

## 無線モジュール・テストレポート

## IM920 / IM920s / IM920sL シリーズ 無線通信の特性解説

対象無線モジュール：IM920、IM920c、IM920s、IM920sL シリーズ

## インタープラン株式会社

〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 3-3-12 石原ビル 5F

TEL: 03-5215-5771 FAX: 03-5215-5772 URL: <http://www.interplan.co.jp>

## 1. はじめに

このテストレポートは、弊社の 920MHz 無線モジュールを上手にお使いいただくための情報をまとめました。無線通信は周囲の環境により大きく影響を受けます。どこに影響があるか概要を説明します。

## 2. 有線と無線の違い

電線を用いた有線通信と電波を用いる無線通信の比較を考えます。有線と無線の模式図を図1と図2に示します。



図1 有線通信の模式図



図2 無線通信の模式図

図1において、電源装置は内部に 1V 交流電源を内蔵し、内部配線 1 で筐体のコネクタ 1 に接続されています。負荷装置は 100Ω の抵抗を内蔵し、筐体のコネクタ 2 から内部配線 2 で抵抗に接続されています。電源装置と負荷装置は電線を用い伝送線路 1 で互いに接続してあります。

図2は 920MHz で 10mW 出力の送信機が、同軸ケーブル 1 を経てコネクタ 1 に接続してあり、送信装置を構成しています。受信装置は筐体のコネクタ 2 から同軸ケーブル 2 で 920MHz の受信機に接続

してあります。無線通信ですので、互いの装置は空間を用いた伝送線路1で接続してあります。有線通信の場合は互いの装置が電線で接続されていますので、図1では1Vの電源は100Ωの負荷にほぼロスなしに電流10mAが流れて電力は10mWとなります。電線の部分では雷などによる自然ノイズやインバータなどによる人工的なノイズの影響を受けますが、電源装置の電圧は、ほぼそのまま負荷装置に伝えられます。

図2の無線通信の場合は、伝送線路が空間であることで受信アンテナには距離に依存した電力が距離に比例して小さくなって伝わります。途中で物が入ると信号が弱くなるほか、ノイズや妨害、フェージングの影響を受けます。また周波数が高いことで同軸ケーブルやコネクタのロスが無視できなくなります。他方、周波数が高くなると波長が短くなることにより、アンテナを小型化でき利得を得ることが容易になります。

### 3. 伝送路の影響

#### 3-1. 信号が弱くなる

送信アンテナと受信アンテナの間(伝送路)に物体が入ると信号強度が低下します。例えば人体、樹木、金属物、コンクリートなどがあげられます。屋内では人が通る、室内のレイアウト変更、屋外では樹木の生長や木の葉が風での揺らぎなどで信号強度が変化します。信号が受信装置の感度以下になれば、当然受信できなくなります。感度限界付近ではエラー率が上昇します。

#### 3-2. ノイズ

発生源による電波雑音は表1のような身の回りの様々な機器があります。ノイズが多いと影響を受けて通信品質に影響を与えます。目的の通信の信号強度(RSSI)が強くても、ノイズが強いとS/N比(信号雑音比)が低くなり通信品質が悪くなります。S/N比のイメージは図3を参照してください。

種別	主な発生源
自然雑音	雷や空電、回路素子の熱雑音
人工雑音	スイッチング電源やインバータ パーソナルコンピュータやLCDモニタ、周辺機器 エアコン、工作機械、電気ドリル、掃除機、ミキサ、電車などモータ利用機器 自動車、航空機などのエンジン リレー、サーモスタットなどの接点 送電線、オゾン発生器、蛍光放電管、ネオンサインなど 高周波加熱器、高周波ミシン、高周波医療機器、他の無線機器、静電気放電など

表1 主なノイズの発生源

最近ではスイッチング電源やインバータの動作周波数が高くなったこと、電力線通信(PLC)などにより雑音が増える傾向にあります。

簡易的なノイズ測定は弊社のRSSIモニタで行うことができます。

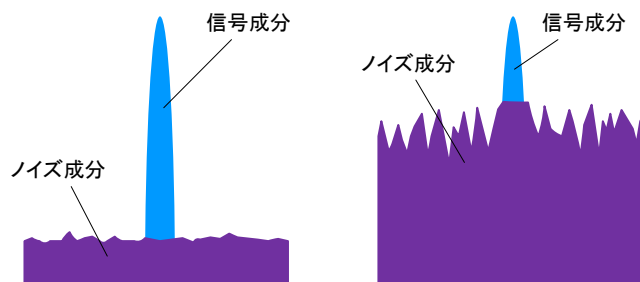


図3 左側 ノイズが低い場合 右側 ノイズが多い場合

### 3-3. 妨害

使用している無線通信の周波数と同じ周波数を使用している機器からの影響で、目的とする信号が妨害されることです。特定小電力無線は様々な業界で多彩な機器に使われていますので、妨害を受ける可能性が多いです。

920MHz帯では送信する際にキャリアセンスを行い、チャンネルが一定レベル以下であることを確認しますが、あくまでもその時点でのレベルであることに注意が必要です。送信機と受信機の通信距離や位置関係で、キャリアセンス時に一定レベル以下だったため送信しても、受信側で重なってしまい通信できないことがあります。

図4では送信機Aは送信機BとCのキャリアセンスの確認ができて通信範囲です。送信機Bから送信機Cのキャリアセンス確認はできず、通信範囲にないことが分かります。

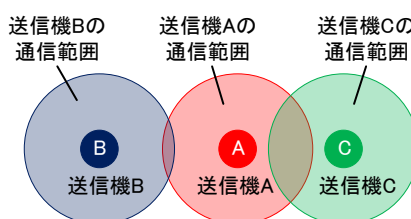


図4 送信機の配置による影響

### 3-4. マルチパス

送信アンテナから放射された電波は、空気中を伝わって受信アンテナに到達します。図5に示すように、到達ルートは直接伝わる電波(直接波)以外に、地面や物体で反射したもの(反射波)や、物体の角で回折したもの(回折波)などがあり、受信アンテナに現れる電力はそれぞれを合成したものになります。そのためアンテナが動いたり、周囲の物体の配置が変わったりすると、受信アンテナの合成電力が変化します。

またアンテナの位置によっては、距離が近くても合成電力がゼロ(NULL)になる点があります。通信距離を確認するときも NULL によってエラーが一時期上昇しても、更に距離を伸ばすと再び信号強度が上がり通信可能になることがあります。

これは自動車でラジオを聴いているときに体験できます。信号待ちや渋滞でゆっくり走っているとき、ラジオの音が強弱することがあります。これは場所によって信号強度が変化している為です。920MHz帯では1波長の長さは約32cmです。図6で表すように、およそ16cm毎に電波強度がゼロになる点があります。

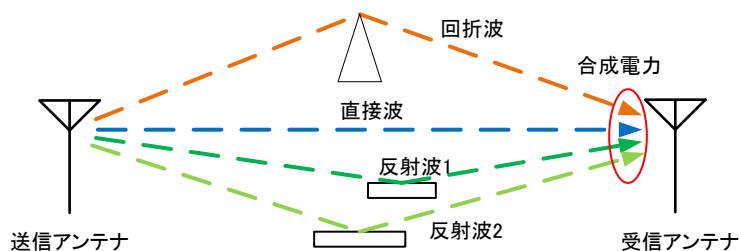


図5 様々な通信経路

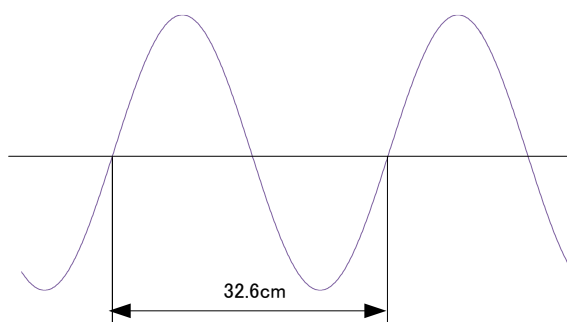


図6 920MHz の1 波長

信号強度・ノイズ・妨害・マルチパスの対比	
信号強度	遠くの人声は小さく、近くの人声は大きく聞こえる。 近くの人との会話でも、間に壁などの障害物が入ると小さく聞こえる。
ノイズ	会話している近くで、車のクラクションが鳴ると会話が途切れる。 人ごみの中では相手の話し声が聞こえにくい。
妨害	会話している横で、別のグループが会話を始めると聞こえない。
マルチパス	直接見えなくても聞こえる声や音。やまびこ。
<p>これらは、海外短波放送や遠距離の AM ラジオを聞くと体感できます。 放送局に受信レポートを送るときは、受信状態を SINPO コードで表します。SINPO は Signal Strength (信号強度), Interference (妨害), Noise (ノイズ), Propagation Disturbance (伝搬障害), Overall Rating (総合評価) の頭文字です。</p>	

表2 電波の対比

## 4. アンテナ

### 4-1. 設置環境

アンテナは電気エネルギーと電波(電磁波)を相互に交換する重要な部品です。そして周りにある物体の影響を受けてゲインや指向性などの特性が変化します。これは、音楽を鳴らしているスピーカのコーン紙を指で抑えると音量や音色が変化することや、マイクロホンに防風用のスポンジキャップをつけると風切り音が聞こえなくなることで容易にイメージできます。アンテナはそれだけで工学となっているくらい奥が深い部品です。

アンテナを取り付けるときは、次のようなことに気を付けてください。

- ・ アンテナの近くに金属物(電池や大きな電子部品、プリント基板の大面积銅箔ベタなど)や筐体などの物体があると、電波がさえぎられる、影響による性能低下で、通信距離が短くなる場合があります。
- ・ アンテナは形や周囲の物体の影響で電波が遮られる、物体の影響によるアンテナの性能低下で通信距離に影響します。
- ・ ワイヤアンテナはできるだけ伸ばしてください。アンテナ線を丸めると効率が低下し、通信距離が短くなります。
- ・ アンテナの長さは周波数で決まります。長さを変えてよい結果になるとは限りません。またアンテナの長さを変えたり、指定以外のものを使用すると電波法違反になります。
- ・ 通信距離は機器を使用する場所の環境(電波伝搬経路、電磁ノイズ、建物、動植物など)で影響を受け、通信距離が変化します。



図7 良くない例

(左からグラウンドに接近、アンテナ線を丸めている、アンテナ線が金属板に近い)

### 4-2. 指向性

アンテナには指向性があります。例えば弊社の外付けアンテナ IM920ANT-XW の場合は図8のように垂直にしたとき、上から見て 360° は同じ強さ(無指向性)、立体的には少し丸みを帯びたドーナツのように電波が放射されます。上下方向は、図7側のように弱くなります。もし通信相手が上下になるときは、図11左側のように両方のアンテナを横(水平偏波)にすると効果的です。

アンテナを筐体の横に配置すると、筐体の影響を受けて指向性が変化します。

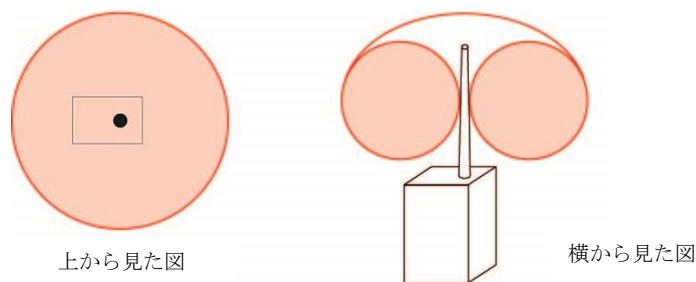


図8 アンテナの指向性

実際のアンテナの指向性を図9に示します。水平面では無指向性、垂直面では90-270°が軸方向でNULLがあります。

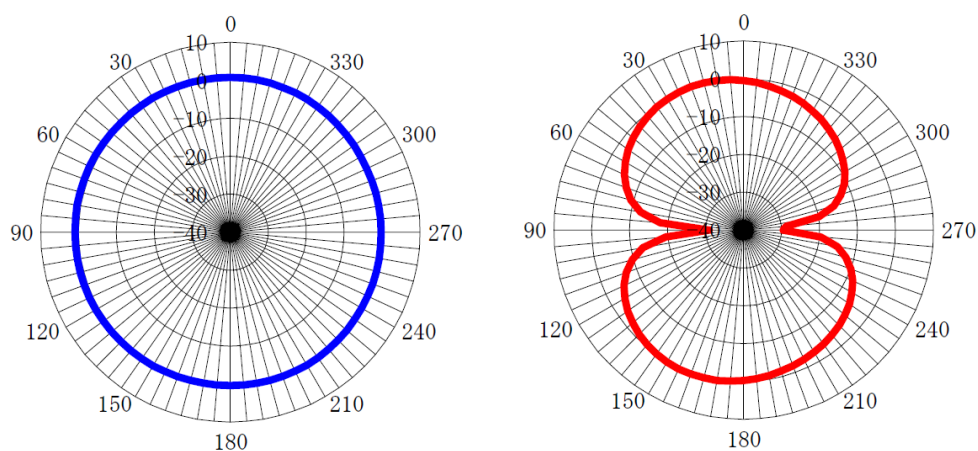


図9 IM920ANT-XW/XL アンテナの水平面・垂直面指向性

#### 4-3. 電波の面について

アンテナの設置方向で偏波面(電波の面)が決まります。電波は波ですので、波の振幅が地面に対して垂直のとき垂直偏波、水平のときは水平偏波と呼びます。通信する相手方と同じ偏波にしないと、通信距離や通信品質が低下しますのでご注意ください。

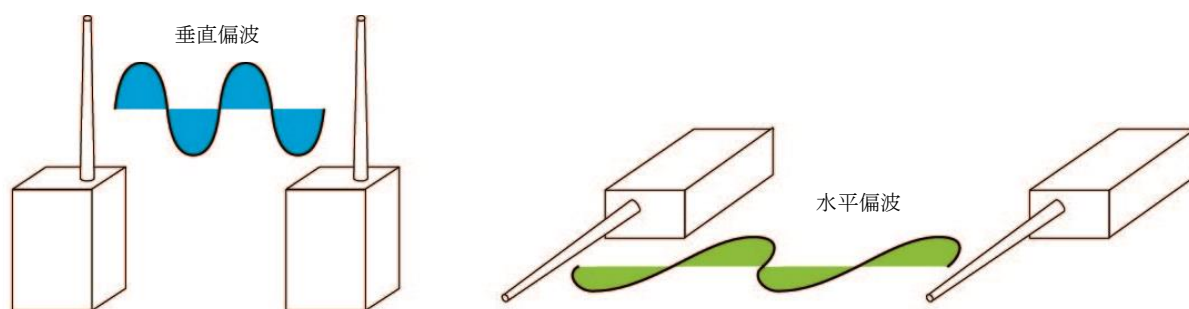


図10 アンテナの状態と偏波面

建物の1階と2階などで、垂直に通信したいときは下図のようにすると効果的です。



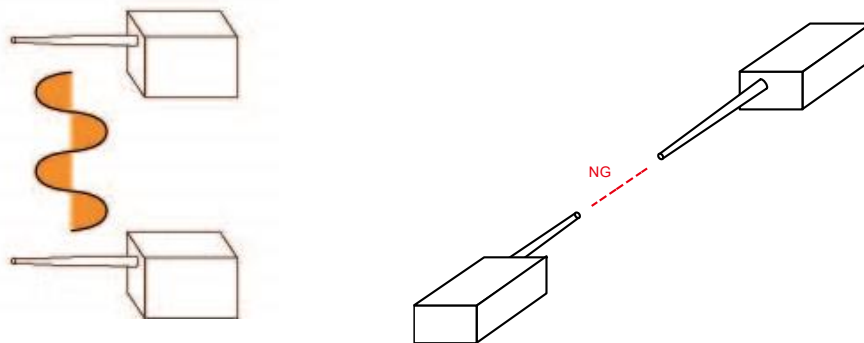


図 1.1 左図 階上と通信する場合 右図 不適切な配置

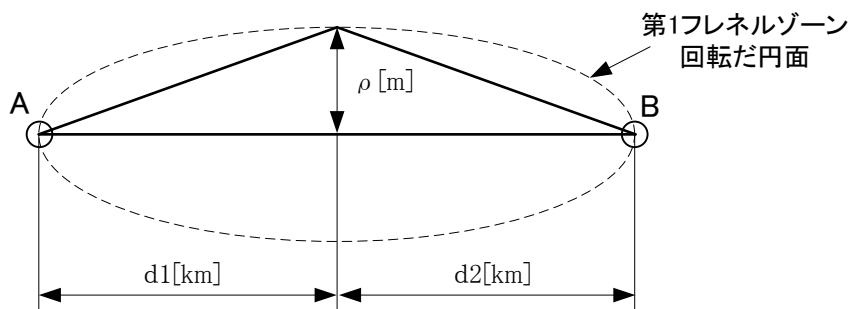
## 5. 電波伝搬

電波は図 5 で示したように様々な経路を飛んで受信アンテナに到達します。ここでは 920MHz 帯特定小電力無線に関係することについて解説します。

### 5-1. フレネルゾーン

電波の伝搬経路を考えると、受信点の電界強度が距離で決まる自由空間とみなすためには、フレネルゾーンを考慮する必要があります。電波は送信点から受信点まで最短距離で届く直接波と、反射波や回折波があつて、受信点の電界強度はこれらの合成エネルギーとなります。反射波や回折波の強度は直接波よりも弱く、直接波と回折波の経路差  $\delta$  が  $\lambda/2$  より大きいと影響を無視することができます。  $\delta$  が  $\lambda/2$  となる軌跡は AB を焦点とする回転楕円体となり、その内側を第 1 フレネルゾーンと呼びます。 AB 間を自由空間とみなすためには、第 1 フレネルゾーンの中に障害物がないことが必要です。

第 1 フレネルゾーンに必要なクリアランスを第 1 フレネル半径と呼び、下式で求めることができます。



$\rho \ll d1, \rho \ll d2$  のとき近似的に下式で与えられます。

$$\text{フレネル半径[m]} \quad \rho \doteq \sqrt{\lambda \frac{d1d2}{d1+d2}}$$

図 1.2 フレネル半径

波長  $\lambda$  [m] は、  $\frac{\text{電波の速度}}{\text{周波数}} = \frac{3 \times 10^8 [\text{m/s}]}{f [\text{Hz}]}$  より求められますので、920MHz における波長  $\lambda$  は、  $300 \div 920 = 0.326 [\text{m}] = 32.6 [\text{cm}]$  となります。

920MHz 帯のような高い周波数の伝送路では、回線途中に山や建物、樹木などの障害物が第 1 フレネルゾーンに入ると電波が減衰しますのでご注意ください。

## 5-2. 地球は丸い

920MHz帯で長距離通信を行う際は、地球が丸いことを意識しなければなりません。地球は完全な球体ではなく極半径が赤道半径よりも短い楕円体ですが、電波的には完全球体として考えてその半径は  $6.37 \times 10^6 \text{m}$  です。実際の大气（標準大气の場合）では等価地球半径  $8.49 \times 10^6 \text{m}$  を用い下式で計算できます。

$$D = d1 + d2 = 4.12(\sqrt{h1} + \sqrt{h2}) \text{ [km]}$$

h1、h2 : アンテナの高さ [m]

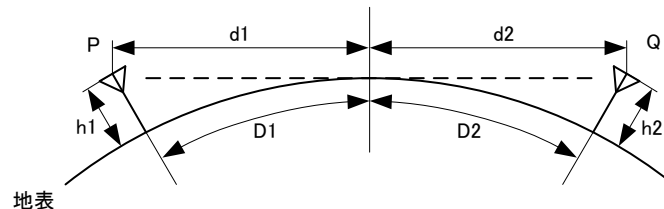


図 1 3 見通し距離の計算

双方のアンテナ高が 2m とすると D は 11.5km となります。このときフレネルゾーンは半分になるので信号は弱くなります。アンテナ高を 20m にすると D は 36.8km となりますので、長距離通信の場合はアンテナの高さは通信距離に非常に影響を与えることが分かります。

## 5-3. 障害物

ノイズや妨害は避けることが難しいので、信号を安定して受信するにはアンテナが重要になります。外部アンテナを使用する場合はお互いのアンテナが見える位置に設置します。特に長距離通信を行う際は有効です。障害物がある環境では中継器を設置する方が確実にメリットがあります。

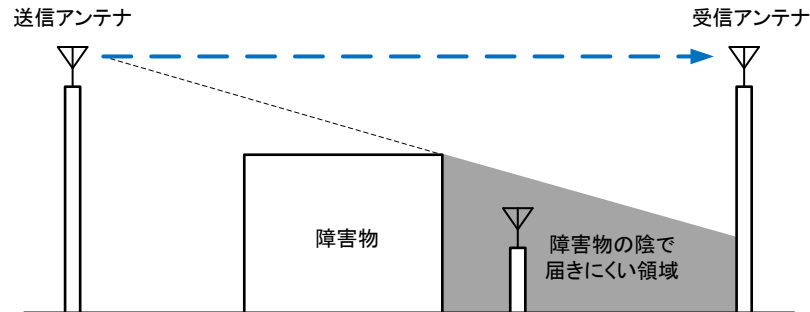


図 1 4 障害物の影響

アンテナは周囲の物体や人体の影響を受けますので、近くに物が無い方が通信には有効です。特に金属の影響が一番大きく、木材やコンクリートなど水分を含むものからも離れたほうが良いです。少なくとも 50cm 離すのが良いと考えられます。

## 5-4. 信号レベル

送信機から受信機までの伝送路での信号レベルは図 1 5 のように表すことができます。伝搬損失が無線通信区間のロスになります。ここにノイズや妨害などによるマージンを加えます。



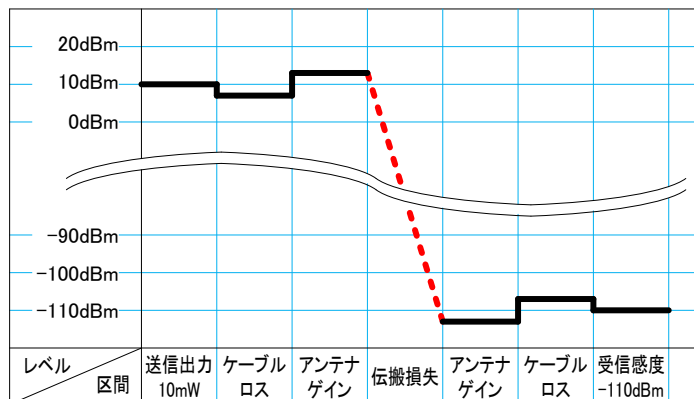


図 15 通信回線設計

5-5. その他の影響

周波数がおおよそ 5GHz を超えると雨や雪、霧、みぞれなどの影響を受けて電波が吸収・散乱され減衰します。降雨によって影響を受けると聞きますが、アンテナに水滴が付着したことで特性が変化すると考えられます。

多くのアンテナは電波暗室で測定されていますので、実使用環境では特性が変化します。実環境での確認が必要です。

6. その他の影響

無線機は送信出力と受信感度に個体差があります。これは電子部品で構成されているため、やむを得ないものです。数 dB マージンをとることをお勧めします。

7. 備考

この資料の内容は予告なく変更される場合があります。

8. 改定履歴

初版制定 2021 年 4 月 28 日

以上