

60MHz 帯放送番組中継回線の利用促進のための
周波数有効利用技術に関する調査検討

報 告 書

令和 4 年 3 月

60MHz 帯放送番組中継回線の利用促進のための
周波数有効利用技術に関する調査検討会

まえがき

VHF 帯（60MHz 帯及び 160MHz 帯）放送番組中継回線のデジタル化方式は 2015 年に制度化し、2016 年より従来からのアナログ方式の放送番組中継回線や防災行政無線システムなど、他の無線システムと周波数帯を共用しながら運用しています。

このシステムの特徴は、音声帯域圧縮方式としてマイクロ波帯のデジタル音声 STL で利用されているサブバンド ADPCM 方式（適応差分パルス符号変調）を使い、アナログ方式と同等の占有周波数帯幅 96KHz で、64QAM 変調方式によりステレオ音声信号・補助情報（同期信号等）を伝送できる点にあります。周波数利用効率に優れ、コスト面についても非常に安価な費用で整備することができます。

このうち 60MHz 帯デジタル STL/TTL においては、ワイド FM（FM 補完放送）の中継用として、山間地等の地理的条件が悪い地域の見通し外通信や長距離通信の利用条件下において運用しているところですが、音声への雑音障害や伝送信号の劣化により放送システムの運用に支障が生じる現象が確認されています。この原因としては当初、異常伝搬が発生しやすい周波数帯であることや、長距離・見通し外環境の条件下においてマルチパス、フェージング等の影響等が想定されました。

本調査検討会ではこのような背景をふまえ、運用局と同等の条件下で実験試験局を開設して長期変動試験を行い運用局との比較分析を行うとともに、実機を用いた屋内技術試験により基本性能、マルチパス特性及び外来波干渉特性等を確認しました。

その結果、屋内技術試験では国内メーカーの送受信機は所要の性能を保持しており、長期変動試験では長距離通信及び見通し外通信ともに極めて安定した受信レベル変動特性を保ち、フェージングやマルチパスの影響はないことを確認しました。他方、運用障害の原因である異常伝搬や電波雑音については、規則性がなく不定期かつ瞬間的に発生し、その特定と排除は容易ではないことから、喫緊の課題である 60MHz 帯デジタル STL/TTL の安定運用のための方策と技術基準を検討したところです。

本調査検討会ではこれらの検討結果を受け「外来雑音源の特定調査」、「周波数割当ての検討」、「160MHz 帯使用条件の変更」、「アナログ設備とデジタル設備の周波数運用」及び「回線設計の見直し」を技術基準の検討項目として提言とさせていただきました。

おわりに、本調査検討会にご参加いただきました構成員の皆様をはじめ、長期実証実験等にご協力いただきました皆様方に、心より御礼を申し上げます。

令和 4 年 3 月

60MHz 帯放送番組中継回線の利用促進のための
周波数有効利用技術に関する調査検討会

座 長 佐々木 重信

目 次

第 1 章 調査検討会の概要	1
1.1 調査検討の目的	1
1.2 調査検討項目	1
1.3 調査検討会の組織及び開催期間	2
1.3.1 調査検討会の組織	2
1.3.2 調査検討会の開催期間、開催状況	2
第 2 章 背景・現状	3
2.1 検討の背景	3
2.2 60MHz 帯の利用状況 (割当て状況)	3
2.3 現 状	5
2.3.1 現 状	5
2.4 規格化動向	6
2.4.1 VHF 帯 (60MHz 帯、160MHz 帯) STL/TTL の目的、特徴及び制度化の経緯	6
2.4.2 VHF 帯デジタル STL/TTL の伝送モデル	7
2.4.3 VHF 帯デジタル STL/TTL の技術基準	7
第 3 章 検討事項	10
3.1 検討事項	10
3.2 運用局の障害状況に関する調査	10
3.3 伝送の質を維持するための諸条件に関する技術試験	11
3.4 見通し外通信及び長距離通信 (見通し内) の利用条件下における長期変動に関する 実証実験	11
3.5 域外の固定区間に対するオーバーリーチ干渉に関する実証実験	12
3.6 電波雑音の影響に関する調査	12
3.7 見通し外通信及び長距離通信 (見通し内) の利用シーンに適応する諸条件の検討	12
3.8 関係する技術基準の検討	12
第 4 章 運用局の障害状況に関する調査	13
4.1 運用局の障害状況に関する調査	13
4.1.1 調査の方法	13
4.1.2 調査の対象、実施時期	13
4.1.3 調査の内容	13
4.1.4 調査結果	14
第 5 章 技術試験及び実証実験	16
5.1 伝送の質を維持するための諸条件に関する技術試験	16

5.1.1	技術試験の内容	16
5.1.2	対象とする機器	17
5.1.3	使用測定器	17
5.1.4	技術試験の結果(1) 基本性能評価	19
5.1.5	技術試験の結果(2) マルチパスに対する評価	28
5.1.6	技術試験の結果(3) 外来波干渉特性	30
5.1.7	考 察	30
5.2	見通し外通信及び長距離通信(見通し内)の利用条件下における長期変動に関する 実証実験	31
5.2.1	実証実験の概要	31
5.2.2	実験試験局の概要	31
5.2.3	調査の全体構成	34
5.2.4	長期電波伝搬特性(見通し外通信、長距離通信(見通し内))	39
5.3	域外の他の固定区間に対するオーバーリーチ干渉に関する測定	55
5.3.1	測定の目的	55
5.3.2	測定の概要	55
5.3.3	測定結果	55
5.3.4	考 察	57
5.4	電波雑音の影響に関する調査	58
5.4.1	調査の目的	58
5.4.2	調査の概要	58
5.4.3	調査項目	58
5.4.4	調査結果	58
5.4.5	考 察	82
5.5	外来雑音の発信源の推定	84
5.5.1	BER 異常と天候との相関関係	84
5.5.2	BER 異常と曜日別累積発生時間との相関関係	89
5.5.3	BER 異常とスプラディック E 層による伝搬異常との相関関係	89
5.5.4	放送事業者から参考として提供をいただいたデータの分析	91
5.5.5	BER 異常による音声品質への影響	92
5.5.6	実運用設備における BER 異常発生の上関係数の推移	92
5.5.7	相関分析を用いた検証	93
5.5.8	考 察	104
5.6	見通し外通信及び長距離通信(見通し内)の利用シーンに適応する諸条件の検討	105
5.6.1	検討の目的	105
5.6.2	回線計算	105
5.6.3	回線計算結果	106
5.6.4	考 察	109
第 6 章	関係する技術基準の検討	113
6.1	関係する技術基準の検討	113

6.1.1	周波数選定	113
6.1.2	回線設計の見直し	114
6.1.3	その他の技術基準	115
第7章	まとめと展望	116
7.1	調査のまとめ	116
7.2	技術基準の検討	118
7.3	今後の検討課題	119
第8章	参考資料	121
8.1	調査検討会の開催	121
8.1.1	開催趣旨	121
8.1.2	設置要綱	121
8.1.3	会議の公開及び個人情報の取扱い等について	123
8.1.4	構成員名簿	124
8.1.5	オブザーバ及び事務局	124
8.1.6	調査検討会の開催状況	125
8.1.7	実務者会議の開催	126
8.2	運用局の障害状況に関する調査	128
8.3	概要のまとめにおける補足事項	131
8.3.1	技術基準の検討に関する効果等	131
8.3.2	改善対策に向けての優先順位等	132
8.4	図表一覧	134
8.4.1	図の説明	134
8.4.2	表の説明	140
8.4.3	数式の説明	142
8.5	調査検討の実施に際してご協力頂いた方々	143

第1章 調査検討会の概要

1.1 調査検討の目的

平成 27 年度に制度化された VHF 帯デジタル方式の音声放送番組中継を行う固定局（以下、「デジタル STL¹/TTL²」という。）は、コミュニティ放送事業、中波・超短波放送事業における同期放送及び電波伝搬上等の理由で M・N 帯³の周波数使用が困難な場合の中継回線として、利用の増加が想定されている。

このうち、60MHz 帯デジタル STL/TTL は現在、FM 補完放送⁴の中継用として同期放送及び山間地等の地理的条件が悪い地域の見通し外通信又は長距離通信（見通し内）の利用条件下において運用している。これらの回線は開局から数年間運用を続けているが、春から秋にかけて又は季節に関係なく時折音声への雑音障害や伝送信号の劣化により放送システムの運用に問題が生じており、原因究明と対策が喫緊の課題となっている。

このため、本調査検討において障害原因の追究と改善対策を検討するとともに、利用ニーズ（利用シーン）に対応する諸条件と技術基準を整理するための技術的検討を行うことにより、60MHz 帯の周波数を有効利用するための方策・技術的条件の策定に資することを目的とする。

1.2 調査検討項目

上記の目的を踏まえ、60MHz 帯放送番組中継回線の利用促進のための周波数有効利用技術に関する調査検討が必要な以下の技術項目について実施する。

- (1) 運用局の障害状況に関する調査
- (2) 伝送遅延による影響及び伝送の質を維持するための諸条件に関する技術試験
- (3) 見通し外通信及び長距離通信（見通し内）の利用条件下における長期変動に関する実証実験

¹ **STL**(**S**tudio to **T**ransmitter **L**ink)：放送局（演奏所）と親局（送信所）を結ぶ番組中継回線

² **TTL**(**T**ransmitter to **T**ransmitter **L**ink)：親局（送信所）又は中継局（送信所）と中継局（送信所）を結ぶ番組中継回線

³ **M・N 帯**：音声 STL として使用される M 帯は、6.700375～6.719875GHz 及び 6.860375～6.867875GHz で使用され、6.5GHz 帯とも呼称。同様に N 帯は 7.571375～7.584875GHz 及び 7.731375～7.742375GHz で使用され、7.5GHz 帯とも呼称。

⁴ **FM 補完放送**：通称「ワイド FM」。AM 放送局の放送エリアにおいて、難聴対策や災害対策の目的で AM 放送の放送番組を FM 放送方式で補完する放送。周波数は、90.0～94.9MHz を新たに加えた FM 放送用の周波数 76.1～94.9MHz を使用している。

- (4) 域外の他の固定区間に対するオーバーリーチ干渉⁵に関する実証実験
- (5) 電波雑音の影響に関する調査
- (6) 見通し外通信及び長距離通信（見通し内）の利用シーンに適応する諸条件の検討
- (7) 関係する技術基準の検討

1.3 調査検討会の組織及び開催期間

本調査検討会を実施するにあたり、総務省信越総合通信局情報通信部放送課から提示を受けた調査検討会構成員による「60MHz 帯放送番組中継回線の利用促進のための周波数有効利用技術に関する調査検討会」を設置し、調査又は検討に当たっての検討手法の助言、検討結果の評価を行うこととした。開催趣旨を 8.1.1 項に、設置要綱を 8.1.2 項に、会議の公開及び個人情報の取扱い等について 8.1.3 項にそれぞれ示す。

1.3.1 調査検討会の組織

本調査検討会は、有識者、放送事業者及び放送機器メーカーなどから、総務省信越総合通信局長の委嘱を受けた 13 名で構成される。

座長には委員の中から互選により新潟大学の佐々木教授が選出され、座長代理には信州大学の笹森教授が座長から指名された。

事務局は、総務省信越総合通信局情報通信部放送課及び同局から委託を受けた株式会社 NHK テクノロジーズが担当した。

調査検討会の構成員一覧を 8.1.4 項に、オブザーバ及び事務局を 8.1.5 項に示す。

なお、会合開催に際し、新型コロナウイルス感染の発生状況により、調査検討会の集合開催が難しく Web 会議を開催する場合は、事前に総務省信越総合通信局情報通信部放送課と協議し実施することとした。

1.3.2 調査検討会の開催期間、開催状況

第 1 回調査検討会を令和 3 年 5 月 13 日に開催した。以降、第 2 回調査検討会を令和 3 年 12 月 6 日に、最終会合となる第 3 回調査検討会を令和 4 年 3 月 7 日に開催した。

その間、学識経験者、メーカー、放送事業者、同調査検討会の事務局となる総務省信越総合通信局情報通信部放送課及び技術試験を実施する株式会社 NHK テクノロジーズにより構成される実務者会議を、Web 会議で合計 2 回開催した。

調査検討会及び実務者会議の開催状況を 8.1.6 項に示す。

また、調査検討の実施に際してご協力いただいた方々を 8.5 節に示す。

⁵ オーバーリーチ干渉：同一周波数を配置した無線局間同士で電波干渉が発生し、被干渉局の通信品質が劣化すること。

第2章 背景・現状

2.1 検討の背景

60MHz 帯デジタル STL/TTL は現在、FM 補完放送の中継用として同期放送及び山間地等の地理的条件が悪い地域の見通し外通信又は長距離通信（見通し内）の利用条件下において運用している。これらの回線は開局から数年間運用を続けているが、春から秋にかけて又は季節に関係なく時折音声への雑音障害や伝送信号の劣化により放送システムの運用に支障が生じている現象が確認されており、原因究明と対策が喫緊の課題となっている。

60MHz 帯デジタル STL/TTL 回線は、信越放送株式会社の長野 FM 補完中継局（美ヶ原局）から高ボッチ局及び飯田局へ伝送している TTL 回線、株式会社ラジオ福島の福島 FM 補完中継局から郡山局へ伝送している TTL 回線、四国放送株式会社の徳島 FM 補完中継局から池田局へ伝送している TTL 回線が、同期放送を目的に運用している。

これらの回線において、影響の度合いは異なるものの、受信障害又は受信劣化が生じる同類の現象を各放送事業者が確認しており、これまでも、60MHz 帯デジタル STL/TTL 回線の特性確認や受信障害の原因調査など障害改善について放送事業者が取り組んでいる。

このような背景から、60MHz 帯デジタル STL/TTL の受信劣化の改善に向けた本調査検討において、障害原因の追究と改善対策を検討するとともに、仕様書で定められている 8 項目の調査検討、及び有識者及び放送事業者・メーカーなどからなる調査検討会の運営を行うなどにより、利用ニーズ（利用シーン）に対応する諸条件と技術基準を整理するための技術的検討を行うことにより、60MHz 帯の周波数を有効利用するための方策・技術的条件の策定に資する技術的検討を行うことが必要となっている。

なお、この受信障害は常時発生しているものでもなく、受信障害が発生していない時間帯は回線設計通り良質な伝送が行われており、この現象も各放送事業者共通している。

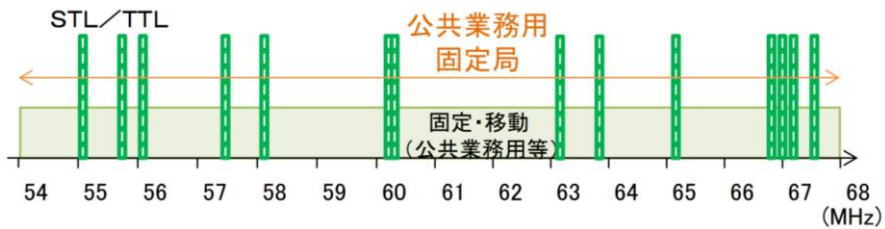
2.2 60MHz 帯の利用状況（割当て状況）

60MHz 帯の周波数については、長距離通信（見通し内）や見通し外通信が可能となる電波伝搬特性から、移動通信や固定通信など多くの無線通信の用途として使用されている。

放送業務用無線としては、図 2.2-11 に示すとおり 60MHz 帯は 55～68MHz の中から 14 波が、また図 2.2-12 に示すとおり 160MHz 帯は 163～169MHz の中から 6 波がラジオ番組中継回線として割り当てられている⁶。

⁶ 「STL/TTL 作業班報告概要」情報通信審議会放送システム作業班 STL/TTL 作業班 資料 49-5 2015/5/28 https://www.soumu.go.jp/main_content/000361650.pdf 閲覧 2022/2/18

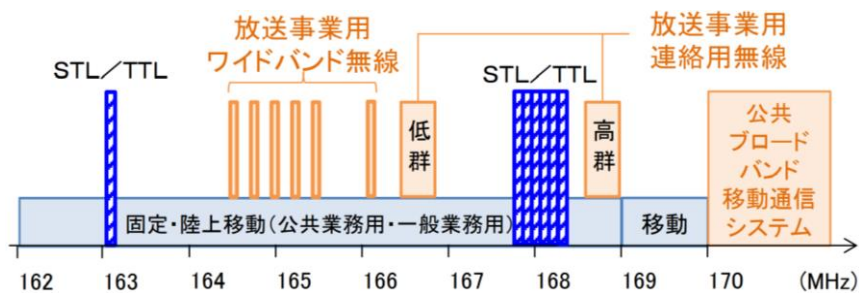
1波あたりの占有周波数帯幅は、アナログ方式 100kHz、デジタル方式 96kHz を使用している。



【STL/TTL の割当て周波数】

55.07MHz, 55.73MHz, 56.09MHz, 57.47MHz, 58.13MHz, 60.2MHz, 60.305MHz, 63.17MHz, 63.83MHz, 65.15MHz, 66.83MHz, 67.01MHz, 67.19MHz, 67.55MHz の 14 波

図 2.2-1 60MHz 帯の周波数割当て状況



【STL/TTL の割当て周波数】

163.09MHz, 167.83MHz, 167.93MHz, 168.03MHz, 168.13MHz, 168.23MHz の 6 波

図 2.2-2 160MHz 帯の周波数割当て状況

2.3 現 状

2.3.1 現 状

(1) 60MHz 帯を利用し、運用している無線局

VHF 帯 STL/TTL 無線局と同一の周波数帯を使用している無線局は、放送番組中継以外に、電気通信業務（山岳地等での電話回線サービス）、公共業務（官庁、防災行政無線、水防、ガス・水道事業等）、一般業務（自動車運送・新聞通信等）などの固定局、移動局がある。

これらの帯域は、電波伝搬特性の特長を活かし様々なシステムが使用していることや防災情報の伝達機能強化等の関係から周波数の需要が増加し、地域によっては周波数が逼迫している状況にある。そのため近年では、周波数逼迫対策や周波数利用効率の向上のためアナログ方式からデジタル方式に移行するなどの取組みがなされている。

(2) 60MHz 帯 STL/TTL の運用実態

- ・アナログ STL/TTL 回線は、長年にわたりラジオ放送の番組伝送用の回線として使用している。
- ・60MHz 帯のアナログ STL/TTL 回線は、その周波数特性から見通し外伝搬区間や 100km 程度の長距離伝送区間などに使用している。
- ・現在、60MHz 帯 STL/TTL 回線については、約 100 局の無線局が運用している。
- ・アナログ STL/TTL 方式は、ラジオ番組を 1 番組のみを送る単一回線と 2 番組送ることが出来る多重回線の 2 種類がある。
- ・ステレオ伝送を可能としたデジタル STL/TTL 方式の技術基準が平成 28 年に整備され、平成 29 年には FM 補完中継局向けに 60MHz 帯を使用したデジタル STL/TTL 回線が運用を開始し、その後、コミュニティ放送向けの 160MHz 帯を使用したデジタル STL/TTL 回線も利用されている。
- ・使用する空中線の偏波は、主として水平偏波を多く使用している。

2.4 規格化動向

2.4.1 VHF 帯(60MHz 帯、160MHz 帯)STL/TTL の目的、特徴及び制度化の経緯

VHF 帯 STL/TTL の目的、制度化の経緯について、以下に示す。

(1) VHF 帯 STL/TTL の目的

- STL とは、放送局（演奏所）と親局（送信所）を結ぶ番組中継回線のことをいい、TTL とは、親局（送信所）又は中継局（送信所）と中継局（送信所）を結ぶ番組中継回線のことをいう。
- VHF 帯の周波数を使用する STL/TTL は、送受信のアンテナを八木アンテナで整備することができるため、鉄塔構造や整備コストが比較的小規模で整備できる。
- VHF 帯の電波伝搬特性から、長距離受信や見通し外受信も可能となる回線である。
- アナログ方式の STL については、ラジオ放送開始初期から導入され、長年にわたり運用している実績があり、安定しているシステムである。

(2) VHF 帯デジタル STL/TTL の制度化の経緯

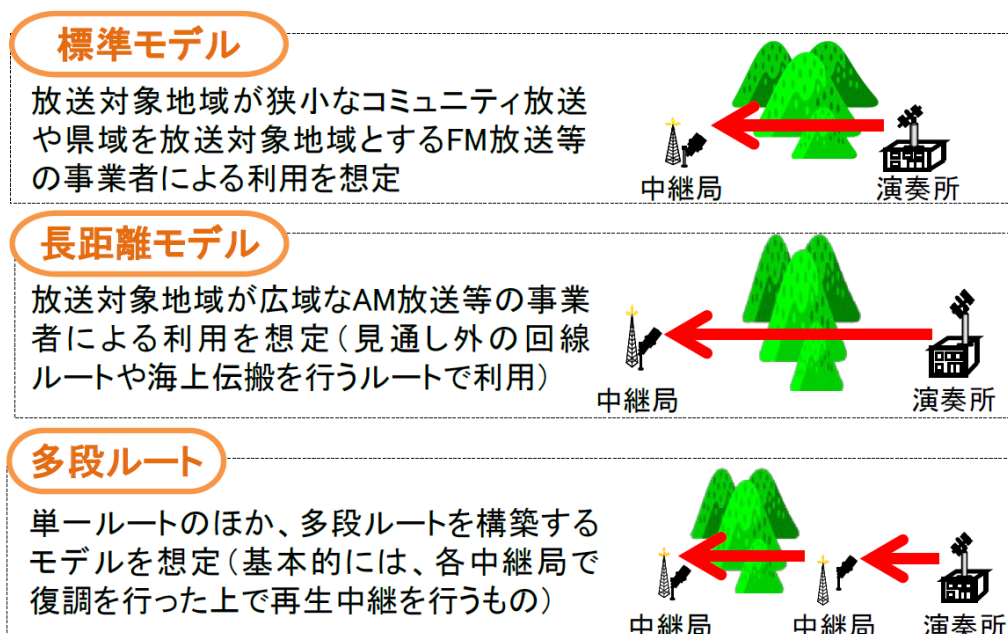
- VHF 帯の伝搬特性とデジタル技術を活かした、ステレオ伝送が可能で容易な設備整備と整備費用を抑えることができる STL/TTL の導入がコミュニティ放送事業者などから求められてきた。
- 平成 26 年度に総務省信越総合通信局が実施した技術試験事務において、山間部の送信所までの番組伝送等を無線で行う STL 技術に関する調査検討会を開催し、平成 27 年 3 月、報告書として取りまとめた。
- 平成 26 年 12 月総務省情報通信審議会情報通信技術分科会放送システム委員会で「ラジオネットワークの強靱化に関する技術的条件」の審議が平行して開始され、平成 27 年 7 月に審議会答申を受け、制度化に向けた検討が行われ、電波法施行規則の一部を改正する省令が平成 27 年 11 月 26 日に公布・施行、電波法関係審査基準（訓令）の一部改正が平成 28 年 5 月 31 日に施行された。
- 平成 29 年度に総務省信越総合通信局が実施した技術試験事務において、VHF 帯放送番組中継回線の利用促進のための周波数有効利用技術に関する調査検討会を開催し、平成 30 年 3 月、同一の周波数帯を使用する防災行政無線等、異システム間の混信保護基準等について報告書として取りまとめた。
- 令和 2 年 5 月情報通信審議会 情報通信技術分科会放送システム委員会にて、「VHF 帯音声放送番組中継を行う固定局と VHF 帯加入者系無線システム間の混信保護に係る基準等の整備」において、VHF 帯音声放送番組中継を行う固定局の変調方式毎の標準受信入力及び混信保護の許容値等の見直し検討が行われた。

(3) VHF 帯デジタル STL/TTL の特徴

- 無線設備等の設置が容易で、コストを抑えることが可能である。
- 広い帯域を必要としない音声中継に有効である。
- フレネル半径が広く、見通し外伝搬や長距離伝搬にも有効である。

2.4.2 VHF 帯デジタル STL/TTL の伝送モデル

VHF 帯デジタル STL/TTL の伝送モデルは、図 2.2-11 に示すとおり標準モデルのほか、長距離モデル、多段ルートを想定する（一区間当たり 20km を前提）。また、空中線電力は、標準区間（20km 程度）での伝送を可能にするため、5W 以下とする。



※https://www.soumu.go.jp/main_content/000368656.pdf

図 2.4-1 伝送モデルのイメージ

2.4.3 VHF 帯デジタル STL/TTL の技術基準

VHF 帯デジタル STL/TTL における各種技術基準を表 2.4-1、表 2.4-2、表 2.4-3 及び表 2.4-4 に示す（電波法関係審査基準を基に作成。）。

表 2.4-1 無線設備に関する技術基準

周波数	54MHz超68MHz以下／162.05MHz超169MHz以下				
変調方式	64QAM（ただし、伝搬路状況等により回線断を生じる可能性がある場合は、32QAM方式、16QAM方式又は4PSK方式の各方式を使用可）				
伝送容量	480kbps以下	クロック周波数	80KHz以下		
空中線電力	5W以下	偏波	垂直偏波又は水平偏波		
総合伝送特性	ロールオフ率 α は、0.2以下。なお、 α は、 $\Delta f(\alpha) \leq 96\text{kHz}$ を満たすこと。 $\Delta f(\alpha)$ はスペクトル帯域幅であり、 $\Delta f(\alpha) = f_c(1 + \alpha)$ (f_c はクロック周波数)で定義。				
復調方式	同期検波方式	自動等化器	波形歪補償を行うもの		
中継方式等	中継方式	検波再生中継方式(置局条件等により、検波再生中継方式が困難で、回線設計(回線品質)の条件を満たすときは、非再生中継方式も可)			
	無給電中継装置	使用しない			
	スペースダイバシティ	伝送路条件が厳しい回線では可能な限り使用			
受信入力	60MHz帯	周波数帯	変調方式	標準受信入力	最大受信入力
			64QAM	-60dBm	-50dBm
			32QAM	-64dBm	-54dBm
			16QAM	-67dBm	-57dBm
	160MHz帯		64QAM	-67dBm	-57dBm
			32QAM	-70dBm	-60dBm
			16QAM	-73dBm	-63dBm
			QPSK	-80dBm	-70dBm
*標準受信入力は、 $\pm 3\text{dB}$ の範囲内とする。ただし、海上伝搬等により回線構成上やむを得ない場合には、他の回線との干渉を考慮し、最大受信入力の値を上限とする受信入力を設定することができる。 *空中線電力は、表の値以下で、回線設計の結果から算出される必要最小の値であること。					
等価雑音帯域幅	80KHz以下		雑音指数	5dB以下	
空中線電力の許容偏差	上限20%、下限50%				
占有周波数帯幅	96KHz		周波数の許容偏差	10×10^{-6}	
伝送の質	回線断率の許容値は距離によらず0.1%、一区間当たりの回線信頼率は99.9%、フェージング損失は1km当たり0.1dB				

表 2.4-2 ろ波特性に関する技術基準

送受信高周波ろ波特性				
周波数偏差	3MHz	5MHz	10MHz	
減衰量	10dB以上	20dB以上	30dB以上	
等価送信ろ波特性				
周波数偏差	50KHz	150KHz	3MHz	10MHz
減衰量	37dB以上	48dB以上	48dB以上	60dB以上
高周波ろ波特性に中間周波ろ波特性及びデジタル部のろ波特性を加えたもの				
等価受信ろ波特性				
周波数偏差	50KHz	150KHz	3MHz	10MHz
減衰量	37dB以上	48dB以上	48dB以上	60dB以上
高周波ろ波特性に中間周波ろ波特性及びデジタル部のろ波特性を加えたもの				

表 2.4-3 混信保護の許容値に関する技術基準

項目		-	隣接	隣々接	
干渉波1波当たりの値	同一経路 (平常時)	64QAM	36.7dBm	37dBm	48dBm
		32QAM	33.6dBm	33.9dBm	44.9dBm
		16QAM	30.6dBm	30.9dBm	41.9dBm
		QPSK	23.8dBm	24.1dBm	35.1dBm
	異経路 (平常時)	64QAM	32.8dBm	33.1dBm+Fmr	44.1dBm+Fmr
		32QAM	29.7dBm	30dBm+Fmr	41dBm+Fmr
		16QAM	26.7dBm	27dBm+Fmr	38dBm+Fmr
		QPSK	19.9dBm	20.2dBm+Fmr	31.2dBm+Fmr
全干渉波の総和に対する値 (フェージング時)	64QAM		31.3dBm		
	32QAM		28.2dBm		
	16QAM		25.2dBm		
	QPSK		18.4dBm		
Fmr: 各経路における所要フェージングマージン(1km当たり0.1dB)					

表 2.4-4 各変調方式との干渉軽減係数(IRF)に関する技術基準

希望波	妨害波	周波数差				
		0KHz	100KHz	180KHz	400KHz	
デジタル STL/TTL	デジタル STL/TTL	0dB	37dB	47dB	48dB	
希望波	妨害波	周波数差				
		0KHz	100KHz	200KHz	300KHz	
デジタル STL/TTL (60MHz帯)	アナログ STL/TTL (60MHz帯)	-2dB	42dB	60dB	62dB	
希望波	妨害波	周波数差				
		0KHz	100KHz	180KHz	300KHz	
デジタル STL/TTL (160MHz帯)	アナログ STL/TTL (160MHz帯)	-2dB	39dB	49dB	50dB	
	アナログ 監視・制御回線 (160MHz帯)	7dB	44dB	55dB	55dB	
希望波	妨害波	周波数差				
		0KHz	50KHz	100KHz	300KHz	
デジタル STL/TTL (60MHz帯)	市町村デジタル防災無 線通信を行う固定局 (60MHz帯)	-3dB	24dB	54dB	61dB	
希望波	妨害波	周波数差				
		0KHz	100KHz	200KHz	300KHz	
アナログ STL/TTL (60MHz帯)	デジタル STL/TTL (60MHz帯)	2dB	32dB	41dB	56dB	
希望波	妨害波	周波数差				
		0KHz	100KHz	180KHz	300KHz	
アナログ STL/TTL (160MHz帯)	デジタル STL/TTL (160MHz帯)	10dB	42dB	61dB	65dB	
アナログ 監視・制御回線 (160MHz帯)		13dB	80dB	80dB	80dB	
希望波	妨害波	周波数差				
		0KHz	50KHz	100KHz	300KHz	300KHz
アナログ STL/TTL (60MHz帯)	市町村デジタル防災無 線通信を行う固定局 (60MHz帯)	-15dB	28dB	41dB	56dB	66dB

第3章 検討事項

3.1 検討事項

60MHz 帯放送番組中継回線の利用促進のための周波数有効利用技術に関する調査検討が必要な項目は以下のとおりである。

- (1) 運用局の障害状況に関する調査
- (2) 伝送遅延による影響及び伝送の質を維持するための諸条件に関する技術試験
- (3) 見通し外通信及び長距離通信（見通し内）の利用条件下における長期変動に関する実証実験
- (4) 域外の他の固定区間に対するオーバーリーチ干渉に関する実証実験
- (5) 電波雑音の影響に関する調査
- (6) 見通し外通信及び長距離通信（見通し内）の利用シーンに適応する諸条件の検討
- (7) 関係する技術基準の検討

3.2 運用局の障害状況に関する調査

60MHz 帯デジタル STL/TTL については、AM ラジオ放送事業者が FM 補完放送の同期放送の目的で4回線が運用されている。60MHz 帯デジタル STL/TTL の運用状況を表 2.4-1 に示す。

それぞれの事業者の回線について、システムの概要及び受信状況について、事業者の協力を得て過去の調査実施データを含め収集を行うほか、得られたデータについて、受信障害が発生している時期、季節、時間、天候等の情報を組み合わせて分析を行った。

表 3.2-1 60MHz 帯デジタル STL/TTL の運用状況

放送事業者	送信所	受信所 1	受信所 2
信越放送株式会社 (長野県)	長野 FM 補完中継局 (美ヶ原)	高ボッチ局 (塩尻市)	飯田局 (飯田市)
株式会社ラジオ福島 (福島県)	福島 FM 補完中継局	郡山局	
四国放送株式会社 (徳島県)	徳島 FM 補完中継局	池田局	

3.3 伝送の質を維持するための諸条件に関する技術試験

60MHz 帯デジタル STL/TTL の伝送の質を維持するための諸条件に関する技術試験については、同回線設備の装置を製造している日本通信機株式会社及び RF デザイン株式会社の協力も得て、次の試験を行った。

- (1) 60MHz 帯デジタル STL/TTL 送信装置及び受信装置の基本性能を確認した。
 - ・送信機：送信電力、周波数偏差、スプリアス、占有周波数帯幅、スペクトラムマスク、送信 C/N、消費電流等
 - ・受信機：最低受信電界特性、BER 対MER 特性、IF 周波数偏差、消費電流等
- (2) 固定局の伝送の質を維持するための諸条件を確認するため、屋内技術試験として、60MHz 帯デジタル STL/TTL の既製品について、RF 信号発生器、フェージングシミュレータ、計算機シミュレータ等を使用し、マルチパスフェージングに対する遅延プロファイル、信号再生に関するデータを 64QAM⁷及び QPSK⁸について分析・評価を行った。

3.4 見通し外通信及び長距離通信（見通し内）の利用条件下における長期変動に関する実証実験

60MHz 帯デジタル STL/TTL の見通し外通信及び長距離通信（見通し内）の利用条件下における長期変動に関するについては、60MHz 帯デジタル STL/TTL の実験試験局を新たに開設し、見通し外及び長距離通信（見通し内）の実利用環境下における長期変動試験として、基本性能（受信電力、受信信号対ビット誤り率、コンスタレーション）、マルチパス特性（遅延プロファイル）及び信号再生確認（10MHz 信号⁹、1PPS 信号¹⁰及び音声信号）のデータを取得し、分析・評価するための実証実験を行った。

実証実験の送受信場所は、長野県内とし、既設運用局との比較・検証を行うため、見通し外通信は「送信：長野県松本市（美ヶ原）～受信：長野県塩尻市（高ボッチ）」間ルート（区間距離：約 12km）及び長距離通信（見通し内）は「送信：長野県松本市（美ヶ原）～受信：長野県飯田市（神之峯）」間ルート（区間距離：約 88km）をモデルに、同等条件のルートを選定し実施した。

⁷ **QAM**（Quadrature Amplitude Modulation）：直角位相振幅変調。互いに独立した 2 つの搬送波の振幅及び位相を調整しデータを伝送。64QAM は 64 値(6bit)、32QAM は 32 値(5bit) 及び 16QAM は 16 値(4bit)を、一度に伝送。

⁸ **QPSK**（Quadrature Phase Shift Keying）：PSK(位相偏位変調)の一つで 4 値(2bit)を一度に伝送。

⁹ **10MHz 信号**：放送・通信システムの周波数基準となる 10MHz の信号。次の 1PPS 信号に対してコヒーレントなクロックである。

¹⁰ **1PPS 信号**（1 Pulse Per Second）：UTC(協定世界時)に同期した高精度のタイムパルスで、1 秒に 1 回のパルスで構成される信号 1PPS 信号の立ち上がりは UTC に対して±1μs 以内が保証されている。

実施にあたっては、信越放送株式会社及び株式会社 NTT ドコモの協力を得て、既存送信所施設の鉄塔、局舎を借用して実施した。

なお、長期変動試験は、令和 3 年 6 月から令和 4 年 2 月まで実施し、長期間の電界変動や干渉影響度合いの変化、信号劣化の変化などの測定及び分析を行った。

3.5 域外の固定区間に対するオーバーリーチ干渉に関する実証実験

域外の他の固定区間に対するオーバーリーチ干渉に関する実証実験については、上記 3.4 の長期変動に関する実証試験に併せて、長野県外等の放送中継局受信地点等から数カ所を選定して電界強度等の測定を行い、域外の他の固定区間に対するオーバーリーチ干渉に関する分析・評価を行った。

3.6 電波雑音の影響に関する調査

60MHz 帯デジタル STL/TTL に対する電波雑音の影響に関する調査については、上記 3.4 による長期変動試験を行う各受信地点において、60MHz 帯デジタル STL/TTL の割当周波数の潜在電界測定を行い、取得したデータにより電波雑音からの影響度及び関連性に関する分析・評価を行った。

具体的には、スペクトラムアナライザを用いて、60MHz 帯デジタル STL/TTL の帯域及び周辺帯域の雑音変動を時間的変化等の状況確認を含め測定、分析した。

3.7 見通し外通信及び長距離通信（見通し内）の利用シーンに適應する諸条件の検討

前述した 3.2 から 3.6 までの調査・検討した結果を踏まえて、見通し外通信及び長距離通信（見通し内）における周波数、伝送モード（見通し内、見通し外）、伝送距離、送信電力などの条件を設定した上で、測定された外来雑音を考慮した付加雑音量を求めるとともに回線計算を実施し、伝送マージンの確保量など分析、評価を行った。

3.8 関係する技術基準の検討

前述した 3.2 から 3.7 までの調査・検討で得られた結果から、問題点を整理し、関連する技術基準のうち特に周波数及び空中線電力の運用の面について検討、考察を行った。

第4章 運用局の障害状況に関する調査

4.1 運用局の障害状況に関する調査

4.1.1 調査の方法

60MHz 帯デジタル STL/TTL は現在、FM 補完放送の中継用として使用されている。実運用において、音声への雑音障害や伝送信号の劣化などが発生していないか、放送システムへの運用に支障が生じていないか、また、支障が生じた場合の対策策などを調査した。

4.1.2 調査の対象、実施時期

現在、FM 補完放送の中継用として 60MHz 帯デジタル STL/TTL を使用している 3 事業者に対して、調査用紙（Excel ファイル）に記載して頂く方式で電子メールにて調査を実施した。

【調査対象】 3 放送事業者（50 音順）

- ・ 四国放送株式会社
- ・ 信越放送株式会社
- ・ 株式会社ラジオ福島

4.1.3 調査の内容

調査項目は次の 3 点とした。

- I. 放送番組中継回線の利用状況について
- II. 運用局の受信障害の状況について
- III. その他、ご意見、ご要望等について

具体的な調査内容は以下のとおりである。

- I. 放送番組中継回線の利用状況について
 - ・ 60MHz 帯放送番組中継回線のご利用状況について
 - ① 回線種別 [デジタル、アナログ、デジタル/アナログ両方]
 - ※ デジタル/アナログ両方の場合は、以下②以降の内容は” デジタル” について記入
 - ② 使用する周波数
 - ③ 送信電力 (ERP)
 - ④ 偏波面 (水平/垂直)

- ⑤ 送信地点（緯度・経度、地上高）
 - 送信装置名（記載可能な範囲で）、アンテナ種別・素子数
 - ⑥ 受信地点（緯度・経度、地上高）
 - 伝送路の区分 [見通し、見通し外]
 - 「近距離 20km 以内、中距離 50km 以内、遠距離 100km 以内」
 - 受信装置名（記載可能な範囲で）、アンテナ種別・素子数
 - ⑦ 運用状況 [常時運用、予備運用]
 - 予備回線の有無、種別（IP 回線、M/N 回線など）
 - ⑧ その他、特筆すべき点
- II. 運用局の受信障害の状況について
- ・ 60MHz/160MHz 帯放送番組中継回線の運用時の受信障害の発生状況について
 - ① 障害の発生状況
 - ② 障害の状況
 - ・ 障害状況（程度/内容/頻度）
 - ・ 発生傾向（季節・時間）、想定される原因など
- III. その他、ご意見、ご要望等について
- ・ その他、ご意見など

4.1.4 調査結果

調査結果は以下の通りである。

I. 放送番組中継回線の利用状況について（表 2.4-1 に記載）

表 4.1-1 放送番組中継回線の利用状況

項目		調査結果			
放送事業者		事業者 1	事業者 2		事業者 3
運用周波数		60MHz 帯（割当て周波数は同一）			
送信電力		3.0W	1.0W	5.0W	
偏波面		水平			
送信地点	送信装置	A 社製	B 社製		B 社製
	アンテナ種別	3 素子八木	5 素子八木		5 素子八木
受信地点	受信装置	A 社製	B 社製		B 社製
	アンテナ種別	3 素子八木	5 素子八木	5 素子八木 2 段	3 素子八木
	伝送路区分	見通し	見通し外	見通し	見通し
	距離区分	中距離 (50km 以内)	近距離 (20km 以内)	遠距離 (100km 以内)	遠距離 (100km 以内)
運行状況 (予備回線)		常時運用 (IP 光回線)	常時運用 (なし)		常時運用 (なし)
その他			山岳回折とな る伝搬路	河川の谷沿い が伝送路	障害となるよ うな地形的特 徴はない

II. 運用局の受信障害の状況について（表 4.1-2 に記載）

表 4.1-2 運用局の受信障害の状況

II-1 障害の状況：障害状況（程度/内容/頻度）																																																																		
<ul style="list-style-type: none"> 3社ともに障害が発生しているが、頻度の度合い（認識）は多少ばらつきがある。 回線品質の低下は、音声の瞬断や継続的な途切れ、歪みなどとなって影響が出ている。 一旦発生すると数十分から数時間にわたり障害が続くことがある。 																																																																		
II-2 障害の状況：発生傾向（季節・時間）、想定される原因（電離層異常伝搬、フェージング、外来雑音など）																																																																		
<ul style="list-style-type: none"> 障害は、年間を通じて発生しているが、特に夏場に多発する。冬場は、社によって状況が異なる。 障害は、昼夜を問わず発生するが、日中に多く発生する傾向がある。 想定される原因としては、E層による異常伝搬や外来雑音/都市雑音が考えられる（切り分けできない）。 																																																																		
II-3 障害の状況：令和3年の障害発生状況																																																																		
<ul style="list-style-type: none"> 障害は毎年継続的に発生している。 障害発生数を月別で見ると夏季（5～7月）と冬季（12～2月）に集中している。 受信障害の発生頻度について2社から詳細なデータの提供を受け分析を行った。 <p>※右図は、事業者から提供を受けた直近1年間の月別障害発生状況例を示す。（頻度）</p>	<table border="1"> <caption>障害発生状況 (令和3年)</caption> <thead> <tr> <th>月</th> <th>10分未満</th> <th>10分以上～2時間未満</th> <th>2時間以上</th> <th>合計</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2月</td><td>10</td><td>15</td><td>15</td><td>40</td></tr> <tr><td>3月</td><td>10</td><td>5</td><td>0</td><td>15</td></tr> <tr><td>4月</td><td>5</td><td>5</td><td>0</td><td>10</td></tr> <tr><td>5月</td><td>25</td><td>5</td><td>0</td><td>30</td></tr> <tr><td>6月</td><td>45</td><td>25</td><td>5</td><td>75</td></tr> <tr><td>7月</td><td>25</td><td>20</td><td>0</td><td>45</td></tr> <tr><td>8月</td><td>5</td><td>5</td><td>0</td><td>10</td></tr> <tr><td>9月</td><td>5</td><td>10</td><td>0</td><td>15</td></tr> <tr><td>10月</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>11月</td><td>5</td><td>5</td><td>0</td><td>10</td></tr> <tr><td>12月</td><td>15</td><td>20</td><td>5</td><td>40</td></tr> <tr><td>22/1月</td><td>15</td><td>25</td><td>5</td><td>45</td></tr> </tbody> </table>	月	10分未満	10分以上～2時間未満	2時間以上	合計	2月	10	15	15	40	3月	10	5	0	15	4月	5	5	0	10	5月	25	5	0	30	6月	45	25	5	75	7月	25	20	0	45	8月	5	5	0	10	9月	5	10	0	15	10月	0	0	0	0	11月	5	5	0	10	12月	15	20	5	40	22/1月	15	25	5	45
月	10分未満	10分以上～2時間未満	2時間以上	合計																																																														
2月	10	15	15	40																																																														
3月	10	5	0	15																																																														
4月	5	5	0	10																																																														
5月	25	5	0	30																																																														
6月	45	25	5	75																																																														
7月	25	20	0	45																																																														
8月	5	5	0	10																																																														
9月	5	10	0	15																																																														
10月	0	0	0	0																																																														
11月	5	5	0	10																																																														
12月	15	20	5	40																																																														
22/1月	15	25	5	45																																																														

III. その他、ご意見、ご要望等について（表 4.1-3 に記載）

表 4.1-3 ご意見、ご要望等

III-1 ご意見
<ul style="list-style-type: none"> ノイズ発生源は特定できていないが、ノイズ源は局舎外と思われる。 各社、情報共有を望まれている。
III-2 ご要望
<ul style="list-style-type: none"> 障害に対する対策案として、増力もしくは周波数移行などの検討が望まれる。

各社の設備諸元や伝搬路状況は異なるものの、運用時における受信障害の発生を各社同様な症状として確認されている。各社の影響頻度は多少の差異があるが回線品質の低下に大きな課題意識があり、安定運用に向けて障害に対する対策又は改善を強く要望しており、“増力”もしくは“周波数移行”などの対処（案）の意見を頂戴した。

第5章 技術試験及び実証実験

5.1 伝送の質を維持するための諸条件に関する技術試験

60MHz 帯デジタル STL/TTL 送信装置及び受信装置の基本性能を確認するとともに、固定局の伝送の質を維持するための諸条件を確認するために、室内技術試験を実施した。なお、技術試験については、同回線設備の装置を製造している日本通信機株式会社及び RF デザイン株式会社の協力を得て実施した。

5.1.1 技術試験の内容

60MHz 帯デジタル STL/TTL 送信装置及び受信装置の屋内技術試験の項目は以下のとおりである。

(1) 60MHz 帯デジタル STL/TTL 送受信装置の基本性能調査

測定もしくは設計値をもとに調査を行う項目としては以下の通りである。

・送信機：

送信電力、周波数偏差、スプリアス（帯域外領域、スプリアス領域）、占有周波数帯幅、スペクトラムマスク、消費電流

・受信機：

標準受信入力、最大受信入力、入力フィルタ特性、雑音指数、消費電流

※ IF 周波数偏差については機器に測定機能未搭載であるため測定せず。

・機能・性能：

誤り訂正方式、自動等化器（等化可能な時間範囲）、ロールオフ率

(2) 室内技術試験測定

室内技術試験を実施し測定する項目としては以下の通りである。

・所要 C/N：

標準受信入力（-60dBm@64QAM）にて C/N 対 BER 特性を取得し、疑似エラーフリー（誤り訂正復号後に 1×10^{-11} 以下となる）となる所要 C/N を測定する。所要 C/N の評価基準は、例えば RS 符号の場合は誤り訂正復号前にて 1×10^{-4} 以下の値とする。

※測定パラメータ：64QAM、QPSK（一部機種）

・C/N 対 BER 特性：

受信入力： -60dBm（標準）及び -50dBm（最大）

誤り訂正： ON/OFF の2種類を測定する（ 1×10^{-7} 程度までとする）

・受信電力対 BER 特性：

各変調方式の最低受信入力を記録すること。

※測定パラメータ：64QAM、QPSK（一部機種）

- ・受信電力対 MER 特性：

※測定パラメータ：64QAM、QPSK（一部機種）

- ・マルチパス環境下での所要 D/U の取得

測定条件：主波と遅延波の 2 波マルチパス試験とする。疑似エラーフリー（RS 符号の場合、訂正前 BER が 1×10^{-4} 以下）を満たす遅延時間と所要 D/U を記録する。

遅延時間：400 μ 秒～400 μ 秒を目安として、所要 D/U が劣化する変化点まで測定する。

遅延波の位相：0 度

- ・外来波干渉特性：

標準受信入力にて、アナログ FM 干渉波と同一チャンネル干渉試験を実施し、所要 C/I を測定する。

5.1.2 対象とする機器

60MHz 帯デジタル STL/TTL 送信装置及び受信装置の屋内技術試験における対象とする機器として、2 社が製造している 3 機種について試験を行うこととした。

【機種 A】対応する変調方式：64QAM

【機種 B】対応する変調方式：64QAM 及び QPSK

【機種 C】対応する変調方式：64QAM

5.1.3 使用測定器

基本性能評価及び室内技術試験測定に使用した主な測定機器を表 5.1-1 に、技術試験実施風景及び干渉波形（一例）を図 5.1-21 及び図 5.1-2 に示す。

表 5.1-1 測定に使用した主な測定機器

No.	測定対象	品名	形式	メーカー
1	占有周波数帯幅	スペクトラムアナライザ	E4443A	Agilent
	スプリアス			
	スペクトラムマスク			
4	送信電力	パワーメータ	N1912A	Agilent
5	送信周波数	周波数カウンタ	53132A	Agilent
6	消費電流 (DC)	クランプメータ	DCM400AD	SANWA
7	音声特性	オーディオアナライザ	U8903A	KEYSIGHT
8	減力用	ATT	SA-123E ほか	サンケン ほか
9	レベル調整	可変 ATT	8495B/8494B	KEYSIGHT
10	音声モニタ用	DA 変換器	SRC2496	Behringer
11	C/N 調整	ノイズジェネレータ	TSG-106	多摩川電子
12	C/N 調整	RF アンプ		日本通信機
13	マルチパス発生	フェージングシミュレータ	4409A-202	営電
14	マルチパス発生	CW 信号発生器	E8247C	Agilent
15	干渉波特性測定	CD プレイヤー	DN-700C	DENON
16	干渉波特性測定	FM 信号発生器	VP-8131A	Panasonic

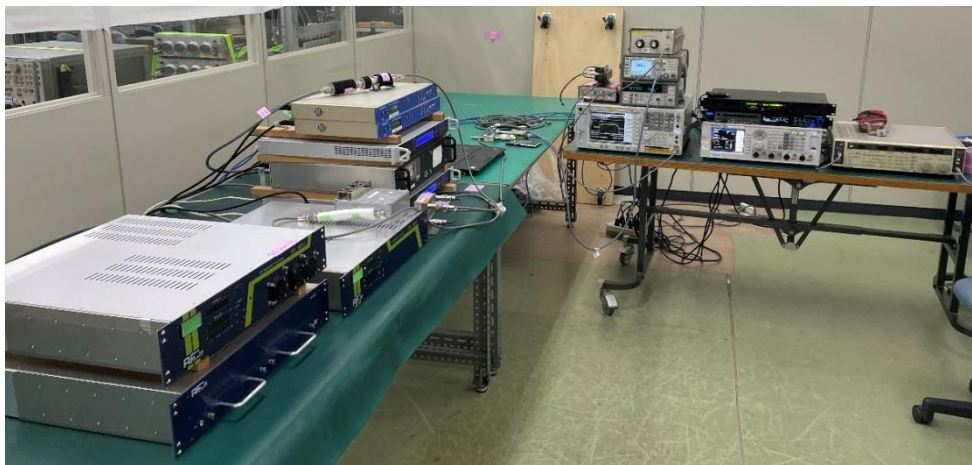


図 5.1-1 技術試験実施風景

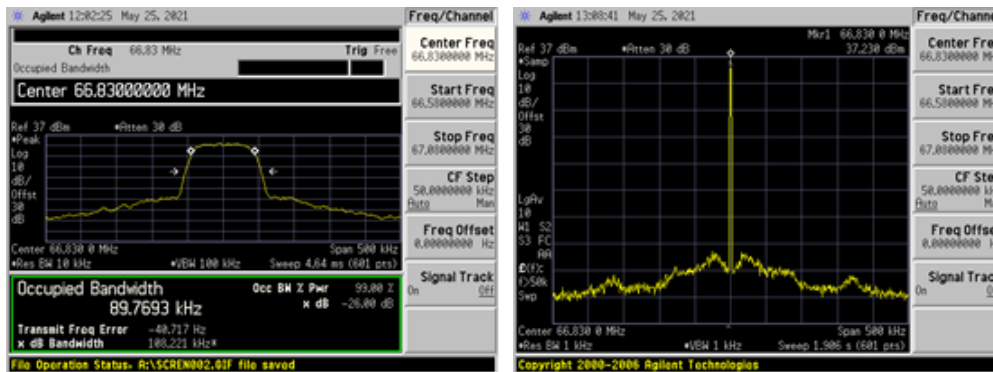


図 5.1-2 干渉波形(一例)(左図:周波数帯域幅、右図:スプリアス[帯域外領域])

5.1.4 技術試験の結果(1) 基本性能評価

60MHz 帯デジタル STL/TTL 送信装置及び受信装置の基本性能を以下に示す。

(1) 送信装置

送信電力、周波数偏差、スプリアス（帯域外領域、スプリアス領域）、占有周波数帯幅、スペクトラムマスク、消費電流

(2) 受信装置

最低受信電界特性、所要 C/N、BER 対 MER 特性、IF 周波数偏差、消費電流

(3) 機能・性能

誤り訂正方式、自動等化器（等化可能な時間範囲）、ロールオフ率

表 5.1-2 送信装置の基本性能 (カッコ内は測定値)

【送信装置】	機種 A (64QAM)	機種 B (64QAM)	機種 B (QPSK)	機種 C (64QAM)
送信電力	5W -20%+10%以内 (4.97W)	0.5W (0.51W)		5W (4.26W)
周波数偏差	±3Hz 以内 (-0.1Hz)	— (13Hz)		±2Hz 以内 (0.2Hz)
スプリアス ・帯域外領域 ・スプリアス領域	25uW 以下 (-60dB 以下) (-60dB 以下)	-60dBc 以下(スプリアス領域) (-64dB 以下) *1 (-48dB 以下) *1		-60dBc 以下 (-70dB 以下) (-70dB 以下)
占有周波数帯幅	96kHz 以内 (89.8kHz)	96kHz 以内 (87.4kHz)		96kHz 以内 (92.9kHz)
ロールオフ率	0.2 (ルート配分)	0.2 (ルート配分)	0.2 (ルート配分)	0.2 (ルート配分)
スペクトラムマスク ・Fc±50kHz ・Fc±150kHz (図 5.1-3)	-37dB 以下 (-47dBc) -48dB 以下 (-57dBc)	-37dB 以下 (-46dBc) *1 -48dB 以下 (-62dBc) *1		-37dB 以下 (-42dBc) -48dB 以下 (-77dBc)
消費電流 (AC100V)	2A 以下 (1.1A)	1.5A (1.3A)		4A (2.6A)

*1 送信用フィルタなし

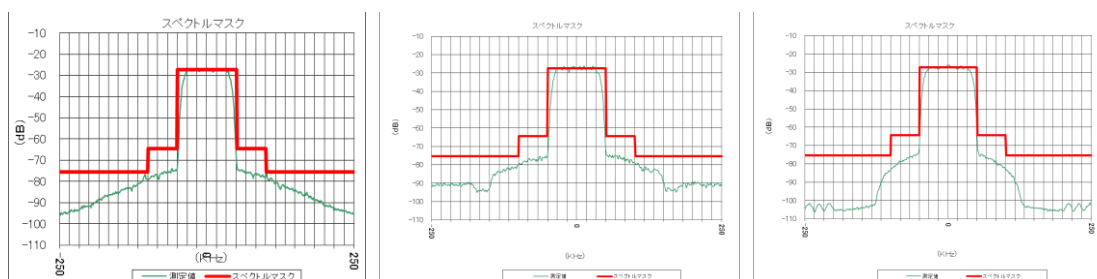


図 5.1-3 スペクトラムマスク(左図:機種A、中央図:機種B、右図:機種C)

表 5.1-3 受信装置の基本性能(1)

【受信装置】	機種A (64QAM)	機種B (64QAM)	機種B (QPSK)	機種C (64QAM)
最小受信入力	-80dBm	-80dBm	-80dBm	-80dBm
標準受信入力	-60dBm	-60dBm	-60dBm	-67dBm
最大受信入力	-50dBm	-30dBm	-30dBm	-30dBm
雑音指数	5dB 以下	5dB 以下	5dB 以下	5dB 以下
消費電流(AC100V)	0.8A (0.2A)	0.8A	0.8A	0.7A

補足 1：IF 周波数偏差については、ダイレクトコンバージョン方式の採用などの理由により測定用出力機能が備わっていないため、調査項目から除外した。

補足 2：入力フィルタ特性については、各社ともに外付けのフィルタを使用しているため、調査項目から除外した。

表 5.1-4 受信装置の基本性能(2)

【受信装置】	機種A (64QAM)	機種B (64QAM)	機種B (QPSK)	機種C (64QAM)
所要 C/N ・入力=-60dBm ・入力=-50dBm	(RS 前 BER<1E ⁻⁴) 24.5dB 24.7dB	(LDPC 後 BER<1E ⁻⁴) 21.7dB 20.6dB	(Viterbi 後 BER<1E ⁻⁴) 8.0dB 7.5dB	(LDPC 後 FER<1E ⁻⁴) 21.2dB 22.2dB
C/N 対 BER 特性 ・入力=-60dBm ・入力=-50dBm	(BER<1E ⁻⁴) 24.5dB (RS 前) 22.7dB (RS 後) 24.7dB (RS 前) 22.8dB (RS 後) (図 5.1-4)	(BER<1E ⁻⁴) 21.7dB (LDPC 後) 20.6dB (LDPC 後) (図 5.1-5)	(BER<1E ⁻⁴) 8.0dB (Viterbi 後) 7.5dB (Viterbi 後) (図 5.1-6)	(FER<1E ⁻⁴) 21.2dB (LDPC 後) 22.2dB (LDPC 後) (図 5.1-7)
C/N 対 MER 特性 ・入力=-60dBm ・入力=-50dBm	図 5.1-9(左図) 図 5.1-9(右図)	図 5.1-10(左図) 図 5.1-10(右図)	図 5.1-11(左図) 図 5.1-11(右図)	図 5.1-12(左図) 図 5.1-12(右図)
受信電力対 BER 特性 (受信電力対 FER 特性)	(BER<1E ⁻⁴) -96.6dBm (RS 前) -98.2dBm (RS 後) (図 5.1-13)	(BER<1E ⁻⁴) -82.0dBm (LDPC 後) (図 5.1-14)	(BER<1E ⁻⁴) -91.5dBm (Viterbi 後) (図 5.1-15)	(FER<1E ⁻⁴) -94.8dBm (LDPC 後) (図 5.1-16)
受信電力対 MER 特性	図 5.1-18	図 5.1-19	図 5.1-20	図 5.1-21

表 5.1-5 受信装置の基本性能(3)

【受信装置】	機種A (64QAM)	機種B (64QAM)	機種B (QPSK)	機種C (64QAM)
誤り訂正方式	リードソロモン (RS) 符号	LDPC 符号 (符号化率 0.828)	畳込み符号 (符号化率 7/8)	LDPC 符号 (符号化率 0.828)
特徴	答申時に想定した標準的な誤り訂正符号であり、符号化効率が高く訂正能力も高い。バースト誤りに強い特徴がある。	最新のランダム誤り訂正符号であり、符号化効率、訂正能力ともに優れている。	ランダム誤り訂正符号であり、符号化効率、訂正能力ともに高い。符号化率を容易に変更できる特徴がある。	最新のランダム誤り訂正符号であり、符号化効率、訂正能力ともに優れている。

【C/N 対 BER 特性】

各社の C/N 対 BER 特性について図 5.1-4 から図 5.1-7 に示す。また、各社の C/N 対 BER 特性の比較を図 5.1-8 に示す。

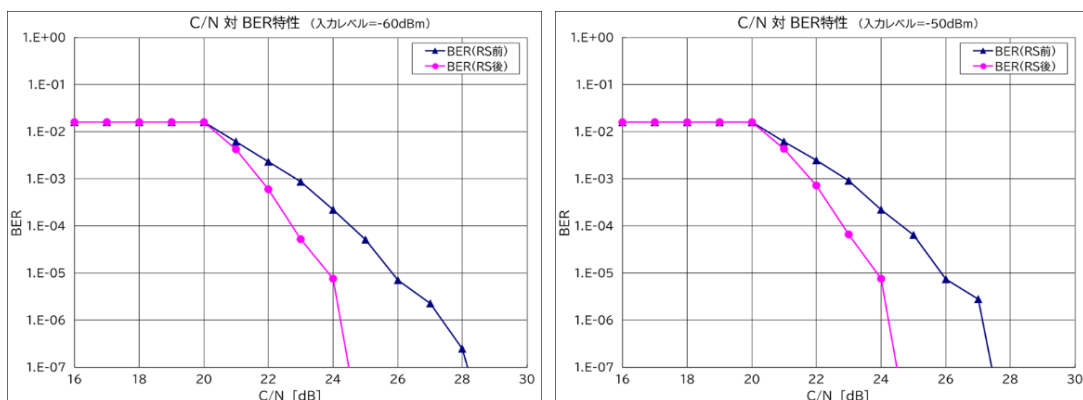


図 5.1-4 機種 A の C/N 対 BER 特性 (64QAM)
 (左図: 入力レベル=-60dBm、右図: 入力レベル=-50dBm)

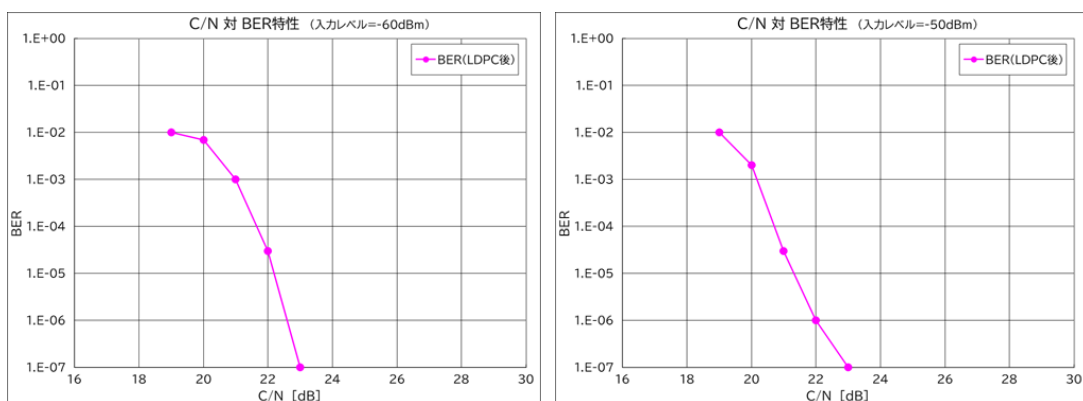


図 5.1-5 機種 B の C/N 対 BER 特性 (64QAM)
 (左図: 入力レベル=-60dBm、右図: 入力レベル=-50dBm)

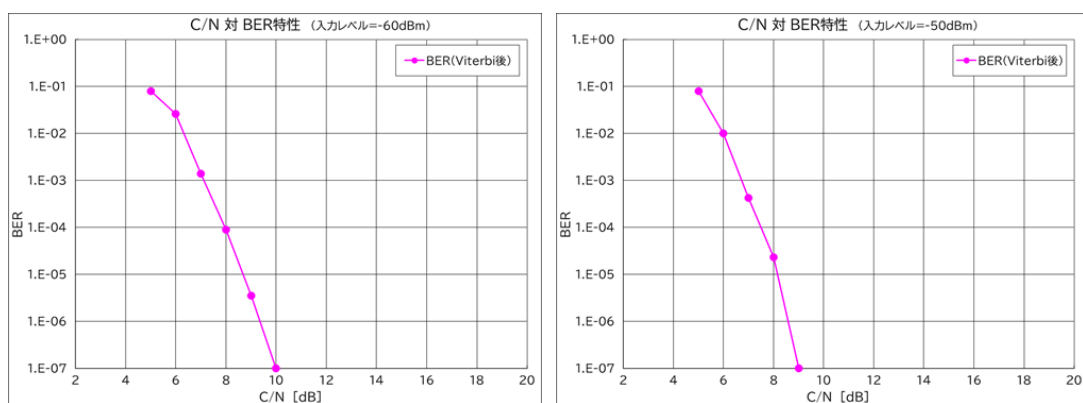


図 5.1-6 機種 B の C/N 対 BER 特性 (QPSK)
 (左図: 入力レベル=-60dBm、右図: 入力レベル=-50dBm)

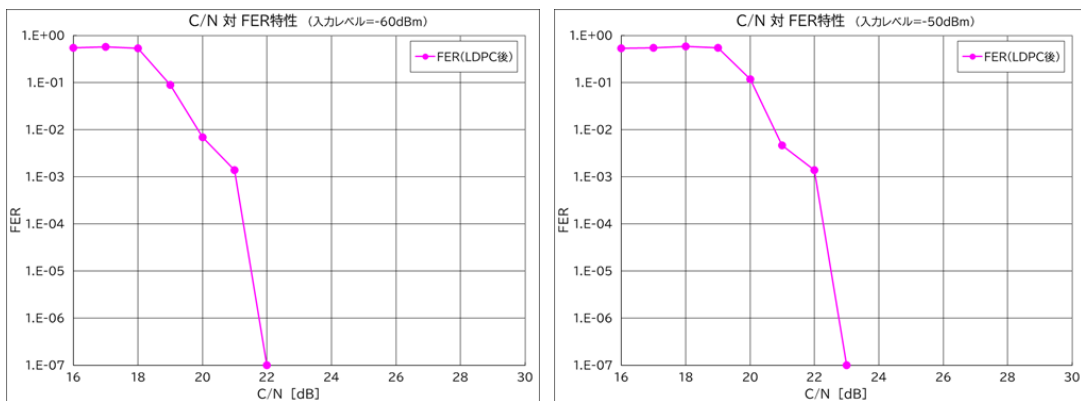


図 5.1-7 機種Cの C/N 対 BER 特性 (64QAM)
(左図: 入力レベル=-60dBm、右図: 入力レベル=-50dBm)

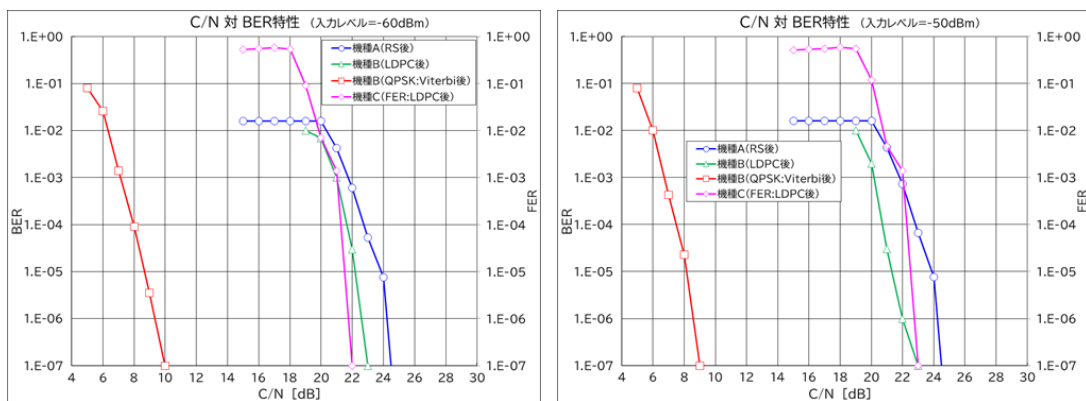


図 5.1-8 各機種の C/N 対 BER 特性の比較
(左図: 入力レベル=-60dBm、右図: 入力レベル=-50dBm)

【所要 C/N】

これらの結果より、所要 C/N は、誤り訂正復号後の BER または FER が 10^{-7} 以下を疑似エラーフリー（評価基準）として、その C/N を表 5.1-6 にまとめて記載した。

表 5.1-6 所要 C/N

入力レベル	機種 A (64QAM)	機種 B (64QAM)	機種 B (QPSK)	機種 C (64QAM)
-60dBm	24. 5dB	22. 9dB	10. 0dB	22. 0dB
-50dBm	24. 6dB	22. 9dB	9. 0dB	22. 9dB

※ 規格 64QAM : 28.3dB、 QPSK : 15.4dB

【C/N 対 MER 特性】

次に、各社の C/N 対 MER 特性について図 5.1-9 から図 5.1-12 に示す。

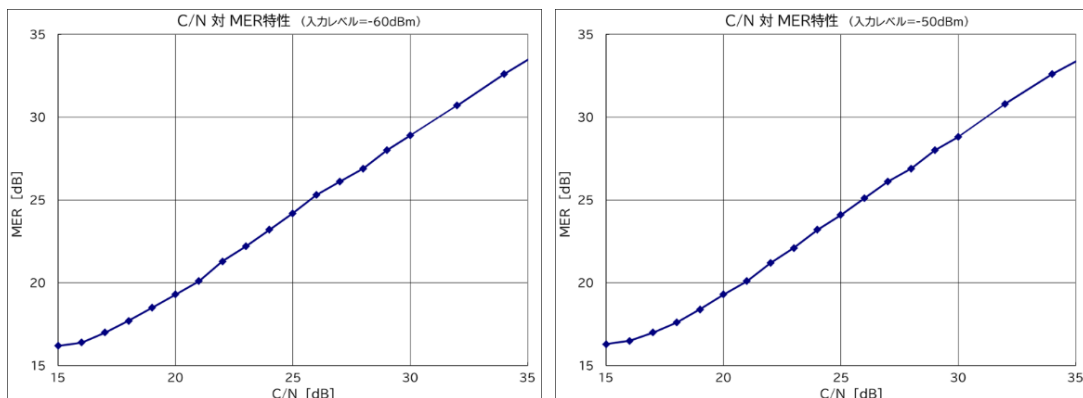


図 5.1-9 機種 A の C/N 対 MER 特性 (64QAM)
 (左図: 入力レベル=-60dBm、右図: 入力レベル=-50dBm)

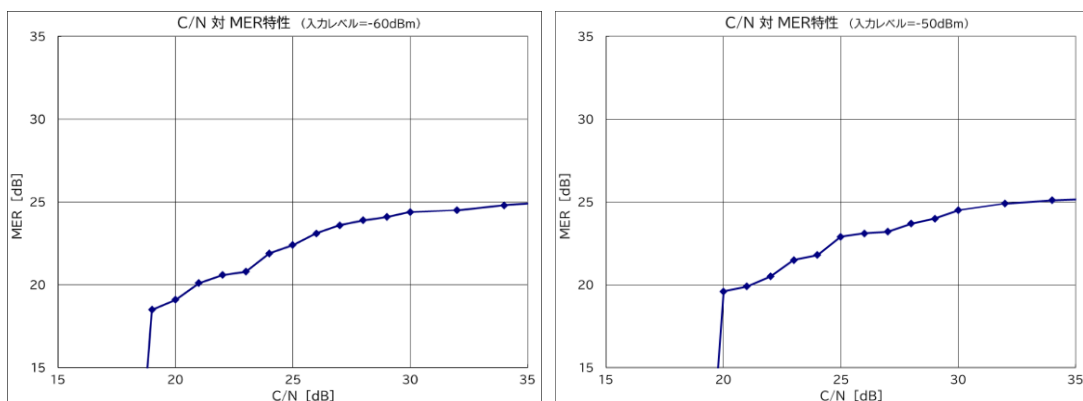


図 5.1-10 機種 B の C/N 対 MER 特性 (64QAM)
 (左図: 入力レベル=-60dBm、右図: 入力レベル=-50dBm)

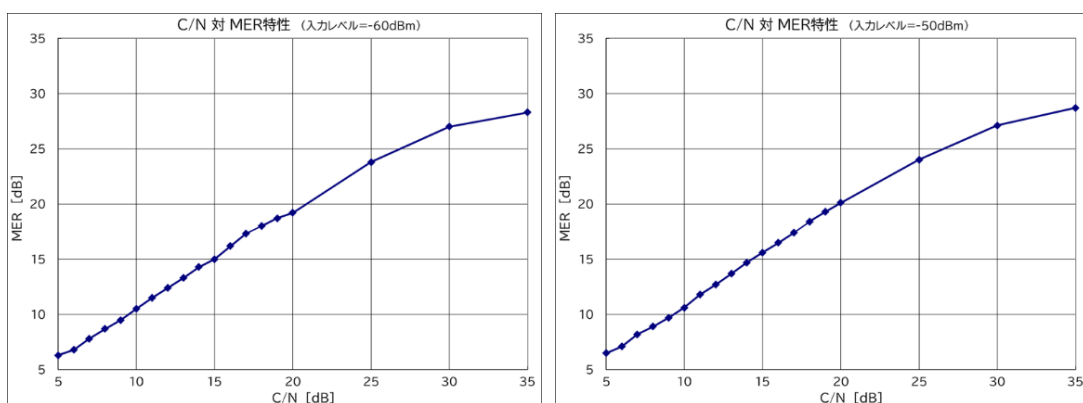


図 5.1-11 機種 B の C/N 対 MER 特性 (QPSK)
 (左図: 入力レベル=-60dBm、右図: 入力レベル=-50dBm)

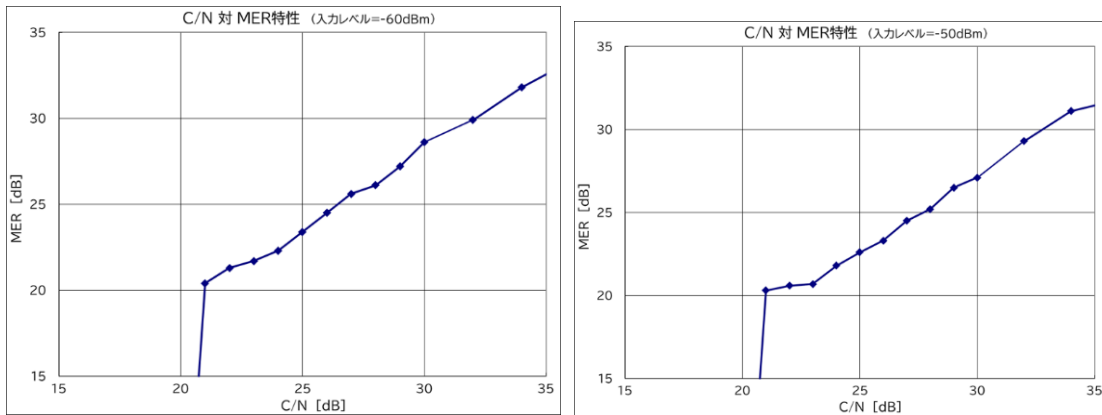


図 5.1-12 機種Cの C/N 対 MER 特性 (64QAM)
 (左図:入力レベル=-60dBm、右図:入力レベル=-50dBm)

【受信電力対 BER 特性】

次に、各社の受信電力対 BER 特性について図 5.1-13 から図 5.1-17 に示す。

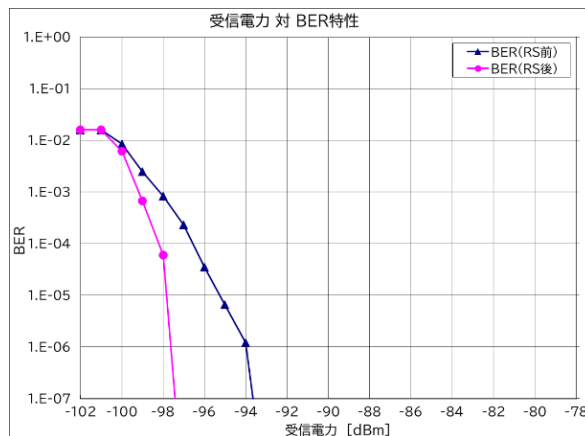


図 5.1-13 機種 A の受信電力対 BER 特性(64QAM)

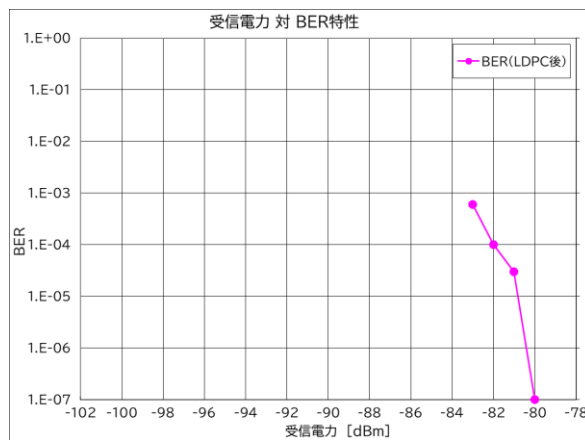


図 5.1-14 機種 B の受信電力対 BER 特性(64QAM)

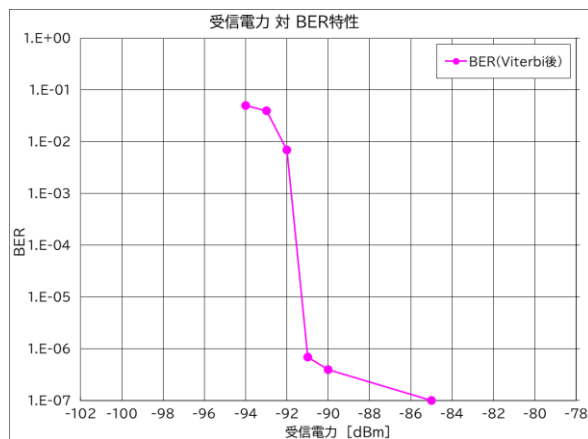


図 5.1-15 機種Bの受信電力対BER特性(QPSK)

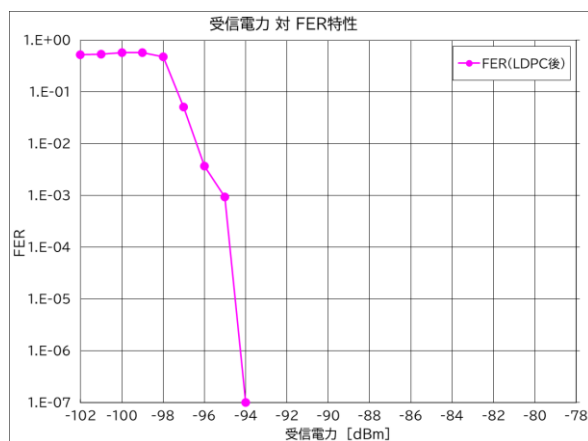


図 5.1-16 機種Cの受信電力対FER特性(64QAM)

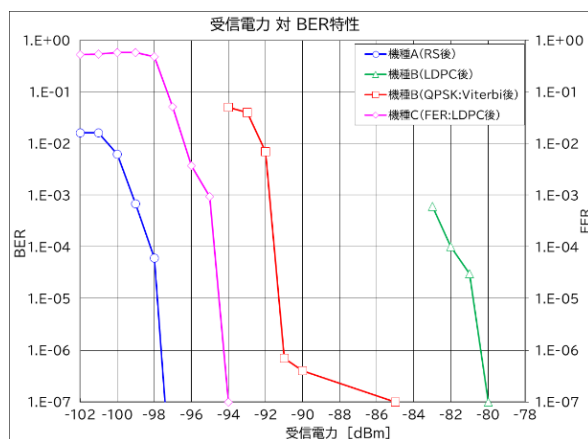


図 5.1-17 各機種を受信電力対BER/FER特性

これらの結果より、評価基準以下となる受信電力について表 5.1-7 にまとめて記載した。

表 5.1-7 評価基準以下となる受信電力

	機種A (64QAM)	機種B (64QAM)	機種B (QPSK)	機種C (64QAM)
評価基準以下となる受信電力	-97.5dBm	-80.0dBm	-90.0dBm	-94.0dBm
標準受信入力 (規格値)	-60dBm ± 3dB	-60dBm ± 3dB	-73dBm ± 3dB	-60dBm ± 3dB

【受信電力対 MER 特性】

各社の受信電力対 MER 特性について図 5.1-18 から図 5.1-22 に示す。機種Cの受信電力対 MER 特性 (64QAM) における受信電力が-30dB 程度以上で MER 特性が劣化する事象については、入力段の飽和などの要因によるものと推定される。

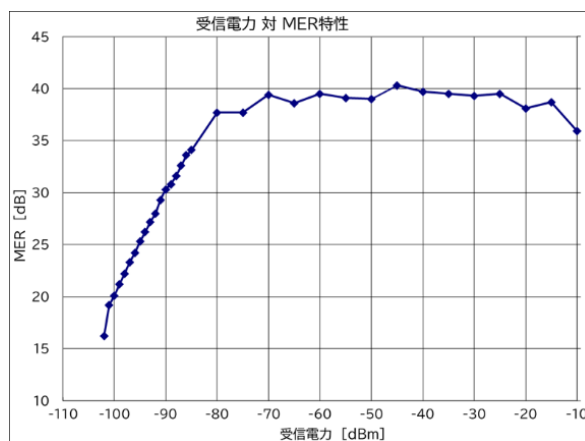


図 5.1-18 機種 A の受信電力対 MER 特性 (64QAM)

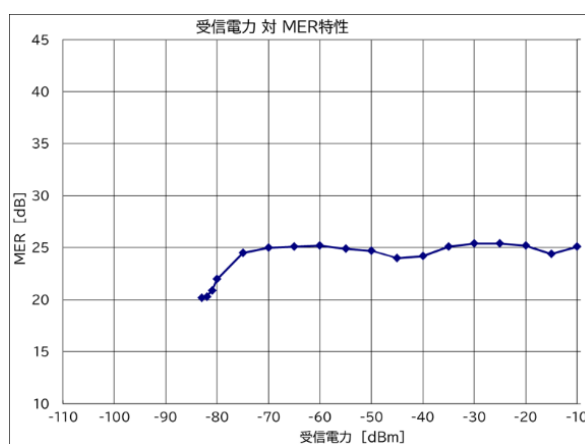


図 5.1-19 機種 B の受信電力対 MER 特性 (64QAM)

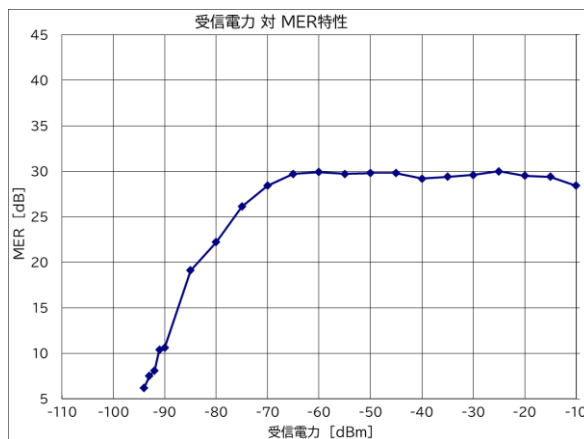


図 5.1-20 機種 B の受信電力対 MER 特性 (QPSK)

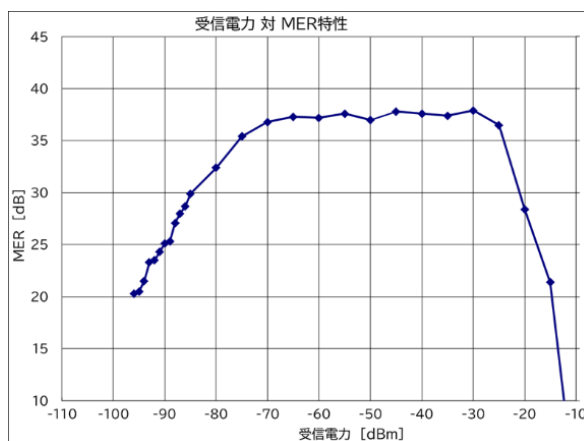


図 5.1-21 機種 C の受信電力対 MER 特性 (64QAM)

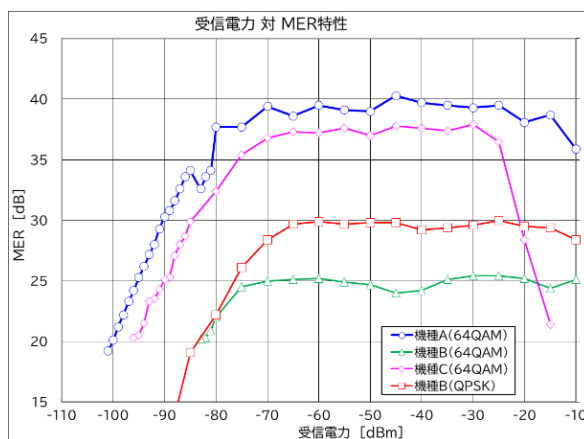


図 5.1-22 各機種 の受信電力対 MER 特性

5.1.5 技術試験の結果(2) マルチパスに対する評価

【マルチパス除去特性 (マルチパス遅延時間 対 D/U)】

各社のマルチパス除去特性 (マルチパス遅延時間 対 D/U) について図 5.1-23 から図 5.1-27 に示す。

また、等化可能なマルチパス遅延時間と最大 D/U について表 5.1-8 にまとめた。

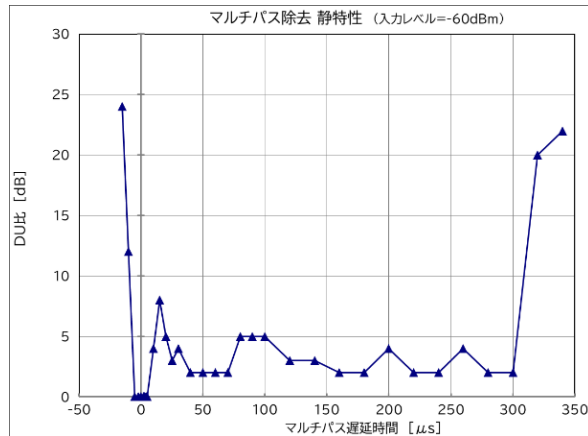


図 5.1-23 機種 A のマルチパス除去特性 (64QAM)

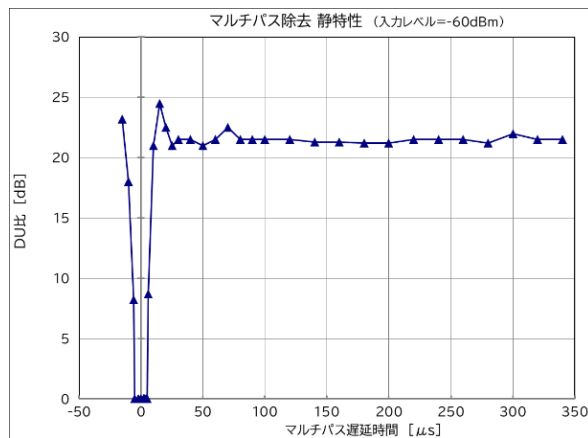


図 5.1-24 機種 B のマルチパス除去特性 (64QAM)

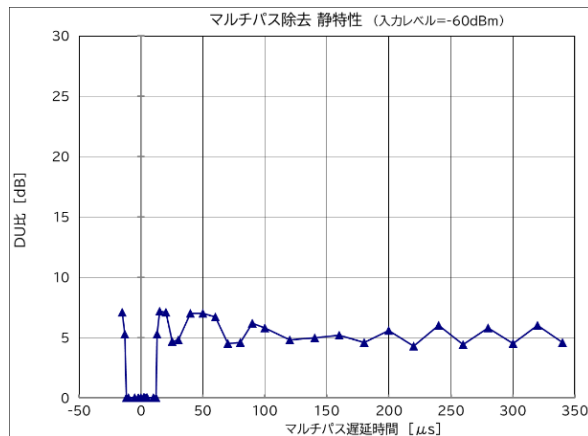


図 5.1-25 機種 B のマルチパス除去特性 (QPSK)

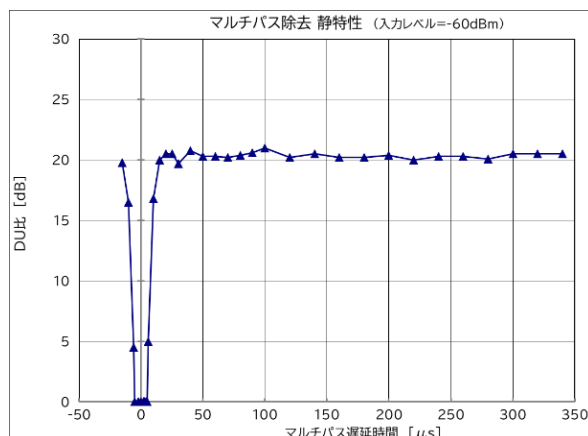


図 5.1-26 機種Cのマルチパス除去特性(64QAM)

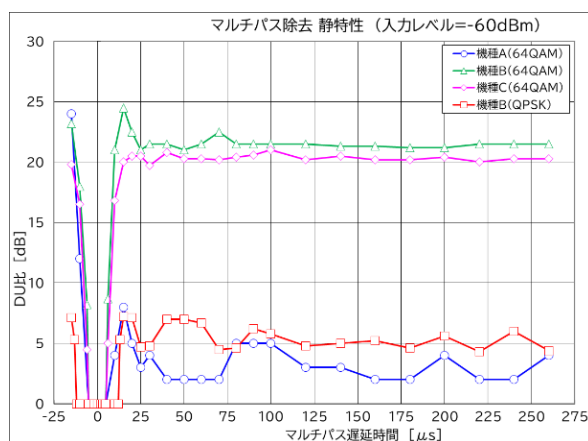


図 5.1-27 各機種のマルチパス除去特性

表 5.1-8 等化可能なマルチパス遅延時間と最大 D/U

	機種 A (64QAM)		機種 B (64QAM)		機種 B (QPSK)		機種 C (64QAM)	
マルチパス遅延時間 (μs)	-10~10	10~260	-10~10	10~260	-10~10	10~260	-10~10	10~260
最大 D/U (dB)	0	8	0	25	0	7	0	21

【参 考】

今回評価試験を実施した 3 機種の中で、機種 A については見通し外及び長距離通信（見通し内）を想定して設計されており、マルチパス対策として等化回路が組み込まれている。等化回路には波形等化によるフィードフォワード型とプロファイル解析によるフィードバック型の 2 種類があるが、本機種においては等化性能の高いフィードバック型が採用されている。これにより、約 300 μs までのマルチパス遅延波に対応できる性能を有している。

5.1.6 技術試験の結果(3) 外来波干渉特性

【外来波干渉特性】

各社の外来波干渉特性について表 5.1-9 にまとめた。干渉波はアナログ FM とし、音源として 1kHz 及び 4kHz の正弦波並びにピアノ曲を用いた。

なお、評価基準については、機種 A(64QAM)は RS 復号前の BER が 10^{-4} 以下、機種 B(64QAM)は LDPC 復号後の BER が 10^{-4} 以下、機種 B(QPSK)はビタビ復号後の BER が 10^{-4} 以下、及び機種 C(64QAM)は LDPC 復号後の FER が 10^{-4} 以下、とした。

表 5.1-9 外来波干渉特性

	機種 A (64QAM)	機種 B (64QAM)	機種 B (QPSK)	機種 C (64QAM)
アナログ FM (1kHz)	20dB	21dB	5.3dB	21dB
アナログ FM (400Hz)	20dB	21dB	5.5dB	22dB
アナログ FM (ピアノ)	21dB	21dB	5.7dB	25dB

※ 入力レベル=-60dBm、以下条件下の所要 C/I

5.1.7 考 察

国内 2 社の製品 3 機種を送受信機器について室内実験を実施し、所要の性能を保持していることを確認した。

これにより、室内試験を実施した 2 社 3 機種を送受信機器については、静環境特性と同等の伝搬環境であれば安定的な回線運用ができるものと考えられる。

また、外来波干渉特性の試験結果から、64QAM 伝送の場合は D/U が 20dB を確保できない強い干渉波が混入した場合に BER 異常が発生することも改めて確認できた。

5.2 見通し外通信及び長距離通信（見通し内）の利用条件下における長期変動に関する実証実験

5.2.1 実証実験の概要

見通し外通信及び長距離通信（見通し内）の利用条件下における長期変動の有無や特性を把握するために、実験試験局免許を取得するとともに、長野県内にて試験電波を発射し、長期にわたり電波伝搬状況を収集した。

実験試験設備は、送信地点として信越放送美ヶ原局の局舎に、また受信地点として信越放送高ボッチ局の局舎及び信越放送飯田局の局舎にそれぞれ設置し、実験期間は令和3年6月下旬から11月末まで実施した。期間中得られた測定データはインターネットを経由して請負会社に送られ、日々集計及び解析を実施した。

5.2.1.1 目的

見通し外通信及び長距離通信（見通し内）の利用条件下における長期変動の有無や特性を把握するために、実験試験局免許を取得するとともに、長野県内にて試験電波を発射し、長期にわたり電波伝搬状況を収集した。

5.2.1.2 測定項目

実証実験における測定項目を以下に示す。

- ・受信入力レベル変動異特性
- ・MER 変動特性
- ・BER 異常発生状況

5.2.2 実験試験局の概要

5.2.2.1 実験試験局の諸元

実証実験に用いた実験試験局の諸元について、送信装置の緒元を表 5.2-1 に、受信装置の緒元を表 5.2-2 及び表 5.2-3 に示す。

表 5.2-1 送信装置の緒元(美ヶ原局、設置場所:長野県松本市入山辺区山辺)

電波の型式	96K0 D7W
送信周波数の範囲	55.07MHz～67.55MHz (60.305MHz)
空中線電力	5W (ERP:21.5W)
変調方式	64QAM
送信空中線	3 素子八木空中線 ・利得： 8.15dBi ・偏波： 水平 ・指向方向： 211 度 ・水平面の主輻射の角度幅： 42 度 ・空中線の位置： 36.13.34/138.06.25 ・空中線の海拔高： 2038m ・空中線の地上高： 6.7m

表 5.2-2 受信装置1(高ボッチ局、設置場所:長野県塩尻市大字片丘東山)

受信周波数の範囲	55.07MHz～67.55MHz (60.305MHz)
変調方式	64QAM
受信空中線	3 素子八木空中線 ・利得： 8.15dBi ・偏波： 水平 ・指向方向： 31 度 ・水平面の主輻射の角度幅： 42 度 ・空中線の位置： 36.08.01/138.02.08 ・空中線の海拔高： 1668m ・空中線の地上高： 29m

表 5.2-3 受信装置2(飯田局、設置場所:長野県飯田市上久堅)

受信周波数の範囲	55.07MHz～67.55MHz (60.305MHz)
変調方式	64QAM
受信空中線	3 素子八木空中線 ・利得： 8.15dBi ・偏波： 水平 ・指向方向： 14 度 ・水平面の主輻射の角度幅： 42 度 ・空中線の位置： 35.27.35/137.52.14 ・空中線の海拔高： 784m ・空中線の地上高： 14m

5.2.2.2 送受信点の位置関係

実証実験に用いた実験試験局の位置関係について図 5.2-1 に示す。



図 5.2-1 実験試験局の送受信地点の位置関係

5.2.2.3 送受信点間のプロファイル

- ・送信地点（美ヶ原局）～受信地点（高ボッチ局）

送信地点となる美ヶ原局と受信地点となる高ボッチ局とは約 12.1km 離れているが、“見通し外”の位置関係となる。送受信点間（美ヶ原局～高ボッチ局）のプロファイルを図 5.2-2 に示す。

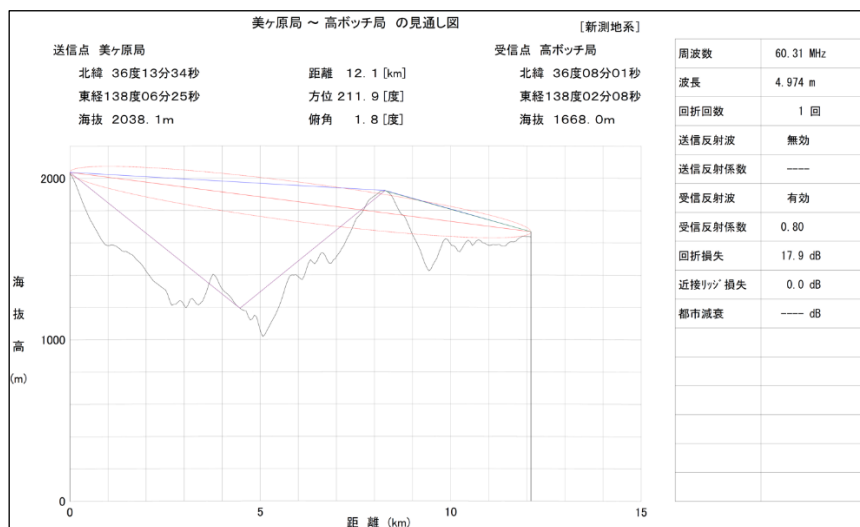


図 5.2-2 プロファイル(美ヶ原局～高ボッチ局)

- ・送信地点（美ヶ原局）～受信地点（飯田局）

送信地点となる美ヶ原局と受信地点となる飯田局とは約 87.7km 離れているが、“見通し”の位置関係となる。送受信点間（美ヶ原局～飯田局）のプロファイルを図 5.2-3 に示す。

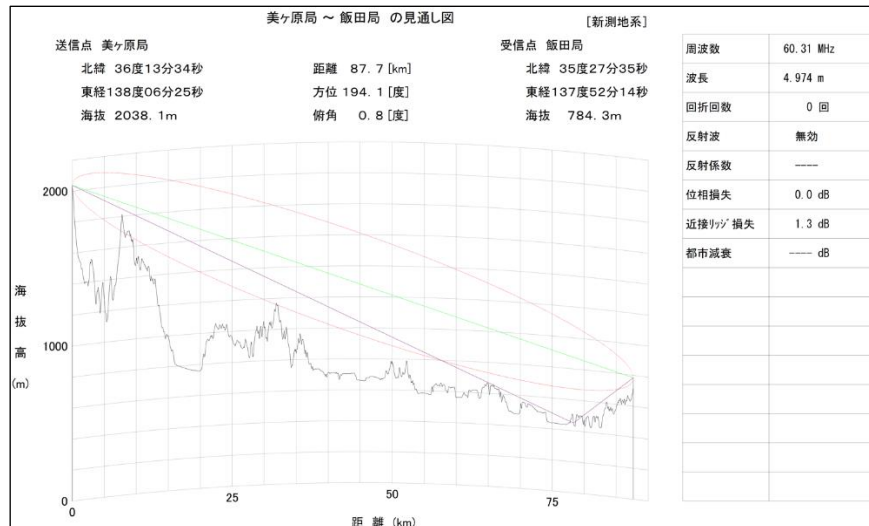


図 5.2-3 プロファイル(美ヶ原局～飯田局)

5.2.3 調査の全体構成

5.2.3.1 試験系統図

実験試験局を用いた屋外実証実験の実験系統図を図 5.2-4 に示す。

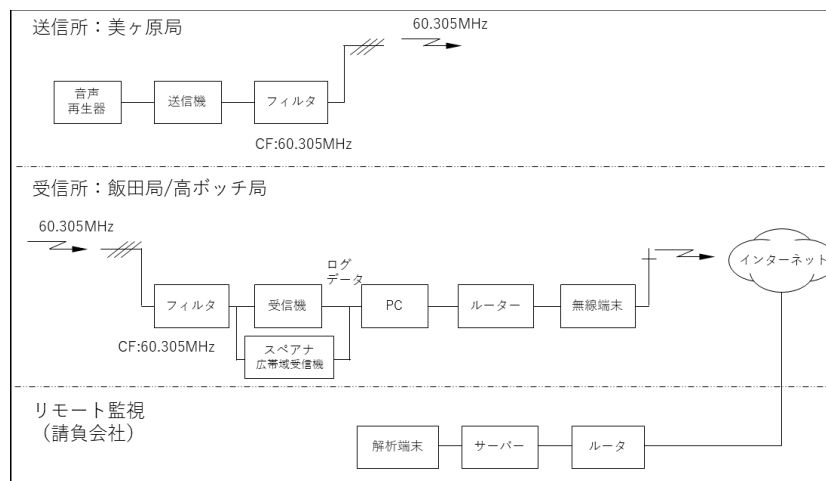


図 5.2-4 実験系統図

5.2.3.2 使用機材

屋外実証実験に使用した機材を表 5.2-4 に示す。また、実験に使用した 60MHz 帯送受信空中線の仕様を表 5.2-5 に、同指向性特性を図 5.2-5 に示す。

表 5.2-4 屋外実証実験に使用した機材

名称	製造社名	型番
送信地点		
デジタル STL/TTL 送信機	日本通信機	6409TL
STL/TTL 送信空中線	日本アンテナ	3DV-0608
基準信号発生器	日本通信機	3277A
受信地点 1、受信地点 2		
デジタル STL/TTL 受信機	日本通信機	6409R
STL/TTL 受信空中線	日本アンテナ	3DV-0608
スペクトラムアナライザ	アンリツ	MS2713E
基準信号発生器	日本通信機	3277A

表 5.2-5 屋外実証実験に使用した 60MHz 帯送受信空中線の仕様

仕様項目	仕様内容
1 アンテナ形式	3 素子八木アンテナ
2 型名	3DV-0608
3 用途	固定局用 垂直または水平偏波単一指向性
4 使用周波数	54~75MHz 内の一指定周波数
5 入力インピーダンス	公称 50Ω
6 VSWR	1.5 以下
7 利得(標準値)	8.15 dBi
8 指向性(標準値)	E 面半値幅: ± 31° H 面半値幅: ± 42°
9 前方対後方比(標準値)	13 dB
10 絶縁抵抗	給電点にて乾燥時 DC500V にて 500MΩ 以上
11 耐電圧	給電点にて乾燥時 AC1000V 1 分間加えて異常ないこと
12 給電部接栓	N-J 型
13 質量	約 6.3 kg
14 受風面積	約 0.24 m ²
15 最大受風荷重	60m/sec の時 約 529 N
16 耐風速	最大瞬間風速にて 60 m/sec
備考	項目 10、11 は組立工程中の仕様とし、製品時は直流ショート 突出し型

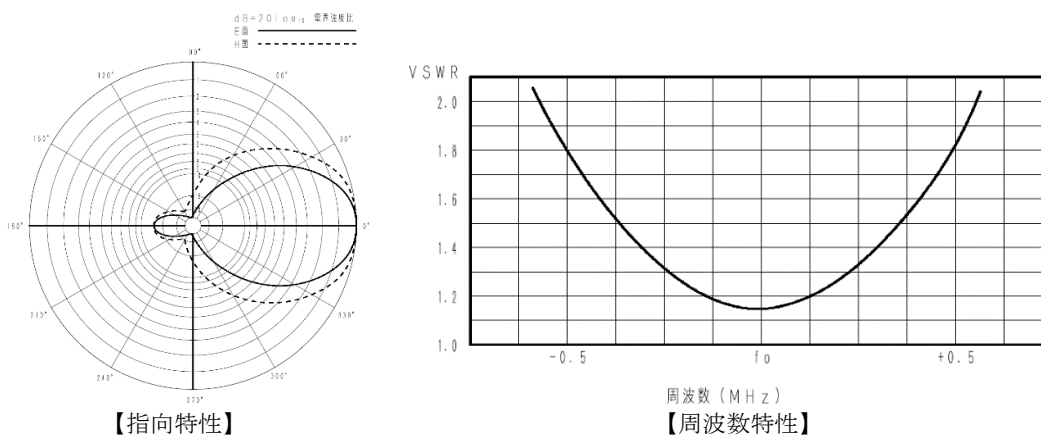


図 5.2-5 屋外実証実験で使用した 60MHz 帯送受信空中線の指向性特性と周波数特性

5.2.3.3 送受信装置の設置状況

実験試験局を用いた屋外実証実験の送受信装置の設置状況を図 5.2-6 から図 5.2-11 に示す。



図 5.2-6 送信装置のアンテナ設置状況(長野県松本市 美ヶ原局)

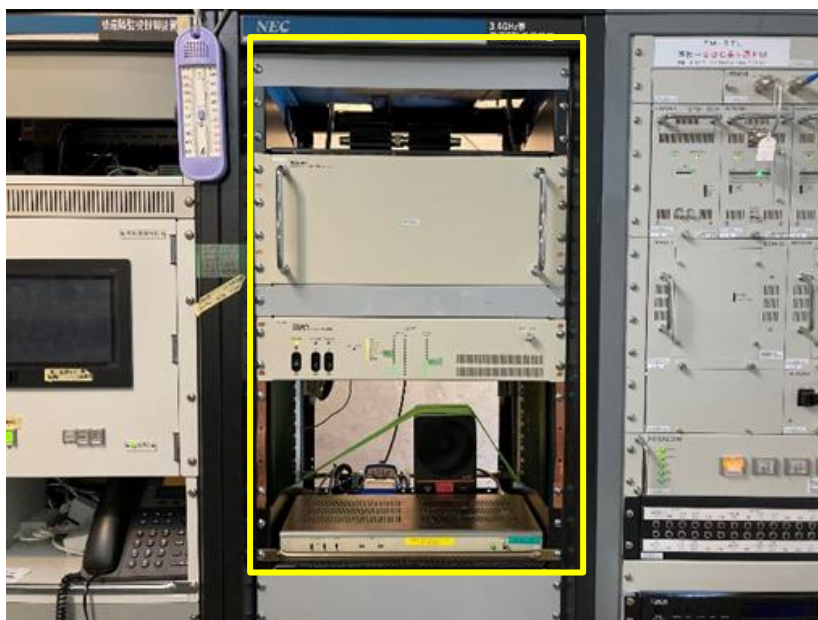


図 5.2-7 送信装置の送信機器設置状況(長野県松本市 美ヶ原局)



図 5.2-8 受信装置のアンテナ設置状況(長野県塩尻市 高ポツ局)



図 5.2-9 受信装置の受信機器設置状況(長野県塩尻市 高ポツ局)

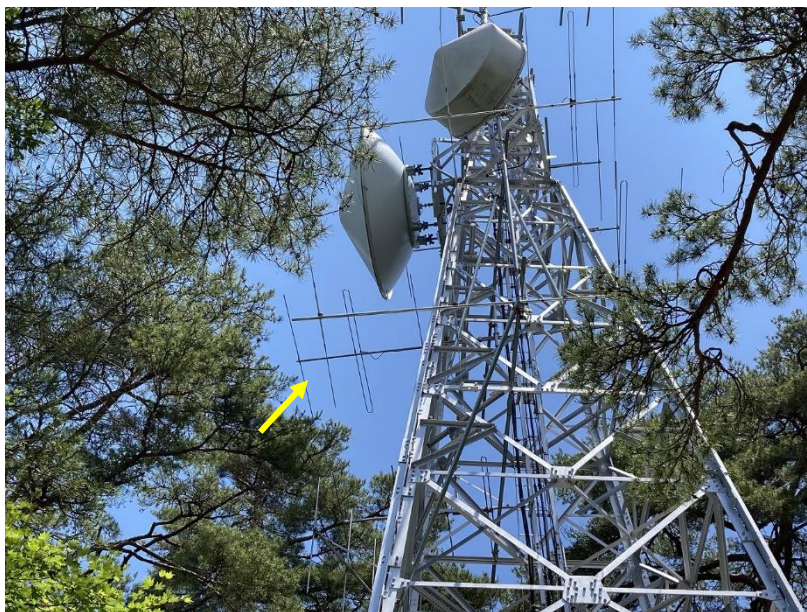


図 5.2-10 受信装置のアンテナ設置状況 (長野県飯田市 飯田局)

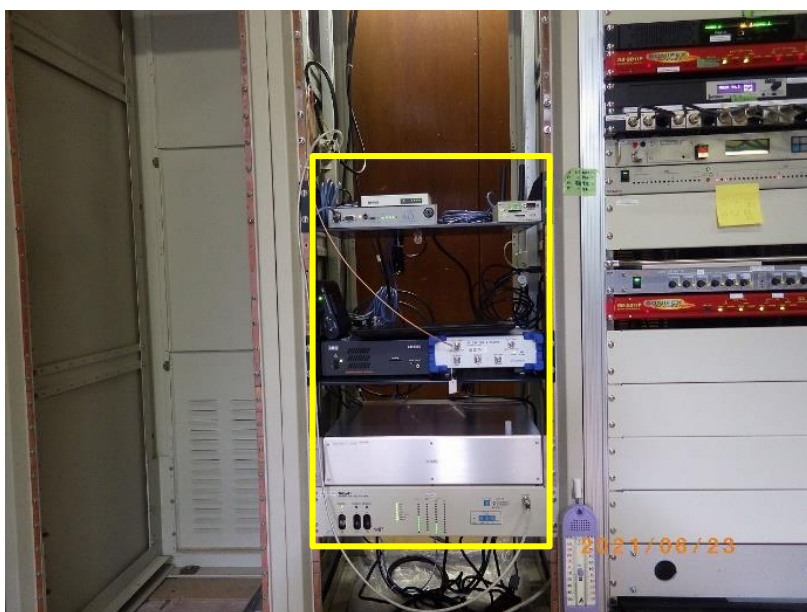


図 5.2-11 受信装置の受信機器設置状況 (長野県飯田市 飯田局)

5.2.4 長期電波伝搬特性(見通し外通信、長距離通信(見通し内))

5.2.4.1 調査の概要

現在、60MHz 帯 TTL 受信局（低域周波数）で原因不明の BER の劣化が発生している。原因追及のため、どのような状況で発生するのか、について実験試験局を用いて長期測定を実施した。

測定は、近距離見通し外通信として実験試験局を設置した美ヶ原から伝搬距離 12.1km にある高ボッチに受信地点（以下、高ボッチ局という。）を、また、長距離見通し内通信として同じく美ヶ原から伝搬距離 87.7km にある飯田に受信地点（以下、飯田局という。）を選定し、それぞれの受信地点における受信品質（受信レベル、BER 及び MER）変動について長期的な測定を行い、得られた結果を用いて多角的に解析を実施した。

【測定期間】

高ボッチ局：令和 3 年 7 月 18 日から調査を開始

飯 田 局：令和 3 年 6 月 23 日から調査を開始

【測定方法】

美ヶ原に設置した実験試験局から発射される試験電波（60.305MHz）を高ボッチ局及び飯田局に設置した受信装置にて受信し、同装置から 1 秒ごとに出力される受信品質データをインターネット経由で収集し、得られたデータから受信レベル変動特性、MER 変動特性、及び BER 異常発生状況について解析を行った。

5.2.4.2 受信レベル変動特性(見通し外通信、長距離通信(見通し内))

受信レベルの変動を確認するため、測定データからヒストグラム及び累積比率分布グラフを作成した。

【高ボッチ局】

高ボッチ局で受信した測定データより、ヒストグラムを図 5.2-12 に、また累積比率分布グラフを図 5.2-13 に示す。図 5.2-13 において、受信レベルの計算値は-58.5dBm であるのに対して、高ボッチ局における受信レベルは中央値が-63.0dBm(50%値)（図中、青破線で示す。）、変動幅が-63.3dBm(10%値)～-62.7dBm(90%値)（図中、赤破線です。）であった。

近距離見通し外通信となる高ボッチ局での受信において、受信レベルの中央値は計算値と比較して 4.5dB 低い結果が得られた。これは受信空中線の設置場所に自由度が無かったことから、ハイトパターンの影響を受けて低い結果となったと推定される。一方、受信レベルの変動については 0.6dB 程度であり極めて安定した受信状態であった。

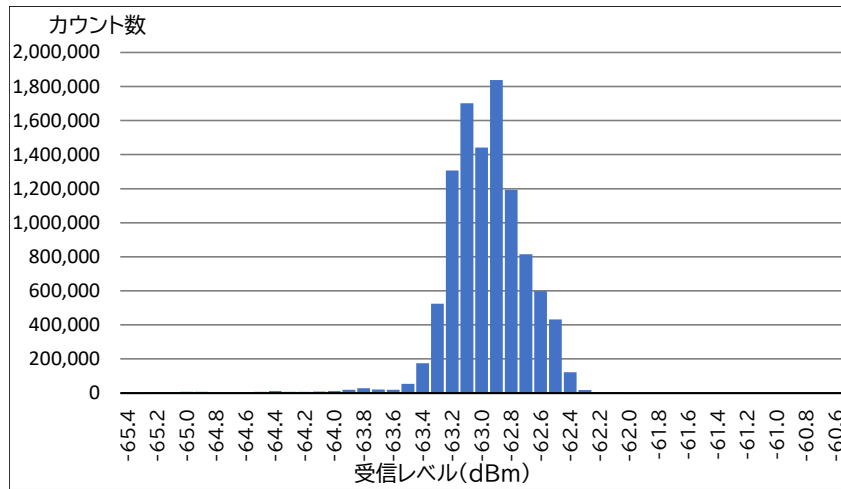


図 5.2-12 受信レベルのヒストグラム
 (高ボッチ局、測定期間:令和3年7月18日~11月30日)

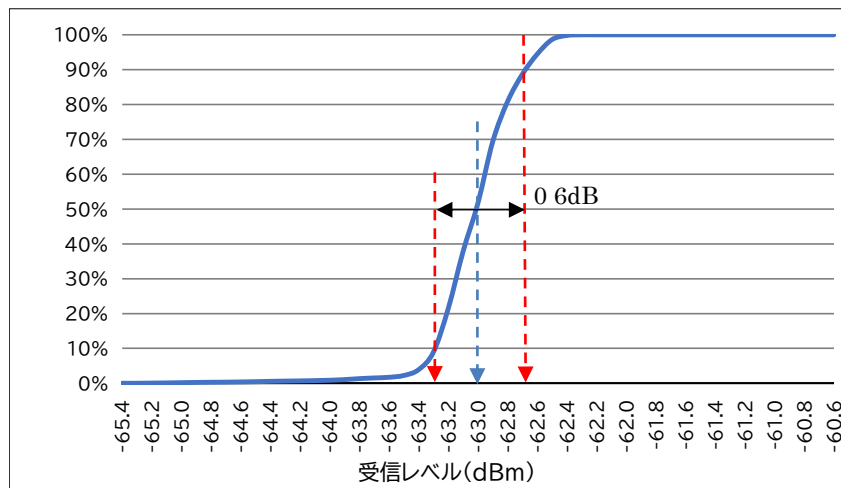


図 5.2-13 受信レベルの累積比率分布
 (高ボッチ局、測定期間:令和3年7月18日~11月30日)

【飯田局】

飯田局で受信した測定データより、ヒストグラムを図 5.2-14 に、また累積比率分布グラフを図 5.2-15 に示す。図 5.2-15 において、受信レベルの計算値は-58.7dBm であるのに対して、高ボッチ局における受信レベルは中央値が-57.1dBm(50%値) (図中、青破線で示す。)、変動幅が-57.6dBm(10%値)~-56.6dBm(90%値) (図中、赤破線です。)であった。

長距離見通し内通信の飯田局での受信において、受信レベルの中央値は計算値と比較して 1.6dB 高い結果が得られた。飯田局も受信空中線の設置場所に自由度が無かったことから、ハイトパターンの影響を受けて高い値となったと推定される。一方、受信レベ

ルの変動については 1.0dB 程度であり、高ボッチ局における受信レベルの変動幅よりは若干大きいですが、伝搬距離が 87.7km と長いと高ボッチ局よりフェージングの影響を若干強く受けていたものと思われる。

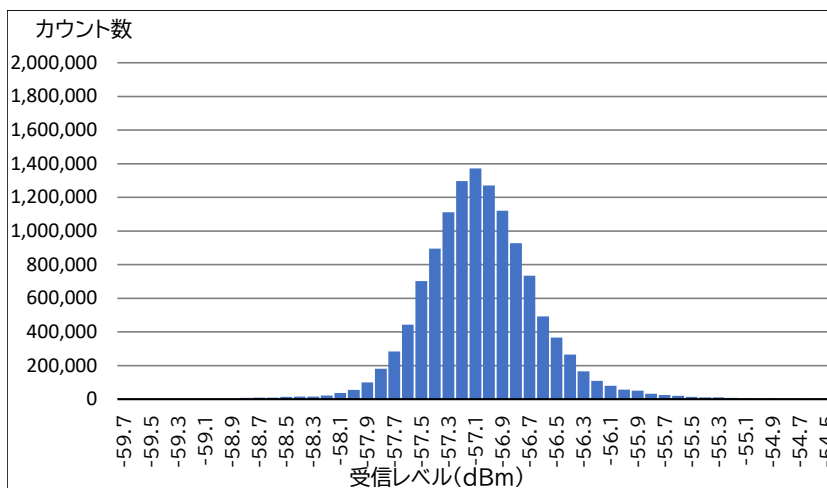


図 5.2-14 受信レベルのヒストグラム
 (飯田局、測定期間:令和3年6月23日~11月30日)

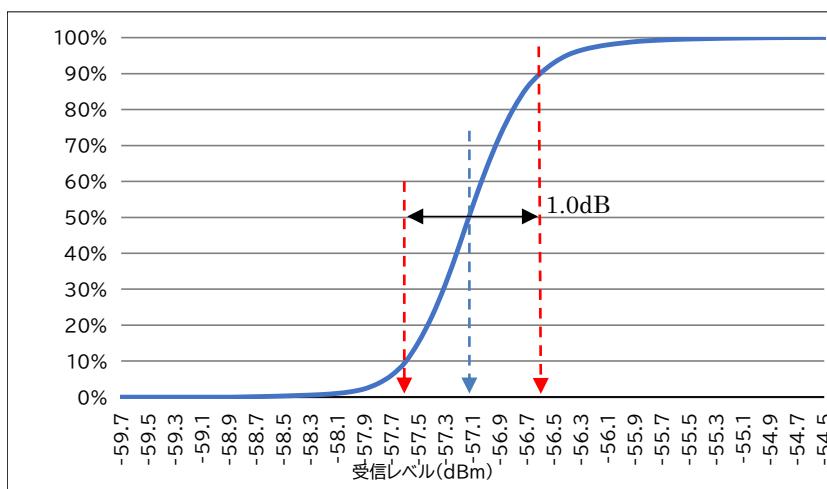


図 5.2-15 受信レベルの累積比率分布
 (飯田局、測定期間:令和3年6月23日~11月30日)

【考 察】

受信レベルについては、高ボッチ局、飯田局共に計算値と比較して若干の差異はあるものの正常の範囲内と判断できる。また、測定期間中のレベル変動については、近距離に位置する高ボッチ局での変動幅は 0.6dB と極めて安定していた。一方、長距離に位置する飯田局ではフェージングの影響を受け変動幅は 1.0dB であったが、こちらも正常の範囲内と判断できる。よって受信レベルについては両局ともに安定していたといえる。

なお、受信レベルは後述する BER に劣化が発生したときであっても、変動しないことを確認した。

5.2.4.3 MER 変動特性(見通し外通信、長距離通信(見通し内))

MER の変動特性については、外来波による影響を排除するために 1 日ごとに最大値を求め、その推移を時系列にグラフに示すこととした。

高ボッチ局における MER の変動特性を図 5.2-16 に、飯田局における MER の変動特性を図 5.2-17 に示す。高ボッチ局においては約 33~34dB で推移しており、飯田局においては測定開始当初は約 44dB であったが徐々に低下していき 38dB 程度で安定した。両局とも 30dB 以上の値が得られており、概ね安定していたといえる。

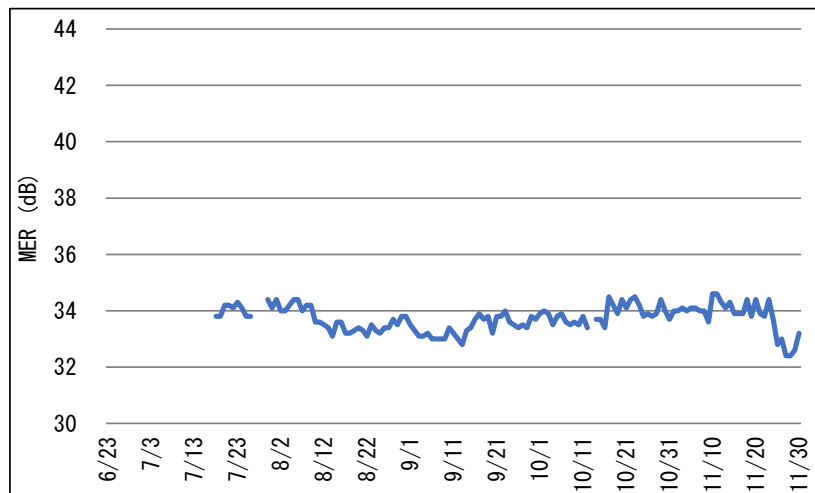


図 5.2-16 MER 変動特性(高ボッチ局)

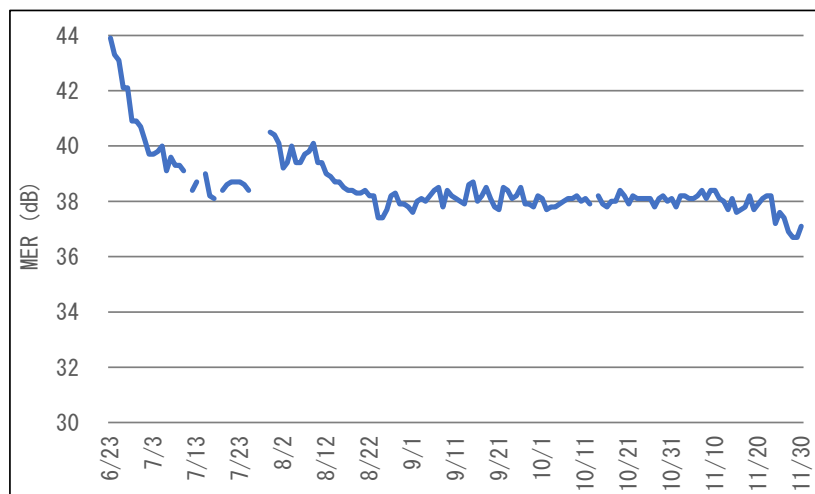


図 5.2-17 MER 変動特性(飯田局)

【考察】

測定期間中、MER の値については常に 30dB 以上が得られていることより、安定した状態であったことを確認した。なお、飯田局での測定開始当初における MER 値の減少は、測定系の安定性に由来するものと推測している。

上記した MER の変動特性は、外来波による影響を排除するために最大値で集計したが、次項で述べる BER に劣化が発生したときには、MER は瞬時的に大きく変動することを確認した。

なお、11 月下旬の受信レベル低下は送信アンテナへの着雪による影響と推定される。

5.2.4.4 BER 異常(見通し外通信、長距離通信(見通し内))

5.2.4.4.1 BER 異常

実験期間中、高ボッチ局及び飯田局共に複数回の BER 異常(劣化)が見られた。

測定結果より BER 異常(ここでは、BER の値が 1×10^{-5} 以上の場合を意味する。)の発生時間(秒単位)を1日ごとに集計し、横軸を測定期間、縦軸を累積発生時間(単位は秒)としてグラフ化した。高ボッチ局における BER 異常の結果を図 5.2-18 に、飯田局における BER 異常の結果を図 5.2-19 に示す。

これらのグラフより、BER 異常は恒常的に発生しているのではなく、断続的かつ不定期に発生しており、高ボッチ局は飯田局に比べて発生時における累積時間が長いことが分かる。

また、発生時刻で集計すると、高ボッチ局においては午前 11 時を挟んで午前の時間帯と午後の時間帯に分けられ、午前では 3 時及び 9 時、午後では 16 時から 17 時にかけて集中しているように見て取れる。一方、飯田局においては午後の時間帯に多く発生しており、特に 15 時から 17 時にかけて集中していることが分かる。高ボッチ局における発生時刻別集計結果を図 5.2-20 に、飯田局における発生時刻別集計結果を図 5.2-21 に示す。

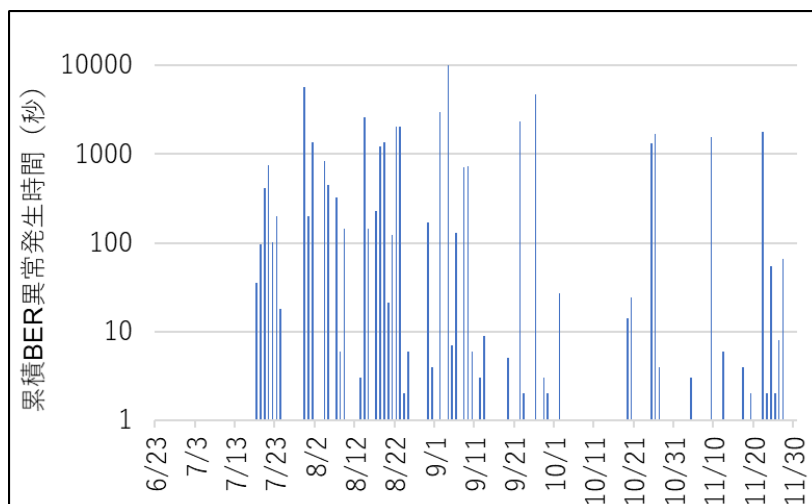


図 5.2-18 BER 異常発生累積時間(高ボッチ局)

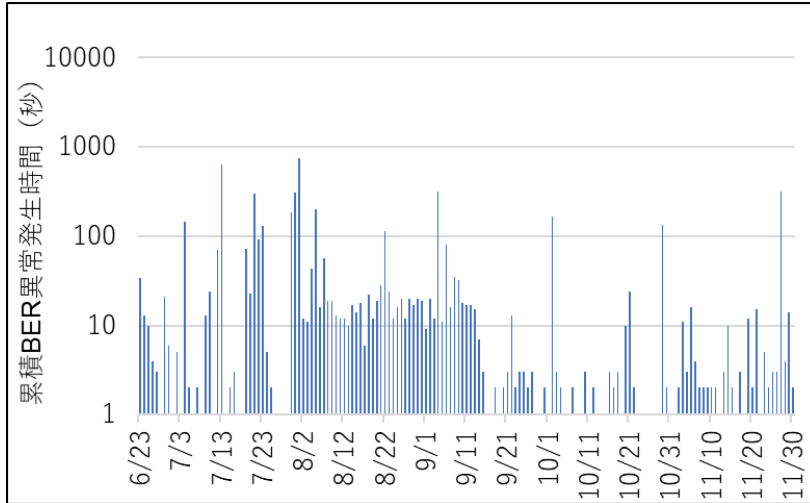


図 5.2-19 BER 異常発生累積時間(飯田局)

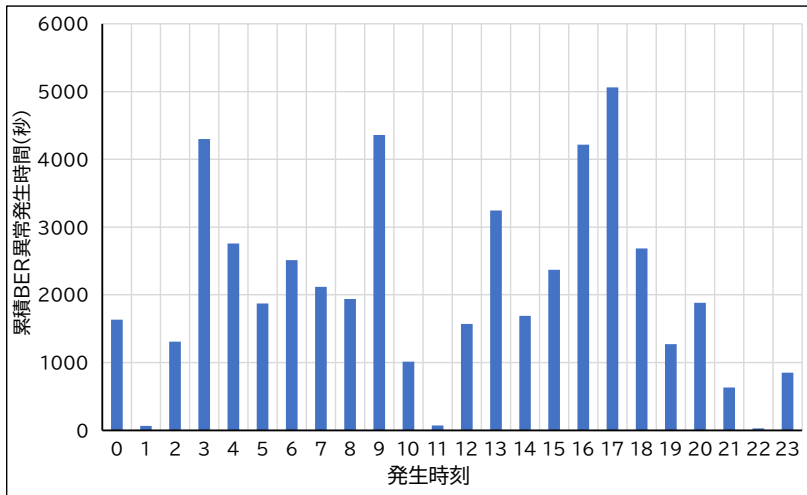


図 5.2-20 BER 異常発生累積時間
 (発生時刻別、高ボツ局、測定期間:令和3年7月18日~11月30日)

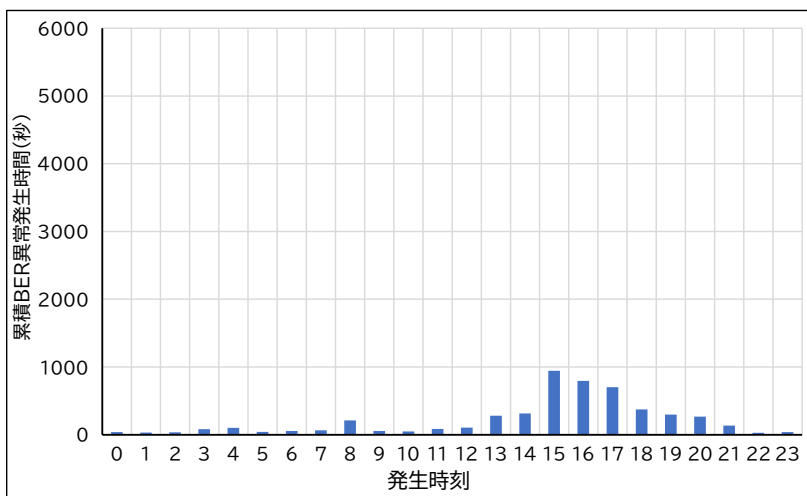


図 5.2-21 BER 異常発生累積時間
 (発生時刻別、飯田局、測定期間:令和3年6月23日~11月30日)

5.2.4.4.2 BER 異常発生状況(受信レベル、MERとの関係)

【高ボッチ局】

終日正常受信状態であった9月1日に取得したBER、MER及び受信レベルの変化を図5.2-22及び図5.2-23に示す。なお、図5.2-22において橙線はBER特性を、青線はMER特性を示す。安定受信状態では、BERはエラーフリー状態(以降、エラーフリー状態は $BER=1 \times 10^{-7}$ 以下とする。また、BERを示すグラフにおいて、BERがエラーフリーの場合は $1E-07$ (1×10^{-7})にプロットする。)で推移しており、MERもほぼ一定の値を示している。一方、図5.2-23に示した受信レベルについては、フェージングによる影響をほとんど受けておらず、こちらもほぼ一定であることが分かる。

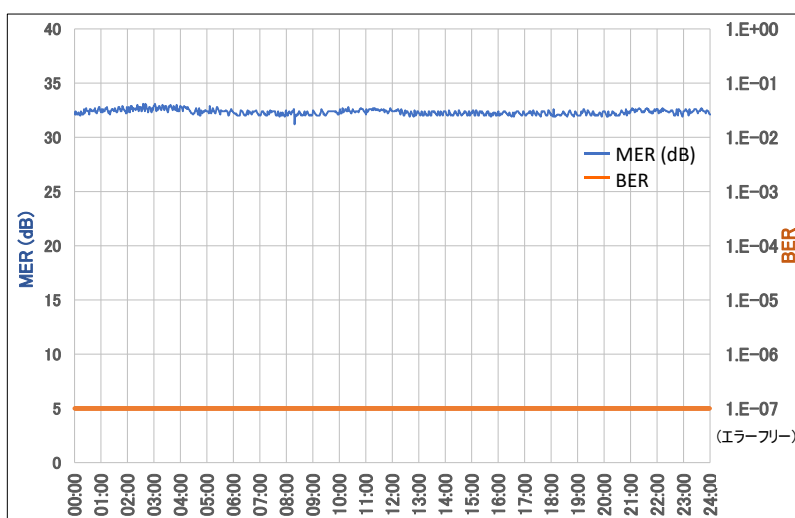


図 5.2-22 BER/MER 受信特性
 (高ボッチ局、正常時、測定日: 令和3年9月1日)

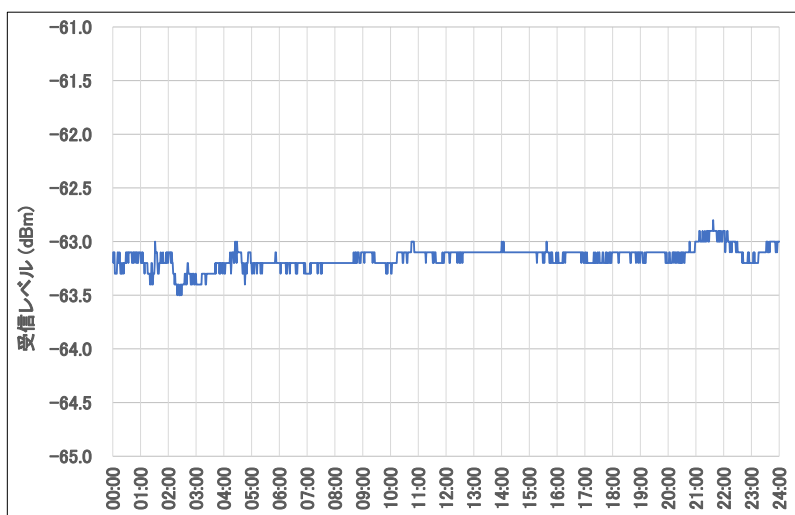


図 5.2-23 受信レベル特性
 (高ボッチ局、正常時、測定日: 令和3年9月1日)

BER 異常が発生した 9 月 2 日に取得した BER、MER 及び受信レベルの変化を図 5.2-24 及び図 5.2-25 に示す。BER 異常の発生(図 5.2-24 中に赤色の破線で示す。)と MER の低下(図 5.2-24 中に青色の破線で示す。)がほぼ同時に発生しているが、受信レベルについては BER 異常が発生した時間帯であっても値の変化は確認されなかった。

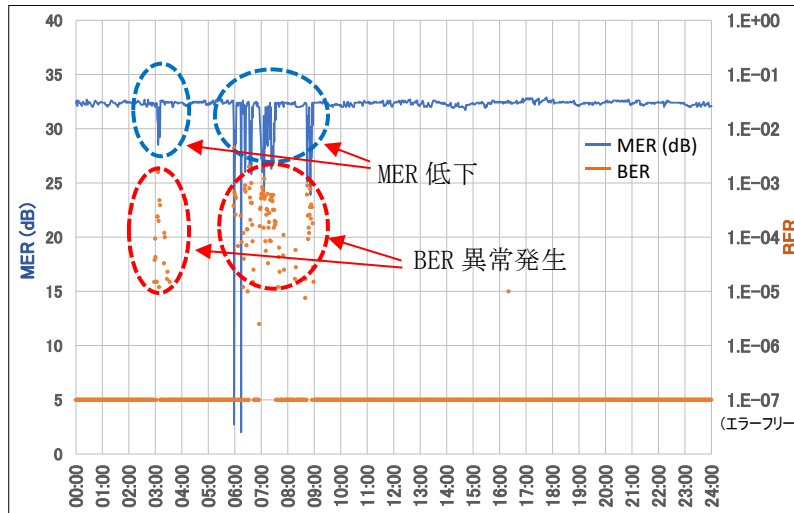


図 5.2-24 BER/MER 受信特性
 (高ボッチ局、異常時、測定日:令和 3 年 9 月 2 日)

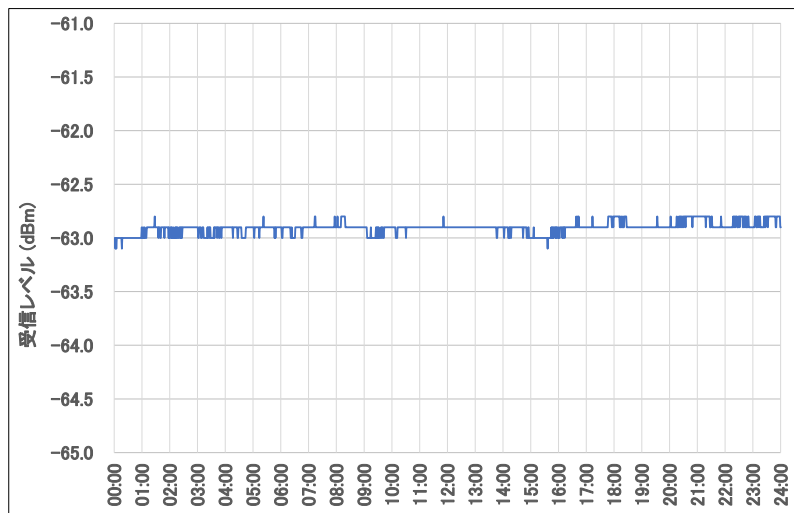


図 5.2-25 受信レベル特性
 (高ボッチ局、異常時、測定日:令和 3 年 9 月 2 日)

【飯田局】

終日正常受信状態であった 9 月 1 日に取得した BER、MER 及び受信レベルの変化を図 5.2-26 及び図 5.2-27 に示す。安定受信状態では、高ボッチ局における受信状況と同様に BER はエラーフリー状態で推移しており、MER もほぼ一定の値を示している。一方、受信レベルについては安定受信状態でも変動が見受けられるがこれはフェージングの影響によるものと推定される(図 5.2-27 中、赤色の破線域で示す。)

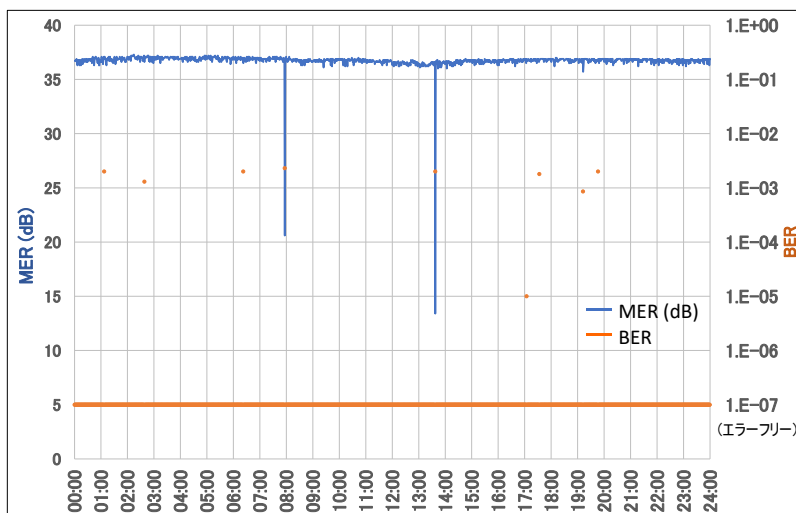


図 5.2-26 BER/MER 受信特性
 (飯田局、正常時、測定日:令和3年9月1日)

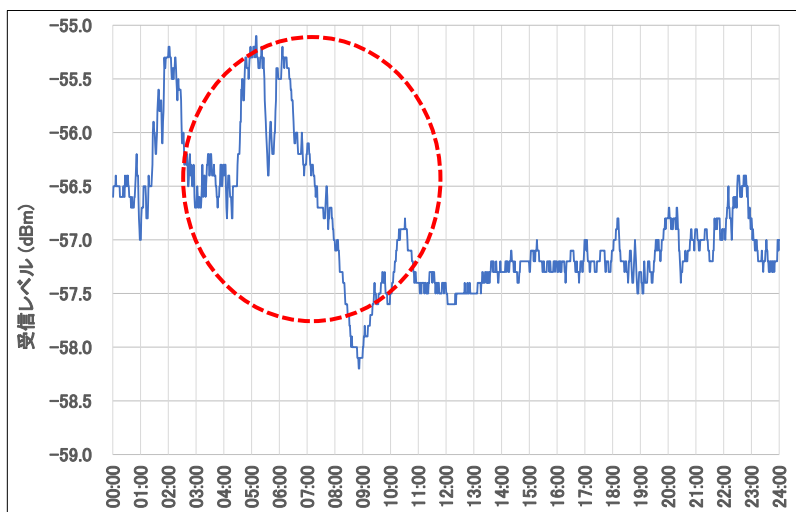


図 5.2-27 受信レベル特性
 (飯田局、正常時、測定日:令和3年9月1日)

BER 異常が発生した 9 月 4 日に取得した BER、MER 及び受信レベルの変化を図 5.2-28 及び図 5.2-29 に示す。高ボッチ局における測定結果と同様に BER 異常の発生 (図 5.2-28 中に赤色の破線で示す。) と MER の低下 (図 5.2-28 中に青色の破線で示す。) はほぼ同時に発生していることが分かる。一方、受信レベルについては常に変動しており、BER 異常が発生した時間帯とそれ以外の時間帯とを比較しても受信レベルの変動については特段の差異は確認されなかった (図 5.2-29 中に赤色の破線で示す。)。したがって、受信レベルの変動は、BER 異常が発生していない状態でも測定されたフェージングによるものと推定される。

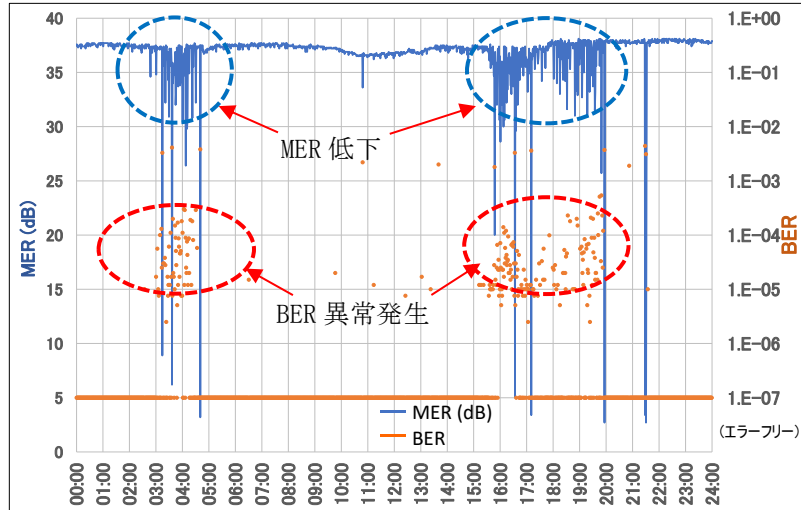


図 5.2-28 BER/MER 受信特性
 (飯田局、異常時、測定日:令和3年9月4日)

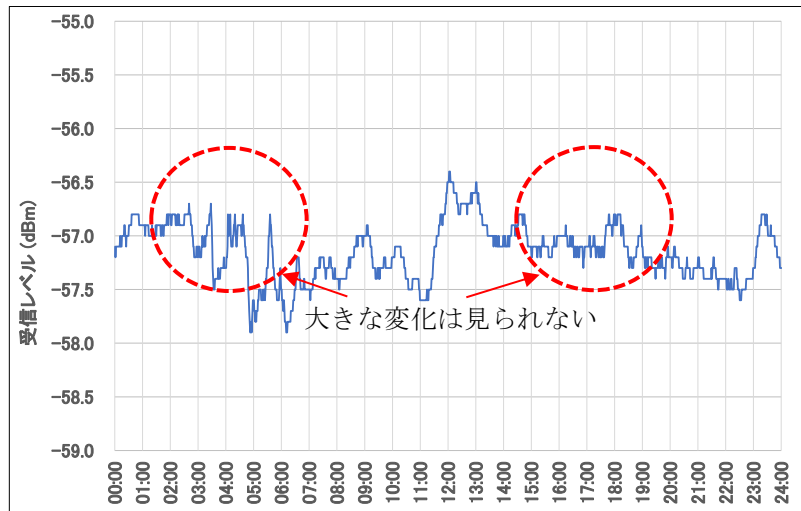


図 5.2-29 受信レベル特性
 (飯田局、異常時、測定日:令和3年9月4日)

5.2.4.4.3 BER 異常発生状況(日時別発生時間)

BER 異常の発生状況を確認するため、BER 異常 (ここでは、 $BER > 1 \times 10^{-5}$ とする。)が発生した時間を1時間単位で集計し、x軸に発生日を、y軸に発生時刻を、z軸に発生時間として月別にグラフを作成した。なお、8月初旬から9月中旬までは試験的に BER 異常の検出感度を通常より高めて測定した。

【高ボッチ局】

高ボッチ局における BER 異常の発生状況の測定結果を図 5.2-30 から図 5.2-34 に示す。
これらのグラフから次のことが分かる。

- BER 異常が発生した継続時間は長い場合は 3,000 秒に近い日もあり、一旦発生すると長時間に及ぶ傾向にある。
- 一方、一日を通して全く発生しない日も多く見受けられた。
- 発生時刻に特定の偏りは見受けられない。
- 8 月初旬から 9 月中旬までは BER 異常の検出感度を上げて測定したが、当該期間以外の期間と比較しても顕著な差は確認されない。
- 測定期間全体に対する BER 異常発生時間の時間比率を算出すると、BER 異常は 9 月前半に集中していることが分かる。BER 異常発生時間の時間比率を表 5.2-6 に示す。

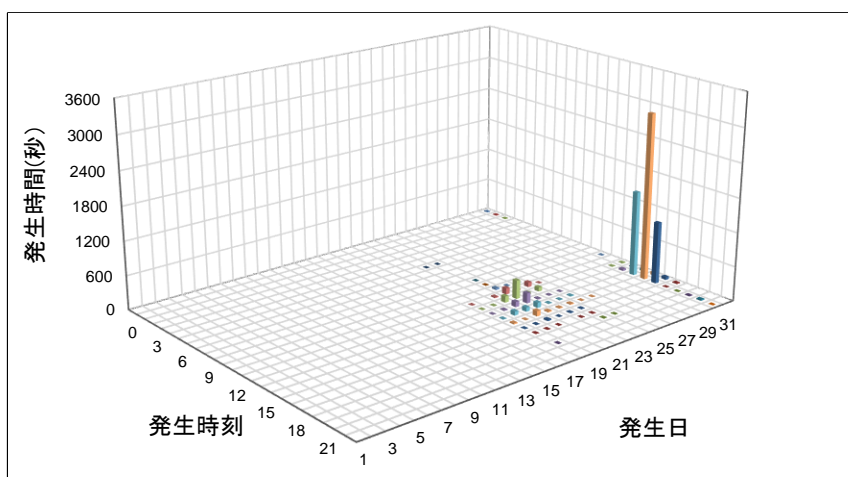


図 5.2-30 BER 異常発生時間(令和 3 年 7 月、高ボッチ局)

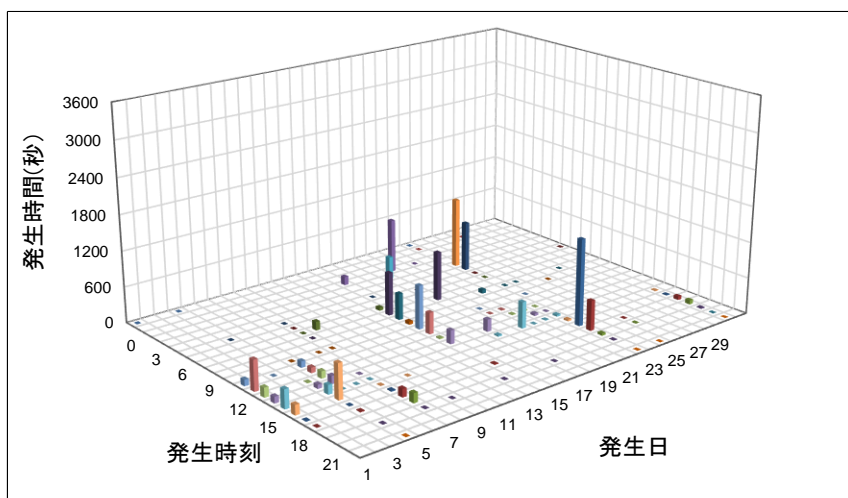


図 5.2-31 BER 異常発生時間(令和 3 年 8 月、高ボッチ局)

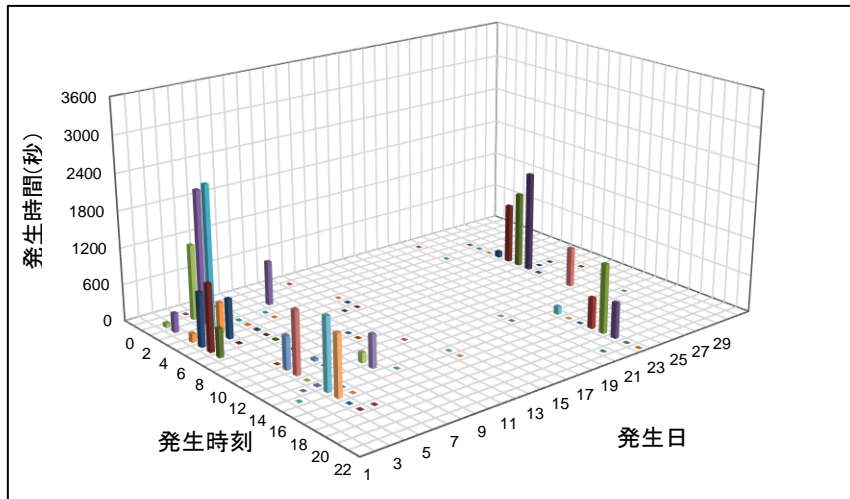


図 5.2-32 BER 異常発生時間(令和 3 年 9 月、高ポッチ局)

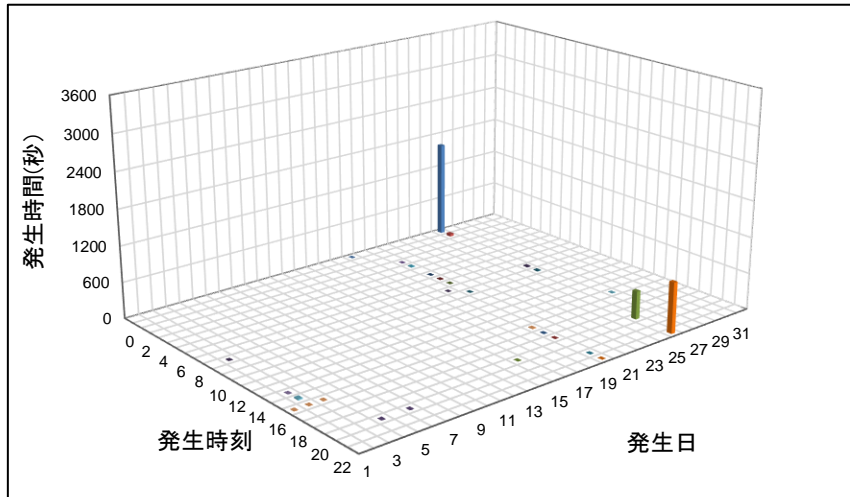


図 5.2-33 BER 異常発生時間(令和 3 年 10 月、高ポッチ局)

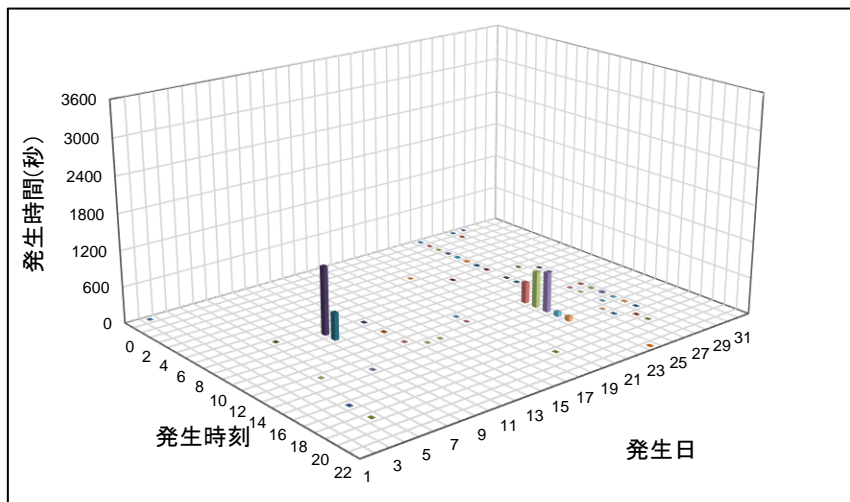


図 5.2-34 BER 異常発生時間(令和 3 年 11 月、高ポッチ局)

表 5.2-6 BER 異常発生時間の時間比率(高ボッチ局)

	7月	8月	9月	10月	11月
総実験時間(秒)	819,317	2,617,527	2,437,649	2,509,632	2,491,974
正常受信時間(秒)	811,865	2,604,453	2,415,301	2,506,564	2,488,469
異常発生時間(秒)	7,452	13,074	22,348	3,068	3,505
正常受信率(%)	99.09	99.50	99.08	99.88	99.86
異常発生率(%)	0.91	0.50	0.92	0.12	0.14

【飯田局】

高ボッチ局における BER 異常の発生状況と同様に、飯田局における BER 異常の発生状況について測定結果を図 5.2-35 から図 5.2-40 に示す。これらのグラフより次のことが分かる。

- BER 異常の継続時間は、高ボッチ局に比べて短い、発生頻度は高ボッチ局より高い。
- 特に BER 異常の検出感度を上げた 8 月初旬から 9 月中旬までは、ほぼ一日中発生していることが分かる。
- 一回の異常が 50 秒を超える BER 異常は、概ね昼過ぎから発生し始め 16 時をピークに 22 時ころまで継続する傾向にあることが分かる。
- 測定期間全体に対する BER 異常発生時間の時間比率を算出すると、BER 異常は 7 月中旬から 8 月前半に集中していることが分かる。BER 異常発生時間の時間比率を表 5.2-7 に示す。

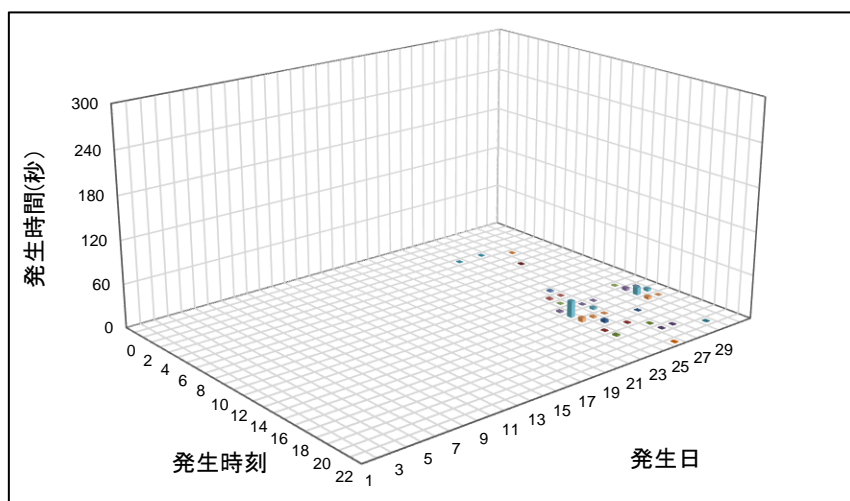


図 5.2-35 BER 異常発生時間(令和 3 年 6 月、飯田局)

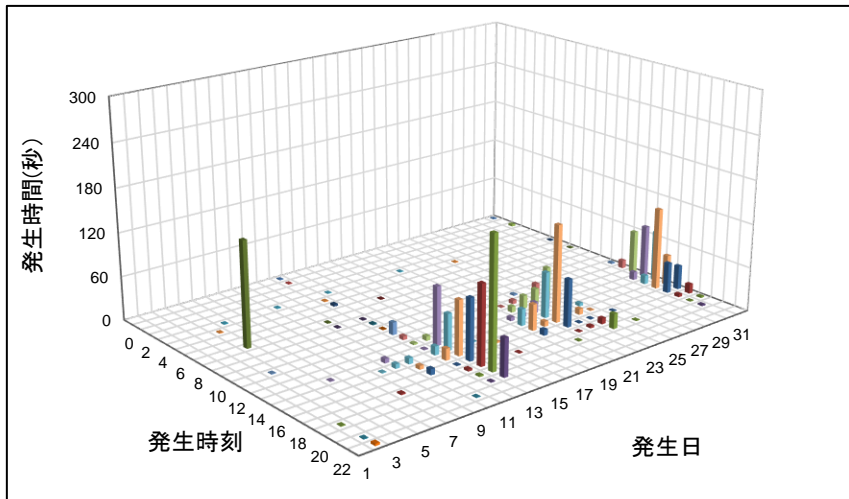


図 5.2-36 BER 異常発生時間(令和 3 年 7 月、飯田局)

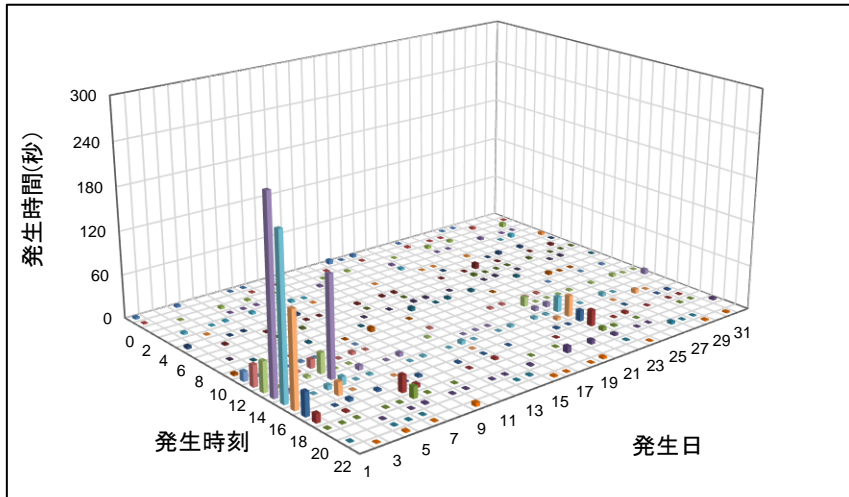


図 5.2-37 BER 異常発生時間(令和 3 年 8 月、飯田局)

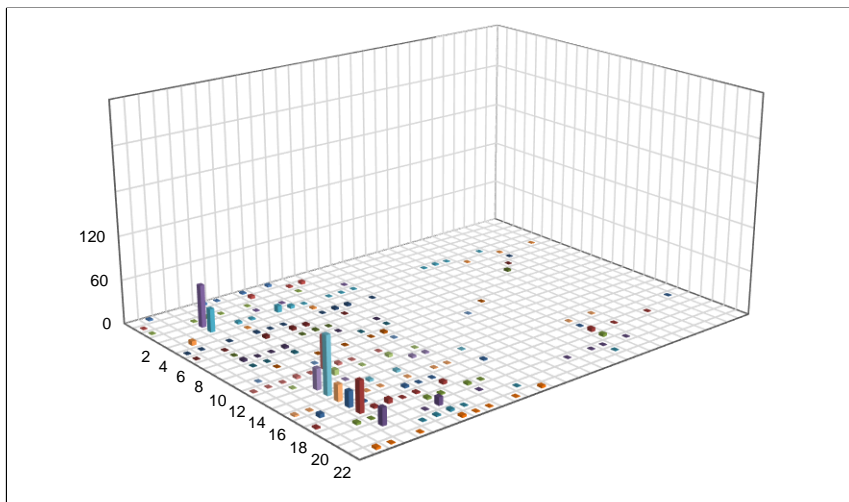


図 5.2-38 BER 異常発生時間(令和 3 年 9 月、飯田局)

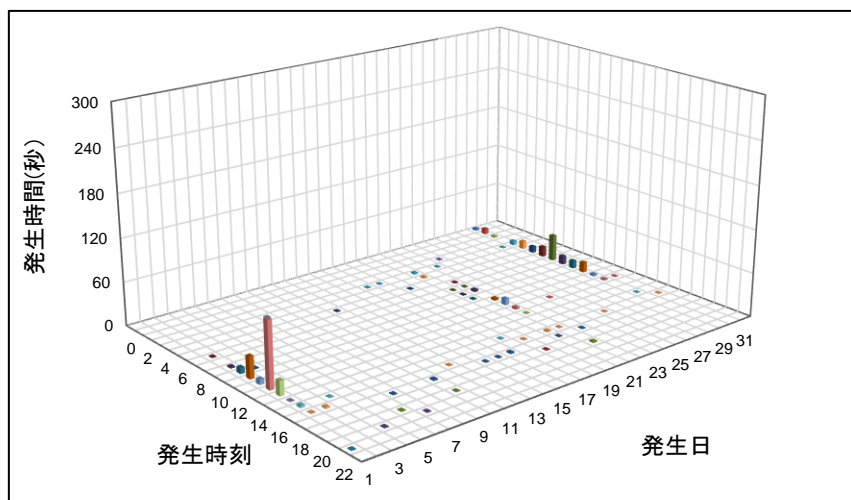


図 5.2-39 BER 異常発生時間(令和3年10月、飯田局)

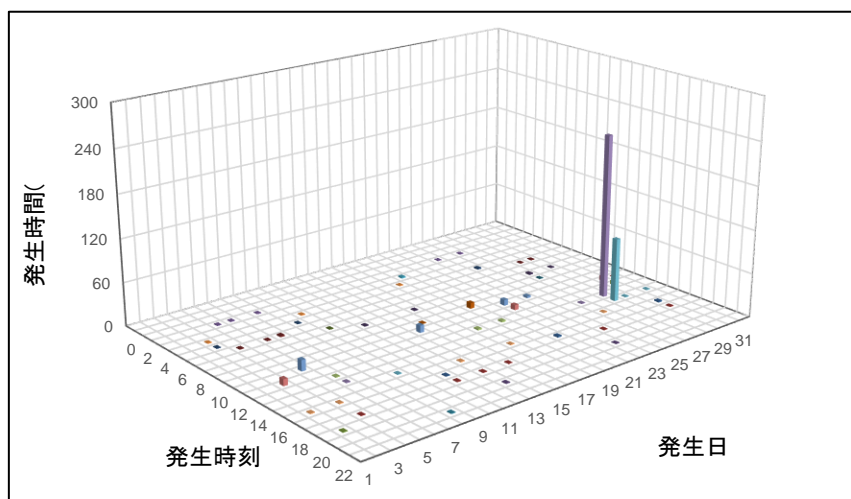


図 5.2-40 BER 異常発生時間(令和3年11月、飯田局)

表 5.2-7 BER 異常発生時間の時間比率(飯田局)

	6月	7月	8月	9月	10月	11月
総実験時間(秒)	643,783	2,023,154	2,615,636	2,514,711	2,440,386	2,503,342
正常受信時間(秒)	643,691	2,021,128	2,614,071	2,514,074	2,440,022	2,502,896
異常発生時間(秒)	92	2,026	1,565	637	364	446
正常受信率(%)	99.99	99.90	99.94	99.97	99.99	99.98
異常発生率(%)	0.01	0.10	0.06	0.03	0.01	0.02

【考察】

測定結果を俯瞰し BER 異常の発生状況を以下のように取りまとめることができる。

- ・BER 異常は断続的かつ不定期に発生しているが、その発生条件及びその周期性を確認することは難しい。

- BER 異常の発生時間帯は、測定地点、測定月及び発生日によってばらつきが見られる。
- BER 異常は、夏季に多く発生する傾向がある。
- BER 異常の継続時間は、高ボッチ局の方が飯田局より長い傾向がある。
- BER 異常の発生頻度は、飯田局の方が高ボッチ局より高い傾向がある。

5.3 域外の他の固定区間に対するオーバーリーチ干渉に関する測定

5.3.1 測定の目的

美ヶ原から送信される実験試験局の電波を利用し、長野県外等の放送中継局受信地点等から数カ所を選定し電界強度等の測定を行い、域外の固定区間に対するオーバーリーチ干渉に関する分析・評価を行った。

5.3.2 測定の概要

美ヶ原から送信される実験試験局の電波が到達する、長野県外における放送中継局の受信地点を見出すことができず、止む無く、長野県内において以下の測定条件に適合する調査地点を複数選定することとした。

【測定条件】

- ・見通し外通信を検証するために設置した高ボッチ局における受信空中線の背面方向（後方）に位置する、見通し内地点及び見通し外地点を測定地点として選定
- ・長距離通信（見通し内）を検証するために設置した飯田局における受信空中線の背面方向（後方）に位置する、見通し内地点及び見通し外地点を測定地点として選定
- ・各測定地点では、測定場所及び空中線高を数mほど変えて測定値は最大値となるように測定

【測定日】

- ・高ボッチ局：令和3年10月7日
- ・飯田局：令和3年10月8日

5.3.3 測定結果

測定結果を表 5.3-1 に示す。また、高ボッチ局後方における測定地点及び測定データを図 5.3-1 に、飯田局後方における測定地点及び測定データを図 5.3-2 に示す。

見通し内の受信地点及び見通し外であって回折が1段ある受信地点においては、受信電力は計算値とほぼ同値であった。また、美ヶ原から送信される実験試験局の送信出力を5Wから1Wに減力すると受信レベルも7dB低下することを確認した。一方、見通し外であって回折が2段ある受信地点においては、受信レベルは計算値より低いことを確認した。この理由としては、計算に用いた地形データと実際の地形に若干の差異があり、回折計算を2段行う際に誤差が重畳されたのではないかと考えられる。また、送信出力の減力に際しては、送信電力が1Wの時の受信レベルが-80dBm以下とかなり低い値であり、この状態から更に7dB低下しても測定器の内部雑音等の影響により正しく表示できなかったのではないかと考えられる。

表 5.3-1 オーバーリーチに関する測定結果

測定エリア	場所	測定条件	距離	伝搬損失	送信 ANT (dB)	回折損失 (dB)	近接リッジ 損失 (dB)	受信給電線 損失 (dB)	受信 利得 (dBi)	計算受信 電力 (dBm)	実測受信 電力 (dBm)	計算値と の差 (dB)	1W 減力時 の実測受信 電力 (dBm)	5W 時との 差 (dB)
高ボッチ	ファミリーマート 塩尻宗賀店駐車場	見通し内	20.0	94.1	0.0	0.0	4.2	0.6	8.15	-47.4	-50.0	-2.6	-57.2	-7.2
	小坂田公園駐車場	見通し外 1 段回折	17.5	92.9	0.0	23.6	4.1	0.6	8.15	-69.7	-67.8	1.9	-74.9	-7.1
	みどり湖駅前ロータリー	見通し外 2 段回折	18.4	93.3	0.0	29.2	0.0	0.6	8.15	-71.7	-80.5	-8.8	-87.3	-6.8
	ファミリーマート JA 小野たのめ店駐車場	見通し外 2 段回折	23.5	95.5	0.0	26.6	8.0	0.6	8.15	-79.2	-85.8	-6.6	-91.1	-5.3
飯田	竜東中学校近隣農道	見通し内	90.4	107.2	1.0	0.0	3.5	0.6	8.15	-60.8	-57.8	3.0	-65.0	-7.2
	飯田富山佐久間線脇道	見通し外 1 段回折	96.3	107.7	1.0	13.4	3.2	0.6	8.15	-74.4	-70.0	4.4	-77.2	-7.2

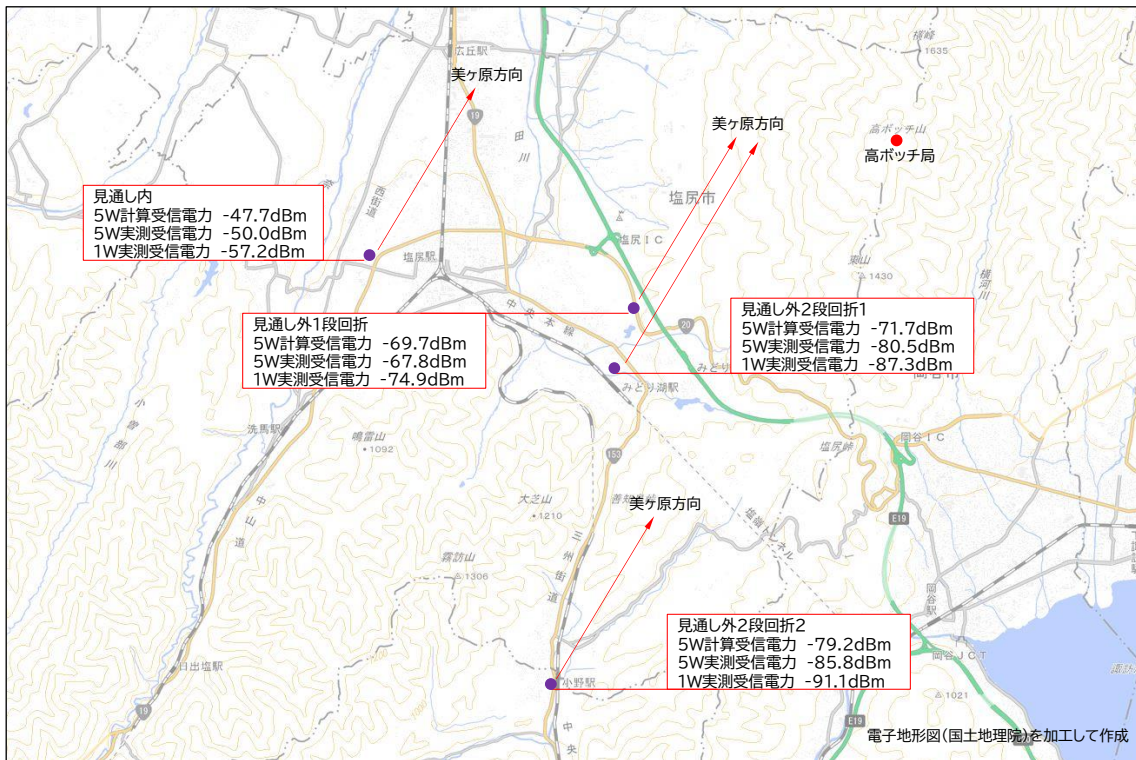


図 5.3-1 高ボッチ局後方における測定地点及び測定データ(測定日:令和3年10月7日)

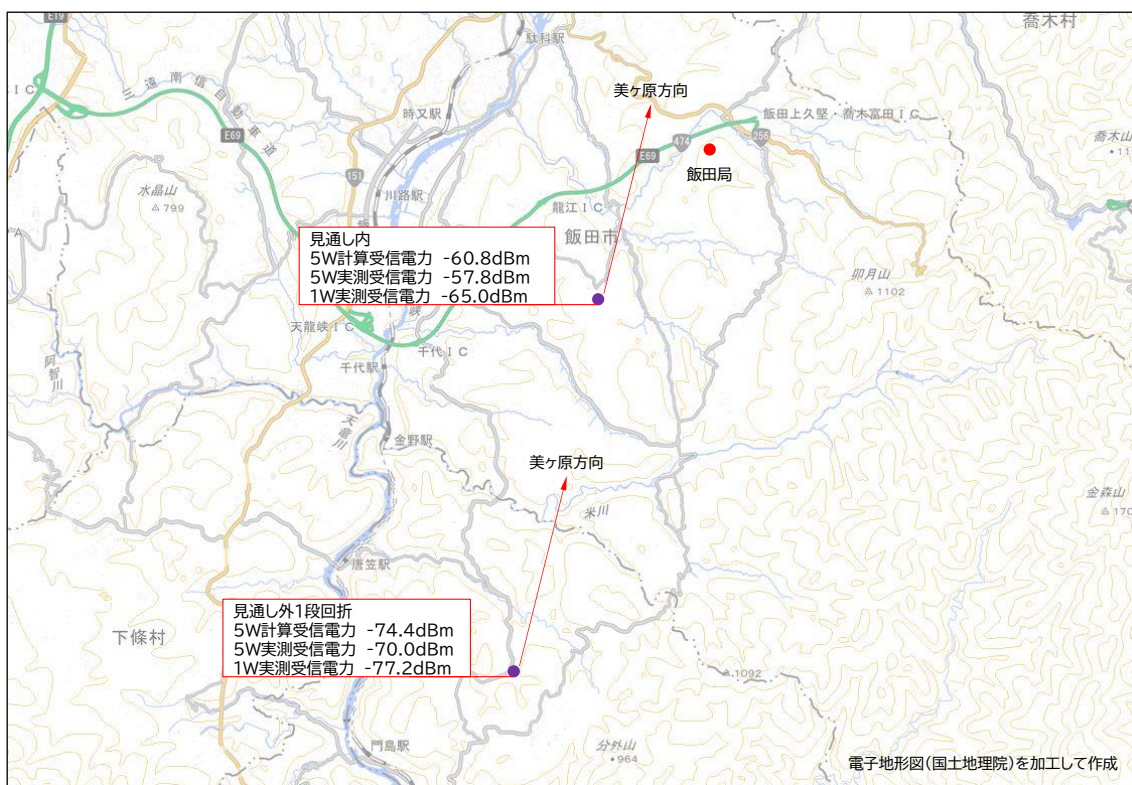


図 5.3-2 飯田局後方における測定地点及び測定データ(測定日:令和3年10月8日)

5.3.4 考 察

上述した測定結果より、送信波の域外への飛び出し量（オーバーリーチ）については、異常な伝搬を起こすことなく机上の計算値とほぼ同値であることを確認できた。

5.4 電波雑音の影響に関する調査

5.4.1 調査の目的

60MHz 帯に到来する外来雑音の実態を把握するとともに、測定された雑音について測定機器を用いて解析し分析する。

5.4.2 調査の概要

60MHz 帯デジタル STL/TTL に対する電波雑音の影響に関する調査については、長期変動試験を行う各受信地点において、60MHz 帯デジタル STL/TTL の割当周波数の潜在電界測定を行い、取得したデータにより電波雑音からの影響度及び関連性に関する分析・評価を行った。具体的には、スペクトラムアナライザを用いて、60MHz 帯デジタル STL/TTL の帯域及び周辺帯域の雑音変動を時間的変化等の状況確認を含め測定、分析した。

5.4.3 調査項目

調査項目は以下の通りである。

- (1) 潜在波調査
- (2) 実験試験局を用いた外来雑音調査
- (3) フィールドでの外来雑音調査
- (4) 60MHz 帯割り当て周波数上限での外来雑音調査
- (5) 都市雑音量の検証

5.4.4 調査結果

5.4.4.1 潜在波調査

高ボッチ局及び飯田局において、60MHz 帯及び 160MHz 帯の潜在波の測定を行った。測定はスペクトラムアナライザに PC を接続し、PC からのプログラム制御によって約 7 秒に 1 回の間隔でデータの収集を行った。

【測定期間】令和 3 年 9 月 20 日～10 月 7 日

【測定系統図】測定系統図を図 5.4-1 に示す。

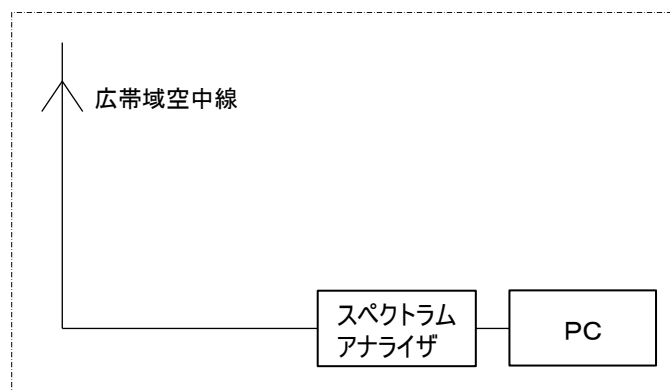


図 5.4-1 潜在波測定における測定系統図

【測定機材】測定に使用した機材を表 5.4-1 に示す。

表 5.4-1 潜在波調査に使用した機材

名 称	製造社名	型 番
広 帯 域 受 信 空 中 線	第一電波工業	D3000N
スペクトラムアナライザ	ア ン リ ツ	MS2713E

【測定機器設定値】

[周波数] 60MHz 帯、160MHz 帯

[スパン] 20MHz (60MHz 帯)、10MHz (160MHz 帯)

[R e f .] -50dBm(高ボッチ局)、-40dBm(飯田局)

[Att] 0dB

[RBW/VBW] 100kHz/30kHz

[検波モード] ピーク検波

【測定機器設置状況】

高ボッチ局における機器設置状況写真を図 5.4-2 に、飯田局における機器設置状況写真を図 5.4-3 に示す。



図 5.4-2 高ボッチ局における機器設置状況
(左図:設置した広域空中線、右図:測定用スペクトラムアナライザ)



図 5.4-3 飯田局における機器設置状況
 (左図: 設置した広域空中線、右図: 測定用スペクトラムアナライザ)

【測定結果 (60MHz 帯)】

60MHz 帯として 50MHz～70MHz の帯域にて測定を実施した。一例として、高ボッチ局における 9 月 28 日の測定結果を図 5.4-24 に、飯田局における 9 月 19 日の測定結果を図 5.4-25 にそれぞれ示す。潜在波は、高ボッチ局については 3 波を、飯田局については 10 波以上を確認することができた。なお、他の測定日においても同様の結果が得られた。

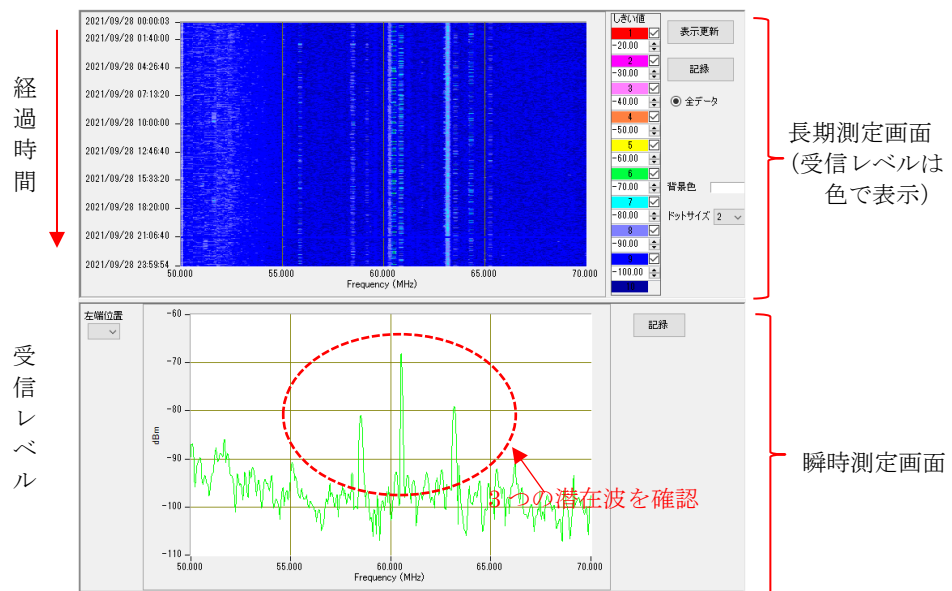


図 5.4-4 60MHz 帯における潜在波の測定結果
 (高ボッチ局、測定日: 令和 3 年 9 月 28 日)

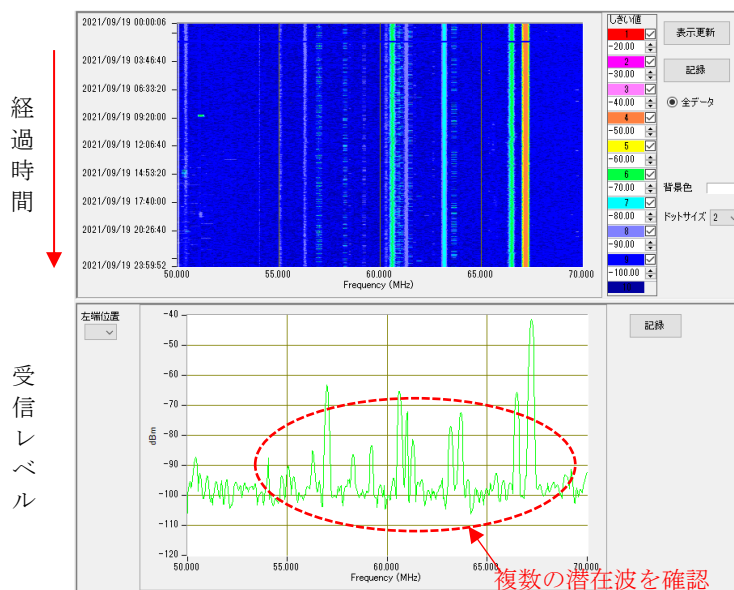


図 5.4-5 60MHz 帯における潜在波の測定結果
(飯田局、測定日:令和 3 年 9 月 19 日)

【測定結果 (160MHz 帯)】

160MHz 帯として 160MHz～170MHz の帯域にて測定を実施した。一例として、高ボッチ局における 9 月 28 日の測定結果を図 5.4-26 に、飯田局における 9 月 19 日の測定結果を図 5.4-27 にそれぞれ示す。高ボッチ局については潜在波が確認されなかったが、飯田局については 165.5MHz あたりに 1 波の潜在波を確認できた。なお、他の測定日においても同様の結果が得られた。

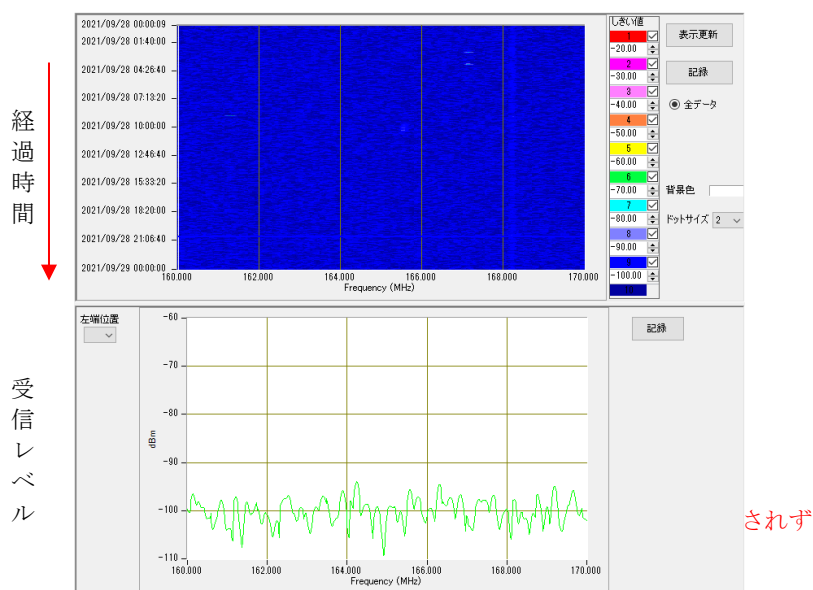


図 5.4-6 160MHz 帯に潜在波の測定結果
(高ボッチ局、測定日:令和 3 年 9 月 28 日)

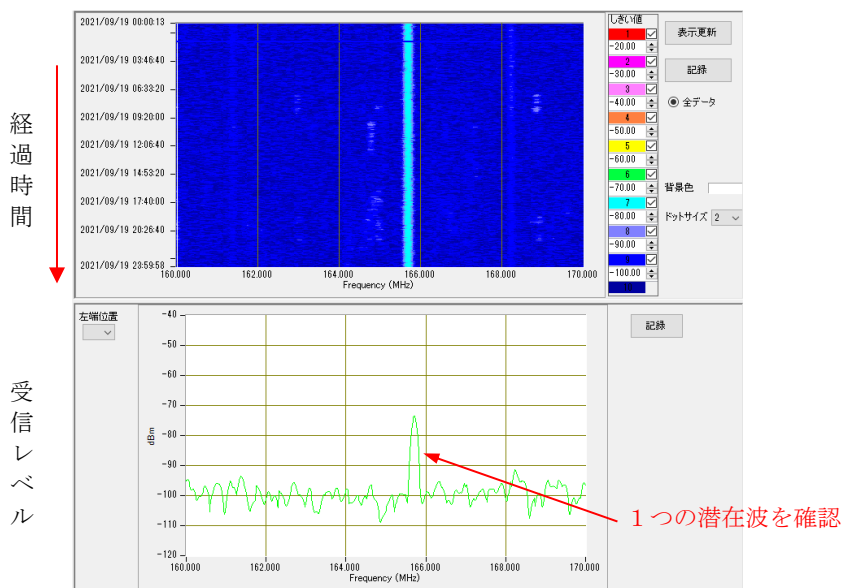


図 5.4-7 160MHz 帯に潜在波の測定結果
(飯田局、測定日:令和 3 年 9 月 19 日)

5.4.4.2 実験試験局の試験電波を用いた外来雑音調査

飯田局及び高ボッチ局において実験試験設備を用いて、外来雑音の調査を実施した。

【調査方法】

飯田局及び高ボッチ局において、実験試験設備に加えて、記録用の RF キャプチャーを設置し、実験試験設備の受信装置で BER 異常が発生したときに RF キャプチャーで入力信号を記録することとした。記録したデータについては、インターネットを經由して請負会社に転送し、請負会社内に設置した再生用の RF キャプチャーを用いて信号を再生し、スペクトラム波形、スペクトログラム、コンスタレーション及び遅延プロファイルの解析を行った。

【測定系統図】

測定系統図を図 5.4-8 に示す。また測定器の設定を以下に示す。

- スペクトラム波形：中心周波数：60.305MHz、スパン:500KHz
- スペクトログラム：中心周波数：60.305MHz、スパン:500KHz、解析時間：5 秒

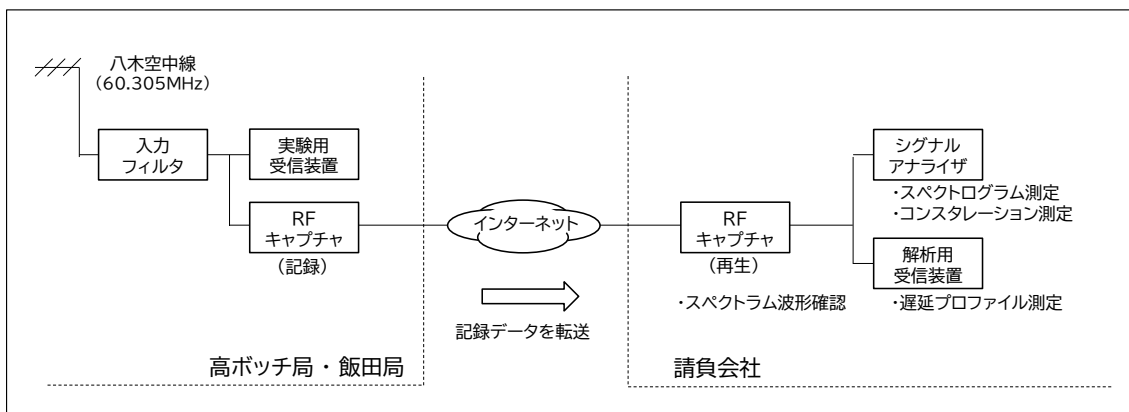


図 5.4-8 外来雑音測定における測定系統図

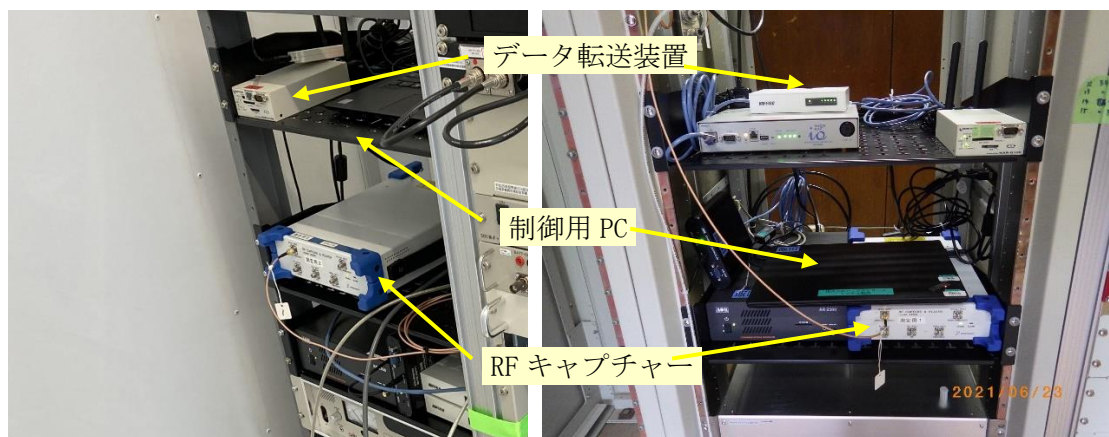


図 5.4-9 外来雑音測定環境
 (左図: 高ボッチ局における状況、右図: 飯田局における状況)

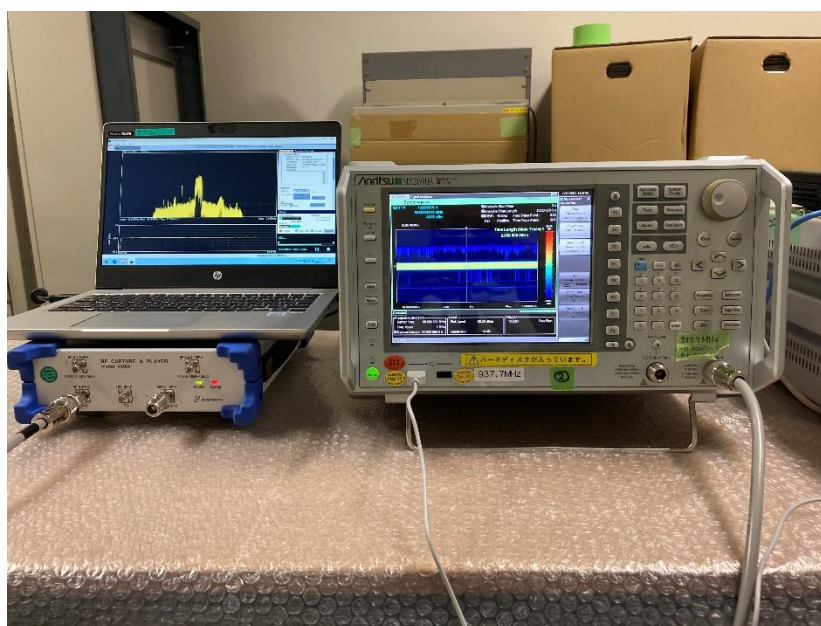


図 5.4-10 外来雑音のキャプチャデータの解析環境

【正常時の信号解析（高ボッチ局）】

高ボッチ局における受信設備で測定された正常時の信号解析結果を図 5.4-11 から 5.4-14 に示す（測定日は7月20日）。

スペクトラム波形ではノイズレベルの上昇がなく、スペクトログラムでも外来波は確認されていない。なお、中心周波数（60.305MHz）の上側 190KHz あたりのスペクトラムは隣接局の信号と思われる、スペクトログラムでも同様に確認できる。また、コンスタレーション及び遅延プロファイルについて正常の値を示している。

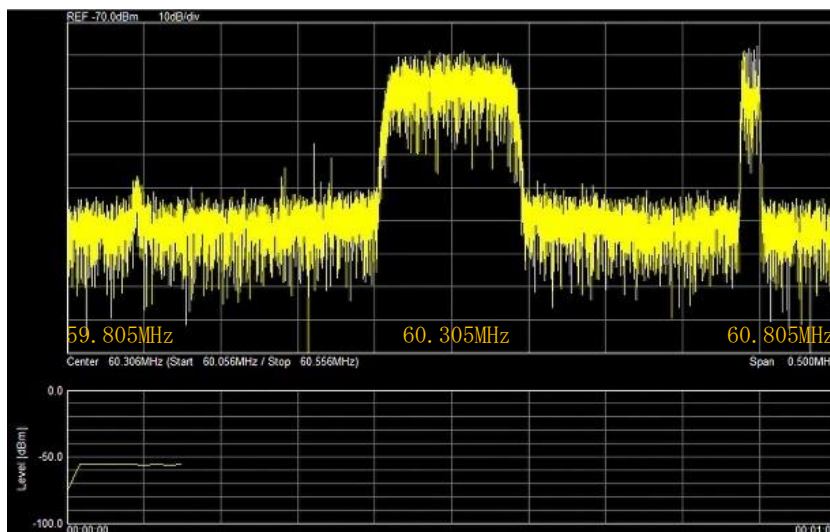


図 5.4-11 正常時の信号解析波形 1
(スペクトラム波形、高ボッチ局、測定日:令和3年7月20日)

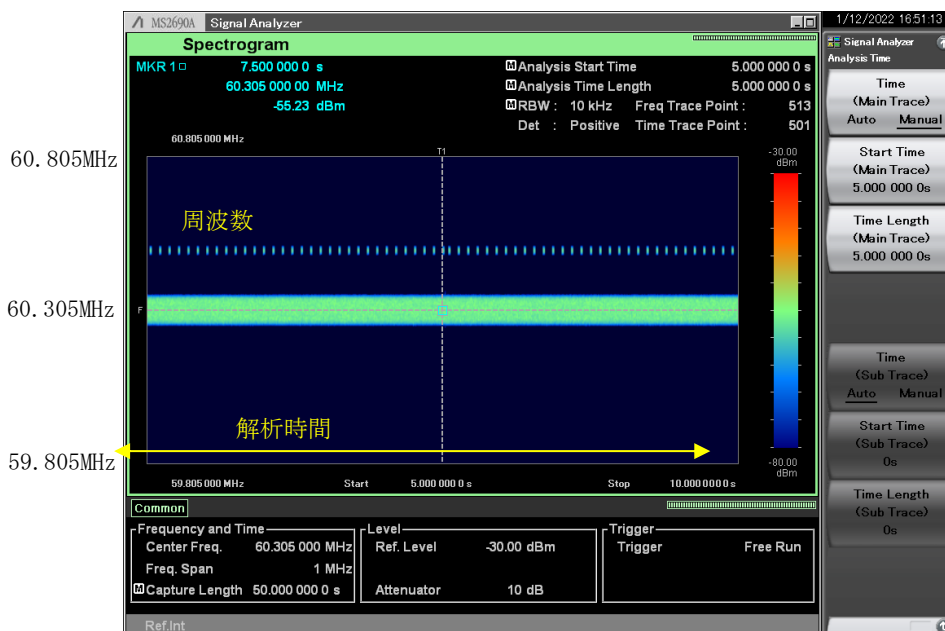


図 5.4-12 正常時の信号解析波形 2
(スペクトログラム(解析時間5秒)、高ボッチ局、測定日:令和3年7月20日)

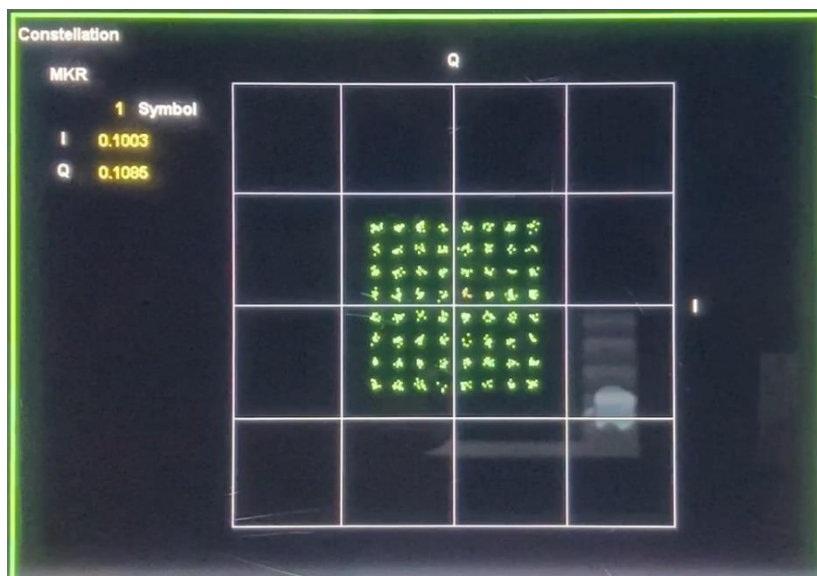
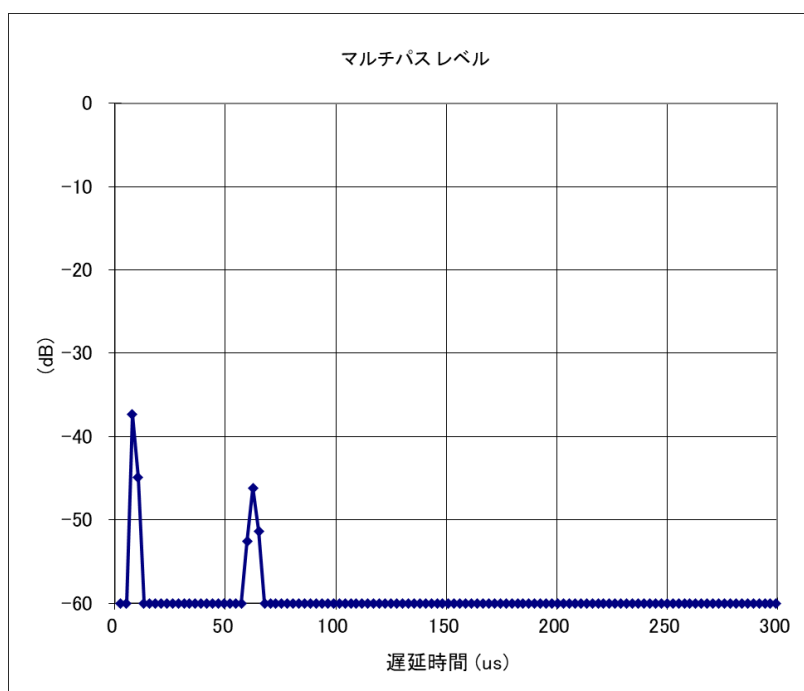


図 5.4-13 正常時の信号解析波形 3
(コンスタレーション波形、高ボッチ局、測定日:令和 3 年 7 月 20 日)



5.4-14 正常時の信号解析波形 4
(遅延プロファイル、高ボッチ局、測定日:令和 3 年 7 月 20 日)

[参考] 遅延プロファイル測定方法

- ① 図 5.4-8 の測定系統図の右半分に示した構成において、RF キャプチャーにて再生した信号をシグナルアナライザと解析用受信装置に入力
- ② シグナルアナライザはコンスタレーションモードに設定しコンスタレーション波形を測定
- ③ 同時に、解析用受信装置の機能を用いて遅延プロファイルデータを取得し、取得したデータを用いてグラフ化

【外来雑音受信時の信号解析（高ボッチ局）】

高ボッチ局における受信設備で測定された外来雑音受信時の信号解析結果を図 5.4-15 から図 5.4-18 に示す（測定日は9月22日）。スペクトラム波形ではノイズレベルが上昇しており、スペクトログラムでは外来波が繰返し混入していることが分かる。また、コンスタレーションは大きく乱れ、遅延プロファイルも外来波によって正常な測定が行われていないように見受けられる。

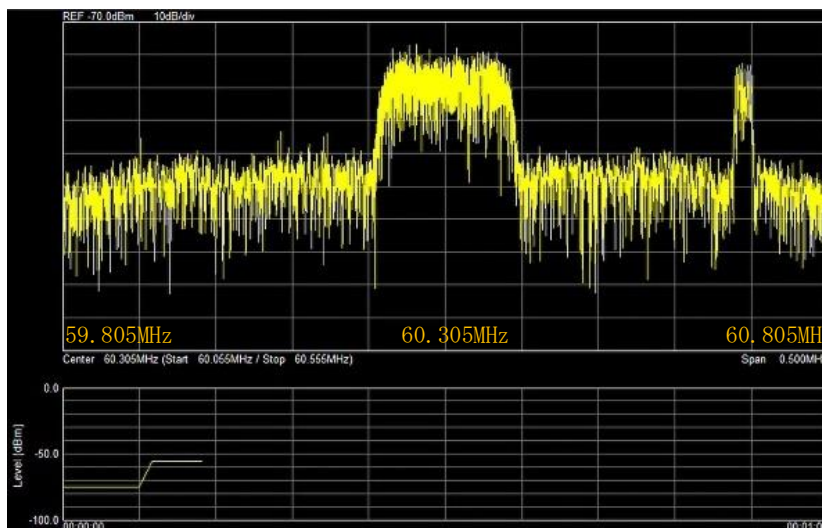


図 5.4-15 外来雑音受信時の信号解析波形 1
 (スペクトラム波形、高ボッチ局、測定日:令和3年9月22日)



図 5.4-16 外来雑音受信時の信号解析波形 2
 (スペクトログラム(解析時間 5 秒)、高ボッチ局、測定日:令和3年9月22日)



図 5.4-17 外来雑音受信時の信号解析波形 3
(コンスタレーション波形、高ボッチ局、測定日:令和3年9月22日)

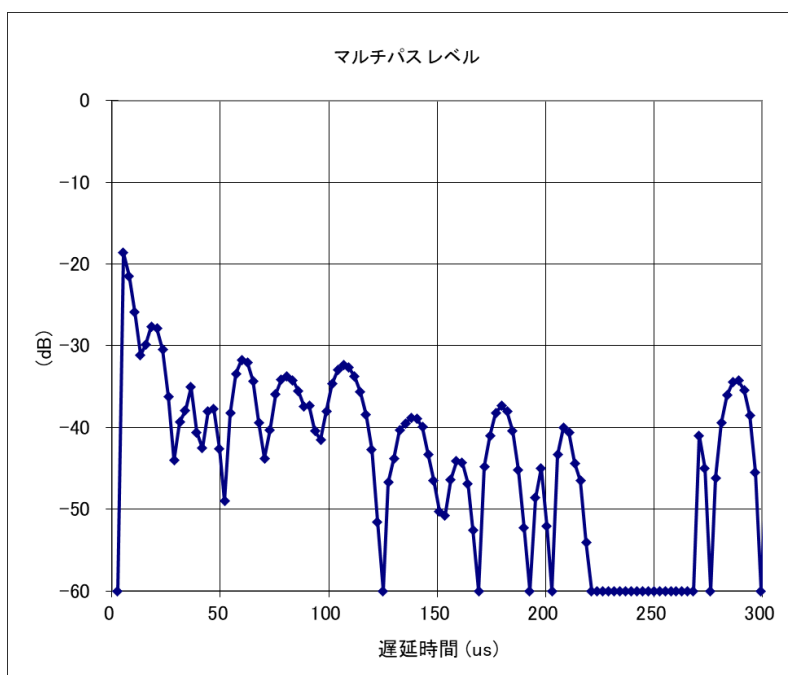


図 5.4-18 外来雑音受信時の信号解析波形 4
(遅延プロファイル、高ボッチ局、測定日:令和3年9月22日)

【正常時の信号解析（飯田局）】

飯田局における受信設備で測定された正常時の信号解析結果を図 5.4-19 から図 5.4-22 に示す（測定日は9月4日）。

スペクトラム波形ではノイズレベルの上昇はなく、スペクトログラムでも外来波は確認されていない。また、コンスタレーション及び遅延プロファイルについて正常の値を示している。

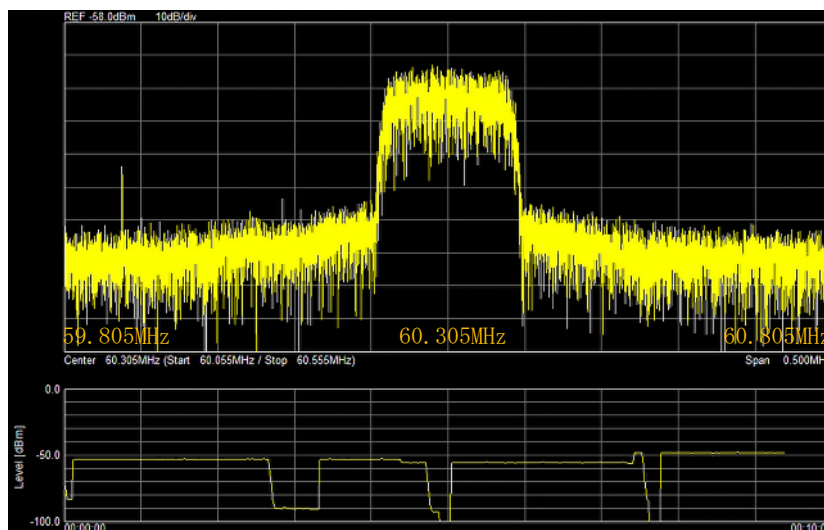


図 5.4-19 正常時の信号解析波形 1
(スペクトラム波形、飯田局、測定日：令和3年9月4日)

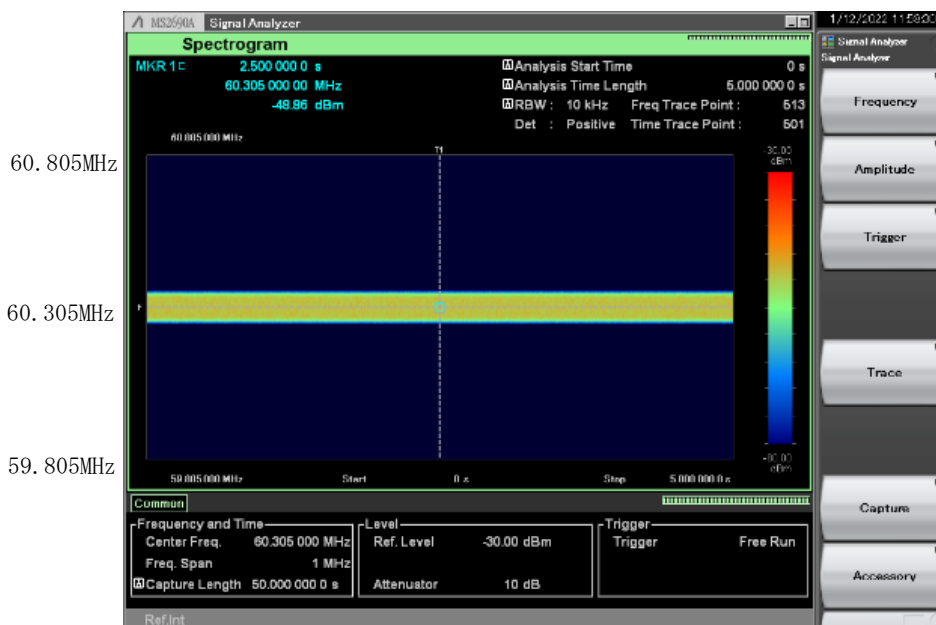


図 5.4-20 正常時の信号解析波形 2
(スペクトログラム(解析時間5秒)、飯田局、測定日：令和3年9月4日)

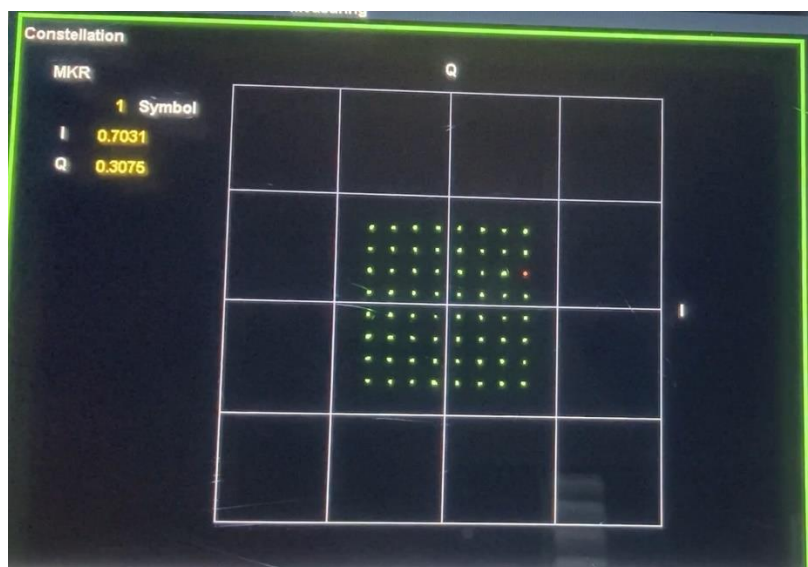


図 5.4-21 正常時の信号解析波形 3
(コンスタレーション波形、飯田局、測定日:令和 3 年 9 月 4 日)

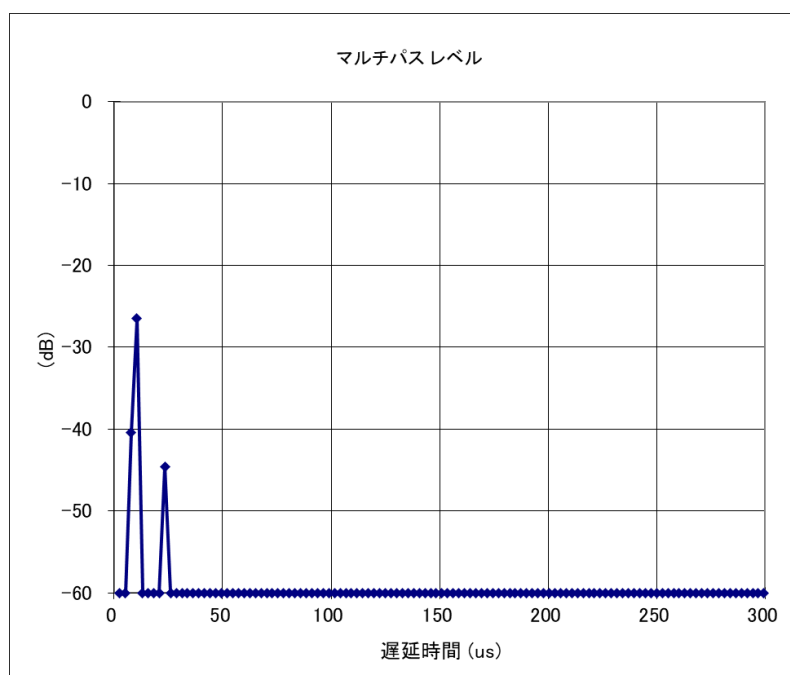


図 5.4-22 正常時の信号解析波形 4
(遅延プロファイル、飯田局、測定日:令和 3 年 9 月 4 日)

【外来雑音受信時の信号解析（飯田局）】

飯田局における受信設備で測定された外来雑音受信時の信号解析結果を図 5.4-23 から図 5.4-26 に示す（測定日は9月4日）。

スペクトラム波形ではノイズレベルが上昇しており、スペクトログラムでは瞬間の外来波が混入していることが分かる。また、コンスタレーションは大きく乱れ、遅延プロファイルも外来波によって正常な測定が行われていないように見受けられる。

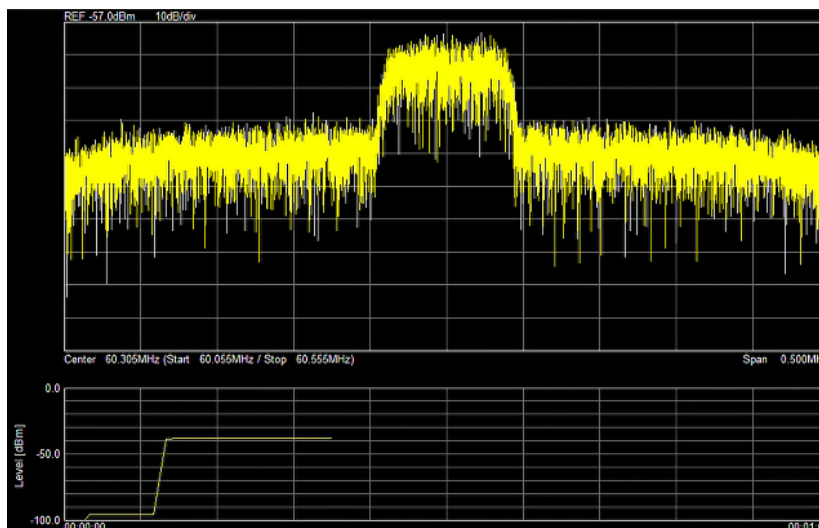


図 5.4-23 外来雑音受信時の信号解析波形 1
(スペクトラム波形、飯田局、測定日：令和3年9月4日)

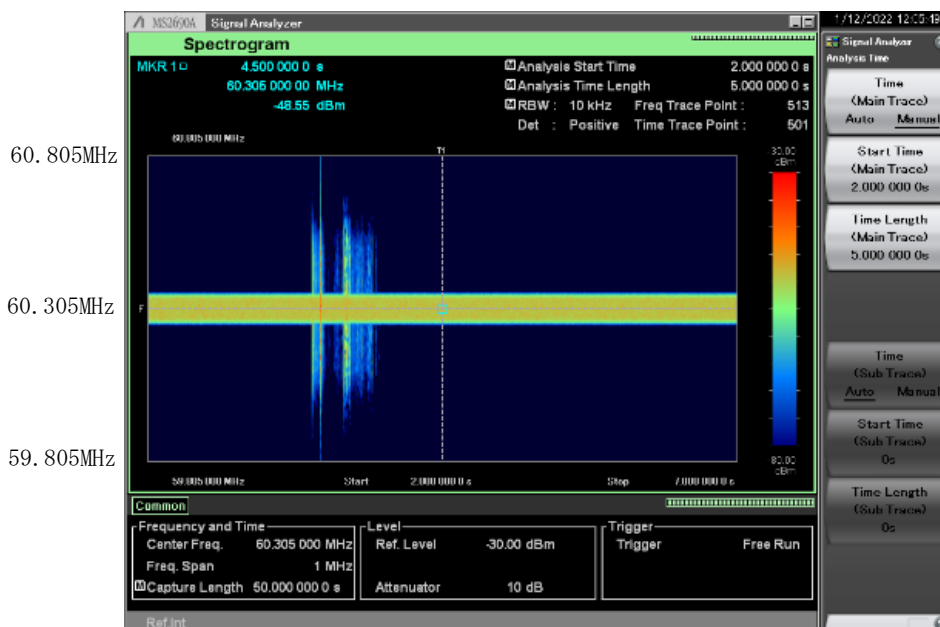


図 5.4-24 外来雑音受信時の信号解析波形 2
(スペクトログラム(解析時間5秒)、飯田局、測定日：令和3年9月4日)



図 5.4-25 外来雑音受信時の信号解析波形 3
(コンスタレーション波形、飯田局、測定日:令和 3 年 9 月 4 日)

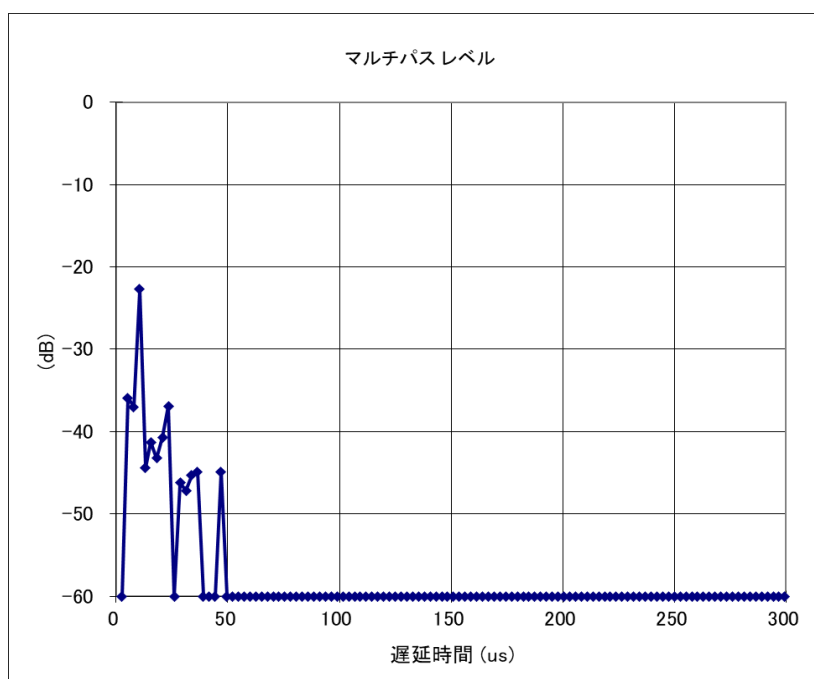


図 5.4-26 外来雑音受信時の信号解析波形 4
(遅延プロファイル、飯田局、測定日:令和 3 年 9 月 4 日)

5.4.4.3 フィールドにおける外来雑音調査

外来雑音が、局舎内に設置されている他の設備（FM 送信機、電源装置及び空調機設備等）に起因しているかどうかを確認するために、局舎から離れた地点において外来雑音の測定を実施した。

5.4.4.3.1 高ボッチ局の局舎近傍における外来雑音測定

高ボッチ局の局舎から北東に約 250m 離れたところにある駐車場において、中心周波数を実運用局（60MHz 帯低域周波数）及び実験試験局（60.305MHz）に設定し、外来雑音を測定した。

【実施日】 令和 3 年 7 月 27 日～29 日

【周波数】 実運用局（60MHz 帯低域周波数）及び実験試験局（60.305MHz）

【測定機器】 広帯域空中線（ログペリアンテナ）
スペクトラムアナライザ アンリツ製 MS2713E

【機器設定】 中心周波数：60MHz 帯低域周波数（実運用局）及び 60.305MHz（実験試験局）、スパン：500KHz、レファレンスレベル：-50dBm、アッテネータ：0dB、プリアンプ：ON、RBW：3KHz、VBW：1KHz、検波モード：ピーク検波、利得（空中線+給電線損失）：0dB

【測定系統図】 図 5.4-27 に示す。

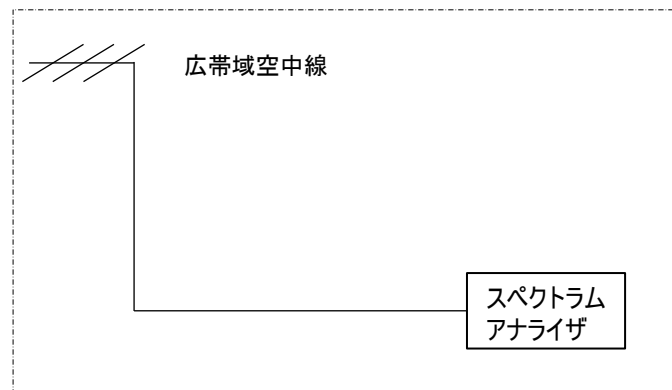


図 5.4-27 外来雑音測定における測定系統図（高ボッチ局の局舎近傍）

【測定場所】 図 5.4-28 に示す。



図 5.4-28 外来雑音測定場所(高ボッチ局の局舎近傍)

【測定風景】 図 5.4-29 に示す。



図 5.4-29 外来雑音測定風景(高ボッチ局の局舎近傍)

【測定結果】

実運用局設備（60MHz 帯低域周波数）及び実験試験局設備（60.305MHz）とも外来雑音が混入することを確認でき、外来雑音混入時にはノイズレベルが正常時に比べて上昇することを確認した。外来雑音が混入することによるノイズレベルの増加量は実運用局設備（60MHz 帯低域周波数）では約 30dB（絶対値：約-95dBm）、また実験試験局設備（60.305MHz）では約 25dB（絶対値：約-100 dBm）であった。実運用局設備（60MHz 帯低域周波数）における測定波形を図 5.4-30 に、実験試験局設備（60.305MHz）における測定波形を図 5.4-31

に示す。図中、黄色線で示される波形は正常時を示し、緑色線で示される波形は外来雑音が混入した時の波形（ピークホールド）を示す。なお、図 5.4-31 に示した測定波形について、実験試験局の試験電波（60.305MHz）を停波した時の波形を示す。

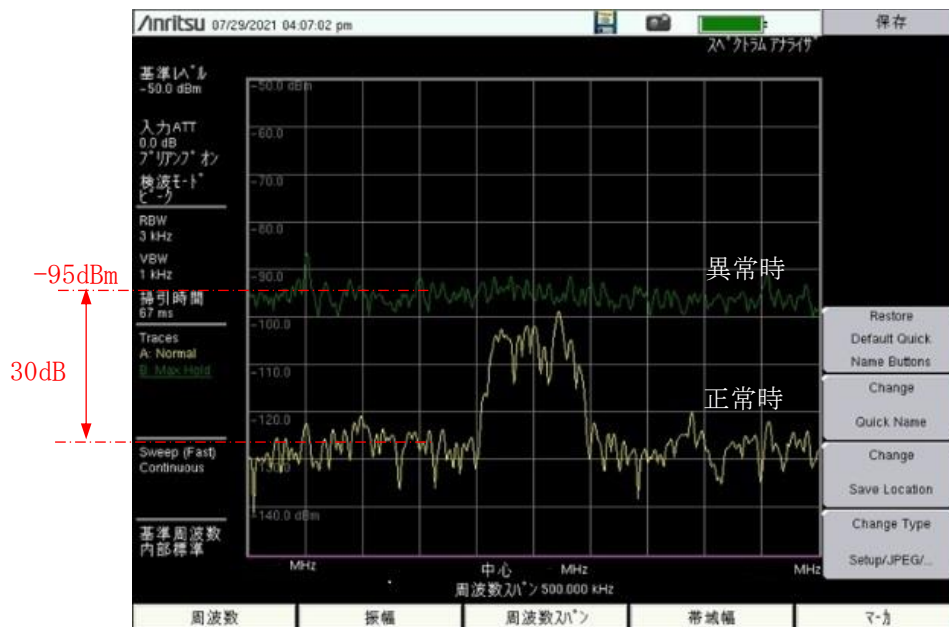


図 5.4-30 外来雑音波形

(中心周波数: 60MHz 帯低域周波数(実運用局)、スパン: 500kHz、縦軸 10dB/div)
(測定日: 令和 3 年 7 月 29 日)

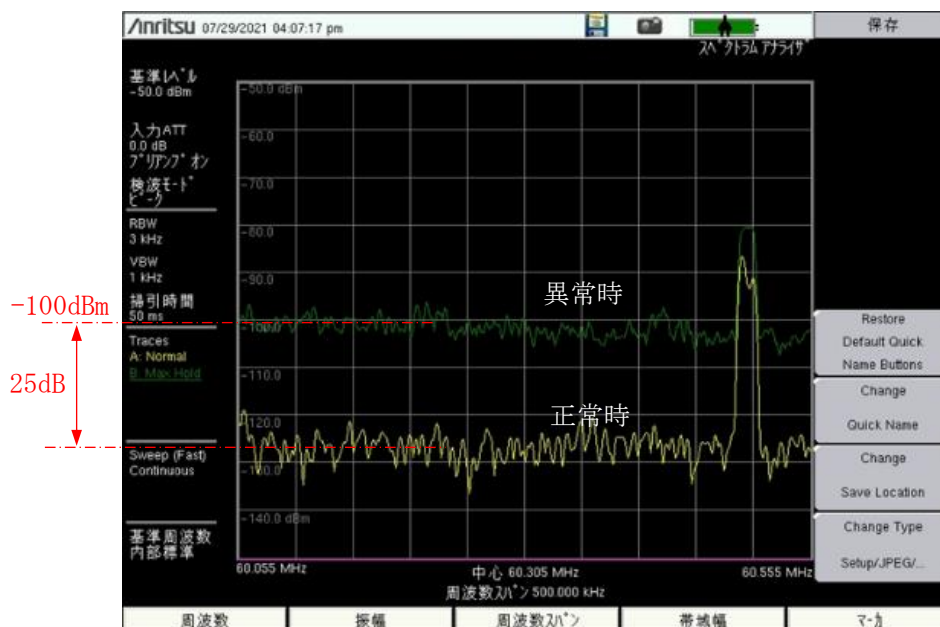


図 5.4-31 外来雑音波形

(中心周波数 60.305MHz(実験試験局)、スパン: 500kHz、縦軸 10dB/div)
(測定日: 令和 3 年 7 月 29 日)

5.4.4.3.2 飯田局の局舎周辺における外来雑音測定

飯田局の局舎から南西方向に約 6km 離れた三遠南信自動車道の天竜峡パーキングエリア、及び西方向に約 5km 離れた鈴岡城址公園において、60.305MHz 近傍の外来雑音の測定を実施した。

- 【実施日】 令和4年1月20日及び21日
- 【周波数】 60.305MHz (実験試験局)
- 【測定機器】 八木空中線 (3素子八木) 日本アンテナ製 3DV-0608
入力フィルタ (中心周波数: 60.305MHz) 挿入損失 6.5dB
スペクトラムアナライザ アンリツ製 MS2713E
シグナルアナライザ アンリツ製 MS2690A
- 【機器設定】 中心周波数: 60.305MHz (実験試験局)、スパン: 500KHz
レファレンスレベル: -50dBm、アッテネータ: 0dB、プリアンプ: ON
RBW: 3KHz、VBW: 1KHz、検波モード: ピーク検波
利得 (空中線利得+給電線損失+入力フィルタ損失+分配損失): -2dB
- 【測定系統図】 図 5.4-32 に示す。

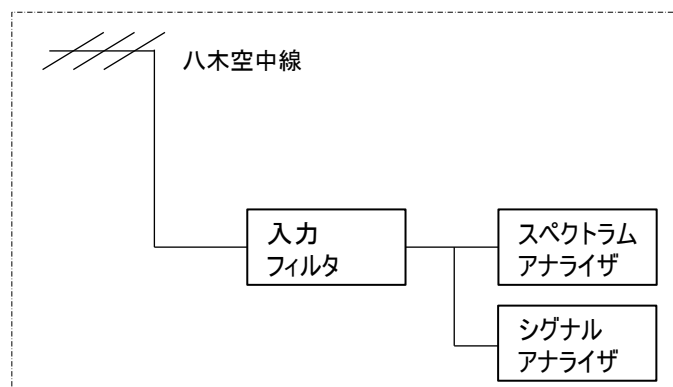


図 5.4-32 外来雑音測定における測定系統図(飯田局の局舎近傍)

【測定場所】 図 5.4-33 に示す。



図 5.4-33 外来雑音測定場所(飯田局の局舎近傍)

【測定風景】 図 5.4-34 に示す。



図 5.4-34 外来雑音測定風景(飯田局の局舎近傍)
(写真左:天竜峡パーキングエリア、写真右:鈴岡城址公園)

【測定結果】

天竜峡パーキングエリア及び鈴岡城址公園の測定結果について、両方の測定場所にて外来雑音が混入することを確認でき、外来雑音混入時にはノイズレベルが正常時に比べ増加することを確認した。外来雑音が混入することによるノイズレベルの増加量は、天竜峡パーキングエリアにおいては約 25dB(絶対値:約-102dBm)、また鈴岡城址公園においては約 15dB(絶対値:約-107dBm)であった。天竜峡パーキングエリアにおける測定波形を

図 5.4 20 に、鈴岡城址公園における測定波形を図 5.4 21 に示す。なお、図中、中心周波数は 60.305MHz、スパンは 500kHz、また縦軸は 10dB/div である。

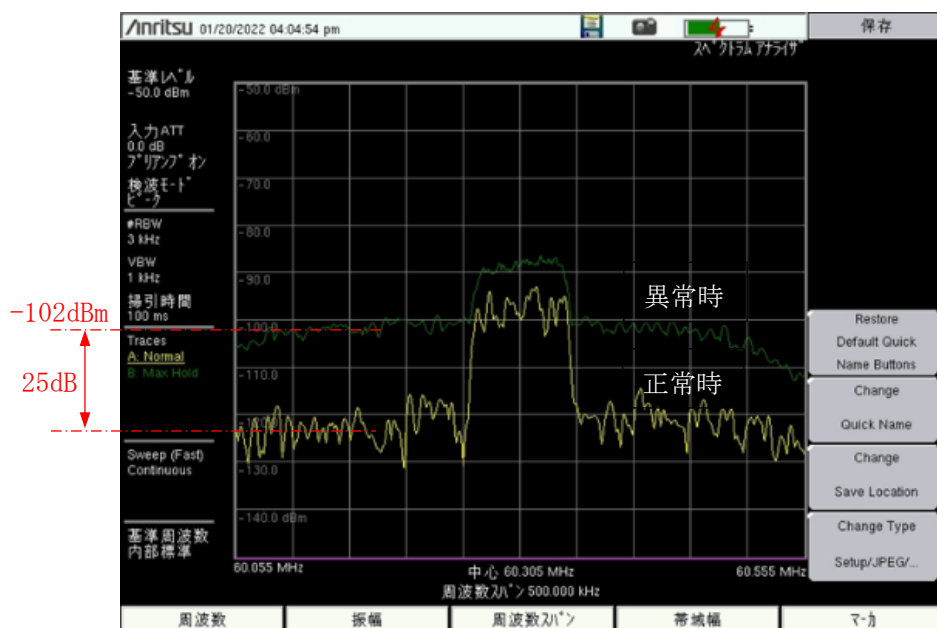


図 5.4-35 外来雑音波形(測定場所:天竜峡パーキングエリア)
(測定日:令和 4 年 1 月 20 日)

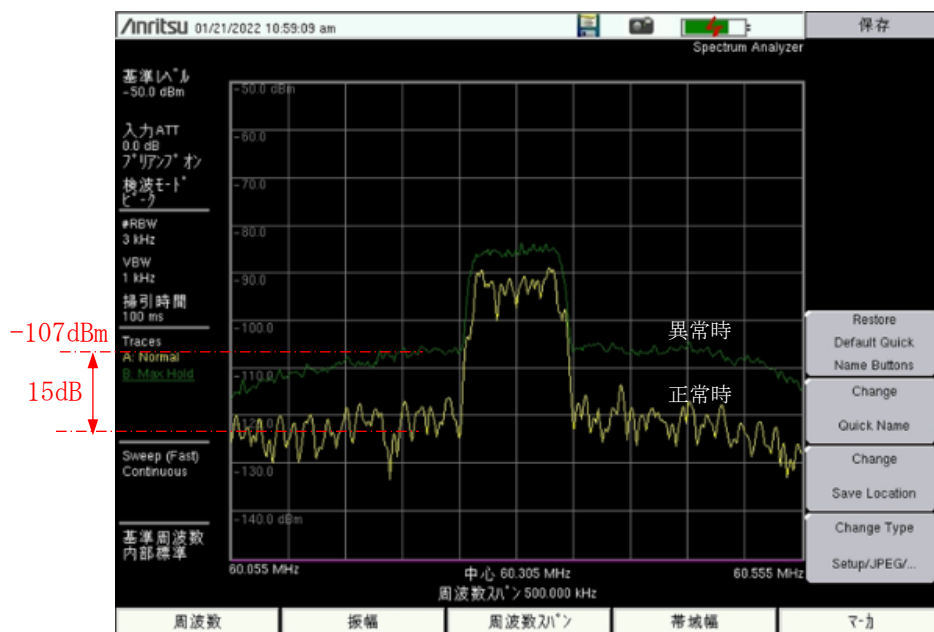


図 5.4-36 外来雑音波形(測定場所:鈴岡城址公園)
(測定日:令和 4 年 1 月 21 日)

【外来雑音の解析】

天竜峡パーキングエリア及び鈴岡城址公園において測定したノイズレベルが増加した

時の信号についてシグナルアナライザを用いて解析したところ、どちらの信号についても 60.305MHz（実験試験局）の信号帯域に被るように入来雑音が混入していることを確認した。また、入来雑音は短時間に ON/OFF を繰り返しており、そのピッチは約 120Hz であった。

信号解析を行ったときの解析波形を図 5.4-37 から図 5.4-40 に示す。

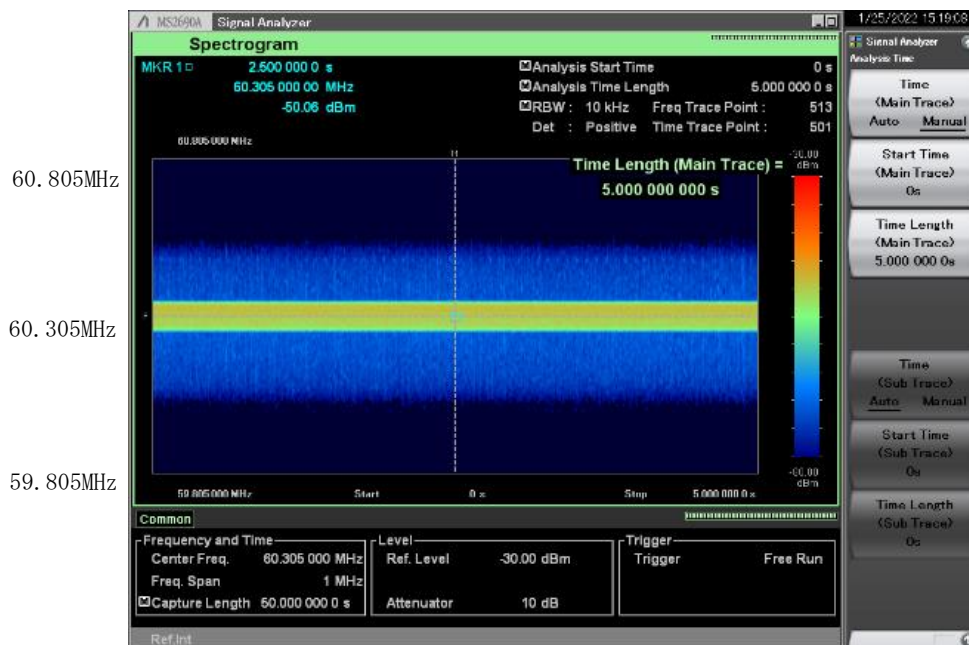


図 5.4-37 外來雑音解析波形(測定場所:天竜峡パーキングエリア、解析時間 5 秒間)
 (測定日:令和 4 年 1 月 20 日)

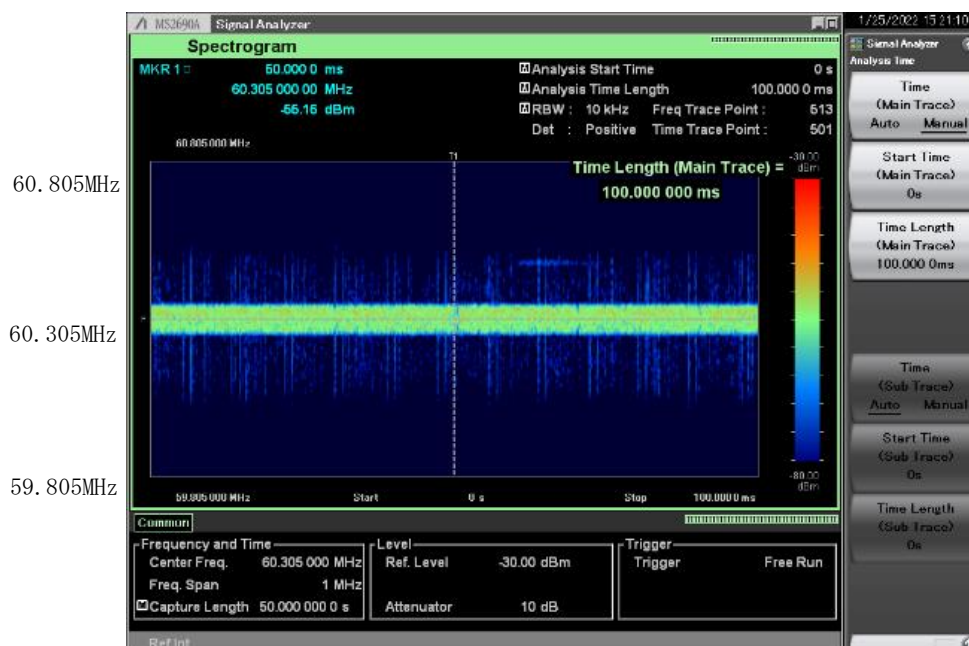


図 5.4-38 外來雑音解析波形(測定場所:天竜峡パーキングエリア、解析時間 0.1 秒間)
 (測定日:令和 4 年 1 月 20 日)

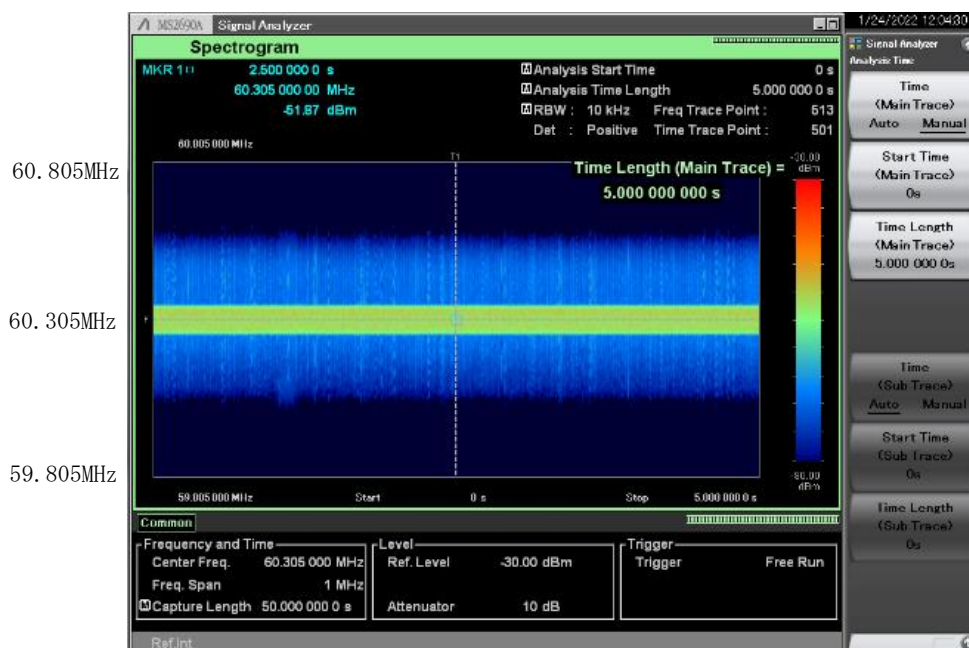


図 5.4-39 外来雑音解析波形(測定場所:鈴岡城址公園、解析時間 5 秒間)
(測定日:令和 4 年 1 月 21 日)

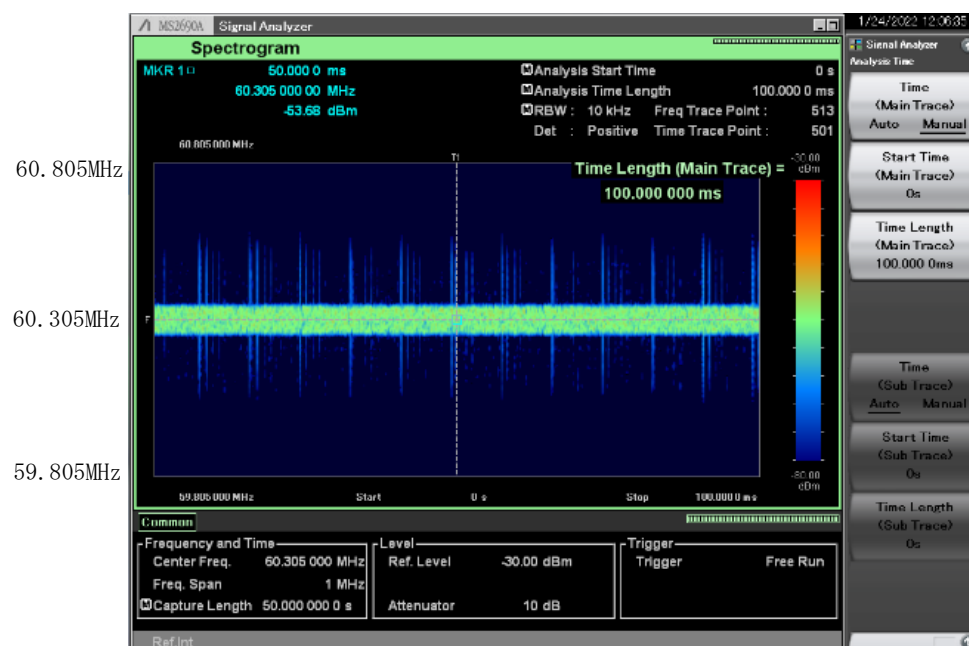


図 5.4-40 外来雑音解析波形(測定場所:鈴岡城址公園、解析時間 0.1 秒間)
(測定日:令和 4 年 1 月 21 日)

5.4.4.4 60MHz 帯割り当て周波数の上限における外来雑音測定

前項の測定において、60MHz 帯の低域周波数（運用局周波数）及び同周波数が高い方向に約 5MHz 離れた 60.305MHz（実験試験局）においては、高ボッチ局の近傍及び飯田局の周辺

では共に外来雑音の混入が見られた。そこで、60MHz 帯割り当て周波数の上限について状況を確認することとし、5.4.4.1 項で示した測定環境を用いて 68.000MHz 付近の測定を実施した。全体日程の制約により、測定は 12 月 7 日～12 月 31 日の冬季に実施したが、測定期間中にノイズレベルの上昇は確認されなかった。一例として 12 月 12 日の高ボッチ局における外来波測定結果を図 5.4-42 に、飯田局における外来波測定結果を図 5.4-42 に示す。

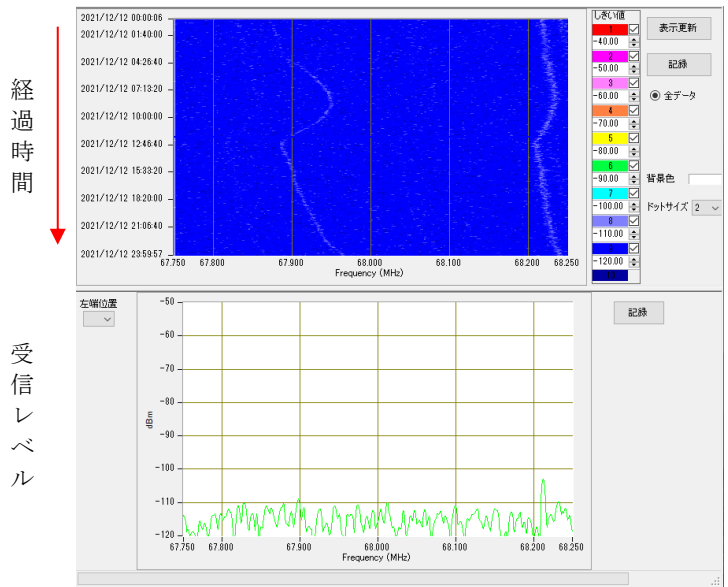


図 5.4-41 外来雑音レベル(中心周波数:68.000MHz)
 (高ボッチ局、測定日令和 3 年 12 月 12 日)

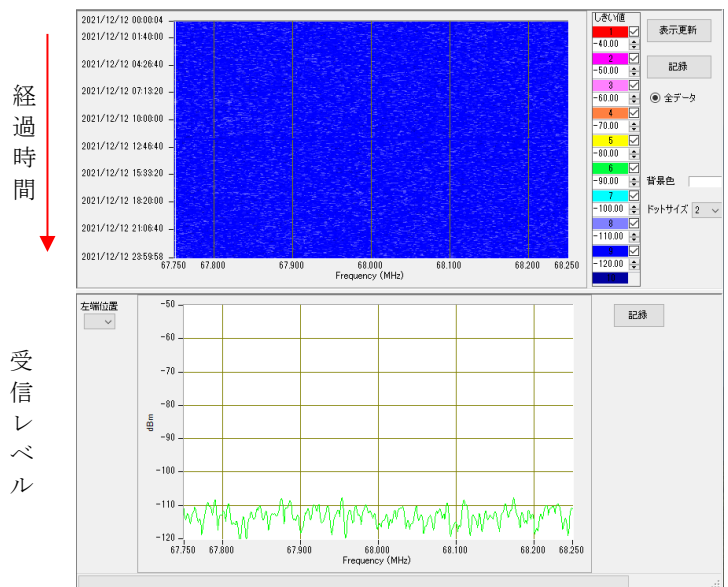


図 5.4-42 外来雑音レベル(中心周波数:68.000MHz)
 (飯田局、測定日令和 3 年 12 月 12 日)

5.4.4.5 都市雑音量の検証

都市雑音量については、国際電気通信連合の無線通信部門（ITU-R）から発行されている Rec. ITU-R P. 372-15¹¹に指標が示されている。“5.4.4.3.1 高ボッチ局の局舎近傍における外来雑音測定”の図 5.4-30 で示される 60MHz 帯低域周波数（運用局周波数）における外来雑音量（ピーク検波で約-95dBm）と当該指標とを比較した結果を以下に示す。

（1）熱雑音量の計算

熱雑音量 P_n は以下の計算式で求められる。

$$P_n = KTB(W) \quad \begin{array}{l} K : \text{ボルツマン定数 } 1.38 \times 10^{-23} \\ T : \text{温度 (ここでは } 17^\circ\text{C} = 290\text{K とする。)} \\ B : \text{測定帯域幅 (ここでは } 3\text{KHz で測定)} \end{array}$$

$$\begin{aligned} \text{熱雑音レベル} &= 10 \times \log(KTB) = 10 \times \log(1.38 \times 10^{-23} \times 290 \times 3 \times 10^3) \\ &\doteq -169\text{dBW} \quad \rightarrow \quad -139\text{dBm} \end{aligned}$$

（2）人口雑音を付加した場合の雑音量の計算

Rec. ITU-R P. 372-15 に記載されている住宅地における 60MHz 帯での付加雑音量を読み取ると、ほぼ 23dB となる。

したがって、人口雑音を付加した場合の雑音量 P は以下ようになる。

$$P = -139 + 23 = -116\text{dBm}$$

図 5.4-30 で示される 60MHz 帯割当て下限周波数における外来雑音量が-95dBm（ピーク検波時）であることより、中央値に-6dB（1/4 倍）を補正した約-101dBm を測定で得られた外来雑音量となり、Rec. ITU-R P. 372-15 の図 39 に示されている都市雑音に比較して、記載されている値以上の雑音が混入している、と考えられる。雑音量の計算の関係図を図 5.4-43 に示す。

¹¹ Rec. ITU-R P.372-15, “Radiowave propagation” (2021/09)
https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.372-15-202109-I!!PDF-E.pdf
閲覧 2022/2/10

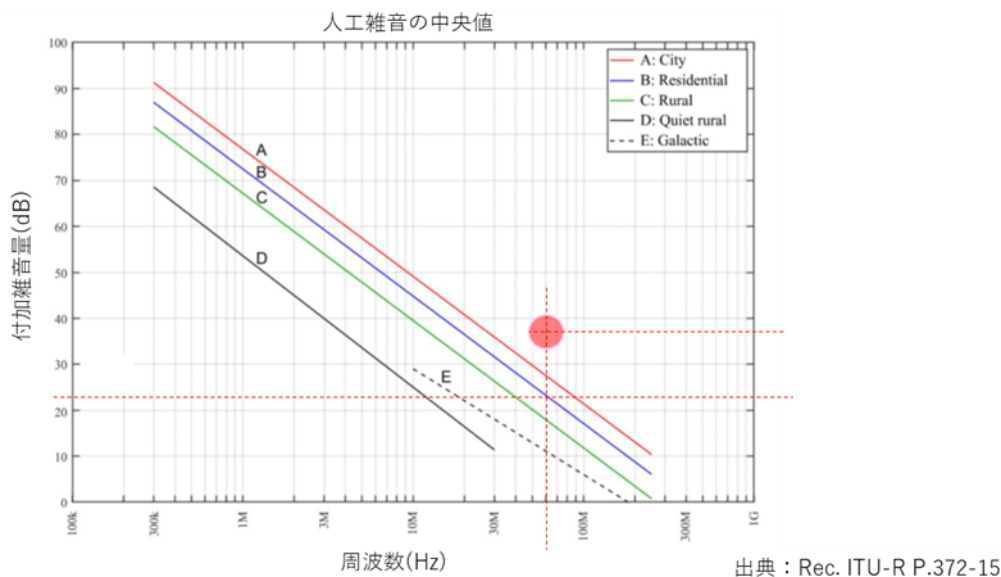


図 5.4-43 人口雑音を付加した場合の雑音量の計算

5.4.5 考 察

(1) 潜在波の測定

- ・ 60MHz 帯の測定においては飯田局では 10 波以上、高ボッチ局では 3 波の潜在波を測定した。
- ・ 160MHz の測定においては飯田局では 1 波を測定したが、高ボッチ局では測定されなかった。

(2) 実験受信設備での測定

- ・ BER 異常が発生するとノイズレベルが上昇し、これと同時にコンスタレーションが乱れることを確認した。
- ・ ノイズレベルが上昇した時の信号をシグナルアナライザで解析すると、頻繁に ON/OFF を繰り返す外来波が混入していることを確認した。
- ・ ON/OFF のピッチは測定された場所及び日時によって異なる。

(3) 実験受信局周辺での測定

- ・ 高ボッチ局の近傍 (250m) にて 60.305MHz (実験試験局) の帯域を測定した結果、実験試験設備で得られた結果と同様にノイズレベルが上昇することを確認した。またこの時、併せて 60MHz 帯低域周波数 (運用局) についても測定したが、この帯域のノイズレベルも同様に上昇することを確認した。ノイズレベルの上昇分は最大で約 30dB であった。
- ・ 飯田局の周辺 (6km) にて 60.305MHz の帯域を 2 か所で測定した結果、両測定地点でノイズレベルが上昇することを確認。この時のノイズレベルの上昇分は最大で約 25dB であった。

- ・ 飯田局の周辺(6km) で測定されたノイズレベルの上昇をシグナルアナライザで解析すると、頻繁に ON/OFF を繰り返す外来波が混入していることを確認した。またピッチを計測すると 120Hz であった。
- (4) 60MHz 帯割り当て周波数上限の測定
- ・ 60MHz 帯の上限では高ボッチ局及び飯田局ともにノイズレベルの上昇は確認されなかった。
- (5) 都市雑音量の検証
- ・ 実際に測定された雑音量は、Rec. ITU-R P. 372-15 に示されている都市雑音（住宅地 - 116dBm/3kHz）より 15dB 程度高い結果が得られた。

5.5 外来雑音の発信源の推定

5.2 節から 5.4 節に記載したように、実験試験局設備（周波数：60.305MHz）を用いた外来雑音調査、及び実験試験局の周辺における外来雑音調査を行い、外来雑音が混入している事実を確認することができた。しかし、外来雑音は断続的かつ不定期に発生しており、連続した観測ができなかったことから特定には至っていない。

そこで、以下に示す事象との関連性について統計的手法を用いることにより、発信源の特定を試みることにした。

- (1) 天候との相関
- (2) 曜日との相関
- (3) スポラディック E 層による伝搬異常との相関
- (4) 異なる周波数帯における BER 異常との相関

5.5.1 BER 異常と天候との相関関係

BER 異常が発生した時の、受信地点（測定地点）周辺における天候に関連性がないか検証を行った。BER 異常が発生した時の継続時間（秒）を日ごとに集計するとともに、一方で測定期間中の気象データについては気象庁のホームページ¹²から気圧、気温、降水量、湿度及び日照時間のデータを参照することとした。

相関性の有無について、ピアソンの積率相関係数式を用いて確認することとした。相関係数¹³は、0 から ±1 までの値を得ることができるが、+1 もしくは -1 に近づくほど相関が強いと言える。今回、+0.4 以上、もしくは -0.4 以下の値となった場合に“相関が認められる”こととした。なお、高ボッチ局については塩尻市の気象データを、飯田局については飯田市の気象データをそれぞれ参照することとし、検証期間は令和 3 年 6 月 23 日から 11 月 30 日まで検討した。相関係数を求めるための計算式を数式 5.5-1 に示す。

$$\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

数式 5.5-1 相関係数を求めるための計算式 (x: BER 異常の発生時間、y: 気象データ)

¹² 気象データの参照： 国土交通省 気象庁「過去の気象データ検索」より参照
(長野県飯田の令和 3 年 6 月における日ごとの値の例)
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily_s1.php?prec_no=48&block_no=47637&year=2021&month=6&day=23&view=
閲覧 2022/2/10

¹³ ピアソン積率相関係数とは、2 つの変数について直線的な関連の程度を示す係数であり、共分散を各変数の標準偏差の積で割ったものとして示される。双方の変数が共に増加する場合は正の値に、一方が増加し他方が減少する場合は負の値となる。

5.5.1.1 高ボッチ局における BER 異常と天候との相関関係

高ボッチ局における相関関係に関する検証結果を表 5.5-1 に、個別解析結果を図 5.5-1 から図 5.5-5 までに示す。

平均気圧、平均気温、降水量、平均湿度、日照時間のいずれについても明らかな相関がある、とは認められなかった。

表 5.5-1 BER 異常と天候との相関関係(高ボッチ局)

	平均気圧	平均気温	降水量	平均湿度	日照時間
相関係数	-0.15	0.12	0.35	0.37	-0.28

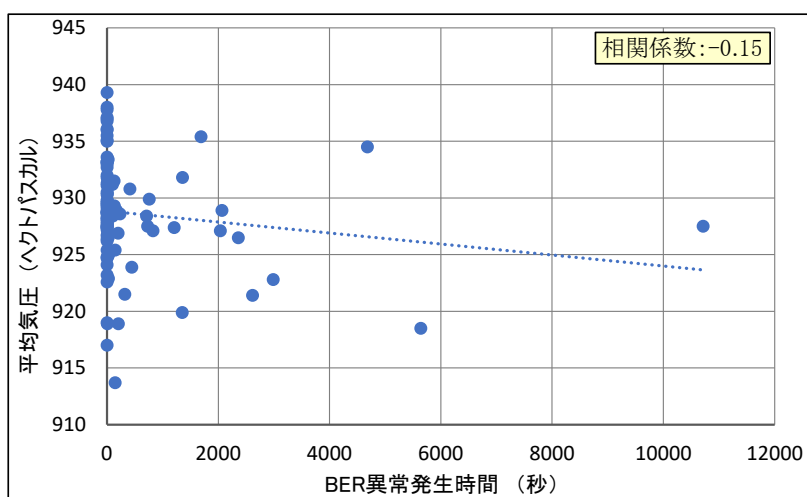


図 5.5-1 BER 異常発生時間と平均気圧との相関関係(高ボッチ局)

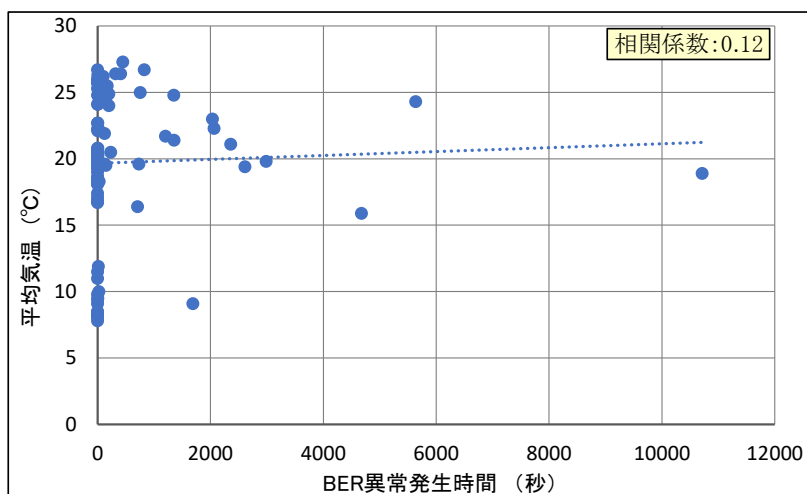


図 5.5-2 BER 異常発生時間と平均気温との相関関係(高ボッチ局)

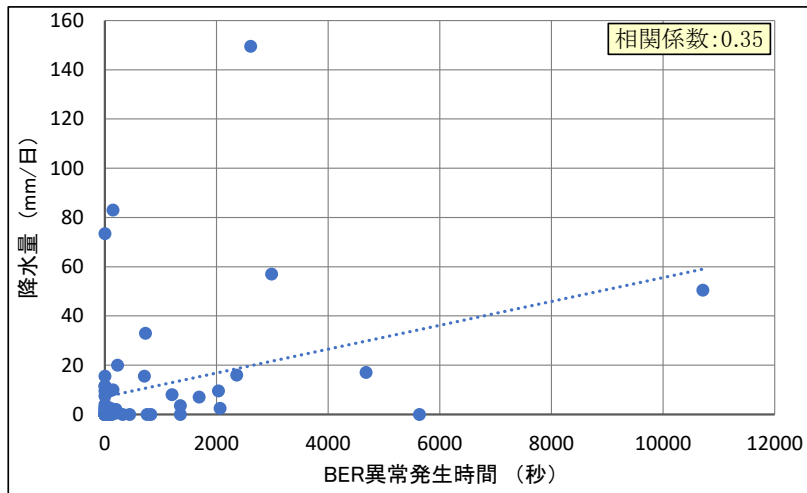


図 5.5-3 BER 異常発生時間と降水量との相関関係 (高ポッチ局)

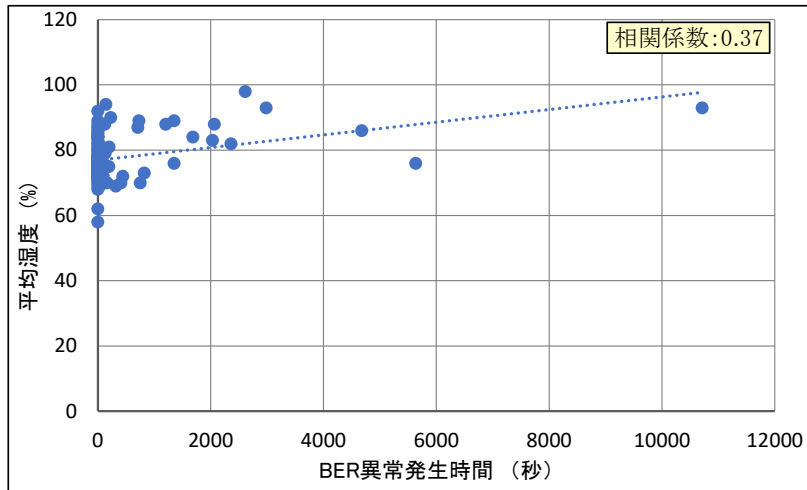


図 5.5-4 BER 異常発生時間と平均湿度との相関関係 (高ポッチ局)

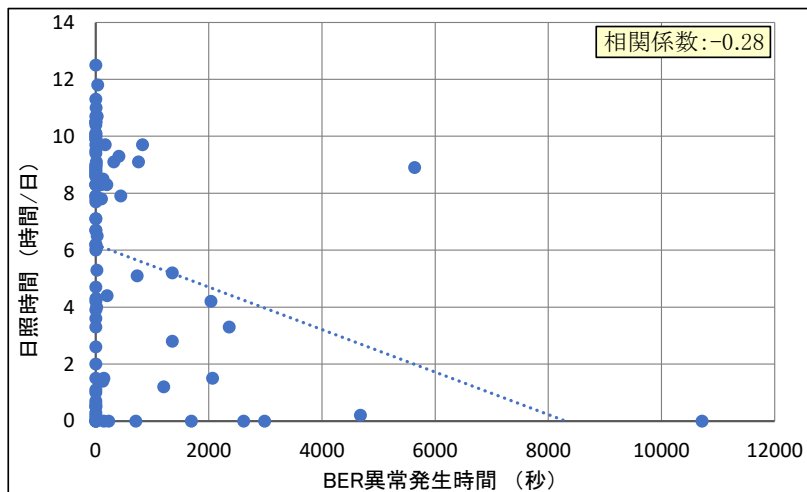


図 5.5-5 BER 異常発生時間と日照時間との相関関係 (高ポッチ局)

5.5.1.2 飯田局における BER 異常と天候との相関関係

飯田局におけるに関する検証結果を表 5.5-2 に、個別解析結果を図 5.5-6 から図 5.5-10 ま
でに示す。

気圧、気温、降水量、湿度、日照時間のいずれについても明らかな相関がある、とは認め
られなかった。飯田局では降水量、湿度共に他の検証項目と同様に低い値であった。

表 5.5-2 BER 異常と天候との相関関係(飯田局)

	平均気圧	平均気温	降水量	平均湿度	日照時間
相関係数	-0.15	0.18	0.07	-0.04	0.07

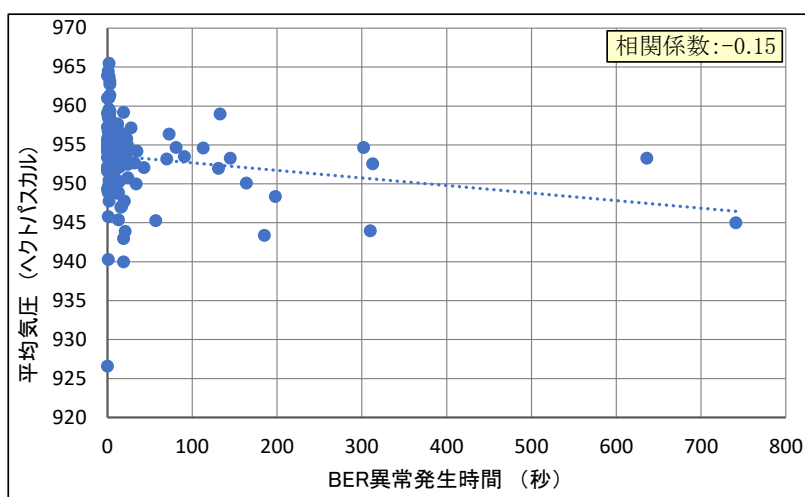


図 5.5-6 BER 異常発生時間と平均気圧との相関関係(飯田局)

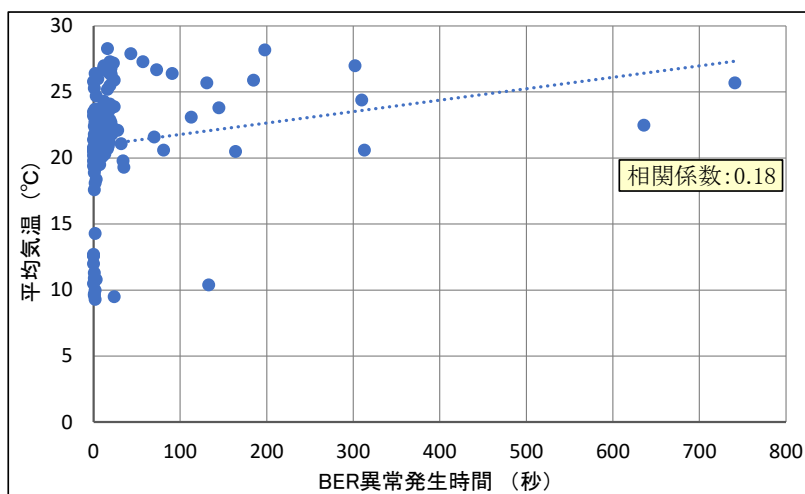


図 5.5-7 BER 異常発生時間と平均気温との相関関係(飯田局)

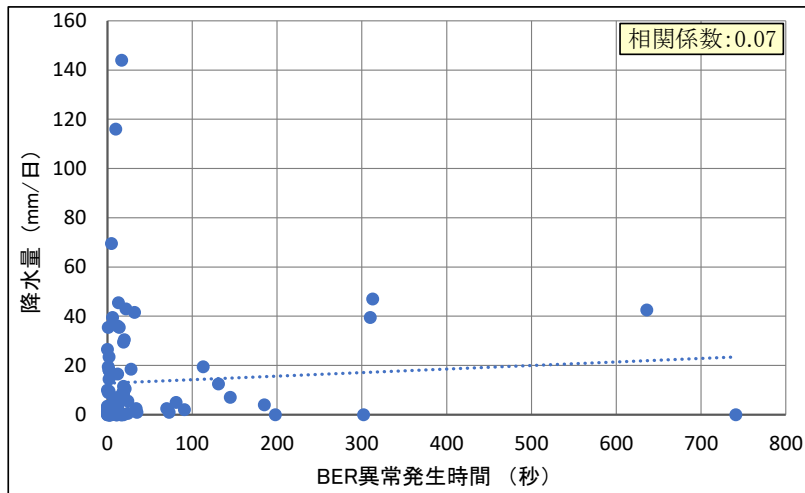


図 5.5-8 BER 異常発生時間と降水量との相関関係(飯田局)

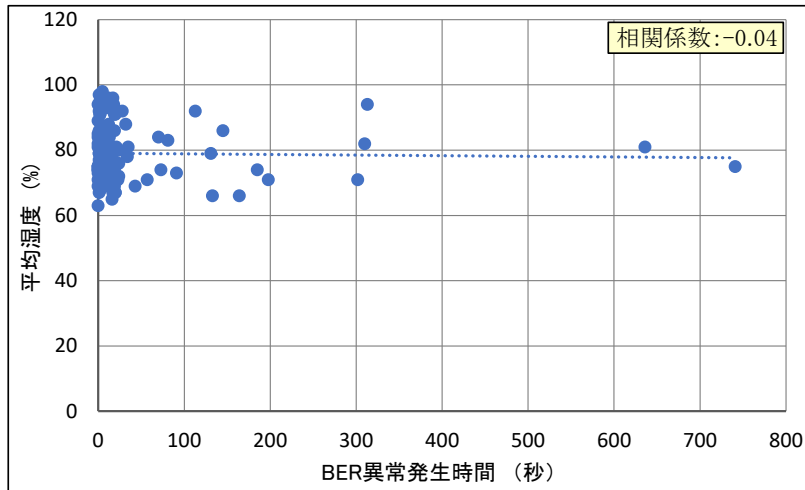


図 5.5-9 BER 異常発生時間と平均湿度との相関関係(飯田局)

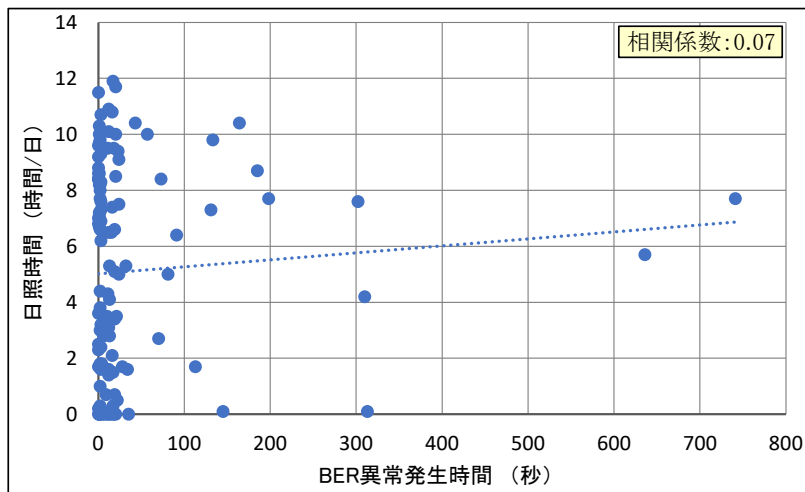


図 5.5-10 BER 異常発生時間と日照時間との相関関係(飯田局)

5.5.2 BER 異常と曜日別累積発生時間との相関関係

BER 異常の累積発生時間を曜日別に集計した結果を図 5.5-11 及び図 5.5-12 に示す。高ポッチ局、飯田局共に土日に比較的多く発生する傾向にある。外来雑音が自然現象によるものであれば、ここまでの偏りは出にくいと考えられることから、人為的なものに由来する可能性が高いと思われる。

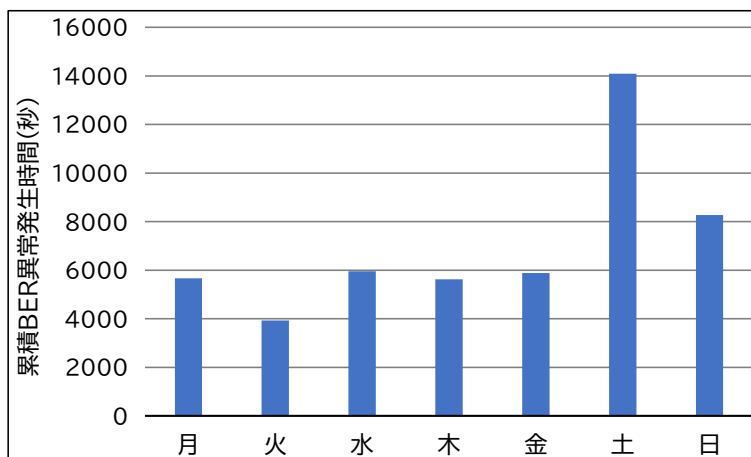


図 5.5-11 BER 異常の累積発生時間と曜日との相関関係(高ポッチ局)

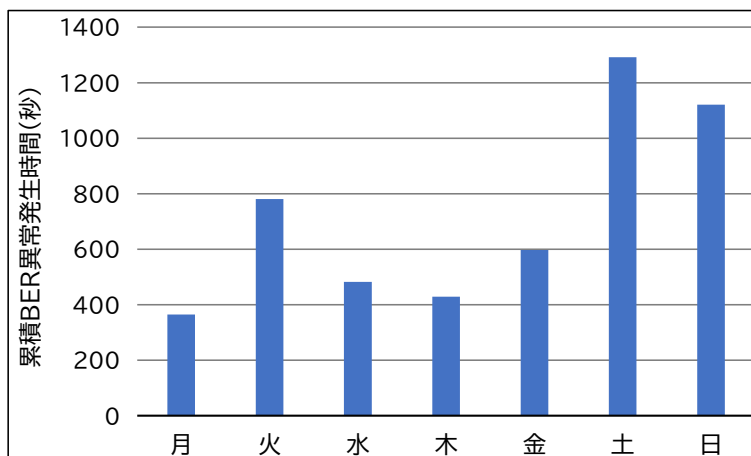


図 5.5-12 BER 異常の累積発生時間と曜日との相関関係(飯田局)

5.5.3 BER 異常とスプラディック E 層による伝搬異常との相関関係

スプラディック E 層による伝搬異常の発生状況については、わが国において国立研究開発法人情報通信研究機構（以降、NICT と記載する。）が国内 4 地点（稚内、国分寺、鹿児島、

及び沖縄)において上空の臨界周波数を日々測定しており、その結果をホームページ¹⁴で公開している。本調査検討では公開されている電離圏イベント履歴グラフの中から、臨界周波数 8MHz 以上のプロット数を日別にカウントしてデータベース化し、その数が多い日ほどスプラディック E 層の発生傾向が強い、とした。

本実験期間中に測定された BER 異常の発生日と、上記データとについて 4 か所の測定地点ごとに数式 5.5-1 を用いて相関係数を求め、5.5.1 項に記載の天候との相関関係と同様に +0.4 及び 0.4 を閾値として検証を行ったが、相関が認められる、との結果は得られなかった。結果を表 5.5-3 に示す。

長野県内にある実験試験局設備と NICT の測定地点 4 か所との位置関係を考えると、稚内、鹿児島及び沖縄は離れ過ぎており、一方、国分寺は近過ぎているために、測定点上空に発生したスプラディック E 層が実験試験局へ影響を及ぼす反射点とはならなかったのではないかと思われる。したがって、本検討結果は参考として記載するに留めることとした。

表 5.5-3 BER 異常とスプラディック E 層による伝搬異常との相関

	観測月	高ボッチ局 60MHz 実験設備	飯田局 60MHz 実験設備
稚内	7 月	0.11	0.01
	8 月	0.20	0.01
	9 月	0.09	-0.07
	10 月	-0.01	0.12
	11 月	0.24	-0.15
国分寺	7 月	-0.10	0.32
	8 月	0.07	0.32
	9 月	-0.21	-0.10
	10 月	-0.17	0.37
	11 月	0.16	-0.10
鹿児島	7 月	-0.25	0.15
	8 月	0.17	-0.06
	9 月	-0.07	-0.01
	10 月	-0.18	0.15
	11 月	0.14	-0.16
沖縄	7 月	-0.30	-0.15
	8 月	0.32	-0.04
	9 月	-0.08	-0.03
	10 月	-0.19	0.11
	11 月	-0.09	-0.15

¹⁴ 「日本国内の電離層観測データ」国立研究開発法人 情報通信研究機構
<https://wdc.nict.go.jp/ISDJ/ionospheric-event.html> 閲覧 2022/2/15

5.5.4 放送事業者から参考として提供をいただいたデータの分析

本実験試験局設備と同じ場所に設置されている実運用局設備（60MHz 帯低域周波数）の障害記録を参照し、BER 異常の発生状況を集計した。具体的には、BER 異常が発生した秒数を1時間単位で集計し、高ボッチ局及び飯田局について取りまとめた。結果を図 5.5-13 及び図 5.5-14 に示す。なお、集計期間は平成 30 年 6 月 13 日～令和 3 年 11 月 30 日（3 年 5 ヶ月）までとした。

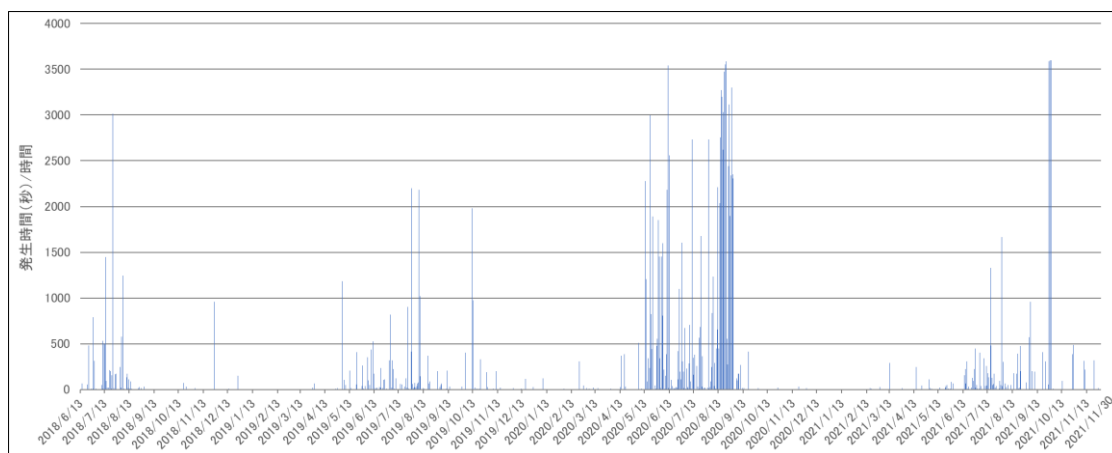


図 5.5-13 異なる周波数帯における BER 異常の発生履歴(高ボッチ局)

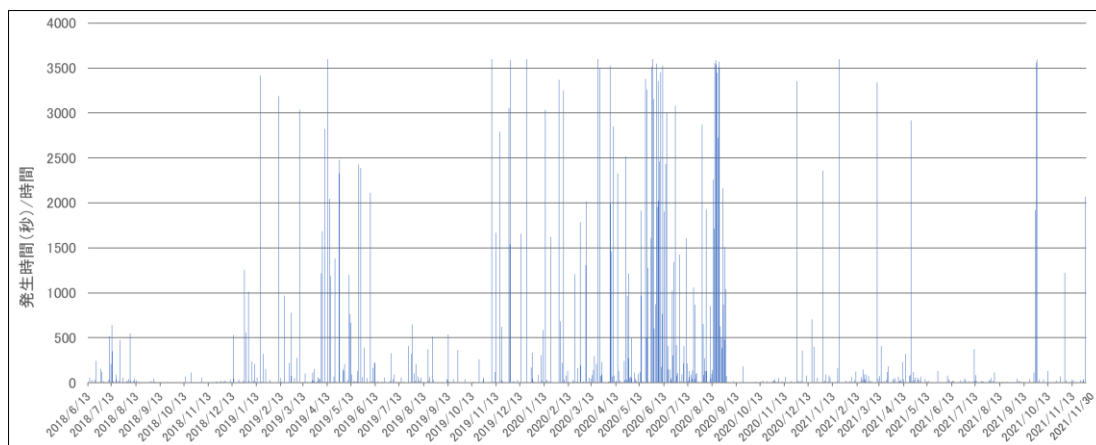


図 5.5-14 異なる周波数帯における BER 異常の発生履歴(飯田局)

図 5.5-13 及び図 5.5-14 より、実験試験局で測定された BER 異常と同様に実運用局設備（60MHz 帯低域周波数）においても BER 異常が不定期に発生していることが分かる。なお、図に示されている BER 異常の発生状況が、直接、実運用局設備における聴感上での障害発生に結び付くものではない。BER 異常による音声品質への影響については次項に記載する。

5.5.5 BER 異常による音声品質への影響

BER 異常による音声品質への影響について室内実験で検証した。測定系統図を図 5.5-15 に示す。なお、対象機材の制約により本調査検討では一機種のみ実施した。

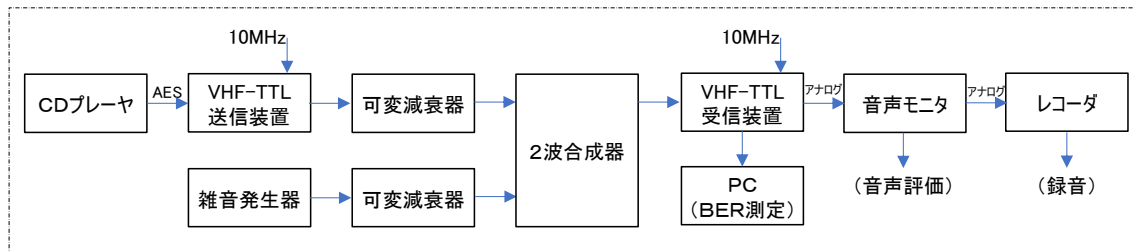


図 5.5-15 BER 異常による音声品質への影響測定における測定系統図

測定方法は、試験用受信機器の入力レベルを-78.5dBm 程度※に固定した受信信号と、外来雑音を想定した雑音信号を合成して受信機に入力することにより、BER 異常を発生させることができる。雑音信号のレベルを可変することで、入力される雑音信号レベルに対して、BER を測定するとともに、聴感上での評価を実施した。結果を表 5.5-4 に示す。なお、本測定では雑音信号として定量的なガウス雑音を用いているため、レベル変動を伴う実際の外来雑音に比べて評価が厳しくなる傾向がある。

※ 受信機器のスケルチが開いている限界値

表 5.5-4 BER 異常による音声品質への影響測定

受信レベル[dBm]	BER	音声評価
-78.4	エラーフリー	問題なし
-78.5	5.1E-6 ~ 1.2E-5	時折歪む
-78.5	2.0E-5 ~ 1.0E-4	かなりの頻度で歪む
-78.5	4.3E-4 ~ 8.8E-4	ほとんど音が出ない (少し音が確認できる)
-78.5	1.0E-3 以上	音が出ない、ごくまれにノイズが出る (音声出力を断制御)

5.5.6 実運用設備における BER 異常発生の変数 x の推移

高ボッチ局及び飯田局に設置されている実運用局設備 (60MHz 帯低域周波数) において、BER 異常が高ボッチ局及び飯田局で同時に発生するか、について検証するために相関分析を実施した。具体的には、高ボッチ局及び飯田局における日単位の BER 異常発生時間を 30 日ごとに集計して、前述した相関係数を求めるための計算式 (数式 5.5-1) を用いて相関係数を求めた。なお、数式 5.5 1 の変数 x は高ボッチ局における BER 異常の発生時間を、変数 y は飯田局における BER 異常の発生時間を意味する。これを 1 日ずつ移動して相関係数の推移を求め、時系列に並べることにより、毎年夏季に相関が強くなる傾向が示された。集計期間を平成 30 年 6 月 13 日から令和 3 年 10 月 31 日 (期間: 3 年 5 ヶ月) とした時の結果を図

5.5-16 に示す。なお、ダイナミックレンジを大きく取るために、本相関係数の計算には対数による前処理を施して計算している。

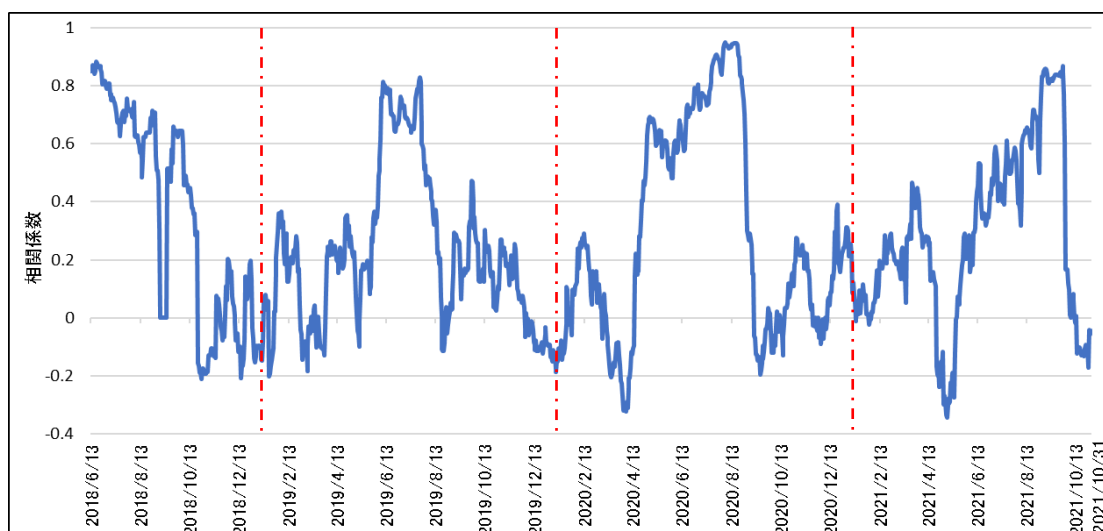


図 5.5-16 高ボッチ局及び飯田局の実運用設備(60MHz 帯低域周波数)における BER 異常の相関係数の推移(30 日間移動集計)

5.5.7 相関分析を用いた検証

高ボッチ局及び飯田局に設置されている実運用局設備(60MHz 帯低域周波数)及び実験試験局設備(60.305MHz)において、不定期に BER 異常が発生していることが確認されたことから、実運用局設備及び実験試験局設備並びに高ボッチ局及び飯田局の BER 異常発生の同時性を検証するために相関分析を実施した。得られた結果から発生状況をパターン分類し、それぞれについて発生源の推測を実施した。

5.5.7.1 実運用設備と実験試験設備での相関係数の検証

高ボッチ局及び飯田局に設置されている実運用局設備(60MHz 帯低域周波数)及び実験試験局設備(60.305MHz)において、BER 異常の発生時間(秒)を1時間単位で集計し、前述した数式 5.5-1 を用いて相互の相関を求めた。高ボッチ局及び飯田局に設置されている実運用設備及び実験試験設備におけるそれぞれの発生履歴について相関が分かるように図 5.5-17 に示す。

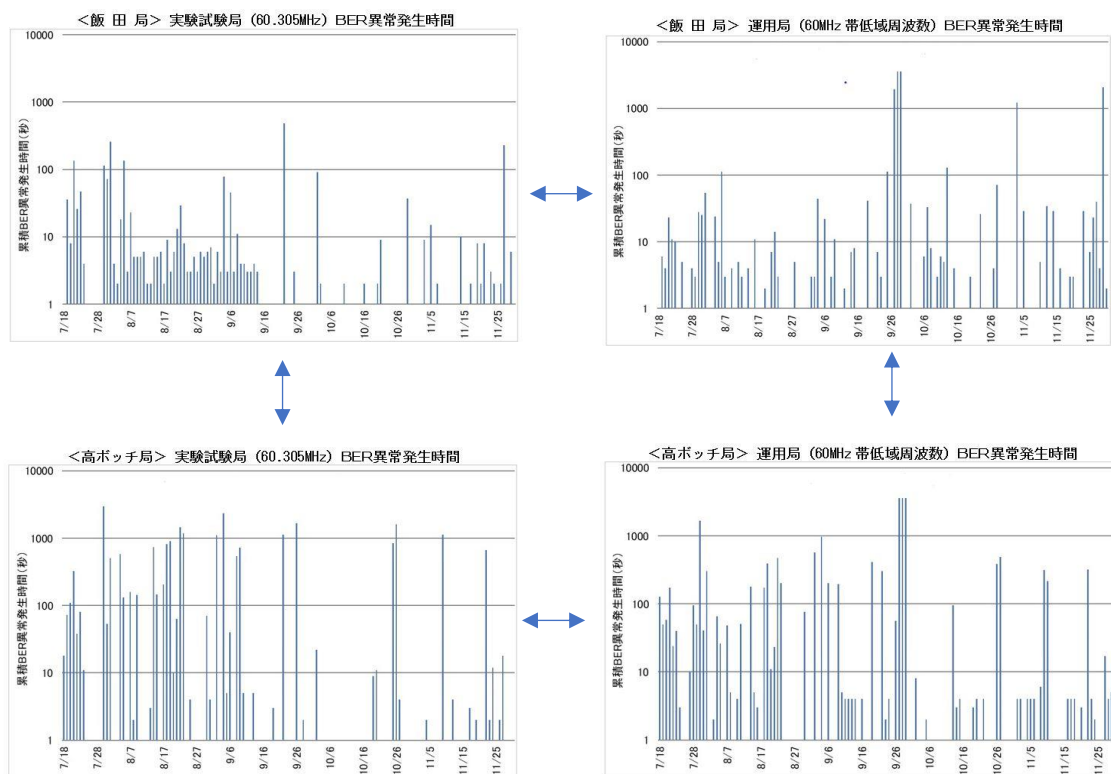


図 5.5-17 BER 異常の発生時間のそれぞれの履歴

5.5.7.2 結果集計

令和3年7月18日から11月30日までの相関係数を求め集計表を作成し、この中から相関係数が0.4以上の場合について有意検定を行い、有意水準が5%を下回る場合を“相関あり”と判定した。集計結果を表5.5-5に示す。表中、相関があると判断される場合は赤太字で記載した。

【補足】相関計数の有意検定

求めた相関計数が統計的に有意であるかについて、帰無仮説（無相関であるとする）を立てて検定を行った。検定はエクセルの分析ツールから帰無仮説が起こる確率を求め、これと有意水準とを比較した。有意水準は仮説を棄却する確率を指し、5%以下で生じる現象は非常に稀であるとされている。このことから、有意水準5%以下の相関係数は無相関である可能性は極めて低く、有意であると言える。

5.5.7.3 相関係数のパターン分類

前記した表 5.5-5 から、BER 異常の発生パターンを 6 つに分類した。結果を表 5.5-6 に示す。

表 5.5-6 BER 異常の発生パターン(6 分類)

分類	説明
パターン 1 (飯田局 単独)	飯田局に設置されている実験試験局設備 (60.305MHz) と実運用局設備 (60MHz 帯低域周波数) に相関が高い
パターン 2 (高ボッチ局 単独)	高ボッチ局に設置されている実験試験設備 (60.305MHz) と実運用局設備 (60MHz 帯低域周波数) に相関が高い
パターン 3 (両局 単独)	飯田局及び高ボッチ局に設置されている実験試験局設備 (60.305MHz) と実運用局設備 (60MHz 帯低域周波数) の相関は高いが、局間での相関は低い
パターン 4 (両局 ①設備)	飯田局及び高ボッチ局に設置されている実運用局設備 (60MHz 帯低域周波数) に相関が高い
パターン 5 (両局 ②設備)	飯田局及び高ボッチ局に設置されている実験試験局設備 (60.305MHz) に相関が高い
パターン 6 (両局、両設備)	飯田局及び高ボッチ局に設置されている実験試験局設備 (60.305MHz) と実運用局設備 (60MHz 帯低域周波数) の相関が高く、局間での相関も高い

①実運用局設備 (60MHz 帯低域周波数) /②実験試験局設備 (60.305MHz)

・パターン 1 (飯田局 単独)

飯田局に設置されている実運用局設備 (60MHz 帯低域周波数) と実験試験局設備 (60.305MHz) にだけ相関が高いパターンである。測定期間におけるパターン 1 の相関が見られた結果を表 5.5-7 に示す。

飯田局に設置されている実運用局設備 (60MHz 帯低域周波数) と実験試験協設備 (60.305MHz) の BER 異常が同時に発生しているが、高ボッチ局における BER 異常との相関が低いことから、飯田局には影響を与えるものの、高ボッチ局には影響を与えないような場所 (例えば飯田局周辺など) に外来雑音の発信源があるものと推測される。また、外来雑音は 55MHz から 60MHz までの帯域に広がっているものと推測される。

表 5.5-7 パターン 1 の相関が見られた結果

	9/8	9/14	9/15	9/25	11/3	11/5	11/14	11/23	11/29
高ボッチ局 ①/②						-0.043		-0.074	
飯田局 ①/②	0.848	0.798	0.684	1.000	0.988	0.930	0.972	0.792	0.879
高ボッチ局/飯田局 ①		-0.058				-0.057		-0.047	-0.060
高ボッチ局/飯田局 ②	-0.138					-0.046	-0.043	-0.067	

太字 (ハッチング) : 相関計数 0.4 以上、かつ有意水準が 5%を下回る場合
①実運用局設備 (60MHz 帯低域周波数) /②実験試験局設備 (60.305MHz)

・パターン2（高ボッチ局 単独）

高ボッチ局に設置されている実運用局設備（60MHz 帯低域周波数）と実験試験局設備（60.305MHz）との相関が高いパターンである。測定期間におけるパターン2の相関が見られた結果を表5.5-8に示す。

高ボッチ局に設置されている実運用局設備（60MHz 帯低域周波数）と実験試験局設備（60.305MHz）のBER異常が同時に発生しているが、飯田局におけるBER異常との相関が低いことから、外来波の発信源は高ボッチ局には影響を与えるものの、飯田局には影響を与えないような場所（例えば高ボッチ局周辺など）に外来雑音の発信源があるものと推測される。また、外来雑音は55MHzから60MHzまでの帯域に広がっているものと推測される。

表 5.5-8 パターン2の相関が見られた結果

	8/14	8/18	8/19	8/20	8/30	9/2	9/10	9/19
高ボッチ局 ①/②	0.601	0.539	0.894	0.964	0.965	0.896	0.749	0.535
飯田局 ①/②	-0.122		-0.109			-0.109		
高ボッチ局/飯田局 ①	-0.047		-0.045			-0.067		-0.053
高ボッチ局/飯田局 ②	-0.051	-0.128	0.251	0.048	0.022	-0.068	-0.143	

	9/22	10/26	10/27	11/9	11/12	11/22	11/26
	0.861	1.000	1.000	0.998	0.943	0.967	0.557
	-0.060				-0.053		0.285
	-0.050				-0.053		-0.080
	0.388			-0.083	0.189	-0.084	-0.152

太字（ハッチング）：相関計数0.4以上、かつ有意水準が5%を下回る場合
① 実運用局設備（60MHz 帯低域周波数）/②実験試験局設備（60.305MHz）

・パターン3（両局 単独）

高ボッチ局及び飯田局に設置されている実運用局設備（60MHz 帯低域周波数）と実験試験局設備（60.305MHz）のBER異常の相関は高いが、局間での相関は低いパターンである。測定期間におけるパターン3の相関が見られた結果を表5.5-9に示す。

高ボッチ局及び飯田局共に実運用局設備/実験試験局設備の両設備に高い相関があるが、発生時間帯が異なることより局間での相関は低いと思われる。それぞれの局に独立して影響を与える位置に（独立した）発信源があり、同日に偶発的に発生したものではないかと推測されることから、前述したパターン1及びパターン2と同様に分類される。

表 5.5-9 パターン3の相関が見られた結果

	7/21	8/23	9/6	9/6	10/2
高ボッチ局 ①/②	0.966	0.569	0.728	1.000	0.994
飯田局 ①/②	0.963	0.504	0.812	0.524	0.944
高ボッチ局/飯田局 ①	-0.063	-0.080	0.361	-0.052	-0.061
高ボッチ局/飯田局 ②	0.145	-0.167	-0.013	0.040	-0.056

太字（ハッチング）：相関計数 0.4 以上、かつ有意水準が 5%を下回る場合
①実運用局設備（60MHz 帯低域周波数）/②実験試験局設備（60.305MHz）

・パターン4（両局 実運用局設備）

高ボッチ局及び飯田局に設置されている実運用局設備(60MHz 帯低域周波数)に相関が高いパターンである。測定期間におけるパターン 4 の相関が見られた結果を表 5.5-10 に示す。

高ボッチ局と飯田局は 75Km 以上離れているが、双方の設備に同時に影響を与えていることより、外来雑音は上空より広範囲に到来していたものではないか、と推測される。断定はできないが、ひとつの可能性としてスプラディック E 層による異常伝搬の影響と考えることができる。また、実運用局設備だけに影響を与えていることから、一定の帯域幅を持った信号波の可能性が高い。なお、同周波数を運用する無線局としては、国内では函館山の NHK 第 2 放送用アナログ TTL の他、複数の無線局が存在している。

表 5.5-10 パターン4の相関が見られた結果

	8/11	9/27	9/28	9/29
高ボッチ局 ①/②		0.067	-0.352	0.178
飯田局 ①/②	-0.083	0.006		
高ボッチ局/飯田局 ①	1.000	0.799	0.767	0.940
高ボッチ局/飯田局 ②		-0.079		

太字（ハッチング）：相関計数 0.4 以上、かつ有意水準が 5%を下回る場合
①実運用局設備（60MHz 帯低域周波数）/②実験試験局設備（60.305MHz）

・パターン5（両局 実験試験局設備）

高ボッチ局及び飯田局に設置されている実験試験局設備(60.305MHz)に相関が高いパターンである。測定期間におけるパターン 5 の相関が見られた結果を表 5.5-11 に示す。

高ボッチ局と飯田局は 75Km 以上離れているが、双方の設備に同時に影響を与えていることより、パターン 4 と同様にひとつの可能性としてスプラディック E 層による異常伝搬の影響と考えることができる。実験試験局設備だけに影響を与えていることから、一定の帯域幅を持った信号波の可能性が高いが、国内では該当する無線局が存在しないこと

から発信源は国外と推測される。

表 5.5-11 パターン5の相関が見られた結果

	7/24	8/26	9/13	10/3	10/4
高ボッチ局 ①/②	0.116		-0.076		
飯田局 ①/②					
高ボッチ局/飯田局 ①					
高ボッチ局/飯田局 ②	0.963	0.420	0.439	0.891	0.692

太字（ハッチング）：相関計数 0.4 以上、かつ有意水準が 5%を下回る場合
①実運用局設備（60MHz 帯低域周波数）/②実験試験局設備（60.305MHz）

・パターン6（両局 両設備）

高ボッチ局及び飯田局に設置されている実運用局設備（60MHz 帯低域周波数）と実験試験局設備（60.305MHz）との相関が高く、かつ局間での相関も高いパターンである。測定期間におけるパターン6の相関が見られた結果を表5.5-12に示す。

高ボッチ局の実運用局設備/実験試験局設備、及び飯田局の実運用局設備/実験試験局設備に同時に影響を与えていることから、帯域の広い雑音がパターン4及びパターン5と同様にひとつの可能性としてスプラディック E 層によって異常伝搬の影響と考えることができる。一般的な無線設備の信号ではないことから、発信源は国内外のどちらかは不明である。

表 5.5-12 パターン6の相関が見られた結果

	7/19	7/23	7/31	8/5	8/7	8/22	9/4	11/27
高ボッチ局 ①/②	0.862	0.953	0.934	0.973	0.988	0.973	0.919	0.894
飯田局 ①/②	0.834	0.925	0.870	0.667	0.854	0.780	0.895	0.901
高ボッチ局/飯田局 ①	0.432	0.663	0.406	0.852	0.675	0.436	0.701	0.795
高ボッチ局/飯田局 ②	0.526	0.767	0.640	0.692	0.925	0.427	0.526	0.715

太字（ハッチング）：相関計数 0.4 以上、かつ有意水準が 5%を下回る場合
①実運用局設備（60MHz 帯低域周波数）/②実験試験局設備（60.305MHz）

上述した6つBER異常の発生パターンについて、前述した表 5.5-5 に追記した相関係数結果集計表（パターン分類付加）を表 5.5-13 に示す。色区分は以下の通り。

パターン1	飯田局に設置されている実験試験局設備（60.305MHz）と実運用局設備（60MHz 帯低域周波数）に相関が高い。
パターン2	高ボッチ局に設置されている実験試験局設備（60.305MHz）と実運用局設備（60MHz 帯低域周波数）に相関が高い。
パターン3	飯田局及び高ボッチ局に設置されている実験試験局設備（60.305MHz）と実運用局設備（60MHz 帯低域周波数）の相関は高いが、局間での相関は低い。
パターン4	飯田局及び高ボッチ局に設置されている実運用局設備（60MHz 帯低域周波数）に相関が高い。
パターン5	飯田局及び高ボッチ局に設置されている実験試験局設備（60.305MHz）に相関が高い。
パターン6	飯田局及び高ボッチ局に設置されている実験試験局設備（60.305MHz）と実運用局設備（60MHz 帯低域周波数）の相関が高く、局間での相関も高い。

パターン分類による発信源の推測

前記した 6 種類のパターン分類を模式化したイメージを図 5.5-18 及び図 5.5-19 に示す。

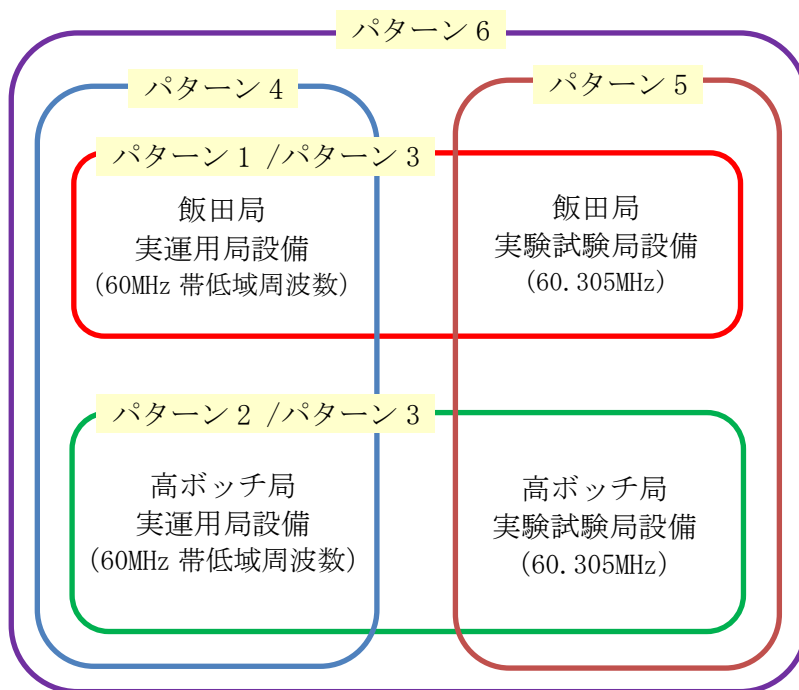


図 5.5-18 外来雑音のパターン分類

- パターン 1 / パターン 3** 飯田局の実運用局設備 (60MHz 帯低域周波数) と実験試験局設備 (60.305MHz) が同時に影響を受けるパターン。飯田局だけに影響を与えていることから、局所的な性質を持つ広帯域な雑音と思われる。パターン 3 もこれに含まれる。
- パターン 2 / パターン 3** 高ボッチ局の実運用局設備 (60MHz 帯低域周波数) と実験試験局設備 (60.305MHz) が同時に影響を受けるパターン。高ボッチ局だけに影響を与えていることから、局所的な性質を持つ広帯域な雑音と思われる。パターン 3 もこれに含まれる。
- パターン 4** 飯田局及び高ボッチ局の実運用局設備 (60MHz 帯低域周波数) が同時に影響を受けるパターン。両局に影響を与えていることから、広範囲に影響を及ぼす性質の雑音と思われる。また、実運用局設備だけに影響を与えていることから、一定の帯域幅を持った信号波の可能性が高く、国内では複数の無線局が同一周波数で運用を行っている。
- パターン 5** 飯田局及び高ボッチ局の実験試験局設備 (60.305MHz) が同時に影響を受けるパターン。両局に影響を与えていることから、広範囲に影響を及ぼす性質の雑音と思われる。また、実験試験局設備だけに影響を与えていたことから、一定の帯域幅を持った信号波の可能性は高いが、国内では該当する無線局が存在しない。
- パターン 6** 飯田局及び高ボッチ局の実運用局設備 (60MHz 帯低域周波数) と実験試験局設備 (60.305MHz) が同時に影響を受けるパターン。両局両設備に影響を与えていることから、広範囲かつ広帯域に影響を及ぼす性質の雑音と思われる。一般的な無線設備の信号でないことから、発信源は国内外のどちらかは不明である。

図 5.5-19 外来雑音のパターン分類の意味付け

外来雑音の推定

前項で示した外来雑音のパターン分類より、外来雑音の地域性に着目すると3つのパターンに分類できる。パターンを表 5.5-14 に示す。

表 5.5-14 外来雑音の3つのパターン(推定)

分類	説明
外来雑音 1	高ボッチ局の実運用局設備 (60MHz 帯低域周波数) だけに影響を与える雑音である。飯田局には影響を与えないことから、高ボッチ局だけに影響を与える局所的な性質を持つ雑音と推測される。
外来雑音 2	飯田局の実運用局設備 (60MHz 帯低域周波数) / 実験試験局設備 (60.305MHz) だけに影響を与える雑音である。高ボッチ局には影響を与えないことから、飯田局だけに影響を与える局所的な性質を持つ雑音と推測される。
外来雑音 3	高ボッチ局及び飯田局の実運用局設備 (60MHz 帯低域周波数) / 実験試験局設備 (60.305MHz) に同時に影響を与える雑音である。広範囲に影響を与えていることから、何らかの異常伝搬により遠方から到来する雑音と推測される。

外来雑音のイメージ図

外来雑音の推定のまとめとして、外来雑音源(場所)についてのイメージを図 5.5-20 に示す。なお、本イメージ図は雑音の発信源について模式化したものであり、実験試験設備の空中線指向特性などについては考慮していない。

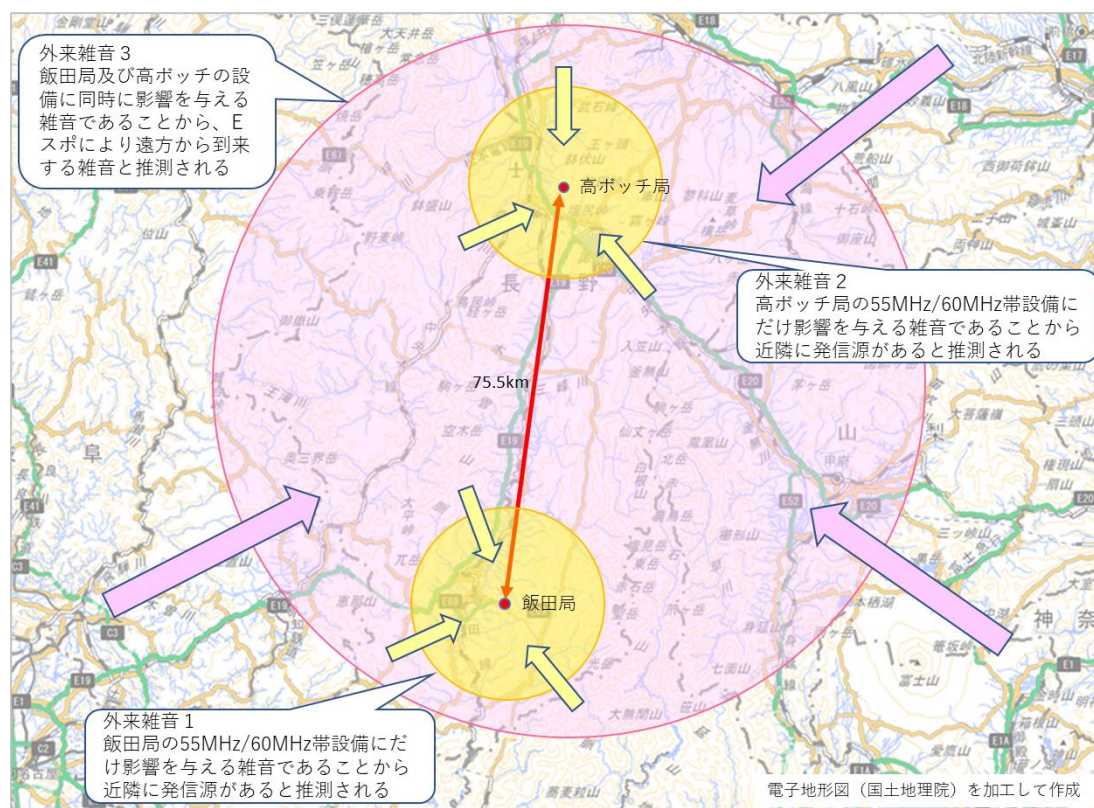


図 5.5-20 外来雑音源(場所)についてのイメージ図

5.5.8 考 察

外来雑音について、統計的手法を用いて、天候との相関、発生曜日・発生時刻との相関、スプラディックE層による伝搬異常との相関、異なる周波数帯におけるBER異常との相関、について検証し、周波数・占有周波数帯幅・変調方式・方向性など外来波の実態把握及び発信源の特定を試みた。しかしながら、外来雑音には3つのパターンがあるものの、不定期的な時間で発生し、突然入感が止まってしまい、外来波の周波数も一定ではないなど不可解な現象から、発信源の特定には至らなかった。

5.6 見通し外通信及び長距離通信(見通し内)の利用シーンに適応する諸条件の検討

5.6.1 検討の目的

本調査により、平時の環境雑音に比べ異常時では最大 30dB 程度上昇変動する異常な外来雑音の存在を確認し、この異常な現象は時折不定期に発生している状況が明らかになった。

そこで測定された異常時の外来雑音量を付加し、以下の条件にて回線計算を実施し、現状の回線が異常時にどれだけの伝送マージンを確保できているのかを求めた。また、得られた結果に対しては、以下に示す基準にて判定を行った。なお、基となる回線計算表は「VHF 帯デジタル STL/TTL の干渉検討¹⁵⁾」の 9 ページを参照した。

5.6.2 回線計算

以下の条件にて、実際に測定された外来雑音の雑音量を付加して回線計算を実施した。

- ・周波数：デジタル方式(4波)；60MHz 帯 A 波(低域周波数)、60.305MHz(実験試験局)、60MHz 帯 B 波(高域周波数)、160MHz 帯アナログ方式(1波)；60MHz 帯 A 波(低域周波数)
- ・伝搬モード：見通し外通信、長距離通信(見通し内)
- ・距離：見通し外通信は 20km、長距離通信(見通し内)は 80km
- ・送信出力：デジタルは 1W 及び 5W、アナログは 10W 及び 50W
- ・送受空中線：5 素子八木空中線
- ・回折損失：20dB
- ・付加雑音：20.8dB(下記計算式を参照)

$$\begin{aligned} \text{付加雑音} &= \text{実際に測定された雑音量}^{*1} + \text{帯域幅補正}^{*2} \\ &\quad - (\text{熱雑音} + \text{外部雑音})^{16} \\ &= -101 + 10 \times \text{Log}(80/3) - (-107.5) = 20.8 \end{aligned}$$

[注釈] *1: 5.4.4.5 に記載した中央値に補正を加えた外来雑音量

*2: 実測値(帯域幅 3KHz)を帯域幅 80KHz に換算

【判定】	伝送マージン < 0dB	×
	0dB ≤ 伝送マージン < 10dB	△
	10dB ≤ 伝送マージン	○

[注釈] 安定した回線品質を維持するために必要なマージン量を 10dB としこれを所要マージンとした。

¹⁵⁾ 「VHF 帯デジタル STL/TTL の干渉検討」情報通信審議会 放送システム委員会 STL/TTL 作業班 平成 27 年 2 月 25 日 資料 STL/TTL 作 3-2 9 ページ

https://www.soumu.go.jp/main_content/000344971.pdf 閲覧 2022/2/14

¹⁶⁾ 『「放送システムに関する技術的条件」のうち「ラジオネットワークの強靱化に関する技術的条件」』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 平成 27 年 7 月 17 日 資料 111-3-2 45 ページ https://www.soumu.go.jp/main_content/000371886.pdf 閲覧 2022/2/14

5.6.3 回線計算結果

5.6.3.1 近距離 20km の見通し外通信

近距離 20km の見通し外通信における回線設計の計算結果を表 5.6-1 に示す。

表 5.6-1 近距離 20km の見通し外通信における回線設計のまとめ

周波数 (MHz)	60MHz 帯 A 波 デジタル方式 (低域周波数) ※1		60.305MHz デジタル方式 (実験試験局) ※1		60MHz 帯 B 波 デジタル方式 (高域周波数) ※2		160MHz 帯 デジタル方式 ※2		60MHz 帯 A 波 アナログ方式 (低域周波数) ※1	
	距離 (km)	20		20		20		20		20
送信出力 (W)	1	5	1	5	1	5	1	5	10	50
回折損失 (dB)	20		20		20		20		20	
異常時の 外来雑音量 (dB)	20.8		20.8		0		0		20.8	
伝送マージン (dB)	-11.1	-4.1	-11.9	-4.9	7.9	14.9	6.8	13.8	-4.7	2.3
判定	×	×	×	×	△	○	△	○	×	△

※1 異常時の外来雑音量有りの仮定で計算

※2 異常時の外来雑音量なしの仮定で計算

【判 定】

(1) デジタル方式 (送信出力 1W)

- 60MHz 帯 A 波 (低域周波数) / 60.305MHz (実験試験局) においては、異常時の外来雑音量を付加すると伝送マージンはマイナスとなることから安定運用は不可。
(判定×)
- 60MHz 帯 B 波 (高域周波数) においては、異常時の外来雑音上昇を 0dB として計算した。伝送マージンは 7.9dB しか得られず、所要マージンの 10dB を下回る。
(判定△)
- 160MHz 帯においては、外来雑音は測定できなかったことから異常時の外来雑音上昇を 0dB として計算した。伝送マージンは 6.8dB しか得られず、所要マージンの 10dB を下回る。
(判定△)

(2) デジタル方式 (送信出力 5W)

- 60MHz 帯 A 波 (低域周波数) / 60.305MHz (実験試験局) においては、異常時の外来雑音量を付加すると送信出力が 5W であっても伝送マージンはマイナスとなることから安定運用は不可。
(判定×)

- ・ 60MHz 帯 B 波 (高域周波数) においては、異常時の外来雑音量上昇を 0dB として計算した。伝送マージンは 14.9dB となり所要マージンの 10dB を上回る。(判定○)
- ・ 160MHz 帯においては、外来雑音は測定できなかったことから、異常時の外来雑音上昇を 0dB として計算した。伝送マージンは 13.8dB となり所要マージンの 10dB を上回る。(判定○)

(3) アナログ方式

- ・ 60MHz 帯 A 波 (低域周波数)・10W 設備においては、異常時の外来雑音量を付加すると伝送マージンはマイナスとなることから運用は不可。
(判定×)
- ・ 50W 設備においては、異常時の外来雑音量を付加すると伝送マージンは 2.3dB しか得られず所要マージンの 10dB を下回る。
(判定△)

5.6.3.2 長距離 80km 通信(見通し内)

長距離 80km 通信 (見通し内) における回線設計の計算結果を表 5.6-2 に示す。

表 5.6-2 長距離 80km 通信(見通し内)における回線設計のまとめ

周波数(MHz)	60MHz 帯 A 波 デジタル方式 (低域周波数) *1		60.305MHz デジタル方式 (実験試験局) ※1		60MHz 帯 B 波 デジタル方式 (高域周波数) ※2		160MHz 帯 デジタル方式 ※2		60MHz 帯 A 波 アナログ方式 (低域周波数) ※1	
	距離(km)	80		80		80		80		80
送信出力(W)	1	5	1	5	1	5	1	5	10	50
回折損失(dB)	0		0		0		0		0	
異常時の 外来雑音量(dB)	20.8		20.8		0		0		20.8	
伝送マージン(dB)	-3.1	3.9	-3.9	3.1	15.9	22.9	14.8	21.8	3.3	10.3
判定	×	△	×	△	○	○	○	○	△	○

※1 異常時の外来雑音量有りの仮定で計算

※2 異常時の外来雑音量なしの仮定で計算

【判 定】

(1) デジタル方式 (送信出力 1W)

- ・ 60MHz 帯 A 波 (低域周波数) /60.305MHz (実験試験局) においては、異常時の外来雑音量を付加すると伝送マージンはマイナスとなることから安定運用は不可。
(判定×)

- ・ 60MHz 帯 B 波（高域周波数）においては、異常時の外来雑音上昇を 0dB として計算した。伝送マージンは 15.9dB となり、所要マージンの 10dB を上回る。

(判定○)

- ・ 160MHz 帯においては、外来雑音は測定できなかったことから、異常時の外来雑音上昇を 0dB として計算した。伝送マージンは 14.8dB となり所要マージンの 10dB を上回る。

(判定○)

(2) デジタル方式（送信出力 5W）

- ・ 60MHz 帯 A 波（低域周波数）/60.305MHz（実験試験局）においては、異常時の外来雑音量を付加すると送信出力が 5W であっても伝送マージンは 3.1dB(60.305MHz)しか得られず、所要マージンの 10dB を下回る。

(判定△)

- ・ 60MHz 帯 B 波（高域周波数）においては、異常時の外来雑音上昇を 0dB として計算した。伝送マージンは 22.9dB となり、所要マージンの 10dB を上回る。

(判定○)

- ・ 160MHz 帯においては、外来雑音は測定できなかったことから、異常時の外来雑音上昇を 0dB として計算した。伝送マージンは 21.8dB となり所要マージンの 10dB を上回る。

(判定○)

(3) アナログ方式

- ・ 60MHz 帯 A 波（低域周波数）・10W 設備においては、異常時の外来雑音量を付加すると伝送マージンは 3.3dB しか得られず所要マージンの 10dB を下回る。

(判定△)

- ・ 50W 設備においては、異常時の外来雑音量を付加しても伝送マージンは 10.3dB となり、所要マージンの 10dB を上回る。

(判定○)

5.6.4 考 察

5.6.4.1 近距離 20km の見通し外通信

【デジタル方式】

60MHz 帯においては、異常時の外来雑音量を付加すると送信出力が 5W であっても伝送マージンはマイナスとなった。また異常時の外来雑音量を付加しない場合であっても送信出力が 1W の場合では 60MHz 帯、160MHz 帯共に所要マージンを下回る結果となった。

上記結果より 20km の見通し外通信（回折損失 20dB）の条件例においては、60MHz 帯に異常時の外来雑音の混入がある場合は、送信出力を 5W としても所要マージンを確保することが難しく、更なる空中線電力の増力か、異常時の外来雑音上昇が確認されていない 160MHz 帯への移行を検討することが望ましい。

【アナログ方式】

異常時の外来雑音量を付加すると 10W 送信では伝送マージンはマイナスとなり、50W 送信でも伝送マージンは 2.3dB しか得られない。この結果より 20km の見通し外通信（回折損失 20dB）の条件例では安定運用のために送信出力は最低でも 50W を確保することが望ましい。

5.6.4.2 長距離 80km 見通し内通信

【デジタル方式】

60MHz 帯においては、異常時の外来雑音量を付加すると送信出力が 1W では伝送マージンはマイナスとなり、送信出力が 5W であっても所要マージンを下回った。また異常時の外来雑音量を付加しない場合は、送信出力が 1W でも 60MHz 帯、160MHz 帯共に所要マージンを上回った。

上記結果より長距離 80km 見通し内通信の条件例においては、60MHz 帯に異常時の外来雑音の混入がある場合は、送信出力を 5W としても所要マージンを確保することが難しく、更なる空中線電力の増力か、異常時の外来雑音上昇が確認されていない 160MHz 帯への移行を検討することが望ましい。

【アナログ方式】

異常時の外来雑音量を付加した場合、10W 送信では所要マージンを下回り、50W 送信では所要マージンを上回った。この結果より長距離 80km 見通し内通信の条件例では安定運用のために送信出力は最低でも 50W を確保することが望ましい。

表 5.6-3 デジタル方式(60MHz 帯 A 波/低域周波数)における回線設計(例)

置局条件		周波数		60MHz 帯 A 波 (低域周波数)			
		距離		20		80	
送信系特性	(1)	空中線出力	W	1	5	1	5
			dBm	30.0	37.0	30.0	37.0
	(2)	空中線利得(5素子)	dB	13			
	(3)	給電線損失	dB	2			
	(4)	その他の損失	dB	1			
受信系特性	(5)	等価等方輻射電力	dBm	40	47	40	47
	(6)	空中線利得(5素子)	dB	13			
	(7)	給電線損失	dB	2			
	(8)	その他の損失	dB	4			
	(9)	受信系総合利得	dB	7			
伝送特性	(10)	自由空間伝搬損失	dB	93.3	93.3	105.3	105.3
	(11)	回折損失	dB	20*	20*	0	0
	(12)	合計伝搬損失	dB	113.3	113.3	105.3	105.3
評価	(13)	受信入力電力	dBm	-66.3	-59.3	-58.3	-51.3
	(14)	熱雑音+外部雑音	dBm	-107.5*			
	(15)	観測された外来雑音の上昇値	dB	20.8			
	(16)	雑音合計	dBm	-86.7			
	(17)	スレッシュホールド C/N	dB	31.5*			
	(18)	所要受信入力電力	dBm	-55.2			
	(19)	伝送マージン	dB	-11.1	-4.1	-3.1	3.9

* 「放送システム委員会諮問第 2023 号ラジオネットワークの強靱化に関する技術的条件」¹⁷から引用

<計算式> (5)=(1)+(2)-(3)-(4)、 (9)=(6)-(7)-(8)、 (12)=(10)+(11)、 (13)=(5)+(9)-(12)、
 (16)=(14)+(15)、 (18)=(16)+(17)、 (19)=(13)-(18)

表 5.6-4 デジタル方式(60.305MHz/実験試験局)における回線設計(例)

置局条件		周波数		60.305 (実験試験局)			
		距離		20		80	
送信系特性	(1)	空中線出力	W	1	5	1	5
			dBm	30.0	37.0	30.0	37.0
	(2)	空中線利得(5素子)	dB	13			
	(3)	給電線損失	dB	2			
	(4)	その他の損失	dB	1			
受信系特性	(5)	等価等方輻射電力	dBm	40	47	40	47
	(6)	空中線利得(5素子)	dB	13			
	(7)	給電線損失	dB	2			
	(8)	その他の損失	dB	4			
	(9)	受信系総合利得	dB	7			
伝送特性	(10)	自由空間伝搬損失	dB	94.1	94.1	106.1	106.1
	(11)	回折損失	dB	20*	20*	0	0
	(12)	合計伝搬損失	dB	114.1	114.1	106.1	106.1
評価	(13)	受信入力電力	dBm	-67.1	-60.1	-59.1	-52.1
	(14)	熱雑音+外部雑音	dBm	-107.5*			
	(15)	観測された外来雑音の上昇値	dB	20.8			
	(16)	雑音合計	dBm	-86.7			
	(17)	スレッシュホールド C/N	dB	31.5*			
	(18)	所要受信入力電力	dBm	-55.2			
	(19)	伝送マージン	dB	-11.9	-4.9	-3.9	3.1

* 「放送システム委員会諮問第 2023 号ラジオネットワークの強靱化に関する技術的条件」から引用

¹⁷ 『「放送システムに関する技術的条件」のうち「ラジオネットワークの強靱化に関する技術的条件」』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(資料 111-3-2) https://www.soumu.go.jp/main_content/000371886.pdf 閲覧 2022/2/16

表 5.6-5 デジタル方式(60MHz 帯 B 波/高域周波数)における回線設計(例)

置局条件		周波数	MHz	60MHz 帯 B 波 (高域周波数)			
		距離		20		80	
送信系特性	(1)	空中線出力	W	1	5	1	5
			dBm	30.0	37.0	30.0	37.0
	(2)	空中線利得(5素子)	dB	13			
	(3)	給電線損失	dB	2			
	(4)	その他の損失	dB	1			
受信系特性	(5)	等価等方輻射電力	dBm	40	47	40	47
	(6)	空中線利得(5素子)	dB	13			
	(7)	給電線損失	dB	2			
	(8)	その他の損失	dB	4			
	(9)	受信系総合利得	dB	7			
伝送特性	(10)	自由空間伝搬損失	dB	95.1	95.1	107.1	107.1
	(11)	回折損失	dB	20*	20*	0	0
	(12)	合計伝搬損失	dB	115.1	115.1	107.1	107.1
評価	(13)	受信入力電力	dBm	-68.1	-61.1	-60.1	-53.1
	(14)	熱雑音+外部雑音	dBm	-107.5*			
	(15)	観測された外来雑音の上昇値	dB	0.0			
	(16)	雑音合計	dBm	-107.5			
	(17)	スレッシュホールド C/N	dB	31.5*			
	(18)	所要受信入力電力	dBm	-76.0			
	(19)	伝送マージン	dB	7.9	14.9	15.9	22.9

* 「放送システム委員会諮問第 2023 号ラジオネットワークの強靱化に関する技術的条件」から引用

表 5.6-6 デジタル方式(160MHz 帯)における回線設計(例)

置局条件		周波数	MHz	160MHz 帯			
		距離		20		80	
送信系特性	(1)	空中線出力	W	1	5	1	5
			dBm	30.0	37.0	30.0	37.0
	(2)	空中線利得(5素子)	dB	13			
	(3)	給電線損失	dB	2			
	(4)	その他の損失	dB	1			
受信系特性	(5)	等価等方輻射電力	dBm	40	47	40	47
	(6)	空中線利得(5素子)	dB	13			
	(7)	給電線損失	dB	2			
	(8)	その他の損失	dB	4			
	(9)	受信系総合利得	dB	7			
伝送特性	(10)	自由空間伝搬損失	dB	103.0	103.0	115.0	115.0
	(11)	回折損失	dB	20*	20*	0	0
	(12)	合計伝搬損失	dB	123.0	123.0	115.0	115.0
評価	(13)	受信入力電力	dBm	-76.0	-69.0	-68.0	-61.0
	(14)	熱雑音+外部雑音	dBm	-114.3*			
	(15)	観測された外来雑音の上昇値	dB	0.0			
	(16)	雑音合計	dBm	-114.3			
	(17)	スレッシュホールド C/N	dB	31.5*			
	(18)	所要受信入力電力	dBm	-82.8			
	(19)	伝送マージン	dB	6.8	13.8	14.8	21.8

* 「放送システム委員会諮問第 2023 号ラジオネットワークの強靱化に関する技術的条件」から引用

表 5.6-7 アナログ方式(60MHz 帯 A 波/低域周波数)における回線設計(例)

置局条件		周波数 距離	MHz km	60MHz 帯 A 波 (低域周波数)			
				20		80	
送信系特性	(1)	空中線出力	W	10	50	10	50
			dBm	40.0	47.0	40.0	47.0
	(2)	空中線利得(5素子)	dB	13			
	(3)	給電線損失	dB	2			
	(4)	その他の損失	dB	1			
受信系特性	(5)	等価等方輻射電力	dBm	50	57	50	57
	(6)	空中線利得(5素子)	dB	13			
	(7)	給電線損失	dB	2			
	(8)	その他の損失	dB	4			
	(9)	受信系総合利得	dB	7			
伝送特性	(10)	自由空間伝搬損失	dB	93.3	93.3	105.3	105.3
	(11)	回折損失	dB	20*	20*	0	0
	(12)	合計伝搬損失	dB	113.3	113.3	105.3	105.3
評価	(13)	受信入力電力	dBm	-56.3	-49.3	-48.3	-41.3
	(14)	熱雑音+外部雑音	dBm	-107.5*			
	(15)	観測された外来雑音の上昇値	dB	20.8			
	(16)	雑音合計	dBm	-86.7			
	(17)	スレッシュホールド C/N	dB	35.1**			
	(18)	所要受信入力電力	dBm	-51.6			
	(19)	伝送マージン	dB	-4.7	2.3	3.3	10.3

* 「放送システム委員会諮問第 2023 号ラジオネットワークの強靱化に関する技術的条件」から引用

** FM 改善係数=14.9dB、所要 S/N=50dB の値

第6章 関係する技術基準の検討

6.1 関係する技術基準の検討

本調査では、平時の環境雑音に比べ異常時では最大 30dB 程度上昇変動する異常な外来雑音が不定期に発生し、その現象により 60MHz 帯デジタル STL/TTL 固定回線の受信に影響を与えていることを確認した。

一方、平時での雑音環境においては、異常雑音の影響を受けることなく安定した運用が行えていることも確認されている。

この異常雑音の現象は、季節的に発生するスプラディック E 層による異常伝搬と季節に関係なく発生する人工的雑音等（自動車、送電線・変電設備、工場、LED、太陽光発電ほか）が複合的に混じり合っているものと想定され、特に季節に関係なく発生する異常雑音については、頻度、月日、曜日、時間帯、気候（気圧、気温、降水量、湿度、日照時間）、方向性等との相互の関係性を見出すことができず、原因の特定が困難な状況となっている。

また、同一周波数でデジタル STL/TTL 回線を使用している福島県、徳島県においても同様の現象が確認されており、今回試験を行った長野県特有の現象とは考え難い状況となっている。

本来は妨害源となる異常雑音を特定し、その原因を排除することが受信障害の対策として望ましい対応であるが、今回調査した現象から妨害源の特定及び排除は容易ではないことから、60MHz 帯デジタル STL/TTL の回線を安定運用するための方策及び技術基準について検討した。

6.1.1 周波数選定

周波数選定及び周波数運用の観点から、現状課題の解決方策として次のとおり検討した。

(1) 周波数選定

現在の周波数割当については、開設する無線局の諸元に基づき与被干渉検討を行い、使用可能な周波数のうち低い周波数から順に選定されている。

今回の現象を踏まえ、予め使用可能な候補周波数について異常雑音の有無を確認する調査を行うなど地域事情に応じて柔軟に周波数選定ができることが望まれる。

(2) 160MHz 帯使用の条件変更

放送番組中継用の回線は、60MHz 帯 14 波を AM・FM 放送事業者に、160MHz 帯 6 波をコミュニティ放送事業者が使用することになっているが、今回の調査結果から、60MHz 帯に比べ 160MHz 帯は雑音量が少なく、60MHz 帯のような雑音の異常上昇

による受信障害は、コミュニティ放送事業者から報告を受けていない。そのことから
も 160MHz 帯を使用する場合は安定運用が可能になるものと考えられる。

そのため、60MHz 帯が異常雑音の影響により受信障害が懸念される場合は、AM・
FM 放送事業者も 160MHz 帯を含め柔軟な周波数選定を可能とすることが望まれる。

なお、今回室内試験を行ったメーカー2社は、160MHz 帯デジタル STL/TTL 装置
をコミュニティ放送事業者に納入しており、その構成は周波数に関するユニット以
外は 60MHz 帯の装置と共通化され、電気的特性は異なる周波数であっても同様な性
能を有していることが確認されており、室内試験の結果からも装置特性の不具合で起
きている現象ではないと考えられる。

(3) アナログ設備とデジタル設備の周波数運用

アナログ設備は送信出力が最大 50W と大きいことから、季節的に発生するスポラ
ディック E 層による異常伝搬は遠方の他の無線局に影響を与え易くなっている。

また、アナログ設備は最大 50W と送信出力が大きいため妨害波との D/U を確保し
易く、外来雑音に対しても FM 変調の特性もあり S/N が劣化することはあっても回線
が途絶えることは極めて少ない。

一方、デジタル設備は変復調方式の特性を活かしアナログ設備より小さい電力でも
忠実に信号を再生する能力を有していることから送信出力の技術基準は最大 5W と
なっている。

これによりデジタル設備は、遠方への飛び出しを抑制することできる反面、想定外
の外来雑音、異常雑音に対する耐性は脆弱であると言える。

現在の周波数利用状況は、従来から使用されている大電力のアナログ設備と新たに
運用が始まった小電力のデジタル設備が同一帯域内で混在して運用している。スポラ
ディック E 層による異常伝搬が原因となるシステム間の干渉を低減する方策として
は、アナログ設備を優先とする周波数とデジタル設備を優先する周波数に分けるなど
の周波数運用の工夫も必要と考えられる。

例えば、アナログ設備は従来通り 60MHz 帯域内の低い周波数から、一方デジタル
設備は雑音量が少なくなる高い周波数から選定するなど柔軟な周波数選定の運用が望
まれる。

6.1.2 回線設計の見直し

回線設計について、現状課題の解決方策として次のとおり見直しを検討した。

60MHz 帯デジタル STL/TTL 回線において異常雑音が発生した場合は、安定運用が期待
できる伝送マージン (10dB) を下回る結果となっている。(5.6 節参照)

現在の技術基準における空中線電力の算出は、回線設計を行い必要なマージンを確保し
たうえで必要最小電力とすることとしている。また、回線設計で用いる雑音レベルは、一

一般的な環境雑音で計算をしており、今回確認された 30dB 程度上昇変動する異常雑音については考慮されていない。

また、今回実施した運用局の障害状況に関する調査において、それぞれの放送事業者からの意見では、空中線電力の増力による受信障害の改善を要望されている。

これらのことから、空中線電力を決める回線設計を実施するにあたり、受信設備を設置する場所の雑音量を長期間測定したうえで、一般的な雑音よりも高いレベルが観測された場合については、その雑音量を付加した条件において回線設計により空中線電力を算出するなど空中線電力の検討についても柔軟な対応が望まれる。

なお、室内試験において外来波干渉特性を確認しており、64QAM 変調においては 20～25dB の D/U が必要になっている。(5.1 節参照) 今回確認された 30dB 程度上昇変動する異常雑音に耐えうる空中線電力を回線設計で求めるとすると一般的な空中線電力を大幅に超えてしまうこともあり、さらに空中線電力を上げることにより E スポなど季節的な異常伝搬において他局に対する影響が大きくなることもあり、慎重に検討することが望ましい。

現在、60MHz 帯を使用するデジタル無線局の空中線電力は表 6.1-1 のとおりとなっており、VHF 帯デジタル放送番組中継については他の無線局に比べ空中線電力は小さい。

表 6.1-1 60MHz 帯を使用するデジタル無線局の空中線電力

無線システム	空中線電力	備考
VHF 帯デジタル放送番組中継	5W 以下	回線設計において空中線電力を算出
デジタル防災行政無線	10W	回線設計において空中線電力を算出
VHF 帯加入者系無線システム	10W 以下	

6.1.3 その他の技術基準

今回調査検討した結果から、その他の項目について検討を行ったが、標準受信入力及び混信保護値などは現行技術基準を引き続き運用することが望ましい。

第7章 まとめと展望

7.1 調査のまとめ

今回実施した技術試験により、次のことを確認することができた。

(1) 運用局の障害状況に関する調査

- ① 60MHz 帯放送番組中継回線を利用している放送事業者 3 社（長野、福島、徳島）に対しヒアリング調査を実施し、3 社ともに同一の周波数（60MHz 帯低域周波数）を使用して運用しており受信障害を受けている、との回答を得た。
- ② 受信障害の発生頻度に差はあるものの状況は近似しており、3 社とも原因の特定には至っていない。
- ③ 運用に支障を来しており、喫緊の課題として根本的な解決を切望されている。

(2) 伝送遅延による影響及び伝送の質を維持するための諸条件に関する技術試験

- ① 国内 2 社の製品 3 機種について室内実験を実施し、共に技術基準を満足していることを確認した。
- ② 誤り訂正回路の設計基準はメーカー及び機種により異なり、機種 A ではリードソロモン符号、機種 B では LDPC 符号(64QAM)または畳込み符号(QPSK)、機種 C では LDPC 符号が採用されていることを確認した。
- ③ マルチパス対策として等化回路が組み込まれている機種には、等化性能の高いフィードバック型が採用されていることを確認した。
- ③ 受信障害を受けている現象は、送受信装置の単体に要因はないことを確認できた。

(3) 見通し外通信及び長距離通信（見通し内）の利用条件下における長期変動に関する実証実験

- ① 受信レベルについては測定期間中安定しており、BER 異常が発生した時においても受信レベルの大きな変動は観測されなかった。
- ② MER については平時では安定していたが、BER 異常が発生する異常時では BER 異常に連動して MER も低下並びに変動していることを確認した。
- ③ BER については平時では安定していたが、異常状態になると断続的かつ不定期に異常が発生しており、原因は外来雑音によるものであることを確認した。
- ④ 平時の外来雑音が異常上昇していない状態では、回線品質も安定運用ができており、その際は BER 及び MER の値も安定していることを確認した。

(4) 域外の他の固定区間に対するオーバーリーチ干渉に関する実証実験

- ① 見通し外通信、及び見通し内通信ともにほぼ計算通りの電波伝搬特性となっており、回折損失を含め電界強度は概ね理論値どおりであることを確認した。
 - ② 送信出力を減力すると、それに応じて受信レベルも低下しており、異常伝搬は発生していないことを確認した。
 - ③ 自局以外の他の無線局への与干渉検討においても理論値で計算することにより、平時については問題ないことを確認した。
- (5) 電波雑音の影響に関する調査
- ① 60MHz 帯のうち、運用局に割り当てられている低域周波数及び実験試験局 (60.305MHz) の周波数においては、頻度の差はあるものの季節的に関係なく年間を通して外来雑音の混入を確認した。
 - ② 受信した外来雑音は、帯域幅 1MHz を超えるほど広く頻繁に電波の ON/OFF を繰り返していることを確認した (連続変調とは異なる。)
 - ③ 電波の ON/OFF のピッチは測定された日時及び場所により異なる現象を確認した。このことから、外来雑音の発信源は複数存在する可能性も考えられる。
 - ④ 受信した外来雑音は、通常状態の雑音レベルに対し最大で約 30dB 高いものであった。
 - ⑤ 上記の外来雑音の他、夏季に特定の周波数にのみ混入する外来波の存在が確認された。発生の時期、観測状況から推測すると、スプラディック E 層による異常伝搬が考えられる。
 - ⑥ 本調査の期間内において、160MHz 帯における外来雑音の混入は見られなかった。
 - ⑦ 観測した外来雑音の増加量は、Rec. ITU-R P.372-15 に示されている都市雑音 (住宅地-116dBm/3kHz) より 15dB 程度高い値であった。
 - ⑧ BER 異常と天候との関係を分析したが、相関関係は見受けられなかった。
 - ⑨ BER 異常は比較的土日に多く発生する傾向が確認されたが、他の曜日にも頻度は少ないが発生している。
 - ⑩ 周波数及び設置場所をパラメータとする相関関係を分析し、BER 異常発生のパターンを 6 つに分類した。
 - ⑪ 上述した 6 つの BER 異常発生パターンについて整理し、外来雑音の到達状況を地域性に着目し 3 つのパターンに分類した。
 - ⑫ 本調査では、不定期に発生する外来雑音の発信源の特定には至らなかったが、平時と異常時における受信状況や外来雑音の挙動傾向を把握することができた。
- (6) 見通し外通信及び長距離通信 (見通し内) の利用シーンに適応する諸条件の検討
<回折損失 20dB の見通し外通信例>
- ① デジタル方式
 - ・ 外来雑音の混入がある場合は、送信出力が 5W でも伝送マージンはマイナスとなる。

- ・ 外来雑音の混入がない場合であっても、送信出力が 1 W では 60MHz 帯、160MHz 帯共に所要マージンを下回り、5W の場合は上回る。

② アナログ方式

- ・ 外来雑音の混入がある場合は、送信出力が 10W では伝送マージンはマイナスとなり、50W の場合でも伝送マージンは 2.3dB しか得られない。

< 80km 長距離通信（見通し内）例 >

① デジタル設備

- ・ 外来雑音の混入がある場合は、送信出力が 5 W でも所要マージンを下回る。
- ・ 外来雑音の混入がない場合は、送信出力が 1 W でも 60MHz 帯 160MHz 帯共に所要マージンを上回る。

② アナログ設備

- ・ 外来雑音の混入がある場合は、送信出力が 10W では所要マージンを下回り、50W の場合は上回る。

7.2 技術基準の検討

今回実施した調査検討の結果、本来は妨害源となる異常雑音を特定し、その原因を排除することが受信障害の対策として望ましいが、同一周波数でデジタル STL/TTL 回線を使用している福島県、徳島県においても同様の現象が確認されていることから長野県特有の現象とは考え難く、また、同帯域を運用している防災行政無線等においても同類の特定できない高雑音障害が確認されているとの情報もあり、同帯域全般において特定が難しい異常雑音が発生しているものと考えられる。

これらの現象から妨害源の特定及び排除は容易ではないことから、60MHz 帯デジタル STL/TTL の回線を安定運用するための方策及び技術基準について検討した。

(1) 外来雑音源の特定調査

今回の調査検討では、雑音源の特定までには至らなかったが、季節的に発生するスプラディック E 層による異常伝搬と季節に関係なく発生する人工的雑音等の影響が原因と考えられる。60MHz 帯を使用する無線局の安定運用のためには妨害源の特定と排除により解決ができるものと考えられる。

そのため、まずは雑音源の特定を行うための総務省における電波監視の調査等何らかの対応により長期間かつ多地域で調査を実施することが望まれる。

(2) 周波数割当の検討

現在の周波数割当については、開設する無線局の諸元に基づき与被干渉検討を行い、使用可能な周波数候補のうち低い周波数から順に選定されている。

今回の現象を踏まえ、予め使用可能な候補周波数について異常雑音の有無を確認する調査を行うなど地域事情に応じて柔軟に周波数選定ができることが望まれる。

(3) 160MHz 帯使用の条件変更

160MHz 帯は雑音量が少なく、60MHz 帯のような雑音の異常上昇による受信障害は発生していない。そのため、60MHz 帯が異常雑音の影響により受信障害が懸念される場合は、AM・FM 放送事業者も 160MHz 帯を含め柔軟な周波数選定を可能とすることが望まれる。

(4) アナログ設備とデジタル設備の周波数運用

従来から使用されている大電力のアナログ設備と新たに運用が始まった小電力のデジタル設備が同一帯域内で混在して運用していることから、スプラディック E 層による異常伝搬等のシステム間の干渉を低減する方策としては、アナログ設備を優先する周波数とデジタル設備を優先する周波数など周波数運用の工夫も必要と考えられる。

例えば、アナログ設備は従来通り 60MHz 帯域内の低い周波数から、一方、デジタル設備は雑音量が少なくなる高い周波数から選定するなど柔軟な周波数選定の運用が望まれる。

(5) 回線設計の見直し

回線設計を実施するにあたり、受信設備を設置する場所の雑音量を長期間測定したうえで、一般的な雑音よりも高いレベルが観測された場合については、その雑音量を付加した条件において回線設計により空中線電力を算出するなど、回線設計の見直しによる空中線電力の算出方法について柔軟な対応が望まれる。

7.3 今後の検討課題

今回調査検討した 60MHz 帯デジタル STL/TTL は、その電波伝搬特性を活かしマイクロ波帯では実現が困難となる見通し外通信又は長距離通信（見通し内）が利用可能であることに加え、デジタル技術により占有周波数帯幅 96kHz の狭い帯域で FM ステレオ放送や FM 同期放送を実現できるものである。

この 60MHz 帯デジタル STL/TTL は、長野県の信越放送株式会社、福島県の株式会社ラジオ福島、徳島県の四国放送株式会社の 3 事業者 4 回線が運用しており、今回の調査検討のなかで運用実態を確認したところ、音声への雑音障害や伝送信号の劣化による放送システムの運用支障が時々生じている現象をすべての事業者で確認するとともに、当該事業者から原因究明と改善対策を切望する意見を頂戴した。

今回の調査検討では、実機による装置性能評価や実験試験局を開設し長期変動に関する実証実験及び電波雑音の調査など 8 項目について実施し、平常時の雑音に比べ 30dB 高い雑音増加が発生する現象を把握するとともに受信障害との因果関係を確認することができた。

また、異常雑音については、長期変動調査のなかで規則性の無い不定期に発生する異常雑音の現象を確認するとともに、取得した膨大なデータから時間変化や気候変化など多角的な

原因分析を進めたが、季節的に発生するスプラディック E 層による異常伝搬と人工的雑音等が混じり合い影響を与えていると想定できるものの特定の相関関係や雑音源を見出すことはできなかった。

しかしながら、今回調査検討を実施したことにより、60MHz 帯デジタル STL/TTL 装置の基本性能の正常性を確認するとともに、平常時では安定運用ができていないこと、不定期かつ瞬間的な異常雑音の発生時に限り受信障害が起こること、また 160MHz 帯では同類の現象が無いことなど、60MHz 帯デジタル STL/TTL 特有の課題を明らかにすることができたとと言える。

また、異常雑音の現象は調査を実施した長野県だけに留まらず、頻度や影響度合いは異なるものの福島県や徳島県でも同じ現象が存在していることも明らかにすることができた。

本来は、このような妨害源を特定したうえで、その原因を排除し、良好な電波環境の確保を行うことが望ましいが、現在運用を行っている放送事業者にとっては受信障害の解消が喫緊の課題としていることから、早期の解消策として異常雑音の影響を受けない周波数の選定や 160MHz 帯を含む周波数運用、異常雑音を考慮した回線設計や空中線電力の検討など技術基準について検討を行い、取りまとめることができた。

今後は、今回の調査検討の成果をもとに、いつ発生するか不明で特定が難しい異常雑音の調査やその発生源の排除と合わせ、運用している 60MHz 帯デジタル STL/TTL 回線の安定運用に向けて検討した技術基準の柔軟な運用など早期の改善対策に取り組むことが望まれる。

第8章 参考資料

8.1 調査検討会の開催

8.1.1 開催趣旨

平成 27 年度に制度化された VHF 帯デジタル方式の音声放送番組中継を行う固定局（以下、「デジタル STL/TTL」という。）は、コミュニティ放送事業、中波・超短波放送事業における同期放送及び電波伝搬上等の理由で M・N 帯（6～7GHz 帯）の周波数使用が困難な場合の各中継回線として、利用の増加が想定される。

このうち、60MHz 帯デジタル STL/TTL は現在、FM 補完放送の中継用が運用しているが、山間地等の地理的条件が悪い地域の見通し外通信又は長距離通信（見通し内）の利用条件下において、音声への雑音障害や伝送信号の劣化により放送システムの運用に支障が生じており、原因究明と対策が喫緊の課題となっている。

本調査検討会では、障害原因の追究と改善対策を検討するとともに、利用ニーズ（利用シーン）に対応する諸条件と技術基準を整理するための技術的検討を行うことにより、60MHz 帯の周波数を有効利用するための方策・技術的条件の策定に資することを目的として検討を行う。

8.1.2 設置要綱

1 名称

この調査検討会は、「60MHz 帯放送番組中継回線の利用促進のための周波数有効利用技術に関する調査検討会」（以下「調査検討会」という。）と称する。

2 目的

本調査検討会は、放送番組中継を行う 60MHz 帯放送番組中継回線の利用促進を図るため、60MHz 帯デジタル STL^{*1}/TTL^{*2}無線局の運用局における障害原因の追究及び改善方策の検討並びに見通し外通信及び長距離通信（見通し内）の利用ニーズ（利用シーン）に対応する諸条件と技術基準を整理するための技術的検討を行うことにより、当該周波数帯の更なる利用効率向上を目的とする。

^{*1}STL (Studio to Transmitter Link)

: 放送局（演奏所）と親局（送信所）を結ぶ番組中継回線

^{*2}TTL (Transmitter to Transmitter Link)

: 親局（送信所）又は中継局（送信所）と中継局（送信所）を結ぶ番組中継回線

3 調査検討事項

本調査検討会は、2の目的を達成するため、以下の項目に係る調査検討を行う。

- (1) 運用局の障害状況に関する調査
- (2) 伝送遅延による影響及び伝送の質を維持するための諸条件に関する技術試
- (3) 見通し外通信及び長距離通信（見通し内）の利用条件下における長期変動に関する実証実験
- (4) 域外の他の固定区間に対するオーバーリーチ干渉に関する実証実験
- (5) 電波雑音の影響に関する調査
- (6) 見通し外通信及び長距離通信（見通し内）の利用シーンに適応する諸条件の検討
- (7) 関係する技術基準の検討
- (8) その他付随する事項

4 構成

調査検討会の構成は、次のとおりとする。

- (1) 調査検討会は、信越総合通信局長から委嘱を受けた構成員により構成する。
- (2) 調査検討会に、座長1名及び座長代理1名を置く。
- (3) 座長は、構成員の互選によって選出する。
- (4) 座長は、調査検討会を代表し、会務を総理する。
- (5) 座長は、構成員の中から座長代理を指名する。
- (6) 座長代理は、座長を補佐し、座長に事故あるとき又は座長が欠けたときは、その職務を代理する。
- (7) 調査検討会には、必要に応じ構成員以外の者の参加を認めることができる。

5 運営

調査検討会の運営は、次のとおりとする。

- (1) 調査検討会は、座長が招集し、主宰する。座長が不在の場合にあつては、座長代理がこれを行う。
- (2) 構成員は、調査検討会を審議し運営する。
- (3) 調査検討会は、必要に応じ構成員以外の者から意見を徴することができる。
- (4) 調査検討会は、必要に応じ電子メール等による運営を行う。
- (5) その他、運営に関して必要な事項は、座長が別に定める。

6 設置期間

調査検討会の設置期間は、設置の日から令和4年3月31日までとする。

7 事務局

調査検討会の事務局は、信越総合通信局 情報通信部 放送課に設置する。

8 その他

- (1) 会議の実施にあたり、新型コロナウイルス感染拡大防止の観点から招集が困難な場合は Web 会議形式にて行う。なお、Web 会議は、システムの負荷軽減のため非公開で実施する。
- (2) 調査検討会における調査検討事項に関する成果を公表、利用等するときは、あらかじめ信越総合通信局の承認を得るものとする。

- (3) 調査検討会の成果物に関する権利（調査検討結果を記した報告書等）は、信越総合通信局に帰属する。

附 則

この要綱は、令和3年5月13日から施行する。

8.1.3 会議の公開及び個人情報の取扱い等について

1 会議の公開について

「60MHz 帯放送番組中継回線の利用促進のための周波数有効利用技術に関する調査検討会」（以下「検討会」という。）の会議は、原則として公開とします。

ただし、公開することにより当事者又は第三者の権利及び利益並びに公共の利益を害するおそれがある場合、委員間の率直な意見の交換が損なわれるおそれがある場合、新型コロナウイルス感染拡大防止の観点から Web 形式で行う会議、その他座長が必要と認める場合については、非公開とします。

2 会議で使用した資料の取扱い

本検討会の会議で使用した資料は、原則として公開とします。

ただし、公開することにより当事者又は第三者の権利及び利益並びに公共の利益を害するおそれがあるもの、委員間の率直な意見の交換が損なわれるおそれがあるもの、非公開の会議で使用したもの、その他座長が必要と認めるものについては、非公開とします。

3 個人情報の取扱いについて

個人情報の取り扱いについて、事務局で保有している個人情報については本検討会を遂行する目的で連絡用に使用させていただくこととし、目的以外には使用いたしません。

各委員の皆様の所属、役職、氏名につきましては、報告書及びプレスリリースに使用させていただくことがあります。

4 メーリングリストの作成について

本検討会の実施に際して、事務局からの連絡、構成員の意見交換を行う必要があることから、メーリングリストを作成することとします。

本調査検討会事務の外部請負会社である株式会社 NHK テクノロジーズのシステムを利用することとします。

メーリングリストについては、構成員のほか関係者のアドレスを登録させていただきますので、ご了承をお願いいたします。

8.1.4 構成員名簿

(敬称略)

氏名	所属法人名	所属部署	役職
石井 光昭	株式会社日立国際電気	モノづくり統括本部 プロダクト本部 ハードウェア設計部	
板垣 翔	R F デザイン株式会社		営業技術
岩下 裕孝	日本通信機株式会社	システム部	執行役員 主管部長
唐澤 和茂	日本無線株式会社	ソリューション事業部 無線インフラ技術部 放送機システムグループ	グループ長
川島 修	株式会社エフエム東京	管理本部 技術局	執行役員 技術局長
佐々木重信	国立大学法人新潟大学	工学部 工学科 電子情報通信プログラム	教授
笹森 文仁	国立大学法人信州大学	工学部 電子情報システム工学科	教授
佐藤 俊宏	株式会社 MTS&プランニング	メディア事業部	部長
佐藤 智英	長野エフエム放送株式会社	技術部	技術部長
鈴木 康一	東芝インフラシステムズ株式会社	府中事業所 放送・ネットワークシステム部	フェロー
成清 善一	日本放送協会	技術局 計画管理部	副部長
丸山 活輝	信越放送株式会社	技術局	技術局長*1 テクニカルアドバイザー*2
脇屋 雄介	一般社団法人 日本コミュニティ放送協会	(長岡移動電話システム株式会社 (FM ながおか) 代表取締役社長)	技術顧問

*1 令和3年7月まで

*2 令和3年8月から

8.1.5 オブザーバ及び事務局

(敬称略)

氏名	所属法人名	所属部署	役職
関口 健	R F デザイン株式会社		営業技術
堀内 政貴	信越放送株式会社	技術局	主任
渡辺 貴之	総務省 情報流通行政局	放送技術課	課長補佐
奥井 雅博	総務省 情報流通行政局	放送技術課 音声計画係	係長
羽鳥 裕	総務省 情報流通行政局	放送技術課 音声計画係	係員

<事務局>

- ・総務省 信越総合通信局 情報通信部 放送課
- ・株式会社 NHK テクノロジーズ (事務局請負業者)

8.1.6 調査検討会の開催状況

「60MHz 帯放送番組中継回線の利用促進のための周波数有効利用技術に関する調査検討会」の開催状況は、以下のとおりである。

開催日	会合名	主な内容
令和3年5月13日	第1回調査検討会 (Web会議)	・調査検討会の設置について ・調査検討会の実施内容について ・実施概要 ・進め方
令和3年12月6日	第2回調査検討会 (Web会議)	・調査検討項目の実施結果について (中間報告)
令和4年3月7日	第3回調査検討会 (Web会議)	・調査検討報告 (実務者会議の検討報告) ・報告書(案)の確認

8.1.7 実務者会議の開催

調査検討会を円滑に推進するため、実務者会議により具体的な検討作業を行うこととした。実務者会議は、学識経験者、メーカー、放送事業者、同調査検討会の事務局となる総務省信越総合通信局情報通信部放送課及び技術試験を実施する株式会社 NHK テクノロジーズにより構成され、検討テーマに応じて調査検討会事務局から適宜参加を依頼した。

8.1.7.1 実務者会議の構成員とオブザーバ

(敬称略)

構成員氏名	所属法人名	所属部署	役職
石井 光昭	株式会社日立国際電気	モノづくり統括本部 プロダクト本部 ハードウェア設計部	
板垣 翔	R F デザイン株式会社		営業技術
岩下 裕孝	日本通信機株式会社	システム部	執行役員 主管部長
唐澤 和茂	日本無線株式会社	ソリューション事業部 無線インフラ技術部 放送機システムグループ	グループ長
佐々木 重信	国立大学法人新潟大学	工学部 工学科 電子情報通信プログラム	教授
笹森 文仁	国立大学法人信州大学	工学部 電子情報システム工学科	教授
鈴木 康一	東芝インフラシステムズ株式会社	府中事業所 放送・ネットワークシステム部	フェロー
成清 善一	日本放送協会	技術局 計画管理部	副部長
丸山 活輝	信越放送株式会社	技術局	テクニカル アドバイザー
オブザーバ	所属法人名	所属部署	役職
堀内 政貴	信越放送株式会社	技術局	主任
渡辺 貴之	総務省 情報流通行政局	放送技術課	課長補佐
奥井 雅博	総務省 情報流通行政局	放送技術課 音声計画係	係長
羽鳥 裕	総務省 情報流通行政局	放送技術課 音声計画係	係員

<事務局>

- ・ 総務省 信越総合通信局 情報通信部 放送課
- ・ 株式会社 NHK テクノロジーズ (事務局請負業者)

8.1.7.2 実務者会議の開催状況

開催日	会合名	主な内容
令和4年1月27日	第1回実務者会議 (Web会議)	<ul style="list-style-type: none">・利用状況・受信障害状況調査結果・外来雑音調査、解析結果・検討の取りまとめの方向性
令和4年2月28日	第2回実務者会議 (Web会議)	<ul style="list-style-type: none">・報告書(案)について

8.2 運用局の障害状況に関する調査

「60MHz 帯デジタル STL/TTL 運用局の受信障害に関する調査」の実施に際して、依頼した資料（記載帳票）は以下のとおりである。

60MHz 帯放送番組中継回線をご利用の放送事業者の皆様へ	令和 4 年 1 月 13 日 NHKテクノロジーズ
放送番組中継回線の利用状況および受信障害状況調査へのお願い	
平素は、大変お世話になっております。	
弊社は、放送番組中継回線の利用促進のための周波数有効利用技術に関する調査検討 ¹ について総務省信越総合通信局様より請け負って調査を進めております。	
60MHz 帯デジタル放送番組中継回線については平成28年5月に制度化され、貴放送局におかれましても同無線回線を導入され運用されていることと存じます。	
この 60MHz 帯デジタル放送番組中継回線の運用につきましては、何らかの影響により回線品質が不安定になり、BER エラー等が発生したことがある、もしくは BER エラーが頻繁に発生しお困りになられている、などの報告が寄せられております。	
そのため本調査検討においては、これらの事象の把握と改善対策の検討に向けて広く情報を収集するため、貴放送局における利用状況および受信障害状況について調査させて頂きたく、ご協力をよろしくお願いいたします。	
・回答について： 添付ヒアリング項目の用紙(エクセルファイル)にご記入いただき弊社事務局までメールにてご返送下さいませようお願い申し上げます	
・調査締切り： 大変急で申し訳ございませんが令和4年1月 21日までをお願いいたします。	
・返送先： NHKテクノロジーズ 担当事務局宛 (本メールの CC に記載した社内メーリングリストを含めてご返信を願います)	
皆様から頂戴いたしますヒアリング内容を踏まえまして、現状を把握するとともに、検討すべき事項・課題などを整理し、技術的条件の見直し等の検討を行いたいと思っております。	
是非ともご協力を賜りたく、何卒よろしくお願い申し上げます。	
[情報の取り扱いについて]	
本調査で知り得た情報は、本調査検討以外に使用いたしません。また、調査検討会で使用した資料は原則として公開することになっておりますが、本件に限っては非公開の扱いとします	
以上	

¹ 「60MHz 帯放送番組中継回線の利用促進のための周波数有効利用技術に関する調査検討会」
<https://www.soumu.go.jp/soutsu/shinetsu/sbt/infonet/infonet332.html>

会社名: _____

No	項目・ご回答
I. 放送番組中継回線の利用状況について	
・ 60MHz帯デジタル放送番組中継回線のご利用状況についてお教えてください。	
①回線種別	<input type="checkbox"/> :デジタル、 <input type="checkbox"/> :アナログ、 <input type="checkbox"/> :デジタル/アナログ両方 ※選択してください ※デジタル/アナログ両方の場合は、以下②以降の内容は”デジタル”についてご記入をお願いします。
②使用する周波数	_____MHz ※数値をご記入ください
③送信電力	_____W (ERP: _____W) ※数値をご記入ください
④偏波面	<input type="checkbox"/> :水平、 <input type="checkbox"/> :垂直 ※選択してください
⑤送信地点 (緯度・経度) _____、 _____ (地上高) _____m	※数値をご記入ください ・送信装置 メーカー名: _____、機種名: _____ ※可能な範囲で結構です ・アンテナ種別・素子数 _____ ※数値をご記入ください
⑥受信地点1 (緯度・経度) _____、 _____ (地上高) _____m	※数値をご記入ください ・伝送路の区分 <input type="checkbox"/> :見通し、 <input type="checkbox"/> 見通し外 ※選択してください <input type="checkbox"/> :近距離20km以内、 <input type="checkbox"/> 中距離50km以内、 <input type="checkbox"/> 遠距離100km以内 ・受信装置 メーカー名: _____、機種名: _____ ※可能な範囲で結構です ・アンテナ種別・素子数 _____ ※数値をご記入ください
受信地点2 (緯度・経度) _____、 _____ (地上高) _____m	※数値をご記入ください ・伝送路の区分 <input type="checkbox"/> :見通し、 <input type="checkbox"/> 見通し外 ※選択してください <input type="checkbox"/> :近距離20km以内、 <input type="checkbox"/> 中距離50km以内、 <input type="checkbox"/> 遠距離100km以内 ・受信装置 メーカー名: _____、機種名: _____ ※可能な範囲で結構です ・アンテナ種別・素子数 _____ ※数値をご記入ください
受信地点3 (緯度・経度) _____、 _____ (地上高) _____m	※数値をご記入ください ・伝送路の区分 <input type="checkbox"/> :見通し、 <input type="checkbox"/> 見通し外 ※選択してください <input type="checkbox"/> :近距離20km以内、 <input type="checkbox"/> 中距離50km以内、 <input type="checkbox"/> 遠距離100km以内 ・受信装置 メーカー名: _____、機種名: _____ ※可能な範囲で結構です ・アンテナ種別・素子数 _____ ※数値をご記入ください
⑦運用状況	<input type="checkbox"/> :常時運用(予備: _____)、 <input type="checkbox"/> 予備運用 ※選択してください ※”常時運用”を選択された方は、無線回線のほかに予備回線を使われていればその種別をカッコ内にご記入ください。
⑧その他、特筆すべき点がございましたらご記入ください。	

II. 運用局の受信障害の状況について	
・ 60MHz/160MHz帯放送番組中継回線の運用時の受信障害の発生状況についてお教えてください。	
①障害の発生状況 □:よく発生している、 □:たまに発生している、 □:発生していない ※選択してください 以下は、“よく発生している”、もしくは“たまに発生している”とお答え頂いた方にお伺いします。	
②障害の状況についてお教えてください。 ・障害状況(程度/内容/頻度) ・発生傾向(季節・時間)、想定される原因(電離層異常伝搬、フェージング、外来雑音など) [昨年の障害発生状況]	
III. その他、ご意見、ご要望等について	
その他、ご意見があればお知らせください。	

8.3 概要のまとめにおける補足事項

8.3.1 技術基準の検討に関する効果等

7.2 節において、60MHz 帯デジタル STL/TTL の回線を安定運用するための方策及び技術基準について、今回実施した調査検討の結果を 5 項目にとりまとめたが、ここでは、これら 5 項目について、検討項目ごとに想定される取組み主体、得られる効果、及び導入のし易さ（難易度）について補足して説明する。また、結果を表 8.3-1 に整理した。

① 外来雑音源の特定調査

雑音源を特定することにより根本原因が除去されることから効果は高い。一方、本調査検討で明らかになったように、雑音源の特定は極めて難しいことから導入の難易度も高い。

② 周波数の選定（周波数変更）

事前調査（ヒアリング）により外来雑音の実態を把握し、回避できることから効果は高い。また、導入の難易度については数日から数週間にわたる現地調査を伴うものの、特段の制約もないことから難易度は低い。

③ 160MHz 帯使用条件の変更

当該周波数帯域において外来雑音は確認されなかったことから効果は高い。しかし、割り当てチャンネルの数が少ないこと、また既存無線局との調整が必要であることなどを考慮し、①と同様に導入の難易度は高い。

④ アナログ設備とデジタル設備の周波数運用

アナログ波はあまねく全国において全 16 波が既に運用されており、この状況において運用ルールを変えることは極めて難しいと思われる。将来、AM 放送の FM 転換が進み周波数状況に変化があれば検討することが望まれる。

⑤ 回線設計の見直し

外来雑音のレベルが変動することより、回線設計の見直しを行ったうえで空中線電力の増力を検討しても一律に増力による効果があるとは言えない。したがって、回線設計の見直しを行ったうえでの空中線電力の効果は低い（限定的）としたが、現在の周波数のままで運用できる雑音レベルであれば、空中線電力を増力することで改善が期待できることから、導入の難易度は低い。

表 8.3-1 技術基準の検討に関する効果

項目	想定される 取組み主体	効果	導入の し易さ	補足説明
① 外来雑音源の特定 調査	総務省ほか	◎	△	不定期頻度で発生する異常雑音については特定が 困難。長期間・多地点での調査対応が必要でコス トもかかる。
② 周波数の選定調査	総務省、 放送事業者	◎	○	使用可能な周波数の選定については、総務省及び 放送事業者が連携し、既存無線局との与被干渉の 検討をするとともに、数日間の雑音調査を実施す ることが望ましい。 (可能であれば春から初夏にかけて)
③ 160MHz 帯使用条件 の変更	総務省	◎	△	160MHz 帯は6波と波数が少ないため、既存使用が ある場合は割当が困難
④ アナログとデジタル の周波数運用	総務省	△	△	60MHz 帯の周波数 14 波について、全国でまんべ んなく使用していることから、運用状態の中で新た なルールを設けることは難しい。AM 放送の FM 転 換等現在の周波数利用状況に変化があった場合に 検討する。
⑤ 回線設計の見直し	総務省、 放送事業者	△	○	異常雑音のレベルによって十分な効果が得られな いなど度合いが異なるため、現地確認を行った後 で、検討を行うことが良い。

凡例	効果	◎ ~ △	導入のし易さ	○ ~ △
		大きい ~ 小さい		やり易い ~ やり難い

※ なお、現在運用中の無線局は、ラジオ難聴解消事業の助成を受けて整備・運用し
 ている関係から、改善対策に取り組む場合は、変更手続きなど総務省からの支援
 が望まれる。

8.3.2 改善対策に向けての優先順位等

改善対策に向けての優先順位について、表 8.3-2 に示す。

本来であれば、雑音原因を特定しそれを除去することが最優先とされるべきところであ
 るが、実証実験の結果から発信源を特定することは極めて困難であり、原因の究明まで
 は相当の時間を要することが想定される。また、このような場合は周波数割当方針を
 変更することが望ましいが、現時点において既に障害が発生しており、当該周波数帯
 を使用している運用事業者にとっては、障害の対策が喫緊の課題となっている状
 況を踏まえ、コスト効果及び導入性の視点から優先順位を設定した。

(1) 新規開設の場合

周波数の選定を優先順位の 1 とし、雑音状況を把握した上で優先順位の 2 として回
 線設計の見直しを行ったうえで空中線電力の検討を行うことが望ましい。また、
 60MHz 帯に適切な周波数の空きがない場合は優先順位の 3 として 160MHz 帯を
 検討するとした。

(2) 運用中の設備変更の場合

既設設備では、割当て周波数の変更を伴わない空中線電力の検討を優先順位の1とした。回線設計の見直しを行ったうえで空中線電力の増力を検討しても改善が期待されない場合は、優先順位の2として60MHz帯での周波数変更を検討することとし、この検討でも改善が望めない場合は優先順位の3として160MHz帯への移行を検討するとした。

表 8.3-2 改善対策に向けての優先順位

項目	新規開設				運用中設備変更			
	優先順位	コスト	効果	導入性	優先順位	コスト	効果	導入性
① 外来雑音源の特定調査	—	△	◎	△	—	△	◎	△
② 周波数の選定(周波数変更)	優先1	○	◎	◎	優先2	△	◎	○
③ 160MHz帯使用条件の変更	優先3	◎	◎	△	優先3	△	◎	△
④ アナログ設備とデジタル設備の周波数運用	将来検討	○	△	△	将来検討	△	△	△
⑤ 回線設計の見直し	優先2	○	△	◎	優先1	○	△	◎

凡例

コスト	◎ ~ ○ ~ △	効果	◎ ~ △
	少ない ~ 多い		効果大 ~ 効果少
導入性	◎ ~ ○ ~ △		
	容易 ~ 困難		

8.4 図表一覧

8.4.1 図の説明

図番	タイトル	簡単な説明	頁
図 2.2-1	60MHz 帯の周波数割当状況	図 2.2 1 は、60MHz 帯の周波数割当状況を示す。	4
図 2.2-2	160MHz 帯の周波数割当状況	図 2.2 2 は、160MHz 帯の周波数割当状況を示す。	4
図 2.4-1	伝送モデルのイメージ	図 2.4 1 は、伝送モデルのイメージを示し、標準モデル、長距離モデル及び多段ルートに分類される。	7
図 5.1-1	技術試験実施風景	図 5.1 1 は、60MHz 帯デジタル STL/TTL 送信装置及び受信装置の屋内技術試験における技術試験実施風景写真である。	18
図 5.1-2	干渉波形（一例）（左図：周波数帯域幅、右図：スプリアス[帯域外領域]）、左図：周波数帯域幅	図 5.1 2 は、60MHz 帯デジタル STL/TTL 送信装置及び受信装置の屋内技術試験における干渉波形の一例のスペクトラムアナライザの画面であり、左図は周波数帯域幅を、右図は帯域外領域のスプリアスの画面写真を示す。	18
図 5.1-3	スペクトラムマスク（左図：機種 A、中央図：機種 B、右図：機種 C）	図 5.1 3 は、60MHz 帯デジタル STL/TTL 送信装置及び受信装置の屋内技術試験におけるスペクトラムマスクであり、左図は機種 A を、中央図は機種 B を、右図は機種 C のスペクトラムマスクをそれぞれ示す。	19
図 5.1-4	機種 A の C/N 対 BER 特性(64QAM)（左図：入力レベル=-60dB、右図：入力レベル=-50dB）	図 5.1 4 は、機種 A における 64QAM の時の C/N 対 BER 特性のグラフであり、左図は入力レベルが-60dBm の時、右図は入力レベルが-50dBm の時のグラフを示す。	21
図 5.1-5	機種 B の C/N 対 BER 特性(64QAM)（左図：入力レベル=-60dB、右図：入力レベル=-50dB）	図 5.1 5 は、機種 B における 64QAM の時の C/N 対 BER 特性のグラフであり、左図は入力レベルが-60dBm の時、右図は入力レベルが-50dBm の時のグラフを示す。	21
図 5.1-6	機種 B の C/N 対 BER 特性(64QAM)（左図：入力レベル=-60dB、右図：入力レベル=-50dB）	図 5.1 6 は、機種 B における QPSK の時の C/N 対 BER 特性のグラフであり、左図は入力レベルが-60dBm の時、右図は入力レベルが-50dBm の時のグラフを示す。	21
図 5.1-7	機種 C の C/N 対 BER 特性(64QAM)（左図：入力レベル=-60dB、右図：入力レベル=-50dB）	図 5.1 7 は、機種 C における 64QAM の時の C/N 対 BER 特性のグラフであり、左図は入力レベルが-60dBm の時、右図は入力レベルが-50dBm の時のグラフを示す。	22
図 5.1-8	各機種の C/N 対 BER 特性の比較（左図：入力レベル=-60dBm、右図：入力レベル=-50dB）	図 5.1 8 は、各機種の C/N 対 BER 特性のグラフであり、左図は入力レベルが-60dBm の時、右図は入力レベルが-50dBm の時のグラフを示す。	22
図 5.1-9	機種 A の C/N 対 MER 特性(64QAM)（左図：入力レベル=-60dB、右図：入力レベル=-50dB）	図 5.1 9 は、機種 A における 64QAM の時の C/N 対 MER 特性のグラフであり、左図は入力レベルが-60dBm の時、右図は入力レベルが-50dBm の時のグラフを示す。	23
図 5.1-10	機種 B の C/N 対 MER 特性(64QAM)（左図：入力レベル=-60dB、右図：入力レベル=-50dB）	図 5.1 10 は、機種 B における 64QAM の時の C/N 対 MER 特性のグラフであり、左図は入力レベルが-60dBm の時、右図は入力レベルが-50dBm の時のグラフを示す。	23
図 5.1-11	機種 B の C/N 対 MER 特性(QPSK)（左図：入力レベル=-60dBm、右図：入力レベル=-50dB）	図 5.1 11 は、機種 B における QPSK の時の C/N 対 MER 特性のグラフであり、左図は入力レベルが-60dBm の時、右図は入力レベルが-50dBm の時のグラフを示す。	23
図 5.1-12	機種 C の C/N 対 MER 特性(64QAM)（左図：入力レベル=-60dB、右図：入力レベル=-50dB）	図 5.1 12 は、機種 C における 64QAM の時の C/N 対 MER 特性のグラフであり、左図は入力レベルが-60dBm の時、右図は入力レベルが-50dBm の時のグラフを示す。	24
図 5.1-13	機種 A の受信電力対 BER 特性(64QAM)	図 5.1 13 は、機種 A における 64QAM の時の受信電力 対 BER 特性のグラフを示す。	24
図 5.1-14	機種 B の受信電力対 BER 特性(64QAM)	図 5.1 14 は、機種 B における 64QAM の時の受信電力 対 BER 特性のグラフを示す。	24
図 5.1-15	機種 B の受信電力対 BER 特性(QPSK)	図 5.1 15 は、機種 B における QPSK の時の受信電力 対 BER 特性のグラフを示す。	25
図 5.1-16	機種 C の受信電力対 FER 特性(64QAM)	図 5.1 16 は、機種 C における 64QAM の時の受信電力 対 FER 特性のグラフを示す。	25
図 5.1-17	各機種の受信電力対 BER/FER 特性	図 5.1 17 は、各機種の受信電力 対 BER 特性及び FER 特性のグラフを示す。	25
図 5.1-18	機種 A の受信電力対 MER 特性(64QAM)	図 5.1 18 は、機種 A における 64QAM の時の受信電力 対 MER 特性のグラフを示す。	26
図 5.1-19	機種 B の受信電力対 MER 特性(64QAM)	図 5.1 19 は、機種 B における 64QAM の時の受信電力 対 MER 特性のグラフを示す。	26
図 5.1-20	機種 B の受信電力対 MER 特性(QPSK)	図 5.1 20 は、機種 B における QPSK の時の受信電力 対 MER 特性のグラフを示す。	27

図番	タイトル	簡単な説明	頁
図 5.1 21	機種 C の受信電力対 MER 特性 (64QAM)	図 5.1 21 は、機種 C における 64QAM の時の受信電力 対 MER 特性のグラフを示す。	27
図 5.1-22	各機種の受信電力対 MER 特性	図 5.1 22 は、各機種の受信電力 対 MER 特性のグラフを示す。	287
図 5.1-23	機種 A のマルチパス除去特性 (64QAM)	図 5.1 23 は、機種 A における 64QAM の時のマルチパス除去特性のグラフを示す。	28
図 5.1-24	機種 B のマルチパス除去特性 (64QAM)	図 5.1 24 は、機種 B における 64QAM の時のマルチパス除去特性のグラフを示す。	28
図 5.1-25	機種 B のマルチパス除去特性 (QPSK)	図 5.1 25 は、機種 B における QPSK の時のマルチパス除去特性のグラフを示す。	28
図 5.1-26	機種 C のマルチパス除去特性 (64QAM)	図 5.1 26 は、機種 C における 64QAM の時のマルチパス除去特性のグラフを示す。	29
図 5.1-27	各機種のマルチパス除去特性	図 5.1 27 は、各機種のマルチパス除去特性のグラフを示す。	29
図 5.2-1	実験試験局の送受信地点の位置関係	図 5.2-1 は、実験試験局の送受信地点の位置関係を示す地図であり、美ヶ原を送信地点とし、高ボッチと飯田を受信地点として示している。	33
図 5.2-2	プロファイル (美ヶ原局～高ボッチ局)	図 5.2-2 は、美ヶ原局と高ボッチ局との間の地形的高低を示すプロファイル図である。	33
図 5.2-3	プロファイル (美ヶ原局～飯田局)	図 5.2-3 は、美ヶ原局と飯田局との間の地形的高低を示すプロファイル図である。	34
図 5.2-4	実験系統図	図 5.2-4 は、実験試験局を用いた屋外実証実験の実験系統図である。	34
図 5.2-5	屋外実証実験で使用した 60MHz 帯送受信空中線の指向性特性と周波数特性	図 5.2-5 は、屋外実証実験で使用した 60MHz 帯送受信空中線の指向性特性と周波数特性を示す図である。	35
図 5.2-6	送信装置のアンテナ設置状況 (長野県松本市 美ヶ原局)	図 5.2-6 は、実験試験局を用いた屋外実証実験の送受信装置の設置状況を示す図のうち、長野県松本市の美ヶ原局に設置した送信装置のアンテナ設置写真である。	36
図 5.2-7	送信装置の送信機器設置状況 (長野県松本市 美ヶ原局)	図 5.2-7 は、実験試験局を用いた屋外実証実験の送受信装置の設置状況を示す図のうち、長野県松本市の美ヶ原局に設置した送信装置の送信機器設置写真である。	36
図 5.2-8	受信装置のアンテナ設置状況 (長野県塩尻市 高ボッチ局)	図 5.2-8 は、実験試験局を用いた屋外実証実験の送受信装置の設置状況を示す図のうち、長野県塩尻市の高ボッチ局に設置した受信装置のアンテナ設置写真である。	37
図 5.2-9	受信装置の受信機器設置状況 (長野県塩尻市 高ボッチ局)	図 5.2-9 は、実験試験局を用いた屋外実証実験の送受信装置の設置状況を示す図のうち、長野県塩尻市の高ボッチ局に設置した送信装置の受信機器設置写真である。	37
図 5.2-10	受信装置のアンテナ設置状況 (長野県飯田市 飯田局)	図 5.2-10 は、実験試験局を用いた屋外実証実験の送受信装置の設置状況を示す図のうち、長野県飯田市の飯田局に設置した受信装置のアンテナ設置写真である。	38
図 5.2-11	受信装置の受信機器設置状況 (長野県飯田市 飯田局)	図 5.2-11 は、実験試験局を用いた屋外実証実験の送受信装置の設置状況を示す図のうち、長野県飯田市の飯田局に設置した送信装置の受信機器設置写真である。	38
図 5.2-12	受信レベルのヒストグラム (高ボッチ局、測定期間：令和 3 年 7 月 18 日～11 月 30 日)	図 5.2-12 は、高ボッチ局で受信した信号レベルのヒストグラムである。測定期間は令和 3 年 7 月 18 日から 11 月 30 日までである。	40
図 5.2-13	受信レベルの累積比率分布 (高ボッチ局、測定期間：令和 3 年 7 月 18 日～11 月 30 日)	図 5.2-13 は、高ボッチ局で受信した信号レベルの累積比率分布図であり、50%値は約-63.0dBm、10%～90%値は約 0.6dB である。測定期間は令和 3 年 7 月 18 日から 11 月 30 日までである。	40
図 5.2-14	受信レベルのヒストグラム (飯田局、測定期間：令和 3 年 6 月 23 日～11 月 30 日)	図 5.2-14 は、飯田局で受信した信号レベルのヒストグラムである。測定期間は令和 3 年 6 月 23 日から 11 月 30 日までである。	41
図 5.2-15	受信レベルの累積比率分布 (飯田局、測定期間：令和 3 年 6 月 23 日～11 月 30 日)	図 5.2-15 は、飯田局で受信した信号レベルの累積比率分布図であり、50%値は約-57.1dBm、10%～90%値は約 1.0dB である。測定期間は令和 3 年 6 月 23 日から 11 月 30 日までである。	41
図 5.2-16	MER 変動特性 (高ボッチ局)	図 5.2-16 は、高ボッチ局で受信した信号について令和 3 年 6 月 23 日から 11 月 30 日までの MER 変動特性を示すグラフである。	42
図 5.2-17	MER 変動特性 (飯田局)	図 5.2-17 は、飯田局で受信した信号について令和 3 年 6 月 23 日から 11 月 30 日までの MER 変動特性を示すグラフである。	42
図 5.2-18	BER 異常発生累積時間 (高ボッチ局)	図 5.2-18 は、高ボッチ局で受信した信号について令和 3 年 6 月 23 日から 11 月 30 日までの BER 異常発生累積時間を示すグラフである。	43
図 5.2 19	BER 異常発生累積時間 (飯田局)	図 5.2 19 は、飯田局で受信した信号について令和 3 年 6 月 23 日から 11 月 30 日までの BER 異常発生累積時間を示すグラフである。	44

図番	タイトル	簡単な説明	頁
図 5.2-20	BER 異常発生累積時間（発生時刻別、高ボッチ局、測定期間：令和3年7月18日～11月30日）	図 5.2-20 は、高ボッチ局で受信した信号について 0 時から 24 時までの 1 時間単位での発生時間別 BER 異常発生累積時間を秒で示すグラフである。測定期間は令和3年7月18日から11月30日までである。	44
図 5.2-21	BER 異常発生累積時間（発生時刻別、飯田局、測定期間：令和3年6月23日～11月30日）	図 5.2-21 は、飯田局で受信した信号について 0 時から 24 時までの 1 時間単位での発生時間別 BER 異常発生累積時間を秒で示すグラフである。測定期間は令和3年6月23日から11月30日までである。	44
図 5.2-22	BER/MER 受信特性（高ボッチ局、正常時、測定日：令和3年9月1日）	図 5.2-22 は、高ボッチ局で受信した信号について 0 時から 24 時までの発生時間別に BER 変動特性と MER 変動特性を示すグラフである。このグラフは BER が正常の時のものである。	45
図 5.2-23	受信レベル特性（高ボッチ局、正常時、測定日：令和3年9月1日）	図 5.2-23 は、高ボッチ局で受信した信号について 0 時から 24 時までの発生時間別に受信レベル変動特性を示すグラフである。このグラフは BER が正常の時のものである。	45
図 5.2-24	BER/MER 受信特性（高ボッチ局、異常時、測定日：令和3年9月2日）	図 5.2-24 は、高ボッチ局で受信した信号について 0 時から 24 時までの発生時間別に BER 変動特性と MER 変動特性を示すグラフである。このグラフは BER が異常の時のものであり、未明から早朝に掛けて BER 異常と MER の低下が発生していることが分かる。	46
図 5.2-25	受信レベル特性（高ボッチ局、異常時、測定日：令和3年9月2日）	図 5.2-25 は、高ボッチ局で受信した信号について 0 時から 24 時までの発生時間別に受信レベル変動特性を示すグラフである。このグラフは BER が異常の時のものであるが、受信レベルの変動はほとんど見られない。	46
図 5.2-26	BER/MER 受信特性（飯田局、正常時、測定日：令和3年9月1日）	図 5.2-26 は、飯田局で受信した信号について 0 時から 24 時までの発生時間別に BER 変動特性と MER 変動特性を示すグラフである。このグラフは BER が正常の時のものである。	47
図 5.2-27	受信レベル特性（飯田局、正常時、測定日：令和3年9月1日）	図 5.2-27 は、飯田局で受信した信号について 0 時から 24 時までの発生時間別に受信レベル変動特性を示すグラフである。このグラフは BER が正常の時のものである。グラフ中、未明において変動が見られるがこれはフェージングの影響によるものと推定される。	47
図 5.2-28	BER/MER 受信特性（飯田局、異常時、測定日：令和3年9月4日）	図 5.2-28 は、飯田局で受信した信号について 0 時から 24 時までの発生時間別に BER 変動特性と MER 変動特性を示すグラフである。このグラフは BER が異常の時のものであり、未明から早朝、及び夕刻に掛けて BER 異常と MER の低下が発生していることが分かる。	48
図 5.2-29	受信レベル特性（飯田局、異常時、測定日：令和3年9月4日）	図 5.2-29 は、飯田局で受信した信号について 0 時から 24 時までの発生時間別に受信レベル変動特性を示すグラフである。このグラフは BER が異常の時のものであるが、受信レベルの大きな変動は見られない。	48
図 5.2-30	BER 異常発生時間（令和3年7月、高ボッチ局）	図 5.2-30 は、高ボッチ局における BER 異常発生時間を示すグラフであり、本グラフは令和3年7月に測定したデータをグラフ化したものである。なお、x 軸は日にち、y 軸は時間、z 軸は時間当たりの累計発生時間（単位は秒）を示す。	49
図 5.2-31	BER 異常発生時間（令和3年8月、高ボッチ局）	図 5.2-31 は、高ボッチ局における BER 異常発生時間を示すグラフであり、本グラフは令和3年8月に測定したデータをグラフ化したものである。	49
図 5.2-32	BER 異常発生時間（令和3年9月、高ボッチ局）	図 5.2-32 は、高ボッチ局における BER 異常発生時間を示すグラフであり、本グラフは令和3年9月に測定したデータをグラフ化したものである。	50
図 5.2-33	BER 異常発生時間（令和3年10月、高ボッチ局）	図 5.2-33 は、高ボッチ局における BER 異常発生時間を示すグラフであり、本グラフは令和3年10月に測定したデータをグラフ化したものである。	50
図 5.2-34	BER 異常発生時間（令和3年11月、高ボッチ局）	図 5.2-34 は、高ボッチ局における BER 異常発生時間を示すグラフであり、本グラフは令和3年11月に測定したデータをグラフ化したものである。	50
図 5.2-35	BER 異常発生時間（令和3年6月、飯田局）	図 5.2-35 は、飯田局における BER 異常発生時間を示すグラフであり、本グラフは令和3年6月に測定したデータをグラフ化したものである。	51
図 5.2-36	BER 異常発生時間（令和3年7月、飯田局）	図 5.2-36 は、飯田局における BER 異常発生時間を示すグラフであり、本グラフは令和3年7月に測定したデータをグラフ化したものである。	52
図 5.2-37	BER 異常発生時間（令和3年8月、飯田局）	図 5.2-37 は、飯田局における BER 異常発生時間を示すグラフであり、本グラフは令和3年8月に測定したデータをグラフ化したものである。	52

図番	タイトル	簡単な説明	頁
図 5.2-38	BER 異常発生時間 (令和3年9月、飯田局)	図 5.2-38 は、飯田局における BER 異常発生時間を示すグラフであり、本グラフは令和3年9月に測定したデータをグラフ化したものである。	52
図 5.2-39	BER 異常発生時間 (令和3年10月、飯田局)	図 5.2-39 は、飯田局における BER 異常発生時間を示すグラフであり、本グラフは令和3年10月に測定したデータをグラフ化したものである。	53
図 5.2-40	BER 異常発生時間 (令和3年11月、飯田局)	図 5.2-40 は、飯田局における BER 異常発生時間を示すグラフであり、本グラフは令和3年11月に測定したデータをグラフ化したものである。	53
図 5.3-1	高ボッチ局後方における測定地点及び測定データ (測定日: 令和3年10月7日)	図 5.3-1 は、高ボッチ局の後方における測定地点及び測定データを地図上に示した図である。	56
図 5.3-2	飯田局後方における測定地点及び測定データ (測定日: 令和3年10月8日)	図 5.3-2 は、飯田局の後方における測定地点及び測定データを地図上に示した図である。	57
図 5.4-1	潜在波測定における測定系統図	図 5.4-1 は、電波雑音の影響に関する調査における潜在波測定のための測定系統図である。	59
図 5.4-2	高ボッチ局における機器設置状況 (左図: 設置した広域空中線、右図: 測定用スペクトラムアナライザ)	図 5.4-2 は、高ボッチ局における機器設置状況を示す写真であり、左図は設置した広域空中線の写真、また右図は測定用に設置したスペクトラムアナライザの写真である。	59
図 5.4-3	飯田局における機器設置状況 (左図: 設置した広域空中線、右図: 測定用スペクトラムアナライザ)	図 5.4-3 は、飯田局における機器設置状況を示す写真であり、左図は設置した広域空中線の写真、また右図は測定用に設置したスペクトラムアナライザの写真である。	60
図 5.4-4	60MHz 帯における潜在波の測定結果 (高ボッチ局、測定日: 9月28日)	図 5.4-4 は、高ボッチ局における 60MHz 帯における潜在波の測定結果を示し、図面上段は長期測定画面を、下段は瞬時測定画面を示す。瞬時測定画面には 58MHz 付近から 63MHz 付近に掛けて 3つの潜在波を確認することができる。	60
図 5.4-5	60MHz 帯における潜在波の測定結果 (飯田局、測定日: 令和3年9月19日)	図 5.4-5 は、飯田局における 60MHz 帯における潜在波の測定結果を示し、図面上段は長期測定画面を、下段は瞬時測定画面を示す。瞬時測定画面には 56MHz 付近から 68MHz 付近に掛けて多くの潜在波を確認することができる。	61
図 5.4-6	160MHz 帯に潜在波の測定結果 (高ボッチ局、測定日: 令和3年9月28日)	図 5.4-6 は、高ボッチ局における 160MHz 帯における潜在波の測定結果を示し、図面上段は長期測定画面を、下段は瞬時測定画面を示す。瞬時測定画面には 160MHz から 170MHz において潜在波は確認されていない。	61
図 5.4-7	160MHz 帯に潜在波の測定結果 (飯田局、測定日: 令和3年9月19日)	図 5.4-7 は、飯田局における 160MHz 帯における潜在波の測定結果を示し、図面上段は長期測定画面を、下段は瞬時測定画面を示す。瞬時測定画面には 160MHz から 170MHz において 165.5MHz 付近に 1波の潜在波を確認することができる。	62
図 5.4-8	外来雑音測定における測定系統図	図 5.4-8 は、電波雑音の影響に関する調査における外来雑音測定のための測定系統図である。	63
図 5.4-9	外来雑音測定環境 (左図: 高ボッチ局における状況、右図: 飯田局における状況)	図 5.4-9 は、外来雑音測定における機器設置状況を示す写真であり、左図は高ボッチ局における状況、また右図は飯田局における状況を示す写真である。	63
図 5.4-10	外来雑音のキャプチャデータの解析環境	図 5.4-10 は、高ボッチ局もしくは飯田局で測定した外来雑音のキャプチャデータを解析する機器の写真である。	63
図 5.4-11	正常時の信号解析波形 1 (スペクトラム波形、高ボッチ局、測定日: 令和3年7月20日)	図 5.4-11 は、高ボッチ局で受信した信号における、正常時の信号解析波形のうちスペクトラム波形の写真である。	64
図 5.4-12	正常時の信号解析波形 2 (スペクトログラム (解析時間5秒)、高ボッチ局、測定日: 令和3年7月20日)	図 5.4-12 は、高ボッチ局で受信した信号における、正常時の信号解析波形のうち5秒間解析したスペクトログラムの写真である。	64
図 5.4-13	正常時の信号解析波形 3 (コンスタレーション波形、高ボッチ局、測定日: 令和3年7月20日)	図 5.4-13 は、高ボッチ局で受信した信号における、正常時の信号解析波形のうちコンスタレーション波形の写真である。	65
図 5.4-14	正常時の信号解析波形 4 (遅延プロファイル、高ボッチ局、測定日: 令和3年7月20日)	図 5.4-14 は、高ボッチ局で受信した信号における、正常時の信号解析波形のうち遅延プロファイルの写真である。	65
図 5.4-15	外来雑音受信時の信号解析波形 1 (スペクトラム波形、高ボッチ局、測定日: 令和3年9月22日)	図 5.4-15 は、高ボッチ局で受信した信号における、BER が異常の時の信号解析波形のうちスペクトラム波形の写真である。全体に信号が盛り上がっていることを確認できる。	66

図番	タイトル	簡単な説明	頁
図 5.4-16	外来雑音受信時の信号解析波形 2 (スペクトログラム (解析時間 5 秒)、高ボッチ局、測定日: 令和 3 年 9 月 22 日)	図 5.4-16 は、高ボッチ局で受信した信号における、BER が異常の時の信号解析波形のうち 5 秒間解析したスペクトログラムの写真である。断続的な雑音を確認できる。	66
図 5.4-17	外来雑音受信時の信号解析波形 3 (コンスタレーション波形、高ボッチ局、測定日: 令和 3 年 9 月 22 日)	図 5.4-17 は、高ボッチ局で受信した信号における、BER が異常の時の信号解析波形のうちコンスタレーション波形の写真である。コンスタレーション波形が乱れていることを確認できる。	67
図 5.4-18	外来雑音受信時の信号解析波形 4 (遅延プロファイル、高ボッチ局、測定日: 令和 3 年 9 月 22 日)	図 5.4-18 は、高ボッチ局で受信した信号における、BER が異常の時の信号解析波形のうち遅延プロファイルの写真である。山形の波形が多数重なり合っていることを確認できる。	67
図 5.4-19	正常時の信号解析波形 1 (スペクトラム波形、飯田局、測定日: 令和 3 年 9 月 4 日)	図 5.4-19 は、飯田局で受信した信号における、正常時の信号解析波形のうちスペクトラム波形の写真である。	68
図 5.4-20	正常時の信号解析波形 2 (スペクトログラム (解析時間 5 秒)、飯田局、測定日: 令和 3 年 9 月 4 日)	図 5.4-20 は、飯田局で受信した信号における、正常時の信号解析波形のうち 5 秒間解析したスペクトログラムの写真である。	68
図 5.4-21	正常時の信号解析波形 3 (コンスタレーション波形、飯田局)	図 5.4-21 は、飯田局で受信した信号における、正常時の信号解析波形のうちコンスタレーション波形の写真である。	69
図 5.4-22	正常時の信号解析波形 4 (遅延プロファイル、飯田局、測定日: 令和 3 年 9 月 4 日)	図 5.4-22 は、飯田局で受信した信号における、正常時の信号解析波形のうち遅延プロファイルの写真である。	69
図 5.4-23	外来雑音受信時の信号解析波形 1 (スペクトラム波形、飯田局、測定日: 令和 3 年 9 月 4 日)	図 5.4-23 は、飯田局で受信した信号における、BER が異常の時の信号解析波形のうちスペクトラム波形の写真である。全体に信号が盛り上がっていることを確認できる。	70
図 5.4-24	外来雑音受信時の信号解析波形 2 (スペクトログラム (解析時間 5 秒)、飯田局、測定日: 令和 3 年 9 月 4 日)	図 5.4-24 は、飯田局で受信した信号における、BER が異常の時の信号解析波形のうち 5 秒間解析したスペクトログラムの写真である。一部の時間帯で雑音を確認できる。	70
図 5.4-25	外来雑音受信時の信号解析波形 3 (コンスタレーション波形、飯田局、測定日: 令和 3 年 9 月 4 日)	図 5.4-25 は、飯田局で受信した信号における、BER が異常の時の信号解析波形のうちコンスタレーション波形の写真である。コンスタレーション波形が乱れていることを確認できる。	71
図 5.4-26	外来雑音受信時の信号解析波形 4 (遅延プロファイル、飯田局、測定日: 令和 3 年 9 月 4 日)	図 5.4-26 は、飯田局で受信した信号における、BER が異常の時の信号解析波形のうち遅延プロファイルの写真である。山形の波形が数カ所重なり合っていることを確認できる。	71
図 5.4-27	外来雑音測定における測定系統図 (高ボッチ局の局舎近傍)	図 5.4-27 は、電波雑音の影響に関する調査における外来雑音測定のための、高ボッチ局の局舎近傍における測定系統図である。	72
図 5.4-28	外来雑音測定場所 (高ボッチ局の局舎近傍)	図 5.4-28 は、電波雑音の影響に関する調査における外来雑音測定のための、高ボッチ局の局舎近傍における測定場所を示す図である。	73
図 5.4-29	外来雑音測定風景 (高ボッチ局の局舎近傍)	図 5.4-29 は、電波雑音の影響に関する調査における外来雑音測定のための、高ボッチ局の局舎近傍における測定風景写真である。	73
図 5.4-30	外来雑音波形 (中心周波数: 60MHz 帯、スパン: 500kHz、縦軸 10dB/div) (測定日: 令和 3 年 7 月 29 日)	図 5.4-30 は、高ボッチ局の局舎近傍における外来雑音波形を示すスペアナ画面の写真である。BER が正常時と異常時における近傍を示し、異常時の雑音レベルは約-95dBm、また正常時とのレベルの差は約 30dB あることが分かる。	74
図 5.4-31	外来雑音波形 (中心周波数 60.305MHz、スパン: 500kHz、縦軸 10dB/div) (測定日: 令和 3 年 7 月 29 日)	図 5.4-31 は、高ボッチ局の局舎近傍における外来雑音波形を示すスペアナ画面の写真である。BER が正常時と異常時における 60.305MHz 近傍を示し、異常時の雑音レベルは約-100dBm、また正常時とのレベルの差は約 25dB あることが分かる。	74
図 5.4-32	外来雑音測定における測定系統図 (飯田局の局舎近傍)	図 5.4-32 は、電波雑音の影響に関する調査における外来雑音測定のための、飯田局の局舎近傍における測定系統図である。	75
図 5.4-33	外来雑音測定場所 (飯田局の局舎近傍)	図 5.4-33 は、電波雑音の影響に関する調査における外来雑音測定のための、飯田局の局舎近傍における測定場所を示す図である。	76
図 5.4-34	外来雑音測定風景 (飯田局の局舎近傍) (写真左: 天竜峡パーキングエリア、写真右: 鈴岡城址公園)	図 5.4-34 は、電波雑音の影響に関する調査における外来雑音測定のための、飯田局の局舎近傍における測定風景写真であり、写真左は天竜峡パーキングエリア、写真右は鈴岡城址公園の写真を示す。	76
図 5.4-35	外来雑音波形 (測定場所: 天竜峡パーキングエリア) (測定日: 令和 4 年 1 月 20 日)	図 5.4-35 は、飯田局の局舎近傍である天竜峡パーキングエリアで測定した外来雑音波形を示すスペアナ画面の写真である。BER が正常時と異常時における 60.305MHz 近傍を示し、異常時	77

図番	タイトル	簡単な説明	頁
		の雑音レベルは約-102dBm、また正常時とのレベルの差は約25dBあることが分かる。	
図 5.4-36	外来雑音波形（測定場所：鈴岡城址公園）（測定日：令和4年1月21日）	図 5.4-36 は、飯田局の局舎近傍である鈴岡城址公園で測定した外来雑音波形を示すスペアナ画面の写真である。BER が正常時と異常時における 60.305MHz 近傍を示し、異常時の雑音レベルは約-107dBm、また正常時とのレベルの差は約 15dB あることが分かる。	77
図 5.4-37	外来雑音解析波形（測定場所：天竜峡パーキングエリア、解析時間 5 秒間）（測定日：令和4年1月20日）	図 5.4-37 は、飯田局の局舎近傍である天竜峡パーキングエリアで測定した外来雑音波形を示すスペアナ画面の写真である。BER が異常の時の信号解析波形のうち 5 秒間解析したスペクトログラムの写真である。連続した雑音を確認できる。	78
図 5.4-38	外来雑音解析波形（測定場所：天竜峡パーキングエリア、解析時間 0.1 秒間）（測定日：令和4年1月20日）	図 5.4-38 は、飯田局の局舎近傍である天竜峡パーキングエリアで測定した外来雑音波形を示すスペアナ画面の写真である。BER が異常の時の信号解析波形のうち詳細に 0.1 秒間解析したスペクトログラムの写真である。断続した雑音を確認できる。	78
図 5.4-39	外来雑音解析波形（測定場所：鈴岡城址公園、解析時間 5 秒間）（測定日：令和4年1月21日）	図 5.4-39 は、飯田局の局舎近傍である鈴岡城址公園で測定した外来雑音波形を示すスペアナ画面の写真である。BER が異常の時の信号解析波形のうち 5 秒間解析したスペクトログラムの写真である。連続した雑音を確認できる。	79
図 5.4-40	外来雑音解析波形（測定場所：鈴岡城址公園、解析時間 0.1 秒間）（測定日：令和4年1月21日）	図 5.4-40 は、飯田局の局舎近傍である鈴岡城址公園で測定した外来雑音波形を示すスペアナ画面の写真である。BER が異常の時の信号解析波形のうち詳細に 0.1 秒間解析したスペクトログラムの写真である。断続した雑音を確認できる。	79
図 5.4-41	外来雑音レベル（中心周波数：68.000MHz）（高ボッチ局、測定日：令和3年12月12日）	図 5.4-41 は、外来雑音測定における高ボッチ局の外来雑音レベルの測定結果の図であり、中心周波数は 68.000MHz、測定日は令和3年12月12日である。	80
図 5.4-42	外来雑音レベル（中心周波数：68.000MHz）（飯田局、測定日：令和3年12月12日）	図 5.4-42 は、外来雑音測定における飯田局の外来雑音レベルの測定結果の図であり、中心周波数は 68.000MHz、測定日は令和3年12月12日である。	80
図 5.4-43	人口雑音を付加した場合の雑音量の計算	図 5.4-43 は、人口雑音を付加した場合の雑音量の計算を示す図であり、Rec. IT-R P. 372-15 に記載の人口雑音の中央値を示すグラフに、今回測定した人口雑音を付加した場合の雑音量と、高ボッチ局の室外で実際に観測された雑音レベルを追記した図である。	82
図 5.5-1	BER 異常発生時間と平均気圧との相関関係（高ボッチ局）	図 5.5-1 は、高ボッチ局にて測定した BER 異常発生時間と平均気圧との相関関係を示す図で、算出された相関係数は-0.18 であった。	85
図 5.5-2	BER 異常発生時間と平均気温との相関関係（高ボッチ局）	図 5.5-2 は、高ボッチ局にて測定した BER 異常発生時間と平均気温との相関関係を示す図で、算出された相関係数は 0.12 であった。	85
図 5.5-3	BER 異常発生時間と降水量との相関関係（高ボッチ局）	図 5.5-3 は、高ボッチ局にて測定した BER 異常発生時間と 1 日あたりの降水量との相関関係を示す図で、算出された相関係数は 0.35 であった。	86
図 5.5-4	BER 異常発生時間と平均湿度との相関関係（高ボッチ局）	図 5.5-4 は、高ボッチ局にて測定した BER 異常発生時間と 1 日あたりの平均湿度との相関関係を示す図で、算出された相関係数は 0.37 であった。	86
図 5.5-5	BER 異常発生時間と日照時間との相関関係（高ボッチ局）	図 5.5-5 は、高ボッチ局にて測定した BER 異常発生時間と 1 日の日照時間との相関関係を示す図で、算出された相関係数は-0.28 であった。	86
図 5.5-6	BER 異常発生時間と気圧との相関関係（飯田局）	図 5.5-6 は、飯田局にて測定した BER 異常発生時間と平均気圧との相関関係を示す図で、算出された相関係数は-0.15 であった。	87
図 5.5-7	BER 異常発生時間と平均気温との相関関係（飯田局）	図 5.5-7 は、飯田局にて測定した BER 異常発生時間と平均気温との相関関係を示す図で、算出された相関係数は 0.18 であった。	87
図 5.5-8	BER 異常発生時間と降水量との相関関係（飯田局）	図 5.5-8 は、飯田局にて測定した BER 異常発生時間と 1 日あたりの降水量との相関関係を示す図で、算出された相関係数は 0.07 であった。	88
図 5.5-9	BER 異常発生時間と平均湿度との相関関係（飯田局）	図 5.5-9 は、飯田局にて測定した BER 異常発生時間と 1 日あたりの平均湿度との相関関係を示す図で、算出された相関係数は-0.04 であった。	88
図 5.5-10	BER 異常発生時間と日照時間との相関関係（飯田局）	図 5.5-10 は、飯田局にて測定した BER 異常発生時間と 1 日の日照時間との相関関係を示す図で、算出された相関係数は 0.07 であった。	88

図番	タイトル	簡単な説明	頁
図 5.5-11	BER 異常の累積発生時間と曜日との相関関係 (高ボッチ局)	図 5.5-11 は、高ボッチ局にて測定した BER 異常発生時間と曜日との相関関係を示す図である。	89
図 5.5-12	BER 異常の累積発生時間と曜日との相関関係 (飯田局)	図 5.5-12 は、飯田局にて測定した BER 異常発生時間と曜日との相関関係を示す図である。	89
図 5.5-13	異なる周波数帯における BER 異常の発生履歴 (高ボッチ局)	図 5.5-13 は、高ボッチ局において実験試験局と同じ場所に設置されている異なる周波数 (60MHz 帯) の BER 異常の発生履歴を示す図である。	91
図 5.5-14	異なる周波数帯における BER 異常の発生履歴 (飯田局)	図 5.5-14 は、飯田局において実験試験局と同じ場所に設置されている異なる周波数 (60MHz 帯) の BER 異常の発生履歴を示す図である。	91
図 5.5-15	BER 異常による音声品質への影響測定における測定系統図	図 5.5-15 は、BER 異常によって音声品質への影響を測定するための測定系統図である。	92
図 5.5-16	高ボッチ局及び飯田局の実運用設備における BER 異常の相関係数の推移 (30 日間)	図 5.5-16 は、高ボッチ局及び飯田局に設置した実運用設備において測定した BER 異常に対する相関係数の推移を 30 日間移動集計にて算出した結果を示す。	93
図 5.5-17	BER 異常の発生時間のそれぞれの履歴	図 5.5-17 は、高ボッチ局及び飯田局にて測定した 60MHz 帯の BER 異常の発生時間の履歴を、運用局 (60MHz 帯低域周波数) 及び実験試験局 (60.305MHz) 別にそれぞれ示す。	94
図 5.5-18	外来雑音のパターン分類	図 5.5-18 は、外来雑音を 6 種類のパターン分類を模式化したイメージ図である。	102
図 5.5-19	外来雑音のパターン分類の意味付け	図 5.5-19 は、図 5.5-18 で示した外来雑音の 6 種類のパターン分類について、分類の意味付けを記載した図である。	102
図 5.5-20	外来雑音源 (場所) についてのイメージ図	図 5.5-20 は、外来雑音の推定のまとめとして、外来雑音源 (場所) についてのイメージ図である。ただし、雑音の発信源について模式化したものであり、実験試験設備の空中線指向特性などについては考慮していない。	103

8.4.2 表の説明

表番	タイトル	簡単な説明	頁
表 2.4-1	無線設備に関する技術基準	表 2.4.1 は、60MHz 帯及び 160MHz 帯における無線設備に関する技術基準を示す。	8
表 2.4-2	ろ波特性に関する技術基準	表 2.4.2 は、60MHz 帯及び 160MHz 帯におけるろ波特性に関する技術基準を示す。	8
表 2.4-3	混信保護の許容値に関する技術基準	表 2.4.3 は、60MHz 帯及び 160MHz 帯における混信保護の許容値に関する技術基準を示す。	8
表 2.4-4	各変調方式との干渉軽減係数 (IRF) に関する技術基準	表 2.4.4 は、60MHz 帯及び 160MHz 帯における各変調方式との干渉軽減係数 (IRF) に関する技術基準を示す。	9
表 3.2-1	60MHz 帯デジタル STL/TTL の運用状況	表 3.2.1 は、60MHz 帯デジタル STL/TTL の運用状況を示す。	10
表 4.1-1	放送番組中継回線の利用状況	表 4.1.1 は、運用局の障害状況に関する調査結果のうち、放送番組中継回線の利用状況を示す。	14
表 4.1-2	運用局の受信障害の状況	表 4.1.2 は、運用局の障害状況に関する調査結果のうち、運用局の受信障害の状況を示す。	15
表 4.1-3	ご意見、ご要望等	表 4.1.3 は、運用局の障害状況に関する調査結果のうち、その他、ご意見、ご要望等を示す。	15
表 5.1-1	測定に使用した主な測定機器	表 5.1.1 は、60MHz 帯デジタル STL/TTL 送信装置及び受信装置の屋内技術試験に使用した主な測定機器を示す。	18
表 5.1-2	送信装置の基本性能 (カッコ内は測定値)	表 5.1.2 は、送信装置の基本性能の表であり、各機種における、送信電力、周波数偏差、スプリアス、占有周波数帯幅、ロールオフ率、スペクトラムマスク及び消費電流を示す。	19
表 5.1-3	受信装置の基本性能 (1)	表 5.1.3 は、受信装置の基本性能の表 1 であり、各機種における、最小受信入力、標準受信入力、最大受信入力、雑音指数及び消費電流を示す。	20
表 5.1-4	受信装置の基本性能 (2)	表 5.1.4 は、受信装置の基本性能の表 2 であり、各機種における、所要 C/N、C/N 対 BER 特性、C/N 対 MER 特性、受信電力対 BER 特性及び受信電力対 MER 特性を示す。	20
表 5.1-5	受信装置の基本性能 (3)	表 5.1.5 は、受信装置の基本性能の表 3 であり、各機種における、誤り訂正方式及び誤り訂正方式の特徴を示す。	20
表 5.1-6	所要 C/N	表 5.1.6 は、各機種における、入力レベルが -60dBm と -50dBm における所要 C/N を示す。	22

表番	タイトル	簡単な説明	頁
表 5.1-7	評価基準以下となる受信電力	表 5.1 7 は、各機種における評価基準以下となる受信電力を示す。	26
表 5.1-8	等化可能なマルチパス遅延時間と最大 D/U	表 5.1 8 は、各機種における等化可能なマルチパス遅延時間と最大 D/U を示す。	29
表 5.1-9	外来波干渉特性	表 5.1 9 は、各機種における外来波干渉特性を示す。	30
表 5.2-1	送信装置の緒元（美ヶ原局、設置場所：長野県松本市入山辺区山辺）	表 5.2-1 は、美ヶ原局における送信設備の諸元として、電波の形式、送信周波数、空中線電力、変調方式及び送信空中線について示す。	32
表 5.2-2	受信装置 1（高ボッチ局、設置場所：長野県塩尻市大字片丘東山）	表 5.2-2 は、高ボッチ局における受信設備の諸元として、受信周波数、変調方式及び受信空中線について示す。	32
表 5.2-3	受信装置 2（飯田局、設置場所：長野県飯田市上久堅）	表 5.2-3 は、飯田局における受信設備の諸元として、受信周波数、変調方式及び受信空中線について示す。	32
表 5.2-4	屋外実証実験に使用した機材	表 5.2-4 は、屋外実証試験に使用した機材として、送信地点及び受信地点それぞれについて示す。	35
表 5.2-5	屋外実証実験に使用した 60MHz 帯受信空中線の仕様	表 5.2-5 は、屋外実証試験に使用した 60MHz 帯空中線について、電氣的仕様及び物理的仕様を示す。	35
表 5.2-6	BER 異常発生時間の時間比率（高ボッチ局）	表 5.2-6 は、高ボッチ局における BER 異常発生時間の時間比率を示す。	51
表 5.2-7	BER 異常発生時間の時間比率（飯田局）	表 5.2-7 は、飯田局における BER 異常発生時間の時間比率を示す。	53
表 5.3-1	オーバーリーチに関する測定結果	表 5.3-1 は、オーバーリーチに関する測定結果として、各測定視点における計算受信電力、実測受信電力及び計算値との差を示す。	56
表 5.4-1	潜在波調査に使用した機材	表 5.4-1 は、潜在波調査に使用した機材として、広帯域受信空中線及びスペクトラムアナライザの型番を示す。	59
表 5.5-1	BER 異常と天候との相関関係（高ボッチ局）	表 5.5-1 は、高ボッチ局における BER 異常と天候との相関関係として、平均気圧、平均気温、降水量、平均湿度及び日照時間についての相関係数を示す。	85
表 5.5-2	BER 異常と天候との相関関係（飯田局）	表 5.5-2 は、飯田局における BER 異常と天候との相関関係として、平均気圧、平均気温、降水量、平均湿度及び日照時間についての相関係数を示す。	87
表 5.5-3	BER 異常とスプラディック E 層による伝搬異常との相関	表 5.5-3 は、BER 異常とスプラディック E 層による伝搬異常との相関関係として、稚内、国分寺、鹿児島及び沖縄についての相関係数を示す。	90
表 5.5-4	BER 異常による音声品質への影響測定	表 5.5-4 は、BER 異常による音声品質への影響測定の結果について、受信レベルに対する BER 及び音声評価について示す。	92
表 5.5-5	相関係数結果集計表	表 5.5-5 は、設置場所及び周波数をパラメータとする相関係数の集計結果を示す相関係数結果集計表である。	95
表 5.5-6	BER 異常の発生パターン（6 分類）	表 5.5-6 は、BER 異常の発生パターンを 6 つに分類した時のパターンごとの説明を示す表である。	96
表 5.5-7	パターン 1 の相関が見られた結果	表 5.5-7 は、パターン 1 の相関が見られた結果を抽出して一覧表として示す。	96
表 5.5-8	パターン 2 の相関が見られた結果	表 5.5-8 は、パターン 2 の相関が見られた結果を抽出して一覧表として示す。	97
表 5.5-9	パターン 3 の相関が見られた結果	表 5.5-9 は、パターン 3 の相関が見られた結果を抽出して一覧表として示す。	98
表 5.5-10	パターン 4 の相関が見られた結果	表 5.5-10 は、パターン 4 の相関が見られた結果を抽出して一覧表として示す。	98
表 5.5-11	パターン 5 の相関が見られた結果	表 5.5-11 は、パターン 5 の相関が見られた結果を抽出して一覧表として示す。	99
表 5.5-12	パターン 6 の相関が見られた結果	表 5.5-12 は、パターン 6 の相関が見られた結果を抽出して一覧表として示す。	99
表 5.5-13	相関係数結果集計表（パターン分類付加）	表 5.5-13 は、表 5.5-6 に対して 6 つの BER 異常の発生パターンに分類した結果を色分けして示す。	101
表 5.5-14	外来雑音の 3 つのパターン（推定）	表 5.5-14 は、外来雑音のパターン分類より、外来雑音の地域性に着目して外来雑音を 3 つに分類した結果の説明を示す。	103
表 5.6-1	近距離 20km の見通し外通信における回線設計のまとめ	表 5.6-1 は、近距離 20km の見通し外通信における、デジタル 4 波及びアナログ 1 波についての回線計算結果を示す。	106
表 5.6-2	長距離 80km 通信（見通し内）における回線設計のまとめ	表 5.6-2 は、長距離 80km（見通し内）における、デジタル 4 波及びアナログ 1 波についての回線計算結果を示す。	107
表 5.6-3	デジタル方式（60MHz 帯低域周波数 A 波）における回線設計（例）	表 5.6-3 は、60MHz 帯低域周波数 A 波におけるデジタル方式 STL/TTL の回線設計例について示す。	110
表 5.6-4	デジタル方式（60.305MHz 実験試験局）における回線設計（例）	表 5.6-4 は、60.305MHz 実験試験局におけるデジタル方式 STL/TTL の回線設計について示す。	110

表番	タイトル	簡単な説明	頁
表 5.6-5	デジタル方式（60MHz 帯高域周波数 B 波）における回線設計（例）	表 5.6-5 は、60MHz 帯高域周波数 B 波におけるデジタル方式 STL/TTL の回線設計について示す。	111
表 5.6-6	デジタル方式（160MHz 帯）における回線設計（例）	表 5.6-6 は、160MHz 帯におけるデジタル方式 STL/TTL の回線設計について示す。	111
表 5.6-7	アナログ方式（60MHz 帯低域周波数 A 波）における回線設計（例）	表 5.6-7 は、60MHz 帯低域周波数 A 波におけるアナログ方式 STL/TTL の回線設計について示す。	112
表 6.1-1	60MHz 帯を使用するデジタル無線局の空中線電力	表 6.1-1 は、60MHz 帯を使用する無線設備のうち、VHF 帯デジタル放送番組中継、デジタル防災行政無線及び VHF 帯加入者系無線システムについてそれぞれ空中線電力について示す。	115
表 8.3-1	技術基準の検討に関する効果	表 8.3-1 は、今回実施した調査検討の結果を 5 項目にとりまとめている（第 7 章 7.2 節に記載）が、それぞれについて想定される取り組み主体、導入効果及び導入のし易さについて取りまとめた表を示す。	132
表 8.3-2	改善対策に向けての優先順位	表 8.3-2 は、表 8.3-1 でまとめた表に対して、新規開設及び運用中設備変更における導入の優先順位、導入コスト、導入効果及び導入性について取りまとめた表を示す。	133

8.4.3 数式の説明

数式番	タイトル	簡単な説明	頁
数式 5.5-1	相関係数を求めるための計算式（ x : BER 異常の発生時間、 y : 気象データ）	数式 5.5-1 は、ピアソンの積率相関係数の公式を示す。	84

8.5 調査検討の実施に際してご協力頂いた方々

「60MHz 帯放送番組中継回線の利用促進のための周波数有効利用技術に関する調査検討会」の実施に際してご協力頂いた主な方々は、以下のとおりである。ご支援、ご協力頂いたことに対して謝辞を申し上げます。 (50音順)

- ・ R F デザイン株式会社
- ・ 株式会社 NTT ドコモ
- ・ 四国放送株式会社
- ・ 信越放送株式会社
- ・ 日本通信機株式会社
- ・ 松本市危機管理部消防防災課
- ・ 株式会社ラジオ福島