

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-123793

(P2014-123793A)

(43) 公開日 平成26年7月3日(2014.7.3)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 Q 15/14 (2006.01)	HO 1 Q 15/14 B	5 J 0 0 6
HO 1 P 1/20 (2006.01)	HO 1 P 1/20 Z	5 J 0 2 0

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2012-277612 (P2012-277612)	(71) 出願人	000006714
(22) 出願日	平成24年12月20日 (2012.12.20)		横浜ゴム株式会社
			東京都港区新橋5丁目36番11号
		(74) 代理人	100089875
			弁理士 野田 茂
		(72) 発明者	田所 真人
			神奈川県平塚市追分2番1号 横浜ゴム株
			式会社平塚製造所内
		Fターム(参考)	5J006 HD07 JA01 JA02
			5J020 AA06 CA05

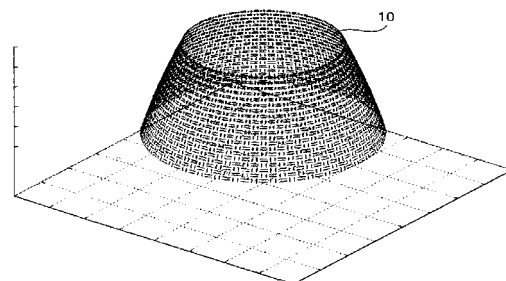
(54) 【発明の名称】 周波数選択部材および曲面への周波数選択素子の配列決定方法

(57) 【要約】

【課題】 曲面形状を有する周波数選択部材において、周波数選択素子を規則的に配列すること。

【解決手段】 周波数選択部材の一例であるレドーム10は、中心軸Lの回転方向に対称な曲面形状を有する。レドーム10の周上に配置される周波数選択素子は、線状素子をミランダ形状に配置することにより特定周波数への共振性能を実現したミランダ化素子であり、ミランダ形状のサイズを変更することにより同一の共振性能を有する大きさの異なる素子を形成し、中心軸に対して垂直な任意の面の周上に位置する周波数選択素子の数を等しくしている。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

曲面形状を有する周波数選択部材であって、
前記曲面形状の周波数選択部材用基材と、
前記周波数選択部材用基材の表面に配置された複数の周波数選択素子と、を備え、
前記周波数選択素子は、線状素子をミアンダ形状に配置することにより特定周波数への共振性能を実現したミアンダ化素子であり、前記ミアンダ形状のサイズを変更することにより同一の前記共振性能を有する大きさの異なる素子を形成し、前記曲面形状を通る軸に対して垂直な任意の面の周上に位置する前記周波数選択素子の数を等しくしたことを特徴とする周波数選択部材。

10

【請求項 2】

前記周波数選択素子は、大きさおよび形状が同一の複数の前記ミアンダ化素子を水平方向および垂直方向に交互に向きを変えて同一数並べた素子群によって形成されることを特徴とする請求項 1 に記載の周波数選択部材。

【請求項 3】

前記周波数選択素子は開口型ミアンダ化素子であり、バンドパス性能を有することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の周波数選択部材。

【請求項 4】

前記周波数選択素子はパッチ型ミアンダ化素子であり、バンドストップ性能を有することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の周波数選択部材。

20

【請求項 5】

前記曲面形状は、中心軸の回転方向に対称な形状であり、
前記中心軸に対して垂直な任意の面の周上に位置する前記周波数選択素子の数を等しくしたことを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか一つに記載の周波数選択部材。

【請求項 6】

曲面への周波数選択素子の配列決定方法であって、
前記周波数選択素子は、線状素子をミアンダ形状に配置することにより特定周波数への共振性能を実現したミアンダ化素子であり、
前記曲面を通る軸に対して垂直な面の周上における前記周波数選択素子の素子数を決定する素子数決定工程と、
前記素子数決定工程で決定された前記素子数に基づいて、各周上における前記周波数選択素子の配列周期を決定する配列周期決定工程と、
前記配列周期決定工程で決定された前記配列周期において前記周波数選択素子に要求される前記共振性能を実現する前記ミアンダ形状を決定する形状決定工程と、
を含んだことを特徴とする周波数選択素子の配列決定方法。

30

【請求項 7】

前記形状決定工程は、
同一の前記ミアンダ形状において蛇行幅および素子線長を異ならせた相似形ミアンダ化素子群を形成し、前記相似形ミアンダ化素子群内のそれぞれの前記ミアンダ化素子について、配列周期に基づく電波透過率の周波数特性を算出する特性算出工程と、
前記特性算出工程で算出された前記周波数特性に基づいて、特定周波数における前記素子線長と前記配列周期との線形回帰をおこない、前記素子線長と前記配列周期との回帰式を算出する回帰式算出工程と、
前記回帰式算出工程で算出された前記回帰式と前記配列周期決定工程で決定された前記配列周期とに基づいて、前記配列周期に対応する前記素子線長および前記蛇行幅を算出する蛇行幅算出工程と、
を含むことを特徴とする請求項 6 に記載の周波数選択素子の配列決定方法。

40

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

50

本発明は、曲面形状を有する周波数選択部材および曲面における周波数選択素子の配列決定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、直線状の素子を屈曲させ折り畳んだミアンダ（meander）形状を有するミアンダ化素子が知られている。ミアンダ化素子は、線状素子を折り畳むことで共振する波長（共振周波数）を維持しながら寸法を小さくすることが可能であり、素子サイズを小型化することが可能である。ミアンダ化素子の用途としては、たとえばUHF帯（300MHz～3GHz）のRFID用アンテナ、UWB（ultra wide band）用アンテナ等などが挙げられる（たとえば、下記特許文献1参照）。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2004-228797号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところで、近年航空機技術の分野において、電波的に透過な窓であるレドーム（レーダドーム）の透過周波数帯の選択性（選択透過または選択遮蔽）の向上が課題となっている。曲面で構成されるレドームに透過周波数帯の選択性を付与するにはFSS（frequency selective surfaces, 周波数選択板）を実装することが解決策になりうる。ここで、航空機用ノーズレドーム等は先端に近づくに従って細くなる形状であり、平面状の周波数選択板（周波数選択素子）をレドーム端部から順次配列すると、計算上の正方形配列からは大きくずれてしまうという問題点がある。

20

【0005】

図14は、従来技術にかかるレドームへの周波数選択素子の実装例を示す説明図である。図14には円錐形状の流線形レドーム1300上に同一形状・同一サイズの円型ループ形状の周波数選択素子1302を配列している。拡大図Aに示すように、流線形レドーム1300の端部（基準位置）から順次周波数選択素子1302を配列していくと、流線形レドーム1300の形状の変化（円錐の中心軸に対する周方向の長さの変化）に伴い、規則的な配列が成立しなくなる。拡大図A中の矢印Sは、基準位置における正方形配列の第2軸（周方向と直交する方向）であり、周波数選択素子1302の配列がずれていることがわかる。

30

【0006】

一般的な電磁界シミュレータでは、周期配列条件下における有限セルモデルで性能予測をおこなうが、周波数選択素子1302が規則的に配列できないと、同方法でのシミュレーションをおこなうことができず、当該配列におけるレドームの性能を予測することが困難となる。フルモデルでのシミュレーションも論理的には可能であるが、シミュレータの計算能力上、現実的には困難である。すなわち、曲面で構成されるレドームに同一形状の周波数選択素子を順次配列する方法では、その配列における性能を予測することができないため、要求される性能を満たす配列を得ることが困難であるという問題点がある。

40

【0007】

本発明は、上述した従来技術の問題点に鑑みてなされたものであり、シミュレーション等によって性能を評価しうる規則的配列を備えた周波数選択部材および曲面への周波数選択素子の配列決定方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上述した問題を解決し、目的を達成するため、本発明にかかる周波数選択部材は、曲面形状を有する周波数選択部材であって、前記曲面形状の周波数選択部材用基材と、前記周波数選択部材用基材の表面に配置された複数の周波数選択素子と、を備え、前記周波数選

50

択素子は、線状素子をミアンダ形状に配置することにより特定周波数への共振性能を実現したミアンダ化素子であり、前記ミアンダ形状のサイズを変更することにより同一の前記共振性能を有する大きさの異なる素子を形成し、前記曲面形状を通る軸に対して垂直な任意の面の周上に位置する前記周波数選択素子の数を等しくしたことを特徴とする。

また、本発明にかかる周波数選択素子の配列決定方法は、曲面への周波数選択素子の配列決定方法であって、前記周波数選択素子は、線状素子をミアンダ形状に配置することにより特定周波数への共振性能を実現したミアンダ化素子であり、前記曲面を通る軸に対して垂直な面の周上における前記周波数選択素子の素子数を決定する素子数決定工程と、前記素子数決定工程で決定された前記素子数に基づいて、各周上における前記周波数選択素子の配列周期を決定する配列周期決定工程と、前記配列周期決定工程で決定された前記配列周期において前記周波数選択素子に要求される前記共振性能を実現する前記ミアンダ形状を決定する形状決定工程と、を含んだことを特徴とする。

【発明の効果】

【0009】

本発明にかかる周波数選択部材によれば、周波数選択部材用基材が曲面形状を有する場合でも周波数選択素子の規則的配列を保つことができ、シミュレーション等による性能評価の精度を向上させることができる。

また、本発明にかかる周波数選択素子の配列決定方法によれば、曲面形状を有する基材に対して周波数選択素子を規則的配列で配置することができる。これにより、周波数選択性を有する各種部材の設計の自由度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】実施の形態にかかるレドーム10の形状を示す説明図である。

【図2】レドーム10への周波数選択素子の配列例を示す説明図である。

【図3】レドーム10への周波数選択素子の配列例を示す説明図である。

【図4】ミアンダ化素子の形状の一例を示す説明図である。

【図5】ミアンダ化前後のパッチ型ダイポール素子における電波透過率の周波数特性を示す説明図である。

【図6】ミアンダ化素子の他の形状の例を示す説明図である。

【図7】両偏波対応型素子の形状の一例を示す説明図である。

【図8】両偏波対応型素子の形状の一例を示す説明図である。

【図9】両偏波対応型素子における電波透過率の周波数特性を示す説明図である。

【図10】図8に示した相似形ミアンダ化素子群について、所定の周波数をターゲットとした場合の各周波数選択素子における配列周期と素子線長との関係を示す表である。

【図11】図10に示した配列周期と素子線長（セル数）とをプロットしたグラフである。

【図12】ミアンダ化素子である周波数選択素子の配列モデルの算出方法の手順を示すフローチャートである。

【図13】電波吸収体の航空機への適用例を示す説明図である。

【図14】従来技術にかかるレドームへの周波数選択素子の実装例を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下に添付図面を参照して、本発明にかかる周波数選択部材および曲面への周波数選択素子の配列決定方法の好適な実施の形態を詳細に説明する。

【0012】

（実施の形態）

図1は、実施の形態にかかるレドーム10の形状を示す説明図である。本実施の形態では、周波数選択部材として、周波数選択遮蔽性を有するレドームを例にして説明する。図1に示すレドーム10は略円錐形であり、中心軸Lの回転方向に対称な曲面形状を有する。なお、レドーム10は、実際には図14のような流線形をしているが、図1では説明の

10

20

30

40

50

便宜上、円錐形にモデル化している。レドーム 10 の底面 S0 は円形であるが、この中心を原点 O とし、中心軸 L が延びる方向に z 軸、底面 S0 が x y 平面上に乗るように x 軸および y 軸をとる。これにより、中心軸 L に対して垂直な任意の面（たとえば面 S1）は x y 平面上に位置することになる。

【0013】

レドーム 10 には、周波数選択遮蔽性を付与するために、図 1 に示すような曲面形状のレドーム基材の表面に複数の周波数選択素子が配置される。なお、図示の便宜上、図 1 には周波数選択素子を示していない。本実施の形態では、周波数選択素子として、線状素子をミアンダ状に配置することにより特定周波数への共振性能を実現したミアンダ化素子を用いる。そして、曲面形状上において規則的配列をおこなうために、ミアンダ化素子のサイズ（配列周期）を変更することにより同一の共振性能を有する大きさの異なる素子を形成し、中心軸 L に対して垂直な任意の面の周上に位置する周波数選択素子の数を等しくしている。

【0014】

図 2 および図 3 は、レドーム 10 への周波数選択素子の配列例を示す説明図である。図 2 はレドーム 10 の全周にわたる配列モデル例を透視図として示し、図 3 はレドーム 10 の表面を一方から見た側面図である。図 2 および図 3 では、単一の形状のミアンダ化素子を、交互に 90° 回転させて配列している。また、図 2 および図 3 では、円錐の先端部分の図示は省略している。素子の配列周期は上部（円錐形の先端に近い領域）になるほど短くなっており、その分蛇行幅が大きくなることによって、要求される共振特性を満たすだけの素子線長を確保するとともに、下部（円錐形の底面に近い領域）と同じ数の周波数選択素子が配列されている。なお、レドーム 10 の先端部はごく狭小な面積となるため、本実施の形態による方法とは異なる方法で周波数選択素子を配置する。

【0015】

図 4 は、ミアンダ化素子の形状の一例を示す説明図である。図 4 において、点線左側の geom1 はミアンダ化前の素子形状、点線右側の geom2 ~ geom7 はミアンダ化後の素子形状を示している。図 4 A および図 4 B はいずれもダイボール形状の素子（ダイボール素子）であり、geom1 に示すミアンダ化前には直線状である形状が、geom2 ~ geom7 に示すミアンダ化後には幅方向に蛇行した形状となっている。この蛇行の幅や蛇行数を変更することにより、任意サイズ（配列周期）のミアンダ化素子を作ることが可能である。なお、図 4 では、各素子を 16 × 16 のセルモデルで示している。配列周期は縦横同サイズとし（tx = ty）、ミアンダ化前の素子として 14 × 1 セルのダイボールを 2 つ配置し、最大 7 セル幅を使ってミアンダ化をおこなった。

【0016】

図 4 A において、素子の形状（ダイボールライン）は金属等の導体素材で形成されている。一方、図 4 B は、図 4 A と同様のダイボール形状であるが、外周部分が導体素材で形成されており、これに開口する（導体素材を除去する）ことで素子形状を形成する。以下、図 4 A のような方法で形状を形成した素子を「パッチ型」、図 4 B のような方法で形状を形成した素子を「開口型」という。なお、ダイボールラインを形成する素材は金属以外の導電性インクでも良く、また、用途によっては導体に限らず、半導体特性材料を適用しても良い。

【0017】

以下の説明では、主に図 4 A に示すパッチ型のダイボール素子（以下、単に「ダイボール素子」と言った場合にはパッチ型のダイボール素子を指す）を例にして説明するが、ミアンダ化素子をいかなる形状にするかは、周波数選択素子に要求される特性に合わせて選択すればよい。たとえば、レドーム 10 に対してバンドパス性能が要求される場合には、周波数選択素子は開口型ミアンダ化素子を用い、バンドストップ性能が要求される場合にはパッチ型ミアンダ化素子を用いればよい。

【0018】

図 4 A の geom1 に示すミアンダ化前のダイボール素子は、TE 波（ダイボールと平

10

20

30

40

50

行方向に電界がある)に励起され、ダイポール長が等価的に半波長となる周波数で全反射をおこす一方で、TE波と直交するTM波に関しては全ての周波数で全透過特性を示す。図4Aのgeom2~geom7に示すミアンダ化後のダイポール素子では、TM波の電界と平行な成分が生じるため、TM波に関しても反射特性を得ることができる。

【0019】

図5は、ミアンダ化前後のパッチ型ダイポール素子における電波透過率の周波数特性を示す説明図である。周波数特性の計算にあたって、周波数範囲は1~20GHz(0.1GHzステップ)、配列周期は3~13mm(0.1mmステップ)、入射角0°とした。図5Aはミアンダ化前のダイポール素子(図4Aのgeom1)における周波数特性であり、縦軸は配列周期(素子のサイズ)、横軸は反射波の周波数を示す。図5Aの(a)はTE波、(b)はTM波に対する特性を示す。(b)に示すように、ミアンダ化前のダイポール素子ではTM波に関しては全ての周波数で全透過特性を示す。

10

【0020】

一方、図5Bはミアンダ化後のダイポール素子(図4Aのgeom7)における周波数特性であり、図5A同様に(a)はTE波、(b)はTM波に対する特性を示す。ミアンダ化後のダイポール素子では、図5B(b)に示すTM波に関しても一部の周波数において反射特性を得られることがわかる。

【0021】

任意の形状のミアンダ化素子において特定の周波数に対する共振特性を得たい場合、図5に示す各グラフを参照して、当該形状の素子において所望の周波数に対する反射強度が最大になる配列周期を選択すればよい。

20

【0022】

なお、図4Bに示す開口型ダイポール素子の場合、geom1に示すミアンダ化前の素子ではTM波(ダイポールと直交方向に電界がある)に励起され、ダイポール長が等価的に半波長となる周波数で全反射をおこす一方で、TM波と直交するTE波に関しては透過成分が生じない。一方、図4Bのgeom2~geom7に示すミアンダ化後の開口型ダイポール素子では、TE波の電界と平行な成分が生じるため、TM波に関しても透過特性を得ることができる。

【0023】

図6は、ミアンダ化素子の他の形状の例を示す説明図である。図6Aはクロスダイポール形状、図6Bは正方形ループ形状、図6Cは円形ループ形状、図6Dは二重正方形ループ形状の素子であり、矢印左側はミアンダ化前の形状、矢印右側はミアンダ化後の形状を示す。ミアンダ化素子は、ダイポール素子に限らず、様々な形状の素子を用いて生成することができる。

30

【0024】

ここで、図5にも示したように、ダイポール素子をベースにした周波数選択素子では、TM波に対する特性とTE波に対する特性とが大きく異なる。そこで、ダイポール素子をベースとしたミアンダ化素子を90°回転させた素子を2個ずつ組み合わせて偏波特性が一樣となるような両偏波対応型素子を形成して、レドーム10に適用することもできる。すなわち、周波数選択素子を、大きさおよび形状が同一の複数のミアンダ化素子を水平方向および垂直方向に交互に向きを変えて同一数並べた素子群によって形成することも可能である。

40

【0025】

図7および図8は、両偏波対応型素子の形状の一例を示す説明図である。図7および図8では、図4Aに示した16×16セルの周波数選択素子を4つ集合させた32×32セルで1つの周波数選択素子を構成している。図4Aと同様に、配列周期は縦横同サイズとし($t_x = t_y$)、ミアンダ化前の素子として14×1セルのダイポールを1ユニット(16×16セル)に2つ配置し、最大7セル幅を使ってミアンダ化をおこなった。これを90°回転させて図7および図8に示す素子を得る。図7のgeom1~geom7では、右側に位置する素子形状ほど素子の蛇行数が多くなっている。

50

【 0 0 2 6 】

また、図 8 の $geom5$ 、 $geom5-1$ 、 $geom5-2$ 、 $geom1$ は、図 7 の $geom5$ に示した 2 周期分蛇行しているミアンダ化素子について、蛇行幅を変更した例であり、右側に位置する素子形状ほど素子の蛇行幅が小さくなり、最も右側に位置する $geom1$ はミアンダ化前のダイポール素子形状となっている。すなわち、図 8 に示す素子群は、同一のミアンダ形状において蛇行幅および素子線長を異ならせた相似形ミアンダ化素子群である。

【 0 0 2 7 】

図 9 は、両偏波対応型素子における電波透過率の周波数特性を示す説明図である。周波数特性の計算にあたって、周波数範囲は $1 \sim 20 \text{ GHz}$ (0.1 GHz ステップ)、配列周期は $6 \sim 26 \text{ mm}$ (0.1 mm ステップ)、入射角 0° とした。図 9 A は図 8 の $geom5-1$ 、図 9 B は $geom5-2$ に示した両偏波対応型素子の周波数特性を示している。縦軸および横軸は、それぞれ配列周期（素子のサイズ）および反射波の周波数を示している。また、各図において（a）は TE 波、（b）は TM 波に対する特性をそれぞれ示している。図 9 A および B に示すように、両偏波対応型素子では、TE 波および TM 波に対する特性が、ほぼ一致している。

【 0 0 2 8 】

図 10 は、図 8 に示した相似形ミアンダ化素子群について、所定の周波数をターゲットとした場合の各周波数選択素子における配列周期と素子線長との関係を示す表である。上述したように、特定の周波数に対する反射特性を得たい場合、当該形状の素子において所望の周波数に対する反射強度が最大になる配列周期を選択すればよい。図 10 は 10 GHz をターゲットとした場合の配列周期 $t_x (= t_y)$ と素子線長（セル数および実際の線長）とを示す。

【 0 0 2 9 】

図 11 は、図 10 に示した配列周期と素子線長（セル数）とをプロットしたグラフである。図 11 において、縦軸は配列周期、横軸は素子線長（セル数）である。図 11 に示すように、相似形ミアンダ化素子群では、配列周期とセル数で示した素子線長（セル数）とはほぼ線形に比例している。すなわち、この線形関係から任意の配列周期に応じた素子線長（セル数）を決定することが可能である。

【 0 0 3 0 】

具体的には、配列周期を x 、素子線長（セル数）を y として線形回帰し、下記式（1）に示す回帰式を設定する。下記式（1）において、 t_x は配列周期、 L_{cell} は素子線長（セル数）、 A および B は定数である。上記式（1）に所望の配列周期を代入すれば、対応する素子線長をセル数単位で求めることができる。

$$L_{cell} = A t_x + B \cdots (1)$$

【 0 0 3 1 】

つぎに、上記式（1）で算出した全体の素子線長（セル数）からミアンダラインの蛇行幅を求める。ミアンダラインの蛇行幅（すなわち、元のダイポールと直交する方向に描かれるセル数）は、全体の素子線長（セル数）から元のダイポール長（セル数）を差し引き、元のダイポールと直交する方向に描かれる線の本数（蛇行数）で除せばよい。すなわち、ミアンダラインの蛇行幅を L_{cross} 、全体の素子線長（セル数）を L_{cell} 、元のダイポール長（セル数）を L_{dip} 、元のダイポールと直交する方向に描かれる線の本数（蛇行数）を N_w とすると、下記式（2）で示すことができる。なお、 N_w は、蛇行幅分の長さを有する線を 1 本としてカウントする。たとえば、ミアンダラインの始端および終端近傍の蛇行ラインは、蛇行幅の半分の長さであり、この場合は 0.5 とカウントする。

$$L_{cross} = (L_{cell} - L_{dip}) / N_w \cdots (2)$$

【 0 0 3 2 】

セル数で示した線長 L_{cell} は、下記式（3）によって実際の線長（以下「実長」という） L_{act} に変換することができる。下記式（3）において、 N_{cell} は素子モデ

ルの1辺におけるセル数(図5の例では32)である。

$$Lact = tx \times Lcell / Ncell \cdots (3)$$

【0033】

すなわち、上記式(2)で示した蛇行幅 $Lcross$ を実長で示す場合は、下記式(2')のように求めることができる。

$$Lcross = \{ (Lcell - Ldip) / Nw \} \times (tx / Ncell) \cdots (2')$$

【0034】

上記式を用いて、図8に示した素子形状について、任意の配列周期における蛇行幅の算出手順の具体例を示す。まず、図11に示した線形関係を回帰式とすると、下記式(1')で示すことができる。

$$Lcell = -19.815tx + 59.784 \cdots (1')$$

【0035】

上記式(1')に所望の配列周期を代入すれば、対応する素子線長をセル数単位で求めることができる。たとえば、配列周期1.7cmにしたいときには、上記式(1')を用いて $Lcell = 26.099$ と求めることができる。

【0036】

図8に示した周波数選択素子は、 $Ldip = 14$ 、 $Nw = 4$ なので、上記式(1')を用いて求めた $Lcell = 26.099$ および上記式(2)から、 $Lcross = 3.02$ (セル数)と求めることができる。さらに、 $tx = 1.7$ cm、 $Ncell = 32$ から、上記式(2')を用いて、蛇行幅の実長を1.6mmと求めることができる。

【0037】

以上のような手順により、任意の形状のミアンダ化素子について、任意の配列周期における蛇行寸法を設定することが可能となる。図1に示したレドーム10では、曲面形状上において規則的配列をおこなうために、ミアンダ化素子の配列周期を変更することにより同一の共振性能を有する大きさの異なる素子を形成し、中心軸Lに対して垂直な任意の面の周上に位置する周波数選択素子の数を等しくしている。具体的には、たとえばレドーム10の底面S0の周C0上に位置する周波数選択素子の数と、中心軸Lに対して垂直な面S1の周C1に位置する周波数選択素子の数を等しくする。これにより、周波数選択素子をシミュレーション等によって性能を評価しうる規則的な配列に置くことができる。

【0038】

図12は、ミアンダ化素子である周波数選択素子の配列モデルの算出方法の手順を示すフローチャートである。図12のフローチャートにおいて、まず、任意の形状のミアンダ化素子について、蛇行幅を一定間隔で変更して特性解析をおこなう(ステップS1201: 特性算出工程)。ステップS1201では、ミアンダ化素子の蛇行幅を一定間隔で変更した(図8の $geom5$ 、 $geom5-1$ 、 $geom5-2$ 、 $geom1$ のような)モデルを生成し、図9に示すような電波透過率の周波数特性をそれぞれ算出する。

【0039】

つぎに、ステップS1201で算出した周波数特性に基づいて、特定の周波数に対する配列周期と素子線長との回帰式を算出する(ステップS1202: 回帰式算出工程)。ステップS1202では、まず、周波数選択素子に要求される性能に基づいてターゲットとする周波数を選択する。そして、各モデルにおいて当該選択周波数で共振性能が得られる配列周期を特定し、当該モデルにおける素子線長(セル数)と配列周期との関係を示す回帰式、すなわち上記式(1)を線形回帰によって算出する。

【0040】

つづいて、周波数選択素子が配列されるレドーム10上の位置を特定する(ステップS1203)。最初に特定するレドーム10上の位置は、たとえば円錐の底面S0近傍(底面の周C0上)とする。レドーム10のサイズは既知であるため、周波数選択素子が配列されるレドーム10上の位置が特定されれば、その位置を含み、レドーム10の中心軸Lに対して垂直な面の周の長さを特定することができる。

【 0 0 4 1 】

つぎに、レドーム 1 0 の同一周上に配置する周波数選択素子の配列個数を決定する（ステップ S 1 2 0 4：素子数決定工程）。なお、周波数選択素子の配列個数は、全ての周上において同一とする。そして、ステップ S 1 2 0 3 で特定された位置の周の長さを、周波数選択素子の配列個数で除すことによって周波数選択素子の配列周期 t_x を算出する（ステップ S 1 2 0 5：配列周期決定工程）。

【 0 0 4 2 】

つぎに、ステップ S 1 2 0 2 で算出した回帰式およびステップ S 1 2 0 5 で算出した配列周期 t_x とを用いて、上述した手順（上記式（2）および（3）参照）によりミアンダラインの蛇行幅を算出する（ステップ S 1 2 0 6：蛇行幅算出工程）。これにより、ステップ S 1 2 0 3 で特定された位置における周波数選択素子の配列が決定する。

10

【 0 0 4 3 】

レドーム 1 0 上の全ての位置に配列される周波数選択素子の蛇行幅を決定するまでは（ステップ S 1 2 0 7：No）、ステップ S 1 2 0 3 で特定された位置と隣接する位置（より詳細には、ステップ S 1 2 0 3 で特定された位置に配列される周波数選択素子の端部に隣接する位置）を特定し（ステップ S 1 2 0 8）、この位置について、ステップ S 1 2 0 5 以降に示す処理をくり返す。

【 0 0 4 4 】

そして、レドーム 1 0 上の全ての位置に配列される周波数選択素子の蛇行幅を決定すると（ステップ S 1 2 0 7：Yes）、レドーム 1 0 上の周波数選択素子の配列モデルが完成したものとして（ステップ S 1 2 0 9）、本フローチャートによる処理を終了する。

20

【 0 0 4 5 】

以上説明したように、実施の形態にかかるレドーム 1 0 は、中心軸の回転方向に対称な曲面形状を有する基材に周波数選択素子を配列する際に、周波数選択素子を、線状素子をミアンダ形状に配置することにより特定周波数への共振性能を実現したミアンダ化素子とした。そして、ミアンダ形状のサイズを変更することにより同一の共振性能を有する大きさの異なる素子を形成し、中心軸に対して垂直な任意の面の周上に位置する周波数選択素子の数を等しくした。これにより、レドーム基材が曲面形状を有する場合でも周波数選択素子の規則的配列を保つことができ、シミュレーション等による性能評価の精度を向上させることができる。

30

【 0 0 4 6 】

また、レドーム 1 0 に配列される周波数選択素子は、大きさおよび形状が同一の複数のミアンダ化素子を水平方向および垂直方向に交互に向きを変えて同一数並べた素子群（両偏波対応型素子）によって形成される。これにより、TE 波および TM 波に対する特性をほぼ一致させることができる。

【 0 0 4 7 】

また、レドーム 1 0 に対してバンドパス性能が要求される場合には、周波数選択素子は開口型ミアンダ化素子を用い、バンドストップ性能が要求される場合にはパッチ型ミアンダ化素子を用いることによって、要求される性能を満たすレドームを得ることができる。

【 0 0 4 8 】

40

また、実施の形態にかかる周波数選択素子の配列決定方法によれば、中心軸の回転方向に対称な曲面形状を有するレドーム 1 0 の中心軸 L に対して垂直な面の周上における周波数選択素子の素子数を決定し、決定された素子数に基づいて、各周上における周波数選択素子の配列周期を決定し、決定された配列周期において周波数選択素子に要求される共振性能を実現するミアンダ形状を決定する。これにより、レドーム基材が曲面形状を有する場合でも周波数選択素子の規則的配列を保つことができ、シミュレーション等による性能評価の精度を向上させることができる。

【 0 0 4 9 】

また、実施の形態にかかる周波数選択素子の配列決定方法によれば、同一のミアンダ形状において蛇行幅および素子線長を異ならせた相似形ミアンダ化素子群を形成し、相似形

50

ミアンダ化素子群内のそれぞれのミアンダ化素子について、配列周期に基づく電波透過率の周波数特性を算出し、算出された周波数特性に基づいて、特定周波数における素子線長と配列周期との線形回帰をおこない、素子線長と配列周期との回帰式を算出し、当該回帰式と周の長さに合わせて決定された配列周期とに基づいて、配列周期に対応する素子線長および蛇行幅を算出する。これにより、任意の周上に配列可能かつ要求される共振性能を有するミアンダ化素子を得ることができる。

【 0 0 5 0 】

なお、本実施の形態では、周波数選択部材としてレドームを挙げて説明したが、本発明は従来公知の様々な周波数選択部材（すなわち透過周波数帯選択性を有する部材）に適用可能である。具体的には、周波数選択部材は、たとえばレドームをはじめとする電磁窓や電波吸収体に適用することができる。周波数選択部材を電磁窓として用いる例については、上述した実施の形態の通りである。また、周波数選択部材を電波吸収体に適用する例としては、たとえば特許第 4 1 4 4 9 4 0 号公報等に関示されている航空機の主翼前縁部への適用などが挙げられる。

10

【 0 0 5 1 】

図 1 3 は、電波吸収体の航空機への適用例を示す説明図である。図 1 3 A に示す航空機 F の主翼前縁部 W には電波吸収体が装備されている。図 1 3 B は主翼前縁部 W の断面図であり、主翼の基材である導体部 1 4 0 2 の表面に電波吸収層 1 4 0 4 が設けられている。電波吸収層 1 4 0 4 は、内部に周波数選択素子 1 4 0 6 が本発明の方法で配置されることにより、電波吸収性能が得られる。本発明を電波吸収体に適用することによって、電波吸収性能を発揮する帯域の広域化や、構造の薄肉化による軽量化、方位特性の向上などを図ることができる。

20

【 0 0 5 2 】

また、本実施の形態では、レドーム 1 0 の曲面形状を、中心軸の回転方向に対称な形状として、中心軸に対して垂直な任意の面の周上に位置する周波数選択素子の数を等しくしたが、本発明の適用はこのような回転対称な曲面形状に限られない。本発明を任意の曲面形状に適用する場合、この曲面形状を通る（任意の）軸に対して垂直な任意の面の周上に位置する周波数選択素子の数を等しくすれば、本実施の形態と同様の効果が得られる。

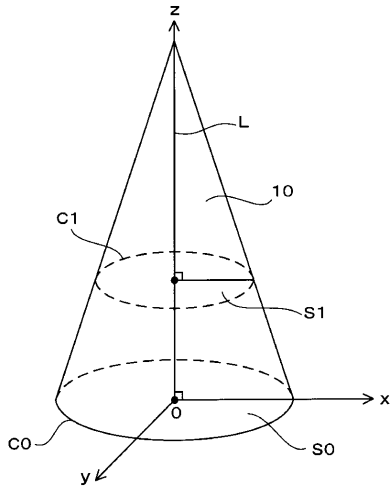
【 符号の説明 】

【 0 0 5 3 】

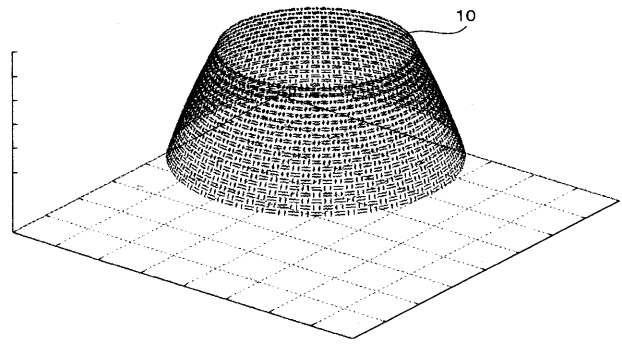
30

1 0 レドーム、 C 0 , C 1 周、 L 中心軸、 O 原点、 S 0 底面、 S 1 面。

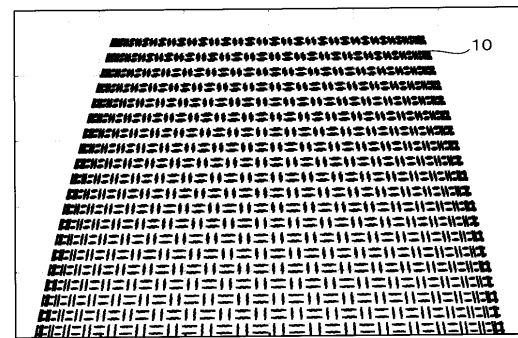
【図 1】



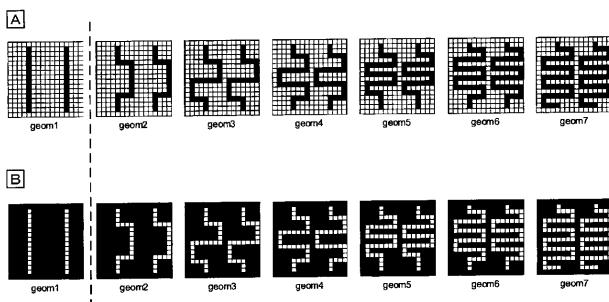
【図 2】



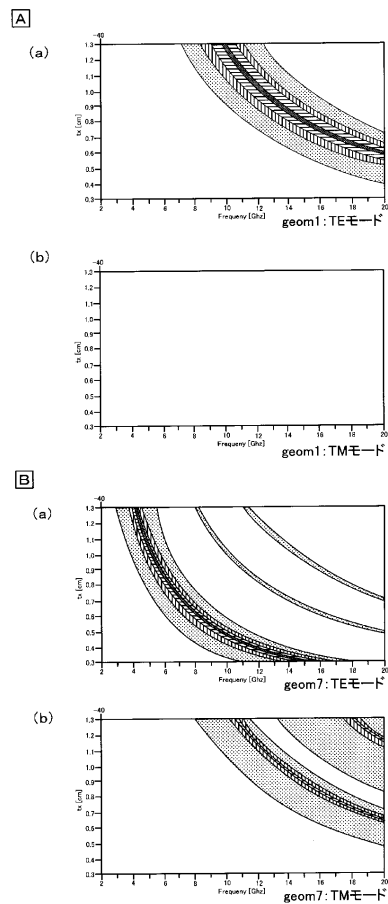
【図 3】



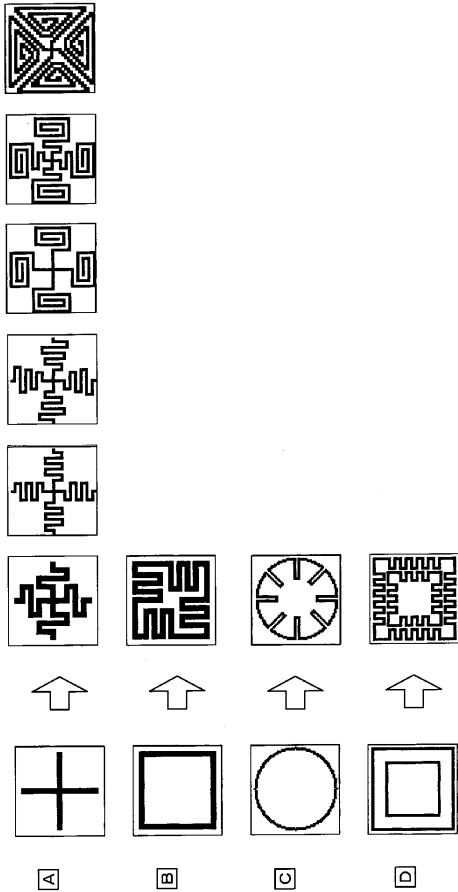
【図 4】



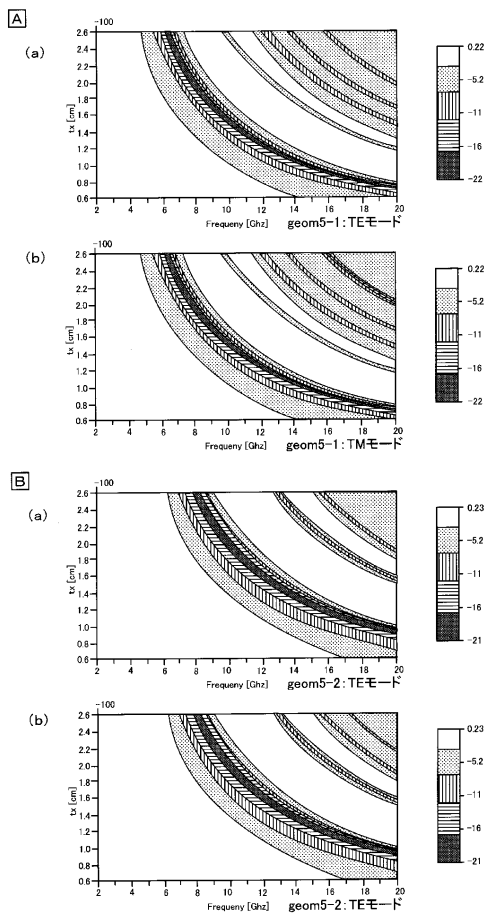
【図 5】



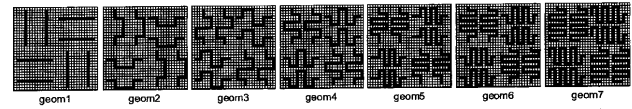
【図 6】



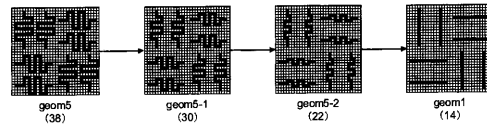
【図 9】



【図 7】



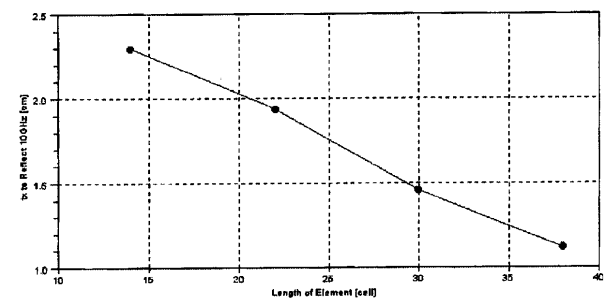
【図 8】



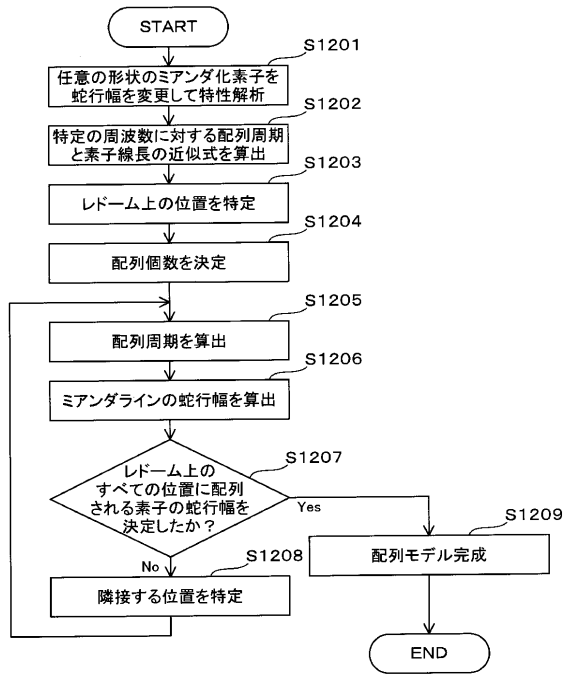
【図 10】

ジオメトリ	10 GHz 遮断 tx [cm]	線長	
		[セル数]	[cm]
geom5	1.12	38	1.33
geom5-1	1.46	30	1.37
geom5-2	1.94	22	1.33
geom1	2.30	14	1.01

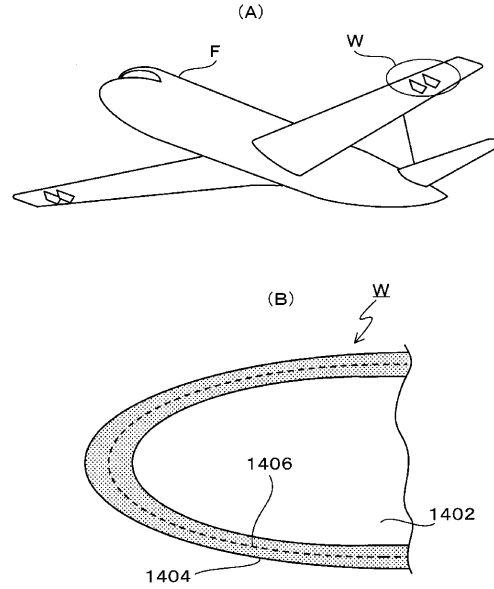
【図 11】



【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】

