

情報通信審議会 情報通信技術分科会

陸上無線通信委員会

報 告（案）

目 次

I 審議事項	3
II 委員会及び作業班の構成	3
III 審議経過	3
IV 審議概要	5
第1章 60GHz 帯無線システムの概要	5
1-1 審議の背景	5
1-2 60GHz 帯無線システムの現状	5
1-3 60GHz 帯無線システムの新たな利用ニーズ	7
1-4 普及予測	11
第2章 諸外国における動向	13
2-1 国際標準化動向	13
2-2 諸外国における規制	17
第3章 他の無線システムとの共用検討	20
3-1 干渉検討の条件	20
3-2 FPU	33
3-3 固定マイクロ(エントランス回線)	49
3-4 ミリ波レーダー	53
3-5 60GHz 帯無線システム	66
3-6 60GHz 帯近接無線システム	105
3-7 探査衛星業務	108
3-8 電波天文	108
第4章 電波防護指針	110
4-1 電波防護指針	110
4-2 60GHz 帯無線設備における電波防護指針の適合について	110
第5章 60GHz 帯の周波数の電波を使用する無線設備の高度化に係る技術的条件	114
5-1 一般的条件	114
5-2 無線設備の技術的条件	114
5-3 電波防護指針	115
5-4 測定法	115
第6章 今後の検討課題等	122
審議結果	123

I 審議事項

陸上無線通信委員会は、情報通信審議会諮問第 2009 号「小電力の無線システムの高度化に必要な技術的条件」（平成 14 年 9 月 30 日諮問）のうち、「60GHz 帯の周波数の電波を利用する無線設備の高度化に係る技術的条件」について検討を行った。

II 委員会及び作業班の構成

陸上無線通信委員会及び下部検討作業グループの構成は図 1 のとおりである。

なお、検討の促進を図るため、本委員会の下に 60GHz 帯無線設備作業班を設置して検討を行った。

委員会の構成員については別表 1 のとおりであり、作業班の構成員については別表 2 のとおりである。

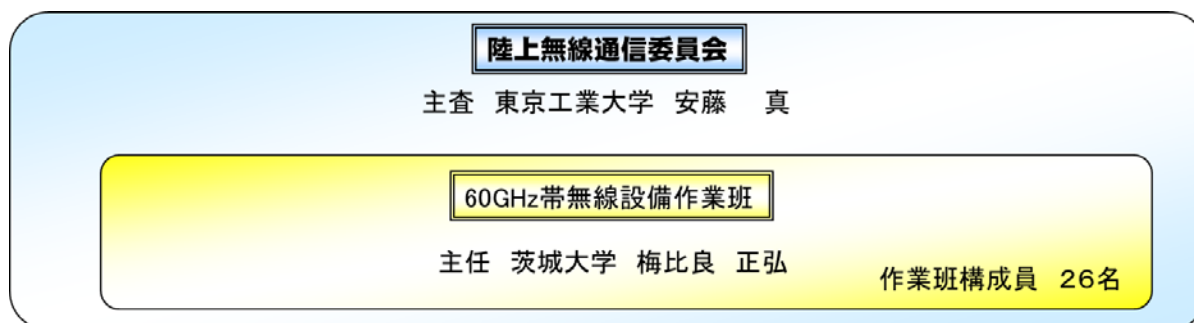


図 1 陸上無線通信委員会及び 60GHz 帯無線設備作業班の構成図

III 審議経過

1 陸上無線通信委員会での検討

(1) 第 1 回（平成 26 年 11 月 11 日）

新たな 60GHz 帯無線システムの検討を行うため、委員会の下に作業班を設置することとし、調査の進め方について確認が行われた。

(2) 第 2 回（平成 27 年 2 月 3 日）

これまでの作業班での検討状況を中間報告するとともに、今後の検討課題及びスケジュールについて検討された。

(3) 第 3 回（平成 27 年 4 月 9 日）

報告案について検討を行い、パブリックコメントをかけることが了承された。

2 60GHz 帯無線設備作業班での検討

(1) 第 1 回（平成 26 年 11 月 21 日）

作業班運営方針、作業班での検討の進め方、今後のスケジュールについて確認を行った。

(2) 第 2 回 (平成 26 年 12 月 19 日)

60GHz 帯無線設備の新たな利活用方策の検討及び現在の利用状況の確認を行い、干渉検討の進め方及び昨年度実施の技術試験事務について検討を行った。

(3) 第 3 回 (平成 27 年 1 月 23 日)

被干渉システムとの干渉検討、空中線電力等の検討及び増力した場合の電波防護指針との適合性の検討を行った。

(4) 第 4 回 (平成 27 年 2 月 20 日)

60GHz 帯無線システムの技術的条件について、検討を行った。

(5) 第 5 回 (平成 27 年 3 月 6 日)

60GHz 帯無線システムの技術的条件について、検討を行った。

(6) 第 6 回 (平成 27 年 3 月 20 日)

60GHz 帯無線設備の高度化に係る技術的条件に関し、電波防護指針との適合 について及び 60GHz 帯無線設備の測定方法について検討を行い、報告書の取りまとめを行った。

IV 審議概要

第 1 章 60GHz 帯無線システムの概要

1-1 審議の背景

60GHz 帯無線システムは、衛星放送等の映像伝送システムやビル間通信等の用途として平成 12 年に電気通信技術審議会で答申され、今日に至るまで様々なシステムにおいて利用がなされている。

今般、ブロードバンドコンテンツのリッチ化に伴い、2.4GHz 帯や 5GHz 帯といった周波数は無線 LAN 等の用途によりひっ迫してきており、効率的な利用やより高い周波数の移行が望まれてきているところ、利用可能な周波数帯が広い点、世界的な免許不要周波数帯であるという点から、60GHz 帯が近距離大容量通信用の周波数帯として注目されている。

国際的には、60GHz 帯を利用する高速データ通信規格である IEEE802.11ad/WiGig の標準化が完了し、2016 年にも認証がスタートする予定となっており、今後 11ad/WiGig 対応のチップは大きな普及が見込まれるところである。

本検討は、こうした国際的な動向や利用ニーズなどをふまえ、60GHz 帯無線システムの技術的条件の見直しを行うものである。

1-2 60GHz 帯無線システムの現状

60GHz 帯無線システムの中でも、ギガビット級の超高速データ通信を狙った無線システムの標準化及び応用開発は 2007 年頃から活発化し、2009 年に Wireless HD 規格に準拠した 60GHz 帯無線システムを搭載した薄型テレビが発売され、60GHz 帯無線システムの HD 画像の非圧縮伝送という民生応用が加速された。一方、より汎用的な PC 応用を目指した業界団体として Wireless Gigabit Alliance (以下 WiGig アライアンス) が 2009 年に設立され、ここで策定された WiGig 規格を基にした IEEE802.11ad 規格は、2013 年 12 月に規格化策定作業が完了した。また、WiGig アライアンスと無線 LAN の相互接続認証団体である Wi-Fi アライアンスとの間で、相互接続認証作業での協力関係を締結し、2013 年には WiGig アライアンスが Wi-Fi アライアンスに統合されることになり、Wi-Fi アライアンスが WiGig 規格として 2016 年には認証プログラムを開始することを発表した。このことから、60GHz 帯無線システムは WiGig/IEEE802.11ad 規格を中心に、今後大きな普及が期待されている。

WiGig 規格に対応した 60GHz 帯無線システムは、現在複数のベンダにより製品化が進められており、デル社(米国)では WiGig 規格を活用した 60GHz 通信モジュールを内蔵したノート PC とドッキングステーションをすでに発売している(2013 年 2 月)。またヒューレット・パッカー社(米国)からも、60GHz 通信モジュールを内蔵したタブレット端末が発売されている。(2015 年 3 月)

またインテル社(米国)は WiGig 規格に準拠したリファレンスデザインを 2015 年前半に

にリリース予定と発表した(2014年6月)。パナソニック(日)はCEATEC2014でWiGig小型モジュールを参考出品(2014年10月)し、実用化を目指した開発を行っている。クアルコム社(米国)からも、スマートフォンに搭載可能な11ad/WiGig対応チップセットがリリース予定となっている。

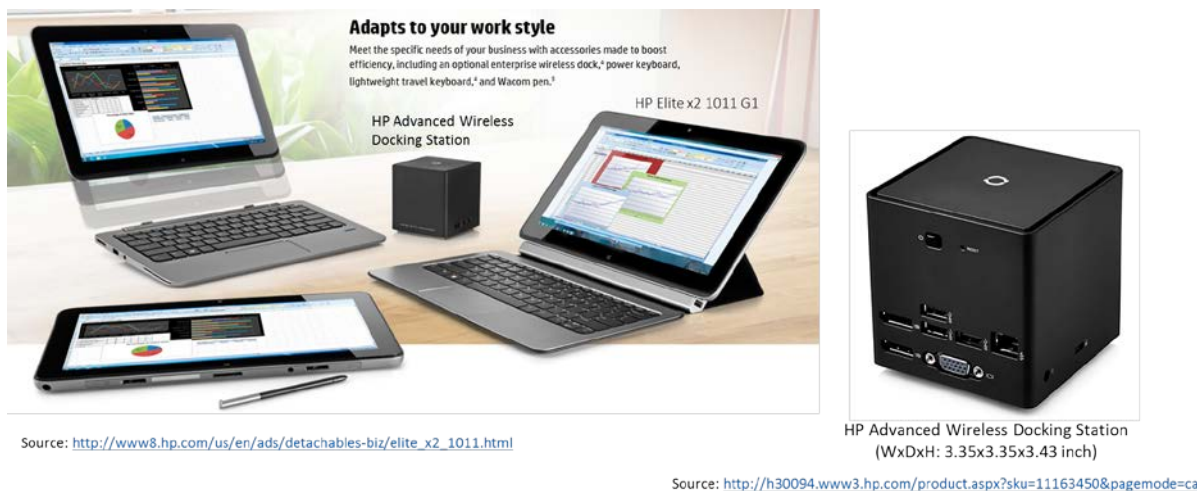


図1-2.1 米国ヒューレット・パッカード社の11ad/WiGig対応製品



Source: <http://www.intel.com/content/www/us/en/wireless-products/wigig-sink-w13100.html>
 Source: <http://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/product-briefs/wigig-sink-w13100-brief.pdf>
 Source: <http://www.intel.com/content/www/us/en/wireless-products/tri-band-wireless-ac17265.html>

図1-2.2 米国インテル社の11ad/WiGig対応モジュール

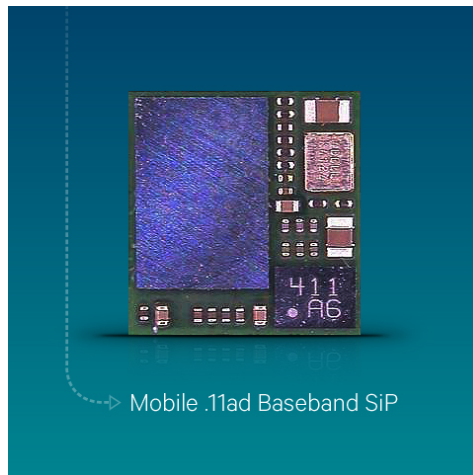


図 1-2.3 米国クアルコム社の 11ad/WiGig 対応 チップセット

1-3 60GHz 帯無線システムの新たな利用ニーズ

60GHz 帯無線システムの高度化により、我が国における空中線電力規定を現行の 10mW から、高出力とした場合、現行 10m 程度とされる通信距離を伸ばすことが可能となるため、机上での PC を中心とした情報機器間の接続や、リビング、小規模会議室等における少人数での利用に限定されていたものから、大人数で共有する施設での利用も可能となることが予想される。以下、屋内、屋外について、予想される利用シーンを以下に示す。

1-3-1 屋内利用シーン

(1) オフィスでの利用

オフィスについては、大会議室において、HD や 4k などさらに高画質の資料をワイヤレスで伝送することにより、数百名規模の会議出席者の間で、資料の共有が可能となることが予想される。

以下に、大規模会議において、PC に格納した高画質の資料をプロジェクターへ伝送し、プロジェクターから会議室壁面のスクリーンへ投影する例を示す。

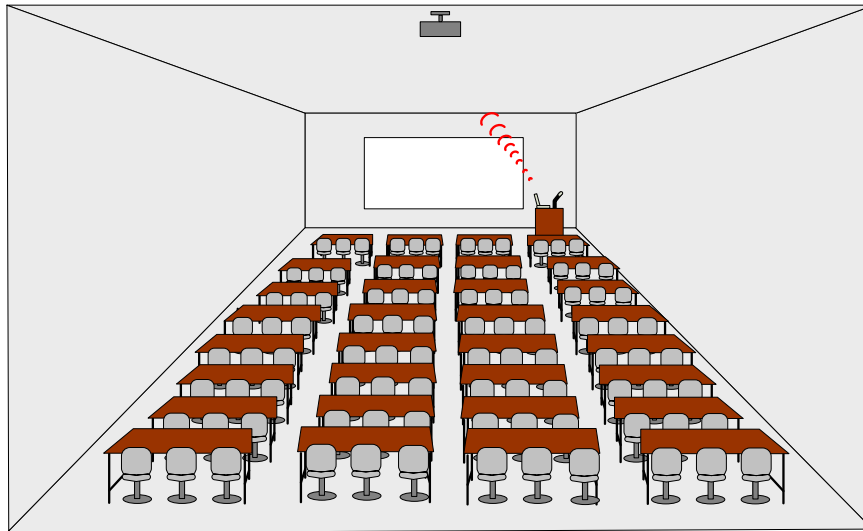


図 1-3.1 大規模会議での利用

(2) 教育施設での利用

教育施設においては、体育館や講堂などの大人数を収容可能な教育施設において、高画質の教材をワイヤレス伝送することにより、指導者と多くの学生との間で、教材を共有することが可能となることが予想される。

以下に体育館において、PCに格納した高画質の教材をワイヤレスでプロジェクターへ伝送し、プロジェクターより体育館壁面のスクリーンへ投影する例を示す。

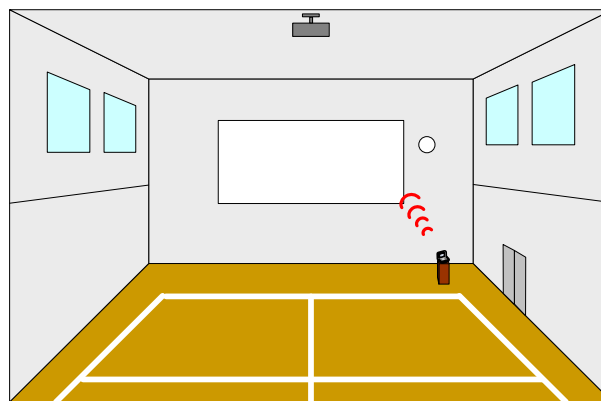


図 1-3.2 教育施設での利用（体育館の場合）

(3) 公共施設での利用

公共施設においては、ホール、劇場やシアターなど大人数を収容可能な公共施設において、高画質動画をワイヤレスで配信することが可能となることが想定される。

以下に劇場において、高画質動画をワイヤレスでプロジェクターへ伝送し、プロジェクターより劇場スクリーンへ投影する例を示す。

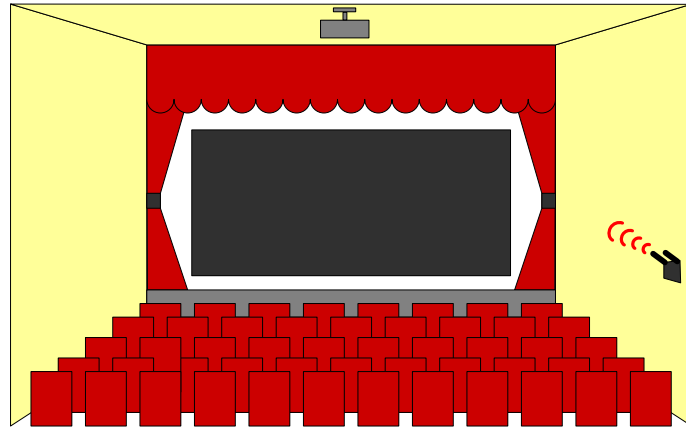


図 1 - 3 . 3 屋内公共施設での利用

(4) 工場での利用

60GHz 帯無線システムの高出力化に伴い、数百名規模の工場において、HD や 4k カメラにより撮影した高画質の映像をワイヤレスで監視モニタへ伝送することにより、高画質での作業状況やセキュリティーの監視が可能となることが予想される。

以下に工場において、HD/4k カメラにより工場スタッフの作業を撮影した映像を監視モニタに伝送して、作業状況をリアルタイムに監視する例を示す。

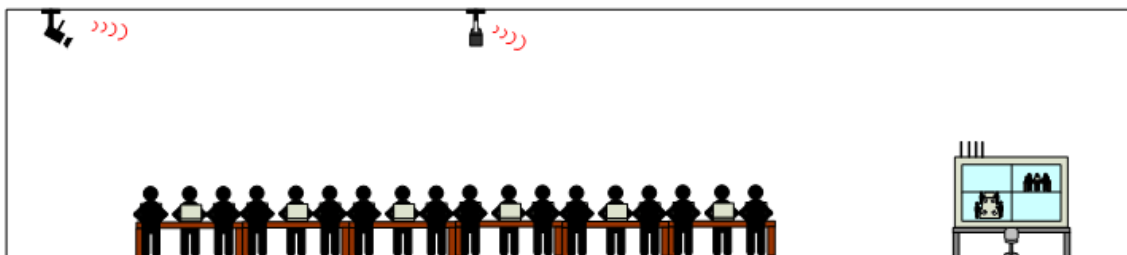


図 1 - 3 . 4 工場での利用

1 - 3 - 2 屋外利用シーン

(1) 公共施設での利用

60GHz 帯無線システムの高出力化に伴い、スタジアムなど多くの集客が見込まれる屋外施設において、HD/4k カメラにて、撮影している映像をリアルタイムに大型ディスプレイに伝送することにより、大観衆での高画質映像の共有が可能となることが予想される。

以下にスタジアムにおいて、HD/4k カメラで撮影している試合中の映像を大型スクリーンへワイヤレスで伝送し、大型高画質のスクリーンにリアルタイムに映し出す例を示す。

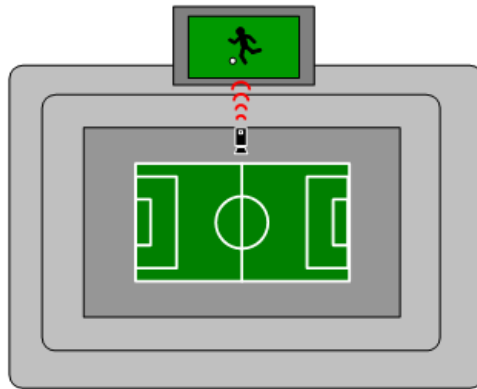


図 1 - 3. 5 屋外公共施設での利用

(2) バックホールでの利用

60GHz 帯無線システムの高出力化に伴い、高速、低遅延、大容量が要求されるバックホールでの利用が可能となることが予想される。



図 1 - 3. 6 バックホールでの利用

IEEE802 無線委員会では、2014 年 9 月より IEEE802.11 NG60 スタディグループが発足し IEEE802.11ad の次世代の規格化の議論がされ始めた。データトラフィック緩和に寄与する上記のようなバックホールや、データセンターに向けてさらなる高速化を検討し始めている。その高速化技術については、高次変調や MIMO などの導入が見込まれており、SN 比が必要な点からも高出力化が有効と考えられる。なお、2015 年 4 月に 802.11 TG ay として承認されており、5 月 802 会合から 802.11ay 標準化活動を開始する予定となっている。

現行の空中線電力 10mW では、これら利用シーンにおいて、所望の伝送速度で十分なカバーエリアが確保できない。11ad では 10m の距離で最大 7Gbps 程度の通信速度を確保することを前提とするため、空中線電力の増力が求められている。そのため、後述する国際協調の観点も踏まえ、250mW 程度 (EIRP:40dBm 程度) とすることが適当であると考えられる。Wi-Fi アライアンスより公表されている、現行基準で対応できるシーンと現行基準では利用が制限されるシーンを区別した資料について、図 1 - 3.7 に示す。

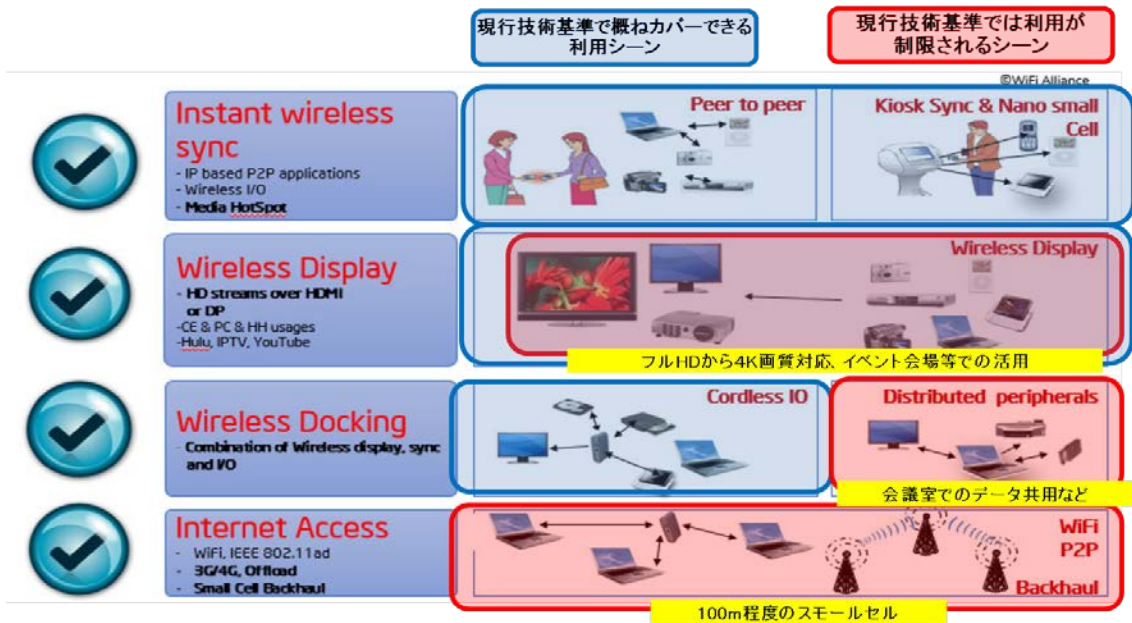


図 1-3.7 Wi-Fi アライアンス (WiGig アライアンス) が想定する 11ad/WiGig の利用シーン

1-4 普及予測

60GHz 帯無線システムの普及予測について検討を行う。今後の 60GHz 帯無線システムの主なユースケースと考えられる 11ad/WiGig においては、Wi-Fi Alliance において 2.4GHz 帯無線 LAN (11n)、5GHz 帯無線 LAN (11ac) 及び 11ad に対応したトライバンド対応チップセットの出荷台数の普及予測が行われている。図 1-4.1 にそのデータを示す。

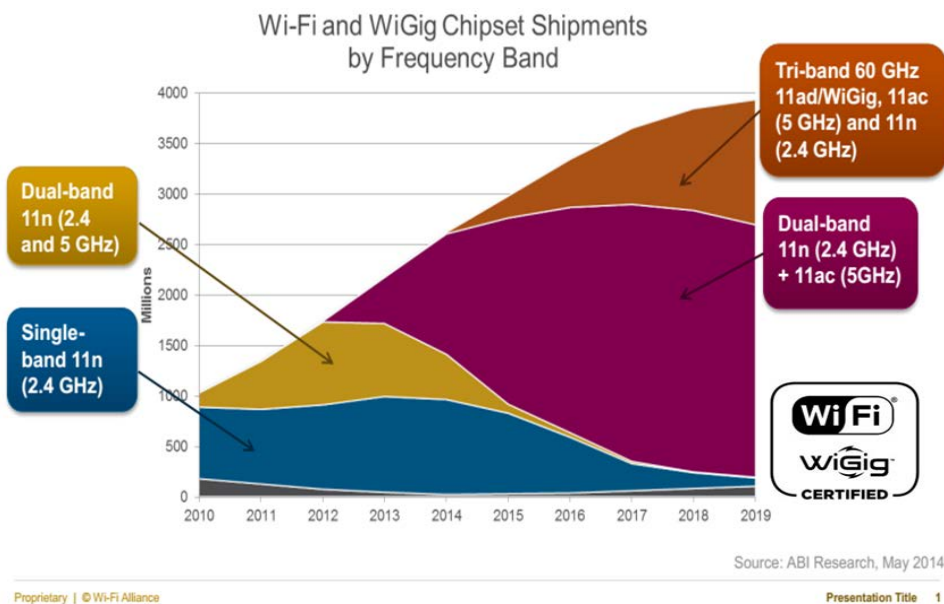


図 1-4.1 トライバンド対応チップセットの出荷台数

この普及予測を元に、国内における出荷台数についても予測を行った。トライバンド対応チップセットは、モバイルPCやタブレットにおいて搭載が進むと考えられることから、これらを対象として検討した。

IDC ジャパンの調査によると、モバイルPCの出荷台数は年複利成長率（CAGR）-2.9%、タブレットはCAGR+5.19%と予測されている。2013年度の出荷台数から2014年度以降の出荷台数について予測を行い、Wi-Fi allianceの普及予測を乗じて、我が国における普及台数を算出した。結果を図1-4.2に示す。

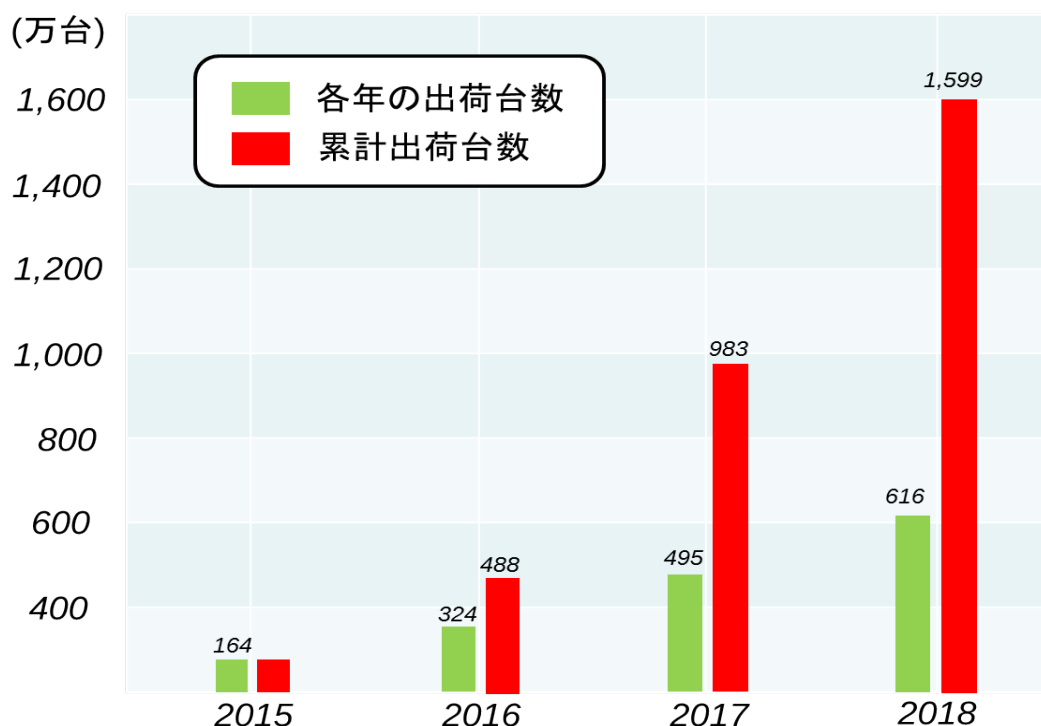


図1-4.2 我が国における60GHz帯無線システムの普及予測

2015年から徐々に出荷が始まり、2018年には累計で約1,600万台の普及が見込まれる結果となった。

第2章 諸外国における動向

2-1 国際標準化動向

60GHz 帯無線システムとして無線パーソナルエリアネットワーク (WPAN: Wireless Personal Area Network) や無線ローカルエリアネットワーク (WLAN: Wireless Local Area Network) を取り巻く環境は急速に整いつつあり、家庭・オフィス等で広帯域を必要とするデータ通信等の利用に期待されており、60GHz 帯における諸外国の周波数割り当てはアメリカ・カナダ・韓国は 57-64GHz、中国は 59-64GHz、日本・EU は 57-66GHz である。(詳細は第2章第2節に示す)

免許不要帯域である 60GHz 帯を対象とした代表的な国際標準規格として IEEE802.15.3c、IEEE802.11ad(WiGig)、及び WirelessHD コンソーシアムが策定した WirelessHD の標準化動向について以下概要を示す。

(1) IEEE802.15.3c

無線パーソナルエリアネットワークを議論する IEEE802.15WG(ワーキンググループ)では、2005年に 60GHz 帯での標準規格を策定するタスクグループ 3c(TG3c)が設立された。このタスクグループは、60GHz 帯のミリ波を用い、2Gbps 以上の高速伝送技術によって、ハイビジョンの非圧縮映像のストリーム配信や、携帯端末への大容量コンテンツの配信などを目指して規格化作業が行われ、2009年に標準化が完了し仕様書が発行された。

利用シーンとしては、サーバよりゲーム等のコンテンツをポータブル機器に高速でダウンロードすることや、図2-1.1に示すような大画面ディスプレイ等に高品質な映像をマルチギガビットで伝送することなどが挙げられる。

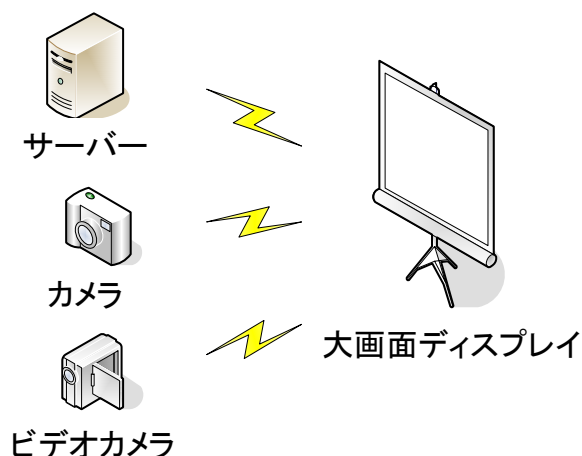


図2-1.1 IEEE802.15.3c の利用シーンの例

(2) IEEE802.11ad

IEEE802.11ad は、60GHz 帯を使う次世代無線 LAN として、2012 年 12 月に IEEE802.11WG が策定した次世代高速無線 LAN 規格である。2008 年に、IEEE802.11n よりも高速な通信方式を定めるため、IEEE802.11VHT (Very High Throughput) という Study Group が立ち上がり、5GHz 帯を用いた IEEE802.11ac と 60GHz 帯を用いた IEEE802.11ad が策定された。規格策定を行うタスクグループ (TGad) においては、Wireless Gigabit Alliance (WiGig) が定めた MAC 層と PHY 層が提案され、結果として WiGig 規格がそのまま規格に取り入れられている。その特長は、屋内を想定した最大 10m 程度の通信距離で、最大 7Gbps 近いデータ速度に対応するところにあり、セッションを維持したまま 2.4GHz/5GHz と 60GHz 間をシームレスにセッション切り替えする FST (Fast Session Transfer) 機能が備わっている。また、パソロスや障害物のある環境に対処した高速データ伝送を実現するためにビームフォーミングに対応したプロトコルが採用されている。

利用シーンとしては、図 2-1.2 に示すように、Blue-ray などに格納されたハイビジョン映像を非圧縮のままストリーミングして高品質のまま再生・他の AV 機器等に接続することなどが挙げられる。

IEEE802.11ad 規格に基づく相互接続性認証は平成 26 年末から開始され、第一章で述べた用途等において普及していく見込みである。

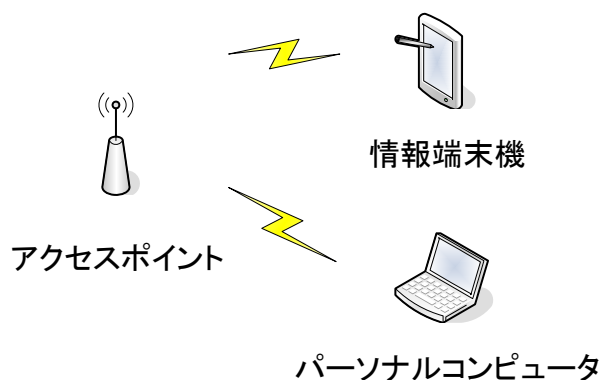


図 2-1.2 IEEE802.11ad/WiGig の利用シーンの例

(3) WirelessHD

WirelessHD は、WirelessHD コンソーシアムが策定した、テレビや DVD プレーヤーなど AV 機器間で有線の HDMI インターフェースに代わり、AV コンテンツを無線伝送することを主目的に策定された標準規格である。2006 年に設立された WirelessHD コンソーシアムには、主要な家電・AV 機器メーカーや半導体メーカーなどが参加、2008 年 1 月に初の規格となる WirelessHD 1.0 が発表されている。通信距離は概ね～10m 程度を想定しており、機器間を最大 4Gbps 程度の高速なデータ転送を可能にしている。また、IEEE802.11ad 同様、パスロスや障害物のある環境に対処した高速データ伝送を実現するためにビームフォーミング・ビームステアリング技術が採用されている。

WirelessHD は、制御情報用の LRP (Low-rate PHY) モードと、実際の映像データ伝送用の HRP (High-rate PHY) モードが用意されている。

利用シーンとしては、図 2-1.3 に示すように、Blue-ray などに格納されたハイビジョン映像を非圧縮のままストリーミングして高品質のまま再生しモニタ等に接続することなどがあげられる。

導入状況については、ビデオプロジェクター・AV アンプ間やスマートフォン・大型モニタ間等を接続する機器が発売されている。



図 2-1.3 WirelessHD の利用シーンの例

(出典 : <http://www.wirelesshd.org/about/technology/>)

以上、60GHz 帯を使用した IEEE802. 15. 3c、IEEE802. 11ad、及び WirelessHD の標準化の位置づけ、動向について示した。60GHz 帯 WPAN、WLAN の本格的な導入普及は、前述のように Wi-Fi アライアンスにより WiGig (IEEE802. 11ad) 規格の相互接続認証が開始される 2016 年 (平成 28 年) 頃と見込まれる。IEEE802. 15. 3c、IEEE802. 11ad、及び WirelessHD の標準規格仕様の概要一覧を表 2-1. 1 に示す。

表 2-1. 1 60GHz 帯無線システムの標準規格の基本仕様

	IEEE802. 15. 3c	IEEE802. 11ad(WiGig)	WirelessHD
カテゴリ	無線 PAN	無線 LAN	無線 PAN (VAN)
周波数帯	60GHz 帯	60GHz 帯	60GHz 帯
チャンネルプラン	Ch1:58. 32GHz Ch2:60. 48GHz Ch3:62. 64GHz Ch4:64. 8GHz	Ch1:58. 32GHz Ch2:60. 48GHz Ch3:62. 64GHz Ch4:64. 8GHz	Ch1:58. 32GHz Ch2:60. 48GHz Ch3:62. 64GHz Ch4:64. 8GHz
チャンネル間隔	2160MHz	2160MHz	2160MHz
伝送方式	SC(シングルキャリア) OFDM	SC(シングルキャリア) OFDM	OFDM
最大伝送速度	6Gbit/s(1ch. 使用時)	7Gbit/s(1ch. 使用時)	7Gbit/s(1ch. 使用時)
最大伝送距離	10m 程度	10m 程度	10m 程度
アプリケーション	<ul style="list-style-type: none"> ・コンテンツダウンロード ・高速ファイル転送 ・ワイヤレスディスプレイ ・無線アドホックネットワーク ・PC 周辺機器間通信 ・HD 動画の非圧縮伝送 	<ul style="list-style-type: none"> ・コンテンツダウンロード ・高速ファイル転送 ・ワイヤレスディスプレイ ・無線アドホックネットワーク ・PC 周辺機器間通信 ・HD 動画の非圧縮伝送 ・ドッキングステーション ・無線 LAN 	<ul style="list-style-type: none"> ・HD 動画の非圧縮伝送
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ビームフォーミング機能 ・15. 3 MAC 	<ul style="list-style-type: none"> ・低電力と高速の両機器対応 ・ビームフォーミング機能 ・シームレスマルチバンドオペレーション (FST: 高速セッション切替機能) ・IEEE802. 15. 3c との共存機能 	<ul style="list-style-type: none"> ・ビームステアリング機能 ・NLOS 環境オペレーション

2-2 諸外国における規制

60GHz 帯は大気中の減衰が大きいことから、近距離高速データ通信用途として主要各国において免許不要帯域として周波数割当がなされており、ギガビット級の伝送に適した広い帯域幅が利用可能である。世界主要各国における 60GHz 帯の法規制の一覧を表 2-2.1 に示す。

表 2-2.1 世界主要各国における 60GHz 帯 法規制一覧

主要国	周波数帯 (GHz)	最大等価方輻射電力 (EIRP)	空中線電力および空中線利得	占有帯域幅 (OBW)	無線局免許
日本	57-66	(57dBm)	空中線電力: 10dBm(10mW)以下 空中線利得: 47dBi以下	2.5GHz	不要
米国 (FCC)	57-64	屋外: 82dBm ・ 空中線利得: 51dBi未満 EIRP = 82dBm - 2*(51 - 空中線利得) ・ 空中線利得: 51dBi以上 EIRP = 82dBm	空中線電力: 27dBm(500mW)以下 送信帯域幅<100MHzの場合は、スペクトル密度に従い電力を制限	規定なし	不要
		屋内: 40dBm			
カナダ (IC: Industry Canada)	57-64	40dBm	規定なし	規定なし	不要
韓国 (KCC and RRA)	57-64	43dBm または 57dBm(固定 Pont-to-Point)	指向性アンテナの場合 空中線電力: 27dBm(500mW)以下 無指向性アンテナの場合 空中線電力: 20dBm(100mW)以下	規定なし	不要
欧州 (CEPT)	57-66	40dBm チャンネル帯域幅<1GHzの場合は、スペクトル密度に従い電力を制限	規定なし	規定なし	不要
中国	59-64	44dBm	空中線電力: 10dBm(10mW)以下 空中線利得: 34dBi以下	規定なし	不要

60GHz 帯の周波数割り当てに関し、世界主要国における調査結果を図 2-2.1 に示す。日本においては、平成 23 年 8 月の制度改正により、59~66GHz から 57~66GHz に周波数が 2GHz 拡張され、欧州と同様に世界各国の中で最も広い帯域で運用可能となり、更なる利用の拡大が期待されているところである。

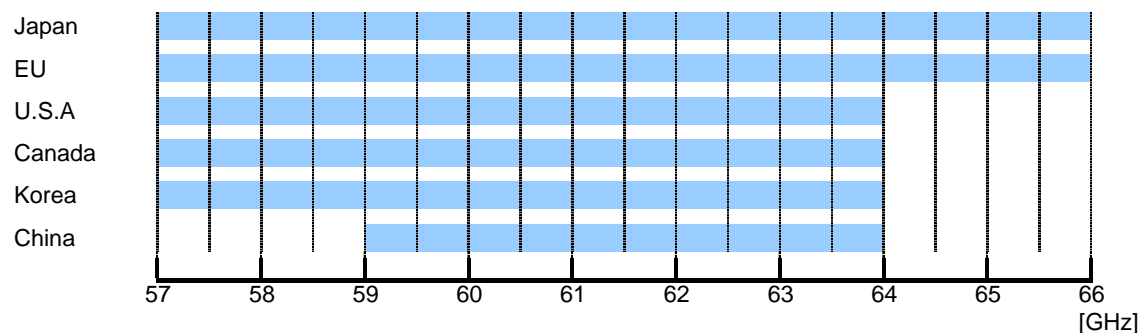


図 2-2.1 世界主要国における 60GHz 帯周波数

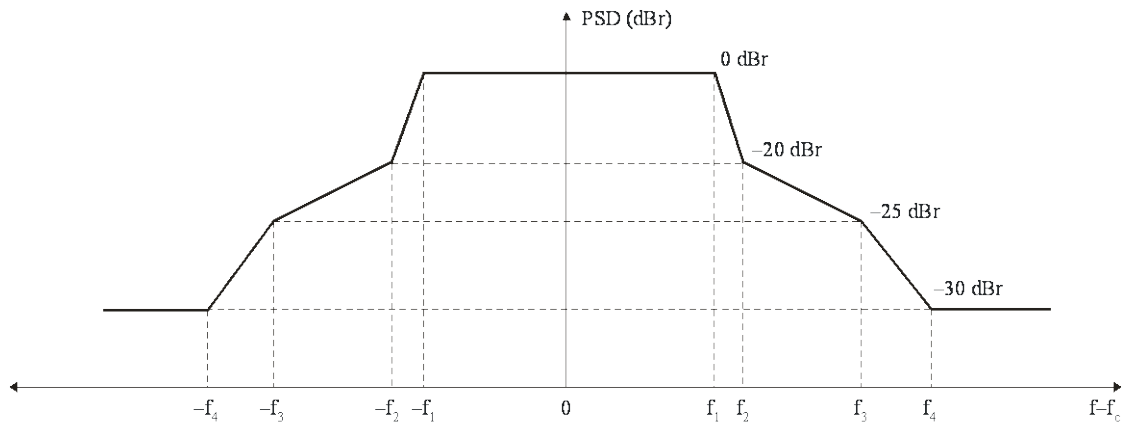
空中線電力に関して、日本においては最大 10dBm (10mW)、アンテナ利得最大 47dBi と規定されており、EIRP (等価等方輻射電力) は最大 57dBm となる。米国においては、室内利用の場合、最大 27dBm (500mW)、EIRP は最大 40dBm と規定される。カナダにおいては、空中線電力、アンテナ利得の規定はなく、EIRP は最大 40dBm と規定される。韓国においては、指向性アンテナの場合で最大 27dBm (500mW)、無指向性アンテナの場合で最大 20dBm (100mW) であり、EIRP は最大 43dBm、固定 Point-to-Point の場合は最大 57dBm と規定される。EU においては、空中線電力、アンテナ利得の規定はなく、EIRP は最大 40dBm であり、チャンネル帯域幅が 1GHz 以下の場合、電力密度に従って電力を下げる必要があるとなる。中国においては、空中線電力は最大 10dBm (10mW)、アンテナ利得は最大 34dBi、EIRP は最大 44dBm である。

占有周波数帯幅 (OBW) に関し、世界主要各国においては規定されておらず、日本においてのみ 2.5GHz 以下と規定されている。

一方、ITU-R M.2003 において

図 2-2.2 に示すように連続するチャンネルを複数使うチャンネルボンディングによる運用時のマスクが最大 4 ボンディング運用まで規定されており、将来この規定に沿って、占有周波数帯域幅 2.5GHz を超える製品が登場することが想定される。

その際、日本においては占有周波数帯幅の規定が現行どおりの場合、チャンネルボンディングによる運用が出来ない課題が生ずることになる。



M. 2003-02

図 2-2.2 チャンネルボンディングにおける送信スペクトラムマスク

(出典 : ITU-R M. 2003 : Multiple Gigabit Wireless Systems in frequencies around 60 GHz)

表 2-2.2 送信スペクトラムマスクパラメータ (出典 : ITU-R M. 2003)

Channel bonding	f_1 (GHz)	f_2 (GHz)	f_3 (GHz)	f_4 (GHz)
Two-banded channel transmission	2.100	2.160	3.000	4.000
Three-banded channel transmission	3.150	3.240	4.500	6.000
Four-banded channel transmission	4.200	4.320	6.000	8.000

なお、参考として、ITU におけるシングルチャネルのスペクトラムマスクと、IEEE802.11ad におけるスペクトラムマスクを図 2-2.3 に示す。

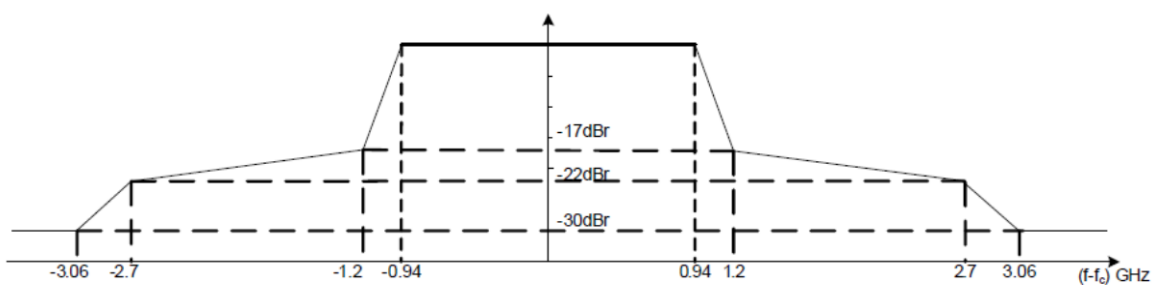


図 2-2.3 IEEE802.11ad におけるシングルチャネルのスペクトラムマスク

第3章 他の無線システムとの共用検討

3-1 干渉検討の条件

3-1-1 干渉検討対象システム

検討を行うにあたり、現行の 60GHz 帯 (57~66GHz) とその隣接周波数帯 (54~57GHz) の周波数割り当て状況、およびその周波数帯を用いる無線局の規格について以下にとりまとめた。

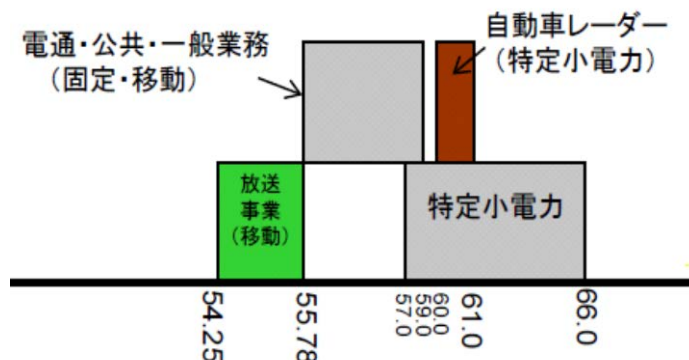


図 3-1.1 60GHz 帯の周波数割り当て状況

表 3-1.1 周波数別割り当て用途

周波数 (GHz)	用途
54.25~55.78	放送事業
55.78~59	電気通信・公共・一般業務
57~66	特定小電力

(1) 放送事業用

54.25~55.78GHz の周波数を利用する放送事業用の無線システムは、テレビジョン放送番組素材伝送用の可搬形無線伝送機器 FPU のミリ波帯デジタル無線伝送システム ARIB-STD-B43 として標準規格化されている。

本システムは、54.27~55.27GHz の 1GHz を使用し、利用シーンに基づく柔軟な運用形態に対応できるように、チャンネル幅の異なる 3 つのシステム (1GHz システム、500MHz システム、125MHz システム) が定義されている。

表 3 - 1. 2 ARIB-STD-B43 規格

項目	1GHz システム	500MHz システム	125MHz システム	
			フルモード	ハーフモード
周波数帯 (GHz)	54. 27~55. 27			
通信方式	単向通信方式、または同報通信方式			
変調方式	SC (QAM, PSK)	SC (PSK)	SC (QAM, PSK) OFDM	SC (QAM, PSK) OFDM MIMO-OFDM
占有周波数帯幅 の許容値 (MHz)	SC : 841MHz	SC : 425MHz	SC : 106MHz OFDM : 112MHz	SC : 54MHz OFDM : 60MHz
空中線電力	1W (30dBm) ±50%			
スプリアス発射 の 強度の許容値	帯域外領域 : 50uW 以下 スプリアス領域 : 50uW 以下			
チャンネル配置 (GHz)	#1 : 54. 77	#1 : 54. 52 #2 : 55. 02	#1 : 54. 3325 #2 : 54. 4575 #3 : 54. 5825 #4 : 54. 7075 #5 : 54. 8325 #6 : 54. 9575 #7 : 55. 0825 #8 : 55. 2075	#1 : 54. 30125 #2 : 54. 36375 #3 : 54. 42625 #4 : 54. 48875 #5 : 54. 55125 #6 : 54. 61375 #7 : 54. 67625 #8 : 54. 73875 #9 : 54. 80125 #10 : 54. 86375 #11 : 54. 92625 #12 : 54. 98875 #13 : 55. 05125 #14 : 55. 11375 #15 : 55. 17625 #16 : 55. 23875

SC : Single Carrier

(2) 電気通信・公共・一般業務

55. 78~59GHz の周波数を利用する電気通信・公共・一般業務の無線システムは、実験用途として免許を受けたエントランス回線の電気通信業務用無線局(免許人:ソフトバンクモバイル)が定義されている。本無線局は、57. 25~58. 15GHz に 100MHz 間隔で 10 のチャンネルを持つ。以下に無線局情報を示す。

表 3 - 1. 3 電気通信業務用無線局

項目	無線局情報
形式	26MOF7D
周波数帯 (GHz)	57. 25～58. 15
占有周波数帯幅	26MHz
空中線電力	3. 17mW (5dBm)
スプリアス発射の強度の許容値	帯域外領域：100uW 以下 スプリアス領域：50uW 以下
チャンネル配置 (GHz)	#1：57. 25 #2：57. 35 #3：57. 45 #4：57. 55 #5：57. 65 #6：57. 75 #7：57. 85 #8：57. 95 #9：58. 05 #10：58. 15

(3) 特定小電力無線システム

無線局免許なしで利用できる 57～66GHz の特定小電力用途の無線システムは、国際標準規格の IEEE802. 11ad と IEEE802. 15. 3c、および 3 つの ARIB 標準規格 (ARIB STD-T48：ミリ波レーダー用無線、ARIB STD-T69：ミリ波画像伝送用無線、ARIB STD-T74：ミリ波データ伝送用無線) があり、加えて、民間標準規格の WirelessHD が定義されている。

表 3 - 1. 4 特定小電力無線システム

規格	無線システム	使用周波数	備考
IEEE802. 11ad	ミリ波近距離無線 (WPAN)	57～66GHz	3 - 5 節参照
IEEE802. 15. 3c	ミリ波近距離無線 (WPAN)	57～66GHz	3 - 5 節参照
ARIB STD-T48	ミリ波レーダー用無線	60～61GHz	3 - 4 節参照
ARIB STD-T69	ミリ波画像伝送用無線	57～66GHz	3 - 5 節参照
ARIB STD-T74	ミリ波データ伝送用無線 (超高速無線 LAN システム)	59～66GHz	
WirelessHD	ミリ波映像無線 (WVAN)	57～66GHz	3 - 5 節参照

3-1-2 干渉評価

60GHz 帯無線システムから現行の既存システムへ与える干渉のシナリオとして、60GHz 帯無線システムを与干渉システム(Interferer)、現行の既存システムを被干渉システム(Victim)として定義し、以下に示す 6 つのシナリオを想定した。

- ① 60GHz 帯ミリ波車載レーダーへの干渉
- ② 58GHz 帯エントランス回線への干渉
- ③ 55GHz 帯 FPU への干渉
- ④ 60GHz 帯既存のミリ波無線システム(IEEE802.11ad)への干渉
- ⑤ 60GHz 帯既存のミリ波無線システム(WirelessHD)への干渉
- ⑥ 60GHz 帯既存のミリ波無線システム(ミリ波画像伝送システム)への干渉

与干渉システムには、高出力の IEEE802.11ad を適用し、60GHz 帯既存の無線システムには、ミリ波無線システム(IEEE802.11ad)と、WirelessHD およびミリ波画像伝送システムを適用した。

表 3-1.5 与干渉システムと被干渉システムに適用した具体的なシステム

与干渉システム	被干渉システム	
60GHz 帯 高出力 WPAN (IEEE802.11ad)	60GHz 帯ミリ波車載レーダー (ARIB STD-T48)	
	58GHz 帯エントランス回線	
	55GHz 帯 FPU (ARIB STD-B43)	
	60GHz 帯 既存のミリ波無 線 システム	ミリ波 WPAN (IEEE802.11ad)
		WirelessHD
	ミリ波画像伝送システム (ARIB STD-T69)	

干渉シナリオのシステム関係図を図 3-1.2 に、周波数関係図を図 3-1.3 に示す。

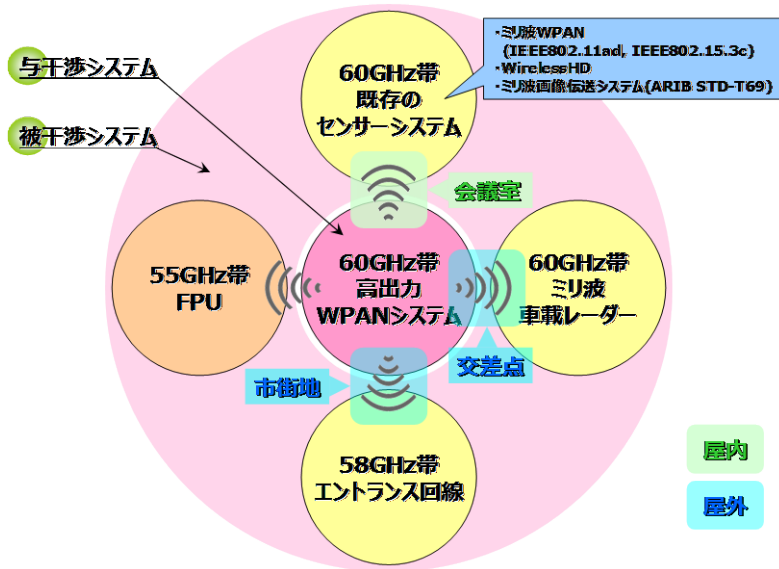


図 3-1.2 システム間の干渉シナリオ(システム関係図)

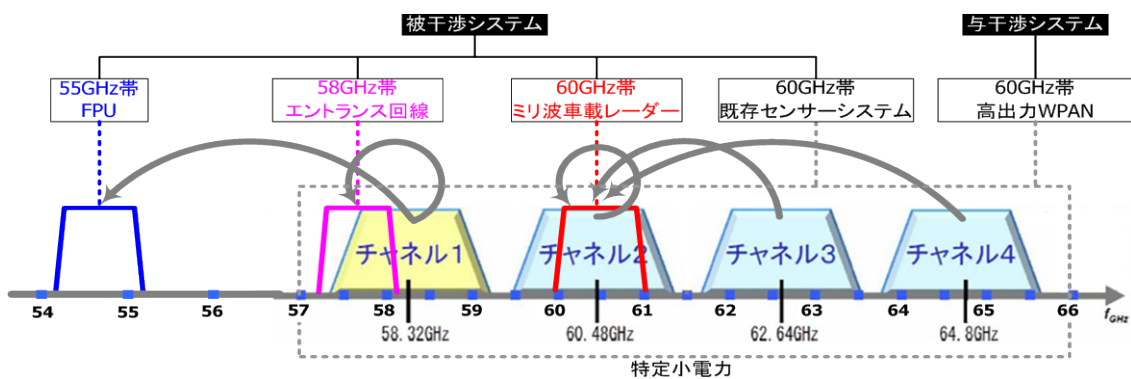


図 3-1.3 システム間の干渉シナリオ(周波数関係図)

干渉評価は、離隔距離などを机上計算で求めて干渉評価を行う「机上計算評価」と電波伝搬解析と干渉計算を行った「シミュレーション評価」の2つの手法を使って評価を行う。各々の被干渉システムに対する評価手法を表3-1.6に示す。

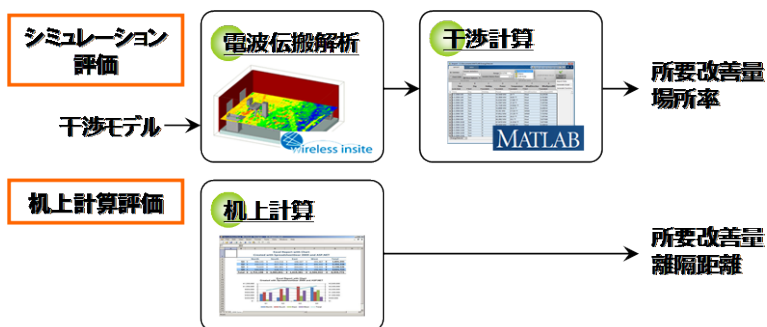


図 3-1.4 干渉評価手法

表 3-1.6 被干渉システム毎の干渉評価手法

被干渉システム		評価手法	
		シミュレーション評価 (電波伝搬解析+干渉計算)	机上計算評価
60GHz 帯ミリ波車載レーダー (ARIB STD-T48)		✓	
58GHz 帯エントランス回線		✓	✓
55GHz 帯 FPU (ARIB STD-B43)			✓
60GHz 帯 ミリ波無線シ ステム	ミリ波 WPAN (IEEE802.11ad)	✓	
	WirelessHD		
	ミリ波画像伝送システム (ARIB STD-T69)		✓

シミュレーション評価は、電波伝搬解析と干渉計算の2つのステップで行う。

電波伝搬解析は、パスの相対的なレベルが解析できればよいため、送受信点はオムニアンテナをベースに基準となる送信電力で放射した電波でパス解析が行われる。干渉計算では、そのパス結果をもとに実際の干渉評価の条件となる空中線電力やアンテナ半値角などの評価パラメータを入力して絶対レベルでの計算が行われる。

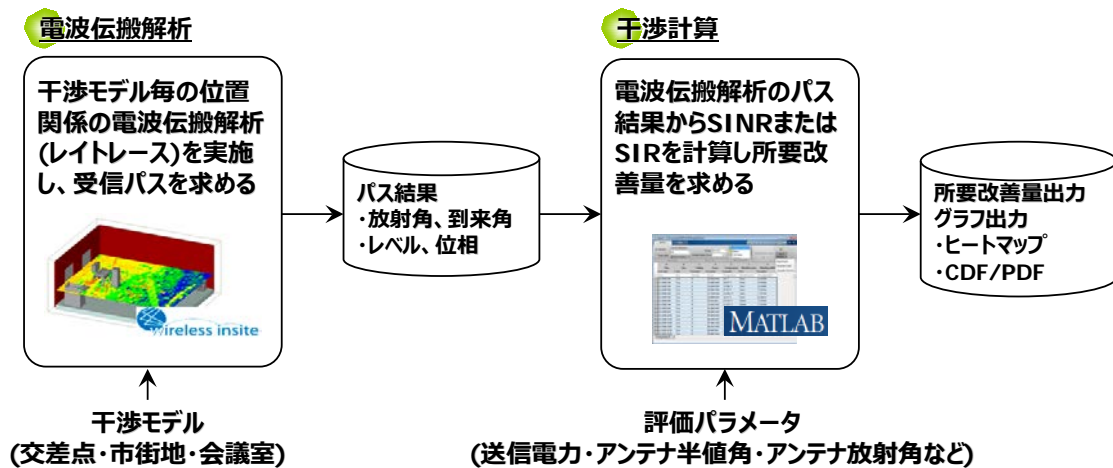


図 3-1.5 シミュレーション評価(電波伝搬解析+干渉計算)の評価手順

(1) 電波伝搬解析

電波伝搬解析は、後述する干渉モデルをモデリングし、電波伝搬シミュレータ(米国 Remcom社 Wireless InSite)にて、レイトレース法による電波伝搬解析を実施し、被干渉受信局 (VRx)

における希望波と干渉波の受信パス(放射角、到来角、受信レベル、位相など)を求める。電波伝搬解析に適用する干渉モデルは、前記干渉評価手法に定義したように、対象の被干渉システムの利用シーンを考慮して、60GHz帯ミリ波車載レーダーには交差点モデルを、58GHz帯エントランス回線には市街地モデルを、60GHz帯既存のミリ波無線システム(IEEE802.11ad、WirelessHD)には会議室モデルを適用した。

(2) 干渉計算

干渉計算は、電波伝搬解析で得たパス結果を元に、被干渉受信局(VRx)における希望波と干渉波の受信電力比(SINRまたはSIR)を算出し、基準となる所要CNRより所要改善量を求める。また、机上計算評価は、電波伝搬解析を行わずに机上レベルで離隔距離や所要改善量を求めて干渉評価を行った。

表3-1.7 被干渉システムに適用した干渉モデル

被干渉システム		干渉モデル	与干渉システムとの周波数帯関係
60GHz帯	ミリ波車載レーダー (ARIB STD-T48)	交差点	同一周波数帯
58GHz帯	エントランス回線	—	同一周波数帯
55GHz帯	FPU (ARIB STD-B43)	—	隣接周波数帯
60GHz帯 ミリ波無線システム	ミリ波WPAN (IEEE802.11ad)	会議室	同一周波数帯
	WirelessHD		
	ミリ波画像伝送システム (ARIB STD-T69)	—	



図3-1.6 干渉モデルのイメージ図

3-1-3 評価指標

干渉シナリオ毎に、被干渉送信局 (VTx) と被干渉受信局 (VRx) 、および与干渉送信局 (ITx) をそれぞれ 1 台ずつ配置し、被干渉受信局 (VRx) が与干渉送信局 (ITx) から被る干渉の影響について評価する。

被干渉システムと与干渉システムは、干渉モデル毎に定義された配置位置やアンテナ高などの条件で存在し、互いのシステムは同一もしくは隣接する異なる周波数を使用しているものとする。また、被干渉システムの送受信局は互いに正対にて通信が確立しているものとする。

互いのシステムは、空中線電力、アンテナ利得、所要 CNR または許容 INR などの評価パラメータと電波伝搬損失などが適用され、最終的には被干渉受信局 (VRx) における所要改善量※を求めて干渉の影響度合いを評価する。

※所要改善量

被干渉システムの通信が成立する条件を基準としたとき、互いのシステムが共存できるレベルを数値化したもの (許容干渉レベルに対する相対値)。

負の値：共存可能で改善は不要 (数値はマージン量を表す)

正の値：共存するためには改善が必要 (数値は改善量を表す)

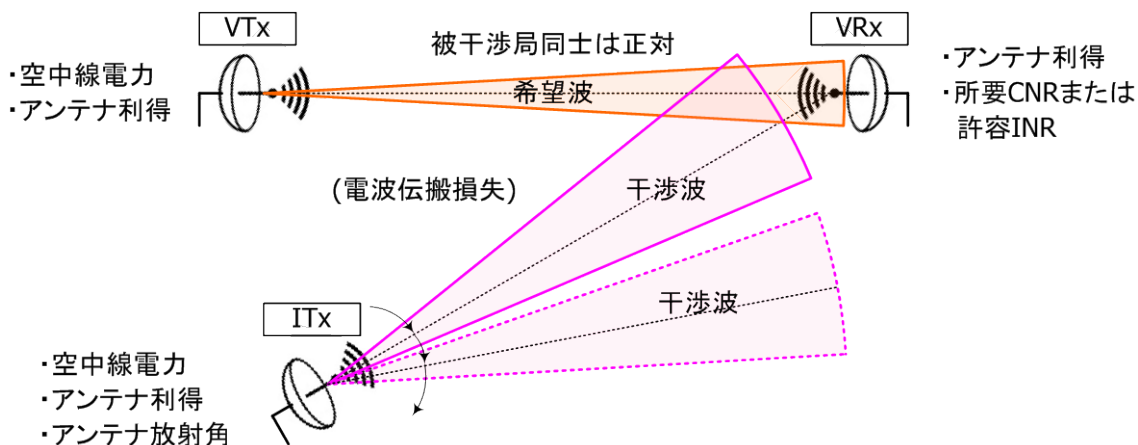


図 3-1.7 被干渉システムと与干渉システムの概念図

被干渉システム毎の評価指標を以下に示す。57~66GHz の特定小電力用途の無線周波数帯を利用するシステムは、無線局免許なしで利用できることから、通話品質に影響を与えないレベルまで、他システムからの干渉を許容する考え方を基本に、システムの受信感度の規格値から算出した所要 CNR を基準に所要改善量を求める。

一方、58GHz 帯エントランス回線、55GHz の隣接周波数帯を利用する放送事業用の FPU シス

テムは、許容 INR を基準(受信系総合雑音レベルのうち、与干渉源への許容干渉レベル配分として熱雑音に対する割合を設定し、その量を許容干渉レベルとする評価基準)として離隔距離を求める。

表 3 - 1. 8 被干渉システム毎の評価指標

被干渉システム		干渉評価手法	評価指標
60GHz 帯 ミリ波車載レーダー		シミュレーション評価(交差点)	所要 CNR による 所要改善量
58GHz 帯 エントランス回線		シミュレーション評価(市街地) 机上計算評価	許容 INR 基準による離隔距離
55GHz 帯 FPU		机上計算評価	許容 INR 基準による離隔距離
60GHz 帯 ミリ波無線システム	ミリ波 WPAN	シミュレーション評価(会議室)	所要 CNR による 所要改善量
	WirelessHD		
	ミリ波画像伝送システム	机上計算評価	所要 CNR による 所要改善量

3-1-4 共通評価条件

(1) 電波伝搬解析

レイトレース法による電波伝搬解析の共通条件を以下に示す。

レイトレース法は、送信点から放射される電波の素波をレイ(Ray)とみなし、幾何光学的な反射・透過・回折を考慮してレイの軌跡(Trace)を追跡し、伝搬損失・遅延時間・到来方法を推定する方法である。受信電力は重心的に到達する全てのレイを加算することで求められる。したがって、基本的に構造物の幾何光学的形状と電気的特性を与えるだけで伝搬特性を容易に解析できる。

一方、レイのトレース方法は大きく分けて2種類のアプローチ(イメージング法、レイラウンチング法)があり、推定精度と演算処理量の関係が大きく異なる。今回は、LOS(Line Of Sight : 見通し)環境の割合が多い干渉モデルを適用していることと、ミリ波の特徴(伝搬損失大、回折小)などの理由から、レイラウンチング法を用いた。レイラウンチング法は、送受信点からのレイを離散的に発射させ、各レイを途中の反射を考慮しながら逐次追跡し、受信点に到達するレイを探索する方法で、受信点を考慮する場合、離散的な角度でレイを放射させるため、受信点に完全に一致するレイが求まる確率は極めて小さいことから、受信点の周りに一定の受信エリアを設け、その受信エリア内に到達したレイはその受信点に到達したレイと見なすことができ、イメージング法に比べ演算処理量を小さく制御できる。

表 3-1.9 電波伝搬解析の共通条件

項目	条件	備考
電波伝搬シミュレータ	Wireless InSite	米国 Remcom 社
アンテナ	オムニアンテナ	
レイトレース法	レイラウンチング法	
最大パス数	25 パス	
最大反射回数	3 回	
最大回折回数	1 回	
放射角度	0.1 度ステップ	
材質	コンクリート、木材、ガラスなど	

(2) 雑音電力

各被干渉システムの受信局 (VRx) の受信機雑音指数は 10dB とした。

表 3-1.10 雑音電力密度と受信機雑音指数

項目	設定値	備考
雑音電力密度	-173.8dBm/Hz	
受信機雑音指数	10dB	

(3) 空中線電力

各被干渉システムの空中線電力は、各仕様で定義される値を設定値とし、与干渉システムの空中線電力は、高出力による干渉の影響を調べるため、現行の 10mW(10dBm) を基準に 100mW(20dBm), 316mW(25dBm), 1W(30dBm) の 4 パターンを設定値とした。

表 3 - 1. 1 1 各システムに設定した空中線電力

被干渉システム/与干渉システム		設定値	備考
被干渉	60GHz 帯 ミリ波車載レーダー (ARIB STD-T48)	3mW (4.77dBm)	富士通テン技報 35 号より
	58GHz 帯 エントランス回線	3.17mW (5dBm)	電気通信業務用線無線局の 情報より
	55GHz 帯 FPU (ARIB STD-B43)	—	許容 INR 基準のため設定なし
	60GHz 帯 ミリ波無線シ ステム	IEEE802.11ad WirelessHD ミリ波画像伝送 システム (ARIB STD-T69)	10mW (10dBm)
与干渉	(高出力) IEEE802.11ad	10mW (10dBm) ~ 1W (30dBm)	下記 4 パターンの電力値を設 定 ・ 10mW (10dBm) ・ 100mW (20dBm) ・ 316mW (25dBm) ・ 1W (30dBm)

(4) アンテナモデル

与干渉システムおよび被干渉システムのアンテナは、IEEE802.15.3c のミリ波 WPAN タスクグループのチャネルモデリングの基準アンテナモデルとして採用されたアンテナモデル※を適用した。このモデルは、アンテナの電力半値ビーム幅を設定することにより、メインローブパターンと平均化されたサイドローブレベルを得ることができるものである。

※I. Toyoda and T. Seki, “Antenna Model and Its Application to System Design in the Millimeter-wave Wireless Personal Area Networks Standard” NTT Technical Review.

The developed antenna model is formulated in terms of directivity gain $G(\theta, \phi)$ as follows: [5]

$$G(\theta, \phi)[\text{dBi}] = G_0 - 3.01 \cdot \left(\frac{2\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2 \quad 0 \leq \theta \leq \theta_{ml}/2 \quad (2)$$
$$G(\theta, \phi)[\text{dBi}] = -0.411 \cdot \ln(\theta_{3dB}) - 10.6 \quad \theta_{ml}/2 < \theta \leq 180^\circ \quad (3)$$
$$\theta_{ml} = 2.58 \cdot \theta_{3dB} \quad (4)$$
$$G_0 = 20 \cdot \log \left(\frac{1.62}{\sin(\theta_{3dB}/2)} \right), \quad (5)$$

where θ_{3dB} is the antenna's half-power beamwidth and θ_{3dB} is in units of degrees. Equations (2) and (3) give the directivity gains of the main and side lobes, respectively. Here, the directivity gain is not a function of ϕ , which means that the antenna has a rotationally symmetric beam.

図 3 - 1. 8 適用したアンテナモデルの定式

(NTT Technical Review “Antenna Model and Its Application to System Design in the Millimeter-wave Wireless Personal Area Networks Standard” より引用)

本アンテナモデルの一例として、半値角 15 度、30 度、60 度、90 度の場合のアンテナ利得パターンを図 3 - 1. 9 に示す。また、そのアンテナ利得パターンにおける最大利得を表 3 - 1. 1 2 に示す。

上記 IEEE モデルに加え、ITU-R F. 699 で採用されているアンテナモデルを用いた評価をリファレンスとして行った。図 3 - 1. 1 0 に ITU-R アンテナモデルの利得パターンを示す。

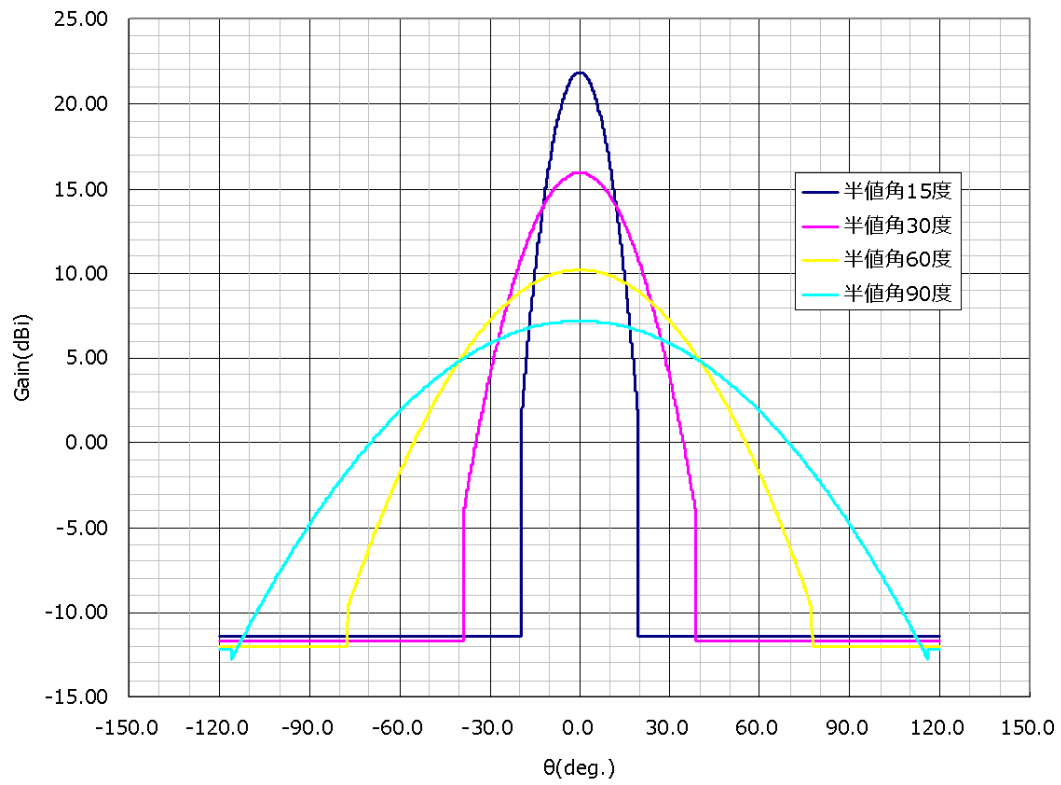


図 3 - 1 . 9 アンテナモデルのアンテナ利得パターン(一例)

表 3 - 1 . 1 2 アンテナ利得パターンの最大利得(一例)

アンテナ半値角(度)	最大利得(dBi)	備考
15	21.9	
30	15.9	
60	10.2	
90	4.2	

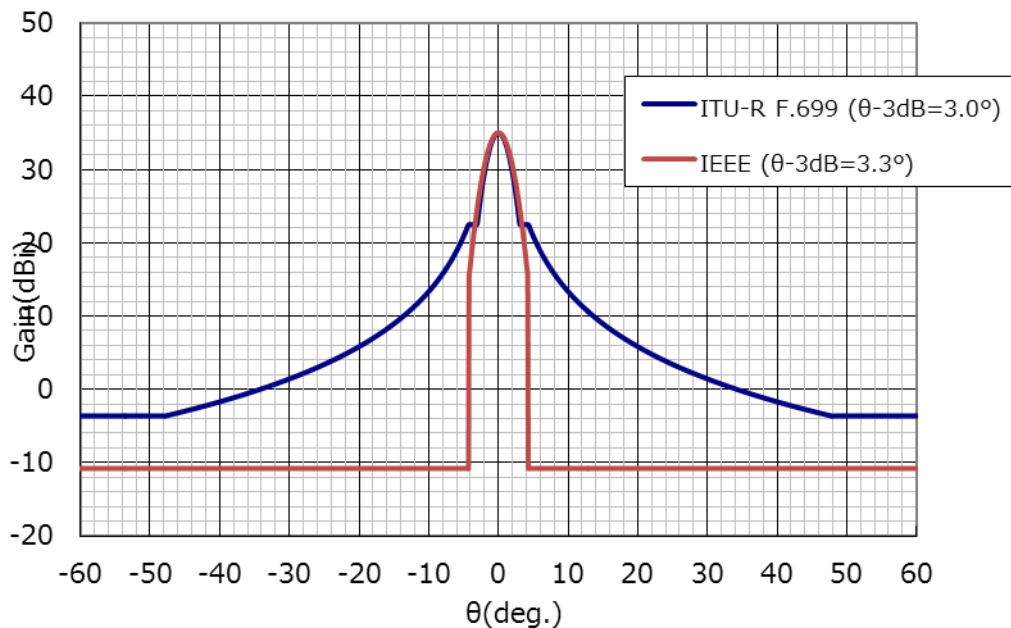


図 3-1.10 ITU-R アンテナモデル (35 dBi)

3-2 FPU

FPU は、42GHz 帯または 55GHz 帯を使用するミリ波帯デジタル無線伝送システムに適用されるテレビジョン放送番組素材伝送用の可搬型無線伝送機器である。

利用シーンの例としては、図 3-2.1 (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書 より転記) に示すように、フィールド等で収集された素材を屋外に設置された受信局に円滑に伝送するなど、利用シーンに基づく柔軟な運用形態に対応できるように、ARIB-STD-B43 (テレビジョン放送番組素材伝送用可搬形ミリ波帯デジタル無線伝送システム) でチャンネル幅の異なる 3 つのシステム (1GHz システム、500MHz システム、125MHz システム) が標準規格化されている。

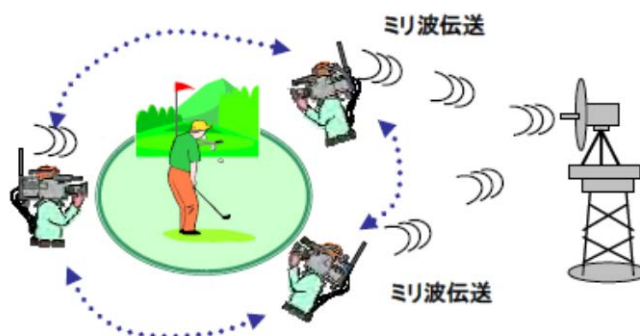


図 3-2.1 FPU 利用シーン

一方、55GHz 帯の使用周波数は図 3-2.2 に示すように、60GHz 帯高出力 WPAN と隣接した 54.27~55.27GHz が割り当てられており、干渉による影響が懸念されるため干渉検討を行う必要がある。

そこで、60GHz 帯高出力 WPAN との許容 INR（干渉波レベルと受信局の熱雑音の比）を基準とした机上計算による離隔距離を求め、その結果から干渉度合いを検討評価する。

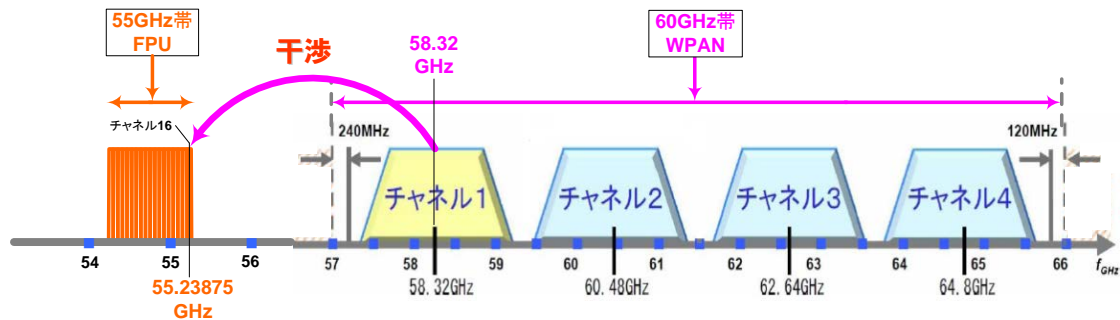


図 3-2.2 60GHz 帯高出力 WPAN と FPU の周波数割り当て

3-2-1 評価方法

60GHz 帯無線システムである与干渉送信局（以下 ITx という）と FPU である被干渉受信局（以下 VRx という）を配置（配置のイメージ：図 3-2.3）し、VRx が ITx より被る干渉による影響について評価条件を以下として検討を行う。以下の手順にそって検討評価を行う。

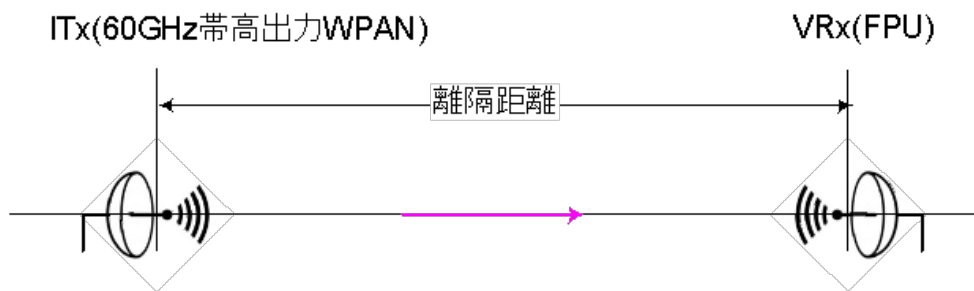


図 3-2.3 ITx と VRx の配置イメージ

- ・ 干渉モデルを用いた検討ではなく、60GHz 帯無線システムとの許容 INR（干渉波レベルと受信局の熱雑音の比）を基準とした机上計算による離隔距離を評価指標とする。
- ・ 離隔距離は、許容 INR を-20dB と設定（ITU-R Rec. BT.1895 より引用）した場合の許容干渉波レベルを算出し、等価となる FPU と 60GHz 帯無線システムとの距離となる。

- ・ FPU が ITx より被る空中線電力（干渉電力）は IEEE802.11ad で定義される送信スペクトラムマスク規定に準じた電力を用いる。チャンネルのセンター周波数から 3.06GHz 離れたポイントの送信帯域オフセットは-30dBr である。
- ・ FPU と ITx が最も狭まる周波数は図 3-2.4 に示すように、FPU の上限チャンネルである #16（55.23875GHz）と ITx の下限チャンネルである #1（58.32GHz）時である。その周波数間隔は 3.06GHz 以上離れているため、送信帯域オフセットは-30dBr とする。

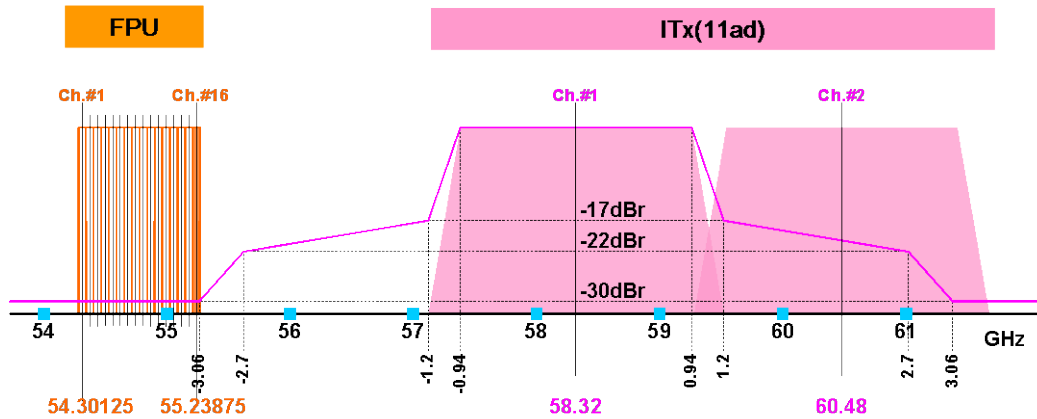


図 3-2.4 FPU と ITx の周波数割り当て及び ITx の送信スペクトラムマスク

- ・ ITx の空中線電力は、10dBm（現行規定）/15dBm（高出力）/20dBm（高出力）/25dBm（高出力）/30dBm（高出力）の 5 種類とする。
- ・ 本評価検討では ITx 及び VRx で使用するアンテナは 3-1-4 節で述べたアンテナモデルを基準に、ITx 用アンテナは図 3-2.5 に示すように半値角 10.5 度（利得 25dBi）/18.5 度（利得 20dBi）/33.5 度（利得 15dBi）/61.0 度（利得 10dBi）の 4 種類とする。また、VRx 用アンテナは図 3-2.6 に示すように半値角 3.3 度（利得 35dBi）の 1 種類とする。

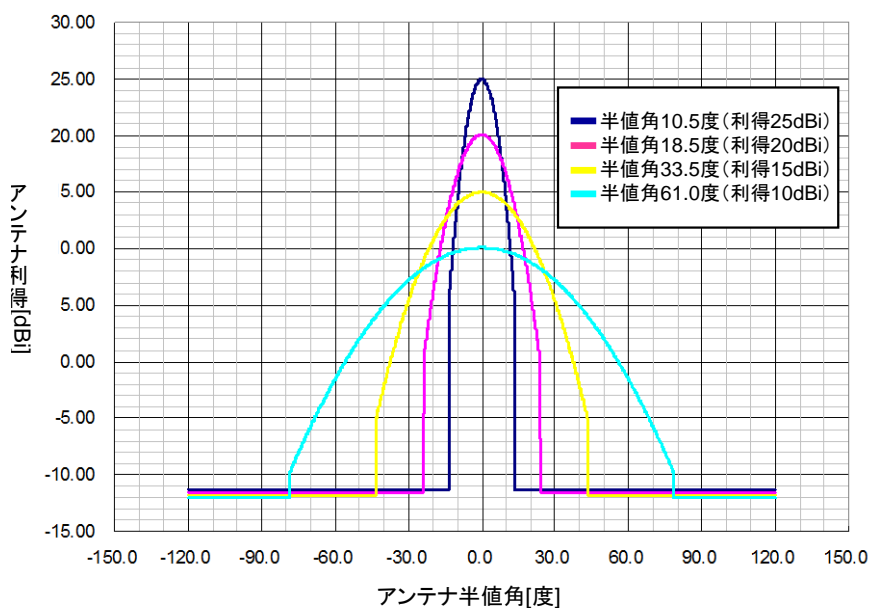


図 3-2.5 ITx で用いたアンテナのアンテナ半値角

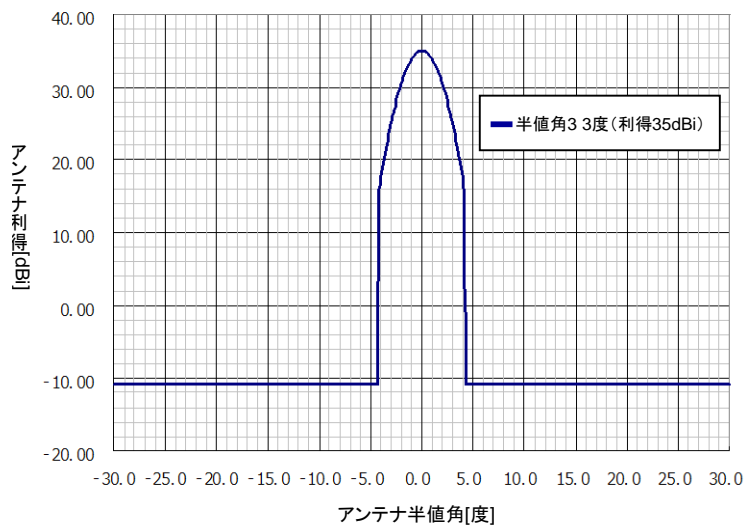


図 3-2.6 VRx で用いたアンテナのアンテナ半値角

- ITx と VRx が対向するアンテナ角度は、正対した場合を 0 度（図 3-2.7）として、同時に同一方向に可変させた場合とする。例えば、アンテナ角度を 30 度ずらした場合は図 3-2.8 のようになる。

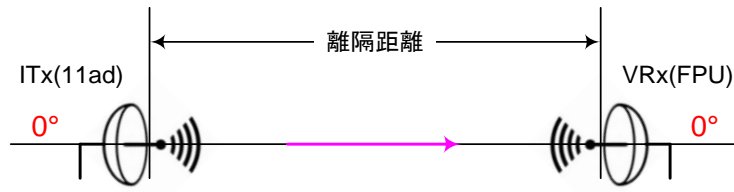


図3-2.7 ITx アンテナと VRx アンテナを正対 (0度) させた場合

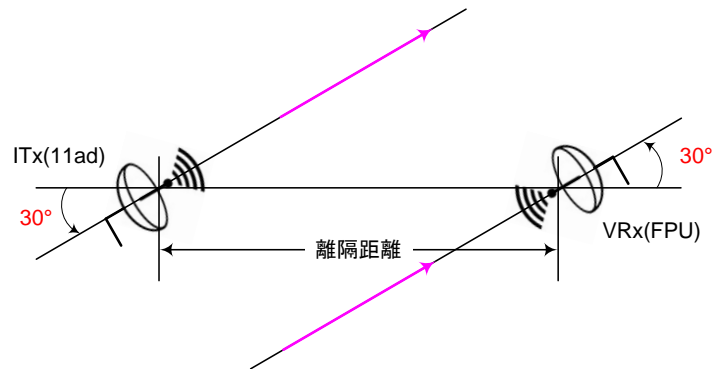


図3-2.8 ITx アンテナと VRx アンテナを正対から 30 度ずらした場合

3-2-2 評価結果

計算パラメータを表3-2.1、計算した離隔距離を図3-2.9～図3-2.17、および表3-2.2に示す。60GHz帯無線システムの空中線電力30dBm、アンテナ半値角10.5度（利得25dBi）とした場合、60GHz帯無線システムとFPUの正対方向に対するアンテナ角度が10度時の離隔距離は20.7mとなる。60GHz帯無線システムの空中線電力30dBm、アンテナ半値角61.0度（利得10dBi）とした場合、60GHz帯無線システムとFPUの正対方向に対するアンテナ角度が10度の離隔距離は12.7mとなる。

表3-2.1 机上計算パラメータ一覧

項目	値	内容
送信周波数	55.27GHz	ITx 送信周波数 →FPU の上限チャンネルの上限周波数
送信帯域幅	2160MHz	ITx 送信帯域幅
空中線電力	現行規定:10dBm 高出力:15, 20, 25, 30dBm	ITx 空中線電力
アンテナ半値角 (最大利得)	10.5° (25dBi) 18.5° (20dBi) 33.5° (15dBi) 61.0° (10dBi)	ITx 送信アンテナ半値角
送信帯域幅オフセット	-30dB	送信スペクトラム規定における ITX 送信帯域オフセット
大気吸収損失	5dB/km	55GHz の大気吸収損失
受信アンテナ半値角 (最大利得)	3.3° (35dBi)	VRx 受信アンテナ半値角
受信帯域幅	54.4MHz	VRx 受信帯域幅
受信帯域オフセット	-15.99dB	VRx が受信する干渉波の帯域内 オフセット
受信機雑音指数	10dB	VRx 雑音指数 (NF)
熱雑音電力	-86.44dB	VRx 熱雑音電力
許容 INR	-20dB	VRx 許容 INR

表3-2.2 離隔距離まとめ (単位 : m)

ITxアンテナ半値角 (度)	ITxとVRxの正対方向に 対するアンテナ角度 (度)	ITx空中線電力(dBm)				
		30 (高出力)	25 (高出力)	20 (高出力)	15 (高出力)	10 (現行規定)
10.5	0	2822.6	2231.2	1701.7	1244.8	869.1
	1	2673.8	2096.4	1583.7	1145.8	790.6
	2	2247.0	1715.7	1256.6	878.5	585.0
	3	1610.6	1168.4	808.3	532.7	335.6
	4	907.2	606.5	387.0	237.3	141.0
	5	52.1	29.7	16.8	9.5	5.3
	6	45.5	25.9	14.7	8.3	4.7
18.5	10	20.7	11.7	6.6	3.7	2.1
	0	2243.1	1712.2	1253.7	876.2	583.2
	1	2116.1	1600.9	1160.2	801.9	528.0
	2	1755.9	1290.6	905.6	605.5	386.3
	3	1231.4	858.4	569.9	361.4	220.4
	4	676.1	436.4	270.1	161.7	94.5
	5	37.0	21.0	11.9	6.7	3.8
33.5	6	35.1	20.1	11.4	6.4	3.6
	10	27.5	15.6	8.8	4.9	2.8
	0	1705.2	1247.7	871.4	579.7	368.2
	1	1596.4	1156.5	799.0	525.8	330.8
	2	1292.9	907.6	606.9	387.3	237.4
	3	868.3	577.3	366.5	223.8	132.6
	4	449.4	278.8	167.2	97.9	56.4
61	5	22.4	12.7	7.1	4.0	2.3
	6	22.1	12.5	7.0	4.0	2.2
	10	20.4	11.6	6.5	3.7	2.1
	0	1254.8	877.1	583.9	371.1	226.8
	1	1163.8	804.8	530.1	333.8	202.5
	2	915.5	612.8	391.5	240.2	142.9
	3	584.9	371.9	227.3	134.8	78.3
61	4	284.5	170.8	100.1	57.7	32.9
	5	13.1	7.3	4.1	2.3	1.3
	6	13.0	7.3	4.1	2.3	1.3
	10	12.7	7.1	4.0	2.3	1.3

ITx の空中線電力をそれぞれ 10dBm/15dBm/20dBm/25dBm/30dBm にした場合の ITx と VRx の正対方向に対するアンテナ角度 対 離隔距離を図 3-2.9~図 3-2.13 に示す。

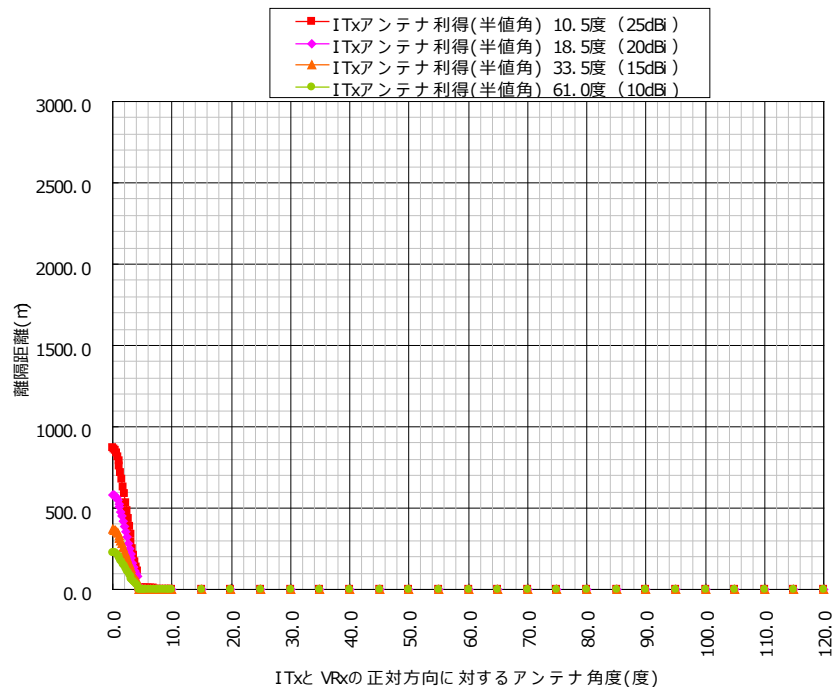


図 3-2.9 ITx 空中線電力 10dBm 時の離隔距離 (許容 INR -20dB)

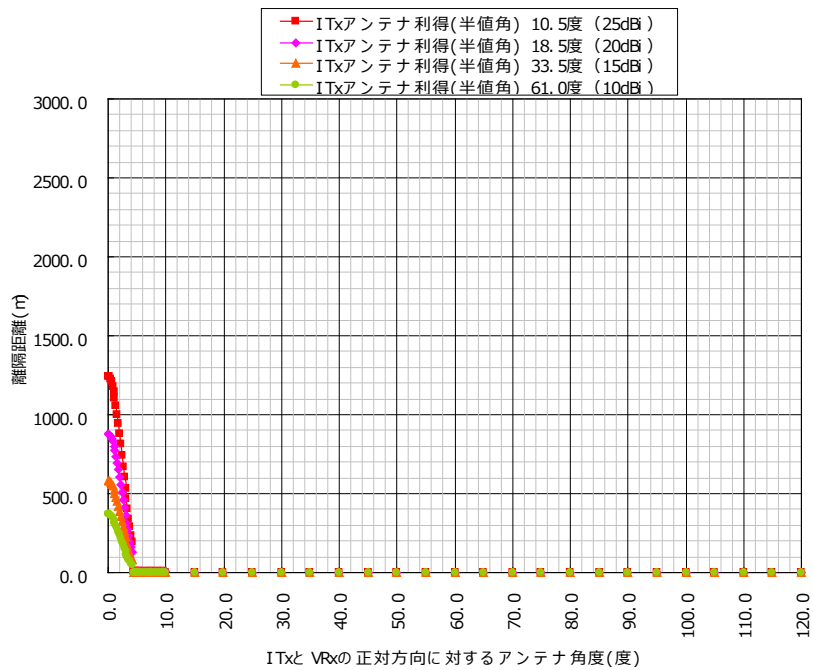


図 3-2.10 ITx 空中線電力 15dBm 時の離隔距離 (許容 INR -20dB)

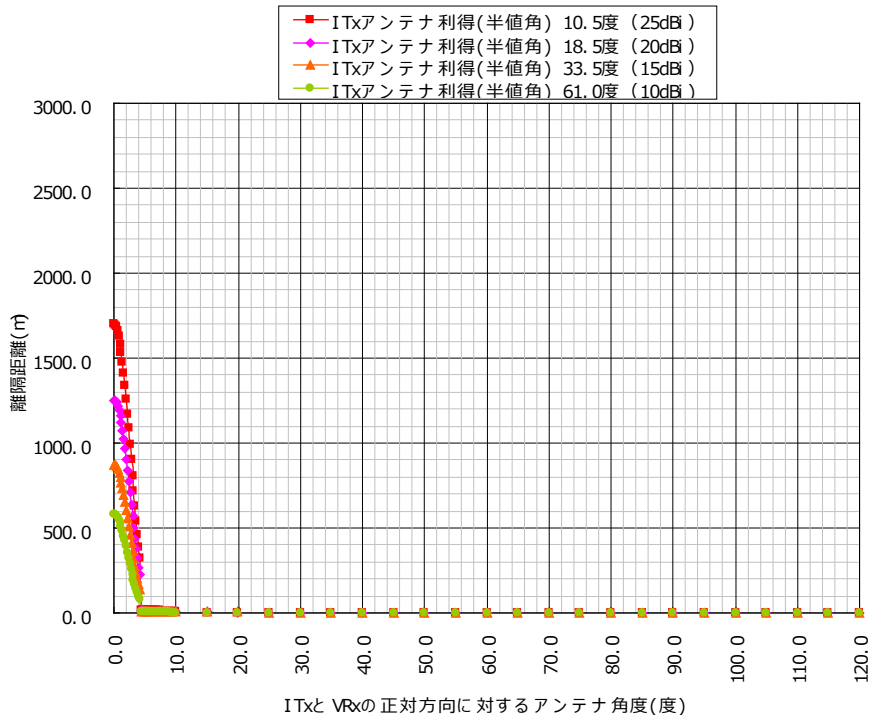


図 3-2.1.1 ITx 空中線電力 20dBm 時の離隔距離 (許容 INR -20dB)

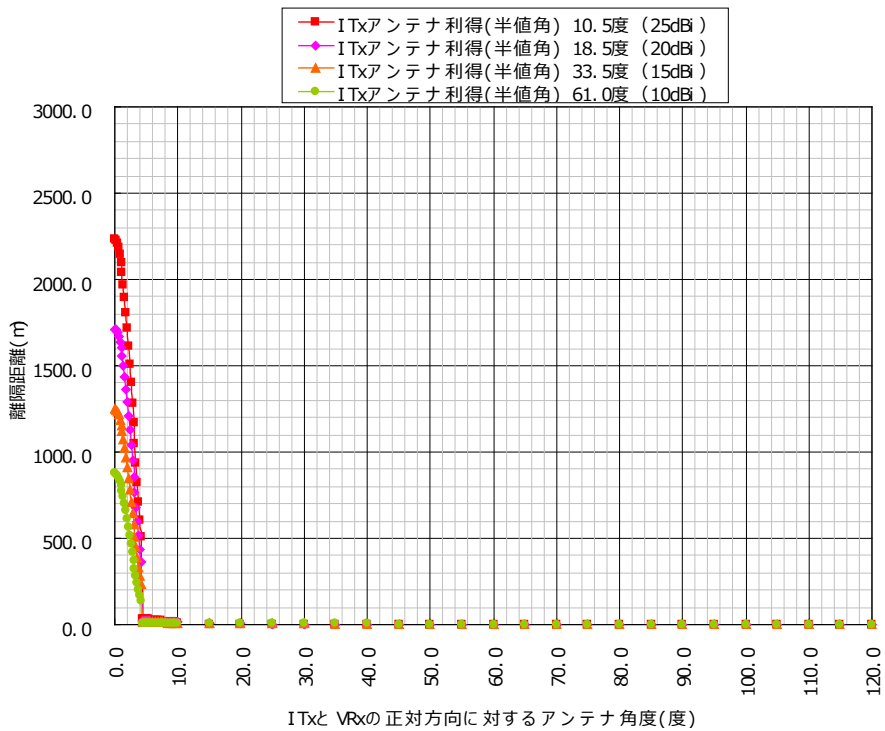


図 3-2.1.2 ITx 空中線電力 25dBm 時の離隔距離 (許容 INR -20dB)

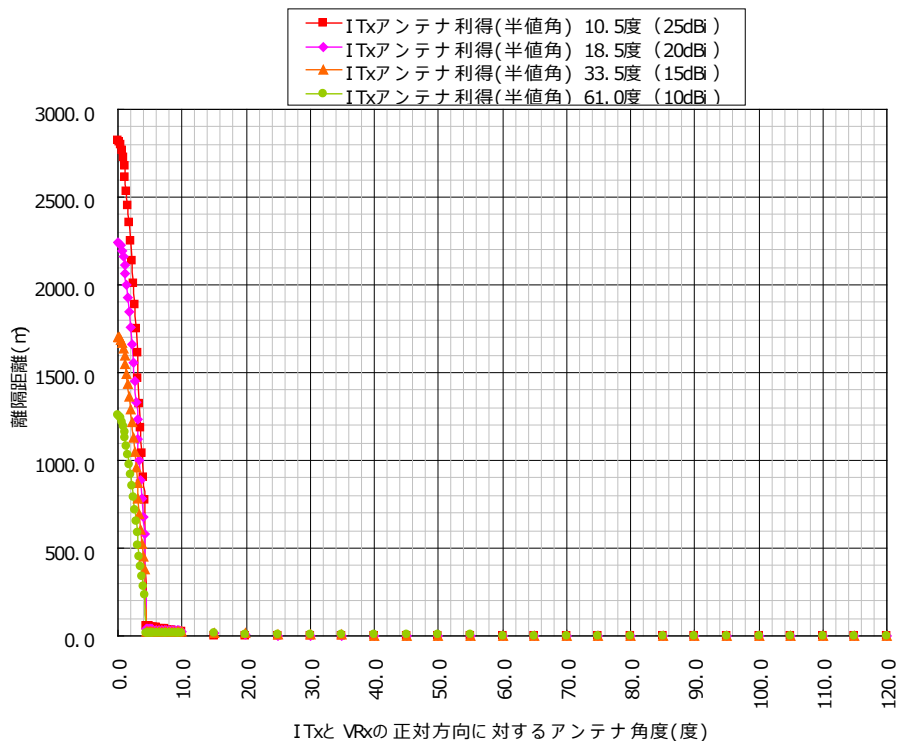


図 3 - 2 . 1 3 ITx 空中線電力 30dBm 時の離隔距離 (許容 INR -20dB)

ITxのアンテナ半値角をそれぞれ10.5度/18.5度/33.5度/61.0度にした場合の ITxとVRxの正対方向に対するアンテナ角度 対 離隔距離を図3-2.14～図3-2.17に示す。

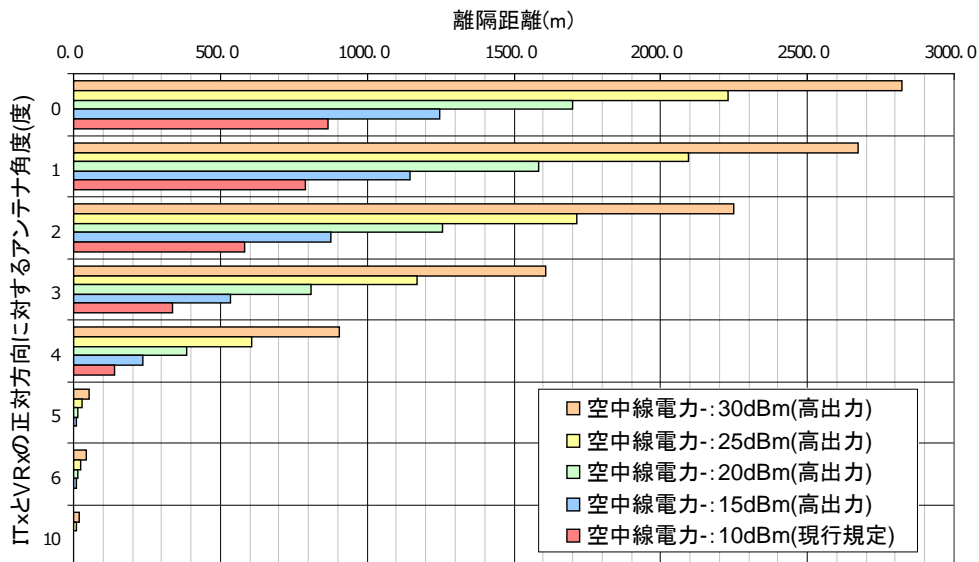


図3-2.14 ITxのアンテナ半値角10.5度時の離隔距離（許容 INR -20dB）

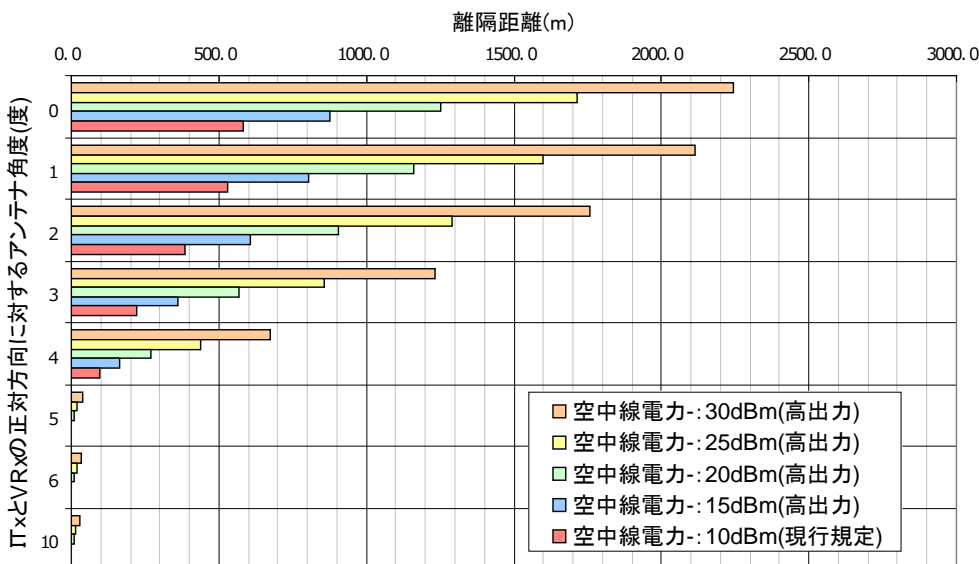


図3-2.15 ITxのアンテナ半値角18.5度時の離隔距離（許容 INR -20dB）

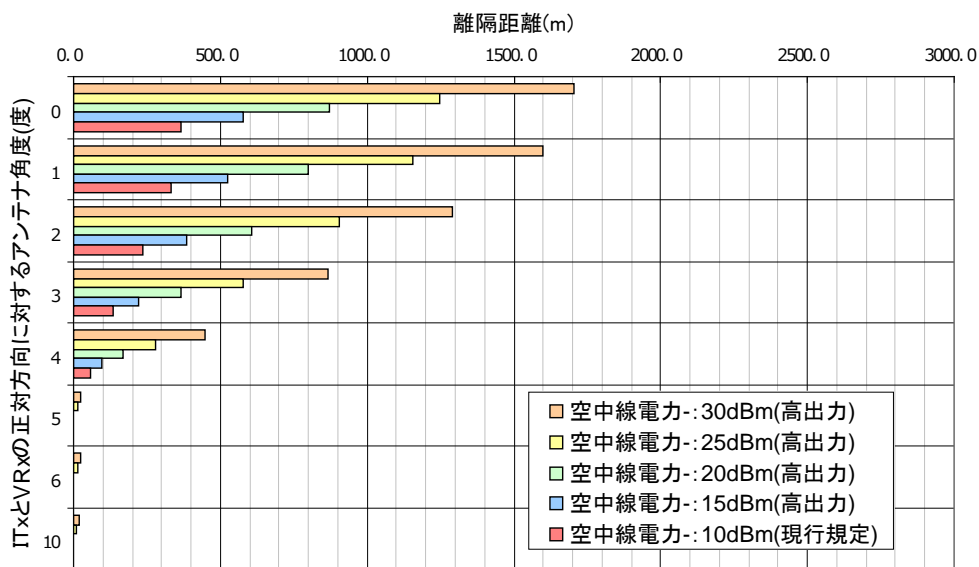


図 3 - 2 . 1 6 ITx のアンテナ半値角 33.5 度時の離隔距離 (許容 INR -20dB)

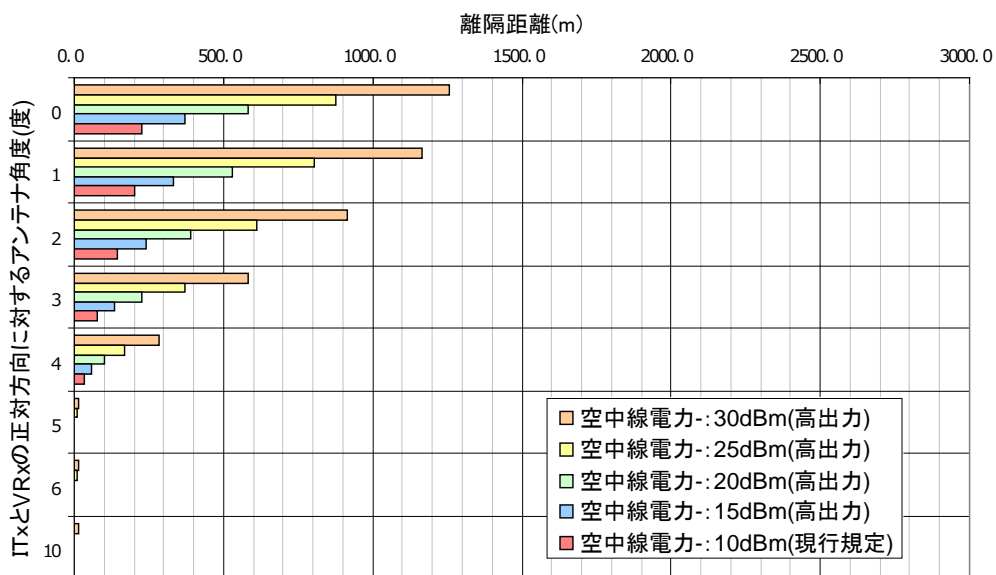
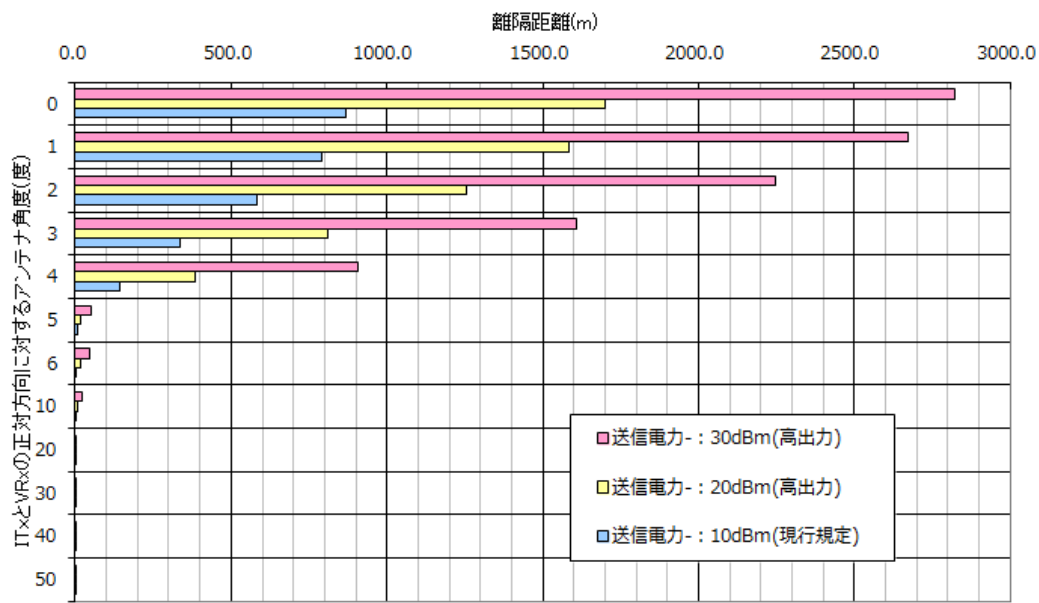


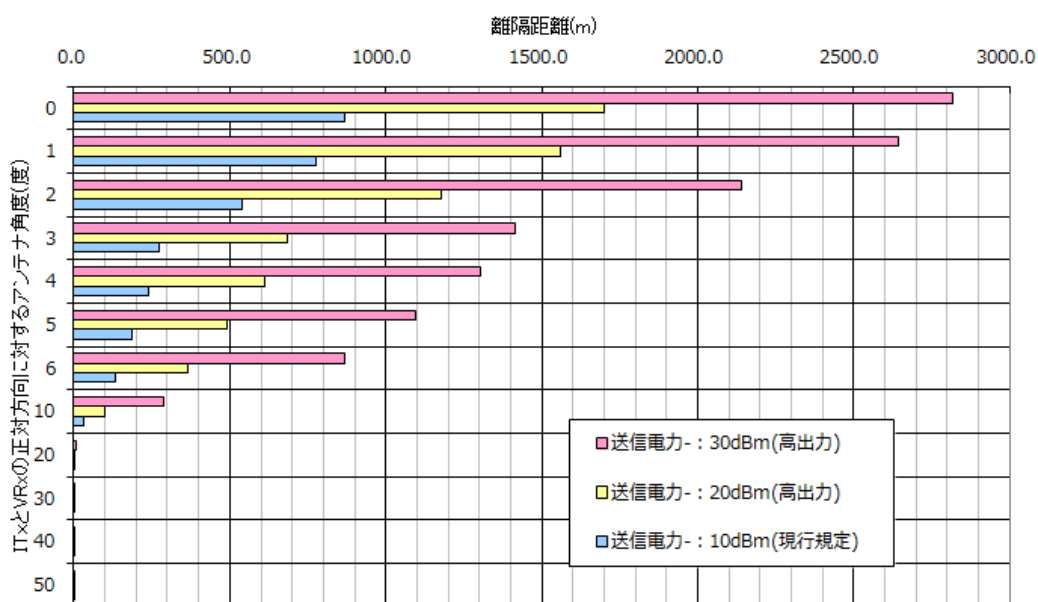
図 3 - 2 . 1 7 ITx のアンテナ半値角 61.0 度時の離隔距離 (許容 INR -20dB)

3-2-3 評価結果 (ITU-R アンテナモデルとの比較)

第3-2-2節で実施した IEEE アンテナモデルに対し、ITU-R で採用されたアンテナモデルに対する干渉検討を行った。アンテナの放射パターン以外は同一条件で比較した。

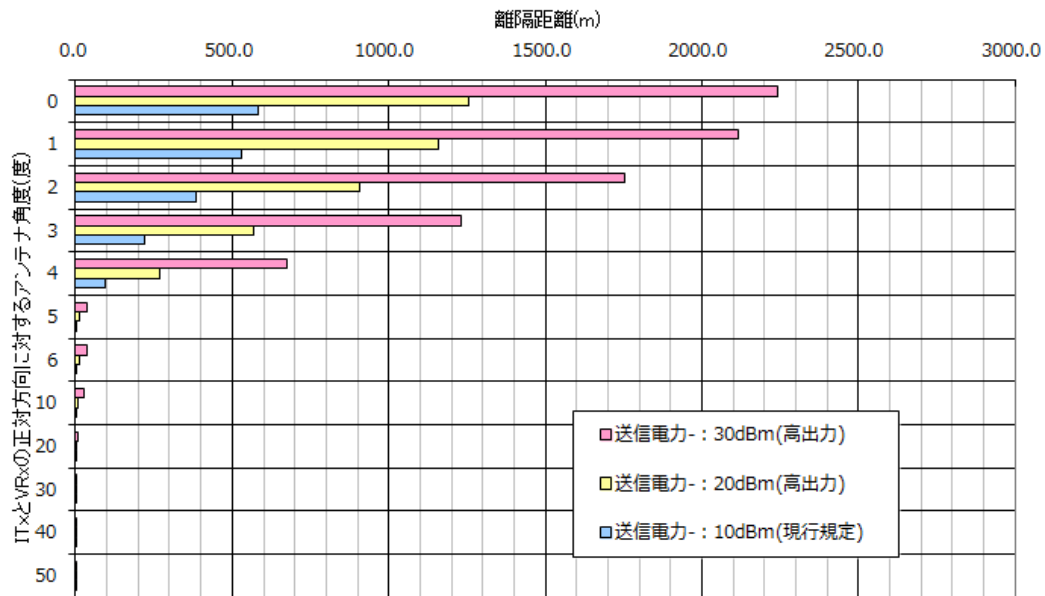


(a) IEEE

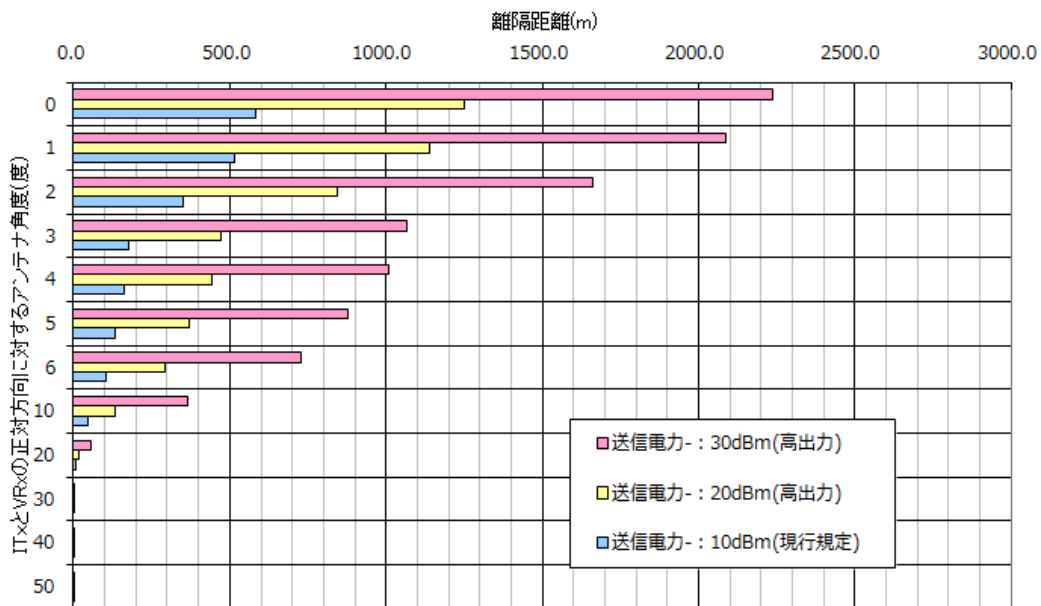


(b) ITU-R

図3-2.18 アンテナ利得 25dBi の離隔距離比較

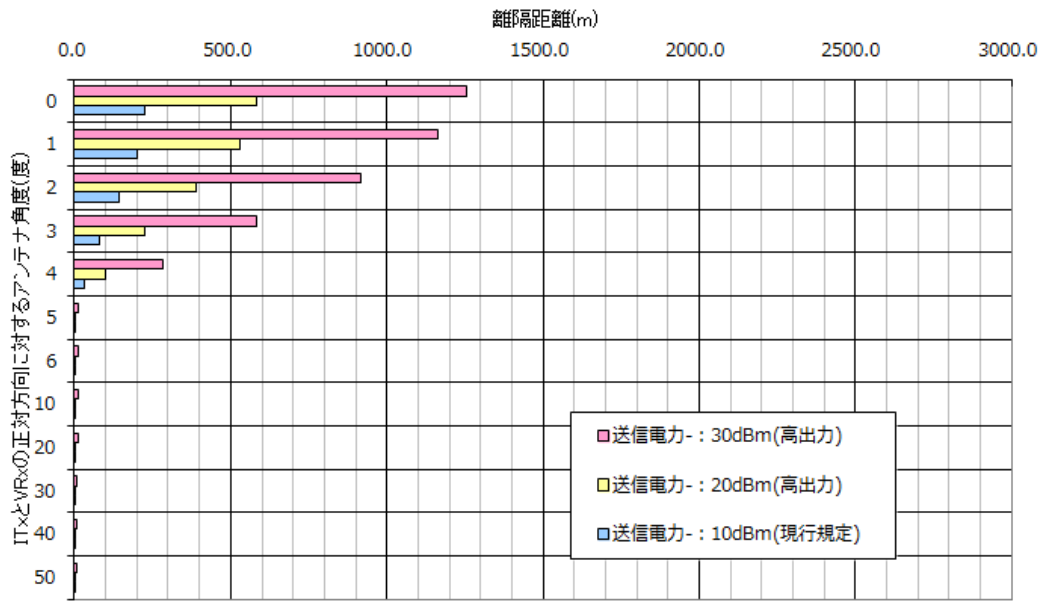


(a) IEEE

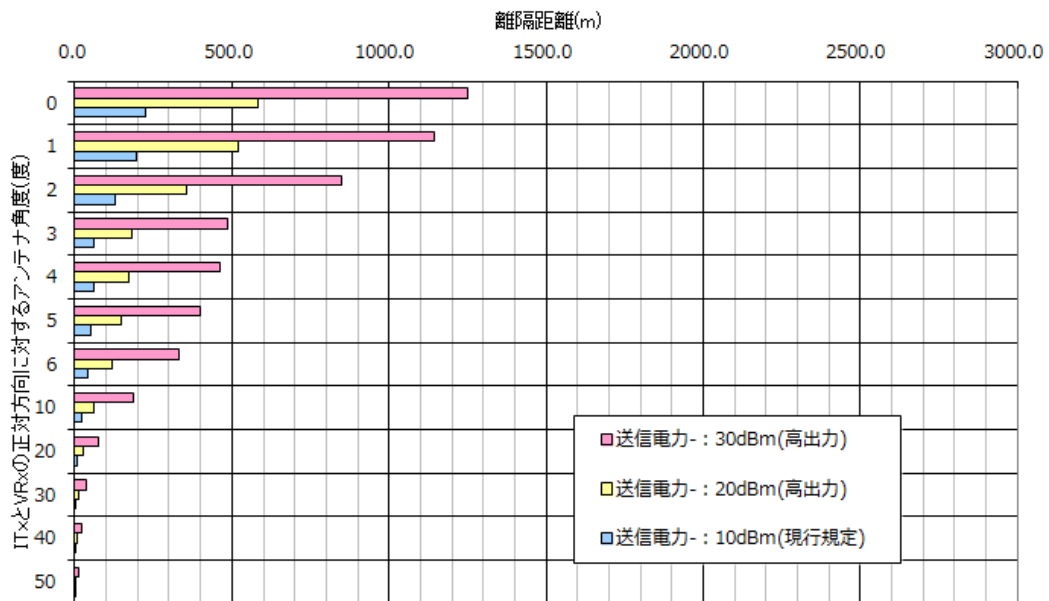


(b) ITU-R

図3-2.19 アンテナ利得 20dBi の離隔距離比較

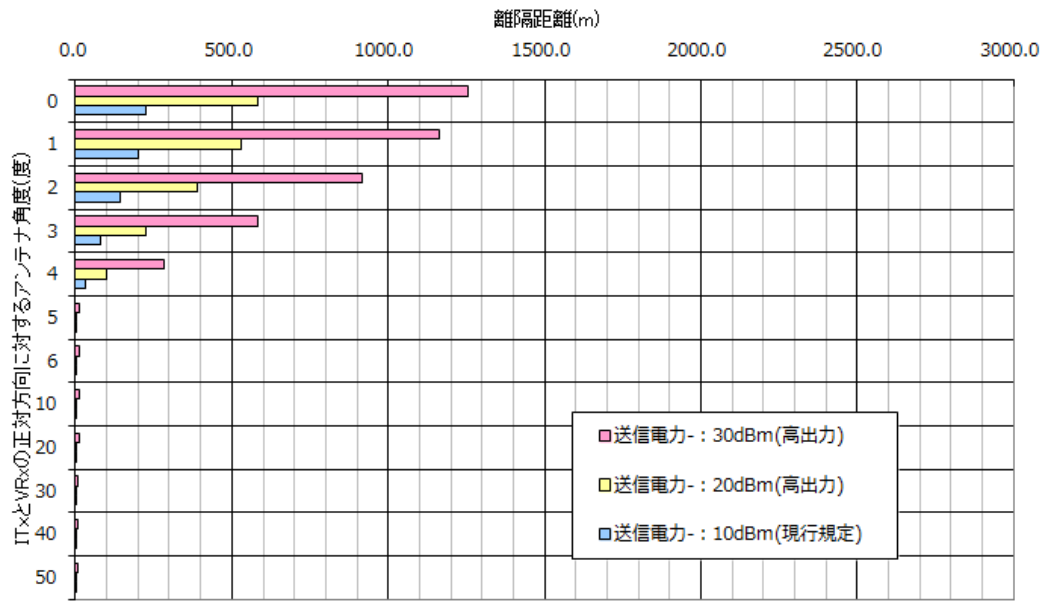


(a) IEEE

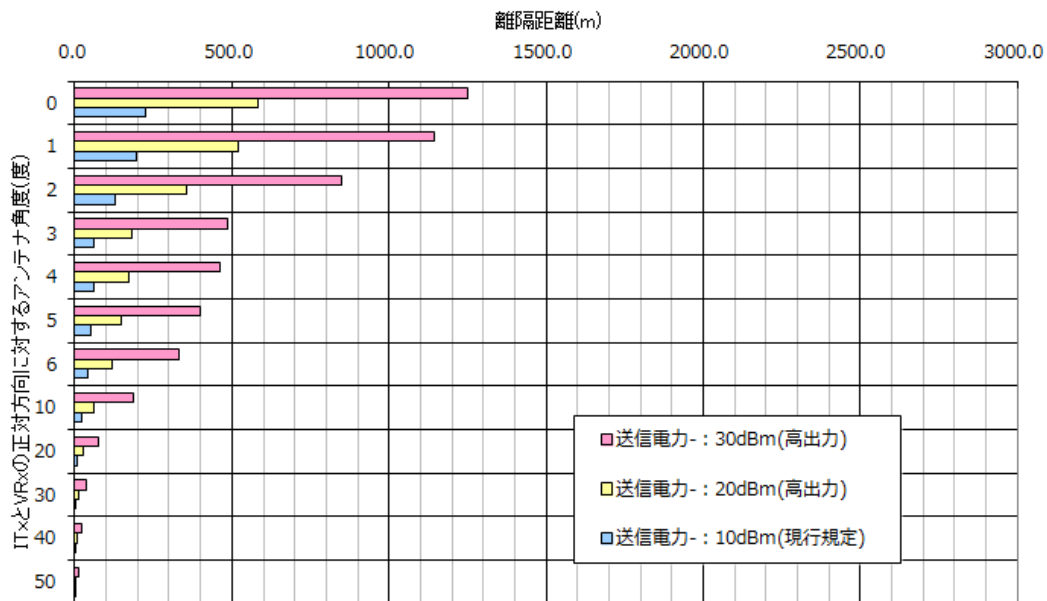


(b) ITU-R

図 3 - 2 . 2 0 アンテナ利得 15dBi の離隔距離比較



(a) IEEE



(b) ITU-R

図3-2.2.1 アンテナ利得10dBiの離隔距離比較

3-2-4 FPU 干渉検討結果

FPU は、60GHz 帯ミリ波無線システムと隣接した周波数帯である 55GHz 帯が割り当てられており、FPU との離隔距離を評価指標として干渉評価結果を行った。FPU と 60GHz 帯ミリ波システムが正対した場合に、大きな離隔距離が必要となるが、アンテナ指向性によりアンテナ角度差が大きくなるほど、干渉量が緩和される。

3-3 固定マイクロ(エントランス回線)

3-3-1 干渉モデル

被干渉システムである固定マイクロ(エントランス回線)に対して、受信系総合雑音レベルのうち、与干渉源への許容干渉レベル配分として熱雑音に対する割合を設定し、その量を許容干渉レベルとする許容 INR 基準での離隔距離を計算した。

図 3-3.1 に示すように、被干渉局と与干渉局を正対した条件での離隔距離を求めるとともに、与干渉局のアンテナの方向を正対から 30 度まで動かした場合の角度をパラメータとして離隔距離を計算した。また同様に被干渉局側だけのアンテナの方向を動かした場合についても同様の計算を実施した。被干渉局の評価条件を表 3-3.1 に示す。

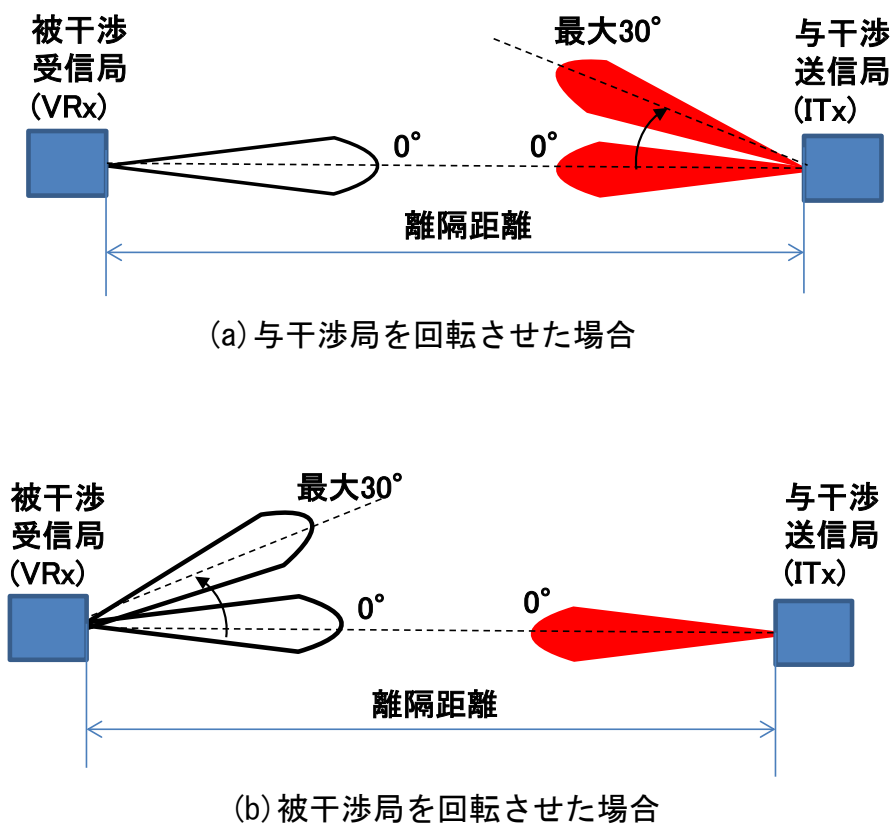


図 3-3.1 固定マイクロに対する干渉モデル

表 3-3.1 INR 基準による評価条件

項目	値		内容
送信周波数	58.32	GHz	ITx 送信周波数
送信帯域幅	2160	MHz	ITx 送信帯域幅
空中線電力	現行規定 : 10 高出力 : 25	dBm	ITx 空中線電力
送信アンテナ利得	21.9(半値角 15°) 15.9(半値角 30°) 10.2(半値角 60°)	dBi	ITx 送信アンテナ利得 →IEEE モデル
アンテナ放射角	0~100	deg.	ITx のアンテナ放射角度
大気吸収損失	13	dB/km	大気吸収による 58GHz 付近の損失
受信アンテナ利得	41.9(半値角 1.5°)	dBi	VRx 受信アンテナ利得 →ITU-R モデル
受信帯域幅	26	MHz	VRx 受信帯域幅
受信帯域オフセット	-19.19	dB	VRx が受信する干渉波の帯域内オフセット
受信機雑音指数	10	dB	VRx の雑音指数 (NF)
熱雑音電力	-89.65	dB	VRx 熱雑音電力
許容 INR	-10	dB	VRx の許容 INR

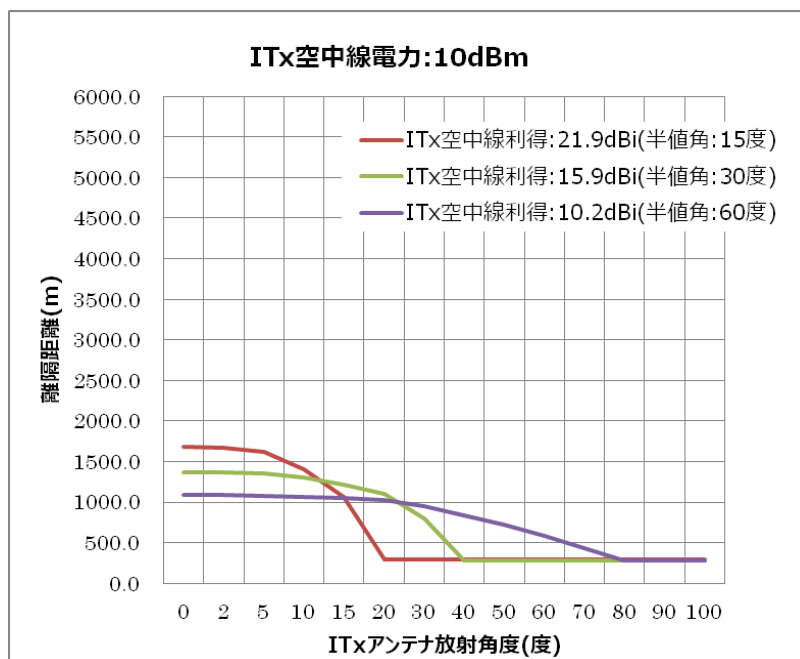


図 3 - 3 . 2 与干渉局を回転させた場合の離隔距離 (10dBm)

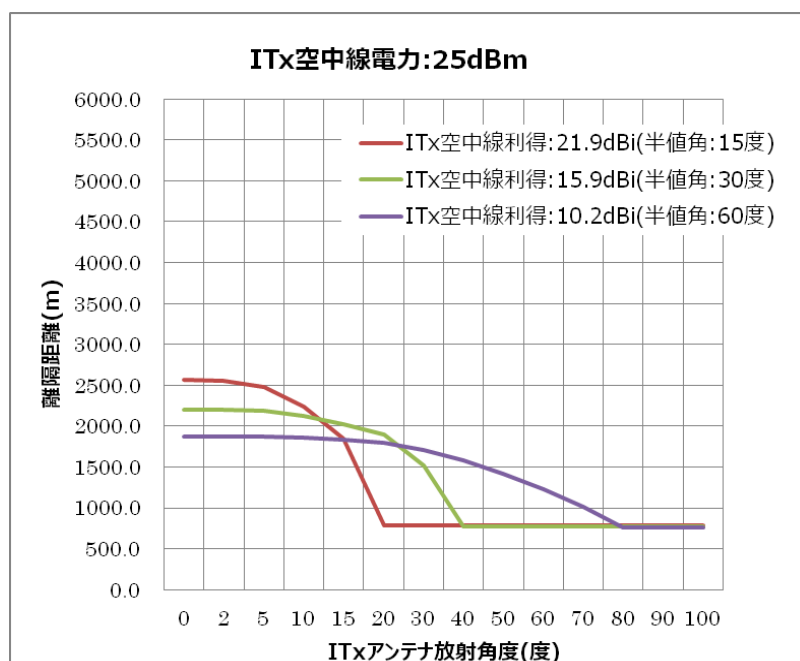


図 3 - 3 . 3 与干渉局を回転させた場合の離隔距離 (25dBm)

注記) 干渉検討に用いたアンテナ指向性は第三章第一節に示しているが、ITU-R で採用されたアンテナ指向性モデル、および IEEE で採用されたアンテナ指向性モデルともに、角度が正面方向 (0°) から大きくずれると、アンテナ利得は負のデシベル値となるものの有限の値としてフロアを打つモデルのため、モデルの制約により図 3-3-2、3-3-3 に示したように、角度を一定以上ずらしても離隔距離がフロアを打つ計算結果となっている。一般的に今回検討対象とした高利得アンテナでは角度ずらすことにより、実際のアンテナ利得はフロアを打たず、角度差とともに離隔距離はさらに小さくなる。

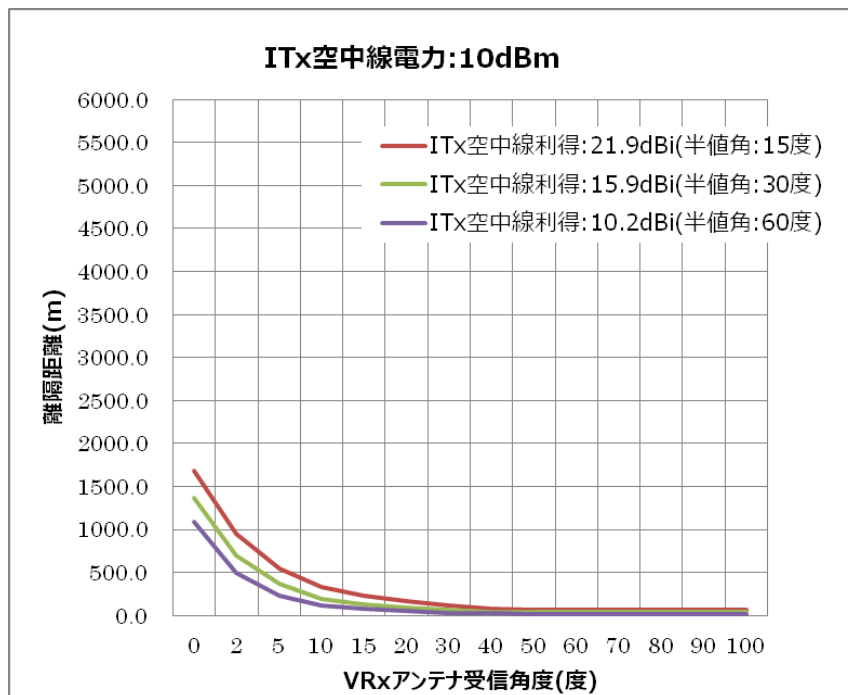


図 3-3.4 被干渉局を回転させた場合の離隔距離 (10dBm)

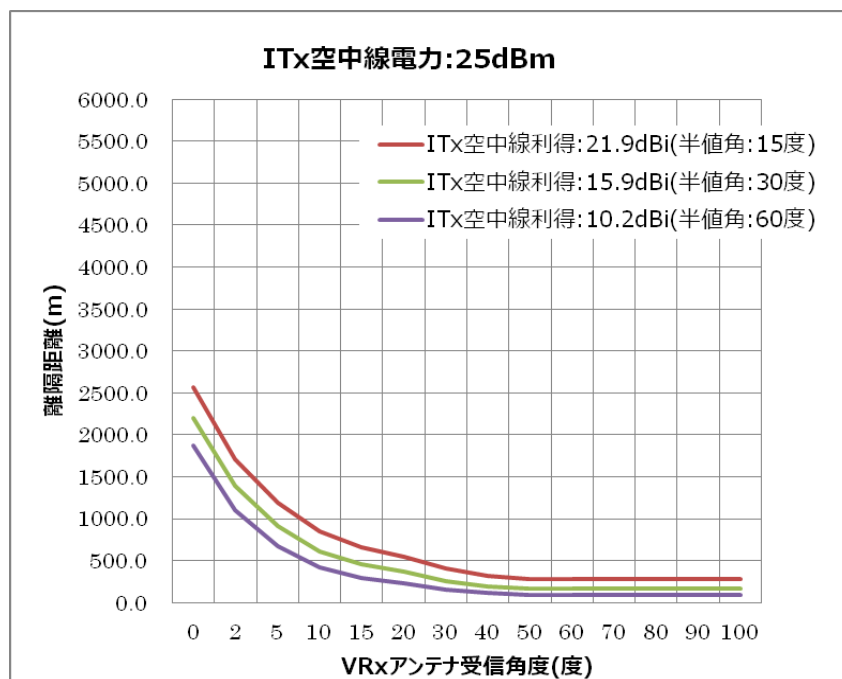


図 3-3.5 被干渉局を回転させた場合の離隔距離 (25dBm)

3-3-2 エントランス回線の干渉検討結果

エントランス回線における干渉検討結果については、以下の結果となった。

- (1) 被干渉システムと与干渉システムが正対する場合においては、干渉が認められた。与干渉システムが 15.9dBi(半値角 30 度)のアンテナでは、空中線電力 10dBm の条件では離隔距離 1,369m であるのに対し、空中線電力 25dBm では離隔距離が 2,204m 必要となった。
- (2) 被干渉システム、および与干渉システムのアンテナ指向性により、被干渉システムと与干渉システムのアンテナ角が正対からずれることにより干渉量が緩和される。与干渉側 (15.9dBi) アンテナでは 40 度以上の角度差があれば、離隔距離は 776m となり、干渉量は大きく緩和される。また被干渉アンテナ側 (41dBi) では、10 度の角度差があれば離隔距離は 606m となり、干渉量はさらに緩和される。

上記のようにエントランス回線と 60GHz 帯ミリ波無線システムの間では、特定の設置条件により干渉が起り得るが、設置条件を考慮した運用を行えば共存可能と考えられる。

3-4 ミリ波レーダー

3-4-1 ミリ波車載レーダー

本節では、ミリ波車載レーダーとの干渉評価の検討内容について述べる。本システムの干

渉評価は、電波伝搬解析+干渉計算によるシミュレーション評価である。参考に、ARIB のミリ波レーダー無線規格 (ARIB STD-T48) を以下に示す。

表 3-4.1 ARIB STD-T48 ミリ波レーダー無線規格

No	項目	内容	備考
1	使用周波数帯域	60.0GHz~61.0GHz	2.1 版より引用
2	帯域幅	500MHz 以下	2.1 版より引用
3	空中線電力	10mW 以下	2.1 版より引用
4	変調方式	パルス方式/ FM-CW 方式/ SS 方式他	
5	帯域外領域におけるスプリアス発射	100uW 以下	2.1 版より引用
6	帯域外領域における不要発射	50uW 以下	2.1 版より引用

3-4-1-1 干渉モデル

60GHz 帯無線システムから、車載レーダーに対する干渉の影響をを検討するため、図 3-4.1 に示すような 60m 四方の交差点をモデル化した。

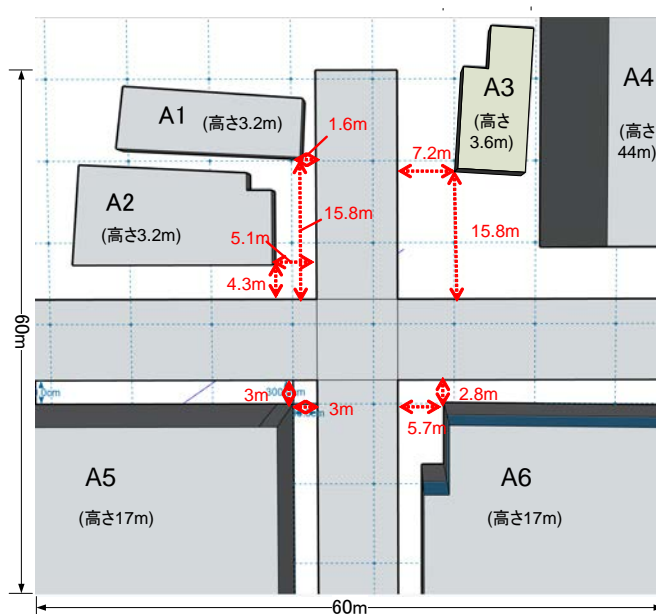


図 3-4.1 車載レーダー交差点モデルレイアウト図 (Top View)

本干渉モデルでは、与干渉送信局 (ITx) を交差点コーナーの 4 箇所、また、被干渉受信局

(VRx)は、車道 128 箇所のそれぞれいずれか 1 箇所に設置した。なお、VRx 設置点のうち 4 箇所は、交差点中央の右折を考慮した設置とし、また、その他 124 箇所は、車道を直進する場合の受信点として 2m 間隔で設置した。

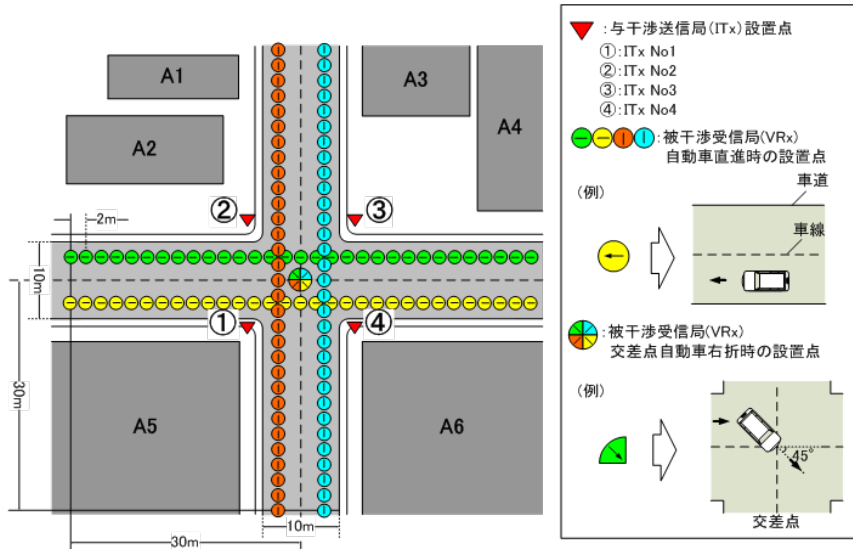


図 3-4.2 車載レーダー干渉モデル (Top View)

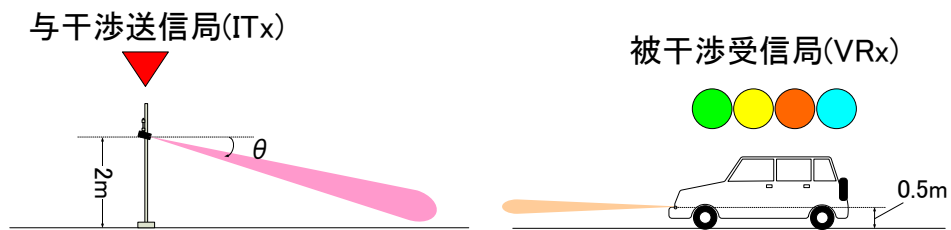


図 3-4.3 車載レーダー干渉モデル (Side View)

表 3-4.2 車載レーダー干渉モデルにおける与干渉局/被干渉局設置条件

装置名	項目	仕様	備考
与干渉送信局	設置数	4 箇所	いずれか 1 箇所に設置
	アンテナ高	2m	
被干渉受信局	設置数	128 箇所	1 方向あたり 32 箇所
	アンテナ高	0.5m	
その他	建物	コンクリート	
	車道/歩道	アスファルト	

3-4-1-2 干渉シナリオ

車載レーダーの干渉シナリオとしては、被干渉受信局 (VRx) は自車前方障害物検知のため、進行方向にアンテナを向けて、障害物からの反射波を進行方向に移動しながら検出している状態とした。また、与干渉送信局 (ITx) は、インフラストラクチャーモードによる無線通信を行うアクセスポイントを想定し、地上 2m の高さから、交差点周辺の地上に向けて干渉波を放射している状態とした。上記シナリオにより、ITx から被る VRx の干渉の影響を検討した。

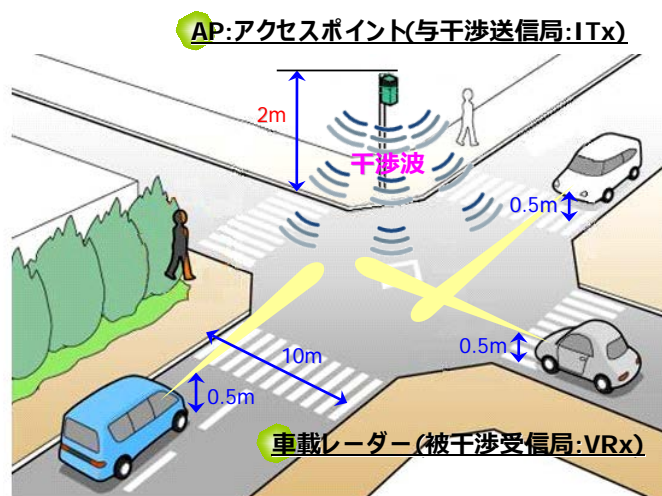


図 3-4.4 車載レーダー干渉シナリオ

3-4-1-3 評価方法

車載レーダーである被干渉受信局 (VRx) において、検知対象物からの反射波である希望波受信電力 (S) と、与干渉送信局 (ITx) からの干渉波受信電力 (I) の SIR より、VRx の各設置点における所要改善量を計算し、その所要改善量から改善が必要な受信点の割合を ITx 空中線電力, ITx 送信アンテナ半値角, ITx アンテナ放射角および ITx アンテナ仰俯角を可変パラメータとして評価を行った。

(1) 電波伝搬解析手順

① ITx 設置点選択

車載レーダー干渉モデルについて、与干渉送信局 (ITx) 設置点 4 地点の中から 1 点を選択して、電波伝搬解析を行った。

② パスマップ生成

ITx から、VRx 全設置点について、到達する干渉波のパスロス、放射角および到来角のマップを求めた。

③ITx 残 3 地点解析

ITx 設置点残り 3 地点について、①②演算を繰り返すことにより、ITx 全 4 地点についての VRx 設置点における干渉波の送受パスマップを作成した。

(2) 干渉計算手順

①パラメータ設定

車載レーダー、ITx、VRx 等の各種パラメータ設定

②希望波受信電力算出

車載レーダーパラメータにより、VRx における対象物からの反射（希望）波受信電力(S)を算出。

③干渉波受信電力算出

与干渉送信局 (ITx) パラメータ、被干渉受信局 (VRx) パラメータおよび電波伝搬解析において算出した送受パスマップを元に VRx 各設置点における干渉波受信電力(I)を ITx 設置点毎に算出した。

具体的には、ITx パラメータ（設置点、空中線電力、アンテナ半値角、仰俯角）を設定した後、ITx アンテナ放射角毎に VRx 全設置点における ITx からの干渉波受信電力を電波伝搬解析において作成したパスマップより、抽出して加算することにより算出した。

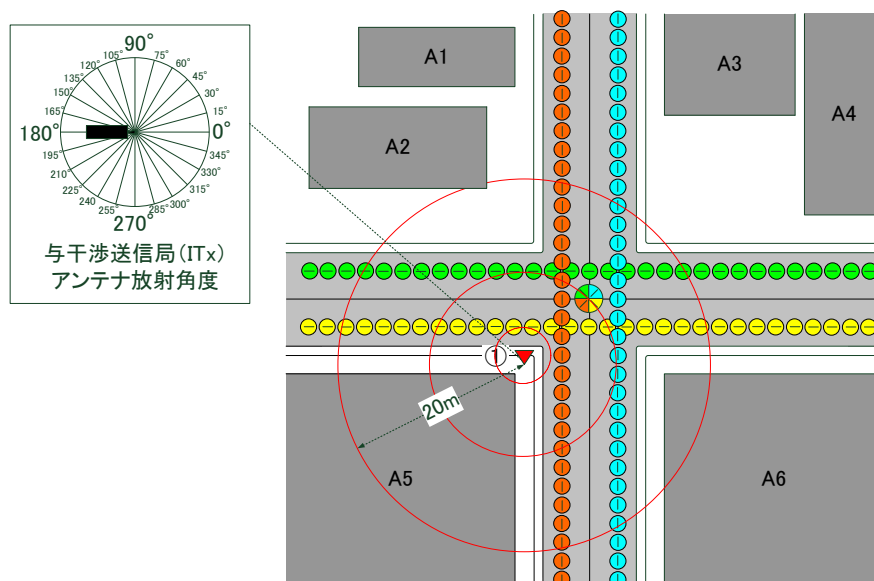


図 3 - 4 . 5 ITx の干渉波放射イメージ (Top View)

<例 : ITx 設置点 ITxNo1 の場合>

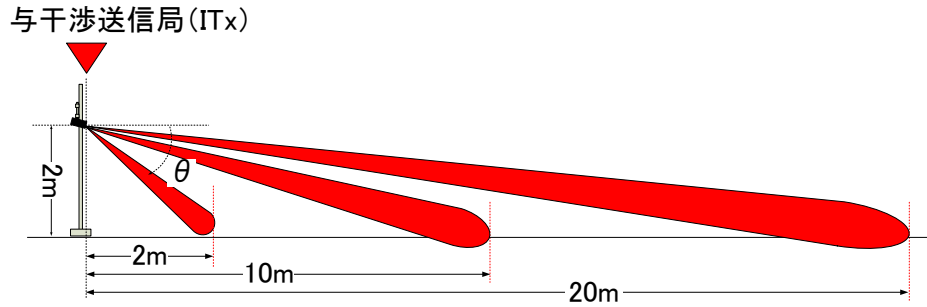


図3-4.6 ITxの干渉波放射イメージ (Side View)

④SIR 算出

②において算出した希望波受信電力(S)と③において算出した干渉波受信電力(I)の比から、ITxパラメータ(設置点、空中線電力、アンテナ半値角、仰俯角)毎にSIRを算出。

⑤所要改善量算出

車載レーダー所要CNRより、④において求めたSIRを減算することにより、ITxパラメータ(設置点、空中線電力、アンテナ半値角、仰俯角)毎に所要改善量を算出。

(1) 希望波受信電力(反射波受信電力)算出

レーダー方程式により、自由空間における検知対象物からの反射波受信電力を算出するための計算式を以下に示す。

$$P_r = \frac{\lambda^2 P_t G_r G_t \sigma}{(4\pi)^3 R^4 L_a L_r}$$

P_r : 反射波受信電力 [dBm]

λ : 波長 [m]

P_t : レーダー空中線電力 [dBm]

G_r : 受信アンテナ利得 [dBi]

G_t : 送信アンテナ利得 [dBi]

σ : 反射断面積 [m²]

R : レーダー検知距離 [m]

L_a : 大気減衰量 [dB]

L_r : 降雨減衰量 [dB]

$$P_{r/Hz} = P_r + 10 \log(1/BW_{radar})$$

$P_{r/Hz}$: 反射波受信電力についての単位周波数あたりの受信電力 [dBm/Hz]

BW_{radar} : レーダー帯域幅 [GHz]

(2) 所要改善量算出

所要改善量算出のための計算式を以下に示す。

$$P_{(ITx \rightarrow VRx)} = P_{ITx} + G_{ITx} - L_{F(ITx \rightarrow VRx)}$$

$P_{(ITx \rightarrow VRx)}$: 被干渉受信局における与干渉波受信電力 [dBm]

P_{ITx} : 与干渉送信局空中線電力 [dBm]

G_{ITx} : 与干渉局送信アンテナ利得 [dBi]

$L_{F(ITx \rightarrow VRx)}$: 与干渉送信局-被干渉受信局間距離の自由空間損失 [dB]

$$P_{(ITx \rightarrow VRx)/Hz} = P_{(ITx \rightarrow VRx)} + 10 \log(1/BW_{ITx})$$

$P_{(ITx \rightarrow VRx)/Hz}$: 干渉波受信電力についての単位周波数あたりの受信電力 [dBm/Hz]

BW_{ITx} : 与干渉送信局帯域幅 [GHz]

$$SIR = P_{r/Hz} - P_{(ITx \rightarrow VRx)/Hz}$$

SIR : 希望（反射）波受信電力と干渉波受信電力の比

$$RIV = RCNR - SIR$$

RIV : 所要改善量 [dB]

$RCNR$: 所要 CNR [dB]

3-4-1-4 干渉計算評価

電波伝搬解析における設定パラメータ表 3-4-3、干渉計算における設定パラメータを表 3-4.3 に示す。

表 3-4.3 電波伝搬解析における設定パラメータ

	項目	設定	備考
与干渉 送信局 (ITx)	アンテナ	オムニアンテナ	
	アンテナ高	2m	
	設置数	4点	
	偏波	垂直	
	空中線電力	10dBm	
	周波数	60.48GHz	
被干渉 受信局 (VRx)	アンテナ	オムニアンテナ	
	アンテナ高	0.5m	
	設置数	128点	

	偏波	垂直	
	周波数	60.5GHz	
その他	オブジェクト材質	コンクリート	

表 3-4.4 干渉計算における設定パラメータ

	項目	設定	備考
与干渉送信局 (ITx)	アンテナ半値角	15/30/60 度	
	アンテナ放射角	0~345 度	15 度ステップ
	アンテナ仰俯角	-5.7/-11.3/-45 度	
	空中線電力	10~30dBm	5dB ステップ
	周波数	60.48GHz	
	帯域幅	2.16GHz	
	設置数	4 点	
被干渉送信局 (VTx) / 被干渉受信局 (VRx)	アンテナ半値角	5.2 度	送信局/受信局共通
	アンテナ放射角	0/45 度	0 度 : 直進時 45 度 : 交差点右折時
	アンテナ仰俯角	0 度	
	空中線電力	3mW	富士通テン技報 35 号より引用
	最大検知距離	120m	富士通テン技報 35 号より引用
	反射断面積	10m ²	
	スキャン角度	±14 度	富士通テン技報 35 号より引用
	帯域幅	1kHz	
	雑音指数	10dB	
	設置数	128 点	
所要 CNR	3dB		

(注 1) スキャン角度は、障害物検知のため、自動車直進方向を 0 度として、放射波を左右に走査する角度を表す。

(注 2) 所要 CNR は、希望波受信電力 (S) と干渉波受信電力 (I) が同じ値の場合、障害物検出が困難であるため、SIR マージンとして設定した。

与干渉送信局 (ITx) の設置点毎に、ITx 空中線電力および ITx アンテナ半値角を設定した場合の被干渉受信局 (VRx) の全 128 地点の改善が必要な場所の割合について、ITx アンテナ放射角毎の平均値を以下に示す。

図 3-4.7 より、ITx 空中線電力 10dBm の場合は、ITx 半値角/ITx 仰俯角の値によらず、改善が不要な場所の割合は、ほぼ 100%となっている。

ITx 空中線電力 20dBm の場合は、仰俯角-5.2 度/-11.3 度の場合は、改善が不要な場所の割合は、99%以上、また、仰俯角-45 度の場合は、100%となっている。

ITx 空中線電力 25dBm の場合は、仰俯角-5.2 度/-11.3 度の場合は、改善が不要な場所の割合は、98%以上、また、仰俯角-45 度の場合は、100%となっている。

ITx 空中線電力 30dBm の場合は、仰俯角-5.2 度/-11.3 度の場合は、改善が不要な場所の割合は、96.9%以上、また、仰俯角-45 度の場合は、ITx アンテナ半値角 60 度で 98.8%、ITx アンテナ半値角 15 度/30 度で 100%となっている。

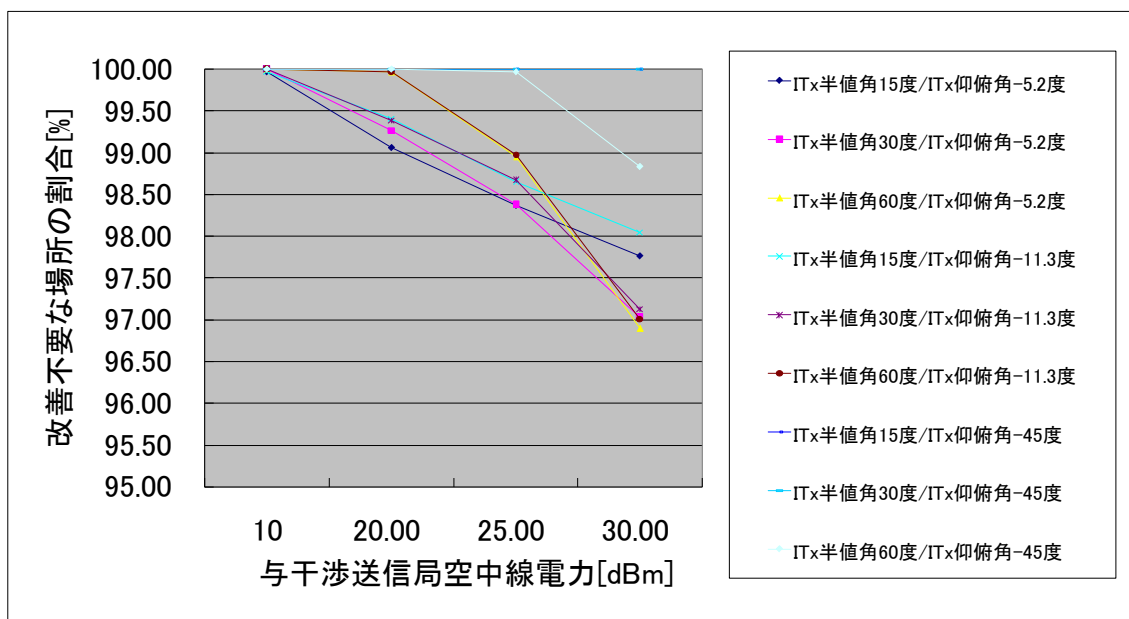


図 3-4.7 ITx アンテナ半値角および仰俯角別の改善不要な場所の割合

表 3-4.5 与干渉送信局 (ITx) パラメータ別改善不要な被干渉受信局場所の割合

ITx 空中線電力	ITx アンテナ 仰俯角	ITx アンテナ 半値角	ITxNo1 設置	ITxNo2 設置	ITxNo3 設置	ITxNo4 設置	ITxNo 1-4 平均
10dBm	-5.2 度	15 度	99.97%	99.97%	99.97%	99.97%	99.97%
		30 度	100%	100%	100%	100%	100%
		60 度	100%	100%	100%	100%	100%
	-11.3 度	15 度	99.97%	99.97%	99.97%	99.97%	99.97%
		30 度	100%	100%	100%	100%	100%
		60 度	100%	100%	100%	100%	100%
	-45 度	15 度	100%	100%	100%	100%	100%
		30 度	100%	100%	100%	100%	100%
		60 度	100%	100%	100%	100%	100%
20dBm	-5.2 度	15 度	99.06%	98.99%	99.06%	99.12%	99.06%
		30 度	99.28%	99.22%	99.28%	99.28%	99.27%
		60 度	99.97%	99.97%	99.97%	99.97%	99.97%
	-11.3 度	15 度	99.38%	99.41%	99.41%	99.41%	99.41%
		30 度	99.35%	99.41%	99.38%	99.41%	99.39%
		60 度	99.97%	99.97%	99.97%	99.97%	99.97%
	-45 度	15 度	100%	100%	100%	100%	100%
		30 度	100%	100%	100%	100%	100%
		60 度	100%	100%	100%	100%	100%
25dBm	-5.2 度	15 度	98.4%	98.24%	98.44%	98.4%	98.37%
		30 度	98.37%	98.24%	98.44%	98.47%	98.38%
		60 度	98.89%	98.93%	98.99%	98.99%	98.95%
	-11.3 度	15 度	98.6%	98.6%	98.7%	98.7%	98.65%
		30 度	98.67%	98.63%	98.7%	98.67%	98.67%
		60 度	98.93%	98.93%	99.06%	99.02%	98.98%
	-45 度	15 度	100%	100%	100%	100%	100%
		30 度	100%	100%	100%	100%	100%
		60 度	99.97%	99.97%	99.97%	99.97%	100%
30dBm	-5.2 度	15 度	97.82%	97.49%	97.08%	97.85%	97.76%
		30 度	97.07%	96.78%	97.01%	97.17%	97.03%
		60 度	97.01%	96.71%	96.91%	96.97%	96.9%
	-11.3 度	15 度	98.08%	97.88%	98.11%	98.11%	98.05%

		30 度	97.17%	96.88%	97.02%	97.27%	97.13%
		60 度	97.1%	96.84%	97.04%	97.07%	97.01%
	-45 度	15 度	100%	100%	100%	100%	100%
		30 度	100%	100%	100%	100%	100%
		60 度	98.76%	98.8%	98.89%	98.86%	98.95%

3-4-1-5 車載レーダー干渉検討結果

車載レーダー交差点モデルにおけるシミュレーション結果より、ITx 空中線電力 10dBm～30dBm について、それぞれの空中線電力における与干渉送信局アンテナ半値角による影響を比較した場合、ITx 空中線電力 10dBm～25dBm については、ITx アンテナ半値角が狭い方が、改善が不要な場所の割合が少なくなっているのに対し、ITx 空中線電力 30dBm の場合は、ITx 半値角が広い方が、改善が不要な場所の割合が比較的少なくなっている。

また、ITx 空中線電力 30dBm, ITx 送信アンテナ俯角-5.2 度, ITx 送信半値角 60 度の場合が、改善が不要な場所の割合が最も少なくなっており、その割合は、96.9%となっている。

3-4-2 ミリ波踏切障害物検知装置

本システムはミリ波を使って踏切を通行する 2.9m 以下の自動車等も検知可能な装置である。送受信機は3本のミリ波ビームを扇形に送信する。2台の送受信機を踏切に配置し、計6本のミリ波ビームで踏切全域にわたり障害物を検出している。

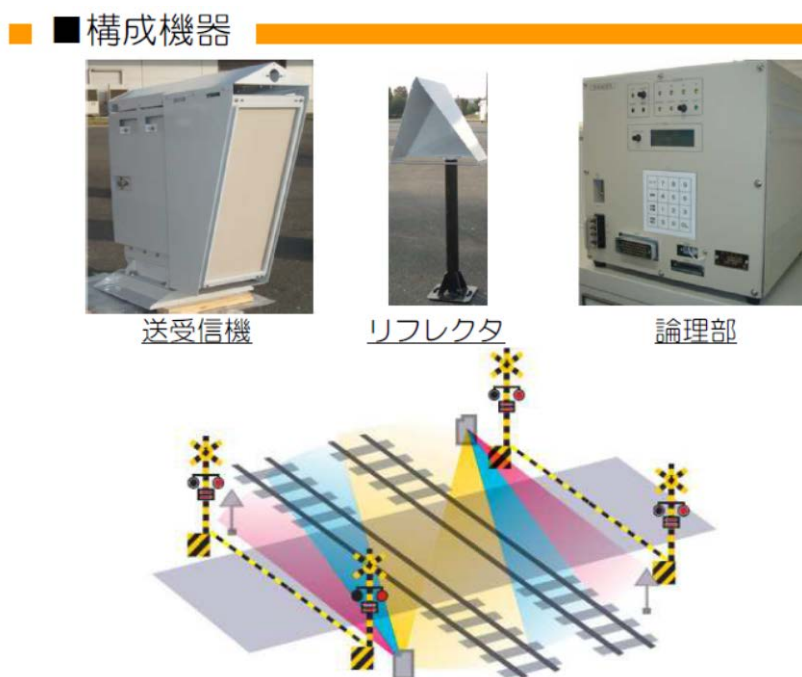


図 3-4.8 ミリ波踏切障害物検知装置

3-4-2-1 干渉モデル

被干渉システムであるミリ波踏切障害物検知装置と与干渉システムである 60GHz 帯ミリ波無線システム (IEEE802.11ad) のアンテナ同士が正対した場合を想定し、離隔距離を求めた。レーダーの無線性能は 3-4-1 節に示した被干渉システムである車載レーダーと同じパラメータを用いた。ただし踏切上の障害物を検知するシステムのため、最大検知距離を 15m とし、離隔距離の評価を行った。評価パラメータを図 3-4.6 に示す。

表 3-4.6 ミリ波踏切障害物検知装置干渉検討パラメータ

	項目	値	備考
与干渉 送信局 (ITx)	送信周波数	60.5GHz	
	帯域幅	2.16GHz	
	空中線電力	10dBm/25dBm	
	空中線利得	21.9dBi (半値角 15°) 15.9dBi (半値角 30°) 10.2dBi (半値角 60°)	
	大気吸収損失	15dB/Km	60GHz の大気吸収損失
被干渉 受信局 (VRx)	空中線利得	31dBi	IEEE モデル
	周波数	60.5GHz	
	空中線電力	3mW	富士通テン技報 35 号参照
	最大検知距離	15m	片側 1 車線 (10m) + マージン
	反射断面積	10m ²	一般的な乗用車相当
	最小受信電力	-49.8dBm/kHz	帯域幅 1kHz あたりの最小受信電力
	帯域幅	1kHz	
	マージン	3dB	
	レーダー最小受信電力	-82.8dBm/Hz	マージンを含む最小受信電力 (1Hz あたり)

3-4-2-2 干渉計算結果

図 3-4.9 に与干渉システムの空中線電力 10dBm に対し、被干渉システムのミリ波踏切障害物検知装置のアンテナ角度を正対からずらした場合の離隔距離を示す。図 3-4.10 は与干渉システムの空中線電力が 25dBm の場合である。

3-4-2-3 ミリ波踏切障害物検知装置干渉検討結果

3-4-2-2節に示したように、被干渉システムと与干渉システムが正対しても、与干渉システムの空中線電力が10dBm、空中線利得15.9dBiの時に、離隔距離は0.1m、与干渉システムの空中線電力が25dBmの場合、0.5mとなり、踏切の大きさを考慮すれば、離隔距離内に与干渉システムが近づく可能性は低いので、共存可能と考えられる。

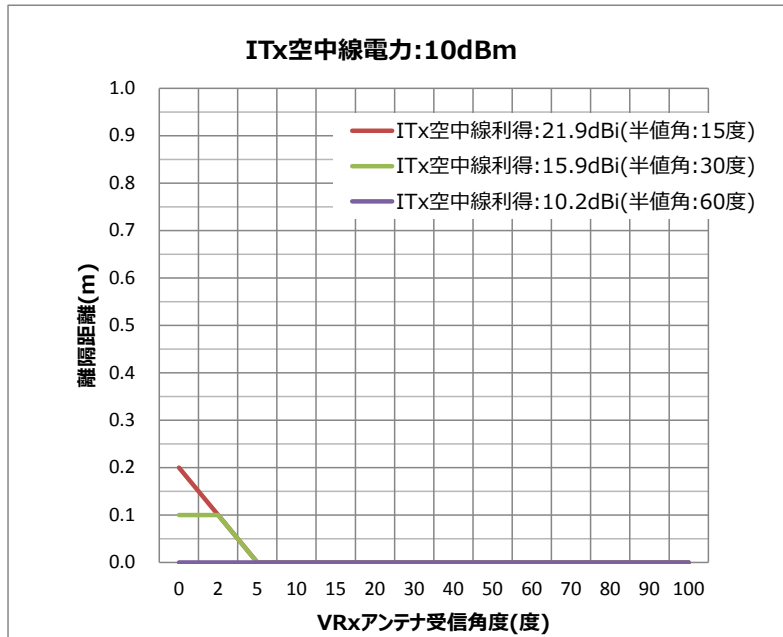


図3-4.9 空中線電力10dBm (被干渉システムのアンテナ角度を変更)

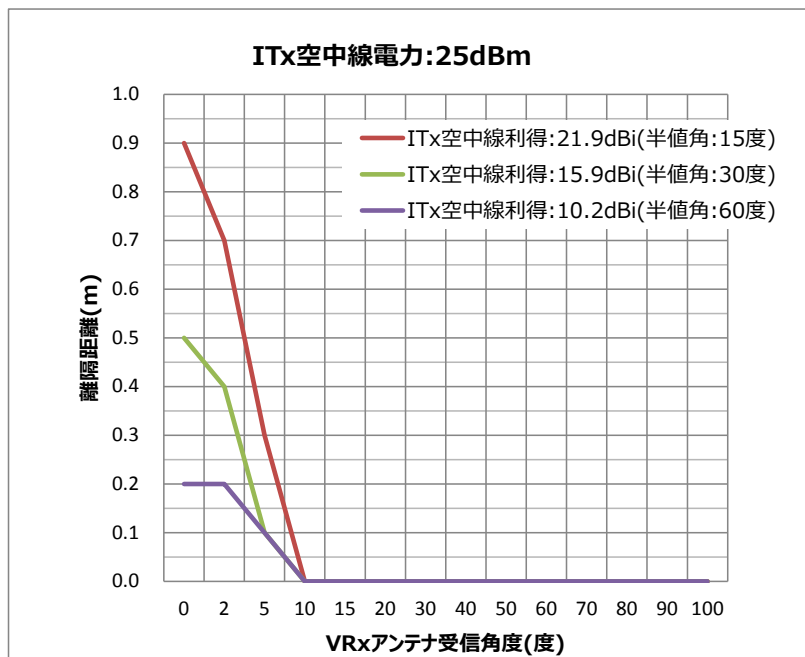


図3-4.10 空中線電力25dBm (被干渉システムのアンテナ角度を変更)

3-5 60GHz 帯無線システム


3-5-1 同一システム(IEEE802.11ad)

本節では、60GHz 無線システムのうち被干渉システムとして、今後大きな普及が期待される IEEE802.11ad (WiGig) 規格対応の同一システム間の干渉検討内容について述べる。

3-5-1-1 干渉モデル

ミリ波無線システムの利用シーンを想定して一般的な会議室モデルを適用した。本会議室モデルは、実環境として存在する会議室を採寸してモデリングを行った。

表 3-5.1 会議室モデル仕様

項目	仕様	備考
モデルタイプ	会議室	実環境をモデリング
外形寸法	621 x 1080 x 299 [cm]	
基本構成	コンクリート壁+防音壁 ドア 2箇所 ガラス窓 1箇所	
オブジェクト	長テーブル 10卓	会議室のセンター位置を中心に上下左右対称になるように長テーブルを 10 卓配置  60 x 180 x 70 [cm]

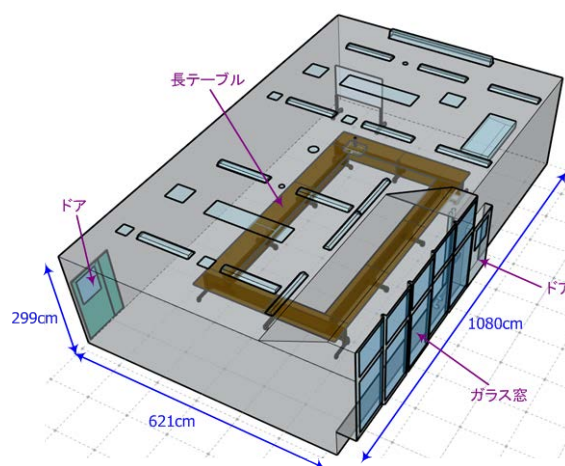


図 3-5.1 会議室モデル(立体図)

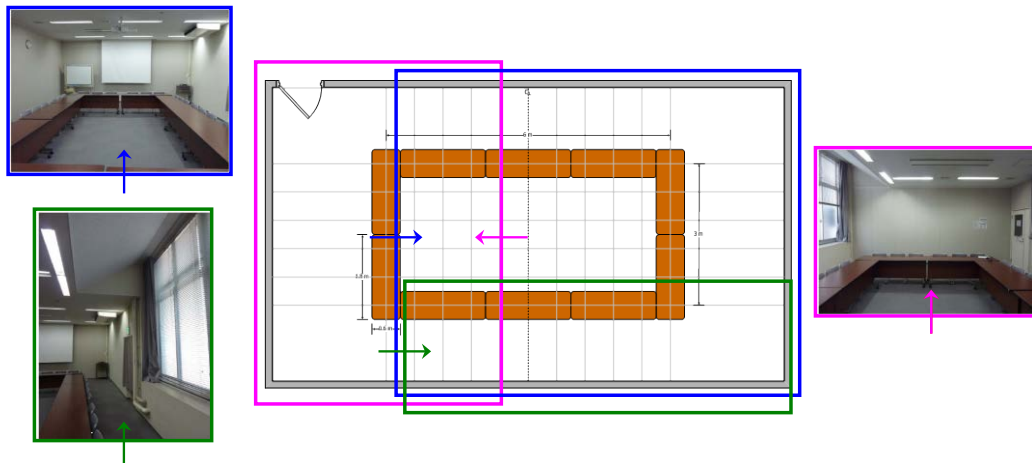


図 3-5.2 会議室モデル(平面図)

3-5-1-2 干渉シナリオ

会議室モデルを用いた既存のミリ波無線システム(ミリ波 WPAN : IEEE802.11ad)との干渉シナリオは、天井に AP : アクセスポイント (VTx)、机上に STA : ステーション (VRx) を配置し、VTx から VRx 方向に向けて正対にて通信しているものとした。与干渉送信局 (ITx) は、机上の任意の位置に配置し水平方向に任意の角度で与干渉波を送信するものとした。干渉シナリオのイメージ図を図 3-5.3 に示す。

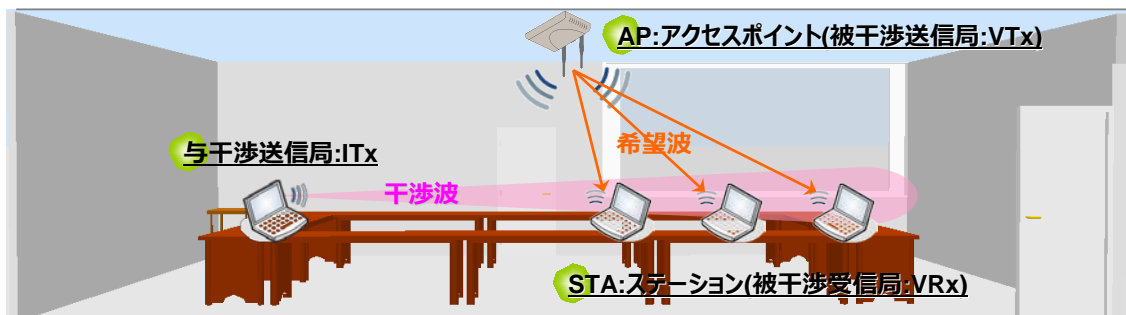


図 3-5.3 既存のミリ波無線システム(ミリ波 WPAN : IEEE802.11ad)との干渉シナリオ

干渉シナリオにおけるチャンネル割り当ては、被干渉局 (VTx-VRx) の使用チャンネルをチャンネル 2 に設定し、与干渉送信局 (ITx) の使用チャンネルを同一のチャンネル 2 と、隣接のチャンネル 3 と、さらに次隣接のチャンネル 4 の 3 つのチャンネル割り当てにて評価を行う。チャンネル割り当てを図 3-5.4 に示す。

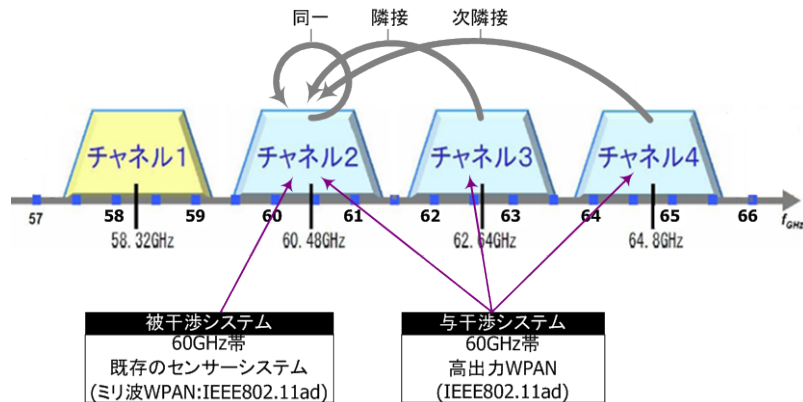


図3-5.4 干渉シナリオにおけるチャンネル割り当て

3-5-1-3 評価方法

会議室モデルの全エリアに10cm間隔で配置された6527点の被干渉受信局 (VRx) の所要改善量を計算し、その所要改善量から改善が不要な場所率を求めて干渉の影響を評価する。場所率が高いほど会議室エリアに占める改善不要な受信点の割合が多いことを示す。所要改善量は、被干渉システムに与えられる受信感度の規格値から換算した所要 CNR を基準に求める。なお、所要改善量を求める際、被干渉システムが被る干渉システムからの干渉電力は、被干渉システム帯域で受信する電力のため、干渉システムの3つのチャンネル割り当てによってその電力が異なる。このため IEEE802.11ad で定義される送信スペクトルマスク規定に準じた電力を基準とすることで、被干渉システムの帯域内干渉電力を求める。会議室モデルによる電波伝搬解析で得たパス結果をもとに、干渉計算にて希望波と干渉波の受信レベル計算を行う。求めた受信レベルから SINR と所要改善量を算出し、所要改善量をもとに改善不要場所率を求める。評価手順を図3-5.5に示す。

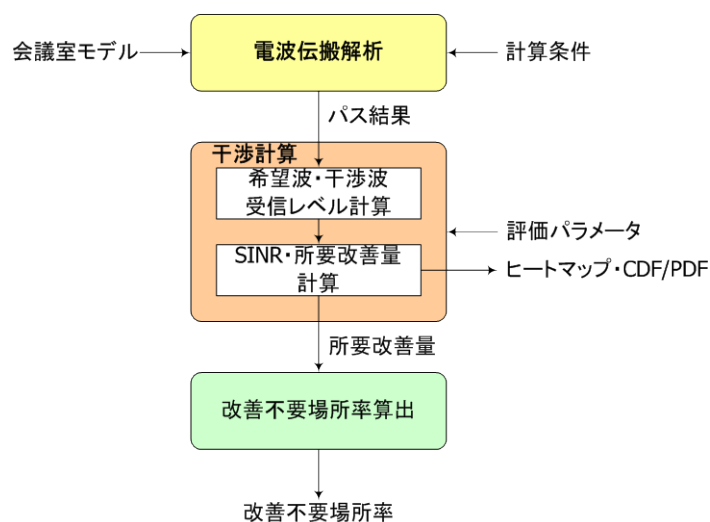


図3-5.5 評価手順

評価は、さまざまな条件の環境で求めた平均的な場所率を算出する。VTx の配置位置を基

準に設定した 4 つの評価ケースにて評価を行った。4 つの評価ケース A, B, C, D は、チャンネルの割り当て(同一、隣接、次隣接)、ITx の配置位置、ITx の空中線電力、ITx のアンテナ放射角、ITx, VTx, VRx のそれぞれのアンテナ半値角を評価パラメータとして可変し、最終的な平均場所率を算出し評価する。

表 3-5.2 評価ケースと評価パラメータ

評価ケース	VTx 配置位置	評価パラメータ	組合せ数
A, B, C, D	A, B, C, D	<ul style="list-style-type: none"> ・ チャンネル割り当て 同一、隣接、次隣接 ・ ITx 空中線電力 10dBm、20dBm、25dBm、30dBm ・ ITx 配置位置 4箇所(1、2、3、4) ・ ITx アンテナ放射角 0~345度@15度ステップ ・ ITx アンテナ半値角 15度、30度、60度 ・ VTx アンテナ半値角 15度、30度、60度 ・ VRx アンテナ半値角 15度、30度、60度 	評価ケース (4通り) × 評価パラメータ (31104通り) = 全 124416通り

既存のミリ波無線システム(IEEE802. 11. ad)との干渉評価で扱う SINR(信号電力対干渉雑音電力)および所要改善量の計算を以下に示す。

(1) SINR : 信号電力対干渉雑音電力比 (dB)

$$SINR = S_{VRx} - ((I_{VRx} + BO_{ITx}) + N_{VRx})$$

S_{VRx} : VRx の希望波受信電力 (dBm)

VTx 空中線電力 (P_{VTx})、VTx→VRx 自由空間損失 ($L_{P(VTx \rightarrow VRx)}$)、VTx および VRx のアンテナパターン利得 (G_{VTx}^{HP} , G_{VRx}^{HP}) を含んだ VTx から VRx への希望波受信電力。

I_{VRx} : VRx の干渉波受信電力 (dBm)

ITx 空中線電力 (P_{ITx})、ITx→VRx 自由空間損失 ($L_{P(ITx \rightarrow VRx)}$)、ITx および VRx のアンテナパターン利得 (G_{ITx}^{HP} , G_{VRx}^{HP}) を含んだ ITx から VRx への干渉波受信電力。

BO_{ITx} : ITx の送信帯域オフセット (dB)

ITx の送信スペクトラムマスク規定に準じて、VRx の受信帯域で受信する ITx の送信電力に対する送信帯域オフセット。

N_{VRx} : VRx の受信機雑音電力 (dBm)

(2) RIV : 所要改善量 (dB)

$$RIV = RCNR - SINR$$

RCNR : VRx の所要 CNR (dB)

SINR : VRx の信号電力対干渉雑音電力比 (dB)

3-5-1-4 シミュレーション評価

(1) 計算条件

電波伝搬解析の計算条件を表 3-5-1-3 に示す。さまざまな条件による干渉評価を行うため、ITx は高さ 1m の机の上に 32 点、VTx は高さ 2.5m の天井付近に 4 点、VRx は高さ 1m の会議室全エリアに 10cm 間隔で 6527 点を配置した。

表 3-5.3 電波伝搬解析の計算条件

	項目	条件	備考
ITx	アンテナ	オムニアンテナ	
	高さ	1m	机上
	配置位置数	32 点	
	偏波	垂直	
	空中線電力	10dBm	
	周波数	60.48/62.64/64.8GHz	
VTx	アンテナ	オムニアンテナ	
	高さ	2.5m	天井付近
	配置位置数	4 点	
	偏波	垂直	
	空中線電力	10dBm	
	周波数	60.48GHz	
VRx	アンテナ	オムニアンテナ	
	高さ	1m	机上
	配置位置数	6527 点	10cm 間隔
	偏波	垂直	

建物材質	壁	コンクリート	
	机(長テーブル)	木材	
	窓、ドア(一部)	ガラス	
	窓サッシ	アルミニウム	

(2) ITx, VTx, VRx の配置位置

電波伝搬解析における ITx, VTx, VRx の配置位置を以下に示す。

図中の座標 (X, Y) の X は横方向、Y は縦方向であり、単位は [m] である。

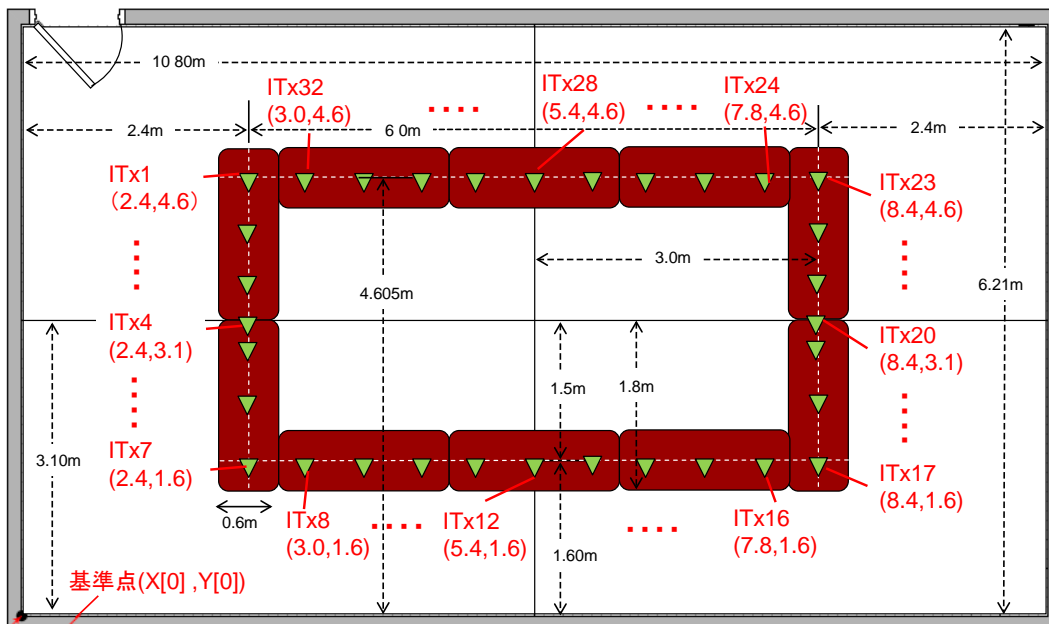


図 3 - 5. 6 ITx の配置位置

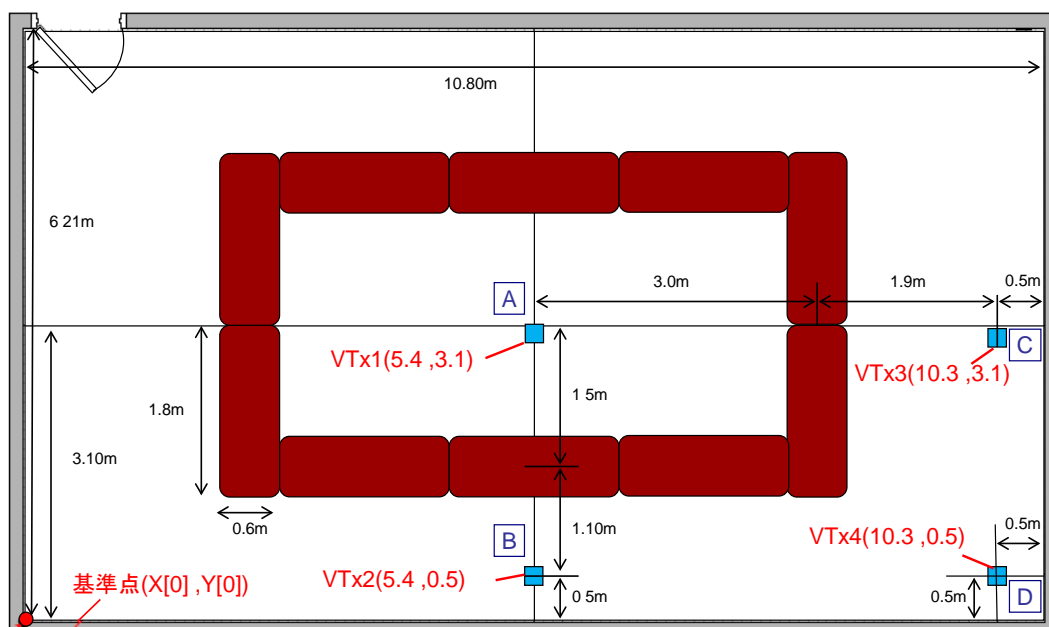


図 3 - 5. 7 VTx の配置位置

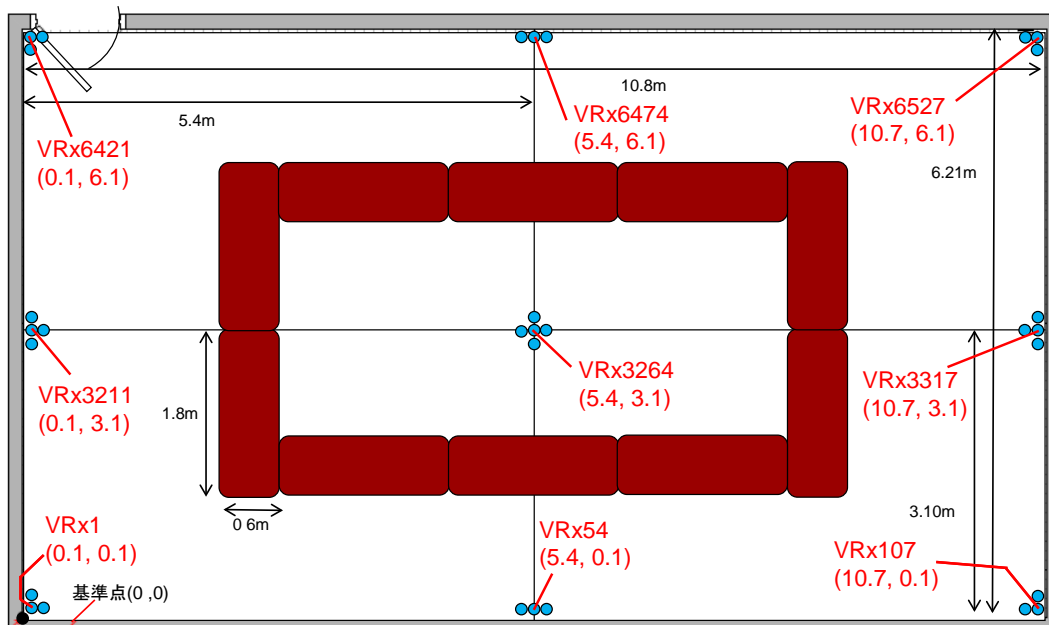


図 3 - 5. 8 VRx の配置位置

干渉計算の評価パラメータを表 3 - 5. 4 に示す。

表 3 - 5. 4 干渉計算の評価パラメータ

項目		評価パラメータ	備考
ITx	配置位置数	4 点	高さ 1m の机上
	周波数	同一 : 60.48GHz (チャンネル 2) 隣接 : 62.64GHz (チャンネル 3) 次隣接 : 64.8GHz (チャンネル 4)	チャンネル割り当て
	送信帯域オフセット	同一 : 0dB 隣接 : -21dB 次隣接 : -30dB	
	空中線電力	10dBm 20dBm 25dBm 30dBm	
	アンテナ半値角 (利得)	15 度 (21.8dBi) 30 度 (15.9dBi)	

		60 度 (10. 2dBi)	
	アンテナ放射角	0~345 度@15 度ステップ	24 通り
	アンテナ仰俯角	0 度	水平
VTx	配置位置数	4 点	高さ 2. 5m の天井付近
	周波数	60. 48GHz (チャンネル 2)	
	空中線電力	10dBm	
	アンテナ半値角 (利得)	15 度 (21. 8dBi) 30 度 (15. 9dBi) 60 度 (10. 2dBi)	
	アンテナ放射角	送受正対する角度	
	アンテナ仰俯角	送受正対する角度	
VRx	配置位置数	6527 点	高さ 1m に 10cm 間隔
	アンテナ半値角 (利得)	15 度 (21. 8dBi) 30 度 (15. 9dBi) 60 度 (10. 2dBi)	
	アンテナ放射角	送受正対する角度	
	アンテナ仰俯角	送受正対する角度	
	受信帯域幅	2160MHz	
	雑音指数	10dB	
	所要 CNR	8. 5dB	【 IEEE std 802. 11ad-2012】 SC-PHY MCS5 の受信感度 -62dBm より換算

チャンネル割り当てが隣接および次隣接の場合、与干渉システムから被干渉システムへ与える干渉電力のオフセットレベルは、与干渉システムの送信スペクトルマスク規定を用いて送信帯域オフセットとして設定した。

送信帯域オフセット値は、IEEE802.11ad の送信スペクトルマスク規定を使用し、隣接の場合は -21dBr 、次隣接の場合は -30dBr を適用した。(同一の場合は 0dBr)

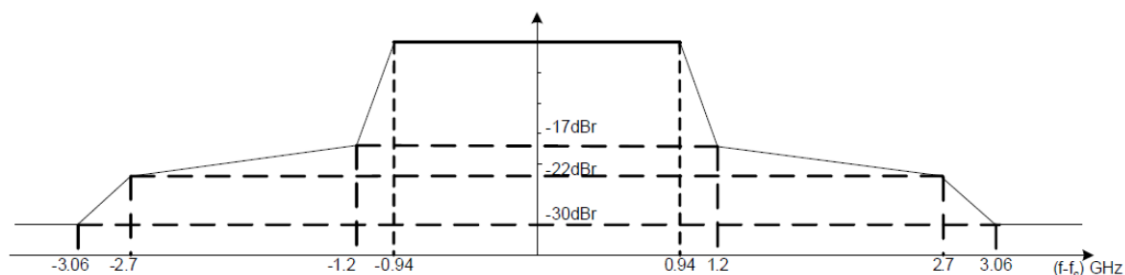


図 3-5.9 IEEE802.11ad 送信スペクトルマスク

(図 : IEEE std 802.11ad-2012 より引用)

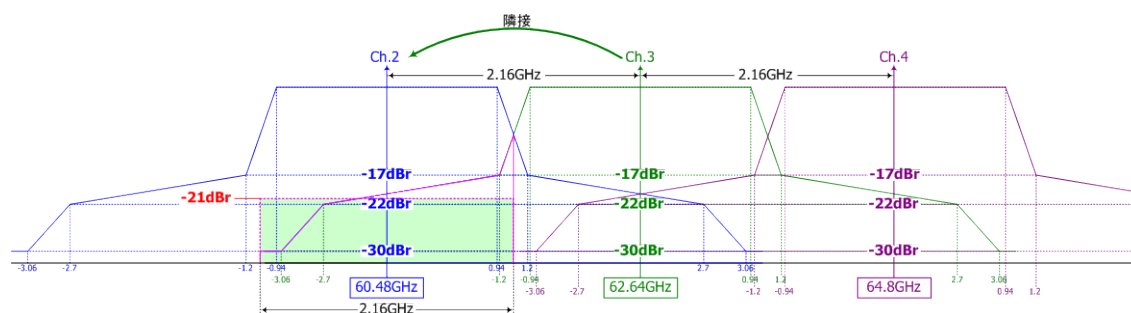


図 3-5.10 隣接時の送信帯域オフセット値 : -21dBr

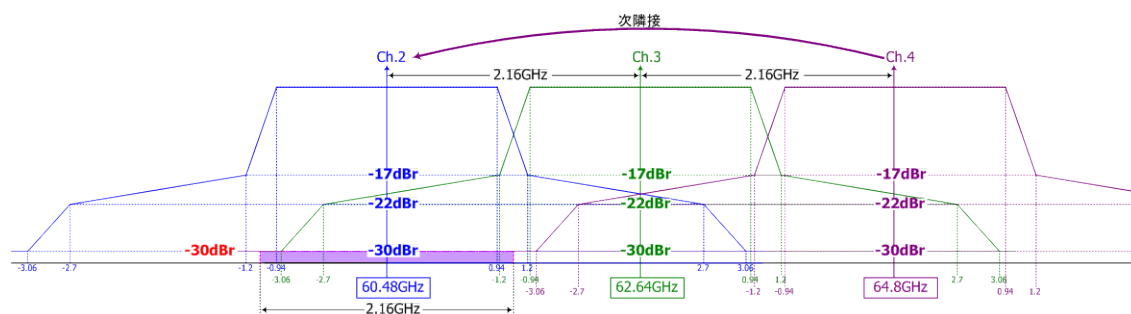


図 3-5.11 次隣接時の送信帯域オフセット値 : -30dBr

(3) アンテナ放射角

ITx のアンテナ放射角は、図面(図 3-5-10-12)に示す右水平方向を 0 度とし、反時計回りに増えていく値をアンテナの放射角と定義する。どの ITx の配置位置でも共通の定義であり、基本ステップは 15 度である。

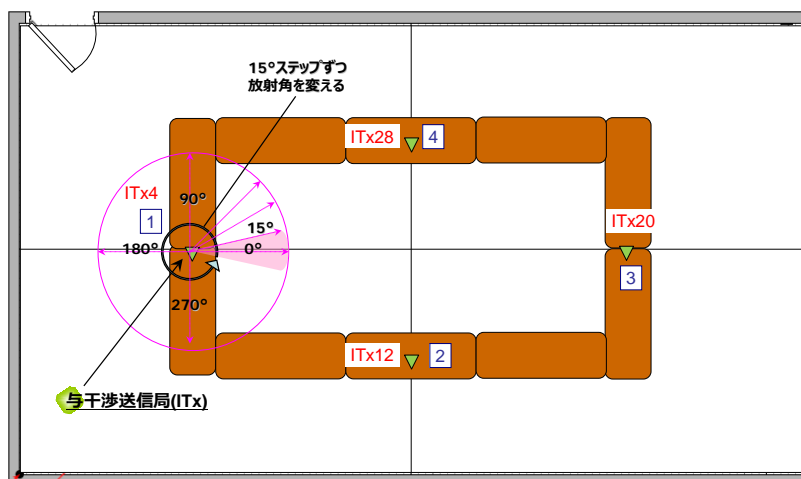


図 3-5. 1 2 ITx のアンテナ放射角の定義

(4) 所要 CNR

所要 CNR は、所要改善量を求める際の基準となる値であり、被干渉システムに与えられる受信感度の規格値から換算して求めた。

既存のミリ波無線システム(IEEE802. 11ad)における受信感度は、IEEE802. 11ad の規格 IEEE std 802. 11ad-2012 から、標準的な物理チャネルである SC-PHY の MCS5 (Modulation: $\pi/2$ -BPSK, Code rate:13/16 LDPC, Data rate:1251. 25Mbps) の受信感度 -62dBm を適用した。

所要 CNR への換算は、適用した受信感度から雑音電力を差し引いて換算した。換算式を以下に示す。

所要 CNR (8. 5dB) = 受信感度 (-62dBm) - 雑音電力 ($-70. 46\text{dBm}$) ※

※雑音電力 ($-70. 46\text{dBm}$) = 雑音電力密度 ($-173. 8\text{dBm/Hz}$) + $10\log$ 帯域幅 (2160MHz) + 雑音指数 (10dB)

シミュレーションにて評価する改善不要場所率は、VTx の配置位置を基準に設定した 4 つの評価ケースにて評価を行う。以下に各評価ケースの定義と具体的な評価項目数(パラメータの組合せ数)を示す。

(A) 評価ケース A

評価ケース A は、VTx の配置位置を会議室中央高さ 2.5m の天井付近 (VTx1:A) に設置したケースで、高さ 1m に 10cm 間隔で配置した 6527 点の各 VRx は、この A 点に配置した VTx と正対して希望波を受信している。ITx は、図 3-5.13 に示す 4 点 (ITx4:1, ITx12:2, ITx20:3, ITx28:4) のいずれか 1 箇所の位置に配置され、水平方向のある放射角で干渉波を放射する。評価項目数は、ITx 配置位置 (4 通り) × ITx, VTx, VRx アンテナ半値角 (27 通り) × ITx アンテナ放射角 (24 通り) の組合せ 2592 通りとなり、これをチャンネル割り当て (3 通り) と ITx 空中線電力 (4 通り) の組合せで行う。

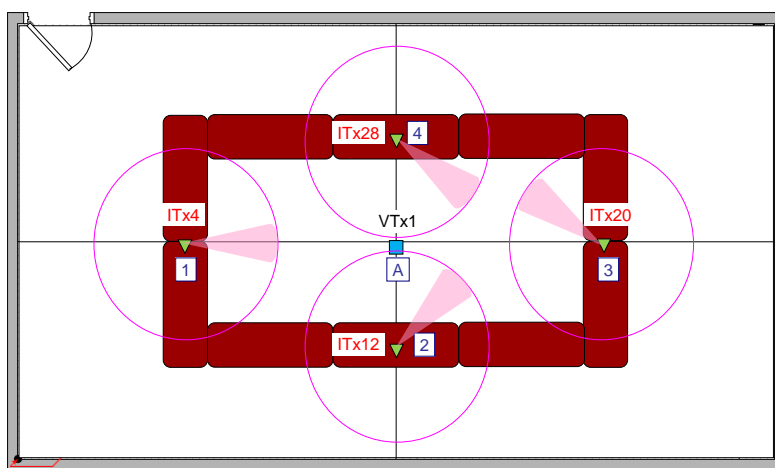


図 3-5.13 評価ケース A の VTx と ITx の配置位置

表 3-5.5 評価ケース A の評価項目数

チャンネル割り当て	ITx 空中線電力			
	10dBm	20dBm	25dBm	30dBm
同一	2,592	2,592	2,592	2,592
隣接	2,592	2,592	2,592	2,592
次隣接	2,592	2,592	2,592	2,592

(B) 評価ケース B

評価ケース B は、VTx の配置位置を会議室中央下壁側高さ 2.5m の天井付近 (VTx2:B) に設置したケースで、高さ 1m に 10cm 間隔で配置した 6527 点の各 VRx は、この B 点に配置した VTx と正対して希望波を受信している。ITx は、図 3-5.14 に示す 4 点 (ITx4:1, ITx12:2, ITx20:3, ITx28:4) のいずれか 1 箇所の位置に配置され、水平方向のある放射角で干渉波を放射する。

評価項目数は、評価ケース A と同じく、ITx 配置位置 (4 通り) × ITx, VTx, VRx アンテナ半値角 (27 通り) × ITx アンテナ放射角度 (24 通り) の組合せ 2592 通りとなり、これをチャンネル割り当て (3 通り) と ITx 空中線電力 (4 通り) の組合せで行う。

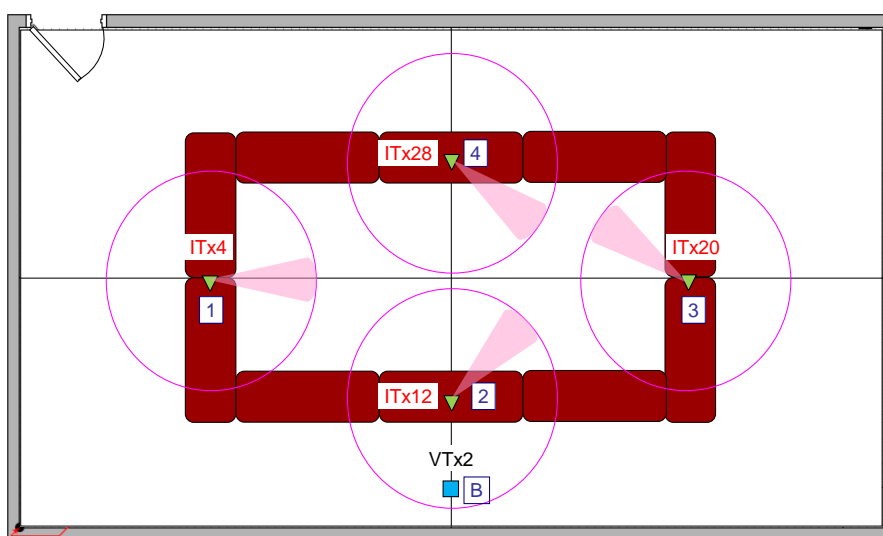


図 3-5.14 評価ケース B の VTx と ITx の配置位置

表 3-5.6 評価ケース B の評価項目数

チャンネル割り当て	ITx 空中線電力			
	10dBm	20dBm	25dBm	30dBm
同一	2,592	2,592	2,592	2,592
隣接	2,592	2,592	2,592	2,592
次隣接	2,592	2,592	2,592	2,592

(C) 評価ケース C

評価ケース C は、VTx の配置位置を会議室中央右壁側高さ 2.5m の天井付近 (VTx3:C) に設置したケースで、高さ 1m に 10cm 間隔で配置した 6527 点の各 VRx は、この C 点に配置した VTx と正対して希望波を受信している。ITx は、図 3-5.15 に示す 4 点 (ITx4:1, ITx12:2, ITx20:3, ITx28:4) のいずれか 1 箇所の位置に配置され、水平方向のある放射角で干渉波を放射する。

評価項目数は、評価ケース A と同じく、ITx 配置位置 (4 通り) × ITx, VTx, VRx アンテナ半値角 (27 通り) × ITx アンテナ放射角度 (24 通り) の組合せ 2592 通りとなり、これをチャンネル割り当て (3 通り) と ITx 空中線電力 (4 通り) の組合せで行う。

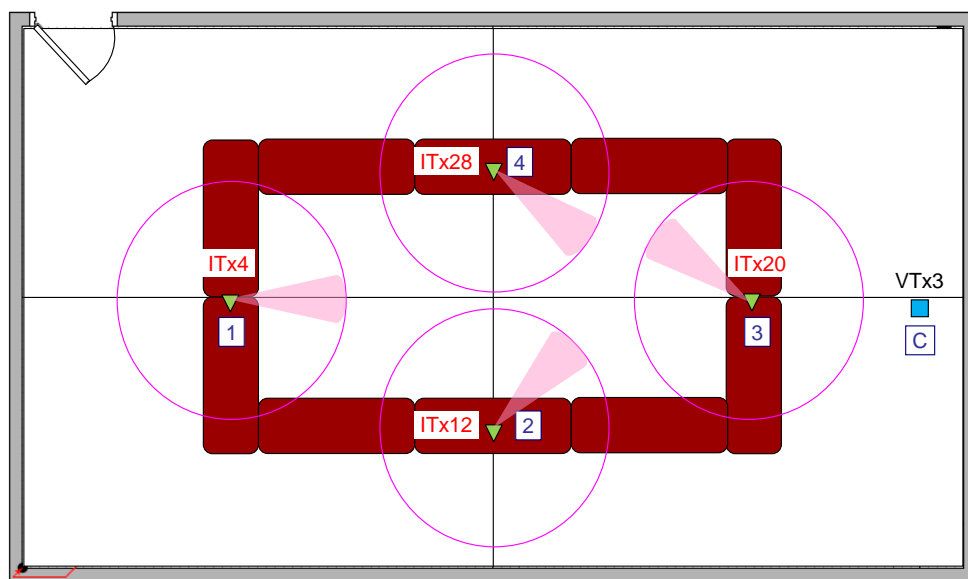


図 3-5.15 評価ケース C の VTx と ITx の配置位置

表 3-5.7 評価ケース C の評価項目数

チャンネル割り当て	ITx 空中線電力			
	10dBm	20dBm	25dBm	30dBm
同一	2,592	2,592	2,592	2,592
隣接	2,592	2,592	2,592	2,592
次隣接	2,592	2,592	2,592	2,592

(D) 評価ケース D

評価ケース D は、VTx の配置位置を会議室中央右下壁側高さ 2.5m の天井付近 (VTx4:D) に設置したケースで、高さ 1m に 10cm 間隔で配置した 6527 点の各 VRx は、この D 点に配置した VTx と正対して希望波を受信している。ITx は、図 3-5.16 に示す 4 点 (ITx4:1, ITx12:2, ITx20:3, ITx28:4) のいずれか 1 箇所の位置に配置され、水平方向のある放射角で干渉波を放射する。

評価項目数は、評価ケース A と同じく、ITx 配置位置 (4 通り) × ITx, VTx, VRx アンテナ半値角 (27 通り) × ITx アンテナ放射角度 (24 通り) の組合せ 2592 通りとなり、これをチャンネル割り当て (3 通り) と ITx 空中線電力 (4 通り) の組合せで行う。

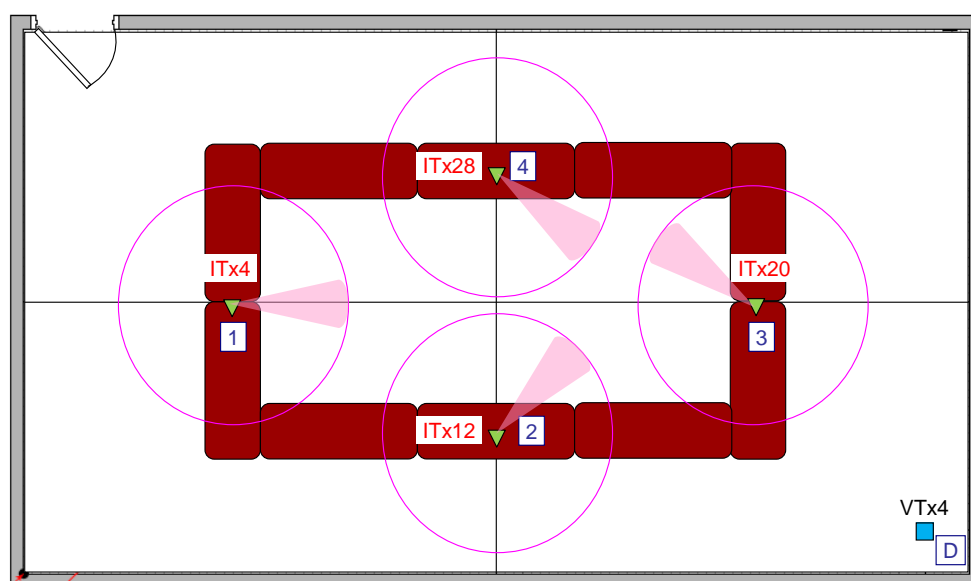


図 3-5.16 評価ケース D の VTx と ITx の配置位置

表 3-5.8 評価ケース D の評価項目数

チャンネル割り当て	ITx 空中線電力			
	10dBm	20dBm	25dBm	30dBm
同一	2,592	2,592	2,592	2,592
隣接	2,592	2,592	2,592	2,592
次隣接	2,592	2,592	2,592	2,592

改善不要場所率の結果詳細は参考資料 2 に示す。結果から得られた改善不要場所率をまとめた個別改善不要場所率と、個別改善不要場所率をさらに平均してまとめた全体改善不要場所率を図 3-5.17~図 3-5.20 と表 3-5.9、表 3-5.10 に示す。

評価ケース毎に比較すると、評価ケース A、B、C、D の順で改善不要場所率が良い結果となった。アンテナの指向性により、干渉が緩和されることが確認された。隣接や次隣接チャンネルでは干渉不要の場所率が 100%に近いことから、同一システムであればチャンネル変更などにより共存可能と考えられる。

表 3-5.9 評価ケース A~D の個別改善不要場所率

チャンネル 割り当て	ケース	ITx 空中線電力			
		10dBm	20dBm	25dBm	30dBm
同一	A	93.95%	81.53%	71.55%	59.47%
	B	89.63%	73.11%	61.66%	49.08%
	C	87.36%	68.88%	56.13%	42.95%
	D	86.86%	68.78%	56.69%	44.41%
隣接	A	99.83%	98.76%	97.31%	94.65%
	B	99.72%	97.9%	95.26%	90.78%
	C	99.33%	96.91%	93.72%	88.65%
	D	98.97%	96.27%	93.15%	88.13%
次隣接	A	99.97%	99.79%	99.39%	98.52%
	B	99.94%	99.65%	99.02%	97.51%
	C	99.74%	99.21%	98.3%	96.42%
	D	99.48%	98.84%	97.79%	95.77%

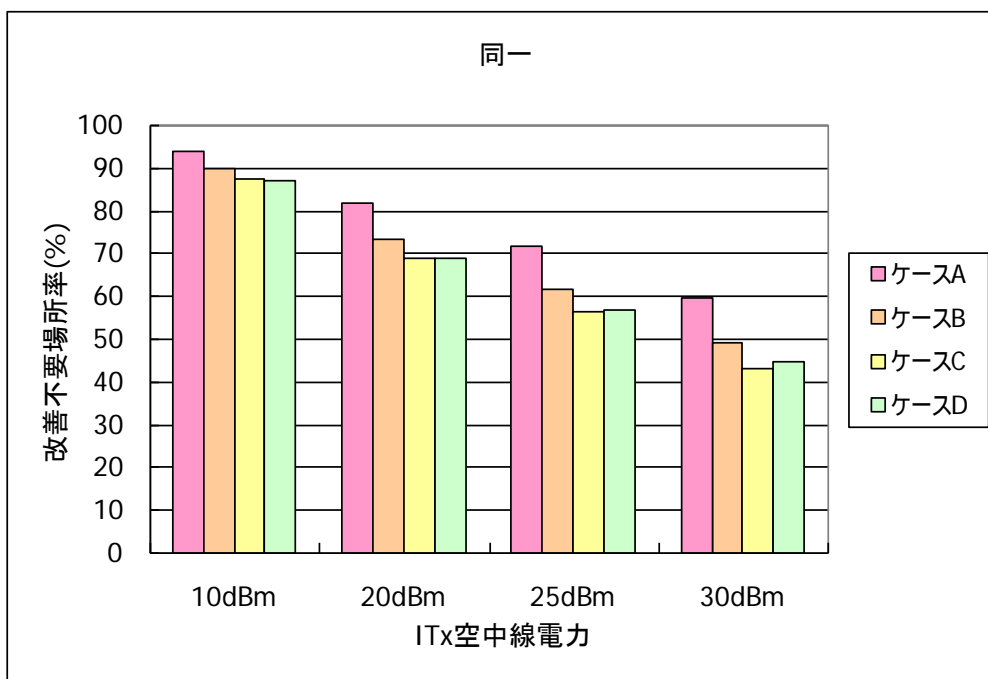


図 3 - 5 . 1 7 個別改善不要場所率(チャンネル割り当て : 同一)

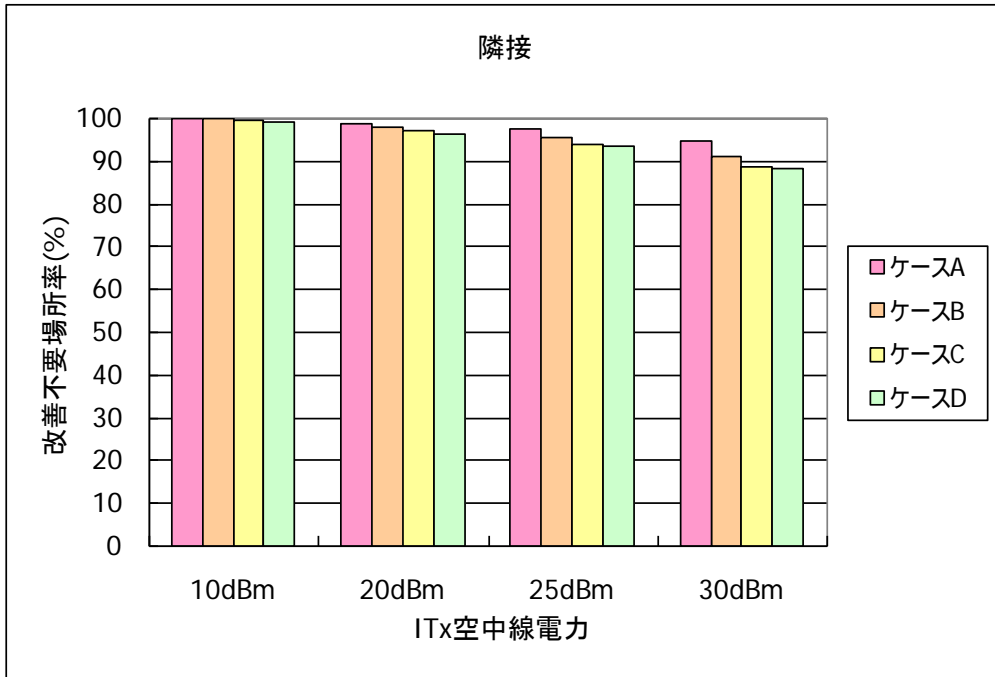


図3-5.18 個別改善不要場所率(チャンネル割り当て：隣接)

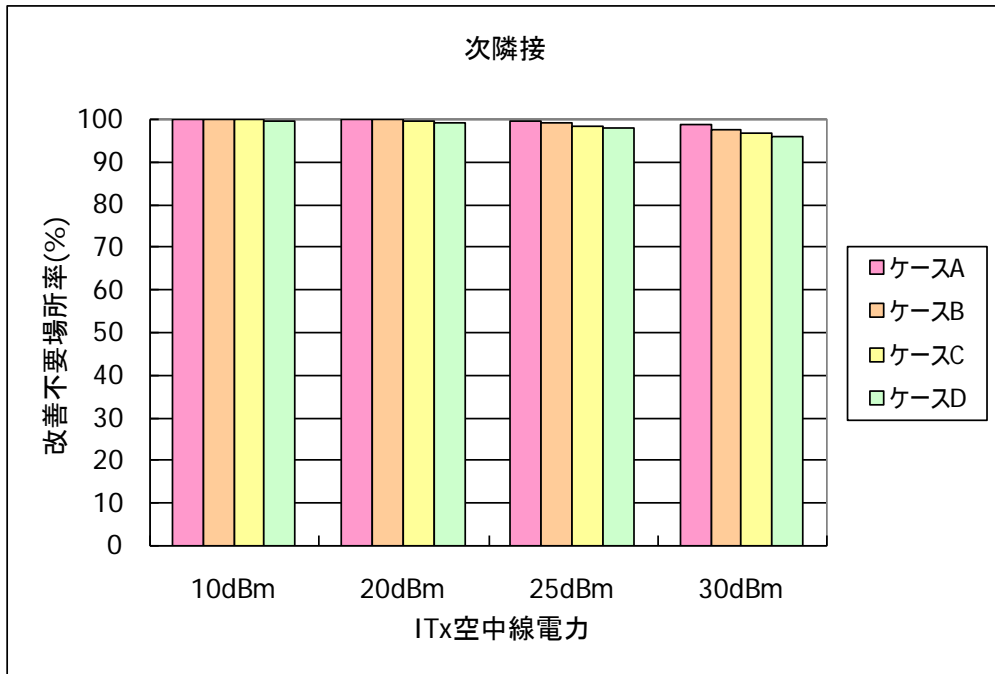


図3-5.19 個別改善不要場所率(チャンネル割り当て：次隣接)

表 3-5.10 全体改善不要場所率

チャンネル割り当て	ITx 空中線電力			
	10dBm	20dBm	25dBm	30dBm
同一	89.45%	73.08%	61.51%	48.98%
隣接	99.46%	97.46%	94.86%	90.55%
次隣接	99.78%	99.37%	98.63%	97.06%

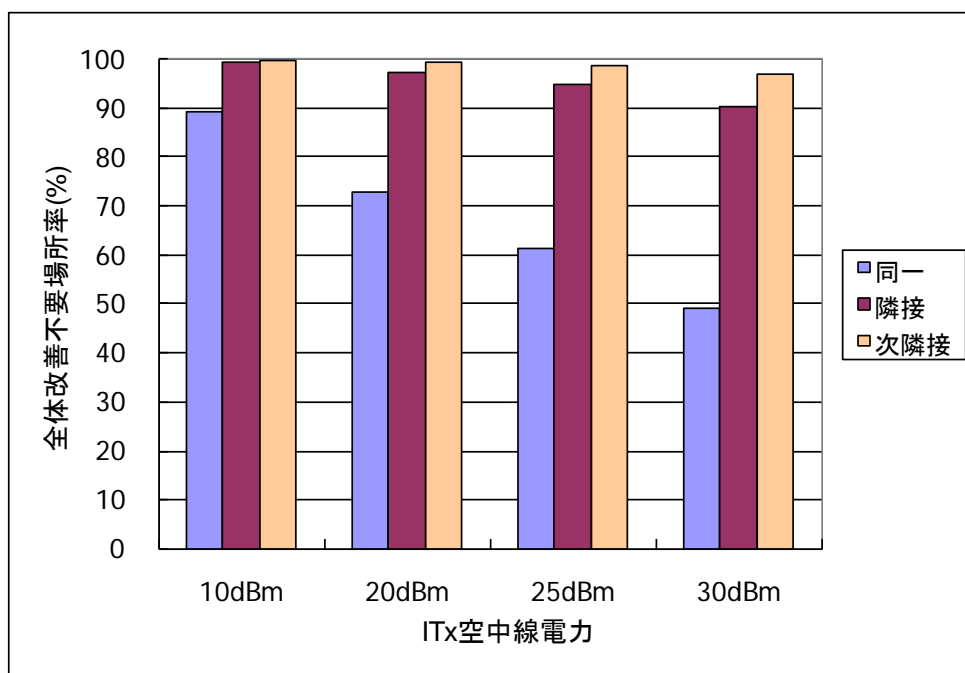


図 3-5.20 全体改善不要場所率

3-5-2 WirelessHD

60GHz 無線システムのうち WirelessHD との干渉評価の検討内容について述べる。

3-5-2-1 干渉モデル

本システムにおける干渉モデルは、プロジェクターとテレビモニタとの間を無線にて映像伝送するような屋内向け映像無線伝送用途の利用シーンを想定し、3-5-1 節と同じ会議室モデルを適用した。会議室モデルを用いた WirelessHD との干渉シナリオは、屋内による AV 機器向け映像無線伝送を想定し、一例として机の上にプロジェクター(被干渉送信局:VTx)、壁際に壁掛けテレビモニタ(被干渉受信局:VRx)を配置し、プロジェクターからテレビモニタに向けて正対にて映像伝送しているものとした。与干渉送信局(ITx)は、机上の任意の位置に配置し水平方向に任意の角度で与干渉波を送信するものとした。干渉シナリオのイメージを図3-5.21に示す。

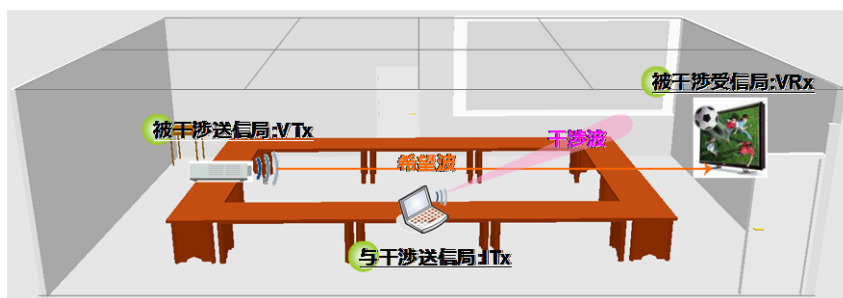


図3-5.21 WirelessHD との干渉シナリオ

干渉シナリオにおけるチャンネル割り当ては、既存の 60GHz 無線システム (IEEE802.11.ad) と同じように、被干渉局 (VTx-VRx) の使用チャンネルをチャンネル 2 に設定し、与干渉送信局 (ITx) の使用チャンネルを同一のチャンネル 2 と、隣接のチャンネル 3 と、さらに次隣接のチャンネル 4 の 3 つのチャンネル割り当てにて評価を行う。チャンネル割り当てを図3-5.22に示す。

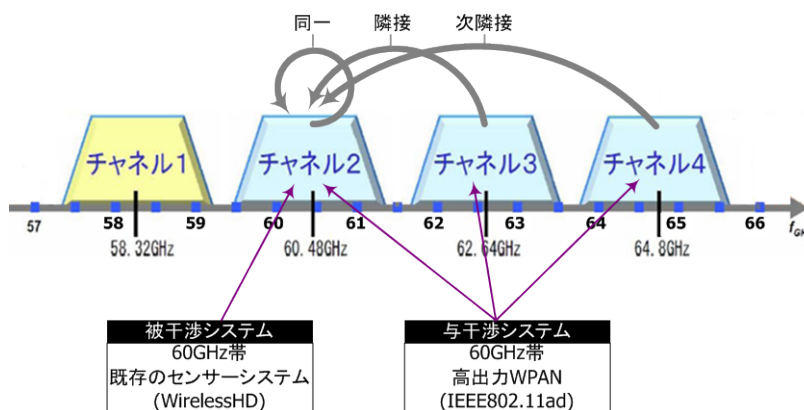


図3-5.22 干渉シナリオにおけるチャンネル割り当て

3-5-2-2 評価方法

被干渉受信局 (VRx) の配置位置周辺 (会議室モデルの右側 1/4 エリア) に 10cm 間隔で設定した 1281 点の VRx を配置する。配置された 1281 点の VRx の所要改善量を計算し、その所要改善量から改善が不要な場所率を求めて干渉の影響を評価する。場所率が高いほど会議室 1/4 エリアに占める改善不要な受信点の割合が多いことを示す。

所要改善量は、被干渉システムに与えられる受信感度の規格値から換算した所要 CNR を基準に求める。なお、所要改善量を求める際、被干渉システムが被る干渉システムからの干渉電力は、被干渉システム帯域で受信する電力のため、干渉システムの 3 つのチャンネル割り当てによってその電力が異なる。このため IEEE802.11ad で定義される送信スペクトルマスク規定に準じた電力を基準とすることで、被干渉システムの帯域内干渉電力を求める。評価手順は、既存の 60GHz 帯ミリ波システム (IEEE802.11.ad) と同じである

評価は、1 つの VTx の配置位置を固定とした評価ケース E にて評価を行う。評価ケース E は、チャンネルの割り当て (同一、隣接、次隣接)、ITx の配置位置、ITx の空中線電力、ITx のアンテナ放射角、ITx, VTx, VRx のそれぞれのアンテナ半値角を評価パラメータとして可変し、最終的な平均場所率を算出し評価する。

なお、被干渉局 (VTx, VRx) のアンテナ半値角は、参考資料※に記載のアンテナ利得 10dBi ~ 20dBi より、19 度 (20dBi)、33 度 (15dBi)、61 度 (10dBi) を設定した。

※IEEE802.11-09-0960-00-00ad, "Wireless HD Specification and Coexistence Capabilities"

表 3-5.11 評価ケースと評価パラメータ

評価ケース	VTx 配置位置	評価パラメータ	組合せ数
E	E	<ul style="list-style-type: none"> ・ チャンネル割り当て 同一、隣接、次隣接 ・ ITx 空中線電力 10dBm、20dBm、25dBm、30dBm ・ ITx 配置位置 4 箇所 (1、2、3、4) ・ ITx アンテナ放射角 0~345 度@15 度ステップ ・ ITx アンテナ半値角 15 度、30 度、60 度 ・ VTx アンテナ半値角 19 度、33 度、61 度 ・ VRx アンテナ半値角 	評価ケース (1 通り) × 評価パラメータ (31104 通り) = 全 31104 通り

		19 度、33 度、61 度	
--	--	----------------	--

既存の 60GHz 帯ミリ波無線システム(WirelessHD)との干渉評価で扱う SINR(信号電力対干渉雑音電力)および所要改善量の計算は、既存の 60GHz 帯ミリ波無線システム(IEEE802.11.ad)と同じである。

3-5-2-3 シミュレーション評価

(1) 計算条件

電波伝搬解析の計算条件を表 3-5.12 に示す。基本となる条件は既存の 60GHz 帯ミリ波無線システム(IEEE802.11.ad)と同じである。相違点は VTx の配置位置と配置点数および VRx の配置点数である。

表 3-5.12 電波伝搬解析の計算条件

	項目	条件	備考
ITx	アンテナ	オムニアンテナ	
	高さ	1m	机上
	配置位置数	32 点	
	偏波	垂直	
	空中線電力	10dBm	
	周波数	60.48GHz 62.64GHz 64.8GHz	
VTx	アンテナ	オムニアンテナ	
	高さ	1m	机上
	配置位置数	1 点	
	偏波	垂直	
	空中線電力	10dBm	
	周波数	60.48GHz	
VRx	アンテナ	オムニアンテナ	
	高さ	1m	机上
	配置位置数	1281 点	10cm 間隔
	偏波	垂直	
建物材質	壁	コンクリート	
	机(長テーブル)	木材	
	窓、ドア(一部)	ガラス	

	窓サッシ	アルミニウム	
--	------	--------	--

(2) ITx, VTx, VRx の配置位置

ITx の配置位置は、既存の 60GHz 帯ミリ波無線システム (IEEE802. 11. ad) と同じである。電波伝搬解析における VTx と VRx の配置位置を以下に示す。

VTx は E 点に 1 つ配置し、VRx は会議室の右側 1/4 エリアに 10cm 間隔で 1281 点配置する。

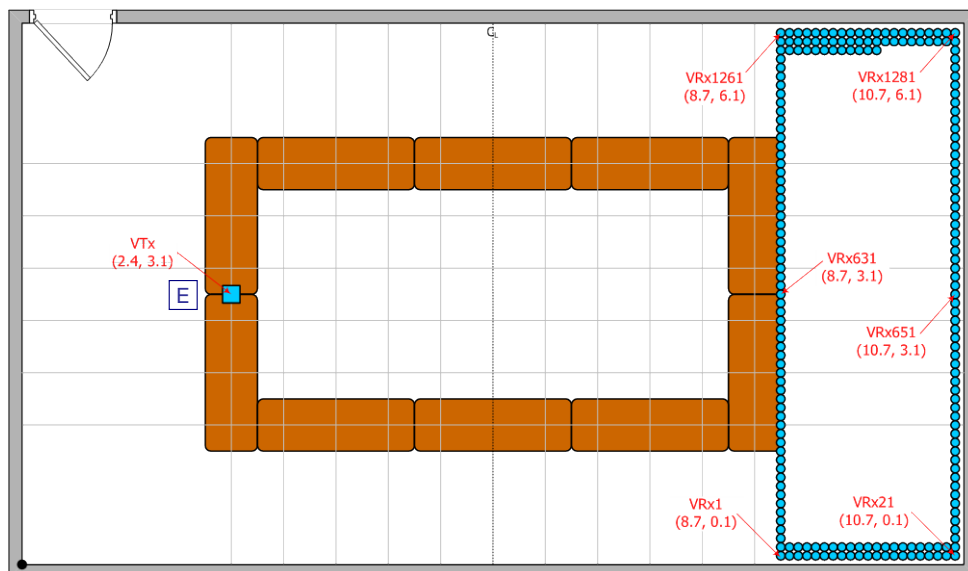


図 3-5-2-1 VTx と VRx の配置位置

(1) 評価パラメータ

干渉計算の評価パラメータを図 3-5.1 3 に示す。

表 3-5.1 3 干渉計算の評価パラメータ

項目		パラメータ	備考
ITx	配置位置数	4 点	高さ 1m の机上
	周波数	同一 : 60. 48GHz (チャンネル 2) 隣接 : 62. 64GHz (チャンネル 3) 次隣接 : 64. 8GHz (チャンネル 4)	チャンネル割り当て
	送信帯域 オフセット	同一 : 0dB 隣接 : -21dB 次隣接 : -30dB	
	空中線電力	10dBm 20dBm 25dBm 30dBm	

	アンテナ半値角 (利得)	15 度 (21.8dBi) 30 度 (15.9dBi) 60 度 (10.2dBi)	
	アンテナ放射角	0~345 度@15 度ステップ	24 通り
	アンテナ仰俯角	0 度	水平
VTx	配置位置数	1 点	高さ 1m の机上
	周波数	60.48GHz (チャンネル 2)	
	空中線電力	10dBm	
	アンテナ半値角 (利得)	19 度 (20dBi) 33 度 (15dBi) 61 度 (10dBi)	IEEE802.11-09-0960-00-00ad, "Wireless HD Specification and Coexistence Capabilities"
	アンテナ放射角	送受正対する角度	
	アンテナ仰俯角	送受正対する角度	
VRx	配置位置数	1281 点	高さ 1m に 10cm 間隔
	アンテナ半値角 (利得)	19 度 (20dBi) 33 度 (15dBi) 61 度 (10dBi)	IEEE802.11-09-0960-00-00ad, "Wireless HD Specification and Coexistence Capabilities"
	アンテナ放射角	送受正対する角度	
	アンテナ仰俯角	送受正対する角度	
	受信帯域幅	2160MHz	
	雑音指数	10dB	
	所要 CNR	2.5dB	【WirelessHD Standard】 HRP mode0 の受信感度 -68dBm より換算

(2) 送信帯域オフセット

隣接および次隣接のチャンネル割り当てによる送信帯域オフセットの設定の考えは、既存の 60GHz 帯ミリ波無線システム (IEEE802.11.ad) と同じである。

(3) アンテナ放射角

ITx のアンテナ放射角も同様に、既存の 60GHz 帯無線システム (IEEE802.11.ad) と同じであるため、詳細は省く。

(4) 所要 CNR

所要 CNR は、所要改善量を求める際の基準となる値であり、被干渉システムに与えられる受信感度の規格値から換算して求めた。

既存のミリ波無線システム(WirelessHD)における受信感度は、WirelessHD の規格から、標準的なマンダトリチャネルである HRP(High-RatePHY) の mode0 (Modulation:QPSK, Code rate:1/3ECP, Data rate:952Mbps) の受信感度-68dBm を適用した。

所要 CNR への換算は、適用した受信感度から雑音電力を差し引いて換算した。換算式を以下に示す。

所要 CNR (2.5dB) = 受信感度 (-68dBm) - 雑音電力 (-70.46dBm) ※

※雑音電力 (-70.46dBm) = 雑音電力密度 (-173.8dBm/Hz) + 10log 帯域幅 (2160MHz) + 雑音指数 (10dB)

3-5-2-2 節に述べたように、シミュレーションにて評価する改善不要場所率は、1 つの VTx の配置位置を基準に設定した評価ケース E にて評価を行う。以下に評価ケース E の定義と具体的な評価項目数(パラメータの組合せ数)を示す。

評価ケース E は、VTx の配置位置を会議室左側高さ 1m の机上 (VTx:E) に設置したケースで、同様に高さ 1m に 10cm 間隔で配置した 1281 点の各 VRx は、この E 点に配置した VTx と正対して希望波を受信している。ITx は、図 3-5.23 に示す 4 点 (ITx4:1, ITx12:2, ITx20:3, ITx28:4) のいずれか 1 箇所の位置に配置され、水平方向のある放射角で干渉波を放射する。

評価項目数は、ITx 配置位置 (4 通り) × ITx, VTx, VRx アンテナ半値角 (27 通り) × ITx アンテナ放射角 (24 通り) の組合せ 2592 通りとなり、これをチャンネル割り当て (3 通り) と ITx 空中線電力 (4 通り) の組合せで行う。

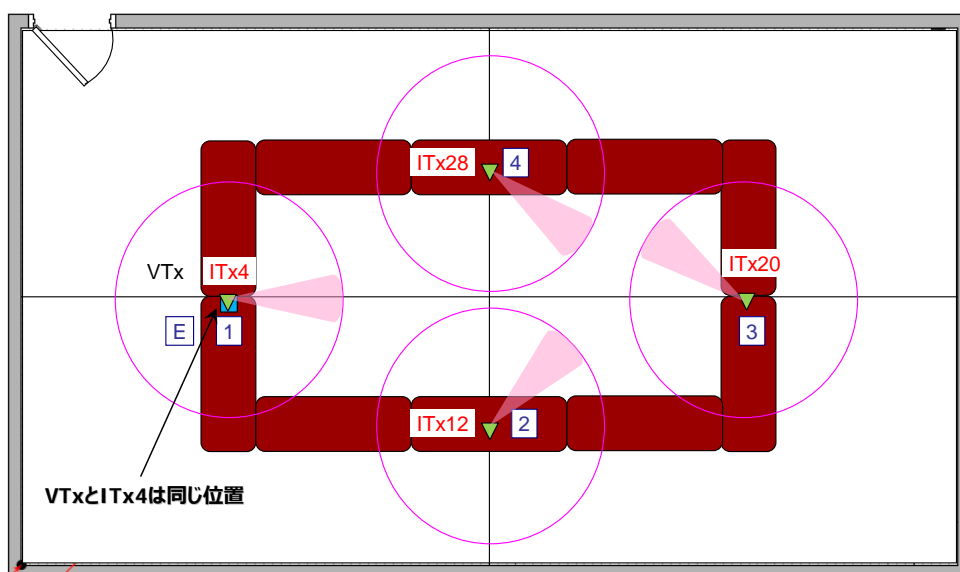


図 3-5.23 評価ケース E の VTx と ITx の配置位置

表 3-5.14 評価ケース E の評価項目数

チャンネル割り当て	ITx 空中線電力			
	10dBm	20dBm	25dBm	30dBm
同一	2,592	2,592	2,592	2,592
隣接	2,592	2,592	2,592	2,592
次隣接	2,592	2,592	2,592	2,592

改善不要場所率の詳細結果を参考資料 2 に示す。

(2) 評価ケース E の個別改善不要場所率

表 3-5.15 評価ケース E の個別改善不要場所率

チャンネル割り当て	ITx 空中線電力			
	10dBm	20dBm	25dBm	30dBm
同一	84.42%	57.9%	41.4%	23.73%
隣接	99.5%	96.82%	93.14%	86.15%
次隣接	99.88%	99.4%	98.46%	96.26%

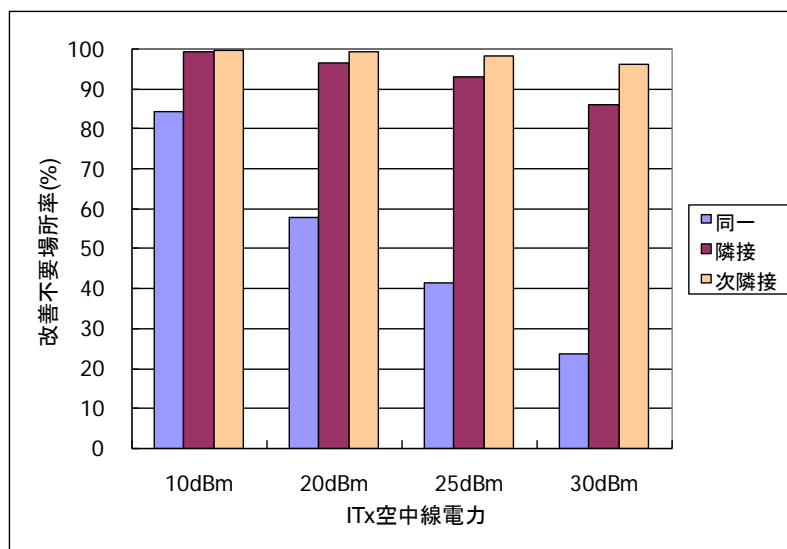


図 3-5.24 評価ケース E の個別改善不要場所率

60GHz 帯ミリ波無線システム (IEEE802.11ad) と同様に、被干渉局側で適用するアンテナ

パターン(半値角)に大きく左右される結果となっている。具体的には、VRx で適用するアンテナの半値角が広いほど(利得が小さいほど)干渉を受けやすく、その影響が大きい。VTx の半値角も同様に影響を及ぼすため、被干渉局の送受アンテナの組み合わせによっては干渉の影響度合いが大きく異なると言える。ただし、これは、ITx のアンテナ放射角に依存され、干渉波が反射波として VRx に被る場合の影響であり、直接波として VRx に被る場合はアンテナ半値角に左右されず一様に干渉の影響を受ける。

与干渉局と被干渉局のチャンネル割り当てが隣接または次隣接に設定した場合の干渉の影響については、ITx の空中線電力を 30dBm まで増力した場合でも、改善不要場所率は全て 86% 以上を確保する結果となり、周波数共用に関して問題ないレベルであると考えられる。

一方、与干渉局と被干渉局のチャンネル割り当てが同一に設定した場合の改善不要場所率は、ITx の空中線電力が 10dBm 時で約 84%、20dBm 時で約 58%、25dBm 時で約 41%、30dBm 時で約 24% となり、ITx の空中線電力を増大するにつれて場所率が低くなる結果となった。しかしながら、既存システムである WirelessHD は、キャリアセンスや CCA(Clear Channel Assessment) などの機能を具備しているため、すでに使用中のチャンネルへの新規割り当てや干渉時には空きチャンネルへの再割り当てすることによって、同一チャンネル割り当てによる干渉を回避することが可能であり、実運用上は共用が可能であると考えられる。

3-5-3 ミリ波画像伝送システム（集合住宅向け共同受信システム）

3-5-3-1 干渉モデル

ミリ波画像伝送システムの代表的な運用形態の一つとして、図3-5.25に示すような集合住宅の屋上等で屋外アンテナに接続された基地局送受信機と、各家庭のベランダ等に設置された加入者局送受信機間を通信する、縦系と呼ばれるシステムが実用化されている。

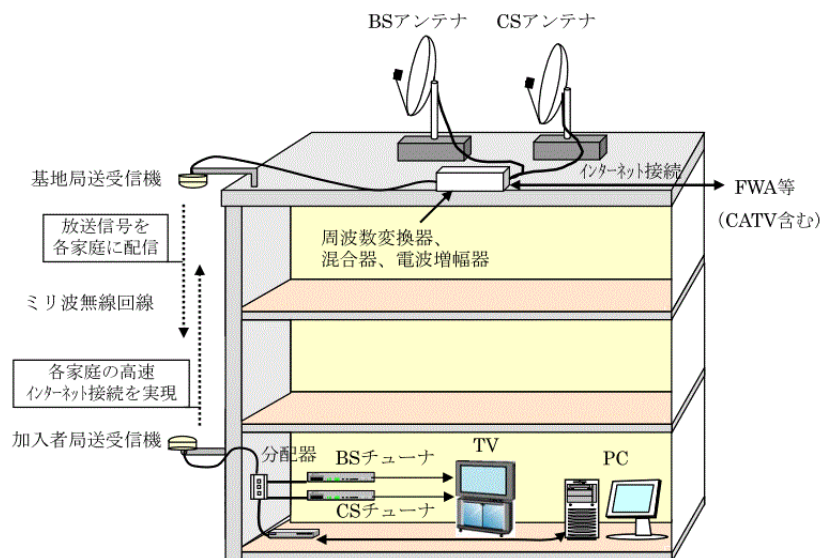


図3-5.25 ミリ波画像伝送システム（ARIB STD-T69）の代表的な運用形態

（ARIB STD-T69 3.0 版より転記）

代表的な運用形態において、ベランダ等、屋外に設置されたミリ波画像伝送システムの受信機に対し、図3-5.26に示すように室内で60GHz帯ミリ波無線システム（IEEE802.11ad）を使用するケースを干渉シーンとして想定し、IEEE802.11adがミリ波画像伝送システムに与える干渉の影響を机上計算で所要改善量を求めることによって検討する。

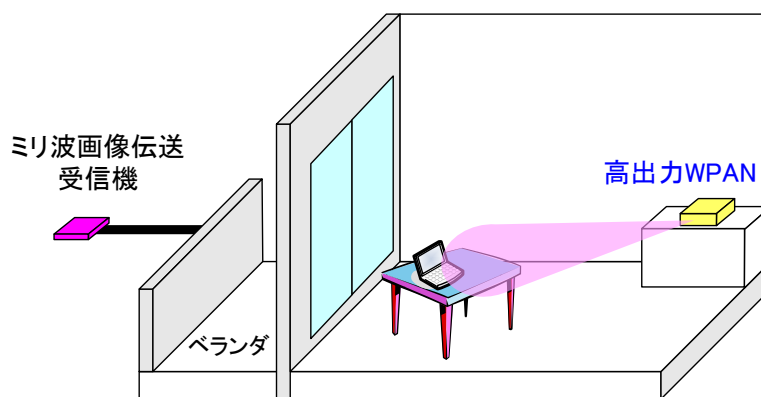


図3-5.26 干渉シーンの一例

3-5-3-2 評価方法

評価は、図3-5.27に示すように、被干渉受信機と与干渉送信機との距離、アンテナ放射角、与干渉空中線電力をパラメータとして所要改善量を机上計算する。

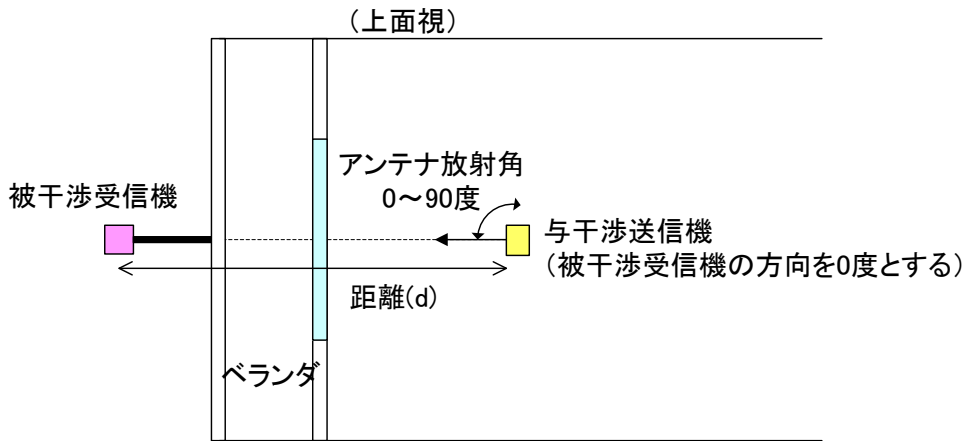


図3-5.27 評価における各パラメータの関係

3-5-3-3 机上計算評価

干渉シナリオとして、ミリ波画像伝送システムと高出力WPANが同一周波数帯で、ミリ波画像伝送システムの最大周波数帯域幅が最も広い、多重化方式 II α -K (帯域幅 2.5GHz) を設定した。

IEEE802.11ad と ARIB STD-T69 の周波数配置関係を図3-5.28に示す。

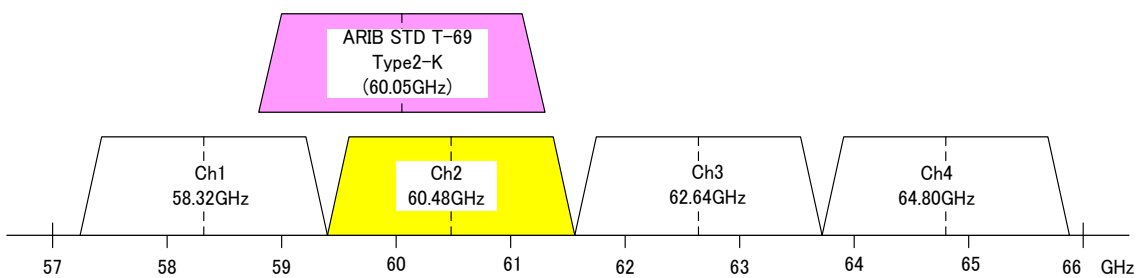


図3-5.28 IEEE802.11ad と ARIB STD-T69 (3.0 版) の周波数配置

本検討における評価パラメータを表3-5.16に示す。

表3-5.16 評価パラメータ

システム	項目	記号	仕様	備考
被干渉装置 (ミリ波画像伝送装置)	周波数	f_{VTx}	60.05GHz	ARIB STD-T69 3.0版 Type II-αK
	帯域幅	BW_{VRx}	2.5GHz	
	空中線電力	P_{VTx}	10dBm	シャープ技報 第93号 2005年12月より
	送信アンテナ利得	G_{VTx}^{MAX}	22dBi	
	受信アンテナ利得	G_{VRx}^{MAX}	23dBi	
	NF	NF_{VRx}	7dB	
	所要CNR	$RCNR$	18dB	
	伝送距離w	$D_{(VTx \rightarrow VRx)}$	35m (10階建相当)	
与干渉方向の受信アンテナ利得(90度方向)	G_{VRx}^{90deg}	-20dBi	23dBi ホーンアンテナ 90度方向利得実測値	
与干渉装置 (高出力WPAN)	周波数	f_{ITx}	60.48GHz	802.11ad Ch2
	送信アンテナ半値角(最大利得)	θ_{-3dB}	15度 (21.9dBi)	5.3.4.2 記載のアンテナモデル
			30度 (15.9dBi)	
			60度 (10.2dBi)	
	空中線電力	P_{VTx}	10dBm、20dBm 25dBm、30dBm	
与干渉源との距離	$D_{(ITx \rightarrow VRx)}$	2m~10m		

机上計算は下記に示すとおり、ミリ波画像伝送システム受信機において受信機の熱雑音と干渉電力が加算されたSINRを求め、所要CNRとの差分を所要改善量として評価した。所要改善量がマイナスの場合は改善不要、プラスの場合は改善が必要であることを表す。

$$\text{被干渉自由空間損失 } L_{p(VTx \rightarrow VRx)} \text{ (dB)} \quad L_{p(VTx \rightarrow VRx)} = 20 \log(4\pi D_{(VTx \rightarrow VRx)} / \lambda)$$

$$\text{被干渉受信電力 } P_{VRx} \text{ (dBm)} \quad P_{VRx} = P_{VTx} + G_{VTx}^{MAX} - L_{p(VTx \rightarrow VRx)} + G_{VRx}^{MAX}$$

$$\text{受信機雑音電力 } N_{VRx} \text{ (dBm)} \quad N_{VRx} = -173.8 + 10 \log(BW_{VRx}) + NF_{VRx}$$

$$\text{被干渉受信機 CN} \quad CNR \text{ (dB)} \quad CNR = P_{VRx} - N_{VRx}$$

$$\text{与干渉自由空間損失 } L_{p(ITx \rightarrow VRx)} \text{ (dB)} \quad L_{p(ITx \rightarrow VRx)} = 20 \log(4\pi D_{(ITx \rightarrow VRx)} / \lambda)$$

$$\text{与干渉受信電力 } P_{IRx} \text{ (dBm)} \quad P_{IRx} = P_{ITx} + G_{IRx}^{HP} - L_{p(ITx \rightarrow VRx)} + G_{VRx}^{90deg}$$

受信機における熱雑音と干渉電力の合計電力 N_{VIRx} (dBm)

$$N_{VIRx} = 10 \log(10^{N_{VIRx}/10} + 10^{P_{VIRx}/10})$$

受信機の信号電力対干渉雑音電力 $SINR$ (dB)

$$SINR = P_{VRx} - N_{VIRx}$$

所要改善量 RIV (dB)

$$RIV = RCNR - SINR$$

所要改善量の計算結果より、与干渉空中線電力、与干渉アンテナ半値角に対して、干渉回避可能な被干渉受信機との距離と、与干渉アンテナ放射角の関係を図3-5.17に示す。

表3-5.17 ミリ波画像伝送システムへの干渉回避可能な、IEEE802.11adの条件

与干渉 空中線電力 (dBm)	与干渉アンテナ 半値角 (度)	干渉回避可能な 与干渉アンテナ放射角		
		d=2m	d=4m	d=6m
10	15	0	0	0
	30	0	0	0
	60	0	0	0
20	15	14度以上	8度以上	3度以上
	30	17度以上	0	0
	60	0	0	0
25	15	16度以上	13度以上	10度以上
	30	27度以上	15度以上	0
	60	32度以上	0	0
30	15	18度以上	16度以上	13度以上
	30	32度以上	25度以上	18度以上
	60	50度以上	21度以上	0

所要改善量の計算結果の詳細を図3-5.29～図3-5.40に示す。与干渉送信アンテナの半値角が狭い場合、干渉を与える角度は小さいが、被干渉受信機からの距離を離しても干渉を与えることになる。

一方、与干渉送信アンテナの半値角が広い場合、受信機からの距離が近い場所では干渉を与える角度が広いが、距離を離すと半値角が狭いアンテナに対して干渉の影響は小さくなる。

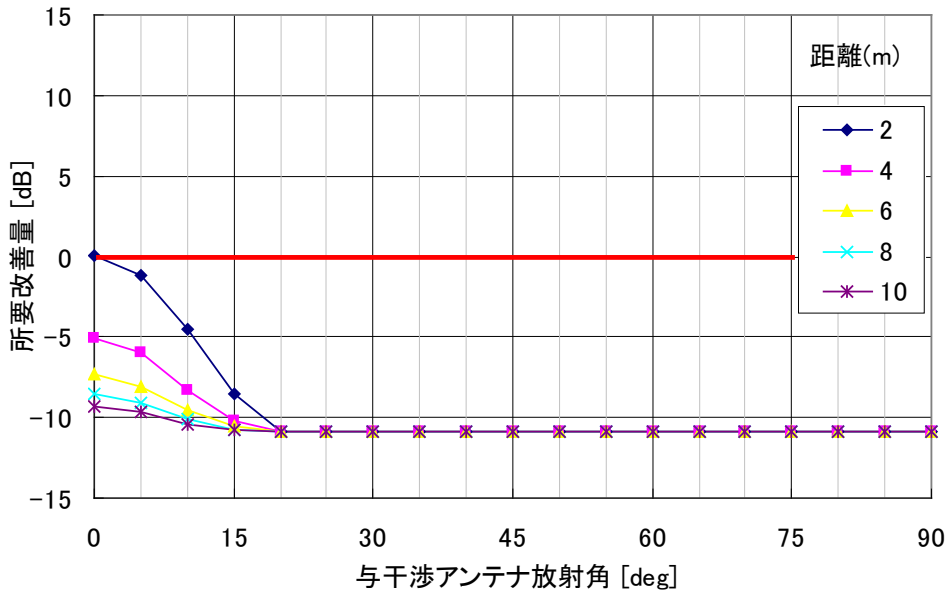


図 3-5.29 所要改善量計算結果

【空中線電力 10dBm 与干涉アンテナ半値角 15度 (最大 EIRP 31.9dBm)】

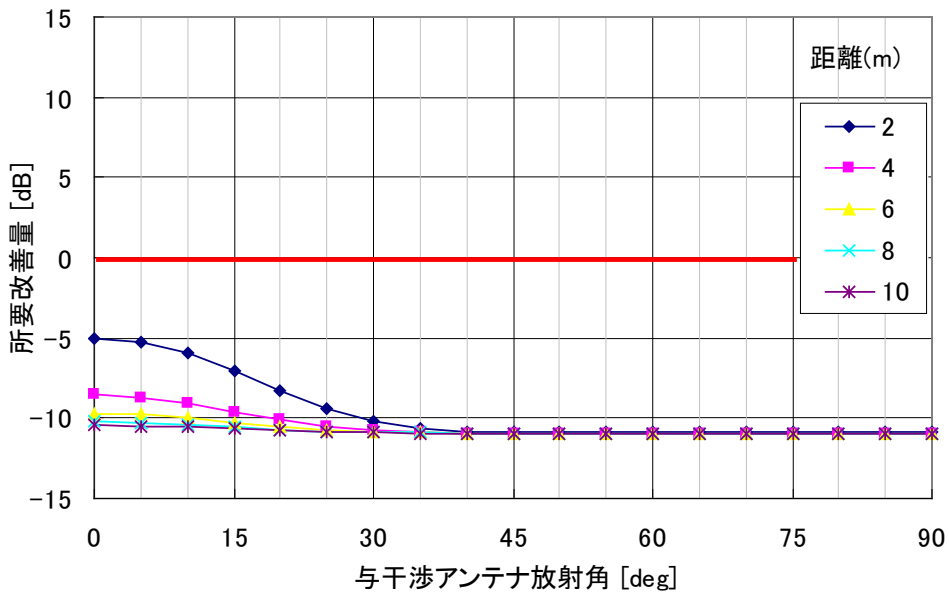


図 3-5.30 所要改善量計算結果

【空中線電力 10dBm 与干涉アンテナ半値角 30度 (最大 EIRP 25.9dBm)】

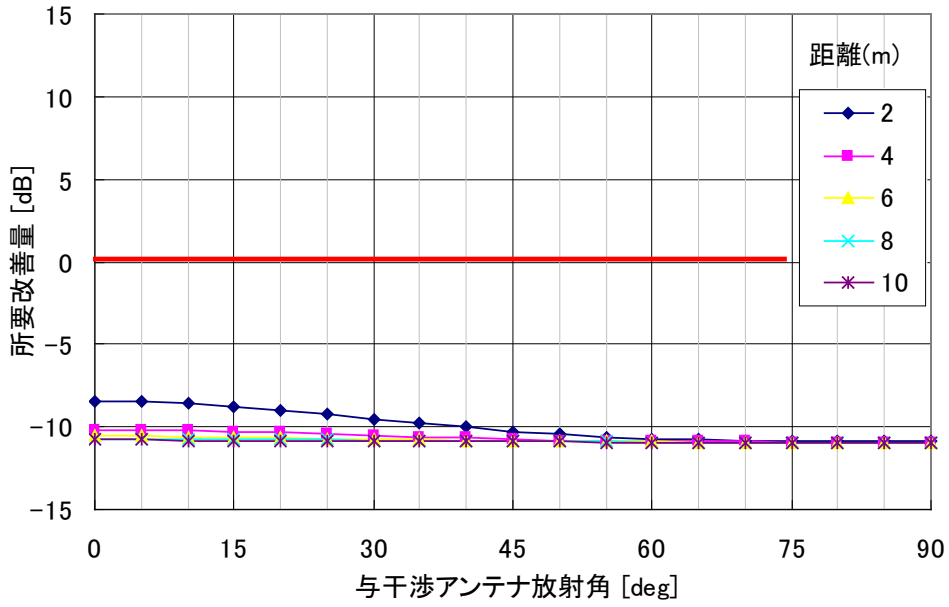


図 3-5.3.1 所要改善量計算結果

【空中線電力 10dBm 与干涉アンテナ半値角 60度 (最大 EIRP 20.2dBm)】

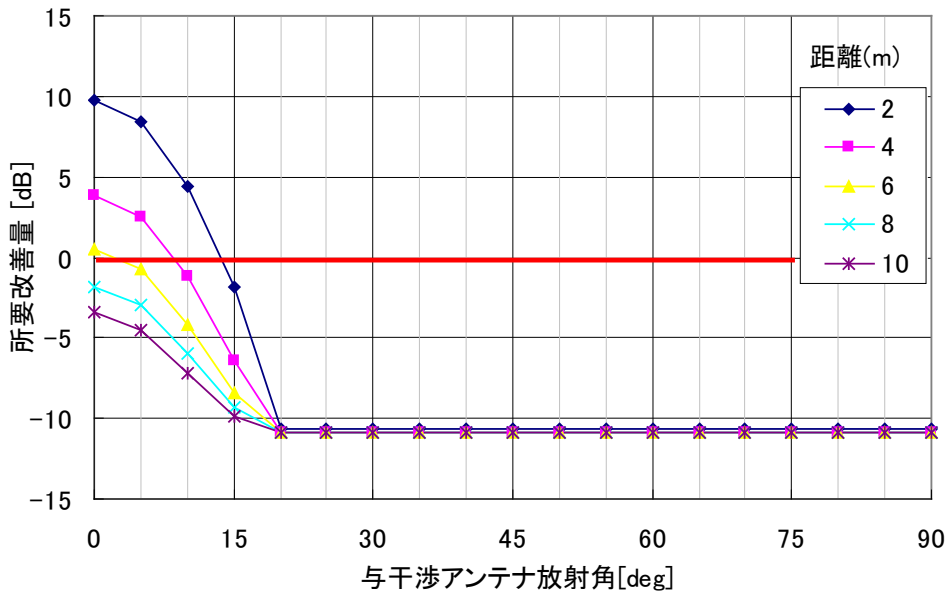


図 3-5.3.2 所要改善量計算結果

【空中線電力 20dBm 与干涉アンテナ半値角 15度 (最大 EIRP 41.9dBm)】

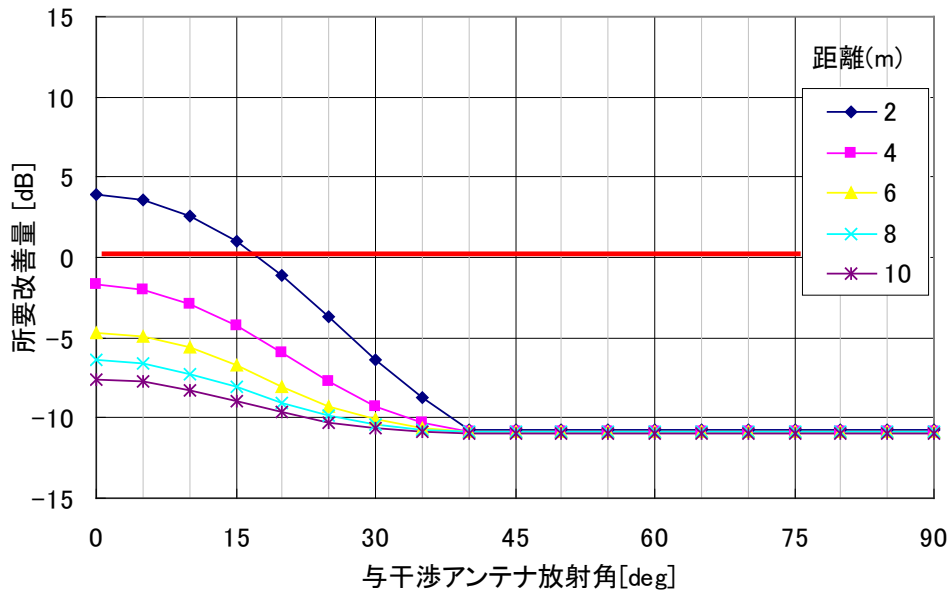


図3-5.3.3 所要改善量計算結果

【空中線電力 20dBm 与干涉アンテナ半値角 30度 (最大 EIRP 35.9dBm)】

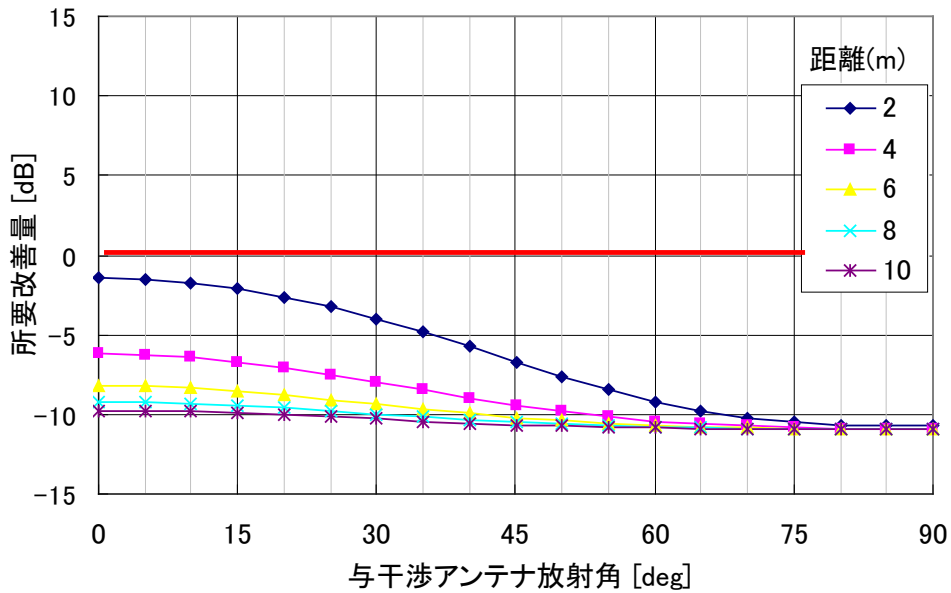


図3-5.3.4 所要改善量計算結果

【空中線電力 20dBm 与干涉アンテナ半値角 60度 (最大 EIRP 30.2dBm)】

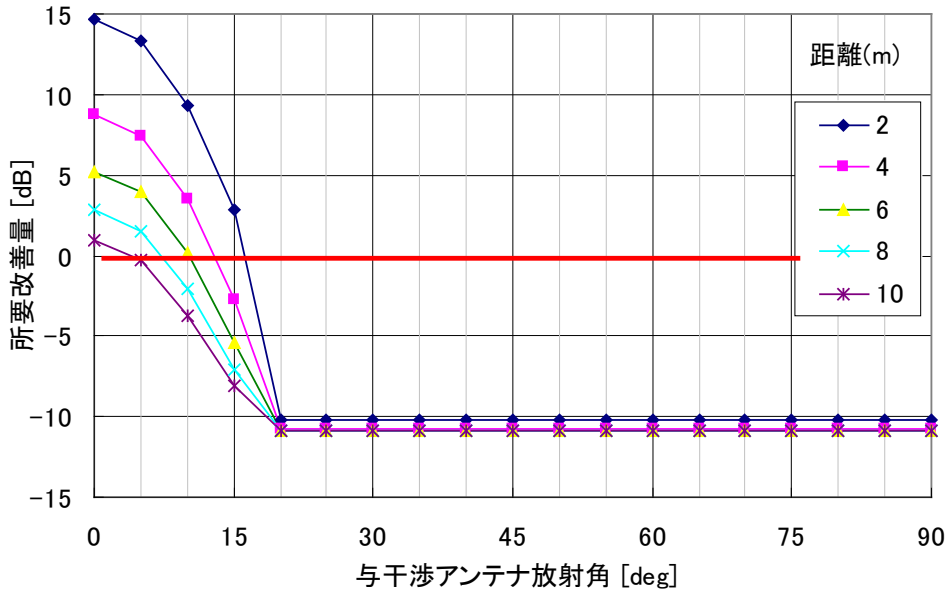


図3-5.35 所要改善量計算結果

【空中線電力 25dBm 与干渉アンテナ半値角 15度 (最大 EIRP 46.9dBm)】

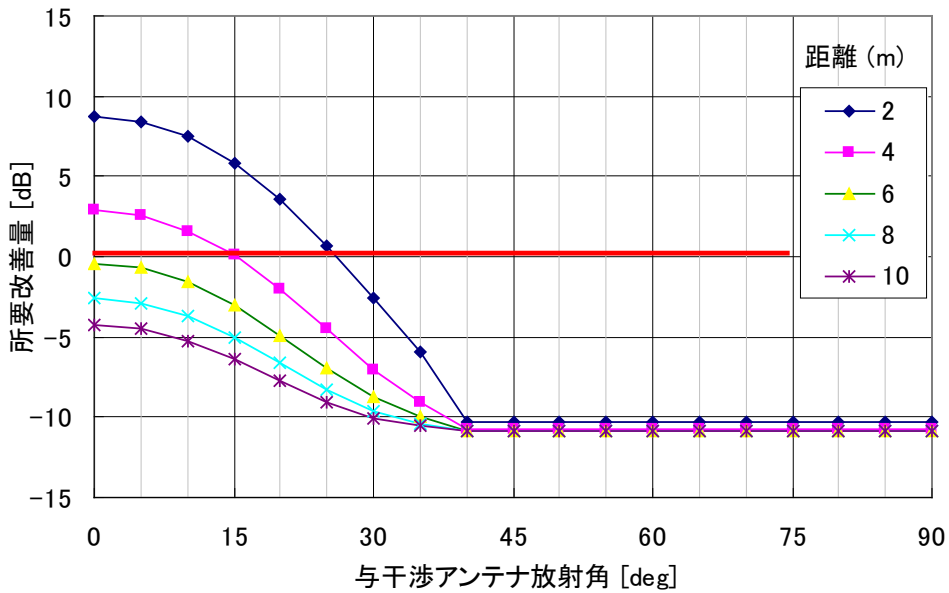


図3-5.36 所要改善量計算結果

【空中線電力 25dBm 与干渉アンテナ半値角 30度 (最大 EIRP 40.9dBm)】

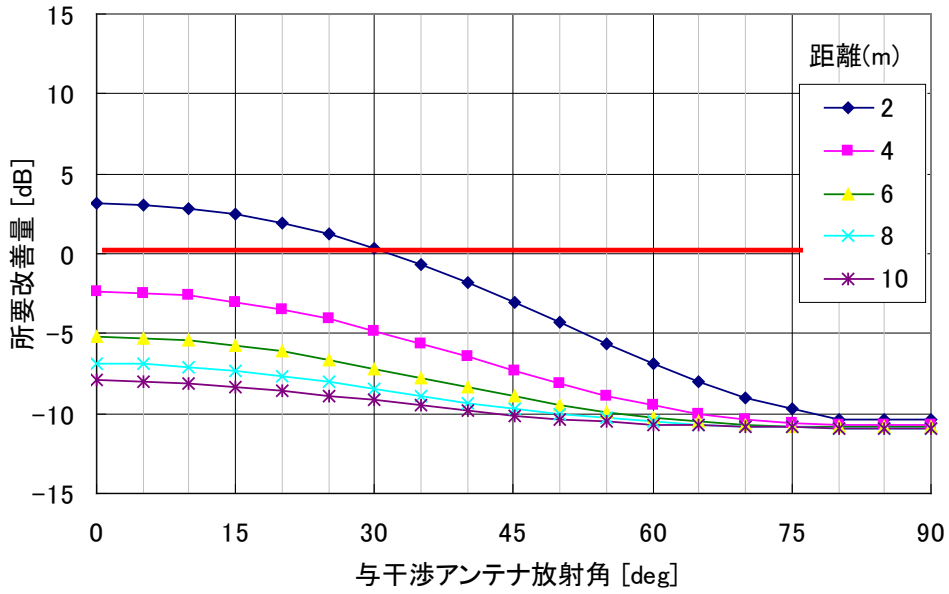


図 3 - 5. 3 7 所要改善量計算結果

【空中線電力 25dBm 与干涉アンテナ半値角 60度 (最大 EIRP 35.2dBm)】

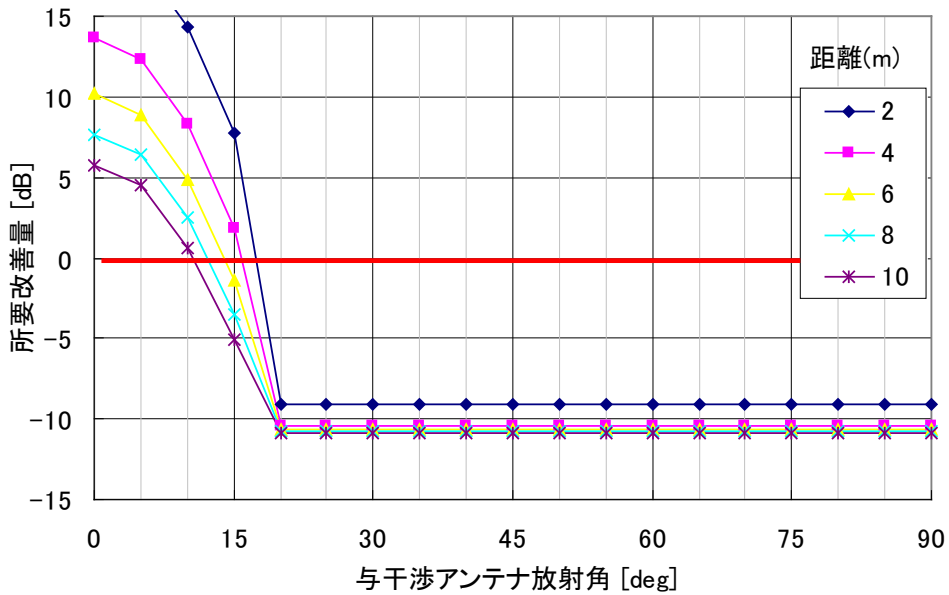


図 3 - 5. 3 8 所要改善量計算結果

【空中線電力 30dBm 与干涉アンテナ半値角 15度 (最大 EIRP 51.9dBm)】

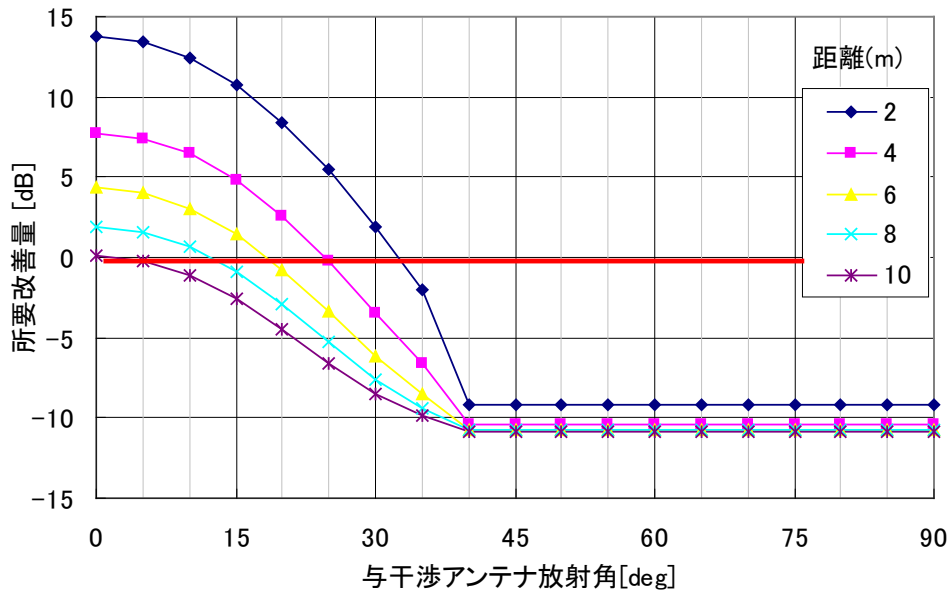


図3-5.39 所要改善量計算結果

【空中線電力 30dBm 与干涉アンテナ半値角 30度 (最大 EIRP 45.9dBm)】

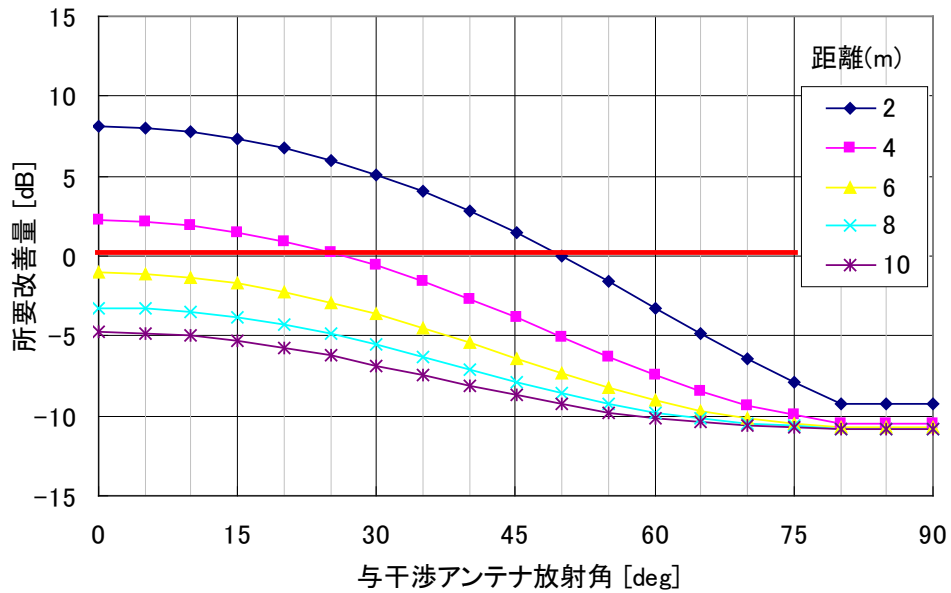


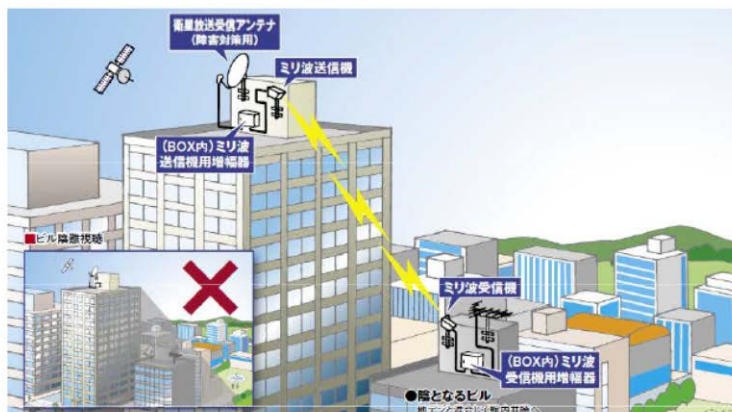
図3-5.40 所要改善量計算結果

【空中線電力 30dBm 与干涉アンテナ半値角 60度 (最大 EIRP 40.2dBm)】

3-5-4 ミリ波画像伝送システム（ビル陰衛星放送受信障害対策）

ミリ波画像伝送システムの他の運用形態としては、図3-5.41に示すようなビル陰に対する衛星放送受信障害対策がある。ビル上などに、送信機、受信機を設置し衛星放送受信用アンテナで受信された信号を60GHz帯に周波数変換し中継するものである。

—ビル陰衛星放送受信障害対策としての使用例—



システムの構成例

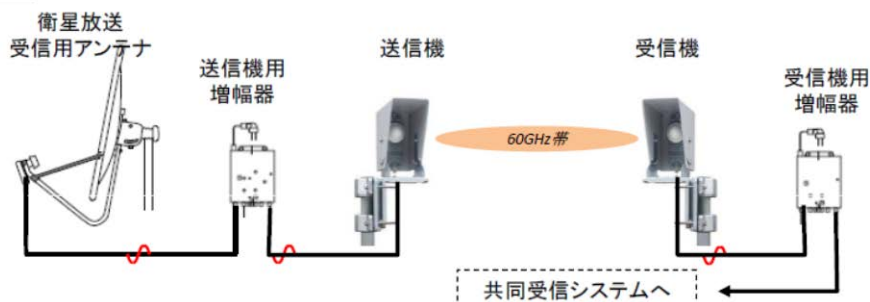


図3-5.41 ミリ波画像伝送システム（ビル陰衛星放送受信障害対策）

アンテナ利得が異なるものの、設置条件から3-3節で検討したエントランス回線に近い干渉が必要と考えられる。被干渉システムとして表3-5.18に示すようなミリ波画像伝送システム（ビル陰衛星放送受信障害対策）と干渉システムとして60GHz帯ミリ波無線システム(IEEE802.11ad)を想定し、INR基準を-10dBとして両者が正対した場合の離隔距離を計算した。

計算結果を表3-5.19に示す。被干渉システムの帯域幅が1chあたり34.5MHz、受信空中線利得が23dBiの条件下では、干渉システムの空中線利得が10dBm、アンテナ利得が15.9dBiの場合、離隔距離は354.6m、空中線利得が25dBm、アンテナ利得が15.9dBiの場合は849mとなった。また被干渉システムの帯域幅が1chあたり6MHz、受信空中線利得が36dBiの条件下では、干渉システムの空中線利得が10dBm、アンテナ利得が15.9dBiの場合、離隔距離は771.2mm、空中線利得が25dBm、アンテナ利得が15.9dBiの場合は1418.4mとなった。3-3節で検討したエントランス回線に比べて干渉量は緩和されている。

与干渉システムおよび被干渉システムのアンテナ角度が正対からずれることにより、干渉量はさらに低減される。また与干渉システムが隣接チャネルや次隣接チャネルを利用することで、干渉量は大幅に低減される。このような設置、運用条件を考慮することで共存が可能と考える。

表 3-5.18 評価パラメータ

システム	項目	仕様	備考
被干渉装置 (ミリ波画像 伝送装置)	周波数	60.05GHz	
	帯域幅	34.5MHz	828MHz/24ch
		6MHz	66MHz/11ch
	空中線電力	10dBm	
	受信アンテナ利得	23dBi/36dBi	IEEE モデル
	NF	15dB	
許容 INR	-10dB		
与干渉装置 (IEEE802.11 ad)	周波数	60.48GHz	802.11ad Ch2
	送信アンテナ 半値角 (最大利得)	15度 (21.9dBi)	IEEE モデル
		30度 (15.9dBi)	
		60度 (10.2dBi)	
空中線電力	10dBm 25dBm		

表 3-5.19 許容 INR による離隔距離計算結果

被干渉 システム	与干渉 空中線利得	与干渉 空中線電力 10dBm	与干渉 空中線電力 25dBm
帯域幅 : 34.5MHz 空中線利得 : 23dBi	21.9dBi	524.4m	1096.9m
	15.9dBi	354.6m	849.0m
	10.2dBi	228.3m	635.4m
帯域幅 : 6MHz 空中線利得 : 36dBi	21.9dBi	1010.9m	1707.4m
	15.9dBi	771.2m	1418.4m
	10.2dBi	567.5m	1155.7m

3-6 60GHz 帯近接無線システム

近年、開発・標準化が進められつつある近接通信システム (802.15.3e) 等既存無線システ

ム以外の無線局と、802.11ad に代表される高出力化したシステムとの間の周波数共用について、利用シーンなどを勘案した場合、同一周波数利用による見通し通信等、一定の条件が整えば干渉が生じる可能性がある。

新たな 60 GHz 帯小電力無線システムの技術的条件(案)では、国際協調を鑑み、最大の空中線電力を 250 mW、EIRP40dBm(空中線利得の下限値は 10 dBi)を要望している。しかしながら、空中線電力の高出力化に伴い、802.11ad などの無線システムのすべての無線局が空中線電力 250 mW、アンテナゲイン 10 dBi となるわけではなく、実際は利用形態に応じて適切な最大空中線電力とアンテナゲインが設定される。具体的に、携帯電話、スマートフォンなどに搭載される場合は、消費電力などの関係もあり空中線電力 10 ~17 dBm 程度に抑えられ、アンテナゲイン 15 dBi 程度が現実的な値と考えられている。PC やタブレットなどの場合は、空中線電力は 20dBm 程度以下、アンテナゲイン 15dBi 程度が想定される。また、屋内に設置されるアクセスポイントでは空中線電力は 19~20 dBm、アンテナゲインは 15~20 dBi 程度を想定した開発が進められている。さらに屋外に設置するようなアクセスポイントやバックホールへの応用も開発が進められており、空中線電力 24 dBm を利用するシステムの試作機が既に開発されているところである。

一方、ビームフォーミングに使用されるアレーアンテナにおいては、主ビームから-13~-20 dB 程度減衰したサイドローブが発生し、ビームフォーミングを行ったとしても、これらのサイドローブからの電力によって他の無線局に干渉を与える可能性がある。干渉の発生するエリアは、空中線電力の大きさに関係するが、先に述べたようにすべての無線局が最大空中線電力 24 dBm で輻射するわけではなく、実際は空中線電力が 20 dBm 以下の無線局も多く利用されることが想定されるため、干渉発生エリアは小さくなる。また、空中線電力が必要最小限となるように自動的に制御する機能を有すること、さらに近接通信システムが常に 802.11ad の無線局と見通しにあるとも限らず、人体吸収損や他の遮蔽物等で信号が減衰する可能性があることを考慮すると干渉発生エリアはさらに小さくなることが考えられる。その他、近接通信システムと 802.11ad の通信が同時に起こる可能性が時間率 100 %とはならないため、干渉の発生する確率はさらに小さくなる。なお、参考として、ナイフエッジ法による 11ad から 15.3e のシャドーイングによる損失についての計算を図 3-6.1 に示す。完全に影となった場合は 30dB 程度のシャドーイング損失となると考えられる。

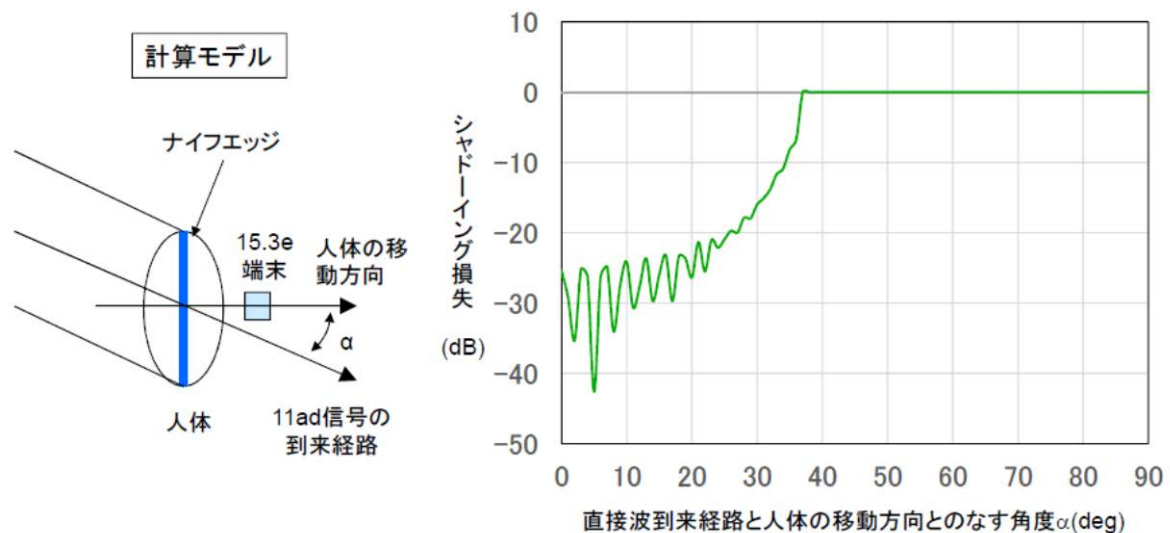


図 3-6.1 11ad から 15.3e への人体によるシャドーイング損失の計算例

また、802.11ad では標準でキャリアセンスの実施が義務化されている。これは免許不要の周波数帯で運用することを前提としての設計であり、干渉がある場合には通信を行わないようにして複数の無線局で周波数を共用する仕組みとなっている。また、2.4 GHz、5 GHz の無線 LAN も同時にサポートする無線局では通信が行えない環境では 60 GHz 帯以外の周波数も利用するので、60 GHz で通信が出来ない状態で不要な電波を送信し続けるようなことはない。

さらに、運用面において、60GHz 帯の使用チャネルを 802.15.3e と 802.11ad で棲み分けを行うというのも、有効な干渉回避策であると考えられる。

それぞれのシステムは免許不要の無線局であり複数のシステムで周波数共用を行うことが前提であるため、一定の干渉があることを許容することが求められる。

802.11ad の需要予測やメーカ各社の製品化動向を考えると、今後 802.11ad が広く普及していくことは容易に想像できる。世界的にも普及が見込まれる 802.11ad と今後、周波数を共用する新たな無線システムにおいては、国内だけでなく、国際的な利用環境の中で技術競争力の観点から 802.11ad と同様にキャリアセンス、あるいはその他の周波数共用技術のサポート、またはさまざまな周波数共用の方策が取られることが期待される。

なお、既に近接システム側においては、国際的に普及が見込まれる 802.11ad の無線局と同一周波数帯で共存を可能とする送信方式などの研究開発も進められており、一定の成果を得ているところである。

近接通信システムの普及予測や具体的な利用率などが示されていない状況では、定量的な干渉発生率の時間率、場所率を求めることは困難であるが、免許不要の無線局の運用の実態に照らし合わせ、上述した条件を総合的に勘案すれば許容すべき干渉のレベルであると判断す

ることが可能である。

以上の検討結果を踏まえると、空中線電力を 10mW から 250mW (EIRP 40dBm) に増力しても、周波数の共用は十分可能であると考えられる。

3-7 探査衛星業務

探査衛星業務に関して、日本では現在利用されていないが、米国 NOAA(海洋大気庁) や EUMETSAT(欧州気象衛星機関) が運用する低軌道衛星が世界の降雨強度等を観測するために 60GHz 付近の周波数を観測(受動)している。

これら衛星は、日本の上空も通過していることから、60GHz 帯無線システムが与える影響について、干渉検討を実施した。

干渉検討の条件として、1-4 節に記載してある普及予測に基づき普及密度を求め、衛星に搭載されている SSMIS (Special Sensor Microwave Imager Sounder/大気サウンダ) の最大可視範囲内に存在する 250mW 出力の 60GHz 帯デバイスから受ける、総電力を計算した。

詳細の検討結果については参考資料 1 に示す。SSMIS が受ける干渉量は -224.219dBm/MHz となった。ITU-R 勧告 RS. 2017 において、EESS (PASSIVE) における 60GHz 帯の保護基準が定められており、-169dBW/100MHz という規定がされているところ。先ほどの干渉量 -224.219dBm/MHz を換算すると -288.219dBW/100MHz となり、想定されるアンテナ利得である 54dBi を勘案しても、所要改善量は -65.219dB となり、保護基準は十分満足できるものと考えられる。

3-8 電波天文

電波天文業務については、周波数割当計画脚注 J272 により 64-65GHz において使用することができるとされているが、酸素吸収による宇宙電波の減衰が大きいことから現在観測されおらず、今後の観測予定もない。

他方、60GHz 帯無線設備の 2 次高調波が、一酸化炭素の電波天文観測帯域 (115.271GHz) と重複する場合、一酸化炭素観測に深刻な干渉被害を発生するおそれがある。そのため、60GHz 帯無線設備から発射される 2 次高調波について測定を行った。

結果としては、現在市販される測定装置*では、測定できない程度の極めて低いレベルとなった。また、120GHz 帯においては、20m 離隔すると 100dB 程度の自由空間損失が発生する。これらの状況を勘案すると、60GHz 帯無線システムから電波天文に対する干渉は極めて小さく、共用は可能であると考えられる。

*一例としてキーサイト社(米国)製スペクトラムアナライザ(N9029AV06)のノイズフロアは
-150dBm/Hz となる。

第4章 電波防護指針

4-1 電波防護指針

我が国では、人体に影響を及ぼさない電波の強さの指針値等が「電波防護指針」（電気通信技術審議会答申 諮問第38号「電波利用における人体の防護指針」（平成2年6月答申。平成9年、平成23年、平成27年にそれぞれ一部改定。））として定められている。そのため、電波利用システムは、その運用形態に応じて、電波防護指針に適合するようシステムを設計する必要がある。

4-2 60GHz 帯無線設備における電波防護指針の適合について

60GHz 帯無線設備から発射される電波の強度が、電波防護指針における一般環境の電磁界強度（6分間平均値）の指針値（60GHz 帯に適用される指針値（抜粋）を表4-2.1に示す）に適合するかどうかについて、ユースケースごとに電磁界強度の試算を行った。試算結果を表4-2.2に示す（試算方法等の詳細は参考資料5にて記載する）。

試算の結果、人体との一定の離隔距離が見込めるアクセスポイントや、PC 端末における利用においては基準値を概ね満足する結果となったが、携帯電話やスマートフォン等に内蔵した場合等、人体の近傍で利用するケースにおいては、指針値を超える結果となった。

表4-2.1 一般環境の電磁界強度（6分間平均値）の指針値（抜粋）

周波数 f	電界強度	磁界強度	電力束密度	平均時間
1.5GHz～ 300GHz	61.4[V/m]	0.163[A/m]	1[mW/cm ²]	6分

表4-2.2 ユースケースごとの電磁界強度の試算結果

	アクセスポイント (無線 LAN)	PC 端末内蔵(無線 LAN、 ワイヤレスドック)	携帯電話端末、スマー トフォン端末内蔵 (無線 LAN)
検討条件	空中線電力 24dBm、空 中線利得 16dBi	空中線電力 24dBm、空 中線利得 16dBi	空中線電力 17dBm、空 中線利得 15dBi
想定される 人体との 離隔距離	1m～	30cm 程度	～30cm
検討結果	0.0796 mW/cm ²	0.884 mW/cm ²	0～7.2mm の範囲にお いては 77mW/cm ² 、それ より遠方は距離に比

			例して減衰
--	--	--	-------

一方、60GHz 帯無線システムの主な利用規格と考えられる IEEE802. 11ad/WiGig においては、下記のような機能等を有しており、これらにより電波の人体へのばく露量は大きく低減させることが可能であると考えられる。また、これらに加えて送信がバースト信号であることを考慮すると、ビームフォーミングにより人体への電波の照射をごく短時間に限定できる可能性がある。

ただし、実装されたアンテナの特性(ビーム幅やサイドローブ利得)によっては、ビームフォーミングによる時間率軽減が必ずしも適用できない場合があることに注意が必要である。

(1) ビームフォーミング機能

60GHz 帯無線システム(11ad/WiGig)は、ビームフォーミングの実装が義務づけられており、通信相手となる端末以外の方向に電波が照射されないように制御される。

ビームフォーミングは、Sector Level Sweep と Beam Refinement の2段階に分かれており、まず Sector Level Sweep で相手を探検し、通信を確立する。Sector は1つのアンテナあたり三次元的に最大 64 まで分けることが可能(すべてのアンテナにおける最大は 128)。Beam Refinement は Sector Level Sweep が終わったあと適宜(たとえばリンクが切れた後など)実施することになっている。

また、Sector Level Sweep の時間は、11ad の規格において、 $\text{dot11MaxBFTime} (1 \sim 16) \times \text{beacon interval}$ で規定されている。

さらに、beacon interval は 1024ms までとなっていることから、一回のスweep時間はどんなに長くても 16s 程度となる。

16s で全セクターのスweepを終了するため、主ビームは数 ms～数 s 程度で人体とは別方向を向くものと考えられる。実態上、16s はユーザの待ち時間が長すぎるため現実的ではなく、スweep時間は 1～2ms 程度となるとされている。

一例としてスweep時間 10ms、一分間に一回スweepすると仮定した場合、電力密度は時間率として 6000 分の 1 程度には緩和できると想定される。

(2) トライバンド対応チップセット

最適なリンク上に人間が存在する場合でも、60GHz 帯は人体による減衰が大きいことから、通信が確立できず、人体を避けてリンクを構築することになる。また、基本的に 11ad の普及においては、トライバンド(2.4GHz 帯、5GHz 帯、60GHz 帯)対応のものが一般的であると予想され、60GHz 帯で通信が確立できない場合、他の周波数を用いて通信が行われる。そのため、人体に向けて 60GHz 帯の電波が照射された状態で通信を行うことは、通常はないものと考えられる。

現在想定される利用ケースを前提に試算した結果、人体との離隔距離が保てる場合（アクセスポイントやPC 端末等での利用）に関しては、時間率を考慮しなくとも指針値を概ね満足する結果となった。一方、携帯電話端末等、人体に近接して利用するシステムに関しては、時間率を考慮しない計算においては指針値を上回る結果となったが、電波の人体への照射時間及び実体的な送信時間を短くする通信機能の実装や実態的に送信時間を短時間とする仕様とすることで、電波の人体へのばく露量を大きく低減させることが可能であると考えられる。このような機能等も考慮した上で、電波防護指針への適合性について個別に確認をすることが必要である。

また、今後、今回検討したケース以外にも、より人体の近傍における利用等の新たな利用ケースが拡大する可能性も考えられる。さらに、アンテナ特性等によってはサイドローブが人体に照射される可能性についても懸念される。そのようなケースにおいては、利用ケースに応じて送信出力の低減、通信機能、または送信時間を考慮する等、電波防護指針に適合するために必要な措置を講じていくことが必要である。特に、頭部付近での使用が想定される場合については、眼部への影響を防護するための措置が必要となることに注意が必要である。

4-3 試算結果（まとめ）

現在想定される利用ケースを前提に試算した結果、人体との離隔距離が保てる場合（アクセスポイントやPC 端末等での利用）に関しては、時間率を考慮しなくとも指針値を概ね満足する結果となった。一方、携帯電話端末等、人体に近接して利用するシステムに関しては、時間率を考慮しない計算においては指針値を上回る結果となったが、電波の人体への照射時間及び実態的な送信時間を短くする通信機能の実装を仕様とすることで、電波の人体へのばく露量を大きく低減させることが可能であると考えられる。このような機能等も考慮した上で、電波防護指針への適合性について個別に確認をすることが必要である。

また、今後、今回検討したケース以外にも、より人体の近傍における利用等の新たな利用ケースが拡大する可能性も考えられる。さらに、アンテナ特性等によってはサイドローブが人体に照射される可能性についても懸念される。そのようなケースにおいては、利用ケースに応じて送信出力の低減、通信機能、または送信時間を考慮する等、電波防護指針に適合するために必要な措置を講じていくことが必要である。特に、頭部付近での使用が想定される場合については、眼部への影響を防護するための措置が必要となることに注意が必要である。

4-4 海外における人体への安全性の担保について

60GHz 帯をはじめとするミリ波帯の電波への人体ばく露の許容値は、海外においても我が国と同様に入射電力密度で規定されている。入射電力密度の許容値は遠方界ばく露を想定しており、身体に近接して利用されるミリ波帯通信デバイスが人体に及ぼす影響やばく露許容値やその評価手順に関しては、諸外国でもまだ研究段階にあり、ICNIRP(国際非電離放射線防

護委員会)や IEC 等の国際組織においても具体的な動きはない。米国においては、既に 11ad/WiGig 対応製品が販売されているが、FCC が製品の認証を行う際、各メーカーによる安全性評価に関する情報の検証を行っている。

具体的な評価方法については各社で異なるが、例えば、数値モデルを用いて近傍界の入力電力密度をシミュレーションする方法が提案されている。この方法は、遠方界のシミュレーション結果と実測値を比較し、妥当性を確認することで、近傍界のシミュレーション結果も実測と同等であると考え、評価を行う方法である。

なお、メーカーと FCC のやり取りは、全て KDB(Knowledge Data Base)において公表されている。KDB とは、技術基準や規則作成、テスト方法の開発の為に米国独特のプロセスである。例えば、今回の 60GHz 製品の人体防護に関する電力密度基準値については、近傍界での評価方法は定められていない状態だが、このような場合、企業は FCC と秘密保持契約のもとに新しい方法を提案できる。その方法に基づき、FCC とのディスカッションや研究・検討した結果により、自社製品が基準に適合しているという認証を受けることができる。FCC は、このような例を集めて、FCC としての考えが固まったところで新たな評価方法を提示するという仕組みを採用している。

第5章 60GHz 帯の周波数の電波を使用する無線設備の高度化に係る技術的条件

第4章までの検討結果を踏まえ、本章では 60GHz 帯の周波数の電波を使用する無線設備の高度化に係る技術的条件を以下のとおり取りまとめた。

5-1 一般的条件

(1) 通信方式

特段規定しない。

(2) 周波数帯

57GHz を超え 66GHz 以下とする。

(3) 混信防止機能

ア 電気通信回線に接続する場合にあっては、主として同一の構内において使用される無線局の無線設備であって、識別符号を自動的に送信し、又は受信するものとする。

イ 電気通信回線に接続しない場合にあっては、利用者による周波数の切替え又は電波の発射の停止が容易に行うことができるものとする。

(4) システム設計条件

ア 無線設備の筐体

送信機は、一の筐体に収められており、かつ、容易に開けることができないこと。

イ キャリアセンス

送信装置はキャリアセンス機能を備えつること。ただし、空中線電力が 10mW 以下の場合は特段規定しない。キャリアセンス方法は、他の無線局から発射される電波を検出し、又は受信信号を演算し信号レベルを検出することにより判定を行うものとする。

5-2 無線設備の技術的条件

(1) 送信装置

ア 変調方式

特段規定しない。

イ 空中線電力

250mW 以下とする。

ウ 空中線電力の許容偏差

上限 50%、下限 70%とする。

エ 空中線利得

47dBi 以下とする。ただし、空中線電力が 10mW を超える場合は、指向性を有し、主輻射方向において、10dBi 以上とし、等価等方輻射電力が 40dBm を超えないものとする。

オ 周波数の許容偏差

±20ppm とする。若しくは、指定周波数帯によることができるものとする。

ただし、空中線電力が 10mW 以下のものについては、±500 ppm とすることができる。若しくは、指定周波数帯によることができるものとする。

カ 占有周波数帯域幅の許容値

9GHz 以下とする。ただし、9GHz から周波数の許容偏差分の帯域幅を減じた値とする。

キ 不要発射の強度の許容値(参照帯域幅)

表 5-2.1 のとおりとする。

表 5-2.1 不要発射の強度の許容値

周波数	平均電力
55.62GHz 以下	-30dBm/MHz 以下
55.62GHz を超え 57GHz 以下	-26dBm/MHz 以下
66GHz を超え 67.5GHz 以下	-26dBm/MHz 以下
67.5GHz を超えるもの	-30dBm/MHz 以下

ク 識別符号

符号長は 19 ビット以上とする。

(2) 受信装置

副次的に発する電波等の限度については、1GHz 未満において 4 nW/100 kHz 以下、1GHz 以上において 20nW/1 MHz 以下とする。

5-3 電波防護指針

電波防護指針に適合すること。

5-4 測定法

国内で適用されている測定法に準ずることが適当であるが、今後、国際電気標準会議 (IEC) 等の国際的な動向を踏まえて対応することが望ましい。

複数の送受信空中線（複数の送信増幅部を有するもの）を有する単一の送受信装置の場合においては、以下のとおりとすることが適当である。

5-4-1 送信装置

5-4-1-1 周波数の偏差

(1) 空中線測定端子付きの場合

試験機器の各空中線測定端子にて、無変調波（搬送波）を送信した状態で、周波数計を用いて平均値（バースト波にあってはバースト内の平均値）を測定し、それぞれの測定値のうち周波数の偏差が最大であるものを周波数の偏差とすること。また、技術基準が指定周波数帯幅で規定される場合は、占有周波数帯幅の測定においてスペクトル分布の上限及び下限周波数が指定帯内にあることをもって確認する。

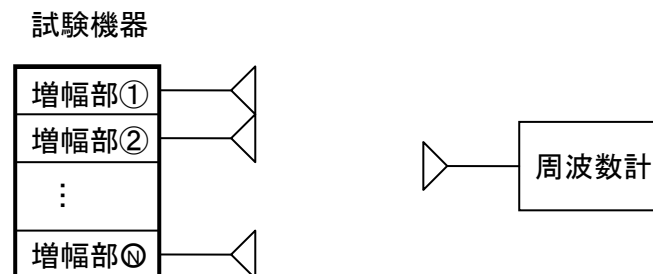
(2) 空中線測定端子無しの場合

ア 試験機器の空中線ごとに測定する場合

周波数計に測定用空中線を接続し、(1)と同様にして測定することが適当である。

イ 試験機器の空中線ごとに測定することが困難な場合

アと同様にして測定することが適当である。



5-4-1-2 占有周波数帯幅

(1) 空中線測定端子付きの場合

試験機器の各空中線測定端子にて、標準符号化試験信号（符号長 511 ビット 2 値疑似雑音系列等。以下同じ。）により変調をかけた状態において得られるスペクトル分布の全電力についてスペクトルアナライザ等を用いて測定し、スペクトル分布の上限及び下限部分における電力の和が、それぞれ全電力の 0.5%となる周波数幅を測定すること。標準符号化試験信号による変調が困難な場合は制御符号等を除くデータ領域のみ標準符号化試験信号とすることができる。

なお、スペクトル分布の電力最大点（キャリアリーク等を除く）から測定系の雑音レベルまで余裕がなく電力積算に影響を与える場合は、分解能帯域幅を 1MHz とした状態でキャリアリーク等を除く電力最大点から 23dB 減衰する点の上限周波数と下限周波数の差を用

いることができる。また、23dB 低下した点が複数ある場合は、最も高い周波数と最も低い周波数の幅とする。

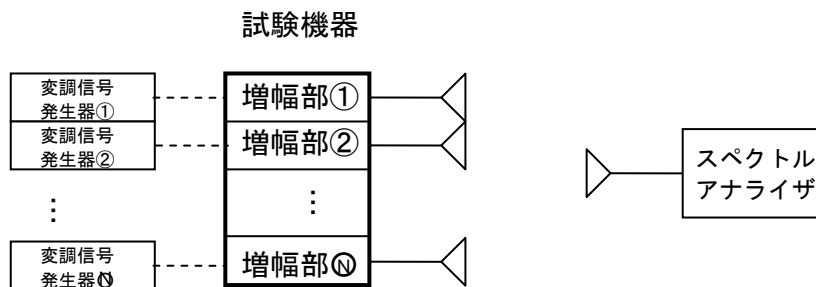
(2) 空中線測定端子無しの場合

ア 試験機器の空中線ごとに測定する場合

スペクトルアナライザに測定用空中線を接続し、(1)と同様にして測定することが適当である。

イ 試験機器の空中線ごとに測定することが困難な場合

アと同様にして測定することが適当である。



5-4-1-3 空中線電力

(1) 空中線測定端子付きの場合

試験機器の各空中線測定端子にて、標準符号化試験信号を入力信号端子に加えたときの平均電力（尖頭電力で規定される場合は尖頭電力）を、スペクトルアナライザ、高周波電力計等を用いて測定し、それぞれの空中線端子にて測定した測定値の総和を空中線電力とすること。標準符号化試験信号による変調が困難な場合は制御符号等を除くデータ領域のみ標準符号化試験信号とすることができる。また、連続送信波により測定することが望ましいが、バースト送信波にて測定する場合は、送信時間率が最大となるバースト繰り返し周期よりも十分長い期間における平均電力を測定し、その測定値に最大の送信時間率の逆数を乗じて平均電力とすることが適当である。

(2) 空中線測定端子無しの場合

ア 試験機器の空中線ごとに測定する場合

測定距離 3m 以上の電波暗室又は地面反射波を抑圧したテストサイトにおいて、スペクトルアナライザ等に測定用空中線を接続し、その他の条件は(1)と同様にして等価等方輻射電力を測定すること。この場合において、測定用空中線は指向性のものを用いること。また、試験機器の空中線開口径に留意し、遠方界条件を満たす試験機器と測定用空中線との離隔距離（試験機器の空中線開口径が小さく遠方界条件を満たす場合は 3m 以下の離隔距離とすることができる。ただし、空中線測定端子を設けることが困難な 60GHz 帯近接システム等の近傍界領域で通信を行う無線設備は、遠方界条件を満

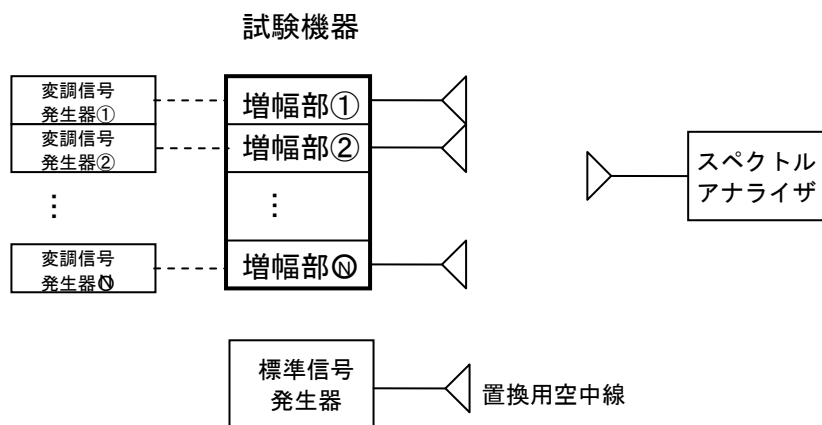
たさない場合でも離隔距離を 3m 以下として測定を行うことができる。)を確保すること。

なお、給電点での空中線電力は、等価等方輻射電力の測定値に、測定する周波数帯における送信空中線利得(工事設計書等に記載された値)を除いて換算を行うものとする。

イ 試験機器の空中線ごとに測定することが困難な場合

アと同様にして測定することが適当である。

ただし、試験機器の空中線の種類及び利得が異なる場合においては、空中線配置の中心を放射中心と仮定して測定し、偏波面が同一でない場合は、直交する偏波面についてそれぞれ測定した値の加算値を等価等方輻射電力の測定値とすること。



5-4-1-4 帯域外領域における不要発射の強度

帯域外領域における不要発射の強度の測定は、以下のとおりとすることが適当である。

(1) 空中線測定端子付きの場合

試験機器の各空中線端子にて、標準符号化試験信号を入力信号として加えたときの不要発射の平均電力(バースト波にあってはバースト内の平均電力)を、スペクトルアナライザ等を用いて測定し、それぞれの測定値の総和を不要発射の強度とすること。標準符号化試験信号による変調が困難な場合は制御符号等を除くデータ領域のみ標準符号化試験信号とすることができる。

この場合において、スペクトルアナライザの分解能帯域幅は、1MHz に設定することが適当である。

(2) 空中線測定端子無しの場合

ア 試験機器の空中線ごとに測定する場合

測定距離 3m 以上の電波暗室又は地面反射波を抑圧したテストサイトにおいて、スペクトルアナライザ等に測定用空中線を接続し、その他の条件は(1)と同様にして測定するこ

と。この場合において、測定用空中線は指向性のものを用いること。また、試験機器の空中線開口径に留意し、遠方界条件を満たす試験機器と測定用空中線との離隔距離（試験機器の空中線開口径が小さく遠方界条件を満たす場合は 3m 以下の離隔距離とすることができる。ただし、空中線測定端子を設けることが困難な 60GHz 帯近接システム等の近傍界領域で通信を行う無線設備は、遠方界条件を満たさない場合でも離隔距離を 3m 以下として測定を行うことができる。）を確保すること。

なお、給電点での不要発射強度の電力は、測定値に測定する周波数帯における送信空中線利得（工事設計書等に記載された値）を除いて換算を行うものとする。

イ 試験機器の空中線ごとに測定することが困難な場合

アと同様にして測定することが適当である。

ただし、試験機器の空中線の種類及び利得が異なる場合においては、空中線配置の中心を放射中心と仮定して測定し、偏波面が同一でない場合は、直交する偏波面についてそれぞれ測定した値の加算値を測定値とすること。

5-4-1-5 スプリアス領域における不要発射の強度

帯域外領域における不要発射の強度の測定は、以下のとおりとすることが適当である。この場合において、参照帯域幅は 1MHz とし、スプリアス領域における不要発射の強度の測定を行う周波数範囲については、30MHz から 2 次高調波までとする。ただし、導波管を用いるものは測定周波数の下限をカットオフ周波数の 0.7 倍からとする他、導波管フィルタ及びデュープレッサ等による周波数特性により、不要発射が技術基準を満足することが明らかな場合は、その周波数範囲の測定を省略することができる。また、下限周波数においてカットオフ周波数の 0.7 倍としているが、導波管が十分に長く技術基準を十分満足するカットオフ減衰量が得られることが証明できる場合は、その周波数範囲の測定を省略することができる。

なお、67.86GHz 以上の周波数範囲において測定系のダイナミックレンジ不足等により測定が困難である場合は、製造者の設計資料等を用いて技術基準適合に関する審査を行い、不要発射が技術基準を満足することが明らかな場合その周波数範囲の測定を省略することができる。

(1) 空中線測定端子付きの場合

試験機器の各空中線端子にて、標準符号化試験信号を入力信号として加えたときの不要発射の平均電力（バースト波にあってはバースト内の平均電力）を、スペクトルアナライザ等を用いて測定し、それぞれの測定値の総和を不要発射の強度とすること。標準符号化試験信号による変調が困難な場合は制御符号等を除くデータ領域のみ標準符号化試験信号とすることができる。

この場合において、スペクトルアナライザの分解能帯域幅は、1MHz に設定することが

適当である。

(2) 空中線測定端子無しの場合

ア 試験機器の空中線ごとに測定する場合

測定距離 3m 以上の電波暗室又は地面反射波を抑圧したテストサイトにおいて、スペクトルアナライザ等に測定用空中線を接続し、その他の条件は(1)と同様にして測定すること。この場合において、測定用空中線は指向性のものを用いること。また、試験機器の空中線開口径に留意し、遠方界条件を満たす試験機器と測定用空中線との離隔距離（試験機器の空中線開口径が小さく遠方界条件を満たす場合は 3m 以下の離隔距離とすることができる。ただし、空中線測定端子を設けることが困難な 60GHz 帯近接システム等の近傍界領域で通信を行う無線設備は、遠方界条件を満たさない場合でも離隔距離を 3m 以下として測定を行うことができる。）を確保すること。

なお、給電点での不要発射強度の電力は、測定値に測定する周波数帯における送信空中線利得（試験申込者申告値）を除いて換算を行うものとする。

イ 試験機器の空中線ごとに測定することが困難な場合

アと同様にして測定することが適当である。

ただし、試験機器空中線の種類及び利得が異なる場合においては、空中線配置の中心を放射中心と仮定して測定し、偏波面が同一でない場合は、直交する偏波面についてそれぞれ測定した値の加算値を測定値とすること。

5-4-2 受信装置

5-4-2-1 副次的に発する電波等の限度

試験機器の各空中線端子にて、スペクトルアナライザを用いて測定し、それぞれの測定値の総和を副次的に発する電波等の強度とすること。この場合において、参照帯域幅は 1MHz とし、副次発射の強度の測定を行う周波数範囲については、30MHz から 2 次高調波までとする。ただし、導波管を用いるものは測定周波数の下限をカットオフ周波数の 0.7 倍からとする他、導波管フィルタ及びデュープレクス等による周波数特性により、副次発射が技術基準を満足することが明らかな場合は、その周波数範囲の測定を省略することができる。また、下限周波数においてカットオフ周波数の 0.7 倍としているが、導波管が十分に長く技術基準を十分満足するカットオフ減衰量が得られることが証明できる場合は、その周波数範囲の測定を省略することができる。

なお、測定系のダイナミックレンジ不足等により測定が困難である場合は、製造者の設計資料等を用いて技術基準適合に関する審査を行い、副次発射が技術基準を満足することが明らかな場合その周波数範囲の測定を省略することができる。

試験機器の空中線端子がない場合は、不要発射の強度の測定法の空中線端子がない場合に準ずることが適当である。

第6章 今後の検討課題等

60GHz帯画像伝送システムの中には、主に難視対策や集合住宅内における地上デジタルテレビジョン放送やBS／CS放送の再送信を目的とした画像伝送システムが利用されている。これらの画像伝送システムは、アンテナで受信された放送信号の中間周波数帯（IF帯）において周波数分割多重された後、ミリ波帯の信号に周波数変換し、無線伝送を行うというものであり、利用者の利便性を考慮し安価なシステムとして市販されているところである。

これらの画像伝送システムについては、周波数の許容偏差や不要発射の強度等、新たな技術基準を満たすことができないこと、また、今後、2020年の東京オリンピックに向けて4Kや8Kのテレビの需要が急速に増すものと考えられ、既にこれに対応する製品の導入検討が進められていることを踏まえ、一定の期間（8年程度）、技術基準一部について現行規定の適用を図るなど経過措置を設けることが適当である。

審議結果

情報通信審議会諮問第 2009 号「小電力の無線システムの高度化に必要な技術的条件」(平成 14 年 9 月 30 日諮問)のうち、「60GHz 帯の周波数の電波を利用する無線設備の高度化に係る技術的条件」について、別添のとおり一部答申(案)を取りまとめた。

情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会 構成員

(敬称略：主査及び主査代理以外は五十音順)

氏 名	現 職
【主査】安藤 真 ^{あんどう まこと}	東京工業大学 理事・副学長（研究担当） 産学連携推進本部長
【主査代理】矢野 博之 ^{やの ひろゆき}	国立研究開発法人情報通信研究機構 ワイヤレスネットワーク研究所 所長
飯塚 留美 ^{いづか るみ}	(一財)マルチメディア振興センター 電波利用調査部 研究主幹
伊藤 数子 ^{いとう かずこ}	特定非営利活動法人STAND 代表理事
大寺 廣幸 ^{おおてら ひろゆき}	(一社)日本民間放送連盟 常勤顧問
小笠原 守 ^{おがさわら まもる}	日本電信電話(株) 技術企画部門 電波室長
加治佐 俊一 ^{かじさ しゅんいち}	日本マイクロソフト(株) 兼 マイクロソフトディベロップメント(株) 技術顧問
唐沢 好男 ^{からさわ よしお}	電気通信大学大学院 情報理工学研究科 教授（～第 16 回）
川嶋 弘尚 ^{かわしま ひろなお}	慶應義塾大学 名誉教授
菊井 勉 ^{きくい つとむ}	(一社)全国陸上無線協会 常務理事・事務局長
河野 隆二 ^{こうの りゅうじ}	横浜国立大学大学院 工学研究院 教授 兼 同大学未来情報通信医療社会基盤センター長
小林 久美子 ^{こばやし くみこ}	日本無線(株) 研究所 ネットワークフロンティア チームリーダー
斉藤 知弘 ^{さいとう ともひろ}	日本放送協会 放送技術研究所 伝送システム研究部長
玉眞 博義 ^{たまま ひろよし}	(一社)日本アマチュア無線連盟 専務理事(第 17 回～)
藤原 功三 ^{ふじわら こうぞう}	(一社)日本アマチュア無線連盟 参与（～第 16 回）
本多 美雄 ^{ほんだ よしお}	欧州ビジネス協会 電気通信機器委員会 委員長
松尾 綾子 ^{まつお りょうこ}	(株)東芝 研究開発センター 研究主務
三谷 政昭 ^{みたに まさあき}	東京電機大学 工学部情報通信工学科 教授（第 17 回～）
森川 博之 ^{もりかわ ひろゆき}	東京大学 先端科学技術研究センター 教授
矢野 由紀子 ^{やの ゆきこ}	日本電気(株) クラウドシステム研究所 シニアエキスパート
若尾 正義 ^{わかお まさよし}	元 (一社)電波産業会 専務理事

60GHz 帯無線設備作業班 構成員

(敬称略：主任及び主任代理以外は五十音順)

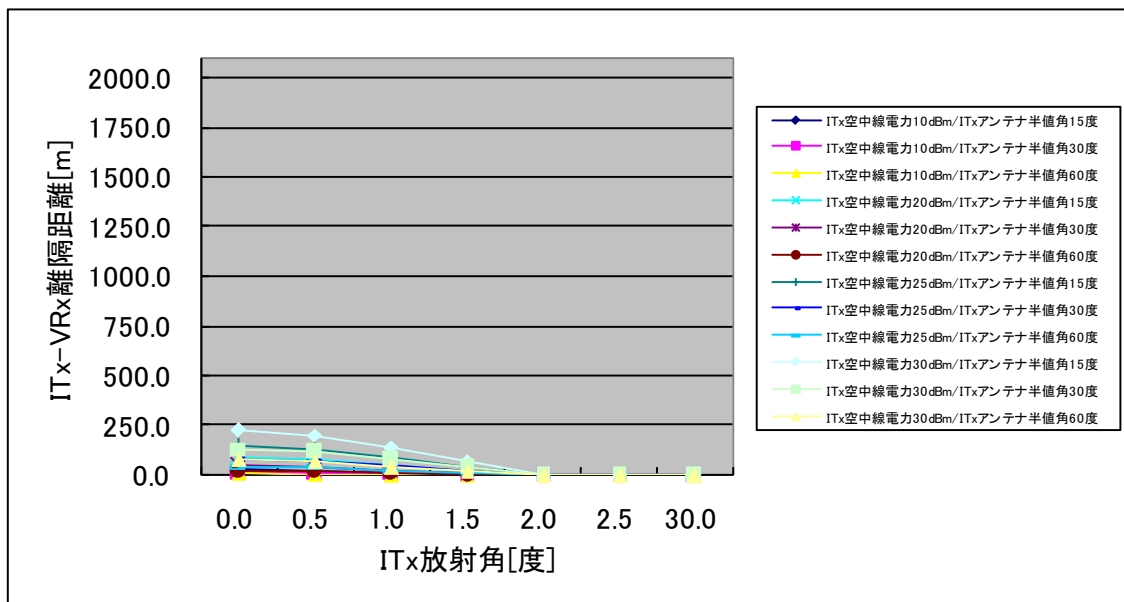
氏名	現職
【主任】梅比良 正弘	国立大学法人茨城大学 教授
【主任代理】佐藤 勝善	国立研究開発法人情報通信研究機構 ワイヤレスネットワーク研究所 スマートワイヤレス研究室 主任研究員
青木 豊	(株)デンソー 研究開発3部 センシングシステム開発室 開発3課 担当課長
足立 朋子	(株)東芝 研究開発センター 主任研究員
居相 直彦	NHK 放送技術研究所 伝送システム研究部 上級研究員
伊東 克俊	ソニー(株) RDS プラットフォーム システム研究開発本部・要素技術開発部門・標準技術開発1部 統括課長/主任研究員
大橋 洋二	(株)富士通研究所 NS研)先端ワイヤレス研究部 主管研究員
小竹 信幸	(一財)テレコムエンジニアリングセンター 企画・技術部門 技術グループ 担当部長
小山 祐一	ソフトバンクモバイル(株) アクセスソリューション本部 モバイル伝送ネットワーク部 部長
柿原 正樹	(一社)日本自動車工業会 ITS 技術部会 委員
川口 正記	(株)NHK アイテック 放送・通信ネットワーク事業部 ソリューション技術部 副部長
川本 真紀夫	三菱電機(株) 交通事業部 交通システム推進部 担当部長
河野 隆宏	(独)宇宙航空研究開発機構 周波数管理室 周波数管理室長
斉藤 隆志	(一社)電波産業会 研究開発本部 移動通信グループ 主任研究員
清水 雅史	日本電信電話(株) 未来ねっと研究所 ディレクタ
城田 雅一	クアルコムジャパン(株) 標準化担当部長
高橋 和晃	パナソニック(株) オートモーティブ&インダストリアルシステムズ社 基盤技術開発センター ミリ波レーダ・通信グループ 次世代システムチーム チームリーダー
立澤 加一	自然科学研究機構 国立天文台 電波天文周波数小委員会 事務局長
谷口 徹	日本無線(株) 研究所 部長
富樫 浩行	(株)ディーエスピーリサーチ 認証部 部長
中川 義克	インテル(株) 技術政策推進本部 主幹研究員
松井 宏康	DX アンテナ(株) 次世代技術推進室 主任
松浦 長洋	(株)バッファロー 経営企画部 商品戦略課
森本 伸一	日本電気(株) モバイルワイヤレスソリューション事業部 マネージャー
湯浅 誉之	日本信号(株) 久喜事業所 研究開発センター 無線開発室 室長
渡辺 聡一	国立研究開発法人情報通信研究機構 電磁波計測研究所 電磁環境研究室 研究マネージャー

参 考 资 料

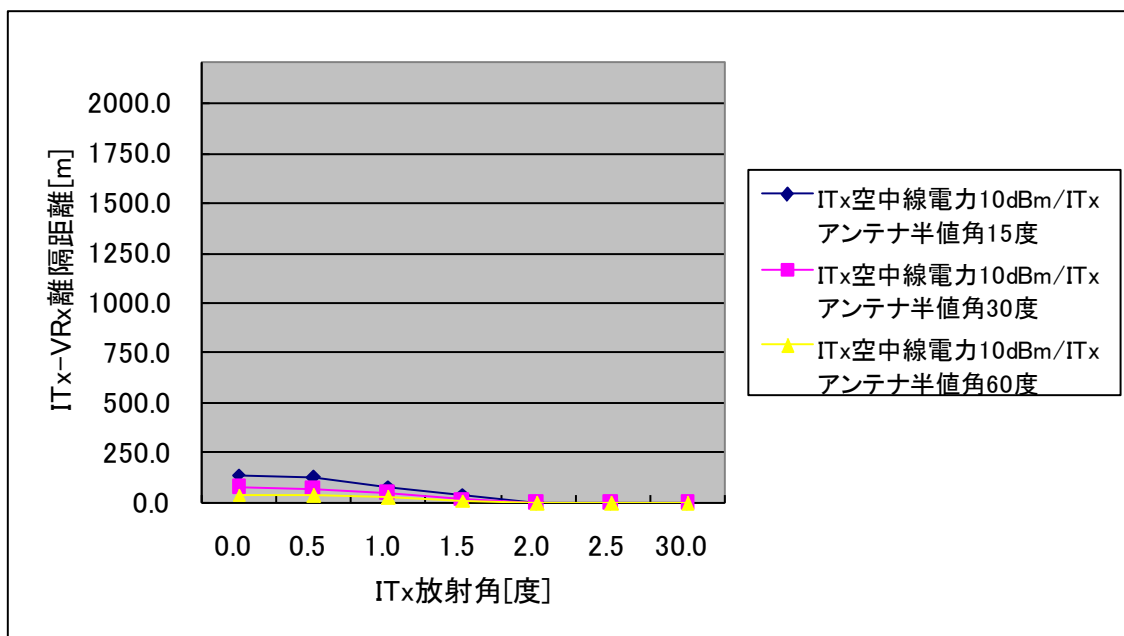
参考資料 目 次

参考資料 1	3-3 節 固定マイクロ(エントランス回線)に対する干渉検討結果 詳細	128
参考資料 2	3-5-1 節 60GHz 帯無線システム(IEEE802.11ad)間の干渉検討結 果詳細	137
参考資料 3	3-5-2 節 WirelessHD との干渉検討結果詳細	153
参考資料 4	地球探査衛星業務との干渉検討	158
参考資料 5	電波防護指針の適合性についての検討	161

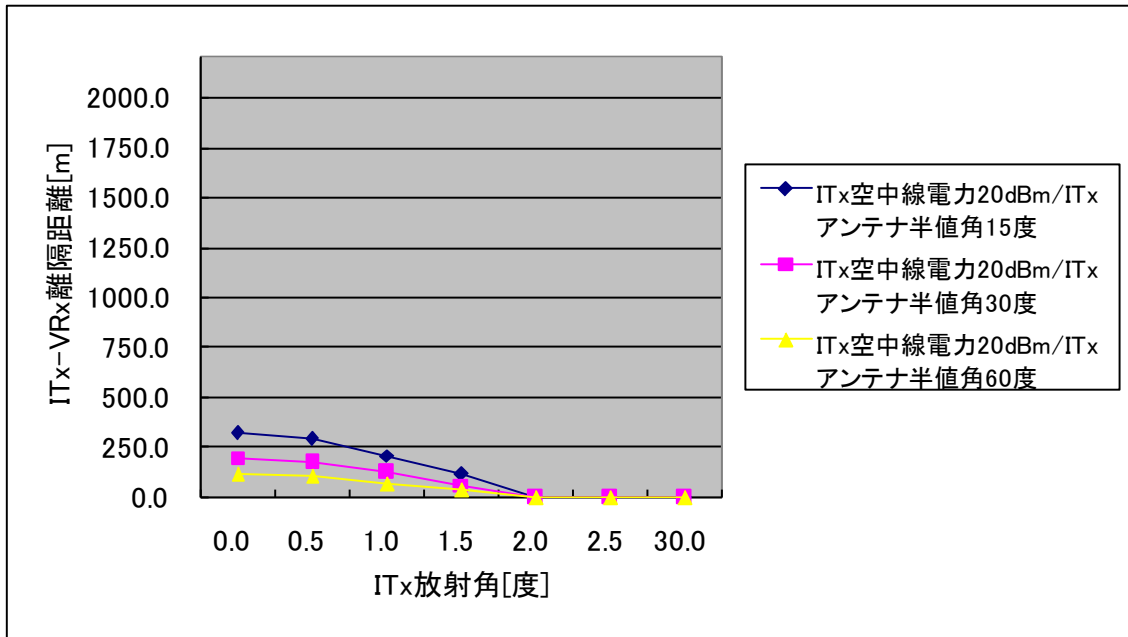
参考資料 1 3-3節 固定マイクロ(エントランス回線)に対する干渉検討結果詳細



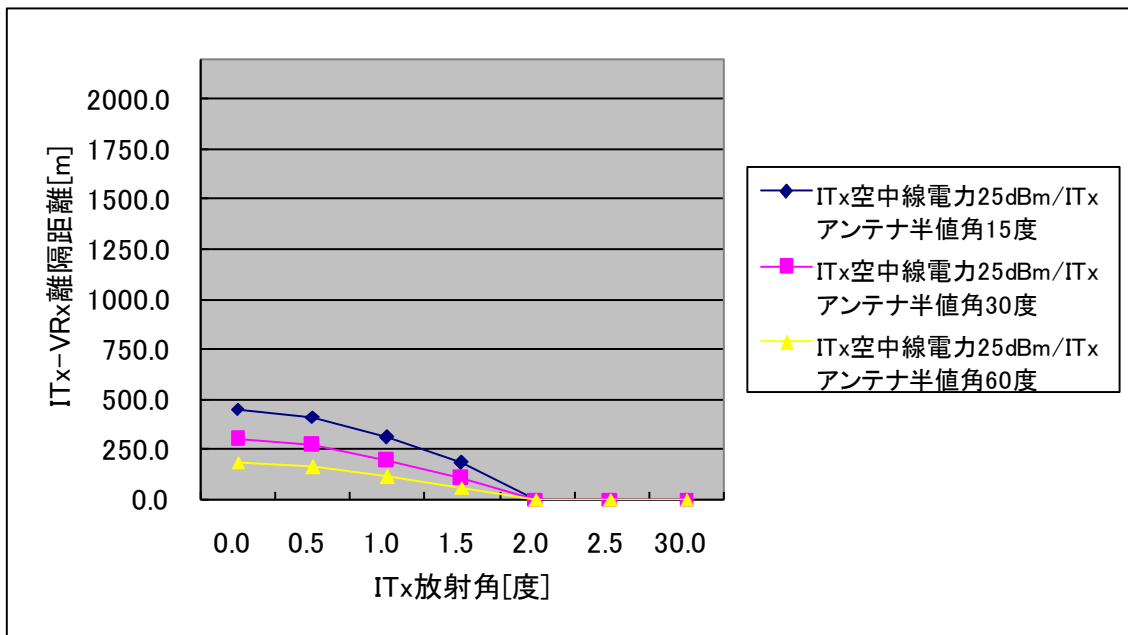
参考図 1. 1 被干渉局間距離 170.5m の場合の離隔距離



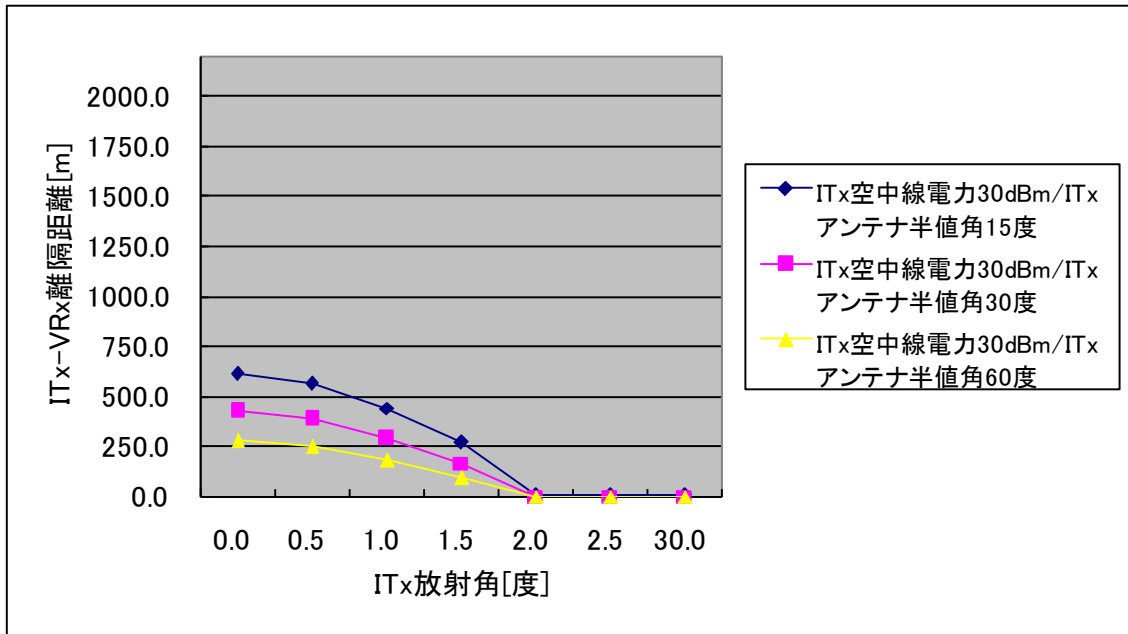
参考図 1. 2 被干渉局間距離 500m/ITx 空中線電力 10dBm の場合の離隔距離



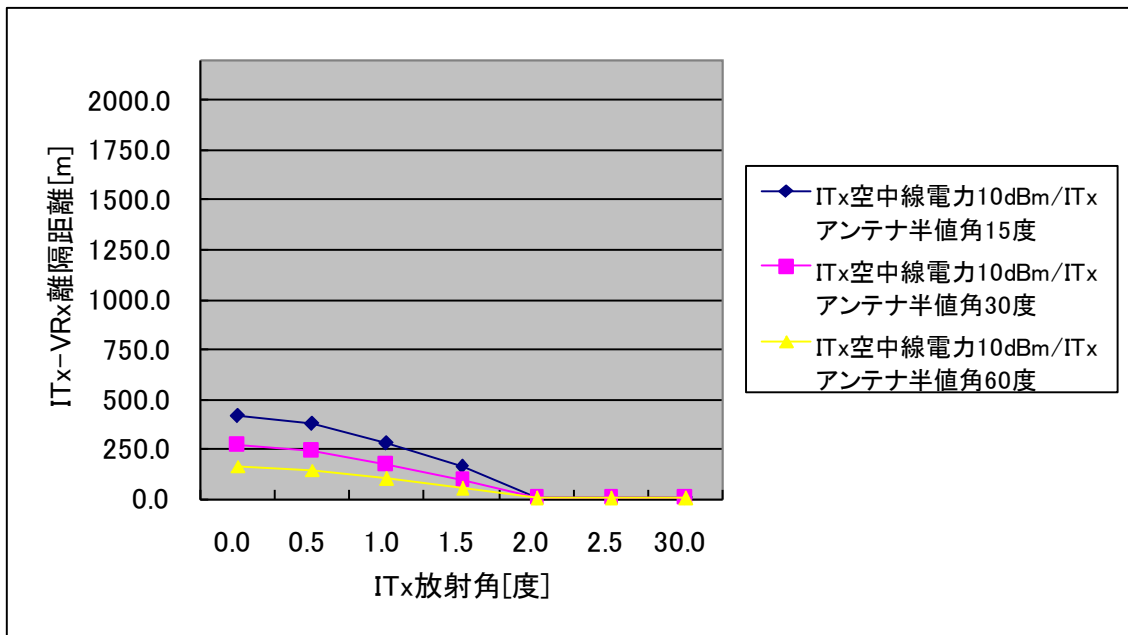
参考図 1.3 被干渉局間距離 500m / ITx 空中線電力 20dBm の場合の離隔距離



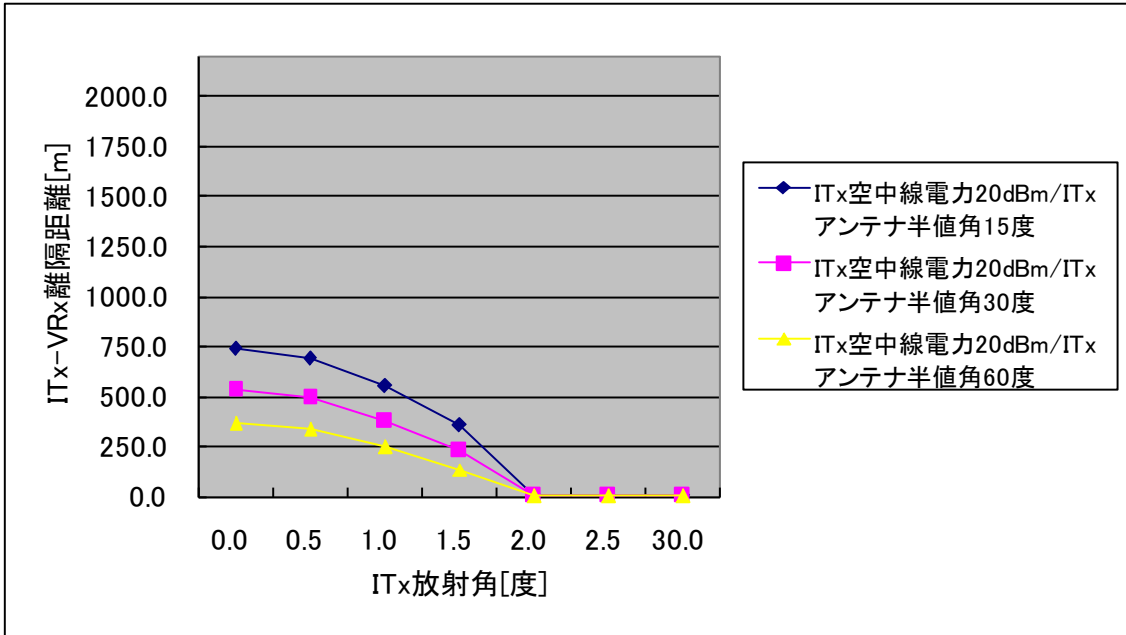
参考図 1.4 被干渉局間距離 500m / ITx 空中線電力 25dBm の場合の離隔距離



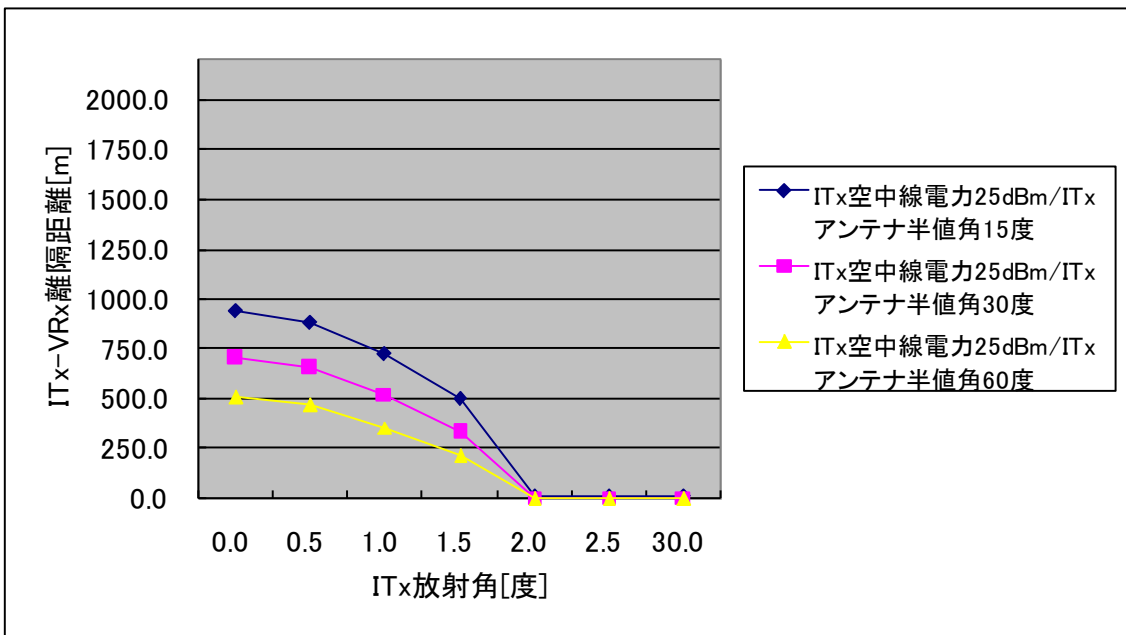
参考図 1.5 被干渉局間距離 500m / ITx 空中線電力 30dBm の場合の離隔距離



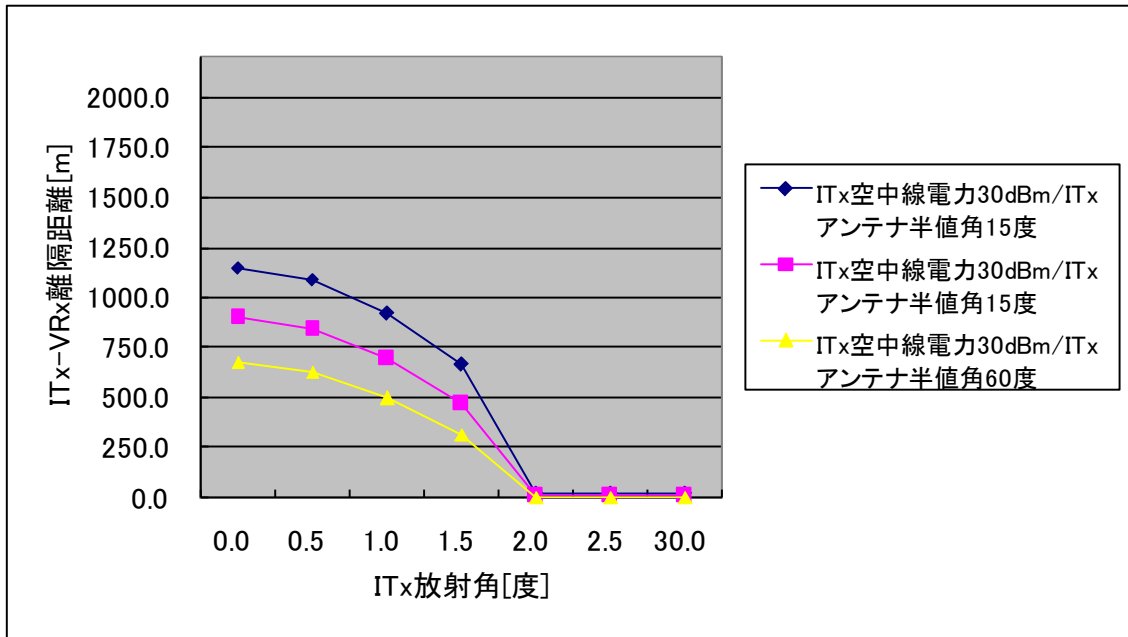
参考図 1.6 被干渉局間距離 1000m / ITx 空中線電力 10dBm の場合の離隔距離



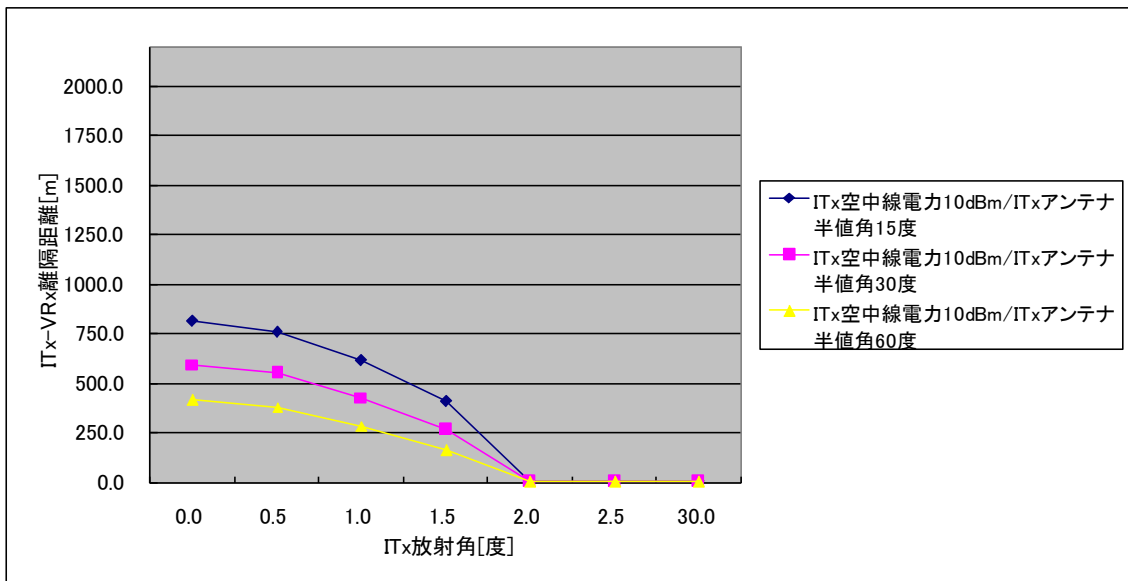
参考図 1. 7 被干渉局間距離 1000m / ITx 空中線電力 20dBm の場合の離隔距離



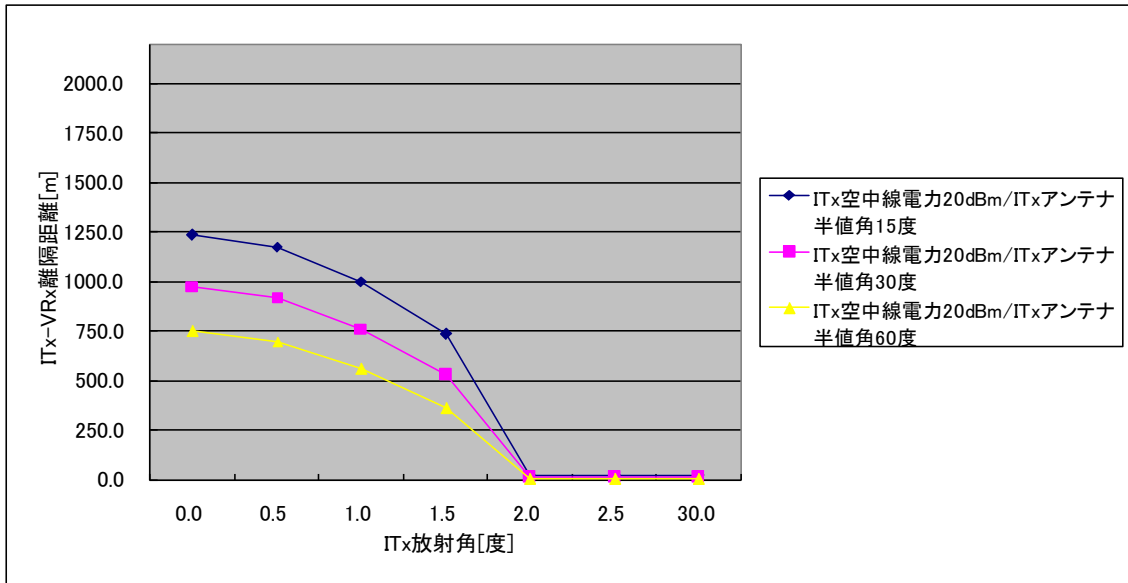
参考図 1. 8 被干渉局間距離 1000m / ITx 空中線電力 25dBm の場合の離隔距離



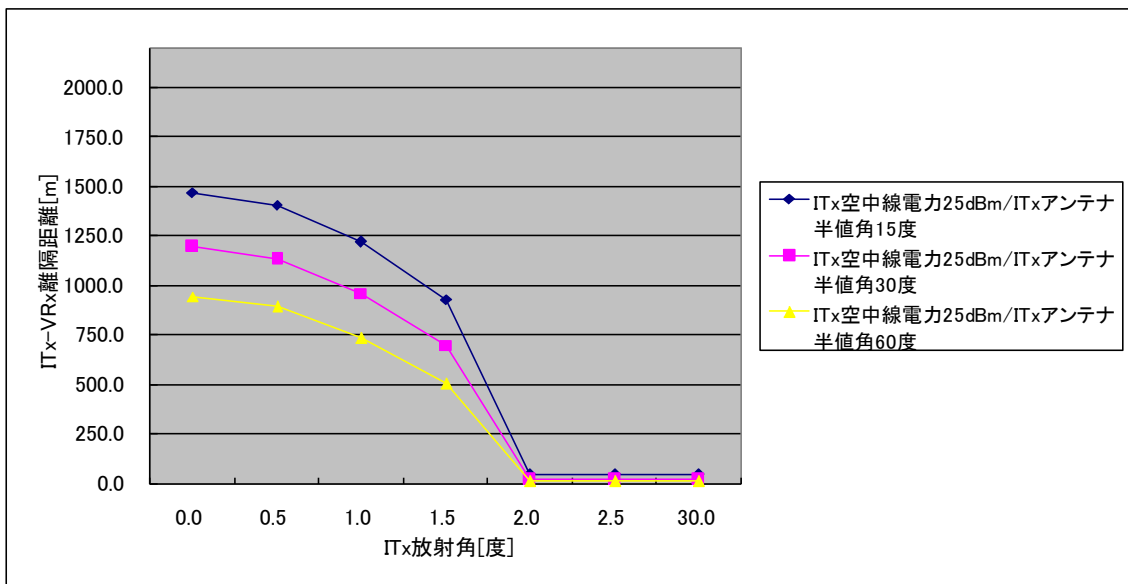
参考図 1. 9 被干渉局間距離 1000m / ITx 空中線電力 30dBm の場合の離隔距離



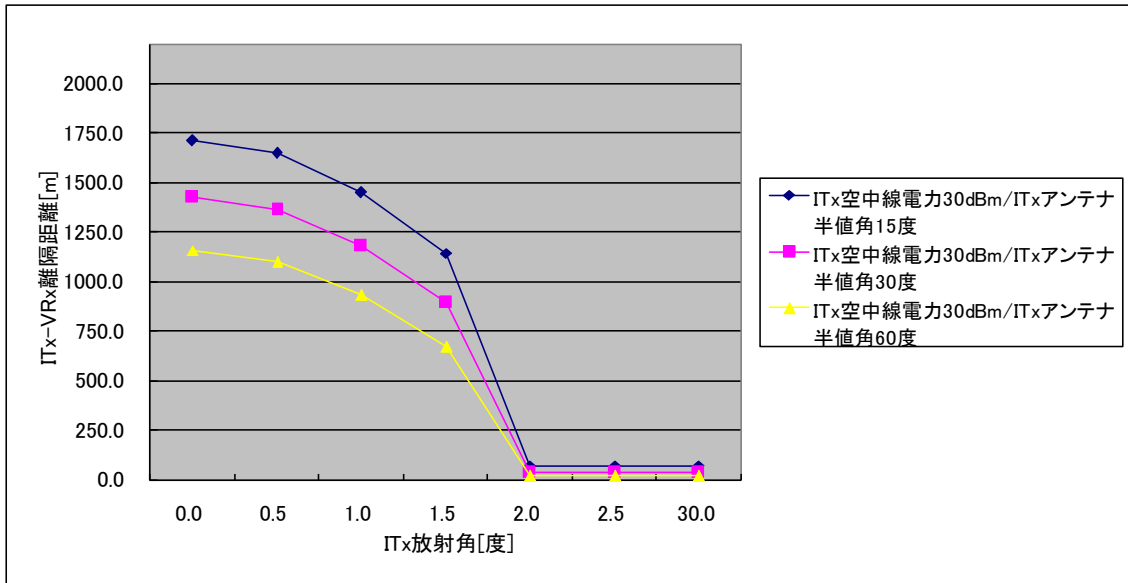
参考図 1. 10 被干渉局間距離 1500m / ITx 空中線電力 10dBm の場合の離隔距離



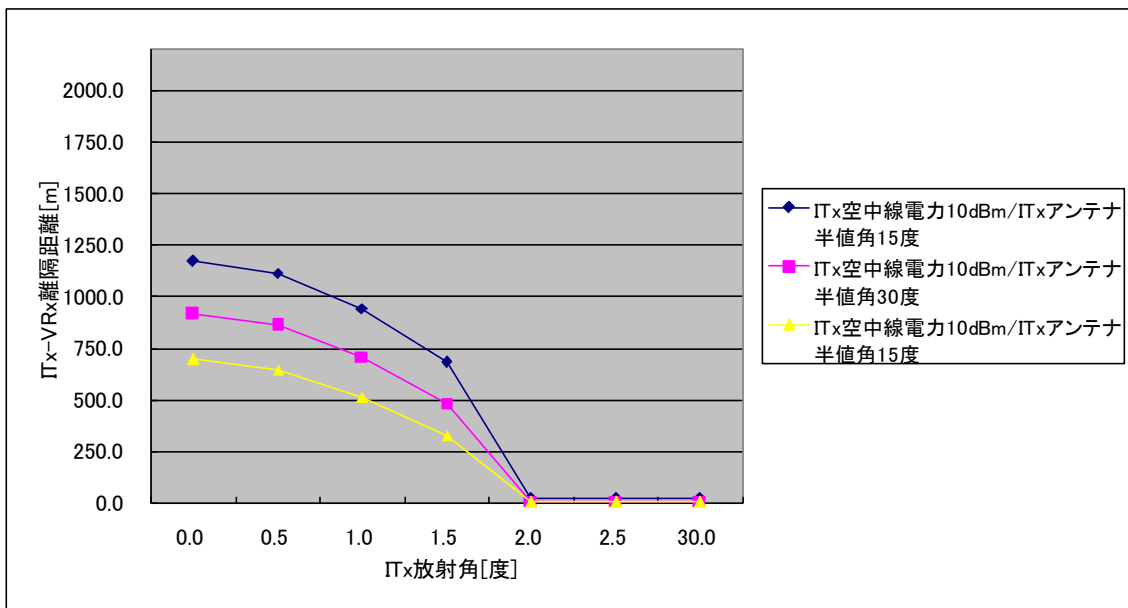
参考図 1. 1 1 被干渉局間距離 1500m / ITx 空中線電力 20dBm の場合の離隔距離



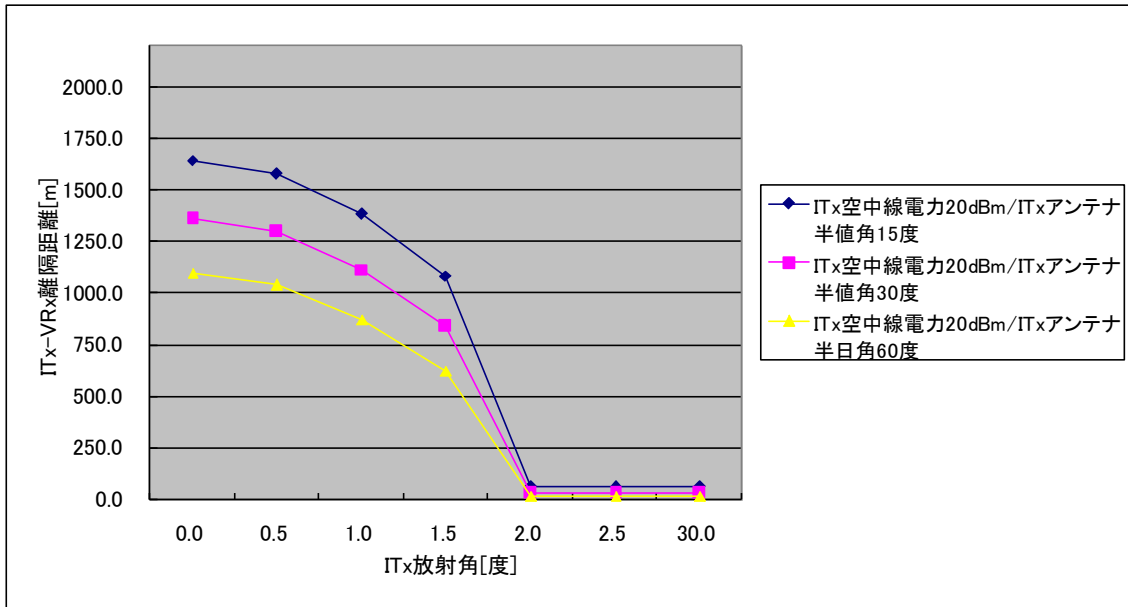
参考図 1. 1 2 被干渉局間距離 1500m / ITx 空中線電力 25dBm の場合の離隔距離



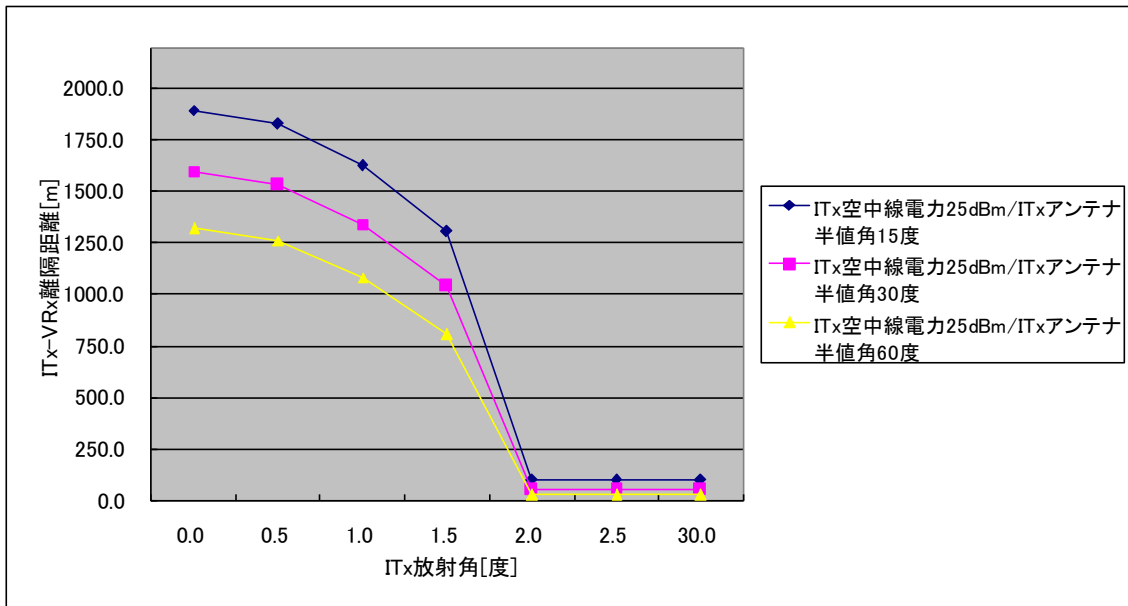
参考図 1. 1 3 被干渉局間距離 1500m / ITx 空中線電力 30dBm の場合の離隔距離



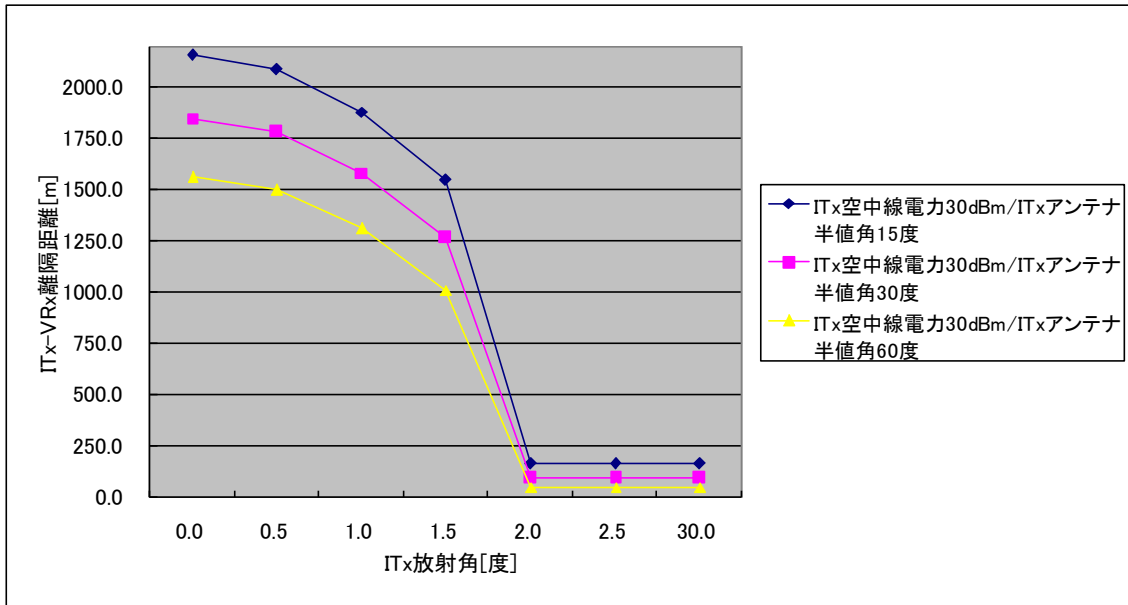
参考図 1. 1 4 被干渉局間距離 1750m / ITx 空中線電力 10dBm の場合の離隔距離



参考図 1. 1 5 被干渉局間距離 1750m / ITx 空中線電力 20dBm の場合の離隔距離



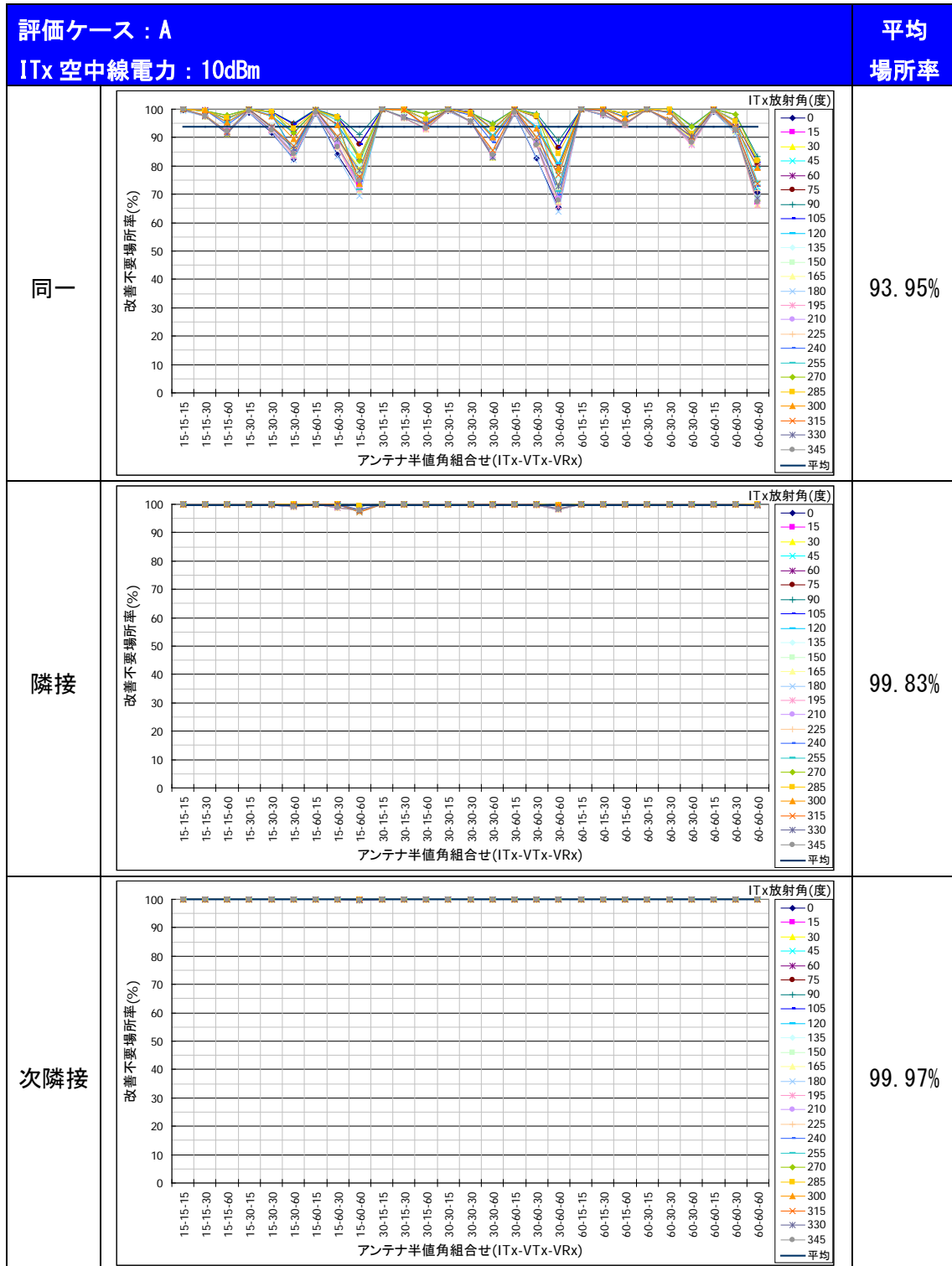
参考図 1. 1 6 被干渉局間距離 1750m / ITx 空中線電力 25dBm の場合の離隔距離



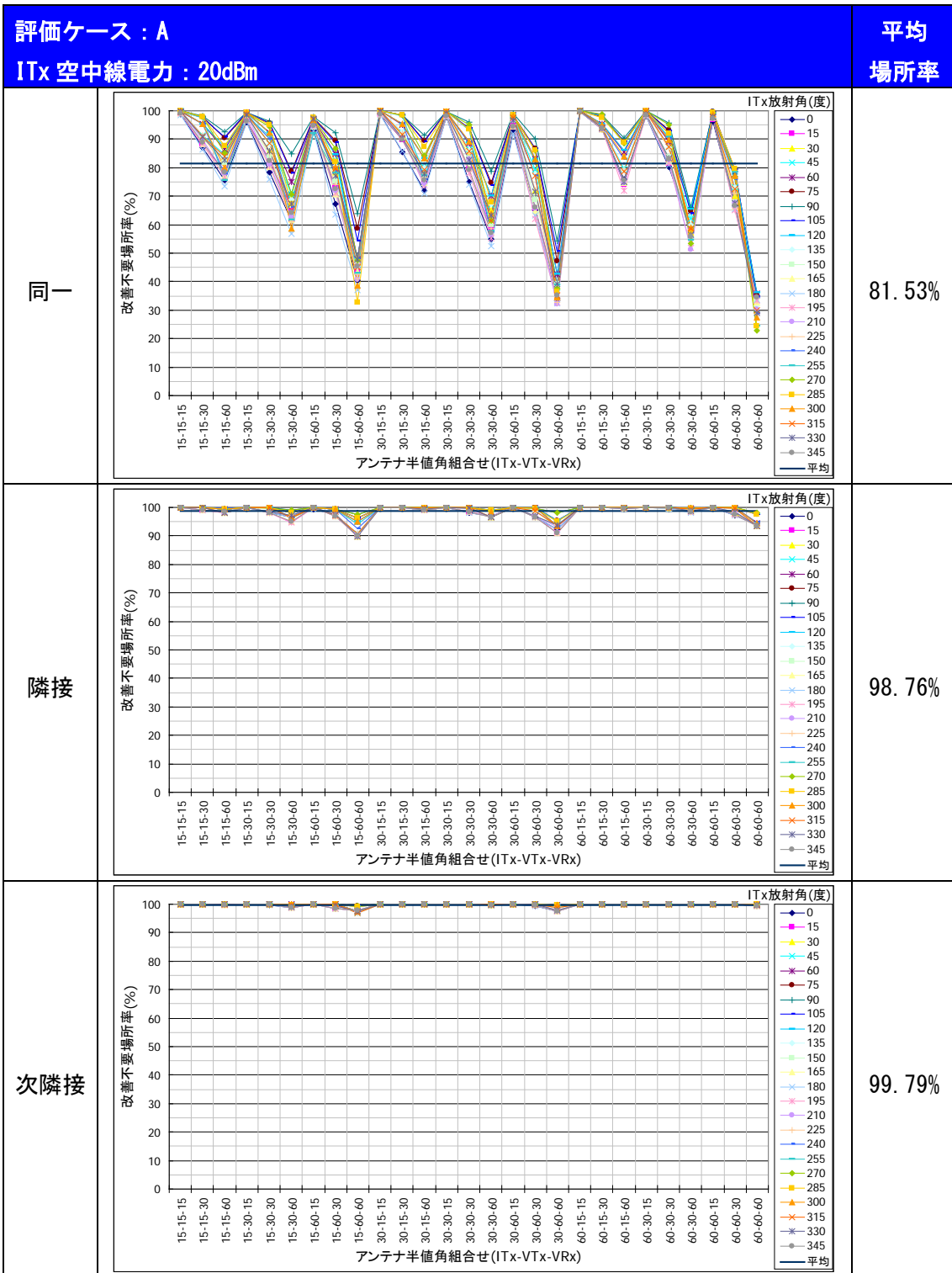
参考図 1. 1 7 被干渉局間距離 1750m / ITx 空中線電力 30dBm の場合の離隔距離

参考資料 2 3 - 5 - 1 節 60GHz 帯無線システム (IEEE802.11ad)間の干渉検討結果詳細

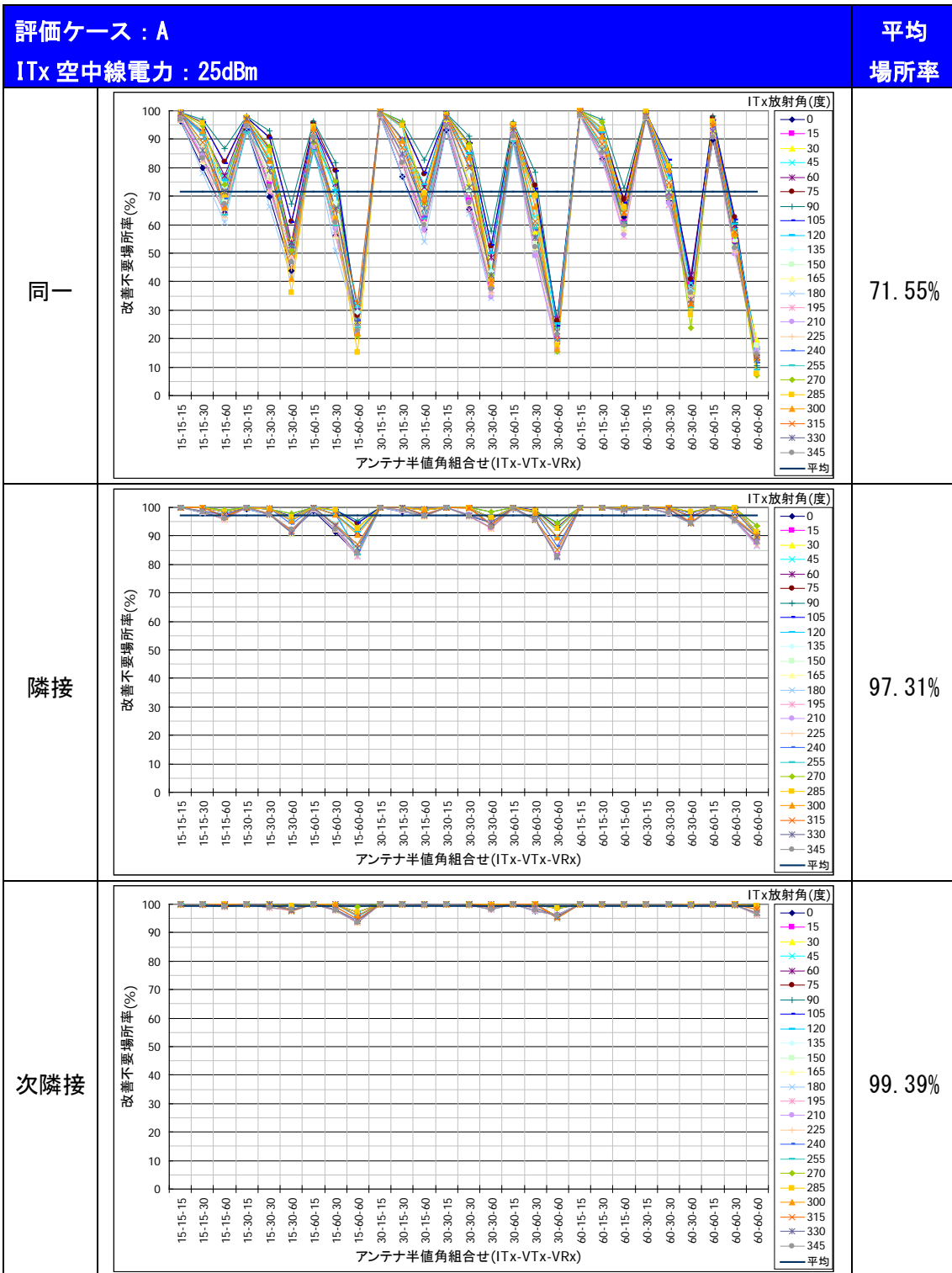
(1) 評価ケース A の改善不要場所率



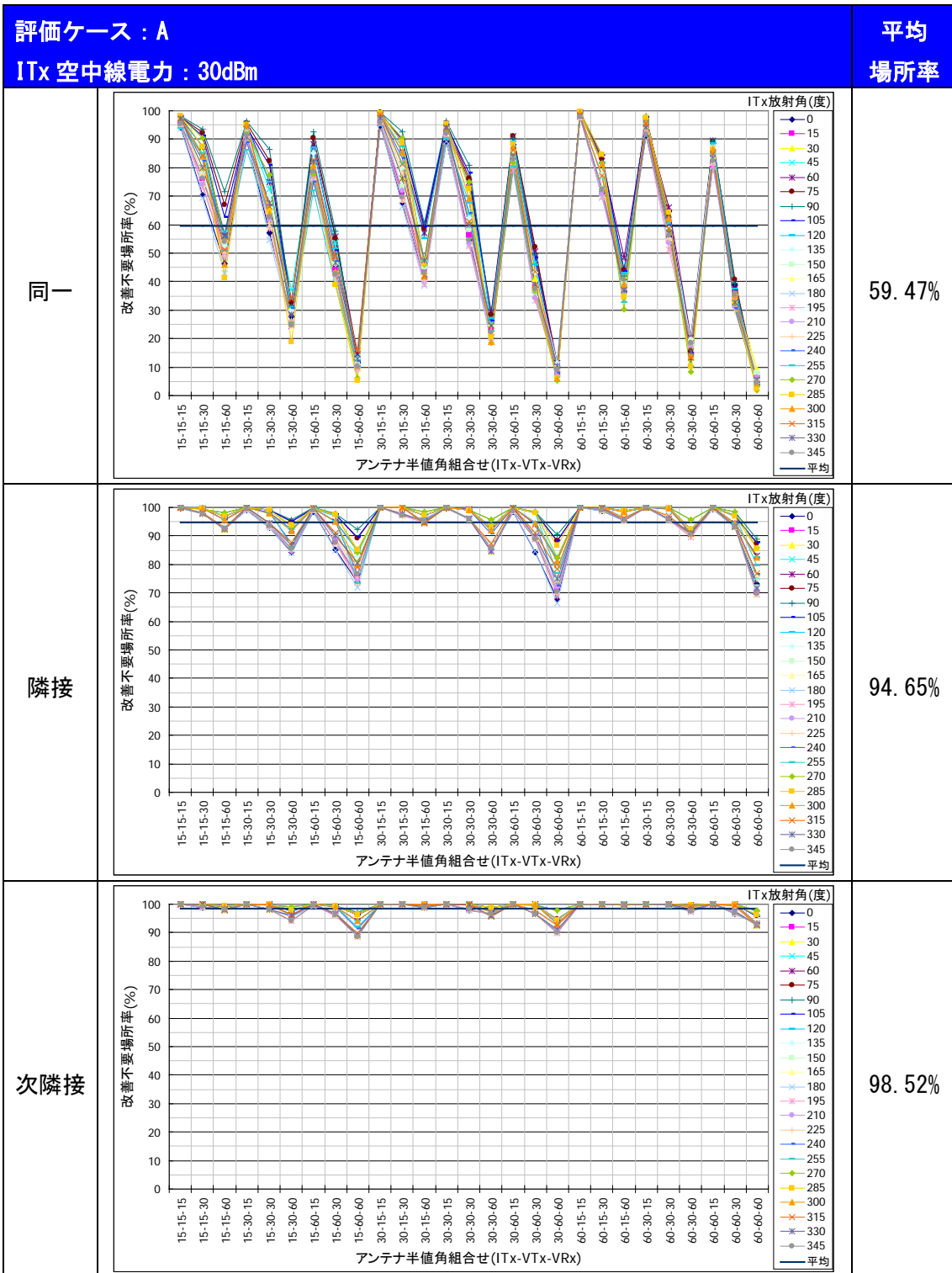
参考図 2.1 評価ケース A の改善不要場所率 (ITx 空中線電力 : 10dBm)



参考図 2. 2 評価ケース A の改善不要場所率 (ITx 空中線電力 : 20dBm)

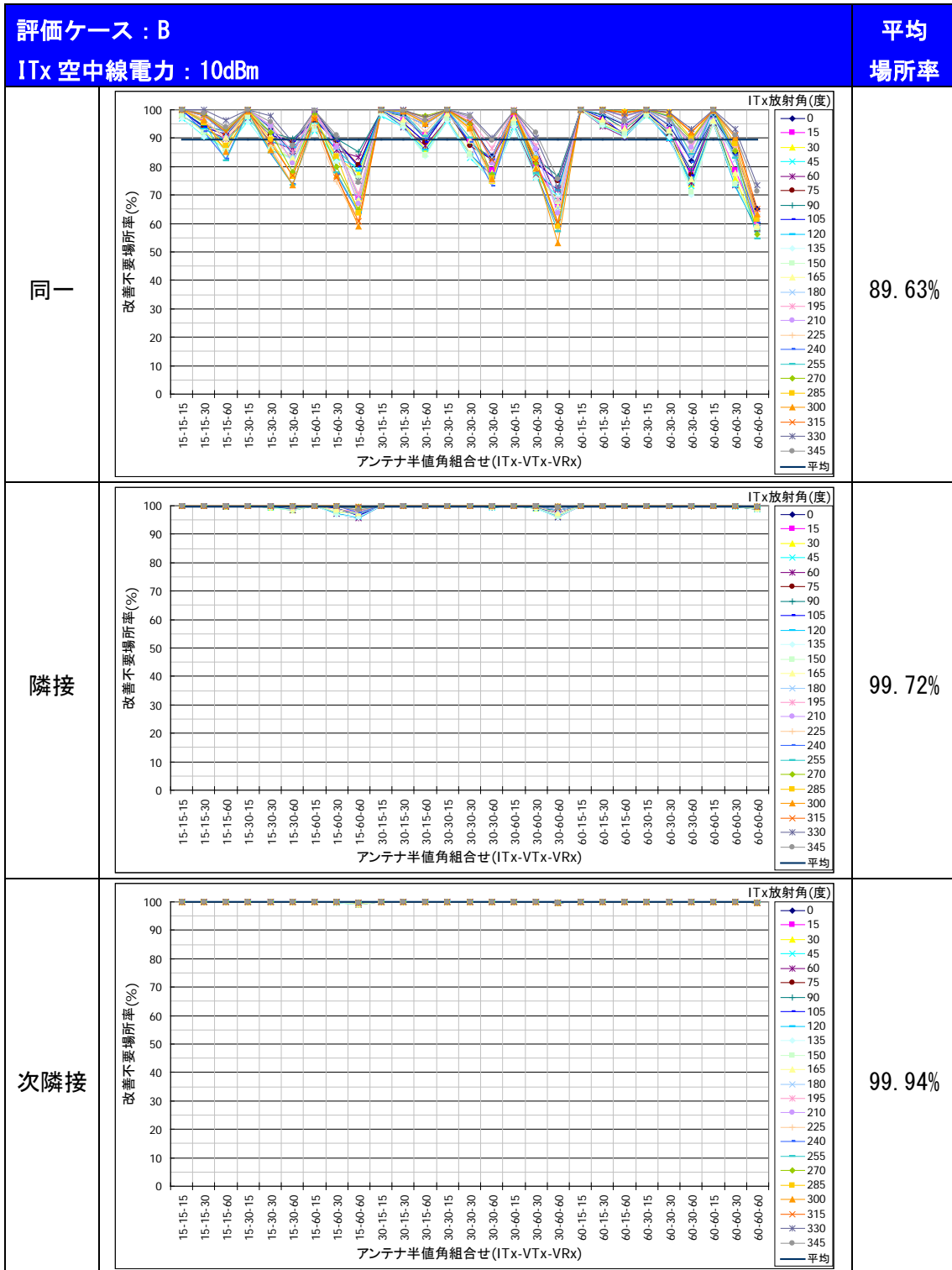


参考図 2. 3 評価ケース A の改善不要場所率 (ITx 空中線電力 : 25dBm)

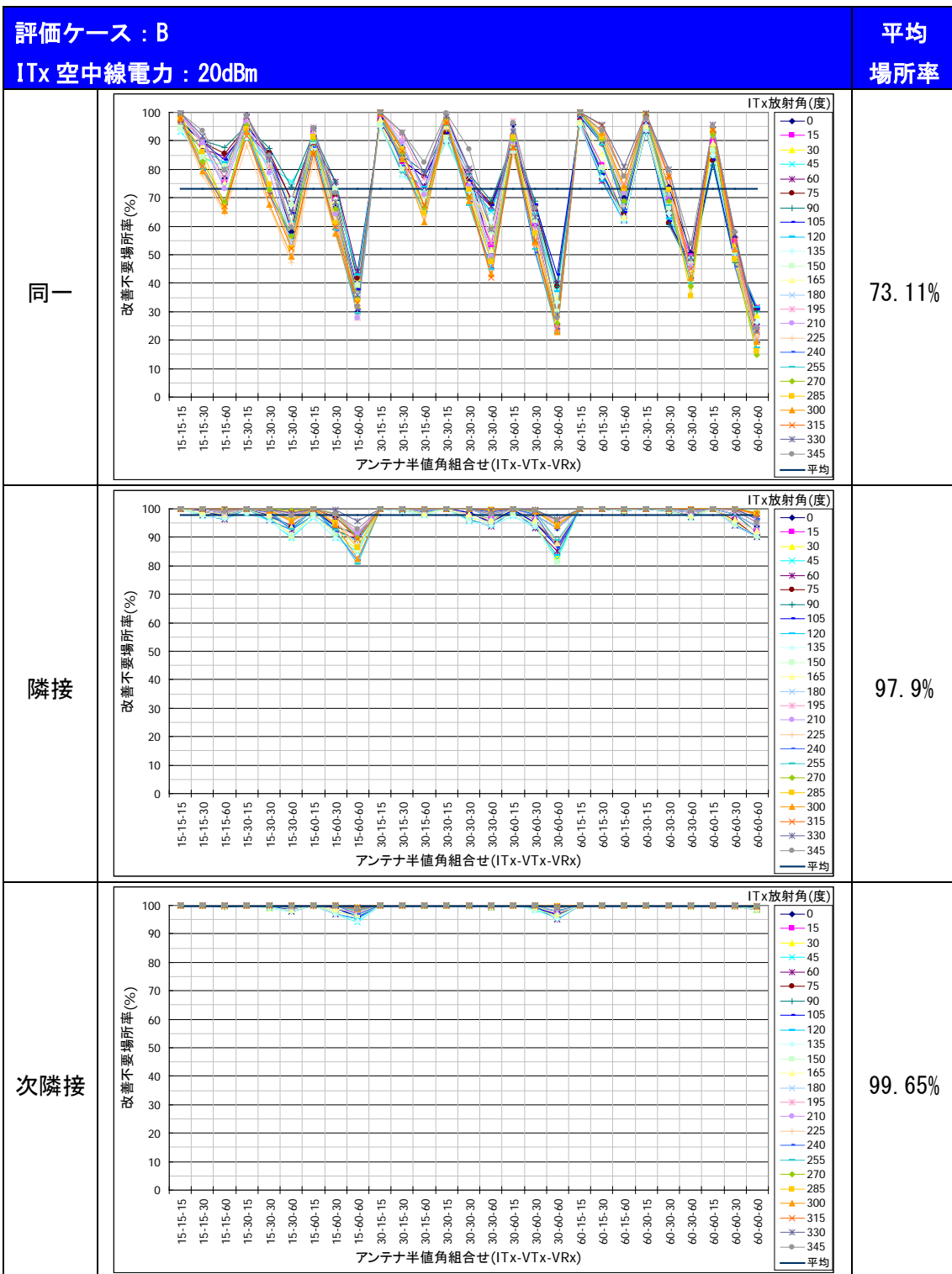


参考図 2. 4 評価ケース A の改善不要場所率 (ITx 空中線電力 : 30dBm)

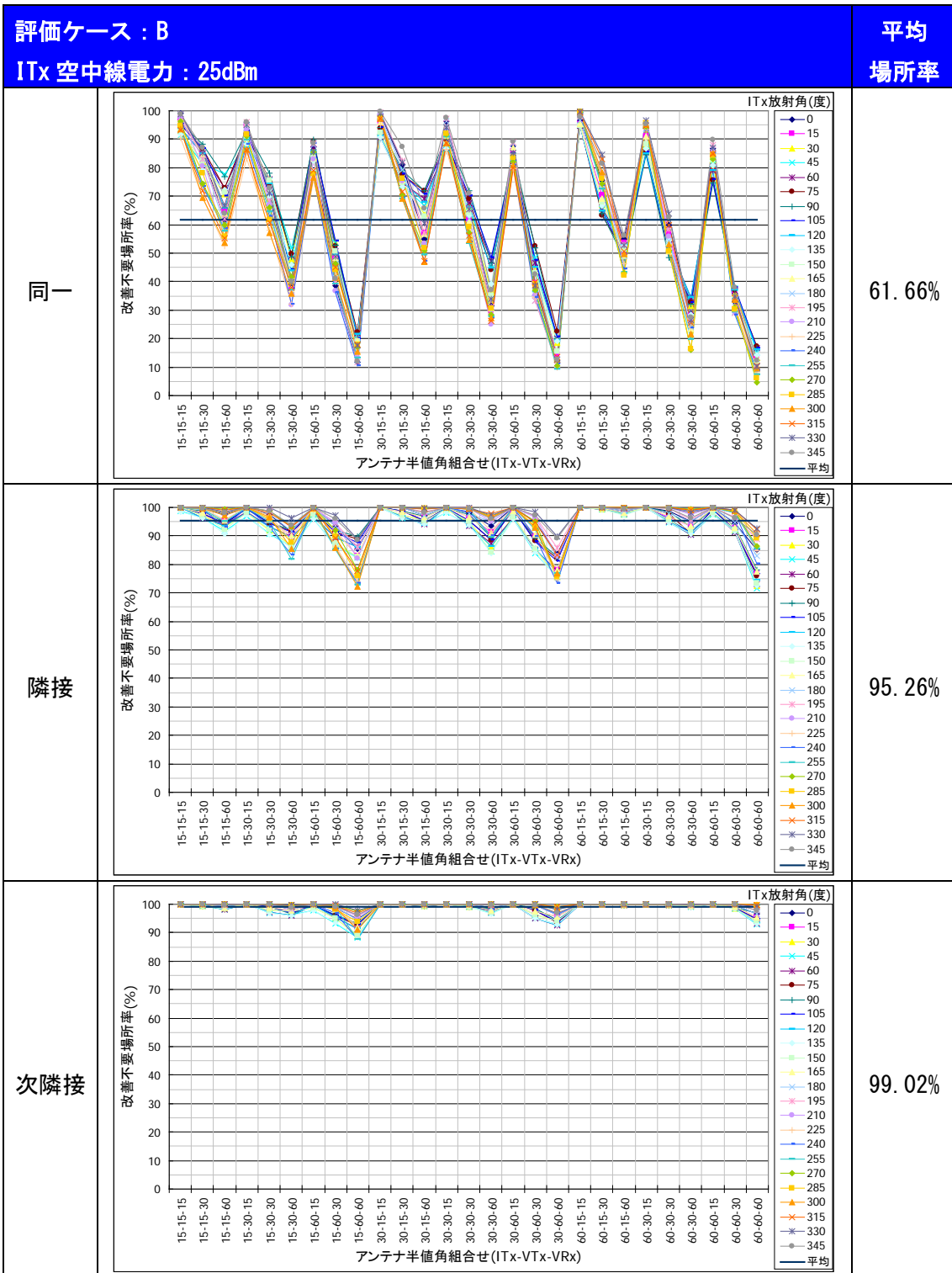
(2) 評価ケース B の改善不要場所率



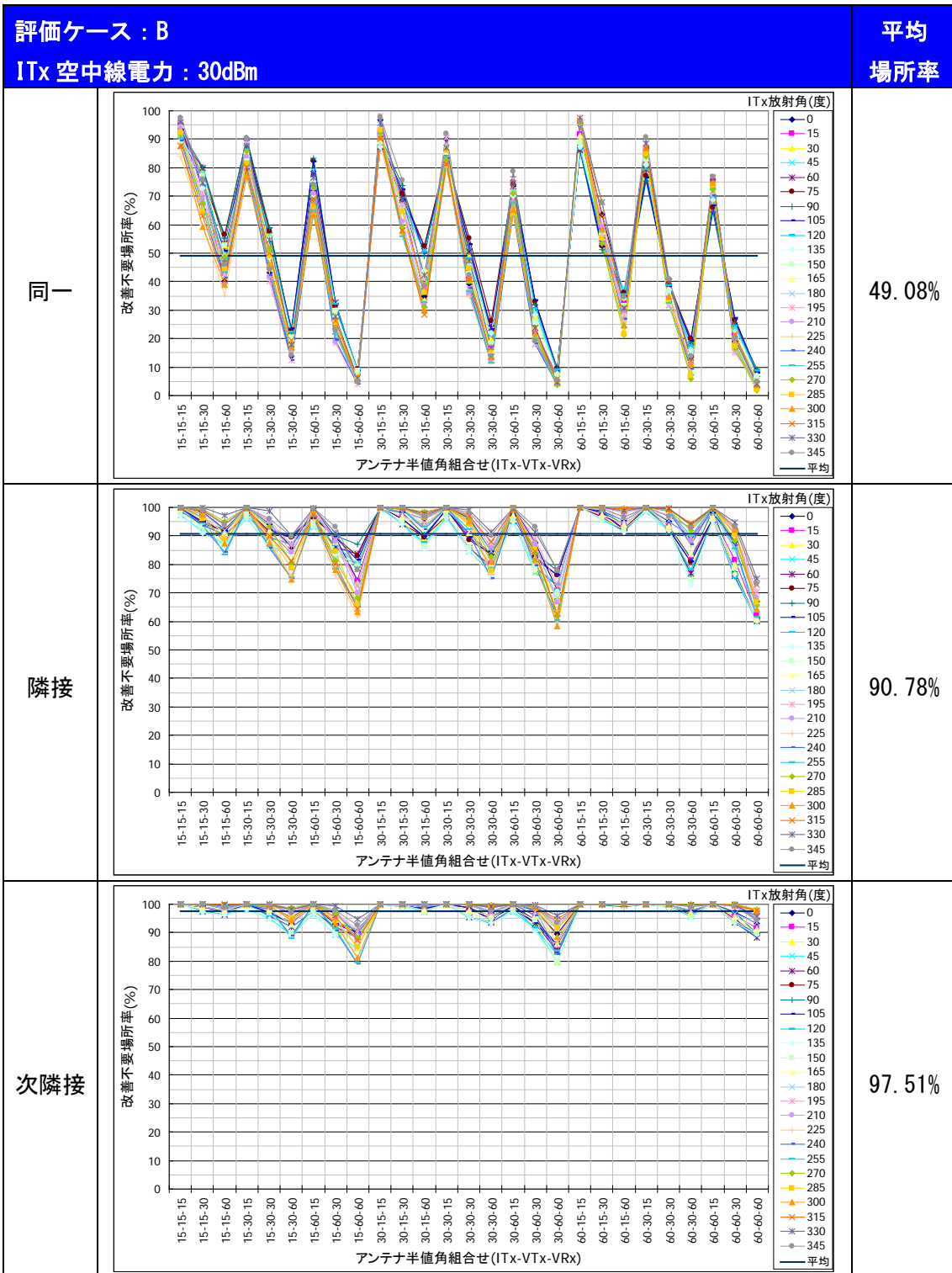
参考図 2.5 評価ケース B の改善不要場所率 (ITx 空中線電力 : 10dBm)



参考図 2. 6 評価ケース B の改善不要場所率 (ITx 空中線電力 : 20dBm)

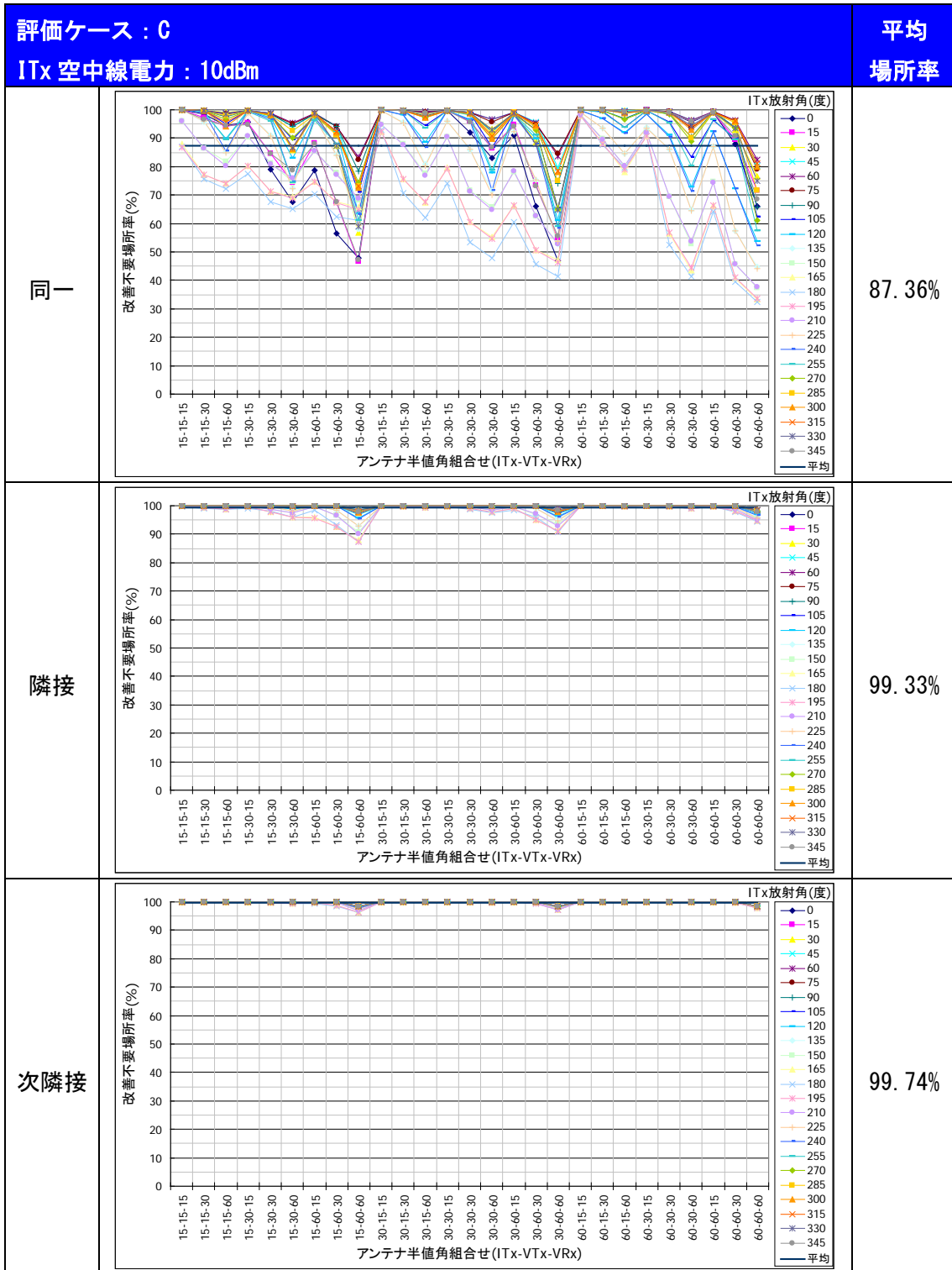


参考図 2. 7 評価ケース B の改善不要場所率 (ITx 空中線電力 : 25dBm)

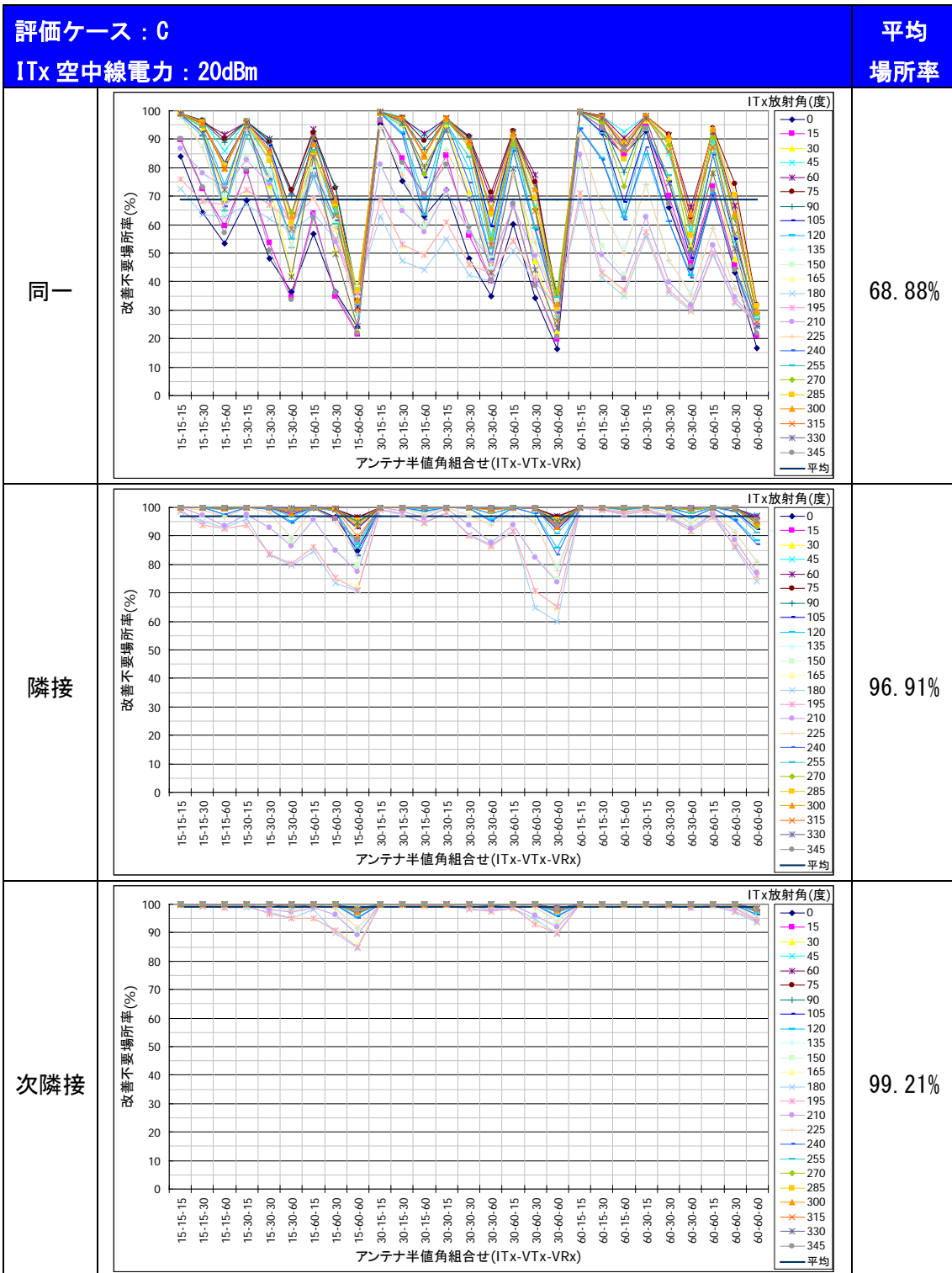


参考図 2. 8 評価ケース B の改善不要場所率 (ITx 空中線電力 : 30dBm)

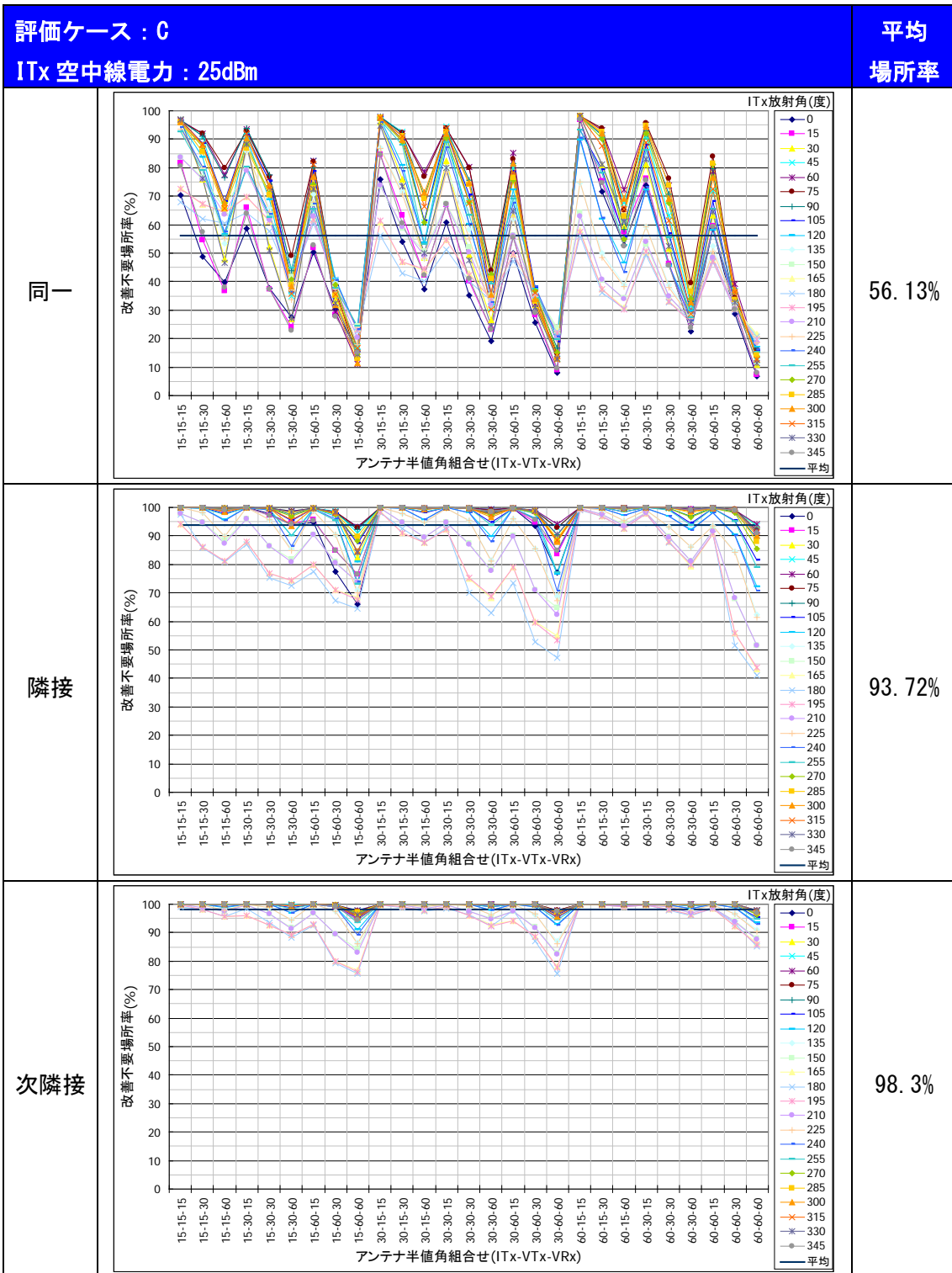
(3) 評価ケース C の改善不要場所率



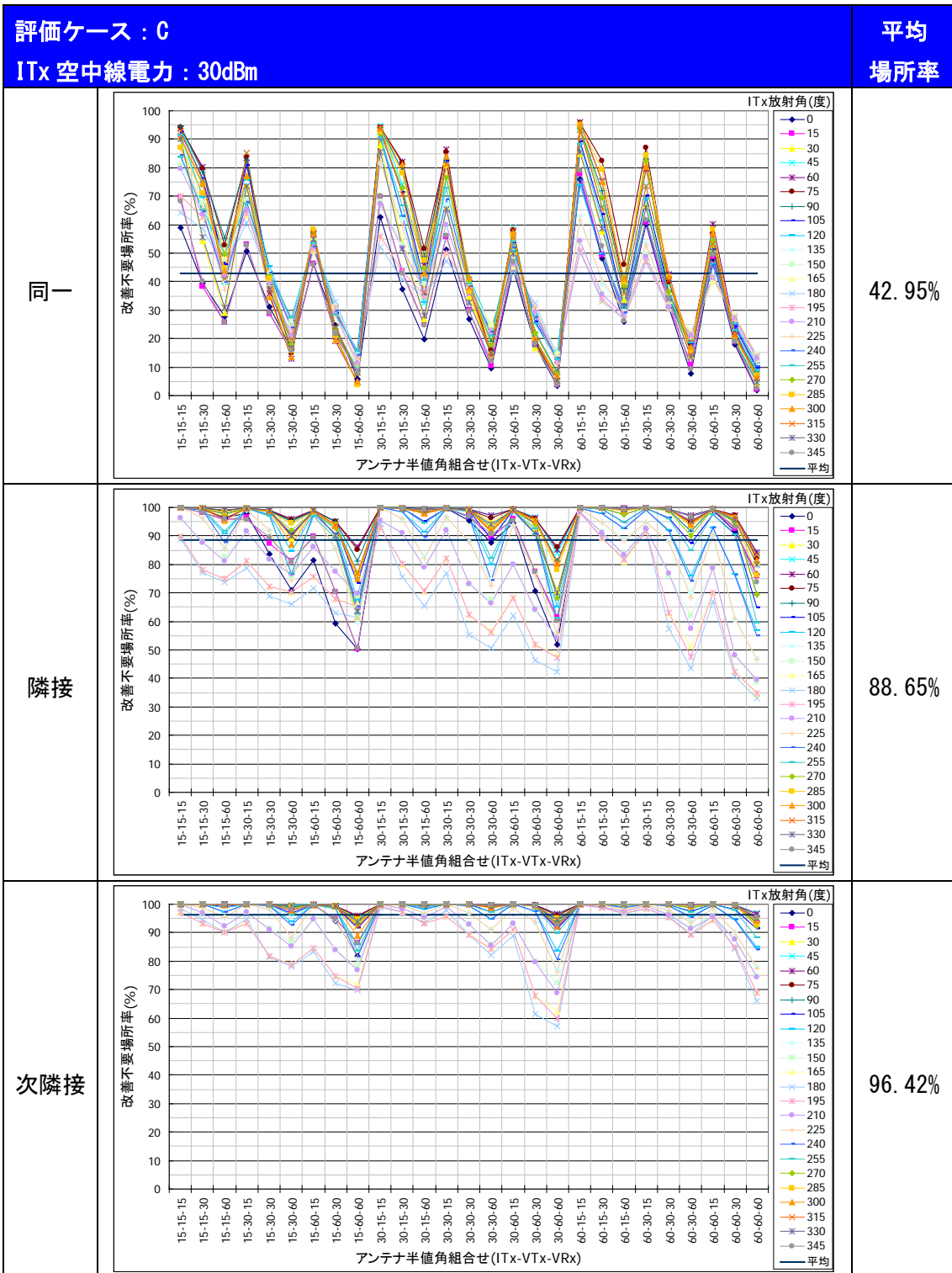
参考図 2.9 評価ケース C の改善不要場所率 (ITx 空中線電力 : 10dBm)



参考図 2. 10 評価ケース C の改善不要場所率 (ITx 空中線電力 : 20dBm)

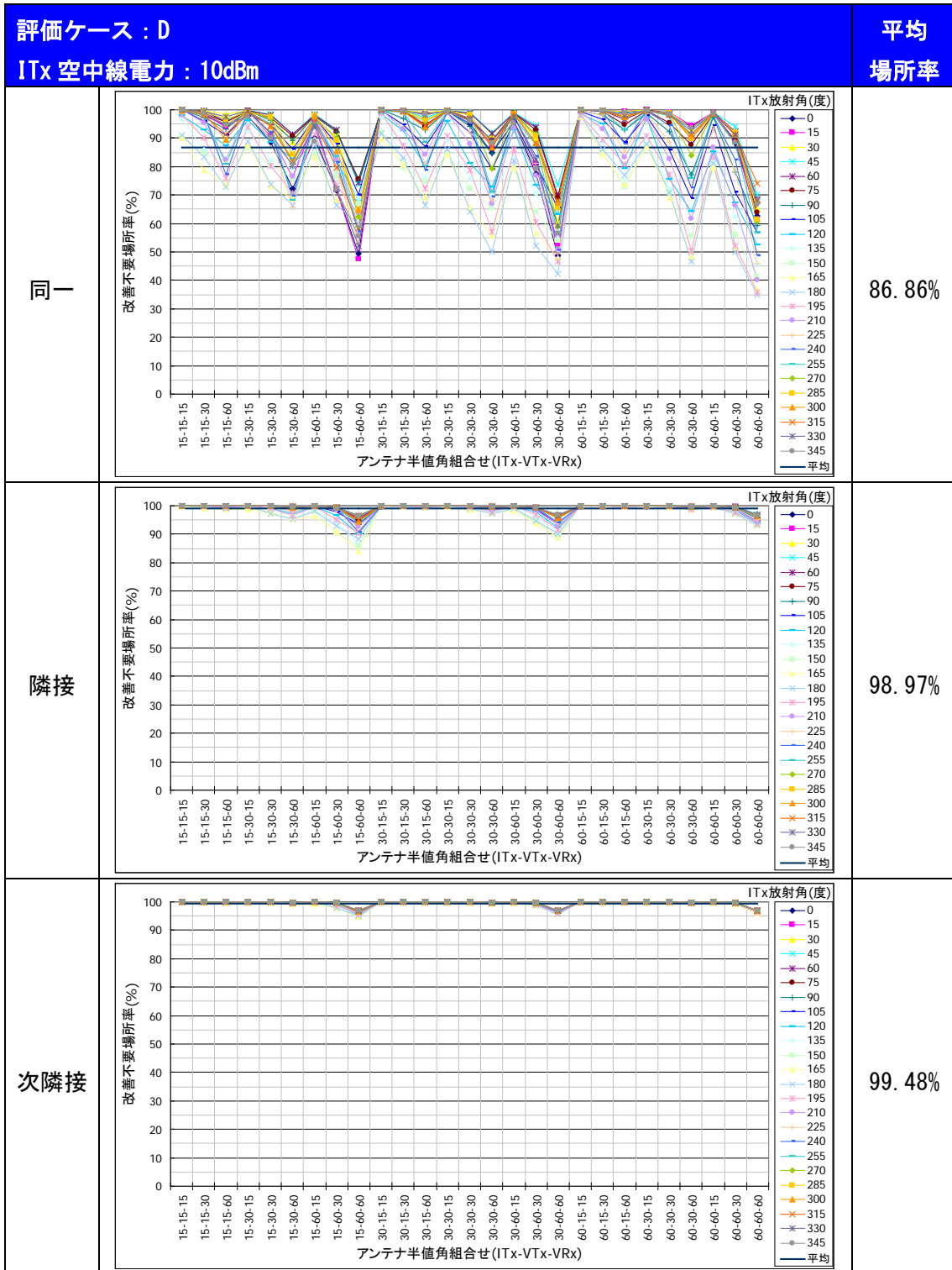


参考図 2. 1 1 評価ケース C の改善不要場所率 (ITx 空中線電力 : 25dBm)

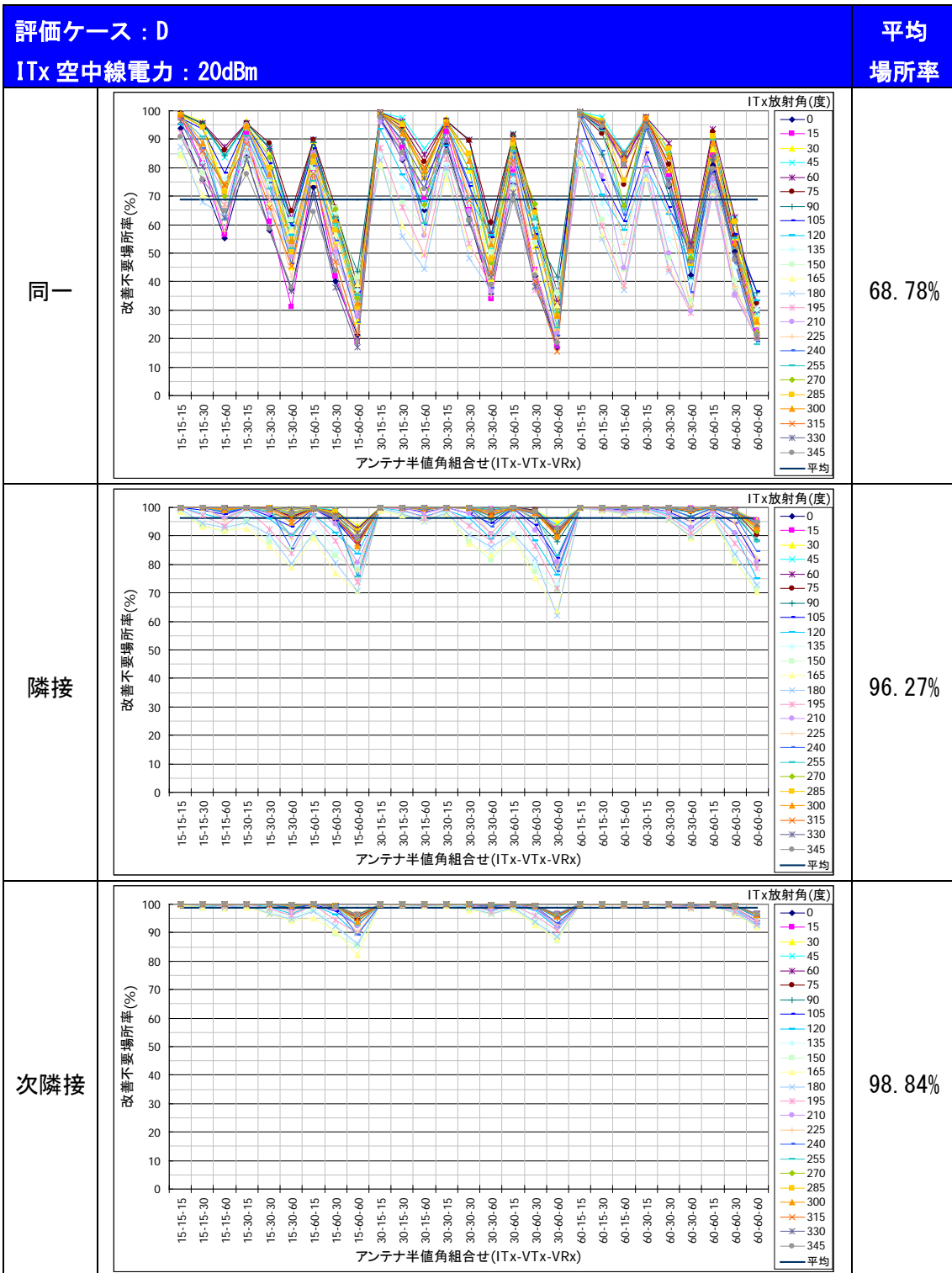


参考図 2. 1 2 評価ケース C の改善不要場所率 (ITx 空中線電力 : 30dBm)

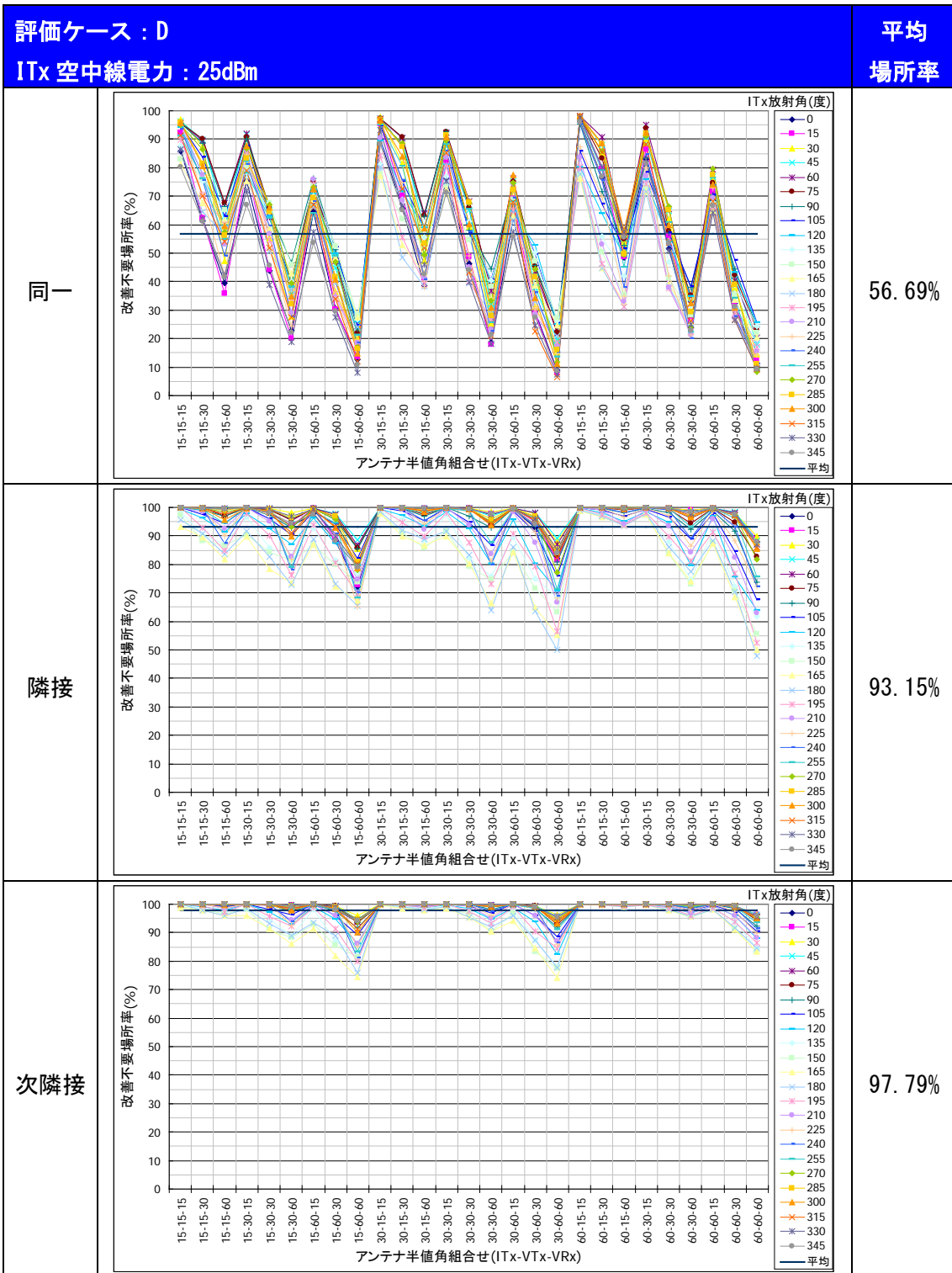
(4) 評価ケース D の改善不要場所率



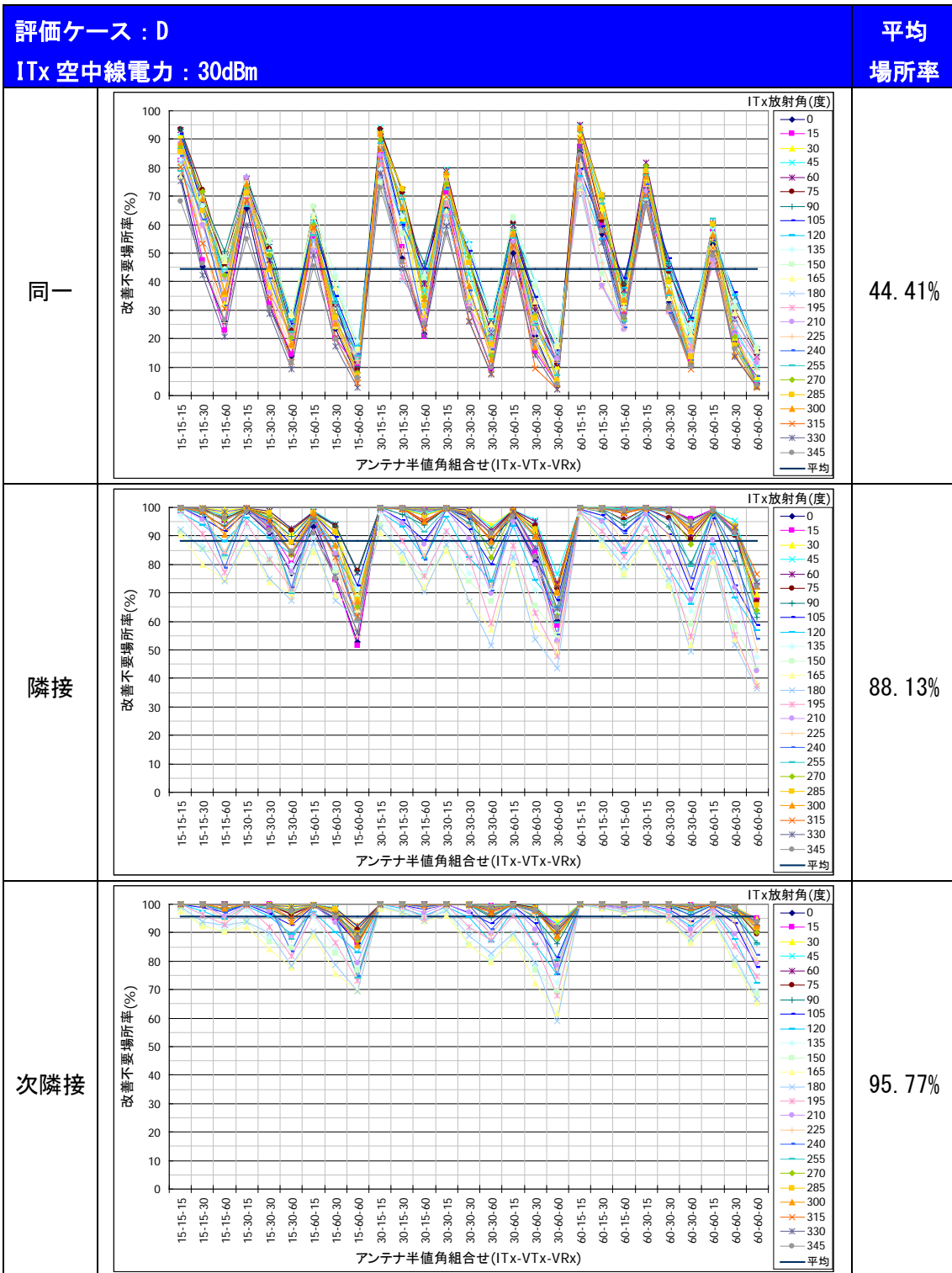
参考図 2. 1 3 評価ケース D の改善不要場所率 (ITx 空中線電力 : 10dBm)



参考図 2. 1 4 評価ケース D の改善不要場所率 (ITx 空中線電力 : 20dBm)



参考図 2. 15 評価ケース D の改善不要場所率 (ITx 空中線電力 : 25dBm)



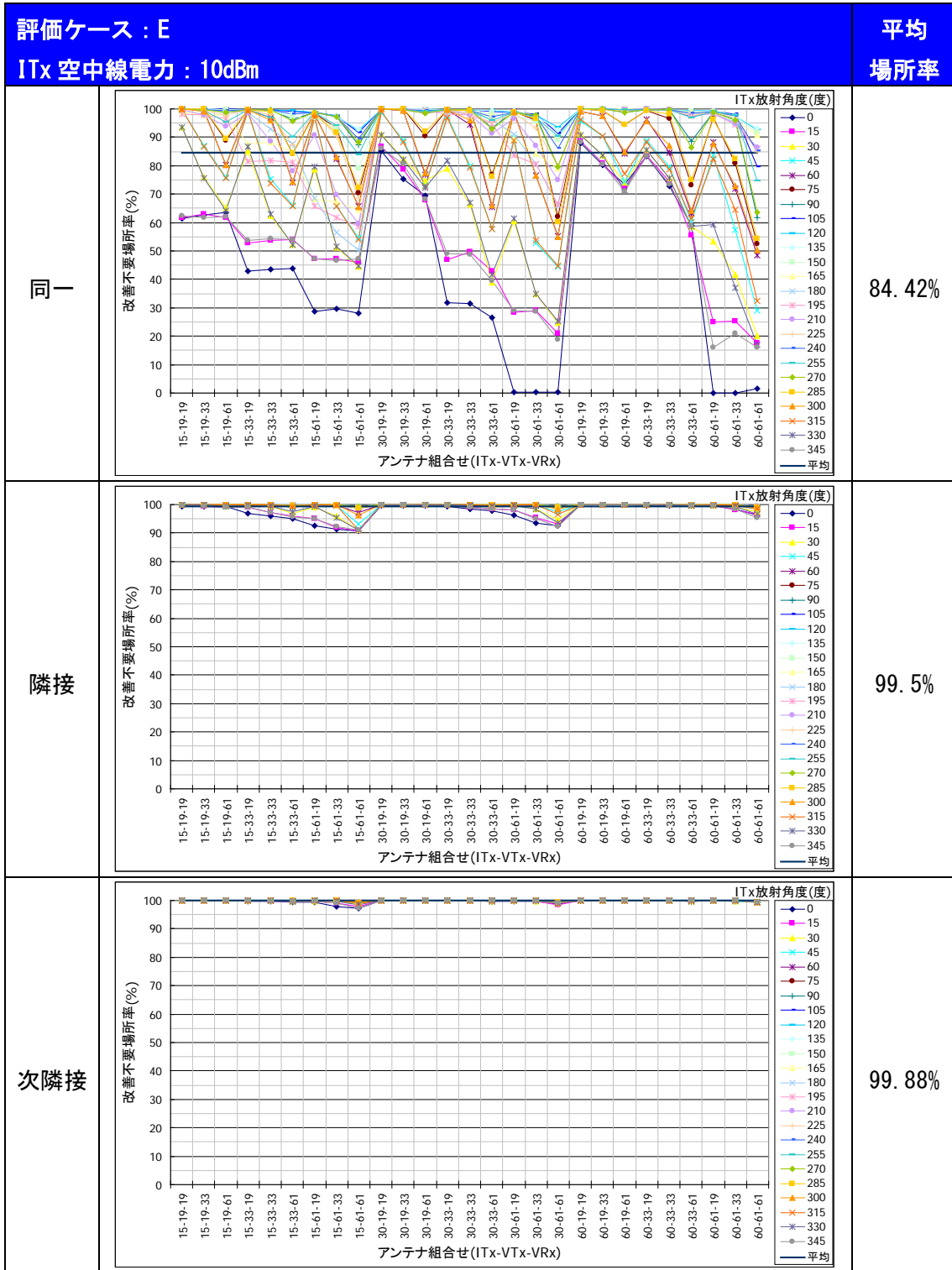
参考図 2. 16 評価ケース D の改善不要場所率 (ITx 空中線電力 : 30dBm)

参考資料 3 3-5-2 節 WirelessHD との干渉検討結果 詳細

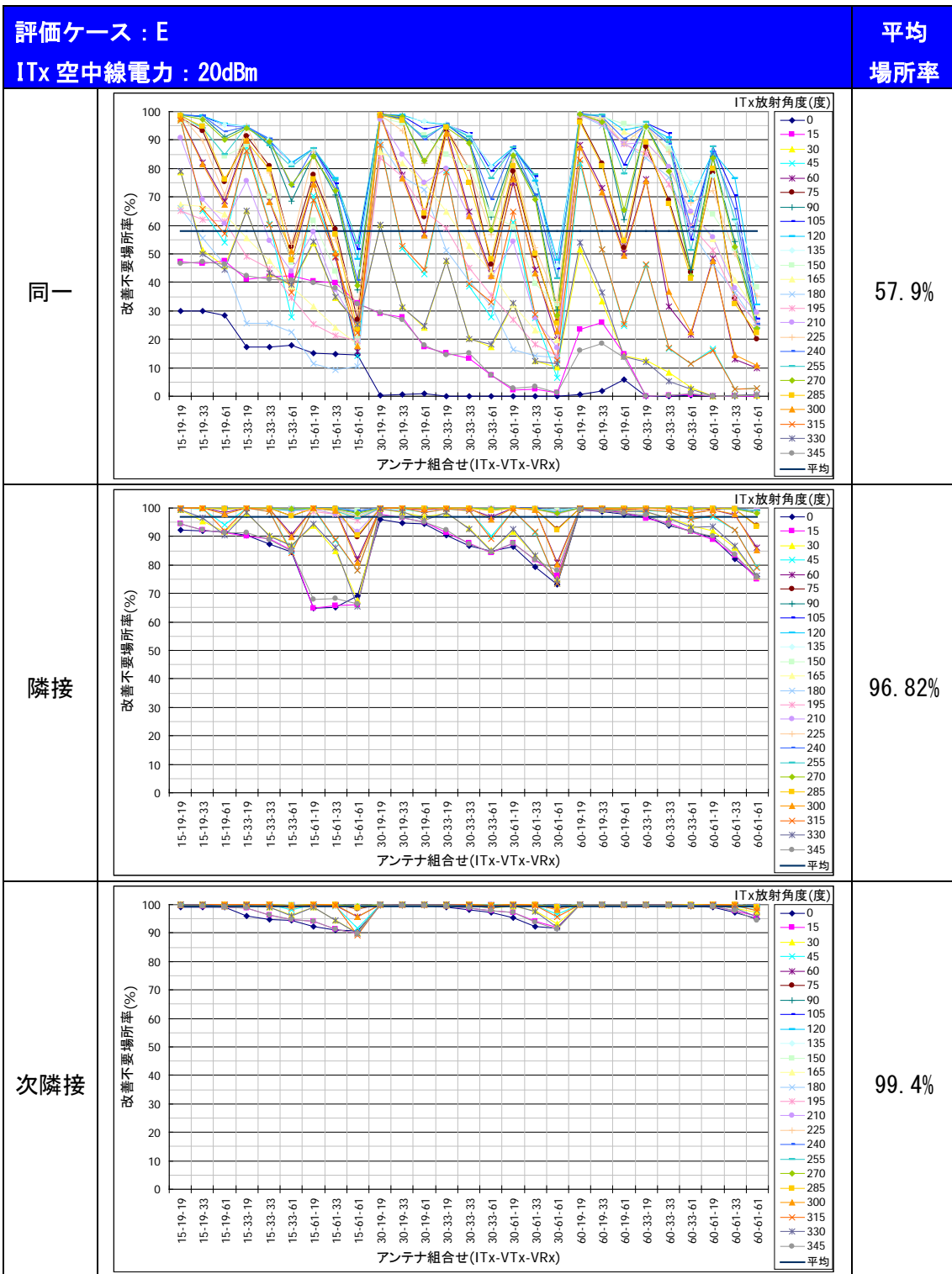
各図は、チャンネル割り当て(同一、隣接、次隣接)と ITx 空中線電力(10dBm, 20dBm, 25dBm, 30dBm)の組合せ毎に表したものであり、横軸を ITx-VTx-VRx のアンテナ半値角の組合せを、縦軸を改善不要場所率(%)として、ITx のアンテナ放射角毎に計算した 108 通りの所要改善量の中から、もっとも改善が不要な場所率が低かった要素を抽出してグラフ化したものである。(2)のグラフは、チャンネル割り当て(同一、隣接、次隣接)と ITx 空中線電力(10dBm, 20dBm, 25dBm, 30dBm)の組合せ毎に、評価ケース E の改善不要場所率をまとめたグラフである。

評価ケース E をまとめた改善不要場所率で見ると、ITx 空中線電力が 10dBm の場合は、同一で約 84%、隣接および次隣接で約 99%、ITx 空中線電力が 20dBm の場合は、同一で約 58%、隣接で約 97%、次隣接で約 99%、ITx 空中線電力が 25dBm の場合は、同一で約 41%、隣接で約 93%、次隣接で約 98%、そして、ITx 空中線電力が 30dBm の場合は、同一で約 24%、隣接で約 86%、次隣接で約 96%という結果となり、隣接および次隣接の場合は、ITx 空中線電力が高出力(~30dBm)でも 85%を超える改善不要場所率を確保したものの、同一の場合は、ITx 空中線電力が 30dBm の場合で 24%程度の改善不要場所率となった。

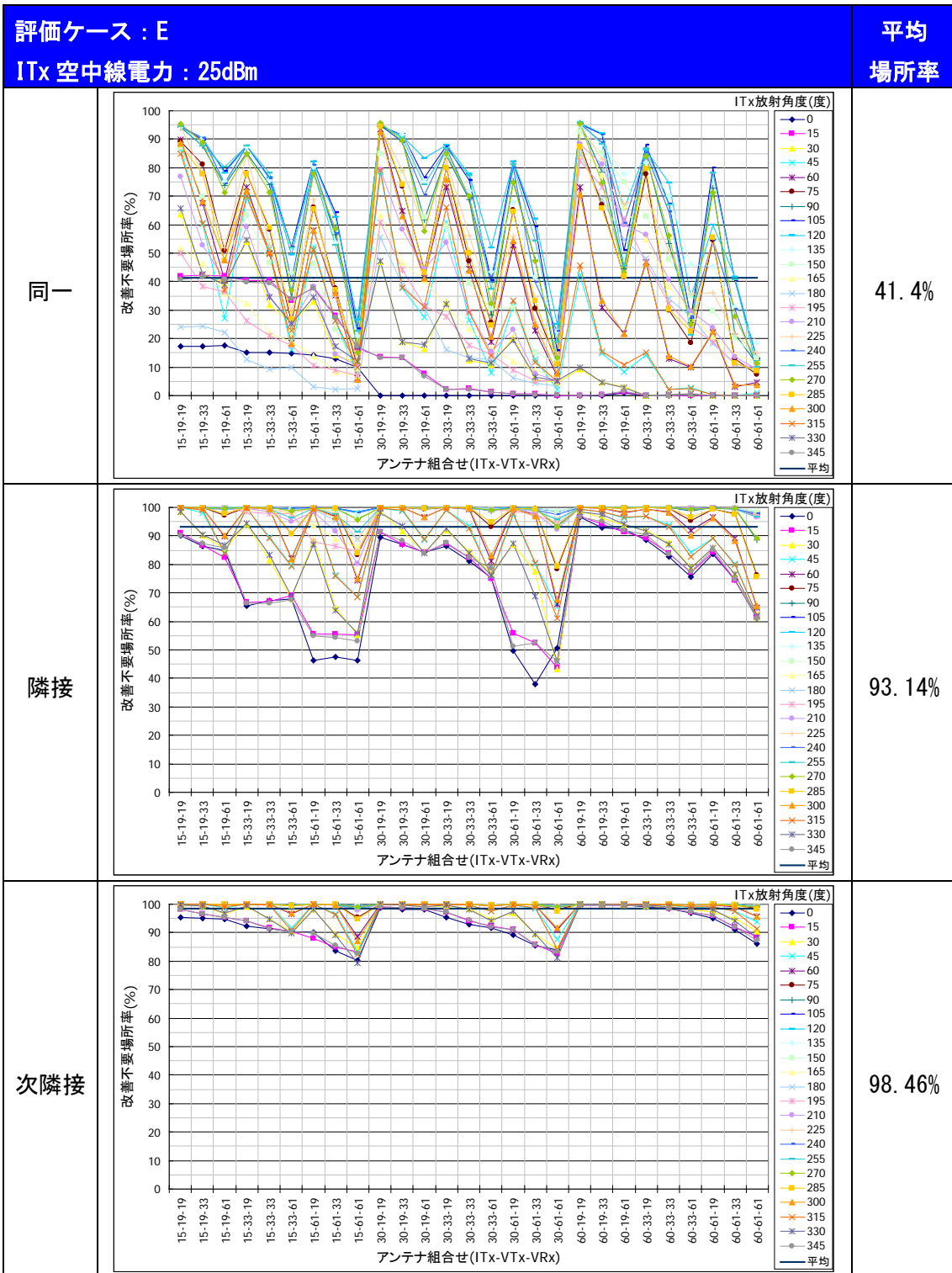
(1) 評価ケース E の改善不要場所率



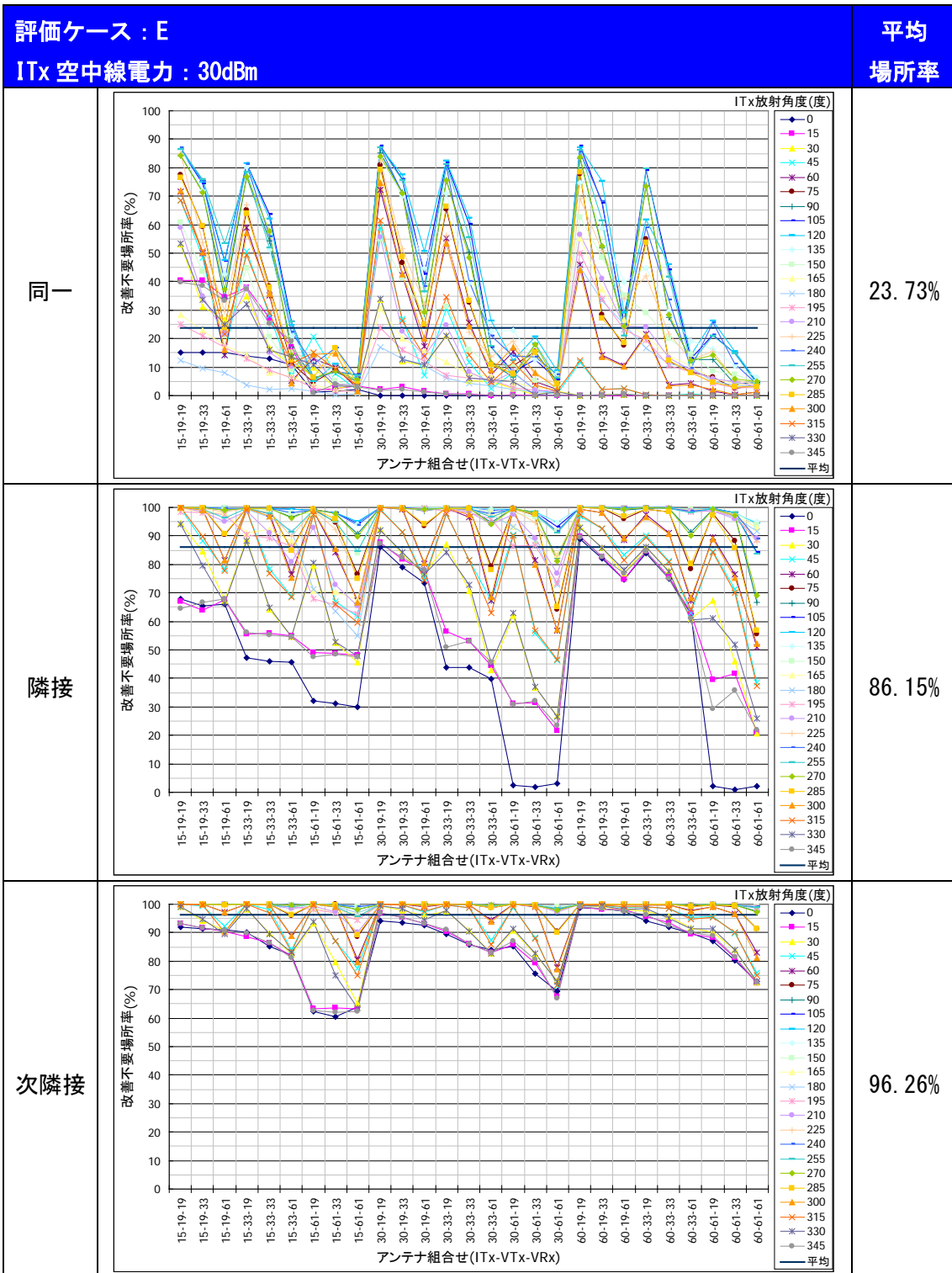
参考図 3. 1 評価ケース E の改善不要場所率 (ITx 空中線電力 : 10dBm)



参考図 3. 2 評価ケース E の改善不要場所率 (ITx 空中線電力 : 20dBm)



参考図 3. 3 評価ケース E の改善不要場所率 (ITx 空中線電力 : 25dBm)



参考図 3. 4 評価ケース E の改善不要場所率 (ITx 空中線電力 : 30dBm)

参考資料 4 地球探査衛星業務との干渉検討

地球探査衛星業務に関して、日本で現状利用はないが、米国 NOAA(海洋大気庁) や EUMETSAT(欧州気象衛星機関) が運用する低軌道衛星が世界の降雨強度等を観測するために 60GHz 付近の周波数を観測(受動)している。これらの衛星の主な諸元について参考表 1 に示す。

参考表 4-1

衛星名	高度 (km)	周波数 (GHz)
DMSP-F16	833	19.4, 22.2, 37, 91.7, 60-63, 50-59, 150, 183.31±1, 183.31±3, 183.31±7
DMSP-F17	850	19.4, 22.2, 37, 91.7, 60-63, 50-59, 150, 183.31±1, 183.31±3, 183.31±7
DMSP-F18	850	19.4, 22.2, 37, 91.7, 60-63, 50-59, 150, 183.31±1, 183.31±3, 183.31±7

出典 : http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/guide_j.html

これら衛星は、日本の上空も通過していることから、60GHz 帯無線システムが与える影響について、干渉検討を実施した。

干渉検討の条件として、1-4 節に記載してある普及予測に基づき、普及密度を求めた。WiGig Alliance における今後の予測から、平成 28 年度には約 1,600 万台の普及が見込まれる。これらのデバイスが東京都に一極集中したケースを考えると、東京都の面積は 2,188km²であることから、普及密度は 7,313 デバイス/km²となる。また、ここからさらにマージンを見込んで 10,000 デバイス/km²と仮定して、計算を行った。

衛星に搭載されている SSMIS (Special Sensor Microwave Imager Sounder)/大気サウンダは、75km×75km が最大可視範囲となることから、その範囲内に存在する存在するデバイス数は 5625×10⁴個となる。これらの条件をふまえ、250mW (24dBm) 出力の 60GHz 帯デバイスから受ける aggregate のデータを計算した。

一つの 60GHz 帯無線デバイスから衛星側のアンテナが受ける電力 P_0 は、60GHz 帯無線デバイスの送信電力 P_t 、60GHz 帯無線デバイス側アンテナ利得 G_t 、衛星のアンテナ利得 G_r 、伝搬損失 L により、下記の式で示される。

$$P_0 = P_t + G_t + G_r - L \dots (1)$$

集合干渉電力 $P_{\text{aggregate}}$ は衛星の最大可視範囲に存在する 60GHz 帯無線デバイス数を N とし (1) を用いて下記の式で示される

$$P_{\text{aggregate}} = P_0 + 10 \log(N) \dots (2)$$

ここで伝搬損失を求める。デバイスと衛星間の遮蔽損を考慮しない場合（全ての端末が屋外にある最悪のケース）、伝搬損失 L は、自由空間伝搬損失（Rec. ITU-R P. 525-2 “Calculation of free-space attenuation”）に大気減衰 L_1 を加え、下記の式で求められる。

$$L = 32.4 + 20 \log(f[\text{MHz}]) + 20 \log(d[\text{km}]) + L_1 \dots (3)$$

なお、計算にあたっては、簡単のため大地面を平面とみなし計算を行う。デバイスと衛星との距離は平面からの最短距離を一律に適用し 833km とする。大気減衰は酸素による吸収損がほとんどであり、天頂方向の酸素による吸収損 160dB（Rec. ITU-R P. 676-10 “Attenuation by atmospheric gases”）をその値とする。

上記 (3) の式に以上の条件を当てはめると、伝搬損失 L は

$$L = 32.4 + 20 \log(60 \times 10^3) + 20 \log(833) + 160 = 346.38$$

となる。

次に、一つの 60GHz 帯無線デバイスから受ける電力 P_0 について算出する。60GHz 帯無線デバイスの空中線電力は 24dBm であること、最大可視範囲に存在するデバイスのアンテナ方向はランダムと考えられ（5 千万台以上の端末のアンテナが同時に衛星の方向を向く可能性はほとんどない）デバイス側の平均的アンテナ利得は 0dBi とみなせること、伝搬損失 L を鑑み、衛星側のアンテナ利得を考慮しない場合の単体デバイスからの干渉電力は $P_0 = 24 - 346.38 = -322.38$ となる。ここから、衛星の可視範囲内から受ける総電力 $P_{\text{aggregate}}$ は (2) 式より $-322.38 + 10 \log(5625 \times 10^4)$ となり、衛星側のアンテナ利得を考慮しない集合干渉電力は -244.87dBm との結果となった。11ad/WiGig の 1ch 幅は 2.16GHz であり、1MHz 幅あたりから受ける電力を換算すると、

$$-244.87 - 10 \log(2160) = -278.219$$

で、 -278.219dBm/MHz となる。

衛星側のアンテナ利得 G_i は不明であるが、近隣帯域を利用する他センサの設計事例（同 NOAA NPOESS）では 54dBi であるので、この値を考慮することとした場合、干渉量は -224.219dBm/MHz となる。

ITU-R RS. 2017 において、EESS (PASSIVE) における 60GHz 帯の保護基準が定められており、-169dBW/100MHz という規定されているところ。先ほどの干渉量を dBW/100MHz に換算した場合 -234.219dBW/100MHz となる。所要改善量は -65.219dB となることから、保護基準は十分満足できるものと考えられる。

参考資料 5 電波防護指針の適合性についての検討

空中線電力を 10mW から引き上げた場合の、60GHz 帯無線システムの電波の強度が、電波防護指針における一般環境の電磁界強度（6 分間平均値）の指針値（表 3（a））施行規則別表第二号の三の二の電波の強度の値を満足するか、ユースケースごとに検討を行った。

参考表 5-1 一般環境の電磁界強度（6 分間平均値）の指針値（抜粋）

周波数 f	電界強度	磁界強度	電力束密度	平均時間
1.5GHz～ 300GHz	61.4[V/m]	0.163[A/m]	1[mW/cm ²]	6分

電波の強度の算出にあたっては、平成 11 年郵政省告示第 300 号の算出を用いた。空中線入力電力 P[W]、空中線からの距離 R[m]、主輻射方向の利得 G[倍]を用いて、電力束密度 S[mW/cm²]の値が次式により算出できるものとしている。（反射は考慮しない。）

$$S = \frac{P \cdot G}{40\pi R^2} \text{ [mW/cm}^2\text{]} \quad \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

本算出式は、人体とアンテナが十分離隔し、アンテナから見て遠方界に人体が存在する場合には適用可能である。他方、携帯電話やスマートフォンのように、人体に極めて近接して使うケースも考えられ、そのような場合はアンテナから見て近傍界に人体が存在することになる。近傍界における電力密度は非常に複雑であり、本算出式では正確な計算が行えない可能性がある。そのため、近傍界でも計算が可能な、開口面空中線の電力密度算出式を適用する。開口面空中線の電力密度算出式を下記に示す。

ア：アンテナ表面 $S = \frac{4P}{A} \cdot \frac{1}{10} \text{ [mW/cm}^2\text{]}$

イ：距離 R が $0 \sim D^2/4\lambda$ [m] のとき $S_{nf} = 16 \frac{\eta P}{\pi D^2} \frac{1}{10} \cdot K \cdot F \text{ [mW/cm}^2\text{]} \dots\dots\dots \textcircled{2}$

ウ：距離 R が $D^2/4\lambda \sim 0.6D^2/\lambda$ [m] のとき $S = \frac{D^2}{4\lambda R} \cdot S_{nf} \text{ [mW/cm}^2\text{]}$

(A: 空中線の開口面積、η: 空中線の開口効率、D: アンテナの開口長、K: 反射係数、F: 空中線回転による補正係数)

これらを用い、IEEE802.11ad のユースケースを勘案したうえで、それぞれのケースにおける人体への電波のばく露量について検討を行った。

11ad のユースケース、及び想定される空中線電力、空中線利得について下記に示す。

- (1) アクセスポイント(無線 LAN) :
 空中線電力 24dBm 空中線利得 16dBi
- (2) PC 端末(無線 LAN、ワイヤレスドッグ) :
 空中線電力 24dBm 空中線利得 16dBi
- (3) 携帯電話端末、スマートフォン(無線 LAN) :
 空中線電力 17dBm 空中線利得 15dBi

これら条件を用いて、算出を行った。

- (1) アクセスポイント(無線 LAN)



参考図 5-1 アクセスポイントでの利用イメージ

本システムは天井の設置等、固定的な利用が想定され、通常の利用形態では人体から 1m 以上の距離で使用される。利用されるアンテナの口径は 16mm 程度と想定され、その場合遠方界との境界は 10.24cm となる。従って、人体は遠方界に存在すると考えられることから、①の式が適用可能となる。

アンテナからの距離が 1m の点における電力密度 S は

$$S=10/(40\pi \times 12)=0.0796[\text{mW}/\text{cm}^2]$$

となる。よって、指針値を満足する。

- (2) PC 端末(無線 LAN、ワイヤレスドッグ)



参考図 5-2 PC 端末での利用イメージ

本システムの利用形態を勘案すると、PC 端末と人体との離隔距離は 30cm 程度となると考えられる。

利用されるアンテナ口径は 16mm 程度と想定され、その場合の遠方界との境界は 10.24cm となる。従って、①の式が適用可能となる。

アンテナからの距離が 30cm の点における電力密度 S は

$$S=10/(40\pi \times 0.3^2)=0.884[\text{mW}/\text{cm}^2]$$

となる。よって、指針値を満足する。

(3) 携帯電話端末、スマートフォン(無線 LAN)



参考図 5-3 携帯電話端末・スマートフォンでの利用イメージ

利用形態を勘案すると、端末と人体との離隔距離は～30cm 程度と考えられる。利用されるアンテナ口径は 12mm 程度と想定され、その場合遠方界との境界は 5.76cm となる。従って、利用状況によっては、人体に近傍界の電力が照射される可能性がある。そこで、②の式を適用する。

開口効率 η については、

$$G = \frac{4\pi ab}{\lambda^2} \cdot \eta$$

(G: 空中線利得、a及びb: 開口寸法)

により求め、 $\eta : 0.437$ と計算できる。その結果、0~7.2mmの範囲においては77mW/cm²となり、それより遠方(7.2mm~17.3mm)は距離に比例して減衰するという結果となった。

これは指針値を上回る値であるが、報告書において記載する11adの通信機能等を勘案することによって、現状の利用においては現在想定される利用ケースを前提とすれば、電波の人体へのばく露量を大きく低減させることが可能である指針値を満足することができると考えられる。