

周波数ひっ迫対策のための技術試験事務

「23GHz 帯無線伝送システムの双方向化等に関する
技術的条件の調査検討」

平成 29 年度 成果報告書

平成 30 年 3 月

京セラコミュニケーションシステム株式会社

目次

| | |
|---|----|
| 1. 調査検討の目的..... | 1 |
| 2. 調査検討の概要..... | 3 |
| 2.1. 調査検討項目..... | 3 |
| 2.2. 実施体制..... | 6 |
| 2.3. 調査検討スケジュール..... | 7 |
| 3. 調査検討実施内容..... | 9 |
| 3.1. 偏波多重技術の検討..... | 9 |
| 3.1.1. XPD 及び偏波分離度の所要性能..... | 9 |
| 3.1.2. 交差偏波識別度 (XPD) に関するフィールド試験..... | 13 |
| 3.2. 双方向化技術の検討..... | 14 |
| 3.2.1. 双方向化の実現..... | 14 |
| 3.2.2. フィールドにおける双方向試験..... | 16 |
| 3.2.3. 双方向化技術における課題と対策..... | 16 |
| 3.3. 変調方式高度化技術の検討..... | 18 |
| 3.3.1. [C/N]0、及び C/I の検討..... | 18 |
| 3.3.2. [C/N]0、及び C/L..... | 33 |
| 3.3.3. デジタルケーブルテレビ信号の品質測定に関するフィールド試験..... | 33 |
| 3.4. 小型・軽量化の検討..... | 35 |
| 3.4.1. 目的..... | 35 |
| 3.4.2. 測定用筐体..... | 35 |
| 3.4.3. 小型化..... | 38 |
| 3.4.4. 軽量化..... | 43 |
| 4. フィールド試験..... | 45 |
| 4.1. フィールド試験の概要..... | 45 |
| 4.1.1. 目的..... | 45 |
| 4.1.2. 試験期間..... | 46 |
| 4.1.3. 試験回線の概要..... | 47 |
| 4.1.4. 試験装置の主要概要..... | 49 |

| | | |
|--------|------------------------------|-----|
| 4.2. | 技術試験の条件..... | 52 |
| 4.2.1. | 23GHz 無線装置の設定..... | 52 |
| 4.3. | 技術試験評価..... | 53 |
| 4.3.1. | 目的..... | 53 |
| 4.3.2. | 測定項目..... | 53 |
| 4.3.3. | 測定方法..... | 55 |
| 4.3.4. | 信号周波数配列..... | 56 |
| 4.3.5. | 測定系統図..... | 58 |
| 4.3.6. | 回線設計..... | 58 |
| 4.3.7. | 干渉検討..... | 62 |
| 4.3.8. | 測定結果..... | 65 |
| 4.4. | 偏波多重伝送試験..... | 77 |
| 4.4.1. | 目的..... | 77 |
| 4.4.2. | 測定系統図..... | 77 |
| 4.4.3. | 試験方法..... | 78 |
| 4.4.4. | 伝送信号条件..... | 79 |
| 4.4.5. | 測定結果..... | 80 |
| 4.5. | アンテナ間回り込みによる影響..... | 84 |
| 4.5.1. | 目的..... | 84 |
| 4.5.2. | 測定系統図..... | 84 |
| 4.5.3. | 試験方法..... | 85 |
| 4.5.4. | 伝送信号条件..... | 86 |
| 4.5.5. | 測定結果..... | 88 |
| 4.6. | スループット試験..... | 91 |
| 4.6.1. | 目的..... | 91 |
| 4.6.2. | 測定系統図..... | 91 |
| 4.6.3. | 試験方法..... | 92 |
| 4.6.4. | 双方向化技術、及び偏波多重技術の検討の測定結果..... | 94 |
| 4.7. | 映像（地デジ）伝送試験..... | 99 |
| 4.7.1. | 目的..... | 99 |
| 4.7.2. | 測定系統図..... | 99 |
| 4.7.3. | 伝送信号条件..... | 100 |
| 4.7.4. | 映像（地デジ）伝送試験測定結果..... | 101 |
| 4.8. | アンテナ・偏波分離器調整..... | 102 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 4.8.1. | 目的..... | 102 |
| 4.8.2. | アンテナ方向調整..... | 102 |
| 4.8.3. | OMT 調整..... | 106 |
| 4.8.4. | まとめ..... | 118 |
| 4.9. | レベルインジケータの製作..... | 119 |
| 4.9.1. | 目的..... | 119 |
| 4.9.2. | レベルインジケータの製作..... | 119 |
| 4.9.3. | 調整結果..... | 122 |
| 4.10. | フィルタ製作..... | 124 |
| 4.10.1. | 上り/下り分波フィルタ..... | 124 |
| 4.10.2. | UHF/VHF 分波フィルタ..... | 127 |
| 5. | 調査検討の成果と課題..... | 131 |
| 5.1. | 調査検討の成果..... | 131 |
| 5.2. | 今後の課題..... | 133 |
| 6. | 資料編..... | 135 |
| 6.1. | 用語・略語..... | 135 |
| 6.2. | 測定機材..... | 137 |
| 6.3. | 参考文献..... | 138 |
| 7. | 参考資料..... | 139 |
| 7.1. | 23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係 わる調査検討委員会..... | 139 |
| 7.1.1. | 開催要綱..... | 139 |
| 7.1.2. | 委員一覧..... | 141 |
| 7.1.3. | 審議経過..... | 142 |
| 7.1.4. | 配布資料..... | 145 |
| 7.2. | 映像試験..... | 181 |

1. 調査検討の目的

現在、23GHz帯無線伝送システムは、ケーブルテレビ伝送路（同軸、又は光ケーブル）の二重化や不具合時の臨時回線等として、ケーブルテレビ独自方式であるケーブルテレビ信号の周波数配列をそのまま23GHz帯の電波に変換するFDM-SSB方式により、上り又は下り片方向の放送用途（素材伝送を含む）に利用されている。

一方で、ケーブルテレビ事業者が提供するサービスとしては、多チャンネル放送に加えインターネット接続サービスあり、約700MHz（下り：90～770MHz、上り：15MHz～65MHz）以上の周波数帯域幅が必要であるが、23GHz帯で使用できる周波数帯域幅は400MHzしかなく、またインターネット接続サービスを提供できる双方向機能もないため、全サービスを提供することができない現状がある。

加えて、現在23GHz帯で伝送可能な放送信号の変調方式としては、地上デジタルテレビ放送の標準デジタルテレビジョン放送方式（OFDM）とデジタル有線テレビジョン放送方式のうち64QAM信号のみとなっており、現行のハイビジョン（2K）を超える超高精細な画質を可能にする4K・8K放送の伝送を可能にするには、デジタル有線テレビジョン放送方式の256QAMや周波数利用効率を向上できる高度な変調方式（ITU-T勧告J.382に準拠した方式）に対応することが不可欠であり、ケーブルテレビサービスとして期待されている全てのサービスを伝送可能な無線伝送システムの実現が望まれている。

以上のように、現在の23GHz帯無線伝送システムに対する大容量化、双方向化等のニーズを踏まえ、平成28年度の「23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討」（以下「平成28年度調査検討」）では、FDM-SSB方式による23GHz帯無線伝送システムにおいて、現状の帯域内でケーブルテレビ事業者が提供するサービス全体を伝送可能とするために、垂直偏波と水平偏波を偏波多重によって同時に用いることで周波数利用効率を2倍にし、システムの双方化を図り、現行の変調方式と比較して伝送速度換算で周波数利用効率を約70%向上させる高度な変調方式を導入するための技術的条件を取得することを目的として、23GHz帯無線伝送システムにおける偏波多重技術、双方向化技術、変調方式高度化技術、及び小型・軽量化について下記技術的課題の検討を行い、システムの試作を実施した。

- (ア) 垂直偏波と水平偏波を多重することによって周波数利用効率を2倍にして約800MHz相当の帯域を確保可能とする偏波多重技術
- (イ) 周波数帯の一部を上り回線に用いることによって双方化を実現する双方向化技術

- (ウ) 256QAM や ITU-T 勧告 J.382 に準拠した高度な変調方式等に対応可能な変調方式高度化技術
- (エ) 臨時回線として設営する場合や無線装置の設置のしやすさを実現するための小型・軽量化の検討

本調査検討では、平成 28 年度調査検討における課題を整理し、必要に応じて試作した 23GHz 帯無線伝送システムの対策・改善を行い、実フィールドを用いた屋外環境（雨、雪等悪条件の場合も含む。）を実施して、23GHz 帯無線伝送システムの技術的条件の明確化を行う。

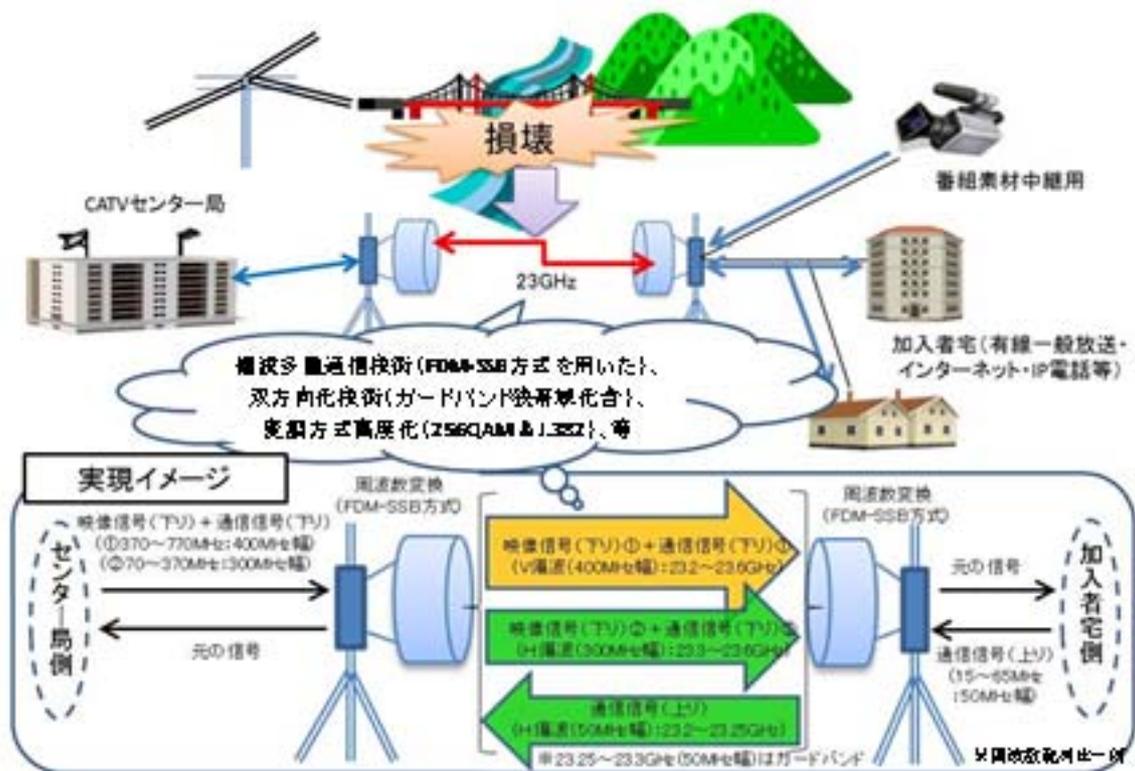


図 1-1 23GHz 帯無線伝送システムの双方向化等の実現イメージ

2. 調査検討の概要

2.1. 調査検討項目

現在、ケーブルテレビの有線伝送路（同軸又は光ファイバー）の二重化や臨時回線等で使用されているケーブルテレビの独自方式である FDM-SSB 方式を利用した 23GHz 帯無線伝送システムでは、使用できる周波数帯域幅が 400MHz しかなく、また双方向利用ができず、伝送可能なデジタルテレビ信号の変調方式も OFDM と 64QAM に限定されていることもあり、ケーブルテレビ事業者が提供する全てのサービスを伝送することができない。

昨今、23GHz 帯無線伝送システムにおいては、ケーブルテレビ事業者からインターネット事業に対応するための双方向化の要望が高まっており、また、平成 27 年 3 月にケーブルテレビで 4K・8K 放送を可能とする省令改正を実施し、ITU-T 勧告 J.382 に準拠した周波数利用効率を向上できる高度な変調方式等を導入したため、既存の 256QAM とあわせてこれらへの対応が要望され、ケーブルテレビ事業者の全サービスを伝送可能なシステムの実現が望まれている。

このようなシステムの実現に加え、無線装置の固定設置や臨時回線としての設営を考慮し、導入を容易にするための手法（小型・軽量化）の検討も必要である。

これらを勘案し、平成 28 年度の「23GHz 帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討」（以下「平成 28 年度調査検討」）では、以下の項目について検討を行い、試験装置の試作、並びに技術試験（室内）を行った。

(1) 偏波多重技術の検討

23GHz 帯で一般的に利用されている FDM-SSB 方式において、垂直偏波と水平偏波を偏波多重によって同時に用いることで周波数利用効率 2 倍（800MHz 幅相当）を実現するための垂直・水平偏波分離度等に関する技術的条件を検討する。

(2) 双方向化技術の検討

23GHz 帯で一般的に利用されている FDM-SSB 方式において、23GHz 帯無線伝送システムを利用する際に、周波数帯の一部を上り回線（約 50MHz 帯幅）に用いることによって双方向化を実現するためのガードバンドの帯幅等に関する技術的条件を検討する。

(3) 変調方式高度化技術の検討

23GHz 帯で一般的に利用されている FDM-SSB 方式において、ITU-T 勧告 J.382 に準拠した高度な変調方式や、既存の 256QAM 方式、通信用変調方式 (DOCSIS 方式) 等を導入するための所要 C/N 比等に関する技術的条件を検討する。

(4) 小型・軽量化の検討

災害等による同軸・光ファイバ回線の断線時の早期復旧や、電線類地中化工事区間における臨時回線の設営の対応が可能となるよう、小型・軽量化を検討する。

本調査検討では、平成 28 年度調査検討における課題を整理し、試作した 23GHz 帯無線伝送システムを用いた屋外環境 (雨、雪等悪条件の場合も含む。) を通じて、以下の課題に取り組み、23GHz 帯無線伝送システムの技術的条件の明確化を行う。

(1) 偏波多重技術の検討

平成 28 年度調査検討における室内試験結果を踏まえ、FDM-SSB 方式において偏波多重伝送を行う際に必要となる偏波分離器 (OMI) の偏波間結合量及び降雨による劣化を考慮した交差偏波識別度 (XPD) に関する基準値 (所要値) を策定し、フィールド試験を通じて基準値の妥当性を確認する。

また、偏波多重方式を導入するにあたってのその他の条件 (隣接帯域等を使用する他の無線システムへの干渉等) についても検討を行う。

(2) 双方向化技術の検討

平成 28 年度調査検討で実現した FDM-SSB 方式における双方向化技術に関する有用性について、フィールド試験を通じて確認を行う。また、アンテナの設置及び適切な離隔についての検討を行い、試験過程で抽出された課題については対策・改善を図る。

(3) 変調方式高度化技術の検討

平成 28 年度調査検討における室内試験結果を踏まえ、FDM-SSB 方式において既存の 256QAM 方式、ITU-T 勧告 J.382 に準拠した高度な変調方式等を伝送する際に必要となる所要 C/N 比及び CI 値を (1) で検討する XPD を考慮して基準値を策定し、フィールド試験等を通じて基準値の妥当性を確認する。23GHz 帯は降雨の影響を受けやすい周波数帯であることを考慮し、各変調方式と降雨減衰との関係についても調査を行う。

また、本変調方式を導入するにあたってのその他の条件 (隣接帯域等を使用する他の

無線システムへの干渉等) についても検討を行う。

(4) 小型・軽量化の検討

平成 28 年度調査検討において実現した小型・軽量化の結果を踏まえ、実フィールドにおける 23GHz 帯無線伝送システムの簡便な導入・設置を実現させる手法(小型化等) について検討する。

2.2. 実施体制

本研究開発の実施体制を図 2-1 に示す。

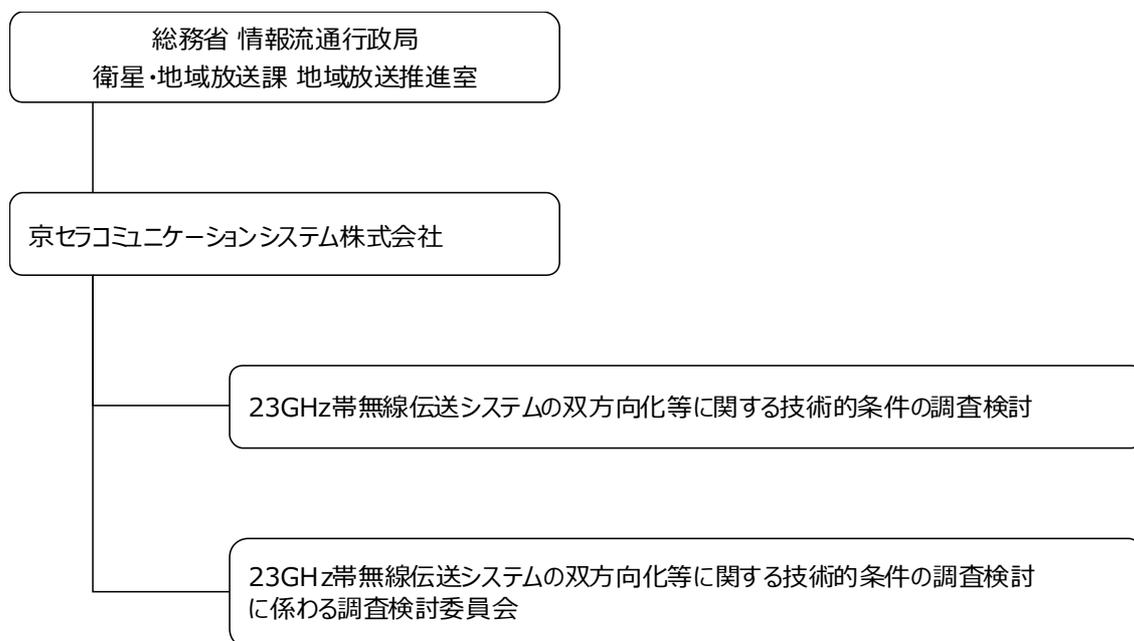


図 2-1 実施体制

また、関連する要素技術間の調整、並びに成果の取りまとめ方等、調査検討全体の方針について幅広い観点から助言を頂くとともに、実際の調査検討の進め方について適宜指導を頂くことを目的として、「23GHz 帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的條件の調査検討に係わる検討委員会」（以下、調査検討委員会）を設置し、計 3 回委員会を開催した。第 1 回調査検討委員会（平成 29 年 9 月 15 日）では本調査検討の概要説明と意見交換、第 2 回調査検討委員会（平成 29 年 12 月 22 日）ではフィールド試験に関する中間報告及び課題整理、第 3 回調査検討委員会（平成 30 年 3 月 26 日）では本調査検討の結果報告及び課題整理と、今後に向けた意見交換等を行った（詳細については参考資料を参照のこと）。

調査検討委員会とは別に、23GHz 帯実験局の現地見学会を実施（平成 30 年 3 月 2 日）し、フィールド試験における測定系や受信映像などを確認して頂き、課題整理を実施した。

2.3. 調査検討スケジュール

| | 2017年 | | | | | 2018年 | | | |
|---------------------|-------|-----------------|---------|-----------------|------------|------------------|------------------|------------------|--|
| | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 | |
| 調査検討 | | | | | | | | | |
| 偏波多重技術の検討 | | | | 机上検討 | | | 結果まとめ・データ整理 | | |
| 双方化技術の検討 | | | | 机上検討 | | | 結果まとめ・データ整理 | | |
| 変調方式高度化技術の検討 | | | | 机上検討 | | | 結果まとめ・データ整理 | | |
| 小型・軽量化の検討 | | 机上検討 | | | | | 結果まとめ・データ整理 | | |
| 技術試験・フィールド試験 | | | | | | | | | |
| 機材・部材調達、及び試作 | | 設計・部材調達・試作 | | | | | | | |
| 技術試験 | | | | | | 調整機構など | | | |
| フィールド試験 | | フィールド選定 | 実験局免許申請 | ★予備免許 (11/1) | ★免許(12/11) | フィールド試験 (~3/20) | | 撤去工事 | |
| 調査検討委員会 | | | | | | | | | |
| 検討委員会開催 | | ★第1回 (9月15日) | | | | ★第2回 (12月22日) | 現地見学会★ (3月2日) | ★第3回★ (3月26日) | |
| 報告書等 | | | | | | | | | |
| 資料作成 | | 資料作成 | | | 資料作成 | | 資料・報告書作成 | | |

3. 調査検討実施内容

3.1. 偏波多重技術の検討

「偏波多重技術の検討」の目的は、平成 28 年度の「23GHz 帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討」（以下「平成 28 年度調査検討」）における室内試験結果を踏まえ、23GHz 帯無線伝送システムで一般的に利用されているケーブルテレビの独自方式である FDM-SSB 方式において偏波多重伝送を行う際に必要となる偏波分離器 (OMT) の偏波間結合量及び降雨による劣化を考慮した交差偏波識別度 (XPD) に関する基準値 (所要値) を策定し、フィールド試験を通じて基準値の妥当性を確認することにある。

また、偏波多重方式を導入するにあたってのその他の条件 (隣接帯域等を使用する他の無線システムへの干渉等) についても検討を行う。

本調査検討では、デジタルケーブルテレビ信号 (OFDM、64QAM と 256QAM、J.382、及び DOCSIS) に影響を与えない交差偏波識別度 (XPD : Cross Polarization Discrimination)、及び直交二偏波を分離する導波管回路である偏波分離器 (OMT : OrthoMode Transducer) のアイソレーション (偏波分離度) について、机上検討により技術基準を策定し、フィールド試験を通じてその整合性について確認する。

3.1.1. XPD 及び偏波分離度の所要性能

平成 28 年度調査検討では、偏波多重により、標準デジタルテレビジョン放送方式 (OFDM)、既存のデジタル有線テレビジョン放送方式 (64QAM と 256QAM)、新規デジタル有線テレビジョン放送方式 (J.382)、及びケーブルインターネット (DOCSIS) の信号を伝送する場合、異なる偏波間の変調信号はそれぞれ雑音 (妨害波) 信号になると考え、有線一般放送の品質に関する技術基準を定める省令」で規定されている「搬送波のレベルと雑音のレベルとの比」を参照し (表 3-1 参照)、OMT の偏波間結合量の目標値を 40dB 以上 (新規デジタル有線テレビジョン放送方式 (J.382) のうち、4096QAM (符号化率 : 5/6) の変調方式で規定されている 40dB 以上が必要)、パラボラアンテナの XPD 性能の目標値を 33dB 以上 (一般的な 23GHz 帯パラボラアンテナの XPD 性能が 30dB 程度であり、現行のパラボラアンテナでもほぼ同等であることから実現的な値とした) に設定し、それぞれ試作を行った。

表 3-1 有線一般放送の品質に関する技術基準を定める省令（C/N 比、及び妨害波）

| 項目 | <新規> デジタル有線テレビジョン放送方式 (J.382) | | | | <既存> デジタル有線テレビジョン放送方式 | | <既存> 標準デジタルテレビジョン放送方式 | |
|--------------------|-------------------------------------|-------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|
| | 256QAM (OFDM) | 1024QAM (OFDM) | 4096QAM 符号化率 4/5 (OFDM) | 4096QAM 符号化率 5/6 (OFDM) | 64QAM | 256QAM | OFDM | |
| 雑音レベルとの差（所要 C/N 比） | 26dB 以上 | 33dB 以上 | 37dB 以上 | 40dB 以上 | 26dB 以上 | 34dB 以上 | 24dB 以上 | |
| 妨害波とのレベル差 | 単一周波数 | -33dB 以下 | -39dB 以下 | -39dB 以下 | -40dB 以下 | -26dB 以下 | -34dB 以下 | -35dB 以下 |
| | 多 CH 妨害 | -26dB 以下 | -33dB 以下 | -37dB 以下 | -40dB 以下 | CTB- 39dB 以下 | CTB- 45dB 以下 | CTB- 45dB 以下 |

なお、規定のうち「搬送波のレベルと妨害波のレベルとの差」については、偏波多重する信号自身が、23GHz 帯無線伝送システムへの入力時点で「有線一般放送の品質に関する技術基準を定める省令」で規定される性能を十分満足していることと、23GHz 帯無線伝送システム上でもその性能に十分考慮していることから、単一周波数や CTB などの妨害波の影響はほぼないと考えられることから考慮しないこととした。

試作した 0.3m 径パラボラアンテナと OMT を図 3-1 と図 3-2 に示す。

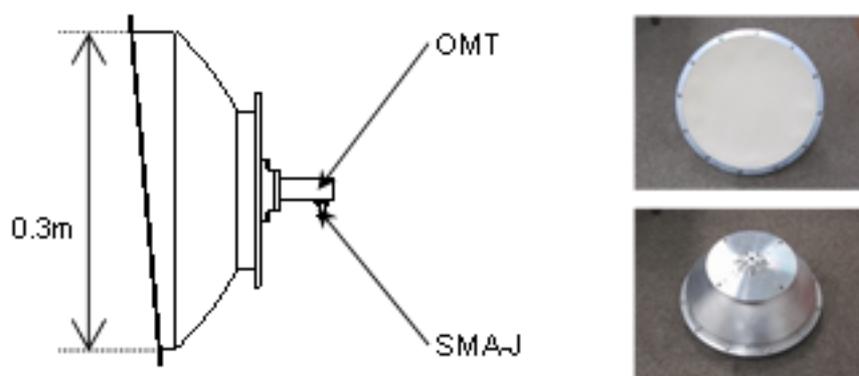


図 3-1 0.3m 径パラボラアンテナ

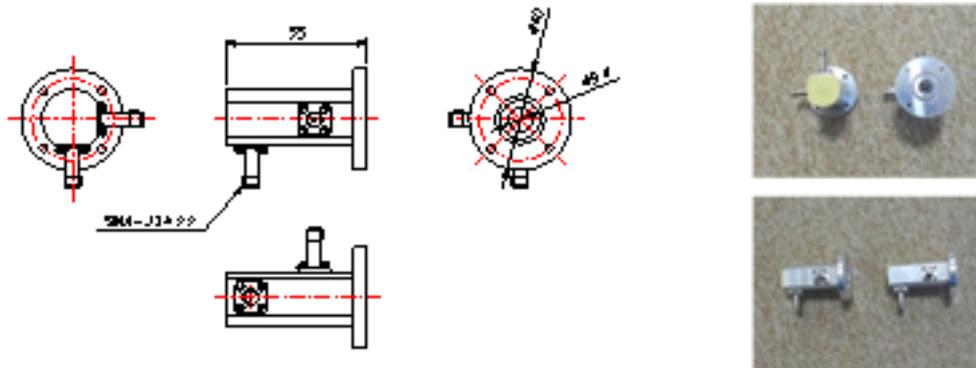


図 3-2 偏波分離器 (OMT)

試作した 0.3m 径パラボラアンテナと OMT の性能 (XPD と偏波間結合量) を表 3-2 に示す。0.3m 径パラボラアンテナの XPD については 33.3dB 以上を、OMT の偏波間結合量については、同一 OMT の偏波間 (V1-H1、及び V2-V3) で 51dB 以上、また、異なる 2 つの OMT を直結したときの偏波間 (V1-Hz、及び V2-H1) でも 49dB 以上を実現した。

表 3-2 XPD、及び偏波間結合量の実性能

| | XPD [dB] | | 偏波間結合量 [dB] | | | |
|-----|----------|----------|-------------|--------|--------|--------|
| | 垂直(Tx H) | 水平(Tx V) | V1-H1 | V2-H2 | V1-H2 | V2-H1 |
| 目標値 | 33dB 以上 | | -40dB 以下 | | | |
| 実測値 | レドーム有 | | -56.08 | -51.44 | -49.74 | -50.54 |
| | 33.3 | 34.2 | | | | |
| | レドームなし | | | | | |
| | 40.4 | 44.8 | | | | |

また、試作した OMT を用いた偏波多重によるケーブルテレビ信号 (OFDM、64QAM と 256QAM、J.382、及び DOCSIS) の室内伝送試験では、信号品質に影響することなく伝送できることを確認しており、垂直偏波を水平偏波の D/U 比を変化させることにより擬似的に XPD を劣化させたときの室内試験結果でも、無線区間の C/N 比が十分確保できている状態では、有線一般放送で規定されている所要 C/N 比程度の D/U 比 (XPD) が必要となることがわかった (表 3-3 参照)。

表 3-3 無線区間の C/N 比が確保されているときの最小 D/U 比(XPD)

| 項目 | <新規> デジタル有線テレビジョン放送方式 (J.382) | | | | <既存> デジタル有線テレビジョン放送方式 | | <既存> 標準デジタルテレビジョン放送方式 |
|---------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|---------|--------------------------|
| | 256QAM (OFDM) | 1024QAM (OFDM) | 4096QAM 符号化率 4/5 (OFDM) | 4096QAM 符号化率 5/6 (OFDM) | 64QAM | 256QAM | OFDM |
| 雑音レベルとの差 (所要 C/N 比) | 26dB 以上 | 33dB 以上 | 37dB 以上 | 40dB 以上 | 26dB 以上 | 34dB 以上 | 24dB 以上 |
| D/U 比 [dB] (XPD) | 26.4 | 33.1 | 37.5 | - | 25.4 | 32.2 | - |

※ 無線区間の C/N 比 : 38dB (レベル差伝送無し)

※ J.382 の信号のうち 4096QAM 符号化率 5/6 については、無線区間の C/N 比が所要 C/N 比にみたく計測できていない。

※ OFDM の試験は未実施。

実際の偏波多重による無線伝送においては、無線区間における降雨減衰等による CN 比の劣化量と XPDの劣化量を考慮した回線品質(無線区間における伝送性能)が必要になる。XPD の所要性能を検討するに当たり、降雨減衰等による XPD の劣化量がどの程度かを把握する必要があるため、本調査検討では、降雨量と無線区間の CN 比の関係に加え、実フィールドにおける XPD の劣化量や特性を評価する。

3.1.2. 交差偏波識別度 (XPD) に関するフィールド試験

本調検討では、平成 28 年度調査検討で試作した双方向機能 (90MHz~770MHz の下りケーブルテレビ信号及び 15MHz~65MHz の上りケーブルテレビ信号を同時に伝送) を有する 23GHz 帯無線伝送システムと 0.3m 径パラボラアンテナ、及び OMT を試験フィールドに設置し、XPD と降雨量、並びにデジタルケーブルテレビ信号 (256QAM など) の信号品質 (搬送波レベル、C/N 比、BER (ビット誤り率)、MER (変調誤差比) 等) を一定期間計測し、無線回線断の時間率 (回線不稼働率) と降雨減衰特性を評価した。

XPD の計測については、垂直偏波を主偏波として送信し、垂直・水平偏波での受信電力結果より、下記の計算式により算出した。

$$XPD[dB] = 10 \log \left(\frac{P_V}{P_H} \right)$$

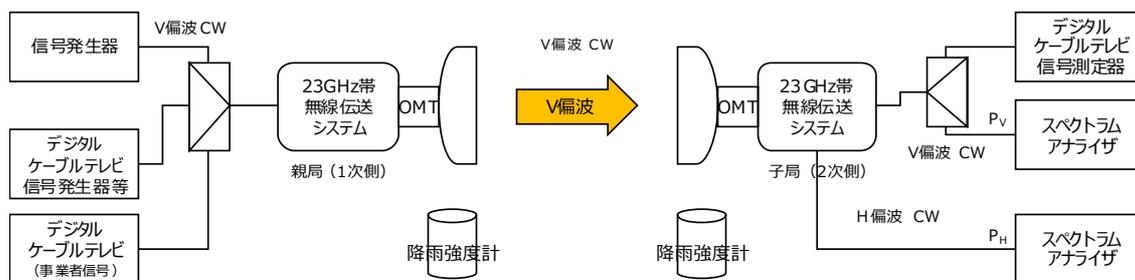


図 3-3 XPD 測定系統図

フィールドへの設置時に偏波面調整を実施した結果、標準状態 (降雨などの影響による劣化が無い状態) での XPD 値は 37.6dB となり、平成 28 年度の調査検討時よりも高い性能を実現し、同性能下においてデジタルテレビ信号 (OFDM、64QAM、256QAM) の偏波多重伝送が問題なく行えることを確認した。フィールド試験期間中、降雨等による XPD の大きな劣化は観測されず、デジタルテレビ信号への影響も無かったことを確認した。詳細については 4 章で述べる。

3.2. 双方向化技術の検討

「双方向化技術の検討」の目的は、平成 28 年度調査検討で実現した、23GHz 帯無線伝送システムで一般的に利用されているケーブルテレビの独自方式である FDM-SSB 方式における双方向化技術に関する有用性について、フィールド試験を通じて確認を行うことである。また、アンテナの設置及び適切な離隔についての検討を行い、試験過程で抽出された課題については対策・改善を図る。

本調査検討では、平成 28 年度調査検討で実現した FDM-SSB 方式における双方向化技術を用いた 23GHz 帯無線伝送システム（パラボラアンテナと偏波分離器（OMT）を含む）を用いてフィールド試験を実施し、その有用性を確認すると共に、実現した双方向技術に関する課題点について検討を行う。

3.2.1. 双方向化の実現

平成 28 年度調査検討では、以下の 2 つの理由からアンテナ共用器は用いず、上り信号と下り信号をそれぞれ別々のアンテナで送受する送受分離型とした。1 つ目は 23GHz 帯の 400MHz 帯域幅を偏波多重で 2 倍の 800MHz 帯域幅を実現した際、ケーブルテレビの上り（15MHz～65MHz）と下り（90MHz～770MHz）で必要となる帯域幅と、隣接する他の帯域（携帯エントランスと電波天文）への影響を考慮したガードバンドの設定より導き出した 50MHz 程度のガードバンドで上り信号と下り信号を分離するには、非常に高性能（急峻）なフィルタが必要になり、フィルタサイズも大きなものになるためである。2 つ目は異なる偏波間において下り信号と上り信号の帯域の一部が同じであり、空中線ポイント（アンテナ接続部）で大きなレベル差が発生し、アンテナの交差偏波識別度（XPD）及び OMT の偏波分離度だけでは、DU 比の確保が非常に困難になるためである。これらの理由から上り信号と下り信号をそれぞれ別々のアンテナで送受する送受分離型として試作を行い、DOCSIS3.0（ケーブルインターネット）の信号の疎通（PING 試験）及びスループットに問題がないことを確認した。

偏波面の適用については、室内試験の結果、「H 偏波（水平偏波）- H 偏波（水平偏波）」配置のときの回り込み量をもっとも小さいため上り回線を H 偏波とした。

図 3-4 にアンテナ配置を垂直方向にしたときの 23.4GHz におけるアンテナ間回り込み量（V 偏波-V 偏波、H 偏波-H 偏波、及び V 偏波-H 偏波間）の比較図を、図 3-5 に平成 28 年度調査検討で試作した双方向機能を有する 23GHz 帯無線伝送システムのイメージ図を示す。

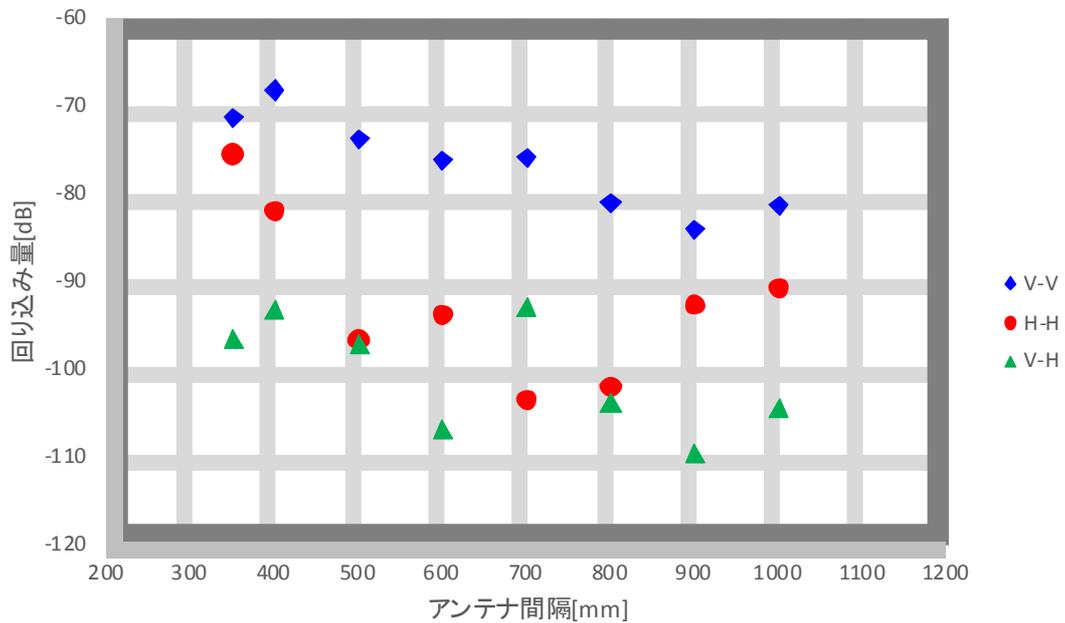


図 3-4 アンテナ間回り込み量(垂直設置)@ 23.4GHz

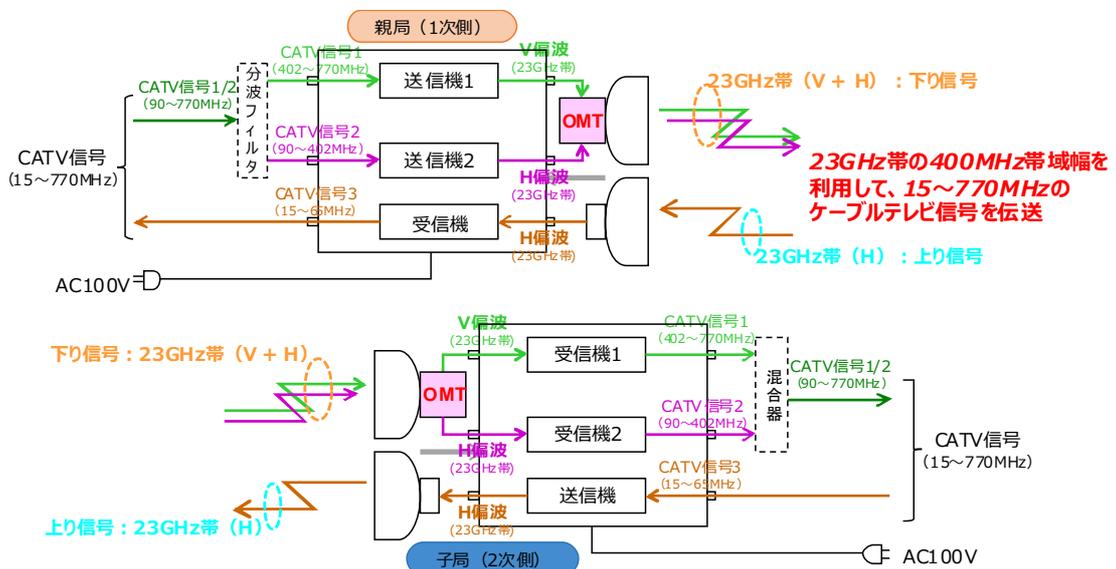


図 3-5 双方向機能を有する 23GHz 帯無線伝送システム

本調査検討では、試作した双方向機能を有する 23GHz 帯無線伝送システムを用いてフィールド試験を実施し、その有用性を確認すると共に、実現した双方向技術に関する課題点について検討を行う。

3.2.2. フィールドにおける双方向試験

平成 28 年度調査検討で試作した双方向機能（90MHz～770MHz の下りケーブルテレビ信号及び 15MHz～65MHz の上りケーブルテレビ信号を同時に伝送）を有する 23GHz 帯無線伝送システムと 0.3m 径パラボラアンテナ、及び OMT を試験フィールドに設置し、DOCSIS3.0（ケーブルインターネット）の信号の疎通（PING 試験）及びスループットを計測した。単一偏波、並びに偏波多重伝送によるデータ通信試験では、有線接続時と同じ性能（スループットと PING）となり劣化無く通信できることを確認した。

表 3-4 DOCSIS3.0 データ通信試験結果

| | | スループット [Mbps] | PING | | |
|------|----|------------------|-------|-------|--------|
| | | | 実施[回] | 失敗[回] | 失敗率[%] |
| 単一偏波 | 上り | 99.2 | 600 | 0 | 0.0% |
| | 下り | 282.0 | | | |
| 偏波多重 | 上り | 97.6 | 600 | 0 | 0.0% |
| | 下り | 282.0 | | | |
| 有線接続 | 上り | 98.6 | 600 | 0 | 0.0% |
| | 下り | 280.0 | | | |

3.2.3. 双方向化技術における課題と対策

本調査検討では、上り信号と下り信号をそれぞれ別々のアンテナで送受する送受分離型とした双方向機能を有する 23GHz 帯無線伝送システム試作を行い、室内試験とフィールド試験を通じて、DOCSIS3.0（ケーブルインターネット）の信号の疎通（PING 試験）及びスループットに問題がないことを確認した。

試作した双方向機能を有する 23GHz 帯無線伝送システムのフィールドへの導入では、設置するアンテナが 4 面となったことから、従来の物より設置・調整に時間を要することとなり、加えて、偏波多重伝送を実現するための偏波面調整を実施しなければならず、既存の無

線システムよりも導入が煩雑になる。これらの課題を解決するため、アンテナの調整機構、並びにアンテナ方向調整の簡便化について検討・試作を行い、改善を図った。詳細については、4.8 アンテナ・偏波分離器調整に記載する。

また、設置スペースの問題から、フィールド試験では、室内試験で検討した垂直設置ではなく水平設置（離隔：700mm）とし、上りパイロット信号（水平偏波）の下り空中線端子への回り込み量（水平偏波と垂直偏波）が、下り水平偏波では88dB、下り垂直偏波では約96dBという状態での試験となったが、問題なく双方向通信ができることがわかった。

3.3. 変調方式高度化技術の検討

「変調方式高度化技術の検討」の目的は、平成 28 年度調査検討における室内試験結果を踏まえ、FDM-SSB 方式において既存の 256 値直交振幅変調方式 (256QAM)、ITU-T 勧告 J.382 に準拠した高度な変調方式等を伝送する際に必要となる所要 C/N 比及び C/I 値を 3.1.1 で検討する XPD を考慮して基準値を策定し、フィールド試験等を通じて基準値の妥当性を確認するとともに、23GHz 帯は降雨の影響を受けやすい周波数帯であることを考慮し、各変調方式と降雨減衰との関係についても調査を行うことである。

また、本変調方式を導入するにあたってのその他の条件（隣接帯域等を使用する他の無線システムへの干渉等）についても検討を行う。

本調査検討では、23GHz 帯無線伝送システムにてデジタルケーブルテレビ信号(256QAM、J.382 など)を伝送するために必要となる技術的条件（送信周波数の許容偏差、通信系の受信端における C/N、混信保護 C/I など）を机上検討し、平成 28 年度調査検討で実現した FDM-SSB 方式における双方向化技術を用いた 23GHz 帯無線伝送システム（パラボラアンテナと偏波分離器 (OMT) を含む）を用いてフィールド試験を通じてその妥当性を評価する。

3.3.1. [C/N]0、及び C/I の検討

平成 28 年度調査検討で実施した[C/N]0、及び C/I の検討について振り返る。

[C/N]0、及び C/I の検討については、平成 10 年度 電気通信技術審議会回答申（諮問 102 号「有線テレビジョン放送事業用無線局の技術的条件」のうち「23GHz 帯を使用する有線テレビジョン放送事業に用いる固定局の技術条件」）で行われた検討手法を踏襲し、有線系及び無線系を含むトータルシステムの所要 C/N 比が、「有線一般放送の品質に関する技術基準を定める省令」で定められた受信者端子における「搬送波のレベルと雑音のレベルとの比」を確保できるよう有線系及び無線系への性能配分 (C/N 比配分) を行い、配分された無線系 C/N 比を無線伝送路で発生する劣化要因（干渉雑音や熱雑音など）へ配分し、熱雑音に配分された C/N 比を無線伝送区間における降雨減衰発生時の最悪値[C/N]0 として決定する。

図 3-6 に本調査検討における性能配分の検討手順を図示する。

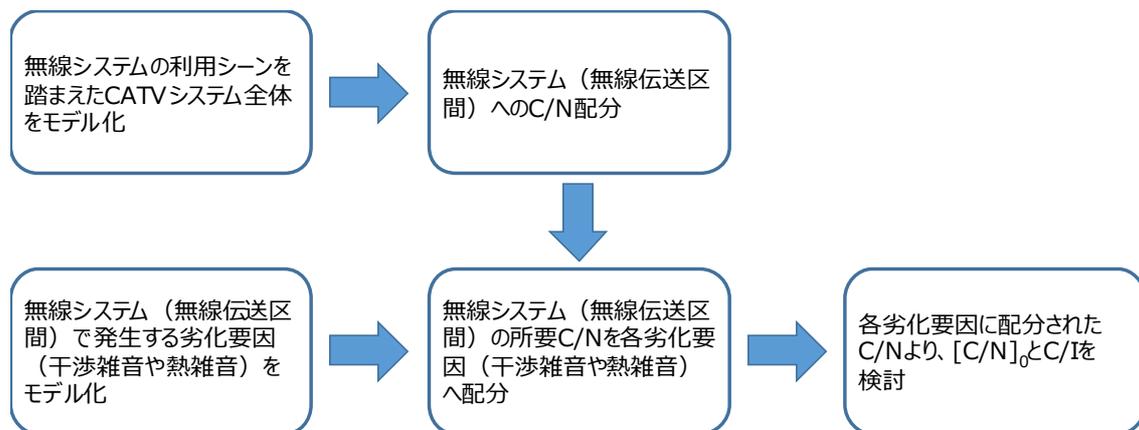


図 3-6 性能配分の検討手順

上記の検討手法と併せて、平成 21 年度 総務省 四国総合通信局 調査検討（有線テレビジョン放送事業用固定局における地上デジタル放送の伝送に関する調査検討報告書）で実施された検討手法も参照することとする。

3.3.1.1. 23GHz 帯無線伝送システムの利用シーン検討

平成 28 年度調査検討では、23GHz 帯無線伝送システムを適用する有線系伝送モデルを HFC (Hybrid Fiber Coax) と FTTH (Fiber To The Home) /FTTB (Fiber To The Building) の 2 つに絞り検討を行った。検討した利用シーンについて以下に示す。

(ア) HFC

23GHz 帯無線伝送システムを HFC へ適用するときの利用シーンとしては、図 3-7 に示すようにサービスエリアの拡張、並びに応急復旧利用が想定される。

サービスエリアの拡張として特に期待されるのは河川横断や無線柱化地域への伝送路としての利用であり、23GHz 帯無線伝送システムの接続先は、同軸伝送路、または棟内伝送路が主となる。本利用シーンでは、HFC と FTTH のカスケード接続は基本的に無いことを想定した。

応急復旧利用としては、HFC 伝送路の光幹線部、又は同軸部（同軸増幅器間）が被災した際に、23GHz 帯無線伝送システムを用いて、ケーブルテレビ信号（下り：90～770MHz、上り：15～65MHz）を伝送し、被災部が復旧するまで伝送路として利用される。ノード間を結ぶことになるため、無線伝送距離は比較的短いことが予想される。

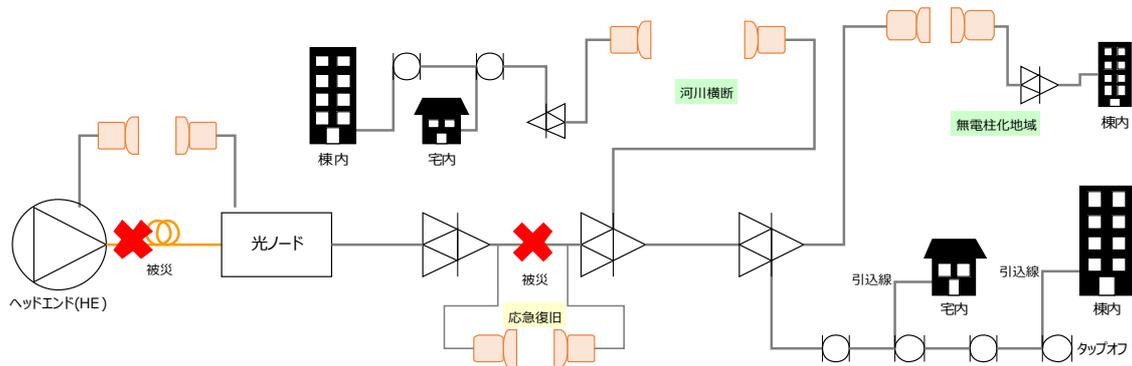


図 3-7 23GHz 帯無線伝送システムの利用シーン (HFC)

(イ) FTTH

23GHz 帯無線伝送システムを FTTH/FTTB へ適用するときの利用シーンとしては、図 3-8 に示すようにサービスエリアの拡張、並びに応急復旧利用が想定される。

HFC への適用のときと異なり、FTTH/FTTB への適用では通信サービスに DOCSIS 方式を使用しない（通信方式は PON 方式を利用）ため、23GHz 帯無線伝送システムで伝送する信号は、下りのケーブルテレビ信号（90MHz～770MHz）のみとなる。

サービスエリアの拡張として期待されるのは河川横断や離島への伝送路（下り信号で映像のみ）としての利用である。ヘッドエンドから 23GHz 帯無線伝送システム適用箇所までは光伝送路（幹線相当）で整備し、無線伝送後の接続先はサブヘッドエンドとなる。通信サービスは、メディアコンバータを介して、別のデータ通信用無線伝送装置（25GHz/60GHz/80GHz など）を使用して伝送する。

応急復旧利用としては、光伝送路が被災した際に、23GHz 帯無線伝送システムを用いて、下りケーブルテレビ信号（映像系のみ）を伝送し、被災部が復旧するまで伝送路として利用される。ノード間を結ぶことになるため、無線伝送距離は比較的短いことが予想されるが、FTTH/FTTB の幹線部は多心となっており、23GHz 帯無線伝送システムを用いて復旧できるのは任意の 1 心のみとなる。

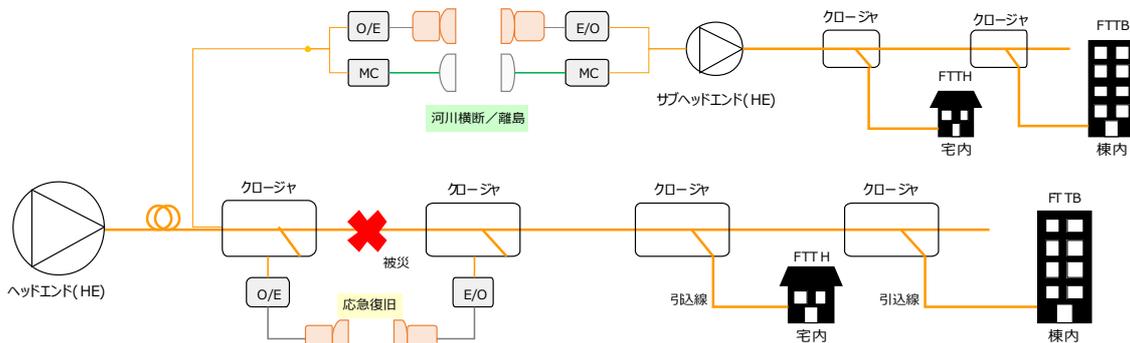


図 3-8 23GHz 帯無線伝送システムの利用シーン (FTTH/FTTB)

3.3.1.2. 性能配分モデルの検討

23GHz 帯無線伝送システムを適用する有線系伝送モデルを HFC と FTTH/FTTB とし、3.3.1.1 で検討した利用シーンを踏まえた性能配分モデルをそれぞれ検討する。

(ア) HFC

23GHz 帯無線伝送システムを河川横断や無電柱化地域への伝送路として想定すると、適用する HFC 伝送路は新設でなく、既設伝送路が主になると考えられるため、ヘッドエンドに加え、HFC 伝送路と無線伝送路の構成となる。

また、接続先に想定される「有線一般放送の品質に関する技術基準を定める省令」で規定される性能規定点 (受信者端子) となる集合住宅については、戸宅伝送路と棟内伝送路のうち最も所要性能が厳しい棟内伝送路を想定すると、性能配分モデルは図 3-9 のような構成になる。

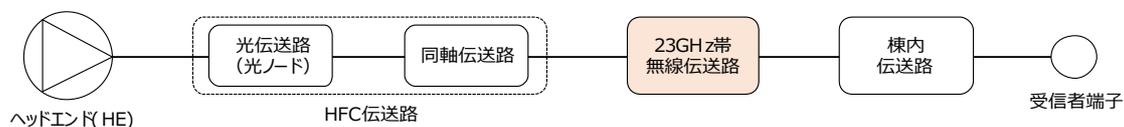


図 3-9 性能配分モデル (HFC)

HFC 伝送路の性能に関する技術基準等は存在しないため、実運用されている平均的な中継段数を有するシステムをモデル化することとし、平成 10 年度 電気通信技術審議会回答申 (諮問 102 号) で検討された「光伝送路 1 リンク+幹線分岐増幅器 4 段+延

長増幅器1段」の性能で検討を行う。

なお、応急復旧時における性能配分モデルについては、無線システムを適用する箇所が地理的要因に左右され一意に決まらないことから、実施設計の段階で考慮することとし、ここでは図3-9の性能配分モデルのみの検討を行なった。

(イ) FTTH/FTTB

23GHz帯無線伝送システムを河川横断や離島への伝送路として想定すると、適用するFTTH/FTTB伝送路は既設伝送路ではなく、新設伝送路への適用が主となる。23GHz帯無線伝送システムの適用箇所まで光伝送路(幹線相当)を敷設し、無線システムの後段にFTTH伝送路が接続される構成となる。

また、接続先に想定される「有線一般放送の品質に関する技術基準を定める省令」で規定される性能規定点(受信者端子)となる集合住宅については、戸宅伝送路と棟内伝送路のうち最も所要性能が厳しい棟内伝送路を想定すると、性能配分モデルは図3-10のような構成になる。

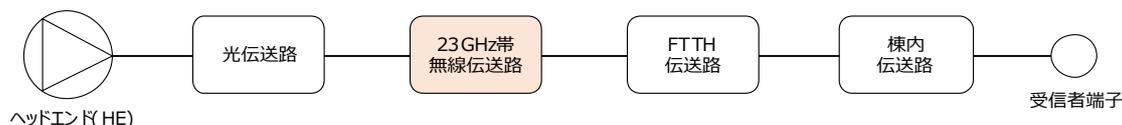


図 3-10 性能配分モデル (FTTH/FTTB)

FTTH伝送路の性能については、一般社団法人日本CATV技術協会標準規格 JCTEA STD-018-3.0を参照して検討を行う。

応急復旧時におけるモデルについては、幹線部に近い比較的光レベルの高い箇所で断線が起きた場合、図3-10の性能配分モデルの適用が考えられる。一方、支線部に近い光レベルの低い箇所で断線が起きた場合には、FTTH伝送路が2段となる構成が想定されるが、その場合、新たに光送信器を設置することになり、光レベルをある程度上げることが可能であるが、無線システムを適用する箇所が地理的要因に左右され一意に決まらないことから、実施設計の段階で考慮することとし、ここでは図3-10の性能配分モデルのみの検討を行うこととする。

3.3.1.3. CATV システム全体での性能配分

3.3.1.2 でモデル化した有線系及び無線系を含むトータルシステムの CATV システム全体で、所要 C/N 比が、「有線一般放送の品質に関する技術基準を定める省令」で定められた受信者端子における「搬送波のレベルと雑音のレベルとの比」を確保できるよう有線系及び無線系への性能配分 (C/N 比) を行った。

(ア) HFC

平成 10 年度 電気通信技術審議会回答申 (諮問 102 号「有線テレビジョン放送事業用無線局の技術的条件」) では、HFC における性能配分 (C/N 配分) を検討するには実運用されている平均的な中継段数を有するシステムをモデルとすればよいとし、図 3-11 のように HFC 伝送モデルを、住宅密集地域 (TO 間隔約 30m) で幹線は 2 段、郊外地域 (TO 間隔約 70m) では幹線 4 段程度でカバーできるため、モデルシステムは幹線系 4 段、EA は 1 段としている。

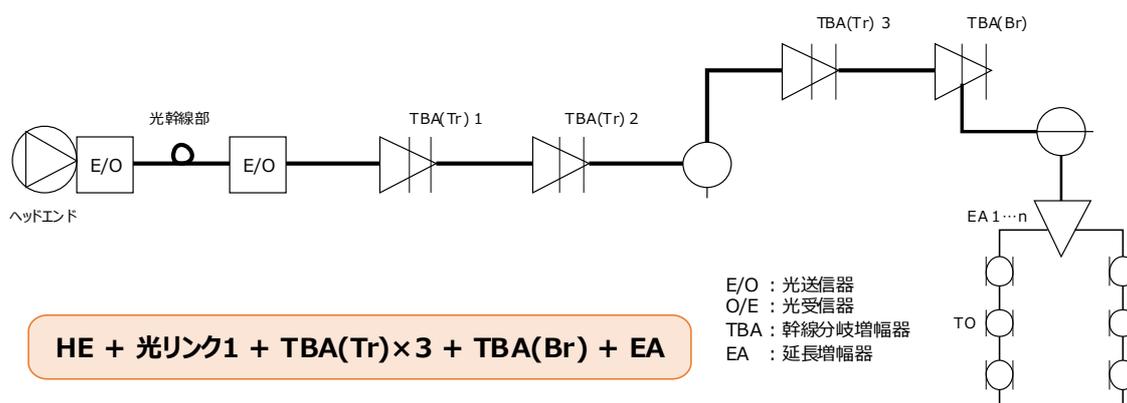


図 3-11 NTSC-VSB-AM 方式における HFC 性能配分モデル

本検討においても、NTSC-VSB-AM 方式における検討性能を基準とし、OFDM と 64QAM における伝送レベルは-10dB、256QAM や J.382 のデジタル信号は 64QAM を基準としたレベル差伝送を適用する。

表 3-5 に NTSC-VSB-AM を基準にした HFC 伝送路における各性能を、伝送レベル差や雑音帯域換算を行い、OFDM や 64QAM/256QAM、ITU-T 勧告 J.382 に準拠した高度な変調方式に関する性能を算出した結果を示す。

表 3-5 HFC 伝送路における性能①

| | NTSC-VSB-AM | OFDM | 64QAM | 256QAM | J.382 | | | |
|--------------------|-------------|-------|-------|--------|--------|---------|------------------------|------------------------|
| | | | | | 256QAM | 1024QAM | 4096QAM 符号化率 4/5 | 4096QAM 符号化率 5/6 |
| 雑音帯域幅 [MHz] | 4.00 | 5.60 | 5.30 | 5.30 | 5.71 | 5.71 | 5.71 | 5.71 |
| 帯域換算値 [dB] | 0.00 | -1.47 | -1.23 | 0.00 | -0.33 | -0.33 | -0.33 | -0.33 |
| レベル差 [dB] | 0 | -10 | -10 | +6 | +0 | +6 | +8 | +10 |
| 光伝送路 C/NR [dB] | 51.0 | 39.5 | 39.8 | 45.8 | 39.5 | 45.5 | 47.5 | 49.5 |
| 同軸伝送路 C/NR [dB] | 49.9 | 38.5 | 38.7 | 44.7 | 38.4 | 44.4 | 46.4 | 48.4 |
| TBA(Tr)1 | 57.0 | 45.53 | 45.77 | 51.77 | 45.44 | 51.44 | 53.44 | 55.44 |
| TBA(Tr)2 | 57.0 | 45.53 | 45.77 | 51.77 | 45.44 | 51.44 | 53.44 | 55.44 |
| TBA(Tr)3 | 57.0 | 45.53 | 45.77 | 51.77 | 45.44 | 51.44 | 53.44 | 55.44 |
| TBA(Br) | 55.0 | 43.53 | 43.77 | 49.77 | 43.44 | 49.44 | 51.44 | 53.44 |
| EA | 60.0 | 48.53 | 48.77 | 54.77 | 48.44 | 54.44 | 56.44 | 58.44 |
| 総合性能 | 47.4 | 36.0 | 36.2 | 42.2 | 35.9 | 41.9 | 43.9 | 45.9 |

帯域換算値[dB]ならびにレベル差[dB]の項目における数値は、OFDM と 64QAM については NTSC-VSB-AM、256QAM、J.382 については 64QAM 信号を基準としたときの値となる。

表 3-5 の結果（光伝送路、及び同軸伝送路における性能）を用いて、HFC 伝送路によるモデルにおける有線系及び無線系への性能配分（C/N 比）を行った結果を表 3-6 示す。

表 3-6 CATV システム全体での性能配分（HFC の場合①）

| | 伝送路 | 伝送性能（C/N 比） | | | | | | |
|---|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------------|------------------------|
| | | OFDM | 64QAM | 256QAM | J. 382 | | | |
| | | | | | 256QAM | 1024QAM | 4096QAM 符号化率 4/5 | 4096QAM 符号化率 5/6 |
| 1 | ヘッドエンド | 27.0 | 35.0 | 43.0 | 35.0 | 42.0 | 46.0 | 49.0 |
| 2 | HFC (光伝送路) | 39.5 | 39.8 | 45.8 | 39.5 | 45.5 | 47.5 | 49.5 |
| 3 | HFC (同軸伝送路) | 38.5 | 38.7 | 44.7 | 38.4 | 44.4 | 46.4 | 48.4 |
| 4 | 無線伝送路 (計算値) | 29.10 | 28.37 | 37.91 | 28.42 | 36.06 | 42.65 | 49.35 |
| 5 | 棟内伝送路 | 33.0 | 33.0 | 39.0 | 33.0 | 39.0 | 41.0 | 43.0 |
| 6 | 受信者端子 | 24.0 | 26.0 | 34.0 | 26.0 | 33.0 | 37.0 | 40.0 |
| | 無線伝送路性能 | 33.0 | 29.0 | 38.0 | 29.0 | 37.0 | 43.0 | 50.0 |

項番 1: JCTEA STD-018-3.0 より

項番 5: 有線一般放送（省令）。4096QAM については、JCTEA STD-018-3.0 を参照。

項番 6: 有線一般放送（省令）

表 3-6 では、項番 1～5 までの電力和（総合性能）が、項番 6 の受信者端子性能(C/N 比)以上となるように無線伝送路（項番 4）の性能を決めている。

平成 21 年度 四国総合通信局「有線テレビジョン放送事業用固定局における地上デジタル放送の伝送に関する調査検討会」で実施された既存の OFDM と 64QAM の結果は、それぞれ 27.1dB と 29.0dB となっており、OFDM についてはより高い性能が必要との結果になった。しかし、OFDM の無線伝送路性能を 27.1dB として実導入した固定系で性能不足であるということは現在のところない。

J.382 のうち 4096QAM（符号化率 5/6）については、有線系の伝送路よりも高い性能が必要になる結果となっており、無線装置の性能上、4096QAM については非常に厳

しい結果となった。

また、有線系の伝送路で、256QAM や J.382 などの変調信号は、64QAM に対してレベル差をつけて運用することになっているが、算出された無線伝送路性能は、実際の運用レベル差との整合が取れておらず、ケーブルテレビ信号の性質を変えることなく周波数のみ変換して無線伝送する FDM-SSB 方式の利点が十分に活かされないことになる。

そこで検討した一部の性能を見直し、HFC の性能配分モデルで配分した結果を表 3-7 に示す。

表 3-7 CATV システム全体での性能配分 (HFC の場合②)

| | 伝送路 | 伝送性能 (C/N 比) | | | | | | |
|---|----------------|--------------|-------|--------|--------|---------|------------------------|------------------------|
| | | OFDM | 64QAM | 256QAM | J. 382 | | | |
| | | | | | 256QAM | 1024QAM | 4096QAM 符号化率 4/5 | 4096QAM 符号化率 5/6 |
| 1 | ヘッドエンド | 31.0 | 35.0 | 43.0 | 35.0 | 42.0 | 46.0 | 49.0 |
| 2 | HFC (光伝送路) | 40.5 | 40.8 | 46.8 | 40.5 | 46.5 | 48.5 | 50.5 |
| 3 | HFC (同軸伝送路) | 38.5 | 38.7 | 44.7 | 38.4 | 44.4 | 46.4 | 48.4 |
| 4 | 無線伝送路 (計算値) | 26.10 | 28.31 | 35.68 | 28.4 | 36.0 | 42.4 | 48.6 |
| 5 | 棟内伝送路 | 33.0 | 33.0 | 39.0 | 33.0 | 39.0 | 41.0 | 43.0 |
| 6 | 受信者端子 | 24.0 | 26.0 | 33.0 | 26.0 | 33.0 | 37.0 | 40.0 |
| | 無線伝送路性能 | 27.0 | 29.0 | 36.0 | 29.0 | 36.0 | 43.0 | 49.0 |

項番 1: JCTEA STD-018-3.0 より

項番 5: 有線一般放送 (省令)。4096QAM については、JCTEA STD-018-3.0 を参照。

項番 6: 有線一般放送 (省令)

表 3-6 から見直した点は次の通り：

- 光伝送路 (HFC 幹線相当) の性能を NTSC-VSB-AB 方式の 51dB から、52dB (現行機種のカatalog性能より) に変更。
- OFDM のヘッドエンド性能を、HFC 伝送路では主に都市型ケーブルテレビが対象となるため、比較的受信環境が良い受信点を選定できることを鑑み、放送波中継時の 3 段目の中継局からの受信を想定した 31dB とする (平成 21 年度 四国総合通

信局「有線テレビジョン放送事業用固定局における地上デジタル放送の伝送に関する調査検討会」に基づく。

- 256QAM の受信者端子 C/N 比を 34dB から 33dB へ変更。

一部の有線系伝送路の性能を見直した結果、全ての変調信号で無線伝送路に比較的現実的な性能を配分することができた。

256QAM、及び J.382 のうち 4096QAM (符号化率 5/6) については、若干、所要性能が若干緩和されたが、レベル差伝送、及び無線装置の性能に関する課題は残ったままとなる。さらに、同性能を満足させるには 64QAM に対して 20dB 以上のレベル差が必要であり、有線一般放送の品質に関する技術基準を定める省令で規定されている他の搬送波のレベルとの差 16dB 以内を満足しないことになる。また、棟内伝送路の性能については、新設の場合には実情に合わせた設計が可能であるが、既設の場合でも NTSC-VSB-AM を伝送可能な性能 (46dB 以上) を有しているため、NTSC-VSB-AM に対する 64QAM のレベル差(-10dB)と、64QAM に対する J.382(4096QAM)のレベル差を想定し、それぞれの棟内伝送路性能を 44dB と 46dB とすると、4096QAM(4/5)で 41dB、4096QAM(5/6)で 45dB となる。

(イ) FTTH/FTTB

FTTH/FTTB 伝送路によるモデルにおいて、有線系及び無線系への性能配分 (C/N 比) を行った結果を表 3-8 に示す。

表 3-8 CATV システム全体での性能配分 (FTTH/FTTC の場合①)

| | 伝送路 | 伝送性能 (C/N 比) | | | | | | |
|---|----------------|--------------|-------|--------|--------|---------|------------------------|------------------------|
| | | OFDM | 64QAM | 256QAM | J. 382 | | | |
| | | | | | 256QAM | 1024QAM | 4096QAM 符号化率 4/5 | 4096QAM 符号化率 5/6 |
| 1 | ヘッドエンド | 27.0 | 35.0 | 43.0 | 35.0 | 42.0 | 46.0 | 49.0 |
| 2 | HFC (光伝送路) | 39.5 | 39.8 | 45.8 | 39.5 | 45.5 | 47.5 | 49.5 |
| 3 | 無線伝送路 (計算値) | 37.04 | - | - | - | 44.84 | 55.14 | - |

| | | | | | | | | |
|---------|----------|-------------|------|------|------|-------------|-------------|------|
| 4 | FTTH 伝送路 | 29.3 | 27.7 | 37.0 | 27.7 | 36.0 | 41.3 | 45.7 |
| 5 | 棟内伝送路 | 33.0 | 33.0 | 39.0 | 33.0 | 39.0 | 41.0 | 43.0 |
| 6 | 受信者端子 | 24.0 | 26.0 | 34.0 | 26.0 | 33.0 | 37.0 | 40.0 |
| 無線伝送路性能 | | 38.0 | - | - | - | 45.0 | 56.0 | - |

項番 1 : JCTEA STD-018-3.0 より

項番 3 : JCTEA STD-018-3.0 に記載されている棟内伝送路の 64QAM の C/N 比が 33dB 以上のときのヘッドエンド入力と光受信機出力における C/N 比より算出。

項番 5 : 有線一般放送 (省令)。4096QAM については、JCTEA STD-018-3.0 を参照。

項番 6 : 有線一般放送 (省令)

表 3-8 では、項番 1~5 までの電力和 (総合性能) が、項番 6 の受信者端子性能(C/N 比)以上となるように無線伝送路 (項番 4) の性能を決めている。

既存の基準 (伝送性能) で検討を進めると、ほぼ全変調信号で破綻するうえ、HFC よりも高い性能を要求される結果となった。

そこで一部性能を変更し、FTTH/FTTC の性能配分モデルで配分した結果を表 3-9 に示す。

表 3-9 CATV システム全体での性能配分 (FTTH/FTTC の場合②)

| | 伝送路 | 伝送性能 (C/N 比) | | | | | | |
|---------|----------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------------|------------------------|
| | | OFDM | 64QAM | 256QAM | J. 382 | | | |
| | | | | | 256QAM | 1024QAM | 4096QAM 符号化率 4/5 | 4096QAM 符号化率 5/6 |
| 1 | ヘッドエンド | 31.0 | 35.0 | 43.0 | 35.0 | 42.0 | 46.0 | 49.0 |
| 2 | HFC (光伝送路) | 40.5 | 40.8 | 46.8 | 40.5 | 46.5 | 48.5 | 50.5 |
| 3 | 無線伝送路 (計算値) | 26.74 | 29.46 | 37.75 | 29.48 | 37.71 | 43.02 | - |
| 4 | FTTH 伝送路 | 33.2 | 33.2 | 39.2 | 33.2 | 39.2 | 41.2 | 43.2 |
| 5 | 棟内伝送路 | 33.0 | 33.0 | 39.0 | 33.0 | 39.0 | 41.0 | 43.0 |
| 6 | 受信者端子 | 24.0 | 26.0 | 33.0 | 26.0 | 33.0 | 37.0 | 40.0 |
| 無線伝送路性能 | | 27.0 | 30.0 | 38.0 | 32.0 | 38.0 | 54.0 | - |

項番 1 : JCTEA STD-018-3.0 より

項番 3 : JCTEA STD-018-3.0 に記載されている棟内伝送路の 64QAM の C/N 比が 33dB 以上のときのヘッドエンド入力と光受信機出力における C/N 比より算出。

項番 5 : 有線一般放送 (省令)。4096QAM については、JCTEA STD-018-3.0 を参照。

項番 6 : 有線一般放送 (省令)

表 3-8 から見直した点は次の通り :

- 光伝送路 (HFC 幹線相当) の性能を NTSC-VSB-AB 方式の 51dB から、52dB (現行機種のカatalog性能より) に変更。
- OFDM のヘッドエンド性能を、HFC 伝送路では主に都市型ケーブルテレビが対象となるため、比較的受信環境が良い受信点を選定できることを鑑み、放送波中継時の 3 段目の中継局からの受信を想定した 31dB とする (平成 21 年度 四国総合通信局「有線テレビジョン放送事業用固定局における地上デジタル放送の伝送に関する調査検討会」に基づく)。
- 256QAM の受信者端子 C/N 比を 34dB から 33dB へ変更。
- FTTH 伝送路における光受信機の受光レベルを 2dB 上げたときの 64QAM における FTTH 伝送路性能を基準として、その他の信号 (OFDM、256QAM、J.382) についてはレベル差伝送を適用する。

一部の有線系伝送路の性能を見直した結果、J.382(4096QAM 符号化率 5/6)を除く全ての変調信号で無線伝送路に性能を配分できたが、無線系としては無理な配分も多く、全体的に HFC 伝送路の場合よりも高い性能が必要になるうえ、HFC と同様の課題がある。

23GHz 帯無線伝送システムを適用する FTTH/FTTB の性能配分モデルでは、新設を想定していることを踏まえると、適用する FTTH 伝送路の性能は、無線導入に適した性能での設計が可能である。以上のことを踏まえ、FTTH 伝送路における 64QAM の性能を 39dB としてレベル差を適用すると、無線伝送路性能は HFC 伝送路と同じ結果となる。

23GHz 帯無線伝送システムの利用シーンを「HFC 伝送路」と「FTTH/FTTB 伝送路」適用するモデルに分類し、既存の技術基準 (省令) や標準規格をベースにそれぞれ性能配分を行った。

既存の技術基準 (省令) や標準規格をベースにした有線伝送路系に 23GHz 帯無線伝送シ

システムを適用すると全体的に性能配分が厳しくなるため、設計や運用により変更が可能な一部性能を緩和した結果（基本的には標準規格のみ）、表 3-10 のように現実的な配分が可能となった。

表 3-10 無線システムへの性能配分結果

| | OFDM | 64QAM | 256QAM | J. 382 | | | |
|-----------------------|------|-------|--------|--------|---------|------------------------|------------------------|
| | | | | 256QAM | 1024QAM | 4096QAM 符号化率 4/5 | 4096QAM 符号化率 5/6 |
| HFC 伝送路 [dB] | 27 | 29 | 36 | 29 | 36 | 43 | 49 |
| FTTH/FTTB 伝送路 [dB] | 27 | 30 | 38 | 30 | 38 | 54 | - |

性能配分モデルで言及したとおり、「23GHz 帯無線伝送システムを河川横断や離島への伝送路として想定すると、適用する FTTH/FTTB 伝送路は既設伝送路ではなく、新設伝送路への適用が主となる」ことから、導入当初より「23GHz 帯無線伝送システム」を組み込んだ設計が可能になる。また、23GHz 帯無線伝送システムを双方向の通信システムとして利用される場合は、通信用変調方式(DOCSIS)を利用することになり、DOCSIS は、HFC 伝送路で使われる変調方式であることを考慮し、無線システムへの性能配分モデルは、「HFC 伝送路」における利用シーンを採用することにする。

J.382 の 4096QAM（符号化率 5/6）については、表 3-10 の性能（49dB）を満足させるには、64QAM に対して 20dB のレベル差伝送が必要であり、有線一般放送の品質に関する技術基準を定める省令で規定されている他の搬送波のレベルとの差 16dB 以内を満足し無いことから、既設の棟内伝送路性能が、NTSC-VSB-AM を伝送可能な性能（46dB 以上）を有していることを踏まえ、NTSC-VSB-AM に対する 64QAM のレベル差(-10dB)と、64QAM に対する J.382(4096QAM)のレベル差を適用し、それぞれの棟内伝送路性能を 44dB と 46dB とすることにする。その結果、4096QAM(符号化率:4/5)を 41dB、4096QAM(符号化率:5/6)を 45dB とした。

表 3-11 無線伝送路性能

| | | | | | | |
|------|-------|--------|--------|---------|------------------------|------------------------|
| OFDM | 64QAM | 256QAM | J. 382 | | | |
| | | | 256QAM | 1024QAM | 4096QAM 符号化率 4/5 | 4096QAM 符号化率 5/6 |
| 27 | 29 | 36 | 29 | 36 | 43 | 49 |

3.3.1.4. 無線系雑音配分

平成 10 年度 電気通信技術審議会回答申（諮問 102 号）で検討された無線系雑音配分モデル（参照）を用いて、で配分された無線伝送路の所要 C/N 比を各劣化要因に配分し、熱雑音に配分された C/N 比（[C/N]₀）を算出する。

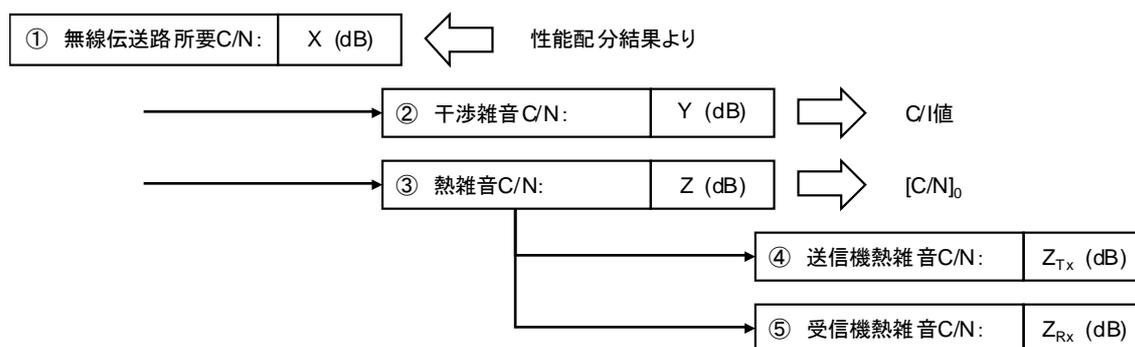


図 3-12 無線系雑音配分モデル

表 3-12 無線系雑音配分モデル

| | 雑音配分系 | 備考 |
|---|-----------------|--|
| ① | 無線伝送路所要 C/N[dB] | CATV システム全体で有線系と無線系に性能を配分した値。 |
| ② | 干渉雑音 C/N[dB] | 無線区間で発生する干渉雑音。C/I の規定値となる。FDM-SSB 方式の既設局のうちアナログ TV 信号を伝送している無線局がある場合の干渉を考慮する場合、より厳しい C/I 値 (52dB) となるが、現状ではデジタル TV 信号のみとなっていると考えられるため、既存のデジタル TV 信号における C/I 値 (42dB) を基準 |

| | | |
|---|----------------|--|
| | | とし、その他は実運用に応じたレベル差を適用するものとする。 |
| ③ | 熱雑音 C/N[dB] | 無線区間で発生する熱雑音は、送信機熱雑音と受信機熱雑音とする。回線設計（伝送の質）上の閾値 $[C/N]_0$ となる。 |
| ④ | 送信機熱雑音 C/N[dB] | |
| ⑤ | 受信機熱雑音 C/N[dB] | |

3.3.1.3 で検討した無線伝送路性能（表 3-11）を用いた無線系雑音配分の結果を表 3-13 に示す。

表 3-13 無線系雑音配分（HFC 伝送路）

| | 伝送路 | 無線系雑音配分（C/N比） HFC② | | | | | | |
|---|----------------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|------------------------|
| | | OFDM | 64QAM | 256QAM | J. 382 | | | |
| | | | | | 256QAM | 1024QAM | 4096QAM 符号化率 4/5 | 4096QAM 符号化率 5/6 |
| 1 | 無線伝送路 所要 C/NR[dB] | 27.0 | 29.0 | 36.0 | 29.0 | 36.0 | 41.0 | 45.0 |
| 2 | 干渉雑音 C/NR[dB] | 42.0 | 42.0 | 48.0 | 42.0 | 48.0 | 50.0 | 52.0 |
| 3 | 熱雑音 C/NR[dB] | 27.14 | 29.22 | 36.28 | 29.22 | 36.28 | 41.58 | 45.97 |
| 4 | 送信機熱雑音 C/NR[dB] | 42.0 | 42.0 | 48.0 | 42.0 | 48.0 | 50.0 | 52.0 |
| 5 | 受信機熱雑音 C/NR[dB] | 27.3 | 29.5 | 36.6 | 29.5 | 36.6 | 42.3 | 47.2 |
| | $[C/N]_0$ | 27.1 | 29.2 | 36.3 | 29.2 | 36.3 | 41.6 | 46.0 |

項番 1:HFC 伝送路との性能配分結果（表 3-11）より

項番 2:電波法関係審査基準の OFDM/64QAM における C/I 値。レベル差伝送を適用。

項番 4:干渉雑音と同等に設定（例）

送信機熱雑音と受信機熱雑音への配分は、熱雑音を配分した結果であり、受信機熱雑音については、送信機熱雑音を干渉雑音程度に設定した結果となる（製作する送信機の性能によるため参考となる）。

3.3.2. [C/N]0、及び C/I

3.3.1 で検討した[C/N]0 と C/I を表 3-14 に示す。

算出した[C/N]0 については、平成 28 年度に実施した試作装置を用いた室内試験結果と比較して問題のない値となっており、フィールド試験を通じてその妥当性について検証を行う。

表 3-14 [C/N]0 と C/I 値

| | OFDM | 64QAM | 256QAM | J. 382 | | | |
|--------|------|-------|--------|--------|---------|------------------------|------------------------|
| | | | | 256QAM | 1024QAM | 4096QAM 符号化率 4/5 | 4096QAM 符号化率 5/6 |
| [C/N]0 | 27.1 | 29.2 | 36.3 | 29.2 | 36.3 | 41.6 | 46.0 |
| C/I | 42.0 | 42.0 | 48.0 | 42.0 | 48.0 | 50.0 | 52.0 |

3.3.3. デジタルケーブルテレビ信号の品質測定に関するフィールド試験

本調査検討では、平成 28 年度調査検討で試作した双方向機能（90MHz～770MHz の下りケーブルテレビ信号及び 15MHz～65MHz の上りケーブルテレビ信号を同時に伝送）を有する 23GHz 帯無線伝送システムと 0.3m 径パラボラアンテナ、及び OMT を試験フィールドに設置し、デジタルケーブルテレビ信号（256QAM など）の信号品質（搬送波レベル、C/N 比、BER（ビット誤り率）、MER（変調誤差比）等）と降雨量を一定期間計測し、無線回線断の時間率（回線不稼働率）と降雨減衰特性を評価し、机上計算との整合性を確認するとともに、所要受信 C/N 比について確認した。

偏波多重伝送の場合、降雨減衰による信号レベルの低下（C/N 比の劣化）に加え、交差偏波識別度（XPD）の劣化量を考慮することがあることから、調査検討項目 3.1.2 の XPD に関するフィールド試験と同時に実施した。

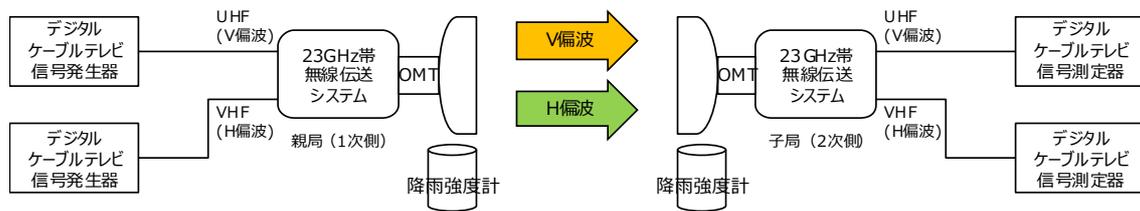


図 3-13 デジタルケーブルテレビ信号の品質測定系統

2017年12月28日から2018年3月20日まで長野県松本市にて無線伝送実験を実施した。期間を通じて回線設計で適用した1分間降雨量(1.33m/分)を超える降雨は無く、良好な結果を得ることができた。また、XPDについても期間を通じて大きな劣化は発生しておらず、降雨や降雪による影響は信号レベルの低下よりも少ない結果となった。

詳細については4章で述べる。

3.4. 小型・軽量化の検討

「小型・軽量化の検討」の目的は、平成 28 年度調査検討において実現した 23GHz 帯無線伝送システムにおける小型・軽量化の結果を踏まえ、実フィールドにおける 23GHz 帯無線伝送システムの簡便な導入・設置を実現させる手法（小型化等）について検討することである。

本調査検討では、平成 28 年度調査検討で実現した FDM-SSB 方式における双方向化技術を用いた 23GHz 帯無線伝送システムについて、実装モジュールの配置や配線等を見直すことで小型化を実現するとともに、23GHz 帯無線伝送システムの簡便な設置・調整方法について検討を行う。

3.4.1. 目的

平成 28 年度「23GHz 帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討の請負」にて作成した無線機は各モジュールをプレートに取り付けた状態にて性能試験を行っていた。昨年度の実績より従来の片方向の無線装置（以下現行無線装置）と比較すると、実装すべきモジュールが単純計算で 3 倍以上となるが、装置サイズで 263%、装置重量で 135%の軽量化を実現している。

今年度フィールド試験を実施するにあたり、試作装置を屋外設置可能なものにして現地に取り付け実験を行うこと、同時に実装モジュールの配置や配線等を見直すことで更なる小型化の実現と屋外設置可能な筐体を製作することを目的とする。

3.4.2. 測定用筐体

平成 28 年度「23GHz 帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討の請負」にて作成した無線機を屋外設置するためにボックスに収容し現地に設置した。平成 28 年度に製作したプレート実装の写真を図 3-14 に示し、屋外設置のためボックスに収容した親局（1 次）側の写真を図 3-16 に子局（2 次）側の写真を図 3-18 に示す。なお、本ボックスは測定のための屋外設置を目的としており小型化は現地測定とは別に検討を行った。



图 3-14 平成 28 年度製作品 (左: 親局 (1 次) 側 右: 子局 (2 次) 側)



图 3-15 測定用 親局 (1 次) 側 製作図

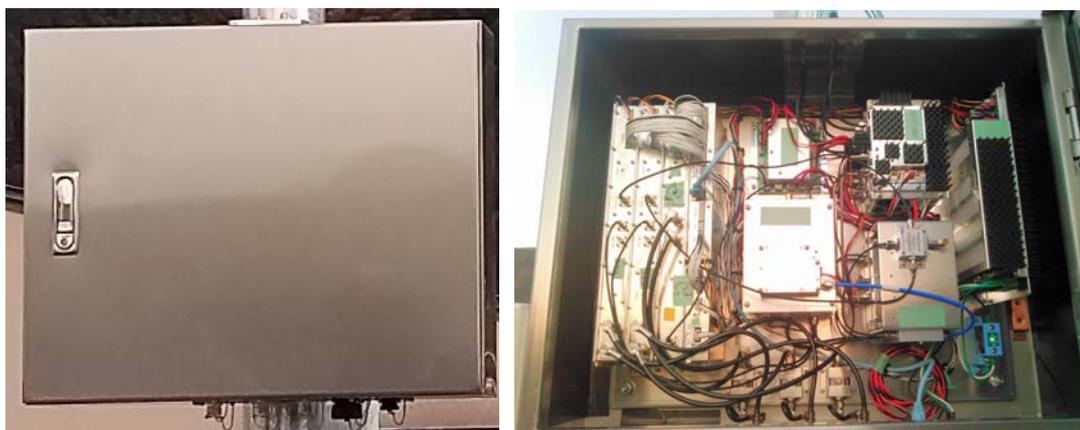


图 3-16 测定用親局（1次）側（左：外觀 右：筐体内）

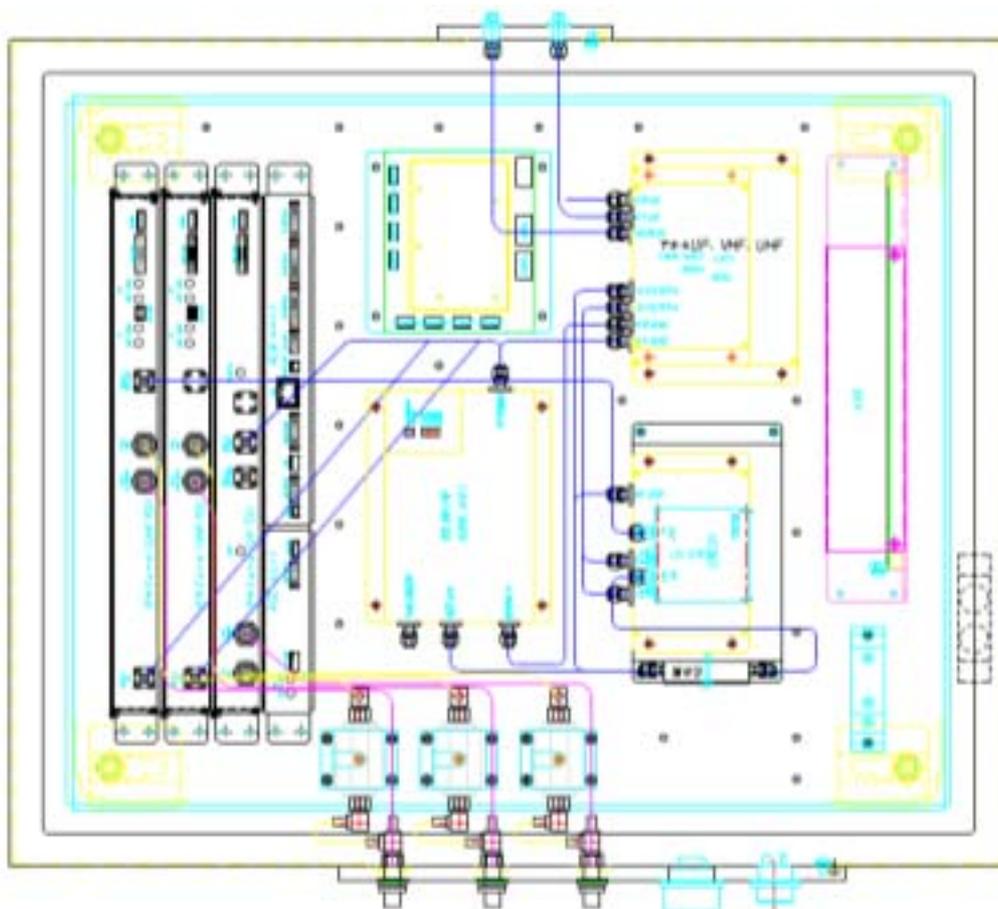


图 3-17 测定用子局（2次）側製作図



図 3-18 測定用子局（2次）側（左：外観 右：筐体内）

3.4.3. 小型化

3.4.2 の測定用筐体で測定を行うことと並行して、実装モジュールの配置や配線等の見直しを行うことで小型化を実現した。

平成 28 年度製作品はベースプレートへの実装であったことから内寸で比較すると、現行無線機が $222 \times 387 \times 160$ (W×D×H, mm) に対し平成 28 年度は $480 \times 470 \times 160$ (W×D×H, mm) となっていた。これは実装すべきモジュールが単純計算で 3 倍以上となる場所を見直しにより 263% に納めた結果であったが、今回の小型化により $480 \times 470 \times 160$ (W×D×H, mm) と現行比 188% まで小型化することができた。本結果を表 3-15 に示す。この小型化により平成 28 年度製作品に対して 71.4% の小型化を達成することができた。

さらに内部搭載する機器が小型化されたことにより、筐体を含めた外寸を比較すると $294 \times 427 \times 178$ (W×D×H, mm) に対し、 $378 \times 484 \times 180$ (W×D×H, mm) となり、こちらも実装モジュールが 3 倍以上となるのに対して 147% に抑えることができた。本結果を表 3-16 に示す。

今回小型化した親局（1 次）側の製作図を図 3-19 に、その写真を図 3-20 に示し、子局（2 次）側の製作図を図 3-21 に、その写真を図 3-22 に示す。また、図 3-23 に現行無線装置との比較写真を示す。

表 3-15 内寸比較

| 装置名 | 幅 [mm] | 奥行 [mm] | 高さ [mm] | 容積 [m ³] | 備考 |
|-----------------|-----------|------------|------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 現行無線装置 | 222 | 387 | 160 | 0.013746 | |
| 平成 28 年度 | 480 | 470 | 160 | 0.036096 | 現行比：263% ベースプレート実装 |
| 平成 29 年度 小型化 | 458 | 352 | 160 | 0.025785 | 現行比：188% 平成 28 年度比：71.4% 筐体実装 |

表 3-16 外寸比較

| 装置名 | 幅 [mm] | 奥行 [mm] | 高さ [mm] | 容積 [m ³] | 備考 |
|-----------------|-----------|------------|------------|-------------------------|----------|
| 現行無線装置 | 294 | 427 | 178 | 0.0223 | |
| 平成 29 年度 小型化 | 378 | 484 | 180 | 0.0329 | 現行比：147% |

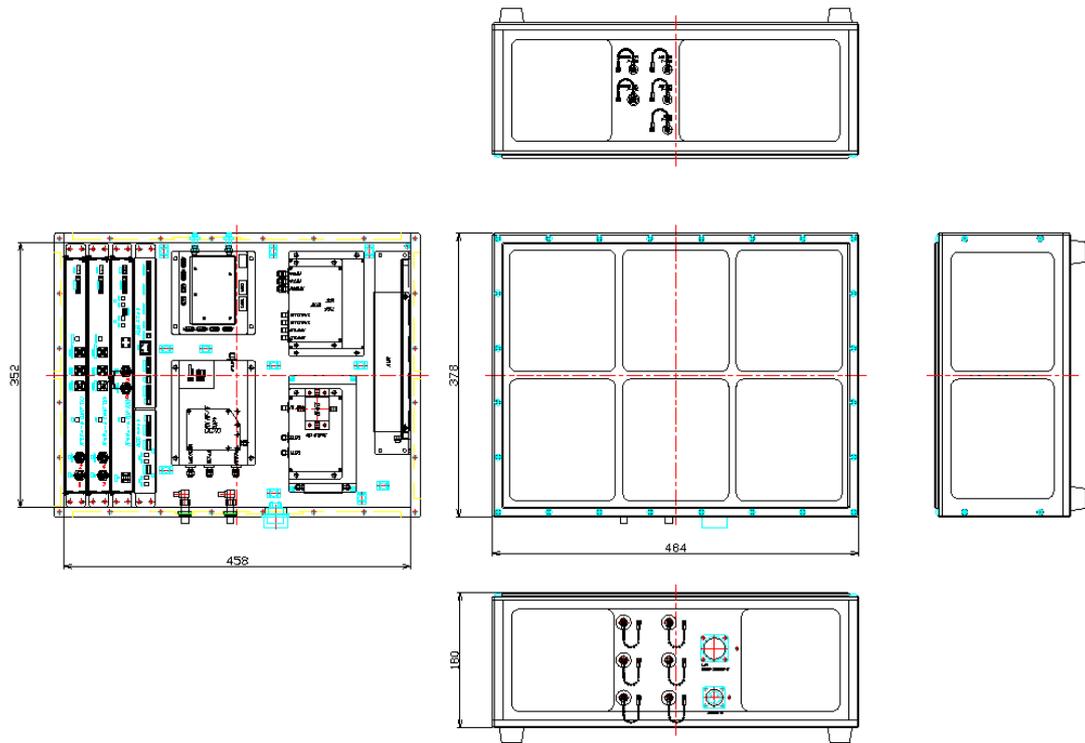


图 3-19 小型化後 親局 (1 次) 側 製作図

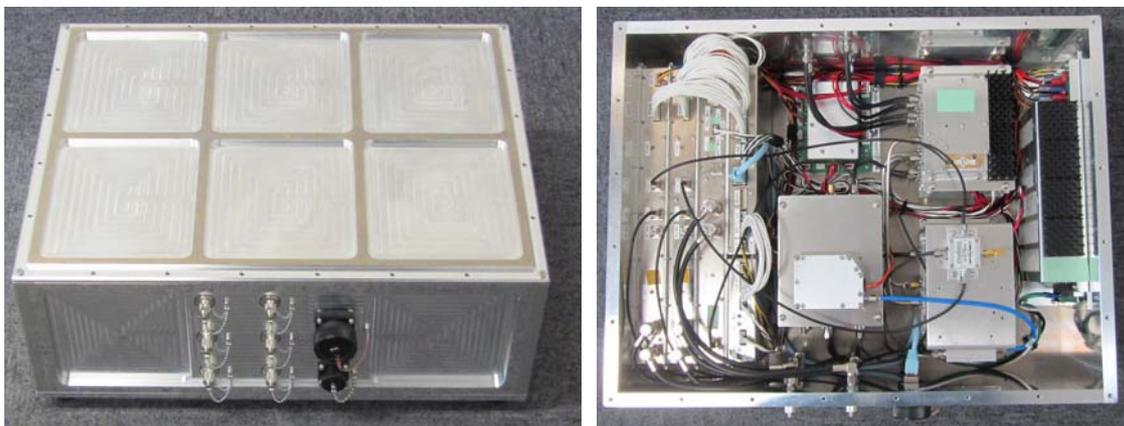


图 3-20 小型化後 親局 (1 次) 側 (左: 外觀 右: 筐体内)

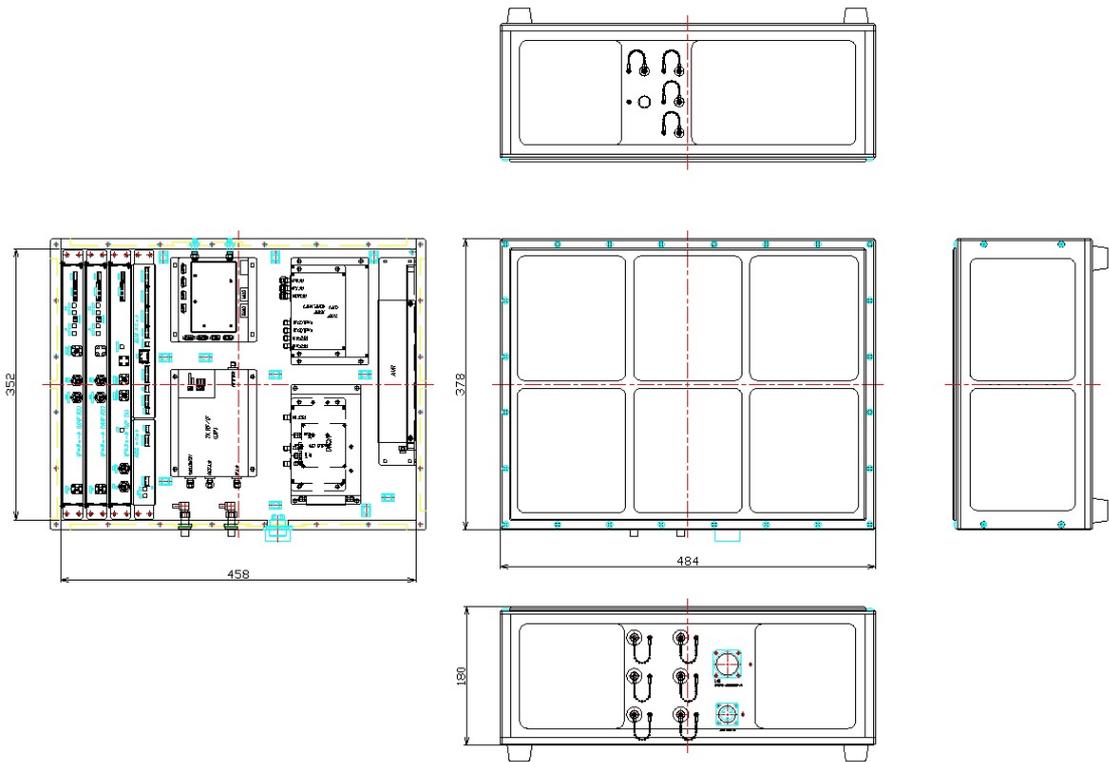


图 3-21 小型化後子局（2次）側 製作図

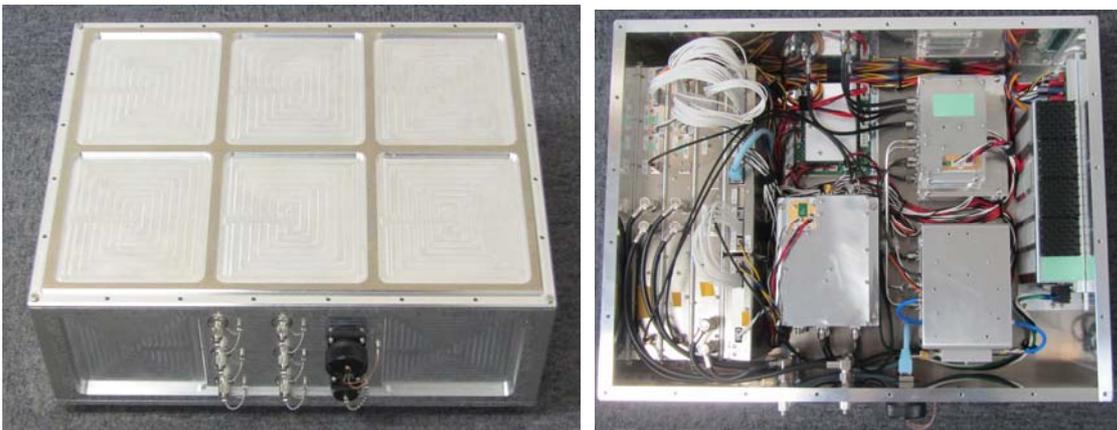


图 3-22 小型化後子局（2次）側（左：外觀 右：筐体内）

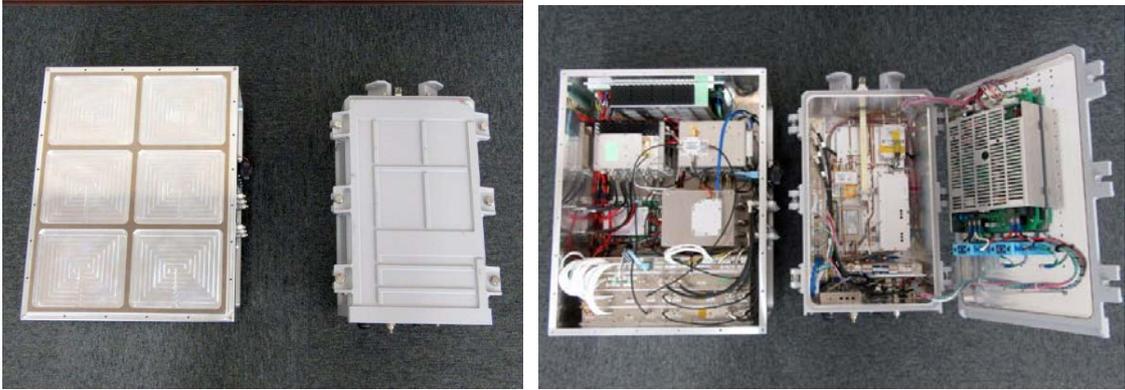


図 3-23 現行無線機との比較（左：外観比較 右：内観比較）

3.4.4. 軽量化

表 3-17 に現行無線装置と平成 28 年度製作品および平成 29 年度小型化した製品の質量比較を示す。なお、平成 28 年度製作品については無線装置の筐体製作は行っていないため、現行装置との比較は筐体部を除いた質量（装置質量）で比較し、平成 29 年度小型化品は筐体部を含めた質量（全体質量）で比較している。

こちらでも現行無線装置と比較すると、実装すべきモジュールが単純計算で 3 倍以上となり、それに合わせた重量が必要となるが、ベースプレートをなくしてモジュールが筐体に直接接触するよう変更したことにより軽量化を図ると共に、放熱性能の向上につながっている。

結果、23GHz 帯無線親局（1 次側）が 133.8%、23GHz 帯無線子局（2 次側）が 128.8% となり、2 倍以下に抑え大幅な軽量化を達成した。

今回試作した筐体は小型化を中心に検討を行ったため、防水・防塵性能確保が確認されておらず今後の課題となるが、保護等級 3～4 程度は十分確保可能であると考えられる。

表 3-17 質量比較

| 項目 | | 23GHz 帯無線親局 (1 次側) | 23GHz 帯無線親局 (2 次側) | 備考 |
|-----------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------|
| 現行無線装置 | 全体質量[kg] | 17.0 | 17.0 | |
| | 装置質量[kg] | 9.4 | 9.4 | 筐体部 : 7.6kg |
| 平成 28 年度 | 装置質量[kg] | 12.7 | 11.8 | |
| | 装置質量比[%] | 135.2 | 125.9 | 装置質量比 |
| 平成 29 年度 小型化 | 全体質量 | 22.7 | 21.9 | |
| | 全体質量比[%] | 133.8 | 128.8 | 全体質量比 |

4. フィールド試験

4.1. フィールド試験の概要

変調方式に FDM-SSB 方式を用い、双方向機能を有する 23GHz 帯無線伝送装置と 0.3m 径パラボラアンテナ、偏波分離器 (OMT)、及び降雨強度計を試験フィールドに設置し、デジタルケーブルテレビ信号 (256QAM など) の信号品質 (搬送波レベル、C/N 比、BER (ビット誤り率)、MER (変調誤差比) 等) と交差偏波識別度 (XPD)、並びに降雨量を計測する。

4.1.1. 目的

本実証実験では、変調方式に FDM-SSB 方式を用い、双方向機能を有する 23GHz 帯無線伝送システムを試験フィールドに設置し、23GHz 帯におけるデジタルケーブルテレビ信号の電波伝搬特性を調査し、無線区間における所要性能を確認する。

実験では、下記の 4 項目を実験の主たる目的とする。

(1). 無線伝送装置による伝送品質の検証

今回試作した無線伝送装置においては、従来の OFDM や 64QAM などのデジタルケーブルテレビ信号に加え、より高度な変調方式となる 256QAM や ITU-T 勧告 J.382、ケーブルインターネットの DOCSIS 信号を良好な品質で伝送する必要がある。本実証実験では、無線伝送装置を用いて 23GHz 帯無線伝送をした信号の品質を測定し、その伝送品質について検証する。

(2). XPD と高度な変調方式に係る所要性能の確認、並びに無線伝送装置の安定性の検証

FDM-SSB 方式において偏波多重伝送を行う際に必要となる交差偏波識別度 (XPD)、256QAM や ITU-T 勧告 J.382 に準拠した高度な変調方式等を伝送する際に必要となる所要 C/N 比及び C/I 値等を策定するにあたり、23GHz 帯が降雨の影響を受けやすい周波数帯であることを考慮し、XPD 並びに各変調方式と降雨減衰との関係について調査を行う必要がある。本実証実験では、フィールドに設置した無線伝送装置を数ヶ月間連続稼働させ、伝送した信号の品質、並びに降雨強度データを連続で取得し、所要 XPD や所要 C/N 比の関係について検証する。併せて、試作した無線伝送装置の安定性についても検証を行う。

(3). 無線伝送装置と既存 CATV ネットワークとの接続検証

試作した無線伝送装置においては、どのようなケーブルテレビ事業者のネットワークに接続しても利用が出来るよう、既存の CATV ネットワークとの高い親和性が求められる。そのため、本実証実験では、テレビ松本ケーブルビジョン様にご協力頂き、テレビ松本ケーブルビジョン様有線伝送路において伝送しているケーブルテレビ信号を無線伝送装置へ繋ぎこみ、その接続性について検証する。

(4). 無線伝送装置の調整方法に関する簡易化の検証

従来の 23GHz 帯無線伝送装置（固定局）では、400MHz 帯域幅内で多チャンネルのケーブルテレビ信号を単一偏波で伝送するものであり、アンテナの方向調整などについては様々な簡易方法が考案され、比較的容易に対応できるようになっている。

今回試作した無線伝送装置は、FDM-SSB 方式において偏波多重伝送を行い、800MHz 帯域幅相当の多チャンネル伝送を可能にするものであるが、従来のアンテナ方向調整に加えて偏波面の調整を実施しなければならず、その設置・施工、並びにアンテナの調整等にかかなりの時間を要することが予想される。本実証実験では、無線伝送装置を現地に導入する際のアンテナ調整・偏波面調整等について、簡易な調整機能の検討・試作を行い、使い勝手や所要時間を確認し、その有効性について検証する。

4.1.2. 試験期間

平成 28 年度「23GHz 帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討の請負」にて作成した無線装置を 2017 年 12 月 11 日より長野県松本市に設置し、2018 年 3 月 25 日までのデータ取得を行った。表 4-1 に試験実施スケジュールを示す。

表 4-1 フィールド試験スケジュール

| | 2017年 | | | | | 2018年 | | |
|-------------|-------|-----------|-----|---------|-------------|------------|----|----|
| | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 |
| フィールド試験 | | | | | | | | |
| フィールド試験 | | | | | ←フィールド試験→ | | | |
| フィールド選定・免許等 | | ←フィールド選定→ | | 実験用免許申請 | 予備免許 (11/1) | 免許 (12/11) | | |
| 工事 | | | | ←設置工事→ | | | | |

4.1.3. 試験回線の概要

伝搬試験回線は長野県松本市里山辺 3044-1 と長野県松本市里山辺 2504-1 間に開設した。実験局の概要を表 4-2 に、伝搬試験回線概略ルート図を図 4-1 に、プロファイル図を図 4-2 に示す。また、実験局の概観を図 4-3 と図 4-4 にそれぞれ示す。

表 4-2 実験局の概要

| 局名 | 識別信号 | 場所 | アンテナ高 | 距離 |
|---------|-----------------------|----------------------|----------|-------|
| 親局(1次)側 | きょうせら23G でんぱんじっけん1 | 長野県松本市 里山辺 3044-1 | 649m(海拔) | 1312m |
| 子局(2次)側 | きょうせら23G でんぱんじっけん2 | 長野県松本市 里山辺 2504-1 | 694m(海拔) | |

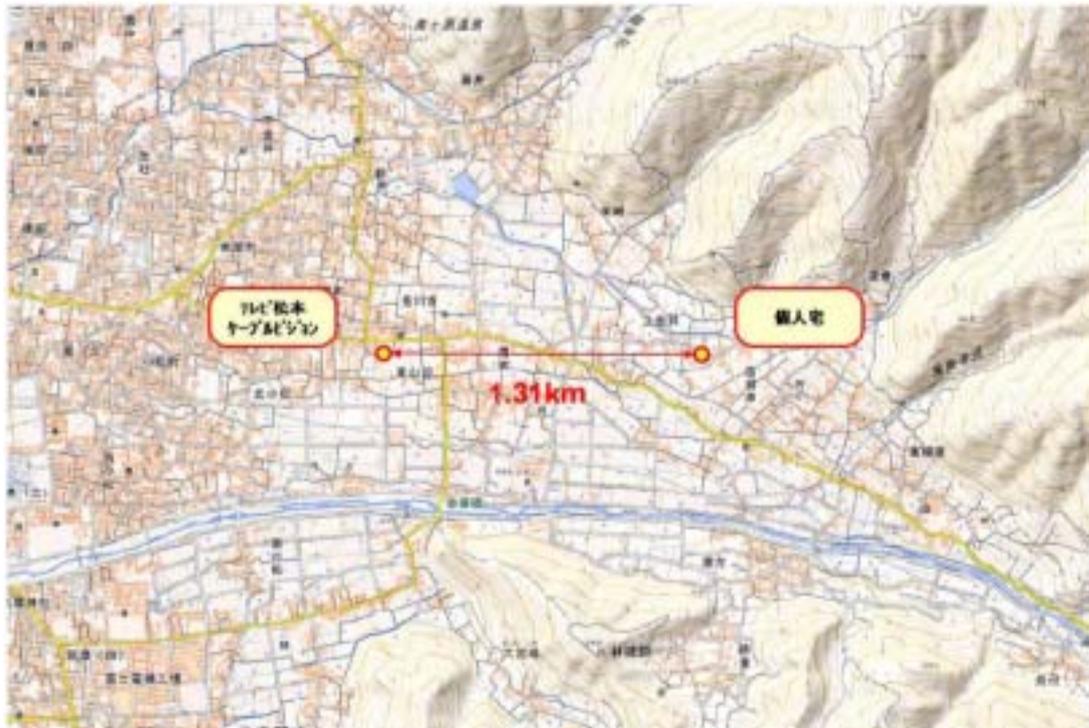


図 4-1 伝搬試験回線概略ルート図

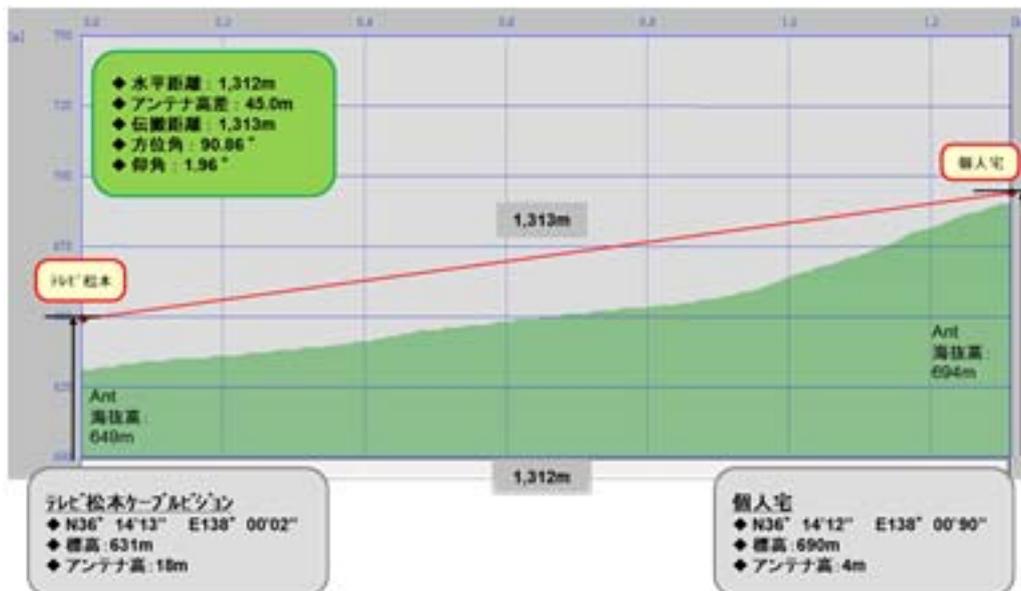


図 4-2 伝搬試験回線概略プロフィール図



図 4-3 親局（1次）側概観



図 4-4 子局（2次）側概観

4.1.4. 試験装置の主要概要

4.1.4.1. 無線装置

表 3-17 に 23GHz 帯無線装置の主な仕様を示す。

表 4-3 試験装置緒元

| 項目 | 定格 | | | 備考 |
|---------------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------|
| | 上り信号 | VHF帯信号 | UHF帯信号 | |
| 変調方式 | FDM-SSB方式 | FDM-SSB方式 | FDM-SSB方式 | |
| テレビ信号周波数 | 15MHz~65MHz | 90MHz~402MHz | 402MHz~770MHz | |
| マイクロ波周波数 | 23,218.125MHz ~23,273.125MHz | 23,277.5MHz ~23,589.5MHz | 23,214.5MHz ~23,582.5MHz | |
| 占有周波数帯域幅 | 50MHz | 312MHz | 368MHz | |
| 伝送容量 | 4ch | 50ch | 61ch | パイロット信号を除く |
| パイロット信号 | テレビ信号 | 70MHz | 156.25MHz | 468.75MHz |
| | マイクロ波 | 23,273.125MHz | 23,343.75MHz | 23,280.75MHz |
| 送信機出力(トータル電力) | 7.0dBm | 13.0dBm typ. | 13.0dBm typ. | |
| 偏波面 | 水平偏波 | 水平偏波 | 垂直偏波 | |
| インターフェース | アンテナ部 | SMA(J) | SMA(J) | SMA(J) |
| | テレビ信号部 | FT(J) | FT(J) | FT(J) |
| 電源電圧 | AC100V (50/60Hz) | AC100V (50/60Hz) | AC100V (50/60Hz) | |
| 周波数安定度 (対向) | 送信機と位相同期 (パイロット信号を用いた周波数同期) | | | |

4.1.4.2. アンテナの仕様

表 4-4 にパラボラアンテナの主な仕様を示す。

表 4-4 パラボラアンテナ 緒元

| 項目 | 仕様 | 備考 |
|---------------|---------------------|------------------------|
| アンテナ形式 | レドーム付パラボラアンテナ | レドーム形式： フロンシート型レドーム |
| アンテナ径 | 0.3m | Φ9.4mm 円形導波管 |
| 周波数範囲 | 23,200MHz～23,600MHz | |
| 利得 | 34.0dBi 以上 | |
| 半値角 | 3 度 typ. | |
| VSWR | 1.4 以下 | |
| 交差偏波識別度 (XPD) | 33dB 以上 | |

4.1.4.3. 偏波分離器 (OMT) の仕様

表 4-5 に偏波分離器 (OMT) の主な仕様を示す。

表 4-5 偏波分離器 (OMT) 緒元

| 項目 | 仕様 | 備考 |
|------------------|---------------------|--------------|
| インタフェース (V/H 偏波) | SMA-J 型 | インピーダンス：50Ω |
| インタフェース (複偏波) | WRI-220 | Φ9.4mm 円形導波管 |
| 周波数範囲 | 23,200MHz～23,600MHz | |
| 挿入損失 | 1.0dB 以下 | |
| 偏波間結合量 | -40dB 以下 | |
| VSWR | 1.4 以下 | |

4.1.4.4. 降雨強度計の仕様

表 4-6 に降雨強度計の主な仕様を、図 4-5 に降雨強度計の概観を示す。

表 4-6 降雨強度計 緒元

| 項目 | 緒元 |
|------|---------------------|
| 検出方式 | 水滴計数方式 |
| 測定精度 | 0.0083mm±10%以内 |
| 受水口径 | 200mm |
| 測定範囲 | 0mm～100mm/h |
| 検出器 | LED～フォトトランジスタ |
| 電源 | DC10.5～16.5V,約 20mA |
| 外形寸法 | 約φ210mm×450mm(H) |
| 重量 | 4.5kg |



図 4-5 降雨強度計概観

4.2. 技術試験の条件

4.2.1. 23GHz 無線装置の設定

本技術試験に用いた 23GHz 帯無線装置の設定を表 4-7 に示す。

屋外試験では、降雨による受信レベルの減衰量を明らかにするために、23GHz 帯無線装置の持つ AGC (Auto Gain Control) 等の機能をオフにし、MGC (Manual Gain Control) モードで動作させて影響の確認を行った。

表 4-7 23GHz 帯無線装置の設定

| 23GHz 帯無線装置 | | 緒元 |
|-------------|----|-----------------------------|
| 親局 (1次) 側 | 上り | MGC(Manual Gain Control)モード |
| | 下り | ALC(Auto Level Control)モード |
| 子局 (2次) 側 | 上り | MGC(Manual Gain Control)モード |
| | 下り | MGC(Manual Gain Control)モード |

4.3. 技術試験評価

4.3.1. 目的

23GHz 帯の周波数を利用する有線テレビジョン放送事業用無線局のうち、変調方式に FDM-SSB 方式を使用するものにおいて、標準デジタルテレビジョン放送方式(以下「OFDM」という。)やデジタル有線テレビジョン放送方式(以下「64QAM」という)のデジタル信号のみを伝送する場合の信号品質(搬送波レベル、搬送波対雑音比(以下「C/N 比」という)、ビット誤り率(以下「BER」という)、変調誤差比(以下「MER」という)等)と降雨量を計測し、無線回線断の時間率(回線不稼働率)と降雨減衰特性を評価し、机上計算との整合性を確認するとともに、所要受信 C/N 比について検討する。

4.3.2. 測定項目

測定項目について表 4-8 に示す。記載データの取得間隔は測定するチャンネルの変調方式やチャンネル数に依存している。また、C/N 比については、子局(2次側)のみの測定年、雑音電力測定については隣接するチャンネルの空き帯域で計測している。

表 4-8 測定項目

| 測定項目 | 信号 | 測定局 | | | | データ 取得間隔 | 測定器 | 備考 |
|-----------------------|--------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|--------------------------------|----------------------------------|
| | | 親局 (1次側) | | 子局 (2次側) | | | | |
| | | V偏 波 | H偏 波 | V偏 波 | H偏 波 | | | |
| 搬送波対 雑音比 (C/N比) | OFDM | × | × | ○ | ○ | 1分間 | スペクトラムアナライザ：FPH (R&S製) | 親局（1次側） の 測定はスポットのみ 実施。 |
| | 64QAM | × | × | ○ | ○ | | | |
| | 256QAM | × | × | ○ | ○ | | | |
| 搬送波 レベル | OFDM | ○ | ○ | ○ | ○ | 1分間 | シグナル・レベルメータ：LF990 (リーダー電子製) | |
| | 64QAM | ○ | ○ | ○ | ○ | | | |
| | 256QAM | ○ | ○ | ○ | ○ | | | |
| ビット誤り 率 (BER) | OFDM | ○ | ○ | ○ | ○ | 1分間 | シグナル・レベルメータ：LF990 (リーダー電子製) | |
| | 64QAM | ○ | ○ | ○ | ○ | | | |
| | 256QAM | ○ | ○ | ○ | ○ | | | |
| 変調誤差 比 (MER) | OFDM | ○ | ○ | ○ | ○ | 1分間 | シグナル・レベルメータ：LF990 (リーダー電子製) | |
| | 64QAM | ○ | ○ | ○ | ○ | | | |
| | 256QAM | ○ | ○ | ○ | ○ | | | |
| 受信レベル | 無変調信号 | × | × | ○ | ○ | 1分間 | スペクトラムアナライザ：FPH (R&S製) | 主偏波：V編波 |
| 降雨強度 | - | ○ | | ○ | | 1分間 | 降雨強度計： B-061 (横河電子製) | 0.0083mmの 雨量をカウント |

4.3.3. 測定方法

本伝送試験では、図 4-1 と図 4-2 の伝搬試験回線概略図（ルート図とプロファイル図）に示す通り、長野県松本市里山辺 3044-1 に設置した親局（1次）側（以下、親局）と長野県松本市里山辺 2504-1 に設置した子局（2次）側（以下、子局）間で 23GHz 帯無線周波数による無線伝送を行う。

伝送する信号については、テレビ松本ケーブルビジョン様より借用した商用信号に信号発生器による信号を加えたものを親局より伝送する。信号発生器による信号は、標準デジタルテレビジョン放送方式による OFDM 信号を 2 波（V 偏波と H 偏波）、デジタル有線テレビジョン放送方式による 64QAM 信号を 2 波（V 偏波と H 偏波）、同様に 256QAM 信号を 2 波（V 偏波と H 偏波）入力し、1.3km 先の子局側と信号入力元の親局側で測定を実施した。

親局側・子局側とも搬送波レベル、BER、MER を取得すると共に子局側で C/N 比と無変調信号の測定それぞれ 1 分間隔で取得し、各局に設置した測定用パソコンに保存した。また降雨量等の気象データについては、親局と子局それぞれに設置した降雨強度計を使用して、1 分間降雨量を計測し、各局に設置した測定用パソコンに保存した。併せて、気象庁より発表されている長野県松本市の AMeDAS（Automated Meteorological Data Acquisition System）データ（10 分間降水量、1 時間降水量等）を取得した。

4.3.3.1. 搬送波対雑音比（C/N 比）

搬送波対雑音比（C/N 比）の測定について、子局（2次）側に設置したスペクトラムアナライザを用いて測定を行った。設定を表 4-9 に示す。

表 4-9 測定設定

| 信号 | 変調方式 | スペクトラムアナライザの推奨設定値 | | | | | 測定で使用する帯域幅 | |
|----------------|--------|-------------------|-----------|-----------|------------|-------|-------------|------------|
| | | 検波モード | RBW [kHz] | VBW [kHz] | SPAN [MHz] | Ave. | 伝送帯域幅 [MHz] | 雑音帯域 [MHz] |
| 標準デジタルテレビジョン放送 | OFDM | SAMPLE | 30 | 300 | 10 | 30 以上 | 5.70 | 5.60 |
| | 64QAM | SAMPLE | 100 | 1000 | 10 | 30 以上 | 6.00 | 5.30 |
| | 256QAM | SAMPLE | 100 | 1000 | 10 | 30 以上 | 6.00 | 5.30 |

| | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------|--------|----|-----|----|-------|------|------|
| デジタル有線 テレビジョン 放送 | OFDM (J.382) | SAMPLE | 30 | 300 | 10 | 30 以上 | 5.82 | 5.71 |
|------------------------|-----------------|--------|----|-----|----|-------|------|------|

4.3.4. 信号周波数配列

伝送試験において、23GHz 帯無線周波数で無線伝送し品質測定する信号は、表 4-10 に示す通り OFDM 信号 2 波、64QAM 信号 2 波、256QAM 信号 2 波の 6 波であるが、偏波多重による影響を確認するため、テレビ松本ケーブルビジョン様の商用信号と偏波多重して伝送を行っている。チャンネル配列イメージを図 4-6 に示す。

表 4-10 測定チャンネル

| CH | 変調方式 | 偏波面 | テレビ周波数 [MHz] | 無線周波数 [MHz] | 信号源 | 備考 |
|------------------|--------|-----|-----------------|----------------|-------|-----------------------------|
| XPD _H | CW | 垂直 | 254 | 23,441.5 | 信号発生器 | XPD _V のH偏波成分、C28 |
| XPD _V | CW | 垂直 | 629 | 23,441.5 | 信号発生器 | 39CH |
| 11 | 256QAM | 水平 | 213 | 23,400.5 | 信号発生器 | 偏波多重 |
| C45 | 64QAM | 水平 | 357 | 23,544.5 | 信号発生器 | 単一偏波 |
| C47 | OFDM | 水平 | 369 | 23,556.5 | 信号発生器 | 単一偏波 |
| 35 | 64QAM | 垂直 | 605 | 23,420.5 | テレビ松本 | 偏波多重 |
| 41 | OFDM | 垂直 | 641 | 23,453.5 | テレビ松本 | 偏波多重 |
| 53 | 256QAM | 垂直 | 713 | 23,525.5 | 信号発生器 | 単一偏波 |



図 4-6 チャンネル配列イメージ

4.3.5. 測定系統図

デジタルケーブルテレビ信号伝送試験における測定系統図（データ収集系）を図 4-7 に示す。本データ収集系統では、親局（1次）側および子局（2次）側で収集したデータを各局に設置している測定用パソコンに約 1 分間隔で集積し、1 時間ごとに測定サーバへアップロードしている。

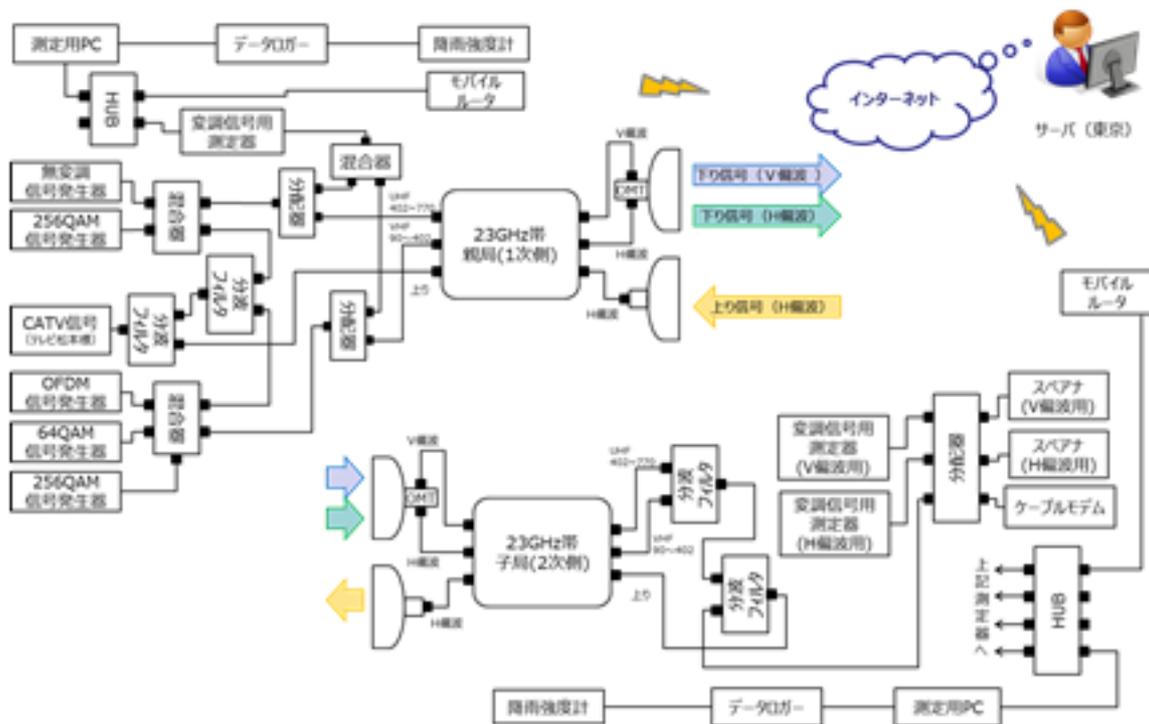


図 4-7 測定系統図

4.3.6. 回線設計

実験時の回線設計を表 4-11 に示す。FDM-SSB 方式における所要受信 C/N 比を 28.6dB (OFDM 信号: 27.3dB (電波法関係審査基準より)、64QAM 信号: 29.4dB (電波法関係審査基準より)、256QAM 信号: 35.4dB (一般的なケーブルテレビ事業におけるレベル差伝送を適用し、64QAM の所要 C/N 比に対して+6dB))、年間回線稼働率の目標値を 99.95%以上として設計した。なお、降雨量の地域分布による係数および 0.0075%1 分間降雨量 1.66mm/分の降雨減衰量は電波法案系審査基準の図 4-8、図 4-9 より算出している。

表 4-11 回線設計

| 項番 | 項目 | 単位 | FDM-SSB | OFDM | 64QAM | 256QAM | 備考 |
|----|--------------------|--------|---------|-------|-------|--------|---|
| 1 | 伝搬距離 | km | 1.31 | 1.31 | 1.31 | 1.31 | |
| 2 | 1分間雨量累積分布の0.0075%値 | mm/min | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 電波法関係審査基準より(長野県松本) |
| 3 | 中心周波数 | GHz | 23.4 | 23.4 | 23.4 | 23.4 | 23.2GHz~23.6GHzの中心周波数。 |
| 4 | チャンネル帯域幅 | MHz | 151.4 | 5.6 | 5.3 | 5.3 | FDM-SSB: 28ch (OFDM:10ch, 64QAM:17ch, 256QAM:1ch) |
| 5 | 空中線電力 | dBm | 11.8 | -3.1 | -3.1 | 2.9 | CH当たりの送信電力[dBm]。 256QAM:64QAM+6dB |
| 6 | 給電線系損失(送信) | dB | 4.6 | 4.6 | 4.6 | 4.6 | 送信局側における給電線損失、 接続損失の合計値 |
| 7 | 送信空中線の絶対利得 | dBi | 34.0 | 34.0 | 34.0 | 34.0 | アンテナ径: 0.3[m]。 |
| 8 | 自由空間損失 | dB | 122.2 | 122.2 | 122.2 | 122.2 | $L_p = 32.4 + 20\log(d) + 20\log(f)$ d[km], f[MHz] |
| 9 | 受信空中線の絶対利得 | dBi | 34.0 | 34.0 | 34.0 | 34.0 | アンテナ径: 0.3[m]。 |
| 10 | 給電線系損失(受信) | dB | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 受信局側における給電線損失、 接続損失の合計値 |
| 11 | 外部からの干渉等による許容劣化量 | dB | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| 12 | 受信入力レベル | dBm | -50.6 | -65.5 | -65.5 | -59.5 | |
| 13 | 受信機雑音電力レベル | dBm | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | NF=8.0dB |
| 14 | 算出された受信 CNR | dB | 33.6 | 33.1 | 33.3 | 39.3 | 標準状態における受信 CNR[dB] |
| 15 | 送信 CNR | dB | - | 34.4 | 34.7 | 40.7 | |
| 16 | 無線リンクトータル CNR | dB | - | 30.7 | 30.9 | 36.9 | 送信 CNR と受信 CNR の電力和。 |
| 17 | 降雨量の地域分布による係数 | - | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 電波法関係審査基準 図1より |

| | | | | | | | |
|----|-------------------------------------|-----|-------------|--------------|-------------|-------------|---------------------------------|
| 18 | 0.0075% 1 分間降雨量 1.66mm/分の降雨減衰量 | dB | 4.8 | 4.8 | 4.8 | 4.8 | 電波法関係審査基準 図 2 より |
| 19 | 当該区間の降雨減衰量 | dB | 3.9 | 3.9 | 3.9 | 3.9 | |
| 20 | 降雨時における受信 CNR | dB | 29.7 | 29.2 | 29.4 | 35.4 | |
| 21 | 降雨時における無線リンクトータル CNR | dB | - | 28.1 | 28.3 | 34.3 | 送信 CNR と降雨時における受信 CNR の電力和。 |
| 22 | 所要 CNR | dB | 28.6 | 27.3 | 29.4 | 35.4 | 電波法関係審査基準より。本リンクにおける閾値。 |
| 23 | 降雨減衰マージン | dB | 5.0 | 5.8 | 3.9 | 3.9 | 標準状態の受信 CNR[dB]と最小受信 CNR[dB]の差分 |
| 24 | 降雨マージン | dB | 1.1 | 1.9 | 0.0 | 0.0 | 降雨減衰時における回線マージン |
| 25 | 0.0075% 1 分間降雨量 1.66mm/分相当の降雨減衰量 | dB | 6.3 | 7.3 | 4.9 | 4.9 | 電波法関係審査基準 図 1 及び図 2 より |
| 26 | 回線稼働率 | % | 99.95 以上 | 99.95 以上 | 99.95 以上 | 99.95 以上 | 電波法関係審査基準 図 1 及び図 2 より |
| 27 | システム不稼働時間 | min | 262.8 以下 | 262.8 以 下 | 262.8 以下 | 262.8 以下 | |

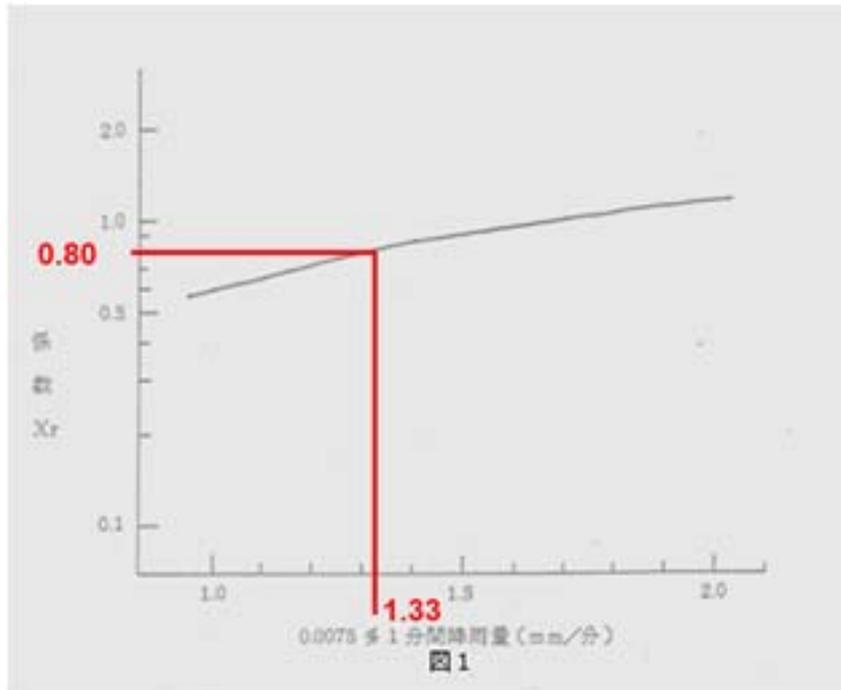


図 4-8 降雨量の地域分布による係数

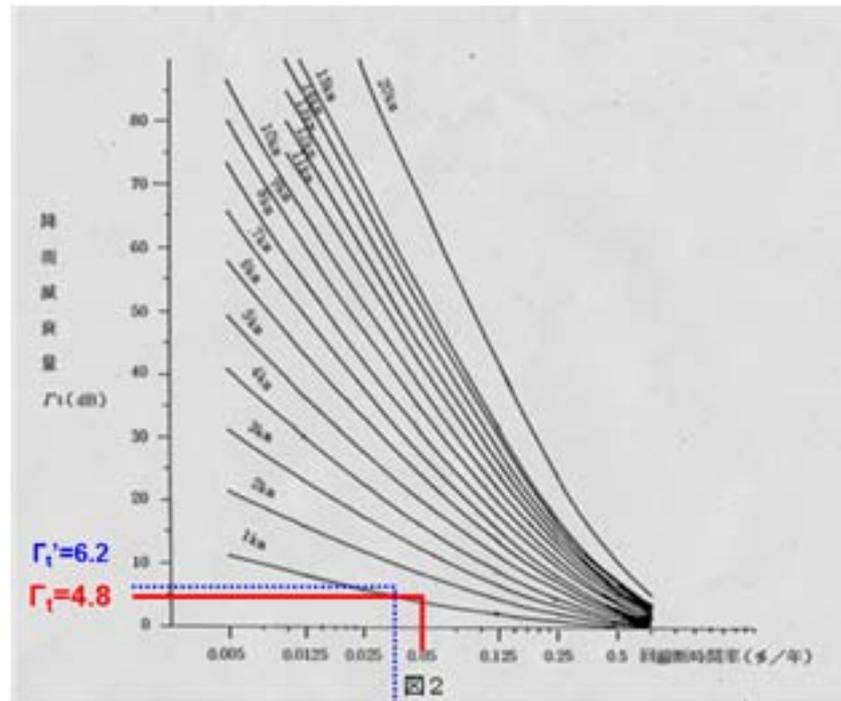


図 4-9 0.0075%1分間降雨量 1.66mm/分の降雨減衰量

4.3.7. 干渉検討

干渉検討について、既存の 23GHz 帯無線伝送システムにおける隣接システム（「移動通信基地局エントランス回線用無線システム」と「法第 56 条の規定により指定を受けた電波天文業務の受信設備（以下、電波天文台）」）との共存条件に沿って、より条件の厳しい電波天文台に対する与干渉検討を実施する。

フィールド試験時の電波天文台へ与干渉検討については、双方向のシステムであることから親局（1 次側）及び子局（2 次側）それぞれについて検討を行い、条件を満足することを確認した。親局側の結果を図 4-10、表 4-12 に子局側の結果を図 4-11、表 4-13 にそれぞれ示す。



図 4-10 親局における電波天文台への余干渉ルート図

表 4-12 「電波天文台への与干渉（法第 56 条）」検討結果（親局（1 次側））

| 項番 | 項目 | 単位 | 被干渉局 | | | | | | | 備考 | |
|----|-------------------------------------|----------------------------|---------|--------|--------|---------|--------|---------|--------|--------|---|
| | | | 高萩局 | 日立局 | つくば局 | NICT鹿島局 | 野辺山局 | JAXA臼田局 | 岐阜大岐阜局 | | |
| 1 | 被干渉局までの伝搬距離 | d | km | 246.9 | 246.6 | 188.5 | 241.5 | 53.4 | 24.5 | 142.4 | |
| 2 | 周波数 | f | MHz | 23,600 | 23,600 | 23,600 | 23,600 | 23,600 | 23,600 | 23,600 | |
| 3 | 被干渉局の角度 | θ_1 | deg | -13.7 | -13.7 | 3.0 | 5.7 | 36.2 | 18.3 | 142.8 | 送信空中線の指向方向に対する被干渉局の角度 |
| 4 | 23GHz帯送信局の帯域外不要輻射電力 | P_{sp}^{f} | dBm/MHz | -33.0 | -33.0 | -33.0 | -33.0 | -33.0 | -33.0 | -33.0 | 電波法関係審査基準より固定局:-33[dBm/MHz] |
| 5 | 23GHz帯固定局の送信給電線系損失 | L_{tt} | dB | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | |
| 6 | 23GHz帯固定局の角度 θ_1 方向の送信アンテナ利得 | G_{23G} | dBi | -5.3 | -1.0 | 23.9 | 15.6 | -4.6 | -7.9 | -25.8 | パラボラアンテナ($\phi 0.3\text{m}$)の θ_1 方向の利得 |
| 7 | 23.6GHzにおける自由空間伝搬損失 | L_p | dB | 167.7 | 167.7 | 165.4 | 167.5 | 154.4 | 147.6 | 162.9 | $L_p = 32.4 + 20\log(d) + 20\log(f)$ [dB], f [MHz] |
| 8 | 山岳等による遮蔽損失 | L_s | dB | 0.0 | 0.0 | 15.4 | 4.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 自由空間伝搬損失のみで許容干渉量を満足する場合は0.0[dB]として計算 |
| 9 | 電波天文業務の角度 θ_2 方向の受信アンテナ利得 | $G_{\text{天文}}$ | dBi | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 電波法関係審査基準より |
| 10 | 算出された与干渉値 | P_{rs} | dBm/MHz | -210.5 | -206.2 | -194.4 | -194.2 | -196.5 | -193.0 | -226.2 | $P_{rs} = P_{\text{sp}}^{\text{f}} - L_{\text{tt}} + G_{23G}(\theta_1) - L_p - L_s + G_{\text{天文}}(\theta_2)$ |
| 11 | 電波天文業務の許容干渉量 | P_{lims} | dBm/MHz | -191.6 | -191.6 | -191.6 | -191.6 | -191.6 | -191.6 | -191.6 | 電波法関係審査基準より |
| 12 | 許容干渉量までのマージン | M_s | dB | 18.9 | 14.6 | 2.8 | 2.6 | 4.9 | 1.4 | 34.6 | $M_s = P_{\text{lims}} - P_{rs}$ |

図 4-11 子局における電波天文台への余干渉ルート図



表 4-13 「電波天文台への与干渉（法第 56 条）」検討結果（子局（2 次側））

| 項番 | 項目 | 単位 | 被干渉局 | | | | | | | 備考 | |
|----|-------------------------------------|----------------------------------|---------|--------|--------|-------------|----------|-------------|------------|--------|--|
| | | | 高萩局 | 日立局 | つくば局 | NICT 鹿島局 | 野辺山 局 | JAXA 臼田局 | 岐阜大 岐阜局 | | |
| 1 | 被干渉局までの伝搬距離 | d | km | 246.6 | 245.4 | 187.2 | 240.2 | 53.3 | 33.2 | 143.5 | |
| 2 | 周波数 | f | MHz | 23,600 | 23,600 | 23,600 | 23,600 | 23,600 | 23,600 | 23,600 | |
| 3 | 被干渉局の角度 | θ_1 | deg | 166.3 | 166.3 | -177.0 | -174.2 | -142.9 | -161.0 | -36.9 | 送信空中線の指向方向に対する被干渉局の角度 |
| 4 | 23GHz帯送信局の帯域外不要輻射電力 | $P_{\text{sp}}^{\text{dBm/MHz}}$ | dBm/MHz | -33.0 | -33.0 | -33.0 | -33.0 | -33.0 | -33.0 | -33.0 | 電波法関係審査基準より 固定局：-33[dBm/MHz] |
| 5 | 23GHz帯固定局の送信給電線系損失 | L_{ft} | dB | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | |
| 6 | 23GHz帯固定局の角度 θ_1 方向の送信アンテナ利得 | G_{23G} | dBi | -33.5 | -29.8 | -23.6 | -31.6 | -23.7 | -26.4 | -5.0 | パラボラアンテナ($\phi 0.3\text{m}$)の θ_1 方向の利得 |
| 7 | 23.6GHzにおける自由空間伝搬損失 | L_p | dB | 167.7 | 167.7 | 165.3 | 167.5 | 154.4 | 150.3 | 163.0 | $L_p = 32.4 + 20\log(d) + 20\log(f)$ [d[km], f[MHz]] |
| 8 | 山岳等による遮蔽損失 | L_s | dB | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 自由空間伝搬損失のみで許容干渉量を満足する場合は0.0[dB]として計算 |
| 9 | 電波天文業務の角度 θ_2 方向の受信アンテナ利得 | $G_{\text{天文}}$ | dBi | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 電波法関係審査基準より |
| 10 | 算出された与干渉値 | P_{rs} | dBm/MHz | -238.7 | -235.0 | -226.4 | -236.6 | -215.6 | -214.2 | -205.5 | $P_{\text{rs}} = P_{\text{sp}}^{\text{dBm/MHz}} - L_{\text{ft}} + G_{23G}(\theta_1) - L_p - L_s + G_{\text{天文}}(\theta_2)$ |
| 11 | 電波天文業務の許容干渉量 | P_{lims} | dBm/MHz | -191.6 | -191.6 | -191.6 | -191.6 | -191.6 | -191.6 | -191.6 | 電波法関係審査基準より |
| 12 | 許容干渉量までのマージン | M_s | dB | 47.1 | 43.4 | 34.8 | 45.0 | 24.0 | 22.6 | 13.9 | $M_s = P_{\text{lims}} - P_{\text{rs}}$ |

既存の 23GHz 帯無線伝送システムにおける隣接システム（「移動通信基地局エントランス回線用無線システム」と「電波天文台」）との共存条件については、FDM-SSB 変調波 1 波としての規定である。また、関係する送信スペクトルマスク規定についても、伝送するデジタルケーブルテレビ信号の種類によらず FDM-SSB 変調波 1 波として満足すべき条件であることから、伝送するデジタルケーブルテレビ信号の変調方式が OFDM 信号や 64QAM 信号以外であったとしても、既存の送信スペクトルマスク規定を満足するよう 23GHz 帯無線伝送システムは設計・調整される。

よって、FDM-SSB 方式で新たなデジタルケーブルテレビ信号（256QAM や J.382、DOCSIS などの変調方式）を伝送する場合でも、与干渉検討で使用する 23GHz 帯送信局の帯域外不要発射電力(23.6GHz～23.8GHz)は既存の値(固定局：-33dBm/MHz、陸上移動局：-63dBm/MHz)と同じになるため、隣接システムとの共存条件についても、現行基準と同じにすることが望ましいと考える。

4.3.8. 測定結果

4.3.8.1. 256QAMにおける時系列変化

図 4-12 に 2017 年 12 月 28 日から 2018 年 3 月 20 日までの、子局側（2 次側）における 256QAM（11ch : H 偏波）の信号品質（C/N 比、BER、MER など）と 1 分間降雨量の時系列変化を示す。期間を通じて回線設計で使用した降雨量（1.33mm/min）を超える降雨はなかったが、2/28 日に比較的大きな減衰が発生しており、同タイミングで MER や BER の劣化も発生している。

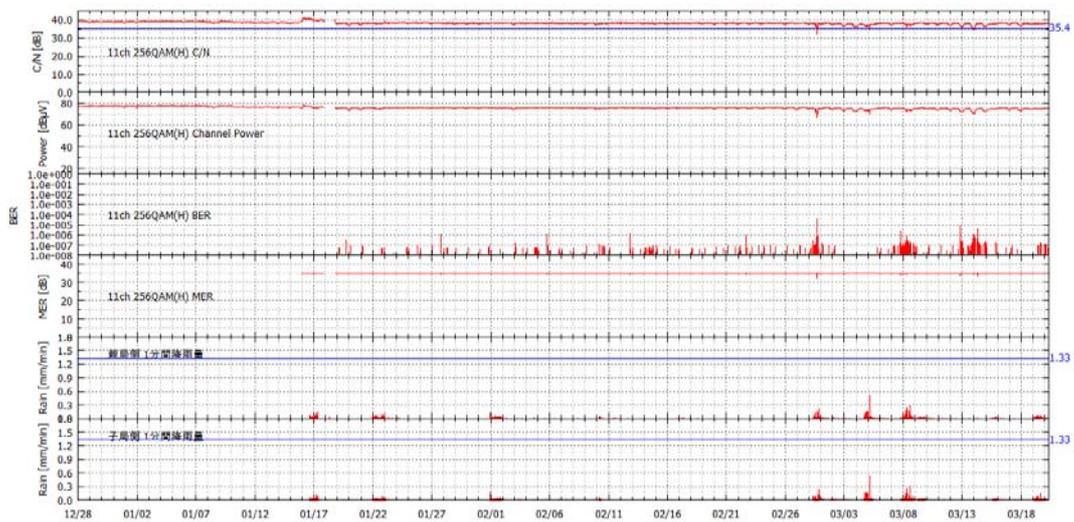


図 4-12 子局側 256QAM 信号品質・降雨量

次に図 4-13 に 2017 年 12 月 28 日から 2018 年 3 月 20 日までの、親局側（1 次側）における 256QAM（11ch : H 偏波）の信号品質（C/N 比、BER、MER など）と 1 分間降雨量の時系列変化を示す。期間を通じて安定しており、入力信号系には異常がなかったことが分かる。

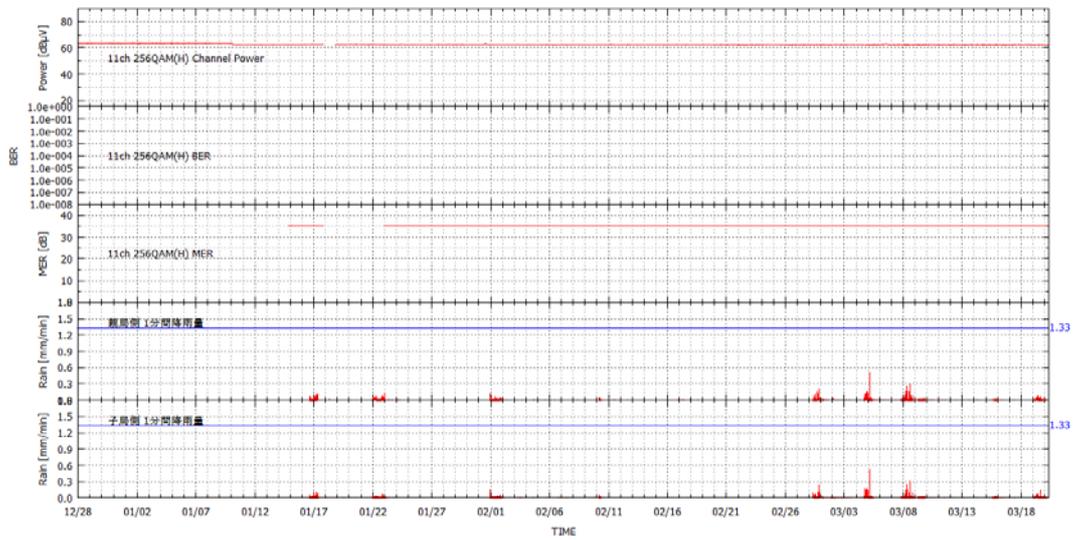


図 4-13 親局側 256QAM 信号品質・降雨量

4.3.8.2. 256QAMにおける時系列詳細変化

図 4-14 に 2018 年 2 月 28 日から 2018 年 3 月 1 日までの、子局側（2 次側）における 256QAM（11ch：H 偏波）の信号品質（C/N 比、BER、MER など）と 1 分間降雨量の時系列変化を示す。

3 月 1 日の 7 時ごろ 10dB 程度の搬送波レベルの減衰が発生し、それに伴い C/N 比や BER、MER の劣化も発生しているが、降雨のタイミングとはズレており、また観測された降雨量も 10dB 程度の減衰が発生するほどの降雨強度ではない。

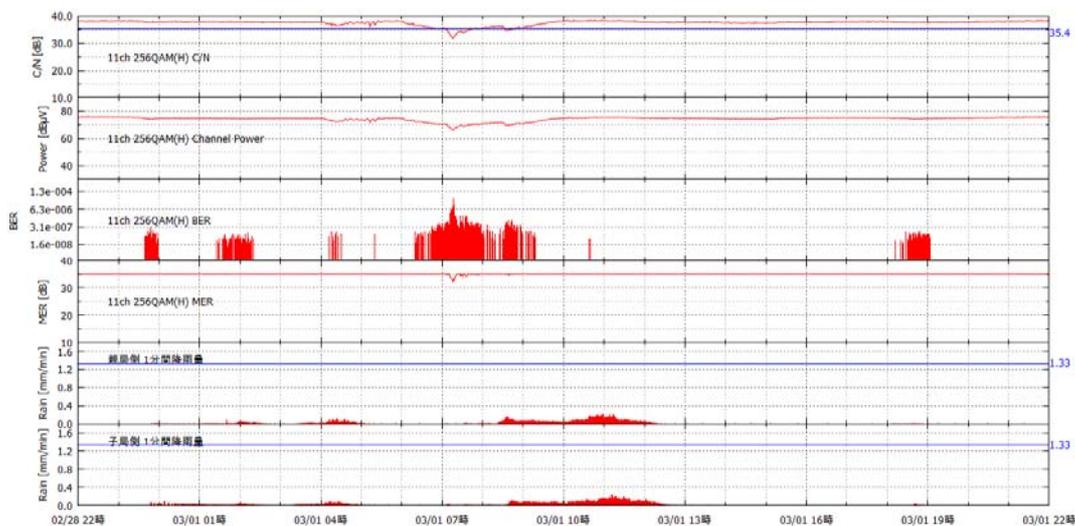


図 4-14 子局側 256QAM 信号品質・降雨量 (2/28~3/1)

図 4-15 に 2018 年 2 月 28 日から 2018 年 3 月 1 日までの、子局側 (2 次側) における 256QAM (11ch: H 偏波) の信号品質 (C/N 比、BER、MER など)、XPD、1 分間降雨量、並びに天候の時系列変化を示す。

3 月 1 日の 7 時ごろに発生した 10dB 程度の搬送波レベルの低下では、C/N 比や MER、BER の劣化が観測されたが、XPD については特に劣化は見られなかった。

一方、搬送波レベルの変動に着目すると、3 月 1 日の 4 時から 7 時にかけてほぼ連続的に低下し、その後 10 時にかけてゆっくりと連続的に上昇しており、最も搬送波レベルが低下した前後において 1 分間降雨量が観測されておらず、一般的な降雨によるレベル変動 (減衰) とは異なる現象を示している。1 分間降雨量が観測されていない原因としては、7 時から 13 時にかけて長時間に渡る少量の 1 分間降雨量が連続して観測されていること、気象庁のデータによると 3 月 1 日の未明から 10 時にかけて曇 (みぞれ) が観測されており、気温も氷点下であったことから、曇が降雨強度計の受水口に氷として固まってしまい、その後ゆっくり溶け出したことにより 1 分間降雨量が正確に計測できなかったと予想される。また、搬送波レベルの変動についても、本気象条件から、アンテナのレドーム面に曇が付着して氷として固まった影響によるものと考えられ、本現象については通常の降雨減衰や XPD の劣化によるものとは異なるものと推測される。

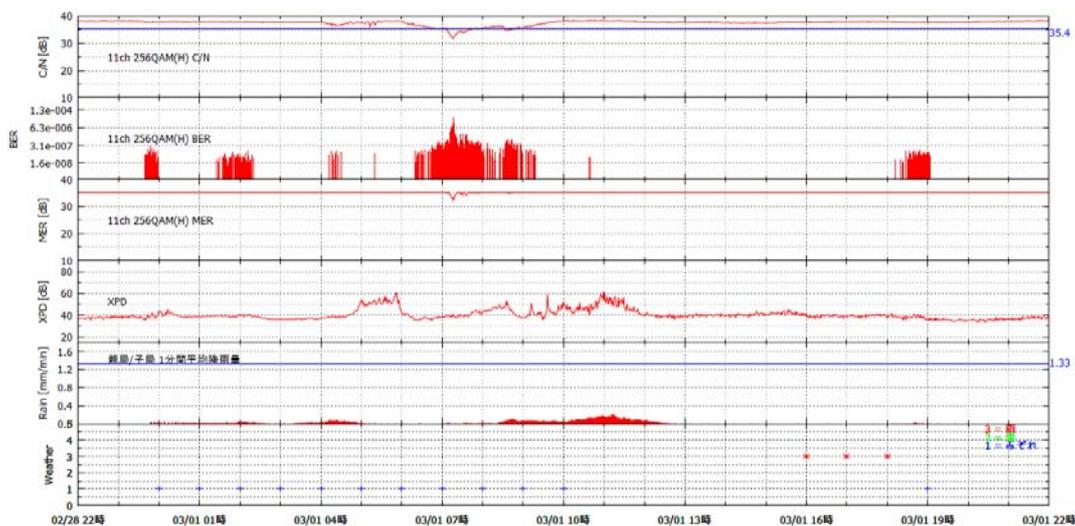


図 4-15 子局側 256QAM 信号品質・降雨量・天候

4.3.8.3. XPD における時系列変化

図 4-16 に 2017 年 12 月 28 日から 2018 年 3 月 20 日までの子局側（2 次側）における V 偏波を主偏波とする無変調信号（CW：629MHz/23441.5MHz）のレベルと同無変調信号（CW：254MHz/23441.5MHz）の H 偏波からの出力レベル、XPD、1 分間降雨量の時系列変動を示す。

期間を通じて XPD の大きな劣化は見られないが、H 偏波からの出力レベルが大きく減衰しており、見かけ上 XPD が改善するといった現象が発生している。

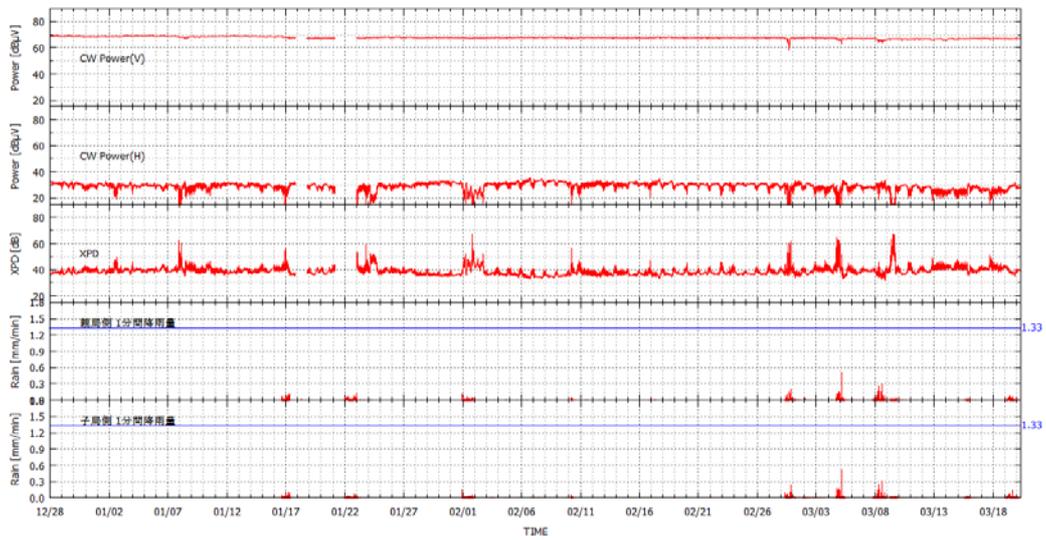


図 4-16 子局側無変調信号レベル・XPD・降雨量

4.3.8.4. 降雨量・降雨強度、及び気象状況（天候）における時系列変化

図 4-17 に 2017 年 12 月 28 日から 2018 年 3 月 20 日までの、長野県松本市における気象状況（天候）、気象庁による 10 分間降雨量、並びに降雨強度計による 10 分間降雨量の時系列変化を示す。

降雨強度計による 10 分間降雨量と気象庁発表の 10 分間降雨量に大きな差異は発生していないが、2 月 28 日から 3 月 1 日のピーク値について、降雨強度による結果の方が時間的に遅いことが分かり、4.3.8.2 で言及した曇による影響と考えられる。

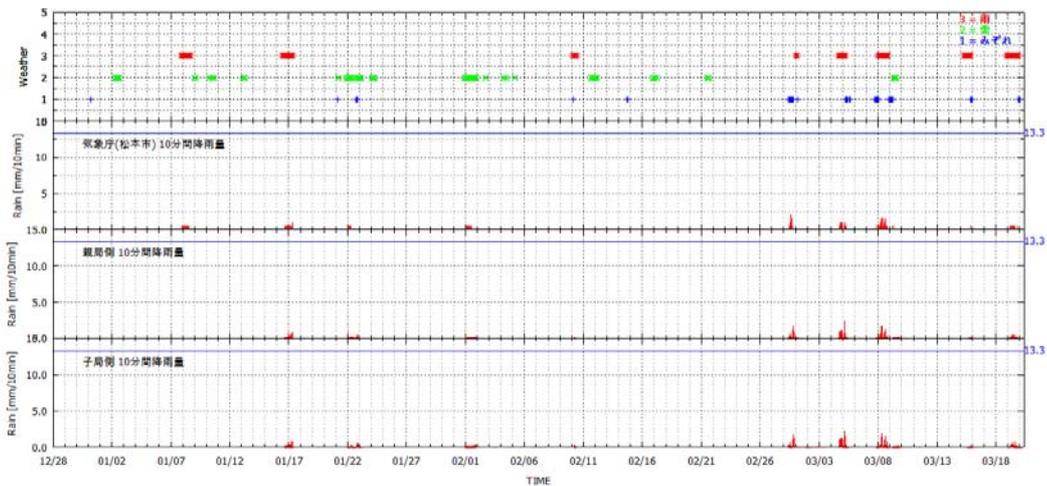


図 4-17 松本市における天候・降雨量・降雨強度

4.3.8.5. XPD 相関

C/N 比と XPD の相関を確認するため、フィールドの設置した 23GHz 帯無線システムを使用してスポット測定を実施した。

4.3.8.5.1. 測定方法

図 4-18 に測定システムを示す。なお、本スポット測定においては、多チャンネル信号伝送による歪み等の影響を排除するため、UHF 帯 (V 偏波) に信号発生器からのデジタルケーブルテレビ信号 4 波 (31、32、33、34 チャンネル) と VHF 帯 (H 偏波) にケーブルインターネットの下り信号となる CMTS (Cable Modem Termination System) を用いた DOCSIS3.0 の 8 波 (8、9、10、11、12、C23、C24、C25 チャンネル) の構成とした。本測定におけるチャンネル構成を図 4-19 に、信号条件を表 4-14 に示す。



図 4-18 測定系統

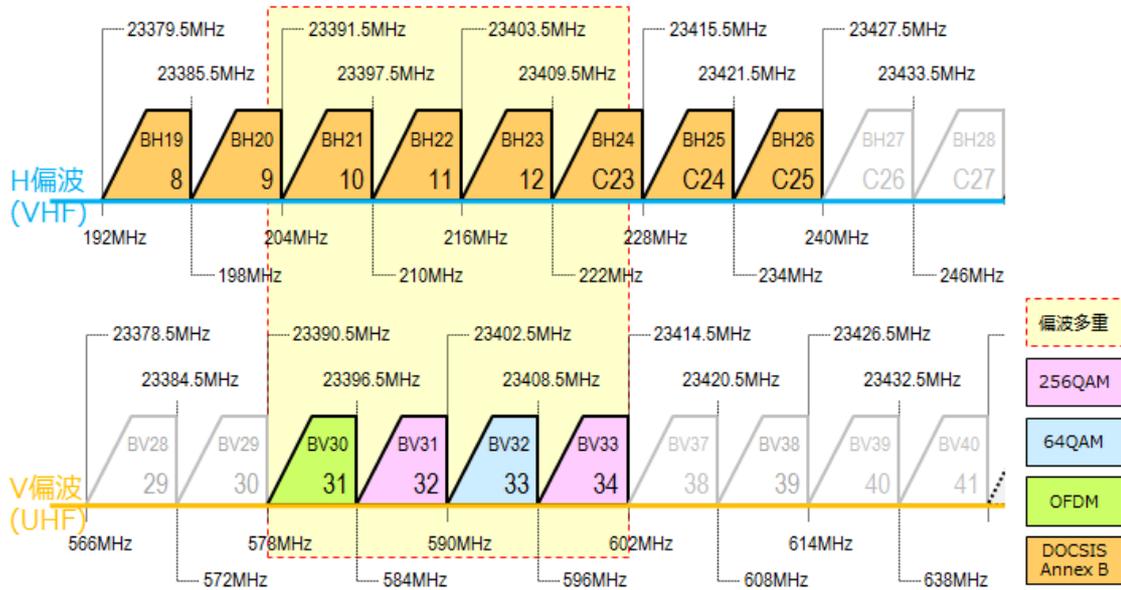


図 4-19 チャンネル構成

表 4-14 XPD スポット測定信号条件

| | 下り | 備考 |
|-----|--|----------------------|
| 信号数 | DOCSIS3.0:8波 256QAM : 2波 64QAM : 1波 OFDM : 1波 | 256QAM は 6dB のレベル差伝送 |

測定箇所BにてV偏波を主偏波とする無変調信号(CW: 23441.5MHz)のH偏波におけるレベル(CW_H: 254MHz)とV偏波におけるレベル(CW_V: 629MHz)を測定し、その比を求めることでXPDの値を確認する。なお、測定箇所Bでの測定は無線機内部の周波数特性が関係することからアンテナ出力箇所(2次側無線機入力部)でも同様の測定を行う。本測定により算出されるXPD(XPD1)は以下の式で表される。

$$XPD1 = 10 \log \left(\frac{CW_V}{CW_H} \right)$$

また、XPDについて測定区間のC/N比からも算出を行う。C/N比は二次側の値と一次側

の値との差分で求めることができることから、単一偏波で伝送した時の C/N 比と多重偏波にて伝送を行ったときの C/N 比を比較した差分が XPD の性能に相当すると考えられる。

具体的な算出方法として、測定箇所Aにて伝送する信号の C/N 比 (CN_{TX})、単一偏波伝送を行った際の測定箇所Bでの C/N 比 (CN_{Rx1})、多重偏波伝送を行った際の測定箇所Bでの C/N 比 (CN_{Rx2}) をそれぞれ測定する。この時、単一偏波伝送時の C/N 比 (CN₁) と多重偏波伝送時の C/N 比 (CN₂) はそれぞれ次の式にて表される。

$$CN1 = -10\log\left(10^{-\frac{CN_{TX}}{10}} + 10^{-\frac{CN_{Rx1}}{10}}\right)$$

$$CN2 = -10\log\left(10^{-\frac{CN_{TX}}{10}} + 10^{-\frac{CN_{Rx2}}{10}}\right)$$

また、上記 CN₁、CN₂ は以下の関係で表される。

$$CN1 + XPD = CN2$$

上式より算出される XPD (XPD₂) は次のように表される。

$$XPD2 = -10\log\left(10^{-\frac{CN2}{10}} - 10^{-\frac{CN1}{10}}\right)$$

これらにより算出された XPD₁ と XPD₂ より XPD の性能について検討を行う。

4.3.8.5.2. 結果

XPD₁ の測定結果を表 4-15 に示す。子局出力の XPD 値は 40.5dB、子局入力での XPD 値は 37.6dB となり、2.9dB の差が生じた。これは無線機内における周波数特性が関係していると考えられる。

表 4-15 XPD₁ 測定結果 (CN)

| 測定点 | | CW _v | CW _H | XPD[dB] |
|--------------|-----------|-----------------|-----------------|---------|
| 周波数 [MHz] | 23GHz 帯 | 23441.5 | 23441.5 | - |
| | VHF/UHF 帯 | 254 | 629 | |
| 子局出力 [dBm] | | -65.0 | -24.5 | 40.5 |
| 子局入力 [dBm] | | -99.3 | -61.7 | 37.6 |

次に親局の入力、偏波多重時の子局の出力、単一偏波の子局の出力における C/N 比の測定結果を表 4-16 に示す。本表より本伝送における伝送についてほぼ劣化なく伝送することができていることがわかる。

表 4-16 XPD スポット測定結果 (C/N 比)

| 測定点 | 測定項目 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------|----------|------------|------------|----------------|----------------|------------|------------|
| | | 31ch | 32ch | 33ch | 34ch | 8ch | 9ch |
| | | 581MHz | 587MHz | 593MHz | 599MHz | 195MHz | 201MHz |
| | | 23393.5MHz | 23399.5MHz | 23405.5MHz | 23411.5MHz | 23382.5MHz | 23388.5MHz |
| | | V 偏波 | V 偏波 | V 偏波 | V 偏波 | H 偏波 | H 偏波 |
| OFDM | 256QAM | 64QAM | 256QAM | 256QAM Annex.B | 256QAM Annex.B | | |
| 親局入力 (1 分岐主信号) | C/N[dB] | 50.2 | 53.2 | 47.4 | 47.2 | 38.4 | 38.2 |
| | BER[Pre] | 1.00E-09 | 1.00E-09 | 1.00E-09 | 3.90E-09 | 1.00E-09 | 1.00E-09 |
| | MER[dB] | 35.0 | 47.4 | 42.3 | 44.1 | 50.0 | 50.0 |
| 子局出力 【偏波多重伝送】 | C/N[dB] | 35.3 | 41.9 | 35.4 | 35.4 | 32.6 | 32.2 |
| | BER[Pre] | 1.00E-09 | 1.00E-09 | 1.00E-09 | 1.00E-09 | 1.00E-09 | 1.00E-09 |
| | MER[dB] | 32.1 | 40.5 | 34.6 | 35.0 | 32.6 | 32.3 |
| 子局出力 【単一波伝送】 | C/N[dB] | 36.8 | 42.4 | 36.8 | 36.0 | 31.8 | 31.8 |
| | BER[Pre] | 1.00E-09 | 1.00E-09 | 1.00E-09 | 4.90E-09 | 1.00E-09 | 1.00E-09 |
| | MER[dB] | 32.6 | 41.2 | 35.4 | 35.6 | 31.5 | 31.5 |

| 測定点 | 測定項目 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|------------|
| | | 10 | 11 | 12 | C23 | C24 | C25 |
| | | 207MHz | 213MHz | 219MHz | 225MHz | 231MHz | 237MHz |
| | | 23394.5MHz | 23400.5MHz | 23406.5MHz | 23412.5MHz | 23418.5MHz | 23424.5MHz |
| | | H 偏波 | H 偏波 | H 偏波 | H 偏波 | H 偏波 | H 偏波 |
| 256QAM Annex.B | 256QAM Annex.B | 256QAM Annex.B | 256QAM Annex.B | 256QAM Annex.B | 256QAM Annex.B | | |
| 親局入力 (1 分岐主信号) | C/N[dB] | 38.8 | 38.4 | 38.2 | 37.7 | 37.7 | 37.8 |
| | BER[Pre] | 1.00E-09 | 1.00E-09 | 1.00E-09 | 1.00E-09 | 1.00E-09 | 1.00E-09 |
| | MER[dB] | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 |
| 子局出力 【偏波多重伝送】 | C/N[dB] | 29.7 | 27.7 | 30.2 | 29.4 | 31.6 | 31.7 |
| | BER[Pre] | 6.80E-08 | 1.80E-05 | 1.00E-09 | 3.60E-07 | 1.00E-09 | 1.00E-09 |
| | MER[dB] | 29.9 | 27.5 | 30.5 | 29.0 | 31.6 | 31.4 |
| 子局出力 【単一波伝送】 | C/N[dB] | 31.9 | 31.5 | 31.7 | 29.6 | 30.8 | 30.8 |
| | BER[Pre] | 1.00E-09 | 1.00E-09 | 1.00E-09 | 9.20E-08 | 1.00E-09 | 1.00E-09 |

| | | | | | | | |
|--|---------|------|------|------|------|------|------|
| | MER[dB] | 31.7 | 31.4 | 31.3 | 29.3 | 30.9 | 30.7 |
|--|---------|------|------|------|------|------|------|

最後に表 4-17 に算出した結果を示す。XPD2 について表 4-15 の XPD1 と比較すると、DOCSIS 信号との偏波多重伝送を行ったチャンネルにおいて CN1 よりも CN2 が高くなったことで算出されていない項目はあるものの、DOCSIS 以外の 3 チャンネル (31、33、34 チャンネル) においては近い値となっていることがわかる。

一方、32 チャンネル (256QAM) 及び同帯域にて多重伝送を行った 11 チャンネル (256QAM) については 10dB 以上の大きな差分が発生しており、これは該当チャンネルが 6dB のレベル差伝送を行っていることが要因であると考えられる。該当チャンネルにおいて CN1 と XPD2 からの CN2 を算出した値についても 3dB 程度の差が発生しており、このことから偏波多重による 256QAM のレベル差伝送を行う際はチャンネル配列等を検討して伝送する等の注意が必要である。

表 4-17 XPD スポット測定結果 (XPD)

| No. | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------------------------|--------|---------|---------|--------|---------|----------------|----------------|
| チャンネル | | 31 | 32 | 33 | 34 | 8 | 9 |
| 周波数[MHz] | RF 周波数 | 581 | 587 | 593 | 599 | 195 | 201 |
| | 無線周波数 | 23393.5 | 23399.5 | 2405.5 | 23411.5 | 23382.5 | 23388.5 |
| 変調方式 | | OFDM | 256QAM | 64QAM | 256QAM | 256QAM Annex.B | 256QAM Annex.B |
| CN1 (多重無) [dB] | | 36.6 | 42.1 | 36.4 | 35.7 | 30.9 | 30.9 |
| CN2 (多重有) [dB] | | 35.2 | 41.6 | 35.1 | 35.1 | 31.6 | 31.2 |
| XPD2 | | 40.6 | 51.5 | 41.0 | 44.3 | - | - |
| CN1 と XPD1(40.5)からの CN2 換算値 [dB] | | 35.1 | 38.2 | 35.0 | 34.5 | 30.5 | 30.5 |
| CN1 と XPD1(37.6)からの CN2 換算値 [dB] | | 34.1 | 36.3 | 34.0 | 33.5 | 30.1 | 30.1 |

| No. | | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------------------------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|
| チャンネル | | 10 | 11 | 12 | C23 | C24 | C25 |
| 周波数[MHz] | RF 周波数 | 207 | 213 | 219 | 225 | 231 | 237 |
| | 無線周波数 | 23394.5 | 23400.5 | 2406.5 | 23412.5 | 23418.5 | 23424.5 |
| CN1 (多重無) [dB] | | 31.1 | 30.7 | 30.8 | 29.0 | 30.0 | 30.0 |
| CN2 (多重有) [dB] | | 29.2 | 27.3 | 29.6 | 28.8 | 30.6 | 30.7 |
| XPD2 | | 33.7 | 30.0 | 35.5 | 42.9 | - | - |
| CN1 と XPD1(40.5)からの CN2 換算値 [dB] | | 30.6 | 30.3 | 30.4 | 28.7 | 29.6 | 29.6 |

| | | | | | | |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| CN1とXPD1(37.6)からの CN2換算値 [dB] | 30.2 | 29.9 | 30.0 | 28.4 | 29.3 | 29.3 |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|

また、「CN1とXPD1から算出されるCN2換算値」とCN2について比較するとほぼ同じ値であることから、XPDによるC/N比への影響は殆ど無いことがわかる。今回の現地測定においてはXPD値が37.6dB確保できていたことから、前年度の「23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討」平成28年度成果報告における「表5-7 偏波多重伝送試験(D/U比変化) レベル差なし」(表4-18)より4096QAM(符号化率4/5)の伝送が可能であると言える。

しかしながら、本検討は今回のスポット測定をベースとしたものであることから、更なる測定を行い、値を検討することが今後の課題となる。

表 4-18 偏波多重伝送試験(D/U比変化) レベル差なし
(「23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討」平成28年度成果報告における表5-7より引用)

| 変調方式 | | 所要 CNR | D/U比 [dB] | C/N比 [dB] | BER | MER [dB] | 備考 |
|--------|----------------------|------------|--------------|--------------|----------|-------------|---------|
| 64QAM | | 26dB 以上 | 49.4 | 38.6 | 0.00E+00 | 36.9 | |
| | | | 25.4 | 25.0 | 9.70E-05 | 24.8 | |
| 256QAM | | 34dB 以上 | 48.9 | 38.3 | 2.00E-07 | 46.5 | |
| | | | 32.2 | 31.8 | 1.90E-04 | 31.3 | |
| J.382 | 256QAM 符号化率 9/10 | 26dB 以上 | 49.4 | 37.2 | 0.00E-08 | 34.5 | |
| | | | 26.4 | 24.8 | 3.28E-06 | 25.5 | |
| | 1024QAM 符号化率 9/10 | 33dB 以上 | 48.9 | 38.5 | 0.00E-08 | 35.2 | |
| | | | 33.1 | 32.2 | 2.18E-07 | 31.2 | BER計測3分 |
| | 4096QAM 符号化率 4/5 | 37dB 以上 | 48.6 | 38.2 | 0.00E-08 | 34.9 | |
| | | | 37.5 | 34.9 | 2.96E-06 | 33.4 | BER計測1分 |
| | 4096QAM 符号化率 5/6 | 40dB 以上 | - | - | - | - | |
| | | | - | - | - | - | |

4.4. 偏波多重伝送試験

4.4.1. 目的

偏波多重伝送試験では、平成 28 年度調査検討にて試作した双方向機能を有する 23GHz 帯無線伝送システム（0.3m 径パラボラアンテナ、OMT を含む）をフィールドに設置し、256QAM 等のデジタルケーブルテレビ信号を偏波多重により無線伝送し、その性能を確認することにある。

偏波多重伝送試験は、降雨減衰や XPD の劣化などによる影響を確認するための長期測定と、無線伝送区間の性能を確認するスポット測定の 2 つからなり、長期測定に関しては別途記述する。

4.4.2. 測定系統図

図 4-20 に偏波多重伝送に関する測定系統図を示す。

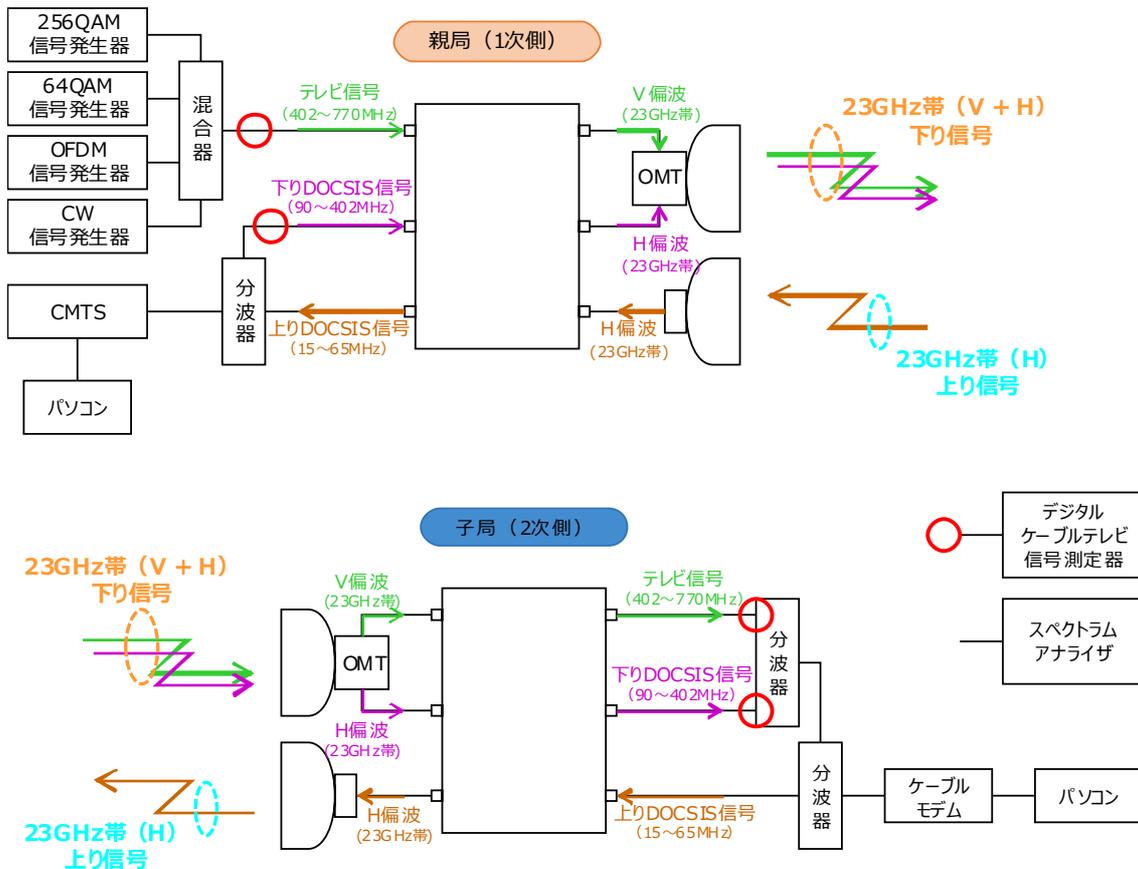


図 4-20 偏波多重伝送試験に関する測定系統図

4.4.3. 試験方法

フィールドに設置した双方向機能を有する 23GHz 帯無線伝送システムに信号発生器からのデジタルケーブルテレビ信号 (OFDM、64QAM、256QAM など) と、ケーブルインターネットの下り信号となる CMTS (Cable Modem Termination System) のよる下り DOCSIS 信号 (DOCSIS3.0) を入力し、無線伝送前後での信号品質 (C/N 比、BER、MER など) を計測する。

デジタルケーブルテレビ信号については垂直偏波 (V 偏波) で、DOCSIS 信号については水平偏波 (H 偏波) で伝送することとし、単一偏波で伝送する場合と、偏波多重で伝送する場合の 2 つの伝送パターンで図 4-20 の赤丸で示した性能規定点でデジタルケーブルテレビ信号 (OFDM、64QAM、256QAM) の品質 (C/N 比、BER、MER) を計測する。

4.4.4. 伝送信号条件

本試験で伝送する変調信号について、図 4-21 と表 4-19 に示す。

偏波多重伝送による影響を確認するため、無線伝送周波数である 23GHz 帯において各偏波の信号が重なる用に信号を配置する。伝送信号のレベルについては、通常のケーブルテレビ利用を想定し、256QAM については 64QAM の信号レベルに対して+6dB とするようにし、その他の信号については同じレベルに設定する。

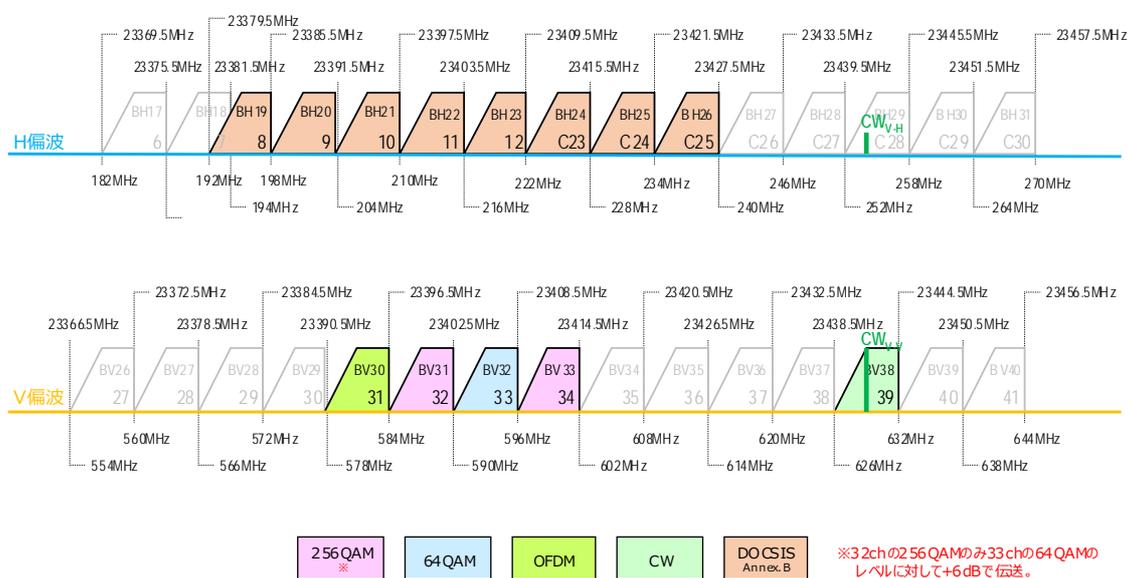


図 4-21 偏波多重伝送試験で使用する伝送信号イメージ（信号配列）

表 4-19 測定チャンネルプラン

| | 偏波面 | CH | 周波数 [MHz] | 変調方式 | 備考 |
|----|-----|------------------|--------------|-------|------------------|
| 上り | 水平 | - | 20.0 | 64QAM | Annex. B/6. 4MHz |
| | 水平 | - | 30.0 | 64QAM | Annex. B/6. 4MHz |
| | 水平 | - | 40.0 | 64QAM | Annex. B/6. 4MHz |
| | 水平 | - | 50.0 | 64QAM | Annex. B/6. 4MHz |
| | 水平 | PT _{UP} | | 70.0 | CW |

| | | | | | |
|----|----|-----------------|--------|--------|-------------------------|
| 下り | 水平 | 8 | 195.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | 水平 | 9 | 201.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | 水平 | 10 | 207.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | 水平 | 11 | 213.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | 水平 | 12 | 219.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | 水平 | C23 | 225.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | 水平 | C24 | 231.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | 水平 | C25 | 237.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | 水平 | PT _H | 156.25 | CW | 23, 343.75MHz. パイロット信号。 |
| | 垂直 | 31 | 581.0 | OFDM | |
| | 垂直 | 32 | 587.0 | 256QAM | 33ch に対して+6dB |
| | 垂直 | 33 | 593.0 | 64QAM | |
| | 垂直 | 34 | 599.0 | 256QAM | 33ch に対して+0dB |
| | 垂直 | 39 | 629.0 | CW | XPD 計測用無変調信号 |
| | 垂直 | PT _V | 467.75 | CW | 23, 281.25MHz. パイロット信号。 |

4.4.5. 測定結果

表 4-20 に本無線リンクにおける XPD の測定結果を、表 4-21 に偏波多重伝送における試験結果を示す。

表 4-20 XPD 測定結果

| CH 周波数 [MHz] | 変調 方式 | 性能規定点 | 測定結果 | | | 備考 |
|---------------------------|----------|-------------------|----------------|---------------|-------------|----|
| | | | 受信レベル [dBm] | D/U 比 [dB] | XPD [dB] | |
| XPD _V 629.0 | CW | 下り空中線端 子[V 偏波] | -61.7 | 37.6 | 37.6 | |
| XPD _H 254.0 | CW | 下り空中線端 子[H 偏波] | -99.3 | | | |

XPD は、垂直偏波を主偏波として垂直・水平偏波での受信電力結果より、下記の計算式により算出。

$$XPD[dB] = 10 \log \left(\frac{P_V}{P_H} \right)$$

表 4-21 偏波多重伝送における試験結果

| CH 周波数 [MHz] | 変調 方式 | 性能規定点 | 測定結果 | | | 備考 |
|--------------------|----------|-----------------|---------------|----------|-------------|--------|
| | | | C/N 比 [dB] | BER | MER [dB] | |
| 31ch 581.0 | OFDM | 無線機入力 | 47.2 | 1.00E-09 | 33.1 | |
| | | 無線機出力 (偏波多重) | 32.3 | 1.00E-09 | 32.1 | |
| | | 無線機出力 (単一偏波) | 31.5 | 1.00E-09 | 32.6 | |
| 32ch 587.0 | 256QAM | 無線機入力 | 53.2 | - | - | データ欠損。 |
| | | 無線機出力 (偏波多重) | 41.9 | 1.00E-09 | 37.0 | |
| | | 無線機出力 (単一偏波) | 42.4 | 1.00E-09 | 42.3 | |
| 33ch 593.0 | 64QAM | 無線機入力 | 47.4 | 1.00E-09 | 42.3 | |
| | | 無線機出力 (偏波多重) | 35.4 | 1.00E-09 | 34.6 | |
| | | 無線機出力 (単一偏波) | 36.8 | 1.00E-09 | 35.4 | |
| 34ch 599.0 | 256QAM | 無線機入力 | 47.2 | 3.90E-09 | 44.1 | |
| | | 無線機出力 (偏波多重) | 35.4 | 1.00E-09 | 35.0 | |
| | | 無線機出力 (単一偏波) | 36.0 | 4.90E-09 | 35.6 | |

表 4-21 の結果より、単一偏波伝送時の C/N 比と比較して偏波多重伝送時の C/N 比の方が 0.5dB から 1.0dB ほど劣化するという結果になった。それに伴い MER も劣化しているが、BER についてはほぼ劣化していない。XPD の性能 (37.5dB) を踏まえると、単一偏波伝送時からの劣化量はもう少し大きくなると予想されたが、実測値は異なる結果となった。

図 4-22 から図 4-25 に偏波多重伝送時と単一偏波伝送時におけるコンスタレーション図

を示す。本結果についても大きな劣化は認められなかった。

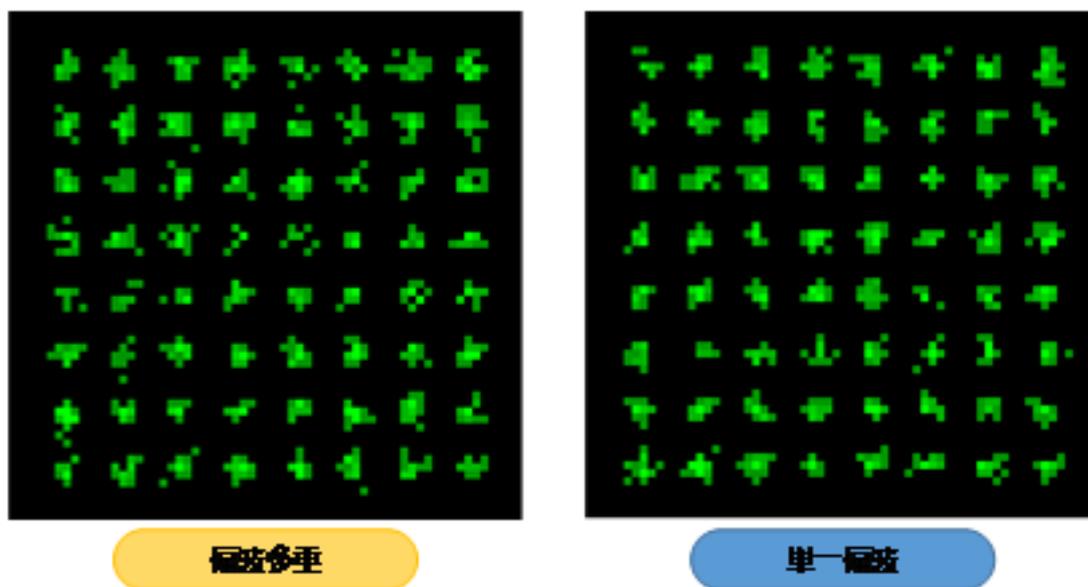


図 4-22 OFDM コンスタレーション比較図

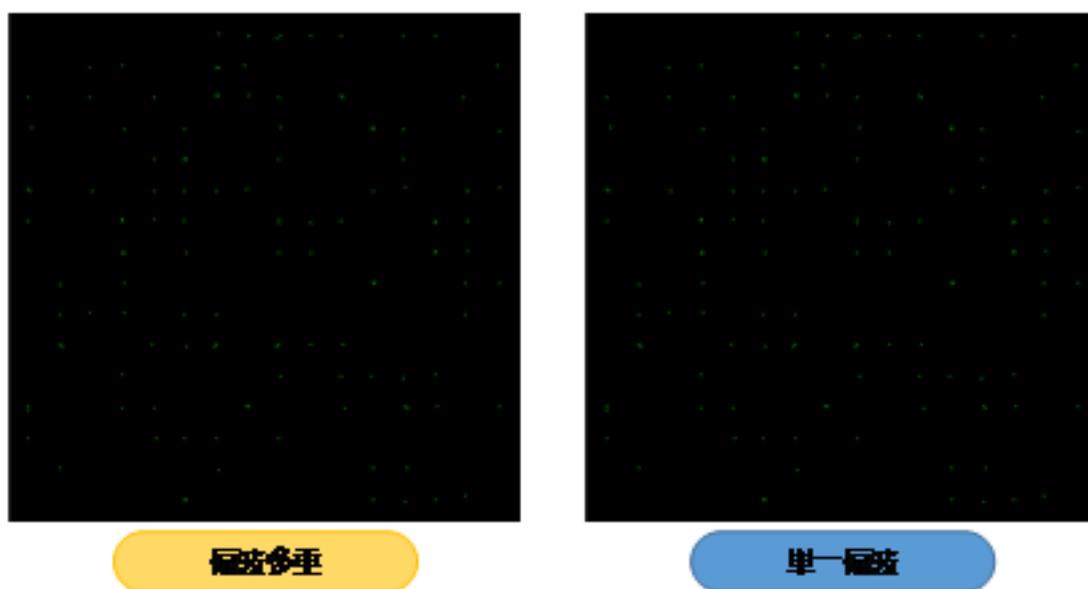


図 4-23 256QAM (64QAM+6dB) コンスタレーション比較図

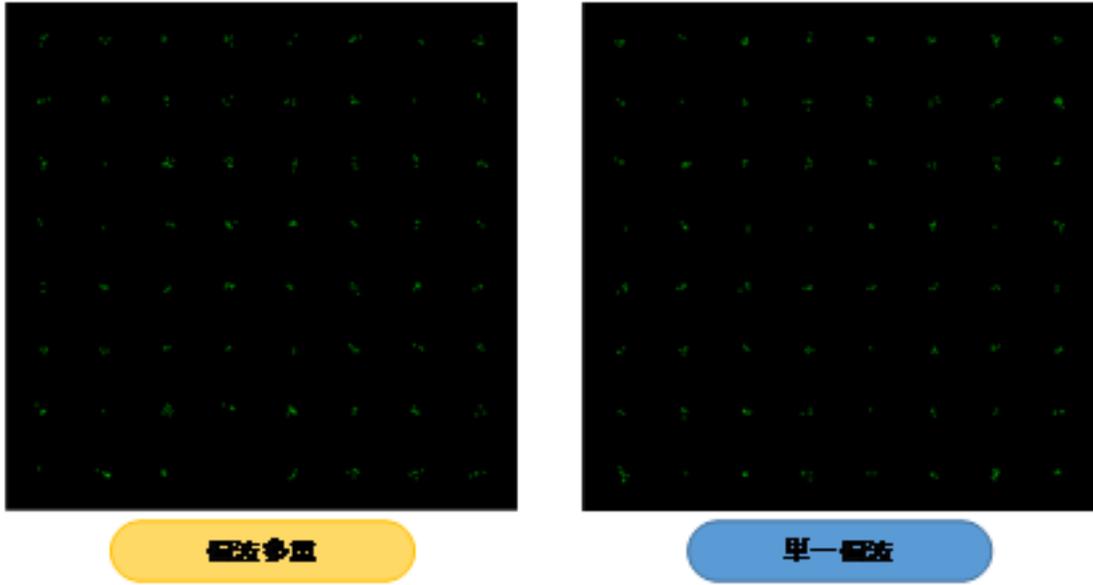


図 4-24 64QAM コンスタレーション比較図

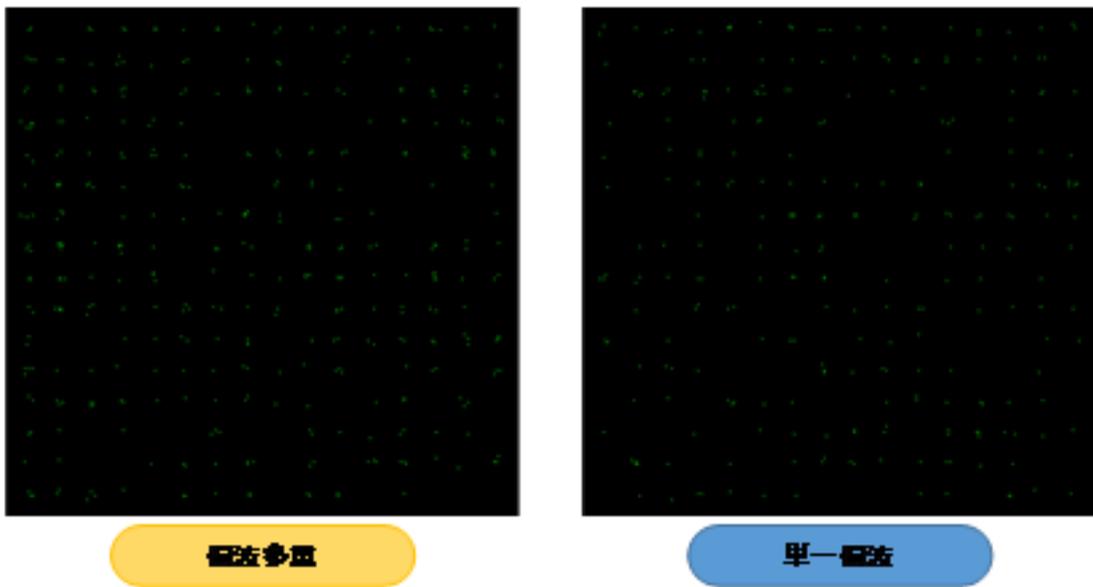


図 4-25 256QAM コンスタレーション比較図

4.5. アンテナ間回り込みによる影響

4.5.1. 目的

本調査検討では、平成 28 年度調査検討にて試作した上り信号と下り信号をそれぞれ別々のアンテナで送受する送受分離型とした双方向機能を有する 23GHz 帯無線伝送システムを使用してフィールド試験を実施する。アンテナの設置については、設置スペースの問題から、平成 28 年度に検討した垂直設置ではなく水平設置とし、アンテナ間の離隔については約 600mm とした。

本試験では、フィールドに設置した送受分離型双方向機能を有する 23GHz 帯無線伝送システムにおけるアンテナ間の回り込み量を計測し、同条件におけるデジタルテレビ信号品質への影響について確認する。

4.5.2. 測定系統図

図 4-26 にアンテナ間回り込み量による影響確認に関する測定系統図を示す。

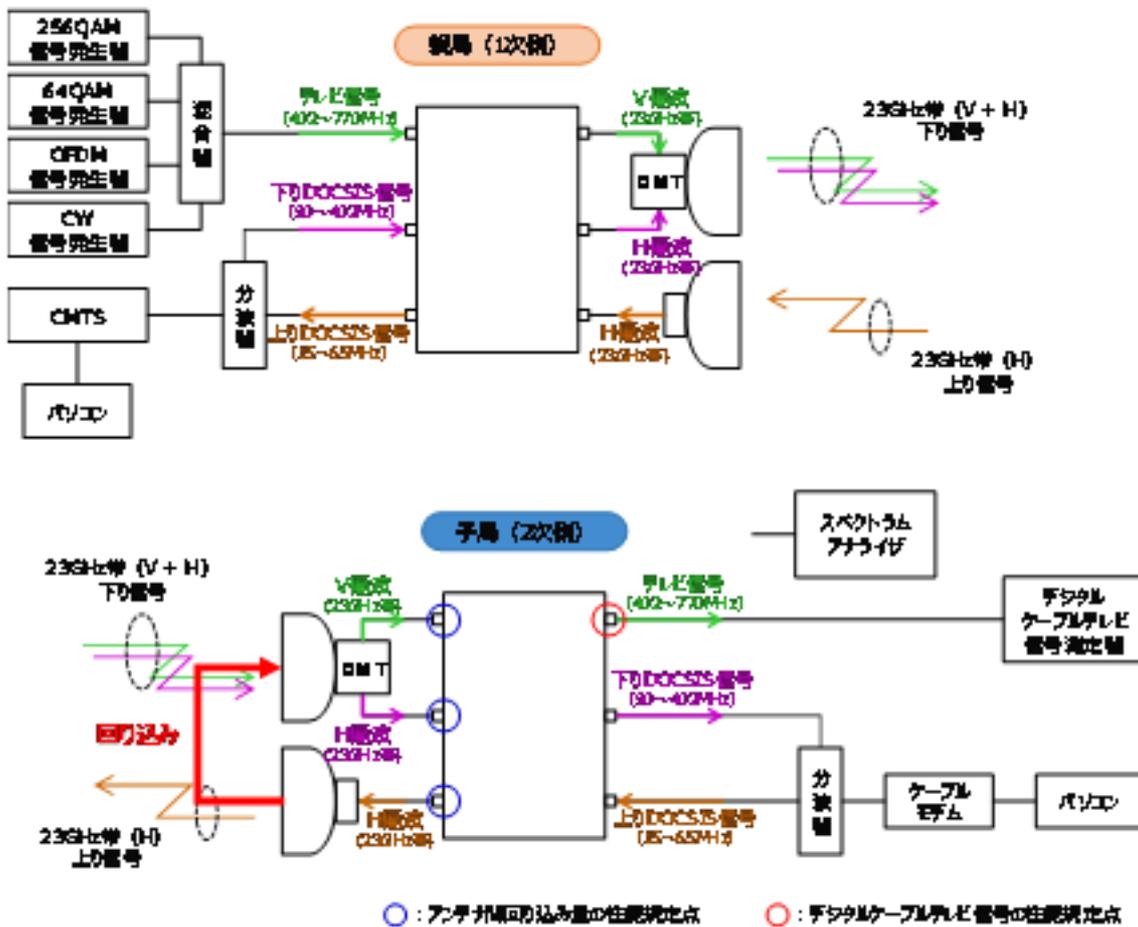


図 4-26 アンテナ間回り込み量による影響確認に関する測定系統図

4.5.3. 試験方法

フィールドに設置した送受分離型双方向機能を有する 23GHz 帯無線伝送システムにおけるアンテナ間の回り込み量の計測では、子局 (2次側) の上り空中線端子 (図 4-26 の青丸部分) で上りのパイロット信号 (23,273.125MHz) の送信レベルを、下り水平偏波と垂直偏波用のそれぞれの空中線端子部 (図 4-26 の青丸部分) で上りのパイロット信号の受信レベル (回り込みによるレベル) をスペクトラムアナライザで計測し、その差分から回り込み量を算出する。

デジタルケーブルテレビ信号への影響については、上り信号を連続送信状態とするためにスループット計測ソフト (iPerf) を使用し、上りのスループットの計測時 (上り信号が常時送信状態) と非計測時 (上り信号の送信がほぼ無い状態) の 2 パターンで、デジタルケー

ブルテレビ信号 (OFDM、64QAM、256QAM) の品質 (搬送波レベル、BER、MER) を計測する。

使用する計測ツール、並びに主な設定を表 4-26 に示す。

表 4-22 DOCSIS 計測ツール

| 測定内容 | 測定ツール | 備考 |
|----------|------------------|---|
| スループット測定 | iPerf3 Ver.3.1.3 | 計測：TCP スループット TCP Window Size：256Kbyte ストリーム数：10 計測時間：60sec CM から CMTS 方向を計測。 |

4.5.4. 伝送信号条件

本試験で伝送する変調信号について図 4-27 と表 4-23 に示す。

アンテナ間の回りこみによる影響については、異なる偏波間で無線伝送周波数となる 23GHz 帯の信号が上りと下りで重なっている部分の影響が最も大きいことから、上りチャンネル (H 偏波) の帯域と重なっている下りチャンネルの周波数帯 (V 偏波) に、信号品質の測定チャンネルを設定する。本試験では、20.0MHz を中心とする上り信号 (BH1 UP1) と 23GHz 帯で帯域が重なる C54 (411.0MHz：垂直偏波) を測定用チャンネルに設定し、上り信号の有無で各変調方式 (OFDM、64QAM、256QAM) の下り信号 (測定毎に変更) への影響がどのように現れるのかを確認する。

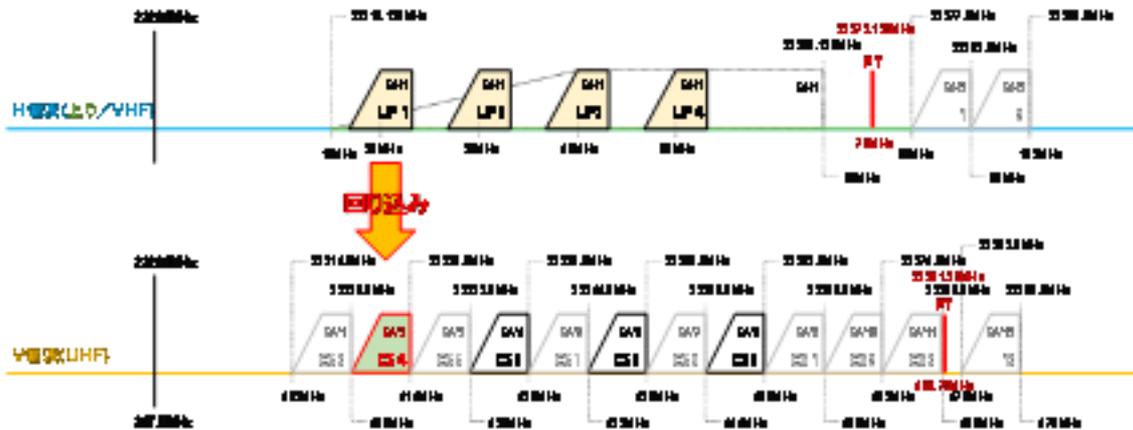


図 4-27 アンテナ間回り込み量による影響確認に関する伝送信号イメージ

表 4-23 測定チャンネルプラン（アンテナ間回り込みによる影響試験）

| | 偏波面 | CH | 周波数 [MHz] | 変調方式 | 備考 |
|----|-----|------------------|--------------|-------|------------------------------|
| 上り | 水平 | UP1 | 20.0 | 64QAM | Annex. B/6. 4MHz |
| | 水平 | UP2 | 30.0 | 64QAM | Annex. B/6. 4MHz |
| | 水平 | UP3 | 40.0 | 64QAM | Annex. B/6. 4MHz |
| | 水平 | UP4 | 50.0 | 64QAM | Annex. B/6. 4MHz |
| | 水平 | PT _{UP} | 70.0 | CW | 23, 273.125MHz. パイロット信号 |
| 下り | 水平 | 8 | 195.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | 水平 | 9 | 201.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | 水平 | 10 | 207.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | 水平 | 11 | 213.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | 水平 | 12 | 219.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | 水平 | C23 | 225.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | 水平 | C24 | 231.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | 水平 | C25 | 237.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | 水平 | PT _H | 156.25 | CW | 23, 343.75MHz. パイロット信号 |
| | 垂直 | C54 | 411.0 | | 64QAM/256QAM/OFDM 測定チャンネル |
| | 垂直 | C56 | 423.0 | | 64QAM/256QAM/OFDM |

| | | | | | |
|--|----|-----------------|--------|----|------------------------|
| | 垂直 | C58 | 435.0 | | 64QAM/256QAM/OFDM |
| | 垂直 | C60 | 447.0 | | 64QAM/256QAM/OFDM |
| | 垂直 | PT _v | 467.75 | CW | 23, 281.25MHz. パイロット信号 |

4.5.5. 測定結果

表 4-24 にアンテナ間の回り込み量の計測結果を示す。

上りと下りのアンテナの離隔を 600mm として水平設置したとき、上りパイロット信号（水平偏波）の下り空中線端子（水平偏波と垂直偏波）への回り込み量は、下り水平偏波では約 88dB、下り垂直偏波では、約 96dB という結果になった。平成 28 年度調査検討で行った室内試験では、アンテナ間隔 600mm で垂直設置したときに、異なる偏波間で 105dB 程確保できていたことを考慮すると、より厳しい条件下での技術試験となる。

表 4-24 アンテナ間回り込み量

| | PT _{UP} レベル [dBm] | 回り込み量 [dB] | 備考 |
|----------|-------------------------------|---------------|----|
| 上り(水平偏波) | -2.5 | - | |
| 下り(水平偏波) | -91.3 | -88.6 | |
| 下り(垂直偏波) | -98.8 | -96.5 | |

表 4-25 にデジタルケーブルテレビ信号への影響の確認結果（信号品質）を示す。

全ての信号において、回り込み(上り送信)の有無により、MER の劣化が見られた。OFDM の MER で 1.4dB、64QAM で 5.7dB、256QAM で 5.8dB となっているが、BER の劣化は認められず、また、上りのスループットへの影響も無かったことより、アンテナ離隔 600mm で水平設置した場合でも映像伝送と DOCSIS3.0 通信が可能であることが分かった。

表 4-25 デジタルテレビ信号品質への影響

| 信号 | 上り送信 (回り込み) の有無 | MER[dB] | BER | 上り スループット [Mbps] | 備考 |
|------|-----------------------|---------|---------|------------------------|----|
| OFDM | 無 | 32.5 | 1.0E-09 | - | |

| | | | | | |
|--------|---|------|---------|------|--|
| | 有 | 31.1 | 1.0E-09 | 97.6 | |
| 64QAM | 無 | 36.2 | 1.0E-09 | - | |
| | 有 | 30.6 | 1.0E-09 | 96.8 | |
| 256QAM | 無 | 42.3 | 1.0E-09 | - | |
| | 有 | 37.3 | 1.0E-09 | 97.3 | |

図 4-28 に OFDM のコンスタレーションを、図 4-29 と図 4-30 に 64QAM と 256QAM のコンスタレーション図を示す。

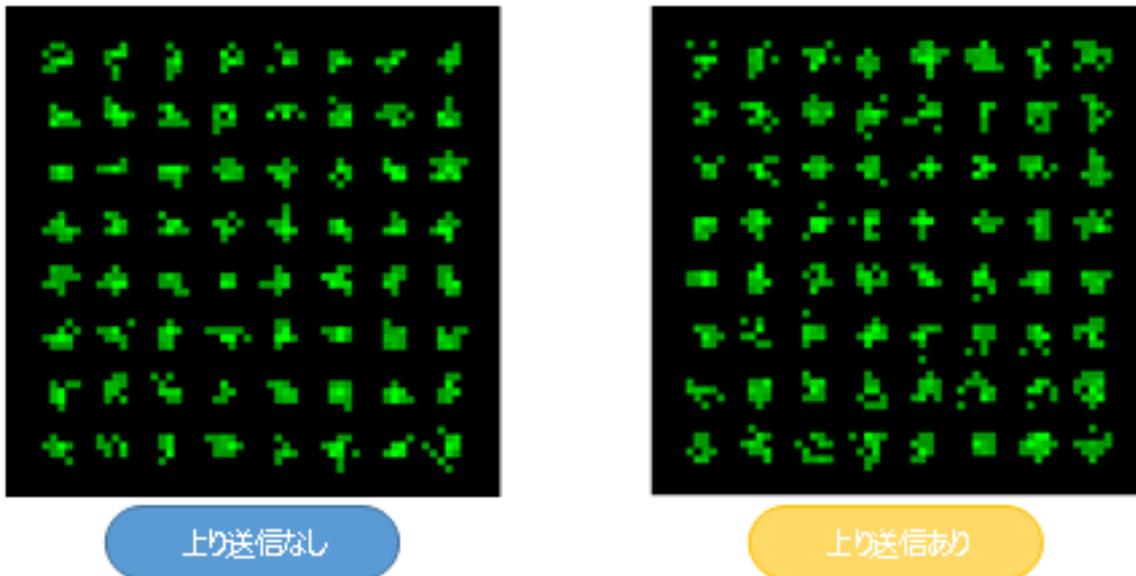


図 4-28 OFDM コンスタレーション

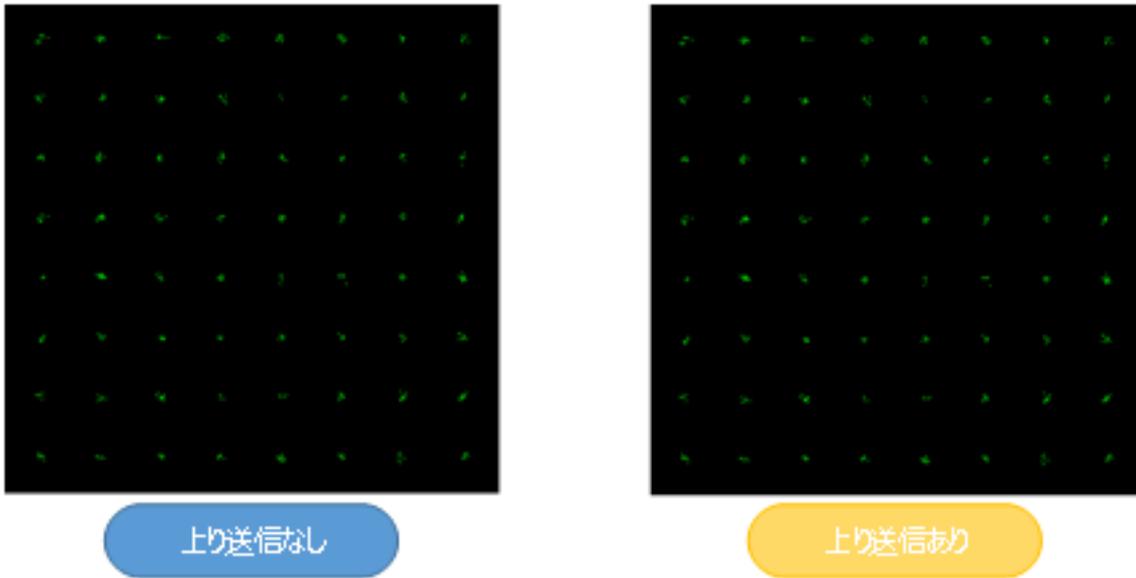


図 4-29 64QAM コンスタレーション

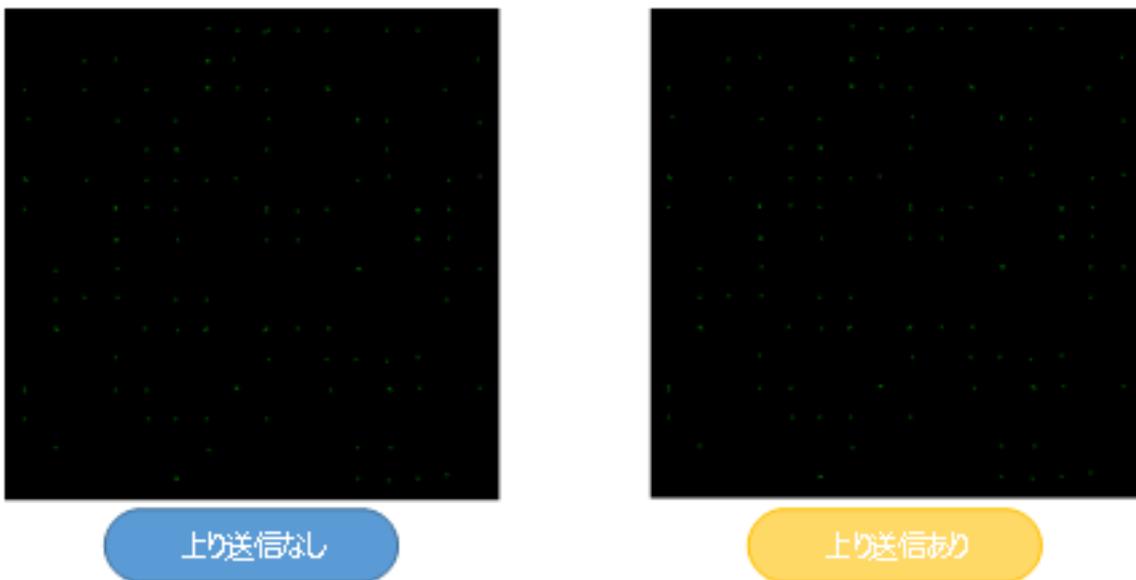


図 4-30 256QAM コンスタレーション

4.6. スループット試験

4.6.1. 目的

23GHz帯無線伝送システムで一般的に利用されているケーブルテレビの独自方式であるFDM-SSB方式において、双方向化した試験装置を用いて、ケーブルインターネット通信（DOCSIS（Data Over Cable Service Interface Specifications）信号）とデジタルケーブルテレビ信号の変調波を単一偏波伝送した場合と偏波多重伝送した場合のパフォーマンスについて確認する。

4.6.2. 測定系統図

図 4-31 と図 4-32 に偏波多重伝送における双方向通信試験（DOCSIS 信号伝送）の測定系統図を示す。

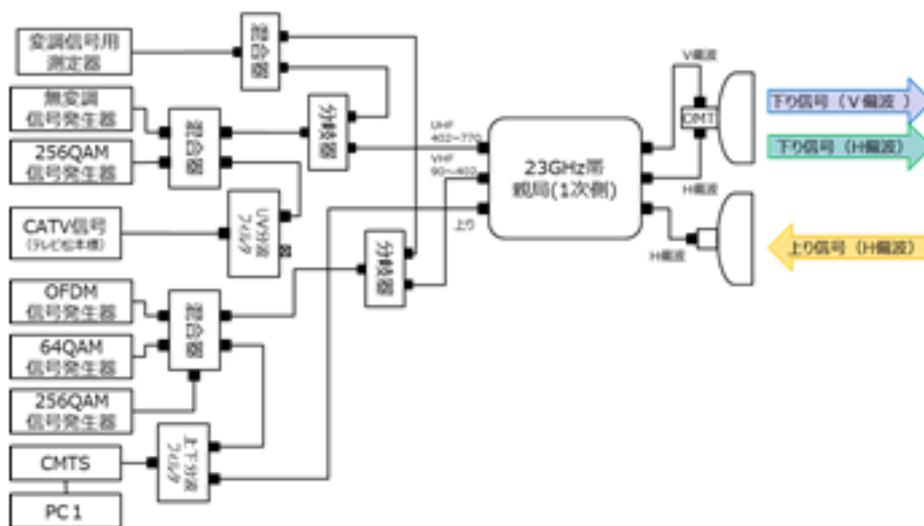


図 4-31 測定系統図：DOCSIS 伝送親局（1次）側

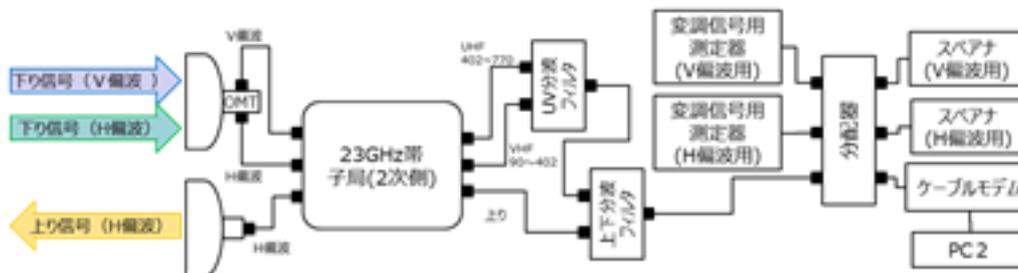


図 4-32 測定系統図：DOCSIS 伝送子局（2次）側

4.6.3. 試験方法

設置した 23GHz 帯無線伝送システムの親局（1次）側、子局（2次）側にそれぞれ測定用の PC を設置し、DOCSIS3.0 信号を含む 4.6.3.1 に示す変調信号を送らせ、図 4-31 と図 4-32 に示す PC1 と PC2 の間でスループットを計測する。また、ケーブルモデム終端システム（Cable Modem Termination System、以下 CMTS）とケーブルモデムを同軸ケーブルで直接繋いだ状態でのパフォーマンスについても確認する。

使用する計測ツール、並びに主な設定を表 4-26 に示す。

表 4-26 DOCSIS 計測ツール

| 測定内容 | 測定ツール | 備考 |
|----------|------------------|---|
| スループット測定 | iPerf3 Ver.3.1.3 | 計測：TCP スループット TCP Window Size：256Kbyte ストリーム数：10 計測時間：60sec 測定回数：5回 |
| PING 測定 | ExPing Ver.1.33 | 繰り返し回数：600回 実行間隔：1000msec ブロックサイズ：64 バイト タイムアウト：1000msec |

4.6.3.1. 伝送信号条件

本試験で伝送する変調信号について表 4-27 に、DOCSIS3.0 信号のチャンネルプランについて表 4-28 に示す。

表 4-27 DOCSIS 通信測定における伝送信号条件

| 方向 | 信号数 | 備考 |
|---------------|--|--|
| 下り CMTS⇒CM | DOCSIS3.0 信号(256QAM):8波 (VHF帯) テレビ信号(OFDM, 64/256QAM) : 26波 (UHF帯) 無変調信号 : 1波 (UHF帯) | H 偏波 : 8波(PT 信号除く) V 偏波 : 27波(PT 信号除く)※偏波多重伝送のみ |
| 上り CM⇒CMTS | DOCSIS3.0 信号(64QAM) : 4波 | 4波(PT 信号除く) 帯域幅 : 6.4MHz/ch |

表 4-28 DOCSIS3.0 信号チャンネルプラン

| 伝送試験 | 方向 | 偏波面 | CH | 周波数 [MHz] | 変調方式 | 備考 |
|--------|----|-----|-----|-----------|-------|------------------|
| 単一偏波伝送 | 上り | 水平 | UP1 | 20.0 | 64QAM | Annex. B/6. 4MHz |
| | | 水平 | UP2 | 30.0 | 64QAM | Annex. B/6. 4MHz |
| | | 水平 | UP3 | 40.0 | 64QAM | Annex. B/6. 4MHz |
| | | 水平 | UP4 | 50.0 | 64QAM | Annex. B/6. 4MHz |
| | 下り | 水平 | C33 | 285.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | | 水平 | C34 | 291.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | | 水平 | C35 | 297.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | | 水平 | C36 | 303.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | | 水平 | C37 | 309.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | | 水平 | C38 | 315.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | | 水平 | C39 | 321.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | | 水平 | C40 | 327.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| 偏波多重 | 上り | 水平 | UP1 | 20.0 | 64QAM | Annex. B/6. 4MHz |
| | | 水平 | UP2 | 30.0 | 64QAM | Annex. B/6. 4MHz |

| | | | | | | |
|--|----|----|-----|-------|-------|------------------|
| | | 水平 | UP3 | 40.0 | 64QAM | Annex. B/6. 4MHz |
| | | 水平 | UP4 | 50.0 | 64QAM | Annex. B/6. 4MHz |
| | 下り | 水平 | 3 | 105.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | | 水平 | C13 | 111.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | | 水平 | C14 | 117.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | | 水平 | C15 | 123.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | | 水平 | C16 | 129.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | | 水平 | C17 | 135.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | | 水平 | C18 | 141.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | | 水平 | C19 | 147.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |

4.6.4. 双方向化技術、及び偏波多重技術の検討の測定結果

表 4-29 に双方向化技術の検討に係わる DOCSIS3.0 信号の伝送結果を示す。なお、表中のスループットは 5 回の計測結果より、最大値と最小値を除いた値の平均値を、SNR は CMTS の保守画面より取得した値のうちデータ伝送時開始から 1 分間の平均値を記載している。

表 4-29 DOCSIS3.0 スループット試験結果

| | | 単一偏波伝送 | | | 偏波多重伝送 | | | ケーブル直結 | |
|----|----|---------------|------------|----------|---------------|------------|----------|---------------|----------|
| | | スループット [Mbps] | C/N 比 [dB] | SNR [dB] | スループット [Mbps] | C/N 比 [dB] | SNR [dB] | スループット [Mbps] | SNR [dB] |
| 上り | U1 | 99.2 | - | 32.9 | 61.7 | - | 33.6 | 98.6 | 43.5 |
| | U2 | | - | 33.6 | | - | 34.1 | | 44.7 |
| | U3 | | - | 33.8 | | - | 34.0 | | 42.9 |
| | U4 | | - | 32.5 | | - | 32.8 | | 43.2 |
| 下り | D1 | 282.0 | 35.5 | 35.4 | 282.0 | 32.8 | 31.4 | 280.0 | 38.1 |
| | D2 | | 34.8 | 34.6 | | 27.9 | 32.5 | | 37.8 |
| | D3 | | 34.7 | 34.3 | | 34.4 | 32.8 | | 37.8 |
| | D4 | | 34.2 | 34.0 | | 34.9 | 33.0 | | 38.1 |
| | D5 | | 34.1 | 33.9 | | 34.8 | 33.3 | | 38.2 |
| | D6 | | 34.0 | 33.9 | | 34.7 | 32.6 | | 38.1 |

| | | | | | | | | | |
|--|----|--|------|------|--|------|------|--|------|
| | D7 | | 34.3 | 34.1 | | 34.8 | 32.5 | | 38.3 |
| | D8 | | 33.9 | 34.0 | | 35.0 | 32.7 | | 38.5 |

単一偏波伝送におけるスループット試験では、TCP スループットが下り 282.0Mbps と上り 99.2Mbps 程度（物理レイヤの理論値：下り 320Mbps、上り 120Mbps）となり、CMIS と CM(ケーブルモデム)を直接同軸で接続した場合のパフォーマンスとほぼ同じになった。偏波多重伝送におけるスループット試験においては、上りの速度が遅くなり、偏波多重による影響がみられる結果となった。

偏波多重伝送試験のうち、レベル差伝送（デジタル有線テレビジョン放送方式のうち 256QAM 信号のレベルを 64QAM に対して+6dB）の有無により、データ通信品質（スループットと PING）がどのように影響を受けるかについて、図 4-33 と表 4-30 に示すチャンネルプランで確認を行った。

表 4-31 に測定結果を示す。レベル差伝送時には、スループットが大きく振れる（15～277Mbit/sec）状態となり、PING の失敗率の増加が確認されたが、レベル差無し（32ch の 256QAM 信号の送信レベルを 6dB 下げ）の状況で再度確認を行ったところ単一偏波に近い値を得ることができた。

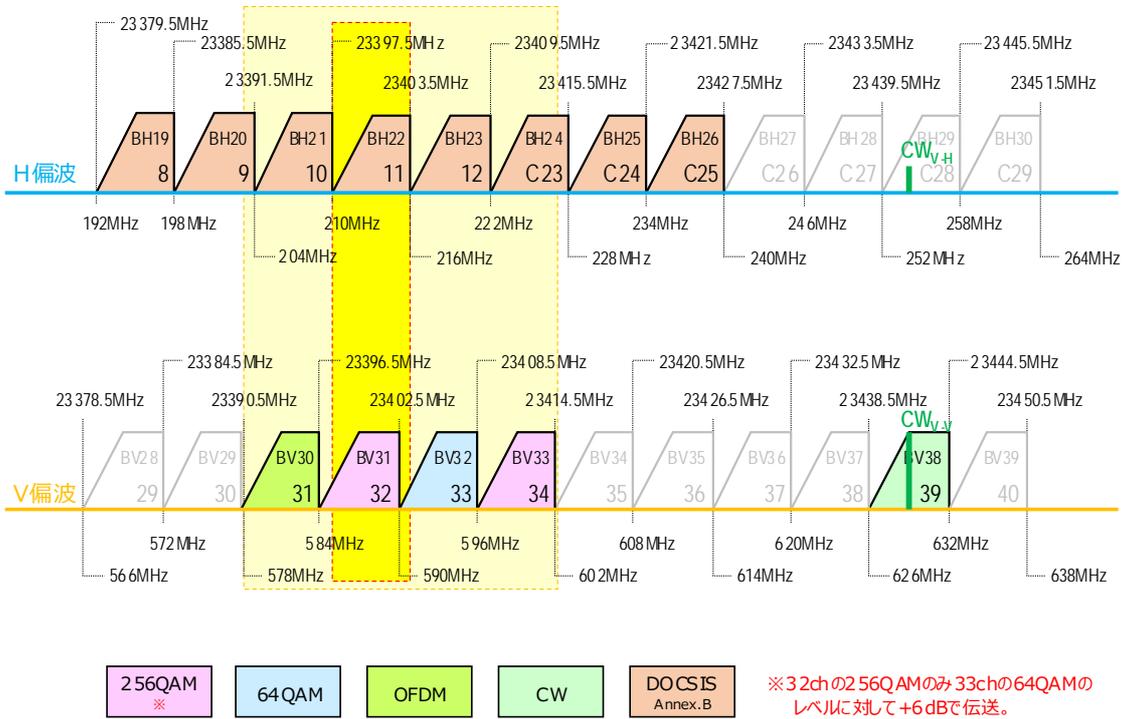


図 4-33 DOCSIS 信号伝送試験チャンネルプラン図

表 4-30 DOCSIS 信号伝送試験チャンネルプラン

| | 偏波面 | CH | 周波数 [MHz] | 変調方式 | 備考 |
|----|-----|------------------|-----------|--------|-------------------------|
| 上り | 水平 | UP1 | 20.0 | 64QAM | Annex. B/6. 4MHz |
| | 水平 | UP2 | 30.0 | 64QAM | Annex. B/6. 4MHz |
| | 水平 | UP3 | 40.0 | 64QAM | Annex. B/6. 4MHz |
| | 水平 | UP4 | 50.0 | 64QAM | Annex. B/6. 4MHz |
| | 水平 | PT _{UP} | 70.0 | CW | 23, 273.125MHz. パイロット信号 |
| 下り | 水平 | 8 | 195.0 | 256QAM | Annex. B/6. 0MHz |
| | 水平 | 9 | 201.0 | 256QAM | Annex. B/6. 0MHz |
| | 水平 | 10 | 207.0 | 256QAM | Annex. B/6. 0MHz |
| | 水平 | 11 | 213.0 | 256QAM | Annex. B/6. 0MHz |
| | 水平 | 12 | 219.0 | 256QAM | Annex. B/6. 0MHz |
| | 水平 | C23 | 225.0 | 256QAM | Annex. B/6. 0MHz |
| | 水平 | C24 | 231.0 | 256QAM | Annex. B/6. 0MHz |

| | | | | | |
|--|----|-----------------|--------|--------|--------------------------|
| | 水平 | C25 | 237.0 | 256QM | Annex. B/6. 0MHz |
| | 水平 | PT _H | 156.25 | CW | 23,343.75MHz. パイロット信号 |
| | 垂直 | PT _V | 467.75 | CW | 23,281.25MHz. パイロット信号 |
| | 垂直 | 31 | 581.0 | OFDM | 1/7MHz オフセットあり。 |
| | 垂直 | 32 | 587.0 | 256QAM | レベル差伝送 (64QAM に対して +6dB) |
| | 垂直 | 33 | 593.0 | 64QAM | |
| | 垂直 | 34 | 599.0 | 256QAM | |
| | 垂直 | 39 | 629.0 | CW | XPD 測定用信号 |

表 4-31 DOCSIS 伝送試験結果 (レベル差伝送の有無による)

| | | | SNR [dB] | BER | MER [dB] | スループット [Mbps] | PING | | |
|--------------------|----|------|-------------|----------|-------------|------------------|------|------|------|
| | | | | | | | 回数 | 失敗回数 | 失敗率 |
| 単一偏波 | 上り | U1 | 37.3 | - | - | 97.6 | 600 | 0 | 0.0% |
| | | U2 | 38.6 | - | - | | | | |
| | | U3 | 37.3 | - | - | | | | |
| | | U4 | 37.3 | - | - | | | | |
| | 下り | D1 | 32.1 | 1.00E-09 | 31.5 | 277.0 | | | |
| | | D2 | 31.6 | 1.00E-09 | 31.5 | | | | |
| | | D3 | 29.1 | 1.00E-09 | 31.7 | | | | |
| | | D4 | 31.7 | 1.00E-09 | 31.4 | | | | |
| | D5 | 29.3 | 1.00E-09 | 31.3 | | | | | |
| | D6 | 29.1 | 1.00E-09 | 28.3 | | | | | |
| | D7 | 31.3 | 1.00E-09 | 30.9 | | | | | |
| | D8 | 30.9 | 1.00E-09 | 30.7 | | | | | |
| 偏波多重 (レベル差伝送あり) | 上り | U1 | 35.8 | - | - | 57.2 | 600 | 38 | 6.3% |
| | | U2 | 36.5 | - | - | | | | |
| | | U3 | 37.1 | - | - | | | | |
| | | U4 | 37.7 | - | - | | | | |
| | 下り | D1 | 32.2 | 1.00E-09 | 32.6 | 125.2 | | | |
| | | D2 | 31.9 | 1.00E-09 | 32.3 | | | | |
| | | D3 | 29.2 | 6.80E-08 | 29.9 | | | | |
| | | D4 | 26.3 | 1.80E-05 | 27.5 | | | | |
| | | D5 | 29.8 | 1.00E-09 | 30.5 | | | | |

| | | | | | | | | | |
|------------------------|----|----|------|----------|------|-------|-----|---|------|
| | | D6 | 29.3 | 3.60E-07 | 29.0 | | | | |
| | | D7 | 31.4 | 1.00E-09 | 31.6 | | | | |
| | | D8 | 31.1 | 1.00E-09 | 31.4 | | | | |
| 偏波多重 (レベル差伝 送なし) | 上り | U1 | 37.7 | - | - | 94.2 | 600 | 3 | 0.5% |
| | | U2 | 38.1 | - | - | | | | |
| | | U3 | 39.1 | - | - | | | | |
| | | U4 | 37.9 | - | - | | | | |
| | 下り | D1 | 31.9 | 1.00E-09 | 31.6 | 277.0 | | | |
| | | D2 | 31.5 | 1.00E-09 | 31.3 | | | | |
| | | D3 | 28.4 | 1.00E-09 | 28.4 | | | | |
| | | D4 | 28.8 | 1.00E-09 | 28.5 | | | | |
| | | D5 | 28.9 | 1.00E-09 | 28.6 | | | | |
| | | D6 | 28.8 | 1.00E-09 | 28.0 | | | | |
| | | D7 | 31.0 | 1.00E-09 | 30.9 | | | | |
| | | D8 | 31.9 | 1.00E-09 | 30.6 | | | | |

4.7. 映像（地デジ）伝送試験

4.7.1. 目的

23GHz帯無線伝送システムにおいて一般的に利用されているケーブルテレビの独自方式である FDM-SSB 方式において、ケーブルテレビ信号のうち標準デジタルテレビジョン放送方式 (OFDM)、及びデジタル有線テレビジョン放送方式 (64QAM) を偏波多重伝送したときの受信状態を確認する。信号品質 (C/N 比、BER、MER など) については別途長期測定にて確認していることから、本項目では受信状態のみ確認する。

4.7.2. 測定系統図

図 4-34、及び図 4-35 と図 4-36 に映像伝送試験に係わる測定系統図を示す。

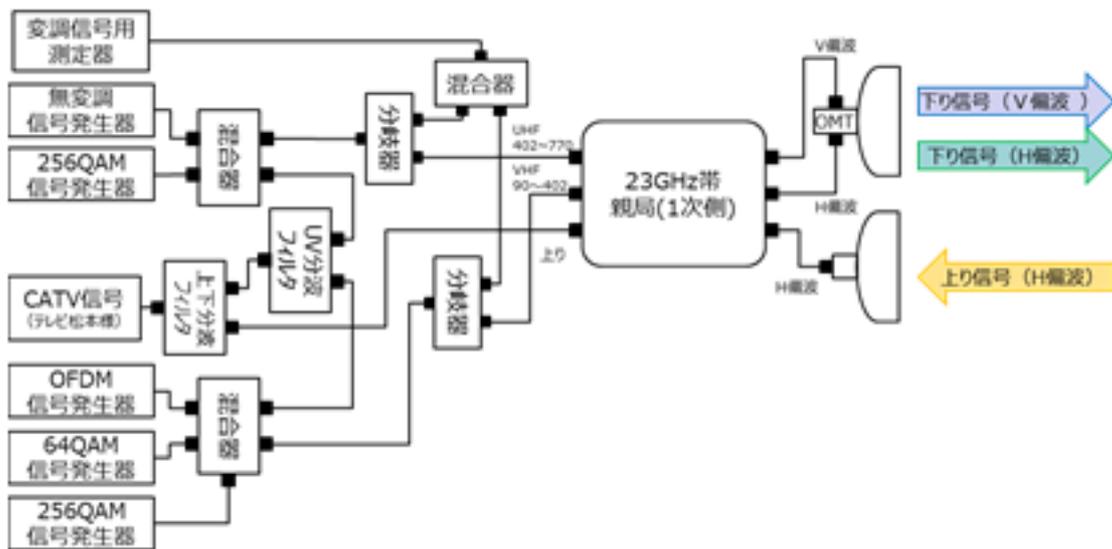


図 4-34 系統図 親局（1次）側

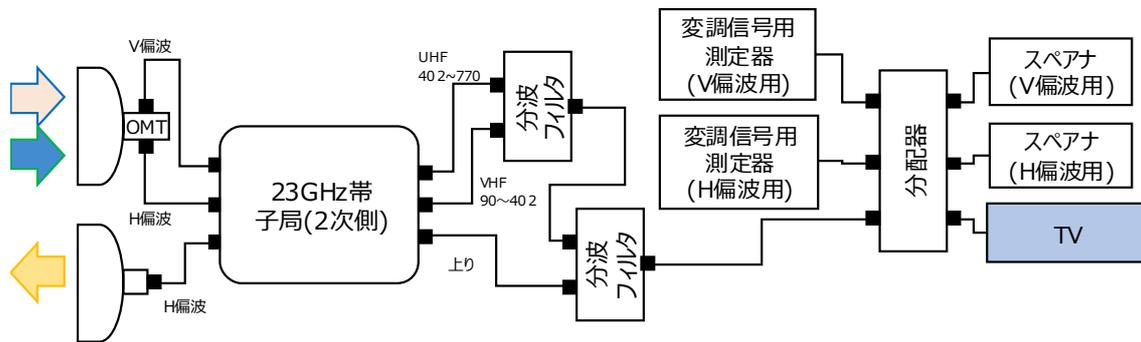


図 4-35 系統図 子局（2次）側（OFDM 映像確認時）

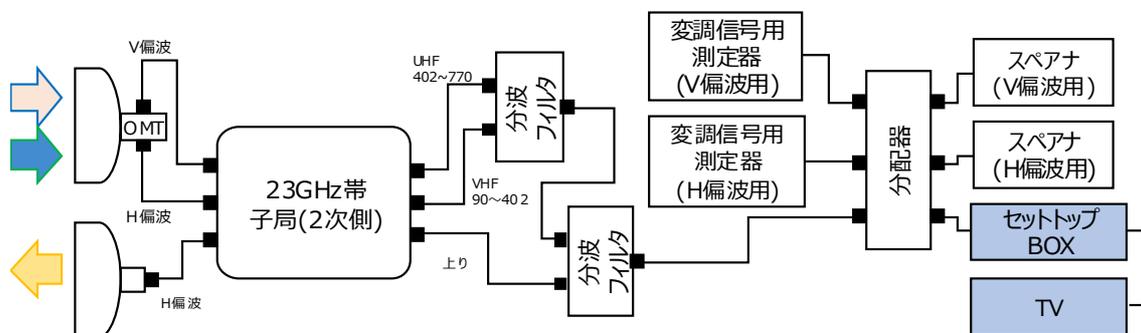


図 4-36 系統図 子局（2次）側（64QAM 映像確認時）

4.7.3. 伝送信号条件

本試験で確認する信号について、表 4-32 に示す。

両チャンネルとも多重偏波伝送を行っているが、単一偏波の場合は多重偏波よりも条件がよくレベルが確保されていることから多重偏波のチャンネルのみの確認としている。

表 4-32 映像伝送試験における伝送信号条件

| | CH | 周波数 [MHz] | チャンネル名称 | 偏波 | 変調方式 |
|------|----|-----------|---------|-------------|-----------------|
| 測定 1 | 41 | 638-644 | テレビ東京 | V 偏波 多重有 | OFDM (パススルー) |
| 測定 2 | 35 | 602-608 | テレビ松本 | V 偏波 多重有 | 64QAM |

4.7.4. 映像（地デジ）伝送試験測定結果

図 4-37 と図 4-38 に映像（地デジ）伝送試験測定の映像を示す。

測定時は晴天の状況であったが、OFDM の信号伝送が問題なく行えたことを確認した。



図 4-37 測定 1 テレビ東京（OFDM）受信状態



図 4-38 測定 2 テレビ松本（64QAM）受信状態

映像を確認した結果、ブロックノイズ等の発生なく伝送していることを確認することができ、検討委員会の現地視察の際も本映像を確認頂いた。

4.8. アンテナ・偏波分離器調整

4.8.1. 目的

フィールド試験を実施するにあたり、アンテナ方向調整を行った後に下り方向の偏波面（H 偏波と V 偏波）を偏波分離器（Ortho Mode Transducer、以下 OMT）で調整する必要があるが、実験システム導入時の本調整作業において想定以上に時間を要した。

これらを踏まえ、23GHz 帯無線システムの導入をより簡便にすることを目的として、アンテナ方向調整および OMT 調整（偏波面調整）について検討を行い、より簡易な操作で調整が可能な機構について試作を行う。

4.8.2. アンテナ方向調整

4.8.2.1. アンテナ調整金具

フィールド試験を実施するにあたり、無線装置設置後にアンテナ方向調整を行う必要がある。平成 28 年度の調査検討では室内試験のみであったことから、アンテナを取り付ける金物について調整機構は必要としなかったが、試験フィールドへの設置には上下左右の方向調整が必要となる。

上記を踏まえ、図 4-39 に示す調整機構付きのアンテナ取付金具を試作し、アンテナの取り付けと方向調整を行った。図 4-40 に試験フィールドにおけるアンテナ取付状況を示す。本アンテナ取付金具により、左右方向は柱との U ボルト調整含め 360° （ターンバックルによる調整幅 $\pm 5^\circ$ ）、上下方向に対しても $\pm 15^\circ$ の調整が可能となった。

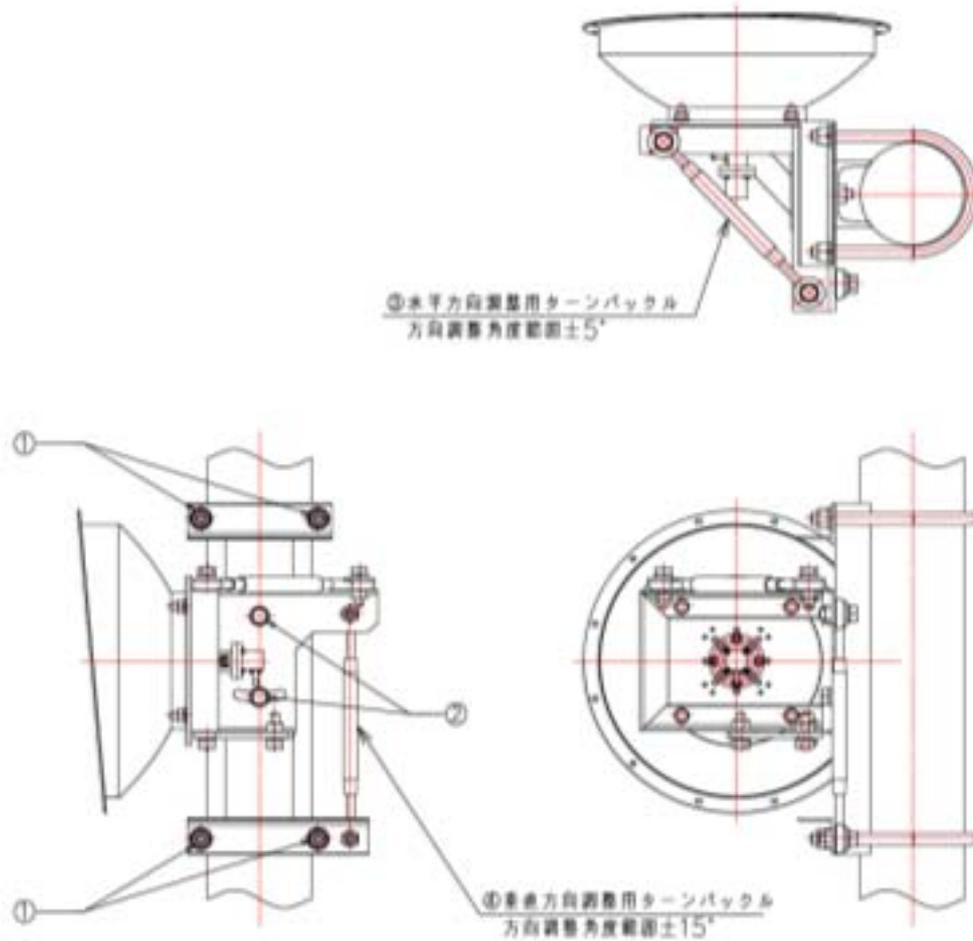


図 4-39 アンテナ調整金物



図 4-40 アンテナ取付状況 (左: 親局 (1次) 側 右: 子局 (2次) 側)

4.8.2.2. 調整方法

アンテナ方向調整における測定系統をエラー! 参照元が見つかりません。に示す。

始めに親局（1次）側、子局（2次）側それぞれで粗調整を実施する。図 4-39 に示す①のボルトを緩め左右方向にアンテナを振り対向する装置の方向におおよそ合わせて仮止する。同様に同図内の②を緩め上下方向にアンテナを振り対向する装置の方向におおよそ合わせて仮止する。

次にそれぞれの局にて微調整を実施する。本作業は親局（1次）側、子局（2次）側が同時作業を行うと基準が定まらないことからどちらか一方の局から実施する必要がある。ここでは下り信号方向のアンテナ方向調整について記載する。

スペクトラムアナライザを子局（2次）側の RF 出力端子（図 4-41 内の①（垂直偏波、水平偏波のどちらでも良い））に接続して左右方向に一度大きく動かし、23GHz 帯親局（1次側）から出力されるパイロット信号レベルが最大となる方向を探る。もっともレベルが高くなる方向を確認できたらその位置で図 4-39 に示す①のボルトを固定する。次に図 4-39 に示す③のターンバックルを回してよりレベルが高くなるよう左右方向の微調整を行う。同様に上下方向への調整についても上下に一度大きく動かしレベルの高い方向で固定した後、図 4-39 に示す④のターンバックルを用いて上下方向の微調整を行う。同じ作業を対向側（子局（2次）側）でも行い、両局でピークとなる方向を決め固定する。

上り信号方向のアンテナ方向調整については、スペクトラムアナライザを親局（1次）側の RF 出力端子（図 4-41 内の③）に接続して、前述の作業を実施する。

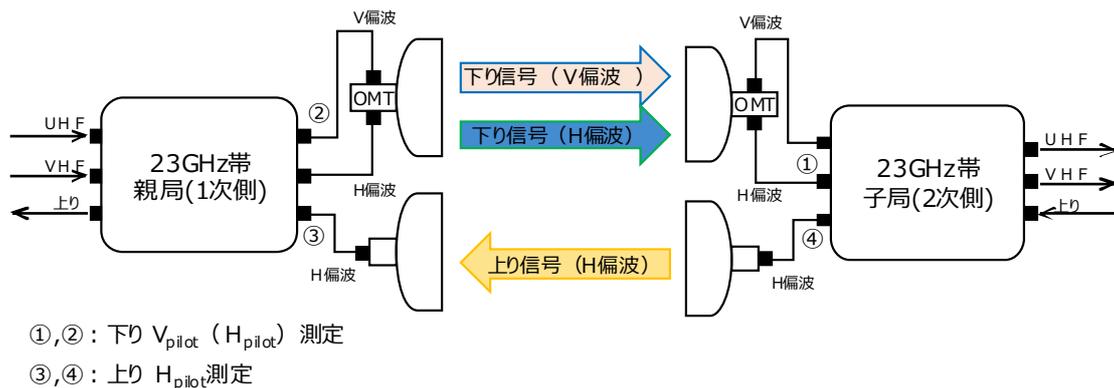


図 4-41 アンテナ方向調整における測定系統

4.8.2.3. 調整結果

調整作業を行った結果、1時間程度で方向調整を完了させることができたが、課題として次の2点があげられた。

- ①アンテナ設置位置と無線機設置位置が 2m 程度離れていることにより、アンテナ調整者とスペクトラムアナライザを確認する作業者が別に必要であった。
- ②スペクトラムアナライザを確認・読み上げる作業者と調整者との間でタイミングのズレ発生してしまい、タイムリーにレベルのピークに合わせることができず、調整に時間を要した。

これらの課題に対して受信レベルインジケータを導入することで解決することを検討し、試作を行った。試作したインジケータについては 4.9 項に記載する。

4.8.3. OMT 調整

4.8.3.1. 28 年度製作 OMT による調整方法

アンテナ方向調整後、親局（1次側）より、2つの無変調信号（Pilot 信号）をそれぞれ垂直偏波（23,281.25MHz）と水平偏波（23,343.75MHz）で送信させる。子局（2次側）の OMT の垂直偏波用のポートにスペクトラムアナライザ（MS2726C：アンリツ製）を接続し、2つの無変調信号のレベルを測定し、その D/U 比が最大となるよう図 4-42 の通り OMT を調整する。

上記調整後、OMT の水平偏波用のポートにスペクトラムアナライザを接続し、2つの無変調信号のレベルを測定し、その D/U 比が劣化していないことを確認する。

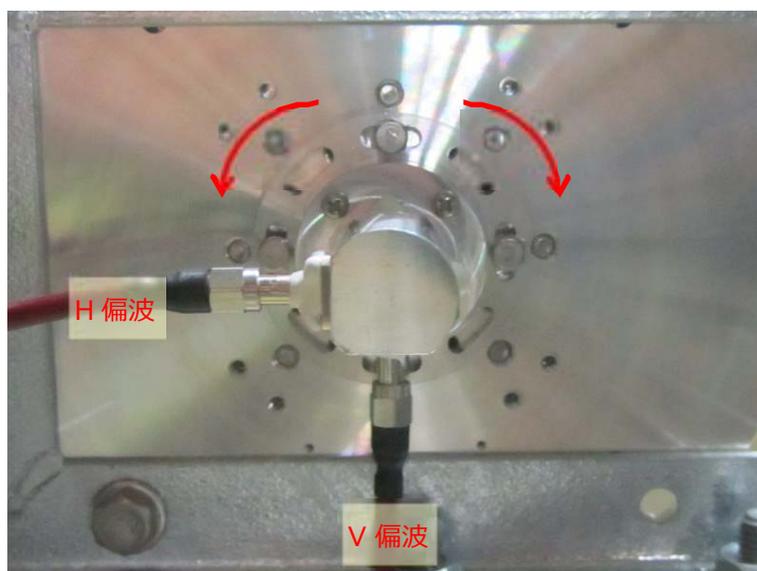


図 4-42 OMT 調整部

4.8.3.2. 28 年度製作 OMT を用いた調整結果

調整結果を以下の表 4-8 に示す。

調整前、左一杯に回した状態、右一杯に回した状態の 3つの状態を測定してから調整を行った。表記上途中の調整記載は1つとしたが、水平偏波で最大となる D/U 比が取れても垂直偏波では非常に低い値となってしまう、逆に水平偏波で値を調整すると水平偏波では D/U 比が小さくなるという状況となり、両偏波で適切な値（最大の D/U 比）とするための調整に時間を要した。また、図 4-43 に示す OMT を固定しているネジを締め付ける際の微

細なずれによっても値が変動し、測定も含めると調整に4時間以上を要する長時間の作業となったが、調整前より1dBの改善とすることができた。

表 4-33 OMT 調整記録

| 測定箇所 | 測定周波数 [MHz] | 調整前 | 右一杯 | 左一杯 | 調整 | 調整後 |
|---|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| V _{PT} -V _{out} [dBm] | 23,281.25 | -58.7 | -58.5 | -58.5 | -58.3 | -57.6 |
| H _{PT} -V _{out} [dBm] | 23,343.75 | -93.6 | -74.1 | -76.0 | -90.7 | -93.5 |
| D/U 比 [dB] | | 34.9 | 15.6 | 17.5 | 32.4 | 35.9 |
| V _{PT} -H _{out} [dBm] | 23,281.25 | -57.4 | -57.4 | -57.5 | -57.3 | -56.3 |
| H _{PT} -H _{out} [dBm] | 23,343.75 | -93.2 | -74.4 | -73.2 | -97.7 | -93.4 |
| D/U 比 [dB] | | 35.8 | 17.0 | 15.7 | 40.4 | 37.1 |

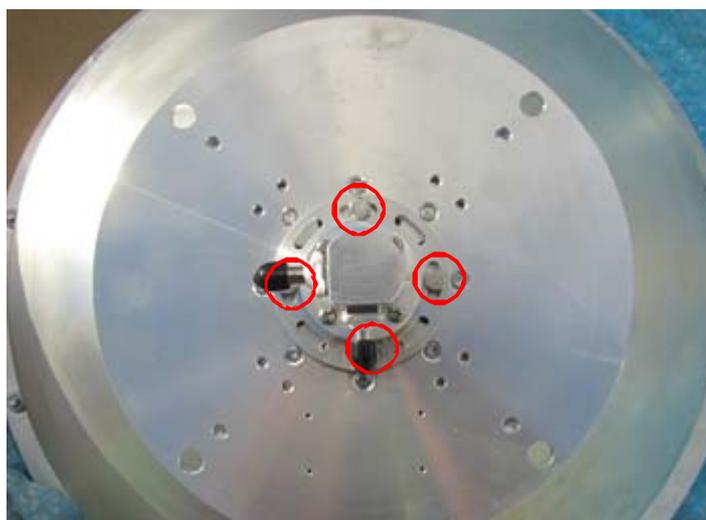


図 4-43 アンテナ背面 OMT 固定ネジ (4 か所)

4.8.3.3. 考察

測定結果記載の通り OMT の調整について想定以上の時間がかかる結果となった。原因としては片方の偏波を調整するともう一方の偏波で値が変わってしまうこと、OMT 固定のネジを締めこむときに微妙なずれが発生することが大きな要因である。本内容について検討委員会で報告したところ OMT の調整機構について改善が必要とのご意見を頂いたことか

ら、調整方法についての見直しと検討を行い、新たな調整機構付き OMT(以後、分離型 OMT)の試作を行った。

4.8.3.4. 分離型 OMT

4.8.3.3 の考察を受け、より簡易な操作で調整が可能な機構とするため再度試作を行った。新たな機構として OMT の水平偏波、垂直偏波をそれぞれ独立した部品構成とし、水平・垂直偏波ポート間に角度調整機能を設けることで、水平・垂直偏波間の角度調整が可能となり、短時間での微細な調整が可能な機構とした。また、分離した OMT 間は O リング設置溝を設け防水性を確保している。新規試作した OMT を図 4-44、図 4-45 に示し、仕様を表 4-34 に示す。

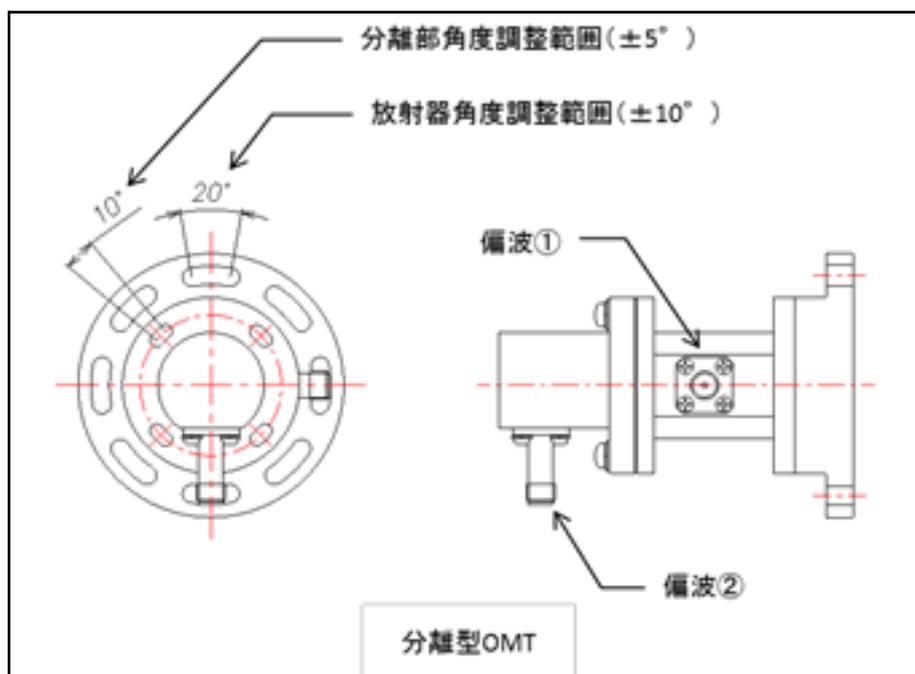


図 4-44 分離型 OMT 外観図



図 4-45 新規 OMT (左 : 組み合わせ状態、右 : 分離状態)

表 4-34 分離型 OMT 仕様

| 項目 | 仕様 | 備考 |
|---------------|----------------|---------------|
| インタフェース(V 偏波) | SMA-J 型 | 50Ω |
| インタフェース(H 偏波) | SMA-J 型 | 50Ω |
| インタフェース (複偏波) | WRI220 | φ 9.4mm 円形導波管 |
| 周波数範囲 | 23200~23600MHz | |
| 挿入損失 | 1dB 以下 | |
| 偏波間結合量 | -40dB 以下 | |
| VSWR | 1.4 以下 | |

4.8.3.5. 調整方法

分離型 OMT を用いた調整方法については 4.8.3.1 とほぼ同様の手順となるが、調整が 2 段階となる点が異なる。

まず親局（1次側）より、2つの無変調信号（Pilot 信号）をそれぞれ垂直偏波（23,281.25MHz）と水平偏波（23,343.75MHz）で送信させる。アンテナ本体と固定されている箇所（図 4-46 内の第一段階固定ネジ）を緩めた状態で分離型 OMT の水平偏波ポートにスペクトラムアナライザ（E4440A：アジレント製）を接続しレベルが最大となるところで仮止めを行い、次に垂直偏波のレベル測定を行う。DU 比が最大となるところでネジを締めこみ固定する。次に第一段階で測定したレベルの高い方の偏波を測定しながら分離型 OMT 中央のネジ（図 4-46 内の第二段階固定ネジ）を緩めた状態にて第二段階の調整を行い、DU 比が最大となるところでネジを締めこみ固定する。最後に垂直・水平偏波それぞれのレベル測定を行い D/U 比を測定する。

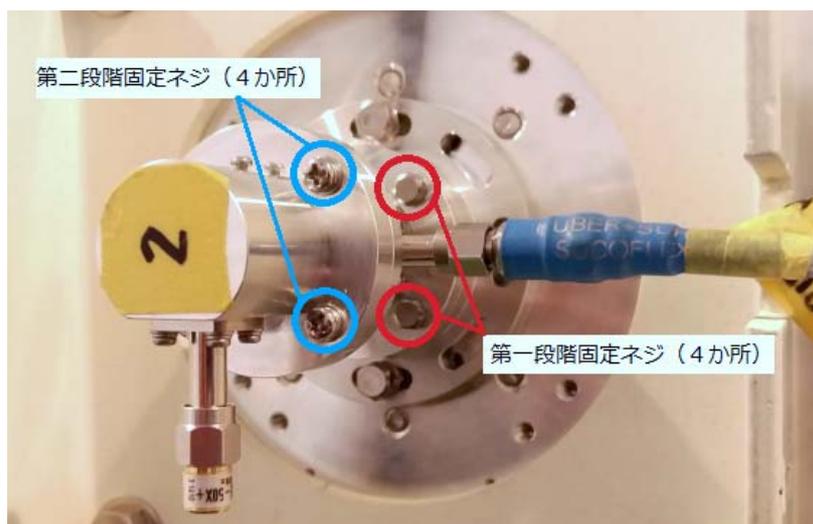


図 4-46 分離型 OMT における調整作業

4.8.3.6. 調整結果

分離型 OMT を用いて電波暗室にて調整を行い、調整結果と調整に要する時間を測定した。

調整結果を表 4-35 に示し、測定時のスペクトラムアナライザの表示を図 4-47 と図 4-48 に示す。本結果より D/U 比はそれぞれ 41.55dB、43.42dB を確保することができた。また、その調整にかかった時間は 10 分程度であり、試験フィールドで実施した 28 年度製作の OMT を用いた調整と比較して 1/10 以下の時間での調整を行うことができた。これは OMT を分離機構とすることにより第一段階の調整で大よその値を決めることができ、微細な調整を後に回せること、第二段階の微細な調整時において第二段階固定ネジが手前に配置されており、締め込みによるずれが出にくい機構としたことが大きく影響している。

表 4-35 分離型 OMT 調整結果

| 測定箇所 | 測定周波数[MHz] | レベル[dBm] | D/U 比[dB] |
|-----------------------------------|------------|----------|-----------|
| V _{PT} -V _{out} | 23,281.25 | -73.73 | 41.55 |
| H _{PT} -V _{out} | 23,343.75 | -32.18 | |
| V _{PT} -H _{out} | 23,281.25 | -75.79 | 43.42 |
| H _{PT} -H _{out} | 23,343.75 | -32.37 | |

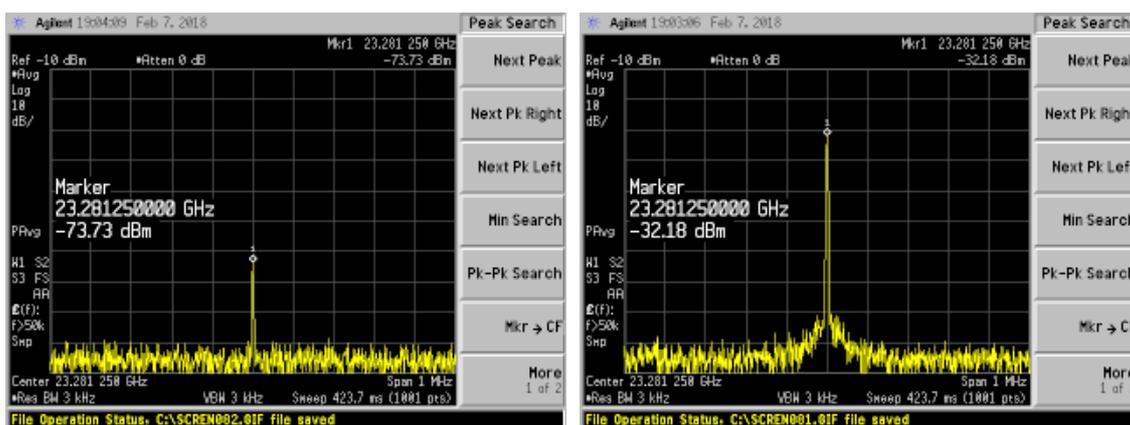


図 4-47 23,281.25MHz での測定結果

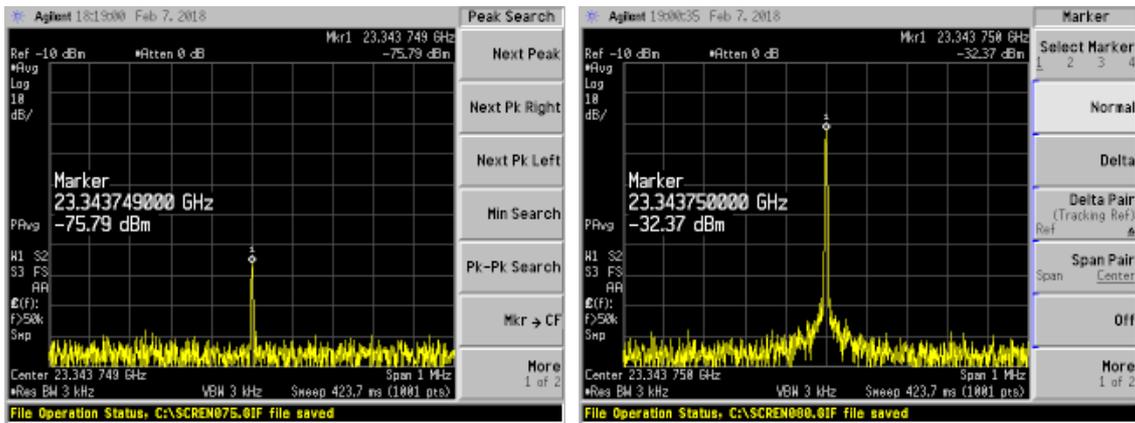


図 4-48 23,3437.5MHz での測定結果

4.8.3.7. 分離型 OMT 評価

4.8.3.7.1. 挿入損失、偏波間結合量、電圧定在波比

試作した分離型 OMT について、図 4-49 に示す通り 2 個を直結した状態にして測定・評価を実施した。測定した挿入損失および偏波間結合量を表 4-36、図 4-50 と図 4-51 に、電圧定在波比 (Voltage Standing Wave Ratio、以下 VSWR) を表 4-37 と図 4-52 に示す。なお図表中の番号は図 4-49 で示すポート番号を指す。

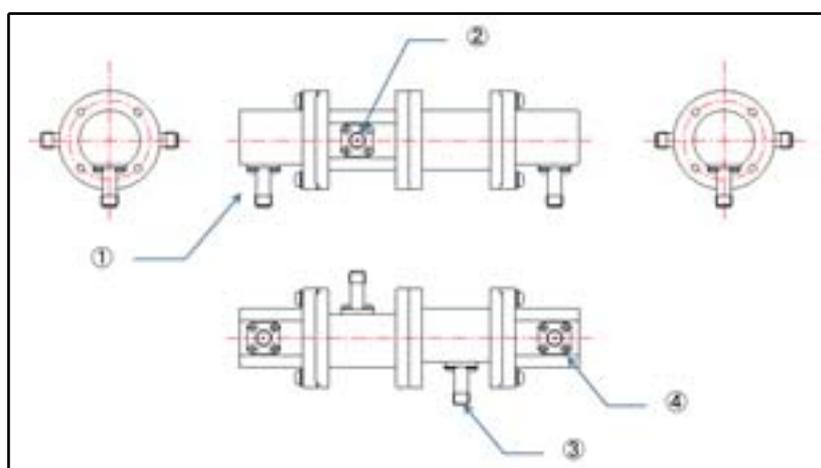


図 4-49 分離型 OMT 接続評価構成

表 4-36 分離型 OMT 挿入損失と偏波間結合量

| | 挿入損失(dB) | | 偏波間結合量(dB) | | | |
|-------|----------|-------|------------|--------|--------|--------|
| | 1-4 | 2-3 | 1-2 | 3-4 | 1-3 | 2-4 |
| 帯域内最大 | -0.56 | -0.22 | -68.23 | -50.30 | -49.74 | -59.44 |
| 帯域内最小 | -0.53 | -0.21 | -52.50 | -49.05 | -49.02 | -51.60 |
| 帯域内平均 | -0.54 | -0.22 | -58.48 | -49.62 | -49.49 | -55.30 |

※挿入損失は2個直結の合計値

表 4-37 分離型 OMT VSWR

| | VSWR | | | |
|-------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 帯域内最大 | 1.08 | 1.09 | 1.14 | 1.08 |

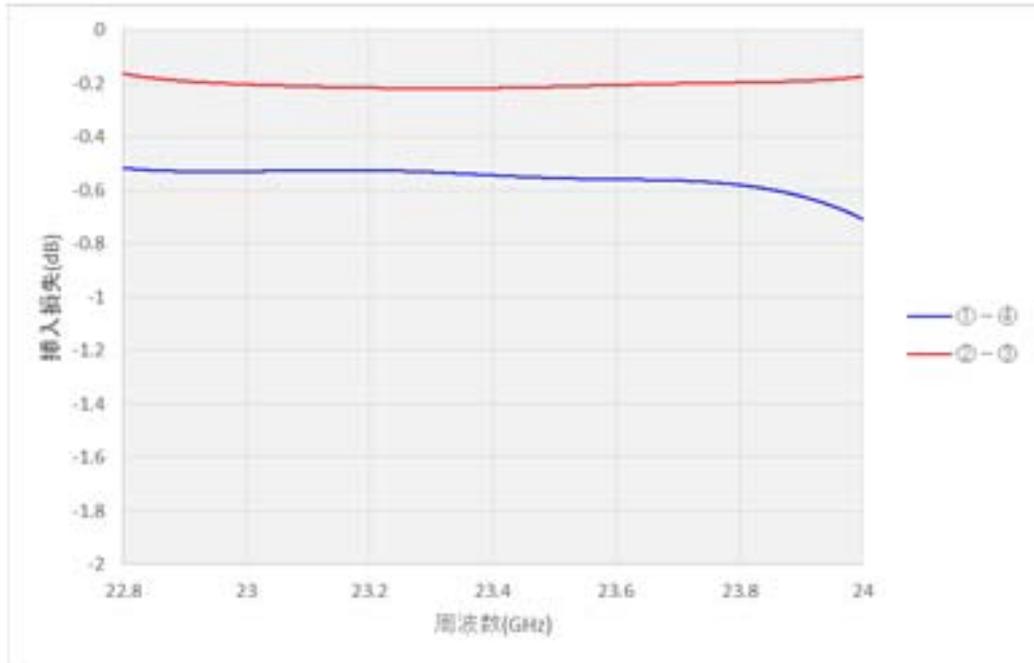


圖 4-50 分離型 OMT 插入損失

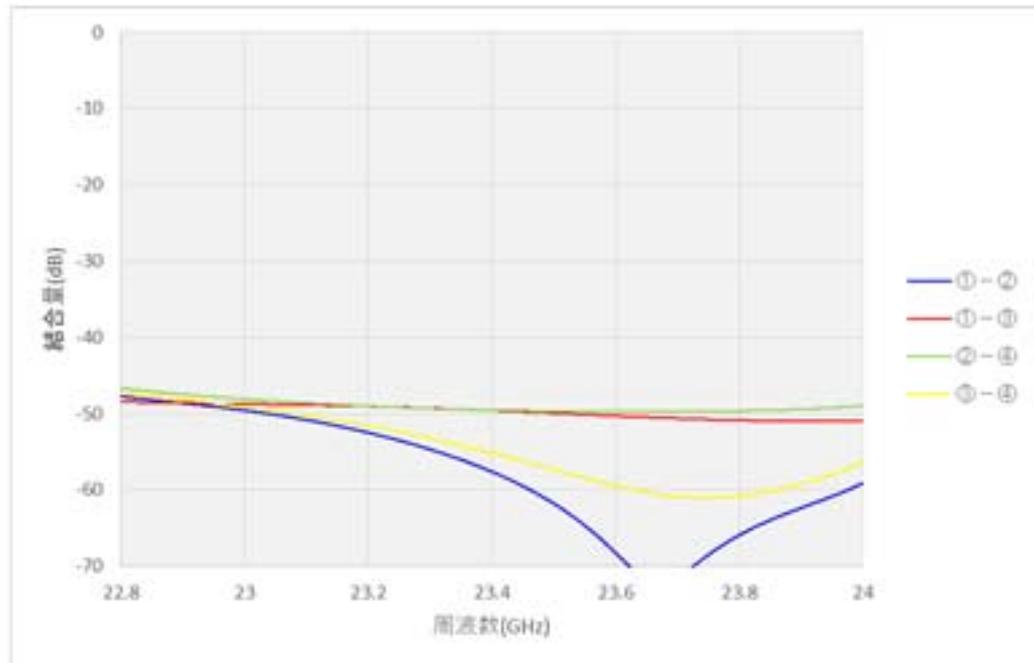


圖 4-51 分離型 OMT 偏波間結合量

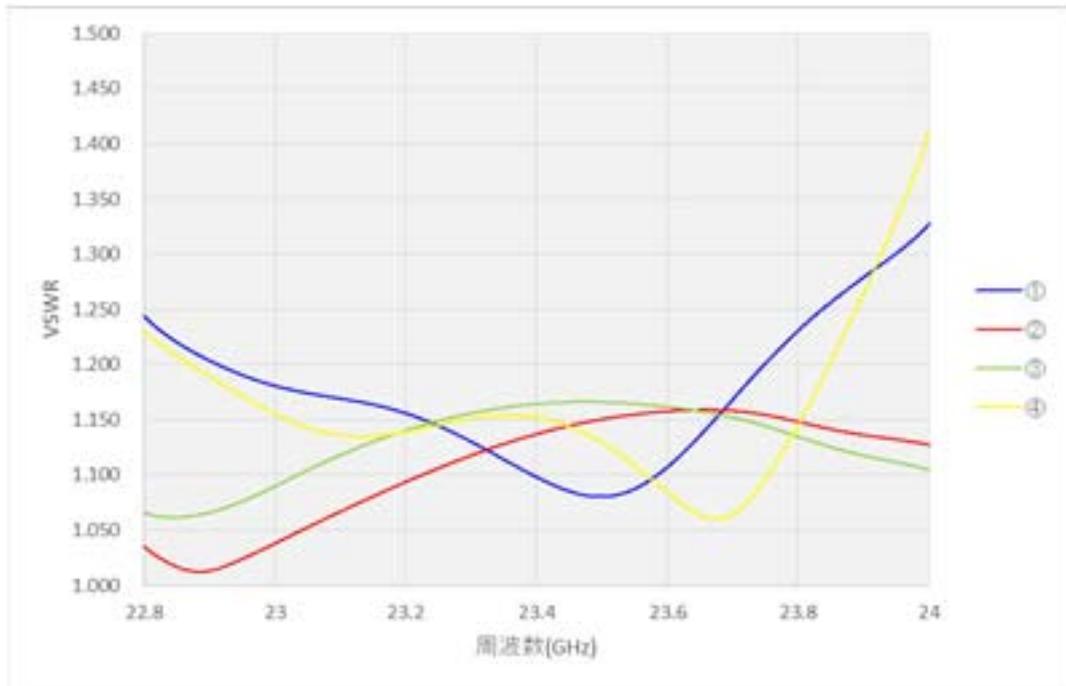


圖 4-52 分離型 OMT VSWR

4.8.3.7.2. 交差偏波識別度評価

試作した分離型 OMT を H28 年度に試作した 0.3m 径パラボラアンテナに接続し、交差偏波識別度 (Cross Polarization Discrimination、以下 XPD) の評価を行った。評価構成は図 4-53 の通り、1 次側アンテナに H28 年度製作の OMT を、2 次側アンテナに分離型 OMT を接続し、1 次側の V 偏波と H 偏波それぞれの偏波面から、UHF と VHF に相当するマイクロ波帯信号を同レベルで出力し、2 次側の分離型 OMT の V 偏波と H 偏波のそれぞれのポートで V/H、H/V のレベル差を確認しながら調整する。偏波面の調整を行った後、XPD の測定を実施した。測定結果を表 4-38 と図 4-54 に示す。

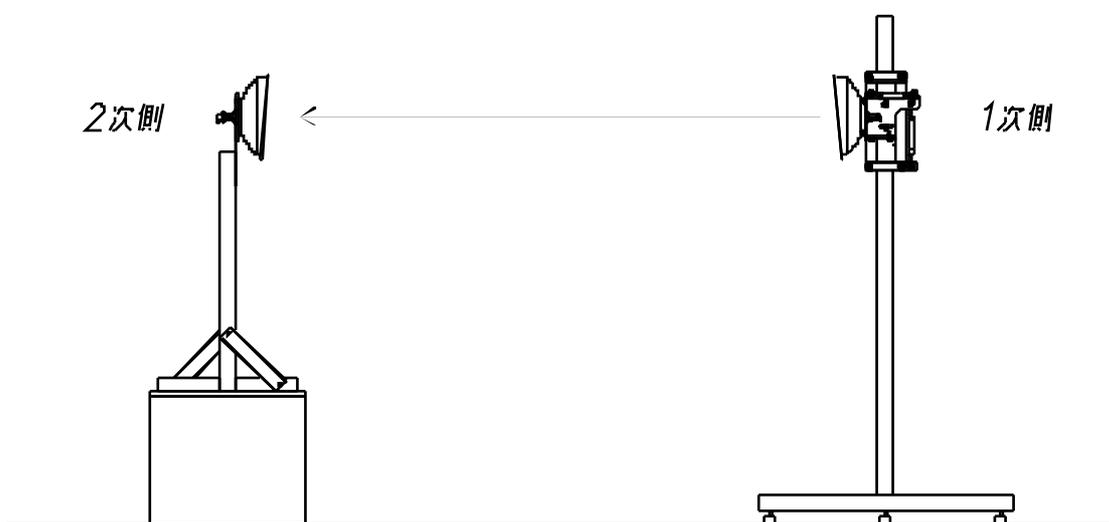


図 4-53 XPD 評価構成図

表 4-38 XPD 測定結果

| | XPD(dB) | |
|-------|---------|--------|
| | H-V 偏波 | V-H 偏波 |
| 帯域内最大 | -38.8 | -38.6 |
| 帯域内最小 | -45.7 | -48.5 |
| 帯域内平均 | -40.8 | -41.9 |

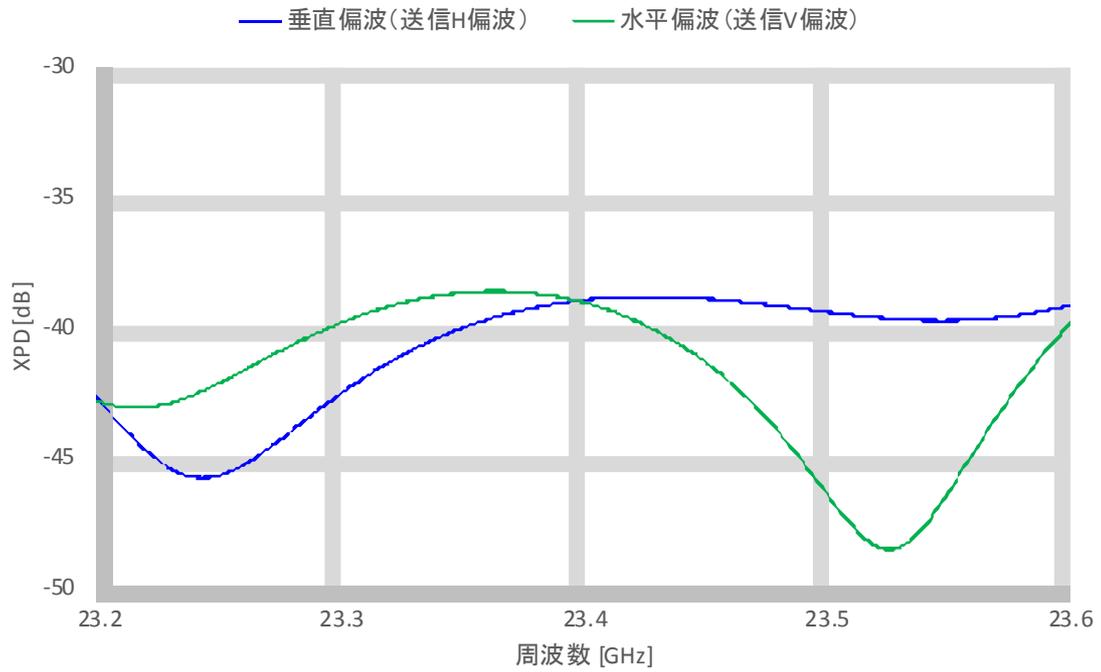


図 4-54 XPD 測定結果

分離型 OMT を用いたときの XPD 性能は、38dB 以上を実現できた。平成 28 年度に試作した一体型の OMT を用いたときの XPD 性能 (図 4-55 参照) が 35dB 以上であること考慮すると、3dB の改善となった。

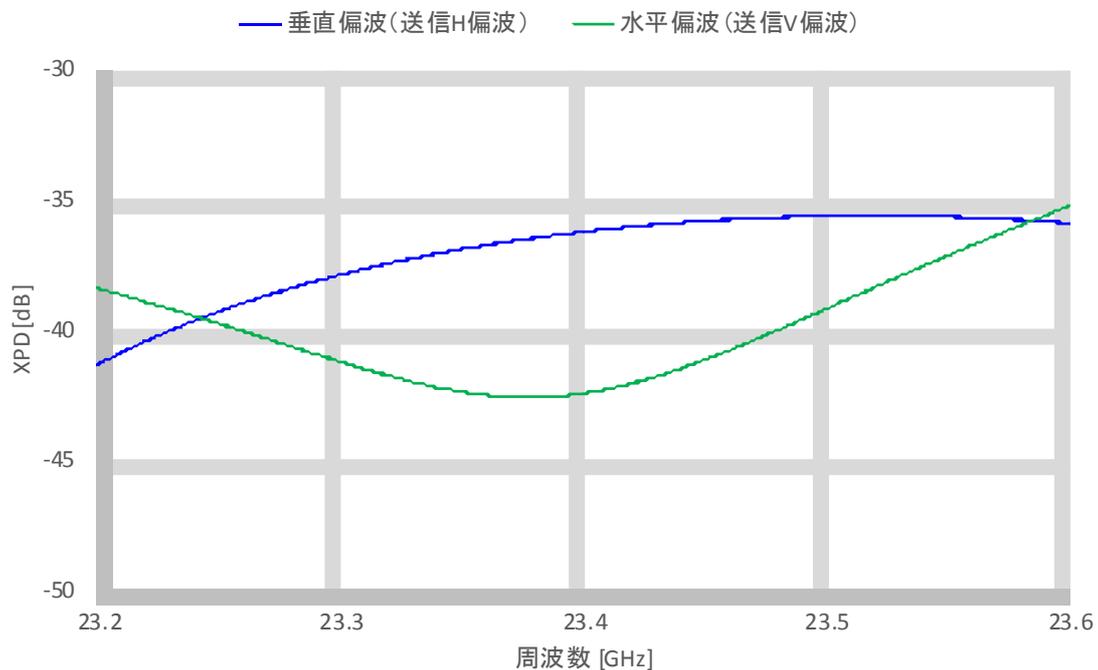


図 4-55 XPD 測定結果 (H28 年度製作 一体型 OMT 接続時)

4.8.4. まとめ

アンテナ調整機構の仕様、及び OMT の調整機構を変更したことで、交差偏波識別度の改善と調整時間の大幅な短縮を実現することができた。フィールド試験では実施期間の関係から平成 28 年度製作の OMT を使用したが、調整に多くの時間を要するという課題に対し、分離型 OMT を使用することで調整時間を 1/10 程度まで改善することができた。

また、XPD 性能についても、平成 28 年度製作の OMT を接続したときよりも約 3dB 程度の改善を実現できた。

なお、分離型 OMT の調整機構については、微調整が細かくできるよう操作の棒を取り付ける等の意見を検討委員会で頂いたことから、より操作の行いやすい機構を検討することが課題となる。

4.9. レベルインジケータの製作

4.9.1. 目的

4.8.2.3 で記載した通り、①アンテナの方向調整において調整人員が複数名必要となること、②スペクトラムアナライザを確認する人員と方向調整者が別になることからタイムリーに調整できず時間を要することが課題としてあげられたため、これを解決することを目的とする。

4.9.2. レベルインジケータの製作

本課題を解決する方法として、図 4-56 に示す現行無線装置に採用されているレベルインジケータを使用することとした。これは現行無線装置の子局（2次）側装置に設置されており、親局（1次）側からの無変調信号（Pilot 信号）の受信レベルをLEDの点灯数で表示するものである。本レベルインジケータを用いることで、スペクトラムアナライザ等の測定器を必要とせず受信レベルを容易に確認可能としている。



図 4-56 現行無線装置のインジケータ

現行無線装置では、アンテナと無線装置が一体であることからレベルインジケータを確認しながら調整を行うことができるが、インジケータを確認できる位置（筐体の背面部）での調整が必要であり、設置状況によっては作業し辛いことも考えられる。

また、今回試作した双方向型 23GHz 帯無線システムでは、アンテナ分離型であることから筐体にレベルインジケータを実装してしまうとインジケータを確認する人と調整する人

が別になり今回の課題解決には至らない。

これらの課題を解決するために、アンテナ調整者が手元でレベルインジケータを確認できるよう、図 4-57 に示す通り無線機本体と別構成として試作を行った。図 4-59 に無線機本体との接続を示す。



図 4-57 レベルインジケータ外観

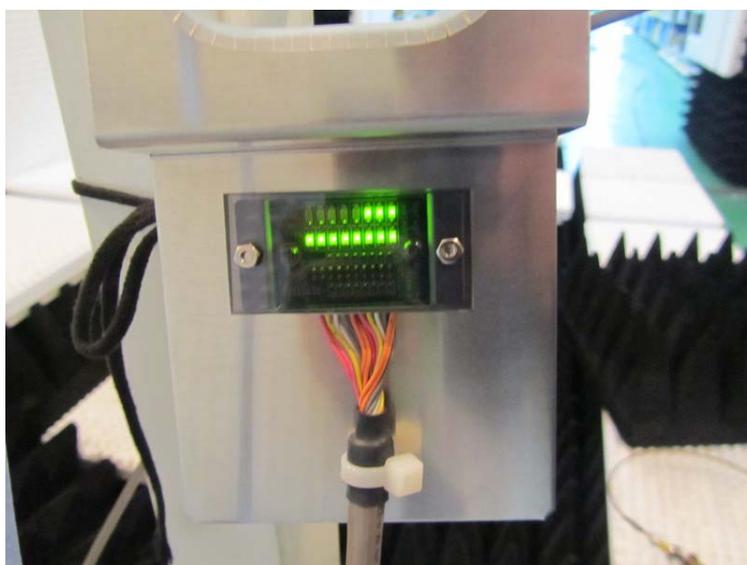


図 4-58 レベルインジケータ表示状態

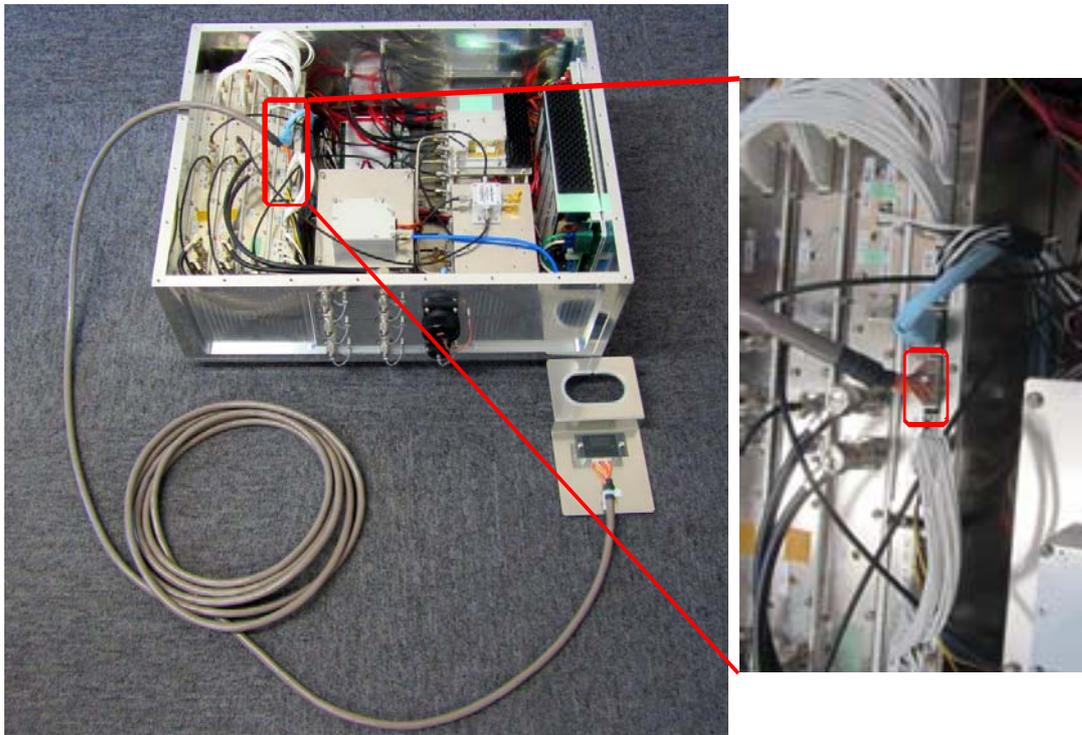


図 4-59 インジケータ接続箇所

4.9.3. 調整結果

レベルインジケータを試作したことにより調整における時間が1時間程度から30分程度とすることができた。現行無線装置におけるインジケータについて、好評価を頂いていることから本インジケータの有用性は高いものであると考える。本レベルインジケータの導入により、アンテナ方向調整者が直接レベルを確認しながら調整することができ、作業時間の短縮と調整作業員の人数削減が可能となる。

本インジケータは16個のLEDで構成され、1つのLEDが3dBステップに相当する。表示範囲は表4-39に示す通り-37dBm～-82dBmまでの表示が可能である。

これにより現地にスペクトラムアナライザなどの測定器を持ち込まずとも調整が可能になり、無線システム導入時の利便性向上に大きく寄与すると考えられる。

今回製作したレベルインジケータは試作品であり、アルミ板に基盤を直接取り付けたものであることから防塵・防水性能が確保されていない。そのため屋外、特に悪天候時の調整などにも耐えうる筐体を作成することが課題となる。

さらには無線機本体との接続についても、筐体内部に接続ポートを備えていることから一度筐体の蓋を開ける必要があり、筐体の外から容易に接続できるよう屋外用のコネクタを別途設けるなどの利便性向上についても検討を行う必要がある。

表 4-39 無線機入力レベルと LED 点灯数

| Pilot信号 無線機入力レベル [dBm] | | | | LED | | | | | | | | 点灯数 | |
|------------------------|----|-------|-------|-----|---|---|---|---|---|---|---|-----|----|
| -37 | <= | LEVEL | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | 16 |
| -40 | <= | LEVEL | < -37 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ○ | 15 |
| -43 | <= | LEVEL | < -40 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ | ○ | 14 |
| -46 | <= | LEVEL | < -43 | ● | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | 13 |
| -49 | <= | LEVEL | < -46 | ● | ● | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 12 |
| -52 | <= | LEVEL | < -49 | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 11 |
| -55 | <= | LEVEL | < -52 | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 10 |
| -58 | <= | LEVEL | < -55 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 9 |
| -61 | <= | LEVEL | < -58 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 8 |
| -64 | <= | LEVEL | < -61 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 7 |
| -67 | <= | LEVEL | < -64 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 6 |
| -70 | <= | LEVEL | < -67 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 5 |
| -73 | <= | LEVEL | < -70 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 4 |
| -76 | <= | LEVEL | < -73 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 3 |
| -79 | <= | LEVEL | < -76 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 2 |
| -82 | <= | LEVEL | < -79 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 1 |
| | | LEVEL | < -82 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 0 |

4.10. フィルタ製作

本 23GHz 帯無線伝送システムは、上り信号 (15MHz~65MHz) と下り信号 (90MHz~770MHz) を伝送するために、下り信号を VHF 帯 (90MHz~402MHz) と UHF 帯 (402MHz~770MHz) の 2 つに分離し、外部インタフェースとして、上りポート、VHF ポート、及び UHF ポートの 3 つの入出力端子をもつ仕様となっている。下り信号については、親局 (1 次) 側の入力部で VHF 帯と UHF 帯それぞれに分離 (子局 (2 次) 側では合成) する必要があることから、フィールド試験を行うに当たり、UHF/VHF の分波フィルタの試作を行った。また、上り/下りの分波器についても、上りの通過帯域が既製品のものとは異なることから、併せて試作を行った。

4.10.1. 上り/下り分波フィルタ

4.10.1.1. 目的

CATV における上り/下り分波器 (フィルタ) については、上り信号 (10~55MHz) と下り信号 (70~2610MHz) を分派する既製品が存在する。本フィールド試験では、既製品を用いても伝送上問題はないが、本 23GHz 帯無線伝送システムの仕様に合ったフィルタ、及び今後 CATV における上り信号周波数帯の拡張を想定し、上り信号 (10~65MHz) と下り信号 (70~2610MHz) を分ける分波器を試作することを目的とする。

4.10.1.2. 性能

試作した上り/下り分波フィルタにおける外観図を図 4-62 に示し、Common-High Path 間 (下り方向) の性能を図 4-60、Common-Low Path 間 (上り方向) の性能を図 4-61 に示す。

65MHz における下り信号の抑圧性能は約 54.7dB となり、上り信号の通過損失性能は約 0.7dB という結果になった。

試作した上り/下り分波フィルタをフィールドに設置して試験を実施し、伝送性能上問題ないことを確認した。

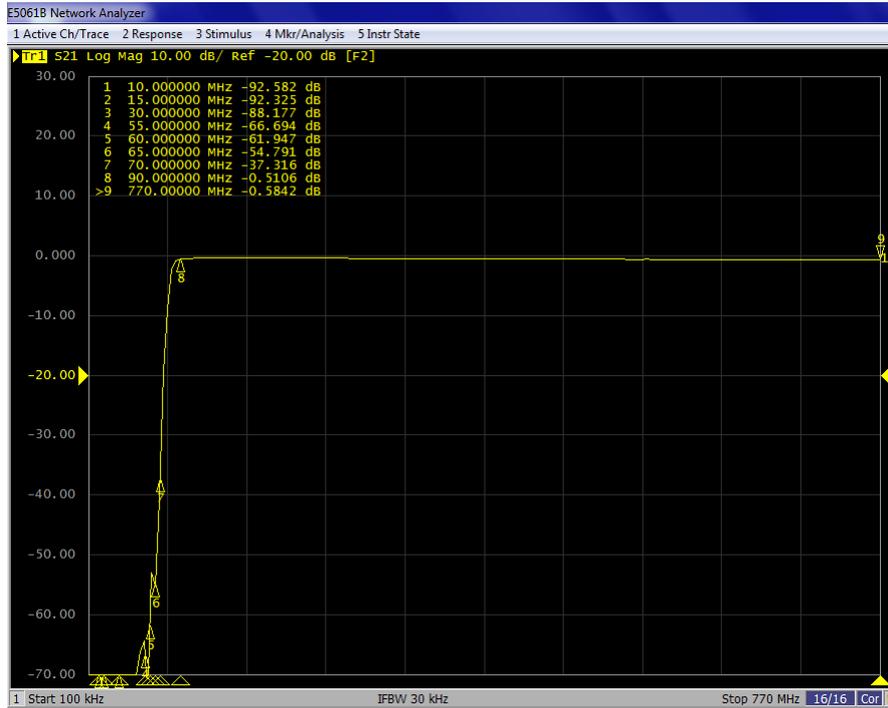


図 4-60 上り/下り分波フィルタ Common-High Pass 間

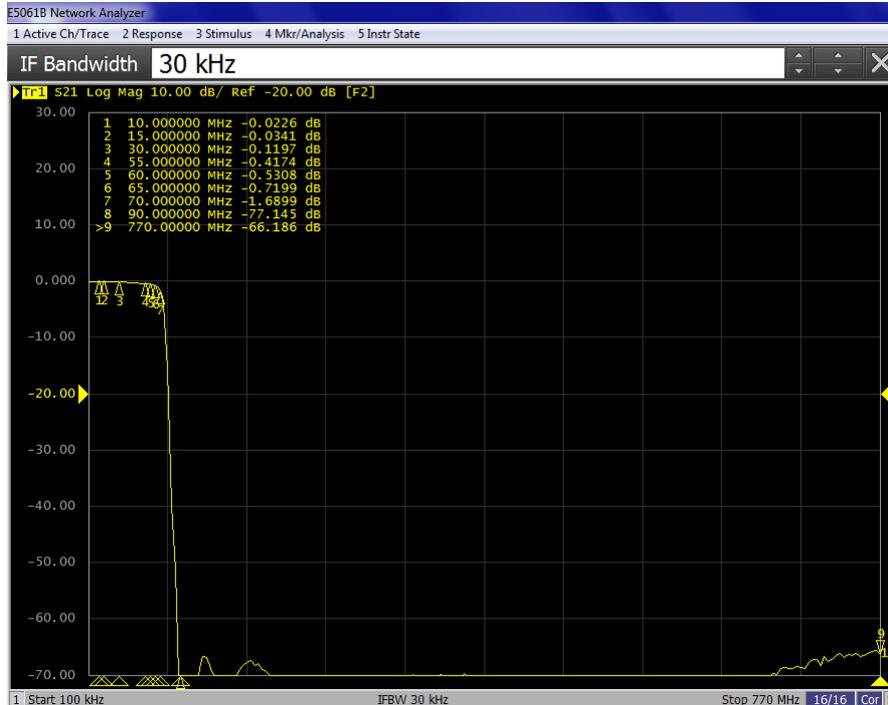


図 4-61 上り/下り分波フィルタ Common-Low Pass 間



図 4-62 上り/下り分波フィルタ外観図

4.10.2. UHF/VHF 分波フィルタ

4.10.2.1. 目的

本 23G 帯無線伝送システムは、下り信号のうち 90MHz～402MHz の信号を水平偏波 (H 偏波)、402MHz～770MHz の信号を垂直偏波 (V 偏波) で伝送するシステムであり、無線伝送前 (23GHz 帯無線親局 (1 次側) 装置の入力時) に VHF 帯 (90MHz～402MHz) と UHF (402MHz～770MHz) に分ける分波フィルタが必要になる。402MHz の周波数で分波するためには、急峻な特性を持つフィルタを利用することとなるが、フィルタの特性上、402MHz 前後の隣接チャンネルに影響を与えてしまうことは避けられない。

そのため平成 28 年度の成果報告書に記載されている通り、信号品質、及び電波法に考慮して、23GHz 帯無線親局 (1 次側) 装置の入力信号で対象となる帯域を十分抑圧することとし、VHF 帯で 90MHz～384MHz を、UHF 帯で 420MHz～770MHz を通過させる性能を持つフィルタ (VHF/UHF 分波フィルタ) を製作することを目的とする。

4.10.2.2. 性能

試作した VHF/UHF 分波フィルタにおける Common-High Path 間 (420MHz～770MHz) の性能を図 4-63 に、Common-Low Path 間 (90MHz～384MHz) の性能を図 4-64 に示し、外観を図 4-65 に示す。なお、今回無線装置の小型化を実現する必要から、無線装置と別に設置することを前提として試作を行っている。

VHF/UHF 分波フィルタにおける抑圧性能は、VHF 帯通過時の 420MHz において約 73dB、UHF 帯通過時の 394MHz において約 66dB の性能を実現できた。また、402MHz の周波数における抑圧性能についても、VHF 帯で約 46dB、UHF 帯で約 51dB を実現しており、23GHz へのアップコンバート時における平均電力が -10dBm/MHz となることから、402MHz を境に伝送信号が存在し場合でも帯域外領域におけるスプリアス発射の規定値を満足できると考える。

試作した VHF/UHF 分波フィルタをフィールドに設置して試験を実施し、伝送性能上問題ないことを確認した。

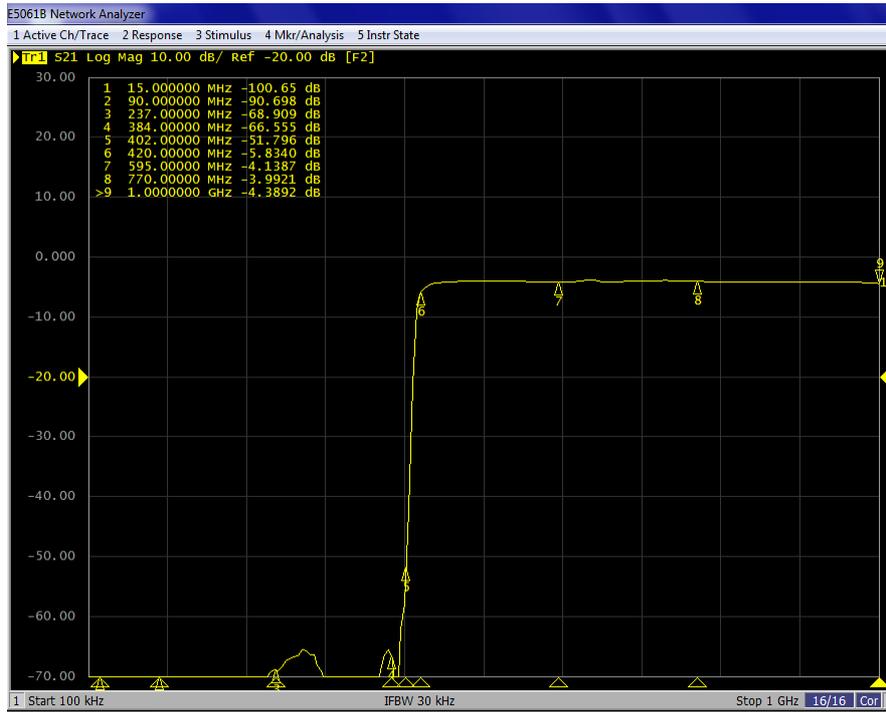


図 4-63 VHF/UHF分波フィルタ Common-High Pass 間(402MHz~770MHz)

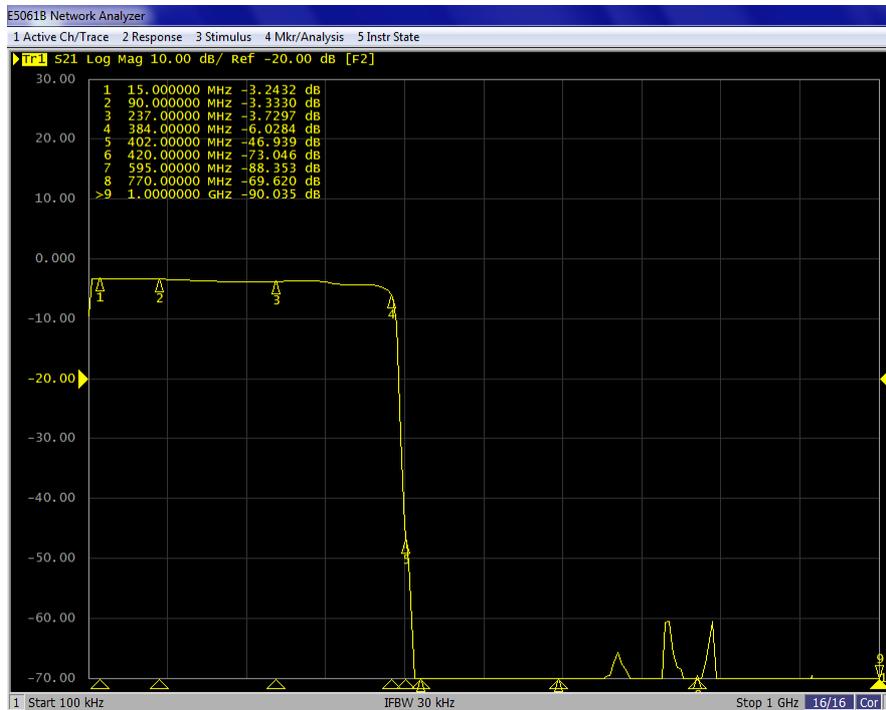


図 4-64 VHF/UHF分波フィルタ Common-Low Pass 間(90MHz~402MHz)



図 4-65 UHF/VHF分波フィルタ外観図 (左 : 外観、右 : 入出インターフェース部)

5. 調査検討の成果と課題

5.1. 調査検討の成果

本調査検討では、FDM-SSB方式による23GHz帯無線伝送システムにおいて、現状の帯域内（23.2GHz～23.6GHzの400MHz帯域幅）でケーブルテレビ事業者が提供するサービス全体を伝送可能とするために、垂直偏波と水平偏波を偏波多重によって同時に用いることで周波数利用効率を2倍にし、システムの双方化を図り、現行の変調方式と比較して伝送速度換算で周波数利用効率を約70%向上させる高度な変調方式を導入するための技術的条件を取得することと目的として、23GHz帯無線伝送システムにおける偏波多重技術、双方向化技術、変調方式高度化技術及び小型・軽量化について検討を行い、平成28年度調査検討において試作した双方向機能付23GHz帯無線伝送システムをフィールドに設置して試験を実施した。

また、調査検討を進める中で発生した課題への取り組みや小型・軽量化についても検討を進めた。

本調査検討で試作した無線伝送装置により、以下のような成果を得た。

- (1) 平成28年度の調査検討で試作した交差偏波識別度（XPD）を改良したパラボラアンテナ、及び偏波分離器（OMT）と双方向機能付23GHz帯無線伝送システムをフィールドに設置し、無線伝搬試験を実施してデジタルケーブルテレビ信号（OFDM、64QAM、256QAMなど）を偏波多重伝送できることを確認した。
- (2) 平成28年度の調査検討で試作したアンテナ、OMT、及び無線伝送装置を用いてケーブルインターネット通信（DOCSIS3.0）の無線伝送試験を実施し、アンテナ間の回りこみ量を90dBとしたときの信号の疎通（PING試験）及びスループットに問題がないことを確認した。
- (3) 平成28年度の調査検討で試作した双方向機能付23GHz帯無線伝送システムをフィールドに長期間設置し、降雨等によるC/N比やXPDの劣化等を評価した。期間を通じて想定した降雨（1分間降雨量：1.33mm/分）は観測されず、C/N比とXPD共に大きな劣化はなかった。

- (4) デジタルケーブルテレビ信号のうち、256QAM や高度な変調方式(J.382)に係る CN 比と C/I 比、並びに XPD や OMT の性能について検討・評価を行い、CN 比と C/I 比については表 5-1 のような値を算出した。同基準は偏波多重伝送する場合でもその劣化量を考慮して満足すべき値となる。XPD や OMT については今回試作した性能 (XPD : 37dB、OMT 偏波間結合量 : -50dB) 程度あれば偏波多重伝送が可能であることが分かった。XPD については偏波多重による劣化量が想定より少ないため、同一レベルで伝送する場合は、無線伝送路性能以上であれば問題ないと考えられる。技術基準としては 3dB 程度マージンをとることが望ましいが、あまり高い性能を規定すると製作が難しくなるため考慮する必要がある。また、レベル差伝送する場合の性能については、同一レベルよりも高い性能が必要になるが、所要値については更なる検討が必要である。

表 5-1 [C/N]0、及び C/I 値 (技術基準)

| | OFDM | 64QAM | 256QAM | J.382 | | | |
|------------------------|--|-------|--------|--------|---------|------------------------|------------------------|
| | | | | 256QAM | 1024QAM | 4096QAM 符号化率 4/5 | 4096QAM 符号化率 5/6 |
| 無線伝送路性能 [dB] | 27.0 | 29.0 | 36.0 | 29.0 | 36.0 | 41.0 | 45.0 |
| [C/N]0 [dB] | 27.1 | 29.2 | 36.3 | 29.2 | 36.3 | 41.6 | 46.0 |
| C/I [dB] | 42.0 | 42.0 | 48.0 | 42.0 | 48.0 | 50.0 | 52.0 |
| XPD [dB] | 各無線伝送性能+3dB とすることが望ましいが、レベル差伝送する場合にはより高い性能が必要になる。 | | | | | | |
| OMT 偏波間 結合量 [dB] | -50dB 以上 接続するアンテナ性能 (XPD 性能) が支配的であり、XPD 性能以上であれば問題ないとする。 | | | | | | |

- (5) フィールドへの導入時に必要となる交差偏波識別度 (XPD) の調整について、OMT に新たな調整機構を実装し、半日程度かかっていた調整時間を大幅に短縮した。また、

アンテナの面合せ(リンク調整)においても、外付けのレベルインジケータを試作し、導入時間の短縮を実現した。

- (6) 従来の片方向の無線装置と比較すると、実装すべきモジュールは単純計算で3倍となり、それに合わせた装置サイズ、重量、電源容量が必要となるが、平成28年度に試作した双方向機能付23GHz帯無線伝送システムの実装モジュールの配置や配線等を見直すことで小型化を実現させ、現行の無線装置の容積比で147%となり、更なる小型化を達成した。
- (7) 実装モジュールの配置や配線等を見直すことにより実現した小型化をベースに筐体の試作を実施し、現行の質量比で、23GHz帯無線親局(1次側)が133.8%、23GHz帯無線子局(2次側)が128.8%となり、3倍以下に抑え軽量化を達成した。

5.2. 今後の課題

- (1) C/N比とCI比の技術基準については、各種技術基準を参考にして性能配分を行い、策定することができたが、各技術基準間の不整合については更に検討する必要がある。
また、XPDとOMTの偏波間結合量については、偏波多重の有無により所要性能が変わることと、実際の製作面に課題があることから、更なる検討が必要になる。
- (2) 降雨に関する評価については、雨の少ない時期でかつ短期間であったことから、強雨期を含めた更なる調査が必要と考えられる。
- (3) 近年、動画配信される映像の高精細化が進展しており、ケーブルテレビ事業者等は、既に平成27年から「ケーブル4K」、「ひかりTV4K」といった4K実用放送を開始しているが、さらに、平成30年12月からは、衛星放送により4K・8K実用放送が(4K18番組、8K1番組)が開始される予定である。有線放送設備として、ケーブルテレビの伝送路の一部を構成する23GHz帯無線伝送システムについては、帯域が限定されており、現在の無線通信方式では4K・8K実用放送の再放送に対応する帯域が十分でないため、4K・8K等の超高精細映像等のトラヒックの伝送を可能とするような高度化が必要とされていることから、現状の23GHz帯無線伝送システムの帯域内でケーブルテレビ事業者が、BS-IFパススルー伝送やIPマルチキャスト方式等を柔軟に利用して、FTTH等により提供する4K・8K放送等の伝送等をできるようにシステムの高度化を検討する必要があると考えられる。

6. 資料編

6.1. 用語・略語

| 略語 | 用語 |
|---------|--|
| 64QAM | 64 Quadrature Amplitude Modulation |
| 256QAM | 256 Quadrature Amplitude Modulation |
| 1024QAM | 1024 Quadrature Amplitude Modulation |
| 4096QAM | 4096 Quadrature Amplitude Modulation |
| AGC | Automatic Gain Control |
| BER | Bit Error Rate |
| CM | Cable Modem |
| CMTS | Cable Modem Termination System |
| C/N 比 | Carrie to Noise Ratio |
| DOCSIS | Data Over Cable Service Interface Specifications |
| D/U 比 | Desired to Undesired Signal Ratio |
| FDM-SSB | Frequency Division Multiplexing - Single Side Band |
| FTTB | Fiber To The Building |
| FTTH | Fiber To The Home |
| HFC | Hybrid Fiber - Coaxial |
| IF | Intermediate Frequency |
| MER | Modulation Error Ratio |
| MGC | Manual Gain Control |
| NF | Noise Figure |
| OCXO | Oven-Controlled Crystal Oscillator |
| OFDM | Orthogonal Frequency Division Multiplexing |
| OLT | Optical Line Terminal |
| OMT | OrthoMode Transducer |
| ONU | Optical Network Unit |
| QAM | Quadrature Amplitude Modulation |
| UHF | Ultra High Frequency |

| | |
|-------|---------------------------------------|
| VCXO | Voltage-Controlled Crystal Oscillator |
| VHF | Very High Frequency |
| V-ONU | Video - Optical Network Unit |
| XPD | Cross Polarization Discrimination |

6.2. 測定機材

| | 使用測定器 | | | 備考 |
|----|-----------------|------------|---------------|-----------|
| | 機器 | 型番 | メーカー | |
| 1 | 周波数カウンタ | MF2413C | アンリツ | |
| 2 | 信号発生器 | MG3700A | アンリツ | |
| | | MSD5000A | エイデン | |
| | | 3555A | エイデン | |
| | | SFC | Rohde&Schwarz | |
| 3 | QAM 変調器 | NSG9000 | 住友電工 | |
| 4 | OFDM 変調器 | MR3000X | ミハル | |
| 5 | CMTS | MA5633 | HUAWEI | |
| 6 | スイッチ | 3560CG | シスコ | |
| 7 | ケーブルモデム | CBW383G4J | シンクレイヤ | |
| 8 | スペクトラム アナライザ | E4440A | アジレント | |
| | | N9030A | アジレント | |
| | | MS2726C | アンリツ | |
| | | FPH | Rohde&Schwarz | |
| 9 | USB パワーセン サ | MA24126A | アンリツ | |
| 10 | シグナルレベルメ ータ | LF990 | リーダー電子 | |
| 11 | テスター | DSAM | VIAMI | |
| 12 | 可変アッテネータ | J7211C | アジレント | |
| | | 9012-9 | Api | |
| | | 9012-70 | Api | |
| | | 75BR023 | JFW | |
| | | 5122 | Waveline | |
| 13 | 電源供給器 | SPS-A6030U | シンクレイヤ | プラグイン機能付き |

6.3. 参考文献

1. JCTEASTD-015-4.0 FTTH 型ケーブルテレビシステム 光システム性能測定法
(一社)CATV 技術協会,2016年
2. JCTEASTD-018-3.0 FTTH 型ケーブルテレビシステム 光ネットワークの性能
(一社)CATV 技術協会,2016年
3. JCTEASTD-024-1.0 CATV 高速データ伝送装置 DCCSIS3.0
(一社)CATV 技術協会,2015年
4. 4K・8K 衛星 IF 伝送システムに関する調査研究報告書
(一社)CATV 技術協会,2015年
5. JCTEASTD-017-4.0 有線一般放送設備と同等の試験施設
(一社)CATV 技術協会,2015年
6. JCTEASTD-014-5.0 FTTH 型ケーブルテレビシステム 光ネットワークとその機器
(一社)CATV 技術協会,2013年
7. 電波法関係審査基準
(財)情報通信振興会,2016年
8. 平成 10 年度 電気通信技術審議会答申 (諮問第 102 号「有線テレビジョン放送事業用無線局の技術的条件」のうち「2.3 GHz 帯を使用する有線テレビジョン放送事業に用いる固定局の技術的条件」)
電気通信技術審議会,1998年
9. 有線テレビジョン放送事業用固定局における地上デジタル放送の伝送に関する調査検討 報告書

7. 参考資料

7.1. 23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会

7.1.1. 開催要綱

1 名称

本委員会は、「23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」と称する。

2 目的

総務省より受託した平成29年度技術試験事務「23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討」のうち、「偏波多重技術の検討」、「双方向化技術の検討」、「変調方式高度化技術の検討」、「小型・軽量化の検討」、及び試験装置において、関連する要素技術間の調整、フィールド試験、成果の取りまとめ方等調査検討全体の方針について幅広い観点から助言を頂くとともに、実際の調査検討の進め方について適宜指導を頂くことを目的に、「23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる検討委員会」を開催するものである。

3 調査検討委員会内容

- (1) 調査検討項目（偏波多重技術の検討」、「双方向化技術の検討」、「変調方式高度化技術の検討」、「小型・軽量化の検討」）、及び試験装置における要素技術間の調整
- (2) 調査検討の方針に関する助言
- (3) 調査検討の進め方に関する指導

4 組織

- (1) 本委員会は、京セラコミュニケーションシステム株式会社の委嘱を受けたものにより構成する。
- (2) 本委員会に座長を置く。座長は構成員の互選により選出する。
- (3) 本委員会に座長代理を置く。座長代理は、座長が指名する。
- (4) 本委員会は必要に応じて本委員会の下に、作業部会を置くことができる。
- (5) 本委員会は必要に応じてメールによる審議を行うことができる。

5 運営

- (1) 本委員会は座長が主宰する。
- (2) 本委員会は、あらかじめ構成員に対して日時、開催場所及び議題を通知して招集する。
- (3) その他、本委員会の運営に関して必要な事項は、委員会において決定する。

6 設置の期間

本委員会は第1回委員会から平成30年3月31日までの間とする。

7 事務局

本委員会の事務局は京セラコミュニケーションシステム株式会社に置く。

8 その他

- (1) 本委員会における調査検討事項に係る内容のうち周知の事実以外にあっては、守秘義務を有し総務省の承諾なくして外部に公表してはならない。
- (2) 本委員会において、特定した利用目的以外に個人情報をとりあつかわないものとする。

以上

7.1.2. 委員一覧

| | | |
|--------|------------------|----------------------------------|
| (座長) | わき ひでよ 脇 英世 | 東京電機大学 工学部情報通信工学科 教授 |
| (座長代理) | いしかわ わたる 石川 渉 | ヴァイ・ネットワーク・システムズ株式会社 取締役 技術部長 |

< 委員：五十音順 敬称略 >

| | |
|---------------------|---|
| いしだ ひろゆき 石田 洋之 | 古河電気工業株式会社 情報通信ソリューション統括部門 ブロードバンド事業部門 新商品企画担当 |
| うえぞの かずとも 上 園 一知 | 株式会社ジュピターテレコム 技術企画本部 技術戦略部 マネージャー |
| おおはら ひさのり 大原 久典 | マスプロ電工株式会社 営業本部 営業本部副本部長 兼 システム営業部長 |
| しらとり ただお 白鳥 忠夫 | 株式会社テレビ松本ケーブルビジョン 取締役 技術部長 |
| たかはし まこと 高橋 誠 | シンクレイヤ株式会社 営業企画部 次長 兼 パブリシティ課 課長 |
| なかじま ひろし 中島 寛 | 一般社団法人 日本ケーブルテレビ連盟 技術部長 |
| なかまる のりかね 中丸 則兼 | 一般社団法人 日本CATV技術協会 事業部（規格・標準）部長 |
| オブザーバ | 総務省 情報流通行政局 衛星・地域放送課 地域放送推進室 |

7.1.3. 審議経過

第1回調査検討委員会

日時：平成29年9月15日（金）15時00分～17時00分

場所：農林水産省三番町共用会議所 第一会議室

1. 開会
2. 調査検討委員会事務局挨拶
3. 出席者の紹介
4. 調査検討委員会開催要綱の確認
5. 座長選出
6. 座長代理指名
7. 議事
 - (1) 調査検討委員会の開催予定
 - (2) 本調査検討の概要説明と調査検討に関する意見交換
 - (3) 次回調査検討委員会について

配布資料

- 委 1-1 「23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」（第1回）議事次第
- 委 1-2 「23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」構成員一覧
- 委 1-3 「23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」第1回調査検討委員会 席次表
- 委 1-4 「23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」開催要綱（案）
- 委 1-5 「23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」調査検討委員会開催予定（案）
- 委 1-6 「23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」調査検討概要説明資料
- 委 1-7 「23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」フィールド試験概要説明資料

第 2 回調査検討委員会

日 時：平成 29 年 12 月 22 日（金） 15 時 00 分～ 17 時 00 分

場 所：中央合同庁舎第 2 号館 11 階会議室

1. 開会
2. 前回の議事録確認
3. 議事
 - (1) フィールド試験について
 - (2) その他

配布資料

- 委 2-1 「2.3GHz 帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」(第 2 回) 議事次第
- 委 2-2 「2.3GHz 帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」 構成員一覧
- 委 2-3 「2.3GHz 帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」 第 2 回 調査検討委員会 席次表
- 委 2-4 「2.3GHz 帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」 第 2 回 調査検討委員会説明資料

第3回調査検討委員会

日 時：平成30年3月26日（月）15時00分～17時00分

場 所：センチュリー三田ビル 10階会議室

1. 開会
2. 前回の議事録確認
3. 議事
 - (1) 調査検討報告書（案）について
 - (2) その他

配布資料

- 委 3-1 「2.3GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」（第3回）議事次第
- 委 3-2 「2.3GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」構成員一覧
- 委 3-3 「2.3GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」第3回調査検討委員会席次表
- 委 3-4 「2.3GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」第2回調査検討委員会議事録
- 委 3-5 「2.3GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」調査検討報告書（案）
- 委 3-6 「2.3GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」第3回調査検討委員会説明資料

7.1.4. 配布資料

第 1 回から第 3 回の調査検討委員会で配布した下記の資料を以下に示す。

委 1-6「2.3 GHz 帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」調査検討概要説明資料

委 1-7「2.3 GHz 帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」フィールド試験概要説明資料

委 2-4「2.3 GHz 帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」第 2 回 調査検討委員会説明資料

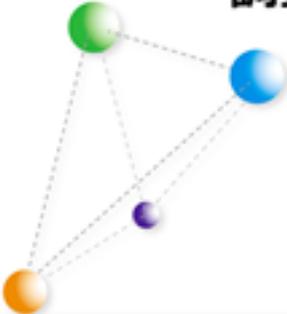
委 3-6「2.3 GHz 帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」第 3 回 調査検討委員会説明資料

7.1.4.1. 委 1-6「23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的條件の調査検討に係わる調査検討委員会」 調査検討概要説明資料



委1-6

平成29年度
「23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的條件の調査検討」
調査検討概要説明資料



京セラコミュニケーションシステム株式会社
2017年 9月 15日

KCCS Group
© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

京セラ コミュニケーションシステム株式会社

アジェンダ

委1-6
KCCS Group

- 調査検討の概要
- 実施体制
- 調査検討項目
 - 偏波多重技術の検討
 - 双方向化技術の検討
 - 変調方式高度化技術の検討
 - 小型・軽量化の検討
- スケジュール
- 23GHz帯無線伝送システム試験評価器
- 参考資料

23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的條件の調査検討

現状の圏域内でケーブルテレビ事業者が提供するサービス全体を伝送可能とするために、V帯域とH帯域を伝送多重によって同時に用いることで両帯域利用効率を2倍にした上で、双方向化及び伝送方式高度化を実現できる23GHz帯無線伝送システムに関して、技術的條件の検討を実施する。

【背景・課題】

- 現状の23GHz帯無線伝送システムは片方向の伝送機能のみとなっており、伝送方式も固定されている。
- 伝送多重伝送システム委員会報告(平成24年6月19日)において、今後の検討課題として「双方向機能については、ケーブルテレビ事業者がインターネット接続サービスを行っている現状を踏まえ、必要不可欠である。」及び「23GHz帯、更に高度な伝送方式については、(中略)更にフェード実験等を行う必要がある。」とされている。
- 本システムで4K8K伝送の伝送を可能とするため、伝送容量を向上させる高度な伝送方式の導入が望まれている。
- 23GHz帯無線伝送システムにおける伝送多重技術、双方向化技術及び伝送方式高度化技術に関する技術的條件の検討が必要。

【実施内容】

- 23GHz帯無線伝送システムにおける伝送多重技術、双方向化技術及び伝送方式高度化技術の検討並びにシステム試作(測定装置及び地上移動局)
- フェード試験の実施

【目標】

23GHz帯無線伝送システムの伝送多重技術、双方向化技術及び伝送方式高度化技術について検討し、技術的條件の策定を目指す。

【対象調査対象】

23GHz帯(23.2～23.8GHz)

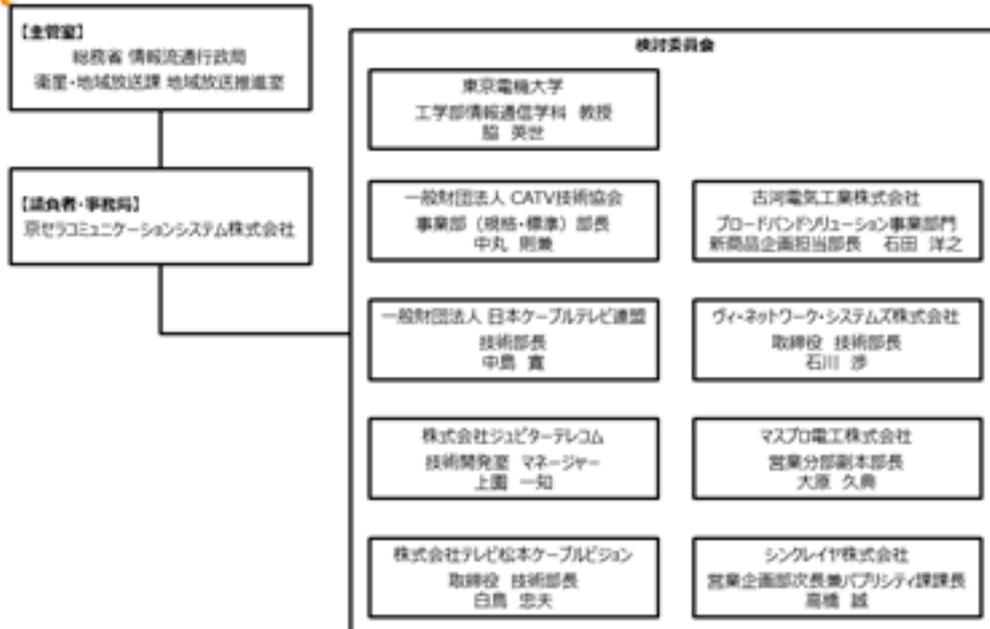
【実施期間】

平成24年度～平成25年度(2カ年)



2 参照図書「23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的條件の調査検討」資料引用

実施体制 - 関係機関体制 -



3

平成29年度調査検討内容

表1-6

KCCCS Group

| | |
|------------------|---|
| (ア) 偏波多重技術の検討 | 平成28年度調査検討における室内試験結果を踏まえ、FDM-SSB方式において偏波多重伝送を行う際に必要となる偏波分離器 (OMT) の偏波間結合量及び降雨による劣化を考慮した交差偏波識別度 (XPD) に関する基準値 (所要値) を策定し、フィールド試験を通じて基準値の妥当性を確認する。また、偏波多重方式を導入するにあたってのその他の条件 (隣接帯域等を使用する他の無線システムへの干渉等) についても検討を行う。 |
| (イ) 双方向化技術の検討 | 平成28年度調査検討で実現したFDM-SSB方式における双方向化技術に関する有用性について、フィールド試験を通じて確認を行う。また、アンテナの設置及び適切な離隔についての検討を行い、試験過程で抽出された課題については対策・改善を図る。 |
| (ウ) 変調方式高度化技術の検討 | 平成28年度調査検討における室内試験結果を踏まえ、FDM-SSB方式において既存の256値直交振幅変調方式 (256QAM) 、ITU-T勧告J.382 に準拠した高度な変調方式等を伝送する際に必要となる所要C/N比及びC/I値を (ア) で検討するXPDを考慮して基準値を策定し、フィールド試験等を通じて基準値の妥当性を確認する。2.3GHz帯は降雨の影響を受けやすい周波数帯であることを考慮し、各変調方式と降雨減衰との関係についても調査を行う。また、本変調方式を導入するにあたってのその他の条件 (隣接帯域等を使用する他の無線システムへの干渉等) についても検討を行う。 |
| (エ) 小型・軽量化の検討 | 平成28年度調査検討において実現した小型・軽量化の結果を踏まえ、実フィールドにおける2.3GHz帯無線伝送システムの軽便な導入・設置を実現させる手法 (小型化等) について検討する。 |

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

調査検討項目 (ア) 偏波多重技術の検討

表1-6

KCCCS Group

| | |
|------|--|
| 検討課題 | 平成28年度調査検討における室内試験結果を踏まえ、FDM-SSB方式において偏波多重伝送を行う際に必要となる偏波分離器 (OMT) の偏波間結合量及び降雨による劣化を考慮した交差偏波識別度 (XPD) に関する基準値 (所要値) を策定し、フィールド試験を通じて基準値の妥当性を確認する。また、偏波多重方式を導入するにあたってのその他の条件 (隣接帯域等を使用する他の無線システムへの干渉等) についても検討を行う。 |
|------|--|

目的：

- デジタルケーブルテレビ信号 (OFDM, 64/256QAM, J382, 及びDOCSIS) に影響を与えないXPD (Cross Polarization Discrimination: 交差偏波識別度)、及び直交二偏波を分離する導波管回路であるOMT (OrthoMode Transducer: 交差偏波変換器) のアイソレーション (偏波分離度) について、机上検討により技術基準を策定し、フィールド試験を通じてその整合性について確認する。

検討課題と手法：

- アンテナのXPD、及びOMTのアイソレーション (偏波分離度) 基準の検討 (机上検討)
 - 平成28年度調査検討で実施した室内試験結果を踏まえ、降雨減衰による無線区間のC/N比の劣化、及び空間伝播におけるXPDの劣化 (降雨減衰による劣化を含む) を考慮した性能配分を行い、2.3GHz帯無線伝送システムを用いた偏波多重においてデジタルケーブルテレビ信号 (OFDM, 64QAM/256QAM, J382, 及びDOCSIS) を伝送するのに必要となるXPDの所要値を算出する。
 - その他の条件 (隣接帯域等を使用する他の無線システムへの干渉等) については、平成28年度 情報通信審議会 情報通信技術分科会 放送システム委員会報告「2.3GHz帯無線伝送システムの技術的條件」において審議された内容に基づき検討を行う。

5

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.



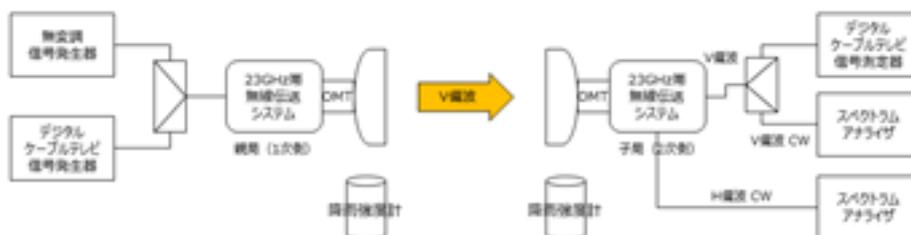
調査検討項目 (ア) 偏波多重技術の検討

表1-6

KCCCS Group

● フィールド試験 (案)

- 変調方式にFDM-SSB方式を用い、双方向機能 (90MHz~770MHzの下りケーブルテレビ信号及び15MHz~65MHzの上りケーブルテレビ信号を同時に伝送) を有する23GHz帯無線伝送システムと0.3m径パラボラアンテナ、及び偏波分離器 (DMT) を試験フィールド (場所は別途選定) に設置し、交差偏波識別度 (XPD) と降雨量、並びにデジタルケーブルテレビ信号 (256QAM, J382など) の信号品質 (搬送波レベル, C/N比, BER (ビット誤り率), MER (変調誤差比) 等) を一定期間計測し、無線回線断の時間率 (回線不稼働率) と降雨減衰特性を評価し、机上計算との整合性を確認するとともに、所要XPDについて確認する。
- XPDの計測では、垂直偏波を主偏波として送信し、垂直・水平偏波での受信電力結果よりXPDを算出し、降雨量との関係について確認する。
- また、算出したXPD値とデジタルケーブルテレビ信号の信号品質との関係について確認する。



| 項目 | <既存> デジタル有線テレビジョン放送方式 | | <新規> デジタル有線テレビジョン放送方式 | | | |
|------------|--------------------------|--------|--------------------------|---------|-----------------------|-----------------------|
| | 64QAM | 256QAM | 256QAM | 1024QAM | 4096QAM (符号化率:4/5) | 4096QAM (符号化率:5/6) |
| XPD(dB)(※) | 25.4 | 32.2 | 26.4 | 33.1 | 37.5 | - |

※C/N比が4分確保でき、40dB以上のXPD値 (実測値)

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.



調査検討項目 (イ) 双方向化技術の検討

表1-6

KCCCS Group

検討課題

平成28年度調査検討で実現したFDM-SSB方式における双方向化技術に関する有用性について、フィールド試験を通じて確認を行う。また、アンテナの設置及び適切な離隔についての検討を行い、試験過程で抽出された課題については対策・改善を図る。

目的:

- 平成28年度調査検討で実現したFDM-SSB方式における双方向化技術を用いた23GHz帯無線伝送システムを用いてフィールド試験を実施し、その有用性を確認すると共に、実現した双方向化技術に関する課題点について検討を行う。

検討課題と手法:

● フィールド試験

- 変調方式にFDM-SSB方式を用い、双方向機能 (90MHz~770MHzの下りケーブルテレビ信号及び15MHz~65MHzの上りケーブルテレビ信号を同時に伝送) を有する23GHz帯無線伝送システムを試験フィールド (場所は別途選定) に設置し、通信品質 (P/N比応答など) と降雨量を一定期間計測し、無線回線断の時間率 (回線不稼働率) と降雨減衰特性を評価する。

● アンテナ設置、及び離隔に関する検討

- 平成28年度調査検討であがった片側2基のアンテナの設置方法 (縦並びや横並び) について、同調査検討での技術試験結果等を踏まえ検討を行い、フィールド試験などを通じてその有用性を検証する。
- 試験を通じて抽出された課題点などを整理し、対策・改善案について検討する。

7

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

調査検討項目 (ウ) 変調方式高度化技術の検討

表1-6

KCCS Group

検討課題

平成28年度調査検討における室内試験結果を踏まえ、FDM-SSB方式において既存の256値直交振幅変調方式(256QAM)、ITU-T勧告J.382に準拠した高度な変調方式等を伝送する際に必要となる所要C/N比及びC/I値を(A)で検討するXPDを考慮して基準値を策定し、フィールド試験等を通じて基準値の妥当性を確認する。23GHz帯は降雨の影響を受けやすい周波数帯であることを考慮し、各変調方式と降雨減衰との関係についても調査を行う。
また、本変調方式を導入するにあたってのその他の条件(隣接帯域等を使用する他の無線システムへの干渉等)についても検討を行う。

目的:

- 23GHz帯無線伝送システムにてデジタルケーブルテレビ信号(256QAM、J382など)を伝送するために必要となる技術的条件(送信周波数の許容偏差、通信系の受信端におけるC/N、混信保護C/Iなど)を机上検討し、フィールド試験を通じてその妥当性を評価する。

検討課題と手法:

● C/N比、及びC/Iの検討(机上検討)

- 机上検討では、「有線テレビジョン放送事業用固定局における地上デジタル放送の伝搬に関する調査検討」における検討方法を踏襲し、平成28年度調査検討における室内試験結果を踏まえ、単一偏波及び偏波多重におけるC/N比、C/I値、及びの技術基準を策定する。

● C/N比の検討(フィールド試験)

- 平成28年度に製作した23GHz帯無線システムを屋外試験に耐えうる筐体の実装し、関連団体や調査検討委員に協力頂き選定した試験フィールドで実施する電波伝搬試験(信号品質および映像評価など)結果より、机上検討結果の検証及び、その補正を行う。

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

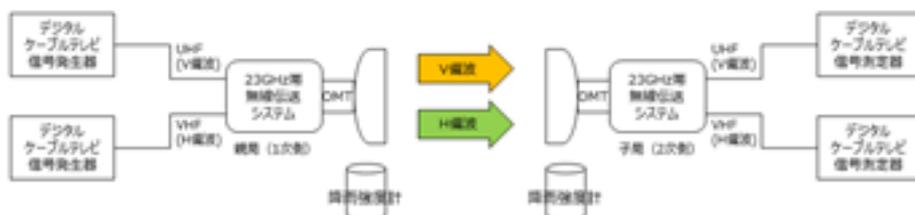
調査検討項目 (ウ) 変調方式高度化技術の検討

表1-6

KCCS Group

● フィールド試験(案)

- 変調方式にFDM-SSB方式を用い、双方向機能(90MHz~770MHzの下りケーブルテレビ信号及び15MHz~65MHzの上りケーブルテレビ信号を同時に伝送)を有する23GHz帯無線伝送システムと0.3m径パラボラアンテナ、及び偏波分離器(OMT)を試験フィールド(場所は別途選定)に設置し、デジタルケーブルテレビ信号(256QAM、J382など)の信号品質(搬送波レベル、C/N比、BER(ビット誤り率)、MER(変調誤差比)等)と降雨量を一定期間計測し、無線回線断の時間率(回線不稼働率)と降雨減衰特性を評価し、机上計算との整合性を確認するとともに、所要受信C/N比について確認する。
- 試験フィールドの選定については、関連団体や調査検討委員会の意見・協力を得て実施する。
- 偏波多重伝送の場合、降雨減衰による信号レベルの低下(C/N比の劣化)に加え、交差偏波漏れ度(XPD)の劣化量を考慮することがあることから、調査検討項目(A)偏波多重技術の検討と同時に実施する。



| 項目 | <既存> | | | <新規> | | |
|-------------------|------------------|--------|------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| | デジタル有線テレビジョン放送方式 | | デジタル有線テレビジョン放送方式 | デジタル有線テレビジョン放送方式 | | |
| 変調方式 | 64QAM | 256QAM | 256QAM | 1024QAM | 4096QAM (符号化率:4/5) | 4096QAM (符号化率:5/6) |
| 雑音の1/2との差(所要C/N比) | 26 | 34 | 26 | 33 | 37 | 40 |

9 ※受信機端子におけるC/N比(受信機端子における所要性値は29.0)

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.



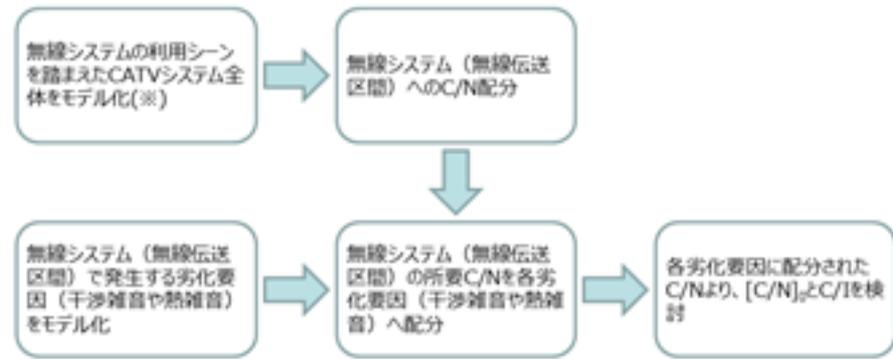
調査検討項目 (ウ) 変調方式高度化技術の検討

表1-6

KCCS Group

[C/N]0、及びC/Iの検討 (机上検討)

- 平成10年度 電気通信技術審議会回答申 (諮問102号「有線テレビジョン放送事業用無線局の技術的条件」)の「23GHz帯を使用する有線テレビジョン放送事業に用いる固定局の技術条件」でなされた検討方法に基づき検討を行う。次頁に雑音配分モデル例を示す。



- CATVシステムのモデル化のうち、23GHz帯無線伝送システムを適用する有線系伝送モデルとして、HFC (Hybrid Fiber Coax) とFTTH (Fiber To The Home) /FTTB (Fiber To The Building) を検討対象とし、平成の検討結果を踏まえ、再検討を実施し、無線システムの所要性能を決定する。
- 本検討手法と併せて、平成21年度 総務省 四国総合通信局 調査検討 (有線テレビジョン放送事業用固定局における地上デジタル放送の伝送に関する調査検討報告書) で実施された検討手法も参照する。

10

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.



調査検討項目 (ウ) 変調方式高度化技術の検討

表1-6

KCCS Group

[C/N]0、及びC/Iの検討 (机上検討)

●雑音配分モデル



| 雑音配分系 | 備考 |
|------------------|---|
| ① 無線伝送路所要C/N[dB] | CATVシステム全体で有線系 (HFCネットワークやFTTHネットワーク) と無線系に性能を配分した値。 |
| ② 干渉雑音C/N[dB] | 無線区間で発生する干渉雑音。C/Iの規定値となる。FDM-SSB方式の放送局のうちアナログTV信号を伝送している無線局がある場合の干渉を考慮する場合、より厳しくC/I値 (52dB) となるが、現状ではデジタルTV信号のみとなっていると考えられるため、前述の「有線一般放送の品質基準」の適用が望ましい。 |
| ③ 熱雑音C/N[dB] | 無線区間で発生する熱雑音は、送信機熱雑音と受信機熱雑音とする。回線設計 (伝送の質) 上の閾値[C/N]₀となる。 |
| ④ 送信機熱雑音C/N[dB] | |
| ⑤ 受信機熱雑音C/N[dB] | |

11

※編者による注記 (XFO中編注分欄) を2ページ目参照。©Kyocera Co., Ltd.

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

| | | |
|-------------|--|---------------------|
| 11 | <h2 style="margin: 0;">調査検討項目 (工)小型・軽量化の検討</h2> | 表1-6 KCCCS Group |
| 検討課題 | 平成28年度調査検討において実現した小型・軽量化の結果を踏まえ、実フィールドにおける23GHz帯無線伝送システムの簡単な導入・設置を実現させる手法（小型化等）について検討する。 | |

目的：

- 平成28年度調査検討で実現したFDM-GSB方式における双方向化技術を用いた23GHz帯無線伝送システムについて、実装モジュールの配置や配線等を見直すことで小型化を実現するとともに、23GHz帯無線伝送システムの簡単な設置・調整方法について検討する。

検討課題と手法：

- 実装モジュールの配置、及び配線の見直し
 - 平成28年度に製作した23GHz帯無線伝送システムの親局（1次側）と子局（2次側）それぞれの実装モジュールの配置や配線を見直すことにより、装置サイズの小型化を目指す。
- 導入・設置の検討
 - システム導入の際に必要なアンテナ方向調整が簡単にできるような機能や機構、及び実装について検討する。
 - 電波共用型の23GHz帯無線伝送システムでは電波面の調整が必要になり、シビアな調整となることから、できるだけ簡単に調整が可能になる方法や機構について検討する。
 - 既存装置の導入時であった課題、及びフィールド実験における測定システム構築の際に発生する課題を整理し、双方向モデルの設置方法を検討する。

| | | |
|----|---|---------------------|
| 12 | <h2 style="margin: 0;">平成29年度 調査検討の進め方</h2> | 表1-6 KCCCS Group |
|----|---|---------------------|

- 平成29年度「23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討の請負」では、フィールド試験が中心であり、多くの有効なデータ（降雨との関係）を取得するため、フィールド試験期間をできる限り長く確保する（最長4ヶ月）こととする。
 - 試験フィールドは、映像信号（64QAM/SDB-T）、及びDOCSIS信号をご提供頂けるケーブルテレビ事業者さまにご協力頂き、無線伝送距離が1～2km程度で長期間の設置が可能な場所を選定する
 - 実験局免許は移動局として申請し、フィールド試験場以外での電波発射が可能になるように検討する
- 本調査検討では、フィールド試験のほか、下記の製作・開発を実施する：
 - 筐体製作
 - 屋外設置に耐える筐体製作（平成28年度は、期間と予算の関係上プレート実装のみ）
 - 筐体製作期間が4～5ヶ月程度必要となるため、フィールド試験期間を確保することを目的とし、屋外設置ができる最低限との箱（市販の筐体・盤などを利用）にもジュールを実装し、屋外試験を実施する
 - 最終系となる筐体製作（モックレベル）を並行して行い、最終検討委員会でお披露目
 - 小型化
 - 実装モジュールの配線や配置を見直し、現在のプレート実装のサイズから小型化を実現し、筐体実装する
 - アンテナ・OMT調整機構
 - フィルタ製作（送信機入力部：VHF/LHF部の分離）

スケジュール (案)

表1-6

KCCG Group

| | 2017年 | | | | | 2018年 | | |
|---------------------|-------|----|-------------|------|-----|-------------|---------|------------|
| | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 |
| 調査検討 | | | | | | | | |
| 編波多重技術の検討 | | | 机上検討 | | | | 伝送方式の検討 | |
| 双方向化技術の検討 | | | | 机上検討 | | | 伝送方式の検討 | |
| 変調方式高度化技術の検討 | | | 机上検討 | | | | 伝送方式の検討 | |
| 小型・軽量化の検討 | | | | | | | 伝送方式の検討 | |
| 技術試験・フィールド試験 | | | | | | | | |
| 機材・部材調達、及び試作 | | | 部品・部材調達・試作 | | | | | |
| 技術試験 | | | | | | | 伝送方式の検討 | |
| フィールド試験 | | | | | | | | |
| 調査検討委員会 | | | | | | | | |
| 検討委員会開催 | | | 第1回 (9月15日) | | | 第2回 (12月上旬) | | 第3回 (3月上旬) |
| 報告書等 | | | | | | | | |
| 資料作成 | | | 資料作成 | | | 資料作成 | | 資料・報告書作成 |

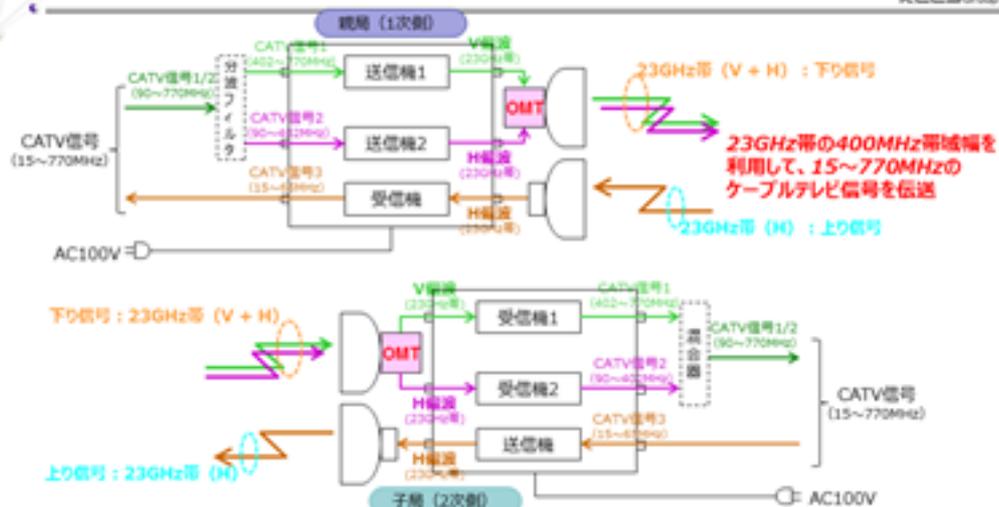
14 ※フィールド試験の実地試験場については、フィールド測定や実験結果の評価の観点から検討が必要。

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

23GHz帯無線伝送システム試験評価器

表1-6

KCCG Group



- 上り信号と下り信号のアイソレーションを確保するため、送受分離型（上り下りをそれぞれ別アンテナで送受する）とし、OMT（アンテナに直接接続）と無線装置は、同軸（SMA-J）で接続する。上りについてはアンテナに同軸導波管アダプタを接続し、無線装置と同軸接続する。
- CATV信号用のインターフェースは、3つの同軸を用意し、それぞれ VHF帯信号（90MHz～402MHz）、UHF帯信号（402MHz～770MHz）、及び上り信号（15MHz～65MHz）を入出力する。
- 電源電圧は100V。

15

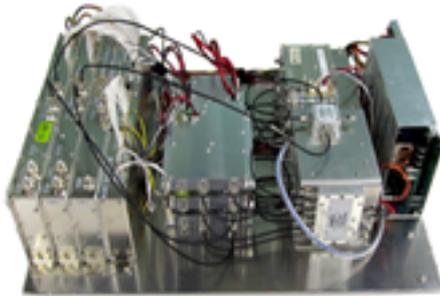
© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.



参考：23GHz帯無線試験装置

表1-6

KCCS Group



23GHz帯無線伝送システム試験評価器（親局（1次側））



23GHz帯無線伝送システム試験評価器（子局（2次側））



23GHz帯無線伝送システム試験評価器 0.3mφパラボラアンテナ



23GHz帯無線伝送システム試験評価器 偏波分離器（OMT）

16

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.



参考：23GHz帯無線機の主な仕様（平成28年度製作分）

表1-6

KCCS Group

| 項目 | 定格 | | | 備考 |
|---------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|
| | 上り帯域 | VHF帯域 | UHF帯域 | |
| 変調方式 | FDM-SSB方式 | FDM-SSB方式 | FDM-SSB方式 | |
| テレビ信号周波数 | 15MHz～65MHz | 90MHz～402MHz | 402MHz～770MHz | |
| マイクロ波周波数 | 23,218.125MHz～23,273.125MHz | 23,277.5MHz～23,589.5MHz | 23,214.5MHz～23,582.5MHz | |
| 占有周波数帯域幅 | 50MHz | 312MHz | 368MHz | |
| 伝送容量 | 4ch | 50ch | 61ch | バイト信号を除く |
| バイト信号 | テレビ信号 | 70MHz | 156.25MHz | 468.75MHz |
| | マイクロ波 | 23,273.125MHz | 23,343.75MHz | 23,281.25MHz |
| 送信機出力(トータル電力) | 7.0dBm | 13.0dBm typ. | 13.0dBm typ. | |
| 偏波面 | 水平偏波 | 水平偏波 | 垂直偏波 | |
| インターフェース | アンテナ部 | SMA(J) | SMA(J) | SMA(J) |
| | テレビ信号部 | FT(J) | FT(J) | FT(J) |
| 電源電圧 | AC100V (50/60Hz) | AC100V (50/60Hz) | AC100V (50/60Hz) | |
| 周波数安定度 (対向) | 送信機と位相同期 (バイト信号も利用した周波数同期) | | | |

17

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.



参考：アンテナ、及びOMTの主な仕様（平成28年度製作分）

表1-6

KCCS Group

アンテナ

| 項目 | 仕様 | 備考 |
|---------------|---------------------|---------------------|
| アンテナ形式 | レドーム付パラボラアンテナ | レドーム形式：テフロンシート型レドーム |
| アンテナ径 | 0.3m | Φ9.4mm円形導波管 |
| 周波数範囲 | 23,200MHz～23,600MHz | |
| 利得 | 34.0dBi以上 | |
| 半値角 | 3度 typ. | |
| VSWR | 1.4以下 | |
| 交差雑音識別度 (XPD) | 33dB以上 | |

帯域分離器 (OMT)

| 項目 | 仕様 | 備考 |
|-----------------|---------------------|-------------|
| インタフェース (V/H線波) | SMA-J型 | インピーダンス：50Ω |
| インタフェース (縦線波) | WR1-220 | Φ9.4mm円形導波管 |
| 周波数範囲 | 23,200MHz～23,600MHz | |
| 挿入損失 | 1.0dB以下 | |
| 漏波結合量 | -40dB以下 | |
| VSWR | 1.4以下 | |

18

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

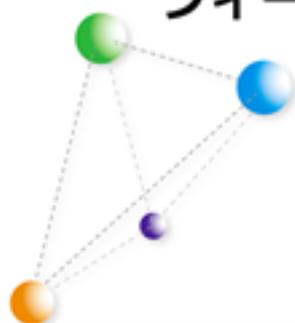
7.1.4.2. 委 1-7「23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」 フィールド試験概要説明資料



委1-7

平成29年度
「23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討」

フィールド試験概要説明資料



京セラコミュニケーションシステム株式会社
2017年 9月 15日

KCCS Group
© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

京セラコミュニケーションシステム株式会社



フィールド試験概要

委1-7

KCCS Group

| | |
|-------------|--|
| <p>目的</p> | <p>変調方式にFDM-SSB方式を用いた23GHz帯無線伝送システムを試験フィールドに設置し、長期測定を通じ、23GHz帯におけるデジタルケーブルテレビ信号の電波伝搬特性を調査し、無線区間における所要性能を確認する。</p> |
| <p>試験概要</p> | <p>変調方式にFDM-SSB方式を用い、双方向機能を有する23GHz帯無線伝送装置と0.3m径パラボラアンテナ、偏波分離器（OMT）、及び降雨強度計を試験フィールドに設置し、デジタルケーブルテレビ信号（256QAMなど）の信号品質（搬送波レベル、C/N比、BER（ビット誤り率）、MER（変調誤差比）等）と交差偏波漏別度（XPD）、並びに降雨量を計測する。 試験はスポット測定と長期測定を実施する：</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ スポット測定： 無線伝送する複数のデジタルケーブルテレビ信号について、標準状態（回線設計における降雨マージンを持った状態）における信号品質やデータ通信（スループットなど）、受信状態を確認する。 ▶ 長期測定： 測定するチャンネル（信号）をしぼり、搬送波レベル、C/N比、BER、MER、XPD、データ通信（PINGなど）、及び降雨強度を一定期間で長期間データを収集し、無線回線断の時間率（回線不稼働率）と降雨減衰特性を評価する。 |
| <p>期間</p> | <p>2017年10月～2018年2月</p> |
| <p>場所</p> | <p>調整中</p> |



試験フィールド概要 (選定中)

表1-7

KCCS Group



2

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.



回線設計例 (検討中)

表1-7

KCCS Group

| 項目 | 項目 | 単位 | FDMA-SSB | OFDM | 4KQAM | 256QAM | 備考 |
|----|------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|---|
| 1 | 伝送距離 | km | | | | | |
| 2 | 1%伝送遅延率時分の0.007%遅延 | ms/chan | | | | | 電力法関係重要数値(注1) |
| 3 | 中心周波数 | MHz | | | | | 23.2MHz~23.8MHzの中心周波数。 |
| 4 | チャンネル帯域幅 | MHz | | | | | |
| 5 | 空中線電力 | dBm | | | | | チャンネル当りの送信電力(注2)。 |
| 6 | 総電線系統損失(送信) | dB | | | | | 送信系側における総電線損失。線路損失の合計値 |
| 7 | 送信空中線系統の付加損失 | dB | | | | | アンテナ指向損失。 |
| 8 | 自由空間損失 | dB | | | | | $Lp = 32.4 + 20 \lg(f) + 20 \lg(r)$ (f:MHz, r:km) |
| 9 | 受信空中線系統の付加損失 | dB | | | | | アンテナ指向損失。 |
| 10 | 総電線系統損失(受信) | dB | | | | | 受信系側における総電線損失。線路損失の合計値 |
| 11 | 外部からの干渉率による許容率化量 | dB | | | | | |
| 12 | 受信入力レベル | dBm | | | | | |
| 13 | 受信機雑音電力レベル | dBm | | | | | WPN値 |
| 14 | 算出された受信C/N | dB | | | | | 標準状態における受信C/N(注3) |
| 15 | 送信C/N | dB | | | | | |
| 16 | 無線リンクノードC/N | dB | | | | | 送信C/Nと受信C/Nの電力和。 |
| 17 | 降下量の地域分布による係数 | - | | | | | 電力法関係重要数値 (注4) |
| 18 | 0.01%伝送遅延率時分の1000分の降下量 | dB | | | | | 電力法関係重要数値 (注5) |
| 19 | 当該区域の降下量 | dB | | | | | 電力法関係重要数値 (注6) |
| 20 | 降下時における受信C/N | dB | | | | | |
| 21 | 降下時における無線リンクノードC/N | dB | | | | | 送信C/Nと降下時における受信C/Nの電力和。 |
| 22 | 所要C/N | dB | | | | | 最小受信C/N(注7)。マージンにおける降下。 |
| 23 | 降下減衰マージン | dB | | | | | 標準状態の受信C/N(注8)と最小受信C/N(注9)の差 |
| 24 | 降下マージン | dB | | | | | 降下減衰時における降下マージン |
| 25 | 0.01%伝送遅延率1000万分の1降下量 | dB | | | | | 電力法関係重要数値 (注10)(注11) |
| 26 | 目標稼働率 | % | 99.99以上 | 99.99以上 | 99.99以上 | 99.99以上 | 電力法関係重要数値 (注12)(注13) |
| 27 | システム干渉抑制時間 | min | 202.8s以上 | 202.8s以上 | 202.8s以上 | 202.8s以上 | |

フィールド選定後計算

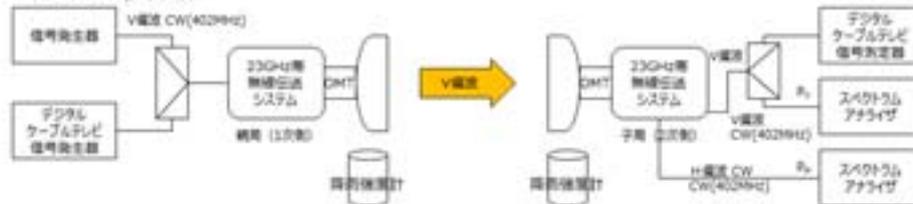
© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

フィールド試験 (案)

表1-7

KCCG Group

- 変調方式にFDM-SSB方式を用い、双方向機能を有する23GHz帯無線伝送システムと降雨強度計を試験フィールドに設置し、交差偏波識別度 (XPD) と降雨強度、デジタルケーブルテレビ信号 (OFDM/84QAM/256QAMなど) の信号品質 (搬送波レベル、C/N比、BER、MER等)、並びにデータ通信品質 (Ping) を一定期間計測する。
- XPDについては、信号発生器より無変調信号 (402MHz) の信号を垂直偏波が主偏波となるよう無線装置に入力・送信し、垂直・水平偏波での受信電力結果よりXPDを算出し、降雨量、及びデジタルケーブルテレビ信号品質等との関係について確認する。



- デジタルケーブルテレビ信号の信号品質については、搬送波レベル、C/N比、BER、MERとデータ通信 (Ping)、及び降雨量を一定期間計測し、無線回線断の時間率 (回線不稼働率) と降雨減衰特性を評価する。
- リファレンスとして、無線伝送前のデジタルケーブルテレビ信号の信号品質についても常時計測する。
- 偏波多重伝送の場合、XPDの劣化量を考慮することがあることから、上記試験と同時に実施する。



© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

フィールド試験 測定系統図 (案)

表1-7

KCCG Group



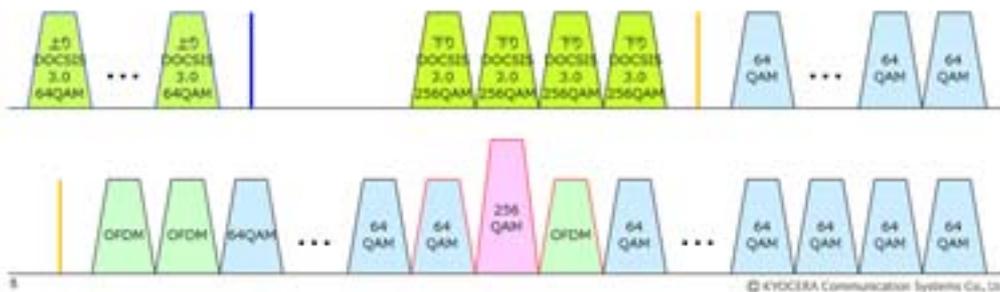
© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

伝送信号（試験信号）案

表1-7

KCCCS Group

- 伝送する信号は、ケーブルテレビ事業者様より提供頂（映像信号（OFDMと64QAM）とDOCSIS信号）に加えて、信号発生器からの変調信号（OFDM、64QAM、及び256QAM(Annex C)）、及び無変調信号（XFD計測用）とする。
 - 常時測定については安定した信号を生成できる信号発生器の信号を主とし、その他のチャンネルについては、測定期間に応じて決定する。
 - ケーブルテレビの実運用を想定し、各変調信号間のレベル差を設定する（レベル差伝送）。
 - 本フィールド試験では、J382の無線伝送は実施せず、256QAMの試験結果、及び前年度実施した室内試験結果を用いて評価することとする。
- 周波数配列は、ケーブルテレビ事業者様の配列のままとし、空きチャンネルに信号発生器の信号を設定することとする。
- 伝送する信号数は、下り信号については各偏波で10チャンネル以上（合計20チャンネル以上）とする（実施する試験フィールドや伝送距離による）。



測定項目案

表1-7

KCCCS Group

| 測定項目 | 信号 | 測定局 | | | | データ取得時間 | 備考 |
|---------------|--------|---------|-----|---------|-----|---------|--------------------|
| | | 親局（1次側） | | 子局（2次側） | | | |
| | | V偏波 | H偏波 | V偏波 | H偏波 | | |
| 搬送波レベル | OFDM | ○ | × | ○ | ○ | 1分間 | リーダ-電子製：LF990を利用予定 |
| | 64QAM | ○ | × | ○ | ○ | | |
| | 256QAM | ○ | × | ○ | ○ | | |
| 搬送波対雑音比(C/N比) | OFDM | ○ | × | ○ | ○ | 1分間 | 雑音電力：要検討 |
| | 64QAM | ○ | × | ○ | ○ | | |
| | 256QAM | ○ | × | ○ | ○ | | |
| ビット誤り率(BER) | OFDM | ○ | × | ○ | ○ | 1分間 | リーダ-電子製：LF990を利用予定 |
| | 64QAM | ○ | × | ○ | ○ | | |
| | 256QAM | ○ | × | ○ | ○ | | |
| 変調誤差比(MER) | OFDM | ○ | × | ○ | ○ | 1分間 | リーダ-電子製：LF990を利用予定 |
| | 64QAM | ○ | × | ○ | ○ | | |
| | 256QAM | ○ | × | ○ | ○ | | |
| 受信レベル | 無変調信号 | × | × | ○ | ○ | 1分間 | 主偏波：V偏波 |
| 降雨強度 | - | ○ | | ○ | | 1分間 | |

※データ取得場所は測定するチャンネルに依存する。
© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

参考：降雨強度計の主な仕様

表1-7

KCCS Group

| 項目 | 諸元 |
|------|---------------------|
| 検出方式 | 水漏れ計数方式 |
| 測定精度 | 0.0083mm/h 10%以内 |
| 受水口径 | 200mm |
| 測定範囲 | 0mm~100mm/h |
| 検出器 | LED〜フォトトランジスタ |
| 電源 | DC10.5~16.5V, 約20mA |
| 外形寸法 | 約φ210mm×450mm(H) |
| 重量 | 4.5kg |



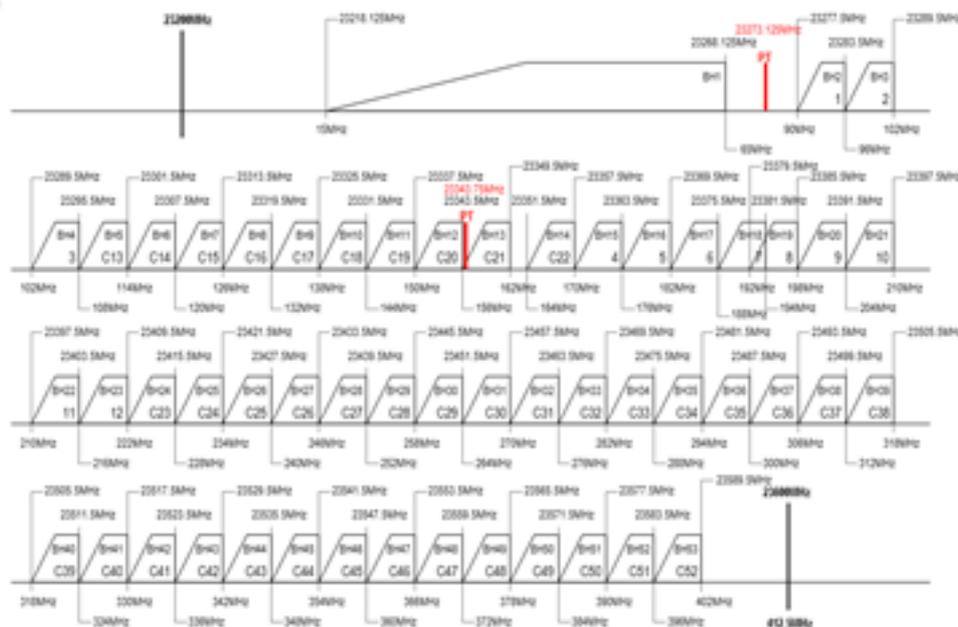
降雨強度計の概観

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

チャンネルプラン① (15MHz~402MHz)

表1-7

KCCS Group



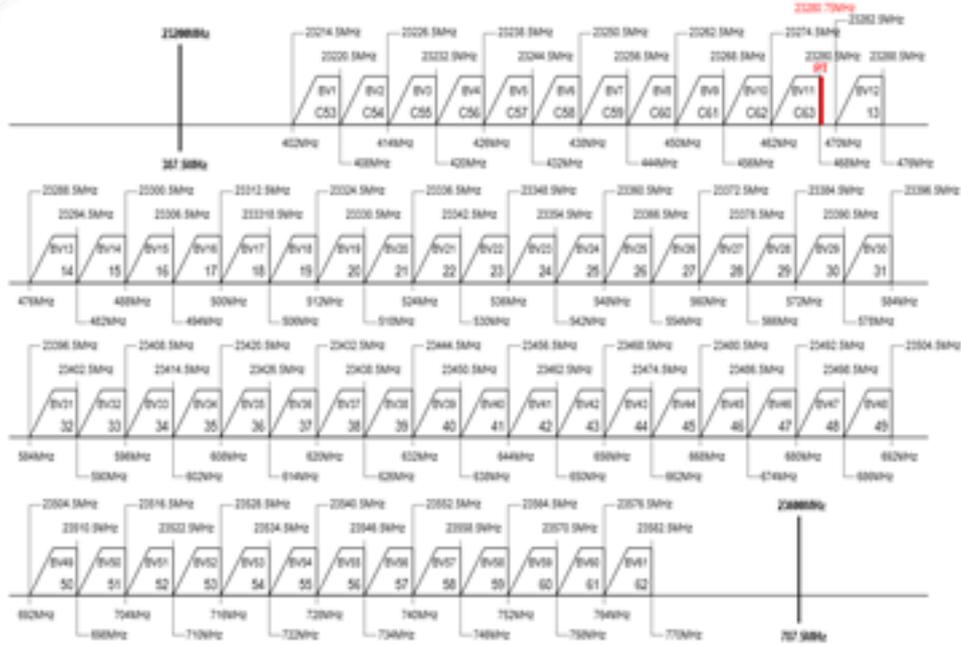
© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.



チャンネルプラン② (402MHz~770MHz)

表1-7

KCCS Group



10

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.



試験フィールド概要 (案)

表1-7

KCCS Group



11

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.



試験フィールド概要 (案)

表1-7

KCC Group



設置候補地1：テレビセンタービルディング



設置候補地2：



12

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

7.1.4.3. 委 2-4「23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」 第2回 調査検討委員会説明資料



委2-4

平成29年度
「23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討」

第2回検討委員会説明資料



京セラコミュニケーションシステム株式会社
2017年 12月 21日

KCCS Group
© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

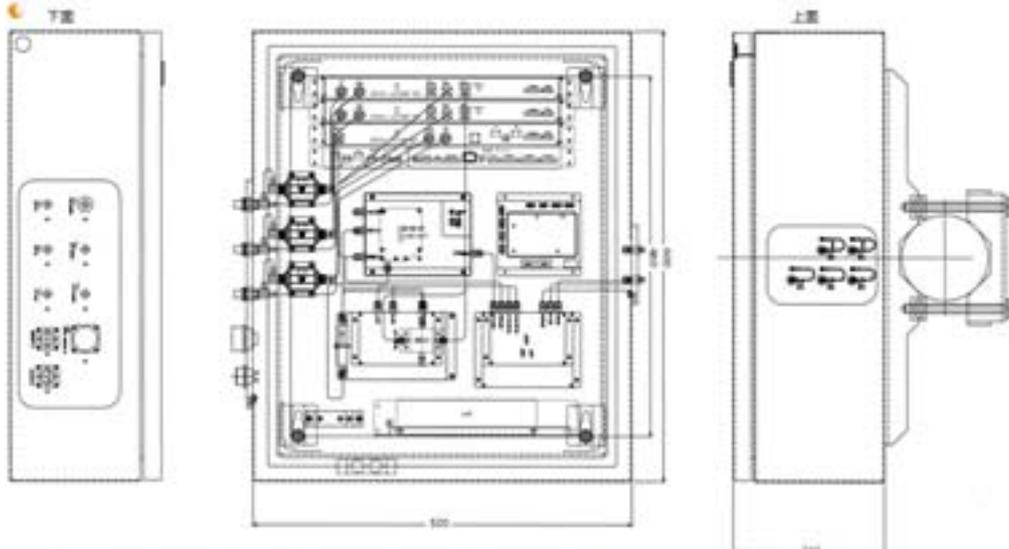
京セラコミュニケーションシステム株式会社



フィールド試験用無線装置①

委2-4

KCCS Group



| 項目 | 仕様値 | 備考 |
|----|----------------------------|---------|
| 寸法 | 600mm(W)×300mm(H)×200mm(D) | 突起物を含まず |
| 質量 | 約30kg | 取付金具込み |

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

フィールド試験用無線装置②

表2-4

KCCS Group



制御部 (1次制)



制御部 (2次制)



インタフェース (アンテナ制)



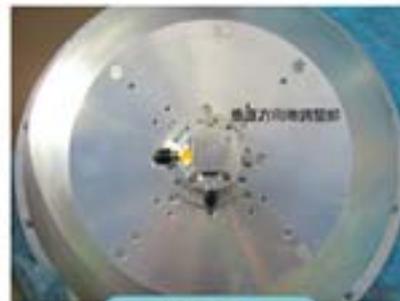
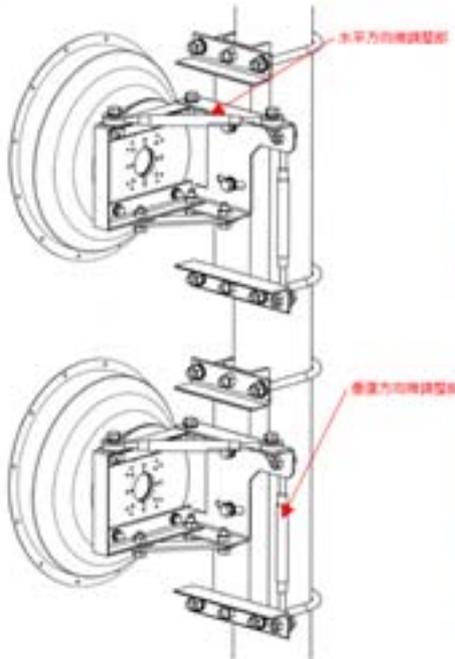
インタフェース (TV受信-電源制)

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

フィールド試験用無線装置③

表2-4

KCCS Group



検出部 (アンテナ制)



検出部 (電源制)

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

フィールド試験概要

表2-4

KCCCS Group

| | |
|------|--|
| 目的 | 変調方式にFDM-SSB方式を用いた23GHz帯無線伝送システムを試験フィールドに設置し、長期間測定を通じ、23GHz帯におけるデジタルケーブルテレビ信号の電波伝搬特性を調査し、無線区間における所要性能を確認する。 |
| 試験概要 | <p>変調方式にFDM-SSB方式を用い、双方向機能を有する23GHz帯無線伝送装置と0.3m径パラボラアンテナ、偏波分離器（OMT）、及び降雨強度計を試験フィールドに設置し、デジタルケーブルテレビ信号（256QAMなど）の信号品質（搬送波レベル、C/N比、BER（ビット誤り率）、MER（変調誤差比）等）と交差偏波識別度（XPD）、並びに降雨量を計測する。</p> <p>試験はスポット測定と長期測定を実施する：</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ スポット測定： <ul style="list-style-type: none"> 無線伝送する複数のデジタルケーブルテレビ信号について、標準状態（回線設計における降雨マージンを持った状態）における信号品質やデータ通信（スループットなど）、受信状態を確認する。 ▶ 長期測定： <ul style="list-style-type: none"> 測定するチャンネル（信号）をしぼり、搬送波レベル、C/N比、BER、MER、XPD、データ通信（PINGなど）、及び降雨強度を一定期間で長期間データ収集し、無線回線系の時変率（回線不稼働率）と降雨減衰特性を評価する。 |
| 期間 | 2017年12月～2018年2月 |
| 場所 | 長野県松本市 |

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

無線リンク ルート図

表2-4

KCCCS Group



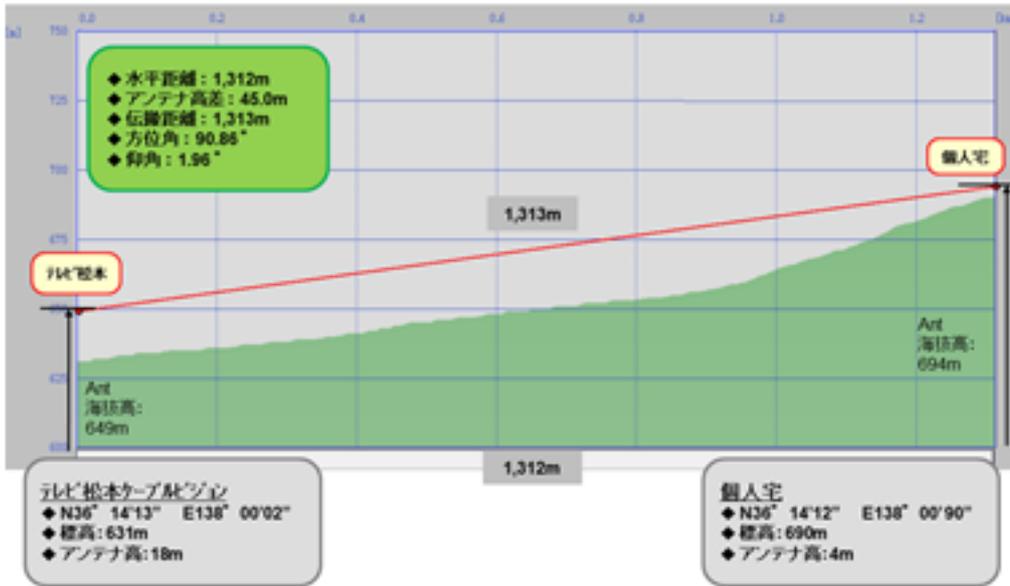
© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.



無線リンク 見通し図

表2-4

KCCS Group



6



無線リンク 見通し

表2-4

KCCS Group



観測側 (1次側) から子路側 (2次側) 方向



子路側 (2次側) から観測側 (1次側) 方向



7

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.



親局（1次側）設置状況

表2-4

KCCS Group



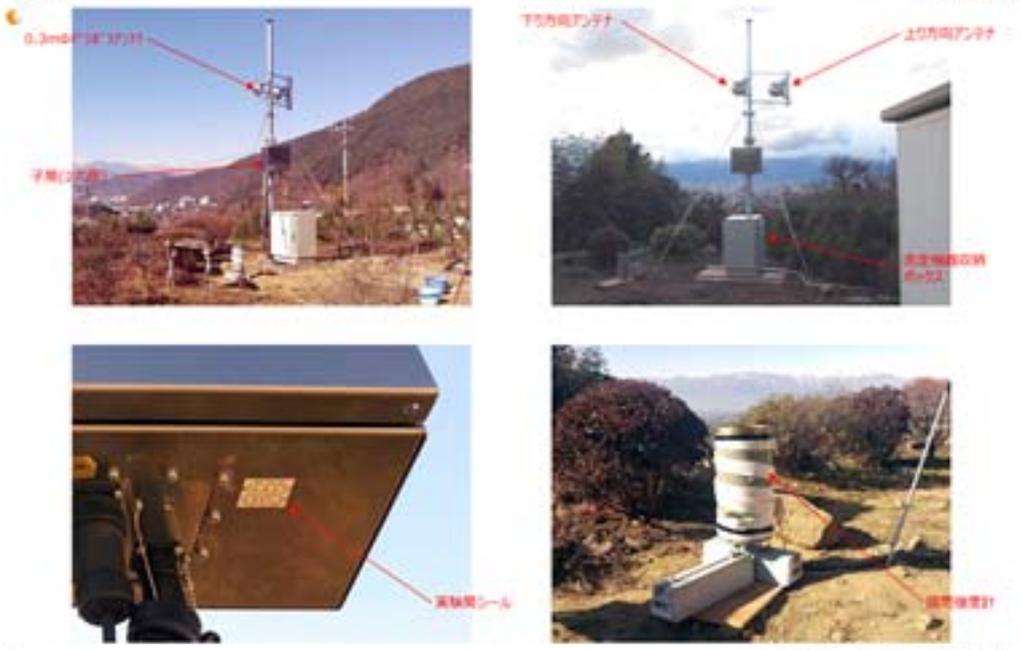
© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.



子局（2次側）設置状況

表2-4

KCCS Group



© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

フィールド試験① XPD測定

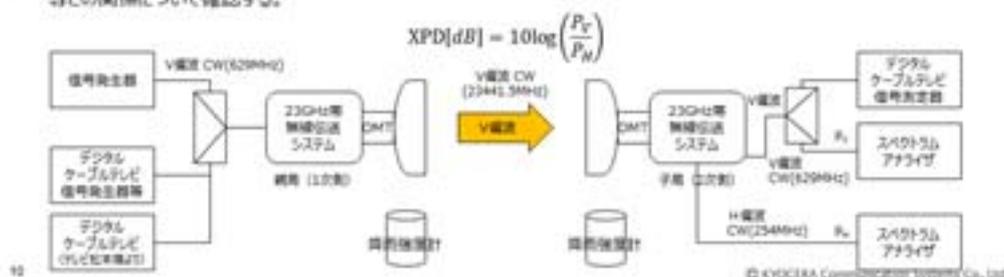
表2-4

KCCS Group

変調方式にFDM-SSB方式を用い、双方向機能を有する23GHz帯無線伝送システムと降雨強度計を試験フィールドに設置し、交差偏波識別度 (XPD) と降雨強度、デジタルケーブルテレビ信号 (OFDM/64QAM/256QAMなど) の信号品質 (搬送波レベル、C/N比、BER、MER等)、並びにデータ通信品質 (Ping) を一定期間計測する。

【XPD測定】

- 信号発生器より629MHzの無変調信号を垂直偏波が主偏波となるよう無線装置 (観測 1次側) に入力する。
 - 629MHzの周波数は、23GHz帯のV偏波 (V偏波) で信号が送信されないチャンネルとなるよう選択。
- 23,441.5MHzのV偏波の無線信号で送信した後、子局 (2次側) 無線装置より出力されるV偏波とH偏波の無変調信号のレベル (P_V と P_H) を1分間隔で測定する。
 - 23,441.5MHzの無線信号は、UHF帯 (V偏波) で629MHz、VHF帯 (H偏波) で254MHzで出力される。
 - 降雨減衰等による劣化を把握するため、子局 (2次側) 無線装置はMGC (Manual Gain Control) モードで動作させる。
- 測定結果 (P_V と P_H) より、XPDを下記計算式より算出し、降雨量、及びデジタルケーブルテレビ信号品質 (次頁参照) 等との関係について確認する。



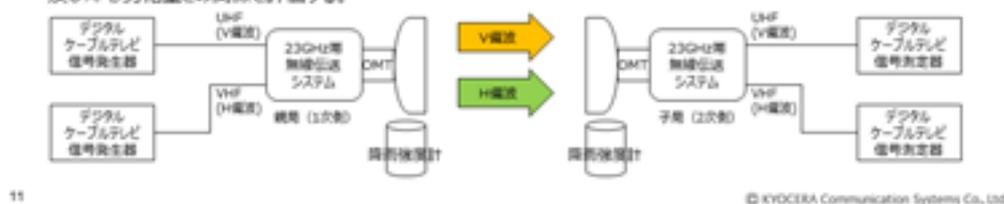
フィールド試験② デジタルケーブルテレビ信号の品質測定

表2-4

KCCS Group

【デジタルケーブルテレビ信号の品質測定】

- 信号発生器よりOFDM (ISDB-T)、64QAM (Annex C)、256QAM (Annex C) のデジタルケーブルテレビ信号を発生させ、テレビ松本ケーブルテレビ様の信号と混合して、無線装置 (観測 1次側) のVHF (90MHz~402MHz) とUHF (402MHz~770MHz) の入力端子にそれぞれ入力する。
- 測定信号については、単一偏波伝送を模して23GHz帯で信号が重ならないV(ターン (片方の偏波面に伝送信号無し) と偏波多重伝送となるパターン)の双方を準備する (次頁参照)
- V偏波とH偏波それぞれの無線信号で送信した後、子局 (2次側) 無線装置より出力されるVHF (H偏波) とUHF (H偏波) のデジタルケーブルテレビ信号 (OFDM、64QAM、および256QAMの3種) における搬送波レベル、BER、及びMERを1分間隔で測定する。
 - 降雨減衰等による劣化を把握するため、子局 (2次側) 無線装置はMGC (Manual Gain Control) モードで動作させる。
 - XPDの劣化量を考慮するため、本測定は前述のXPD測定と同時に実施することとし、リファレンスとして、無線伝送前のデジタルケーブルテレビ信号の信号品質についても常時計測する。
 - 標準状態におけるスポット測定も実施する。
- 降雨強度計を用いて、測定期間中の降雨量を1分間隔で測定する。
- デジタルケーブルテレビ信号の伝送品質と降雨量の結果より、無線回線断の時間率 (回線不稼働率) と降雨減衰特性、及びXPD劣化量との関係进行评估する。

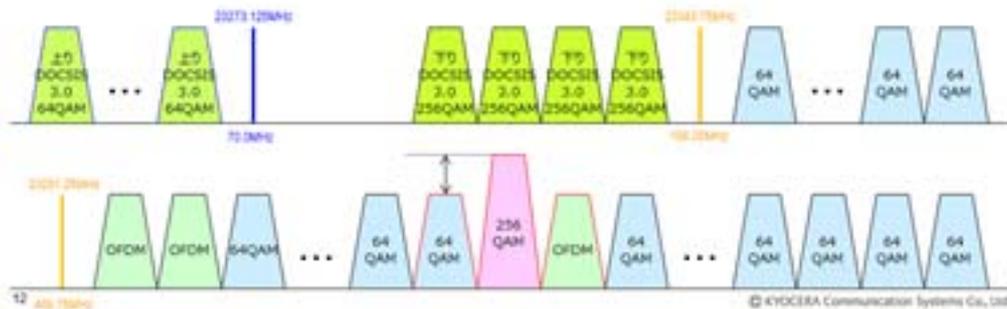


伝送信号、及び測定信号①

表2-4

KCCS Group

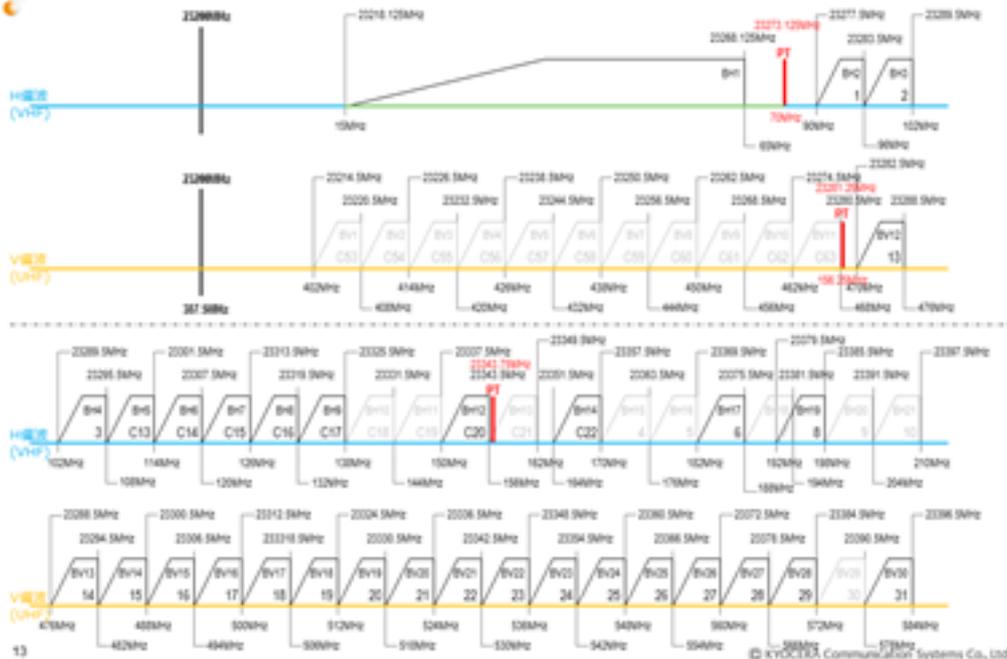
- 伝送する信号は、ケーブルテレビ事業者様より提供頂く映像信号（OFDMと64QAM）とDOCSIS信号に加え、信号発生器からの変調信号（OFDM、64QAM、及び256QAM(Annex C)）、及び無変調信号（xPD計測用）とする。
- 常時測定については安定した信号を生成できる信号発生器の信号を基本とし、VHF（90MHz～400MHz）とUHF（400MHz～770MHz）にそれぞれ3チャンネル（OFDM：1ch、64QAM：1ch、256QAM：1ch）準備する。
- ケーブルテレビの実運用を想定し、256QAMについては64QAMに対して+6dBのレベル差を設定する。
- 本フィールド試験では、J382の無線伝送は実施せず、256QAMの試験結果、及び前年度実施した室内試験結果を用いて評価することとする。
- 周波数配列は、ケーブルテレビ事業者様の配列を基本とし、必要に応じてフィルタを用いてカットし、条件に応じて信号発生器の信号を設定する。
- 伝送する信号数は、下り信号については各偏波で28チャンネル程度（合計20チャンネル以上）とし、送信機出力は、OFDMと64QAMにおいて降雨減衰が発生した際にギリギリの性能となる（回線設計例の頁を参照）-3.1dBm/chに設定する。



伝送チャンネル一覧①

表2-4

KCCS Group



伝送チャンネル一覧②

表2-4

KCCS Group



14

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

回線設計

表2-4

KCCS Group

| 項目 | 項目 | 単位 | FDM-SSB | OFDM | 16QAM | 256QAM | 備考 |
|----|----------------------------|-------|----------|----------|----------|----------|---|
| 1 | 伝送距離 | km | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | |
| 2 | 1%の劣化係数(劣化率)0.0079%値 | redem | 1.53 | 1.53 | 1.53 | 1.53 | 電力法関係係数参照より(表1参照) |
| 3 | 中心周波数 | MHz | 23.4 | 23.4 | 23.4 | 23.4 | 23.20Hz~23.80Hzの中心周波数。 |
| 4 | チャンネル帯域幅 | MHz | 11.4 | 8.8 | 8.8 | 8.8 | FDM-SSB: 25MHz OFDM: 10MHz, 16QAM: 17MHz, 256QAM: 10MHz |
| 5 | 空中線電力 | dBm | 18.8 | 18.8 | 18.8 | 18.8 | 0dBm(1W)送信電力(100W: 200W: 400W参照) |
| 6 | 総電線系統損失(送信) | dB | 4.8 | 4.8 | 4.8 | 4.8 | 送信機側における総電線損失、接続損失の合計値 |
| 7 | 送信空中線系統の付加値 | dB | 34.8 | 34.8 | 34.8 | 34.8 | アンテナ付+20dB |
| 8 | 自由空間損失 | dB | 122.2 | 122.2 | 122.2 | 122.2 | $Lp = 32.4 + 20 \log(r) + 20 \log(f)$ (dB) 参照 |
| 9 | 受信空中線系統の付加値 | dB | 34.0 | 34.0 | 34.0 | 34.0 | アンテナ付+10dB |
| 10 | 総電線系統損失(受信) | dB | 3.8 | 3.8 | 3.8 | 3.8 | 受信機側における総電線損失、接続損失の合計値 |
| 11 | 外部からの干渉率による許容的化量 | dB | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| 12 | 受信入力レベル | dBm | -85.8 | -85.8 | -85.8 | -85.8 | |
| 13 | 受信機検出電力レベル | dBm | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 10 ⁻¹⁰ W/Hz |
| 14 | 算出された受信C/N | dB | 38.8 | 38.1 | 38.1 | 38.1 | 標準状態における受信C/N(dB) |
| 15 | 送信C/N | dB | - | 34.9 | 34.7 | 40.7 | |
| 16 | 無線リンクノイズC/N | dB | - | 38.7 | 38.8 | 38.8 | 送信C/Nと受信C/Nの電力和。 |
| 17 | 降下量の地域分布による係数 | - | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 電力法関係係数参照 (表1より) |
| 18 | 0.01%の劣化係数(劣化率)0.0079%の降下量 | dB | 4.8 | 4.8 | 4.8 | 4.8 | 電力法関係係数参照 (表1より) |
| 19 | 当該回線の降下量 | dB | 3.8 | 3.8 | 3.8 | 3.8 | |
| 20 | 降下時における受信C/N | dB | 29.7 | 29.2 | 29.4 | 35.4 | |
| 21 | 降下時における無線リンクノイズC/N | dB | - | 29.1 | 29.3 | 34.3 | 送信C/Nと降下時における受信C/Nの電力和。 |
| 22 | 所要C/N | dB | 29.8 | 27.3 | 29.4 | 38.4 | 電力法関係係数参照より、本リンクにおける降下。 |
| 23 | 降下余裕マージン | dB | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 標準状態の受信C/N(dB)と算出された受信C/N(dB)の差 |
| 24 | 降下マージン | dB | 1.1 | 1.9 | 0.0 | 0.0 | 降下余裕時における降下マージン |
| 25 | 0.01%の劣化係数(劣化率)0.0079%の降下量 | dB | 6.3 | 7.3 | 4.9 | 4.8 | 電力法関係係数参照 (表1及び表2より) |
| 26 | 回線利用率 | % | 99.95以上 | 99.95以上 | 99.95以上 | 99.95以上 | 電力法関係係数参照 (表1及び表2より) |
| 27 | システム干渉抑制時間 | min | 262.81以下 | 262.81以下 | 262.81以下 | 262.81以下 | |

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

測定項目案

表2-4

KCCCS Group

| 測定項目 | 符号 | 測定局 | | | | データ取得時間 | 測定器 | 備考 |
|-------------|--------|----------|-----|----------|-----|---------|-----------------|------------------|
| | | 親局 (1次側) | | 子局 (2次側) | | | | |
| | | V偏波 | H偏波 | V偏波 | H偏波 | | | |
| 搬送波レベル | OFDM | ○ | × | ○ | ○ | 1分間 | LF990 (リーター電子製) | |
| | 64QAM | ○ | × | ○ | ○ | | | |
| | 256QAM | ○ | × | ○ | ○ | | | |
| ビット誤り率(BER) | OFDM | ○ | × | ○ | ○ | 1分間 | LF990 (リーター電子製) | |
| | 64QAM | ○ | × | ○ | ○ | | | |
| | 256QAM | ○ | × | ○ | ○ | | | |
| 変調誤差比(MER) | OFDM | ○ | × | ○ | ○ | 1分間 | LF990 (リーター電子製) | |
| | 64QAM | ○ | × | ○ | ○ | | | |
| | 256QAM | ○ | × | ○ | ○ | | | |
| 受信レベル | 無変調信号 | × | × | ○ | ○ | 1分間 | FPH (R&S製) | 主偏波: V偏波 |
| 降雨強度 | - | | ○ | | ○ | 1分間 | B-061 (横河電子製) | 0.0083mmの雨量をカウント |

※データ取得時間は測定するチャンネルの変調方式やチャンネル数に依存する。
 ※搬送波対雑音比(C/N比)については、雑音電力測定に依存するためMERで代用する。

16

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

スポット測定結果

表2-4

KCCCS Group

●23GHz帯無線伝送前後における測定結果 (スポット測定) を以下に記載する。

| 変調方式 | チャンネル | | 偏波面 | 無線伝送 | 測定項目 | 測定結果 | | 備考 |
|--------|-------|----------|-----|------|------------|--------|--------|---------------------|
| | CH | 周波数[MHz] | | | | 伝送前 | 伝送後 | |
| OFDM | C46 | 363(1/7) | 水平 | 単一偏波 | 雑音電圧[dBμV] | 73.8 | 82.8 | |
| | | | | | BER | 0.0E+0 | 0.0E+0 | |
| | | | | | MER[dB] | >30 | >30 | |
| 64QAM | C44 | 351 | 水平 | 単一偏波 | 雑音電圧[dBμV] | 74.4 | 84.1 | |
| | | | | | BER | 0.0E+0 | 0.0E+0 | |
| | | | | | MER[dB] | >35 | 32.5 | |
| 256QAM | 53 | 713 | 垂直 | 単一偏波 | 雑音電圧[dBμV] | 82.8 | 89.0 | |
| | | | | | BER | 0.0E+0 | 0.0E+0 | |
| | | | | | MER[dB] | >35 | >35 | |
| OFDM | 41 | 641(1/7) | 垂直 | 偏波多重 | 雑音電圧[dBμV] | 75.3 | 82.4 | |
| | | | | | BER | 0.0E+0 | 0.0E+0 | |
| | | | | | MER[dB] | >30 | 29.5dB | |
| 64QAM | 47 | 677 | 垂直 | 偏波多重 | 雑音電圧[dBμV] | 70.2 | 77.4 | 入力レベルが小さいためCH変更を検討。 |
| | | | | | BER | 0.0E+0 | 5.9E-7 | |
| | | | | | MER[dB] | 33.7 | 27.5 | |
| 256QAM | 11 | 213 | 水平 | 偏波多重 | 雑音電圧[dBμV] | 77.3 | 90.9 | |
| | | | | | BER | - | - | 信号発生器の信号を確認できず。 |
| | | | | | MER[dB] | - | - | 信号発生器の信号を確認できず。 |

17

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

偏波面調整

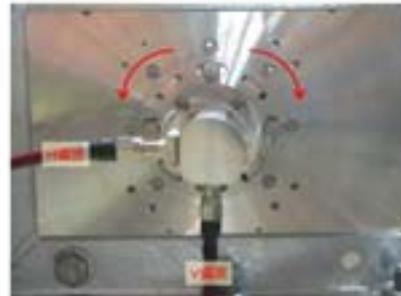
表2-4

KCCS Group

- アンテナ方向調整終了後、下り方向の偏波面の調整を下記の方法で実施：
 - 親局(1次側)より、2つの無変調信号(Pilot信号)をそれぞれV偏波(23,281.25MHz)とH偏波(23,323.75MHz)で送信させる。
 - 子局(2次側)のOMT(OrthoMode Transducer: 偏波分離器)のV偏波用のポートにスペクトラムアナライザを接続し、2つの無変調信号のレベルを測定し、そのO/U比が最大となるようOMTを調整する。
 - OMTの調整はパラボラアンテナ背面に接続されているOMTの取り付けボルトを緩め、OMTを左右に廻しながらレベルを確認する。
 - 上記調整後、OMTのH偏波用のポートのスペクトラムアナライザを接続し、2つの無変調信号のレベルを測定し、そのO/U比が劣化していないことを確認する。
- 調整の結果、1dB程度の改善となった。

| 項目 | 調整前 | 調整後 | 備考 |
|-----------------------------------|---------------|---------------|--------------|
| V _{PT} -V _{out} | -58.7dBm | -57.6dBm | 23,281.25MHz |
| H _{PT} -V _{out} | -93.6dBm | -93.5dBm | 23,323.75MHz |
| O/U比 | 34.9dB | 35.9dB | |
| V _{PT} -H _{out} | -57.4dBm | -56.3dBm | 23,281.25MHz |
| H _{PT} -H _{out} | -93.2dBm | -93.4dBm | 23,323.75MHz |
| O/U比 | 35.8dB | 37.1dB | |

- 調整作業は非常にセンシティブであり、ボルトの締め付けでレベルが変わる状態であり、長時間の調整となった。
- ボルトの位置を変更するなど調整機構について見直しを行い、作業改善を検討する必要がある。



2箇所OMT取り付けボルトを緩め、OMTを左右に廻して調整する。

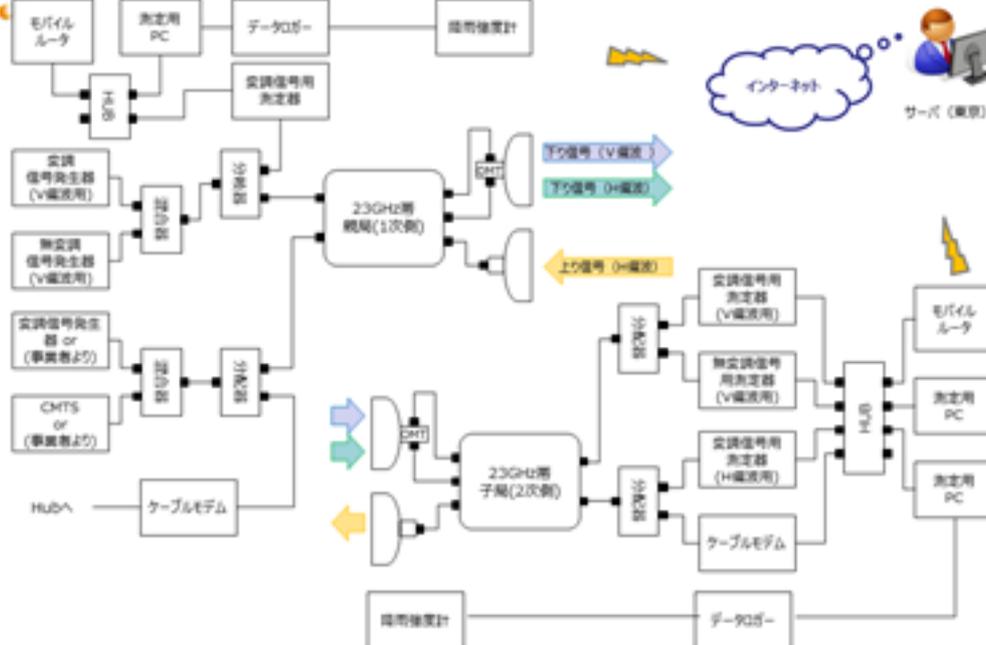
© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

18

フィールド試験 測定系統図

表2-4

KCCS Group



19

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

スケジュール

委2-4

KCCG Group

| | 2017年 | | | | | 2018年 | | |
|---------------------|---------|-------------|-----|---------------------|------|-------------|-----------|------------|
| | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 |
| 調査検討 | | | | | | | | |
| 編波多重技術の検討 | | | | 机上検討 | | | 協議注の導入-調整 | |
| 双方向化技術の検討 | | | | 机上検討 | | | 協議注の導入-調整 | |
| 変調方式高度化技術の検討 | | | | 机上検討 | | | 協議注の導入-調整 | |
| 小型・軽量化の検討 | | | | | | | 協議注の導入-調整 | |
| 技術試験・フィールド試験 | | | | | | | | |
| 機材・部材調達、及び試作 | | | | 試作機調達-試作 | | | | |
| 技術試験 | | | | | | | 調整検証など | |
| フィールド試験 | フィールド調査 | 実機使用検証準備 | | 中継機材(15台)・電力(1000V) | 設置工事 | フィールド試験(10) | | 撤去工事 |
| 調査検討委員会 | | | | | | | | |
| 検討委員会開催 | | 第1回(10月18日) | | | | 第2回(12月22日) | | 第3回(1月16日) |
| 報告書等 | | | | | | | | |
| 資料作成 | | 資料作成 | | | 資料作成 | | 資料-調整書作成 | |

20 ※フィールド試験の実地試験場については、フィールド調査や実機使用時の取得状況により多少のずれが生じます。

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

参考：降雨強度計の主な仕様

委2-4

KCCG Group

| 項目 | 概要 |
|------|--------------------|
| 検出方式 | 水滴計数方式 |
| 測定精度 | 0.0083mm/h 10%以内 |
| 受水口径 | 200mm |
| 測定範囲 | 0mm~100mm/h |
| 検出器 | LED~フォトトランジスタ |
| 電源 | DC10.5~16.5V、約20mA |
| 外形寸法 | 約φ210mm×450mm(H) |
| 重量 | 4.5kg |



降雨強度計の概観

21

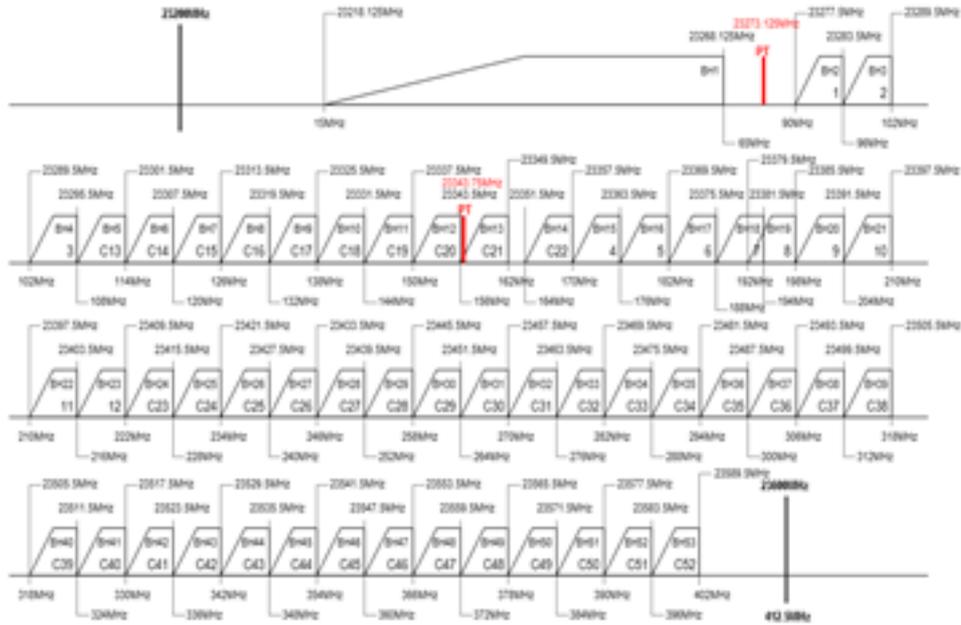
© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.



参考：チャンネルプラン① (15MHz~402MHz)

表2-4

KCCS Group



22

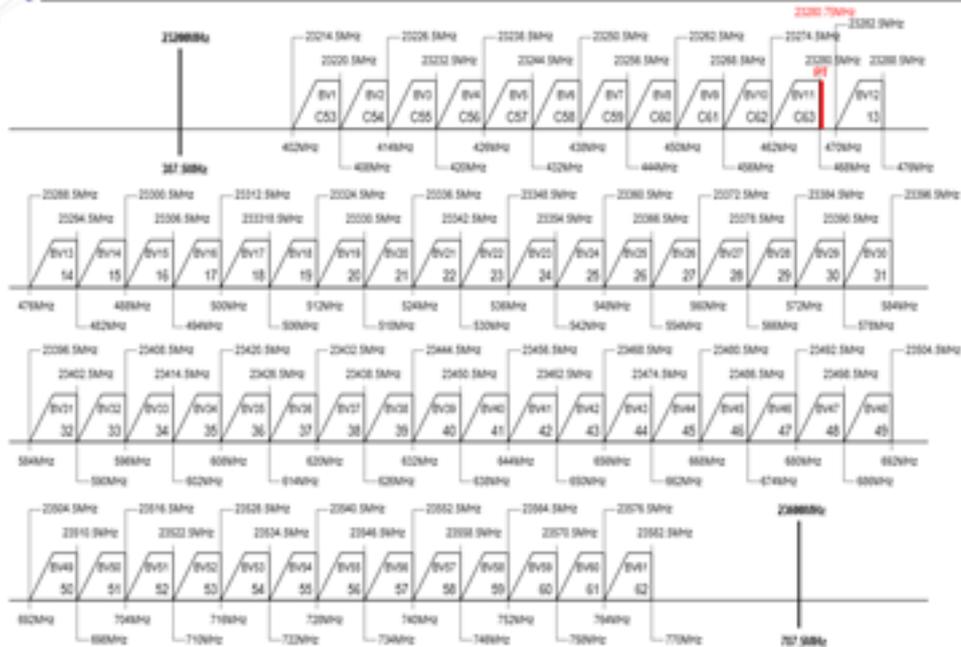
© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.



参考：チャンネルプラン② (402MHz~770MHz)

表2-4

KCCS Group



23

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

7.1.4.4. 委 3-6「23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討に係わる調査検討委員会」第3回 調査検討委員会説明資料



委3-6

平成29年度
「23GHz帯無線伝送システムの双方向化等に関する技術的条件の調査検討」
第3回検討委員会説明資料



京セラコミュニケーションシステム株式会社
2018年 3月 26日

KCCS Group
© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

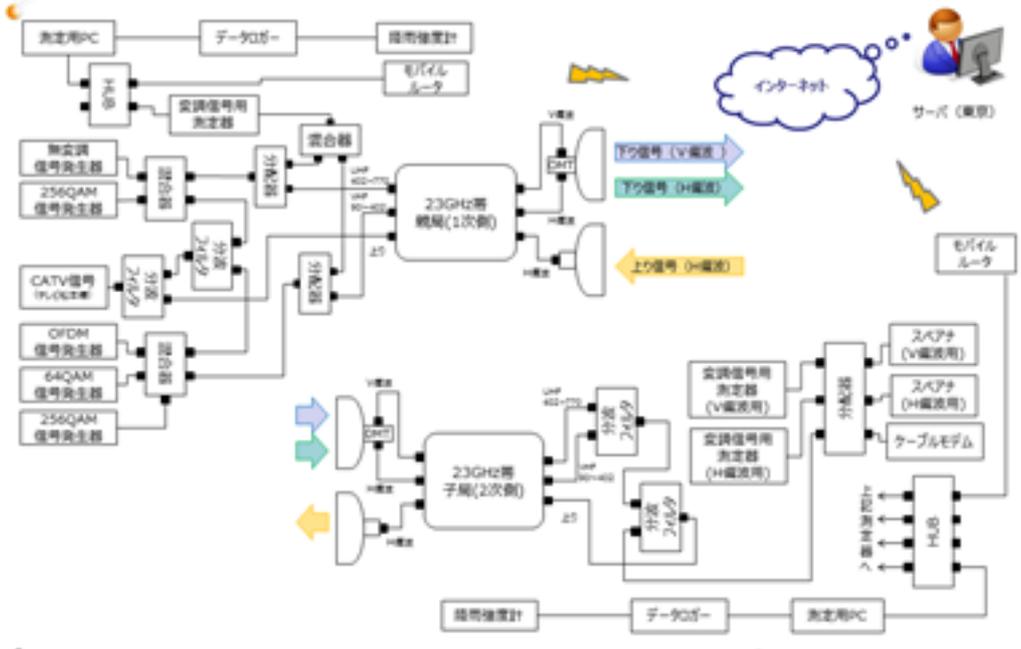
京セラコミュニケーションシステム株式会社



フィールド試験 測定系統図

表3-6

KCCG Group



© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

測定項目（長期間測定）

表3-6

KCCG Group

| 測定項目 | 信号 | 観局 | | | | データ取得時間 | 測定器 | 備考 |
|----------------|--------|----------|-----|----------|-----|---------|----------------|------------------------|
| | | 観局 (1次側) | | 子局 (2次側) | | | | |
| | | V編波 | H編波 | V編波 | H編波 | | | |
| 搬送波対雑音比 (C/N比) | OFDM | × | × | ○ | ○ | 1分間 | FPH (R&S製) | 観局 (1次側) の測定はスポットのみ実施。 |
| | 64QAM | × | × | ○ | ○ | | | |
| | 256QAM | × | × | ○ | ○ | | | |
| 搬送波レベル | OFDM | ○ | ○ | ○ | ○ | 1分間 | LF990 (リーダ電子製) | |
| | 64QAM | ○ | ○ | ○ | ○ | | | |
| | 256QAM | ○ | ○ | ○ | ○ | | | |
| ビット誤り率(BER) | OFDM | ○ | ○ | ○ | ○ | 1分間 | LF990 (リーダ電子製) | |
| | 64QAM | ○ | ○ | ○ | ○ | | | |
| | 256QAM | ○ | ○ | ○ | ○ | | | |
| 変調誤差比(MER) | OFDM | ○ | ○ | ○ | ○ | 1分間 | LF990 (リーダ電子製) | |
| | 64QAM | ○ | ○ | ○ | ○ | | | |
| | 256QAM | ○ | ○ | ○ | ○ | | | |
| 受信レベル | 無変調信号 | × | × | ○ | ○ | 1分間 | FPH (R&S製) | 主編波：V編波 |
| 降雨強度 | - | | ○ | | ○ | 1分間 | B-061 (横河電子製) | 0.0083mmの雨量をカウント |

※データ取得時間は測定するチャンネルの変調方式やチャンネル数に依存する。
 ※搬送波対雑音比(C/N比)については、雑音電力測定に依存するためMERで代用する。

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

測定チャンネル①

表3-6

KCCS Group

| CH | 変調方式 | 偏波面 | テレビ周波数 [MHz] | 無線周波数 [MHz] | 信号源 | 備考 |
|------------------|--------|-----|--------------|-------------|-------|-----------------------------|
| XPD _H | CW | 垂直 | 254 | 23,441.5 | 信号発生器 | XPD _H のH偏波成分、C28 |
| XPD _V | CW | 垂直 | 629 | 23,441.5 | 信号発生器 | 39CH |
| 11 | 256QAM | 水平 | 213 | 23,400.5 | 信号発生器 | 偏波多重 雑音レベル：12ch |
| C45 | 64QAM | 水平 | 357 | 23,544.5 | 信号発生器 | 単一偏波 雑音レベル：C46ch |
| C47 | OFDM | 水平 | 369 | 23,556.5 | 信号発生器 | 単一偏波 雑音レベル：C48ch |
| 35 | 64QAM | 垂直 | 605 | 23,420.5 | テレビ松本 | 偏波多重 雑音レベル：36ch |
| 41 | OFDM | 垂直 | 641 | 23,453.5 | テレビ松本 | 偏波多重 雑音レベル：42ch |
| 53 | 256QAM | 垂直 | 713 | 23,525.5 | 信号発生器 | 単一偏波 雑音レベル：54ch |

- C/N比測定の雑音帯域は、測定チャンネルの1つ上のチャンネル（全て空きチャンネル）で測定。ただし、スポット測定では、対象チャンネルの送信をオフにして雑音レベルを測定。

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

測定チャンネル②（チャンネル配列イメージ）

表3-6

KCCS Group



© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.



256QAM(11ch : H偏波) における時系列変化①

2017年12月28日~2018年3月20日

表3-6

KCCS Group

子局側 (2次側)



- 2017年12月28日から2018年3月20日までの、子局側 (2次側) における256QAM (11ch : H偏波) の信号品質 (C/N比、MER、BERなど) と1分間降雨量の時系列変化を示す。
- 期間を通じて回線設計で使用した降雨量 (1.33mm/min) を超える降雨はなかったが、2/28日に比較的大きな減衰が発生しており、同タイミングでMERやBERの劣化も発生している。

6

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.



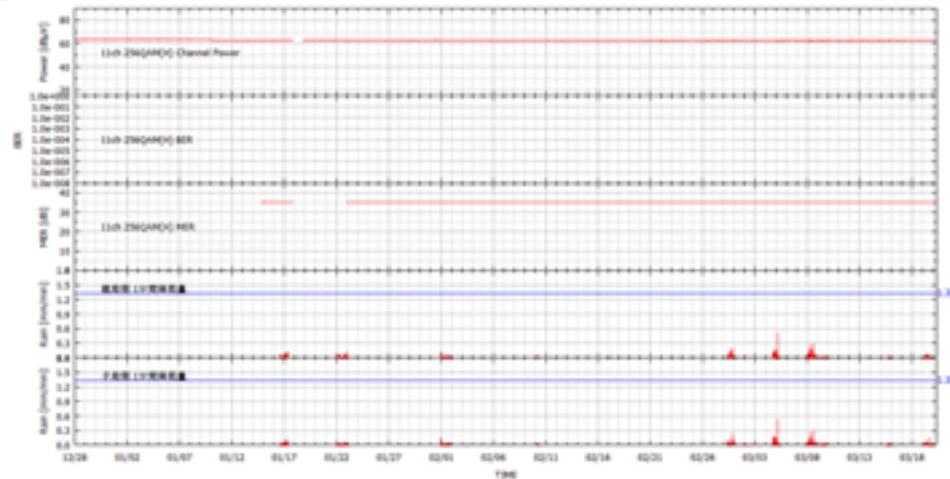
256QAM(11ch : H偏波) における時系列変化②

2017年12月28日~2018年3月20日

表3-6

KCCS Group

親局側 (1次側)



- 2017年12月28日から2018年3月20日までの、親局側 (1次側) における256QAM (11ch : H偏波) の信号品質 (C/N比、MER、BERなど) と1分間降雨量の時系列変化を示す。
- 期間を通じて安定していることが分かる

7

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.



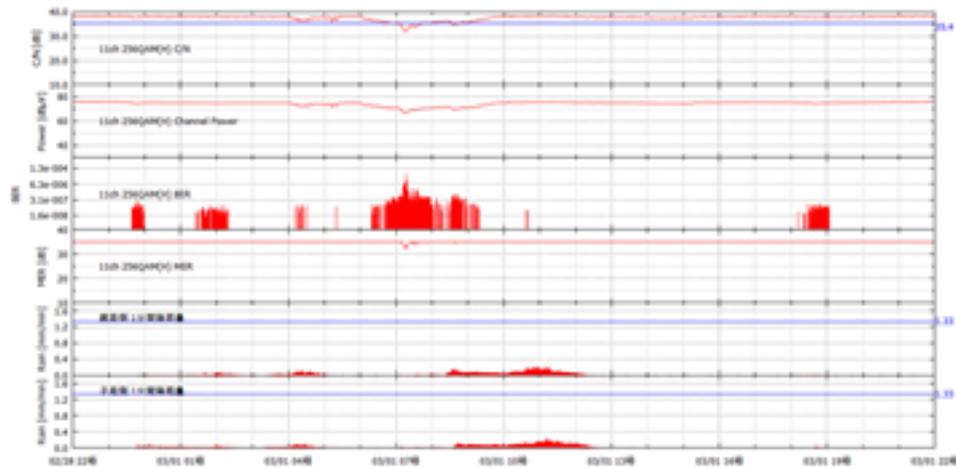
256QAM(11ch : H偏波) における時系列変化③

2018年2月28日~2018年3月1日

表3-6

KCCS Group

子局側 (2次側)



- 2018年2月28日から2018年3月1日までの、子局側 (2次側) における256QAM (11ch : H偏波) の信号品質 (C/N比、MER、BERなど) と1分間降雨量の時系列変化を示す。
- 3月1日の7時ごろ10dB程度の減衰が発生し、C/N比やBER、MERの劣化が発生しているが、降雨のタイミングとはズレており、また降雨量も同程度の減衰が発生するほどではない。

8

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.



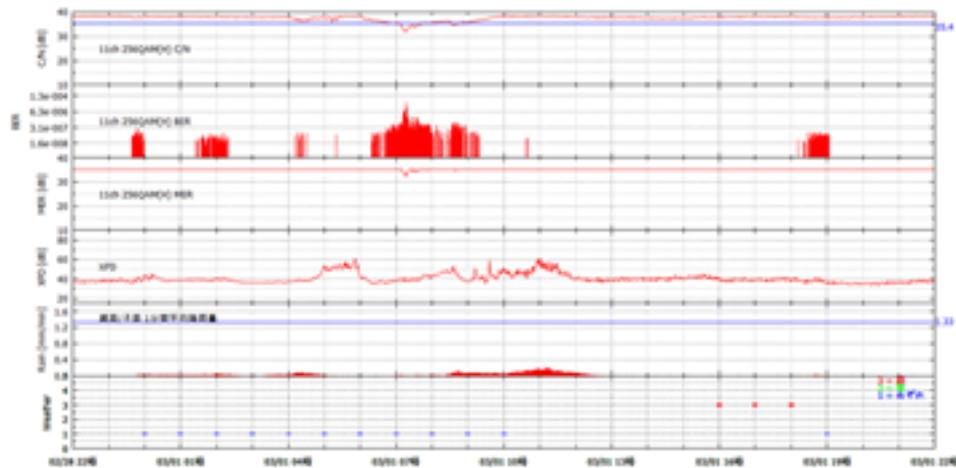
256QAM(11ch : H偏波) における時系列変化④

2018年2月28日~2018年3月1日

表3-6

KCCS Group

子局側 (2次側)



- 2018年2月28日から2018年3月1日までの、子局側 (2次側) における256QAM (11ch : H偏波) の信号品質 (C/N比、MER、BERなど)、XPD、1分間降雨量、並びに天候の時系列変化を示す。
- 3月1日の7時ごろの10dB程度の減衰時のXPDは特に劣化は見られないが、同時刻の数時間前から雨ではなくみぞれが降っていた模様であり、降雨強度計の受水口に氷として固ってしまったため、1分間降雨量が正確に計測できなかったと予想される。

9

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.



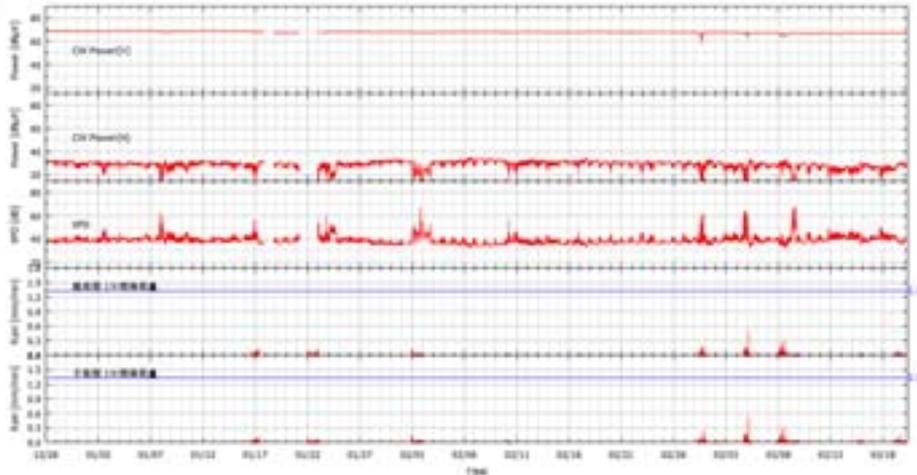
XPDにおける時系列変化

2017年12月28日~2018年3月20日

表3-6

KCCG Group

子局側 (2次側)



- 2018年2月28日から2018年3月1日までの子局側 (2次側) におけるV偏波を主偏波とする無変調信号 (CW) のレベルとH偏波からの出力レベル、XPD、1分間降雨量の時系列変動を示す。
- 期間を通じてXPDの大きな劣化は見られないが、H偏波からの出力レベルが大きく減衰しており、見かけ上XPDが改善するといった現象が発生している。

10

© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.



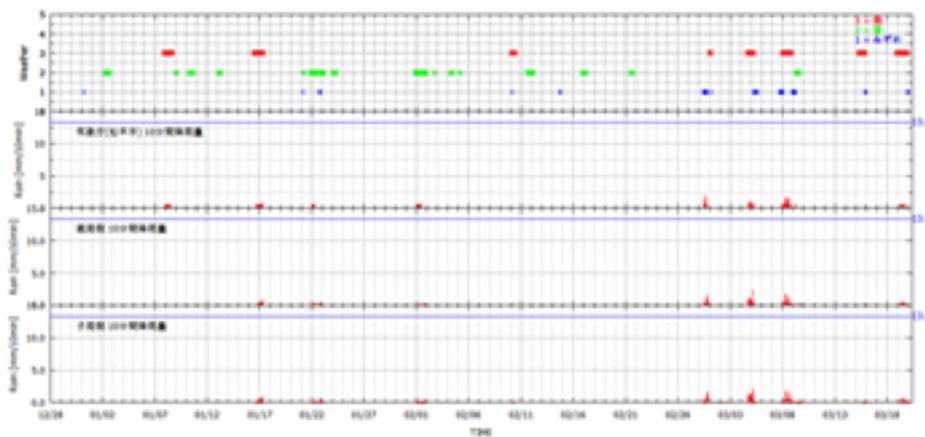
降雨量における時系列変化

2017年12月28日~2018年3月20日

表3-6

KCCG Group

子局側 (2次側)



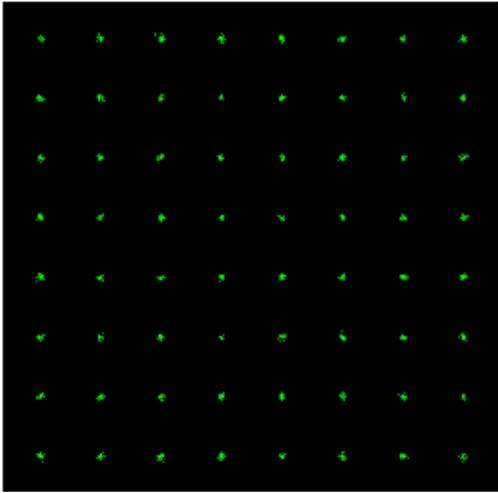
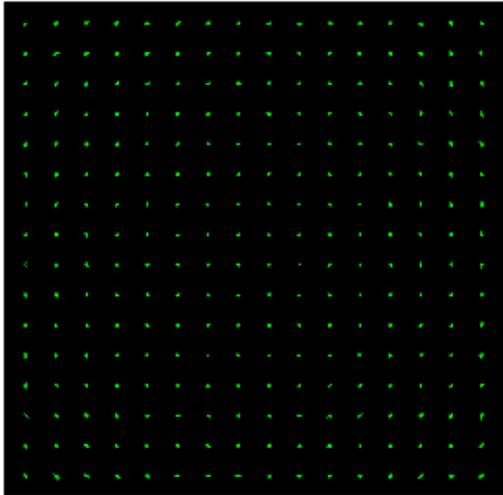
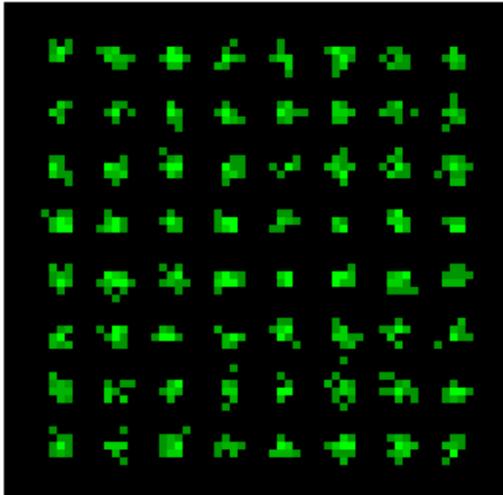
- 2018年2月28日から2018年3月1日までの、松本市における天候、気象庁による10分間降雨量、並びに降雨強度計による10分間降雨量の時系列変化を示す。
- 気象庁発表の10分間降雨量と大きな差異は発生していない。

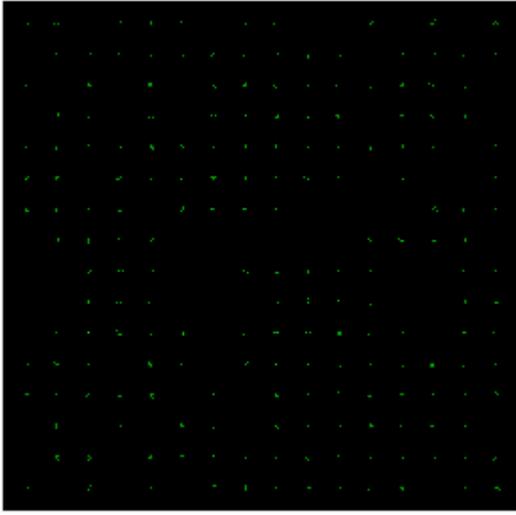
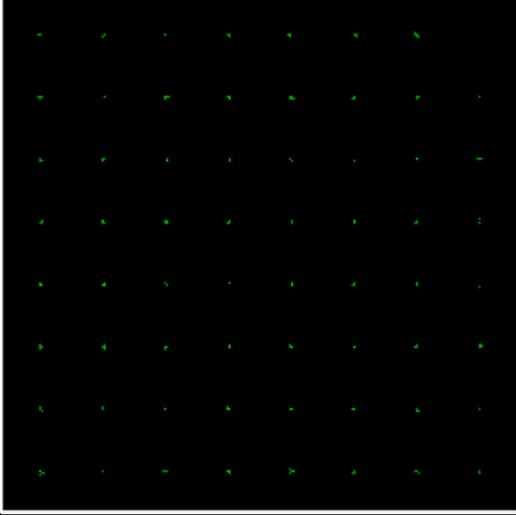
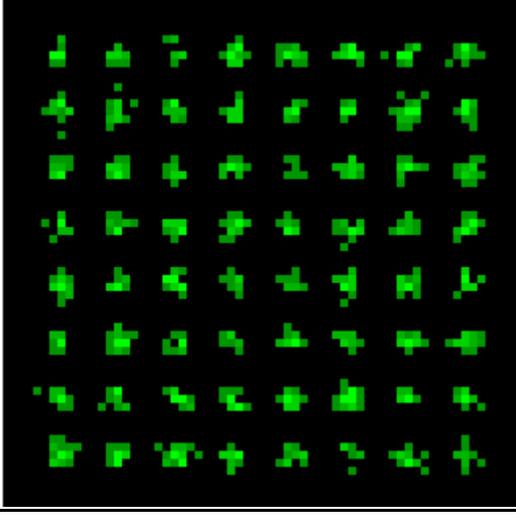
11

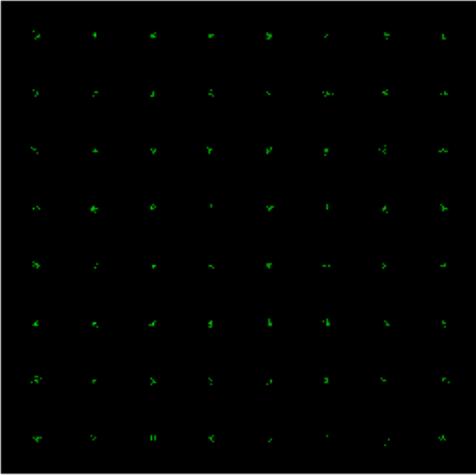
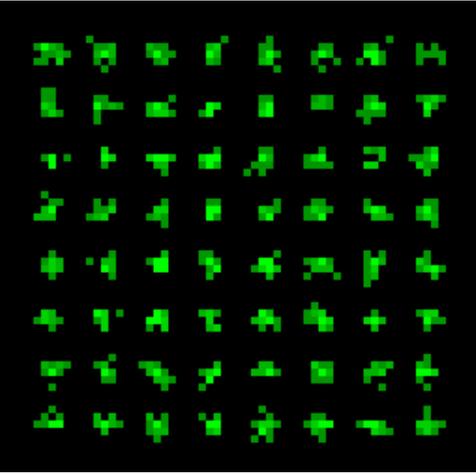
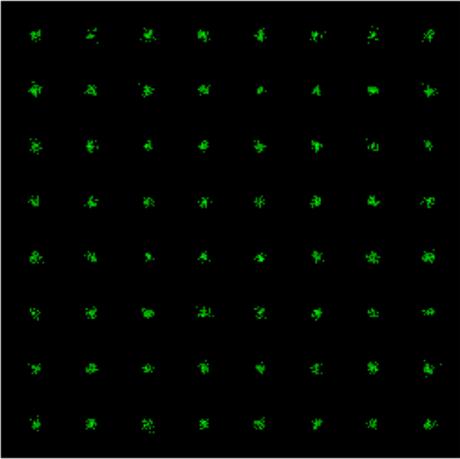
© KYOCERA Communication Systems Co., Ltd.

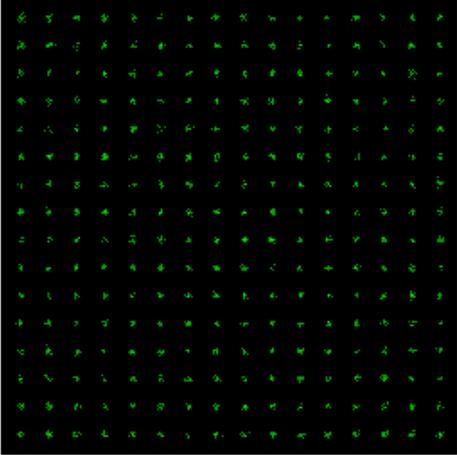
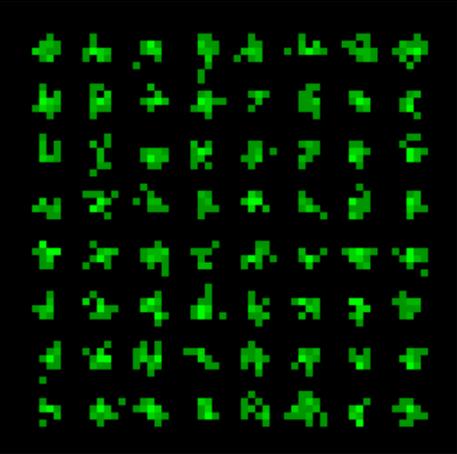
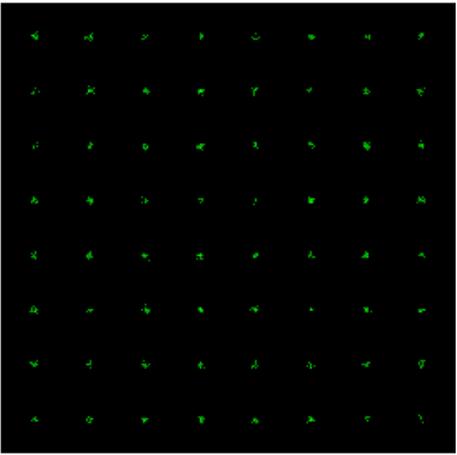
7.2. 映像試験

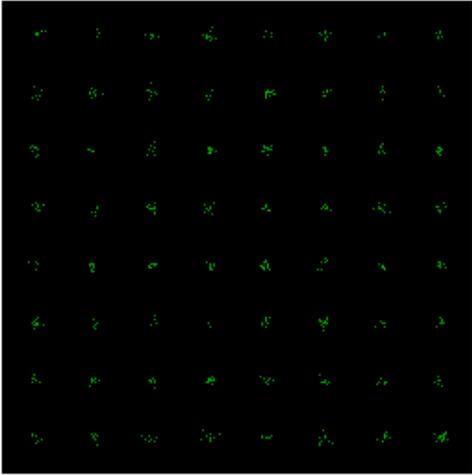
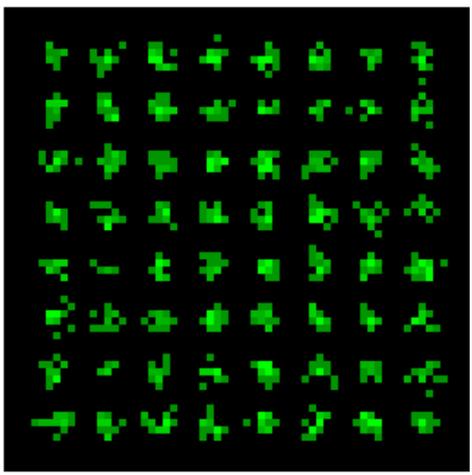
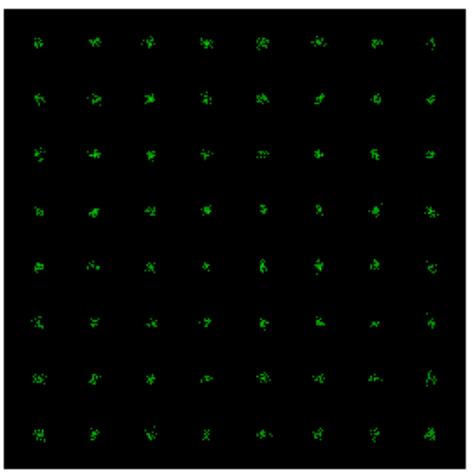
| | |
|---|--|
|  | <p>試験風景 1</p> <p>一次側における測定器設置状況</p> |
|  | <p>室内試験風景 2</p> <p>二次側における測定器設置状況</p> |
|  | <p>室内試験風景 3</p> <p>分離型 OMT 調整試験の風景。</p> |

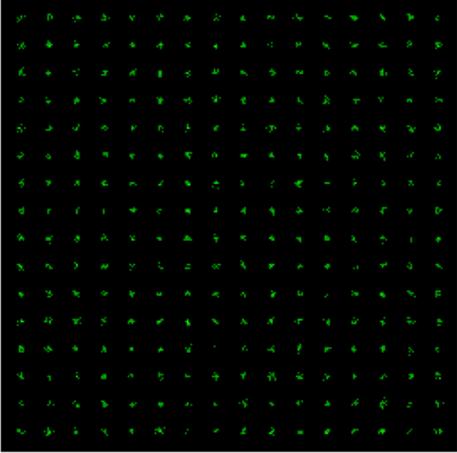
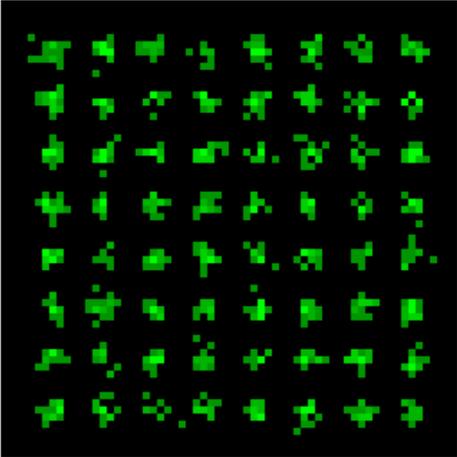
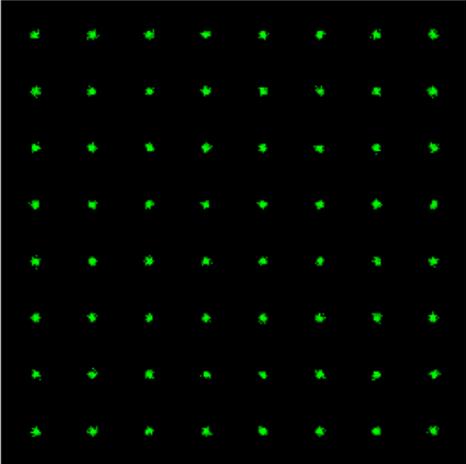
| | |
|---|---------------------------------------|
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>35ch(64QAM) コンスタレーション(IN)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>53ch(256QAM) コンスタレーション(IN)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>41ch(OFDM) コンスタレーション(IN)</p> |

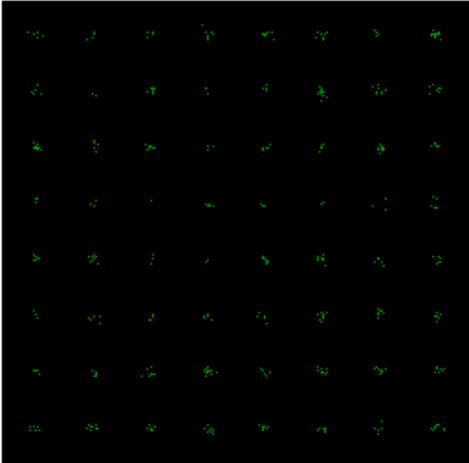
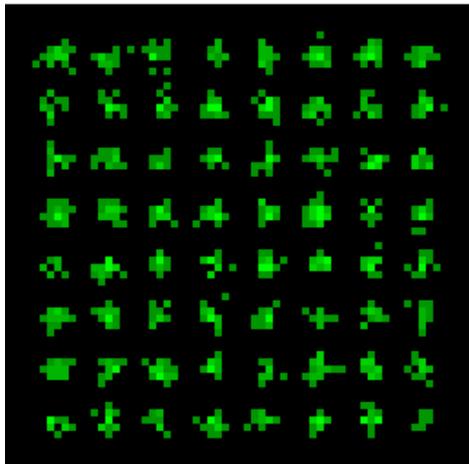
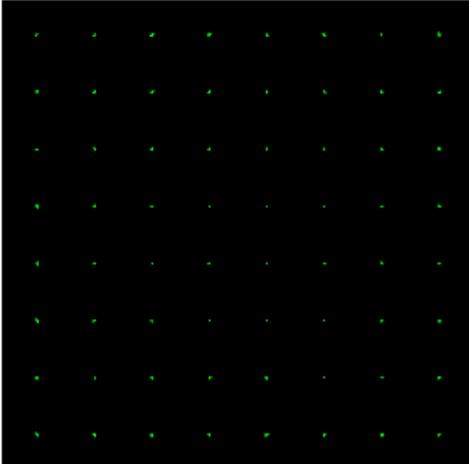
| | |
|---|---------------------------------------|
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>11ch(256QAM) コンスタレーション(IN)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>C45ch(64QAM) コンスタレーション(IN)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>C47ch(OFDM) コンスタレーション(IN)</p> |

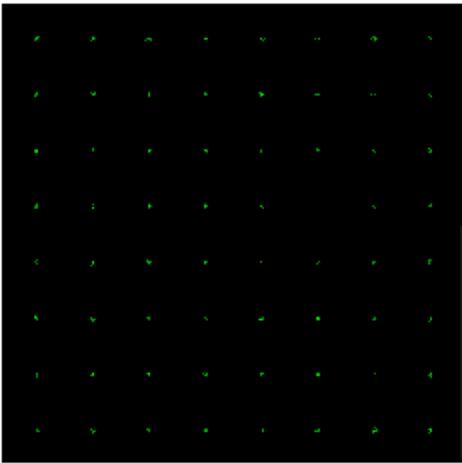
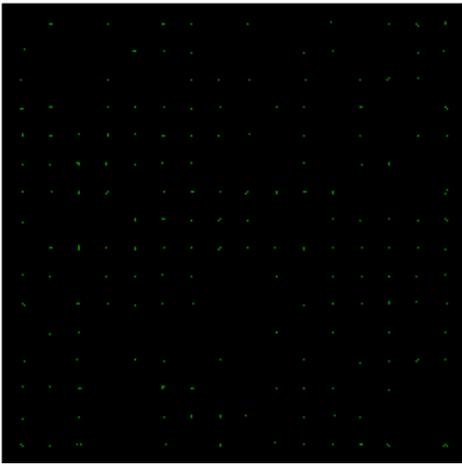
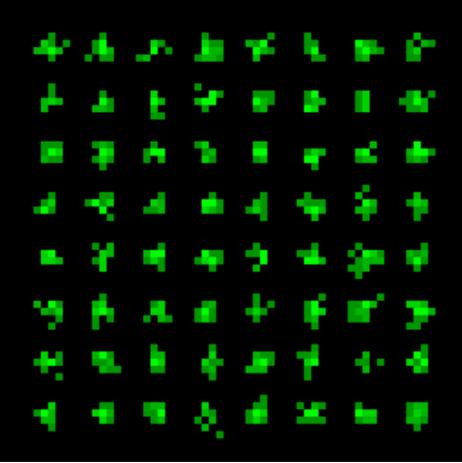
| | |
|---|--|
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>35ch(64QAM) コンスタレーション(IN)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>41ch(OFDM) コンスタレーション(IN)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>35ch(64QAM) コンスタレーション(OUT_多重)</p> |

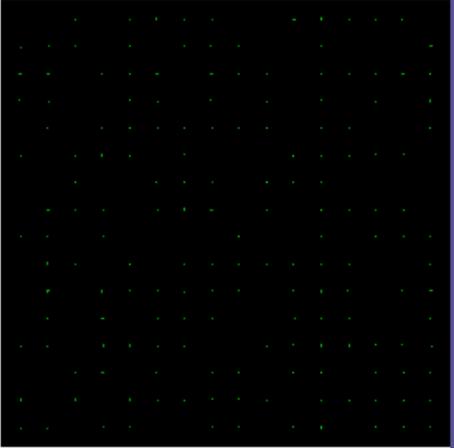
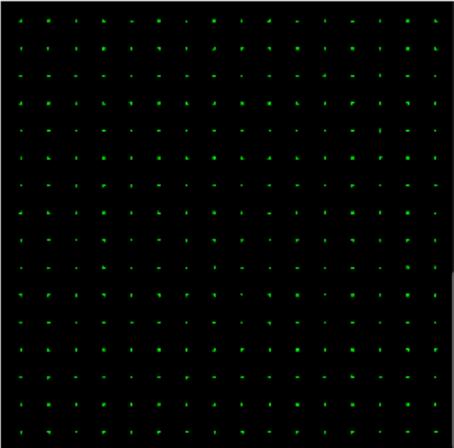
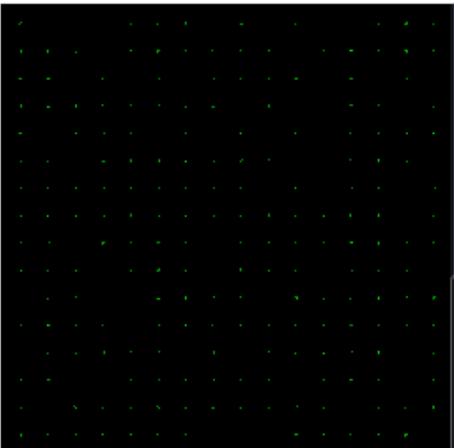
| | |
|---|--|
|  | <p>コンスタレーション測定</p> <p>53ch(256QAM) コンスタレーション(OUT_多重)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> <p>41ch(OFDM) コンスタレーション(OUT_多重)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> <p>11ch(256QAM) コンスタレーション(OUT_多重)</p> |

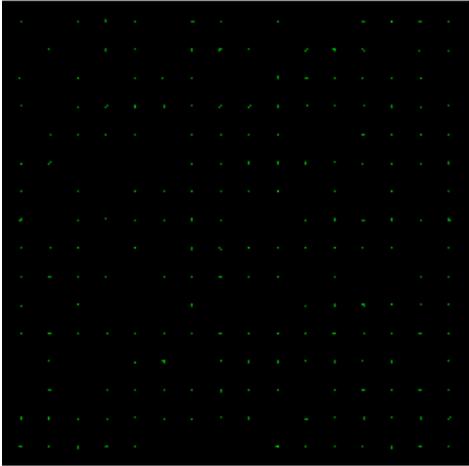
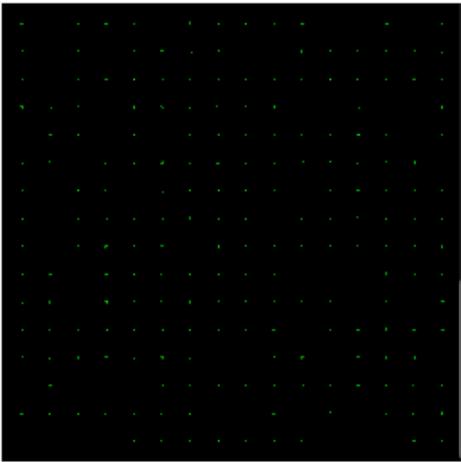
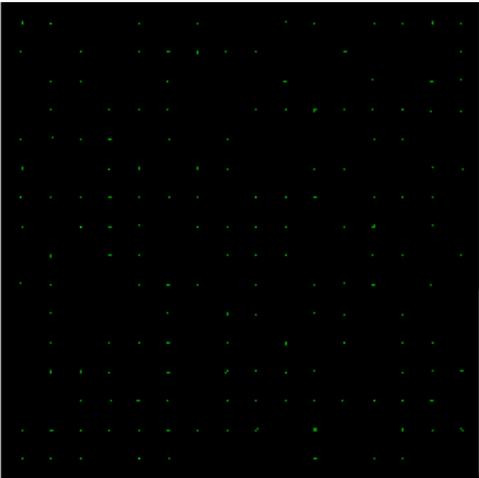
| | |
|---|--|
|  | <p>コンスタレーション測定</p> <hr/> <p>C45ch(64QAM) コンスタレーション(OUT_多重)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> <hr/> <p>C47ch(OFDM) コンスタレーション(OUT_多重)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> <hr/> <p>35ch(64QAM) コンスタレーション(OUT_単一)</p> |

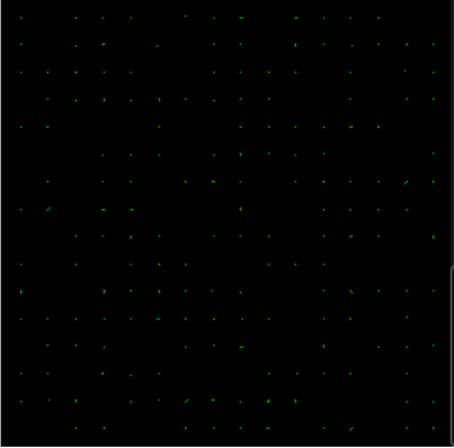
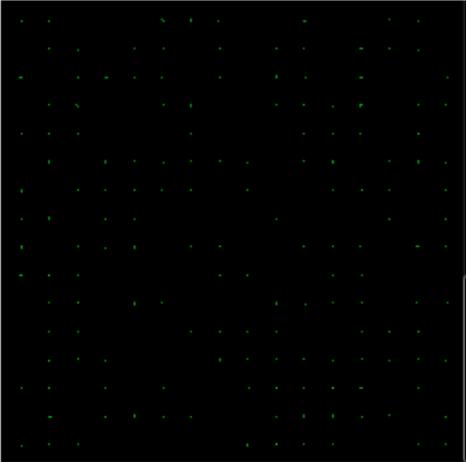
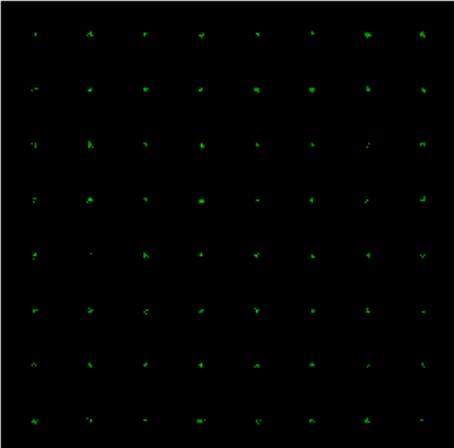
| | |
|---|--|
|  | <p>コンスタレーション測定</p> <p>53ch(256QAM) コンスタレーション(OUT_単一)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> <p>41ch(OFDM) コンスタレーション(OUT_単一)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> <p>11ch(256QAM)_コンスタレーション(OUT_単一)</p> |

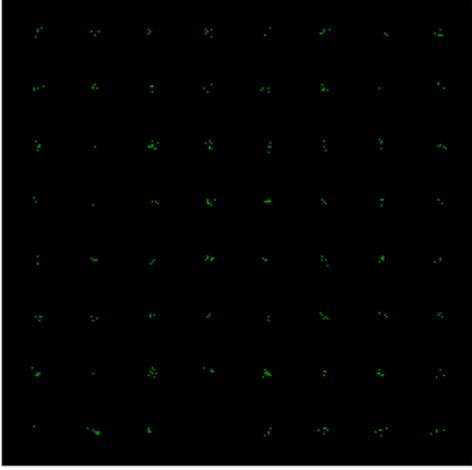
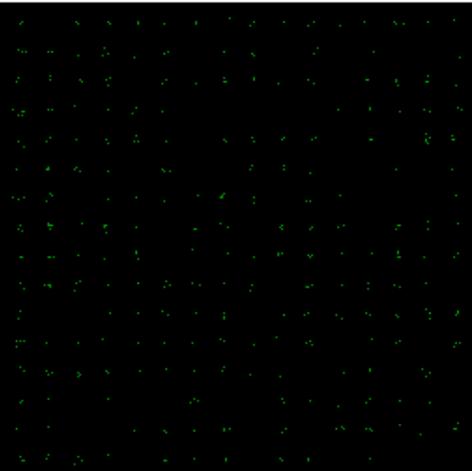
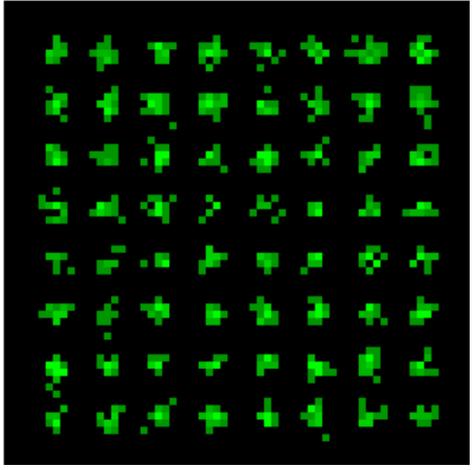
| | |
|---|---|
|  | <p>コンスタレーション測定</p> <hr/> <p>C45ch(64QAM) コンスタレーション(OUT_単 一)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> <hr/> <p>C47ch(OFDM) コンスタレーション(OUT_単 一)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> <hr/> <p>32ch(256QAM) コンスタレーション(IN)</p> |

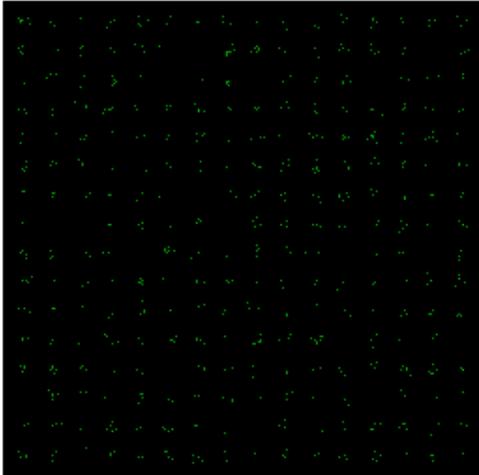
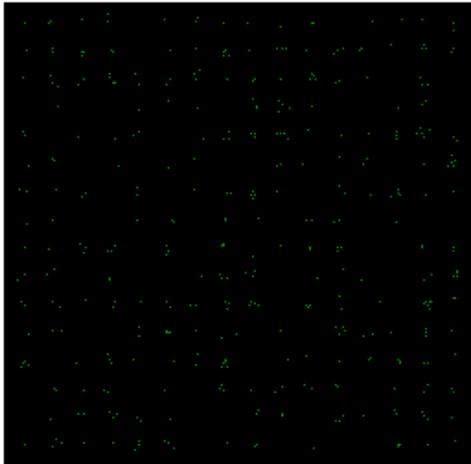
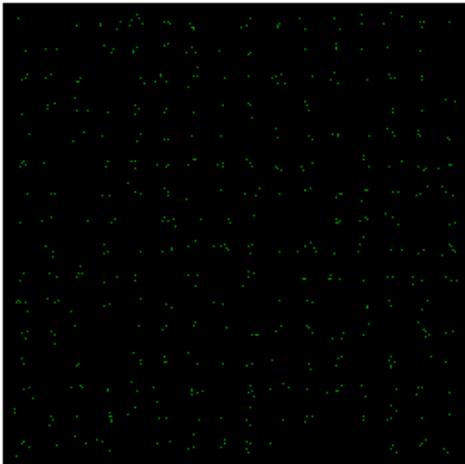
| | |
|---|---------------------------------------|
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>33ch(64QAM) コンスタレーション(IN)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>34ch(256QAM) コンスタレーション(IN)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>31ch(OFDM) コンスタレーション(IN)</p> |

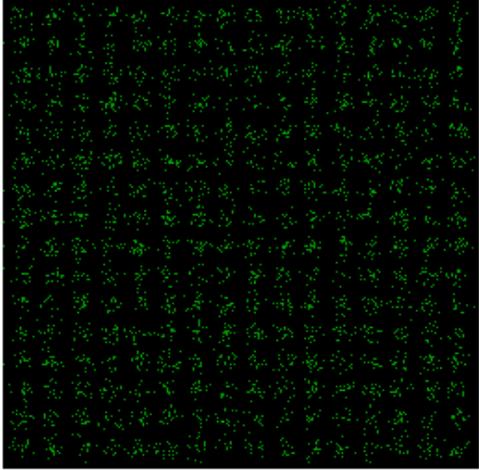
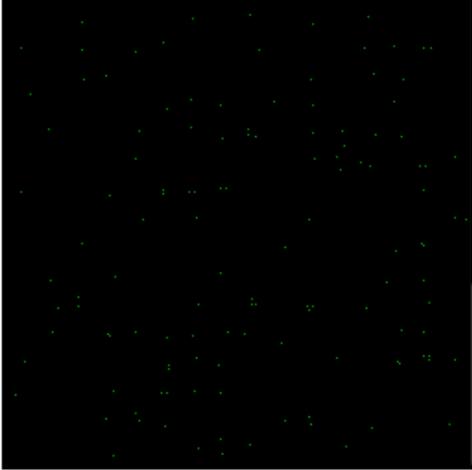
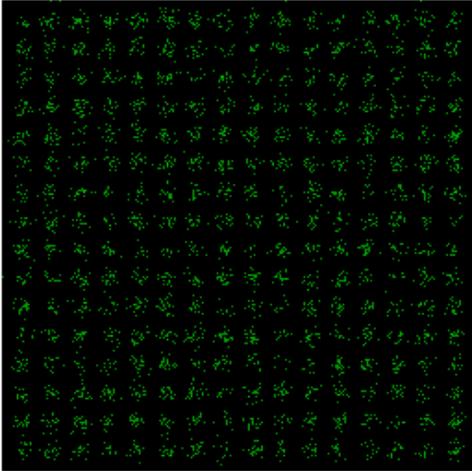
| | |
|---|--------------------------------------|
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>8ch(AnexB) コンスタレーション(IN)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>9ch(AnexB) コンスタレーション(IN)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>10ch(AnexB) コンスタレーション(IN)</p> |

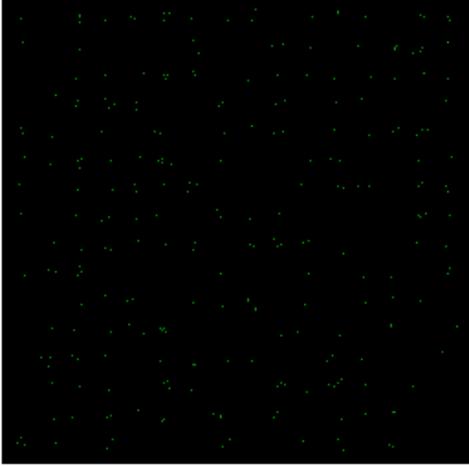
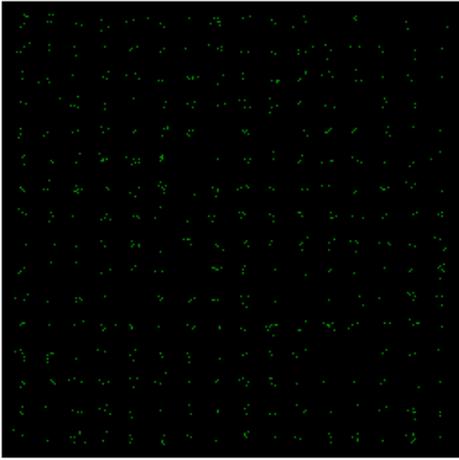
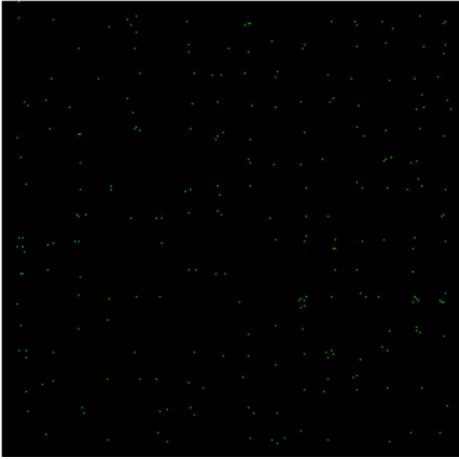
| | |
|---|---------------------------------------|
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>11ch(AnexB) コンスタレーション(IN)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>12ch(AnexB) コンスタレーション(IN)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>C23ch(AnexB) コンスタレーション(IN)</p> |

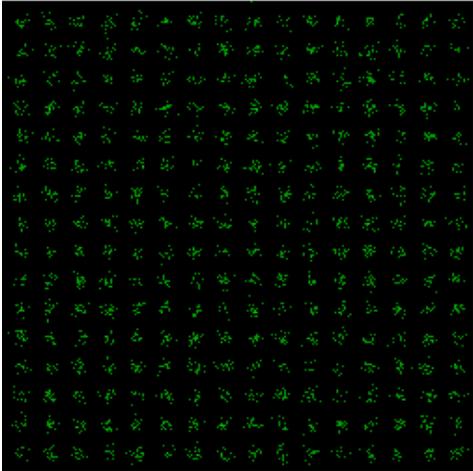
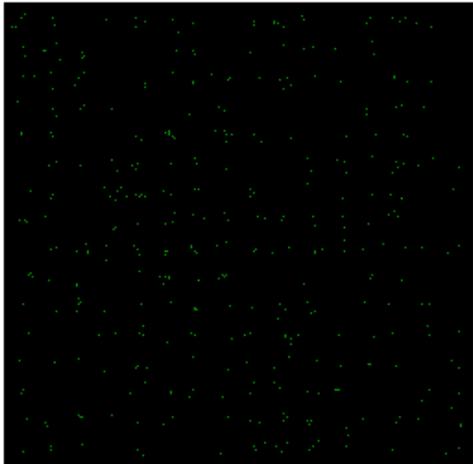
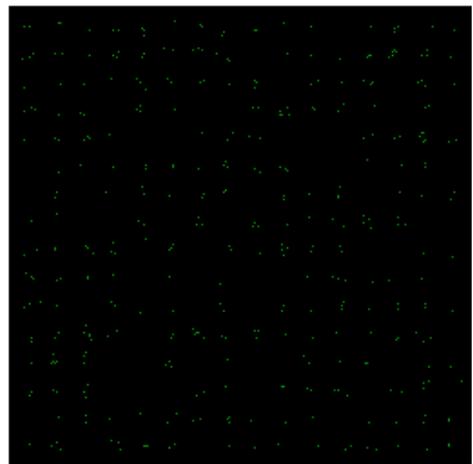
| | |
|---|---|
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>C24ch(AnexB) コンスタレーション(IN)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>C25ch(AnexB) コンスタレーション(IN)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>32ch(256QAM) コンスタレーション(OUT_多重)</p> |

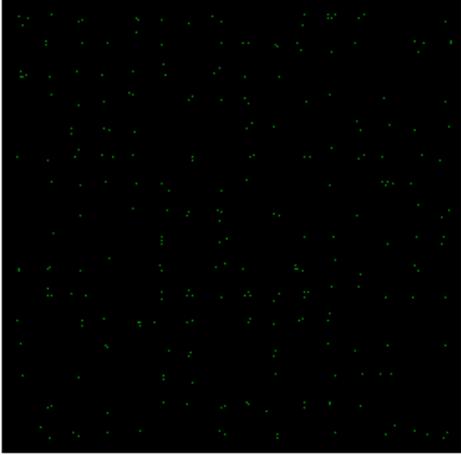
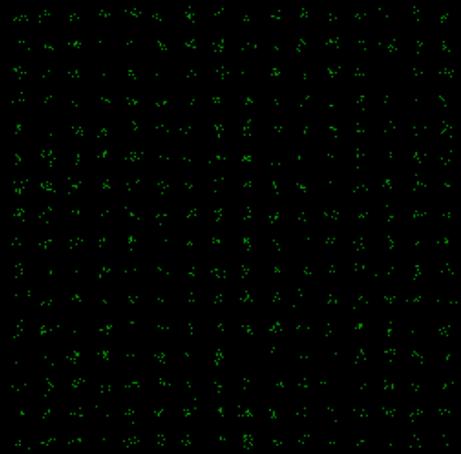
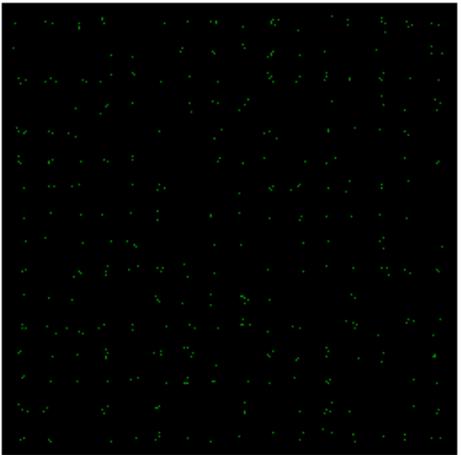
| | |
|---|---|
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>33ch(64QAM) コンスタレーション(OUT_多重)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>34ch(256QAM) コンスタレーション(OUT_多重)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>31ch(OFDM) コンスタレーション(OUT_多重)</p> |

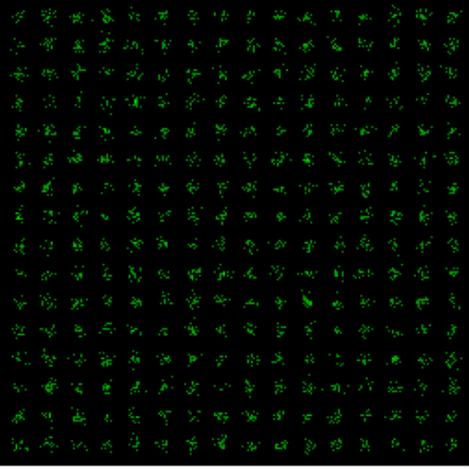
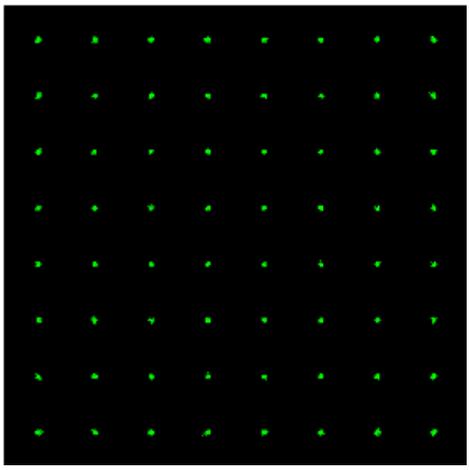
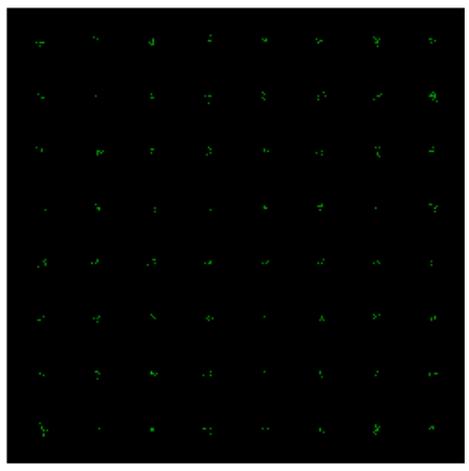
| | |
|---|--|
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>8ch(AnexB) コンスタレーション(OUT_多重)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>9ch(AnexB) コンスタレーション(OUT_多重)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>10ch(AnexB) コンスタレーション(OUT_多重)</p> |

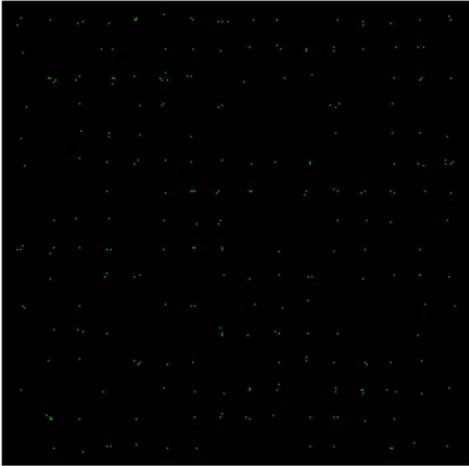
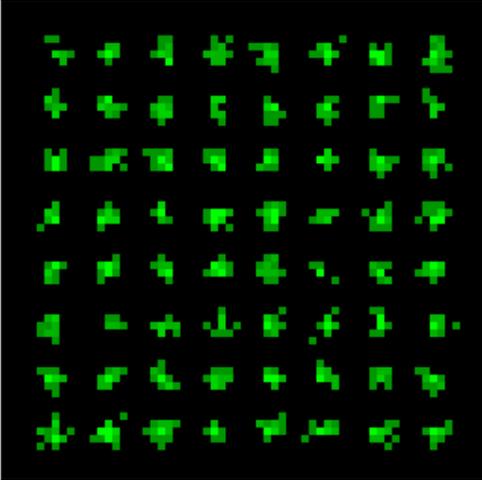
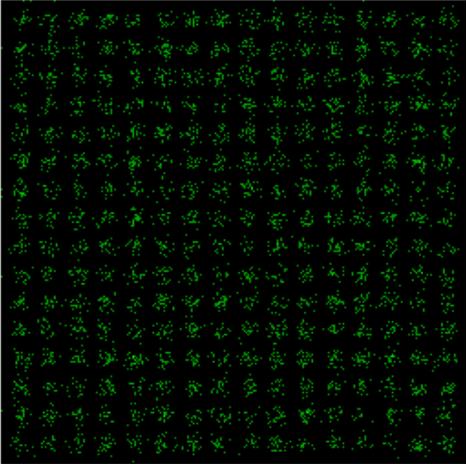
| | |
|---|--|
|  | <p>コンスタレーション測定</p> <hr/> <p>11ch(AnexB) コンスタレーション(OUT_多重)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> <hr/> <p>12ch(AnexB) コンスタレーション(OUT_多重)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> <hr/> <p>C23ch(AnexB) コンスタレーション(OUT_多重)</p> |

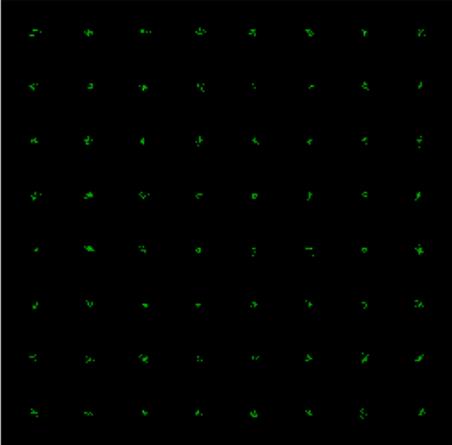
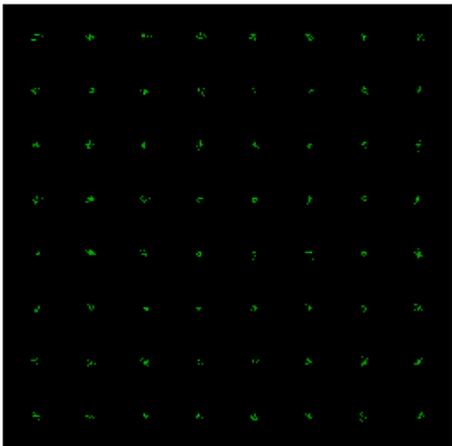
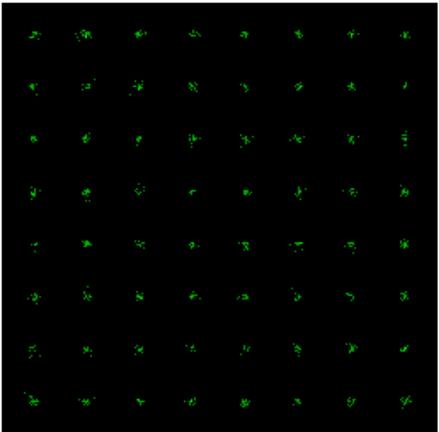
| | |
|---|---|
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>C24ch(AnexB) コンスタレーション(OUT_多重)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>C25ch(AnexB) コンスタレーション(OUT_多重)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>C25ch(AnexB) コンスタレーション(OUT_単一)</p> |

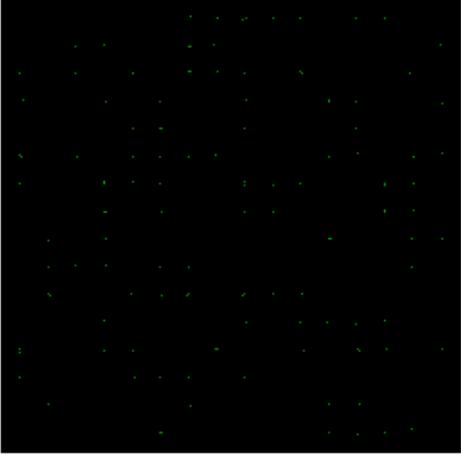
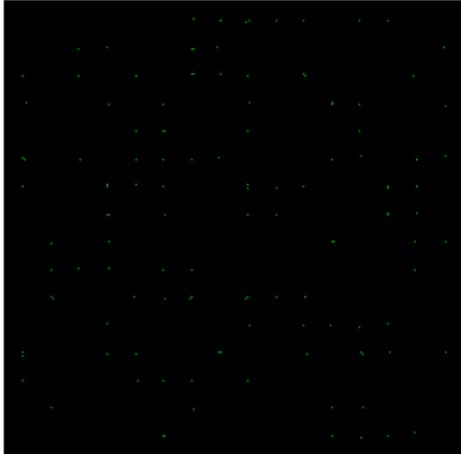
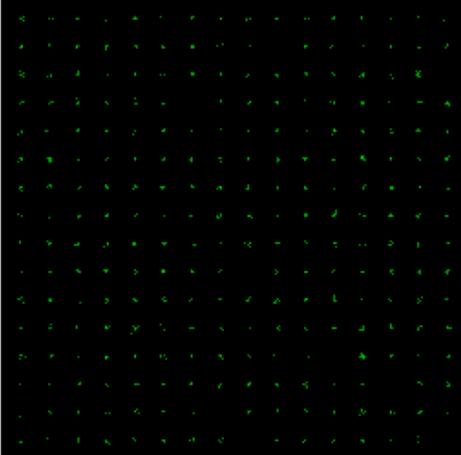
| | |
|---|---|
|  | <p>コンスタレーション測定</p> <hr/> <p>C24ch(AnexB) コンスタレーション(OUT_多重)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> <hr/> <p>C23ch(AnexB) コンスタレーション(OUT_単一)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> <hr/> <p>12ch(AnexB) コンスタレーション(OUT_単一)</p> |

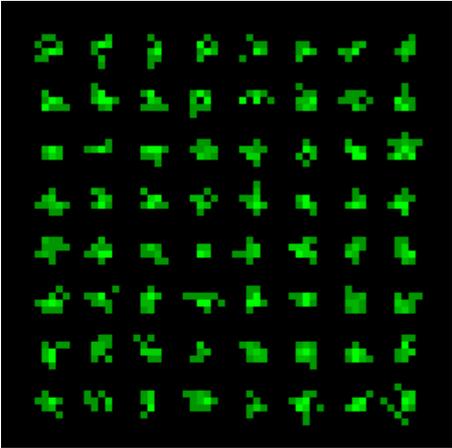
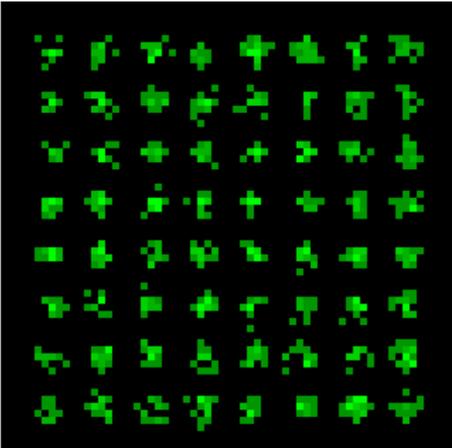
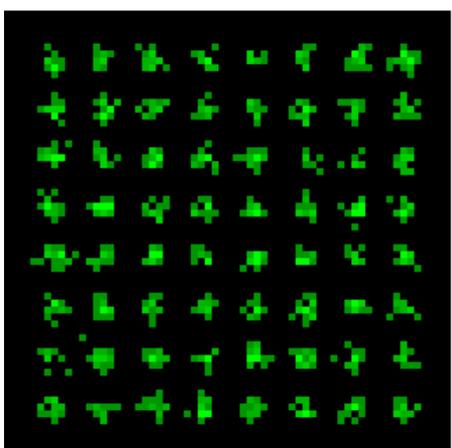
| | |
|---|---|
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>11ch(AnexB) コンスタレーション(OUT_単 一)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>10ch(AnexB) コンスタレーション(OUT_単 一)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>9ch(AnexB) コンスタレーション(OUT_単 一)</p> |

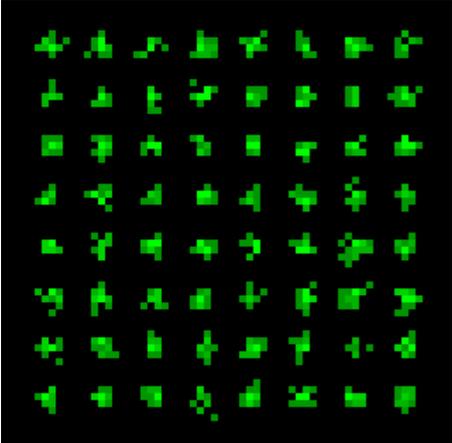
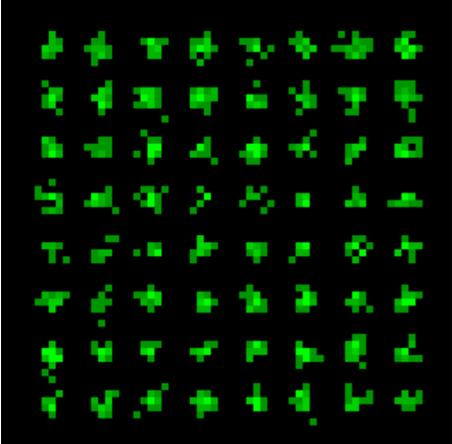
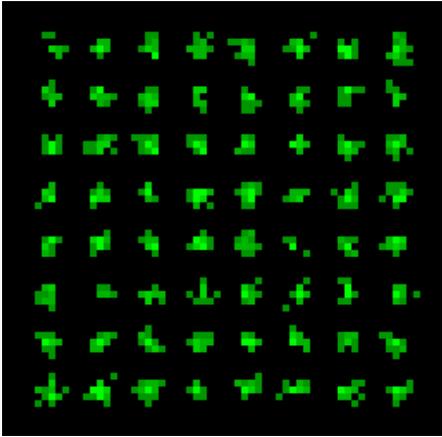
| | |
|---|--|
|  | <p>コンスタレーション測定</p> <p>8ch(AnexB) コンスタレーション(OUT_単一)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> <p>32ch(256QAM) コンスタレーション(OUT_単一)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> <p>33ch(64QAM) コンスタレーション(OUT_単一)</p> |

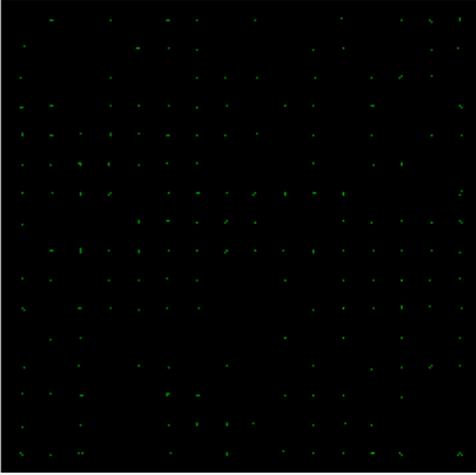
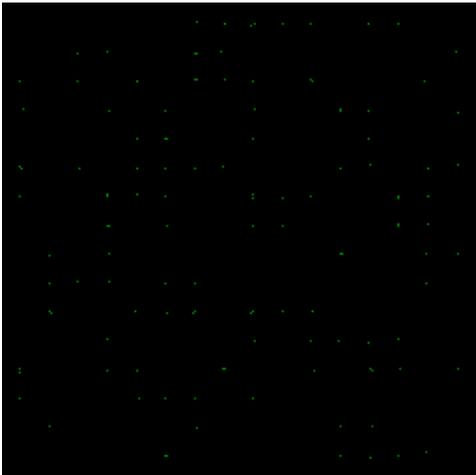
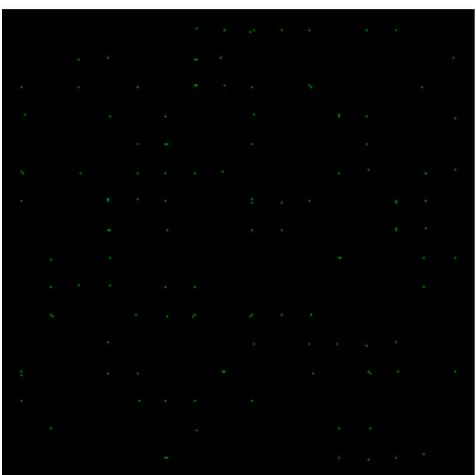
| | |
|---|--|
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>34ch(256QAM) コンスタレーション(OUT_単 一)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>31ch(OFDM) コンスタレーション(OUT_単 一)</p> |
|  | <p>コンスタレーション測定</p> |
| | <p>11ch(AnexB) コンスタレーション(OUT_多 重)</p> |

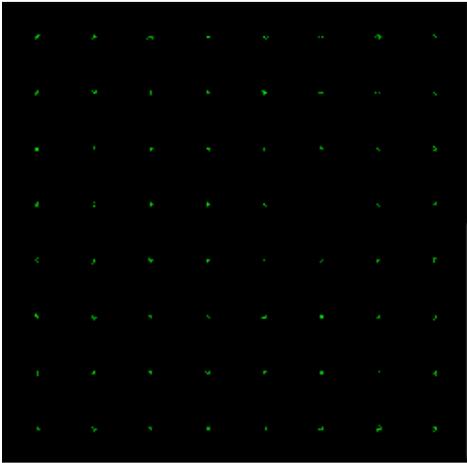
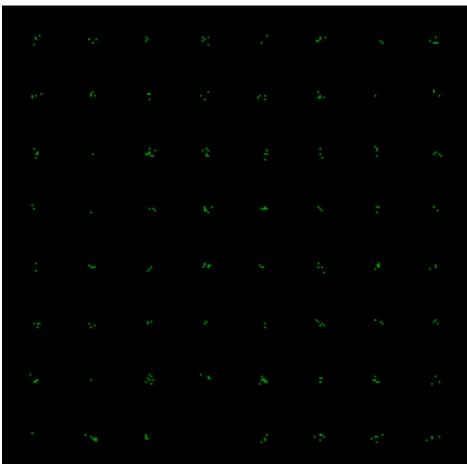
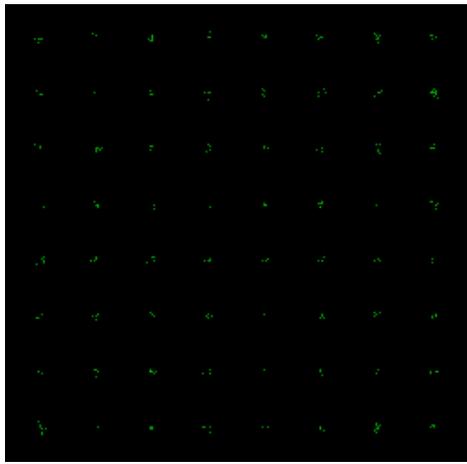
| | |
|---|--|
|  | <p>回り込み試験</p> <hr/> <p>54ch(64QAM)</p> |
|  | <p>回り込み試験</p> <hr/> <p>54ch(64QAM)</p> |
|  | <p>回り込み試験</p> <hr/> <p>54ch(64QAM)</p> |

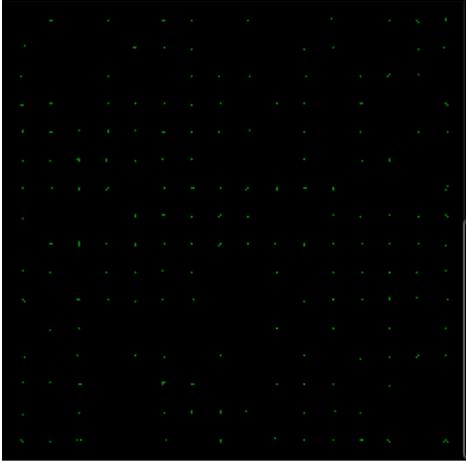
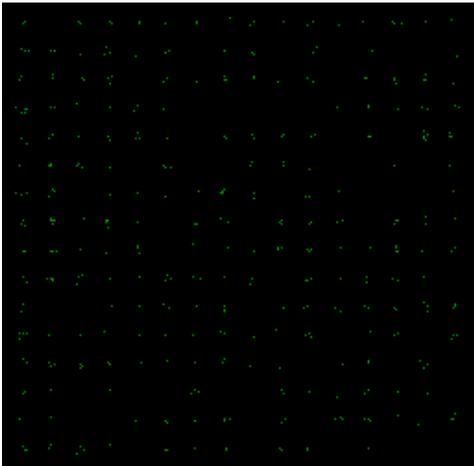
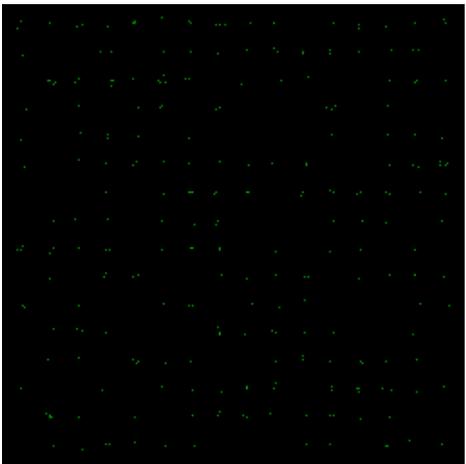
| | |
|---|--------------|
|  | 回り込み試験 |
| | 54ch(256QAM) |
|  | 回り込み試験 |
| | 54ch(256QAM) |
|  | 回り込み試験 |
| | 54ch(256QAM) |

| | |
|---|---|
|  | <p style="text-align: center;">回り込み試験</p> <hr/> <p>54ch(OFDM)</p> |
|  | <p style="text-align: center;">回り込み試験</p> <hr/> <p>54ch(OFDM)</p> |
|  | <p style="text-align: center;">回り込み試験</p> <hr/> <p>54ch(OFDM)</p> |

| | |
|---|--|
|  | <p>チャンネル変更後</p> <p>31ch(OFDM) コンスタレーション</p> |
|  | <p>チャンネル変更後</p> <p>31ch(OFDM) コンスタレーション_多重</p> |
|  | <p>チャンネル変更後</p> <p>31ch(OFDM) コンスタレーション_単一</p> |

| | |
|---|------------------------------|
|  | チャンネル変更後 |
| | 32ch(256QAM) コンスタレーション |
|  | チャンネル変更後 |
| | 32ch(256QAM) コンスタレーション_多重 |
|  | チャンネル変更後 |
| | 32ch(256QAM) コンスタレーション_単一 |

| | |
|---|-----------------------------|
|  | チャンネル変更後 |
| | 33ch(64QAM) コンスタレーション |
|  | チャンネル変更後 |
| | 33ch(64QAM) コンスタレーション_多重 |
|  | チャンネル変更後 |
| | 33ch(64QAM) コンスタレーション_単一 |

| | |
|---|------------------------------|
|  | チャンネル変更後 |
| | 34ch(256QAM) コンスタレーション |
|  | チャンネル変更後 |
| | 34ch(256QAM) コンスタレーション_多重 |
|  | チャンネル変更後 |
| | 34ch(256QAM) コンスタレーション_単一 |

