

図7 低雑音受信アンプの内部

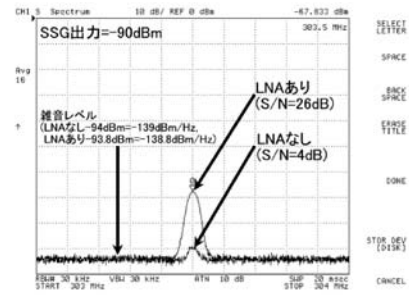


図8 低雑音受信アンプによるS/Nの改善度合い

熱雑音や電磁雑音など人工雑音の総和)から求めることができる。周波数 303MHz では概ね雑音指数 1dB 程度の受信部を実現することが必要である。

低雑音受信アンプの雑音指数は、使用する GaAs 電界効果トランジスタのドレイン電流と入・出力の負荷インピーダンスの影響を受けるため、これらに配慮した設計が必要である。設計は、高周波回路シミュレータを用い、使用周波数 303MHz にて最適化を図った。なお、プリント基板を用いて部品を実装すると形状が大きくなるため、マキ電機社製の 430MHz 受信アンプの筐体を用いた。表4に主な仕様を示す。

表4 低雑音受信アンプの主な仕様

形状	35mm(W) × 20mm(H) × 32mm(D)
使用半導体	三菱 MGF-1302 (GaAs FET)
ドレイン電流	15mA
雑音指数	約 1.3dB
電力利得	20.3dB (S21)
3dB 帯域幅	11.9MHz
電源電圧	直流 5V
消費電流	約 20mA

## 2.5 低雑音受信アンプの評価

低雑音受信アンプの評価として、雑音指数と周波数特性の測定をした。図8にS/Nの改善度合いを示す。本図は、標準信号発生器から周波数 303.5MHz、出力 -90dBm の信号をスペクトラムアナライザへ入力した際のスペクトラムを示し、低雑音受信アンプを用いると、最小限の雑音レベルの増加で、S/N = 4dB から S/N = 26dB へ約 22dB 改善している。

雑音指数の測定は、スペクトラムアナライザの雑音マーカ機能を利用し、1Hz 当たりの雑音電力を計算する方法を用いた。測定時にデータがばらつくため、16回の平均化処理を行っている<sup>3)</sup>。雑音指数  $F$  は、

$$F(\text{dB}) = 174 - G + N \quad \dots (7)$$

で求められる。(7) 式の定数 174 は周囲温度 290K の 1Hz 当

たり熱雑音電力 (dBm/Hz),  $G$  は低雑音受信アンプの電力利得 (dB),  $N$  は雑音レベル (dBm/Hz) である。スペクトラムアナライザ単体の雑音指数は、電力利得ゼロ、図8より雑音レベルが -139dBm/Hz である。(7) 式より、

$$F = 174 - 139 = 35\text{dB}$$

となる。低雑音受信アンプをスペクトラムアナライザ前段に設けた場合、図8より雑音レベルが若干増加して -138.8dBm/Hz、図9より電力利得 20.3dB を有するため、(7) 式より、

$$F_{\text{total}} = 174 - 20.3 - 138.8 = 14.9\text{dB}$$

となる。低雑音受信アンプを用いることで雑音指数が 35dB から 14.9dB へ減少し、20.1dB 改善されたことがわかる。

低雑音受信アンプ単体の雑音指数は (6) 式を変形し、NF1 から求めることができる。但し、(6) 式が真数、(7) 式は対数による計算のため、先に求めた雑音指数および低雑音受信アンプの電力利得それぞれを変換する必要がある。対数計算  $x$  と真数計算  $y$  の関係は、

$$y = 10^{x/10} \quad \dots (8)$$

$$x = 10 \log y \quad \dots (9)$$

となる。(8) 式より、

- スペクトラムアナライザ単体の NF = 3162
- 低雑音受信アンプを設けた場合の NF<sub>total</sub> = 30.9
- 低雑音受信アンプの電力利得 G1 = 107

となる。(6) 式を変形して、低雑音受信アンプ単体の雑音指数 NF1 を求めると、

$$NF1 = 30.9 - ((3162 - 1)/107) = 1.36$$

となる。雑音指数は、一般に単位として (dB) を用いるため、(9) 式より開発した低雑音アンプの雑音指数 F1 を求めると、

$$F1 = 10 \log 1.36 = 1.34\text{dB}$$

となる。概ね必要とされる雑音指数 1dB に近い特性が得ら

れた。なお、低雑音受信アンプの電力利得を最大に調整した場合、約30dB得られるが、その時の雑音指数は約2dBへ悪化した。このように、雑音指数を最適化する調整作業には注意が必要である。

ネットワークアナライザを用いた低雑音受信アンプの周波数特性として電力利得および3dB帯域幅の測定結果を図9に示す。

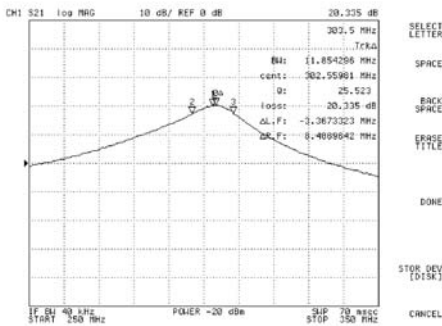


図9 低雑音受信アンプの周波数特性

### 3. データ伝送評価試験

パソコンと無線データモデムを組み合わせた無線伝送システムを構築し、データ伝送評価試験を行った。本試験は、低雑音受信アンプの有無による通信状態と通信距離の評価を行なうため、片側のみ低雑音受信アンプを使用している。なお、送信電力は利得0dBのアンテナを使用した場合、-43.4dBmまで許容されるが、計測機器の測定誤差などを考慮し、-50dBmに調整した。試験に際し、データを送・受信するパソコンと無線データモデムは、パソコンからの雑音や操作する人間の影響を受けないようにするため、十分距離を離れた。試験条件を以下に示す。また、図10に試験環境を、図11に試験風景を示す。

[試験条件]

- ・試験場所: 当場内3階廊下(高さ約2.25m, 幅約2.1m)
- ・送信出力: -50dBm
- ・アンテナ: 1/4波長モノポールアンテナ(利得0dB)
- ・偏波面: 垂直偏波
- ・アンテナ高さ: 1m
- ・伝送データ: テキストデータ(データ量1KB)
- ・エラー訂正: なし
- ・通信速度: 9600bps

表5に示した試験結果より、低雑音受信アンプの使用によって、通信距離を概ね3倍程度に拡大することができた。室内では、直接波と壁や床面など構造物からの反射波の経路差による干渉(マルチパス)の影響が懸念されたが、受信信

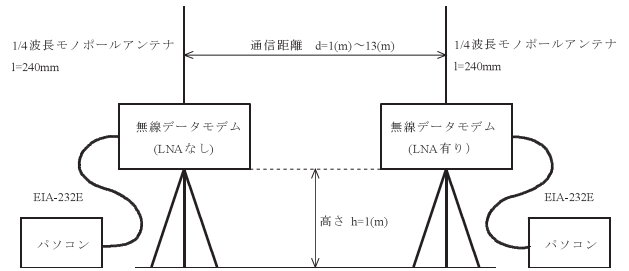


図10 データ伝送評価試験環境



図11 データ伝送評価試験風景

表5 データ伝送評価試験結果

通信状態	距離 (m)	
	LNAなし	LNAあり
エラーなし	3	8
信号検出	4	12
信号未検出	5	13

号のS/Nが十分確保されている状況では、エラーが発生することなくデータ伝送を行うことができた。しかし、受信信号のS/Nがある一定レベル以下の状況では、信号検出はされるものの、文字化けが発生してデータ伝送を行うことはできなかった。この状態で通信速度を2400bpsへ落としても通信状態に改善が見られず、RFM社のトランシーバの復調特性に起因すると思われる。

### 4. まとめ

組込み用途向けに、微小電力無線を用いたデータ伝送技術の開発として、周波数303MHzにおける受信系の高性能化に取り組み、以下の結果が得られた。

- ① 直流電圧3Vの単一電源で動作し、シリアルインターフェイス(EIA-232E)を無線化する微弱無線局に適合した微小電力無線データモデムおよび直流電圧5Vで動作するMGF-1302を使用した低雑音受信アンプを開発し

た。

②マイクロストリップライン構造は、アンテナの小型化に有効であることを確認した。さらに、利得の向上とアンテナ形状の適正化を図るため、アンテナ構造に工夫を加えていく。

③データ伝送評価試験を行った結果、通信距離を拡大する手段として、低雑音受信アンプの使用が有効であることを確認した。

今後、無線データモデムおよび低雑音受信アンプの省電力化ならびにアンテナの適正化を進め、組込み用途に適した微小電力無線データ伝送システムとして改善を図っていく。また、低雑音受信アンプやマイクロストリップアンテナの開発を通じて蓄積した高周波回路設計・評価技術は、近年、重要性が増している電子機器に対する EMC 対策へ展開していく。

#### 引用文献

- 1) 寺井幸雄・天早隆志・清水康宏・臼井寿雄：携帯用 EMC 検査装置の開発，東京都立産業総合研究所研究報告 第 6 号，(2003)
- 2) アンテナハンドブック，CQ 出版社，pp.53-54，(1985)
- 3) Spectrum Analyzer Measurements and Noise, AN1303, Agilent Technology.