

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

23GHz 帯無線伝送システム作業班

報告書（素案）

～23GHz 帯無線伝送システムの技術的条件～

目 次

I 審議事項	5
II 委員会構成	5
III 審議経過	5
1. 放送システム委員会での審議	5
2. 23GHz 帯無線伝送システム作業班での調査検討	5
3. 放送システム委員会における意見の募集	6
IV 審議概要	6
V 審議結果	6
第1章 審議の背景	10
1. 1 はじめに	10
1. 2 これまでの経緯	10
第2章 23GHz 帯無線伝送システムにおける利用形態	13
2. 1 求められる利用形態について	13
2. 2 23GHz 帯無線伝送システム(固定局・移動局)のシステム概要	15
第3章 他の無線システム等との共存条件に関する検討	16
3. 1 隣接する 23GHz 帯の無線システム等について	16
3. 2 無線エントランスシステムとの干渉検討	18
3. 3 電波天文との干渉検討	22
第4章 23GHz帯無線伝送システムの技術的条件	24
4. 1 一般的条件	24
4. 2 無線設備の技術的条件	26
4. 3 測定法	28
第5章 今後の検討課題	30
参考資料	39

I 審議事項

放送システム委員会は、情報通信審議会諮問第 2024 号「ケーブルテレビシステムの技術的条件」のうち「23GHz 帯無線伝送システムの技術的条件」について審議を行った。

II 委員会構成

別表1のとおり。

III 審議経過

1. 放送システム委員会での審議

本件に関する放送システム委員会の審議経過は、次のとおりである。

第 28 回(平成 23 年 10 月 28 日)

23GHz 帯無線伝送システムに係る審議を開始し、23GHz 帯無線伝送システム作業班を設置した。

第 29 回(平成 24 年1月 13 日)

23GHz 帯無線伝送システム作業班より、作業班における調査検討状況及び報告書の骨子(案)について報告を受け、内容の審議を行った。

第 30 回(平成 24 年5月○日)

23GHz 帯無線伝送システム作業班の報告に基づき、報告書(案)を取りまとめた。

第 31 回(平成 24 年6月○日)

パブリックコメントの結果を踏まえ、審議を行い、報告書を取りまとめた。

2. 23GHz 帯無線伝送システム作業班での調査検討

委員会における審議を促進するために 23GHz 帯無線伝送システム作業班を設置した。作業班の調査検討の経過は次のとおりであり、構成員を別表2に示す。

第1回(平成 23 年 11 月9日)

作業班における調査検討事項、調査検討方法について検討を行った。

第2回(平成 23 年 12 月 22 日)

隣接業務との共存条件及び電波防護指針への適合等の調査検討を行い、委員会への報告内容等について検討を行った。

第3回(平成 24 年2月8日)

23GHz 帯無線伝送システムの技術的条件、隣接業務との共存条件及び測定法について調査検討を行った。

第4回(平成 24 年3月 27 日)

報告書(素案)について調査検討を行った。

(第5回(平成 24 年4月 18 日)

報告書(案)について調査検討を行った。)

なお、隣接業務との共存条件や移動局としての利用についての検討を促進するため、作業班の構成員等により、次のとおり、アドホック会合を開催した。

○ 無線アドホック会合(平成 23 年 11 月 22 日、12 月8日、平成 24 年1月 13 日、1月 31 日、2 月 29 日)

無線エントランス回線との共存条件等の検討を行った。

○ 電波天文アドホック会合(平成 23 年 11 月 22 日、12 月8日、平成 24 年1月 13 日、1月 31 日、2月 29 日)

電波天文との共存条件等の検討を行った。

○ 可搬型アドホック会合(平成 23 年 11 月 22 日、12 月8日、平成 24 年1月 13 日、1月 31 日、2月 29 日)

可搬型についての利用イメージや要求条件等の検討を行った。

3. 放送システム委員会における意見募集の実施状況

○ 23GHz 帯無線伝送システムの技術的条件についての意見陳述

募集期間:平成 23 年 11 月 11 日～12 月2日

概 要:学識経験者からの意見陳述の募集を行ったが、希望者はなかった。

(○ 放送システム委員会報告(案)に対する意見の募集

募集期間:平成 24 年5月○日～6月○日

概 要:委員会報告(案)に対する意見募集を行った結果、○件の意見の提出があった。)

IV 審議概要

別添1のとおり。

V 審議結果

「ケーブルテレビシステムの技術的条件」のうち「23GHz 帯無線伝送システムの技術的条件」について、別添2のとおり答申(案)をとりまとめた。

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 構成員

(敬称略、専門委員は五十音順)

氏名		主要現職
主査	伊東 晋	東京理科大学 理工学部 教授
主査代理	都竹 愛一郎	名城大学 理工学部 教授
委員	相澤 彰子	国立情報学研究所 コンテンツ科学研究系 教授
専門委員	浅見 洋	社団法人日本CATV技術協会 理事待遇・審議役
〃	井家上 哲史	明治大学 理工学部 教授
〃	伊丹 誠	東京理科大学 基礎工学部 教授
〃	甲藤 二郎	早稲田大学 理工学部 教授
〃	門脇 直人	独立行政法人情報通信研究機構 新世代ワイヤレス研究センター長
〃	佐藤 明雄	東京工科大学 コンピュータサイエンス学部 教授
〃	関根 かをり	明治大学 理工学部 教授
〃	高田 潤一	東京工業大学大学院 理工学研究科 教授
〃	丹 康雄	北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 教授
〃	野田 勉	一般社団法人日本ケーブルラボ 主任研究員
〃	松井 房樹	社団法人電波産業会 研究開発本部長
〃	村山 優子	岩手県立大学 ソフトウェア情報学部 教授
〃	山田 孝子	関西学院大学 総合政策学部 教授

情報通信技術分科会 放送システム委員会
23GHz 帯無線伝送システム作業班 構成員

(敬称略、構成員は五十音順)

氏名		主要現職
	石川 渉	ヴィ・ネットワーク・システムズ(株) 技術部長
	片山 友幸	DXアンテナ(株) 技術第2部 部長
	金田 英郎	(社)日本ケーブルテレビ連盟 常務理事
	亀谷 収	国立天文台 電波天文周波数小委員会副委員長 水沢 VLBI 観測所
副主任	河本 典之	(社)日本CATV技術協会 事業部(規格・標準)部長
	久保 歳弘	日本放送協会 技術局送受信技術センター 受信技術部副部長
	小島 敏郎	京セラコミュニケーションシステム(株) エンジニアリング事業統括本部 ソリューション事業部長
	小山 祐一	ソフトバンクモバイル(株) モバイル伝送ネットワーク部 基幹伝送課
~24.3.26	瀬戸 伸幸	(株)エヌ・ティ・ティドコモ ネットワーク部 電波技術担当
	谷澤 正彦	日本無線(株) 通信インフラ事業部 通信インフラ技術部 マイクロ通信グループ長
	中川 篤	KDDI(株) 技術企画本部電波部 企画・制度グループリーダー
	中川 永伸	(財)テレコムエンジニアリングセンター 技術グループ 部長
	中村 俊一	古河電工(株) 情報通信カンパニーブロードバンド製品部 部長
主任	野田 勉	(般社)日本ケーブルラボ 実用化開発グループ 主任研究員
24.3.27~	山下 岳志	(株)エヌ・ティ・ティドコモ 電波部 電波技術担当
	吉田 光男	(株)ジュピターテレコム 技術本部 副本部長

審 議 概 要

第1章 審議の背景

1.1 はじめに

23GHz帯(23.2~23.6GHz)のケーブルテレビ事業用無線伝送システムは、地上放送の受信点からヘッドエンドまでの連絡線、河川横断用及び離島への伝送など、有線での伝送が困難な地域においてケーブルテレビの中継伝送等に利用されており、デジタル変調方式としては、四相位相偏移変調方式(QPSK)又は一六値直交振幅変調方式(16QAM)が制度化されている。

近年、地上デジタル放送への完全移行を踏まえたケーブルテレビによる難視地区の解消や、災害発生時の幹線の応急復旧など、23GHz帯の無線伝送システムを用いて、効率的にネットワークを構築するニーズが高まっている。

このような背景を踏まえ、ケーブルテレビネットワークで利用される直交周波数分割多重方式(OFDM)や六四値直交振幅変調方式(64QAM)等のデジタル信号を、変調方式を変えることなく23GHz帯で効率的に伝送するために必要な技術的条件について検討を行ったものである。

1.2 これまでの経緯

1.2.1 ヘッドエンドへの連絡線

我が国のケーブルテレビは、難視聴対策や都市における受信障害対策を主目的として発展してきたが、自主放送の充実や衛星放送の再送信に対応するため昭和62年に電気通信審議会において、「多チャンネル化等に伴う有線テレビジョン放送施設に関する技術的条件」(諮問第30号)の答申(昭和62年9月28日)が行われ、伝送方式、安全対策、混信妨害等に関する技術基準が整備され、有線放送における多チャンネル伝送が可能となった。

23GHz帯無線伝送システムについても受信空中線からヘッドエンドまで伝送する連絡線として区域外番組の再送信等に利用されるようになった。伝送方式としては、周波数変調を用い、単一チャンネルの伝送を行うものである。

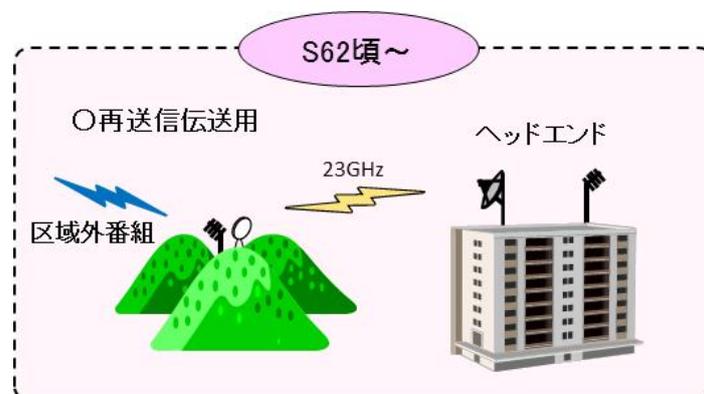


図1 ヘッドエンドへの連絡線

1. 2. 2 多チャンネル同時伝送

その後、ケーブルテレビの放送区域の拡大に伴い、河川や鉄道を横断する幹線の設置に際して、橋脚の利用の同意が得られない場合や集合住宅の同意が得られない場合が生じてきた。こうした状況を踏まえ、「有線テレビジョン放送事業用無線局の技術的条件」(諮問第102号)のうち「23GHz帯を使用する有線テレビジョン放送事業に用いる固定局の技術的条件」の一部答申(平成10年6月29日)が行われ、固定局の送信設備及び受信設備等の技術的条件等が整備され、河川等の横断、離島への中継及び集合住宅等への多チャンネル同時伝送が可能となった。

伝送方式としては、振幅変調(FDM-SSB)を用い、アナログテレビ信号等を多チャンネル同時に伝送するものである。

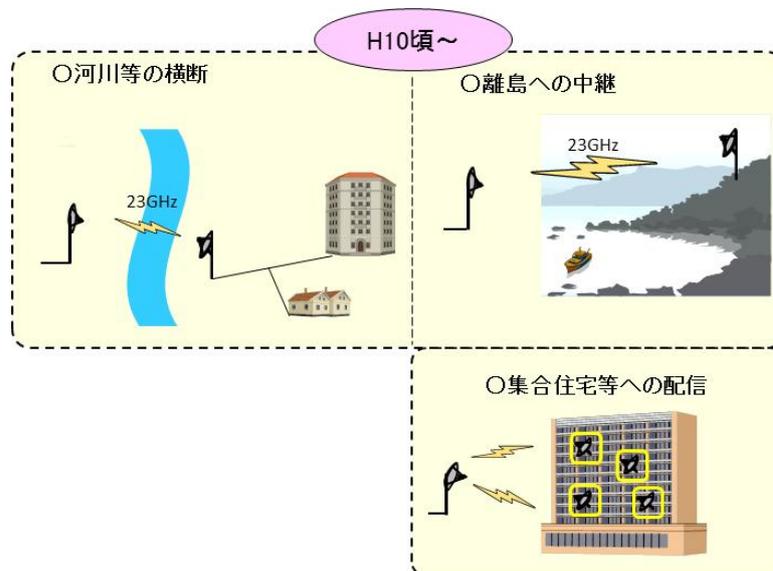


図2 多チャンネル同時伝送

1. 2. 3 ケーブルテレビ事業者の無線システム

ケーブル事業者が利用可能な無線伝送システムとしては、23GHz帯の他に18GHz帯や60GHz帯の伝送システムがある。18GHz帯の無線伝送システムは、電気通信業務用の無線局を用いて有線テレビジョン放送の伝送を行うものであるため、電気通信業務と併用することとなっており、また60MHzの帯域しかないことから、9チャンネル分の伝送しかできない。

一方、60GHz帯の伝送システムは、特定小電力無線局として個別免許は不要であるものの、出力が10mW以下であることから伝送距離が200m程度に限られている。

これらのシステムに比べて23GHz帯無線伝送システムは、400MHzの帯域があるため、多チャンネル伝送が可能であることや比較的長距離での伝送も可能であることから、更なる利用が期待されている。

ケーブルテレビ事業者の無線伝送システム

	23GHz帯	18GHz帯	60GHz帯
主な目的	有線テレビジョン放送事業用	公共業務用	特定小電力無線局
周波数帯域幅	400MHz	60MHz	2.5GHz
最大伝送チャンネル数	最大65CH	9CH	
特徴	CATV多チャンネル放送の無線伝送	放送/通信同時伝送	ミリ波画像伝送用及びミリ波データ伝送用
利用シーン	<ul style="list-style-type: none"> 離島や山間部等のCATVネットワークのエリア拡大 	<ul style="list-style-type: none"> 地デジの受信点から共聴施設までの中継伝送路 離島や山間部への地域イントラネットの延長ルート 	<ul style="list-style-type: none"> ホームリンク(配線の無線化)
メリット	<ul style="list-style-type: none"> 60GHz帯と比較して、比較的伝送距離が長い。 18GHz帯及び23GHz帯と比較すると、伝送CHが多くとれる。 	<ul style="list-style-type: none"> 60GHz帯と比較して、比較的伝送距離が長い。 双方向通信が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 個別免許が不要。
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ケーブルテレビの上り回線の伝送ができない。 	<ul style="list-style-type: none"> 23GHz帯と比較すると、伝送CHが多く取れない。 	<ul style="list-style-type: none"> 無線局免許を受けていないので、混信を受ける可能性がある。 18GHz帯及び23GHz帯と比較すると、伝送距離が短い。

図3 ケーブルテレビ事業者の無線伝送システム

第2章 23GHz 帯無線伝送システムの利用形態について

2.1 求められる利用形態について

現在、23GHz 帯無線伝送システムは、「第 1 章 審議の背景」のとおり、再送信伝送用、河川横断用及び離島への伝送用などに利用されている。しかしながら、地上デジタル放送への完全移行に伴い、デジタル難視聴地域における伝送手段の1つとしての利用(図4)や平成 23 年3月 11 日に発生した東日本大震災を経て、災害発生時におけるケーブルテレビの応急復旧手段の充実が求められ、23GHz 帯無線伝送システムを応急復旧手段の一つとして活用したいという要望が高まっている(図5)。

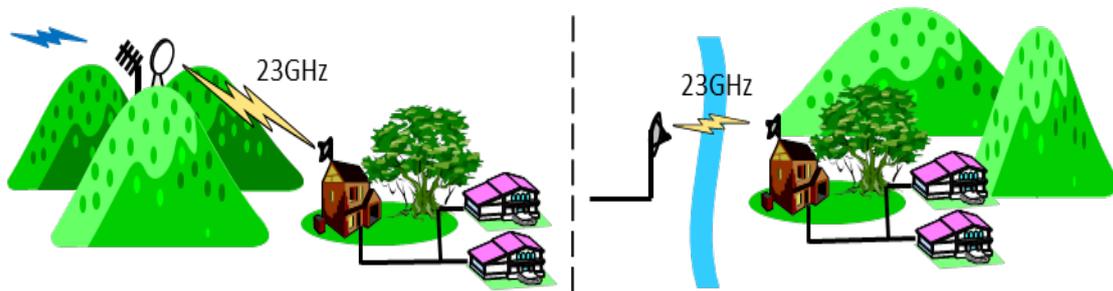


図4 デジタル難視聴区域での伝送イメージ

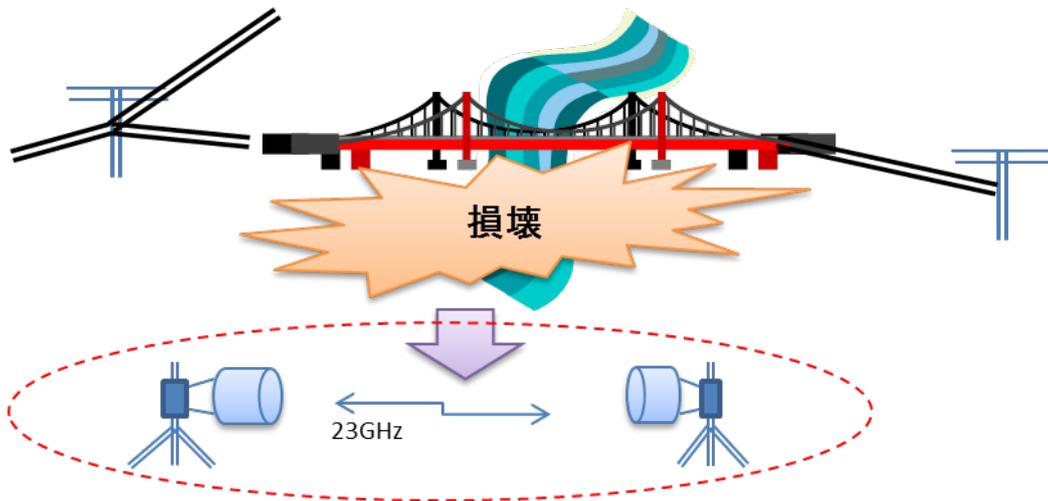


図5 ケーブル伝送路の応急復旧イメージ

災害・障害に対して適切かつ柔軟に対応するためには、従来の固定局に加え、可搬型システム(移動局)での運用が期待されている。また、その可搬型システム(移動局)の主な利用形態としては以下のようなものが想定される。

○ 辺地用可搬型システム(広帯域利用及び狭帯域利用)

災害・障害時における辺地共聴施設の切断箇所を応急復旧するための一時的な無線利用シーン(図6)が想定される。主な利用地域は地上波難視聴の解消を目的としたテレビ共同受

信点が設置されている場所などであり、山間部などの地形で電波を遮蔽された地域での利用が考えられる。

このように隣接システム等との干渉が発生しないことが明確な地域における利用については、他システムとの共存条件を満たすことが可能である。また、ケーブルテレビ信号のチャンネル配列等を変更せずに伝送することで円滑な応急復旧が可能となる。このようなシステムとしては広帯域のものと狭帯域のものが想定される。

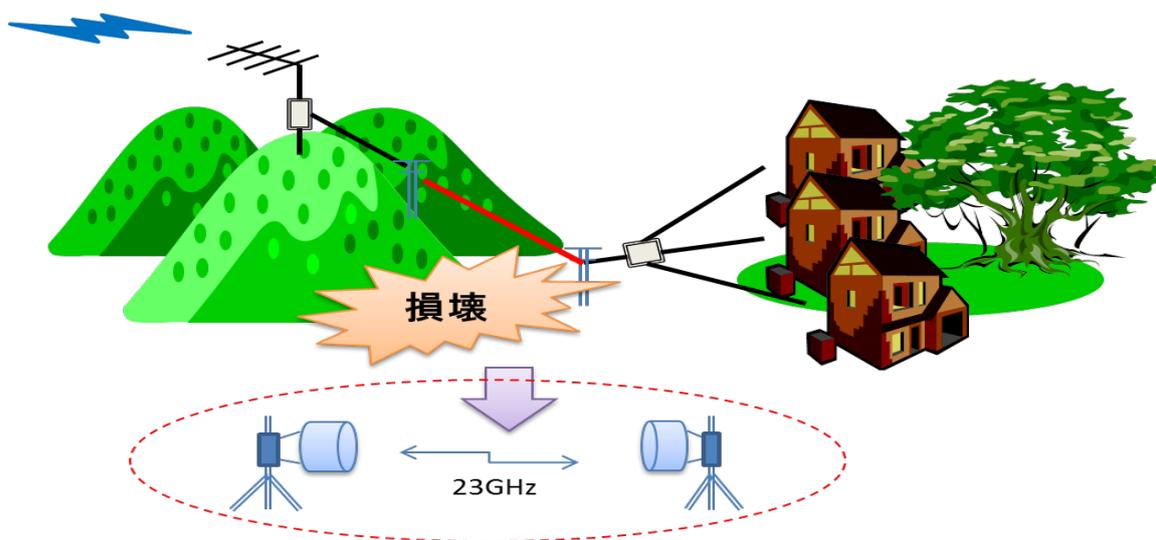


図6 辺地共聴施設の応急復旧イメージ

○ 汎用可搬型システム

辺地用可搬型システムと同様、災害・障害時におけるケーブル伝送路の切断箇所を応急復旧するための一時的な無線利用シーン(図5)が想定される。主な利用地域は、ケーブルテレビ事業者の有する幹線等の伝送路が考えられる。

辺地用可搬型システムと異なり、地形的にも遮蔽された地域に限らないため隣接システム等との共用条件を満たすことが困難になる恐れがある。したがって、当該干渉回避のため、帯域を制限し、バンドパスフィルター等の使用による不要発射を抑えることにより、固定局と比べて厳しいスペクトルマスクに制限するといった措置が必要となる。

2.2 23GHz 帯無線伝送システム(固定局・移動局)のシステム概要

前節での主な利用形態を踏まえ、23GHz 帯無線伝送システムの固定局及び移動局は概ね次のような仕様が想定される。

	固定局	移動局		
		辺地用可搬型システム (広帯域利用)	辺地用可搬型システム (狭帯域利用)	汎用可搬型システム
使用周波数帯	23.2～23.6GHz (割当全帯域 400MHz 帯域幅)	23.2～23.6GHz (割当全帯域 400MHz 帯域幅)	23.28～23.52GHz (割当帯域の中央 240MHz 帯域幅)	23.35～23.45GHz (割当帯域の中央 100MHz 帯域幅)
最大送信CH数	65CH程度	65CH程度	40CH程度	15CH程度
最大伝送距離	5km程度	数百m程度	数百m程度	5km程度
空中線電力	1W	5mW	5mW	250mW
送信アンテナ	パラボラアンテナ (直径 30～ 120cm)又はセク ターアンテナ	パラボラアンテナ (直径 10～30cm)	パラボラアンテナ (直径 10～30cm)	パラボラアンテナ(直 径 30～60cm)又はセ クターアンテナ

図7 23GHz 帯無線伝送システム(固定局・移動局)のシステム概要

第3章 他の無線システム等との共存条件に関する検討

3.1 隣接する23GHz帯の無線システム等について

3.1.1 23GHz帯の周波数の割当状況

23GHz帯の周波数の割当状況は、下図のとおりであり、23GHz帯無線伝送システムの下の帯域を携帯電話事業者の無線エントランスが利用しており、上の帯域は電波天文が観測業務を行っている。



図8 23GHz帯における周波数の割当状況

3.1.2 無線エントランスシステム

当該システムは電気通信事業者(主に携帯電話事業関係)が、集約局から携帯電話基地局までの間を無線で中継する回線として用いている。集約局から携帯電話基地局までの伝送距離は、最大6km程度である。

近年、無線エントランスシステムは、携帯電話システムの高速化により無線エントランス回線の伝送容量が十分でなく、光ファイバーの利用が増加し、無線エントランスシステムは減少傾向にある。

無線エントランスシステムの運用イメージ

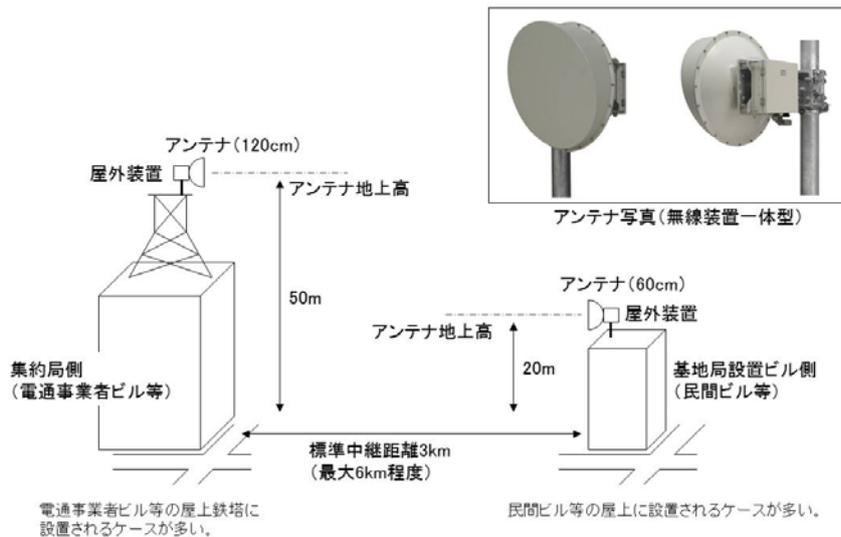


図9 無線エントランスシステムの運用イメージ

3. 1. 3 電波天文業務

天体から放射される電波を受信することにより、天体や宇宙空間の物理状態、さらには宇宙そのものの成因など、宇宙全体を観測するためのシステムである。このうち、23.6GHz～24.0GHz には、主にアンモニア分子輝線が存在している。本帯域は、電波天文学にとって非常に重要でかつ国内外で広く頻繁に使われている周波数帯となっている。

また、遠方の天体から放射される線スペクトルは、宇宙膨張のため長い波長にずれる(赤方偏移によって、最大7倍程度)。また微弱天体を感度よく観測するために広帯域で観測する。

国内にはこの周波数の観測を実施する、又は実施する可能性が高い電波天文観測局が13局以上存在している。

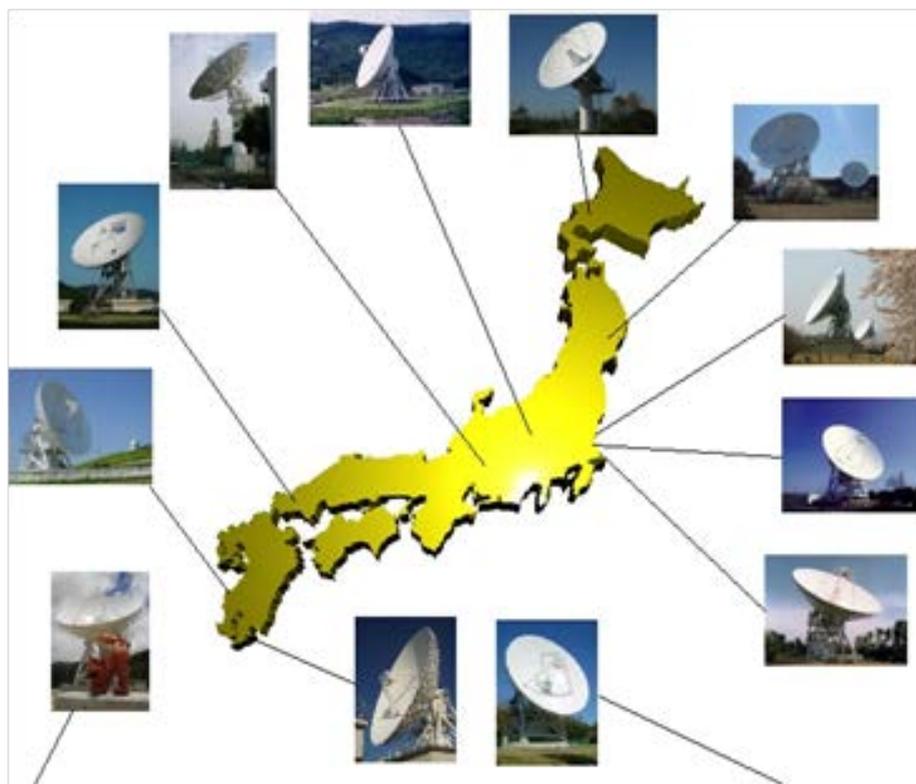


図 10 電波天文業務の観測局

3.2 無線エントランスシステムとの干渉検討

3.2.1 干渉検討パラメータについて

23GHz 帯無線伝送システムと無線エントランスシステムの干渉検討を行うために、まず、両システムの干渉検討用パラメータの検討を行った。

23GHz 帯無線伝送システムの干渉検討用パラメータとしては、平成 22 年度に実施された実験で用いられたシステム等を参考として設定した。主なパラメータは次のとおり。(参考資料1)

項目	パラメータ値
スプリアス発射強度	-33dBm/MHz 以下
給電線損失	1dB
アンテナ利得	23dBi (セクターアンテナ)
	34.5dBi (30cm パラボラアンテナ)
	40dBi (60cm パラボラアンテナ)

図 11 23GHz帯デジタル無線分配システムのパラメータ値

なお、23GHz 帯無線伝送システムのスプリアスレベルについては、システム諸元として干渉検討を容易にするため、次表のとおり、スペクトルマスクを絶対値で規定したモデルを用いて検討を行うこととした。

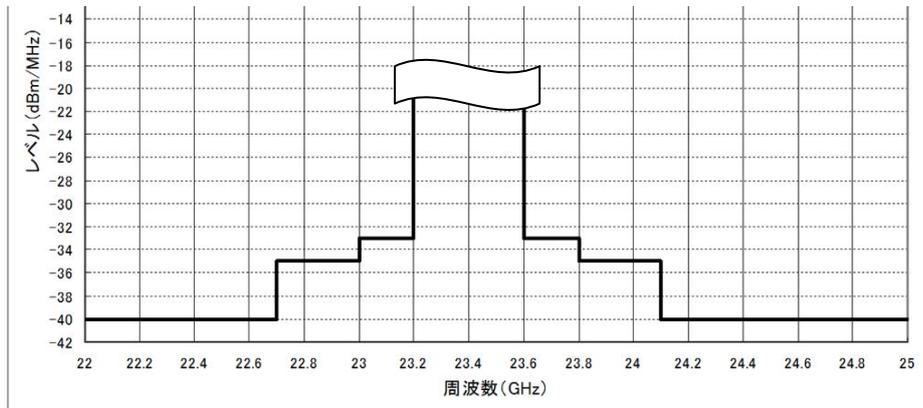


図 12 23GHz帯デジタル無線分配システムの送信スペクトルマスク(絶対値)

一方、無線エントランスシステムの干渉検討用パラメータとしては、現在利用されている標準的なシステムの値を設定することとした。アンテナ指向特性については、ITU-R 勧告 F. 699 を用いることとした。主なパラメータは次のとおり。(参考資料2)

項目	パラメータ値
スプリアス発射強度	-10dBm/MHz 以下
給電損失	0dB
アンテナ利得	40dBi (60cm パラボラアンテナ)
	46dBi (120cm パラボラアンテナ)

図 13 無線エントランスシステムのパラメータ値

3. 2. 2 干渉しきい値について

システム間における干渉検討は、被干渉システムの受信感度を基準として、熱雑音より低い値として干渉しきい値を設定する I/N 基準を用いることが一般的である。また、準ミリ波帯においては、隣接する1次業務間の干渉検討では、I/N=-10dB 程度とすることが一般的であることから、今回の検討においても、I/N=-10dB を満足することを条件とした。

具体的な干渉しきい値は、I/N 基準値、熱雑音電力及び受信機雑音指数から算出し下表のとおりとした。なお、全受信雑音電力は絶対温度及び帯域から算出され、受信機雑音指数はそれぞれのシステムの標準的な値を用いることとした。

	22GHz 帯無線エントランス回線	23GHz 帯無線伝送システム
全受信雑音電力	-113.8 dBm/MHz	-113.8 dBm/MHz
I/N 基準	-10 dB	-10 dB
受信機雑音指標	8 dB	5 dB
干渉しきい値	-115.8 dBm/MHz	-118.8 dBm/MHz

図 14 干渉しきい値の算出

3. 2. 3 干渉検討

最初に、23GHz 帯無線伝送システムから無線エントランスシステムへの干渉について、自由空間伝搬損失と 23GHz 帯無線伝送システムの送信アンテナの指向特性のみを考慮し、干渉しきい値を満足する所要離隔距離を求めてみた。(参考資料3)

この結果、両システムのアンテナが正対した場合には 36km~253kmとかなり所要離隔距離が必要となるため、無線エントランスシステムのアンテナ指向特性についても考慮する必要があることが明らかとなった。そこで、送信アンテナ、受信アンテナの種類や指向特性を変えて、詳細な干渉検討を行い、所要離隔距離を試算した。また、無線エントランスシステムから 23GHz 帯無線伝送システムへの干渉についても、同様に干渉検討を行い、所要離隔距離を試算した。(参考資料4)

3. 2. 4 干渉検討結果

3. 2. 4. 1 固定局に関する干渉検討結果

以上の検討を踏まえ、23GHz 帯無線伝送システムから無線エントランスへの干渉の有無について、次の図のような状況を想定して、干渉検討の定式化を図った。

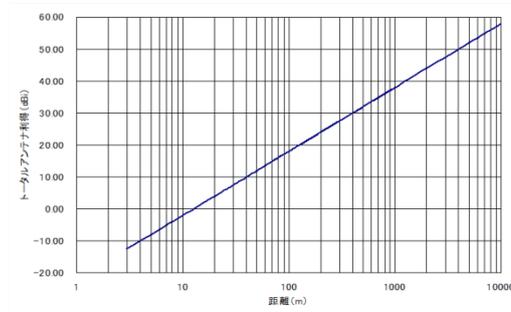
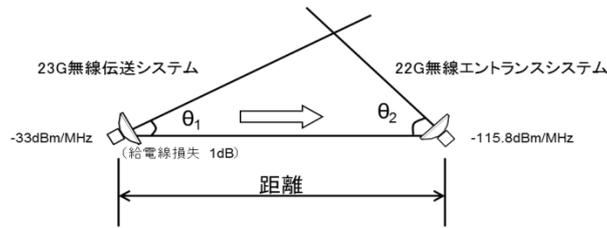


図 15 23G 無線伝送システムから 22G 無線エントランスシステムへ干渉を起こさない条件

ここで、 $G_{23G}(\theta_1)$ は、23GHz帯無線伝送システムの角度 θ_1 方向の送信アンテナ利得、 $G_{22G}(\theta_2)$ は、22GHz帯無線エントランスの角度 θ_2 方向の受信アンテナ利得とすると、干渉を起こさないためには、次の式を満足する必要がある。

$$-33\text{dBm} - 1 + G_{23G}(\theta_1) - \text{自由空間伝搬損失}(@23.2\text{GHz}) + G_{22G}(\theta_2) \leq -115.8[\text{dB}]$$

すなわち、

$$G_{23G}(\theta_1) + G_{22G}(\theta_2) - \text{自由空間伝搬損失}(@23.2\text{GHz}) \leq -81.8[\text{dB}]$$

となる。

ただし、2地点間で、本条件を満たせない場合は、自由空間伝搬損失に加え、山岳や建造物等による遮蔽損失を考慮することができる。

逆に、22GHz帯無線エントランス(与干渉)が23GHz帯無線伝送システム(被干渉)へ干渉を起こさない条件については、次のような状況を想定した。

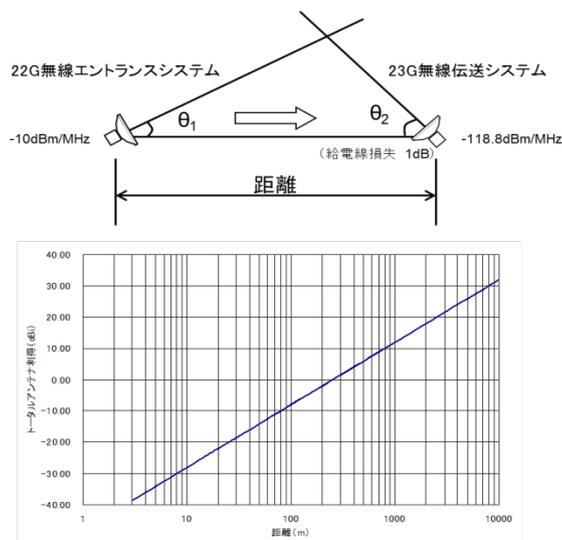


図 16 22G 無線伝送システムから 23G 無線エントランスシステムへ干渉を起こさない条件

ここで、 $G_{22G}(\theta_1)$ は、22GHz帯無線エントランスの角度 θ_1 方向送信アンテナ利得、 $G_{23G}(\theta_2)$ は、23GHz帯無線伝送システムの角度 θ_2 方向の受信アンテナ利得とすると、干渉を起こさないためには、次の式を満足する必要がある。

$$-10\text{dBm} + G_{22G}(\theta_1) - \text{自由空間伝搬損失}(@23.2\text{GHz}) + G_{23G}(\theta_2) - 1 \leq -118.8[\text{dB}]$$

すなわち、

$$G_{22G}(\theta_1) + G_{23G}(\theta_2) - \text{自由空間伝搬損失}(@23.2\text{GHz}) \leq -107.8[\text{dB}]$$

となる。

ただし、2地点間で、本条件を満たせない場合は、自由空間伝搬損失に加え、山岳や建築物等による遮蔽損失を考慮することができる。

3. 2. 4. 2 移動局に関する干渉検討結果

辺地用可搬型システム(広帯域利用及び狭帯域利用)の場合は、地形的に無線エントランスシステムに干渉を与えないことが確実な場所での使用に限定することにより干渉を回避することが可能である。

一方、汎用可搬型システムは、利用地域が限定されてなく、隣接システム等との共用条件を満たすことが困難になる可能性があるため、より厳しいスペクトルマスクを適用することにより干渉を回避する必要がある。

なお、無線エントランスシステムから 23GHz帯無線伝送システムの移動局への干渉については、移動局側で干渉回避策をとる必要がある。そのためには、無線エントランスシステム運用者は、必要に応じて、23GHz帯無線伝送システムに運用者に対して、22GHz帯無線エントランスシステムの無線局諸元情報の提供等の協力を行うことが必要である。

3.3 電波天文との干渉検討

3.3.1 干渉検討に用いるパラメータ

23GHz 帯無線伝送システムの干渉検討用パラメータとしては、無線エントランスシステムとの干渉検討に用いたものと同じパラメータを用いることとした。(参考資料1)

電波天文の観測システムの干渉検討用のパラメータとしては、受信アンテナ利得は0dBiとして計算することとした。

3.3.2 干渉しきい値について

電波天文業務の保護基準は、ITU-R 勧告 RA. 769-2 (参考資料5) に定められていることから、原則としてこの保護基準を用いることとした。具体的には下表のとおり。具体的な検討にあたっては、より厳しい連続波観測の干渉しきい値-191 dBm/MHz を用いることとした。

	スペクトル線観測	連続波観測
周波数	23.7 GHz	23.8 GHz
干渉しきい値	-174 dBm/MHz	-191 dBm/MHz

図 17 電波天文の干渉しきい値

3.3.3 干渉検討の方法

自由空間伝搬損失だけでは、8,000km の離隔距離が必要となり、現実的な距離ではないため、まずは、山岳等による遮蔽損失を考慮することとした。

まず、野辺山電波天文台への干渉検討を行った。2回回折による減衰量を計算することとした。(参考資料6)

つぎに、全局を対象とし、送受信地点は地上 20mとして近隣の3地点における干渉検討を実施した。(参考資料7)

更に、電波天文が指定した観測局について、山岳等による遮蔽損失計算を行った。(参考資料7)

遮蔽損失だけでは、干渉しきい値を満足しない場合は、更に 23GHz 無線伝送システムの送信アンテナの指向特性を考慮し、しきい値を満足する必要がある。

3.3.4 干渉検討結果

3.3.4.1 固定局に関する検討

23GHz帯無線伝送システムから電波天文業務への干渉については、上述の無線エントランスシステムとの共存条件の検討と同様、23GHz帯無線伝送システムの θ_1 方向の送信アンテナ利得を $G_{23G}(\theta_1)$ 、電波天文台の受信アンテナ利得 $G_{天文}(\theta_2)$ (=0dBi) とすると、次の式を満たす必要がある。

$$-33\text{dBm} + G_{23\text{G}}(\theta_1) + G_{\text{天文}}(\theta_2)(=0\text{dBi}) - \text{自由空間伝搬損失}(@23.6\text{GHz}) \leq -191\text{dB}$$

すなわち

$$G_{23\text{G}}(\theta_1) + G_{\text{天文}}(\theta_2)(=0\text{dBi}) - \text{自由空間伝搬損失}(@23.6\text{GHz}) \leq -158\text{dB}$$

となる。

ここで、上記条件を満たせない場合、山岳や建造物等による遮蔽損失を考慮することとする。

3.3.4.2 移動局に関する検討

辺地用可搬型システム(広帯域利用及び狭帯域利用)の場合は、地形的に無線エントランスシステムに干渉を与えないことが確実な場所での使用に限定することにより干渉を回避することとする。

汎用可搬型システムは、利用地域が限定されてなく、隣接システム等との共用条件を満たすことが困難になる可能性があるため、より厳しいスペクトルマスクを適用することにより干渉を回避することとする。

更に、23GHz 帯における観測を実施している電波天文台近傍で使用する場合は、電波天文業務への影響を軽減するために、送信空中線の指向方向に十分留意するとともに、必要に応じて電波天文と事前に調整を行うことにより干渉を回避することとする。

なお、電波天文業務への干渉検討のための簡易マップを作成し、運用にあたっての参考とすることが考えられる。(参考資料8)

第4章 23GHz 帯無線伝送システムの技術的条件

4. 1 一般的条件

4. 1. 1 周波数帯

従来どおり、23GHz 帯(23.2GHz～23.6GHz)とすることが適当である。

4. 1. 2 通信方式

従来どおり、単向通信方式、複信方式又は同報通信方式とすることが適当である。

4. 1. 3 変調方式

従来の方式に追加して、地上デジタルテレビジョン放送で使用されている標準デジタルテレビジョン放送方式の直交周波数分割多重変調(OFDM)及びデジタル有線テレビジョン放送方式の64値直交振幅変調(64QAM)とするのが適当である。また、非再生中継方式に用いるパイロット信号は、無線伝送区間のレベルの安定化と周波数精度の向上に用いるため、無変調とするのが適当である。

4. 1. 4 搬送波の周波数(中心周波数)

有線における伝送が困難な区間における代替的利用であることから、チャンネル配置については、23GHz 帯(23.2GHz～23.6GHz)に収まるようにし、有線放送の伝送帯域を考慮したものとすることが適当である。

なお、辺地用可搬型システム(広帯域利用)は 23.2GHz～23.6GHz、辺地用可搬型システム(狭帯域利用)は 23.28GHz～23.52GHz 及び汎用可搬型システムは 23.35GHz～23.45GHz とする。

4. 1. 5 搬送波の周波数間隔

既存の90MHz 以上770MHz 以下の周波数帯を使用する有線テレビジョン放送施設において、デジタルテレビジョン放送の信号を非再生中継方式で無線伝送することを前提としていることから、有線伝送区間と同様に、隣接する搬送波の周波数間隔を6MHz 以上とするのが適当である。

4. 1. 6 回線品質

有線一般放送の品質に関する技術基準の標準デジタルテレビジョン方式による有線テレビジョン放送等を行う有線放送設備に係る条件である第16条(搬送波等の条件)において規定されている受信者端子の信号品質を満足するものとし、無線伝送区間の回線品質は規定しないものとする。

4. 1. 7 混信保護

23GHz 帯の同一システム間の共用条件は、IN基準でなく、混信保護比を満足することで干渉しないことから、混信保護比は42dB以上とする。

4. 1. 8 電波防護指針への適合

電波法施行規則第21条の3では、電波のエネルギー量と生体への作用との関係が定量的に明らかにされており、これに基づき、システム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諸元の設定に配慮する必要がある。

下図に示す電波防護指針の基準値に照らした適合性について参考資料 8 のとおり検討を行ったところ、送信アンテナと離隔距離を一定以上とれば、電波防護指針を満たすことができる。必要な離隔距離をとれない場合は送信アンテナの指向特性を考慮、もしくは人が立ち入れないよう防護柵を設けるなどの適切な措置を加えることとする。

周波数	電界強度の実効値 (V/m)	磁界強度の実効値 (A/m)	電力束密度 (mW/cm ²)
1.5GHz ~ 300GHz	61.4	0.163	1

図 18 電磁界強度(平均時間6分間)の基準値(電波法施行規則別表第2号の3の2) 抜粋

4. 1. 9 安全・信頼性基準

情報通信審議会放送システム委員会が平成23年5月17日にとりまとめた「地上デジタルテレビジョン放送等の安全・信頼性に関する技術的条件」の報告書の中で、「有線放送設備において、稀に、伝送路設備の一部に無線設備が用いられていることがあるが、これらの無線設備については、有線における伝送が困難な区間における代替的利用であることなど、各区間の特殊事例を勘案しつつ、可能な範囲で有線の伝送路設備等に準じた措置を行うことが望ましい。」と記載されている。

これを受けて、安全・信頼性確保のための各措置については各々設置条件を考慮し適切な措置を行うこととする。特に、その利用形態から複数経路の設置が困難であることが考えられるため、予備機器等の措置においては同軸ケーブルの安全・信頼性基準上の取り扱いと同等に考えることが適当である。

4.2 無線設備の技術的条件

4.2.1 送信装置

4.2.1.1 送信周波数の許容偏差

従来どおり、 3×10^{-4} 以下とすることが適当である。

4.2.1.2 占有周波数帯幅の許容値

4.2.1.2.1 標準デジタルテレビジョン放送方式

地上デジタル放送の標準デジタルテレビジョン放送方式と同様として5.7MHz とすることが適当である。

4.2.1.2.2 デジタル有線テレビジョン放送方式

デジタル有線テレビジョン放送方式の64QAM (ITU-T J.83 Annex C)では、シンボルレート 5.274Mbps、ロールオフ率 13%であり、スペクトル帯域幅は 5.95962MHz となる。したがって、スペクトル帯域幅を含む最大値として6MHz とすることが適当である。

4.2.1.3 空中線電力

従来どおり、1W以下とすることが適当である。なお、辺地用可搬型システム(広帯域利用)及び辺地用可搬型システム(狭帯域利用)は5mW以下、汎用可搬型システムは250mW以下とする。

4.2.1.4 空中線電力の許容偏差

現行の無線設備規則のとおり、 $-50\% \sim +20\%$ とするのが適当である。

4.2.1.5 送信スペクトルマスク

これまでの実現できている最新の技術動向を考慮し、検討した結果、以下のようなマスクを規定することが適当である。

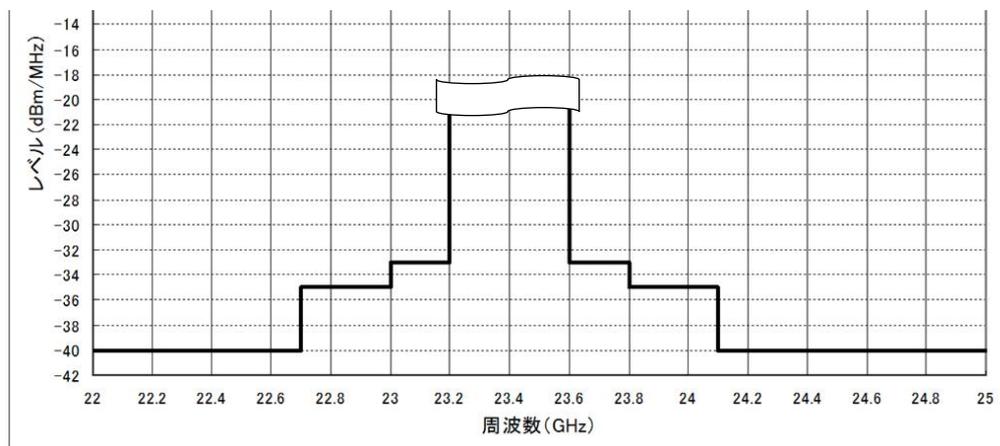


図 19 23GHz帯デジタル無線分配システムの送信スペクトルマスク(絶対値)

4. 2. 1. 6 不要発射の強度の許容値

現行の無線設備規則を参考とし、帯域外領域における不要発射の強度の許容値は $100\mu\text{W}$ 以下(参照帯域幅は 1MHz)、スプリアス領域における不要発射の強度の許容値は $50\mu\text{W}$ 以下とする。なお、現行の無線設備規則においてスプリアス発射の強度は無変調時での強度を規定しているが、デジタル方式である伝送信号を無変調にすることは機器コスト上適切ではないため、スプリアス発射を規定せず不要発射の強度の許容値のみ規定することとする。

4. 2. 2 受信装置

副次的に発する電波等の限度は、他の無線設備への影響を考慮し、現行の規程と同様に、 4nW 以下とすることが適当である。

4. 2. 3 空中線系

4. 2. 3. 1 対向型空中線

直径 30センチメートル 以上のパラボラアンテナと同等以上の利得又は指向特性を有するものであること。なお、辺地用可搬型システム(広帯域利用)及び辺地用可搬型システム(狭帯域利用)はパラボラアンテナ(直径 $10\text{cm}\sim 30\text{cm}$)とし、汎用可搬型システムはパラボラアンテナ(直径 $30\text{cm}\sim 60\text{cm}$)又はセクターアンテナとする。

4. 2. 3. 2 多方向向け空中線

サービスエリアに応じた空中線の指向特性及び利得を有するものであること。

4. 3 隣接システムとの共用条件

4. 3. 1 無線エントランス回線との共用条件

無線エントランス回線との共用条件は、「3. 2 無線エントランスシステムとの干渉検討」のとおり。

4. 3. 2 電波天文との共用条件

電波天文との共用条件は、「3. 3 電波天文との干渉検討」のとおり。

4. 3 測定法

国内で定められた測定法に準じて、次のとおりとすることが適当である。

4. 4. 1 周波数の偏差

標準信号発生器からUHF帯の変調信号を入力することを前提にしているが、同軸ケーブル以外に、光インタフェースの場合はE/O変換器を準備し、E/O変換器を含めた特性を評価する。

標準信号発生器から無変調搬送波を送信機に加え、送信出力を周波数計で測定する。ただし、無変調にできない場合は、特定の変調状態とし波形解析器等を用いて測定することができる。なお、波形解析器の測定周波数範囲を超える場合は、ミキサ等を用いて測定する。

ただし、AFCパイロット信号については、標準信号発生器から無変調搬送波を送信機に加え、送信出力を周波数計で測定する。

4. 4. 2 占有周波数帯域幅

標準信号発生器から通常の変調波を送信機に加え、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。

4. 2. 3 空中線電力

標準信号発生器から通常の変調波を送信機に加え、送信出力が最大となるまで入力信号レベルを加えた状態で、電力計を用いて平均電力(バースト波にあってはバースト内平均電力)を測定する。

なお、AFCパイロット信号については、標準信号発生器から通常の変調波を送信機に加え、送信出力が最大となるまで入力信号レベルを加えた状態で、電力計を用いて平均電力を測定する。

標準信号発生器から、送信出力が最大となるまで入力信号レベルを加えた状態としているが、一定の電力で送信を停止する機能がある場合は、送信を停止する直前の入力信号レベルとする。

4. 2. 4 送信スペクトルマスク

標準信号発生器から通常の変調波を送信機に加え、送信出力が最大となるまで入力信号レベルを加えた状態で、スペクトルアナライザを用いて平均電力(バースト波にあってはバースト内平均電力)を測定する。なお、スペクトルアナライザの分解能帯域幅は、技術的条件で定められた参照帯域幅に設定すること。ただし、搬送波周波数の近傍において分解能帯域幅の特性によって測定値への影響がある場合は、分解能帯域幅を狭くして測定しても良く、この場合、不要発射の強度は、分解能帯域幅ごとの測定結果を参照帯域幅に渡り積分した値とする。

4. 2. 5 スプリアス領域における不要発射の強度

標準信号発生器から通常の変調波を送信機に加え、送信出力が最大となるまで入力信号レ

ベルを加えた状態で、スペクトルアナライザを用いて平均電力（バースト波にあってはバースト内平均電力）を測定する。なお、スペクトルアナライザの分解能帯域幅は、技術的条件で定められた参照帯域幅に設定すること。ただし、搬送波周波数の近傍において分解能帯域幅の特性によって測定値への影響がある場合は、分解能帯域幅を狭くして測定しても良く、この場合、不要発射の強度は、分解能帯域幅ごとの測定結果を参照帯域幅に渡り積分した値とする。

なお、複数チャンネルを同時に送信する場合にあっては、送信する全チャンネルにおいて通常の変調波及びAFCパイロット信号を加えた信号を送信機に加えた状態で測定する。測定周波数範囲は、30MHzから2次高調波までとする。なお、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倍からとすることができるほか、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。測定用端子が空中線端子と異なる場合は、空中線端子と測定用端子の間の損失等を補正する。

4. 2. 6 帯域外領域における不要発射の強度

標準信号発生器から通常の変調波を送信機に加え、送信出力が最大となるまで入力信号レベルを加えた状態で、スペクトルアナライザを用いて平均電力（バースト波にあってはバースト内平均電力）を測定する。なお、スペクトルアナライザの分解能帯域幅は、技術的条件で定められた参照帯域幅に設定すること。ただし、搬送波周波数の近傍において分解能帯域幅の特性によって測定値への影響がある場合は、分解能帯域幅を狭くして測定しても良く、この場合、不要発射の強度は、分解能帯域幅ごとの測定結果を参照帯域幅に渡り積分した値とする。

なお、複数チャンネルを同時に送信する場合にあっては、送信する全チャンネルにおいて通常の変調波及びAFCパイロット信号を加えた信号を送信機に加えた状態で測定する。測定周波数範囲は、30MHzから2次高調波までとする。なお、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倍からとすることができるほか、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。測定用端子が空中線端子と異なる場合は、空中線端子と測定用端子の間の損失等を補正する。

4. 2. 7 受信装置の副次的に発射する電波等の強度

受信空中線端子において、スペクトルアナライザ等を用いて測定すること。送信空中線と共用する場合は、受信状態にして測定すること。なお、副次的に発する電波等の限度の測定周波数範囲は、30MHzから2次高調波までとする。

なお、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倍からとすることができるほか、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。測定用端子が空中線端子と異なる場合は、空中線端子と測定用端子の間の損失等を補正する。ただし、受信装置がない場合は、測定を行わない。

第5章 今後の検討課題

本報告書では、地上デジタル放送への完全移行に伴い、デジタル難視地域における伝送手段、災害発生時におけるケーブルテレビの応急復旧の伝送手段の充実のため、23GHz 帯無線伝送システムの技術的条件をまとめたが、双方向機能と可搬型システム(移動局)の平常時の利用については、引き続き検討が必要である。

双方向機能については、多くのケーブルテレビ事業者がインターネット接続サービスを行っている現状を踏まえると、必要不可欠であると言える。しかしながら、23GHz 帯で利用可能な 400MHz 幅の帯域を上り下りに分割すると、テレビ信号の伝送 CH 数が減少すること等の課題があることから、21GHz 帯(21.2～21.4GHz)などの他の周波数を上り回線に用いることなどが考えられる。ただし、DOCSIS 方式(ケーブルテレビインターネット)の信号特性や伝送に必要な変調方式(256QAM)についてフィールド検証実験を行うなど、更に検討を行う必要がある。

可搬型システム(移動局)の平常時の利用については、災害発生時だけでなく、日常的な平常時の利用についてより具体的な利用イメージに基づく所要要件の設定を行った上で、事前運用調整窓口の設置等の隣接システム等との干渉回避策の検討が必要である。

答 申 案

諮問第2024号

「ケーブルテレビシステムの技術的条件」

のうち

「23GHz 帯無線伝送システムの技術的条件」

諮問第2024号「ケーブルテレビシステムの技術的条件」のうち「23GHz 帯無線伝送システムの技術的条件」については、次のとおりとすることが適当である。

1. 一般的条件

(1) 周波数帯

23GHz 帯(23.2GHz～23.6GHz)とする。

(2) 通信方式

単向通信方式、複信方式又は同報通信方式とする。

(3) 変調方式

直交周波数分割多重変調(OFDM)及び64値直交振幅変調(64QAM)とする。なお、パイロット信号は、無変調とする。

(5) 搬送波の周波数(中心周波数)

チャンネル配置については、23GHz 帯(23.2GHz～23.6GHz)に収まるようにし、有線放送の伝送を考慮したものとする。

(6) 搬送波の周波数間隔

隣接する搬送波の周波数間隔を6MHz 以上とする。

(7) 混信保護

混信保護比は、42dB 以上とする。

(8) 電波防護指針

電波防護指針に合致するよう適切な措置を行うこと。

(9) 安全・信頼性基準

可能な範囲で有線の伝送路設備等に準じた措置を行うこと。

2. 無線設備の技術的条件

(1) 送信装置

ア 送信周波数の許容偏差

3×10^{-4} 以下とする。

イ 占有周波数帯幅の許容値

標準デジタルテレビジョン放送方式は5.7MHz とし、デジタル有線テレビジョン放送方式は6MHz とする。

ウ 空中線電力
1W以下とする。

エ 空中線電力の許容偏差
-50%~+20%とする。

オ 送信スペクトルマスク
下図のとおりとする。

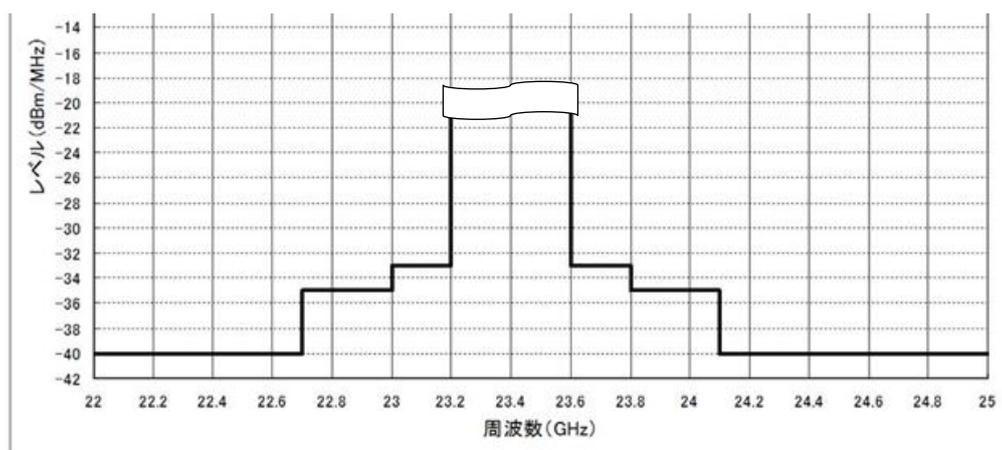


図 20 23GHz帯デジタル無線分配システムの送信スペクトルマスク(絶対値)

カ 不要発射の強度の許容値

スプリアス領域における不要発射の強度の許容値は $50 \mu W$ 以下、帯域外領域における不要発射の強度の許容値は $100 \mu W$ 以下として参照帯域幅を1MHzとする。

(2) 受信装置

副次的に発する電波等の限度は、 $4 nW$ 以下とする。

(3) 空中線系

ア 対向型空中線

直径30センチメートル以上のパラボラアンテナと同等以上の利得又は指向特性を有するものとする。

イ 多方向向け空中線

サービスエリアに応じた空中線の利得及び指向特性を有するものとする。

3. 隣接システムとの共用条件

(1) 無線エントランス回線との共用条件

無線エントランス回線との共用条件は、23GHz帯無線伝送システムの角度 θ_1 方向の送信アンテナ利得を $G_{23G}(\theta_1)$ 、22GHz帯無線エントランスの角度 θ_2 方向の受信アンテナ利得を $G_{22G}(\theta_2)$ とすると、干渉を起こさないためには、次の式を満足する必要がある。

$$-33\text{dBm} - 1 + G_{23G}(\theta_1) - \text{自由空間伝搬損失}(@23.2\text{GHz}) + G_{22G}(\theta_2) \leq -115.8[\text{dB}]$$

すなわち、

$$G_{23G}(\theta_1) + G_{22G}(\theta_2) - \text{自由空間伝搬損失}(@23.2\text{GHz}) \leq -81.8[\text{dB}]$$

となる。

ただし、2地点間で、本条件を満たせない場合は、自由空間伝搬損失に加え、山岳や建造物等による遮蔽損失を考慮することができる。

逆に、22GHz帯無線エントランス(与干渉)が23GHz帯無線伝送システム(被干渉)へ干渉を起こさない条件については、22GHz帯無線エントランスの角度 θ_1 方向送信アンテナ利得を $G_{22G}(\theta_1)$ 、23GHz帯無線伝送システムの角度 θ_2 方向の受信アンテナ利得を $G_{23G}(\theta_2)$ とすると、干渉を起こさないためには、次の式を満足する必要がある

$$-10\text{dBm} + G_{22G}(\theta_1) - \text{自由空間伝搬損失}(@23.2\text{GHz}) + G_{23G}(\theta_2) - 1 \leq -118.8[\text{dB}]$$

すなわち、

$$G_{22G}(\theta_1) + G_{23G}(\theta_2) - \text{自由空間伝搬損失}(@23.2\text{GHz}) \leq -107.8[\text{dB}]$$

となる。

ただし、2地点間で、本条件を満たせない場合は、自由空間伝搬損失に加え、山岳や建造物等による遮蔽損失を考慮することができる。

辺地用可搬型システム(広帯域利用及び狭帯域利用)の場合は、地形的に無線エントランスシステムに干渉を与えないことが確実な場所での使用に限定することにより干渉を回避することが可能である。

一方、汎用可搬型システムは、利用地域が限定されてなく、隣接システム等との共用条件を満たすことが困難になる可能性があるため、より厳しいスペクトルマスクを適用することにより干渉を回避する必要がある。

なお、無線エントランスシステムから23GHz帯無線伝送システムの移動局への干渉については、移動局側で干渉回避策をとる必要がある。そのためには、無線エントランスシステム運用者は、必要に応じて、23GHz帯無線伝送システムに運用者に対して、22GHz帯無線エントランスシステムの無線局諸元情報の提供等の協力を行うことが必要である。

(2) 電波天文との共用条件

電波天文との共用条件は、23GHz帯無線伝送システムの θ_1 方向の送信アンテナ利得を $G_{23G}(\theta_1)$ 、電波天文台の受信アンテナ利得 $G_{天文}(\theta_2)$ (=0dBi)とすると、次の式を満たす必要がある。

$$-33\text{dBm} + G_{23G}(\theta_1) + G_{天文}(\theta_2)(=0\text{dBi}) - \text{自由空間伝搬損失}(@23.6\text{GHz}) \leq -191\text{dB}$$

すなわち

$$G_{23G}(\theta_1) + G_{天文}(\theta_2)(=0\text{dBi}) - \text{自由空間伝搬損失}(@23.6\text{GHz}) \leq -158\text{dB}$$

ここで、上記条件を満たせない場合、山岳や建造物等による遮蔽損失を考慮することとする。

辺地用可搬型システム(広帯域利用及び狭帯域利用)の場合は、地形的に無線エントランスシステムに干渉を与えないことが確実な場所での使用に限定することにより干渉を回避することとする。

汎用可搬型システムは、利用地域が限定されてなく、隣接システム等との共用条件を満たすことが困難になる可能性があるため、より厳しいスペクトルマスクを適用することにより干渉を回避することとする。

更に、23GHz帯における観測を実施している電波天文台近傍で使用する場合は、電波天文業務への影響を軽減するために、送信空中線の指向方向に十分留意するとともに、必要に応じて電波天文と事前に調整を行うことにより干渉を回避することとする。

4. 測定法

(1) 周波数の偏差

標準信号発生器からUHF帯の変調信号を入力することを前提とし、同軸ケーブル以外に、光インタフェースの場合はE/O変換器を準備し、E/O変換器を含めた特性を評価する。

標準信号発生器から無変調搬送波を送信機に加え、送信出力を周波数計で測定する。ただし、無変調にできない場合は、特定の変調状態とし波形解析器等を用いて測定することができる。なお、波形解析器の測定周波数範囲を超える場合は、ミキサ等を用いて測定する。

ただし、AFCパイロット信号については、標準信号発生器から無変調搬送波を送信機に加え、送信出力を周波数計で測定する。

(2) 占有周波数帯域幅

標準信号発生器から通常の変調波を送信機に加え、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。

(3) 空中線電力

標準信号発生器から通常の変調波を送信機に加え、送信出力が最大となるまで入力信号レ

ベルを加えた状態で、電力計を用いて平均電力(バースト波にあってはバースト内平均電力)を測定する。

なお、AFCパイロット信号については、標準信号発生器から通常の変調波を送信機に加え、送信出力が最大となるまで入力信号レベルを加えた状態で、電力計を用いて平均電力を測定する。

標準信号発生器から、送信出力が最大となるまで入力信号レベルを加えた状態としているが、一定の電力で送信を停止する機能がある場合は、送信を停止する直前の入力信号レベルとする。

(5) 送信スペクトルマスク

標準信号発生器から通常の変調波を送信機に加え、送信出力が最大となるまで入力信号レベルを加えた状態で、スペクトルアナライザを用いて平均電力(バースト波にあってはバースト内平均電力)を測定する。なお、スペクトルアナライザの分解能帯域幅は、技術的条件で定められた参照帯域幅に設定すること。ただし、搬送波周波数の近傍において分解能帯域幅の特性によって測定値への影響がある場合は、分解能帯域幅を狭くして測定しても良く、この場合、不要発射の強度は、分解能帯域幅ごとの測定結果を参照帯域幅に渡り積分した値とする。

(4) スプリアス領域における不要発射の強度

標準信号発生器から通常の変調波を送信機に加え、送信出力が最大となるまで入力信号レベルを加えた状態で、スペクトルアナライザを用いて平均電力(バースト波にあってはバースト内平均電力)を測定する。なお、スペクトルアナライザの分解能帯域幅は、技術的条件で定められた参照帯域幅に設定すること。ただし、搬送波周波数の近傍において分解能帯域幅の特性によって測定値への影響がある場合は、分解能帯域幅を狭くして測定しても良く、この場合、不要発射の強度は、分解能帯域幅ごとの測定結果を参照帯域幅に渡り積分した値とする。

なお、複数チャンネルを中継する場合にあっては、中継する全チャンネルにおいて通常の変調波及びAFCパイロット信号を加えた信号を送信機に加えた状態で測定する。測定周波数範囲は、30MHzから2次高調波までとする。なお、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倍からとすることができるほか、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。測定用端子が空中線端子と異なる場合は、空中線端子と測定用端子の間の損失等を補正する。

(4) 帯域外領域における不要発射の強度

標準信号発生器から通常の変調波を送信機に加え、送信出力が最大となるまで入力信号レベルを加えた状態で、スペクトルアナライザを用いて平均電力(バースト波にあってはバースト内平均電力)を測定する。なお、スペクトルアナライザの分解能帯域幅は、技術的条件で定められた参照帯域幅に設定すること。ただし、搬送波周波数の近傍において分解能帯域幅の特性によって測定値への影響がある場合は、分解能帯域幅を狭くして測定しても良く、この場合、不要発射の強度は、分解能帯域幅ごとの測定結果を参照帯域幅に渡り積分した値とする。

なお、複数チャンネルを中継する場合にあっては、中継する全チャンネルにおいて通常の変調波及びAFCパイロット信号を加えた信号を送信機に加えた状態で測定する。測定周波数範囲は、30MHzから2次高調波までとする。なお、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倍からとすることができるほか、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。測定用端子が空中線端子と異なる場合は、空中線端子と測定用端子の間の損失等を補正する。

(6) 受信装置の副次的に発射する電波等の強度

受信空中線端子において、スペクトルアナライザ等を用いて測定すること。送信空中線と共用する場合は、受信状態にして測定すること。なお、副次的に発する電波等の限度の測定周波数範囲は、30MHzから2次高調波までとする。

なお、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倍からとすることができるほか、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。測定用端子が空中線端子と異なる場合は、空中線端子と測定用端子の間の損失等を補正する。ただし、受信装置がない場合は、測定を行わない。

参 考 資 料

- 参考資料1 23GHz 帯無線伝送システムの干渉検討用パラメータ
- 参考資料2 無線エントランスシステムの干渉検討用パラメータ
- 参考資料3 23GHz 帯無線分配システムからエントランス回線への干渉検討結果
- 参考資料4 干渉検討用 22G 無線エントランス アンテナ指向特性
- 参考資料5 勧告 ITU-R RA769-2
- 参考資料6 野辺山電波天文台への干渉検討結果
- 参考資料7 電波天文観測局との干渉検討結果
- 参考資料8 電波防護指針に関する検討
- 参考資料9 23GHz 無線伝送システム間の共用条件
- 参考資料 10 干渉回避マップ

23GHz帯無線伝送システムの干渉検討用パラメータ

	標準値	備考
周波数	23.2～23.6GHz	
空中線電力	1W	
送信アンテナ利得	23dBi	セクターアンテナ
	34.5dBi	Φ30cmパラボラ相当
	40dBi	Φ60cmパラボラ相当
給電線損失(送信)	1dB	
受信アンテナ利得	34.6dBi	30φ
給電線損失(受信)	1dB	
受信機雑音指数	5dB	
干渉許容値	-118.8dBm/MHz	I/N = -10dB

無線エントランスの干渉検討用パラメータ

	集約局側	基地局設置ビル側	備考
無線周波数	22.4 ~ 22.6GHz (低群) , 23.0 ~ 23.2GHz (高群)		
送信出力	27dBm		
占有周波数帯域幅	36.5MHz以下 (64QAM)		
変調方式	64QAM		
アンテナ利得	46dBi (120cm)	40dBi (60cm)	送受共用アンテナ
アンテナ指向特性	ITU-R F.699 (Single entry) ITU-R F.1245 (Aggregate)		
アンテナ地上高	50m	20m	
給電損失	0dB		冗長構成なし 無線装置とアンテナは直結
雑音指数	8dB		
不要発射の許容値	帯域外領域 : -10dBm (/10kHz~/MHz) スプリアス領域 : -13dBm/MHz		
許容干渉レベル	帯域内干渉 : -115.8dBm/MHz (I/N=-10dB) 帯域外干渉 : -40dBm		

(注) 本表のスペックは標準的なものであり、被干渉システムとして最悪ケースを想定したものではない。

23GHz 無線分配システムからエントランス回線への干渉検討

1 エントランス回線の諸元は以下のとおりとした。

受信空中線利得：46.0dBi

スプリアス許容干渉レベル：-115.8dB/MHz

感度抑圧許容干渉レベル：-40dBm

2 23GHz 帯デジタル無線分配システムの諸元は以下のとおりとした。

送信空中線電力：9.2dBm/ch (1.7dBm/MHz)

スプリアス発射強度：-33.0dBm/MHz 以下

送信給電線損失：1dB

送信アンテナ：

90度セクターアンテナ

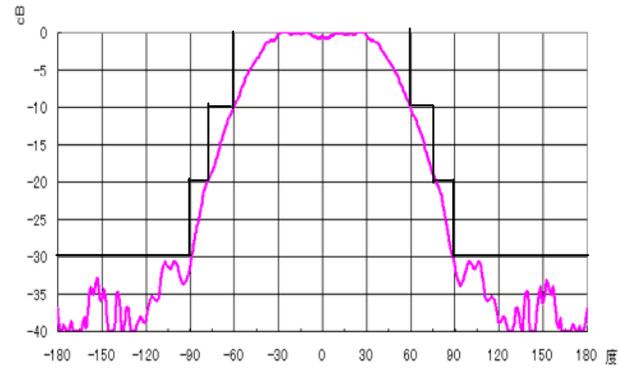
主方向からの角度 (度)	方向利得 (dBi)	備考
0~±45	23	主方向
±60	13	
±75	5	
±90~±180	-7	

30cm パラボラアンテナ

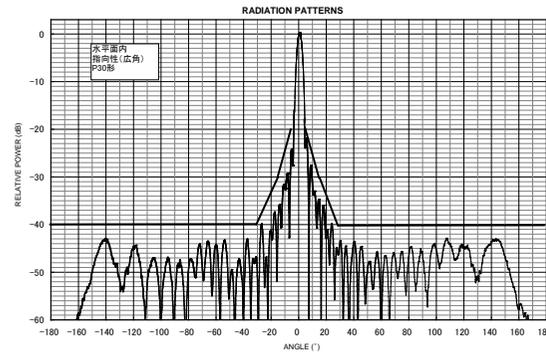
主方向からの角度 (度)	方向利得 (dBi)	備考
0	34.5	主方向
±5	16.5	
±15	4.5	
±30~±180	-5.5	

60cm パラボラ (ITU-R F.699 特性)

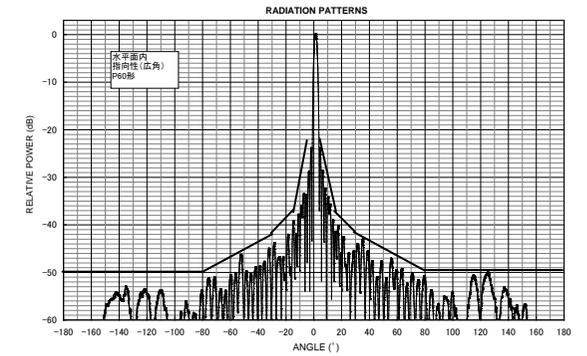
主方向からの角度 (度)	方向利得 (dBi)	備考
0	40	主方向
±5	18	
±15	3	
±30	-2	
±80~±180	-10	



セクターアンテナ特性例



30cm パラボラアンテナ特性例



60cm パラボラアンテナ特性例

3 23GHz 帯デジタル無線分配システム送信アンテナによる離隔距離の検討

周波数：23200MHz

90度セクターアンテナ

主方向からの角度（度）	離隔距離（km）		備考
	スプリアス干渉	感度抑圧干渉	
0～±45	35.7	0.745	主方向
±60	11.3	0.236	
±75	4.5	0.094	
±90～±180	1.1	0.024	

30cmパラボラアンテナ

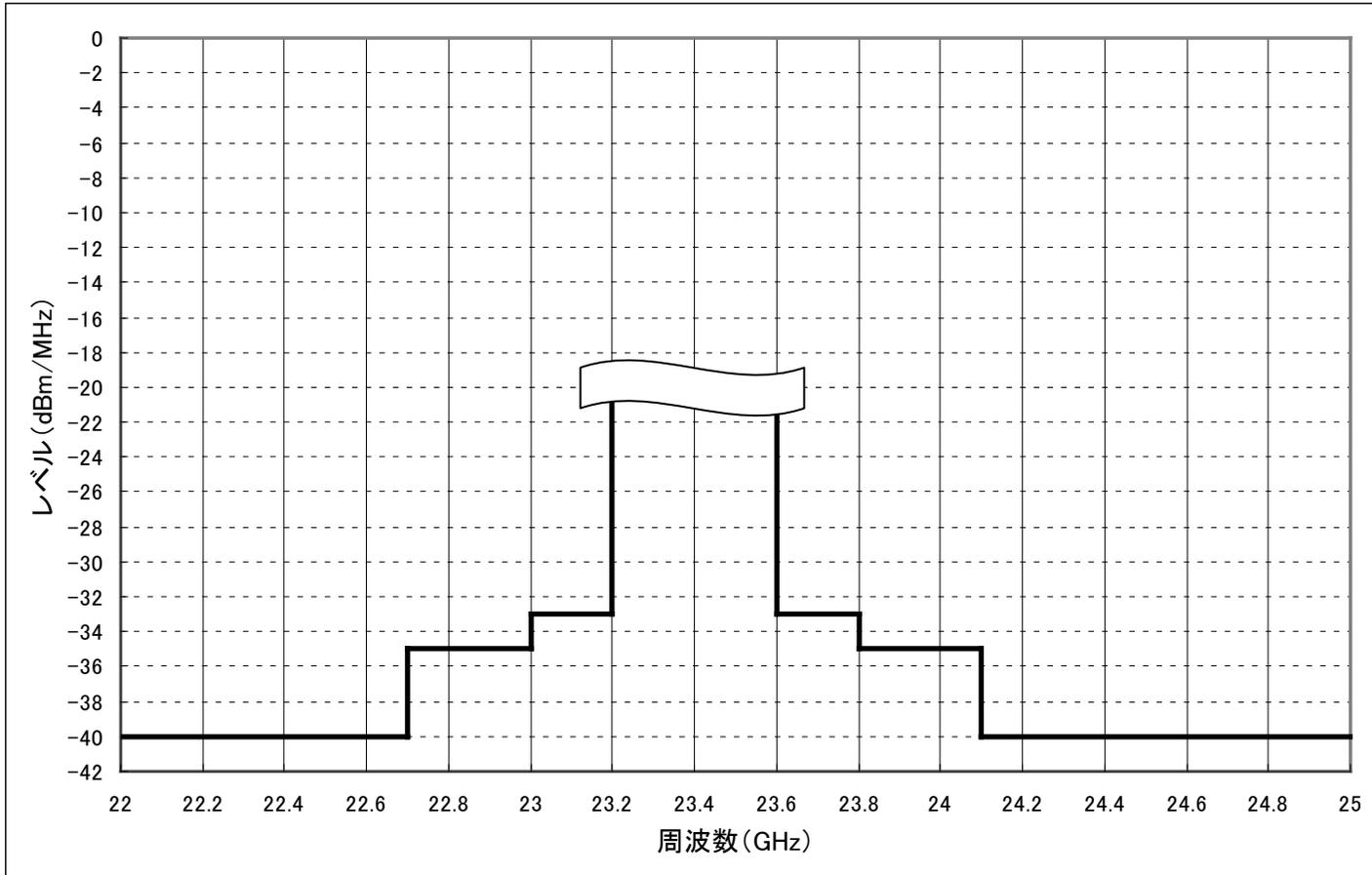
主方向からの角度（度）	離隔距離（km）		備考
	スプリアス干渉	感度抑圧干渉	
0	134.1	2.802	主方向
±5	16.9	0.353	
±15	4.2	0.089	
±30～±180	1.3	0.028	

60cmパラボラアンテナ

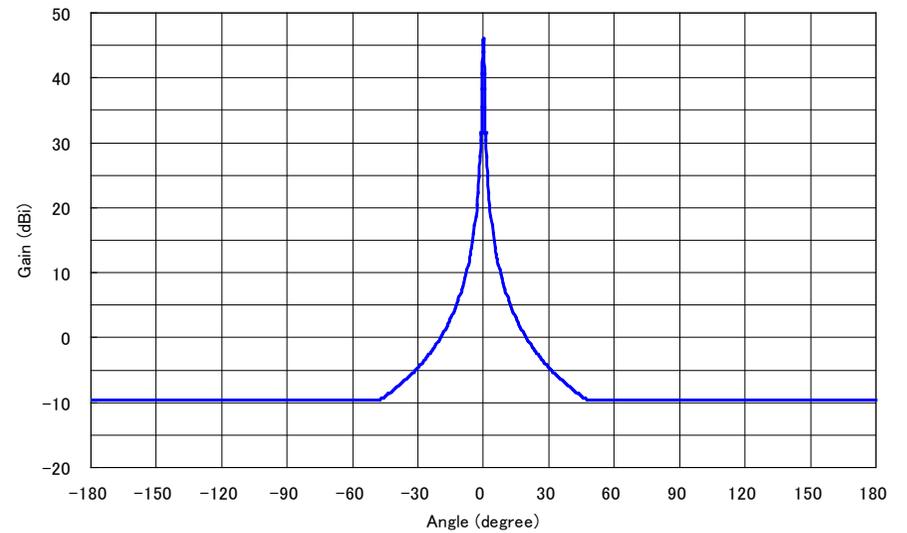
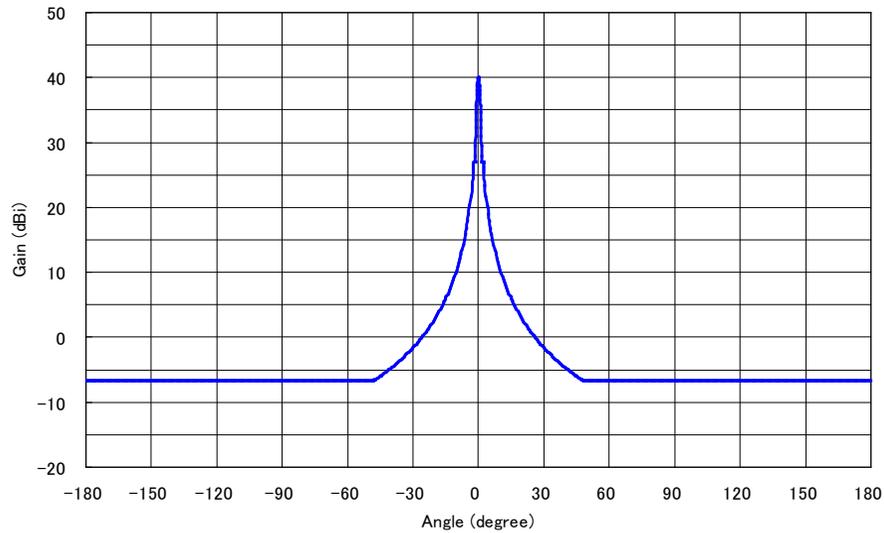
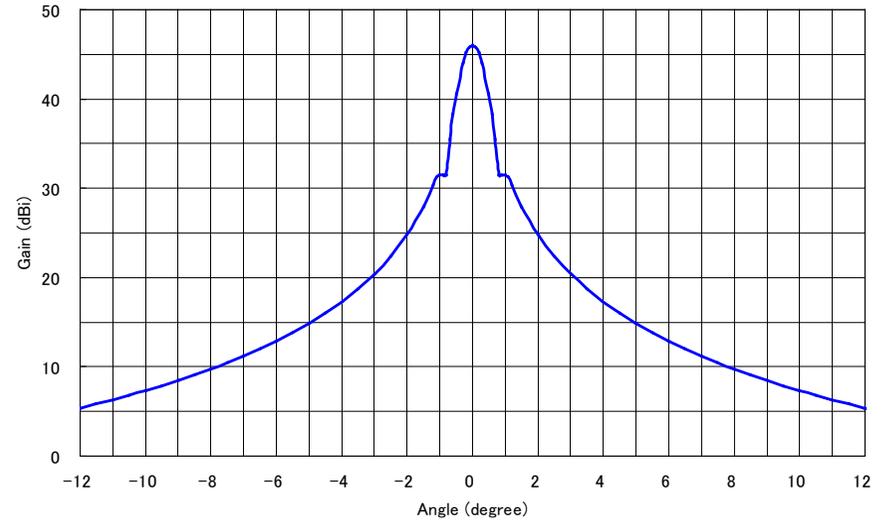
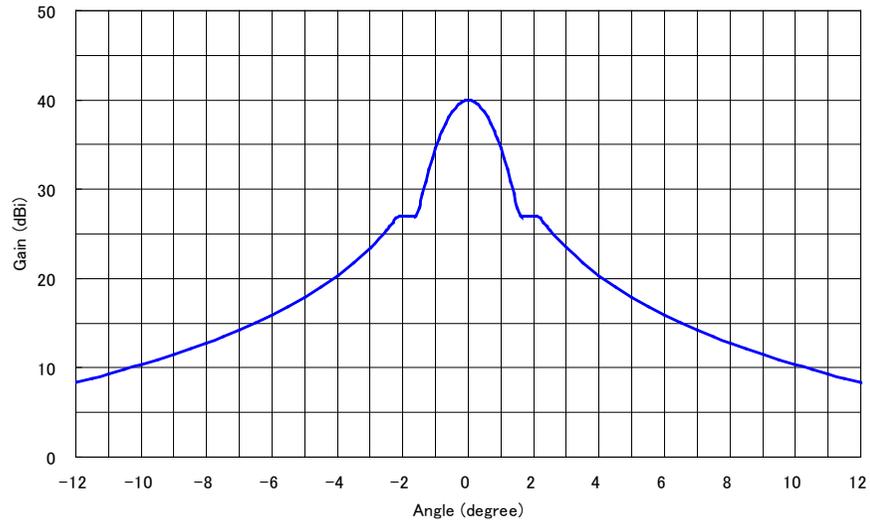
主方向からの角度（度）	離隔距離（km）		備考
	スプリアス干渉	感度抑圧干渉	
0	252.6	5.277	主方向
±5	20.1	0.419	
±15	3.6	0.075	
±30	2.0	0.042	
±50～±180	0.8	0.017	

23GHz 帯デジタル無線分配システムの送信スペクトルマスク (案)

絶対値規定



干渉検討用 22G無線エントランス アンテナ指向特性 (ITU-R F.699 計算値)



ϕ 60cm @23.2GHz Gmax=40.0dBi

ϕ 120cm @23.2GHz Gmax=46.0dBi

23G無線伝送システムから22G無線エントランスシステムへの干渉検討①

23G無線伝送システム

22G無線エントランスシステム

セクター (0~±45°)

TX出力レベル	給電線損失	アンテナ利得	レベルA
-33.0dBm	1.0dB	23.0dBi	-11.0dBm

35.7km

自由空間損失
150.8dB
23.2GHz

120cm (±0°)

レベルB	アンテナ利得	受信レベル
-161.8dBm	46.0dBi	-115.8dBm

許容干渉レベル:-115.8dBm

セクター (0~±45°)

TX出力レベル	給電線損失	アンテナ利得	レベルA
-33.0dBm	1.0dB	23.0dBi	-11.0dBm

250m

自由空間損失
107.7dB
23.2GHz

120cm (±15°)

レベルB	アンテナ利得	受信レベル
-118.7dBm	2.9dBi	-115.8dBm

許容干渉レベル:-115.8dBm

セクター (0~±45°)

TX出力レベル	給電線損失	アンテナ利得	レベルA
-33.0dBm	1.0dB	23.0dBi	-11.0dBm

105m

自由空間損失
100.2dB
23.2GHz

120cm (±30°)

レベルB	アンテナ利得	受信レベル
-111.2dBm	-4.6dBi	-115.8dBm

許容干渉レベル:-115.8dBm

セクター (0~±45°)

TX出力レベル	給電線損失	アンテナ利得	レベルA
-33.0dBm	1.0dB	23.0dBi	-11.0dBm

59m

自由空間損失
95.1dB
23.2GHz

120cm (±48° ~ ±180°)

レベルB	アンテナ利得	受信レベル
-106.1dBm	-9.7dBi	-115.8dBm

許容干渉レベル:-115.8dBm

23G無線伝送システム

22G無線エントランスシステム

セクター (0~±45°)

TX出力レベル	給電線損失	アンテナ利得	レベルA
-33.0dBm	1.0dB	23.0dBi	-11.0dBm

17.9km

自由空間損失
144.8dB
23.2GHz

60cm (±0°)

レベルB	アンテナ利得	受信レベル
-155.8dBm	40.0dBi	-115.8dBm

許容干渉レベル:-115.8dBm

セクター (0~±45°)

TX出力レベル	給電線損失	アンテナ利得	レベルA
-33.0dBm	1.0dB	23.0dBi	-11.0dBm

353m

自由空間損失
110.7dB
23.2GHz

60cm (±15°)

レベルB	アンテナ利得	受信レベル
-121.7dBm	5.9dBi	-115.8dBm

許容干渉レベル:-115.8dBm

セクター (0~±45°)

TX出力レベル	給電線損失	アンテナ利得	レベルA
-33.0dBm	1.0dB	23.0dBi	-11.0dBm

149m

自由空間損失
103.2dB
23.2GHz

60cm (±30°)

レベルB	アンテナ利得	受信レベル
-114.2dBm	-1.6dBi	-115.8dBm

許容干渉レベル:-115.8dBm

セクター (0~±45°)

TX出力レベル	給電線損失	アンテナ利得	レベルA
-33.0dBm	1.0dB	23.0dBi	-11.0dBm

83m

自由空間損失
98.1dB
23.2GHz

60cm (±48° ~ ±180°)

レベルB	アンテナ利得	受信レベル
-109.1dBm	-6.7dBi	-115.8dBm

許容干渉レベル:-115.8dBm

23G無線伝送システムから22G無線エントランスシステムへの干渉検討②

23G無線伝送システム

22G無線エントランスシステム

30cm (0°)			
TX出力レベル	給電線損失	アンテナ利得	レベルA
-33.0dBm	1.0dB	34.5dBi	.5dBm

134.1km	
自由空間損失	23.2GHz
162.3dB	

120cm (±0°)		
レベルB	アンテナ利得	受信レベル
-161.8dBm	46.0dBi	-115.8dBm
許容干渉レベル:-115.8dBm		

30cm (0°)			
TX出力レベル	給電線損失	アンテナ利得	レベルA
-33.0dBm	1.0dB	34.5dBi	.5dBm

939m	
自由空間損失	23.2GHz
119.2dB	

120cm (±15°)		
レベルB	アンテナ利得	受信レベル
-118.7dBm	2.9dBi	-115.8dBm
許容干渉レベル:-115.8dBm		

30cm (0°)			
TX出力レベル	給電線損失	アンテナ利得	レベルA
-33.0dBm	1.0dB	34.5dBi	.5dBm

396m	
自由空間損失	23.2GHz
111.7dB	

120cm (±30°)		
レベルB	アンテナ利得	受信レベル
-111.2dBm	-4.6dBi	-115.8dBm
許容干渉レベル:-115.8dBm		

30cm (0°)			
TX出力レベル	給電線損失	アンテナ利得	レベルA
-33.0dBm	1.0dB	34.5dBi	.5dBm

220m	
自由空間損失	23.2GHz
106.6dB	

120cm (±48° ~ ±180°)		
レベルB	アンテナ利得	受信レベル
-106.1dBm	-9.7dBi	-115.8dBm
許容干渉レベル:-115.8dBm		

23G無線伝送システム

22G無線エントランスシステム

30cm (0°)			
TX出力レベル	給電線損失	アンテナ利得	レベルA
-33.0dBm	1.0dB	34.5dBi	.5dBm

67.3km	
自由空間損失	23.2GHz
156.3dB	

60cm (±0°)		
レベルB	アンテナ利得	受信レベル
-155.8dBm	40.0dBi	-115.8dBm
許容干渉レベル:-115.8dBm		

30cm (0°)			
TX出力レベル	給電線損失	アンテナ利得	レベルA
-33.0dBm	1.0dB	34.5dBi	.5dBm

1.3km	
自由空間損失	23.2GHz
122.2dB	

60cm (±15°)		
レベルB	アンテナ利得	受信レベル
-121.7dBm	5.9dBi	-115.8dBm
許容干渉レベル:-115.8dBm		

30cm (0°)			
TX出力レベル	給電線損失	アンテナ利得	レベルA
-33.0dBm	1.0dB	34.5dBi	.5dBm

560m	
自由空間損失	23.2GHz
114.7dB	

60cm (±30°)		
レベルB	アンテナ利得	受信レベル
-114.2dBm	-1.6dBi	-115.8dBm
許容干渉レベル:-115.8dBm		

30cm (0°)			
TX出力レベル	給電線損失	アンテナ利得	レベルA
-33.0dBm	1.0dB	34.5dBi	.5dBm

311m	
自由空間損失	23.2GHz
109.6dB	

60cm (±48° ~ ±180°)		
レベルB	アンテナ利得	受信レベル
-109.1dBm	-6.7dBi	-115.8dBm
許容干渉レベル:-115.8dBm		

23G無線伝送システムから22G無線エントランスシステムへの干渉検討③

23G無線伝送システム

22G無線エントランスシステム

60cm (0°)			
TX出力レベル	給電線損失	アンテナ利得	レベルA
-33.0dBm	1.0dB	40.0dBi	6.0dBm

252.6km	
自由空間損失	23.2GHz
167.8dB	

120cm (±0°)		
レベルB	アンテナ利得	受信レベル
-161.8dBm	46.0dBi	-115.80dBm

許容干渉レベル:-115.8dBm

60cm (0°)			
TX出力レベル	給電線損失	アンテナ利得	レベルA
-33.0dBm	1.0dB	40.0dBi	6.0dBm

1.8km	
自由空間損失	23.2GHz
124.7dB	

120cm (±15°)		
レベルB	アンテナ利得	受信レベル
-118.7dBm	2.9dBi	-115.80dBm

許容干渉レベル:-115.8dBm

60cm (0°)			
TX出力レベル	給電線損失	アンテナ利得	レベルA
-33.0dBm	1.0dB	40.0dBi	6.0dBm

746m	
自由空間損失	23.2GHz
117.2dB	

120cm (±30°)		
レベルB	アンテナ利得	受信レベル
-111.2dBm	-4.6dBi	-115.80dBm

許容干渉レベル:-115.8dBm

60cm (0°)			
TX出力レベル	給電線損失	アンテナ利得	レベルA
-33.0dBm	1.0dB	40.0dBi	6.0dBm

415m	
自由空間損失	23.2GHz
112.1dB	

120cm (±48° ~ ±180°)		
レベルB	アンテナ利得	受信レベル
-106.1dBm	-9.7dBi	-115.80dBm

許容干渉レベル:-115.8dBm

23G無線伝送システム

22G無線エントランスシステム

60cm (0°)			
TX出力レベル	給電線損失	アンテナ利得	レベルA
-33.0dBm	1.0dB	40.0dBi	6.0dBm

126.6km	
自由空間損失	23.2GHz
161.8dB	

60cm (±0°)		
レベルB	アンテナ利得	受信レベル
-155.8dBm	40.0dBi	-115.80dBm

許容干渉レベル:-115.8dBm

60cm (0°)			
TX出力レベル	給電線損失	アンテナ利得	レベルA
-33.0dBm	1.0dB	40.0dBi	6.0dBm

2.5km	
自由空間損失	23.2GHz
127.7dB	

60cm (±15°)		
レベルB	アンテナ利得	受信レベル
-121.7dBm	5.9dBi	-115.80dBm

許容干渉レベル:-115.8dBm

60cm (0°)			
TX出力レベル	給電線損失	アンテナ利得	レベルA
-33.0dBm	1.0dB	40.0dBi	6.0dBm

1.1km	
自由空間損失	23.2GHz
120.2dB	

60cm (±30°)		
レベルB	アンテナ利得	受信レベル
-114.2dBm	-1.6dBi	-115.80dBm

許容干渉レベル:-115.8dBm

60cm (0°)			
TX出力レベル	給電線損失	アンテナ利得	レベルA
-33.0dBm	1.0dB	40.0dBi	6.0dBm

586m	
自由空間損失	23.2GHz
115.1dB	

60cm (±48° ~ ±180°)		
レベルB	アンテナ利得	受信レベル
-109.1dBm	-6.7dBi	-115.80dBm

許容干渉レベル:-115.8dBm

22G無線エントランスシステムからへの23G無線伝送システム干渉検討

22G無線エントランスシステム

23G無線伝送システム

120cm (0°)		
TX出力レベル	アンテナ利得	レベルA
-10.0dBm	46.0dBi	36.0dBm

2709.5km	
自由空間損失	
188.4dB	23.2GHz

30cm (0°)			
レベルB	アンテナ利得	給電線損失	受信レベル
-152.4dBm	34.6dBi	1.0dB	-118.80dBm

許容干渉レベル:-118.8dBm

120cm (±15°)		
TX出力レベル	アンテナ利得	レベルA
-10.0dBm	2.9dBi	-7.1dBm

19.0km	
自由空間損失	
145.3dB	23.2GHz

30cm (0°)			
レベルB	アンテナ利得	給電線損失	受信レベル
-152.4dBm	34.6dBi	1.0dB	-118.80dBm

許容干渉レベル:-118.8dBm

120cm (±30°)		
TX出力レベル	アンテナ利得	レベルA
-10.0dBm	-4.6dBi	-14.6dBm

8.0km	
自由空間損失	
137.8dB	23.2GHz

30cm (0°)			
レベルB	アンテナ利得	給電線損失	受信レベル
-152.4dBm	34.6dBi	1.0dB	-118.80dBm

許容干渉レベル:-118.8dBm

120cm (±48° ~ ±180°)		
TX出力レベル	アンテナ利得	レベルA
-10.0dBm	-9.7dBi	-19.7dBm

4.4km	
自由空間損失	
132.7dB	23.2GHz

30cm (0°)			
レベルB	アンテナ利得	給電線損失	受信レベル
-152.4dBm	34.6dBi	1.0dB	-118.80dBm

許容干渉レベル:-118.8dBm

22G無線エントランスシステム

23G無線伝送システム

60cm (0°)		
TX出力レベル	アンテナ利得	レベルA
-10.0dBm	40.0dBi	30.0dBm

1357.9km	
自由空間損失	
182.4dB	23.2GHz

30cm (0°)			
レベルB	アンテナ利得	給電線損失	受信レベル
-152.4dBm	34.6dBi	1.0dB	-118.80dBm

許容干渉レベル:-118.8dBm

60cm (±15°)		
TX出力レベル	アンテナ利得	レベルA
-10.0dBm	5.9dBi	-4.1dBm

26.8km	
自由空間損失	
148.3dB	23.2GHz

30cm (0°)			
レベルB	アンテナ利得	給電線損失	受信レベル
-152.4dBm	34.6dBi	1.0dB	-118.80dBm

許容干渉レベル:-118.8dBm

60cm (±30°)		
TX出力レベル	アンテナ利得	レベルA
-10.0dBm	-1.6dBi	-11.6dBm

11.3km	
自由空間損失	
140.8dB	23.2GHz

30cm (0°)			
レベルB	アンテナ利得	給電線損失	受信レベル
-152.4dBm	34.6dBi	1.0dB	-118.80dBm

許容干渉レベル:-118.8dBm

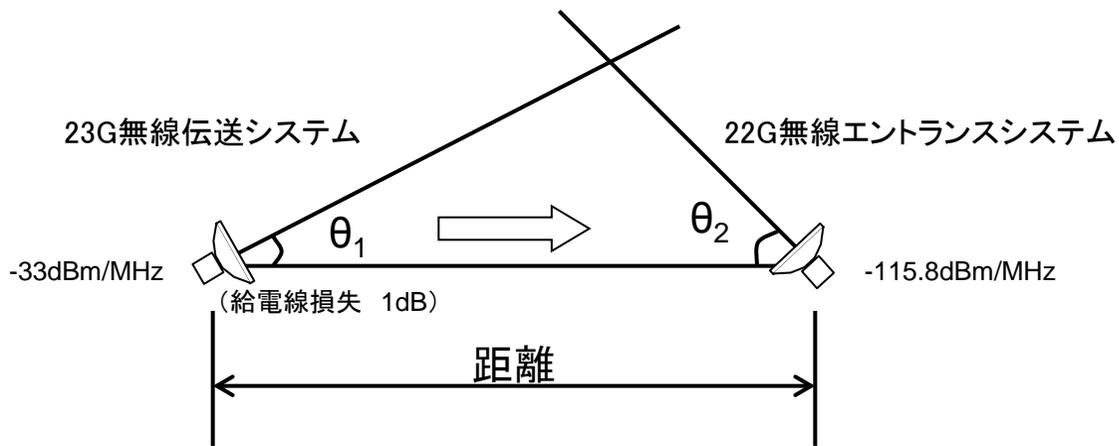
60cm (±48° ~ ±180°)		
TX出力レベル	アンテナ利得	レベルA
-10.0dBm	-6.7dBi	-16.7dBm

6.3km	
自由空間損失	
135.7dB	23.2GHz

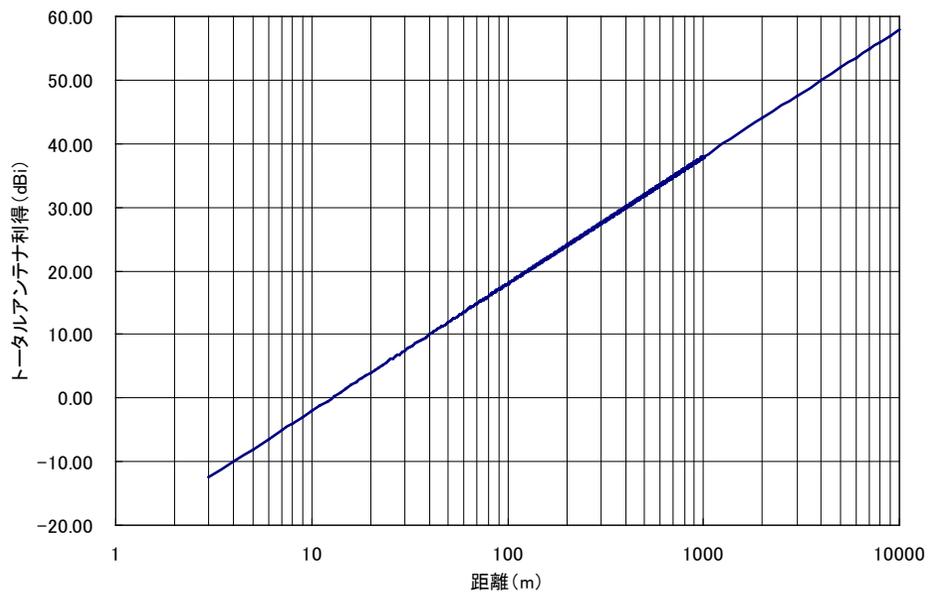
30cm (0°)			
レベルB	アンテナ利得	給電線損失	受信レベル
-152.4dBm	34.6dBi	1.0dB	-118.80dBm

許容干渉レベル:-118.8dBm

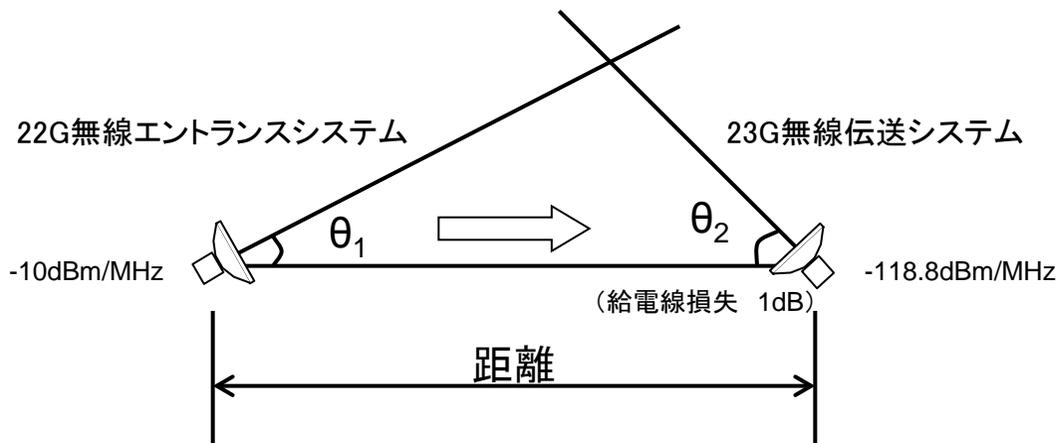
23G無線伝送システムから22G無線エントランスシステムへ干渉を起こさない条件



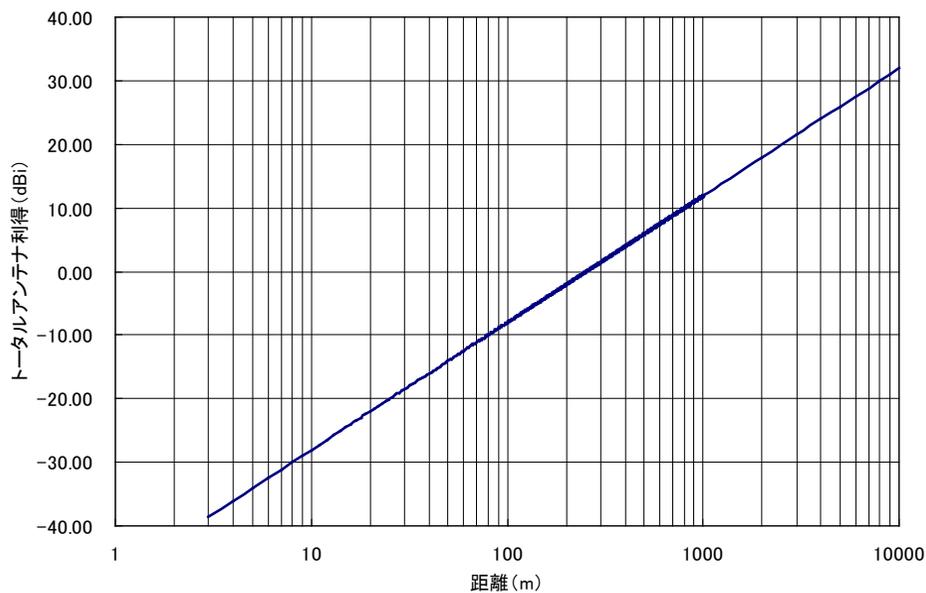
$$G_{23G}(\theta_1) + G_{22G}(\theta_2) - \text{自由空間損失} (@23.2\text{GHz}) \leq -81.8[\text{dB}]$$



22G無線エントランスシステムから23G無線伝送システムへ干渉を起こさない条件



$$G_{22G}(\theta_1) + G_{23G}(\theta_2) - \text{自由空間損失} (@23.2\text{GHz}) \leq -107.8[\text{dB}]$$



RECOMMENDATION ITU-R RA.769-2

Protection criteria used for radio astronomical measurements

(Question ITU-R 145/7)

(1992-1995-2003)

The ITU Radiocommunication Assembly,

considering

- a) that many of the most fundamental astronomical advances made in the past five decades, (e.g. the discovery of radio galaxies, quasars, and pulsars, the direct measurement of neutral hydrogen, the direct measurement of distances of certain external galaxies, and establishment of a positional reference frame accurate to ~ 20 arc μ s) have been made through radio astronomy, and that radio astronomical observations are expected to continue making fundamental contributions to our understanding of the Universe, and that they provide the only way to investigate some cosmic phenomena;
- b) that the development of radio astronomy has also led to major technological advances, particularly in receiving and imaging techniques, and to improved knowledge of fundamental radio-noise limitations of great importance to radiocommunication, and promises further important results;
- c) that radio astronomers have made useful astronomical observations from the Earth's surface in all available atmospheric windows ranging from 2 MHz to 1 000 GHz and above;
- d) that the technique of space radio astronomy, which involves the use of radio telescopes on space platforms, provides access to the entire radio spectrum above about 10 kHz, including parts of the spectrum not accessible from the Earth due to absorption in atmosphere;
- e) that protection from interference is essential to the advancement of radio astronomy and associated measurements;
- f) that radio astronomical observations are mostly performed with high-gain antennas or arrays, to provide the highest possible angular resolution, and consequently main beam interference does not need to be considered in most situations, except when there is the possibility of receiver damage;
- g) that most interference that leads to the degradation of astronomical data is received through the far side lobes of the telescope;
- h) that the sensitivity of radio astronomical receiving equipment, which is still steadily improving, particularly at millimetre wavelengths, and that it greatly exceeds the sensitivity of communications and radar equipment;
- j) that typical radio astronomical observations require integration times of the order of a few minutes to hours, but that sensitive observations, particularly of spectral lines, may require longer periods of recording, sometimes up to several days;

- k) that some transmissions from spacecraft can introduce problems of interference to radio astronomy and that these cannot be avoided by choice of site for an observatory or by local protection;
- l) that interference to radio astronomy can be caused by terrestrial transmissions reflected by the Moon, by aircraft, and possibly by artificial satellites;
- m) that some types of high spatial-resolution interferometric observations require simultaneous reception, at the same radio frequency, by widely separated receiving systems that may be located in different countries, on different continents, or on space platforms;
- n) that propagation conditions at frequencies below about 40 MHz are such that a transmitter operating anywhere on the Earth might cause interference detrimental to radio astronomy;
- o) that some degree of protection can be achieved by appropriate frequency assignments on a national rather than an international basis;
- p) that WRCs have made improved allocations for radio astronomy, particularly above 71 GHz, but that protection in many bands, particularly those shared with other radio services, may still need careful planning;
- q) that technical criteria concerning interference detrimental to the radio astronomy service (RAS) have been developed, which are set out in Tables 1, 2, and 3,

recommends

- 1 that radio astronomers should be encouraged to choose sites as free as possible from interference;
- 2 that administrations should afford all practicable protection to the frequencies and sites used by radio astronomers in their own and neighbouring countries and when planning global systems, taking due account of the levels of interference given in Annex 1;
- 3 that administrations, in seeking to afford protection to particular radio astronomical observations, should take all practical steps to reduce all unwanted emissions falling within the band of the frequencies to be protected for radio astronomy to the absolute minimum. Particularly those emissions from aircraft, high altitude platform stations, spacecraft and balloons;
- 4 that when proposing frequency allocations, administrations take into account that it is very difficult for the RAS to share frequencies with any other service in which direct line-of-sight paths from the transmitters to the observatories are involved. Above about 40 MHz sharing may be practicable with services in which the transmitters are not in direct line-of-sight of the observatories, but coordination may be necessary, particularly if the transmitters are of high power.

Annex 1

Sensitivity of radio astronomy systems

1 General considerations and assumptions used in the calculation of interference levels

1.1 Detrimental-level interference criterion

The sensitivity of an observation in radio astronomy can be defined in terms of the smallest power level change ΔP in the power level P at the radiometer input that can be detected and measured. The sensitivity equation is:

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{1}{\sqrt{\Delta f_0 t}} \quad (1)$$

where:

P and ΔP : power spectral density of the noise

Δf_0 : bandwidth

t : integration time. P and ΔP in equation (1) can be expressed in temperature units through the Boltzmann's constant, k :

$$\Delta P = k \Delta T; \quad \text{also} \quad P = k T \quad (2)$$

Thus we may express the sensitivity equation as:

$$\Delta T = \frac{T}{\sqrt{\Delta f_0 t}} \quad (3)$$

where:

$$T = T_A + T_R$$

This result applies for one polarization of the radio telescope. T is the sum of T_A (the antenna noise temperature contribution from the cosmic background, the Earth's atmosphere and radiation from the Earth) and T_R , the receiver noise temperature. Equations (1) or (3) can be used to estimate the sensitivities and interference levels for radio astronomical observations. The results are listed in Tables 1 and 2. An observing (or integration) time, t , of 2000 s is assumed, and interference threshold levels, ΔP_H , given in Tables 1 and 2 are expressed as the interference power within the bandwidth Δf that introduces an error of 10% in the measurement of ΔP (or ΔT), i.e.:

$$\Delta P_H = 0.1 \Delta P \Delta f \quad (4)$$

In summary, the appropriate columns in Tables 1 and 2 may be calculated using the following methods:

- ΔT , using equation (3),
- ΔP , using equation (2),
- ΔP_H , using equation (4).

The interference can also be expressed in terms of the pfd incident at the antenna, either in the total bandwidth or as a spectral pfd, S_H , per 1 Hz of bandwidth. The values given are for an antenna having a gain, in the direction of arrival of the interference, equal to that of an isotropic antenna (which has an effective area of $c^2/4\pi f^2$, where c is the speed of the light and f the frequency). The gain of an isotropic radiator, 0 dBi, is used as a general representative value for the side-lobe level, as discussed under § 1.3.

Values of $S_H \Delta f$ (dB(W/m²)), are derived from ΔP_H by adding:

$$20 \log f - 158.5 \quad \text{dB} \quad (5)$$

where f (Hz). S_H is then derived by subtracting $10 \log \Delta f$ (Hz) to allow for the bandwidth.

1.2 Integration time

The calculated sensitivities and interference levels presented in Tables 1 and 2 are based on assumed integration times of 2000 s. Integration times actually used in astronomical observations cover a wide range of values. Continuum observations made with single-antenna telescopes (as distinct from interferometric arrays) are well represented by the integration time of 2000 s, typical of good quality observations. On the other hand 2000 s is less representative of spectral line observations. Improvements in receiver stability and the increased use of correlation spectrometers have allowed more frequent use of longer integration times required to observe weak spectral lines, and spectral line observations lasting several hours are quite common. A more representative integration time for these observations would be 10 h. For a 10 h integration, the threshold interference level is 6 dB more stringent than the values given in Table 2. There are also certain observations of time varying phenomena, e.g. observations of pulsars, stellar or solar bursts, and interplanetary scintillations for which much shorter time periods may be adequate.

1.3 Antenna response pattern

Interference to radio astronomy is almost always received through the antenna side lobes, so the main beam response to interference need not be considered.

The side-lobe model for large paraboloid antennas in the frequency range 2 to 30 GHz, given in Recommendation ITU-R SA.509 is a good approximation of the response of many radio astronomy antennas and is adopted throughout this Recommendation as the radio astronomy reference antenna. In this model, the side-lobe level decreases with angular distance (degrees) from the main beam axis and is equal to $32 - 25 \log \phi$ (dBi) for $1^\circ < \phi < 48^\circ$. The effect of an interfering signal clearly depends upon the angle of incidence relative to the main beam axis of the antenna, since the side-lobe gain, as represented by the model, varies from 32 to -10 dBi as a function of this angle. However, it is useful to calculate the threshold levels of interference strength for a particular value of side-lobe gain, that we choose as 0 dBi, and use in Tables 1 to 3. From the model, this side-lobe level occurs at an angle of 19.05° from the main beam axis. Then a signal at the detrimental threshold level defined for 0 dBi side-lobe gain will exceed the criterion for the detrimental level at the receiver input if it is incident at the antenna at an angle of less than 19.05° . The solid angle

within a cone of angular radius 19.05° is 0.344 sr, which is equal to 5.5% of the 2π sr of the sky above the horizon that a radio telescope is able to observe at any given time. Thus if the probability of the angle of incidence of interference is uniformly distributed over the sky, about 5.5% of interfering signals would be incident within 19.05° of the main beam axis of an antenna pointed towards the sky. Note also that the 5.5% figure is in line with the recommended levels of data loss to radio astronomy observations in percentage of time, specified in Recommendation ITU-R RA.1513.

The particular case of non-GSO satellites presents a dynamic situation, that is, the positions of the satellites relative to the beam of the radio astronomy antenna show large changes within the time scale of the 2000 s integration time. Analysis of interference in this case requires integrating the response over the varying side-lobe levels, for example, using the concept of epfd defined in No. 22.5C of the Radio Regulations (RR). In addition it is usually necessary to combine the responses to a number of satellites within a particular system. In such calculations it is suggested that the antenna response pattern for antennas of diameter greater than 100λ in Recommendation ITU-R S.1428 be used to represent the radio astronomy antenna, until a model based specifically on radio astronomy antennas is available; see § 2.2 for further discussion.

1.4 Bandwidth

Equation (1) shows that observations of the highest sensitivity are obtained when radio astronomers make use of the widest possible bandwidth. Consequently, in Table 1 (continuum observations), Δf is assumed to be the width of the allocated radio astronomy bands for frequencies up to 71 GHz. Above 71 GHz a value of 8 GHz is used, which is a representative bandwidth generally used on radio astronomy receivers in this range. In Table 2 (spectral line observations) a channel bandwidth Δf equal to the Doppler shift corresponding to 3 km/s in velocity is used for entries below 71 GHz. This value represents a compromise between the desired high spectral resolution and the sensitivity. There are a very large number of astrophysically important lines above 71 GHz, as shown in Recommendation ITU-R RA.314 and only a few representative values for the detrimental levels are given in Table 2 for the range 71-275 GHz. The channel bandwidth used to compute the detrimental levels above 71 GHz is 1 000 kHz (1 MHz) in all cases. This value was chosen for practical reasons. While it is slightly wider than the spectral channel width customary in radio astronomy receivers at these frequencies, it is used as the standard reference bandwidth for space services above 15 GHz.

1.5 Receiver noise temperature and antenna temperature

The receiver noise temperatures in Tables 1 and 2 are representative of the systems in use in radio astronomy. For frequencies above 1 GHz these are cryogenically cooled amplifiers or mixers. The quantum effect places a theoretical lower limit of hf/k on the noise temperature of such devices, where h and k are Planck's and Boltzmann's constants, respectively. This limit becomes important at frequencies above 100 GHz, where it equals 4.8 K. Practical mixers and amplifiers for bands at 100 GHz and higher provide noise temperatures greater than hf/k by a factor of about four. Thus, for frequencies above 100 GHz, noise temperatures equal to $4hf/k$ are used in Tables 1 and 2.

The antenna temperatures in the Tables are also representative of practical systems in use in radio astronomy. They include the effects of the ionosphere or the neutral atmosphere, ground pickup in side lobes resulting from spillover or scattering, ohmic losses, and the cosmic microwave background. At frequencies above 100 GHz the atmospheric losses due to water vapour in the neutral atmosphere become very important. For these frequencies the values given are typical of the terrestrial sites used for major millimetric-wave radio astronomy facilities, such as Mauna Kea, Hawaii, or the Llano de Chajnantor at an elevation of 5 000 m in Chile, which is the site chosen for a major international radio astronomy array for frequencies in the range 30 GHz to 1 THz.

2 Special cases

The levels given in Tables 1 and 2 are applicable to terrestrial sources of interfering signals. The detrimental pfd and spectral pfd shown in Tables 1 and 2 assume that interference is received through a 0 dBi side lobe, and should be regarded as the general interference criteria for high sensitivity radio astronomy observations, when the interference does not enter the near side lobes.

2.1 Interference from GSO satellites

Interference from GSO satellites is a case of particular importance. Because the power levels in Tables 1 and 2 were calculated based on a 0 dBi antenna gain, interference detrimental to radio astronomy will be encountered when a reference antenna, such as described in Recommendation ITU-R SA.509, is pointed within 19.05° of a satellite radiating at levels in accordance with those listed in the Tables. A series of such transmitters located around the GSO would preclude radio astronomy observations with high sensitivity from a band of sky 38.1° wide and centred on the orbit. The loss of such a large area of sky would impose severe restrictions on radio astronomy observations.

In general, it would not be practical to suppress the unwanted emissions from satellites to below the detrimental level when the main beam of a radio telescope is pointed directly towards the satellite. A workable solution is suggested by observing the projection of the GSO in celestial coordinates as viewed from the latitudes of a number of major radio astronomy observations (see Recommendation ITU-R RA.517). If it were possible to point a radio telescope to within 5° of the GSO without encountering detrimental interference, then for that telescope a band of sky 10° wide would be unavailable for high-sensitivity observations. For a given observatory this would be a serious loss. However, for a combination of radio telescopes located at northern and southern latitudes, operating at the same frequencies, the entire sky would be accessible. A value of 5° should therefore be regarded as the requirement for minimum angular spacing between the main beam of a radio astronomy antenna and the GSO.

In the model antenna response of Recommendation ITU-R SA.509, the side-lobe level at an angle of 5° from the main beam is 15 dBi. Thus, to avoid interference detrimental to a radio telescope meeting the antenna side-lobe performance of Recommendation ITU-R SA.509, pointed to within 5° of the transmitter, it is desirable that the satellite emissions be reduced 15 dB below the pfd given in Tables 1 and 2. When satellites are spaced at intervals of only a few degrees along the GSO, the emission levels associated with the individual transmitters must be even lower to meet the requirement that the sum of the powers of all the interfering signals received should be 15 dB below ΔP_H in Tables 1 and 2.

It is recognized that the emission limitations discussed above cannot, in practice, be achieved so as to enable sharing of the same frequency band between radio astronomy and down-link transmissions from satellites to take place. The limitations are, however, applicable to unwanted emission from the satellite transmitters, which fall within the radio astronomy bands listed in Tables 1 and 2. These emission limitations have implications for the space services responsible for the interference, which require careful evaluation. Furthermore, the design of new radio astronomy antennas should strive to minimize the level of side-lobe gain near the main beam as an important means of reducing interference from transmitters in the GSO.

2.2 Interference from non-GSO satellites

In the case of non-GSO satellites, and in particular for low-Earth orbit satellites, the systems usually involve constellations of many individual satellites. Thus determination of interference levels requires analysis of the combined effect of many signals, most of which are received through far side lobes of the radio astronomy antenna. A more detailed side-lobe model than that of Recommendation ITU-R SA.509 is therefore desirable, and it is proposed that the model in Recommendation ITU-R S.1428 be used until such time as a more representative model for radio astronomy antennas is obtained. In using this proposed model the case for antennas with diameter greater than 100λ is generally appropriate for radio astronomy applications. It should be noted that Note 1 of Recommendation ITU-R S.1428, which allows cross-polarized components to be ignored, cannot be applied since radio astronomy antennas generally receive signals in two orthogonal polarizations simultaneously. The motion of non-GSO satellites across the sky during a 2000 s integration period requires that the interference level be averaged over this period, that is, the response to each satellite must be integrated as the satellite moves through the side-lobe pattern. One system of analysis that includes these requirements is the *epfd* method described in RR No. 22.5C. Values of *epfd* represent the pfd of a signal entering the antenna through the centre of the main beam that would produce an equivalent level of interference power. Since the threshold levels of detrimental interference in Tables 1 and 2 correspond to pfd received with an antenna gain of 0 dBi, it is necessary to compare them with values of $(epfd + G_{mb})$, where G_{mb} is the main beam gain, to determine whether the interference exceeds the detrimental level. Making use of the *epfd* method, Recommendation ITU-R S.1586 has recently been developed for interference calculations between radio astronomy telescopes and FSS non-GSO satellite systems. A similar Recommendation, Recommendation ITU-R M.1583 was developed for interference calculations between radio astronomy telescopes and MSS and radionavigation-satellite service non-GSO satellite systems. The applicability of the protection criteria given in Tables 1 and 2 is described in Recommendation ITU-R RA.1513.

2.3 The response of interferometers and arrays to radio interference

Two effects reduce the response to interference. These are related to the frequency of the fringe oscillations that are observed when the outputs of two antennas are combined, and to the fact that the components of the interfering signal received by different and widely-spaced antennas will suffer different relative time delays before they are recombined. The treatment of these effects is more complicated than that for single antennas in § 1. Broadly speaking, if the strength of the received interfering signal remains constant, the effect is reduced by a factor roughly equal to the

mean time of one natural fringe oscillation divided by the data averaging time. This typically ranges from some seconds for a compact array with the longest projected spacing $L' \sim 10^3 \lambda$, where λ is the wavelength, to less than 1 ms for intercontinental arrays with $L' \sim 10^7 \lambda$. Thus, compared to a single radio telescope, the interferometer has a degree of immunity to interference which, under reasonable assumptions increases with the array size expressed in wavelengths.

The greatest immunity from interference occurs for interferometers and arrays in which the separation of the antennas is sufficiently great that the chance of occurrence of correlated interference is very small (e.g. for very long baseline interferometry (VLBI)). In this case, the above considerations do not apply. The tolerable interference level is determined by the requirement that the power level of the interfering signal should be no more than 1% of the receiver noise power to prevent serious errors in the measurement of the amplitude of the cosmic signals. The interference levels for typical VLBI observations are given in Table 3, based on the values of T_A and T_R given in Table 1.

It must be emphasized that the use of large interferometers and arrays is generally confined to studies of discrete, high-brightness sources, with angular dimensions no more than a few tenths of a second of arc for VLBI. For more general studies of radio sources, the results in Tables 1 and 2 apply and are thus appropriate for the general protection of radio astronomy.

TABLE 1

Threshold levels of interference detrimental to radio astronomy continuum observations

Centre frequency ⁽¹⁾ f_c (MHz)	Assumed bandwidth Δf (MHz)	Minimum antenna noise temperature T_A (K)	Receiver noise temperature T_R (K)	System sensitivity ⁽²⁾ (noise fluctuations)		Threshold interference levels ^{(2) (3)}		
				Temperature ΔT (mK)	Power spectral density ΔP (dB(W/Hz))	Input power ΔP_H (dBW)	pdf $S_H \Delta f$ (dB(W/m ²))	Spectral pdf S_H (dB(W/(m ² · Hz)))
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
13.385	0.05	50 000	60	5 000	-222	-185	-201	-248
25.610	0.12	15 000	60	972	-229	-188	-199	-249
73.8	1.6	750	60	14.3	-247	-195	-196	-258
151.525	2.95	150	60	2.73	-254	-199	-194	-259
325.3	6.6	40	60	0.87	-259	-201	-189	-258
408.05	3.9	25	60	0.96	-259	-203	-189	-255
611	6.0	20	60	0.73	-260	-202	-185	-253
1 413.5	27	12	10	0.095	-269	-205	-180	-255
1 665	10	12	10	0.16	-267	-207	-181	-251
2 695	10	12	10	0.16	-267	-207	-177	-247
4 995	10	12	10	0.16	-267	-207	-171	-241
10 650	100	12	10	0.049	-272	-202	-160	-240
15 375	50	15	15	0.095	-269	-202	-156	-233
22 355	290	35	30	0.085	-269	-195	-146	-231
23 800	400	15	30	0.050	-271	-195	-147	-233
31 550	500	18	65	0.083	-269	-192	-141	-228
43 000	1 000	25	65	0.064	-271	-191	-137	-227
89 000	8 000	12	30	0.011	-278	-189	-129	-228
150 000	8 000	14	30	0.011	-278	-189	-124	-223
224 000	8 000	20	43	0.016	-277	-188	-119	-218
270 000	8 000	25	50	0.019	-276	-187	-117	-216

⁽¹⁾ Calculation of interference levels is based on the centre frequency shown in this column although not all regions have the same allocations.

⁽²⁾ An integration time of 2 000 s has been assumed; if integration times of 15 min, 1 h, 2 h, 5 h or 10 h are used, the relevant values in the Table should be adjusted by +1.7, -1.3, -2.8, -4.8 or -6.3 dB respectively.

⁽³⁾ The interference levels given are those which apply for measurements of the total power received by a single antenna. Less stringent levels may be appropriate for other types of measurements, as discussed in § 2.2. For transmitters in the GSO, it is desirable that the levels be adjusted by -15 dB, as explained in § 2.1.

TABLE 2*

Threshold levels of interference detrimental to radio astronomy spectral-line observations

Frequency f (MHz)	Assumed spectral line channel bandwidth Δf (kHz)	Minimum antenna noise temperature T_A (K)	Receiver noise temperature T_R (K)	System sensitivity ⁽²⁾ (noise fluctuations)		Threshold interference levels ^{(1) (2)}		
				Temperature ΔT (mK)	Power spectral density ΔP_S (dB(W/Hz))	Input power ΔP_H (dBW)	pdf $S_H \Delta f$ (dB(W/m ²))	Spectral pdf S_H (dB(W/(m ² · Hz)))
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
327	10	40	60	22.3	-245	-215	-204	-244
1 420	20	12	10	3.48	-253	-220	-196	-239
1 612	20	12	10	3.48	-253	-220	-194	-238
1 665	20	12	10	3.48	-253	-220	-194	-237
4 830	50	12	10	2.20	-255	-218	-183	-230
14 488	150	15	15	1.73	-256	-214	-169	-221
22 200	250	35	30	2.91	-254	-210	-162	-216
23 700	250	35	30	2.91	-254	-210	-161	-215
43 000	500	25	65	2.84	-254	-207	-153	-210
48 000	500	30	65	3.00	-254	-207	-152	-209
88 600	1 000	12	30	0.94	-259	-209	-148	-208
150 000	1 000	14	30	0.98	-259	-209	-144	-204
220 000	1 000	20	43	1.41	-257	-207	-139	-199
265 000	1 000	25	50	1.68	-256	-206	-137	-197

* This Table is not intended to give a complete list of spectral-line bands, but only representative examples throughout the spectrum.

⁽¹⁾ An integration time of 2 000 s has been assumed; if integration times of 15 min, 1 h, 2 h, 5 h or 10 h are used, the relevant values in the Table should be adjusted by +1.7, -1.3, -2.8, -4.8 or -6.3 dB respectively.

⁽²⁾ The interference levels given are those which apply for measurements of the total power received by a single antenna. Less stringent levels may be appropriate for other types of measurements, as discussed in § 2.2. For transmitters in the GSO, it is desirable that the levels need to be adjusted by -15 dB, as explained in § 2.1.

COLUMN DESCRIPTIONS FOR TABLES 1 AND 2

Column

- (1) Centre frequency of the allocated radio astronomy band (Table 1) or nominal spectral line frequency (Table 2).
- (2) Assumed or allocated bandwidth (Table 1) or assumed typical channel widths used for spectral line observations (Table 2).
- (3) Minimum antenna noise temperature includes contributions from the ionosphere, the Earth's atmosphere and radiation from the Earth.
- (4) Receiver noise temperature representative of a good radiometer system intended for use in high sensitivity radio astronomy observations.
- (5) Total system sensitivity (mK) as calculated from equation (1) using the combined antenna and receiver noise temperatures, the listed bandwidth and an integration time of 2 000 s.
- (6) Same as (5) above, but expressed in noise power spectral density using the equation $\Delta P = k \Delta T$, where $k = 1.38 \times 10^{-23}$ (J/K) (Boltzmann's constant). The actual numbers in the Table are the logarithmic expression of ΔP .
- (7) Power level at the input of the receiver considered harmful to high sensitivity observations, ΔP_H . This is expressed as the interference level which introduces an error of not more than 10% in the measurement of ΔP ; $\Delta P_H = 0.1 \Delta P \Delta f$. the numbers in the Table are the logarithmic expression of ΔP_H .
- (8) pfd in a spectral line channel needed to produce a power level of ΔP_H in the receiving system with an isotropic receiving antenna. The numbers in the Table are the logarithmic expression of $S_H \Delta f$.
- (9) Spectral pfd needed to produce a power level ΔP_H in the receiving system with an isotropic receiving antenna. The numbers in the Table are the logarithmic expression of S_H . To obtain the corresponding power levels in a reference bandwidth of 4 kHz or 1 MHz add 36 dB or 60 dB, respectively.

TABLE 3

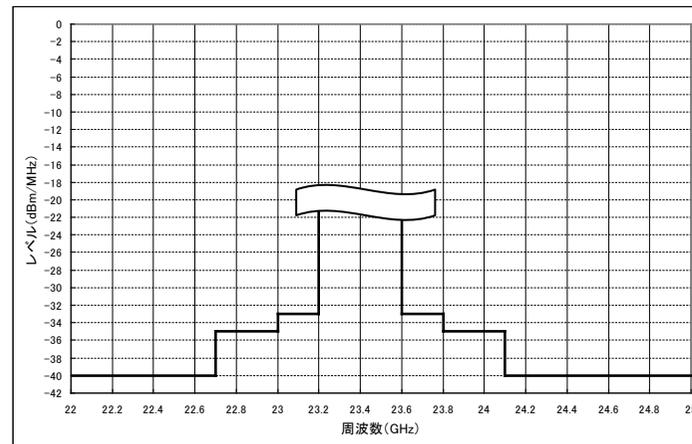
Threshold interference levels for VLBI observations

Centre frequency (MHz)	Threshold level (dB(W/m ² · Hz))
325.3	-217
611	-212
1 413.5	-211
2 695	-205
4 995	-200
10 650	-193
15 375	-189
23 800	-183
43 000	-175
86 000	-172

野辺山電波天文台への干渉検討

- 1 CATV23GHz 当該無線局を運用した場合に電波天文台への与干渉について検討する。

当該無線局のスプリアスレベルは、伝送波数や伝送距離などの運用条件で変わるため、スプリアスレベルを絶対値で規定した。この絶対値については、平成 22 年度の技術試験で行われた送信空中線電力 8.3mW/ch (9.2dBm/ch)、60 波伝送の結果から求めた。送信空中線電力に係わらずスプリアス送信レベルは下記スペクトルマスク (絶対値) 以下とする。マスクより、電波天文周波数帯域での最悪値となるスプリアスの絶対値は-33 (dBm/MHz) となる。



スペクトルマスク (絶対値規定)

【山岳による遮蔽損失の考察】

山岳回折による遮蔽損失について、ナイフエッジ損失で検討した。

実際の電波伝搬は、複数回の回折で野辺山天文台受信設備に到達しているが、ここでは1回として行うこととし、回折による減衰量がこれより

少なくなることは無い。送信アンテナ高および受信アンテナ高を 20m とした。

[地点 1]

対象となる電波天文台を野辺山天文台とし、地点 1 において当該無線局を運用した場合として検討する。

	東経	北緯	住所
野辺山	138° 28' 21.14"	35° 56' 40.15"	長野県南佐久郡南牧村野辺山 462 番 2 号
地点 1	138° 17' 00"	36° 18' 00"	

地点間距離 : 43km

回折シミュレーション (ミスターDENPA)

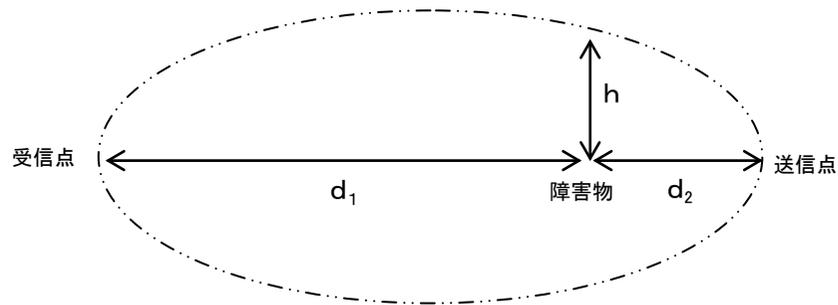


野辺山電波天文台

地点 1 無線局



地点 1 無線局から 43km離れた地点にある野辺山電波天文の受信設備に与える影響について、本件無線局から 18.5km に存在する標高 1600m の障害物（山）による回折の考察を行なう。



λ : 0.01271m (周波数 23.6GHz)

d_1 : 24500m

d_2 : 18500m

h : 500m

障害物地点の第N次のフレネルゾーンの半径 A_N は、

$$A_N = \sqrt{(N \cdot \lambda \cdot d_1 \cdot d_2) / (d_1 + d_2)}$$

で求められる。

この障害物を越える第N次フレネルゾーン半径は以下となる。

$$A_N = \sqrt{(N \times 0.01271 \times 24500 \times 18500) / (24500 + 18500)} \geq h \quad (500)$$

上式を満たすNを求めると、 $N=1867$ となり、1867次フレネルゾーン以上が回折することになる。

第 N 次フレネルゾーンにおけるナイフエッジ回折損失 Ld は次式で近似される。

$$L_d \text{ (dB)} = 20 \log |\sqrt{N}| + 16 \text{ (dB)}$$

$$= 20 \log (\sqrt{1867}) + 16 = 32.7 + 16 = 48.7 \text{ (dB)} \text{ となる。}$$

このため、妨害波伝播路遮蔽係数 Fs=48.7(dB)となる。

(参考：ミスターDENPAによる多段回折シミュレーションによる遮蔽損失は 188.38 (dB)

以上より、野辺山天文台におけるスプリアス受信電力 Prs は以下となる。

$$Prs = Pts + GAt\theta + GAr\theta - Lp - Lft - Lfr - Fs$$

$$= -33 \text{ (dBm/MHz)} + 40 \text{ (dBi)} + 0 \text{ (dBi)} - 152.5 \text{ (dB)} - 0 \text{ (dB)} - 0 \text{ (dB)} - 48.7 \text{ (dB)} = -194.2 \text{ (dBm/MHz)}$$

ここで、

Pts：妨害を与える地点1無線局のスプリアスの空中線電力 -33 (dBm/MHz)

GAtθ：地点1当該無線局空中線利得 40(dBi)

GArθ：電波天文業務の受信設備の空中線利得 0(dBi)

Lp：自由空間伝搬損失 (f：23600MHz、d：43km) 32.44+20logf+20logd=152.5(dB)

Lft：送信給電線損失 0(dB)

Lfr：受信給電線損失 0(dB)

Fs：妨害波伝搬路遮蔽係数 48.7 (dB)

P は、当該周波数帯における最大許容受信電力-191 (dBm/MHz) を下回っており、当該受信設備の運用に支障を与えないものと認められる。

	スペクトル線観測	連続波観測	備考
周波数	23.7GHz	23.8GHz	
干渉値	-194.2 (dBm/MHz)	-194.2 (dBm/MHz)	スプリアス受信電力
干渉しきい値	-174 (dBm/MHz)	-191 (dBm/MHz)	天文規定値

マージン	20.2 (dB)	3.2 (dB)	干渉しきい値－干渉値
------	-----------	----------	------------

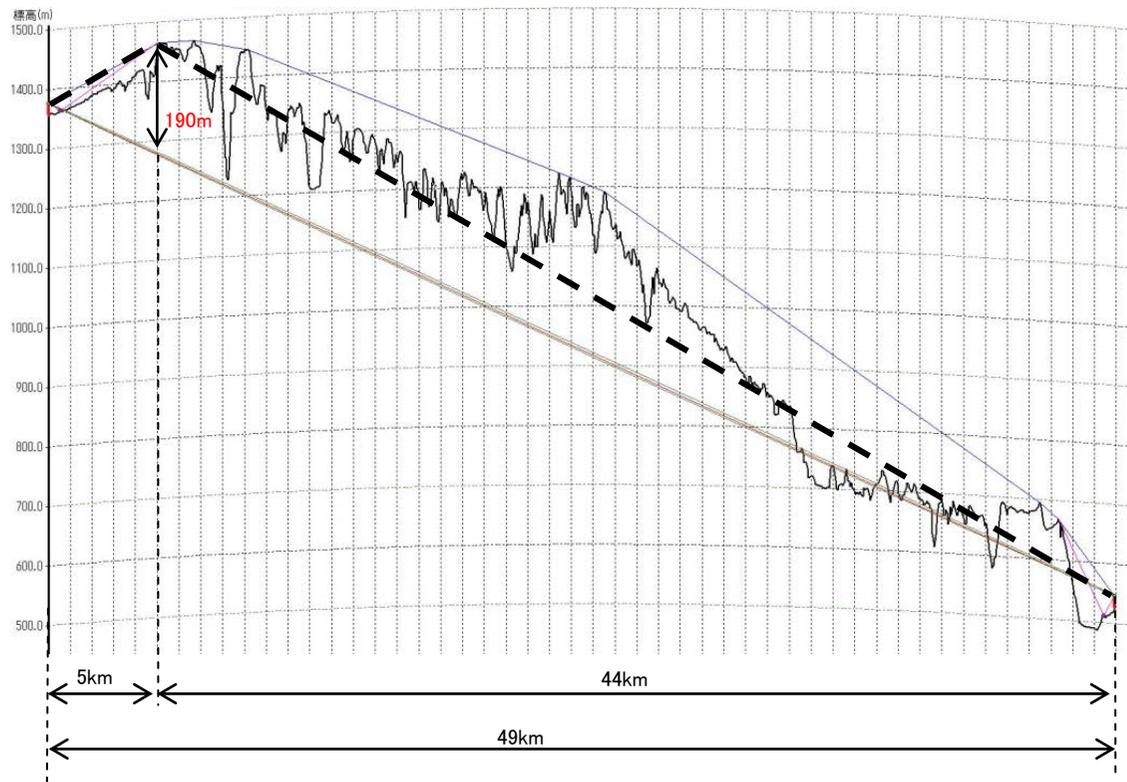
地点 1 と同様に地点 2 および地点 3 について検討した結果を以下に示す。

[地点 2]

対象となる電波天文台を野辺山天文台とし、地点 2 において当該無線局を運用した場合として検討する。

	東経	北緯	住所
野辺山	138° 28' 21.14"	35° 56' 40.15"	長野県南佐久郡南牧村野辺山 462 番 2 号
地点 2	138° 19' 00"	36° 22' 00"	上田

地点間距離：49km



地点 2 無線局

野辺山電波天文台

λ : 0.01271m (周波数 23.6GHz)

d_1 : 5000m

d_2 : 44000m

h : 190m

634 次フレネルゾーン以上が回折し、遮蔽損失 F_s は 44 (dB) となる。

(参考: ミスターDENPA による多段回折シミュレーションによる遮蔽損失は 204.25 (dB))

以上より、野辺山天文台におけるスプリアス受信電力 Pr_s は以下となる。

$$Pr_s = P_{ts} + G_{At\theta} + G_{Ar\theta} - L_p - L_{ft} - L_{fr} - F_s$$

$$= -33 \text{ (dBm/MHz)} + 40 \text{ (dBi)} + 0 \text{ (dBi)} - 153.7 \text{ (dB)} - 0 \text{ (dB)} - 0 \text{ (dB)} - 44 \text{ (dB)} = -190.7 \text{ (dBm/MHz)}$$

	スペクトル線観測	連続波観測	備考
周波数	23.7GHz	23.8GHz	
干渉値	-190.7 (dBm/MHz)	-190.7 (dBm/MHz)	スプリアス受信電力
干渉しきい値	-174 (dBm/MHz) z	-191 (dBm/MHz)	天文規定値
マージン	16.7 (dB)	-0.3 (dB)	干渉しきい値 - 干渉値

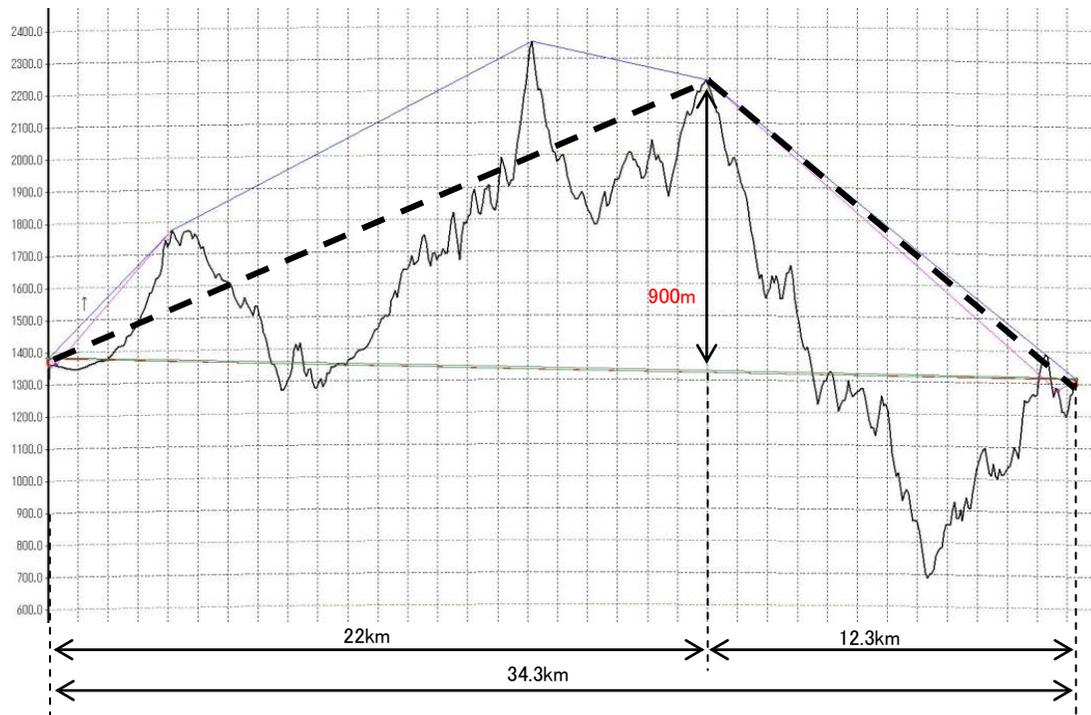
1 回の回折計算では、電波天文連続波観測の干渉しきい値を満足できないが、ミスターDENPA による多段回折シミュレーションの遮蔽損失は 204.25 (dB) になり、干渉値は -350.95 (dBm/MHz) となる。この時のマージンは 159.95 (dB) となり、十分に干渉しきい値を満足する。このため、1 回の遮蔽物回折計算で干渉しきい値を満足できない場合は、ミスターDENPA などによる多段回折シミュレーションを行う必要がある。

[地点3]

対象となる電波天文台を野辺山天文台とし、地点3において当該無線局を運用した場合として検討する。

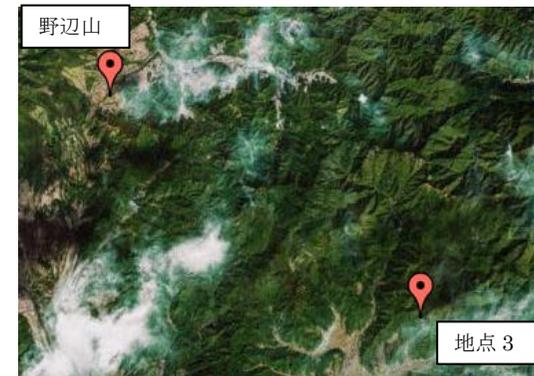
	東経	北緯	住所
野辺山	138° 28' 21.14"	35° 56' 40.15"	長野県南佐久郡南牧村野辺山 462 番 2 号
地点 3	138° 47' 00"	35° 46' 00"	甲州市

地点間距離：34.3km



野辺山電波天文台

地点3無線局



λ : 0.01271m (周波数 23.6GHz)

d_1 : 22000m

d_2 : 12300m

h : 900m

8078 次フレネルゾーン以上が回折し、遮蔽損失 F_s は 55 (dB) となる。

(参考: ミスターDENPA による多段回折シミュレーションによる遮蔽損失は 227.29 (dB))

以上より、野辺山天文台におけるスプリアス受信電力 Pr_s は以下となる。

$$\begin{aligned} Pr_s &= P_{ts} + G_{At\theta} + G_{Ar\theta} - L_p - L_{ft} - L_{fr} - F_s \\ &= -33 \text{ (dBm/MHz)} + 40 \text{ (dBi)} + 0 \text{ (dBi)} - 150.6 \text{ (dB)} - 0 \text{ (dB)} - 0 \text{ (dB)} - 55 \text{ (dB)} = -198.6 \text{ (dBm/MHz)} \end{aligned}$$

	スペクトル線観測	連続波観測	備考
周波数	23.7GHz	23.8GHz	
干渉値	-198.6 (dBm/MHz)	-198.66 (dBm/MHz)	スプリアス受信電力
干渉しきい値	-174 (dBm/MHz)	-191 (dBm/MHz)	天文規定値
マージン	24.6 (dB)	7.6 (dB)	干渉しきい値 - 干渉値

電波天文観測局との干渉検討結果

22GHz帯及び23GHz帯観測を行っている観測局一覧

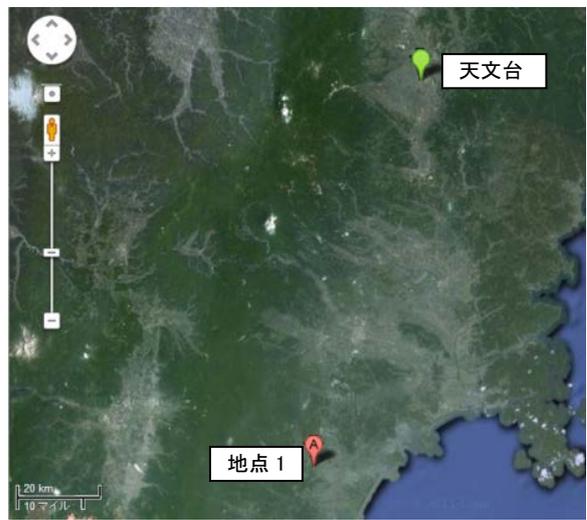
	局名	口径(m)	局位置 (東経、北緯)	
1	VERA水沢	20	141.132544	39.133493
2	VERA入来	20	130.439993	31.747976
3	VERA小笠原	20	142.216773	27.09168
4	VERA石垣島	20	124.171085	24.412453
5	水沢10m	10	141.132372	39.133323
6	北大苫小牧	11	141.596898	42.673814
7	高萩	32	140.694866	36.698593
8	日立	32	140.692002	36.697552
9	NICT鹿島	34	140.660051	35.955872
10	国土地理院つくば	32	140.088902	36.103148
11	NRO45m	45	138.472517	35.944503
12	JAXA臼田	64	138.36201	36.132953
13	岐阜大岐阜	11	136.737092	35.467595
14	山口	32	131.556725	34.218203
15	鹿児島島6m	6	130.507107	31.46425
	内之浦 ^{注1}	32	131.07816	31.254432

注1:開局準備局

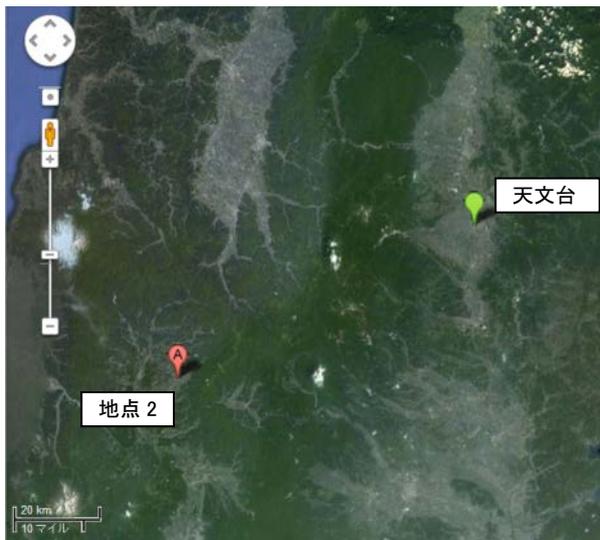
1. VERA 水沢



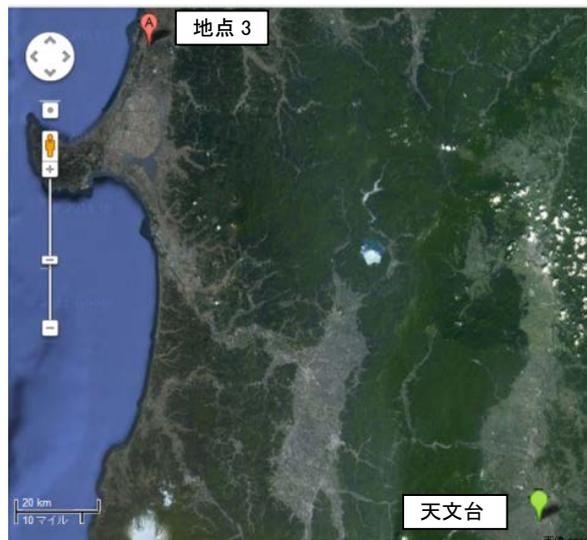
VERA 水沢



第 1 地点 (98.07km)

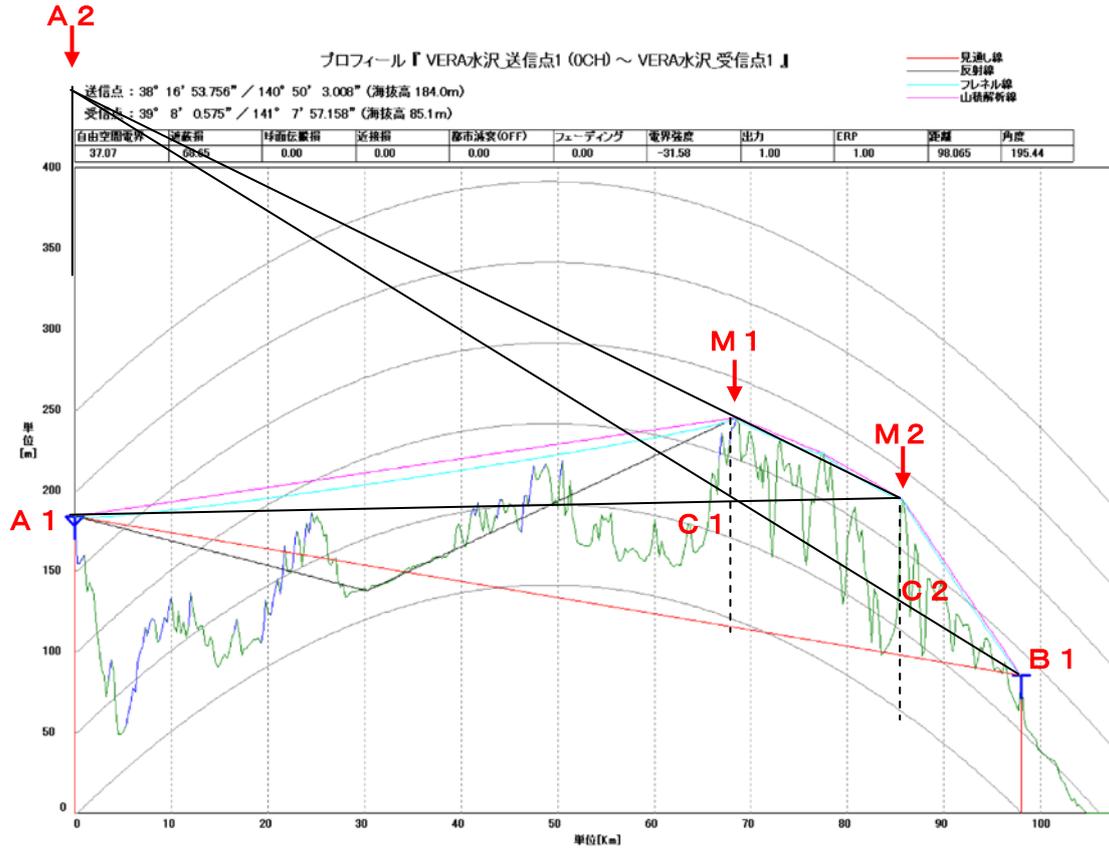


第 2 地点 (78.11km)



第 3 地点 (149.52km)

<送信点1—VERA 水沢 20m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	98.07	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	86	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	30.07	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	68	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	18	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	12.07	
A1ポイント標高	h1(m)	184	
M1ポイント標高	hm1(m)	125	
M2ポイント標高	hm2(m)	130	
B1ポイント標高	h2(m)	85.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	69.25	= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	55.75	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	450.38	= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2(m)	68.95	= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	61.05	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

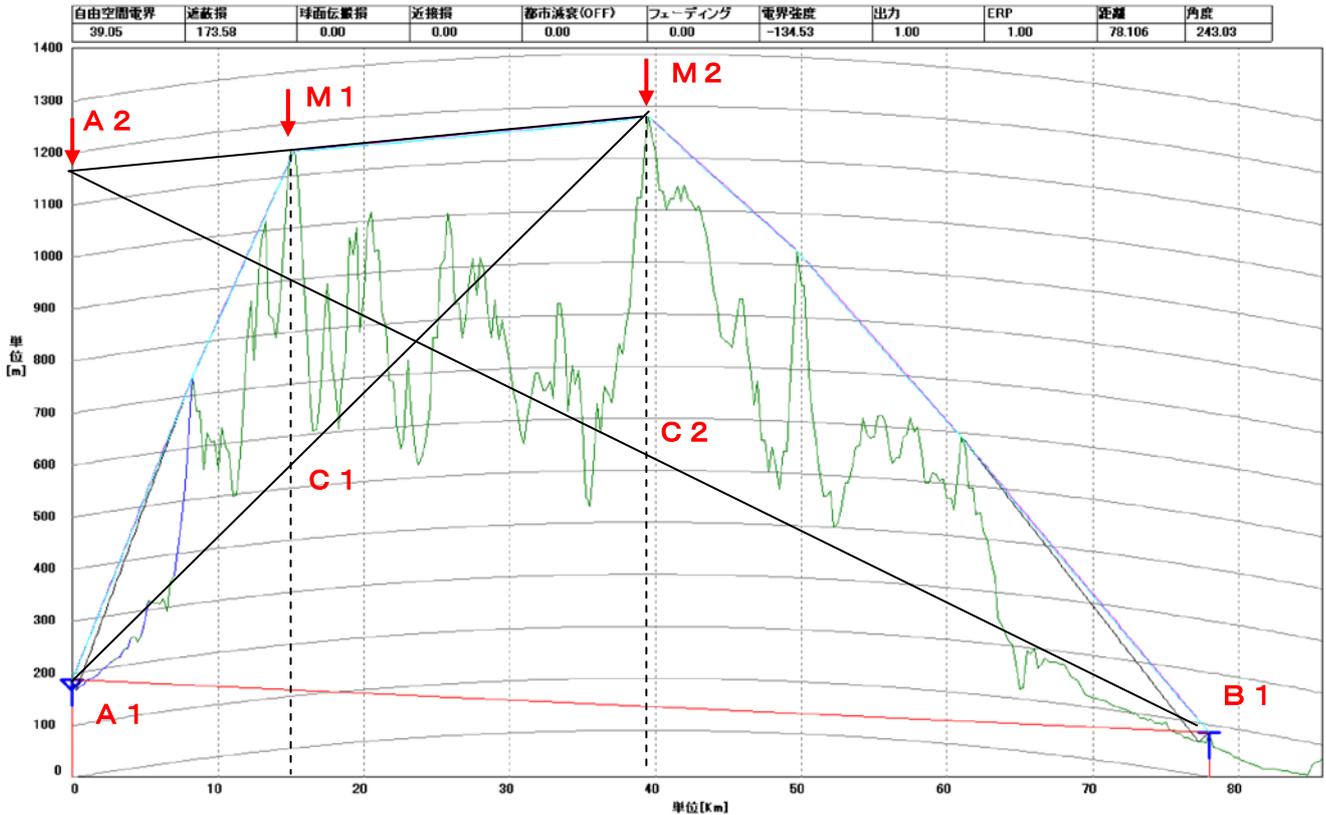
項目	記号	値	計算式
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	13.45	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	4.15	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	28.35	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	11.60	= √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	5.26	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	30.43	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	58.78	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	159.7289636	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	218.50	= Γ0+Zt

<送信点 2—VERA 水沢 20m>

プロフィール『VERA水沢送信点2(0CH)～VERA水沢受信点1』

送信点：38° 48' 42.084" / 140° 19' 51.784" (海拔高 187.0m)
 受信点：39° 8' 0.575" / 141° 7' 57.158" (海拔高 85.1m)

見直し線
 反射線
 フレネル線
 山根折新線



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	78.11	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	39	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	63.11	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	15	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	24	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	39.11	
A1ポイント標高	h1(m)	187	
M1ポイント標高	hm1(m)	1150	
M2ポイント標高	hm2(m)	1175	
B1ポイント標高	h2(m)	85.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	545.81	= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	604.19	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	1168.81	= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2(m)	537.93	= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	637.07	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	10.83	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	55.78	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	50.93	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	15.76	= √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	40.44	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	48.14	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	99.06	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	157.7523728	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	256.82	= Γ0+Zt

<送信点3—VERA 水沢 20m>

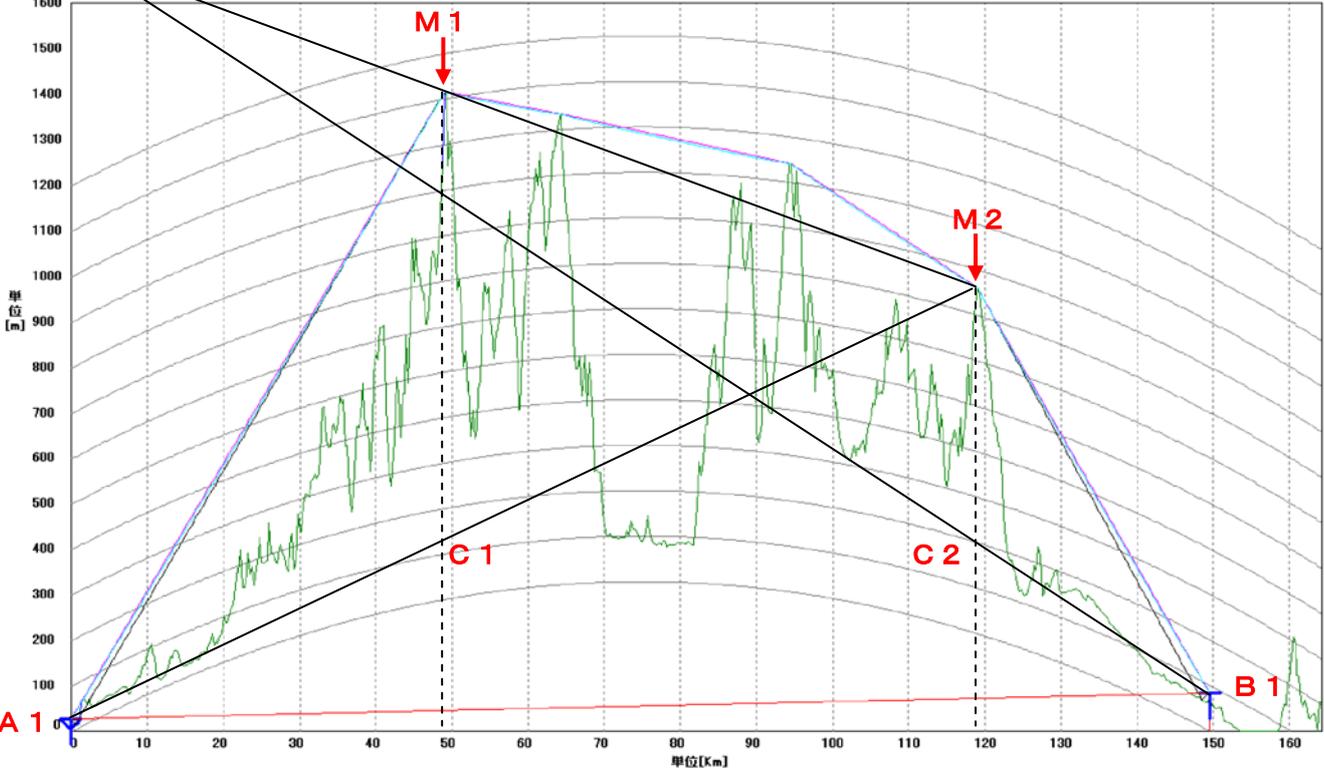
A 2

プロフィール『VERA水沢送信点3(0CH)～VERA水沢受信点1』

見通し線
反射線
フレネル線
山核解析線

送信点: 40° 10' 31.962" / 140° 1' 43.982" (海拔高 28.0m)
受信点: 39° 8' 0.575" / 141° 7' 57.158" (海拔高 85.1m)

自由空間電界	送減損	球面伝達損	近接損	都市減衰(OFF)	フェーディング	電界強度	出力	ERP	距離	角度
33.41	137.43	0.00	5.98	0.00	0.00	-110.01	1.00	1.00	149.521	321.04



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	149.52	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	119	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	100.52	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	49	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	70	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	30.52	
A1ポイント標高	h1(m)	28	
M1ポイント標高	hm1(m)	1110	
M2ポイント標高	hm2(m)	750	
B1ポイント標高	h2(m)	85.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	123.37	= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	986.63	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	1705.27	= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2(m)	202.00	= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	548.00	= hm2-hp2

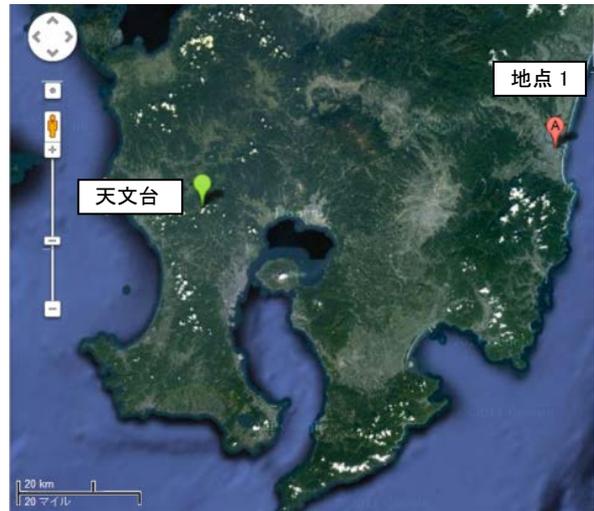
周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	19.14	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	51.54	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	50.24	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	17.57	= √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	31.19	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	45.88	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	96.12	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	163.3922258	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	259.51	= Γ0+Zt

2. VERA 入来



VERA 入来



第 1 地点(95.23km)

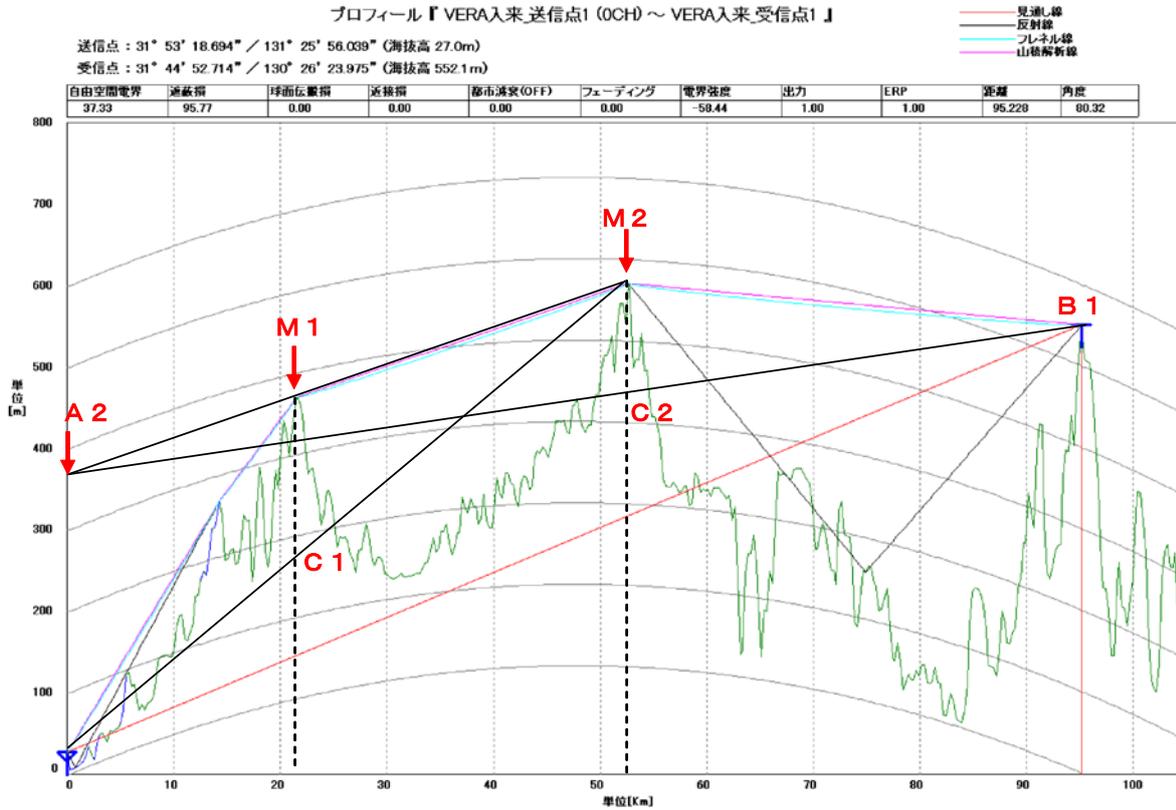


第 2 地点(53.98km)



第 3 地点(62.34km)

<送信点1—VERA 入来 20m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

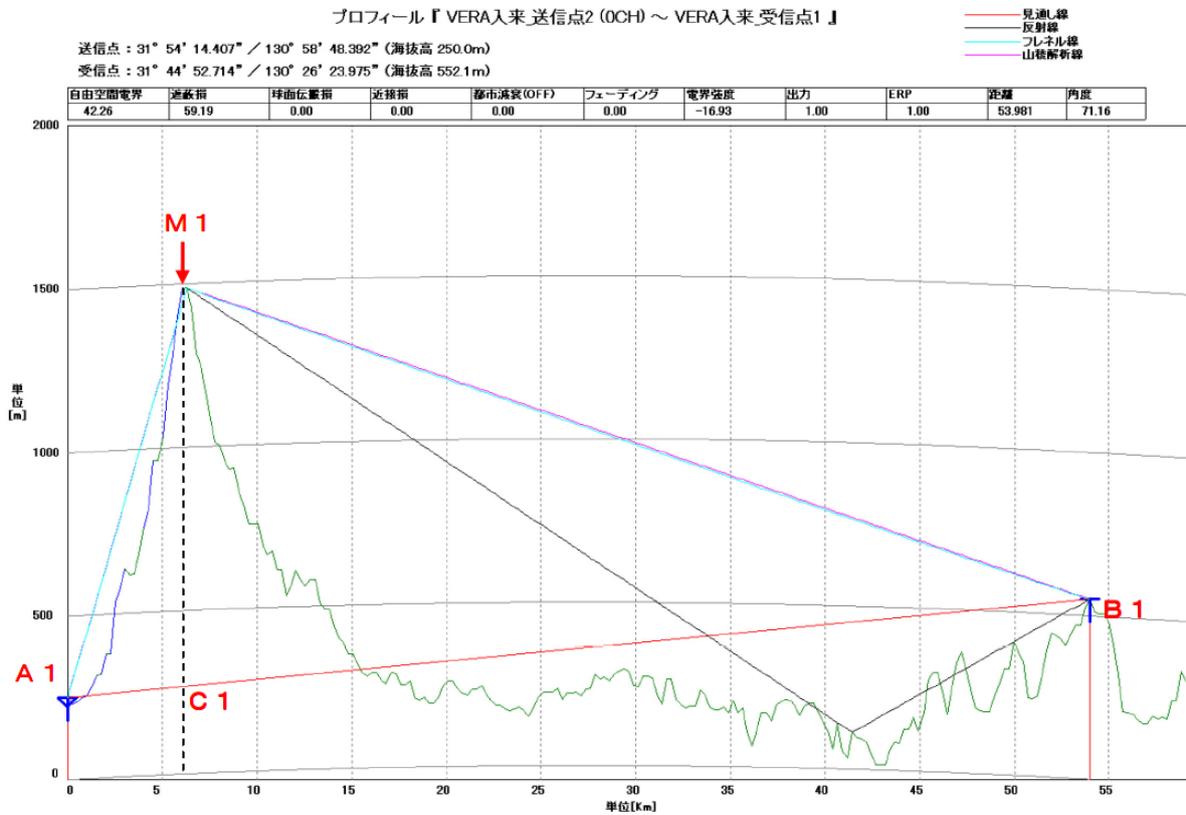
項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	95.23	=d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	52.5	=d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	73.23	=d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	22	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	30.5	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	42.73	
A1ポイント標高	h1(m)	27	
M1ポイント標高	hm1(m)	370	
M2ポイント標高	hm2(m)	470	
B1ポイント標高	h2(m)	552.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	173.14	= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2) - (d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	196.86	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	365.86	= ((d1+d2)/d2) (hm1+(d1*d2)/(2*K*a)) - (d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2(m)	336.47	= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/(d1+d2+d3) - ((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	133.53	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	12.75	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	15.44	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	39.78	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	17.30	= √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	7.72	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	33.75	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	73.52	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	159.4737157	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	233.00	= Γ0+Zt

<送信点 2—VERA 入来 20m>

<送信点 2—VERA 入来>・・・1 回回折



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a (km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

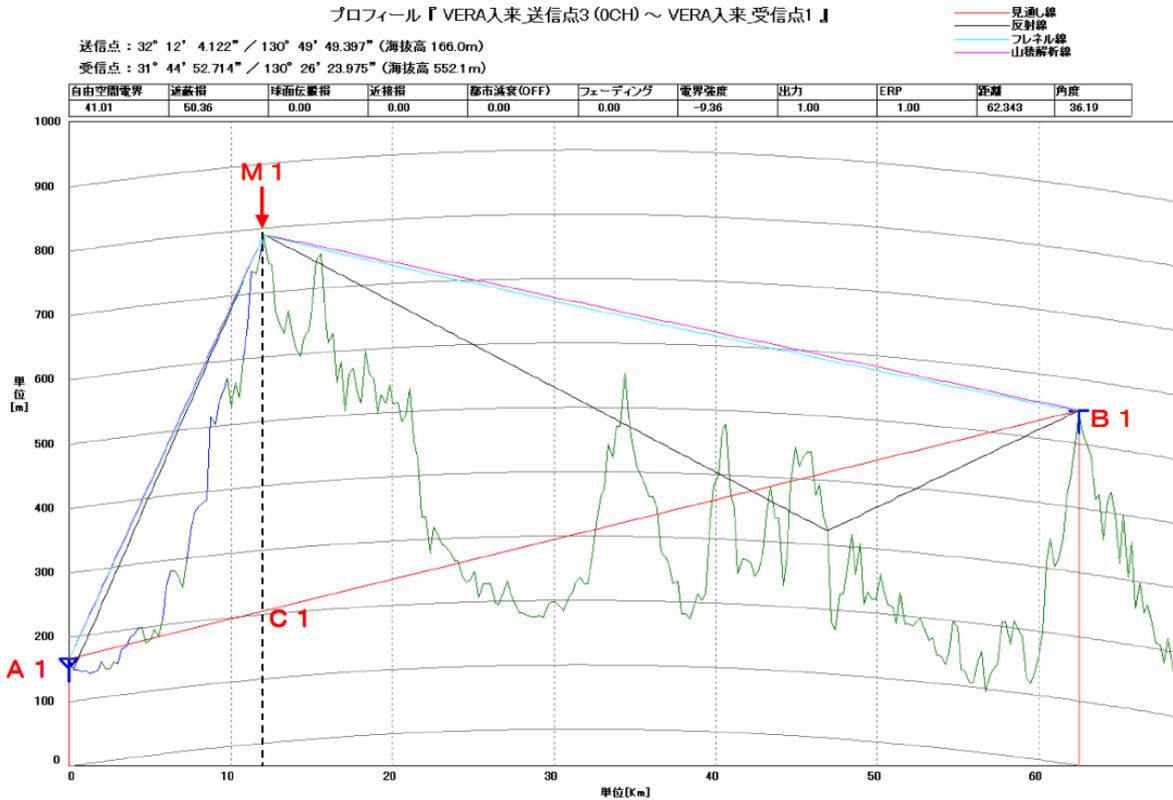
項目	記号	値
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	D (km)	53.98 = d1+d2
伝送距離(A-M1間直線)	d1 (km)	6.3
伝送距離(M1-M2間直線)	d2 (km)	47.68
A1ポイント標高	h1 (m)	250
M1ポイント標高	hm1 (m)	1470
B1ポイント標高	h2 (m)	552.1
C1ポイント標高	hp1 (m)	267.57 = (h1*d2+h2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間) = (hm1-hp1)	CS1 (m)	1202.43 = hm1-hp1

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値
伝送周波数	f (MHz)	23600
信号波長	λ (m)	0.0127 = 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1 (m)	8.41 = √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	142.97 = CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1 (dB)	59.10 = 16+20*LOG(U1)
自由空間伝搬損失	Γ0 (dB)	154.5428977 = 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2)
伝搬損失	Γ (dB)	213.65 = Γ0+Z1

<送信点3—VERA 入来 20m>

<送信点3—VERA 入来>・・・1回回折



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	D(km)	62.34	= d1+d2
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	12.3	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	50.04	
A1ポイント標高	h1(m)	166	
M1ポイント標高	hm1(m)	790	
B1ポイント標高	h2(m)	552.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	205.95	$= (h1*d2+h2*d1)/(d1+d2) - (d1*d2)/(2*K*a)$
高低差(C1-M1間) = (hm1-hp1)	CS1(m)	584.05	= hm1-hp1

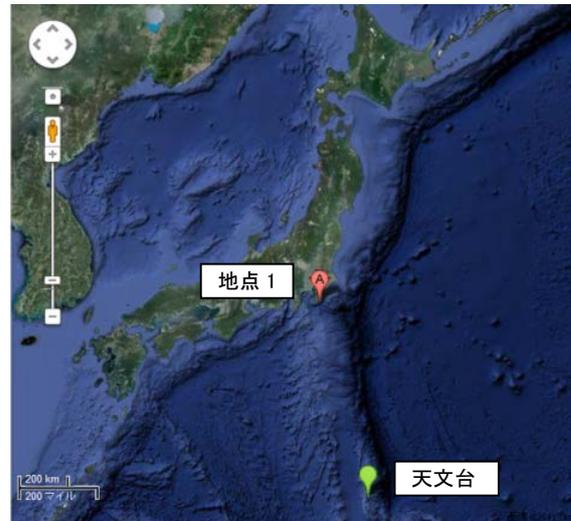
周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ (m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	11.20	$= \sqrt{((\lambda * d1 * d2)/(d1+d2))}$
M1回折パラメータ	U1	52.13	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1 (dB)	50.34	= 16+20*LOG(U1)
自由空間伝搬損失	Γ_0 (dB)	155.793576	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2)
伝搬損失	Γ (dB)	206.14	= Γ_0+Z1

3. VERA 小笠原



VERA 小笠原



第 1 地点(895km)

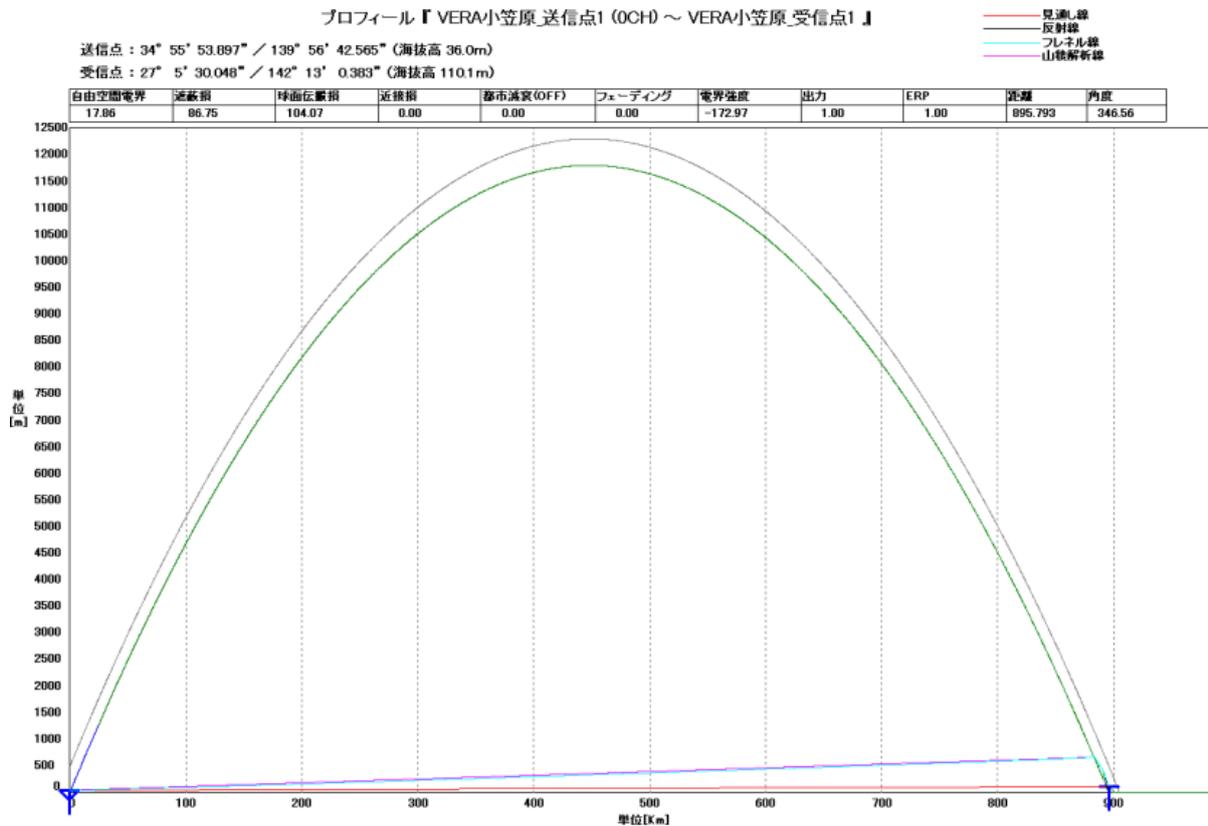


第 2 地点(938km)



第 3 地点(702km)

<送信点 1—VERA 小笠原 20m>



$$Prs = Pts + GAt\theta + GAr\theta - Lp - Lft - Lfr - Fs$$

$$= -33 \text{ (dBm/MHz)} + 40 \text{ (dBi)} + 0 \text{ (dBi)} - 178.94 \text{ (dB)} - 0 \text{ (dB)} - 0 \text{ (dB)} - 62.67 \text{ (dB)}$$

$$= -234.61 \text{ (dBm/MHz)}$$

ここで、

Pts : 妨害を与える地点 1 無線局のスプリアスの空中線電力 -33 dBm/MHz

GAtθ : 地点 1 当該無線局空中線利得 40(dBi)

GArθ : 電波天文業務の受信設備の空中線利得 0(dBi)

Lp : 自由空間伝搬損失 (f : 23600MHz、d : 895km) $32.44 + 20\log f + 20\log d = 178.94 \text{ (dB)}$

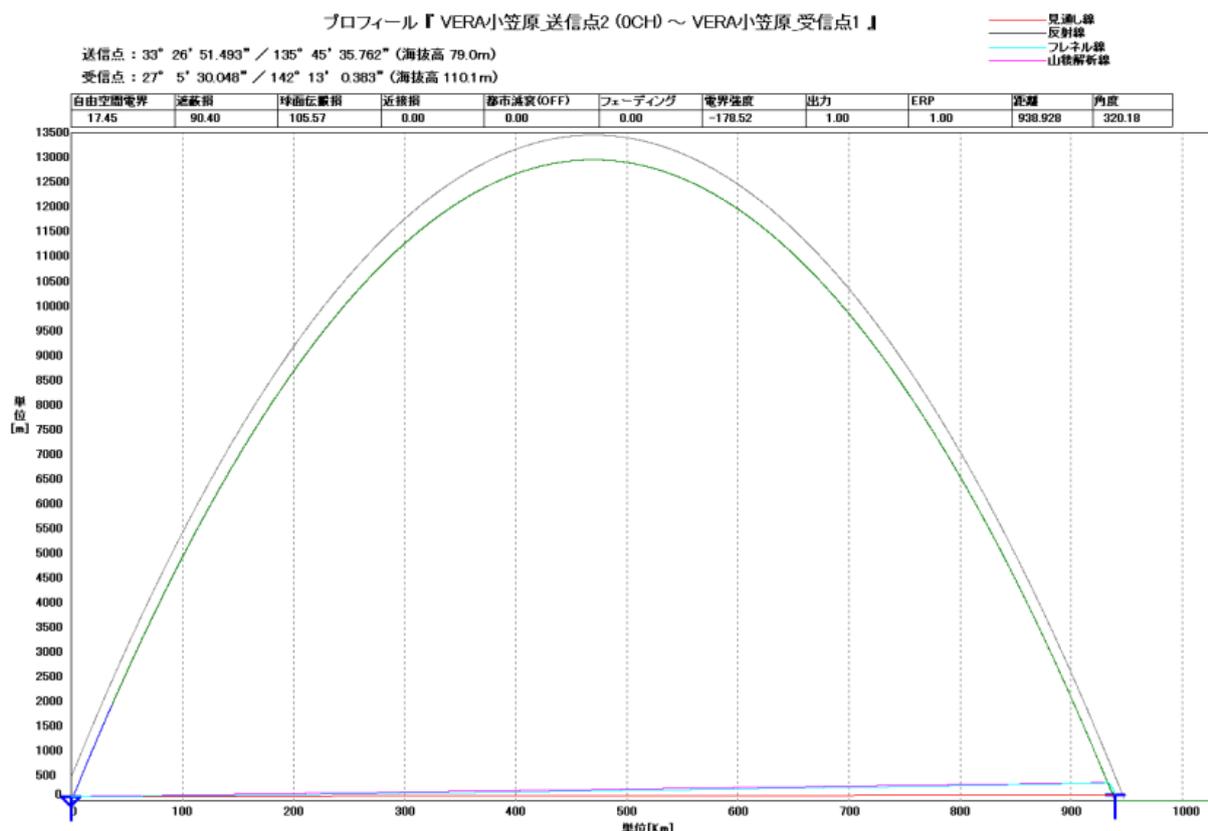
Lft : 送信給電線損失 0(dB)

Lfr : 受信給電線損失 0(dB)

Fs : 妨害波伝搬路遮蔽係数 62.67 (dB)

	スペクトル線観測	連続波観測	備考
周波数	23.7GHz	23.8GHz	
干渉値	-234.61 dBm/MHz	-234.61 dBm/MHz	スプリアス受信電力
干渉しきい値	-174 dBm/MHz	-191 dBm/MHz	天文規定値
マージン	60.61dB	43.61dB	干渉しきい値－干渉値

<送信点 2—VERA 小笠原 20m>



$$Prs = Pts + GAt\theta + GAr\theta - Lp - Lft - Lfr - Fs$$

$$= -33 \text{ (dBm/MHz)} + 40 \text{ (dBi)} + 0 \text{ (dBi)} - 179.34 \text{ (dB)} - 0 \text{ (dB)} - 0 \text{ (dB)} - 63.54 \text{ (dB)}$$

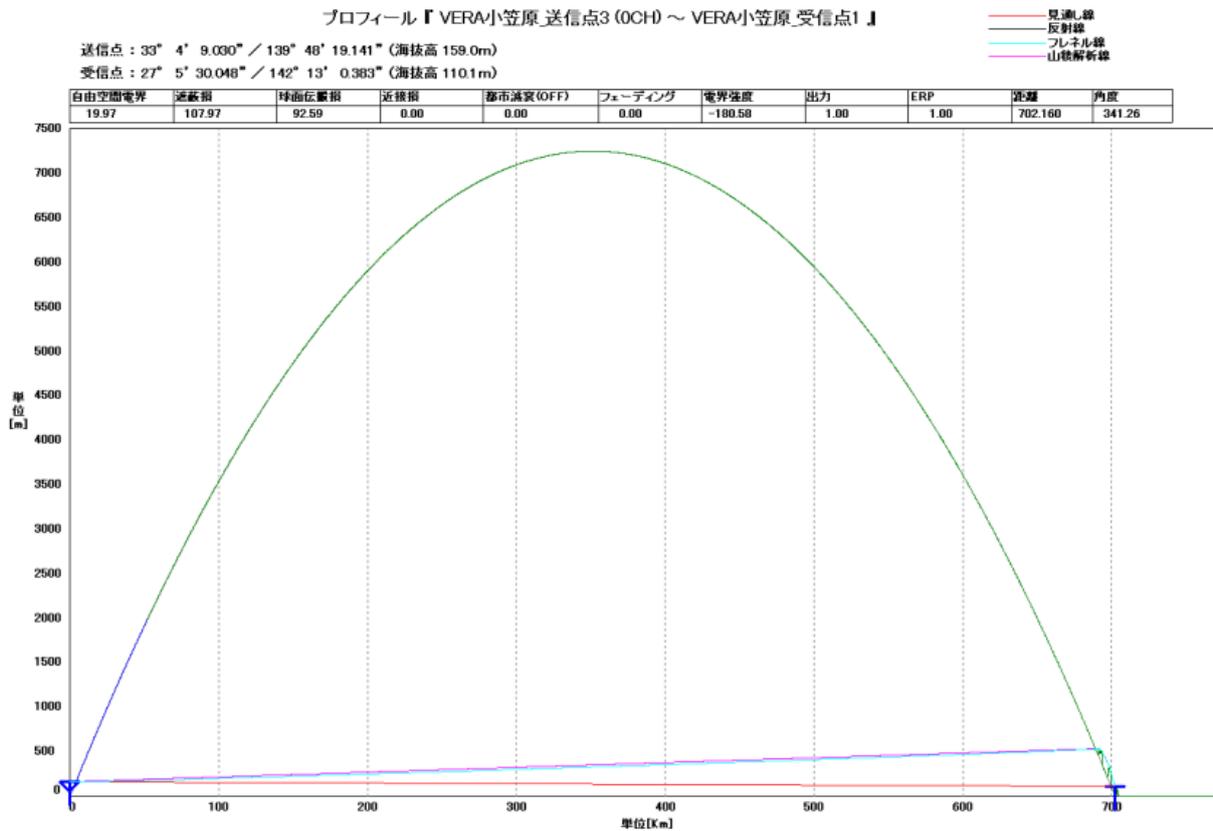
$$= -235.88 \text{ (dBm/MHz)}$$

ここで、

- Pts : 妨害を与える地点 1 無線局のスプリアスの空中線電力 -33 dBm/MHz
- GAtθ : 地点 1 当該無線局空中線利得 40(dBi)
- GArθ : 電波天文業務の受信設備の空中線利得 0(dBi)
- Lp : 自由空間伝搬損失 (f : 23600MHz、d : 938km) $32.44 + 20 \log f + 20 \log d = 179.34$ (dB)
- Lft : 送信給電線損失 0(dB)
- Lfr : 受信給電線損失 0(dB)
- Fs : 妨害波伝搬路遮蔽係数 63.54 (dB)

	スペクトル線観測	連続波観測	備考
周波数	23.7GHz	23.8GHz	
干渉値	-235.88 dBm/MHz	-235.88 dBm/MHz	スプリアス受信電力
干渉しきい値	-174 dBm/MHz	-191 dBm/MHz	天文規定値
マージン	61.88dB	44.88dB	干渉しきい値－干渉値

<送信点 3—VERA 小笠原 20m>



$$\begin{aligned}
 &= Pts + GAt \theta + GAr \theta - Lp - Lft - Lfr - Fs \\
 &= -33 \text{ (dBm/MHz)} + 40 \text{ (dBi)} + 0 \text{ (dBi)} - 176.8 \text{ (dB)} - 0 \text{ (dB)} - 0 \text{ (dB)} - 59.72 \text{ (dB)} \\
 &= -229.52 \text{ (dBm/MHz)}
 \end{aligned}$$

ここで、

- Pts : 妨害を与える地点 1 無線局のスプリアスの空中線電力 -33 dBm/MHz
- GAt θ : 地点 1 当該無線局空中線利得 40(dBi)
- GAr θ : 電波天文業務の受信設備の空中線利得 0(dBi)
- Lp : 自由空間伝搬損失 (f : 23600MHz、d : 702km) $32.44 + 20 \log f + 20 \log d = 176.8$ (dB)
- Lft : 送信給電線損失 0(dB)
- Lfr : 受信給電線損失 0(dB)
- Fs : 妨害波伝搬路遮蔽係数 59.72 (dB)

	スペクトル線観測	連続波観測	備考
周波数	23.7GHz	23.8GHz	
干渉値	-229.52 dBm/MHz	-229.52 dBm/MHz	スプリアス受信電力
干渉しきい値	-174 dBm/MHz	-191 dBm/MHz	天文規定値
マージン	55.52dB	38.52dB	干渉しきい値 - 干渉値

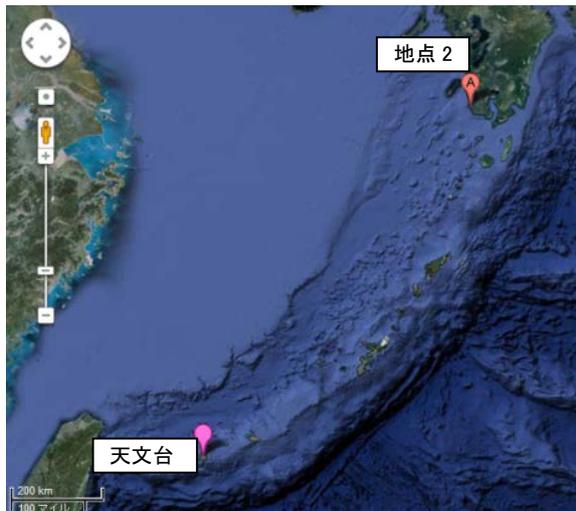
4. VERA 石垣島



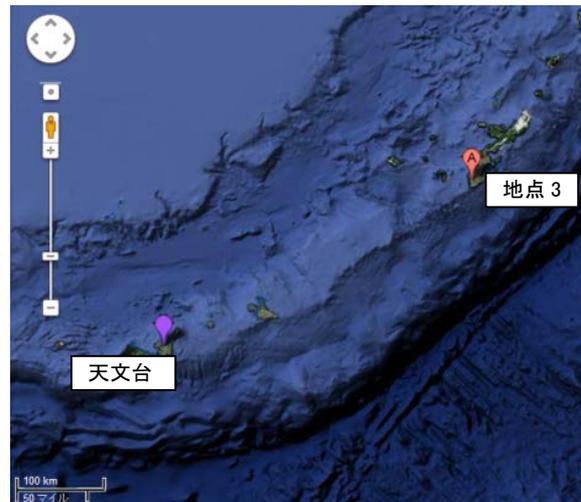
VERA 石垣島



第 1 地点 (1011km)

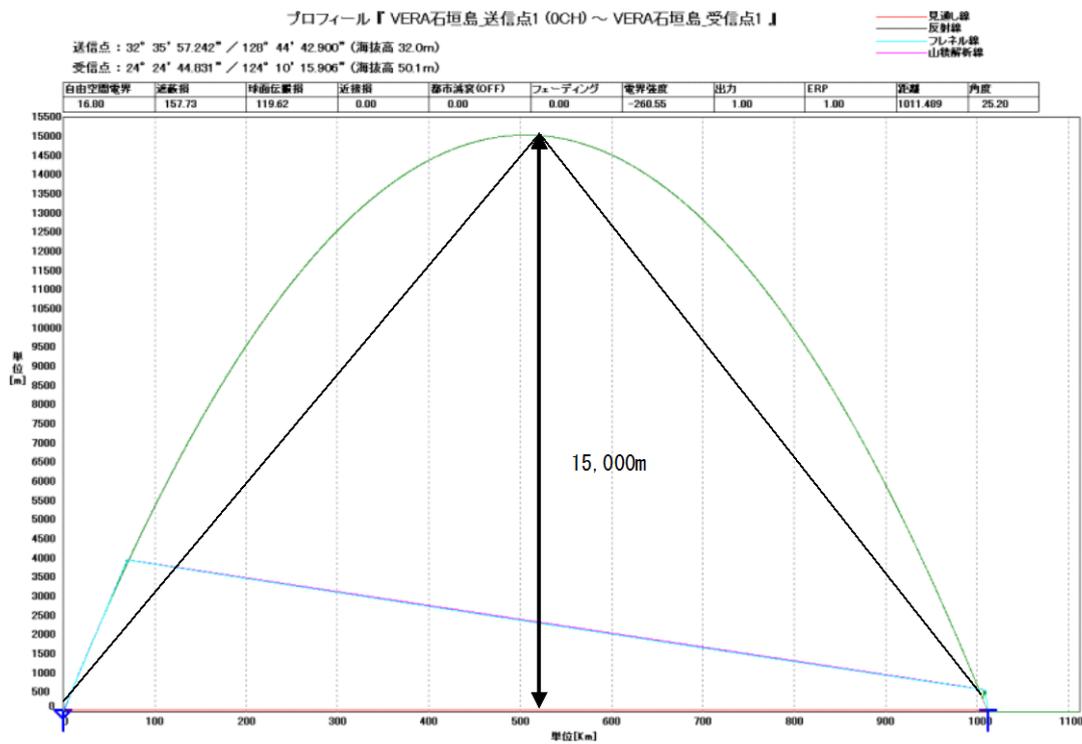


第 2 地点 (972km)



第 3 地点 (401km)

<送信点 1—VERA 石垣島 20m>



$$Prs = Pts + GA_{\theta} + GA_r - Lp - Lft - Lfr - Fs$$

$$= -33 \text{ (dBm/MHz)} + 40 \text{ (dBi)} + 0 \text{ (dBi)} - 180.0 \text{ (dB)} - 0 \text{ (dB)} - 0 \text{ (dB)} - 64.45 \text{ (dB)}$$

$$= -237.45 \text{ (dBm/MHz)}$$

ここで、

Pts : 妨害を与える地点 1 無線局のスプリアスの空中線電力 -33 dBm/MHz

GA_{θ} : 地点 1 当該無線局空中線利得 40 (dBi)

GA_r : 電波天文業務の受信設備の受信設備の空中線利得 0 (dBi)

Lp : 自由空間伝搬損失 ($f : 23600 \text{ MHz}$ 、 $d : 1011 \text{ km}$) $32.44 + 20 \log f + 20 \log d = 180.0 \text{ (dB)}$

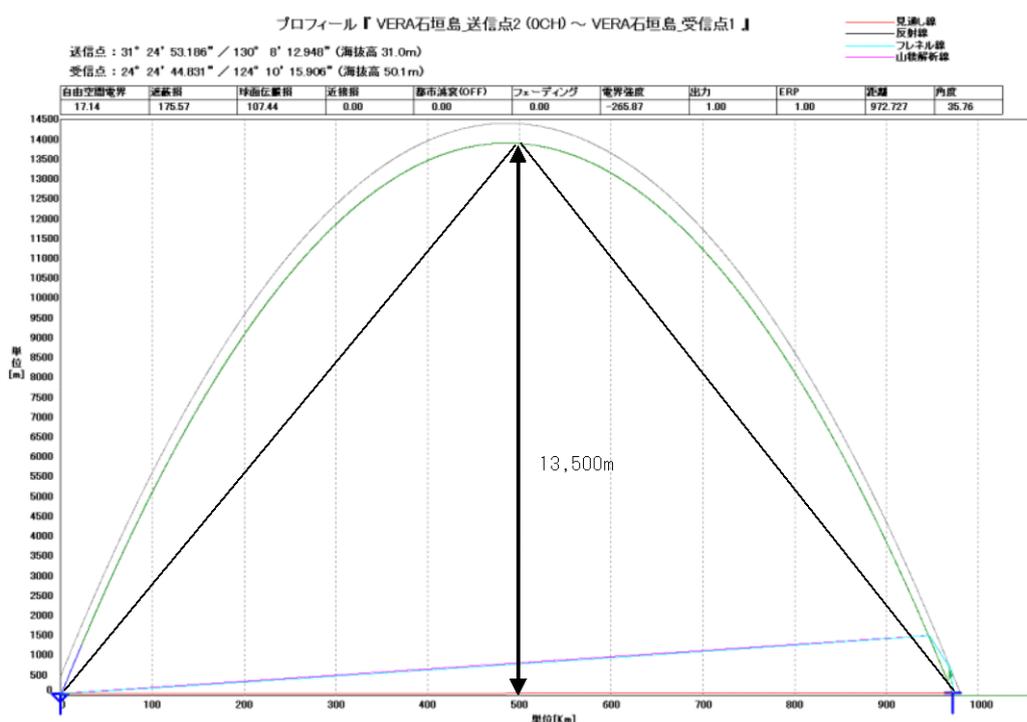
Lft : 送信給電線損失 0 (dB)

Lfr : 受信給電線損失 0 (dB)

Fs : 妨害波伝搬路遮蔽係数 64.45 (dB)

	スペクトル線観測	連続波観測	備考
周波数	23.7GHz	23.8GHz	
干渉値	-237.45 dBm/MHz	-237.45 dBm/MHz	スプリアス受信電力
干渉しきい値	-174 dBm/MHz	-191 dBm/MHz	天文規定値
マージン	63.45dB	46.45dB	干渉しきい値－干渉値

<送信点 2—VERA 石垣島 20m>



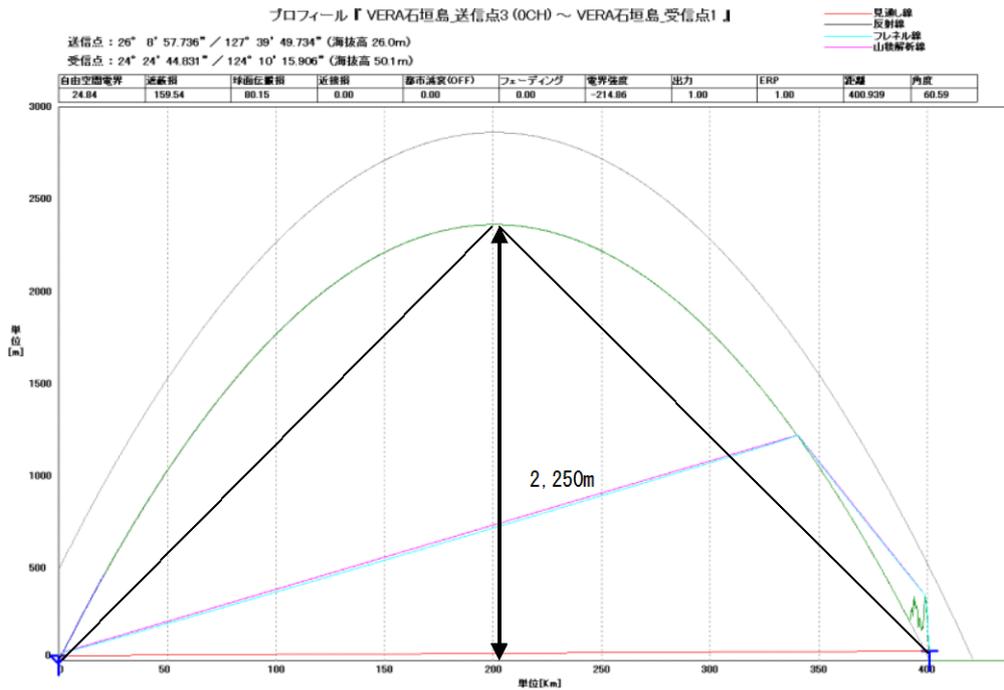
$$\begin{aligned}
 Prs &= Pts + GA_{\theta} + GAr_{\theta} - Lp - Lft - Lfr - Fs \\
 &= -33 \text{ (dBm/MHz)} + 40 \text{ (dBi)} + 0 \text{ (dBi)} - 179.65 \text{ (dB)} - 0 \text{ (dB)} - 0 \text{ (dB)} - 63.71 \text{ (dB)} \\
 &= -236.36 \text{ (dBm/MHz)}
 \end{aligned}$$

ここで、

- Pts : 妨害を与える地点 1 無線局のスプリアスの空中線電力 -33 dBm/MHz
- GA_θ : 地点 1 当該無線局空中線利得 40 (dBi)
- GAr_θ : 電波天文業務の受信設備の空中線利得 0 (dBi)
- Lp : 自由空間伝搬損失 (f : 23600MHz、d : 972km) 32.44 + 20logf + 20logd = 179.65 (dB)
- Lft : 送信給電線損失 0 (dB)
- Lfr : 受信給電線損失 0 (dB)
- Fs : 妨害波伝搬路遮蔽係数 63.71 (dB)

	スペクトル線観測	連続波観測	備考
周波数	23.7GHz	23.8GHz	
干渉値	-236.36 dBm/MHz	-236.36 dBm/MHz	スプリアス受信電力
干渉しきい値	-174 dBm/MHz	-191 dBm/MHz	天文規定値
マージン	62.36dB	45.36dB	干渉しきい値 - 干渉値

<送信点 3—VERA 石垣島 20m>



$$Prs = Pts + GAt \theta + GAr \theta - Lp - Lft - Lfr - Fs$$

$$= -33 \text{ (dBm/MHz)} + 40 \text{ (dBi)} + 0 \text{ (dBi)} - 171.96 \text{ (dB)} - 0 \text{ (dB)} - 0 \text{ (dB)} - 51.99 \text{ (dB)}$$

$$= -216.95 \text{ (dBm/MHz)}$$

ここで、

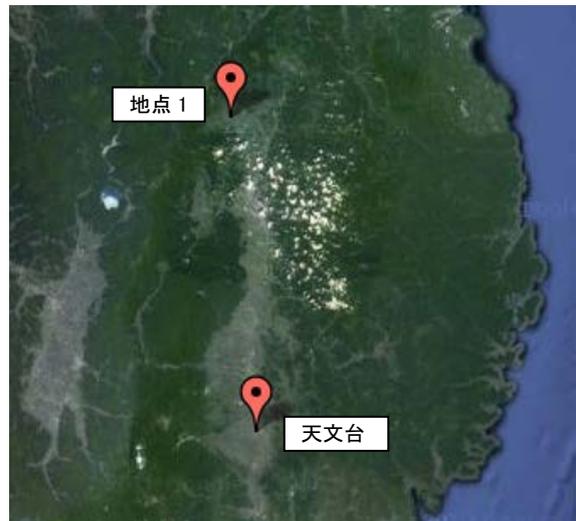
- Pts : 妨害を与える地点 1 無線局のスプリアスの空中線電力 -33 dBm/MHz
- GAt θ : 地点 1 当該無線局空中線利得 40(dBi)
- GAr θ : 電波天文業務の受信設備の空中線利得 0(dBi)
- Lp : 自由空間伝搬損失 (f: 23600MHz、d: 401km) $32.44 + 20 \log f + 20 \log d = 171.96$ (dB)
- Lft : 送信給電線損失 0(dB)
- Lfr : 受信給電線損失 0(dB)
- Fs : 妨害波伝搬路遮蔽係数 51.99 (dB)

	スペクトル線観測	連続波観測	備考
周波数	23.7GHz	23.8GHz	
干渉値	-216.95 dBm/MHz	-216.95 dBm/MHz	スプリアス受信電力
干渉しきい値	-174 dBm/MHz	-191 dBm/MHz	天文規定値
マージン	42.95dB	25.95dB	干渉しきい値－干渉値

5. 水沢



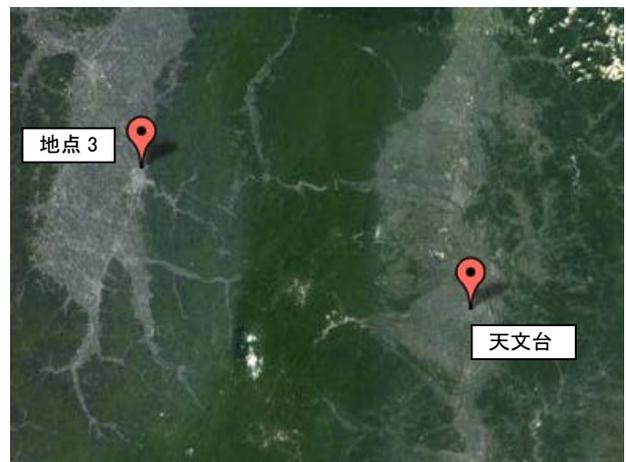
水沢



第 1 地点 (88.56km)

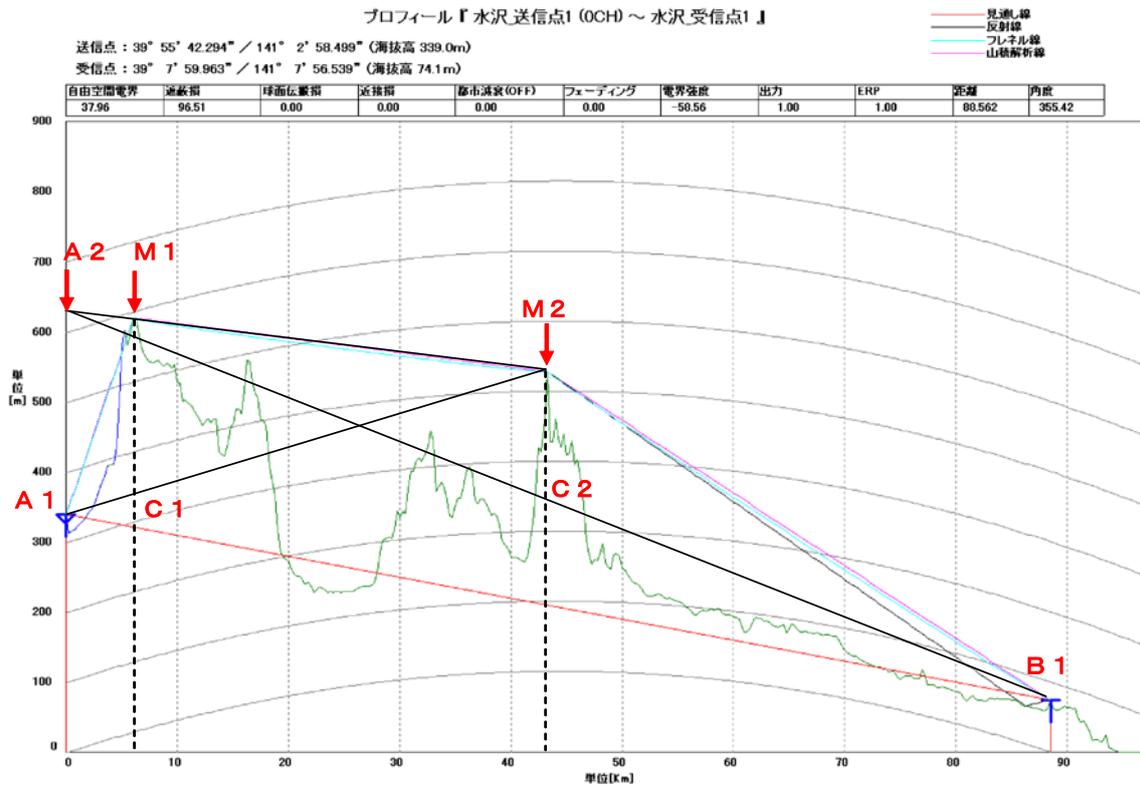


第 2 地点 (90km)



第 3 地点 (53.8km)

<送信点1—水沢 10m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a (km)	6370

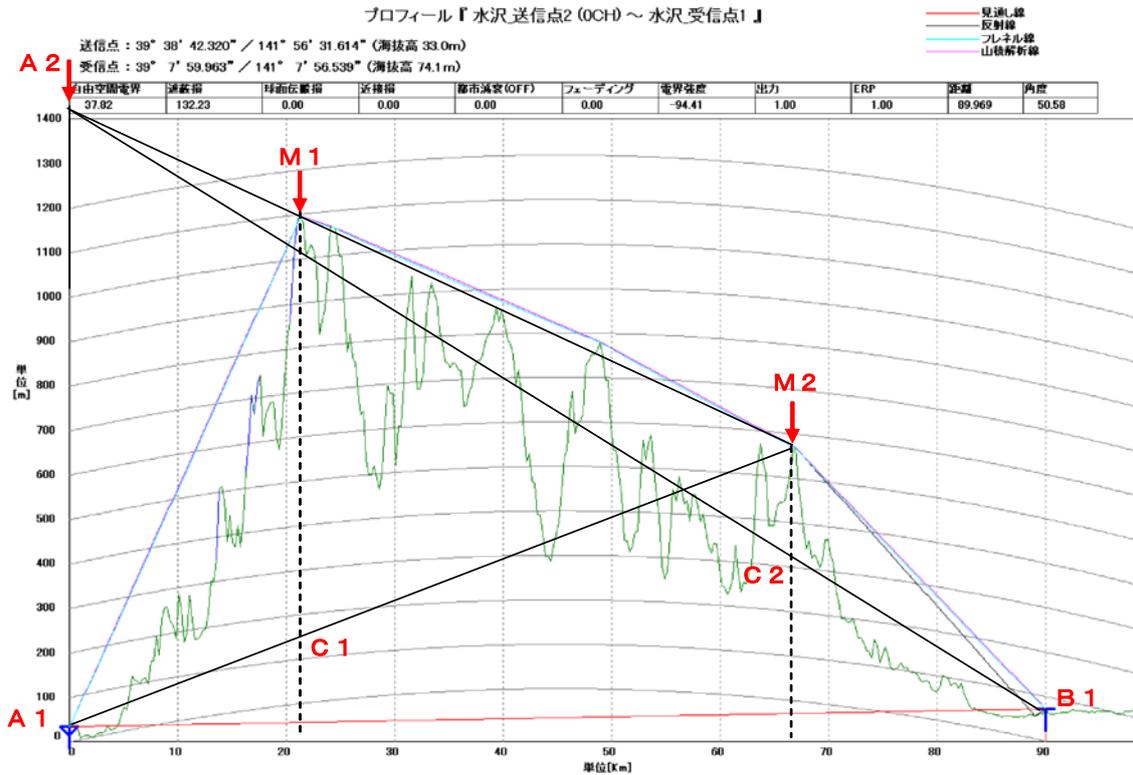
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D (km)	88.56	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2 (km)	43	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3 (km)	82.56	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1 (km)	6	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2 (km)	37	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3 (km)	45.56	
A1ポイント標高	h1 (m)	339	
M1ポイント標高	hm1 (m)	590	
M2ポイント標高	hm2 (m)	430	
B1ポイント標高	h2 (m)	74.1	
C1ポイント標高	hp1 (m)	338.63	= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1 (m)	251.37	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2 (m)	631.13	= ((d1+d2)/d2) (hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2 (m)	245.34	= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差(C2-M2間)	CS2 (m)	184.66	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f (MHz)	23600	
信号波長	λ (m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1 (m)	8.10	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	31.03	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1 (dB)	45.84	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2 (m)	16.77	= √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	11.01	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2 (dB)	36.84	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt (dB)	82.67	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0 (dB)	158.8429922	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ (dB)	241.52	= Γ0+Zt

<送信点 2—水沢 10m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

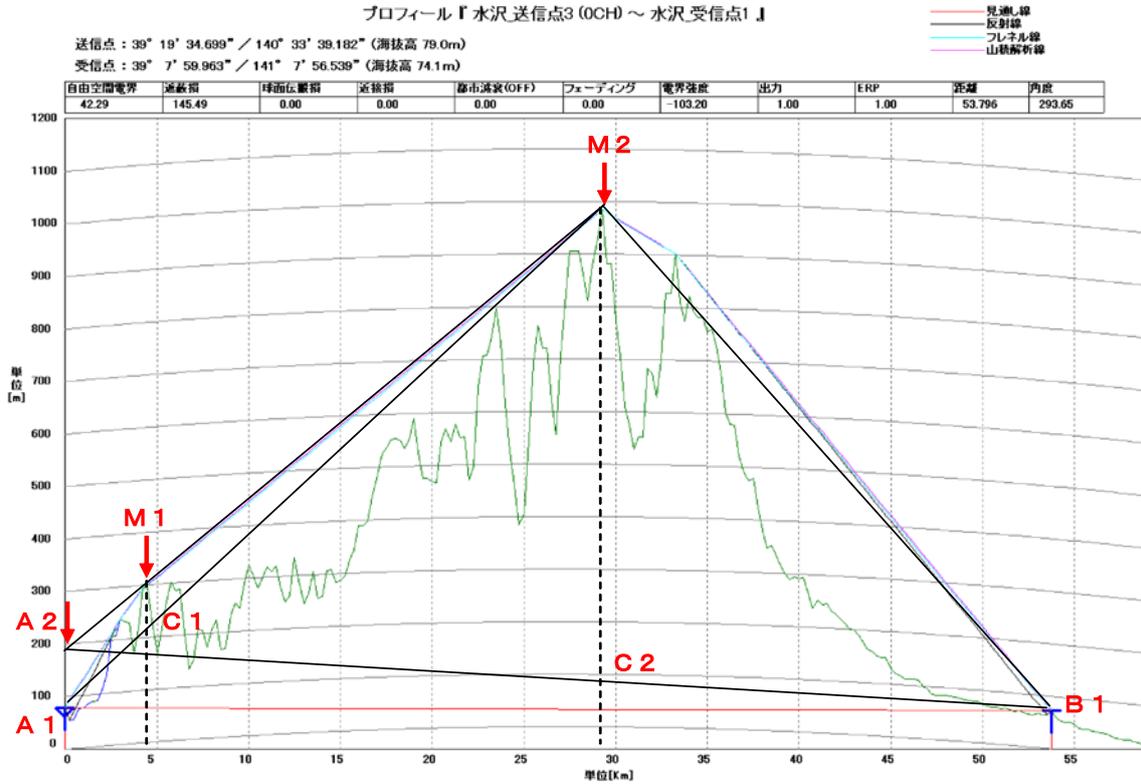
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	90 = d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	67 = d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	68.5 = d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	21.5
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	45.5
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	23
A1ポイント標高	h1(m)	33
M1ポイント標高	hm1(m)	1095
M2ポイント標高	hm2(m)	570
B1ポイント標高	h2(m)	74.1
C1ポイント標高	hp1(m)	147.73 = (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	947.27 = hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	1427.88 = ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2(m)	329.35 = (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	240.65 = hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値
伝送周波数	f(MHz)	23600
信号波長	λ(m)	0.0127 = 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	13.62 = √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	69.53 = CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	52.84 = 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	14.75 = √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	16.31 = CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	40.25 = 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	93.09 = Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	158.9830902 = 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	252.08 = Γ0+Zt

<送信点3—水沢 10m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	53.8	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	29	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	49.8	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	4	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	25	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	24.8	
A1ポイント標高	h1(m)	79	
M1ポイント標高	hm1(m)	295	
M2ポイント標高	hm2(m)	985	
B1ポイント標高	h2(m)	74.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	198.08	= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	96.92	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	191.43	= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2(m)	85.85	= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/(d1+d2)+d3-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	899.15	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	6.62	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	14.64	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	39.31	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	13.04	= √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	68.98	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	52.77	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	92.08	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	154.5138856	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	246.60	= Γ0+Zt

6. 北大苦小牧



北大苦小牧沢



第 1 地点 (68.7km)

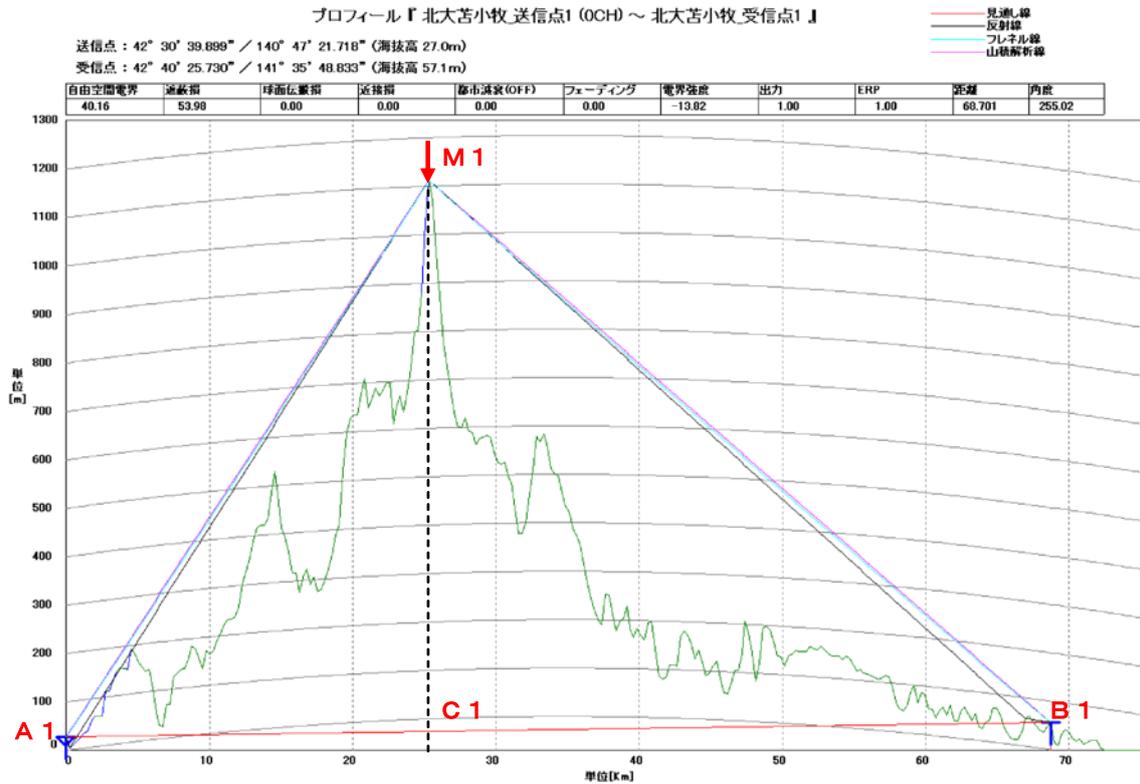


第 2 地点 (57.32km)



第 3 地点 (107.76km)

<送信点1—北大苦小牧 11m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

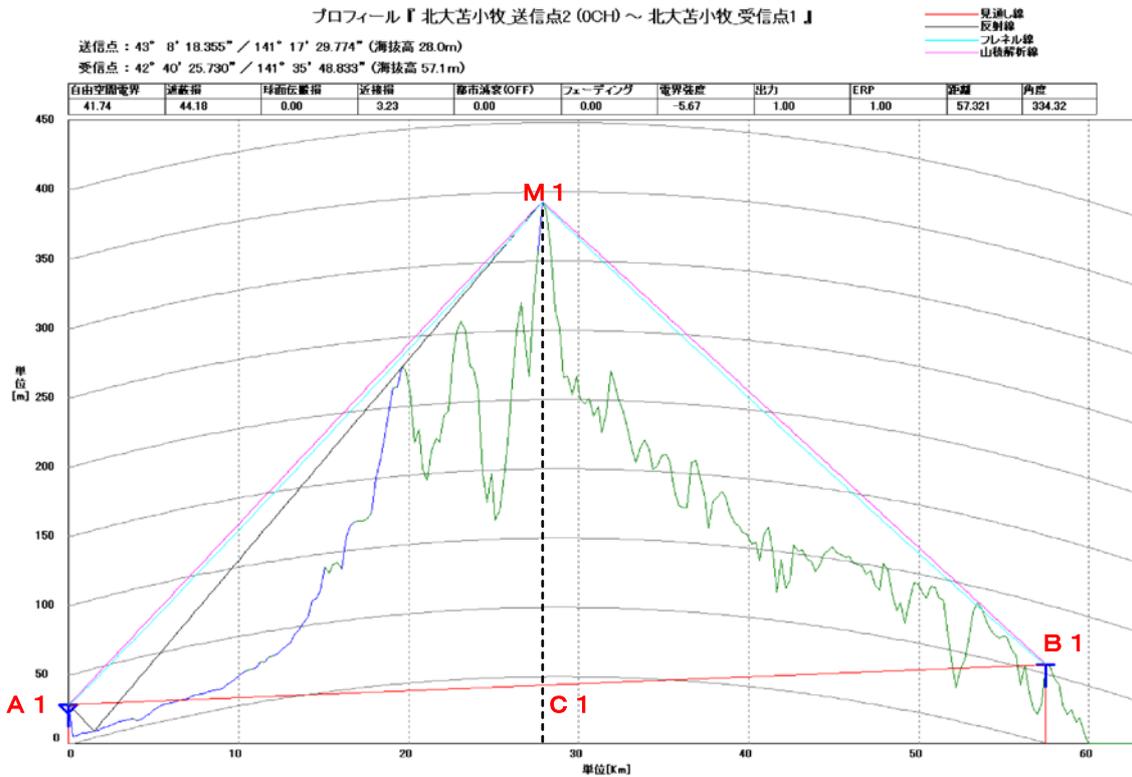
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	D(km)	68.7	= d1 + d2
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	25.5	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	43.2	
A1ポイント標高	h1(m)	27	
M1ポイント標高	hm1(m)	1110	
B1ポイント標高	h2(m)	68.7	
C1ポイント標高	hp1(m)	-22.37	=(h1*d2+h2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	1132.37	=hm1-hp1

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	14.28	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	79.31	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	53.99	= 16+20*LOG(U1)
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	156.6373748	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2)
伝搬損失	Γ(dB)	210.62	= Γ0+Z1

<送信点 2—北大苦小牧 11m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

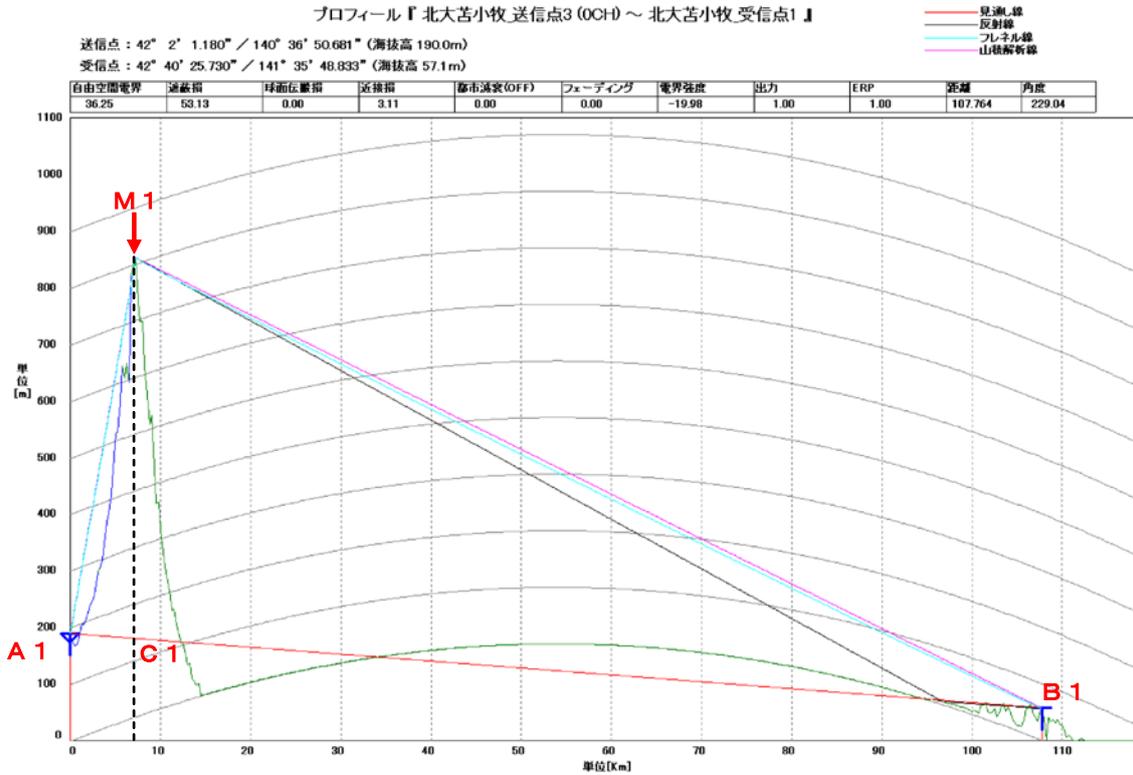
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	D(km)	57.32	= d1 + d2
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	27.5	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	29.82	
A1ポイント標高	h1(m)	28	
M1ポイント標高	hm1(m)	340	
B1ポイント標高	h2(m)	57.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	-6.32	= (h1*d2 + h2*d1) / (d1 + d2) - (d1*d2) / (2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	346.32	= hm1 - hp1

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300 / f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	13.49	= √((λ * d1 * d2) / (d1 + d2))
M1回折パラメータ	U1	25.68	= CS1 / Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	44.19	= 16 + 20 * LOG(U1)
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	155.0643637	= 32.44 + 20 * LOG(f) + 20 * LOG(d1 + d2)
伝搬損失	Γ(dB)	199.26	= Γ0 + Z1

<送信点 3—北大苦小牧 11m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

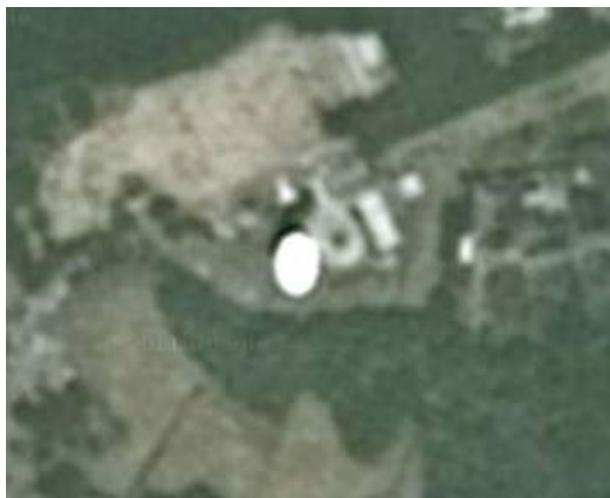
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	D(km)	107.76	= d1 + d2
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	7	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	100.76	
A1ポイント標高	h1(m)	190	
M1ポイント標高	hm1(m)	810	
B1ポイント標高	h2(m)	57.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	139.84	= (h1*d2 + h2*d1) / (d1 + d2) - (d1*d2) / (2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	670.16	= hm1 - hp1

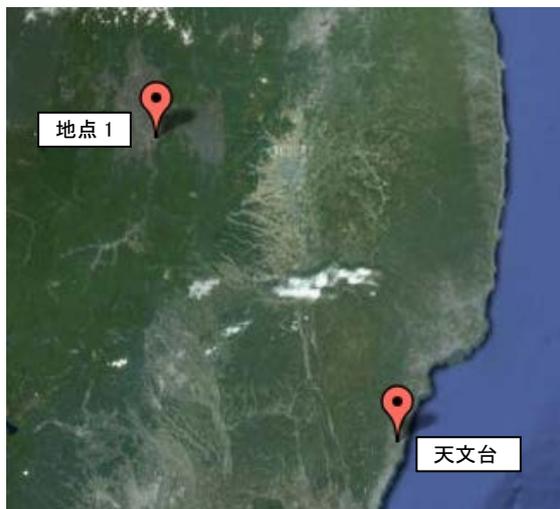
周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300 / f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	9.12	= √((λ * d1 * d2) / (d1 + d2))
M1回折パラメータ	U1	73.47	= CS1 / Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	53.32	= 16 + 20 * LOG(U1)
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	160.5473917	= 32.44 + 20 * LOG(f) + 20 * LOG(d1 + d2)
伝搬損失	Γ(dB)	213.87	= Γ0 + Z1

7. 高萩



高萩



第 1 地点(110.07km)

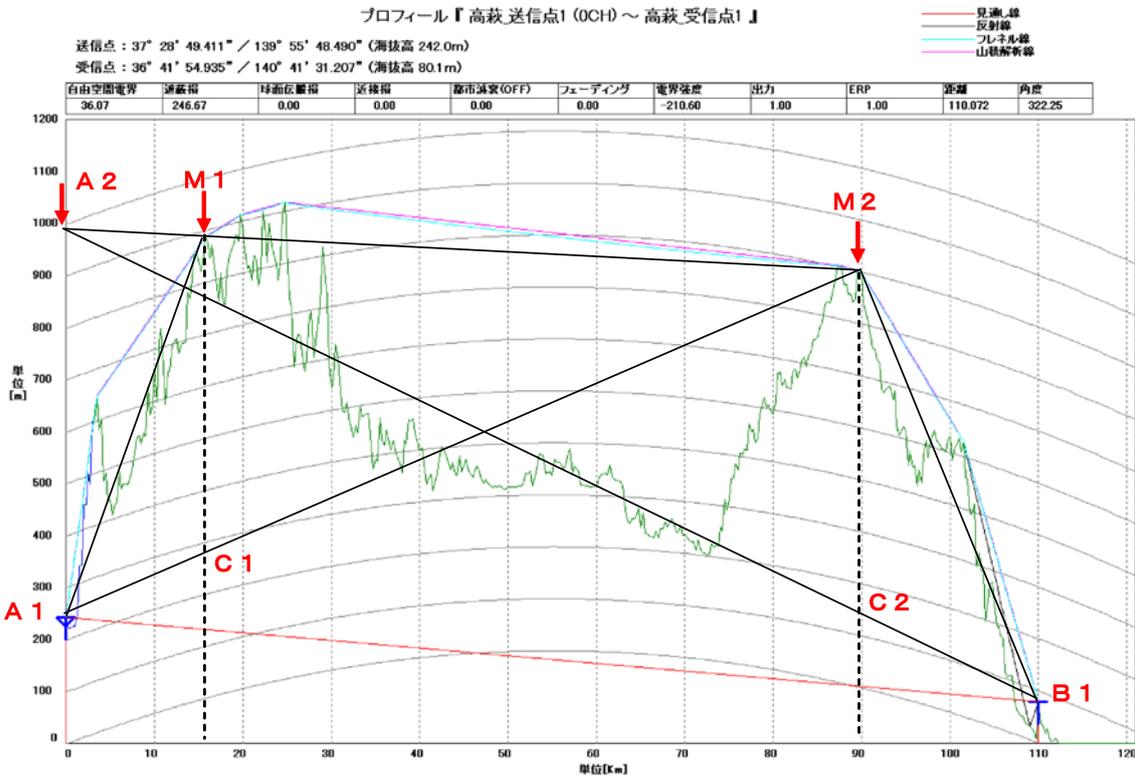


第 2 地点(132.23km)



第 3 地点(24km)

<送信点 1—高萩 32m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

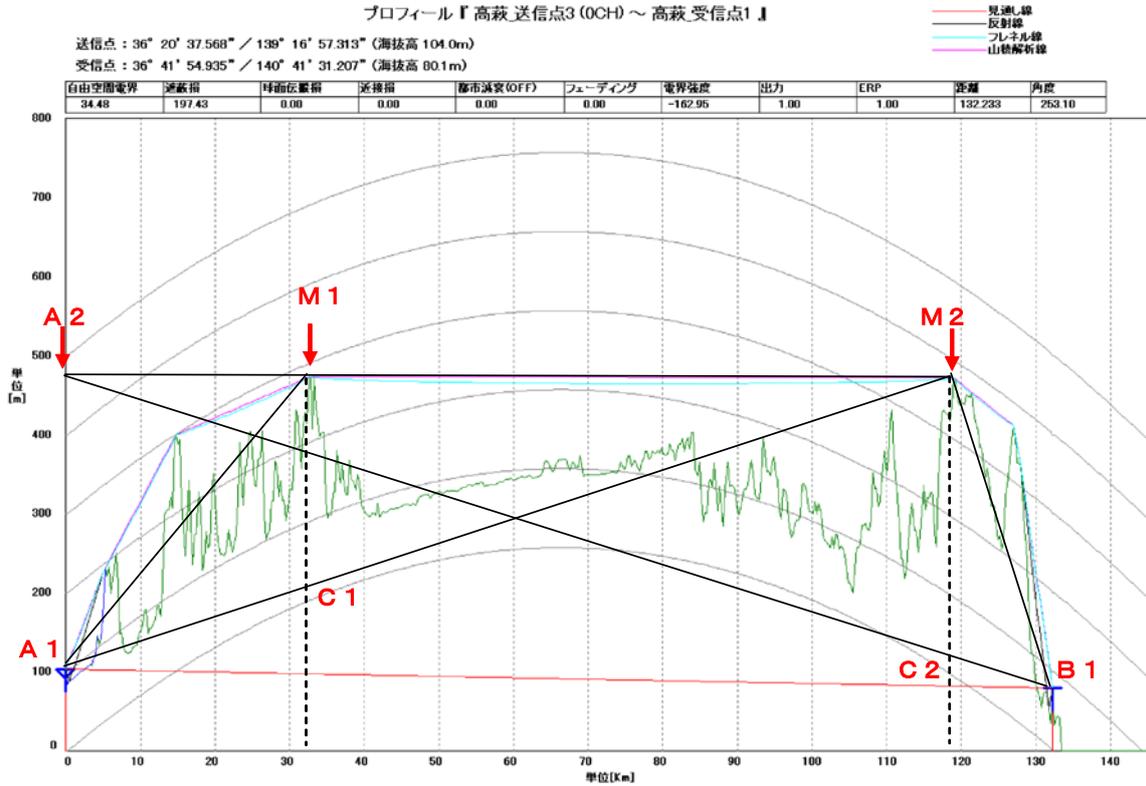
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	110.07	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	90	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	94.07	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	16	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	74	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	20.07	
A1ポイント標高	h1(m)	242	
M1ポイント標高	hm1(m)	885	
M2ポイント標高	hm2(m)	800	
B1ポイント標高	h2(m)	80.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	271.50	$= (h1*d2 + hm2*d1) / (d1+d2) - (d1*d2) / (2*K*a)$
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	613.50	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	988.15	$= ((d1+d2)/d2) * (hm1 + (d1*d2)/(2*K*a)) - (d1*hm2/d2)$
C2ポイント標高	hp2(m)	139.34	$= (ha2*d3 + h2*(d1+d2)) / ((d1+d2)+d3) - ((d1+d2)*d3) / (2*K*a)$
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	660.66	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	12.93	$= \sqrt{(\lambda * d1 * d2) / (d1+d2)}$
M1回折パラメータ	U1	47.44	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	49.52	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	14.44	$= \sqrt{(\lambda * (d1+d2) * d3) / ((d1+d2)+d3)}$
M2回折パラメータ	U2	45.74	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	49.21	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	98.73	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	160.7316194	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	259.46	= Γ0+Zt

<送信点 2—高萩 32m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

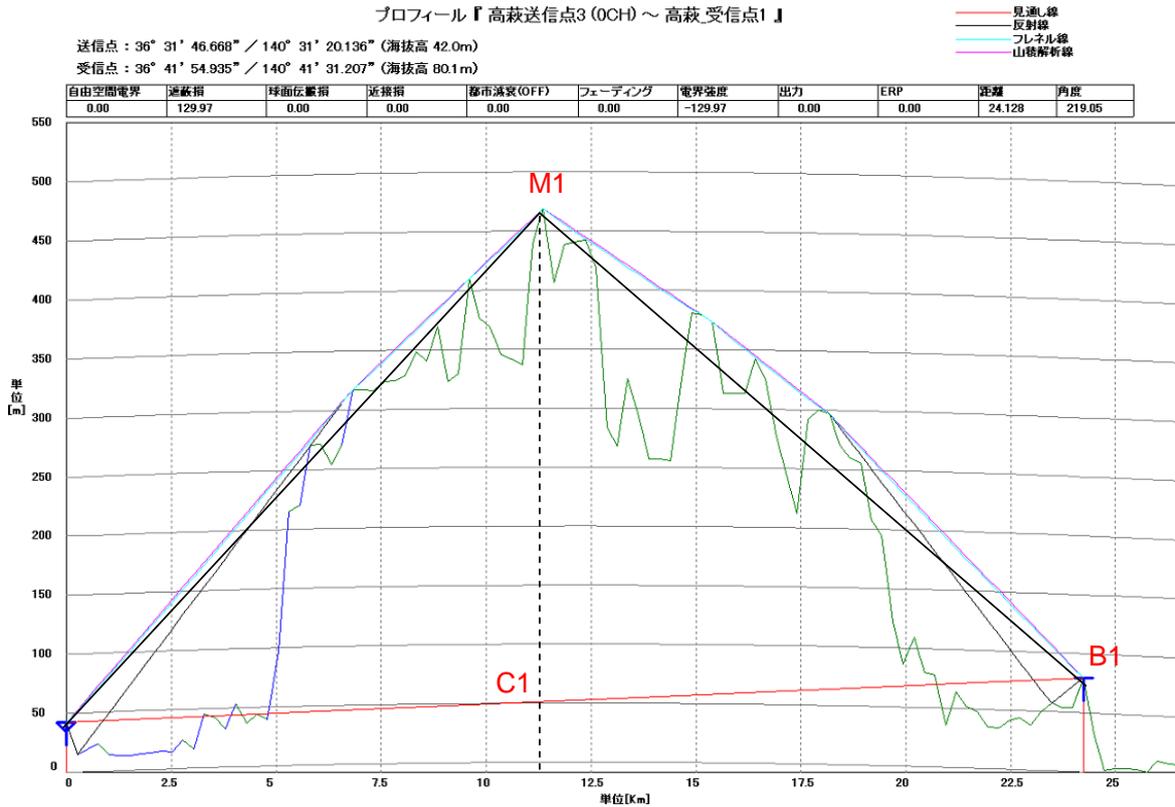
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	132.23	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	119	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	99.23	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	33	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	86	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	13.23	
A1ポイント標高	h1(m)	104	
M1ポイント標高	hm1(m)	280	
M2ポイント標高	hm2(m)	380	
B1ポイント標高	h2(m)	80.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	13.47	$= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2) - (d1*d2)/(2*K*a)$
高低差(C1-M1間) = (hm1-hp1)	CS1(m)	266.53	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	472.81	$= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a)) - (d1*hm2/d2)$
C2ポイント標高	hp2(m)	26.71	$= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3) - ((d1+d2)*d3)/(2*K*a)$
高低差(C2-M2間) = (hm2-hp2)	CS2(m)	353.29	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	17.41	$= \sqrt{((\lambda*d1*d2)/(d1+d2))}$
M1回折パラメータ	U1	15.31	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	39.70	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	12.30	$= \sqrt{((\lambda*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))}$
M2回折パラメータ	U2	28.72	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	45.16	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	84.86	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	162.32484	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	247.19	= Γ0+Zt

<送信点 3—高萩 32m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	D(km)	24	= d1+d2
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	11.25	
伝送距離(M1-B1間直線)	d2(km)	12.75	
A1ポイント標高	h1(m)	42	
M1ポイント標高	hm1(m)	470	
B1ポイント標高	h2(m)	80.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	51.42	= (h1*d2+h2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	418.58	= hm1-hp1

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	8.72	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	48.02	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	49.63	= 16+20*LOG(U1)
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	147.5024649	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2)
伝搬損失	Γ(dB)	197.13	= Γ0+Z1

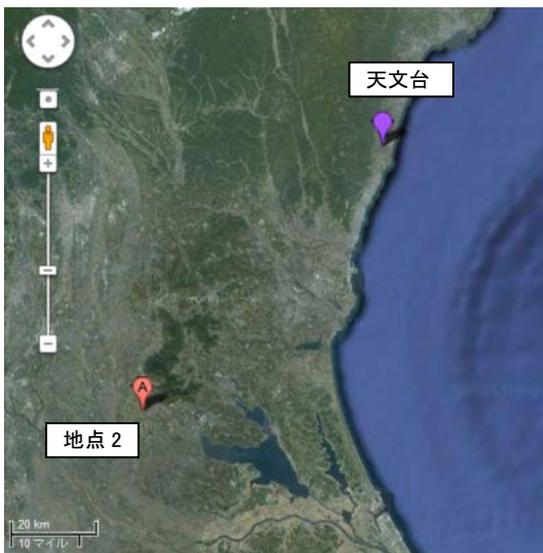
8. 日立



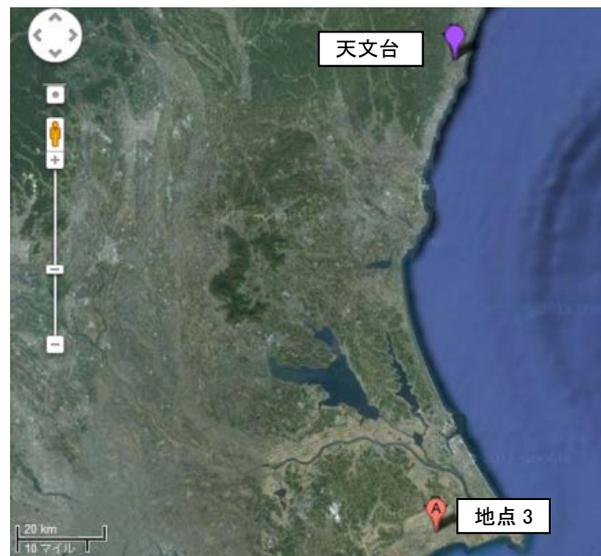
日立



第 1 地点 (65.18km)

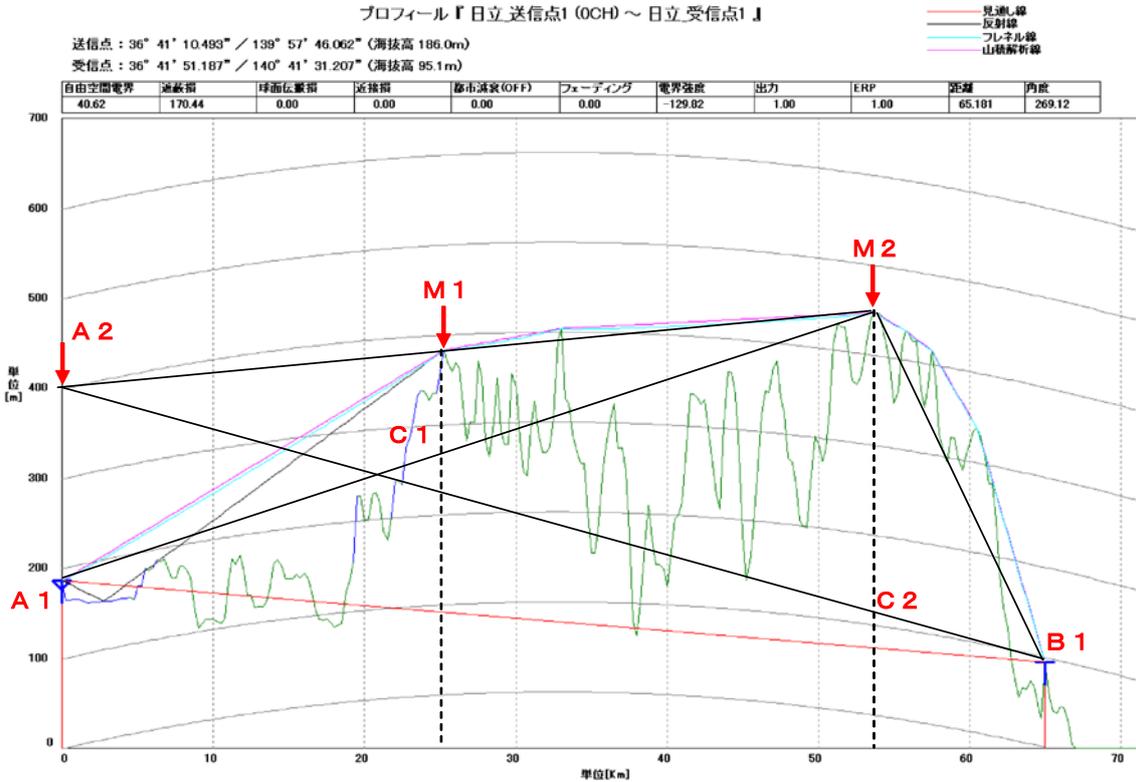


第 2 地点 (83.95km)



第 3 地点 (108.69km)

<送信点 1—日立 32m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

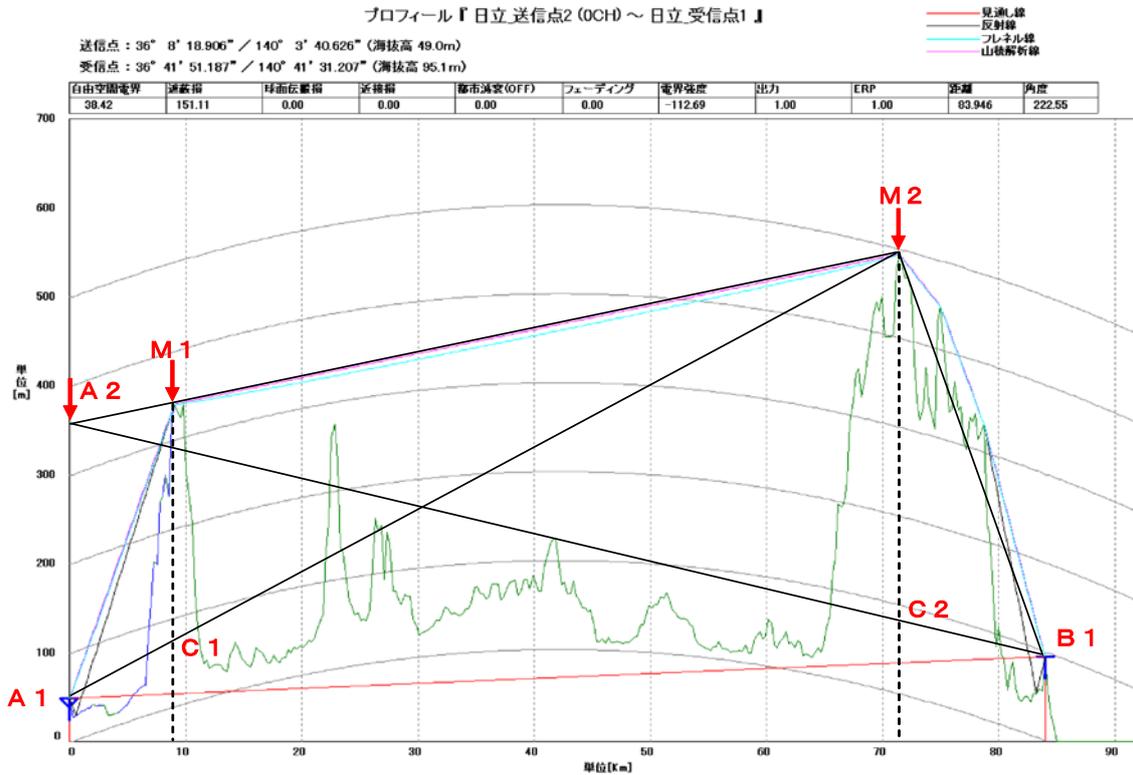
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	65.18	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	54	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	40.18	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	25	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	29	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	11.18	
A1ポイント標高	h1(m)	186	
M1ポイント標高	hm1(m)	380	
M2ポイント標高	hm2(m)	450	
B1ポイント標高	h2(m)	95.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	265.54	$= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2) - (d1*d2)/(2*K*a)$
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	114.46	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	399.13	$= ((d1+d2)/d2) * (hm1 + (d1*d2)/(2*K*a)) - (d1*hm2/d2)$
C2ポイント標高	hp2(m)	111.71	$= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3) - ((d1+d2)*d3)/(2*K*a)$
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	338.29	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	13.06	$= \sqrt{(\lambda * d1*d2)/(d1+d2)}$
M1回折パラメータ	U1	8.76	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	34.85	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	10.85	$= \sqrt{(\lambda * (d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3)}$
M2回折パラメータ	U2	31.18	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	45.88	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	80.73	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	156.1805272	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	236.91	= Γ0+Zt

<送信点 2—日立 32m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

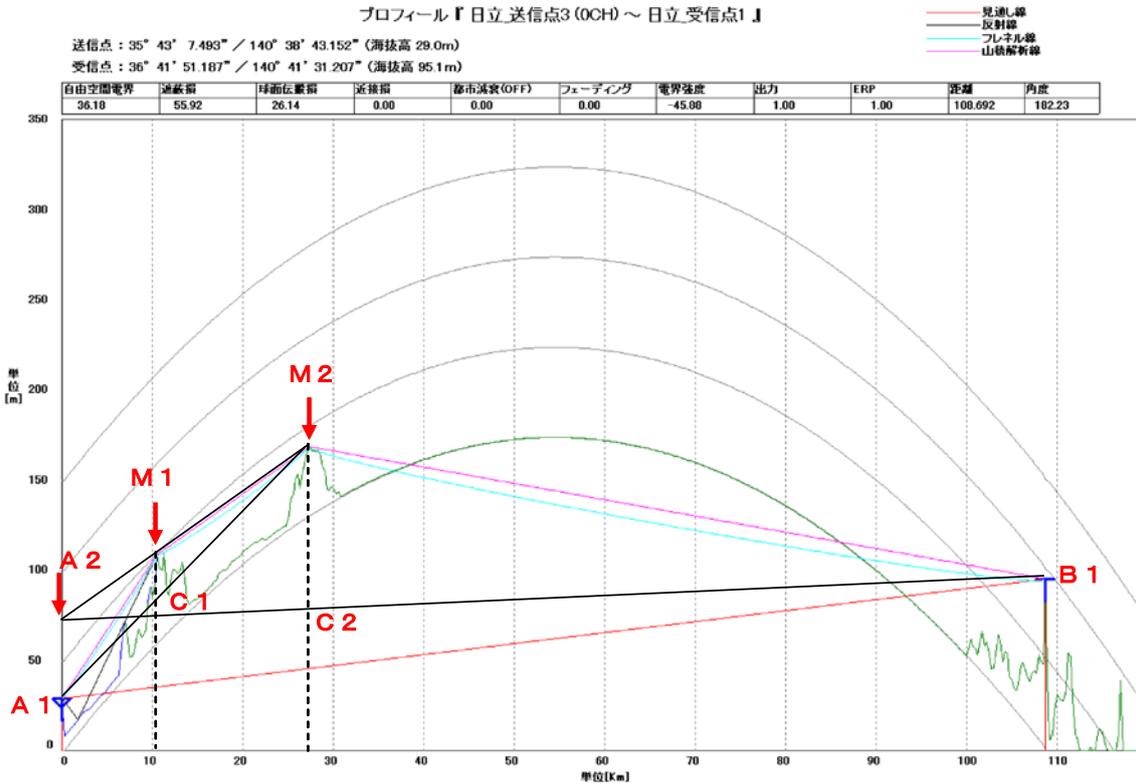
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	84	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	71.5	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	75	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	9	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	62.5	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	12.5	
A1ポイント標高	h1(m)	49	
M1ポイント標高	hm1(m)	345	
M2ポイント標高	hm2(m)	490	
B1ポイント標高	h2(m)	95.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	71.40	$= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2) - (d1*d2)/(2*K*a)$
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	273.60	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	362.00	$= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a)) - (d1*hm2/d2)$
C2ポイント標高	hp2(m)	82.20	$= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3) - ((d1+d2)*d3)/(2*K*a)$
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	407.80	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	10.00	$= \sqrt{((\lambda*d1*d2)/(d1+d2))}$
M1回折パラメータ	U1	27.36	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	44.74	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	11.63	$= \sqrt{((\lambda*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))}$
M2回折パラメータ	U2	35.06	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	46.90	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	91.64	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	158.3838258	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	250.02	= Γ0+Zt

<送信点3—日立 32m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	108.69	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	27	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	98.19	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	10.5	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	16.5	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	81.69	
A1ポイント標高	h1(m)	29	
M1ポイント標高	hm1(m)	50	
M2ポイント標高	hm2(m)	40	
B1ポイント標高	h2(m)	95.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	23.08	= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	26.92	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	73.05	= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2(m)	-51.31	= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	91.31	= hm2-hp2

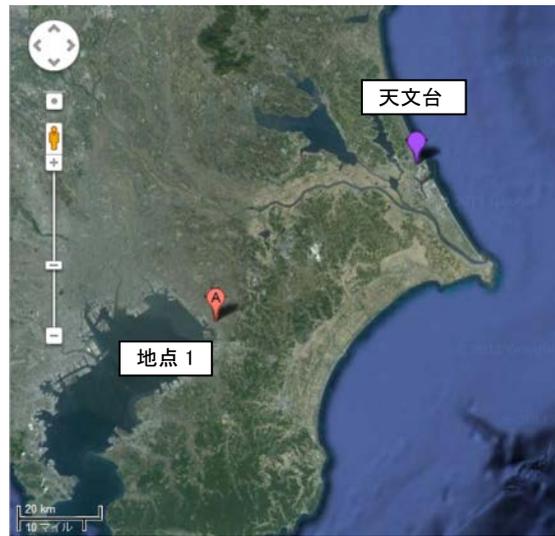
周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	9.03	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	2.98	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	25.49	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	16.06	= √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	5.69	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	31.10	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	56.58	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	160.6220318	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	217.20	= Γ0+Zt

9. NICT 鹿島



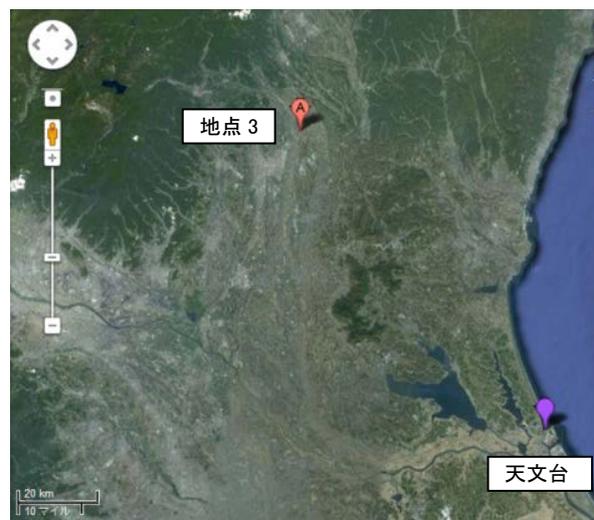
NICT 鹿島



第 1 地点 (62.65km)

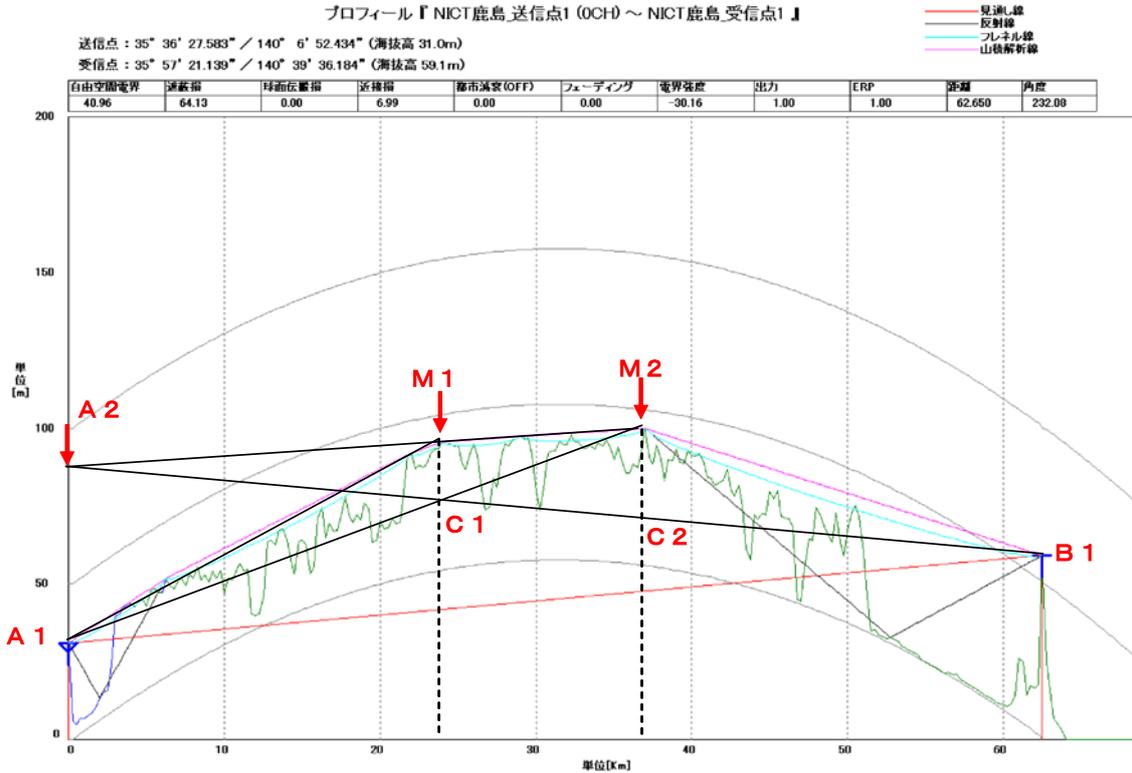


第 2 地点 (97.61km)



第 3 地点 (97.46km)

<送信点 1—NICT 鹿島 34m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

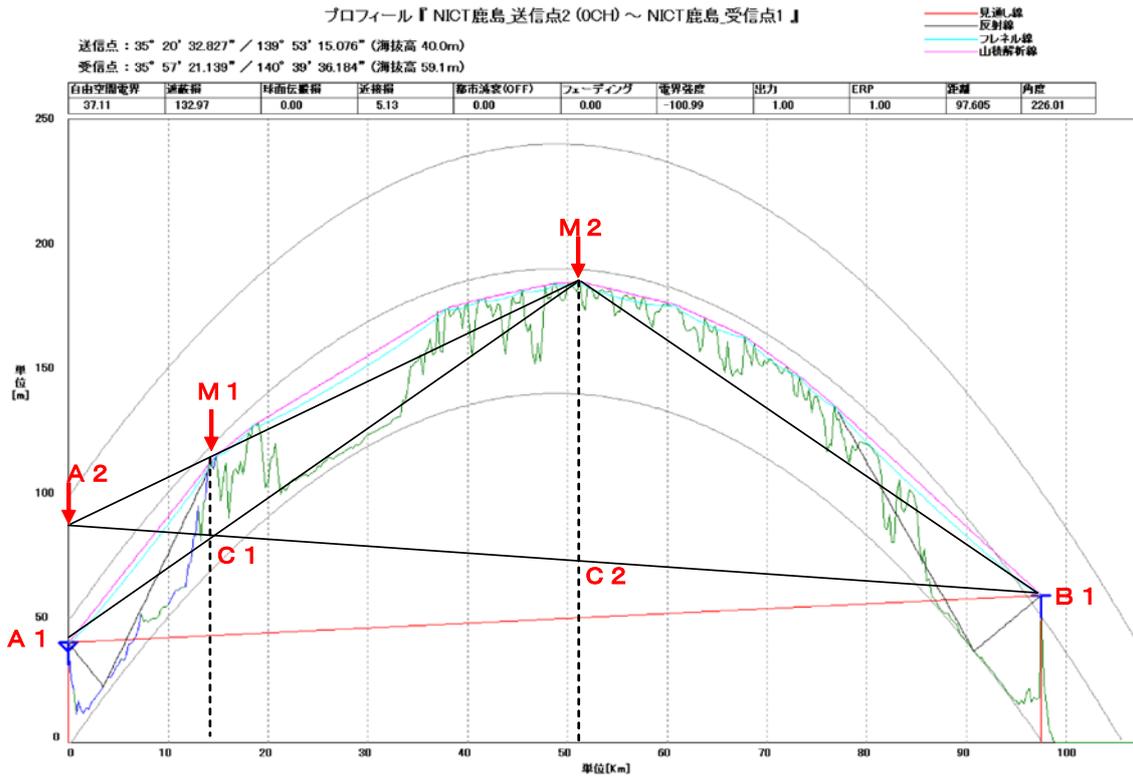
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	62.65	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	37	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	38.65	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	24	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	13	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	25.65	
A1ポイント標高	h1(m)	31	
M1ポイント標高	hm1(m)	40	
M2ポイント標高	hm2(m)	43	
B1ポイント標高	h2(m)	59.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	20.42	= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間) = (hm1-hp1)	CS1(m)	19.58	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	86.74	= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2(m)	14.55	= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差(C2-M2間) = (hm2-hp2)	CS2(m)	28.45	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	10.35	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	1.89	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	21.54	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	13.88	= √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	2.05	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	22.24	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	43.77	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	155.8366616	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	199.61	= Γ0+Zt

<送信点 2—NICT 鹿島 34m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

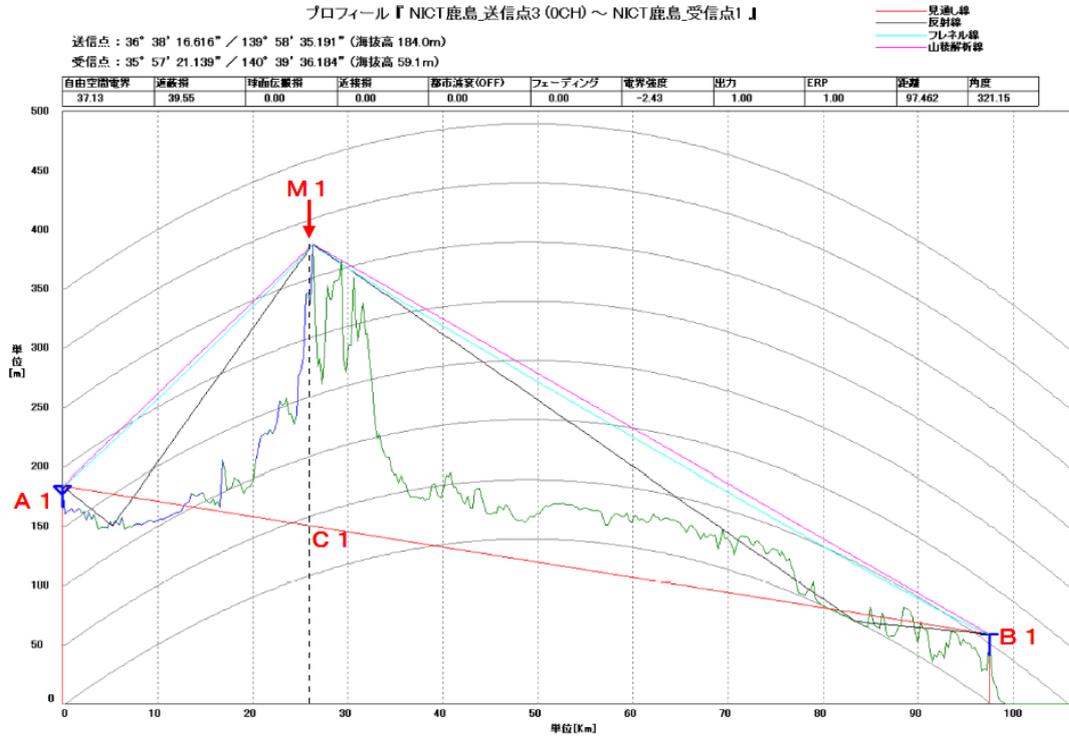
項目	記号	値	計算式
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	97.61	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	51.5	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	82.61	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	15	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	36.5	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	46.11	
A1ポイント標高	h1(m)	40	
M1ポイント標高	hm1(m)	43	
M2ポイント標高	hm2(m)	45	
B1ポイント標高	h2(m)	59.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	9.23	$= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2) - (d1*d2)/(2*K*a)$
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	33.77	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	87.65	$= ((d1+d2)/d2) * (hm1 + (d1*d2)/(2*K*a)) - (d1*hm2/d2)$
C2ポイント標高	hp2(m)	-67.21	$= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3) - ((d1+d2)*d3)/(2*K*a)$
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	112.21	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	11.63	$= \sqrt{(\lambda * d1 * d2)/(d1+d2)}$
M1回折パラメータ	U1	2.91	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	25.26	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	17.59	$= \sqrt{(\lambda * (d1+d2) * d3)/((d1+d2)+d3)}$
M2回折パラメータ	U2	6.38	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	32.10	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	57.36	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ 0(dB)	159.6881263	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	217.05	= Γ 0+Zt

<送信点 3—NICT 鹿島 34m>

<送信点 3—NICT 鹿島>・・・1 回回折



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	D(km)	97.46	=d1+d2
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	26	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	71.46	
A1ポイント標高	h1(m)	184	
M1ポイント標高	hm1(m)	275	
B1ポイント標高	h2(m)	59.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	41.30	$= (h1*d2+h2*d1) / (d1+d2) - (d1*d2) / (2*K*a)$
高低差(C1-M1間) = (hm1-hp1)	CS1(m)	233.70	=hm1-hp1

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	=300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	15.57	$= \sqrt{(\lambda * d1 * d2) / (d1 + d2)}$
M1回折パラメータ	U1	15.01	=CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	39.53	=16+20*LOG(U1)
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	159.6747682	=32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2)
伝搬損失	Γ(dB)	199.20	=Γ0+Z1

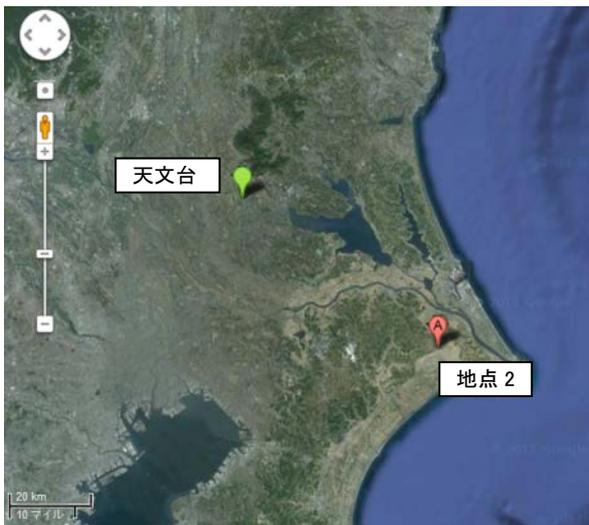
10. 国土地理院つくば



国土地理院つくば



第1地点(108.92km)



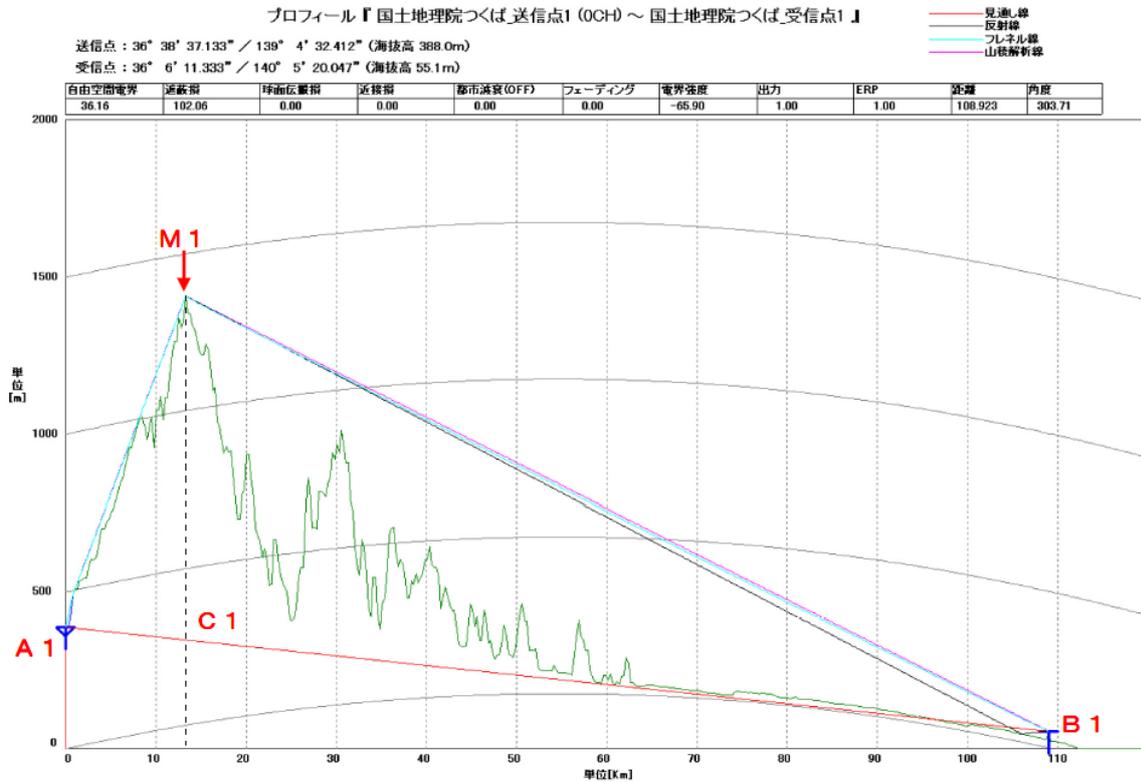
第2地点(60.6km)



第3地点(80.46km)

<送信点 1—国土地理院つくば 32m>

<送信点 1—国土地理院つくば>・・・1回回折



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

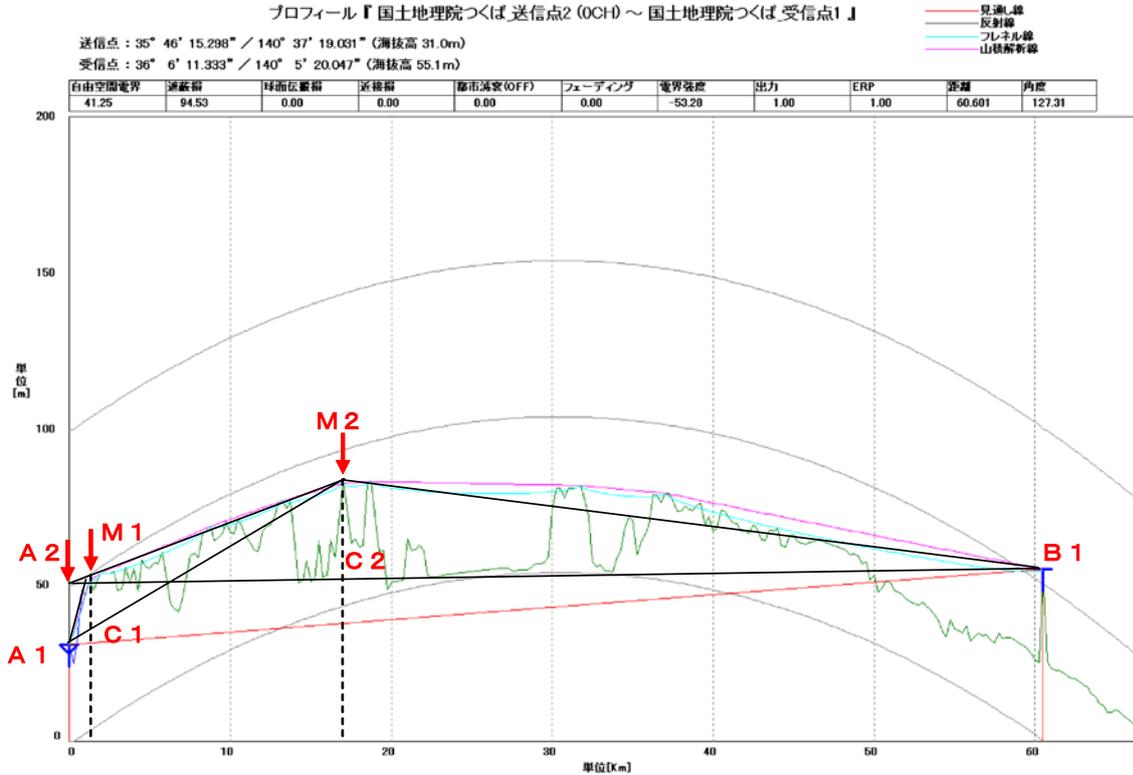
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	D(km)	108.92	=d1+d2
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	13.5	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	95.42	
A1ポイント標高	h1(m)	388	
M1ポイント標高	hm1(m)	1350	
B1ポイント標高	h2(m)	55.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	270.90	= (h1*d2+h2*d1)/(d1+d2) - (d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間) = (hm1-hp1)	CS1(m)	1079.10	=hm1-hp1

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	=300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	12.26	=√((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	88.01	=CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	54.89	=16+20*LOG(U1)
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	160.6403927	=32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2)
伝搬損失	Γ(dB)	215.53	=Γ0+Z1

<送信点 2—国土地理院つくば 32m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

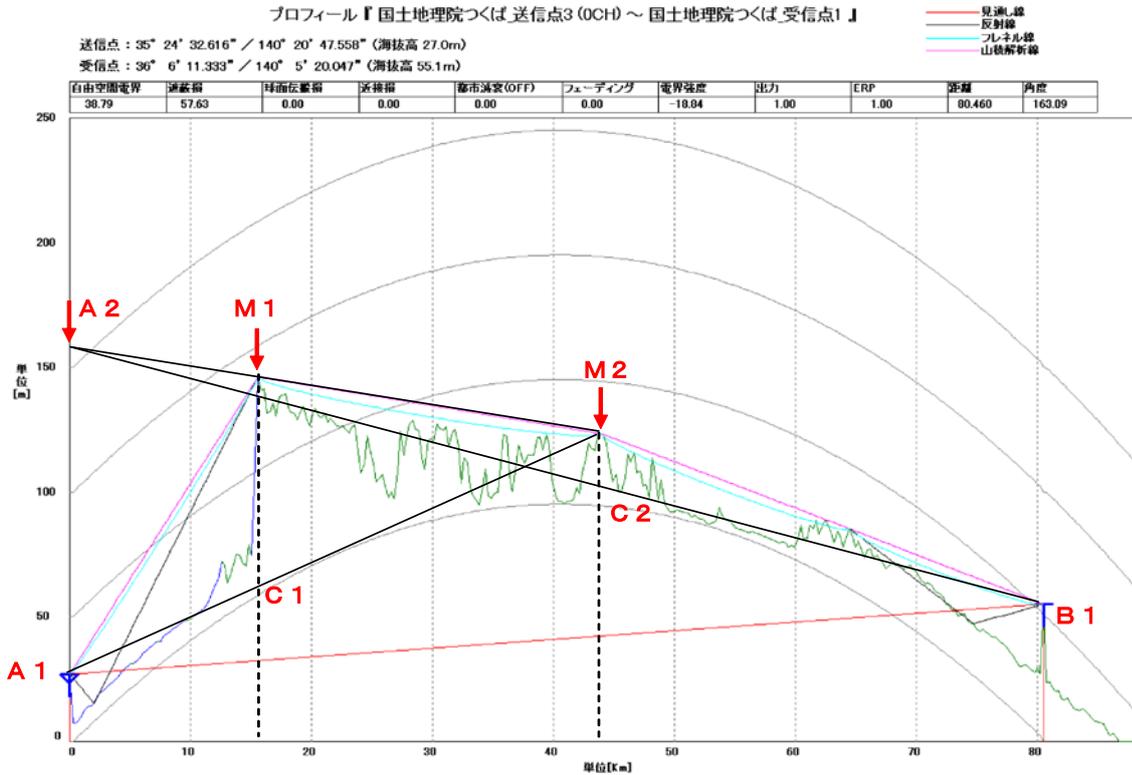
距離 (高さ) に依存するパラメータ

項目	記号	値
伝送距離 (ポイント間直線)	D (km)	61.6 = d1+d2+d3
伝送距離 (第1回折ポイント間直線)	d1+d2 (km)	17.5 = d1+d2
伝送距離 (第2回折ポイント間直線)	d2+d3 (km)	59.6 = d2+d3
伝送距離 (A-M1間直線)	d1 (km)	2
伝送距離 (M1-M2間直線)	d2 (km)	15.5
伝送距離 (M2-B1間直線)	d3 (km)	44.1
A1ポイント標高	h1 (m)	31
M1ポイント標高	hm1 (m)	47
M2ポイント標高	hm2 (m)	35
B1ポイント標高	h2 (m)	55.1
C1ポイント標高	hp1 (m)	29.63 = (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差 (C1-M1間)	CS1 (m)	17.37 = hm1-hp1
A2ポイント標高 (仮想点)	ha2 (m)	50.61 = ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2 (m)	6.45 = (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差 (C2-M2間)	CS2 (m)	28.55 = hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値
伝送周波数	f (MHz)	23600
信号波長	λ (m)	0.0127 = 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1 (m)	4.75 = √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	3.66 = CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1 (dB)	27.27 = 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2 (m)	12.62 = √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	2.26 = CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2 (dB)	23.09 = 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt (dB)	50.36 = Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ 0 (dB)	155.6898543 = 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ (dB)	206.05 = Γ 0+Zt

<送信点3—国土地理院つくば 32m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D (km)	80.46	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2 (km)	44	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3 (km)	64.46	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1 (km)	16	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2 (km)	28	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3 (km)	36.46	
A1ポイント標高	h1 (m)	27	
M1ポイント標高	hm1 (m)	85	
M2ポイント標高	hm2 (m)	27	
B1ポイント標高	h2 (m)	55.1	
C1ポイント標高	hp1 (m)	0.63	= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1 (m)	84.37	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2 (m)	159.59	= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2 (m)	8.01	= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差(C2-M2間)	CS2 (m)	18.99	= hm2-hp2

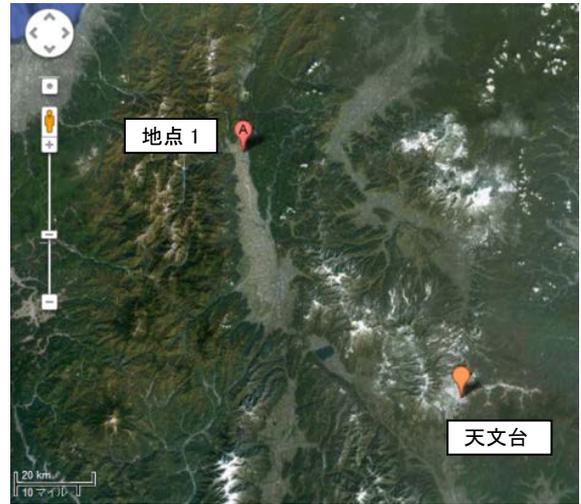
周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f (MHz)	23600	
信号波長	λ (m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1 (m)	11.38	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	7.42	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1 (dB)	33.40	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2 (m)	15.92	= √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	1.19	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2 (dB)	17.53	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt (dB)	50.94	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0 (dB)	158.0098406	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ (dB)	208.95	= Γ0+Zt

11. NOR45m



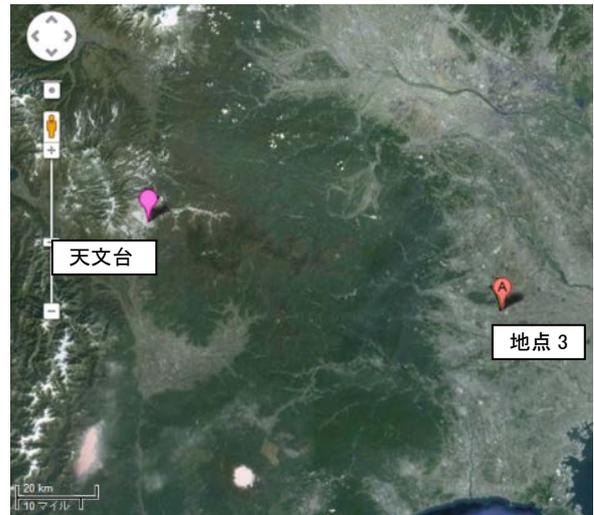
NOR45m



第 1 地点 (84.24km)

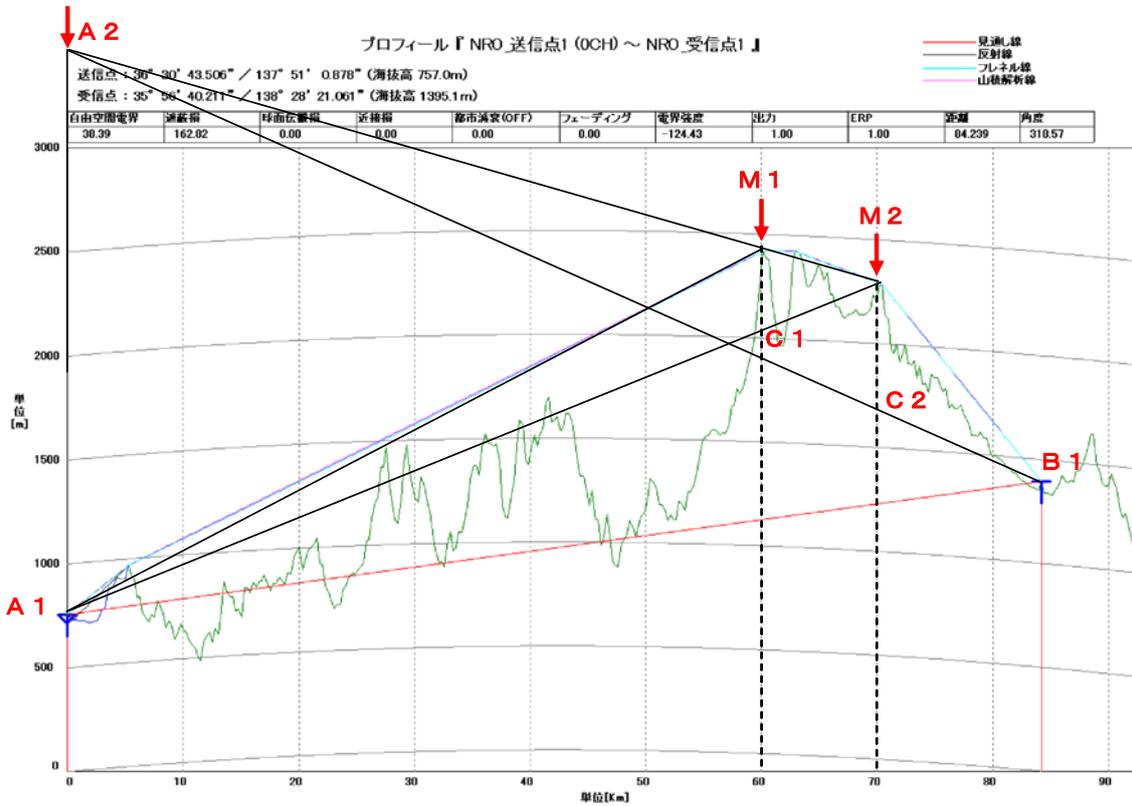


第 2 地点 (75.88km)



第 3 地点 (91.38km)

<送信点1—NOR45m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

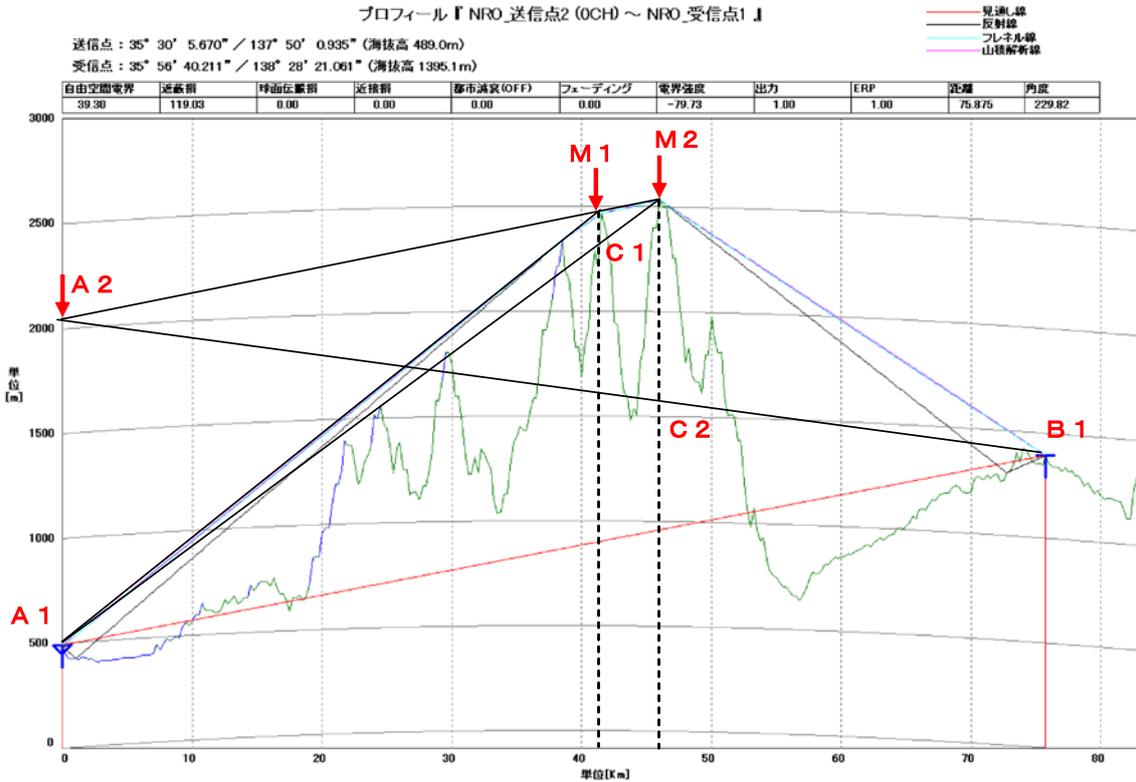
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	84.24	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	70	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	24.24	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	60	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	10	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	14.24	
A1ポイント標高	h1(m)	757	
M1ポイント標高	hm1(m)	2400	
M2ポイント標高	hm2(m)	2270	
B1ポイント標高	h2(m)	1395.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	2018.54	= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	381.46	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	3427.25	= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2(m)	1679.94	= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	590.06	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	10.44	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	36.54	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	47.26	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	12.26	= √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	48.11	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	49.65	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	96.90	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	158.4086072	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	255.31	= Γ0+Zt

<送信点 2—NOR45m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.33333333
地球平均半径	a(km)	6370

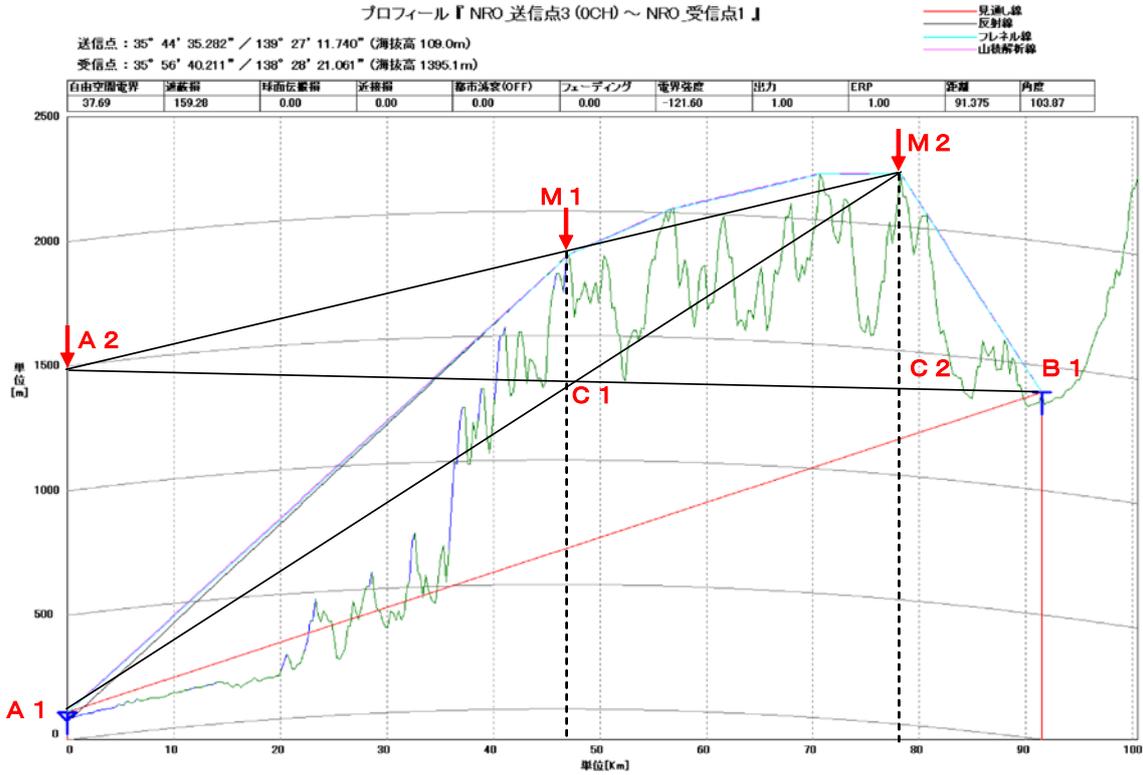
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	75.98	=d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	46	=d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	33.98	=d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	42	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	4	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	29.98	
A1ポイント標高	h1(m)	489	
M1ポイント標高	hm1(m)	2470	
M2ポイント標高	hm2(m)	2520	
B1ポイント標高	h2(m)	1395.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	2333.50	$= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)$
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	136.50	=hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	2058.74	$= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)$
C2ポイント標高	hp2(m)	1575.77	$= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)$
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	944.23	=hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ (m)	0.0127	=300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	6.81	$= \sqrt{(\lambda*d1*d2)/(d1+d2)}$
M1回折パラメータ	U1	20.03	=CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	42.03	=16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	15.19	$= \sqrt{(\lambda*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3)}$
M2回折パラメータ	U2	62.16	=CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	51.87	=16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	93.91	=Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ_0 (dB)	157.5122258	=32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ (dB)	251.42	= Γ_0+Zt

<送信点 3—NOR45m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

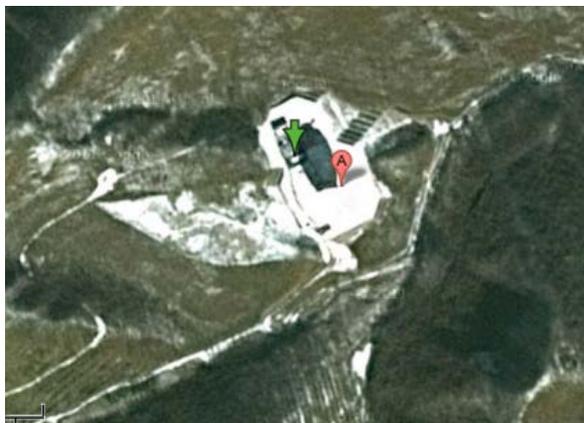
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	91.38	=d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	78	=d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	44.38	=d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	47	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	31	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	13.38	
A1ポイント標高	h1(m)	109	
M1ポイント標高	hm1(m)	1830	
M2ポイント標高	hm2(m)	2200	
B1ポイント標高	h2(m)	1395.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	1283.19	$= (h1*d2 + hm2*d1) / (d1+d2) - (d1*d2) / (2*K*a)$
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	546.81	=hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	1484.85	$= ((d1+d2)/d2) * (hm1 + (d1*d2)/(2*K*a)) - (d1*hm2/d2)$
C2ポイント標高	hp2(m)	1346.80	$= (ha2*d3 + h2*(d1+d2)) / ((d1+d2)+d3) - ((d1+d2)*d3) / (2*K*a)$
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	853.20	=hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	=300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	15.41	$= \sqrt{(\lambda * d1 * d2) / (d1+d2)}$
M1回折パラメータ	U1	35.49	=CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	47.00	=16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	12.05	$= \sqrt{(\lambda * (d1+d2) * d3) / ((d1+d2)+d3)}$
M2回折パラメータ	U2	70.81	=CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	53.00	=16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	100.00	=Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	159.1152631	=32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	259.12	=Γ0+Zt

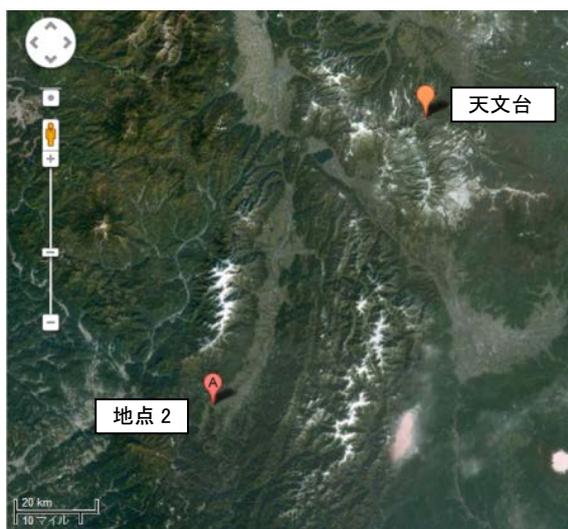
12. JAXA 臼田



JAXA 臼田



第 1 地点 (81.69km)

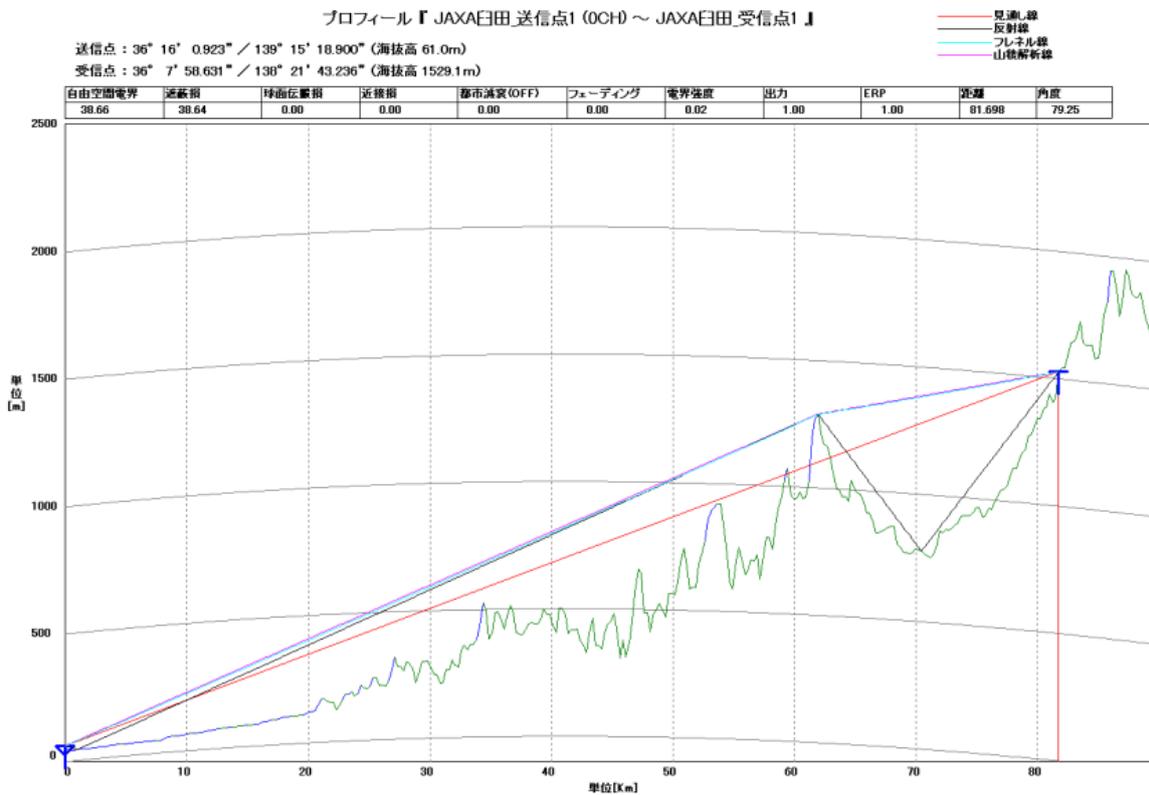


第 2 地点 (88.52km)



第 3 地点 (110.56km)

<送信点 1—JAXA 臼田 64m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

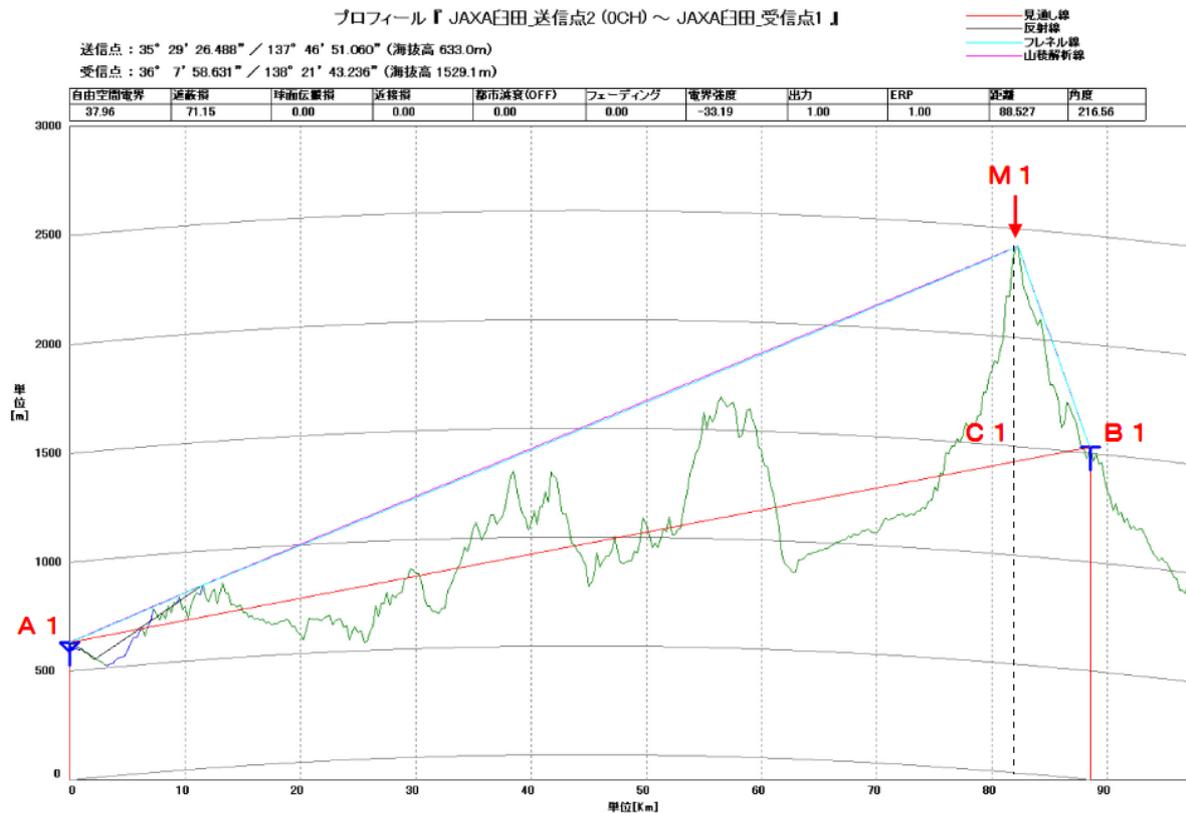
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	D(km)	81.7	= d1+d2
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	62	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	19.7	
A1ポイント標高	h1(m)	61	
M1ポイント標高	hm1(m)	1280	
B1ポイント標高	h2(m)	1529.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	1103.20	= (h1*d2+h2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)= (hm1-hp1)	CS1(m)	176.80	= hm1-hp1

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	13.79	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	12.83	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	38.16	= 16+20*LOG(U1)
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	158.1426812	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2)
伝搬損失	Γ(dB)	196.30	= Γ0+Z1

<送信点 2—JAXA 臼田 64m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

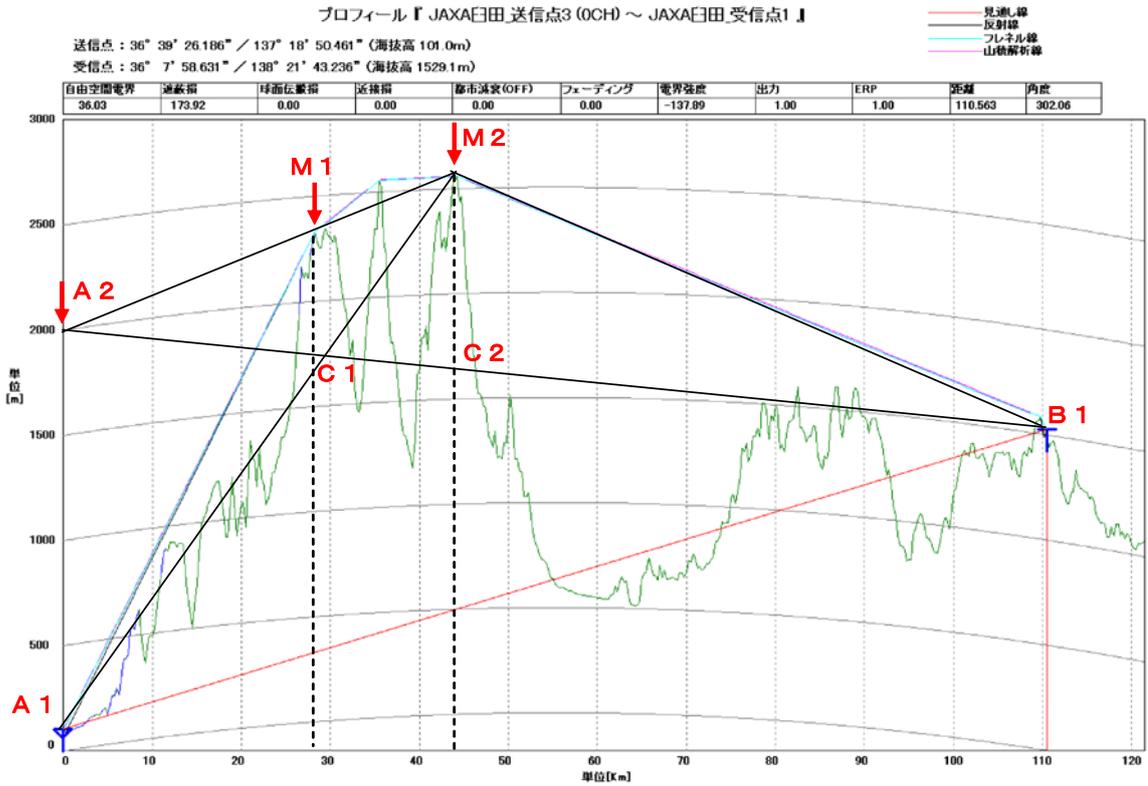
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	D(km)	88.52	= d1+d2
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	82	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	6.52	
A1ポイント標高	h1(m)	633	
M1ポイント標高	hm1(m)	2400	
B1ポイント標高	h2(m)	1529.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	1431.62	= (h1*d2+h2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)=(hm1-hp1)	CS1(m)	968.38	= hm1-hp1

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	8.76	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	110.52	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	56.87	= 16+20*LOG(U1)
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	158.8390682	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2)
伝搬損失	Γ(dB)	215.71	= Γ0+Z1

<送信点 3—JAXA 臼田 64m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.33333333
地球平均半径	a(km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	110.56	=d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	44	=d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	82.56	=d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	28	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	16	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	66.56	
A1ポイント標高	h1(m)	101	
M1ポイント標高	hm1(m)	2350	
M2ポイント標高	hm2(m)	2600	
B1ポイント標高	h2(m)	1529.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	1664.90	$= (h1*d2 + hm2*d1) / (d1+d2) - (d1*d2) / (2*K*a)$
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	685.10	=hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	1985.03	$= ((d1+d2)/d2) * (hm1 + (d1*d2)/(2*K*a)) - (d1*hm2/d2)$
C2ポイント標高	hp2(m)	1631.17	$= (ha2*d3 + h2*(d1+d2)) / ((d1+d2)+d3) - ((d1+d2)*d3) / (2*K*a)$
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	968.83	=hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ (m)	0.0127	=300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	11.38	$= \sqrt{(\lambda * d1 * d2) / (d1+d2)}$
M1回折パラメータ	U1	60.22	=CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	51.59	=16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	18.35	$= \sqrt{(\lambda * (d1+d2) * d3) / ((d1+d2)+d3)}$
M2回折パラメータ	U2	52.80	=CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	50.45	=16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	102.05	=Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ_0 (dB)	160.7702007	=32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ (dB)	262.82	= $\Gamma_0 + Zt$

13. 岐阜大岐阜



岐阜大岐阜



第 1 地点 (57.3km)

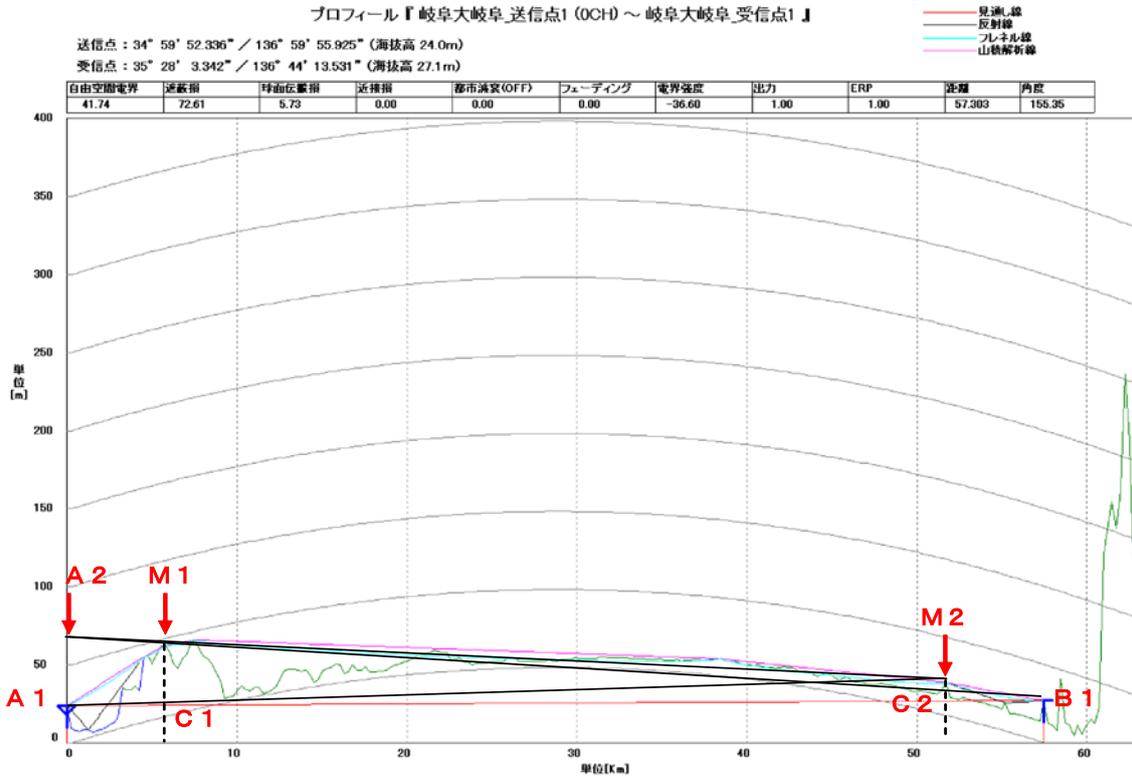


第 2 地点 (52.02km)



第 3 地点 (74.35km)

<送信点1—岐阜大岐阜 11m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

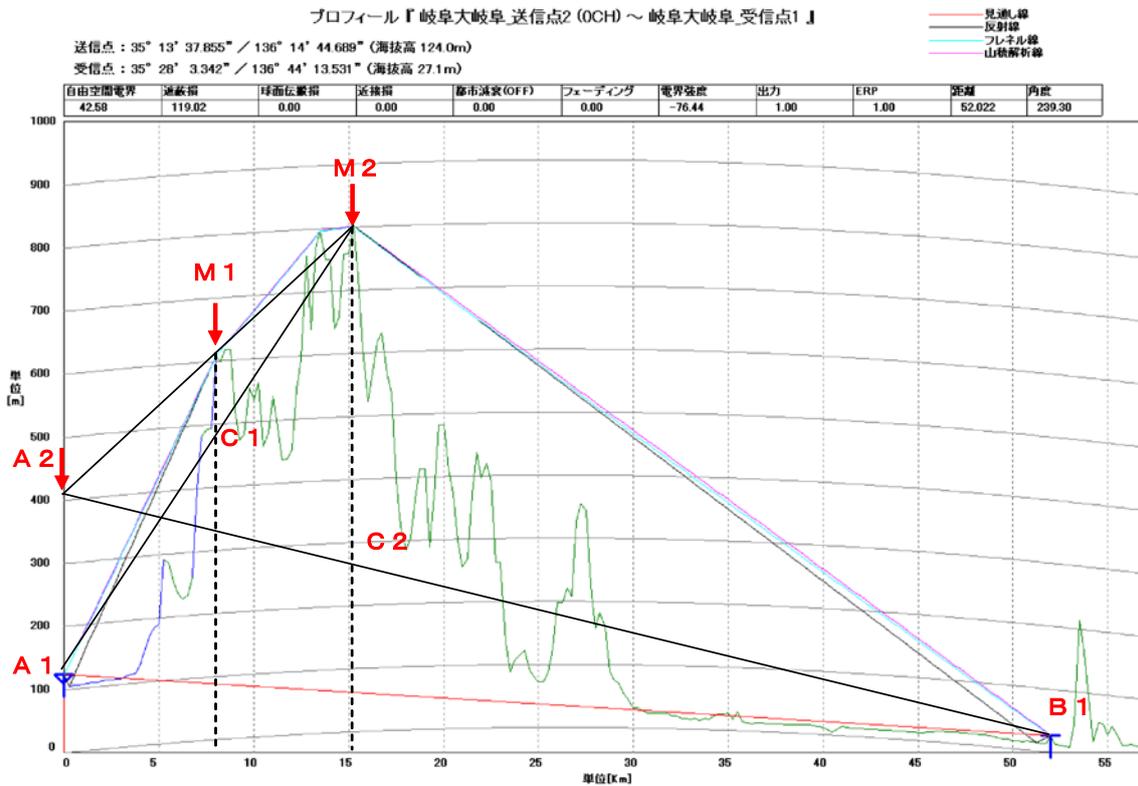
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	57.3 = d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	51.5 = d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	51.3 = d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	6
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	45.5
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	5.8
A1ポイント標高	h1(m)	24
M1ポイント標高	hm1(m)	45
M2ポイント標高	hm2(m)	22
B1ポイント標高	h2(m)	27.1
C1ポイント標高	hp1(m)	7.70 = (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	37.30 = hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	66.22 = ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2(m)	13.48 = (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	8.52 = hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値
伝送周波数	f(MHz)	23600
信号波長	λ(m)	0.0127 = 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	8.21 = √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	4.54 = CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	29.15 = 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	8.14 = √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	1.05 = CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	16.40 = 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	45.55 = Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	155.0613325 = 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	200.61 = Γ0+Zt

<送信点 2—岐阜大岐阜 11m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

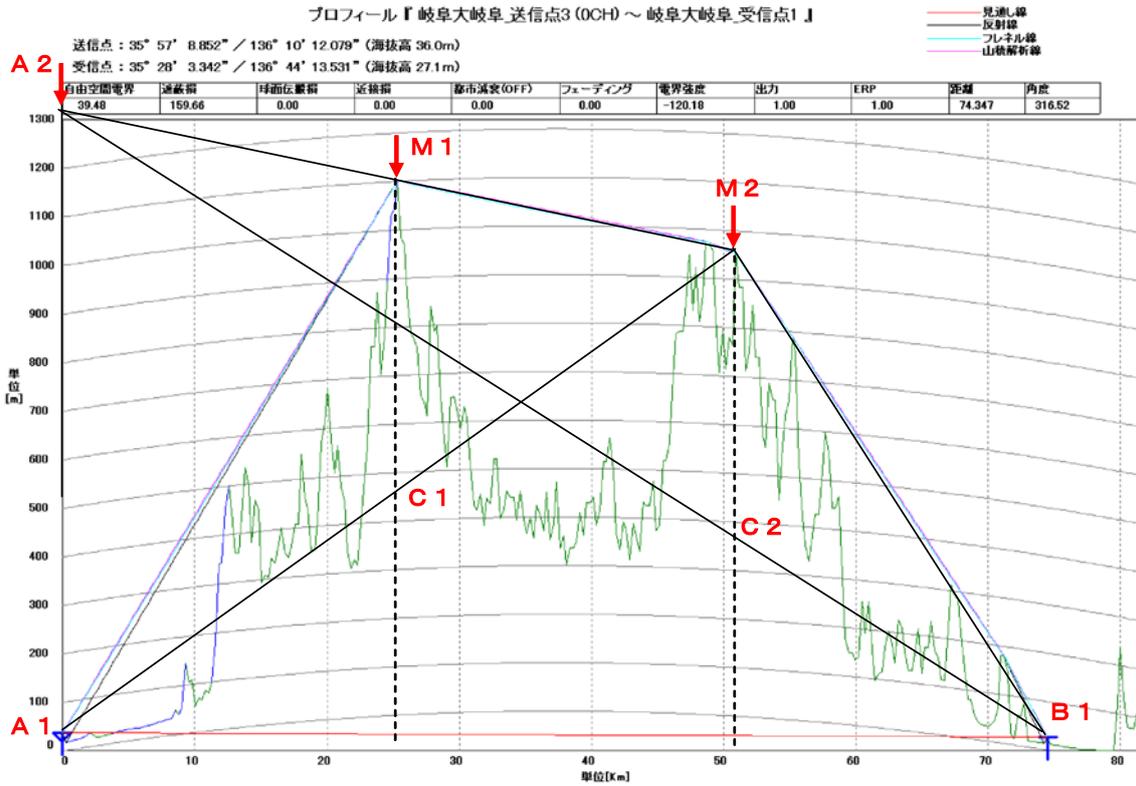
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	52.02	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	15.5	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	44.02	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	8	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	7.5	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	36.52	
A1ポイント標高	h1(m)	124	
M1ポイント標高	hm1(m)	605	
M2ポイント標高	hm2(m)	800	
B1ポイント標高	h2(m)	27.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	469.37	$= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2) - (d1*d2)/(2*K*a)$
高低差(C1-M1間) = (hm1-hp1)	CS1(m)	135.63	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	404.30	$= ((d1+d2)/d2) * (hm1+(d1*d2)/(2*K*a)) - (d1*hm2/d2)$
C2ポイント標高	hp2(m)	258.58	$= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3) - ((d1+d2)*d3)/(2*K*a)$
高低差(C2-M2間) = (hm2-hp2)	CS2(m)	541.42	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	7.01	$= \sqrt{(\lambda * d1 * d2)/(d1+d2)}$
M1回折パラメータ	U1	19.33	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	41.73	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	11.76	$= \sqrt{(\lambda * (d1+d2) * d3)/((d1+d2)+d3)}$
M2回折パラメータ	U2	46.03	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	49.26	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	90.99	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	154.221647	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	245.21	= Γ0+Zt

<送信点3—岐阜大岐阜 11m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	74.35	=d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	51	=d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	48.85	=d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	25.5	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	25.5	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	23.35	
A1ポイント標高	h1(m)	36	
M1ポイント標高	hm1(m)	1100	
M2ポイント標高	hm2(m)	960	
B1ポイント標高	h2(m)	27.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	459.72	$= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)$
高低差(C1-M1間) = (hm1-hp1)	CS1(m)	640.28	=hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	1316.56	$= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)$
C2ポイント標高	hp2(m)	361.96	$= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)$
高低差(C2-M2間) = (hm2-hp2)	CS2(m)	598.04	=hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ (m)	0.0127	=300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	12.73	$= \sqrt{(\lambda*d1*d2)/(d1+d2)}$
M1回折パラメータ	U1	50.29	=CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	50.03	=16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	14.27	$= \sqrt{(\lambda*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3)}$
M2回折パラメータ	U2	41.91	=CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	48.45	=16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	98.48	=Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ 0(dB)	157.3238595	=32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ (dB)	255.80	= Γ 0+Zt

14. 山口



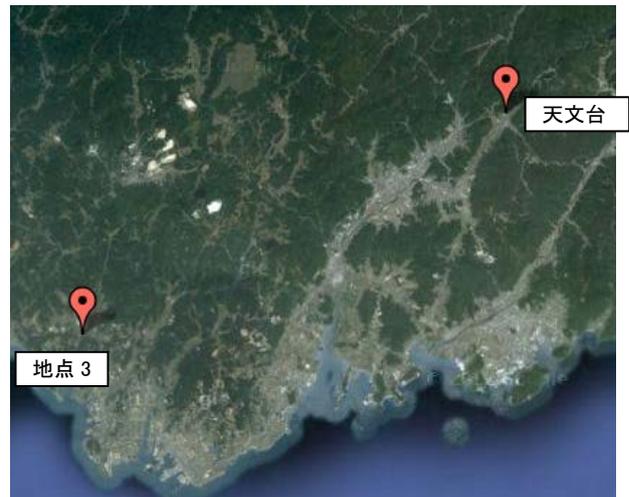
山口



第1地点(12.5km)



第2地点(26.2km)



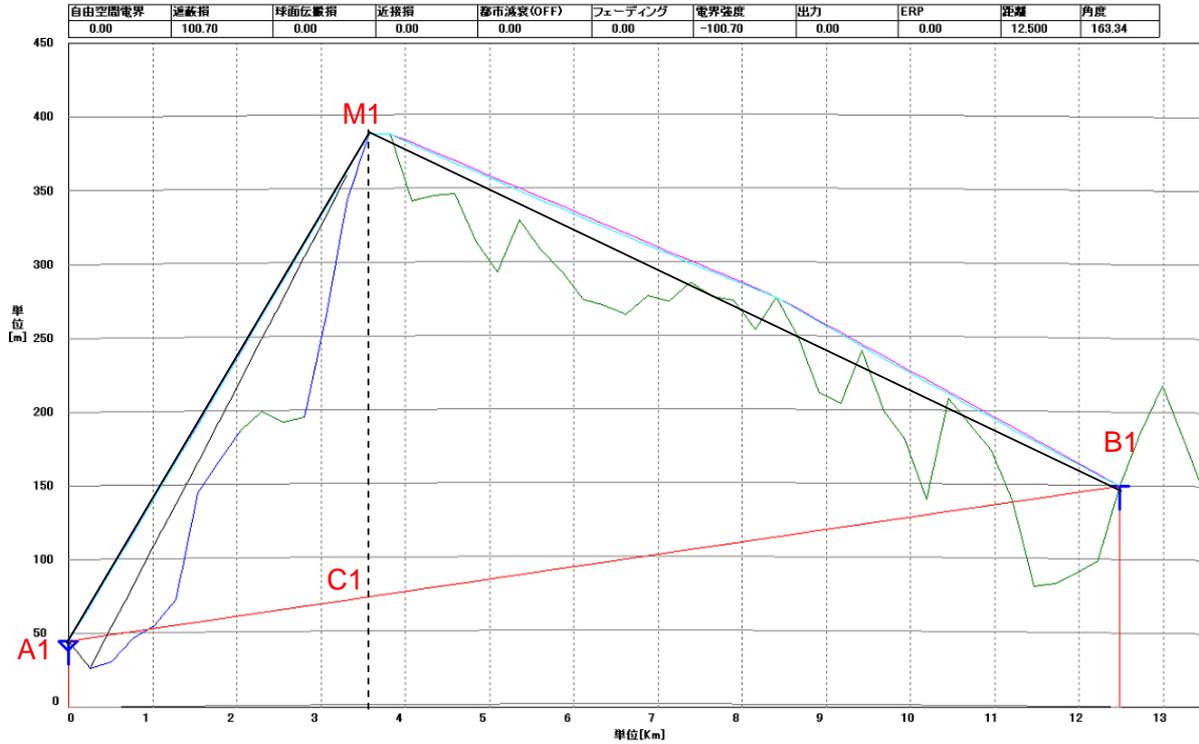
第3地点(41.6km)

<送信点 1—山口 32m>

プロフィール『山口送信点1 (0CH)～山口 受信点1』

送信点 : 34° 6' 36.864" / 131° 35' 44.016" (海拔高 45.0m)
 受信点 : 34° 13' 5.531" / 131° 33' 24.210" (海拔高 150.1m)

見通し線
 反射線
 フレネル線
 山岳折折線



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a (km)	6370

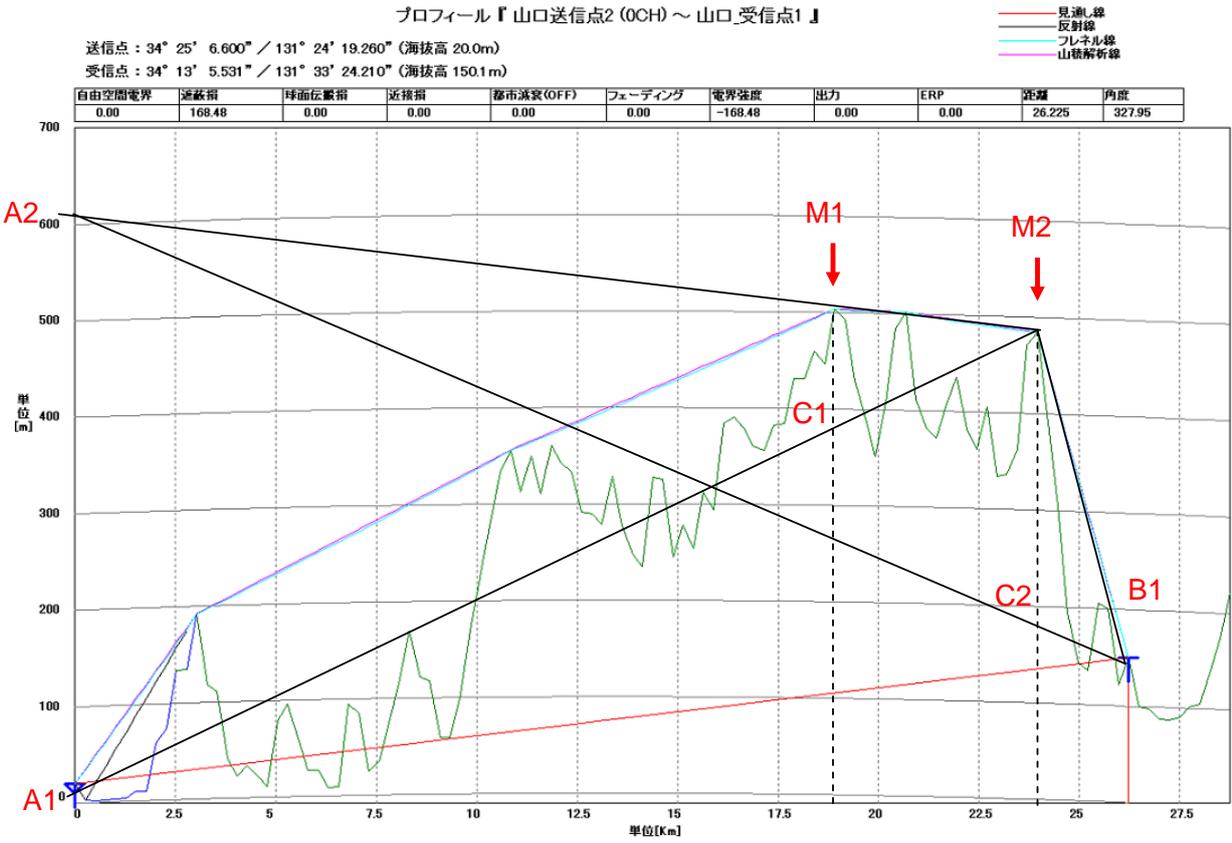
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	D (km)	12.5	= d1+d2
伝送距離(A-M1間直線)	d1 (km)	3.55	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2 (km)	8.95	
A1ポイント標高	h1 (m)	45	
M1ポイント標高	hm1 (m)	390	
B1ポイント標高	h2 (m)	150.1	
C1ポイント標高	hp1 (m)	72.98	$= (h1*d2+h2*d1)/(d1+d2) - (d1*d2)/(2*K*a)$
高低差(C1-M1間)	CS1 (m)	317.02	= hm1-hp1

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送周波数	f (MHz)	23600	
信号波長	λ (m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1 (m)	5.68	$= \sqrt{(\lambda * d1*d2)/(d1+d2)}$
M1回折パラメータ	U1	55.77	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1 (dB)	50.93	= 16+20*LOG(U1)
自由空間伝搬損失	Γ0 (dB)	141.8364403	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2)
伝搬損失	Γ (dB)	192.76	= Γ0+Z1

<送信点 2—山口 32m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

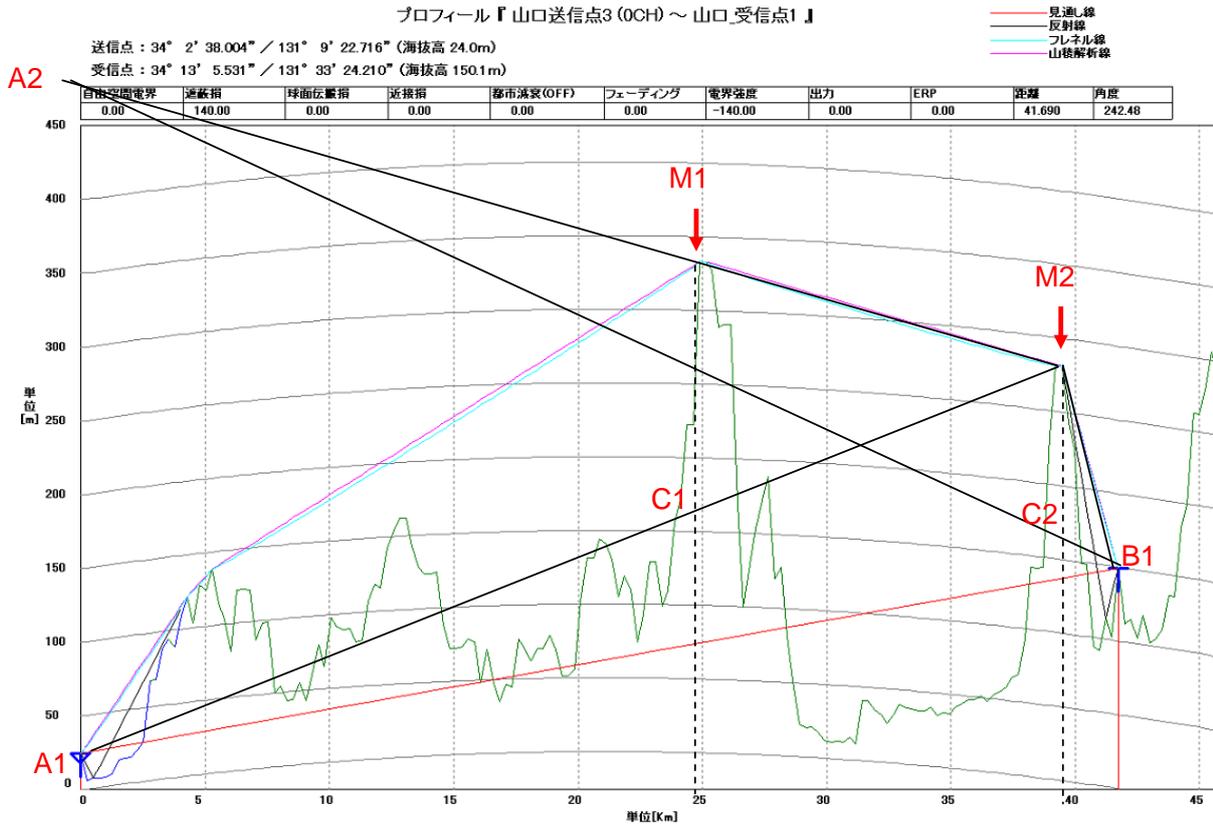
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	26.2	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	24	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	7.2	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	19	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	5	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	2.2	
A1ポイント標高	h1(m)	20	
B1ポイント標高	h2(m)	150.1	
M1ポイント標高	hm1(m)	500	
M2ポイント標高	hm2(m)	480	
C1ポイント標高	hp1(m)	378.57	= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	121.43	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	602.84	= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2(m)	185.01	= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	294.99	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.01	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	7.09	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	17.12	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	40.67	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	5.06	= √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	58.28	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	51.31	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	91.98	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	148.2642659	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	240.24	= Γ0+Zt

<送信点 3—山口 32m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a (km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	41.6	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	39.5	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	16.6	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	25	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	14.5	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	2.1	
A1ポイント標高	h1(m)	24	
B1ポイント標高	h2(m)	150.1	
M1ポイント標高	hm1(m)	340	
M2ポイント標高	hm2(m)	280	
C1ポイント標高	hp1(m)	164.69	$= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)$
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	175.31	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	501.58	$= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)$
C2ポイント標高	hp2(m)	162.96	$= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)$
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	117.04	= hm2-hp2

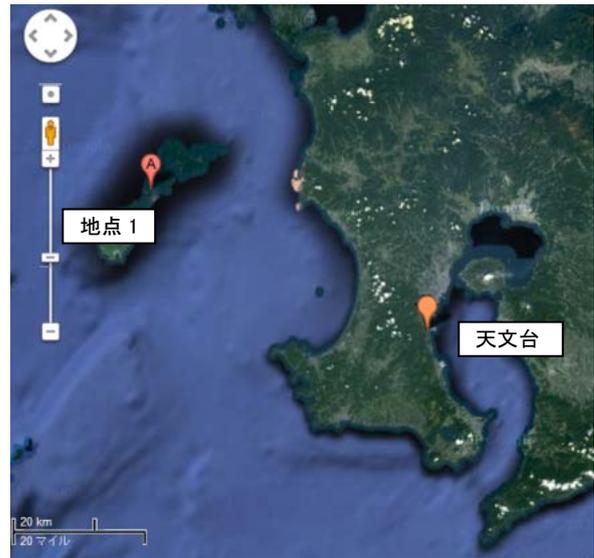
周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.01	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	10.80	$= \sqrt{((\lambda * d1*d2)/(d1+d2))}$
M1回折パラメータ	U1	16.23	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	40.21	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	5.03	$= \sqrt{((\lambda * (d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))}$
M2回折パラメータ	U2	23.25	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	43.33	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	83.53	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	152.2801067	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	235.81	= Γ0+Zt

15. 鹿児島 6m



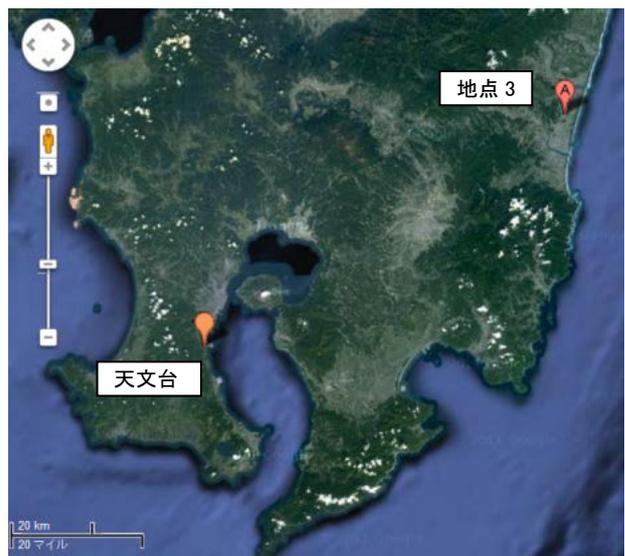
鹿児島 6m



第1地点(76.51km)

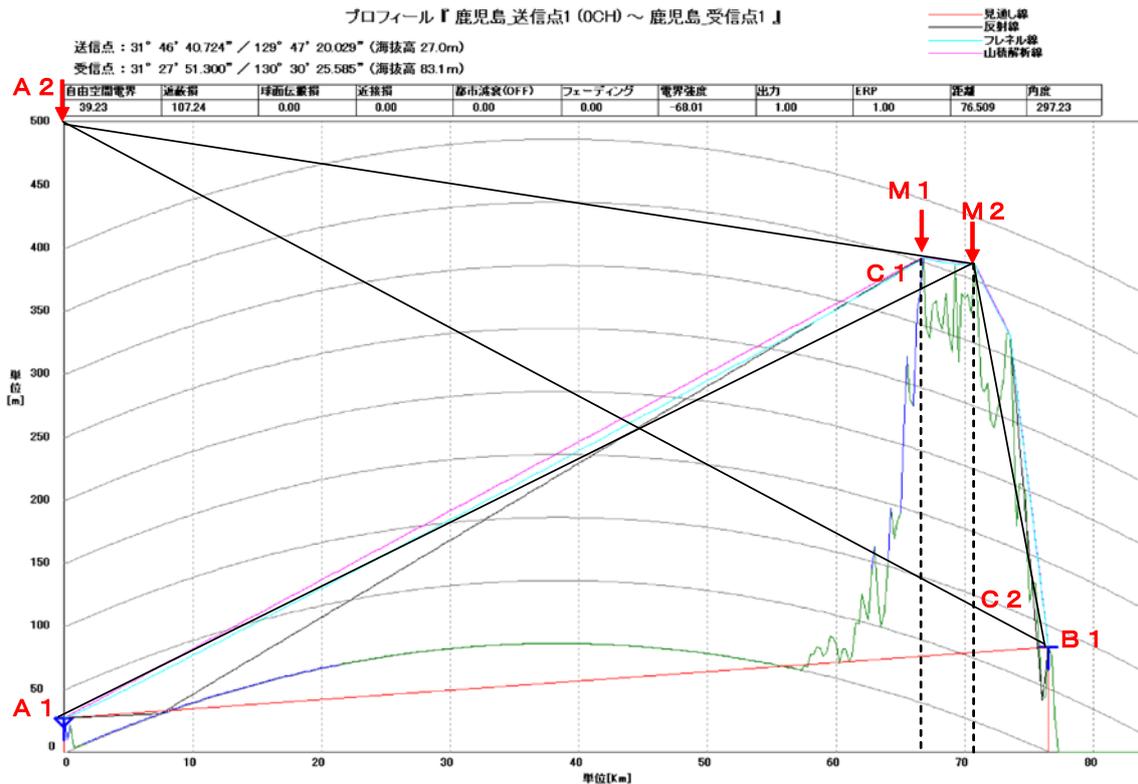


第2地点(86.99km)



第3地点(106.2km)

<送信点 1—鹿児島 6m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

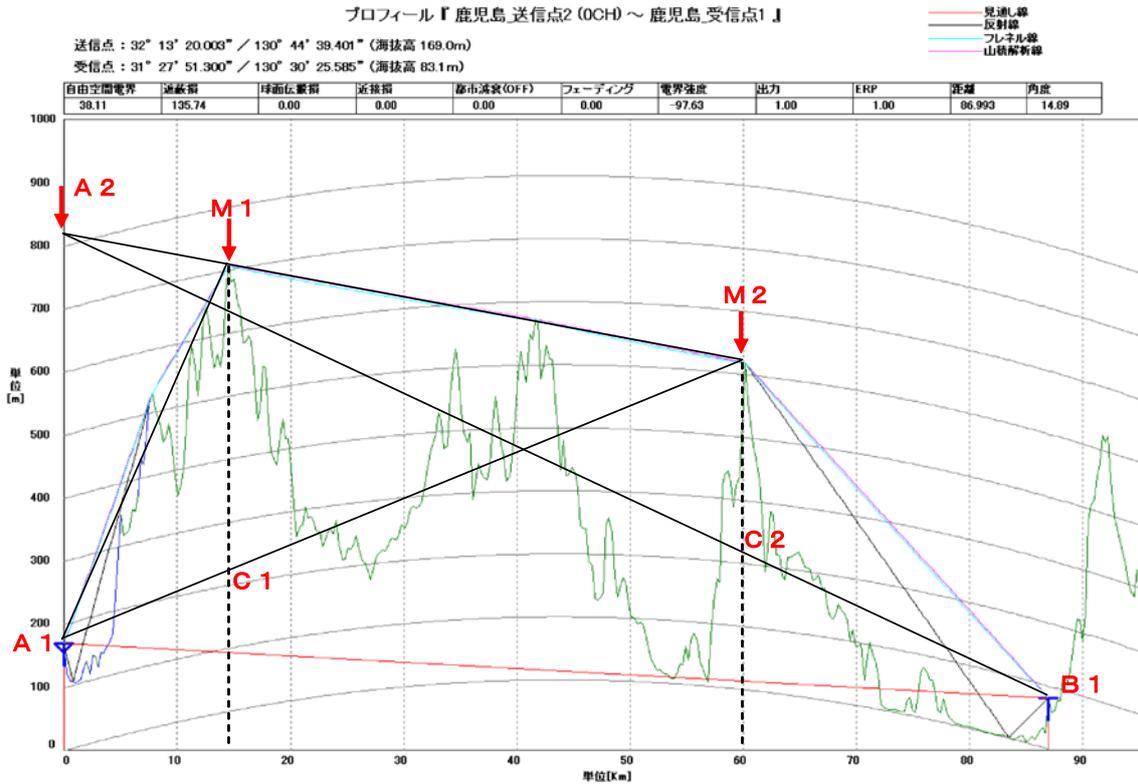
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	76.51	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	71	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	10.51	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	66	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	5	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	5.51	
A1ポイント標高	h1(m)	27	
M1ポイント標高	hm1(m)	355	
M2ポイント標高	hm2(m)	365	
B1ポイント標高	h2(m)	83.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	321.77	= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	33.23	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	498.86	= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2(m)	90.01	= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	274.99	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	7.69	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	4.32	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	28.72	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	8.06	= √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	34.11	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	46.66	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	75.37	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	157.5726041	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	232.95	= Γ0+Zt

<送信点 2—鹿児島 6m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

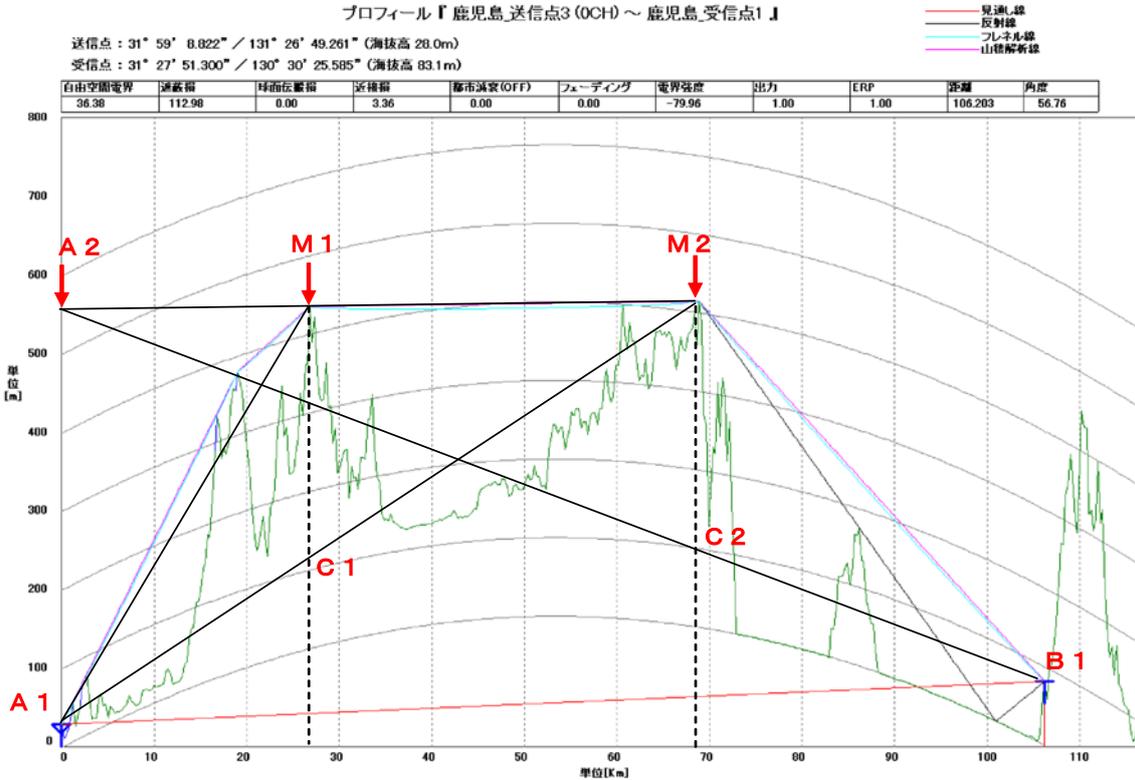
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	87	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	60	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	72	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	15	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	45	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	27	
A1ポイント標高	h1(m)	169	
M1ポイント標高	hm1(m)	705	
M2ポイント標高	hm2(m)	515	
B1ポイント標高	h2(m)	83.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	215.76	$= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2) - (d1*d2)/(2*K*a)$
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	489.24	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	821.32	$= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a)) - (d1*hm2/d2)$
C2ポイント標高	hp2(m)	216.83	$= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3) - ((d1+d2)*d3)/(2*K*a)$
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	298.17	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	11.96	$= \sqrt{((\lambda*d1*d2)/(d1+d2))}$
M1回折パラメータ	U1	40.91	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	48.24	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	15.39	$= \sqrt{((\lambda*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))}$
M2回折パラメータ	U2	19.38	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	41.75	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	89.98	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	158.6886251	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	248.67	= Γ0+Zt

<送信点 3—鹿児島 6m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	106.2	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	68.5	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	79.7	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	26.5	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	42	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	37.7	
A1ポイント標高	h1(m)	28	
M1ポイント標高	hm1(m)	435	
M2ポイント標高	hm2(m)	415	
B1ポイント標高	h2(m)	83.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	112.19	$= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)$
高低差(C1-M1間) = (hm1-hp1)	CS1(m)	322.81	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	554.48	$= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)$
C2ポイント標高	hp2(m)	98.41	$= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)$
高低差(C2-M2間) = (hm2-hp2)	CS2(m)	316.59	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	14.37	$= \sqrt{(\lambda*d1*d2)/(d1+d2)}$
M1回折パラメータ	U1	22.46	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	43.03	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	17.58	$= \sqrt{(\lambda*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3)}$
M2回折パラメータ	U2	18.01	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	41.11	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	84.14	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	160.4207304	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	244.56	= Γ0+Zt

16. 内之浦



内之浦



第 1 地点 (86.75km)

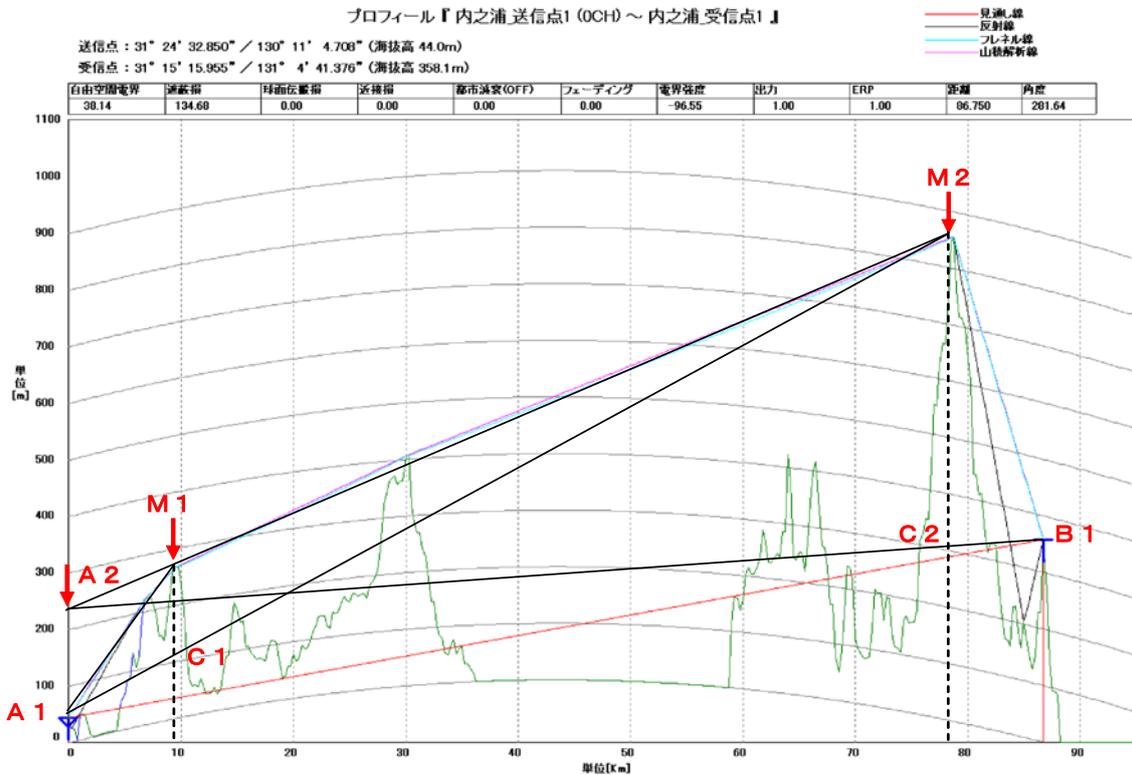


第 2 地点 (62.16km)



第 3 地点 (66.07km)

<送信点 1—内之浦 34m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a (km)	6370

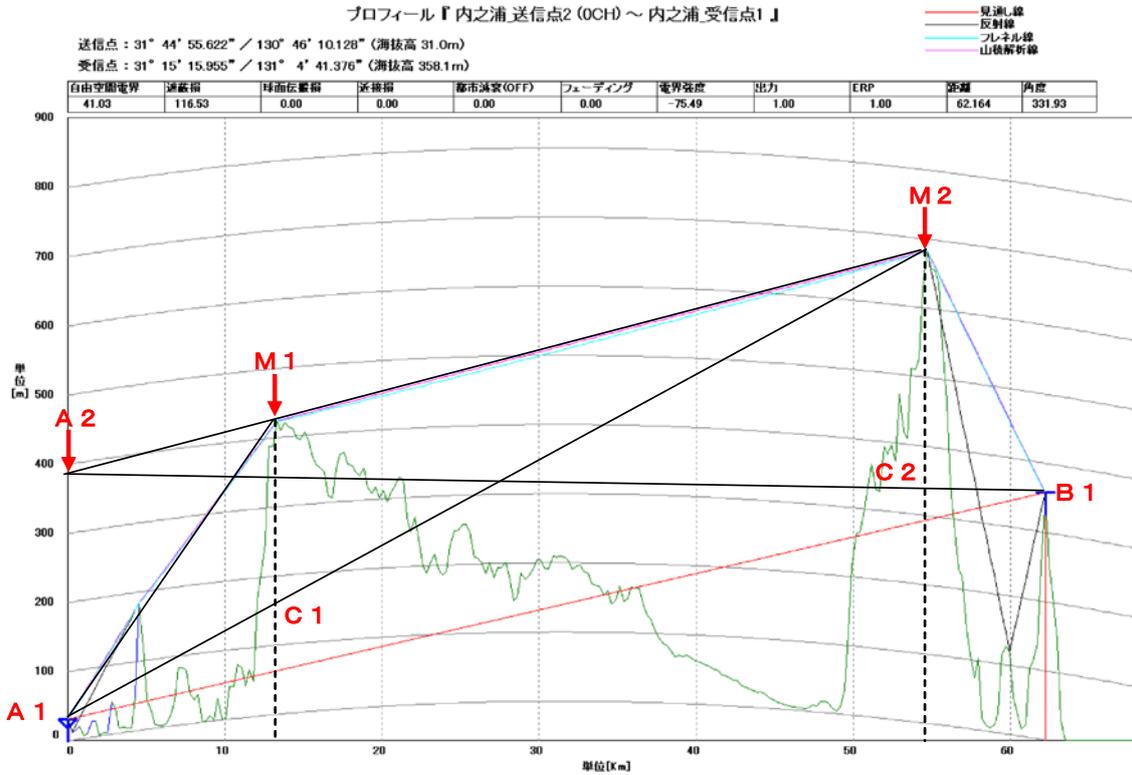
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D (km)	86.8	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2 (km)	78.5	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3 (km)	77.3	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1 (km)	9.5	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2 (km)	69	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3 (km)	8.3	
A1ポイント標高	h1 (m)	44	
M1ポイント標高	hm1 (m)	265	
M2ポイント標高	hm2 (m)	850	
B1ポイント標高	h2 (m)	358.1	
C1ポイント標高	hp1 (m)	102.95	$= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2) - (d1*d2)/(2*K*a)$
高低差(C1-M1間)	CS1 (m)	162.05	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2 (m)	228.36	$= ((d1+d2)/d2) * (hm1+(d1*d2)/(2*K*a)) - (d1*hm2/d2)$
C2ポイント標高	hp2 (m)	307.34	$= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3) - ((d1+d2)*d3)/(2*K*a)$
高低差(C2-M2間)	CS2 (m)	542.66	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f (MHz)	23600	
信号波長	λ (m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1 (m)	10.30	$= \sqrt{(\lambda * d1 * d2)/(d1+d2)}$
M1回折パラメータ	U1	15.73	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1 (dB)	39.93	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2 (m)	9.77	$= \sqrt{(\lambda * (d1+d2) * d3)/((d1+d2)+d3)}$
M2回折パラメータ	U2	55.55	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2 (dB)	50.89	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt (dB)	90.83	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0 (dB)	158.6686346	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ (dB)	249.50	= Γ0+Zt

<送信点 2—内之浦 34m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

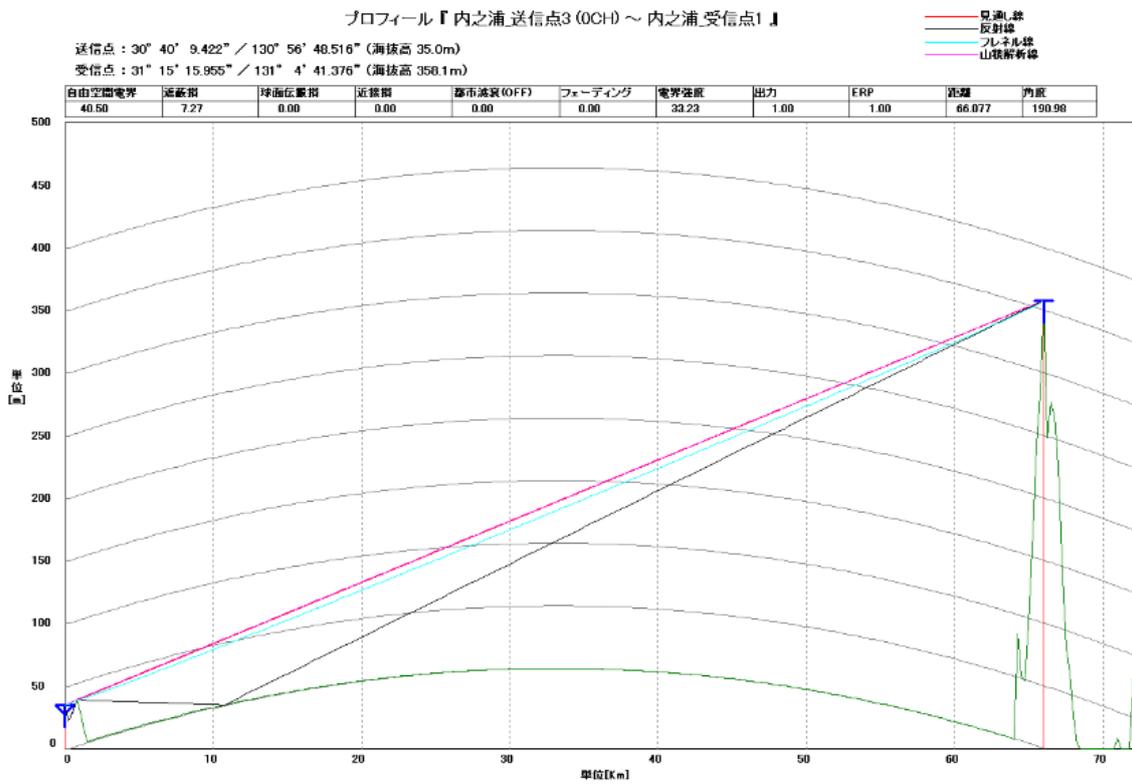
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	62.16	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	55	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	48.66	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	13.5	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	41.5	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	7.16	
A1ポイント標高	h1(m)	31	
M1ポイント標高	hm1(m)	425	
M2ポイント標高	hm2(m)	680	
B1ポイント標高	h2(m)	358.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	157.32	= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間) = (hm1-hp1)	CS1(m)	267.68	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	385.76	= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2(m)	338.10	= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差(C2-M2間) = (hm2-hp2)	CS2(m)	341.90	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	11.38	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	23.52	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	43.43	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	8.97	= √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	38.10	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	47.62	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	91.05	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	155.7684602	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	246.82	= Γ0+Zt

<送信点 3—内之浦 34m>



距離：66.07km

見通し自由空間損失：156.3dB

局名	口径(m)	標高(m)	アンテナ高(m)	アンテナ最高点(m)	座標(天文台)			座標(第1地点)			座標(第2地点)			座標(第3地点)		
					東経(度)	北緯(度)	東経(度)	北緯(度)	東経(度)	北緯(度)	東経(度)	北緯(度)	東経(度)	北緯(度)	東経(度)	北緯(度)
VERA水沢	20	63	22	85	141° 07' 57"	39° 08' 01"	140° 50' 03"	36° 16' 54"	140° 19' 52"	38° 48' 42"	140° 01' 44"	40° 10' 32"				
VERA入来	20	529	22	551	130° 26' 24"	31° 44' 52"	131° 25' 56"	31° 55' 19"	130° 58' 48"	31° 54' 14"	130° 49' 49"	32° 12' 04"				
VERA小笠原	20	211	22	233	142° 13' 00"	27° 05' 31"	139° 56' 42"	34° 55' 54"	135° 45' 36"	33° 26' 51"	138° 48' 19"	33° 04' 09"				
VERA石垣島	20	26	22	48	124° 10' 16"	24° 24' 44"	128° 44' 43"	32° 35' 57"	130° 08' 13"	31° 24' 53"	127° 39' 50"	26° 08' 58"				
水沢10m	10	64	11	75	141° 07' 56"	39° 08' 00"	141° 02' 58"	39° 55' 42"	141° 56' 32"	39° 38' 42"	140° 33' 39"	39° 19' 35"				
北大苦小牧	11	54	14	68	141° 35' 48"	42° 40' 25"	140° 47' 22"	42° 30' 40"	141° 17' 30"	43° 08' 18"	140° 36' 51"	42° 02' 01"				
高萩	32	55	38	93	140° 41' 3807"	36° 41' 54.8"	139° 55' 48"	37° 28' 49"	139° 16' 57"	36° 20' 38"	140° 31' 20"	36° 31' 47"				
日立	32	57	39	96	140° 41' 33.4"	36° 41' 52.2"	139° 57' 46"	36° 41' 10"	140° 03' 41"	36° 08' 19"	140° 38' 43"	35° 43' 07"				
NICT鹿島	34	27	34	61	140° 39' 36"	35° 57' 21"	140° 06' 52"	35° 36' 28"	139° 53' 15"	35° 20' 33"	139° 58' 35"	36° 38' 17"				
国土地理院つくば	32	27	35	62	140° 05' 20"	36° 06' 11"	139° 04' 32"	36° 38' 37"	140° 37' 19"	35° 46' 15"	140° 20' 47"	35° 24' 33"				
NRO45m	45	1349	47	1369	138° 28' 21"	35° 56' 40"	137° 51' 01"	36° 30' 44"	137° 50' 01"	35° 30' 06"	139° 27' 12"	35° 44' 35"				
JAXA白田	64	1456	65	1521	138° 21' 46"	36° 07' 57"	139° 15' 19"	36° 16' 01"	137° 46' 51"	35° 29' 26"	137° 18' 50"	36° 39' 26"				
岐阜大岐阜	11	14	15	29	136° 44' 14"	35° 28' 03"	136° 59' 56"	34° 59' 52"	136° 14' 45"	35° 13' 38"	136° 10' 12"	35° 57' 09"				
山口	32	110	39	149	131° 33' 26"	34° 12' 58"	131° 35' 44"	34° 06' 37"	131° 24' 19"	34° 25' 07"	131° 09' 23"	34° 02' 38"				
鹿児島6m	6	58	7	65	130° 30' 25"	31° 27' 51"	129° 47' 20"	31° 46' 41"	130° 44' 39"	32° 13' 20"	131° 26' 49"	31° 59' 09"				
内之浦	34	320	42	362	131° 04' 44"	31° 15' 16"	130° 11' 05"	31° 24' 33"	130° 46' 10"	31° 44' 56"	130° 56' 48"	30° 40' 09"				

パラメータ	値
送信周波数f(MHz)	23600
送信給電線損失Lt(dB)	0
受信給電線損失Lr(dB)	0

$$\text{自由空間伝搬損失 } L_p(\text{dB}) = 32.44 + 20 \log(f(\text{MHz})) + 20 \log(D(\text{km}))$$

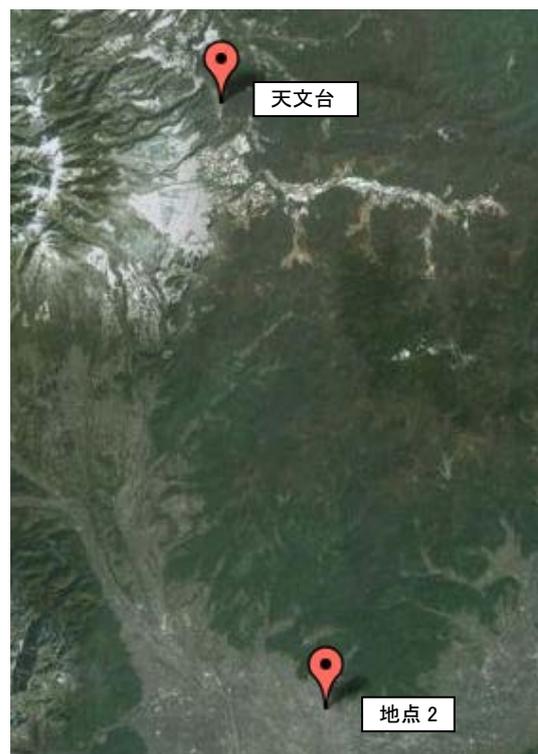
$$\text{総伝搬損失 } \Gamma(\text{dB}) = \Gamma_0(\text{dB}) + Z(\text{dB})$$

	天文台	送信点	送信間直線距離D(km)	自由空間伝搬損失Γ ₀ (dB)	回折損失Z(dB)	総伝搬損失Γ(dB)	スワップ入空中線電力(dBm/MHz)	送信局空中線利得(dBi)	干渉値(dBm/MHz)	干渉閾値(dBm/MHz)	干渉マージン(dB)
1	VERA水沢20m	送信点1	98.07	159.73	58.78	218.51	-33	40	-211.51	-191	20.51
		送信点2	78.11	157.75	99.06	256.81	-33	40	-249.81	-191	58.81
		送信点3	149.52	163.39	96.12	259.51	-33	40	-252.51	-191	61.51
2	VERA入来	送信点1	95.23	159.47	73.52	232.99	-33	40	-225.99	-191	34.99
		送信点2	53.98	154.54	59.1	213.64	-33	40	-206.64	-191	15.64
		送信点3	62.34	155.79	50.34	206.13	-33	40	-199.13	-191	8.13
3	VERA小笠原	送信点1	895	178.94	62.67	241.61	-33	40	-234.61	-191	43.61
		送信点2	938	179.34	63.54	242.88	-33	40	-235.88	-191	44.88
		送信点3	702	176.80	59.43	236.23	-33	40	-229.23	-191	38.23
4	VERA石垣島	送信点1	1011	180.00	64.45	244.45	-33	40	-237.45	-191	46.45
		送信点2	972	179.65	63.71	243.36	-33	40	-236.36	-191	45.36
		送信点3	401	171.96	51.99	223.95	-33	40	-216.95	-191	25.95
5	水沢10m	送信点1	88.56	158.84	82.67	241.51	-33	40	-234.51	-191	43.51
		送信点2	90	158.98	93.09	252.07	-33	40	-245.07	-191	54.07
		送信点3	53.8	154.51	92.08	246.59	-33	40	-239.59	-191	48.59
6	北大苦小牧	送信点1	68.7	156.64	53.99	210.63	-33	40	-203.63	-191	12.63
		送信点2	57.32	155.06	44.19	199.25	-33	40	-192.25	-191	1.25
		送信点3	107.76	160.55	53.32	213.87	-33	40	-206.87	-191	15.87
7	高萩32m	送信点1	110.07	160.73	98.73	259.46	-33	40	-252.46	-191	61.46
		送信点2	132.23	162.32	84.86	247.18	-33	40	-240.18	-191	49.18
		送信点3	24	147.50	49.63	197.13	-33	40	-190.13	-191	-0.87
8	日立32m	送信点1	65.18	156.18	80.73	236.91	-33	40	-229.91	-191	38.91
		送信点2	83.95	158.38	91.64	250.02	-33	40	-243.02	-191	52.02
		送信点3	108.69	160.62	56.58	217.20	-33	40	-210.20	-191	19.20
9	NICT鹿島	送信点1	62.65	155.84	43.77	199.61	-33	40	-192.61	-191	1.61
		送信点2	97.61	159.69	57.36	217.05	-33	40	-210.05	-191	19.05
		送信点3	97.46	159.67	39.53	199.20	-33	40	-192.20	-191	1.20
10	国土地理院つくば	送信点1	108.92	160.64	54.89	215.53	-33	40	-208.53	-191	17.53
		送信点2	60.6	155.55	50.36	205.91	-33	40	-198.91	-191	7.91
		送信点3	80.46	158.01	50.94	208.95	-33	40	-201.95	-191	10.95
11	NRO野辺山	送信点1	84.24	158.41	96.9	255.31	-33	40	-248.31	-191	57.31
		送信点2	75.88	157.50	93.91	251.41	-33	40	-244.41	-191	53.41
		送信点3	91.38	159.12	100	259.12	-33	40	-252.12	-191	61.12
13	JAXA臼田	送信点1	81.69	158.14	38.16	196.30	-33	40	-189.30	-191	-1.70
		送信点2	88.52	158.84	56.87	215.71	-33	40	-208.71	-191	17.71
		送信点3	110.56	160.77	102.05	262.82	-33	40	-255.82	-191	64.82
14	岐阜大岐草	送信点1	57.3	155.06	45.55	200.61	-33	40	-193.61	-191	2.61
		送信点2	52.02	154.22	90.99	245.21	-33	40	-238.21	-191	47.21
		送信点3	74.35	157.32	98.48	255.80	-33	40	-248.80	-191	57.80
15	山口	送信点1	12.5	141.84	50.93	192.77	-33	40	-185.77	-191	-5.23
		送信点2	26.2	148.26	91.96	240.22	-33	40	-233.22	-191	42.22
		送信点3	41.6	152.28	83.53	235.81	-33	40	-228.81	-191	37.81
16	鹿児島	送信点1	76.51	157.57	75.37	232.94	-33	40	-225.94	-191	34.94
		送信点2	86.99	158.69	89.98	248.67	-33	40	-241.67	-191	50.67
		送信点3	106.2	160.42	84.14	244.56	-33	40	-237.56	-191	46.56
17	内之浦	送信点1	86.75	158.66	90.83	249.49	-33	40	-242.49	-191	51.49
		送信点2	62.16	155.77	91.05	246.82	-33	40	-239.82	-191	48.82
		送信点3	66.07	156.30	0	156.30	-33	40	-149.30	-191	-41.70

11. NOR45m



追加第 1 地点 (8.7km)

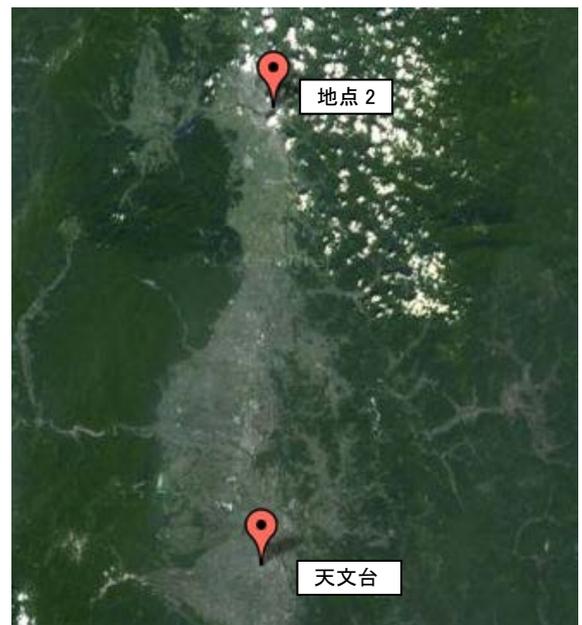


追加第 2 地点 (32.2km)

1. VERA 水沢



追加第 1 地点 (44.9km)

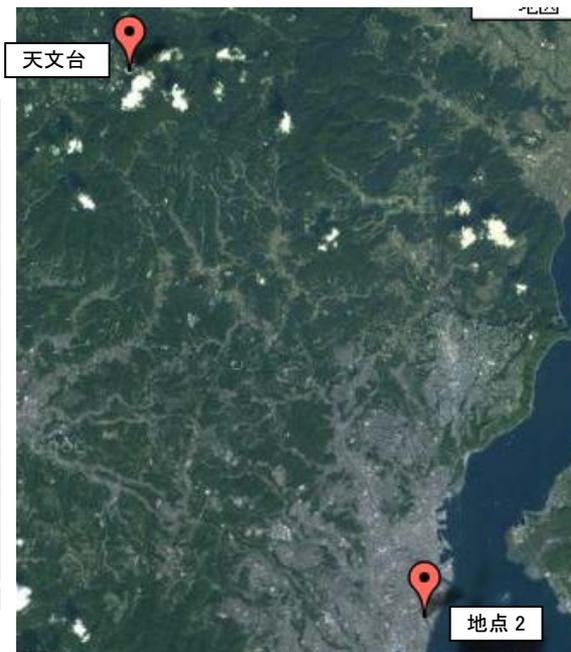


追加第 2 地点 (63.3km)

2. VERA 入来



追加第 1 地点 (14.7km)



追加第 2 地点 (23.6km)

3. VERA 小笠原

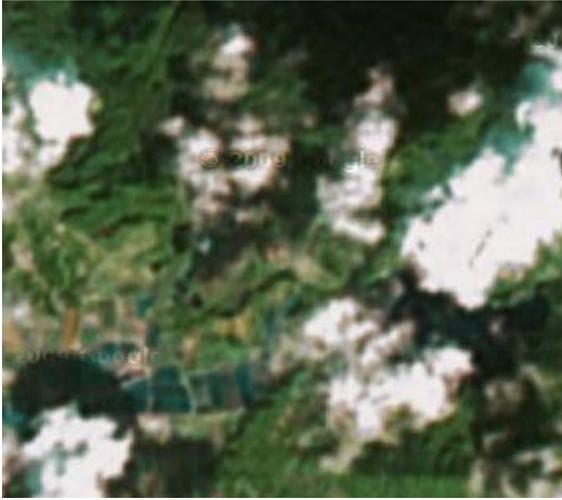


追加第 1 地点 (2.48km)

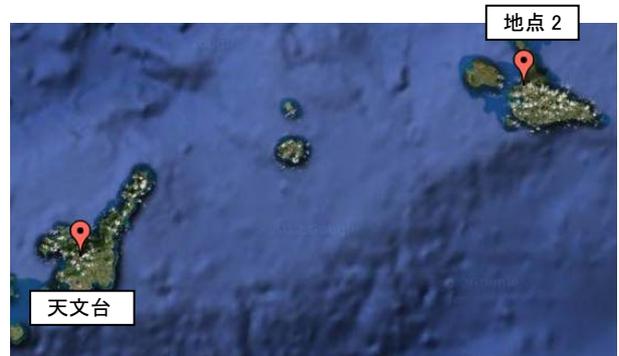


追加第 2 地点 (50.3km)

4. VERA 石垣島

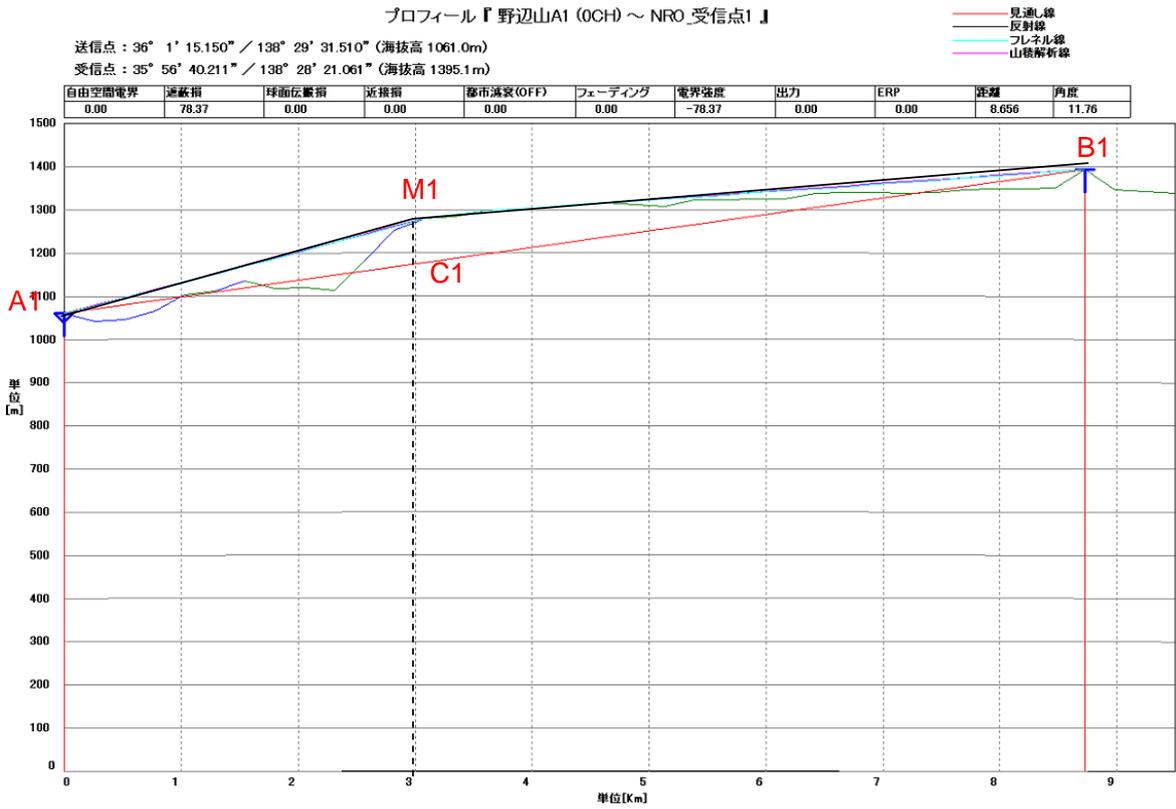


追加第 1 地点 (8.1km)



追加第 2 地点 (120.5km)

<追加送信点 1—NOR45m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

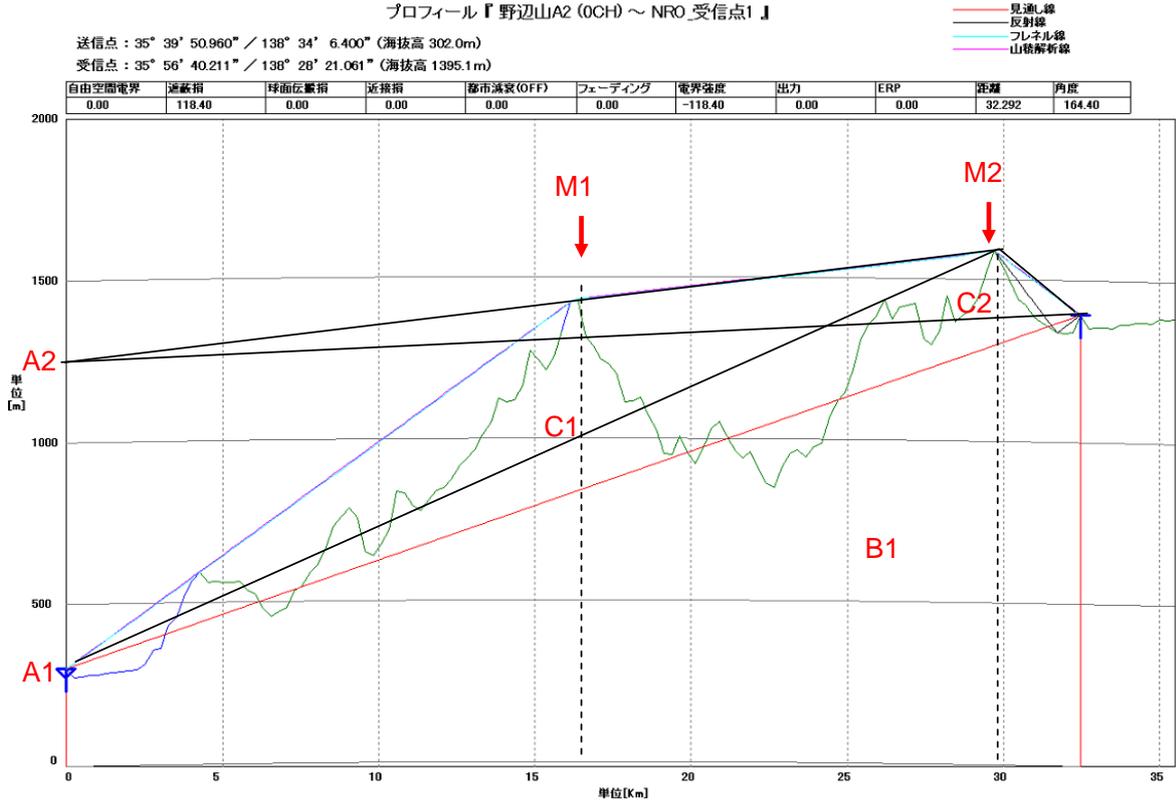
項目	記号	値	
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	D(km)	8.7	= d1+d2
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	3	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	5.7	
A1ポイント標高	h1(m)	1061	
M1ポイント標高	hm1(m)	1280	
B1ポイント標高	h2(m)	1395.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	1175.20	= (h1*d2+h2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	104.80	= hm1-hp1

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	5.00	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	20.97	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	42.43	= 16+20*LOG(U1)
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	138.6886251	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2)
伝搬損失	Γ(dB)	181.12	= Γ0+Z1

<追加送信点 2—NOR45m>

プロフィール『野辺山A2 (0CH) ~ NRO_受信点1』



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a (km)	6370

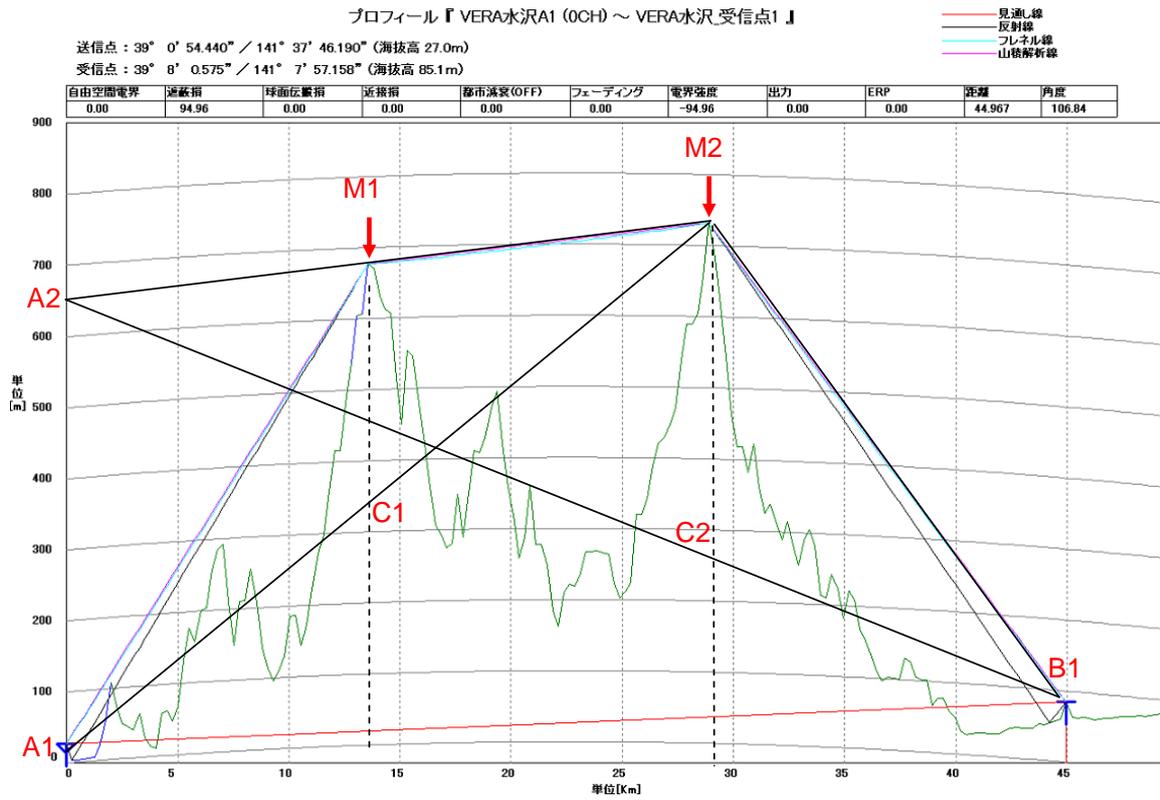
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D (km)	32.2	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2 (km)	29.5	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3 (km)	15.7	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1 (km)	16.5	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2 (km)	1.3	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3 (km)	2.7	
A1ポイント標高	h1 (m)	302	
B1ポイント標高	h2 (m)	1395.1	
M1ポイント標高	hm1 (m)	1400	
M2ポイント標高	hm2 (m)	1600	
C1ポイント標高	hp1 (m)	1015.37	= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1 (m)	384.63	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2 (m)	1174.81	= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2 (m)	1371.94	= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差(C2-M2間)	CS2 (m)	228.06	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f (MHz)	23600	
信号波長	λ (m)	0.01	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1 (m)	9.61	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	40.01	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1 (dB)	48.04	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2 (m)	5.61	= √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	40.67	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2 (dB)	48.19	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt (dB)	96.23	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0 (dB)	150.0553575	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ (dB)	246.28	= Γ0+Zt

<追加送信点 1—VERA 水沢 20m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a (km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	44.9	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	29	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	31.4	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	13.5	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	15.5	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	15.9	
A1ポイント標高	h1(m)	27	
B1ポイント標高	h2(m)	85.1	
M1ポイント標高	hm1(m)	680	
M2ポイント標高	hm2(m)	730	
C1ポイント標高	hp1(m)	341.94	= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	338.06	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	659.50	= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2(m)	261.36	= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	468.64	= hm2-hp2

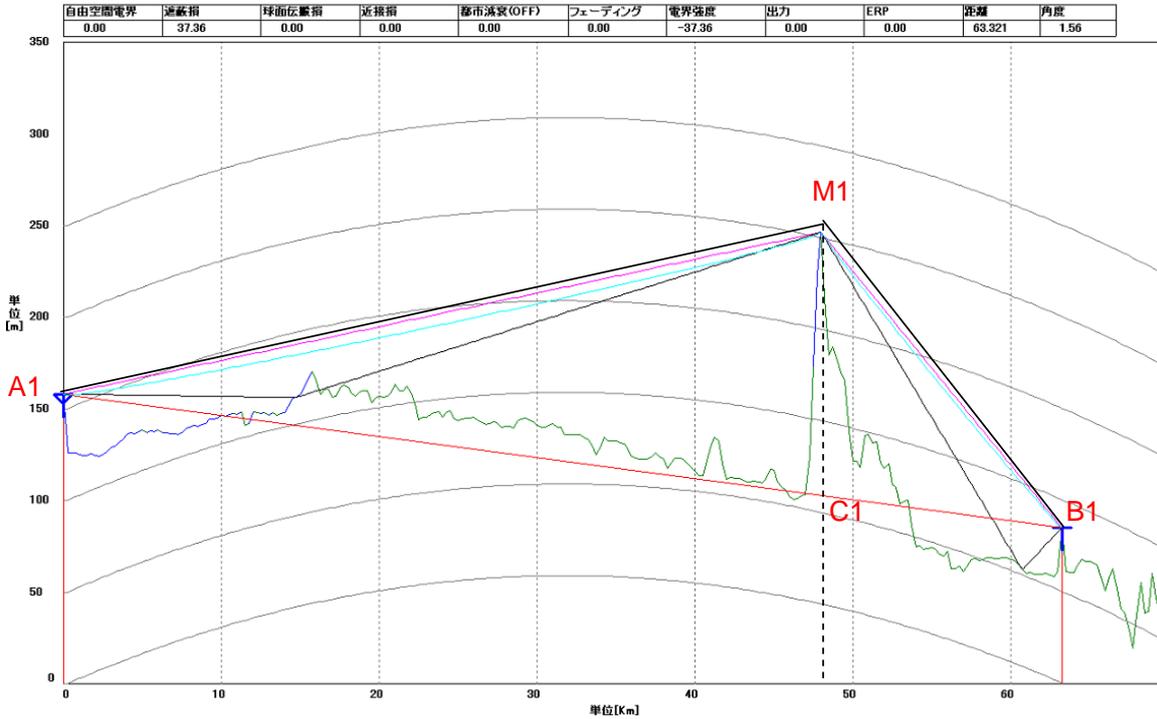
周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.01	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	9.58	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	35.30	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	46.96	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	11.43	= √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	41.02	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	48.26	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	95.21	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	152.9431669	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	248.16	= Γ0+Zt

<追加送信点 2—VERA 水沢 20m>

プロフィール『VERA水沢A2 (OCH) ~ VERA水沢 受信点1』

送信点 : 39° 42' 13.080" / 141° 9' 9.660" (海拔高 158.0m)
 受信点 : 39° 8' 0.575" / 141° 7' 57.158" (海拔高 85.1m)



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

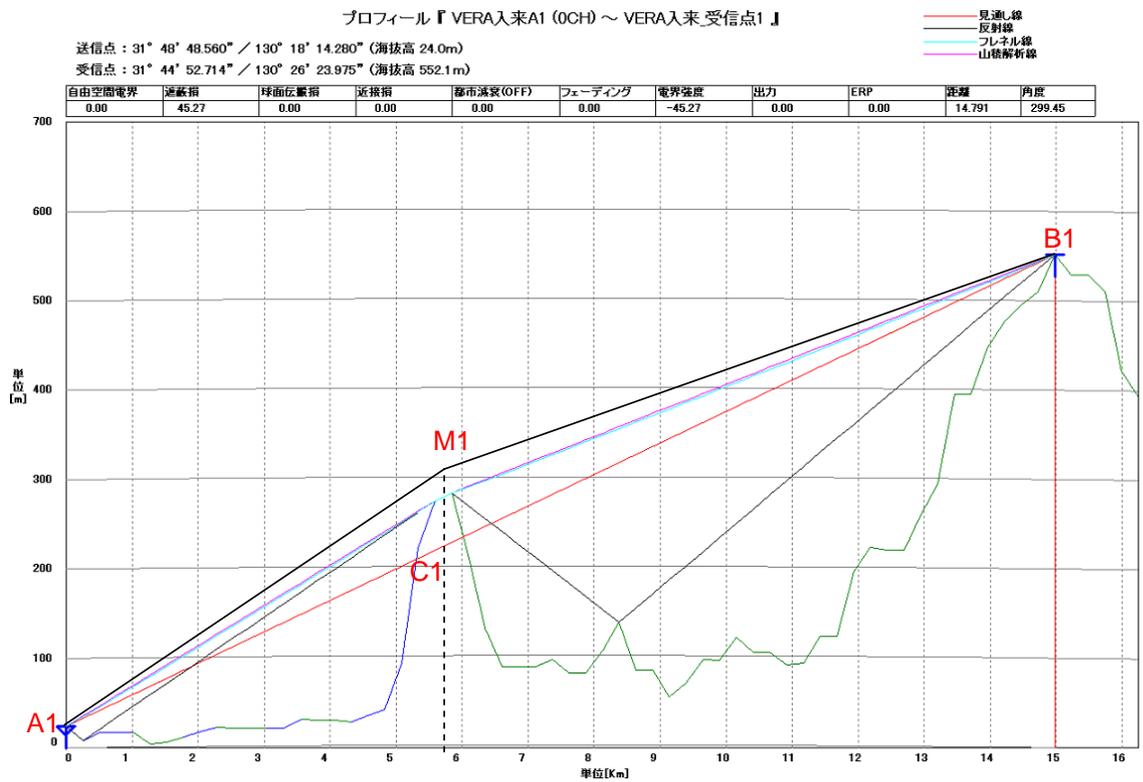
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	D(km)	63.3	=d1+d2
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	47.5	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	15.8	
A1ポイント標高	h1(m)	158	
M1ポイント標高	hm1(m)	205	
B1ポイント標高	h2(m)	85.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	59.11	= (h1*d2+h2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	145.89	=hm1-hp1

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	=300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	12.28	=√((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	11.88	=CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	37.50	=16+20*LOG(U1)
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	155.9263143	=32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2)
伝搬損失	Γ(dB)	193.42	=Γ0+Z1

<追加送信点1—VERA 入来 20m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

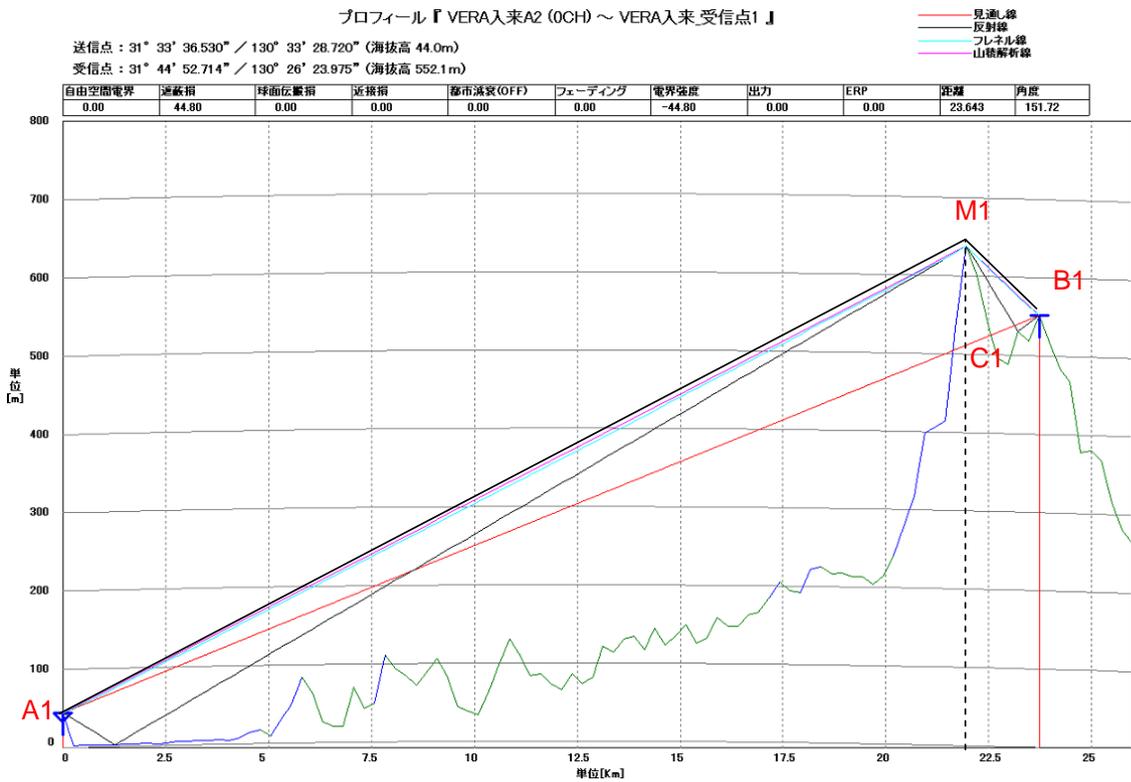
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	D(km)	14.7	= d1+d2
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	5.8	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	8.9	
A1ポイント標高	h1(m)	24	
M1ポイント標高	hm1(m)	280	
B1ポイント標高	h2(m)	552.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	229.33	= (h1*d2+h2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	90.67	= hm1-hp1

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	6.68	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	7.58	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	33.60	= 16+20*LOG(U1)
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	143.2445868	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2)
伝搬損失	Γ(dB)	176.84	= Γ0+Z1

<追加送信点 2—VERA 入来 20m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a (km)	6370

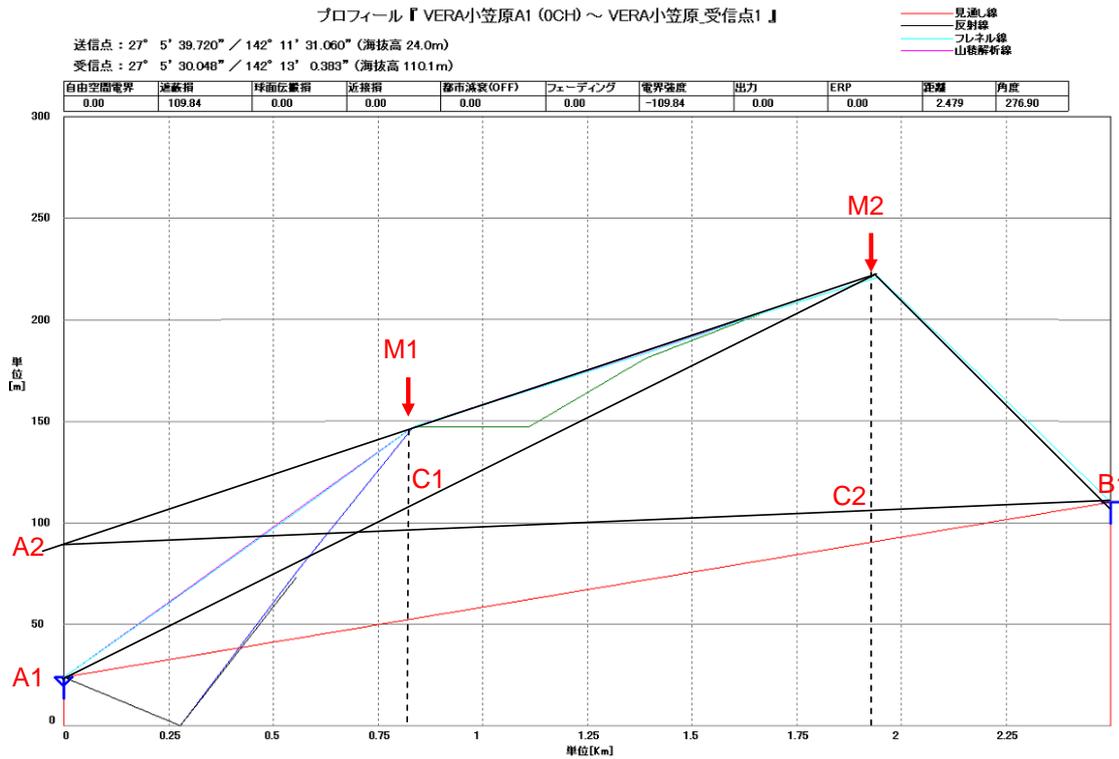
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	D (km)	23.6	= d1+d2
伝送距離(A-M1間直線)	d1 (km)	22	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2 (km)	1.6	
A1ポイント標高	h1 (m)	44	
M1ポイント標高	hm1 (m)	630	
B1ポイント標高	h2 (m)	552.1	
C1ポイント標高	hp1 (m)	515.58	= (h1*d2+h2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1 (m)	114.42	= hm1-hp1

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送周波数	f (MHz)	23600	
信号波長	λ (m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1 (m)	4.35	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	26.28	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1 (dB)	44.39	= 16+20*LOG(U1)
自由空間伝搬損失	Γ0 (dB)	147.3564801	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2)
伝搬損失	Γ (dB)	191.75	= Γ0+Z1

<追加送信点 1—VERA 小笠原 20m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a (km)	6370

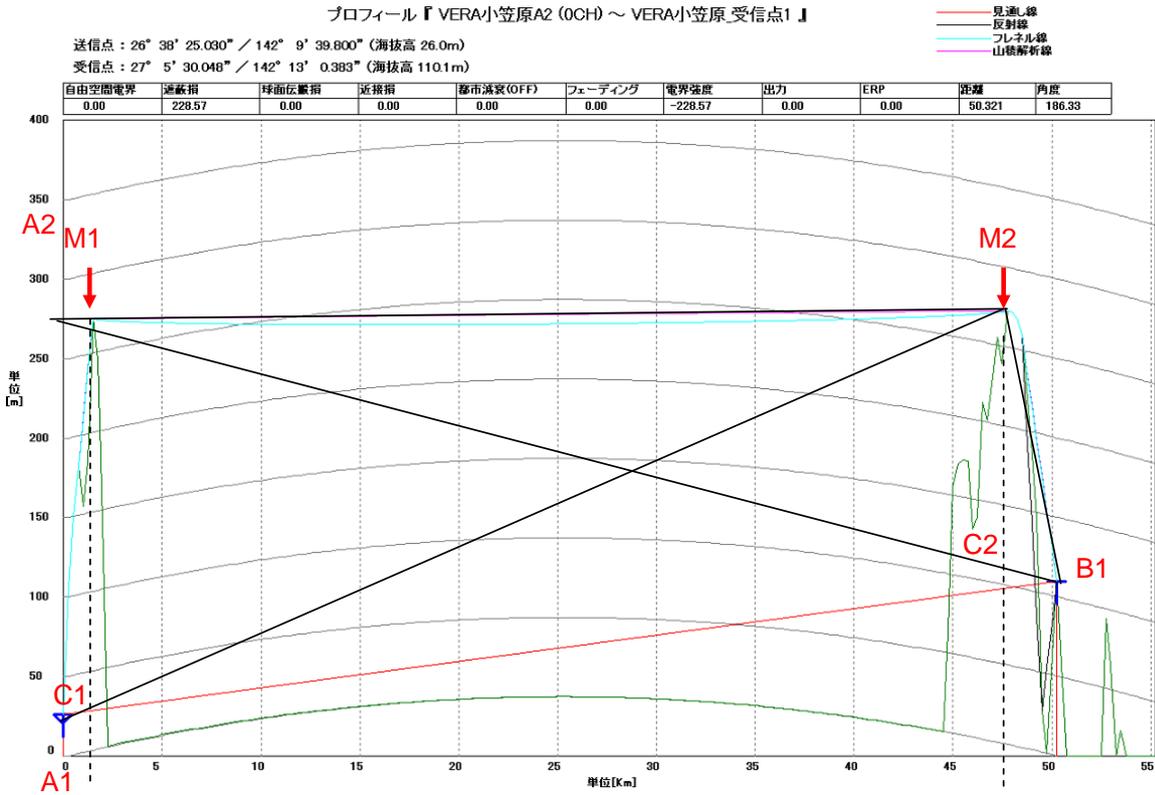
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	2.48	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	1.9	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	1.68	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	0.8	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	1.1	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	0.58	
A1ポイント標高	h1(m)	24	
B1ポイント標高	h2(m)	110	
M1ポイント標高	hm1(m)	145	
M2ポイント標高	hm2(m)	225	
C1ポイント標高	hp1(m)	108.58	= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	36.42	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	86.91	= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2(m)	104.53	= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	120.47	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.01	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	2.43	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	15.01	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	39.53	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	2.38	= √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	50.69	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	50.10	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	89.63	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	127.7872737	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	217.41	= Γ0+Zt

<追加送信点 2—VERA 小笠原 20m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a (km)	6370

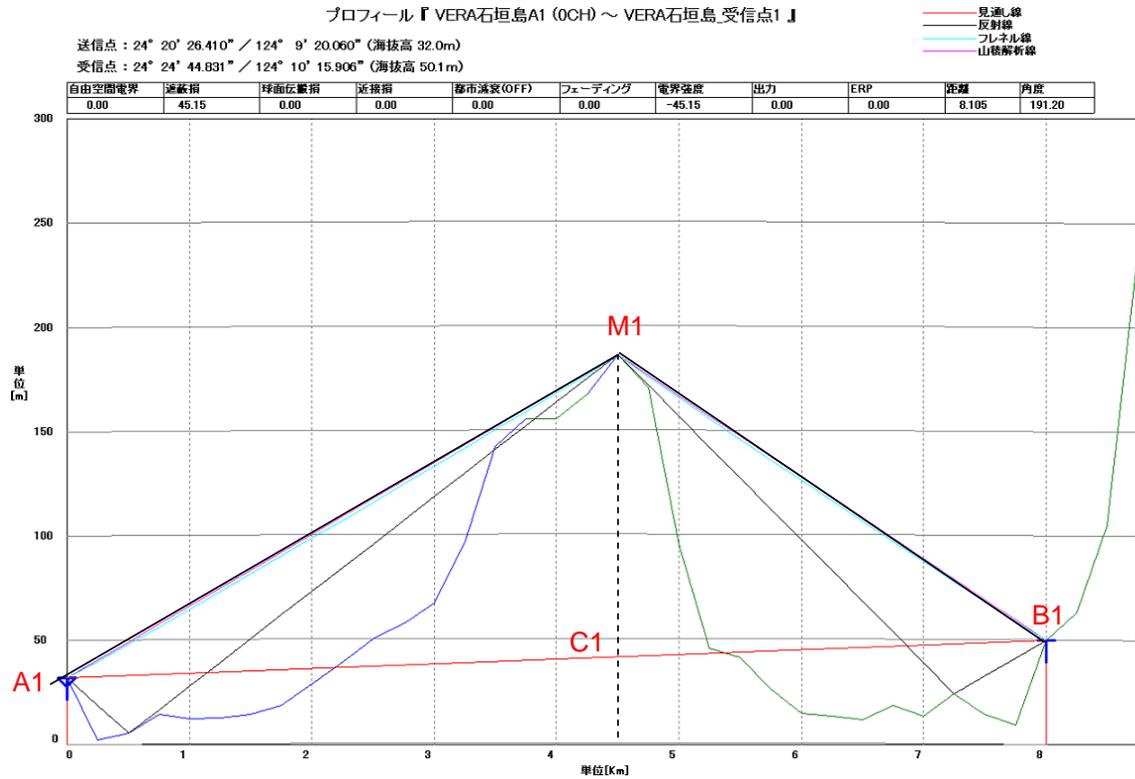
距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送距離(ポイント間直線)	D(km)	50.3	= d1+d2+d3
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	d1+d2(km)	47.5	= d1+d2
伝送距離(第2回折ポイント間直線)	d2+d3(km)	49.3	= d2+d3
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	1	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	46.5	
伝送距離(M2-B1間直線)	d3(km)	2.8	
A1ポイント標高	h1(m)	26	
B1ポイント標高	h2(m)	110.1	
M1ポイント標高	hm1(m)	270	
M2ポイント標高	hm2(m)	270	
C1ポイント標高	hp1(m)	28.40	= (h1*d2+hm2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	241.60	= hm1-hp1
A2ポイント標高(仮想点)	ha2(m)	272.80	= ((d1+d2)/d2)(hm1+(d1*d2)/(2*K*a))-(d1*hm2/d2)
C2ポイント標高	hp2(m)	111.33	= (ha2*d3+h2*(d1+d2))/((d1+d2)+d3)-((d1+d2)*d3)/(2*K*a)
高低差(C2-M2間)	CS2(m)	158.67	= hm2-hp2

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.01	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	3.53	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	68.49	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	52.71	= 16+20*LOG(U1)
M2ポイントでの第1フレネル半径	Rm2(m)	5.80	= √((λ*(d1+d2)*d3)/((d1+d2)+d3))
M2回折パラメータ	U2	27.37	= CS2/Rm2
M2ポイントでの回折損失	Z2(dB)	44.75	= 16+20*LOG(U2)
2段回折での総合損失	Zt(dB)	97.46	= Z1+Z2
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	153.9295998	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2+d3)
伝搬損失	Γ(dB)	251.39	= Γ0+Zt

<追加送信点1—VERA 石垣島 20m>



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	D(km)	8.1	= d1+d2
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	4.5	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	3.6	
A1ポイント標高	h1(m)	32	
M1ポイント標高	hm1(m)	180	
B1ポイント標高	h2(m)	50.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	41.10	= (h1*d2+h2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	138.90	= hm1-hp1

周波数に依存するパラメータ

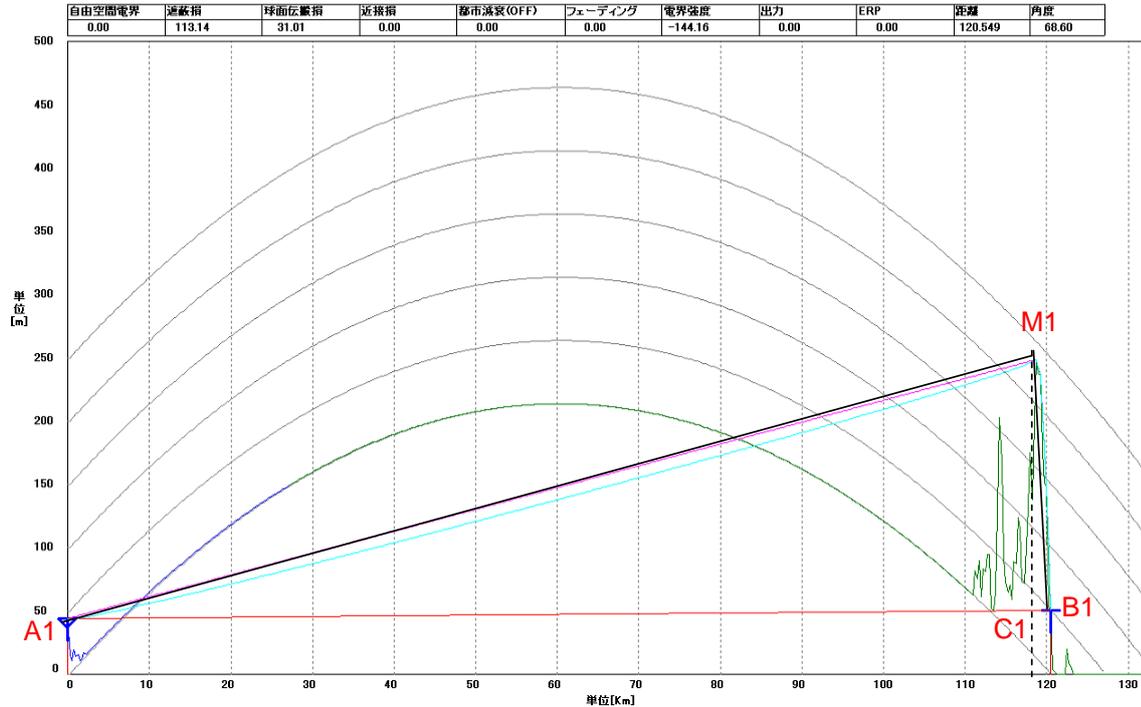
項目	記号	値	計算式
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	5.04	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	27.55	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	44.80	= 16+20*LOG(U1)
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	138.0679404	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2)
伝搬損失	Γ(dB)	182.87	= Γ0+Z1

<追加送信点 2—VERA 石垣島 20m>

プロフィール『VERA石垣島A2(0CH)～VERA石垣島受信点1』

送信点：24° 48' 19.780" / 125° 16' 52.140" (海拔高 44.0m)
 受信点：24° 24' 44.831" / 124° 10' 15.906" (海拔高 50.1m)

見出し線
 反射線
 フレネル線
 山嶺解析線



項目	記号	値
等価地球半径係数	K	1.333333333
地球平均半径	a(km)	6370

距離(高さ)に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送距離(第1回折ポイント間直線)	D(km)	120.5	= d1+d2
伝送距離(A-M1間直線)	d1(km)	118	
伝送距離(M1-M2間直線)	d2(km)	2.5	
A1ポイント標高	h1(m)	44	
M1ポイント標高	hm1(m)	240	
B1ポイント標高	h2(m)	50.1	
C1ポイント標高	hp1(m)	32.61	= (h1*d2+h2*d1)/(d1+d2)-(d1*d2)/(2*K*a)
高低差(C1-M1間)	CS1(m)	207.39	= hm1-hp1

周波数に依存するパラメータ

項目	記号	値	計算式
伝送周波数	f(MHz)	23600	
信号波長	λ(m)	0.0127	= 300/f
M1ポイントでの第1フレネル半径	Rm1(m)	5.58	= √((λ*d1*d2)/(d1+d2))
M1回折パラメータ	U1	37.18	= CS1/Rm1
M1ポイントでの回折損失	Z1(dB)	47.41	= 16+20*LOG(U1)
自由空間伝搬損失	Γ0(dB)	161.517981	= 32.44+20*LOG(f)+20*LOG(d1+d2)
伝搬損失	Γ(dB)	208.92	= Γ0+Z1

No.	局名	口径(m)	標高(m)	アンテナ高(m)	アンテナ最高点(m)	座標(天文台)			座標(追加第1地点)			座標(追加第2地点)		
						東経(度)	北緯(度)	東経(度)	北緯(度)	東経(度)	北緯(度)	東経(度)	北緯(度)	
1	VERA水沢	20	63	22	85	141° 07' 57"	39° 08' 01"	141° 37' 46.19"	39° 00' 54.44"	141° 09' 09.66"	39° 42' 13.03"			
2	VERA入来	20	529	22	551	130° 26' 24"	31° 44' 52"	130° 18' 14.28"	31° 48' 48.56"	130° 33' 28.72"	31° 33' 36.53"			
3	VERA小笠原	20	211	22	233	142° 13' 00"	27° 05' 31"	142° 11' 31.06"	27° 05' 39.72"	142° 09' 39.80"	26° 38' 25.03"			
4	VERA石垣島	20	26	22	48	124° 10' 16"	24° 24' 44"	124° 09' 20.06"	24° 20' 26.41"	125° 16' 52.14"	24° 48' 19.78"			
11	NRO45m	45	1349	47	1369	138° 28' 21"	35° 56' 40"	138° 29' 31.51"	36° 01' 15.15"	138° 34' 06.4"	35° 39' 50.96"			

パラメータ	値
送信周波数f (MHz)	23600
送信給電線損失L _t (dB)	0
受信給電線損失L _r (dB)	0

$$\text{自由空間伝搬損失 } L_p(\text{dB}) = 32.44 + 20\log(f(\text{MHz})) + 20\log(D(\text{km}))$$

$$\text{総伝搬損失 } \Gamma(\text{dB}) = \Gamma_0(\text{dB}) + Z(\text{dB})$$

	天文台	送信点	送受信間直線距離D (km)	自由空間伝搬損失Γ ₀ (dB)	回折損失Z (dB)	総伝搬損失Γ (dB)	Δγ ₁ が入空中線電力 (dBm/MHz)	送信空中線利得 (dBi)	干渉電 (dBm/MHz)	干渉閾値 (dBm/MHz)	干渉マージン (dB)
1	VERA水深20m	追加送信点1 追加送信点2	44.9 63.3	152.94 155.93	95.21 37.5	248.15 193.43	-33 -33	40 40	-241.15 -186.43	-191 -191	50.15 -4.57
2	VERA入来	追加送信点1 追加送信点2	14.7 23.6	143.24 147.36	33.6 44.39	176.84 191.75	-33 -33	40 40	-169.84 -184.75	-191 -191	-21.16 -6.25
3	VERA小笠原	追加送信点1 追加送信点2	2.48 50.3	127.79 153.93	89.63 97.46	217.42 251.39	-33 -33	40 40	-210.42 -244.39	-191 -191	19.42 53.39
4	VERA石垣島	追加送信点1 追加送信点2	8.1 120.5	138.07 161.52	44.8 47.41	182.87 208.93	-33 -33	40 40	-175.87 -201.93	-191 -191	-15.13 10.93
11	NRO野辺山	追加送信点1 追加送信点2	8.7 32.2	138.69 150.06	42.43 96.23	181.12 246.29	-33 -33	40 40	-174.12 -239.29	-191 -191	-16.88 48.29

電波防護指針に関する検討

電波施行規則第 21 条の 3 において、電波の強度に対する安全施設の規定があり、無線設備から発射される電波の強度が基準値を超える場所に、一般の人々が容易に立ち入ることができないように施設をしなければならない。

このため、無線局から発射される電波の強度を求め、基準値への適合を確認する必要があることから、「無線設備から発射される電波の強度の算出方法及び測定方法」が告示されている。

23GHz 無線伝送システムにおいても当該告示に則った方法で電波防護指針に関する検討を行った。なお、当該告示に規定されている電波強度の基本算出式は下式のとおりであり、23GHz 無線伝送システムにおける基準値は図 1 のとおりである。

$$S = \frac{PG}{40\pi R^2} K$$

S : 電力束密度 [mW/cm²]

P : 空中線入力電力 [W]

G : 送信空中線の最大輻射方向における絶対利得 [dBi]

R : 算出に係る送信空中線と算出を行う地点との距離

K : 反射係数 (ただし、反射係数は下表のとおり)

①	全ての反射を考慮しない場合	1
②	大地面の反射を考慮する場合 (送信周波数が 76MHz 以上の場合)	2.56
③	水面等大地面以外の反射を考慮する場合	4

周波数	電界強度の実効値 (V/m)	磁界強度の実効値 (A/m)	電力束密度 (mW/cm ²)
1.5GHz ~ 300GHz	61.4	0.163	1

図 1 電波防護指針の基準値(抄)

1 基本算出式のみによる検討例

以下のような設置条件（地上高10mに無線局を設置）、代表的なシステム諸元を想定し、基本算出式を用いて算出地点（人の身長高を参考）における電波強度を算出したところ、約0.666999723 mW/cm²となり、基準値を満たしている。

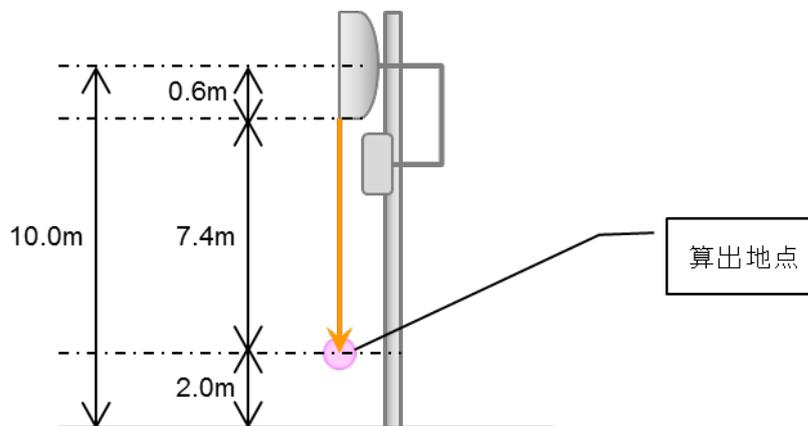


図2 無線局設置イメージ図

項目		値	備考
RFの数	-	1	中心周波数 f = 23.246GHz
定格出力 [W]	Pt	0.0398	
送信アンテナ利得 [dBi]	Gat	46.7	120cm 径パラボラアンテナ
給電線損失等 [dB]	Lf+Ld	2.9	
空中線高 [m]	H	10.0	
算出地点までの距離 [m]	R	7.40	
空中線入力電力 [W]	P	0.02041183	
主輻射方向の利得 [倍]	G	46773.51413	
反射係数	K	2.56	送信周波数が [※] 76MHz 以上の大地面反射
電力束密度 [mW/cm ²]	S	0.666999723	$S = ((P \times G) / (40 \pi R^2)) \times K$
基準値 [mW/cm ²]		1.000000000	
割合の和 ≤ 1		0.666999723	

図3 代表的なシステム諸元

2 指向特性等を考慮した検討

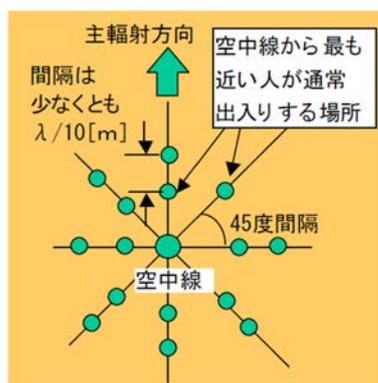
総務省「電波防護のための基準への適合確認の手引き」により、最もばく露を受ける条件として、以下による検討を行った。

- ・ 総合送信空中線電力 P : 0.5 (W)
- ・ 水面等大地面以外の反射を考慮 K=4
- ・ 基本算出式により計算
- ・ 送信アンテナとして、φ60cm パラボラアンテナ・φ30cm パラボラアンテナ・セクターアンテナについて検討
- ・ 指向性を考慮

【検討結果】

(1) 基本計算 (水平方向 45度間隔の方位)

総合送信空中線電力 P、送信空中線利得 G_t θ に対する所要離隔距離 d を下記表に示す。



- ・ 反射設定 1 反射なし

主輻射方向

送信空中線利得 G_t (dBi)	所要離隔距離 d (m)				備考
	総合送信空中線電力 P (W)				
	0.5	0.1	0.05	0.01	
40.0	6.31	2.83	2.00	0.90	60cm パラボラ相当
34.5	3.35	1.50	1.06	0.48	30cm パラボラ相当
23.0	0.90	0.40	0.29	0.13	90度セクター相当

主輻射方向±45度

送信空中線利得 Gt θ (dBi) θ : ±45度	所要離隔距離 d (m)				備考
	総合送信空中線電力 P (W)				
	0.5	0.1	0.05	0.01	
0.0	0.064	0.029	0.021	0.009	60cm パラボラ相当
-5.5	0.034	0.015	0.011	0.005	30cm パラボラ相当
20.0	0.64	0.29	0.20	0.091	90度セクター相当

主輻射方向±90度

送信空中線利得 Gt θ (dBi) θ : ±90度	所要離隔距離 d (m)				備考
	総合送信空中線電力 P (W)				
	0.5	0.1	0.05	0.01	
-10.0	0.020	0.009	0.007	0.003	60cm パラボラ相当
-5.5	0.034	0.015	0.011	0.005	30cm パラボラ相当
-2.0	0.051	0.023	0.016	0.008	90度セクター相当

主輻射方向±135度

送信空中線利得 Gt θ (dBi) θ : ±135度	所要離隔距離 d (m)				備考
	総合送信空中線電力 P (W)				
	0.5	0.1	0.05	0.01	
-10.0	0.020	0.009	0.007	0.003	60cm パラボラ相当
-5.5	0.034	0.015	0.011	0.005	30cm パラボラ相当
-7.0	0.029	0.013	0.009	0.004	90度セクター相当

主輻射方向±180度

送信空中線利得 Gt θ (dBi) θ : ±180度	所要離隔距離 d (m)				備考
	総合送信空中線電力 P (W)				
	0.5	0.1	0.05	0.01	
-20.0	0.007	0.003	0.002	0.001以下	60cm パラボラ相当
-15.5	0.011	0.005	0.004	0.002	30cm パラボラ相当
-12.0	0.016	0.008	0.006	0.003	90度セクター相当

- ・ 反射設定2 水面等大地面以外の反射を考慮

主輻射方向

送信空中線利得 Gt (dBi)	所要離隔距離 d (m)				備考
	総合送信空中線電力 P (W)				
	0.5	0.1	0.05	0.01	
40.0	12.62	5.65	4.00	1.79	60cm パラボラ相当
34.5	6.7	3.0	1.12	0.95	30cm パラボラ相当
23.0	1.79	0.8	0.58	0.26	90度セクター相当

主輻射方向±45度

送信空中線利得 Gt θ (dBi) θ : ±45度	所要離隔距離 d (m)				備考
	総合送信空中線電力 P (W)				
	0.5	0.1	0.05	0.01	
0.0	0.127	0.058	0.042	0.018	60cm パラボラ相当
-5.5	0.068	0.03	0.022	0.01	30cm パラボラ相当
20.0	1.28	0.58	0.4	0.182	90度セクター相当

主輻射方向±90度

送信空中線利得 Gt θ (dBi) θ : ±90度	所要離隔距離 d (m)				備考
	総合送信空中線電力 P (W)				
	0.5	0.1	0.05	0.01	
-10.0	0.04	0.018	0.014	0.006	60cm パラボラ相当
-5.5	0.068	0.03	0.022	0.01	30cm パラボラ相当
-2.0	0.102	0.046	0.032	0.016	90度セクター相当

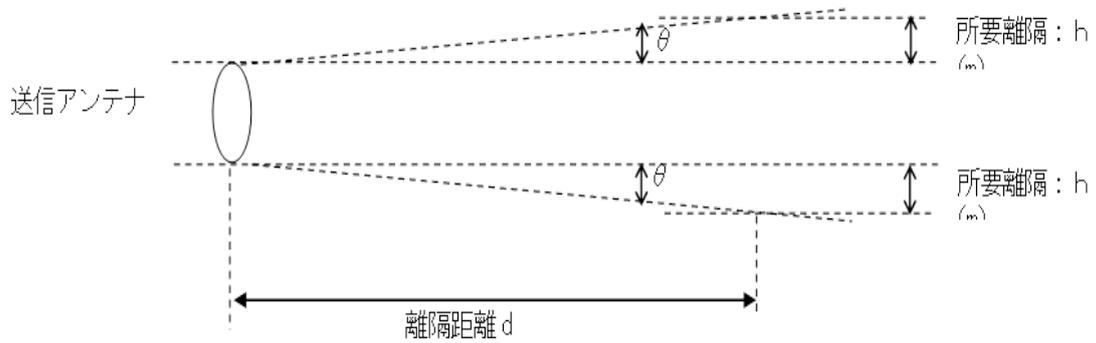
主輻射方向±135度

送信空中線利得 Gt θ (dBi) θ : ±135度	所要離隔距離 d (m)				備考
	総合送信空中線電力 P (W)				
	0.5	0.1	0.05	0.01	
-10.0	0.04	0.018	0.014	0.006	60cm パラボラ相当
-5.5	0.068	0.03	0.022	0.01	30cm パラボラ相当
-7.0	0.058	0.026	0.018	0.008	90度セクター相当

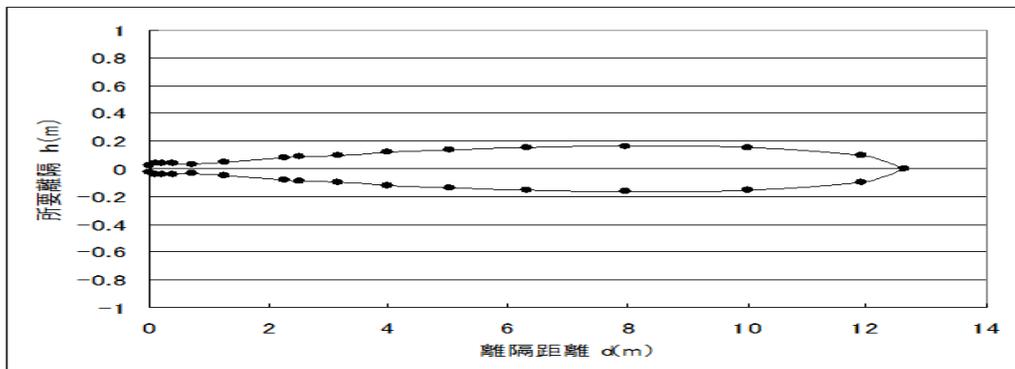
主輻射方向±180度

送信空中線利得 Gt θ (dBi) θ : ±180度	所要離隔距離 d (m)				備考
	総合送信空中線電力 P (W)				
	0.5	0.1	0.05	0.01	
-20.0	0.014	0.006	0.004	0.002	60cm パラボラ相当
-15.5	0.022	0.01	0.008	0.003	30cm パラボラ相当
-12.0	0.032	0.016	0.012	0.005	90度セクター相当

(2) 指向性を考慮した検討 (水平面)



- ・ 60cm パラボラアンテナ (水面等大地面以外の反射を考慮)

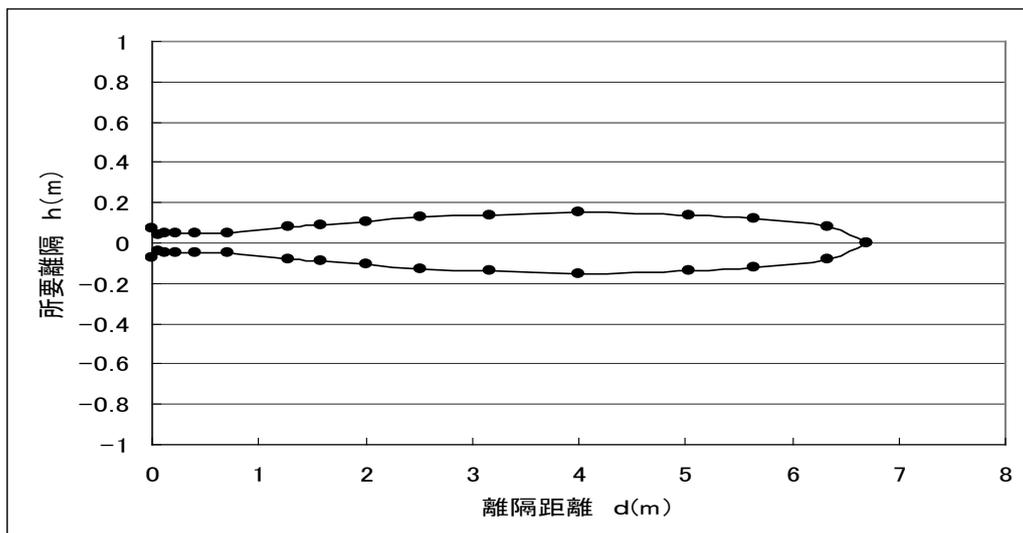


総合送信空中線電力 P : 0.5 (W)

送信空中線利得 G_t : 40.0 (dBi)

離隔距離 d (m)	送信空中線利得 $G_t \theta$ (dBi)	送信アンテナ指向角度 θ (度)	所要離隔 h (m)
0	-15	90	0.023
0.12	0	20	0.044
0.23	5	10	0.041
0.40	10	6	0.042
0.71	15	2.36	0.03
1.27	20	2.23	0.05
2.25	25	2.01	0.08
2.52	26	2.00	0.09
3.17	28	1.85	0.10
3.99	30	1.7	0.12
5.03	32	1.57	0.14
6.33	34	1.38	0.15
7.96	36	1.15	0.16
10.02	38	0.813	0.15
11.92	39.5	0.45	0.094
12.63	40	0	0

- ・ 30cm パラボラアンテナ（水面等大地面以外の反射を考慮 ）

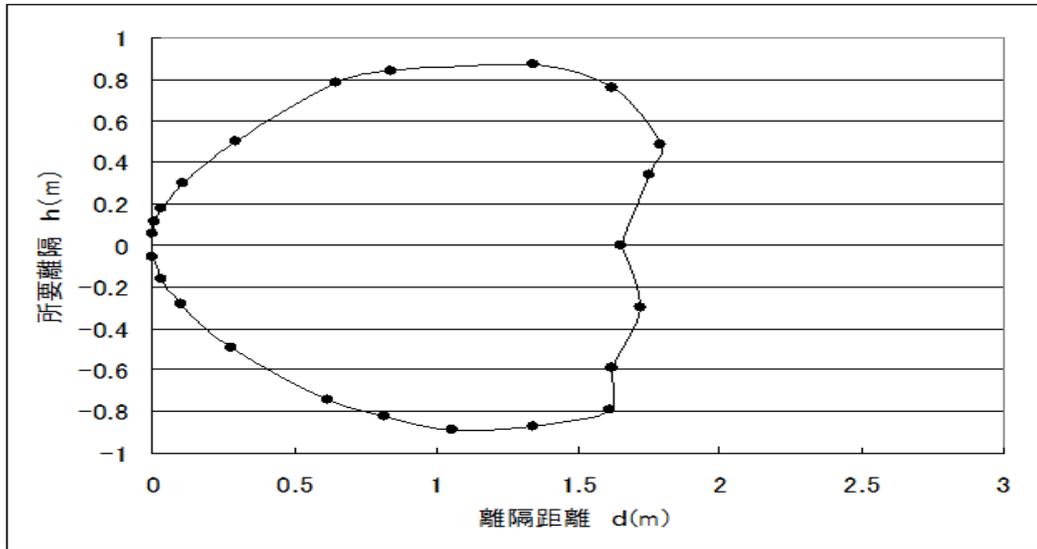


総合送信空中線電力 P : 0.5 (W)

送信空中線利得 Gt : 34.5 (dBi)

離隔距離 d (m)	送信空中線利得 Gt θ (dBi)	送信アンテナ 指向角度 θ (度)	所要離隔 h (m)
0	-5	90	0.071
0.062	-5	30.0	0.036
0.13	0	20.0	0.044
0.23	5	11.0	0.045
0.40	10	7.0	0.050
0.71	15	3.86	0.048
1.26	20	3.48	0.077
1.59	22	3.29	0.092
2.00	24	3.05	0.107
2.52	26	2.81	0.13
3.17	28	2.51	0.14
3.99	30	2.11	0.15
5.03	32	1.60	0.14
5.64	33	1.2	0.12
6.33	34	0.7	0.08
6.7	34.5	0	0

- ・セクターアンテナ（水面等大地面以外の反射を考慮）



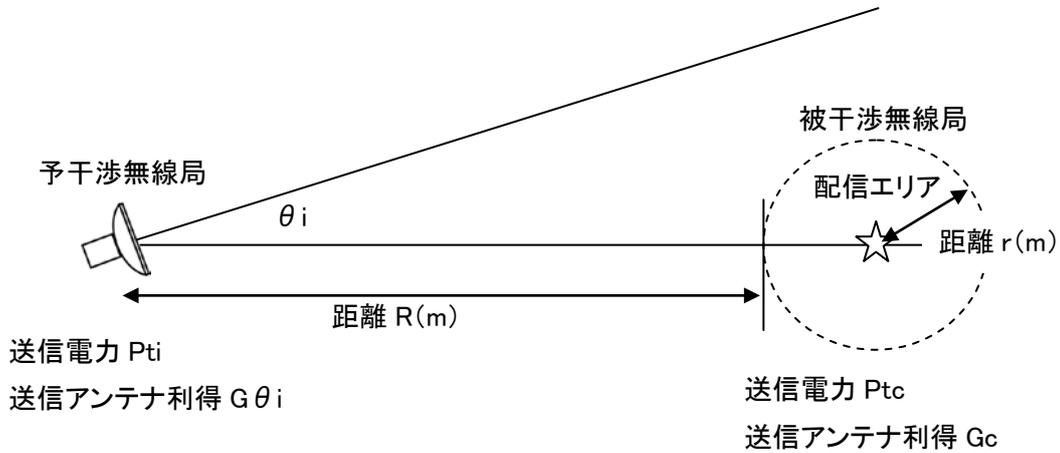
総合送信空中線電力 P : 0.5 (W) 送信空中線利得 Gt : 23.0 (dBi)

離隔距離 d (m)	送信空中線利得 Gt θ (dBi)	送信アンテナ 指向角度 θ (度)	所要離隔 h (m)
0	-7	-90	0.06
0.011	-2	-84	0.11
0.031	3	-80	0.18
0.11	8	-70	0.30
0.29	13	-60	0.50
0.65	18	-50	0.78
0.84	19.4	-45	0.84
1.34	22	-33	0.87
1.62	23	-25	0.76
1.79	22.7	-15	0.48
1.75	23	-11	0.34
1.65	22.3	0	0
1.72	22.8	10	0.30
1.62	22.7	20	0.59
1.61	23	26	0.79
1.34	22	33	0.87
1.06	20.8	40	0.89
0.82	19.2	45	0.82
0.62	17.6	50	0.74
0.28	12.9	60	0.49
0.1	7.2	70	0.28
0.027	1.5	80	0.16
0	-7	90	0.06

23GHz 無線伝送システム間の共用条件

同一システム間の共用条件は IN 基準では無く、混信保護比を満足することで干渉しないと言える。

23GHz 無線伝送システムの混信保護比: 42dB



被干渉無線局

- 配信距離: r (km)
- 送信電力: P_{tc} (dBm)
- 送信アンテナ利得: G_c (dBi)
- 等価等方輻射電力 $EIRP_c: P_{tc} + G_c$ (dBm)
- 距離 r (km) での自由空間伝播損失: L_{pc}

予干渉無線局

- 送信電力: P_{ti} (dBm)
- 送信アンテナ角度利得: $G_{\theta i}$ (dBi)
- 等価等方輻射角度電力 $EIRP_{\theta i}: P_{ti} + G_{\theta i}$ (dBm)
- 距離 R (m) での自由空間伝播損失: L_{pi}

とした時、被干渉信号フリンジレベルは以下となる。

- 被干渉信号: $EIRP_c - L_{pc}$
- 予干渉信号: $EIRP_{\theta i} - L_{pi}$

混信保護比は、

$$\begin{aligned} \text{混信保護比} &= \text{被干渉信号} - \text{予干渉信号} \\ &= EIRP_c - L_{pc} - (EIRP_{\theta i} - L_{pi}) \end{aligned}$$

となり、

予干渉無線局の所要自由空間損失 L_{pi} (dB) は、

$$L_{pi} = \text{混信保護比} - (EIRP_c - EIRP_{\theta i}) + L_{pc}$$

となる。

例

被干渉無線局

配信距離: 2(km)

距離 2(km)での自由空間伝播損失: $L_{pc} = 125.8$ (dB)

$EIRP_c - EIRP_{\theta i} = 0$ (dB)

距離 R (m)での自由空間伝播損失: L_{pi}

とし、混信保護比を 42 (dB)とした時、

$$L_{pi} = 42 - (0) + 125.8$$

従って、混信しない条件は

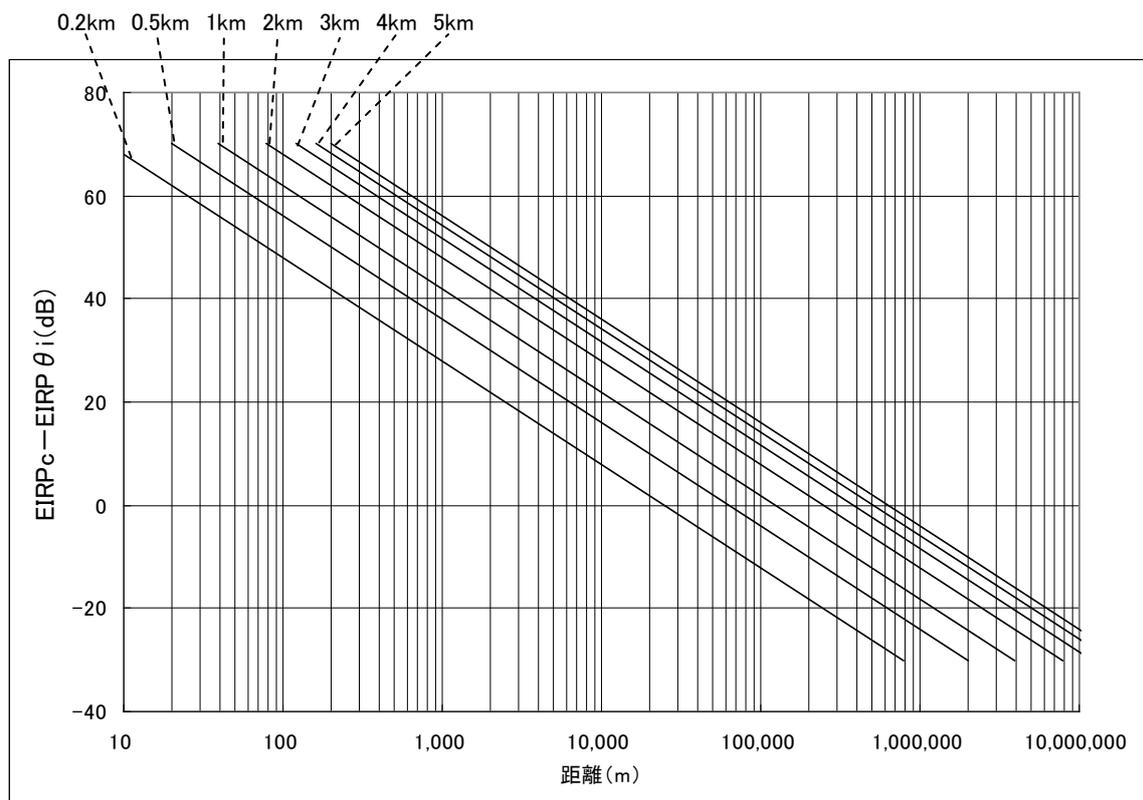
$$L_{pi} > 167.8 \text{ となる。}$$

自由空間伝播損失が 167.8(dB)となる距離 R は 250.9km である。

被干渉無線局の配信距離ごとの予干渉無線局の所要自由空間損失 L_{pi} は以下となる。

被干渉無線局		予干渉無線局の所要自由空間損失 L_{pi} (dB)
配信距離 r	自由空間伝播損失 L_{pc} (dB)	
0.5km	113.8	$155.8 - (EIRP_c - EIRP_{\theta i})$
1km	119.8	$161.8 - (EIRP_c - EIRP_{\theta i})$
2km	125.8	$167.8 - (EIRP_c - EIRP_{\theta i})$
3km	129.4	$171.4 - (EIRP_c - EIRP_{\theta i})$
4km	131.9	$173.9 - (EIRP_c - EIRP_{\theta i})$
5km	133.8	$175.8 - (EIRP_c - EIRP_{\theta i})$

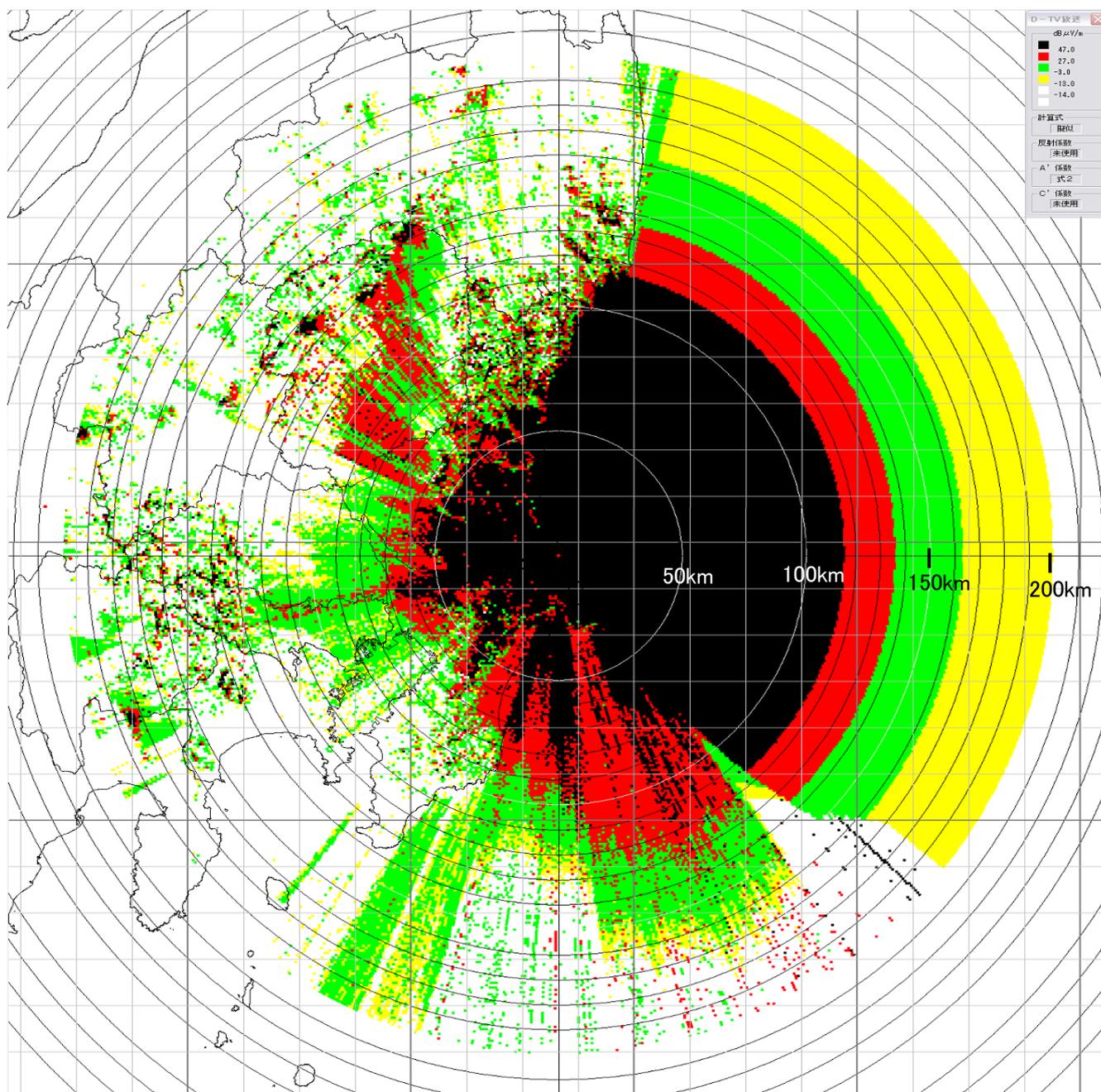
被干渉無線局配信距離



干渉回避マップ(鹿島) 暫定版

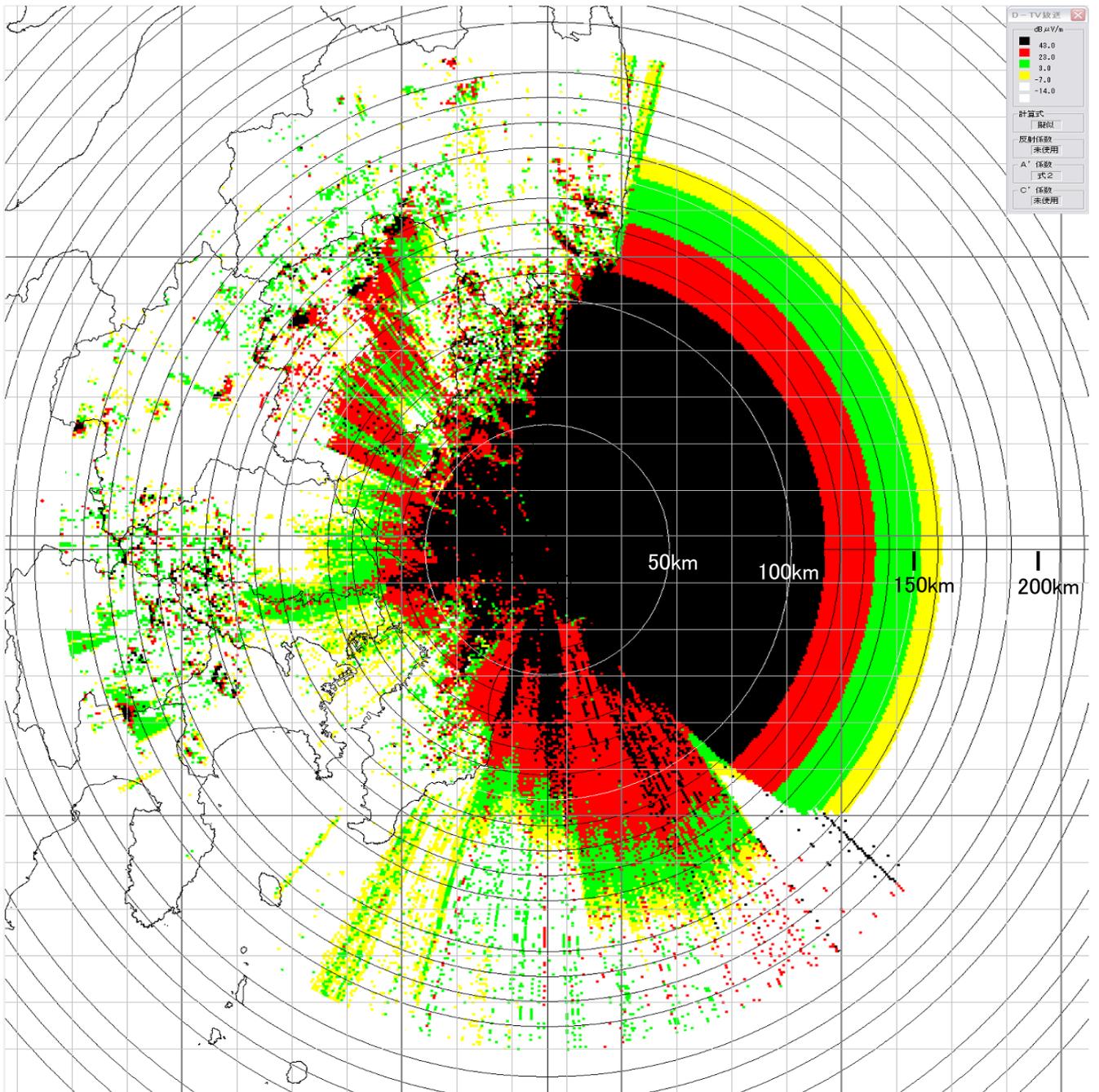
9-① NICT 鹿島干渉回避マップ・・・φ60cm パラボラアンテナ送信の場合

- 回避不可
- 指向性で回避可能(利得減衰 50dB 以上)
- 指向性で回避可能(利得減衰 30dB 以上)
- 干渉無し(但し、マージン 10dB 以下)
- 干渉無し



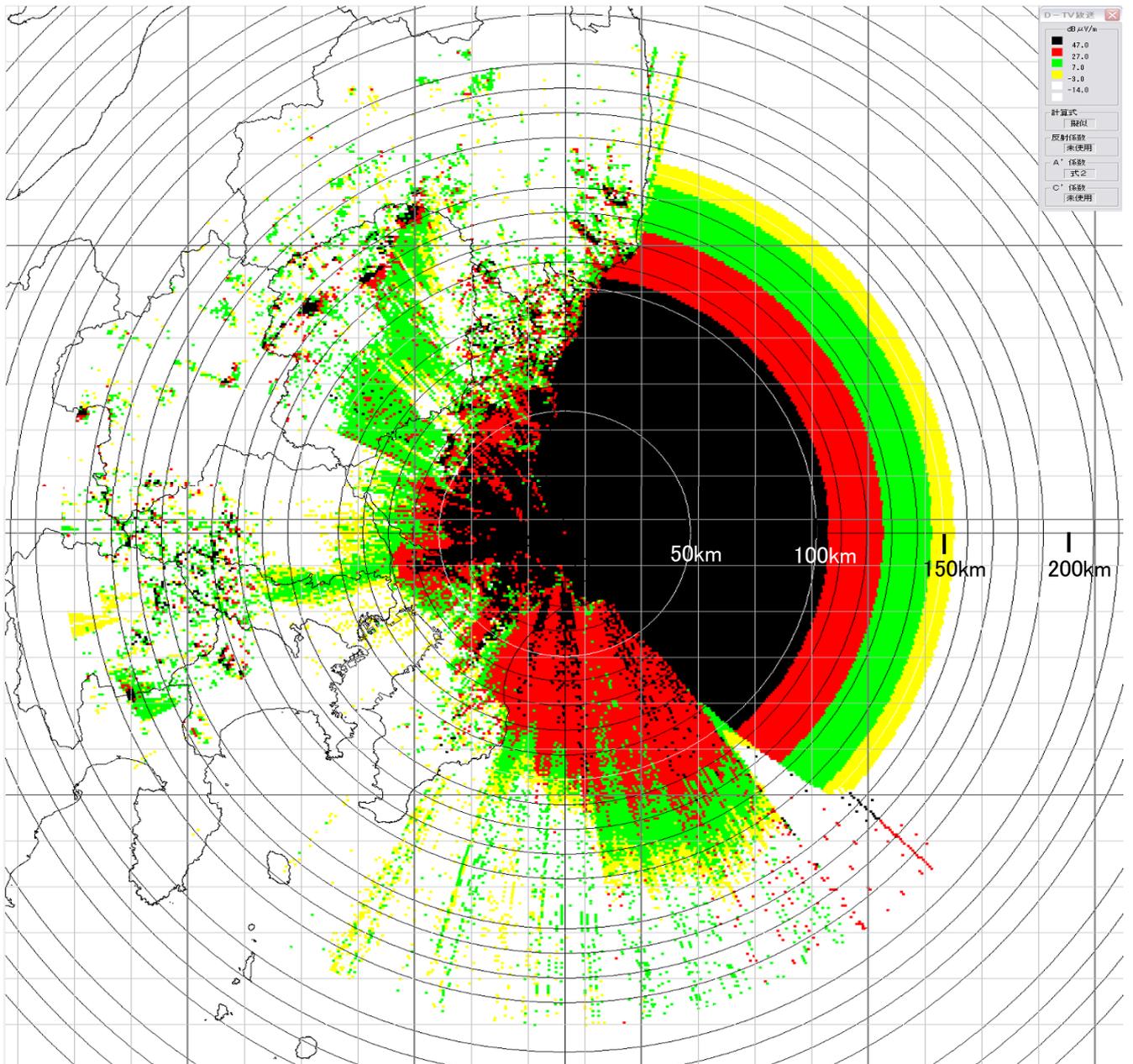
9-② NICT 鹿島干涉回避マップ・・・φ30cm パラボラアンテナ送信の場合

- 回避不可
- 指向性で回避可能(利得減衰 40dB 以上)
- 指向性で回避可能(利得減衰 20dB 以上)
- 干渉無し(但し、マージン 10dB 以下)
- 干渉無し



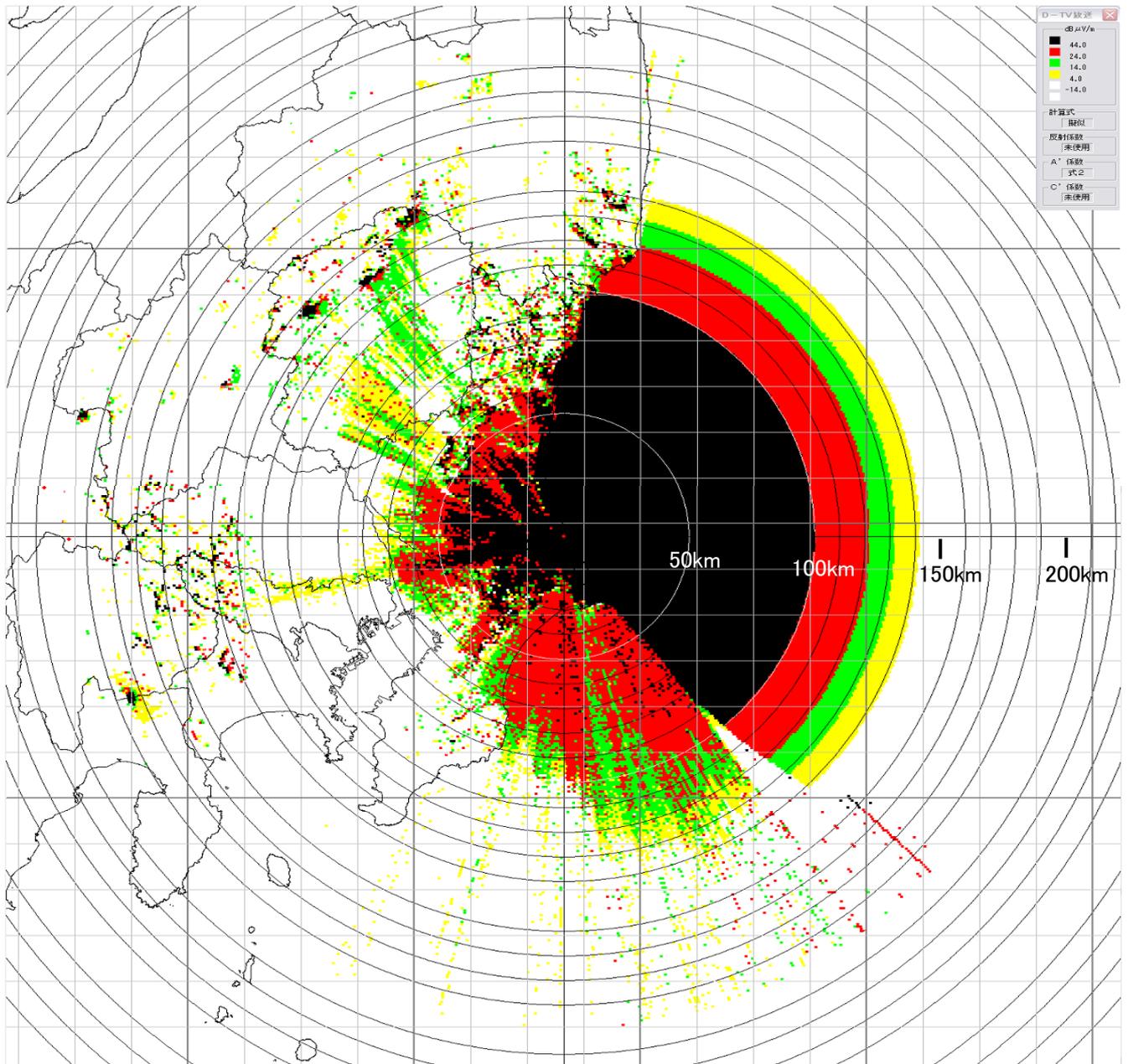
9-③ NICT 鹿島干涉回避マップ・・・φ16cm レンズアンテナ送信の場合

- 回避不可
- 指向性で回避可能(利得減衰 40dB 以上)
- 指向性で回避可能(利得減衰 20dB 以上)
- 干渉無し(但し、マージン 10dB 以下)
- 干渉無し



9-④ NICT 鹿島干涉回避マップ・・・高利得 90 度セクターアンテナ送信の場合

- 回避不可
- 指向性で回避可能(利得減衰 30dB 以上)
- 指向性で回避可能(利得減衰 10dB 以上)
- 干渉無し(但し、マージン 10dB 以下)
- 干渉無し



9-⑤ NICT 鹿島干涉回避マップ・・・90度セクターアンテナ送信の場合

- 回避不可
- 指向性で回避可能(利得減衰 20dB 以上)
- 指向性で回避可能(利得減衰 10dB 以上)
- 干渉無し(但し、マージン 10dB 以下)
- 干渉無し

