

スペース共有多面合成アンテナの開発

Development of A Face-Sharing Omni-Directional Multi-Panel Antenna Array

山森 一之*
Kazuyuki Yamamori

茂田 和夫*2
Kazuo Shigeta

大関 勝也*2
Katsuya Oozeki

久保田 賢二*3
Kenji Kubota

清水 保定*4
Yasusada Shimizu

越後 宏*5
Hiroshi Echigo

佐藤 利三郎*6
Risaburo Sato

要 約 地上波デジタル放送の開始に伴い鉄塔幅の広い個所に取り付けられ、スペースを有効に活用できる送信アンテナシステムが期待されている。そこで、従来からある多面合成アンテナの技術を発展させ、2式の多面合成アンテナを同一平面に入れ子構造で配列するスペース共有多面合成アンテナという新しいシステムについて検討を行った。

面アンテナユニットの指向性を双ループアンテナ3素子並列配列としたときの指向性として解析した結果を用い、併せて面アンテナユニット単体の指向性についても検討を行った結果、15面合成で配列半径が12波長程度において良好な指向性を得ることが出来ることが解(わか)った。

1. はじめに

日本では地上波デジタル放送方式としてUHF帯の470～590MHz周波数を使用してOFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex)を用いたISDB-T(Terrestrial Integrated Service Digital Broadcasting)が導入される予定である。

しかしながら、我が国の基幹局送信アンテナをデジタル化する際の課題の一つとしてデジタル用アンテナを取り付けるスペースが限定された条件で、いかに最大偏差の小さい良好な水平指向性を実現するかがあげられる。

そこで、我々は久保田等^{1), 2)}の検討した多面合成アンテナを発展させ、2式の多面合成アンテナを同一平面に入れ子構造で配置するスペース共有多面合成アンテナを検討した。その結果、従来の多面合成アンテナよりコンパクトで、波長に比べて非常に大きい鉄塔幅の場所においても、合成指向性の最大偏差の小さい良好な水平指向性を実現できた。本論文では直径で10波長を超える15面アンテナについて1面の面アンテナユニットの構造及びサイズと水平指向性について理論的考察をし、その結果に基づき実験を行った結果について詳細を以下に述べる。

2. 多面合成アンテナの理論解析

図1に示すように半径 R の円周上に等間隔に面アンテナユニットが N 面配置されているとする。この場合の水平面内の合成指向性関数 $D(\theta)$ は次式で与えられる。

$$D(\theta) = \sum_{i=1}^N f_i(\theta) I_i e^{j\delta_i} e^{jkR \cos\theta_i} \quad (1)$$

ここで、 $f_i(\theta)$ は $\#i$ の面アンテナユニットの指向性関数、 I_i 及び δ_i はそれぞれ $\#i$ 面アンテナユニットへの供給電流の大きさと位相、 k は波数($=2\pi/\lambda$, λ は波長)、 θ_i は

$$\theta_i = \{N - 4(i - 1)\pi / 2N - \theta \quad (2)$$

である。

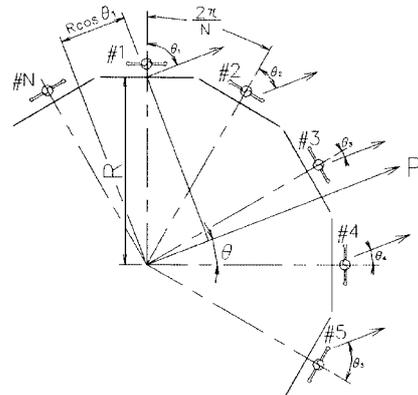


図1 半径 R 上の N 面配置アンテナ図
N antenna panel configuration around a cross section of radius R

* 地上波デジタル放送事業推進チーム

*2 横浜無線事業所

*3 岩手大学工学部

*4 日本電波塔株式会社

*5 東北学院大学工学部

*6 (株)環境電磁技術研究所

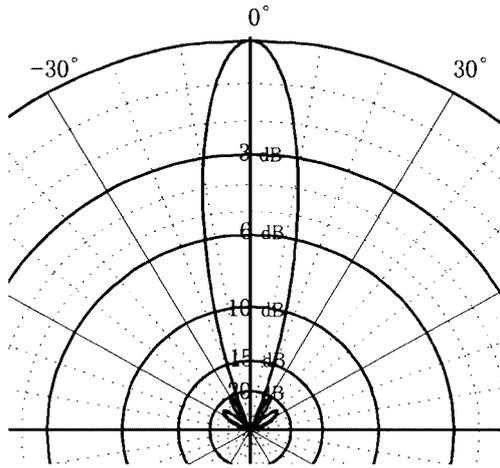


図2 3素子配列双ループアンテナユニット単体指向性
Directivity of unit panel consisting of three-grouped stacked-loop antenna

ここで、面アンテナユニットを3素子並列配列の双ループアンテナとしてその指向性が図2で示されると、15面合成した指向性は図3のように表される。図中の矢印で示される電界強度が一番強い外側の部分と一番弱い内側の部分との差を最大偏差 α_{max} とする。 α_{max} は一般に 6 dB 以下であれば送信アンテナとして実用になるといわれており望むべくは 3 dB 程度になることを目指している。

N面の合成指向性 $D(\theta)$ は (1) 式から解るように半径 R が変化することによって変わる。したがって、 α_{max} も R によって変化しある半径では小さい値となるがその前後の半径では大きくなるということがありうる。すなわち、多面合成アンテナは面数によって最大偏差 α_{max} の極小値が得られる半径 R が定まる。15面合成の指向性計算を行い、想定しているアンテナ取付け半径の 9λ から 13λ の範囲の半径 R と α_{max} との関係を図4の実線に示す。この図から α_{max} は 9λ から 13λ の間では2個所で極小値をとり、半径 R が 9.5λ と 11.8λ のときに α_{max} は最小で約 3 dB となることがわかる。

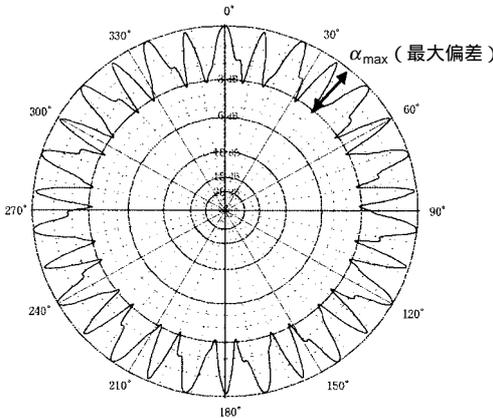


図3 15面合成指向性計算例
Calculated horizontal radiation patterns of 15 antenna panels

3. 面アンテナユニットのサイズと指向性

このスペース共用多面合成アンテナでは図5に示されるごとく同一平面に Array A と Array B の2式の多面合成アンテナが配置されている。そのため多面合成アンテナがN面で構成されているとき、面アンテナユニットの反射板幅 w と最小取付け半径 R_{min} には次式の関係がある。

$$R_{min} = w / 2 \tan(\pi / 2N) \tag{3}$$

図4に点線でこの関係を示す。この図から水平指向性が良好になる w の値は 2λ ($R = 9.5\lambda$) と 2.5λ ($R = 11.8\lambda$) となることが読み取れる。しかしながら α_{max} の計算を行った実際の面アンテナユニットの w は図6(a)のように 2.9λ 以上あり、副反射板も45度方向に取り付けられておりお互いの面アンテナユ

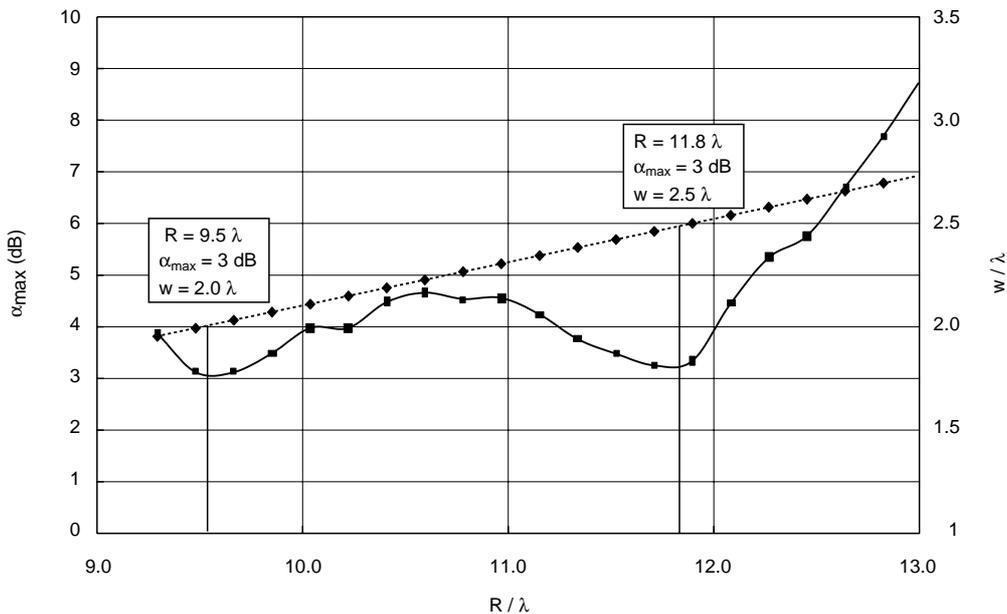


図4 取付半径 R と最大偏差 α_{max} 及びアンテナユニットサイズの関係
Panel width w and directivity deviation α_{max} vs. cross section of radius R

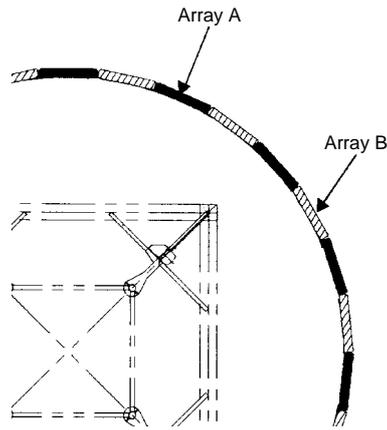


図5 スペース共有アンテナの断面
Cross section of face-sharing multi-panel antenna array arrangement

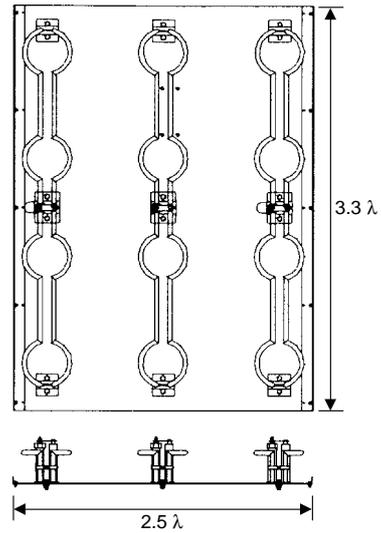


図7 指向性実験で使ったアンテナユニット
Unit panel used in the experiment

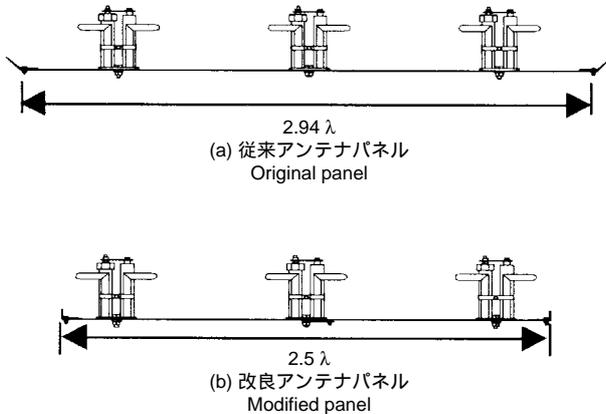


図6 面アンテナユニット構造
Unit panel geometry

ユニットが干渉してしまうため更に大きな取付け半径でなければ配置できないようになっていた。しかしながら面アンテナユニットを単に小さくすればその単体指向性も変化してしまう。単体指向性が変化すれば当然のことながら15面合成の指向性も変化してしまい良好な指向性を得ることが出来なくなってしまう。

そこで、我々は種々の実験を行い図6 (b) のように w を 2.5λ とし副反射板を90度方向に取り付けることで良好な水平指向性を保ちつつ2式の多面合成アンテナを同一平面に配置できるようにした。

4. 15面合成指向性測定結果

スペース共有アンテナすなわち同一面に配置された2式の多面合成アンテナ各々(おのおの)について水平指向性の測定を行った。測定にあたっては図7に示す1/2モデルの面アンテナユニットパネルを用いた。測定周波数は1090 MHzと1102 MHzとした。この周波数は1/2でのものであり、実際の周波数ではそれぞれ545 MHzと551 MHzになりこれはUHFの24 chと25 chの中心周波数に相当することになる。

取付け半径 R は 11.8λ としスペース共有配置された各々の多面合成アンテナの計算値と実測値を図8に示す。実測値は計算値よりもリップルが多くなっているが、 α_{max} の違いは1.5 dB以内である。

実測値で計算値と違いリップルが大きくなっているのはサイドローブとバックローブが計算値よりも大きくなっているためと考えられる。

また、Array AとArray Bではアンテナの面ユニットが向いている方向が24度ずれて違っているにもかかわらず、ほぼ同じ角度で電界強度の強い個所が現れている。これはArray Aの面アンテナユニット同士の合成面がちょうどArray Bの面アンテナユニットの主面の角度と重なるためである。このため、スペース共有多面合成アンテナを使用したときのアンテナ間の指向性の偏差は小さくなっている。

5. おわりに

同一平面内に2式の多面合成アンテナを配置したスペース共有多面合成アンテナについて15面での実現性を検討した。面アンテナユニットの指向性を双ループアンテナ3素子並列配列としたときの指向性として解析した結果、15面合成で配列半径が12波長程度において最大偏差を4 dB以内に出来ることを示した。また、実際に反射板形状を変更したアンテナによってスペース共有多面合成アンテナが実現可能なことを示した。

参考文献

- 1) K.Kubota, Y.Shimizu, et al.; "Numerical analysis and synthesis of omnidirectional circular array antennas around a large square tower for UHF television broadcast," Proc. ICCEA'94, pp396-399 (1994)
- 2) K.Kubota, Y.Shimizu, et al.; "Radiation Pattern of Circular Array Antenna for Television Broadcasting," Technical Report of IEICE., EMCJ95-45, MW95-89 (1995-10)

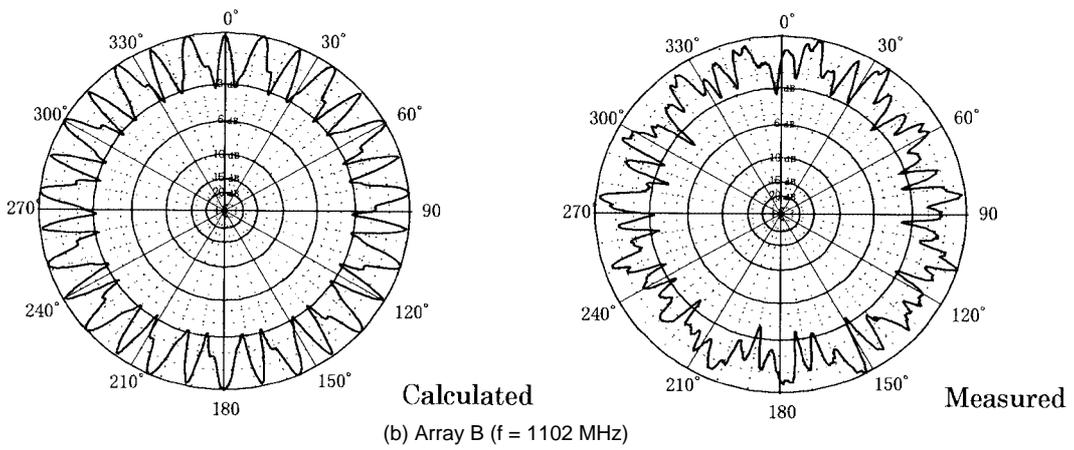
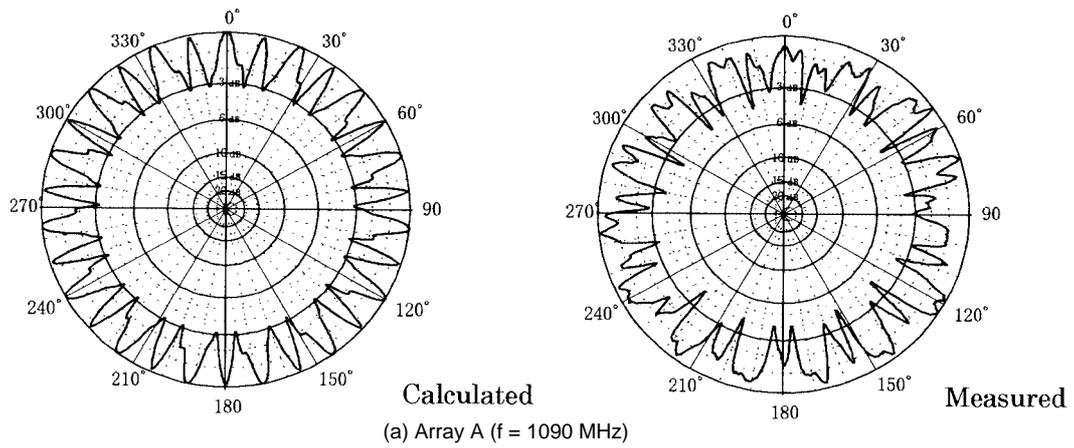


図8 水平指向性パターン
Horizontal radiation patterns