

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2013 年 12 月 5 日(05.12.2013)



(10) 国際公開番号

WO 2013/179686 A1

- (51) 国際特許分類:
H02G 1/14 (2006.01) H01L 39/04 (2006.01)
H01B 12/02 (2006.01) H01R 4/68 (2006.01)
H01B 13/00 (2006.01) H02G 15/34 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/051812
- (22) 国際出願日: 2013 年 1 月 29 日(29.01.2013)
- (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 2012-123861 2012 年 5 月 31 日(31.05.2012) JP
- (71) 出願人: 古河電気工業株式会社 (FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号 Tokyo (JP). 公益財団法人国際超電導産業技術研究センター (INTERNATIONAL SUPERCONDUCTIVITY TECHNOLOGY CENTER) [JP/JP]; 〒2130012 神奈川県川崎市高津区坂戸三丁目 2 番 1 号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 滕 軍(TENG, Jun); 〒1008322 東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 八木 正史(YAGI, Masashi); 〒1008322 東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 荒船 博司, 外(ARAFUNE, Hiroshi et al.); 〒1000006 東京都千代田区有楽町一丁目 1 番 3 号 東京宝塚ビル 17 階 光陽国際特許法律事務所内 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, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, 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.

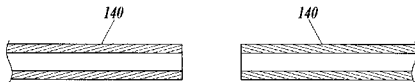
[続葉有]

(54) Title: STRUCTURE AND METHOD FOR CONNECTING FORMER OF SUPERCONDUCTING CABLE

(54) 発明の名称: 超電導ケーブルのフォーマの接続構造及び接続方法

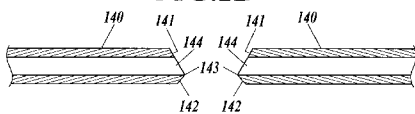
[図2A]

FIG.2A



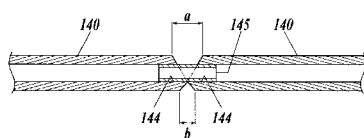
[図2B]

FIG.2B



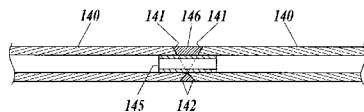
[図2C]

FIG.2C



[図2D]

FIG.2D



(57) Abstract: A connection structure for connecting hollow formers (140) provided inside a superconducting cable (10), wherein the connection structure is characterized in that one end section and another end section of a hollow connecting conduit (145) are inserted into an open end section (144) leading to a hollow interior section formed in a connection end section of each of the formers, the opposed connection end sections of the formers being welded together. The connection conduit (145) thereby ensures circulation of a refrigerant. Also, there is no incidence of the refrigerant circulation path being blocked when welding is performed in the connection conduit, allowing formers to be more easily connected.

(57) 要約: 超電導ケーブル 10 の内部に設けられた中空のフォーマ 140 同士を接続する接続構造であって、それぞれのフォーマの接続端部に形成された中空内部に通じる開口部 144 に中空の接続導管 145 の一端部と他端部とが挿入され、対向状態としたそれぞれのフォーマの接続端部の間が溶接によって接合されたことを特徴とする。これにより、接続導管 145 が冷媒の流通を確保する。また、接続導管 145 が溶接作業時に冷媒の流通路を塞がれることを防止するので、フォーマ接続の作業性の向上することができる。



(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR),

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：超電導ケーブルのフォーマの接続構造及び接続方法 技術分野

[0001] 本発明は、超電導ケーブルのケーブルコアの中心に位置するフォーマの接続構造及び接続方法に関する。

背景技術

[0002] 超電導ケーブルは、フォーマ及び超電導線を有するケーブルコアと、当該ケーブルコアを収容する真空二重管構造の断熱管とを備え、断熱管の内側ではケーブルコアを冷却するための超低温の液体冷媒の循環が行われる。

そして、超電導線及びフォーマの冷却効率を高めるために、フォーマを中空に形成し、その中空内部にも液体冷媒が循環されるようになっている。

[0003] ところで、超電導ケーブルを電力供給線として使用する場合には、電力供給源から遠方の電力消費地まで超電導ケーブルを敷設する必要があるが、超電導ケーブルは製造上又は運搬上の理由などから、単一のケーブル長には限界がある。このため、長距離のケーブル敷設の際には、敷設の現場でいくつもの超電導ケーブルをつなぎ合わせる必要があった。

そして、超電導ケーブルのフォーマの端部同士を連結する際には、先端部同士を突き合わせて溶接により接合したり（例えば、特許文献1参照）、筒状導体の両端からそれぞれのフォーマを挿入して、外部からかしめて連結したりする（例えば、特許文献2参照）などの方法が採られていた。

また、中空導体の継ぎ目を接続する方法として、中空導体の外周に補強パイプを配し、中空導体と補強パイプをロウ付けして接続する方法（特許文献3）が知られている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2009-136071号公報

特許文献2：特開2006-302674号公報

特許文献3：特開平07-42882号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、中空フォーマの先端部同士を突き合わせて溶接した場合、溶接に使う溶加材が中空部に流れ込むために、中空部分が塞がれたり狭くなったりする場合があります、冷媒の流通が阻害され、ケーブルの冷却を十分に行えなくなることがあった。また、フォーマの中空内部を塞がないように溶接を行うようにすると、中空内部近くまで溶接を行うことができず、溶接強度が低くなる、或いは、加工作業そのものが煩雑で作業性が悪くなるという問題があった。

また、筒状導体を用いてかしめやロウ付けによりフォーマを接続した場合、相互間の接触状態が不十分となって導電性が悪化する、或いは、フォーマの外側に配される超電導線に筒状導体の角部が当接して応力の発生原因となったり、筒状導体の角部において電界の集中が生じて絶縁性能が低下したりする等の問題が生じていた。

[0006] 本発明は、フォーマの内部中空状態を維持しつつ超電導導体層の良好な送電を可能とする超電導ケーブルの接続構造及び接続方法を提供することをその目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明は、超電導ケーブルの内部に設けられた中空のフォーマ同士を接続する接続構造であって、それぞれの前記フォーマの接続端部に形成された中空内部に通じる開口部に中空の接続導管の一端部と他端部とが挿入され、対向状態としたそれぞれの前記フォーマの接続端部の間が溶接によって接合されたことを特徴とする。

[0008] また、接続構造にかかる本発明は、それぞれの前記フォーマの接続端部はその長手方向に対する傾斜面を含む端面で構成されており、それぞれの前記フォーマの接続端部の対応する前記傾斜面同士がくさび状の隙間を形成するように対向しており、向かい合った前記端面の間が溶加材によって接合され

ている構成としても良い。

[0009] また、接続構造にかかる本発明は、前記端面は大小二つの傾斜面を含み、対向状態としたそれぞれの前記フォーマの接続端部の間に前記傾斜面によって形成される大小二つのくさび状の隙間のうち、大きい方のくさび状の隙間が上側に、小さい方のくさび状の隙間が下側となるように配置され、当該各隙間が溶加材で充填されている構成としても良い。

[0010] また、接続構造にかかる本発明は、前記大きい方のくさび状の隙間の前記フォーマの長手方向における最大開口幅を前記小さい方のくさび状の隙間の前記フォーマの長手方向における最大開口幅の三倍以上とする構成としても良い。

[0011] また、接続構造にかかる本発明は、それぞれの前記フォーマは銅素線を束ねて形成されており、前記接続端部は銅材により一体的に固められている構成としても良い。

[0012] また、本発明は、超電導ケーブルの内部に設けられた中空のフォーマ同士を接続する接続方法であって、それぞれの前記フォーマの接続端部に形成された中空内部に通じる開口部に中空の接続導管の一端部と他端部とを挿入する工程と、対向状態としたそれぞれの前記フォーマの接続端部の間を溶接によって接合する工程とを備えることを特徴とする。

[0013] また、接続方法にかかる本発明は、それぞれの前記フォーマの接続端部はその長手方向に対する傾斜面を含む端面を形成する工程を備え、前記溶接で接合する工程では、それぞれの前記フォーマの接続端部の対応する前記傾斜面同士がくさび状の隙間を形成するように対向させると共に向かい合った前記端面の間に溶加材を充填する構成としても良い。

[0014] また、接続方法にかかる本発明は、前記接続導管に対してその外周面から半径方向外側に向かって延出された状態で使用する着脱可能な挿入補助具を備え、前記接続導管の一端部と他端部とを挿入する工程では、当該挿入補助具が対向するそれぞれの前記接続端部の端面の間から外部に延出された状態で前記接続導管のそれぞれの前記フォーマの開口部に対する挿入作業を行い

、挿入後は前記挿入補助具を除去する構成としても良い。

[0015] また、前記傾斜面を含む端面を形成する工程では、それぞれの前記フォーマの接続端部に大小二つの傾斜面からなる端面を形成し、前記溶接で接合する工程では、対向状態としたそれぞれの前記フォーマの接続端部の間に前記傾斜面によって形成される大小二つのくさび状の隙間のうち、大きい方のくさび状の隙間が上側に、小さい方のくさび状の隙間が下側となるように配置し、当該各隙間を溶加材で充填する構成としても良い。

[0016] また、接続方法にかかる本発明は、それぞれの前記フォーマは導体素線を束ねて形成されており、前記接続端部を一体的に固める工程を備える構成としても良い。

発明の効果

[0017] 本発明は、それぞれのフォーマの接続端部の中空内部に通じる開口部に中空の接続導管を挿入した状態でフォーマの接続端部間が溶接で接合されているので、内部の冷却用の液体冷媒の循環を良好に行うことが可能となる。更に、接続導管の存在によって、フォーマの中空内部を塞ぐ懸念がなくなるので、十分に接続端面全体を接合させることができ、接合強度の向上を図ることが可能となる。

また、接合作業時に接続導管によってフォーマの中空内部がフォーマを構成する部材の変形によって塞がれることが防止される。更に、接続導管の存在によって、フォーマの中空内部を塞ぐ懸念がなくなるので、接合作業を容易に行うことができ、作業性の向上も図ることが可能となる。

そして、フォーマの外側に筒状部材を設ける場合と異なり、フォーマの外周面に凸状部分が生じないので、外周に超電導線を配した場合の応力を排除することができ、耐久性や信頼性の向上を図ることが可能となる。また、大電流を流した場合でも超電導線における電解の集中の発生を回避し、良好な絶縁性を維持することが可能となる。

[0018] また、対向状態としたフォーマの接続端部の対応する傾斜面同士がくさび状の隙間を形成する状態で端面同士が溶加材によって接合されている場合に

は、互いに対向するフォーマにおいて対向した端面全体に溶加材を容易に行き渡らせることができ、強力な接合を行うことが可能となると共に、作業性の向上も図ることが可能となる。

[0019] また、対向状態としたフォーマの接続端部間に大小二つのくさび状の隙間を形成して、大きい方を上側とした場合には、大きい方のくさび状の隙間に溶加材を充填すると、溶加材が下方に漏れ出した場合でも下側のくさび状の隙間に充填される事となり、溶加材がフォーマの外周面から凸となる状態を抑制することが可能となる。また、これにより、接合作業を用意に行うことが可能となり、作業性の向上を図ることが可能となる。

[0020] また、大きい方のくさび状の隙間のフォーマの長手方向における最大開口幅を小さい方のくさび状の隙間のフォーマの長手方向における最大開口幅の三倍以上とした場合には、大きい方のくさび状の隙間から下側の小さい方のくさび状の隙間に溶加材が移動した場合に、当該小さい方のくさび状の隙間に不足なく溶加材を充填することができる。

[0021] また、フォーマが導体素線を束ねて形成されている場合、フォーマそのものに高い可撓性を持たせることができ、その接続端部同士を突き合わせることも容易となり、作業性を向上することが可能である。

また、接続端部は一体的に固められているので、接合作業時にフォーマを構成する導体素線がバラつくことがなく、接合作業を容易にすると共に接合強度を高めることが可能となり、更に、断面が一体化されていることで接続抵抗も低くすることができる。

[0022] また、接続導管が外周表面からその半径方向外側に向かって延出された挿入補助具を備える場合には、挿入補助具を用いて接続導管の挿入作業を行うことができ、接続作業の作業性の向上を図ることができる。また、挿入補助具は、接続導管に対して着脱可能であり、挿入作業後は除去することができるため、その後の作業にも妨げともならず、この点からも作業性の向上が図られている。

図面の簡単な説明

[0023] [図1]超電導ケーブルの構造を示す斜視図である。

[図2A]フォーマを接続する際の最初の接続作業工程を示した図である。

[図2B]フォーマを接続する際の図2Aに続く接続作業工程を示した図である。
。

[図2C]フォーマを接続する際の図2Bに続く接続作業工程を示した図である。
。

[図2D]フォーマを接続する際の図2Cに続く接続作業工程を示した図である。
。

[図3]図2Bにおける一方のフォーマの接続端部を他方のフォーマ側から見た図である。

[図4A]フォーマの接続端部に大きさの等しい傾斜面を上下に形成した場合の例を示す図である。

[図4B]フォーマの接続端部に図4Aよりも傾斜角度を大きくして互いに等しい傾斜面を上下に形成した場合の例を示す図である。

[図5]フォーマの接続端部に傾斜面と非傾斜面とからなる端面を形成した場合の例を示す図である。

[図6]フォーマの接続端部に一つの傾斜面のみからなる端面を形成した場合の例を示す図である。

[図7]挿入補助具を使用して接続導管を各フォーマの開口部に挿入する例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0024] [超電導ケーブル]

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。

図1は超電導ケーブルの一例を示す図である。

超電導ケーブル10は、断熱管12内に一心のケーブルコア11が収納された単心型の超電導ケーブルである。ケーブルコア11は、フォーマ140、超電導線から構成される超電導導体層112、電気絶縁層113、超電導シールド層114、常電導シールド層115、保護層116等により構成さ

れる。

[0025] フォーマ 140 は、ケーブルコア 11 を形成するための巻芯であり、例えば銅素線等の常電導線（導体線）を撚り合わせて構成される。フォーマ 140 には、短絡事故時に超電導導体層 112 に流れる事故電流が分流される。

また、このフォーマ 140 は、内部が中空に形成されており、当該中空に形成された中空部には、当該フォーマ 140 及び超電導導体層 112 を冷却するために、液体冷媒（例えば液体窒素）が供給される。なお、この液体冷媒は後述する断熱管 12 内においてケーブルコア 11 の周囲に供給されるものと同一のものである。

[0026] 超電導導体層 112 は、フォーマ 140 の上にカーボン紙（図示しない）を介して複数の超電導線が螺旋状に巻回されて形成されている。図 1 では、超電導導体層 112 を 4 層の積層構造としている。超電導導体層 112 には、定常運転時に送電電流が流される。

超電導導体層 112 を構成する超電導線は、例えば、テープ状の金属基板上に中間層、超電導層、保護層等が順に形成された積層構造を有している。超電導層を構成する超電導体には、液体窒素温度以上で超電導状態となる RE 系超電導体（RE：希土類元素）を用いることができる。RE 系超電導体としては、例えば化学式 $YBa_2Cu_3O_{7-y}$ で表されるイットリウム系超電導体（以下、Y 系超電導体）が代表的である。また、金属マトリクス中に超電導体が形成されているテープ状の超電導線でもよい。超電導体には、ビスマス系超電導体、例えば化学式 $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ (Bi2212), $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10+\delta}$ (Bi2223) を適用できる。

なお、化学式中の δ は酸素不定比量を示す。

[0027] 電気絶縁層 113 は、絶縁紙、絶縁紙とポリプロピレンフィルムを接合した半合成紙、高分子不織布テープなどの絶縁性紙類で構成され、超電導導体層 112 の上に積層状態に巻回することにより形成される。

[0028] 超電導シールド層 114 は、電気絶縁層 113 の上にカーボン紙（図示しない）を介して複数の超電導線を螺旋状に巻回することにより形成される。

図 1 では、超電導シールド層 114 を 2 層の積層構造としている。超電導シールド層 114 には、定常運転時に電磁誘導によって導体電流とほぼ同じ電流が逆位相で流れる。超電導シールド層 114 を構成する超電導線には、超電導導体層 112 と同様のものを適用できる。

[0029] 常電導シールド層 115 は、超電導シールド層 114 の上に銅線などの常電導線を巻回することにより形成される。常電導シールド層 115 には、短絡事故時に超電導シールド層 114 に流れる事故電流が分流される。

保護層 116 は、例えば、絶縁紙、高分子不織布などの絶縁性紙類で構成され、常電導シールド層 115 の上に巻回することにより形成される。

[0030] 断熱管 12 は、ケーブルコア 11 を収容するとともに冷媒（例えば液体窒素）が充填される断熱内管 121 と、断熱内管 121 の外周を覆うように配設された断熱外管 122 からなる二重管構造を有している。

断熱内管 121 及び断熱外管 122 は、例えばステンレス製のコルゲート管（波付き管）である。断熱内管 121 と断熱外管 122 の間には、例えばアルミを蒸着したポリエチレンフィルムの積層体で構成された多層断熱層（スーパーインシュレーション）123 が介在され、真空状態に保持される。また、断熱外管 122 の外周はポリ塩化ビニル（PVC）やポリエチレンなどで構成された防食層 124 で被覆されている。

[0031] [超電導ケーブルのフォーマの接続構造の概要]

長距離のケーブルが敷設される場合、複数の超電導ケーブル 10 の端部同士が既知の中間接続部を介してつなぎ合わせされることとなる。本実施形態では、二本の超電導ケーブル 10、10 をつなぎ合わせる際のフォーマ 140、140 同士を接続するための接続構造について例示する。

[0032] 図 2A～図 2D はフォーマ 140、140 を接続する際の接続作業工程を示している。なお、各超電導ケーブル 10、10 の端部において、断熱管 12 からケーブルコア 11 の端部が引き出され、超電導導体層 112、電気絶縁層 113、超電導シールド層 114、常電導シールド層 115、保護層 116 は段剥ぎされて、フォーマ 140 の接続端部が露出した状態にあるもの

とする。

[0033] 図2Aに示すように、互いに接続するフォーマ140、140は、当初は、その接続端部の端面が長手方向に垂直な一つの平坦面から形成されている。

そして、図2Bに示すように、これら各フォーマ140の接続端部に二つの傾斜面を形成する（傾斜面形成工程）。各フォーマ140の接続端部の端面は、図3に示すように、これら二つの傾斜面141、142から構成された状態となり、各フォーマ140は、いずれも、二つの傾斜面141、142の境界となる境界部143が他方のフォーマ140側に突出した尖形の形状となる。なお、上側の傾斜面141は、上下方向及びフォーマ140の長手方向について全体的にその寸法が下側の傾斜面142よりも大きく形成されていることが好ましい。

なお、フォーマ140、140は、前述したように、複数の銅素線を撚り合わせて形成されているので、上下の傾斜面141、142では、いずれも銅素線の隙間を溶融した銅材で固めており、銅素線がばらけないようになっている。

[0034] そして、図2Cに示すように、各フォーマ140の接続端部における中空内部に通じる開口部144のそれぞれに接続導管145の一端部と他端部とを挿入し、互いの境界部143、143同士が突き合わされた対向状態とする（接続導管挿入工程）。なお、境界部143、143同士は、同径接続という点から互いに平行且つ接触状態とすることが望ましいが、多少の隙間を有する状態としても良い。

なお、接続導管145は、中空のフォーマ140の内径と略一致し、開口部144から挿入可能な外径に設計されている。この接続導管145は、全長に渡って中空の導体で形成され、溶接の際の接合相性という点からフォーマ140を形成する材質と同じものが好ましい。具体的には、フォーマ140が銅製の場合には銅製の筒状体を接続導管145として用い、フォーマ140がステンレス鋼製の場合はステンレス鋼製の筒状体を接続導管145と

して用いるのが好ましい。フォーマ１４０に挿入された接続導管１４５は、一方のフォーマ１４０の中空内部から他方のフォーマ１４０の中空内部へと流れる液体冷媒の流通を阻害しない構造となっている。従って、接続導管１４５の内径は大きい方が望ましいが、その肉厚が薄くなると強度の低下を生じるため、所定の強度を確保しつつ内径を定めることが好ましい。

[0035] そして、フォーマ１４０，１４０の接続端部同士を傾斜面１４１，１４１を上に向けた状態で境界部１４３，１４３が合致するように突き合わせた状態とすると、これらの接続端部間には、上側の傾斜面１４１，１４１の間と下側の傾斜面１４２，１４２の間とに、それぞれくさび状の隙間空間が形成される。この時、上側のくさび状の隙間空間の最大開口幅 a （フォーマ１４０の長手方向幅）は、下側のくさび状の隙間空間の最大開口幅 b の３倍～４倍程度とすることが望ましい。ここでは３倍とする。

[0036] 次に、図２Ｄに示すように、各フォーマ１４０，１４０の接続端部を、上側から溶加材１４６を用いて溶接を行う（溶接工程）。この時、上側のくさび状の隙間空間に溶加材１４６（半田、銅など）を充填すると、境界部１４３，１４３の間から下側のくさび状の隙間空間にも溶加材が侵入し、結果的に、上側のくさび状の隙間空間も下側のくさび状の隙間空間も溶加材１４６が充填される。

これにより、露出した接続導管１４５の外周面、上側の各傾斜面１４１，１４１及び下側の各傾斜面１４２，１４２の全体が溶加材１４６に密着し、各フォーマ１４０，１４０の接続端部同士を強固に連結することができる。また、接続導管１４５により、各フォーマ１４０の中空内部が溶加材１４６で塞がれることなく、中空内部同士が連通した状態は良好に維持される。

なお、上下のくさび状の隙間空間から外側に溶加材１４６がはみ出た場合には、溶加材１４６による接合部分がフォーマ１４０，１４０の外径に等しくなるように、研磨して余分な溶加材は除去することが好ましい。

[0037] また、各ケーブルコア１１，１１のフォーマ１４０，１４０が接続された後には、その外周面にカーボン紙を介して超電導線が配置され、各ケーブル

コア 1 1, 1 1 が有する超電導線が互いに半田接続されて超電導導体層 1 1 2 が形成される。

そして、超電導導体層 1 1 2 の上には、絶縁紙が巻回されて電気絶縁層 1 1 3 が形成される。このとき、半田接続された超電導線の接続部に対しては、より絶縁性を高める必要があるので、ケーブルコア 1 1 のもとの電気絶縁層 1 1 3 よりも外径が大きくなるまで絶縁紙が巻回される。

そして、電気絶縁層 1 1 3 の上には、互いに半田接続される超電導線が配置され、超電導シールド層 1 1 4 が形成され、さらに、その上に重ねて常電導シールド層 1 1 5 及び保護層 1 1 6 が形成される。

これにより、超電導ケーブル 1 0, 1 0 のケーブルコア 1 1, 1 1 が端部同士で接続される。さらに、各超電導ケーブル 1 0, 1 0 のケーブルコア 1 1, 1 1 の接続部は断熱容器に格納される。各超電導ケーブル 1 0, 1 0 の断熱管 1 2, 1 2 は、この接続部を収容した断熱容器に接続される。

その結果、断熱管 1 2, 1 2 内に供給される液体冷媒は、断熱容器を介して、流通可能となり、ケーブルコア 1 1, 1 1 の接続部における冷却手段も確保される。

[0038] このように、超電導ケーブル 1 0, 1 0 のケーブルコア 1 1, 1 1 を接続する場合に、それぞれのフォーマ 1 4 0, 1 4 0 の接続端部の中空内部に通じる開口部 1 4 4, 1 4 4 に中空の接続導管 1 4 5 を挿入した状態でフォーマ 1 4 0, 1 4 0 の接続端部間が溶加材を用いた溶接で接合されるので、接合作業時にフォーマ 1 4 0, 1 4 0 の中空内部が塞がれることが防止され、内部の冷却用の液体冷媒の循環を良好に行うことが可能となる。

また、溶加材がフォーマ 1 4 0, 1 4 0 の中空内部を塞ぐ懸念がないので、十分に接続端面全体を接合させることができ、接合強度の向上を図ることが可能となる。また、溶加材がフォーマ 1 4 0, 1 4 0 の中空内部を塞ぐ懸念がないので、接合作業を容易に行うことができ、作業性の向上も図ることが可能となる。

さらに、フォーマ 1 4 0, 1 4 0 の外側に筒状部材を設けて接合する場合

と異なり、フォーマ１４０，１４０の外周面に凸状部分が生じないので、フォーマ１４０表面の凸状部分による超電導導体層１１２の超電導線への応力の発生を解消し、超電導線の耐久性や信頼性の向上を図ることが可能となる。また、大電流を流した場合でも筒状導体の角部において電界の集中の発生を回避し、良好な絶縁性能を維持することが可能である。

[0039] さらに、対向状態としたフォーマ１４０，１４０の接続端部間において、傾斜面１４１，１４１による大きい方のくさび状の隙間を上側として溶加材を充填すると、傾斜面１４２，１４２による小さい方のくさび状の隙間にまで溶加材が充填される事となり、接続端部の全体に溶加材を行き渡らせることができ、強固に接合すると共に、接合の作業性の向上を図ることが可能となる。

このとき、大きい方のくさび状の隙間のフォーマ１４０の長手方向における最大開口幅 a を小さい方のくさび状の隙間の最大開口幅 b の３倍とした場合、大きい方のくさび状の隙間から下側の小さい方のくさび状の隙間に溶加材が移動して、小さい方のくさび状の隙間にも過不足なく溶加材を充填することができる。

[0040] また、各フォーマ１４０，１４０が導体（銅）素線を束ねて形成されている場合、フォーマ１４０，１４０そのものに高い可撓性を持たせることができ、その接続端部同士を突き合わせることも容易となり、作業性を向上することが可能である。

また、接続端部は一体的に固めることで、接合作業時にフォーマ１４０を構成する導体素線がバラつくことがなく、接合作業を容易とすると共に接合強度を高めることが可能となる。なお、接続端部を一体的に固める場合、固める際に用いる材料は、溶接後の接続部において電気性能のバラツキを抑えるという点から、導体素線の材質と同じ材料を用いることが好ましい。

[0041] [フォーマの接続構造の他の例]

なお、上記フォーマ１４０，１４０の接続構造では、それぞれの接続端部に二つの傾斜面１４１，１４２による端面を形成し、これらによって大小二

つのくさび状の隙間を形成したが、これらくさび状の隙間は、図4 A及び図4 Bに示すように、均一の大きさにしても良い。図4 Aはフォーマ140の長手方向に対する二つの傾斜面141, 142の傾斜角度を等しくすると共に傾斜角度を緩やかにした場合を示し、図4 Bはフォーマ140の長手方向に対する二つの傾斜面141, 142の傾斜角度を等しくすると共に傾斜角度を図4 Aの場合よりもやや大きくした場合を示している。

これらの場合も、接続導管145により各フォーマ140, 140の中空内部が塞がれることなく、強固に良好な絶縁性を維持する接続を行うことができ、また、作業性の向上を図ること可能である。

さらに、溶接の際に、フォーマ140, 140の上側のくさび状の隙間から下側のくさび状の隙間に溶加材を充填することができ、接合の作業性の向上も可能である。

[0042] また、図5に示すように、フォーマ140, 140の接続端部に傾斜面141とフォーマの長手方向に垂直な垂直面147とからなる端面を形成し、傾斜面141, 141同士が互いに合致する配置として、傾斜面141, 141によるくさび状の隙間と垂直面147, 147による平行な隙間とを形成し、くさび状の隙間を上に向けた状態で溶加材を充填して接合を行っても良い。

この場合も、接続導管145により各フォーマ140, 140の中空内部が塞がれることなく、強固に良好な絶縁性を維持する接続を行うことができ、また、作業性の向上を図ること可能である。

さらに、くさび状の隙間を上に向けることにより、くさび状の隙間に充填した溶加材が平行な隙間側にも流れて充填され、接合の作業性を向上することが可能である。また、図4 A及び図4 Bの場合と異なり、くさび状の隙間に比べて平行な隙間はその容積が小さいので、過不足なく平行な隙間側への溶加材の充填を行うことが可能である。従って、接合強度を高めつつ、下側の隙間への過剰な溶加材の充填により外部に溶加材がはみ出てしまうことを抑制でき、余分な溶加材の除去作業なども不要とすることが可能となる。

また、一つのフォーマ１４０に傾斜面１４１は一つしか形成しないので接続作業の工数を低減することが可能である。

- [0043] また、図６に示すように、フォーマ１４０、１４０の接続端部に一つの傾斜面１４１からなる端面のみを形成し、傾斜面１４１、１４１によるくさび状の隙間を上に向けた状態で溶加材を充填して接合を行っても良い。

この場合も、接続導管１４５により各フォーマ１４０、１４０の中空内部が塞がれることなく、強固に良好な絶縁性を維持する接続を行うことができ、また、作業性の向上を図ること可能である。

なお、この場合も傾斜面１４１は一つしか形成しないので接続作業の工数を低減することが可能となるが、各フォーマ１４０、１４０の接続端部同士の間にはくさび状の隙間しか形成されないので、充填した溶加材がその下側に漏れでないように、溶加材の充填量を調整しつつ接合作業を行う必要がある。

- [0044] また、図示は省略するが、フォーマ１４０、１４０の接続端部をフォーマの長手方向に垂直な端面のみとし、接続導管１４５によりフォーマ１４０、１４０の接続端部同士を接続しても良い。その場合、一方のフォーマ１４０の開口部１４４に接続導管１４５の一端部を挿入し、溶接により相互間を固定した後に、他方のフォーマ１４０の開口部１４４に接続導管１４５の他端部を挿入し、フォーマ１４０、１４０の対向する端面同士を溶接により接続する。

なお、この場合、傾斜面によるくさび状の隙間空間が形成されないので、当該空間への溶加材の充填が不要となり、溶加材を使用せずに、フォーマ１４０、１４０や接続導管１４５の部材の一部分を溶融させて溶接を行うことも可能である。また、少量の溶加材を使用しての溶接も可能である。

- [0045] また、図７に示すように、接続導管１４５の外周表面部に形成された凹部に嵌合して着脱可能な挿入補助具１４８を使用して、各フォーマ１４０、１４０の開口部１４４、１４４（図２Ｂ参照）に対する接続導管１４５の挿入作業を行っても良い。この挿入補助具１４８は、接続導管１４５の外周表面

からその半径方向外側に向かって延出された状態で取り付けられ、各フォーマ１４０、１４０の開口部１４４、１４４に接続導管１４５を挿入する際には、各フォーマ１４０、１４０の接続端部における端面の隙間（例えば、くさび状の隙間）から外側に突出し、この挿入補助具１４８を操作してフォーマ１４０の長手方向に対して接続導管１４５を適切な位置に調整することを可能とする。

この挿入補助具１４８は、接続導管１４５に対して着脱可能であるため、接続導管１４５の挿入工程の完了時には、取り外して除去することが可能である。従って、溶接作業の際には、挿入補助具１４８は除いた状態で作業が可能である。また、挿入補助具１４８がそのままフォーマ１４０に取り付けられた状態にならず、フォーマ１４０の外周に超電導導体層１１２を形成する際の邪魔とならないようになっている。

なお、図７では、接続端部形状が図５と同じフォーマ１４０を図示しているが、これに限らず、図２Ｃ、図４Ａ、図４Ｂ、図６のいずれのフォーマ１４０の接続作業にも利用可能である。

産業上の利用可能性

[0046] フォーマを中空として内側から極低温で冷却を行う超電導ケーブルの分野において利用可能性がある。

符号の説明

- [0047] １０ 超電導ケーブル
 １１ ケーブルコア
 １２ 断熱管
 １１２ 超電導導体層
 １１３ 電気絶縁層
 １１４ 超電導シールド層
 １１５ 常電導シールド層
 １１６ 保護層
 １４０ フォーマ

1 4 1, 1 4 2 傾斜面

1 4 4 開口部

1 4 5 接続導管

1 4 6 溶加材

1 4 7 垂直面

1 4 8 挿入補助具

請求の範囲

- [請求項1] 超電導ケーブルの内部に設けられた中空のフォーマ同士を接続する接続構造であって、
- それぞれの前記フォーマの接続端部に形成された中空内部に通じる開口部に中空の接続導管の一端部と他端部とが挿入され、
- 対向状態としたそれぞれの前記フォーマの接続端部の間が溶接によって接合されたフォーマの接続構造。
- [請求項2] それぞれの前記フォーマの接続端部はその長手方向に対する傾斜面を含む端面で構成されており、
- それぞれの前記フォーマの接続端部の対応する前記傾斜面同士がくさび状の隙間を形成するように対向しており、向かい合った前記端面の間が溶加材によって接合された請求項1記載のフォーマの接続構造。
- [請求項3] 前記端面は大小二つの傾斜面を含み、
- 対向状態としたそれぞれの前記フォーマの接続端部の間に前記傾斜面によって形成される大小二つのくさび状の隙間のうち、大きい方のくさび状の隙間が上側に、小さい方のくさび状の隙間が下側となるように配置され、当該各隙間が溶加材で充填された請求項2記載のフォーマの接続構造。
- [請求項4] 前記大きい方のくさび状の隙間の前記フォーマの長手方向における最大開口幅を前記小さい方のくさび状の隙間の前記フォーマの長手方向における最大開口幅の三倍以上としたことを特徴とする請求項3記載のフォーマの接続構造。
- [請求項5] それぞれの前記フォーマは導体素線を束ねて形成されており、前記接続端部は一体的に固められていることを特徴とする請求項1から4のいずれか一項に記載のフォーマの接続構造。
- [請求項6] 超電導ケーブルの内部に設けられた中空のフォーマ同士を接続する接続方法であって、

それぞれの前記フォーマの接続端部に形成された中空内部に通じる開口部に中空の接続導管の一端部と他端部とを挿入する工程と、

対向状態としたそれぞれの前記フォーマの接続端部の間を溶接によって接合する工程とを備えることを特徴とするフォーマの接続方法。

[請求項7] それぞれの前記フォーマの接続端部はその長手方向に対する傾斜面を含む端面を形成する工程を備え、

前記溶接で接合する工程では、それぞれの前記フォーマの接続端部の対応する前記傾斜面同士がくさび状の隙間を形成するように対向させると共に向かい合った前記端面の間に溶加材を充填することを特徴とする請求項6記載のフォーマの接続方法。

[請求項8] 前記接続導管に対してその外周面から半径方向外側に向かって延出された状態で使用する着脱可能な挿入補助具を備え、

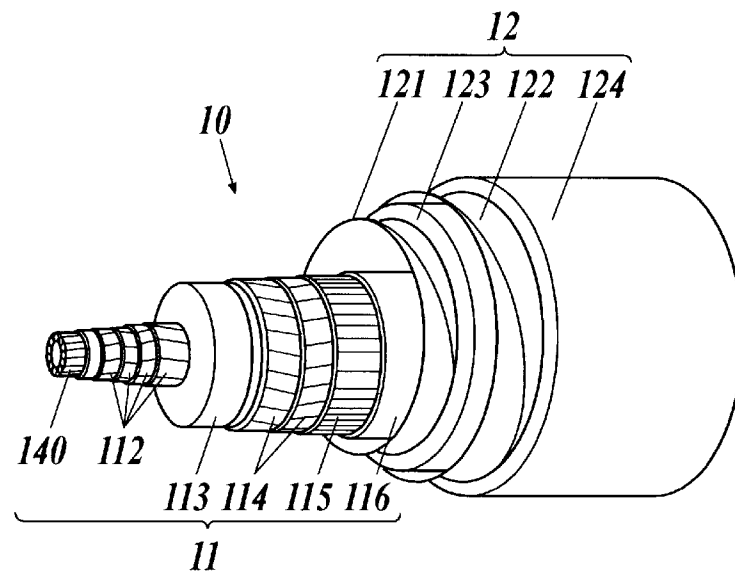
前記接続導管の一端部と他端部とを挿入する工程では、当該挿入補助具が対向するそれぞれの前記接続端部の端面の間から外部に延出された状態で前記接続導管のそれぞれの前記フォーマの開口部に対する挿入作業を行い、挿入後は前記挿入補助具を除去することを特徴とする請求項7記載のフォーマの接続方法。

[請求項9] 前記傾斜面を含む端面を形成する工程では、それぞれの前記フォーマの接続端部に大小二つの傾斜面からなる端面を形成し、

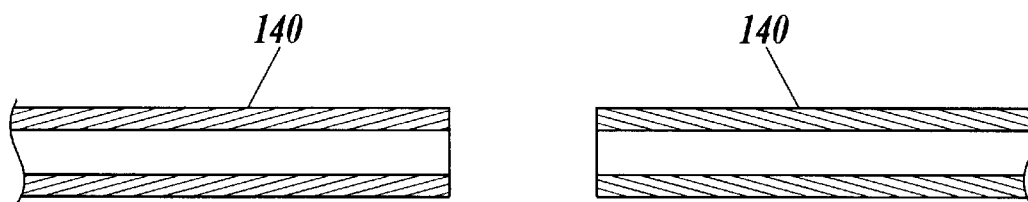
前記溶接で接合する工程では、対向状態としたそれぞれの前記フォーマの接続端部の間に前記傾斜面によって形成される大小二つのくさび状の隙間のうち、大きい方のくさび状の隙間が上側に、小さい方のくさび状の隙間が下側となるように配置し、当該各隙間を溶加材で充填することを特徴とする請求項7又は8記載のフォーマの接続方法。

[請求項10] それぞれの前記フォーマは素線を束ねて形成されており、前記接続端部を一体的に固める工程を備えることを特徴とする請求項6から9のいずれか一項に記載のフォーマの接続方法。

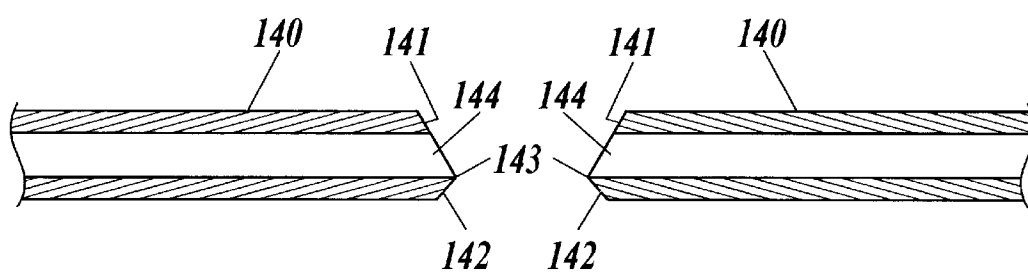
[図1]

FIG.1

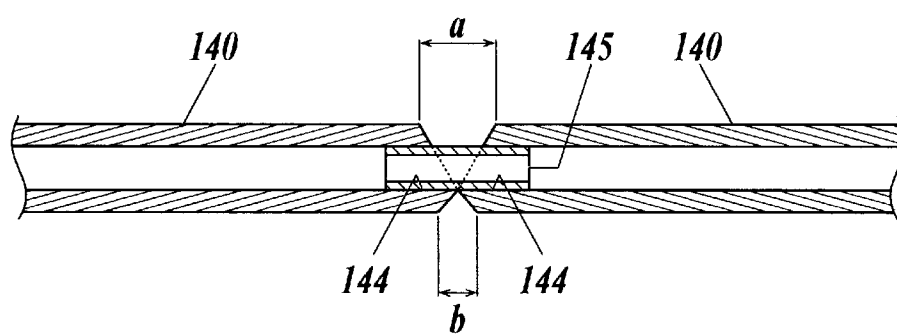
[図2A]

FIG.2A

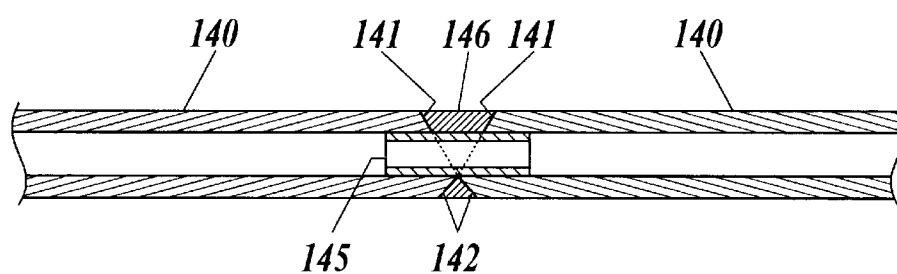
[図2B]

FIG.2B

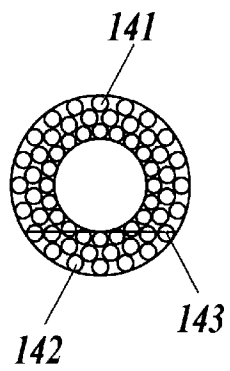
[図2C]

FIG.2C

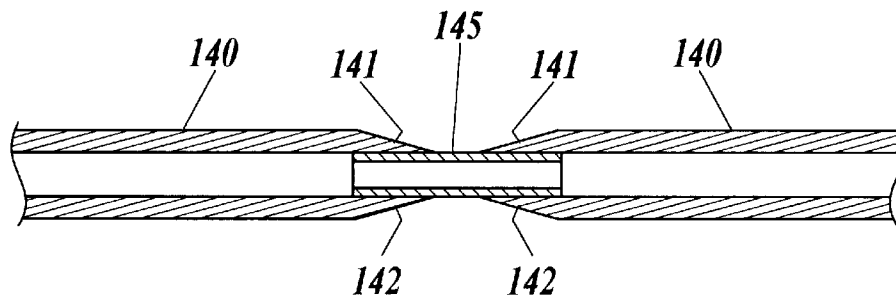
[図2D]

FIG.2D

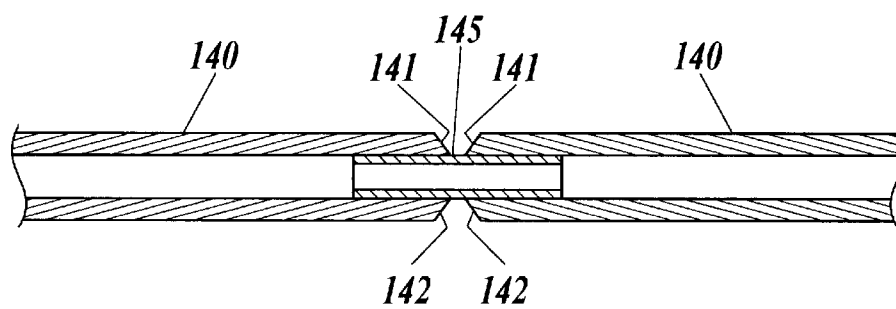
[図3]

FIG.3

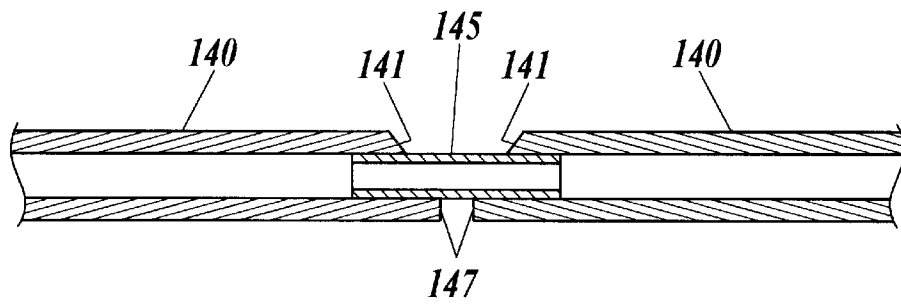
[図4A]

FIG.4A

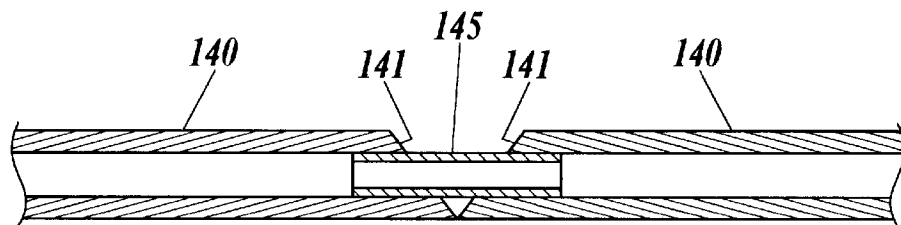
[図4B]

FIG.4B

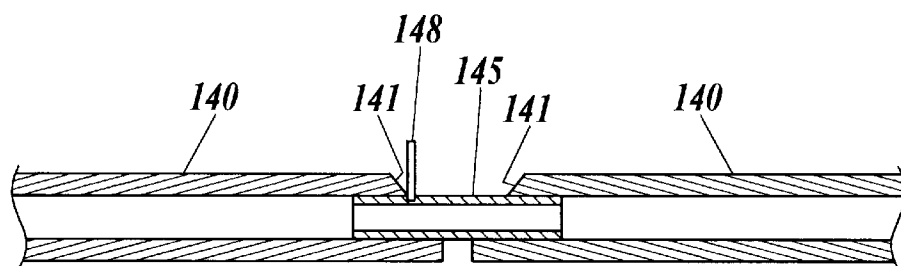
[図5]

FIG.5

[図6]

FIG.6

[図7]

FIG.7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/051812

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02G1/14(2006.01)i, H01B12/02(2006.01)i, H01B13/00(2006.01)i, H01L39/04
(2006.01)i, H01R4/68(2006.01)i, H02G15/34(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)

H02G1/14, H01B12/02, H01B13/00, H01L39/04, H01R4/68, H02G15/34

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	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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.
Y A	JP 8-138768 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 31 May 1996 (31.05.1996), paragraphs [0001], [0005] to [0008]; fig. 2 (Family: none)	1, 2, 5, 6, 7, 10 3, 4, 8, 9
Y A	JP 11-121059 A (Fujikura Ltd.), 30 April 1999 (30.04.1999), paragraphs [0001], [0027]; fig. 8 (Family: none)	1, 2, 5, 6, 7, 10 3, 4, 8, 9
Y A	JP 2009-136071 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 18 June 2009 (18.06.2009), paragraphs [0001], [0026] to [0034]; fig. 1 (Family: none)	2, 7 3, 4, 8, 9



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
01 March, 2013 (01.03.13)

Date of mailing of the international search report
12 March, 2013 (12.03.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/051812

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2010-92715 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 22 April 2010 (22.04.2010), paragraphs [0024] to [0025], [0035] to [0039]; fig. 1 (Family: none)	5, 10 3, 4, 8, 9
Y A	JP 2010-20968 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 28 January 2010 (28.01.2010), paragraphs [0001], [0035] to [0037]; fig. 1 (Family: none)	5, 10 3, 4, 8, 9

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H02G1/14(2006.01)i, H01B12/02(2006.01)i, H01B13/00(2006.01)i, H01L39/04(2006.01)i,
H01R4/68(2006.01)i, H02G15/34(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H02G1/14, H01B12/02, H01B13/00, H01L39/04, H01R4/68, H02G15/34

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 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
Y A	JP 8-138768 A (住友電気工業株式会社) 1996.05.31, 段落【0001】, 【0005】 - 【0008】, 図2 (ファミリーなし)	1, 2, 5, 6, 7, 10 3, 4, 8, 9
Y A	JP 11-121059 A (株式会社フジクラ) 1999.04.30, 段落【0001】, 【0027】, 図8 (ファミリーなし)	1, 2, 5, 6, 7, 10 3, 4, 8, 9
Y A	JP 2009-136071 A (古河電気工業株式会社) 2009.06.18, 段落 【0001】, 【0026】 - 【0034】, 図1 (ファミリーなし)	2, 7 3, 4, 8, 9

☒ 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

0 1 . 0 3 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

1 2 . 0 3 . 2 0 1 3

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

南 正樹

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 8 6

5 N

3 7 8 5

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 A	JP 2010-92715 A (住友電気工業株式会社) 2010.04.22, 段落【0024】 - 【0025】, 【0035】 - 【0039】, 図1 (ファミリーなし)	5, 10 3, 4, 8, 9
Y A	JP 2010-20968 A (住友電気工業株式会社) 2010.01.28, 段落【0001】, 【0035】 - 【0037】, 図1 (ファミリーなし)	5, 10 3, 4, 8, 9