

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5682952号
(P5682952)

(45) 発行日 平成27年3月11日(2015.3.11)

(24) 登録日 平成27年1月23日(2015.1.23)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 N 22/02 (2006.01) GO 1 N 22/02 A
GO 1 N 22/00 (2006.01) GO 1 N 22/00 U

請求項の数 7 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2010-262164 (P2010-262164)	(73) 特許権者	000004226
(22) 出願日	平成22年11月25日 (2010.11.25)		日本電信電話株式会社
(65) 公開番号	特開2012-112805 (P2012-112805A)		東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(43) 公開日	平成24年6月14日 (2012.6.14)	(73) 特許権者	504132272
審査請求日	平成25年8月16日 (2013.8.16)		国立大学法人京都大学
			京都府京都市左京区吉田本町36番地1
		(74) 代理人	100083806
			弁理士 三好 秀和
		(74) 代理人	100129230
			弁理士 工藤 理恵
		(72) 発明者	都甲 浩芳
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 木材検査装置及び木材検査方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電磁波を被測定木材へ照射し、当該被測定木材を透過した電磁波を受信して当該被測定木材の内部構造を撮像する木材検査装置であって、

電磁波を放射する送信アンテナと、

前記送信アンテナが放射した前記電磁波を平面波に変換して前記被測定木材へ照射するレンズと、

前記被測定木材を透過した前記電磁波による干渉縞が観察できる位置に配置され、前記被測定木材を原点とする円周上で前記電磁波を受信して放射パターンを測定する検出手段と、

を有することを特徴とする木材検査装置。

【請求項2】

前記検出手段は、前記被測定木材を原点とする円周上に複数配置されたことを特徴とする請求項1記載の木材検査装置。

【請求項3】

前記原点は、前記被測定木材の中心であることを特徴とする請求項1又は2記載の木材検査装置。

【請求項4】

前記電磁波の波長は、対象とする前記被測定木材の内部の欠陥の相当径よりも大きな波長であることを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の木材検査装置。

【請求項 5】

電磁波を被測定木材へ照射し、当該被測定木材から出射された電磁波を受信して当該被測定木材の内部構造を撮像する木材検査方法であって、

送信アンテナから電磁波を放射するステップと、

レンズを用いて前記送信アンテナが放射した前記電磁波を平面波に変換し、前記被測定木材へ照射するステップと、

前記被測定木材から出射する前記電磁波の干渉縞が観察できる位置に配置された検出手段により前記被測定木材を原点とする円周上で前記電磁波を受信して放射パターンを測定するステップと、

前記放射パターンから前記被測定木材の品質を判定するステップと、

を有することを特徴とする木材検査方法。

10

【請求項 6】

前記判定するステップは、前記放射パターンを理想的な放射パターンと比較することを特徴とする請求項 5 記載の木材検査方法。

【請求項 7】

電磁波を被測定木材へ照射し、当該被測定木材から出射された電磁波を受信して当該被測定木材の内部構造を撮像する木材検査方法であって、

送信アンテナから電磁波を放射するステップと、

レンズを用いて前記送信アンテナが放射した前記電磁波を平面波に変換し、前記被測定木材へ照射するステップと、

前記被測定木材から出射する前記電磁波の干渉縞が観察できる位置に配置された検出手段により当該電磁波を受信して放射パターンを測定するステップと、

前記放射パターンの周波数解析に基づき、高い空間周波数のスペクトル強度が強い場合に前記被測定木材の内部に欠陥があると判定するステップと、

を有することを特徴とする木材検査方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、木材の内部構造を調べ、木材の品質を検査する技術に関する。

【背景技術】

30

【0002】

木材や木質構造物の品質は繊維（木理）の走行方向や節の有無、虫食いなどによる欠陥の有無などのパラメータにより規定されている。品質は木材加工現場、工場、卸売業者などすべての現場において管理されるべきであるが、現実的には点検コストを理由にすべての現場で実施されていない。そのような背景の中で、より簡便に低コストで品質検査を行う方法が開発されている。

【0003】

例えば、特許文献 1 は、超音波を用いて木材の内部構造を検査する。CT 技術により優れた空間分解能を有するが、被測定対象に反射防止液剤を塗布してセンサを密着させる必要があるため、非侵襲性や作業コストの点に課題がある。

40

【0004】

特許文献 2 の X 線 CT を用いた検査方法は超音波による検査方法の課題を克服しているが、安全管理や作業者に免許や特殊な技能が必要なため汎用性に課題を残している。

【0005】

特許文献 3 のマイクロ波からテラヘルツ波の電磁波を用いる方法は、上記の超音波による検査方法および X 線 CT による検査方法の上記の課題を克服している。図 5 に従来の木材イメージング装置の構成を示す。従来の木材イメージング装置は、信号源 51 で発生したマイクロ波からテラヘルツ波の電磁波を送信アンテナ 52 から放射し、その電磁波をレンズ 53 で集束させて被測定木材 100 に照射し、被測定木材 100 を透過した電磁波を受信アンテナ 54 で受信して検出器 55 で検出する。送受信アンテナもしくは被測定木材

50

100を2次元に走査することにより電磁波の透過強度の2次元マップを得て、内部構造や欠陥を検出することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2006-053045号公報

【特許文献2】特開2006-078251号公報

【特許文献3】特開2005-043230号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0007】

しかしながら、従来の電磁波による木材イメージング装置には、以下に示す問題があった。

【0008】

従来の木材イメージング装置においては被測定木材を2次元に走査しながら、被測定木材を透過する電磁波を検出する。内部構造や欠陥を検出するために検出信号を被測定木材の各点に2次元マッピングした画像を作成するので、走査時間がかかり点検コストが高いという問題があった。

【0009】

また、被測定木材内を伝搬する電磁波は被測定木材の厚さ方向の構造の影響で回折されるため、走査した各点の検出信号は回折した電磁波が加算されたものとなり、画像が不鮮明で内部構造や欠陥を判別することが困難であるという問題があった。

20

【0010】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであり、木材の品質の測定時間を短縮し、点検コストを低減すること、および、より正確に内部構造や欠陥を判別することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

第1の本発明に係る木材検査装置は、電磁波を被測定木材へ照射し、当該被測定木材を透過した電磁波を受信して当該被測定木材の内部構造を撮像する木材検査装置であって、電磁波を放射する送信アンテナと、前記送信アンテナが放射した前記電磁波を平面波に変換して前記被測定木材へ照射するレンズと、前記被測定木材を透過した前記電磁波による干渉縞が観察できる位置に配置され、前記被測定木材を原点とする円周上で前記電磁波を受信して放射パターンを測定する検出手段と、を有することを特徴とする。

30

【0013】

上記木材イメージング装置において、前記検出手段は、前記被測定木材を原点とする円周上に複数配置されたことを特徴とする。

【0014】

上記木材イメージング装置において、前記原点は、前記被測定木材の中心であることを特徴とする。

【0015】

40

上記木材イメージング装置において、前記電磁波の波長は、対象とする前記被測定木材の内部の欠陥の相当径よりも大きな波長であることを特徴とする。

【0016】

第2の本発明に係る木材検査方法は、電磁波を被測定木材へ照射し、当該被測定木材から出射された電磁波を受信して当該被測定木材の内部構造を撮像する木材検査方法であって、送信アンテナから電磁波を放射するステップと、レンズを用いて前記送信アンテナが放射した前記電磁波を平面波に変換し、前記被測定木材へ照射するステップと、前記被測定木材から出射する前記電磁波の干渉縞が観察できる位置に配置された検出手段により前記被測定木材を原点とする円周上で前記電磁波を受信して放射パターンを測定するステップと、前記放射パターンから前記被測定木材の品質を判定するステップと、を有すること

50

を特徴とする。

【 0 0 1 7 】

第 3 の本発明に係る木材検査方法は、電磁波を被測定木材へ照射し、当該被測定木材から出射された電磁波を受信して当該被測定木材の内部構造を撮像する木材検査方法であつて、送信アンテナから電磁波を放射するステップと、レンズを用いて前記送信アンテナが放射した前記電磁波を平面波に変換し、前記被測定木材へ照射するステップと、前記被測定木材から出射する前記電磁波の干渉縞が観察できる位置に配置された検出手段により当該電磁波を受信して放射パターンを測定するステップと、前記放射パターンの周波数解析に基づき、高い空間周波数のスペクトル強度が強い場合に前記被測定木材の内部に欠陥があると判定するステップと、を有することを特徴とする。

10

【 0 0 1 8 】

上記第 2 の本発明に係る木材検査方法において、前記判定するステップは、前記放射パターンを理想的な放射パターンと比較することを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 1 9 】

本発明によれば、木材の品質の測定時間を短縮し、点検コストを低減すること、および、より正確に内部構造や欠陥を判別することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 0 】

【図 1】本実施の形態における木材イメージング装置の構成を示す図である。

20

【図 2】本実施の形態における別の木材イメージング装置の構成を示す図である。

【図 3】本実施の形態における木材イメージング装置で検出される放射パターンの例を示す図である。

【図 4】木材に欠陥があるときの放射パターンの例を示す図である。

【図 5】従来の木材イメージング装置の構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 1 】

以下、本発明の実施の形態について図面を用いて説明する。

【 0 0 2 2 】

図 1 は、本実施の形態における木材イメージング装置の構成を示す図である。同図に示す木材イメージング装置は、信号源 1 1、送信アンテナ 1 2、レンズ 1 3、受信アンテナ 1 4、および検出器 1 5 を備える。本実施の形態における木材イメージング装置は、被測定木材 1 0 0 の繊維（木理）走行構造をスリットもしくはスラブ導波管としてみなし、電磁波を被測定木材 1 0 0 へ入射して被測定木材 1 0 0 の繊維（木理）走行構造内を分離伝搬させて、各走行構造から出射される電磁波が干渉することにより生成される干渉縞を観察することで、繊維（木理）の走行間隔や方向などの構造、内部欠陥（虫穴や腐朽による空洞部や密度低下部）を検出する。以下、各部について説明する。

30

【 0 0 2 3 】

信号源 1 1 は、数 Hz から数 THz までの周波数の電磁波を出力する。本実施の形態では、被測定木材 1 0 0 の内部欠陥の相当径よりも大きな波長となる周波数の電磁波を用いる。

40

【 0 0 2 4 】

送信アンテナ 1 2 は、信号源 1 1 の出力した電磁波をレンズ 1 3 を介して被測定木材 1 0 0 に対して放射する。送信アンテナ 1 2 から放射された電磁波はレンズ 1 3 により平面波に変換され、被測定木材 1 0 0 へ照射される。電磁波が照射される範囲は、被測定木材 1 0 0 の繊維（木理）が複数本含まれる必要がある。

【 0 0 2 5 】

受信アンテナ 1 4 が取り付けられた検出器 1 5 は、被測定木材 1 0 0 の内部を伝搬して被測定木材 1 0 0 の側面もしくは電磁波の入射面に対向する反対側の面から出射された電磁波を受信して放射パターンを測定する。検出器 1 5 は、走査ステージ（図示せず）上に

50

配置され、制御部（図示せず）により、被測定木材 100 を原点として被測定木材 100 から一定距離離れた円周上を移動するように制御されて電磁波を検出する。例えば、図 1 に示すように、検出器 15 を被測定木材 100 の中心を円周の原点とした円周上で移動させて走査する。被測定木材 100 の中心を原点として信号源 11 の正対称の位置が零次回折点となる。図 1 では、零次回折点の方向を円周の 90 度と表示している。円周の原点を被測定木材 100 の中心にとり、観察面を円周上にとることが干渉縞の観測に適している。被測定木材 100 から一定距離離れた直線上を観察面としても電磁波の干渉は観測できるが、円周上で観測することによって、被測定木材 100 からの遠方界を過不足なく最小の労力で観測することができる。検出器 15 が測定した放射パターンに基づく被測定木材 100 の品質の判定については後述する。

10

【0026】

図 2 は、本実施の形態における別の木材イメージング装置の構成を示す図である。同図に示す木材イメージング装置は、検出器 15 を円周上で走査する代わりに、複数の検出器 15 を円周上に配置したものである。繊維（木理）走行方向は木種や年齢によってある程度の範囲に収まっているため、電磁波の波長および被測定木材 100 と検出器 15 との距離によって検出器 15 の配置数や配置間隔を設計することができる。

【0027】

また、図 2 に示す木材イメージング装置は、遮蔽板 16 を備えて、送信アンテナ 12 から放射される電磁波の主ローブのみをレンズ 13 に伝搬させている。遮蔽板 16 の代わりに、送信アンテナ 12 のホーン部分を緩やかに広げてレンズ 13 に直結することにより放射効率を向上することもできる。

20

【0028】

次に、観測される干渉縞について説明する。

【0029】

被測定木材 100 の組織構造は、入射された電磁波の波長が年輪などの組織構造の周期よりも大きいときはスリット、小さいときはスラブ導波管として機能する。被測定木材 100 内を伝搬した電磁波は組織構造の周期間を波源として被測定木材 100 の表面から出射される。組織構造の周期間から出射された電磁波は互いに干渉するため、検出器 15 で測定した放射パターンは図 3 に示すような干渉縞を形成し、零次回折を中心として一次回折、二次回折、・・・の干渉縞が観測される。図 3 は、横軸に検出した電磁波の強度、縦軸に検出器 15 の位置を示している。零次回折縞は必ずしも被測定木材 100 の中央の位置（信号源の正対称の位置）に出現するわけではなく、組織構造の走行方向によって変化する。例えば、図 3 のように、図上で上向きに組織構造が走行しているときは、干渉縞は 0 度に近い位置に偏る。このことから、干渉縞の位置から組織構造の走行方向を判別することができる。

30

【0030】

続いて、組織構造の周期の算出について説明する。

【0031】

組織構造の周期 d は、干渉縞の間隔 D 、電磁波の波長 λ 、被測定木材 100 の電磁波の出射面と検出器 15 の距離 L を用いて次式（1）により求めることができる。

40

【0032】

【数 1】

$$d = \frac{\lambda L}{D} \quad (1)$$

【0033】

上記の式を変形して干渉縞の間隔 D は次式（2）で表される。

【0034】

【数 2】

$$D = \frac{\lambda L}{d} \quad (2)$$

【0035】

続いて、被測定木材 100 の電磁波の出射面と検出器 15 との距離について説明する。

【0036】

アンテナをコニカルホーンアンテナなどの単純な円形開口を有する開口アンテナとすると、アンテナの実効長 l_e はアンテナ利得 G を用いて次式 (3) で表される。

【0037】

【数 3】

$$l_e = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{G} \quad (3)$$

【0038】

電磁波の放射パターンを正確に測定するためには標本化定理から干渉縞の間隔 D がアンテナの実効長 l_e の半分よりも大きくなるように検出器 15 を配置する必要がある。したがって、被測定木材 100 の電磁波の出射面と検出器 15 の距離 L は以下の条件を満たす必要がある。

【0039】

【数 4】

$$L \geq \frac{\lambda}{2\pi} \sqrt{G} \quad (4)$$

【0040】

また、干渉縞を形成するためにはフラウンフォーファー回折領域での測定が必要であるため距離 L は波長 λ の 10 倍以上となる。

【0041】

次に、木材の品質の判定について説明する。

【0042】

放射パターン上の干渉縞の次数は組織構造の周期性を、縞間隔は周期を表しており、木材内部に虫害による孔や節が存在するときは図 4 のように複雑なパターンとなる。これは、対象とする内部欠陥の相当径よりも大きな波長の電磁波を用いることにより、欠陥を回折した電磁波が繊維（木理）走行構造から出射される電磁波と干渉するためである。品質の良い木材は繊維（木理）の周期性が高いため干渉縞は単純であり、放射パターンを観察することにより品質を判別することができる。すなわち、放射パターンに一次や二次などの低い次数の回折による干渉縞のみが観察されるときは木材の内部に欠陥が存在しない。これに対して、低い次数の回折による干渉縞だけでなく高い次数の回折による干渉縞が観察されるときは木材内部に欠陥が存在している。したがって、高次の回折パターンを抽出するために、例えば、周波数解析を行い、高い空間周波数のスペクトル強度が強い場合には木材内部に欠陥が存在していると判定する。または、予め周期構造が分かる場合は、理想的な干渉縞パターンを計算によって生成するか、もしくはメモリに記憶しておき、そのパターンと観測した干渉パターンとを比較することで、品質を判定しても良い。

【0043】

なお、一般に使用される木材の組織構造の周期は木種や樹齢にもよるがほぼ一定であり、数 mm から十数 mm である。使用する木種などがあらかじめ分かっているならば、式 (2) から干渉縞間隔は推定できる。すなわち、検出器 15 は全領域を走査したり、配置する必要はなく、被測定木材 100 の組織構造に応じて推定される干渉縞の位置にのみ配置すればよい。その結果、測定時間を短縮し、点検コストの低減を図ることができる。

【0044】

10

20

30

40

50

以上説明したように、本実施の形態によれば、送信アンテナ 1 2 が放射する電磁波をレンズ 1 3 で平面波に変換して被測定木材 1 0 0 に照射し、検出器 1 5 により、被測定木材 1 0 0 の表面から出射する電磁波を検出し、被測定木材 1 0 0 の繊維（木理）走行構造それぞれから出射する電磁波が干渉することで生成される干渉縞を観察することにより、被測定木材 1 0 0 を 2 次元に走査することなく、被測定木材 1 0 0 の繊維（木理）の走行間隔や方向、内部の欠陥を検出することができ、点検コストの低減を図ることができる。

【 0 0 4 5 】

本実施の形態によれば、電磁波を円周上で検出することによって、被測定木材 1 0 0 からの遠方界を過不足なく最小の労力で観察することができる。このとき、円周の原点を被測定木材 1 0 0 の中心にとることが干渉縞の観測に適している。また、繊維（木理）走行構造は木種や樹齢によってある程度の範囲に収まっているため、電磁波の波長、観察面と検出器 1 5 との距離によって検出器 1 5 の配置数や配置間隔を想定することができ、測定時間を短縮し、点検コストの低減を図ることができる。

10

【 0 0 4 6 】

さらに、対象とする内部欠陥の相当径よりも大きな波長の電磁波を用いることにより、欠陥を回折した電磁波が繊維（木理）走行構造から出射する電磁波と干渉するため、観察される干渉縞が変化し、容易に内部の欠陥を判別することができ、被測定木材 1 0 0 の内部の欠陥の検査精度の向上を図ることができる。

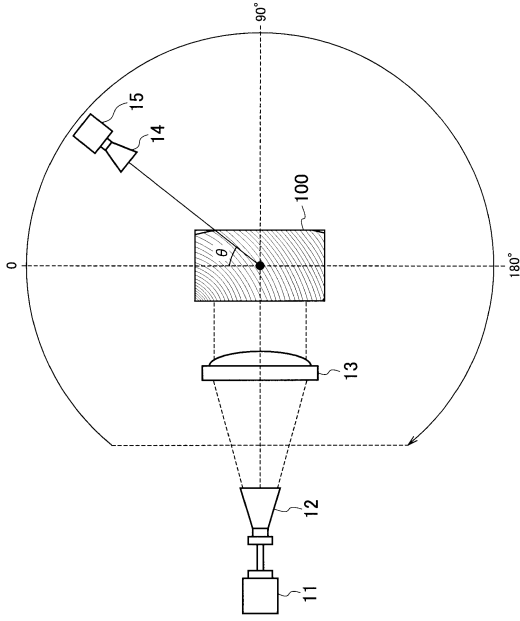
【 符号の説明 】

【 0 0 4 7 】

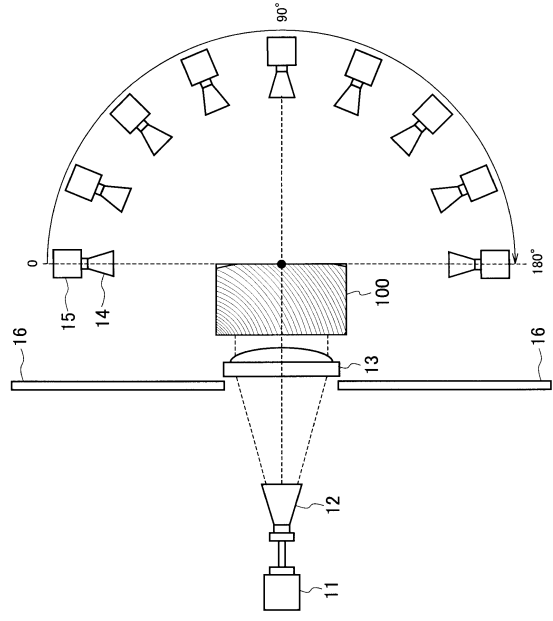
- 1 1 ... 信号源
- 1 2 ... 送信アンテナ
- 1 3 ... レンズ
- 1 4 ... 受信アンテナ
- 1 5 ... 検出器
- 1 6 ... 遮蔽板
- 1 0 0 ... 被測定木材

20

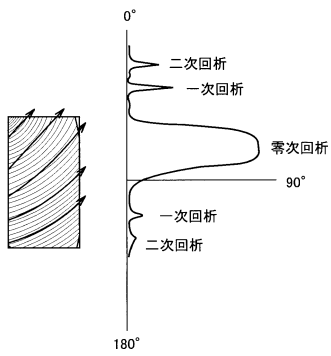
【图 1】



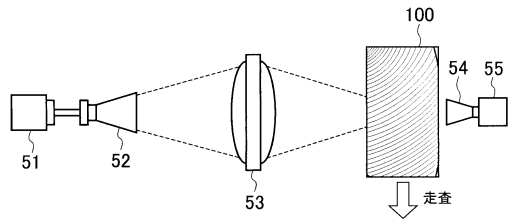
【图 2】



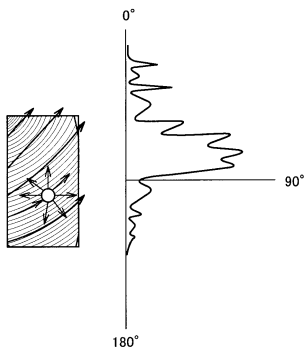
【图 3】



【图 5】



【图 4】



フロントページの続き

- (72)発明者 望月 章志
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 久々津 直哉
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 藤井 義久
京都府京都市左京区北白川追分町 国立大学法人京都大学大学院農学研究科内
- (72)発明者 藤原 裕子
京都府京都市左京区北白川追分町 国立大学法人京都大学大学院農学研究科内
- (72)発明者 田中 聡一
京都府京都市左京区北白川追分町 国立大学法人京都大学大学院農学研究科内
- (72)発明者 奥村 正悟
京都府京都市左京区北白川追分町 国立大学法人京都大学大学院農学研究科内

審査官 田中 洋介

- (56)参考文献 特表平02-503822(JP,A)
特開平07-110375(JP,A)
特表2009-536272(JP,A)
特開2008-268164(JP,A)
国際公開第2008/123408(WO,A1)
田中聡一 他, 100GHzのミリ波に対する木材の透過特性~含水率の影響~, 第59回日本木材学会大会研究発表要旨集, 2009年 4月20日

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 22/00 - 22/04
G01N 21/00 - 21/61
G01S 13/00 - 13/95
JSTPlus/JST7580(JDreamIII)