

(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
2019年4月4日(04.04.2019)



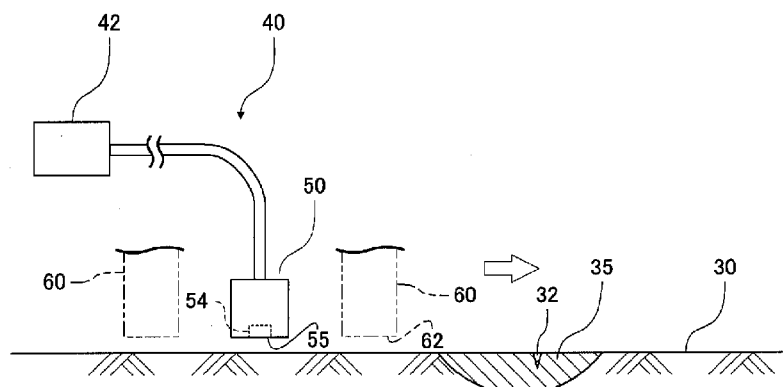
(10) 国際公開番号

WO 2019/064686 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 27/90 (2006.01) *G21F 9/36* (2006.01)
G21F 5/12 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/019592
- (22) 国際出願日: 2018年5月22日(22.05.2018)
- (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 2017-185533 2017年9月27日(27.09.2017) JP
- (71) 出願人: 日立造船株式会社(**HITACHI ZOSEN CORPORATION**) [JP/JP]; 〒5598559 大阪府大阪市住之江区南港北1丁目7番8号 Osaka (JP).
- (71) 出願人 (*US* についてのみ): 日本電測機株式会社(**NIHON DENSOKUKI CO., LTD.**) [JP/JP]; 〒8070803 福岡県北九州市八幡西区千代ヶ崎1丁目13-20 Fukuoka (JP).
- (72) 発明者: 荒井 造成(**ARAI Hiroaki**); 〒5598559 大阪府大阪市住之江区南港北1丁目7番8号 日立造船株式会社内 Osaka (JP). 秦 彰宏(**SHIN Akihiro**); 〒5598559 大阪府大阪市住之江区南港北1丁目7番8号 日立造船株式会社内 Osaka (JP). 山田 隆明(**YAMADA Takaaki**); 〒8070803 福岡県北九州市八幡西区千代ヶ崎1丁目13-20 日本電測機株式会社内 Fukuoka (JP). 東 弘(**AZUMA Hiroshi**); 〒8070803 福岡県北九州市八幡西区千代ヶ崎1丁目13-20 日本電測機株式会社内 Fukuoka (JP).

(54) **Title:** EDDY CURRENT DETECTION DEVICE AND EDDY CURRENT DETECTION METHOD

(54) 発明の名称: 渦電流探傷装置および渦電流探傷方法



(57) **Abstract:** Provided is an eddy current detection device which adequately removes noise from a detection signal. A magnetic field is applied to an article to be inspected, by means of a magnetic field-forming magnet 60. The magnetic flux density of the magnetic field generated by the magnetic field-forming magnet 60 is set to a value having a predetermined range, according to the distance between the magnetic field-forming magnet 60 and detection surface 55, and the thickness of the object 30 being inspected.

(57) 要約: 本発明は検出信号からノイズが十分に除去される渦電流探傷装置を提供する。磁界形成用磁石60によって検査対象物30に磁界が印加される。その磁界形成用磁石60によって生じる磁界の磁束密度は、磁界形成用磁石60と検出面55との距離および検査対象物30の厚みに応じた所定範囲の値に設定される。

[続葉有]

(74) 代理人: 特許業務法人森本国際特許事務所 (**MORIMOTO INT'L PATENT OFFICE**);
〒5500004 大阪府大阪市西区靱本町 1
丁目 1 1 番 7 号 信濃橋三井ビルディング3階 Osaka (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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

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： 渦電流探傷装置および渦電流探傷方法

技術分野

[0001] 本発明は、渦電流探傷装置に関するものであり、特に磁気飽和法を用いた渦電流探傷装置に関するものである。また本発明は渦電流探傷方法にも関するものである。

背景技術

[0002] 従来、導電性材料からなる構造物（被検体、検査対象物）の表面に傷（欠陥）が生じているかどうかを検査するための探傷装置として、特許文献１に記載されているような渦電流探傷装置が用いられることがある。この装置は、検査対象物に渦電流を発生させ、その渦電流の強度および渦電流の流れの形の変化を検出することで、検査対象物に傷が生じているかどうかを調べることができる。またこの装置は、検査対象物に傷がある場合にはその傷の位置、形状、深さを調べることもできる。

[0003] ところで、非磁性体の物体に、たたく、まげる、加熱するといった仕事に加えられた場合、加えられた仕事の仕事量が大きいと、その物体が非磁性体から磁性体に変化することが知られている。特に溶接が施された場合は、溶接が施された個所が高温となり加えられた仕事の仕事量が大きいため、その影響を受ける部位が磁性体に変化する。このため、検査対象物が、非磁性体の材料をベースとし、そのうちの一部に溶接が施されたものである場合、検査対象物のうち溶接が施された個所付近の部分は不規則な磁界を有する磁性体となっている。

[0004] ここで、発明者は、このような、不規則な磁界を有する磁性体が非磁性体の中に存在する場合に、その磁性体の領域に傷があるかどうかの検査を行うことについて考察した。上述した従来の探傷装置を用いて検査が行われる場合、検査対象の領域は磁界が乱れており、検査対象物に発生する渦電流にノイズが生じるので、傷を検出することが非常に困難である。

[0005] このような状況に対応するための1つの手法として、磁気飽和を利用する手法（磁気飽和法）がある。この手法では、外部から強力な磁力が検査領域に印加され、検査領域に強力な均一磁界が形成される。すると、この強力な均一磁界により、検査領域に生じている不規則な磁界が打ち消される。探傷装置の励磁コイルにより検査対象物の表面に発生させられる渦電流は、この均一磁界中を移動することになるため、検査対象物の表面に傷がある場合、その傷が原因で渦電流に変化が生じる。したがって、この手法によれば傷の検出が可能となる。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特許第4885068号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、検査対象物に含まれている可能性がある様々な磁性体の全種類を完全に磁気飽和させるには強力な磁界が必要である。単純に強い磁力を持つ磁石で強力な磁界が形成される場合、センサ本体に比べて格段に大きなサイズの磁石が必要となったり、特殊な磁石が必要であったりする。また、強い磁力を持つ磁石によって磁性化された部位には強力な磁力が働くこととなるので、傷を検出するために検査装置を移動させることが困難となる。その一方で、検査対象物に印加される磁界が弱ければ、ノイズが十分に除去されない。

[0008] そこで本発明は、磁気飽和法を用いた渦電流探傷装置および渦電流探傷方法において、さほど強力な磁界が形成されなくとも、適切な磁界が形成されることで、十分にノイズが除去される渦電流探傷装置および渦電流探傷方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明に係る渦電流探傷装置は、検査対象物に渦電流を発生させ、前記渦

電流の変化を検出することにより前記検査対象物の表面の状態を検査する渦電流探傷装置において、前記渦電流の変化を検出するための検出部と、前記検出部の外側に配置され、前記検査対象物に磁界を印加する磁界形成用磁石とを備え、前記磁界形成用磁石のうち前記検査対象物へと向く磁石先端部の中央と、前記検出面の中央との距離を x （単位 mm ）、前記検査対象物の厚みを t （単位 mm ）とすると、前記磁界形成用磁石により発生する磁界の磁束密度 B （単位 mT ）が、前記磁石先端部の中央に対応する検査対象物の表面において下記の数 1 を満たすことを特徴とする。

[0010] [数1]

$$400 \times \frac{(xt)^2}{15^4} \leq B \leq 600 \times \frac{(xt)^2}{13^4}$$

[0011] また前記磁界形成用磁石により発生する磁界の磁束密度 B （単位 mT ）は、前記磁石先端部の中央に対応する検査対象物の表面において下記の数 2 を満たすことが好ましい。

[0012] [数2]

$$400 \times \frac{(xt)^2}{14^4} \leq B \leq 600 \times \frac{(xt)^2}{14^4}$$

[0013] また本発明に係る渦電流探傷装置の前記検査対象物は、使用済み核燃料が封入される金属製のキャニスタであってもよく、この場合、渦電流探傷装置は、前記キャニスタの外表面に渦電流を発生させて、この渦電流の変化を検出することにより前記キャニスタの外表面における傷の有無を検査するとよい。

[0014] また本発明に係る渦電流探傷装置の前記検査対象物は、オーステナイト系

ステンレス鋼を材料として製造されたものであるとよい。

[0015] また本発明に係る渦電流探傷装置の前記検査対象物が、オーステナイト系ステンレス鋼同士の溶接により形成された溶接部を有していてもよく、この場合、渦電流探傷装置は、前記溶接部における傷の有無を検査するとよい。

[0016] また、本発明に係る渦電流探傷方法は、渦電流探傷装置によって検査対象物に渦電流を発生させ、前記渦電流を測定することにより前記検査対象物の表面における傷の有無を検査する渦電流探傷方法において、前記渦電流探傷装置が備える磁界形成用磁石によって前記検査対象物に磁界を印加しながら、前記渦電流探傷装置によって前記検査対象物に前記渦電流を発生させ、前記渦電流から生じる磁束を前記渦電流探傷装置が備える検出部で受けることにより前記検査対象物の表面における傷の有無を検査し、磁界形成用磁石によって前記検査対象物に印加される磁界の磁束密度 B （単位 mT ）は、前記磁界形成用磁石のうち前記検査対象物へと向く磁石先端部の中央に対応する検査対象物の表面において下記の数3を満たしており、

[0017] [数3]

$$400 \times \frac{(xt)^2}{15^4} \leq B \leq 600 \times \frac{(xt)^2}{13^4}$$

[0018] ここで、 x （単位 mm ）は前記磁石先端部の中央と、前記検出面の中央との距離、 t （単位 mm ）は前記検査対象物の厚みであることを特徴とする。

発明の効果

[0019] 本発明に係る渦電流探傷装置および渦電流探傷方法によれば、さほど強力な磁界が形成されなくとも、適切な磁界が形成されることで、探傷の際に十分にノイズが除去される渦電流探傷装置および渦電流探傷方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]本発明の実施形態の一例において渦電流探傷装置による検査の対象とな

るキャニスタを示す図。

[図2]過電流探傷装置を用いた探傷の様子を示す概略図。

[図3]検査プローブの構造の一例を模式的に示す図。

[図4]ノイズが含まれる検出信号とノイズが除去された検出信号を示す図。

[図5]磁界形成用磁石、検査面、検査対象物の位置関係を示す図。

[図6]検出信号にノイズが含まれている場合を示すグラフ。

[図7]検出信号のノイズが低減された場合を示すグラフ。

[図8]検出信号からノイズが十分に除去された場合を示すグラフ。

発明を実施するための形態

[0021] 図1は、本発明の実施形態の一例において渦電流探傷装置によって傷の検査（探傷）が行われる対象（検査対象物）となるキャニスタ20を示す。このキャニスタ20は金属製の筒型容器であり、その内部には使用済み核燃料が封入される。図1に示されているように、キャニスタ20はコンクリート製の大型容器（コンクリートキャスク10）内に入れられた状態で、都市部から離れた地域、典型的には沿岸部に保管される。

[0022] コンクリートキャスク10の下方には径方向に貫通する空気導入路14が設けられており、上方には径方向に貫通する空気排出路15が設けられている。キャニスタ20はその内部に封入された使用済み核燃料の崩壊熱によって加熱される。その一方、外部空気が空気導入路14から取り入れられ、空気排出路15から排出される過程で、外部空気がキャニスタ20の側面に触れることにより、キャニスタ20は冷却される。

[0023] ここで、コンクリートキャスク10が沿岸部で保管されている場合、沿岸部の空気には海塩が含まれているため、外部空気に触れるキャニスタ20の表面には塩化物によって錆や腐食が生じるおそれがある。そして、錆や腐食の生じた箇所に引張応力が加わっていると、その箇所に応力腐食割れ（SCC : Stress Corrosion Cracking）が生じることがある。そこで、キャニスタ20は定期的にコンクリートキャスク10から抜き出され、その表面にSCCが生じていないかどうかの検査（探傷）が行われる。

[0024] キャニスタ 20 は図 1 に示されているように、底を有する円筒形状の本体と、その本体上部の開口を閉ざす蓋 22 とで構成されている。キャニスタ 20 の本体と蓋 22 とは、溶接によって固着されており、図 1 に示されているように、その溶接の跡が蓋溶接部 26 として残る。またキャニスタ 20 の本体側面は、長方形の金属板が円筒状に湾曲され、その金属板の両端同士が溶接されることで形成される。この溶接の跡も、図 1 に示されているように側面溶接部 24 として残る。こうした側面溶接部 24 や蓋溶接部 26 には引張応力が加わり易いため、これらの箇所 SCC が発生する可能性が高い。そのため、特にこれら側面溶接部 24 や蓋溶接部 26 において探傷を行うことが重要である。

[0025] 図 2 に、渦電流探傷装置 40 を用いた探傷の様子を概略的に示す。渦電流探傷装置 40 は検出プローブ 50 を備えている。この検出プローブ 50 から交番磁界が発生する。交番磁界が検査対象物 30（ここではキャニスタ 20 の側壁、蓋、底面など）の表面に接近すると、検査対象物 30 の外表面を構成する金属（キャニスタ 20 の場合は一般的にオーステナイト系ステンレス鋼）に渦電流 34 が発生する。この渦電流 34 が発生させる磁束は検出プローブ 50 によって検出され、検出された磁界の強さや波形を基にして検査対象物 30 表面の状態が判定される。例えば図 2 に示されるように検査対象物 30 表面に傷 32 がある場合、傷 32 の領域は電気抵抗が大きいため、渦電流 34 は傷 32 を避けるようにして流れる。そのため渦電流 34 の波形は図 2 に示されるように傷 32 の周囲で歪んだ形状となる。したがって、渦電流探傷装置 40 は渦電流 34 の波形を解析して、検査対象物 30 表面のうちのどの位置で波形が歪むかを調べることにより、検査対象物 30 表面のどの位置に傷 32 が存在するのかを検査することができる。

[0026] 図 3 は、渦電流探傷装置 40 の構造の一例を模式的に示す。渦電流探傷装置 40 は、検出プローブ 50 と制御器 42 を備えている。検出プローブ 50 は検査対象物 30 表面に発生する渦電流の変化を検出するための検出部 54 を有する。また制御器 42 は、検出プローブ 50 から受信した検出信号を処

理する機能を備えている。

[0027] ここでは、検出部54の下端面は検査対象物30の表面と向かい合うように配置されており、この下端面が、検査対象物30に発生する渦電流から生じる磁束を受ける検査プローブ50の検出面55となる。

[0028] ここで、検査対象物30の表面がどのように交番磁界に対して反応するかは、検査対象物30の材料自体が持つ性質によって異なる。検査範囲内において材料の性質が均一であれば、渦電流探傷装置40は他の部分に比べて交番磁界に対する反応が異なる部分を探すことで探傷を行うことができる。しかし、材料の性質、特に透磁率が位置によって異なっていると、傷が無くとも位置によって交番磁界に対する反応が異なることとなり、検査に影響を及ぼすノイズが発生するため、探傷が困難となる。したがってこのようなノイズは可能な限り除去されることが望ましい。

[0029] 図3では、検査対象物30の表面の一部に、周りと異なる透磁率を持つ異種材料からなる異種材料部35が現れている。例えば検査対象物30が図1に示されているキャニスタ20である場合、側面溶接部24や蓋溶接部26（溶接部）に異種材料が現れることがある。具体的には、キャニスタ20がオーステナイト系ステンレス鋼で構成されている場合、溶接部にはフェライト系の合金が現れる可能性がある。すなわち、溶接の過程でオーステナイト系ステンレス鋼が融解した際、その成分である鉄（Fe）、クロム（Cr）、ニッケル（Ni）、モリブデン（Mo）、そして炭素（C）などの原子配列が乱されるため、溶接の完了後、表面にはオーステナイト系ステンレス鋼と異なる原子配列を持つ合金が現れることになり、場合によってはフェライト系合金が現れることもある。このように検査対象物30表面の透磁率が不均一な場合において、検出信号にノイズが現れる様子と、磁界形成用磁石60を用いることによりノイズが除去される様子が、図4に示されている。

[0030] フェライト系合金が存在する位置では磁界の向きに乱れが生じるため、表面に傷が無くとも、フェライト系合金が存在する位置では、検査プローブ50が検出する検出信号に変化が現れてしまう。このため、フェライト系合金

が表面に現われる溶接部においては、検出信号の変化が傷に起因するものなのか、フェライト系合金に起因するものなのかを判別することが困難である。具体的には図3に示されているように、検査対象物30の表面にフェライト系合金が現れて異種材料部35が形成されている場合、検査プローブ50から発せられる交番磁界の磁束が異種材料部35の位置で乱されることとなる。この位置の上方を検査プローブ50が通過した際、検出信号にノイズが生じる(図4のグラフZ1)。そのため、異種材料部35内に傷32があるとしても、その傷32に起因する検出信号の変化を発見することが困難である。

[0031] ここで、図2、図3が仮想線で示しているように、磁界形成用磁石60が検査プローブ50の外側に配置されていれば、この磁界形成用磁石60から発せられる磁界を受けた検査対象物30と異種材料部35の透磁率が変化する。磁界形成用磁石60の磁界の強さが適切に設定されていれば、検査対象物30と異種材料部35の透磁率がほぼ等しくなる。そのため、検査プローブ50から発せられる交番磁界に対する反応が、異種材料部35とそれ以外とでほぼ等しくなるため、検出信号が強くなるのは傷32の位置のみとなる(図4のグラフZ2)。

[0032] 本発明の発明者は、検査対象物30の厚みや磁界形成用磁石60の位置などの条件を検討した結果、磁界形成用磁石60の磁界がどの程度の強さであればノイズが十分に除去されるかを見出した。すなわち、図3に示されるような磁界形成用磁石60により発生する磁界は、磁界形成用磁石60のうち検査対象物30へと向く先端部62(磁石先端部)の中央と向かい合う検査対象物30の表面位置(先端部62に対応する検査対象物30の表面)において測定された場合に、磁束密度Bのミリテスラ(mT)値が、以下の数4を満たしていることが望ましい。

[0033]

[数4]

$$400 \times \frac{(xt)^2}{k^4} \leq B \leq 600 \times \frac{(xt)^2}{k^4}$$

[0034] ここで、図5に示すように、 x は磁界形成用磁石60の先端部62（磁極となる部分）の中央と、検出部54の中央との距離（単位mm）である。 t は検査対象物30（例えば図1のキャニスタ20）の厚み（単位mm）である。 k は1.3以上1.5以下の任意数値で、好ましくは $k = 1.4$ である。数4の磁束密度 B の範囲を、 k を使わずに表すと以下の数5となる。

[0035] [数5]

$$400 \times \frac{(xt)^2}{15^4} \leq B \leq 600 \times \frac{(xt)^2}{13^4}$$

[0036] また数4において $k = 1.4$ の場合、磁束密度 B の範囲は以下の数6となる。

[0037] [数6]

$$400 \times \frac{(xt)^2}{14^4} \leq B \leq 600 \times \frac{(xt)^2}{14^4}$$

[0038] 数6では、例えば $x = 13.75$ （mm）、 $t = 1.4$ （mm）であれば、 B はおよそ385.84 mT以上、578.765 mT以下となる。

[0039] 磁束密度 B の値が数4、数5の範囲内であれば十分にノイズが除去されることを図6、図7、図8を用いて説明する。図6、図7、図8のグラフは、図1に示されるキャニスタ20の溶接部（側面溶接部24や蓋溶接部26）において渦電流探傷装置40が探傷を行う場合の検出信号を示している。具

体的には発明者は、キャニスタ 20 の材質として用いられるオーステナイト系ステンレス鋼に溶接が施された試験片の表面を検査して、どのような検出信号が得られるかを調べた。より具体的には SUS 316 の試験片同士を TIG 溶接して、その溶接部に対して検査を行った。なお、ここでは表面に傷がない場合に得られる検出信号が示されている。

[0040] まず図 6 は、図 3 に示される磁界形成用磁石 60 を用いずに検査プローブ 50 のみにより溶接部の検査を行った場合に得られる検出信号のグラフを示している。試験片表面に傷が無いにも関わらず、図 6 のグラフ Z3 には起伏が多く見られ、溶接部に現われる異種金属（フェライト系合金など）の影響によって検出信号にノイズが混入していることがわかる。次に、図 7、図 8 は磁界形成用磁石 60 を用いた場合に得られる検出信号のグラフを示している。図 7、図 8 のどちらも、上記数 6 における x 、 t の条件は同じであり、 $x = 13.75$ (mm)、 $t = 14$ (mm) である。図 7 のグラフ Z4 は磁束密度 B の値が 300 mT の場合に得られる検出信号を示している。 300 mT は数 5 において $x = 13.75$ (mm)、 $t = 14$ (mm) の場合の範囲内 (293 mT 以上) の値である。図 7 のグラフ Z4 は図 6 のグラフ Z3 に比べて起伏が小さくなっており、この程度までノイズが低減されたならば観測者が信号にフィルタリングなどの加工を施すことによりノイズを無視することが可能になる。すなわち、 $B = 300$ (mT) の磁束密度によってノイズが許容範囲内まで低減される。

[0041] 図 8 のグラフ Z5 は磁束密度 B の値が 500 mT の場合に得られる検出信号を示している。 500 mT は数 6 に示される磁束密度 B の範囲内である。図 8 のグラフ Z5 は図 7 のグラフ Z4 よりもさらに起伏がなくなっており、 $B = 500$ (mT) の磁束密度によってノイズが十分に除去されていることがわかる。

[0042] このように、本実施形態においてはわずか $300 \sim 500$ mT の磁束密度で許容範囲内までノイズを除去することができる。従来の磁気飽和法による渦電流探傷方法では、オーステナイト系ステンレス鋼の検査において十分に

ノイズを除去するためには1 T～数10 Tという高い磁束密度が必要とされてきたので、従来の方法に比べて遥かに低い磁束密度でノイズ除去を実現できたことになる。そのため、従来の方法と比べて高い磁束密度を発生させるための高価な材料や装置を使う必要がない。また、強い磁力によって渦電流探傷装置40が検査対象物30の表面に束縛されて渦電流探傷装置40を移動させることが困難になってしまうこともない。

[0043] 従来の磁気飽和法において高い磁束密度が必要とされてきた理由は、オーステナイト系ステンレス鋼を磁気飽和させるためには1 T～数10 Tの磁束密度が必要となるためである。しかしながら、検査対象物に含まれる複数の材料間の透磁率の違いに起因するノイズを除去するためには、検査対象物が必ずしも完全に磁気飽和される必要はない。印加されている磁界内において、複数の材料の透磁率が互いにほぼ等しくなっていれば、透磁率の違いに起因するノイズは除去される。オーステナイト系ステンレス鋼の溶接部に現われるフェライト系合金の透磁率とオーステナイト系ステンレス鋼の透磁率は、上記数5を満たす磁束密度の中ではほぼ等しくなる。また両者の透磁率が等しくなくとも、近い値になれば透磁率の違いに起因するノイズは低減される。傷の深さを推定できる程度にノイズの大きさが小さければ、ノイズは許容範囲内にまで低減されたといえる。本実施形態によれば、検査対象物30に比較的低い磁束密度の磁界が印加されることで、図3に示すような異種材料部35と検査対象物30の本来の材質との透磁率が近づき、透磁率の違いに起因するノイズが許容範囲内にまで低減される。

[0044] なお本実施形態においては、特に図1に示されるキャニスタ20、特にオーステナイト系ステンレス鋼を材料として製造されたものが検査対象物30であるが、渦電流探傷装置40は表面に渦電流が発生する物質全般の探傷のために用いられることができる。

[0045] また渦電流探傷装置40の検出部54は検査対象物30表面に発生する渦電流の変化を検出できるものであればよく、具体的な形態は様々なものが利用可能である。例えば大きな励磁コイルで一様な渦電流を発生させ、その下

方に配置され励磁コイルと中心軸が直交する小さな検出コイルで渦電流の変化を検出するものであってもよい。また一つの励磁コイルを挟むように二つの検出コイルが配置されて、二つの検出コイルに流れる電流の差が検出信号として測定される形態であったり、インピーダンスの変化が測定されることにより励磁コイルと検出コイルの役割を一つのコイルが兼用できる形態であったりしてもよい。いずれの形態でも励磁コイルと検出コイルは全体として面对称や軸対称に配置されるため、その対称中心の位置が検出部54の中央と考えられる。

符号の説明

[0046]	10	コンクリートキャスク
	20	キャニスタ
	30	検査対象物
	40	渦電流探傷装置
	50	検査プローブ
	54	検出部
	55	検査面
	60	磁界形成用磁石
	62	先端部

請求の範囲

[請求項1] 検査対象物に渦電流を発生させ、前記渦電流の変化を検出することにより前記検査対象物の表面の状態を検査する渦電流探傷装置において、

前記渦電流の変化を検出するための検出部と、

前記検出部の外側に配置され、前記検査対象物に磁界を印加する磁界形成用磁石と
を備え、

前記磁界形成用磁石のうち前記検査対象物へと向く磁石先端部の中央と、前記検出部の中央との距離を x (単位 mm)、

前記検査対象物の厚みを t (単位 mm) とするとき、

前記磁界形成用磁石により発生する磁界の磁束密度 B (単位 mT) が、前記磁石先端部の中央に対応する前記検査対象物の表面において下記の数1を満たすこと

[数1]

$$400 \times \frac{(xt)^2}{15^4} \leq B \leq 600 \times \frac{(xt)^2}{13^4}$$

を特徴とする渦電流探傷装置。

[請求項2] 前記磁界形成用磁石により発生する磁界の磁束密度 B (単位 mT) が、前記磁石先端部の中央に対応する前記検査対象物の表面において下記の数2を満たすこと

[数2]

$$400 \times \frac{(xt)^2}{14^4} \leq B \leq 600 \times \frac{(xt)^2}{14^4}$$

を特徴とする請求項 1 に記載の渦電流探傷装置。

[請求項3] 前記検査対象物が、使用済み核燃料が封入される金属製のキャニスタであり、

前記渦電流探傷装置は前記キャニスタの外表面に渦電流を発生させて、前記渦電流の変化を検出することにより前記キャニスタの外表面における傷の有無を検査すること

を特徴とする請求項 1 に記載の渦電流探傷装置。

[請求項4] 前記検査対象物が、オーステナイト系ステンレス鋼を材料として製造されたものであること

を特徴とする請求項 1 のいずれか 1 項に記載の渦電流探傷装置。

[請求項5] 前記検査対象物が、オーステナイト系ステンレス鋼同士の間接接合により形成された溶接部を有しており、前記渦電流探傷装置は前記溶接部における傷の有無を検査すること

を特徴とする請求項 4 に記載の渦電流探傷装置。

[請求項6] 渦電流探傷装置によって検査対象物に渦電流を発生させ、前記渦電流を測定することにより前記検査対象物の表面における傷の有無を検査する渦電流探傷方法において、

前記渦電流探傷装置が備える磁界形成用磁石によって前記検査対象物に磁界を印加しながら、前記渦電流探傷装置によって前記検査対象物に前記渦電流を発生させ、前記渦電流から生じる磁束を前記渦電流探傷装置が備える検出部で受けることにより前記検査対象物の表面における傷の有無を検査し、

磁界形成用磁石によって前記検査対象物に印加される磁界の磁束密度 B (単位 mT) は、前記磁界形成用磁石のうち前記検査対象物へと向く磁石先端部の中央に対応する前記検査対象物の表面において下記の数 3 を満たしており、

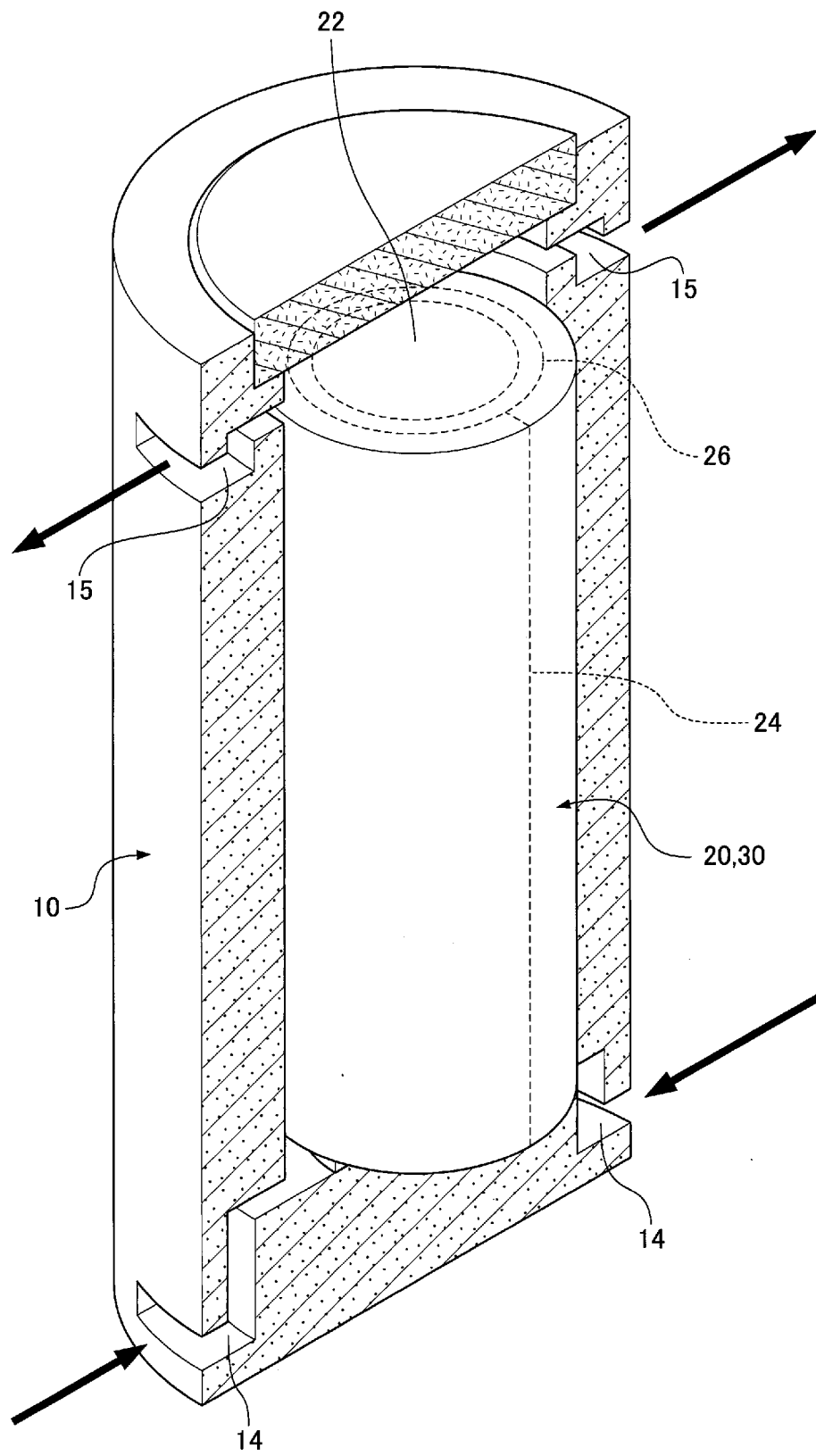
[数3]

$$400 \times \frac{(xt)^2}{15^4} \leq B \leq 600 \times \frac{(xt)^2}{13^4}$$

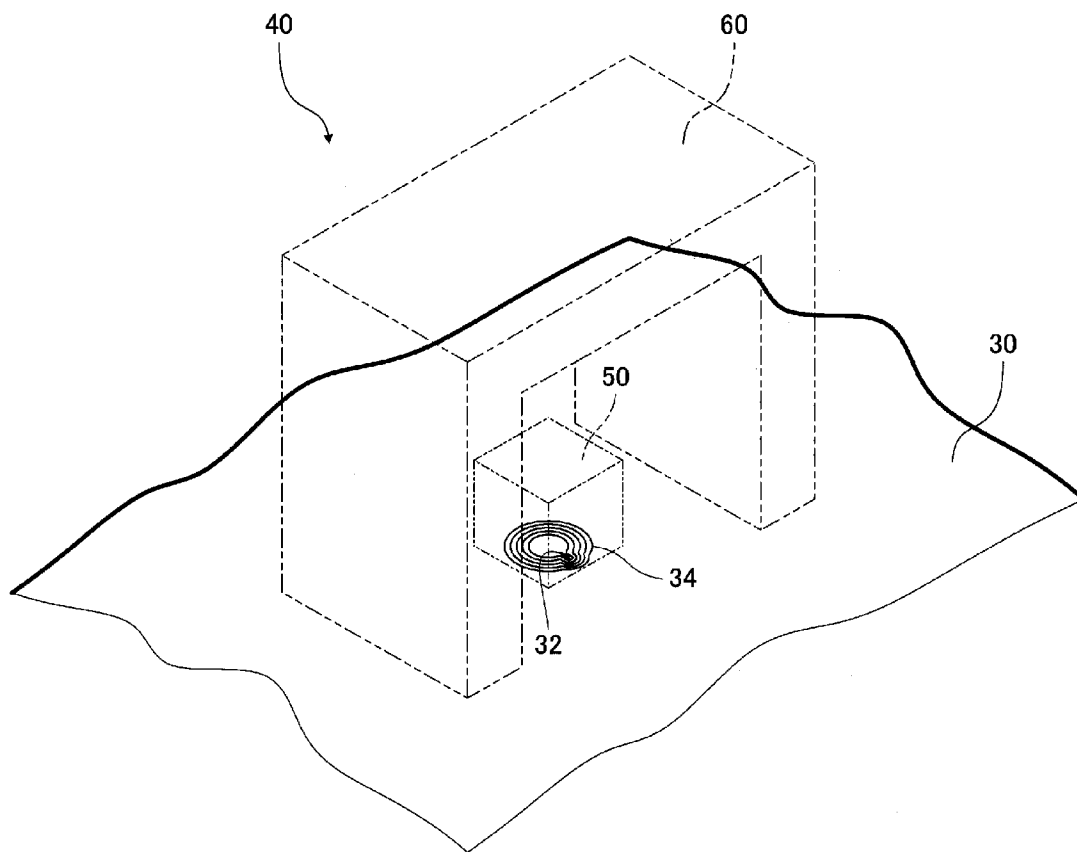
ここで、 x （単位mm）は前記磁石先端部の中央と、前記検出面の中央との距離、

t （単位mm）は前記検査対象物の厚みであることを特徴とする渦電流探傷方法。

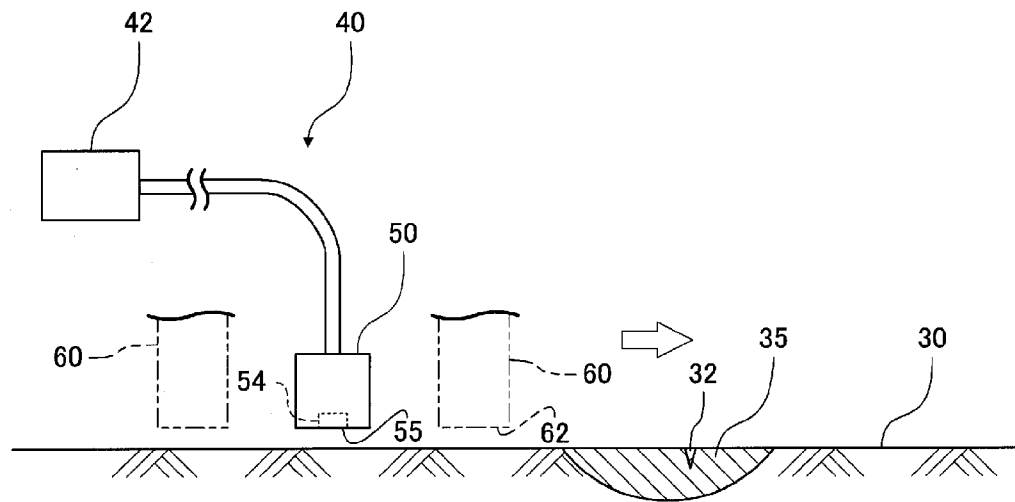
[図1]



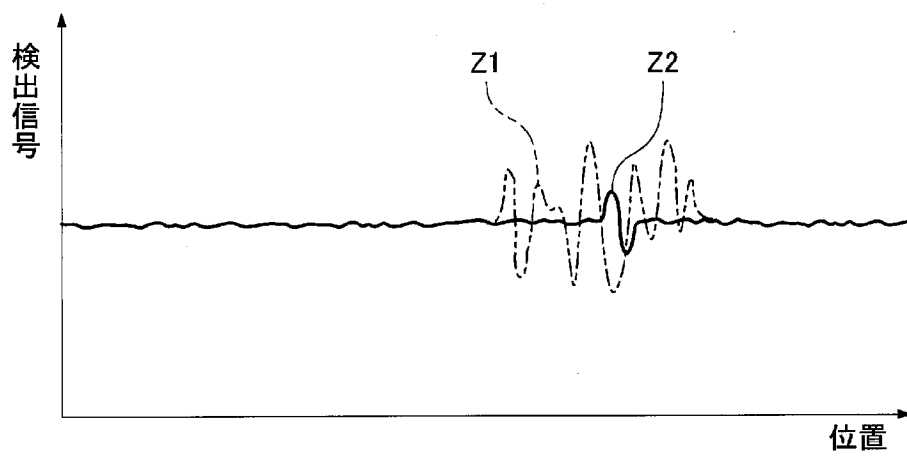
[図2]



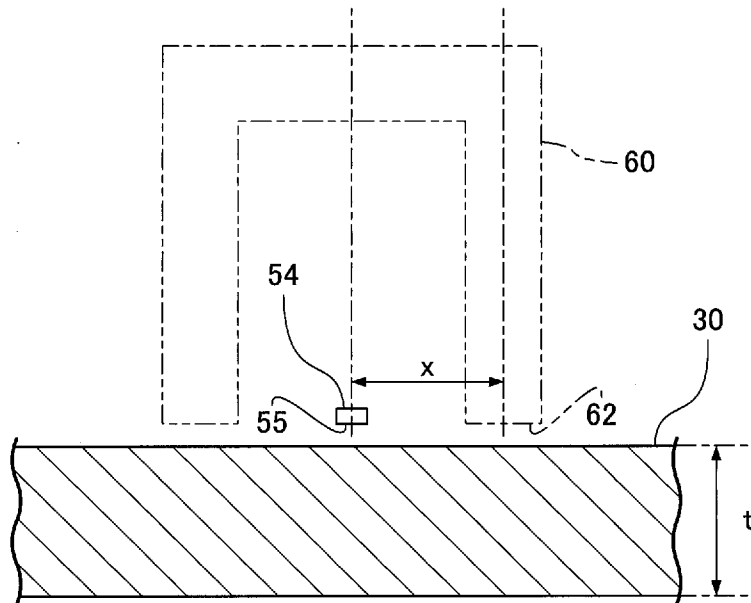
[図3]



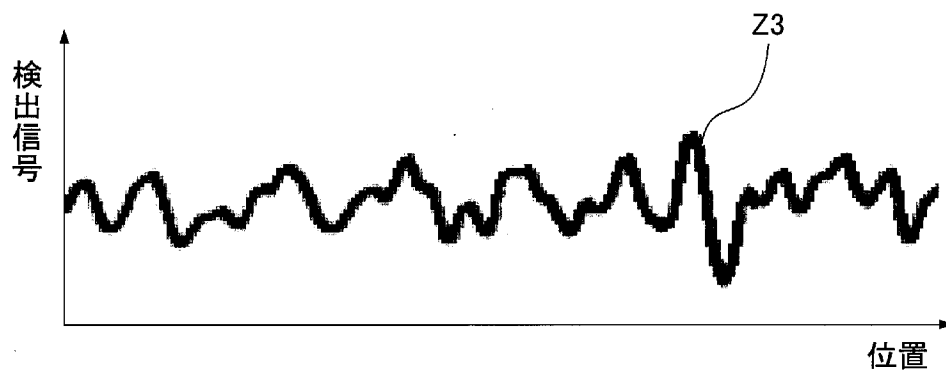
[図4]



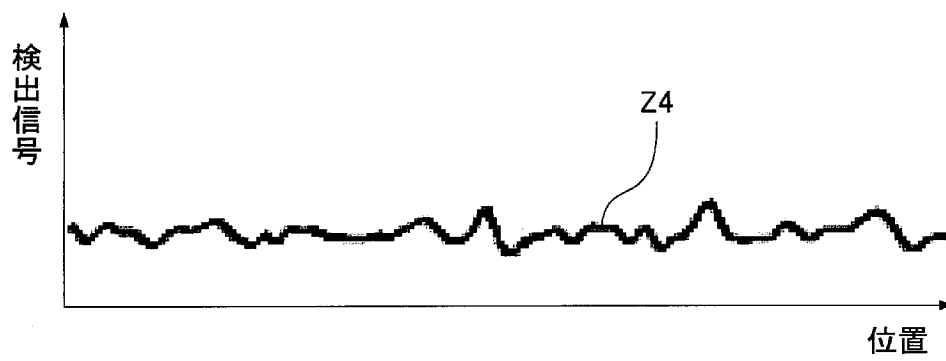
[図5]



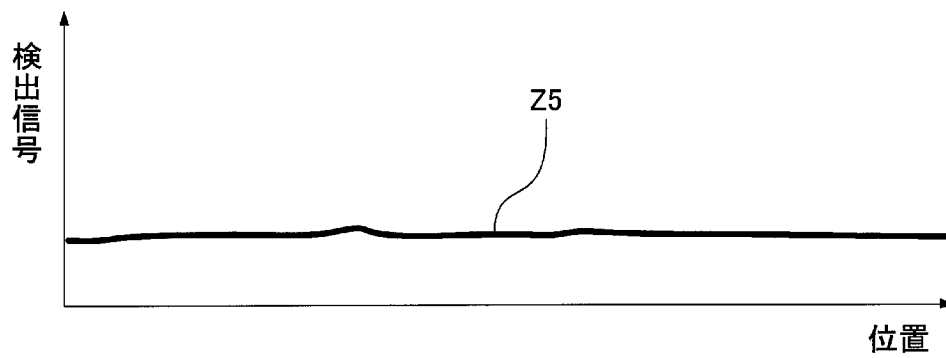
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/019592

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. G01N27/90 (2006.01) i, G21F5/12 (2006.01) i, G21F9/36 (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)

Int. Cl. G01N27/82-27/90, G21F5/12, G21F9/36

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 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

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.
X	JP 4885068 B2 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.)	1-5
A	29 February 2012, paragraphs [0029]-[0033], fig. 1, 2 (Family: none)	6
A	JP 2003-240504 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 27 August 2003, (Family: none)	1-6
A	US 2009/0139335 A1 (KRONING et al.) 04 June 2009, & WO 2006/048290 A1 & EP 1807693 A1 & DE 102004053584 A1 & CA 2585823 A1	1-6

☐ 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
04.07.2018

Date of mailing of the international search report
17.07.2018

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01N27/90(2006.01)i, G21F5/12(2006.01)i, G21F9/36(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. G01N27/82-27/90, G21F5/12, G21F9/36

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	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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
X A	JP 4885068 B2（三菱重工業株式会社）2012.02.29, [0029] - [0033]、図1, 2（ファミリーなし）	1-5 6
A	JP 2003-240504 A（三菱重工業株式会社）2003.08.27,（ファミリーなし）	1-6
A	US 2009/0139335 A1（KRONING et al.）2009.06.04, & WO 2006/048290 A1 & EP 1807693 A1 & DE 102004053584 A1 & CA 2585823 A1	1-6

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

04.07.2018

国際調査報告の発送日

17.07.2018

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）

田中 秀直

2W

3409

電話番号 03-3581-1101 内線 3258