

ページャ用ループアンテナの放射効率の測定とその改善

佐々木 亮<sup>†</sup>                      陳      強<sup>†</sup> (正員)  
 中村 精三<sup>†</sup> (正員)              澤谷 邦男<sup>†</sup> (正員)

Measurement and Improvement of Radiation Efficiency of a Loop Antenna Used for Pager

Makoto SASAKI<sup>†</sup>, Nonmember, Qiang CHEN<sup>†</sup>, Seizo NAKAMURA<sup>†</sup>, and Kunio SAWAYA<sup>†</sup>, Members

<sup>†</sup> 東北大学大学院工学研究科, 仙台市  
 School of Engineering, Tohoku University, Sendai-shi, 980-8579 Japan

あらまし 受信アンテナを球面走査して放射電力を積分することにより、ページャ用ループアンテナの放射効率の測定を行い、整合回路に用いるコンデンサの損失を減少させることにより放射効率が向上することを定量的に明らかにしている。

キーワード ループアンテナ, 放射効率, 銅損, 放射電力積分法, 測定法

1. まえがき

ページャ用内蔵アンテナとして、周囲長が0.1λ程度の小形ループアンテナが用いられているが、電気的に小形であるために、放射効率が低いことはよく知られており、高い着信率を得るために、放射効率の向上が望まれている。

小形ループアンテナの放射効率が低い原因として、従来銅損による効率の低下が指摘されており [1]~[3], インピーダンス整合のために装荷されるコンデンサの損失はほとんど問題にされていない。しかしながら、コンデンサの損失も無視できないことが筆者らのワイヤメッシュ法を用いた理論計算により明らかにされた (ただし、この計算では板状ループアンテナを線状で近似しているために、高精度の放射効率は得られていない) [4]。そこで、まず実験によりコンデンサのQ値を高くしたときの効率向上の可能性を検討することにした。

これまで小形ループアンテナの放射効率の測定については、主に Wheeler Cap 法を用いて検討されてきた [1]~[3], [5], [6]。しかしながら、Wheeler Cap 法は小形ループアンテナの放射抵抗が非常に小さいために、Cap があるときとないときの入力抵抗の差から求めた放射抵抗には大きな誤差が含まれるという問題がある [5], [7]。また、ランダムフィールド法による放射効率の測定も提案されているが、ランダム環境の実現は必ずしも容易ではない [8]。筆者らは、受信アンテナ

を球面走査して放射電力を積分することにより、送信アンテナの放射効率を精度良く測定できることを1.5GHzにおける実験により明らかにするとともに、人体モデルの影響も考慮した効率の測定にも適用できることを示した。

本論文では、この放射電力積分法 [9], [10] を用いて、ページャ用小形ループアンテナの整合回路を含めた放射効率を測定し、整合回路に含まれるコンデンサのQ値を向上させることにより、アンテナの放射効率が改善されることを定量的に明らかにする。

2. ページャ用ループアンテナの実験モデル

ページャ用ループアンテナの実験モデルを図1に示す。アンテナは高さ57mm×幅14mmの板状ループアンテナで、厚さ0.5mm、幅3mmの銅板で構成され

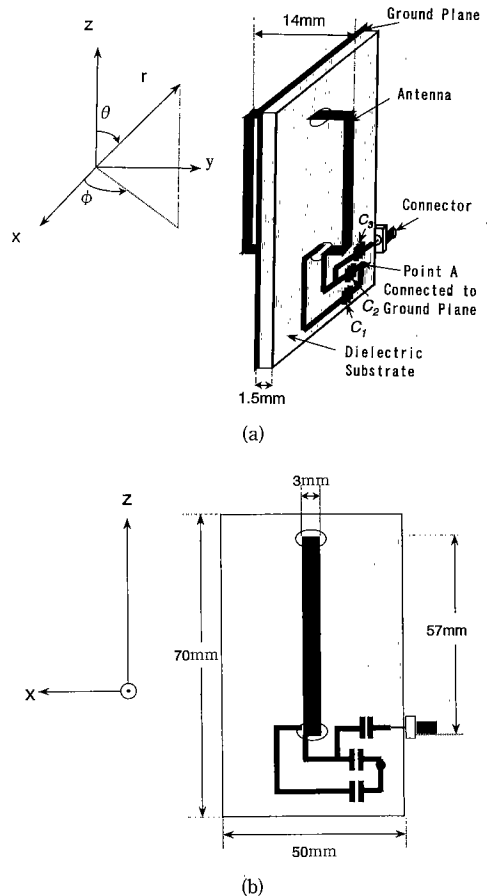


図1 ページャ用小形ループアンテナの実験モデル：  
 (a) 立体図, (b) 正面図  
 Fig.1 Experimental model of small loop antenna for pager: (a) 3D view, (b) Front view.

表1 コンデンサの Q 値  
Table 1 Q-factor of capacitors.

capacitors	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
Low Q	180	140	140
High Q	360	220	610

ている。また、ガラスエポキシの誘電体基板のサイズは縦 70 mm × 横 50 mm で、この基板に整合回路がプリントされている。基板の上端から 5 mm と下端から 8 mm に穴を設けて、アンテナを通してあり、アンテナと地板は接続していない。整合回路の A 点は地板に接続している。整合回路のセラミックコンデンサの容量は C<sub>1</sub> = 10 pF, C<sub>2</sub> = 12 pF, C<sub>3</sub> = 3 pF である。コンデンサの損失がアンテナの放射効率へ与える影響を検討するため、2 種類のコンデンサを使用しており、Q 値が低いコンデンサを Low Q, 高いコンデンサを High Q とする。コンデンサの Q 値は、コンデンサのインピーダンスを測定することにより求めた。その値を表 1 に示す。

### 3. 測定方法

#### 3.1 測定原理

球座標系において、被測定アンテナから放射される電磁界は、被測定アンテナが含む半球面上に走査するダイポールアンテナにより受信される。θ 偏波成分と φ 偏波成分の受信電力を P<sub>θ</sub>, P<sub>φ</sub> とすると、被測定アンテナの全放射電力 P<sub>r</sub> は次式で表される。

$$P_r = \frac{r^2}{A} \left\{ \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} (P_\theta(\theta, \phi) + P_\phi(\theta, \phi)) \sin \theta d\theta d\phi + \int_0^{2\pi} \int_{\pi/2}^\pi (P_\theta(\theta, \phi) + P_\phi(\theta, \phi)) \sin \theta d\theta d\phi \right\} \quad (1)$$

ここで、A はダイポールアンテナの実効開口面積であり、r は走査球面の半径である。また、式(1)の { } 内の 2 項目の積分は被測定アンテナを上下に逆転して測定したときの受信電力である。被測定アンテナの入力電力を P<sub>in</sub> とすると、放射効率 η は次式で求められる。

$$\eta = P_r / P_{in} \quad (2)$$

#### 3.2 測定系の構成と有効性

放射効率の測定は、5.50 m × 3.40 m × 2.25 m の電波無響室内で行った。また、測定系は、図 2 に示すようにスフェリカルポジショナ、ターンテーブル、信号発生器、スペクトラムアナライザにより構成されてお

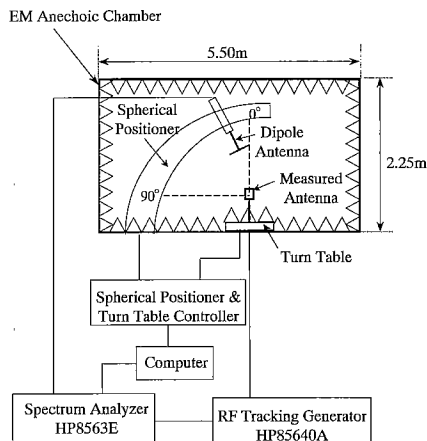


図 2 測定系の構成  
Fig. 2 Measurement system.

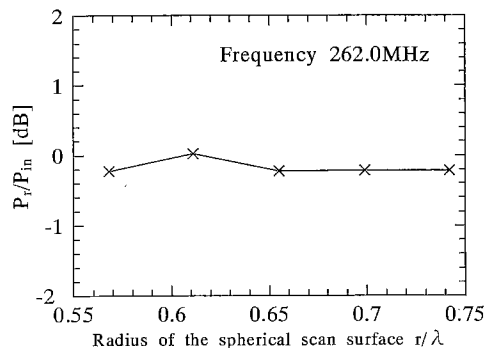


図 3 測定された半波長ダイポールアンテナの放射電力 P<sub>r</sub> と入力電力 P<sub>in</sub> の比

Fig. 3 Experimental results of the ratio of radiated power P<sub>r</sub> to input power P<sub>in</sub> of the half-wavelength dipole antenna.

り、パソコンにより GP-IB を通して測定系の制御を行う。スフェリカルポジショナにダイポールアンテナを取り付け、0~90° の範囲で走査し、ターンテーブルには被測定アンテナが置かれ、0~360° の範囲で回転させる。これにより、半球面走査が可能である。スフェリカルポジショナのサンプリング間隔は 10° で、ターンテーブルのサンプリング間隔は 1° である。また、半球面 1 回の測定時間は 20 分程度である。被測定アンテナの放射パターンに上下の対称性がない場合、測定はアンテナの上半分と下半分の 2 回に分けて測定を行った。

まず、この測定系での放射電力積分法による測定の妥当性について検討した。送信アンテナと受信アンテナ

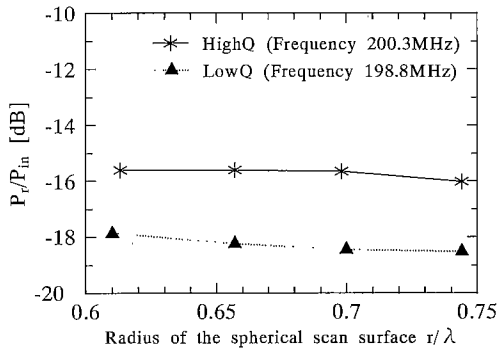


図4 球面走査半径  $r$  に対する放射効率の測定値の変化  
Fig.4 Experimental results of the radiation efficiency versus the radius of the spherical scan surface.

ナをともに半波長ダイポールアンテナとし、入力電力  $P_{in}$  に対する放射電力  $P_r$  の測定を行った。ここで、入力電力  $P_{in}$  は、送信ケーブルと受信ケーブルを直結したときの受信電力、すなわち入射電力から送信アンテナのインピーダンス不整合に伴う反射電力 (VSWR から算出) を引いた値とした。したがって、ケーブルの損失と送信アンテナの不整合を考慮したことになる。図3に球面走査の半径  $r$  を  $0.57\lambda \sim 0.74\lambda$  に変化させたとき、測定された半波長ダイポールアンテナの放射電力と入力電力の比を示す。半波長ダイポールの放射効率はほぼ100%とみなすことができるので、 $P_r/P_{in}$  は0dBとなるはずである。これに対して測定値は  $\pm 0.23$  dB以内であり、本測定系の妥当性が確認できた。

### 3.3 測定結果

Low  $Q$  と High  $Q$  のコンデンサを装荷した二つのループアンテナの場合について放射効率の測定を行った。

整合回路を含めたループアンテナの放射パターンに対称性がないため、ページャの上半分と下半分に分け、それぞれの  $\theta$  成分と  $\phi$  成分の放射電力の測定をした。測定周波数はループアンテナの VSWR が最小となる周波数、すなわち、Low  $Q$  の場合では 198.8 MHz (VSWR が 2.04)、High  $Q$  では 200.3 MHz (VSWR が 2.90) を用いた。また、球面走査の半径  $r$  を  $0.61\lambda \sim 0.74\lambda$  の範囲内で変化させて測定を行った。

測定結果を図4に示す。走査球の半径  $r$  にほとんど依存しない一定のデータが得られた。Low  $Q$  の場合の

平均放射効率は  $-18.3$  dB で、High  $Q$  の場合の平均放射効率は  $-15.7$  dB であった。この結果より、High  $Q$  のコンデンサを用いることにより放射効率が約 2.6 dB 上がっていることがわかる。

### 4. むすび

放射電力積分法を用いて、整合回路を含めたページャ用ループアンテナの放射効率の測定を行った。測定結果より、ページャの整合回路に装荷されたコンデンサの損失が放射効率に与える影響を無視できないことを示すとともに、コンデンサの  $Q$  値を向上させるだけで放射効率を 2.6 dB 程度向上できることを示した。今後は、モーメント法を用いて放射効率を精度良く数値解析し、コンデンサの損失と放射効率の関係を定量的に明らかにしていく予定である。

### 文 献

- [1] 廣瀬雅信, 三宅正泰, “FM ラジオ用腕時計ループアンテナの検討,” 平8信学総全大, B-160, p.160, March 1996.
- [2] 廣瀬雅信, 三宅正泰, “板状ループアンテナの導電率とアンテナ効率,” 平8信学ソ大, B-79, p.79, Sept. 1996.
- [3] 廣瀬雅信, 三宅正泰, “小形板状アンテナの解析法,” 信学技報, A · P96-129, pp.71-78, Jan. 1997.
- [4] 佐々木亮, 陳 強, 中村精三, 澤谷邦男, “ページャ用ループアンテナの放射効率の数値解析,” 平9信学ソ大, B-1-48, p.48 Sept. 1997.
- [5] 井田一郎, 藤沢照彦, 伊藤公一, 高田潤一, “小形ループアンテナの放射効率に関する検討,” 信学技報, A · P92-63, pp.81-86, July 1992.
- [6] N. Ishii and K. Ito, “A consideration of the thin planar antenna with wire-grid model,” IEICE Trans. Commun., vol.E-76B, no.12, pp.1518-1525, Dec. 1993.
- [7] 喬 榮予, 平沢一敏, 藤本京平, “WHEELER CAP 内のアンテナ素子上電流分布,” 信学論 (B), vol.J71-B, no.11, pp.1370-1372, Nov. 1988.
- [8] 吉岡弘貴, 陳 強, 猪狩和久, 澤谷邦男, “人体近傍に置かれたアンテナの放射効率のランダムフィールド法による測定,” 平9電学東北支大, 2D-17, p.138, Aug. 1997.
- [9] T. Maeda, S. Sekine, and S. Obayashi, “High speed radiation characteristics measurement equipment over the solid angle of a sphere to evaluate antennas attached to an 800 MHz cellular telephone,” 1993 IEEE AP-S International Symposium Digest, vol.3, pp.1828-1831, June 1993.
- [10] Q. Chen, T. Shinohe, K. Igari, and K. Sawaya, “Measurement of power absorption by human model in the vicinity of antennas,” IEICE Trans. Commun., vol.E80-B, no.5, pp.709-711, May 1997.

(平成10年4月9日受付, 6月25日再受付)