

第二十二回 SHF 帯のフレネルゾーンについて



Dr. FB

5G と 5GHz

テレビや新聞の報道で 5G が脚光を浴びています。この 5G、周波数を表す 5GHz の意味ではありません。5G とは、Fifth(5th) Generation の略です。要は第一世代の移動体通信システムから始まり、5G は 5 番目の移動体通信システムを意味します。5G では大容量の高速通信が可能になることから、いろいろな分野でその応用が期待されています。

Dr. FB は、アマチュア無線家であることから、5G のその応用範囲よりむしろ電波のことが気になります。5G の製品が出てくることで、それに関わる民生品の SHF 帯のコンポーネンツも比較的簡単に手に入る時代になってくるものと思います。その昔、430MHz から 1200MHz に上がってきたように、1200MHz から 2400MHz、さらには 5600MHz と比較的簡単に上がることができる時代になるかも知れません。5G は、SHF 帯を使うことからその電波伝搬にも興味があり、今回十数年前に Dr. FB が 2400MHz の運用で体験したフレネルゾーンという現象について説明します。

2400MHz での運用

30 数年前にはアイコムから IC-970 という VHF、UHF のオールモードトランシーバーが発売されました。本体そのものは VHF、UHF の固定機ですが、オプションユニットを組み込むと、当時としてはなんと 1200MHz はもとより、2400MHz まで運用することができ、多くのアマチュアが未知の世界に入り込むような感じでワクワクした記憶があります。

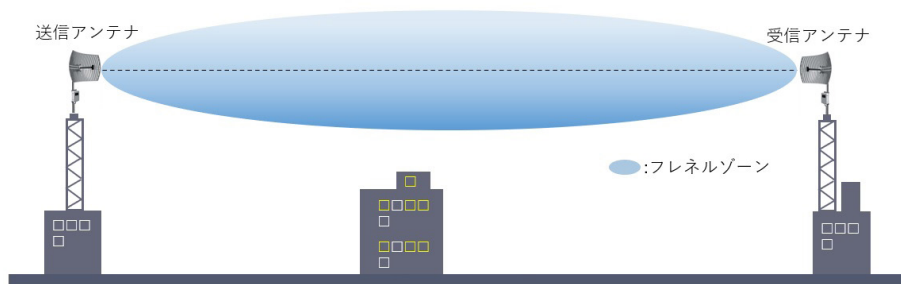
2400MHz の運用は、トランスバーターによる運用が主流であったことや高い周波数の無線機の自作もなかなか難しかったこともあり、運用する局数が限られており交信相手局を探すのは困難を極めました。スケジュールを組んだローカル OM 局から「SHF 帯で電波を飛ばすには、見通しだけではダメだ。アンテナを上げられるだけ上げて見通しエリアを広く稼ぐことが大事だ」とのアドバイスを受けました。相手の局とは見通し線上にあるので問題ないと思いつつも、試しにアンテナの高さをそれまでよりさらに 2 メートルぐらい高くしたところ、急に相手に届く電波が強くなったことを覚えています。

フレネルゾーンについて

3 聞きなれない言葉ですが VHF 帯以上の UHF 帯や SHF 帯などの電波伝搬では特に重要です。VHF 帯以上の電波は、伝搬の特性上、安定な通信を行うため通信を行う二点間には障害物のない見通し (Line of sight) の環境が求められますが、無線通信では「見通しが良い」イコール「単にお互いのアンテナが物理的に見える」という意味ではありません。図 1 で示すように電波が伝搬するために必要な空間がしっかり確保されている状態を指します。

目では見えませんがアンテナから輻射される電波は、二点間を結ぶ一本の線上を伝わるようなイメージではなく、図1で示すようにアンテナから細長いラグビーボールのようなイメージで広がり(体積)を持ちながら相手のアンテナに伝わっていく感じです。この楕円で描かれた立体的な空間をフレネルゾーン (Fresnel zone) と呼んでいます。

図1 二点間に障害物のない見通し通信



このフレネルゾーンが二点間でしっかり確保できていれば安定した通信が期待できます。逆に図2に示したようにアンテナどうしが仮に見通し線上にあったとしても、フレネルゾーンが障害物に掛かっているような場合は、通信の品位が低下する可能性があります。

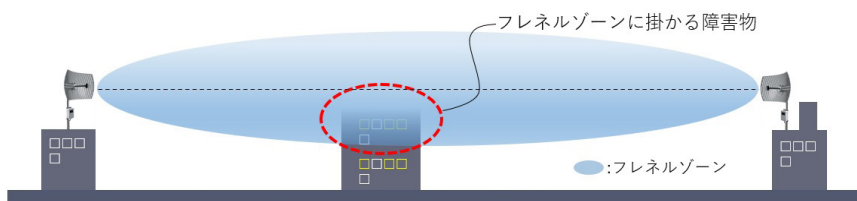


図2 フレネルゾーンが十分確保できていない状態

理論的にはフレネルゾーンの半径の60%以上が確保できておれば、完全にフレネルゾーンが障害物なしに確保できている場合と比較しても電波伝搬の品位は大きく低下はしないようです。

フレネルゾーンの半径を求める公式

通信を行う二点間に山、建物、樹木などの障害物がある場合は、障害物の頂点と見通し線の距離をフレネルゾーンの半径(以下フレネル半径)以上確保する必要があります。仮に障害物がなくても、地表面と見通し線の距離も同様にフレネル半径以上を確保する必要があります。フレネル半径を求めることで、安定した通信を行うためのアンテナの高さが分かります。

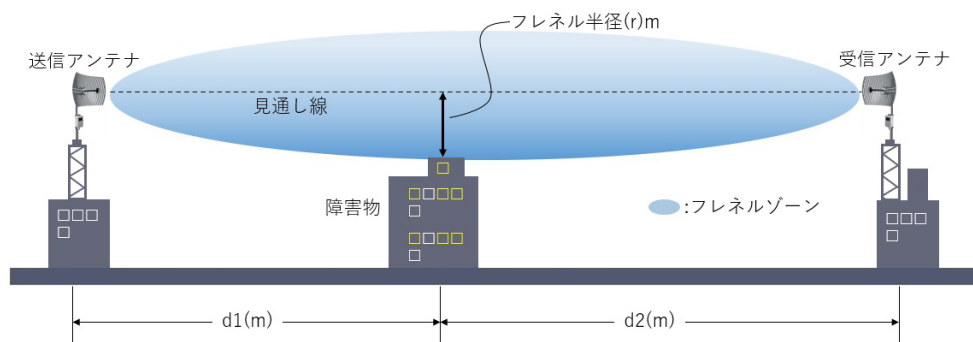


図3 フレネル半径を求める

フレネル半径 (r) は、下の式で求めることができます。

フレネル半径: $r(m)$

送信アンテナとフレネル半径を求める地点までの距離: $d1(m)$

受信アンテナとフレネル半径を求める地点までの距離: $d2(m)$

使用する周波数における波長: $\lambda (m)$

$$r = \sqrt{\frac{\lambda d1 d2}{d1 + d2}} (m)$$

(例題) 5600MHz のフレネル半径を求める

アマチュア無線には 2400MHz 帯、5600MHz 帯、さらには 10.1GHz 帯、10.4GHz 帯と高い周波数のバンドが割り当てられています。仮に 5600MHz のアンテナを設置する場合、見通し線は確実に確保するとして二点間の距離を 5km としたときのその中間点のフレネル半径を求めてみることにします。

$$r = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} = \sqrt{\frac{0.053 \times 2500 \times 2500}{2500 + 2500}} \cong \sqrt{67} \cong 8.2 \text{ (m)}$$

の距離を 5km としたときのその中間点のフレネル半径を求めてみることにします。

フレネル半径 (r) は、下のリンクにあるような便利な自動計算で求めることもできます。(図 4)

<フレネル半径の自動計算を掲示しているサイト> 日本電業工作株式会社ホームページ

<https://www.den-gyo.com/labo/tool/keisan5.html>

無線通信では、送信アンテナと受信アンテナ間の見通しが必要となります。伝搬路に山、建物などの障害物がある場合は、障害物の頂点と見通し線の距離をフレネル半径 (r) 以上、伝搬路に障害物がない場合は、地表面と見通し線の距離をフレネル半径 (r) 以上確保する必要があります。フレネル半径は (r) は通信距離と周波数により計算することができます。

周波数(MHz) =

距離d1(m) =

距離d2(m) =

▼

フレネル半径(r)(m) =

計算式

【計算式】フレネル半径 : $r = \sqrt{\frac{300}{f} \times \frac{d_1 \times d_2}{d_1 + d_2}}$

図 4 日本電業工作株式会社ホームページの自動計算で求めたフレネルゾーン

計算から理想的なアンテナの高さは 8.2m と算出できました。フレネル半径の 60% が障害物に掛かったとしても通信にはそれほど影響はないとするこれまでの理論からすると、4.9m (=8.2 x 0.6) を最低の高さとして確保しておけば、8.2m の高さまでアンテナを上げる必要はないといえます。ただし、見通し線の確保は必須です。その 4.9m の高さから徐々にアンテナの高さを下げて行くと今度はフレネルゾーンが大地に掛かり、通信の品位は低下することが予想されます。(図 5)

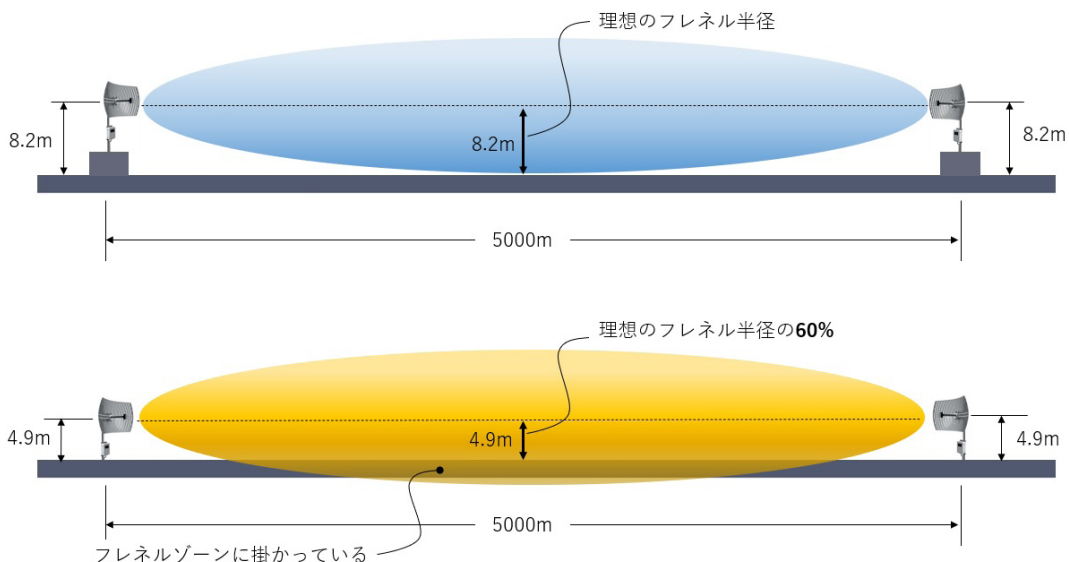


図 5 5600MHz 二点間の距離 5km に対するフレネル半径

■ 紀伊田辺 D-STAR レピータ (2.4GHz 帯の無線 LAN の通信)

和歌山県紀伊半島の南西側に田辺市があります。田辺市の北東約 11km の地点に標高 796m の槇山があり、その山頂に紀伊田辺 D-STAR レピータが設置されています。山頂にはネット回線がありませんので、地上のアマチュア局の家屋と槇山 D-STAR レピータとを 2.4GHz の無線 LAN で接続し D-STAR のゲートウェイ回線を確保しています。地上局から山頂のアンテナは双眼鏡で見えていますので、見通し線上にあることが分かります。図 5 の写真にありますように二点間の通信の断面図を見ると、直線ではお互いの局が見えていますが、地上局近くの小高い山がフレネルゾーンに掛かるかどうか心配です。D-STAR の通信回線ですから、時々電波が途切れても問題ないとは言えません。このときもフレネルゾーンを計算してクリアされていることを確認しています。

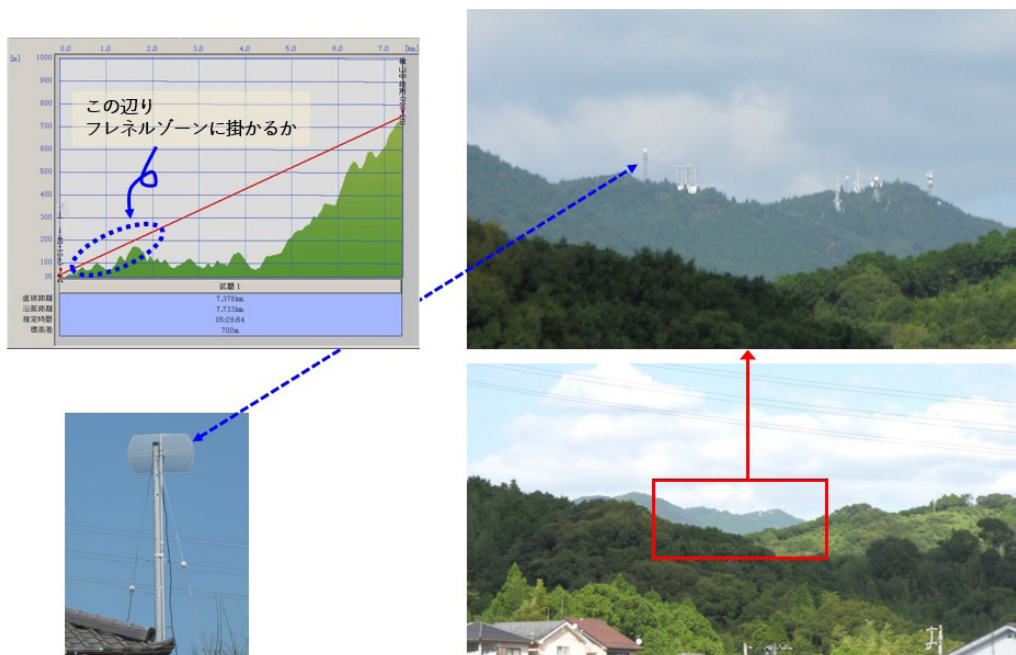


図 6 802.11g(2.4GHz 無線 LAN) における見通し通信とそのフレネルゾーン

FBDX

<ご協力>

日本電業工作株式会社