

# 23GHz帯デジタル無線分配システムにおける 広帯域マルチキャリア信号伝送の適用 (平成21年度技術試験事務) 概要

2011年11月9日

社団法人 日本CATV技術協会  
河本 典之

# 1 概要(目標と背景)

## 内容

### (1) 成果目標

高マイクロ波帯やミリ波帯を利用する幅広い応用分野での実用化を目指し、高出力、高C/N伝送、高周波数安定度が比較的Lowコストで得られるハードウェアを検討する。

### (2) 必要性及び背景

現在の23GHz帯(23.2-23.6GHz)の無線局においては、デジタル変調方式として、4PSK又は16QAMのみが利用可能であり、ケーブルテレビネットワーク(有線網)を流れるデジタル信号(OFDM及び64QAM)を伝送しようとする場合、再変調する必要があり、非効率である。

このため、当該デジタル信号を非再生中継方式により効率よく、経済的に伝送するための無線分配システムの検討が必要。



## 2 概要(検討項目と政策への反映)

### 実施概要

#### (1) 今年度の実施内容・目標達成状況(詳細は別途記載)

##### (ア) データ取得及び技術的検討

- ① 高出力MMICを用いたデータ取得
- ② 低位相雑音化技術に係るデータ取得及び技術的検討
- ③ 周波数偏差の抑制技術に係るデータ取得及び技術的検討

##### (イ) 機器の小型化についての検討及びデータ取得

##### (ウ) その他の検討

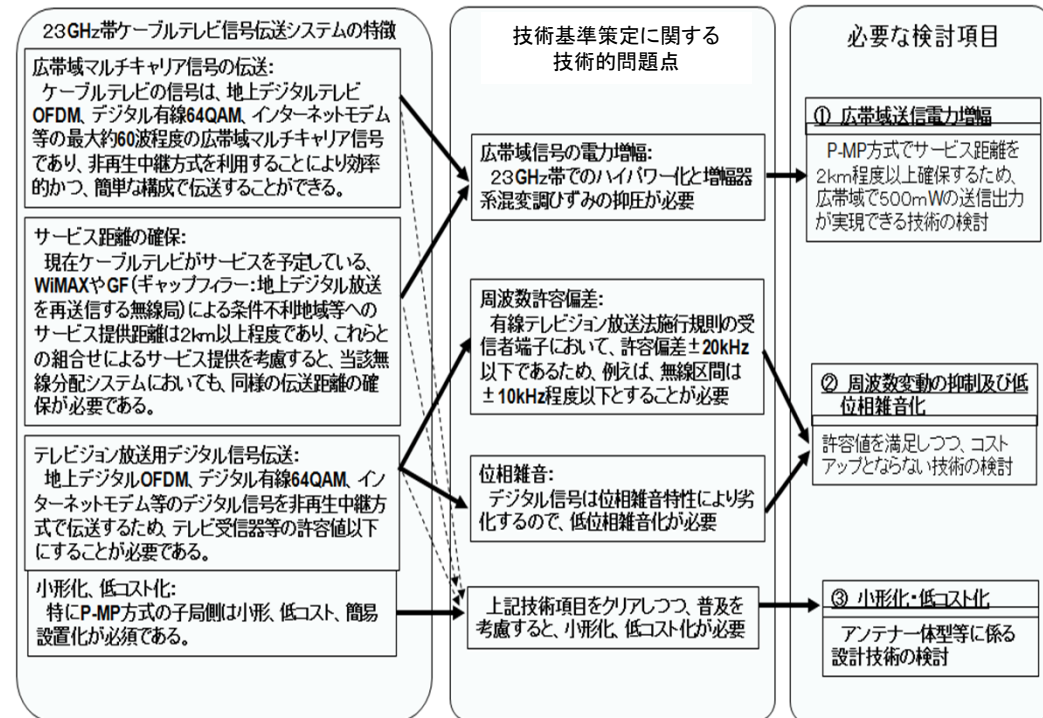
- ① 複数のサービスイメージを想定した回線設計、
- ② サービスイメージに対応したシステムマージン設計の検討

#### (2) 次年度の実施計画

##### (ア) 最大500mWの高出力MMICを用いた無線分配システムの検討

##### (イ) 共用条件等の検討

##### (ウ) フィールド実験の実施



解決すべき課題の整理結果

### 政策等への反映

#### (1) 技術基準等の策定

今年度の結果は、来年度実施予定のフィールド試験実施にあたっての基礎データとして活用し、試験を踏まえて技術基準を策定。

#### (2) 周波数有効利用方策への貢献

現在23GHz帯で利用できる変調方式に今回検討するOFDM及び64QAMを導入することにより、圧縮されている信号をそのまま伝送することが可能となることから、同じ帯域幅で従来方式よりも多くの信号を送ることができるようになり、周波数の有効利用に資することができる。

#### (3) 経済的・社会的効果

これまでケーブルを敷設することが困難であった地域に対して、デジタル信号によるケーブルサービスを提供することが可能となる目処が立ったため、本システムを用いた新規サービス開発・提供が可能となる。

### 3 送信と受信方式

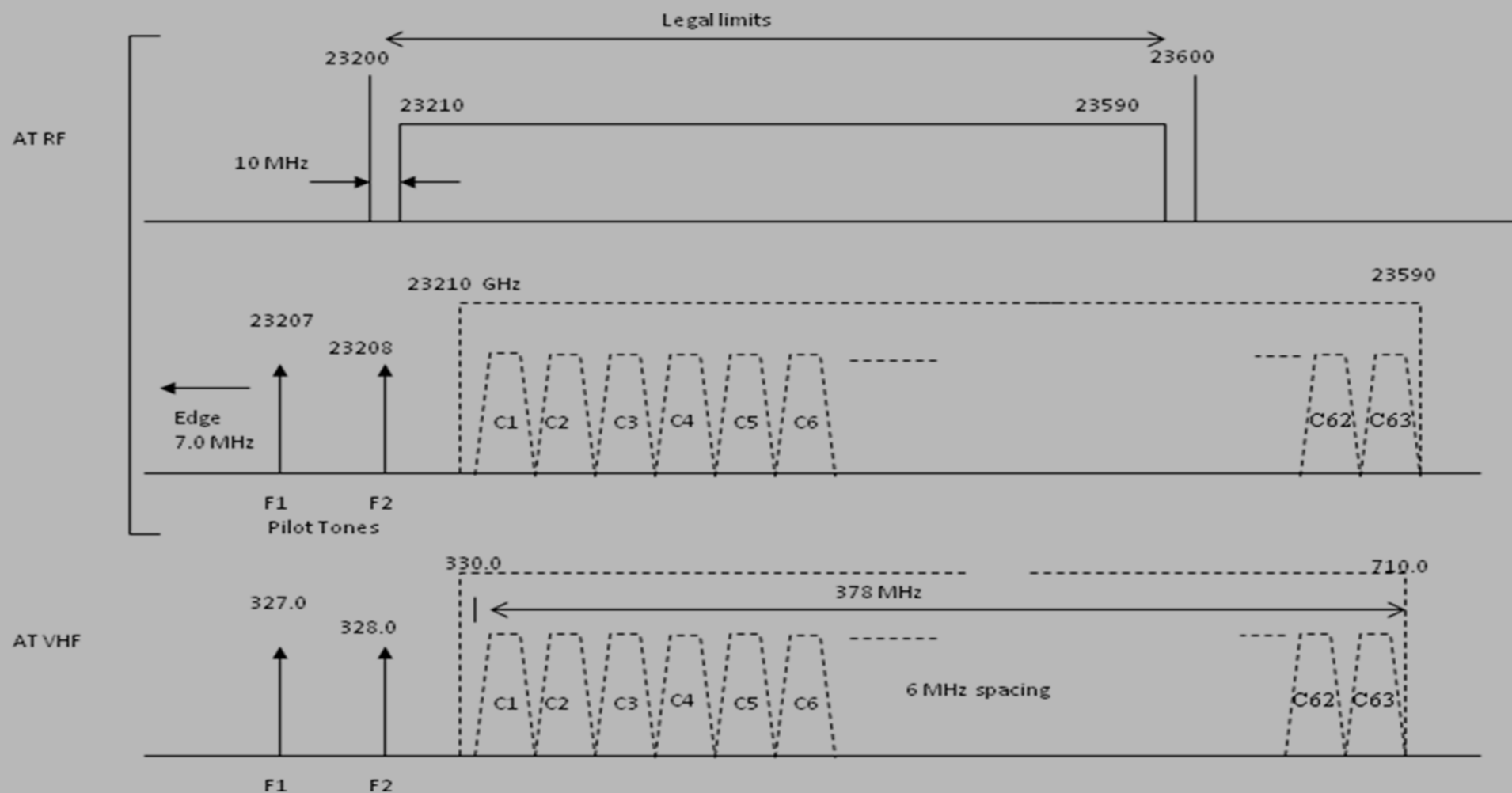
#### <技術試験項目>

今回の技術試験を実施する送信システム及び受信システムの下り周波数プラン

#### <実施状況>

伝送信号はケーブルテレビ事業者の要求条件である60波以上の最大63波の配置が可能であるが、歪性能の検討は60波伝送として行う。

#### <下り周波数プラン>



## 4 周波数偏差制御方式

### <技術試験項目>

周波数偏差の抑制

### <実施状況>

周波数偏差を最小に抑制する事を第一の目標としながら、安価に構築できる周波数偏差抑制方式を模索し、①水晶発振回路を用いた方法、②送信側/受信側それぞれにGPSを利用する方法、③パイロットAFCを用いる方法の中から周波数偏差抑制方式を検討し、データ取得及び性能評価を実施した。

### <成果・目標達成状況>

- 検討の結果、GPSによる基準信号を作り、それをパイロット信号として用いる「パイロットAFC方式」を採用することとした。
- 「パイロットAFC方式」による周波数偏差の理論値を算定(結果 $\pm 0.003\text{Hz}$ )し、評価機器を用いた周波数偏差データとの比較を行った。
- 測定結果は、有線テレビジョン放送法で規定する目標値の偏差10kHz程度以内に対して、2Hz(現存する測定器で測定可能な最小値)を計測し、理論通りの成果を得ることが出来たと考えられる。

周波数偏差抑制方式の比較表

| 検討を行った方法 | OCXO(Oven Controlled Xtal Oscillator)                                                                                         | GPS (Global Positioning System)                                                       | パイロットAFC                                          |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 方式の概要    | OCXOとは、水晶発振回路を恒温槽に挿入することによって高安定化が図られた発振器のことである。温度制御型水晶発振器を用いれば、 $\pm 0.1\text{ppm}$ ( $1 \times 10^{-7}$ )以下の周波数安定度を得ることができる。 | GPSを利用すると、周波数確度が $1 \times 10^{-11}$ 以下の基準周波数(10MHz)をメンテナンス無しで実現し、基準周波数発生器として利用可能である。 | 基準となるパイロット信号を挿入し、そのパイロット周波数にロックしたローカル発振器周波数を作る方法。 |
| メリット     | 周波数変動が少ない。                                                                                                                    | 周波数確度が良い。                                                                             | 受信機の構成が簡単なために最も安価。                                |
| デメリット    | 恒温槽が必要なことから、高価である。                                                                                                            | 無線受信機にもGPSアンテナ・受信器が別途必要になり、パイロットAFC方式より複雑高価になる。                                       | パイロット信号の周波数精度に依存する。パイロット信号のための伝送帯域を必要とする。         |



## 5 低位相雑音化技術方式

### <技術試験項目>

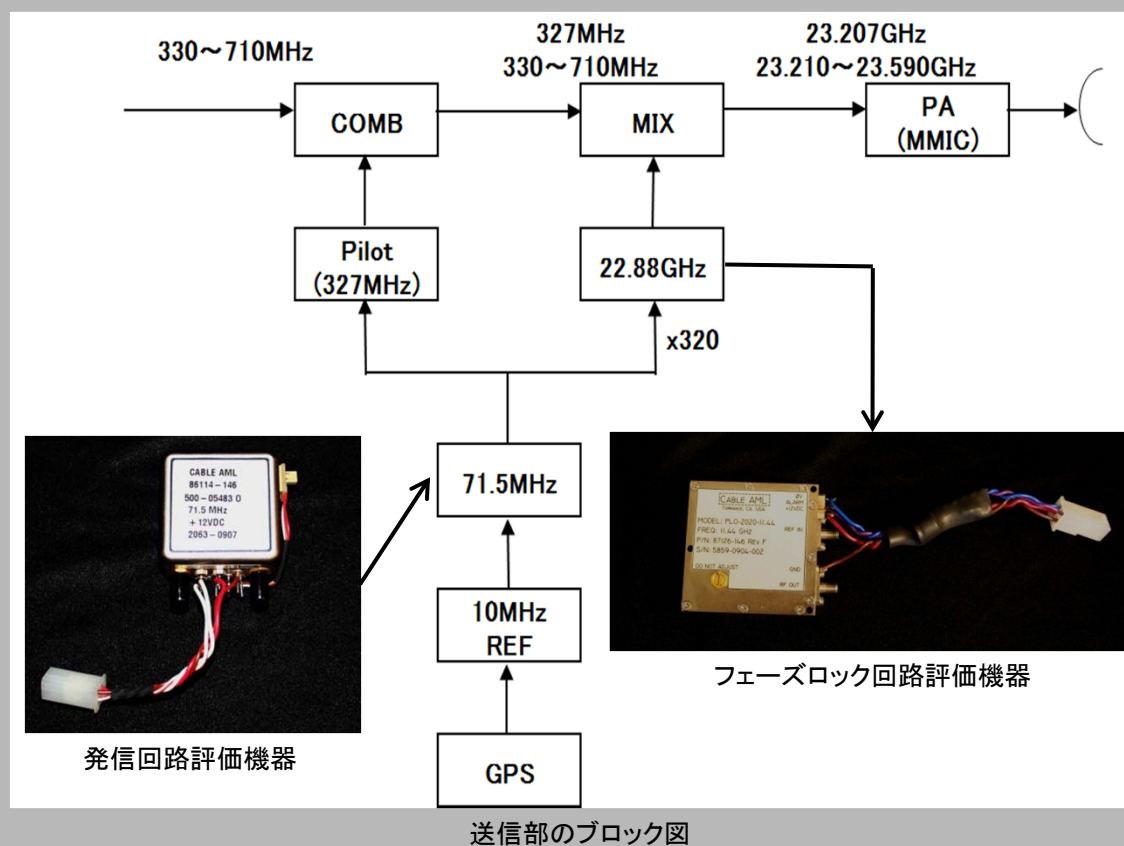
低位相雑音化技術に関わるデータ  
取得及び技術検討

### <実施状況>

低位相雑音化技術の比較検討、位相雑音の測定及び低位相雑音化による受信  
端におけるC/N改善量の比較検討を実施した。

### <成果・目標達成状況>

- 低位相雑音化を実現する上で重要となる周波数変換回路の検討を実施した。
- 発信回路とフェーズロック回路の高精度化に配慮して評価機器を準備し、位相雑音のデータを取得した。
- 300mWの出力によるデータ解析の結果、位相雑音の偏移量 $\theta_{rms}=0.4[\text{deg}]$ であり、DVB-Tの送信機と同程度の位相雑音特性( $\theta_{rms}=0.5[\text{deg}]$ )が得られた。



## 6 目標値の設定

### ＜目標値設定＞

無線系に配分される等価CN比の内訳検討

### ＜出力電力(送信電力)＞

23GHz無線デジタル配信システム(P-MP)において  
・デジタル60波伝送 2kmのサービスエリアを 確保する出力電力とする。

### ＜利用シーン＞

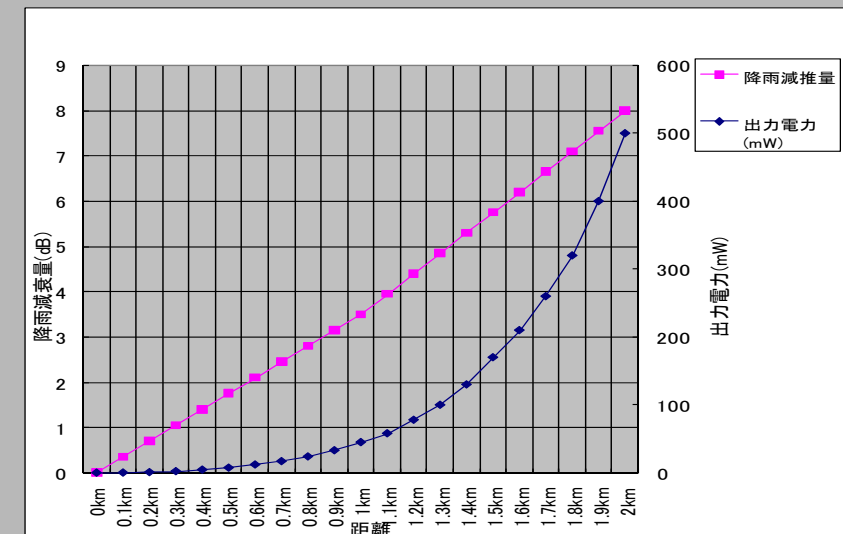
- 利用シーン① :地上デジタル放送用中継連絡線(P-P)
- 利用シーン② :地下埋地区や離島への連絡線(P-P)
- 利用シーン③ :集合住宅の各戸へ配信するアクセス網(P-MP)
- 利用シーン④ :複数の集合住宅の屋上までの連絡線(P-MP)

### ＜出力電力目標＞

- ・表4.2の回線設計から、出力9.2dBm/ch (デジタル60波出力では500mW 目標値)
- ・表4.2にP-MP/2kmの設計目標とする回線設計例(OFDM)を示す。

＜表4. 2性能配分のまとめ(無線系の等価CN比)＞

| 利用シーン |           |    |        | 無線所要CN比 | 受信機熱雑音 | 干渉   | 送信器熱雑音 | 位相雑音 | 歪雑音   |
|-------|-----------|----|--------|---------|--------|------|--------|------|-------|
|       |           |    |        |         |        |      |        |      | 単位:dB |
| ①-(1) | 地デジ連絡線    | 戸建 | OFDM   | 26.0    | 27.0   | 41.0 | 43.0   | 37.3 | 37.3  |
| ①-(2) |           | 棟内 | OFDM   | 26.9    | 27.9   | 40.9 | 43.9   | 38.5 | 38.5  |
| ②-(1) | P-P連絡線    | 棟内 | OFDM   | 27.1    | 28.1   | 41.1 | 44.1   | 38.7 | 38.7  |
| ③-(1) | P-MPアクセス網 | 戸建 | OFDM   | 26.0    | 27.0   | 41.2 | 43.0   | 37.3 | 37.3  |
| ④-(1) | P-MP連絡線   | 戸建 | OFDM   | 26.2    | 27.1   | 41.1 | 43.1   | 37.5 | 37.5  |
| ②-(2) | P-P連絡線    | 棟内 | 64QAM  | 28.9    | 29.8   | 41.5 | 45.8   | 40.9 | 40.9  |
| ③-(2) | P-MPアクセス網 | 戸建 | 64QAM  | 27.4    | 28.3   | 41.2 | 44.4   | 38.9 | 38.9  |
| ④-(2) | P-MP連絡線   | 戸建 | 64QAM  | 27.5    | 28.5   | 41.5 | 44.6   | 39.1 | 39.1  |
| ②-(3) | P-P連絡線    | 棟内 | 256QAM | 38.6    | 39.6   | 47.8 | 55.6   | 53.8 | 53.8  |
| ③-(3) | P-MPアクセス網 | 戸建 | 256QAM | 35.9    | 36.8   | 47.5 | 52.9   | 48.4 | 48.4  |
| ④-(3) | P-MP連絡線   | 戸建 | 256QAM | 36.0    | 37.0   | 47.5 | 53.0   | 48.6 | 48.6  |



## 7 今年度の実施状況・目標達成状況

### ＜技術試験項目＞

高出力MMICを用いたデータ取得

### ＜実施状況＞

MMICのチップ選定から送信系統の設計及びチップ周辺回路の設計・調整を行い、高出力MMICの各種特性試験を実施し、そのデータ取得を行った。

### ＜成果・目標達成状況＞

- 今年度は、100mWのMMICによる特性試験の実施を目標としていたが、検討が順調に進み、500mWの出力が可能なMMICによる300mWの出力での特性を評価した。
- 取得したデータ解析の結果、当該MMICは、300mW(=24.7dBm)の出力において、相互変調歪特性、周波数特性、放熱効果、電力増幅効率それぞれの指標について十分な性能を得られることが確認できた。

#### ＜測定結果＞

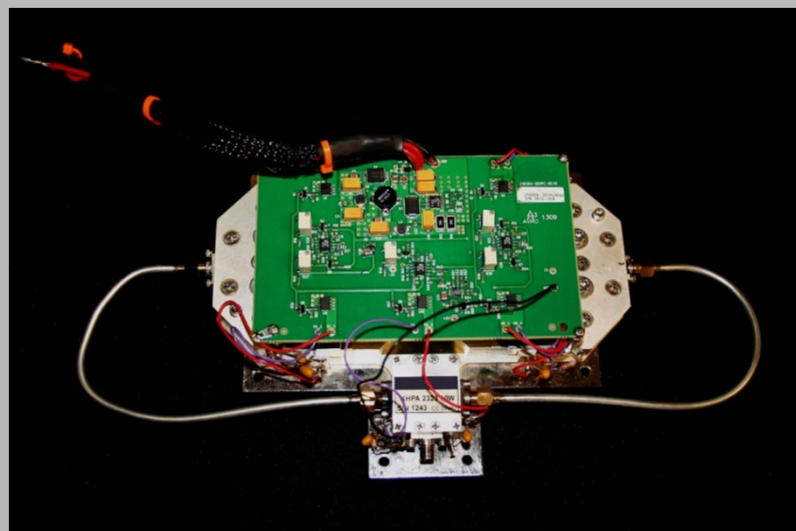
| 測定項目   | 測定条件         | 目標値                      | 測定結果                        |
|--------|--------------|--------------------------|-----------------------------|
| IP3特性  | 周波数 23.4GHz  | +20dBm<br>(100mW相当)      | +47dBm<br>(50W相当)           |
| P1dB特性 | 周波数 23.4GHz  | +20dBm<br>(100mW相当)      | +38dBm<br>(9W相当)            |
| 周波数特性  | 23.2～23.6GHz | ±1dBp-p                  | 1.0dBp-p<br>(-0.2dB/+0.8dB) |
| 放熱効果   | —            | +10℃以下                   | 8.9℃                        |
| 電力増幅効率 | 出力300mW      | 0.2%<br>(TWT増幅器<br>と同程度) | 0.3%                        |

#### ＜CTBの測定結果(60波)＞

| 周波数(GHz) | CTB(dB)<br>測定：500mW | CTB(dB)<br>300mWに換算 |
|----------|---------------------|---------------------|
| 23.4     | -41                 | -45.4               |

#### ＜位相雑音・等価CN比結果＞

| 位相雑音偏移量     | 0.40 deg | 測定・換算値 |
|-------------|----------|--------|
| 等価CN比(OFDM) | 35.0 dB  | 計算値    |



MMIC試作機



## 8 セクターアンテナの利得と伝送距離

### <技術試験項目>

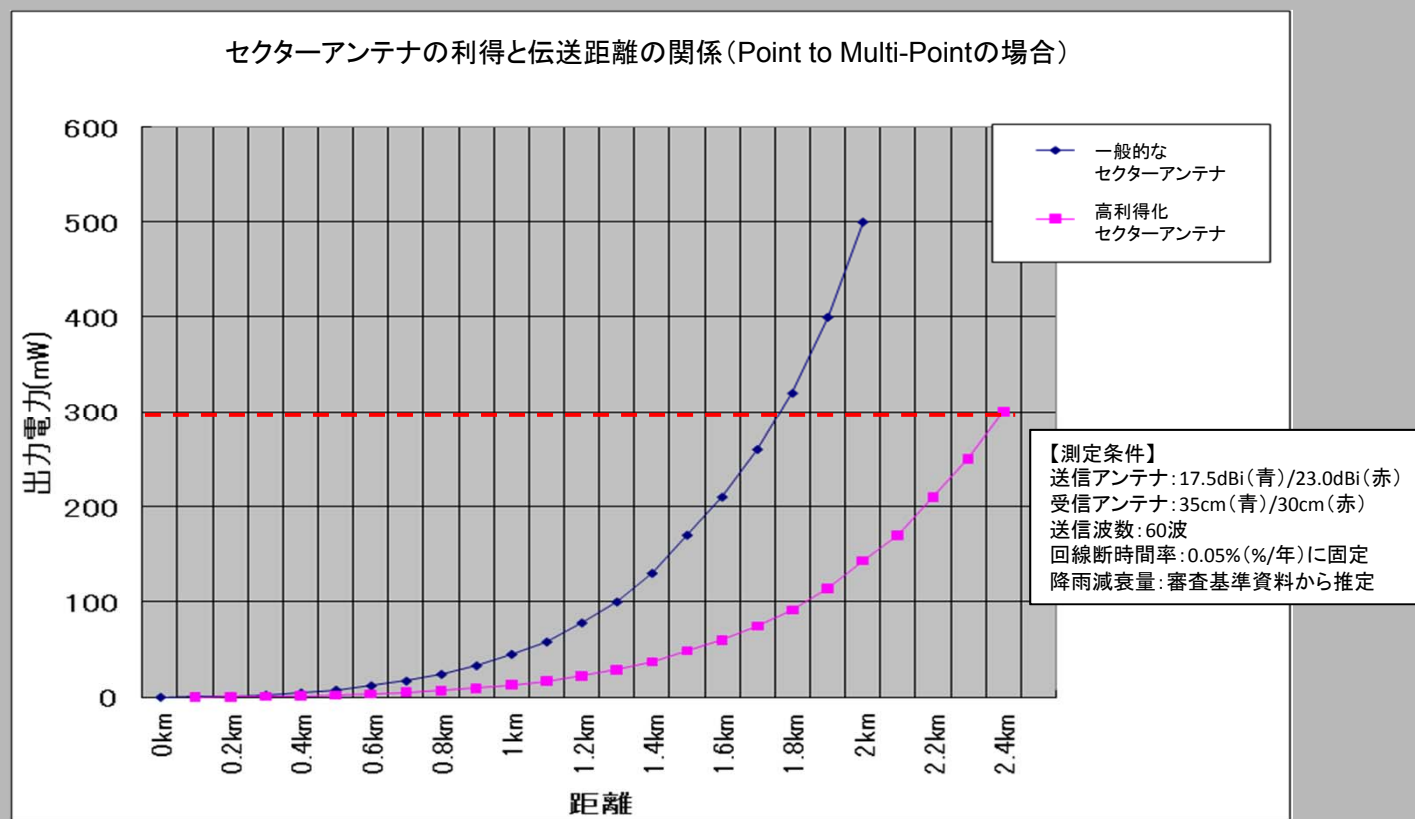
複数のサービスイメージを考慮した  
回線設計の検討

### <実施状況>

Point to Pointでは離島への伝送、山間地への伝送及びPoint to Multi-Pointでは戸建への伝送、複数住宅の屋上への伝送をイメージした回線設計及びシステムマージンの検討を実施した。

### <成果・目標達成状況>

- 親局の送信出力を300mWとして、アンテナに関する回線設計及びシステムマージンの検討を進めた。
- 検討の結果、送信側のセクターアンテナの垂直ビーム幅を絞ることにより、高利得化(17.5dBi→23.0dBi)を実現することができた。
- 上記検討結果を反映させたところ、回線設計上300mWの出力の場合、Point to Pointでは10km程度(受信アンテナ166cm)、Point to Multi-Pointでは2.4km(受信アンテナ30cm)程度の伝送が可能であるという検討結果を得た。



## 9 アンテナの小型化

### ＜技術試験項目＞

機器の小型化についての検討及び  
データ取得

### ＜実施状況＞

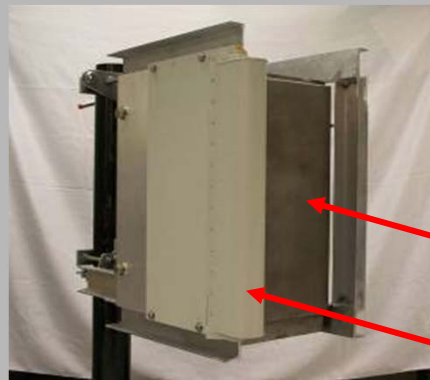
親局筐体は、運用及び保守性に配慮しながら、物理的に商品化が可能であると思われる大きさとなるように配慮して、設計・検討を実施した。  
子局筐体は、一般の住宅等への設置を想定して、極力小さい大きさとなるように配慮して設計・検討を実施した。

### ＜成果・目標達成状況＞

#### 【設計条件】

以下の環境下において永久変形・破壊  
が生じないもの

- ・気温: -35℃～+45℃
- ・湿度: 100%
- ・耐風速: 60m/sec



親局(重量: 54kg)  
W305xD483xH749[mm]

無線機本体

セクターアンテナ



無線機本体

小局(重量: 8.2kg)  
W305xD76xH305[mm]

パラボラアンテナ(45cmφ)

# 10 性能配分の見直し



## ＜実測結果より性能配分設定＞

実機結果より、  
無線系に配分される等価CN比

## ＜回線設計の最適化＞

セクターアンテナの改善(水直面の狭角化)により利得向上  
・デジタル60波伝送 2kmのサービスエリアを 確保可能。

## ＜性能配分の見直し(無線系の等価CN比)＞

|        |                    | 無線<br>所要<br>CN比 | 受信<br>機熱<br>雑音 | 干渉   | 送信<br>機熱<br>雑音 | 位相<br>雑音 | 歪<br>雑音 |
|--------|--------------------|-----------------|----------------|------|----------------|----------|---------|
| OFDM   | P-P連絡線(棟内)         | 27.1            | 28.3           | 41.1 | 44.5           | 35       | (45)*1  |
|        | P-MP アクセス<br>網(戸建) | 26.0            | 26.9           | 41.2 | 44.5           | 35       | (45)*1  |
| 64QAM  | P-P連絡線(棟内)         | 28.9            | 30.8           | 41.5 | 44.5           | (35)*2   | (45)*1  |
|        | P-MP アクセス<br>網(戸建) | 27.4            | 28.7           | 41.2 | 44.5           | (35)*2   | (45)*1  |
| 256QAM | P-P連絡線(棟内)         | 38.6            | 43.1           | 47.8 | 50.5           | (45)*3   | (45)*1  |
|        | P-MP アクセス<br>網(戸建) | 35.9            | 37.8           | 47.5 | 50.5           | (45)*3   | (45)*1  |

\*1) 歪雑音の等価CN比は60波CWでのCTBの値としたが、今後見直しが必要である。

\*2) 64QAMの位相雑音の等価CN比は評価方法が確立できていないので、今回はOFDMの値をそのまま使用しているが、今後見直しが必要である。

\*3) 256QAMの位相雑音の等価CN比は評価方法が確立できていないので、今後見直しが必要である。性能配分を行う観点から最低45dB程度が必要である。

## ＜出力電力(送信電力)＞ 出力電力と歪との関係

|                 | 500mW(27dBm)出力(dB) | 300mW(24.8dBm)出力(dB) |
|-----------------|--------------------|----------------------|
| 3次相互変調歪IM3(2波歪) | -42.7              | -46.2                |
| トリプルビートTB(3波歪)  | -44.5 @22.5dBm/波   | -49.5*               |
| CTB(60波歪)       | -41.0 @9.1dBm出力/波  | -45.4 @6.9dBm出力/波    |

\*+22.5dBm出力時(533mWに相当)の-44.5dBの測定値より換算

## ＜周波数偏差の評価＞

|           |       |
|-----------|-------|
| 周波数偏差(Hz) | 2.0以下 |
|-----------|-------|

## ＜回線設計の最適化＞

一例として、

- ・ 23dBi高利得セクターアンテナを使い、送信機電力を300mWとすると、
- ・ 受信機のアンテナに30cmパラボラアンテナを使って回線設計を行うと2.4km/90° 範囲の伝送可能なことが分かった。

- ・ このように、目標とするP-MPにおいて2kmの範囲をサービスエリアにする方法として、出力を500mWにする方法と、セクターアンテナの利得改善より300mW程度の出力でも実現できることがシミュレーションできた。

| 今後の課題項目                                                                                                                                  | 今後の課題検証項目概要                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>フィールド実験検証による評価</b></p> <p>今回評価した送信機は300mW出力のものであり、新たに検討した垂直ビームを絞った高利得セクターアンテナの導入により、P-MPシステムでも2kmのサービスエリアを確保できることが理論的に机上検証された。</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 降雨減衰量が多い地域での利用や、垂直ビームを絞ることはサービスエリアをすべてカバーすることに対して懸念もあるので、500mW出力の検討も合わせて行う必要があると考える。</li> <li>・ これらの機器を使用してフィールド実験検証を行い、<u>23GHz帯デジタル無線分配システムの技術的条件について、確認を行う必要がある。</u></li> <li>・ これまで、60波多チャンネルのオールデジタル信号を用いた評価は行われていないので、<u>オールデジタル信号による送信電力対歪特性と送信電力対BER特性の評価を行い、歪性能とBERや等価CN比の関係を求めることが今後必要である。</u></li> <li>・ 更に、<u>QAM信号の位相雑音対等価CN比の関係も評価する必要がある。</u></li> <li>・ これらにより、<u>23GHz無線系の性能配分の再検討を行い、最終的にオールデジタル信号の技術的条件を決めていくことになる。</u></li> </ul>                                                                                 |
| <p><b>双方向デジタルケーブルサービスの検証</b></p> <p>ケーブルテレビの有線網内では、多チャンネルデジタル放送と双方向通信機能を利用したサービスを提供しており、無線系でも同様のサービスが、ケーブルテレビ事業者より求められている。</p>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 特に、P-MPの無線デジタル分配システムでは条件不利地域をカバーする上で必須の条件と言える。これを実現するためには、<u>23.2-23.6GHzの400MHz帯域だけでは不十分であり、上り帯域に21.2-21.4GHzのケーブル無線(移動局)の帯域を利用するなど求められる。</u></li> <li>・ P-MPの場合、この上り信号となるDOCSIS信号は多地点からの端末機の信号となり、<u>無線受信機の上り周波数のバラツキをできるだけ抑える工夫をすることが必要である。</u></li> <li>・ このため、上り無線信号の周波数偏差を抑える方式を検討し、<u>無線による双方向デジタルシステムのフィールド実験検証を行うことは重要となる。</u></li> <li>・ 現状の23GHz帯周波数を使用する有線テレビジョン放送事業用固定局としては、放送中継用としての用途しか利用することができない。<u>有線ケーブルでのサービスと同様に、VODやインターネット接続サービス等の双方向サービスを当該周波数・固定局設備を共用して提供できるよう電気通信事業用の用途を追加するなど、検討が必要と考えられる。</u></li> </ul> |
| <p><b>隣接無線信号との干渉</b></p> <p>これまでP-Pの23GHz無線システムの場合は、送信・受信パラボラアンテナの指向性等を考慮することで、隣接無線との相互干渉は避けられるとし、その相互干渉に十分配慮をして置局を行ってきているのが現状である。</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ところが、今回検討を行っているP-MPの23GHz無線分配システムでは、<u>送信機側のセクターアンテナの指向性による隣接無線との干渉防止は実現困難であり、一定のガードバンドの確保などのルール化が必要になると予想されることから、隣接信号との相互干渉について今後の検討が必要である。</u></li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |