

特定小電力 LoRa/FSK 無線モジュール

LRA1

伝搬特性 -通信距離参考資料-

1. 改版履歴

Revision	日付	内容
1.0	2021/2/19	初版

株式会社アイ・ツー

〒279-0001 千葉県浦安市当代島 2-9-30

TEL:047-711-0914 FAX:047-711-0915

お問合せ先:[info@i2-ele.co.jp](mailto:info@i2-ele.co.jp)

本ドキュメントに記載の内容の無断転載は固くお断りします。

## 2. 概要

LRA1(LoRa/FSK)特定小電力モジュールのBW・SF・CRを選定する際の参考にして頂く為、920MHz帯の電波伝搬特性について解説し、通信可能距離の計算例を示します。

## 3. 伝搬

無線通信を行う場合、どの程度の距離の通信が可能なのかが気になるところですが、設置場所や周囲環境により大きく変化する為、一概にこの範囲内なら問題ないという事ができません。ここでは、920MHz帯の伝搬について例を挙げて説明します。LRA1のBW・SF・CRを選定する際に、ハードウェアデータシートに記載している通信速度・入力可能バイト数・送信時間と合わせて参考にして下さい。

### 3.1 自由空間伝搬

最も単純な例で、宇宙空間の様に周囲に障害物も反射物もない所を自由空間と呼びます。自由空間にダイポールアンテナを対向して設置した時、その距離と受信電力の関係は、図 3-1 にオレンジ色の線で示した様になります。この場合、10Kmの距離でも受信感度(受信の限界)以上の受信電力がある為、通信可能となります。山頂同士や高層ビル間の通信はこれに近い状況となり、条件が揃えば数十 km の通信も可能です。

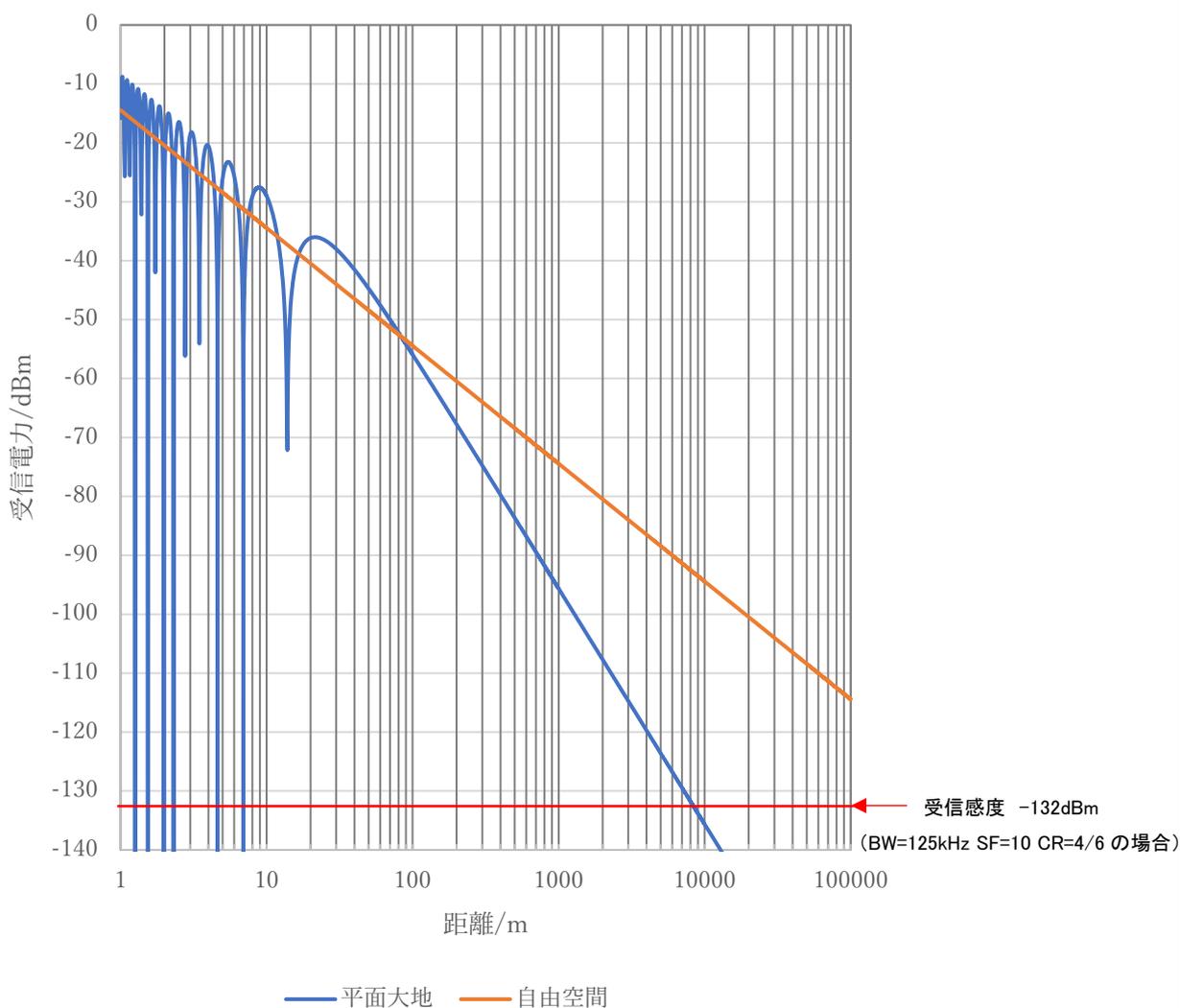


図 3-1 距離対受信電力

### 3.2 平面大地上の伝搬

大地での反射を考慮し、図 3-2 の様に地上 1.5m の高さに送受信のアンテナを対向して設置した場合、その距離と受信電力の関係は、図 3-1 に青色の線で示した様になります。(大地の反射係数を-1 として計算しています)

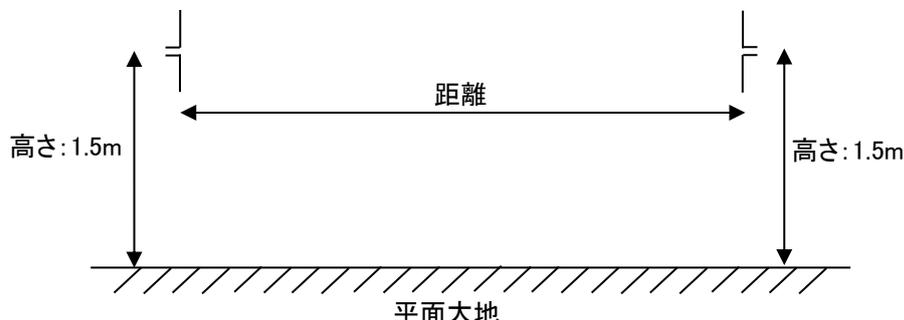


図 3-2 平面大地上の伝搬

距離 1m~10m でも大きく受信電力が下がり、受信感度(受信の限界・図 3-1 の赤線)以下となって受信できない箇所があるのが分かります。これは直接波と反射波が干渉し打ち消しあう為に生じる現象です。距離 20m 以上では、このような打ち消し合う現象が出ていませんが、これは大地面での反射のみを考慮した為で、実際の環境では建物などの他の反射物が存在し、それらによる反射が互いに打ち消し合い受信できない場合があります。(20m~3km が安定して通信できる事を示しているわけではありません)

実際の環境では、上述の現象の他、回折や反射が複雑に関係して受信できる場合とできない場合がありますので、その点を考慮した上で機器の設置およびソフトウェアの作成が必要になります。

### 3.3 LRA1 の通信距離

受信感度は BW, SF, CR の設定により異なり表 3-1 の通りとなります。

表 3-1 各モードの受信感度

BW (kHz)	SF	6	7	8	9	10	11	12
	CR							
62.5	4/5	-120.2	-125.2	-128.2	-131.2	-134.2	-136.2	-138.2
	4/6	-121.0	-126.0	-129.0	-132.0	-135.0	-137.0	-139.0
	4/7	-121.7	-126.7	-129.7	-132.7	-135.7	-137.7	-139.7
	4/8	-122.2	-127.2	-130.2	-133.2	-136.2	-138.2	-140.2
125	4/5	-117.2	-122.2	-125.2	-128.2	-131.2	-132.2	-135.2
	4/6	-118.0	-123.0	-126.0	-129.0	-132.0	-133.0	-136.0
	4/7	-118.7	-123.7	-126.7	-129.7	-132.7	-133.7	-136.7
	4/8	-119.2	-124.2	-127.2	-130.2	-133.2	-134.2	-137.2
250	4/5	-114.2	-119.2	-122.2	-124.2	-127.2	-129.2	-132.2
	4/6	-115.0	-120.0	-123.0	-125.0	-128.0	-130.0	-133.0
	4/7	-115.7	-120.7	-123.7	-125.7	-128.7	-130.7	-133.7
	4/8	-116.2	-121.2	-124.2	-126.2	-129.2	-131.2	-134.2
500	4/5	/	/	/	/	-124.2	-127.2	-129.2
	4/6	/	/	/	/	-125.0	-128.0	-130.0
	4/7	/	/	/	/	-125.7	-128.7	-130.7
	4/8	/	/	/	/	-126.2	-129.2	-131.2
GFSK		-105.0						

(単位 dBm)

使用するモード(BW, SF, CR) の受信感度を表 3-1 で確認し、図 3-1 の平面大地上の伝搬のグラフとの交点が計算上の通信可能距離になります。図 3-1 の例にあげた BW=125kHz SF=10 CR=4/6 の場合、図から 8000m 程度と読み取れます。これでは分かりづらいので、通信可能距離を各 BW, SF, CR にて求めた結果が表 3-2 になります。

前節で述べた通り、これより短い距離でも受信できない場合もありますので、この距離を保証するものではありません。各 BW, SF, CR による傾向に着目頂き、BW, SF, CR を選択する目安として下さい。LRA1 の使用には、この計算値の 1/100~1/10 の距離で、現場で通信状況を確認して設置する事をお勧めします。

表 3-2 各モードの通信可能距離(平面大地上の伝搬による計算値)

BW (kHz)	SF	6	7	8	9	10	11	12
	CR							
62.5	4/5	4112	5484	6518	7746	9207	10330	11590
	4/6	4304	5740	6822	8108	9636	10812	12131
	4/7	4473	5965	7090	8426	10014	11236	12607
	4/8	4625	6168	7330	8712	10354	11618	13035
125	4/5	3460	4614	5484	6518	7746	8205	9752
	4/6	3622	4829	5740	6822	8108	8588	10207
	4/7	3764	5019	5965	7090	8426	8925	10608
	4/8	3892	5190	6168	7330	8712	9228	10968
250	4/5	2911	3882	4614	5177	6153	6904	8205
	4/6	3047	4063	4829	5419	6440	7226	8588
	4/7	3167	4223	5019	5632	6693	7510	8925
	4/8	3274	4366	5190	5823	6920	7765	9228
500	4/5	/	/	/	/	5177	6153	6904
	4/6	/	/	/	/	5419	6440	7226
	4/7	/	/	/	/	5632	6693	7510
	4/8	/	/	/	/	5823	6920	7765
GFSK		1714						

(単位 m)

計算に使用している値および LRA1 の諸元は表 3-3 の通りです。

表 3-3 諸元

項目	記号	本解説の計算に 使用している値	LRA1 諸元
送信電力	Pt	20mW	13dBm(20mW) (-4~13dBm 設定可能)
送受アンテナ利得	Gt, Gr	2.16dBi	-2.6~3dBi (認証済みアンテナ)
ケーブルロス		0dB	使用のケーブルによる
アンテナ高さ	ht, hr	1.5m	使用環境による
送受信周波数		924MHz	920.6MHz~928.0MHz
受信感度		表 3-1	表 3-1

#### 4. 付録・計算式

##### 4.1 自由空間伝搬

フリスの伝達公式により、受信電力  $P_r$ [W]は次の様に求められます。

$$P_r = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 G_r G_t P_t \quad (4.1)$$

$\lambda$  : 波長[m]

$d$ : 送受信間の距離[m]

$G_r$ : 受信アンテナ利得(絶対利得)

$G_t$ : 送信アンテナ利得(絶対利得)

$P_t$ : 送信電力[W]

##### 4.2 平面大地上の伝搬

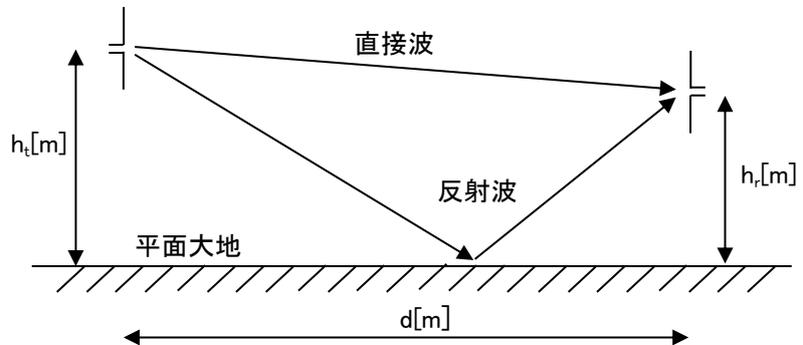


図 4-1 平面大地による反射波

平面大地上の伝搬の場合、図 4-1 に示す様に直接波だけでなく大地による反射波を考慮する必要があります。受信地点での電界強度は、直接波による電界強度と反射波による電界強度の和となりますが、直接波と反射波の位相差により強めあったり、打ち消し合ったりする干渉が生じる事に注意が必要です。途中の計算は省略しますが、平面大地上の伝搬による受信電力は次式で表されます。

$$P_r = \left(\frac{\lambda}{2\pi d}\right)^2 G_r G_t P_t \sin^2\left(\frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d}\right) \quad (4.2)$$

この式により計算した一例が図 3-1 に青色の線で示したものになります。干渉により自由空間伝搬より強くなったり、打ち消し合って弱くなったりしていることが分かります。

また、 $x$ が十分に小さい時  $\sin x \approx x$  となることから、 $\lambda d$ が  $2\pi h_t h_r$  に比べて十分に大きい領域では

$$P_r = \frac{h_t^2 h_r^2}{d^4} G_r G_t P_t \quad (4.3)$$

受信電力は距離の 4 乗に反比例するので、距離が延びると急激に受信電力が低下します。

$$(4.3) \text{式を } d \text{ について解くと } d = \sqrt[4]{G_t G_r \frac{P_t}{P_r}} \sqrt{h_t h_r} \quad (4.4)$$

この式を用いて 表 3-1 の受信感度から表 3-2 の通信可能距離を求めています。更に距離が大きくなった場合は、地球が球体であることを考慮する必要が生じますが、ここではそのような遠距離通信については省略します。また、計算の際は単位に注意して下さい。式(4.1)~(4.4)はすべて真数表現です。dB 値を使う場合は変換が必要です。