(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
2012 年 11 月 1 日(01.11.2012)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2012/147163 A1

(51) 国際特許分類:
G01R 31/06 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2011/060167

(22) 国際出願日: 2011 年 4 月 26 日(26.04.2011)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日立オートモティブシステムズ株式会社(HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS, LTD.) [JP/JP]; 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場２５２０番地 Ibaraki (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 尾畑　功治(OBATA, Koji) [JP/JP]; 〒3191292 茨城県日立市大みか町七丁目１番１号　株式会社日立製作所日立研究所内 Ibaraki (JP).

(74) 代理人: 永井　冬紀(NAGAI, Fuyuki); 〒1000011 東京都千代田区内幸町２丁目２番２号　富国生命ビル　永井特許事務所 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 (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:

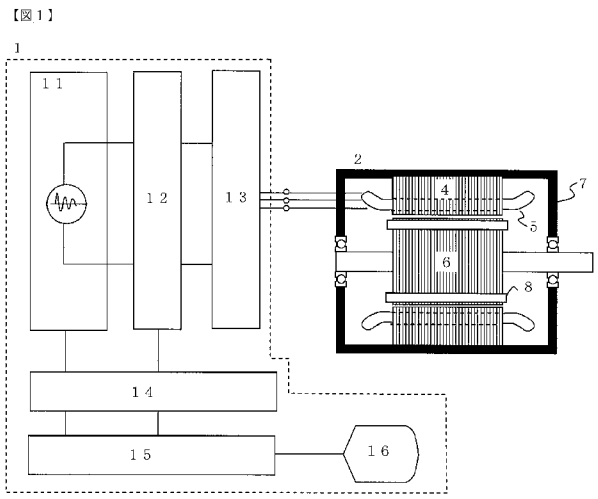
— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

WO 2012/147163 A1

(54) **Title**: INVERTER-DRIVEN ROTATING ELECTRICAL MACHINE, INTERPHASE INSULATION PARTIAL DISCHARGE TEST METHOD, AND INTERPHASE INSULATION PARTIAL DISCHARGE TEST DEVICE

(54) 発明の名称 : インバータ駆動回転電機、相間絶縁部分放電検査方法および相間絶縁部分放電検査装置

[図1]



(57) **Abstract**: This interphase insulator partial discharge test device is provided with: an impulse power source (1) which applies to a rotating electrical machine (2) an impulse voltage having a voltage rise time tr fulfilling the expression $tr > (\tau_{coil} \cdot V_{max}) / (PDIV)$; a measurement unit (12) which measures partial discharges generated when the impulse voltage is applied to the rotating electrical machine (2); and a determination unit (15) which determines that interphase insulating performance is acceptable when the measurement unit (12) does not measure partial discharges. Above, τ_{coil} is the surge propagation time of one coil of the rotating electrical machine windings, PDIV is the partial discharge start voltage between winding turns, and Vmax is the partial discharge peak test voltage of the interphase insulator.

(57) 要約: 相間絶縁部分放電検査装置は、式「$tr > (\tau_{coil} \cdot V_{max}) / (PDIV)$」を満足する電圧立ち上がり時間 tr のインパルス電圧を回転電機(2)に印加するインパルス電源(1)と、インパルス電圧を回転電機(2)に印加したときに発生する部分放電を計測する計測部(12)と、計測部(12)で部分放電が計測されない場合に相間絶縁性能合格と判定する判定部(15)と、を備える。ただし、τ_{coil} は回転電機巻線の１コイルのサージ伝播時間、PDIV は巻線ターン間の部分放電開始電圧、V_{max} は相間絶縁の部分放電試験電圧のピークである。

明　細　書

発明の名称 ：

インバータ駆動回転電機、相間絶縁部分放電検査方法および相間絶縁部分放電検査装置

技術分野

[0001] 本発明は、インバータ駆動される回転電機（特に、定格電圧７００Ｖrms以下のインバータ駆動回転電機）と、その回転電機の相間絶縁部分放電検査方法および相間絶縁部分放電検査装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、省エネルギー化の観点からインバータを用いた回転電機の可変速運転が盛んに行われている。しかし、インバータで回転電機を駆動した場合、回転電機の絶縁部で様々な問題が発生する事が報告されている（非特許文献１）。例えば、インバータ内部のスイッチング素子がＯＮ/ＯＦＦすることで発生する急峻電圧（インバータサージ電圧）がケーブルを伝播し回転電機端に到達すると、ケーブルと回転電機のサージインピーダンスの不整合が原因となり、回転電機端でインバータ出力電圧の２倍の大きさまで電圧が跳ね上がることが報告されている。

[0003] また、急峻なインバータサージ電圧が回転電機内部に侵入すると、回転電機巻線の口出し側のコイルやその内部の巻線ターン間に大きな電圧が分担されることなどが報告されている。このため、インバータ駆動される回転電機では、これらのインバータサージ電圧に耐えられるように回転電機を絶縁設計するとともに、製作した回転電機が所定の絶縁耐力を有するかを検査する必要がある。

[0004] ところで、一般に、７００Ｖrms以下の低圧回転電機では、有機系の絶縁材料が使用されている。これらの有機系絶縁材料は部分放電（Partial Discharge（PD））への耐性が乏しいことから、部分放電が発生する条件下で回転電機を使用した場合には比較的短時間で絶縁破壊に至る恐れがあった。このため

、従来７００Ｖrms以下の低圧回転電機では、運転中に部分放電が発生しないような絶縁設計が採用されてきた。

[0005] 具体的には、回転電機の巻線ターン間、相間、対地間の各絶縁部の部分放電開始電圧（Partial Discharge Inception Voltage (PDIV)）が運転時に回転電機の各絶縁部に加わる電圧よりも高くなるように絶縁厚さを厚くし、部分放電が発生しないように回転電機を絶縁設計してきた。また、そのように製作された回転電機に対する検査では、正弦波電圧あるいはインパルス電圧を印加し、巻線ターン間、相間、対地間絶縁のいずれの絶縁箇所でも部分放電が発生しないことを確認してきた。このような絶縁設計および検査方法としては、例えば非特許文献２が公開されている。また、この際使用する部分放電計測法には例えば特許文献１などが公開されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開２００９－１１５５０５号公報

非特許文献

[0007] 非特許文献1：電気学会技術報告第７３９号，ｐ．１２～２０

非特許文献2：ＩＥＣ６００３４－１８－４１

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 近年、インバータのスイッチング素子の高速化とともに、インバータ出力電圧の立ち上がり時間trが短くなりつつある。そのため、インバータ駆動回転電機の巻線ターン間への電圧分担が大きくなり、巻線ターン間で部分放電が発生する可能性が生じている。そのような場合であっても相間絶縁での部分放電の発生は許されないが、巻線ターン間の部分放電の影響を受けることなく相間絶縁の部分放電を適切に検査する方法がなかった。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の第１の態様によると、インバータ駆動回転電機は、次式（Ａ１）

を満足する電圧立ち上がり時間trおよび電圧ピークＶ$_{max}$を有するインパルス電圧が印加された場合でも部分放電が発生しないように、回転電機巻線の１コイルのサージ伝播時間τ_{coil}および巻線ターン間の部分放電開始電圧PDIVが設定されている。

$$tr > (\tau_{coil} \cdot V_{max}) / (PDIV) \quad \cdots (A1)$$

本発明の第２の態様によると、第１の態様のインバータ駆動回転電機において、インパルス電圧は振動周波数ｆを有する振動電圧であり、電圧立ち上がり時間trが次式（Ａ２）を満足するように設定されているのが好ましい。

$$tr \leqq 1/(4f) \quad \cdots (A2)$$

本発明の第３の態様によると、第２の態様のインバータ駆動回転電機において、インパルス電圧は振動周波数ｆおよび時定数Ｋを有する減衰振動電圧であり、振動周波数ｆは次式（Ａ３）を満足するように設定されていることが好ましい

$$-1/(2K \cdot \ln((V_{test}/V_{max})-1)) \leqq f \leqq 1/(2\sqrt{(L \cdot C)}) \quad \cdots (A3)$$

本発明の第４の態様によると、第１乃至３の態様のいずれか一のインバータ駆動回転電機において、定格電圧が７００Ｖｒｍｓ以下に設定されているのが好ましい。

本発明の第５の態様によると、相間絶縁部分放電検査方法は、次式（Ａ１）を満足する電圧立ち上がり時間trのインパルス電圧を回転電機に印加する工程と、部分放電が発生したか否かを確認する工程と、部分放電の発生が確認されない場合に回転電機の相間絶縁性能を合格と判定する工程と、を有する。ただし、τ_{coil}は回転電機巻線の１コイルのサージ伝播時間、PDIVは巻線ターン間の部分放電開始電圧、Ｖ$_{max}$は相間絶縁の部分放電試験電圧のピークである。

$$tr > (\tau_{coil} \cdot V_{max}) / (PDIV) \quad \cdots (A1)$$

本発明の第６の態様によると、第５の態様の相間絶縁部分放電検査方法において、インパルス電圧は振動周波数ｆを有する振動電圧であり、電圧立ち上がり時間trが次式（Ａ２）を満足するように設定されていることが好まし

い。

$$tr \leqq 1/(4f) \quad \cdots (A2)$$

本発明の第７の態様によると、第６の態様の相間絶縁部分放電検査方法において、インパルス電圧は振動周波数ｆおよび時定数Ｋを有する減衰振動電圧であり、振動周波数ｆは次式（Ａ３）を満足するように設定されていることが好ましい。

$$-1/(2K \cdot \ln((V_{test}/V_{max})-1)) \leqq f \leqq 1/(2\sqrt{(L \cdot C)}) \quad \cdots (A3)$$

本発明の第８の態様によると、相間絶縁部分放電検査装置は、次式（Ａ１）を満足する電圧立ち上がり時間trのインパルス電圧を回転電機に印加するインパルス電源と、インパルス電圧を回転電機に印加したときに発生する部分放電を計測する計測部と、計測部で部分放電が計測されない場合に相間絶縁性能合格と判定する判定部と、を備える。ただし、τ_{coil}は回転電機巻線の１コイルのサージ伝播時間、PDIVは巻線ターン間の部分放電開始電圧、V_{max}は相間絶縁の部分放電試験電圧のピークである。

$$tr > (\tau_{coil} \cdot V_{max}) / (PDIV) \quad \cdots (A1)$$

本発明の第９の態様によると、第８の態様の相間絶縁部分放電検査装置において、インパルス電圧は振動周波数ｆを有する振動電圧であり、電圧立ち上がり時間trが次式（Ａ２）を満足するように設定されていることが好ましい。

$$tr \leqq 1/(4f) \quad \cdots (A2)$$

本発明の第１０の態様によると、第９の態様の相間絶縁部分放電検査装置において、インパルス電圧は振動周波数ｆおよび時定数Ｋを有する減衰振動電圧であり、振動周波数ｆは次式（Ａ３）を満足するように設定されていることが好ましい。

$$-1/(2K \cdot \ln((V_{test}/V_{max})-1)) \leqq f \leqq 1/(2\sqrt{(L \cdot C)}) \quad \cdots (A3)$$

発明の効果

[0010] 本発明によれば、適切な絶縁性能を有し、部分放電の発生を許容するインバータ駆動回転電機を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]絶縁検査装置１を示す図である。

[図2]モータ相間絶縁検査時の検査回路の一例を示す図である。

[図3]相間絶縁検査時の印加電圧波形を示す図である。

[図4]インパルス電圧立ち上がり時間trに対する巻線ターン間分担電圧V_{coil}の変化を示す図である。

[図5]巻線ターン間で部分放電（PD）が発生しない試験電圧V_{max}必要条件を説明する図である。

[図6]電圧立ち上がり時間trが低速な場合を説明する図である。

[図7]回転電機巻線内部の定在波の発生条件を説明する図である。

[図8]インパルス電圧が減衰振動する場合の試験電圧波形を示す図である。

[図9]本発明と従来のインパルス電圧波形を用いた場合の相間絶縁PDIV測定値とモータ絶縁材料のPDIVを示す図である。

[図10]従来のインパルス電圧を回転電機に印加した際の部分放電測定例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] 上述したように、近年、インバータのスイッチング素子の高速化とともに、インバータ出力電圧の立ち上がり時間trが短くなりつつあり、そのため、インバータ駆動回転電機の巻線ターン間への電圧分担が大きくなり、巻線ターン間で部分放電が発生する可能性が生じている。

[0013] このような問題に対し、部分放電に対して一定の耐性を有し絶縁寿命の延命効果がある耐部分放電エナメル電線（一般に、耐コロナエナメル電線、耐インバータサージ電線などと称されている）が開発され、部分放電の発生を許容できる可能性が出てきている。また、耐部分放電エナメル電線を使用していない場合であっても、従来の一般産業用低圧モータに比べて比較的短時間しか運転されない電気自動車（ＥＶ），ハイブリッド自動車（ＨＥＶ）などに用いられる自動車用モータでは、所定の要求寿命を満足すれば部分放電の発生を許容できる可能性がある。このように、近年、低圧回転電機であっ

ても部分放電の発生条件下で運転できる可能性が出てきた。

[0014] ところが、ひとたび部分放電の発生を許容すると、検査において、部分放電が発生しても良い絶縁部から発生した部分放電なのか、部分放電が発生してはならない絶縁部位から発生した部分放電なのかを区別しなければならなくなる。しかし、これまでは、低圧回転電機では巻線ターン間、相間、対地間絶縁のいずれの絶縁箇所でも部分放電が発生しないことを確認して製品を絶縁検査してきたことから、従来の方法では部分放電の発生を許容する回転電機の絶縁検査を行うことができない。

[0015] 特に、インバータ駆動回転電機の相間絶縁の部分放電検査を中性点接続後にする場合には、一般に高周波のインパルス電圧が使用される。この際、巻線ターン間にも同時に電圧が印加されるため、発生した部分放電が部分放電の発生を許容できる巻線ターン間で発生したものなのか、あるいは部分放電が発生してはならない相間絶縁で発生したものなのか区別できないという問題が生じた。その結果、絶縁信頼性の高い回転電機を提供することができなかった。

[0016] 以下、図を参照して本発明を実施するための形態について説明する。図１は、本発明による相間絶縁部分放電検査方法により回転電機を検査する絶縁検査装置の一例を示す図である。絶縁検査装置１は、インパルス電源部１１、部分放電計測器１２、配線切り替え機構１３、データ収集記憶部１４、合否判定処理部１５、表示部１６を備えている。２は検査対象であるインバータ駆動用の低圧回転電機であり、以下では単にモータと呼ぶことにする。

[0017] モータ２は、回転磁界を作る固定子コイル５、固定子コイル５を収めた固定子４および回転磁界で回転する回転子６を備えている。なお、モータ２が誘導電動機の場合には回転子６には二次巻線が、モータが永久磁石同期電動機の場合には磁石が８の位置に挿入されている。モータ２の回転子６と固定子４はフレーム７に収められている。なお、図１では回転子６が挿入された状態のモータ２を示したが、検査する対象は固定子コイル５であることから、回転子６が挿入されていない状態でも検査することができる。

[0018] インパルス電源１１は、部分放電計測器１２を介して配線切り替え機構１３に接続されている。モータ２は配線切り替え機構１３に接続されている。配線切り替え機構１３は、部分放電計測器１２の出力配線をモータ２のＵ，Ｖ，Ｗの三相に振り分ける。データ収集記憶部１４には、インパルス電源１１でモータ２に印加した試験電圧の大きさと、部分放電計測器１２で計測した部分放電パルス信号を記録される。なお、部分放電の計測方法については、例えば、非特許文献１，２や特開２００７－２３２５１７号公報等に記載されている周知の方法が用いられる。合否判定処理部１５では規定試験電圧において部分放電パルス信号が発生していなければ合格と判定し、部分放電パルス信号が発生していた場合には不合格と判定する。表示部１６は液晶ディスプレイあるいはＣＲＴであり、モータ２の絶縁検査の合否判定結果を表示する。

[0019] 図２にモータ相間絶縁検査時の試験回路の一例を示す。モータ２の固定子巻線のＵ，Ｖ，Ｗの３相のうち、検査対象とする相間にインパルス電圧２１を印加する。この際、他相およびモータフレーム７は浮動電位とする。

[0020] 図３に図１の相間絶縁検査に用いるインパルス電圧波形を示す。本発明では、図３に示すように、始めに電圧立ち上がり時間trで立ち上がり、その後、減衰振動するインパルス電圧を使用する。以下に説明するように、このような電圧波形を使用することで回転電機巻線ターン間に加わる電圧を抑制できる。また、回転電機巻線内部で高周波の定在波が発生し異常電圧が発生することを抑制することができる。

[0021] 図４にインパルス電圧の立ち上がり時間trを変化させたときの巻線ターン間電圧Ｖcoilを示す。モータ巻線に急峻な電圧立ち上がり時間のインパルス電圧を印加した場合の巻線ターン間に発生する電圧Ｖcoilを鋭意検討した結果、図４に示す式「Ｖcoil＝（τcoil／tr）ΔＶ」で表すことができることが明らかになった。ここで、τcoilはモータ巻線の１コイルのサージ伝播時間、trとΔＶはインパルス電圧の立ち上がり時間と急峻電圧変化量である。急峻電圧変化量ΔＶは、立ち上がり時間trの間の電圧変化量である。

[0022] 次に、巻線ターン間の部分放電開始電圧をPDIVとし、図４を使ってモータ巻線ターン間で部分放電（ＰＤ）を発生させないインパルス試験電圧の条件を求めると、その条件は図５の斜線を施した領域となる。

[0023] 図５において、境界を示す曲線は、巻線ターン間電圧V_{coil}（＝（τ_{coil}／tr）・ΔＶ）と部分放電開始電圧PDIVとが等しい場合を示している。ハッチングを施した領域では、巻線ターン間電圧V_{coil}は部分放電開始電圧PDIVよりも小さく、モータ巻線ターン間での部分放電の発生を抑制することができる。すなわち、このハッチングした領域に含まれる電圧立ち上がり時間trと波高値V_{max}のインパルス電圧を使用すれば、モータ巻線ターン間での部分放電の発生を抑制することができる。よって、TrとV_{max}とは次式（１）を満足する必要がある。

$$V_{max} < PDIV(motor\text{-}t\text{-}t) = PDIV / (\tau_{coil} / tr) \quad \cdots (1)$$

[0024] したがって、相間絶縁部分放電検査の際には、インパルス電圧のピークをV_{max}とした場合、次式（２）を満足する電圧立ち上がり時間trのインパルス電圧を作成して、それをモータに印加する。そうすることで、巻線ターン間で発生する部分放電を抑制しながら相間絶縁の部分放電試験ができる。すなわち、図１の合否判定処理部１５は、次式（２）を満足する電圧立ち上がり時間trのインパルス電圧を印加しても、部分放電が発生しないことを確認できた場合には、相間絶縁については合格であると判定する。

$$tr > (\tau_{coil} \cdot V_{max}) / (PDIV) \quad \cdots (2)$$

[0025] 式（２）によれば、巻線ターン間で発生する部分放電を抑制しながら相間絶縁の部分放電試験をするためには、インパルス電圧の立ち上がり時間trを長くすれば良い。図３においてインパルス電圧の立ち上がり時間trを長くした場合のインパルス試験電圧波形を、図６に示す。しかしながら、図６に示すようにインパルス電圧の立ち上がり時間trを長くすると、ステップ応答に伴うインパルス電圧振動が発生しなくなる。つまり、図６に示すような波形は現実的には作成することができない。このように、インパルス電圧の立ち上がり時間trには上限があり、インパルス電圧振動波の周波数をｆとすると

、立ち上がり時間trは次式（３）を満足する必要がある。

$$tr \leqq 1/(4f) \quad \cdots (3)$$

[0026] 図７は、モータ巻線に高周波振動電圧をモータ巻線に印加した際の定在波の発生例を示したものである。Ｕ相およびＶ相のいずれもＸ個のコイルから成る。高周波振動電圧に対しては、モータ巻線は、コイルのインダクタンス７１と、コイルとコア（アース）間の静電容量７２とが連なった、分布定数回路で表される。本発明の創生に当たり、鋭意検討した結果、このような分布定数回路に高周波振動電圧を印加すると、内部で定在波が発生し異常電圧が発生する場合があることが明らかになった。

[0027] 通常、Ｕ－Ｖ間に電圧を印加した場合には、Ｕ相の口出し（高圧側）からＶ相（低圧側）に向かって電圧が直線状に分布する。しかし、高周波振動電圧の周波数が高いと、破線７３に示すようにＵ相とＶ相の中間部分の中性点Ｎ付近に定在波の腹ができ、異常電圧が発生することになる。

[0028] ところが、実際のインバータ駆動時には、モータ巻線内部においてこのような電圧分布は発生しない。そのため、このような周波数の高周波振動電圧で相間絶縁の部分放電試験をした場合には、誤った検査結果となる。したがって、定在波が発生しない周波数のインパルス振動波を使用する必要がある。定在波が発生しないための条件は、モータ巻線の１相のコイル数をＸとした場合、次式（４）のようになる。

$$\lambda / 2 > 2X \quad \cdots (4)$$

[0029] また、１コイルのインダクタンスをｌ，静電容量をcとした場合、振動の速度ｖは次式（５）を満足することから、周波数ｆに関して式（６）のような条件が得られる。

$$v = f \cdot \lambda = 1/\sqrt{(l \cdot c)} \quad \cdots (5)$$

$$f < 1/(4X\sqrt{(l \cdot c)}) \quad \cdots (6)$$

[0030] ここで、Ｕ－Ｖ巻線の全体のインダクタンスをＬ，巻線－コア間の全体の静電容量をＣとすると、次式（７）、（８）が成り立つので、式（６）は次式（９）のように表される。すなわち、式（９）を満足することで定在波の

発生を防止できる。したがって、本実施の形態においては、インパルス電圧振動波は式（９）を満足する必要があることが明らかになった。

$$L = 2X \cdot l \quad \cdots (7)$$

$$C = 2X \cdot c \quad \cdots (8)$$

$$f < 1/(2\sqrt{(L \cdot C)}) \quad \cdots (9)$$

[0031] 図８にインパルス電圧が減衰振動する場合の試験電圧波形を示す。一般に、インパルス電源は瞬間的にエネルギーを発生させることはできるが、永続的に振動波を発生させることができない。つまり、外部からエネルギーを供給し続けない限り、図８に示すように電圧波高値が減衰していく。そのため、減衰振動の周波数ｆが低すぎると、負極性側のピーク電圧が低下してしまう問題が発生する。

[0032] Ｋを減衰時定数とすると、負極性側のピーク電圧は次式（１０）で与えられるので、正極性側からのpeak-to-peak電圧は次式（１１）のようになる。

$$V_{max} \cdot \exp(-(1/2f)/K) \quad \cdots (10)$$

$$V_{max} \{1 + \exp(-(1/2f)/K)\} \quad \cdots (11)$$

[0033] ところで、モータの相間絶縁には交流電圧が印加されることから、相間絶縁の検査では所定の大きさの交流電圧を印加しなければならない。そのため、交流電圧のpeak-to-peak電圧の大きさをV_{test}とした場合、図８のインパルス電圧は次式（１２）を満足しなければならない。その結果、周波数ｆには次式（１３）で表されるような下限が存在することになる。

$$V_{max} \{1 + \exp(-(1/2f)/K)\} \geqq V\text{test} \quad \cdots (12)$$

$$-1/(2K \cdot \ln((V_{test}/V_{max})-1) \leqq f \quad \cdots (13)$$

[0034] 以上のように、巻線ターン間で部分放電の発生を許容するインバータ駆動低圧回転電機の相間絶縁検査を行うための条件を明らかにした。モータの相間絶縁の部分放電開始電圧（PDIV）を計測を本実施の形態の電圧波形のインパルス電圧を用いて行った場合、および、図１０に示すような従来の急峻なインパルス電圧を用いて行った場合の、計測結果を図９に示す。また、モータ巻線ターン間、相間、対地絶縁に使用した絶縁材料のPDIVも図９に示した

。

[0035] 本発明の実施例の場合、相間絶縁の部分放電開始電圧PDIVは３．６kVp-pとなっている。これは相間絶縁に使用した絶縁材料の部分放電開始電圧PDIVの１．８kVo-pの２倍であり、モータの相間絶縁の部分放電を正しく計測できていることを示している。

[0036] 一方、従来のインパルス電圧を使用した場合には、相間絶縁の部分放電開始電圧PDIVが２．３kVp-pとなっており、本来の相間絶縁の部分放電開始電圧PDIV（１．８kVo-p（３．６kVp-p））よりも低めに測定されている。従来例の電圧の正極性ピーク電圧は１．３kVo-pとなっており、これはターン間絶縁の部分放電開始電圧PDIV＝０．６５kVo-pの２倍である。このことから、従来例では相間絶縁の部分放電試験の際に巻線ターン間で部分放電が発生してしまった可能性が考えられる。このことは、以下のことからも裏付けられる。

[0037] 図１０は、従来の急峻なインパルス電圧を使用してモータ相間絶縁の部分放電を計測した際の電圧波形と部分放電信号波形の例を示す。この場合、急峻な電圧立ち上がり部分のみで部分放電パルス信号９１が発生している。また、急峻な電圧立ち上がり部分の範囲内で部分放電パルス信号の極性が反転していることから、急峻な電圧変化によって急激に分担電圧が上昇し、その後、即座に低下する巻線ターン間電圧が原因でこのような波形になっている可能性が示唆される。つまり、巻線ターン間で部分放電が発生してしまった可能性が考えられる。

[0038] 以上のように、本実施の形態の相間絶縁検査方法を用いることによって、巻線ターン間で部分放電の発生を許容するインバータ駆動低圧回転電機において、巻線ターン間で部分放電を発生させず、かつ的確に相間絶縁に試験電圧を印加して相間絶縁の部分放電特性を検査できる。

[0039] また、回転電機を設計する際に、式「tr＞（τ_{coil}・V_{max}）／（PDIV）」を満足する電圧立ち上がり時間trおよび電圧ピークV_{max}を有するインパルス電圧が印加された場合でも、回転電機に部分放電が発生しないように、回転電機巻線の１コイルのサージ伝播時間τ_{coil}および巻線ターン間の部分放電開始電

圧PDIVを設定する。これにより、巻線ターン間で部分放電の発生を許容するインバータ駆動の回転電機を、特に７００Ｖrms以下の低圧回転電機を提供することができる。

[0040] 上記では、種々の実施の形態および変形例を説明したが、各実施形態はそれぞれ単独に、あるいは組み合わせて用いても良い。それぞれの実施形態での効果を単独あるいは相乗して奏することができるからである。また、本発明の特徴を損なわない限り、本発明は上記実施の形態に何ら限定されるものではない。本発明の技術的思想の範囲内で考えられるその他の態様も本発明の範囲内に含まれる。

請求の範囲

[請求項1] 次式（Ａ１）を満足する電圧立ち上がり時間trおよび電圧ピークＶ$_{max}$を有するインパルス電圧が印加された場合でも部分放電が発生しないように、回転電機巻線の１コイルのサージ伝播時間τ_{coil}および巻線ターン間の部分放電開始電圧PDIVが設定されているインバータ駆動回転電機。

$$tr > (\tau_{coil} \cdot V_{max}) / (PDIV) \quad \cdots (A1)$$

[請求項2] 請求項１に記載のインバータ駆動回転電機において、

前記インパルス電圧は振動周波数ｆを有する振動電圧であり、

前記電圧立ち上がり時間trが次式（Ａ２）を満足するように設定されていることを特徴とするインバータ駆動回転電機。

$$tr \leqq 1/(4f) \quad \cdots (A2)$$

[請求項3] 請求項２に記載のインバータ駆動回転電機において、

前記インパルス電圧は振動周波数ｆおよび時定数Ｋを有する減衰振動電圧であり、

前記振動周波数ｆは次式（Ａ３）を満足するように設定されていることを特徴とするインバータ駆動回転電機。

$$-1/(2K \cdot \ln((V_{test}/V_{max})-1)) \leqq f \leqq 1/(2\sqrt{(L \cdot C)}) \cdots (A3)$$

[請求項4] 請求項１乃至３のいずれか一項に記載のインバータ駆動回転電機において、

定格電圧が７００Ｖｒｍｓ以下に設定されていることを特徴とするインバータ駆動回転電機。

[請求項5] 次式（Ａ１）を満足する電圧立ち上がり時間trのインパルス電圧を回転電機に印加する工程と、

部分放電が発生したか否かを確認する工程と、

部分放電の発生が確認されない場合に前記回転電機の相間絶縁性能を合格と判定する工程と、を有するインバータ駆動回転電機の相間絶縁部分放電検査方法。ただし、τ_{coil}は回転電機巻線の１コイルのサ

ージ伝播時間、PDIVは巻線ターン間の部分放電開始電圧、V_{max}は相間絶縁の部分放電試験電圧のピークである。

$$tr > (\tau_{coil} \cdot V_{max}) / (PDIV) \quad \cdots (A1)$$

[請求項6] 請求項５に記載のインバータ駆動回転電機の相間絶縁部分放電検査方法において、

前記インパルス電圧は振動周波数ｆを有する振動電圧であり、

前記電圧立ち上がり時間trが次式（Ａ２）を満足するように設定されていることを特徴とするインバータ駆動回転電機の相間絶縁部分放電検査方法。

$$tr \leqq 1/(4f) \quad \cdots (A2)$$

[請求項7] 請求項６に記載のインバータ駆動回転電機の相間絶縁部分放電検査方法において、

前記インパルス電圧は振動周波数ｆおよび時定数Ｋを有する減衰振動電圧であり、

前記振動周波数ｆは次式（Ａ３）を満足するように設定されていることを特徴とするインバータ駆動回転電機の相間絶縁部分放電検査方法。

$$-1/(2K \cdot \ln((V_{test}/V_{max})-1)) \leqq f \leqq 1/(2\sqrt{(L \cdot C)}) \cdots (A3)$$

[請求項8] 次式（Ａ１）を満足する電圧立ち上がり時間trのインパルス電圧を回転電機に印加するインパルス電源と、

前記インパルス電圧を回転電機に印加したときに発生する部分放電を計測する計測部と、

前記計測部で部分放電が計測されない場合に相間絶縁性能合格と判定する判定部と、を備えたインバータ駆動回転電機の相間絶縁部分放電検査装置。ただし、τ_{coil}は回転電機巻線の１コイルのサージ伝播時間、PDIVは巻線ターン間の部分放電開始電圧、V_{max}は相間絶縁の部分放電試験電圧のピークである。

$$tr > (\tau_{coil} \cdot V_{max}) / (PDIV) \quad \cdots (A1)$$

[請求項9] 請求項８に記載のインバータ駆動回転電機の相間絶縁部分放電検査装置において、

前記インパルス電圧は振動周波数ｆを有する振動電圧であり、

前記電圧立ち上がり時間trが次式（Ａ２）を満足するように設定されていることを特徴とするインバータ駆動回転電機の相間絶縁部分放電検査装置。

$$tr \leqq 1/(4f) \quad \cdots (A2)$$

[請求項10] 請求項９に記載のインバータ駆動回転電機の相間絶縁部分放電検査装置において、

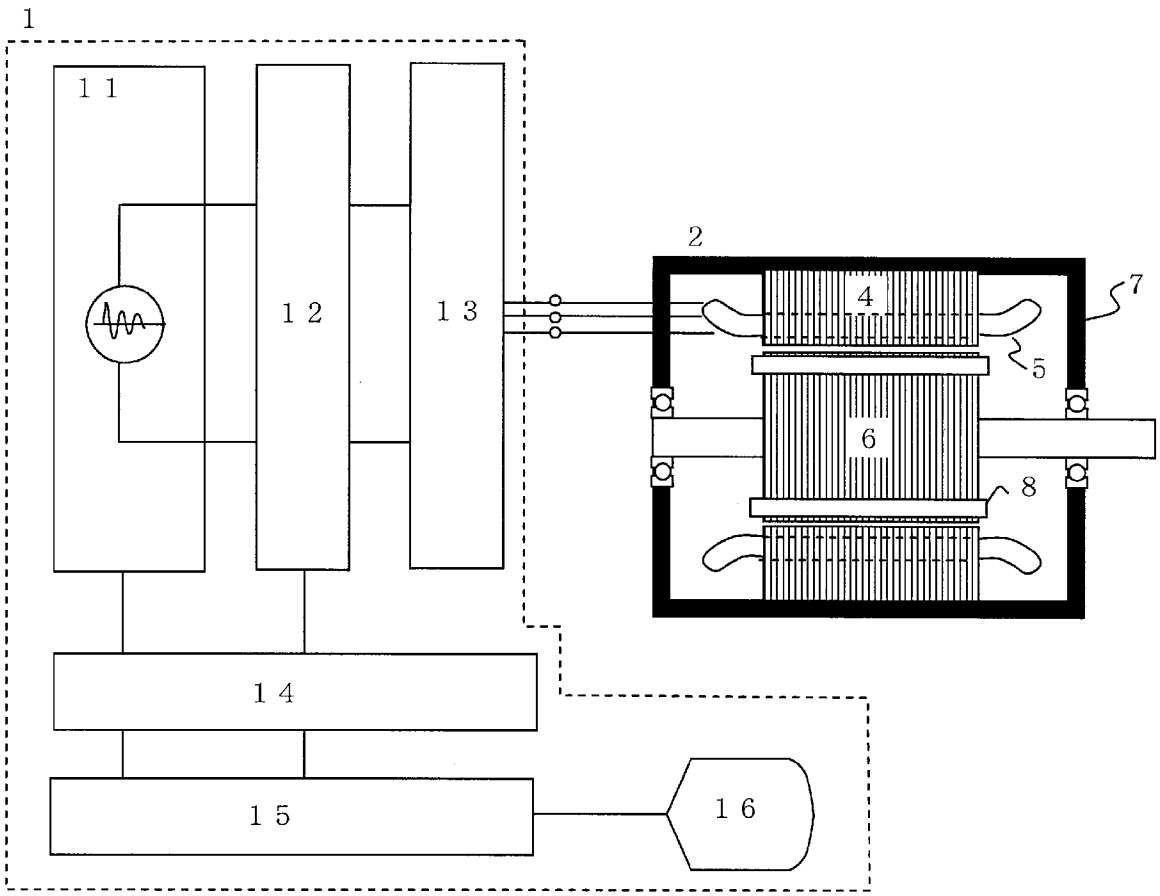
前記インパルス電圧は振動周波数ｆおよび時定数Ｋを有する減衰振動電圧であり、

前記振動周波数ｆは次式（Ａ３）を満足するように設定されていることを特徴とするインバータ駆動回転電機の相間絶縁部分放電検査装置。

$$-1/(2K \cdot \ln((V_{test}/V_{max})-1)) \leqq f \leqq 1/(2\sqrt{(L \cdot C)}) \cdots (A3)$$

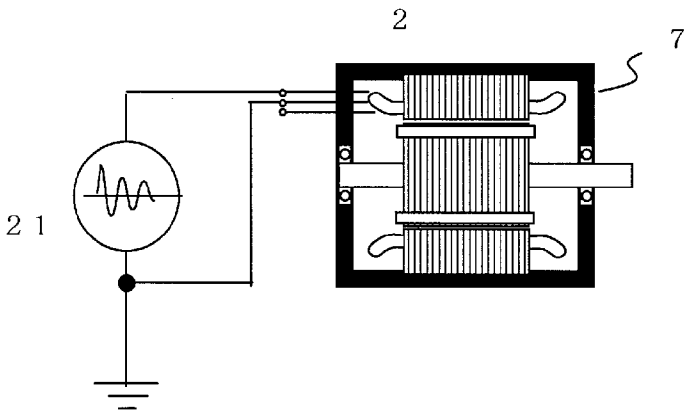
[図1]

【図１】



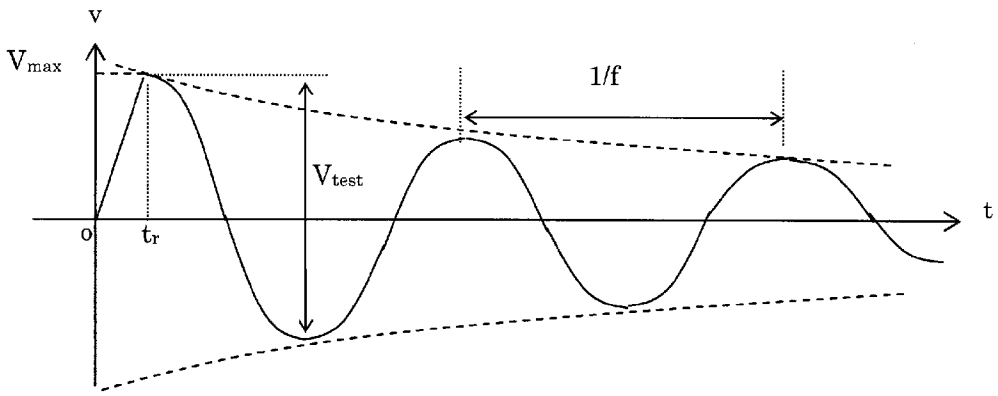
[図2]

【図２】



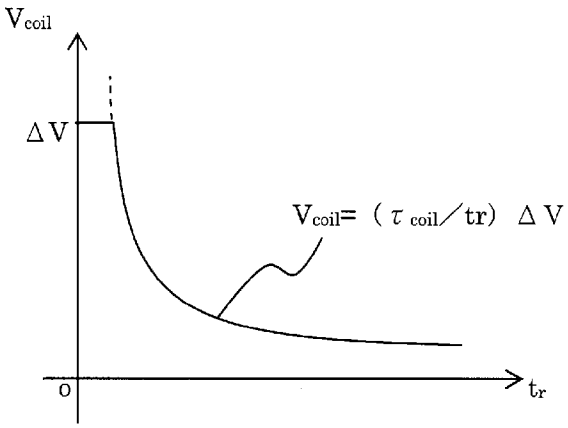
[図3]

【図３】



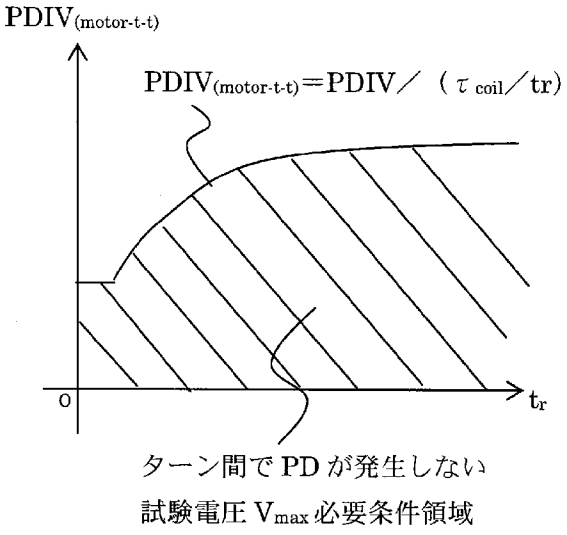
[図4]

【図４】



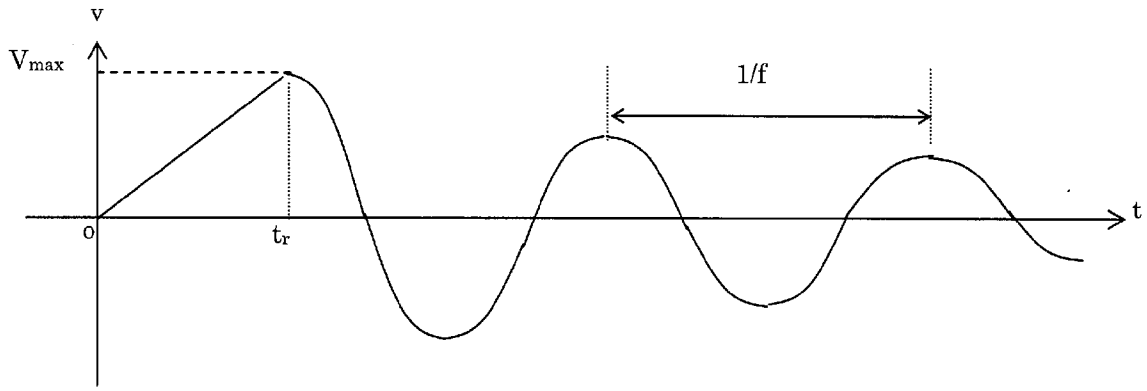
[図5]

【図５】


PDIV(motor-t-t)
PDIV(motor-t-t)＝PDIV／（τ coil／tr）
0
tr
ターン間でPDが発生しない
試験電圧 Vmax 必要条件領域

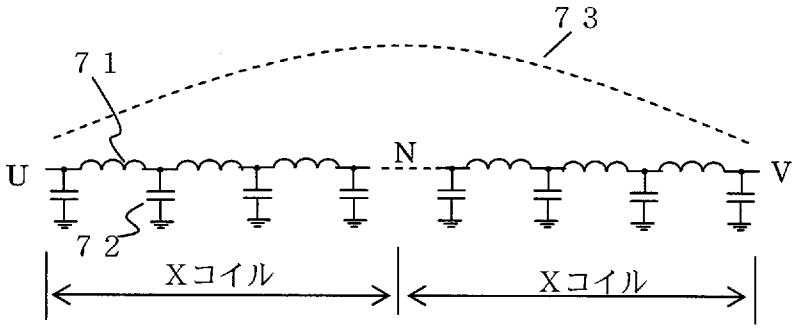
[図6]

【図６】



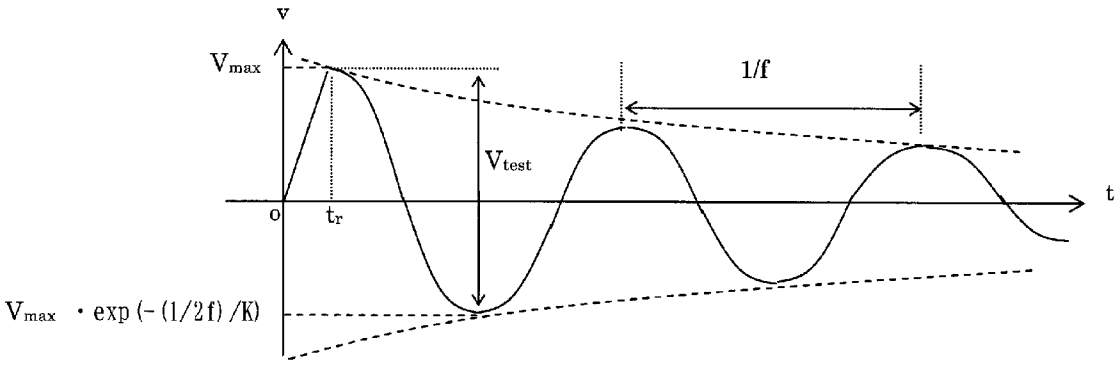
[図7]

【図７】



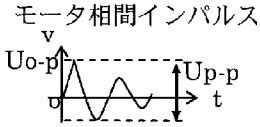
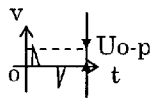
[図8]

【図８】



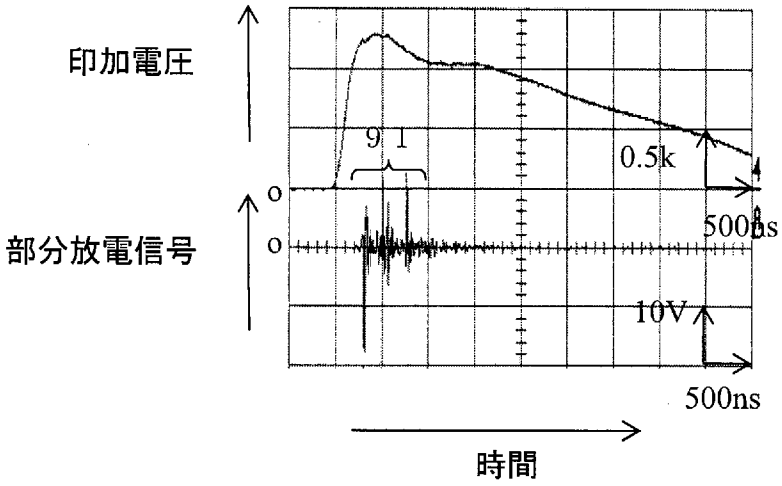
[図9]

【図９】

		測定量	実施例	従来例
モータ相間インパルス PDIV 		Up-p	3.6kVp-p	2.3kVp-p
		Uo-p	2.0kVo-p	1.3kVo-p
絶縁材料 PDIV （両極性ｲﾝﾊﾟﾙｽ） 	ターン間絶縁	Uo-p	0.65Vo-p	
	相間絶縁	Uo-p	1.8kVo-p	
	対地絶縁	Uo-p	1.6kVo-p	

[図10]

【図１０】



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2011/060167

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01R31/06(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)
G01R31/02-31/06, 31/12-31/20, 31/34

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)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2010-166813 A (Hitachi Industrial Equipment System Co., Ltd.), 29 July 2010 (29.07.2010), paragraphs [0039] to [0049]; fig. 4, 5 (Family: none)	1-3 4 5-10
Y A	JP 9-298853 A (Toshiba Corp.), 18 November 1997 (18.11.1997), paragraph [0031] (Family: none)	4 5-10

☐ 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	Date of mailing of the international search report
25 July, 2011 (25.07.11)	09 August, 2011 (09.08.11)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１１／０６０１６７

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01R31/06(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.　G01R31/02-31/06,31/12-31/20,31/34

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）

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 A	JP 2010-166813 A（株式会社日立産機システム）2010.07.29, 段落【0039】-【0049】,第4,5図（ファミリーなし）	1-3 4 5-10
Y A	JP 9-298853 A（株式会社東芝）1997.11.18, 段落【0031】 （ファミリーなし）	4 5-10

☐　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	国際調査報告の発送日
２５．０７．２０１１	０９．０８．２０１１

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　２Ｓ　４８４０
荒井　誠
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２５８