

スタックパッチアンテナの放射指向性

久保田賢二^{*1},野呂岳仁^{*1},○菊地弘准^{*1},栗田宏明^{*1},越後宏^{*2},清水保定^{*3},佐藤利三郎^{*4}

Kenji Kubota^{*1}, Takayoshi Noro^{*1}, Hironori Kikuchi^{*1}, Hiroaki Kurita^{*1},
Hiroshi Echigo^{*2}, Yasusada Shimizu^{*3}, Risaburo Sato^{*4}

^{*1}岩手大学, ^{*2}東北学院大学, ^{*3}日本電波塔, ^{*4}TAO 仙台 EMC リサーチセンター

^{*1}Iwate University, ^{*2}Tohoku-Gakuin University,
^{*3}Nippon Television City Crop., ^{*4}Sendai EMC Research Center of TAO

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@doragon.elc.iwate-u.ac.jp

キーワード テレビジョン放送(television broadcasting), 送信アンテナ
(transmitting antenna), パッチアンテナ(patch antenna),
放射指向性(radiation pattern), 2 段配列(two elements array)

1. はじめに

テレビジョン放送アンテナは, サービスエリア内に均一な強さの電波を放射できるようにするのが理想である. 電波受信者の存在するサービスエリア内に均一な電界強度の電波を供給する必要性から, 鉄塔側面にアンテナ素子を複数面配列し, 各面への供給電力の配分を調整して, サービスエリアに適合した指向性を得るという方法が一般に用いられている.

現在, 広く使用されているダイポールアンテナや双ループアンテナを一次放射器とする反射板付きアンテナは, アンテナ素子と反射板の間隔を 0.25λ (λ :波長)程度とする構造となっており 1), これらのアンテナを鉄塔

に設置した場合, この間隔だけアンテナ素子が鉄塔の側面からはみ出すことになる. 鉄塔強度や景観等の点から, 鉄塔からはみ出す部分はできるだけ小さくすることが望まれる. 著者らは, 極めて薄型構造であるパッチアンテナの鉄塔側面設置用 TV 放送アンテナへの応用の可能性について検討してきた 2) - 4). 鉄塔側面に 4 面配列する構造の場合には $1/2$ 波長矩形パッチアンテナが適している 4).

本報告では, パッチアンテナを鉄塔側面の垂直方向に 2 段配列したときの垂直合成指向性について検討した結果について述べる.

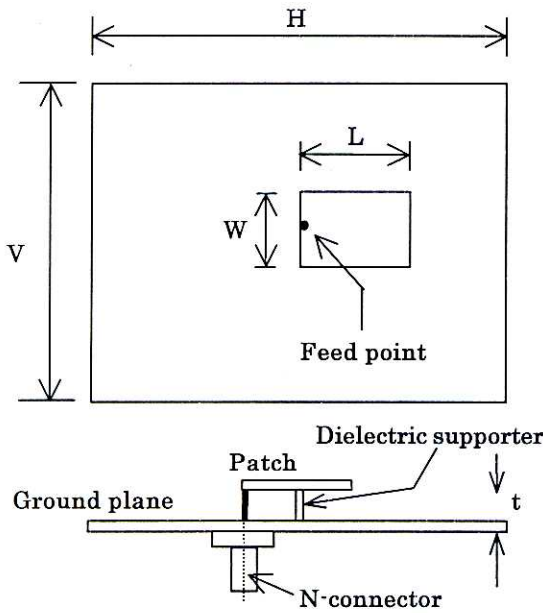


Fig.1 $\lambda/2$ パッチアンテナ

2. パッチアンテナの概要

パッチアンテナはアンテナ素子に対応するパッチと、導体地板との間に誘電体を挟み込んだ3層構造の板状アンテナであり、従来の反射板付きアンテナと比較して、アンテナ素子と地板の間隔を非常に小さくできるという特徴を持っている。Fig.3に $1/2$ 波長パッチアンテナの電界と磁流の関係を示す。

パッチの長さLが $1/2$ 波長で、パッチの一端中央で給電した場合、Fig.2のようにパッチの長さ方向に電圧定在波が生じる。そのときパッチの両端にはFig.3のように、大きさと向きが等しい電界が生じる。パッチの上面から見ると両端の電界の向きと直交する向きに磁流スロットが形成され、これが波源となって電波が放射される。

地板が無限大のときの指向性は、パッチの両端の磁流スロットから放射される波の合成によって与えられる。すなわち、両放射端までの間隔Lが大きく影響する。また、鉄塔側面に配置する場合は、地板も有限となるため、地板の端による回折波の影響を考慮しなければならない。

3. パッチアンテナ単体の放射指向性

Fig.1に示すような両端開放型の $1/2$ 波長パッチアンテナにおいて誘電体層は空気とする。給電はパッチの一端中央に地板下部からN型 50Ω 同軸コネクタを介して給電し、他端は開放する。

パッチの長さLを約 0.5λ とする、パッチ両端に大きさと向きが等しい電界が生じ、電界と直交する方向に磁流スロットが形成さ

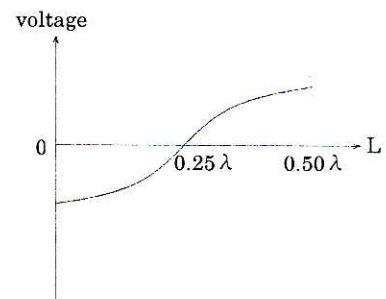
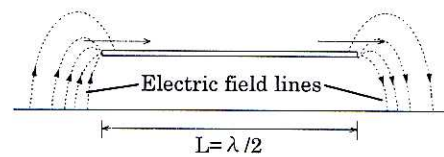
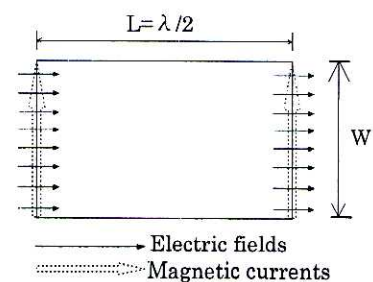


Fig.2 パッチと地板の間に発生する電圧定在波



パッチ端部の電界（側面図）



パッチ上の電界と磁流スロット

Fig.3 $\lambda/2$ パッチアンテナの電界と磁流の分布

れ、それを波源として電磁波が放射される。放射スロット間隔が約 0.5λ なので、E 面放射指向性図は反射板付き半波長ダイポールアンテナのそれに類似したものになる。四角鉄塔の側面 4 面に配列してその合成指向性を全方向指向性に近づけるためには、各面アンテナの電界指向性図は 6dB 下がる角度 θ_0 が 90° であることが望ましい。E 面指向性図については、これまで入力インピーダンスを考慮して $L \cong 0.45\lambda_0$ 、パッチの寸法は $H = 2.1\lambda_0$ 程度が最適という結果を得ていたが再度実験を行い、確認することにした。

パッチの長さ L と地板の寸法を変えて実験的に最適条件を調べた。まず水平指向性の実験結果から地板の横幅 H を決定し、その後地板の縦幅 V を変えて H 面指向性の実験を行った。測定周波数は $946\sim 970\text{MHz}$ とし、パッチの寸法は $L/\lambda_0 = 0.40, 0.44, 0.50$, $w/\lambda_0 = 0.50$ とした。

水平指向性は地板の寸法を、 $V/\lambda_0 = 2.4$ に固定して、 H/λ_0 を $2.4\sim 2.0$ として実験を行った結果、最適な水平指向性は $H/\lambda_0 \cong 2.1$ のときに最適であった。

垂直指向性は、 $H/\lambda = 2.1$ 一定として、 V/λ を $2.4\sim 2.0$ とした。中心周波数では、 $V/\lambda = 2.2$ のとき最も鋭く、約 69° の半値角となった。

Fig.4 に $L/\lambda \times W/\lambda = 0.40 \times 0.50$, $H/\lambda \times V/\lambda = 2.1 \times 2.0$ の水平及び垂直指向性を、表 1 にその $-3, -6, -10\text{dB}$ になるときのメインローブの角度を示す。

Fig.5 と表 2 には、 $L/\lambda \times W/\lambda = 0.44 \times 0.50$ の場合の特性を示す、地板は Fig.4 の場合と同じ寸法である。

水平指向性は、表 1 より $L/\lambda = 0.40$ のとき、 -6dB となるメインローブの角度が約 90° であることから、鉄塔側面の四面に配列するのに適している。表 2 より $L/\lambda = 0.44$ のときは、 -6dB となるメインローブの角度は

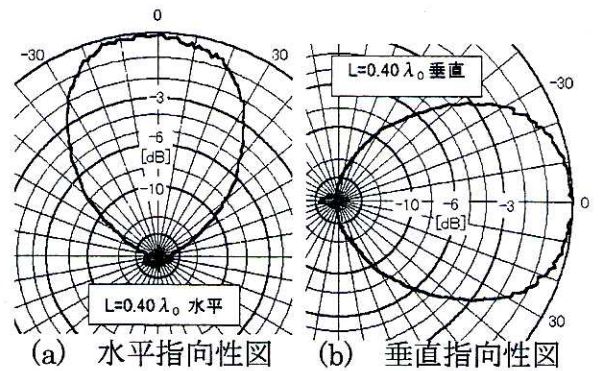


Fig.4 $L=0.40\lambda$ のときの指向性図

表1 単体パッチアンテナの主ローブの角度 $L=0.40\lambda_0$

周波数 (MHz)	水平			垂直		
	-3dB 角度	-6dB 角度	-10dB 角度	-3dB 角度	-6dB 角度	-10dB 角度
946	69	92	110	74	98	122
958	68	89	108	70	96	122
970	69	90	107	70	95	124

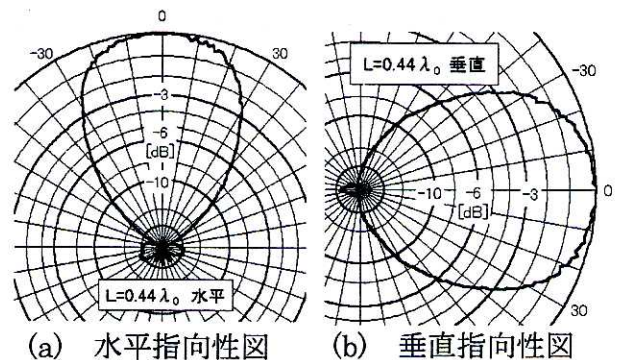


Fig.5 $L=0.44\lambda$ のときの指向性図

表2 単体パッチアンテナの主ローブの角度 $L=0.44\lambda_0$

周波数 (MHz)	水平			垂直		
	-3dB 角度	-6dB 角度	-10dB 角度	-3dB 角度	-6dB 角度	-10dB 角度
946	62	79	96	74	97	125
958	62	80	96	73	98	125
970	62	78	94	74	98	126

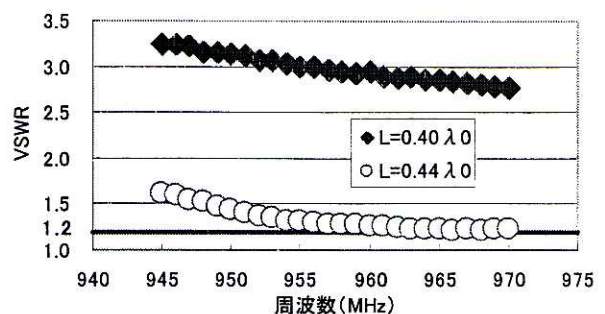


Fig.6 VSWR 測定結果

約 80° で、角度が 90° の時は -7 dB 程度となった。

4. VSWR 特性

$L/\lambda=0.40, 0.44$ のときの VSWR (電圧定在波比) の測定結果を Fig.6 に示す。 $L/\lambda=0.44$ の時は $VSWR=1.3$ であったが、 $L/\lambda=0.40$ のときはほぼ 3 であった。垂直配列の場合の検討は $L/\lambda \times W/\lambda=0.44 \times 0.50$ の寸法のパッチを使用して行うことにした。

また、地板の寸法を変えても、VSWR の変化はほとんどなかった。

5. 2 段スタックパッチアンテナ

パッチアンテナ単体の指向性実験とインピーダンス実験によりパッチと地板の寸法の最適値を見つけることが出来た。その寸法のパッチを垂直方向に二素子配列したときの垂直指向性についての検討を行う。Fig. 7 に 2 段スタックパッチアンテナの構造で示す。2 個のパッチの寸法を $L/\lambda \times W/\lambda=0.44 \times 0.50$ 、地板の横幅を $H/\lambda=2.1$ とし、縦幅 V を変えて、指向性の変化を調べた。

5.1 配列係数と単体指向性による計算

配列アンテナの合成指向性 $D(\theta)$ は、式 (1) に示すように単体のアンテナの指向性関数 $D_0(\theta)$ と配列係数 $f(\theta)$ を乗算することによって求めることができる。

$$D(\theta) = D_0(\theta) \times f(\theta) \quad (1)$$

Fig.8 に、素子数を 2 とし、各素子への給電電流を同相等振幅。素子間距離 $d=0.668\lambda, 0.818\lambda$ とした場合の配列係数を示す。素子は +90° 方向と -90° 方向に原点を挟んで対称な位置に置いてある。

素子間距離 d は、文献 5) の双ループアンテナのループ中心間距離と同じく 0.668λ 及

び 0.818λ としてある。

5.2 計算結果

パッチアンテナ単体の垂直指向性の実測値を式(1)の $D_0(\theta)$ とし、垂直方向にパッチアンテナを二素子配列した場合の合成垂直指向性を計算した。2 素子を同相等振幅で給電した場合の計算値を Fig.9 に示す。Fig.9(a),(b)はそれぞれ $d/\lambda=0.668, 0.818$ のときである。メインローブが -3, -6, -10dB になる角度を表 3 に示す。

パッチを 2 段スタック配列することにより指向性は鋭くなり、表 2 と表 3 を比較すると -3, -6, -10dB になる角度が約 1/2 になっている。 d を大きくすると指向性は鋭くなるが、

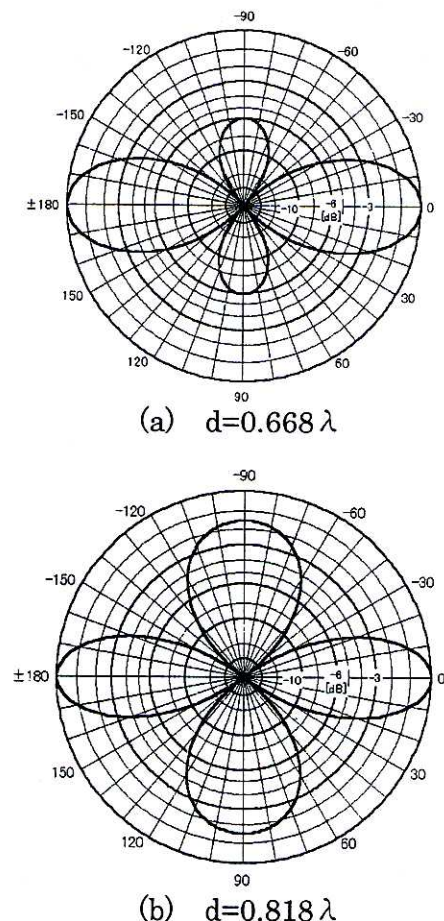


Fig.7 二素子のときの配列係数等振幅、同相給電

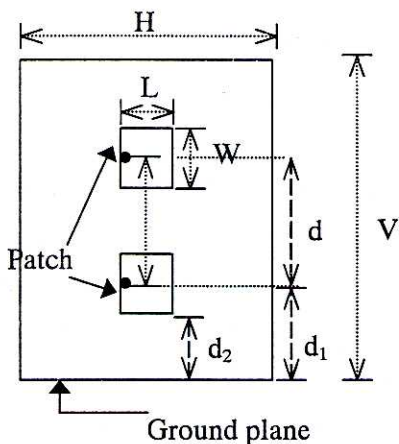
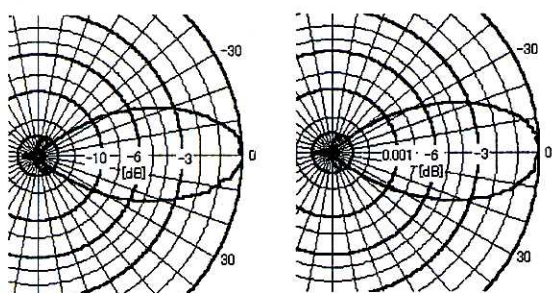


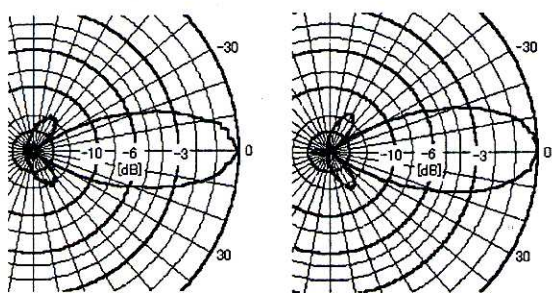
Fig.8 二素子配列アンテナと双ループアンテナの構造



実験値

計算値

(a) $d=0.668\lambda$



実験値

計算値

(b) $d=0.818\lambda$

Fig.9 二素子配列アンテナの合成垂直指向性図

サイドローブレベルが大きくなることがわかる。

5.3 実験結果

信号発生器から同軸ケーブルを用いて分配

器に接続し、分配器の出力端子と2個のパッチの給電端子とを、同じ伝送特性を示すように長さを調整した同軸ケーブルを用いて接続し、給電した。

垂直指向性の測定結果は Fig. 9(b)に示すように計算値とほぼ一致した。-3, -6, -10dB になるときの角度を表4に示す。

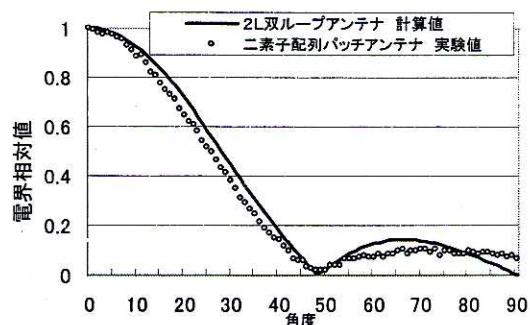
また、地板の縦幅 V を変えて、地板の端からパッチの端までの距離 d_2 を 0.25λ まで縮小

表3 二素子配列パッチアンテナ 計算値

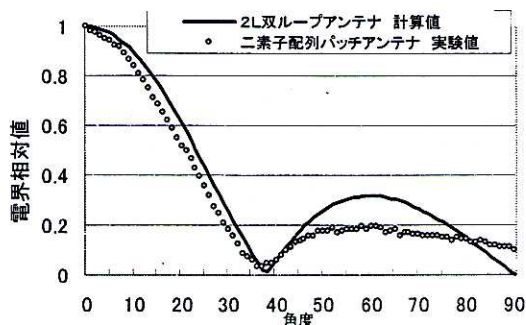
垂直	$d=0.668\lambda_0$			$d=0.818\lambda_0$		
	-3dB 角度	-6dB 角度	-10dB 角度	-3dB 角度	-6dB 角度	-10dB 角度
946	40	55	67	33	45	56
958	39	53	67	33	45	55
970	39	53	67	33	45	55

表4 二素子配列パッチアンテナ 実験値

垂直	$d=0.668\lambda_0$			$d=0.818\lambda_0$		
	-3dB 角度	-6dB 角度	-10dB 角度	-3dB 角度	-6dB 角度	-10dB 角度
946	36	53	66	30	43	54
958	36	52	64	30	42	53
970	36	50	64	30	42	53



(a) $d=0.668\lambda$



(b) $d=0.818\lambda$

Fig.10 双ループアンテナと比較

させたが指向性はほとんど変化しなかった。これは、垂直指向性は地板の端による回折の影響よりも、アンテナの配列係数による影響が強いことを示していると考えられる。

5.4 2L 双ループアンテナとの比較

反射板付 2L 双ループアンテナの反射板の大きさを無限大と仮定したアンテナの垂直指向性と 2 段垂直スタックパッチアンテナの垂直面指向性との比較を行った。文献 5) 記載の 2L 双ループアンテナの式を用いて計算した垂直指向性図を Fig.10 に実線で示す。また実験で得られた 2 段スタックパッチアンテナの垂直面指向性図を同図に ○ 印 で併記した。Fig. 10(a), (b)両方ともパッチアンテナの方のメインローブがやや鋭く、サイドローブレベルも少し小さいという結果が得られた。

6.むすび

パッチアンテナ単体の垂直指向性の測定結果を用いて、二素子垂直配列アンテナの合成垂直指向性を計算した。その計算結果と、実際に作製して測定した二素子垂直配列アンテナの垂直指向性の結果はほぼ一致した。このことから、アンテナ単体の指向性図の測定値と配列係数を用いて、合成指向性のシミュレーションを行い、最適な配列間隔及び給電条件を推定することができると考えられる。

垂直指向性図においては、地板の端による回折の影響アンテナの配列係数による影響が強いことがわかった。また、2 素子垂直配列アンテナと無限大反射板を有する 2L 双ループアンテナとの垂直面放射指向性は殆ど同じであることがわかった。有限反射板を有する 2L 双ループアンテナとの比較や VSWR の問題等は今後の課題である。

7. 参考文献

- 1) 電子通信学会:アンテナ工学ハンドブック, オーム社, p48, p68, p72(1980.10.30)
- 2) 久保田, 永田他:パッチアンテナを用いた放送用 4 面合成アンテナの放射指向性, 計測自動制御学会東北支部研究集会, 153-8(1995.5.26)
- 3) 野村, 久保田他:副反射板付きパッチアンテナの放射指向性, 同上, 160-1(1996.5.24)
- 4) 久保田, 野村他:パッチアンテナを用いた TV 放送用アンテナの無指向性化, 信学技法, EMCJ-96-41, MW96-93(1996.10)
- 5) 遠藤敬二, 佐藤源貞, 永井淳:アンテナ工学, 総合電子出版, pp.140-141, (1979.4.5)