
2. 4GHz帯 無線I/Oユニット [CC-Link対応]

SWL30シリーズ

アンテナ布設マニュアル

このたびは、当社の無線 I/O ユニット製品をお買い上げいただき誠にありがとうございます。
無線ユニットを正しく安全にお使いいただくため、ご使用前に無線ユニットのユーザーズマニュアルと本書をよくお読みいただき、特性を十分ご理解のうえ、正しくご使用くださるようお願い致します。

ご注意

1. 許可なく、本マニュアルの無断転載をしないでください。
2. 記載事項は、お断りなく変更することがありますので、ご了承ください。
3. 無線ユニットは、国内電波法にもとづく仕様となっておりますので、日本国外では使用しないでください。

目 次

1. はじめに	1
2. アンテナおよび付属品	1
3. アンテナの設置方法	2
3.1. アンテナの位置	2
3.2. アンテナ周辺の障害物	3
3.3. アンテナ相互の関係	4
3.4. 電波の出る方向・受けやすい方向（指向特性）について.....	7
3.5. アンテナ延長ケーブルの注意点	7
3.6. その他の注意点	8
4. 無線回線の品質確認	9
4.1. 受信感度表示機能	9
4.2. 通信回線の品質改善	10
5. 電波の伝達特性	11
5.1. 工場内など屋内の場合	11
5.2. 見通し区間1 フレネルゾーンが確保出来る場合.....	11
5.3. 見通し区間2 フレネルゾーンが確保出来ない場合.....	12
5.4. 森林による減衰係数	12
5.5. 降雨による減衰	13

1. はじめに

当該無線 I/O ユニット（表 1 参照）は 2.4GHz という非常に高い周波数の電波を使用しております。周波数が高いと、直進性やマルチパスフェージングなどの問題が顕著に出てきます。このため、無線ユニットの性能を十分に発揮させるためには、アンテナの設置に注意を払う必要があります。

本マニュアルはアンテナ設置にかかわる一般的な問題点や注意点を説明し、より良い状態で無線ユニットを設置、運用していただくためのものです。

表 1：対象機種

名 称	形名
2.4GHz 帯無線 I/O ユニット 親局	SWL30-CL
2.4GHz 帯無線 I/O ユニット 親局 (増設ユニット対応品)	SWL30-CL-E
2.4GHz 帯無線 I/O ユニット 子局	SWL30-XY08
2.4GHz 帯無線 I/O ユニット 子局 (増設ユニット対応品)	SWL30-XY08-E

2. アンテナおよび付属品

当社の 2.4GHz 用アンテナおよびオプション品は以下の表のとおりです。

表 2：アンテナ

名 称	形名
つば付きアンテナ	SWL30-ANT
ペンシルアンテナ	SWL30-ANP
防水性つば付きアンテナ	SWL30-ANR

表 3：オプション品

名 称	形名
アンテナ延長ケーブル 2m	SWL30-ANC2M
アンテナ延長ケーブル 5m	SWL30-ANC5M

3. アンテナの設置方法

3.1. アンテナの位置

(1) できるだけアンテナ同士が見える位置に設置

高い周波数の電波を使用しているため、電波の直進性が強く、物陰に回りこみにくくなります。そのため、アンテナ同士はできるだけお互いが見える位置に設置してください。

特に、屋内で 50m、屋外で 100m を越えるような長距離で通信を行う場合は、アンテナが互いに見える場所に設置してください。

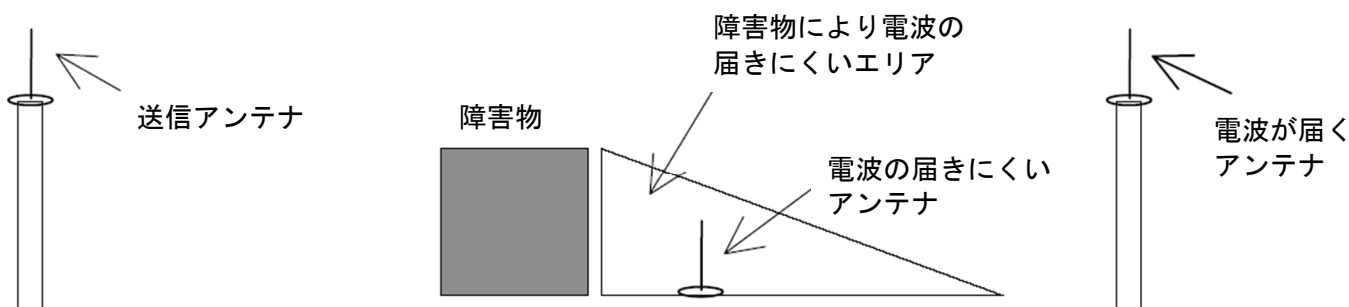
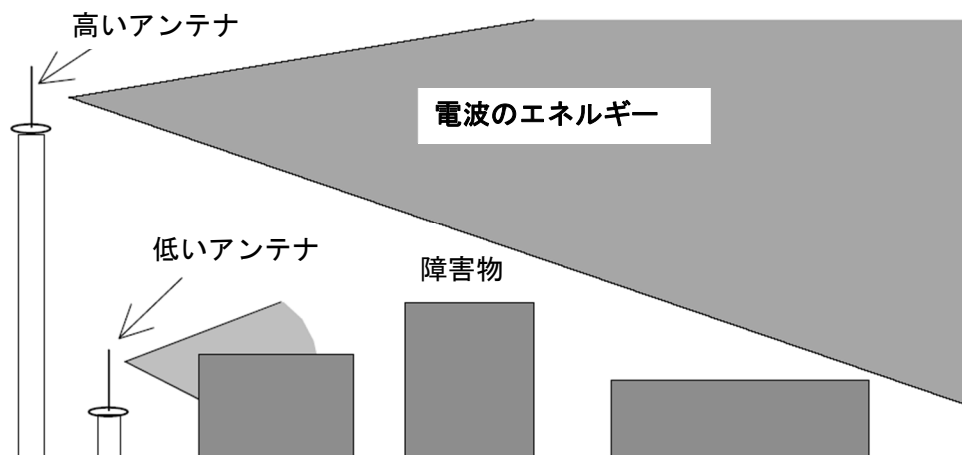
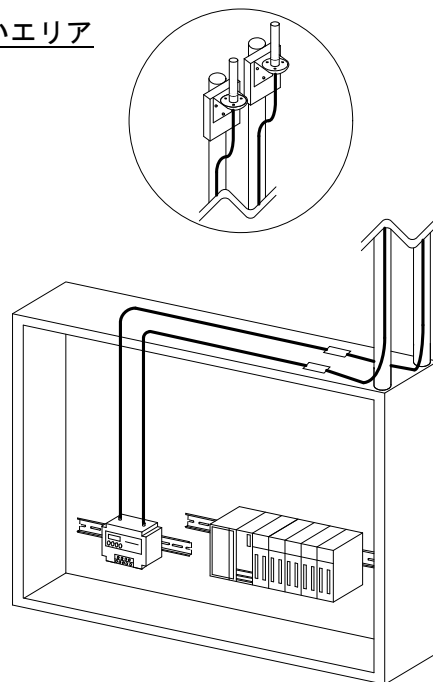


図 1：障害物により電波の届きにくいエリア

(2) アンテナの設置高さは高く

前項と同様に、アンテナの設置高さが高ければ、開けた空間に設置されることから、それだけ障害物の影響を受けず、電波が通りやすくなります。逆にアンテナの高さがあまりにも低い（数 10cm 程度）場合は、アンテナから出る電波が弱くなります。無線ユニット本体を盤内の低い位置に設置する場合は右図のようにアンテナ延長ケーブルを用いて、アンテナを出来るだけ高い位置に設置してください。



3.2. アンテナ周辺の障害物

(1) アンテナ周辺には障害物を置かない

アンテナの周辺、特に放射方向の近くに障害物があると、それらの影響を受けて電波が飛ばなくなります。影響の度合いは金属が最も高く、ついでコンクリート、石膏ボードや木材など水分を含むものが影響を受けやすくなっています。ガラスやプラスチックはあまり大きな影響はありません。

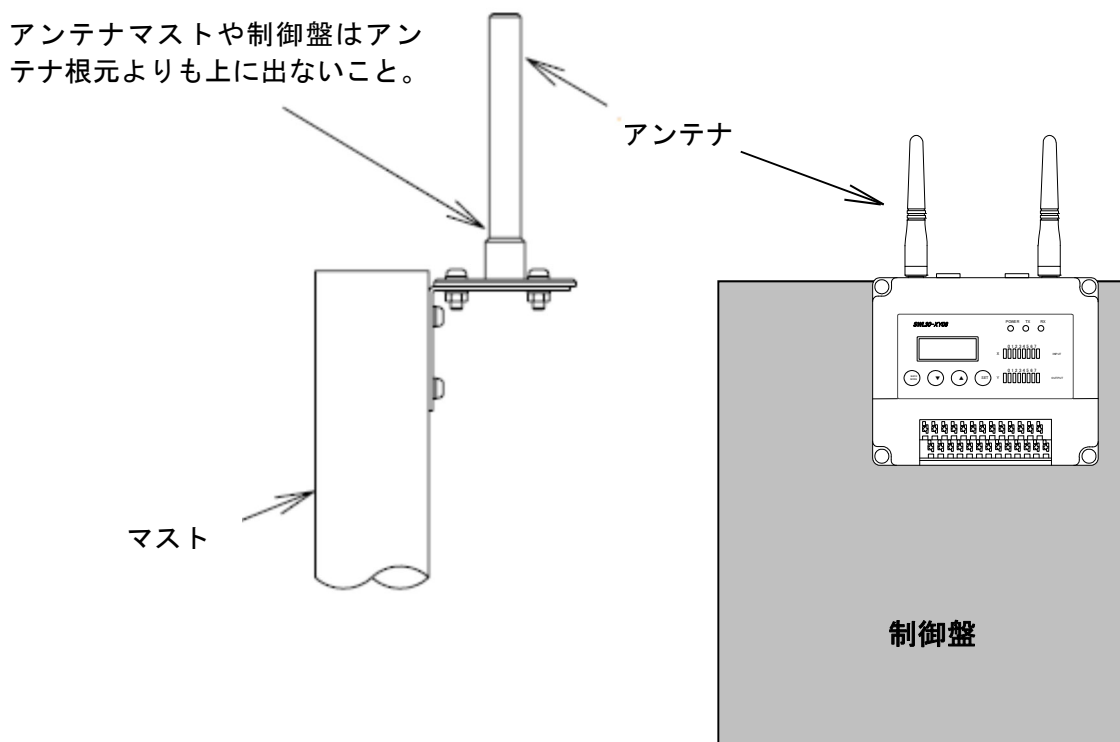
これらの障害物（特に金属）は見通しの確保ということとは別に、アンテナ自身の特性変化や電波の反射という問題を引き起こしますので、通信相手の方向に障害物がないからといって影響がないわけではありません。これらを考慮してアンテナから障害物を少なくとも 30cm 以上離してください。

(2) 壁面から 30cm 以上離す

アンテナが壁面に近い場合は壁面からの反射の影響を受け、通信状態が悪くなる場合があります。できる限りアンテナを壁面から離して設置してください。

(3) 制御盤やアンテナマストの処理

アンテナマストや制御盤などに取り付ける際、下図のようにアンテナの放射に対して影響を与えないように設置してください。



3.3. アンテナ相互の関係

(1) 周波数の異なる無線機のアンテナは2m以上離す

異なる周波数の無線機同士でアンテナが近いと、相互に影響しあい、それぞれの無線通信に影響を与え、無線区間での再送の増加、通信可能距離の低下をひきおこします。異なる周波数で使用しているアンテナは少なくとも1m以上、できれば2m以上離して設置してください。

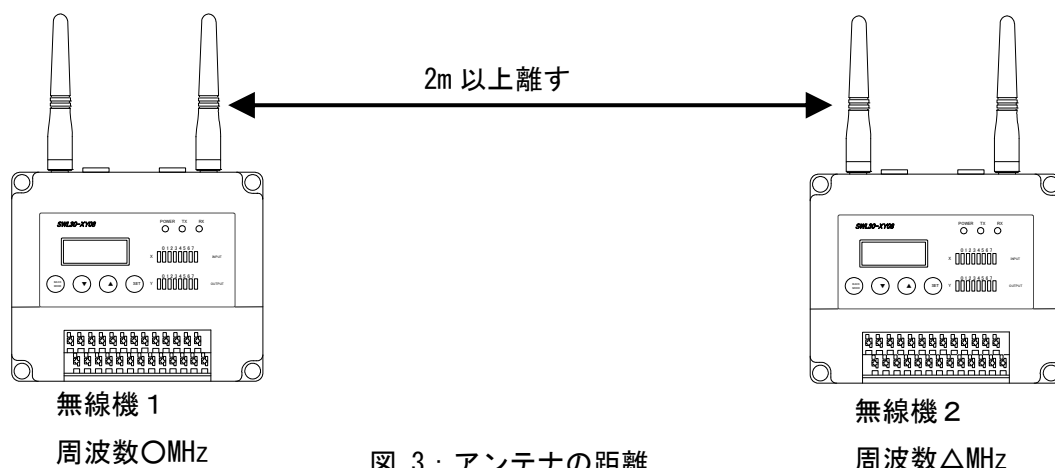


図 3 : アンテナの距離

(2) ダイバシティアンテナ同士は30cm以上離す

ダイバシティ受信方式とは、2本の受信アンテナを離れたところに設置し、それぞれのアンテナで受信状況が異なる様にするすることで、片側のアンテナで受信不可能な場合でも反対側のアンテナで受信可能として、通信品質を向上させる方式です。

2本のアンテナの受信状態が異なるほど効果が発揮されますが、アンテナの設置位置を30cm以上離すことで、2本のアンテナ間での受信状況の相関がほとんど無くなり、ダイバシティの効果が発揮されてきます。もちろん2本のアンテナの位置は離すことができればできるだけ離してください。

特にアンテナを移動体に設置する場合や、アンテナ周辺に車や人などの移動する障害物がある場合は直接波の他に反射波や回折波によるマルチパスフェージングや電波の谷間のデッドポイントが発生しやすいため、ダイバシティ受信方式が有効です。

(3) ダイバシティでも送信アンテナは1本

ダイバシティ受信方式は、受信は『A』、『B』2本のアンテナで行われますが、送信に関しては『A』側に接続されているアンテナで行われます（送信アンテナはダイバシティになっていない）。このため、送信アンテナ『A』側が障害物の陰になった場合など、相手からの電波は『B』側で受信できても、こちらからの電波が相手まで届かないケースが発生することがあります。たとえば移動台車で、荷物を積んだときに送信アンテナが荷物の影になって、ある特定の位置に行った時に通信できないといった問題を起こすことがあります。

そのため、送受信を行う『A』側のアンテナは出来るだけ相手方に届くと思われる位置（たとえば機械の頂点、影にならないところ）に設置するようにしてください。

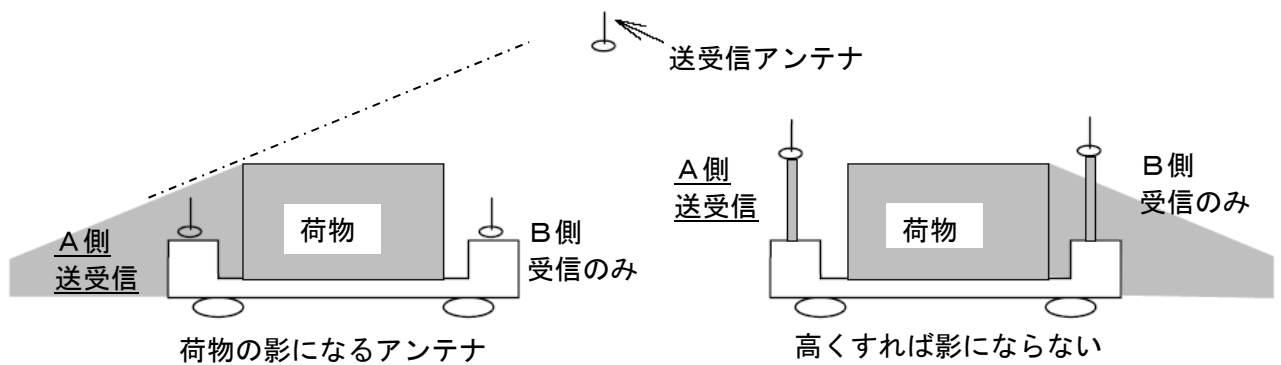
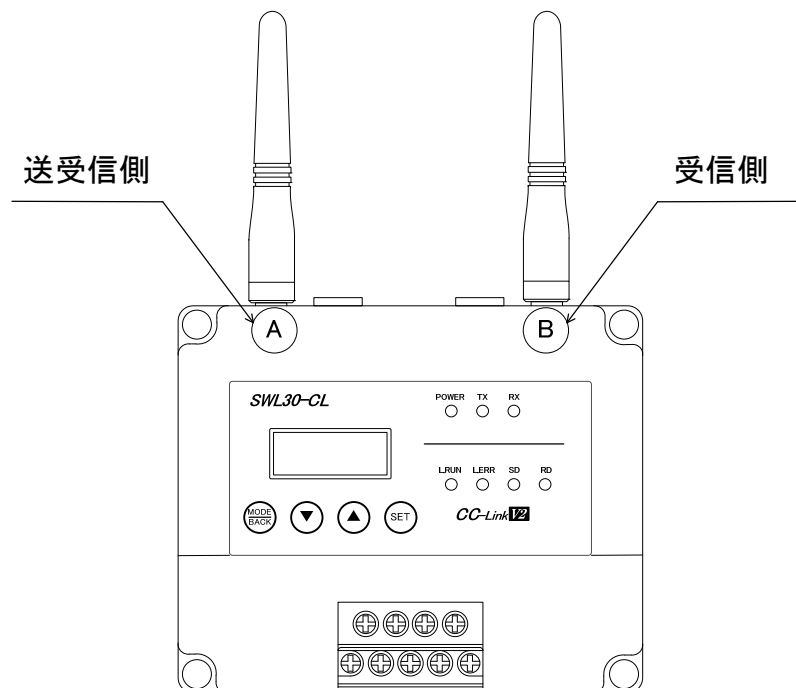


図 4：アンテナを影に入れない



(4) アンテナの方向を合わせる

通信を行っている無線機同士のアンテナは、図に示す様に、同じ方向に向けて設置してください。方向が90度違うと極端に通信可能距離が短くなります。(偏波と呼ばれています)

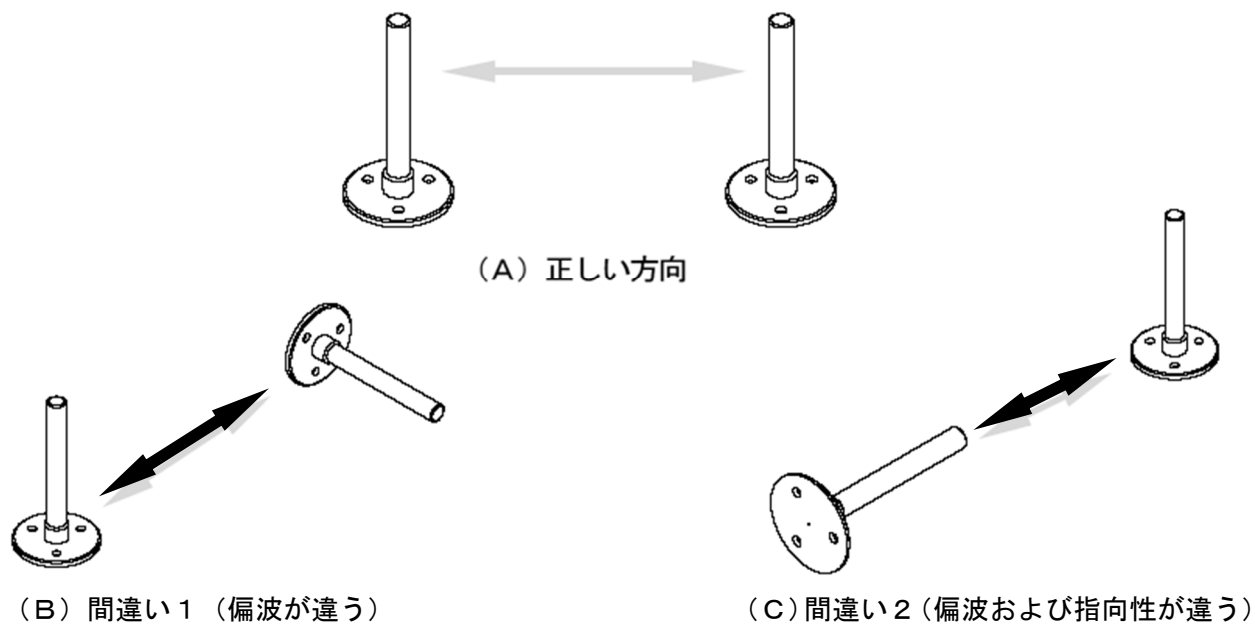


図 5 : つば付きアンテナ, ペンシルアンテナの方向

3.4. 電波の出る方向・受けやすい方向（指向特性）について

アンテナには電波の出る方向または受けやすい方向があり、これを指向特性と呼んでいます。指向特性はアンテナの種類により異なります。

(1) つば付きアンテナ・ペンシルアンテナ

つば付きアンテナやペンシルアンテナの指向特性はアンテナを垂直に立てたときに水平方向にドーナツ状に広がっています。水平方向に対してはどの方向にも電波は放射されますが、上下方向には放射されません。

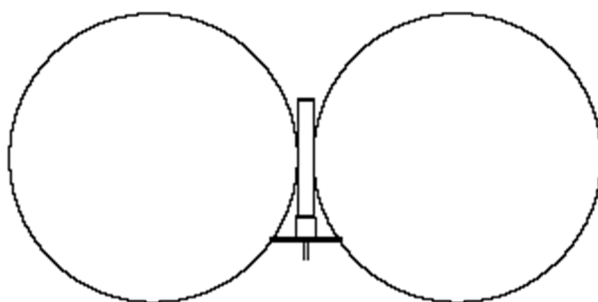


図 6：つば付きアンテナの指向特性（イメージ）

3.5. アンテナ延長ケーブルの注意点

(1) ケーブルの損失

延長ケーブルにより電波が減衰（ロス）します。2mの延長ケーブルで約1.5dB（電力で30%程度、TYP 値）のロスがあります。このロスにより通信可能距離が約15%短くなります。（計算式としては、1.5dB 毎に、元々の距離を0.85 倍ずつしていくようになります。）

なお、通信を行っている2台の無線機同士で、それぞれ延長ケーブルを使っている場合は、上記の計算の倍の影響を受けます。

以下の表にアンテナ延長ケーブル使用時の電波到達距離（理論値）を示します。

表 4：アンテナ延長ケーブル使用時の電波到達距離（理論値）

ケーブルの種類	電波到達距離	減衰量	計算式
延長ケーブルなし	300m	—	—
アンテナ延長ケーブル 2M	255m	1.5dB	$300 \times (0.85)$
アンテナ延長ケーブル 5M	217m	3.0dB	$300 \times (0.85 \times 0.85)$
アンテナ延長ケーブル 5M を 2 台ともに使用	156m	6.0dB	$300 \times (0.85 \times 0.85 \times 0.85 \times 0.85)$

上記はあくまでも理論値であり、実際の電波到達距離は環境により異なります。

アンテナ布設の際は実機にて電波強度をご確認ください。

(2) ケーブルの曲げ半径

つば付きアンテナのケーブルやアンテナ延長ケーブルの曲げ半径は 50mm 以上としてください。これ以上にきつく曲げると、ケーブル内部の絶縁体に変形し、ケーブルのロスが増加して通信可能距離が短くなることがあります。

同様に、ケーブルを固定する時にケーブルをつぶしたりしないようにしてください。上記と同様にケーブルのロスが増加します。

3.6. その他の注意点

(1) アンテナをぶつけない

アンテナは、物をぶつけても良い様に設計されていません。そのためアンテナは他の物がぶつかったりしないような場所に設置するか、保護するような設置をしてください。

強い衝撃が加わった場合、破損することがあります。外見は問題なくても内部で断線等の破損がおきることもあり、この場合、通信が出来なくなってしまいます。

(2) 屋外で使用できるアンテナ

当社のアンテナは屋外で使用を想定したものと、そうでないものがあります。以下の表に○で示されたものは屋外で使用可ですが、×で示されたものはプラスチック等の非金属の容器に納めて、雨水からアンテナを守っていただくようお願いいたします。なお、プラスチックは非金属とはいえ、アンテナの特性に少なからず影響を与えますので、通信可能距離が若干低下する可能性があります。

表 5：屋外での使用可否

名 称	可否
つば付きアンテナ	×
ペンシル型アンテナ	×
防水性つば付きアンテナ	○

注) 屋内用のアンテナを屋外で使用される場合は、屋外用プラスチックケース等、非金属の容器に入れ、水分(雨や霧、雪など)や直射日光を避けて設置してください。電波の特性上、水分によって通信距離が低下することが考えられます。

また、プラスチックケースに金属製の板が組み込まれている場合は反射などにより、通信距離に著しく影響を与えますので使用しないでください。

屋外用の防水性つば付きアンテナも樹脂の劣化を防止するため、日陰など直射日光を避けて布設してください。

(3) コネクタの処理 (延長ケーブル接続時)

アンテナと延長ケーブルのコネクタ接続部には、テレビアンテナの工事等で使用するブチルゴム系の自己融着テープ (日東電工製その他) を使用して、水がしみこまないようにしっかり巻き付けてください。

テープは巻いてある状態から単にはがして、巻き付けても粘着力がありません。テープは柔らかく引き伸ばせるので、1.5 倍~2 倍位の長さに引き延ばしてから巻き付けてください。巻き付けた引っ張り力により、テープの層同士が自己融着し、水分が入り込むのをシャットアウトします。

(4) 積雪について

アンテナに付着した雪や氷は通信距離を著しく低下させることが考えられます。屋外に設置する場合は着雪対策を施す必要があります。

4. 無線回線の品質確認

アンテナの設置が完了したら、受信感度表示機能を用いて無線通信回線の品質をチェックしてください。

アンテナが本設置された状態で受信感度の確認を行なってください。通信品質を確認することで、無線回線が安定しているかどうかの確認が出来ます。

4.1. 受信感度表示機能

レベル		受信強度 (参考)	解 説
良好	LV3, LV4, LV5	-90dBm 以上	このレベルは殆ど問題無く通信ができる受信強度です。
不安定	LV1, LV2	-90dBm 未満	このレベルは通信は可能ですが、経年変化、外部環境（車両の通過等）によって通信品質が劣化した場合に、リトライが増加したり最悪通信ができなくなったりするおそれがあります。
不可能	LV0		電波が届いていません、通信設定や設置場所を確認してください。このレベルは、短時間の通信においてもエラーが発生しやすく、安定した通信を行なうのはほとんど不可能な状態です。

4.2. 通信回線の品質改善

●受信感度が注意レベルや不可能レベルにあるときは、次のような方法で改善を検討してください。

(1) アンテナを障害物から離す

アンテナを固定する場合は周囲に障害物を置かないでください。アンテナ間の見とおしを確保することが重要です。

(2) アンテナは高いところに設置する

アンテナを固定する場合はできるだけ高いところに設置して下さい。高いところの方が見通しを確保しやすくなります。ただしあまり天井に近すぎても反射の影響を受けますので、床面と天井の間辺りが理想となります。

※ 5.2 項のフレネルゾーンについてご確認ください。

(3) ダイバシティ動作する

ハンディ機器や移動体に組み込む場合はダイバシティ動作してマルチパスの影響を減らしてください。また、ダイバシティ動作はアンテナの指向性の乱れを補う働きもあります。

(4) 中継局を設置する

中継局は通信距離を伸ばすだけでなく、障害物による通信不能地帯(デッドポイント)を解消するためにも使用します。

●スペクトラムアナライザによる観察等で妨害電波が発見された場合は、次のような方法で改善を検討してください。

(1) 通信周波数を妨害波の周波数から離す

どれくらい離せば良いかの判断は、妨害波の強さなどによりますので一概に決められませんが、原則としてできるだけはなれた周波数を使用してください。

(2) 妨害波の到来する方向に金属板などの遮へい物を設置する

この場合、遮へい物はアンテナから少なくとも 30cm 以上離してください。

5. 電波の伝達特性

ここでは少し理論的な視点から 2.4GHz の電波がどのように伝搬していくのかを説明していきます。若干数式が示されますが、簡単に表現されていますので、ぜひお読みください。

無線区間では通信電文（パケット）が電波に変換されて送信され、それが受信されて伝送が行われます。受信側では無線区間の 1 パケット単位の電文の中身一つ一つ全てが受信感度限界以上で、かつ必要な SN 比を持った状況でなければ、無事に受信した電文を復元できません。よって電波伝搬特性を考えることは非常に重要です。

5.1. 工場内など屋内の場合

工場内など屋内で使用する場合は、電波は直接アンテナに到達するもの、壁から反射して到達するもの、装置の上を回折して到達するものなどの総和として受信されます。つまりこの場合には、簡単な理論式では受信状況を表すことができません。そのため、受信点で【4. 無線回線の品質確認】に示す方法で確認願います。

この場合も無線機が複数設置される場合には、それぞれの無線回線の状況を測定していただくようお願いいたします。

また、無線機を積んでいる機器が移動する場合には、移動範囲内全域で無線回線の品質を測定していただくことを推奨します。測定結果を工場内配置図上に書き込めば、どのくらいの範囲内で通信が可能か視覚的に判断することができます。

5.2. 見通し区間 1 フレネルゾーンが確保出来る場合

見通し区間での通信可能距離であれば、理論計算で求めることができます。「フレネルゾーン」とは、アンテナの高さ h を伝搬路上にある障害物に対して、ある高さ以上にすれば最小の伝搬損失が実現できるというものです。

$$h[m] = \frac{1}{2} \sqrt{0.122D} \quad \text{式 (1)}$$

(フレネルゾーンの最大半径の式)

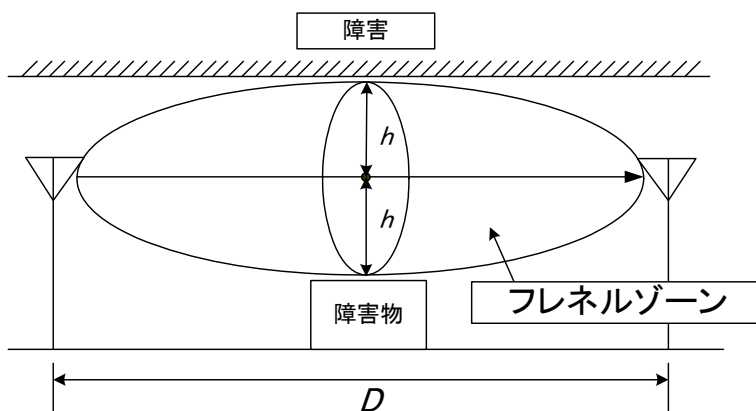


図 7: フレネルゾーン

たとえば、500m の伝搬路を考えると、周波数が 2.48GHz の場合、 $h=3.9\text{m}$ になるので、アンテナ高さは障害物に対して 4m 以上あれば良い伝搬特性が得られることがわかります。この場合の伝搬損失は最小になり、以下の式で表せます。

$$L[\text{dB}] = 20 \log \left(\frac{12.56D}{0.122} \right) = 20 \log(D) + 40.25 \quad \text{式 (2)}$$

ここで D=500m の距離の場合 L=94.2dB となり、送信電力が 10mW (10dBm)、送信・受信アンテナゲインが 2.14dBi、アンテナケーブル損失を各々1dB とすると、受信アンテナ端子には以下の電力が受信信号として現れます。

$$-81.9[\text{dBm}] = 10[\text{dBm}] - 1[\text{dB}] + 2.14[\text{dBi}] - 94.2[\text{dB}] + 2.14[\text{dBi}] - 1[\text{dB}]$$

すなわち、この値は【4. 無線回線の品質確認】で示すようにほぼ良好なレベルといえます。アンテナの高さを h で示す高さ以上にすれば、特性の良い伝搬路が作れることとなります。

また、式 (2) から判る様に距離が倍になれば、損失量は 6dB 増えることとなります。

参考までに、幾つかの距離条件でのフレネルゾーンの半径距離を表に示します。

表 6：フレネルゾーン半径と、通信距離の関係

通信距離 D	30m	60m	100m	200m	300m
2.4GHz 帯フレネルゾーン半径 h	1.0m	1.4m	1.8m	2.5m	3.0m
参考値 429MHz 帯フレネルゾーン半径 h	2.4m	3.4m	4.3m	6.2m	7.5m

5.3. 見通し区間 2 フレネルゾーンが確保出来ない場合

しかしながら、現実にはなかなかこのような環境に設置することは難しく、アンテナの高さが制限されてしまうこととなります。この場合は伝搬路の地表の影響を受けてしまいます。伝搬路が平坦である場合の伝搬損失は以下の式で表されます。

$$L[\text{db}] = 20 \log \left(\frac{D^2}{h_a h_b} \right) \quad \text{式 (3)}$$

$h_a, h_b \ll D$ の場合の近似式

h_a : 送信側のアンテナ高さ [m]

h_b : 受信側のアンテナ高さ [m]

D : 通信距離 [m]

この場合は式 (2) と異なり、距離が倍になると減衰量は 12dB 増えることとなります。つまりフレネルゾーンが確保出来ない距離になると減衰量が 6dB から 12dB に変化し、減衰曲線の傾斜が急になることがわかります。距離 D=500m で、アンテナ高さ $h_a, h_b = 2\text{m}$ の場合は L=95.9dB となります。

5.4. 森林による減衰係数

屋外で森等の木々の間を電波がぬけてくる場合について、近似式を示してみます。なお、この式は、周波数が 2.48GHz、森がアンテナの近くにある場合で、電波が森の上を通過してこないものと仮定しています。この減衰損失量が式 (2)、式 (3) で示される損失量に上乘せされます。

$$L[\text{dB}] = 2.08 d^{0.6} \quad \text{式 (4)}$$

d は森の深さ [m] です。

たとえば、10m の深さの森があった場合は、この式から約 8dB の損失が上乘せされることとなります。

5.5. 降雨による減衰

以下に説明するように降雨による減衰は殆ど考慮する必要はないと考えられています。しかしながら、未確認ながらも一部ユーザー様から降雨による伝搬損失の増加の可能性の連絡もあります。これらは、雨滴の付着でアンテナ輻射効率が低下した可能性や、地面の反射係数の変化によるマルチパスの影響の変化などと考えられますが、屋外で使用する場合には、晴天時の通信品質測定結果に対し 3～5dB 程度の余裕を取っておいた方が確実です。

雨による減衰がどの位あるかを推定する場合に以下の近似式が使えます。

$$L[\text{dB}/\text{km}] = 0.000154 R^{0.968} \quad \text{式 (5)}$$

R は一時間あたりの降雨強度 [mm/h]、上記の係数は垂直偏波の場合で周波数は 2GHz の値 (2.4GHz 近似値)。なお、他の周波数での減衰係数を求めたい場合は、参考文献[2]をご覧ください。

この式から、たとえば、一時間に 10mm の雨量の場合は 0.0014dB/km となり 2.4GHz 付近では降雨による減衰は「理論的には」ほとんどないことがわかります。

【参考文献】

- [1] デジタル移動通信 桑原 科学出版社
[2] 無線通信の電波伝搬 進士 電子情報通信

三菱電機システムサービス株式会社

〒154-8520 東京都世田谷区太子堂 4-1-1 (キャロットタワー20F)

お問い合わせは下記へどうぞ

北日本支社	〒983-0013	仙台市宮城野区中野 1-5-35	(022) 353-7814
北海道支店	〒004-0041	札幌市厚別区大谷地東 2-1-18	(011) 890-7515
東京機電支社	〒108-0022	東京都港区海岸 3-9-15 L00P-X ビル 11 階	(03) 3454-5511
中部支社	〒461-8675	名古屋市東区大幸南 1-1-9	(052) 722-7602
北陸支店	〒920-0811	金沢市小坂町北 255	(076) 252-9519
関西支社	〒531-0076	大阪市北区大淀中 1-4-13	(06) 6454-0281
中四国支社	〒732-0802	広島市南区大州 4-3-26	(082) 285-2111
四国支店	〒760-0072	高松市花園 1-9-38	(087) 831-3186
九州支社	〒812-0007	福岡市博多区東比恵 3-12-16	(092) 483-8208

電話技術相談窓口(仕様・取扱いの問い合わせ)

TEL (052)719-0605

平日 9:00～17:30(土・日・祝日は除く)

この印刷物は、2020年6月の発行です。なお、お断りなしに内容を変更することがありますのでご了承ください。

X903070603D

2020年6月作成

・許可なく、本ユーザーズマニュアルの無断転載をしないでください。