

次世代放送システムのための周波数共有 技術等に関する検討 (概要)

120GHz帯FPUに関する技術試験事務の結果
(平成22年度)

実施の目的

- ・平成18年度から平成21年度に実施した「ミリ波帯高精細映像伝送技術の研究開発」結果を受けて、10Gbps級の高速・大容量伝送120GHz帯無線システムの実技術基準策定に向けて以下のデータを取得しとりまとめる。
- ・実施期間:平成22年度 1年間
- ・120GHz帯無線システムの制度化のための情報通信審議会に寄与するための基礎データとする。

実施項目

要求条件の明確化

- ・システムイメージ、所要伝送容量、伝送距離

無線設備の技術的条件

- ・周波数配置、占有周波数帯幅など基本的条件の策定

実証試験

- ・回線品質の検証

測定技術

- ・計測器の構築や電力標準等の整備が遅れている120GHz帯無線信号の測定方法等の実施

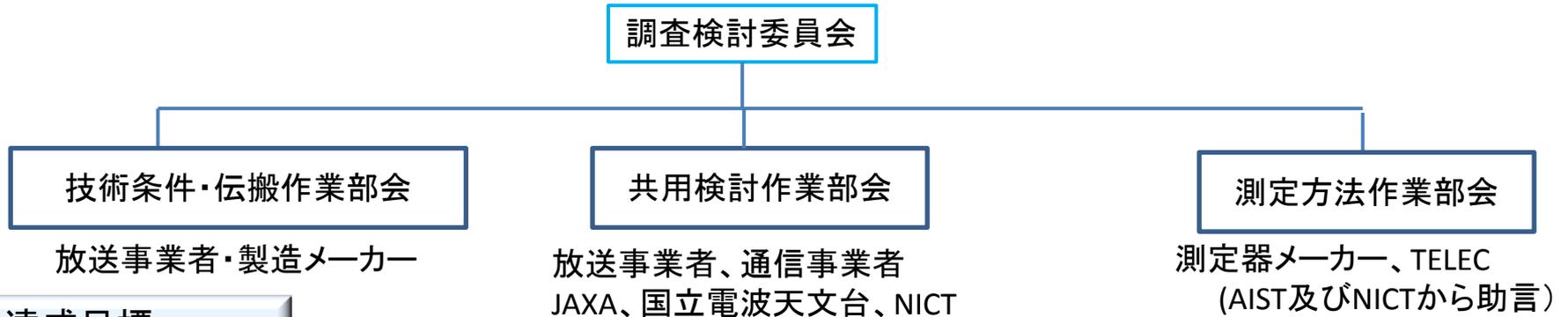
周波数共用技術の検討

- ・電波天文や受動業務との共用条件の策定

次世代放送システムのための周波数共用技術等に関する検討概要

1 検討会の構成

1年間で、無線設備条件、共用検討、測定技術等多岐にわたる項目を実施するため以下の委員会構成で実施。
関係団体や機関を作業部会構成員として配置



2 達成目標

- 👉 基本的技術条件の取りまとめ(周波数配置、通信方式、変調方式、電波の型式、伝送容量)
- 👉 無線設備の技術的条件の取りまとめ(周波数許容偏差、占有周波数帯幅、空中線電力の許容値など)
- 👉 無線設備の測定方法の策定(周波数、占有周波数帯幅、空中線電力、不要発射などの測定方法)
- 👉 他システムとの共用条件の取りまとめ(電波天文、地球探査衛星、移動、固定、アマチュア等)

これらの目標達成を踏まえて

- ・平成23年度中に情報通信審議会にて技術的条件を策定
- ・平成24年度中に電波法令(無線設備規則等)に反映させて制度化
- ・平成25年度には120GHz帯の市場流通が図られるものと推測

次世代放送システムの周波数共用検討技術の検討成果(とりまとめ)

1 無線設備規格

	無線設備規格	規格値
1	周波数配置	周波数配置 116GHz-134GHz 中心周波数 125GHz(帯域幅 18GHz) 中心周波数 128GHz(帯域幅 11.5GHz) 中心周波数 130GHz(帯域幅 8GHz) 中心周波数 132GHz(帯域幅 4GHz)
2	通信方式	単向通信方式又は復信方式
3	変調方式	ASK又はPSK
4	伝送容量	最大12Gbps(QPSK 24Gbps)
5	周波数の許容偏差	500ppm
6	空中線電力	1W以下
7	空中線電力許容値	上限50% 下限70%
8	スプリアス発射又は不要発射の強度の許容値	帯域外における不要発射の強度 100 μ W スプリアス領域内にある不要発射 50 μ W

2 測定技術

100GHz帯を超えるスペクトル測定器を構成、測定方法を確立。較正方法についても取りまとめた。

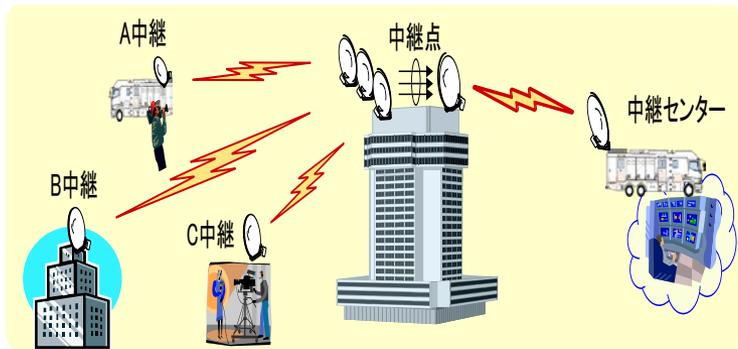
3 周波数共用検討

- ・電波天文業務: 見通し内、又は見通し外で50km以内においては運用調整 他の業務: 共用可能
 - ・静止衛星 : 共用可能(帯域幅が1GHzの場合は、送信電力0.1Wで共用可能)
 - ・非静止衛星: 共用可能
- * 共用検討は、最悪値での干渉検討であり、実機におけるフィルタ等の考慮により改善量は増加する。

要求条件の明確化

利用者の運用イメージ

複数の中継現場からの信号をまとめて1波で伝送



各局共用の素材伝送回線



120GHz帯システムの普及を図る観点からの運用イメージを調査し技術的条件の参考とする。

- 中継現場からの信号を多重伝送
- 放送局で共用する素材回線
- 大イベントでの中継
- 近距離での固定伝送
- 災害時のバックアップ等

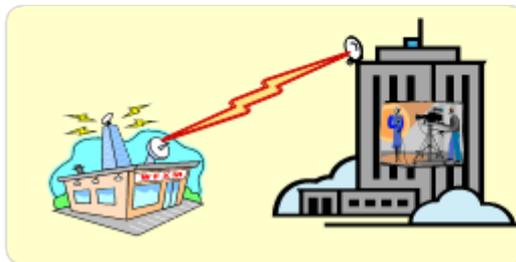
道路、河川などを横断する短距離の中継、ビル屋上などからの引き下ろし回線



ユーザーが120GHz帯システムに要求する機能

使用形態	可搬型
伝送速度	1~30Gbps程度
伝送距離	数十m~数km
アンテナ	選択可能
通信方式	双方向も可能
チャンネル数	4チャンネル程度

放送局—スタジオ間の無線回線



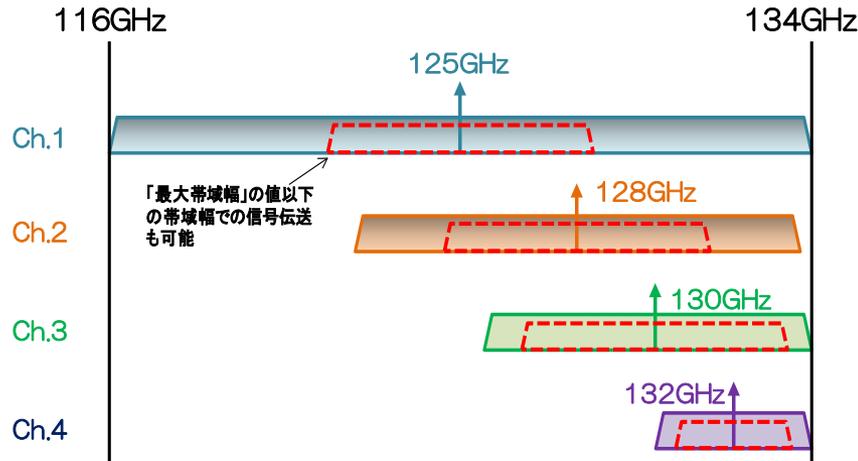
放送局—お天気カメラの無線回線



要求条件の明確化

平成18年度から平成21年度まで実施した「ミリ波帯高精細画像伝送技術の研究開発」で行った試験データ及び運用イメージの調査結果を踏まえて無線設備の規格を検討。

1 周波数配置と帯域幅



中心周波数	125 GHz	128 GHz	130 GHz	132 GHz
占有周波数帯幅	17.875 GHz	11.372 GHz	7.870 GHz	3.868 GHz

ユーザーの要求である4パターンのチャンネル配置を確保

2 通信方式: 単向通信方式、複信方式

3 変調方式 ASK方式又はPSK方式

4 伝送信号の種類

映像信号、音声信号、監視制御信号等

5 最大空中線電力

1W(周波数共用検討結果を反映)

6 周波数許容偏差は現行の電波法無線設備規則と同等とする。

測定作業部会での試験において検証

7 スプリアス発射、不要発射等

8 回線パラメーターの設定(伝送距離 1 km)

送信空中線電力 30dBm、大気吸収損 3dB、降雨損 23dB(降雨強度 60 mm/hr)、所要CN 25dB(理論値:20dB、装置化劣化 5 dB)、アンテナ利得51dBi(60 cm 径カセグレインアンテナの空中線利得)等

周波数の共用条件

共用検討対象(無線通信規則 R.R第5条)

地球探査衛星(受動業務)、電波天文、宇宙研究(受動)、固定、移動、無線航行、アマチュア、その他 ISMとして使用可能な帯域は 122-123GHz

共用検討条件

周波数

ケース1: 116GHz～134GHz 帯域幅 18GHz及び1GHz

ケース2: 122.25GHz～134GHz 帯域幅 11.75GHz、4.5 GHz 及び1GHz

空中線電力

1波当たり、1W, 500mW, 100mW, 40mW

- ・帯域外領域におけるスプリアス発射の強度の許容値: 100 μ W / 1 MHz 以下
- ・スプリアス領域における不要発射の強度の許容値 : 50 μ W / 1 MHz 以下

アンテナ

種類は、パラボラアンテナ(60cm ϕ 51dBi)、(45cm ϕ 49dBi)、(20cm ϕ 40dBi)の三種類
ホーンアンテナは、24dBiの一種類を選定

120GHz帯運用システムの条件

- ①合計 300局、②同時運用確率を1%(常時3局が、日本国内で送信)
- ③運用時間率を0.1%(8.76時間固定されて連続送信)、④運用アンテナの90%がパラボラアンテナ、10%がホーンアンテナの利用を仮定

周波数の共用条件

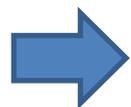
電波天文

対象となるのは、105GHz-116GHz、126GHz-152GHzで測定している野辺山と鹿児島県の国立天文台
電波天文業務の保護基準ITU-R RA.769-2

Center Frequency (GHz)	Assumed bandwidth (GHz)	System Sensitivity (dB(W/Hz))	Threshold Interference Level: Input Power (dBW)	Threshold Interference Level: Spectral pdf (dBW/(m ² Hz))
89	8	-278	-189	-228
150	8	-278	-189	-223

保護基準 -198 dBm/MHz(8 GHz測定帯域でのThreshold Interference Level を 1 MHz 当りのスペクトル密度に換算)

電波天文と調整の結果、最悪条件として相対した場合の離隔距離を保護基準とすることで検討



野辺山:見通し内、及び見通し外で50km以内の場合、事前調整を行うことで共用可
鹿児島:共用可

静止衛星

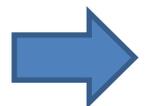
ITUに提出されている事前公表資料、ITU-R RS.1416 の静止衛星パラメータを参考として検討



最悪条件(ビームが日本向け)においてITU-R の保護基準値-166dBW/200MHzを超える干渉確率が0.01%を超えない条件とした場合、4.5GHz以上の帯域幅において共用可

非静止衛星

ITUで公開されている周波数登録原簿、ITU-RS.1861、1416 の非静止衛星パラメータを参考として検討



最悪条件である1GHzの送信帯域(ビームが日本向け)において対地観測モードの保護基準値 -166dBW/200MHzを超える干渉確率が0.01%を超えない、大気観測モードの -189 dBW/10MHz を超える干渉確率が 1 % を超えないため共用可

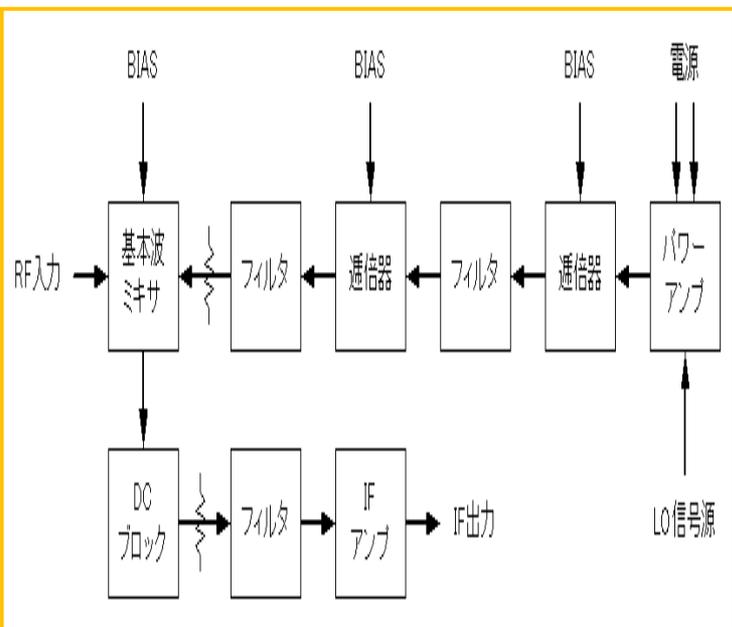
測定方法の検討

120GHz帯の信号を測定できるスペクトルアナライザは製品化されていない。このため、本技術試験事務で基本ミキサを使用したダウンコンバータを用いてスペクトル計測システムを構築し、①送信周波数、②スプリアス発射又は不要発射の強度、③占有周波数帯幅等の測定を実現する。

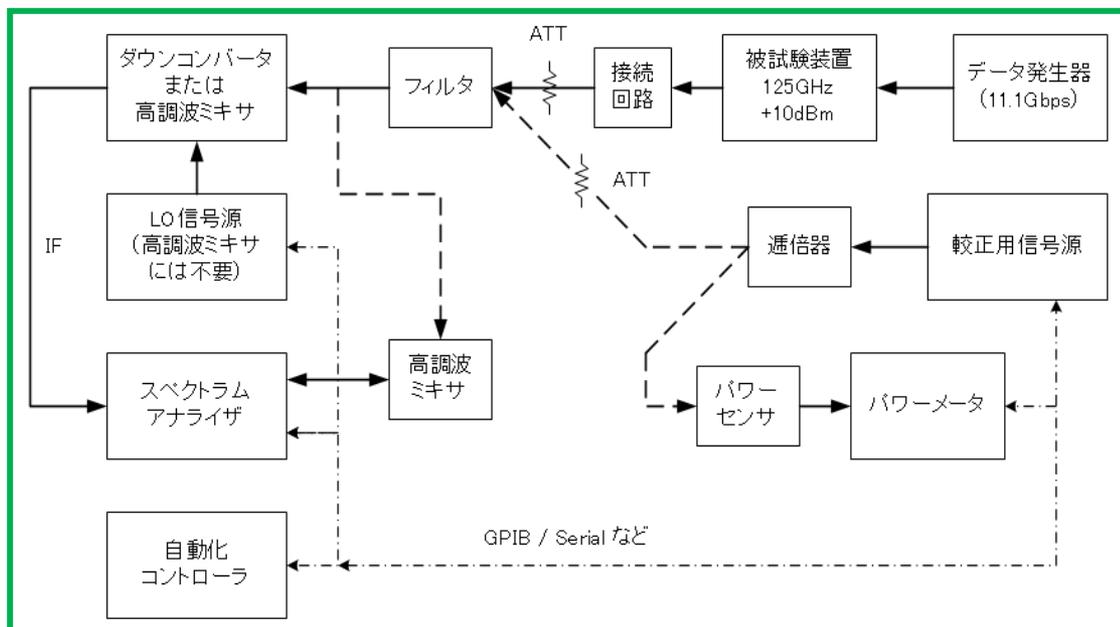
測定装置の構築

- ①基本ミキサーを使用したダウンコンバータの設計
- ②設計したダウンコンバータを用いてスペクトル計測システムを構成

ダウンコンバータの構成

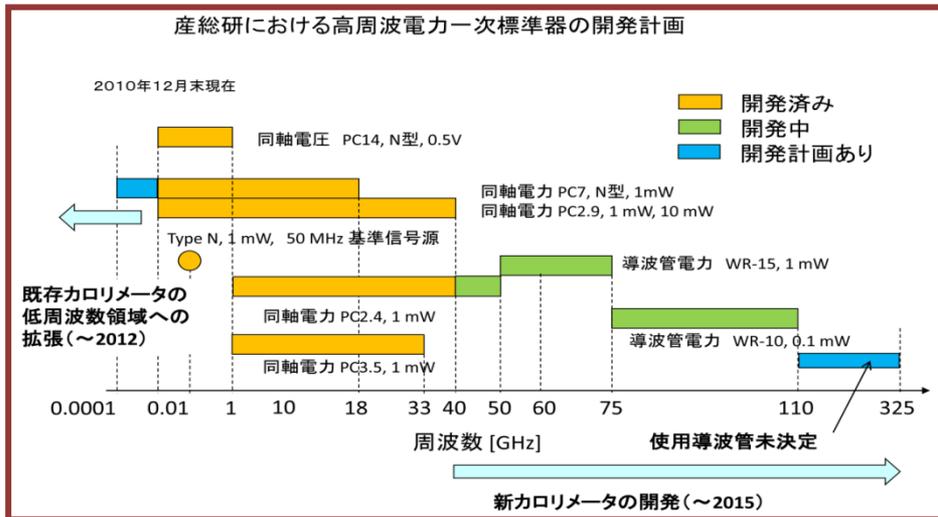


スペクトル計測システムの機器構成



測定装置の構成

高周波電力標準の整備状況

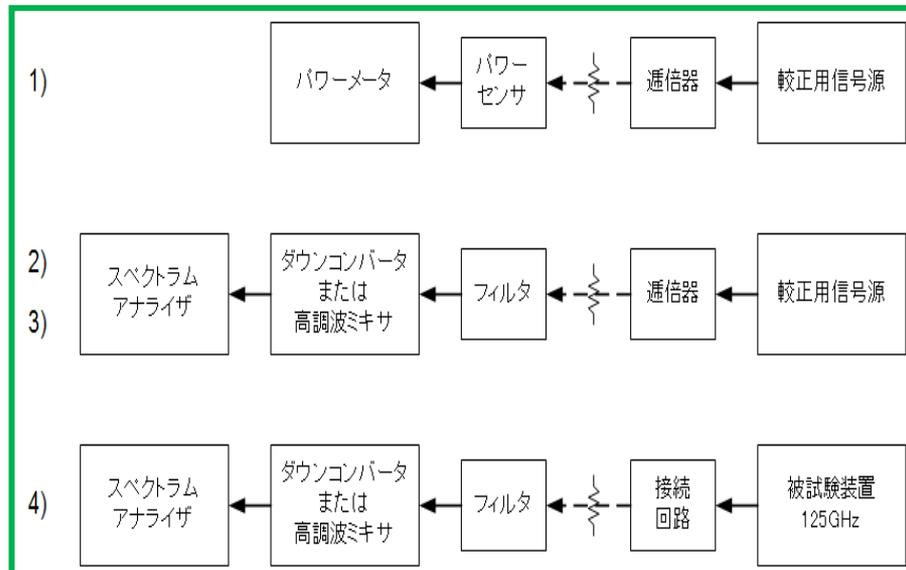


諸外国の状況

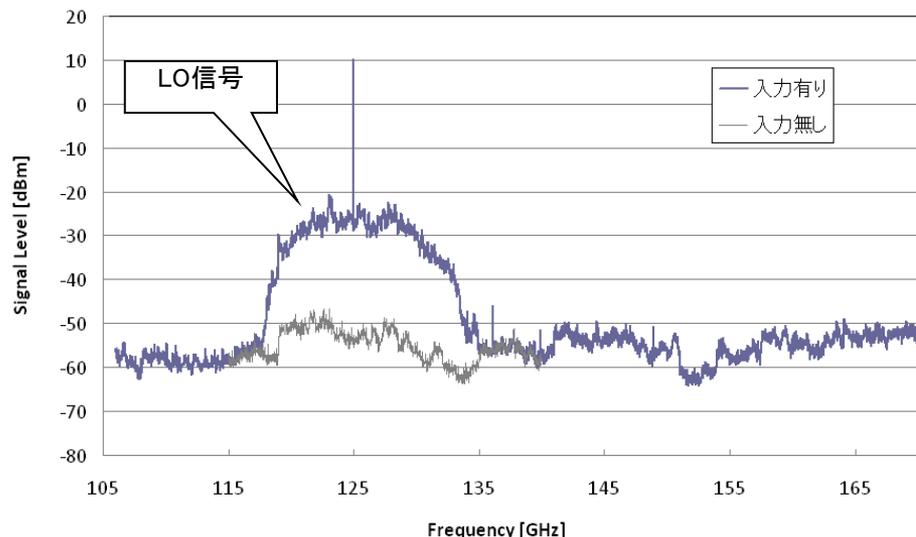
- ①日本: 最大110 GHz (10mW)の高周波電力校正サービスを実施
- ②米国 : 98 GHz まで高周波電力校正サービスを実施
- ③英国 : 110 GHz までの高周波電力校正サービスを実施
- ④ロシア: 178.6GHz までの高周波電力校正サービスを実施

スペクトル計測システムの校正方法

- ①校正用信号源の出力レベルをパワーメータで校正する。
- ②校正用信号源をスペクトル計測システムに接続してスペクトラムアナライザ上の信号強度を得る。
- ③校正用信号源の出力との差を求めて校正係数とする。
- ④被試験装置の出力スペクトルを測定し、③の校正係数で補正する。



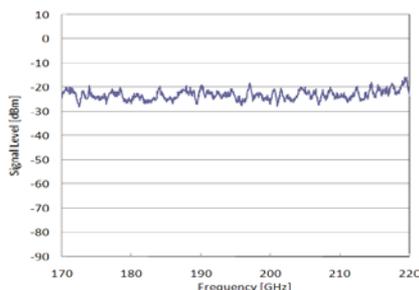
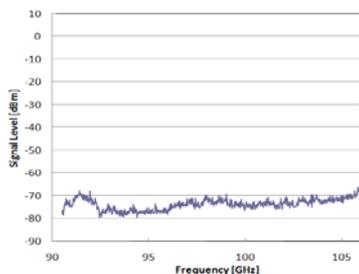
測定結果(無線機と計測システムを導波管接続して測定)



スペクトラムアナライザの測定条件: RBW = 1 MHz
Peak検波、トレース点数は合計3201

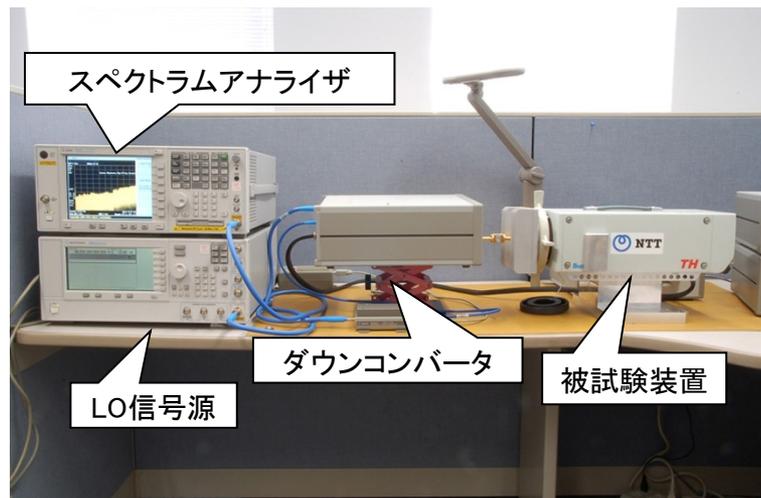
- 75-260 GHz を9バンドに分割して測定
- 75~170 GHz までは基本波ミキサ、170 GHz 以上は高調波ミキサを使用した測定系を構築。75~170 GHz で-130 dBm/Hz 以下、170 GHz 以上で -80 dBm/Hz 以下の感度を達成
⇒占有周波数帯幅やスプリアス測定に使用可能
- キャリア信号に対して60 dBから70 dBのダイナミック・レンジを達成
- 測定の妨げとなるイメージ・レスポンス(ミキサ内部で発生する高次のプロダクト)については、スペクトラムアナライザのイメージ除去アルゴリズムに類似した処理を行うことで、除去可能。

105GHz以下、170GHz以上のスプリアス測定結果



170GHz以上は高調波ミキサを使用しているためノイズフロアが-20dBmと高くなっている。

スペクトル計測システムの写真



実証試験

1 120GHz帯無線システムの電波の質の測定

- ・占有周波数帯幅の測定(99%電力幅)
- ・空中線電力の測定
- ・周波数許容偏差の測定
- ・スプリアス発射及び不要発射



測定方法の検証を実施

電波の質が後述する無線設備規格案に合致していることを確認

2 伝搬試験

試験項目

○受信電力、ビット誤り率

○降雨や湿度による減衰量のデータを取得

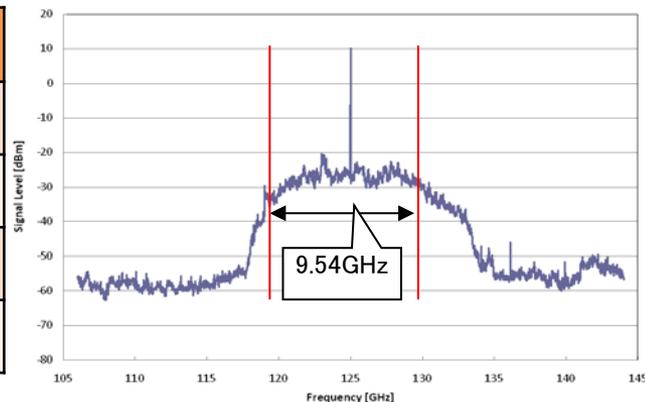
9月から2月の6月間測定

	データ収集率	稼働率(誤りが発生していない時間率、40 mW 出力時)
2010年9月	97.5%	100%
2010年10月	71.7%	100%
2010年11月	98.0%	99.9%
2010年12月	98.4%	99.2%
2011年1月	98.6%	99.9%
2011年2月	99.5%	100%
試験期間総合	94%	99.7%

空中線電力測定値

無線システム名	空中線電力測定値
試験機器1	19.8 mW
試験機器2	20.2 mW
試験機器3	19.3 mW
試験機器4	39.3 mW

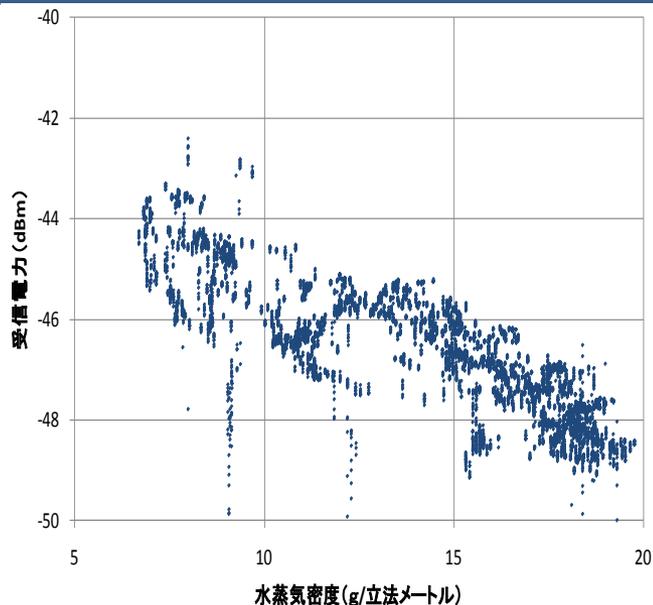
ASK変調の無線装置の占有周波数帯幅



試験諸元

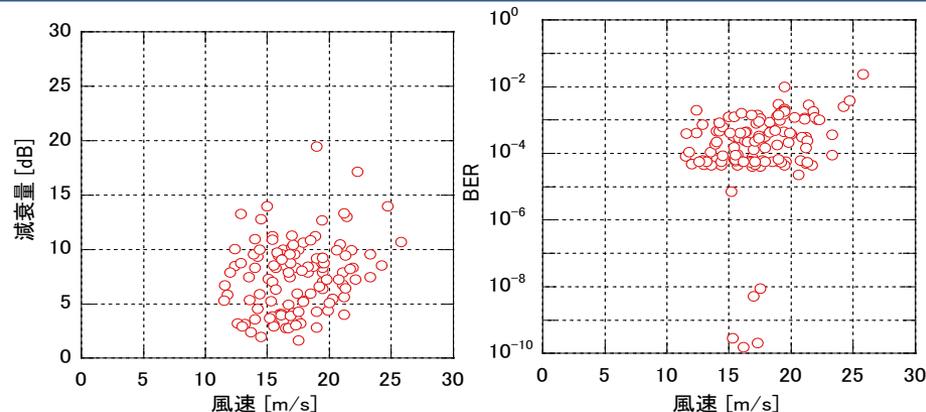
項目	諸元	備考
中心周波数	125.000 GHz	
偏波	垂直偏波/水平偏波	
周波数帯域幅	116.5 GHz ~ 133.5 GHz	帯域幅: 17 GHz
変復調方式	2値ASK/包絡線検波	
伝送速度	10.3 Gbps	
送信電力	10 mW / 40 mW	10 dBm / 16 dBm
誤り訂正符号化装置	RS (252, 236, t=8)	内符号
	RS (986, 966, t=10)	外符号
アンテナ	カセグレインアンテナ	
アンテナ直径	45 cmφ / 60 cmφ	
アンテナ利得	49 dBi / 51 dBi	

水蒸気密度 (3km伝送)



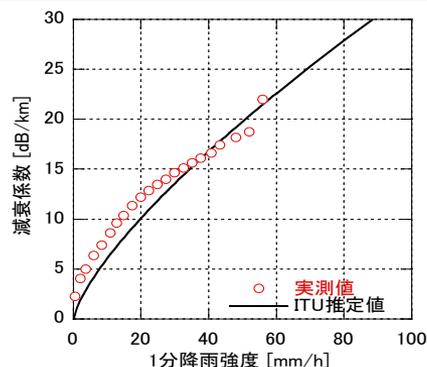
伝送距離 3 km の場合、水蒸気密度が $10\text{g}/\text{m}^3$ から $20\text{g}/\text{m}^3$ に上昇すると、受信電力は約 3 dB 低下。大気吸収損は、乾燥空気 ($0\text{g}/\text{m}^3$) に比べて夏の多湿時 ($30\text{g}/\text{m}^3$) には 9dB 程度大きくなるものと推定される。本試験結果より、120 GHz 帯で長距離伝送の回線設計を検討する場合は、大気吸収損定数は水蒸気密度の影響により、最悪値として 3 dB/km 程度の値を使用し回線マージンなどに反映させる必要有り

風速による影響 (1km伝送、晴天時)



晴天時でも風速 10 m/s 以上では、風によりアンテナ軸が振動する結果、瞬時ではあるが受信電力が低下し、ビットエラーが発生。このことから、無線機を設置する場合には、風に対する対策を施す必要が有る。

雨による減衰 (1km伝送)



- ・降雨強度の分布と減衰量の分布から同じ確率値となる値を算出
- ・本試験期間における測定結果は、降雨の弱い部分で降雨減衰係数が幾分大きいものの、ITU勧告 P.838-3 を用いた推定値に概ね近い値となっている事を確認。

無線設備の測定方法

1 空中線電力

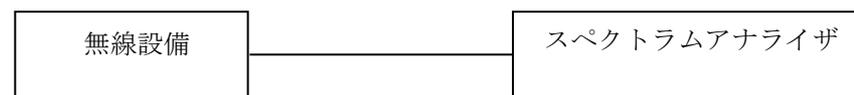


(ア) 空中線電力の測定はアンテナ端子で行う。アンテナ端子がない場合は一時的に測定用端子を設ける。

(イ) 無線設備を通常の変調状態で動作させたときに給電線に供給される電力を測定した値を空中線電力の強度とする。ただし、変調をかけた状態での測定が不可能なものについては、無変調状態において測定した値を送信電力の強度とする。

(ウ) 平均電力で規定される電波型式の場合は、高周波電力計の測定値を測定結果とすることができる。ただし、尖頭電力で規定される電波型式の場合は、平均電力を測定し妥当な換算係数を用い、尖頭電力とすることができる。

2 周波数

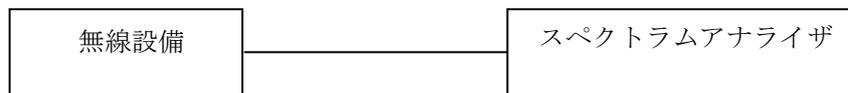


(ア) 空中線電力の測定はアンテナ端子で行う。

(イ) 無線設備を通常の変調状態で動作させたときに給電線に供給される電力を測定した値を空中線電力の強度とする。ただし、変調をかけた状態での測定が不可能なものについては、無変調状態において測定した値を送信電力の強度とする。

(ウ) 平均電力で規定される電波型式の場合は、高周波電力計の測定値を測定結果とすることができる。ただし、尖頭電力で規定される電波型式の場合は、平均電力を測定し妥当な換算係数を用い、尖頭電力とすることができる。

3 スプリアス領域における不要発射の強度



(ア) スプリアス領域における不要発射の強度の測定はアンテナ端子で行う。

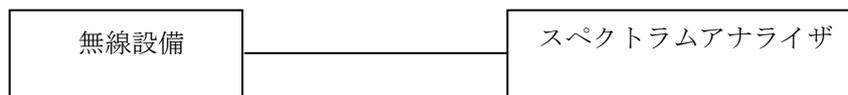
(イ) 無線設備を通常の変調状態で動作させたときに給電線に供給される周波数ごとの不要発射の平均電力を測定した値又はその値と基本周波数の搬送波電力又は平均電力との差の値を不要発射の強度とする。ただし、変調をかけた状態での測定が不可能なものについては、無変調状態において測定した値を不要発射の強度とする。

(ウ) 測定はスペクトラムアナライザを使用し、スペクトラムアナライザの参照帯域幅は1 MHzとする。

(エ) 給電線として導波管を用いる場合はカットオフ周波数の0.7倍とする。なお、導波管が長く十分なカットオフ減衰量が得られる場合は、下限周波数をカットオフ周波数とする。上限周波数は基本波周波数の2倍とするが、フィルタ等の周波数特性により十分な減衰量が得られる周波数帯は、そのデータをもって当該周波数範囲の測定に代えることができる。

(オ) 必要に応じて搬送波抑圧フィルタを使用することとし、その場合は、帯域外領域における不要発射の強度を補正することとする。

4 「帯域外領域における不要発射の強度」



(ア) 帯域外領域における不要発射の強度の測定はアンテナ端子で行う。

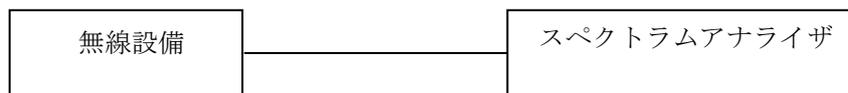
(イ) 無線設備を無変調状態で動作させたときのあらゆる不要発射が予想される周波数において不要発射を測定した値又はその値と基本周波数における平均電力との差の値を不要発射の強度とする

(ウ) 測定はスペクトラムアナライザを使用し、スペクトラムアナライザの参照帯域幅は 1 MHz とする。

(エ) 運用状態において無変調状態とならない場合は、帯域外領域における不要発射の強度については試験を行わないこととする。

(オ) 必要に応じて搬送波抑圧フィルタを使用することとし、その場合は、不要発射の強度を補正する。

5 占有周波数帯幅



(ア) 占有周波数帯幅測定はアンテナ端子で行う。

(イ) 測定は占有周波数帯幅が最大となる信号により変調された状態で行う。

(ウ) 測定時の掃引周波数幅は設備規則に規定する許容値の2倍以上とする。

(エ) 変調方式により、キャリア成分が存在するスペクトルに関しては、変調方式に応じて、キャリア成分を除去して、占有周波数帯幅の計算を行う。

(オ) 送信スペクトル分布から測定系の雑音レベルまで余裕がなく電力積算に影響を与える場合は、分解能帯域幅を1 MHz とした状態で、キャリアリーク等を除く電力最大点から23dB 減衰する(スペクトルの強度が、最大点の0.5 %相当となる)点の上限周波数と下限周波数の差を用いることができる。なお23 dB 低下した点が複数ある場合は、最も高い周波数と最も低い周波数の幅とする。

6 副次的に発する電波等の強度

3、4の測定方法に同じ

