

(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9月19日(19.09.2024)



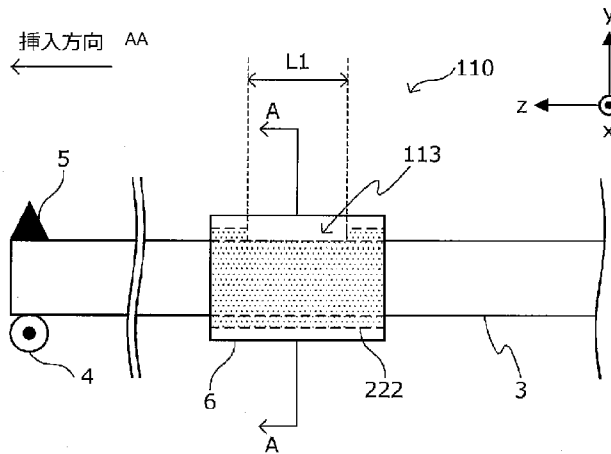
(10) 国際公開番号

WO 2024/190040 A1

- (51) 国際特許分類:  
*B23K 13/08* (2006.01) *B23K 13/00* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/046526
- (22) 国際出願日: 2023年12月25日(25.12.2023)
- (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 2023-042018 2023年3月16日(16.03.2023) JP
- (71) 出願人: 日本製鉄株式会社 (NIPPON STEEL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 廣田 芳明 (HIROTA, Yoshiaki); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 日本製鉄株式会社内 Tokyo (JP). 谷本 道俊 (TANIMOTO, Michitoshi); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 日本製鉄株式会社内 Tokyo (JP). 今西 朗 (IMANISHI, Akira); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 日本製鉄株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 萩原 康司, 外 (HAGIWARA, Yasushi et al.); 〒1620065 東京都新宿区住吉町1-2-0 角張ビル 曙国際特許事務所 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,

(54) Title: MANDREL EQUIPPED WITH IMPEDER DEVICE, ELECTRIC RESISTANCE WELDED TUBE MANUFACTURING DEVICE, AND MANUFACTURING METHOD OF ELECTRIC RESISTANCE WELDED TUBE

(54) 発明の名称: インピーダー装置を備えたマンドレル、電縫管製造装置及び電縫管の製造方法



AA Insertion direction

(57) Abstract: The purpose of the present invention is to appropriately suppress deterioration of and damage to an electric resistance welded tube manufacturing impeder device caused by induction heating, decreases of welding efficiency caused thereby, and obstacles to mandrel breakage prevention and production. A mandrel and an impeder device according to the present invention are an electric resistance welded tube manufacturing mandrel and impeder device provided inside



WO 2024/190040 A1

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, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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))

an open tube in which ends melted by an induction current are welded to each other. The mandrel and the impeder device include an impeder core comprising a magnetic material; and an electric resistance welded tube manufacturing mandrel which is positioned inside the impeder core, serves as a support member for the impeder core, and is extended in a predetermined direction. A recess region is formed, in a portion of the impeder core, having a size within a predetermined range along the extension direction of the mandrel, and the size of the recess region in a direction orthogonal to the traveling direction is 20 mm or more and 1/3 or less of the length of the outer dimension of the mandrel.

(57) 要約 : 本発明は、誘導加熱による電縫管製造用インピーダー装置の劣化、損傷、それに伴う溶接効率の低下、マンドレル破損防止、生産への障害を適切に抑制することを目的とする。本発明に係るマンドレル及びインピーダー装置は、誘導電流により熔融された端部同士が溶接されるオープン管において、当該オープン管の内部に設けられる電縫管製造用のマンドレル及びインピーダー装置であって、磁性材料からなるインピーダーコアと、前記インピーダーコアの内側に位置しており、前記インピーダーコアの支持部材となる、所定方向に伸長された電縫管製造用のマンドレルと、を有し、前記インピーダーコアの一部には、前記マンドレルの伸長方向に沿って所定の範囲内の大きさで、凹部領域が形成されており、前記走行方向に対して直交する方向における前記凹部領域の大きさは、20 mm以上、前記マンドレルの外形寸法の長さの1/3の大きさ以下である。

## 明 細 書

発明の名称：

インピーダ装置を備えたマンドレル、電縫管製造装置及び電縫管の製造方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、電縫管の製造に用いられる、インピーダ装置を備えたマンドレル、及び、電縫管製造装置と、電縫管の製造方法に関する。

### 背景技術

[0002] 一般に、金属管を製造する方法としては、金属帯板を曲げながら溶接によって管形状とする方法（電縫管やスパイラル管等）の他、金属ビレットに穿孔して製造する方法（シームレス管）や、押し出しによる方法等がある。これらのうち、電縫管は、特に生産性が高く、しかも安価に製造できることから、大量に生産されている。

[0003] 電縫管の製造にあたっては、以下のような製造方法が行われている。かかる製造方法について、図18を参照しながら、簡単に説明する。図18は、電縫管の製造方法の様子を模式的に示した説明図である。なお、図18では、図の簡略化のために、成形ロールの図示は省略している。

[0004] 図18に示したように、まず、鋼やステンレス鋼などを用いた金属帯板を、走行させながら円筒状になるように成形し、オープン管を形成する（図18のA-A断面～C-C断面を参照。）。この際、オープン管の内部には、図に示したように、開口部からマンドレルが挿入されている。次いで、オープン管の開口部を挟んで対向する端面部（以下、単に「オープン管の端部」ともいう。）に高周波電流を流して溶融温度まで加熱し、この状態でスクイズロール（図示せず。）を用いてオープン管の両端面部の端面同士を圧接溶接して、管状にする。溶接に伴い、図18のD-D断面に示したように、溶接が施された箇所には、溶接ビードが形成される。この溶接ビードは、マンドレルの先端に設けられた切削バイトにより取り除かれ、最終的には、図1

8のE-E断面に示したような形状を有する電縫管が製造される。

[0005] オープン管の端部への高周波電流の供給方法としては、例えば図18に示したように、オープン管の外周面に沿って誘導コイル（ソレノイドコイル）を設け、この誘導コイルに一次電流を流すことで、オープン管に誘導電流を直接発生させる方法がある。このとき、誘導コイルに通じる電流には、一般的に100kHz～400kHz程度の高周波電流が使われる。ここで、この高周波電流により誘起される誘導電流のうち、オープン管の内周を回ろうとする、溶接に関与しない誘導電流を阻止するため、オープン管の内側（一般的には、マンドレルの外周部）には、インピーダーと呼ばれるフェライトや電磁鋼などの強磁性体を配置することが多い（図18においては、インピーダーの図示は省略している。）。

[0006] ここで、上述のように誘導コイルを用いてオープン管表面に誘導電流を発生させた場合、発生した磁束がオープン管内に侵入することで、誘導コイル直下に位置するオープン管の開口部は、強磁場となる。オープン管の内部が強磁場になると、発生した磁束によりインピーダーが磁束飽和したり焼損したりする。これにより、内周電流が抑えきれずに、内周電流による誘導加熱によって内面ビードカット用のバイトを連結するマンドレルが加熱され、破断することがある。かかるマンドレルの破断が発生した場合には、長時間の安定した操業ができなくなってしまう。

[0007] そこで、上記のような、インピーダーの磁束飽和や焼損を起因とする、誘導電流によるマンドレル自身の加熱に伴うマンドレルの破損を防止するための構造として、特許文献1には、インピーダー装置が備える外筒管の焼損を防止するためのプロテクターを適用可能な構造が開示されている。特許文献1によれば、半円筒状のセラミックにより構成されるプロテクターを、外筒管の少なくとも上半部外周に設けることにより、当該外筒管を断熱して、外筒管の焼損事故の発生の抑制を図っている。

[0008] また、特許文献2には、インピーダーコアの内部に設けられる強度支持材が誘導加熱されることを防止するために、当該強度支持体の外周を電気伝導

度の高い材料で被覆する構造が開示されている。特許文献2によれば、インピーダーコアの断面積を小さくすることなく、強度支持体が誘導加熱により劣化することの防止を図っている。

## 先行技術文献

## 特許文献

[0009] 特許文献1：実公昭59-8869号公報

特許文献2：特開2001-62572号公報

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0010] ところで、上述のようにオープン管の内部が強磁場になることによりインピーダーが破損した場合（具体的にはインピーダーが磁気飽和以上の磁場にさらされる場合）、インピーダーは磁性を失うことで内周電流の抑制機能を失って、管内面を流れる誘導電流を阻止することができなくなる場合がある。その結果、溶接効率の大幅悪化、マンドレルの破断などにより、溶接不能に陥ってしまう。

[0011] 上述のように、特許文献1及び特許文献2には、それぞれ、インピーダーの外部に設けられる外筒管、及び、内部に設けられる強度支持体の破壊を抑制するための構造が開示されている。しかしながら、インピーダーコアそのものの構造に着目して、当該インピーダーを保護することは開示されていない。すなわち、従来の電縫管製造装置では、問題となる原因に対処していない。

[0012] 本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、誘導加熱による電縫管製造用インピーダー装置の劣化、損傷、それに伴う溶接効率の低下、マンドレル破損防止、生産への障害を適切に抑制することを目的とする。

### 課題を解決するための手段

[0013] 上記事情に鑑みて完成された本発明の要旨は、以下の通りである。

(1) 電縫管製造用のインピーダー装置を備えたマンドレルであって、磁性

材料からなるインピーダークォアを有するインピーダークォ装置と、前記インピーダークォアの内側に位置しており、前記インピーダークォアの支持部材となる、所定方向に伸長されたマンドレルと、を有し、前記インピーダークォの一部には、前記マンドレルの伸長方向に沿って所定の範囲内の大きさで、凹部領域が形成されており、前記伸長方向に対して直交する方向における前記凹部領域の大きさは、10 mm以上、前記マンドレルの外周長の1/3の大きさ以下である、マンドレル。

(2) 前記伸長方向における前記凹部領域の長さは、100 mmより大きく前記インピーダークォアの全長以下である、(1)に記載のマンドレル。

(3) 前記インピーダークォ装置は、前記インピーダークォアの外側に、前記インピーダークォアとの間に空隙が存在するように設けられた中空のインピーダークォケースを更に有しており、前記インピーダークォケースの中空部分には、冷却水が通流される、(1)又は(2)に記載のマンドレル。

(4) 前記凹部領域は、前記インピーダークォ装置の少なくとも上部が下方へ湾曲されることにより形成される、(1)～(3)の何れか1つに記載のマンドレル。

(5) 前記凹部領域は、前記インピーダークォアの少なくとも一部が除去された切り欠き部である、(1)～(3)の何れか1つに記載のマンドレル。

(6) 前記凹部領域の底部では、前記マンドレルの表面が露出する、(5)に記載のマンドレル。

(7) 露出した前記マンドレルの表面には、電磁シールド材が設けられる、(6)に記載のマンドレル。

(8) 前記電磁シールド材は、銅メッシュである、(7)に記載のマンドレル。

(9) 前記凹部領域の底部における前記マンドレルの露出部分には、前記走行方向に伸長するスリットが形成されている、(6)～(8)の何れか1つに記載のマンドレル。

(10) 前記スリットを形成する金属部分の幅が、前記誘導電流の浸透深さ

よりも小さい、(9)に記載のマンドレル。

(11) 前記マンドレルの内部には冷却水が通流され、前記マンドレルにおける前記スリットの形成部分には、封止部材が設けられている、(9)又は(10)に記載のマンドレル。

(12) 前記凹部領域の少なくとも一部又は全部における直下の前記マンドレルには、鉛直方向に貫通する貫通孔が形成されている、(1)～(11)の何れか1つに記載のマンドレル。

(13) 前記インピーダークォアは、前記マンドレルの上半部外周のみに設けられる、(1)～(12)の何れか1つに記載のマンドレル。

(14) 所望の電縫管の形状を成形するための成形ロール群と、誘導電流を発生させるための誘導コイルと、所定方向に伸長された電縫管製造用のマンドレルと、を有する電縫管製造装置であって、前記マンドレルの一部には、磁性材料からなるインピーダークォアを有するインピーダークォア装置が設けられており、前記インピーダークォアの一部には、前記マンドレルの伸長方向に沿って所定の範囲内の大きさで、凹部領域が形成されており、前記伸長方向における前記凹部領域の大きさは、(前記誘導コイルの幅+100mm)以上、前記インピーダークォアの全長以下であり、前記伸長方向に対して直交する方向における前記凹部領域の大きさは、10mm以上、前記マンドレルの外周長の $1/3$ の大きさ以下である、電縫管製造装置。

(15) 所定の走行方向に搬送されながら筒状に曲げられてきたオープン管において、当該オープン管の端部を、誘導電流により熔融させたうえで、前記端部同士を突き合わせて電縫溶接する電縫管の製造方法において、(1)～(13)の何れか1つに記載のマンドレルを、前記凹部領域が前記オープン管の前記端部と対向し、かつ、前記誘導電流を発生させるための誘導コイルの配置位置の少なくとも一部が前記マンドレルの伸長方向における前記凹部領域に包含されるように、前記オープン管の内部に配置する、電縫管の製造方法。

(16) 前記オープン管、前記インピーダークォア装置、及び、前記マンドレルを

、前記オープン管の径方向に切断したときの断面において、前記凹部領域における前記インピーダ装置の上端と前記オープン管の端部の下端との離隔距離が、前記走行方向における前記凹部領域よりも上流側における前記インピーダ装置の上端と前記オープン管の端部の下端との離隔距離よりも大きい、(15)に記載の電縫管の製造方法。

(17)前記伸長方向における前記凹部領域の長さは、前記誘導電流を発生させる誘導コイルの直下位置を基準として、前記誘導コイルの上流側50mmの位置から前記誘導コイルの下流側50mmの位置までの範囲を包含可能な長さである、(15)又は(16)に記載の電縫管の製造方法。

### 発明の効果

[0014] 以上説明したように本発明によれば、誘導加熱による電縫管製造用インピーダ装置の劣化、損傷を適切に抑制することができる。

### 図面の簡単な説明

[0015] [図1A]電縫管の製造に用いられる従来のインピーダ装置を備えたマンドレルの構成の概略を模式的に示す模式図である。

[図1B]電縫管の製造に用いられる従来のインピーダ装置を備えたマンドレルのA-A断面の概略を模式的に示す模式図である。

[図2]従来の電縫管製造装置の構成の概略を模式的に示す側面図である。

[図3]従来の電縫管製造装置の構成のA-A断面の概略を模式的に示す断面図である。

[図4A]本発明の第1の実施形態に係るインピーダ装置を備えたマンドレルの構成の概略を模式的に示す側面図である。

[図4B]同実施形態に係るインピーダ装置を備えたマンドレルの構成のA-A断面の概略を模式的に示す断面図である。

[図5]同実施形態に係る電縫管製造装置の構成の概略を模式的に示す斜視図である。

[図6]同実施形態に係るインピーダ装置を備えたマンドレルを用いた電縫管製造装置の構成の概略を模式的に示す側面図である。

[図7]同実施形態に係るインピーダ装置を備えたマンドレルを用いた電縫管製造装置の構成のA-A断面の概略を模式的に示す断面図である。

[図8]図6の電縫管製造装置が備えるインピーダ装置の変形例を示す側面図である。

[図9]同実施形態に係るインピーダ装置における凹部領域の周方向での形成幅について説明したA-A断面の断面図である。

[図10]同実施形態に係るインピーダ装置の変形例を示す断面図である。

[図11]同実施形態に係るインピーダ装置の変形例を示す側面図である。

[図12]同実施形態に係るインピーダ装置の変形例を示す断面図である。

[図13]同実施形態に係るインピーダ装置の変形例を示す上面図である。

[図14]図13に示すインピーダ装置のA-A断面の断面図である。

[図15A]同実施形態に係るマンドレル及びインピーダ装置の変形例を示す部分拡大図である。

[図15B]同実施形態に係るマンドレル及びインピーダ装置の変形例を示す部分拡大図である。

[図15C]同実施形態に係るマンドレル及びインピーダ装置の変形例を示す部分拡大図である。

[図16]本発明の第2の実施形態にかかる電縫管製造装置の構成の概略を模式的に示す側面図である。

[図17]図16の電縫管製造装置が備えるマンドレル及びインピーダ装置の変形例を示す側面図である。

[図18]電縫管が製造される様子を模式的に示した説明図である。

### 発明を実施するための形態

[0016] 以下に添付図面を参照しながら、本発明の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

[0017] また、本明細書の説明において、「上流」及び「下流」という場合は、そ

れぞれ、後述する金属帯板又はオープン管の走行方向における、「上流」及び「下流」を指すものとする。

[0018] (従来の電縫管製造装置)

まず、従来の電縫管製造装置について説明する。図1A及び図1Bは、電縫管の製造に用いられる従来のインピーダ装置を有するマンドレルの構成の概略を模式的に示す模式図であり、図2及び図3は、それぞれ従来の電縫管製造装置1の構成の概略を模式的に示す側面図及び断面図である。

[0019] 先だって説明したような電縫管の製造に際しては、図1A及び図1Bに示したようなインピーダ装置1を有するマンドレル3が用いられてきた。ここで、インピーダ装置1は、必要に応じてマンドレル3に設置される装置である。図1A及び図1Bに示したように、かかるインピーダ装置1は、インピーダコア2と呼ばれる磁性体のコアを有している。

[0020] マンドレル3は、図1Aのz軸方向に伸長した部材であり、例えば溶接点Vの上流側において片持ち保持されている。マンドレル3は、SUS304等のステンレス鋼からなる強度のある非磁性体により構成された、環状の部材である。環状のマンドレル3は、中実構造を有していてもよいし、中空構造を有していてもよい。また、中空構造を有するマンドレル3の内部には、図1Bに示すように芯材3aが設けられていてもよいし、又は、インピーダ装置1を冷却するための冷却水が通流していてもよい。

[0021] また、マンドレル3の外周における所定の範囲には、誘導コイル8により発生した誘導電流のうち、オープン管9の内周面を回ろうとする溶接に関与しない誘導電流が流れるのを防止するために、インピーダと呼ばれる磁性体のコア（すなわち、インピーダコア2）が、マンドレル3を被うように設けられている。インピーダコア2は、例えばソフトフェライト、電磁鋼、アモルファス合金等からなる強磁性体により構成されている。

[0022] ここで、インピーダコア2は、例えば樹脂製の材料からなるインピーダケース6に収納されており、折損などによる破壊から保護されている。また、インピーダケース6の内部には、例えば冷却水が供給されており、か

かる冷却水により、インピーダーコア 2 の冷却が行われる。以下の説明においては、説明の簡略化のために、ローラー 4 及びインピーダーケース 6 の図示を省略する。

[0023] かかるインピーダー装置 1 は、オープン管 9 の内部に挿入される。マンドレル 3 の先端部分には、インピーダー装置 1 のオープン管 9 への挿入を容易にするためのローラー 4 と、オープン管の走行方向にそって延伸する溶接ビードを切削するための切削バイト 5 と、が設けられている。ローラー 4 は、切削バイト 5 と押し合うことで、切削バイト 5 による溶接ビードの切削を安定化させる。また、切削バイト 5 は、マンドレル 3 における溶接点 V より下流側の先端に取り付けられており、溶接で管内面に生じる溶接ビードを削り取る。また、管外面においても、管外面に生じる溶接ビードを削り取る切削バイト（図示せず。）が存在している。

[0024] 図 2 及び図 3 に示すように、電縫管製造装置 7 では、被溶接材である金属帯板が、平板状態から走行中に成形ロール（図 2 及び図 3 では図示せず）で徐々に曲げ加工されながら円筒状にロール成形されて、筒状のオープン管 9 の形に成形される。オープン管 9 は、電縫管製造装置 1 を構成する部材の一つであるスクイズロール（図 2 及び図 3 では図示せず）により、開口部 9 a を介して向かい合う端部 9 b 同士が押しつけられる。これにより、オープン管 9 は、溶接点 V で接触するように通材されることとなり、通常は、ヘッドロール（図示せず）でこの溶接部を斜め上方から押さえつける。

[0025] オープン管 9 の外周であって、走行方向 R における溶接点 V の上流側には、オープン管 9 の端部 9 b を溶融させるための誘導電流を発生させる誘導コイル 8 が設けられている。誘導コイル 8 は、オープン管 9 の外周面に沿って周回するように設けられている。オープン管 9 の端部 9 b は、誘導電流により溶融された状態で前記スクイズロールにより圧接溶接されることにより、管状に成形される。なお、図 3 においては誘導コイル 8 の図示を省略している。

[0026] ここで、従来の電縫管製造装置 7 における誘導コイル 8 は、上述したよう

にオープン管9の全周を周回している。すなわち、誘導コイル8は、オープン管9の開口部9aを跨ぐようにして配置されている。このような場合、誘導コイル8によって発生した、高密度の磁束Fが直接インピーダ装置1に入ることにより、インピーダコア2が磁束飽和して焼損してしまう場合がある。

[0027] 本発明者らが調査したところによると、インピーダコア2の焼損原因は、特に以下の2点にあることが分かった。

(1) 図3に示すように、開口部9aからオープン管9の内部に侵入した磁束Fが、直接インピーダコア2に入り磁束飽和を起こすこと。

(2) 図3に示すように、インピーダコア2は端部9bの下端部の近くに配置されるため、端部9bを流れる誘導電流により発生する磁束Fで磁束密度が高くなり、磁束飽和を起こすこと。

[0028] そして、磁束飽和したインピーダ装置1は、内周電流を抑制できず、管内周を流れる誘導電流によりさらに加速して発熱し、磁気性能を失うキュリー点温度を超えることとなる。インピーダコア2の素材がソフトフェライトの場合には、かかる発熱によって熱応力による割れが生じて使用不能となり、インピーダコア2の素材が電磁鋼である場合には、溶損を引き起こし使用不能となる。

[0029] ここで、インピーダコア2の素材であるソフトフェライト等の強磁性体は、誘導電流のそばに配置することで、この誘導電流の流れを阻害できるという特徴を示す。その反面、これら強磁性体は、初透磁率が空気の1000倍以上（磁気抵抗が $1/1000$ 以下）であることから、磁束を集める性質も持っている。これにより、磁束が選択的に磁気抵抗の小さな強磁性体（インピーダコア2）内を貫通するため、特に磁束密度が高くなる傾向がある。

[0030] また、前述のように、マンドレル3は走行方向Rの上流側において片持ち保持されている。このため、切削バイト5を内面ビードに当接させるために、オープン管9の内部において、インピーダコア2の位置が上方へ偏心せ

ざるを得ない場合もある。このとき、結果として、誘導コイル 8 にインピーダークコア 2 が近寄せられる場合もある。このように、インピーダークコア 2 と磁束発生源である誘導コイル 8 との離隔距離、及び、インピーダークコア 2 と端部 9 b の下端部との離隔距離、のそれぞれが小さくなりやすいため、更に磁束密度が高くなる傾向がある。

[0031] そこで本発明者は、インピーダークコア 2 に入る磁束 F を飽和磁束密度以下に低減し、かつ、この飽和磁束密度以下の状態を維持することができる方法について検討した。具体的には、インピーダークコア 2 の磁束密度が高い領域は、端部 9 b の下端部近傍の特定の領域（より具体的には、インピーダークコア 2 の上部側の領域）に集中することが多いことから、かかる領域の磁束密度を低減する方法について検討した。

[0032] その結果、磁束密度が磁束発生源からの距離の 2 乗に反比例することを利用することで、インピーダークコア 2 を磁束飽和させずに使用できることに着目した。具体的には、インピーダークコア 2 のうち、誘導コイル 8 に近く磁束密度が高くなる領域のみにおいて、当該領域以外の部分と比べて、インピーダークコア 2 と誘導コイル 8 及び端部 9 b の下端部との間の距離を大きくすることで、インピーダークコア 2 の磁束密度を下げることを知見した。以下、この知見により完成した本発明の好適な実施形態を述べる。

[0033] (第 1 の実施形態)

<インピーダーク装置を有するマンドレルの構成について>

まず、図 4 A 及び図 4 B を参照しながら、本発明の第 1 の実施形態に係るインピーダーク装置を有するマンドレルの構成を説明する。図 4 A は、本実施形態に係るインピーダーク装置を有するマンドレルの構成の概略を示す側面図であり、図 4 B は、図 4 A に示したインピーダーク装置を有するマンドレルの A-A 断面図である。

[0034] 図 4 A 及び図 4 B に示すように、本実施形態に係るインピーダーク装置 110 は、インピーダークコア 111 と、インピーダークケース 6 と、を有している。また、マンドレル 3 には、ローラー 4 及び切削バイト 5 が設けられている。

- 。
- [0035] ここで、マンドレル3、ローラー4、及び、切削バイト5、並びに、本実施形態に係るインピーダ装置110におけるインピーダケース6については、図1に示したマンドレル3、ローラー4、及び、切削バイト5、並びに、従来のインピーダ装置1におけるインピーダケース6と同様のものであるため、以下では説明は省略する。
- [0036] 本実施形態に係るインピーダコア111は、マンドレル3の外周における所定の範囲に設けられるものであり、誘導コイルにより発生した誘導電流のうち、オープン管の内周面を回ろうとする溶接に関与しない誘導電流が流れるのを防止するために設けられる。
- [0037] かかるインピーダコア111には、絶縁性を有する強磁性体が用いられる。ここで、本明細書において、「強磁性体」とは、初透磁率が1000以上である物質のことを言う。また、強磁性体が「絶縁性を有する」とは、その導電率が、 $1 \times 10^{-3} \text{ S/m}$ 以下であることを意味する。
- [0038] 本実施形態に係るインピーダコア111として使用可能な素材としては、例えば、上記のような初透磁率を満足する、ソフトフェライト、電磁鋼、アモルファス合金等を挙げることができる。
- [0039] また、本実施形態に係るインピーダコア111の一部には、図4Aに示したように、マンドレル3の伸長方向（図4Aにおけるz軸方向）に沿って、所定の範囲内の大きさで、凹部領域113が形成されている。
- [0040] 本実施形態に係るインピーダ装置110は、誘導コイル8とともに用いられる。かかる凹部領域113が形成される範囲（より詳細には、図4Aに示したz軸方向の範囲）は、以下で改めて説明するように、誘導コイル8によって発生した磁束の影響が及ぶ範囲を考慮して設定される。
- [0041] 例えば、本実施形態に係るインピーダコア111において、かかる凹部領域113が設けられるz軸方向の範囲の大きさ（図4Aにおける長さL1）は、100mmより大きく、インピーダコア111の全長以下であることが好ましい。

- [0042] より詳細には、凹部領域 113 が設けられる z 軸方向の範囲の大きさは、上記のように、用いられる誘導コイル 8 の大きさにもよるが、例えば、誘導コイル 8 の長さ + 100 mm 以上、誘導コイル 8 の長さ + 300 mm 以下となるように設計することが好ましい。
- [0043] 一方、マンドレル 3 の伸長方向（図 4 A における z 軸方向）に対して直交する方向（図 4 A における x 軸方向）の凹部領域 113 の大きさ（より詳細には、凹部領域 113 の底面での x 軸方向の長さ、図 4 B における長さ L 2）は、10 mm 以上、マンドレル 3 の外周長の 1/3 の大きさ以下、とする。このような大きさは、概ね、電縫管の製造に用いられるオープン管 9 における開口部 9 a の幅程度の大きさに相当する。
- [0044] かかる凹部領域 113 は、図 4 A 及び図 4 B に示すように、例えばインピーダコア 111 の上部の一部において、インピーダコア 111 をマンドレル 3 の厚み方向に除去することで形成される。すなわち、本実施形態に係る凹部領域 113 は、インピーダコア 111 の少なくとも一部を切り欠くことで形成される切り欠き部であるといえる。
- [0045] インピーダコア 111 に形成される凹部領域 113 の深さは、特に限定されるものではなく、インピーダコア 111 の一部を除去して、インピーダコア 111 の厚みを薄くしたものとしてもよいし、該当部分のインピーダコア 111 を、厚みと略一致する深さで除去（すなわち、該当部分のインピーダコア 111 を全部除去）することで形成してもよい。また、はじめから該当部分だけはインピーダコア 111 を設置しないようにしてもよい。
- [0046] 図 4 A 及び図 4 B に示した例では、凹部領域 113 は、インピーダコア 111 の厚みと略一致する深さでインピーダコア 111 が除去された場合を示している。かかる場合には、凹部領域 113 の底部に、マンドレル 3 の表面が露出することとなる。
- [0047] インピーダコア 111 の上部（y 軸正方向側の部分）に、このような凹部領域 113 が形成されることで、かかる凹部領域 113 において、インピ

ーダーコア111と、誘導コイル8及びオープン管9の端部9bの下端部と、の間の離隔距離を大きくすることができる。かかる凹部領域113が設けられる範囲は、以下であらためて説明するように、高密度の磁束が集中する部分であることから、このような凹部領域113の形成によって、インピーダーコア111の磁束密度を下げるることができる。これにより、誘導加熱によるインピーダーコア111の劣化及び損傷を、適切に抑制することができる。

[0048] 本実施形態に係るインピーダーコア111は、図4A及び図4Bに示したように、例えば樹脂製の材料からなるインピーダーケース6に収納され、折損などによる破壊から保護されている。

[0049] また、図4Bに例示したように、かかるインピーダーケース6は、インピーダーコア111の外側に、インピーダーコア111との間に空隙が存在するように設けられることが好ましい。この場合に、インピーダーケース6の中空部分（インピーダーコア111との間の空隙部分）に対し、冷却水が通流されることが好ましい。

[0050] 先程から説明しているように、本実施形態に係る凹部領域113は、インピーダーコア111の少なくとも一部を除去して、凹部領域113におけるインピーダーコア111の厚みを薄くする（場合によっては、全て除去する）ことで形成される。インピーダーケース6の中空部分に冷却水が通流されることで、凹部領域113の形成部分には、凹部領域113以外の部分と比べてより多くの冷却水が流れるようになり、凹部領域113の形成部分を、より効率的に冷却することが可能となる。これにより、凹部領域113の発熱をより防止することが可能となり、インピーダーコア111の劣化及び損傷を、より防止することが可能となる。

[0051] <電縫管製造装置100の構成について>

続いて、図5～図8を参照しながら、本実施形態に係るインピーダー装置110を用いた電縫管製造装置100の構成を説明する。図5、図6及び図8は、電縫管製造装置100の構成の概略を示す側面図である。また図7は

、図6に示す電縫管製造装置100のA-A断面図である。なお、以下の説明においては、説明の簡略化のために、マンドレル3に設けられるローラー4と、インピーダー装置110が有するインピーダーケース6の図示を省略する。また、電縫管製造装置100の構成において、図1A~図3に示した電縫管製造装置7と実質的に同一の機能構成を有する要素については、同一の符号を付することにより、重複説明を省略する。

[0052] 本実施形態に係る電縫管製造装置100は、図5に示したように、所定の走行方向に搬送されながら筒状に曲げられてきたオープン管9において、かかるオープン管9の端部を誘導電流により溶融させたうえで、上記端部同士を突き合わせて電縫溶接する、電縫管の製造に用いられる装置である。かかる電縫管製造装置100は、上記のようなインピーダー装置110（図5では図示せず。）に加えて、所望の電縫管の形状を成形するための成形ロール群101と、誘導コイル8と、を有している。また、図5に示したように、誘導コイル8の更に下流側には、一对のスクイズロール103が設けられている。ここで、上記オープン管9の素材としては、例えば、鋼やステンレス鋼が用いられる。また、以下では、図5に示したような電縫管製造装置100の構成のうち、特に誘導コイル8とインピーダー装置110とに着目して、説明を行うこととする。

[0053] 本実施形態に係る電縫管製造装置100は、図6及び図7に示すように、オープン管9の外周に沿って設けられる誘導コイル8と、オープン管9の内部に設けられる、マンドレル3に装着されたインピーダー装置110と、を有している。

[0054] 上記のように、本実施形態に係るインピーダーコア111の一部には、凹部領域113が形成されている。この凹部領域113が形成されている領域を、電縫管製造装置100を構成する誘導コイル8との関係に着目しながら、改めて説明すると、以下のようになる。

[0055] すなわち、本実施形態に係るインピーダーコア111において凹部領域113が形成される領域は、上記したように、磁束密度が高くなる領域に対応

していることが好ましい。そのため、本実施形態に係るインピーダ装置 110 は、例えば図 6 に示したように、凹部領域 113 がオープン管 9 の端部 9b と対向し、かつ、誘導コイル 8 の配置位置の少なくとも一部がマンドレル 3 の伸長方向における凹部領域 113 に包含されるように、オープン管 9 の内部に配置される。

[0056] 具体的には、凹部領域 113 は、例えば、オープン管 9 の走行方向 R において、誘導コイル 8 の上流側 50 mm 前後から溶接点 V までの範囲（以下、「被磁束影響範囲 X1」という。）のうち、特に磁束による影響が強い誘導コイル 8 の直下範囲 X2 の少なくとも一部を含むように形成されることが好ましい。例えば、凹部領域 113 は、誘導コイル 8 の直下位置を基準として、誘導コイル 8 の上流側 50 mm の位置から誘導コイル 8 の下流側 50 mm の位置までの範囲を包含可能な長さ、とすることが好ましい。

[0057] このとき、凹部領域 113 は、例えば図 6 に示すように、被磁束影響範囲 X1 の全体に形成されてもよいし、例えば図 8 に示すように、直下範囲 X2 及びその上流側（図 8 における z 軸負方向側）のみにおいて形成されてもよい。

[0058] すなわち、本実施形態においてインピーダ装置 110 は、図 6 及び図 7 に示すように、凹部領域 113 の形成部分におけるインピーダ装置 110 の上端部と、オープン管 9 の端部 9b の下端部との間の離隔距離 H1 が、凹部領域 113 の非形成部分（本実施形態では、例えば凹部領域 113 よりも上流側）におけるインピーダ装置 110 の上端部と、オープン管 9 の端部 9b の下端部との間の離隔距離 H2 よりも大きくなるように構成される。

[0059] なお、インピーダ装置 110 の上端部とは、図 6 に示した場合を例に説明すると、凹部領域 113 の形成部分においては、例えば露出したマンドレル 3 の上端部のことをいい、凹部領域 113 の非形成部分（凹部領域 113 よりも上流側）においては、インピーダコア 111 の上端部のことをいう。

[0060] 本実施形態によれば、少なくとも直下範囲 X2 を含むようにインピーダ

コア111に凹部領域113が形成されるため、インピーダークコア111と、磁束発生源である誘導コイル8又はオープン管9の端部9bの下端部との離隔距離が大きくなる。これにより、インピーダークコア111に磁束Fが入り込むことを抑制したり、インピーダークコア111に入り込む磁束Fを減衰させたりすることができ、インピーダークコア111が磁束飽和を起こすことが抑制できる。これにより、本実施形態に係るインピーダーク装置110においては、インピーダークコア111の発熱を抑制すると共に、インピーダークコア111及びインピーダーク装置110の損傷が抑制され、電縫管の安定生産を長時間にわたって継続させることができる。また、この結果、インピーダーク装置110の交換に伴う製造ラインの休止を低減できるため、インピーダーク装置110のメンテナンスに要する時間及び費用を削減できる。

[0061] なお、図9に示すようにインピーダークコア111における凹部領域113の周方向における幅Y1は、少なくとも、直上に位置するオープン管9の開口部9aの開口幅Y2と同じであることが好ましく、開口幅Y2よりも大きいことがより好ましい。凹部領域111の幅Y1が、開口部2aの開口幅Y2と同じであるか、より好ましくは大きい幅Y1で形成されることで、インピーダークコア111に磁束Fが入り込むことを、より適切に抑制できる。

[0062] なお、本実施形態によれば、凹部領域113は、インピーダークコア111の上部において、少なくとも開口部9aの開口幅Y2以上の幅Y1で、インピーダークコア111を除去することにより形成されることが好ましい。本実施形態によれば、このようにインピーダークコア111がマンドレル3の外周面に沿って全周にわたって設けられない場合であっても、端部9bから回り込む誘導電流を適切に抑制することができる。

[0063] この点について、図10を参照しながら説明する。図10は、マンドレル3に装着された本実施形態に係るインピーダーク装置110の変形例を示した断面図である。

本発明者らが鋭意検討したところ、インピーダークコア111はマンドレル3の外周面の一部（より詳細には、少なくともマンドレル3の上半部）に設

置されていれば、端部9bからオープン管9の内周側に回り込む誘導電流を抑制できることを知見した。すなわち、インピーダークコア111は、図10に示すようにインピーダーク装置110の上半部外周のみ（すなわち、1/2周分円弧状に拡がった領域のみ）に設けられていてもよい。これにより、端部9bからオープン管9の内周側に周りこむ誘導電流を適切に抑制できると共に、インピーダーク装置110の質量及び断面積を低減することができる。

[0064] 図10に示した変形例は、例えば、管径が小さい電縫管を製造する電縫管製造装置において本実施形態に係るインピーダーク装置110を適用する場合に、特に有用である。すなわち、製造する電縫管の管径が小さい場合、オープン管9内に設けられるマンドレル3の径も小さくなる。そのため、マンドレル3に装着するインピーダークコア111の質量を軽くしないと、マンドレル3に撓みが生じ、効果的にビードカットができなくなる場合が生じたり、インピーダークとしての効果が薄れたりするという問題が生じる可能性がある。そのため、インピーダークが効果的に機能する部分にのみ（図10の例では、マンドレル3の上半部外周のみ）にインピーダークコア111を配置することでインピーダークコア111を軽量化し、マンドレル3に撓みが生じることを抑制できる。これにより、管径が小さい電縫管を製造する場合であっても、効果的にビードカットができるとともに、インピーダークとしての効果が薄れることを抑制できる。

[0065] なお、上記したインピーダークコア111の除去により露出したマンドレル3の表面（換言すれば、インピーダークコア111における凹部領域113の形成部分）には、図11に示すように、マンドレル3を保護するための電磁シールド材120を設けてもよい。電磁シールド材120は、マンドレル3と同様に、非磁性体であることが好ましい。かかる電磁シールド材120の素材としては、例えば、絶縁対策を施した銅板や銅メッシュ、カーボン、カーボンファイバー等を用いることが可能である。また、電磁シールド材120は、表面が絶縁被覆された編組線メッシュのように、磁場により電磁シールド材120自体が発熱しにくい構造、形状を有していることがより好まし

い。また、露出したマンドレル3の表面（インピーダーコア111における凹部領域113の形成部分）には、電磁シールド材120に代えて、凹部領域113を被うようにして追加のインピーダーが設けられてもよい。

[0066] また、図12に示すように、凹部領域113の形成により露出したマンドレル3の少なくとも一部又は全長にわたって、当該マンドレル3を鉛直方向に貫通する貫通孔3bを形成してもよい。このように貫通孔3bを形成することにより、磁束Fは、磁気抵抗の大きな空間を通りにくくなる。その結果、オープン管9の端部9bへ磁束がより多く入るようになり、マンドレル3の発熱をより抑制することができる。

[0067] なお、図12においてはインピーダーコア111がマンドレル3の外周面に沿って上半部に設置されている際に貫通孔3bを形成する場合を例に図示を行った。しかしながら、例えば図7に示したように、インピーダーコア111がマンドレル3の全周に亘って設けられている場合であっても、貫通孔3bの形成部分となるインピーダー装置110の上部と下部でインピーダーコア111を除去することで、貫通孔3bを形成できる。かかる場合、インピーダーコア111がマンドレル3の下部まで配置されることで、インピーダーコア111及びマンドレル3の損傷を防ぎながら、オープン管9内周側に回り込む誘導電流を、より抑制できる。

[0068] また更に、上記したインピーダーコア111の除去により露出したマンドレル3には、図13及び図14に示すように、当該マンドレル3の一部を切り欠いて、マンドレル3が残った金属部分である格子3cを挟んで相互に隔離した複数のスリット3dを形成してもよい。従って、マンドレル3におけるスリット3dの形成部分では、マンドレル3の周方向に沿って、マンドレル3が残る格子3cとマンドレル3が切り欠かれたスリット3dとが交互に並んで配置される。

[0069] スリット3dは、オープン管9の走行方向Rにおいて、少なくとも磁束による影響が強い直下範囲X2をカバーするように形成されることが好ましく、走行方向Rにおける直下範囲X2の前後50mm程度までの範囲で伸長し

て形成されることがより好ましい。

[0070] また、スリット3 dの間に形成される金属部分である格子3 cの1本あたりの形成幅Y 3及び深さH 3（図1 4を参照）は、少なくとも開口部9 aや端部9 bからの誘導電流が閉回路を形成しない大きさであればよい。換言すれば、格子3 cの1本あたりの形成幅Y 3や深さH 3は、電流の周波数、並びに、マンドレル3の導電率及び初透磁率により定まる誘導電流の浸透深さの2倍以下であれば、特に限定されるものではない。なお、上記誘導電流の浸透深さは、以下の式（1）に基づき算出することが可能である。

$$[0071] \quad \delta = 5.03 \times (\rho / \mu f)^{0.5} \dots \text{式 (1)}$$

ここで、上記式（1）において、

$\delta$  : 浸透深さ（単位：c m）

$\rho$  : マンドレル3の固有抵抗率（すなわち、導電率の逆数）（単位： $\mu \Omega \cdot \text{c m}$ ）

$\mu$  : マンドレル3の初透磁率

f : 電流の周波数（単位：H z）

である。

[0072] なお、マンドレル3の固有抵抗率は、マンドレル3の素材が鋼である場合には、常温において $20 \mu \Omega \cdot \text{c m}$ 程度であり、 $1000^\circ \text{C}$ において $128 \mu \Omega \cdot \text{c m}$ 程度である。また、マンドレル3の素材には、非磁性材のステンレス鋼が多く使われることから、マンドレル3の初透磁率は、1として取り扱えばよい。なお、マンドレル3の素材が磁性体である場合には、初透磁率は磁界の強さに応じて変化する。例えば、マンドレル3の素材が鋼である場合には、加熱によって、 $20 \sim 1000$ 程度の値を示す。

[0073] なお、格子3 cの形成幅Y 3とは、図1 4で示したように、断面視におけるマンドレル3の周方向の残存幅であって、スリット3 dの形成間隔と言い換えることもできる。従って、本実施形態においては、スリット3 dの形成間隔Y 3は、誘導電流の浸透深さの2倍以下となり、閉回路を形成しなけれ

ば、特に均等である必要はない。

[0074] そして、このようにスリット3 dが形成されたマンドレル3においては、開口部9 aや端部9 bから各スリット3 dに入り込み、格子3 cの表面を流れる誘導電流は、隣り合う格子3 cの表面において互いに逆相となることで相殺され、減衰する。この結果、スリット3 dが形成されたマンドレル3では、誘導電流に起因するインピーダコーア1 1 1及びマンドレル3の損傷をより防ぎながら、オープン管9の内周側に回り込む誘導電流をより抑制できる。

[0075] なお、このようにマンドレル3にスリット3 dを形成した場合であって、マンドレル3の内部に芯材3 aに代えて冷却水を通流させていた場合、このスリット3 dの形成により、冷却水がマンドレル3の外部へと流出する可能性が考えられる。そこで、マンドレル3の内部に冷却水を通流させている場合において、かかる冷却水の流出を防止したい場合には、図1 5 Aに一例として示すように、スリット3 dを接着剤や樹脂等の誘電損を生じない封止材料1 1 5を用いて封止してもよい。この場合、封止材料1 1 5はスリット3 dの深さH 3の全長に亘って完全充填される必要はなく、図1 5 B及び図1 5 Cに例示したように、封止材料1 1 5がスリット3 dの深さH 3の少なくとも一部に存在することで、内部からの冷却水の流出を抑制できればよい。

[0076] また、図示は省略するが、このようにスリット3 dに封止材料1 1 5を充填することに代えて、マンドレル3の外周面又は内周面の少なくともいずれか一方に沿って、換言すればスリット3 dの上部又は下部の少なくともいずれかを塞ぐように、絶縁性の膜／層、又は、図1 1に示した電磁シールド材1 2 0を設置してもよい。

[0077] 従って、マンドレル3におけるスリット3 dの形成部分には、マンドレル3の内部から冷却水を流出させないための封止部材としての封止材料1 1 5、絶縁性の膜／層又は電磁シールド材1 2 0の少なくともいずれか1つが設けられてもよい。

[0078] (第2の実施形態)

なお、以上の第1の実施形態においては、凹部領域113を、インピーダークコア111の一部をインピーダークコアの厚みが薄くなるように除去したり、インピーダークコア111を完全に除去したりすることにより形成したが、凹部領域113の形成方法は、かかる例に限定されない。以下、本発明の第2の実施形態について述べる。

[0079] 以下、図16及び図17を参照しながら、マンドレル3に装着された本発明の第2の実施形態に係るインピーダーク装置210を有する電縫管製造装置200の構成を説明する。図16及び図17は、マンドレル3に装着された本実施形態に係るインピーダーク装置210を有する電縫管製造装置200の構成の概略を示す側面図である。なお、電縫管製造装置200の構成において、電縫管製造装置1、又は、電縫管製造装置100の構成と実質的に同一の機能構成を有する要素については、同一の符号を付することにより、重複説明を省略する。

[0080] 図16に示すように、本発明の第2の実施形態に係る電縫管製造装置200は、図5に示した電縫管製造装置100と同様に、成形ロール群（図16では図示せず。）と、オープン管9の外周に沿って設けられる誘導コイル8と、オープン管9の内部に設けられるインピーダーク装置210と、を有している。また、インピーダーク装置210は、インピーダークコア211を有している。

[0081] インピーダークコア211には、上記した磁束密度が高い領域において、第1の実施形態に係る凹部領域113と同様に、凹部領域213が形成されている。具体的には、凹部領域213は、オープン管9の走行方向Rにおいて、被磁束影響範囲X1のうち、特に磁束による影響が強い誘導コイル8の直下範囲X2の少なくとも一部を含むように形成される。

[0082] 本実施形態において、凹部領域213は、図16に示すように、例えばマンドレル3及びインピーダークコア211が、被磁束影響範囲X1における任意の範囲内において下方に湾曲されることにより、形成される。すなわち、インピーダークコア211に形成される凹部領域213は、インピーダークコア

211の湾曲領域と言い換えることができる。

[0083] なお、かかる凹部領域213の深さ、すなわちインピーダークコア211の湾曲深さは、一例として、第1の実施形態に係る凹部領域113と同様に、インピーダークコア211の厚みと略一致するように設定される。

[0084] 本実施形態によれば、少なくとも誘導コイル8の直下範囲×2の一部を含む範囲内において、インピーダークコア211が湾曲されて凹部領域213が形成されることで、磁束発生源としての誘導コイル8又は端部9bの下端部との離隔距離が上流側と比較して大きくなり、インピーダークコア211に入り込む磁束を減衰できる。また、これにより、インピーダークコア211が磁束飽和を起こすことを抑制することができるため、インピーダークコア211の発熱を抑制すると共に、インピーダークコア211、並びにインピーダーク装置210の損傷が抑制され、電縫管の安定生産を長時間にわたって継続させることができる。また、この結果インピーダーク装置210の交換による製造ラインの休止を低減させることができるため、インピーダーク装置210のメンテナンスに要する時間及び費用を削減できる。

[0085] また、本実施形態によれば、第1の実施形態と異なり、インピーダークコア211を除去することなく凹部領域213を形成できる。そのため、本実施形態によれば、従来のインピーダーク装置と同等のインピーダーク効果を楽しむことができ、その上でインピーダーク装置210、特にインピーダークコア211の損傷を抑制できる。

[0086] なお、インピーダークコア211は、第1の実施形態においても説明したように、インピーダーク装置210の外周面に沿って上半部のみ、1/2周分円弧上に拡がった領域のみに設けるようにしてもよい。

[0087] また、湾曲後のインピーダーク装置210の強度を確保できれば、例えば図17に示すように、マンドレル3及びインピーダークコア211の上面だけを湾曲させて、凹部領域213を形成してもよい。

[0088] ここで、以上説明したような、本発明の第2の実施形態に係るインピーダーク装置210の構成は、本発明の第1の実施形態に係るインピーダーク装置1

10に対して適宜適用することが可能である。

## 実施例

[0089] 以下、本発明の実施例について説明するが、本発明は以下の実施例に限定されるものではない。

[0090] 以下の実施例では、直径 $\phi$  216.3 mm、肉厚6 mmの普通鋼のオープン管を、長手方向に幅150 mmの誘導コイルを溶接点から上流側に150 mm離して設置して、オープン管を加熱した場合を想定し、インピーダ装置の形態の違いによる磁束密度の差を、電磁場解析により求めた。なお、誘導コイルは、オープン管とのギャップを5 mmとして配置し、周波数300 kHzの高周波電流4000 [A]を通じたものとした。

[0091] また、インピーダコアは、1個のソフトフェライトの厚みが10 mm、周方向の幅15 mm、長手方向の長さ50 mm（比透磁率1500、飽和磁束密度0.45 T）とし、複数のソフトフェライトを直径 $\phi$  140 mmのSUS304製マンドレルの外周に接着剤で隣接して貼り合わせて設置した場合を想定した。なお、インピーダコアの設置条件は以下の通りである。

[0092] （本発明例1）

本発明例1は、第1の実施形態における図8に示したような状況を電磁場解析したものである。本発明例1では、誘導コイルの上流50 mmから溶接点側へ250 mmの範囲で、図8におけるx軸方向の幅を16 mmとした凹部領域を形成し、マンドレルを露出させた場合を想定した。この凹部領域に、インピーダを設置し、当該インピーダの上端から、オープン管までの離隔距離を23 mm、他の部位におけるインピーダ装置面から（すなわち、インピーダコアから）オープン管までの離隔距離は13 mmとした場合を想定した。かかる想定は、図8において、長さX1の範囲内かつ長さX2の範囲外となる領域のうちV点に近い側の領域に、インピーダが設置されている場合に該当する。

[0093] （本発明例2）

本発明例2は、第1の実施形態における図6に示したような状況を電磁場

解析したものである。本発明例 2 では、誘導コイルの上流 50 mm からインピーダコアの下流側端部までの範囲（すなわち、被磁束影響範囲の全範囲）において、図 6 における x 軸方向の幅を 16 mm とした凹部領域を形成し、マンドレルを露出させた場合を想定した。マンドレルからオープン管までの離隔距離を 33 mm、他の部位におけるインピーダ装置面から（すなわち、インピーダコアから）オープン管までの離隔距離は 13 mm とした場合である。

[0094]（本発明例 3）

本発明例 3 は、第 1 の実施形態における図 10 に示したように、本発明例 2 において露出したマンドレル上に、電磁シールド材として 5 mm 厚の銅メッシュを設けた場合を想定したものである。

[0095]（比較例）

比較例は、従来技術における電縫管製造装置として、図 2 及び図 3 に示したように凹部領域を形成しない場合、すなわち、インピーダ装置からオープン管までの離隔距離を 13 mm で一定とした場合である。

[0096]（電磁場解析結果）

以下に示す表 1 は、本発明 1～3、及び、比較例のそれぞれにおける電磁場解析の結果として、最大磁束密度及びマンドレルの発熱量比をまとめたものである。なお、表中のマンドレル発熱量比は、比較例における発熱量を 1.0 とした場合における、各発明例の発熱量の比である。

[0097] [表 1]

	最大磁束密度 [T]	マンドレル発熱量比 [—]
本発明例 1	0.43	0.93
本発明例 2	0.42	1.12
本発明例 3	0.42	0.96
比較例	0.62	1.00

[0098] 表 1 に示すように、比較例ではインピーダコアの最大磁束密度は 0.62 T となり、飽和磁束密度である 0.45 T を大きく超える値となった。こ

れに対し、磁束密度の高い誘導コイルの上流50mmから溶接点側へ250mmの範囲で凹部領域を形成し、当該凹部領域にインピーダーを設置した本発明例1においては、インピーダーコアの最大磁束密度は0.43Tとなり、インピーダーコアの飽和磁束密度以下となった。

[0099] また、更にインピーダーコアの下流側端部まで凹部領域を形成した本発明例2においても、最大磁束密度が0.42Tとなり、インピーダーコアの飽和磁束密度以下となった。一方で、本発明例1のようにインピーダーで覆われている場合には磁束がマンドレルに入るのはわずかであったものが、本発明例2においてはインピーダーが無くなったことで、磁束が直接マンドレルに入りマンドレルが発熱する結果、総発熱量比が12%増加した。ただし、発熱量は増えるものの、損傷するレベルではなく、インピーダーの磁束密度は低くなるため安定した製造が可能になる。

[0100] これに対し、露出したマンドレル上に銅メッシュの電磁シールド材を設けた本発明例3の場合、インピーダーコアの最大磁束密度は0.42Tとなり本発明2と同等の結果が得られていることに加え、総発熱量比も本発明例1と同程度まで抑制された。

[0101] 以上の結果からわかるように、インピーダーコアに凹部領域を設けることにより、すなわち、磁束発生源としての誘導コイルおよび開口部の下端部からの離隔距離を大きくすることにより、インピーダーコアに入る磁束を減衰し、磁束密度を低減できることがわかった。

[0102] 以上、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施形態について詳細に説明したが、本発明はかかる例に限定されない。本発明の属する技術の分野における通常の知識を有する者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例又は修正例に想到し得ることは明らかであり、これらについても、当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

[0103] 今回開示された実施形態は、全ての点で例示であって制限的なものではない。上記の実施形態は、添付の特許請求の範囲、後述するような本発明の技

術的範囲に属する構成及びその主旨を逸脱することなく、様々な形態で省略、置換、変更されてもよい。例えば、上記実施形態の構成要件は、その効果を損なわない範囲内で、任意に組み合わせることが可能である。また、当該任意の組み合わせからは、組み合わせにかかるそれぞれの構成要件についての作用及び効果が当然に得られるとともに、本明細書の記載から当業者には明らかな他の作用及び他の効果が得られる。

[0104] また、本明細書に記載された効果は、あくまで説明的又は例示的なものであって、限定的ではない。つまり、本発明に係る技術は、上記の効果とともに、又は、上記の効果に代えて、本明細書の記載から当業者には明らかな他の効果を奏しうる。

### 産業上の利用可能性

[0105] 本発明は、金属帯板を走行させながら円筒状に曲げて誘導加熱し、金属帯板に誘起した電流によって金属帯板の両端面部間を溶接する電縫管溶接装置に有用である。このようにして製造された電縫管は、例えば、油井管、二輪車・四輪車用パイプ等の軽量化が求められるパイプなどとして用いられる。

### 符号の説明

- [0106]
- 1 インピーダー装置
  - 2 インピーダーコア
  - 3 マンドレル
  - 3 a 芯材
  - 3 b 貫通孔
  - 3 c 格子
  - 3 d スリット
  - 4 ローラー
  - 5 切削バイト
  - 6 インピーダーケース
  - 7 電縫管製造装置
  - 8 誘導コイル

- 9 オープン管
  - 9 a 開口部
  - 9 b 端部
- 1 0 0 電縫管製造装置
- 1 0 1 成形ロール群
- 1 0 3 スクイズロール
- 1 1 0 インピーダー装置
- 1 1 1 インピーダーコア
- 1 1 3 凹部領域
- 1 1 5 封止材料
- 1 2 0 電磁シールド材
- 2 0 0 電縫管製造装置
- 2 1 0 インピーダー装置
- 2 1 1 インピーダーコア
- 2 1 3 凹部領域
- V 溶接点
- X 1 被磁束影響範囲
- X 2 直下範囲
- Y 1 幅
- Y 2 開口幅

## 請求の範囲

- [請求項1] 電縫管製造用のインピーダ装置を備えたマンドレルであって、磁性材料からなるインピーダコアを有するインピーダ装置と、前記インピーダコアの内側に位置しており、前記インピーダコアの支持部材となる、所定方向に伸長されたマンドレルと、を有し、  
前記インピーダコアの一部には、前記マンドレルの伸長方向に沿って所定の範囲内の大きさで、凹部領域が形成されており、  
前記伸長方向に対して直交する方向における前記凹部領域の大きさは、10mm以上、前記マンドレルの外周長の1/3の大きさ以下である、マンドレル。
- [請求項2] 前記伸長方向における前記凹部領域の長さは、100mmより大きく前記インピーダコアの全長以下である、請求項1に記載のマンドレル。
- [請求項3] 前記インピーダ装置は、  
前記インピーダコアの外側に、前記インピーダコアとの間に空隙が存在するように設けられた中空のインピーダケースを更に有しており、  
前記インピーダケースの中空部分には、冷却水が通流される、請求項1又は2に記載のマンドレル。
- [請求項4] 前記凹部領域は、前記インピーダ装置の少なくとも上部が下方へ湾曲されることにより形成される、請求項1～3の何れか1項に記載のマンドレル。
- [請求項5] 前記凹部領域は、前記インピーダコアの少なくとも一部が除去された切り欠き部である、請求項1～3の何れか1項に記載のマンドレル。
- [請求項6] 前記凹部領域の底部では、前記マンドレルの表面が露出する、請求項5に記載のマンドレル。

- [請求項7] 露出した前記マンドレルの表面には、電磁シールド材が設けられる、請求項6に記載のマンドレル。
- [請求項8] 前記電磁シールド材は、銅メッシュである、請求項7に記載のマンドレル。
- [請求項9] 前記凹部領域の底部における前記マンドレルの露出部分には、前記走行方向に伸長するスリットが形成されている、請求項6～8の何れか1項に記載のマンドレル。
- [請求項10] 前記スリットを形成する金属部分の幅が、前記誘導電流の浸透深さよりも小さい、請求項9に記載のマンドレル。
- [請求項11] 前記マンドレルの内部には冷却水が通流され、  
前記マンドレルにおける前記スリットの形成部分には、封止部材が設けられている、請求項9又は10に記載のマンドレル。
- [請求項12] 前記凹部領域の少なくとも一部又は全部における直下の前記マンドレルには、鉛直方向に貫通する貫通孔が形成されている、請求項1～11の何れか1項に記載のマンドレル。
- [請求項13] 前記インピーダークォアは、前記マンドレルの上半部外周のみに設けられる、請求項1～12の何れか1項に記載のマンドレル。
- [請求項14] 所望の電縫管の形状を成形するための成形ロール群と、誘導電流を発生させるための誘導コイルと、所定方向に伸長された電縫管製造用のマンドレルと、を有する電縫管製造装置であって、  
前記マンドレルの一部には、磁性材料からなるインピーダークォアを有するインピーダークォア装置が設けられており、  
前記インピーダークォアの一部には、前記マンドレルの伸長方向に沿って所定の範囲内の大きさで、凹部領域が形成されており、  
前記伸長方向における前記凹部領域の大きさは、（前記誘導コイルの幅+100mm）以上、前記インピーダークォアの全長以下であり、  
前記伸長方向に対して直交する方向における前記凹部領域の大きさは、10mm以上、前記マンドレルの外周長の1/3の大きさ以下で

ある、電縫管製造装置。

[請求項15] 所定の走行方向に搬送されながら筒状に曲げられてきたオープン管において、当該オープン管の端部を、誘導電流により熔融させたうえで、前記端部同士を突き合わせて電縫溶接する電縫管の製造方法において、

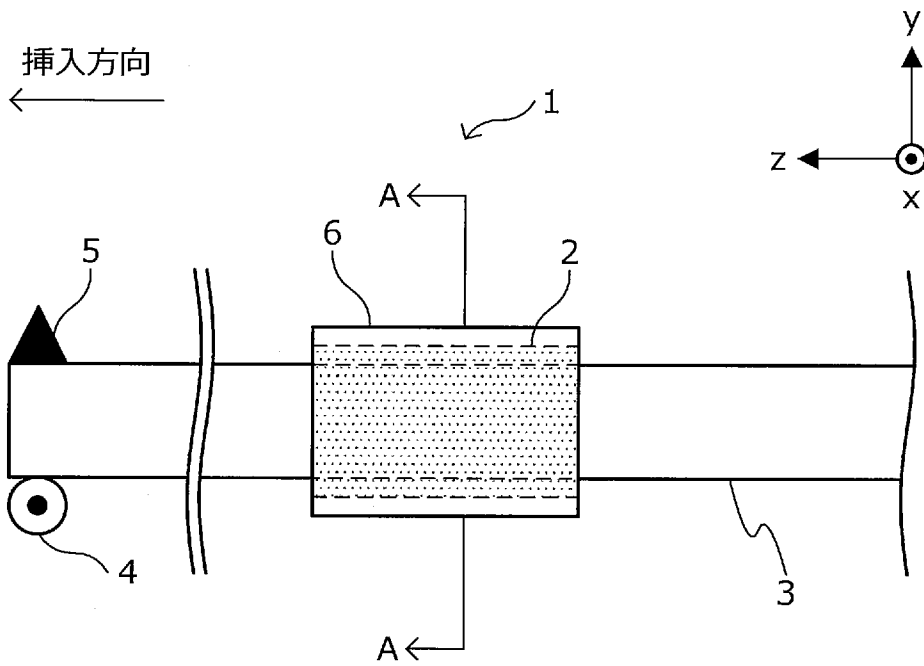
請求項1～13の何れか1項に記載のマンダレルを、前記凹部領域が前記オープン管の前記端部と対向し、かつ、前記誘導電流を発生させるための誘導コイルの配置位置の少なくとも一部が前記マンダレルの伸長方向における前記凹部領域に包含されるように、前記オープン管の内部に配置する、電縫管の製造方法。

[請求項16] 前記オープン管、前記インピーダ装置、及び、前記マンダレルを、前記オープン管の径方向に切断したときの断面において、

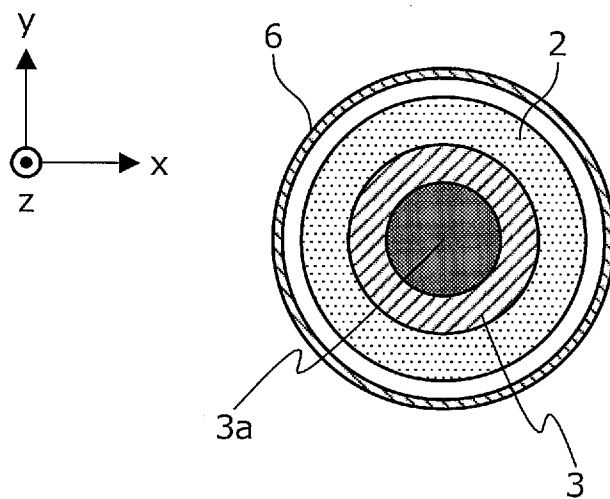
前記凹部領域における前記インピーダ装置の上端と前記オープン管の端部の下端との離隔距離が、前記走行方向における前記凹部領域よりも上流側における前記インピーダ装置の上端と前記オープン管の端部の下端との離隔距離よりも大きい、請求項15に記載の電縫管の製造方法。

[請求項17] 前記伸長方向における前記凹部領域の長さは、前記誘導電流を発生させる誘導コイルの直下位置を基準として、前記誘導コイルの上流側50mmの位置から前記誘導コイルの下流側50mmの位置までの範囲を包含可能な長さである、請求項15又は16に記載の電縫管の製造方法。

[図1A]

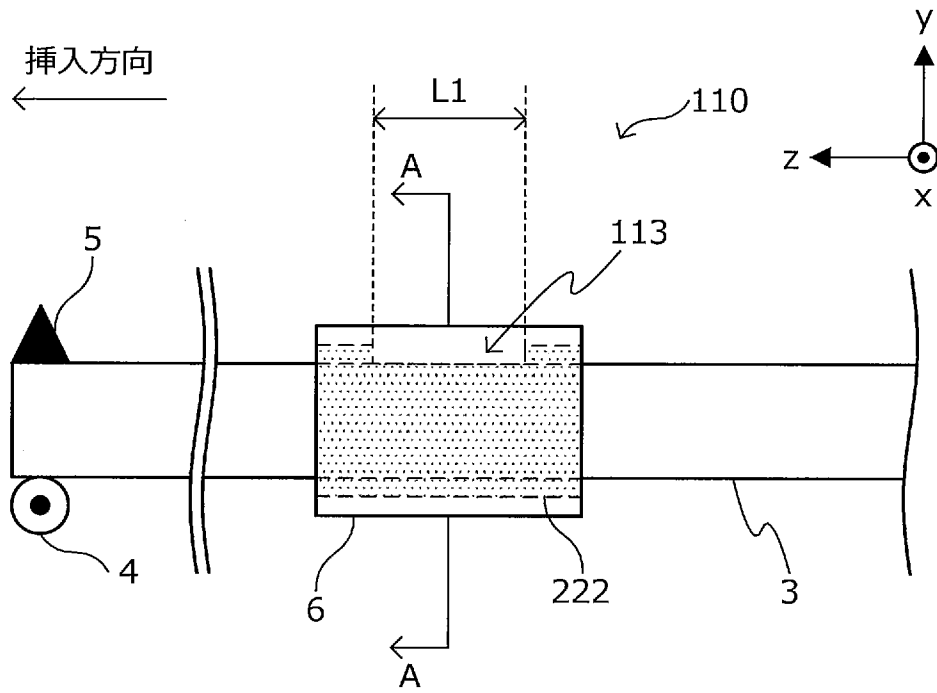


[図1B]

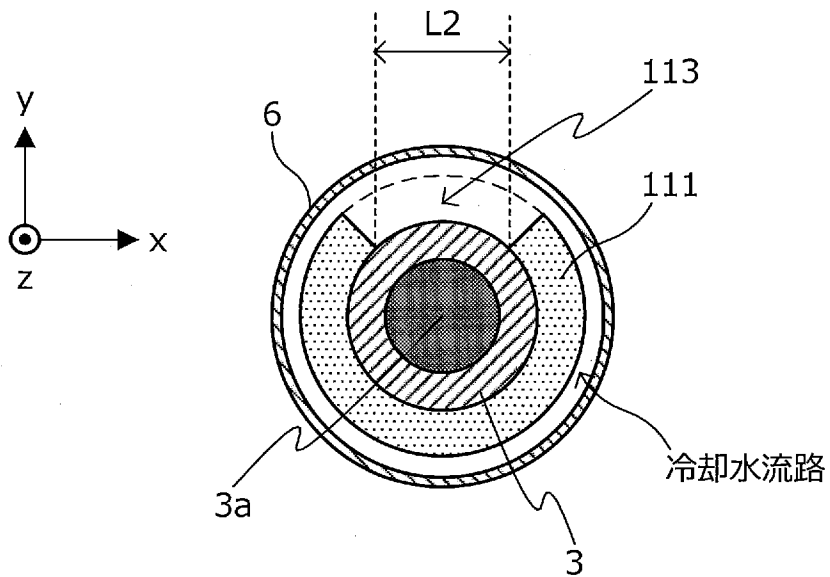




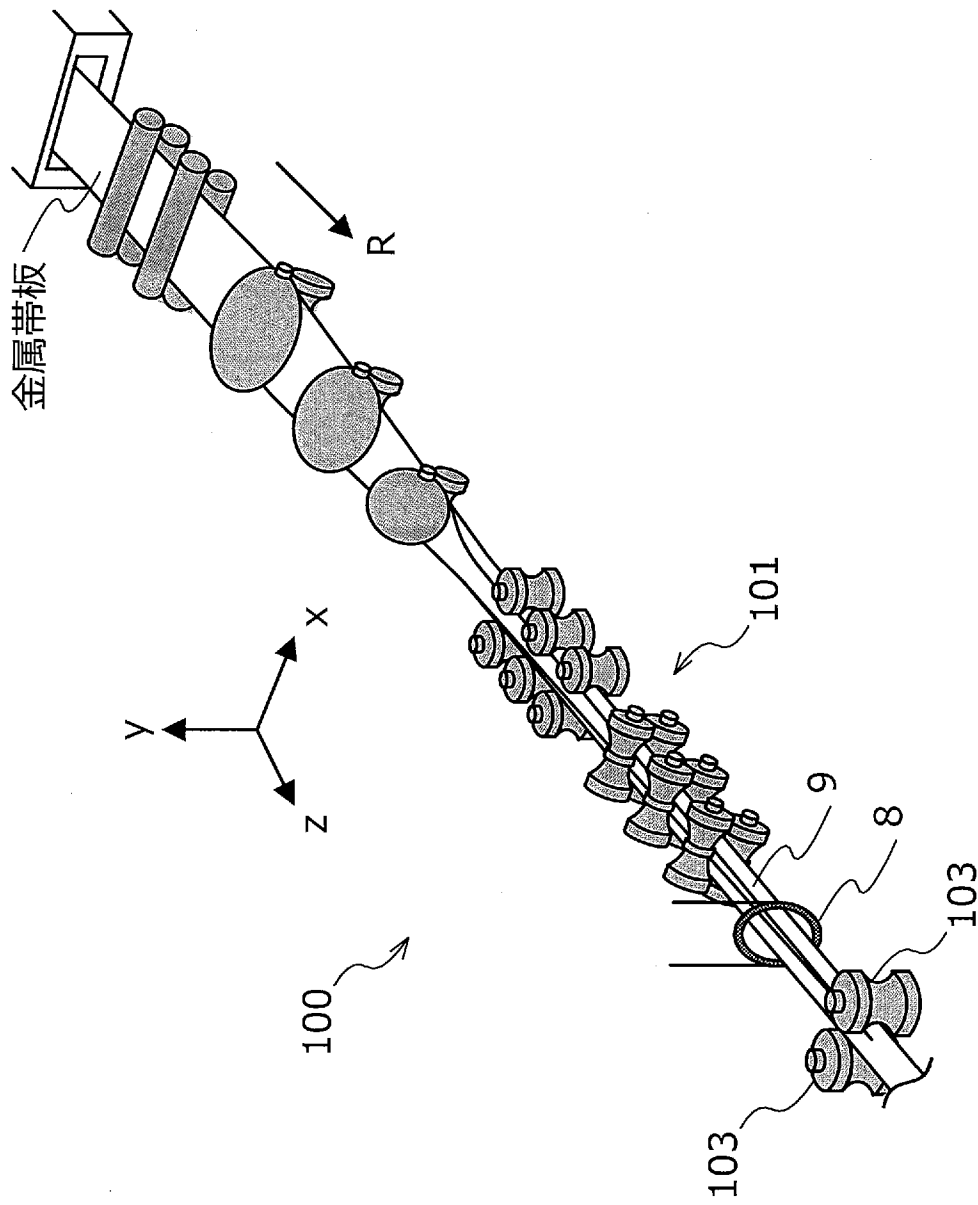
[図4A]



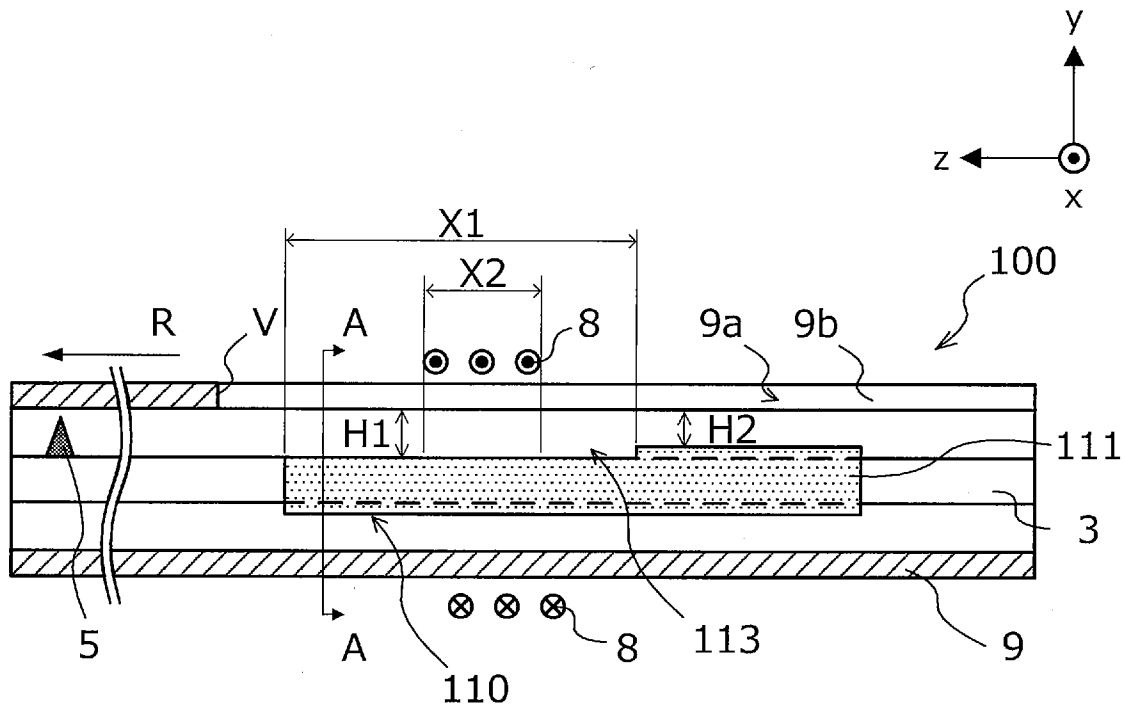
[図4B]



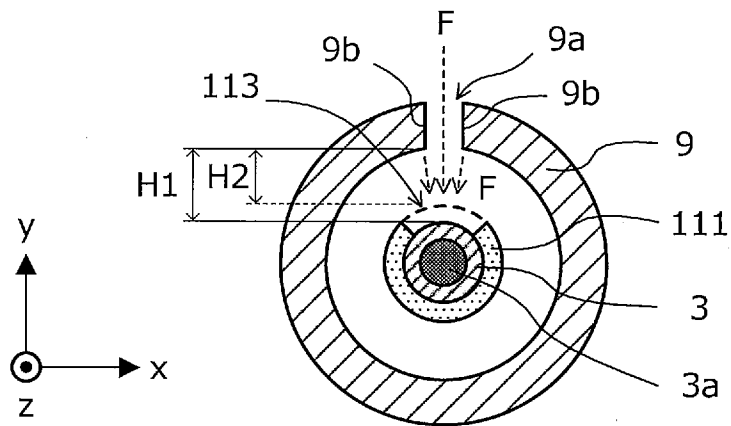
[图5]



[図6]

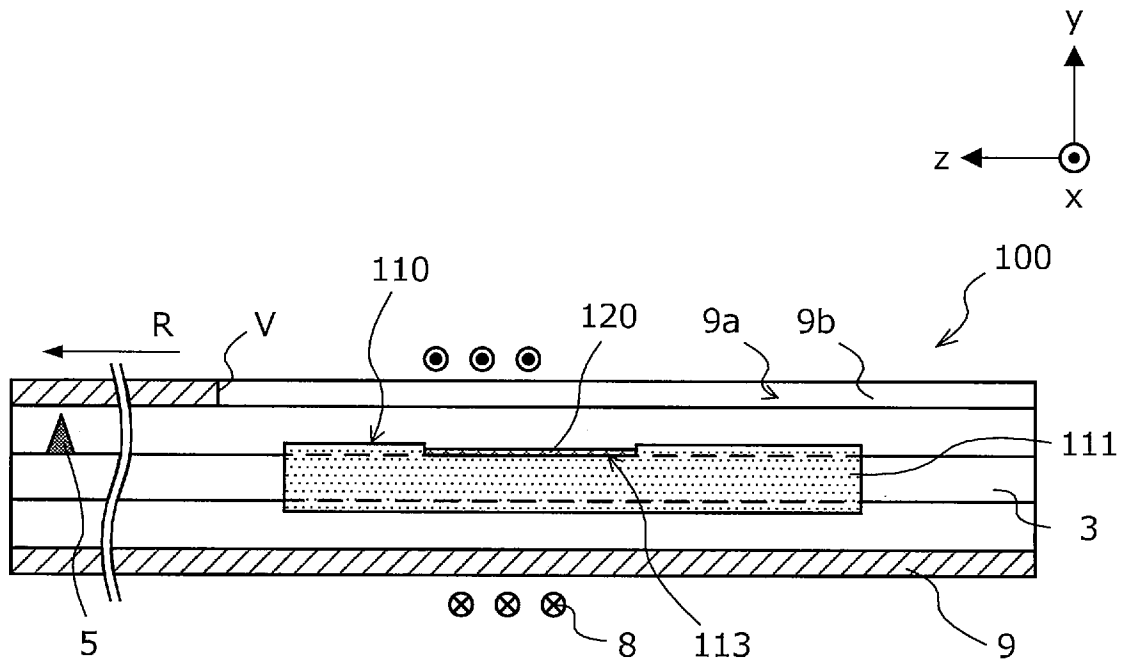


[図7]

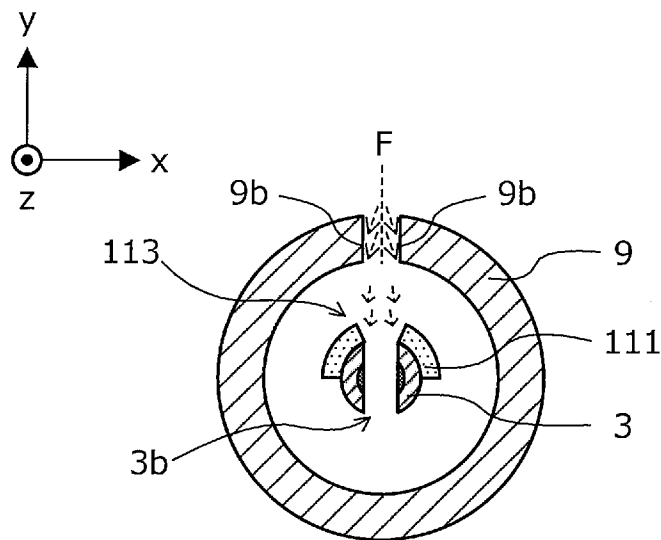




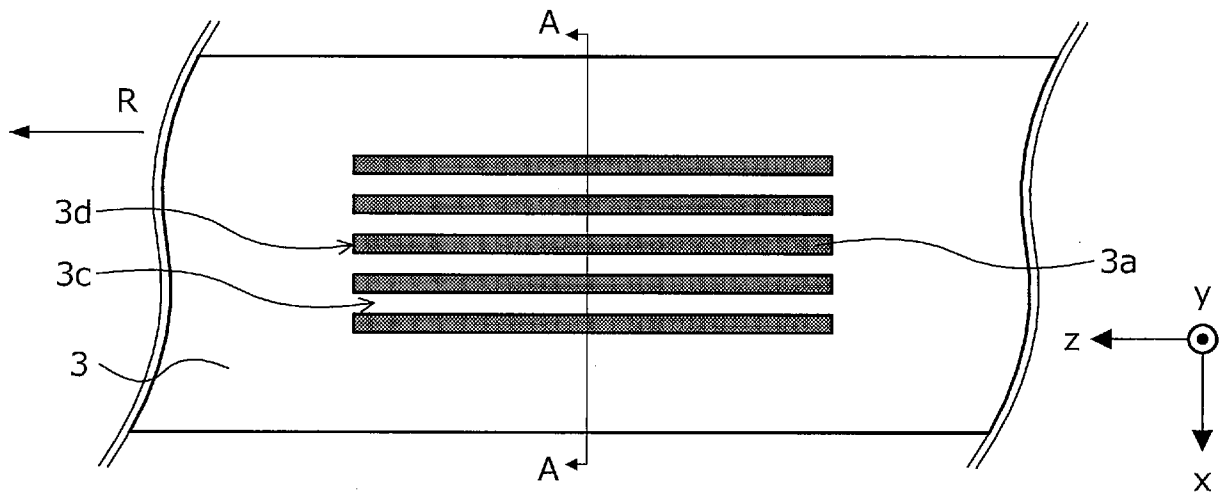
[図11]



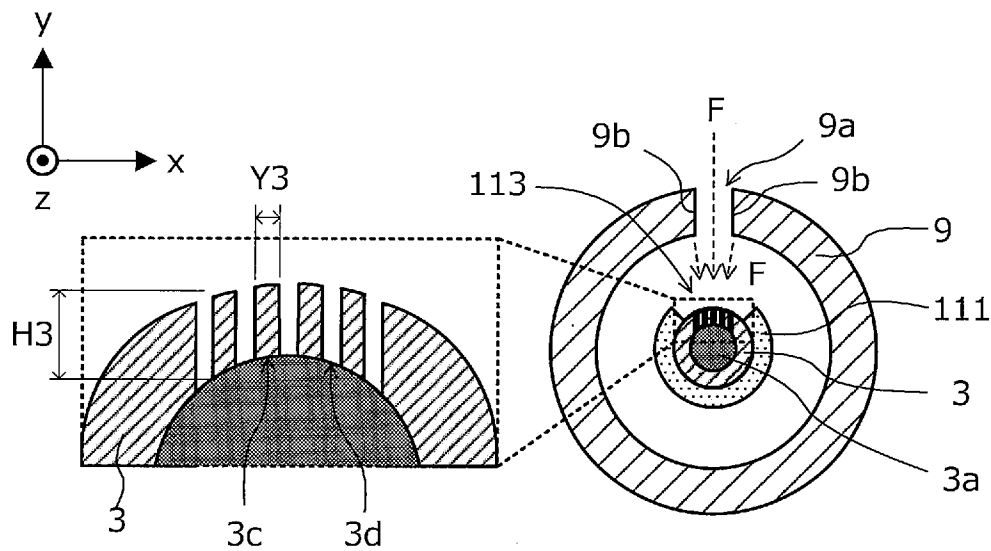
[図12]



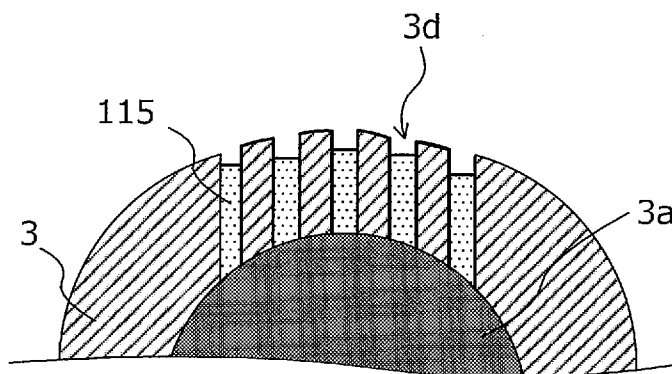
[図13]



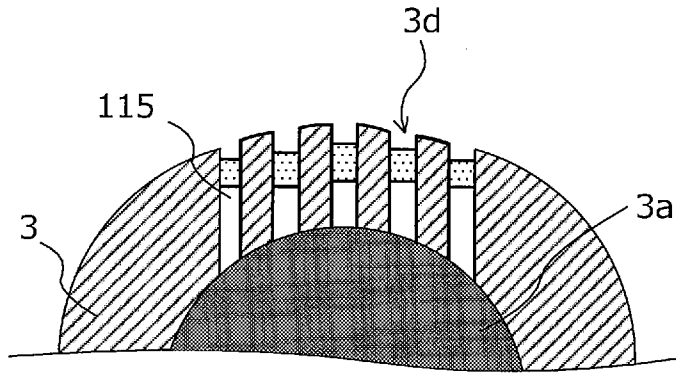
[図14]



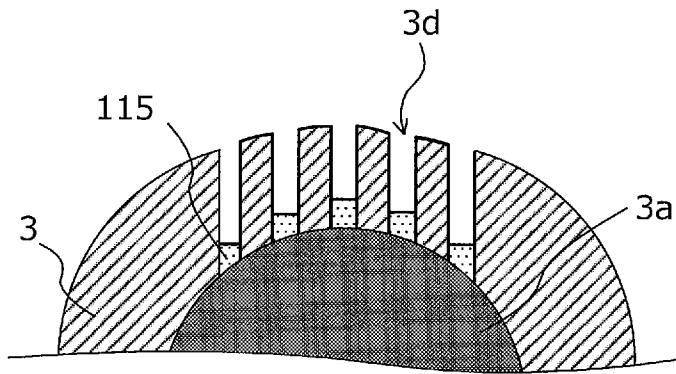
[図15A]



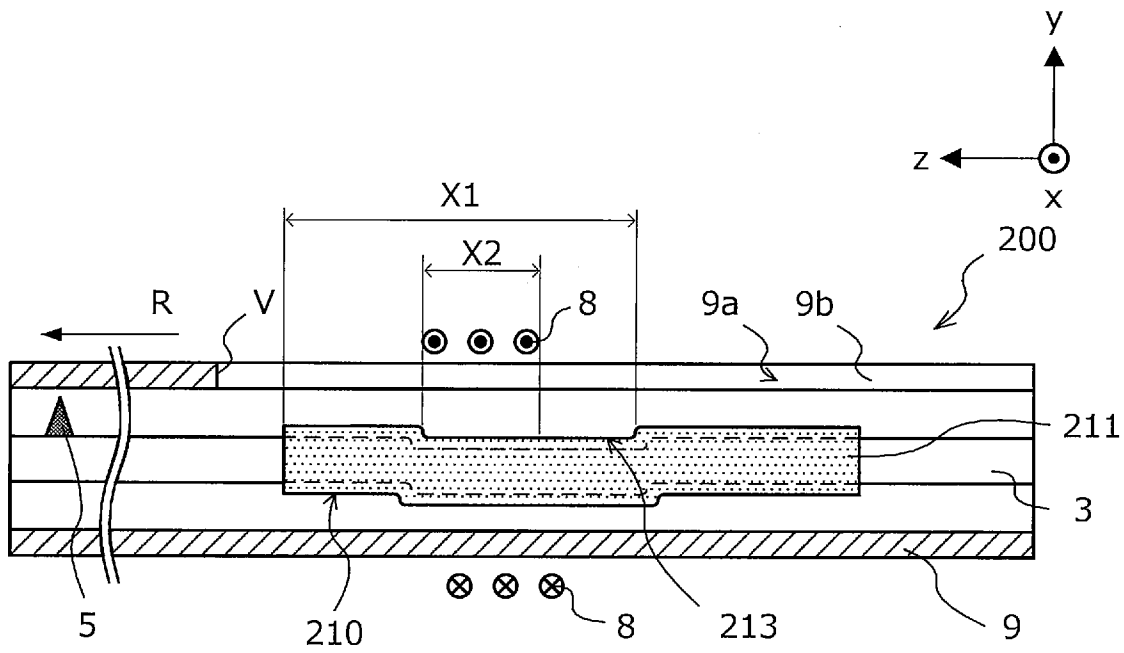
[図15B]



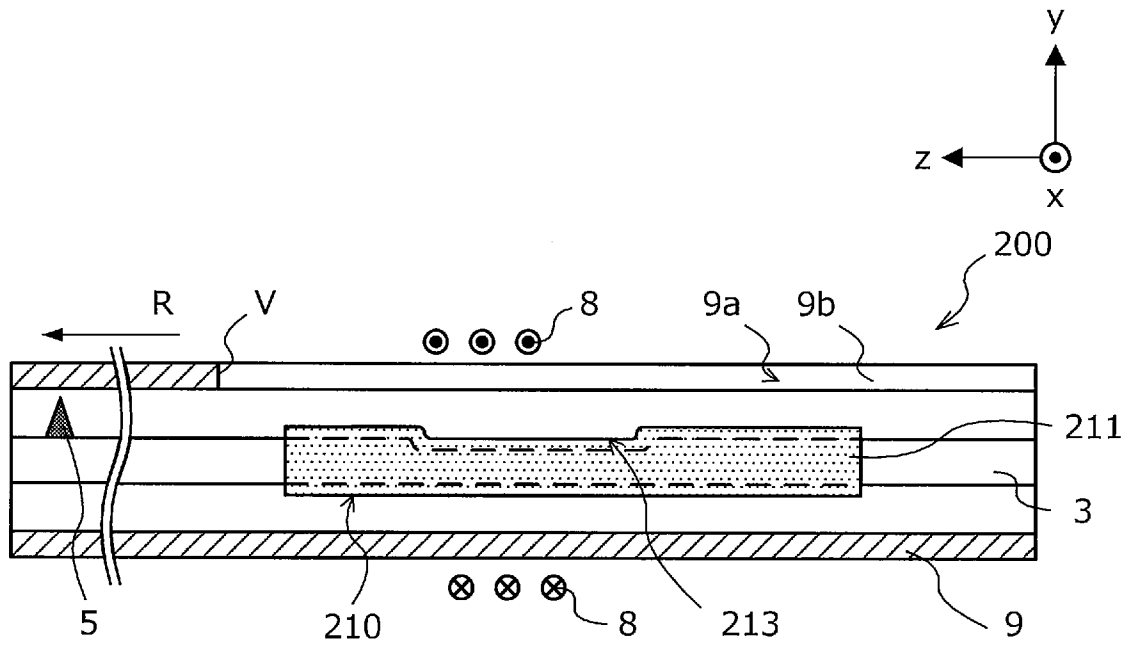
[図15C]



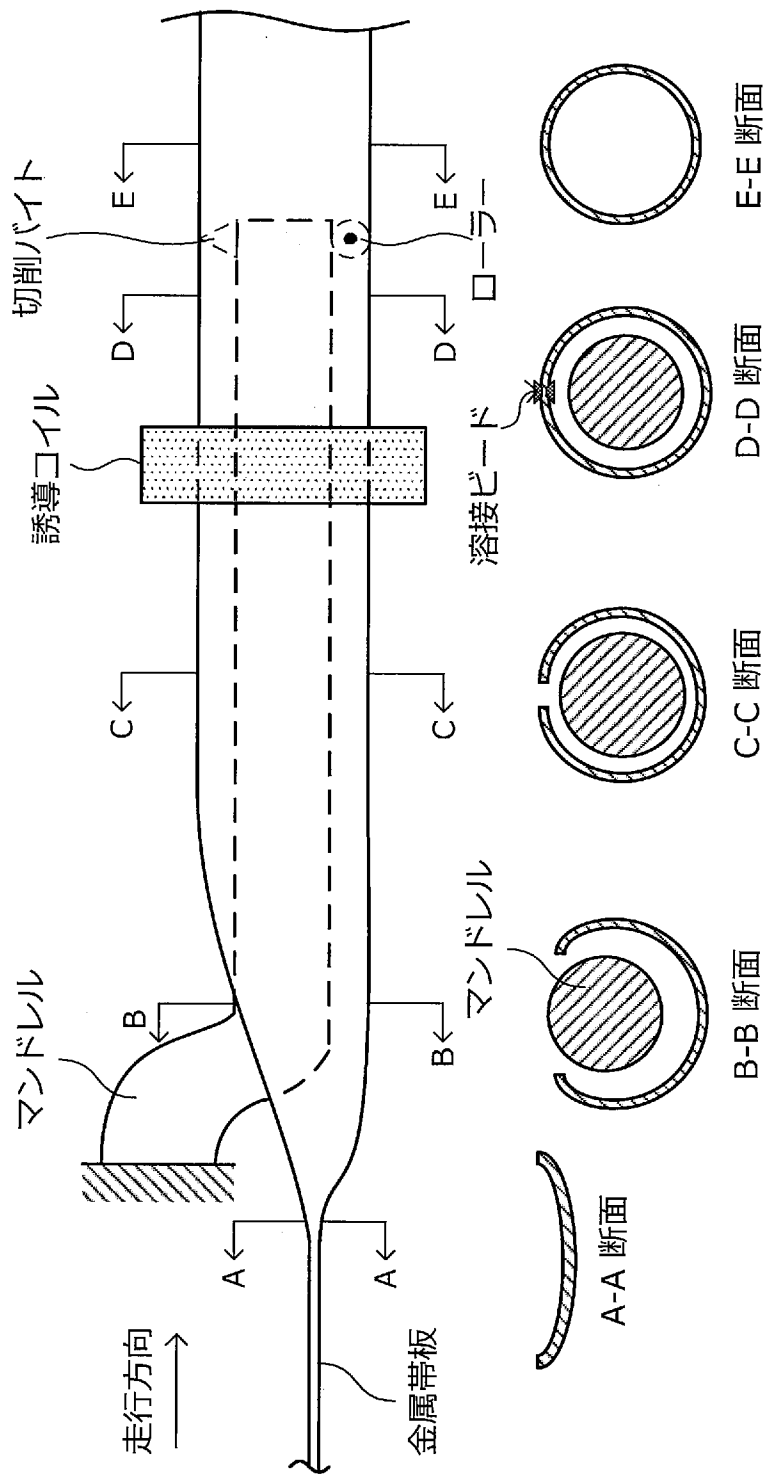
[図16]



[図17]



[図18]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/046526

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>B23K 13/08</i> (2006.01)i; <i>B23K 13/00</i> (2006.01)i FI: B23K13/08 520; B23K13/00 A		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B23K13/08; B23K13/00		
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 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 58-221681 A (SUMITOMO METAL INDUSTRIES, LTD.) 23 December 1983 (1983-12-23)	1-6, 13-15, 17
A	p. 3, upper right column, fig. 1-2	7-12, 16
Y	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 112027/1981 (Laid-open No. 18690/1983) (TOKYO DENKI KAGAKU KOGYO K.K.) 04 February 1983 (1983-02-04), pp. 1-4, fig. 1, 3	1-6, 13-15, 17
A		7-12, 16
Y	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 123428/1975 (Laid-open No. 36721/1977) (NISSHIN STEEL CO., LTD.) 15 March 1977 (1977-03-15), fig. 1, 3-4	13, 15, 17
A	JP 2007-210026 A (TDK CORPORATION) 23 August 2007 (2007-08-23) claims 1-4, fig. 1-9	1-17
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 "D" document cited by the applicant in the international application "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 <b>20 February 2024</b>		Date of mailing of the international search report <b>12 March 2024</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/JP2023/046526**

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 58-221681 A	23 December 1983	(Family: none)	
JP 58-18690 U1	04 February 1983	(Family: none)	
JP 52-36721 U1	15 March 1977	(Family: none)	
JP 2007-210026 A	23 August 2007	(Family: none)	
JP 62-96984 U1	20 June 1987	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B23K 13/08(2006.01)i; B23K 13/00(2006.01)i FI: B23K13/08 520; B23K13/00 A		
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）） B23K13/08; B23K13/00 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922 - 1996年 日本国公開実用新案公報 1971 - 2024年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2024年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2024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 58-221681 A（住友金属工業株式会社）23.12.1983（1983 - 12 - 23） 第3ページ右上欄，図1 - 2	1-6, 13-15, 17  7-12, 16
Y A	日本国実用新案登録出願56-112027号(日本国実用新案登録出願公開58-18690号)の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマイクロフィルム（東京電気化学工業株式会社）04.02.1983（1983-02-04）第1ページ-第4ページ，図1，図3	1-6, 13-15, 17  7-12, 16
Y A	日本国実用新案登録出願50-123428号(日本国実用新案登録出願公開52-36721号)の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマイクロフィルム（日新製鋼株式会社）15.03.1977（1977-03-15）図1，図3 - 4	13, 15, 17
A	JP 2007-210026 A（TDK株式会社）23.08.2007（2007 - 08 - 23） 請求項1 - 4，図1 - 9	1-17
<input checked="" 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。		
* 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 “D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献 “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		
国際調査を完了した日 20.02.2024	国際調査報告の発送日 12.03.2024	
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） 黒石 孝志 3P 9527 電話番号 03-3581-1101 内線 3363	

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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	日本国実用新案登録出願60-186937号(日本国実用新案登録出願公開62-96984号)の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマイクロフィルム (住友金属工業株式会社) 20.06.1987 (1987-06-20) 請求項1, 図1-4	1-17
-----		

国際調査報告  
特許ファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/046526

引用文献	公表日	特許ファミリー文献	公表日
JP 58-221681 A	23.12.1983	(ファミリーなし)	
JP 58-18690 U1	04.02.1983	(ファミリーなし)	
JP 52-36721 U1	15.03.1977	(ファミリーなし)	
JP 2007-210026 A	23.08.2007	(ファミリーなし)	
JP 62-96984 U1	20.06.1987	(ファミリーなし)	