

携帯機用小型プリントループアンテナの基礎特性

A Study of Small Printed Loop Antenna for Handy Transmitter/Receiver

久保田賢二*, ○吉名億朗*, 田澤寿志*, 栗田宏明*, 佐達幹也**

Kenji KUBOTA*, Yasuaki Yoshina*, Hisashi TAZAWA*,
Hiroaki KURITA*, Mikiya Satachi**

*岩手大学, **エグゼキュートシステム

*Iwate University, **Execute System Co., Ltd.

キーワード: 小形ループアンテナ(small loop antenna), プリントアンテナ(printed antenna),
インピーダンス整合(impedance matching), 放射指向性(radiation pattern),
狭帯域 (narrow bandwidth)

連絡先: 〒020-8551 盛岡市上田 4-3-5 岩手大学工学部電気電子工学科 久保田賢二
Tel&Fax.: 019-621-6385, E-mail: kubota@dragon.elc.iwate-u.ac.jp

1.はじめに

アンテナには、指向性アンテナと全方向性アンテナとがあり、用途に応じて適する指向特性をもつアンテナが開発されて使用されている。近年、携帯電話や GPS(Global Positioning System)を利用した無線システムの普及、そして ETC (Electronic Toll Collection)の実用などに伴い、小形アンテナの一層の特性改善が要望されている。

小形アンテナとして、ダイポールアンテナやループアンテナをプリント化したものや種々のマイクロストリップアンテナ等が用途に応じて開発されて、実用されている。

一方、弱視者通行援助用として一般に使用されているものに路上に設置されて使用されている点字ブロックがある。この点字ブロックは、

弱視者が識別しやすいように、一般に黄色系を基調とした色調にしている。視覚資格障害者は、ブロックの凹凸またはその色調を認識することによって、ブロックに沿って歩くことができる。しかしながら、このような点字ブロックは、夕方から夜間、または雨天時などには、弱視者にとって識別しにくくなるという機能上の問題と、色が決まっているために、景観デザインに色感上の制約を与えるというなどの問題点がある場合がある。その対策として、点字ブロックに黄色点灯ライトを埋め込んでおいて、必要なときだけ点灯させるような光ライティング点字ブロックシステムの案がある^{[1], [2]}。

光ライティング点字ブロックシステムは、時刻や天候にかかわらず、弱視者にとって識別し

やすい色調の光を、弱視者が必要とする時だけ点字ブロックに組み込まれたライトを点灯しようとするものである。弱視者に微弱電波を発信する小形送信機を携帯してもらい、送信機からの信号を検出したら一定範囲の点字ブロックを一定時間だけ点灯させて自動的に消灯させるというものである。

弱視者の携帯する小形送信機用のアンテナは、不用電波をできるだけ除去できることと、小形で送信機と同じ筐体に内蔵できることが望ましい。

著者らは、ループアンテナに着目して、小形化と取扱いの簡便さをはかるために、プリント化ループアンテナとすることを念頭において、放射効率、インピーダンス、放射指向性の基礎特性を検討してみたので、現在得られている結果について報告する。

2. 光ライティング点字ブロックシステムの概要

光ライティング点字ブロックシステムは、光ファイバーを点字ブロックに埋め込んで置き、天候、夜間に左右されずに弱視者のための通行援助システムを目的とし、弱視者であることを示す識別符号を送信する送信機を携帯した弱視者が点字ブロックに近づくと、路上に設置した受信機がその識別符号を検出し、進行方向数メートル以内の点字ブロックを Δt 秒間点灯させて誘導機能を発揮し、弱視者が点字ブロックから遠ざかるにつれて消灯するようにしようとするものである。

携帯用送信機は小型にするために、マイクロコントローラである PIC(Peripheral Interface Controller)を用いて構成する。PIC は、あらかじめ決められた働きをする LSI では無く、用途に応じたプログラムを書き込むことによって目的とする回路や機能

を作り上げることができるプログラミング型のデバイスである。PIC は1つの IC の中に CPU、プログラムメモリ、データメモリなどマイクロコンピュータとしての動作に必要な全てのデバイスを内蔵し、I/O ポートのみが端子に並んでいる。PIC の構成を図1に示す⁽³⁾。

図2に光ライティング点字ブロックシステムのブロック図を示す。信号発生回路、比較回路、タイマ回路を PIC で構成し、各 I/O ポートに外部部品を取り付けて、役割を設定する。信号発生回路で生成される信号は8ビットのデータ符号と、データの始まりと終わりの判別をするリーダー部とトレーラ部で構成される。例えば、データが 01011001 の場合は 18.4msec の長さになる。

送信信号を 00K 変調し、0.5sec 間隔で送信する。その 00K 電波を受信機で受信し、比較回路に導く。比較回路では、入ってきた符号が識別符号と一致しているか否かを判断する。符号が一致したときには、タイマ回路においてリレー回路を一定時間駆動するように時間を設定する。そして、リレー回路では光源装置のスイッチを ON/OFF させる信号を送り一定時間光源装置を ON にする。

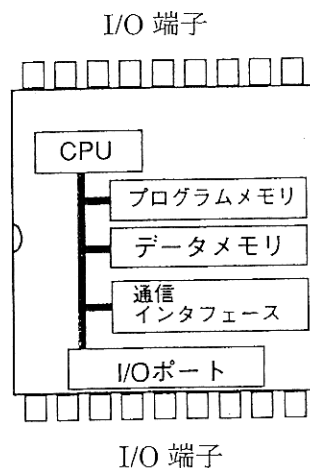


図1 PICの構成⁽³⁾

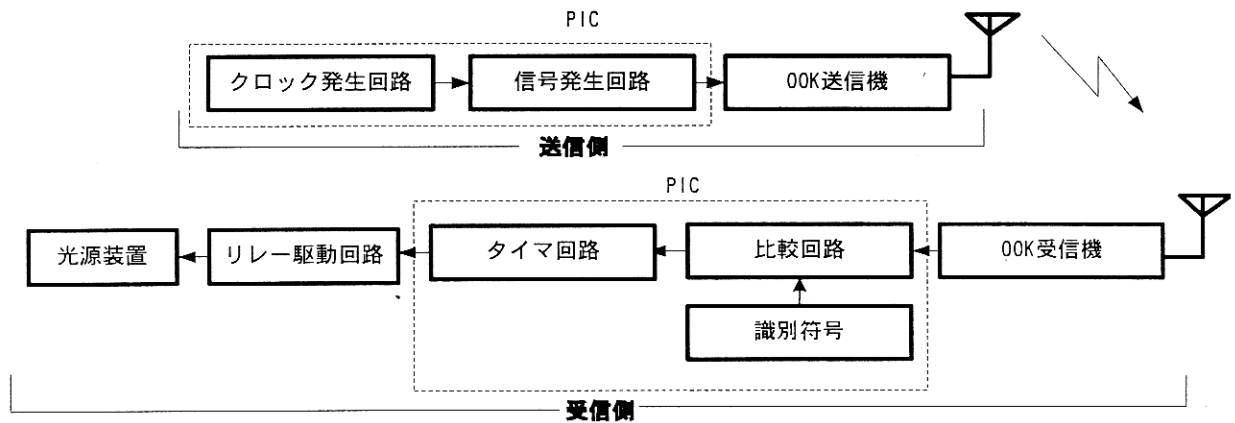


図2 光ライティング点字ブロックシステムのブロック図

3. 小ループアンテナの理論の概要

図3にプリントループアンテナの構造を示す。図の大きなループはアンテナであり、小さなループの入力ポートから給電する。小さなループは、インピーダンス整合のために付加した給電回路である。したがって、図3のループアンテナの等価回路は図4のように表される。小さなループと大きなループとはトランス結合となって、小さなループはトランスの1次コイル、大きいループはトランスの2次コイルとなる。

微小ループアンテナのループ面積を A とすると、放射抵抗 R_r は次式で与えられる⁽⁴⁾。

$$R_r = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \cdot \frac{\pi}{6} \cdot 4\pi^2 \cdot \frac{A^2}{\lambda^2} \quad (1)$$

また、表皮効果を考慮することにより損失抵抗 R_l は次式のようになる⁽⁶⁾。

$$R_l = \frac{l}{2w} \cdot \sqrt{\pi \rho \mu f} \quad (2)$$

ここで ρ, μ, f はそれぞれ導電率、透磁率、周波数である。

アンテナの放射効率 η は放射電力 P_r と、放射電力と損失電力の和 $P_r + P_l$ との比で与えられるので、

$$\eta = \frac{P_r}{P_r + P_l} = \frac{R_r}{R_r + R_l} \quad (3)$$

となる。

等価回路の1次側、2次側コイルに相当する各ループの自己インダクタンス L_p, L_s は式(4)で与えられる⁽⁵⁾。

$$L = \frac{\mu}{2\pi} \cdot l \cdot \ln \left(\frac{8 \cdot A}{l \cdot w} \right) \quad (4)$$

ここで、 $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ 、 l はそれぞれのループの周長、 A はループの面積、 w は導体の幅である。

2次側回路のキャパシタンス C は、主にループインダクタンス L_s を打ち消すためのものであり、式(5)で与えられる。

$$C \doteq \frac{1}{L_s \times \omega^2} \quad (5)$$

1次側、2次巻線間の相互インダクタンス M は $l_b = 2w$ の場合、次式で与えられる⁽⁵⁾。

$$M = \frac{\mu}{2\pi} \cdot l_a \cdot \ln 9 \quad (6)$$

ここで、 l_a は1次側ループの水平方向の長さであり、 l_b は垂直方向の長さである。

等価回路の1次側から見たインピーダンス Z_{in} は次式から計算できる。

$$Z_{in} = \omega^2 M^2 \cdot \frac{R}{[R^2 + (\omega L_s - \frac{1}{\omega C})^2]}$$

$$+j\left[\omega L_p - \frac{\omega^2 M^2 \cdot \left(\omega L_s - \frac{1}{\omega C}\right)}{\left[R^2 + \left(\omega L_s - \frac{1}{\omega C}\right)^2\right]}\right] \quad (7)$$

ここで、

$$R = R_r + R_l \quad (8)$$

である。

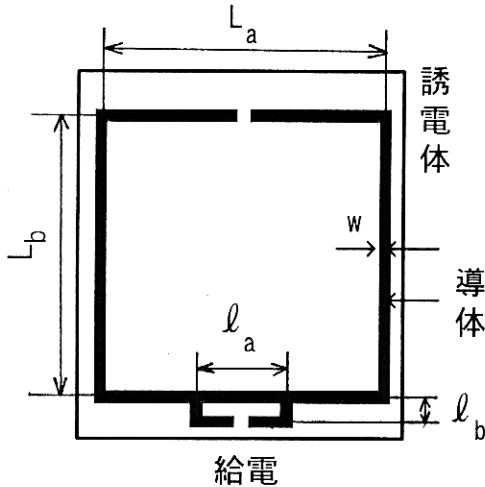


図3 アンテナの構造

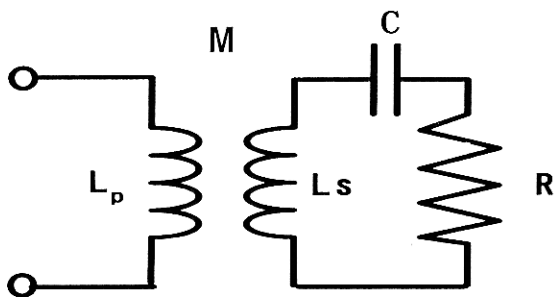
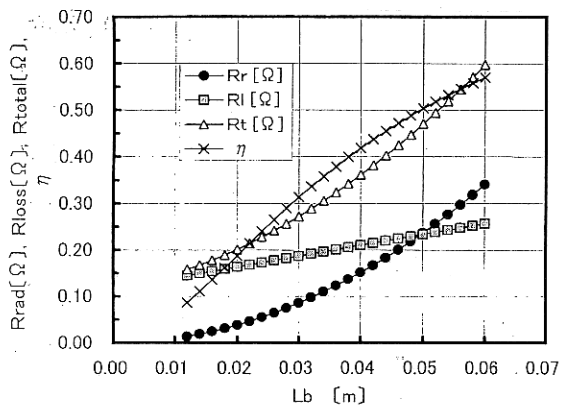


図4 アンテナの等価回路



L_b-R_r, R_l, R_t, η 曲線。L_a=0.05m, w=0.002m

図5 放射抵抗,損失抵抗,放射効率の計算例

式(5)が満足される場合には、 Z_{in} の虚数部は ωL_p と見なすことができ小さくなり、

$$Z_{in} \approx \frac{\omega^2 M^2}{R} \quad (9)$$

となり、1次側から見たインピーダンスは抵抗負荷とみなす事ができる。

図5に、 $L_a = 0.005$ m、 $f = 315$ MHzとしたときの、放射抵抗、損失抵抗、全抵抗、放射効率の計算例を示す。

4 アンテナの構造

今回は、まず、入力インピーダンスの検討を主として行うことにした。設計周波数を、微弱電波として以外には使用されていない周波数である 315MHz として、その波長 952.4mm の約 1/5 である 188mm をアンテナループの周長としてアンテナを製作した。片面銅箔ガラスエポキシ基板(サンハヤト製 35 型)にエッチングによって導体パターンを作成した。アンテナループは $L_a \times L_b = 47\text{mm} \times 47\text{mm}$ の正方形とし、導体幅 w は 1, 2, 3mm の 3 種類のアンテナを製作した。アンテナループの中央部にコンデンサ C を挿入し、アンテナには小ループの給電端子から給電する。

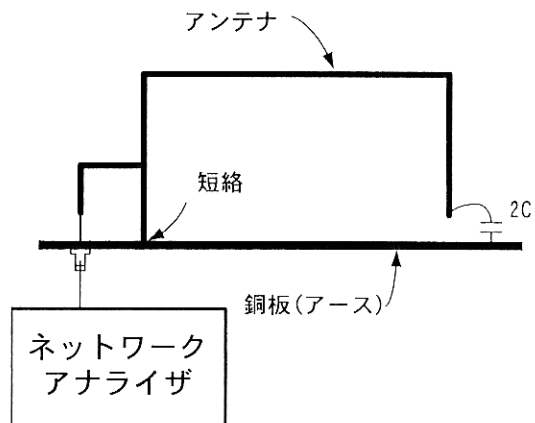


図6 インピーダンス測定概略図

5 VSWR 特性

アンテナの入カインピーダンスおよび電圧定在波比 VSWR は、影像板を利用して測定することにした。図 6 に示す様に、アンテナを中央で縦に半分にして影像板上に直角になるように設置し、影像板の裏側から同軸給電して入カインピーダンスを測定する。このようにして測定された値は、図 3 のアンテナの半分になっているから、図 6 で測定された値の 2 倍をもとのアンテナの入カインピーダンスとする方法である。図 6 の場合に、挿入される容量の値は $2C$ となる。

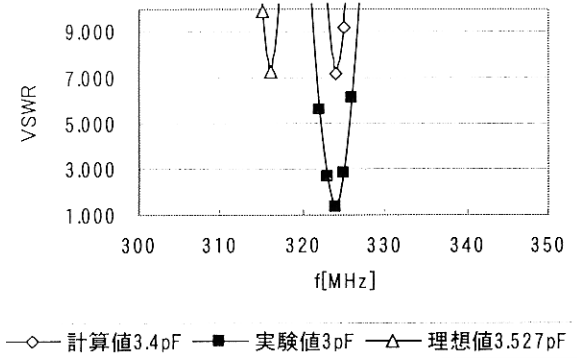


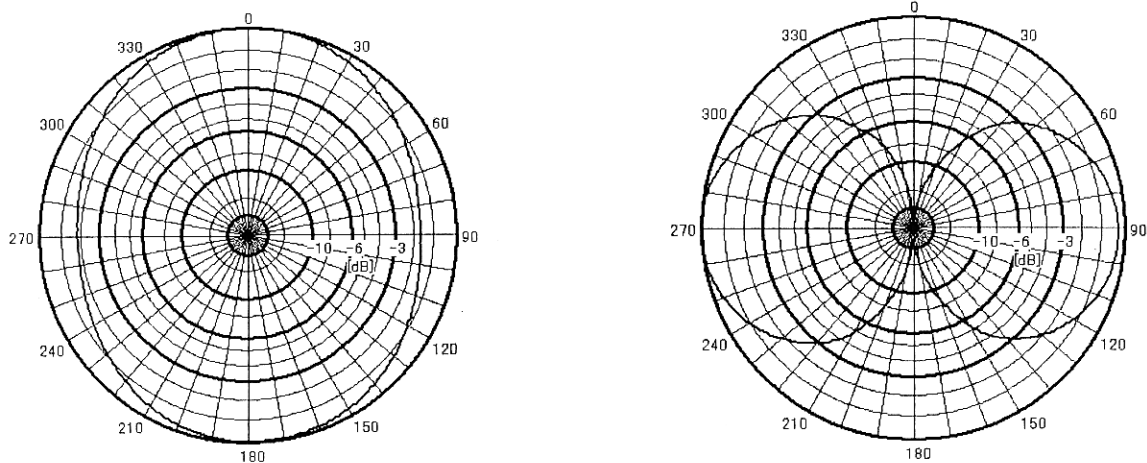
図 7 VSWR の実験値と計算値の比較

図 7 に、 $w=2\text{mm}$ の場合のループアンテナについて、 $2C=3\text{pF}$ を挿入して行った VSWR の実験値と計算値の比較を示す。

実験値は 323MHz で共振し、共振時の VSWR は 1.2 程度と、きわめて小さい値が得られた。計算値は、設計値の 3.527pF の時はほぼ 315MHz で共振するが、その時の VSWR は 7 程度であり、実験に用いた容量と同じ 3pF の時は 343MHz で共振して、共振時の VSWR は 7 程度である。

実験値と計算値との間には以上のような差異が見られたが、これは、式(5)によって与えられる容量を調整することによって、共振周波数を調節することができることを示している。また、実験では、計算で得ることができないような良好な VSWR 値が得られている。この現象は、 $w=1\text{mm}$ および 3mm の実験においても、挿入するキャパシタンスのリード線の長さを調節することによって実験的に得られている。この現象に対しては今後検討が必要である。

なお、図 7 から計算値、実験値ともに VSWR が小さくなる周波数帯域幅はきわめて狭いことがわかる。



(a) 水平偏波, アンテナ: 水平

(b) 垂直偏波, アンテナ: 垂直

図 8 放射指向性図 $L_a=L_b=47\text{mm}$, $w=2\text{mm}$, $f=315\text{MHz}$

6. 放射指向性

送信に八木アンテナを用いて、テストアンテナを受信アンテナとして指向性図の実験を行った。テストアンテナは、 $L_a=L_b=47\text{mm}$ として、 $w=1,2,3\text{mm}$ の3種類のプリントループアンテナとした。アンテナは、プリントループ導体の中心に挿入するコンデンサを調節して315MHzに共振させて、放射指向性を測定した。図8に、 $w=2\text{mm}$ のプリントループアンテナの315MHzにおける実験結果を示す。

図(a)は水平偏波の電波を八木アンテナから送信して、テストアンテナを水平にしたときの実験値であり、図(b)は垂直偏波の電波を送信して、テストアンテナを垂直して受信したときの実験値である。

図(a)より、アンテナを水平にしたときは水平偏波の電波に対してほぼ全方向性の特性を示すことが、図(b)からは、アンテナを垂直にすると垂直偏波の電波に対して8の字形の特性を示すことがわかる。

7. むすび

簡易小形送信機用アンテナとして、小形プリントループアンテナの基礎的特性の検討を試みた。次に、その結果をまとめる。

- (1) 放射効率は λ^2 に対するループ面積が大きいほど大きくなる。
- (2) 挿入する共振用コンデンサの調節によって共振周波数を調整できる。
- (3) 放射指向性は微小ループアンテナのそれと殆ど同じである。
- (4) インピーダンス整合する帯域幅は狭帯域である。
- (5) 給電ループと共振用コンデンサを調整してインピーダンス整合をはかることができる。

なお、細部についての検討は今後の課題である。特に、上記(5)についての検討を推進したい。そしてまた、今回は平衡給電の場合についてのみ検討を試みたが、不平衡給電に対する検討も今後必要である。

[参考文献]

- [1] 安藤昭他：光ファイバーライティング点字ブロックの光軸の角度, 実用新案登録願 A-A1943032, H8.6.17.
- [2] 富澤雄也他：光ファイバーライティング点字ブロック駆動無線システム, H13年度電気関係学会連大 1A2.
- [3] 小川 晃：PIC インターフェンスハンドブック, マイクロアプリケーションラボラトリー, 1998.8.1
- [4] John D. Kraus 著, 谷村功訳：空中線〔上巻〕, 近代科学社, p.193
- [5] Jan van Niekerk : AN831 Matching Small Loop Antennas to rf PIC™ Devices, Microchip Technology Inc., 2002.
- [6] Constantine A. Balanis : Antenna Theory Analysis and Design , John Wiley & Sons Inc., p.78, 1997.