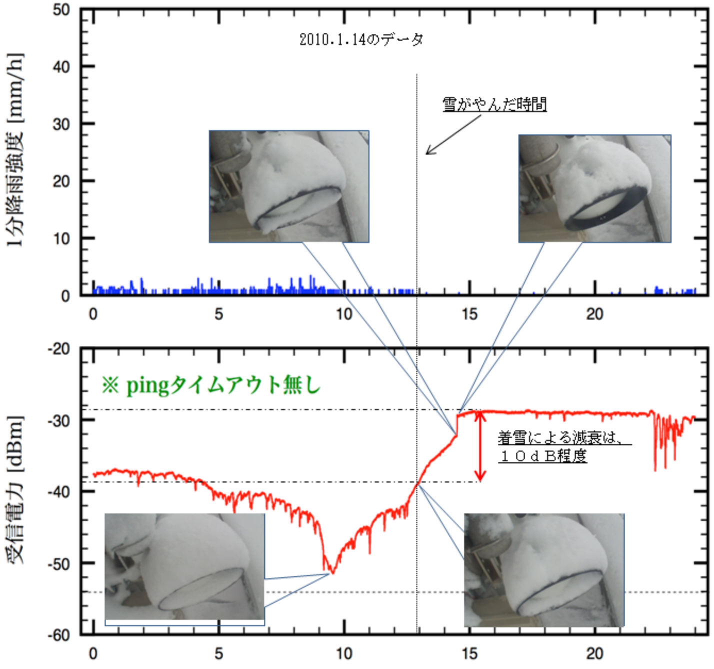


【12/19　24時間の状況と写真（佐渡汽船側）】
湿った雪が、アンテナ表面に着雪



【タイムアウト423回】

【1/14　24時間の状況と写真 （佐渡汽船側）】
乾いた雪がアンテナ表面に着雪



【タイムアウトなし】

ミリ波帯高速無線伝送システムに関する調査検討　報告書概要⑦

試験結果を踏まえた評価

■降水（降雨・降雪）減衰等に関する試験結果の評価

1　降雨・降雪強度分布は、M分布よりもガンマ分布に比較的よく近似できている。

2　降雨減衰確率分布は、降雨強度の場合と同じくM分布よりもガンマ分布への近似度の方が高い。

3　回線設計は、降雨強度により雨滴粒度分布を変えるならばJ-D（霧雨）分布等※ の粒度分布形による減衰係数を用い、弱雨時や強雨時の誤差を許容するならば平均的なM-P分布またはITU分布を統一的に使用することにより可能。

※J-D（霧雨）分布、M-P分布、J-T（雷雨）分布

4　実測値を用いて降雪減衰係数を求めると、着雪込みの降雪減衰係数は、着雪減衰込みの数値と推測される既存11～48GHz帯の実測結果から、仮に80GHz帯の減衰係数を提示し、本試験の実測結果が比較的よく推定結果と一致していることから、回線設計上は着雪込みの推定値として以下の式を活用する方法が考えられる。

＜降雪減衰係数「Γ　＝$2.475R^{0916}$　(dB/km)」＞

80GHz帯の降雪減衰データの取得は国内初

■検証システムに関する評価

【無線装置の安定性】
　試験期間約3か月間の間無線設備の故障等はなく、安定して動作

【回線の安定性】
　本試験で使用した装置特性（最小受信電力）を基本に、電波法関係審査基準で用いられる20GHz帯の降雨減衰推定法及び回線設計法、さらに実測された降雨減衰係数を使用して評価

＜計算上の利用の目安＞
・不稼働率0.004％／年（22GHz帯電気通信事業用FWAと同率）では1km程度
・不稼働率0.03％／年（18GHz帯公共業務用FWA及び23GHz帯CATV放送中継用回線規格程度）では2km程度

（※アンテナ着雪は考慮していない。）

（評価計算に使用したパラメータ）

周波数	中心周波数　83.5GHz
空中線電力	100mW（20dBm）
空中線利得	44dB
送受給電損失	3dB
	試験距離（1.39km）の時の定常時受信電力（-27dBm:実測値）から逆算
最小受信電力	－57dBm

【アンテナ着雪対策が有効】
　降雪時には、降雪による減衰のほかに、アンテナ面への着雪の減衰が5～10dB程度推測されるので、降雪地域ではアンテナへの着雪対策等を行うことが有効。

ミリ波帯高速無線伝送システムに関する調査検討　報告書概要⑧

今後の検討課題

■降水（降雨・降雪）減衰等の評価に必要となる課題

【降雨減衰評価に関する課題】
降雨強度確率分布形
確率分布決定パラメータの導出法
降雨設計値
降雨設計値の時間率
一様降雨補正係数
降雨空間相関関数
降雨減衰係数
減衰分布の確率の低い領域での飽和現象の定量化

【降雪減衰評価に関する課題】
降雪強度確率分布形
降雪強度分布の確定法
雪の種類による減衰の評価
降雪減衰係数
着雪を含まない降雪減衰の評価
有効なアンテナ着雪軽減対策の検討

■ミリ波帯高速無線伝送システムの課題

【回線品質の向上等に関する課題】
・メッシュ化、ループ化、冗長化、高利得の空中線使用
・通信距離の延長は、高利得の空中線や多段中継が必要
・アンテナへのフード・屋根設置、ヒーター、撥水剤塗布　等

【システムの高度化等の課題】
・変調方式・部品の高度化、偏波ダイバーシチ採用

【測定方法】
・ヘテロダイン測定法でダウンコンバートして測定
・プリスケーラ（分周器）で測定

【制度上（電波監理上）の課題】
・移動する無線局として運用が望ましい
・普及促進の観点からは免許不要となることも望まれる
・無線局の用途は幅広い使用を可に
・無線局免許に当たり電波天文業務への条件を検討すべき

■技術的条件の提案

【　周波数等　】	
（1）周波数	73.5GHz及び83.5GHz 許容偏差は18GHz帯FWAと同等
（2）電波型式	K1D又はA1D
（3）占有周波数帯幅	PSK変調や多値化を考慮
（4）空中線電力	100mW以下
【　スプリアス強度　】	無線設備規則の一般則を適用
【　空中線の特性等　】	絶対利得40デシベル以上

ミリ波帯高速無線伝送システムに関する調査検討　報告書概要⑨

利用方策と普及への課題

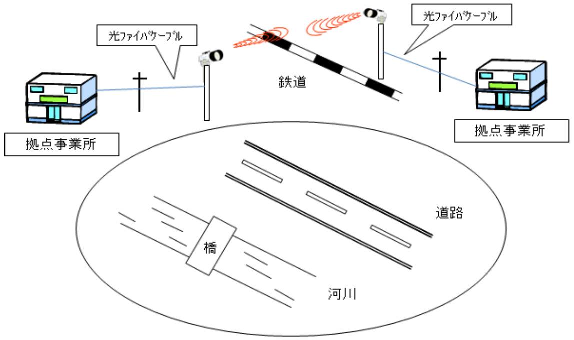
■利点

★河川や山間部などの自然環境的制約を解消する高速通信手段として非常に有効
★有線回線の設置では採算が取れない地域ネットワーク末端の代替手段、無電柱エリアへのネットワーク整備手段として有効
★空中線を含む無線設備の小型化が図れ、低消費電力とすることが可能　　　　　　　等

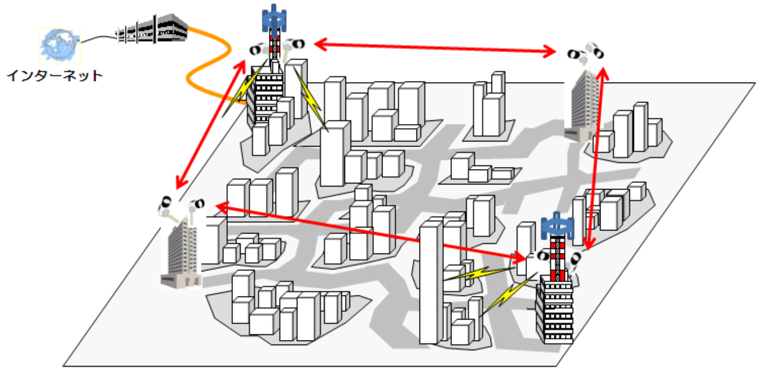
■普及への課題

★光ファイバと比較して、システム設置等を含めた機器購入費及びランニングコストが安価であることが重要
★ネットワーク等との中継接続が容易であること、システム全体に係る機器操作が容易であること
★一時利用にあたっては、迅速なシステム構築、できる限り小型・低消費電力システムで多様な電源系統に対応できること

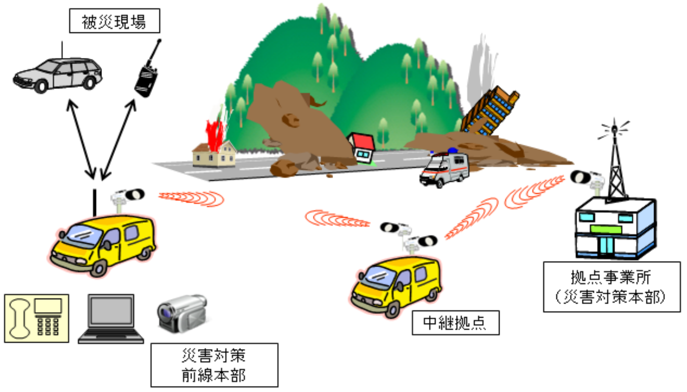
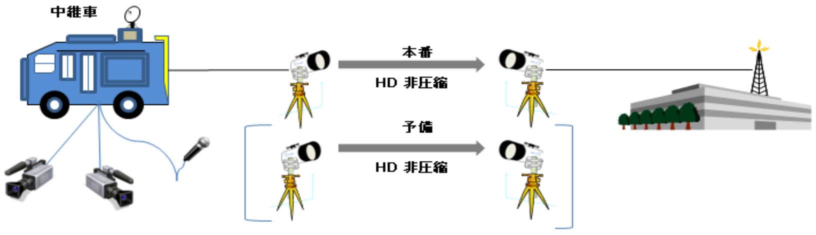
【河川・鉄道、入り江等の横断、島しょ地域、国立公園等山間地等における基幹回線】



【携帯電話・WiMAX基地局・FWAのバックホール】



【非常災害時の臨時ルート利用】



【遅延ゼロ（リアルタイム）の放送中継】