

UHFテレビジョン放送用広帯域アンテナ

Broad-Band Antenna for UHF-TV Broadcasting

真下知安* Tomoyasu Mashimo
安達芳男* Yoshio Adachi

UHFテレビジョン放送の多チャンネル化に伴い、従来よりも広帯域なアンテナシステムのニーズが強くなっている。これに対処するために、システム構成の基本要素であるアンテナユニットとして適用帯域が広い4ダイポールアンテナを開発した。反射板上に4組みの1波長ダイポールを配置した構造を基本に、ダイポールの形状及び給電方法の検討と改良を行ない、VSWR1.15以下、470~790MHzというインピーダンス帯域の拡張目標を達成した。

この4ダイポールアンテナの水平指向性は、従来のアンテナユニットと同じく4面合成で無指向性となるようにしてあるので、各種の指向性アンテナシステムを構成することが可能である。

本稿では広帯域化の検討結果を述べるとともに、幾つかのアンテナシステムの構成例についても紹介する。

1 緒言

テレビジョン放送用アンテナシステムは放送地域の地勢などによって、無指向性(全方向性とも言う。)形と有指向性形に大別できる。システムの基本要素となるアンテナユニットは、UHF帯の場合、これら二つの要求に応じられる特性・構造のものが望ましい。我が国や欧州などでは、この目的を達成しやすい指向性をもつことから反射板付のダイポール系やループ系アンテナがよく用いられている。

近年、我が国ではテレビジョン放送局のネットワーク化拡大に伴い、多チャンネル化の傾向が著しい。このため、特に中継放送所などでは、その立地条件や経済性から一つのアンテナシステムで多チャンネルを同時に使用する方法(すなわち、多チャンネル共用アンテナシステム)が早くから採用されている。しかし、チャンネル割当ての関係から、使用周波数帯が相当離れる(広がる)ことがあり、従来の帯域分割形アンテナユニットで構成したシステムにより、アンテナを共用することは困難な場合が多くなっており、より広帯域なアンテナユニットの開発が望まれていた。

一方、中近東、アフリカ、東南アジア諸国でも第2テレビジョン放送網にUHF帯を使用する例が多く、多少のチャンネル変更にも応じられるような広帯域アンテナシステムの要求が強い。

これらのニーズに対処して、日立電線株式会社では新たに、4組みの1波長ダイポール列から成る反射板付4ダイポールアンテナユニットを開発した。このユニットは1種類でUHFの全周波数帯域をカバーできる超広帯域特性をもつもので、使用電力により大電力用(基幹放送所用)と小電力用(中継放送所用)の2種類としている。

本報告では、大電力用広帯域4ダイポールアンテナユニットの構造と特性を中心に、アンテナシステムに適用した場合の合成指向性について述べる。

2 4ダイポールアンテナの構造と特性

2.1 アンテナユニットの基本形状

4ダイポールアンテナそのものは既存の技術であり¹⁾、図1に示すような形状である。基本的には1波長ダイポール(放

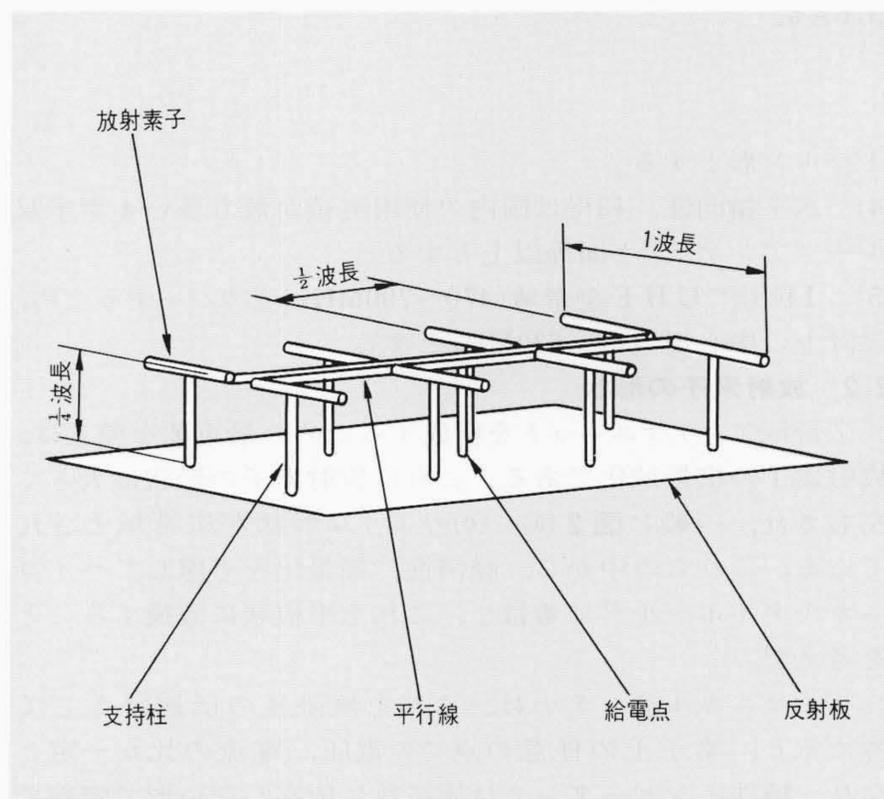


図1 4ダイポールアンテナの基本形状 VHF用では反射板はすだれ状、UHF用では1枚板である。

射素子、実際には約0.7~0.8波長)を1/2波長間隔で4組み配置し、それらを平行給電線で接続した構造である。反射板の幅は1波長程度で、反射板と放射素子の間隔は約1/4波長程度(これらは、指向性やインピーダンス特性から決定される。)に選ばれる。

広帯域化の検討に当たり、次の点に留意した。

- (1) 放射素子は形状を広帯域化するとともに、インピーダンスを 200Ω に設計し、4素子並列給電によりアンテナユニットの入力インピーダンスを 50Ω とする。
- (2) 放射素子とのインピーダンス整合を得るために、平行線の特異インピーダンスも 200Ω とする。
- (3) 給電点は大電力化の目的でWX-39Dの採用を可能にするため、また水平指向性の左右対称性を保つために、スプリッ

* 日立電線株式会社日高工場

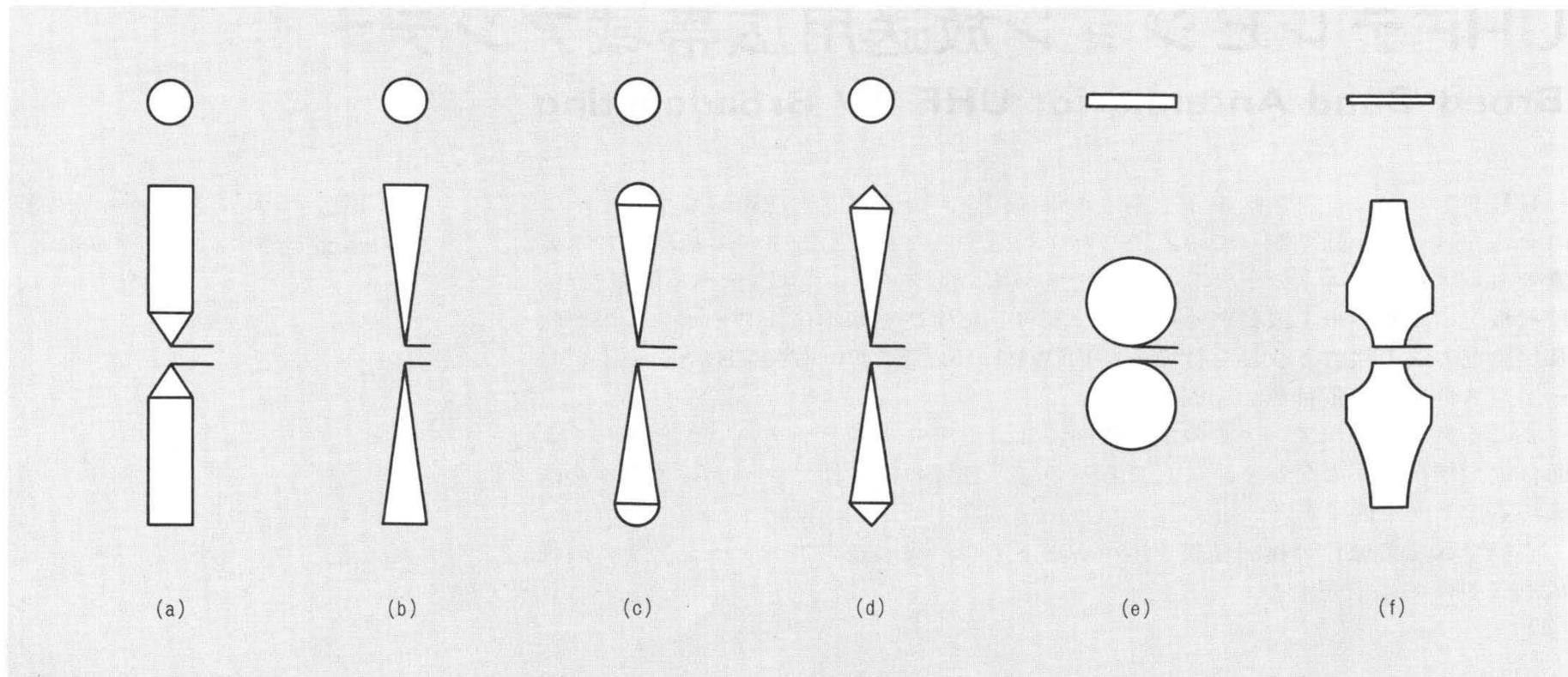


図2 広帯域放射素子の形状 (a)は棒状, (b)~(d)はバイコニカル形, (e)は円板状, (f)は(d)の変形である。今回の4ダイポールアンテナの放射素子の形状は(f)である。

トバルン形とする。

- (4) 水平指向性, 利得は国内の使用実績が最も多い4素子双ループアンテナ²⁾と同等以上とする。
- (5) 1種類でUHF全帯域(470~790MHz)をカバーするため, 設計上の中心周波数を630MHzとする。

2.2 放射素子の形状

広帯域アンテナユニットを構成するための最重要な要素は, 放射素子の広帯域化である。これは放射素子の形状に大きく左右され, 一般に図2(a)~(e)のような形状が広帯域とされている。これらの中から, 経済性, 軽量化を考慮してバイコニカルダイポール³⁾に着目し, これを平板状に置換することを考えた。

バイコニカルアンテナは, これを無限長の伝送路として考えると, 素子上の任意の点での電圧, 電流の比が一定となり, 特性インピーダンスは周波数に依存しない形で定義できることが知られており, 基本的に広帯域特性をもつ。しかし, これを平板上に置換すると基本形状が変わってしまうこと, アレイ構成とした場合は素子間の相互インピーダンスの影響を受けることなどから周波数への依存度が大きくなる。これらを考慮して素子の形状は実験により決定した。

その結果, 得られた形状は図2(f)のようなものである。この形状のパラメータは多いが湾曲部に特徴がある。

2.3 インピーダンス帯域

アンテナユニットの性能を表わす特性には, 水平指向性, 垂直指向性, 利得, インピーダンス, 許容電力などがある。インピーダンスを除く他の特性は, 構造的にほぼ決まってしまうことが多い。しかし, インピーダンスは通常公称値に対する周波数変化が大きく, 広帯域化の場合, 最も問題となる特性である。一般には, このインピーダンス特性は電圧定在波比(以下, VSWRと略す。)で表現しており, 本ユニットの場合には国際的に通用する値として, 470~790MHzで1.15以下にすることを目標にした。

VSWRの広帯域化を実現するために下記の工夫をした。

- (1) 平行給電線を延長してトラップ回路を設ける。
- (2) 放射素子の支柱をプラスチック材とする。

- (3) 平行給電線のインピーダンスを部分的に変える。
- (4) 給電点スプリットバルンにトラップ回路とインピーダンス変換回路を設ける。
- (5) 防雪カバーは, 風圧荷重耐力及びVSWR変化防止の点から, 誘電率をできるだけ小さくしたFRP(ガラス繊維強化プラスチック)製とする。

以上の結果から, VSWR特性をチェビシェフ形フィルタと同じような特性にすることができ, 広帯域化を達成した。

2.4 アンテナユニットの特性

広帯域化した4ダイポールアンテナユニットのVSWR周波数特性は図3に示すとおりで, 開発目標を上回って470~860MHzにわたり1.15以下に調整することができた。

また, 使用周波数帯域を限定すれば200MHz程度の範囲内でVSWRを1.1以下に調整することも可能である。

水平指向性及び垂直指向性の実測結果は図4に示すとおりで, 周波数が高くなるに従い指向性は細くなる傾向にある。

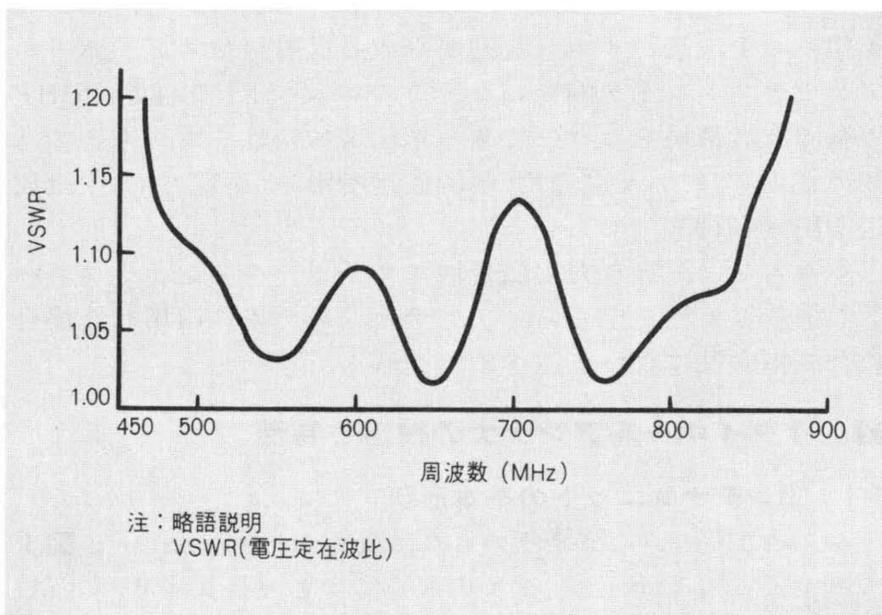
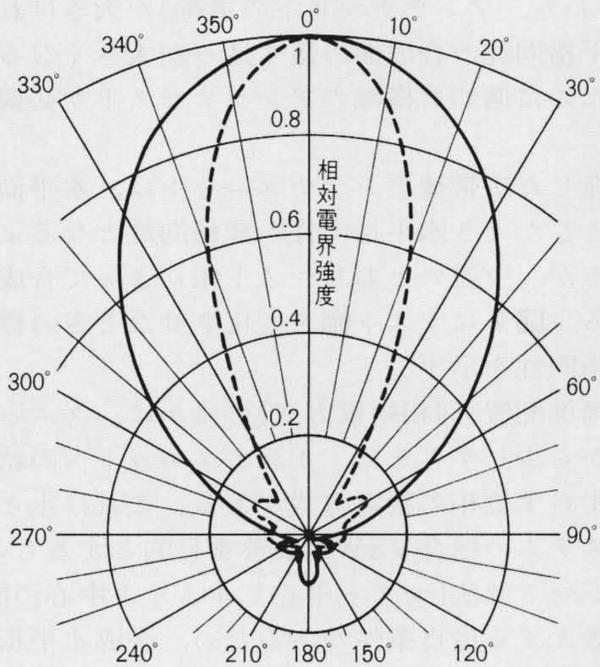
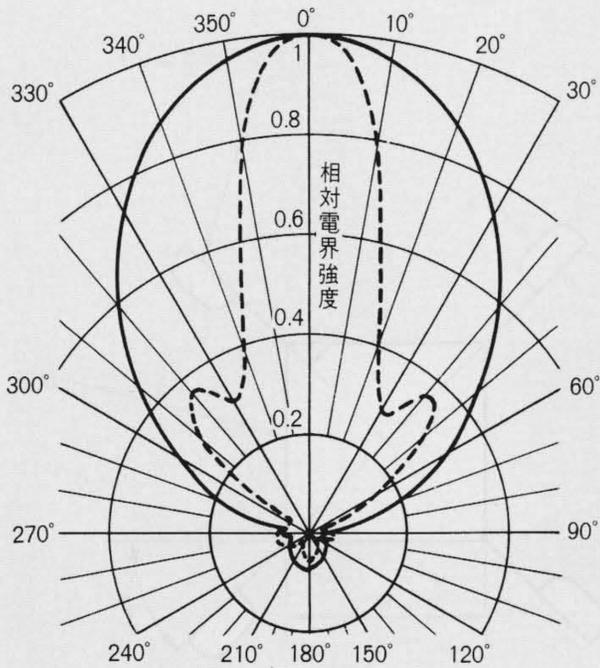


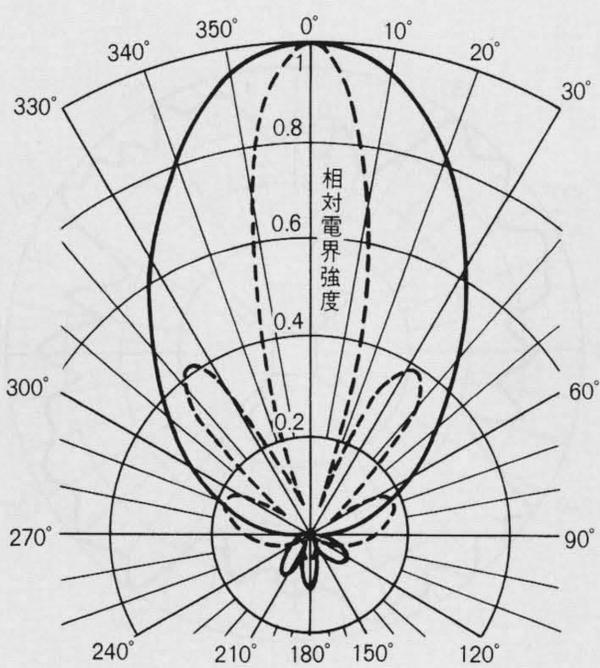
図3 広帯域4ダイポールアンテナのVSWR特性 VSWR(電圧定在波比)の規準インピーダンスは50Ωである。VSWR≤1.1の場合, 帯域を約200MHz程度に調整可能である。



(a) 470MHz



(b) 630MHz



(c) 790MHz

注：—— 水平指向性
 - - - 垂直指向性

図4 広帯域4ダイポールアンテナの水平指向性及び垂直指向性
 周波数が高くなると、指向性は細くなる傾向である。

垂直指向性は、最高周波数でも俯角20度程度まではヌルレスであり、実用に十分供することができる。

利得周波数特性は図5に示すとおりで、図4の指向性の実測値から求積法により算出したものを、標準半波長ダイポールアンテナの指向性を基準(電力を1, すなわち0dB)とした相対利得で示してある。利得は周波数が高くなるに従い高くなっているが、これは上述の指向性の結果と一致する。

図6に、完成した大電力用4ダイポールアンテナユニットの外観を示す。大電力用は給電点のサイズをWX-39D形としているので、使用周波数770MHz, 周囲温度50°Cの場合は1.9kW(CW波)まで入力電力を許容できる。

小電力用も特性はほとんど同じである。給電点のサイズはWX-20D形としてあるため、同一条件での許容入力電力は0.7kW(CW波)である。

3 無指向性アンテナシステムへの適用例

3.1 アンテナマスト取付け

一般にUHFテレビジョン放送用アンテナは、自立式ないし支線式鉄塔の頂部に設置されたアンテナマストに取り付け

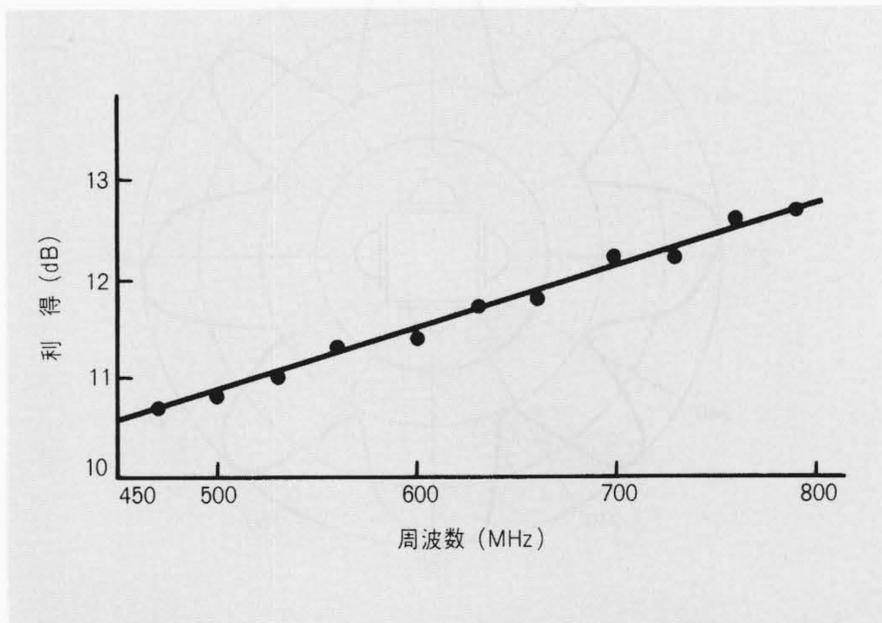


図5 広帯域4ダイポールアンテナの利得 利得は標準ダイポールアンテナ比(相対値)である。利得は水平、垂直指向性から求積法により算出した。

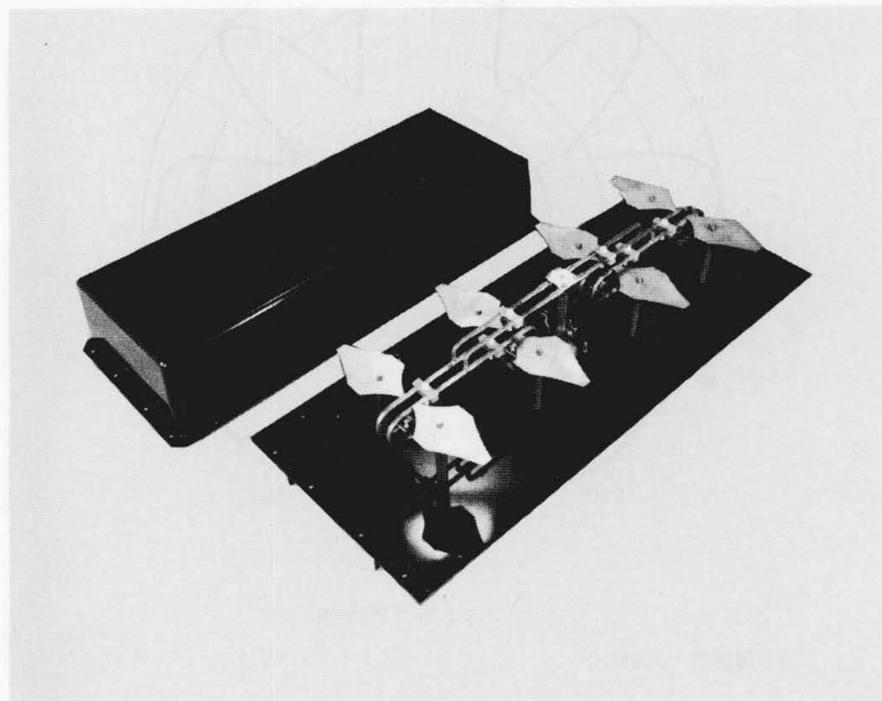
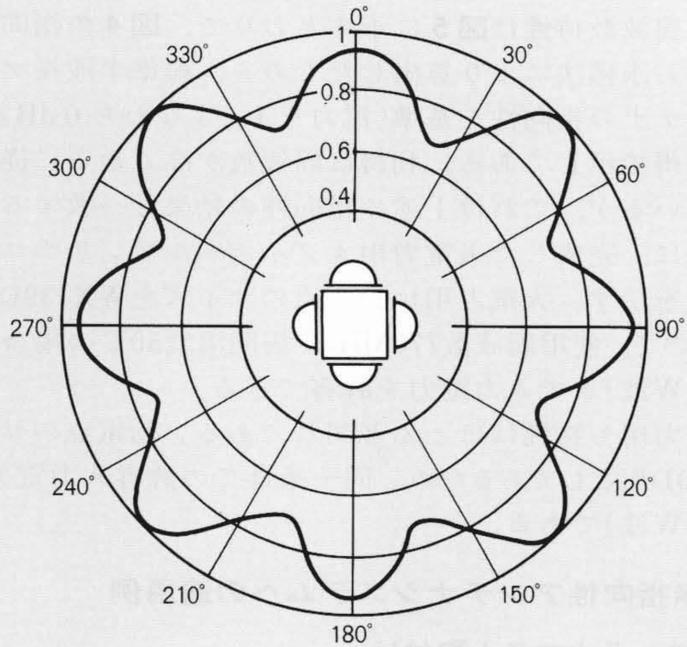
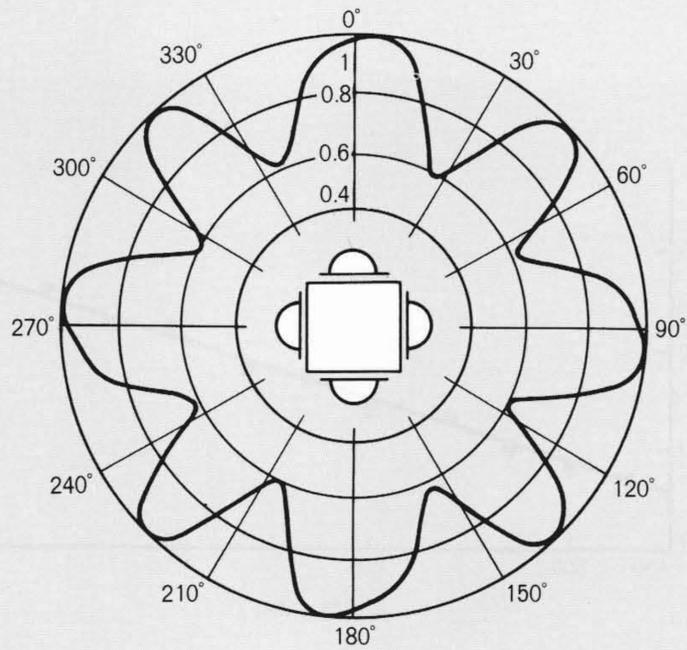


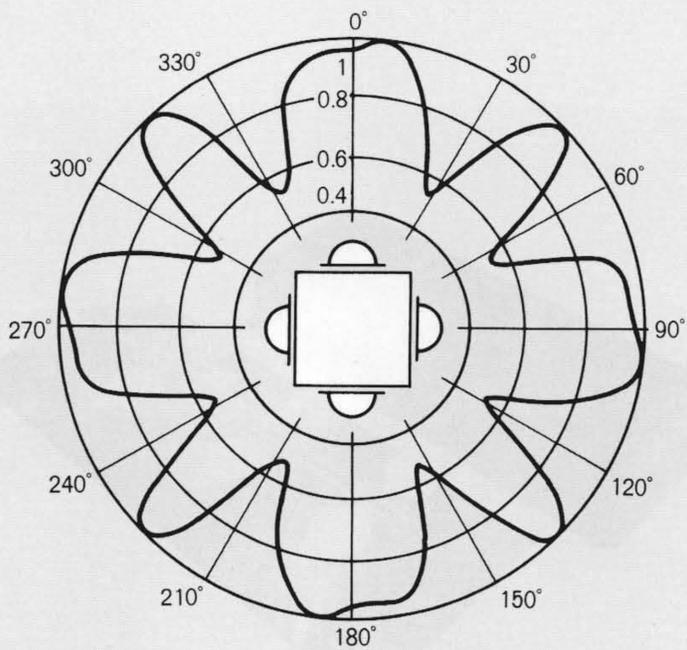
図6 広帯域4ダイポールアンテナの外観 放射素子の形状及び給電方法に特徴がある。



(a) マスト幅 600mm



(b) マスト幅 800mm



(c) マスト幅 1,000mm

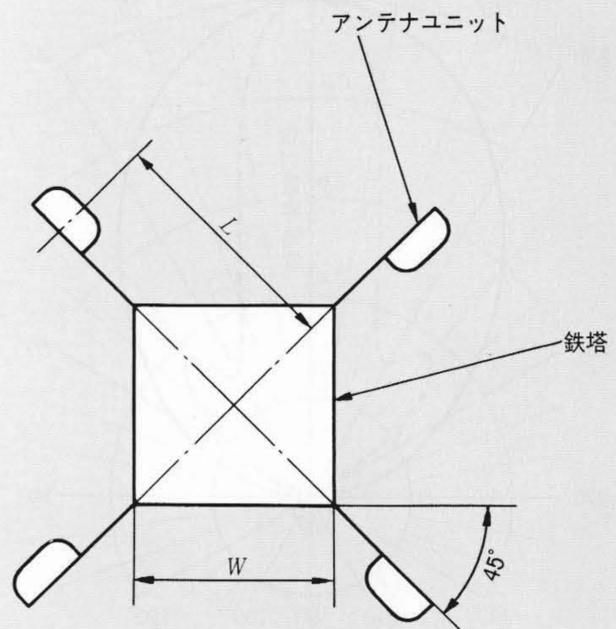
注：周波数 550MHz

図7 無指向性アンテナ4面標準配置のときの合成水平指向性
アンテナマスト幅が大きくなると、指向性の落ち込みが大きくなる。

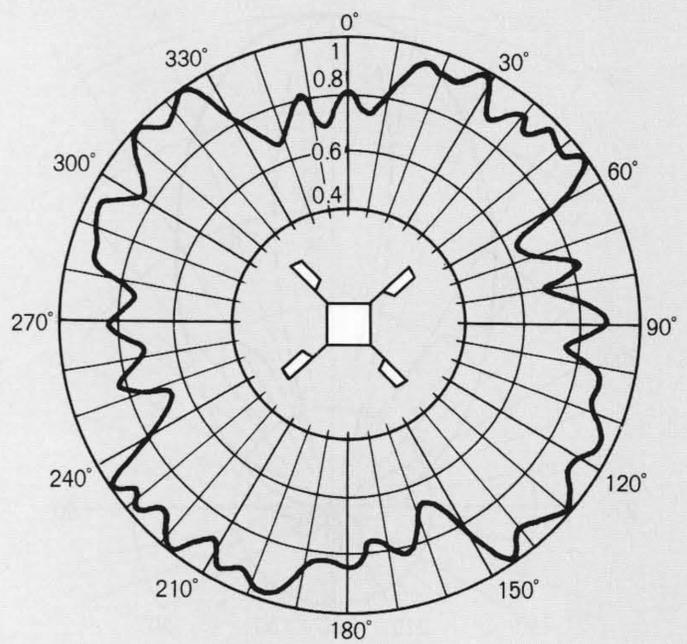
る構造が多い。これは、アンテナユニットを取り付けるスペース(すなわち、アンテナマストの横幅)が大きければ大きいほど、水平指向性の合成面の落ち込みが大きくなるので、これを防ぐために適切な横幅のアンテナマストが必要となるためである。

今回開発した広帯域アンテナユニットは、水平面内で90度4面配置としたとき水平指向性が無指向性となるように設計されているが、上述のとおりマスト幅によって合成水平指向性が変わる。図7にマスト幅を変化させたときの標準配置の合成水平指向性を示す。

図7の標準配置(同相給電方式)のほかに、ユニットをマストの中心から少しずらして、4面のユニットへの給電位相を90度ずつずらす位相差給電方式がある。これは主として、アンテナシステムの総合VSWR改善を目的とするもので、給電位相差とシフト寸法(マスト中心とユニット中心の間隔)は周波数を関数とする最良条件があるため、合成水平指向性は本質的に広帯域にはならない。



(a) アンテナユニットの配置



注：—— 530MHz, $L=1,655\text{mm}$, $W=1,500\text{mm}$

(b) 合成水平指向性

図8 無指向性アンテナ, 45度スキュー鉄塔取付けの配置及び合成水平指向性
合成水平指向性は、周波数と鉄塔幅 W 及び突出し長さ L により変化する。

3.2 鉄塔取付け

テレビジョン放送所の立地条件あるいは経済性の点から、既設鉄塔にUHFアンテナを取り付けたいという要求がある。

一般に既設鉄塔はVHF放送用鉄塔に見られるように、鉄塔の直径ないし横幅がUHF帯の波長に比べて相当大きいので、上述の標準配置やシフト配置のように鉄塔側面にアンテナユニットを取り付けたのでは、合成水平指向性の落ち込みが大きくなる。これは図7からも明らかである。

このような場合、もし広帯域の合成水平指向性を必要としないならば、スキュー配置⁴⁾という特殊な方法がある。その配置は図8(a)に示すとおりアンテナユニットを鉄塔の中心に对称に配置し、ユニットの水平指向性を接線方向になるようにしたものであるが、UHF帯での実績はなかった。

図8(b)は、実際に納入した4面スキュー配置の合成水平指向性である。アンテナユニットの水平指向性は、鉄塔反射の影響や他の構造物の反射の影響を受けてかなりひずむので、合成水平指向性もゆがんだ形となるが、落ち込みは4 dB程度で実用上の問題はない。

スキュー配置では、鉄塔中心とアンテナユニット中心の間隔は周波数と密接な関係にあり、合成水平指向性は大きな周波数変化を示す。また、給電位相は同相及び90度位相差の両方とも可能である。



図9 小電力局指向性アンテナの外観 上段のアンテナは従来の双ループアンテナ、下段が広帯域4ダイポールアンテナによる4チャンネル共用アンテナ(566~758MHz)である。

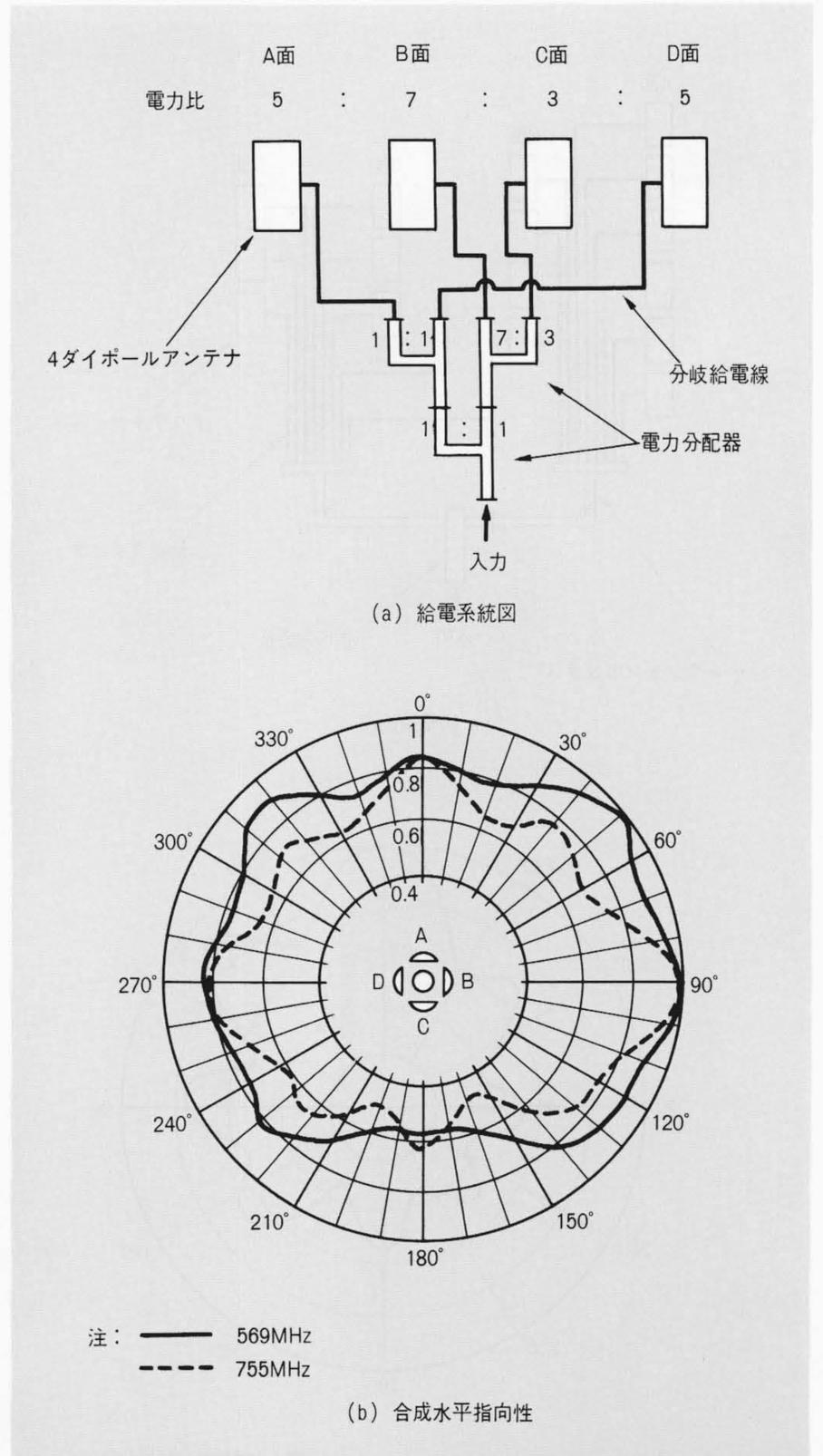


図10 小電力局指向性アンテナの給電系統図及び合成水平指向性 電力分配器により、水平指向性を変化させている。分岐給電線の位相調整が重要である。

4 有指向性アンテナシステムへの適用例

4.1 小電力局用

中継放送所などの小電力局のアンテナシステムの水平指向性は、放送地域の地勢に合わせて大部分が有指向性である。例えば、アンテナユニットが4面配置の場合でも給電部品の電力分配器などによって、各面への供給電力を変えて有指向性形の合成水平指向性を得ている。

図9に、広島地区民間放送局4社に納入した中継放送所の送信アンテナの外観を示す。上段は既設の双ループアンテナで、下段が新設の広帯域4ダイポールアンテナによる4チャンネル共用アンテナである。この4チャンネル共用アンテナの給電系統図を図10(a)に示す。

アンテナユニットはA面、B面、C面、D面とも1段1面ずつの構成とし、電力比を順に5 : 7 : 3 : 5で給電している。すなわち、合成水平指向性は図10(b)に示すように、電界

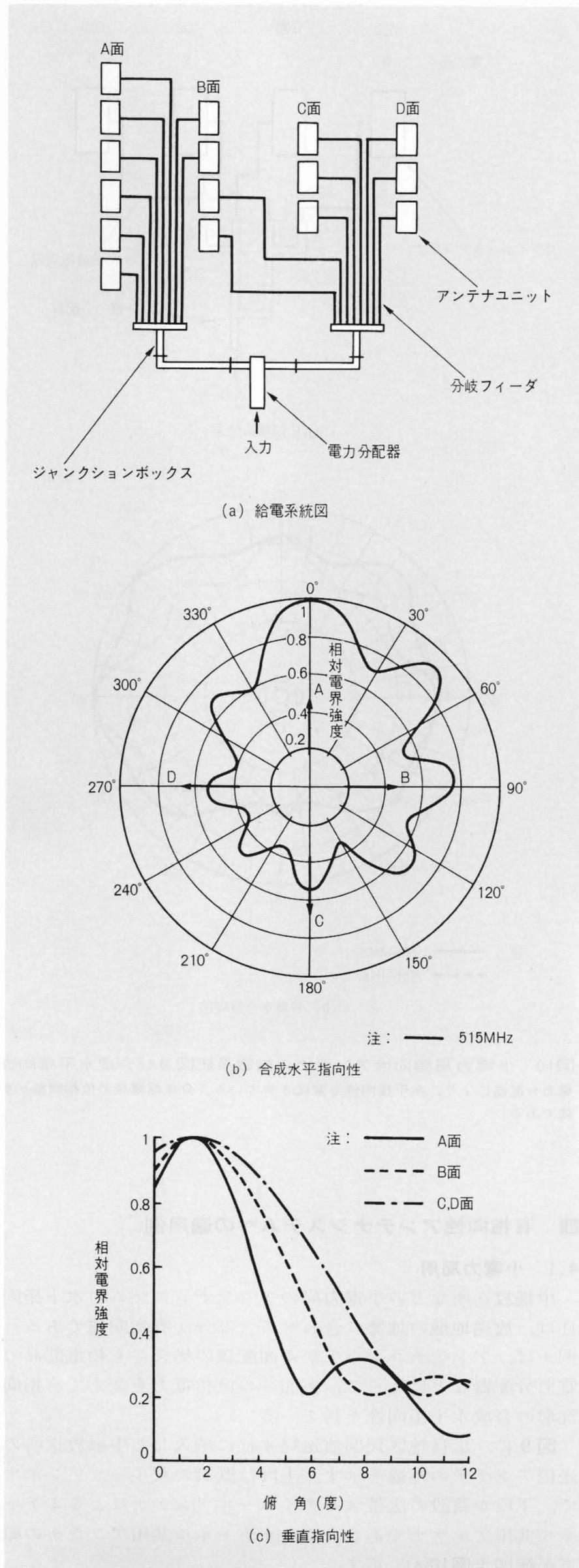


図11 大電力局用指向性アンテナの給電系統図、合成水平指向性及び垂直指向性の例 各アンテナユニットへは等電力で給電しているが、アンテナユニットの段数差により合成水平指向性を有指向性にしていく。

強度の最大方向であるB面に対して、A面とD面は約 $\frac{3}{4}$ 、C面は約 $\frac{1}{2}$ の電力となる。使用周波数帯域が566~758MHzと広いこととともに、このように異電力給電を行なっているため、合成水平指向性の調整には位相差給電を採用するなど、かなりの検討を要した。

垂直指向性は各面とも1段であるため、アンテナユニットの特性と変わらない。また、VSWRは電力分配器からアンテナ側を見て、使用周波数帯域を1.15以下に調整してある。

4.2 大電力局用

大電力放送用アンテナでは、実効輻射電力を大きくして放送地域をできるだけ広げる必要があることから、垂直面にアンテナユニットを多段配置(スタック)して電力利得を高くすることが多い。

図11(a)に国外向けの30kWアンテナシステムの給電系統図を示す。アンテナユニット数はA面6段、B面4段、C面及びD面は各3段で、各面間の配置角は90度、アンテナマスト幅は600mm正方形である。

各アンテナユニットへは等電力(実効値で約1.5kW)給電しているが、合成水平指向性は図11(b)に示すように有指向性形である。この理由は、電力差給電の代わりにアンテナユニットの段数差による電力利得差で各方向の電界強度が変化するためである。すなわち、本例の場合は最大電界強度となるA面に対し、B面は約 $(\frac{4}{6})$ の二乗の電界強度(約-3.5dB)、C面及びD面は約 $(\frac{3}{6})$ の二乗の電界強度(約-6dB)となる。

このように、アンテナユニット段数が異なる場合の垂直指向性は各面共に変わるため、水平指向性の合成面で大きな落ち込みが出やすい。これを防ぐため、図11(c)に示すように垂直指向性は各面共第1ヌル角を約20%ヌルフィルインすると同時に、ビームチルトを各1.5度かけて、更に各面間に位相差を付けている。なお、電力分配器から見たVSWRは使用周波数帯域1チャンネルを1.05以下に調整した。

5 結 言

UHFテレビジョン放送用の広帯域アンテナユニットとして、4ダイポールアンテナの特性について述べるとともに、アンテナシステムへの適用例により、本開発品が実用の上で従来品に比べて大幅に周波数帯域の広い性能をもつことを述べた。

開発品はインピーダンス帯域が超広帯域であるのに対し、水平指向性が高い周波数で細い傾向にあり、今後はこの点の改善を行なうとともに、信頼性の向上、低コスト化に努めたい。

終わりに、本アンテナユニットを初めて採用され、種々の御指導をいただいた株式会社中国放送、広島テレビ放送株式会社、株式会社広島ホームテレビ、株式会社テレビ新広島の関係各位並びに開発に御指導をいただいた日本電気株式会社の関係各位に対して深い謝意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 遠藤：TV・FM放送アンテナ，121~122，日本放送出版協会（昭41-11）
- 2) 遠藤，外：双ループアンテナ，電気通信学会アンテナ研究会資料（昭38-9）
- 3) H. J. Reich, et al.: Very High-Frequency Techniques, Radio Research Lab. Harvard Uni. 1, 93~110, McGraw-Hill (1947)
- 4) 丸山：名古屋教育テレビ放送局用スキューアンテナ，放送技術，（昭36-11）