

(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  
2024年2月1日(01.02.2024)

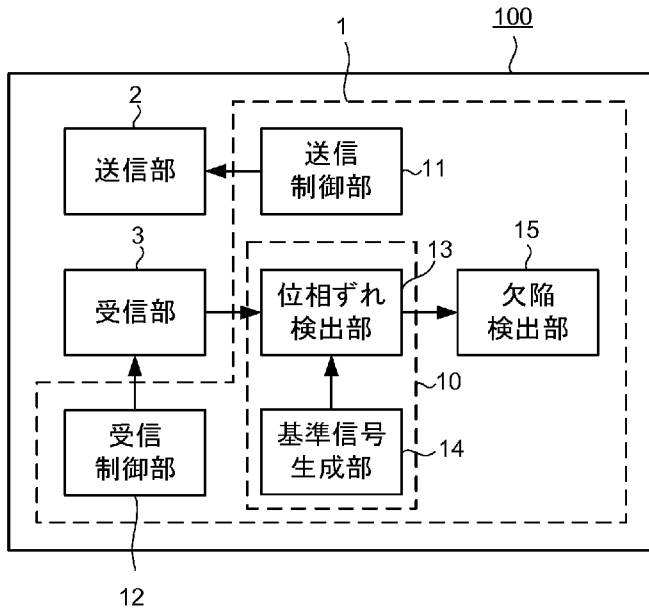


(10) 国際公開番号  
**WO 2024/024309 A1**

- (51) 国際特許分類:  
G01N 29/50 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/021968
- (22) 国際出願日: 2023年6月13日(13.06.2023)
- (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 2022-120656 2022年7月28日(28.07.2022) JP
- (71) 出願人: コニカミノルタ株式会社 (KONICA MINOLTA, INC.) [JP/JP]; 〒1007015 東京都千代田区丸の内二丁目7番2号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 布施 優 (FUSE, Masaru). 青木 めぐみ(AOKI, Megumi).
- (74) 代理人: 弁理士法人鷺田国際特許事務所 (WASHIDA & ASSOCIATES); 〒1600023 東京都新宿区西新宿1-23-7 新宿ファーストウエスト8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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY,

(54) Title: NONDESTRUCTIVE INSPECTING DEVICE, NONDESTRUCTIVE INSPECTING METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 非破壊検査装置、非破壊検査方法、およびプログラム



- 2 Transmitting unit  
3 Receiving unit  
11 Transmission control unit  
12 Reception control unit  
13 Phase shift detecting unit  
14 Reference signal generating unit  
15 Defect detecting unit

(57) Abstract: Provided are a nondestructive inspecting device, a nondestructive inspecting method, and a program capable of detecting even minute defects at low cost. The nondestructive inspecting device of the present invention comprises: a transmitting unit for transmitting wave motion to a target object; a receiving unit for generating a reception signal by receiving the wave motion propagated through the target object, at a plurality of reception positions on a line or a plane orthogonal to a transmission direction of the wave motion; and an information generating unit for subjecting the reception signal and a predetermined reference signal to predetermined non-linear processing to generate phase shift information indicating a phase shift between the reception signal and the reference signal at each reception position.

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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,  
UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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).

添付公開書類：

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

---

(57) 要約：低コストで、微小な欠陥をも検出することができる非破壊検査装置、非破壊検査方法、およびプログラムを提供する。本発明の非破壊検査装置は、対象物に対して波動を送信する送信部と、前記波動の送信方向に対して直交する線上または面上の複数の受信位置において、前記対象物媒介して伝搬された前記波動を受信して受信信号を生成する受信部と、前記受信信号および所定の基準信号に対して所定の非線形処理を行い、前記受信位置のそれぞれにおける前記受信信号と前記基準信号との位相ずれを示す位相ずれ情報を生成する情報生成部とを備える。

## 明 細 書

発明の名称：

非破壊検査装置、非破壊検査方法、およびプログラム

### 技術分野

[0001] 本発明は、非破壊検査装置、非破壊検査方法、およびプログラムに関する。

### 背景技術

[0002] 近年、環境問題やエネルギー問題等を背景に、CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) 等の複合繊維強化樹脂材が、航空機や自動車等の移動体のボディをはじめ、橋梁や道路等の比較的大型の施設や建造物の構造材として用いられる例が増えつつある。このような複合材は、金属等に比べて軽量かつ高強度という優れた特徴を備えるが、製造時等に微細なボイド（空隙）や内部剥離等があると、経年劣化により大きな破壊や破断に至る可能性が指摘されている。また、大規模建築物に用いられることの多いコンクリートは、製造または施工された当初は高い強靱性を有するが、経年による特性変化や水分の侵入等により、コンクリート中にす（空隙）や内部鉄筋の腐食などが生じ、その強度が大きく劣化することがある。そこで、このような移動体、インフラ、建造物等の安全性や信頼性を効率良く評価し担保するために、非破壊検査が実施されている。

[0003] さらに、最近では、製品安全性に関する消費者マインドの向上や、これに伴う規制強化の動き等から、食料品を含む消費財全般に対して高い安全性を求める社会的風潮が強まっており、これらの品質を簡便に評価する非破壊検査方法が求められている。

[0004] 従来、このような非破壊検査には、打音検査や外観検査等、職人のノウハウや人海戦術に基づくアナログ的手法が多く用いられてきた。しかしながら、アナログ的手法は、それら技術の維持または継承が難しく、効率性の観点においても課題が多い。そのため、より定量性があり、作業効率が高く短時

間で実施できる非破壊検査手法が必要とされている。

[0005] そこで、このような効率的かつ定量性のある非破壊検査手法として、電磁波や超音波等の波動を用いた非破壊検査方法が提案、実用化されている。このような非破壊検査方法の代表的な手法として、超音波探傷法等が知られている。超音波探傷法は、対象物に対して超音波センサを当接させて超音波を対象物に入射し、対象物から反射された超音波、もしくは対象物を透過した超音波を観測することにより、対象物内の構造や、ボイドや亀裂等の欠陥の有無を把握しようとするものである。

[0006] 超音波探傷法として最も一般的な構成の一例を、図13Aに示す。図13Aには、対象物に対して超音波送信用および受信用の2つセンサを配置し、一方のセンサから対象物に対して超音波を送信し、対象物によって反射されてきた超音波を他方のセンサによって受信する構成が示されている。この構成は、対象物内のボイド等欠陥による音響インピーダンスの不連続に起因した超音波の反射エネルギーを計測することで、ボイド等の有無やその大きさを検出する。

[0007] また、特許文献1には、上記のような超音波エネルギーを検出する方式に代えて、対象物に対して互いに周波数が異なる2つの超音波を送信し、これら2つの超音波が内部欠陥等を透過または反射した場合に生じる位相変動に起因した受信信号中のうなり波形（ビート）に基づいて欠陥の有無を判定する非破壊検査装置が開示されている。

## 先行技術文献

### 特許文献

[0008] 特許文献1：特開2019-20250号公報

### 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0009] しかしながら、図13に例示した手法は、内部欠陥等の界面で反射される超音波のエネルギー量を検出するという基本原理に起因して、当該欠陥等の

大きさにより検出性能が左右される。このため、図13Bに示すように、大きな欠陥は精度よく検出できるが、対象物の劣化過程のごく初期等に見られる微小な亀裂等の小さな欠陥は検出が困難な場合がある。

[0010] 特許文献1に開示された非破壊検査装置では、超音波の位相変動を観測することで、図13に示した方法よりも小さな欠陥等を検出することが期待できる。しかし、互いに異なる周波数の超音波を送信するために2つの送信部を設ける必要があり、非破壊検査装置のコストが増大する可能性が高い。

[0011] さらに、これらの従来技術においては、欠陥等を検出するための解析対象となる超音波データを、実際に対象物に超音波を伝搬させて実測により取得する必要がある。このため、当該検査作業全般に関して時間面や設備面のコスト負担が大きいという課題もある。例えば、特許文献1に開示される非破壊検査装置のように対象物を伝搬する波動の位相変動を検出するためには、何らかの基準信号が必要となる。しかしながら、このような基準信号のデータを取得するために、検査対象物と同じ内部パラメータを有し、かつ欠陥が存在しないことが予め判っている他の対象物を実際に用意することは、非常に困難である、または大きなコストを要する。

[0012] したがって、本発明は、対象物に超音波を伝搬させて得られる時系列信号データから、簡便かつ低コストで超音波の位相変動を検出することができる非破壊検査装置、非破壊検査方法、およびプログラム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

[0013] 上記課題を解決するため、本発明の一態様に係る非破壊検査装置は、  
対象物に対して波動を送信する送信部と、

前記波動の送信方向に対して略直交する線上または面上の複数の受信位置において、前記対象物により伝搬された波動を受信して受信信号を生成する受信部と、

前記受信信号、もしくは実験空間または算術空間において、前記対象物と異なる所定の対象物に超音波を伝搬させて取得した受信信号を基準信号とし

て出力し、当該基準信号と前記受信信号に対して非線形処理を行い、前記受信位置のそれぞれにおける前記受信信号と前記基準信号との位相ずれを示す位相ずれ情報を生成する情報生成部と、

を備えることを特徴とする。

[0014] また、本発明の一態様に係る非破壊検査方法は、  
コンピュータが実行する非破壊検査方法であって、  
対象物に対して波動を送信し、

前記波動の送信方向に対して略直交する線上または面上の複数の受信位置において、前記対象物により伝搬された前記波動を受信して受信信号を生成し、前記受信信号、もしくは実験空間または算術空間において、前記対象物と異なる所定の対象物に超音波を伝搬させて取得した受信信号を基準信号として出力し、当該基準信号と前記受信信号に対して非線形処理を行い、前記受信位置のそれぞれにおける前記受信信号と前記基準信号との位相のずれを示す位相ずれ情報を生成することを特徴とする。

[0015] また、本発明の一態様に係るプログラムは、  
非破壊検査装置が有するコンピュータが実行するプログラムであって、  
対象物に対して波動を送信し、

前記波動の送信方向に対して略直交する線上または面上の複数の受信位置において、前記対象物により伝搬された前記波動を受信して受信信号を生成し、

前記受信信号、もしくは実験空間または算術空間において、前記対象物と異なる所定の対象物に超音波を伝搬させて取得した受信信号を基準信号として出力し、当該基準信号と前記受信信号に対して非線形処理を行い、前記受信位置のそれぞれにおける前記受信信号と前記基準信号との位相のずれを示す位相ずれ情報を生成する、

という手順を前記コンピュータに実行させることを特徴とする。

## 発明の効果

[0016] 本発明によれば、対象物に超音波を伝搬させて得られる時系列信号データ

から、簡便かつ低コストで超音波の位相変動を検出することができる。

### 図面の簡単な説明

- [0017] [図1]本発明の第1の実施形態に係る非破壊検査装置の構成の一例を示す図
- [図2]本発明の第1の実施形態に係る非破壊検査装置における送信部、受信部、および対象物の位置関係を例示する図
- [図3A]対象物の内部に、欠陥等の波動を反射または散乱等する構造が存在しない場合において、受信位置毎に受信される波動について説明する図
- [図3B]対象物の内部に、欠陥等の波動を反射等する構造が存在する場合において、受信位置毎に受信される波動について説明する図
- [図4]本発明の第1の実施形態に係る位相ずれ検出部が位相ずれ情報を生成する原理を概念的に説明する図
- [図5A]本発明の第1の実施形態に係る非破壊検査装置を用いて、内部に空隙を有する対象物に超音波を伝搬させて得られた位相ずれ情報と受信位置との関係を示す図
- [図5B]本発明の第1の実施形態に係る非破壊検査装置を用いて、内部に空隙を有する対象物に超音波を伝搬させて得られた位相ずれ情報と受信位置との関係を示す図
- [図5C]本発明の第1の実施形態に係る非破壊検査装置を用いて、内部に空隙を有する対象物に超音波を伝搬させて得られた位相ずれ情報と受信位置との関係を示す図
- [図5D]本発明の第1の実施形態に係る非破壊検査装置を用いて、内部に空隙を有する対象物に超音波を伝搬させて得られた位相ずれ情報と受信位置との関係を示す図
- [図6A]本発明の第1の実施形態に係る非破壊検査装置を用いて、内部に欠陥がない対象物に超音波を伝搬させて得られた位相ずれ情報と受信位置との関係を示す図
- [図6B]本発明の第1の実施形態に係る非破壊検査装置を用いて、内部に欠陥がない対象物に超音波を伝搬させて得られた位相ずれ情報と受信位置との関

係を示す図

[図6C]本発明の第1の実施形態に係る非破壊検査装置を用いて、内部に欠陥がない対象物に超音波を伝搬させて得られた位相ずれ情報と受信位置との関係を示す図

[図6D]本発明の第1の実施形態に係る非破壊検査装置を用いて、内部に欠陥がない対象物に超音波を伝搬させて得られた位相ずれ情報と受信位置との関係を示す図

[図7]本発明の第2の実施形態に係る非破壊検査装置の構成の一例を示す図

[図8]本発明の第2の実施形態に係る非破壊検査装置における位相ずれ検出処理を説明する図

[図9A]本発明の第2の実施形態に係る非破壊検査装置を用いて、内部に空隙を有する対象物に超音波を伝搬させて得られる位相ずれ情報と受信位置との関係を示す図

[図9B]本発明の第2の実施形態に係る非破壊検査装置を用いて、内部に空隙を有する対象物に超音波を伝搬させて得られる位相ずれ情報と受信位置との関係を示す図

[図9C]本発明の第2の実施形態に係る非破壊検査装置を用いて、内部に空隙を有する対象物に超音波を伝搬させて得られる位相ずれ情報と受信位置との関係を示す図

[図9D]本発明の第2の実施形態に係る非破壊検査装置を用いて、内部に空隙を有する対象物に超音波を伝搬させて得られる位相ずれ情報と受信位置との関係を示す図

[図10]本発明の第3の実施形態に係る非破壊検査装置の構成の一例を示す図

[図11]本発明の第4の実施形態に係る非破壊検査装置の構成の一例を示す図

[図12]本発明の第5の実施形態に係る非破壊検査装置の構成の一例を示す図

[図13A]従来の非破壊検査装置の構成の一例を示す図

[図13B]従来の非破壊検査装置の原理を示す図

**発明を実施するための形態**

[0018] 以下、本発明の実施形態について、図面を参照して説明する。ただし、発明の範囲は、図示した例に限定されるものではなく、これに準ずる形態および構成を含むものとする。なお、以下の説明において、同一の機能および構成を有するものについては、同一の符号を付し、その説明を省略する。

[0019] [第1の実施形態]

(非破壊検査装置100の全体構成)

図1は、第1の実施形態に係る非破壊検査装置100の構成の一例を示す図である。図1に示すように、非破壊検査装置100は、制御部1と、送信部2と、受信部3とを備え、内部にコンピュータを有するコンピュータ機器の一種である。本構成により、非破壊検査装置100は、対象物の欠陥の有無等の検査を非破壊で行う。非破壊検査の対象物としては、代表的な例として、CFRP等の複合繊維樹脂や鉄筋コンクリート等の固体物が挙げられるが、これに限定されるものではなく、液体、気体も想定される。また、以下では、対象物が六面体である場合について説明を行うが、対象物の形状はこれに限定されず、例えば、球体、楕円体、円柱、楕円柱、角柱、不定形等であっても良い。

[0020] 制御部1は、例えばCPU (Central Processing Unit)、マイクロプロセッサ等のプロセッサ、または、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、FPGA (Field Programmable Gate Array) 等の演算回路で構成され、複数の機能ブロックを有する。制御部1は、複数の機能ブロックにより、送信部2に対して波動の送信タイミングや送信波形等の送信条件に関する制御情報を提供し、受信部3に対して制御情報を提供すると共に、受信部3から出力される波動の受信信号に対する所定の信号処理等を施して、検査結果を出力または表示する。

[0021] 送信部2は、制御部1から提供される制御情報に基づいて、対象物に対して所定の波動を送信する。送信部2が送信する波動の例としては、超音波等の音響波、電波や光波等の電磁波が挙げられるが、以下では、送信部2は超音波を送信するものとする。送信部2が送信する波動の波面形状としては、

平面波、球面波等が想定されるが、以下では、平面波、すなわち伝搬方向に対して垂直な方向に波面を有する波動であるものとする。また、送信部2を構成する波動発生素子は、所望の波面形状を得ることができれば、単一素子構成、もしくは複数素子構成のいずれでも良い。

[0022] 受信部3は、例えば対象物を挟んで送信部2と対面するように配置され、制御部1から提供される制御情報に基づいて、送信部2から送信され対象物Cを伝搬した波動を受信する。図2は、送信部2、受信部3、および対象物Cの位置関係を例示した図で、対象物Cの互いに対向する2面の一方側に送信部2を、他方側に受信部3を、それぞれ配置している。

[0023] 受信部3は、複数の受信素子を有し、対象物Cを伝搬した波動を、空間内の複数の受信位置（図2の黒丸）において受信できるように構成されている。複数の受信位置は、波動の送信方向に対して略直交する平面上または直線上に配置されており、受信部3の各受信素子は、複数の受信位置のそれぞれにおいて、対象物Cを伝搬した波動を受信する。これにより、受信部3は、送信部2が送信し、伝搬方向に垂直な波面を有する平面波を、複数の受信位置に配列された受信素子によってそれぞれほぼ同時に受信して、電気信号に変換し、出力することができる。

[0024] なお、本明細書において、略直交するとの記載は、送信方向と平面または直線とが真に直交している状態だけでなく、例えば送信部2および受信部3の設置公差等により生じうる、送信方向と平面または直線とが真に直交した状態からわずかにずれた状態をも含むものとする。

[0025] なお、本図では、対象物Cに対して、互いに異なる側に送信部2および受信部3を配置したいわゆる透過系の送受信構成を示したが、送信部2および受信部3を同じ側に配置したいわゆる反射系の構成としても良い。

[0026] ここで、図3を参照して、対象物Cにより伝搬される波動について説明する。図3Aおよび図3Bは、送信部2、受信部3、および対象物Cを側面視した状態を示している。図3Aは、対象物Cの内部に、欠陥等の波動を反射または散乱等する構造が存在しない場合において、受信位置毎に受信される

波動を示している。図3Aでは、送信部2は、例えば受信部3と同様に、複数の送信素子でなる構成を有し、各送信素子に入力する送信信号のタイミングを揃えることにより、各送信素子から出力される波動の波面を揃えて平面波を生成する。図3Aでは、対象物C内部に波動の反射や散乱等、波動伝搬を遅延させる要因が存在しないため、送信部2から出力された波動は、そのまま同じタイミングで受信部3の各受信素子に到達する。すなわち、受信部3の複数の受信素子は、送信部2から同時に送信され、併進する複数の直進波（図3Aの矢印）をそれぞれ同時に受信するものとみなすことができる。

[0027] 一方、図3Bは、対象物Cの内部に、欠陥等の波動を反射等する構造が存在する場合において、受信位置毎に受信される波動の一例を示している。図3Bでは、図3Aと同様に、送信部2から出力された波動が対象物C内を直進する。しかし、欠陥D近傍を伝搬する直進波は欠陥Dの境界面により反射され、本来到達するはずだった第1の受信素子RE1ではなく、例えば隣に配置されている第2の受信素子RE2に到達し、反射波Wdが受信される。これにより、図3Bに示す例では、第2の受信素子RE2は、直進波Ws1と反射波Wdの両方を受信することになる。

[0028] なお、図3Bには、波動が欠陥Dの界面上側部において反射される様子を示しているが、同様の現象は欠陥Dの界面下側部においても生じ得る。また、波動の欠陥界面への入射角度、入射位置、欠陥の形状等の条件によっては、反射する角度は変化する場合がある。例えば、図3Bには、波動が欠陥Dの中心から外側（図3Bでは上方向）に向かって反射する様子を示しているが、条件次第で欠陥中心から内側に回折し、これにより、当該波動が到達する受信素子が変わる場合があり得る。なお、欠陥正面に到達した波動Ws2は、その多くが欠陥により伝搬方向と逆方向に反射されるため、波動の伝搬方向における欠陥の裏側（図3Bでは右側）に位置する受信素子には、いずれの波動も受信されない。

[0029] このように、受信部3が各受信素子で受信する波動は、対象物の内部構造等を反映して変化する。従って、受信部3の複数の受信素子から出力される

各受信信号を所定の方法で処理および解析することにより、対象物内部の欠陥等の有無を検出することができる。

[0030] (制御部 1)

図 1 に戻り、制御部 1 が有する各機能ブロックの動作について説明する。図 1 に示すように、制御部 1 は、情報生成部 10 と、送信制御部 11 と、受信制御部 12 と、欠陥検出部 15 とを備える。また、情報生成部 10 は、位相ずれ検出部 13 と、基準信号生成部 14 とを備える。

[0031] 送信制御部 11 は、波形、周波数、送信タイミング等の所定の送信条件で波動を対象物 C に対して送信するように送信部 2 を制御する。

[0032] 受信制御部 12 は、送信部 2 により送信され、対象物 C を伝搬した波動を、所定の受信位置に配置した受信素子が受信するように受信部 3 を制御する。

[0033] 基準信号生成部 14 は、所定の方法および構成により、送信部 2 から出力される送信信号と波形、周波数等が一致する波動である基準信号を生成する。基準信号は、図 3 A に示すように、対象物の内部に欠陥等の波動を回折等させる構造が存在せず複数の受信素子がそれぞれ直進波のみを受信する条件において各受信素子から出力される信号と同等の信号、もしくはこれに準ずる信号である。本発明において、基準信号の生成方法としては種々の方法が採用され得る。基準信号の生成方法については、後述する。

[0034] 位相ずれ検出部 13 は、基準信号に基づいて、所定の方法により受信部 3 から出力される受信信号の位相の変化を示す位相ずれ情報を生成する。位相ずれ情報として有意な値が検出された場合、対象物の内部に欠陥等の波動を回折等させる構造が存在することになる。

[0035] <位相ずれ情報の生成方法>

位相ずれ情報の生成方法について説明する。図 4 は、ある受信位置の受信素子が出力した受信信号について、位相ずれ検出部 13 が位相ずれ情報を生成するための処理内容を概念的に説明した図である。上記したように、受信信号は、対象物の内部の欠陥等の位置や大きさに依存して、受信素子毎に、

当該受信位置に対応する直進波と、欠陥等による回折波とのいずれかまたは両方の成分を含む。

[0036] 図4は、受信信号が回折波成分のみを含む場合について例示している。また、基準信号は、受信素子が直進波成分のみを受信した場合に出力される受信信号に相当する。位相ずれ検出部13は、回折波である受信信号と直進波に相当する基準信号とを合成し、非線形処理を行って両信号間の干渉成分を算出し、その大きさに基づいて位相ずれ情報を生成する。

[0037] ここで、送信部2から送信される波動の周波数を  $f_1$  とすると、例えば直進波は  $\cos 2\pi f_1 t$  と表すことができる。  $t$  は時間である。一方、回折波は、図3Bに示すように欠陥界面で回折して受信素子に到達するため、直進波に比して当該伝搬時間が変動し、直進波を基準として当該位相が変化する。即ち、回折波と直進波との位相ずれ（位相差）を  $\theta$  とすると、回折波は、  $\cos(2\pi f_1 t - \theta)$  と表すことができる。

[0038] 受信信号（回折波）と基準信号（直進波）とを合成（加算）し、非線形処理の例として積演算を施した場合の出力値は、以下の式1で表される。

[数1]

$$\cos^2 2\pi f_1 t + \cos^2(2\pi f_1 t - \theta) + 2\cos 2\pi f_1 t \cdot \cos(2\pi f_1 t - \theta) \quad (1)$$

[0039] 式(1)において、第3項の  $2\cos 2\pi f_1 t \cdot \cos(2\pi f_1 t - \theta)$  が受信信号と基準信号との干渉成分である。積和の公式により、第3項は以下の式2で表される。

[数2]

$$\{\cos(2\pi 2f_1 t - \theta) + \cos\theta\} \quad (2)$$

[0040] 図4中の右側のグラフは、受信信号と基準信号が干渉した場合に得られる周波数スペクトルを模擬的に示している。これに示されるように、受信信号と基準信号との干渉により、第2高調波成分（中心周波数  $2f_1$ ）と直流成分が得られる。式(2)において、前項が第2高調波成分に、後項が直流成分

に、それぞれ相当する。

[0041] このような処理により算出された直流成分 ( $\cos \theta$ ) の大きさが、回折波成分の位相ずれ情報として欠陥検出部 15 に出力される。

[0042] なお、上記においては、受信信号が回折波成分のみを有する場合について説明したが、受信信号が、回折波成分および直進波成分を有する場合についても、ほぼ同様の動作および効果を示すことになる。すなわち、受信信号に含まれる直進波成分と基準信号は、同一の波形および周波数を有し、対象物 C を直進波成分が伝搬するに要する時間に相当する時間差を有するものとなる。この場合、基準信号を十分大きい振幅として受信信号と合成すれば、受信信号に含まれる直進波成分は無視できるため、上記非線形処理により、受信信号中の回折波成分と基準信号との干渉成分を生成することができる。

[0043] 基準信号生成部 14 は、所定の方法により基準信号を生成する。以下では、基準信号の生成方法について説明する。

[0044] <基準信号の生成方法>

基準信号生成部 14 は、例えば、対象物の計算モデルを用いてシミュレーションを行うことで生成する。

[0045] 対象物の計算モデルとは、非破壊検査装置 100 の検査対象である対象物 C と略一致する内部パラメータを有し、かつ内部に欠陥等が存在しない仮想の対象物を算術空間内に作成したモデルである。なお、本明細書において、略一致するとの記載は、計算モデルの内部パラメータと対象物 C の内部パラメータとの間に、誤差等に起因するわずかな値のずれが含まれる場合を含むものとする。より具体的には、対象物 C の設計および作製等を行う際に必要となる物性パラメータや構造パラメータ等の既知のパラメータ群に基づいて計算モデルを生成する。なお、計算モデルの作成は、必ずしも非破壊検査装置 100 が行う必要はなく、別途設けられた外部のコンピュータ等によって作成されても良い。

[0046] 次に、計算モデルを用いた基準信号の生成方法の例を説明する。算術空間において、送信部 2 から出力される送信信号と同じ波動パラメータ（振幅、

位相、周波数等)を有する波動を計算モデルに入力し、受信部3が有する複数の受信素子がそれぞれ配置されている受信位置と同じ位置において観測される受信信号をシミュレーションにより取得し、基準信号とする。なお、シミュレーションは、必ずしも非破壊検査装置100が行う必要はなく、別途設けられた外部のコンピュータ等によって実施されても良い。

[0047] このように、非破壊検査の対象物を算術空間内に計算モデルとして構築し、実際の送信信号に準じた波動伝搬をシミュレーションすることによって基準信号を生成する。これにより、欠陥等のない対象物を実際に用意して、送信部2および受信部3を用いて波動を伝搬し、当該受信信号を基準信号とするよりも、容易かつ低コストに基準信号を取得することができる。何故なら、非破壊検査の対象物と同じ物性パラメータや構造パラメータを有し、かつ欠陥等が存在しないことが予め判っている他の対象物を実際に用意することは、非常に困難かつコストがかかるためである。

[0048] また、上記のような生成方法によれば、非破壊検査装置100が対象物Cの非破壊検査を行うタイミングとは異なるタイミングで、基準信号を生成することができる。すなわち、基準信号生成部14は、非破壊検査装置100が、実空間で対象物Cの実際の検査を行うのと同じタイミングで基準信号を生成しても良いし、実際の検査を行うのとは異なるタイミングで基準信号を生成しても良い。例えば、実際の非破壊検査の事前に予め基準信号を生成しておき、当該データを基準信号生成部14が有する記憶部等に格納しておくことにより、実際の検査時における非破壊検査装置100の作業負荷を軽減し、効率的な検査を行うことができる。あるいは、実際の検査の事後に基準信号を生成しても良い。

[0049] なお、図3に示す例では、非破壊検査の対象物Cとして、均質な素材で構成されたものを想定しているが、必ずしもこの限りではなく、不均質な素材や構造を備えるものであっても良い。例えば、複合繊維樹脂の一種であるCFRTP (Carbon Fiber Reinforced Thermo Plastics) 等のように、樹脂素材をベースに繊維を含有したものや、CFRPのように積層構造を有するも

のにも、本発明の非破壊検査装置100は適用が可能である。

[0050] CFRTP等のように均質でない対象物に波動が入力されると、内部に欠陥等がなくても、含有繊維等により波動の散乱や回折が生じることがある。このような場合、内部に散乱等が生じる素材を用いて計算モデルを構築することにより、不均質な素材で構成された対象物の場合でも、十分な検査精度を得ることができる。また、対象物にCFRPを想定した場合には、各プライ層や接着層の厚みや、プライ層のカーボンファイバの含有量、接着層に用いる樹脂材の物性値等、対象物を設計する際に既知のパラメータ群に基づいて計算モデルを構築することで、十分な精度を確保可能である。

[0051] 図1に戻り、欠陥検出部15について説明する。欠陥検出部15は、位相ずれ検出部13から出力された位相ずれ情報に基づいて、対象物C内部における欠陥等の有無や欠陥等の大きさや位置を検出する。

[0052] 欠陥検出部15は、受信部3が有する複数の受信素子が配置された受信位置のうち、有意な位相ずれ情報が検出される受信位置が存在する場合や、他の受信位置と比較して特異な位相ずれ情報が得られる受信位置が存在する場合に、対象物C内に欠陥等が存在すると判断する。なお、欠陥検出部15は、有意もしくは特異な位相ずれ情報が得られる受信位置と送信部2とを結ぶ線上、またはその近傍に欠陥等が存在すると判断する。

[0053] <効果>

第1の実施形態に係る非破壊検査装置100によれば、以下のような格別な効果が得られる。

[0054] 非破壊検査装置100は、対象物に対して波動を伝搬させて、複数の受信位置に配置した受信素子で受信信号を取得し、これを予め作成または取得した基準信号との間で非線形処理して、受信信号の位相ずれ情報を生成することで、対象物内部の欠陥等が微小なものであっても、これを簡単かつ低コストに検出することができる。

[0055] また、基準信号を、実際の対象物を用いた検査とは異なるタイミングで生成し、典型的には事前に生成しておくことで、実際の検査時における非破壊

検査装置 100 の作業負荷や演算量等を低減することができる。さらに、基準信号の生成は、対象物と同等の内部パラメータを有する計算モデルに、送信部 2 が送信する波動と同等のパラメータ（周波数等）を有する波動を入射したシミュレーションにより実施できるため、基準信号の生成コスト、および基準信号および受信信号に基づく位相ずれ検出処理の演算コストを低減し、非破壊検査装置 100 による検査コストを抑制することができる。

[0056] 次に、図 5 および図 6 を用いて、非破壊検査装置 100 を用いて非破壊検査を行った際に得られたデータについて説明する。

[0057] 図 5 および図 6 は、それぞれ CFRTP 中の炭素繊維の含有率をパラメータとして、位相ずれ検出部 13 から出力される位相ずれ情報に含まれる直流成分の大きさと当該受信位置との関係を、対象物内部に 500  $\mu$ m 径の空隙がある場合（図 5）とない場合（図 6）について示している。図 5 および図 6 の横軸は受信位置を、縦軸は位相ずれ情報の直流成分の大きさを、それぞれ示している。なお、空隙は、図 5 および図 6 の横軸（受信位置）の中央と送信部との間に位置している。

[0058] 図 5 A から図 5 D、および図 6 A から図 6 D は、炭素繊維の含有量をパラメータとしたもので、図 5 A および図 6 A は、炭素繊維含有率が 5 重量%、図 5 B および図 6 B は、同 10 重量%、図 5 C および図 6 C は、同 15 重量%、図 5 D および図 6 D は、同 20 重量%の場合を、それぞれ示している。

[0059] 図 5 A と図 6 A、図 5 B と図 6 B、図 5 C と図 6 C、図 5 D と図 6 D、をそれぞれ対比すると、内部に空隙がある対象物である場合（図 5）は、横軸の中央付近で位相ずれ情報がピーク（点線で囲んだ箇所）を示すのに対し、内部に空隙がない場合（図 6）は、目立ったピークが存在しない。このように、対象物内部に空隙等の欠陥がある場合には、欠陥位置に対応する受信位置における位相ずれ情報は、他の受信位置に対して特異な振舞いを示すことが分かる。

[0060] なお、主に図 6 に見られる位相ずれ情報のばらつき（ランダムな上下変動）は、CFRTP が含有する炭素繊維による散乱等の影響によるものと考え

られる。ここで、図5および図6を比較すると、欠陥等により生じる位相ずれ情報のピークの方が、内部散乱等によるばらつきよりも大きい。

[0061] このように、第1の実施形態に係る非破壊検査装置100によれば、対象物が繊維等を含み、均質ではない場合でも、当該対象物内の欠陥等を簡便かつ効率的に検出することができる。

[0062] [第2の実施形態]

上記説明した第1の実施形態では、基準信号として、対象物の計算モデル、および送信部2が送信する波動と同等の波動を用いて、受信部3の受信素子（第1の受信位置）毎の受信信号を算術空間内でシミュレートすることにより得られたものを使用していた。これに対して、第2の実施形態では、第1の受信位置における位相ずれ情報の生成に用いる基準信号として、第1の受信位置とは異なる第2の受信位置における受信信号を用いる。

[0063] 図7は、第2の実施形態に係る非破壊検査装置100Aの構成の一例を示す図である。図7に示すように、非破壊検査装置100Aは、制御部1Aと、送信部2と、受信部3とを備える。また、制御部1Aは、情報生成部10Aと、送信制御部11と、受信制御部12と、欠陥検出部15とを備え、情報生成部10Aは、位相ずれ検出部13Aのみを備える。ここで、図7では、第1の実施形態と同様の動作を行う構成については第1の実施形態と同じ符号を付し、説明を省略する。

[0064] 図7に示す、第2の実施形態に係る非破壊検査装置100Aは、基準信号生成部14を有しない点で第1の実施形態に係る非破壊検査装置100と異なっている。そして、第2の実施形態に係る非破壊検査装置100Aでは、位相ずれ検出部13Aが、基準信号として、基準信号生成部14が生成する基準信号の代わりに、別の信号を用いて位相ずれ検出処理を行う

[0065] 図8は、第2の実施形態に係る非破壊検査装置100Aにおける位相ずれ検出処理を説明するための図である。図8では、複数の受信素子のうち、第1の受信素子RE1が生成した受信信号に対する位相ずれ検出処理について概念的に説明している。

[0066] 第2の実施形態では、第1の受信素子RE1が生成した受信信号に対し、第1の受信素子RE1から所定距離離れた受信位置に配置された他の受信素子が生成した受信信号を基準信号として用いて、位相ずれ検出処理を行う。図8には、第1の受信素子RE1から2つ隣の受信位置に配置された他の受信素子（第2の受信素子RE2）が生成した受信信号を基準信号として用いる例が示されている。なお、第2の実施形態と第1の実施形態では、どの信号を基準信号として用いるかが異なっているだけで、位相ずれ検出部13Aが行う位相ずれ検出処理の処理内容自体は、第1の実施形態の位相ずれ検出部13と同等である。

[0067] 第2の実施形態では、全ての受信素子が生成した受信信号に対し、所定距離離れた他の受信素子が生成した受信信号を基準信号として用いて、位相ずれ検出処理を行う。

[0068] このような位相ずれ検出処理では、第1の受信素子が生成した受信信号に、対象物内部の欠陥等により回折された回折波成分が含まれている場合でも、所定距離離れた第2の受信素子が生成した受信信号には、直進波成分のみが含まれていることが期待される。このような場合、第1の実施形態と同様の位相ずれ検出処理を行うことにより、受信信号の位相ずれ情報を抽出することができる。

[0069] なお、本発明の位相ずれ検出の機序は、いわゆる相関処理に基づくものであり、第1の実施形態における位相ずれ検出部13が、相互相関の原理に基づき動作するのに対して、第2の実施形態における位相ずれ検出部13Aは、自己相関の原理に基づき動作する。よって、位相ずれ検出部13Aにおいて、基準信号は、受信信号を出力する受信素子に対していずれの方向にいずれの所定距離隔てた受信素子が出力する受信信号を用いても良いが、より望ましくは、検出すべき受信信号の位相ずれ量や対象物内に含まれると想定される欠陥等の大きさに応じて適切に定められる。

また、異なる距離隔てた複数の受信素子から出力される複数の受信信号を用いて、それぞれ相関処理した結果を使用し、あるいは当該結果をさらに平

均化等の統計処理を施すことで、より安定的に位相ずれ情報を抽出することができる。

[0070] 以上のように、第2の実施形態に係る非破壊検査装置100Aによれば、第1の実施形態の非破壊検査装置100よりも基準信号生成部14の分の製造コストを抑えた上で、効率的に非破壊検査を行うことができる。

[0071] 次に、第2の実施形態に係る非破壊検査装置100Aを用いて、内部に500 $\mu$ m径の空隙を有するCFRTPを対象物として実際に用意し、非破壊検査を行った結果を示す。図9は、それぞれCFRTPの炭素繊維の含有率をパラメータとして、位相ずれ検出部13Aから出力される位相ずれ情報に含まれる直流成分の大きさと当該受信位置との関係を示している。図9Aは、炭素繊維含有率が5重量%である場合に、図9Bは、同10重量%、図9Cは、同15重量%、図9Dは、同20重量%である場合を、それぞれ示している。なお、図5および図6と同様に、図9の横軸は受信位置を、縦軸は位相ずれ情報の直流成分の大きさを、それぞれ示しており、空隙は、図9の横軸（受信位置）の中央と送信部との間に位置している。

[0072] 図9を見ると、内部に欠陥等があると、図5と同様に、欠陥等の位置に応じて位相ずれ情報がピークを示す。即ち、対象物内部に欠陥がある場合には、欠陥位置に対応する受信位置における位相ずれ情報は、他の受信位置に対して特異な振舞いを示す。

[0073] このように、第2の実施形態に係る非破壊検査装置100Aによっても、対象物内の欠陥等を簡便かつ効率的に検出することができる。

[0074] [第3の実施形態]

第3の実施形態では、第1の実施形態と同様に、対象物の計算モデルを用いて算術空間内でのシミュレーションにより得られた基準信号を用いる。ここで、第3の実施形態は、基準信号のみに対して非線形処理を行った結果を用いて、これを位相ずれ検出部13から出力される位相ずれ情報から差し引くことにより、基準信号自体が有するばらつきによる影響を低減する点において、第1の実施形態と異なる。

[0075] 図10は、第3の実施形態に係る非破壊検査装置100Bの構成の一例を示す図である。図10において、非破壊検査装置100Bは、制御部1Bと、送信部2と、受信部3とを備える。また、制御部1Bは、情報生成部10Bと、送信制御部11と、受信制御部12と、欠陥検出部15とを備え、情報生成部10Bは、位相ずれ検出部13と、基準信号生成部14と、非線形処理部16と、差分抽出部17とを備える。ここで、図10に示すように、非破壊検査装置100Bは、非破壊検査装置100の構成に加えて、非線形処理部16および差分抽出部17をさらに備えている。

[0076] 非線形処理部16は、受信位置毎に、基準信号のみに対して非線形処理（積演算）を行う。より具体的には、非線形処理部16は、基準信号の自乗演算を行い、当該結果を出力する。差分抽出部17は、受信位置毎に、位相ずれ検出部13が生成した位相ずれ情報と、非線形処理部16が生成した非線形処理結果との差分を抽出し、欠陥検出部15に出力する。欠陥検出部15Bは、この差分を用いて、欠陥の有無を判断する。

[0077] このように、第3の実施形態に係る非破壊検査装置100Bによれば、受信位置毎の基準信号のばらつきによる影響を低減して、対象物内の欠陥等をより安定して検出することができる。なお、受信位置毎の基準信号のばらつきは、例えば、対象物として均質ではない材料を用いた場合に、繊維等による波動の散乱等の影響によって生じうるものである。

[0078] [第4の実施形態]

第4の実施形態では、受信信号および基準信号のそれぞれに対し、当該振幅変動（強度）成分を除去した上で位相ずれ検出処理を行う点において、第1の実施形態と異なる。

[0079] 図11は、第4の実施形態に係る非破壊検査装置100Cの構成の一例を示す図である。図11において、非破壊検査装置100Cは、制御部1Cと、送信部2と、受信部3とを備える。また、制御部1Cは、情報生成部10Cと、送信制御部11と、受信制御部12と、欠陥検出部15とを備え、情報生成部10Cは、位相ずれ検出部13、基準信号生成部14と、第1振幅

変動除去部 18 と、第 2 振幅変動除去部 19 とを備える。ここで、図 11 に示すように、非破壊検査装置 100C は、非破壊検査装置 100 の構成に加えて、第 1 振幅変動除去部 18 および第 2 振幅変動除去部 19 をさらに備えている。

[0080] 第 1 振幅変動除去部 18 は、受信部 3 が受信位置毎に生成した受信信号に対し、当該振幅変動成分の除去処理を行う。第 2 振幅変動除去部 19 は、受信位置に対応する受信位置毎の基準信号に対し、当該振幅変動成分の除去処理を行う。位相ずれ検出部 13 は、第 1 の実施形態と同様に、第 2 振幅変動除去部 19 から出力される基準信号に基づいて、第 1 振幅変動除去部 18 から出力される受信信号の位相の変化を示す位相ずれ情報を生成する。

[0081] 振幅変動除去処理の例として、所定の閾値を用いた 2 値化処理が挙げられる。所定の閾値は予め適宜の値が設定されていれば良い。また、その他の例として、信号振幅が所定値を超えた際に飽和処理またはクリッピング処理を行うものであっても良い。

[0082] 第 4 の実施形態に係る非破壊検査装置 100C によれば、受信信号および基準信号の振幅変動による影響を低減して、対象物内の欠陥等をより高精度に検出することができる。

[0083] なお、第 4 の実施形態では、受信信号に対して振幅変動除去処理を行う第 1 振幅変動除去部 18 と、基準信号に対して振幅変動除去処理を行う第 2 振幅変動除去部 19 とを別々に設けた場合について説明したが、例えば同じ振幅変動除去部が受信信号および基準信号の両方に対して振幅変動除去処理を行っても良い。

[0084] [第 5 の実施形態]

第 1 から第 4 の実施形態においては、受信信号の位相に関する情報を抽出することで、欠陥の検出を行っている。第 5 の実施形態では、受信信号の位相ずれ情報だけでなく当該強度情報も用いて欠陥の検出を行う。

[0085] 図 12 は、第 5 の実施形態に係る非破壊検査装置 100D の構成の一例を示す図である。図 12 において、非破壊検査装置 100D は、制御部 1D と

、送信部2と、受信部3とを備える。また、制御部1Dは、情報生成部10Dと、送信制御部11と、受信制御部12と、欠陥検出部15Dと、分岐部110と、強度情報処理部111とを備え、情報生成部10Dは、位相ずれ検出部13、基準信号生成部14とを備える。ここで、図12に示すように、非破壊検査装置100Dは、非破壊検査装置100の構成に加えて、分岐部110および強度情報処理部111をさらに備えている。そして、分岐部110は、受信部3から出力される受信信号を分岐し、位相ずれ検出部13は、当該分岐された一方の受信信号の位相ずれ情報を出力する。強度情報処理部111は、分岐部110により分岐されたもう一方の受信信号について、当該強度情報を抽出する等、受信信号の強度情報に基づく所定の処理を行う。欠陥検出部15Dは、位相ずれ検出部が生成した位相情報と、強度情報処理部111からの出力情報とに基づいて欠陥の検出を行う。

[0086] なお、強度情報処理部111が受信信号の強度情報に対して行う所定の処理、および欠陥検出部15Dが、位相ずれ情報および強度情報処理部111からの出力情報について行う所定の処理については、本発明では特に限定しない。適宜、受信信号の強度情報に基づく欠陥等検出に関する既知の技術を利用することが可能である。

[0087] <変形例>

以上、本発明の各実施形態について説明した。ただし、本発明はこれらの実施形態にて例示して説明した構成には限定されず、種々の変形が可能である。

[0088] 第1および第3から第5の実施形態では、基準信号生成部14が基準信号を生成していたが、本発明はこれに限定されない。例えば、本発明の非破壊検査装置は、外部のコンピュータ等により事前に生成された基準信号を取得し、これを用いて検査を行っても良い。また、本発明の非破壊検査装置は、事前に生成された基準信号に関する情報を記憶部等に記憶しておき、位相ずれ検出処理の際には記憶部から当該情報を読み出して使用しても良い。さらに、基準信号の生成方法は上記に限定せず、例えば基準信号が実測により得

られる場合は、これを使用または併用しても良い。

[0089] また、第1および第3から第5の実施形態では、対象物の計算モデルを用いてシミュレーションにより基準信号を生成していたが、本開示はこれに限定されない。算術空間中に対象物の計算モデルを構築する代わりに、実際の実験検査の対象物と同じ素材かつ同じ構造でかつ欠陥等を含まない別の対象物（基準対象物）を用意し、当該基準対象物に実際に波動を入力して、受信信号のデータを取得し、これに基づいて基準信号を作成しても良い。

[0090] 上記した実施形態では、送信部2は対象物Cに対して平面波を送信するとしたが、本開示はこれに限定されない。例えば、球面波が採用されても良い。また、複数の受信位置のそれぞれに対応する複数の送信位置から、直進波がそれぞれ送信されても良い。この場合、全ての送信位置から同時に直進波を送信しなくても良く、複数の送信位置から順次送信を行い、当該送信位置に対応する受信位置において受信信号を取得しても良い。この場合、送信時間および受信時間の情報を用いることで、上記説明した実施形態と同様の位相ずれ検出処理を行うことができる。

[0091] 2022年7月28日出願の特願2022-120656の日本出願に含まれる明細書、図面および要約書の開示内容は、すべて本願に援用される。

### 産業上の利用可能性

[0092] 本発明は、非破壊検査装置に有用である。

### 符号の説明

[0093] 100, 100A, 100B, 100C, 100D 非破壊検査装置  
1, 1A, 1B, 1C, 1D 制御部  
10, 10A, 10B, 10C, 10D 情報生成部  
11 送信制御部  
12 受信制御部  
13, 13A 位相ずれ検出部  
14 基準信号生成部  
15, 15B, 15D 欠陥検出部

- 1 6 非線形処理部
- 1 7 差分抽出部
- 1 8 第1振幅変動除去部
- 1 9 第2振幅変動除去部
- 1 1 0 分岐部
- 1 1 1 強度情報処理部
- 2 送信部
- 3 受信部

## 請求の範囲

- [請求項1] 対象物に対して波動を送信する送信部と、  
前記波動の送信方向に対して略直交する線上または面上の複数の受信位置において、前記対象物を媒介して伝搬した前記波動を受信して受信信号を生成する受信部と、  
前記受信信号および所定の基準信号に対して所定の非線形処理を行い、前記受信位置のそれぞれにおける前記受信信号と前記基準信号との位相ずれを示す位相ずれ情報を生成する情報生成部とを備える、  
非破壊検査装置。
- [請求項2] 前記位相ずれ情報に基づいて、前記対象物内部の欠陥を検出する欠陥検出部をさらに備える、  
請求項1に記載の非破壊検査装置。
- [請求項3] 前記基準信号は、前記対象物の計算モデルに対して前記送信部が送信する前記波動と同等の波動を送信した場合に、前記受信位置のそれぞれにおいて得られる受信信号のシミュレーション値に基づいて生成される、  
請求項1に記載の非破壊検査装置。
- [請求項4] 前記基準信号は、内部構造および組成パラメータが前記対象物と略一致し、かつ欠陥を含まない前記計算モデルを用いて生成される、  
請求項3に記載の非破壊検査装置。
- [請求項5] 前記情報生成部は、第1の受信位置とは異なる第2の受信位置における前記受信信号を前記基準信号として用いて、前記第1の受信位置における前記受信信号と前記基準信号とに基づいて前記第1の受信位置における前記位相ずれ情報を生成する、  
請求項1に記載の非破壊検査装置。
- [請求項6] 前記基準信号は、前記対象物と同等の内部構造および組成パラメータを有し、欠陥を含まないことが予め判っている基準対象物に対して前記送信部が送信する前記波動と同等の波動を送信した場合に、前記

受信位置のそれぞれにおいて得られる受信信号に基づいて生成される、

請求項 1 に記載の非破壊検査装置。

[請求項7]

前記基準信号に対して前記非線形処理を行う非線形処理部と、  
前記受信信号および前記基準信号に対して前記非線形処理を行った第 1 非線形情報と、前記非線形処理部から出力される第 2 非線形情報と、の差分情報を抽出する差分抽出部とをさらに備え、

前記欠陥検出部は、前記差分情報に基づいて前記欠陥を検出する、  
請求項 2 に記載の非破壊検査装置。

[請求項8]

前記受信信号および前記基準信号に対し、振幅変動成分を除去する振幅変動除去処理を行う振幅変動除去部をさらに備え、

前記位相ずれ検出部は、前記振幅変動除去処理が行われた前記受信信号および前記基準信号に基づいて、前記位相ずれ情報を算出する、  
請求項 1 に記載の非破壊検査装置。

[請求項9]

前記欠陥検出部は、前記位相ずれ検出部から出力される位相ずれ情報および前記受信信号の強度成分に関する情報に基づいて、前記欠陥を検出する、

請求項 2 に記載の非破壊検査装置。

[請求項10]

コンピュータが実行する非破壊検査方法であって、  
対象物に対して波動を送信し、

前記波動の送信方向に対して略直交する線上または面上の複数の受信位置において、前記対象物を媒介して伝搬した前記波動を受信して受信信号を生成し、

前記受信信号および所定の基準信号に対して所定の非線形処理を行い、前記受信位置のそれぞれにおける前記受信信号と前記基準信号との位相のずれを示す位相ずれ情報を生成する、

非破壊検査方法。

[請求項11]

非破壊検査装置が有するコンピュータが実行するプログラムであっ

て、

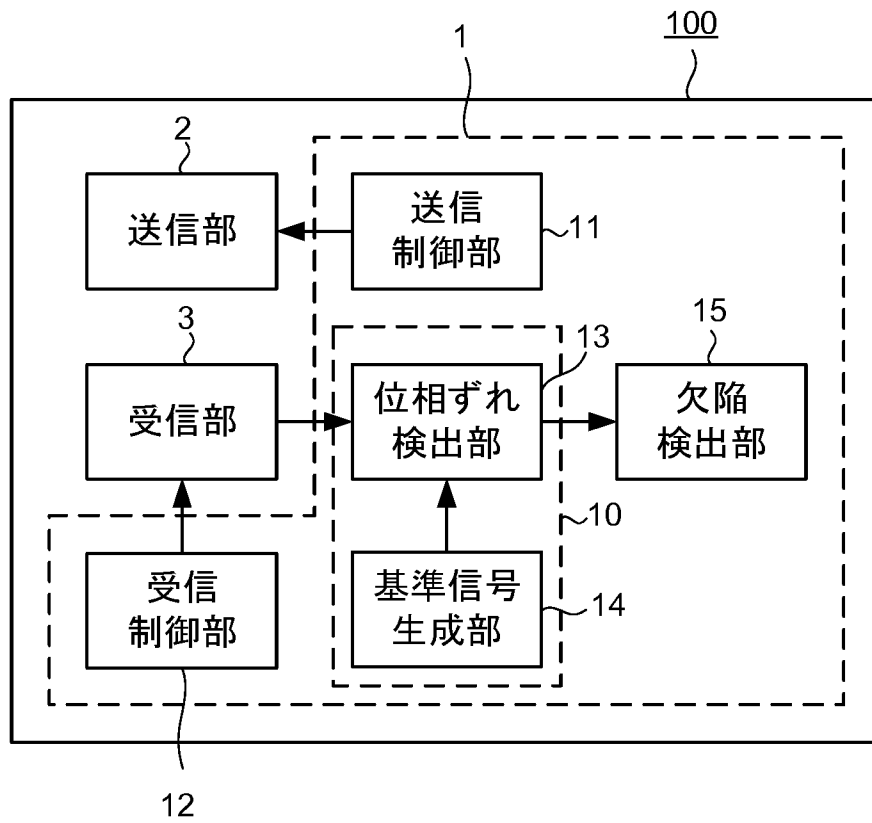
対象物に対して波動を送信し、

前記波動の送信方向に対して略直交する線上または面上の複数の受信位置において、前記対象物を媒介して伝搬した前記波動を受信して受信信号を生成し、

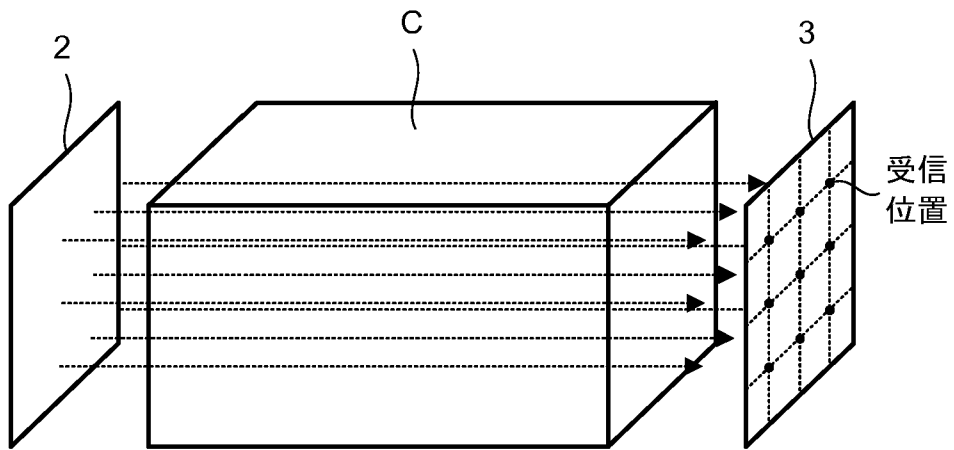
前記受信信号および所定の基準信号に対して所定の非線形処理を行い、前記受信位置のそれぞれにおける前記受信信号と前記基準信号との位相のずれを示す位相ずれ情報を生成する手順を前記コンピュータに実行させる、

プログラム。

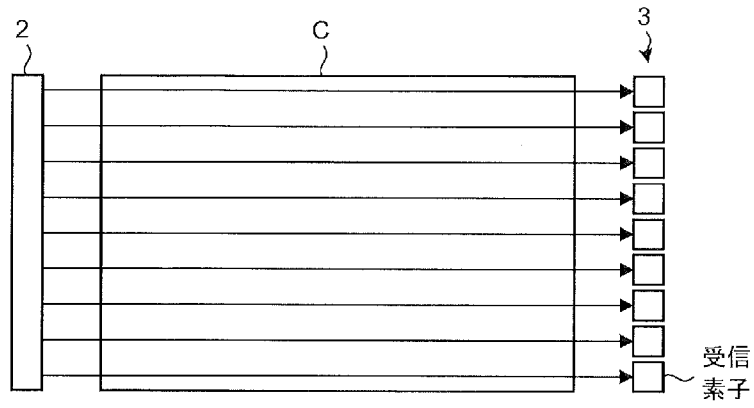
[図1]



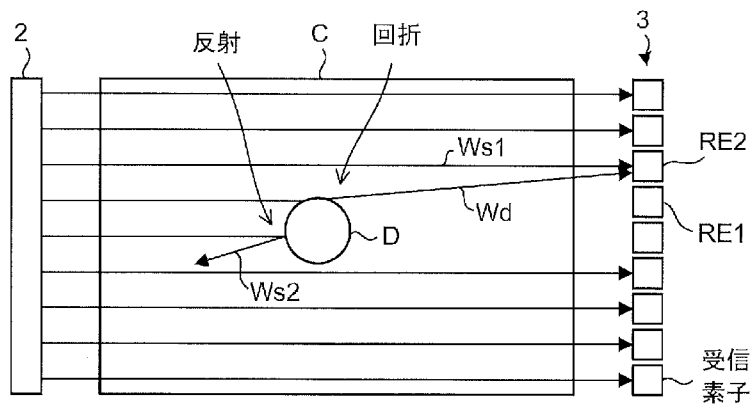
[図2]



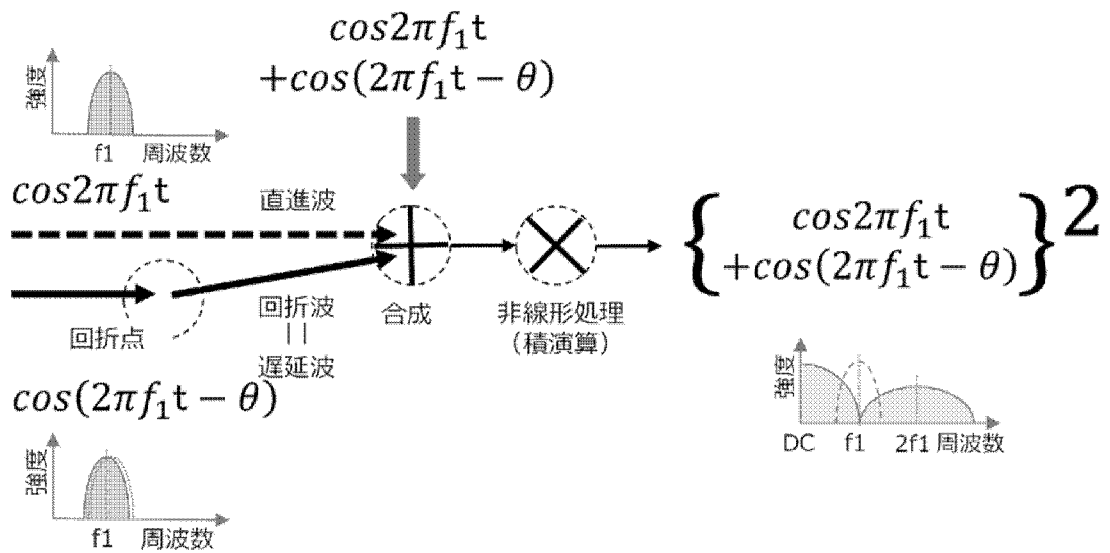
[図3A]



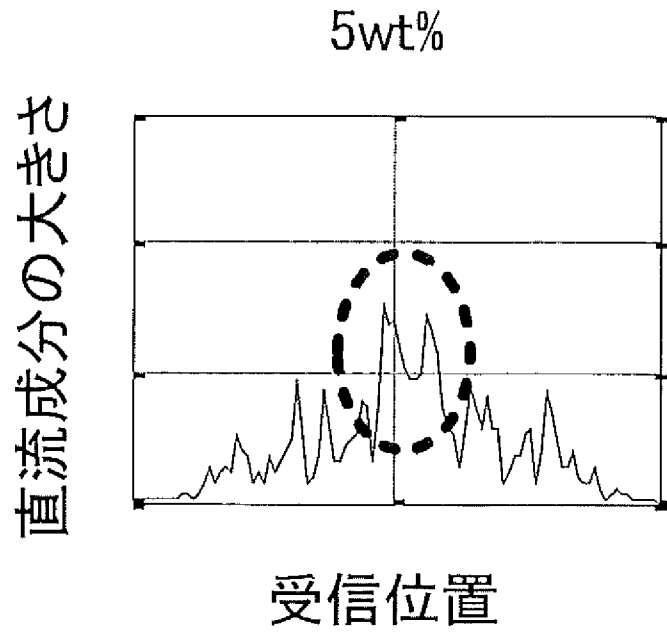
[図3B]



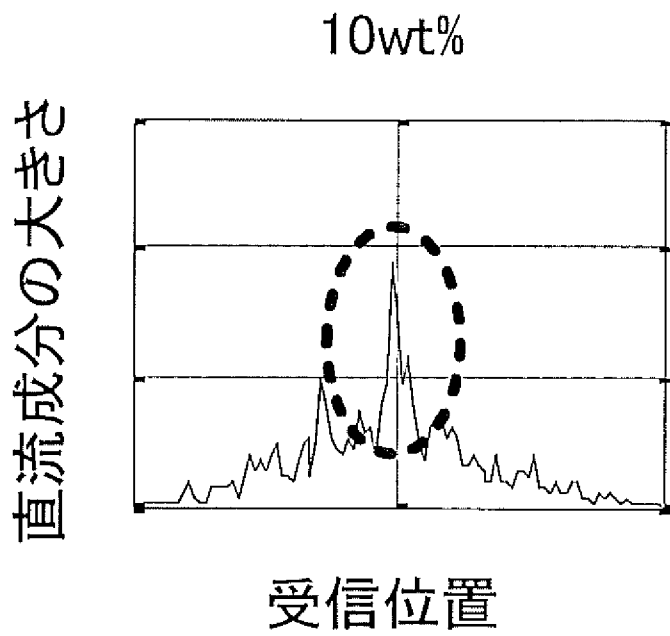
[图4]



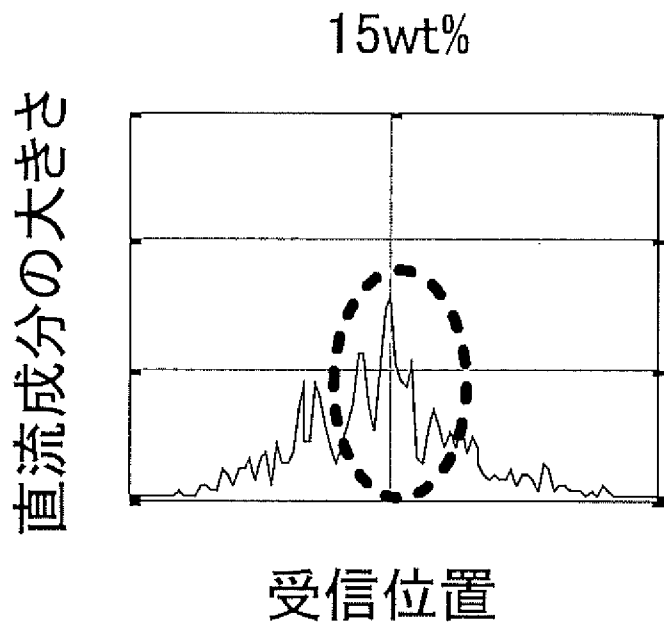
[図5A]



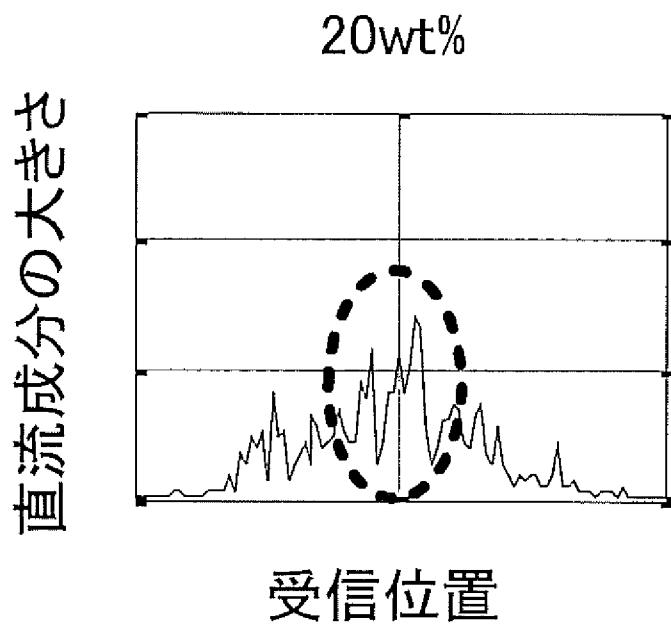
[図5B]



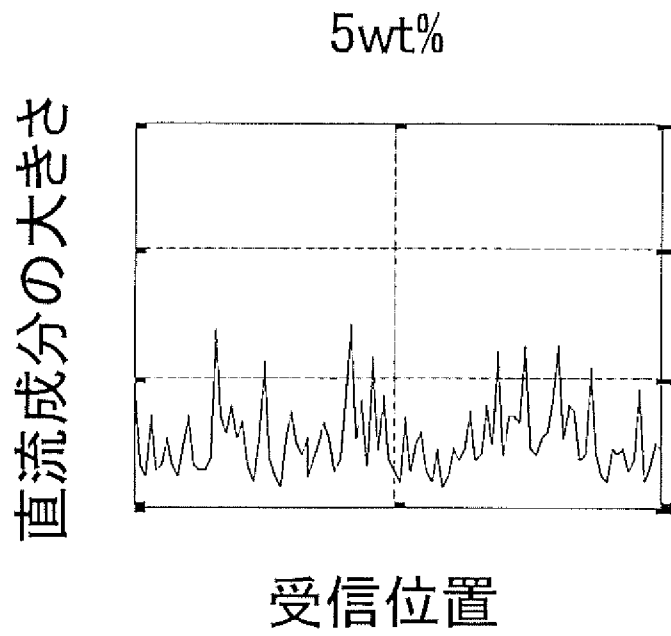
[図5C]



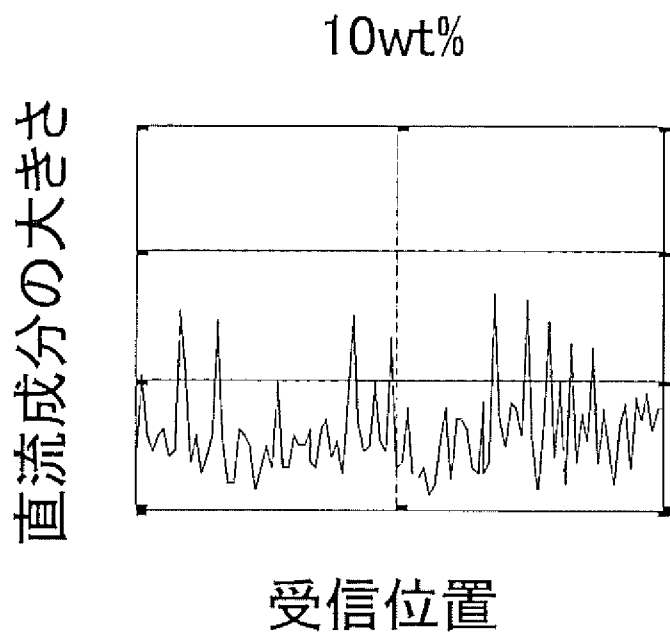
[図5D]



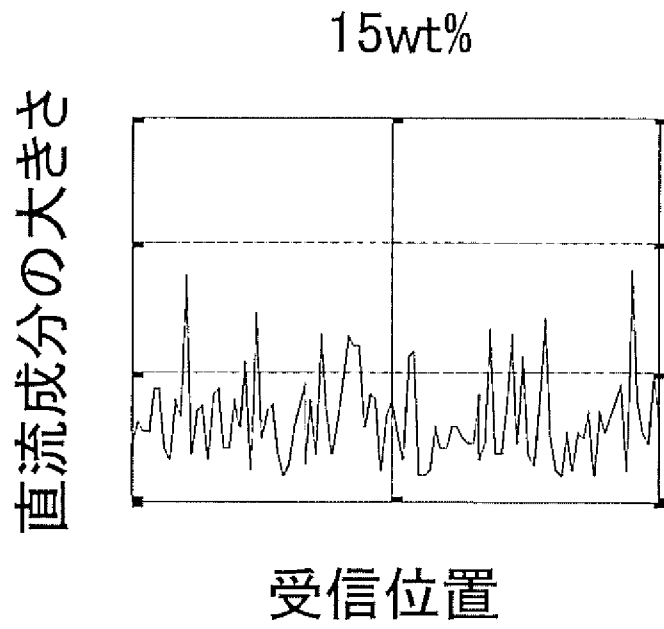
[図6A]



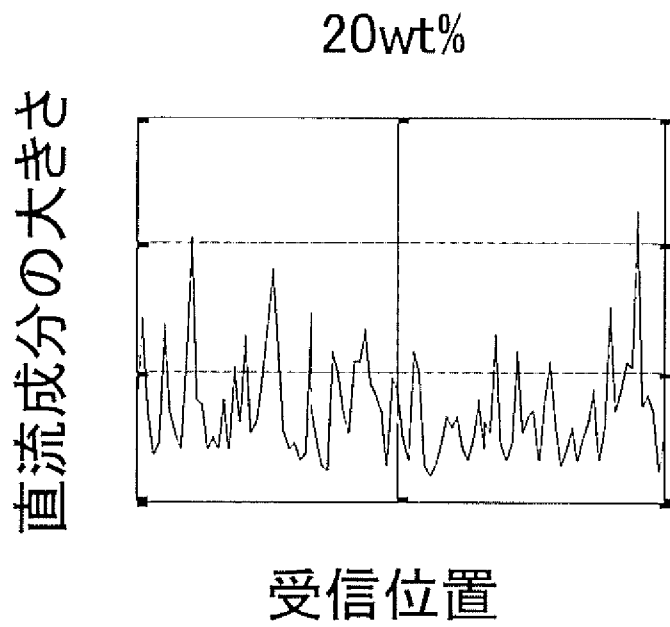
[図6B]



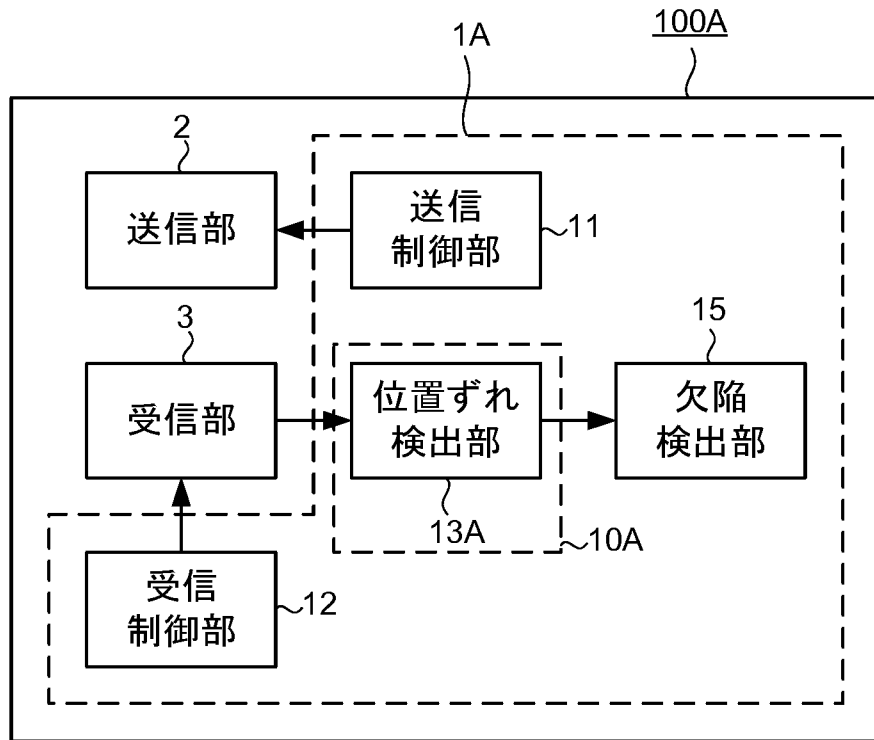
[図6C]



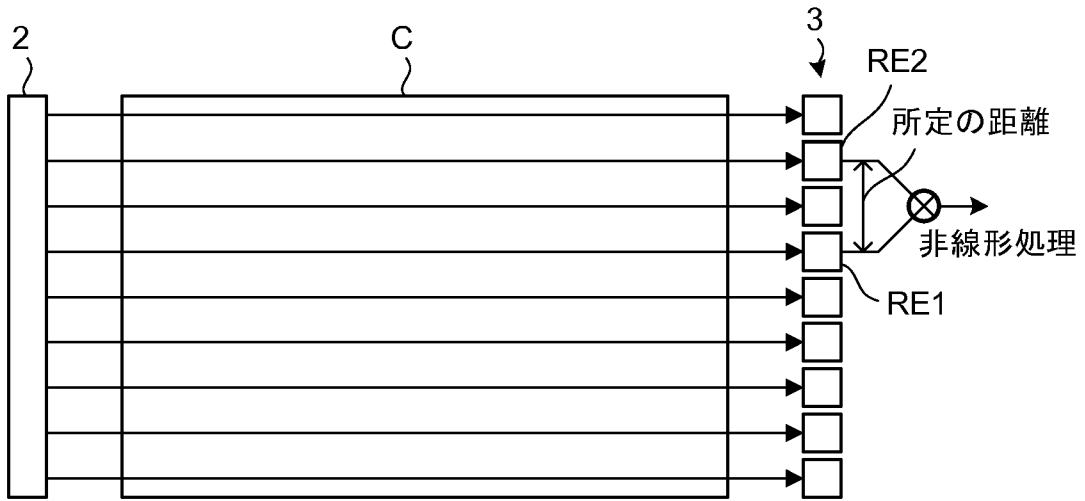
[図6D]



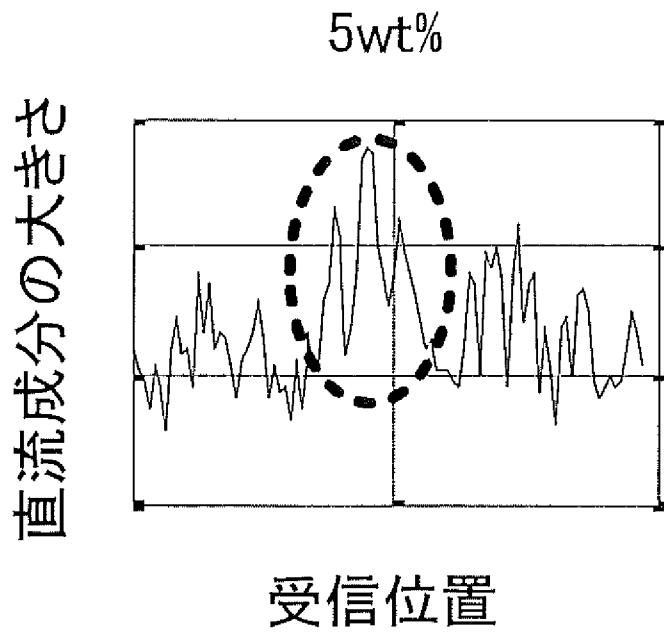
[図7]



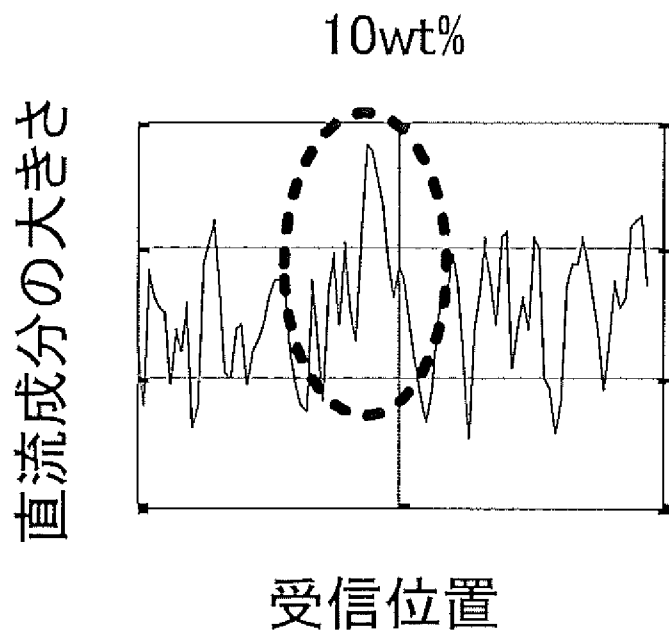
[図8]



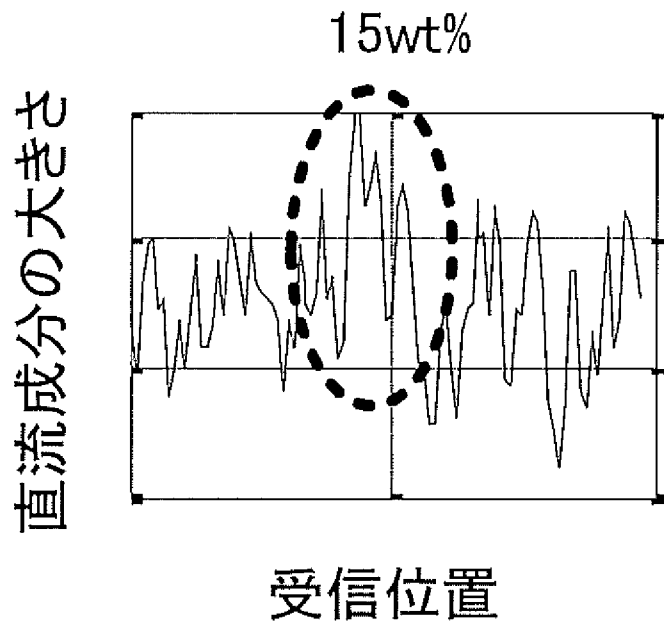
[図9A]



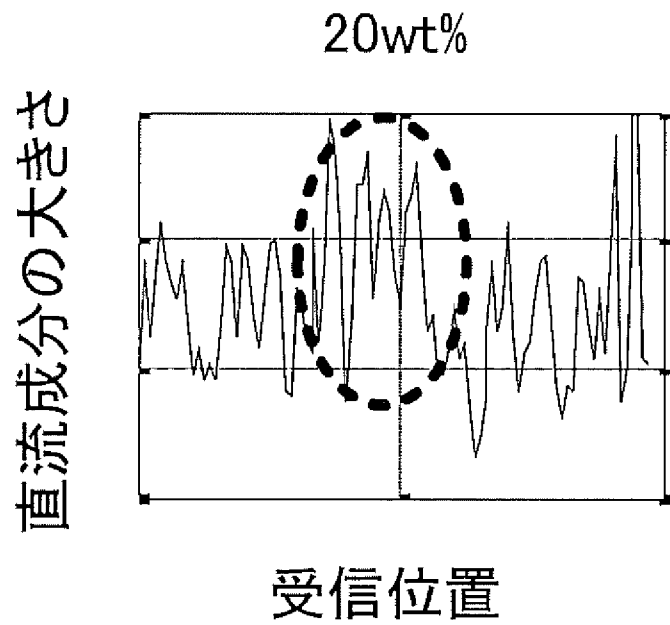
[図9B]



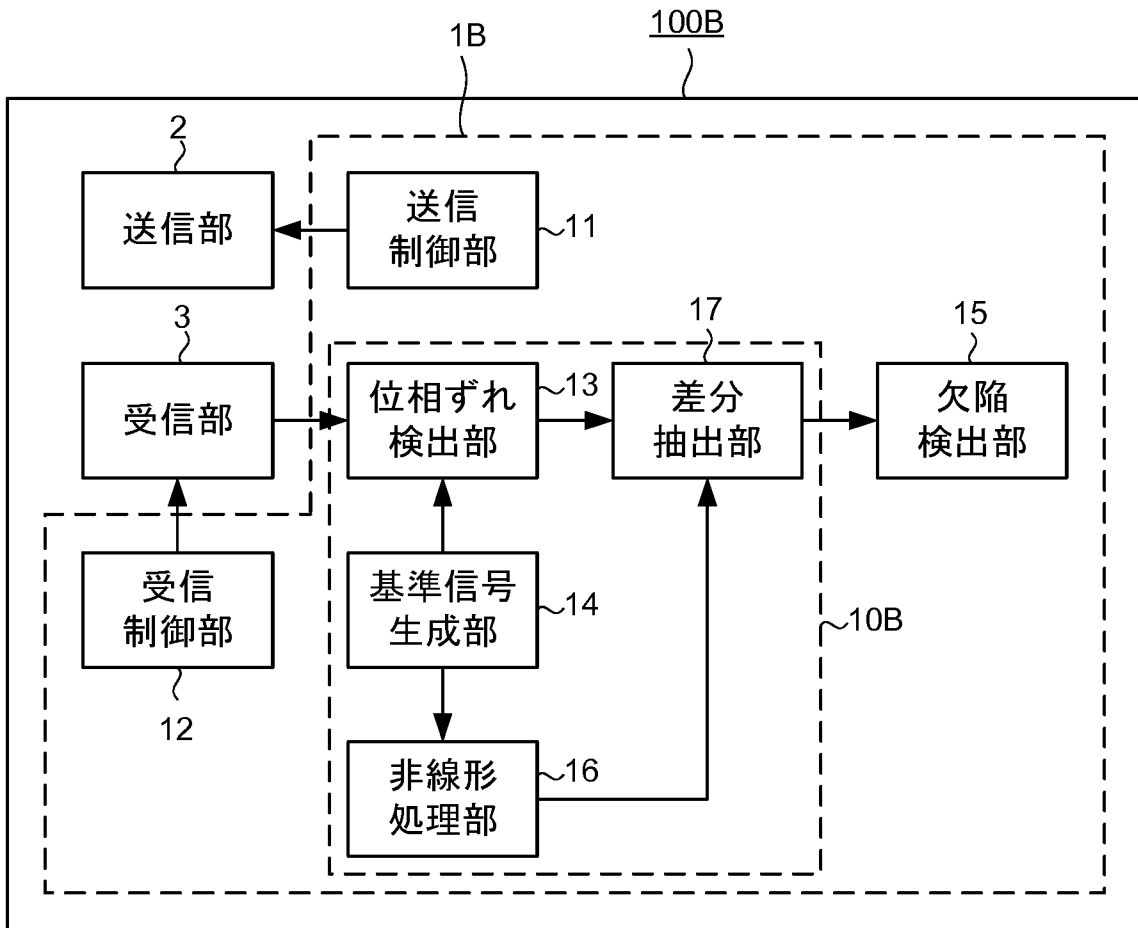
[図9C]



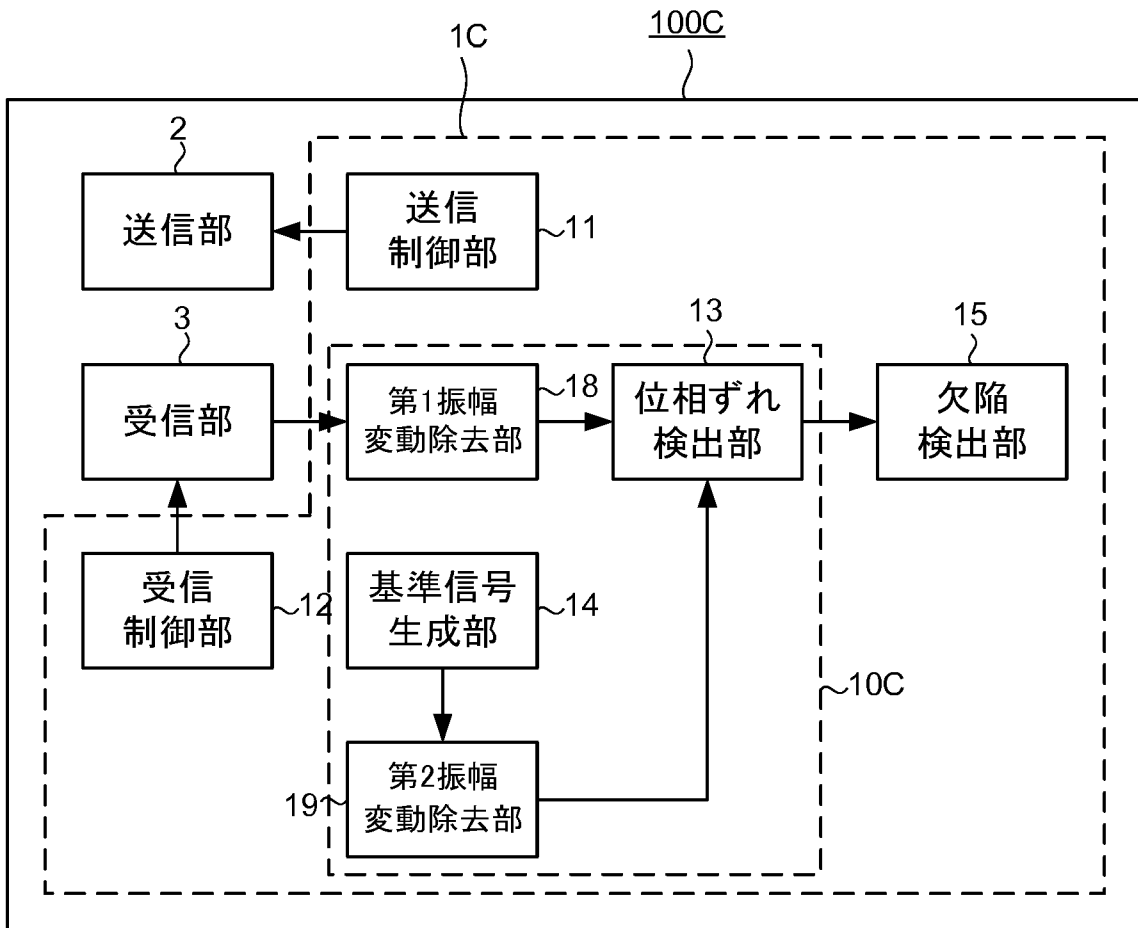
[図9D]



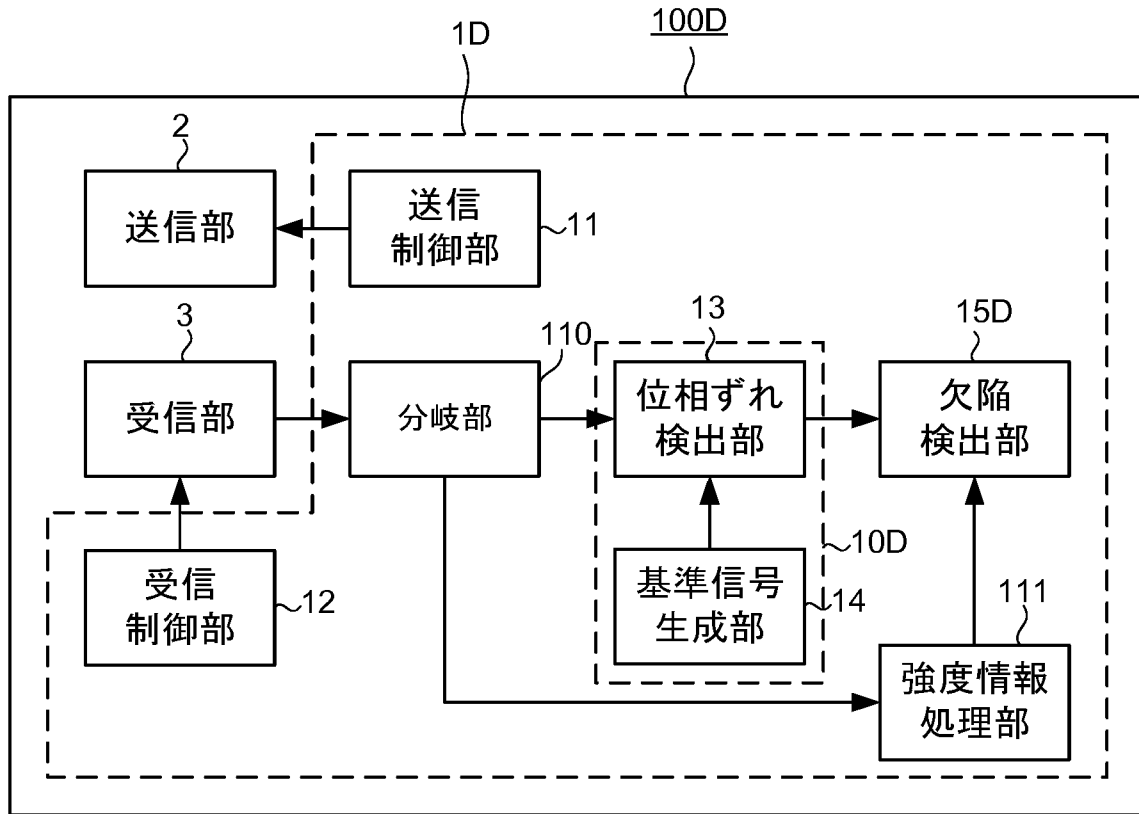
[図10]



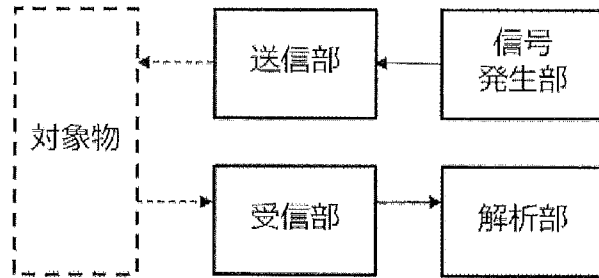
[図11]



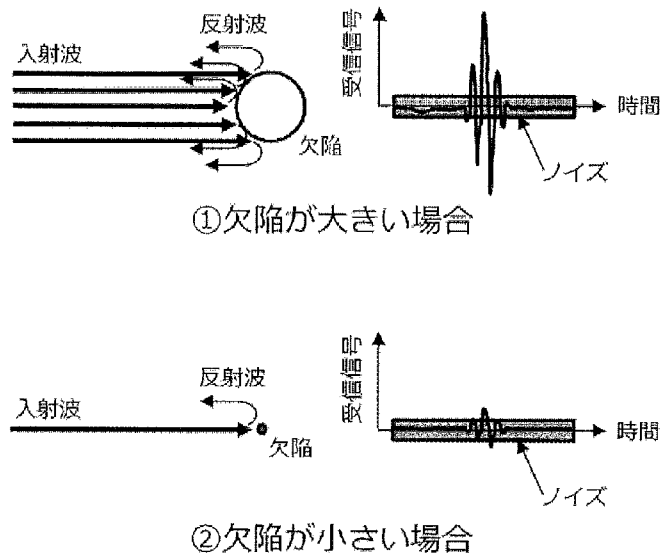
[図12]



[図13A]



[図13B]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/021968

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
G01N 29/50(2006.01) FI: G01N29/50		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01N29/00-G01N29/52; G01N21/00-21/01; G01N21/17-G01N21/61; G01N21/84-G01N21/958; G01N22/00-G01N22/04; G01N23/00-G01N23/2276; G01B17/00-G01B17/08; G01B11/00-G01B11/30; G01N7/00-G01B7/34; G01B15/00-G01B15/08; G01H1/00-G01H17/00; G01V3/00-G01V3/40; A61B5/00-A61B8/15		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 4843847 A (CANADIAN PATENTS AND DEVELOPMENT LTD.) 04 July 1989 (1989-07-04) column 2, lines 9-63, column 5, line 48 to column 6, line 19, fig. 3	1-11
Y	JP 54-1681 A (NATIONAL RESEARCH DEVELOPMENT CORP.) 08 January 1979 (1979-01-08) p. 4, upper left column, line 16 to p. 5, upper left column, line 20	1-11
Y	JP 5-26854 A (OLYMPUS OPTICAL CO., LTD.) 02 February 1993 (1993-02-02) paragraphs [0030]-[0038]	1-11
Y	JP 55-159139 A (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 11 December 1980 (1980-12-11) p. 5, upper right column, line 8 to lower right column, line 13	1-11
Y	WO 2019/021538 A1 (SUBARU CORP.) 31 January 2019 (2019-01-31) paragraph [0091]	3-4
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search <b>16 August 2023</b>		Date of mailing of the international search report <b>29 August 2023</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/021968

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2011-196877 A (JFE STEEL CORP.) 06 October 2011 (2011-10-06) paragraph [0040]	3-4
Y	JP 2008-545123 A (NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF CANADA) 11 December 2008 (2008-12-11) paragraphs [0029], [0048], [0058], [0064]	6
Y	JP 2004-515748 A (LOCKHEED MARTIN CORP.) 27 May 2004 (2004-05-27) paragraph [0014]	6
A	JP 2020-94939 A (NIKON CORP.) 18 June 2020 (2020-06-18) entire text, all drawings	1-11
A	JP 2018-54392 A (HITACHI, LTD.) 05 April 2018 (2018-04-05) entire text, all drawings	1-11

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/JP2023/021968**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US	4843847	A	04 July 1989	CA 1272283 A p. 2, line 20 to p. 3, line 25, p. 6, line 35 to p. 7, line 28, fig. 2	
JP	54-1681	A	08 January 1979	GB 1598191 A p. 2, line 49 to p. 3, line 38	
JP	5-26854	A	02 February 1993	DE 2821574 A1	
JP	55-159139	A	11 December 1980	DE 4224209 A1 p. 5, lines 5-60	
WO	2019/021538	A1	31 January 2019	(Family: none)	
JP	2011-196877	A	06 October 2011	US 2020/0158691 A1 paragraph [0100]	
JP	2008-545123	A	11 December 2008	EP 3660500 A1 CN 110892261 A	
JP	2004-515748	A	27 May 2004	(Family: none)	
JP	2020-94939	A	18 June 2020	WO 2007/003058 A1 paragraphs [0043], [0062], [0072], [0078]	
JP	2018-54392	A	05 April 2018	US 2007/0006651 A1 KR 10-2008-0031004 A CA 2511629 A1 DE 112006001786 B4	
JP	2004-515748	A	27 May 2004	US 2002/0066318 A1 paragraph [0014]	
JP	2020-94939	A	18 June 2020	WO 2002/006814 A2 EP 1301778 A2 AU 2295502 A CA 2411628 A1 KR 10-2003-0015389 A	
JP	2018-54392	A	05 April 2018	(Family: none)	
JP	2018-54392	A	05 April 2018	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01N 29/50(2006.01)i FI: G01N29/50		
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）） G01N29/00-G01N29/52; G01N21/00-21/01; G01N21/17-G01N21/61; G01N21/84-G01N21/958; G01N22/00-G01N22/04; G01N23/00-G01N23/2276; G01B17/00-G01B17/08; G01B11/00-G01B11/30; G01N7/00-G01B7/34; G01B15/00- G01B15/08; G01H1/00-G01H17/00; G01V3/00-G01V3/40; A61B5/00-A61B8/15 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 1971-2023年 日本国実用新案登録公報 1996-2023年 日本国登録実用新案公報 1994-2023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）		
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
Y	US 4843847 A (CANADIAN PATENTS AND DEVELOPMENT LIMITED) 04.07.1989 (1989 - 07 - 04) 第2欄第9-63行、第5欄第48行-第6欄第19行、FIG. 3	1-11
Y	JP 54-1681 A (ナショナル・リサーチ・デイベロップメント・コーポレイション) 08.01.1979 (1979 - 01 - 08) 第4頁左上欄第16行-第5頁左上欄第20行	1-11
Y	JP 5-26854 A (オリンパス光学工業株式会社) 02.02.1993 (1993 - 02 - 02) [0030]-[0038]	1-11
Y	JP 55-159139 A (富士電機製造株式会社) 11.12.1980 (1980 - 12 - 11) 第5頁右上欄第8行-右下欄第13行	1-11
Y	WO 2019/021538 A1 (株式会社SUBARU) 31.01.2019 (2019 - 01 - 31) [0091]	3-4
Y	JP 2011-196877 A (JFEスチール株式会社) 06.10.2011 (2011 - 10 - 06) [0040]	3-4
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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、一般的な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抵触するものではなく、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	
16.08.2023	29.08.2023	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官）  清水 靖記 2W 3605  電話番号 03-3581-1101 内線 3258	

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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
Y	JP 2008-545123 A (ナショナル・リサーチ・カウンシル・オブ・カナダ) 11.12.2008 (2008 - 12 - 11) [0029], [0048], [0058], [0064]	6
Y	JP 2004-515748 A (ロッキード マーティン コーポレイション) 27.05.2004 (2004 - 05 - 27) [0014]	6
A	JP 2020-94939 A (株式会社ニコン) 18.06.2020 (2020 - 06 - 18) 全文、全図	1-11
A	JP 2018-54392 A (株式会社日立製作所) 05.04.2018 (2018 - 04 - 05) 全文、全図	1-11

国際調査報告  
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/021968

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
US 4843847 A	04.07.1989	CA 1272283 A 第2頁第20行-第3頁第25 行、第6頁第35行-第7頁第 28行、FIG. 2	
JP 54-1681 A	08.01.1979	GB 1598191 A 第2頁第49行-第3頁第38行 DE 2821574 A1	
JP 5-26854 A	02.02.1993	DE 4224209 A1 第5頁第5-60行	
JP 55-159139 A	11.12.1980	(ファミリーなし)	
WO 2019/021538 A1	31.01.2019	US 2020/0158691 A1 [0100] EP 3660500 A1 CN 110892261 A	
JP 2011-196877 A	06.10.2011	(ファミリーなし)	
JP 2008-545123 A	11.12.2008	WO 2007/003058 A1 [0043], [0062], [0072], [0078] US 2007/0006651 A1 KR 10-2008-0031004 A CA 2511629 A1 DE 112006001786 B4	
JP 2004-515748 A	27.05.2004	US 2002/0066318 A1 [0014] WO 2002/006814 A2 EP 1301778 A2 AU 2295502 A CA 2411628 A1 KR 10-2003-0015389 A	
JP 2020-94939 A	18.06.2020	(ファミリーなし)	
JP 2018-54392 A	05.04.2018	(ファミリーなし)	