

# 2次元周期構造に関する研究

## -市松模様アンテナとFSSの解析-

2006MI163 杉山 純一

2006MI189 坪井 将行

指導教員 稲垣 直樹

### 1 はじめに

2次元周期構造とは、素子(周期的に繰り返す単位)を任意に2次元配列させたものである。我々はこの特徴を持つものの中で、「市松模様アンテナ」「FSS(Frequency Selective Surface)」をとりあげる。市松模様アンテナは、どの周波数に対しても安定したインピーダンス特性をもつ一種のとして提案されたものである。これは自己補対アンテナの「無限」との「無限」とを結合と考えられたもので、自己補対アンテナの、虫明の関係を満たすことによって実現される定インピーダンス特性との大きな利得を兼ね備えたアンテナである。FSSは空間を伝播する特定の周波数を反射もしくは透過させる特性がある。本研究ではその特徴を操って思い通りの周波数を遮断し、条件、場合に応じてその特徴を維持できるように研究する。

#### 1.1 研究目的, 研究方法

本研究では電磁界シミュレータ FEKO(三次元電磁解析シミュレータ)を用いて検証する。

(市松模様アンテナ)

本研究では、本来ならば上下の双方向におよぼ指向性を単一にする。そしてこの場合において、定インピーダンス特性は劣化するのか、さらにどの程度まで抑えることができるのかを検証し、先行研究で証明された実用性の可能性に加えるものを見出していく。

まず市松模様アンテナのみで定インピーダンス特性を示させる。次に反射板を設置して指向性を上方へ集中させ、その後アンテナと反射板の間隔を検討。本研究では $\frac{1}{4}$ 波長,  $\frac{3}{4}$ 波長,  $\frac{5}{4}$ 波長の3パターンで検証し、 $\frac{1}{4}$ 波長の間隔を採用した。その後、反射板とアンテナの間に誘電体を挿入・誘電体を取り、反射板の代わりにインピーダンスシートを起用して検証する。

(Frequency Selective Surface)

平面波の周波数に対しての1素子の大きさについて、境界条件、偏波を変化させ、反射が最大、透過が最小の時の周波数と素子の構造の関係を考え、遮断する周波数を操作できることを目的とする。

平面波をとばして様々な2次元周期構造にあてて反射と透過がどうなるのか解析する。平面波は $e=1(v/m)$ を最大とし、素子に対して垂直に平面波をとばし、反射、透過を素子から垂直に波長の10倍の距離の所で各周波

数に応じて調べる。FEKOの文献の例題に似たものがあり、その文献では1素子の大きさは約15mmのものであったので比較するために本研究では15mm程度の素子を使用する。理論的に反射が最大、透過が最小となる周波数は1素子の構造の全長の2倍に反比例する。そのため2GHz~12GHzまでの広周波数帯を解析する。素子を2重にし、偏波や円偏波、素子に対して垂直に平面波を飛ばすだけでなく角度を変えて検証する。

### 2 市松模様アンテナの特徴

2次元周期構造とは、素子(周期的に繰り返す単位)を任意に2次元配列させたものである。このアンテナは市松模様状に交互に繰り返した板上構造で、頂点を給電点とするものである。そして自己補対アンテナの周波数に対する定インピーダンス性、プレーナ・アレー・アンテナの素子数に比例した高利得を併せ持つ。

#### 2.1 市松模様アンテナのモデリング

三角形の先端に長方形を結合させたものを1素子の半分とする。素子全体の構造は、先ほど作成した三角形を180度回転させたものをコピーして、これらを結合させたものとする。そして $h \times h (h = \frac{10}{3} \sqrt{2} \text{cm})$ の正方形を境界条件として、これを無限に配列する。境界条件とは、本アンテナのような2次元モデルを1つの素子としてそれを周期的に無限に広げた場合の計算を可能にするものである。

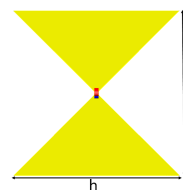


図1 市松模様アンテナの1素子のモデル

### 3 市松模様アンテナの解析結果

図2より実部と虚部の双方で定インピーダンス特性を示すことができた。理想とされるのは $60\pi\Omega$ であり、おおよそ $189\Omega$ の値がとれた。市松模様アンテナの指向性は上下方向において発生していることが分かった。さらに、電場・磁場ともに対象になっていることが分かった。

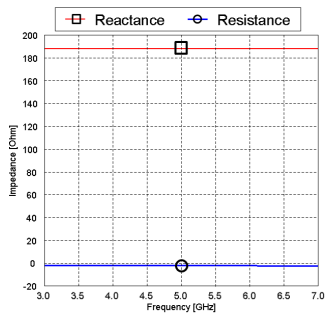


図2 市松模様アンテナの定インピーダンス特性

### 3.1 反射板を用いた場合

虫明けの原理を崩す条件を付加した時に、どの程度まで定インピーダンス性を保持できるのかの探究を始める。アンテナの上下に発生する指向性を反射板を用いて単一方向性にし、上方向に対する利得を集中させる。しかし反射板は有限であるため、おのずと自己補対アンテナも有限となってしまふ。この状況下でもいかに定インピーダンス性を保つことができるかを検証していく

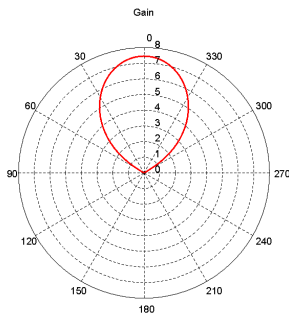


図3 反射板とアンテナの間隔を  $\frac{1}{4}$  波長とした場合の指向性利得

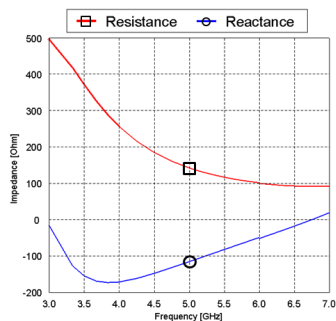


図4 市松模様アンテナと反射板の間隔を  $\frac{1}{4}$  波長とした場合のインピーダンスの実部と虚部

## 4 反射板とアンテナの間に誘電体を挿入した場合

次に反射板と市松模様アンテナ本体の間に誘電体を挿入して定インピーダンス特性を維持できるかを検証していく。誘電体は FEKO の中で四角柱のモデルを作成して、この金属の誘電率を走査して誘電体とする。本研究では誘電体の厚さを  $\frac{\lambda_{m0}}{5}$ 、誘電率を 3 の場合で検証した。

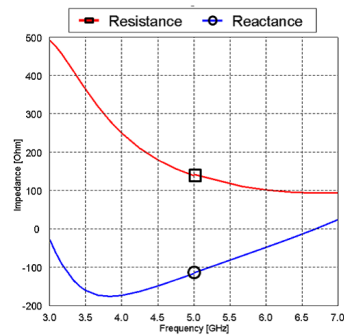


図5 反射板とアンテナの間に誘電率 3 の誘電体を挿入した場合のインピーダンスの実部と虚部

### 4.1 反射板のかわりにインピーダンスシートを用いた場合

#### 4.1.1 インピーダンスシート

インピーダンスシートとは、空間の間の境界を定義する表面に表面インピーダンスを付けるのにインピーダンスシーティング構造を使用することを指す。これらの「メディア」は Surface インピーダンス (事実上表面の付随的な電場と電気表層流の間の比率) の実部、そして虚数部を定義する。理論上、適切に定義されたマトリックスをこの表面に付けることによって、同じ効果達成できるとされる。我々は、実部は 0、虚数部は 100 と設定して検証していく。

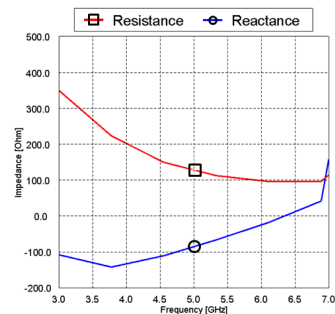


図6 インピーダンスシートをアンテナの下方に設置した場合

## 5 Frequency Selective Surface

### 5.1 特徴

FSS(Frequency Selective Surface):周波数選択性面は様々な形状を持ち、情報通信において電波による情報の漏えいのセキュリティ上のトラブルを阻止するために用いられる。通常は誘電体基板上に特有の形状をした導電性の素子を2次元的に周期配列された構造を持ち、空間を伝播する特定の周波数帯域で電磁波を反射もしくは透過させる。

### 5.2 素子の解析モデル図

本研究では2次元周期構造の素子として、3種類のモデルを対象に解析する。

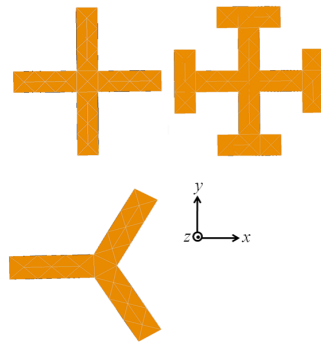


図7 解析モデル図

### 5.3 境界条件

上で挙げたモデルはそれぞれ1素子であるが、実際には2次元的に周期配列されているため境界条件を設定しなければならない。そこでクロス、エルサレムクロスは正方形を境界条件として素子をその正方形の中心におく。これを2次元周期配列する。まきびしクロスに関しては境界条件を六角配列に設定した。これらを1素子とし、この素子を無限大に配列し解析を行う。

### 5.4 解析結果

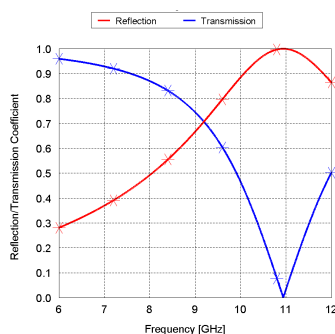


図8 クロス素子正方配列の解析結果

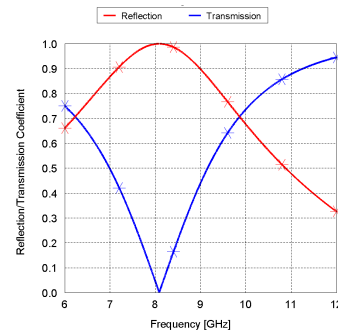


図9 エルサレムクロス素子正方配列の解析結果

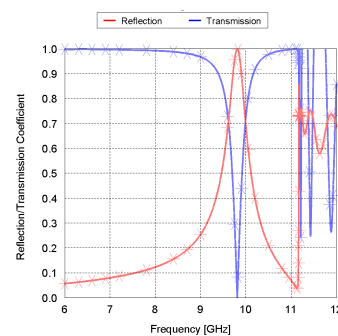


図10 まきびしクロス素子六角配列の解析結果

クロス、エルサレムクロス、まきびしクロスと1素子の形状に対して遮断される周波数が10.9GHz, 8.1GHz, 9.8GHzとそれぞれ変化した。クロスとエルサレムクロスの解析結果を比較したところ、この2つの全長は同じなのに異なった周波数で反射が最大となっているため、遮断周波数は素子の全長だけに反比例するのではなく素子の形状、素子に対しての境界条件の周期にも関係があることがわかった。まきびしクロスに関してはグラフが少し不安定だが9.8GHzの時にFSSの特性を確認することができた。

### 5.5 素子を2重にしたときの解析

FSSの特性は確認できたので次は複数の単一の周波数を同時に遮断する。そのため同じクロス素子を2重にし、それらを正方配列させて解析を行う。

#### 5.5.1 素子間の距離を変える

2重にする素子の大きさ、向きは同じにして間隔の距離dを1mm, 3mm, 5mmと変化させ、それぞれ解析を行い適正な間隔距離を調べる。素子間が近すぎると素子を2重にしないで結合した時と同じような結果になり、複数の単一の周波数を同時に遮断することができないので素子の間隔は広くする。1mm, 3mmと比べて、素子間5mmと6mmの時はグラフが同じになり、解析結果周波数が遮断できた。よって本研究では6mmに設

定する。

### 5.5.2 2重にした1方を45度傾ける

素子間の距離は6mmと決まったがまだ複数の単一の周波数を遮断できていないため、1方を45度傾けて素子間は6mmで解析する。

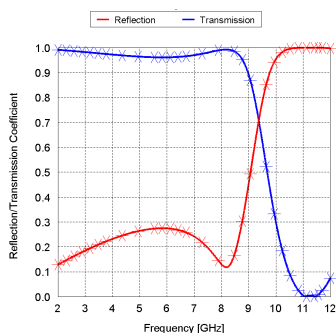


図 11 2重に重ねて45度傾けたときの解析結果

その結果、1つの値だけでなく周波数帯域を遮断することができた。

### 5.5.3 2重にした1方を小さくする

1つの値だけでなく周波数帯域を遮断することができた。しかし複数の単一の周波数を遮断できていないため次に1方を50%小さくする。その結果、複数の単一の周波数を遮断することに成功した。

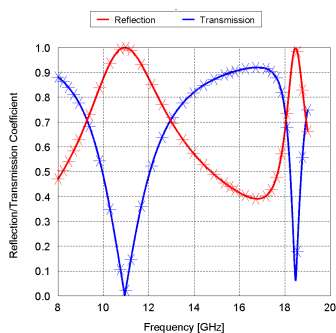


図 12 2重に重ねて1方小さくした時の結果

## 5.6 偏波

平面波を素子に対して送ってきたが、現実的にはいろんな角度、偏った波があるため偏波について解析する。図形の構造上45~360度は対称なため、偏波を0~45度まで変わるとどう周波数に影響してくるか解析し、円偏波についても0~45度まで解析を行う。円偏波に関しても0~45度と変化させたがまったく同じになったため現実的に使えそうな結果である。

### 5.6.1 平面波の素子に対しての入射角について

今まで素子に対して垂直に平面波をとばしてきたが角度を0~45度まで変えて周波数への影響を調べたがこ

れも先ほどと同じ結果になった。

## 6 まとめ

-市松模様アンテナ-安定したインピーダンス特性を持つ市松模様アンテナでは、指向性を単一方向にしてもこの特性の劣化をどの程度まで抑えることのできるかを研究した。指向性を単一方向にするために、反射板、誘電体、インピーダンスシートを用い、周波数を3GHz~7GHzの範囲で変化させたときインピーダンスの変化をFEKOを用いて検証した結果、インピーダンスシートにおける検証で実部の誤差を250Ω以内、虚部の誤差を100Ω以内にすることができた。(反射板のみの場合は、実部の誤差が400Ω、虚部の誤差が200Ωであった)結論として、指向性を単一方向にした場合でも定インピーダンス特性を維持できる可能性がみえてきたことが本研究をもって示すことができた。今後の課題としては、我々が試みたパターン以外の、更に変化の少ないインピーダンス特性を得られるパターンの発見・検証を行うことである。今後、市松模様アンテナが実用化されるときに我々の研究が役に立てば幸いである。

-FSS-様々な場合、条件下でFSSの特性を維持できるように研究を進めてきて我々は理論上では上手く特定の周波数を遮断し、その他の周波数帯域を透過することに成功した。しかしながら実用性を考えると、素子を無限に周期配列することは不可能なため実用的に使えるか不明なため実用性を考慮して研究を続けたい。

## 参考文献

- [1] 市松模様アンテナ - 周期的給電式自己補対アンテナ - 稲垣直樹 磯貝保広 虫明康人 電子通信学会論文誌'79
- [2] 三菱電線工業 (株) ホームページ <http://www.mitsubishicable.co.jp/news/pdf/050704.pdf>
- [3] FEKO ホームページ <http://www.feko.info>
- [4] ansoft ホームページ <http://www.ansoft.co.jp/>
- [5] リムネット インターネット接続サービス (株) ホームページ <http://www.sm.rim.or.jp/ymushiak/sub.jp.3.htm>