

一次元周期構造に関する研究

— 八木・宇田アンテナ導波器列の表面波伝搬特性 —

2006MI102 水野 裕登

指導教員 稲垣 直樹

1 まえがき

電磁界数値解析シミュレータ FEKO の機能に周期的境界条件の適用がある．本研究は FEKO により一次元周期構造を解析することにより，アンテナ設計に新しい道を開拓しようとするものである．例として八木・宇田アンテナを取り上げ，導波器列の表面波伝搬特性を求め．無限大の反射板上をもつ場合の利得を最大とする位相定数の条件を求め，これを満たす八木・宇田アンテナの特性を明らかにした．

2 研究方法

反射板上八木・宇田アンテナ設計のために，反射板を有するエンドファイアアレイの利得を最大とする位相定数の条件を求める．反射板がないときには，この条件はハンセン・ウッドヤード条件として知られている．反射板上のエンドファイアアレイに対して，ハンセン・ウッドヤード条件を修正するために，素子を電気的点波源（微小電気ダイポール）として解析し，利得最大の条件を明らかとする．次に，素子を有限大のダイポールとして，八木・宇田アンテナ導波器列の表面波伝搬特性を解析する．これには FEKO の周期的境界条件適用の機能を用いる．この方法は，解析対象を 1 素子とし，電流と電界の関係を周期性を考慮したグリーン関数により表す方法であり，無限大素子数の構造でありながら，コンピュータの負荷，メモリーと処理時間を節約できるため，非常に有用である．最後に，利得最大の位相定数の条件を満たす導波器列からなる反射板上八木・宇田アンテナの特性を求める．

3 反射板上点波列に対するハンセン・ウッドヤード条件

直線アレイアンテナの素子配列された方向に主ビームが放射されるエンドファイアアレイアンテナの利得が最大となる条件は，素子間位相差 ϕ を素子間隔 p とアンテナ長 L に対して式 (1) で表わされる．これをハンセン・ウッドヤード条件という．ここに， β は単位長当たりの位相差 (ϕ/p) を， k は自由空間位相定数 (波長を λ として， $2\pi/\lambda$) を表わす．

$$(\beta - k)L \cong 180^\circ \quad (1)$$

図 1 は導電性グラウンド (PEC) 上の Z 軸上に等間隔に配列した 5 素子点波源列を示す．このように，反射板上に置かれたエンドファイアアレイアンテナの利得を最大にする素子間位相差はハンセン・ウッドヤード条

件では与えられない．FEKO を使い反射板上に等周期に配列された点波源列を作成し，最適素子間位相差を OPTFEKO により求める．図 1 のように反射板と素子を配列し，素子間隔 $p = 0.1\lambda \sim 0.45\lambda$ (λ は波長)，素子数は 5, 10 とした．

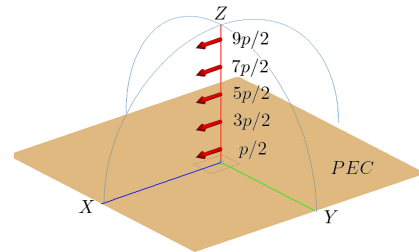


図 1 5 素子点源列の解析モデル

3.1 5 素子点波源列の解析結果

素子間隔 $p = 0.25\lambda$ ，素子数 5 に対して，最適素子間位相差は $\phi = 144.94^\circ$ となった．これを式 (1) のように換算して表わすと

$$(\beta - k)L = -85.3^\circ \quad (2)$$

このように，エンドファイアアレイアンテナが反射板上に置かれた場合には，式 (1) とは全く異なる結果となることがわかった．このときの，指向性を図 2 に示す．最大利得は $12.38dB$ である．

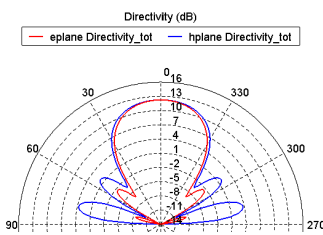


図 2 5 素子点波源列の指向性

3.2 10 素子点波源列の解析結果

素子間隔 $p = 0.25\lambda$ ，素子数 10 に対して，最適素子間位相差は $\phi = 161.33^\circ$ となった．これを式 (1) のように換算して表わすと

$$(\beta - k)L = -6.70^\circ \quad (3)$$

このように，最大利得の条件は素子数 (アンテナ長) に大きく依存することがわかった．この場合の指向性を図 3 に示す．最大利得は $13.42dB$ である．

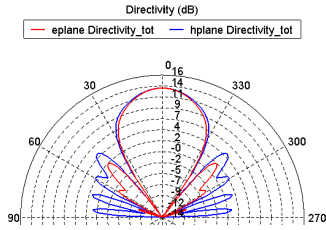


図3 10素子点波源列の指向性

4 八木・宇田アンテナ導波器列の表面波伝播特性

八木・宇田アンテナは放射器，反射器と導波器からなる．導波器は複数を等間隔で並べることが普通である．この導波器列は表面波を伝播させる．八木・宇田アンテナの設計では導波器列に沿う表面波の位相定数を最適化することが求められる．

表面波の位相定数 β と自由空間位相定数 k の関係は表面波の分散特性，あるいは $k - \beta$ 特性という．導波器列の位相定数を求めるために，FEKO により，導波器の周期配列に仮想電源を接続しインピーダンス特性を解析する．もしインピーダンスが零であれば，仮想電源の電圧がゼロでも電流が流れ，したがって表面波が存在し得ることになる．この条件から八木・宇田アンテナ導波器列の表面波分散特性， $k - \beta$ 特性を求める．この結果と，前節で求めた位相最大化素子間位相差の結果から反射板上の八木・宇田アンテナの導波器列の設計を行う．

4.1 八木・宇田アンテナの分散特性とハンセン・ウッドヤード条件

表面波の分散特性は図4のようなブリュアン図で示される．縦軸は表面波の周波数に比例した kp ，横軸は βp である． βp は素子間の位相差に等しい．実線は分散特性 ($k - \beta$ 特性) を示す．図中に式(1)のハンセン・ウッドヤード条件を破線で重ねて示した．実線と破線の交点が八木・宇田導波器列の表面波分布がハンセン・ウッドヤード条件を満たす点である．この点の縦軸の値が利得特性を最適化する周波数を決定する．本研究では八木・宇田アンテナを反射板上に置くので，破線の特性が異なる．

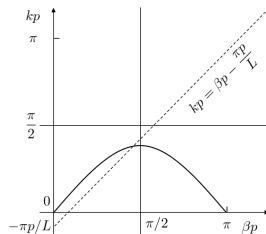


図4 予想される八木・宇田アンテナの分散特性とハンセン・ウッドヤード条件を重ねて描いたブリュアン図

4.2 導波器列の表面波伝播特性の解析

図5は一次元無限フェーズアレイアンテナのリアクタンス特性の一例を示す．図5の縦軸はリアクタンス，横軸は βp である．

リアクタンスが零のとき，給電電圧が零でも電流が流れ，したがって表面波モードの電磁界が構造に沿って伝播することを意味する．すなわち，給電電圧の周波数により決まる kp に対してリアクタンスが零となる位相差， βp ，を求めれば表面波の分散特性， $k - \beta$ 特性が求められる．

図5の場合には， $kp = 0.4\pi$ に対してリアクタンスがゼロとなる位相定数，すなわち表面波位相定数は $\beta p = 0.215\pi$ であることがわかる．

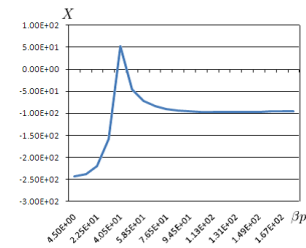


図5 導波器列のリアクタンス特性

5 反射板上八木・宇田アンテナ

素子間隔 $p = 0.2\lambda$ ，素子長 $h = 0.4\lambda$ ，給電点を地面に一番近いところに配置した反射板上5素子八木・宇田アンテナの指向性を図6に示す．最大利得は $12.23dB$ であり，同じ素子間隔の5素子点波源列の最大利得 $9.14dB$ より高い．

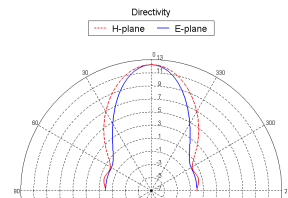


図6 反射板上5素子八木・宇田アンテナの指向性

6 むすび

本研究では FEKO の周期的境界条件適用の機能を利用して一次元周期構造へ応用し，アンテナ設計に新しい道を開拓することを目的とした．八木・宇田アンテナ導波器列の表面波伝播特性ならびに反射板上の特性について解析を試みた．

参考文献

[1] W.Whansen and J.R.Woodyard: "A new principle in directional antenna design", Proc. IRE, 26, 3, pp.333-345, Mar.1938.