

(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2016-99296
(P2016-99296A)

(43) 公開日 平成28年5月30日(2016.5.30)

(51) Int.Cl.

GO1N 25/72

(2006.01)

F 1

GO1N 25/72

テーマコード(参考)

K 2G04O

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号

特願2014-238361 (P2014-238361)

(22) 出願日

平成26年11月26日 (2014.11.26)

(71) 出願人 391021385

株式会社 K J T D

東京都豊島区西池袋5丁目13番13号

(74) 代理人 110000176

一色国際特許業務法人

(72) 発明者 羽深 嘉郎

東京都豊島区西池袋5丁目13番13号

株式会社 K J T D 内

(72) 発明者 宇都宮 真

東京都豊島区西池袋5丁目13番13号

株式会社 K J T D 内

(72) 発明者 西谷 豊

大阪府東大阪市角田1丁目9番29号 株式会社 K J T D 内

最終頁に続く

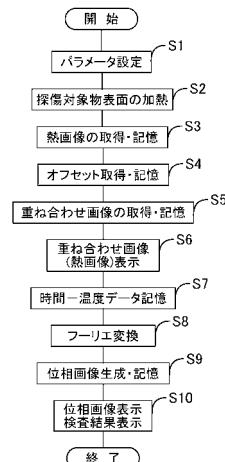
(54) 【発明の名称】探傷対象物の内部欠陥を検出する探傷システム、及び探傷方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】探傷対象物を加熱し、表面温度を測定することで、探傷対象物の内部に存在する傷や剥離等の欠陥を検出する探傷システムにおいて、移動する探傷対象物であっても欠陥を検出できるようにする。

【解決手段】探傷対象物の表面を加熱し S 2、視野内を移動する加熱後の探傷対象物を撮影することで熱画像を時系列で取得する S 3。探傷対象物の相対移動量を示すオフセットを取得し S 4、複数の熱画像を、オフセットに基づいて定められた移動量だけ、探傷対象物の移動方向へ移動させた状態で重ね合わせて、重ね合わせ画像を取得する S 5。この重ね合わせ画像を表示するとともに S 6、このに基づいて、探傷対象物の内部に存在する欠陥を検出する S 8 ~ S 10。

【選択図】図4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

探傷対象物の表面を加熱する加熱部と、

視野内を相対移動する加熱後の前記探傷対象物を所定時間間隔で撮影することで、熱量に応じた値を示すセルがマトリクス状に配置された熱画像を、時系列で取得する熱画像取得部と、

複数の前記熱画像を、前記熱画像の取得間隔における前記探傷対象物の相対移動量を示すオフセットに基づいて定められた移動量だけ、相対移動方向へ移動させた状態で重ね合わせて、重ね合わせ画像を取得する重ね合わせ画像取得部と、

前記重ね合わせ画像を表示する表示部とを有することを特徴とする探傷システム。

10

【請求項 2】

前記重ね合わせ画像における時間と温度の関係を示す時間 - 温度データをフーリエ変換することで周波数と位相の関係を示す周波数 - 位相データを取得し、前記周波数 - 位相データから得られた位相画像に基づいて、前記探傷対象物の内部に存在する欠陥を検出する探傷部を有することを特徴とする請求項 1 に記載の探傷システム。

【請求項 3】

前記探傷部は、設定された周波数における等位相画像による位相画像に基づいて、前記探傷対象物の内部に存在する欠陥を検出することを特徴とする請求項 2 に記載の探傷システム。

【請求項 4】

探傷対象物の表面を加熱する加熱ステップと、

視野内を相対移動する加熱後の前記探傷対象物を所定時間間隔で撮影することで、熱量に応じた値を示すセルがマトリクス状に配置された熱画像を、時系列で取得する熱画像取得ステップと、

複数の前記熱画像を、前記熱画像の取得間隔における前記探傷対象物の相対移動量を示すオフセットに基づいて定められた移動量だけ、相対移動方向へ移動させた状態で重ね合わせて、重ね合わせ画像を取得する重ね合わせ画像取得ステップと、

前記重ね合わせ画像を表示する表示ステップとを行うことを特徴とする探傷方法。

20

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

30

【0001】

本発明は、探傷対象物の温度を測定することによって、探傷対象物の内部に生じている傷や剥離等の欠陥を検出する探傷技術に関する。

【背景技術】**【0002】**

非破壊検査によって探傷対象物の内部に生じている欠陥を検出する方法の一つに赤外線サーモグラフィ法がある。この赤外線サーモグラフィ法では、熱源によって探傷対象物表面を加熱し、その後の表面温度を赤外線カメラ等で測定する。内部に欠陥が存在する場合には、内部へと伝播する熱の流れが変化するため、表面に局所的な温度変化が発生する。この温度変化を検出することで、探傷対象物の内部に生じている欠陥を検出できる。

40

【0003】

例えば、特許文献 1 に記載された探傷方法では、次の手順で探傷対象物（検査対象物）の欠陥を検出し、表示している。まず、探傷対象物の表面をパルス加熱し、設定時間において、設定されたサンプリング周波数で、加熱後の探傷対象物の複数の部分の表面温度を検出する。これにより、加熱してからの経過時間と表面温度との関係を示すデータをセル毎（画素毎）に取得する。表面の熱画像の変化から欠陥を検出し検査することが可能であるが、さらに、取得したデータに対してフーリエ変換を行い、周波数と位相との関係を示すデータに変換する。変換したデータについて、設定された検査周波数における位相値を求める。セル毎の位相値から位相画像を生成し、表示部で表示する。この位相画像では、探傷対象物内部の欠損の有無によって位相値が変化するので、位相画像に基づき探傷対象

50

物内部の欠損を検出及び表示できる。そして、熱画像よりも、深い欠陥や雑音の少ない像にすることができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2011-247718号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1に記載された探傷方法では、静止状態の探傷対象物を対象にしている。このため、移動する探傷対象物に適用すると位相画像に乱れが生じてしまい、欠陥の検出ができないという問題があった。同様に、赤外線カメラ等の撮影部が移動する場合にも、位相画像に乱れが生じてしまうので、欠陥の検出ができないという問題があった。

【0006】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、その目的は、撮影部の視野内で探傷対象物が相対移動する場合においても、探傷対象物の内部欠陥を検出できるようにすることにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

前述の目的を達成するため、本発明に係る探傷システムは、探傷対象物の表面を加熱する加熱部と、視野内を相対移動する加熱後の前記探傷対象物を所定時間間隔で撮影することで、熱量に応じた値を示すセルがマトリクス状に配置された熱画像を、時系列で取得する熱画像取得部と、複数の前記熱画像を、前記熱画像の取得間隔における前記探傷対象物の相対移動量を示すオフセットに基づいて定められた移動量だけ、相対移動方向へ移動させた状態で重ね合わせて、重ね合わせ画像を取得する重ね合わせ画像取得部と、前記重ね合わせ画像を表示する表示部とを有することを特徴とする。

【0008】

本発明によれば、複数の熱画像を、探傷対象物の相対移動量を示すオフセットに基づいて定められた移動量だけ移動させて重ね合わせている。これにより、探傷対象物が重ね合わせられた重ね合わせ画像が取得できる。そして、この重ね合わせ画像を用いているので、相対移動する探傷対象物であっても、表面や内部に存在する欠陥を検出できる。なお、この発明においてオフセットは、自動で取得してもよいし、手動で設定してもよい。

【0009】

前述の探傷システムにおいて、前記重ね合わせ画像における時間と温度の関係を示す時間 - 温度データをフーリエ変換することで周波数と位相の関係を示す周波数 - 位相データを取得し、前記周波数 - 位相データから得られた位相画像に基づいて、前記探傷対象物の内部に存在する欠陥を検出する探傷部を有することことが好ましい。この探傷システムでは、周波数 - 位相データから得られた位相画像に基づいて探傷対象物の内部に存在する欠陥を検出するので、表面から深い場所での欠陥も検出できる。

【0010】

前述の探傷システムにおいて、前記探傷部は、設定された周波数における等位相画像による位相画像に基づいて、前記探傷対象物の内部に存在する欠陥を検出することが好ましい。この探傷システムでは、周波数の設定により表面からの深さの異なる場所での欠陥を検出できる。この周波数は、任意に定めることができる。例えば、熱画像の取り込み時間と取り込みの時間間隔から決まる周波数に定めることができる。

【0011】

また、本発明に係る探傷方法は、探傷対象物の表面を加熱する加熱ステップと、視野内を相対移動する加熱後の前記探傷対象物を所定時間間隔で撮影することで、熱量に応じた値を示すセルがマトリクス状に配置された熱画像を、時系列で取得する熱画像取得ステップと、複数の前記熱画像を、前記熱画像の取得間隔における前記探傷対象物の相対移動量

10

20

30

40

50

を示すオフセットに基づいて定められた移動量だけ、相対移動方向へ移動させた状態で重ね合わせて、重ね合わせ画像を取得する重ね合わせ画像取得ステップと、前記重ね合わせ画像を表示する表示ステップとを行うことを特徴とする。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、撮影部の視野内で探傷対象物が相対移動する場合においても、探傷対象物の内部欠陥を検出できる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】(a)は、探傷システムの一例を示す概略図である。(b)は、記憶部に設けられる記憶領域を説明する図である。 10

【図2】赤外線カメラの視野と探傷対象物の移動方向を説明する平面図である。

【図3】(a)は、熱画像(フレーム)とセル(画素)の関係を説明する図である。(b)は、セルにおける探傷対象物の移動を模式的に説明する図である。

【図4】移動する探傷対象物に対する探傷処理を説明するフローチャートである。

【図5】探傷対象物の加熱処理を説明する図である。

【図6】熱画像の取得処理を説明する図である。

【図7】取得された熱画像(フレーム)を説明する図である。

【図8】重ね合わせ時の移動量を説明する図である。

【図9】オフセットが0.21セルの場合の重ね合わせ例を説明する図である。 20

【図10】オフセットが0.23セルの場合の重ね合わせ例を説明する図である。

【図11】20枚目の熱画像を説明する図であり、(a)は比較例、(b)は移動処理を行った例である。

【図12】200枚目の熱画像を説明する図であり、(a)は比較例、(b)は移動処理を行った例である。

【図13】400枚目の熱画像を説明する図であり、(a)は比較例、(b)は移動処理を行った例である。

【図14】600枚目の熱画像を説明する図であり、(a)は比較例、(b)は移動処理を行った例である。

【図15】位相画像を説明する図であり、(a)は比較例、(b)は重ね合わせ処理を行った例である。 30

【図16】重ね合わせ処理を行った位相画像における探傷対象物の内部欠陥を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、本発明の実施形態について図面を参照しつつ説明する。図1(a)に示す探傷システム10は、赤外線カメラ11と、キセノンランプ12と、制御装置13とを有している。

【0015】

赤外線カメラ11は、被写体を撮影し、この被写体の表面から発せられる赤外線エネルギーを検出し、熱画像として視覚化するための装置である。この赤外線カメラ11から出力された熱画像のデータは、制御装置13に入力される。このため、赤外線カメラ11は、制御装置13の制御部16と共に熱画像取得部に相当する。 40

【0016】

例示した赤外線カメラ11では、視野内の赤外線エネルギーを光学系によって集め、赤外線検出素子に入力する。赤外線検出素子では、入力された赤外線エネルギーをその強度に応じた電気信号に変換して出力する。すなわち、赤外線検出素子は、視野内をマトリクス状(行列状)に分割し、分割単位(セル)毎の電気信号を熱画像のデータとして出力する。ここで、被写体が高温であるほど、被写体の表面から発せられる赤外放射が大きくなり、赤外線検出素子から出力される電気信号の値(例えば電圧値)が大きくなる。 50

【0017】

図2の平面図に示すように、画角を θ 、被写体までの距離をR、視野をX、探傷対象物Zの移動速度をVとし、視野における横幅方向のセル数(画素数)をN、赤外線カメラ1の撮影周波数をFとした場合を考える。この場合、視野Xは $2 \times R \times \tan(\theta/2)$ で表すことができ、セルあたりの視野 ΔX は X/N で表すことができる。また、探傷対象物Zの移動ピッチpは1撮影間隔における移動量であり、 V/F で表すことができる。この他、本実施形態では、オフセットSも算出している。ここで、オフセットSとは、熱画像の取得間隔における探傷対象物Zの移動量を、セルの大きさを単位に示す数値であり、 $p/(N \Delta X) = V/F$ で表される。

【0018】

10

図3(a)に示すように、赤外線カメラ11では、セルCがマトリクス状に配置され、かつ、温度(=熱量)に応じた色がセルC毎に設定された熱画像FLを、所望の撮影周波数Fで撮影することができる。本実施形態の赤外線カメラ11では、例えば、横320セル×縦240セル(アスペクト比4:3)の熱画像FLを、1秒あたり50枚(撮影周波数50Hz; 0.02秒間隔)の間隔で取得できる。なお、熱画像FLを構成するセルCの数や赤外線カメラ11の撮影周波数Fについては、適宜設定できる。また、図3(b)に示すように、探傷対象物Zの或る点Pが速度Vで移動する場合、当該点Pは、n枚目、n+1枚目、n+2枚目・・・の熱画像FLにおいて、移動ピッチpずつ移動する。

【0019】

20

図1(a)に示すように、キセノンランプ12は、加熱部に相当し、発光によって探傷対象物Zの表面を加熱する。本実施形態では、図5に符号P0で示すように、赤外線カメラ11の視野Xよりも上流側に設定された加熱位置で、キセノンランプ12による探傷対象物Zの加熱が行われる。

【0020】

なお、キセノンランプ12による発光は、探傷対象物Zの表面を加熱するためのものであるため、加熱部としてキセノンランプ12以外の光源を用いてもよい。そして、キセノンランプ12や他の光源の発光態様としては、フラッシュのような閃光であってもよいし、連続的に探傷対象物Zへ照射される連続光であってもよい。さらに、キセノンランプ12の発光制御は、制御装置13によってもよいし、手動であってもよい。

【0021】

30

図1(a)に戻り、制御装置13は、赤外線カメラ11やキセノンランプ12の動作を制御すると共に、赤外線カメラ11からの熱画像FLのデータを加工し、表示するものであり、例えばパーソナルコンピュータによって構成される。この制御装置13は、CPU14や記憶部15を有する制御部16と、マウス、タッチパネル、及びキーボード等によって構成される入力部17と、各種ディスプレイによって構成される表示部18とを有している。

【0022】

CPU14は、記憶部15(プログラム記憶領域15a、探傷プログラム記憶領域15b)に記憶されたコンピュータプログラムを読み込み、これらのコンピュータプログラムや入力部17からの操作信号に従って動作する。CPU14の動作により、制御部16は、赤外線カメラ11やキセノンランプ12の動作を制御したり、熱画像FLのデータに基づく演算を行い、演算結果を表示部18に表示させたりする。記憶部15は、コンピュータプログラムや各種のデータを記憶する部分であり、ハードディスクドライブ、ソリッドステートドライブ、ランダムアクセスメモリ、及びフラッシュメモリ等の書き込み及び読み出しが可能な記憶素子が用いられる。

【0023】

40

図1(b)に示すように、記憶部15の一部領域は、プログラム記憶領域15a、探傷プログラム記憶領域15b、パラメータ記憶領域15c、熱画像記憶領域15d、重ね合わせ画像記憶領域15e、時間-温度データ記憶領域15f、周波数-位相データ記憶領域15g、及び位相画像記憶領域15hとして用いられている。

50

【0024】

プログラム記憶領域15aには、赤外線カメラ11、キセノンランプ12、及び制御装置13の組を、探傷システム10として機能させるためのコンピュータプログラムが記憶されている。探傷プログラム記憶領域15bには、後述する熱画像や位相画像に基づき、判定条件を参照するなどして制御部16に、自動的な検査及び判定を行わせるためのコンピュータプログラムが記憶されている。

【0025】

パラメータ記憶領域15cには、探傷処理において必要とされる判定条件などの各種パラメータが記憶される。例えば、被写体までの距離R、視野X、探傷対象物Zの移動速度V、横幅方向のセル数N、撮影周波数F、セルCあたりの視野、探傷対象物Zの移動ピッチp、及びオフセットSが記憶される。また、パラメータ記憶領域15cには、赤外線カメラ11による撮影時の解像度(セルCの数)やキセノンランプ12の動作内容(発光時間や強度、探傷対象物Zの加熱条件)なども記憶される。

10

【0026】

熱画像記憶領域15dには、赤外線カメラ11から出力された時系列の熱画像FLが記憶される。重ね合わせ画像記憶領域15eには、時系列の熱画像FLをずらしながら重ねあわせた重ね合わせ画像が記憶される。時間-温度データ記憶領域15fには、重ね合わせ画像について取得したセルC毎の時間と温度の関係を示すデータが記憶される。周波数-位相データ記憶領域15gには、時間-温度データをフーリエ変換することで取得される、周波数と位相の関係を示す周波数-位相データが記憶される。位相画像記憶領域15hには、周波数-位相データに基づいて生成された位相画像(設定された周波数における等位相画像による位相画像)が記憶される。

20

【0027】

次に、図4のフローチャートを参照し、前述した構成を有する探傷システム10での探傷処理について説明する。

【0028】

この探傷システム10では、最初にパラメータの設定処理が行われる(S1)。この設定処理では、赤外線カメラ11による撮影時の解像度、撮影周波数F、キセノンランプ12の動作内容等が操作者によって設定される。例えば、これらのパラメータの入力を促す画面が表示部18に表示され、入力部17の操作によって必要なパラメータが入力される。設定されたパラメータについては、記憶部15のパラメータ記憶領域15cに記憶される。

30

【0029】

必要なパラメータが設定されたならば、探傷対象物Zの加熱処理が行われる(S2)。図5に示すように、この加熱処理ではキセノンランプ12が発光される。キセノンランプ12から光が照射されることで、所定速度Vで移動している探傷対象物Zが加熱位置P0で加熱される。本実施形態では、ステップS1の設定処理で設定された動作内容に従ってキセノンランプ12が発光される。また、加熱された探傷対象物Zは、所定速度Vでの移動を継続するので、赤外線カメラ11の視野Xへと進入する。なお、この加熱処理に関し、キセノンランプ12のオンオフスイッチを操作者が手動で操作することで行ってよい。

40

【0030】

次に、熱画像FLの取得及び記憶処理が行われる(S3)。図6に示すように、熱画像FLの取得に際しては、赤外線カメラ11による撮影が行われる。これにより、図3(a)で説明した熱画像FL、すなわち、熱量に応じた値を示すセルCの出力で取得された、マトリクス状に配置された熱画像FLが、図7に示すように時系列で取得される。これらの熱画像FLにおいて、探傷対象物Zは、視野X内を移動方向へ移動する。また、赤外線カメラ11から出力された熱画像FLが、記憶部15の熱画像記憶領域15dに記憶される。なお、撮影の終了タイミングに関し、操作者による入力部17への操作によって終了させてもよいし、予め定めた撮影時間の経過を条件に撮影を終了させてもよい。

50

【0031】

熱画像 F_L が記憶されたならば、オフセット S の取得及び記憶処理が行われる（S4）。すなわち、制御部16は、時系列の熱画像 F_L から探傷対象物 Z の移動速度 V を取得し、撮影周波数 F で除算することで、探傷対象物 Z の移動ピッチ p を取得する。さらに、制御部16は、取得した移動ピッチ p をセル C あたりの視野で除算することでオフセット S を取得する。このように、オフセット S の取得処理を行う制御部16は、オフセット取得部に相当する。

【0032】

なお、探傷対象物 Z の移動速度 V は、種々の方法で取得できる。例えば、制御部16に、撮影タイミングの異なる複数枚の熱画像 F_L を参照させ、探傷対象物 Z のエッジといった特徴点について、その移動量を算出させることでも取得できる。また、探傷対象物 Z の移動速度 V が予め判っている場合には、パラメータの設定処理（S1）で、操作者に移動速度 V を入力させてもよい。そして、取得したオフセット S については、記憶部15のパラメータ記憶領域 $15c$ に記憶される。

10

【0033】

次に、重ね合わせ画像の取得及び記憶処理が行われる（S5）。この処理は、制御部16によって行われる。このため、制御部16は、重ね合わせ画像を取得する重ね合わせ画像取得部に相当する。

【0034】

重ね合わせ画像の取得は、撮影タイミングの異なる複数枚の熱画像 F_L を、セル単位で移動させることで生成される。図8に示すように、ある熱画像 F_L において、 $M=1$ のセル C におけるX方向の中間点（ $/2$ ）である位置 P_1 の仮想点が、 n フレーム後の熱画像 F_L において $M=5$ のセル C における位置 P_2 まで移動した場合を例に挙げて説明する。この仮想点は、熱画像 F_L のフレーム毎にピッチ p だけX方向に移動する。そして、 n フレーム後には、位置 P_2 まで移動しているので、仮想点の総移動量は $p \times (n - 1)$ になる。ここで、セルのX方向の大きさは $\text{セル幅} \times \text{セル数}$ である。そこで、 n の値を1、2、3…と1つずつ増やしながら、 $p \times (n - 1) / \text{セル幅} + 0.5$ の演算を行い、演算結果が整数を越える毎に、当該熱画像 F_L を当該整数セル分だけX方向とは反対側へ移動させることで、重ね合わせ画像を取得している。なお、オフセット S を用い、 $S \times (n - 1) + 0.5$ が整数を越える毎に、当該熱画像 F_L を整数セル分だけX方向とは反対側へ移動させてよい。

20

30

【0035】

この重ね合わせ処理について、具体例を挙げて説明する。図9は、第1具体例を示す図である。第1具体例では、撮影周波数 F が 50 Hz（熱画像 F_L の撮影間隔 $1/F$ で 0.02 秒）、オフセット S が 0.21 セルである。なお、この第1具体例において、符号 S で示す数値は $S \times (n - 1)$ の計算結果である。

40

【0036】

第1具体例において、1～2枚目の熱画像 F_L については、 $S + 0.5$ の演算結果、すなわち $S \times (n - 1) + 0.5$ の演算結果が1未満であるため、移動せずに重ね合わせる。また、3～7枚目の熱画像 F_L については、 $S + 0.5$ の演算結果が1以上2未満であるため、探傷対象物 Z の移動方向とは反対方向へ1セル分移動させて重ね合わせる。同様に、8～11枚目の熱画像 F_L については $S + 0.5$ の演算結果が2以上3未満であるため、探傷対象物 Z の移動方向とは反対方向へ2セル分移動させて重ね合わせる。他の熱画像 F_L についても同様であり、12～16枚目の熱画像 F_L については3セル分移動させ、17～21枚目の熱画像 F_L については4セル分移動させて重ね合わせる。

50

【0037】

図10は、第2具体例を示す図である。第2具体例では、撮影周波数 F が 50 Hz（ $1/F$ で 0.02 秒）、オフセット S が 0.23 セルである。第2具体例において、1～2枚目の熱画像 F_L については移動せずに重ね合わせる。また、3～6枚目の熱画像 F_L については探傷対象物 Z の移動方向へ1セル分移動させて重ね合わせる。同様に、7～10

50

枚目の熱画像 F_L については 3 セル分移動させ、11～15 枚目の熱画像 F_L については 3 セル分、16～19 枚目の熱画像 F_L については 4 セル分移動させて重ね合わせる。

【0038】

そして、これらの第 1 具体例及び第 2 具体例の何れでも、重ね合わせ画像に基づく解析が可能であった。実験的には、少なくともオフセット S が 0.21 セル～0.25 セルの範囲において、重ね合わせ画像に基づく解析が可能であった。このように、オフセット S に関して幅がある理由は、ある点における熱の影響がその周囲に及んでいるからと考えられる。このように、使用可能なオフセット S の値に幅があることから、X 方向に移動中の探傷対象物 Z に関し、図 2 に符号 R で示す赤外線カメラ 11 までの距離が多少変化しても、重ね合わせ画像に基づく解析が可能となる。これは、X 方向についてみれば、オフセット S やピッチ p が多少変動するためだからである。10

【0039】

図 11～図 14 は、熱画像 F_L の移動処理を説明する図であり、図 11 は 1000 枚撮影したうちの 20 番目の熱画像 F_L を示し、図 12 は同じく 200 番目の熱画像 F_L を示している。同様に、図 13 は 400 番目の熱画像 F_L を示し、図 14 は 600 番目の熱画像 F_L を示している。そして、これらの図において、(a) は移動処理を行わない比較例であり、(b) は移動処理を行った例（実施例）である。

【0040】

図 11(a)～図 14(a) から明らかなように移動処理を行わない比較例では、探傷対象物 Z が次第に図の右側に移動していることが判る。これに対し、図 11(b)～図 14(b) に示すように移動処理を行った例では、探傷対象物 Z が熱画像 F_L における左側に固定されていることが判る。20

【0041】

図 4 のフローチャートに戻り、重ね合わせ画像が記憶されたならば、制御部 16 は、この重ね合わせ画像（熱画像）を表示部 18 に表示させる（S6）。これにより、探傷システム 10 の操作者等は、探傷対象物 Z の蓄熱状態を表示部 18 で視認できる。

【0042】

次に、重ね合わせ画像に基づいて、前記探傷対象物 Z の内部に存在する欠陥を検出するための一連の処理（探傷処理）が行われる。この探傷処理は、次に説明する S7～S10 の処理からなっている。これらの処理において、制御部 16 は、探傷対象物 Z の内部に存在する欠陥を検出する探傷部に相当する。30

【0043】

この探傷処理では、まず時間 - 温度データの記憶処理が行われる（S7）。この処理において制御部 16 は、重ね合わせ画像記憶領域 15e から重ね合わせ画像を読み出し、画像を構成するセル C のそれぞれについて、時間と温度の関係を取得する。そして、全てのセル C に対する時間と温度の関係を示すデータを、時間 - 温度データとして記憶部 15 の時間 - 温度データ記憶領域 15f に記憶する。

【0044】

次に、時間 - 温度データに対してフーリエ変換が行われる（S8）。このフーリエ変換により、時間 - 温度データが、周波数と位相との関係を示す周波数 - 位相データに変換される。このフーリエ変換は、制御部 16 によって行われる。従って、制御部 16 は、データ変換部に相当する。本実施形態における時間 - 温度データは離散的であるため、離散フーリエ変換を行っている。40

【0045】

離散フーリエ変換は、次式（1），（2）に従って行われる。

【数1】

$$F_n = \sum_{k=0}^{DN-1} T(K) e^{2\pi i k n} = Re_n + i Im_n \quad \cdots (1)$$

$$A_n = \arctan\left(\frac{Im_n}{Re_n}\right) \quad \cdots (2)$$

【0046】

ここで、 F_n は、サンプリング周波数 f_s を取得データ数 DN の 2 倍で割った値の n 倍の周波数における変換結果（周波数成分、複素強度）を表す。 Re_n は、変換結果の実部を表し、 Im_n は、変換結果の虚部を表す。 T は、 k 番目のサンプリングの温度である。 A_n は、変換結果の強度を表す。離散フーリエ変換では、サンプリング周波数と取得データ数によって、変換後の周波数の範囲が決まる。変換後の周波数の最小値 f_{min} と、最大値 f_{max} は、サンプリング周波数 f_s と、取得データ数 DN を用いて、次式(3)，(4)のように表される。

【数2】

$$f_{min} = f_s / DN \quad \cdots (3)$$

$$f_{max} = f_s / 2 \quad \cdots (4)$$

【0047】

以上のフーリエ変換によって得られた位相 - 周波数データ、変換後の周波数の最小値 f_{min} 及び最大値 f_{max} の各データは、記憶部 15 の周波数 - 位相データ記憶領域 15g に記憶される。その後、位相画像の生成及び記憶が行われる(S9)。位相画像の生成処理では、検査周波数が、前述の最小値 f_{min} 以上であって最大値 f_{max} 以下である、離散的な任意の周波数に定められ、定められた検査周波数の位相値を用いて位相画像が生成される。

【0048】

位相画像の生成処理において、 $f_{min} = 1 / T, 2 / T, 3 / T \dots f_s / 2 (= N / 2T)$ の間の $1 / T$ 每の周波数で計算されるデータ数 DN とすると、 $f_{max} = f / 2 (= (N / 2) / T)$ となり、取得した熱画像 FL を構成するセル C の数 N の半数の位相画像が生成される。

【0049】

なお、検査周波数は、最小値 f_{min} 以上であって最大値 f_{max} 以下の範囲であれば、任意に定めることができる。例えば、熱画像の取り込み時間と取り込みの時間間隔から決まる周波数に定めることができる。

【0050】

また、位相画像の生成は、制御部 16 によって行われる。このため、制御部 16 は、位相画像生成部に相当する。そして、生成された位相画像については、記憶部 15 の位相画像記憶領域 15h に記憶される。また、検査周波数を変化させることで、表面からの深さが異なる内部の状態が確認できる。この検査周波数の設定は、入力部 17 を介して操作者によって行うことができる。

【0051】

位相画像が生成され記憶されたならば、位相画像及び検査結果が表示される(S10)。この表示処理では、位相画像記憶領域 15h に記憶された位相画像が制御部 16 に読み出され、映像信号に変換されて表示部 18 に表示される。ここで、図 15 は表示部 18 に表示される位相画像を説明する図である。そして、(a) は重ね合わせ処理を行っていない比較例の位相画像であり、(b) は重ね合わせ処理を行った例の位相画像である。図 15 (a) に示すように、比較例では幅方向に流れたパターンの位相画像になっていることが判る。これに対し、図 15 (b) に示すように、重ね合わせ処理を行うことで、探傷対

象物Zが明瞭に視認できることが判る。さらに、図16に拡大して示すように、重ね合わせ処理を行うことで、探傷対象物Zの内部欠損が、位相画像において明確に視認できていることが判る。そして、表示部18には、検査結果もあわせて表示される。

【0052】

以上の説明から判るように、本実施形態の探傷システム10では、探傷対象物Zの表面を加熱する加熱ステップ(S2)と、視野内を移動する加熱後の探傷対象物Zを撮影することで、熱量に応じた値を示すセルCからなる熱画像FLを時系列で取得する熱画像FL取得ステップ(S3)と、探傷対象物Zの相対移動量を示すオフセットを取得するオフセット取得ステップ(S4)と、複数の熱画像FLを、オフセットに基づいて定められた移動量だけ、熱画像FLの幅方向(探傷対象物Zの移動方向)へ移動させた状態で重ね合わせて、重ね合わせ画像を取得する重ね合わせ画像取得ステップ(S5)と、前記重ね合わせ画像を表示する表示ステップ(S6)とからなる探傷方法を実現できる。

10

【0053】

この探傷方法では、探傷対象物Zが同じ位置で重ね合わせられた重ね合わせ画像が取得できるので、視野内で探傷対象物Zが移動する場合においても、探傷対象物Zの熱画像を表示部18で表示でき、探傷対象物Zの内部に存在する欠陥を認識できる。この探傷方法は、量産品の移動しつつある物体の個別検査に対して適しており、カメラ視野内を移動する時間で、熱画像を取り込み、検査することができる。また、大きな欠陥を速やかに検出する際に有用である。特に、航空機のような大型で大面積な探傷対象については、大きな欠陥を移動しながら検査することへの適用は有用である。

20

【0054】

また、この探傷システム10では、重ね合わせ画像における時間と温度の関係を示す時間-温度データをフーリエ変換することで周波数と位相の関係を示す周波数-位相データを取得している。そして、周波数-位相データに基づいて生成された位相画像(設定された周波数における等位相画像による位相画像)に基づいて、探傷対象物の内部に存在する欠陥を検出している。この探傷システムでは、周波数-位相データから得られた位相画像に基づいて探傷対象物の内部に存在する欠陥を検出するので、表面から深い場所での欠陥も検出できる(S7~S10)。

30

【0055】

また、この探傷システム10において、制御部18(探傷部)は、設定された周波数における等位相画像による位相画像に基づいて、探傷対象物の内部に存在する欠陥を検出する。この探傷システム10では、周波数の設定により表面からの深さの異なる場所での欠陥を検出できる。この周波数は、任意に定めることができる。例えば、熱画像の取り込み時間と取り込みの時間間隔から決まる周波数に定めることができる。

【0056】

加えて、この探傷システム10では、重ね合わせ画像(熱画像)及び位相画像から判定条件を参照して自動的に検査及び判定を行っていたが、この構成に限られない。例えば、重ね合わせ画像に基づく判断を、探傷システム10の操作者等に委ねてもよい。

40

【0057】

また、探傷システム10では、視野内における探傷対象物Zの移動速度、視野に対応するセルCの数、及び撮影周波数Fに基づき、オフセットSを取得しているので、オフセットSの取得を自動化できる。なお、オフセットSの数値に幅があることから理解できるように、視野内における探傷対象物Zの移動速度はある程度の誤差が許容される。実験的には、10%~15%くらいまでの誤差が許容されているので、この移動速度を画像処理によって取得してもよい。また、探傷対象物Zの移動速度については、別途移動速度検出を行ってもよい。

【0058】

以上の実施形態の説明は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定するものではない。本発明はその趣旨を逸脱することなく、変更、改良され得ると共に本発明にはその等価物が含まれる。例えば、次のように構成してもよい。

50

【 0 0 5 9 】

前述の実施形態では、赤外線カメラ 1 1 が固定されており、探傷対象物 Z が赤外線カメラ 1 1 の視野 X 内を幅方向へ移動する場合を例に挙げて説明したが、この構成に限定されるものではない。固定された探傷対象物 Z に対して、赤外線カメラ 1 1 を移動させてもよい。

【 0 0 6 0 】

前述の実施形態では、探傷対象物 Z が X 方向（熱画像 F L の横方向）に移動する場合について説明したが、探傷対象物 Z が Y 方向（熱画像 F L の縦方向）に移動する場合についても同様に適用できる。加えて、探傷対象物 Z が X 方向と Y 方向のそれぞれ（熱画像 F L の斜め方向）に移動する場合についても同様に適用できる。

10

【 0 0 6 1 】

前述の実施形態では、1 つのセル C に対して、時間 - 温度データや周波数 - 位相データを取得していたが、この構成に限らない。例えば、複数セル C の平均値で周波数 - 位相データを取得してもよい。

【 0 0 6 2 】

前述の実施形態では、周波数 - 位相データに基づいて位相画像を取得し、位相画像によって探傷対象物 Z の内部に存在する傷を探していたが、この構成に限らない。例えば、重ね合わせ画像における時間 - 温度データから直接、探傷対象物 Z の内部に存在する欠損を検出してもよい。

20

【 0 0 6 3 】

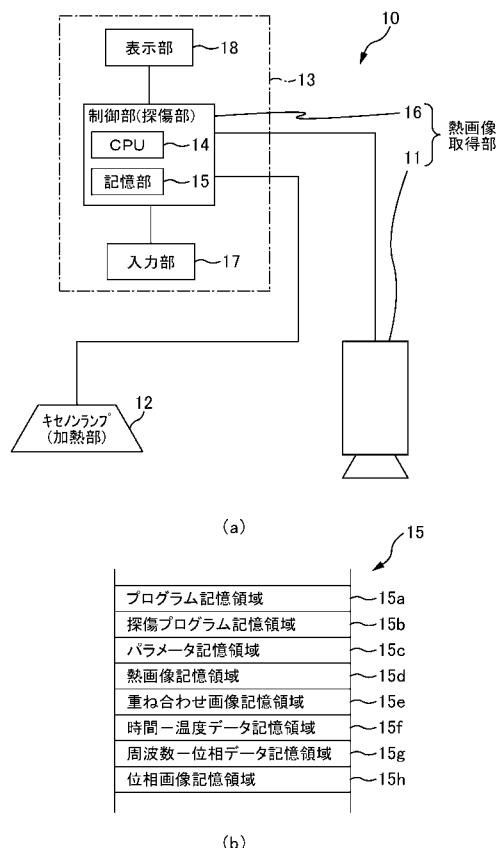
前述の実施形態では、自動で取得したオフセット S を用いていたが、別途求めたオフセット S をパラメータの設定処理（S 1）で入力するように構成してもよい。

【 符号の説明 】**【 0 0 6 4 】**

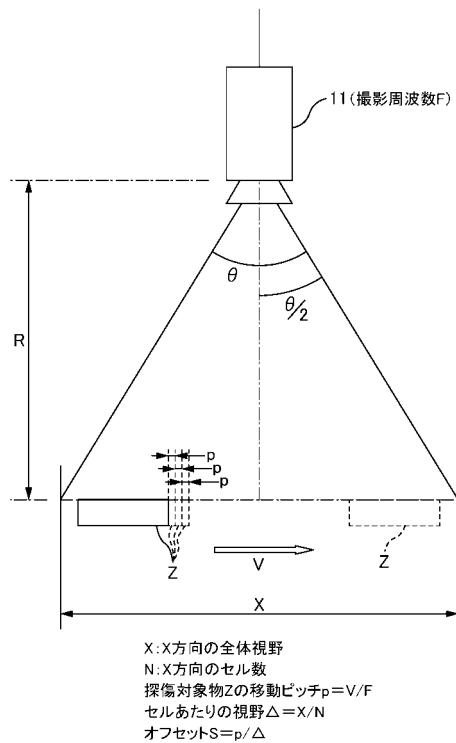
1 0 … 探傷システム， 1 1 … 赤外線カメラ， 1 2 … キセノンランプ， 1 3 … 制御装置， 1 4 … C P U， 1 5 … 記憶部， 1 5 a … プログラム記憶領域， 1 5 c … パラメータ記憶領域， 1 5 d … 热画像記憶領域， 1 5 e … 重ね合わせ画像記憶領域， 1 5 f … 時間 - 温度データ記憶領域， 1 5 g … 周波数データ - 位相記憶領域， 1 5 h … 位相画像記憶領域， 1 6 … 制御部， 1 7 … 入力部， 1 8 … 表示部， … 赤外線カメラの画角， X … 赤外線カメラの X 方向の視野， F … 赤外線カメラの撮影周波数， N … 視野における横幅方向のセル数（画素数）， … セルあたりの視野， R … 赤外線カメラから被写体までの距離， F L … 热画像， C … 热画像を構成するセル， Z … 探傷対象物， V … 探傷対象物の移動速度， p … 探傷対象物の移動ピッチ， P … 探傷対象物の或る点， S … オフセット

30

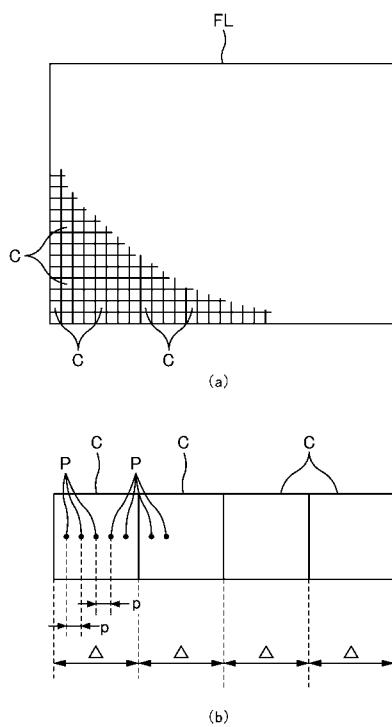
【図1】



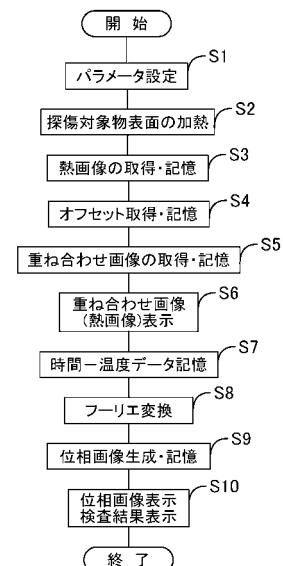
【図2】



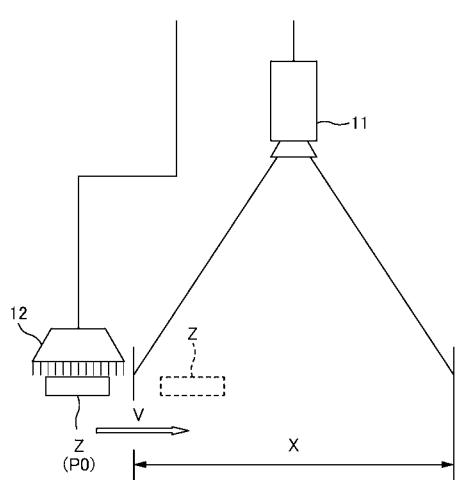
【図3】



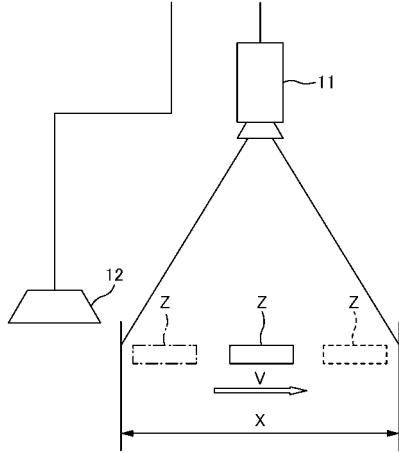
【図4】



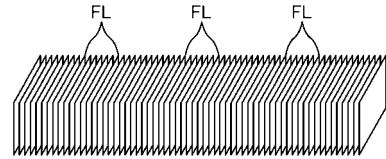
【図5】



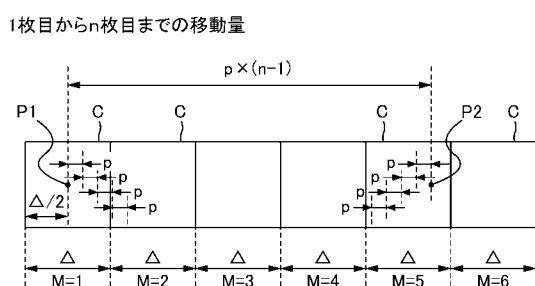
【図6】



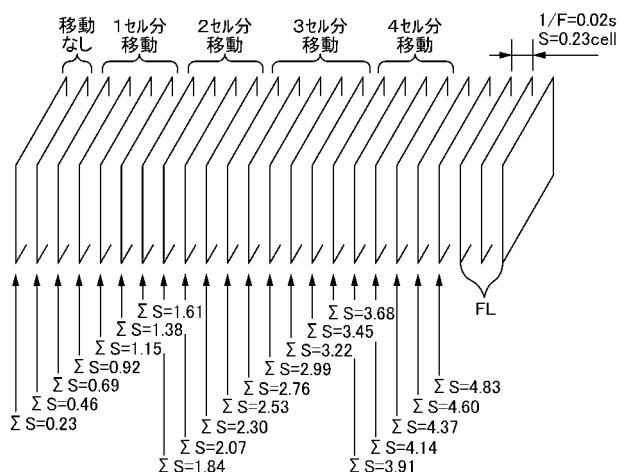
【図7】



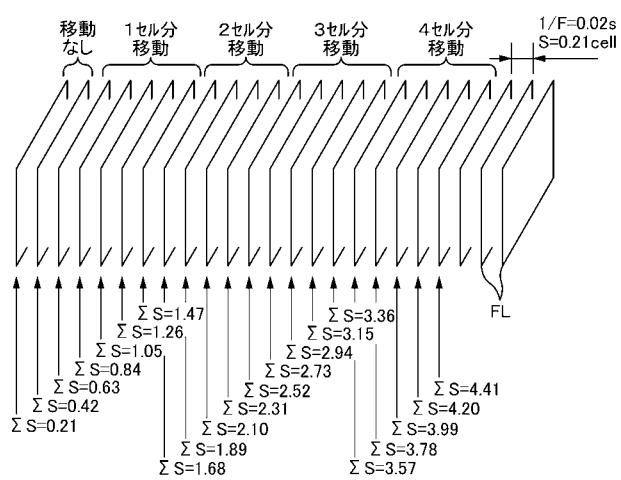
【図8】



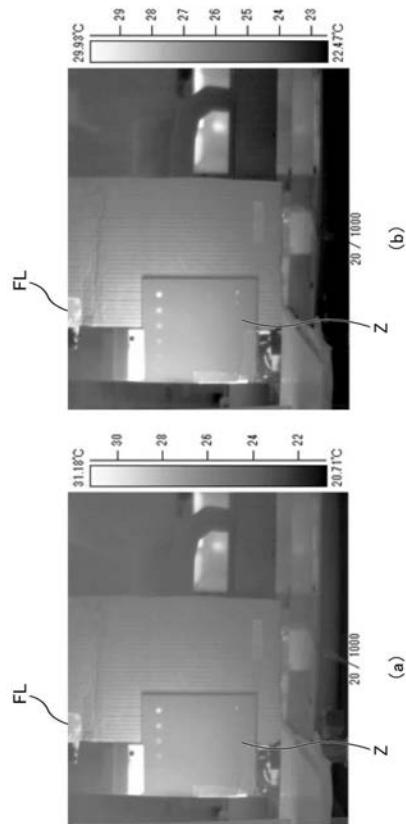
【図10】



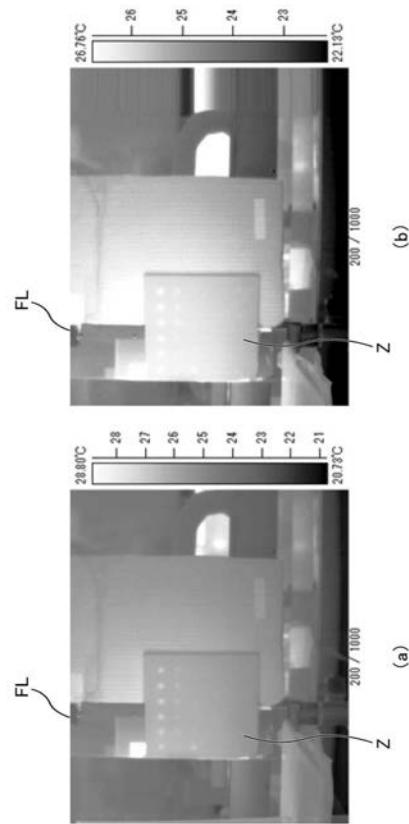
【図9】



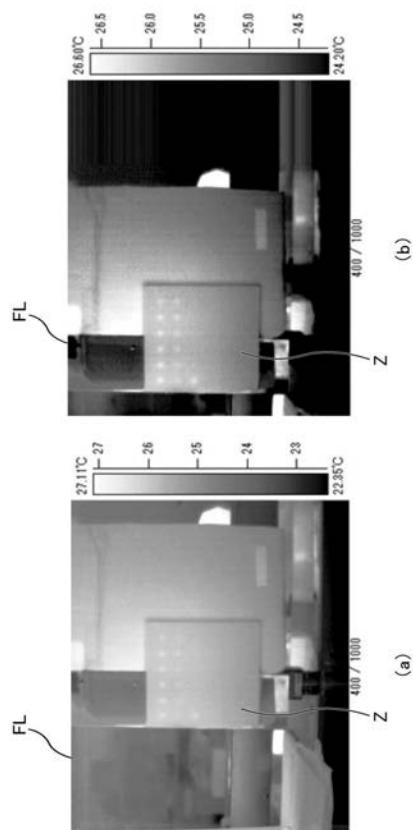
【図 1 1】



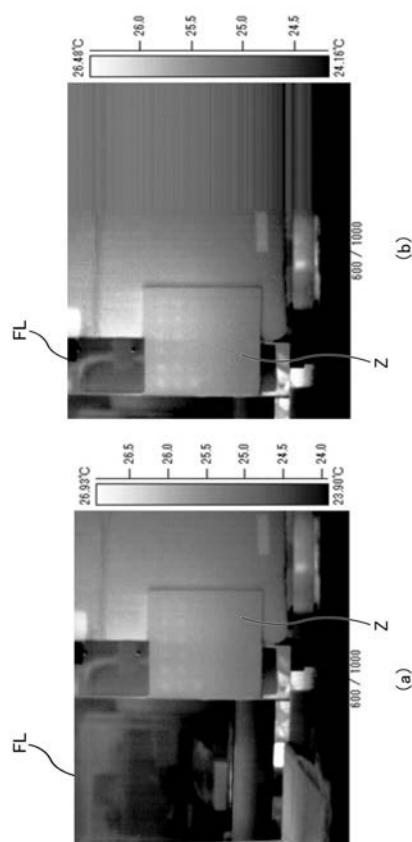
【図 1 2】



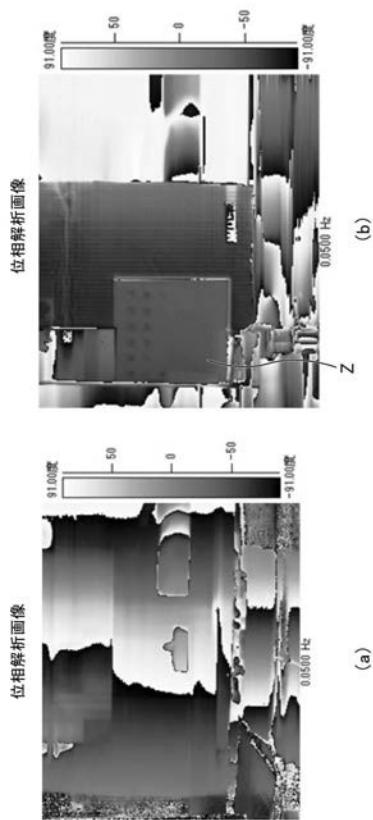
【図 1 3】



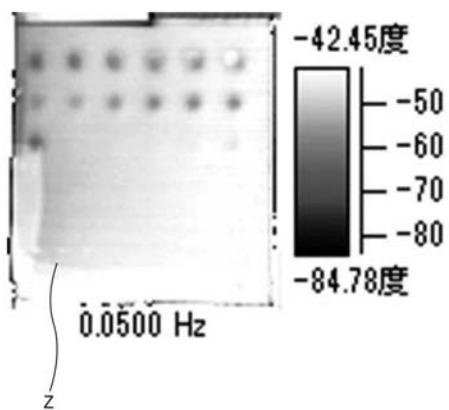
【図 1 4】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

(72)発明者 福井 涼

大阪府東大阪市角田1丁目9番29号 株式会社KJT D内

F ターム(参考) 2G040 AB08 BA26 BA27 CA12 CA23 DA06 DA15 EA06 EC02