

(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
2011 年 9 月 9 日(09.09.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/108709 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 23/202 (2006.01) G01N 23/05 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/055079
- (22) 国際出願日: 2011 年 3 月 4 日(04.03.2011)
- (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 2010-049527 2010 年 3 月 5 日(05.03.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社 I H I (IHI Corporation) [JP/JP]; 〒1358710 東京都江東区豊洲三丁目 1 番 1 号 Tokyo (JP).
- (71) 出願人 (日本についてのみ): 株式会社イスマック (IHI Structure Maintenance and Improvement Company) [JP/JP]; 〒1350016 東京都江東区東陽五丁目 30 番 13 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 野瀬 裕之 (NOSE Hiroyuki) [JP/JP]; 〒1358710 東京都江東区豊洲三丁目 1 番 1 号 株式会社 I H I 内 Tokyo (JP). 小林 徹也 (KOBAYASHI Tetsuya) [JP/JP]; 〒1358710 東京都江東区豊洲三丁目 1 番 1 号 株式会社 I H I 内 Tokyo (JP). 関本 清英 (SEKI-

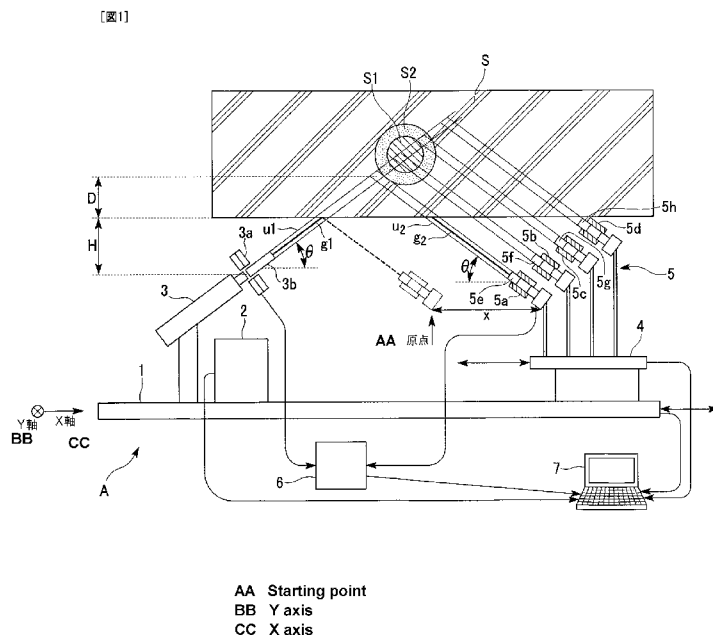
MOTO Kiyohide) [JP/JP]; 〒1358710 東京都江東区豊洲三丁目 1 番 1 号 株式会社 I H I 内 Tokyo (JP). 戸田 勝哉 (TODA Katsuya) [JP/JP]; 〒1358710 東京都江東区豊洲三丁目 1 番 1 号 株式会社 I H I 内 Tokyo (JP). 岩崎 初美 (IWASAKI Hatsumi) [JP/JP]; 〒1350016 東京都江東区東陽五丁目 30 番 13 号 株式会社イスマック内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 西 和哉, 外 (NISHI Kazuya et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目 9 番 2 号 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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア

[続葉有]

(54) Title: NONDESTRUCTIVE INSPECTION DEVICE AND METHOD

(54) 発明の名称: 非破壊検査装置及び方法



(57) Abstract: A nondestructive inspection device (A) is provided with: a neutron beam generator (2); a neutron irradiation unit (3) that irradiates an object under inspection in a scanning form with a neutron beam (u1) supplied by the neutron beam generator (2); a diffracted beam detector (5) that detects the neutron beam (u1) diffracted by the object under inspection according to the scanning position of the neutron beam irradiation unit (3); and data processing units (6, 7) that calculate the lattice constant of the material at the scanning position of the object under inspection on the basis of the detection signal from the diffracted beam detector (5).

(57) 要約: 本発明に係る非破壊検査装置 (A) は、中性子線発生部 (2) と、前記中性子線発生部 (2) から供給された中性子線 (u1) を検査対象物に対して走査状に照射する中性子線照射部 (3) と、前記中性子線 (u1) が検査対象物によって回折された回折中性子線 (u1) を前記中性子線照射部 (3) の走査位置に応じて検出する回折線検出部 (5) と、前記回折線検出部 (5) の検出信号に基づいて検査対

象物の走査位置における物質の格子定数を算出するデータ処理部 (6, 7) とを具備する。

WO 2011/108709 A1



(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, ML, MR,
NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：非破壊検査装置及び方法

技術分野

[0001] 本発明は、中性子線を用いた非破壊検査装置及び方法に関する。本願は、2010年3月5日に、日本に出願された特願2010-049527号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 従来の非破壊検査技術として、例えば、下記特許文献1に示すPC鋼材のグラウト欠陥を検査する装置（グラウト欠陥検査装置）が開示されている。このグラウト欠陥検査装置は、中性子線の散乱状態がコンクリートの構成物質（骨材や鉄等）とグラウト欠陥のある空洞部分とで異なることを利用し、中性子線がコンクリート構造物を透過して得られる熱中性子を検知することにより、グラウト欠陥を判別する。すなわち、このグラウト欠陥検査装置は、中性子線源と反対側で検出される熱中性子の線量に基づいてPC鋼材中のグラウト欠陥を判別する。

なお、中性子線を用いる非破壊検査技術として、特許文献1の技術の他に、特許文献2に示す3次元動体可視化計測装置及び方法がある。この3次元動体可視化計測装置及び方法も中性子の散乱現象を利用している。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：日本国特開2001-041908号公報
特許文献2：日本国特開2007-333663号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 前述したグラウト欠陥検査装置は、中性子線を用いた非破壊検査装置の一種である。このグラウト欠陥検査装置は、中性子線の散乱状態が、コンクリートの構成物質（骨材や鉄等）とグラウト欠陥のある空洞部分とで異なるこ

とを利用して検査を行う。したがって、コンクリートの構成物質である鉄筋の状態を非破壊検査することはできない。

[0005] 本発明は、上述した事情に鑑みてなされたものであり、コンクリート構造物の内部状態、特に、複数の構成物質中における鉄筋等の特定物質の状態を非破壊検査することを目的とするものである。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の非破壊検査装置に係る第1の様態は、中性子線発生部と、前記中性子線発生部から供給された中性子線を検査対象物に対して走査状に照射する照射部と、中性子線が検査対象物によって回折された回折中性子線を照射部の走査位置に応じて検出する検出部と、前記検出部の検出信号に基づいて検査対象物の走査位置における物質の格子定数を算出するデータ処理部とを有する。

[0007] 本発明の非破壊検査装置に係る第2の様態は、上記第1の様態に加えて、各走査位置における物質の格子定数に基づいて検査対象物の内部状態を可視化する可視化部をさらに備える。

[0008] 本発明の非破壊検査装置に係る第3の様態は、上記第1または第2の様態に加えて、照射部は、第1方向に移動自在なメインステージを用いて回折中性子線を走査し、検出部は、第1方向に移動自在かつメインステージ上に設置されたサブステージを用いて照射部の走査位置に応じた回折中性子線を検出する。

[0009] 本発明の非破壊検査装置に係る第4の様態は、上記第3の様態に加えて、メインステージは、第1方向に直交する第2方向にも移動自在である。

[0010] 本発明の非破壊検査装置に係る第5の様態は、上記第1～第4のいずれかの様態に加えて、中性子線の照射方向及び回折中性子線の検出方向をレーザー光で示す光ガイド部を備える。

[0011] 本発明の非破壊検査方法に係る第1の様態は、検査対象物に対して中性子線を走査状に照射する照射工程と、各走査位置で検査対象物から得られる回折中性子線を検出する検出工程と、検出結果に基づいて検査対象物の走査位

置における物質の格子定数を算出するデータ処理工程とを有する。

- [0012] 本発明の非破壊検査方法に係る第2の様態は、上記第1の様態に加えて、各走査位置における物質の格子定数に基づいて検査対象物の内部状態を可視化する可視化工程をさらに有する。

発明の効果

- [0013] 本発明によれば、検査対象物に対して中性子線を走査状に照射し、各走査位置で検査対象物から得られる回折中性子線を検出し、この検出結果に基づいて検査対象物の走査位置における物質の格子定数を算出する。従って、コンクリート構造物の内部状態、特に、複数の構成物質中における鉄筋等の特定物質の状態を非破壊検査することが可能である。

図面の簡単な説明

- [0014] [図1]本発明の一実施形態に係るコンクリート検査装置の原理構成を示すブロック図である。
- [図2]本発明の一実施形態に係るコンクリート検査装置における検査画像の模式図である。
- [図3]本発明の一実施形態に係るコンクリート検査装置の実態構成を示す正面図である。

発明を実施するための形態

- [0015] 以下、図面を参照して、本発明の一実施形態について説明する。
- 本実施形態に係るコンクリート検査装置Aは、図1に示すように、メインステージ1、中性子線発生部2、中性子線照射部3、サブステージ4、回折線検出部5、時刻検出部6及び制御演算部7によって構成されている。
- [0016] これら各構成要素のうち、メインステージ1及び中性子線照射部3は、本発明における照射部を構成し、メインステージ1、サブステージ4及び回折線検出部5は、本発明における検出部を構成し、また時刻検出部6及び制御演算部7は、本発明におけるデータ処理部を構成している。
- [0017] コンクリート検査装置Aは、コンクリート構造物Sを検査対象物とする非破壊検査装置である。より具体的には、コンクリート検査装置Aは、中性子

の回折現象を利用することにより、コンクリート構造物Sを構成する複数の物質（骨材、鉄筋及びコンクリート等）の中の特定物質、例えば鉄筋S1の状態を非破壊検査するものである。コンクリート構造物Sの例としては、コンクリート製の橋、ビル、タンク等がある。

[0018] メインステージ1は、x軸方向（左右方向）及びy軸（図面に垂直な方向）に移動自在であり、所定の基台（図示略）上に設けられている。メインステージ1上には、中性子線発生部2及び中性子線照射部3が設けられている。また、中性子線発生部2及び中性子線照射部3とある程度離間した位置に、サブステージ4が設けられている。

[0019] 中性子線発生部2は、例えば、イオン発生器で発生させた水素あるいはヘリウム等のイオンをターゲットに照射することによって、高速中性子を発生させる。また、中性子線発生部2は、この高速中性子をポリエチレンや軽水等の減速材を用いて、熱中性子あるいは熱外中性子をパルス状に発生させる。更に、中性子線発生部2は、上記パルス状の熱中性子あるいは熱外中性子を、中性子線u1（中性子パルス）として中性子線照射部3に出力する。中性子線u1（中性子パルス）は、X線に比べてコンクリートに対する透過性能が高く、例えば10cm程度の深さまで透過する。従って、中性子線u1（中性子パルス）は、コンクリート構造物の内部状態を検査することが可能な検査線である。一方、コンクリートの診断においては、鉄筋付近の腐食状況を評価することが重要である。鉄筋は表面から10cm程度の深さに位置するため、中性子線による非破壊検査を行うことが望ましい。

[0020] 中性子線照射部3は、メインステージ1上において中性子線発生部2の近傍に設けられている。また、中性子線照射部3は、中性子線発生部2から供給された中性子線u1を、コンクリート構造物Sの表面（平面）に対して所定の角度 θ でパルス状に照射する。中性子線照射部3には、パルス状に出射される中性子線u1の出射タイミングt1を検出する中性子検出器3aが備えられている。中性子検出器3aは、例えば、所定部材を中性子線u1が透過することによって発生するガンマ線（ γ 線）を捉えることによって、中性子線u1

の出射タイミング t_1 を検出する。また、中性子検出器 3 a は、出射タイミング t_1 を示す中性子線検出信号を時刻検出部 6 に出力する。

[0021] 周知のように中性子線は視認可能なものではない。したがって、検査作業者は、中性子線照射部 3 から中性子線 u_1 が出射されているか否か、及び中性子線 u_1 の照射方向を把握することが困難である。しかしながら、中性子線照射部 3 は、中性子線 u_1 の出射に同期すると共に出射方向を光軸とするレーザー光を、照射ガイド光 g_1 として出射する光照射ガイド部 3 b を備えている。

[0022] サブステージ 4 は、 x 軸方向（左右方向）に移動自在であり、メインステージ 1 上に設けられている。サブステージ 4 上には、回折線検出部 5 が設けられている。つまり、本コンクリート検査装置 A において、中性子線照射部 3 及び回折線検出部 5 は、共にメインステージ 1 上に設けられているので、基台に対して x 軸方向あるいは y 軸方向に移動可能である。さらに、回折線検出部 5 は、サブステージ 4 上に設けられているので、中性子線照射部 3 に対して x 軸方向（つまり、回折線検出部が中性子線照射部に対して離間あるいは接近する方向）に移動可能である。

[0023] 回折線検出部 5 は、図示するように、 x 軸方向に一定間隔で配列する複数（図 1 では一例として 4 個）の検出器 5 a ~ 5 d から構成されている。各検出器 5 a ~ 5 d は、中性子線 u_1 がコンクリート構造物 S の各部位で回折された回折中性子線 u_2 を検出する。回折中性子線 u_2 の検出方向は、中性子線照射部 3 と同様に、コンクリート構造物 S の表面（平面）に対して角度 θ の方向とする。

[0024] 各検出器 5 a ~ 5 d は、図 1 に示すように、中性子線の u_1 照射方向（ x 軸方向に対して角度 θ だけ傾いた方向）におけるコンクリート構造物 S の各部位で回折した回折中性子線 u_2 を検出する。つまり、各検出器 5 a ~ 5 d は、コンクリート構造物 S において、 x 軸方向及び深さ方向（ x 軸方向及び y 軸方向に直交する z 軸方向）に異なる部位で回折した回折中性子線 u_2 を検出する。また、各検出器 5 a ~ 5 d は、回折中性子線の検出タイミング t_2 を示す回折線検出信号を時刻検出部 6 に出力する。

[0025] 回折中性子線 u_2 も、中性子線 u_1 と同様に、視認可能なものではない。従って、検査作業者は、回折中性子線 u_2 の飛来方向（つまり、各検出器 5 a ～ 5 d の検出方向）を把握することが困難である。しかしながら、各検出器 5 a ～ 5 d は、回折中性子線 u_2 の飛来方向を光軸とするレーザ光を、検出ガイド光 g_2 として出射する光検出ガイド部 5 e ～ 5 h を備えている。従って、ガイド光 g_2 と中性子源側に備えられたレーザ装置 3 b からのガイド光 g_1 が合わさるときのステージ 4 の位置を原点として、中性子源と検出器との相対位置を決定できる。

[0026] 時刻検出部 6 は、上記中性子線検出信号が示す中性子線 u_1 の出射タイミング t_1 と、回折線検出信号が示す回折中性子線 u_2 の検出タイミング t_2 との時間差 ΔT を計測する。また、時刻検出部 6 は、時間差 ΔT を示す時間計測信号を制御演算部 7 に出力する。

[0027] 制御演算部 7 は、上記中性子線発生部 2、メインステージ 1、及びサブステージ 4 を制御する。その結果、制御演算部 7 は、中性子線照射部 3 及び回折線検出部 5 の位置を設定する。それと同時に、制御演算部 7 は、時間検出信号が示す時間差 ΔT （計測値）を下記演算式（1）に代入することにより、コンクリート構造物 S の各部位における物質の格子定数 d を計算する。なお、この演算式（1）では、出射タイミング t_1 を基準時刻（つまり $t_1 = 0$ ）とすることにより、時間差 ΔT を時刻 t （ $= t_2$ ）として表している。

[0028]

[数1]

$$t = \frac{H + D}{\sin \theta} / v = \frac{H + x \cdot \tan \theta}{\sin \theta} / v$$

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

$$\Leftrightarrow v = \frac{pc^2}{\sqrt{(pc)^2 + (m_0 c^2)^2}} \quad \dots (1)$$

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (\text{ドブロイの式})$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \quad (\text{ブラッグの式})$$

t : 中性子が検出器に入った時刻

v : 中性子の速度

p : 中性子の運動量

c : 真空での光速

λ : 中性子の波長

d : 試験体の格子定数

[0029] すなわち、時間 t は、中性子線 $u1$ 及び回折中性子線 $u2$ の速度 v 、コンクリート構造物 S の表面と中性子線照射部 3 との距離 H 、コンクリート構造物 S の表面から回折点までの深さ D 、及び中性子線 $u1$ の照射角 θ によって、演算式 (1) のように表される。また、中性子線 $u1$ 及び回折中性子線 $u2$ の運動量 p は、速度 v 、中性子の質量 m_0 、及び光速 c によって、演算式 (1) のように表される。また、運動量 p は、周知のドブロイの式によって、中性子

の波長 λ 及びプランク定数 h と関連付けられている。また、物体の格子定数 d は、ブラッグの式に基づいて、角度 θ と中性子の波長 λ から決定される。

[0030] また、制御演算部7は、コンクリート構造物Sの各部位の格子定数 d の計算処理に加えて、各部位の格子定数 d を計測データファイルとして記憶装置に保存する。また、制御演算部7は、計測データファイルに基づいて、コンクリート構造物Sの表面領域（中性子線 u_1 が照射される $x-y$ 平面上の2次元領域）の各深さ（ z 軸方向）について各部位の格子定数 d を可視化した検査画像を生成し、この検査画像をモニタに出力する。

[0031] 次に、本コンクリート検査装置Aを用いた時系列的な検査動作について詳しく説明する。

[0032] 本コンクリート検査装置Aを用いたコンクリート構造物Sの非破壊検査では、最初に制御演算部7からメインステージ1を制御することによって、中性子線照射部3をコンクリート構造物Sに対して所望の位置に位置決めする。すなわち、制御演算部7は、中性子線照射部3を、コンクリート構造物S上における所望の検査原点（ x_0, y_0 ）に中性子線 u_1 が照射されるように、 $x-y$ 平面内で位置決めする。なお、コンクリート構造物Sの表面と中性子線照射部3との距離 H は、メインステージ1をコンクリート構造物Sの表面と平行な関係とすることにより一定値となる。

[0033] また、回折線検出部5についてもコンクリート構造物Sに対して所望の位置（図示する原点）に位置決めする。この原点は、4個の検出器5a～5dのうち、 x 軸方向において中性子線照射部3に最も近い検出器5aがコンクリート構造物Sの表面から得られる回折中性子線 u_2 を検出する位置である。中性子線照射部3は、光照射ガイド部3bを備え、また回折線検出部5は、光検出ガイド部5e～5hを備えている。したがって、したコンクリート構造物Sに対する中性子線照射部3及び回折線検出部5の初期位置を設定することは極めて容易である。

[0034] 制御演算部7は、前述した中性子線照射部3及び回折線検出部5の初期位置設定が完了した後、中性子線照射部3の位置を、中性子線 u_1 の照射位置が

検査原点 (x_0, y_0) から検査終点 ($x_0 + W_m, y_0 + W_f$) まで変化するように、メインステージ 1 を制御することによって、 $x-y$ 平面内で 2 次元のかつ間欠的に走査 (移動) させる。

[0035] すなわち、制御演算部 7 は、メインステージ 1 を制御することによって、中性子線 u_1 の照射位置を、検査原点 (x_1, y_1) から x 軸方向に所定ピッチ (Δx) ずつ間欠的に順次移動させる。続いて、制御演算部 7 は、中性子線 u_1 の照射位置を、検査原点 (x_1, y_1) から所定の一定幅 W_m に相当する位置 ($x_1 + W_m, y_1$) まで移動させ、検査原点 (x_1, y_1) に復帰させる。続いて、制御演算部 7 は、中性子線 u_1 の照射位置を、 y 軸方向に所定ピッチ (Δy) だけ変位した位置 ($x_1, y_1 + \Delta y$) に移動させる。

[0036] 次に、制御演算部 7 は、上述したように、中性子線 u_1 の照射位置を、所定の一定幅 W_m に相当する位置 ($x_1 + W_m, y_1 + \Delta y$) まで移動させ、位置 ($x_1, y_1 + \Delta y$) に復帰させる。さらに、制御演算部 7 は、上述したと同様に、中性子線 u_1 の照射位置を、 y 軸方向に所定の距離 W_f まで移動させることにより、最終的に検査終点 ($x_1 + W_m, y_1 + W_f$) まで移動させる。

[0037] また、制御演算部 7 は、中性子線照射部 3 の各停止位置、つまり変数 i ($i = 1, 2, 3, \dots$) によって特定される中性子線 u_1 の各照射位置 (x_i, y_i) において、サブステージ 4 を制御する。その結果、制御演算部 7 は、回折線検出部 5 の位置を x 軸方向に間欠的に順次移動させる。すなわち、回折線検出部 5 の移動は、 x 軸方向における回折線検出部 5 の中性子線照射部 3 に対する距離を変更するものであり、図 1 に示すように、コンクリート構造物 S において x 軸方向及び深さ方向 (z 軸方向) に異なる部位から得られる回折中性子線 u_2 を検出することに相当する。

[0038] 例えば、図 1 に示す回折線検出部 5 の原点は、コンクリート構造物 S の表面から得られる回折中性子線 u_2 を検出する位置である。回折線検出部 5 は、中性子線照射部 3 に対する距離が大きくなるに従って、コンクリート構造物 S の表面からより深い部位の回折中性子線 u_2 を検出することになる。中性子

線照射部 3 は、上述した中性子線 u_1 の各照射位置 (x_i, y_i) において、中性子線検出信号を時刻検出部 6 に出力する。また、回折線検出部 5 は、中性子線 u_1 の各照射位置 (x_i, y_i) において、 x 軸方向及び深さ方向 (z 軸方向) の異なる部位から得られる回折中性子線 u_2 を順次検出することにより、回折線検出信号を時刻検出部 6 に出力する。

[0039] この結果、時刻検出部 6 は、中性子線 u_1 の各照射位置 (x_i, y_i) 毎に x 軸方向及び深さ方向 (z 軸方向) の異なる部位における出射タイミング t_1 と検出タイミング t_2 との時間差 ΔT を計測する。また、時刻検出部 6 は、時間差 ΔT を示す時間計測信号を、制御演算部 7 に出力する。そして、制御演算部 7 は、時間差 ΔT に基づいて、中性子線 u_1 の各照射位置 (x_i, y_i) 毎に x 軸方向及び深さ方向 (z 軸方向) の異なる部位における物質の格子定数 d をそれぞれ算出する。すなわち、制御演算部 7 が演算結果として出力する複数の格子定数 d は、検査原点 (x_0, y_0) と検査終点 $(x_1 + W_m, y_1 + W_f)$ とを結ぶ線分を対角線とする矩形領域 (表面領域) を示すものである。また、複数の格子定数 d は、コンクリート構造物 S の表面から所定の深さに亘る 3 次元領域 (検査領域) を構成する物質の結晶状態を示すものである。

[0040] 例えば、図 1 に示すように、検査領域内に鉄筋 s_1 が存在する場合、鉄筋 s_1 と周囲のセメントや骨材とは結晶構造が異なるので、これらの格子定数 d も当然に異なる。また、鉄筋 s_1 が腐食してサビ s_2 が鉄筋 s_1 の周囲に発生している場合、サビ s_2 は、酸化物なので、鉄筋 s_1 とは異なる結晶構造である。従って、サビ s_2 の格子定数 d も、当然に鉄筋 s_1 とは異なる。

[0041] 図 2 は、制御演算部 7 が上記各部位の格子定数 d の計測データファイルに基づいて作成した検査画像の模式図である。この検査画像では、コンクリート構造物 S におけるセメントや骨材に相当する部分、鉄筋 s_1 に相当する部分及びサビ s_2 に相当する部分が異なる色や模様で表示されている。

また、中性子線の回折スペクトルを測定することによって、鉄筋 s_1 とサビ (s_2) の違いを確認できる。回折スペクトルにおいては、鉄筋 s_1 、周囲のセメント、骨材、およびサビ s_2 はそれぞれ異なる格子定数 d を有するために

、格子定数 d に基づくピーク強度も当然異なる。本発明者によれば、コンクリート構造物 S に照射した中性子線の回折スペクトルにおいて、サビ s_2 特有のピーク強度を確認できた。

上記回折スペクトル測定においては、コンクリート構造物 S 内の測定領域の面積に応じて、回折スペクトルのバックグラウンドレベルが異なることが懸念される。しかしながら、本発明者は、中性子線の回折スペクトルにおける検査領域とサビ s_2 のピーク強度の関係性を確認した。その結果、検査領域の面積が 1 mm^2 以上であれば、サビ s_2 のピーク強度をより確実に確認できることがわかった。したがって、検査領域が 1 mm^2 以上あれば、より正確に非破壊検査することができる。

[0042] 本実施形態によれば、中性子線照射部 3 からコンクリート構造物 S に照射される中性子線 u_1 の出射タイミング t_1 と、中性子線 u_1 がコンクリート構造物 S で回折されて回折線検出部 5 で検出される回折中性子線 u_2 の検出タイミング t_2 との時間差 ΔT に基づいて、コンクリート構造物 S を構成する物質の格子定数 d を計測する。従って、コンクリート構造物 S を構成する複数の物質の中の特定物質、例えば、鉄筋 s_1 の位置や状態（サビ s_2 の発生等）を、容易に非破壊検査することができる。

[0043] また、メインステージ 1 上に、中性子線照射部 3 とサブステージ 4 を設け、サブステージ 4 上に、回折線検出部 5 を設け、中性子線 u_1 の各照射位置（ x_i, y_i ）を設定すると共に、 x 軸方向及び深さ方向（ z 軸方向）に異なる部位を選択する。したがって、例えば、中性子線照射部 3 と回折線検出部 5 とを完全に独立した個別のステージ上に設ける場合に比較して、ステージの制御が容易であり、またステージの位置決め精度も高い。

[0044] 続いて、図 3 を参照して、実用を考慮したコンクリート検査装置 B の実態構成（実用上の構成）について説明する。なお、図 3 では、図 1 に示したコンクリート検査装置 A の構成要素と同一機能を有するものには同一符合を付している。

[0045] 本コンクリート検査装置 B は、図 3 に示すように、コンクリート構造物 S

の一種である高架橋Rの床版r1の検査を特に考慮したものである。床版r1は、橋脚r2によって支承されており、地上から数メートルの高さにある。例えば道路用の高架橋R（道路橋）では、床版r1の上に施工される道路に凍結防止剤や融雪剤等の散布材を撒くことが行われている。したがって、散布材の影響による床版r1の劣化、例えば鉄筋r3の腐食（サビの発生）が懸念される。

[0046] 高架橋Rの非破壊検査に対応するために、本コンクリート検査装置Bは、車両搭載型に構成されている。すなわち、本コンクリート検査装置Bは、運転者によって操縦される自走車両C1と、自走車両C1に牽引ロッドC2によって連結される牽引車両C3（バッテリー駆動自走台車）とを基台（移動自在な基台）とするものである。自走車両C1上には、前後方向に延在するレールC4が設けられ、レールC4上には中性子線発生部2及び中性子線照射部3が設けられている。また、中性子線発生部2及び中性子線照射部3は、油圧アクチュエータC5によってレールC4上に支持されており、図示するように水平面に対して傾斜（起伏）可能に設けられている。油圧アクチュエータC5は、自走車両C1上に別途設けられた油圧発生装置C6によって駆動される。

[0047] 一方、牽引車両C3上には、前後方向に延在するレールC7が設けられ、レールC7上には回折線検出部5が設けられている。また、回折線検出部5は、電動アクチュエータC8によってレールC7上に支持されており、図示するように水平面に対して傾斜（起伏）可能に設けられている。さらに、牽引車両C3には、回折線検出部5を保護するために、折畳み式の保護カバーC9が設けられている。

[0048] また、牽引ロッドC2は、長さ調節機能を備えたものである。したがって、本コンクリート検査装置Bは、自走車両C1と牽引車両C3との距離を調整できる。すなわち、中性子線照射部3と回折線検出部5との距離を調節することが可能である。また、自走車両C1には、自走車両C1と牽引車両C3との距離を計測するためのレーザ距離計（図視略）が備えられている。

[0049] 前述したように構成されたコンクリート検査装置Bは、検査時には

、油圧アクチュエータ C5 が油圧発生装置 C6 によって駆動される。その結果、中性子線照射部 3 の起伏角（上述したコンクリート検査装置 A における角度 θ に相当する）が、床版 r1 の下面に対して最適な状態に設定される。それと同時に、電動アクチュエータ C8 が作動することによって、回折線検出部 5 の起伏角及び自走車両 C1 と牽引車両 C3 との間の距離が、床版 r1 の下面に対して最適な状態に設定される。一方、検査前後の移動時には、中性子線照射部 3 の起伏角が油圧アクチュエータ C5 によって定常状態（水平状態）に戻される。それと同時に、回折線検出部 5 の起伏角が電動アクチュエータ C8 によって定常状態（水平状態）に戻される。

[0050] 本コンクリート検査装置 B は、車両搭載型に構成されているので、床版 r1 の下に容易に移動させることが可能である。したがって、床版 r1 の下側の各箇所について非破壊検査を容易に行うことができる。また、コンクリート検査装置 B は、中性子線照射部 3 の起伏と回折線検出部 5 の起伏を可変することができるので、床版 r1 が異なる高架橋 R に対しても容易に対応することができる。

[0051] なお、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、例えば以下のような変形例が考えられる。

（１）上記実施形態ではコンクリート構造物を検査対象物としたが、本発明はこれに限定されない。検査対象物は、中性子を回折させる物であれば、いかなる物であっても良い。

[0052] （２）上記コンクリート検査装置 A ではメインステージ 1 上にサブステージ 4 を設ける構成を採用したが、本発明はこれに限定されない。コンクリート検査装置 A において、中性子線照射部 3 と回折線検出部 5 とを完全に独立したステージ上に設置し、中性子線照射部 3 と回折線検出部 5 とを個別に移動させることにより、中性子線の走査と回折線の検出位置を変更しても良い。

[0053] （３）上記実施形態では中性子線照射部 3 に光照射ガイド部 3 b を設け、また回折線検出部 5 に光検出ガイド部 5 e ～ 5 h を設けたが、光照射ガイド部 3 b 及び光検出ガイド部 5 e ～ 5 h については、コスト等の関係で必要に応

じて省略しても良い。

- [0054] (4) 上記実施形態ではメインステージ1をx軸方向に加えy軸方向にも移動自在に構成したが、x軸方向のみに移動するようにしても良い。この場合、中性子線u1の照射位置がx軸方向のみに移動することになるが、コンクリート構造物Sについて極めて簡易的な検査を行う場合等においては十分な非破壊検査となる。

産業上の利用可能性

- [0055] 本発明によれば、検査対象物に対して中性子線を走査状に照射し、各走査位置で検査対象物から得られる回折中性子線を検出し、この検出結果に基づいて検査対象物の走査位置における物質の格子定数を算出する。その結果、コンクリート構造物の内部状態、特に、複数の構成物質中における鉄筋等の特定物質の状態を非破壊検査することが可能である。

符号の説明

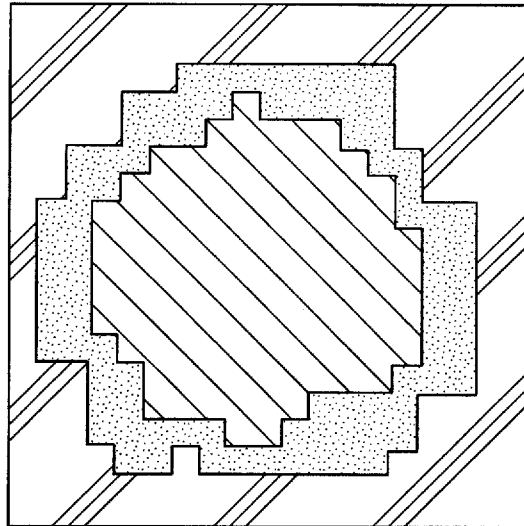
- [0056] A…コンクリート検査装置（非破壊検査装置）、1…メインステージ（照射部、検出部）、2…中性子線発生部、3…中性子線照射部（照射部）、3a…中性子検出器、3b…光照射ガイド部、4…サブステージ（検出部）、5…回折線検出部（検出部）、5a～5d…検出器、5e～5h…光検出ガイド部、6…時刻検出部（データ処理部）、7…制御演算部（データ処理部）、S…コンクリート構造物、u1…中性子線、g1…照射ガイド光、u2…回折中性子線、g2…検出ガイド光

請求の範囲

- [請求項1] 中性子線発生部と、
 前記中性子線発生部から供給された中性子線を検査対象物に対して走査状に照射する照射部と、
 中性子線が検査対象物によって回折された回折中性子線を照射部の走査位置に応じて検出する検出部と、
 前記検出部の検出信号に基づいて、検査対象物の走査位置における物質の格子定数を算出するデータ処理部と
 を具備する非破壊検査装置。
- [請求項2] 各走査位置における物質の格子定数に基づいて、検査対象物の内部状態を可視化する可視化部をさらに備える請求項1記載の非破壊検査装置。
- [請求項3] 前記照射部は、第1方向に移動自在なメインステージを用いて回折中性子線を走査し、
 前記検出部は、第1方向に移動自在かつメインステージ上に設置されたサブステージを用いて、前記照射部の走査位置に応じた回折中性子線を検出する請求項1または2記載の非破壊検査装置。
- [請求項4] メインステージは、第1方向に直交する第2方向にも移動自在に設置される請求項3記載の非破壊検査装置。
- [請求項5] 中性子線の照射方向及び回折中性子線の検出方向をレーザ光で示す光ガイド部を備える請求項1～4のいずれか1項に記載の非破壊検査装置。
- [請求項6] 検査対象物に対して中性子線を走査状に照射する照射工程と、
 各走査位置で検査対象物から得られる回折中性子線を検出する検出工程と、
 検出結果に基づいて検査対象物の走査位置における物質の格子定数を算出するデータ処理工程と
 を有する非破壊検査方法。

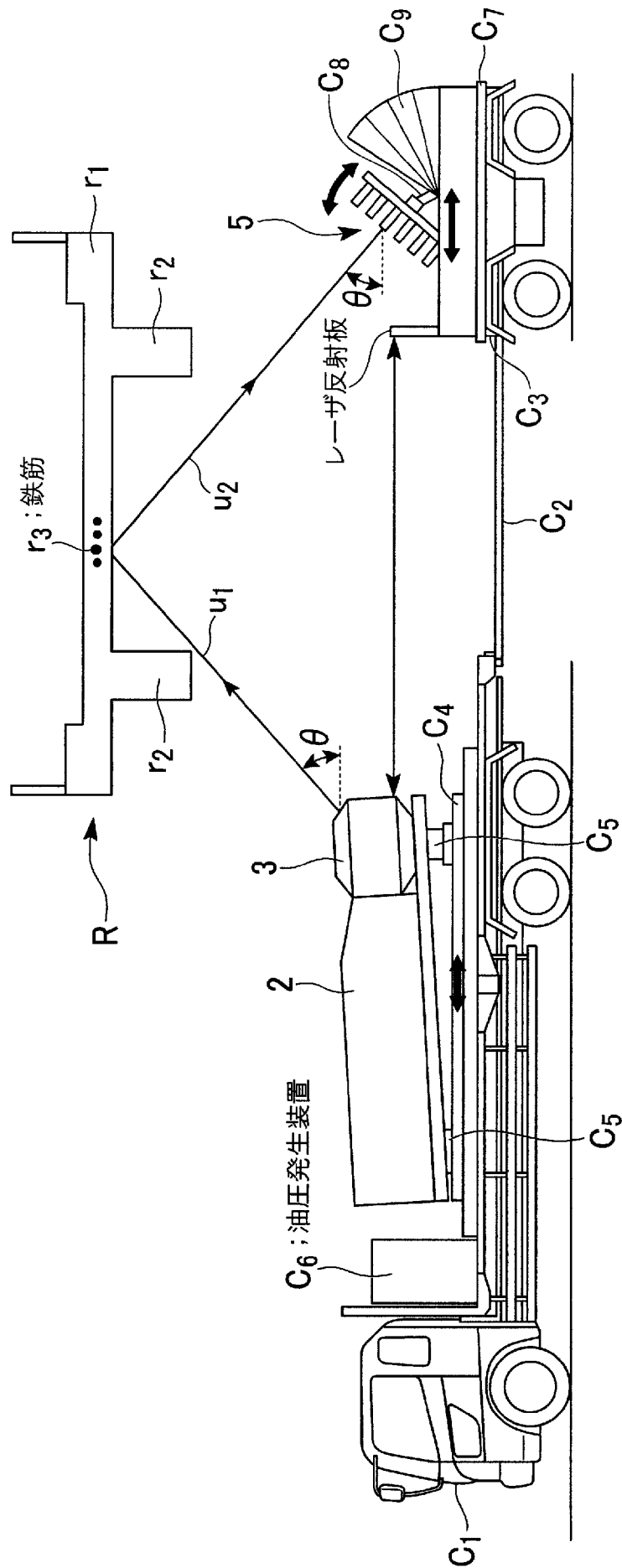
[請求項7] 各走査位置における物質の格子定数に基づいて、検査対象物の内部状態を可視化する可視化工程をさらに有する請求項6記載の非破壊検査方法。

[図2]



-  鉄筋
-  コンクリート
-  サビ

[図3]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/055079

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N23/202(2006.01) i, G01N23/05(2006.01) i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N23/00-G01N23/227, G01B15/00-G01B15/08, G01L1/00-G01L1/26

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

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2011

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011

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

JSTPlus (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X <u>Y</u>	JP 2009-85767 A (Niigata University), 23 April 2009 (23.04.2009), paragraphs [0030], [0039], [0053]; fig. 1 (Family: none)	1, 6 <u>2-5, 7</u>
Y	JP 2006-292551 A (Independent Administrative Institution National Institute for Materials Science), 26 October 2006 (26.10.2006), fig. 1 (Family: none)	2-5, 7

☒ 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 April, 2011 (26.04.11)Date of mailing of the international search report
31 May, 2011 (31.05.11)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/055079

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2005-83999 A (Independent Administrative Institution National Institute for Materials Science), 31 March 2005 (31.03.2005), paragraph [0040] & US 2007/0041492 A1 & EP 1672361 A1 & WO 2005/026708 A1	2-5, 7
Y	JP 2002-221503 A (Kabushiki Kaisha Mirai Kensetsu Group), 09 August 2002 (09.08.2002), paragraph [0030] (Family: none)	3-5
Y	JP 2001-194324 A (Non-Destructive Inspection Co., Ltd.), 19 July 2001 (19.07.2001), paragraph [0018]; fig. 1 (Family: none)	3-5
Y	JP 2007-510922 A (Koninklijke Philips Electronics N.V.), 26 April 2007 (26.04.2007), claim 9 & US 2007/0133741 A1 & EP 1685390 A & WO 2005/045407 A1	5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/055079

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The invention in claim 1 does not have a special technical feature in the light of the contents disclosed in the document 1 (JP 2009-85767 A (Niigata University), 23 April 2009 (23.04.2009), [0030], [0039], [0053], fig. 1). As a result of judging special technical features with respect to claims dependent on claim 1, this international application involves two or more inventions which include the inventions in claim 2, and claims 3 - 5 directly or indirectly referring to claim 2 as main invention.

(continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/055079

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet (2)

Meanwhile, claim 1 having no special technical feature, claim 6 that is different from the invention in claim 1 in only the categorical expressions, and claim 7 that is different from the invention in claim 2 in only the categorical expressions are classified into main invention.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01N23/202(2006.01)i, G01N23/05(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01N23/00-G01N23/227;
G01B15/00-G01B15/08,
G01L 1/00-G01L 1/26

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	1971-2011年
日本国実用新案登録公報	1996-2011年
日本国登録実用新案公報	1994-2011年

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

JSTPlus(JDreamII)

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
X Y	JP 2009-85767 A (国立大学法人新潟大学) 2009.04.23, 【0030】, 【0039】, 【0053】, 図1 (ファミリーなし)	1,6 2-5,7
Y	JP 2006-292551 A (独立大学法人物質・材料研究機構) 2006.10.26, 図1 (ファミリーなし)	2-5,7
Y	JP 2005-83999 A (独立大学法人物質・材料研究機構) 2005.03.31, 【0040】 & US 2007/0041492 A1 & EP 1672361 A1 & WO 2005/026708 A1	2-5,7

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

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

26.04.2011

国際調査報告の発送日

31.05.2011

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

比嘉 翔一

2W

4005

電話番号 03-3581-1101 内線 3292

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2002-221503 A (株式会社みらい建設グループ) 2002.08.09, 【0030】 (ファミリーなし)	3-5
Y	JP 2001-194324 A (非破壊検査株式会社) 2001.07.19, 【0018】, 図1 (ファミリーなし)	3-5
Y	JP 2007-510922 A (コーニンクレッカ フィリップス エレクトロニクス エヌ ヴィ) 2007.04.26, 請求項9 & US 2007/0133741 A1 & EP 1685390 A & WO 2005/045407 A1	5

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるときの国際調査機関は認めた。

請求項1に係る発明は、文献1（JP 2009-85767 A（国立大学法人新潟大学）2009.04.23, 【0030】、【0039】、【0053】、図1）に開示された内容に照らして、特別な技術的特徴を有しない。そこで請求項1の従属請求項について特別な技術的特徴を判断した結果、この国際出願には、請求項2、及び、請求項2を直接的又は間接的に引用する請求項3-5に係る発明を主発明とする二以上の発明が含まれる。なお、特別な技術的特徴を有しない請求項1、及び、請求項1に係る発明とカテゴリー表現上の差異があるだけの請求項6、請求項2に係る発明とカテゴリー表現上の差異があるだけの請求項7に係る発明は主発明に区分する。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。