

微小電力無線を用いたデータ伝送技術の開発

新井 浩成, 宮崎 俊之

Development of the Data Communication Technology using Extremely Weak Power Radio Equipment

Hironari ARAI, Toshiyuki MIYAZAKI

キーワード：微弱無線局，無線データモデム，マイクロストリップアンテナ，低雑音受信アンプ

1. はじめに

携帯電話やPHS，無線LAN PCカードなどに代表される無線機器は，小型・低価格化によって広く普及している。これらの機器は，製造者によって技術適合証明を受けている。しかし，技術適合証明を取得することは，組込み用途向けなど少量生産の機器に無線機能を開発し，実装する際の負担となっている。

一方，送信電界強度以外の規制を受けない微弱無線局が電波法で定められている。通信距離は数m程度であるが，自動車のワイヤレスドアロックやセキュリティー装置などに用いられている。無線機器出荷台数の大半は，これら微弱無線局に該当する機器で占められており，今後更に出荷台数が伸びることが予想されている。

本開発では，組込み用途向けに，微弱無線局に属する微小電力無線を用いて，通信距離を拡大するための受信系の高性能化に関する取り組みを行った。

2. 通信距離の拡大

無線通信を行う場合，自由空間中における2点間の伝搬損失Lは，

$$L(\text{dB}) = 20\log(d/\lambda) \quad \dots (1)$$

で求められる。 d は相互の距離(m)， λ は波長(m)である。(1)式より距離が大きくなり，波長が短くなるほど伝搬損失が大きくなる。2点間の通信距離を拡大するためには，伝搬損失

を補い，受信点におけるS/Nを改善することである。方法として，

- ①送信電力の増加
- ②アンテナ利得の増加
- ③受信部の低雑音化

がある。本開発において，①は電波法により微弱無線局の規制を受けるため，対象とならない。②はアンテナ利得に応じて送受信双方に寄与するが，送信側は①と同じ理由でアンテナ利得増加分に相当する送信電力を低減する必要があり，受信側のみが対象となる。また，アンテナ利得の増加は，アンテナの物理的な形状が大きくなることを意味し，波長とも密接に関係する。使用周波数における波長 λ は，

$$\lambda(m) = C/f \quad \dots (2)$$

で求められる。Cは光速で 3×10^8 (m/s)，fは周波数(Hz)である。(2)式より周波数が高くなるほど波長が短くなるため，使用周波数や無線伝送システムの構成条件によって必要な利得が決定する。③は雑音レベル以上の信号であれば，低雑音受信アンプを用い，信号を増幅することでS/Nの改善が可能である。

表1 微弱無線局の距離3mにおける許容電界強度

周波数	電界強度 ($\mu\text{V/m}$)
322MHz 未満	500
322MHz 以上, 10GHz 未満	35

電波法では，微弱無線局の許容電界強度として，表1のように定めているため，使用周波数は，322MHz 未満が有利である。以上のことから本開発では，周波数303MHzにて，受

事業名：一般試験研究

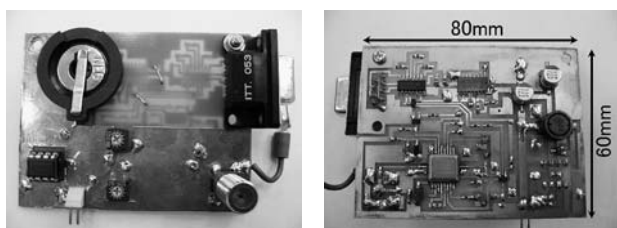
課題名：微小電力無線を用いたデータ伝送技術の開発

信側の高性能化が期待できる②および③による通信距離の拡大を図った。

2.1 無線データモデムの開発

組み込み機器のデータ伝送手段としては、パソコンなどで従来から用いられているシリアルインターフェイス (EIA-232E) が一般的である。無線化の対象は、このシリアルインターフェイスとし、図1に示すような無線データモデムを開発した。なお、回路構成は図2のようになっている。

無線通信を実現するトランシーバ機能は、RFM社製のTR3003を用い、通信距離の拡大に必要なS/Nの確保に有利なOn-Off-Keyingモードを選択した。本モードは、送信データのHigh/Lowによって送信が断続する通信方式である。主な仕様について表2に示す。



(おもて) (うら)
図1 無線データモデムの形状

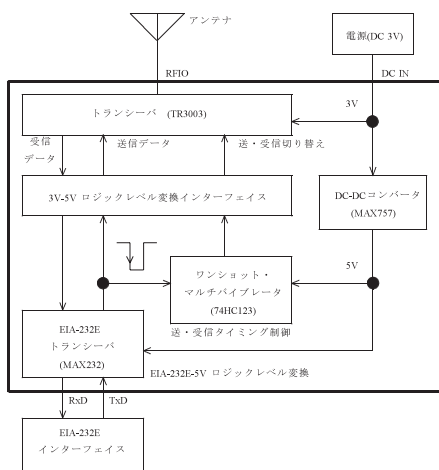


図2 無線データモデムの構成

表2 無線データモデムの主な仕様

形状	80mm × 60mm
通信周波数	303.625MHz ~ 304.025MHz の間
送信出力	-10dBm(最大) ~ -50dBm(最小)
通信方式	On-Off-Keying
データ形式	EIA-232E, 9600bps
電源電圧	直流 3V
消費電流	受信時約 2mA, 送信時約 10mA

2.2 マイクロストリップアンテナの開発

組み込み機器で使用するには、システム全体の小型化が重要な要素の一つである。使用するアンテナは、小型・高利得が得られる形式が望ましい。しかし、使用周波数 303MHz では、(1) 式より波長が約 1m となるため、利得の大きなアンテナを実現するには、形状が大きくなる。そこで、プリント基板の片面が信号の伝達する経路、反対面が接地となるマイクロストリップライン構造を有するマイクロストリップアンテナとして、図3のような対数周期ダイポールを開発した。材料は、ガラスエポキシ両面プリント基板 (t = 1.6mm, ε_r = 4.8) を用い、2枚のプリント基板を貼り合わせた構造である。

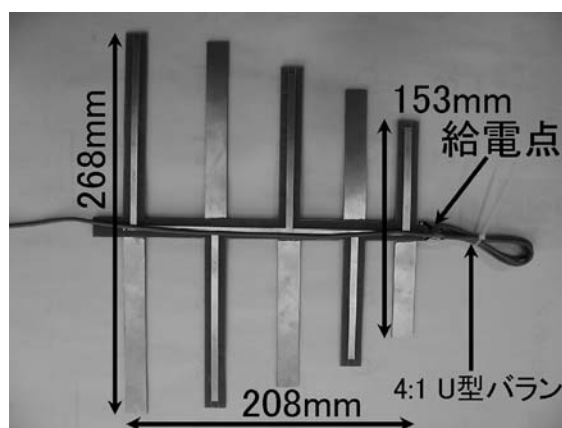


図3 マイクロストリップアンテナの形状

図4のように対数周期ダイポールは、規則的な素子長 l_n および配置間隔 b_n を持つ複数の 1/2 波長ダイポール (以下、素子と呼称) から構成され、以下のような特徴を有する。

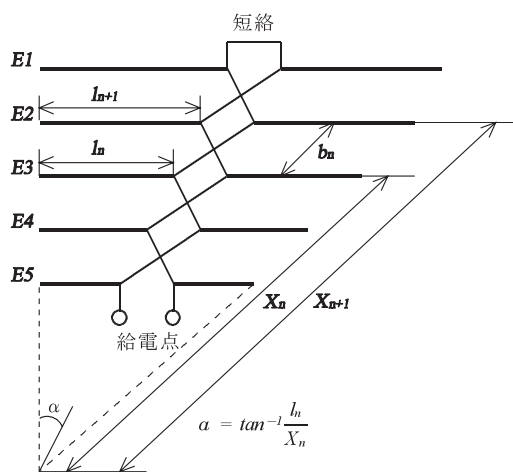


図4 対数周期ダイポールの構成

- 使用可能な周波数範囲が広い
- 利得として数 dB 程度得られる
- 給電点方向に指向性が得られる

本開発では、素子長 l_n および配置間隔 b_n に対して、マイクロストリップライン構造を適用可能である。さらに、特徴である利得、指向性を考慮し、対数周期ダイポールを用いた。構造定数としての対数周期比 τ と比例間隔 σ は、

$$\tau = \frac{l_n}{l_{n+1}} = \frac{X_n}{X_{n+1}} \quad \dots (3)$$

$$\sigma = \frac{b_n}{2l_n} = \frac{X_{n+1} - X_n}{2l_n} \quad \dots (4)$$

となる¹⁾。

電磁波は空気中に比べ、誘電体中を伝搬する時には伝搬時間が遅くなる性質を有し、見かけ上波長が短縮されたことになる。短縮率 ζ は、

$$\zeta = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad \dots (5)$$

で求められる。(5) 式より、誘電体の比誘電率 ϵ_r が大きくなるほど大きな短縮率が得られ、アンテナの小型化が可能となる。マイクロストリップライン構造の場合、プリント基板の外(空中)にも電磁界が発生するため、プリント基板単体の比誘電率に比べ実効誘電率が低下する。このため、周波数 303MHz における $\epsilon_{\text{reff}} = 3.8$ 、(5) 式より短縮率 0.51 とし、(3) および (4) 式より、図 4 に示す素子 E2 が周波数 303MHz における 1/2 波長ダイポールとして機能するような設計をした²⁾。

対数周期ダイポールと伝送路として用いる 50 Ω の同軸ケーブルを給電点で接続するには、インピーダンスおよび平衡-不平衡を変換機能を有するバランが必要なため、4:1U 型バランを用いた。表 3 に主な仕様を示す。

表 3 マイクロストリップアンテナの主な仕様

アンテナ型式	対数周期ダイポール
最大素子全長	268mm
最小素子全長	153mm
アンテナ全長	208mm
素子数	5

2.3 マイクロストリップアンテナの評価

EMI測定用の電波暗室を用い、マイクロストリップアンテナの評価として、整合状態を示す反射特性、動作効率を示す利得、指向性を示す放射パターン特性の測定をした。整合状態を示す反射特性 (S11) は -24.7dB と良好な値が得られたが、利得は 1/2 波長ダイポール比 -35dB と極めて小さな値となった。放射パターン特性は、図 5 に示すように理想的な状態であれば、最大点は給電点の 0° 方向であるが、66° 方向に現れている。最小点は 270° 付近に現れているが、本来現れる 90° 付近の最小点は、放射パターンの偏りによって打ち消されている。

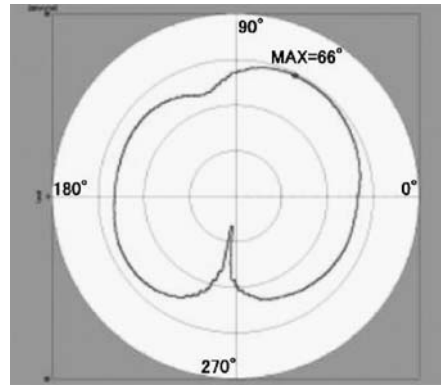


図 5 放射パターン特性 (水平偏波)

表 3 に示すような外寸 (最大素子全長および最小素子全長とアンテナ全長をそれぞれ約 1/2 に短縮する小型化) を達成したが、通信距離を拡大するために必要な利得を得ることは課題が残った。しかし、無線伝送システムとして見た場合、小さな利得は、低雑音受信アンプで補うことも可能である。また、放射パターン特性は、広帯域バランへの変更などにより改善が期待できる。このため、指向性を利用することで通信の妨げとなる雑音など、干渉源を避けることができる。

2.4 低雑音受信アンプの開発

受信部の性能を示す指標として雑音指数がある。雑音指数は、入・出力における S/N の改善度合いを示すもので、数値が小さいほど低雑音、すなわち S/N の改善度合いが大きいことを示す。

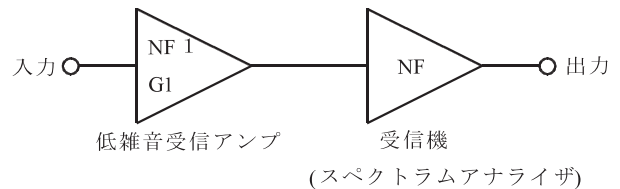


図 6 受信機の前に低雑音受信アンプを設けた場合

図 6 のように雑音指数 NF の受信機の前段に、雑音指数 NF1、電力利得 G1 の低雑音受信アンプ (LNA) を設けた場合の受信システムの雑音指数 NFtotal は、

$$NF_{\text{total}} = NF1 + \frac{NF - 1}{G1} \quad \dots (6)$$

で求められる。(6) 式より受信機の前に設ける低雑音受信アンプの雑音指数が小さく、電力利得の大きいことが受信システムの雑音指数改善に重要である。そこで、衛星放送チューナー向けに開発された三菱社製 MGF-1302 (周波数 4GHz において雑音指数 = 1.4dB、電力利得 = 11dB) を用い、図 7 に示すような低雑音受信アンプを開発した。

必要とされる雑音指数は、雑音温度 (使用周波数における