



ZigBit™ Amp  
OEM モジュール  
ZDM-A1281-PN



アプリケーションノート  
ZigBit Amp™ の電波到達距離を測定

## ご注意

- このマニュアルはMeshNetics社の「**ZigBit™ Amp OEM Modules ZDM-A1281-PN Application Note**」(文書番号 AN-481~05 v.1.1をKenConsulting Inc.が翻訳したものです。
- この原文の著作権はMeshNetics社に、翻訳の著作権はKenConsulting Inc.に帰属します。
- 翻訳は原文に沿って行っていますが、説明文の追加、分りやすい表現に変更するなど、翻訳の正確性を保証するものではありません。翻訳内容に疑義が生じた場合は原文の表現をもって正確な表現とします。
- KenConsultingは、このマニュアルの内容を将来予告無しに変更することがあります。
- このマニュアルの内容の一部、または全部をKenConsulting からの書面による許可無く無断で転載することは禁止します。
- KenConsultingはここで説明する製品の使用についていかなる責任も負わないものとします。
- このマニュアルは表紙に表記のある部署だけでお使いください。それ以外の部署、団体だお使いになる場合は別途お買い求めください。
- このマニュアル、製品に関するご質問は [support@kenconsul.com](mailto:support@kenconsul.com) へメールしてください。

## 翻訳の履歴

版番号	変更内容	年月日
AN-481~05 v.1.1 J0.1	最初の試訳	07/12/20

### 文書の概要

---

このアプリケーションノートは ZigBit™ Amp 無線モジュールの電波到達範囲性能試験について解説します。このノートでは試験機器の設定概要と試験時の環境の詳細を説明します。この試験の結論は試験した無線モジュールのリンク品質とドロップしたパケットの割合に基づいています。

### 要約

---

この研究により ZigBit Amp モジュール[1]の屋外の電波到達距離は以前に試験した[4]、[5]既存の ZigBit に比べて優れていることが明らかになりました。

ZigBit Amp の電波到達範囲は最大 4000m と言えます。

#### 関連文書:

- [1] ZigBit. Amp OEM Modules. Product Datasheet. MeshNetics Doc. M-251 03
- [2] eZeeNet. Software 1.7. eZeeNet.. Range Measurement Application User s Guide. MeshNetics Doc. P-EZN-452 04
- [3] eZeeNet. Software. Product Datasheet. MeshNetics Doc. M -251 02
- [4] ZigBit. OEM Modules. Product Datasheet. MeshNetics Doc. M-251 01
- [5] ZigBit. OEM Module. Application Note.Comparative Study of ZigBit Receiver Range Performance. MeshNetics Doc. AN-481 02

## RF の接続性に影響する環境要素

マルチパス伝播の効果は、2.4GHz 周波数帯域の電波の物理的性質のためオープンスペースで特に明白に表れます。電波の伝搬性能を検討する場合には、送受信点間の見通しだけを RF 信号が伝わる唯一の通路方向と考えるのではなく、いわゆるフレネル帯を考慮すべきです。フレネル帯は送信機と受信機間のフットボール形の空間であり、RF 信号の視野方向に相当する概念です。受信範囲の性能をオープンスペースで増すには、視野方向だけでなくフレネル帯全体にも障害物が無い様でなければなりません。例えば、最長 300 メートル(980 ft)の受信範囲では、フレネル帯の直径は少なくとも 5.4 メートルになります。理想的なオープンスペースの条件として視野方向にフリーなだけでは明らかに不十分です。

フレネル帯の中に入る土壌が信号強度を低減し、信号の極性を反転するので、送受信する地点間の土地の形状の詳細が受信信号の精度に影響することは明らかです。周囲の植生も信号を減衰します。水面での電波の反射も同様です。従って、1km 以上の電波の到達距離の測定は窪地を挟む 2 つの丘に送信機と受信機を設置して行う場合、最良の結果が得られます。

送受信機を結ぶ直線からずっと離れたところにある静止物や移動物も電波の受信パターンに大きな干渉を与え、従って電波の到達距離に影響を及ぼします。大型の金属製物体、送電線、乗り物、人も RF 伝播を妨害することがあります。試験では技術的な、またヒューマンな要素の影響は最小化するべきであり、特に送信機からの信号以外の電波は問題となります。

試験結果は物理的な障害物の他にも天候、特に温度、湿度の影響を受けます。

## 屋外空間と環境条件

ZigBit Amp. の長距離の電波到達試験は M7 高速道路(Gor'kovskoye shosse 地区)で行いました。ここは[ロシア、モスクワから東方 60km の地点](#)で、いくつかの要素を検討した結果実験地として最適であることが分かりました。ここにある 20m(66 ft)幅の直線道路は地形上の障害がほとんど無く、長距離の電波伝搬を計測するのに十分な距離を持っています。この地域全体は極めて平坦であり、このことはこの地域を実験場所として選ぶ上で決定的な要素でした。M7 高速道路上に地方鉄道と交差している橋を発見したのでここに受信(RX)局を設置し、その東の方向に最長 5 km の下り坂を見付けました。(図 1 の Google Earth の図を参照) 鉄道と交差している高速道路の橋は周囲から 8m(26 ft)の高さにありました。

従って、受信機は幅 3m の路肩の上に設立した受信局に固定しました。高精度の距離計(図 2 を参照)を装備した車を使って、送信機を受信局から高速道路に沿って東方に 2000m、3000m、4000m の距離に移動しました。車道に近い森林の植生による影響を除くために、送信機は道路を横切る地点を選んだので、測定結果には移動の影響がいささか認められます。

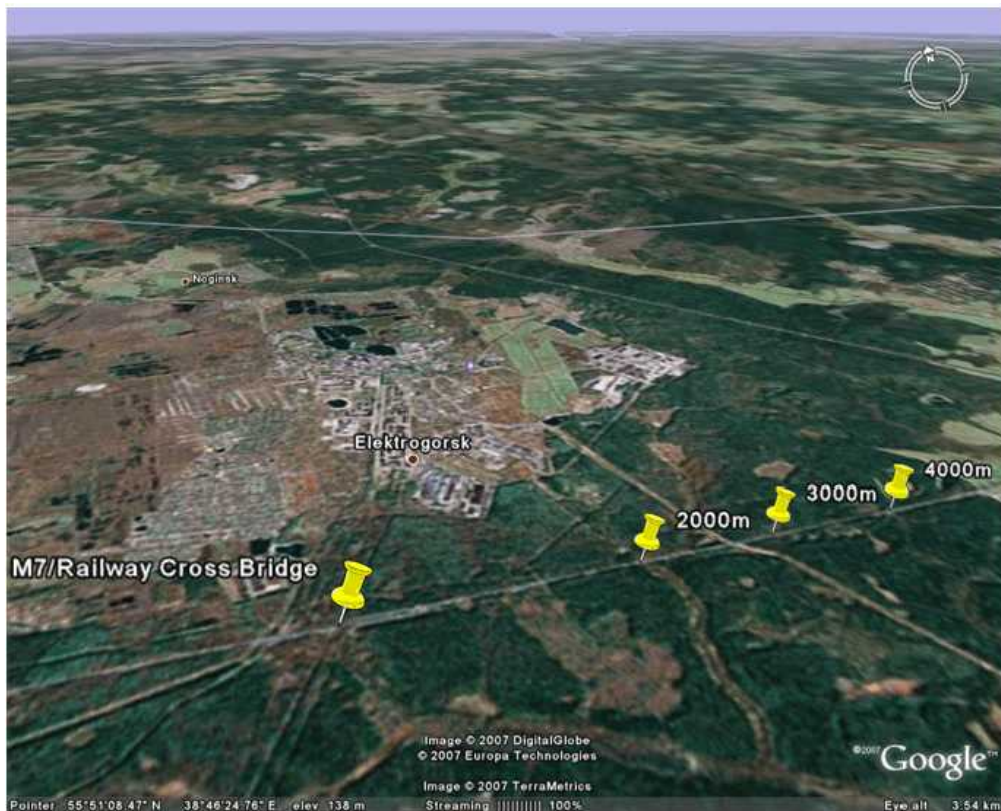


図 1 電波伝搬試験地(基準点を表示)

各距離での測定値を完璧なものにする為に、送受信モジュールはどちらも高さ 1.6m の三脚台(以下の図 2 を参照)上に設置しました。

試験日は初冬の日で、その気象条件は表 1 の通りです。

表 1 試験時の気象条件 \*

日付	2007 年 11 月 8 日
温度	6 °C (21.2 °F)
相対湿度	73%.

大気圧 744 mm Hg (0.98 atm)

風向き 無風

\* [Meteo archive, Moscow](#) からの情報

## 使用機器とその設定

---

以下の機器を試験に使いました：

- 高さ 1.6m(5、3 ft)に設定したアルミニウム製三脚台 2セット
- 外付け AC 発電機で動作する DELL 社製ラップトップ PC
- ZigBit™ Amp モジュール(ZDM-A1281-PN rev.2.0)には出力増幅器と入力低雑音増幅器(input low-noise amplifier)、外部アンテナが付いています。高性能の 2.4GHzTitanis Swivel アンテナを SMA コネクタ(図 2 を参照)で MeshBean2 開発ボード(受信機として設定)に装着しました。MeshBean2 は RS232 インタフェースでラップトップ PC と接続しました。
- 同型の ZigBit Amp モジュールを同様の MeshBean2 ボードに搭載し、送信機として設定しました。



図 2 三脚台の上に搭載した外部アンテナ付の受信モジュール

補助装置：

- 送信機に電力を供給する 2 組の 1.5V の大容量 D 型電池
- 受信モジュールをラップトップ PC に接続する RS-232 ケーブル
- 距離計。送信モジュールを移動するために使った自動車のシステムの一部 (図 3 を参照)



図3 自動車に搭載の距離計

試験は全て以下の条件の下で行いました：

- 両方の MeshBean2 ボードは三脚台の上に水平に、アンテナは垂直に設置しました。
- RF 信号はチャンネル 0x14 上で送信しました。
- TX 出力は最大値 100 mW (+20 dBm)でした。

以下の表 2 に試験の前に各無線機と PC にインストールしたソフトウェアを示します。受信機と送信機のイメージは MeshNetics eZeeNet ソフトウェアバージョン 1.5 とそれ以降[3]で利用可能な電波伝搬測定ツール[2]にバンドルしてあります。

表2 インストールしたソフトウェア

装置	ソフトウェア
ZigBit™ Amp (送信機)	transmitter.srec, transmitter.hex どちらのイメージファイルも電波伝搬測定ツールを送信機として使えます。(オプション)
ZigBit™ Amp (受信機)	receiver.srec, receiver.hex どちらのイメージファイルも電波伝搬測定ツールを受信器として使えます。(オプション)
PC	ハイパーターミナル

srec イメージファイルをシリアルブートローダーユーティリティでロードするために FF/9C/C0 としてヒューズビットを使い、以下のオプションをチェックしました：

```
Brown-out detection disabled
JTAG interface enabled
Serial program downloading (SPI) enabled
Boot Flash section size=1024 words Boot start address=$FC00
Boot Reset vector Enabled (default address=$0000)
Ext.Clock; Start-up Time: 6 CK + 0ms.
```

JTAG FF/9D/C0 を使って hex イメージファイルをロードするためにヒューズビットをセ  
ットし以下のオプションでチェックしました:

```
Brown-out detection disabled
JTAG interface enabled
Serial program downloading (SPI) enabled
Boot Flash section size=1024 words Boot start address=$FC00
Ext.Clock; Start-up Time: 6 CK + 0ms.
```

送信機の出力を最大にする為に DIP スイッチ SW4 を ON/ON/ON ポジションに設定し、  
さらに RESET ボタンを押して送信モジュールをリセットしました。送信機をチャンネル  
0x14 に切り換えるために SW2 ボタンを 9 回ゆっくり押し、開始チャンネルを既定値  
(0xB - 2405MHz)にしました。同様に、チャンネル 0x14 を受信モジュールに設定  
しました。

接続を確立する前は受信機側の LED は全てブリンクしています。接続を確立すると緑  
色の LED はオンを保ち、黄色と赤の LED は周期的にフラッシュします。

Hyper ターミナルソフトウェアを起動し、対応する COM ポートを以下のパラメータ(表 3 を  
参照)にセットしました。

表 3 COM ポートの設定

パラメータ	値
転送速度	38400 bps
データビット数	8
パリティ	無し
ストップビット	1
フロー制御	無し

## 測定結果

ZigBit Amp の電波伝搬性能を決定する為に、TX/RX の距離を基に接続品質を概算し  
ました。伝送エラーを観察するために受信機側の PC でハイパーターミナルソフトウェ  
アを実行しました。



各距離での試験では送信機が特別に生成した1024ビットの擬似ランダムシーケンス (ITU-T O.151 勧告による多項式)を定期的に送信し、受信器は受信パケット(フレーム)、損失パケット、ビットエラー(以下を参照)を含むパケット数を記録しました。

接続状態は受信側の PC で図 4 の例に示す様にスクリーンショットにて 0.5 秒毎の統計として監視しました。

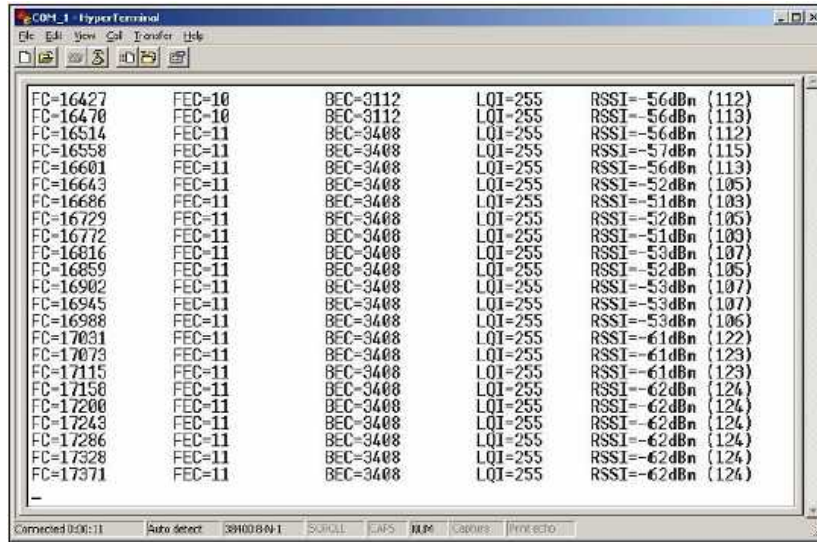


図 4 電波伝搬アプリケーションのハイパーターミナルでの出力

観察した接続品質パラメータのリストを表 4 に示します。

接続クラッシュは受信機ボード上の全 LED のブリンクで確認しました。この時 FC カウンタは停止しています。各試験ではこのクラッシュ観察の補足として、接続の安定性を LED が示す接続 ON により 接続時間比率 に基づいて視覚的に推定しました。

表 4 観察した接続品質パラメータ

パラメータ	説明
FC	フレームカウンタ (Frame Counter)
BEC	ビット誤りカウンタ (Bit Error Counter)
FEC	フレーム誤りカウンタ (Frame Error Counter)
LQI	リンク品質 (Link Quality Indicator)
RSSI	受信信号強度 (Received Signal Strength Indicator)

ハイパーターミナルは1セッション毎に接続に関する情報を連続して提供します。この

一連の試験データはテキスト形式のログファイルに、TX/RX 距離毎に分けて保存しました。

## 接続品質の評価

各ログデータの評価は評価項目の統計値を計算して行いました。これは標準の RSSI インジケータも含まれます。評価項目のリストを以下の表 5 に示します。これらの評価項目の値を以下の図 5 に表示します。

表 5 評価項目

評価項目	説明
FR	Frame Rate
BER <sub>short</sub>	Bit Error Rate (short-time value)
BER <sub>cum</sub>	Bit Error Rate (cumulated value)
FER <sub>short</sub>	Frame Error Rate (short-time value)
FER <sub>cum</sub>	Frame Error Rate (cumulated value)

以下の両方の条件を満たしている場合、接続は安定していると見做しました：

FER < 0.1 <b>且つ</b> BER < 0.01
--------------------------------

接続は以下の条件を満たしている場合、断になったと見做しました：

上記のどちらかの条件を FER<sub>cum</sub> か BER<sub>cum</sub> が満たしていないか、またはこれらの条件のどちらかを短時間満たしていない場合。もしくは、指定した閾値を FER<sub>short</sub> か BER<sub>short</sub> のピークが超えることがいちどきに少なくとも 5 回ある場合。

モジュールの電波伝搬性能を評価するために測定結果を表 6 にまとめました。RSSI の平均値に加え、安定化時間(約 3min)の間に達成した最終的なレベルでの BER<sub>cum</sub> と FER<sub>cum</sub> の推定値を示します。以下に距離毎の試験結果を示します。これは観測した接続品質順に並べています。

表 6 電波伝搬試験結果の要約

送受信距離 (m)	RSSI, Dbm	FER	BER	注
2000	-72	0.02	0.0010	安定した接続
3000	-78	0.05	0.0015	稀に FER、BER ピークが発生。ドロップ無

				し。安定した接続
4000	-83	0.10	0.0040	BER クラッシュ無し。時々FER ピーク発生。接続は許容範囲内

4000mでのTX/RXの接続安定性に関するデータを図5に示します。

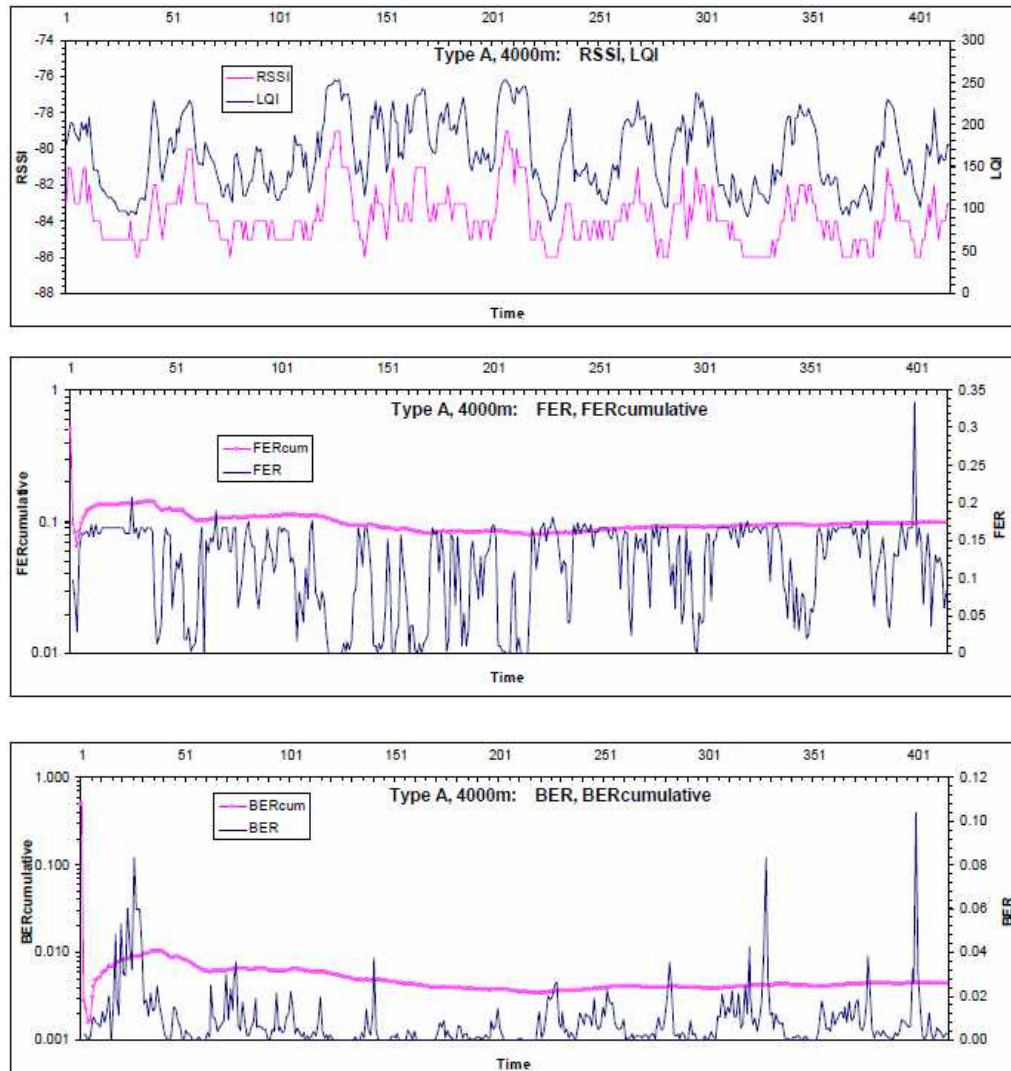


図5 4000mの距離での送受信に関する接続品質を時間軸で示します。

## 結論

出力増幅器と入力低雑音増幅器で機能強化した ZigBit™ Amp モジュールは最長距離 4000m でも許容範囲内の性能を提供します。