(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016 年 10 月 6 日(06.10.2016)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2016/157588 A1

(51) 国際特許分類:
G01N 25/72 (2006.01) *G01N 27/90* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2015/080525

(22) 国際出願日: 2015 年 10 月 29 日(29.10.2015)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2015-069949 2015 年 3 月 30 日(30.03.2015) JP

(71) 出願人: 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目１６番５号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 竹田 英哲 (TAKEDA, Hidenori); 〒1088215 東京都港区港南二丁目１６番５号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 切東 章浩 (KIRIHIGASHI, Akihiro); 〒1088215 東京都港区港南二丁目１６番５号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). ▲高▼野 暁巳 (TAKANO, Akemi); 〒1088215 東京都港区港南二丁目１６番５号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 真田 有 (SANADA, Tamotsu); 〒1800004 東京都武蔵野市吉祥寺本町１丁目１０番３１号 ＮＯＦ吉祥寺本町ビル５階 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

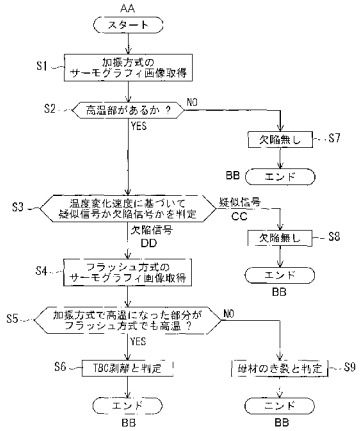
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) **Title**: NONDESTRUCTIVE TESTING APPARATUS AND NONDESTRUCTIVE TESTING METHOD

(54) 発明の名称 : 非破壊検査装置及び非破壊検査方法

[図3]



AA... START
S1... ACQUIRE THERMOGRAPHIC IMAGE BY VIBRATION SYSTEM
S2... ANY HIGH-TEMPERATURE PART?
S3... DETERMINE WHETHER PSEUDO SIGNAL OR DEFECTIVE SIGNAL ON THE BASIS OF TEMPERATURE CHANGE RATE
S4... ACQUIRE THERMOGRAPHIC IMAGE BY FLASH SYSTEM
S5... DOES THE AREA HAVING HIGH TEMPERATURE BY VIBRATION SYSTEM HAVE HIGH TEMPERATURE ALSO BY FLASH SYSTEM?
S6... DETERMINE AS TBC PEELING
S7, S8... NO DEFECT
S9... DETERMINE AS CRACK OF BASE MATERIAL
BB... END
CC... PSEUDO SIGNAL
DD... DEFECTIVE SIGNAL

(57) **Abstract**: Provided are a nondestructive testing apparatus and a nondestructive testing method which enable distinction between a crack of a base material and peeling of a surface layer and achieve accurate detection. While a test subject having a base material and a surface layer is subjected to vibration, a temperature distribution during vibration, which is a surface temperature distribution of the test subject, is obtained (S1). In the temperature distribution during vibration, an area having a first predetermined temperature or higher, which temperature is higher than a first normal temperature, is detected as a first high-temperature part. After pulse heating the test subject, a temperature distribution after pulse heating, which is a surface temperature distribution of the test subject, is obtained (S4). In the temperature distribution after heating, an area having a second predetermined temperature or higher, which temperature is higher than a second normal temperature, is detected as a second high-temperature part. An area, in the first high-temperature part, that does not overlap with the second high-temperature part is determined as a crack being produced in the base material (S9).

(57) 要約: 母材の亀裂と、表面層の剥離とを区別して精度よく検出できるようにした、非破壊検査装置及び非破壊検査方法を提供する。 母材及び表面層を有する検査対象を加振している最中に、前記検査対象の表面温度分布である加振中温度分布を取得し（Ｓ１）、前記加振中温度分布において、第１正常温度よりも高温である第１所定温度以上の箇所を、第１高温部として検出する。前記検査対象をパルス加熱した後に、前記検査対象の表面温度分布であるパルス加熱後温度分布を取得し（Ｓ４）、前記加熱後温度分布において、第２正常温度よりも高温である第２所定温度以上の箇所を、第２高温部として検出する。前記第１高温部の内、前記第２高温部と重複していない箇所には、前記母材に亀裂が生じていると判定する（Ｓ９）。

WO 2016/157588 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

明　細　書

発明の名称 ： 非破壊検査装置及び非破壊検査方法

技術分野

[0001] 本発明は、検査対象の表面温度分布に基づいて欠陥を検出する、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、赤外線カメラを使用して検査対象の表面温度分布画像（サーモグラフィ）を取得し、この表面温度分布から欠陥の検出を行う非破壊検査がある。

赤外線カメラを使用した非破壊検査としては、フラッシュ方式（例えば特許文献１）と超音波加振方式（例えば特許文献２）とが主に使用されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第３２００４２４号公報

特許文献2：特開２０１３－０８３６４０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、ガスタービン翼（ガスタービン動翼、ガスタービン静翼）では、高温環境に曝されるため、その母材の表面に遮熱を目的としたコーティング層（Thermal Barrier Coating、以下ＴＢＣともいう）が形成される。このガスタービン翼のように母材表面にコーティング層が形成されたものでは、欠陥として、主に母材の亀裂とコーティング層の剥離（以下、層剥離ともいう）とが発生する。製品に欠陥が発生した場合には適宜対処する必要があるが、母材の亀裂と層剥離とではその対処方法が異なってくるので、母材の亀裂と層剥離とをそれぞれ区別して検出できることが望ましい。

[0005] しかしながら、フラッシュ方式及び超音波加振方式では、亀裂と層剥離と

を区別して検出することができない。以下、この理由を、各方式の検出原理とともに説明する。

[0006] 先ず、フラッシュ方式について図７を参照して説明する。

フラッシュ方式では、フラッシュランプ（図示略）によりヒートパルスHpを発生させて検査対象であるガスタービン翼１０２を加熱した後、赤外線カメラ１０１により、ガスタービン翼１０２の表面温度分布を撮像する。この表面温度分布に基づいて層剥離を検出することができる。つまり、層剥離５１が生じた場合には、ＴＢＣ１０２ｂと母材１０２ａとの間に空気層が生じるため、図中に矢印で示すようなＴＢＣ１０２ｂから母材１０２ａへの熱の移動が、この空気層の存在により阻まれる。このため、正常部（ＴＢＣ１０２ｂと母材１０２ａとが密着した部分）と比べると層剥離５１が生じた箇所では熱が溜まりやすく、層剥離５１の位置は、赤外線カメラ１０１により、正常部分よりも数℃だけ高い高温部５１′として検出できる。

[0007] その一方、母材１０２ａに亀裂（ひび）５２が生じても、亀裂５２は、層剥離５１と異なり、熱の流れを妨げる方向には入らないため、亀裂５２が生じても温度の高い部位が現れない（高温部５１′として現出しない）。この理由からフラッシュ方式では亀裂５２の検出が困難である。

すなわち、フラッシュ方式では、層剥離を検出することができるが、そもそも母材の亀裂の検出することができない。

[0008] 次に、超音波加振方式（以下、単に加振方式ともいう）について図８を参照して説明する。なお、図８において、図７と同一の部材については同一の符号を付して説明を省略する。

加振方式は、振動子２０２から発生させた超音波が検査対象であるガスタービン翼１０２に入射されることで、亀裂すなわち不連続部分に摩擦熱を発生させる。これより亀裂５２及びその周辺が高温となり、亀裂５２のある箇所を赤外線カメラ１０１により高温部５２′として検出できる。

また、層剥離５１も不連続部分であるから、当該部位で摩擦熱が発生し層剥離５１及びその周辺が高温となり、層剥離５１の生じた箇所を赤外線カメ

ラ１０１により高温部５１′として検出できる。

このように加振方式では亀裂５２と層剥離５１とを両方とも検出することができるが、層剥離と亀裂とを区別して検出することはできない。

加えて、加振方式では、加振により、欠陥でない個所が応力集中により発熱することがある。このため、表面温度分布に基づいて欠陥の検出を行った場合、この箇所から高温部であることを示す信号（疑似信号）が検出され、欠陥として誤検出されることがある。

[0009] 本発明は、上記のような課題に鑑み創案されたもので、母材の亀裂と、表面層の層剥離とを区別して精度よく検出できるようにした、非破壊検査装置及び非破壊検査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

[0010] （１）上記の目的を達成するために、本発明の非破壊検査装置は、母材及び表面層を有する検査対象の表面温度分布を取得する温度分布取得手段と、前記検査対象を加振する振動子と、前記検査対象をパルス加熱する加熱手段と、前記加振の最中の前記表面温度分布である加振中温度分布と、前記パルス加熱の後の前記表面温度分布である加熱後温度分布とに基づいて、前記検査対象の欠陥に関する判定を行う判定手段とを有し、前記判定手段は、前記加振中温度分布において、第１正常温度よりも高温である第１所定温度以上の箇所を、第１高温部として検出し、前記パルス加熱後温度分布において、第２正常温度よりも高温である第２所定温度以上の箇所を、第２高温部として検出し、前記第１高温部の内、前記第２高温部と重複していない箇所には、前記母材に亀裂が生じていると判定することを特徴としている。

第１正常温度とは、欠陥のない正常部であれば加振中にその温度になるであろう温度である。

第２正常温度とは、欠陥のない正常部であればパルス加熱後にその温度になるであろう温度である。

[0011] （２）前記第１高温部と前記第２高温部とが重複している箇所では、前記表面層が層剥離していると判定することが好ましい。

[0012] （３）前記第１高温部と前記第２高温部とが重複していることから、層剥離が生じていると判定された箇所についても、この層剥離の下方において母材に亀裂が生じていることを検出するための手段として、渦電流探傷手段をさらに備え、前記判定手段は、前記表面層が層剥離していると判定された箇所について、前記渦電流探傷手段により検査を行い前記母材の亀裂も生じているか否かを判定することが好ましい。

[0013] （４）先ず前記加振中温度分布を取得し、次いで前記パルス加熱後温度分布を取得することが好ましい。

[0014] （５）前記第１高温部の温度変化速度を算出する温度変化速度算出手段を備え、前記判定手段は、前記加振の最中における前記温度変化速度に基づいて、前記第１高温部が前記欠陥により生じたものか否かを判定することが好ましい。

[0015] （６）前記判定手段は、前記加振の開始後から所定時間経過後に、前記温度変化速度が所定速度を越える期間が所定期間以上継続した場合には、前記第１高温部は前記欠陥により生じたものではないと判定することが好ましい。

[0016] （７）上記の目的を達成するために、本発明の非破壊検査方法は、母材及び表面層を有する検査対象を加振している最中に、前記検査対象の表面温度分布である加振中温度分布を取得する、加振中温度分布取得ステップと、前記加振中温度分布において、第１正常温度よりも高温である第１所定温度以上の箇所を、第１高温部として検出する、第１高温部検出ステップと、前記検査対象をパルス加熱した後に、前記検査対象の表面温度分布であるパルス加熱後温度分布を取得する、パルス加熱後温度分布取得ステップと、前記パルス加熱後温度分布において、第２正常温度よりも高温である第２所定温度以上の箇所を、第２高温部として検出する、第２高温部検出ステップと、前記第１高温部の内、前記第２高温部と重複していない箇所には、前記母材に亀裂が生じていると判定する、亀裂判定ステップとを備えたことを特徴としている。

第１正常温度とは、欠陥のない正常部であれば加振中にその温度になるであろう温度である。

第２正常温度とは、欠陥のない正常部であればパルス加熱後にその温度になるであろう温度である。

[0017] （８）前記第１高温部と前記第２高温部とが重複している箇所では、前記表面層が層剥離していると判定する、層剥離判定ステップを備えることが好ましい。

[0018] （９）前記第１高温部と前記第２高温部とが重複していることから、層剥離が生じていると判定された箇所についても、この層剥離の下方において母材に亀裂が生じていることを検出するためのステップとして、前記表面層が層剥離している判定された箇所について、さらに渦電流探傷法による検査を行い前記母材の亀裂も生じているか否かを判定する、渦電流探傷ステップを備えることが好ましい。

[0019] （１０）先ず前記加振中温度分布取得ステップを行い、次いで前記パルス加熱後温度分布取得ステップを行うことが好ましい。

[0020] （１１）前記加振中における前記温度変化速度に基づいて、前記第１高温部は前記欠陥により生じたものか否かを判定する、疑似欠陥判定ステップを備えることが好ましい。

[0021] （１２）前記疑似欠陥判定ステップにおいて、前記加振の開始後から所定時間経過後に、前記第１高温部の温度変化速度が所定速度を越える期間が所定期間以上継続した場合は、前記第１高温部は前記欠陥により生じたものではないと判定することが好ましい。

発明の効果

[0022] 本発明によれば、加振中温度分布における第１高温部の内、パルス加熱後温度分布における第２高温部と重複しない個所には、母材に亀裂が生じていると判定することができるので、検査対象に生じた欠陥が、母材の亀裂であるのか、表面層の層剥離であるのかを区別して検出することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0023] [図1]図１は、本発明の第１実施形態としての非破壊検査装置の構成を示す模式図である。

[図2]図２Ａ及び図２Ｂは、温度変化速度Aに基づいて疑似信号と判別できる理由を説明するための模式図であって、図２Ａは、横軸を時間t、縦軸を温度Tとするグラフに、加振時における2つの欠陥の温度（欠陥信号）Tc1,Tc2及び疑似欠陥の温度（疑似信号）Tcdをプロットした図、図２Ｂは横軸を時間t、縦軸を温度変化速度（温度の時間微分値）Aとするグラフに、図２ＡのＢ部における欠陥信号Tc1,Tc2及び疑似信号Tcdの温度変化速度Ac1,Ac2,Acdをプロットした図である。

[図3]図３は、本実施形態の非破壊検査方法を説明するための模式的なフローチャートである。

[図4]図４は、本実施形態の非破壊検査方法の疑似信号の判定方法を説明するための模式的なフローチャートである。

[図5]図５は、本発明の第２実施形態としての非破壊検査装置の構成を示す模式図である。

[図6]図６は、本発明の第２実施形態としての非破壊検査方法を説明するための模式的なフローチャートである。

[図7]図７は、従来のフラッシュ方式の非破壊検査を説明するための模式図である。

[図8]図８は、従来の超音波加振方式の非破壊検査を説明するための模式図である。

発明を実施するための形態

[0024] 以下、図面を参照して、本発明の実施の形態について説明する。

なお、以下に示す各実施形態はあくまでも例示に過ぎず、以下の実施形態で明示しない種々の変形や技術の適用を排除する意図はない。以下の実施形態の各構成は、それらの趣旨を逸脱しない範囲で種々変形して実施することができるとともに、必要に応じて取捨選択することができ、あるいは適宜組み合わせることが可能である。

[0025] ［１．第１実施形態］

［１－１．非破壊検査装置の構成］

本発明の第１実施形態としての非破壊検査装置の構成について図１を参照して説明する。

図１は、本発明の第１実施形態としての非破壊検査装置１の構成を示す模式図である。

[0026] 非破壊検査装置１は、図１に示すように、検査対象としてのガスタービン翼２０を載置する載置台（図示略）と、載置台の上方に所定の間隔を空けて配置された赤外線カメラ（温度分布取得手段）２及びフラッシュランプ（パルス加熱手段）４と、ガスタービン翼２０の側方に近接して配置された振動子３と、制御装置１０とを備えている。

ガスタービン翼２０は、母材２０ａと、母材２０ａの表面に形成されたＴＢＣ２０ｂとを備え、ＴＢＣ２０ｂを赤外線カメラ２に向けて載置台に載置されている。

[0027] 赤外線カメラ２は、ガスタービン翼２０の表面から放射する赤外線の強度に対応した映像信号を出力する。表面の温度に変化があれば、放射する赤外線の強度が変化するので、赤外線カメラ２によりガスタービン翼２０の表面温度分布を取得することができる。

フラッシュランプ４は、フラッシュ光の照射によってガスタービン翼２０の表面をパルス加熱するものである。ＴＢＣ２０ｂに層剥離５１があると、母材２０ａとＴＢＣ２０ｂとの間に空気層ができて層剥離したＴＢＣ２０ｂの部位が昇温する。

振動子３は、超音波を発生してこの超音波をガスタービン翼２０に入射するものである。ガスタービン翼２０に超音波が入射すると、ガスタービン翼２０の欠陥（層剥離５１又は亀裂５２）に振動による摩擦熱が生じて、この欠陥とその周辺が昇温する。

[0028] なお、検査時、ガスタービン翼２０周囲の温度は、特に温度制御されず常温であるが、正常部と欠陥部との温度差が安定するように、ガスタービン翼

２０の周囲温度を一定に制御しても良い。また、正常部と欠陥部との温度差が顕著となるように、常温よりも低い温度に制御しても良い。

[0029] ［１－２．制御構成］

制御装置１０は、赤外線カメラ制御手段１１と、振動子制御手段１２と、フラッシュランプ制御手段１３と、温度変化速度算出手段１４と、判定手段１５とを備えている。

[0030] 赤外線カメラ制御手段１１は、赤外線カメラ２の作動を制御し、所定時間毎（例えば1/70秒毎）に赤外線カメラ２による撮像を行わせる。

[0031] 振動子制御手段１２は、振動子３の作動を制御するものであり、非破壊検査装置１による検査がスタートされると所定時間（例えば１秒程度）だけ振動子３を作動させて、ガスタービン翼２０を加振する。

[0032] フラッシュランプ制御手段１３は、フラッシュランプ４の作動を制御するものであり、振動子制御手段１２によるガスタービン翼２０の加振後（ひいてはそれに伴う赤外線カメラ２の撮像後）に、フラッシュランプ４を作動させてガスタービン翼２０をパルス加熱させる。

[0033] 温度変化速度算出手段１４は、周期的に赤外線カメラ２より取得されるガスタービン翼２０の表面温度分布の変遷に基づいて、ガスタービン翼２０の表面の温度変化速度を算出するものである。

[0034] 判定手段１５は、加振中及びパルス加熱後にそれぞれ赤外線カメラ２により取得された表面温度分布と、温度変化速度算出手段１４により算出された温度変化速度とに基づいて、ガスタービン翼２０の欠陥の有無及び欠陥の種類を判定するものである。

[0035] 判定手段１５について具体的に説明する。上述したとおり、非破壊検査装置１による検査がスタートされると先ず振動子３によりガスタービン翼２０が加振される。判定手段１５は、加振中におけるガスタービン翼２０の表面温度分布（加振中温度分布）を赤外線カメラ２より取得し、この表面温度分布に、第１所定温度T1以上の第１高温部７１が存在するか否かを判定する。

ここで、第１所定温度T1とは、第１正常温度T1_0よりも第１温度ΔT1だけ

高い温度をいう。第１正常温度T1_0とは、欠陥のない正常部であれば加振中にその温度になるであろう温度である。第１正常温度T1_0及び第１温度ΔT1は、欠陥部と正常部とを区別できるように、加振時間，ガスタービン翼２０の仕様（材料や各寸法など）及びガスタービン翼２０の検査時の周囲温度等を考慮しつつ、試験やシミュレーションに基づいて予め設定される。

[0036] 判定手段１５は、第１高温部７１が存在していない場合には、母材２０ａの亀裂及び層剥離の両欠陥を検出できる加振方式により欠陥が検出されなかったことから、ガスタービン翼２０には、亀裂及び層剥離の何れもないと判定する。一方、第１高温部７１が存在した場合には、この第１高温部７１を示す信号（検出結果）が、層剥離５１又は亀裂５２を示す信号或いは疑似信号であると判定する。

[0037] そして、判定手段１５は、第１高温部７１における温度変化速度Aを温度変化速度算出手段１４から取得して、この温度変化速度Aに基づいて、第１高温部７１を示す信号が疑似信号であるか否かを判定する。

ここで、疑似信号について説明する。加振中にガスタービン翼２０の全体の温度分布を撮像した場合において、第１高温部７１として検出される箇所には、欠陥（層剥離５１又は亀裂５２）により昇温した箇所に加え、他の要因により昇温した箇所が含まれることがある。他の要因により昇温する箇所としては、例えば応力が集中している箇所が、加振により昇温する可能性がある。この欠陥以外の要因により昇温した箇所から検出される高温信号を疑似信号という。

[0038] 温度変化速度Aに基づいて第１高温部７１を示す信号が疑似信号であるか否かを判定できる理由を図２Ａ及び図２Ｂを参照して説明する。

[0039] 図２Ａ及び図２Ｂは、温度変化速度Aに基づいて疑似信号と判別できる理由を説明するための模式図であって、図２Ａは横軸を時間t、縦軸を温度Tとするグラフに、加振時における2つの欠陥の温度（欠陥信号）Tc1,Tc2及び疑似欠陥の温度（疑似信号）Tcdをプロットした図、図２Ｂは横軸を時間ｔ、縦軸を温度変化速度A（温度の時間微分値）とするグラフに、図２ＡのＢ部におけ

る欠陥信号Tc1,Tc2及び疑似信号Tcdの温度変化速度Ac1,Ac2,Acdをプロットした図である。

図２Ａからも明らかなように、欠陥信号Tc1,Tc2は、加振されると一気に上昇してすぐに飽和して加振中に一定になるという温度特性となるのに対し、疑似信号Tcdは、上昇傾向は徐々に緩やかになるものの、欠陥信号Tc1,Tc2と較べると温度の上昇期間が長い。

これを図２Ｂの温度変化速度Aで見てみると、欠陥信号Tc1,Tc2の時間微分値（温度変化速度）Ac1,Ac2は比較的に早期（加振開始から所定時間to経過後）で０（零）周辺に収束しているのに対して、疑似信号tcdの時間微分値（温度変化速度）Acdは、加振開始から上記所定時間to経過しても所定値（所定速度）Axを越える期間が所定期間tx以上継続している。なお、所定期間txは、所定時間toと文言上の区別をするために「期間」を使用しており、この「期間」は「時間」と意味を異にするものではない。したがって、「所定時間to」を「第１所定時間to」と言い換えると共に、所定期間txを「第２所定時間tx」と言い換えることもできる。

[0040] そこで、判定手段１５は、加振後から所定時間toが経った後、さらに所定期間txが経過しても、温度変化速度Aが所定値Axを越えている場合には、この温度変化速度Aに対応する信号は、疑似信号であると判定するようにしている。

所定時間to及び所定期間txは、主にガスタービン翼２０の母材２０ａの材質やＴＢＣ２０ｂの材質や、振動子３の加振エネルギーや加振時間などによって決まる。

[0041] また、判定手段１５により第１高温部７１を示す信号が疑似信号でないと判定された場合には、この結果を受けてフラッシュランプ制御手段１３がフラッシュランプ４を作動させてガスタービン翼２０をパルス加熱する。判定手段１５は、パルス加熱後のガスタービン翼２０の表面温度分布（パルス加熱後温度分布）を赤外線カメラ２より取得し、この表面温度分布に基づいて第２所定温度T2以上の第２高温部７２を検出する。

ここで、第２所定温度T2とは、第２正常温度T2_0よりも第２温度ΔT2だけ高い温度をいう。第２正常温度T2_0とは、欠陥のない正常部であればパルス加熱後にその温度になるであろう温度である。第２正常温度T2_0及び第２温度ΔT2は、欠陥部と正常部とを区別できるように、パルス加熱エネルギー，パルス加熱時間，ガスタービン翼２０の仕様（材料や各寸法など）及びガスタービン翼２０の検査時の周囲温度等を考慮しつつ、試験やシミュレーションに基づいて予め設定される。

[0042] そして、判定手段１５は、第１高温部７１の内、第２高温部７２と重複していない個所については、この箇所を母材２０ａに亀裂が生じていると判定し、第１高温部７１の内、第２高温部７２と重複している箇所については、層剥離が生じていると判定する。

つまり、加振方式により取得したサーモグラフィ（表面温度分布）画像において第１高温部７１として検出され、且つ疑似欠陥ではないと判定されたのであるから、第１高温部７１は、母材２０ａの亀裂及びＴＢＣ２０ｂの層剥離の何れかが生じている。そして、加熱方式により取得したサーモグラフィ（表面温度分布）画像では母材２０ａの亀裂を第２高温部７２として検出できないから、第１高温部７１の内、第２高温部７２として検出されなかった箇所を母材２０ａに亀裂が生じていると判定し、そうでない個所（第１高温部７１の内、第２高温部７２としても検出された箇所）をＴＢＣ２０ｂの層剥離が生じている箇所と判定するようにしている。

[0043] 図１に示す例では、領域６１，６２，６３について加振方式による検査では（つまり加振中には）第１高温部７１として検出されるが、その時の温度変化速度Aに基づいて領域６１は例えば応力集中部（疑似欠陥）５３によって昇温した箇所であって欠陥はないと判定される。領域６２については、フラッシュ方式による検査では（つまりパルス加熱後には）第２高温部７２として検出されないことから、亀裂５２があると判定される。領域６３については、フラッシュ方式による検査でも第２高温部７２として検出されることから、層剥離５１があると判定される。

[0044] ［１－３．フローチャート］

本実施形態の非破壊検査方法について、図３及び図４を参照して説明する。

図３は、本実施形態の非破壊検査方法を説明するための模式的なフローチャートである。

図４は、本実施形態の非破壊検査方法の疑似信号の判定方法を説明するための模式的なフローチャートである。

[0045] 先ず、非破壊検査方法の全体的なフローを、図３を参照して説明する。

非破壊検査装置１による検査がスタートすると、ステップ１（加振中温度分布取得ステップ及び第１高温部検出ステップ）に進み、先ず加振方式の検査が開始される。すなわち、ガスタービン翼２０が、振動子３から超音波により加振され、加振中のその表面温度分布（サーモグラフィ画像）が赤外線カメラ２により所定周期（例えば1/70秒毎に1フレーム）で連続的に撮像される。そして、この温度分布において第１所定温度T1以上の第１高温部７１の検出が試みられる。

次いでステップＳ２へと進み、ステップＳ２において第１高温部７１が検出されなかった場合には、ステップＳ７に進んで、ガスタービン翼２０には欠陥が無いと判定され検査が終了する。

[0046] 一方、ステップＳ２において、第１高温部７１が検出された場合にはステップＳ３に進む。ステップＳ３では、ステップS1で撮像された複数フレームの温度分布に基づいて、第１高温部７１の温度変化速度が算出され、この温度変化速度に基づいて、第１高温部７１であることを示す検出信号が疑似信号であるか欠陥信号であるかが判定される。なお、このステップＳ３の判定フローについては後述する。

[0047] ステップＳ３（疑似欠陥判定ステップ）で、第１高温部７１であることを示す検出信号が疑似信号であると判定された場合には、ステップＳ８に進んで、ガスタービン翼２０には欠陥が無いと判定され検査が終了する一方、第１高温部７１であることを示す検出信号が欠陥信号であると判定された場合

には、ステップＳ４に進む。

[0048] ステップＳ４（パルス加熱後温度分布取得ステップ及び第２高温部検出ステップ）では、フラッシュ方式の検査が開始される。すなわち、フラッシュランプ４によりガスタービン翼２０がパルス加熱された後、パルス加熱後のその温度分布（サーモグラフィ画像）が赤外線カメラ２により撮像される。そして、この温度分布において第２所定温度T2以上の第２高温部７２の検出が試みられる。

[0049] 次いで、ステップＳ５（亀裂判定ステップ及び層剥離判定ステップ）では、ステップＳ２で検出された第１高温部７１に関して、ステップＳ４においても第２高温部７２として検出されたか否かが判定される。すなわち、加振方式の検査で高温になった部分が、フラッシュ方式の検査でも高温になったか否かが判定される。

ステップＳ５で、第１高温部７１が第２高温部７２として検出されなかった場合（加振方式の検査では高温部として検出された箇所が、フラッシュ方式の検査では高温部として検出されなかった場合）には、ステップＳ９に進んで、ガスタービン翼２０には第１高温部７１において母材２０ａに亀裂５２が生じていると判定され検査が終了する。一方、ステップＳ５で、第１高温部７１が第２高温部７２として検出された場合（加振方式の検査で高温部として検出された箇所が、フラッシュ方式の検査でも高温部として検出された場合）には、ステップＳ６に進んで、ガスタービン翼２０には第１高温部７１（第２高温部７２）においてＴＢＣ２０ｂに層剥離５１が生じていると判定され検査が終了する。

[0050] 次に、ステップＳ３の判定（第１高温部７１であることを示す検出信号が疑似信号であるか欠陥信号であるかの判定）のサブフローを、図４を参照して説明する。

先ずステップＳ３１において、ステップＳ１（図３参照）で撮像された温度分布に基づいて、高温部７１における温度の変遷（温度の時系列データ）を取得する。なお、温度の時系列データは、高温部７１の絶対温度（加振中

の絶対温度）そのものでも良いし、加熱前（加振前）の温度を基準として相対的な温度（加振中の温度－加振前の温度）でも良い。

次いで、ステップＳ３２において、取得した温度の変遷から、高温部７１における加振中の温度変化速度（温度の時間微分値）Aを取得する。

[0051] そして、ステップＳ３３において、ステップＳ３２で取得した温度変化速度Aの内、加振開始後から所定時間to経過後の温度変化速度Aを観測し、ステップＳ３４において、加振開始後から所定時間to経過後における温度変化速度Aが、所定速度Ax以上か否かが判定される。ステップＳ３４において、温度変化速度Aが所定速度Axよりも低いと判定された場合には、ステップＳ３７に進み、第１高温部７１であることを示す検出信号は欠陥信号である（疑似信号ではない）としてステップＳ４（図３参照）へと進む。一方、ステップＳ３４において、温度変化速度Aが所定速度Ax以上と判定された場合には、ステップＳ３５に進む。

[0052] ステップＳ３５では、加振開始後から所定時間to経過した後に、温度変化速度Aが所定速度Ax以上である状態が、所定期間txに亘って継続したか否かが判定され、継続したと判定された場合には、ステップＳ３６に進み、第１高温部７１であることを示す検出信号は疑似信号であるとしてステップＳ８（図３参照）へと進む。一方、温度変化速度Aが所定速度Ax以上である状態が所定期間txに亘って継続しなかったと判定された場合には、ステップＳ３８に進み、第１高温部７１であることを示す検出信号は欠陥信号である（疑似信号ではない）としてステップＳ４（図３参照）へと進む。

[0053] ［１－４．効果］

本発明の第１実施形態の非破壊検査装置及び非破壊検査方法によれば、加振中の表面温度分布における第１高温部７１の内、パルス加熱後の表面温度分布における第２高温部７２と重複しない個所については、ガスタービン翼２０の母材２０ａに亀裂５２が生じていると判定することができる。加振方式の検査及びフラッシュ加熱方式の検査では特定することのできなかった母材２０ａの亀裂５２を特定して検出できるので、ガスタービン翼２０に生じ

た欠陥が、母材２０ａの亀裂５２であるのか、ＴＢＣ２０ｂの層剥離５１であるのかを区別して検出することが可能となる。

[0054] また、先ず加振方式による検査を行い（加振中の表面温度分布情報を取得し）、次いでフラッシュ方式による検査を行う（パルス加熱後の表面温度分布情報を取得する）ことで、非破壊監査を短時間で行うことができる。この理由を以下に説明する。

[0055] 加振方式では、欠陥部は摩擦熱により昇温する一方で、欠陥の無い正常部は昇温しないため、高温部を欠陥部として検出することができ、また、欠陥部の温度上昇は、フラッシュ方式に較べてはるかに小さい（1[℃]程度）。これに対し、フラッシュ方式では、パルス加熱により欠陥部も正常部も共に加熱され、パルス加熱後の温度変化により欠陥部を検出するものであり、しかも温度上昇が加振方式に較べて(例えば数℃）高い。

[0056] 先にフラッシュ方式による検査を行うと、パルス加熱によりガスタービン翼２０が全体的に昇温されてしまうため、ガスタービン翼２０が十分に冷却されない内に加振方式により検査を行っても、ガスタービン翼２０が健全部も含めて全体的に昇温されている分、欠陥部と健全部との温度差が相対的に小さくなる可能性があり、欠陥部を高温部として検出するのが困難になってしまう。このため、ガスタービン翼２０が十分に冷却されるまで加振方式による検査を待たなければならない。

これに対し、加振方式の検査を先に行う分にはガスタービン翼２０の昇温は少ないので、加振方式の検査のすぐに後に、加振方式よりもはるかに昇温の大きなフラッシュ方式による検査を行っても、欠陥の検出には影響が少ない。

したがって、先ず加振方式による検査を行い、次いでフラッシュ方式による検査を行うことで、検査を短時間で行うことができる。

[0057] さらに、加振方式による検査では、加振すると欠陥でなくとも例えば応力集中した箇所が昇温することがあり、従来装置及び方法では、この箇所を欠陥として誤認識することがあった。これに対し、本実施形態の非破壊検査装

置及び非破壊検査方法によれば、加振中の温度変化速度に基づいて、加振により昇温した高温部７１が欠陥であるのか、応力集中などによる昇温部（疑似欠陥）であるのか区別することができるので、精度よく欠陥を検出できる。

[0058] ［２．第２実施形態］

［２－１．構成］

本発明の第２実施形態としての非破壊検査装置の構成について図５を参照して説明する。なお、第１実施形態と同一要素については同一の符号を付し、その説明を省略する。

図５は、本発明の第２実施形態としての非破壊検査装置１Ａの構成を示す模式図である。

加振方式の検査で検出された第１高温部分７１は、母材２０ａの亀裂５２又はＴＢＣ２０ｂの層剥離５１であり、フラッシュ方式の検査で検出された第２高温部分７２は、ＴＢＣ２０ｂの層剥離５１である。このことから、第１実施形態の非破壊検査装置１及び非破壊検査方法では、第１高温部分７１と第２高温部分７２とが重なった箇所は層剥離５１が生じていると判定している。

[0059] このため、第１実施形態の非破壊検査装置１では、図５に示す領域６４のように母材２０ａの亀裂５２の真上にＴＢＣ２０ｂの層剥離５１があるような場合（つまり平面視で亀裂５２と層剥離５１とが重なるような場合）には、これを正確に検出することができない。つまり、この領域６４は、加振方式の検査では第１高温部分７１と検出されるとともにフラッシュ方式の検査では第２高温部分７２として検出されるため、層剥離５１があると判定されるにとどまり、母材２０ａに亀裂５２があることまで判定することができない。

本実施形態の非破壊検査装置１Ａは、このような亀裂５２の真上に層剥離５１が生じるような場合でも、亀裂５２を検出できるようにしたものである。

[0060] 以下、非破壊検査装置１Ａについて具体的に説明する。

非破壊検査装置１Ａは、第１実施形態の非破壊検査装置１の構成に加え、一部のみ図示するが、渦電流探傷法（ＥＣＴ：Eddy Current Testing）により探傷を行う渦電流探傷装置（渦電流探傷手段）を備えている。

渦電流探傷方法とは、励磁電流が供給されたコイルが発生する磁束により被検査体に渦電流を発生させ、さらにこの渦電流により発生する磁束を表す検出信号をコイルの出力信号として得る。この検出信号が被検査体の欠陥（傷）の位置、形状、深さ等を反映したものとなることから、この検出信号に基づき被検査体の探傷を行うものである。

[0061] 本実施形態の渦電流探傷装置は、ガスタービン翼２０の上方に所定の間隔を空けて配置され、コイルを内蔵した渦電流探傷プローブ５と、渦電流探傷プローブ５をガスタービン翼２０の表面に沿って移動させる移動手段（図示略）とを備えている。渦電流探傷プローブ５を、ガスタービン翼２０の検査に適用した場合には、その渦電流の流れは、母材２０ａの亀裂５２によっては変化するものの、ＴＢＣ２０ｂの層剥離５１によっては変化しない。したがって、渦電流探傷プローブ５は、亀裂５２には反応するが、層剥離５１には反応しない。

[0062] また、制御装置１０Ａには、第１実施形態の制御装置１０の構成に加え、渦電流探傷プローブ５及び渦電流探傷プローブ５を制御し且つ移動手段の作動を制御する渦電流探傷装置制御手段１６を備えている。

判定手段１５は、加振式の検査後に、フラッシュ方式の検査が行われて、ガスタービン翼２０に、ＴＢＣ２０ｂの層剥離５１が生じていると判定した場合には、さらに渦電流探傷装置制御手段１６に制御指令を出力する。

[0063] 渦電流探傷装置制御手段１６は、判定手段１５からの制御指令を受けると、層剥離５１が生じていると判定された箇所の上方まで、移動手段を制御して渦電流探傷プローブ５を移動させた後、渦電流探傷プローブ５を励磁する。渦電流探傷プローブ５の検出信号は判定手段１５へと出力される。渦電流探傷プローブ５は、亀裂５２には反応するが、層剥離５１には反応しないの

で、渦電流探傷プローブ５から反応があった場合（つまり欠陥を示す検出信号が出力された場合）、判定手段１５は、この箇所に層剥離５１に加えてその直下（直下近傍も含む）の母材に亀裂５２が生じていると判定する。一方、渦電流探傷プローブ５から欠陥を示す検出信号が出力されなかった場合には、この箇所には、亀裂５２はなく、層剥離５１のみ生じていると判定する。

[0064] ［２－２．フローチャート］

本実施形態の非破壊検査方法について、図６を参照して説明する。

図６は、本発明の第２実施形態としての非破壊検査方法を説明するための模式的なフローチャートである。

[0065] ステップＳ１～Ｓ９までは第１実施形態に係るフローチャート（図３参照）と同じなので、要部（ステップＳ６，Ｓ１０～Ｓ１３）についてのみ説明する。

ステップＳ６において、ガスタービン翼２０にはＴＢＣ２０ｂに層剥離５１が生じていると判定されると、ステップＳ１０に進む。ステップＳ１０では、層剥離５１が生じていると判定された箇所について、渦電流探傷プローブ５により探傷が行われる。

[0066] 次いで、ステップＳ１１において、この検出信号が欠陥を示す欠陥信号か否かが判定され、欠陥信号ではないと判定されると、ステップＳ１３に進み、この箇所には層剥離５１のみが発生していると判定され検査が終了し、欠陥信号だと判定されると、ステップＳ１２に進み、この箇所には層剥離５１に加えて亀裂５２も生じていると判定され検査が終了する。

すなわち、ステップＳ１０及びステップＳ１１により本発明の渦電流探傷ステップが構成される。

[0067] ［２－３．効果］

本発明の第２実施形態の非破壊検査装置及び非破壊検査方法によれば、渦電流探傷プローブ５により亀裂５２を層剥離５１とは区別して検出することができるので、図５に示す領域６４のようにガスタービン翼２０の母材２０

ａの亀裂５２の真上にＴＢＣ２０ｂの層剥離５１があるような場合についても、亀裂５２と層剥離５１とをともに検出することができる。

[0068] ［３．その他］

（１）上記各実施形態では、先ず加振式による検査を行って、次いでフラッシュ式による検査を行うようにしているが、先ずフラッシュ式による検査を行って、次いで加振式による検査を行うようにしても良い。この場合でも、フラッシュ式による検査で検出された第２高温部と、加振式による検査で検出された第１高温部とを比較することで、第１高温部の内、第２高温部と重複していない箇所を、母材に亀裂が生じていると判定できるからである。

[0069] （２）上記各実施形態では、図３及び図６のフローチャートに示すように、加振方式により取得したサーモグラフィ画像において高温部が検出されなかった場合には、ガスタービン翼２０には欠陥が無いと判定したが（図３及び図６のステップＳ２，Ｓ７参照）、この場合（加振方式により取得したサーモグラフィ画像において高温部が検出されなかった場合）に、フラッシュ方式により検査を行うようにしても良い。層剥離５１については加振方式の検査よりもフラッシュ方式の検査の方が検出性能の高いので、層剥離５１をより確実に検出することができる。

層剥離５１については加振方式の検査よりもフラッシュ方式の検査の方が検出性能の高い理由は、以下による。

加振方式では、加振による欠陥（層剥離及び亀裂）の昇温は非常に小さく1[℃]程度であるのに対し、フラッシュ方式における層剥離５１の昇温温度は非常に大きい（数℃程度）。フラッシュ方式による検査では、正常部分と欠陥部分との温度差が大きいことから、層剥離５１の検出については、フラッシュ方式のほうが検出性能が高い。

[0070] （３）上記各実施形態では、検査対象としてガスタービン翼２０を使用したが、本発明の非破壊検査装置及び非破壊検査方法は、母材及び表面層を有するものであればガスタービン翼以外の非破壊検査に適用できるものである。

符号の説明

[0071] １，１Ａ　非破壊検査装置

２　赤外線カメラ（温度分布取得手段）

３　振動子

４　フラッシュランプ（加熱手段）

５　渦電流探傷プローブ

１０，１０Ａ　制御装置

１１　赤外線カメラ制御手段

１２　振動子制御手段

１３　フラッシュランプ制御手段

１４　温度変化速度算出手段

１５　判定手段

１６　渦連流探傷装置制御手段

２０　ガスタービン翼

２０ａ　ガスタービン翼２０の母材

２０ｂ　ガスタービン翼２０のＴＢＣ

５１　層剥離

５２　亀裂

７１　第１高温部

７２　第２高温部

A,Ac1,Ac2,Acd　温度変化速度（温度の時間微分値）

to　加振後からの所定時間

tx　所定時間toからの所定期間

T1　第１所定温度

T1_0　第１正常温度

T2　第２所定温度

T2_0　第２正常温度

Tc1,Tc2　欠陥信号

Tcd　疑似信号

請求の範囲

[請求項1] 母材及び表面層を有する検査対象の表面温度分布を取得する温度分布取得手段と、

前記検査対象を加振する振動子と、

前記検査対象をパルス加熱するパルス加熱手段と、

前記加振の最中の前記表面温度分布である加振中温度分布と、前記パルス加熱の後の前記表面温度分布であるパルス加熱後温度分布とに基づいて、前記検査対象の欠陥に関する判定を行う判定手段とを有し、

前記判定手段は、

前記加振中温度分布において、第１正常温度よりも高温である第１所定温度以上の箇所を、第１高温部として検出し、

前記パルス加熱後温度分布において、第２正常温度よりも高温である第２所定温度以上の箇所を、第２高温部として検出し、

前記第１高温部の内、前記第２高温部と重複していない箇所には、前記母材に亀裂が生じていると判定する

ことを特徴とする、非破壊検査装置。

[請求項2] 前記第１高温部と前記第２高温部とが重複している箇所では、前記表面層が層剥離していると判定する

ことを特徴とする、請求項１に記載の非破壊検査装置。

[請求項3] 渦電流探傷手段をさらに備え、

前記判定手段は、前記表面層が層剥離していると判定された箇所について、前記渦電流探傷手段により検査を行い前記母材の亀裂も生じているか否かを判定する

ことを特徴とする、請求項２に記載の非破壊検査装置。

[請求項4] 先ず前記加振中温度分布を取得し、次いで前記パルス加熱後温度分布を取得する

ことを特徴とする、請求項１～３の何れか一項に記載の非破壊検査装

置。

[請求項5] 前記第１高温部の温度変化速度を算出する温度変化速度算出手段を備え、

前記判定手段は、

前記加振の最中における前記温度変化速度に基づいて、前記第１高温部が前記欠陥により生じたものか否かを判定する

ことを特徴とする、請求項１～４の何れか一項に記載の非破壊検査装置。

[請求項6] 前記判定手段は、

前記加振の開始後から所定時間経過後に、前記温度変化速度が所定速度を越える期間が所定期間以上継続した場合には、前記第１高温部は前記欠陥により生じたものではないと判定する

ことを特徴とする、請求項５に記載の非破壊検査装置。

[請求項7] 母材及び表面層を有する検査対象を加振している最中に、前記検査対象の表面温度分布である加振中温度分布を取得する、加振中温度分布取得ステップと、

前記加振中温度分布において、第１正常温度よりも高温である第１所定温度以上の箇所を、第１高温部として検出する、第１高温部検出ステップと、

前記検査対象をパルス加熱した後に、前記検査対象の表面温度分布であるパルス加熱後温度分布を取得する、パルス加熱後温度分布取得ステップと、

前記パルス加熱後温度分布において、第２正常温度よりも高温である第２所定温度以上の箇所を、第２高温部として検出する、第２高温部検出ステップと、

前記第１高温部の内、前記第２高温部と重複していない箇所には、前記母材に亀裂が生じていると判定する、亀裂判定ステップとを備えた

ことを特徴とする、非破壊検査方法。

[請求項8] 前記第１高温部と前記第２高温部とが重複している箇所では、前記表面層が層剥離していると判定する、層剥離判定ステップを備えた
ことを特徴とする、請求項７に記載の非破壊検査方法。

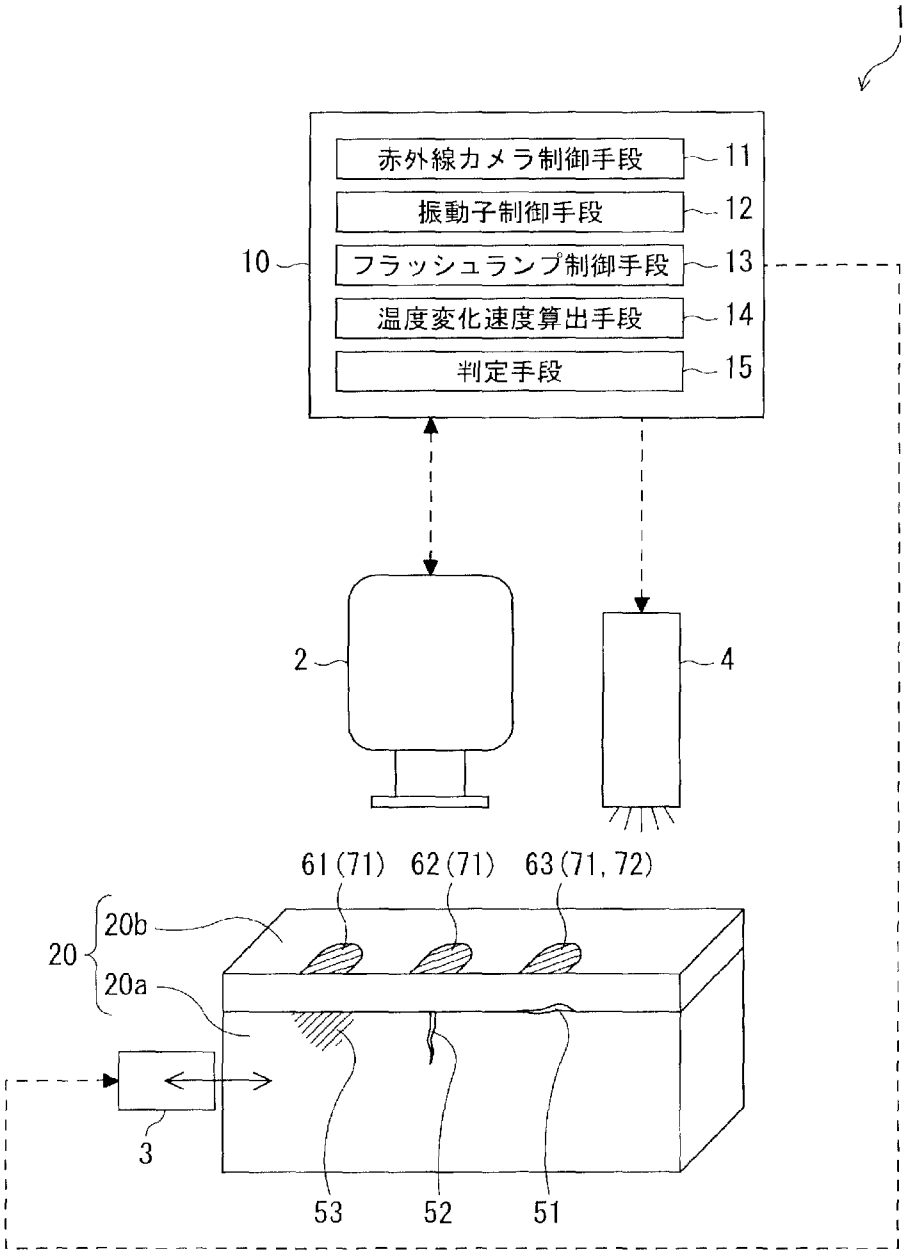
[請求項9] 前記表面層が層剥離している判定された箇所について、さらに渦電流探傷法による検査を行い前記母材の亀裂も生じているか否かを判定する、渦電流探傷ステップを備えた
ことを特徴とする、請求項８に記載の非破壊検査方法。

[請求項10] 先ず前記加振中温度分布取得ステップを行い、次いで前記パルス加熱後温度分布取得ステップを行う
ことを特徴とする、請求項７～９の何れか一項に記載の非破壊検査方法。

[請求項11] 前記加振中における前記温度変化速度に基づいて、前記第１高温部は前記欠陥により生じたものか否かを判定する、疑似欠陥判定ステップを備えた
ことを特徴とする、請求項７～１０の何れか一項に記載の非破壊検査方法。

[請求項12] 前記疑似欠陥判定ステップにおいて、前記加振の開始後から所定時間経過後に、前記第１高温部の温度変化速度が所定速度を越える期間が所定期間以上継続した場合は、前記第１高温部は前記欠陥により生じたものではないと判定する
ことを特徴とする、請求項１１に記載の非破壊検査方法。

[図1]


1
赤外線カメラ制御手段
11
振動子制御手段
12
10
フラッシュランプ制御手段
13
温度変化速度算出手段
14
判定手段
15
2
4
61(71)
62(71)
63(71, 72)
20
20b
20a
3
53
52
51

[図2]

図2A

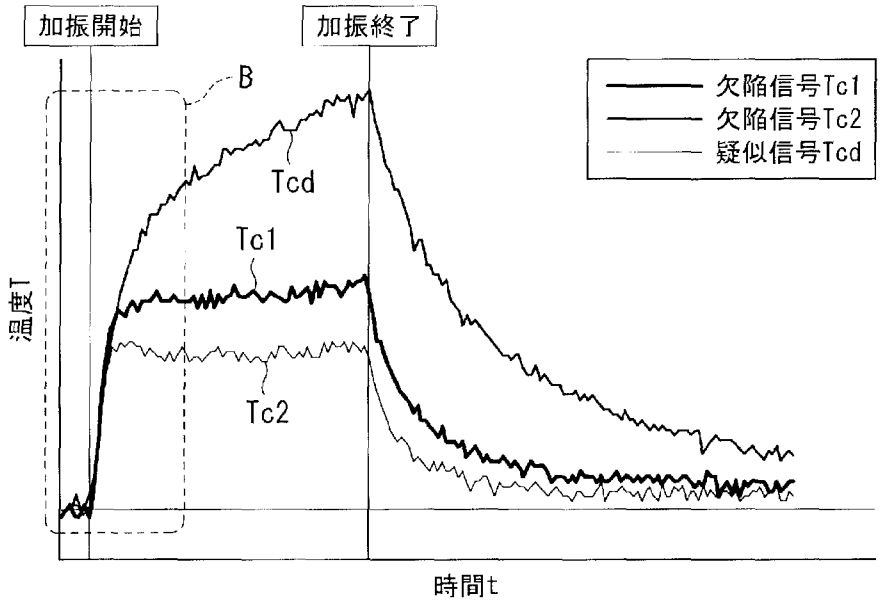
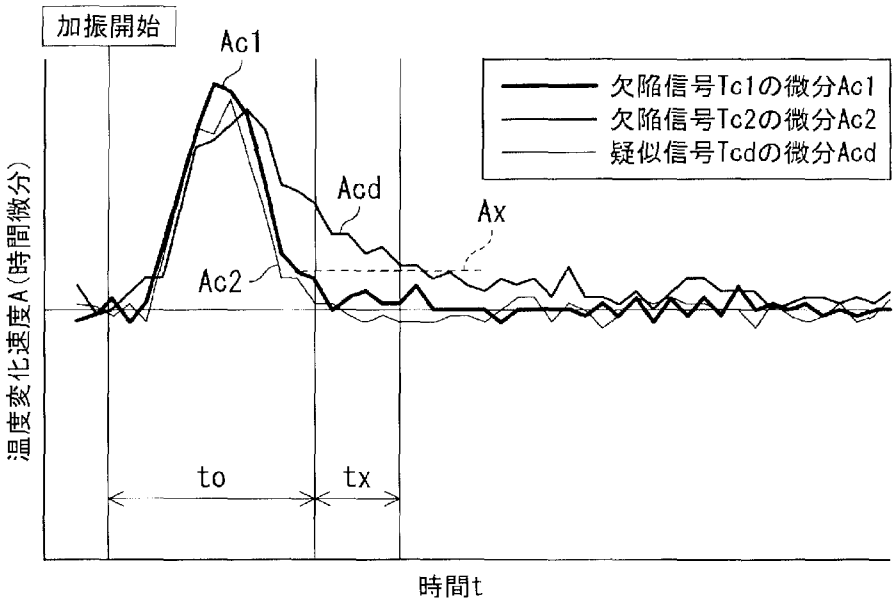
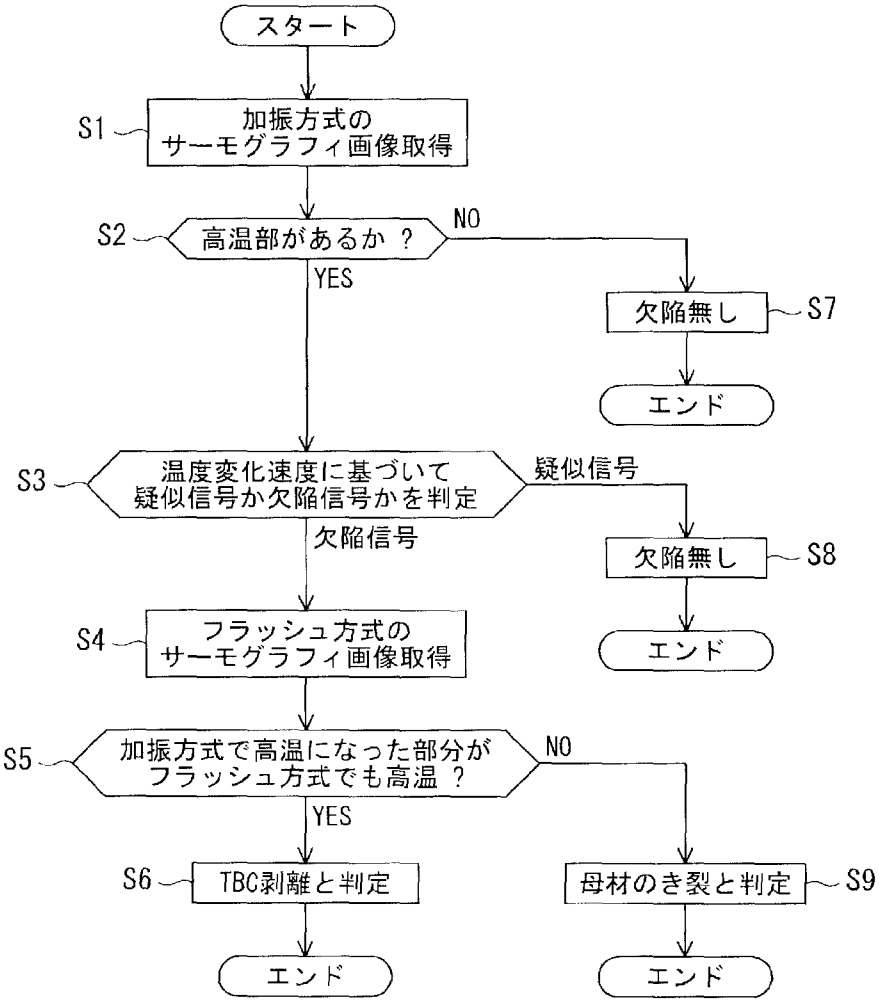

加振開始
加振終了
B
Tcd
Tc1
Tc2
欠陥信号Tc1
欠陥信号Tc2
疑似信号Tcd
温度T
時間t

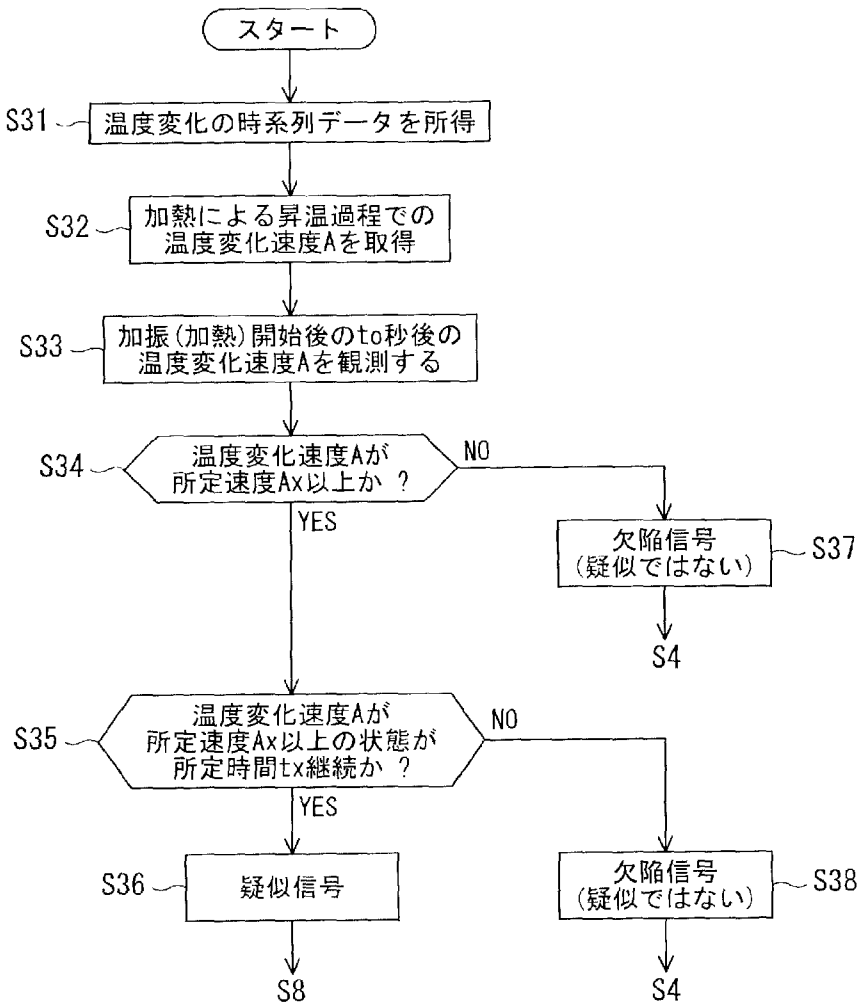
図2B


加振開始
Ac1
Acd
Ax
Ac2
欠陥信号Tc1の微分Ac1
欠陥信号Tc2の微分Ac2
疑似信号Tcdの微分Acd
温度変化速度A(時間微分)
to
tx
時間t

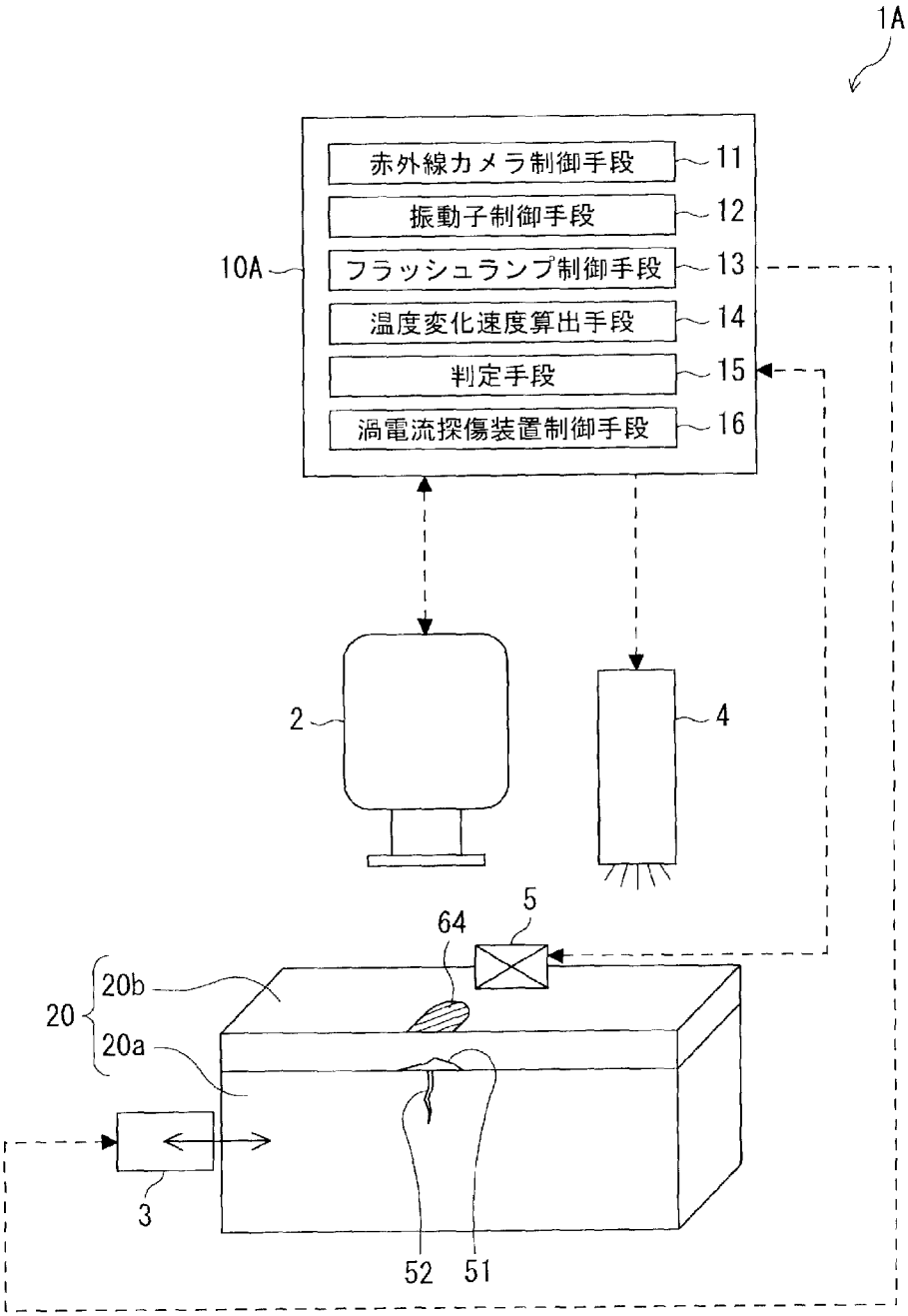
[図3]


スタート
S1
加振方式の
サーモグラフィ画像取得
S2
高温部があるか ？
NO
YES
欠陥無し
S7
エンド
S3
温度変化速度に基づいて
疑似信号か欠陥信号かを判定
疑似信号
欠陥信号
欠陥無し
S8
エンド
S4
フラッシュ方式の
サーモグラフィ画像取得
S5
加振方式で高温になった部分が
フラッシュ方式でも高温 ？
NO
YES
S6
TBC剥離と判定
母材のき裂と判定
S9
エンド
エンド

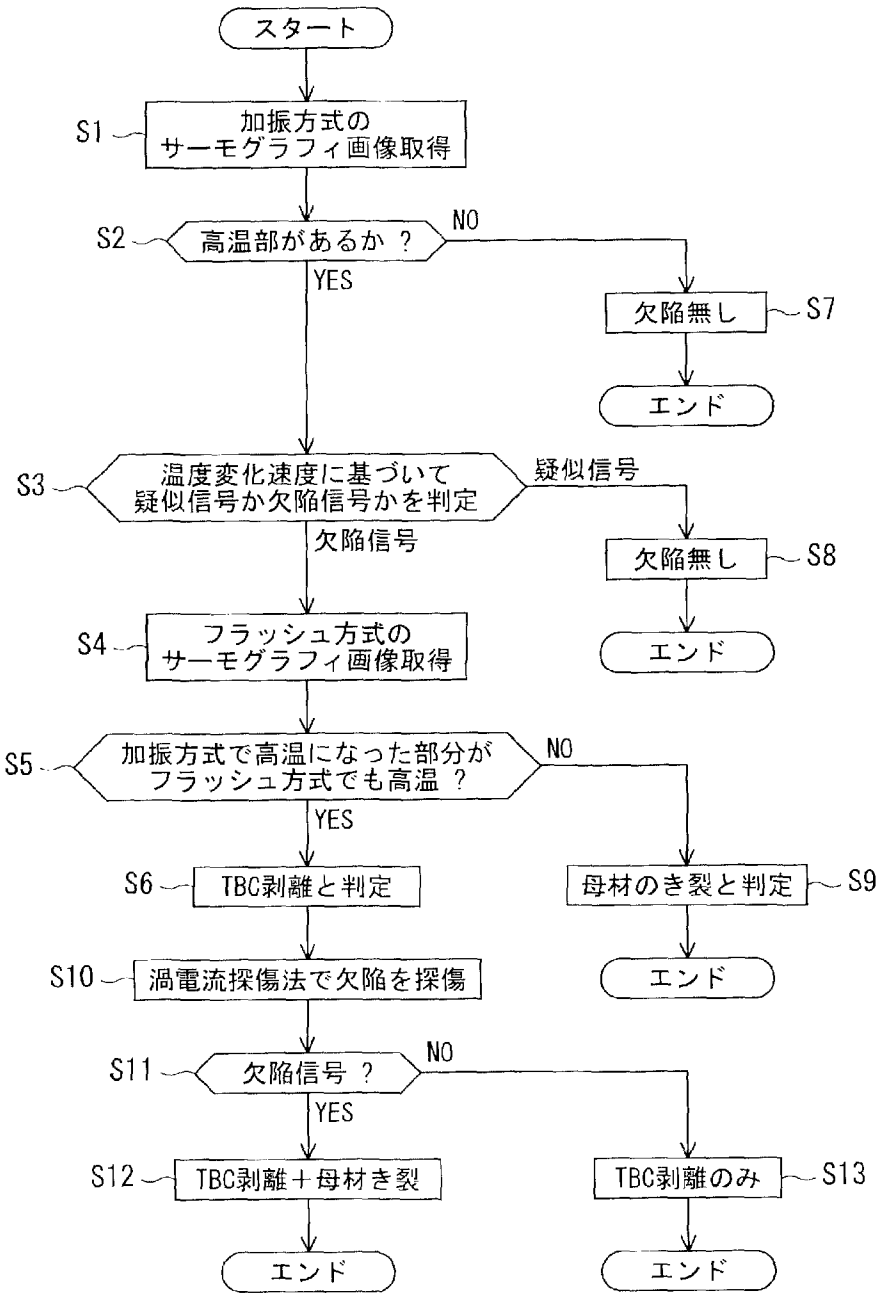
[図4]


スタート
S31
温度変化の時系列データを所得
S32
加熱による昇温過程での
温度変化速度Aを取得
S33
加振(加熱)開始後のto秒後の
温度変化速度Aを観測する
S34
温度変化速度Aが
所定速度Ax以上か ?
NO
YES
欠陥信号
(疑似ではない)
S37
S4
S35
温度変化速度Aが
所定速度Ax以上の状態が
所定時間tx継続か ?
NO
YES
S36
疑似信号
欠陥信号
(疑似ではない)
S38
S8
S4

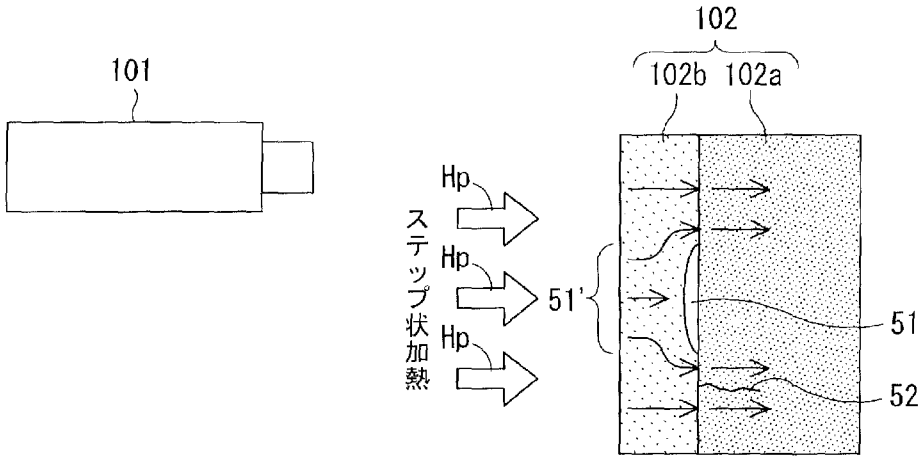
[図5]


1A
赤外線カメラ制御手段
11
振動子制御手段
12
10A
フラッシュランプ制御手段
13
温度変化速度算出手段
14
判定手段
15
渦電流探傷装置制御手段
16
2
4
5
64
20
20b
20a
3
52
51

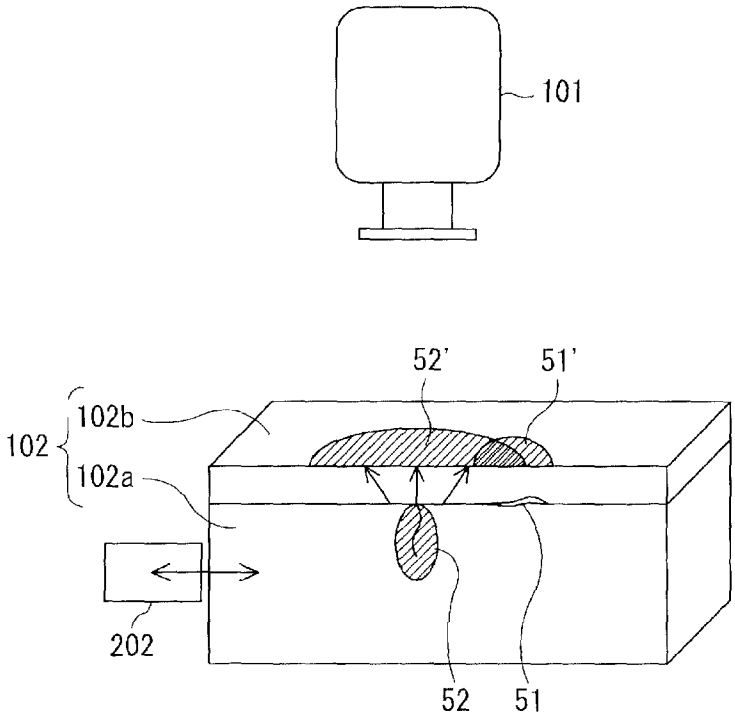
[図6]


スタート
S1
加振方式の
サーモグラフィ画像取得
S2
高温部があるか ？
NO
YES
欠陥無し
S7
エンド
S3
温度変化速度に基づいて
疑似信号か欠陥信号かを判定
疑似信号
欠陥信号
欠陥無し
S8
エンド
S4
フラッシュ方式の
サーモグラフィ画像取得
S5
加振方式で高温になった部分が
フラッシュ方式でも高温 ？
NO
YES
S6
TBC剥離と判定
母材のき裂と判定
S9
エンド
S10
渦電流探傷法で欠陥を探傷
S11
欠陥信号 ？
NO
YES
S12
TBC剥離＋母材き裂
TBC剥離のみ
S13
エンド
エンド

[図7]


101
102
102b
102a
Hp
Hp
Hp
ステップ状加熱
51'
51
52

[図8]


101
52'
51'
102
102b
102a
202
52
51

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/080525

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01N25/72(2006.01)i, *G01N27/90*(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01N25/00-25/72, G01J5/48

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JSTPlus(JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2007-24674 A (Hitachi, Ltd.), 01 February 2007 (01.02.2007), (Family: none)	1-12
A	JP 2003-509691 A (Wayne State University), 11 March 2003 (11.03.2003), & WO 2001/020319 A1 & US 6236049 B1 & EP 1214588 A1 & AU 7492000 A & CA 2384848 A1	1-12
A	JP 2005-108801 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 21 April 2005 (21.04.2005), (Family: none)	1-12

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
13 January 2016 (13.01.16)	26 January 2016 (26.01.16)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/080525

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4752140 A (CANADIAN PATENTS AND DEVELOPMENT LTD.), 21 June 1988 (21.06.1988), & CA 1232044 A	1-12

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１５／０８０５２５

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01N25/72(2006.01)i, G01N27/90(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01N25/00-25/72, G01J5/48

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１６年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１６年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１６年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

JSTPlus（JDreamIII）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2007-24674 A（株式会社日立製作所）2007.02.01, （ファミリーなし）	1-12
A	JP 2003-509691 A（ウェイン・ステイト・ユニバーシティ） 2003.03.11, & WO 2001/020319 A1 & US 6236049 B1 & EP 1214588 A1 & AU 7492000 A & CA 2384848 A1	1-12
A	JP 2005-108801 A（日産自動車株式会社）2005.04.21, （ファミリーなし）	1-12

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
１３．０１．２０１６	２６．０１．２０１６

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　２Ｊ　５２６１
後藤　大思
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２５２

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	US 4752140 A (CANADIAN PATENTS AND DEVELOPMENT LIMITED) 1988.06.21, & CA 1232044 A	1-12