(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
2020年9月3日(03.09.2020)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2020/175653 A1

(51) 国際特許分類:
G01N 23/204 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2020/008171

(22) 国際出願日： 2020年2月27日(27.02.2020)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

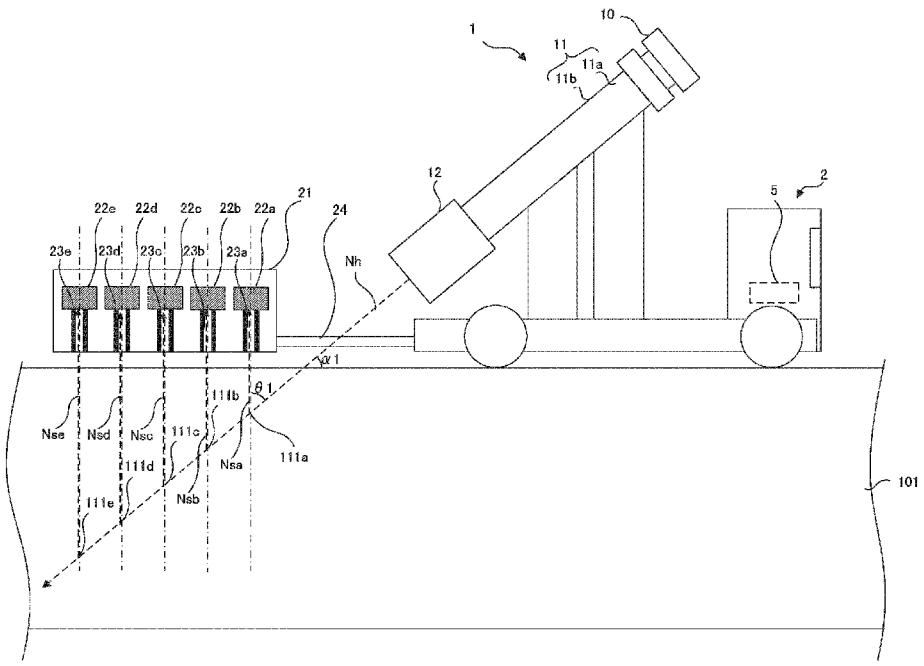
(30) 優先権データ：
特願 2019-034642 2019年2月27日(27.02.2019) JP

(71) 出願人: 株式会社トプコン (**TOPCON CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1748580 東京都板橋区蓮沼町７５－１ Tokyo (JP). 国立研究開発法人理化学研究所(**RIKEN**) [JP/JP]; 〒3510198 埼玉県和光市広沢２－１ Saitama (JP).

(72) 発明者:塚田 央(**TSUKADA Hisashi**); 〒1748580 東京都板橋区蓮沼町７５－１ 株式会社トプコン内 Tokyo (JP). 永野 繁憲(**NAGANO Shigenori**); 〒1748580 東京都板橋区蓮沼町７５－１ 株式会社トプコン内 Tokyo (JP). 大竹 淑恵(**OTAKE Yoshie**); 〒3510198 埼玉県和光市広沢２番１号 国立研究開発法人理化学研究所内 Saitama (JP). 須長 秀行(**SUNAGA Hideyuki**); 〒3510198 埼玉県和光市広沢２番１号 国立研究開発法人理化学研究所内 Saitama (JP). 吉村 雄一(**YOSHIMURA Yuichi**); 〒3510198 埼玉県和光市広沢２番１号 国立研究開発法人理化学研究所内 Saitama (JP). 井門 孝治(**IKADO Koji**);

(54) **Title:** NONDESTRUCTIVE TEST SYSTEM AND NONDESTRUCTIVE TEST METHOD

(54) 発明の名称： 非破壊検査システム及び非破壊検査方法



(57) **Abstract:** In the present invention, a neutron emitting part (12) is configured so as to emit neutrons such that the central axis (Nh) along which the neutrons are emitted crosses the central axis direction of collimators (23a-23e). A computation unit is capable of generating information pertaining to a test object (101) in the central axis direction of the collimators on the basis of: position information of a neutron detector (21) and/or the neutron emitting part (12); information pertaining to the angle (θ1) at which the central axis along which the neutrons are emitted crosses the central

WO 2020/175653 A1

［続葉有］

〒3510198 埼玉県和光市広沢２番１号 国立研究開発法人理化学研究所内 Saitama (JP).

(74) 代理人：前川　直輝 (MAEKAWA Naoki); 〒1050003 東京都港区西新橋２－１９－２安形ビル３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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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, 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, 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).

添付公開書類：

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

axis direction of the collimator; and the quantity of neutrons detected by the neutron detector (21).

(57) 要約：中性子照射部（１２）は、中性子を照射する中心軸（Ｎｈ）がコリメータ（２３ａ－２３ｅ）の中心軸方向に対して交差するように中性子を照射するように構成され、演算部は、中性子検出器（２１）の位置情報及び／又は中性子照射部（１２）の位置情報と、中性子を照射する中心軸とコリメータの中心軸方向の交差する角度（θ１）に関する情報と、中性子検出器（２１）で検出する中性子量と、から、コリメータの中心軸方向の被検査物（１０１）に関する情報を生成可能。

明　細　書

発明の名称 ： 非破壊検査システム及び非破壊検査方法

技術分野

[0001] 本開示は、放射線を用いた被検査物の非破壊検査システム及び非破壊検査方法に関するものである。

背景技術

[0002] 近年、道路、橋梁、トンネル、建築物等のインフラストラクチャー（以下、インフラ構造物という）の老朽化に対して、適切な維持管理、補修、更新が望まれている。

[0003] このようなインフラ構造物の検査においては、物体に対して透過性を有するＸ線等の放射線を用いることで、被検査物を破壊することなく内部構造を解析することが可能な非破壊検査が行われている。

[0004] 特に近年においては、Ｘ線よりも透過性の高い中性子を用いた非破壊検査装置も検討されている。例えば、特許文献１には、車両に可搬型の中性子発生源を搭載して、橋梁の上を走行しつつ、当該中性子を用いて当該橋梁内部に対する非破壊検査を行う構成が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：国際公開番号ＷＯ２０１６／０３５１５１

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかし、特許文献１の中性子を用いた非破壊検査は、中性子検出器の対向する位置に欠陥があることを検査することができるが、深さ方向のどの位置に欠陥があるのかを特定することが困難であった。

[0007] 本発明はこのような問題点を解決するためになされたもので、その目的とするところは、被検査物に対して中性子を用いて行う非破壊検査において、被検査物の深さ方向の状態情報を得る非破壊検査システム、非破壊検査方法

を提供するものである。

課題を解決するための手段

[0008] 上記した目的を達成するために、本開示に係る非破壊検査システムは、中性子を照射可能な中性子照射部と、前記中性子照射部から照射され被検査物を介した中性子を検出可能な中性子検出器と、前記被検査物と前記中性子検出器との間に位置し、前記被検査物を介した中性子を所定の指向性を以って前記中性子検出器に入射するように配置されるコリメータと、前記中性子検出器で検出する結果に基づいて演算するように構成された演算部と、

を備え、前記中性子照射部は、中性子を照射する中心軸が前記コリメータの中心軸方向に対して交差するように中性子を照射するように構成され、前記演算部は、前記中性子検出器の位置情報及び／又は前記中性子照射部の位置情報と、中性子を照射する中心軸と前記コリメータの中心軸方向の交差する角度に関する情報と、前記中性子検出器で検出する中性子量と、から、前記コリメータの中心軸方向の前記被検査物に関する情報を生成可能である。

[0009] また、上記非破壊検査システムとして、前記中性子照射部は、中性子を照射する中心軸が前記コリメータの中心軸方向の交差する角度が１０度から８０度となるように中性子を照射するように構成してもよい。

[0010] また、上記非破壊検査システムとして、前記非破壊検査システムは、前記中性子検出器として複数の検出部を備え、前記演算部は、前記複数の検出部が検出する中性子量から、特異な中性子量を検出する検出部を特定してもよい。

[0011] また、上記非破壊検査システムとして、前記演算部は、前記複数の検出部が検出する中性子量からフィッティングカーブを生成し、フィッティングカーブと各検出部が検出する中性子量の差異から、前記特異な中性子量を検出する検出部を特定してもよい。

[0012] また、上記非破壊検査システムとして、前記演算部は、前記被検査物の材質情報に応じた標準情報と各検出部が検出する中性子量の差異から、前記特異な中性子量を検出する検出部を特定してもよい。

[0013] また、上記非破壊検査システムとして、前記中性子照射部は、前記被検査物に対して相対的に移動可能であり、前記演算部は、前記中性子照射部の移動前に前記複数の検出部が検出する中性子量と、前記中性子照射部の移動後に前記複数の検出部が検出する中性子量と、から、前記特異な中性子量を検出する検出部を特定してもよい。

[0014] また、上記非破壊検査システムとして、前記中性子照射部は、前記コリメータからの前記コリメータの中心軸方向の距離が異なる第１の位置および第２の位置に向けて中性子を照射可能であり、前記中性子検出器は、前記中性子照射部が前記第１の位置に向けて中性子を照射する際に検出する第１の中性子量と、前記中性子照射部が前記第２の位置に向けて中性子を照射する際に検出する第２の中性子量を検出可能であり、前記演算部は前記第１の中性子量と前記第２の中性子量から、前記第１の位置と前記第２の位置の間の被検査物に関する情報を生成可能であるものとしてもよい。

[0015] また、上記非破壊検査システムとして、前記中性子照射部は、前記中性子検出器と前記中性子照射部の相対位置を変更することにより前記第１の位置および前記第２の位置への前記中性子を照射するように構成してもよい。

[0016] また、上記非破壊検査システムとして、前記中性子照射部は、前記中性子照射部から照射する中性子の照射方向を変更することにより前記第１の位置および前記第２の位置への前記中性子を照射するように構成してもよい。

[0017] また、上記非破壊検査システムとして、前記中性子検出器として第１の検出部と第２の検出部を備え、前記第１の検出部と前記第２の検出部は、前記中性子照射部との相対位置を維持しながら前記被検査物に対して移動可能であり、前記第１の検出部は、前記中性子照射部が移動前に前記第１の位置に向けて中性子を照射する際の第１の中性子量を検出可能であり、前記第２の検出部は、前記中性子照射部が移動後に前記第２の位置に向けて中性子を照射する際に第２の中性子量を検出可能であるものとしてもよい。

[0018] また、上記非破壊検査システムとして、前記中性子検出器として２次元方向に配置する複数の検出部を備え、前記中性子照射部は、照射方向の２次元

方向に制限するコリメータを介して中性子を照射し、前記演算部は、前記複数の検出部から検出された複数の中性子量に関する情報から被検査物に関する情報を生成可能であるものとしてもよい。

[0019] また、上記非破壊検査システムとして、前記演算部は前記第１の中性子量および前記第２の中性子量から、前記第１の位置と前記第２の位置の間の被検査物の組成に関する情報を生成するように構成してもよい。

[0020] また、上記非破壊検査システムとして、前記中性子照射部は、パルス中性子線を照射可能であり、前記演算部は、前記中性子照射部が照射するパルス中性子線の時間情報と、前記中性子検出器が照射するパルス中性子線が被検査物を介して検出する熱中性子を設定された検出時間において検出するものとしてもよい。

[0021] また、上記非破壊検査システムとして、前記演算部は、前記中性子検出器の位置情報及び／又は前記中性子照射部の位置情報と、中性子を照射する中心軸と前記コリメータの中心軸方向の交差する角度に関する情報と、前記中性子検出器で検出する中性子量と、から、前記コリメータの中心軸方向の異常個所の位置を示す距離情報を演算可能であり、前記距離情報と前記中性子が透過する構造物の減衰情報を用いて前記異常個所の量に関する情報を生成可能としてもよい。

[0022] また、上記した目的を達成するために、本開示に係る非破壊検査方法は、中性子を照射可能な中性子照射部と、前記中性子照射部から照射され被検査物を介した中性子を検出可能な中性子検出器と、前記被検査物と前記中性子検出器との間に位置し、前記被検査物を介した中性子を所定の指向性を以って前記中性子検出器に入射するように配置されるコリメータと、前記中性子検出器で検出する結果に基づいて演算するように構成された演算部と、を用いて、前記中性子照射部が、中性子を照射する中心軸が前記コリメータの中心軸方向に対して交差するように中性子を被検査物に向けて照射するステップと、前記中性子検出器が中性子を検出するステップと、前記演算部は、前記中性子検出器の位置情報及び／又は前記中性子照射部の位置情報と、中性

子を照射する中心軸と前記コリメータの中心軸方向の交差する角度に関する情報と、前記中性子検出器で検出する中性子量と、から、前記コリメータの中心軸方向の前記被検査物に関する情報を生成可能するステップと、を備える。

発明の効果

[0023] 上記手段を用いる本開示によれば、被検査物に対して中性子を用いて行う非破壊検査において、被検査物の深さ方向の状態情報を得ることができる。

図面の簡単な説明

[0024] [図1]本開示の第１実施形態に係る非破壊検査システムを示す概略構成図である。

[図2]本開示の第１実施形態に係る非破壊検査システムにおける中性子検出器の検出結果示すグラフである。

[図3]本開示の第１実施形態に係る非破壊検査システムにおける被検査物と中性子検出ユニットの関係を示す概略構成図である。

[図4]本開示のコントロールユニットを示すブロック図である。

[図5]本開示の第１実施形態に係る非破壊検査システムの動作を示すフローチャートである。

[図6]本開示の第１実施形態に係る非破壊検査システムの検出タイミングのタイムチャートである。

[図7]本開示の第２実施形態に係る非破壊検査システムを示す概略構成図である。

[図8]本開示の第２実施形態に係る非破壊検査システムにおける中性子検出器の検出結果を示すグラフである。

[図9]本開示の第２実施形態に係る非破壊検査システムにおける被検査物と中性子検出ユニットの関係を示す概略構成図である。

[図10]本開示の第２実施形態に係る非破壊検査システムの動作を示すフローチャートである。

[図11]本開示の第３実施形態に係る非破壊検査システムを示す概略構成図で

ある。

[図12]本開示の第４実施形態に係る非破壊検査システムを示す概略構成図である。

[図13]本開示の第５実施形態に係る被検査物および中性子検出ユニットの関係を示す概略斜視図である。

発明を実施するための形態

[0025] 以下、本開示の実施形態を図面に基づき説明する。

[0026] （第１実施形態）

まず本開示の第１実施形態について説明する。

[0027] ＜全体構成＞

図１は、本開示の第１実施形態に係る非破壊検査システム１の概略構成図である。以下これらの図に基づき本実施形態の非破壊検査システム１の構成について説明する。

[0028] 図１に示すように、本実施形態の非破壊検査システム１は、移動体である車両２に、コントロールユニット５、電源部１０、線形加速器１１、中性子照射部１２が搭載され、連結部２４を介して中性子検出ユニット２１が接続され構成されている。車両２は例えばトラックであり、荷台に電源部１０、線形加速器１１、中性子照射部１２が搭載され、運転席にコントロールユニット５が搭載されている。本実施形態では、車両２は主にコンクリートからなる橋１０１の上を走行し、橋１０１を被検査物とした非破壊検査を行う。

[0029] 電源部１０は、各部に電力を供給する発電機である。電源部１０の発電機は、少なくとも荷電粒子である陽子（プロトン）を発生可能な発電性能を備え、電圧変動が少なく、高調波電流に耐えられるものが好ましい。また、電源部１０は、発電機が発電した電力を蓄電可能なバッテリを有していてもよい。

[0030] 線形加速器１１は、陽子を発生するイオン源１１ａを有し、当該イオン源１１ａから円筒状の加速器１１ｂを介して中性子照射部１２に接続される。加速器１１ｂは、イオン源１１ａで発生した陽子を加速し、陽子ビームとし

て中性子照射部１２に照射する。

[0031] 中性子照射部１２は、ターゲット部（不図示）と照射コリメータ（不図示）とを含んで構成される。ターゲット部は、陽子と衝突して中性子を生じるものであり、例えばベリリウムを含んで形成されている。ターゲット部には、ターゲット部から発生した中性子のうち所定方向の中性子を選択する照射コリメータが接続される。照射コリメータによって、照射される高速中性子Ｎｈの指向性を高めることができる。なお、線形加速器１１からターゲット部までは、荷電粒子の透過を妨げないようにその経路は高真空状態を維持可能な構造となっている。

[0032] 中性子検出ユニット２１は、熱中性子を検出可能な中性子検出器２２ａから２２ｅと、それぞれの中性子検出器に入射する熱中性子の指向性を高めるためのコリメータ２３ａから２３ｅとを含んで構成される。中性子検出ユニット２１は、連結部２４を介して車両２に接続されている。中性子検出器２２ａから２２ｅは、車両２の進行方向に平行に１列に配置されるアレイ構造である。

[0033] 図１では、非破壊検査システム１は、被検査物である橋１０１の上に配置されている状態である。

[0034] 中性子照射部１２は、橋１０１に向けて照射できるように車両２の上で傾けられて配置される。中性子照射部１２から照射される高速中性子は照射コリメータにより指向性が高められ、橋１０１に照射される。図１では、照射される高速中性子の中心軸を点線で示しＮｈと表示する。照射される高速中性子は、照射コリメータにより指向性を高められているが、完全な平行ビームである必要はなく、多少の拡散角を持っていても構わない。その場合、拡散角を持って拡散する高速中性子のビームの中心軸が図１のＮｈとなる。

[0035] 図１では、コリメータ２３ａから２３ｅの中心軸を一点鎖線で示す。各コリメータの中心軸は、コリメータの指向性の中心を示している。中性子照射部１２から照射される高速中性子は、コリメータ２３ａから２３ｅの中心軸方向と高速中性子のビームの中心軸が角度θ１で交差するように照射される

。具体的には、中性子照射部１２は、照射する高速中性子の中心軸が前記コリメータの中心軸方向と交差する角度θ１が１０度から８０度となるように高速中性子を照射する。角度θ１を小さくすれば、高速中性子は橋１０１に深く侵入し、角度を大きくすれば、浅く侵入することになる。高速中性子Ｎｈの各コリメータの中心軸が交差する位置を、図１で１１１ａから１１１ｅで示す。高速中性子は、橋１０１を構成する材料に衝突し、その一部が熱中性子として散乱される。位置１１１ａで散乱した熱中性子はＮｓａとしてコリメータ２３ａを介して中性子検出器２２ａで検出される。同様に位置１１１ｂから１１１ｅで散乱した熱中性子は、それぞれ中性子検出器２２ｂから２２ｅで検出される。

[0036] 次に図２、図３を用いて、中性子検出器２２ａから２２ｅで検出される検出結果である中性子量、および、被検査物である橋１０１と中性子検出ユニット２１の関係を説明する。図２は、中性子検出器２２ａから２２ｅで検出される検出結果である中性子量を示すグラフである。また図３は、橋１０１と中性子検出ユニット２１の関係を示す概略構成図である。なお、図１で説明したものについては省略する。

[0037] 図２は、縦軸に中性子検出器が検出した中性子量を示し、横軸に中性子検出器の位置を示すグラフであり、実線は被対象物に異常がない場合であり、点線は被対象物に異常がある場合を示している。縦軸の中性子量は、中性子検出器が検出した熱中性子の量を示しており、検出した熱中性子の数をカウントした値である。点２１１ａは、中性子照射部１２から照射された高速中性子Ｎｈが、被対象物である橋１０１を介して散乱した熱中性子Ｎｓａを中性子検出器２２ａが検出した中性子量である。以下、同様に点２１１ｂから点２１１ｅは、中性子検出器２２ｂから２２ｅが検出した中性子量である。

[0038] ここで、高速中性子、熱中性子の減衰について説明する。高速中性子は、空気中ではほぼ減衰することなく透過することができる。しかし、コンクリート等の物体中を透過する場合、構成元素との衝突により減衰が生じる。熱中性子は、空気中および物体中で減衰する。減衰率をβとしたときに、入射

量CN_0に対する減衰後の中性子量CN_Xは、その通過する距離Ｘとの関係で、下記数１で表すことができる。なお、減衰率βは、透過する中性子と透過する物質の関係により決まる値である。

[0039] （数１）

$$CN_x = F(\beta, X) \cdot CN_0$$

[0040] 関数Ｆは、例えば、指数関数を用いることができる。

[0041] ここで、中性子照射部１２から照射された高速中性子Ｎｈが、中性子検出器２２ａに到達する過程における減衰について図２、図３を用いて説明する。図３において、中性子照射部１２から照射される高速中性子の中心軸と、コリメータ２３ａの中心軸は、角度θ１で交差する。コリメータ２３ａの中心軸が、被検査物である橋１０１と直交する場合、中性子照射部１２から照射される高速中性子Ｎｈの被検査物への入射角α１は下記数２で表すことができる。

[0042] （数２）

$$\alpha 1 = 90^\circ - \theta 1$$

[0043] 高速中性子Ｎｈが、橋１０１に位置１１０で入射し、位置１１１ａに到達するまでの距離Ｌｈａは、位置１１０からコリメータ２３ａの中心軸までの距離をＸａとすると下記数３で表すことができる。

[0044] （数３）

$$Lha = Xa / \cos\alpha 1$$

[0045] 次に、高速中性子は物質中で散乱し、熱中性子を発生する。位置１１１ａで発生した熱中性子が、位置１１１ａから、被検査物の表面、すなわち中性子検出器側に熱中性子が透過する距離Ｌｓａは以下の数４で表すことができる。

[0046] （数４）

$$Lsa = Xa \cdot \tan\alpha 1$$

[0047] また、被検査物の表面から出射した熱中性子は、空気中を透過し、コリメータ２３ａを介して中性子検出器２２ａで検出される。この際、空気中を透

過する距離をＺａとする。この場合、高速中性子の照射量ＣＮｈに対する減衰後の熱中性子量ＣＮｓは、下記数５の関係で表すことができる。なお、高速中性子の橋の構成物質における減衰率をβｈ、熱中性子の橋の構成物質における減衰率をβｓ、熱中性子の空気中における減衰率をβａとする。なお、位置１１０の位置、Ｚａ、ＸａからＸｅは、中性子照射部１２の位置、中性子検出ユニット２１の位置を被検査物との関係で測定することで決定することができる。

[0048] （数５）

$$CNs \propto F(\beta h, \beta a, \beta s, Lha, Lsa, Za) \cdot CNh$$

[0049] すなわち、各減衰率および高速中性子の入射角度および各中性子検出器の位置により、各中性子検出器が検出する中性子量の相対関係が定まる。図２のグラフの実線は、数５の関係が成立している。そのため、各中性子検出器２２ａから２２ｅが検出した中性子量が、数５の関係から外れる検出結果がある場合、その検出結果を検出した中性子検出器のコリメータ中心軸方向に異常個所があるものと推定することができる。

[0050] 図２の点線は、コリメータ２３ｃの下異常個所１２１が存在する場合の中性子量を示すグラフである。異常個所１２１は、橋にできた欠陥である空隙に水が満たされている状態である。水に入射した高速中性子は、水により散乱され熱中性子となる。水は、橋の主要構成材料であるコンクリートに比べ、熱中性子の発生量が多い。すなわち、中性子検出器２２ｃで検出される中性子の量は、水がない場合に比較して水がある場合は多くなる。そのため、図２では、水がない場合の中性子量を示す点２１１ｃに対して、水がある場合の中性子量を示す点２１１ｃ’は大きな値となる。

[0051] 次に、異常個所１２１が、橋にできた欠陥である空隙に空気が満たされている場合を考える。空気は、橋の主要構成材料であるコンクリートに比べ、熱中性子の発生量が少ない。すなわち、中性子検出器２２ｃで検出される中性子の量は、空隙がない場合に比較して空隙がある場合は少なくなる。

[0052] このように、図２において、数５の関係を満たす実線のグラフからの差異

を判定することにより、どの中性子検出器が異常を検出しているかを特定することができる。また、中性子検出器２２ｃが検出するのは、距離Ｌｓｃを透過した熱中性子である。そのため、どの中性子検出器が異常を検出したかによって、表面からの距離、すなわち深さを特定することができる。中性子検出器２２ｃが異常を検出していることから、表面からＬｓｃの深さまでの間に異常があることを特定することができる。また、検出する中性子量が少ない場合、欠陥として空隙があることを推定することができ、検出する中性子量が多い場合、水などの軽元素を含む欠陥があることを推定することができる。

[0053] ＜コントロールユニット構成＞

図４は、コントロールユニット５の構成を示すブロック図である。コントロールユニット５は、制御部３１１と、記憶部３１２と、演算部３１３と、表示部３１４と、線源出力部３２１と、検出器入力部３２２と、位置入力部３２３とを含んで構成されるユニットであり、専用のコンピュータや、ソフトウエアがインストールされた汎用のコンピュータ等により構成される。制御部３１１は、コントロールユニット５全体の制御を行う。記憶部３１２は、中性子検出器２２ａから２２ｅからの中性子量の検出結果の情報を記憶する。また、材料毎の減衰率のデータを記憶する。演算部３１３は、検出結果の処理を行い、また、検出結果の異常値を検出するための演算を行う。例えば、演算部３１３は、検出結果からフィッティングカーブを生成し、フィッティングカーブと各検出器が検出する中性子量の差異から、特異な中性子量を検出する中性子検出器を特定する。表示部３１４は、検出した異常値をユーザが視認できるように表示する装置である。線源出力部３２１は、接続される線形加速器１１の制御を行う。例えば、時間的に離散したパルス中性子線を中性子照射部１２から照射するように線形加速器１１を制御することができる。また、検出器入力部３２２は、接続される中性子検出器２２ａから２２ｅを構成する中性子検出ユニット２１からの出力を受信する。また、位置入力部３２３は、中性子検出ユニット２１の位置や、中性子照射部１２の

位置、角度等の位置情報を、接続された位置検出部３１から受信する。位置検出部３１は、例えばＧＰＳや、カメラや、他の計測手段を用いても構わない。また、コントロールユニット５に含まれる構成はすべて移動体である車両２に構成されている必要はない。例えば、コントロールユニット５は通信部を備え、外部のシステム（クラウドサービス等を含む）に備えられる記憶部３１２、演算部３１３と、表示部３１４と、専用回線やインターネット等のネットワークを介して通信を行っても構わない。

[0054] ＜処理の流れ＞

次に、第１実施形態に係る非破壊検査システム１の動作について、図５に示すフローチャートを参照しながら説明する。

[0055] ステップＳ１０１において、位置入力部３２３は、中性子検出ユニット２１、中性子照射部１２の位置情報と、被対象物の位置情報を取得する。

[0056] ステップＳ１０２において、線源出力部３２１は、線形加速器１１を制御して、パルス中性子線を中性子照射部１２から照射する。

[0057] ステップＳ１０３において、検出器入力部３２２は、中性子検出ユニット２１を構成する中性子検出器２２ａから２２ｅで検出する中性子量のデータを取得し、記憶部３１２に記憶する。

[0058] ステップＳ１０４において、演算部３１３は、取得したデータと、標準値データの比較を行う。標準値データは、例えば図２の実線で示すグラフのもととなる被検査物に異常がない場合のデータである。標準値データは、取得した複数のデータからフィッティングカーブを生成することができる。また、橋の複数個所を検査した際の複数の検査データから、例えば平均値や分散の中央値に近い値を抽出して導いても構わない。さらに、標準値データは、例えば橋の材質のコンクリートの減衰率等の特性（材料情報）が分かっている場合は、記憶部３１２に記憶されたそのコンクリートの特性に合わせて予め計算されたデータ（標準情報）を用いても構わない。

[0059] ステップＳ１０５において、演算部３１３は、ステップＳ１０４で比較した結果から、特異な値を出力する中性子検査器を特定する。演算部３１３は

、特定した中性子検査器の位置から、どの深さに異常個所が存在するのかを推定するデータ処理を行う。

[0060] ステップＳ１０６において、表示部３１４は、ステップＳ１０５で処理されたデータをユーザが視認できる形で表示する。

[0061] ステップＳ１０７において、制御部３１１は、ユーザの要求により、測定を終了するかどうかを判別し、終了すると判別（Ｙ）の場合処理を終了し、終了しないと判別（Ｎ）の場合、ステップＳ１０１へ処理を戻す。

[0062] ＜検出タイミング＞

図６は、本開示の第１実施形態に係る非破壊検査システムの検出タイミングのタイムチャートである。横軸は時間経過を示している。縦軸は、上から中性子照射部１２からの高速中性子のパルス照射のタイミング、各中性子検出器２２ａ～２２ｅの検出結果、各中性子検出器の検出タイミングを示している。熱中性子の速度は約２２００［ｍ／ｓ］であり、例えば１．０［ＭｅＶ］の高速中性子の速度１．４×10^7［ｍ／ｓ］に対してきわめて遅い。そのため、高速中性子の照射タイミングから熱中性子の検出タイミングまでの時間差は、熱中性子の透過距離による。そのため、中性子検出器２２ａから２２ｅが熱中性子を検出するタイミングは徐々に遅れる。熱中性子の遅れるタイミングは、位置情報等により算出される経路長さから算出することができる。そのため、中性子照射部１２からのパルス照射タイミングに対して、各中性子検出器２２ａ～２２ｅの検出タイミングの時間を設定することができる。パルス照射タイミングに対して、各中性子検出器２２ａ～２２ｅの検出タイミングを同期することで、照射する高速中性子の量に対応して発生する熱中性子を、他のノイズを含めることなく検出することができる。

[0063] 以上、説明したように、中性子照射部１２が、照射する高速中性子Ｎｈの中心軸がコリメータの中心軸方向に対して斜めに交差するように中性子を被検査物である橋１０１に向けて照射し、中性子検出器２２ａから２２ｅが熱中性子を検出することで、中性子検出ユニット２１の位置情報と、中性子照射部１２の位置情報と、照射する高速中性子の中心軸とコリメータ２３ａ～

２３ｅの中心軸方向の交差する角度に関する情報から、橋１０１の深さ方向の異常状態を検出することができる。

[0064]（第２実施形態）

次に本開示の第２実施形態について説明する。第２実施形態は、第１実施形態に係る非破壊検査システム１を使用し、被検査物に対して非破壊検査システム１を相対的に移動させることで、異常個所の深さ方向の位置を特定可能とするものである。

[0065] 図７には本開示の第１実施形態に係る非破壊検査システム１の概略構成図が示されている。なお、第１実施形態と同じ要素については同じ符号を付し、説明を省略する。

[0066] 図７は、実線で示す非破壊検査システム１にて移動前の検出を行い、点線で示す非破壊検査システムにて被検査物に対して相対的に移動した後の検出を行う状態を示している。中性子照射部１２は、非検査物への入射角α１は維持したまま移動する。図７での移動距離は、隣接する中性子検査部の１ピッチ分である。移動後の高速中性子Ｎｈ’の各コリメータの中心軸が交差する位置を、図７で１１１ａ’から１１１ｅ’で示す。移動後の位置１１１ａ’で散乱した熱中性子はＮｓａ’としてコリメータ２３ａを介して中性子検出器２２ａで検出される。同様に位置１１１ｂ’から位置１１１ｅ’で散乱した熱中性子は、それぞれ中性子検出器２２ｂから２２ｅで検出される。

[0067] 次に図８、図９を用いて、中性子検出器２２ａから２２ｅで検出される検出結果である中性子量、および、被検査物である橋１０１と中性子検出ユニット２１の関係を説明する。図８は、移動前後において、中性子検出器２２ａから２２ｅで検出される検出結果である中性子量を示すグラフである。また図９は、橋１０１と移動前後の中性子検出ユニット２１の関係を示す概略構成図である。なお、図７で説明したものについては省略する。

[0068] 図８は、縦軸に中性子検出器が検出した中性子量を示し、横軸に中性子検出器の位置を示すグラフであり、実線は移動前の状態を示すグラフであり、点線は移動後のグラフを示している。縦軸の中性子量は、中性子検出器が検

出した熱中性子の量を示しており、検出した熱中性子の数をカウントした値である。点２１１ａは、中性子照射部１２から照射された高速中性子Ｎｈが、被対象物である橋１０１を介して散乱した熱中性子Ｎｓａを中性子検出器２２ａが検出した中性子量である。以下、同様に点２１１ｂから点２１１ｅは、中性子検出器２２ｂから２２ｅが検出した中性子量である。点２１１ｂ’は、中性子照射部１２から照射された高速中性子Ｎｈ’が、被対象物である橋１０１を介して散乱した熱中性子Ｎｓｂ’を中性子検出器２２ｂが検出した中性子量である。同様に、点２１１ｄ’は、中性子照射部１２から照射された高速中性子Ｎｈ’が、被対象物である橋１０１を介して散乱した熱中性子Ｎｓｄ’を中性子検出器２２ｄが検出した中性子量である。図９は、異常個所１２３、１２４が橋１０１に存在する場合の図である。

[0069] 図８の実線は、コリメータ２３ｄの下に異常個所１２４を検出した時の中性子量を示すグラフである。異常個所１２４は、橋にできた欠陥である空隙である。空隙は空気で満たされており、橋の主要構成材料であるコンクリートに比べて熱中性子の発生は少ない。そのため、点２１１ｄは第１実施例における標準値に対して小さな値を示す。

[0070] 次に、移動後の中性子検出器２２ｂの検出結果について説明する。被検査物に対して相対的に移動した後の中性子検出器２２ｂは、被検査物に対する絶対位置は移動前の中性子検出器２２ａの位置に相当する。異常個所１２３は、点１１１ｂ’の位置に存在することになる。異常個所１２３は、橋にできた欠陥である空隙に水が満たされている状態である。水に入射した高速中性子は、水により熱中性子となる。そのため、水は、橋の主要構成材料であるコンクリートに比べ、熱中性子の発生量が多い。すなわち、中性子検出器２２ｂで検出される中性子の量は、図８における、水がない場合（点２１１ｂ）に比較して水がある場合（点２１１ｂ’）は多くなる。そのため、当該位置における、Ｌｓｂの深さの間には異常があることを検出できる。

[0071] このように、中性子照射部１２は、中性子照射部１２を含む非破壊検査システム１を被検査物に対して相対的に移動させることでコリメータ２３ａ、

２３ｂからのコリメータの中心軸方向の距離が異なる位置１１１ａ（第１の位置）と位置１１１ｂ’（第２の位置）に向けて高速中性子Ｎｈ、Ｎｈ’を照射可能である。中性子検出器２２ａは、中性子照射部１２が位置１１１ａに向けて高速中性子を照射した際に位置１１１ａで散乱し発生する熱中性子Ｎｓａを検出する（第１の中性子量である図８の２１１ａ）。次に、移動後に、中性子検出器２２ｂは、中性子照射部１２が位置１１１ｂ’に向けて高速中性子を照射した際に位置１１１ｂ’で散乱し発生する熱中性子Ｎｓｂ’を検出する（第２の中性子量である図８の２１１ｂ’）。そして、演算部３１３は、第１の中性子量と第２の中性子量から、１１１ａと１１１ｂ’の間、すなわちＬｓａとＬｓｂの間に深さに異常個所があることを特定することができる。また、中性子量から、異常個所が、空隙であるか、水であるかを特定することもできる。

[0072] ＜処理の流れ＞

次に、第２実施形態に係る非破壊検査システム１の動作について、図１０に示すフローチャートを参照しながら説明する。

[0073] ステップＳ２０１において、非破壊検査システム１を被検査物に対して相対的に移動させる。

[0074] ステップＳ２０２において、位置入力部３２３は、中性子検出ユニット２１、中性子照射部１２の位置情報と、被対象物の位置情報を取得する。

[0075] ステップＳ２０３において、線源出力部３２１は、線形加速器１１を制御して、パルス中性子線を中性子照射部１２から照射する。

[0076] ステップＳ２０４において、検出器入力部３２２は、中性子検出ユニット２１を構成する中性子検出器２２ａから２２ｅで検出する中性子量のデータを取得し、記憶部３１２に記憶する。

[0077] ステップＳ２０５において、演算部３１３は、取得したデータと、移動前データの比較を行う。移動前データは、例えば図８の実線で示すグラフである。図８における記憶部３１２に記憶されている移動前の熱中性子Ｎｓａの中性子量（第１の中性子量である図８の２１１ａ）から求められるデータと

、移動後の熱中性子Ｎｓｂ’の中性子量（第２の中性子量である図８の２１１ｂ’）から求められるデータの比較を行う。

[0078] ステップＳ２０６において、演算部３１３は、ステップＳ１０４で比較した結果から、特異な値を出力する中性子検査器を特定する。演算部３１３は、特定した中性子検査器の位置から、異常個所が存在する深さの範囲を推定するデータ処理を行う。

[0079] ステップＳ２０７において、表示部３１４は、ステップＳ１０５で処理されたデータをユーザが視認できる形で表示する。

[0080] ステップＳ２０８において、制御部３１１は、ユーザの要求により、測定を終了するかどうかを判別し、終了すると判別（Ｙ）の場合処理を終了し、終了しないと判別（Ｎ）の場合、ステップＳ２０１へ処理を戻す。

[0081] ＜検出タイミング＞

第２実施形態に係る非破壊検査システム１は、被検査物に対して連続して移動しながら検査をおこなう事ができる。たとえば、中性子検出器が１［ｃｍ］の間隔で１００個、１［ｍ］のアレイとして構成し、高速中性子の入射角を３５°とする。また、熱中性子の速度を２２００［ｍ／ｓ］とする。その場合、非破壊検査システム１を搭載する車両２が３０［ｋｍ／ｈ］の速度で移動する場合、１．２［ｍｓ］の間隔で高速中性子をパルス状に照射することで検出を行うことができる。

[0082] （第３実施形態）

次に本開示の第３実施形態について説明する。

[0083] 図１１には本開示の第３実施形態に係る非破壊検査システム１’の概略構成図が示されている。なお、第１実施形態と同じ要素については同じ符号を付し、説明を省略する。

[0084] 第３実施形態における非破壊検査システム１’は、基本的に中性子検出器２２およびコリメータ２３が中性子検出ユニット２１に一つ設けられている。また、連結部２４は長さが可変である。

[0085] 車両２’を移動させ、中性子照射部１２を被検査物である橋１０１に対して

相対的に移動させる。また、連結部２４は、車両２’の移動に応じて長さを伸ばすことで、中性子検出ユニット２１を被検査物に対して相対位置を維持することができる。車両の移動により、高速中性子の照射位置を変え、コリメータ２３の中心軸方向の異なる２点の位置１１３（第１の位置）と位置１１４（第２の位置）に対して高速中性子を照射することができる。位置１１３に高速中性子が照射された場合、位置１１３に入射する高速中性子はＸ１／ｃｏｓα２を透過する。位置１１３は異常個所がないため、位置１１３のコンクリートにより生じる熱中性子は、距離Ｌ１、距離Ｚａを透過して中性子検出器２２で検出される。次に、位置１１４に異常個所１２３がある場合、異常個所が満たされた場合を考える。位置１１４に高速中性子が照射された場合、位置１１４に入射する高速中性子はＸ２／ｃｏｓα２を透過する。位置１１４は水で満たされた異常個所１２３であり、散乱されて生じる熱中性子は、距離Ｌ２、距離Ｚａを透過して中性子検出器２２で検出される。透過距離を特定でき、また高速中性子と熱中性子の減衰率を特定可能であれば、位置１１３を検出した中性子量の値から、中性子検出器２２が、位置１１４で検出が期待される中性子量を演算することができる。しかし、位置１１４の異常個所１２３は水であり、散乱により熱中性子がコンクリートに比較して多く発生するため、中性子検出器２２が検出する中性子量は、期待される中性子量よりも多くなる。そのため、位置１１４の深さに異常個所があること特定することができる。

[0086] （第４実施形態）

次に本開示の第４実施形態について説明する。

[0087] 図１２には本開示の第４実施形態に係る非破壊検査システム１’’の概略構成図が示されている。なお、第１実施形態と同じ要素については同じ符号を付し、説明を省略する。

[0088] 第４実施形態における非破壊検査システム１’’は、基本的に中性子検出器２２およびコリメータ２３が中性子検出ユニット２１に一つ設けられている。

[0089] 非破壊検査システム１’’は、中性子照射部１２の照射方向を、被検査物である橋１０１に対する入射角度をα３からα４に変更する照射角度変更部（不図示）を有する。中性子照射部の照射方向を変更することで、コリメータ２３の中心軸方向の異なる２点の位置１１５（第１の位置）と位置１１６（第２の位置）に対して高速中性子を照射することができる。それによって、位置１１５と位置１１６の深さの間の異常個所を特定することができる。

[0090] なお、非破壊検査システム１’’は、中性子照射部１２や、線形加速器１１の構成の全体を物理的に移動することなく、例えば中性子照射部１２の中性子の照射口の位置を変更したり、また、線形加速器で加速されるプロトンビームの方向を磁力で曲げることにより、中性子の照射方向を変更しても構わない。

[0091]（第５実施形態）

次に本開示の第５実施形態について説明する。

[0092] 図１３には本開示の第５実施形態に係る非破壊検査システムの中性子検出ユニット２１と被検査物の関係を示す概略斜視図である。

[0093] 第５実施形態における非破壊検査システムは、中性子照射部（不図示）の照射起点１８から、照射方向が図の上下方向に規制され、幅方向の２次元の拡散角を持つ高速中性子として照射する。照射される高速中性子は、図１３のプレーン１９に沿って拡散しながら被検査物である橋１０１の内部に侵入する。

[0094] 中性子検出ユニット２１は、複数の中性子検出器（不図示）が２次元のアレイ構造で配置される。

[0095] 照射された高速中性子は、橋１０１の内部で散乱し熱中性子を発生する。図１３において、Ｎｓ１１からＮｓ３３で示す発生した熱中性子は、中性子検出ユニット２１の複数の中性子検出器で検知される。高速中性子は、拡散しながら橋１０１の中を進行するため、例えば熱中性子Ｎｓ３１と熱中性子Ｎｓ３２の散乱の元となる高速中性子は、被検査物の中で透過する距離（経路長）が異なる。そのため、熱中性子Ｎｓ３１は、熱中性子Ｎｓ３２に対し

て中性子量が減少する。演算部３１３は、各中性子検査器に応じて、経路長の差による中性子量の差を補正することができる。

[0096] 第５実施形態により、ある程度の面積を持った領域における深さ方向の情報を一括して得ることができる。

[0097] 以上で、本開示に係る実施形態についての説明を終えるが、本開示の態様はこの実施形態に限定されるものではない。

[0098] 非破壊検査システムは、中性子検出器が検出する中性子量と、異常個所の深さ方向の位置を示す距離情報と、構造物の減衰率を用いて異常個所の量を演算することができる。

[0099] 第１実施形態から第５実施形態において、非破壊検査システムは、異常個所の深さ方向の位置を特定することができる。それにより、異常個所で発生した熱中性子が深さ方向の距離で減衰する減衰量を特定することができる。具体的には、構造物の材質に応じた減衰率（減衰情報）と、透過距離により減衰量を特定することができる。異常個所が水である場合、水の量に応じて高速中性子が散乱され、発生する熱中性子の量が変化する。そのため、水の量が多い場合、それに伴い発生する熱中性子は多くなる。しかし、深い位置で発生した熱中性子は、深さ方向の距離に応じた減衰により減少する。このように、演算部は、中性子検出器が検出する中性子量と、異常個所の深さ方向の位置を示す距離情報と、中性子が透過する構造物の減衰情報を用いて異常個所の量、例えば、異常個所の空隙に満たされた水の体積や、空気の体積を演算することができる。

符号の説明

[0100]
１、１’、１’’ 非破壊検査システム
２、２’、２’’ 車両
５ コントロールユニット
１０ 電源部
１１ 線形加速器
１２ 中性子照射部

２１　中性子検出ユニット

２２、２２ａ～２２ｅ　中性子検出器

２３、２３ａ～２３ｅ　コリメータ

２４　連結部

３１　位置検出部

１０１　橋

３１１　制御部

３１２　記憶部

３１３　演算部

３１４　表示部

３２１　線源出力部

３２２　検出器入力部

３２３　位置入力部

請求の範囲

[請求項1] 中性子を照射可能な中性子照射部と、

前記中性子照射部から照射され被検査物を介した中性子を検出可能な中性子検出器と、

前記被検査物と前記中性子検出器との間に位置し、前記被検査物を介した中性子を所定の指向性を以って前記中性子検出器に入射するように配置されるコリメータと、

前記中性子検出器で検出する結果に基づいて演算するように構成された演算部と、

を備え、

前記中性子照射部は、中性子を照射する中心軸が前記コリメータの中心軸方向に対して交差するように中性子を照射するように構成され、

前記演算部は、前記中性子検出器の位置情報及び／又は前記中性子照射部の位置情報と、中性子を照射する中心軸と前記コリメータの中心軸方向の交差する角度に関する情報と、前記中性子検出器で検出する中性子量と、から、前記コリメータの中心軸方向の前記被検査物に関する情報を生成可能な非破壊検査システム。

[請求項2] 前記中性子照射部は、中性子を照射する中心軸が前記コリメータの中心軸方向の交差する角度が１０度から８０度となるように中性子を照射するように構成される請求項１に記載の非破壊検査システム。

[請求項3] 前記非破壊検査システムは、前記中性子検出器として複数の検出部を備え、

前記演算部は、前記複数の検出部が検出する中性子量から、特異な中性子量を検出する検出部を特定する請求項１又は２に記載の非破壊検査システム。

[請求項4] 前記演算部は、前記複数の検出部が検出する中性子量からフィッティングカーブを生成し、フィッティングカーブと各検出部が検出する

中性子量の差異から、前記特異な中性子量を検出する検出部を特定する請求項３に記載の非破壊検査システム。

[請求項5] 前記演算部は、前記被検査物の材質情報に応じた標準情報と各検出部が検出する中性子量の差異から、前記特異な中性子量を検出する検出部を特定する請求項３に記載の非破壊検査システム。

[請求項6] 前記中性子照射部は、前記被検査物に対して相対的に移動可能であり、

前記演算部は、前記中性子照射部の移動前に前記複数の検出部が検出する中性子量と、前記中性子照射部の移動後に前記複数の検出部が検出する中性子量と、から、前記特異な中性子量を検出する検出部を特定する請求項３に記載の非破壊検査システム。

[請求項7] 前記中性子照射部は、前記コリメータからの前記コリメータの中心軸方向の距離が異なる第１の位置および第２の位置に向けて中性子を照射可能であり、

前記中性子検出器は、前記中性子照射部が前記第１の位置に向けて中性子を照射する際に検出する第１の中性子量と、前記中性子照射部が前記第２の位置に向けて中性子を照射する際に検出する第２の中性子量を検出可能であり、

前記演算部は前記第１の中性子量と前記第２の中性子量から、前記第１の位置と前記第２の位置の間の被検査物に関する情報を生成可能な請求項１から６のいずれか一項に記載の非破壊検査システム。

[請求項8] 前記中性子照射部は、前記中性子検出器と前記中性子照射部の相対位置を変更することにより前記第１の位置および前記第２の位置への前記中性子を照射するように構成される請求項７に記載の非破壊検査システム。

[請求項9] 前記中性子照射部は、前記中性子照射部から照射する中性子の照射方向を変更することにより前記第１の位置および前記第２の位置への前記中性子を照射するように構成される請求項７に記載の非破壊検査

システム。

[請求項10] 前記非破壊検査システムは、前記中性子検出器として第１の検出部と第２の検出部を備え、

前記第１の検出部と前記第２の検出部は、前記中性子照射部との相対位置を維持しながら前記被検査物に対して移動可能であり、

前記第１の検出部は、前記中性子照射部が移動前に前記第１の位置に向けて中性子を照射する際の第１の中性子量を検出可能であり、

前記第２の検出部は、前記中性子照射部が移動後に前記第２の位置に向けて中性子を照射する際に第２の中性子量を検出可能である、

請求項７に記載の非破壊検査システム。

[請求項11] 前記非破壊検査システムは、前記中性子検出器として２次元方向に配置する複数の検出部を備え、

前記中性子照射部は、照射方向の２次元方向に制限するコリメータを介して中性子を照射し、

前記演算部は、前記複数の検出部から検出された複数の中性子量に関する情報から被検査物に関する情報を生成可能な請求項７に記載の非破壊検査システム。

[請求項12] 前記演算部は前記第１の中性子量および前記第２の中性子量から、前記第１の位置と前記第２の位置の間の被検査物の組成に関する情報を生成するように構成される請求項１から１１のいずれか一項に記載の非破壊検査システム。

[請求項13] 前記中性子照射部は、パルス中性子線を照射可能であり、

前記演算部は、前記中性子照射部が照射するパルス中性子線の時間情報と、前記中性子検出器が照射するパルス中性子線が被検査物を介して検出する熱中性子を設定された検出時間において検出する請求項１から１２のいずれか一項に記載の非破壊検査システム。

[請求項14] 前記演算部は、前記中性子検出器の位置情報及び／又は前記中性子照射部の位置情報と、中性子を照射する中心軸と前記コリメータの中

心軸方向の交差する角度に関する情報と、前記中性子検出器で検出する中性子量と、から、前記コリメータの中心軸方向の異常個所の位置を示す距離情報を演算可能であり、前記距離情報と前記中性子が透過する構造物の減衰情報を用いて前記異常個所の量に関する情報を生成可能な請求項１から１３のいずれか一項に記載の非破壊検査システム。

[請求項15] 中性子を照射可能な中性子照射部と、

前記中性子照射部から照射され被検査物を介した中性子を検出可能な中性子検出器と、

前記被検査物と前記中性子検出器との間に位置し、前記被検査物を介した中性子を所定の指向性を以って前記中性子検出器に入射するように配置されるコリメータと、

前記中性子検出器で検出する結果に基づいて演算するように構成された演算部と、

を用いて、

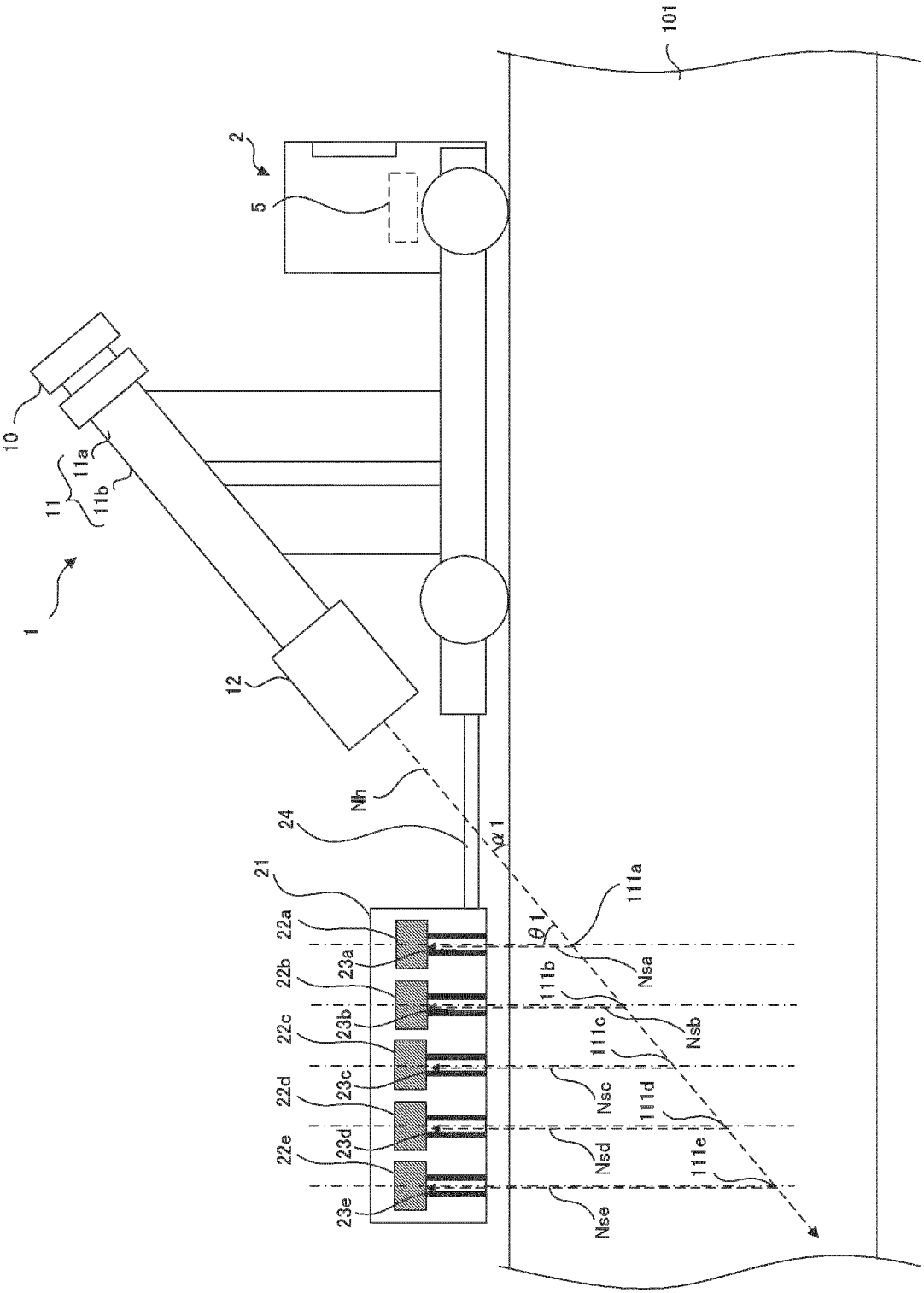
前記中性子照射部が、中性子を照射する中心軸が前記コリメータの中心軸方向に対して交差するように中性子を被検査物に向けて照射するステップと、

前記中性子検出器が中性子を検出するステップと、

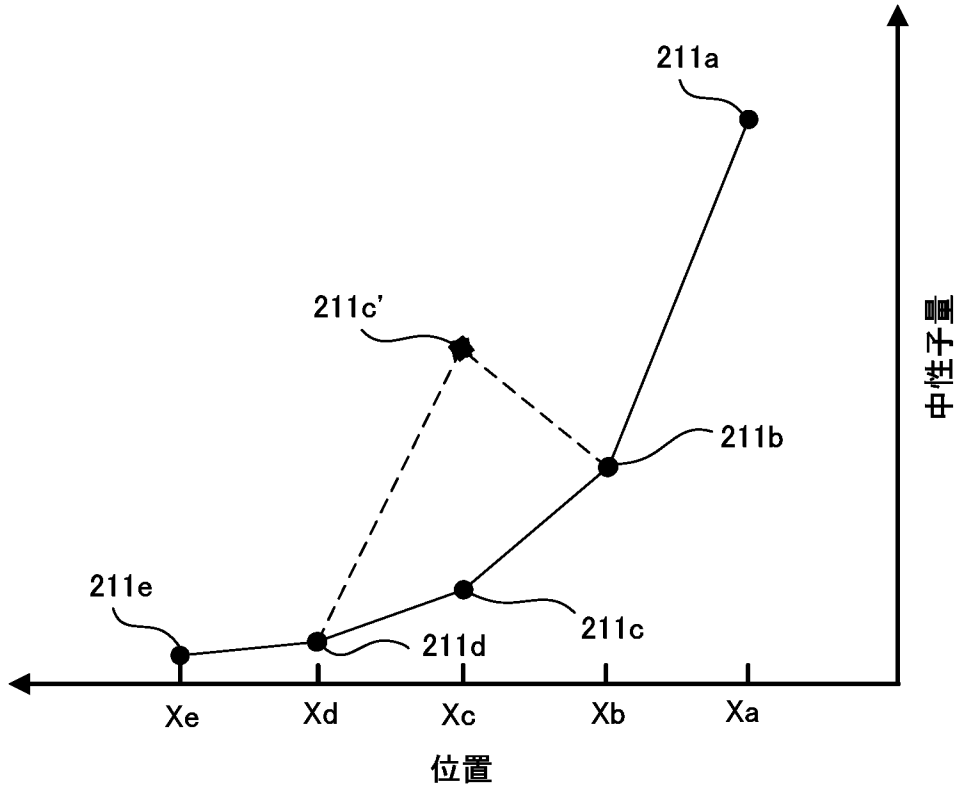
前記演算部が、前記中性子検出器の位置情報及び／又は前記中性子照射部の位置情報と、中性子を照射する中心軸と前記コリメータの中心軸方向の交差する角度に関する情報と、前記中性子検出器で検出する中性子量と、から、前記コリメータの中心軸方向の前記被検査物に関する情報を生成可能するステップと、

を備える非破壊検査方法。

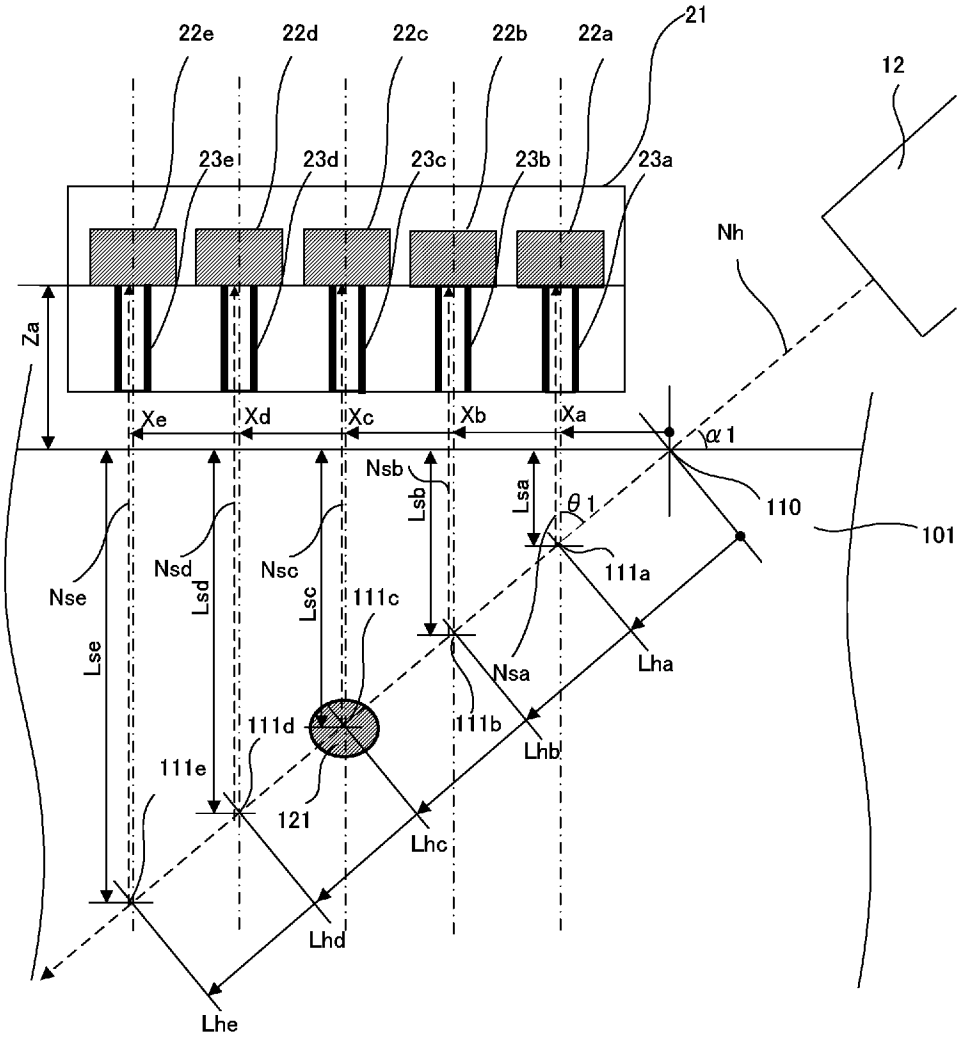
[図1]


101
2
5
10
11a
11b
11
1
12
Nh
24
α1
21
22a
22b
22c
22d
22e
23a
23b
23c
23d
23e
θ1
111a
111b
111c
111d
111e
Nsa
Nsb
Nsc
Nsd
Nse

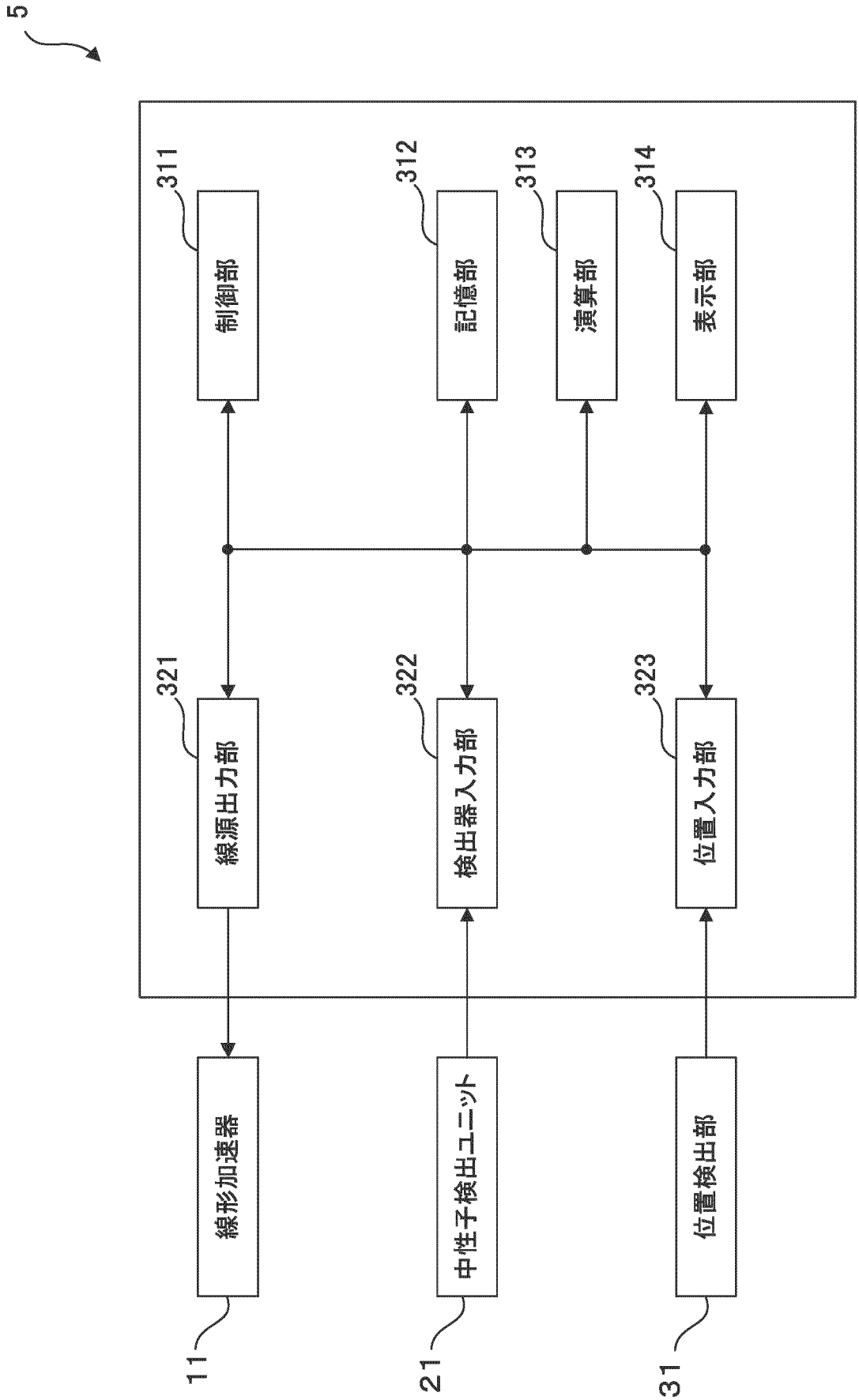
[図2]


211a
211c'
211b
211e
211d
211c
中性子量
Xe
Xd
Xc
Xb
Xa
位置

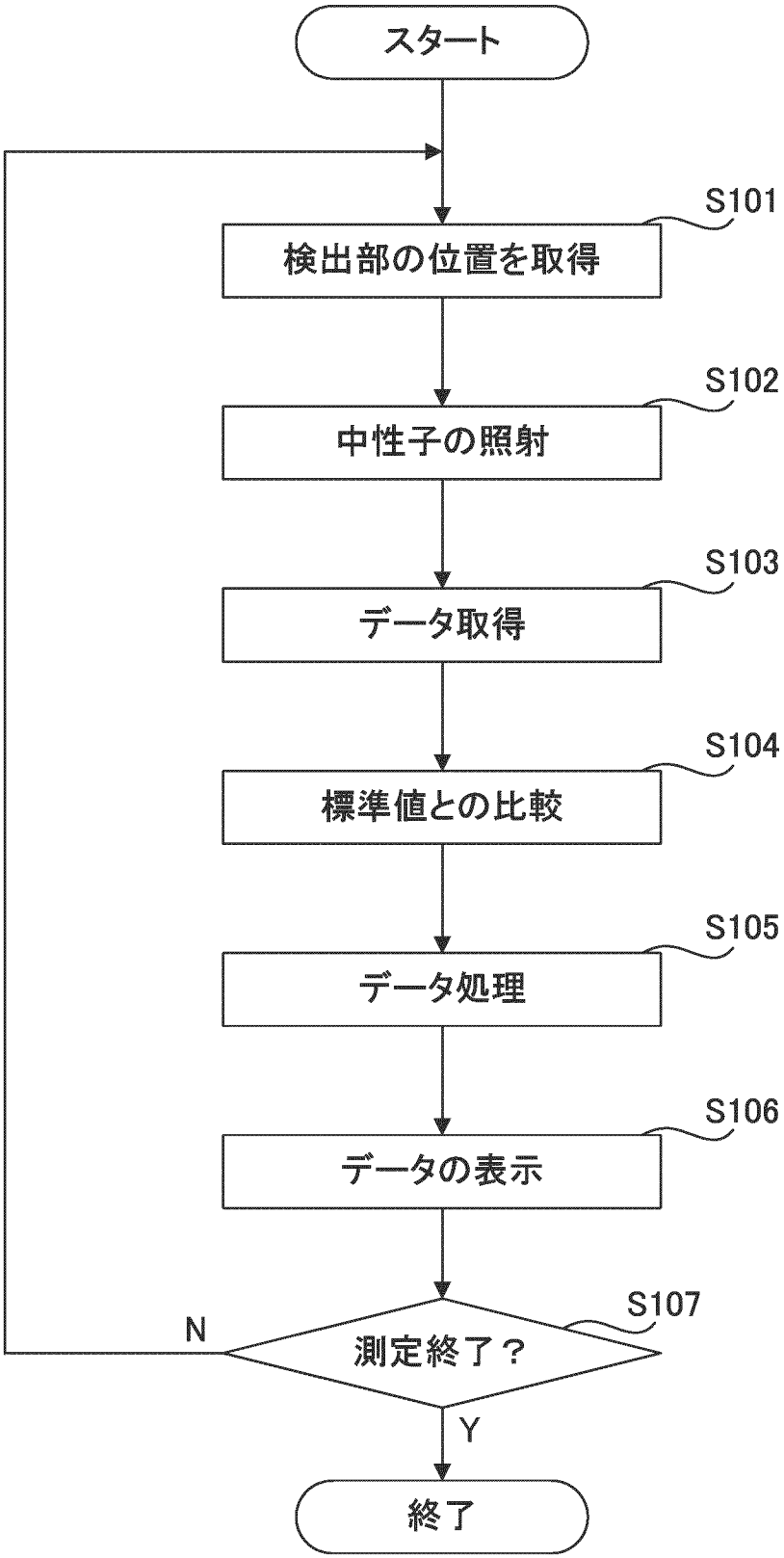
[図3]


22e
22d
22c
22b
22a
21
12
23e
23d
23c
23b
23a
Nh
Za
Xe
Xd
Xc
Xb
Xa
α1
Nsb
Lsb
Lsa
θ1
110
101
Nse
Nsd
Nsc
Lsd
Lsc
111c
111a
Lse
Nsa
Lha
111d
111b
Lhb
111e
121
Lhc
Lhd
Lhe

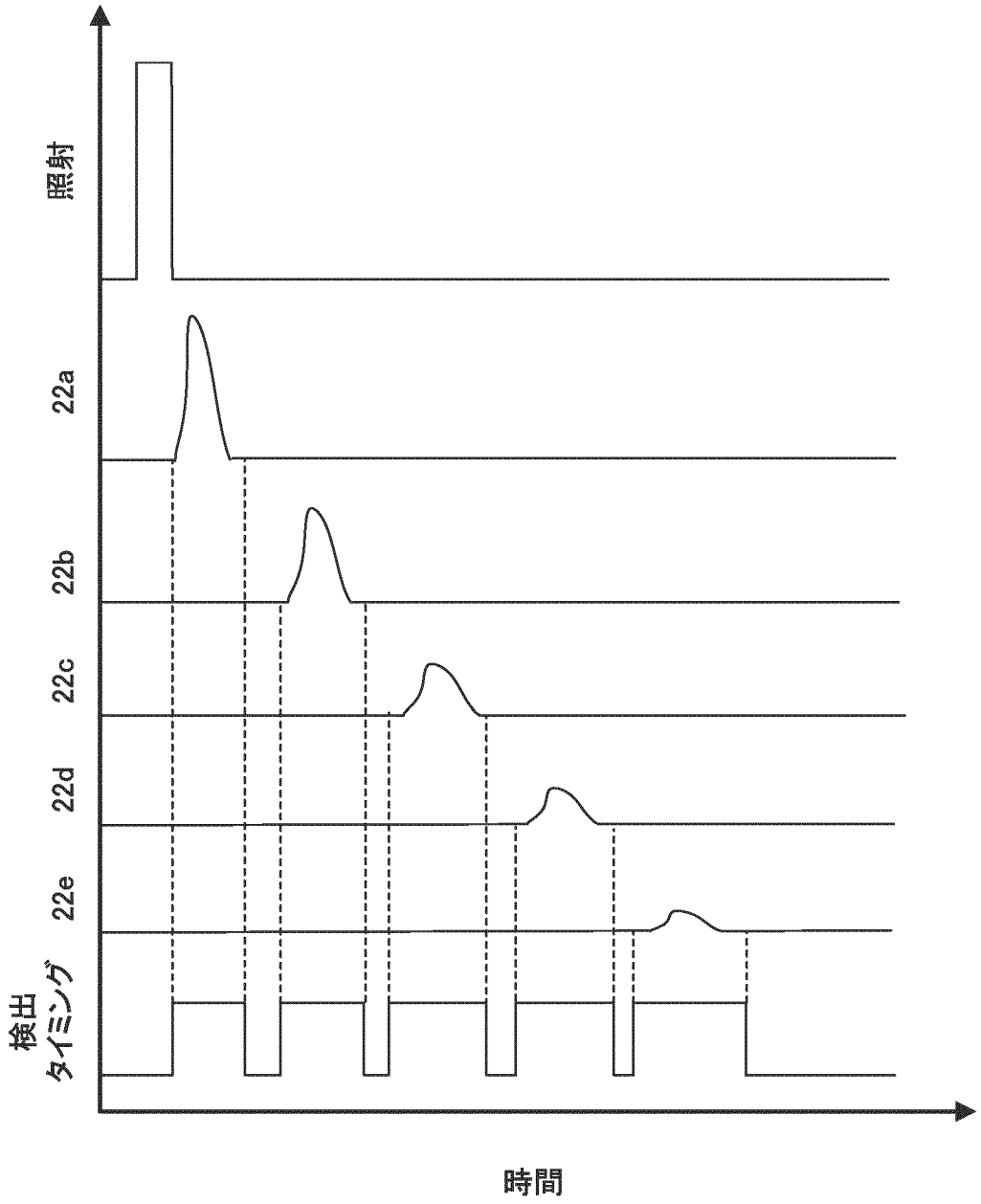
[図4]


5
311
制御部
312
記憶部
313
演算部
314
表示部
321
線源出力部
322
検出器入力部
323
位置入力部
11
線形加速器
21
中性子検出ユニット
31
位置検出部

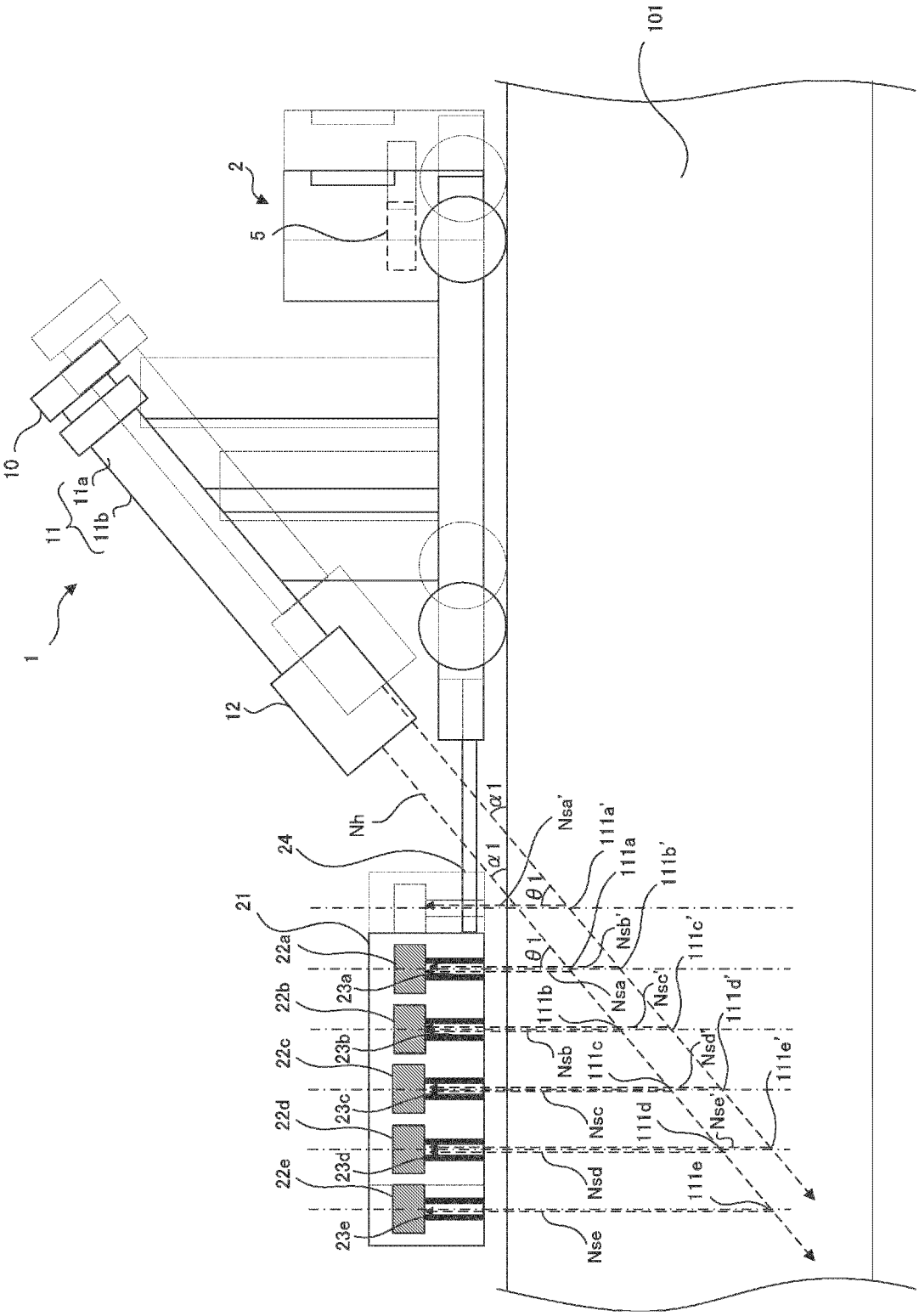
[図5]


スタート
S101
検出部の位置を取得
S102
中性子の照射
S103
データ取得
S104
標準値との比較
S105
データ処理
S106
データの表示
S107
測定終了？
N
Y
終了

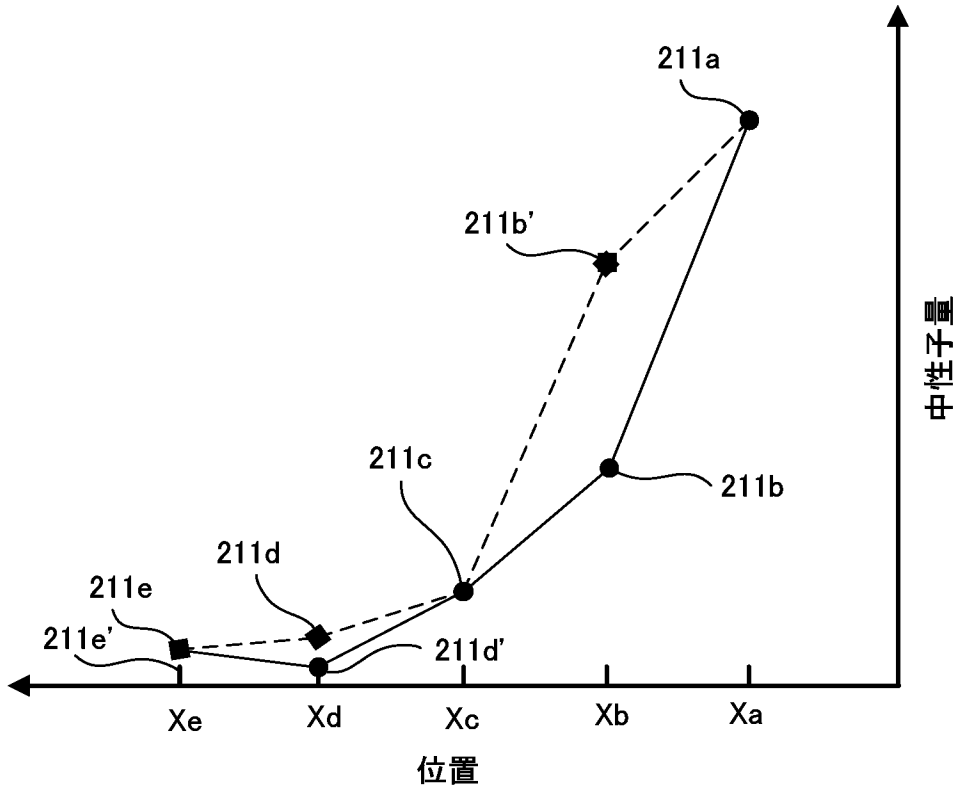
[図6]



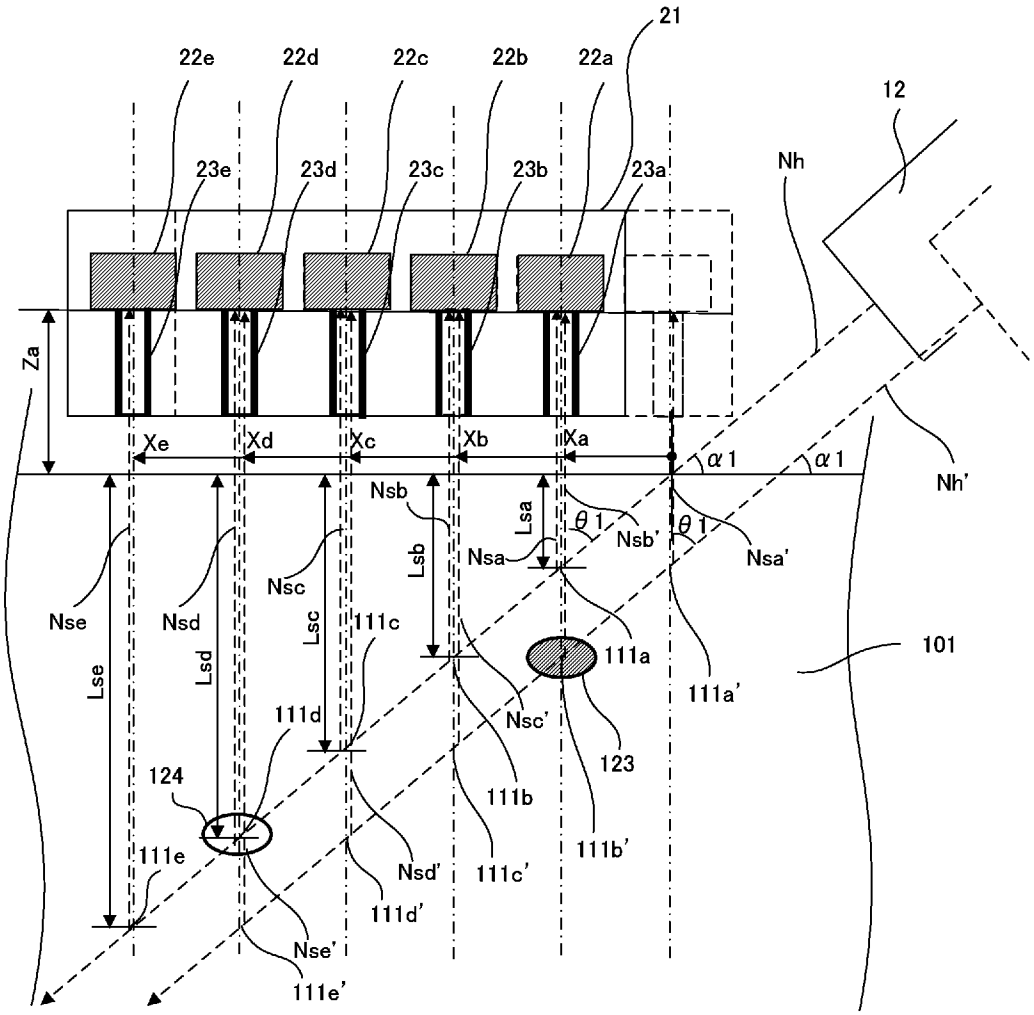
[図7]


101
2
5
10
11a
11b
11
1
12
Nh
α1
Nsa'
111a'
111a
111b'
24
21
θ1
22a
23a
22b
23b
22c
23c
22d
23d
22e
23e
Nsb'
111c'
Nsa
Nsc'
111d'
111b
Nsb
111c
Nsd'
111e'
Nsc
111d
Nse'
Nsd
111e
Nse

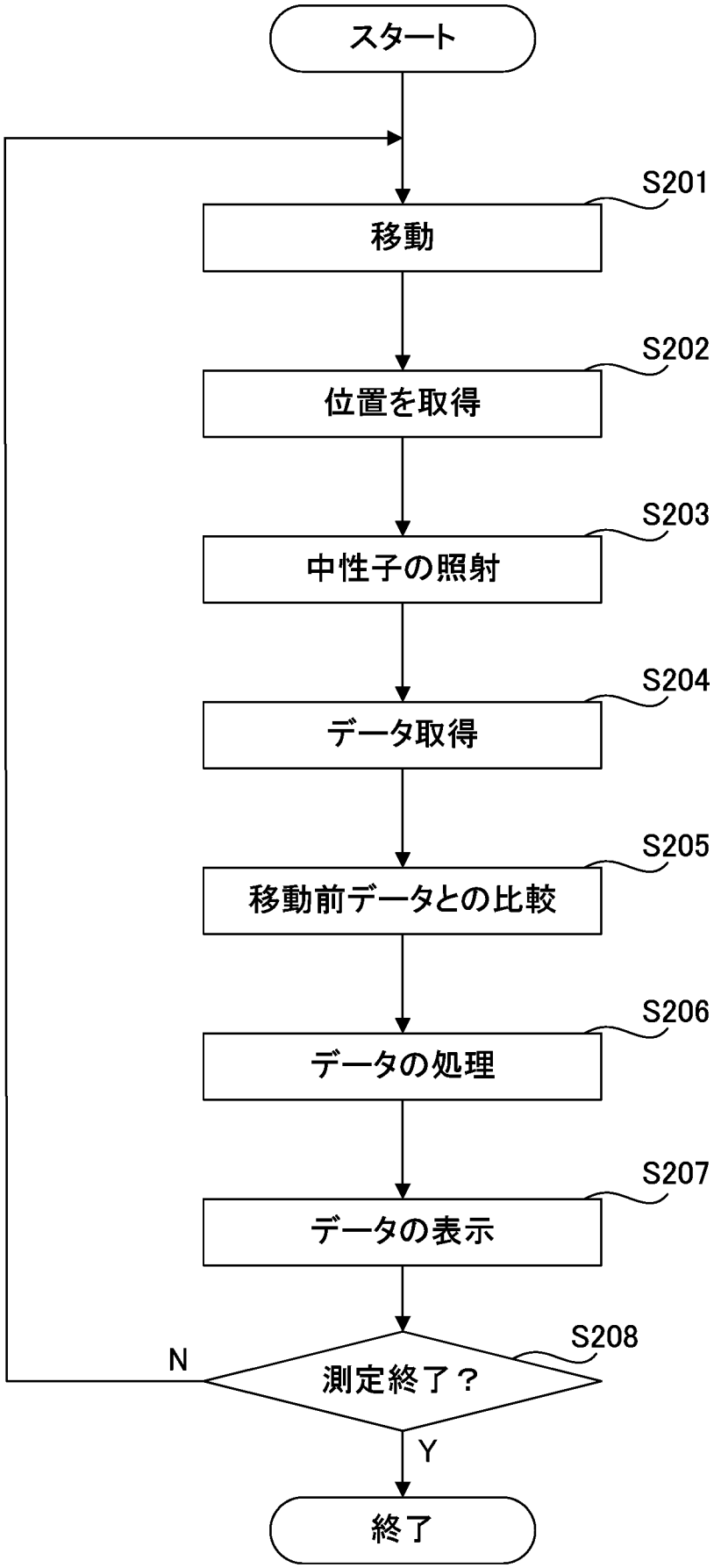
[図8]


211a
211b'
211c
211b
211d
211e
211e'
211d'
中性子量
Xe
Xd
Xc
Xb
Xa
位置

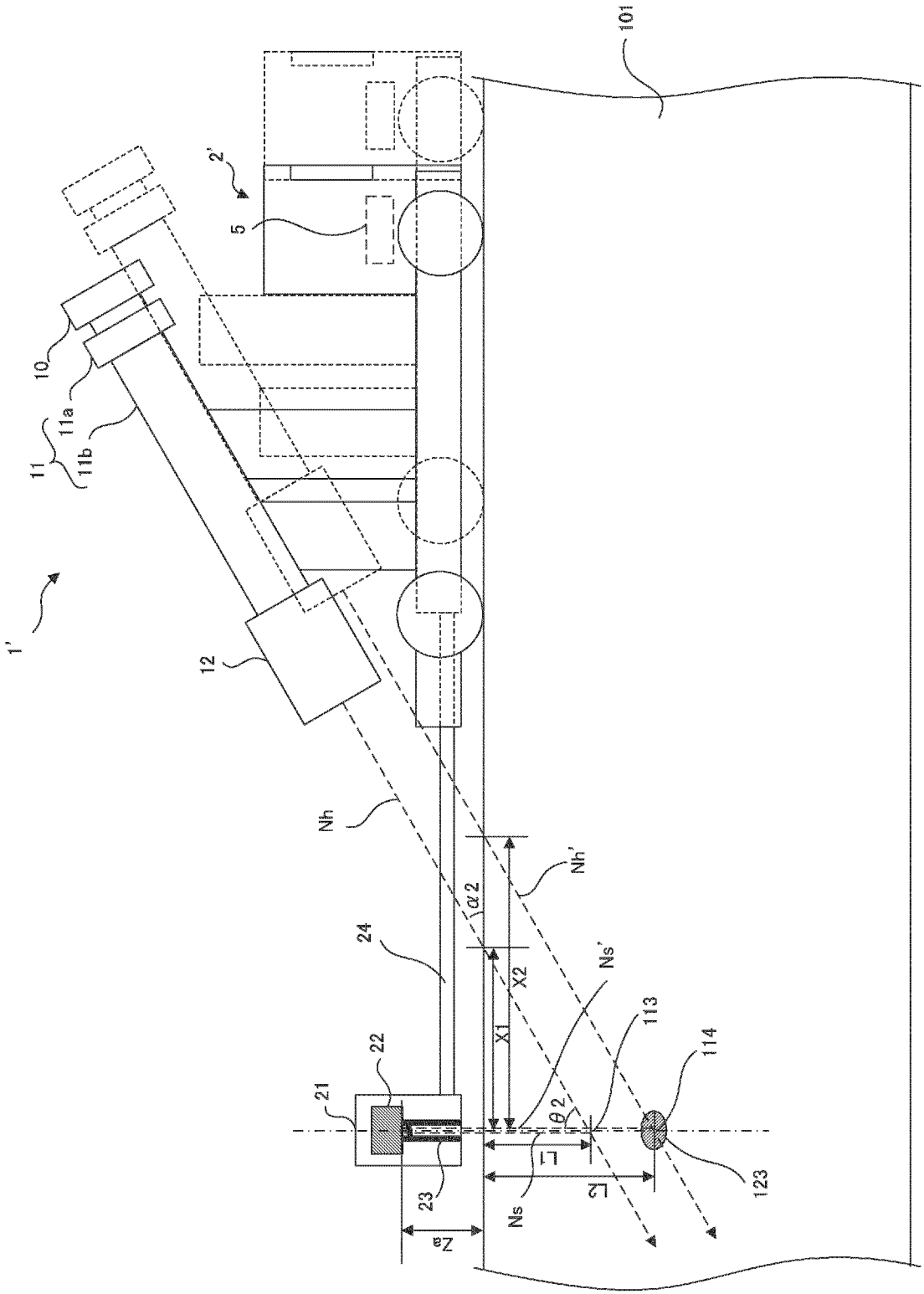
[図9]


21
22e
22d
22c
22b
22a
23e
23d
23c
23b
23a
12
Nh
Za
Xe
Xd
Xc
Xb
Xa
α1
α1
Nh'
Nsb
Lsa
θ1
Nsb'
θ1
Nsa'
Nsa
Nsc
Lsb
Nse
Nsd
Lsc
111c
111a
101
Lse
Lsd
111a'
111d
Nsc'
123
124
111b
111b'
111e
Nsd'
111c'
111d'
Nse'
111e'

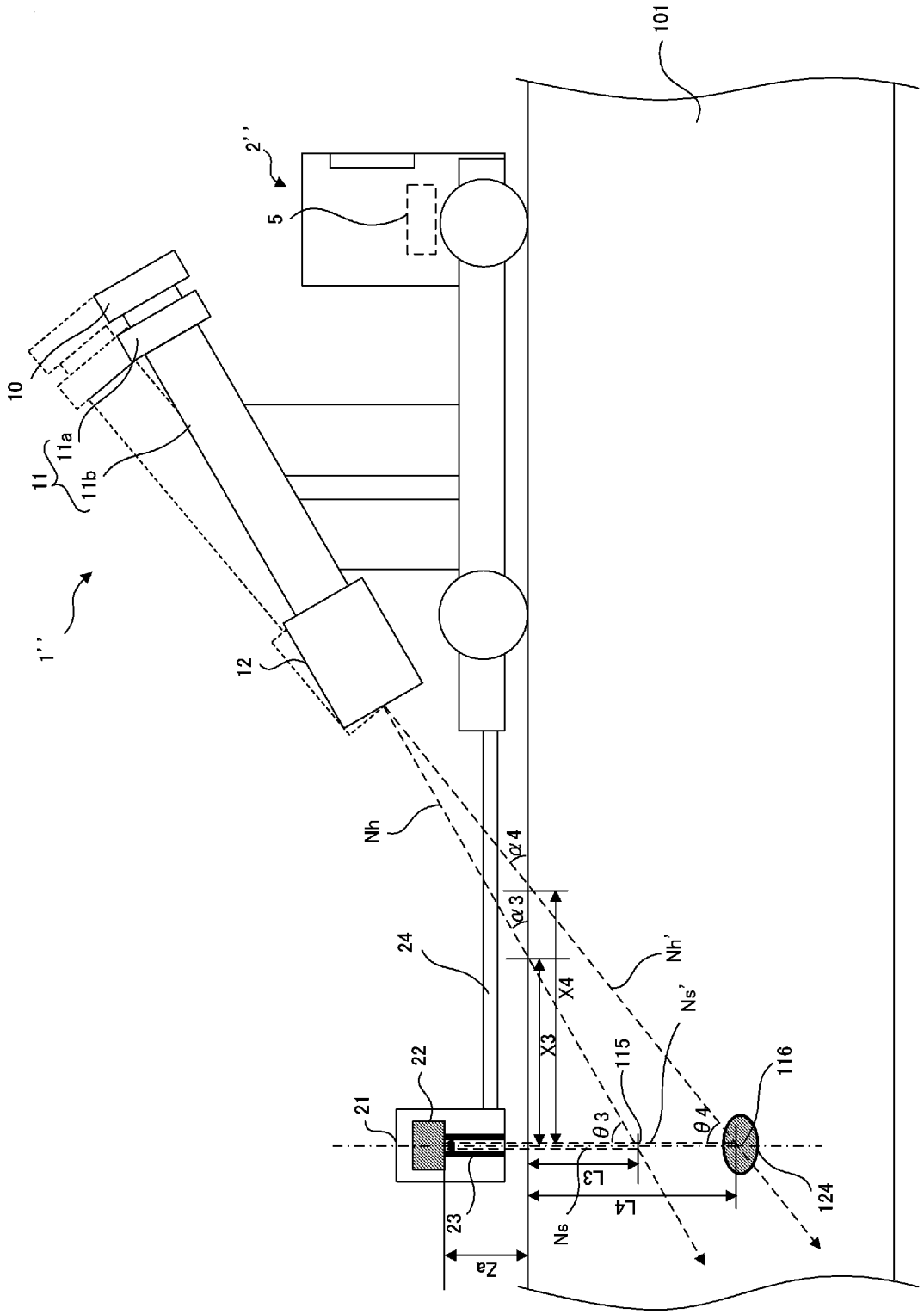
[図10]


スタート
S201
移動
S202
位置を取得
S203
中性子の照射
S204
データ取得
S205
移動前データとの比較
S206
データの処理
S207
データの表示
S208
測定終了？
N
Y
終了

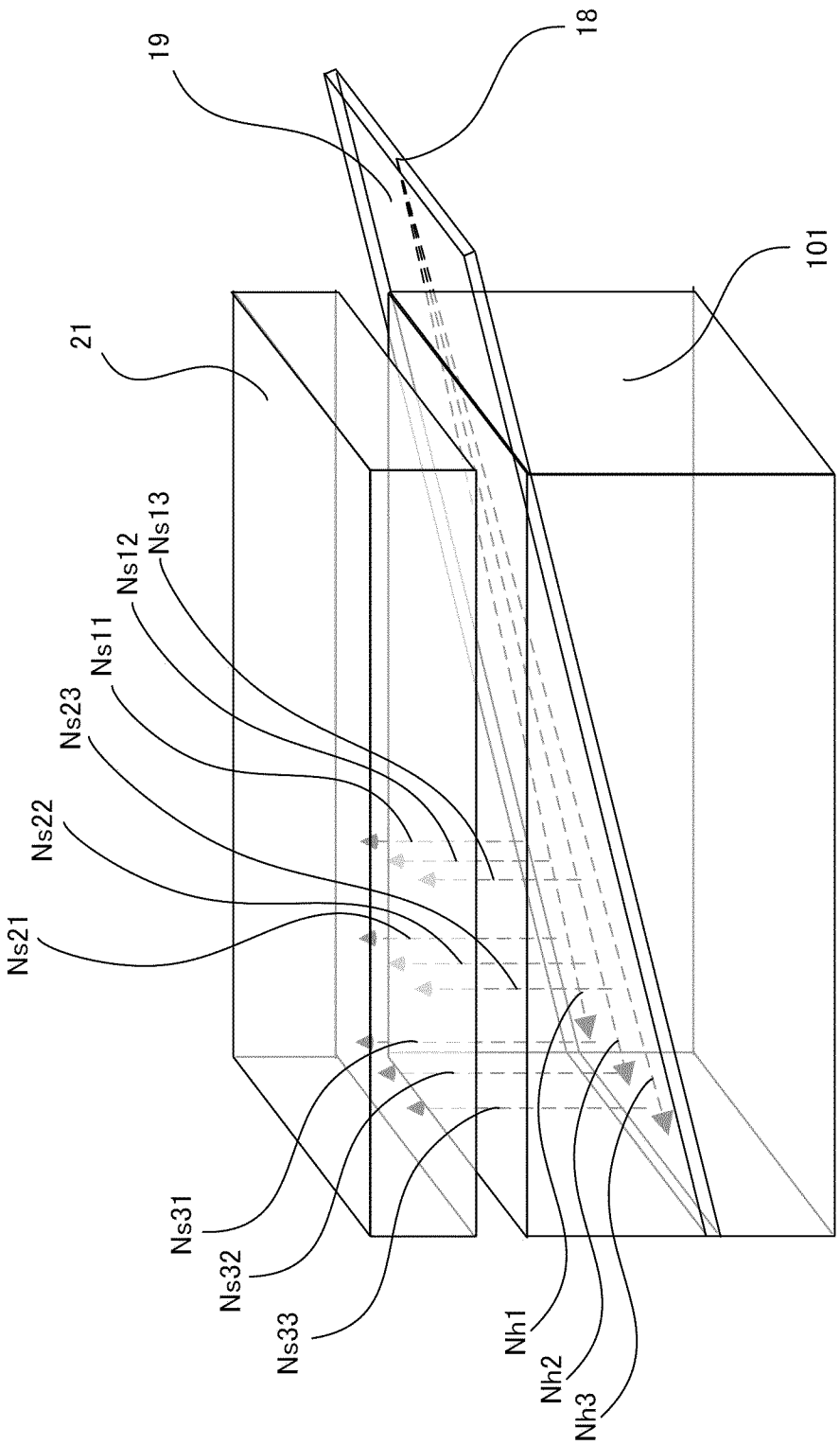
[図11]


101
2'
5
10
11a
11b
11
1'
12
Nh
Nh'
α2
24
Ns'
X2
X1
113
114
22
21
θ2
L1
L2
23
Ns
123
Za

[図12]


101
2''
5
10
11a
11b
11
1''
12
Nh
α4
α3
24
Nh'
X4
X3
Ns'
22
115
116
21
θ3
θ4
L3
L4
23
Ns
Za
124

[図13]


19
18
101
21
Ns13
Ns12
Ns11
Ns23
Ns22
Ns21
Ns31
Ns32
Ns33
Nh1
Nh2
Nh3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2020/008171

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01N 23/204(2006.01)i
FI: G01N23/204

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)
G01N23/204

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	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2011/108709 A1 (IHI CORPORATION) 09.09.2011 (2011-09-09) paragraphs [0013]-[0043], fig. 1-2	1-15
Y	JP 11-160254 A (HIHAKAIKENSA CO., LTD.) 18.06.1999 (1999-06-18) paragraphs [0012]-[0028], fig. 1-4	1-15
Y	WO 2017/043581 A1 (RIKEN, INSTITUTE OF PHYSICAL AND CHEMICAL RESEARCH) 16.03.2017 (2017-03-16) paragraphs [0022]-[0108], fig. 1-19	3-14
A	JP 2013-174587 A (ARIBEX, INC.) 05.09.2013 (2013-09-05)	1-15
A	JP 2002-221503 A (MIRAI GROUP CO., LTD.) 09.08.2002 (2002-08-09)	1-15
A	US 3955087 A (G. D. SEARLE & CO.) 04.05.1976 (1976-05-04)	1-15

☐ 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 26 May 2020 (26.05.2020)	Date of mailing of the international search report 09 June 2020 (09.06.2020)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2020/008171

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2011/108709 A1	09 Sep. 2011	(Family: none)	
JP 11-160254 A	18 Jun. 1999	(Family: none)	
WO 2017/043581 A1	16 Mar. 2017	US 2018/0259462 A1 paragraphs [0061]-[0189], fig. 1-19	
JP 2013-174587 A	05 Sep. 2013	US 2013/0206985 A1 EP 2629083 A2	
JP 2002-221503 A	09 Aug. 2002	(Family: none)	
US 3955087 A	04 May 1976	DE 2539446 A1	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2020/008171

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G01N 23/204(2006.01)i
FI: G01N23/204

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））

G01N23/204

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	１９７１－２０２０年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２０年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２０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	WO 2011/108709 A1 (株式会社ＩＨＩ) 09.09.2011 (2011-09-09) [0013]-[0043],図1-2	1-15
Y	JP 11-160254 A (非破壊検査株式会社) 18.06.1999 (1999-06-18) [0012]-[0028], 図1-4	1-15
Y	WO 2017/043581 A1 (国立研究開発法人理化学研究所) 16.03.2017 (2017-03-16) [0022]-[0108],図1-19	3-14
A	JP 2013-174587 A (アリベックス インコーポレイテッド) 05.09.2013 (2013-09-05)	1-15
A	JP 2002-221503 A (株式会社みらい建設グループ) 09.08.2002 (2002-08-09)	1-15
A	US 3955087 A (G.D.SEARLE & CO.) 04.05.1976 (1976-05-04)	1-15

☐ 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
26.05.2020	09.06.2020

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）

佐藤　仁美 2W 4073

電話番号 03-3581-1101 内線 3258

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/JP2020/008171

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 2011/108709 A1	09.09.2011	（ファミリーなし）	
JP 11-160254 A	18.06.1999	（ファミリーなし）	
WO 2017/043581 A1	16.03.2017	US 2018/0259462 A1 Paragraphs 0061-0189, Figures 1-19	
JP 2013-174587 A	05.09.2013	US 2013/0206985 A1 EP 2629083 A2	
JP 2002-221503 A	09.08.2002	（ファミリーなし）	
US 3955087 A	04.05.1976	DE 2539446 A1	