

(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2007-17289

(P2007-17289A)

(43) 公開日 平成19年1月25日(2007.1.25)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 N 22/02 (2006.01)	GO 1 N 22/02 Z	
GO 1 N 22/00 (2006.01)	GO 1 N 22/02 B	
	GO 1 N 22/00 U	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2005-199180 (P2005-199180)	(71) 出願人	000006714 横浜ゴム株式会社 東京都港区新橋5丁目36番11号
(22) 出願日	平成17年7月7日(2005.7.7)	(74) 代理人	100089118 弁理士 酒井 宏明
		(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
		(72) 発明者	宮崎 輝規 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

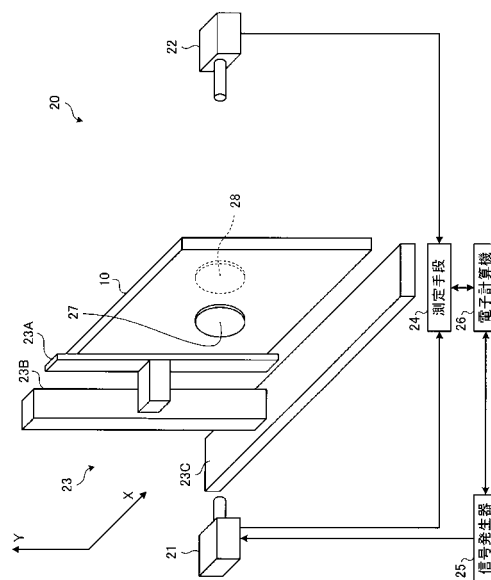
(54) 【発明の名称】 F S S サンドイッチパネルの非破壊検査装置及び非破壊検査方法

(57) 【要約】

【課題】 F S S サンドイッチパネルにおける表面から裏面までの間の欠陥を一度に検知すること。

【解決手段】 特定の周波数の電波を反射又は透過させる周波数選択板 1 2 A , 1 2 B が挿入された F S S サンドイッチパネル 1 0 の共振周波数よりも高く、且つ、その F S S サンドイッチパネル 1 0 における反射率と透過率の変動が小さい範囲内の周波数の電波を当該 F S S サンドイッチパネル 1 0 に照射する電波照射手段 2 1 と、その F S S サンドイッチパネル 1 0 から反射した電波を受信する電波受信手段 2 2 と、その電波照射手段 2 1 から照射された電波と電波受信手段 2 2 が受信した電波とから F S S サンドイッチパネル 1 0 における電波の透過性能又は反射性能を測定する測定手段 2 4 とを備えている。

【選択図】 図 3



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

特定の周波数の電波を反射又は透過させる周波数選択板が挿入された F S S サンドイッチパネルの内部欠陥を検査する F S S サンドイッチパネルの非破壊検査装置であって、

前記 F S S サンドイッチパネルの共振周波数よりも高く、且つ、該 F S S サンドイッチパネルにおける反射率と透過率の変動が小さい範囲内の周波数の電波を当該 F S S サンドイッチパネルに照射する電波照射手段と、

前記 F S S サンドイッチパネルを透過した又は当該 F S S サンドイッチパネルから反射した電波を受信する電波受信手段と、

前記電波照射手段から照射された電波と前記電波受信手段が受信した電波とから前記 F S S サンドイッチパネルにおける電波の透過性能又は反射性能を測定する測定手段と、

を備えたことを特徴とする F S S サンドイッチパネルの非破壊検査装置。

**【請求項 2】**

前記測定手段は、前記電波の透過性能又は反射性能として、前記電波照射手段から照射された電波と前記電波受信手段が受信した電波とから前記 F S S サンドイッチパネルにおける電波透過性能又は電波反射性能を算出するよう構成したことを特徴とする請求項 1 記載の F S S サンドイッチパネルの非破壊検査装置。

**【請求項 3】**

特定の周波数の電波を反射又は透過させる周波数選択板が挿入された F S S サンドイッチパネルの内部欠陥を検査する F S S サンドイッチパネルの非破壊検査方法であって、

前記 F S S サンドイッチパネルの共振周波数よりも高く、且つ、該 F S S サンドイッチパネルにおける反射率と透過率の変動が小さい範囲内の周波数の電波を当該 F S S サンドイッチパネルに照射する工程と、

前記 F S S サンドイッチパネルを透過した又は当該 F S S サンドイッチパネルから反射した電波を受信する工程と、

前記 F S S サンドイッチパネルに照射された電波と当該 F S S サンドイッチパネルからの透過電波又は反射電波とから当該 F S S サンドイッチパネルにおける電波の透過性能又は反射性能を測定する工程と、

を有することを特徴とした F S S サンドイッチパネルの非破壊検査方法。

**【請求項 4】**

前記電波の透過性能又は反射性能を測定する際に、前記 F S S サンドイッチパネルに照射された電波と当該 F S S サンドイッチパネルからの透過電波又は反射電波とから当該 F S S サンドイッチパネルにおける電波透過性能又は電波反射性能を算出することを特徴とした請求項 3 記載の F S S サンドイッチパネルの非破壊検査方法。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、特定の周波数の電波を反射又は透過させる周波数選択板 ( F S S : F r e q u e n c y S e l e c t i v e S u r f a c e ) が挿入された積層板 ( F S S サンドイッチパネル ) の内部欠陥を検査する F S S サンドイッチパネルの非破壊検査装置及び非破壊検査方法に関する。

**【背景技術】****【0002】**

従来、被検体に対して超音波探傷、X線探傷又は赤外線探傷を行い当該被検体の欠陥を検知する非破壊検査装置及び非破壊検査方法が知られている。

**【0003】**

例えば、超音波探傷やX線探傷を行う非破壊検査装置及び非破壊検査方法としては下記の特許文献 1 に開示されており、赤外線探傷を行う非破壊検査装置及び非破壊検査方法としては下記の特許文献 2 に開示されている。

**【0004】**

10

20

30

40

50

【特許文献1】特開2005-49098号公報

【特許文献2】特開平9-281058号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ここで、赤外線探傷は、被検体の表層の欠陥を非破壊検査するものである。また、超音波探傷は、発泡材コアやハニカムコア等の音波伝播を著しく減衰するコア材が遮音層になってしまうので、このようなコア材を使用したサンドイッチパネルについてはその表層しか非破壊検査することができない。これが為、これら超音波探傷や赤外線探傷は、その表層の異物や樹脂充填不足箇所（レジスタープ）を検知することはできるが、その裏面側

10

【0006】

一方、X線探傷については、表面から裏面までの間の異物を一度に検知することはできるが、樹脂充填不足箇所については検知することができない。

【0007】

尚、FSSサンドイッチパネルとは、例えば、発泡材コアやハニカムコア等の遮音性の高いコア層と、このコア層の両面又は一方の面に積層した周波数選択板と、これら各周波数選択板又は周波数選択板及びコア層の他方の面に積層した誘電体層とで構成されたものである。これが為、従来の超音波探傷、赤外線探傷又はX線探傷を行う非破壊検査装置及び非破壊検査方法では、FSSサンドイッチパネル全体の異物や樹脂充填不足箇所等の欠陥（X線探傷の場合であれば異物を除く）を検知することができない。

20

【0008】

そこで、本発明は、かかる従来例の有する不都合を改善し、FSSサンドイッチパネルにおける表面から裏面までの間の異物や樹脂充填不足箇所等の欠陥を一度に検知可能なFSSサンドイッチパネルの非破壊検査装置及び非破壊検査方法を提供することを、その目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記目的を達成する為、請求項1記載の発明では、特定の周波数の電波を反射又は透過させる周波数選択板が挿入されたFSSサンドイッチパネルの内部欠陥を検査するFSSサンドイッチパネルの非破壊検査装置において、そのFSSサンドイッチパネルの共振周波数よりも高く、且つ、そのFSSサンドイッチパネルにおける反射率と透過率の変動が小さい範囲内の周波数の電波を当該FSSサンドイッチパネルに照射する電波照射手段と、そのFSSサンドイッチパネルを透過した又は当該FSSサンドイッチパネルから反射した電波を受信する電波受信手段と、その電波照射手段から照射された電波と電波受信手段が受信した電波とからFSSサンドイッチパネルにおける電波の透過性能又は反射性能

40

【0010】

また、上記目的を達成する為、請求項3記載の発明では、特定の周波数の電波を反射又は透過させる周波数選択板が挿入されたFSSサンドイッチパネルの内部欠陥を検査するFSSサンドイッチパネルの非破壊検査方法において、そのFSSサンドイッチパネルの共振周波数よりも高く、且つ、そのFSSサンドイッチパネルにおける反射率と透過率の変動が小さい範囲内の周波数の電波を当該FSSサンドイッチパネルに照射する工程と、そのFSSサンドイッチパネルを透過した又は当該FSSサンドイッチパネルから反射した電波を受信する工程と、そのFSSサンドイッチパネルに照射された電波と当該FSSサンドイッチパネルからの透過電波又は反射電波とから当該FSSサンドイッチパネルに

50

おける電波の透過性能又は反射性能を測定する工程とを有している。

【0011】

例えば、その請求項1記載のFSSサンドイッチパネルの非破壊検査装置の測定手段は、請求項2記載の発明の如く、電波の透過性能又は反射性能として、電波照射手段から照射された電波と電波受信手段が受信した電波とからFSSサンドイッチパネルにおける電波透過性能又は電波反射性能を算出するよう構成する。

【0012】

また、例えば、その請求項3記載のFSSサンドイッチパネルの非破壊検査方法において電波の透過性能又は反射性能を測定する際には、請求項4記載の発明の如く、FSSサンドイッチパネルに照射された電波と当該FSSサンドイッチパネルからの透過電波又は反射電波とから当該FSSサンドイッチパネルにおける電波透過性能又は電波反射性能を算出する。

10

【0013】

この請求項1, 2, 3又は4に記載の発明によれば、FSSサンドイッチパネルに対して上述した範囲内の周波数の電波を照射し、そのFSSサンドイッチパネルにおける電波の透過性能又は反射性能を観ることによって、そのFSSサンドイッチパネルの表面から裏面までの間の異物や樹脂充填不足箇所等の欠陥を検知することができる。

【発明の効果】

【0014】

本発明に係るFSSサンドイッチパネルの非破壊検査装置及び非破壊検査方法は、FSSサンドイッチパネルの共振周波数よりも高く、且つ、そのFSSサンドイッチパネルにおける反射率と透過率の変動が小さい範囲内の周波数の電波を当該FSSサンドイッチパネルに照射することによって、従来の超音波探傷、赤外線探傷又はX線探傷のみでは一度に検知し得なかったFSSサンドイッチパネルにおける表面から裏面までの間の異物や樹脂充填不足箇所等の欠陥を一度に検知することができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

以下に、本発明に係るFSSサンドイッチパネルの非破壊検査装置及び非破壊検査方法の実施例を図面に基づいて詳細に説明する。尚、この実施例によりこの発明が限定されるものではない。

30

【実施例1】

【0016】

本発明に係るFSSサンドイッチパネルの非破壊検査装置及び非破壊検査方法の実施例1を図1から図10に基づいて説明する。

【0017】

最初に、本実施例1における非破壊検査装置の被検体たるFSSサンドイッチパネル10を図1に基づき説明する。

【0018】

このFSSサンドイッチパネル10は、矩形のコア層11と、このコア層11の両面に積層した矩形の第1及び第2の周波数選択板12A, 12Bと、これら第1及び第2の周波数選択板12A, 12Bの夫々に積層した矩形の第1及び第2の誘電体層13A, 13Bとで構成されている。

40

【0019】

例えば、そのコア層11としては発泡材を用いる一方、その第1及び第2の誘電体層13A, 13BとしてはGFRP(ガラス繊維強化複合材料)を用いる。

【0020】

また、第1及び第2の周波数選択板12A, 12Bには例えば銅線等の金属線からなる複数のクロスダイポール型等の素子パターンが格子状に配置されており、これにより特定の周波数の電波を反射又は透過させる。本実施例1にあつては、図2に示すエルサレムクロス型の素子パターンを用いている。

50

## 【0021】

このような第1及び第2の周波数選択板12A, 12Bが挿入されているFSSサンドイッチパネル10においては、所望の共振効果を得る設計周波数(共振周波数)と同等の周波数の電波を反射又は透過させる。

## 【0022】

一方、このFSSサンドイッチパネル10に照射される電波の周波数に拘わらず、このFSSサンドイッチパネル10を透過した電波又はFSSサンドイッチパネル10から反射した電波は、FSSサンドイッチパネル10の仕様毎の固有の値として検出することができる。即ち、このFSSサンドイッチパネル10に何ら欠陥がなければ、このFSSサンドイッチパネル10は、FSSサンドイッチパネル10の仕様毎に固有の電波の透過性能又は反射性能を発揮する。これが為、仮にFSSサンドイッチパネル10の内部に異物や欠損等の欠陥がある場合には、その固有の値として検出されるべき反射又は透過した電波がFSSサンドイッチパネル10の仕様に応じた正規の値として検出されなくなる。

10

## 【0023】

そこで、本実施例1にあっては、かかる特性を利用してFSSサンドイッチパネル10の非破壊検査を行う。

## 【0024】

次に、本実施例1の非破壊検査装置の構成を図3に基づき説明する。

## 【0025】

その図3の符号20は、本実施例1の非破壊検査装置を示す。本実施例1の非破壊検査装置20には、FSSサンドイッチパネル10に対して電波(ミリ波)を照射する電波照射手段21と、この電波照射手段21の電波照射部に対向して配置された電波受信部を有する電波受信手段22と、その電波照射手段21と電波受信手段22との間でFSSサンドイッチパネル10を図3に示すXY方向へと移動させる被検体移動手段23と、その電波受信手段22が受信した電波を測定点毎の測定データとして取り込んで測定結果を算出する測定手段24とが設けられている。

20

## 【0026】

ここで、その被検体移動手段23は、FSSサンドイッチパネル10を保持する保持具23Aと、この保持具23Aを図3に示すY方向へと往復移動させるY方向移動部23Bと、このY方向移動部23Bを図3に示すX方向へと往復移動させるX方向移動部23Cとを備えている。例えば、この被検体移動手段23においては、そのY方向移動部23BとX方向移動部23Cとを図示しない電動モータや歯車群等により駆動してFSSサンドイッチパネル10をY方向, X方向に適宜移動させる。例えば、本実施例1の被検体移動手段23は、FSSサンドイッチパネル10をY方向とX方向に夫々1mmずつ移動させることができるよう設定されている。

30

## 【0027】

また、この非破壊検査装置20を構成する測定手段24は、電波照射手段21からの電波と電波受信手段22が受信した電波とからFSSサンドイッチパネル10の電波透過性能(振幅(dB))を算出するものである。

## 【0028】

例えば、本実施例1にあっては、この測定手段24としてスカラネットワークアナライザを使用する。そして、電波照射手段21としてリフレクトメータを使用する一方、電波受信手段22としてディテクターを使用する。

40

## 【0029】

そのリフレクトメータとは、マイクロ波をミリ波に逡倍し、そのミリ波電波をアンテナを介して放射すると共に、分波した一部のミリ波電波を測定手段24たるスカラネットワークアナライザに基準信号として渡すものである。そこで、本実施例1の非破壊検査装置20においては、その電波照射手段21たるリフレクトメータに送るマイクロ波を発生させる信号発生器25が設けられている。一方、そのディテクターとは、アンテナを介してミリ波電波を検知して、これを測定手段24たるスカラネットワークアナライザに送るも

50

のである。

【0030】

これが為、本実施例1の測定手段24(スカラネットワークアナライザ)においては、電波照射手段21(リフレクトメータ)から送られてきた基準信号と電波受信手段22(ディテクター)から送られてきた検知信号の夫々のレベルを比較して、FSSサンドイッチパネル10の電波透過性能(振幅(dB))の算出を行う。

【0031】

ところで、この測定手段24(スカラネットワークアナライザ)は、その算出結果を表示する表示部を備えている。これが為、本実施例1の非破壊検査装置20においては、この測定手段24(スカラネットワークアナライザ)が表示手段としての機能も兼ねている。例えば、この測定手段24(スカラネットワークアナライザ)は、その算出結果たる電波透過性能を所定の範囲毎に色分け等して表示する。尚、その電波透過性能(即ち、測定結果)を表示させる前に画像処理を行い、より鮮明な形で測定結果を表示させてもよい。また、その測定結果を表示する為に、例えば、モニタやプリンタ等の別構成の表示手段を設けていてもよい。

10

【0032】

上述した測定手段24や信号発生器25は、図3に示す電子計算機26によってその動作が制御又は指示される。

【0033】

更に、この非破壊検査装置20においては、電波照射手段21とFSSサンドイッチパネル10との間及び電波受信手段22とFSSサンドイッチパネル10との間に夫々第1及び第2の誘電体レンズ27,28を介在させている。これら第1及び第2の誘電体レンズ27,28は、ビームを狭くして、エネルギーの集中によるダイナミックレンジの向上や感度の向上を図り、更に、照射面積を所望の位置に限定して分解能の向上を図っている。例えば、本実施例1にあっては、これら第1及び第2の誘電体レンズ27,28とFSSサンドイッチパネル10との間に80mmの間隔を空けている。

20

【0034】

ところで、この非破壊検査装置20の被検体たるFSSサンドイッチパネル10は、上述した単一の素子パターンからなる第1及び第2の周波数選択板12A,12Bが挿入されている場合であっても、複数の素子パターンからなる周波数選択板が挿入されている場合(即ち、複数の共振周波数を有する場合)であっても、その設計周波数(共振周波数)付近においては電波照射手段21からの電波の周波数の変化に応じて反射率と透過率が大きく変化する。

30

【0035】

このことは図4に示すシミュレーションの結果からも明らかであり、この図4によれば、周波数0~60GHzの電波が照射された際には電波透過性能が大きく変化している。ここで、そのシミュレーションとは、上述した単一の素子パターンからなる第1及び第2の周波数選択板12A,12Bが挿入されたFSSサンドイッチパネル10に対して0~110GHzの範囲内で0.25GHzずつ周波数を変化させて電波を照射し、その夫々の周波数における電波透過性能を解析したものである。

40

【0036】

尚、その際のFSSサンドイッチパネル10は、厚さ $t = 25\text{ mm}$ で複素比誘電率 $(1.56 - j0.006)$ の発泡材からなるコア層11と、セル寸法が $7.5\text{ mm} \times 7.5\text{ mm}$ の図2に示す素子パターンのセルを格子状に $64 \times 64 (= 4096)$ 個配置した第1及び第2の周波数選択板12A,12Bと、厚さ $t = 1\text{ mm}$ で複素比誘電率 $(4.5 - j0.036)$ のGFRPからなる第1及び第2の誘電体層13A,13Bとで構成されたものであり、何ら欠陥が無いものとしている。

【0037】

一方、その図4に示すシミュレーション結果を観ると、FSSサンドイッチパネル10の設計周波数(共振周波数)よりもある程度高い周波数(60GHz以上)においては、

50

電波照射手段 2 1 から照射させる電波の周波数を変化させても反射率と透過率は大きく変化していないことが判る。

【 0 0 3 8 】

また、電波照射手段 2 1 から照射させる電波の周波数を高くした場合には、波長が短くなり、F S S サンドイッチパネル 1 0 に対しての電波のビームが絞り易くなるので、その電波照射手段 2 1 からの電波の周波数を高くすることによって測定手段 2 4 が求めた測定結果の分解能を上げることができる。

【 0 0 3 9 】

そこで、本実施例 1 の非破壊検査装置 2 0 においては、F S S サンドイッチパネル 1 0 の設計周波数（共振周波数）よりも高く、且つ、その F S S サンドイッチパネル 1 0 における反射率と透過率の変動が小さい範囲内の周波数の電波を電波照射手段 2 1 から照射させる。即ち、本実施例 1 の非破壊検査装置 2 0 においては、F S S サンドイッチパネル 1 0 の設計周波数（共振周波数）に対して  $n$  1 倍以上の周波数の電波を電波照射手段 2 1 から照射させる。

10

【 0 0 4 0 】

その倍数  $n$  1 は、F S S サンドイッチパネル 1 0 に設定される設計周波数（共振周波数）に応じて異なるものであり、その F S S サンドイッチパネル 1 0 の仕様に応じてシミュレーションや実験により予め求めておく。例えば、今回のシミュレーションに用いた F S S サンドイッチパネル 1 0 の非破壊検査を行う際には、その F S S サンドイッチパネル 1 0 に設定された共振周波数（例えば 2 5 G H z）の 2 . 4 倍（6 0 G H z）以上の周波数で電波照射手段 2 1 から電波を照射させる。

20

【 0 0 4 1 】

ここで、そのシミュレーションで用いた F S S サンドイッチパネル 1 0 を実際に試作し、そのシミュレーションと同様の条件で本実施例 1 の非破壊検査装置 2 0 を用いて実験した。ここでは、その F S S サンドイッチパネル 1 0 に対して、反射率と透過率の変動が小さい 7 5 ~ 1 1 0 G H z の範囲内で 0 . 2 5 G H z ずつ周波数を変化させて電波照射手段 2 1 から電波を照射し、その夫々の周波数における振幅（d B）を上記のシミュレーション結果と共に観てみた。その結果を図 5 に示す。尚、6 0 G H z から実験を行わなかった理由は、F S S サンドイッチパネル 1 0 を試作する際の製造誤差等を考慮してより正確な実験結果とシミュレーション結果との比較を行う為である。

30

【 0 0 4 2 】

かかる実験結果によれば、7 5 ~ 9 7 G H z の範囲内においては実測値とシミュレーション結果とが略同等の周波数特性を得ていることが判る。一方、周波数が 9 7 G H z よりも高くなると、実測値の方がシミュレーション結果よりも高レベルの振幅を示していることが判る。この 9 7 G H z よりも高い周波数帯域における実測値とシミュレーション結果との相違は、かかる周波数帯域でのシミュレーションの精度、特に正確な材料定数や厚さの精度が十分でないことが原因であると考えられる。これが為、必ずしもかかる周波数帯域において電波照射手段 2 1 から電波を照射させてはならないわけではない。

【 0 0 4 3 】

しかしながら、6 0 ~ 9 7 G H z の周波数帯域においては、特により正確な材料定数等の情報を得ることが可能であり、それ故に 7 5 ~ 9 7 G H z の範囲内においては上記の結果を得られたのである。そこで、かかる実験等に用いた F S S サンドイッチパネル 1 0 の非破壊検査を行う際には、その F S S サンドイッチパネル 1 0 に設定された共振周波数（例えば 2 5 G H z）の 2 . 4 倍以上で且つ 3 . 9 倍以下の周波数（6 0 ~ 9 7 G H z）で電波照射手段 2 1 から電波を照射させることが好ましい。尚、材料定数については、例えば、ファブリーペロー共振器法等の誘電率測定手法により取得可能である。

40

【 0 0 4 4 】

以上のことから、本実施例 1 の非破壊検査装置 2 0 においては、F S S サンドイッチパネル 1 0 の設計周波数（共振周波数）に対して  $n$  1 倍以上で且つ  $n$  2 倍以下の範囲内の周波数（6 0 ~ 9 7 G H z）の電波を電波照射手段 2 1 から照射させて非破壊検査を行うこ

50

とが好ましい。

【0045】

ここで、その倍数  $n_2$  についても、上述した倍数  $n_1$  と同様に FSS サンドイッチパネル 10 の仕様に応じてシミュレーションや実験により予め求めておく。

【0046】

次に、上述したシミュレーションや実験に用いた FSS サンドイッチパネル 10 において欠陥を意図的に設けた供試体 10A を作成し、これを用いて本実施例 1 の非破壊検査装置 20 で非破壊検査可能か否かにつき電波の透過性能の変化を観て検証した。

【0047】

かかる検証に用いた FSS サンドイッチパネルの供試体 10A を図 6 に基づき説明する。この図 6 に示す供試体 10A においては、第 1 誘電体層 13A 側を表面、第 2 誘電体層 13B 側を裏面としている。

10

【0048】

先ず、この供試体 10A は、上述した FSS サンドイッチパネル 10 のコア層 11 を 2 分割し、その夫々の継ぎ目 J をコア層 11 のひび割れ等に相当する欠陥として設けている。また、第 1 周波数選択板 12A に 3 つの切り欠き C1 ~ C3 を設け、これらを第 1 周波数選択板 12A の欠損等に相当する欠陥として設けている。また、異物に相当する欠陥としては、第 1 誘電体層 13A と第 1 周波数選択板 12A との間及び第 1 周波数選択板 12A とコア層 11 との間に夫々鉄片 S1, S2 を挿入している。更に、この供試体 10A においては、第 2 誘電体層 13B の一部に樹脂を十分含浸させずに樹脂充填不足箇所 RL を形成し、これを樹脂充填不足や気泡等に相当する欠陥として設けている。

20

【0049】

かかる検証においては、その FSS サンドイッチパネルの供試体 10A を被検体移動手段 23 に取り付け、図 6 に示す測定領域 A ~ C の 3 箇所について供試体 10A を 1mm ずつ動かして各測定点で測定を行った。また、電波照射手段 21 からは 75 ~ 110 GHz の範囲内で 0.25 GHz ずつ電波の周波数を変化させ、その夫々の周波数毎に測定結果を求めている。ここで、60 GHz から測定を行わなかったのは上述した FSS サンドイッチパネル 10 の実験等を行った際と同様の理由からであり、また、110 GHz まで測定を行った理由は実測値とシミュレーションとの相違による影響を観る為である。

【0050】

尚、その測定領域 A には第 1 誘電体層 13A と第 1 周波数選択板 12A との間の鉄片 S1 及び第 2 誘電体層 13B の樹脂充填不足箇所 RL が欠陥として設けられており、測定領域 B には第 1 周波数選択板 12A の切り欠き C1 が欠陥として設けられている。また、測定領域 C には、コア層 11 の継ぎ目 J 及び第 1 周波数選択板 12A とコア層 11 との間の鉄片 S2 が欠陥として設けられている。

30

【0051】

かかる検証時の各測定領域 A ~ C における測定結果について図 7 から図 10 に示す。これら各図の測定結果は、測定手段 24 で算出された夫々の測定領域 A ~ C における各測定点の電波透過性能（振幅 (dB)）を所定の範囲毎に色分けして表示手段（測定手段 24 としてのスカラネットワークアナライザ）に表示したものである。尚、図示の便宜上、これら各図においては、その色分け分布をハッチングに置き換えて図示している。また、これら各図は、複数の測定結果の中から欠陥が検知できたものを無作為に抜き出したものであり、必ずしも下記の周波数のみでしか欠陥を検知できないわけではない。

40

【0052】

初めに測定領域 A の測定結果について図 7 及び図 8 を用いて検証する。この測定領域 A においては、上述したが如く、第 1 誘電体層 13A と第 1 周波数選択板 12A との間に鉄片 S1 が挿入されており、更に、裏面側の第 2 誘電体層 13B に樹脂充填不足箇所 RL が存在している。

【0053】

ここで、電波照射手段 21 から周波数 75 GHz の電波を照射した際の図 7 の測定結果

50

を観てみると、鉄片 S 1 と樹脂充填不足箇所 R L が存在している部位においては何ら欠陥の無い箇所よりも電波透過性能（振幅（dB））が小さくなっていることが判る。これは、鉄片 S 1 においては電波照射手段 2 1 からの電波の殆どが反射され、樹脂充填不足箇所 R L においてはその空洞部分の気体によって電波照射手段 2 1 からの電波が周囲よりも拡散又は反射されるからであり、これらの周囲における何ら欠陥の無い箇所よりも電波照射手段 2 1 からの電波が電波受信手段 2 2 に向けて透過し難くなっているからである。

【0054】

これと同様のことは電波照射手段 2 1 から周波数 100 GHz の電波を照射した際の図 8 の測定結果からも判る。しかしながら、かかる場合には樹脂充填不足箇所 R L の存在を検知することはできるが、その樹脂充填不足箇所 R L の詳細な大きさについては周波数 75 GHz の場合よりも明らかではない。これが為、本実施例 1 の非破壊検査装置 20 において樹脂充填不足箇所 R L を探傷する際は、100 GHz 等のあまり高い周波数で非破壊検査を行うよりも低めの周波数を用いることが好ましい。尚、異物の探傷のみを目的とするのであれば、そのような高めの周波数で非破壊検査を行っても十分に検知することができる。

10

【0055】

続いて、測定領域 B の測定結果について図 9 を用いて検証する。この測定領域 B においては、上述したが如く第 1 周波数選択板 12 A の切り欠き C 1 が存在している。

【0056】

ここで、電波照射手段 2 1 から周波数 95 GHz の電波を照射した際の図 9 の測定結果を観てみると、切り欠き C 1 が存在している部位に置いては何ら欠陥の無い箇所よりも電波透過性能（振幅（dB））が小さくなっていることが判る。これは、その切り欠き C 1 によって第 1 誘電体層 13 A とコア層 11 との間に隙間（空洞）ができ、この空洞部分の気体によって電波照射手段 2 1 からの電波が周囲よりも拡散又は反射されるからであり、これらの周囲における何ら欠陥の無い箇所よりも電波照射手段 2 1 からの電波が電波受信手段 2 2 に向けて透過し難くなっているからである。

20

【0057】

続いて、測定領域 C の測定結果について図 10 を用いて検証する。この測定領域 C においては、上述したが如く、コア層 11 の継ぎ目 J が存在しており、更に、第 1 周波数選択板 12 A とコア層 11 との間に鉄片 S 2 が挿入されている。

30

【0058】

ここで、電波照射手段 2 1 から周波数 75 GHz の電波を照射した際の図 10 の測定結果を観てみると、継ぎ目 J と鉄片 S 2 が存在している夫々においては何ら欠陥の無い箇所よりも電波透過性能（振幅（dB））が小さくなっていることが判る。これは、その継ぎ目 J においてはその僅かな空洞部分の気体や分割されたコア層 11 同士端面によって電波照射手段 2 1 からの電波が周囲よりも拡散又は反射され、鉄片 S 2 においては電波照射手段 2 1 からの電波の殆どが反射されるからであり、これらの周囲における何ら欠陥の無い箇所よりも電波照射手段 2 1 からの電波が電波受信手段 2 2 に向けて透過し難くなっているからである。

【0059】

以上示した供試体 10 A による検証結果から明らかなように、本実施例 1 の非破壊検査装置 20 においては、FSS サンドイッチパネル 10 の設計周波数（共振周波数）よりも高く、且つ、その FSS サンドイッチパネル 10 における反射率と透過率の変動が小さい範囲内の周波数の電波を電波照射手段 2 1 から照射し、その FSS サンドイッチパネル 10 における電波の透過性能を観ることによって、従来の超音波探傷、赤外線探傷又は X 線探傷のみでは一度に検知し得なかった FSS サンドイッチパネル 10 における表面から裏面までの間の異物や樹脂充填不足箇所等の欠陥を一度に検知することができる。

40

【0060】

特に、FSS サンドイッチパネル 10 の設計周波数（共振周波数）に対して n 1 倍以上で且つ n 2 倍以下の範囲内の周波数（60 ~ 97 GHz）の電波を電波照射手段 2 1 から

50

照射させることによって、より明確に欠陥を検知することができるようになるので好ましい。

【0061】

尚、上述した本実施例1の非破壊検査装置20においては測定手段24としてスカラネットワークアナライザを用いた場合について例示したが、これに替えてベクトルネットワークアナライザを用いてもよい。かかる場合の非破壊検査装置20の一例について図11に例示する。

【0062】

この非破壊検査装置20においては、電波照射手段21としてのアンテナと電波受信手段22としてのアンテナとが設けられており、測定手段24たるベクトルネットワークアナライザから送られ、増幅器29により増幅されたミリ波電波を電波照射手段21から放射し、電波受信手段22が検知して測定手段24たるベクトルネットワークアナライザに送る。そして、その測定手段24(ベクトルネットワークアナライザ)は、電波照射手段21(増幅器29)に送信したミリ波電波と電波受信手段22から送られてきた検知信号の夫々のレベルを比較して、FSSサンドイッチパネル10の電波透過性能(振幅(dB))の算出を行う。尚、その増幅器29は、必須の構成ではなく、測定手段24(ベクトルネットワークアナライザ)からのミリ波電波の電力の大きさ如何で必要に応じて設ければよい。

10

【0063】

また、本実施例1の非破壊検査装置20においては被検体移動手段23を用いてFSSサンドイッチパネル10を各測定点へと移動させるものについて例示しているが、そのFSSサンドイッチパネル10の位置を固定し、電波照射手段21と電波受信手段22とをFSSサンドイッチパネル10の各測定点に移動させてもよい。

20

【実施例2】

【0064】

次に、本発明に係るFSSサンドイッチパネルの非破壊検査装置及び非破壊検査方法の実施例2を図11に基づいて説明する。

【0065】

前述した実施例1においては、電波照射手段21と電波受信手段22との間に被検体たるFSSサンドイッチパネル10を配置して、このFSSサンドイッチパネル10の電波透過性能の変化を観ることにより欠陥の有無を検知している。

30

【0066】

しかしながら、その電波透過性能とは裏を返せば電波反射性能と一意に関連するものであり、電波の反射性能の変化を観ることによっても欠陥の有無を検知することができる。

【0067】

そこで、本実施例2にあつては、FSSサンドイッチパネル10の電波反射性能を検出できるように非破壊検査装置を構成し、この非破壊検査装置を用いてFSSサンドイッチパネル10の非破壊検査を行う。

【0068】

図12の符号120は、本実施例2の非破壊検査装置を示す。本実施例2の非破壊検査装置120は、図11に示す如く、実施例1の非破壊検査装置20と同様の電波照射手段21、電波受信手段22、被検体移動手段23(図示略)、測定手段24及び表示手段30を備えている。

40

【0069】

ここで、本実施例2にあつては、図11に示す如く、電波照射手段21と電波受信手段22とをFSSサンドイッチパネル10に対して同一面側に配置すると共に、その電波照射手段21及び電波受信手段22をその電波照射方向及び電波受信方向がFSSサンドイッチパネル10に対して夫々逆方向の所定の角度を有するように配置する。即ち、本実施例2の電波受信手段22は、FSSサンドイッチパネル10から反射した電波照射手段21からの電波を受信できる位置に配置する。

50

## 【0070】

また、その電波照射手段21については、実施例1の場合と同様に、FSSサンドイッチパネル10の設計周波数（共振周波数）よりも高く、且つ、そのFSSサンドイッチパネル10における反射率と透過率の変動が小さい範囲内の周波数の電波を照射させるように構成する。

## 【0071】

更に、本実施例2にあつては、電波照射手段21からの電波と電波受信手段22が受信した電波とからFSSサンドイッチパネル10の電波反射性能（振幅（dB））を算出し、この電波反射性能を所定の範囲毎に色分け等して表示手段30に表示させるように測定手段24を構成する。

10

## 【0072】

例えば、実施例1で例示したFSSサンドイッチパネルの供試体10Aの非破壊検査を行う場合には、その供試体10Aの設計周波数（共振周波数）に対してn1倍以上で且つn2倍以下の範囲内の周波数（60～97GHz）の電波を電波照射手段21から照射させる。これに伴って供試体10Aから反射した電波は、電波受信手段22で受信されて測定手段24に送られる。そして、その測定手段24においては、電波照射手段21からの電波と電波受信手段22が受信した電波とから供試体10Aの電波反射性能（振幅（dB））を算出し、これを所定の範囲毎に色分け等して表示手段30に表示させる。これにより、第1周波数選択板12Aの切り欠きC1、鉄片S1、S2及びコア層11の継ぎ目Jを検知することができる。

20

## 【0073】

このように非破壊検査装置120を構成して、FSSサンドイッチパネル10の設計周波数（共振周波数）よりも高く、且つ、そのFSSサンドイッチパネル10における反射率と透過率の変動が小さい範囲内の周波数の電波を電波照射手段21から照射し、そのFSSサンドイッチパネル10における電波の反射性能を観ることによっても、実施例1と同様に、従来の超音波探傷、赤外線探傷又はX線探傷のみでは一度に検知し得なかったFSSサンドイッチパネル10における表面から裏面までの間の異物や樹脂充填不足箇所等の欠陥を一度に検知することができる。

## 【0074】

また、本実施例2にあつても、FSSサンドイッチパネル10の設計周波数（共振周波数）に対してn1倍以上で且つn2倍以下の範囲内の周波数（60～97GHz）の電波を電波照射手段21から照射させることによって、より明確に欠陥を検知することができるようになるので好ましい。

30

## 【産業上の利用可能性】

## 【0075】

以上のように、本発明に係るFSSサンドイッチパネルの非破壊検査装置及び非破壊検査方法は、FSSサンドイッチパネルにおける表面から裏面までの間の異物や樹脂充填不足箇所等の欠陥を一度に検知する為の技術に適している。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0076】

40

【図1】本発明に係る非破壊検査装置及び非破壊検査方法の非破壊検査対象たるFSSサンドイッチパネルの一例を示す図である。

【図2】図1のFSSサンドイッチパネルに挿入されている周波数選択板の素子パターンの一例を示す図である。

【図3】本発明に係るFSSサンドイッチパネルの非破壊検査装置の実施例1の構成を示す図である。

【図4】図1のFSSサンドイッチパネルにおける周波数毎の電波反射性能（振幅（dB））のシミュレーション結果を示す図である。

【図5】図1のFSSサンドイッチパネルにおける周波数毎の電波反射性能（振幅（dB））のシミュレーション結果と実測値とを示す図である。

50

【図 6】欠陥を意図的に設けた F S S サンドイッチパネルの供試体を示す図である。

【図 7】図 6 の供試体について実施例 1 の非破壊検査装置及び非破壊検査方法を用いて非破壊検査した際の図 6 に示す測定領域 A の測定結果を示す図である。

【図 8】図 6 の供試体について実施例 1 の非破壊検査装置及び非破壊検査方法を用いて非破壊検査した際の図 6 に示す測定領域 A の測定結果を示す図であって、照射する電波の周波数を図 7 に対して変更したときの測定結果を示す図である。

【図 9】図 6 の供試体について実施例 1 の非破壊検査装置及び非破壊検査方法を用いて非破壊検査した際の図 6 に示す測定領域 B の測定結果を示す図である。

【図 10】図 6 の供試体について実施例 1 の非破壊検査装置及び非破壊検査方法を用いて非破壊検査した際の図 6 に示す測定領域 C の測定結果を示す図である。

10

【図 11】実施例 1 の F S S サンドイッチパネルの非破壊検査装置における他の構成を示す図である。

【図 12】本発明に係る F S S サンドイッチパネルの非破壊検査装置の実施例 2 の構成を示す図である。

【符号の説明】

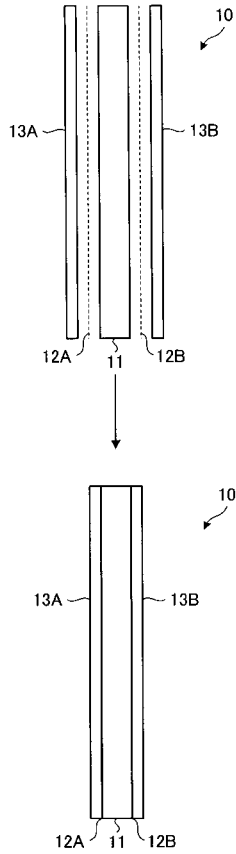
【0077】

- 10 F S S サンドイッチパネル
- 10A F S S サンドイッチパネルの供試体
- 11 コア層
- 12A, 12B 第 1 及び第 2 の周波数選択板
- 13A, 13B 第 1 及び第 2 の誘電体層
- 20, 120 非破壊検査装置
- 21 電波照射手段
- 22 電波受信手段
- 23 被検体移動手段
- 24 測定手段
- 25 信号発生器
- 26 電子計算機
- 27, 28 第 1 及び第 2 の誘電体レンズ
- 29 増幅器
- 30 表示手段
- J コア層の継ぎ目
- RL 第 2 誘電体層の樹脂充填不足箇所
- S1, S2 鉄片

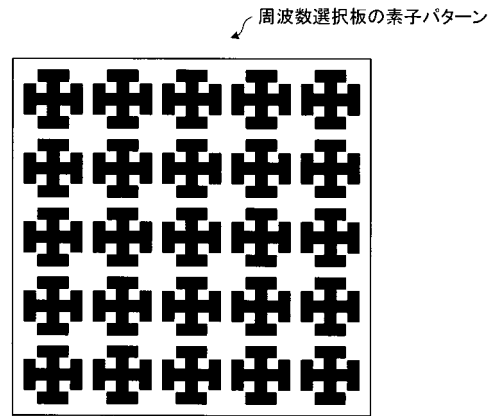
20

30

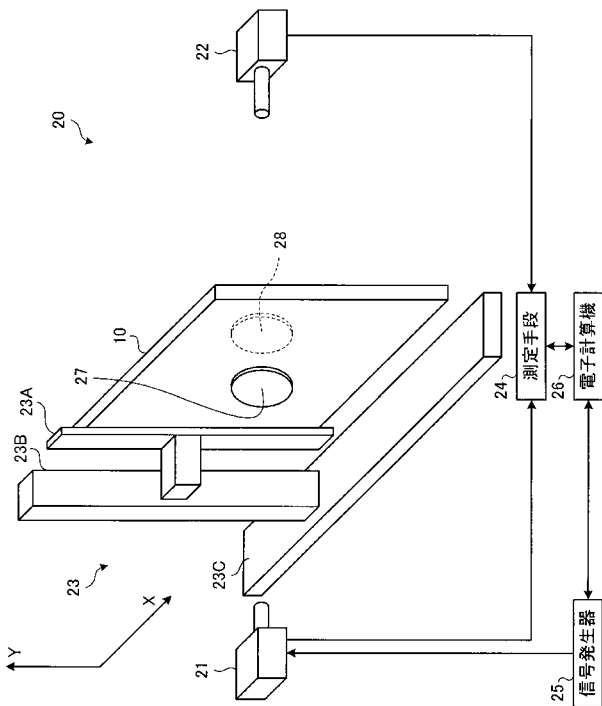
【 図 1 】



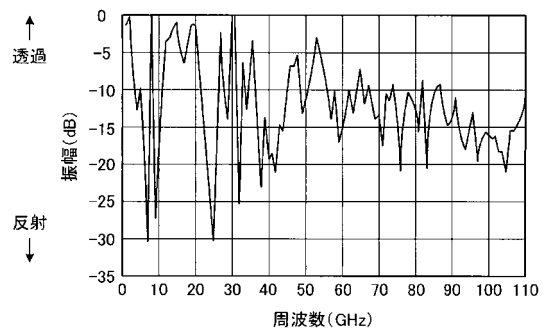
【 図 2 】



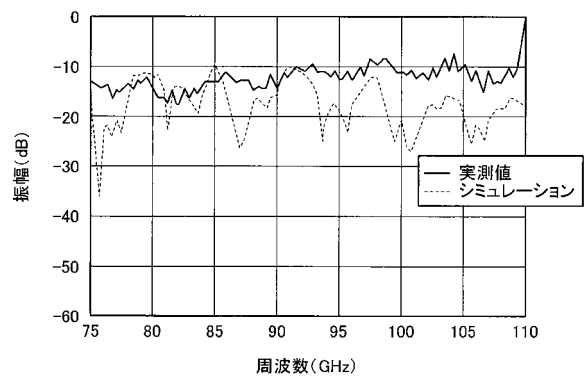
【 図 3 】



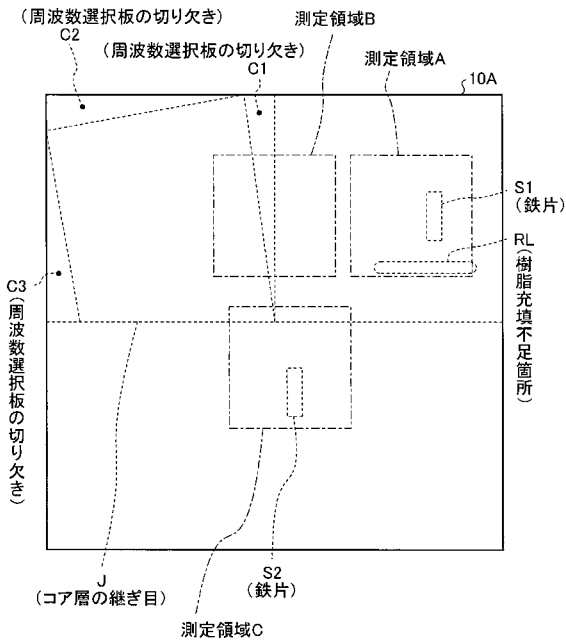
【 図 4 】



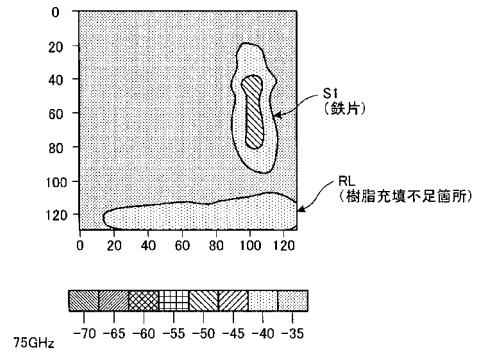
【 図 5 】



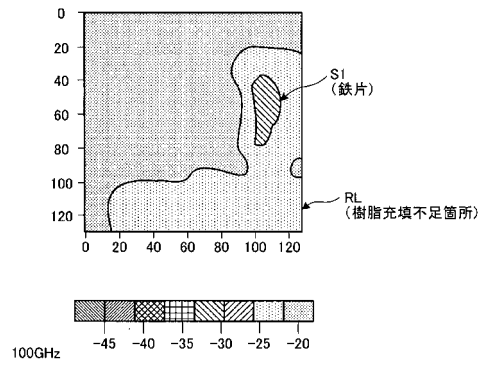
【 図 6 】



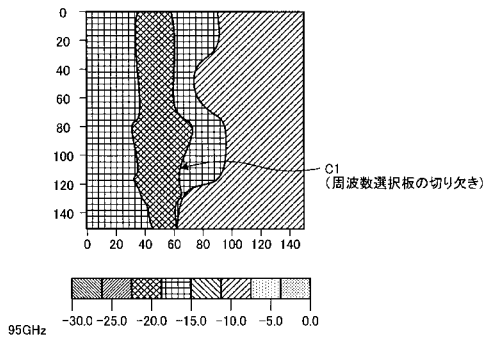
【 図 7 】



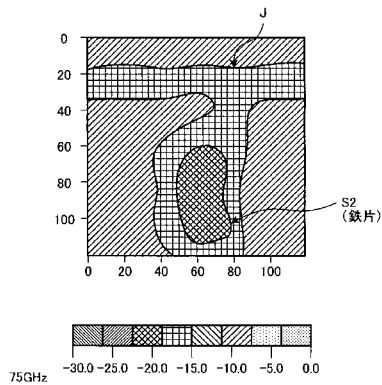
【 図 8 】



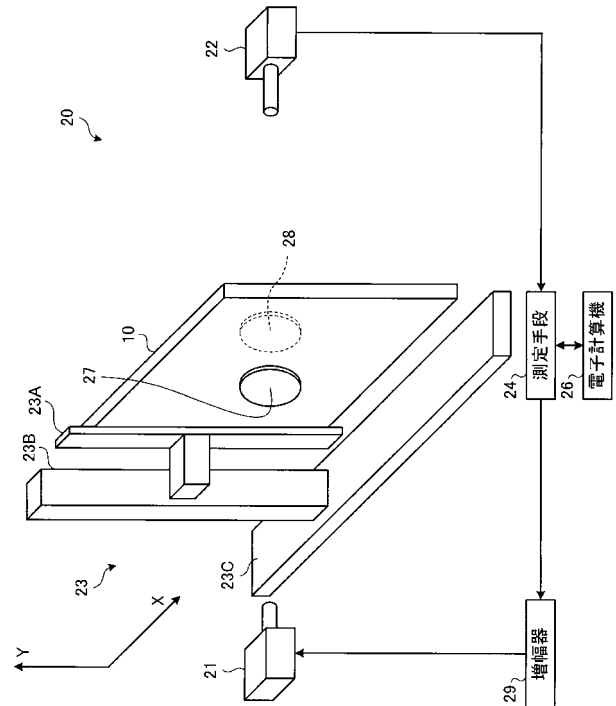
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 11 】



【 図 1 2 】

