アンテナ　メタマテリアル　エネルギバンドギャップ

Collaboration Projects

周期配列マッシュルーム状素子を適用したアンテナの放射特性

屋内ブースタなどのアンテナの高機能化の実現に向けて，方形マイクロストリップアンテナ近傍に周期配列のマッシュルーム状素子を配置した場合の放射特性について検討した．なお，本研究は福井大学大学院 工学研究科 堀研究室（堀 俊和教授，藤元 美俊准教授）との共同研究により実施した．

先進技術研究所　山口（やまぐち） 良（りょう）　蒋（しょう） 恵玲（けいれい）　長（ちょう） 敬三（けいぞう）

1. まえがき

屋内ブースタなどに用いられるアンテナは，設置性の観点より平面型が望まれており，このような用途に適したアンテナとしてマイクロストリップアンテナ（MSA：Microstrip Antenna）が用いられることが多い．MSAは，地板導体上の金属パッチ（金属板）に下方より同軸給電する簡易な構造であり，薄く・軽く・製作が容易な特長を有する（**図1**）．しかし，屋内ブースタの場合には装置寸法が限られるため，地板端での回折によりサイドローブ*1が大きく，後方への放射漏れ（回り込み）が発生することがある[1]．このような問題を解決する手段の1つとして，周期配列*2のマッシュルーム（MR：Mushroom）状の平板と棒で構成される金属素子（以下，MR素子）の利用が考えられる．図1に示すように，周期配列MR素子は，各素子を狭い間隔で周期的に並べたものである．特定の周波数帯域で電波の放射・伝搬を抑制することができる性質（エネルギバンドギャップ（EBG：Energy Band Gap）特性）を有し，近年MR素子のアンテナへの適用がさかんに研究されている[2][3]．

本稿では，屋内ブースタなどのアンテナの低サイドローブ化，高利得特性の実現に向けて，MR素子近傍に置かれた方形MSAの放射特性について検討する[4]．また，MR素子列と方形MSAとの距離がMSAの放射特性におよぼす影響と，MR素子の配列方法がMSAの放射特性におよぼす影響について検討を行う．さらに，MR素子付きMSAを試作・実験することにより解析結果を検証した．なお，本研究はMSAの研究に関して実績を有する福井大学 堀研究室との共同研究により実施した．

2. 解析モデル

2種類のMR素子列の近傍に置かれた方形MSAの解析モデルを**図2**に示す．1つはy軸に平行なMR素子列（6素子）をMSAの両側に並べたものであり，以下Y配列と呼ぶ

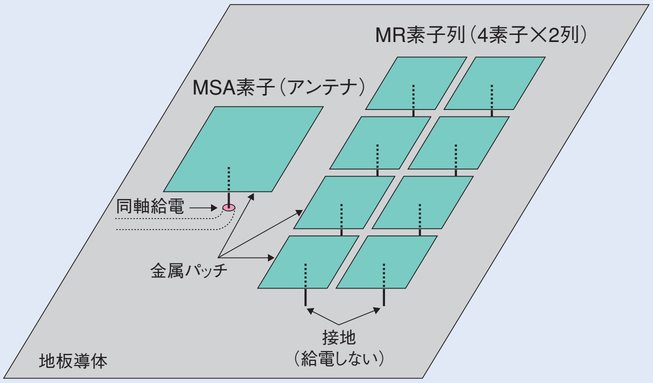

図1　MSAとMR素子

＊1　**サイドローブ**：主ビーム以外に電波が放射される方向．一般には，不要な方向に出ることが多いため，これを抑圧する必要がある．

＊2　**周期配列**：同じ構造体を等間隔に複数個並べること．一定周期，つまり等間隔に配置することを意味する．

(図2(a))．もう1つは，x軸に平行なMR素子列（6素子）をMSAの両側に並べたものであり，以下X配列と呼ぶ（図2(b)）．図2には1列しか示していないが，MR素子列を複数配置した場合についても検討する．

MR素子列と方形MSAとの距離dは，MSAの中心と一番近いMR素子列の中心との距離とする．MSAは2GHzで共振するように設計した．MR素子金属パッチ（正方形）の幅wは30mmとし，半径1mm，長さ11mmの短絡金属ピンにより，地板に短絡されている．配列周期Tは32mmとした．これらのパラメータは，MR素子列のバンドギャップ周波数とMSAの共振周波数が一致するように設定した．また，地板の大きさによる影響をなくし，MR素子列の影響そのものを検討するために，無限地板を使用した．このモデルのパラメータとして，距離d，MR素子列数および配列方法がある．それぞれのパラメータを変化させたときのMSAの放射特性について解析を行った．その際，距離dは0.4～1.0λ（λはMSAの共振波長）の間で，MR素子は1～4列の間で変化させた．電磁界解析にはモーメント法[*3]を用いた．

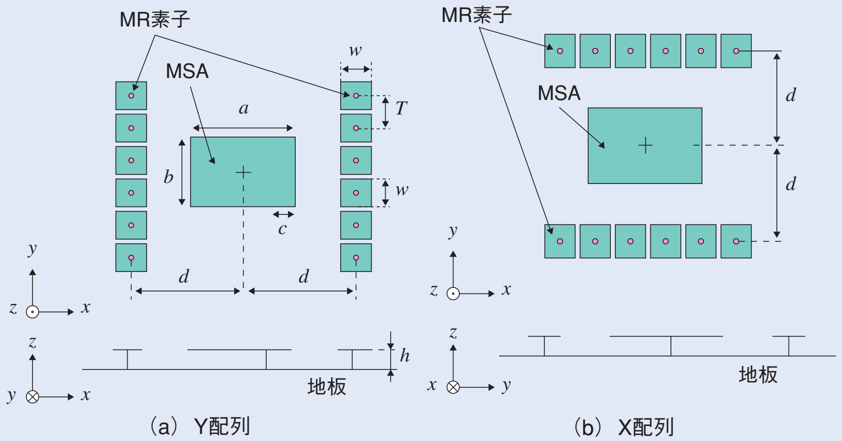

図2　解析モデル

3. MR素子列が方形MSAの放射特性におよぼす影響

3.1 MR素子列数と距離dの影響

Y配列とした場合のE面（x-z面）放射パターンを**図3**に示す．MR素子が1列の場合は，MSAのみの場合より指向性利得が低下し，サイドローブレベルが大きくなっており，MR素子列によりMSAの放射特性が劣化していることが分かる（図3(a)）．一方，MR素子が3列の場合は，距離dが0.6λのときにサイドローブが抑制され，指向性利得が向上しており，MSAの放射特性が改善していることが分かる（図3(b)）．MR素子が1列のときに放射特性が劣化するのは，1列では周期構造とはならず電磁波の放射が抑制されないためと考えられる．Y配列のMR

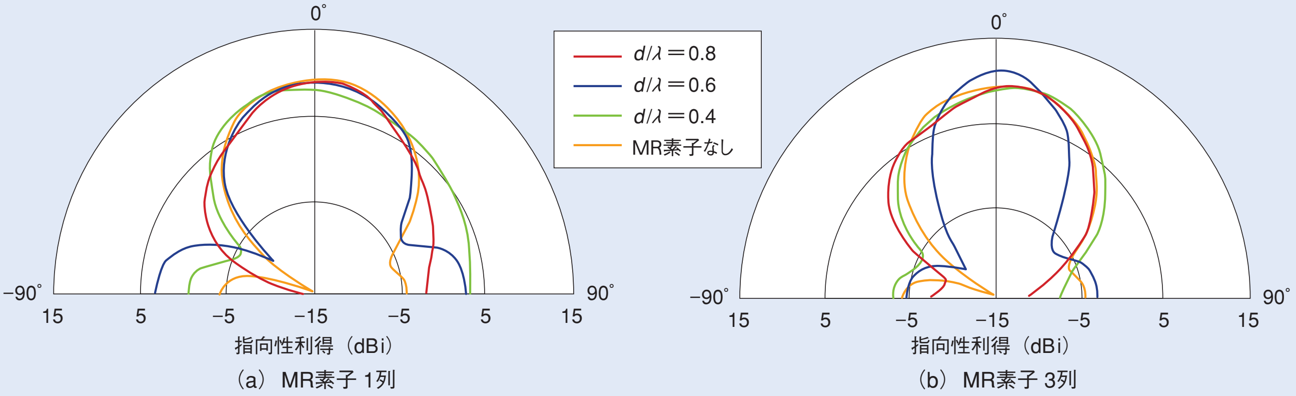

図3　E面放射パターン（Y配列）

＊3　**モーメント法**：電磁界解析法の1つで，金属上に流れる電流を効率よく計算し，これを基に電波が放射される方向などを計算できる．

素子とMSAとの距離dと，指向性利得の関係を**図4**に示す．パラメータはMR素子列数である．図4より，MR素子が2～4列のとき距離dが0.55～0.6λ程度で指向性利得が最大となることが分かる．また，MR素子列数が増えるほどMSAの指向性利得の最大値も上昇する．MR素子付きMSAの指向性利得の最大値は，MSAのみの場合（9.2dBi）と比較して約2dB高くなる．一方，1列の場合はMR素子による利得の向上効果がみられない．これも，前述と同様にMR素子1列では周期構造とならないためと考えられる．

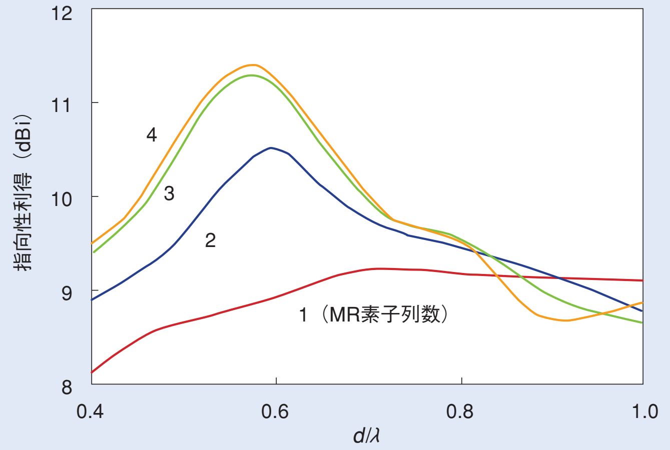

図4　距離dと指向性利得との関係（Y配列）

3.2 MR素子配列方法の影響

MR素子列数とMSAの最大指向性利得との関係を**図5**に示す．図よりY配列の場合は，MR素子列数が増えるほど指向性利得の最大値が上昇することが分かる．一方，X配列の場合はMR素子列数に関係なく，指向性利得の最大値はあまり変動しない．また，MSAの近傍にMR素子列を配置することにより，MSAのみの場合より指向性利得が上昇していることが分かる．特にY配列MR素子を4列配置した場合は，指向性利得が2.1dB上昇することが分かる．MR素子列数と指向性利得が最大となる距離d_{opt}の関係を**図6**に示す．図より距離d_{opt}は，MR素子の配列方法に依存し，X配列の場合の距離d_{opt}は，2～4列のときに0.8λであることおよびY配列の場合の距離d_{opt}は，X配列の場合よりも狭く所要面積を小さくできることが分かる．

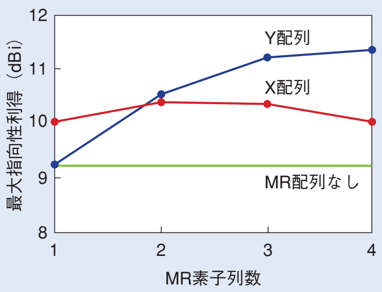

図5　MR素子列数と指向性利得との関係

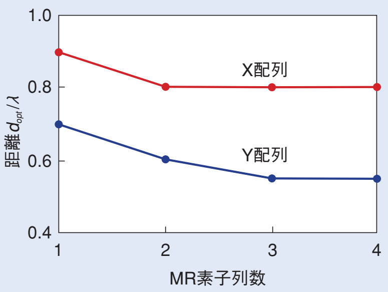

図6　MR素子列数と距離d_{opt}との関係

指向性利得が最大となるMSAの放射パターンを**図7**に示す．配列の場合はMR素子列数が増えるにつれ，主ビーム[*4]が鋭くなっているが，X配列の場合はその効果が少ないことが分かる．

3.3 実験による検証

前述の解析結果の妥当性を検証するために，MSAの両側にY配列MR素子を3列ずつ配置したMR素子付きMSAを試作した．試作MSAを**写真1**に示す．MSA素子やMR素子には真ちゅうを使用し，地板の大きさは400mm×400mmとした．MSA素子およびMR素子のパッチの厚みは1.0mmとした．MSAの両側にY配列MR素子を3列ずつ配置した場合の指向性利得の実験結果を，解析結果と併せて**図8**に示す．図より，解析結果と同様に実験結果においても指向性利得が最大となる距離d_{opt}が存在し，両者はよく一致している．このことから，解析結果が妥当であることが分かる．

4. あとがき

ブースタなどの屋内アンテナの高機能化を目的に，MR素子近傍に置かれた方形MSAの放射特性につい

＊4　**主ビーム**：アンテナからの電波はさまざまな方向に放射されるが，そのうちの大部分が出ている方向．所望の方向に主ビームを向けることが重要である．

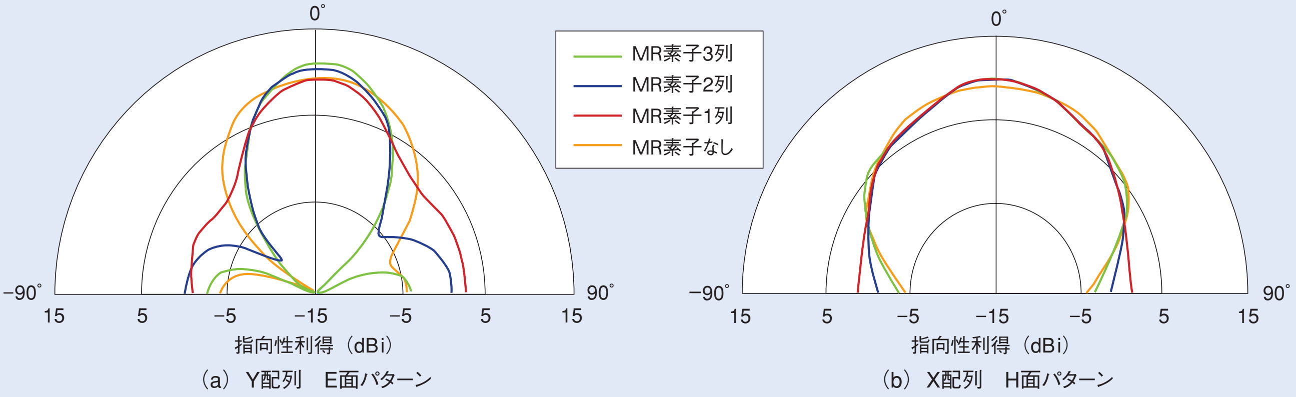

図7　指向性利得が最大となるMSAの放射パターン

写真1　試作したMSA

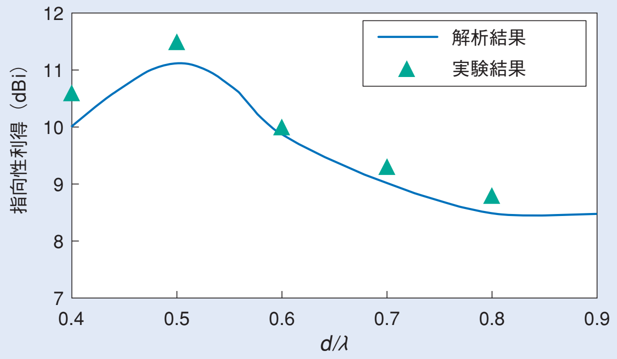

図8　指向性利得の変化（Y配列3列）

て検討した．その結果，MR素子を方形MSAの近傍に配置することにより，MSAのサイドローブが低下し，かつ指向性利得が増加することを明らかにした．特に，Y配列MR素子を4列配置した場合は，指向性利得が2.1dB上昇することが分かった．さらに，MR素子が2～4列のときに利得最大となる距離d_{opt}は，0.6λ程度であることが分かった．最後に，解析結果を検証するため，両側にY配列MR素子を3列ずつ配置したMSAを試作した．その結果，実験結果と解析結果はよく一致しており，解析結果の妥当性が明らかになった．今後，これらの基礎特性を適用し，屋内アンテナのさらなる高機能化を進めていきたい．

文　献

[1] D. Sievenpiper, L. Zhang, R. F. J. Broas, N. Galexopolus and E. Yablonvitch：“High-Impedance Electromagnetic Surfaces with a Forbidden Frequency Band,” IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol.47, pp.2059-2074, Nov. 1999.

[2] F. Yang and Y. Rahmat-Samii：“Microstrip Antennas Integrated with Electromagnetic Band-Gap (EBG) Structures,” IEEE Trans. AP, Vol.51, No.10, pp.2936-2946, Oct. 2003.

[3] F. Yang and Y. Rahmat-Samii, “Applications of Electromagnetic Band-Gap (EBG) Structure in Microwave Antenna Designs,” Proc. of Int. Conf. on Microwave & Millimeter Wave Tech., pp.528-531, Aug. 2002.

[4] 中野 和男，木村 雄一，羽石 操：“マッシュルーム型ＥＢＧに関する一検討，” 2005 信学総大，B-1-195，pp.195，Mar. 2005.