

(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
2023年8月3日(03.08.2023)

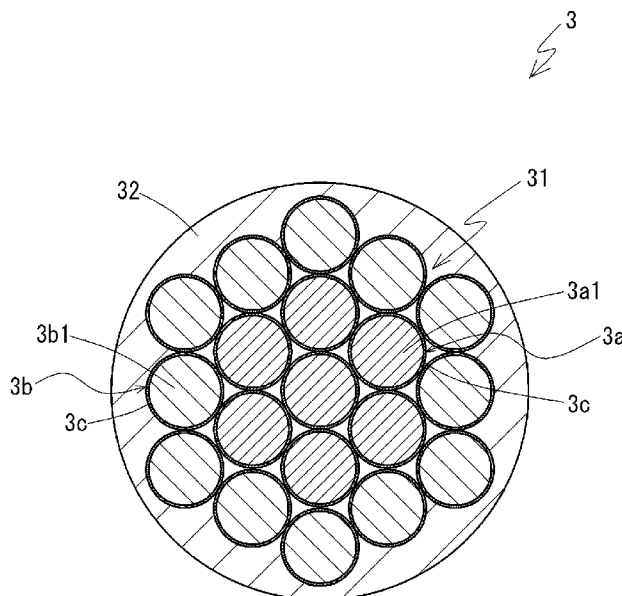


(10) 国際公開番号
WO 2023/145803 A1

- (51) 国際特許分類:
H01B 7/32 (2006.01) *G01R 31/58* (2020.01)
G01R 31/54 (2020.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/002386
- (22) 国際出願日: 2023年1月26日(26.01.2023)
- (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 2022-011409 2022年1月28日(28.01.2022) JP
- (71) 出願人: 株式会社オートネットワーク技術
研究所(AUTONETWORKS TECHNOLOGIES,
LTD.) [JP/JP]; 〒5108503 三重県四日市市西
末広町1番14号 Mie (JP). 住友電装株式
会社(SUMITOMO WIRING SYSTEMS, LTD.)
[JP/JP]; 〒5108503 三重県四日市市西末広
町1番14号 Mie (JP). 住友電気工業株
式会社(SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES,
LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央
区北浜四丁目5番33号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 小森 洋和 (KOMORI, Hirokazu);
〒5108503 三重県四日市市西末広町1番14
号 住友電装株式会社内 Mie (JP). 村田 高弘
(MURATA, Takahiro); 〒5108503 三重県四日
市市西末広町1番14号 住友電装株式会
社内 Mie (JP). 藺田 不二夫(SONODA, Fujio);
〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目
5番33号 住友電気工業株式会社内 Osaka

(54) Title: CABLE EQUIPPED WITH FUNCTION FOR DETECTING INDICATOR OF FAULT AND SYSTEM FOR DETECTING INDICATOR OF FAULT IN ELECTRIC WIRE

(54) 発明の名称: 異常予兆検知機能付ケーブルおよび電線異常予兆検知システム



(57) Abstract: The present invention provides a cable equipped with a function for detecting an indicator of fault and a system for detecting an indicator of fault in an electric wire that can perform high precision, stepwise detection of indicators that an electric wire will become disconnected. The cable equipped with a function for detecting an indicator of a fault comprises a designated electric wire having an electric wire conductor and a wire sheath that covers the outer periphery



WO 2023/145803 A1

(JP). 伊澤 真人 (IZAWA, Masato); 〒5410041
大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33
号住友電気工業株式会社内 Osaka (JP). 大
嶋 拓実 (OOSHIMA, Takumi); 〒3228585 栃木
県鹿沼市さつき町3番3号住友電工電子
ワイヤー株式会社内 Tochigi (JP).

(74) 代理人: 弁理士法人上野特許事務所 (WENO
& PARTNERS); 〒4600008 愛知県名古屋市
中区栄三丁目21番23号ケイエスイ
セヤビル8階 Aichi (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP,
KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK,
LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH,
PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, CV, 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, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF,
CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE,
SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

of the electric wire conductor, and a detection wire 3 having a detection wire conductor 31 and a detection wire sheath 32 that covers the outer periphery of the detection wire conductor 31. The detection wire conductor 31 overall has a shorter flexing life than the electric wire conductor, and, as a wire in which an insulation sheath layer 3c is formed on the outer periphery of single wires 3a1, 3b1 made of an electrically conductive material, has long-life wires 3a and short-life wires 3b of shorter flexing life than the long-life wires 3a. The short life wires 3b are arranged in layers on the outer periphery of a group of the long-life wires 3a in the detection wire conductor 31.

(57) 要約: 電線に断線が生じる予兆の段階的検知を高精度に行うことができる異常予兆検知機能付ケーブルおよび電線異常予兆検知システムを提供する。電線導体と、前記電線導体の外周を被覆する電線被覆と、を有する対象電線と、検知線導体31と、前記検知線導体31の外周を被覆する検知線被覆32と、を有する検知線3と、を有し、前記検知線導体31は、全体として、前記電線導体よりも屈曲寿命が短く、かつ、前記検知線導体31は、導電性材料の単線3a1、3b1の外周に絶縁被覆層3cが形成された素線として、長寿命素線3aと、前記長寿命素線3aよりも屈曲寿命が短い短寿命素線3bと、を有し、前記検知線導体31において、前記長寿命素線3aの群の外周に、前記短寿命素線3bが層状に配置されている、異常予兆検知機能付ケーブルとする。

明 細 書

発明の名称：

異常予兆検知機能付ケーブルおよび電線異常予兆検知システム

技術分野

[0001] 本開示は、異常予兆検知機能付ケーブルおよび電線異常予兆検知システムに関する。

背景技術

[0002] 種々の電気・電子機器や輸送用機器、建造物、公共設備等において、電線が搭載、また敷設されるが、電線の長期の使用に伴い、電線に断線等の損傷が発生する場合がある。例えば、電線に屈曲や振動が繰り返し加えられると、金属疲労により、電線を構成する導体に断線が発生する場合がある。断線等の損傷は、実際に発生する前に、金属疲労が進行している段階等、予兆の段階で検知することが好ましい。電線の損傷の発生を、予兆の段階で検知することができれば、その電線を交換する等の対策を実施することで、電線が配置された機器の機能停止等、電線の損傷に起因する不具合を、未然に防止することができる。

[0003] 電線の損傷の予兆を検出することを意図したケーブルとして、例えば、特許文献1に、複数の素線を撚り合わせた導体を有する検知線と、複数の素線を撚り合わせた導体を有する被検知線と、を備え、検知線の導体の撚りピッチが、被検知線の導体の撚りピッチよりも長くなった断線検知機能付ケーブルが開示されている。検知線の導体の撚りピッチを被検知線の導体の撚りピッチよりも長くすることで、検知線の屈曲寿命を被検知線の屈曲寿命よりも短くして、断線の予測を図っている。

[0004] また、特許文献2に、複数の電線とそれら複数の電線を覆う電気シールド層と電気シールド層を覆うシースからなる電気ケーブルと、電気シールド層に設けられ導体線とその外周の絶縁被覆層からなる断線検知線と、導体線に電氣的に接続された電圧源と、導体線に電氣的に接続された第1の検出器と

、電気シールド層に電氣的に接続された第2の検出器とを備えた断線検知装置が開示されている。断線検知線の屈曲寿命は電線の屈曲寿命よりも短く設定される。断線検知線の導体線に電圧源により電圧を印加し、第1の検出器の検出信号と第2の検出器の検出信号から電気シールド層の断線を予測することが記載されている。

[0005] 特許文献3には、導体を絶縁体で被覆した線心と、断線検知線とを有する断線検知機能付きケーブルにおいて、断線検知線が、導体線に絶縁体を被覆した複数本の素線からなり、それら複数本の素線が屈曲寿命の異なる2種類以上の素線からなる形態が開示されている。屈曲寿命の異なる素線を組み合わせて検知線を構成しているので、この検知線を段階的に断線させることが可能であるとされている。また、検知線の素線を個々に絶縁することにより、素線断線による抵抗変化が明確に現れ、より正確な断線検知が可能であるとされている。この特許文献3では、当該文献の図1等に示されるように、2種類の素線が、断線検知線の周方向に交互に配置されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2013-182716号公報
特許文献2：特開2007-305478号公報
特許文献3：特開2007-299608号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 特許文献1～3に記載されるように、断線の予兆を検知する対象である対象電線とともに、その対象電線よりも屈曲によって破断しやすい検知線を設けておき、検知線の破断を監視することで、対象電線の断線の予兆を検知することが可能である。特に、特許文献3に記載されているように、屈曲寿命の異なる2種類以上の素線を組み合わせて検知線を構成することで、検知線の段階的な断線によって、対象電線の断線の予兆を段階的に検知することが

可能となる。しかし、このように屈曲寿命の異なる素線を用いて検知線を構成する場合に、検知線導体の構成をさらに工夫することで、対象電線の断線の予兆の段階的検知を、さらに高精度に行える可能性がある。

[0008] 以上に鑑み、電線に断線が生じる予兆の段階的検知を高精度に行うことができる異常予兆検知機能付ケーブルおよび電線異常予兆検知システムを提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本開示にかかる異常予兆検知機能付ケーブルは、電線導体と、前記電線導体の外周を被覆する電線被覆と、を有する対象電線と、検知線導体と、前記検知線導体の外周を被覆する検知線被覆と、を有する検知線と、を有し、前記検知線導体は、全体として、前記電線導体よりも屈曲寿命が短く、かつ、前記検知線導体は、導電性材料の単線の外周に絶縁被覆層が形成された素線として、長寿命素線と、前記長寿命素線よりも屈曲寿命が短い短寿命素線と、を有し、前記検知線導体において、前記長寿命素線の群の外周に、前記短寿命素線が層状に配置されている。

[0010] 本開示にかかる電線異常予兆検知システムは、前記異常予兆検知機能付ケーブルと、前記異常予兆検知機能付ケーブルに含まれる前記検知線の前記検知線導体の特性インピーダンスを計測する計測部と、を有する。

発明の効果

[0011] 本開示にかかる異常予兆検知機能付ケーブルおよび電線異常予兆検知システムによると、電線に断線が生じる予兆の段階的検知を高精度に行うことができる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]図1は、本開示の一実施形態にかかる異常予兆検知機能付ケーブルの構成を示す断面図である。

[図2]図2は、上記異常予兆検知機能付ケーブルに含まれる検知線の構成を示す断面図である。

[図3]図3は、上記検知線において、検知線導体への負荷の印加の程度と特性

インピーダンスの変化量との関係を説明する図である。

[図4]図4は、シミュレーションの対象とした検知線の状態を示す断面図である。

[図5]図5Aは、各状態の検知線について、シミュレーションによって得られた特性インピーダンスを示している。図5Bは、素線の破断本数と、50MHzにおける特性インピーダンス値との関係を示している。

発明を実施するための形態

[0013] [本開示の実施形態の説明]

最初に、本開示の実施態様を説明する。

本開示の実施形態にかかる異常予兆検知機能付ケーブルは、電線導体と、前記電線導体の外周を被覆する電線被覆と、を有する対象電線と、検知線導体と、前記検知線導体の外周を被覆する検知線被覆と、を有する検知線と、を有し、前記検知線導体は、全体として、前記電線導体よりも屈曲寿命が短く、かつ、前記検知線導体は、導電性材料の単線の外周に絶縁被覆層が形成された素線として、長寿命素線と、前記長寿命素線よりも屈曲寿命が短い短寿命素線と、を有し、前記検知線導体において、前記長寿命素線の群の外周に、前記短寿命素線が層状に配置されている。

[0014] 上記異常予兆検知機能付ケーブルは、対象電線の電線導体よりも屈曲寿命が短い検知線導体を有する検知線を含んでいる。よって、異常予兆検知機能付ケーブルに、屈曲や振動により負荷が繰り返し加えられると、対象電線の電線導体よりも、検知線導体に含まれる素線の方が短時間で破断することになる。検知線に含まれる素線に破断が生じた際に、特性インピーダンスの測定等、電氣的測定によって、その破断を検出することで、対象電線に断線が発生する前に、対象電線に断線の予兆が生じていることを、検知することができる。

[0015] 上記異常予兆検知機能付ケーブルにおいては、検知線導体が、相対的に屈曲寿命が長い長寿命素線と、相対的に屈曲寿命が短い短寿命素線の2種の素線を含んでいるため、屈曲や振動による負荷が検知線導体に繰り返して印加

されると、長寿命素線よりも短寿命素線が先に破断を起こす。すると、検知線導体に対して電氣的測定を行って得られる測定値が、まず短寿命素線の破断によって変化し、その後長寿命素線の破断によって変化するというように、段階的に変化することになる。この段階的な変化を検出することで、対象電線の電線導体における断線の予兆を、段階的に検知することが可能となる。ここで、屈曲寿命の差による素線の破断しやすさの差異が、長寿命素線の群の外周に短寿命素線が層状に配置されているという配置の効果で増幅され、短寿命素線と長寿命素線の間で、破断に至る時期の差が大きくなる。そのため、短寿命素線が破断する時期と長寿命素線が破断する時期が、検知線導体への負荷の印加の程度に応じて、明確に分離されやすくなる。また、特に短寿命素線に関しては、素線1本ずつを単位とした破断を、電氣的測定の結果として検知することができ、検知線導体への負荷の印加の程度を、細分化して段階的に区別することが可能となる。さらに、電氣的測定を交流電流を用いて行う場合には、表皮効果により、検知線導体全体の外周側に配置された短寿命素線の破断を、特に敏感に検知することができる。このように、検知線導体において、長寿命素線の群の外側を屈曲寿命の短い短寿命素線が層状に囲んでいるという配置を採用することで、対象電線における破断の予兆を、複数の段階に明確に区分して検知することができる。特に短寿命素線の破断が進行する領域では、多段階で、かつ敏感に、対象電線における予兆の段階的検知を行うことができる。

[0016] ここで、前記長寿命素線と前記短寿命素線は、前記導電性材料の単線の構成材料、および該単線の線径の少なくとも一方が相互に異なることにより、相互に異なる屈曲寿命を有しているとよい。すると、2種の素線の間で、屈曲寿命に簡便に差を設けることができる。

[0017] また、前記長寿命素線を構成する前記導電性材料が、銅合金であり、前記短寿命素線を構成する前記導電性材料が、銅、または前記長寿命素線を構成する前記導電性材料よりも耐屈曲性の低い銅合金であるとよい。あるいは、前記長寿命素線を構成する前記導電性材料が、アルミニウム合金であり、前

記短寿命素線を構成する前記導電性材料が、アルミニウム、または前記長寿命素線を構成する前記導電性材料よりも耐屈曲性の低いアルミニウム合金であるとよい。長寿命素線および短寿命素線にこれらの金属材料を採用することで、汎用的な金属材料を用いて、長寿命素線と短寿命素線の屈曲寿命の間に、大きな差を簡便に設けることができる。

[0018] 前記異常予兆検知機能付ケーブルは、前記対象電線として、電源線と、通信線とを含んでいるとよい。この場合には、電源線と通信線の両方における断線の予兆を、共通の検知線を用いて検知することができる。

[0019] 本開示にかかる電線異常予兆検知システムは、前記異常予兆検知機能付ケーブルと、前記異常予兆検知機能付ケーブルに含まれる前記検知線の前記検知線導体の特性インピーダンスを計測する計測部と、を有する。上記のように、検知線導体は、負荷の印加を繰り返して受けると、短寿命素線の段階的な破断と、それに続く長寿命素線の破断を起こす。そして、検知線導体の特性インピーダンスは、各素線の段階的な破断を敏感に反映して変化する。そのため、計測部によって検知線導体の特性インピーダンスを計測し、特性インピーダンスの変化を検出することで、検知線導体の段階的な素線の破断を指標として、対象電線における断線の予兆を、段階的に、また高精度に検知することができる。

[0020] [本開示の実施形態の詳細]

以下、図面を用いて、本開示の実施形態にかかる異常予兆検知機能付ケーブルおよび電線異常予兆検知システムについて詳細に説明する。本開示の実施形態にかかる異常予兆検知機能付ケーブルは、当該ケーブルに含まれる対象電線において損傷が発生する予兆を、検知可能なケーブルである。また、本開示の実施形態にかかる電線異常予兆検知システムは、異常予兆検知機能付ケーブルに含まれる対象電線において損傷が発生する予兆を検知するためのシステムである。

[0021] (1) 異常予兆検知機能付ケーブルの構成

まず、本開示の一実施形態にかかる異常予兆検知機能付ケーブル（以下、

単にケーブルと称する場合がある)の構成の概略について、説明する。図1に、本開示の一実施形態にかかる異常予兆検知機能付ケーブル1の構成を、軸線方向に垂直に切断した断面図にて表示する。異常予兆検知機能付ケーブル1は、対象電線2(2A~2D)と、検知線3と、テープ層4と、シース5と、を含んでいる。図2は、検知線3の断面を示している。

[0022] 対象電線2は、給電、電圧印加、通信等、ケーブル1を搭載した機器等において求められる機能を果たす電線であり、ケーブル1において、損傷の予兆を検出すべき対象となる電線である。対象電線2の本数は特に指定されず、1本または複数とすることができる。各対象電線2は、導体線として構成された電線導体21(21A~21D)と、絶縁材料より構成されて電線導体21の外周を被覆する電線被覆22とを有している。図示した形態では、ケーブル1は、4本の対象電線2A~2Dを備えている。それら4本のうち、2本は電源線2A, 2Bである。他の2本は、電源線2A, 2Bよりも導体断面積が小さい通信線2C, 2Dであり、相互に撚り合わせられて、ツイストペアを構成している。図ではツイストペアの外縁を破線で表示している。この種の電源線2A, 2Bと通信線2C, 2Dを備えた複合ケーブルは、自動車の電動ブレーキ等に用いられる。

[0023] 検知線3は、後に作用を説明するように、自らが破断を起こすことで、対象電線2に断線の予兆が発生していることを検知する電線である。検知線3は、導体線として構成された検知線導体31と、絶縁材料より構成されて検知線導体31の外周を被覆する検知線被覆32とを有している。ケーブル1に含まれる検知線3の本数は特に限定されず、1本または複数とすることができる。以下では、検知線3を1本のみ用いる形態について主に説明するが、検知線導体31を構成する素線の材質や線径、本数等の異なる複数の検知線3を設けてもよい。検知線被覆32は、検知線導体31の絶縁を確実にを行う観点から、検知線導体31とは別の部材として、検知線導体31全体としての外周を被覆して設けることが好ましいが、後に説明するように、検知線導体31の外周部を構成する素線3bの外周に設けた絶縁被覆層3cが、検

知線被覆 3 2 を兼ねるものであってもよい。

[0024] 検知線導体 3 1 は、屈曲寿命が、対象電線 2 の電線導体 2 1 よりも短くなっている。本明細書において、導体や素線の屈曲寿命とは、屈曲を受けた際に破断が起こるまでの期間を示し、所定の角度での屈曲を繰り返した際に破断が起こるまでの屈曲回数等として評価することができる。その屈曲回数が多いほど、屈曲寿命が長い（耐屈曲性が高い）ことを示す。後に説明するように、検知線導体 3 1 は、複数種の素線を含んでいるが、検知線導体 3 1 の全体としての屈曲寿命、つまり全素線 3 a, 3 b を合わせた集合体としての屈曲寿命が、対象電線 2 の電線導体 2 1 よりも短くなっている。また、ケーブル 1 が複数の対象電線 2 を含む場合には、それら複数の対象電線 2 の電線導体 2 1 のそれぞれよりも、検知線導体 3 1 の屈曲寿命が短くなっている。電源線 2 A, 2 B と通信線 2 C, 2 D がケーブル 1 に含まれる場合に、通信線 2 C, 2 D に比べて導体断面積の大きい電源線 2 A, 2 B の方が屈曲寿命が短いことが一般的であり、検知線導体 3 1 は、その電源線 2 A, 2 B よりもさらに屈曲寿命が短くなっている。

[0025] 対象電線 2 と検知線 3 の間で、導体 2 1, 3 1 の屈曲寿命に差を設ける手段としては、以下の形態を例示することができる。例えば、導体断面積が同じであれば撚線導体を構成する素線の本数が多いほど、屈曲寿命が長くなる。また、導体を構成する素線が細い方が、屈曲寿命が長くなる。また、導体を構成する導電性材料が、材料物性として高い耐屈曲性を示す場合、例えば大きなヤング率や高い剛性率、高い曲げ強度を有する場合には、導体の屈曲寿命が長くなる。さらに、特許文献 1 に記載されるように、導体における素線の撚りピッチが短いほど、導体の屈曲寿命が長くなる。

[0026] ケーブル 1 において、全ての対象電線 2 と検知線 3 は、1 つにまとめられ、電線群 G を構成している。電線群 G において、各対象電線 2 および検知線 3 の相互配置は、特に限定されるものではないが、検知線 3 を中央に配置し、その検知線 3 の外周を囲んで、複数の対象電線 2 を配置する形態が好ましい。この際、検知線 3 が複数設けられる場合には、それら複数の検知線 3 を

中央にまとめて配置するとよい。検知線 3 と対象電線 2 は、電線束としてまとめるだけでもよいが、検知線 3 を中心とし、その検知線 3 の外周に対象電線 2 を配置して、一括して撚る形態が好ましい。この場合に、中心の検知線 3 も撚られることになる。

[0027] 電線群 G の外周には、テープ層 4 が設けられている。テープ層 4 は、電線群 G を構成する各対象電線 2 および検知線 3 をシース 5 と分離する役割を果たす。テープ層 4 の形態および材料は、特に限定されないが、紙や樹脂等の絶縁性材料より構成されたテープ体が、電線群 G の外周に螺旋状に巻き付けられた形態を、好適に例示することができる。テープ層 4 は、電線群 G に密着している。つまり、電線群 G を構成する各電線 2 A ~ 2 D, 3 のうち、電線群 G の最外周に面する電線（図では対象電線 2 A, 2 B, 2 D）の外周面に接触している。

[0028] シース 5 は、ポリマー材料を主成分とする絶縁体の押出成形体として構成されており、テープ層 4 の外周を囲んで、ケーブル 1 全体の最外周を構成している。シース 5 は、テープ層 4 の外周に密着している。つまり、テープ層 4 の外周の全域において、シース 5 とテープ層 4 の間に、不可避的なものを除いて空隙が形成されずに、シース 5 がテープ層 4 に接触していることが好ましい。シース 5 は、1 層より構成されても、複数の層より構成されてもよいが、図示した形態では外層 5 1 と内層 5 2 の 2 層より構成されており、外層 5 1 の方が、内層 5 2 よりも、耐摩耗性等の機械的特性に優れた材料より構成されている。ケーブル 1 において、テープ層 4 を省略し、電線群 G の外周に直接密着する押出成形体として、シース 5 を形成してもよい。シース 5 が押出成形体として形成されており、適宜テープ層 4 を介して電線群 G の外周に密着していることで、対象電線 2 と検知線 3 の位置関係が、相互にずれにくくなり、対象電線 2 の断線の予兆を、位置や時期に依存しない感度で、検知線 3 によって正確に検知することができる。

[0029] (2) 検知線導体の構成

次に、異常予兆検知機能付ケーブル 1 に含まれる検知線 3 を構成する検知

線導体 3 1 について説明する。検知線導体 3 1 は、複数の素線の集合体として構成されているが、全てが同じ素線よりなるのではなく、長寿命素線 3 a と短寿命素線 3 b の 2 種の素線を複数含んでいる。長寿命素線 3 a および短寿命素線 3 b はそれぞれ個別に、導電性材料の単線 3 a 1, 3 b 1 の外周に絶縁被覆層 3 c が形成された素線として構成されている。短寿命素線 3 b は、長寿命素線 3 a よりも導電性材料の単線の屈曲寿命が短くなっている。以下、素線を構成する導電性材料の単線の屈曲寿命を、単に素線の屈曲寿命と称する場合がある。

[0030] 本実施形態にかかるケーブル 1 においては、複数の長寿命素線 3 a が、中心部に 1 つに集合され、群を構成している。この長寿命素線 3 a の群の外周に、複数の短寿命素線 3 b が層状に配置されている。つまり、長寿命素線 3 a と短寿命素線 3 b は、層状に相互に分かれて配置されており、検知線導体 3 1 の外周側には、検知線導体 3 1 の周方向に沿って、短寿命素線 3 b のみが配列された領域が存在する一方、検知線導体 3 1 の内側には、検知線導体 3 1 の周方向に沿って、長寿命素線 3 a のみが配列された領域が存在する。図示した形態では、長寿命素線 3 a の群の外周を囲んで、短寿命素線 3 b が 1 層のみ配置されているが、短寿命素線 3 b を 2 層以上にわたって配置してもよい。検知線導体 3 1 においては、上記所定の配置で並べられた複数の長寿命素線 3 a と複数の短寿命素線 3 b の集合体全体に対して、撚りが加えられていることが好ましい。

[0031] 上記のように、短寿命素線 3 b は、長寿命素線 3 a よりも屈曲寿命が短くなっている。短寿命素線 3 b と長寿命素線 3 a は、単線 3 a 1, 3 b 1 の構成材料および線径の少なくとも一方が相互に異なっていることにより、相互に異なる屈曲寿命を有するものであるとよい。構成材料の差としては、長寿命素線 3 a を短寿命素線 3 b よりも、大きなヤング率や高い剛性率、高い曲げ強度等、材料物性として高い耐屈曲性を示す材料より構成すればよい。線径の差としては、長寿命素線 3 a を短寿命素線 3 b よりも、線径の小さな素線として構成すればよい。好ましくは、長寿命素線 3 a と短寿命素線 3 b が

、少なくとも構成材料において相互に異なっており、長寿命素線 3 aの方が高い耐屈曲性を示す材料より構成されるとよい。例えば、各素線を構成する導電性材料として、長寿命素線 3 aに銅合金を用い、短寿命素線 3 bに銅（軟銅）を用いる形態、長寿命素線 3 aにアルミニウム合金を用い、短寿命素線 3 bにアルミニウムを用いる形態、長寿命素線 3 aに比較的耐屈曲性の高い銅合金またはアルミニウム合金を用い、短寿命素線 3 bにそれよりも耐屈曲性の低い別の銅合金またはアルミニウム合金を用いる形態を、好適に例示することができる。

[0032] 上記のように、長寿命素線 3 aおよび短寿命素線 3 bは、それぞれ個別に絶縁被覆層 3 cを有している。よって、長寿命素線 3 aと短寿命素線 3 bの間、また長寿命素線 3 aどうし、短寿命素線 3 bどうしは、相互に絶縁されている。絶縁被覆層 3 cの具体的な種類や厚さは特に限定されるものではないが、エナメル被覆層より構成されることが好ましい。

[0033] (3) 断線検知の方法

上記で説明したケーブル 1 が、機器等に搭載され、使用中に、繰り返して屈曲や振動を受けると、対象電線 2 を構成する電線導体 2 1 に金属疲労が蓄積し、断線に至る可能性がある。対象電線 2 に断線が生じると、対象電線 2 が、給電、通信等の機能を果たせなくなり、ケーブル 1 が搭載された機器が、正常な機能を発揮し続けられなくなる可能性がある。さらには、対象電線 2 の断線に起因して、その機器に故障等の不具合が発生する可能性もある。

[0034] しかし、本実施形態にかかるケーブル 1 は、機器等において所定の機能を果たす対象電線 2 に加えて、対象電線 2 の電線導体 2 1 よりも屈曲寿命の短い検知線導体 3 1 を備えた、検知線 3 を含んでいる。ケーブル 1 が繰り返して屈曲や振動を受けることがあると、屈曲寿命の短い検知線導体 3 1 が、電線導体 2 1 よりも先に破断を生じることになる。検知線導体 3 1 に破断が生じたことは、対象電線 2 にも屈曲や振動による負荷が加えられて、電線導体 2 1 に金属疲労が蓄積されており、そのまま負荷の印加が続けば、対象電線 2 の電線導体 2 1 も断線を起こす可能性があることを意味する。検知線導体

31の破断は、特性インピーダンスの測定等、電氣的測定によって検出することができる。ここで、検知線導体31の破断とは、検知線導体31を構成する素線（長寿命素線3aおよび短寿命素線3b）の少なくとも一部において、導電性材料の単線3a1, 3b1が破断を起こすことを指す。

[0035] このように、屈曲寿命の短い検知線導体31の破断を検出することで、対象電線2の電線導体21に断線の予兆があることを、実際に対象電線2に断線が生じていない段階で、未然に検出することができる。対象電線2の断線の予兆を検知した段階で、対象電線2を新しいものに交換する等の措置を講じれば、対象電線2の断線によって引き起こされる不具合を、予防することができる。なお、本明細書において、対象電線2の電線導体21の断線を、単に、対象電線2の断線と称する場合がある。

[0036] 本実施形態にかかるケーブル1において、検知線3を用いて対象電線2の断線の予兆を検知するための検査法の1つとして、検知線導体31に電気信号を入力して、特性インピーダンス（あるいは電氣的測定によって得られる他の電気パラメータ；以下においても同様）の測定を行う方法がある。特性インピーダンスの測定を行うに際しては、外部のグラウンド電位を基準として、長寿命素線3aと短寿命素線3bを含む検知線導体31全体に対して、交流成分を含む検査信号を入力する。そして、反射法または透過法、好ましくは反射法によって応答信号を検出する。

[0037] 検知線導体31の中途部において、素線3a, 3bに破断が存在すると、その破断の箇所で電気信号の反射が起こるので、応答信号に不連続な変化が発生する。そこで、計測される特性インピーダンスに、基準値以上の変化が生じた場合に、検知線導体31に破断が発生しており、対象電線2の電線導体21に断線の予兆が生じていると判定することができる。単純な直線状の検知線導体31を構成する素線3a, 3bのいずれかに破断が生じると、通常は特性インピーダンス値が上昇する方向に変化する。なお、特性インピーダンスの変化は、素線3a1, 3b1の破断にまでは至らない検知線導体31の損傷によっても発生する。本明細書においては、破断による特性インピ

ーダンスの変化を代表として扱っているが、破断以外の検知線導体 3 1 の損傷についても、同様に、特性インピーダンスの変化を介して、対象電線 2 の断線の予兆の検知に利用することができる。測定インピーダンスを測定対象とすることで、電気抵抗等、他の電気パラメータを対象とする場合よりも、少数の素線 3 a 1, 3 b 1 が破断や損傷を起こしただけの状態でも、測定値に大きな変化が現れやすく、高い検出感度を得られる。

[0038] さらに特性インピーダンスの計測に、時間領域法または周波数領域法を用いれば、ケーブル 1 の軸線方向に沿って、負荷が印加され、検知線導体 3 1 に破断が生じた位置を特定することもできる。時間領域法の場合には、パルス電気信号を検知線導体 3 1 に入力し、特性インピーダンスに変化が現れた時間をケーブル 1 の軸線方向に沿った位置に変換することにより、破断が生じた位置を知ることができる。周波数領域法の場合には、複数の周波数成分を含む電気信号を検知線導体 3 1 に入力し、応答信号をフーリエ変換して、周波数の情報をケーブル 1 上の位置の情報に変換すればよい。検知線 3 に対する特性インピーダンスの測定は、ケーブル 1 の使用中に、連続的あるいは断続的に行うことが好ましい。すると、対象電線 2 の電線導体 2 1 に断線の予兆が生じれば、早期にその断線の予兆を発見し、ケーブル 1 が搭載された機器の使用者等に通知することができる。あるいは、ケーブル 1 が配置された機器の定期点検等、所定の時期に、検知線 3 に対して特性インピーダンスの測定を行ってもよい。

[0039] 本実施形態にかかるケーブル 1 の検知線導体 3 1 においては、短寿命素線 3 b の方が長寿命素線 3 a よりも屈曲寿命が短くなっている。よって、ケーブル 1 の屈曲や振動により、検知線導体 3 1 が繰り返して負荷を受けた際に、短寿命素線 3 b の方が、長寿命素線 3 a よりも先に破断を起こすことになる。このように、短寿命素線 3 b と長寿命素線 3 a の破断時期が異なることによって、検知線導体 3 1 の特性インピーダンスが段階的に変化する。つまり、図 3 に、検知線導体 3 1 への経時的な負荷の印加の程度（例えば屈曲回数）に対する特性インピーダンスの変化量を示すように、検知線導体 3 1 へ

の負荷の印加の進行に伴って、まず短寿命素線 3 b が破断して、特性インピーダンスが上昇する（負荷レベル L 1 以降）。図 3 では、短寿命素線 3 b が全て破断することによる特性インピーダンスの変化量を、 $\Delta Z 1$ にて表示している。その後、さらに検知線導体 3 1 への負荷の印加が進行すると、長寿命素線 3 a も破断を起こす。すると、さらに特性インピーダンスが上昇する（負荷レベル L 3 以降）。検知線導体 3 1 において、短寿命素線 3 b の破断が起こり、さらに長寿命素線 3 a の破断が起こることは、ケーブル 1 全体として、繰り返しの屈曲等により、累積的な負荷の印加が進行していることを意味する。つまり、金属疲労による対象電線 2 における断線の可能性が高まっていることを意味する。

[0040] 従って、短寿命素線 3 b と長寿命素線 3 a の屈曲寿命の差に由来する検知線導体 3 1 の特性インピーダンスの段階的な変化を検出することで、対象電線 2 の断線の予兆の切迫度（どの程度の負荷がさらに加われば実際に断線するか）を、2 段階に分けて判別することができる。具体的には、短寿命素線 3 b の破断に対応する特性インピーダンスの変化（ $\Delta Z 1$ の変化）のみが生じている段階では、対象電線 2 の破断の切迫度はまだそれほど高くないと判断することができるが、長寿命素線 3 a の破断に対応する特性インピーダンスの変化まで生じると、対象電線 2 の破断の切迫度が高まっていることが示される。このように、検知線導体 3 1 の特性インピーダンスの段階的な変化によって、対象電線 2 の断線の予兆の切迫度を段階的に検知できることで、ケーブル 1 が搭載された機器において、切迫度に応じた警報を発する等の手段を講じることが可能となる。例えば、ケーブル 1 の電源線 2 A, 2 B と通信線 2 C, 2 D のように、屈曲寿命の異なる複数の対象電線 2 を含む場合に、電源線 2 A, 2 B 等、屈曲寿命の短い対象電線 2 の断線の予兆を、短寿命素線 3 b の破断をもって検知するとともに、通信線 2 C, 2 D 等、屈曲寿命の長い対象電線 2 の断線の予兆を、長寿命素線 3 a の破断をもって検知するように構成することができる。

[0041] さらに詳細に、屈曲等の負荷の印加による短寿命素線 3 b の破断の進行状

況を分析すると、検知線導体 3 1 が繰り返しの屈曲や振動によって負荷を受けた際に、極端に大きな負荷を印加されないかぎり、全ての短寿命素線 3 b が一度に破断することは稀であり、短寿命素線 3 b が 1 本ずつ、あるいは数本ずつ、順に破断し、ある程度の期間を経て、破断した短寿命素線 3 b の本数が徐々に増えていくことが多い。検知線導体 3 1 全体としての特性インピーダンスを計測している場合に、一部の短寿命素線 3 b に破断が発生すると、破断の箇所で、その短寿命素線 3 b における導通の連続性が途切れることになるので、破断した短寿命素線 3 b の本数に応じて、特性インピーダンスの測定値が変化するはずである。

[0042] しかし、もし各短寿命素線 3 b および長寿命素線 3 a が絶縁被覆層 3 c を有さず、相互に導通を有しているとすれば、ある短寿命素線 3 b が破断したとしても、隣接する破断していない短寿命素線 3 b または長寿命素線 3 a が、その破断した短寿命素線 3 b と接触して、破断箇所を橋渡しすることで、その破断した短寿命素線 3 b において、導通の連続性が途切れなくなる（チャタリング；導通の再形成）。すると、検知線導体 3 1 の特性インピーダンスに変化が生じなくなる。あるいは、変化が生じても、その変化量が小さくなる事態や、緩やかな変化しか生じなくなる事態が起こる。

[0043] これに対し、本実施形態においては、各短寿命素線 3 b および長寿命素線 3 a が絶縁被覆層 3 c によって相互に絶縁されていることにより、ある短寿命素線 3 b が破断した際に、その短寿命素線 3 b が周囲の短寿命素線 3 b および長寿命素線 3 a から絶縁されていることにより、その短寿命素線 3 b の導通の連続性が、破断箇所を挟んで途切れた状態が、安定に維持されることになる。すると、検知線導体 3 1 の特性インピーダンスの測定値に、その短寿命素線 3 b の破断による影響が、大きく、また明瞭に生じるようになる。

[0044] つまり、屈曲等によるケーブル 1 への負荷の印加が累積するに従って、短寿命素線 3 b が段階的に破断を起こす場合に、図 3 に示すように、検知線導体 3 1 の特性インピーダンスに、階段状の明瞭な変化、つまり値が安定している状態から急激に値が変動し（通常は上昇し）、変化後に再び値が安定し

た状態となる形態の変化が、生じることになる。図3では、1本ずつの短寿命素線3bに対応する特性インピーダンスの変化量の代表値を、 $\delta z 1$ として表示している。検知線導体31への負荷の印加が進行するに従って、短寿命素線3bが1本ずつ破断を起こすと、ステップの大きさは必ずしも一定ではないが、変化量 $\delta z 1$ 等の小さなステップをとって、特性インピーダンスの変化が累積し、特性インピーダンスの値が階段状に順次上昇する。そして、全ての短寿命素線3bが破断した時に（負荷レベルL2）、短寿命素線3bの破断の初期（負荷レベルL1）から累積された特性インピーダンスの変化量が、 $\Delta Z 1$ に達する。

[0045] このように、検知線導体31の特性インピーダンスにおいて、1本ずつの短寿命素線3bの破断に対応する、ステップの小さな、階段状の変化を検知することで、短寿命素線3bに段階的な破断が起こっていることを検知することができ、さらにその階段状の変化の回数や変化量から、破断した短寿命素線3bの本数を推定することも可能となる。上記のように、検知線導体31の特性インピーダンスの変化によって、短寿命素線3bの破断と長寿命素線3aの破断を区別して検出することで、対象電線2における断線予兆の切迫の程度を、大きく2段階に区別して検知することができるが、さらに短寿命素線3bが1本ずつ破断するのを段階的に検知することで、対象電線2における断線の予兆を、さらに細かい段階に区分して検知することが可能となる。それにより、断線の切迫度の段階に応じた対策を、多様に、また適切に講じやすくなる。

[0046] ここで、検知線導体31の特性インピーダンスにおいて、1本ずつの短寿命素線3bに対応する小さなステップでの変化を、明瞭な階段状の変化として検出するためには、上記のように、各短寿命素線3bおよび長寿命素線3aが個別に絶縁被覆層3cを有していることによるチャタリングの防止が、重要となる。加えて、検知線導体31において、短寿命素線3bと長寿命素線3aが分かれて同心の層状に配置されており、短寿命素線3bが検知線導体31全体の外周部に位置することも、短寿命素線3bが長寿命素線3aよ

りも早期に、しかも1本ずつ明瞭な特性インピーダンスの変化を与えて破断を起こす現象に、大きな寄与を有する。

[0047] すでに説明したとおり、短寿命素線3bは、長寿命素線3aよりも屈曲寿命が短い素線として構成されているため、屈曲等の負荷を受けた際に、長寿命素線3aよりも早期に破断を起こす。さらに、同じ素線であっても、導体の外側に配置されている素線の方が、導体を屈曲させた際に、大きな負荷を印加されることになり、少ない屈曲回数でも破断に至りやすくなる。導体を曲げた際に、曲げ形状の内側で最も小さな曲率半径で曲げられる素線は、導体の最も外周側に配置された素線だからである。本実施形態にかかるケーブル1の検知線導体31において、短寿命素線3bは、長寿命素線3aの群の外周に配置されているため、その配置の効果によって、素線自体の特性による長寿命素線3aと短寿命素線3bの間の屈曲寿命の差が増幅され、短寿命素線3bが、長寿命素線3aよりも少ない屈曲回数で破断を起こしやすい傾向が、さらに顕著となる。

[0048] ここで、特許文献3に示されるように、長寿命素線3aと短寿命素線3bが、断線検知線の周方向に交互に配置されているならば、あるいはランダムに配置されているならば、またあるいは短寿命素線3bよりも長寿命素線3aの方が外側に配置されているならば、素線自体の特性としての屈曲寿命の差が、各素線3a, 3bの配置によって、緩和されてしまう。つまり、長寿命素線3aであっても、検知線導体31の外周側に配置されているものは、比較的早期に破断を起こしやすく、逆に、短寿命素線3bであっても、検知線導体31の内側に配置されているものは、比較的長期にわたって破断を起こしにくい。すると、2種の素線3a, 3bの破断が、最初に短寿命素線3bが1本ずつ段階的に破断し、その後に長寿命素線3aの破断が開始されるというように、順序よく起こりにくくなる。順序よく起こるとしても、2種の素線3a, 3bの破断の時期の隔たりが小さくなってしまう。すると、図3に示したような、各短寿命素線3bの破断による階段状の明瞭な特性インピーダンスの変化が、起こりにくくなる。これに対し、本実施形態の検知線

導体 3 1 のように、屈曲寿命の異なる 2 種の素線 3 a, 3 b が配置される領域が同心の層状に区分され、長寿命素線 3 a が配置される領域が内側、短寿命素線 3 b が配置される領域が外側とされていることにより、屈曲寿命に応じた素線 3 a, 3 b の破断が、順序よく、また分離よく起こる。つまり、まず短寿命素線 3 b が 1 本ずつ順に破断し、(ほぼ) 全ての短寿命素線 3 b が破断した後に、時期を隔てて長寿命素線 3 a が破断する。このように、各素線 3 a, 3 b の破断が、順序よく、また分離よく進行することで、1 本ずつの短寿命素線 3 b の破断に対応する特性インピーダンスの変化が、小さな変化量であっても、明瞭な階段状の多段の変化として、検出可能になる。その結果として、対象電線 2 に断線が生じる予兆の段階的検知を、高精度に行うことが可能となる。

[0049] さらに、短寿命素線 3 b が長寿命素線 3 a よりも外側に配置されていることは、上記のように素線 3 a, 3 b の破断自体が明瞭な段階をとって進行するということに加え、短寿命素線 3 b の破断の検出感度の観点からも、断線予兆の段階的検知の精度向上に寄与する。検知線導体 3 1 における破断の検出を、特性インピーダンス測定のように、交流電流、特に 1 MHz 以上のような高周波の交流電流を用いた電氣的測定によって行う場合には、表皮効果により、検知線導体 3 1 の表面部分に集中して電流が流れることになる。つまり、検知線導体 3 1 全体の中で、外周部に配置された短寿命素線 3 b に集中して電流が流れる。すると、特性インピーダンス等、検知線導体 3 1 全体に対して計測される電気パラメータにおいて、短寿命素線 3 b からの寄与が大きくなり、破断等、短寿命素線 3 b の状態の変化が大きく反映される。そのため、短寿命素線 3 b に破断が発生すると、検知線導体 3 1 の特性インピーダンスに大きな変化が生じ、明瞭な階段状の変化として高感度に検出される。

[0050] 以上のように、検知線導体 3 1 において、長寿命素線 3 a と短寿命素線 3 b がそれぞれ絶縁被覆層 3 c によって被覆されており、かつ短寿命素線 3 b が長寿命素線 3 a の群の外周に層状に配置されていることにより、屈曲等の

負荷の印加による1本ずつの短寿命素線3bの断線が、検知線導体31の特性インピーダンスの変化として明瞭に検出される。その特性インピーダンスの変化により、対象電線2における断線の予兆の切迫度を、多段階に細分化して、かつ高精度に検知することができる。そして、短寿命素線3bが全体に破断した後で、長寿命素線3aの破断が起こることにより、各短寿命素線3bの破断に対応する $\delta z 1$ 等の小幅な特性インピーダンス変化を、対象電線2における断線予兆の切迫度の上昇が徐々に進行していることの指標として利用する一方、その小幅な特性インピーダンスの蓄積として $\Delta Z 1$ の大きな特性インピーダンス変化が生じ、その後に長寿命素線3aの破断に対応する特性インピーダンスの変化が生じる現象を、短寿命素線3bの段階的な破断だけではカバーできない広い範囲にわたる対象電線2の断線予兆の切迫度の判別に利用すればよい。例えば、ケーブル1の電源線2A, 2Bと通信線2C, 2Dのように、屈曲寿命の異なる複数の対象電線2を含む場合に、電源線2A, 2B等、屈曲寿命の短い対象電線2における断線の予兆を、短寿命素線3bの段階的な破断をもって、程度を区分しながら検知するとともに、通信線2C, 2D等、屈曲寿命の長い対象電線2の断線の予兆を、長寿命素線3aの破断をもって検知するように構成することが考えられる。すると、例えば、各対象電線2において断線の予兆がそれほど進行していない早い時期に、短寿命素線3bの段階的な破断を指標として、予備のケーブル1の準備等、断線に備えた対処を開始することで、各対象電線2の断線が切迫する前に、適切な措置をとることができる。

[0051] 以上では、短寿命素線3bを対象として、1本ずつを単位とした段階的な破断の検出について説明した。しかし、長寿命素線3aにおいても、短寿命素線3bと同様に段階的な破断が進行しうる。そして、長寿命素線3aも1本ずつ絶縁被覆層3cで被覆されていることから、短寿命素線3bの破断と同様に、その段階的な破断を特性インピーダンスの階段状の変化によって検出できる可能性がある。ただし、長寿命素線3aにおいては、検知線導体31の内側に配置されていることに対応して、短寿命素線3bと比較して、1

本ずつ十分に離れた時期に破断する現象を生じにくく、またそのような現象が生じたとしても、特性インピーダンスの変化として明瞭に検出しにくい。具体的な検知線導体 3 1 の構成や材質等により、長寿命素線 3 a においても、1 本ずつ、あるいは数本ずつの破断に対応する段階的な特性インピーダンスの変化が検出できる場合には、その変化も、対象電線 2 の断線予兆の切迫度を段階的に示す指標として、利用することができる。また、以上に説明した実施形態では、検知線導体 3 1 が短寿命素線 3 b と長寿命素線 3 a の 2 種の素線より構成されていたが、屈曲寿命が相互に異なる 3 種以上の素線を、内層側から外層側に向かって屈曲寿命が順に短くなるように、多層に配置してもよい。するとさらに広い範囲で、対象電線 2 の破断の予兆を、切迫度で区分して検知することが可能となる。

[0052] (4) 電線異常予兆検知システム

最後に、本開示の実施形態にかかる電線異常予兆検知システムについて簡単に説明する。本実施形態にかかる電線異常予兆検知システムは、上記で説明した本開示の実施形態にかかる異常予兆検知機能付ケーブル 1 と、計測部を含んでいる。計測部は、異常予兆検知機能付ケーブル 1 に含まれる検知線 3 の検知線導体 3 1 の特性インピーダンスを計測する計測装置である。

[0053] 上で異常予兆検知機能付ケーブル 1 について説明したとおり、検知線導体 3 1 の特性インピーダンスは、検知線導体 3 1 における素線 3 a, 3 b の破断を敏感に反映して値が変化する。つまり、屈曲や振動による負荷の蓄積により、短寿命素線 3 b が、1 本ずつあるいは少数ずつ順に破断し、さらにその後長寿命素線 3 a が破断する現象が起こった際に、図 3 に示すように、検知線導体 3 1 全体としての特性インピーダンスが、段階的に上昇する。計測部によって計測される特性インピーダンスが、このように段階的な変化を示した際に、ケーブル 1 を構成する対象電線 2 において、断線の予兆が生じていると判断することができる。さらに、特性インピーダンスの上昇の程度により、対象電線 2 の断線予兆の切迫度を、段階的に検知することができる。

実施例

[0054] 以下に実施例を示す。ここでは、コンピューターシミュレーションを用いて、検知線導体を構成する素線が外周側から順に破断した際に、特性インピーダンスに明瞭な変化が生じることを確認した。なお、本発明は以下の実施例によって限定されるものではない。

[0055] <検証方法>

検証モデルとして、図4にCUT0として示すように、素線S1として線径0.1mmのエナメル線を37本束ねた検知線導体の外周に、外径が1.0mmとなるように絶縁被覆S2を設けた検知線を設定した。検知線の長さは、1mとした。エナメル線においては、導体を銅よりなるものとし、導体径を $\phi 0.08$ mm、エナメル被覆厚を0.01mmとした。この検知線において、素線の破断を模して、長さ方向中央部に、長さ10mmにわたって一部の素線を欠損させた領域を形成した。破断させる素線の本数を順次増加させて、図4に示すCUT1、CUT3、CUT7、CUT18、CUT36の各状態を作成した。それぞれ、「CUT」の後の数字が、破断させた素線の本数を示している。CUT0からCUT36へと、図の下側の外周部から、素線の破断が順に進行する状態を模擬している。

[0056] 上記CUT0からCUT36のそれぞれの状態の検知線に対し、電磁界解析による回路解析のシミュレーションを行い、特性インピーダンスを見積もった。シミュレーションには、電磁界解析ソフトウェア「Ansys HFSS」を用いた。特性インピーダンスの見積もりに際し、素線の破断のない状態にある上記検知線（CUT0の状態）と同じ絶縁電線を検知線の下側に隣接させて設け、その絶縁電線の電位をグラウンド電位とした。終端抵抗は50 Ω とした。

[0057] <検証結果>

図5Aに、CUT0からCUT36のそれぞれの状態について、シミュレーションによって得られた特性インピーダンスを、0~100MHzの周波数範囲にて示す。また、図5Bに、素線の破断数が少ない領域について、図

5 Aの結果から読み取られる、周波数50MHzにおける特性インピーダンス値の変化を示す。横軸が破断した素線の本数を示し、縦軸が特性インピーダンスを示している。

[0058] 図5Aによると、破断している素線の本数が多くなるのに伴い、ピークの頂部およびその近傍において、特性インピーダンスの値が大きくなっている。図5Bにおいては、破断した素線の本数が増加するのに伴い、特性インピーダンスが段階的に上昇しているのが、さらに明確に示されている。つまり、素線が1本ずつ、あるいは数本ずつ破断した際に、その素線の破断が、段階的な特性インピーダンスの上昇を生じさせていることが分かる。

[0059] 上記でも説明したとおり、本開示の実施形態にかかる異常予兆検知機能付ケーブルの検知線のように、検知線導体において、内側に長寿命素線を配置し、その長寿命素線の群の外周に短寿命素線を配置した構造を採用する場合には、素線の寿命自体の差異による効果に加え、導体の外周側に位置する素線ほど破断を起こしやすいという配置の効果により、素線の破断が検知線導体の外周側から順に起こりやすい。このように外周側から順に素線の破断が起こった場合に、図3に模式的に示したように、短寿命素線1本ずつ、あるいは数本ずつの破断に対応して、特性インピーダンスが階段状に上昇する挙動が生じることが、ここでのシミュレーション結果によって示される。

[0060] 以上、本開示の実施の形態について詳細に説明したが、本発明は上記実施の形態に何ら限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の改変が可能である。

符号の説明

[0061] 1	(異常予兆検知機能付) ケーブル
2	対象電線
2 A, 2 B	電源線
2 C, 2 D	通信線
2 1 (2 1 A ~ 2 1 D)	電線導体
2 2	電線被覆

3	検知線
3 1	検知線導体
3 2	検知線被覆
3 a	長寿命素線
3 a 1	導電性材料の単線
3 b	短寿命素線
3 b 1	導電性材料の単線
3 c	絶縁被覆層
4	テープ層
5	シース
5 1	外層
5 2	内層
G	電線群
S 1	素線
S 2	絶縁被覆

請求の範囲

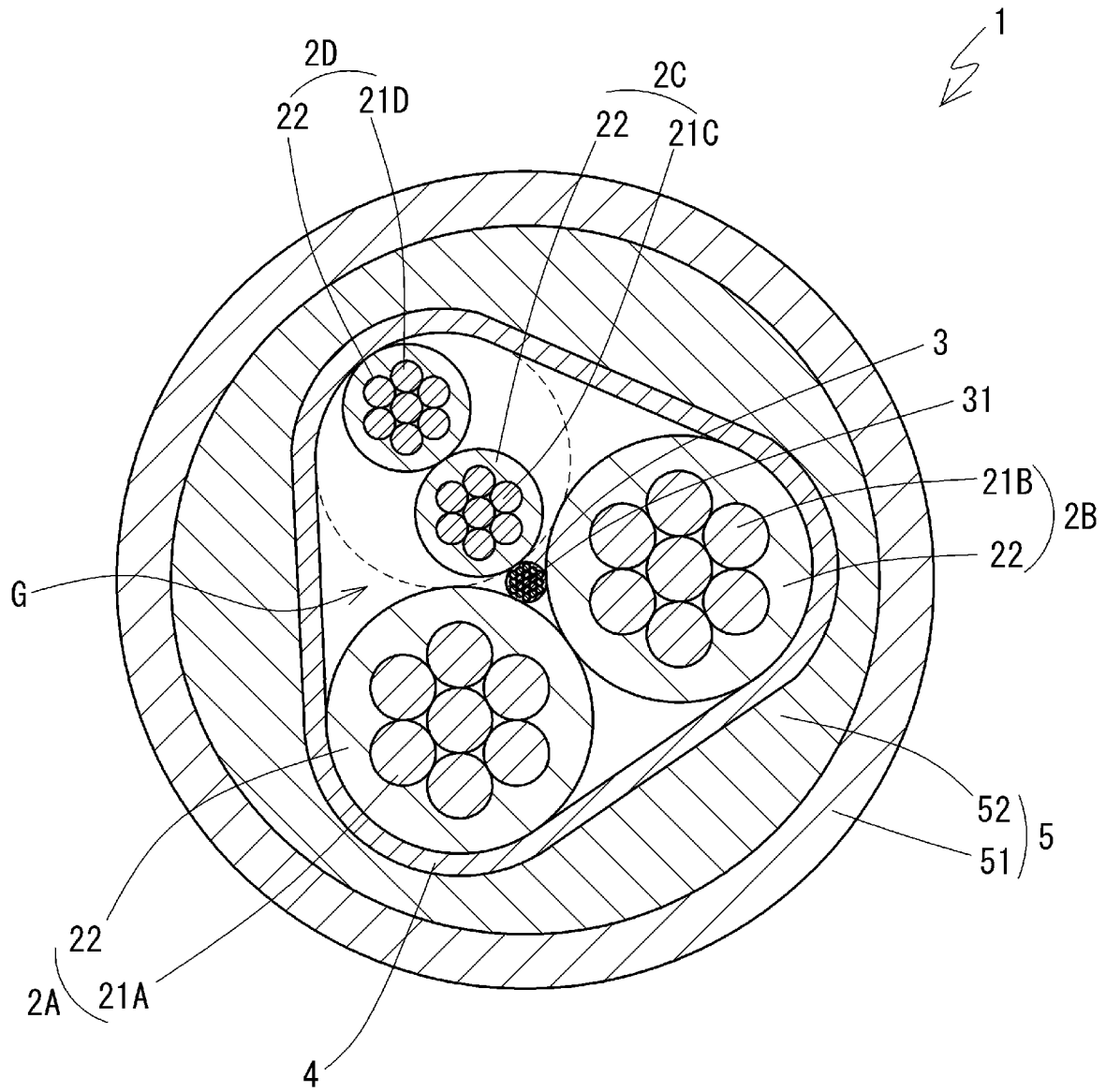
- [請求項1] 電線導体と、前記電線導体の外周を被覆する電線被覆と、を有する対象電線と、
- 検知線導体と、前記検知線導体の外周を被覆する検知線被覆と、を有する検知線と、を有し、
- 前記検知線導体は、全体として、前記電線導体よりも屈曲寿命が短く、かつ、
- 前記検知線導体は、導電性材料の単線の外周に絶縁被覆層が形成された素線として、長寿命素線と、前記長寿命素線よりも屈曲寿命が短い短寿命素線と、を有し
- 前記検知線導体において、前記長寿命素線の群の外周に、前記短寿命素線が層状に配置されている、異常予兆検知機能付ケーブル。
- [請求項2] 前記長寿命素線と前記短寿命素線は、前記導電性材料の単線の構成材料、および該単線の線径の少なくとも一方が相互に異なることにより、相互に異なる屈曲寿命を有している、請求項1に記載の異常予兆検知機能付ケーブル。
- [請求項3] 前記長寿命素線を構成する前記導電性材料が、銅合金であり、
- 前記短寿命素線を構成する前記導電性材料が、銅、または前記長寿命素線を構成する前記導電性材料よりも耐屈曲性の低い銅合金である、前記請求項1または請求項2に記載の異常予兆検知機能付ケーブル。
- [請求項4] 前記長寿命素線を構成する前記導電性材料が、アルミニウム合金であり、
- 前記短寿命素線を構成する前記導電性材料が、アルミニウム、または前記長寿命素線を構成する前記導電性材料よりも耐屈曲性の低いアルミニウム合金である、前記請求項1または請求項2に記載の異常予兆検知機能付ケーブル。
- [請求項5] 前記対象電線として、電源線と、通信線とを含んでいる、請求項1

から請求項4のいずれか1項に記載の異常予兆検知機能付ケーブル。

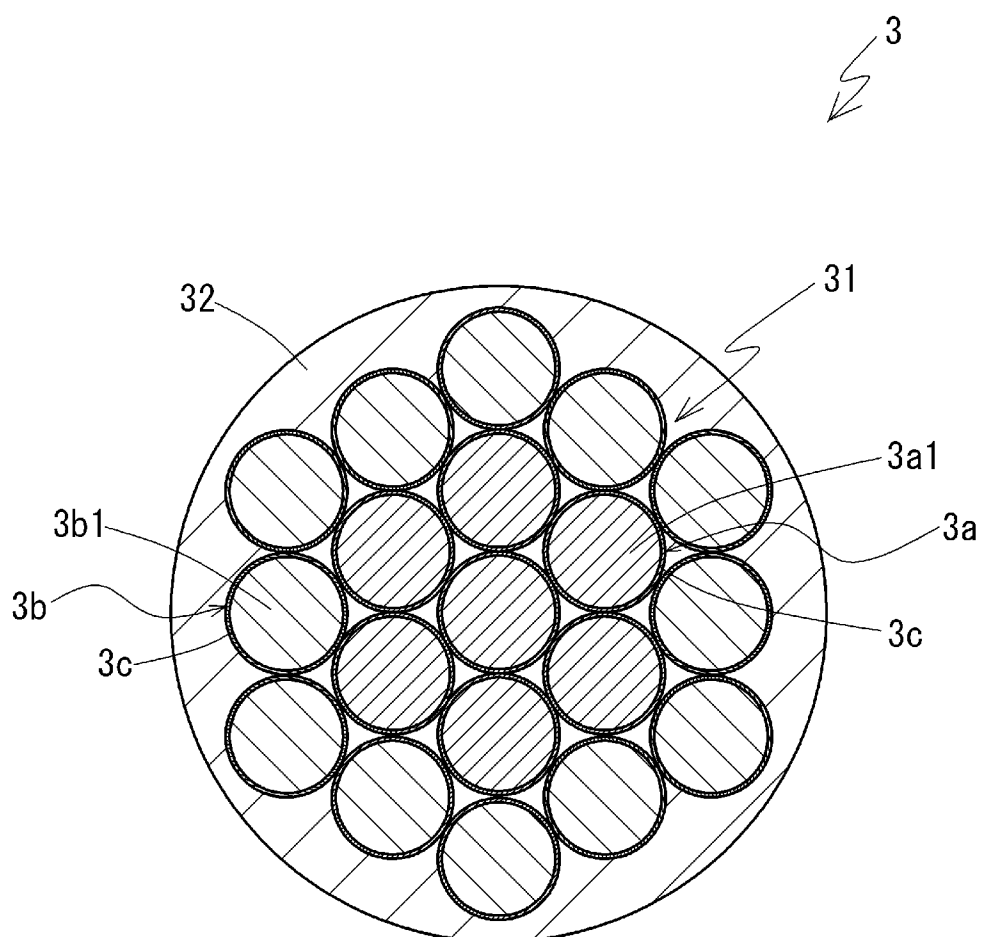
[請求項6] 請求項1から請求項5のいずれか1項に記載の異常予兆検知機能付ケーブルと、

前記異常予兆検知機能付ケーブルに含まれる前記検知線の前記検知線導体の特性インピーダンスを計測する計測部と、を有する、電線異常予兆検知システム。

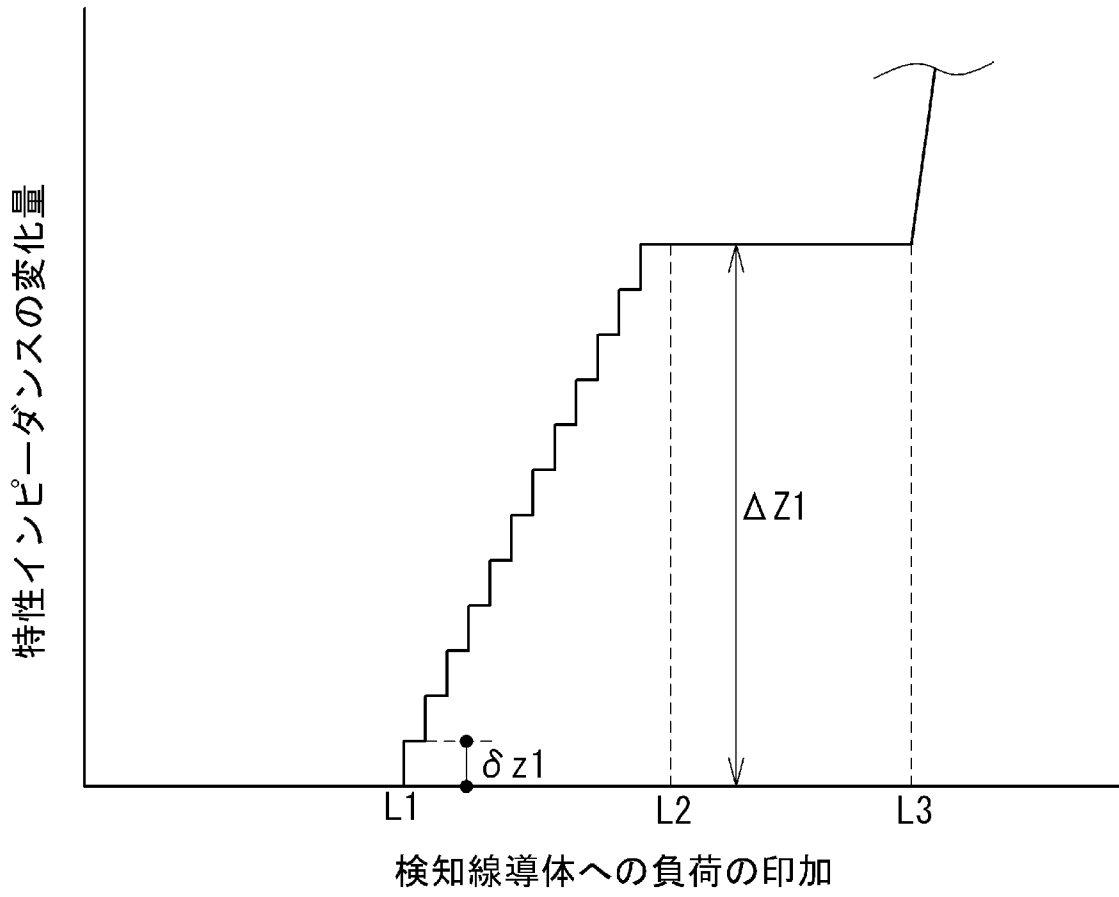
[図1]



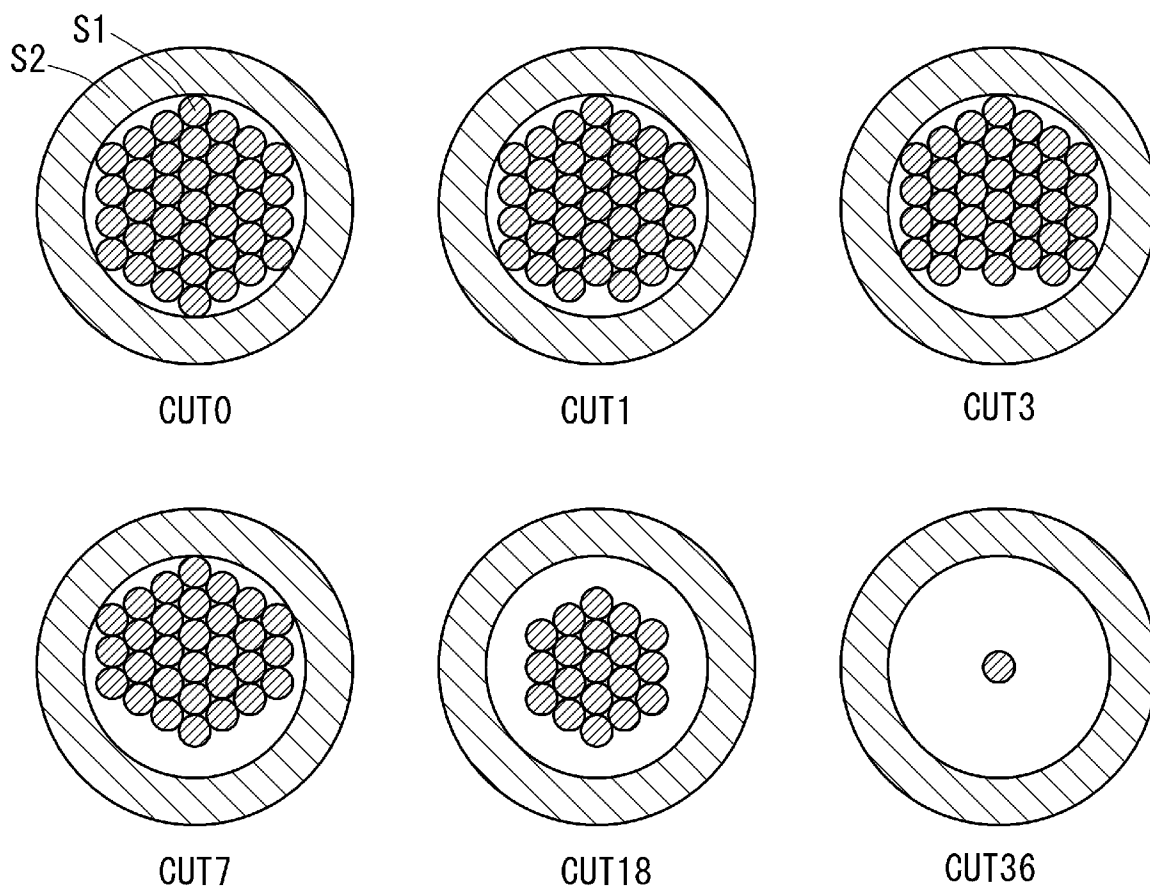
[図2]



[図3]

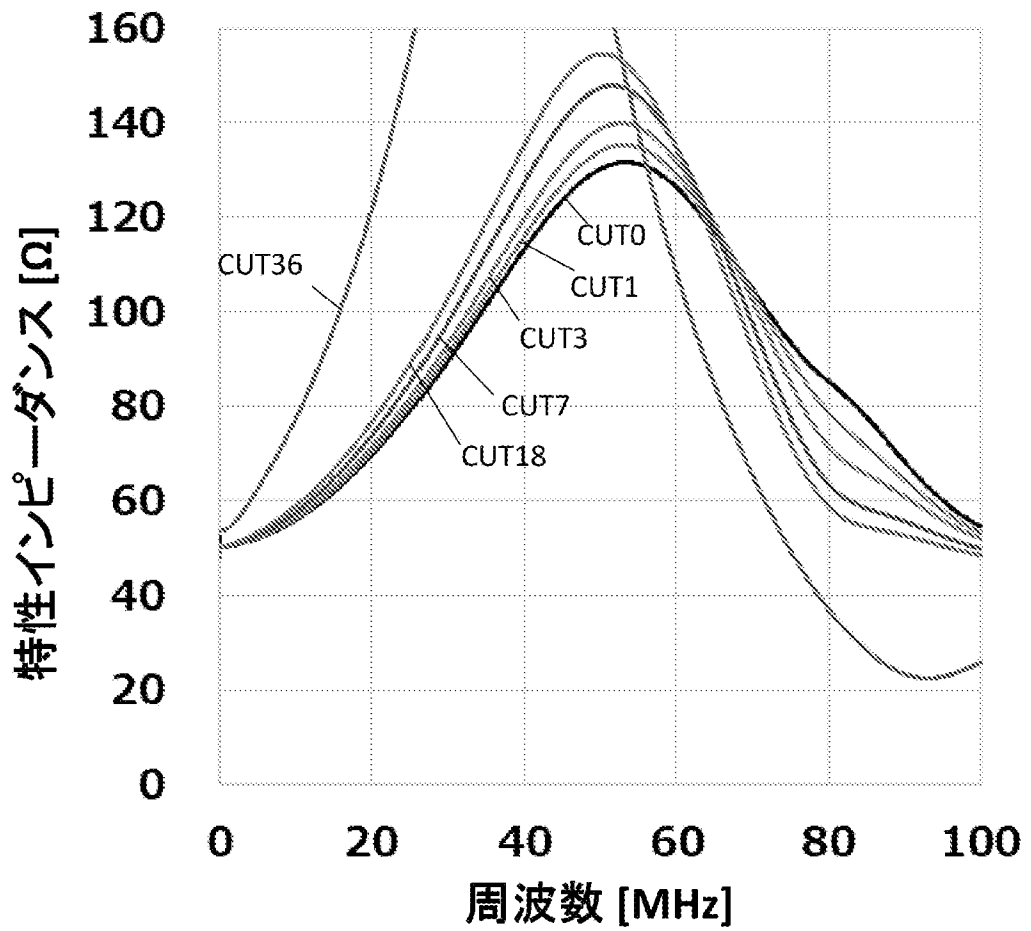


[図4]

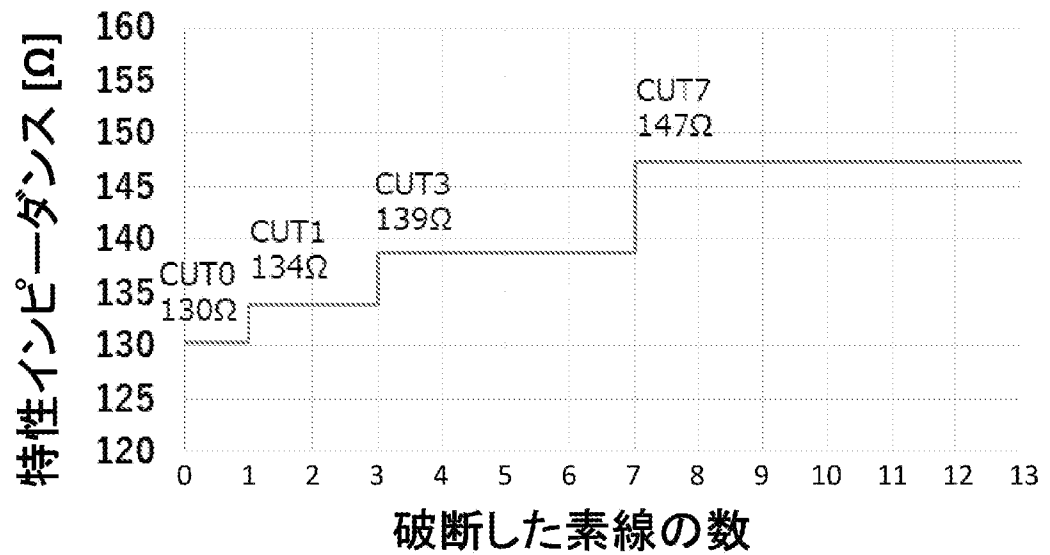


[図5]

[5A]



[5B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/002386

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>H01B 7/32</i> (2006.01)i; <i>G01R 31/54</i> (2020.01)i; <i>G01R 31/58</i> (2020.01)i FI: H01B7/32 Z; G01R31/54; G01R31/58		
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) H01B7/32; G01R31/54; G01R31/58		
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 1971-2023 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023		
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.
A	JP 2006-32060 A (HITACHI CABLE, LTD.) 02 February 2006 (2006-02-02) paragraphs [0022]-[0066], fig. 1, 2	1-6
A	JP 2013-182716 A (HITACHI CABLE LTD.) 12 September 2013 (2013-09-12) paragraphs [0016]-[0034], fig. 1-4	1-6
A	JP 2007-299608 A (HITACHI CABLE, LTD.) 15 November 2007 (2007-11-15) paragraphs [0015]-[0038], fig. 1-5	1-6
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 07 April 2023		Date of mailing of the international search report 18 April 2023
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/002386

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2006-32060 A	02 February 2006	(Family: none)	
JP 2013-182716 A	12 September 2013	US 2013/0222002 A1 paragraphs [0028]-[0046], fig. 1-4	
JP 2007-299608 A	15 November 2007	(Family: none)	

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01B 7/32(2006.01)i; G01R 31/54(2020.01)i; G01R 31/58(2020.01)i FI: H01B7/32 Z; G01R31/54; G01R31/58</p>														
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） H01B7/32; G01R31/54; G01R31/58</p> <p>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</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2023年</td> </tr> </table> <p>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）</p>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年				
日本国実用新案公報	1922 - 1996年													
日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年													
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>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</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>JP 2006-32060 A（日立電線株式会社）02.02.2006（2006 - 02 - 02） [0022]-[0066], 図1-2</td> <td>1-6</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2013-182716 A（日立電線株式会社）12.09.2013（2013 - 09 - 12） [0016]-[0034], 図1-4</td> <td>1-6</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2007-299608 A（日立電線株式会社）15.11.2007（2007 - 11 - 15） [0015]-[0038], 図1-5</td> <td>1-6</td> </tr> </tbody> </table>			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 2006-32060 A（日立電線株式会社）02.02.2006（2006 - 02 - 02） [0022]-[0066], 図1-2	1-6	A	JP 2013-182716 A（日立電線株式会社）12.09.2013（2013 - 09 - 12） [0016]-[0034], 図1-4	1-6	A	JP 2007-299608 A（日立電線株式会社）15.11.2007（2007 - 11 - 15） [0015]-[0038], 図1-5	1-6
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 2006-32060 A（日立電線株式会社）02.02.2006（2006 - 02 - 02） [0022]-[0066], 図1-2	1-6												
A	JP 2013-182716 A（日立電線株式会社）12.09.2013（2013 - 09 - 12） [0016]-[0034], 図1-4	1-6												
A	JP 2007-299608 A（日立電線株式会社）15.11.2007（2007 - 11 - 15） [0015]-[0038], 図1-5	1-6												
<p><input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>														
<p>* 引用文献のカテゴリー</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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）</p> <p>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>“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</p> <p>“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” 同一パテントファミリー文献</p>														
<p>国際調査を完了した日</p> <p>07.04.2023</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>18.04.2023</p>													
<p>名称及びあて先</p> <p>日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>	<p>権限のある職員（特許庁審査官）</p> <p>木村 励 5G 4092</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3526</p>													

国際調査報告
特許ファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/002386

引用文献	公表日	特許ファミリー文献	公表日
JP 2006-32060 A	02.02.2006	(ファミリーなし)	
JP 2013-182716 A	12.09.2013	US 2013/0222002 A1 [0028]-[0046], Figs.1-4	
JP 2007-299608 A	15.11.2007	(ファミリーなし)	