

(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
2024年8月15日(15.08.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/166320 A1

- (51) 国際特許分類:
C08L 23/12 (2006.01) H01B 9/00 (2006.01)
C08L 23/26 (2006.01) C08J 7/04 (2020.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/004433
- (22) 国際出願日: 2023年2月9日(09.02.2023)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 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: 小野田 貴亮 (ONODA Takaaki);
〒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).
山▲崎▼智 (YAMASAKI Satoshi); 〒5410041
大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33

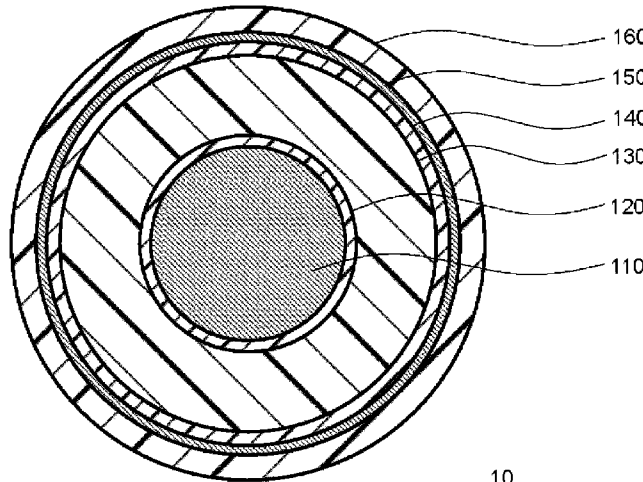
号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP). 山
崎 孝則 (YAMAZAKI Takanori); 〒5410041 大
阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
住友電気工業株式会社内 Osaka (JP). 境田
英彰 (SAKAIDA Hideaki); 〒5410041 大阪府大
阪市中央区北浜四丁目5番33号 住友電
気工業株式会社内 Osaka (JP).

(74) 代理人: 福岡 昌浩, 外 (FUKUOKA Masahiro et
al.); 〒1020072 東京都千代田区飯田橋四丁目
6番1号21東和ビル3階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, 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,

(54) Title: RESIN COMPOSITION, POWER CABLE, AND METHOD FOR PRODUCING POWER CABLE

(54) 発明の名称: 樹脂組成物、電力ケーブルおよび電力ケーブルの製造方法



10

(57) Abstract: A resin composition which contains a base polymer (A) having a propylene unit and a modified polymer (B) having a propylene unit and modified by an unsaturated carboxylic acid, wherein the total content of the unsaturated carboxylic acid derived from the modified polymer (B) is at least 0.0003%, and when the molecular weight distribution is measured, the proportion of the components which have a molecular weight less than or equal to 1×10^4 is less than 1.3% and the proportion of the components which have a molecular weight greater than or equal to 6×10^5 is at least 16%.



WO 2024/166320 A1

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, SC, 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))

(57) 要約：樹脂組成物は、プロピレン単位を有するベースポリマ (A) と、プロピレン単位を有し、不飽和カルボン酸により変性された変性ポリマ (B) と、を含有し、前記変性ポリマ (B) に由来する前記不飽和カルボン酸の総含有量が0.0003%以上であり、かつ、分子量分布を測定したときに、分子量が 1×10^4 以下の成分の割合が1.3%未満であり、分子量が 6×10^5 以上の成分の割合が16%以上である。

明 細 書

発明の名称：

樹脂組成物、電力ケーブルおよび電力ケーブルの製造方法

技術分野

[0001] 本開示は、樹脂組成物、電力ケーブルおよび電力ケーブルの製造方法に関する。

背景技術

[0002] 近年では、直流送電用途において、固体絶縁電力ケーブル（以下、「電力ケーブル」と略す）が開発されている。この電力ケーブルにおいては、絶縁層を構成する成分として、架橋ポリエチレンが広く用いられている（例えば、特許文献1）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開平11-086634号公報

発明の概要

[0004] 本開示の一態様によれば、
プロピレン単位を有するベースポリマ（A）と、
プロピレン単位を有し、不飽和カルボン酸により変性された変性ポリマ（B）と、を含有し、
前記変性ポリマ（B）に由来する前記不飽和カルボン酸の総含有量が0.0003%以上であり、かつ、
分子量分布を測定したときに、分子量が 1×10^4 以下の成分の割合が1.3%未満であり、分子量が 6×10^5 以上の成分の割合が16%以上である、樹脂組成物が提供される。

[0005] 本開示の他の態様によれば、
導体と、
前記導体の周囲に被覆され、樹脂組成物から形成される絶縁層と、

を備え、
前記樹脂組成物は、
プロピレン単位を有するベースポリマ（A）と、
プロピレン単位を有し、不飽和カルボン酸により変性された変性ポリマ（B）と、を含有し、
前記樹脂組成物に含まれる、前記変性ポリマ（B）に由来する前記不飽和カルボン酸の総含有量が0.0003%以上であり、かつ、
前記樹脂組成物の分子量分布を測定したときに、分子量が 1×10^4 以下の成分の割合が1.3%未満であり、分子量が 6×10^5 以上の成分の割合が16%以上である、
電力ケーブルが提供される。

図面の簡単な説明

- [0006] [図1]図1は、本開示の一実施形態に係る電力ケーブルの軸方向に直交する模式的断面図である。
[図2]図2は、本開示の一実施形態に係る電力ケーブルの製造方法で用いる押出機の概略構成図である。
[図3]図3は、スクリュフライトの形状を説明するための概略図である。
[図4]図4は、滞留抑制部材を説明するための概略図である。
[図5]図5は、本開示の一実施形態に係る電力ケーブルの製造方法を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

- [0007] [発明が解決しようとする課題]

経年劣化した架橋ポリエチレンでは、リサイクルできず、焼却するしかなかった。このため、環境への影響が懸念されていた。

- [0008] そこで、近年では、絶縁層を構成する樹脂成分として、プロピレン単位を有するポリマ成分、例えばポリプロピレンが注目されている。ポリプロピレンによれば、非架橋であっても、高い絶縁性を実現することができる。すなわち、絶縁性とリサイクル性とを両立することができる。

- [0009] 一方、プロピレン単位を有するポリマ成分では、絶縁層において安定して絶縁性を得られないことがあった。
- [0010] 本開示の目的は、電力ケーブルにおいて安定して絶縁性を得る技術を提供することである。
- [0011] [発明の効果]
本開示によれば、電力ケーブルにおいて安定して絶縁性を得ることができる。
- [0012] [本開示の実施形態の説明]
＜発明者等の得た知見＞
まず、発明者等の得た知見について概略を説明する。
- [0013] 電力ケーブルにおいて、プロピレン単位を有するポリマ成分で絶縁層を構成する場合、例えば、高電圧印加時に絶縁層内に空間電荷が生成し、絶縁層の絶縁性が低下することがある。この傾向は高温環境下でより顕著となる。なお、ここでいう絶縁性とは、絶縁層についての体積抵抗率、直流破壊電界強度および空間電荷特性などを意味する。
- [0014] 絶縁層の絶縁性を向上させるために、極性基を有する変性ポリマを配合する方法が検討されている。この変性ポリマとしては、例えば、プロピレンを不飽和カルボン酸で変性した変性プロピレンなどがある。
- [0015] ただし、変性ポリマを添加するだけでは、樹脂組成物や絶縁層の絶縁性が安定しないことが確認された。この点についてさらに検討を行ったところ、絶縁性が安定しない場合では、樹脂組成物における高分子量成分の割合が低く、また低分子量成分の割合が多くなる傾向にあることが確認された。
- [0016] 高分子量成分は絶縁性を高く維持するのに寄与する一方、低分子量成分は絶縁性を低下させるおそれがある。低分子量成分は、樹脂組成物中で局所的に空間電荷の蓄積を引き起こし、特に高温環境下では樹脂組成物中を移動し、蓄積をより引き起こすものと考えられる。そのため、高分子量成分や低分子量成分の割合が変動することで、樹脂組成物に変性ポリマを添加しても、変性ポリマによる空間電荷トラップ効果を得られにくくなることがある。こ

の結果、絶縁層では、高い絶縁性を安定して得られないことがある。

[0017] 高分子量成分や低分子量成分の割合は、それぞれ所定の分子量分布を有するポリマ成分や変性ポリマの種類や添加比率に応じて決定される。しかし、材料選択の段階で決定されるはずの各分子量成分の割合が、押出後に変動する場合があることが確認された。

[0018] この点についてさらに検討したところ、樹脂組成物が押出時に加熱されることで、ポリマ成分等が熱分解し、低分子量化することが分かった。この熱分解の結果、高分子量成分の割合が低くなり、低分子量成分の割合が多くなり、それぞれの割合が本来の値から変動してしまう。

[0019] しかも、この割合の変動は、押出の初期段階では大きくないが、押出が長時間経過した段階ではより顕著になることが分かった。つまり、押出を長時間にわたって行い、電力ケーブルを長尺に製造する場合ほど、分子量成分の割合が変動しやすく、高い絶縁性を安定して得られにくくなる。

[0020] そこで、本発明者等は、樹脂組成物の加熱分解を抑制する方法について検討を行った。その結果、押出機内を不活性ガス雰囲気調整しつつ押出を行うことで、樹脂組成物の加熱分解を抑制できることを見出した。また、樹脂組成物が押出機内に滞留することで加熱時間が長くなると、加熱分解が促進されやすくなる。このことから、押出機のスクリュヤや押出口を、樹脂組成物が滞留しにくいように構成することで、樹脂組成物の加熱分解をより抑制できることを見出した。そして、押出した樹脂組成物において、樹脂組成物におけるベース樹脂に対して、分子量が 6×10^5 以上である高分子量成分の割合を16%以上、分子量が 1×10^4 以下である低分子量成分の割合を1.3%未満に制御することにより、高い絶縁性を安定して発現できることを見出した。

[0021] その一方、不飽和カルボン酸で変性された変性ポリマによる特性を得る観点からは、ベース樹脂に含まれる不飽和カルボン酸単位の総含有量が0.0003%以上となるように、使用する変性ポリマの種類や配合量を調整するとよいことを見出した。

[0022] 本開示は、発明者等が見出した上述の知見に基づくものである。

[0023] <本開示の実施態様>

次に、本開示の実施態様を列記して説明する。

[0024] [1] 本開示の一態様に係る樹脂組成物は、

プロピレン単位を有するベースポリマ（A）と、

プロピレン単位を有し、不飽和カルボン酸により変性された変性ポリマ（B）と、を含有し、

前記変性ポリマ（B）に由来する前記不飽和カルボン酸の総含有量が0.0003%以上であり、かつ、

分子量分布を測定したときに、分子量が 1×10^4 以下の成分の割合が1.3%未満であり、分子量が 6×10^5 以上の成分の割合が16%以上である、樹脂組成物である。

この構成によれば、高い絶縁性を安定して得ることができる。

[0025] [2] 本開示の他の態様に係る電力ケーブルは、

導体と、

前記導体の周囲に被覆され、樹脂組成物から形成される絶縁層と、

を備え、

前記樹脂組成物は、

プロピレン単位を有するベースポリマ（A）と、

プロピレン単位を有し、不飽和カルボン酸により変性された変性ポリマ（B）と、を含有し、

前記樹脂組成物に含まれる、前記変性ポリマ（B）に由来する前記不飽和カルボン酸の総含有量が0.0003%以上であり、かつ、

前記樹脂組成物の分子量分布を測定したときに、分子量が 1×10^4 以下の成分の割合が1.3%未満であり、分子量が 6×10^5 以上の成分の割合が16%以上である、

電力ケーブルである。

この構成によれば、高温環境下でも高耐圧を実現でき、安定的な直流送電

が可能となる。

[0026] [3] 上記 [2] に記載の電力ケーブルにおいて、

前記樹脂組成物は、前記ベースポリマ (A) と前記変性ポリマ (B) との合計の含有量を 100 質量部としたとき、前記ベースポリマ (A) を 90 質量部以上 99 質量部以下、前記変性ポリマ (B) を 1 質量部以上 10 質量部以下、含む。

この構成によれば、高い絶縁性を安定して得ることができる。

[0027] [4] 上記 [2] に記載の電力ケーブルにおいて、

前記樹脂組成物は、熱可塑性エラストマ (C) をさらに含有し、前記ベースポリマ (A) と前記変性ポリマ (B) と前記熱可塑性エラストマ (C) との合計の含有量を 100 質量部としたとき、前記ベースポリマ (A) を 55 質量部以上 90 質量部以下、前記変性ポリマ (B) を 1 質量部以上 10 質量部以下、前記熱可塑性エラストマ (C) を 10 質量部以上 45 質量部以下、含む。

この構成によれば、絶縁層の柔軟性を向上させつつ、高い絶縁性を安定して得ることができる。

[0028] [5] 上記 [4] に記載の電力ケーブルにおいて、

前記熱可塑性エラストマ (C) は、スチレン単位を含むスチレン系エラストマである。

この構成によれば、絶縁層においてより高い絶縁性を安定して得ることができる。

[0029] [6] 上記 [2] から [5] のいずれか 1 つに記載の電力ケーブルにおいて、

、

前記変性ポリマ (B) の数平均分子量が 20,000 以上である、

この構成によれば、樹脂組成物に含まれる低分子量成分をより少なくすることができる。

[0030] [7] 上記 [2] から [6] のいずれか 1 つに記載の電力ケーブルにおいて、

、

前記ベースポリマ（A）の数平均分子量が80,000以上である。

この構成によれば、樹脂組成物に含まれる高分子量成分の割合を高く維持しつつ、低分子量成分の割合をより低くすることができる。

[0031] [8] 本開示の他の態様に係る電力ケーブルの製造方法は、

導体と、前記導体の周囲に被覆され、樹脂組成物から形成される絶縁層と、を備える電力ケーブルの製造方法であって、

前記樹脂組成物を調製する調製工程と、

前記樹脂組成物を前記導体の周囲を被覆するように押出し、前記絶縁層を形成する絶縁層形成工程と、を有し、

前記調製工程では、プロピレン単位を有するベースポリマ（A）と、プロピレン単位を有し、不飽和カルボン酸により変性された変性ポリマ（B）とを、前記樹脂組成物において、前記変性ポリマ（B）に由来する前記不飽和カルボン酸の総含有量が0.0003%以上となるように添加し、不活性ガス雰囲気加熱混合する、電力ケーブルの製造方法。

この構成によれば、高い絶縁性を安定して発現する電力ケーブルを製造することができる。

[0032] [9] 上記[8]に記載の電力ケーブルの製造方法において、

前記調製工程では、筒状のシリンダと、前記シリンダの第1方向から挿入され、回転自在に配置されるスクリュと、前記シリンダの第2方向に取り付けられ、前記樹脂組成物を排出する孔部が設けられる排出部と、前記シリンダ内を不活性ガス雰囲気に調整する雰囲気調整部と、を備える押出機を用いて、前記樹脂組成物を調製する。

この構成によれば、高い絶縁性をより安定して得ることができる。

[0033] [本開示の実施形態の詳細]

次に、本開示の一実施形態を、以下に図面を参照しつつ説明する。なお、本発明はこれらの例示に限定されるものではなく、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。

[0034] <本開示の一実施形態>

(1) 樹脂組成物

本実施形態の樹脂組成物は、例えば、後述する電力ケーブルの絶縁層を形成する材料として使用することができる。樹脂組成物は、プロピレン単位を有するベースポリマ(A)、プロピレン単位を有し、不飽和カルボン酸で変性された変性ポリマ(B)と、必要に応じて、熱可塑性エラストマ(C)と、その他の添加剤を含む。以下、各成分について詳述する。

[0035] (ベースポリマ(A))

ベースポリマ(A)は、樹脂組成物において主成分を構成する樹脂材料であり、プロピレン単位を有するプロピレン系樹脂である。このベースポリマ(A)としては、例えば、プロピレン単独重合体(以下、ホモPPともいう)、およびプロピレンランダム重合体(以下、ランダムPPともいう)などが挙げられる。ホモPPはプロピレン単位を含み、ランダムPPはプロピレン単位とエチレン単位とを有する。ランダムPPにおけるエチレン単位の含有量は、例えば、0.5質量%以上15質量%以下であるとよい。エチレン単位の含有量を0.5質量%以上とすることで、球晶成長(粗大結晶の生成)を抑制することができ、絶縁性を高く維持することができる。一方で、エチレン単位の含有量を15質量%以下とすることで、融点の低下を抑制し、非架橋または微架橋での使用を安定的に実現することができる。

[0036] 絶縁層においてより高い絶縁性を得る観点からは、ベースポリマ(A)は、ランダムPPであるとよい。ホモPPは、ランダムPPと比較して結晶量が多く、高い絶縁性を得られるものの、絶縁層において結晶中や結晶間で割れなどを引き起こすため、本来有する絶縁性を得られないことがある。これに対して、ランダムPPは、エチレン単位を含むため、結晶量が低くなるものの、絶縁層において粗大結晶化による割れが生じにくく、ホモPPと比較して高い絶縁性を得ることができる。

[0037] なお、プロピレン系樹脂の立体規則性としてはアイソタクチック、シンジ

オタクチックおよびアタクチックなどが挙げられる。立体規則性は特に限定されないが、アイソタクチックであるとよい。立体規則性がアイソタクチックであることにより、ベースポリマ（A）と変性ポリマ（B）とを混合した組成物において、融点の低下を抑制することができる。その結果、非架橋または微架橋での使用を安定的に実現することができる。

[0038] ベースポリマ（A）の数平均分子量は、特に限定されないが、80,000以上であるとよく、80,000以上300,000以下であってもよい。このような数平均分子量を有するベースポリマ（A）によれば、分子量が 1×10^4 以下である低分子量成分の比率が小さく、樹脂組成物に含まれる高分子量成分の割合を大きく、かつ低分子量成分の割合を小さく調整することができる。

[0039] なお、数平均分子量は、ベースポリマ（A）について、ゲル浸透クロマトグラフィ（GPC：Gel Permeation Chromatography）により、ポリスチレン（PS）を標準試料として作成された検量線に基づいて分子量分布を測定し、この分子量分布から算出される。詳細は実施例で後述する。

[0040] ベースポリマ（A）のメルトフローレート（MFR）は、後述するように、変性ポリマ（B）や熱可塑性エラストマ（C）との相溶性の観点から0.1g/10min以上5.0g/10min以下であるとよく、0.1g/10min以上2.0g/10min以下であってもよい。このようなMFRとすることにより、樹脂組成物における相構造を、後述するような相溶した構造もしくは海島構造に形成することができる。なお、ここでMFRとは、JIS K7210に準拠し、温度190℃、荷重2.16kgにて測定される値である。

[0041] また、ベースポリマ（A）の融点は、特に限定されないが、融点は130℃以上165℃以下であるとよい。このような融点を有するベースポリマ（A）によれば、変性ポリマ（B）と混合したときに、後述する相構造を形成しやすい。

[0042] (変性ポリマ (B))

変性ポリマ (B) は、プロピレン単位を有し、極性基を有する不飽和カルボン酸で変性された樹脂である。変性ポリマ (B) は、プロピレン単位を有することから、ベースポリマ (A) と混合したときの相溶性に優れる。また、変性ポリマ (B) は、ベースポリマ (A) と混合することで樹脂組成物に極性基を導入することができる。極性基によれば、樹脂組成物から形成される絶縁層において、空間電荷をトラップさせることができる。つまり、絶縁層において空間電荷の蓄積量を低減することができる。この結果、絶縁層において体積抵抗率を向上させ、高い絶縁性を安定して確保することができる。

[0043] 変性ポリマ (B) は、具体的には、ポリプロピレンが不飽和カルボン酸で変性された不飽和カルボン酸変性プロピレン (以下、単に変性 PP ともいう) である。不飽和カルボン酸としては、例えば、アクリル酸、メタクリル酸、クロトン酸、マレイン酸、ケイヒ酸、イタコン酸、シトラコン酸、フマル酸の他に、無水マレイン酸、無水イタコン酸、無水シトラコン酸などの不飽和カルボン酸無水物が挙げられる。これらの中でも無水マレイン酸がよい。無水マレイン酸によれば、分子量当たりの極性基の数が多いので、少量でもポリプロピレンを変性することができるためである。

[0044] 変性ポリマ (B) において、ポリプロピレンに対して導入される不飽和カルボン酸の割合 (変性量) は、特に限定されるものではないが、例えば 0.1% 以上 10% 以下である。ポリプロピレンにおける不飽和カルボン酸の変性量を 0.1% 以上とすることにより、樹脂組成物において不飽和カルボン酸の総含有量を 0.0003% 以上に調整しやすく、空間電荷の蓄積を抑制することができる。一方、ポリプロピレンに対する不飽和カルボン酸の変性量を 10% 以下とすることにより、ベースポリマ (A) との相溶性を高めることができる。なお、変性量とは、変性ポリマ (B) における不飽和カルボン酸の共重合比率を示す。

[0045] 変性ポリマ (B) の数平均分子量は、特に限定されないが、20,000

以上であるとよく、20,000以上300,000以下であってもよい。このような数平均分子量を有する変性ポリマ（B）によれば、分子量が 1×10^4 以下である低分子量成分の比率が小さく、樹脂組成物に含まれる低分子量成分の割合を低く抑えることができる。

[0046] 変性ポリマ（B）のMFRは、ベースポリマ（A）との相溶性の観点から0.1g/10min以上500g/10min以下であるとよく、1g/10min以上300g/10min以下であってもよい。このようなMFRとすることにより、樹脂組成物において後述する相構造を形成しやすくなる。

[0047] また、変性ポリマ（B）の融点は、特に限定されないが、融点は130℃以上165℃以下であるとよい。このような融点を有する変性ポリマ（B）によれば、ベースポリマ（A）と混合したときに、後述する相構造を形成しやすい。

[0048] （熱可塑性エラストマ（C））

本実施形態の樹脂組成物は、上述のベースポリマ（A）および変性ポリマ（B）とともに、熱可塑性エラストマ（C）を含んでもよい。熱可塑性エラストマ（C）は、プロピレン単位を有するベースポリマ（A）と比較して低い結晶性を有しており、ベースポリマ（A）の結晶成長を制御し、樹脂組成物や絶縁層に柔軟性を付与することができる。熱可塑性エラストマ（C）としては、例えば、アミド系、エステル系、オレフィン系、スチレン系、ウレタン系、塩ビ系、フッ素系など公知の成分を用いることができる。この中でも、スチレン系であるとよい。スチレン系エラストマによれば、スチレン単位を有しており、芳香環により電子をトラップして安定的な共鳴構造を形成できるので、絶縁層の絶縁性をより向上させることができる。また、ベースポリマ（A）や変性ポリマ（B）と混合したときに、後述する相構造を形成しやすく、樹脂組成物などの柔軟性をより向上させることができる。

[0049] 具体的には、スチレン系エラストマは、例えば、ハードセグメントとしてのスチレン単位と、ソフトセグメントとして、エチレン、プロピレン、ブチ

レンおよびイソプレンなどのうち少なくとも1つのモノマ単位と、を含む共重合体である。

[0050] スチレン系エラストマとしては、例えば、スチレンブタジエンスチレンブロック共重合体（SBS）、水添スチレンブタジエンスチレンブロック共重合体、スチレンーエチレンーエチレンープロピレンースチレンブロック共重合体（SEEPS）、スチレンーエチレンープロピレンースチレンブロック共重合体（SEPS）、スチレンイソプレンスチレン共重合体（SIS）、水添スチレンイソプレンスチレン共重合体、水添スチレンブタジエンラバー、水添スチレンイソプレンラバー、スチレンエチレンブチレンオレフィン結晶ブロック共重合体などが挙げられる。これらのうち2種類以上を組み合わせ用いてもよい。

[0051] なお、ここでいう「水添」とは、二重結合に水素を添加したことを意味する。例えば、「水添スチレンブタジエンスチレンブロック共重合体」とは、スチレンブタジエンスチレンブロック共重合体の二重結合に水素を添加したポリマを意味する。なお、スチレンが有する芳香環の二重結合には水素が添加されていない。「水添スチレンブタジエンスチレンブロック共重合体」は、スチレンエチレンブチレンスチレンブロック共重合体（SEBS）と言い換えることができる。

[0052] スチレン系エラストマとしては、ベンゼン環を除く化学構造中に二重結合を含まない物がよい。二重結合を有する物を用いた場合、樹脂組成物の成形時などで樹脂成分が熱劣化することがあり、得られる絶縁層の特性を低下させることがある。この点、二重結合を含まない物によれば、熱劣化の耐性が高いので、絶縁層の特性をより高く維持することができる。

[0053] スチレン系エラストマにおけるスチレン単位の含有量は、特に限定されないが、ベースポリマ（A）の結晶成長の制御、および絶縁層の柔軟化という観点からは、5質量%以上50質量%以下であるとよい。また、スチレン単位の含有量が上記範囲内となることで、ソフトセグメントとして例えばエチレン単位などのモノマ単位を所定量確保できるので、スチレン系エラストマ

とベースポリマ（A）との相溶性を向上させることができる。これにより、絶縁層の絶縁性を安定して向上させることができる。

[0054] 熱可塑性エラストマ（C）の数平均分子量は、特に限定されないが、20,000以上であるとよく、20,000以上300,000以下であってもよい。このような数平均分子量を有する熱可塑性エラストマ（C）によれば、分子量が 1×10^4 以下である低分子量成分の比率が小さく、樹脂組成物に含まれる低分子量成分の割合を低く抑えることができる。

[0055] 熱可塑性エラストマ（C）のMFRは、ベースポリマ（A）との相溶性の観点から0.1g/10min以上5.0g/10min以下であるとよく、0.1g/10min以上2.0g/10min以下であってもよい。このようなMFRとすることにより、樹脂組成物において上述した相構造を形成しやすくできる。

[0056] 熱可塑性エラストマ（C）は、融点を持たないか、持つとしても、融点が165℃未満であるとよい。このような融点を有する熱可塑性エラストマ（C）によれば、ベースポリマ（A）と相溶させやすく、後述する相構造を形成しやすい。

[0057] （その他の添加剤）

樹脂組成物は、必要に応じて、その他の添加剤を含んでもよい。その他の添加剤としては、無機充填剤、酸化防止剤、架橋剤、滑剤および着色剤を含んでいてもよい。

[0058] 本実施形態では、変性ポリマ（B）による空間電荷のトラップ効果を樹脂組成物中で均一に得ることができるので、無機充填剤を添加せずとも、高い絶縁性を安定して得ることができる。後述するように、樹脂組成物の押出工程でのメッシュの目詰まりを抑制する観点からは、樹脂組成物は無機充填剤を含まないとよいが、無機充填剤は、メッシュの目詰まりを生じさせない程度の微量を添加してもよい。

[0059] 無機充填剤を添加する場合、無機充填剤における粒径、表面処理条件および含有量などを含む製造条件によっては、絶縁層の押出工程中に、無機充填

剤の凝集に起因して、メッシュが徐々に目詰まりしてしまうことがある。メッシュが目詰まりすると、押出工程中の樹脂圧力が上昇してしまうことがある。このため、絶縁層の絶縁性がケーブルの長さ方向にばらついたり、絶縁層自体の成形性が低下したりすることがある。そのため、無機充填剤の含有量は、メッシュの目詰まりが生じない程度とするとよい。

[0060] 具体的には、無機充填剤の含有量は、ベースポリマ（A）や変性ポリマ（B）、熱可塑性エラストマ（C）などの樹脂成分の合計の含有量を100質量部としたときに、例えば、1質量部未満とするとよい。なお、無機充填剤の含有量の下限値は、無機充填剤を添加できるのであれば、限定されるものではない。

[0061] 無機充填剤としては、例えば、酸化マグネシウム（MgO）、二酸化シリコン、酸化亜鉛、酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム、カーボンブラック、および、これらのうち2種以上を混合した混合物のうち少なくともいずれかが挙げられる。

[0062] 酸化マグネシウムを形成する方法としては、例えば、Mg蒸気と酸素とを接触させる気相法、または海水原料から形成する海水法が挙げられる。本実施形態での無機充填剤を形成する方法は、気相法または海水法のいずれの方法であってもよい。

[0063] 二酸化シリコンとしては、例えば、フュームドシリカ、コロイダルシリカ、沈降シリカ、爆燃法シリカのうち少なくともいずれかが挙げられる。これらのなかでも、二酸化シリコンとしてはフュームドシリカであるとよい。

[0064] また、無機充填剤の体積平均粒径（MV：Mean Volume Diameter）は、特に限定されるものではないが、例えば、1 μ m以下であるとよく、700nm以下でもよく、100nm以下であってもよい。なお、ここでいう「体積平均粒径（MV）」は、粒子の粒子径を d_i 、粒子の体積 V_i としたとき、以下の式で求められる。

$$MV = \sum (V_i d_i) / \sum V_i$$

なお、体積平均粒径の測定には、動的光散乱式粒子径・粒度分布測定装置

が用いられる。

[0065] なお、無機充填剤の体積平均粒径の下限値についても、特に限定されるものではない。ただし、無機充填剤を安定的に形成する観点では、無機充填剤の体積平均粒径は、例えば、1 nm以上であるとよく、5 nm以上であってもうよい。

[0066] また、無機充填剤のうち少なくとも一部は、シランカップリング剤により表面処理されていてもよい。無機充填剤とベースポリマ（A）などとの間の界面の密着性を向上させることができ、絶縁層130の機械特性や絶縁性を向上させることができる。

[0067] 酸化防止剤としては、例えばフェノール系や硫黄系、アミン系などの公知の酸化防止剤を用いることができる。酸化防止剤は、分子量が比較的低いので、樹脂組成物が高温環境下に曝された場合に移動しやすく、局所的な空間電荷の蓄積を引き起こすことがある。この点、酸化防止剤の移動を抑制する観点からは、酸化防止剤が立体障害の大きな化学構造を有するとよい。このような化学構造を有する酸化防止剤としては、フェノール系の中でも、ヒンダードフェノール系酸化防止剤であるとよい。また、酸化防止剤の移動を抑制する観点からは、酸化防止剤の分子量が大きいとよく、具体的には500以上であるとよい。なお、分子量の上限値は特に限定されない。

[0068] ヒンダードフェノール系酸化防止剤としては、例えば、2, 2, 6, 6-テトラ-*t*-ブチル-4, 4-ジヒドロキシビフェニル、N, N-(ヘキサ-1, 6-ジイル)ビス[3-(3, 5-ジ-*t*-ブチル-4-ヒドロキシフェニル)プロパンアミド]、2, 2-チオージエチレンビス[3-(3, 5-ジ-*t*-ブチル-4-ヒドロキシフェニル)プロピオナート]、エチレンビス(オキシエチレン)ビス[3-(5-*t*-ブチル-4-ヒドロキシ-*m*-トリル)プロピオネート]、ペンタエリスリチル-テトラキス[3-(3, 5-ジ-*t*-ブチル-4-ヒドロキシフェニル)プロピオナート]、4, 4'-チオビス(3-メチル-6-*t*-ブチルフェノール)、2, 2-メチレンビス(4-エチル-6-*t*-ブチルフェノール)、オクタデシル3

－（３，５－ジ－*t*－ブチル－４－ヒドロキシフェニル）プロピオネート、
２，４－ビス－（*n*－オクチルチオ）－６－（４－ヒドロキシ－３，５－ジ－
－*t*－ブチルアニリノ）－１，３，５－トリアジン、ジエチル [{ ３，５－
ビス（１，１－ジメチルエチル）－４－ヒドロキシフェニル } メチル] ホス
ホネート等が挙げられる。なお、これらのうち２種類以上を組み合わせ用
いてもよい。

[0069] 樹脂組成物が酸化防止剤を含む場合において、酸化防止剤の含有量は、限
定されるものでない。ただし、酸化防止剤の含有量は、樹脂組成物における
樹脂成分、ここではベースポリマ（Ａ）および変性ポリマ（Ｂ）の合計の含
有量を１００質量部としたときに、０．１質量部以上１．０質量部以下であ
るとよい。

[0070] また、樹脂組成物は、リサイクルの観点から、架橋せずに非架橋であると
よいが、架橋させるために架橋剤を含んでもよい。ただし、架橋させるとし
ても、ゲル分率（架橋度）が低くなるように架橋させるとよい。具体的には
、樹脂組成物における架橋剤の残渣が３００ppm未満となるような架橋度
で架橋させるとよい。なお、架橋剤としてジクミルパーオキサイドを使用し
た場合には、残渣は、例えば、クミルアルコール、 α －メチルスチレンなど
である。

[0071] また、樹脂組成物は、絶縁層１３０の押出工程において樹脂組成物の流動
性を向上させるために、滑剤を含んでもよい。滑剤としては、例えば、脂肪
酸金属塩または脂肪酸アミドなどが挙げられる。脂肪酸金属塩としては、例
えば、ステアリン酸マグネシウム、ステアリン酸亜鉛、ステアリン酸アルミ
ニウム、モンタン酸マグネシウム等が挙げられる。また、脂肪酸アミドとし
ては、例えば、オレイン酸アミドまたはステアリン酸アミドなどが挙げられ
る。なお、これらのうち２種類以上を組み合わせ用いてもよい。

[0072] （樹脂組成物における不飽和カルボン酸量）

樹脂組成物は上述の変性ポリマ（Ｂ）を含むことで、樹脂組成物には、変
性ポリマ（Ｂ）に由来する極性基としての不飽和カルボン酸が導入される。

樹脂組成物に含まれる不飽和カルボン酸の総含有量は、変性ポリマ（B）における不飽和カルボン酸の変性量や変性ポリマ（B）の含有量によって調整することができる。本実施形態では、樹脂組成物に含まれる不飽和カルボン酸の総含有量は、0.0003%以上であり、0.003%以上であるとよい。総含有量の上限は特に限定されず、樹脂組成物における低分子量成分の割合が所定範囲を満たすように適宜変更するとよい。一般的に、変性ポリマ（B）はベースポリマ（A）と比較して分子量が低いため、変性ポリマ（B）の含有量が多くなり、不飽和カルボン酸の総含有量が多くなるほど、低分子量成分の割合が高くなる。そのため、低分子量成分の割合が所定値を超えない範囲で、不飽和カルボン酸の総含有量を適宜調整するとよい。例えば、不飽和カルボン酸の総含有量の上限値、0.5%以下であるとよく、0.25%以下であってもよい。0.0003%以上とすることにより、樹脂組成物において空間電荷の蓄積を抑制することができる。一方、0.5%以下とすることにより、空間電荷の蓄積を抑制しながらも、ベースポリマ（A）について所定の含有量を確保することができ、樹脂組成物において高い絶縁破壊強度を維持することができる。なお、不飽和カルボン酸の総含有量は、実施例で詳述するが、 $^1\text{H-NMR}$ 測定で得られるスペクトルに基づき、ポリマ骨格に由来するピーク面積と不飽和カルボン酸に由来するピーク面積とから算出される値である。

[0073]（樹脂組成物の分子量分布）

樹脂組成物は、分子量分布を測定したときに、樹脂組成物に含まれるベースポリマ（A）および変性ポリマ（B）に由来する所定の幅の分子量分布を有する。熱可塑性エラストマ（C）を含む場合であれば、ベースポリマ（A）、変性ポリマ（B）および熱可塑性エラストマ（C）に由来する所定の幅の分子量分布を有する。本実施形態では、樹脂組成物の分子量分布において、分子量が 6×10^5 以上である高分子量成分の割合が16%以上、かつ、分子量が 1×10^4 以下である低分子量成分の割合が1.3%未満である。高分子量成分の割合は、19%以上であってもよく、20%以上であってもよい。

。低分子量成分の割合は、0.9%以下であってもよく、0.8%以下であってもよい。

[0074] 高分子量成分の割合は、樹脂組成物全体に占める高分子量成分の割合を示し、分子量分布において、分子量分布全体の面積に対する、分子量が 6×10^5 以上の領域の面積の比率である。低分子量成分の割合は、樹脂組成物全体に占める低分子量成分の割合を示し、分子量分布において、分子量分布全体の面積に対する、分子量が 1×10^4 以下の領域の面積の比率である。各分子量成分の割合は、ベースポリマ（A）と比較して分子量の低い変性ポリマ（B）や熱可塑性エラストマ（C）の含有量や、これらの数平均分子量により、調整することができる。なお、低分子量成分の割合について下限値は特に限定されないが、例えば0.0001%である。

[0075] （樹脂組成物の相構造）

樹脂組成物は、ベースポリマ（A）および変性ポリマ（B）、もしくはこれらポリマと熱可塑性エラストマ（C）が混合されることで、所定の相構造を有する。具体的には、ベースポリマ（A）および変性ポリマ（B）を含む2成分系では、これらが相溶した構造、もしくは、ベースポリマ（A）中に変性ポリマ（B）が微細に分散した海島構造が形成される。樹脂組成物において、空間電荷の蓄積を抑制し高い絶縁性を安定して得る観点からは、変性ポリマ（B）が微細に分散しているとよく、海島構造であれば、変性ポリマ（B）から形成される島相の径が $0.5 \mu\text{m}$ 未満であるとよい。もしくは、相構造が、各成分が相溶した構造であるとよい。一方、熱可塑性エラストマ（C）をさらに含む3成分系では、相構造は、上述した2成分系の相構造中に、熱可塑性エラストマ（C）が微細に分散した海島構造となる。なお、相溶とは、例えば相構造を透過型電子顕微鏡で観察したときに相分離が確認できず、各成分が均一に分散していることを示す。

[0076] 上述の相構造を形成する観点からは、樹脂組成物に含まれる各成分のMFRが近く、これらのMFRの乖離が小さいとよい。具体的には、樹脂組成物がベースポリマ（A）および変性ポリマ（B）を含む場合であれば、これら

のMFRの差が300g/10min以下であるとよい。また、樹脂組成物が熱可塑性エラストマ（C）をさらに含む場合であれば、各成分のうち、最も高い粘度と最も小さい粘度との差が300g/10min以下であるとよい。このようなMFRの差となるような成分の組み合わせによれば、混合の際に各成分を微細に分散させることができる。

[0077] （配合比）

樹脂組成物におけるベースポリマ（A）、変性ポリマ（B）および熱可塑性エラストマ（C）の配合比は、樹脂組成物における不飽和カルボン酸の総含有量を0.0003%以上、分子量分布において、分子量が 6×10^5 以上の高分子量成分の割合を16%以上、分子量が 1×10^4 以下の低分子量成分の割合を1.3%未満とできれば特に限定されない。使用する変性ポリマ（B）における不飽和カルボン酸の変性量、もしくは変性ポリマ（B）や熱可塑性エラストマ（C）の数平均分子量に応じて、各成分の含有量を調整するとよい。

[0078] 具体的には、樹脂組成物がベースポリマ（A）および変性ポリマ（B）を含む場合であれば、これらの合計の含有量を100質量部としたとき、ベースポリマ（A）の含有量が90質量部以上99質量部以下、変性ポリマ（B）の含有量が1質量部以上10質量部以下であるとよい。一方、樹脂組成物が熱可塑性エラストマ（C）をさらに含む場合であれば、これらの合計の含有量を100質量部としたとき、ベースポリマ（A）の含有量が55質量部以上90質量部以下、変性ポリマ（B）の含有量が1質量部以上10質量部以下、熱可塑性エラストマ（C）の含有量が10質量部以上45質量部以下であるとよい。このような含有量とすることにより、樹脂組成物における不飽和カルボン酸の総含有量や低分子量成分の割合を上述の範囲に調整しやすい。

[0079] （2）電力ケーブル

次に、図1を用い、本実施形態の電力ケーブルについて説明する。図1は、本実施形態に係る電力ケーブルの軸方向に直交する断面図である。

[0080] 本実施形態の電力ケーブル10は、いわゆる固体絶縁電力ケーブルとして構成されている。また、本実施形態の電力ケーブル10は、例えば、陸上（管路内）、水中または水底に布設されるよう構成されている。なお、電力ケーブル10は、例えば、直流に用いられる。

[0081] 具体的には、電力ケーブル10は、例えば、導体110と、内部半導電層120と、絶縁層130と、外部半導電層140と、遮蔽層150と、シース160と、を有している。

[0082] （導体（導電部））

導体110は、例えば、純銅、銅合金、アルミニウム、またはアルミニウム合金等を含む複数の導体芯線（導電芯線）を撚り合わせるにより構成されている。

[0083] （内部半導電層）

内部半導電層120は、導体110の外周を覆うように設けられている。また、内部半導電層120は、半導電性を有し、導体110の表面側における電界集中を抑制するよう構成されている。内部半導電層120は、例えば、エチレン-エチルアクリレート共重合体、エチレン-メチルアクリレート共重合体、エチレン-ブチルアクリレート共重合体、およびエチレン-酢酸ビニル共重合体等のエチレン系共重合体、熱可塑性エラストマ、上述の低結晶性樹脂などのうち少なくともいずれかと、導電性のカーボンブラックと、を含んでいる。

[0084] （絶縁層）

絶縁層130は、内部半導電層120の外周を覆うように設けられ、上述した樹脂組成物から形成されている。例えば、絶縁層130は樹脂組成物を押出して成形される。

[0085] （外部半導電層）

外部半導電層140は、絶縁層130の外周を覆うように設けられている。また、外部半導電層140は、半導電性を有し、絶縁層130と遮蔽層150との間における電界集中を抑制するよう構成されている。外部半導電層

140は、例えば、内部半導電層120と同様の材料により構成されている。

[0086] (遮蔽層)

遮蔽層150は、外部半導電層140の外周を覆うように設けられている。遮蔽層150は、例えば、銅テープを巻回することにより構成されるか、或いは、複数の軟銅線等を巻回したワイヤシールドとして構成されている。なお、遮蔽層150の内側や外側に、ゴム引き布等を素材としたテープが巻回されていてもよい。

[0087] (シース)

シース160は、遮蔽層150の外周を覆うように設けられている。シース160は、例えば、ポリ塩化ビニルまたはポリエチレンにより構成されている。

[0088] なお、本実施形態の電力ケーブル10は、水中ケーブルまたは水底ケーブルであれば、遮蔽層150よりも外側に、いわゆるアルミ被などの金属製の遮水層や、鉄線鎧装を有していてもよい。

[0089] 一方で、本実施形態の電力ケーブル10は、例えば、遮蔽層150よりも外側に遮水層を有していなくてもよい。つまり、本実施形態の電力ケーブル10は、非完全遮水構造により構成されていてもよい。

[0090] (具体的寸法等)

電力ケーブル10における具体的な各寸法としては、特に限定されるものではないが、例えば、導体110の直径は5mm以上60mm以下であり、内部半導電層120の厚さは0.5mm以上3mm以下であり、絶縁層130の厚さは3mm以上35mm以下であり、外部半導電層140の厚さは0.5mm以上3mm以下であり、遮蔽層150の厚さは0.1mm以上5mm以下であり、シース160の厚さは1mm以上である。本実施形態の電力ケーブル10に適用される直流電圧は、例えば20kV以上である。

[0091] (3) ケーブル諸特性

本実施形態では、上述したように、樹脂組成物が少なくともベースポリマ

(A) および変性ポリマ (B) を含み、樹脂組成物における不飽和カルボン酸の総含有量と、分子量分布における高分子量成分および低分子量成分の割合が所定の要件を満たすことで、絶縁層 130 において高い絶縁性を安定して得ることができる。

[0092] 具体的には、本実施形態の絶縁層 130 は、例えば、高温かつ高電界の条件下において測定した以下の絶縁性の要件を満たす。なお、当該測定は、例えば、絶縁層 130 の厚さ方向の中央部から採取したシートにより行われる。このときの絶縁層 130 のシートの厚さは、例えば、0.2 mm である。

[0093] 絶縁層 130 について、温度 90℃ および直流電界 40 kV/mm の条件下において測定した空間電荷蓄積量は、例えば、100% 以下であるとよく、25% 以下であってもよい。また、温度 90℃ および直流電界 80 kV/mm の条件下において測定した空間電荷蓄積量は、例えば 100% 以下であるとよく、30% 以下であってもよい。

[0094] ただし、空間電荷蓄積量は、電流積分電荷法により求められる。電流積分電荷法では、試料としてのシートと直列に接続した測定用コンデンサに電荷を蓄積させ、電流の積分値である電荷量を評価する。具体的には、温度 90℃ にて、40 kV/mm もしくは 80 kV/mm の直流電界を試料に連続印加し、300 秒経過後における電荷量 Q_{300} と、印加直後 (0 秒) における電荷量 Q_0 とに基づいて、下記式より空間電荷蓄積量を求める。

$$\text{空間電荷蓄積量} = (Q_{300} / Q_0 - 1) \times 100$$

[0095] また、温度 90℃ および直流電界 40 kV/mm の条件下、もしくは温度 90℃ および直流電界 80 kV/mm の条件下において測定した絶縁層 130 のシートの体積抵抗率は、例えば、 $1.0 \times 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上であるとよく、 $7.0 \times 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上であってもよい。

[0096] また、温度 90℃ の条件下において測定した絶縁層 130 のシートの直流破壊電界強度は、例えば、160 kV/mm 以上であるとよく、200 kV/mm 以上であってもよい。

[0097] (3) 押出機

続いて、本実施形態の電力ケーブルの製造方法に先立ち、電力ケーブルの製造に使用する押出機について図2を用いて説明する。図2は、本開示の一実施形態に係る電力ケーブルの製造方法で用いる押出機の概略構成図である。

[0098] 図2に示すように、押出機200は、樹脂組成物の材料が供給される筒状のシリンダ210と、シリンダ210内に材料を供給するためのホッパ220と、シリンダ210の第1方向（図2中の左側）から挿入され、回転自在に配置されるスクリュ230と、スクリュ230を回転させる回転駆動機構240と、シリンダ210の第2方向（図2中の右側）に取り付けられ、樹脂組成物を排出する孔部が設けられる排出部250と、シリンダ210内を不活性ガス雰囲気調整する雰囲気調整部260と、を備えて構成される。なお、以下では、第1方向を樹脂組成物の加熱混合において上流側、第2方向を下流側ともいう。

[0099] 筒状のシリンダ210は、材料を収容し混合する空間をその内部に有する。筒状のシリンダ210では、その内部空間に供給された各材料がスクリュ230により混合される。スクリュ230は、シリンダ210の第1方向の端部から挿入され、シリンダ210の軸方向の中心に配置される。スクリュ230は、回転駆動機構240に接続されて、回転可能に支持される。スクリュ230は、回転駆動機構240により回転され、各材料を混合しながら排出部250へ向かって押し出すように構成される。スクリュ230は、1軸でもよく、2軸でもよい。図2では、2軸のスクリュ230が紙面の奥方向に並行に配置され、その一方のスクリュ230が示されている。なお、回転駆動機構240としては、例えば公知の回転モータなどを用いることができる。

[0100] スクリュ230には、スクリュ本体部231の表面にスクリュフライト232がらせん状に配置される。スクリュフライト232の断面形状は特に限定されないが、図3に示すように、テーパ形状であるとよい。図3は、スクリュフライトの形状を説明するための概略図であり、スクリュ230の軸方

向に沿った断面図である。図3中、右側がスクリュ230の先端方向（シリンダ210の第2方向）であり、左側がスクリュ230の末端方向（シリンダ210の第1方向）である。スクリュフライト232が図3において破線で示すような矩形状を有する場合、樹脂組成物がスクリュフライト232の末端側に滞留しやすくなり、滞留した樹脂組成物が加熱分解することがある。そのため、樹脂組成物のスクリュ230の表面への滞留を抑制する観点からは、スクリュフライト232の断面形状は、図3に示すように、末端側の側面がテーパ形状であるとよい。言い換えると、スクリュフライト232の第1方向側の側面とスクリュ本体部231の表面とのなす角が鈍角であるとよい。なす角としては、例えば $120^{\circ} \sim 145^{\circ}$ とするとよい。

[0101] 排出部250は、シリンダ210の第2方向の端部に配置される。排出部250は、例えば厚さ方向に貫通する複数の孔部を有し、シリンダ210の内部で混合されて調製された樹脂組成物を外部に押し出すように構成される。排出部250としては、例えばブレーカープレートを用いることができる。なお、シリンダ210と排出部250との間には、樹脂組成物に含まれる異物を取り除く目的でメッシュなどを配置してもよい。

[0102] また図4に示すように、シリンダ210内の第2方向の端部に、排出部と接する位置に、滞留抑制部材270を配置してもよい。図4は、滞留抑制部材を説明するための概略図であり、シリンダ210の第2方向の端部の断面図である。図4に示すように、滞留抑制部材270は、樹脂組成物がシリンダ210内に滞留することを抑制し、排出部250からの押出を促すものである。滞留抑制部材270は、厚さ方向に貫通し、厚さ方向に向かって径が小さくなる複数のテーパ孔部271を有する。滞留抑制部材270は、テーパ孔部271の小径側が排出部250の孔部251と連通するように配置される。滞留抑制部材270によれば、排出部250の孔部251の縁やシリンダ210の内壁と排出部250との隅に樹脂組成物が滞留することを抑制することができる。滞留抑制部材270は、例えばブレーカープレートと同じ材質で構成されるとよい。

[0103] シリンダ210には、その内部を不活性ガス雰囲気調整する雰囲気調整部260が接続される。雰囲気調整部260は、シリンダ210の内部に不活性ガスを供給するように構成される。シリンダ210の内部には、ホッパ220からの材料の供給にともない空気が混入することがあるが、雰囲気調整部260によりシリンダ210の内部を不活性ガス雰囲気に調整することができる。これにより、混合する材料や得られる樹脂組成物が空気により酸化し熱分解することを抑制することができる。つまり、樹脂組成物において、高分子量成分の割合を高く維持しつつ、低分子量成分の割合の増加を抑制することができる。

[0104] 不活性ガスとしては、特に限定されないが、例えば窒素ガスやアルゴンガスなどを用いるとよい。

[0105] なお、押出機200は、シリンダ210の内部を加熱するための加熱部（図示略）などを備えてもよい。加熱部としては従来公知のものを用いることができる。

[0106] (4) 電力ケーブルの製造方法

次に、本実施形態の電力ケーブルの製造方法について図5を用いて説明する。図5は、本開示の一実施形態に係る電力ケーブルの製造方法を示すフローチャートである。以下、ステップを「S」と略す。

[0107] (S100：樹脂組成物調製工程)

まず、絶縁層130を形成するための樹脂組成物を調製する。

[0108] 本実施形態では、例えばプロピレン系樹脂であるベースポリマ(A)、変性ポリプロピレンである変性ポリマ(B)、そして、必要に応じて、熱可塑性エラストマ(C)やその他の添加剤(酸化防止剤など)と、を、図2に示す押出機200に供給する。そして、ホッパ220から供給した各材料をシリンダ210の内部で加熱しながら混合する。このとき、雰囲気調整部260によりシリンダ210の内部を不活性ガス雰囲気に調整している。そして、加熱混合により得られた樹脂組成物を排出部250から押し出し、造粒する。これにより、絶縁層130を構成することとなるペレット状の樹脂組成

物を得る。

[0109] 各成分の含有量は、変性ポリマ（B）における不飽和カルボン酸の変性量や数平均分子量、熱可塑性エラストマ（C）の数平均分子量に応じて、適宜調整するとよい。例えば、ベースポリマ（A）および変性ポリマ（B）を使用する場合であれば、ベースポリマ（A）を90質量部以上99質量部以下、変性ポリマ（B）を1質量部以上10質量部以下、添加するとよい。また例えば、さらに熱可塑性エラストマ（C）を使用する場合であれば、ベースポリマ（A）を55質量部以上90質量部以下、変性ポリマ（B）を1質量部以上10質量部以下、熱可塑性エラストマ（C）を10質量部以上45質量部以下、添加するとよい。

[0110] 樹脂組成物調製工程S100にて、不活性ガス雰囲気にて各成分を加熱混合し押し出すことにより、樹脂組成物の加熱にともなう高分子量成分や低分子量成分の割合の変動を抑制することができる。

[0111] （S200：導体準備工程）

一方で、複数の導体芯線を撚り合わせるにより形成された導体110を準備する。

[0112] （S300：ケーブルコア形成工程（押出工程、絶縁層形成工程））

樹脂組成物準備工程S100および導体準備工程S200が完了したら、上述の樹脂組成物を用い、導体110の外周を例えば3mm以上の厚さで被覆するように絶縁層130を形成する。

[0113] このとき、本実施形態では、例えば、3層同時押出機を用いて、内部半導電層120、絶縁層130および外部半導電層140を同時に形成する。

[0114] 具体的には、3層同時押出機のうち、内部半導電層120を形成する押出機Aに、例えば、内部半導電層用組成物を投入する。絶縁層130を形成する押出機Bとして、図2に示す押出機200に、上述したペレット状の樹脂組成物を投入する。このとき、押出機200のシリンダ210の内部を不活性ガス雰囲気に調整する。なお、押出機Bの設定温度は、例えば所望の融点よりも10℃以上80℃以下の温度だけ高い温度に設定する。線速および押

出圧力に基づいて、設定温度を適宜調節するとよい。外部半導電層140を形成する押出機Cに、押出機Aに投入した内部半導電層用樹脂組成物と同様の材料を含む外部半導電層用組成物を投入する。

[0115] 次に、押出機A～Cからのそれぞれの押出物をコモンヘッドに導き、導体110の外周に、内側から外側に向けて、内部半導電層120、絶縁層130および外部半導電層140を同時に押出す。これにより、ケーブルコアとなる押出材が形成される。

[0116] その後、押出材を、例えば、水により冷却する。

[0117] ケーブルコア形成工程S300にて、不活性ガス雰囲気にてペレット状の樹脂組成物を加熱しながら混合し、押出すことにより、加熱による高分子量成分や低分子量成分の割合の変動を抑制することができる。この結果、絶縁層130において高分子量成分の割合を高く維持しつつ、低分子量成分の割合を低く抑制することができる。しかも、押出を長時間にわたって連続的に行った場合であっても、その割合の変動を抑制することができる。

[0118] 以上のケーブルコア形成工程S300により、導体110、内部半導電層120、絶縁層130および外部半導電層140により構成されるケーブルコアが形成される。

[0119] (S400：遮蔽層形成工程)

ケーブルコアを形成したら、外部半導電層140の外側に、例えば銅テープを巻回することにより遮蔽層150を形成する。

[0120] (S500：シース形成工程)

遮蔽層150を形成したら、押出機に塩化ビニルを投入して押出すことにより、遮蔽層150の外周に、シース160を形成する。

[0121] 以上により、固体絶縁電力ケーブルとしての電力ケーブル10が製造される。

[0122] (4) 本実施形態に係る効果

本実施形態によれば、以下に示す1つ又は複数の効果を奏する。

[0123] (a) 本実施形態の樹脂組成物は、プロピレン単位を有するベースポリマ(

A) と、プロピレン単位を有し、不飽和カルボン酸により変性された変性ポリマ (B) と、を含有し、不飽和カルボン酸の総含有量が 0.0003% 以上である。変性ポリマ (B) によれば、極性を有する不飽和カルボン酸を樹脂組成物に導入することができる。そして、不飽和カルボン酸の総含有量を 0.0003% 以上とすることにより、樹脂組成物において空間電荷をトラップし、その蓄積を抑制することができる。しかも、樹脂組成物は、分子量分布を測定したときに、分子量が 1×10^4 以下の低分子量成分の割合が 1.3% 未満であり、分子量が 6×10^5 以上の高分子量成分の割合が 16% 以上となるように構成されている。つまり、絶縁性に寄与する高分子量成分の割合を高くする一方、樹脂組成物中を移動して局所的な空間電荷の蓄積を引き起こす低分子量成分の割合を低くしている。このような樹脂組成物によれば、高い絶縁性を実現するとともに、高温環境下でも、変性ポリマ (B) による空間電荷のトラップ効果を安定して発現させ、空間電荷の局所的な蓄積を抑制することができる。そのため、絶縁層 130 を上記樹脂組成物で形成することにより、高い絶縁性を安定して得ることができる。具体的には、絶縁層 130 を高温であっても高耐圧とすることが可能となる。つまり、本実施形態の電力ケーブル 10 により安定的な直流送電が可能となる。

[0124] (b) 樹脂組成物の調製の際、ベースポリマ (A)、変性ポリマ (B)、必要に応じて熱可塑性エラストマ (C) を押出機 200 のシリンダ 210 に供給し、不活性ガス雰囲気にて加熱混合している。酸素を含む雰囲気にて加熱混合を行う場合、各成分が加熱により分解することがあり、低分子量化が進むおそれがある。しかも、調製された樹脂組成物がシリンダ 210 の内部に滞留し、長時間にわたって加熱されることで、低分子量化がより進むおそれがある。この点、不活性ガス雰囲気にて混合を行うことにより、各成分の分解を抑制し、高分子量成分の割合の減少と低分子量成分の割合の増加とを抑制することができる。これにより、各分子量成分の割合を上記範囲内に調整しやすく、上述の効果 (a) をより確実に得ることができる。

[0125] (c) また樹脂組成物の調製の際、押出機 200 におけるスクリュ 230 の

スクリュフライト232を、第1方向側がテーパ形状となるように構成するとよい。スクリュフライト232が矩形状である場合、樹脂組成物がスクリュフライト232にせき止められ、シリンダ210の内部に滞留しやすくなる。この点、スクリュフライト232を第1方向側の側面がテーパ形状となるように構成することで、樹脂組成物の滞留を抑制し、長時間の加熱による高分子量成分の割合の低下と低分子量成分の割合の増加とを抑制することができる。これにより、上述の効果(a)をより確実に得ることができる。

[0126] (d) また樹脂組成物の調製の際、押出機200のシリンダ210と排出部250との間に、厚さ方向に貫通し、第1方向から第2方向に向かって径が小さくなる複数のテーパ孔部271を有する滞留抑制部材270を配置するとよい。樹脂組成物は、排出部250から押し出される際、排出部250の孔部251の縁でせき止められ、シリンダ210の内部に滞留することがある。この点、テーパ孔部271を有する滞留抑制部材270を配置することで、樹脂組成物をシリンダ210の内部に滞留させることなく、外部へと押出やすくなる。これにより、各分子量成分の割合の変動を抑制ことができ、上述の効果(a)をより確実に得ることができる。

[0127] (e) 樹脂組成物は、ベースポリマ(A)と変性ポリマ(B)の合計の含有量を100質量部としたときに、ベースポリマ(A)を90質量部以上99質量部以下、変性ポリマ(B)を1質量部以上10質量部以下、含むとよい。このような配合量とすることにより、不飽和カルボン酸の総含有量を上記範囲としながらも、低分子量成分の割合を低くすることができ、上述の効果(a)をより確実に得ることができる。

[0128] (f) 樹脂組成物は、熱可塑性エラストマ(C)をさらに含有し、ベースポリマ(A)、変性ポリマ(B)および熱可塑性エラストマ(C)の合計の含有量を100質量部としたときに、ベースポリマ(A)を55質量部以上90質量部以下、変性ポリマ(B)を1質量部以上10質量部以下、熱可塑性エラストマ(C)を10質量部以上45質量部以下、含むとよい。熱可塑性エラストマ(C)によれば、プロピレン単位を有するベースポリマ(A)の

過度な結晶成長を抑制することができ、樹脂組成物に柔軟性を付与することができる。また各成分の含有量を上記範囲とすることにより、熱可塑性エラストマ（C）による柔軟性の向上の効果を得ながらも、不飽和カルボン酸の総含有量と各分子量成分の割合とを所定範囲に調整して、上述の効果（a）をより確実に得ることができる。

[0129] （g）熱可塑性エラストマ（C）はスチレン系エラストマであるとよい。スチレン系エラストマによれば、芳香環により電子をトラップして安定的な共鳴構造を形成できるので、樹脂組成物の絶縁性をより向上させることができる。

[0130] （h）変性ポリマ（B）の数平均分子量は20,000以上であるとよい。また、ベースポリマ（A）の数平均分子量は80,000以上であるとよい。このようなベースポリマ（A）や変性ポリマ（B）によれば、樹脂組成物に含まれる低分子量成分の割合をより確実に低減して、空間電荷の蓄積をより抑制することができる。

[0131] （i）また、樹脂組成物の相構造は、ベースポリマ（A）および変性ポリマ（B）を含む2成分系では、これらが相溶した構造、もしくは、ベースポリマ（A）中に変性ポリマ（B）が微細に分散した海島構造を有し、海島構造であれば、変性ポリマ（B）から形成される島相の径が0.5 μm 未満であるとよい。また、相構造は、熱可塑性エラストマ（C）をさらに含む3成分系では、上述した2成分系の相構造中に、熱可塑性エラストマ（C）が微細に分散した海島構造を有するとよい。このような相構造によれば、各成分を樹脂組成物中に均一に分散させて、樹脂組成物中で空間電荷をより均一にトラップさせることができる。これにより、絶縁性をより安定して得ることができる。

[0132] （j）樹脂組成物は、無機充填剤を含まないとよい。ここで、無機充填剤を含まないとは、無機充填剤を意図的に添加しないことを示す。例えば無機充填剤の含有量が樹脂成分100質量部に対して1質量部未満であるとよい。これにより、樹脂組成物を押出する際にメッシュの目詰まりを抑制すること

ができる。その結果、樹脂組成物を押出して形成される絶縁層130において、その長さ方向に絶縁性がばらつくことを抑制することができる。また、絶縁層130自体の成形性の低下を抑制することができる。すなわち、長尺の電力ケーブル10を連続的に押出工程で製造するとき、長尺の電力ケーブル10全体として安定的な絶縁性を得ることができる。

[0133] (k) 樹脂組成物は、非架橋であるとよい。これにより、樹脂組成物をリサイクルすることが可能となる。

[0134] (l) 樹脂組成物は、劣化防止の観点から酸化防止剤をさらに含有するとよく、酸化防止剤としては、ヒンダードフェノール系酸化防止剤であるとよい。また、酸化防止剤の分子量は500以上であるとよい。ヒンダードフェノール系酸化防止剤によれば、その他の酸化防止剤と比べて立体障害が大きいいため、樹脂組成物中での移動を抑制することができる。また、その分子量を500以上とすることにより、樹脂組成物中での移動を抑制することができる。そのため、樹脂組成物が高温環境下に曝されたときに、酸化防止剤の移動にともなう、局所的な空間電荷の蓄積を抑制することができる。

[0135] <本開示の他の実施形態>

以上、本開示の実施形態について具体的に説明したが、本開示は上述の実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能である。

[0136] 上述の実施形態では、電力ケーブル10が遮水層を有していなくてもよい場合について説明したが、本開示はこの場合に限られない。電力ケーブル10は、簡易的な遮水層を有していてもよい。具体的には、簡易的な遮水層は、例えば、金属ラミネートテープからなる。金属ラミネートテープは、例えば、アルミまたは銅等からなる金属層と、金属層の片面または両面に設けられる接着層と、を有している。金属ラミネートテープは、例えば、ケーブルコアの外周（外部半導電層よりも外周）を囲むように縦添えにより巻き付けられる。なお、当該遮水層は、遮蔽層よりも外側に設けられていてもよいし、遮蔽層を兼ねていてもよい。このような構成により、電力ケーブル10の

コストを削減することができる。

[0137] 上述の実施形態では、電力ケーブル10が陸上、水中または水底に布設されるよう構成される場合について説明したが、本開示はこの場合に限られない。例えば、電力ケーブル10は、いわゆる架空電線（架空絶縁電線）として構成されていてもよい。

[0138] 上述の実施形態では、ケーブルコア形成工程S300において3層同時押出を行ったが、1層ずつ押出してもよい。

実施例

[0139] 次に、本開示に係る実施例を説明する。これらの実施例は本開示の一例であって、本開示はこれらの実施例により限定されない。

[0140] (1) 材料について

樹脂組成物の調製に用いた材料を以下に列挙する。

[0141] ベースポリマ(A)としてランダムポリプロピレン(PP1)を、変性ポリマ(B)としてマレイン酸変性ポリプロピレン(MAH-PP1)～(MAH-PP3)を、熱可塑性エラストマ(C)として水添スチレン系熱可塑性エラストマ(SEBS1)を、それぞれ準備した。各成分の物性値は以下のとおりである。

・PP1：数平均分子量140,000、MFR0.5g/10min、融点145℃

・MAH-PP1：数平均分子量58,000、マレイン酸変性量0.3質量%、MFR6g/10min、融点160℃

・MAH-PP2：数平均分子量41,000、マレイン酸変性量0.8質量%、MFR110g/10min、融点158℃

・MAH-PP3：数平均分子量15,000、マレイン酸変性量1.8質量%、MFR900g/10min、融点145℃

・SEBS1：数平均分子量150,000、スチレン量15質量%、MFR0.2g/10min、融点なし

[0142] また、その他の添加剤として、酸化防止剤としてヒンダードフェノール系

である、ペンタエリスリチル-テトラキス [3-(3,5-ジ-tert-ブチル-4-ヒドロキシフェニル)プロピオナート] (分子量1178)を準備した。

[0143] (2) 樹脂組成物の調製

上記各材料を下記表1に示す配合量で押出機に供給し、押出機により加熱混合し造粒することにより、サンプル1~6を作製した。樹脂組成物の調製に際し、押出条件を以下のように変更した。サンプル1では、上述した押出機を用いて、シリンダの内部を窒素ガスでパージするとともに、スクリュフライトの第1方向側の側面がテーパ形状を有するスクリュを採用し、押出を行った。サンプル2では、スクリュフライトの断面形状が矩形状であるスクリュを採用した以外は、サンプル1と同様に押出を行った。サンプル3では、シリンダの内部を窒素ガスでパージしない以外は、サンプル1と同様に押出を行った。サンプル4では、窒素ガスでパージせず、またスクリュフライトを矩形状とした以外は、サンプル1と同様に押出を行った。サンプル5では、使用する材料や配合量を変更した以外はサンプル4と同様に押出を行った。サンプル6では、シリンダの内部を窒素ガスでパージするとともに、スクリュフライトの第1方向側の側面がテーパ形状を有するスクリュを採用した以外は、サンプル5と同様に押出を行った。なお、各サンプルでは、酸化防止剤の配合量を0.1質量部とした。

[0144]

[表1]

	樹脂組成	スチレン換算 数平均分子量Mn	MAH変性量 [wt%]	サンプル						
				1-A	2-A	3-A	4-A	5-A	6-A	
樹脂組成	ベースポリマ(A)	PP1	-	65	65	65	65	65	75	75
	変性ポリマ(B)	MAH-PP1	0.3	5	5	5	-	-	-	-
		MAH-PP2	0.8	-	-	-	5	-	-	-
		MAH-PP3	1.8	-	-	-	-	-	5	5
押出条件	熱可塑性エラストマ(C)	SEBS	-	30	30	30	30	30	20	20
		窒素バーゾの有無		○	○	x	x	x	x	○
		スクリュのラバー面の有無		○	x	○	x	x	x	○
		不飽和カルボン酸の総含有量 [%]		0.015	0.015	0.015	0.04	0.09	0.09	0.09
樹脂組成物		高分子量成分の割合 [%]		21.4	19.5	16.2	12.9	9.3	11.4	11.4
		低分子量成分の割合 [%]		0.75	0.83	0.96	1.82	2.17	1.87	1.87
評価		空間電荷蓄積量 [%] (40 kV/mm, 90°C)		10	13	24	46	140	78	78
		判定		A	A	A	B	C	B	B
		体積抵抗率 [$\Omega \cdot \text{cm}$] (40 kV/mm, 90°C)		2.2×10^{15}	9.7×10^{15}	5.1×10^{15}	2.1×10^{15}	7.1×10^{14}	1.3×10^{15}	1.3×10^{15}
		判定		A	A	B	B	C	B	B
		空間電荷蓄積量 [%] (80 kV/mm, 90°C)		28	35	70	120	350	256	256
		判定		A	B	B	C	C	C	C
		体積抵抗率 [$\Omega \cdot \text{cm}$] (80 kV/mm, 90°C)		9.1×10^{15}	3.3×10^{15}	1.4×10^{15}	5.6×10^{14}	1.2×10^{14}	6.4×10^{14}	6.4×10^{14}
	判定		A	B	B	C	C	C	C	
	直流破壊強度 [kV/mm] (90°C)		280	265	250	180	155	168	168	
	判定		A	A	A	B	C	C	B	

[0145] (3) 電力ケーブルの作製

次に、直径が14mmの希薄銅合金製の導体芯線を撚り合わせるにより形成された導体を準備した。導体を準備したら、エチレン-エチルアクリレート共重合体を含む内部半導電層用樹脂組成物と、上述(2)で調製した絶縁層用の樹脂組成物と、内部半導電層用樹脂組成物と同様の材料からなる外部半導電層樹脂組成物と、をそれぞれ押出機A~Cに投入した。押出機A~

Cからのそれぞれの押出物をコモンヘッドに導き、導体の外周に、内側から外側に向けて、内部半導電層、絶縁層および外部半導電層を同時に押出した。これにより、中心から外周に向けて、導体、内部半導電層、絶縁層および外部半導電層を有する電力ケーブルのサンプルを作製した。本実施例では、押出を連続して行い、240時間後に電力ケーブルから評価試料Aを切り出した。また比較のため、押し出し直後（0時間後）の電力ケーブルから評価試料Bを切り出した。なお、絶縁層用の樹脂組成物を押し出す際、表1に示す押出条件でそれぞれ押出を行った。

[0146] (4) 評価

作製した電力ケーブルから切り出した評価試料Aおよび評価試料Bについて、絶縁層を構成する樹脂組成物の分子量分布と不飽和カルボン酸（マレイン酸）の総含有量、空間電荷特性、体積抵抗率、直流破壊強度を評価した。各評価方法は以下のとおりである。

[0147] (分子量分布)

絶縁層を形成する樹脂組成物の分子量分布は、GPCにより下記条件下でPSを標準試料として作成された検量線に基づいて、ベース樹脂の数平均分子量を測定した。本実施例では、得られた分子量分布に基づき、分子量分布全体の総面積に対する、分子量が 1×10^4 以下の領域の面積の比率を求め、分子量が 1×10^4 以下の低分子量成分の割合を求めた。また同様に、分子量分布全体の総面積に対する、分子量が 6×10^5 以上の領域の面積の比率を求め、分子量が 6×10^5 以上の高分子量成分の割合を求めた。

装置：東ソー製 HLC-8321GPC/HT

溶離液：1, 2, 4-トリクロロベンゼン

温度：140℃

濃度：1.0mg/mL

流速：1.0mL/min

なお、PSの検量線は、1000以上550万以下の分子量の範囲内の結果に基づいて作成した。

[0148] (不飽和カルボン酸の総含有量)

絶縁層を形成する樹脂組成物における不飽和カルボン酸（マレイン酸）の総含有量は、樹脂組成物に含まれる不飽和カルボン酸部位をメチルエステル化した後、 $^1\text{H-NMR}$ 測定を行い、得られたスペクトルから算出した。具体的には、得られるスペクトルにおいて、ポリマ骨格に由来するピークの面積 S_1 と、不飽和カルボン酸に由来するピークの面積 S_2 とを求め、 S_1 と S_2 との合計に対する S_2 の比率（ $S_2 / (S_1 + S_2)$ ）を、不飽和カルボン酸の総含有量とした。

[0149] (空間電荷特性)

絶縁層の空間電荷特性は、絶縁層の空間電荷蓄積量により評価した。空間電荷蓄積量は、電流積分電荷法により測定した。具体的には、まず、電力ケーブルの絶縁層からシート状の試料片を採取した。続いて、この試料片を測定用コンデンサに直列に接続した後、測定用コンデンサに電荷を蓄積させ、電流の積分値である電荷量を測定した。本実施例では、温度 90°C にて、 40 kV/mm または 80 kV/mm の直流電界を試料に連続印加し、 300 秒経過後における電荷量 Q_{300} と、印加直後（ 0 秒）における電荷量 Q_0 とに基づいて、下記式より、温度 90°C 、直流電界 40 kV/mm での空間電荷蓄積量と、温度 90°C 、直流電界 80 kV/mm での空間電荷蓄積量を求めた。当該空間電荷蓄積量が 30% 以下である場合をA（最良）とし、空間電荷蓄積量が 30% 超 100% 以下である場合をB（良好）とし、空間電荷蓄積量が 100% 超である場合をC（不良）として評価した。

$$\text{空間電荷蓄積量} = (Q_{300} / Q_0 - 1) \times 100$$

[0150] (体積抵抗率)

絶縁層の体積抵抗率は、空間電荷特性と同様に電力ケーブルの絶縁層から採取したシート状の試料片を用いて測定した。具体的には、試料片を温度 90°C のシリコンオイル中に浸漬させ、直径 25 mm の平板電極を用いて、 40 kV/mm または 80 kV/mm の直流電界を試料片に印加することで、体積抵抗率を測定した。当該体積抵抗率が $7 \times 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上である

場合をA（最良）とし、体積抵抗率が $1 \times 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上 $7 \times 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$ 未満である場合をB（良好）とし、体積抵抗率が $1 \times 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$ 未満である場合をC（不良）として評価した。

[0151]（直流破壊強度）

絶縁層の直流破壊強度は、空間電荷特性と同様に電力ケーブルの絶縁層から採取したシート状の試料片を用いて測定した。具体的には、まず、試料片を温度 90°C のシリコンオイル中に浸漬させ、直径 25mm の平板電極を用いて、 $4\text{kV}/\text{min}$ の速度で印加電圧を上昇させた。そして、試料片が絶縁破壊に至ったときに、このときに印加していた電圧を試料片の厚さで除算することで、試料片の直流破壊強度を求めた。当該直流破壊強度が $200\text{kV}/\text{mm}$ 以上である場合をA（最良）とし、直流破壊強度が $160\text{kV}/\text{mm}$ 以上 $200\text{kV}/\text{mm}$ 未満である場合をB（良好）とし、直流破壊強度が $160\text{kV}/\text{mm}$ 未満である場合をC（不良）として評価した。

[0152]（5）評価結果

押出の 240 時間後に採取した評価試料Aについての結果を上記表1に、押出直後に採取した評価試料Bについての結果を下記表2にそれぞれまとめる。

[0153]

[表2]

	スチレン換算 数平均分子量Mn	MAH変性量 [wt%]	サンプル							
			1-B	2-B	3-B	4-B	5-B	6-B		
樹脂組成	ベースポリマ(A)	PP1	140,000	-	65	65	65	65	75	75
	変性ポリマ(B)	MAH-PP1	58,000	0.3	5	5	5	-	-	-
		MAH-PP2	41,000	0.8	-	-	-	5	-	-
		MAH-PP3	15,000	1.8	-	-	-	-	5	5
		熱可塑性エラストマ(C)	SEBS	150,000	-	30	30	30	30	20
押出条件	窒素バーゾの有無									
樹脂組成物	スクリューのターバーの有無									
	不飽和カルボン酸の総含有量 [%]									
	高分子量成分の割合 [%]									
	低分子量成分の割合 [%]									
	空間電荷蓄積量 [%] (40 kV/mm, 90°C)									
評価	判定									
	体積抵抗率 [$\Omega \cdot \text{cm}$] (40 kV/mm, 90°C)									
	判定									
	空間電荷蓄積量 [%] (80 kV/mm, 90°C)									
	判定									
	体積抵抗率 [$\Omega \cdot \text{cm}$] (80 kV/mm, 90°C)									
判定										
直流破壊強度 [kV/mm] (90°C)										
判定										

[0154] 表1および表2に示すように、サンプル1～6はそれぞれ、押出直後よりも押出の240時間後では、高分子量成分の割合が低く、低分子量成分の割合が高くなり、分子量分布が変動することが確認された。ただし、サンプル1～3では、分子量分布の変動が小さく、240時間後の評価試料Aにおいて、低分子量成分の割合を1.3%未満、高分子量成分の割合を16%以上に維持できることが分かった。しかも、樹脂組成物における不飽和カルボン

酸の総含有量が0.0003%以上であった。この結果、押出の240時間後であっても、押出直後と同様に、空間電荷蓄積量を低く抑えるとともに、高い体積抵抗率を得られることが分かった。また、いずれのサンプルも、直流破壊電界強度が高いことが分かった。つまり、サンプル1～サンプル3では、長尺の電力ケーブルを作製した場合に長さ方向での絶縁性のばらつきを抑制でき、高い絶縁性を安定して実現することができる。

[0155] また、サンプル1-A～サンプル3-Aを比較したときに、使用する材料および組成を同一としているものの、押出条件の違いにより、高分子量成分および低分子量成分の割合が変動することが確認された。具体的には、シリンダの内部を窒素ガスでパージしたサンプル2-Aでは、スクリュフライトをテーパ形状としたサンプル3-Aと比較し、高分子量成分の割合をより高く、かつ低分子量成分の割合をより低くできることが確認された。このことから、樹脂組成物のシリンダ内部への滞留を抑制する場合よりも、シリンダ内部を不活性ガス雰囲気とする場合では、ポリマ成分の低分子量化をより抑制しやすいことが分かった。また、窒素ガスでのパージおよびテーパ形状を有するスクリュフライトを採用したサンプル1-Aでは、いずれか一方を採用したサンプル2-Aやサンプル3-Aと比較して、分子量分布の変動をより確実に抑制できることが分かった。

[0156] サンプル4では、押出直後の評価試料Bにおいて、高分子量成分の割合を高く、低分子量成分の割合を低くできるものの、押出の240時間後の評価試料Aにおいて、高分子量成分の割合が著しく低下し、低分子量成分の割合が高くなることが確認された。つまり、樹脂組成物の分子量分布が押出時間の経過にともない著しく変動することが分かった。これは、窒素パージをせずに材料を加熱混合することで、樹脂成分の分解が促進されたためと考えられる。また、矩形状のスクリュフライトを有するスクリュを採用することで、樹脂組成物がシリンダの内部に滞留しやすく、滞留した樹脂成分が過剰に加熱されることで分解が促進されたためと考えられる。その結果、サンプル4は、空間電荷蓄積量が大きく、また体積抵抗率や直流破壊電界強度が低い

ことが確認された。

[0157] サンプル5では、変性ポリマ（B）として数平均分子量が比較的小さなMAH-PP3を使用し、樹脂組成物における低分子量成分の割合がそもそも多くなるような組成とした。そのため、押出直後の評価試料Bにおいて、高分子量成分の割合が比較的低く、低分子量成分の割合が比較的高いことが確認された。しかも、窒素パージやテーパ形状のスクリュフライトを有するスクリュを採用しなかった。そのため、押出直後の評価試料Bと比較して、押出の240時間後の評価試料Aでは、高分子量成分の割合がさらに低く、低分子量成分の割合がさらに高くなることが確認された。その結果、空間電荷蓄積量が大きく、また体積抵抗率や直流破壊電界強度が低いことが確認された。

[0158] サンプル6では、窒素ガスでのパージおよびテーパ形状を有するスクリュフライトを採用することで、押出の際の樹脂成分の分解や樹脂組成物の滞留にともなう分子量分布の変動を抑制できたものの、サンプル5と同一の組成であって、樹脂組成物における高分子量成分の割合がそもそも低く、低分子量成分の割合もそもそも多かった。そのため、空間電荷蓄積量が大きく、また体積抵抗率や直流破壊電界強度が低いことが確認された。

[0159] なお、サンプル1～サンプル6について、透過型電子顕微鏡にて樹脂組成物の相構造を観察したところ、ベースポリマ（A）と変性ポリマ（B）とが相溶する海相へ熱可塑性エラストマ（C）が島相として微細に分散する海島構造が形成されていることが確認された。

[0160] 以上のように、樹脂組成物において、プロピレン単位を有するベースポリマ（A）と、プロピレン単位を有する変性ポリマ（B）とを少なくとも使用し、樹脂組成物における不飽和カルボン酸の総含有量と高分子量成分および低分子量成分の割合を所定の要件を満たすようにすることで、高温環境下でも、空間電荷の蓄積を抑制し、体積抵抗率や直流破壊電界強度を向上できることが確認された。つまり、樹脂組成物において高い絶縁性を安定して得られることが確認された。これにより、絶縁層を高温環境下でも高耐圧とする

ことができ、電力ケーブルにより安定的な直流送電が可能となる。

[0161] <付記>

以下、本開示の態様を付記する。

[0162] (付記1)

プロピレン単位を有するベースポリマ (A) と、
プロピレン単位を有し、不飽和カルボン酸により変性された変性ポリマ (B) と、を含有し、
前記変性ポリマ (B) に由来する前記不飽和カルボン酸の総含有量が0.0003%以上であり、かつ、
分子量分布を測定したときに、分子量が 1×10^4 以下の成分の割合が1.3%未満であり、分子量が 6×10^5 以上の成分の割合が16%以上である、樹脂組成物。

[0163] (付記2)

導体と、
前記導体の周囲に被覆され、樹脂組成物から形成される絶縁層と、
を備え、
前記樹脂組成物は、
プロピレン単位を有するベースポリマ (A) と、
プロピレン単位を有し、不飽和カルボン酸により変性された変性ポリマ (B) と、を含有し、
前記樹脂組成物に含まれる、前記変性ポリマ (B) に由来する前記不飽和カルボン酸の総含有量が0.0003%以上であり、かつ、
前記樹脂組成物の分子量分布を測定したときに、分子量が 1×10^4 以下の成分の割合が1.3%未満であり、分子量が 6×10^5 以上の成分の割合が16%以上である、
電力ケーブル。

[0164] (付記3)

付記2において、好ましくは、

前記樹脂組成物は、前記ベースポリマ（A）と前記変性ポリマ（B）との合計の含有量を100質量部としたとき、前記ベースポリマ（A）を90質量部以上99質量部以下、前記変性ポリマ（B）を1質量部以上10質量部以下、含む。

[0165]（付記4）

付記2において、好ましくは、

前記樹脂組成物は、スチレン単位を含む熱可塑性エラストマ（C）をさらに含有し、前記ベースポリマ（A）と前記変性ポリマ（B）と前記熱可塑性エラストマ（C）との合計の含有量を100質量部としたとき、前記ベースポリマ（A）を55質量部以上90質量部以下、前記変性ポリマ（B）を1質量部以上10質量部以下、前記熱可塑性エラストマ（C）を10質量部以上45質量部以下、含む。

[0166]（付記5）

付記2から付記4のいずれかにおいて、好ましくは、

前記変性ポリマ（B）の数平均分子量が20,000以上である。

[0167]（付記6）

付記2から付記5のいずれかにおいて、好ましくは、

前記ベースポリマ（A）の数平均分子量は80,000以上である。

[0168]（付記7）

付記2から付記6のいずれかにおいて、

前記ベースポリマ（A）のメルトフローレートは0.1g/10min以上5.0g/10min以下である。

[0169]（付記8）

付記2から付記7のいずれかにおいて、

前記変性ポリマ（B）のメルトフローレートは0.1g/10min以上500g/10min以下である。

[0170]（付記9）

付記4において、

前記熱可塑性エラストマ（C）のメルトフローレートが0.1g/10min以上5.0g/10min以下である。

[0171]（付記10）

導体と、前記導体の周囲に被覆され、樹脂組成物から形成される絶縁層と、を備える電力ケーブルの製造方法であって、

前記樹脂組成物を調製する調製工程と、

前記樹脂組成物を前記導体の周囲を被覆するように押出し、前記絶縁層を形成する絶縁層形成工程と、を有し、

前記調製工程では、プロピレン単位を有するベースポリマ（A）と、プロピレン単位を有し、不飽和カルボン酸により変性された変性ポリマ（B）とを、前記樹脂組成物において、前記変性ポリマ（B）に由来する前記不飽和カルボン酸の総含有量が0.0003%以上となるように添加し、不活性ガス雰囲気加熱混合する、電力ケーブルの製造方法。

[0172]（付記11）

付記10において、好ましくは、

前記調製工程では、筒状のシリンダと、前記シリンダの第1方向から挿入され、回転自在に配置されるスクリュと、前記シリンダの第2方向に取り付けられ、前記樹脂組成物を排出する孔部が設けられる排出部と、前記シリンダ内を不活性ガス雰囲気に調整する雰囲気調整部と、を備える押出機を用いて、前記樹脂組成物を調製する。

[0173]（付記12）

付記11において、好ましくは、

前記スクリュは、スクリュ本体部と、前記スクリュ本体部の表面にらせん状に配置されるスクリュフライトと、を備え、

前記スクリュフライトは、前記第1方向側の側面がテーパ形状となるように構成される。

符号の説明

[0174]	1 0	電力ケーブル
	1 1 0	導体
	1 2 0	内部半導電層
	1 3 0	絶縁層
	1 4 0	外部半導電層
	1 5 0	遮蔽層
	1 6 0	シース
	2 0 0	押出機
	2 1 0	シリンダ
	2 2 0	ホッパ
	2 3 0	スクリュ
	2 3 1	スクリュ本体部
	2 3 2	スクリュフライト
	2 4 0	回転駆動機構
	2 5 0	排出部
	2 5 1	孔部
	2 6 0	雰囲気調整部
	2 7 0	滞留抑制部材
	2 7 1	テーパ孔部

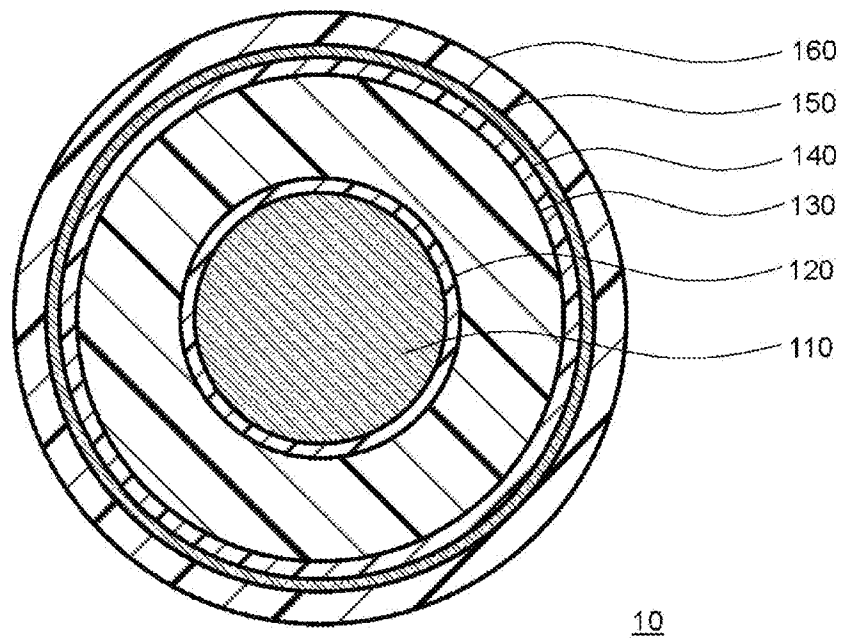
請求の範囲

- [請求項1] プロピレン単位を有するベースポリマ（A）と、
プロピレン単位を有し、不飽和カルボン酸により変性された変性ポリマ（B）と、を含有し、
前記変性ポリマ（B）に由来する前記不飽和カルボン酸の総含有量が0.0003%以上であり、かつ、
分子量分布を測定したときに、分子量が 1×10^4 以下の成分の割合が1.3%未満であり、分子量が 6×10^5 以上の成分の割合が16%以上である、
樹脂組成物。
- [請求項2] 導体と、
前記導体の周囲に被覆され、樹脂組成物から形成される絶縁層と、
を備え、
前記樹脂組成物は、
プロピレン単位を有するベースポリマ（A）と、
プロピレン単位を有し、不飽和カルボン酸により変性された変性ポリマ（B）と、を含有し、
前記樹脂組成物に含まれる、前記変性ポリマ（B）に由来する前記不飽和カルボン酸の総含有量が0.0003%以上であり、かつ、
前記樹脂組成物の分子量分布を測定したときに、分子量が 1×10^4 以下の成分の割合が1.3%未満であり、分子量が 6×10^5 以上の成分の割合が16%以上である、
電力ケーブル。
- [請求項3] 前記樹脂組成物は、前記ベースポリマ（A）と前記変性ポリマ（B）との合計の含有量を100質量部としたとき、前記ベースポリマ（A）を90質量部以上99質量部以下、前記変性ポリマ（B）を1質量部以上10質量部以下、含む、
請求項2に記載の電力ケーブル。

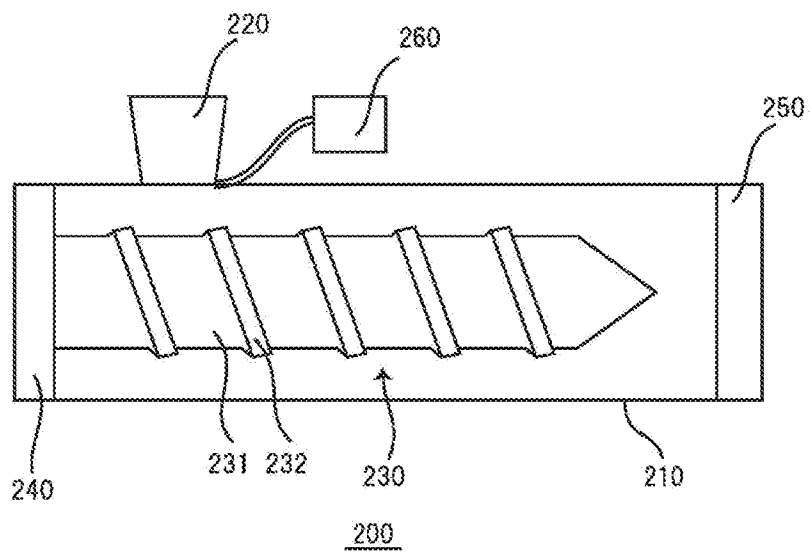
- [請求項4] 前記樹脂組成物は、熱可塑性エラストマ（C）をさらに含有し、前記ベースポリマ（A）と前記変性ポリマ（B）と前記熱可塑性エラストマ（C）との合計の含有量を100質量部としたとき、前記ベースポリマ（A）を55質量部以上90質量部以下、前記変性ポリマ（B）を1質量部以上10質量部以下、前記熱可塑性エラストマ（C）を10質量部以上45質量部以下、含む、請求項2に記載の電力ケーブル。
- [請求項5] 前記熱可塑性エラストマ（C）は、スチレン単位を含むスチレン系エラストマである、請求項4に記載の電力ケーブル。
- [請求項6] 前記変性ポリマ（B）の数平均分子量が20,000以上である、請求項2から請求項5のいずれか1項に記載の電力ケーブル。
- [請求項7] 前記ベースポリマ（A）の数平均分子量が80,000以上である、請求項2から請求項6のいずれか1項に記載の電力ケーブル。
- [請求項8] 導体と、前記導体の周囲に被覆され、樹脂組成物から形成される絶縁層と、を備える電力ケーブルの製造方法であって、
前記樹脂組成物を調製する調製工程と、
前記樹脂組成物を前記導体の周囲を被覆するように押出し、前記絶縁層を形成する絶縁層形成工程と、を有し、
前記調製工程では、プロピレン単位を有するベースポリマ（A）と、プロピレン単位を有し、不飽和カルボン酸により変性された変性ポリマ（B）とを、前記樹脂組成物において、前記変性ポリマ（B）に由来する前記不飽和カルボン酸の総含有量が0.0003%以上となるように添加し、不活性ガス雰囲気中で加熱混合する、電力ケーブルの製造方法。
- [請求項9] 前記調製工程では、筒状のシリンダと、前記シリンダの第1方向から挿入され、回転自在に配置されるスクリュと、前記シリンダの第2

方向に取り付けられ、前記樹脂組成物を排出する孔部が設けられる排出部と、前記シリンダ内を不活性ガス雰囲気調整する雰囲気調整部と、を備える押出機を用いて、前記樹脂組成物を調製する、請求項8に記載の電力ケーブルの製造方法。

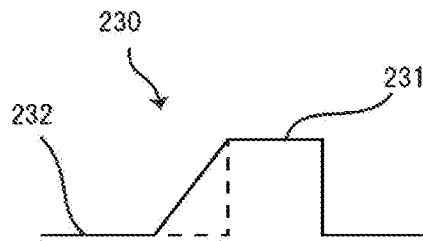
[図1]



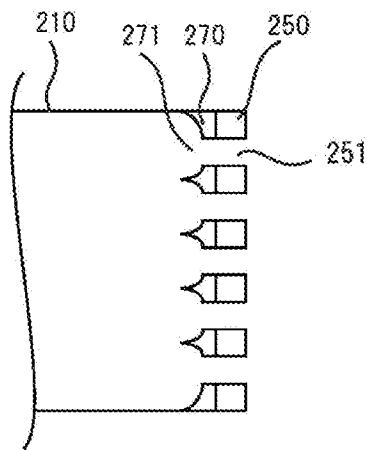
[図2]



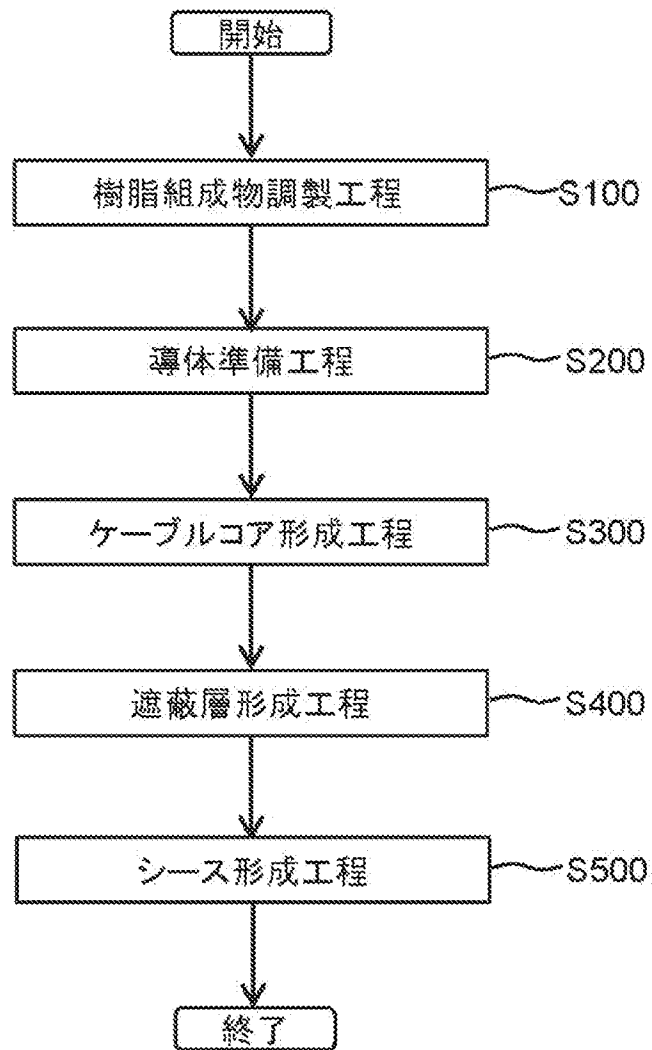
[図3]



[図4]



[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/004433

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>C08L 23/12</i> (2006.01)i; <i>C08L 23/26</i> (2006.01)i; <i>H01B 9/00</i> (2006.01)i; <i>C08J 7/04</i> (2020.01)i FI: C08L23/12; C08L23/26; C08J7/04 Z CES; H01B9/00 A		
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) C08L1/00-101/14; C08K3/00-13/08; H01B9/00; C08J7/04		
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 07-025943 A (MITSUBISHI PETROCHEM CO., LTD.) 27 January 1995 (1995-01-27) entire text	1-9
A	JP 2010-195853 A (TORAY INDUSTRIES, INC.) 09 September 2010 (2010-09-09) entire text	1-9
A	JP 2020-152866 A (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) 24 September 2020 (2020-09-24) entire text	1-9
A	US 2014/0349110 A1 (BOREALIS AG) 27 November 2014 (2014-11-27) entire text	1-9
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 13 April 2023		Date of mailing of the international search report 25 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/JP2023/004433

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 07-025943 A	27 January 1995	(Family: none)	
JP 2010-195853 A	09 September 2010	(Family: none)	
JP 2020-152866 A	24 September 2020	(Family: none)	
US 2014/0349110 A1	27 November 2014	WO 2013/083602 A1 EP 2602287 A1 MX 2014006650 A	

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） C08L 23/12(2006.01)i; C08L 23/26(2006.01)i; H01B 9/00(2006.01)i; C08J 7/04(2020.01)i FI: C08L23/12; C08L23/26; C08J7/04 Z CES; H01B9/00 A</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）） C08L1/00-101/14; C08K3/00-13/08; H01B9/00; C08J7/04</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>			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>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>										
<p>C. 関連すると認められる文献</p>										
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 07-025943 A（三菱油化株式会社）27.01.1995（1995 - 01 - 27） 全文	1-9								
A	JP 2010-195853 A（東レ株式会社）09.09.2010（2010 - 09 - 09） 全文	1-9								
A	JP 2020-152866 A（古河電気工業株式会社）24.09.2020（2020 - 09 - 24） 全文	1-9								
A	US 2014/0349110 A1（BOREALIS AG）27.11.2014（2014 - 11 - 27） 全文	1-9								
<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 “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 “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</p>										
国際調査を完了した日	13. 04. 2023	国際調査報告の発送日 25. 04. 2023								
名称及びあて先 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	権限のある職員（特許庁審査官） 藤井 明子 4J 5813 電話番号 03-3581-1101 内線 3457									

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/004433

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 07-025943 A	27.01.1995	(ファミリーなし)	
JP 2010-195853 A	09.09.2010	(ファミリーなし)	
JP 2020-152866 A	24.09.2020	(ファミリーなし)	
US 2014/0349110 A1	27.11.2014	WO 2013/083602 A1	
		EP 2602287 A1	
		MX 2014006650 A	