(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2019-46561
(P2019-46561A)
(43)公開日　平成31年3月22日(2019.3.22)

(51)Int.Cl.			F I			テーマコード（参考）
H01B	9/00	(2006.01)	H01B	9/00	Z	
H01B	7/26	(2006.01)	H01B	7/26		

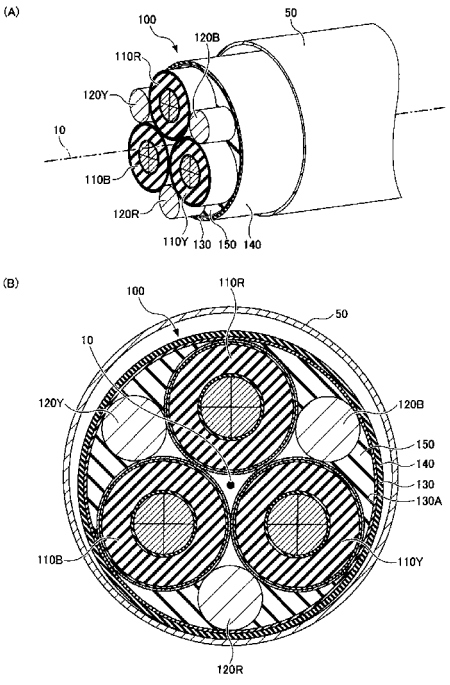
審査請求 未請求　請求項の数 5　ＯＬ　（全 15 頁）

(21)出願番号　特願2017-165254 (P2017-165254)
(22)出願日　平成29年8月30日 (2017.8.30)

(71)出願人　000002130
住友電気工業株式会社
大阪府大阪市中央区北浜四丁目５番３３号
(74)代理人　100107766
弁理士　伊東　忠重
(74)代理人　100070150
弁理士　伊東　忠彦
(72)発明者　兼田　大樹
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
(72)発明者　真尾　晶二
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

(54)【発明の名称】電力ケーブル

(57)【要約】　（修正有）
【課題】鉄損を抑制し、送電電力を増大させた電力ケーブルを提供する。
【解決手段】電力ケーブル１００は、導電線と絶縁層と導電層とを有し、断面視で回転対称な位置において互いの半導電層同士が接した状態で配置される３本の送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂと、夫々が３本の送電ケーブルのうちの隣り合う２本の外周面に接して、中心に対する３回対称の回転対称な位置に配置される３本の接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂと、３本の接地母線及び３本の送電ケーブルの外側面を覆うバインダ１３０と、バインダに重ねて配置されるジャケットとを含む。３本の送電ケーブルは、断面視で鋼管５０の内部に敷設可能な最大の電力ケーブルの包絡円の半径からバインダ及びジャケットの厚さを除いた半径を有する第１円に内接する外径を有する。３本の接地母線は、断面視で３本の送電ケーブルの包絡閉曲線よりも突出し、第１円に収まる外径を有する。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
基準電位点に接続される鋼管の内部に敷設される電力ケーブルであって、
三相交流電力を伝送する導電線と、前記導電線を被覆する絶縁層と、前記絶縁層を被覆する半導電層とを有する３本の送電ケーブルであって、断面視で前記３本の送電ケーブルの中心に対する３回対称の回転対称な位置において互いの前記半導電層同士が接した状態で配置される３本の送電ケーブルと、
３本の接地母線であって、それぞれが前記３本の送電ケーブルのうちの隣り合う２本の外周面に接して、前記中心に対する３回対称の回転対称な位置に配置される３本の接地母線と、
前記３本の接地母線及び前記３本の送電ケーブルの外側面を覆うバインダと、
前記バインダに重ねて配置されるジャケットと
を含み、
前記３本の送電ケーブルは、断面視で前記鋼管の内部に敷設可能な最大の電力ケーブルの包絡円の半径から前記バインダ及び前記ジャケットの厚さを除いた半径を有する第１円に内接する外径を有し、
前記３本の接地母線は、断面視で３本の送電ケーブルの包絡閉曲線よりも突出し、前記第１円に収まる外径を有する、電力ケーブル。
【請求項２】
前記３本の接地母線の外径は、前記３本の接地母線の外周面が前記第１円に接する外径である、請求項１記載の電力ケーブル。
【請求項３】
前記３本の接地母線の各々は、外周面に遮蔽物又は防食層を有さず、前記３本の送電ケーブルのうちの隣り合う２本の外周面に直接接触しており、かつ、前記３本の接地母線の各々の両端は、前記基準電位点と電位が等しい電位点に接続される、請求項１又は２記載の電力ケーブル。
【請求項４】
前記３本の送電ケーブルは、断面視で前記中心を通る中心軸を中心とする３回対称の回転対称な位置関係を保ちながら、前記中心軸の周囲に撚り合わされる、請求項１乃至３のいずれか一項記載の電力ケーブル。
【請求項５】
前記３本の接地母線は、それぞれ、前記３本の送電ケーブルのうちの隣り合う２本の外周面に接した状態で、断面視で前記中心軸を中心とする３回対称の回転対称な位置関係を保ちながら、前記３本の接地母線の周囲に撚り合わされる、請求項４記載の電力ケーブル。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、電力ケーブルに関する。
【背景技術】
【０００２】
従来より、パイプタイプケーブルと呼ばれる、絶縁紙を巻いた３相の送電ケーブルを鋼管の内部に布設し、油に含浸させて絶縁を確保した送電ケーブルが米国を中心に広く利用されている。パイプタイプケーブルは、鋼管が経年劣化すると漏油に対応する保守費用や環境への影響が問題となるため、油を使わない架橋ポリエチレンケーブルへ置き換えが望まれている。
【０００３】
例えば、パイプタイプケーブルの置換え用として、NKT社のCityCable（登録商標）が実用化されている（非特許文献１参照）。
【先行技術文献】

【非特許文献】
【０００４】
【非特許文献１】NKT Cables URL: http://www.cablejoints.co.uk/upload/NKT_Cables_Extra_High_Voltage_132kV_220kV_400kV_500kV___Brochure.pdf　平成２９年７月３１日検索
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
ところで、架橋ポリエチレンケーブルで絶縁を確保するには、絶縁紙よりも厚くする必要があり、架橋ポリエチレンケーブルを覆う金属遮蔽と防食層（PVC（polyvinyl chloride）やPE（polyethylene）製のシース）も必要である。
【０００６】
しかしながら、鋼管の内径は決まっているので、電気的に必要な絶縁層の厚さを維持するためには電力ケーブルの導体サイズを小さくする必要があり、置換えが実用化された例では、導体サイズは1000mm^{2}未満に限られている。すなわち、送電ケーブルの外径には制限がある。
【０００７】
また、パイプタイプケーブルには、外径制限の他に、鉄損によって送電容量が低下するという問題がある。磁性体パイプである鋼管に３相の送電ケーブルを３回対称の回転対称な位置に配置する場合の送電ケーブルの鉄損と導体内の損失の比率は一般に、次式（１）より求められる。このような式から求められることは、例えば、次の文献に記載されている。"The calculation of the temperature rise and load capability of cable system Year" 1957, Volume: 76, Issue: 3 Pages: 752 - 764, DOI: 10.1109/AIEEPAS.1957.4499653 ISSN: 0097-2460
【０００８】
【数１】

$$Y_s = \frac{0.89S - 0.115D_p}{R_{ac}} \times 1.7 \qquad (1)$$

ここで、Ys: 電力ケーブルの交流導体抵抗に対する鉄損率、S: 電力ケーブルの相間距離 (inch)、Dp: 鉄管の内径 (inch)、Rac: 電力ケーブルの交流導体抵抗 (/feet)である。345kVで 3500kcmil、絶縁厚が１インチの導体の場合、S=4.2 inch, Dp=10.25 inch, Rac=4.00/feetとすると、式（１）より鉄損率Ysは 0.88となる。
【０００９】
すなわち、導体損失の８８％もの損失が鋼管の内部で発生するため、送電ケーブルが発熱し、鋼管の内部に配置しない場合の電力ケーブルの架橋ポリエチレンケーブルよりも損失が多くなり、不経済であり、許容電流が低下する欠点があった。
【００１０】
そこで、鉄損を抑制するとともに、送電電力を増大させた電力ケーブルを提供することを目的とする。
【課題を解決するための手段】
【００１１】
本発明の実施の形態の電力ケーブルは、基準電位点に接続される鋼管の内部に敷設される電力ケーブルであって、三相交流電力を伝送する導電線と、前記導電線を被覆する絶縁層と、前記絶縁層を被覆する半導電層とを有する３本の送電ケーブルであって、断面視で

前記３本の送電ケーブルの中心に対する３回対称の回転対称な位置において互いの前記半導電層同士が接した状態で配置される３本の送電ケーブルと、３本の接地母線であって、それぞれが前記３本の送電ケーブルのうちの隣り合う２本の外周面に接して、前記中心に対する３回対称の回転対称な位置に配置される３本の接地母線と、前記３本の接地母線及び前記３本の送電ケーブルの外側面を覆うバインダと、前記バインダに重ねて配置されるジャケットとを含み、前記３本の送電ケーブルは、断面視で前記鋼管の内部に敷設可能な最大の電力ケーブルの包絡円の半径から前記バインダ及び前記ジャケットの厚さを除いた半径を有する第１円に内接する外径を有し、前記３本の接地母線は、断面視で３本の送電ケーブルの包絡閉曲線よりも突出し、前記第１円に収まる外径を有する。

【発明の効果】

【００１２】

鉄損を抑制するとともに、送電電力を増大させた電力ケーブルを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１３】

【図１】実施の形態の電力ケーブル１００を示す図である。

【図２】実施の形態の電力ケーブル１００の送電ケーブル１１０を示す図である。

【図３】送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂと接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂの位置関係を示す図である。

【図４】導線１１１Ｒ、接地母線１２０Ｒ、仮想接地流路１０Ａに流れる電流と磁界の関係を示す図である。

【図５】実施の形態の変形例の電力ケーブル１００Ｍの断面を示す図である。

【図６】導線１１１Ｒ、１１１Ｙ、１１１Ｂに流れる電流Icと、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂに流れる循環電流I_{ECC}との幾何学的中心位置を示す図である。

【図７】電力ケーブル１００及び１００Ｍと、比較用の電力ケーブルとの接地母線の断面積、電流比、接地母線の発熱量、鋼管５０の外表面での磁界、及び鉄損を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【００１４】

以下、本発明の電力ケーブルを適用した実施の形態について説明する。

【００１５】

＜実施の形態＞

図１は、実施の形態の電力ケーブル１００を示す図であり、（Ａ）は斜視図、（Ｂ）は断面図である。なお、図１（Ａ）の斜視図は、電力ケーブル１００を長手方向に対して垂直な面に沿って切断した状態を示す。

【００１６】

電力ケーブル１００は、鋼管５０の内部に敷設されており、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂ、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂ、バインダ１３０、防食層１４０、及び樹脂部材１５０を含む。電力ケーブル１００は、２つの変電所の間に設けられている。

【００１７】

鋼管５０は、例えば、鉄製のパイプであり、内部には送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂ、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂ、バインダ１３０、及び防食層１４０が挿通される。鋼管５０は、基準電位点に接続される。実施の形態では、一例として、鋼管５０は接地され、グランド電位に保持される。鋼管５０を基準電位に保持するのは、送電ケーブル１１０に地絡等による事故電流が生じた場合に、鋼管５０を事故電流の通流経路にするためである。

【００１８】

鋼管５０は、未使用の新品の鋼管であってもよいが、既使用の中古の鋼管であってもよい。例えば、既設の電力ケーブルを実施の形態の電力ケーブル１００に交換する場合には、既設の電力ケーブルの鋼管５０を再利用してもよい。

【００１９】
より具体的には、例えば、既設のＰＯＦ(Pipe type Oil Filled)ケーブル（油浸型ケーブル）の送電ケーブル及び絶縁油を取り除いて洗浄した鋼管を鋼管５０として利用してもよい。実施の形態では、既設のＰＯＦケーブルの鋼管を鋼管５０として利用する形態について説明する。鋼管５０の内径は、一例として２６０．３５ｍｍ（１０．２５インチ）である。
【００２０】
送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂは、仮想的な中心線１０を中心として、断面視における３回対称の回転対称な位置関係に配置され、中心線１０に沿って周囲に撚り合わされている。送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂは、三相の交流電力を送電するために用いられ、それぞれ、各相の電力を伝送する。送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂは、３本の送電ケーブルの一例である。
【００２１】
送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂは、断面視で鋼管５０の内部に敷設可能な最大の電力ケーブルの包絡円の半径からバインダ１３０及び防食層１４０の厚さを除いた半径を有する円１３０Ａに、断面視で中心線１０を中心とした３回対称の回転対称な位置関係に配置した状態で内接する外径を有する。鋼管５０の内径という制約の中で、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの断面積を最大化するためである。
【００２２】
なお、包絡円は、断面視で鋼管５０の内部に敷設可能な最大の電力ケーブルの断面を含む最小の円である。このような包絡円の直径は、一例として長さが６０９．６０ｍ（２０００フィート）であり、内径が１５５．８ｍｍ（６．１２５インチ）から２６０．３５ｍｍ（１０．２５インチ）である鋼管５０に、長さが６０９．６０ｍ（２０００フィート）以上ある電力ケーブル１００を挿通させるのに必要な余裕代（マージン）を、鋼管５０の内径から差し引いて得る寸法である。
【００２３】
また、円１３０Ａは、バインダ１３０及び防食層１４０の厚さを除いて、鋼管５０の内部に挿通させることが可能な最大の外径を有する送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂが内接する円であり、断面視でバインダ１３０の内周面が規定する円である。
【００２４】
送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂは、例えば、それぞれ、赤相、黄相、青相と区別される。送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂは、色が異なるが互いに同様の構成を有する。このため、以下の説明において送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂを区別しない場合には、単に送電ケーブル１１０と称す。送電ケーブル１１０の詳細な構成については、図２を用いて後述する。
【００２５】
接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂは、接地電位に保持される導体製（例えば、アルミニウム製又は銅製）のワイヤである。接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂは、それぞれ、細い複数のワイヤを撚り合わせて１本にしたワイヤである。接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂは、外側面を覆う絶縁層等の遮蔽物や防食層を有さず、導体が剥き出しのワイヤである。接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂは、事故時に変電所に電流を流すために設けられている。接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂの各々の両端は、接地されている。
【００２６】
接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂは、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの外周面に接触する形で、断面視で中心線１０を中心として３回対称の回転対称な位置関係に配置されている。接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂは、それぞれ、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの対角位置に配置される。
【００２７】
より具体的には、接地母線１２０Ｒは、送電ケーブル１１０Ｙ、１１０Ｂの外周面の谷

間に嵌め込まれており、接地母線１２０Ｂは、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙの外周面の谷間に嵌め込まれており、接地母線１２０Ｙは、送電ケーブル１１０Ｂ、１１０Ｒの外周面の谷間に嵌め込まれている。

【００２８】

接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂは、両端で互いに接続されることによって、互いに電気的に接続されており、三角柱状の閉ループを構成する。接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂは、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの最外周の半導電性ベッディングに接触することにより、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの表面を接地している。

【００２９】

また、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂは、円１３０Ａに接する外径を有する。すなわち、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂは、バインダ１３０の内周面に接している。このため、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂと接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂのうち、断面視で中心線１０から見て径方向に最も突出している部分は、円１３０Ａ上に位置する。

【００３０】

接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂの外側面に絶縁層等の被覆を設けずに、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂが円１３０Ａに接する外径を有する構成にするのは、上述した包絡円の中で、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの外周部に余った空間内で、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂの外径を最大化するとともに、半導電性ベッディングを介して送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの表面を接地するためである。なお、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの表面は、導線１１１から供給され絶縁層１１３を経由して漏れ出る通称充電電流により絶縁層１１３の表面電位が浮遊する現象が生じるため、長手方向の接地だけでなく半径方向に接地が必要である。送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂは、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂと接触していることによって、径方向において接地されている。

【００３１】

なお、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂは、互いに同様の構成を有するため、以下の説明において接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂを区別しない場合には、単に接地母線１２０と称す。

【００３２】

バインダ１３０は、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂ及び接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂの外側面を覆うことで、これらを縛る（束ねる）バインダテープであり、絶縁層である。

【００３３】

防食層１４０は、バインダ１３０に重ねて設けられ、バインダ１３０を介して送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂ及び接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂの外側面を覆う絶縁層である。

【００３４】

樹脂部材１５０は、バインダ１３０及び防食層１４０の内部で、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂと接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂの間に配置されている。樹脂部材１５０は、絶縁材料製であり、例えば、ポリプロピレン製の紐状の部材である。

【００３５】

樹脂部材１５０は、バインダ１３０及び防食層１４０の内部で、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂと接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂの隙間を埋め、断面視でバインダ１３０の内周面が規定する閉曲線が円になるように、敷き詰められている。

【００３６】

次に、図２を用いて、送電ケーブル１１０の詳細な構成について説明する。

【００３７】

図２は、実施の形態の電力ケーブル１００の送電ケーブル１１０を示す図であり、（Ａ

）は断面図、（Ｂ）はトリプレックス構造を示す斜視図である。図２（Ｂ）には、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂに加えて接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂも示す。

【００３８】

図２（Ａ）に示すように、送電ケーブル１１０は、導線１１１、導線スクリーン１１２、絶縁層１１３、絶縁スクリーン１１４、及び半導電性ベッディング１１５を含む。

【００３９】

導線１１１は、金属製であり、例えば、銅線を用いることができる。導線１１１は、送電ケーブル１１０のうち送電を行う導体である。導線１１１は、細い複数の銅線を撚り合わせて１本にしたワイヤ状の導線である。

【００４０】

導線スクリーン１１２は、耐熱性のある半導電性のテープや、カーボン粉末を含有する樹脂層とで構成され、導線１１１の周囲に巻回される。耐熱性のある半導電性のテープとしては、例えば、ナイロンやポリエステルを用いることができ、導体粉末を含有する樹脂層としては、例えば、ＥＥＡ（Ethylene-Ethylacrylate Copolymer）樹脂を用いることができる。

【００４１】

絶縁層１１３は、導線１１１を絶縁するために設けられている。絶縁層１１３は、例えば、ＸＬＰＥ(Crosslinked polyethylene:架橋ポリエチレン)を用いて射出成形で作製することができる。ここでは、絶縁層１１３としてＸＬＰＥを用いる形態について説明するが、耐熱性と絶縁性がある材料であれば、ＸＬＰＥ以外の材料を絶縁層１１３として用いてもよい。

【００４２】

絶縁スクリーン１１４は、カーボン粉末を含有する樹脂層で構成され、絶縁層１１３の周囲に巻回される。カーボン粉末を含有する樹脂層としては、例えば、ＥＥＡ樹脂を用いることができる。

【００４３】

ベッディング１１５は、所謂ベッディングテープであり、半導電座床である。ベッディング１１５は、絶縁スクリーン１１４の周囲に巻回される。

【００４４】

以上のような構成を有する送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂ（図１（Ａ）、（Ｂ）参照）は、図２（Ｂ）に示すように、中心線１０を中心として、中心線１０の長手方向に沿って撚り合わされる。このような３本の送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂを撚り合わせた構造をトリプレックス構造(Triplex formation)と称す。

【００４５】

また、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂは、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの周囲に撚り合わされている。

【００４６】

送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂのトリプレックス構造は、断面視で、中心線１０を中心とする３回対称の回転対称な位置関係を保ちながら、中心線１０の周囲に撚り合わされる構造である。トリプレックス構造は、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの長手方向における伸縮が少なく、電力ケーブル１００同士を接続するマンホール内での固定が容易になる構造である。

【００４７】

なお、断面視における３回対称の回転対称な位置関係とは、完全な３回対称の回転対称な位置関係に限らず、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの撚り合わせにおけるばらつき等による位置ずれが生じていても、断面視における３回対称の回転対称な位置関係が保たれているものとして取り扱う。

【００４８】

実施の形態では、中心線１０の外周に沿って、トリプレックス構造の送電ケーブル１１

０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂを配置し、さらにその外周に接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂを撚り合わせて、バインダ１３０及び防食層１４０で覆った状態で、電力ケーブル１００を鋼管５０（図１（Ａ），（Ｂ）参照）の内部に配置する。

【００４９】

以上のような実施の形態の電力ケーブル１００は、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂ（図１（Ａ），（Ｂ）参照）で三相交流電力を伝送する。定格容量は、一例として、８００ＭＶＡ（３４５ｋＶ，１３３９Ａ）である。ただし、この定格容量は一例に過ぎず、敷設条件(温度や鋼管の埋設深さ)によって変わるものである。

【００５０】

電力ケーブル１００は、一例として、長さが６０９．６０ｍ（２０００フィート）であり、複数の電力ケーブル１００を直列に接続して用いる。この場合に、各電力ケーブル１００の送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂは、同じ色同士のものが接続される。送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂについて、同じ色同士のものを接続するとは、同じ色の送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの導線１１１同士を接続することである。

【００５１】

電力ケーブル１００は、既設の鋼管５０の内部で直列接続された複数の電力ケーブルのうちの一部を交換する際に、交換用の新たな電力ケーブルとして用いることができる。例えば、直列接続された既設の複数の電力ケーブルのうちのある１本の電力ケーブルを交換する場合に、電力ケーブル１００を用いてもよい。この場合に、取り除かれる電力ケーブルが鋼管５０と同様の鋼管を有し、内部に電力ケーブル１００を挿通可能である場合には、取り除かれる電力ケーブルの鋼管を鋼管５０として用いることができる。

【００５２】

また、上述の場合には、電力ケーブル１００の送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの導線１１１を電力ケーブル１００の両端にある既設の電力ケーブルの対応する相（同じ色の相）の送電ケーブルの導線と接続すればよい。また、この場合に、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂは、変電所で基準電位の接地点に接地される。

【００５３】

図３は、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂと接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂの位置関係を示す図である。図３には、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの導線１１１を区別して、導線１１１Ｒ、１１１Ｙ、１１１Ｂとして示す。

【００５４】

また、断面視における送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂ及び接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂの中心を通る仮想接地流路１０Ａを示す。仮想接地流路１０Ａは、図１（Ａ）、（Ｂ）に示す中心線１０上に位置する。仮想接地流路１０Ａは、電力ケーブル１００の両端で接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂに接続される仮想の流路であり、接地電位に保持される。

【００５５】

ここで、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂは、互いに同様の構成を有し、仮想接地流路１０Ａに対して回転対称の位置に配置されているため、図３に加えて図４を用いて接地母線１２０Ｒについて検討する。

【００５６】

図４は、導線１１１Ｒ、接地母線１２０Ｒ、仮想接地流路１０Ａに流れる電流と磁界の関係を示す図である。接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂの各々の両端は、接地されているため、図４では接地母線１２０Ｒの両端に接地の記号を記す。

【００５７】

接地母線１２０Ｒと仮想接地流路１０Ａは、破線で示す閉ループ１２１を構築する。導線１１１Ｒに矢印で示す下向きの電流１１１Ｒ１が流れると、右ねじの法則に従って磁界１１１Ｒ２が生じる。このため、接地母線１２０Ｒには磁界１１１Ｒ２を打ち消す方向の磁界１２０Ａが生じ、磁界１２０Ａによって接地母線１２０Ｒには下向きの電流１２０Ａ

１が生じ、この結果、電流１２０Ａ１が閉ループ１２１に流れる。電流１２０Ａ１は誘導電流であり、循環電流である。

【００５８】

ここでは、導線１１１Ｒ、接地母線１２０Ｒ、及び仮想接地流路１０Ａの関係を用いて、三相交流（Ｒ、Ｙ、Ｂ）のうちの１相について示したが、導線１１１Ｙ、接地母線１２０Ｙ、及び仮想接地流路１０Ａと、導線１１１Ｂ、接地母線１２０Ｂ、及び仮想接地流路１０Ａとについても、同様の関係が生じる。

【００５９】

仮想接地流路１０Ａには、三相交流（Ｒ、Ｙ、Ｂ）による１２０度づつ位相の異なる循環電流が流れるため、仮想接地流路１０Ａに流れる合計の電流はゼロになる。従って、仮想接地流路１０Ａを用いた仮想接地が成り立つ。

【００６０】

ここで、導線１１１Ｒに流れる電流１１１Ｒ１によって生じる磁界１１１Ｒ２と、接地母線１２０Ｒに生じる磁界１１１Ｒ２とは、閉ループ１２１を貫き、お互いに磁界を打ち消す方向に発生するが、接地母線１２０Ｒの交流抵抗により位相差が生じる。

【００６１】

循環電流（電流１２０Ａ１）をI_{ECC} (A)、導線１１１Ｒに流れる電流１１１Ｒ１をIc (A)、交流の角周波数をω、導線１１１Ｒと接地母線１２０Ｒとの相互インピーダンスをM (Ω/m)、接地母線１２０Ｒの交流抵抗をR_{ECC} (Ω/m)、接地母線１２０ＲのリアクタンスをX_{ECC} (Ω/m)とすると、循環電流I_{ECC}は近似的に次式（２）で求めることができる。

【００６２】

【数２】

$$I_{ECC} = I_C \times \frac{j\omega M}{R_{ECC} + jX_{ECC}} \qquad (2)$$

循環電流I_{ECC}を最大化するには、接地母線１２０ＲのリアクタンスX_{ECC}を最小化すればよい。リアクタンスX_{ECC}は、次式（３）で表される。ここで、交流電力の周波数をｆ (Hz)、接地母線１２０Ｒの外径をｒ (mm)、接地母線１２０Ｒの中心と、仮想接地流路１０Ａの距離をD (mm)とする。

【００６３】

【数３】

$$X_{ECC} = 4\pi f \ln \frac{D}{r} \times 10^{-7} \qquad (3)$$

式（３）より、接地母線１２０Ｒの外径rを最大化することにより、リアンクタンスX_{ECC}を最小化し、循環電流を最大化できることが分かる。このため、図１に示す通り、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂの外径は、円１３０Ａに内接する外径を有する構成にしている。

【００６４】

このとき、循環電流I_{ECC}と、導線１１１Ｒに流れる電流Ic（電流１１１Ｒ１）との比の

絶対値｜I_{ECC}/I_C｜は、約３５％となる。このため、導線１１１Ｒに流れる電流Icの約３５％にあたる循環電流I_{ECC}を接地母線１２０Ｒに誘導できていることになる。

【００６５】

これは、導線１１１Ｙ及び接地母線１２０Ｙと、導線１１１Ｂ及び接地母線１２０Ｂとについても同様である。なお、このような循環電流I_{ECC}と電流Icとの比の絶対値｜I_{ECC}/I_C｜は、電磁界シミュレーションで求めたものである。

【００６６】

また、これは、導線１１１Ｙに流れる電流Ic及び接地母線１２０Ｙに流れる循環電流I_{ECC}と、導線１１１Ｂに流れる電流Ic及び接地母線１２０Ｂに流れる循環電流I_{ECC}とについても同様である。

【００６７】

なお、以上では、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂが円１３０Ａに接するように、最大化された外径を有する形態について説明した。しかしながら、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂの外径は、もう少し小さくてもよい。

【００６８】

接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂは、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの外周面に沿って撚り合わされ、かつ、樹脂部材１５０が存在しない状態で、バインダ１３０によって支えられるような外径以上の外径を有していればよい。

【００６９】

図５は、実施の形態の変形例の電力ケーブル１００Ｍの断面を示す図である。図５に示す電力ケーブル１００Ｍの断面は、図１（Ｂ）に示す電力ケーブル１００の断面に対応する断面である。

【００７０】

電力ケーブル１００Ｍは、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂ、接地母線１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭ、バインダ１３０Ｍ、防食層１４０Ｍ、及び樹脂部材１５０Ｍを含む。

【００７１】

接地母線１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭは、３本の送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの包絡閉曲線１１０Ｘよりも外側に突出する外径を有する。包絡閉曲線１１０Ｘは、断面視で中心線１０を中心とした３回対称の回転対称な位置に配置される３本の送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの外周を覆う包絡閉曲線である。

【００７２】

図５には、送電ケーブル１１０Ｒと１１０Ｙの外周の間と、送電ケーブル１１０Ｙと１１０Ｂの外周の間と、送電ケーブル１１０Ｂと１１０Ｒの外周の間とに、破線で包絡閉曲線１１０Ｘのうちの直線部分を破線で示す。包絡閉曲線１１０Ｘのうち、３本の破線以外の部分は、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの外周に沿っている。包絡閉曲線１１０Ｘは、三角形の頂点を送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの外周に沿って丸めたような形状である。

【００７３】

包絡閉曲線１１０Ｘよりも外側に突出する接地母線１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭの外径とは、接地母線１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭの外径が包絡閉曲線１１０Ｘに内接する場合の値よりも大きいことをいう。接地母線１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭの外径が包絡閉曲線１１０Ｘに内接する場合の値よりも大きければ、接地母線１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭがバインダ１３０によって支えられるからである。

【００７４】

接地母線１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭがバインダ１３０によって支えられるとは、換言すれば、接地母線１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭが外側に押圧することによる張力がバインダ１３０に掛かることをいう。

【００７５】

このような接地母線１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭの外径は、３本の送電ケーブ

ル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの包絡閉曲線１１０Ｘよりも外側に突出する外径の中で最小の外径であり、実施の形態における接地母線１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭの最小の外径である。

【００７６】

バインダ１３０Ｍは、図１及び図２に示すバインダ１３０と同様であるが、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂ及び接地母線１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭの外側面を覆い、縛っている。バインダ１３０Ｍは、接地母線１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭが包絡閉曲線１１０Ｘよりも外側に突出する分だけ、外側に突出しているため、接地母線１２０には送電ケーブル１１０に向かって応力が働き、接地母線１２０により送電ケーブル１１０の表面を確実に接地することが可能となる。

【００７７】

防食層１４０Ｍは、図１及び図２に示す防食層１４０と同様であるが、バインダ１３０に重ねて設けられ、バインダ１３０を介して送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂ及び接地母線１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭの外側面を覆っている。

【００７８】

樹脂部材１５０Ｍは、図１及び図２に示す樹脂部材１５０と同様であるが、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂと接地母線１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭとを覆うバインダ１３０Ｍ及び防食層１４０Ｍを外側に押圧することなく、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂと接地母線１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭとを覆った状態のバインダ１３０Ｍ及び防食層１４０Ｍの形状を保持するように配置されている。

【００７９】

なお、１１０Ｙ、１１０Ｂと接地母線１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭとを覆った状態のバインダ１３０Ｍ及び防食層１４０Ｍの形状は、１１０Ｙ、１１０Ｂと接地母線１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭとを覆う包絡閉曲線に等しい。

【００８０】

このような電力ケーブル１００Ｍでは、循環電流I_{ECC}と電流Icとの比の絶対値｜I_{ECC}/I_C｜は、約２５％となる。このため、導線１１１Ｒに流れる電流Icの約２５％にあたる循環電流I_{ECC}を接地母線１２０ＲＭに誘導できていることになる。

【００８１】

図６は、導線１１１Ｒ、１１１Ｙ、１１１Ｂに流れる電流Icと、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂに流れる循環電流I_{ECC}との幾何学的中心位置を示す図である。

【００８２】

導線１１１Ｒの電流Icの幾何学的中心位置は、接地母線１２０Ｒの同位相の循環電流I_{ECC}により、近似的に導体１１１Ｒよりも中心線１０側（内側）になる。接地母線１２０Ｒの循環電流I_{ECC}が導体１１１の電流Icの３０％であれば、導線１１１Ｒの電流Icの幾何学的中心位置は、中心線１０から導体１１１Ｒまでの距離の７０％の距離の位置２０Ｒになる。これは、導線１１１Ｒ、１１１Ｙ、１１１Ｂの相間距離が実質的に短縮化されたことに等しい。

【００８３】

なお、３０％に設定したのは、図１及び図２に示す電力ケーブル１００における比の絶対値｜I_{ECC}/I_C｜が約３５％であり、図５に示す電力ケーブル１００Ｍにおける比の絶対値｜I_{ECC}/I_C｜が約２５％であるため、中間値を取ったものである。

【００８４】

同様に、導線１１１Ｙの電流Icの幾何学的中心位置は、中心線１０から導体１１１Ｙまでの距離の７０％の距離の位置２０Ｙになる。また、導線１１１Ｂの電流Icの幾何学的中心位置は、中心線１０から導体１１１Ｂまでの距離の７０％の距離の位置２０Ｒになる。

【００８５】

鉄損は、式（１）より理解できるように、電力ケーブルの相間距離Ｓが狭まると、略比例して鉄損が小さくなる。これは、導線１１１Ｒ、１１１Ｙ、１１１Ｂの中心間距離が、位置２０Ｒ、２０Ｙ、２０Ｂの中心間距離になることによって鉄損が小さくなるに相当す

る。
【００８６】
図７は、電力ケーブル１００及び１００Ｍと、比較用の電力ケーブルとの接地母線の断面積、電流比、接地母線の発熱量、鋼管５０の外表面での磁界、及び鉄損を示す図である。
【００８７】
接地母線の断面積は、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂの断面積を１００％とした場合の割合で表す。電流比は、循環電流I_{ECC}と電流Icとの比の絶対値｜I_{ECC}/I_C｜を表す。接地母線の発熱量は、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂの断面積を１倍とした場合の割合で示す。鋼管５０の外表面での磁界は、比較用の電力ケーブルにおける磁界を１００％とした場合の割合で表す。鉄損は、比較用の電力ケーブルにおける鉄損を１００％とした場合の割合で表す。
【００８８】
図７に示すように、接地母線の断面積は、比較用の電力ケーブルは、接地母線を含まないため０％であり、電力ケーブル１００は１００％であり、電力ケーブル１００Ｍは２７％である。
【００８９】
また、電流比については、比較用の電力ケーブルは、接地母線を含まないため０％であり、電力ケーブル１００は３５％であり、電力ケーブル１００Ｍは２５％である。これは、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂ及び１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭの断面積が大きいほど、電流比が大きくなることを示している。
【００９０】
また、接地母線の発熱量については、比較用の電力ケーブルは、接地母線を含まないため０倍であり、電力ケーブル１００は１倍であり、電力ケーブル１００Ｍは１．９倍である。これは、接地母線１２０Ｒ，１２０Ｙ，１２０Ｂの方が接地母線１２０ＲＭ，１２０ＹＭ，１２０ＢＭに比べて循環電流が大きいにも関わらず、断面積が大きいため抵抗が低く、発熱量が小さくなることを示している。
【００９１】
また、鋼管５０の外表面での磁界については、比較用の電力ケーブルは１００％であり、電力ケーブル１００は８７％であり、電力ケーブル１００Ｍは９０％である。これより、接地母線１２０ＲＭ，１２０ＹＭ，１２０ＢＭにながれる循環電流の大きい方が、３相の幾何学的な電流位置の距離が近づき、また、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの相間距離が短いほど、磁界が小さくなることを示している。
【００９２】
また、鉄損については、磁界の約二乗に比例して発生するが、磁界シミュレーションの結果、比較用の電力ケーブルは１００％であり、電力ケーブル１００は７０％であり、電力ケーブル１００Ｍは８０％である。
【００９３】
このように、電力ケーブル１００及び１００Ｍは、比較用の電力ケーブルに比べて、電流比が増大し、鋼管５０の外表面での磁界が低減され、鉄損が低減されていることが分かった。
【００９４】
以上、実施の形態によれば、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂは、断面視で中心線１０を中心とした3回対称の回転対称な位置関係に配置した状態で円１３０Ａに内接する外径を有する。円１３０Ａは、断面視で鋼管５０の内部に敷設可能な最大の電力ケーブルの包絡円の半径からバインダ１３０及び防食層１４０の厚さを除いた半径を有する円である。
【００９５】
送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの各々は、導線１１１、導線スクリーン１１２、絶縁層１１３、絶縁スクリーン１１４、及びベッディング１１５を有する構成であ

り、なるべく導線１１１の断面積を稼げるように、必要最小限の構成にしてある。このようにして、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの導線１１１（１１１Ｒ、１１１Ｙ、１１１Ｂ）の断面積を最大化している。

【００９６】

また、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂの外側面に絶縁層等の遮蔽物を設けずに、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂが円１３０Ａに接する外径を有する。このようにして、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂの外径を最大化している。

【００９７】

また、実施の形態の変形例の電力ケーブル１００Ｍでは、接地母線１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭは、３本の送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの包絡閉曲線１１０Ｘよりも外側に突出する外径を有する。

【００９８】

そして、上述のような送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂと接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂとを用いることにより、又は、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂと接地母線１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭとを用いることにより、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの導線１１１Ｒ、１１１Ｙ、１１１Ｂに流れる電流Icの幾何学的中心位置を約３０％程内側（中心線１０側）にオフセットさせることができる。

【００９９】

従って、送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂでの鉄損を低減し、全体での損失を３０％程度低減した電力ケーブル１００及び１００Ｍを提供することができる。すなわち、鉄損を抑制するとともに、送電電力を増大させた電力ケーブル１００及び１００Ｍを提供することができる。

【０１００】

なお、以上では、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂの外径が、円１３０Ａに内接する外径である形態と、接地母線１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭの外径が、３本の送電ケーブル１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂの包絡閉曲線１１０Ｘよりも外側に突出する外径の中で最小の外径である形態とについて説明した。

【０１０１】

しかしながら、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂ、又は、１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭの外径は、これらの外径の間の任意の値であってもよい。すなわち、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂ、又は、１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭの外径は、包絡閉曲線１１０Ｘよりも外側に突出する外径であって、かつ、円１３０Ａに内接する外径以下であればよい。

【０１０２】

換言すれば、接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂ、又は、１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭの外径は、包絡閉曲線１１０Ｘよりも外側に突出する外径であって、円１３０Ａに収まる外径であればよい。接地母線１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂが円１３０Ａに接する外径を有することは、円１３０Ａに収まる外径のうちで最大の外径を有する場合に相当する。

【０１０３】

以上、本発明の例示的な実施の形態の電力ケーブルについて説明したが、本発明は、具体的に開示された実施の形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲から逸脱することなく、種々の変形や変更が可能である。

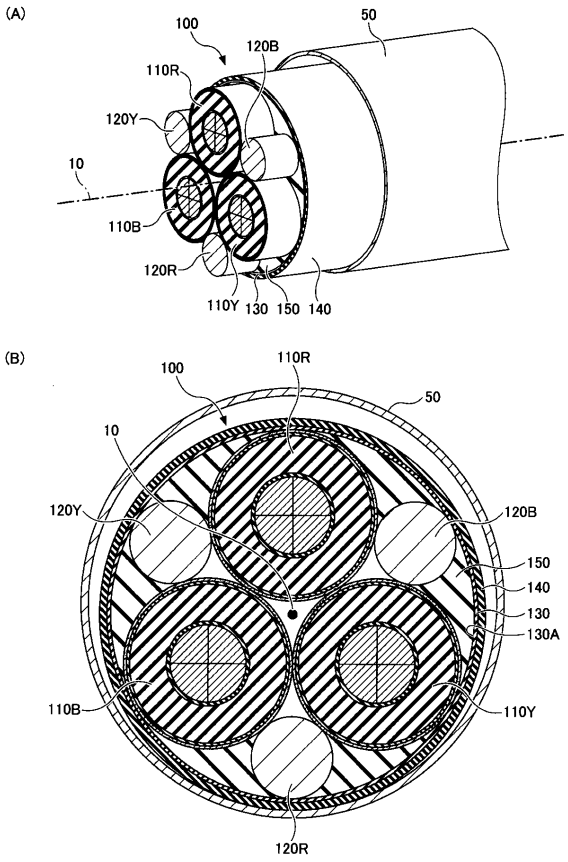
【符号の説明】

【０１０４】

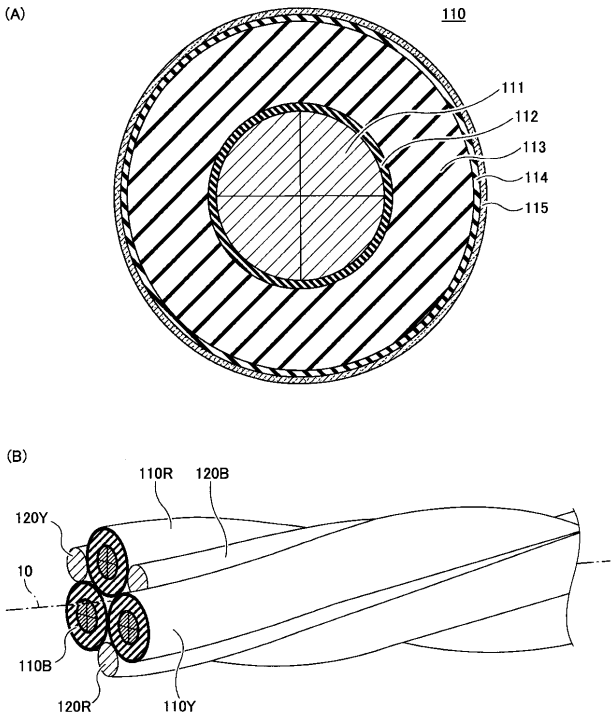
５０　鋼管
１００、１００Ｍ　電力ケーブル
１１０Ｒ、１１０Ｙ、１１０Ｂ　送電ケーブル
１１１　導線

１１２　導線スクリーン
１１３　絶縁層
１１４　絶縁スクリーン
１１５　ベッディング
１２０Ｒ、１２０Ｙ、１２０Ｂ、１２０ＲＭ、１２０ＹＭ、１２０ＢＭ　接地母線
１３０、１３０Ｍ　バインダ
１４０、１４０Ｍ　防食層
１５０、１５０Ｍ　樹脂部材

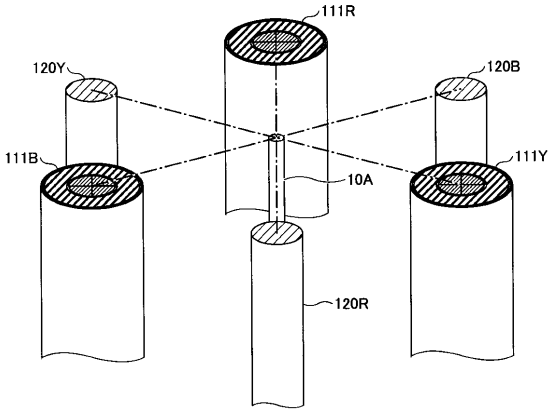
【図１】



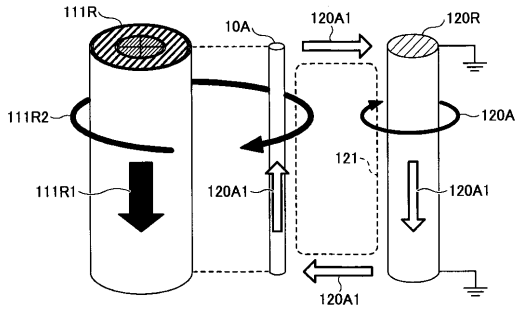
【図２】



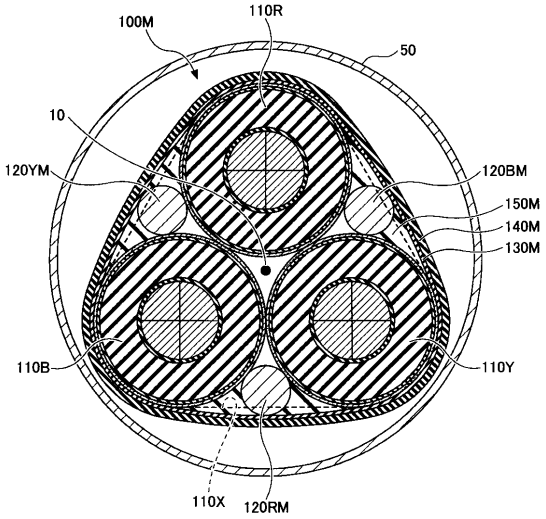
【図３】



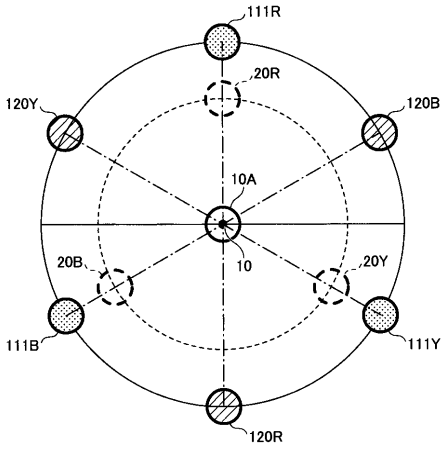
【図４】



【図５】



【図６】



【図７】

	接地母線の断面積	電流比 I_{ECC}/I_C	接地母線の発熱	鋼管上での磁界の大きさ	鉄損
比較用の電力ケーブル	0%	0%	0倍	100%	100%
電力ケーブル 100	100%	35%	1倍	87%	70%
電力ケーブル 100A	27%	25%	1.9倍	90%	80%