

(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
2013年1月3日(03.01.2013)



(10) 国際公開番号

WO 2013/002271 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 3/32 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/066411
- (22) 国際出願日: 2012年6月27日(27.06.2012)
- (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 2011-146294 2011年6月30日(30.06.2011) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 大電株式会社(DYDEN CORPORATION) [JP/JP]; 〒8300051 福岡県久留米市南二丁目15番1号 Fukuoka (JP). 福岡県(FUKUOKA PREFECTURAL GOVERNMENT) [JP/JP]; 〒8128577 福岡県福岡市博多区東公園7番7号 Fukuoka (JP). 国立大学法人熊本大学(NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION KUMAMOTO UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒8608555 熊本県熊本市中央区黒髪2丁目39番1号 Kumamoto (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 因 浩之(IN Hiroyuki) [JP/JP]; 〒8300051 福岡県久留米市南二丁目15番1号 大電株式会社内 Fukuoka (JP). 案納 芙美代(ANNOU Fumiyo) [JP/JP]; 〒8300051

福岡県久留米市南二丁目15番1号 大電株式会社内 Fukuoka (JP). 松永 大輔(MATSUNAGA Daisuke) [JP/JP]; 〒8300051 福岡県久留米市南二丁目15番1号 大電株式会社内 Fukuoka (JP). 北原 弘基(KITAHARA Hiromoto) [JP/JP]; 〒8608555 熊本県熊本市中央区黒髪2丁目39番1号 国立大学法人熊本大学内 Kumamoto (JP). 安藤 新二(ANDO Shinji) [JP/JP]; 〒8608555 熊本県熊本市中央区黒髪2丁目39番1号 国立大学法人熊本大学内 Kumamoto (JP). 津志田 雅之(TSUSHIDA Masayuki) [JP/JP]; 〒8608555 熊本県熊本市中央区黒髪2丁目39番1号 国立大学法人熊本大学内 Kumamoto (JP). 小川 俊文(OGAWA Toshifumi) [JP/JP]; 〒8070831 福岡県北九州市八幡西区則松3丁目6番1号 福岡県工業技術センター 機械電子研究所内 Fukuoka (JP).

(74) 代理人: 中前 富士男, 外(NAKAMAE Fujio et al.); 〒8028691 福岡県北九州市小倉北区浅野2丁目13番23号 幹線ビル401号 中前国際特許商標事務所 Fukuoka (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,

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR SELECTING FLEX-RESISTANT CONDUCTIVE MATERIAL, AND CABLE USING SAME

(54) 発明の名称: 耐屈曲性導電材料の選定方法及びそれをを用いたケーブル

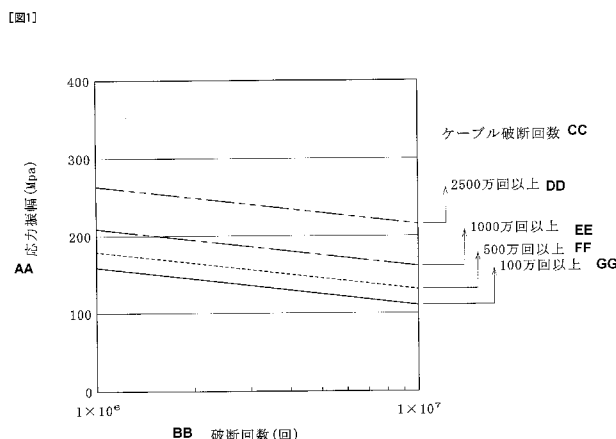


Fig. 1:
AA Stress amplitude (MPa)
BB Number of cycles to failure (cycles)
CC Number of cycles to cable failure
DD At least 25 million cycles
EE At least 10 million cycles
FF At least 5 million cycles
GG At least 1 million cycles

(57) Abstract: This method for selecting a flex-resistant conductive material and whereby, from an S-N curve indicating the relationship between stress amplitude and number of cycles to failure determined by performing a fatigue test of a conductive material, the conductive material withstands a dynamic driving test having least one million repetitions. In a range of the number of repetitions of stress until failure of 10^6 - 10^7 repetitions in the S-N curve of the conductive material, the selection criterion is a regression line linearly approximating the finite lifetime region of fatigue failure determined at a stress amplitude value of y MPa and a number of repetitions of stress of x repetitions being in the region indicating a lower limit value using the function formula: $y = -21.5 \ln(x) + 455$.

(57) 要約: 導電材料の疲労試験を行って求めた破断回数と応力振幅の関係を示すS-N曲線から、該導電材料が100万回以上の動的駆動試験に耐える耐屈曲性導電材料を選定する方法であり、導電材料のS-N曲線における $10^6 \sim 10^7$ 回の破断までの応力繰り返し数の範囲において、応力振幅値をy MPa、応力繰り返し数をx回として求めた疲労破壊の有限寿命領域を直線近似した回帰直線が、下限値を関数式 $y = -21.5 \ln(x) + 455$

55で示す領域内にあることを選定基準にする。



LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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.

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).

(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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ

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：

耐屈曲性導電材料の選定方法及びそれを用いたケーブル

技術分野

[0001] 本発明は、導電材料に負荷する応力振幅（動的荷重）と応力繰返し数（破断までの回数）との関係を示すS－N曲線を用いて耐屈曲性に優れた導電材料を選定する耐屈曲性導電材料の選定方法及びそれを用いたケーブルに関する。

背景技術

[0002] 産業用ロボットが普及し、その高性能化に伴ってそれに用いられるケーブルに対しても高い性能が要求されてきている。ケーブルに対する要求特性のなかでも特に耐屈曲性は極めて重要であり、電線メーカーではその耐屈曲性ケーブルの開発が大きな技術課題となっている。これまではケーブル用導電材料として電気用軟銅線が主に用いられてきたが、耐屈曲回数が100万回を大きく超えるケーブルニーズが徐々に広がっている。ここで、耐屈曲性ケーブルの耐屈曲性を評価する動的駆動試験法として、例えば±90度の左右曲げ試験法が採用されている。

[0003] 一方、金属材料は弾性範囲の荷重であっても繰返し荷重を受けると疲労し、遂には破断することが知られている。このため、金属材料に一定の繰返し応力を負荷した場合、どのくらいの回数まで耐えられるか、一定の繰返し回数まで破断させないためには、繰返し負荷する応力の範囲はどの程度であるべきかを把握するために、S－N曲線が広く使われている。

このS－N曲線の応用に関して、例えば、特許文献1には、銅材に振幅が変動する繰返し応力を負荷した場合に、銅材が破断するまでの破断繰返し数を求める銅材の疲労寿命の推定方法が提案されている。また、特許文献2には、ガスタービンの軸ねじりトルクに対応するシェアピンのS－N曲線を用いて、シェアピンの寿命を計算して予測する方法が提案されている。更に

、非特許文献１には、薄片試験片を用いた材料の疲労特性の評価方法が提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献１：特開平１１－６４２０３号公報

特許文献２：特開２０００－３７０９５号公報

非特許文献

[0005] 非特許文献１：津志田雅之、外３名、「薄片試験片用小型疲労試験機の開発とマグネシウム単結晶の疲労試験」、材料、日本材料学会、２００９年８月、第５８巻、第８号、p. ７０３－７０８

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 耐屈曲性に優れたケーブルを開発するために必要な導電材料の選定を行う場合、これまではケーブル屈曲試験を行っていた。しかしながら、耐屈曲回数が１００万回を超える試験では数十日間を超える試験時間が、耐屈曲回数が１０００万回を超える試験では数百日間を超える試験時間が必要になるという問題があり、新しい導電材料を選定するためのケーブル屈曲試験を頻繁に実施することは、実質的に困難であった。

また、特許文献１、２の技術は、特定材料についてＳ－Ｎ曲線を求め、求めたＳ－Ｎ曲線を用いて寿命予測（破断時期や交換時期の予測）を行うものであって、例えば、繰り返し回数が１０００万回を超える範囲で予測を行おうとする場合は、繰り返し回数が１０００万回を超える範囲までの試験を行ってＳ－Ｎ曲線を求める必要がある。このため、Ｓ－Ｎ曲線を求めることに長時間を要し、実効的な寿命予測方法とはいえない。

また、非特許文献１の技術は、薄片試験片を用いて材料の疲労破壊特性を評価するものであって、薄片試験片を構成する材料のＳ－Ｎ曲線が短時間で得られるという利点はあるが、得られたＳ－Ｎ曲線からケーブルの耐屈曲性を

直接予測することはできない。

[0007] 本発明は、かかる事情に鑑みてなされたもので、導電材料のS－N曲線を積極的に利用し、耐屈曲性に優れた導電材料を迅速かつ簡便に選定することが可能な耐屈曲性導電材料の選定方法及びそれを用いたケーブル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

[0008] 前記目的に沿う第1の発明に係る耐屈曲性導電材料の選定方法は、導電材料の疲労試験を行って求めた破断回数と応力振幅の関係を示すS－N曲線から、該導電材料が100万回以上の動的駆動試験に耐える耐屈曲性導電材料を選定する方法であって、

前記導電材料の前記S－N曲線における $10^6 \sim 10^7$ 回の破断までの応力繰返し数の範囲において、応力振幅値をy MPa、応力繰返し数をx回として求めた疲労破壊の有限寿命領域を直線近似した回帰直線が、下限値を関数式 $y = -21.5 \ln(x) + 455$ で示す領域内にあることを選定基準にする。

[0009] 前記目的に沿う第2の発明に係る耐屈曲性導電材料の選定方法は、導電材料の疲労試験を行って求めた破断回数と応力振幅の関係を示すS－N曲線から、該導電材料が500万回以上の動的駆動試験に耐える耐屈曲性導電材料を選定する方法であって、

前記導電材料の前記S－N曲線における $10^6 \sim 10^7$ 回の破断までの応力繰返し数の範囲において、応力振幅値をy MPa、応力繰返し数をx回として求めた疲労破壊の有限寿命領域を直線近似した回帰直線が、下限値を関数式 $y = -21.5 \ln(x) + 475$ で示す領域内にあることを選定基準にする。

[0010] 前記目的に沿う第3の発明に係る耐屈曲性導電材料の選定方法は、導電材料の疲労試験を行って求めた破断回数と応力振幅の関係を示すS－N曲線から、該導電材料が1000万回以上の動的駆動試験に耐える耐屈曲性導電材料を選定する方法であって、

前記導電材料の前記S－N曲線における $10^6 \sim 10^7$ 回の破壊までの応力繰返し数の範囲において、応力振幅値を y MPa、応力繰返し数を x 回として求めた疲労破壊の有限寿命領域を直線近似した回帰直線が、下限値を関数式 $y = -21.5 \ln(x) + 505$ で示す領域内にあることを選定基準にする。

[0011] 前記目的に沿う第4の発明に係る耐屈曲性導電材料の選定方法は、導電材料の疲労試験を行って求めた破断回数と応力振幅の関係を示すS－N曲線から、該導電材料が2500万回以上の動的駆動試験に耐える耐屈曲性導電材料を選定する方法であって、

前記導電材料の前記S－N曲線における $10^6 \sim 10^7$ 回の破壊までの応力繰返し数の範囲において、応力振幅値を y MPa、応力繰返し数を x 回として求めた疲労破壊の有限寿命領域を直線近似した回帰直線が、下限値を関数式 $y = -21.5 \ln(x) + 560$ で示す領域内にあることを選定基準にする。

[0012] 第1～第4の発明に係る耐屈曲性導電材料の選定方法において、前記関数式は、前記動的駆動試験に使用する試験体が線径 $d \mu\text{m}$ の素線で構成されたケーブルに対応して設定され、線径が $z \mu\text{m}$ の素線で構成されたケーブルの前記動的駆動試験に耐える耐屈曲性導電材料の選定には、前記関数式の y 切片の値に $(z - d) / 2$ で算出される補正値を加えて該関数式を修正することが好ましい。

[0013] 前記目的に沿う第5の発明に係るケーブルは、第1～第4の発明に係る耐屈曲性導電材料の選定方法によって選ばれた導電材料を使用している。

発明の効果

[0014] 第1～第4の発明に係る耐屈曲性導電材料の選定方法においては、過去に測定されたS－N曲線のデータ又は新たに作成されたS－N曲線のデータに基づいて、導電材料の耐屈曲性を推定することができ、実際に動的駆動試験を実施しなくても、用途に応じた耐屈曲性を有する導電材料を迅速かつ簡便に選定することが可能になる。

[0015] 第1～第4の発明に係る耐屈曲性導電材料の選定方法において、関数式が、動的駆動試験に使用する試験体が線径 $d \mu\text{m}$ の素線で構成されたケーブルに対応して設定されている際に、線径が $z \mu\text{m}$ の素線で構成されたケーブルの動的駆動試験に耐える耐屈曲性導電材料の選定に、関数式の y 切片の値に $(z - d) / 2$ で算出される補正値を加えて関数式を修正する場合、ケーブルを構成する素線の線径を考慮して、動的駆動試験に耐える耐屈曲性導電材料の選定を行うことができる。

[0016] 前記目的に沿う第5の発明に係るケーブルにおいては、実際にケーブルの動的駆動試験（例えばケーブル屈曲試験）を行うことなく、導電材料の $S - N$ 曲線を用いてケーブルの用途に適した耐屈曲性を備えた導電材料を迅速かつ簡便に選定することができ、信頼性を有するケーブルを迅速かつ低コストで製造することが可能になる

図面の簡単な説明

[0017] [図1]本発明の一実施例に係る耐屈曲性導電材料の選定方法で使用するケーブル屈曲試験破断回数範囲を推定する $S - N$ 曲線である。

[図2]ケーブル屈曲試験破断回数100万回以上を推定する際に用いる線径の変化を考慮した $S - N$ 曲線である。

[図3]ケーブル屈曲試験破断回数範囲を推定する $S - N$ 曲線の説明図である。

[図4]実験例1～3の導電材料の $S - N$ 曲線である。

[図5]実験例4～6の導電材料の $S - N$ 曲線である。

[図6]実験例7、8の導電材料の $S - N$ 曲線である。

[図7]実験例9～12の導電材料の $S - N$ 曲線である。

発明を実施するための形態

[0018] 続いて、添付した図面を参照しつつ、本発明を具体化した実施例につき説明し、本発明の理解に供する。

本発明の第1の実施例に係る耐屈曲性導電材料の選定方法は、図1に示すように、導電材料の疲労試験を行って求めた破断回数と応力振幅の関係を示す $S - N$ 曲線から、導電材料が100万回以上の動的駆動試験に耐える耐屈曲

性導電材料を選定する方法であって、導電材料のS-N曲線における $10^6 \sim 10^7$ 回の破断までの応力繰返し数の範囲において、応力振幅値をy MPa、応力繰返し数をx回として求めた疲労破壊の有限寿命領域を直線近似した回帰直線が、下限値を

$$\text{関数式 } y = -21.5 \lg(x) + 455 \quad (1)$$

で示す領域内にあることを選定基準としている。

[0019] 耐屈曲性導電材料で素線を作製し、この素線でケーブルを構成する場合、動的駆動試験（第2～第4の実施例の場合も同様）としては、例えばケーブル屈曲試験を採用することができる。ここで、ケーブル屈曲試験は、線径が $80 \mu\text{m}$ の素線を用いて作製した断面積が 0.2 mm^2 のケーブルを試験体とし、試験体に荷重 100 g を負荷した状態で、曲げ半径が 15 mm 、折り曲げ角度範囲が ± 90 度の左右繰返し曲げを加えることにより行う。

[0020] また、S-N曲線（第2～第4の実施例の場合も同様）は、ケーブルの素線と同一の耐屈曲性導電材料を用いて、長さ 30 mm 、幅 3 mm 、厚さ 0.3 mm の部材を作製し、部材の一端から 24 mm の幅方向中央位置に直径が 0.5 mm の円孔を形成した後、表面を鏡面仕上げして作製した試験片の疲労試験（応力繰返し負荷試験）から求めた。なお、疲労試験は、試験片の他端側にホルダーを、ホルダーの先端が円孔中心から 1 mm の位置になるように取り付け、試験片の一端を下方にしてホルダーを音響用スピーカのボイスコイル部に固定して、ボイスコイルを振動させて試験片が1次共振状態になるように周波数を調整して行った。そして、試験片のホルダー付け根に生じる最大応力を片持ち梁の曲げ応力の式から求め、疲労試験時の応力振幅とした。

[0021] 本発明の第2の実施例に係る耐屈曲性導電材料の選定方法は、図1に示すように、導電材料の疲労試験を行って求めた破断回数と応力振幅の関係を示すS-N曲線から、導電材料が 500 万回以上の動的駆動試験に耐える耐屈曲性導電材料を選定する方法であって、導電材料のS-N曲線における $10^6 \sim 10^7$ 回の破断までの応力繰返し数の範囲において、応力振幅値をy MPa

、応力繰返し数を x 回として求めた疲労破壊の有限寿命領域を直線近似した回帰直線が、下限値を

$$\text{関数式 } y = -21.5 \lg(x) + 475 \quad (2)$$

で示す領域内にあることを選定基準としている。

[0022] 本発明の第3の実施例に係る耐屈曲性導電材料の選定方法は、図1に示すように、導電材料の疲労試験を行って求めた破断回数と応力振幅の関係を示す $S-N$ 曲線から、導電材料が1000万回以上の動的駆動試験に耐える耐屈曲性導電材料を選定する方法であって、導電材料の $S-N$ 曲線における $10^6 \sim 10^7$ 回の破断までの応力繰返し数の範囲において、応力振幅値を y MPa、応力繰返し数を x 回として求めた疲労破壊の有限寿命領域を直線近似した回帰直線が、下限値を

$$\text{関数式 } y = -21.5 \lg(x) + 505 \quad (3)$$

で示す領域内にあることを選定基準としている。

[0023] 本発明の第4の実施例に係る耐屈曲性導電材料の選定方法は、図1に示すように、導電材料の疲労試験を行って求めた破断回数と応力振幅の関係を示す $S-N$ 曲線から、導電材料が2500万回以上の動的駆動試験に耐える耐屈曲性導電材料を選定する方法であって、導電材料の $S-N$ 曲線における $10^6 \sim 10^7$ 回の破断までの応力繰返し数の範囲において、応力振幅値を y MPa、応力繰返し数を x 回として求めた疲労破壊の有限寿命領域を直線近似した回帰直線が、下限値を

$$\text{関数式 } y = -21.5 \lg(x) + 560 \quad (4)$$

で示す領域内にあることを選定基準としている。

[0024] そして、第1～第4の実施例に係る耐屈曲性導電材料の選定方法において、関数式(1)～(4)が、ケーブル屈曲試験に使用する試験体が線径 $80 \mu\text{m}$ ($d \mu\text{m}$ の一例)の素線で構成されたケーブルに対応して設定され、線径が $z \mu\text{m}$ の素線で構成されたケーブルのケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料の選定には、関数式(1)～(4)の y 切片の値に $(z - 80) / 2$ で算出される補正値を加えて関数式を修正する。図2に、素線の線径を 50

及び $100\mu\text{m}$ としたときに関数式 (1) を修正して得られる関数式がそれぞれ示す応力振幅と破断回数の関係を、関数式 (1) が示す応力振幅と破断回数の関係と併せて示す。

以下、関数式 (1) ~ (4) について説明する。

[0025] 一般に、繰り返し応力疲労試験から得られる S-N 曲線において、応力繰り返し数が $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域では、応力振幅（繰り返し応力）と破断回数（破断までの応力繰り返し回数）の関係（疲労破壊挙動）は直線近似、即ち応力振幅と破断回数の関係を 1 次関数を用いて表現できる。

更に、繰り返し応力疲労試験で耐疲労破壊特性が高い材質を選定し、選定した材質の素線から構成したケーブルを用いてケーブル屈曲試験を行うと、高い耐屈曲性を示す（破断回数が大きい）結果が得られ、繰り返し応力疲労試験結果とケーブル屈曲試験結果は対応関係にあることが知られている。

[0026] このため、導電材料 P を基準材料として、導電材料 P で作製した試験片の疲労試験で、 $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域における疲労破壊挙動を示す 1 次関数（直線） p を求めると共に、この導電材料 P で形成した素線から構成されたケーブルのケーブル屈曲試験から破断回数 N_p を求めておくと、材質が異なる導電材料 Q を用いた疲労試験で、 $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域における疲労破壊挙動を示す 1 次関数 q を求めた場合、1 次関数 p より 1 次関数 q が高応力側（高破断回数側）に存在すると、導電材料 Q で形成した素線から構成されたケーブルのケーブル屈曲試験から求まる破断回数 N_q は、破断回数 N_p より大きくなることが予想される。一方、1 次関数 p より 1 次関数 q が低応力側（低破断回数側）に存在すると、導電材料 Q で形成した素線から構成されたケーブルのケーブル屈曲試験から求まる破断回数 N_q は、破断回数 N_p より小さくなることが予想される。

[0027] そこで、基準材料として純度 99.9% の銅を用いて試験片を作製して疲労試験を行い、 $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域における疲労破壊挙動を示す 1 次関数（直線）を求めた。また、純度 99.9% の銅で形成した素線から構成したケーブルのケーブル屈曲試験を行い、破断回数を求めた。純度 99.

9%の銅の $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域における疲労破壊挙動を示すS-N曲線を図3に示す。なお、 $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域における疲労破壊挙動を示す1次関数（回帰直線）は、 y を応力振幅値、 x を応力繰返し数（回）として $y = -21.5 \ln(x) + 505$ と求まり、ケーブル屈曲試験で得られた破断回数は1000万回であった。

[0028] そして、疲労破壊挙動が1次関数で表現可能な場合、材質が同一の試験片であれば、疲労破壊挙動の違いは、得られた1次関数を平行移動した1次関数で表現できると解される。このため、ケーブル屈曲試験で得られる破断回数が100万回であるケーブルを構成している素線の材料における $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域における疲労破壊挙動を示す1次関数は、ケーブル屈曲試験の破断回数が1000万回である材料の $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域における疲労破壊挙動を示す1次関数を、破断回数が $1/10$ になるように低破断回数側に移動させることにより決定する。したがって、ケーブル破断回数が100万回に対応した素線の材料の $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域における疲労破壊挙動を示す1次関数を、例えば $y = -21.5 \ln(x) + 455$ とする。

[0029] また、ケーブル屈曲試験で得られる破断回数が500万回であるケーブルを構成している素線の材料における $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域における疲労破壊挙動を示す1次関数は、ケーブル屈曲試験の破断回数が1000万回である材料の $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域における疲労破壊挙動を示す1次関数を、破断回数が $1/2$ になるように低破断回数側に移動させることにより決定する。したがって、ケーブル破断回数が500万回に対応した素線の材料の $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域における疲労破壊挙動を示す1次関数を、例えば $y = -21.5 \ln(x) + 475$ とする。

[0030] 一方、ケーブル屈曲試験で得られる破断回数が2500万回であるケーブルを構成している素線の材料における $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域における疲労破壊挙動を示す1次関数は、ケーブル屈曲試験の破断回数が1000万回である材料の $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域における疲労破壊挙動を示す

1 次関数で、高破断回数側を推定することになる。このため、過少評価を防止するため、ケーブル屈曲試験の破断回数が 1 0 0 0 万回である材料の $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域における疲労破壊挙動を示す 1 次関数を、破断寿命が 1 0 倍になるように高破断回数側に移動させることにより決定する。したがって、ケーブル破断回数が 2 5 0 0 万回に対応した素線の材料の $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域における疲労破壊挙動を示す 1 次関数を、例えば $y = -21.5 \ln(x) + 560$ とする。

[0031] ケーブル屈曲試験時の曲げ半径を R として、素線の線径が $z \mu m$ の場合に発生する歪みは、 $(R + z/2)/R$ であり、素線の線径が $80 \mu m$ の場合に発生する歪みは、 $(R + 80/2)/R$ である。したがって、素線の線径が $80 \mu m$ の場合を基準とした場合、素線の線径が $z \mu m$ の場合に発生する歪み変化分は、 $\{(R + z/2)/R\} - \{(R + 80/2)/R\} = (z - 80)/(2R)$ となる。このため、素線の線径が $80 \mu m$ より大きいと、ケーブル屈曲試験時に発生する歪みは、素線の線径が $80 \mu m$ の場合より大きくなり、発生する応力も大きくなる。一方、素線の線径が $80 \mu m$ より小さいと、ケーブル屈曲試験時に発生する歪みは、素線の線径が $80 \mu m$ の場合より小さくなり、発生する応力も小さくなる。

[0032] そこで、ケーブル屈曲試験における素線の線径の違いを、繰り返し応力疲労試験で得られる $S-N$ 曲線に反映させる場合、疲労破壊挙動を示す 1 次関数を、発生する歪み変化分に相当する応力の値だけ、応力軸に沿って移動させる必要がある。また、応力は、歪みと繰り返し応力疲労試験に用いた試験片の弾性率との積として求まるので、素線の線径 $80 \mu m$ の場合を基準として、歪みの変化分の線径依存部分 $(z - 80)/2$ だけを独立させた形式で 1 次関数に組み込むと、ケーブル屈曲試験時の素線線径の違いを $S-N$ 曲線に反映させた場合の疲労破壊挙動を示す 1 次関数は、 $y = -21.5 \ln(x) + K + (z - 80)/2$ となる。ここで、 K は 1 次関数の y 切片である。

[0033] 本発明の一実施例に係るケーブルは、第 1 ～ 第 4 の実施例に係る耐屈曲性導電材料の選定方法によって選ばれた導電材料を使用するものである。

例えば、100万回以上のケーブル屈曲試験に耐えるケーブル（素線の線径は $80\mu\text{m}$ ）を作製する場合、先ず、種々の耐屈曲性導電材料に対して予め作成しておいたS-N曲線のデータにおいて、 $10^6\sim 10^7$ 回の範囲の有限寿命領域を直線近似した回帰直線の中から、100万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料のS-N曲線の存在領域の下限を示す $y = -21.5 \ln(x) + 455$ よりは高応力側に存在し、500万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料のS-N曲線の存在領域の下限を示す $y = -21.5 \ln(x) + 475$ よりは低応力側に存在する回帰直線を選定する。なお、ケーブルの素線が $80\mu\text{m}$ と異なる場合は、 $y = -21.5 \ln(x) + 455 + (z - 80) / 2$ よりは高応力側に存在し、 $y = -21.5 \ln(x) + 475 + (z - 80) / 2$ よりは低応力側に存在する回帰直線を選定する。

そして、選定した回帰直線に対応する耐屈曲性導電材料が、100万回以上のケーブル屈曲試験に耐えるケーブルの素線を形成する候補材料となる。

[0034] 500万回以上のケーブル屈曲試験に耐えるケーブル（素線の線径は $80\mu\text{m}$ ）を作製する場合は、予め作成しておいたS-N曲線の $10^6\sim 10^7$ 回の範囲の有限寿命領域を直線近似した回帰直線の中から、 $y = -21.5 \ln(x) + 475$ よりは高応力側に存在し、1000万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料のS-N曲線の存在領域の下限を示す $y = -21.5 \ln(x) + 505$ よりは低応力側に存在する回帰直線を選定する。なお、ケーブルの素線が $80\mu\text{m}$ と異なる場合は、 $y = -21.5 \ln(x) + 475 + (z - 80) / 2$ よりは高応力側に存在し、 $y = -21.5 \ln(x) + 505 + (z - 80) / 2$ よりは低応力側に存在する回帰直線を選定する。

そして、選定した回帰直線に対応する耐屈曲性導電材料が、500万回以上のケーブル屈曲試験に耐えるケーブルの素線を形成する候補材料となる。

[0035] 1000万回以上のケーブル屈曲試験に耐えるケーブル（素線の線径は $80\mu\text{m}$ ）を作製する場合は、予め作成しておいたS-N曲線の $10^6\sim 10^7$ 回

の範囲の有限寿命領域を直線近似した回帰直線の中から、 $y = -21.5 \ln(x) + 505$ よりは高応力側に存在し、2500万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料のS-N曲線の存在領域の下限を示す $y = -21.5 \ln(x) + 560$ よりは低応力側に存在する回帰直線を選定する。なお、ケーブルの素線が $80 \mu\text{m}$ と異なる場合は、 $y = -21.5 \ln(x) + 505 + (z - 80) / 2$ よりは高応力側に存在し、 $y = -21.5 \ln(x) + 560 + (z - 80) / 2$ よりは低応力側に存在する回帰直線を選定する。

そして、選定した回帰直線に対応する耐屈曲性導電材料が、1000万回以上のケーブル屈曲試験に耐えるケーブルの素線を形成する候補材料となる。

[0036] 2500万回以上のケーブル屈曲試験に耐えるケーブル（素線の線径は $80 \mu\text{m}$ ）を作製する場合は、予め作成しておいたS-N曲線の $10^6 \sim 10^7$ 回の範囲の有限寿命領域を直線近似した回帰直線の中から、 $y = -21.5 \ln(x) + 560$ より高応力側に存在する回帰直線を選定する。なお、ケーブルの素線が $80 \mu\text{m}$ と異なる場合は、 $y = -21.5 \ln(x) + 560 + (z - 80) / 2$ よりは高応力側に存在する回帰直線を選定する。そして、選定した回帰直線に対応する耐屈曲性導電材料が、2500万回以上のケーブル屈曲試験に耐えるケーブルの素線を形成する候補材料となる。

[0037] 次に、本発明の作用効果を確認するために行った実験例について、以下に説明する。

（実験例1）

電線用の銅材（以下、銅材Aという）から、長さ30mm、幅3mm、厚さ0.3mmの部材を作製し、部材の一端から24mmの幅方向中央位置に直径が0.5mmの円孔を形成した。次いで、円孔が形成された部材の表面を鏡面仕上げして試験片を作製した。続いて、試験片の他端側にホルダーを、ホルダーの先端が円孔中心から1mmの位置になるように取り付け、試験片の一端を下方にしてホルダーを音響用スピーカのボイスコイル部に固定した。そして、ボイスコイルを振動させて試験片が1次共振状態になるようにし

て、疲労試験を行った。なお、試験片のホルダー付け根に生じる最大応力を片持ち梁の曲げ応力の式から求め、疲労試験時の応力振幅とした。応力繰返し数が $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域における疲労試験結果を図4に示す。また、 $10^6 \sim 10^7$ 回の範囲の有限寿命領域を直線近似した回帰直線は、 $y = -21.5 \ln(x) + 470$ であった。

[0038] 図4には、100万回以上及び500万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料のS-N曲線における $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線が存在する領域の下限值を示す関数式をそれぞれ示している。回帰直線 $y = -21.5 \ln(x) + 470$ は、100万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料のS-N曲線の存在領域の下限值を示す $y = -21.5 \ln(x) + 455$ （関数式（1））よりは高応力側に存在するが、500万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料のS-N曲線の存在領域の下限を示す $y = -21.5 \ln(x) + 475$ （関数式（2））よりは低応力側に存在している。したがって、銅材Aを用いて作製するケーブルのケーブル屈曲試験を行った場合、破断回数は100万回を超えると推定できるが、破断回数が500万回未満と推定できる。

[0039] 一方、銅材Aから作製した線径が $80 \mu\text{m}$ の素線を用いて構成した断面積が 0.2 mm^2 のケーブルを試験体とし、試験体に荷重100gを負荷した状態で、曲げ半径が15mm、折り曲げ角度範囲が ± 90 度の左右繰返し曲げを加えることによりケーブル屈曲試験を行った結果、破断回数は450万回であった。したがって、100万回以上及び500万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料のS-N曲線の $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線が存在する領域の下限值を示す関数式（1）、（2）と、銅材AのS-N曲線の $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線を比較することで、銅材Aを用いて作製するケーブルを用いたケーブル屈曲試験の破断回数を予測できることが確認された。

[0040] （実験例2）

実験例1の銅材とは別の電線用の銅材（以下、銅材Bという）を用いて、実

実験例 1 と同様の疲労試験を行った。応力繰返し数が $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域における疲労試験結果を図 4 に示す。また、 $10^6 \sim 10^7$ 回の範囲の有限寿命領域を直線近似した回帰直線は、 $y = -4.8 \ln(x) + 119$ であった。

銅材 B の回帰直線 $y = -4.8 \ln(x) + 119$ は、100 万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料の S-N 曲線の存在領域の下限を示す $y = -21.5 \ln(x) + 455$ (関数式 (1)) より低応力側に存在するため、銅材 B を用いて作製するケーブルのケーブル屈曲試験を行った場合、破断回数は 100 万回未満と推定できる。

一方、銅材 B で作製した線径が $80 \mu\text{m}$ の素線を用いて構成した断面積が 0.2 mm^2 のケーブルを試験体として、実験例 1 と同様のケーブル屈曲試験を実施すると、破断回数は 2000 回であった。したがって、100 万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料の S-N 曲線の $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線が存在する領域の下限值を示す関数式 (1) と、銅材 B の S-N 曲線の $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線を比較することで、銅材 B で作製するケーブルを用いたケーブル屈曲試験の破断回数を予測できることが確認された。

[0041] (実験例 3)

純度 99.9% の純銅 (以下、銅材 C という) を用いて、実験例 1 と同様の疲労試験を行った。応力繰返し数が $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線を図 4 に示す。また、 $10^6 \sim 10^7$ 回の範囲の有限寿命領域を直線近似した回帰直線は、 $y = -20.7 \ln(x) + 455$ であった。

銅材 C の回帰直線は、100 万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料の S-N 曲線の存在領域の下限を示す $y = -21.5 \ln(x) + 455$ (関数式 (1)) の低応力側直下に存在するため、破断回数は 100 万回未満であるが、100 万回に近いと推定できる。

一方、銅材 C で作製した線径が $80 \mu\text{m}$ の素線を用いて構成した断面積が 0

、 2 mm^2 のケーブルを試験体として、実験例1と同様のケーブル屈曲試験を実施すると、破断回数は90万回であった。したがって、 100 万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料のS-N曲線の $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線が存在する領域の下限值を示す関数式(1)と、銅材CのS-N曲線の $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線を比較することで、銅材Cで作製するケーブルを用いたケーブル屈曲試験の破断回数を予測できることが確認された。

[0042] (実験例4)

実験例1、2とは別の電線用の銅材(以下、銅材Dという)を用いて、実験例1と同様の疲労試験を行った。応力繰返し数が $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域における疲労試験結果を図5に示す。また、 $10^6 \sim 10^7$ 回の範囲の有限寿命領域を直線近似した回帰直線は、 $y = -35 \text{Ln}(x) + 700$ であった。

銅材Dの回帰直線は、 500 万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料のS-N曲線の存在領域の下限值を示す $y = -21.5 \text{Ln}(x) + 475$ (関数式(2))よりは高応力側に存在し、 1000 万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料のS-N曲線の存在領域の下限を示す $y = -21.5 \text{Ln}(x) + 505$ (関数式(3))と交差しているため、破断回数は 500 万回以上であるが、 1000 万回未満と推定できる。一方、銅材Dで作製した線径が $80\text{ }\mu\text{m}$ の素線を用いて構成した断面積が 0.2 mm^2 のケーブルを試験体として、実験例1と同様のケーブル屈曲試験を実施すると、破断回数は 600 万回であった。したがって、 $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線が存在する領域の下限值を示す関数式(2)、(3)と、銅材Dの $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線を比較することで、銅材Dで作製するケーブルを用いたケーブル屈曲試験の破断回数を予測できることが確認された。

[0043] (実験例5)

実験例1、2、4とは別の電線用の銅材(以下、銅材Eという)を用いて、

実験例 1 と同様の疲労試験を行った。応力繰返し数が $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線 $y = -28.0 \ln(x) + 594$ を図 5 に示す。

銅材 E の回帰直線は、500 万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料の S-N 曲線の存在領域の下限値を示す $y = -21.5 \ln(x) + 475$ (関数式 (2)) よりは高応力側に存在し、1000 万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料の S-N 曲線の存在領域の下限を示す $y = -21.5 \ln(x) + 505$ (関数式 (3)) の直下に存在するため、破断回数は 1000 万回に近い回数と推定できる。

一方、銅材 E で作製した線径が $80 \mu\text{m}$ の素線を用いて構成した断面積が 0.2 mm^2 のケーブルを試験体として、実験例 1 と同様のケーブル屈曲試験を実施すると、破断回数は 900 万回であった。したがって、1000 万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料の S-N 曲線の $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線が存在する領域の下限値を示す関数式 (3) と、銅材 E の $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線を比較することで、銅材 E で作製するケーブルを用いたケーブル屈曲試験の破断回数を予測できることが確認された。

[0044] (実験例 6)

実験例 1、2、4、5 とは別の電線用の銅材 (以下、銅材 F という) を用いて、実験例 1 と同様の疲労試験を行った。応力繰返し数が $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線 $y = -29.2 \ln(x) + 535$ を図 5 に示す。

銅材 F の回帰直線は、1000 万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料の S-N 曲線の存在領域の下限値を示す $y = -21.5 \ln(x) + 505$ (関数式 (3)) よりは高応力側に存在し、2500 万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料の S-N 曲線の存在領域の下限値を示す $y = -21.5 \ln(x) + 560$ (関数式 (4)) の下側に存在するため、破断回数は 2500 万回に近い回数と推定できる。

一方、銅材Fで作製した線径が $80\mu\text{m}$ の素線を用いて構成した断面積が 0.2mm^2 のケーブルを試験体として、実験例1と同様のケーブル屈曲試験を実施すると、破断回数は2400万回であった。したがって、1000万回以上及び2500万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料のS-N曲線の $10^6\sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線が存在する領域の下限值を示す関数式(3)、(4)と、銅材Fの $10^6\sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線を比較することで、銅材Fで作製するケーブルを用いたケーブル屈曲試験の破断回数を予測できることが確認された。

[0045] (実験例7)

銅材Cで作製した線径が $100\mu\text{m}$ の素線を用いて構成した断面積が 0.2mm^2 のケーブルを試験体として、実験例1と同様のケーブル屈曲試験を実施すると、破断回数は50万回であった。

ここで、素線の線径が $80\mu\text{m}$ であるケーブルが100万回以上のケーブル屈曲試験に耐える場合、耐屈曲性導電材料のS-N曲線における $10^6\sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線が存在する領域の下限值を示す関数式は $y = -21.5 \text{Ln}(x) + 455$ であるから、ケーブル屈曲試験時の素線の線径が $100\mu\text{m}$ の場合は、下限値を示す関数式は、 $y = -21.5 \text{Ln}(x) + 455 + (100 - 80) / 2 = -21.5 \text{Ln}(x) + 465$ と修正される。一方、銅材Cを用いた疲労試験における応力繰返し数が $10^6\sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線は $y = -22.8 \text{Ln}(x) + 480$ である。そして、図6に示すように、線径 $100\mu\text{m}$ の場合に修正した下限値を示す関数式 $y = -21.5 \text{Ln}(x) + 465$ と銅材Cの $10^6\sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線 $y = -22.8 \text{Ln}(x) + 480$ を比較すると、銅材Cの回帰直線は、線径 $100\mu\text{m}$ の場合に修正した下限値を示す関数式 $y = -21.5 \text{Ln}(x) + 465$ の低応力側に存在しており、ケーブル屈曲試験の破断回数は100万回未満と推定でき、ケーブル屈曲試験と一致する。

[0046] (実験例 8)

銅材 C で作製した線径が $50\ \mu\text{m}$ の素線を用いて構成した断面積が $0.2\ \text{mm}^2$ のケーブルを試験体に対して、実験例 1 と同様のケーブル屈曲試験を実施すると、破断回数は 200 万回であった。

ここで、素線の線径が $80\ \mu\text{m}$ であるケーブルが 100 万回以上のケーブル屈曲試験に耐える場合、耐屈曲性導電材料の S-N 曲線における $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線が存在する領域の下限值を示す関数式は $y = -21.5 \text{Ln}(x) + 455$ であるから、ケーブル屈曲試験時の素線の線径が $50\ \mu\text{m}$ の場合は、下限値を示す関数式は、 $y = -21.5 \text{Ln}(x) + 455 + (50 - 80) / 2 = -21.5 \text{Ln}(x) + 440$ と修正される。一方、銅材 C を用いた疲労試験における応力繰返し数が $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線は $y = -17.9 \text{Ln}(x) + 392$ である。そして、図 6 に示すように、線径 $50\ \mu\text{m}$ の場合に修正した下限値を示す関数式 $y = -21.5 \text{Ln}(x) + 440$ と銅材 C の $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線 $y = -17.9 \text{Ln}(x) + 392$ を比較すると、銅材 C の回帰直線は、線径 $50\ \mu\text{m}$ の場合に修正した下限値を示す関数式 $y = -21.5 \text{Ln}(x) + 440$ の高応力側に存在しており、ケーブル屈曲試験の破断回数は 100 万回以上と推定でき、ケーブル屈曲試験と一致する。

[0047] (実験例 9)

アルミニウムに $0.45\ \text{mass}\%$ のジルコニウム、 $0.2\ \text{mass}\%$ のシリコン、及び $0.15\ \text{mass}\%$ の鉄を加えて作製し、熱処理したアルミニウム系材料から、長さ $30\ \text{mm}$ 、幅 $3\ \text{mm}$ 、厚さ $0.3\ \text{mm}$ の部材を作製し、部材の一端から $24\ \text{mm}$ の幅方向中央位置に直径が $0.5\ \text{mm}$ の円孔を形成した。次いで、円孔が形成された部材の表面を鏡面仕上げして試験片を作製した。続いて、試験片の他端側にホルダーを、ホルダーの先端が円孔中心から $1\ \text{mm}$ の位置になるように取り付け、試験片の一端を下方にしてホルダーを音響用スピーカのボイスコイル部に固定した。そして、ボイスコイルを

振動させて試験片が１次共振状態になるようにして、疲労試験を行った。なお、試験片のホルダー付け根に生じる最大応力を片持ち梁の曲げ応力の式から求め、疲労試験時の応力振幅とした。応力繰返し数が $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域における疲労試験結果を図７に示す。また、 $10^6 \sim 10^7$ 回の範囲の有限寿命領域を直線近似した回帰直線は、 $y = -11.1 \ln(x) + 320$ であった。

[0048] 図７には、１００万回以上、５００万回以上、及び１０００万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料のＳ－Ｎ曲線における $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線が存在する領域の下限值を示す関数式をそれぞれ示している。熱処理したアルミニウム系材料の回帰直線 $y = -11.1 \ln(x) + 320$ は、１００万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料のＳ－Ｎ曲線の存在領域の下限を示す $y = -21.5 \ln(x) + 455$ （関数式（１））よりは高応力側に存在するが、５００万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料のＳ－Ｎ曲線の存在領域の下限を示す $y = -21.5 \ln(x) + 475$ （関数式（２））とは交差している。したがって、熱処理したアルミニウム系材料のケーブル屈曲試験を行った場合、破断回数は１００万回を超えると推定できるが、破断回数が５００万回を超えとは推定できない。

[0049] 一方、熱処理したアルミニウム系材料で作製した線径が $80 \mu\text{m}$ の素線を用いて構成した断面積が 0.2 mm^2 のケーブルを試験体とし、試験体に荷重１００ｇを負荷した状態で、曲げ半径が 15 mm 、折り曲げ角度範囲が ± 90 度の左右繰返し曲げを加えることによりケーブル屈曲試験を行った結果、破断回数は５００万回であった。したがって、１００万回以上及び５００万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料のＳ－Ｎ曲線の $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線が存在する領域の下限值を示す関数式（１）、（２）と、熱処理したアルミニウム系材料のＳ－Ｎ曲線の $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線を比較することで、熱処理したアルミニウム系材料のケーブルを用いたケーブル屈曲試験の破断

回数を予測できることが確認された。

[0050] (実験例 10)

純度 99% のアルミニウム材料 (純アルミニウム材料) を用いて、実施例 1 と同様の疲労試験を行った。 $10^6 \sim 10^7$ 回の範囲の有限寿命領域を直線近似した回帰直線は、 $y = -4.8 \ln(x) + 119$ であった。

図 7 に示すように、純アルミニウム材料の回帰直線 $y = -4.8 \ln(x) + 119$ は、100 万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料の S-N 曲線の存在領域の下限を示す $y = -21.5 \ln(x) + 455$ (関数式 (1)) より低応力側に存在するため、純アルミニウム材料のケーブル屈曲試験を行った場合、破断回数は 100 万回未満と推定できる。

一方、純アルミニウム材料で作製した線径が $80 \mu\text{m}$ の素線を用いて構成した断面積が 0.2 mm^2 のケーブルを試験体に対して、実施例 1 と同様のケーブル屈曲試験を実施すると、破断回数は 2000 回であった。したがって、100 万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料の S-N 曲線の $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線が存在する領域の下限值を示す関数式 (1) と、純アルミニウム材料の S-N 曲線の $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線を比較することで、純アルミニウム材料のケーブルを用いたケーブル屈曲試験の破断回数を予測できることが確認された。

[0051] (実験例 11)

アルミニウムに 0.75 mass% のジルコニウム、0.33 mass% の鉄、0.30 mass% のシリコン、0.04 mass% のチタンを加えて作製したアルミニウム系材料 (Al-Zr-Fe-Si-Ti 系材料) を用いて、実施例 1 と同様の疲労試験を行った。 $10^6 \sim 10^7$ 回の範囲の有限寿命領域を直線近似した回帰直線は、 $y = -16.6 \ln(x) + 460$ であった。

図 7 に示すように、Al-Zr-Fe-Si-Ti 系材料の回帰直線 $y = -16.6 \ln(x) + 460$ は、1000 万回以上のケーブル屈曲試験に耐

える耐屈曲性導電材料のS-N曲線の存在領域の下限を示す $y = -21.5 \ln(x) + 505$ (関数式(3)) より高応力側に存在し、2500万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料のS-N曲線の存在領域の下限を示す $y = -21.5 \ln(x) + 560$ (関数式(4)) より低応力側に存在するため、Al-Zr-Fe-Si-Ti系材料のケーブル屈曲試験を行った場合、破断回数は1000万回以上、2500万回未満と推定できる。

一方、Al-Zr-Fe-Si-Ti系材料で作製した線径が80 μ mの素線を用いて構成した断面積が0.2mm²のケーブルを試験体に対して、実施例1と同様のケーブル屈曲試験を実施すると、破断回数は2000万回であった。したがって、 $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線が存在する領域の下限値を示す関数式(3)、(4)と、Al-Zr-Fe-Si-Ti系材料の $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線を比較することで、Al-Zr-Fe-Si-Ti系材料のケーブルを用いたケーブル屈曲試験の破断回数を予測できることが確認された。

[0052] (実験例12)

アルミニウムに0.75mass%のジルコニウム、0.33mass%の鉄、0.30mass%のシリコン、0.04mass%のチタンを加えて溶製したアルミニウム系材料を10℃/min以上の冷却速度で急冷し、減面率80%の加工を施した後に350℃で5時間の時効処理を行い、更に減面率80%の加工を実施して作製した組織制御Al-Zr-Fe-Si-Ti系材料を用いて、実施例1と同様の疲労試験を行った。 $10^6 \sim 10^7$ 回の範囲の有限寿命領域を直線近似した回帰直線は、 $y = -14.8 \ln(x) + 471$ であった。

図7に示すように、組織制御Al-Zr-Fe-Si-Ti系材料の回帰直線は、2500万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料のS-N曲線の存在領域の下限を示す $y = -21.5 \ln(x) + 560$ (関数式(4)) の高応力側に存在するため、破断回数は2500万回以上と推定

できる。

一方、組織制御 A l - Z r - F e - S i - T i 系材料で作製した線径が $80\ \mu\text{m}$ の素線を用いて構成した断面積が $0.2\ \text{mm}^2$ のケーブルを試験体に対して、実施例 1 と同様のケーブル屈曲試験を実施すると、破断回数は 5000 万回であった。したがって、2500 万回以上のケーブル屈曲試験に耐える耐屈曲性導電材料の S - N 曲線の $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線が存在する領域の下限值を示す関数式 (4) と、組織制御 A l - Z r - F e - S i - T i 系材料の S - N 曲線の $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線を比較することで、組織制御 A l - Z r - F e - S i - T i 系材料のケーブルを用いたケーブル屈曲試験の破断回数を予測できることが確認された。

[0053] 以上、本発明を、実施例を参照して説明してきたが、本発明は何ら上記した実施例に記載した構成に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載されている事項の範囲内で考えられるその他の実施例や変形例も含むものである。

更に、本実施例とその他の実施例や変形例にそれぞれ含まれる構成要素を組合わせたものも、本発明に含まれる。

例えば、ケーブル屈曲試験の方法は、本実施例に示した方法以外の方法を適用することができる。

また、導電材料には、金属材料のほかに導電性プラスチックを使用することができる。

更に、S - N 曲線の縦軸に示す応力振幅の代わりに、歪み振幅を採用してもよい。

産業上の利用可能性

[0054] 本発明の耐屈曲性導電材料の選定方法では、ケーブルの動的駆動試験（例えば、 ± 90 度の左右曲げ試験）を実施せずに、ケーブルに使用する導電材料を用いて作製した試験片を用いた疲労試験を行って得られた S - N 曲線における $10^6 \sim 10^7$ 回の有限寿命領域を直線近似する回帰直線を求め、この回

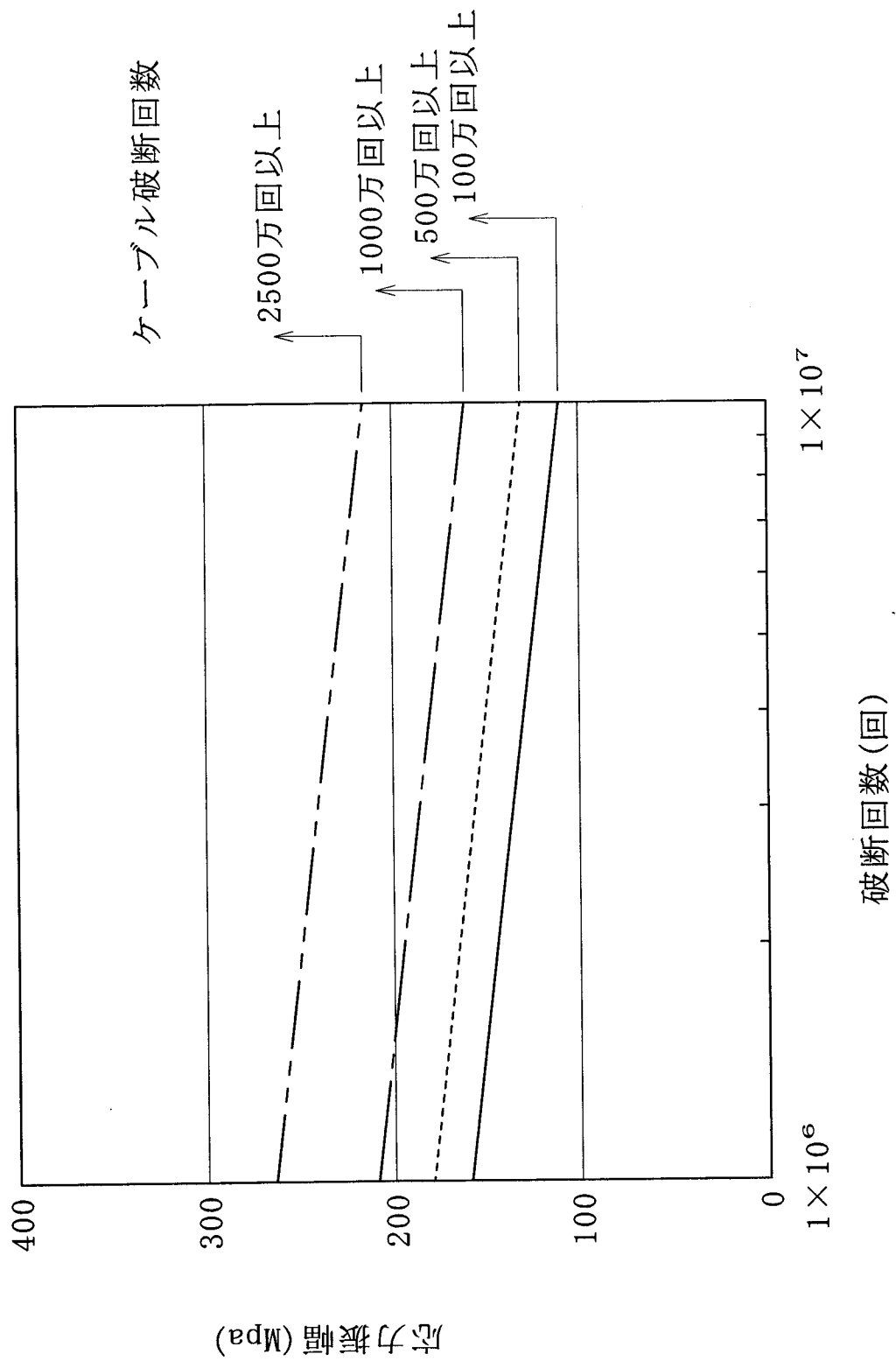
帰直線に基づいてケーブルの寿命を推定することができるので、耐屈曲性に優れた新規の導電材料を迅速かつ簡便に探索することが可能になる。その結果、耐屈曲性の要求特性に適切に対応するケーブルを迅速かつ安価に提供することができる。

請求の範囲

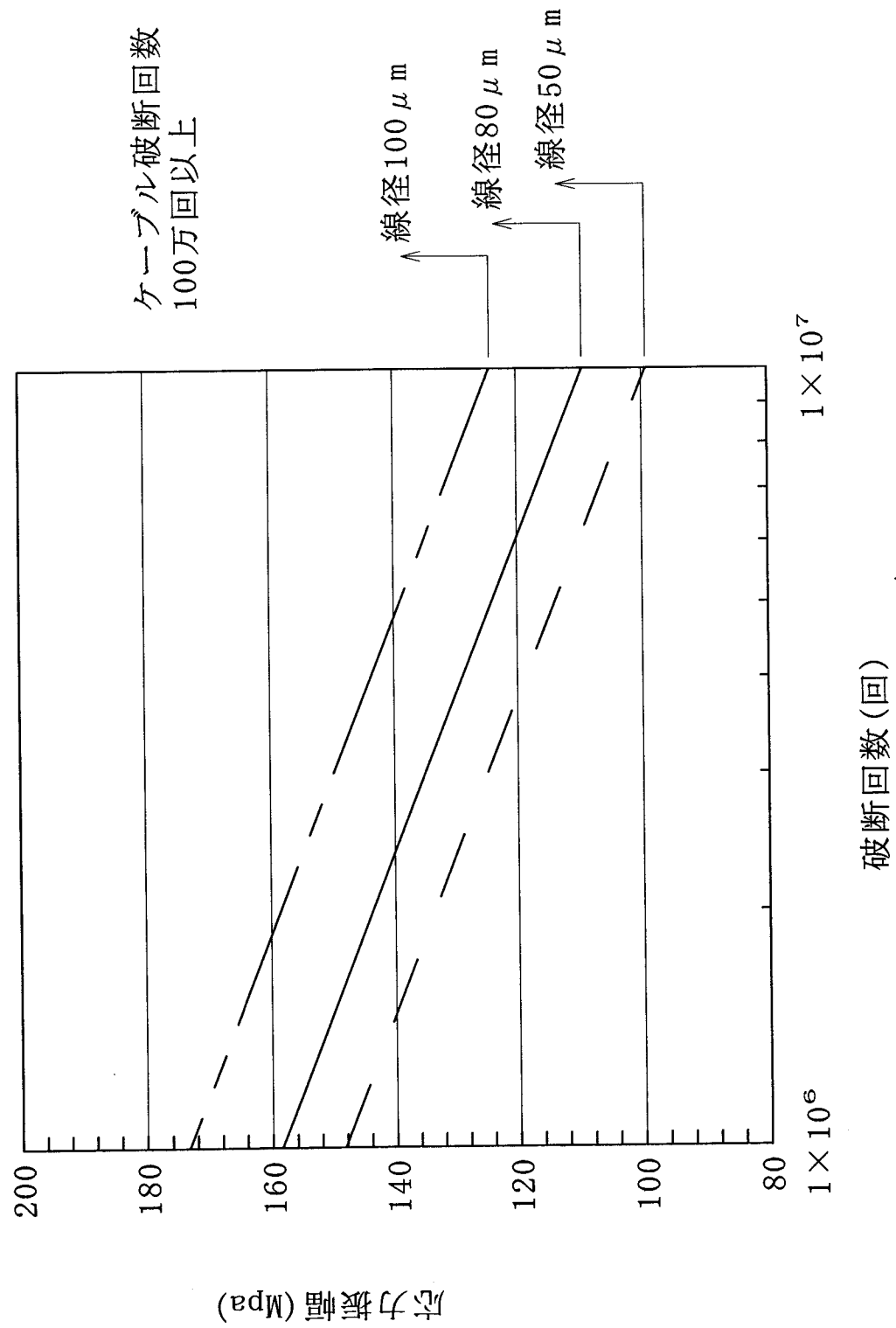
- [請求項1] 導電材料の疲労試験を行って求めた破断回数と応力振幅の関係を示す S-N 曲線から、該導電材料が 1 0 0 万回以上の動的駆動試験に耐える耐屈曲性導電材料を選定する方法であって、
前記導電材料の前記 S-N 曲線における $10^6 \sim 10^7$ 回の破断までの応力繰返し数の範囲において、応力振幅値を y MPa、応力繰返し数を x 回として求めた疲労破壊の有限寿命領域を直線近似した回帰直線が、下限値を関数式 $y = -21.5 \ln(x) + 455$ で示す領域内にあることを選定基準にすることを特徴とする耐屈曲性導電材料の選定方法。
- [請求項2] 導電材料の疲労試験を行って求めた破断回数と応力振幅の関係を示す S-N 曲線から、該導電材料が 5 0 0 万回以上の動的駆動試験に耐える耐屈曲性導電材料を選定する方法であって、
前記導電材料の前記 S-N 曲線における $10^6 \sim 10^7$ 回の破断までの応力繰返し数の範囲において、応力振幅値を y MPa、応力繰返し数を x 回として求めた疲労破壊の有限寿命領域を直線近似した回帰直線が、下限値を関数式 $y = -21.5 \ln(x) + 475$ で示す領域内にあることを選定基準にすることを特徴とする耐屈曲性導電材料の選定方法。
- [請求項3] 導電材料の疲労試験を行って求めた破断回数と応力振幅の関係を示す S-N 曲線から、該導電材料が 1 0 0 0 万回以上の動的駆動試験に耐える耐屈曲性導電材料を選定する方法であって、
前記導電材料の前記 S-N 曲線における $10^6 \sim 10^7$ 回の破壊までの応力繰返し数の範囲において、応力振幅値を y MPa、応力繰返し数を x 回として求めた疲労破壊の有限寿命領域を直線近似した回帰直線が、下限値を関数式 $y = -21.5 \ln(x) + 505$ で示す領域内にあることを選定基準にすることを特徴とする耐屈曲性導電材料の選定方法。

- [請求項4] 導電材料の疲労試験を行って求めた破断回数と応力振幅の関係を示す $S-N$ 曲線から、該導電材料が 2 5 0 0 万回以上の動的駆動試験に耐える耐屈曲性導電材料を選定する方法であって、
前記導電材料の前記 $S-N$ 曲線における $10^6 \sim 10^7$ 回の破壊までの応力繰返し数の範囲において、応力振幅値を y M P a、応力繰返し数を x 回として求めた疲労破壊の有限寿命領域を直線近似した回帰直線が、下限値を関数式 $y = -21.5 \text{Ln}(x) + 560$ で示す領域内にあることを選定基準にすることを特徴とする耐屈曲性導電材料の選定方法。
- [請求項5] 請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の耐屈曲性導電材料の選定方法において、前記関数式は、前記動的駆動試験に使用する試験体が線径 d μm の素線で構成されたケーブルに対応して設定され、線径が z μm の素線で構成されたケーブルの前記動的駆動試験に耐える耐屈曲性導電材料の選定には、前記関数式の y 切片の値に $(z - d) / 2$ で算出される補正值を加えて該関数式を修正することを特徴とする耐屈曲性導電材料の選定方法。
- [請求項6] 請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の耐屈曲性導電材料の選定方法によって選ばれた導電材料を使用することを特徴とするケーブル。

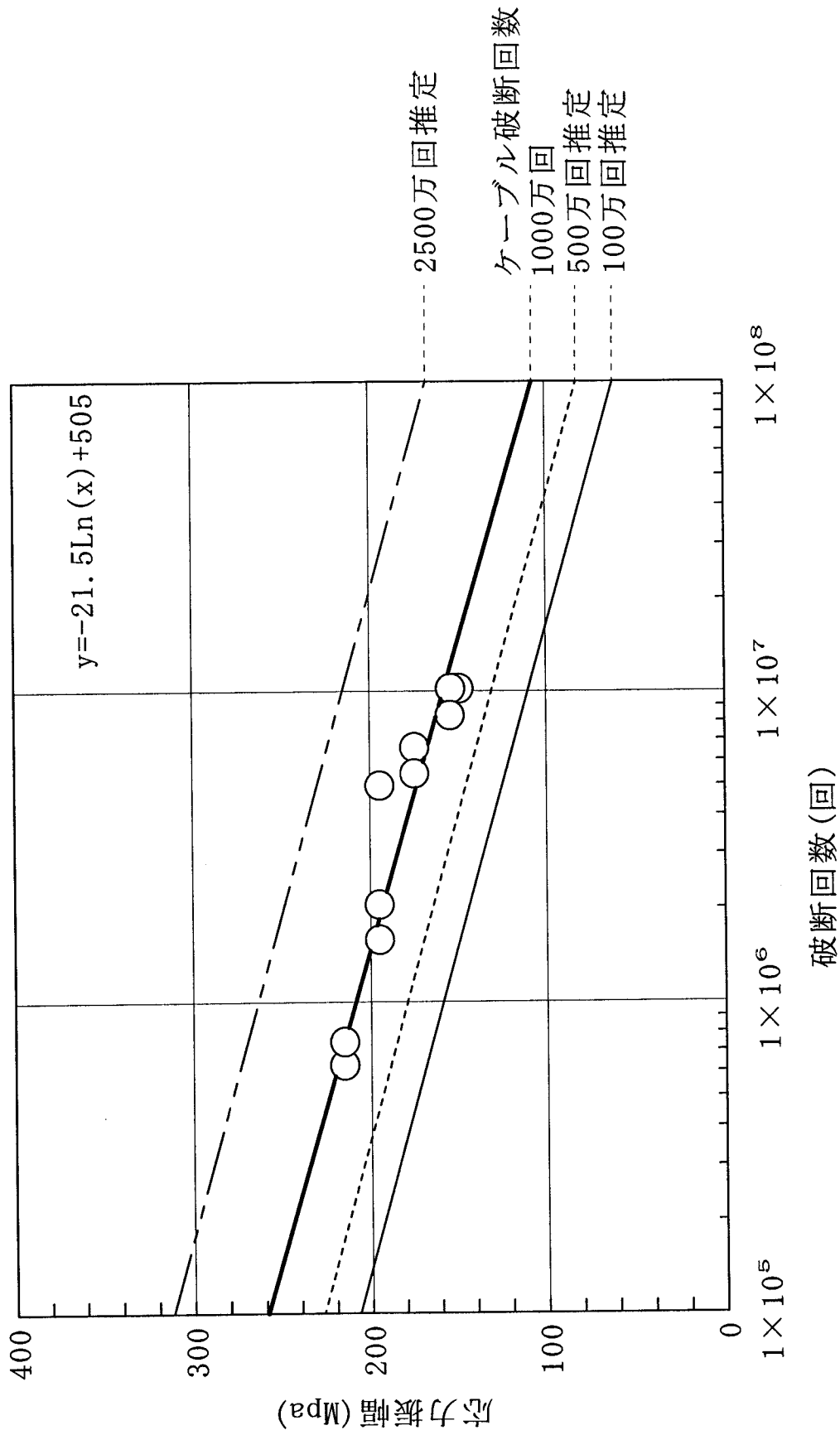
[図1]



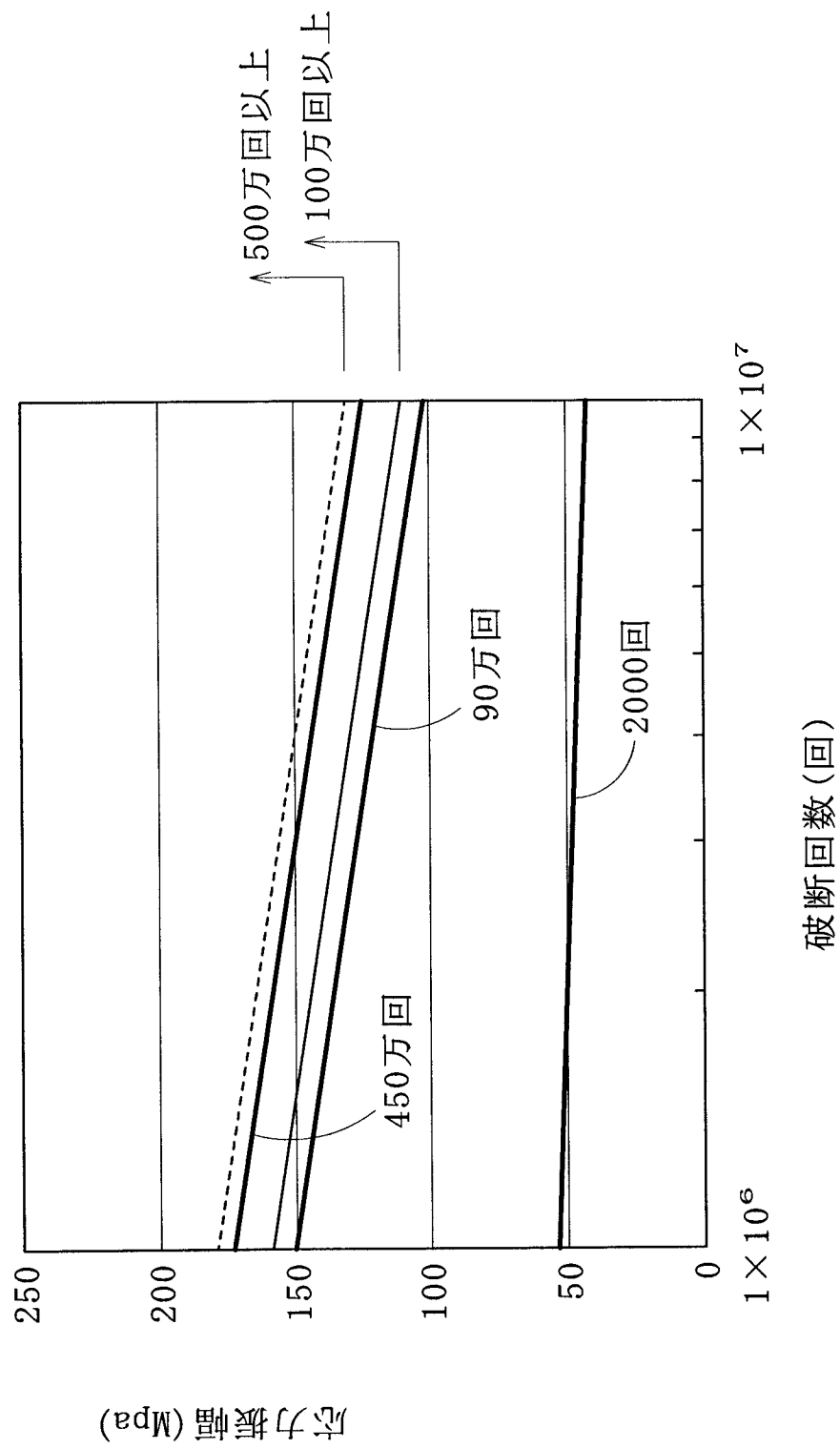
[図2]



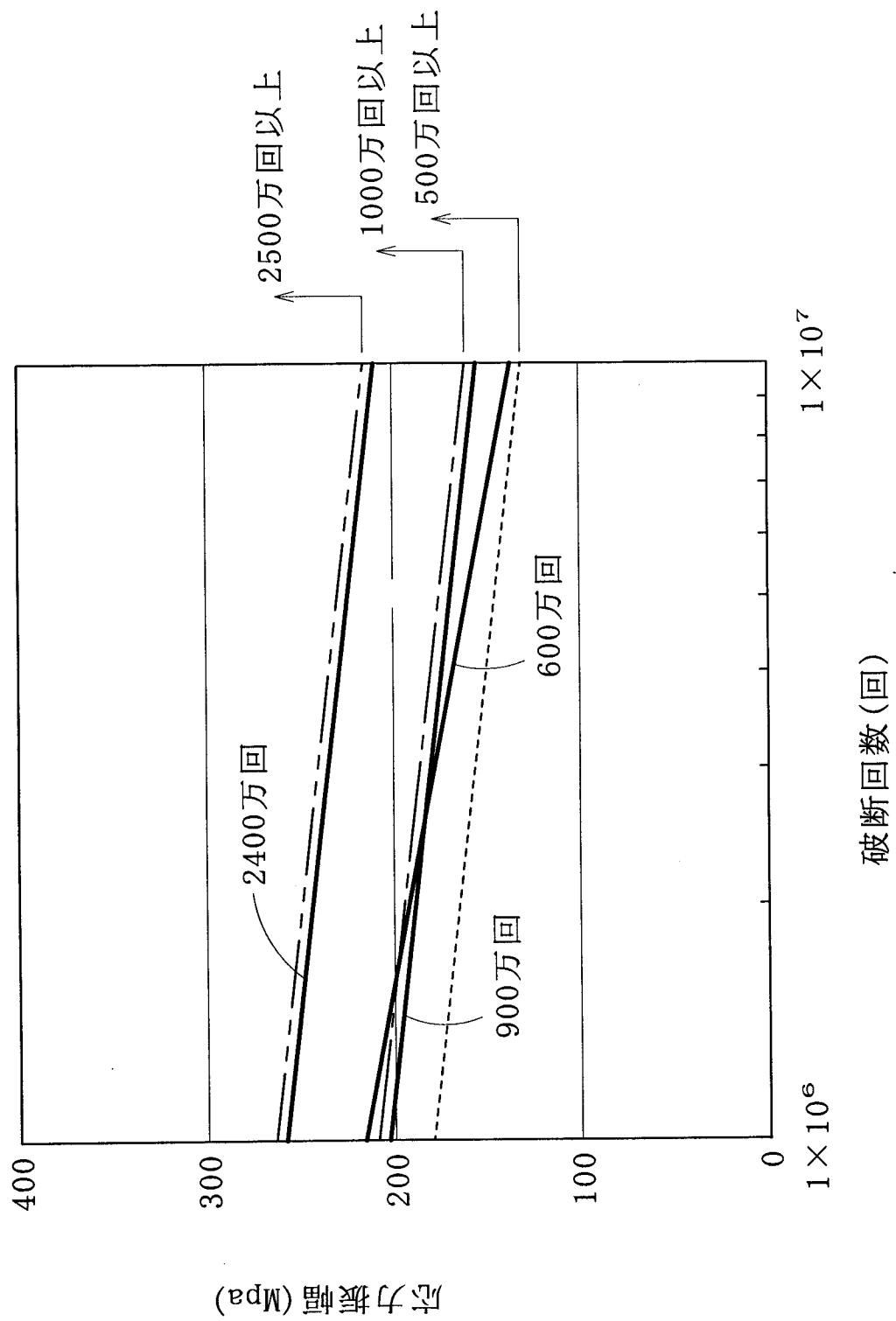
[図3]



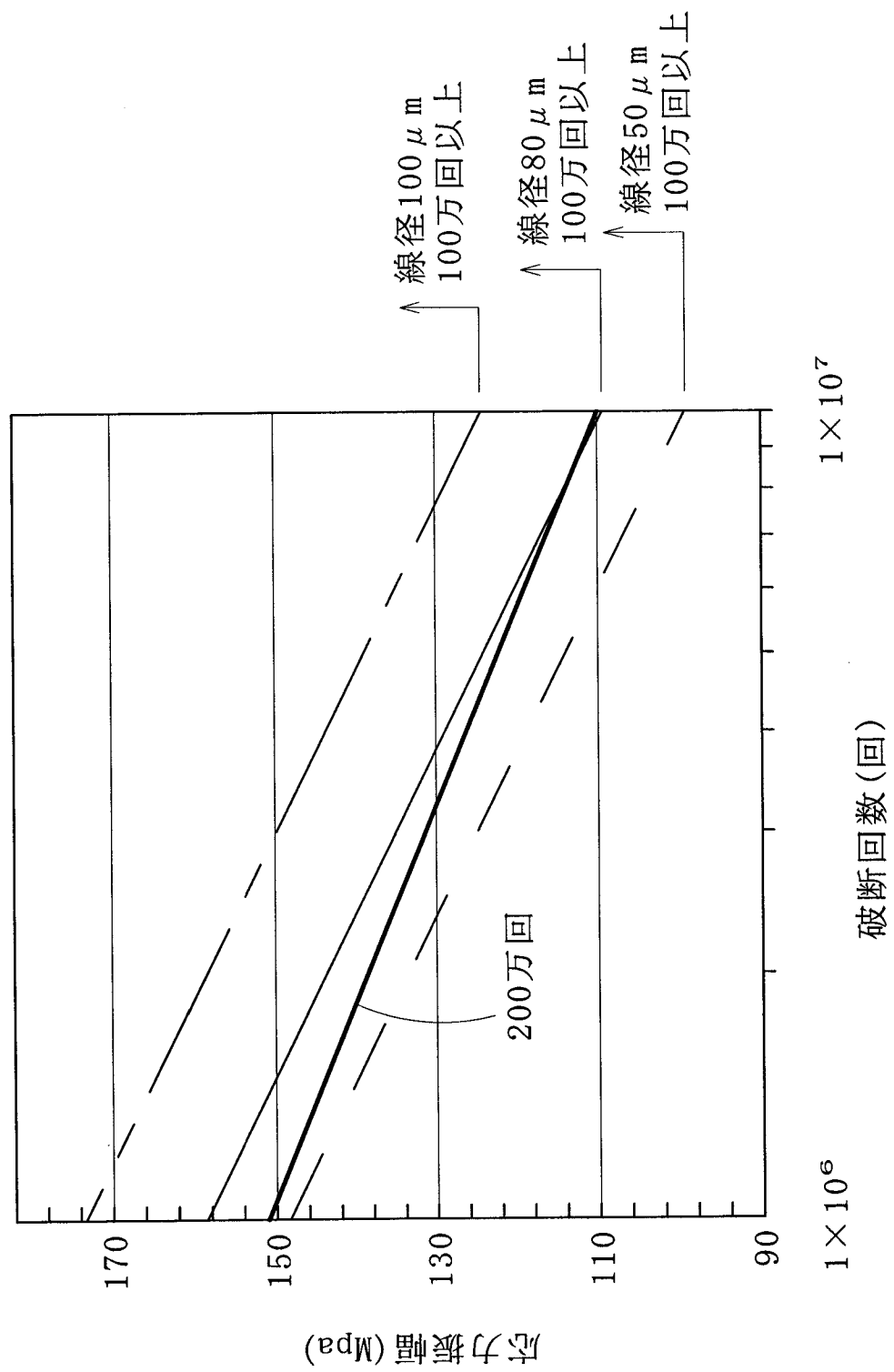
[図4]



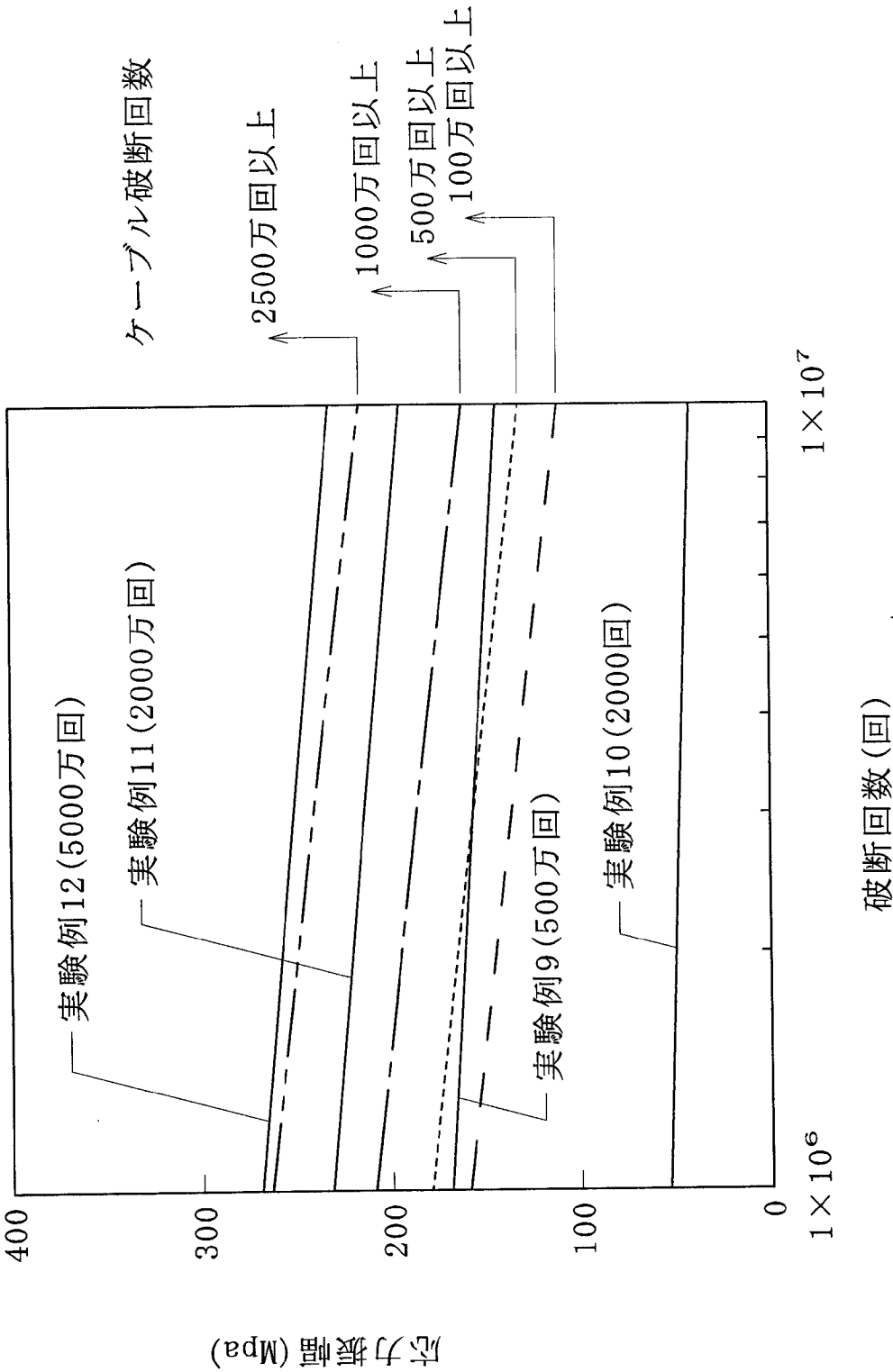
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/066411

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N3/32(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)

G01N3/00-3/62

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 1996-2012

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2012 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2012

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.
A	JP 2008-180657 A (The Tokyo Electric Power Co., Inc.), 07 August 2008 (07.08.2008), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	JP 8-166333 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 25 June 1996 (25.06.1996), entire text; all drawings (Family: none)	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

24 July, 2012 (24.07.12)

Date of mailing of the international search report

07 August, 2012 (07.08.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/066411

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2009/110440 A1 (Nippon Steel Chemical Co., Ltd.), 11 September 2009 (11.09.2009), entire text; all drawings & CN 101960283 A & KR 10-2010-0138889 A & TW 200944793 A	1-6
A	JP 2007-057325 A (Toshiba Corp.), 08 March 2007 (08.03.2007), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	JP 2008-157882 A (JFE Steel Corp.), 10 July 2008 (10.07.2008), entire text; all drawings (Family: none)	1-6

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01N3/32(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（I P C））

Int.Cl. G01N3/00-3/62

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 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
A	JP 2008-180657 A（東京電力株式会社）2008.08.07, 全文, 全図 （ファミリーなし）	1 - 6
A	JP 8-166333 A（住友電気工業株式会社）1996.06.25, 全文, 全図 （ファミリーなし）	1 - 6
A	WO 2009/110440 A1（新日鐵化学株式会社）2009.09.11, 全文, 全図 & CN 101960283 A & KR 10-2010-0138889 A & TW 200944793 A	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

2 4 . 0 7 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

0 7 . 0 8 . 2 0 1 2

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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）

高橋 亨

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 2

2 J

4 0 7 6

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
A	JP 2007-057325 A (株式会社東芝) 2007.03.08, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1 - 6
A	JP 2008-157882 A (J F E スチール株式会社) 2008.07.10, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1 - 6