(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
2018年4月26日(26.04.2018)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2018/074577 A1

(51) 国際特許分類:
H01B 13/16 (2006.01) *H01B 13/00* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2017/037953

(22) 国際出願日： 2017年10月20日(20.10.2017)

(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 2016-206330	2016年10月20日(20.10.2016)	JP
特願 2017-069198	2017年3月30日(30.03.2017)	JP
特願 2017-069200	2017年3月30日(30.03.2017)	JP
特願 2017-069202	2017年3月30日(30.03.2017)	JP
特願 2017-149486	2017年8月1日(01.08.2017)	JP

(71) 出願人: 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). 住友電工ウインテック株式会社(SUMITOMO ELECTRIC WINTEC, INC.) [JP/JP]; 〒5291811 滋賀県甲賀市信楽町江田１０７４番地 Shiga (JP).

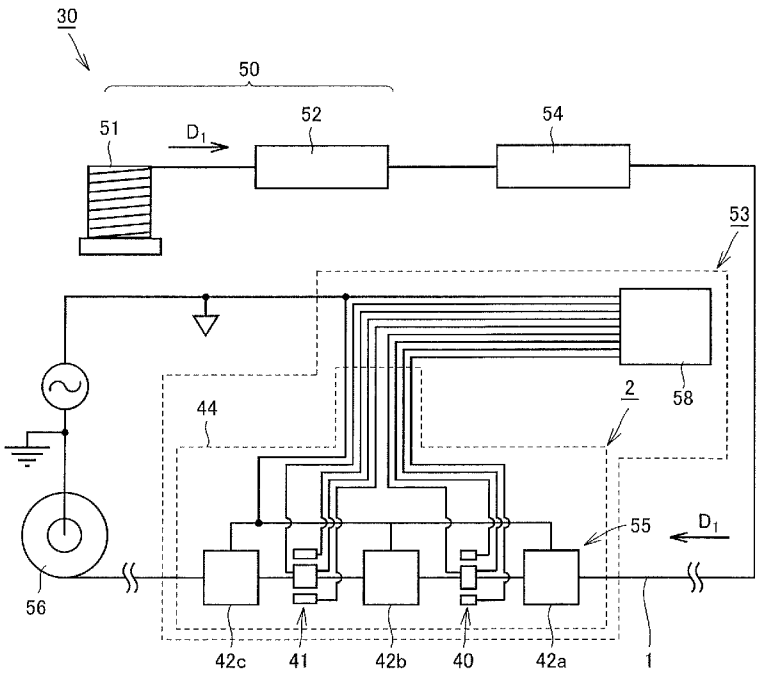
(72) 発明者: 太田 槙弥(OTA Shinya); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目１番３号 住友電気工業株式会社大阪製作所内 Osaka (JP). 山内 雅晃(YAMAUCHI Masaaki); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目１番３号 住友電気工業株式会社大阪製作所内 Osaka (JP). 菅原 潤(SUGAWARA Jun); 〒5291811 滋賀県甲賀市信楽町江田１０７４番地 住友電工ウインテ

WO 2018/074577 A1

(54) **Title:** PRODUCTION METHOD FOR INSULATED ELECTRIC WIRE, INSPECTION METHOD FOR INSULATED ELECTRIC WIRE, AND INSULATED ELECTRIC WIRE PRODUCTION DEVICE

(54) 発明の名称： 絶縁電線の製造方法、絶縁電線の検査方法および絶縁電線製造装置

図2



(57) **Abstract:** A production method for an insulated electric wire, the production method including: a step for preparing a linearly-shaped conductor; a step for forming an insulating coating film over the outer circumferential surface of the conductor so as to obtain an insulated electric wire that includes the conductor and the insulating coating film that coats the conductor; and a step for measuring, while the insulated electric wire is transported in the long direction of the con-

［続葉有］

ック株式会社内 Shiga (JP). 田村 康(**TAMURA Yasushi**); 〒5291811 滋賀県甲賀市信楽町江田１０７４番地 住友電工ウインテック株式会社内 Shiga (JP). 吉田 健吾(**YOSHIDA Kengo**); 〒5291811 滋賀県甲賀市信楽町江田１０７４番地 住友電工ウインテック株式会社内 Shiga (JP). 井上 貴雄(**INOUE Takao**); 〒5291811 滋賀県甲賀市信楽町江田１０７４番地 住友電工ウインテック株式会社内 Shiga (JP). 杉本 裕示(**SUGIMOTO Hiroji**); 〒5291811 滋賀県甲賀市信楽町江田１０７４番地 住友電工ウインテック株式会社内 Shiga (JP).

(74) 代理人: 北野 修平, 外(**KITANO, Shuhei** et al.); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜一丁目１番１４号北浜一丁目平和ビル９Ｆ Ｋ＆Ｔ特許商標事務所 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：

一 国際調査報告（条約第21条(3)）

---

ductor, a first electrostatic capacity that is between the insulated electric wire and a first electrode that is arranged on the radial-direction outside of the insulated electric wire so as to face the outer circumferential surface of the insulated electric wire and for inspecting the formation state of the insulating coating film, including the formation state of defects in the insulating coating film, on the basis of shifts in the first electrostatic capacity.

(57) 要約：絶縁電線の製造方法は、線状の形状を有する導体を準備する工程と、導体の外周側の面を覆うように、絶縁皮膜を形成することにより、導体と、導体を被覆する絶縁皮膜とを有する絶縁電線を得る工程と、絶縁電線を導体の長手方向に搬送しながら、絶縁電線の外周面に対向するように絶縁電線の径方向外側に配置される第１の電極と絶縁電線との間の第１の静電容量を測定し、第１の静電容量の推移に基づいて、絶縁皮膜内の欠陥部の形成状態を含む絶縁皮膜の形成状態を検査する工程と、を含む。

明　細　書

発明の名称 ：

絶縁電線の製造方法、絶縁電線の検査方法および絶縁電線製造装置

技術分野

[0001] 本発明は、絶縁電線の製造方法、絶縁電線の検査方法および絶縁電線製造装置に関する。

[0002] 本出願は、２０１６年１０月２０日出願の日本出願第２０１６－２０６３３０号、２０１７年３月３０日出願の日本出願第２０１７－６９１９８号、２０１７年３月３０日出願の日本出願第２０１７－６９２００号、２０１７年３月３０日出願の日本出願第２０１７－６９２０２号、２０１７年８月１日出願の日本出願第２０１７－１４９４８６号に基づく優先権を主張し、前記日本出願に記載された全ての記載内容を援用するものである。

背景技術

[0003] 特開平８－２２０１８４号公報（特許文献１）には、絶縁電線の絶縁皮膜の状態を光学的に検査し、絶縁皮膜上に発生した亀裂を検知する方法が開示されている。

[0004] 特開平８－２４９９５８号公報（特許文献２）には、溶融した熱可塑性樹脂中に発泡用のガスを注入し、導体上に発泡樹脂絶縁体を押出被覆することにより発泡絶縁電線を形成し、形成された発泡絶縁電線を移動可能な移動水槽を有する水槽内に導入し、この水槽内で冷却された発泡絶縁電線の静電容量を静電容量計で監視する一連の工程を含む発泡絶縁電線の製造方法が開示されている。

[0005] 特開２０１６－８１５６３号公報（特許文献３）には、誘電率の低い絶縁皮膜を有する絶縁電線として、空孔を有する絶縁皮膜を導体上に備えた絶縁電線が提案されている。

[0006] 特開２０１６－８１５６３号公報（特許文献４）には、誘電率の低い絶縁皮膜を有する絶縁電線として、空孔を有する絶縁皮膜を導体上に備えた絶縁

電線が提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開平８－２２０１８４号公報

特許文献2：特開平８－２４９９５８号公報

特許文献3：特開２０１６－８１５６３号公報

特許文献4：特開２０１６－１１０８４７号公報

発明の概要

[0008] 本開示の絶縁電線の製造方法は、線状の形状を有する導体を準備する工程と、導体の外周側の面を覆うように、絶縁体からなる絶縁皮膜を形成することにより、導体と、導体を被覆する絶縁皮膜とを有する絶縁電線を得る工程と、絶縁電線を導体の長手方向に搬送しながら、絶縁電線の外周面に対向するように絶縁電線の径方向外側に配置される第１の電極と絶縁電線との間の第１の静電容量を測定し、第１の静電容量の推移に基づいて、絶縁皮膜内の欠陥部の形成状態を含む絶縁皮膜の形成状態を検査する工程と、を含む。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]図１は、実施の形態１において検査される絶縁電線の一例を示す断面模式図である。

[図2]図２は、絶縁電線の製造方法および検査方法が実施される絶縁電線の製造工程を説明するためのブロック図である。

[図3]図３は、絶縁皮膜形成部を説明するためのブロック図である。

[図4]図４は、絶縁電線の検査方法の手順を示すフローチャートである。

[図5]図５は、絶縁電線の製造方法の手順を示すフローチャートである。

[図6]図６は、実施の形態１における検査電極の構造の一例を示す概略平面図である。

[図7]図７は、図６の線分ＶＩＩ－ＶＩＩに沿う断面を矢印の向きに見た状態に対応する概略断面図である。

[図8]図８は、絶縁皮膜内の低気孔率部の状態を示す概略断面図である。

[図9]図９は、図８の矢印D_2の向きに見た低気孔率部の状態を示す概略図である。

[図10]図１０は、絶縁皮膜の肉薄部の状態を示す概略断面図である。

[図11]図１１は、図１０の矢印D_3の向きに見た肉薄部の状態を示す概略図である。

[図12]図１２は、絶縁皮膜表面の傷欠陥の状態を示す概略断面図である。

[図13]図１３は、絶縁皮膜の穴欠陥の状態を示す概略断面図である。

[図14]図１４は、実施の形態２において検査される絶縁電線の一例を示す断面模式図である。

[図15]図１５は、実施の形態３における検査電極の構造の一例を示す概略平面図である。

[図16]図１６は、実施の形態４における検査電極の構造の一例を示す概略平面図である。

[図17]図１７は、実施の形態５における検査電極の構造の一例を示す概略平面図である。

[図18]図１８は、実施の形態６における検査電極の構造の一例を示す概略平面図である。

[図19]図１９は、実施の形態７における検査電極の構造の一例を示す概略平面図である。

[図20]図２０は、実施の形態８における検査電極の構造の一例を示す概略平面図である。

[図21]図２１は、絶縁電線の一例を示す断面模式図である。

[図22]図２２は、絶縁電線の一例を示す断面模式図である。

[図23]図２３は、実施の形態９における絶縁電線の製造工程を説明するためのブロック図である。

[図24]図２４は、実施の形態９における絶縁皮膜形成部を説明するためのブロック図である。

[図25]図２５は、実施の形態９における絶縁電線の製造方法の手順を示すフローチャートである。

[図26]図２６は、気孔率と静電容量との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0010] ［本開示が解決しようとする課題］

絶縁電線の製造方法又は検査方法においては、絶縁電線の絶縁特性に影響を与え得る欠陥部、なかでも特に目視では正確な検知が難しい微小な欠陥部を適切に検出することが求められている。また検査効率を考慮して、絶縁電線を搬送しながら非破壊で欠陥部を検知することが求められている。

[0011] そこで、絶縁電線の絶縁特性に影響を与え得る欠陥部、特に微小な欠陥部を、絶縁電線を搬送しながら非破壊で適切に検出することができ、それにより安定した品質の絶縁電線を製造することを可能とする絶縁電線の製造方法およびその方法を実施するための製造装置、並びにそのような欠陥部を適切に検出可能な絶縁電線の検査方法を提供することを目的の１つとする。

［本開示の効果］

[0012] 本開示によれば、絶縁電線の絶縁特性に影響を与え得る欠陥部、特に微小な欠陥部を、絶縁電線を搬送しながら非破壊で適切に検出することができ、それにより安定した品質の絶縁電線を製造することが可能となる。

[0013] ［本願発明の実施形態の説明］

最初に本願発明の実施態様を列記して説明する。本願の絶縁電線の製造方法は、線状の形状を有する導体を準備する工程と、導体の外周側の面を覆うように、絶縁皮膜を形成することにより、導体と、導体を被覆する絶縁皮膜とを有する絶縁電線を得る工程と、絶縁電線を導体の長手方向に搬送しながら、絶縁電線の外周面に対向するように絶縁電線の径方向外側に配置される第１の電極と絶縁電線との間の第１の静電容量を測定し、第１の静電容量の推移に基づいて、絶縁皮膜内の欠陥部の形成状態を含む絶縁皮膜の形成状態を検査する工程と、を含む。

[0014] 本願の絶縁電線の製造方法は、絶縁皮膜の形成状態を検査する工程を含む

。この絶縁皮膜の形成状態を検査する工程においては、絶縁電線と、絶縁電線の外周面に対向するように絶縁電線の径方向外側に配置された電極との間の静電容量が、絶縁皮膜の形成状態によって変動することを利用して絶縁皮膜の形成状態を検査する。特に絶縁皮膜に欠陥部が存在する場合にその欠陥部を検出する。この検査においては、絶縁皮膜の厚みや誘電率の変化に伴って絶縁電線と電極との間の静電容量が変動することを利用する。絶縁皮膜に欠陥部が存在すると絶縁電線の実質的な厚みや誘電率に変化が生じることから、電極と絶縁皮膜との間の静電容量の値が定常時と比べて変化する。そのため、導体の長手方向に搬送される絶縁電線と電極との間の静電容量の推移に基づいて、絶縁皮膜の形成状態が検査され、絶縁皮膜内に欠陥部が存在した場合にその存在を検知することができる。

[0015] 具体的には、線状の導体と、その導体の外周側に掲載された絶縁皮膜とを有する絶縁電線に対し、絶縁電線の外周面に対向するように絶縁電線の径方向外側に電極を配置し、絶縁電線の長手方向に搬送しながら絶縁電線と電極との間の静電容量（キャパシタンス）を測定する。このとき、欠陥のない正常部においては静電容量は定常状態を示す。これに対し、絶縁皮膜に傷や穴、肉薄部（絶縁皮膜の平均厚みと比較して、局所的に厚みが有意に小さい部分）、内部に空孔を有する絶縁皮膜においては低気孔率部（局所的に空孔が存在しない領域又は絶縁皮膜の平均気孔率と比較して気孔率が局所的に有意に低い領域）などの欠陥部が存在すると静電容量は変化する。例えば導体の盛り上がりにより絶縁皮膜が相対的に薄くなる肉薄部が存在すると絶縁電線と電極との間の静電容量は増加する。また絶縁皮膜上に傷や穴が存在すると、その傷や穴の状況に応じて静電容量が変化する。絶縁電線を導体の長手方向に搬送しながら、電極と絶縁電線との間の静電容量を検出し、得られる静電容量の推移に基づいて絶縁皮膜の形成状態を検査することで、絶縁皮膜の形成状態を検査し、欠陥部が存在する場合にその欠陥部を精度良く検出することができる。

[0016] 上記絶縁皮膜の形成状態を検査する工程においては、導体の長手方向に沿

った長さが４ｍｍ以下の絶縁皮膜内の欠陥部を検出するようにしてもよい。このような微小な欠陥部は、絶縁電線の長手方向に搬送しながら行う検査において目視では見落とすおそれがある。上記製造方法において、検査工程で用いられる電極を適切に選定することで、導体の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下の絶縁皮膜内の欠陥部を精度良く検出することができる。その結果、欠陥部の未検出の頻度が低下する。

[0017] 第１の電極は、導体の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下の絶縁皮膜内の欠陥部が検出可能となるように、長手方向に沿った長さが調整されているのが好ましい。このような構成を備えた電極を有することで、絶縁皮膜の形成状態を検査する工程において、導体の長手方向に沿った長さが小さい絶縁皮膜内の欠陥部をより確実に検出することが可能となる。具体的には導体の長手方向に沿った上記電極の長さは１０ｍｍ以下とするのが好ましい。

[0018] 絶縁皮膜の形成状態を検査する工程において、導体の長手方向に沿った長さが２ｍｍ以下の絶縁皮膜内の欠陥部を検出するようにしてもよい。このような構成を有することにより、より微細な欠陥部をより精度よく検出することが可能となる。

[0019] 絶縁電線を得る工程において、絶縁皮膜は、導体の外周側の面を覆うように塗工液を塗工して塗膜を形成し、塗膜を加熱することにより形成されるようにしてもよい。本願の絶縁電線の製造方法は、このような絶縁皮膜を有する絶縁電線を製造するのに特に適している。

[0020] 絶縁電線の絶縁皮膜は、内部に空孔を有していてもよい。この場合、絶縁皮膜の形成状態を検査する工程において、さらに静電容量と気孔率との関係に基づいて絶縁皮膜の形成状態を検査してもよい。

[0021] 空気の誘電率は約１．０である。これに対し、絶縁皮膜を構成する材料は空気とは異なった誘電率を有する。したがって、絶縁皮膜内に空孔が存在すると、絶縁皮膜全体としての誘電率は絶縁皮膜内の空孔の存在割合（気孔率）に応じて変化する。本発明者らによる検討の結果、電極と絶縁電線との間の静電容量（キャパシタンス）と絶縁皮膜の気孔率との間には相関関係があ

ることが確認された。そのため本願の絶縁電線の製造方法においては、絶縁皮膜の内部に空孔がする場合、気孔率が変化している部分を欠陥部として検知することができる。また静電容量の推移とともに、さらに静電容量と気孔率との関係に基づいて絶縁皮膜の形成状態を検査することで、気孔率が変化している部分の気孔率を導出することができる。

[0022] 絶縁皮膜内の欠陥部は、内部に空孔を有する絶縁皮膜内に存在する低気孔率部であってもよい。本願の絶縁電線の製造方法は、内部に空孔を有する絶縁皮膜内に存在しうる、目視では検出しにくい低気孔率部の検出を的確に行うための方法としても好適である。低気孔率部が存在する箇所においては絶縁皮膜の誘電率が変化する。そのため低気孔率部が存在する箇所においては絶縁電線と上記電極との間の静電容量が変動する。この現象を利用し、上記絶縁電線の製造方法において、低気孔率部をより効率よく検出することができる。なお上述の通り、低気孔率部とは、局所的に空孔が存在しない領域又は絶縁皮膜の平均気孔率と比較して気孔率が局所的に有意に低い領域をいう。低気孔率部のなかでも局所的に空孔が存在しない領域を特に無空孔部という。

[0023] 絶縁皮膜内の上記欠陥部は肉薄部であってもよい。本願の絶縁電線の製造方法は、目視では検出しにくい肉薄部の検出を的確に行うための方法として好適である。上述の通り、肉薄部とは絶縁皮膜の平均厚みと比較して、局所的に厚みが有意に小さい部分をいう。静電容量は絶縁電線の厚みに反比例するため、肉薄部が存在すると、絶縁電線と上記電極との間の静電容量は大きくなる。この現象を利用し、上記絶縁電線の製造方法において、肉薄部を効率よく検出することができる。

[0024] 上記肉薄部は、膜厚減少量が１μｍ以上５０μｍ以下であってもよい。このような肉薄部を欠陥部として適切に検知できることにより、欠陥の少ない絶縁電線の製造により効果的に寄与することができる。

[0025] 上記絶縁電線の製造方法において、絶縁皮膜の厚み方向から平面視した平面形状における欠陥部の長手方向最大長さと幅方向最大長さとの積が、０．

１ｍｍ^{2}以上２０ｍｍ^{2}以下であってもよい。このような大きさを有する欠陥部を適切に検知できることにより、欠陥の少ない絶縁電線の製造により効果的に寄与することができる。なお、以下において、「絶縁皮膜の厚み方向から平面視した平面形状における欠陥部の長手方向最大長さ」および「絶縁皮膜の厚み方向から平面視した平面形状における欠陥部の幅方向最大長さ」をそれぞれ、「長手方向最大長さ」及び「幅方向最大長さ」と呼ぶ。

[0026] 第１の電極は、導体の長手方向に垂直な断面において導体の周方向に互いに離間するように分割された複数のユニットを含み、各ユニットは導体の長手方向に沿って延在してもよい。第１の電極がこのような形状を有することで、絶縁電線の周方向における欠陥の存在位置についても細かく特定することが可能となる。

[0027] 絶縁皮膜の形成状態を検査する工程において、第１の電極と絶縁電線との間の第１の静電容量を検出するとともに、絶縁電線の外周面に対向するように絶縁電線の径方向外側に配置された第２の電極と絶縁電線との間の第２の静電容量をさらに検出し、第１の静電容量の推移および第２の静電容量の推移の少なくともいずれか一方に基づいて絶縁皮膜の形成状態を検査するようにしてもよい。このように第１の電極および第２の電極を含む複数の電極を用いて検査を行うことにより、欠陥の誤検出を低減し、より精度良く欠陥を検出することができる。

[0028] 上記絶縁電線の製造方法において、第２の電極の、導体の長手方向に沿った長さが第１の電極とは異なっていてもよい。このようにすることで、第１の電極と絶縁電線との間の第１の静電容量と、第２の電極と絶縁電線との間の第２の静電容量とを求め、それらに基づく検査結果を比較することにより（両者の差分をとることにより）、より高い精度での欠陥の検出が可能となる。

[0029] 第２の電極は、導体の長手方向に垂直な断面において導体の周方向に互いに離間するように分割された複数のユニットを含み、各ユニットは導体の長手方向に沿って延在してもよい。第２の電極がこのような形状を有すること

で、絶縁電線の周方向における欠陥の存在位置についてもさらに細かく特定することが可能となる。

[0030] 上記絶縁皮膜は、ポリイミドを含んでもよい。ポリイミドを含む絶縁皮膜は、絶縁性および耐熱性に優れる。そのため、ポリイミドは絶縁皮膜を構成する材料として好適である。またポリイミドは上記絶縁電線の製造方法において欠陥を検出するのに適度な誘電率を有する。そのため、上記絶縁電線の製造方法は、ポリイミドを含む絶縁皮膜を備えた絶縁電線を、欠陥部が発生しても適切に検出可能な状態で製造するのに適している。また、絶縁皮膜は、ポリアミドイミドを含んでも良い。ポリアミドイミドを含む絶縁皮膜は、ポリイミドを含む絶縁皮膜同様、絶縁性及び耐久性に優れるため、ポリイミドと同様のメリットを有する。

[0031] 絶縁皮膜の形成状態を検査する工程は、オンラインで行われるのが好ましい。絶縁皮膜の形成状態を検査する工程をオンラインで検査を行うことにより、連続して絶縁電線の製造を行うことができ、高い生産効率で絶縁電線を得ることができる。なおオンラインで検査を行う状態とは、一連の製造工程内において、絶縁電線を得る工程に引き続き連続して絶縁皮膜の形成状態を検査する状態を意味する。

[0032] 本願の絶縁電線の検査方法は、線状の形状を有する導体と、導体の外周側に形成された絶縁皮膜とを有する絶縁電線を準備する工程と、絶縁電線を導体の長手方向に搬送しながら、絶縁電線の外周面に対向するように絶縁電線の径方向外側に配置される電極と絶縁電線との間の静電容量を測定し、静電容量の推移に基づいて絶縁皮膜の形成状態を検査する工程とを含む。上記検査方法は、絶縁皮膜の形成状態を検査する工程において、導体の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下の絶縁皮膜内の欠陥部を検出可能である。

[0033] 本願の絶縁電線の検査方法においては、絶縁電線と、絶縁電線の外周面に対向するように絶縁電線の径方向外側に配置された電極との間の静電容量が、絶縁皮膜の形成状態によって変動することを利用して欠陥部を検出する。上記検査方法においては、絶縁皮膜の厚みや誘電率の変化に伴って絶縁電線

と電極との間の静電容量が変動することを利用する。絶縁皮膜に欠陥部が存在すると絶縁電線の実質的な厚みや誘電率に変化が生じることから、電極と絶縁皮膜との間の静電容量の値が定常時と比べて変化する。そのため、導体の長手方向に搬送される絶縁電線と電極との間の静電容量の推移に基づいて、絶縁皮膜内に欠陥部が存在した場合にその存在を検知することができる。

[0034] 具体的には、線状の導体と、その導体の外周側に掲載された絶縁皮膜とを有する絶縁電線に対し、絶縁電線の外周面に対向するように絶縁電線の径方向外側に電極を配置し、絶縁電線の長手方向に搬送しながら絶縁電線と電極との間の静電容量（キャパシタンス）を測定すると、欠陥のない正常部においては定常状態を示す。これに対し、絶縁皮膜に傷や穴、肉薄部（絶縁皮膜の平均厚みと比較して、局所的に厚みが有意に小さい部分）、内部に空孔を有する絶縁皮膜においては低気孔率部（局所的に空孔が存在しない領域又は絶縁皮膜の平均気孔率と比較して気孔率が局所的に有意に低い領域）などの欠陥部が存在すると静電容量は変化する。例えば導体の盛り上がりにより絶縁皮膜が相対的に薄くなる肉薄部が存在すると絶縁電線と電極との間の静電容量は増加する。また絶縁皮膜上に傷や穴が存在すると、その傷や穴の状況に応じて静電容量が変化する。絶縁電線を導体の長手方向に搬送しながら、電極と絶縁電線との間の静電容量を検出し、得られる静電容量の推移に基づいて絶縁皮膜の形成状態を検査することで、導体の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下の絶縁皮膜内の欠陥部を精度良く検出することができる。

[0035] 上記電極は、導体の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下の絶縁皮膜内の欠陥部が検出可能となるように、長手方向に沿った長さが調整されていてもよい。このような構成を備えた電極を有することで、絶縁皮膜の形成状態を検査する工程において、導体の長手方向に沿った長さが小さい絶縁皮膜内の欠陥部を検出することが可能となる。具体的には導体の長手方向に沿った上記電極の長さは１０ｍｍ以下とするのが好ましい。

[0036] 絶縁皮膜の形成状態を検査する工程においては、導体の長手方向に沿った長さが２ｍｍ以下の絶縁皮膜内の欠陥部を検出可能であるのが好ましい。こ

のような構成を有することにより、より微細な欠陥部をより精度よく検出することが可能となる。

[0037] 上記絶縁電線を準備する工程において準備される絶縁電線の絶縁皮膜は、内部に空孔を有していてもよい。この場合、絶縁皮膜の形成状態を検査する工程において、さらに静電容量と気孔率との関係に基づいて絶縁皮膜の形成状態を検査してもよい。

[0038] 上記の通り電極と絶縁電線との間の静電容量（キャパシタンス）と絶縁皮膜の気孔率との間には相関関係があることが確認された。そのため本願の絶縁電線の検査方法は、絶縁皮膜の内部に空孔がする場合、気孔率が変化している部分を欠陥部として検知することができる。また静電容量の推移とともに、さらに静電容量と気孔率との関係に基づいて絶縁皮膜の形成状態を検査することで、気孔率が変化している部分の気孔率を導出することができる。

[0039] 絶縁皮膜内の欠陥部は、内部に空孔を有する絶縁皮膜内に存在する低気孔率部であってもよい。本願の絶縁電線の検査方法は、内部に空孔を有する絶縁皮膜内に存在しうる、目視では検出しにくい低気孔率部の検出を的確に行うための方法としても好適である。低気孔率部が存在する箇所においては絶縁皮膜の誘電率が変化する。そのため低気孔率部が存在する箇所においては絶縁電線と上記電極との間の静電容量が変動する。この現象を利用し、上記絶縁電線の検査方法において、低気孔率部をより効率よく検出することができる。

[0040] 絶縁皮膜内の上記欠陥部は肉薄部であってもよい。本願の絶縁電線の検査方法は、目視では検出しにくい肉薄部の検出を的確に行うための方法として好適である。上述の通り、肉薄部とは絶縁皮膜の平均厚みと比較して、局所的に厚みが有意に小さい部分をいう。静電容量は絶縁電線の厚みに反比例するため、肉薄部が存在すると、絶縁電線と上記電極との間の静電容量は大きくなる。この現象を利用し、上記絶縁電線の検査方法において、肉薄部を効率よく検出することができる。

[0041] 上記肉薄部は、膜厚減少量が１μｍ以上５０μｍ以下であってもよい。こ

のような肉薄部を欠陥部として適切に検知できることにより、欠陥の少ない絶縁電線の製造により効果的に寄与することができる。

[0042] 上記絶縁電線の検査方法において、絶縁皮膜の厚み方向から平面視した平面形状における欠陥部の長手方向最大長さと幅方向最大長さとの積が、０．１ｍｍ^{2}以上２０ｍｍ^{2}以下であってもよい。このような大きさを有する欠陥部を適切に検知できることにより、欠陥の少ない絶縁電線の製造により効果的に寄与することができる。

[0043] 上記絶縁皮膜は、ポリイミドを含んでもよい。ポリイミドを含む絶縁皮膜は、絶縁性および耐熱性に優れる。そのため、ポリイミドは絶縁皮膜を構成する材料として好適である。またポリイミドは上記絶縁電線の検査方法において欠陥を検出するのに適度な誘電率を有することから、上記絶縁電線の検査方法は、ポリイミドを含む絶縁皮膜を備えた絶縁電線の欠陥部を検出するのに適している。また、絶縁皮膜は、ポリアミドイミドを含んでも良い。ポリアミドイミドを含む絶縁皮膜は、ポリイミドを含む絶縁皮膜同様、絶縁性及び耐久性に優れるため、ポリイミドと同様のメリットを有する。

[0044] 絶縁皮膜の形成状態を検査する工程は、オンラインで行われるのが好ましい。絶縁皮膜の形成状態を検査する工程をオンラインで検査を行うことにより、連続して絶縁電線の製造を行うことができ、高い生産効率で絶縁電線を得ることができる。なおオンラインで検査を行う状態とは、一連の製造工程内において、絶縁電線を得る工程に引き続き連続して絶縁皮膜の形成状態を検査する状態を意味する。

[0045] 本願の絶縁電線製造装置は、線状の形状を有する導体を準備する導線準備部と、導体の外周側を覆うように絶縁皮膜を形成する絶縁皮膜形成部と、導体および絶縁皮膜を有する絶縁電線の、絶縁皮膜の形成状態を検査する検査部と、を備える。絶縁皮膜形成部は、絶縁皮膜の原料となるワニス（塗工液）を導体の外周側を覆うように塗工する塗工装置と、塗工装置により塗工された塗膜を加熱する加熱部と、を含む。検査部は、導体の長手方向に搬送されながら検査される絶縁電線の外周面に対向するように絶縁電線の径方向外

側に配置される第１の電極を有し、導体の長手方向に搬送される絶縁電線と第１の電極との間の第１の静電容量を測定するキャパシタンスセンサを含む。

[0046] このような絶縁電線製造装置により絶縁電線を製造する場合、導体の長手方向に搬送される絶縁電線と電極との間の静電容量の推移に基づいて、絶縁皮膜の形成状態が検査され、絶縁皮膜内に欠陥部が存在した場合にその存在を検知することができる。その結果、欠陥部が発生しても高い頻度で検出が可能な状態で絶縁電線を製造することができる。

[0047] 上記絶縁電線製造装置において、第１の電極の、導体の長手方向の長さが０．１ｍｍ以上１０ｍｍ以下であってもよい。上記製造装置のキャパシタンスセンサによって測定される第１の静電容量の値は電極の長手方向に沿って平均化した値となる。導体の長手方向に沿って長い電極を使用した場合、広い範囲を検出することが可能となるが、静電容量の値が電極の長手方向に渡って平均化されるため、微細な欠陥を感度良く検出することが難しい。これに対し、導体の長手方向に沿った上記電極の長さを１０ｍｍ以下とすることで、長手方向に長い電極では検知しにくい微細な欠陥をも検知することができる。一方、導体の長手方向に沿った上記電極の長さが短すぎると、測定範囲が狭くなり、絶縁皮膜の局所的な状態の差に応じて静電容量の変動が大きくなることから、正確な欠陥の検出が難しくなる。導体の長手方向に沿った上記第１の電極の長さを０．１ｍｍ以上とすることにより、より高い精度での欠陥の検出を行うことができる。

[0048] 上記絶縁電線製造装置において、第１の電極は、導体の長手方向に垂直な断面において導体の周方向に互いに離間するように分割された複数のユニットを含み、各ユニットは導体の長手方向に沿って延在してもよい。第１の電極がこのような形状を有することで、絶縁電線の周方向における欠陥の存在位置についても細かく特定することが可能となる。

[0049] 上記絶縁電線製造装置において、キャパシタンスセンサは、導体の長手方向に搬送されながら検査される絶縁電線の外周面に対向するように絶縁電線

の径方向外側に配置される、第１の電極とは異なる第２の電極をさらに有していてもよい。このときキャパシタンスセンサは、導体の長手方向に搬送される絶縁電線と第２の電極との間の第２の静電容量をさらに測定するようにしてもよい。このように第１の電極および第２の電極を含む複数の電極を用いて検査を行うことにより、欠陥の誤検出を低減し、より精度良く欠陥を検出することができる。

[0050] 上記絶縁電線製造装置において、第１の電極の、導体の長手方向の長さが０．１ｍｍ以上１０ｍｍ以下であってもよい。導体の長手方向に沿った上記電極の長さを１０ｍｍ以下とすることで、長手方向に長い電極では検知しにくい微細な欠陥をも検知することができる。また導体の長手方向に沿った上記第１の電極の長さを０．１ｍｍ以上とすることにより、より高い精度での欠陥の検出を行うことができる。

[0051] 上記絶縁電線製造装置が第２の電極を有する場合、第２の電極の、導体の長手方向に沿った長さが第１の電極とは異なるようにしてもよい。このようにすることで、第１の電極と絶縁電線との間の第１の静電容量と、第２の電極と絶縁電線との間の第２の静電容量とを求め、それらに基づく検査結果を比較することにより（両者の差分をとることにより）、より高い精度での欠陥の検出が可能となる。

[0052] 上記絶縁電線製造装置において、第２の電極は、導体の長手方向に垂直な断面において導体の周方向に互いに離間するように分割された複数のユニットを含み、各ユニットは導体の長手方向に沿って延在してもよい。第２の電極がこのような形状を有することで、絶縁電線の周方向における欠陥の存在位置についても細かく特定することが可能となる。

[0053] 上記絶縁電線製造装置において、導線準備部は、金属素線を保持し、供給する素線供給部と、金属素線を加工する導体加工部と、を含んでいてもよい。導線準備部が素線供給部と導体加工部とを別途有することで、素線から所望の形状の導線に加工することができる。

[0054] 絶縁皮膜形成部において、塗工装置は、ポリイミド前駆体を含むワニス（

塗工液）を導体に塗工してもよく、加熱部は、塗工された塗膜を加熱し、ポリイミド前駆体からポリイミド皮膜を形成する焼付炉であってもよい。ポリイミドを含む絶縁皮膜は、絶縁性および耐熱性に優れる。そのため、ポリイミドは絶縁皮膜を構成する材料として好適である。またポリイミドは上記絶縁電線の検査方法において欠陥を検出するのに適度な誘電率を有する。絶縁皮膜形成部がこのような構成を有することで、ポリイミドを含む絶縁皮膜を効率よく製造することができる。

[0055] 上記絶縁電線製造装置は、検査部において検査された絶縁電線を巻き取る巻取り部をさらに備えていてもよい。また絶縁電線が切断されないように導線準備部から巻取り部までが並べて配置されていてもよい。上記絶縁電線製造装置を構成する各構成要素が並べて配置されていることにより、絶縁電線の製造途中で中断することなく連続して絶縁電線の製造を行うことができる。その結果、高い生産効率で絶縁電線を得ることができる。また絶縁皮膜の形成状態を検査する工程をオンラインで検査を行うことができる。

[0056] ［本願発明の実施形態の詳細］

次に、本願の絶縁電線の製造方法、絶縁電線の検査方法および絶縁電線製造装置の実施の形態を、図面を参照しつつ説明する。以下の図面において同一または相当する部分には同一の参照番号を付しその説明は繰返さない。

[0057] （実施の形態１）

［絶縁電線の構造］

まず、図１～図１３を参照して実施の形態１を説明する。図１は実施の形態１において検査される絶縁電線の一例の断面模式図である。図１を参照して、絶縁電線１は、線状の形状を有する導体１０の長手方向に垂直な断面において円形の断面形状を有する。絶縁電線１は、円形の断面形状を有する線状の導体１０と、この導体１０の外周側に形成された絶縁皮膜２０とを備える。絶縁皮膜２０は、有機材料を含む絶縁体からなる。また絶縁皮膜２０は内部に空孔１５を含む。具体的には、絶縁皮膜２０は、その内部に複数（多数）の空孔１５が分散された状態で形成される。

[0058] 絶縁体に含まれる上記有機材料としては特に限定されないが、例えば熱硬化性樹脂であればポリイミド（ＰＩ）やポリアミドイミド（ＰＡＩ）、熱可塑性樹脂であればポリエーテルサルフォン（ＰＥＳ）、ポリエーテルエーテルケトン（ＰＥＥＫ）などが挙げられる。なかでも絶縁性および耐熱性に優れることから、絶縁皮膜２０を構成する絶縁体はポリイミドまたはポリアミドイミドを含むのが好ましく、ポリイミドを含むものがより好ましい。絶縁皮膜２０を構成する絶縁体の５０質量％以上がポリイミドであるのがより好ましく、ポリイミドと不可避的不純物とからなるのが特に好ましい。例えば、本実施の形態における絶縁皮膜２０の空孔１５以外の部分はポリイミドおよび不可避的不純物からなるポリイミド皮膜である。図１を参照して、本実施の形態における絶縁皮膜２０はその内部に空孔１５を含む。絶縁皮膜２０の全体積に占める空孔１５の総体積の割合（気孔率）は、たとえば５体積％以上８０体積％以下であり、好ましくは１０体積％以上７０体積％以下、より好ましくは２５体積％以上６５体積％以下である。ポリイミドなどの絶縁皮膜２０を構成する材料と空気とでは誘電率が異なることから、絶縁皮膜２０が空孔１５を有することにより絶縁皮膜２０全体としての誘電率が変化する。例えばポリイミドは、空気よりも誘電率（比誘電率）が高い。したがって、絶縁皮膜２０がポリイミドからなる場合、絶縁皮膜２０が空孔１５を有することで、空孔１５を有しない絶縁皮膜２０に比べて誘電率の低い絶縁皮膜２０を得ることができる。

[0059] 絶縁電線１は、図１に示すように絶縁皮膜２０内に分散された状態で空孔１５を有していてもよい。また図示していないが、絶縁皮膜２０が、中実層と、空孔１５を有する多孔質層とが互いに積層された多層構造を有していてもよい。この場合、中実層の厚みと多孔質層の厚みとは、必要な特性に応じて任意に設定できる。

[0060] 次に、本実施の形態に係る絶縁電線１の製造方法および検査方法の流れを、図２～図７を参照して説明する。図２は、絶縁電線１の製造方法および検査方法が実施される絶縁電線１の製造工程を説明するためのブロック図であ

る。図３は絶縁皮膜形成部５４を説明するためのブロック図である。図４は絶縁電線１の検査方法の手順を示すフローチャートである。図５は絶縁電線１の製造方法の手順を示すフローチャートである。図６は実施の形態１における検査電極の構造の一例を示す概略平面図である。図７は図６の線分ＶＩＩ－ＶＩＩに沿う断面を矢印の向きに見た状態に対応する概略断面図である。

[0061] ［絶縁電線の検査装置および製造装置の構成］

図２および図３を参照して、絶縁電線１の製造装置３０は、導線準備部５０と、絶縁皮膜形成部５４と、検査部５３と、巻取り部５６とを備える。導線準備部５０から巻取り部５６までは並べて配置されている。絶縁電線１の検査は検査部５３において行われる。導線準備部５０は、素線供給部５１と導体加工部５２とを含む。素線供給部５１は、導体１０の原料となる素銅線などの金属素線を保持し、その金属素線を導体加工部５２に供給する。導体加工部５２は、素線供給部５１の下流側に配置され、素線供給部５１から供給された金属素線を所望の形状およびサイズに加工する。導体加工部５２は、例えば引き抜き加工（伸線加工）に使用されるダイスなどの金属加工用金型を備える。

[0062] 絶縁皮膜形成部５４は、導体加工部５２の下流側に配置される。絶縁皮膜形成部５４は、例えば絶縁皮膜２０の原料となるワニス（塗工液）を導体１０に塗工する塗工装置５２ａと、塗工装置５２ａにより塗工された塗膜を加熱し、ポリイミド皮膜を形成する、加熱部としての焼付炉５２ｂとを備える。

[0063] 検査部５３は、絶縁皮膜形成部５４の下流側に配置される。検査部５３においては、絶縁電線１が導体１０の長手方向に搬送される状態で、第１の電極としての第１主電極４０と絶縁電線１との間の第１の静電容量が測定される。その第１の静電容量の推移、および第１の静電容量と絶縁皮膜２０の気孔率との関係に基づいて、絶縁皮膜２０の形成状態を検査する。さらに、絶縁電線１を導体１０の長手方向に搬送しながら、第２の電極としての第２主

電極４１と絶縁電線１との間の第２の静電容量を測定し、第１の静電容量および第２の静電容量のうち一方または両方の推移、並びに第１の静電容量および第２の静電容量と、絶縁皮膜２０の気孔率との関係に基づいて、絶縁皮膜２０の形成状態を検査してもよい。検査部５３は、キャパシタンスセンサ２と、キャパシタンスモニタ５８とを備える。キャパシタンスセンサ２は、検査電極５５と、筐体４４と、検査電極５５内の各電極に接続された配線とを備える。絶縁電線１を導体１０の長手方向に搬送する際、キャパシタンスセンサ２内を絶縁電線１が通過することにより、第１主電極４０または第２主電極４１と、絶縁電線１との間の第１の静電容量および第２の静電容量が測定される。

[0064] 図２、図６および図７を参照して、キャパシタンスセンサ２の構造について説明する。キャパシタンスセンサ２は、検査電極５５と、筐体４４とを備える。本実施の形態１に係るキャパシタンスセンサ２の検査電極５５は、第１の電極としての上記第１主電極４０と、第２の電極としての上記第２主電極４１と、第１ガード電極４２ａと、第２ガード電極４２ｂと、第３ガード電極４２ｃとを含む。筐体４４は、第１主電極４０と、第２主電極４１と、第１ガード電極４２ａと、第２ガード電極４２ｂと、第３ガード電極４２ｃと、各電極に接続された配線とを収容できる形状を有する。

[0065] 図７を参照して、検査電極５５の構造についてさらに説明する。第１主電極４０は、導体１０の長手方向に垂直な断面において導体１０の周方向に互いに離間するように４分割された円弧状の形状を有し、それぞれが導体１０の長手方向に沿って延在する４つの電極ユニット４０ａ，４０ｂ，４０ｃ，４０ｄから構成されている。第２主電極４１も、同様の断面形状を有し、それぞれが導体１０の長手方向に沿って延在する４つの電極ユニット４１ａ，４１ｂ，４１ｃ，４１ｄ（電極ユニット４１ｄは、電極ユニット４０ｄと同様に、絶縁電線１を挟んで電極ユニット４１ｂの対面側に位置し、図示は省略）から構成される。また第１主電極４０および第２主電極４１の各電極ユニットは、図２に示すように、それぞれ配線を介してキャパシタンスモニタ

５８と接続されている。説明の便宜のため、図６以降においては、各電極に接続された配線については図示を省略する。

[0066] 導体１０の長手方向に沿った第１主電極４０の長さL_{40}は、同方向の第２主電極４１の長さL_{41}とは異なる。図６においては、第２主電極４１の長さL_{41}は、第１主電極４０の長さL_{40}よりも大きい。また特に限定されないが、本実施形態においては、第１主電極４０の長さL_{40}および第２主電極４１の長さL_{41}は、０．１ｍｍ以上であって、かつ好ましくは１０ｍｍ以下、より好ましくは５ｍｍ以下に設定される。長さL_{40}および長さL_{41}がこのような範囲にあれば、導体１０の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下、好ましくは２ｍｍ以下、より好ましくは１ｍｍ以下の絶縁皮膜内の欠陥部、特に低気孔率部や肉薄部を効率よく検出することができる。

[0067] 第１ガード電極４２ａは、第１主電極４０から見て導体１０の長手方向において上流側に配置される。第２ガード電極４２ｂは、導体１０の長手方向に沿って第１主電極４０と第２主電極４１との間に配置される。第３ガード電極４２ｃは、第２主電極４１から見て導体１０の長手方向において下流側に配置される。第１ガード電極４２ａ、第２ガード電極４２ｂおよび第３ガード電極４２ｃは、第１主電極４０および第２主電極４１の端部における電界の集中を緩和し、絶縁電線１と第１主電極４０および第２主電極４１との間に生じる第１の静電容量および第２の静電容量の数値を安定的に計測するために設置される。第１ガード電極４２ａ、第２ガード電極４２ｂおよび第３ガード電極４２ｃは配線を介して互いに接続されている。また第１ガード電極４２ａ、第２ガード電極４２ｂおよび第３ガード電極４２ｃは、キャパシタンスモニタ５８および巻取り部５６と接続され、巻取り部５６と、第１ガード電極４２ａ、第２ガード電極４２ｂおよび第３ガード電極４２ｃとの間の経路において接地されている。すなわち、第１ガード電極４２ａ、第２ガード電極４２ｂおよび第３ガード電極４２ｃは接地電極である。

[0068] 本実施の形態において、第１ガード電極４２ａ、第２ガード電極４２ｂおよび第３ガード電極４２ｃは同一の構造を有する。すなわち、それぞれ中空

円筒状の形状を有し、導体１０の長手方向に沿った各ガード電極の長さL_{42a}、L_{42b}、L_{42c}は同一である。各主電極４０，４１と、各ガード電極４２ａ，４２ｂ，４２ｃとは間隔Ｇをおいて配置される。絶縁電線１と各主電極４０，４１との間隔は、測定される第１の静電容量および第２の静電容量が安定する範囲に適宜設定される。

[0069] キャパシタンスモニタ５８は、キャパシタンスセンサ２の検査電極５５を構成する各電極ユニットと接続されている。またキャパシタンスモニタ５８は、配線を通じて第１ガード電極４２ａ、第２ガード電極４２ｂおよび第３ガード電極４２ｃと共に接地されている。キャパシタンスモニタ５８は、キャパシタンスセンサ２において測定された静電容量を表示し、記録時間または絶縁電線１の検査対象位置と関係づけてその静電容量を記録する。キャパシタンスモニタ５８に表示又は記録される静電容量の変動から、絶縁電線１内の正常部と欠陥部とを区別することができる。

[0070] 巻取り部５６は、検査部５３の下流側に配置される。巻取り部５６は、着脱可能な巻取りリールを配置することができる巻取りリール装着部を備え、検査部５３において検査された絶縁電線１を巻き取る。絶縁電線１が巻き取られた巻取りリールを巻取りリール装着部から脱着することにより、絶縁電線１を巻き取られた状態で得ることができる。

[0071] ［絶縁電線１の検査方法および製造方法の手順］

次に図１～図１３を参照して、絶縁電線１の検査方法および製造方法の手順を説明する。図８は、絶縁皮膜２０内の低気孔率部の状態を示す概略断面図である。図９は図８の矢印D_2の向きに見た低気孔率部の状態を示す概略図である。図１０は絶縁皮膜２０の肉薄部の状態を示す概略断面図である。図１１は、図１０の矢印D_3の向きに見た肉薄部の状態を示す概略図である。図１２は、絶縁皮膜２０表面の傷欠陥の状態を示す概略断面図である。図１３は、絶縁皮膜２０の穴欠陥の状態を示す概略断面図である。

[0072] 本実施の形態に係る絶縁電線１の検査方法においては、図４に示すＳ１０～Ｓ２０のステップが実施される。また本実施の形態に係る絶縁電線１の製

造方法においては、ステップＳ１０において、導体１０を準備する工程（ステップＳ１１）と、絶縁皮膜２０を形成する工程（ステップＳ１２）とが実施される。このように本実施の形態に係る絶縁電線１の製造方法には、本実施の形態に係る絶縁電線１の検査方法が含まれる。

[0073] 図２～図４を参照して、検査する絶縁電線１を準備する（Ｓ１０）。絶縁電線１の準備は、例えば次のようにして行う。まず導線準備部５０において、円形の断面形状を有する線状の導体１０を準備する（Ｓ１１）。具体的には、素線供給部５１に保持された、素銅線などの金属素線が引き出される。素線は矢印D_1の方向に送られ、導体加工部５２に供給される。素線供給部５１から供給された金属素線は、ダイスによる引き抜き加工（伸線加工）により、所望の形状およびサイズを有する導体１０に加工される。導体加工部５２において素線から加工された導体１０は、絶縁皮膜形成部５４に送られる。

[0074] 次に、導体１０の外周側に絶縁皮膜２０が形成される（Ｓ１２）。絶縁皮膜２０は、図１に示すように、線状の形状を有する導体１０の外周側の面を覆うように形成される。絶縁皮膜２０は絶縁体からなり、内部に空孔１５を含む。

[0075] 図３を参照して、絶縁皮膜形成部５４は、ワニス（塗工液）の塗工装置５４ａと、加熱部としての焼付炉５４ｂとを備える。絶縁皮膜形成部５４では、以下のような手順により導体１０の外周側の面を覆うように絶縁皮膜２０が形成される。

[0076] まず塗工装置５４ａ内に保持されたワニス内を、導体加工部５２において加工された導体１０が通過することにより、導体１０の外周側の面を覆うようにワニスが塗工される。本実施の形態において塗工されるワニスは、有機溶剤中にポリイミドの前駆体を含む。次に加熱部としての焼付炉５４ｂにおいて、塗工された塗膜を加熱すると、ポリイミドの前駆体からポリイミドへの反応が促進される。ポリイミドは熱硬化性であるため、加熱により塗膜が硬化する。このようにして、導体１０の外周側の面を覆うように、絶縁体で

あるポリイミドからなる絶縁皮膜２０が形成される。

[0077] また必要に応じて上記ワニスの塗工および加熱のサイクルを繰り返すことにより、所望の厚みの絶縁皮膜２０を形成することができる。このようにして絶縁電線１が準備される。

[0078] 次に準備された絶縁電線１を検査する（Ｓ２０）。絶縁皮膜形成部５４において絶縁皮膜２０が形成された絶縁電線１は、さらに導体１０の長手方向である矢印$Ｄ_1$の向きに搬送されながら、検査部５３において絶縁皮膜２０の形成状態が検査される。

[0079] 検査は、図２に示すようなキャパシタンスセンサ２およびキャパシタンスモニタ５８を用い、キャパシタンスセンサ２を水に浸漬した状態で行われる。キャパシタンスセンサ２の検査電極５５によって測定された静電容量のデータは、キャパシタンスモニタ５８に送信される。キャパシタンスモニタ５８に表示される静電容量の推移に基づいて、絶縁皮膜２０の形成状態が検査される。

[0080] 検査部５３は、第１の電極としての第１主電極４０と、絶縁電線１との間の第１の静電容量を測定し、その第１の静電容量の推移に基づいて、絶縁皮膜２０の形成状態を検査する。さらに、第２の電極としての第２主電極４１と、絶縁電線１との間の第２の静電容量を測定し、第１の静電容量の推移および第２の静電容量の推移の両方に基づいて、絶縁皮膜２０の形成状態を検査してもよい。本実施の形態においては、第２主電極４１と、絶縁電線１との間の第２の静電容量を測定し、第１の静電容量の推移および第２の静電容量の推移の両方に基づいて、絶縁皮膜２０の形成状態が検査される。このように第１の静電容量および第２の静電容量を測定し、その両方の静電容量の推移に基づいて検査することにより、より精度良く欠陥部を検出することができる。

[0081] 具体的には、以下のように検査が行われる。まず第１主電極４０の各電極ユニット４０ａ，４０ｂ，４０ｃ，４０ｄおよび第２主電極４１の各電極ユニット４１ａ，４１ｂ，４１ｃ，４１ｄに電圧を印加し、第１主電極４０と

絶縁電線１との間の第１の静電容量、および第２主電極４１と絶縁電線１との間の第２の静電容量を測定する。

[0082] 次に測定される上記第１の静電容量の推移および第２の静電容量の推移のうち少なくとも一方に基づいて、絶縁皮膜２０の形成状態を検査する。例えば、絶縁皮膜２０に欠陥部が存在しない正常な状態においては、測定される静電容量は定常値を示す。一方、絶縁皮膜２０に欠陥部が存在する場合、静電容量が変化する。その静電容量の推移に基づいて欠陥部の位置を特定し、記録する。このようにして安定した品質の絶縁電線１を製造することができる。

[0083] キャパシタンスセンサ２において絶縁皮膜２０の形成状態が検査された絶縁電線１は、その後巻取り部５６において巻き取られる。巻き取られた絶縁電線１は、欠陥部の位置が記録された状態で製品としてもよいし、欠陥部を含む絶縁電線１については製品とせずに廃棄してもよい。また記録された位置に基づいて欠陥部を含む箇所のみを削除し、残部を製品としてもよい。

[0084] 本実施の形態において、上記検査はオンラインで行われる。オンラインで行う検査では、ステップＳ１０～Ｓ２０までの一連の工程において、上記ステップＳ１０に引き続き連続して、ステップＳ１０で得られた絶縁皮膜２０の形成状態の検査を行う。また検査をオンラインで行う場合、図２に示す素線供給部５１から巻取り部５６に至るまでの一連の流れが、絶縁電線１を切断することなく一体的に行われる。

[0085] 絶縁皮膜２０の形成状態を検査する工程では、検査電極５５を水（図示せず）に浸漬した状態で第１主電極４０の各電極ユニット４０ａ，４０ｂ，４０ｃ，４０ｄおよび第２主電極４１の各電極ユニット４１ａ，４１ｂ，４１ｃ，４１ｄに電圧を印加して、第１主電極４０または第２主電極４１と、絶縁電線１との間の第１の静電容量および第２の静電容量の推移をキャパシタンスモニタ５８において監視する。第１の静電容量の推移および第２の静電容量の推移のうち、少なくとも一方に基づいて絶縁皮膜２０の形成状態を検査する。

[0086] 本実施の形態１においては、第１主電極４０は、導体１０の長手方向に垂直な断面において導体１０の周方向に互いに離間するように４分割され、各ユニットが円弧状の形状を有し、かつ各ユニットが導体１０の長手方向に沿って延在する４つの電極ユニット４１ａ，４１ｂ，４１ｃ，４１ｄから構成されている。第２主電極４１も同様に周方向に４分割された４つの電極ユニットから構成されている。このように周方向に分割された複数の電極ユニットから構成される第１主電極４０および第２主電極４１を用いることにより、絶縁電線１の周方向における欠陥部の存在位置についても細かく特定することが可能となる。なお、主電極の周方向における複数の電極ユニットの数は特に４つに限定されない。例えば周方向に２分割された電極ユニットを有する主電極などの、周方向において２以上の任意の数の電極ユニットを有する主電極を必要に応じて選択することができる。

[0087] 本実施の形態１に係る絶縁電線１の検査方法においては、図８および図９に示すような絶縁皮膜２０内の低気孔率部２１を検出することが可能である。低気孔率部２１は、絶縁皮膜２０において、絶縁皮膜２０全体の平均の気孔率に比べて有意に気孔率が低く空孔１５の割合が少ない部分である。低気孔率部２１の中でも特に空孔１５が全く存在しない部分を無空孔部と呼ぶ。このような低気孔率部２１、特に無空孔部は部分放電の発生の原因となり得る。安定した品質の絶縁電線１を製造するためには、このような低気孔率部２１の存在を適切に検出し、絶縁皮膜２０の品質を管理することが好ましい。

[0088] また図８および図９を参照して、本実施の形態１に係る絶縁電線１の検査方法は、導体１０の長手方向に沿った長さL_{D1}が４ｍｍ以下、好ましくは２ｍｍ以下、より好ましくは１ｍｍ以下である低気孔率部２１を検出可能である。また図２および図６に示すように、第１主電極４０および第２主電極４１は、導体１０の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下、好ましくは２ｍｍ以下、より好ましくは１ｍｍ以下の絶縁皮膜２０内の低気孔率部２１が検出可能となるように、導体１０の長手方向に沿った長さが調整されている。例え

ば第１主電極４０および第２主電極４１の導体１０の長手方向に沿った長さは、それぞれ０．１ｍｍ以上１０ｍｍ以下である。このような微小な低気孔率部２１を検出可能であることにより、実質的に有害な欠陥部を有効に検出することができる。

[0089] さらに図９を参照して、本実施の形態１にかかる絶縁電線１の検査方法においては、長手方向最大長さL_{D1}と幅方向最大長さW_1との積が、０．１ｍｍ^{2}以上２０ｍｍ^{2}以下の低気孔率部２１を欠陥部として検出可能である。このような範囲の低気孔率部２１の形成状態を検査し、そのような低気孔率部２１を検出可能であることにより、実質的に有害な欠陥部をさらに精度良く検出することができる。

[0090] また本実施の形態１に係る絶縁電線１の検査方法においては、図１０に示すような絶縁皮膜２０内の肉薄部２２を検出することも可能である。肉薄部２２とは、導体１０の膨れ１１により、絶縁皮膜２０が局所的に肉薄になる部分をいう。このような肉薄部２２が存在すると、その肉薄部２２において絶縁性が低下する。そのため、安定した品質の絶縁電線１を製造するためには、このような肉薄部２２の存在も適切に検出し、絶縁皮膜２０の品質を管理することが好ましい。

[0091] また図１０および図１１を参照して、本実施の形態１に係る絶縁電線１の検査方法は、導体１０の長手方向に沿った長さL_{D2}が４ｍｍ以下、好ましくは２ｍｍ以下、より好ましくは１ｍｍ以下である肉薄部２２を検出可能である。また図２および図６に示すように、第１主電極４０および第２主電極４１は、導体１０の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下、好ましくは２ｍｍ以下、より好ましくは１ｍｍ以下の絶縁皮膜２０内の肉薄部２２が検出可能となるように、導体１０の長手方向に沿った長さが調整されている。例えば第１主電極４０および第２主電極４１の導体１０の長手方向に沿った長さは、それぞれ０．１ｍｍ以上１０ｍｍ以下である。このような微小な肉薄部２２の形成状態を検査し、そのような肉薄部２２を検出可能であることにより、実質的に有害な欠陥部を有効に検出することができる。

[0092] さらに図１１を参照して、本実施の形態１に係る絶縁電線１の検査方法においては、長手方向最大長さL_{D2}と幅方向最大長さW_2との積が、０．１ｍｍ^{2}以上２０ｍｍ^{2}以下の肉薄部２２を欠陥部として検出可能である。このような範囲の肉薄部２２を検出可能であることにより、実質的に有害な欠陥部をさらに精度良く検出することができる。

[0093] また図１０を参照して、本実施の形態１に係る絶縁電線１の検査方法においては、膜厚減少量ｄが１μｍ以上５０μｍ以下の肉薄部２２を欠陥部として検出可能である。このような範囲の膜厚減少量ｄを有する肉薄部２２をも検出可能なことにより、絶縁皮膜２０の絶縁性の低下に影響を与えるような肉薄部２２をより適切に検出することができる。

[0094] 本実施の形態１に係る絶縁電線１の検査方法では、図１２に示すような、絶縁皮膜２０表面に存在する、導体１０の長手方向に沿った長さL_{D3}が４ｍｍ以下、好ましくは２ｍｍ以下、より好ましくは１ｍｍ以下の傷２３を検出することも可能である。また図１３に示すような、導体１０の長手方向に沿った長さL_{D4}が４ｍｍ以下、好ましくは２ｍｍ以下、より好ましくは１ｍｍ以下の穴２４についても検出可能である。なお傷２３や穴２４などの絶縁皮膜２０の外観から特定可能な欠陥部については、画像分析などによる一般的な欠陥検査方法でも検出することができる。しかしながら、図８に示すような低気孔率部２１や図１０に示すような肉薄部２２、特に導体１０の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下の微細な低気孔率部２１や肉薄部２２については外観のみからは検出することが難しい。傷２３および穴２４とともに、導体１０の長手方向に沿った長さL_{D1}又は長さL_{D2}が４ｍｍ以下、好ましくは２ｍｍ以下、より好ましくは１ｍｍ以下の低気孔率部２１や肉薄部２２を適切に検出することができれば、実質的に有害な欠陥部を有効に検出することができる。

[0095] 本実施の形態１においては、主電極として上述のような第１主電極４０および第２主電極４１を用いて、第１の静電容量および第２の静電容量と絶縁皮膜２０の気孔率との関係に基づいて絶縁皮膜２０の形成状態を検査するこ

とにより、傷２３や穴２４の形成状態だけでなく、このような低気孔率部２１や肉薄部２２の形成状態をも検査することができる。その結果、本願の絶縁電線１の検査方法によれば、種々の欠陥部を的確に検出することができ、安定した品質の絶縁電線１を製造することが可能となる。

[0096] また本実施の形態１においては、導体１０の長手方向に沿った長さL_{40}，L_{41}が好ましくは１０ｍｍ以下、より好ましくは５ｍｍ以下である第１主電極４０および第２主電極４１が用いられる。測定される静電容量の値は、第１主電極４０全体の平均値、または第２主電極４１全体の平均値である。したがって、電極が導体１０の長手方向に沿って長い場合、広い範囲を検出することが可能となるが、静電容量の値が長手方向に渡って平均化されるため、小さな欠陥部を感度良く検出することが難しい。これに対し、第１主電極４０および第２主電極４１の、導体１０の長手方向に沿った長さL_{40}，L_{41}を充分に短く（好ましくは１０ｍｍ以下）することで、長手方向に長い電極では検知できない小さな欠陥部、特に導体１０の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下、好ましくは２ｍｍ以下、より好ましくは１ｍｍ以下の欠陥部をもより適切に検知することができる。

[0097] さらに第１主電極４０および第２主電極４１の、導体１０の長手方向に沿った長さL_{40}，L_{41}を充分に短く（好ましくは１０ｍｍ以下）し、第１の静電容量および第２の静電容量と絶縁皮膜２０の気孔率との関係に基づいて絶縁皮膜２０の形成状態を検査することにより、傷２３や穴２４による欠陥部、あるいはサイズの大きな欠陥部のみならず、小さな欠陥部、特に導体１０の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下、好ましくは２ｍｍ以下、より好ましくは１ｍｍ以下の低気孔率部２１や肉薄部２２による欠陥部についても検出することが可能である。

[0098] また本実施の形態においては、複数の主電極、すなわち第１主電極４０および第２主電極４１とを有する検査電極５５を備えたキャパシタンスセンサ２を用いて第１の静電容量および第２の静電容量の測定を行う。このように複数の主電極を用いて検査を行うことで、一方の主電極による検査結果に欠

陥部の誤検出が含まれるか否かを、別の主電極の検査結果と対比して検証することができる。その結果、欠陥部の誤検出を低減し、より精度良く欠陥部を検出することができる。

[0099] さらに第１主電極４０および第２主電極４１は、それぞれ長さが異なる。そのため２つの主電極を用いて測定される第１の静電容量および第２の静電容量とを求め、それらの推移に基づく検査結果を比較することにより（両者の差分をとることにより）、より狭小な範囲の絶縁皮膜２０の形成状態を検査することができる。すなわち、長さL_{40}を有する第１主電極４０と絶縁電線１との間の第１の静電容量と、長さL_{40}よりも大きい長さL_{41}を有する第２主電極４１と絶縁電線１との間の第２の静電容量とを求め、それらに基づく検査結果を比較することにより（両者の差分をとることにより）、実質的に差（$L_{41}-L_{40}$）（例えば１０ｍｍ以下、具体例としては５ｍｍ）の範囲に相当する絶縁皮膜２０の形成状態を検査することができる。

[0100] このようにして測定された第１静電容量（および第２の静電容量）と、予め調査された絶縁皮膜２０の気孔率との関係に基づいて、気孔率を導出することができる。具体的には、計算により求められる理論曲線や、標準物質を用いて求められる検量線と、検査工程において求められる絶縁電線１の静電容量の値とを比較することにより、絶縁電線１の気孔率を見積もることができる。予め欠陥として検出すべき気孔率から求められる、欠陥部が存在するものと判断すべき静電容量のしきい値を設定しておくことで、上記欠陥部の検出を行うことができる。また必要に応じて、静電容量と気孔率との関係に加え、厚みと静電容量との関係も参照することができる。

[0101] （実施の形態２）

次に他の実施形態である実施の形態２について説明する。図１４は実施の形態２において検査される絶縁電線の一例を示す断面模式図である。絶縁電線３は、線状の形状を有する導体１２の長手方向に垂直な断面において円形の断面形状を有する。絶縁電線３は、円形の断面形状を有する線状の導体１２と、この導体１２の外周側に形成された絶縁皮膜２５とを備える。実施の

形態２において検査される絶縁電線３は、絶縁皮膜２５が空孔を有しない点で実施の形態１と相違する。空孔を実質的に有しない絶縁皮膜２５を有する絶縁電線３において図８に示す低気孔率部２１が実質的に発生しない点で実施の形態２は実施の形態１と相違する。それ以外の点においては実施の形態２は実施の形態１と共通する。

[0102] 実施の形態２においては、絶縁電線１に代えて、空孔を実質的に有しない絶縁皮膜２５を有する絶縁電線３が検査される。空孔を実質的に有しない絶縁皮膜２５を有する絶縁電線３においても、導体１０の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下の肉薄部２２は発生し得る。実施の形態２に係る絶縁電線３の検査方法においても、導体１０の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下の肉薄部２２を検出することが可能である。また導体１０の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下の傷２３および穴２４についても同様に検出が可能である。

[0103] （実施の形態３）

次に、他の実施形態である実施の形態３について説明する。図１５は、実施の形態３における検査電極５５の構造の一例を示す概略平面図である。本実施の形態に係る絶縁電線１の検査方法は、基本的には実施の形態１の場合と同様に実施され、同様の効果を奏する。しかし、実施の形態３におけるキャパシタンスセンサ２の検査電極５５は、１つの主電極６０と、２つのガード電極６２ａ，６２ｂとから構成される点において実施の形態１の場合とは異なっている。

[0104] 図１５を参照して、本実施の形態における、第１の電極としての第３主電極６０は、実施の形態１に係る第１主電極４０と同一の構造を有する。すなわち、第３主電極６０は、導体１０の長手方向に垂直な断面において導体１０の周方向に互いに離間するように４分割され、各ユニットが円弧状の形状を有し、かつ各ユニットが導体１０の長手方向に沿って延在する４つの電極ユニット６０ａ，６０ｂ，６０ｃ，６０ｄ（６０ｄは図示せず）から構成されている。第３主電極６０は、導体１０の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下、好ましくは２ｍｍ以下、より好ましくは１ｍｍ以下の絶縁皮膜内の欠陥

部が検出可能となるように、導体１０長手方向に沿った長さが調整されている。具体的には第３主電極６０の導体１０の長手方向に沿った長さL_{60}は、本実施の形態においては０．１ｍｍ以上であって、かつ好ましくは１０ｍｍ以下、より好ましくは５ｍｍ以下に設定される。

[0105] 第３主電極６０から見て導体１０の長手方向において上流側には第４ガード電極６２ａが配置されている。第３主電極６０から見て導体１０の長手方向において下流側には第５ガード電極６２ｂが配置されている。第４ガード電極６２ａおよび第５ガード電極６２ｂのそれぞれは、実施の形態１に係る第１ガード電極４２ａ、第２ガード電極４２ｂおよび第３ガード電極４２ｃと同一の構造および同一の機能を有する。

[0106] 本実施の形態における検査部５３によれば、導体１０の長手方向に沿った長さL_{60}は充分に短い（好ましくは１０ｍｍ以下）。そのため実施の形態１と同様に、導体１０の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下、好ましくは２ｍｍ以下、より好ましくは１ｍｍ以下の微細な低気孔率部２１や肉薄部２２などの欠陥部を検出することができる。

[0107] また第３主電極６０は、第１主電極４０および第２主電極４１と同様に、導体１０の長手方向に垂直な断面において導体１０の周方向に互いに離間するように４分割され、各ユニットが円弧状の形状を有し、かつ各ユニットが導体１０の長手方向に沿って延在する４つの電極ユニット６０ａ，６０ｂ，６０ｃ，６０ｄから構成されている。そのため、絶縁電線１の周方向における欠陥部の存在位置についても細かく特定することが可能となる。

[0108] （実施の形態４）

次に、他の実施形態である実施の形態４について説明する。図１６は、実施の形態４における検査電極５５の構造の一例を示す概略平面図である。本実施の形態に係る絶縁電線１の検査方法は、基本的には実施の形態１の場合と同様に実施され、同様の効果を奏する。しかし、実施の形態４におけるキャパシタンスセンサ２の検査電極５５は、２つの主電極７０，７１が、導体１０の長手方向に垂直な断面においてそれぞれ周方向に一続きに接続された

リング状の形状を有している点で実施の形態１の場合とは異なっている。

[0109] 図１６を参照して、本実施の形態における、第１の電極としての第４主電極７０の導体１０の長手方向の長さL_{70}は、実施の形態１に係る第１主電極４０の長さL_{40}と同じである。また本実施の形態における、第２の電極としての第５主電極７１の導体１０の長手方向の長さL_{71}は、実施の形態１に係る第２主電極４１の導体１０の長手方向の長さL_{41}と同じである。第４主電極７０及び第５主電極７１は、それぞれ、導体１０の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下、好ましくは２ｍｍ以下、より好ましくは１ｍｍ以下の絶縁皮膜内の欠陥部が検出可能となるように、導体１０長手方向に沿った長さが調整されている。具体的には長さL_{70}および長さL_{71}はいずれも０．１ｍｍ以上であって、かつ好ましくは１０ｍｍ以下、より好ましくは５ｍｍ以下に設定される。また長さL_{70}よりも長さL_{71}の方が長い。

[0110] 第４主電極７０から見て導体１０の長手方向において上流側には第６ガード電極７２ａが配置されている。導体１０の長手方向に沿って第４主電極７０と第５主電極７１との間には第７ガード電極７２ｂが配置されている。第５主電極７１から見て導体１０の長手方向において下流側には第８ガード電極７２ｃが配置されている。第６ガード電極７２ａ、第７ガード電極７２ｂおよび第８ガード電極７２ｃのそれぞれは、実施の形態１に係る第１ガード電極４２ａ、第２ガード電極４２ｂおよび第３ガード電極４２ｃと同一の構造および同一の機能を有する。

[0111] 本実施形態における検査電極５５によれば、絶縁電線１の第４主電極７０の、導体１０の長手方向に沿った長さL_{70}は充分に短い（好ましくは１０ｍｍ以下）。そのため実施の形態１と同様に、導体１０の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下、好ましくは２ｍｍ以下、より好ましくは１ｍｍ以下の微細な低気孔率部２１や肉薄部２２などの欠陥部を検出することができる。さらに第４主電極７０の、導体１０の長手方向に沿った長さL_{70}が好ましくは０．１ｍｍ以上であることから、欠陥部の検出をより高い精度で行うことができる。

[0112] 本実施の形態における検査電極５５は、複数の主電極（第４主電極７０および第５主電極７１）を有する。そのため２つの主電極を用いて測定される第１の静電容量および第２の静電容量とを求め、それらに基づく検査結果を比較することにより（両者の差分をとることにより）、より狭小な範囲の絶縁皮膜２０の形成状態を検査することができる。すなわち、長さL_{70}の第４主電極７０と絶縁電線１との間の第１の静電容量と、長さL_{71}の第５主電極７１と絶縁電線１との間の第２の静電容量とを求め、それらに基づく検査結果を比較することにより（両者の差分をとることにより）、実質的にL_{70}とL_{71}との差分（例えば１０ｍｍ以下、具体例としては５ｍｍ）に相当するより局所的な範囲内の絶縁皮膜２０の形成状態を検査することができる。

[0113] （実施の形態５）

次に、他の実施形態である実施の形態５について説明する。図１７は、実施の形態５における検査電極５５の構造の一例を示す概略平面図である。本実施の形態に係る絶縁電線１の検査方法は、基本的には実施の形態１の場合と同様に実施され、同様の効果を奏する。しかし、実施の形態５におけるキャパシタンスセンサ２の検査電極５５は、主電極（第６主電極８０）が導体１０の長手方向に垂直な断面においてそれぞれ周方向に一続きに接続されたリング状の形状を有している点、および検査電極５５が１つの主電極（第６主電極８０）と、２つのガード電極８２ａ，８２ｂとから構成される点において実施の形態１の場合とは異なっている。

[0114] 図１７を参照して、本実施の形態における、第１の電極としての第６主電極８０の導体１０の長手方向の長さL_{80}は、実施の形態１に係る第１主電極４０の、導体１０の長手方向の長さL_{40}と同様に、好ましくは０．１ｍｍ以上１０ｍｍ以下である。

[0115] 第６主電極８０から見て導体１０の長手方向において上流側には第９ガード電極８２ａが配置されている。第６主電極８０から見て導体１０の長手方向において下流側には第１０ガード電極８２ｂが配置されている。第９ガード電極８２ａおよび第１０ガード電極８２ｂのそれぞれは、実施の形態１に

係る第１ガード電極４２ａ、第２ガード電極４２ｂおよび第３ガード電極４２ｃと同一の構造および同一の機能を有する。

[0116] 本実施の形態における検査電極５５において、第６主電極８０は、導体１０の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下、好ましくは２ｍｍ以下、より好ましくは１ｍｍ以下の絶縁皮膜内の欠陥部が検出可能となるように、導体１０長手方向に沿った長さが調整されている。導体１０の長手方向に沿った第６主電極８０の長さL_{80}は充分に短い（好ましくは１０ｍｍ以下）。そのため実施の形態１のように絶縁電線１の周方向における欠陥部の存在位置についても細かく特定することや、複数の電極を用いて検査結果を比較する場合のようなより細かい範囲の検査は難しいものの、実施の形態１と同様に、導体１０の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下、好ましくは２ｍｍ以下、より好ましくは１ｍｍ以下の微細な低気孔率部２１や肉薄部２２などの欠陥部を検出することができる。

[0117] （実施の形態６）

次に、他の実施形態である実施の形態６について説明する。図１８は、実施の形態６における検査電極５５の構造の一例を示す概略平面図である。本実施の形態に係る絶縁電線１の製造方法は、基本的には実施の形態１の場合と同様に実施され、同様の効果を奏する。しかし、実施の形態６におけるキャパシタンスセンサ２の検査電極５５は、第７主電極９０の長さL_{90}及び第８主電極９１の長さL_{91}が１０ｍｍを超える点で実施の形態１の場合とは異なっている。

[0118] 図１８を参照して、検査電極５５は、第１の電極としての第７主電極９０と、第２の電極としての第８主電極９１とを有する。第７主電極９０は、導体１０の長手方向に垂直な断面において導体１０の周方向に互いに離間するように４分割され、各ユニットが円弧状の形状を有し、かつ各ユニットが導体１０の長手方向に沿って延在する４つの電極ユニット９０ａ，９０ｂ，９０ｃ，９０ｄ（電極ユニット９０ｄは、電極ユニット４０ｄと同様に、絶縁電線１を挟んで電極ユニット９０ｂの対面側に位置し、図示は省略）から構

成されている。第８主電極９１も、同様の断面形状を有し、導体１０の長手方向に沿って延在する４つの電極ユニット９１ａ，９１ｂ，９１ｃ，９１ｄ（電極ユニット９１ｄは、電極ユニット４０ｄと同様に、絶縁電線１を挟んで電極ユニット９１ｂの対面側に位置し、図示は省略）から構成される。

[0119] 導体１０の長手方向に沿った第７主電極９０の長さL_{90}は、同方向の第８主電極９１の長さL_{91}とは異なり、長さL_{91}は長さL_{90}よりも長い。また長さL_{90}および長さL_{91}はいずれも１０ｍｍ以下である。

[0120] また第７主電極９０および第８主電極９１の各電極ユニットは、それぞれ配線を介してキャパシタンスモニタ５８（図２）と接続されている。説明の便宜のため、図１８においては、各電極に接続された配線については図示を省略する。

[0121] 第７主電極９０から見て導体１０の長手方向において上流側には第１１ガード電極９２ａが配置されている。導体１０の長手方向に沿って第７主電極９０と第８主電極９１との間には第１２ガード電極９２ｂが配置されている。第８主電極９１から見て導体１０の長手方向において下流側には第１３ガード電極９２ｃが配置されている。第１１ガード電極９２ａ、第１２ガード電極９２ｂおよび第１３ガード電極９２ｃのそれぞれは、実施の形態１に係る第１ガード電極４２ａ、第２ガード電極４２ｂおよび第３ガード電極４２ｃのそれぞれと同一の構造および同一の機能を有する。

[0122] 絶縁皮膜２０の形成状態を検査する工程においては、第７主電極９０および第８主電極９１のそれぞれに電圧を印加し、第７主電極９０の各電極ユニット９０ａ，９０ｂ，９０ｃ，９０ｄと絶縁電線１との間の第１の静電容量、および第８主電極９１の各電極ユニット９１ａ，９１ｂ，９１ｃ，９１ｄと絶縁電線１との間の第２の静電容量を検出する。検出した第１の静電容量および第２の静電容量と、絶縁皮膜２０の気孔率との関係に基づいて絶縁皮膜２０の形成状態を検査する。

[0123] 本実施の形態においては、複数の主電極、すなわち第７主電極９０および第８主電極９１とを有する検査電極５５を備えたキャパシタンスセンサ２を

用いて第１の静電容量および第２の静電容量の測定を行う。このように複数の主電極を用いて検査を行うことで、一方の主電極による検査結果に欠陥の誤検出が含まれるか否かを、別の主電極の検査結果と対比して検証することができる。その結果、欠陥の誤検出を低減し、より精度良く欠陥を検出することができる。

[0124] さらに第７主電極９０および第８主電極９１は、それぞれ長さが異なる。そのため２つの主電極を用いて測定される第１の静電容量および第２の静電容量とを求め、それらに基づく検査結果を比較することにより（両者の差分をとることにより）、より狭小な範囲の絶縁皮膜２０の形成状態を検査することができる。すなわち、長さL_{90}を有する第７主電極９０と絶縁電線１との間の第１の静電容量と、長さL_{90}よりも大きい長さL_{91}を有する第８主電極９１と絶縁電線１との間の第２の静電容量とを求め、それらに基づく検査結果を比較することにより（両者の差分をとることにより）、実質的に差（$L_{91}-L_{90}$）（例えば１ｍｍ）の範囲に相当する絶縁皮膜２０の形成状態を検査することができる。

[0125] また第７主電極９０は、導体１０の長手方向に垂直な断面において導体１０の周方向に互いに離間するように４分割され、各ユニットが円弧状の形状を有し、かつ各ユニットが導体１０の長手方向に沿って延在する４つの電極ユニット９０ａ，９０ｂ，９０ｃ，９０ｄから構成されている。第８主電極９１も同様に周方向に４分割された４つの電極ユニット９１ａ，９１ｂ，９１ｃ，９１ｄから構成されている。このように周方向に分割された複数の電極ユニットから構成される第７主電極９０および第８主電極９１を用いることにより、絶縁電線１の周方向における欠陥の存在位置についても細かく特定することが可能となる。

[0126] （実施の形態７）

次に、他の実施形態である実施の形態７について説明する。図１９は、実施の形態７における検査電極５５の構造の一例を示す概略平面図である。本実施の形態に係る絶縁電線１の製造方法は、基本的には実施の形態１の場合

と同様に実施され、同様の効果を奏する。しかし、実施の形態７におけるキャパシタンスセンサ２の検査電極５５は、第９主電極１００および第１０主電極１０１が導体１０の長手方向に垂直な断面においてそれぞれ周方向に一続きに接続されたリング状の形状を有している点、および第９主電極１００の長さL_{100}および第１０主電極１０１の長さL_{100}が１０ｍｍを超える点において実施の形態１の場合とは異なっている。

[0127] 図１９を参照して、検査電極５５は、第１の電極としての第９主電極１００と、第２の電極としての第１０主電極１０１とを有する。長さL_{60}と長さL_{61}は異なり、長さL_{61}は長さL_{60}よりも長い。また長さL_{60}および長さL_{61}はいずれも１０ｍｍを超える。第９主電極１００および第１０主電極１０１は、それぞれ配線を介してキャパシタンスモニタ５８（図２）と接続されている。説明の便宜のため、図１９においては、各電極に接続された配線については図示を省略する。

[0128] 第９主電極１００から見て導体１０の長手方向において上流側には第１４ガード電極１０２ａが配置されている。導体１０の長手方向に沿って第９主電極１００と第１０主電極１０１との間には第１５ガード電極１０２ｂが配置されている。第１０主電極１０１から見て導体１０の長手方向において下流側には第１６ガード電極１０２ｃが配置されている。第１４ガード電極１０２ａ、第１５ガード電極１０２ｂおよび第１６ガード電極１０２ｃのそれぞれは、実施の形態１に係る第１ガード電極４２ａ、第２ガード電極４２ｂおよび第３ガード電極４２ｃと同一の構造および同一の機能を有する。

[0129] 絶縁皮膜２０の形成状態を検査する工程においては、第９主電極１００および第１０主電極１０１のそれぞれに電圧を印加し、第９主電極１００と絶縁電線１との間の第１の静電容量、および第１０主電極１０１と絶縁電線１との間の第２の静電容量を検出する。検出した第１の静電容量および第２の静電容量と、絶縁皮膜２０の気孔率との関係に基づいて絶縁皮膜２０の形成状態を検査する。

[0130] 本実施の形態においては、複数の主電極、すなわち第９主電極１００およ

び第１０主電極１０１とを有する検査電極５５を備えたキャパシタンスセンサ２を用いて第１の静電容量および第２の静電容量の測定を行う。このように複数の主電極を用いて検査を行うことで、一方の主電極による検査結果に欠陥の誤検出が含まれるか否かを、別の主電極の検査結果と対比して検証することができる。その結果、欠陥の誤検出を低減し、より精度良く欠陥を検出することができる。

[0131] さらに第９主電極１００および第１０主電極１０１は、それぞれ長さが異なる。そのため２つの主電極を用いて測定される第１の静電容量および第２の静電容量とを求め、それらに基づく検査結果を比較することにより（両者の差分をとることにより）、より狭小な範囲の絶縁皮膜２０の形成状態を検査することができる。すなわち、長さL_{100}を有する第９主電極１００と絶縁電線１との間の第１の静電容量と、長さL_{100}よりも大きい長さL_{101}を有する第１０主電極１０１と絶縁電線１との間の第２の静電容量とを求め、それらに基づく検査結果を比較することにより（両者の差分をとることにより）、実質的に差（L_{101}－L_{100}）（例えば１ｍｍ）の範囲に相当する絶縁皮膜２０の形成状態を検査することができる。

[0132] （実施の形態８）

次に、他の実施形態である実施の形態８について説明する。図２０は、実施の形態８における検査電極５５の構造の一例を示す概略平面図である。本実施の形態に係る絶縁電線１の製造方法は、基本的には実施の形態１の場合と同様に実施され、同様の効果を奏する。しかし、実施の形態８におけるキャパシタンスセンサ２の検査電極５５は、第１１主電極１１０の長さL_{110}が１０ｍｍを超える点、および検査電極５５が１つの主電極（第１１主電極）１１０と、２つのガード電極１１２ａ，１１２ｂとから構成される点において実施の形態１の場合とは異なっている。

[0133] 図２０を参照して、検査電極５５は、第１の電極としての第１１主電極１１０を有する。第１１主電極１１０は、実施の形態１に係る第１主電極４０と同一の構造を有する。すなわち、第１１主電極１１０は、導体１０の長手

方向に垂直な断面において導体１０の周方向に互いに離間するように４分割され、各ユニットが円弧状の形状を有し、かつ各ユニットが導体１０の長手方向に沿って延在する４つの電極ユニット１１０ａ，１１０ｂ，１１０ｃ，１１０ｄ（１１０ｄは図示せず）から構成されている。第１１主電極１１０は、導体１０の長手方向に沿って長さ$Ｌ_{110}$を有する。長さ$Ｌ_{110}$は１０ｍｍを超える。また第１１主電極１１０の各電極ユニットは、それぞれ配線を介してキャパシタンスモニタ５８（図２）と接続されている。説明の便宜のため、図２０においては、各電極に接続された配線については図示を省略する。

[0134] 第１１主電極１１０から見て導体１０の長手方向において上流側には第１７ガード電極１１２ａが配置されている。第１１主電極１１０から見て導体１０の長手方向において下流側には第１８ガード電極１１２ｂが配置されている。第１７ガード電極１１２ａおよび第１８ガード電極１１２ｂのそれぞれは、実施の形態１に係る第１ガード電極４２ａ、第２ガード電極４２ｂおよび第３ガード電極４２ｃのそれぞれと同一の構造および同一の機能を有する。

[0135] 絶縁皮膜２０の形成状態を検査する工程においては、第１１主電極１１０に電圧を印加し、第１１主電極１１０の各電極ユニット１１０ａ，１１０ｂ，１１０ｃ，１１０ｄと絶縁電線１との間の第１の静電容量を検出し、第１の静電容量と絶縁皮膜２０の気孔率との関係に基づいて絶縁皮膜２０の形成状態を検査する。

[0136] 図２０を参照して、本実施の形態における、第１の電極としての第１１主電極１１０は、導体１０の長手方向に垂直な断面において導体１０の周方向に互いに離間するように４分割され、各ユニットが円弧状の形状を有し、かつ各ユニットが導体１０の長手方向に沿って延在する４つの電極ユニット１１０ａ，１１０ｂ，１１０ｃ，１１０ｄから構成されている。このように周方向に分割された複数の電極ユニットから構成される第１１主電極１１０を用いることにより、絶縁電線１の周方向における欠陥の存在位置についても

細かく特定することが可能となる。

[0137] なお、上記各実施の形態においては、円形の断面形状を有する線状の絶縁電線１の検査方法を説明したが、絶縁電線１の断面形状はこれらに限定されず、四角形、六角形など任意の断面形状に加工された絶縁電線を得ることも可能である。

[0138] また上記実施形態においては、導体１０の長手方向に沿った各主電極の長さは特に限定されないが、好ましくは１０ｍｍ以下である。また複数の主電極を有する場合、少なくとも１つの上記長さが１０ｍｍ以下であるのが好ましい。

[0139] また上記実施の形態においては、静電容量の検出を行うための検査部５３を巻取り部５６において巻き取られる直前の位置に配置したが、検査部５３を配置する位置はこの位置に限定されない。例えば、導体１０上に複数の層の絶縁層を形成することにより絶縁皮膜２０を形成する場合、巻取り部５６において巻き取られる直前の位置に代えて、または巻取り部５６において巻き取られる直前の位置とともに、絶縁皮膜２０が完成する前の中間体の段階において静電容量の検出が行える位置に検査部５３を配置してもよい。

[0140] また上記実施形態においては、導体１０の長手方向に沿った各ガード電極の長さが同一であったが、各ガード電極の上記長さはそれぞれ異なっていてもよい。また、欠陥部の検出に影響のない範囲でガード電極を省略することもできる。

[0141] 上記実施形態においては、導体１０，１２の表面に塗工されたワニスを焼付炉内で加熱する方法により絶縁皮膜２０，２５を形成したが、絶縁皮膜２０，２５の形成方法はこの方法に限定されない。たとえば、熱可塑性樹脂の押出成形により絶縁皮膜２０，２５を形成することもできる。また空孔１５の形成方法についても、熱分解性樹脂の分解を利用した空孔１５の形成方法のみならず、他の方法を利用することもできる。例えば、相分離法（ポリマーと溶剤の均一溶液から、ミクロ相分離後、溶剤を抽出除去することにより多孔を形成する方法）や超臨界法（超臨界流体を利用して多孔質体を形成す

る方法）を利用して、絶縁皮膜２０に空孔１５を形成することも可能である。

[0142] （実施の形態９）

次に、実施の形態９を、図１および図２１～図２５を参照しつつ説明する。以下の図面において同一または相当する部分には同一の参照番号を付しその説明は繰返さない。

[0143] ［絶縁電線の構造］

本実施の形態において製造される絶縁電線の例を図１、図２１および図２２に示す。図１、図２１および図２２は、それぞれ、絶縁電線の一例を示す断面模式図を示す。図１を参照して、円形の断面形状を有する絶縁電線１は、円形の断面形状を有する線状の導体１０と、この導体１０の外周側の面を覆うように導体１０を被覆する絶縁皮膜２０とを備える。絶縁皮膜２０は、有機材料を含む絶縁体からなる。絶縁体に含まれる上記有機材料としては特に限定されないが、例えばポリイミド（ＰＩ）、ポリアミドイミド（ＰＡＩ）、ポリエーテルサルフォン（ＰＥＳ）、ポリエーテルエーテルケトン（ＰＥＥＫ）などが挙げられる。なかでも絶縁性および耐熱性に優れることから、絶縁皮膜２０を構成する絶縁体はポリイミドまたはポリアミドイミドを含むのが好ましい。例えば、本実施の形態における絶縁皮膜２０はポリイミドからなる。図１を参照して、本実施の形態における絶縁皮膜２０はその内部に空孔１５を含む。絶縁皮膜２０の全体積に占める空孔１５の総体積の割合（気孔率）は、一般的に５体積％以上８０体積％以下であり、好ましくは１０体積％以上６０体積％以下、より好ましくは２５体積％以上５５体積％以下である。ポリイミドなどの絶縁皮膜２０を構成する材料と空気とでは誘電率が異なることから、絶縁皮膜２０が空孔１５を有することにより絶縁皮膜２０全体としての誘電率が変化する。例えばポリイミドは、空気よりも誘電率（比誘電率）が高い。したがって、絶縁皮膜２０がポリイミドからなる場合、絶縁皮膜２０が空孔１５を有することで、空孔１５を有しない絶縁皮膜２０に比べて誘電率の低い絶縁皮膜２０を得ることができる。

[0144] 絶縁電線１は、図１に示すように絶縁皮膜２０の厚み方向全体に渡って均一に空孔１５を有していてもよい。また図２１または図２２のように、絶縁皮膜２０が、中実層１８と、空孔１５を有する多孔質層１９との多層構造を有していてもよい。図２１または図２２に示す絶縁電線１は、図１に示す絶縁電線１と同様に、円形の断面形状を有する線状の導体１０と、この導体１０の外周側の面を覆うように導体１０を被覆する絶縁皮膜２０とを備える。ただし図２１に示す絶縁電線１の絶縁皮膜２０は、導体１０の外周面を覆うように形成された、空孔１５を有する多孔質層１９と、多孔質層１９の外周面を覆うように形成された中実層１８とを含む多層構造を有する。また図２２に示す絶縁電線１の絶縁皮膜２０は、導体１０の外周面を覆うように形成された中実層１８と、中実層１８の外周面を覆うように形成された、空孔１５を有する多孔質層１９とを含む多層構造を有する。また図示していないが、絶縁皮膜２０は、円形の断面形状を有する絶縁電線１の径方向外側に向かって中実層１８と多孔質層１９とが交互に積層された多層構造を有していてもよい。中実層１８の厚みと多孔質層１９の厚みとは、必要な特性に併せて任意に設定できる。

[0145] 次に、本実施の形態に係る絶縁電線１の製造方法の流れを、図２３～図２５を参照して説明する。図２３は実施の形態９における絶縁電線１の製造工程を説明するためのブロック図である。図２４は実施の形態９における絶縁皮膜形成部を説明するためのブロック図である。図２５は実施の形態９における絶縁電線１の製造方法の手順を示すフローチャートである。

[0146] 図２３を参照して、絶縁電線１の製造装置１３０は、導線準備部１５０と、絶縁皮膜形成部１５４と、検査部１５３と、巻取り部１５６とを備える。導線準備部１５０から巻取り部１５６までは並べて配置されている。絶縁電線１の検査は検査部１５３において行われる。導線準備部１５０は、素線供給部１５１と導線加工部１５２とを含む。まず素線供給部１５１から銅線などの素線が供給される。素線は矢印D_1の方向に送られ、導線加工部１５２において所望の形状に加工される。導線加工部１５２において素線から加工さ

れた導体１０は、絶縁皮膜形成部１５４に送られる。

[0147] 図２４を参照して、絶縁皮膜形成部１５４は、例えば絶縁皮膜２０の原料となるワニスを導体１０に塗工する塗工装置１５４ａと、塗工された塗膜を加熱し、ポリイミド皮膜を形成する、加熱部としての焼付炉１５４ｂとを備える。絶縁皮膜形成部１５４では、導体１０の表面に絶縁皮膜２０が形成される。このようにして、導体１０と、導体１０を被覆する絶縁皮膜２０とを有する絶縁電線１が得られる。得られた絶縁電線１は、さらに矢印D_1の方向に送られ、絶縁皮膜２０の形成状態が検査される。

[0148] 検査部１５３は、絶縁皮膜形成部１５４の下流側に配置される。検査部１５３においては、絶縁電線１の静電容量を検出し、その静電容量と絶縁皮膜２０気孔率との関係に基づいて、絶縁皮膜２０の形成状態を検査する。検査には、図２３に示すようなキャパシタンスセンサ４を用いる。絶縁電線１がキャパシタンスセンサ４を貫通するようにキャパシタンスセンサ４を配置し、絶縁電線１の静電容量を検出する。検出した静電容量のデータは、キャパシタンス監視装置１５８に送信される。キャパシタンス監視装置１５８に表示される静電容量と絶縁皮膜２０の気孔率との関係に基づいて、絶縁皮膜２０の形成状態を検査する。

[0149] 検査部１５３において検査された絶縁電線１は、その後巻取り部１５６において巻き取られる。

[0150] キャパシタンスセンサ４は、第１の電極としての主電極１４１と、第１ガード電極１４２ａと、第２ガード電極１４２ｂと、筐体１４４とを備える。主電極１４１、第１ガード電極１４２ａおよび第２ガード電極１４２ｂは、それぞれ絶縁電線１を貫通可能な中空円筒状の形状を有する。筐体１４４は主電極１４１と、第１ガード電極１４２ａと、第２ガード電極１４２ｂと、各電極に接続された配線とを収容できる形状を有する。

[0151] 主電極１４１は絶縁電線１の外周側に配置される。主電極１４１は、キャパシタンス監視装置１５８と接続されている。絶縁皮膜２０の形成状態を検査する工程においては、主電極１４１に電圧を印加し、絶縁電線１の第１の

静電容量を検出する。

[0152] 第１ガード電極１４２ａは、主電極１４１から見て絶縁電線１の長手方向において絶縁皮膜形成部１５４側（上流側）に配置される。第２ガード電極１４２ｂは、主電極１４１から見て絶縁電線１の長手方向において巻取り部１５６側（下流側）に配置される。第１ガード電極１４２ａおよび第２ガード電極１４２ｂは、主電極１４１の端部における電界の集中を緩和し、絶縁電線１と主電極１４１との間に生じる静電容量の数値を安定的に計測するために設置される。第１ガード電極１４２ａと第２ガード電極１４２ｂとは互いに接続されている。また第１ガード電極１４２ａおよび第２ガード電極１４２ｂは、キャパシタンス監視装置１５８および巻取り部１５６と接続され、巻取り部１５６と第１ガード電極１４２ａおよび第２ガード電極１４２ｂとの間の経路において接地されている。すなわち、第１ガード電極１４２ａおよび第２ガード電極１４２ｂは接地電極である。

[0153] 次に図２３～図２５を参照して、絶縁電線１の製造方法の手順を説明する。本実施の形態に係る絶縁電線１の製造方法においては、図２５に示すＳ３０～Ｓ５０のステップが実施される。図２３および図２５を参照して、まず導線準備部１５０において、円形の断面形状を有する線状の導体１０を準備する（Ｓ３０）。具体的には、素線供給部１５１に保持された素線が素線供給部１５１から引き出され、導線加工部１５２において所望の形状に加工される。導体１０を構成する材料は、例えば銅である。

[0154] 次に、絶縁皮膜２０が形成される（Ｓ４０）。絶縁皮膜２０は、線状の形状を有する導体１０の外周側の面を覆うように形成される。絶縁皮膜２０は絶縁体からなり、内部に空孔１５を含む。内部に空孔１５を含む絶縁皮膜２０は以下のようにして形成される。一例として、上記絶縁体がポリイミドからなる場合について説明する。まずポリイミドの前駆体である、ポリイミドのプレポリマーを準備する。そのプレポリマーに、ポリイミドの硬化温度よりも低い温度で分解する熱分解樹脂を混合し、ポリイミドプレポリマーと熱分解樹脂との混合物（ワニス）を準備する。準備したワニスを導体１０の表

面に塗工し、導体１０の表面に塗膜を形成する。この塗膜を加熱すると、ポリイミドプレポリマーからポリイミドへの反応が促進される。ポリイミドは熱硬化性であるため、加熱により塗膜が硬化する。また加熱により熱分解樹脂が分解されて気化する。その結果、ポリイミドの硬化皮膜中の、熱分解性樹脂が存在していた箇所に空孔１５が形成される。このようにして、導体１０の外周側の面を覆うように、絶縁体であるポリイミドからなり、内部に空孔１５を含む絶縁皮膜２０が形成される。以上の手順により、導体１０と、導体１０を被覆する絶縁皮膜２０とを有する絶縁電線１が得られる。

[0155] また以下の様な手順で、図２１または図２２に示すような、中実層１８と、空孔１５を有する多孔質層１９との多層構造を有する絶縁皮膜２０を導体１０の外周側に形成することもできる。まずポリイミドの前駆体である、ポリイミドのプレポリマーを準備する。次に、そのプレポリマーに熱分解樹脂を混合して得られる、プレポリマーと熱分解樹脂との両方を含有する第１のワニスと、プレポリマーを含有するが、熱分解樹脂は含有しない第２のワニスとを準備する。多孔質層１９を形成する場合、第１のワニスが塗布され、加熱される。加熱により熱分解樹脂が分解して気化し、ポリイミドの硬化皮膜内に空孔１５が形成される。これにより多孔質層１９が形成される。また中実層１８を形成する場合、第２のワニスが塗布され、加熱される。これにより中実層１８が形成される。この手順を繰り返すことにより、所望の順に多孔質層１９と中実層１８とが形成された多層構造を有する絶縁皮膜２０を導体１０の外周側の面を覆うように形成することができる。

[0156] 絶縁皮膜２０を形成するステップＳ４０に引き続き、得られた絶縁電線１を検査する（Ｓ５０）。ステップＳ５０においては、絶縁電線１の静電容量を検出し、その静電容量と絶縁皮膜２０の気孔率（絶縁皮膜２０の全体積に占める空孔１５の総体積の割合）との関係に基づいて、絶縁皮膜２０の形成状態を検査する。検査はオンラインで行われる。オンラインで行う検査では、ステップＳ３０～Ｓ５０までの一連の工程において、上記ステップＳ４０に引き続き連続して、ステップＳ４０で得られた絶縁皮膜２０の形成状態の

検査を行う。また検査をオンラインで行う場合、図２３に示す素線供給部１５１から巻取り部１５６に至るまでの一連の流れが、絶縁電線１を切断することなく一体的に行われる。

[0157] 絶縁皮膜２０の形成状態を検査する工程においては、測定部（キャパシタンスセンサ４）を水に浸漬した状態で主電極１４１に電圧を印加して、絶縁電線１の静電容量を監視する。絶縁電線１の静電容量は、主電極１４１に接続されたキャパシタンス監視装置１５８にて監視される。本実施の形態においては、絶縁電線１の静電容量と絶縁皮膜２０の気孔率との関係に基づいて、絶縁皮膜２０の形成状態を検査する。具体的には、計算により求められる理論曲線や、標準物質を用いて求められる検量線と、検査工程において求められる絶縁電線１の静電容量の値とを比較することにより、絶縁電線１の気孔率を見積もることができる。見積もられた気孔率から、絶縁皮膜２０の形成状態を評価し、所定の気孔率の絶縁電線１が得られたか否かを判定することができる。検査された絶縁電線１は、その後巻取り部１５６において巻き取られる。

[0158] 以上が本願発明の各実施の形態の説明である。なお、上記各実施の形態においては、円形の断面形状を有する線状の絶縁電線１の製造方法および検査方法を説明したが、絶縁電線１の断面形状はこれらに限定されず、四角形、六角形など任意の断面形状に加工された絶縁電線を得ることも可能である。

[0159] また上記実施形態においては、導体１０の長手方向に沿った各主電極の長さは特に限定されないが、好ましくは１０ｍｍ以下である。また複数の主電極を有する場合、少なくとも１つの上記長さが１０ｍｍ以下であるのが好ましい。

[0160] また上記実施の形態においては、静電容量の検出を行うための検査部５３を巻取り部５６において巻き取られる直前の位置に配置したが、検査部５３を配置する位置はこの位置に限定されない。例えば、導体１０上に複数の層の絶縁層を形成することにより絶縁皮膜２０を形成する場合、巻取り部５６において巻き取られる直前の位置に代えて、または巻取り部５６において巻

き取られる直前の位置とともに、絶縁皮膜２０が完成する前の中間体の段階において静電容量の検出が行える位置に検査部５３を配置してもよい。

[0161] また上記実施形態においては、導体１０の長手方向に沿った各ガード電極の長さが同一であったが、各ガード電極の上記長さはそれぞれ異なっていてもよい。また、欠陥部の検出に影響のない範囲でガード電極を省略することもできる。

[0162] 上記実施形態においては、導体１０，１２の表面に塗工されたワニスを焼付炉内で加熱する方法により絶縁皮膜２０，２５を形成したが、絶縁皮膜２０，２５の形成方法はこの方法に限定されない。たとえば、熱可塑性樹脂の押出成形により絶縁皮膜２０，２５を形成することもできる。また空孔１５の形成方法についても、熱分解性樹脂の分解を利用した空孔１５の形成方法のみならず、他の方法を利用することもできる。例えば、相分離法（ポリマーと溶剤の均一溶液から、ミクロ相分離後、溶剤を抽出除去することにより多孔を形成する方法）や超臨界法（超臨界流体を利用して多孔質体を形成する方法）を利用して、絶縁皮膜２０に空孔１５を形成することも可能である。

[0163] ［検査例］

次に、本願の絶縁電線１の検査方法に基づいて、キャパシタンスセンサ２により実際に絶縁皮膜２０の欠陥部を検査した例を示す。

[0164] ［空孔を有する絶縁皮膜２０を備えた絶縁皮膜における低気孔率部の検出例］

（検査例１）

導体１０と、導体１０を被覆する絶縁皮膜２０とを有する無欠陥の絶縁電線１を準備した。絶縁皮膜２０に、絶縁皮膜２０側から平面的に見た形状が一辺０．５ｍｍの正方形形状である穴を開け、その穴をエポキシ樹脂（誘電率約３．１）で充填して、人工的に低気孔率部２１を有する測定試料Ａを作製した。測定試料Ａにおける低気孔率部２１の、長手方向最大長さと幅方向最大長さとの積は０．２５ｍｍ^{2}である。同様に、絶縁皮膜２０に、絶縁皮膜

２０側から平面的に見た形状が一辺０．４ｍｍの正方形形状である穴を開け、その穴を同じエポキシ樹脂で充填して、人工的に低気孔率部２１を有する測定試料Ｂを作製した。測定試料Ｂにおける低気孔率部２１の長手方向最大長さと幅方向最大長さとの積は０．１６ｍｍ^{2}である。

[0165] 実施の形態１に係る検査電極５５を有するキャパシタンスセンサ２を用いて、測定試料Ａおよび測定試料Ｂの低気孔率部２１が検出されるか否かを検査した。その結果、測定試料Ａおよび測定試料Ｂのいずれについても低気孔率部２１が検出された。

[0166] （検査例２）

実施の形態３に係る検査電極５５を有するキャパシタンスセンサ２を用いて、測定試料Ａおよび測定試料Ｂの低気孔率部２１が検出されるか否かを検査した。その結果、測定試料Ａおよび測定試料Ｂのいずれについても低気孔率部２１が検出された。

[0167] （検査例３）

実施の形態４に係る検査電極５５を有するキャパシタンスセンサ２を用いて、測定試料Ａおよび測定試料Ｂの低気孔率部２１が検出されるか否かを検査した。その結果、測定試料Ａおよび測定試料Ｂのいずれについても低気孔率部２１が検出された。

[0168] （検査例４）

実施の形態５に係る検査電極５５を有するキャパシタンスセンサ２を用いて、測定試料Ａおよび測定試料Ｂの低気孔率部２１が検出されるか否かを検査した。その結果、測定試料Ａおよび測定試料Ｂのいずれについても低気孔率部２１が検出された。

[0169] 上述の通り、いずれの検査例においても、平面的に見た形状が一辺０．５ｍｍ、長手方向最大長さと幅方向最大長さとの積が０．２５ｍｍ^{2}の正方形形状である低気孔率部２１、および平面的に見た形状が一辺０．４ｍｍ、長手方向最大長さと幅方向最大長さとの積が０．１６ｍｍ^{2}の正方形形状である低気孔率部２１を検出できることが明らかとなった。

[0170] ［肉薄部の検出例］

次に、種々の大きさの肉薄部２２を有する絶縁電線３を準備し、上記検査方法によって肉薄部２２が検出可能かを調べた（検査例５～検査例９）。各検査例においては、絶縁電線３を導体１２の長手方向に搬送しながら、図６に示す構造を有する電極と、測定対象の絶縁電線３との間の静電容量を測定し、静電容量の推移を調べた。結果を表１に示す。表１において、静電容量変動量とは、絶縁皮膜２５に欠陥のない正常な部分における静電容量の値に対し、欠陥部が存在する部分における静電容量の変動量（％）を示す。また膜厚減少量（μｍ）とは、肉薄部における、正常部の絶縁皮膜２５の膜厚の平均値からの減少量の平均値（図１０における膜厚減少量ｄの、１つの欠陥内の平均値）を示す。長手方向最大長さ（Ｌ）（ｍｍ）とは、絶縁皮膜２５の厚み方向から平面視した平面形状における、欠陥部の長手方向に沿った最大の長さ（図１１における長さL_{D2}）を示す。また幅方向最大長さ（Ｗ）（ｍｍ）とは、絶縁皮膜２５の厚み方向から平面視した平面形状における欠陥部の幅方向に沿った最大の長さ（図１１における幅W_2）を示す。導体１２の膨れの高さ（μｍ）とは、肉薄部２２が発生した箇所の導体１２の盛り上がり量の最大値を示す。

[0171] [表1]

	検査例				
No.	5	6	7	8	9
静電容量変動量(%)	3.6	3.4	3.0	4.8	4.3
膜厚減少量（μm）	29	22	22	37	32
長手方向最大長さ（L）(mm)	8.8	3.4	3.6	16.9	1.9
幅方向最大長さ（W）(mm)	0.9	1.5	0.8	1.0	1.5
L × W（mm^2）	7.9	5.1	2.9	16.9	2.9
導体の膨れの高さ（μm）	25	20	21	33	32

[0172] 表１に示すように、表１の検査例５～検査例９においては、欠陥のない正常部分における静電容量の値と比べて、肉薄部に対応する箇所で３．０％以上、最大４．８％の静電容量の変動が生じた。これは、欠陥部を検出するために充分な変動量であった。その結果、導体１２の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下の絶縁皮膜２５内の肉薄部２２を的確に検出することが可能である。また表１に示す結果から、上記検査方法は、長手方向最大長さＬと幅方向最大長さＷとの積Ｌ×Ｗが、０．１ｍｍ^{2}以上２０ｍｍ^{2}以下であり、かつ膜厚減少量が１μｍ以上５０μｍ以下である肉薄部２２を適切に検出可能であることが示される。

[0173] ［静電容量と絶縁皮膜２０の気孔率との関係に基づく検査例］

次に、図２６を参照して、本実施の形態において行われる、絶縁皮膜２０の形成状態の検査の一例を示す。図２６は静電容量と気孔率との関係を示すグラフである。縦軸は静電容量（単位：ｐＦ・ｍ$^{-1}$）を示す。また、横軸は気孔率（ｖｏｌ％（体積％））を示す。ひし形（◆）の印は、絶縁皮膜２０の膜厚が５０μｍの場合のデータを表す。正方形（■）の印は、絶縁皮膜２０の膜厚が１００μｍの場合のデータを表す。三角形（▲）の印は、絶縁皮膜２０の膜厚が１５０μｍの場合のデータを表す。また実線２００は、絶縁皮膜２０の膜厚が５０μｍの場合における上記データを線形近似して得られる直線である。破線２１０は、絶縁皮膜２０の膜厚が１００μｍの場合における上記データを線形近似して得られる直線である。一点鎖線２２０は、絶縁皮膜２０の膜厚が１００μｍの場合における上記データを線形近似して得られる直線である。

[0174] 絶縁皮膜２０の膜厚に応じて図２６に示す実線２００、破線２１０、または一点鎖線２２０を参照することにより、絶縁皮膜２０の膜厚が既知であれば、測定された静電容量から、絶縁電線１が有する絶縁皮膜２０の気孔率を見積もることができる。その見積もられた気孔率から、絶縁皮膜２０の形成状態を検査することができる。また気孔率が既知であれば、サンプルの静電

容量を測定することにより、絶縁皮膜２０の膜厚を見積もることも可能である。

[0175] ［まとめ］

以上説明した通り、上記絶縁電線の製造方法によれば、絶縁電線１，３の絶縁特性に影響を与え得る欠陥部、特に微小な欠陥部を、絶縁電線を搬送しながら非破壊で適切に検出することができ、それにより安定した品質の絶縁電線１，３を製造することが可能となる。また本願の絶縁電線の検査方法によれば、絶縁皮膜２０、２５を備える絶縁電線１，３の、絶縁性に影響を与え得る絶縁電線１，３の内部の欠陥部、特に導体１０，１２の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下、好ましくは２ｍｍ以下、より好ましくは１ｍｍ以下の微細な低気孔率部２１や肉薄部２２を適切に検出することができ、それにより安定した品質の絶縁電線１，３の製造に貢献することが可能となる。

[0176] 今回開示された実施の形態および検査例はすべての点で例示であって、どのような面からも制限的なものではないと理解されるべきである。本発明の範囲は上記した意味ではなく、請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

[0177] １ 絶縁電線、２ キャパシタンスセンサ、３ 絶縁電線、１０ 導体、１１ 膨れ、１２ 導体、１５ 空孔、１８ 中実層、１９ 多孔質層、２０ 絶縁皮膜、２１ 低気孔率部、２２ 肉薄部、２３ 傷、２４ 穴、２５ 絶縁皮膜、３０ 製造装置、４０ 第１主電極、４０ａ，４０ｂ，４０ｃ，４０ｄ 電極ユニット、４１ 第２主電極、４１ａ，４１ｂ，４１ｃ，４１ｄ 電極ユニット、４２ａ 第１ガード電極、４２ｂ 第２ガード電極、４２ｃ 第３ガード電極、４４ 筐体、５０ 導線準備部、５１ 素線供給部、５２ 導体加工部、５３ 検査部、５４ 絶縁皮膜形成部、５４ａ 塗工装置、５４ｂ 焼付炉、５５ 検査電極、５６ 巻取り部、５８ キャパシタンスモニタ、６０ 第３主電極、６０ａ，６０ｂ，６０ｃ，６０ｄ 電極ユニット、６２ａ 第４ガード電極、６２ｂ 第５ガード電極、７０ 第

４主電極、７１　第５主電極、７２ａ　第６ガード電極、７２ｂ　第７ガード電極、７２ｃ　第８ガード電極、８０　第６主電極、８２ａ　第９ガード電極、８２ｂ　第１０ガード電極、９０　第７主電極、９０ａ　電極ユニット、９０ｂ　電極ユニット、９０ｃ　電極ユニット、９０ｄ　電極ユニット、９１　第８主電極、９１ａ　電極ユニット、９１ｂ　電極ユニット、９１ｃ　電極ユニット、９１ｄ　電極ユニット、９２ａ　第１１ガード電極、９２ｂ　第１２ガード電極、９２ｃ　第１３ガード電極、１００　第９主電極、１０１　第１０主電極、１０２ａ　第１４ガード電極、１０２ｂ　第１５ガード電極、１０２ｃ　第１６ガード電極、１１０　第１１主電極、１１０ａ，１１０ｂ，１１０ｃ，１１０ｄ　電極ユニット、１１２ａ　第１７ガード電極、１１２ｂ　第１８ガード電極、１３０　製造装置、１４１　主電極、１４２ａ　第１ガード電極、１４２ｂ　第２ガード電極、１４４　筐体、１５０　導線準備部、１５１　素線供給部、１５２　導線加工部、１５３　検査部、１５４　絶縁皮膜形成部、１５４ａ　塗工装置、１５４ｂ　焼付炉、１５６　巻取り部、１５８　キャパシタンス監視装置、２００　実線、２１０　破線、２２０　一点鎖線

請求の範囲

[請求項1] 線状の形状を有する導体を準備する工程と、

前記導体の外周側の面を覆うように、絶縁皮膜を形成することにより、前記導体と、前記導体を被覆する前記絶縁皮膜とを有する絶縁電線を得る工程と、

前記絶縁電線を前記導体の長手方向に搬送しながら、前記絶縁電線の外周面に対向するように前記絶縁電線の径方向外側に配置される第１の電極と前記絶縁電線との間の第１の静電容量を測定し、前記第１の静電容量の推移に基づいて、前記絶縁皮膜内の欠陥部の形成状態を含む前記絶縁皮膜の形成状態を検査する工程と、を含む、絶縁電線の製造方法。

[請求項2] 前記絶縁皮膜の形成状態を検査する工程において、前記導体の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下の前記絶縁皮膜内の前記欠陥部を検出する、請求項１に記載の絶縁電線の製造方法。

[請求項3] 前記第１の電極は、前記導体の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下の前記絶縁皮膜内の前記欠陥部が検出可能となるように、前記長手方向に沿った長さが調整されている請求項２に記載の絶縁電線の製造方法。

[請求項4] 前記絶縁皮膜の形成状態を検査する工程において、前記導体の長手方向に沿った長さが２ｍｍ以下の前記絶縁皮膜内の前記欠陥部を検出する、請求項１～請求項３のいずれか１項に記載の絶縁電線の製造方法。

[請求項5] 前記絶縁電線を得る工程において、前記絶縁皮膜は、前記導体の外周側の面を覆うように塗工液を塗工して塗膜を形成し、前記塗膜を加熱することにより形成される、請求項１～請求項４のいずれか１項に記載の絶縁電線の製造方法。

[請求項6] 前記絶縁電線を準備する工程において準備される前記絶縁電線の前記絶縁皮膜は、内部に空孔を有し、

前記絶縁皮膜の形成状態を検査する工程において、さらに前記第１の静電容量と気孔率との関係に基づいて前記絶縁皮膜の形成状態を検査する、請求項１～請求項５のいずれか１項に記載の絶縁電線の製造方法。

[請求項7] 前記絶縁皮膜内の前記欠陥部は、内部に空孔を有する前記絶縁皮膜内に存在する低気孔率部である請求項６に記載の絶縁電線の製造方法。

[請求項8] 前記絶縁皮膜内の前記欠陥部は肉薄部である請求項１～請求項７のいずれか１項に記載の絶縁電線の製造方法。

[請求項9] 前記肉薄部は、膜厚減少量が１μｍ以上５０μｍ以下である、請求項８に記載の絶縁電線の製造方法。

[請求項10] 前記絶縁皮膜の厚み方向から平面視した平面形状における前記欠陥部の長手方向最大長さと幅方向最大長さとの積が、０．１ｍｍ^{2}以上２０ｍｍ^{2}以下である請求項１～請求項９のいずれか１項に記載の絶縁電線の製造方法。

[請求項11] 前記第１の電極は、前記導体の長手方向に垂直な断面において前記導体の周方向に互いに離間するように分割された複数のユニットを含み、各前記ユニットは前記導体の長手方向に沿って延在する、請求項１～請求項１０のいずれか１項に記載の絶縁電線の製造方法。

[請求項12] 前記絶縁皮膜の形成状態を検査する工程において、前記第１の電極と前記絶縁電線との間の第１の静電容量を検出するとともに、前記絶縁電線の外周面に対向するように前記絶縁電線の径方向外側に配置された第２の電極と前記絶縁電線との間の第２の静電容量をさらに検出し、前記第１の静電容量の推移および前記第２の静電容量の推移の少なくともいずれか一方に基づいて前記絶縁皮膜の形成状態を検査する、請求項１～請求項１１のいずれか１項に記載の絶縁電線の製造方法。

[請求項13] 前記第２の電極の、前記導体の長手方向に沿った長さが前記第１の

電極とは異なる、請求項１２に記載の絶縁電線の製造方法。

[請求項14] 前記第２の電極は、前記導体の長手方向に垂直な断面において前記導体の周方向に互いに離間するように分割された複数のユニットを含み、各前記ユニットは前記導体の長手方向に沿って延在する、請求項１２又は請求項１３に記載の絶縁電線の製造方法。

[請求項15] 前記絶縁皮膜はポリイミドを含む、請求項１～請求項１４のいずれか１項に記載の絶縁電線の製造方法。

[請求項16] 前記絶縁皮膜の形成状態を検査する工程は、オンラインで行われる、請求項１～請求項１５のいずれか１項に記載の絶縁電線の製造方法。

[請求項17] 線状の形状を有する導体と、前記導体の外周側に形成された絶縁皮膜とを有する絶縁電線を準備する工程と、

前記絶縁電線を前記導体の長手方向に搬送しながら、前記絶縁電線の外周面に対向するように前記絶縁電線の径方向外側に配置される電極と前記絶縁電線との間の静電容量を測定し、前記静電容量の推移に基づいて前記絶縁皮膜の形成状態を検査する工程とを含み、

前記絶縁皮膜の形成状態を検査する工程において、前記導体の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下の前記絶縁皮膜内の欠陥部を検出可能な絶縁電線の検査方法。

[請求項18] 前記電極は、前記導体の長手方向に沿った長さが４ｍｍ以下の前記絶縁皮膜内の前記欠陥部が検出可能となるように、前記長手方向に沿った長さが調整されている、請求項１７に記載の絶縁電線の検査方法。

[請求項19] 前記絶縁皮膜の形成状態を検査する工程において、前記導体の長手方向に沿った長さが２ｍｍ以下の前記絶縁皮膜内の前記欠陥部を検出可能である、請求項１７又は請求項１８に記載の検査方法。

[請求項20] 前記絶縁電線を準備する工程において準備される前記絶縁電線の前記絶縁皮膜は、内部に空孔を有し、

前記絶縁皮膜の形成状態を検査する工程において、さらに前記静電容量と気孔率との関係に基づいて前記絶縁皮膜の形成状態を検査する、請求項１７～請求項１９のいずれか１項に記載の絶縁電線の検査方法。

[請求項21] 前記絶縁皮膜内の前記欠陥部は、内部に空孔を有する前記絶縁皮膜内に存在する低気孔率部である請求項２０に記載の絶縁電線の検査方法。

[請求項22] 前記絶縁皮膜内の前記欠陥部は肉薄部である請求項１７～請求項２１のいずれか１項に記載の絶縁電線の検査方法。

[請求項23] 前記肉薄部は、膜厚減少量が１μｍ以上５０μｍ以下である、請求項２２に記載の絶縁電線の検査方法。

[請求項24] 前記絶縁皮膜の厚み方向から平面視した平面形状における前記欠陥部の長手方向最大長さと幅方向最大長さとの積が、０．１ｍｍ^{2}以上２０ｍｍ^{2}以下である請求項１７～請求項２３のいずれか１項に記載の絶縁電線の検査方法。

[請求項25] 前記絶縁皮膜はポリイミドを含む、請求項１７～請求項２４のいずれか１項に記載の絶縁電線の検査方法。

[請求項26] 前記絶縁皮膜の形成状態を検査する工程は、オンラインで行われる、請求項１７～請求項２５のいずれか１項に記載の絶縁電線の検査方法。

[請求項27] 線状の形状を有する導体を準備する導線準備部と、

前記導体の外周側を覆うように絶縁皮膜を形成する絶縁皮膜形成部と、

前記導体および前記絶縁皮膜を有する絶縁電線の、前記絶縁皮膜の形成状態を検査する検査部と、を備え、

前記絶縁皮膜形成部は、

前記絶縁皮膜の原料となるワニスを前記導体の外周側を覆うように塗工する塗工装置と、

前記塗工装置により塗工された塗膜を加熱する加熱部と、を含み、

前記検査部は、

前記導体の長手方向に搬送されながら検査される前記絶縁電線の外周面に対向するように前記絶縁電線の径方向外側に配置される第１の電極を有し、前記導体の長手方向に搬送される前記絶縁電線と前記第１の電極との間の第１の静電容量を測定するキャパシタンスセンサを含む、絶縁電線製造装置。

[請求項28] 前記第１の電極の、前記導体の長手方向の長さが０．１ｍｍ以上１０ｍｍ以下である、請求項２７に記載の絶縁電線製造装置。

[請求項29] 前記第１の電極は、前記導体の長手方向に垂直な断面において前記導体の周方向に互いに離間するように分割された複数のユニットを含み、各前記ユニットは前記導体の長手方向に沿って延在する、請求項２７又は請求項２８に記載の絶縁電線製造装置。

[請求項30] 前記キャパシタンスセンサは、前記導体の長手方向に搬送されながら検査される前記絶縁電線の外周面に対向するように前記絶縁電線の径方向外側に配置される、前記第１の電極とは異なる第２の電極をさらに有し、

前記キャパシタンスセンサは、前記導体の長手方向に搬送される前記絶縁電線と前記第２の電極との間の第２の静電容量をさらに測定する、請求項２７～請求項２９のいずれか１項に記載の絶縁電線製造装置。

[請求項31] 前記第２の電極の、前記導体の長手方向の長さが０．１ｍｍ以上１０ｍｍ以下である、請求項３０に記載の絶縁電線製造装置。

[請求項32] 前記第２の電極の、前記導体の長手方向に沿った長さが前記第１の電極とは異なる、請求項３０又は請求項３１に記載の絶縁電線製造装置。

[請求項33] 前記第２の電極は、前記導体の長手方向に垂直な断面において前記導体の周方向に互いに離間するように分割された複数のユニットを含

み、各前記ユニットは前記導体の長手方向に沿って延在する、請求項３０～請求項３２のいずれか１項に記載の絶縁電線製造装置。

[請求項34] 前記導線準備部は、

金属素線を保持する素線供給部と、

前記素線供給部から供給される前記金属素線を加工する導体加工部と、を含む、請求項２７～請求項３３のいずれか１項に記載の絶縁電線製造装置。

[請求項35] 前記絶縁皮膜形成部において、

前記塗工装置は、ポリイミド前駆体を含む前記ワニスを前記導体に塗工し、

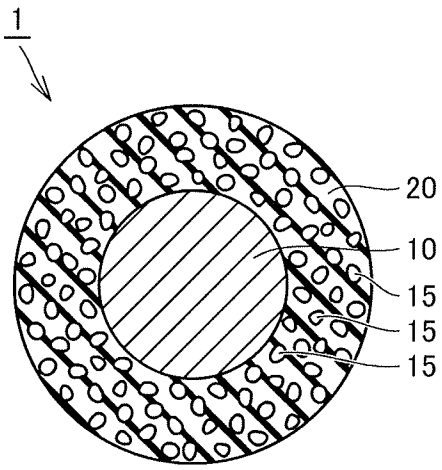
前記加熱部は、塗工された前記塗膜を加熱し、前記ポリイミド前駆体からポリイミド皮膜を形成する焼付炉である、請求項２７～請求項３４のいずれか１項に記載の絶縁電線製造装置。

[請求項36] 前記絶縁電線製造装置は、前記検査部において検査された前記絶縁電線を巻き取る巻取り部をさらに備え、

前記絶縁電線が切断されないように前記導線準備部から前記巻取り部までが並べて配置された、請求項２７～請求項３５のいずれか１項に記載の絶縁電線製造装置。

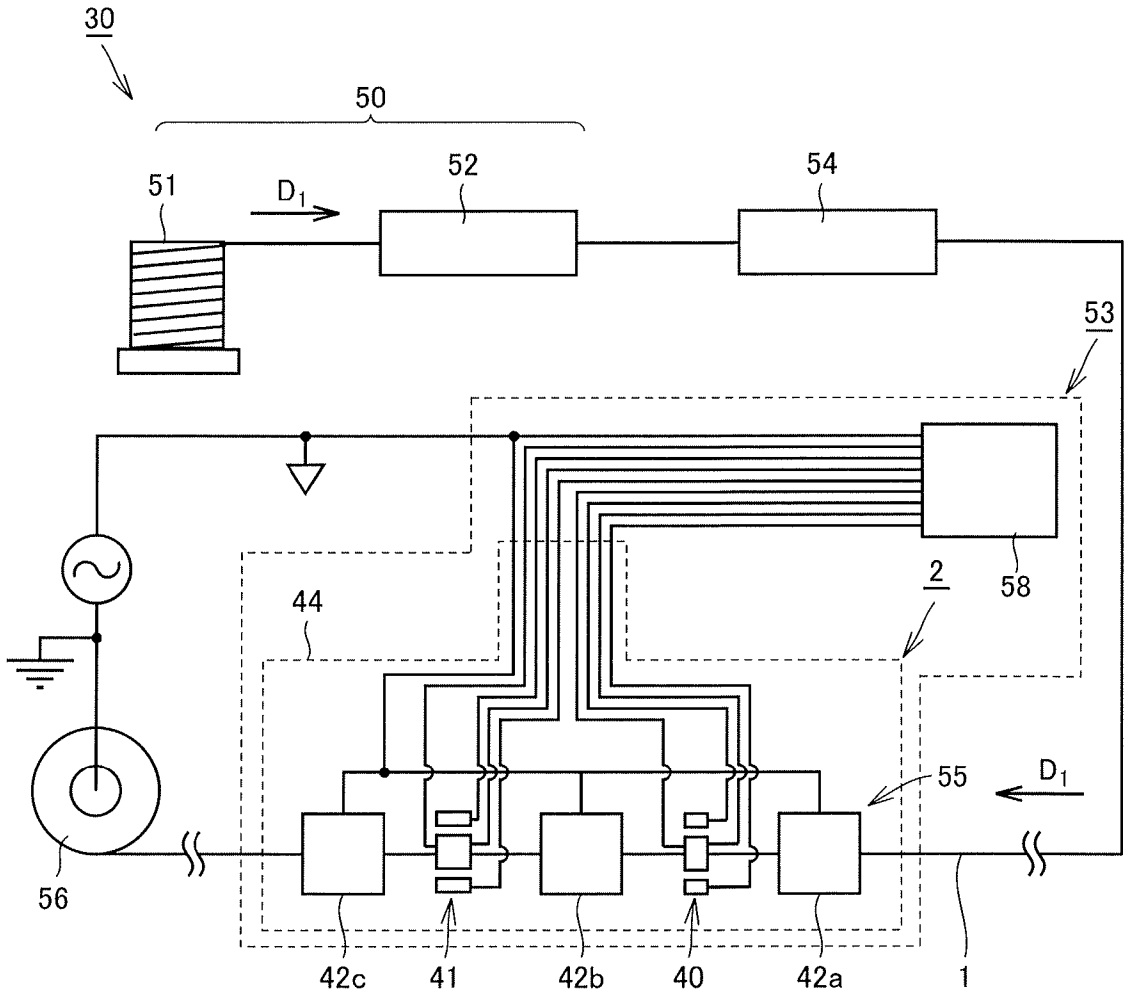
[図1]

図1


1
20
10
15
15
15

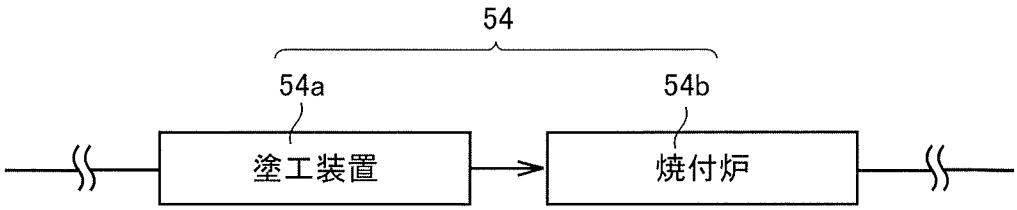
[図2]

図2


30
50
51
D1
52
54
53
2
58
44
55
D1
56
42c
41
42b
40
42a
1

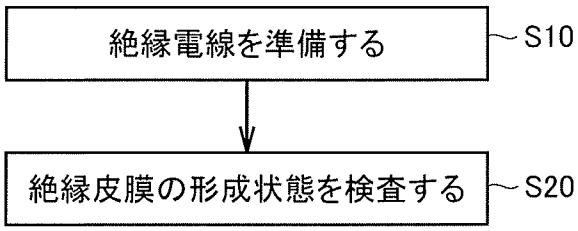
[図3]

図3



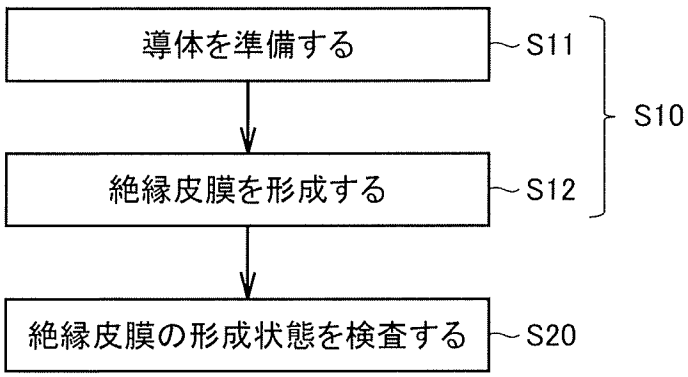
[図4]

図4



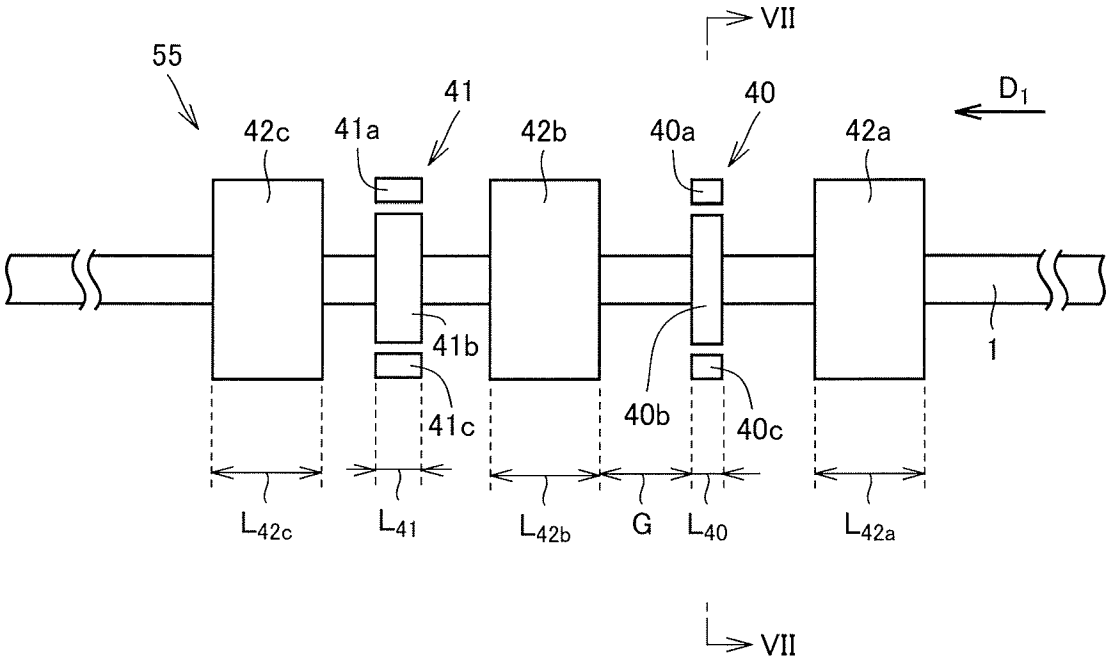
[図5]

図5



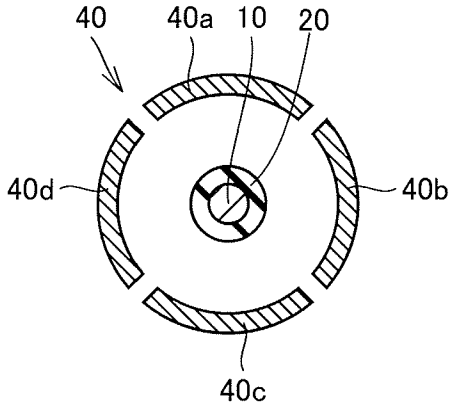
[図6]

図6


VII
55
41
40
D1
42c
41a
42b
40a
42a
41b
1
40b
41c
40c
L42c
L41
L42b
G
L40
L42a
VII

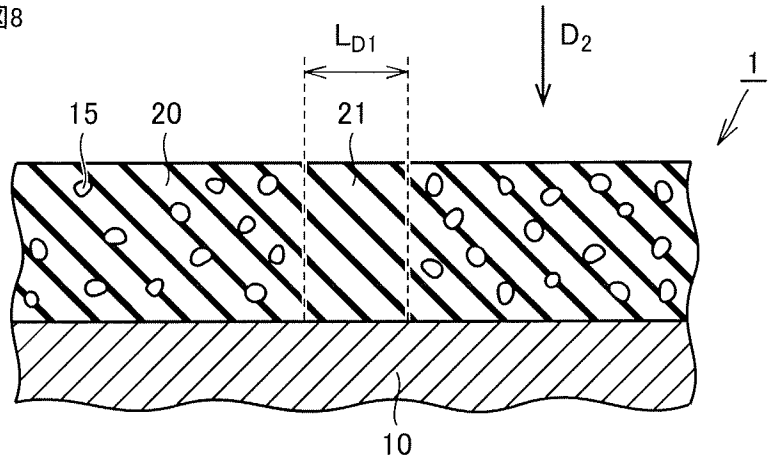
[図7]

図7


40
40a
10
20
40d
40b
40c

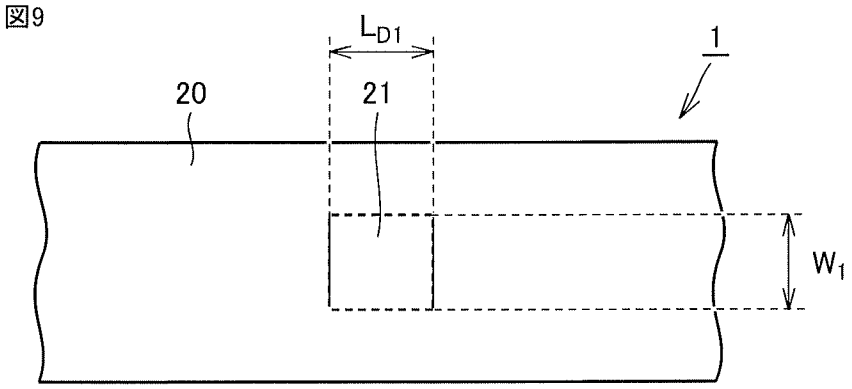
[図8]

図8



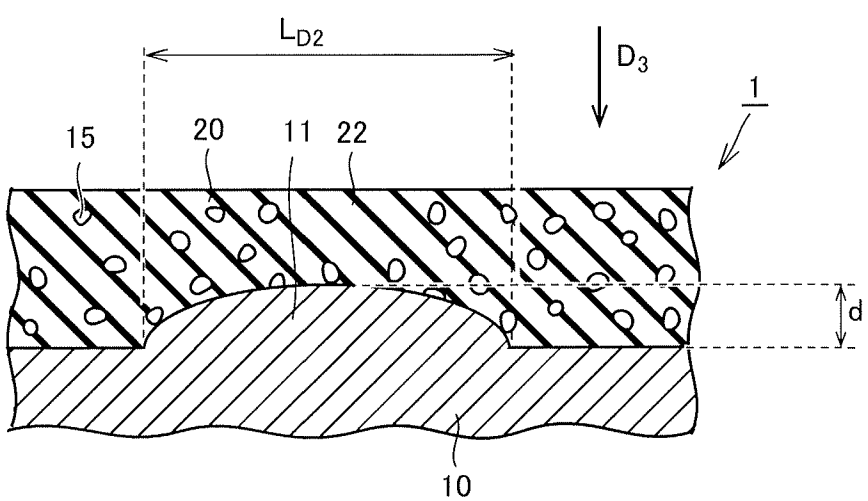
[図9]

図9



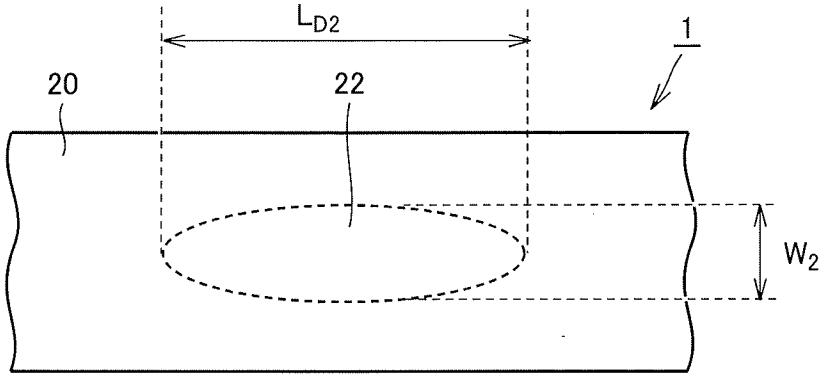
[図10]

図10



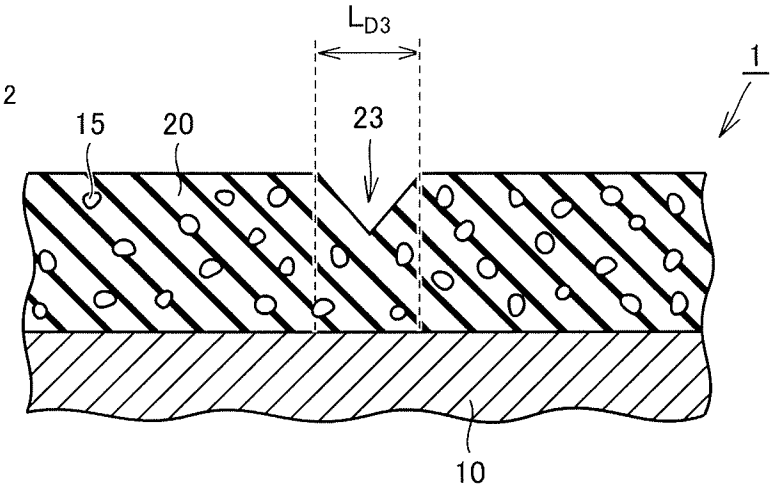
[図11]

図11



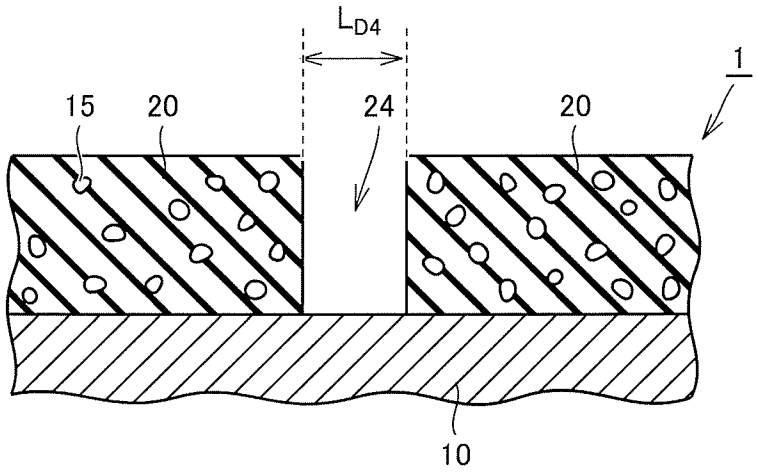
[図12]

図12



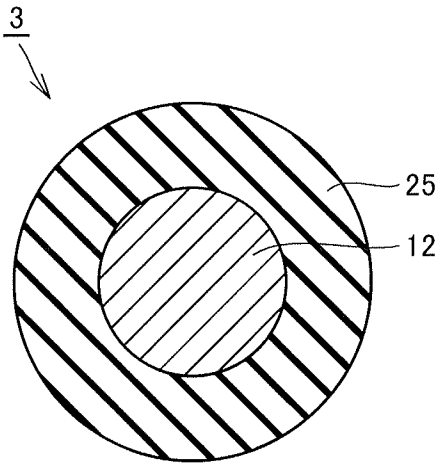
[図13]

図13



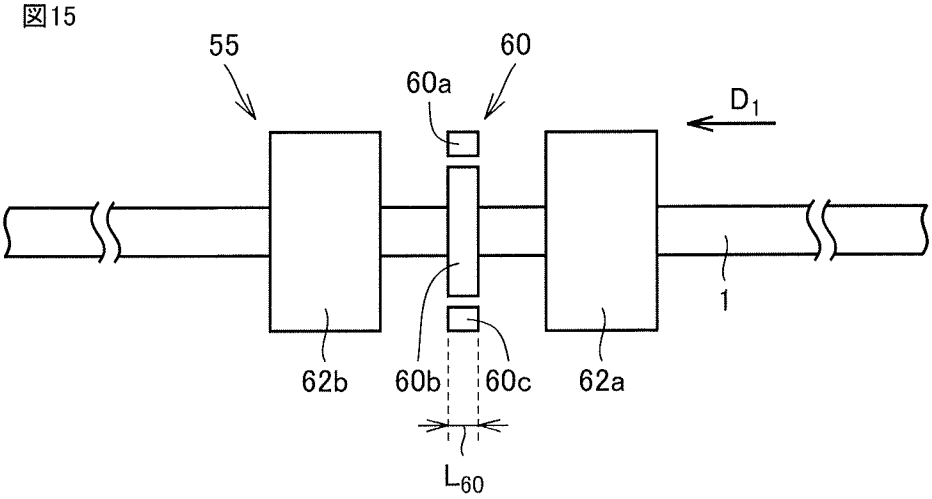
[図14]

図14



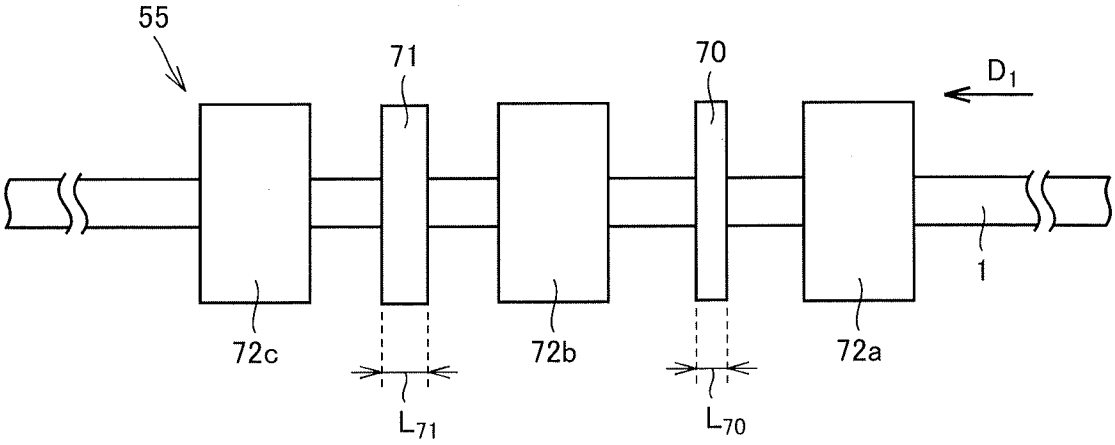
[図15]

図15



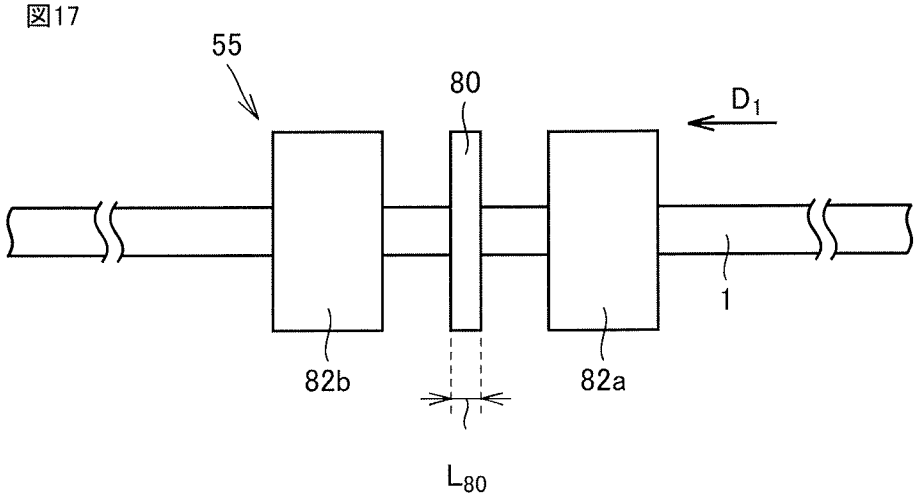
[図16]

図16



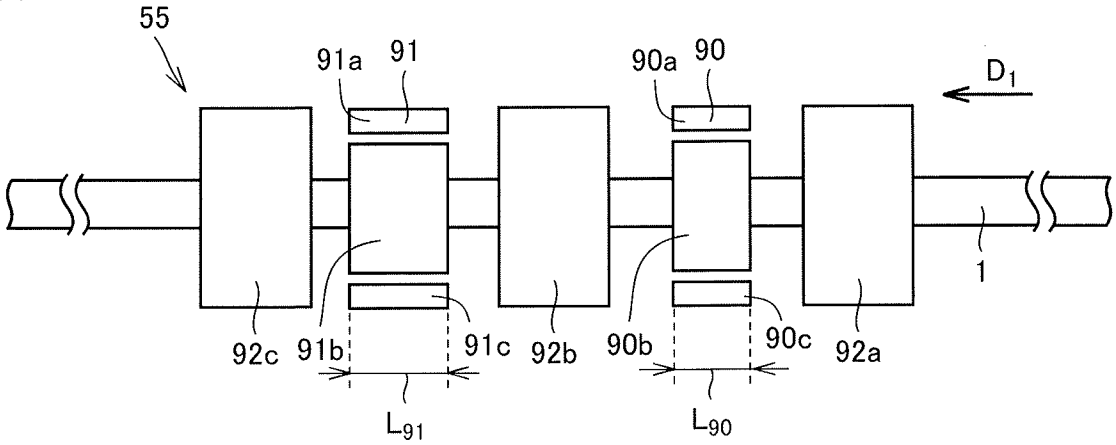
[図17]

図17



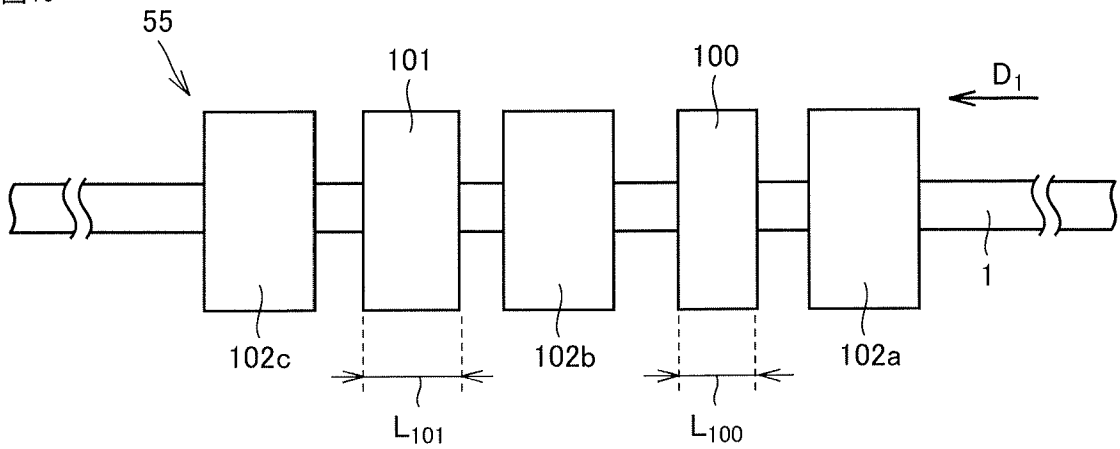
[図18]

図18



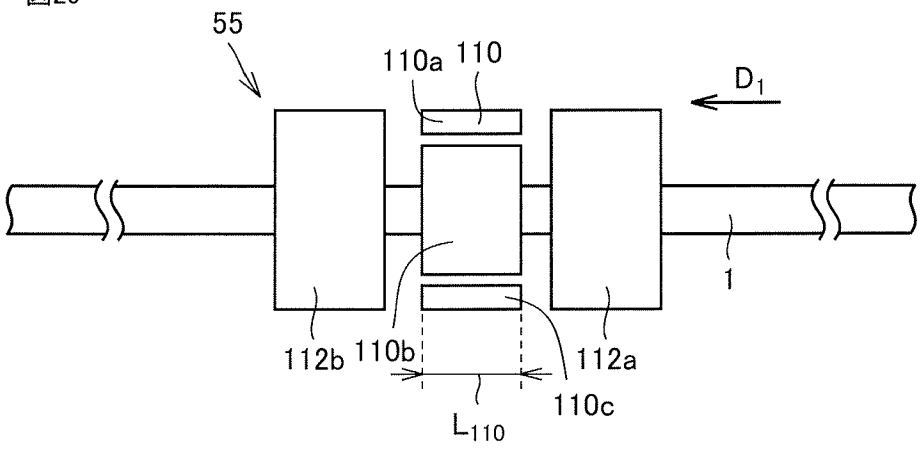
[図19]

図19



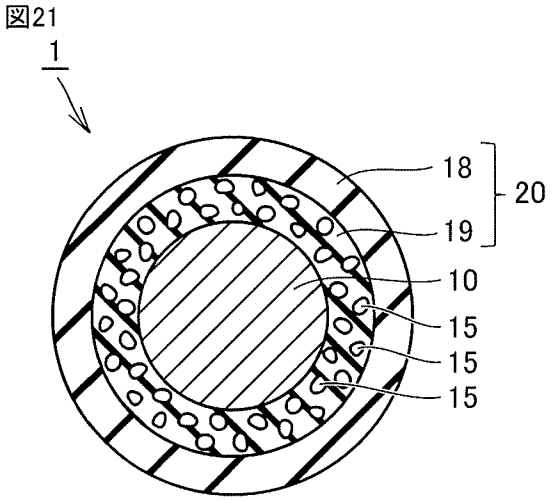
[図20]

図20



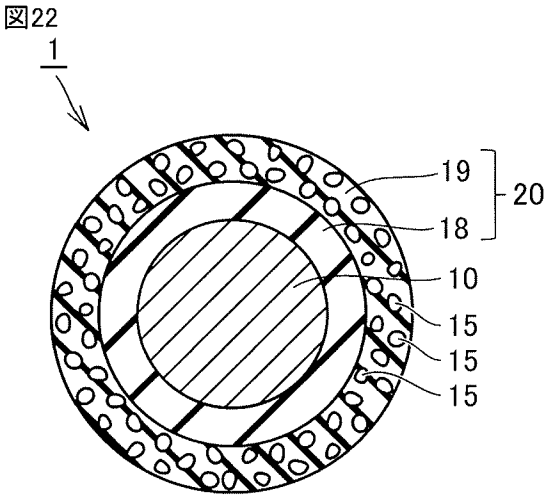
[図21]

図21



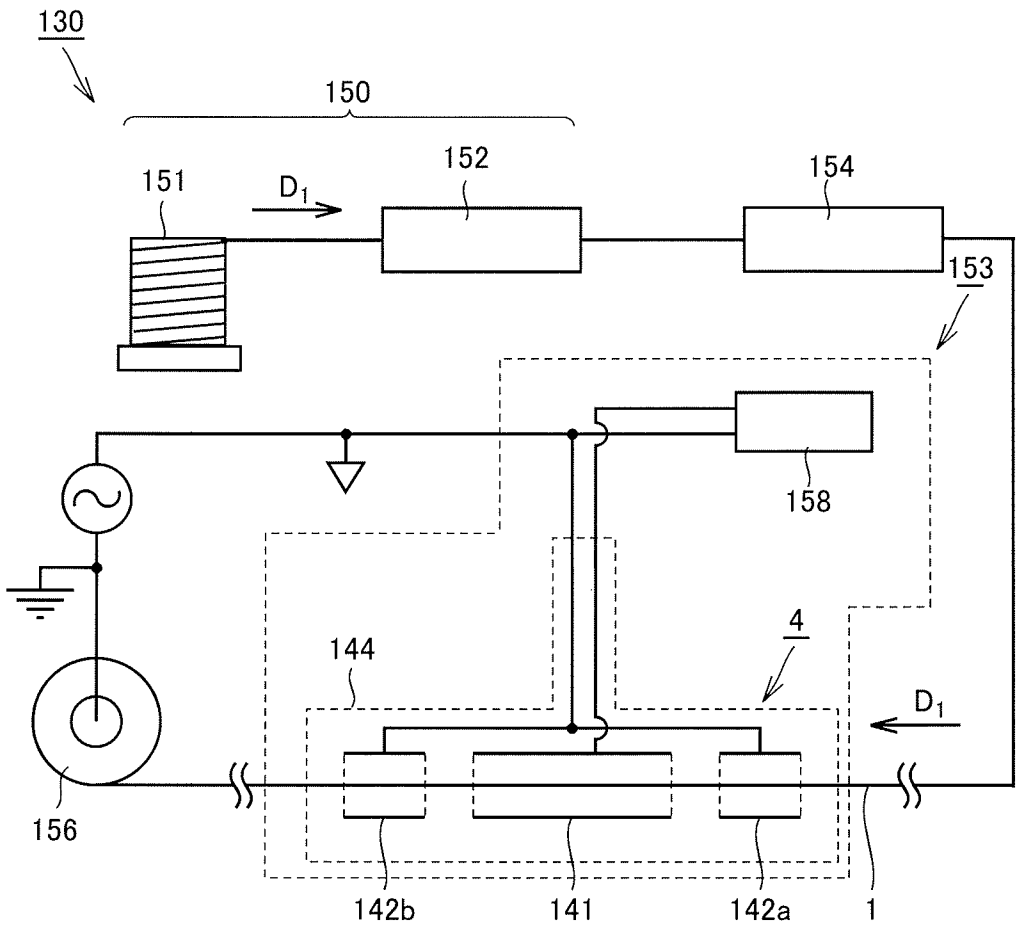
[図22]

図22



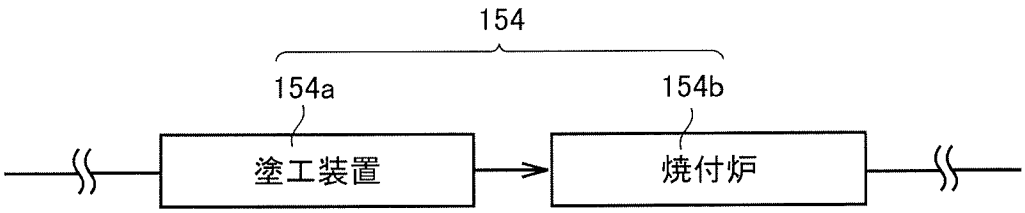
[図23]

図23



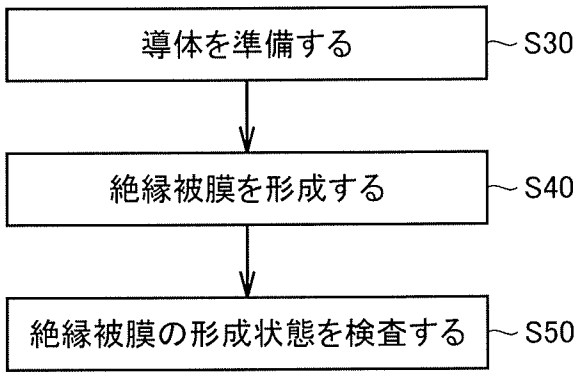
[図24]

図24



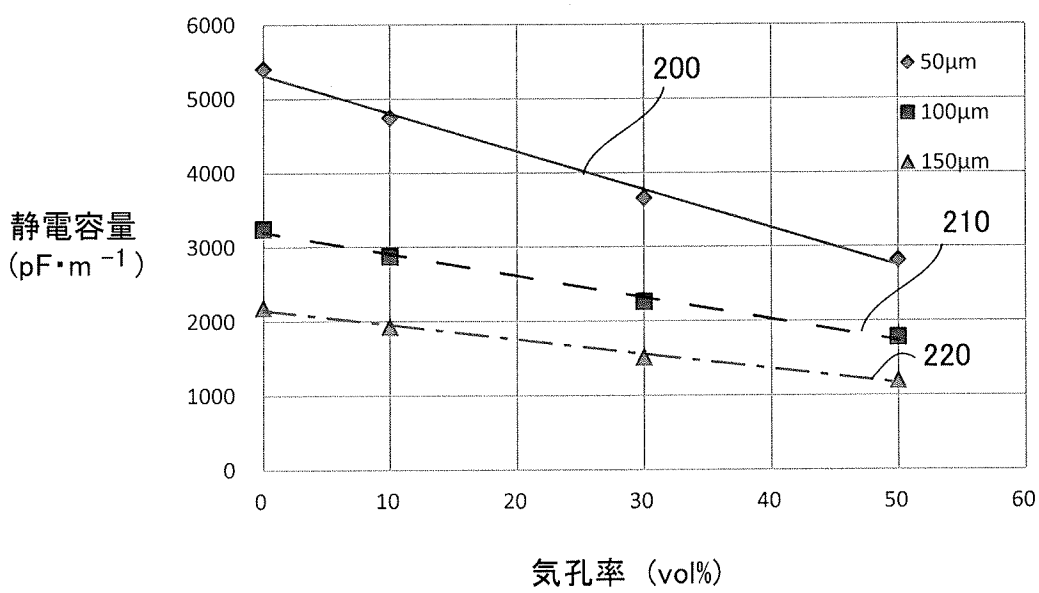
[図25]

図25



[図26]

図26



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/037953

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01B13/16(2006.01)i, *H01B13/00*(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)
H01B13/16, H01B13/00

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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 58-26416 A (Showa Electric Wire & Cable Co., Ltd.), 16 February 1983 (16.02.1983), page 2, lower left column, line 4 to page 3, upper right column, line 15; fig. 3 to 4 (Family: none)	1,6-7,11 2-5,8-10,12, 14-31,33-36 13,32
Y	JP 10-125151 A (Sumitomo Wiring Systems, Ltd.), 15 May 1998 (15.05.1998), paragraph [0046]; fig. 17 (Family: none)	2-4,10, 17-26,28
Y	JP 2012-224714 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 15 November 2012 (15.11.2012), paragraphs [0032] to [0034] (Family: none)	5,15,25, 27-31,33-36

☒ 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
01 November 2017 (01.11.17)	14 November 2017 (14.11.17)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/037953

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2007-26909 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 01 February 2007 (01.02.2007), paragraph [0021]; fig. 4 (Family: none)	8-9,22-23
Y	JP 3-283208 A (Tatsuta Electric Wire & Cable Co., Ltd.), 13 December 1991 (13.12.1991), page 2, lower right column, lines 12 to 15; fig. 2 (Family: none)	12,14,30-31, 33
Y	JP 2005-123116 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 12 May 2005 (12.05.2005), paragraphs [0012] to [0015]; fig. 1 (Family: none)	16,26,36
Y	JP 2013-4399 A (Hitachi Magnet Wire Corp.), 07 January 2013 (07.01.2013), paragraphs [0022], [0027]; fig. 1 to 2 (Family: none)	34

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１７／０３７９５３

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01B13/16(2006.01)i, H01B13/00(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.　H01B13/16, H01B13/00

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	１９７１－２０１７年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１７年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１７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	JP 58-26416 A (昭和電線電纜株式会社) 1983.02.16, 第2頁左下欄第4行-第3頁右上欄第15行, 図3-4 (ファミリーなし)	1,6-7,11 2-5,8-10,12, 14-31,33-36
A		13,32
Y	JP 10-125151 A (住友電装株式会社) 1998.05.15, 段落[0046], 図17 (ファミリーなし)	2-4,10, 17-26,28

☑　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
０１．１１．２０１７	１４．１１．２０１７

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）　５Ｇ　３７８０
神田　太郎
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３５２６

C（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	JP 2012-224714 A（住友電気工業株式会社）2012.11.15, 段落[0032]-[0034] （ファミリーなし）	5,15,25, 27-31,33-36
Y	JP 2007-26909 A（住友電気工業株式会社）2007.02.01, 段落[0021]，図4 （ファミリーなし）	8-9,22-23
Y	JP 3-283208 A（タツタ電線株式会社）1991.12.13, 第2頁右下欄第12-15行，図2 （ファミリーなし）	12,14,30-31, 33
Y	JP 2005-123116 A（住友電気工業株式会社）2005.05.12, 段落[0012]-[0015]，図1 （ファミリーなし）	16,26,36
Y	JP 2013-4399 A（日立マグネットワイヤ株式会社）2013.01.07, 段落[0022]，[0027]，図1-2 （ファミリーなし）	34