

TV 放送用パッチアンテナの入力インピーダンスの一改善法

A Study of Input Impedance of Patch Antenna for TV Broadcasting

○ 小笠原徹,久保田賢二,栗田宏明(岩手大学工学部)

清水保定(日本電波塔)

佐藤利三郎(環境電磁技術研究所)

○ Tooru Ogasawara, Kenji Kubota, Hiroaki Kurita (Iwate University)

Hotei Shimizu (Nippon Television City Corporation)

Risaburo Sato (Electromagnetic Compatibility Research Lab. Co., Ltd.)

Keywords : アンテナ(antenna),パッチ(patch),
インピーダンス(impedance),TV 放送(TV broadcasting)

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

テレビジョン放送用アンテナは,サービスエリア内に均一な強さの電波を放射することができるように設計するのが理想である.そのために鉄塔側面に反射板付きアンテナを多面配列してその合成指向性を無指向性とし,その上で各面アンテナへの供給電力配分を調整して,所望の指向性を得る方法が一般に採られている.また,敷地,景観保全,鉄塔の有効利用等の観点から,一つの鉄塔に複数局の送信アンテナを設置する鉄塔共用形式が採られる場合がある¹⁾.鉄塔側

面に配置されるアンテナユニットには,ダイポールアンテナや双ループアンテナを基本とする反射版付きアンテナが一般に用いられている^{1)~3)}.

鉄塔の強度や景観の観点から,鉄塔からはみ出すアンテナの寸法はできるだけ小さいことが望ましい.現在よく使われている面アンテナユニットは,反射板と放射素子との間隔は 0.25 波長程度が基本である.

一方,反射板との間隔を極めて小さくできる構造のアンテナとしてパッチアンテナがある.パッチアンテナは導体地板との間

に誘電体を挟んだ三層構造になっており、導体パッチの形状は円形と矩形が最もよく用いられている⁴⁾。

本報告では、鉄塔側面に設置する各面アンテナとして、極めて薄型で構造が簡単で製作が容易という特徴を有するパッチアンテナの使用の可能性を、インピーダンスの面から実験的に検討した結果について述べる。放射指向性については、これまでにある程度検討をしており、その一部を報告している^{5)~6)}。

2. パッチアンテナ

パッチアンテナはマイクロストリップアンテナとも呼ばれ、導体パッチ、誘電体そして導体地板の三層構造の板状アンテナである。Fig.1 に長さL、幅Wの矩形の導体パッチを用いたパッチアンテナの概要を示す。パッチと地板との間隔tは波長に比べて極めて小さくできて、他の反射板付きアンテナに比較して極めて薄型にできるという特徴を有している。

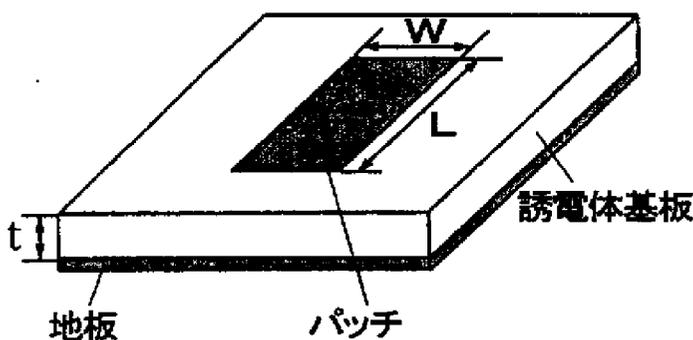


Fig.1 パッチアンテナ

Fig.2に示すように、パッチの長さLが $\lambda/2$ (λ : 波長)の場合に、パッチの一端から給電し他端を開放する(1/2 波長パッチアンテナという)と、パッチの両端と地板との間には Fig.3 に示すように、大きさが等しく向きが逆の電界が生じる。従って、パッチ

の両端には、この電界と直交する向きに、すなわちパッチの両端に沿ってパッチの幅Wと同じ長さの磁流スロットが形成される。電波はこの磁流スロットが波源となって放射されると考えられる。この場合の放射指向性図は、反射板付き半波長ダイポールアンテナとほぼ同じになる。

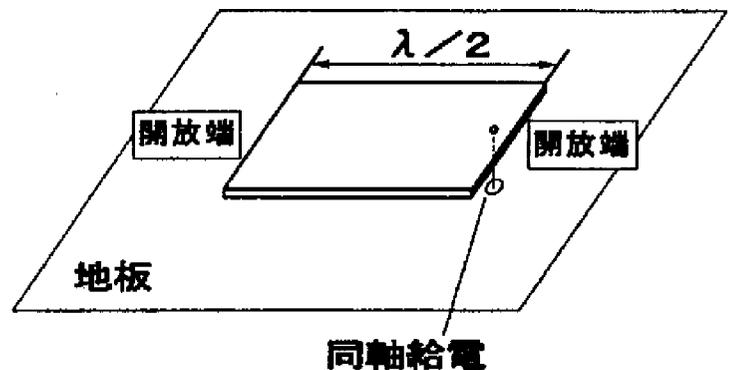


Fig.2 矩形 $\lambda/2$ パッチアンテナ

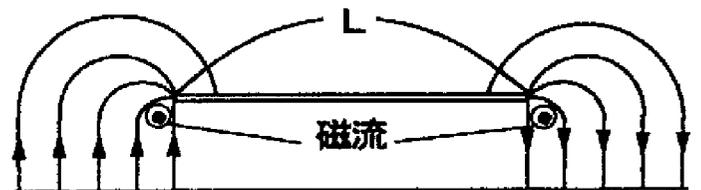


Fig.3 $\lambda/2$ パッチアンテナの電界分布

Fig.4 に試作した $\lambda/2$ パッチアンテナをネットワークアナライザを利用して行った入力インピーダンスの実験結果を示す。試作アンテナは、中心周波数を 958MHz に設定しており、パッチおよび地板には厚さ 2mm (中心周波数で約 0.0064 波長) のアルミニウム板を使用し、誘電体は空気、地板からパッチまでの高さ t は 15 mm (約 0.0479 波長)、パッチの長さLは 140mm (約 0.447 波長) である。Fig.4 より、中心周波数付近の電圧定在波比VSWRは 5 以上であり、このままでは放送用アンテナには使用不可である。

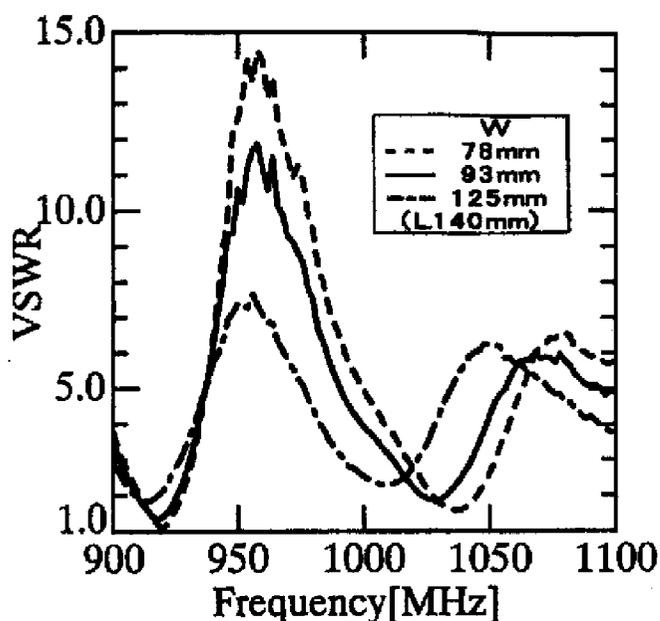


Fig.4 $\lambda/2$ パッチアンテナのVSWR特性

3. $\lambda/4$ 短絡型パッチアンテナ

3.1 概要

Fig.5 に $\lambda/4$ 短絡型パッチアンテナを示す.このアンテナはパッチの一端を地板と短絡し,他端を開放した構造であり,給電点は短絡端と開放端との間にある.開放端から短絡端までのパッチの長さをほぼ $1/4$ 波長にすることから $\lambda/4$ 短絡型パッチアンテナと呼ばれる.

この構造のアンテナは給電点の位置を変化させることによって入力インピーダンスが変わる.パッチの全長がほぼ $1/4$ 波長であるので,給電点から短絡端側を見たインピーダンスは誘導性リアクタンス,給電点から開放端側を見たインピーダンスのリアクタンスは容量性であると考えられる.よって給電位置を調整することによりアンテナのインピーダンスを変えることができるので,給電線の特性インピーダンスと整合を取り易くなる.

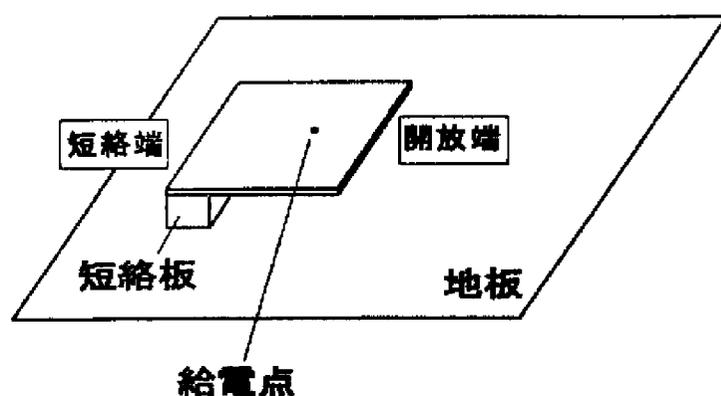


Fig.5 $\lambda/4$ 短絡型パッチアンテナ

3.2 実験に用いたアンテナの構造

Fig.6 に実験に用いた $\lambda/4$ 短絡型パッチアンテナの側面図を示す.図に示したように, L_f を給電点から開放端までの長さ, L_s を給電点から短絡端までの長さとしている.今回は $W=93\text{mm}$ (中心周波数 958MHz で約 0.3 波長), $t=15\text{mm}$ (同約 0.05 波長) として実験を行った.

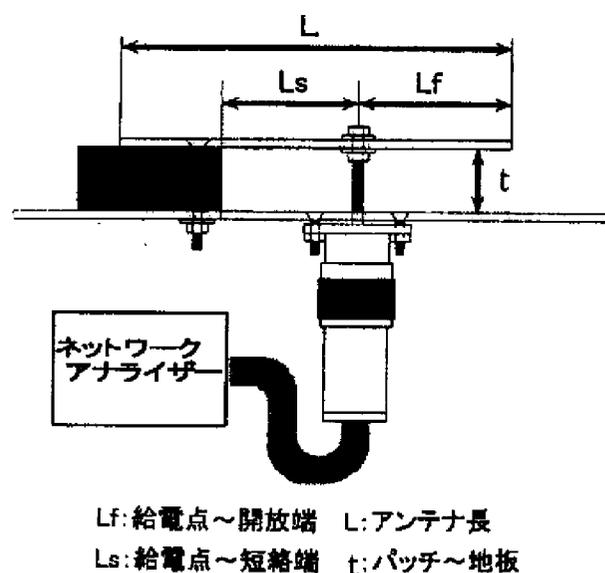


Fig.6 $\lambda/4$ 短絡型パッチアンテナの側面図

3.3 L_s を変化したときのインピーダンスの変化

Fig.7 に L_f を 37mm (中心周波数で約 0.12 波長) 一定に保って, L_s を変化させたときの入力インピーダンスの測定結果を示す.図より L_s を大きくするにつれて

VSWR が最小となる周波数が低い方にシフトすることがわかる。

設計中心周波数 958MHz で VSWR が最小となるのは, L_s が 31mm (同約 0.10 波長) のときであり, 958MHz における VSWR 値はほぼ 1.05 という結果が得られた。

なお, Fig.6 でパッチと地板とを短絡している金属片のパッチからはみ出している部分の大きさが及ぼす入力インピーダンスの変化は, 今回の実験アンテナに関しては, ほとんどないことを予備実験で確認している。

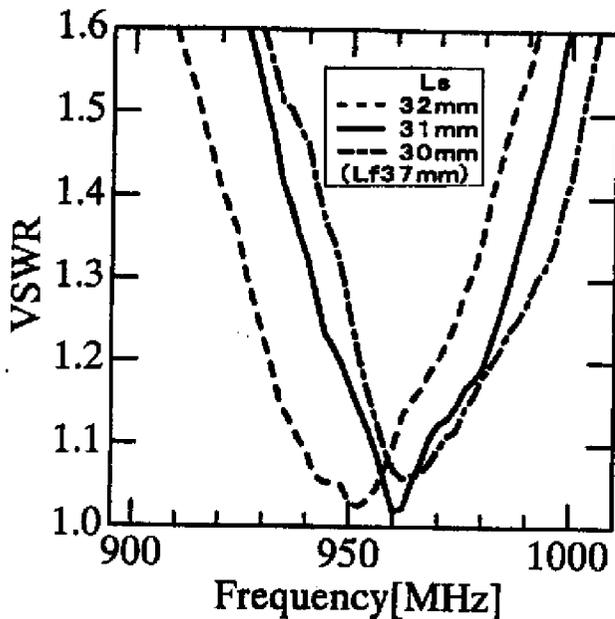


Fig.7 L_s によるVSWR特性(L_f :一定)

3.4 L_f を変化したときのインピーダンスの変化

Fig.7より, L_f を 37mm 一定にしたときには L_s が 31mm のときに設計中心周波数における VSWR が最小となることがわかった。そこで今度は, L_s を 31mm 一定として L_f を変化したときの入力インピーダンスの変化を測定した。結果を Fig.8 に示す。

Fig.8 より, L_f を大きくするにつれて VSWR が最小となる周波数は低くなる

方へシフトし, 実験を行った中では前節と同じく, L_f が 37mm のときに設計中心周波数で VSWR が最小になるという結果が得られた。

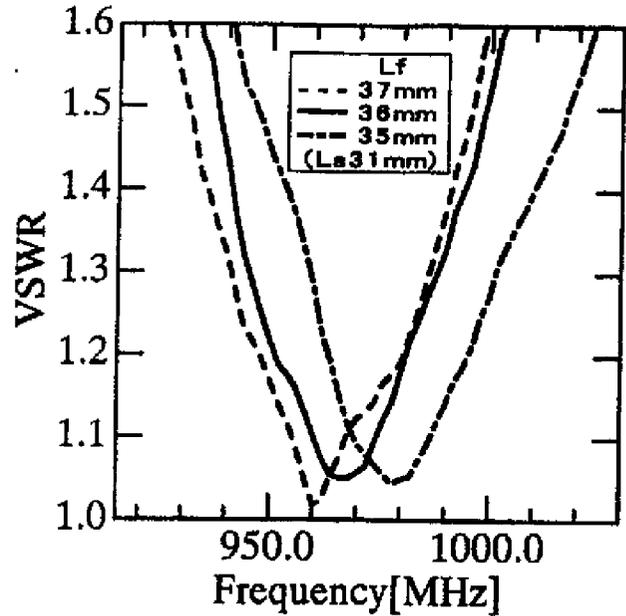


Fig.8 L_f によるVSWR特性(L_s :一定)

3.5 アンテナの最適構造

逆 F 形パッチアンテナの L_s と L_f の寸法を変えることによって VSWR が最小になる周波数が移動することを前節に示した。3.3 では L_s を大きくすると共振周波数は低い方へシフトすることを示し, 3.4 では L_f を大きくすると共振周波数は低い方へシフトすることを示した。このことから L_f を少し大きくして L_s を少し小さくしたり, またはその逆によって, 設計周波数でより良い整合が得られる可能性があると考えられる。

Fig.9 は L_f を 37mm から 1mm ずつ減らしてその代わり L_s を 31mm から 1mm ずつ増やした場合の VSWR 特性を示した図である。図より $L_f=37\text{mm}$, $L_s=31\text{mm}$ のときに設計中心周波数 958MHz で VSWR が最小となり, その値は 1.058 であった。

以上の結果より, $W=93\text{mm}$ のときの最適構造は $L_f=37\text{mm}$, $L_s=31\text{mm}$ 付近であるといえる。

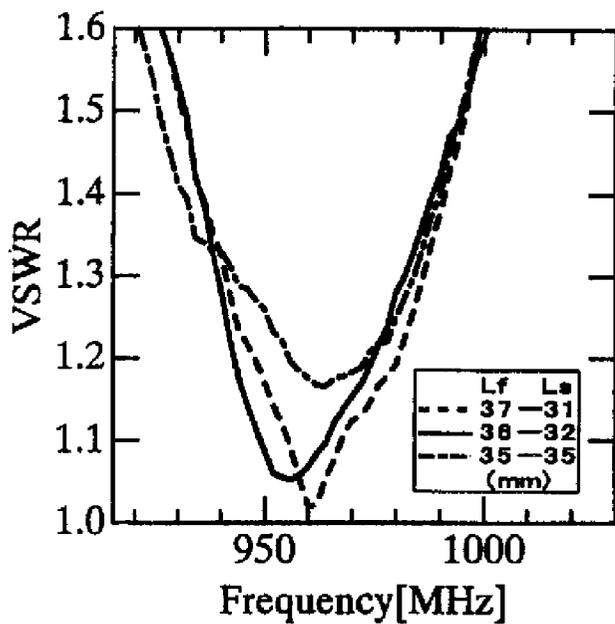


Fig.9 共振付近でのVSWR特性

4. 突き合わせパッチアンテナ

$\lambda/2$ パッチアンテナの放射指向性図は $\lambda/2$ ダイポールアンテナのそれとほぼ同じであり, 鉄塔側面に設置して放送用アンテナとして利用できる可能性があるが, その入力インピーダンス特性に問題があった。我々はこの問題を, Fig.10 のように, $\lambda/4$ 短絡型パッチ 2 個の, 短絡端を突き合わせた構造の $\lambda/2$ パッチアンテナにすることによって解決することを試みた。

前述のように $\lambda/4$ 短絡型パッチアンテナは L_f と L_s とを調節することによって給電線と整合させることができる。整合させた $\lambda/4$ 短絡型パッチアンテナを Fig.10 のように構成して 2 つの $\lambda/4$ 短絡型パッチを π だけ位相をずらして給電することによって給電線に整合する $\lambda/2$ パッチアンテナを構成しようとするものである。

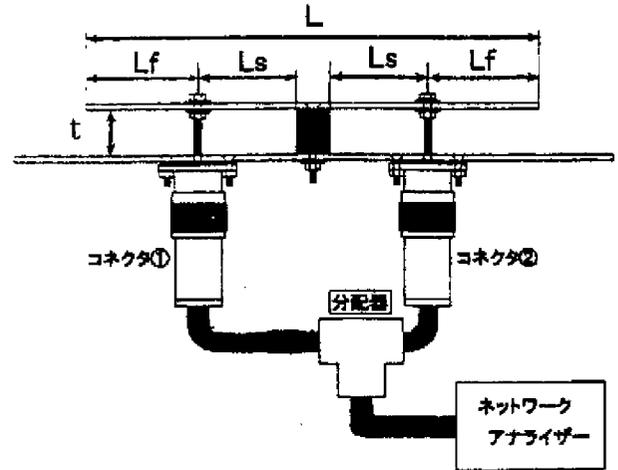


Fig.10 突き合わせパッチアンテナの側面図

Fig.11 に試作した突き合わせパッチアンテナの VSWR 特性を示す。 $L_f=37\text{mm}$, $L_s=31\text{mm}$ のときの特性を見ると, 前述の $\lambda/4$ 短絡型パッチアンテナ単体のときよりも VSWR が全体的に大きくなり, 設計中心周波数 958MHz での値は最小で 1.27 程度という結果になった。

また, L_f を 36mm, 35mm と小さくした場合に, VSWR が最小となる周波数が 1030MHz 付近まで大幅に高い方にずれて VSWR の最小値は 1.7 程度となっている。

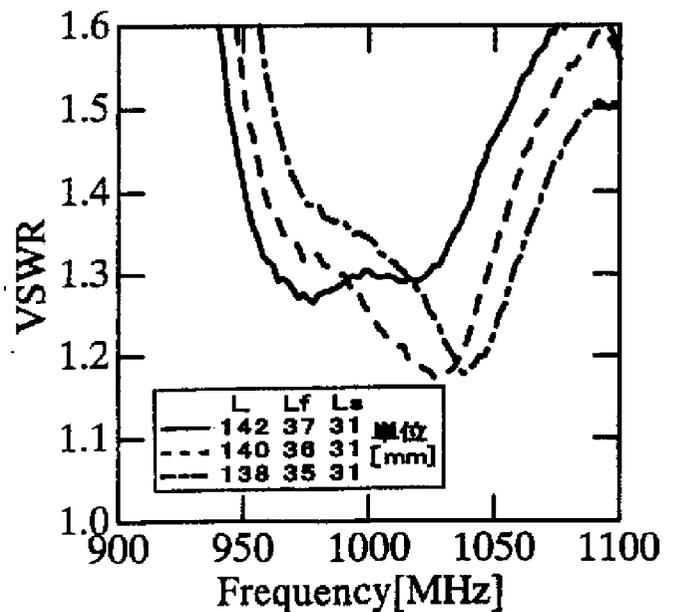


Fig.11 突き合わせパッチアンテナのVSWR特性

以上のように,突き合わせパッチアンテナのインピーダンスは $\lambda/4$ 短絡型パッチアンテナ単体のときよりも,寸法の変化に敏感であると言える.

テレビジョン放送用アンテナのインピーダンス整合の標準は現在必要帯域幅内で VSWR を 1.05 以内とされている.本アンテナの現在の特性では VSWR1.27 程度であり,まだまだ改善しなければならない.

5. むすび

反射板付き半波長ダイポールアンテナと同等の放射指向特性を有する半波長パッチアンテナは給電線とのインピーダンス整合に難点がある,著者らは $1/4$ 波長短絡型パッチアンテナが比較的インピーダンス整合をさせ易いことに着目して,整合した2個の $1/4$ 波長短絡型パッチアンテナの短絡端を突合せて接合した構造とし,それぞれの給電端子対に互いに π だけ位相をずらして給電することにより半波長パッチアンテナを構成することを提案した,

本アンテナの VSWR の値は設計中心周波数で 1.27 程度となり,これは $1/4$ 波長短絡型パッチアンテナ単独のときの 1.05 程度に比べて大きな値である,原因については今後検討して究明したい,

現在のテレビジョンアナログ放送用アンテナの VSWR は,大電力局で 1.05 以下,小電力局では若干大きな VSWR を許すとされている,デジタル放送では若干大きな VSWR が許されるかも知れないが,今後一層 VSWR を改善するべく検討を続けるつもりである,

最後に,アンテナの製作に協力をいただいた岩手大学工学部技術専門職員徳田

春男氏に謝意を表する,

参考文献

- 1) テレビ放送アンテナ 50 年史出版委員会編集発行:テレビアンテナ五十年史,兼六館出版印刷,出版事業実施責任者遠藤敬二, 1989.3.22.
- 2) 電子通信学会:アンテナ工学ハンドブック, オーム社, 7 章, 1980.10.30.
- 3) 石橋俊夫,遠藤敬二:テレビ送受信とその機器, コロナ社, p27, 昭和 58.7.10.
- 4) Constantine A. Balanis : Antenna Theory Analysis and Design(2nd Edition), John Wiley & Sons, Inc., Ch.14,(1982).
- 5)久保田賢二他: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).
- 6)野村浩志他: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).