(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年5月3日(03.05.2018)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2018/078877 A1

(51) 国際特許分類:
H01B 12/06 (2006.01) *H01F 6/06* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2016/082335

(22) 国際出願日： 2016年10月31日(31.10.2016)

(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: 永石 竜起 (NAGAISHI, Tatsuoki); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目１番３号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (JP). 山口 高史 (YAMAGUCHI, Takashi); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目１番３号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人深見特許事務所 (FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島三丁目２番４号 中之島フェスティバルタワー・ウエスト Osaka (JP).

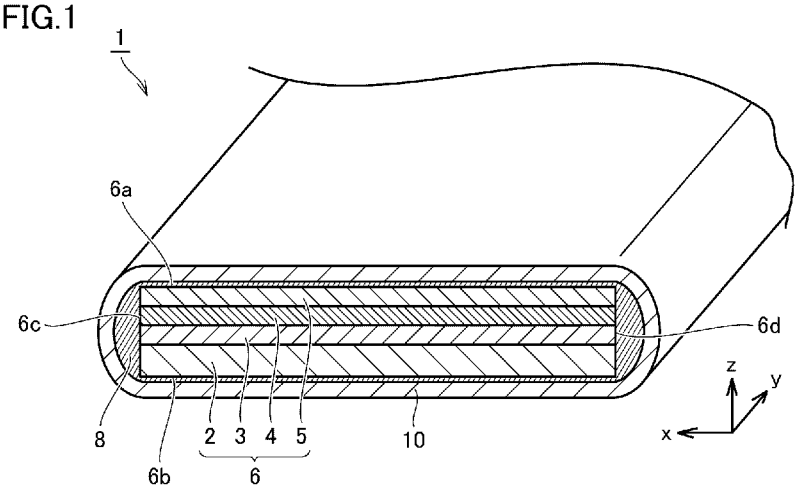
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM,

(54) **Title:** SUPERCONDUCTING WIRE

(54) 発明の名称： 超電導線材

FIG.1



(57) **Abstract:** To superconducting wire is provided with a main body containing a superconducting material part, and a conductive cover covering the periphery of the main body. In the cover, the surface portion located on the lateral surface of the main body in the width direction of the main body has a curved surface convex towards the outside of the cover. In a cross-section of the superconducting wire in the width direction, the radius of curvature of the surface portion may be less than or equal to the thickness of the main body.

(57) 要約: 超電導線材は、超電導材料部を含む本体部と、本体部の周囲を覆う導電性の被覆部とを備える。被覆部において、本体部の幅方向における本体部の側面上に位置する表面部分は、被覆部の外側に向かって凸の曲面形状になっている。超電導線材での幅方向の断面において、表面部分の曲率半径は本体部の厚さ以下であってもよい。

WO 2018/078877 A1

[続葉有]

ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

明　細　書

発明の名称 ： 超電導線材

技術分野

[0001] 本開示は、超電導線材に関する。

背景技術

[0002] 近年、転移温度が液体窒素温度以下の高温超電導体である酸化物超電導体からなる超電導材料層が設けられた酸化物超電導線材が注目されている。

[0003] このような酸化物超電導線材は、一般的に、酸化物超電導材料層を含む本体部を形成し、さらに、本体部の外周を銀（Ａｇ）や銅（Ｃｕ）の被覆部で覆うことにより製造されている（たとえば、国際公開第２００５／０５５２７５号明細書（特許文献１）参照）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：国際公開第２００５／０５５２７５号明細書

発明の概要

[0005] 本開示の超電導線材は、超電導材料部を含む本体部と、本体部の周囲を覆う導電性の被覆部とを備える。被覆部において、本体部の幅方向における本体部の側面上に位置する表面部分は、被覆部の外側に向かって凸の曲面形状になっている。超電導線材での幅方向の断面において、上記表面部分の曲率半径は本体部の厚さ以下である。

図面の簡単な説明

[0006] [図1]図１は、本実施の形態に係る超電導線材の断面図である。

[図2]図２は、図１に示した超電導線材の幅方向の端部を拡大して示す部分断面図である。

[図3]図３は、本実施の形態に係る超電導線材の断面図である。

[図4]図４は、図３に示した超電導線材の幅方向の端部を拡大して示す部分断面図である。

[図5]図５は、本実施の形態に係る超電導線材の製造方法の一例を説明するための断面模式図である。

[図6]図６は、本実施の形態の第１の変形例に係る超電導線材の断面図である。

[図7]図７は、本実施の形態の第２の変形例に係る超電導線材の断面図である。

[図8]図８は、本実施の形態の第３の変形例に係る超電導線材の断面図である。

発明を実施するための形態

[0007] [本開示が解決しようとする課題]

従来の超電導線材は矩形に近い断面形状を有しており、かつ、超電導線材の断面の縦横比が大きい。そのため、超電導線材の幅方向（長手方向と直交する方向）端部に位置する角部において電界が集中する可能性がある。これにより、超電導線材を巻回してなる超電導コイルにおいては、過電圧が生じた場合に、巻線ターン間の短絡などの絶縁破壊が生じる可能性がある。したがって、超電導コイルの絶縁強度を維持するためには、超電導線材の幅方向端部の電界を緩和する必要がある。

[0008] そこで、幅方向端部における電界の集中を緩和することができる超電導線材を提供することを目的とする。

[0009] [本開示の効果]

本開示によれば、幅方向端部における電界の集中を緩和することができる超電導線材を提供することができる。

[0010] [本発明の実施形態の説明]

最初に本発明の実施態様を列記して説明する。

[0011] （１）本発明の一態様に係る超電導線材１（図１参照）は、超電導材料部４を含む本体部６と、本体部６の周囲を覆う導電性の被覆部１０とを備える。被覆部１０において、本体部６の幅方向における本体部６の側面上に位置する表面部分１０Ａ（図２参照）は、被覆部１０の外側に向かって凸の曲面

形状になっている。超電導線材１での幅方向の断面において、表面部分１０Ａの曲率半径Ｒは本体部６の厚さ以下であってもよい。

[0012] このようにすれば、超電導線材１の幅方向の端部は、角部の内角が鈍角となり、曲面に近い形状となる。このため、超電導線材１を巻回してなる超電導コイルの使用時において、超電導線材１の幅方向の端部に電界が集中することを抑制することができる。よって、超電導コイルの絶縁強度を維持することができる。

[0013] （２）上記超電導線材１（図３参照）では、本体部６の厚さをＴとすると、表面部分１０Ａの曲率半径ＲはＴ／２以上であってもよい。この場合、表面部分１０Ａは半円弧状に近い形状とすることができるため、超電導線材１の幅方向端部に集中する電界を緩和する効果を高めることができる。

[0014] （３）上記超電導線材１では、被覆部１０は金属テープ１２（図５参照）であってもよい。超電導線材１は、さらに、金属テープ１２と本体部６との間に配置された導電性の接合材８を備えていてもよい。接合材８において、本体部６の側面上に位置する表面部分８Ａ（図２参照）は、接合材８の外側に向かって凸の曲面形状になっている。

[0015] このようにすると、本体部６を覆うように被覆部１０を形成する工程において、金属テープ１２を折り曲げ加工することで表面部分１０Ａを形成することができる。

[0016] [本発明の実施形態の詳細]

以下、本発明の実施の形態について図に基づいて説明する。なお、以下の図面において、同一または相当する部分には同一の参照符号を付し、その説明は繰り返さない。

[0017] （超電導線材の構成）

最初に、図１を参照して、本発明の実施の形態に係る超電導線材１の構成について説明する。

[0018] 図１は、超電導線材１が延在する方向（長手方向）に交差する方向に切断した、本実施の形態に係る超電導線材１の断面を示す。超電導線材１におい

て超電導電流は超電導線材１の長手方向に沿って流れる。図１に示されるように、超電導線材１の幅方向をｘ軸方向とし、長手方向をｙ軸方向とし、厚み方向をｚ軸方向とする。

[0019] 本実施の形態に係る超電導線材１は、長手方向の長さが厚みおよび幅に比べて大きく、かつ、厚みに比べて幅が大きいテープ形状を有していてもよい。本明細書では、超電導線材１の幅方向および長手方向に延在する表面（ｘｙ平面）を主面と呼ぶ。

[0020] 図１に示すように、超電導線材１は、主に、本体部６と、接合材８と、被覆部１０とを備える。

[0021] 本体部６は、第１の主面６ａと、第１の主面６ａとは反対側の第２の主面６ｂとを有する。本体部６は、第１の側面６ｃと、第１の側面６ｃとは反対側の第２の側面６ｄとをさらに有する。本体部６は、基板２と、中間層３と、超電導材料層４と、保護層５とを含んでもよい。本体部６は、少なくとも超電導材料層４を含んでいればよい。

[0022] 基板２は、たとえば金属からなり、断面が矩形をなすテープ形状を有していてもよい。コイル形状に巻回するためには、基板２はたとえば１ｋｍ程度に長尺化されていることが好ましい。基板２の厚みは目的に応じて適宜調整すればよく、通常は５０μｍ～２００μｍの範囲とすることができる。

[0023] 基板２は、配向金属基板を用いることが好ましい。配向金属基板とは、基板表面の面内の２軸方向（ｘ軸方向およびｙ軸方向）に関して結晶方位が揃っている基板を意味する。配向金属基板としては、たとえばＮｉ（ニッケル）、銅（Ｃｕ）、クロム（Ｃｒ）、マンガン（Ｍｎ）、コバルト（Ｃｏ）、鉄（Ｆｅ）、パラジウム（Ｐｄ），銀（Ａｇ）、および金（Ａｇ）のうちの２以上の金属からなる合金が好適に用いられる。配向金属基板は、たとえば他の金属または合金の表面に配向金属膜を貼り合せることによって形成されてもよい。合金としては、たとえば高強度材料であるＳＵＳを用いることができる。配向金属膜を構成する材料としては、ＮｉＷ（ニッケルタングステン）や銅（Ｃｕ）を例示することができる。なお、基板２の材料は特にこれ

に限定されない。なお、基板２としてＳＵＳ基板またはハステロイ基板等、表面が配向結晶化されていない無配向基板が用いられる場合には、中間層３として、たとえばＩＢＡＤ（Ion Beam Assisted Deposition）法にて形成された結晶配向層を用いてもよい。

[0024] 中間層３は、基板２の主面上に形成されてもよい。中間層３は、超電導材料層４との反応性が極めて低く、超電導材料層４の超電導特性を低下させないような材料を用いることができる。中間層３は、高温プロセスを利用して超電導材料層４を形成する際に、基板２から超電導材料層４へ金属原子が流出することを防止する材料を用いることができる。中間層３は、好ましくは、たとえば、ＹＳＺ（イットリウム安定化ジルコニア）、CeO_2（酸化セリウム）、ＭｇＯ（酸化マグネシウム）、Y_2O_3（酸化イットリウム）、Al_2O_3（酸化アルミニウム）、$LaMnO_3$（酸化ランタンマンガン）および$SrTiO_3$（チタン酸ストロンチウム）の少なくとも１つから構成される。

[0025] 中間層３は、複数の層により構成されていてもよい。中間層３が複数の層により構成される場合、中間層３を構成するそれぞれの層は互いに異なる材料または一部が同じ材料により構成されてもよい。

[0026] 超電導材料層４は、中間層３の、基板２に対向する主面と反対側の主面（図１における上側の主面）上に形成されてもよい。超電導材料層４は、超電導線材１のうち、超電導電流が流れる部分である。超電導材料層４は本実施の形態における「超電導材料部」に相当する。本実施の形態では、超電導材料部である超電導材料層４は、超電導材料から実質的に構成される薄膜層である。

[0027] 超電導材料層４に用いることのできる超電導材料は特に限定されない。超電導材料として、ＲＥ－１２３系の酸化物超電導体を用いてもよい。ＲＥ－１２３系の酸化物超電導体とは、$REBa_2Cu_3O_y$（ｙは６～８、より好ましくは６．８～７、ＲＥはイットリウム、またはＧｄ、Ｓｍ、Ｈｏなどの希土類元素である）として表される超電導体を意味する。

[0028] 臨界電流Ｉｃを向上させるために、超電導材料層４の厚みは０．５μｍ以

上であることが好ましい。超電導材料層４の厚みは特に限定されるものではないが、生産性を考慮すると１０μｍ以下が望ましい。

[0029] 保護層５は、超電導材料層４の、中間層３に対向する主面とは反対側の主面（図１における上側の主面）上に形成されてもよい。保護層５は、超電導材料層４を保護する機能を有する。保護層５は、たとえば銀（Ａｇ）または銀合金からなる。保護層５の厚みは、たとえば０．０５～２μｍである。

[0030] 被覆部１０は、本体部６の周囲を覆う。被覆部１０は、少なくとも第１の主面６ａと第１および第２の側面６ｃ，６ｄとを覆っていればよい。本実施の形態では、本体部６の全周を覆うように、被覆部１０が設けられている。

[0031] 被覆部１０は、たとえば、金属テープまたはめっき層で構成される。被覆部１０は、保護層５とともに、超電導材料層４が超電導状態から常電導状態に転移する際に超電導材料層４の電流が転流するバイパスとして機能する。被覆部１０はさらに、外力や水分などから本体部６を保護する機能を有する。被覆部１０が保護層５および超電導材料層４を物理的に保護するために、被覆部１０は、１０μｍ以上５００μｍ以下の厚さを有することが好ましい。

[0032] 被覆部１０に用いられる材料は、超電導線材１の用途に応じて異なる。たとえば、超電導線材１を超電導ケーブルおよび超電導モータなどに使用する場合には、常電導状態に転移したときに発生する過電流を転流させるバイパスとして機能する必要があるため、良導電性の金属が用いられる。たとえば、銅（Ｃｕ）、銅合金、アルミ（Ａｌ）、アルミ合金などが用いられる。また、超電導線材１を超電導限流器などに使用する場合には、過電流を瞬時に抑制する必要があるため、高抵抗金属が用いられる。たとえば、ニッケル系合金が用いられる。

[0033] 接合材８は、本体部６と被覆部１０との間に配置される。接合材８を構成する材料としては、たとえば、Ｓｎ－Ｐｂ系、Ｓｎ－Ｐｂ－Ｓｉ系、Ｂｉ－Ｓｎ系、Ｓｎ－Ｃｕ系、Ｓｎ－Ｐｂ－Ｃｕ系などの半田、Ｓｎ、Ｓｎ合金、Ｉｎ（インジウム）、Ｉｎ合金などの金属が挙げられる。接合材８は、本体

部６と被覆部１０との間の間隙に溶融充填されることで、本体部６と被覆部１０とを接合させる。接合材８の厚さは特に限定されないが、超電導線材を薄型化するために、本体部６の第１および第２の主面６ａ，６ｂ上に位置する接合材８の厚さは５～５０μｍとすることが好ましい。

[0034] 図２は、図１に示した超電導線材１の幅方向の端部を拡大して示す部分断面図である。

図２に示すように、本体部６の第１の側面６ｃ上に位置する被覆部１０の表面部分１０Ａは、被覆部１０の外側に向かって凸の曲面形状になっている。詳細には、第１の側面６ｃ上に位置する接合材８の表面部分８Ａは、接合材８の外側に向かって凸の曲面形状になっている。そして、この接合材８の表面部分８Ａを被覆部１０が覆っている。

[0035] 図２に示した超電導線材１において、被覆部１０の表面部分１０Ａの曲率半径Ｒは、本体部６の厚さＴ以下であることが好ましい。この場合、超電導線材１の幅方向の端部における表面部分１０Ａは、被覆部１０の外側に向かって凸の曲面形状に近付くこととなる。このため、超電導線材１を巻回してなる超電導コイルの使用時において、超電導線材１の幅方向の端部に電界が集中することを抑制することができる。したがって、当該超電導コイルに過電圧が生じた場合に、絶縁破壊が生じることを回避することができる。

[0036] また、被覆部１０の表面部分１０Ａの曲率半径Ｒは、より好ましくは本体部６の厚さＴの１／２以上とすることができる。図３に、表面部分１０Ａの曲率半径ＲがＴ／２に等しい超電導線材１の断面を示す。図４に、図３に示した超電導線材１の幅方向の端部を拡大して示す。表面部分１０Ａの曲率半径ＲをＴ／２以上Ｔ以下とすることで（Ｔ／２≦Ｒ≦Ｔ）、表面部分１０Ａを半円弧状に近い形状とすることができる。これにより、超電導線材１の幅方向端部に集中する電界を緩和する効果を高めることができる。

[0037] なお、図１および図３に示した断面は、試料を樹脂に埋め込み、超電導線材１の長手方向に研磨して露出させることによって観察することができる。研磨して露出させた断面を、光学顕微鏡を用いて測定することによって、被

覆部１０の表面部分１０Ａの曲率半径Ｒを評価することができる。

[0038] （超電導線材の製造方法）

次に、本実施の形態に係る超電導線材１の製造方法について説明する。

[0039] まず、基板２を準備する工程が実施される。具体的には、好ましくは配向金属基板からなる基板２が準備される。

[0040] 次に、基板２上に中間層３を形成する工程が実施される。具体的には、基板２の主面上に中間層３が形成される。中間層３の形成方法としては、たとえばスパッタ法などの物理蒸着法を用いることができる。基板２が無配向基板である場合には、ＩＢＡＤ法によって、配向された中間層３が形成されてもよい。

[0041] 次に、中間層３上に超電導材料層４を形成する工程が実施される。本実施の形態では、中間層３の基板２と対向する主面と反対側の主面（図１における中間層３の上側の主面）上にＲＥ－１２３系の酸化物超電導体を含む超電導材料層４を形成する。たとえば、気相堆積法および液相堆積法、またはそれらの組合せにより、薄膜層である超電導材料層４を形成してもよい。気相堆積法としては、パルスレーザ蒸着法（ＰＬＤ法）、スパッタリング法、電子ビーム蒸着法、有機金属化学体積気相堆積（ＭＯＣＶＤ）法や分子線エピタキシー（ＭＢＥ）法を例示することができる。これらの堆積法のうち少なくとも１つによって超電導材料層４を成膜すると、結晶配向性および表面平滑性に優れた表面を有する超電導材料層４を形成することができる。

[0042] 次に、超電導材料層４上に保護層５を形成する工程が実施される。具体的には、超電導材料層４の中間層３と対向する主面と反対側の主面（図１における超電導材料層４の上側の主面）上に、銀（Ａｇ）またが銀合金からなる保護層５を形成する。保護層５は、たとえばスパッタなどの物理的蒸着法により形成してもよい。

[0043] 次に、本体部６を酸素雰囲気下でアニールする工程が実施される。このアニール工程によって、超電導材料層４に酸素が導入される。以上の工程が実施されることにより、基板２の上に、中間層３と超電導材料層４と保護層５

とを含む本体部６が形成される。

[0044] 最後に、本体部６を覆うように被覆部１０を形成する工程が実施される。被覆部１０は、少なくとも本体部６の第１の主面６ａおよび第１および第２の側面６ｃ，６ｄを覆っていればよい。本実施の形態では、本体部６の全周を覆うように、被覆部１０が設けられる。

[0045] 具体的には、まず、上記のアニール工程によって形成された本体部６と、被覆部１０として良導電性の金属テープ１２とを準備する。金属テープ１２の幅寸法は、本体部６の幅方向に沿った外周寸法と同程度であればよい。

[0046] 次に、図５（Ａ）に示すように、本体部６の第２の主面６ｂの下に、金属テープ１２を配置する。このとき、金属テープ１２の表面（第２の主面６ｂと対向する面）には、めっきにより接合材８が形成されていてもよい。

[0047] なお、図５（Ａ）の例では、本体部６の第２の主面６ｂの下に金属テープ１２を配置しているが、本体部６を上下逆にして第１の主面６ａの下に金属テープ１２を配置してもよい。

[0048] 次に、本体部６の中央と金属テープ１２の中央とを位置合わせする。その後、図３（Ｂ）に示すように、金属テープ１２を本体部６の両側面６ｃ，６ｄに沿って上方に折り曲げる。このとき、接合材８を両側面６ｃ，６ｄの各々と接合材８との間に継ぎ足してもよい。

[0049] その後、本体部６の第１の主面６ａに沿うように金属テープ１２の両端部をさらに折り曲げる。金属テープ１２の折り曲げには成形ロールなどを用いることができる。以上のようにして、断面において本体部６の外周を囲むように金属テープ１２を折り曲げ加工する。

[0050] 次に、加熱炉を用いて全体を接合材８が溶融する温度まで加熱する。続いて、接合材８の融点近傍の温度まで加熱した加圧ロールを用いて、金属テープ１２および本体部６を加圧する。

[0051] この処理により、接合材８が溶融し、本体部６と金属テープ１２との間の間隙を埋めるように拡がり、この間隙を充填する。このとき、本体部６の第１および第２の側面６ａ，６ｂと金属テープ１２との間には接合材溜まりが

形成される。

[0052] 続いて、図５（Ｃ）に示すように、接合材８の融点近傍の温度まで加熱した成形ロール２０を用いて、金属テープ１２および本体部６を成形する。成形ロール２０は円筒形状を有しており、その表面に環状の凹部２４が形成されている。凹部２４の曲率半径は、好ましくは本体部６の厚さＴ以下とすることができる。凹部２４の曲率半径は、より好ましくはＴ／２以上とすることができる。

[0053] この処理により、本体部６の第１および第２の側面６ｃ，６ｄと金属テープ１２の間の接合材溜まりが成形され、図１に示した形状を有する接合材８が形成される。すなわち、接合材８の表面部分８Ａは、接合材８の外側に向かって凸の曲面形状とされる。同時に、被覆部１０の表面部分１０Ａも、被覆部１０の外側に向かって凸の曲面形状とされる。

[0054] その後、全体を冷却し、接合材８を固化させると、図１に示す超電導線材１を得ることができる。

[0055] （変形例）

図６は、上記の実施の形態の第１の変形例に係る超電導線材１の断面図である。図６に示すように、第１の変形例に係る超電導線材１は、基本的には図１に示した超電導線材１と同様の構造を備えるが、被覆部１０となる金属テープ１２が、本体部６を周方向に１周取り囲み、その端部１２ａ，１２ｂ同士を合わせ目としている点が図１に示した超電導線材１とは異なっている。なお、図６の例では、端部１２ｂの内周面に接合材を配置しておくことで、この合わせ目を熱圧着により接合することができる。

[0056] このような構造の超電導線材１によっても、図１に示した超電導線材１と同様の効果を得ることができる。

[0057] 図７は、上記の実施の形態の第２の変形例に係る超電導線材１の断面図である。図７に示すように、第２の変形例に係る超電導線材１は、基本的には図１に示した超電導線材１と同様の構造を備えるが、被覆部１０となる金属テープ１２が、本体部６の第１の主面６ａおよび第１および第２の側面６ｃ

，６ｄと、第２の主面６ｂの一部とを覆っている点が図１に示した超電導線材１とは異なっている。

[0058] このような構造の超電導線材１によっても、図１に示した超電導線材１と同様の効果を得ることができる。

[0059] 図８は、上記の実施の形態の第３の変形例に係る超電導線材１の断面図である。図８に示すように、第３の変形例に係る超電導線材１は、基本的には図１に示した超電導線材１と同様の構造を備えるが、被覆部１０となる金属テープ１２が、本体部６の第１の主面６ａおよび第１および第２の側面６ｃ，６ｄと、第２の主面６ｂの一部とを覆っている点、および、金属テープ１２から露出した第２の主面６ｂが接合材１４で覆われている点が図１に示した超電導線材１とは異なっている。

[0060] このような構造の超電導線材１によっても、図１に示した超電導線材１と同様の効果を得ることができる。

[0061] なお、第２および第３の変形例に係る超電導線材１の製造方法においては、被覆部１０を形成する工程において、本体部６の第２の主面６ｂの下に、金属テープ１２を配置することが好ましい。

[0062] 以下、本実施の形態の作用および効果について説明する。

本実施の形態に係る超電導線材１は、被覆部１０において、幅方向における本体部６の第１および第２の側面６ｃ，６ｄ上に位置する表面部分１０Ａが、被覆部１０の外側に向かって凸の曲面形状になっている。超電導線材１の幅方向の断面において、表面部分１０Ａの曲率半径Ｒは本体部６の厚さＴ以下であればよい。

[0063] このようにすると、超電導線材１を用いて作製された超電導コイルの使用時において、超電導線材１の幅方向の端部に電界が集中することを抑制することができる。

[0064] また、被覆部１０の表面部分１０Ａの曲率半径Ｒは、より好ましくは本体部６の厚さＴの１／２以上とすることができる。このようにすると、被覆部１０の表面部分１０Ａは半円弧状に近い形状となるため、超電導線材１の幅

方向端部に集中する電界を緩和する効果を高めることができる。

[0065] さらに、被覆部１０の表面部分１０Ａが半円弧状に近い形状となることで、本体部６を覆うように被覆部１０を形成する工程において、金属テープ１２を折り曲げ加工して表面部分１０Ａを形成する際、金属テープ１２の曲げ具合が緩やかになる。このため、金属テープ１２の表面が塑性変形することを緩和することができる。これにより、金属テープ１２に加工硬化が生じることが抑制されるため、被覆部１０としての保護性能を向上させることができる。

[0066] 今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

[0067] １ 超電導線材、２ 基板、３ 中間層、４ 超電導材料層、５ 保護層、６ 本体部、６ａ 第１の主面、６ｂ 第２の主面、６ｃ 第１の側面、６ｄ 第２の側面、８，１４ 接合材、８Ａ，１０Ａ 表面部分、１０ 被覆部、１２ 金属テープ、２０ 成形ロール、２４ 凹部。

請求の範囲

[請求項1] 超電導線材であって、

超電導材料部を含む本体部と、

前記本体部の周囲を覆う導電性の被覆部とを備え、

前記被覆部において、前記本体部の幅方向における前記本体部の側面上に位置する表面部分は、前記被覆部の外側に向かって凸の曲面形状になっており、

前記超電導線材での幅方向の断面において、前記表面部分の曲率半径は前記本体部の厚さ以下である、超電導線材。

[請求項2] 前記本体部の厚さをＴとすると、前記表面部分の前記曲率半径はＴ／２以上である、請求項１に記載の超電導線材。

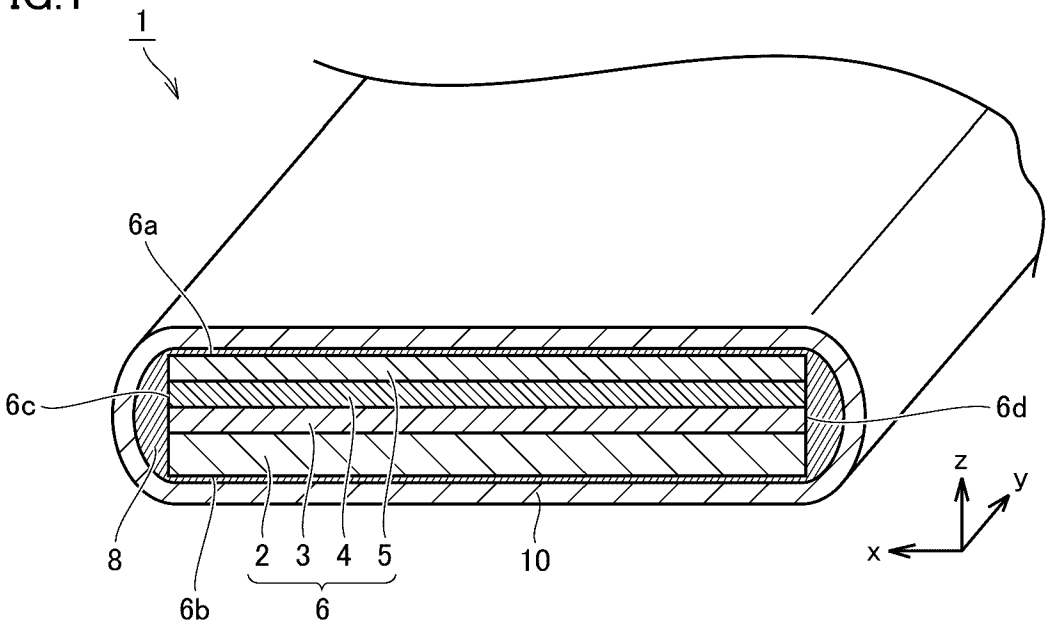
[請求項3] 前記被覆部は、金属テープであり、

前記超電導線材は、さらに、前記金属テープと前記本体部との間に配置された導電性の接合材を備え、

前記接合材において、前記本体部の前記側面上に位置する表面部分は、前記接合材の外側に向かって凸の曲面形状になっている、請求項１または請求項２に記載の超電導線材。

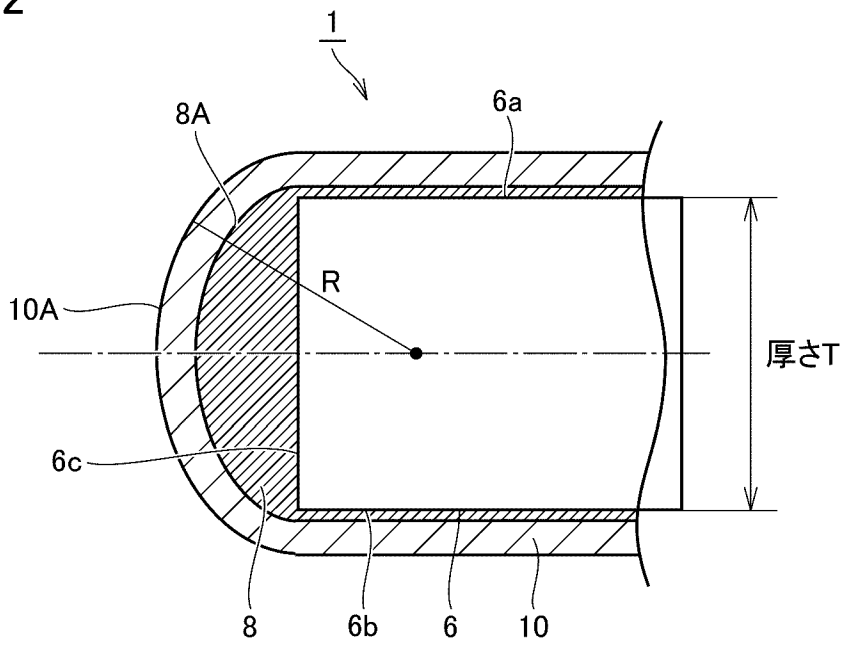
[図1]

FIG.1



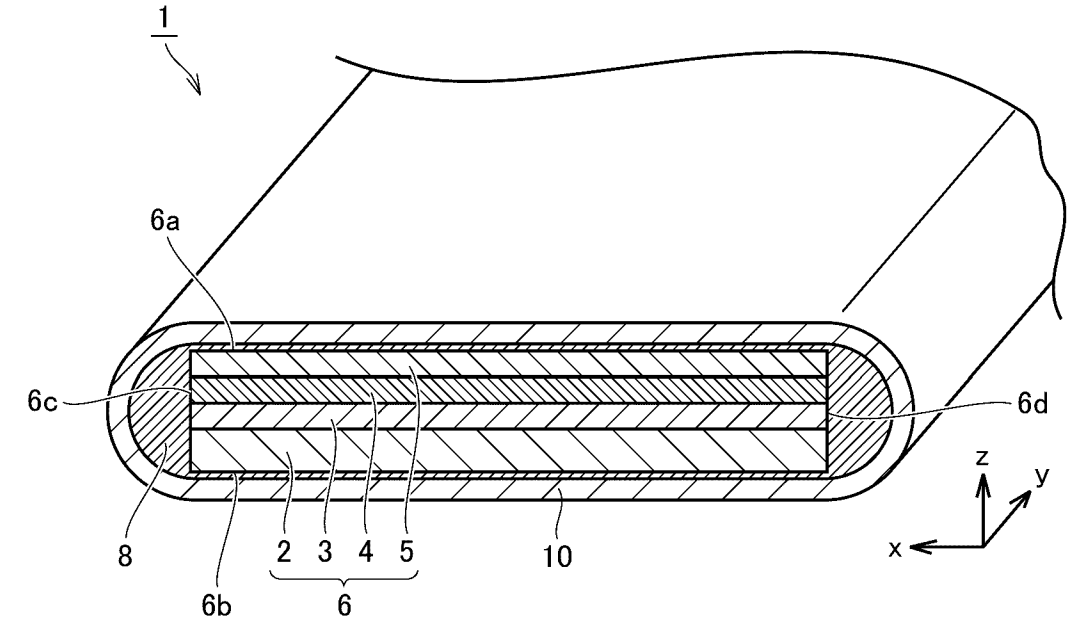
[図2]

FIG.2



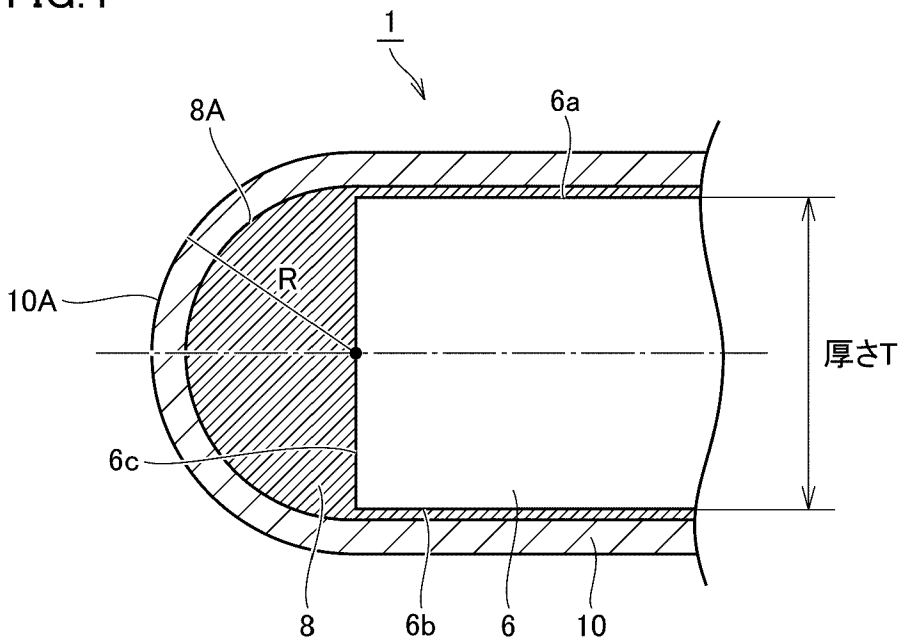
[図3]

FIG.3



[図4]

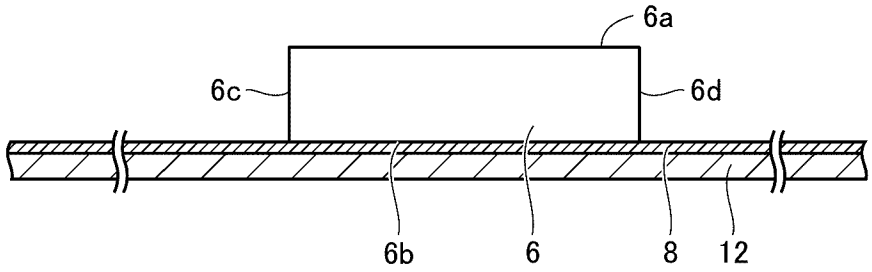
FIG.4



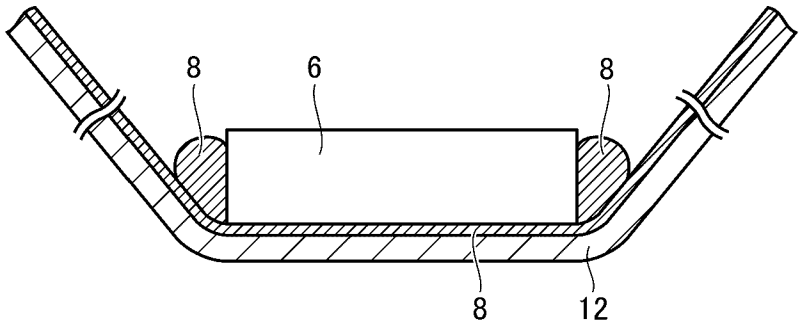
[図5]

FIG.5

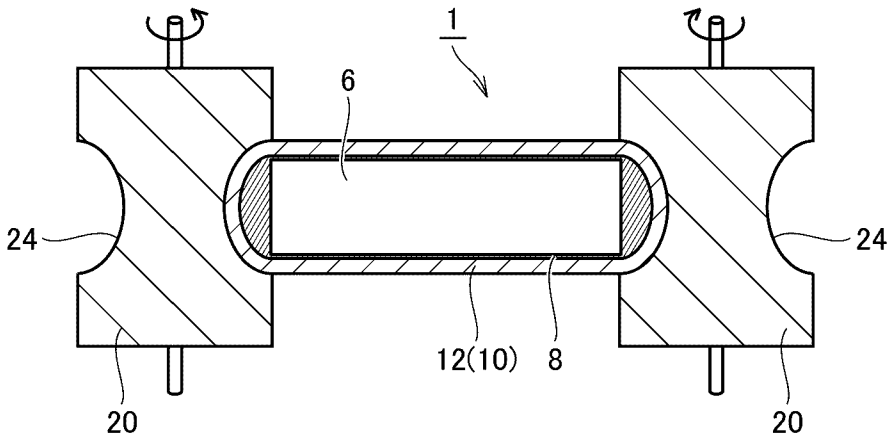
(A)



(B)

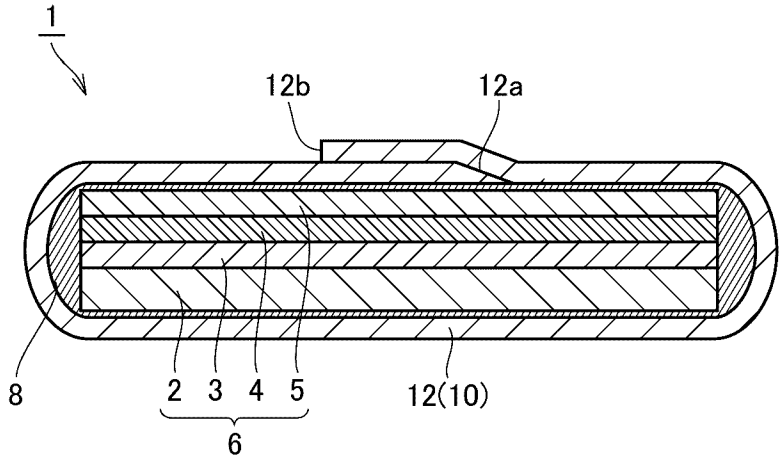


(C)



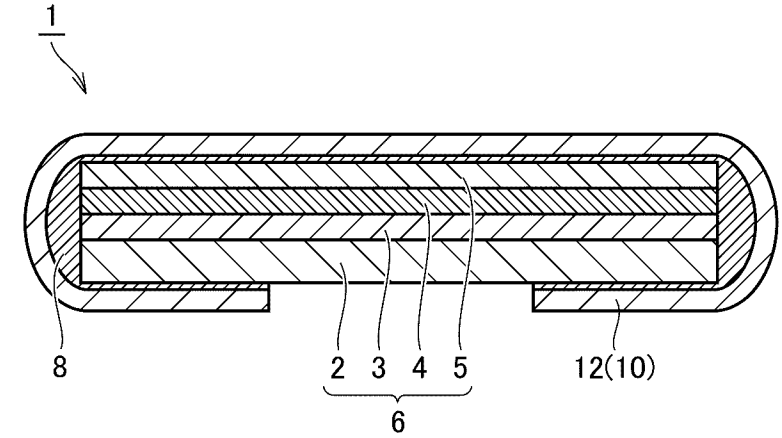
[図6]

FIG.6



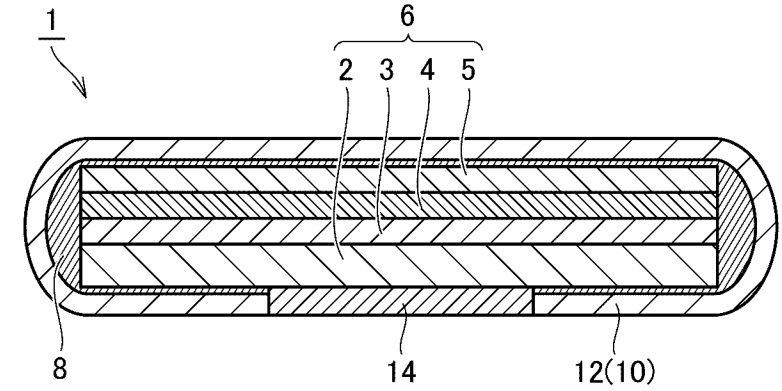
[図7]

FIG.7



[図8]

FIG.8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/082335

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01B12/06(2006.01)i, *H01F6/06*(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)
H01B12/00-12/16, H01B13/00, H01F6/06

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2-160317 A (Mitsubishi Cable Industries, Ltd.), 20 June 1990 (20.06.1990), page 2, lower left column, line 11 to lower right column, line 3; fig. 2 (Family: none)	1-2 3
A	JP 2-189817 A (Director General of National Research Institute for Metals), 25 July 1990 (25.07.1990), (Family: none)	1-3
A	JP 5693784 B2 (Fujikura Ltd.), 01 April 2015 (01.04.2015), & US 2014/0357495 A1 & EP 2801983 A1 & WO 2013/129568 A1	1-3

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
16 December 2016 (16.12.16)	27 December 2016 (27.12.16)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/082335

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2012-216504 A (Fujikura Ltd.), 08 November 2012 (08.11.2012), (Family: none)	1-3
A	JP 2016-54050 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 14 April 2016 (14.04.2016), (Family: none)	1-3

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１６／０８２３３５

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01B12/06(2006.01)i, H01F6/06(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01B12/00 - 12/16, H01B13/00, H01F6/06

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１６年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１６年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１６年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X A	JP 2-160317 A（三菱電線工業株式会社）1990.06.20, 第２頁左下欄第11行～右下欄第３行，第２図（ファミリーなし）	1-2 3
A	JP 2-189817 A（科学技術庁金属材料技術研究所長）1990.07.25 （ファミリーなし）	1-3
A	JP 5693784 B2（株式会社フジクラ）2015.04.01 & US 2014/0357495 A1 & EP 2801983 A1 & WO 2013/129568 A1	1-3

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
１６．１２．２０１６	２７．１２．２０１６

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　５Ｇ　９６４２
久保　正典
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３５２６

C（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2012-216504 A（株式会社フジクラ）2012.11.08 (ファミリーなし)	1-3
A	JP 2016-54050 A（住友電気工業株式会社）2016.04.14 (ファミリーなし)	1-3