

(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
2022年9月22日(22.09.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/196823 A1

- (51) 国際特許分類:
H02K 15/04 (2006.01) *B23K 26/21* (2014.01)
H02K 15/085 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/012873
- (22) 国際出願日: 2022年3月18日(18.03.2022)
- (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 2021-045434 2021年3月19日(19.03.2021) JP
- (71) 出願人: 株式会社アイシン (AISIN CORPORATION) [JP/JP]; 〒4488650 愛知県刈谷市朝日町二丁目1番地 Aichi (JP). トヨタ自動車株式会社 (TOYOTA JIDOSHA

KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒4718571 愛知県豊田市トヨタ町1番地 Aichi (JP). 株式会社デンソー (DENSO CORPORATION) [JP/JP]; 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 Aichi (JP).

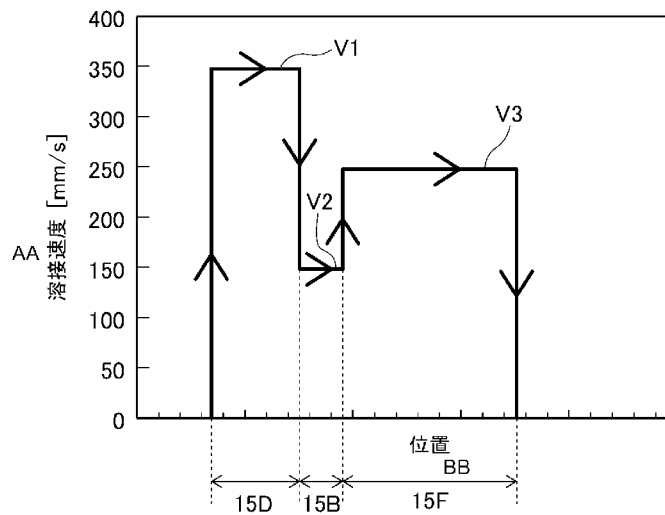
(72) 発明者: 近藤 克哉 (KONDO Katsuya); 〒4488650 愛知県刈谷市朝日町二丁目1番地 株式会社アイシン内 Aichi (JP). 大野 弘行 (ONO Hiroyuki); 〒4488650 愛知県刈谷市朝日町二丁目1番地 株式会社アイシン内 Aichi (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人坂本国際特許商標事務所 (SAKAMOTO & PARTNERS); 〒1600004 東京都新宿区四谷二丁目13番地 Tokyo (JP).

(54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING STATOR FOR ROTATING ELECTRICAL MACHINE

(54) 発明の名称: 回転電機用ステータ製造方法

FIG.16



AA Weld speed
BB Location

(57) Abstract: Disclosed is a method for manufacturing a stator for a rotating electrical machine, the method including an assembly step for assembling a coil piece onto a stator core, and a joining step for joining, by laser welding, the ends of the coil piece together or an end of the coil piece and an end of a busbar together. The bonding step includes a setup step for causing the two ends that are to be bonded to contact one another, and an irradiation step for irradiating the two ends with a laser beam. Irradiation segments of the laser beam from the irradiation step include continuous irradiation segments

(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, IT, JM, JO, KE, KG, KH, 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, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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))

where an irradiation location of the laser beam changes continuously. The continuous irradiation segments include, in order along the direction of movement of the irradiation location of the laser beam: a first segment where the irradiation location of the laser beam changes at a first speed, a second segment where the irradiation location of the laser beam changes at a second speed lower than the first speed, and a third segment where the irradiation location of the laser beam changes at a third speed higher than the second speed.

(57) 要約: コイル片をステータコアに組み付ける組付工程と、コイル片の端部同士又はコイル片の端部とバスバーの端部とをレーザ溶接により接合する接合工程とを含み、接合工程は、接合対象の2つの端部同士を当接させるセット工程と、2つの端部にレーザビームを照射する照射工程とを含み、照射工程によるレーザビームの照射区間は、レーザビームの照射位置が連続的に変化する連続照射区間を含み、連続照射区間は、レーザビームの照射位置の移動方向に沿った順序で、レーザビームの照射位置が第1速度で変化する第1区間と、レーザビームの照射位置が第1速度よりも低い第2速度で変化する第2区間と、レーザビームの照射位置が第2速度よりも高い第3速度で変化する第3区間とを含む、回転電機用ステータ製造方法が開示される。

明 細 書

発明の名称： 回転電機用ステータ製造方法

技術分野

[0001] 本開示は、回転電機用ステータ製造方法に関する。

背景技術

[0002] 回転電機のステータコイルを形成するための一のコイル片と他の一のコイル片の端部同士を当接させ、当接させた端部に係る溶接対象箇所、に、ループ状に照射位置が移動する態様でレーザビームを照射するステータの製造方法が知られている（例えば、特許文献1 参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2018-20340号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 上記の特許文献1に記載されるような従来技術は、ループ状の走査軌跡の径を徐々に拡大することで溶融池をコイル片の端部同士の当接面へと到達させることができるものの、接合面積の確保に比較的大きい入熱量が必要となる。

[0005] そこで、1つの側面では、本開示は、接合面積の確保とスパッタ発生数の低減を両立することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示の一局面によれば、ステータコイルのコイル片をステータコアに組み付ける組付工程と、

前記組付工程の後に、前記コイル片の端部同士又は前記コイル片の端部とバスバーの端部とをレーザ溶接により接合する接合工程とを含み、

前記接合工程は、

接合対象の2つの端部同士を当接させるセット工程と、

前記２つの端部にレーザビームを照射する照射工程とを含み、

前記照射工程による前記レーザビームの照射区間は、前記レーザビームの照射位置が連続的に変化する連続照射区間を含み、

前記連続照射区間は、照射開始位置から照射終了位置までの前記レーザビームの照射位置の移動方向に沿った順序で、前記レーザビームの照射位置が第１速度で変化する第１区間と、前記レーザビームの照射位置が前記第１速度よりも低い第２速度で変化する第２区間と、前記レーザビームの照射位置が前記第２速度よりも高い第３速度で変化する第３区間とを含む、回転電機用ステータ製造方法が提供される。

発明の効果

[0007] 本開示によれば、接合面積の確保とスパッタ発生数の低減を両立することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]一実施例によるモータの断面構造を概略的に示す断面図である。

[図2]ステータコアの単品状態の平面図である。

[図3]ステータコアに組み付けられる１対のコイル片を模式的に示す図である。

[図4]ステータのコイルエンド周辺の斜視図である。

[図5]同相のコイル片の一部を抜き出して示す斜視図である。

[図6]一のコイル片の概略正面図である。

[図7]互いに接合されたコイル片の先端部及びその近傍を示す図である。

[図8]溶接対象箇所を通る図７のラインＡ－Ａに沿った断面図である。

[図9]レーザ波長と各種材料の個体に対するレーザ吸収率との関係を示す図である。

[図10]溶接中の吸収率の変化態様の説明図である。

[図11A]グリーンレーザを用いた場合のキーホール等のイメージ図である。

[図11B]赤外レーザを用いた場合のキーホール等のイメージ図である。

[図12]本実施例によるグリーンレーザによる溶接方法の説明図である。

[図13A]グリーンレーザの場合における溶接速度と溶接深さとの関係を示す図である。

[図13B]グリーンレーザの場合における溶接速度とスパッタ発生数との関係を示す図である。

[図13C]グリーンレーザの場合におけるレーザ出力と溶接深さとの関係を示す図である。

[図13D]グリーンレーザの場合におけるレーザ出力とスパッタ発生数との関係を示す図である。

[図14A]比較的低い溶接速度による溶接速度プロファイルの説明図である。

[図14B]比較的高い溶接速度による溶接速度プロファイルの説明図である。

[図15A]比較的低い溶接速度による溶接速度プロファイルで溶接を行う場合の各時期における溶接の状態の説明図である。

[図15B]比較的高い溶接速度による溶接速度プロファイルで溶接を行う場合の各時期における溶接の状態の説明図である。

[図16]本実施例による溶接速度プロファイルの説明図である。

[図17A]一のパスに係るレーザ出力が照射位置に応じて変化する態様の一例を示す概略図である。

[図17B]一のパスに係るレーザ出力が照射位置に応じて変化する態様の他の一例を示す概略図である。

[図18]一の溶接対象箇所に対して2パスのグリーンレーザの照射が実行される場合の、好ましい溶接速度プロファイルを示す図である。

[図19]モータのステータの製造方法の流れを概略的に示すフローチャートである。

[図20]バスバーとコイル片との間の接合部を説明する斜視図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、添付図面を参照しながら各実施例について詳細に説明する。なお、図面の寸法比率はあくまでも一例であり、これに限定されるものではなく、また、図面内の形状等は、説明の都合上、部分的に誇張している場合がある

。なお、本明細書において、「所定」とは、「予め規定された」という意味で用いられている。

[0010] 図1は、一実施例によるモータ1（回転電機の一例）の断面構造を概略的に示す断面図である。

[0011] 図1には、モータ1の回転軸12が図示されている。以下の説明において、軸方向とは、モータ1の回転軸（回転中心）12が延在する方向を指し、径方向とは、回転軸12を中心とした径方向を指す。従って、径方向外側とは、回転軸12から離れる側を指し、径方向内側とは、回転軸12に向かう側を指す。また、周方向とは、回転軸12まわりの回転方向に対応する。

[0012] モータ1は、例えばハイブリッド車両や電気自動車で使用される車両駆動用のモータであってよい。ただし、モータ1は、他の任意の用途に使用されるものであってもよい。

[0013] モータ1は、インナーロータ型であり、ステータ21がロータ30の径方向外側を囲繞するように設けられる。ステータ21は、径方向外側がモータハウジング10に固定される。

[0014] ロータ30は、ステータ21の径方向内側に配置される。ロータ30は、ロータコア32と、ロータシャフト34とを備える。ロータコア32は、ロータシャフト34の径方向外側に固定され、ロータシャフト34と一体となって回転する。ロータシャフト34は、モータハウジング10にベアリング14a、14bを介して回転可能に支持される。なお、ロータシャフト34は、モータ1の回転軸12を画成する。

[0015] ロータコア32は、例えば円環状の磁性体の積層鋼板から形成される。ロータコア32の内部には、永久磁石321が挿入される。永久磁石321の数や配列等は任意である。変形例では、ロータコア32は、磁性粉末が圧縮して固められた圧粉体により形成されてもよい。

[0016] ロータコア32の軸方向の両側には、エンドプレート35A、35Bが取り付けられる。エンドプレート35A、35Bは、ロータコア32を支持する支持機能の他、ロータ30のアンバランスの調整機能（切削等されること

でアンバランスを無くす機能)を有してよい。

[0017] ロータシャフト34は、図1に示すように、中空部34Aを有する。中空部34Aは、ロータシャフト34の軸方向の全長にわたり延在する。中空部34Aは、油路として機能してもよい。例えば、中空部34Aには、図1にて矢印R1で示すように、軸方向の一端側から油が供給され、ロータシャフト34の径方向内側の表面を伝って油が流れることで、ロータコア32を径方向内側から冷却できる。また、ロータシャフト34の径方向内側の表面を伝う油は、ロータシャフト34の両端部に形成される油穴341、342を通して径方向外側へと噴出され(矢印R5、R6)、コイルエンド220A、220Bの冷却に供されてもよい。

[0018] なお、図1では、特定の構造のモータ1が示されるが、モータ1の構造は、溶接により接合されるステータコイル24(後述)を有する限り、任意である。従って、例えば、ロータシャフト34は、中空部34Aを有さなくてもよいし、中空部34Aよりも有意に内径の小さい中空部を有してもよい。また、図1では、特定の冷却方法が開示されているが、モータ1の冷却方法は任意である。従って、例えば、中空部34A内に挿入される油導入管が設けられてもよいし、モータハウジング10内の油路から径方向外側からコイルエンド220A、220Bに向けて油が滴下されてもよい。

[0019] また、図1では、ロータ30がステータ21の内側に配されたインナーロータ型のモータ1であるが、他の形態のモータに適用されてもよい。例えば、ステータ21の外側にロータ30が同心に配されたアウターロータ型のモータや、ステータ21の外側及び内側の双方にロータ30が配されたデュアルロータ型のモータ等に適用されてもよい。

[0020] 次に、図2以降を参照して、ステータ21に関する構成を詳説する。

[0021] 図2は、ステータコア22の単品状態の平面図である。図3は、ステータコア22に組み付けられる1対のコイル片52を模式的に示す図である。図3では、ステータコア22の径方向内側を展開した状態で、1対のコイル片52とスロット220との関係が示される。また、図3では、ステータコア

22が点線で示され、スロット220の一部については図示が省略されている。図4は、ステータ21のコイルエンド220A周辺の斜視図である。図5は、同相のコイル片の一部を抜き出して示す斜視図である。

[0022] ステータ21は、ステータコア22と、ステータコイル24とを含む。

[0023] ステータコア22は、例えば円環状の磁性体の積層鋼板からなるが、変形例では、ステータコア22は、磁性粉末が圧縮して固められた圧粉体により形成されてもよい。なお、ステータコア22は、周方向で分割される分割コアにより形成されてもよいし、周方向で分割されない形態であってもよい。ステータコア22の径方向内側には、ステータコイル24が巻回される複数のスロット220が形成される。具体的には、ステータコア22は、図2に示すように、円環状のバックヨーク22Aと、バックヨーク22Aから径方向内側に向かって延びる複数のティース22Bとを含み、周方向で複数のティース22B間にスロット220が形成される。スロット220の数は任意であるが、本実施例では、一例として、48個である。

[0024] ステータコイル24は、U相コイル、V相コイル、及びW相コイル（以下、U、V、Wを区別しない場合は「相コイル」と称する）を含む。各相コイルの基端は、入力端子（図示せず）に接続されており、各相コイルの末端は、他の相コイルの末端に接続されてモータ1の中性点を形成する。すなわち、ステータコイル24は、スター結線される。ただし、ステータコイル24の結線態様は、必要とするモータ特性等に応じて、適宜、変更してもよく、例えば、ステータコイル24は、スター結線に代えて、デルタ結線されてもよい。

[0025] 各相コイルは、複数のコイル片52を接合して構成される。図6は、一のコイル片52の概略正面図である。コイル片52は、相コイルを、組み付けやすい単位（例えば2つのスロット220に挿入される単位）で分割したセグメントコイルの形態である。コイル片52は、断面矩形状の線状導体（平角線）60を、絶縁被膜62で被覆してなる。本実施例では、線状導体60は、一例として、銅により形成される。ただし、変形例では、線状導体60

は、鉄のような他の導体材料により形成されてもよい。

[0026] コイル片52は、ステータコア22に組み付ける前の段階では、一对の直進部50と、当該一对の直進部50を連結する連結部54と、を有した略U字状に成形されてよい。コイル片52をステータコア22に組み付ける際、一对の直進部50は、それぞれ、スロット220に挿入される（図3参照）。これにより、連結部54は、図3に示すように、ステータコア22の軸方向他端側において、複数のティース22B（及びそれに伴い複数のスロット220）を跨ぐように周方向に延びる。連結部54が跨ぐスロット220の数は、任意であるが、図3では3つである。また、直進部50は、スロット220に挿入された後は、図6において、二点鎖線で示すように、その途中で周方向に屈曲される。これにより、直進部50は、スロット220内において軸方向に延びる脚部56と、ステータコア22の軸方向一端側において周方向に延びる渡り部58と、になる。

[0027] なお、図6では、一对の直進部50は、互いに離れる方向に屈曲するが、これに限られない。例えば、一对の直進部50は、互いに近づく方向に屈曲されてもよい。また、ステータコイル24は、3相の相コイルの末端同士を連結して中性点を形成するための中性点用コイル片等も有することがある。

[0028] 一つのスロット220には、図6に示すコイル片52の脚部56が複数、径方向に並んで挿入される。従って、ステータコア22の軸方向一端側には、周方向に延びる渡り部58が複数、径方向に並ぶ。図3及び図5に示すように、一つのスロット220から飛び出て周方向第1側（例えば時計回りの向き）に延びる一のコイル片52の渡り部58は、他のスロット220から飛び出て周方向第2側（例えば反時計回りの向き）に延びる他の一のコイル片52の渡り部58に接合される。

[0029] 本実施例では、一例として、一つのスロット220に6つのコイル片52が組み付けられる。以下では、径方向で最も外側のコイル片52から順に、第1ターン、第2ターン、第3ターンとも称する。この場合、第1ターンのコイル片52と第2ターンのコイル片52とは、後述の接合工程により先端

部40同士が接合され、第3ターンのコイル片52と第4ターンのコイル片52とは、後述の接合工程により先端部40同士が接合され、第5ターンのコイル片52と第6ターンのコイル片52とは、後述の接合工程により先端部40同士が接合される。

[0030] ここで、コイル片52は、上述したとおり、絶縁被膜62で被覆されているが、先端部40だけは、当該絶縁被膜62が除去される。これは、先端部40にて他のコイル片52との電氣的接続を確保するためである。また、図5及び図6に示すように、コイル片52の先端部40のうち、最終的に軸方向外側端面42、すなわち、コイル片52の幅方向一端面（軸方向外側端面42）を、軸方向外側に凸の円弧面としている。

[0031] 図7は、互いに接合されたコイル片52の先端部40及びその近傍を示す図である。なお、図7には、溶接対象箇所90の周方向の範囲D1が模式的に示される。図8は、溶接対象箇所90を通る図7のラインA-Aに沿った断面図である。

[0032] コイル片52の先端部40を接合する際には、一のコイル片52と他の一のコイル片52は、それぞれの先端部40が、図7に示すビュー（当接面401に対して垂直な方向視）でC字状をなす態様で、突き合わせられる。この際、互いに接合される2つの先端部40を、それぞれの円弧面（軸方向外側端面42）の中心軸が一致するように、その厚み方向に重ねて接合されてよい。このように中心軸を合わせて重ねることで、屈曲角度 α が比較的大きい場合や小さい場合でも、互いに接合される2つの先端部40の軸方向外側のラインが一致し、適切に、重ね合わせることができる。

[0033] この場合、溶接対象箇所90は、範囲D1及び範囲D2に示すように、当接面401に沿って直線状に延在する。すなわち、溶接対象箇所90は、レーザービーム110の照射側から視て（図7及び図8の矢印W参照）、範囲D2の幅で、範囲D1にわたり直線状に延在する。

[0034] ここで、本実施例では、コイル片52の先端部40を接合する際の接合方法としては、溶接が利用される。そして、本実施例では、溶接方法としては

、TIG溶接に代表されるアーク溶接ではなく、レーザビーム源を熱源とするレーザ溶接が採用される。TIG溶接に代えて、レーザ溶接を用いることで、コイルエンド220A、220Bの軸方向の長さを低減できる。すなわち、TIG溶接の場合は、当接させるコイル片の先端部同士を軸方向外側に屈曲させて軸方向に延在させる必要があるのに対して、レーザ溶接の場合は、かかる屈曲の必要性がなく、図7に示すように、当接させるコイル片52の先端部40同士を周方向に延在させた状態で溶接を実現できる。これにより、当接させるコイル片52の先端部40同士を軸方向外側に屈曲させて軸方向に延在させる場合に比べて、コイルエンド220A、220Bの軸方向の長さを低減できる。

[0035] レーザ溶接では、図5に模式的に示すように、当接された2つの先端部40における溶接対象箇所90に溶接用のレーザビーム110を当てる。なお、レーザビーム110の照射方向（伝搬方向）は、軸方向に略平行であり、当接された2つの先端部40の軸方向外側端面42に、軸方向外側から向かう方向である。レーザ溶接の場合は、局所的に加熱できるため、先端部40及びその近傍のみを加熱することができ、絶縁被膜62の損傷（炭化）等を効果的に低減できる。その結果、適切な絶縁性能を維持したまま、複数のコイル片52を電氣的に接続できる。

[0036] 溶接対象箇所90の周方向の範囲D1は、図7に示すように、2つのコイル片52の先端部40同士の当接部分における軸方向外側端面42の周方向の全範囲D0のうちの、両端を除く部分である。両端は、軸方向外側端面42の凸の円弧面に起因して、十分な溶接深さ（図7の寸法L1参照）を確保し難いためである。溶接対象箇所90の周方向の範囲D1は、コイル片52間での必要な接合面積や必要な溶接強度等が確保されるように適合されてよい。

[0037] 溶接対象箇所90の径方向の範囲D2は、図8に示すように、2つのコイル片52の先端部40同士の当接面401を中心とする。溶接対象箇所90の径方向の範囲D2は、レーザビーム110の径（ビーム径）に対応してよ

い。すなわち、レーザビーム110は、照射位置が径方向に実質的に変化することなく周方向に沿って直線的に変化する態様で、照射される。更に換言すると、レーザビーム110は、照射位置が当接面401に対して平行な直線状に変化するように移動される。これにより、例えばループ状（螺旋状）やジグザク状（蛇行）等に照射位置を変化させる場合に比べて、効率的に、直線状の溶接対象箇所90にレーザビーム110を照射できる。

[0038] 図9は、レーザ波長と各種材料の個体に対するレーザ吸収率（以下、単に「吸収率」とも称する）との関係を示す図である。図9では、横軸に波長 λ を取り、縦軸に吸収率を取り、銅（Cu）、アルミ（Al）、銀（Ag）、ニッケル（Ni）、及び鉄（Fe）の各種材料の個体に係る特性が示される。

[0039] ところで、レーザ溶接で一般的に用いられる赤外レーザ（波長が1064 nmのレーザ）は、図9にて $\lambda_2 = 1.06 \mu\text{m}$ の点線との交点の黒丸で示すように、コイル片52の線状導体60の材料である銅に対して吸収率が約10%と低い。すなわち、赤外レーザの場合、レーザビーム110の大部分は、コイル片52で反射してしまい、吸収されない。このため、接合対象のコイル片52間での必要な接合面積を得るためには比較的大きい入熱量が必要となり、熱影響が大きく、溶接が不安定となるおそれがある。

[0040] この点を鑑み、本実施例では、赤外レーザに代えて、グリーンレーザを利用する。なお、グリーンレーザとは、波長が532 nmのレーザ、すなわちSHG（Second Harmonic Generation：第2高調波）レーザのみならず、532 nmに近い波長のレーザをも含む概念である。なお、変形例では、グリーンレーザの範疇に属さない0.6 μm 以下の波長のレーザが利用されてもよい。グリーンレーザに係る波長は、例えばYAGレーザやYVO4レーザで生み出された基本波長を酸化物単結晶（例えば、LBO：リチウムトリボレート）に通して変換することで得られる。

[0041] グリーンレーザの場合、図9にて $\lambda_1 = 0.532 \mu\text{m}$ の点線との交点の黒丸で示すように、コイル片52の線状導体60の材料である銅に対して吸

収率が約50%と高い。従って、本実施例によれば、赤外レーザを利用する場合に比べて、少ない入熱量で、コイル片52間での必要な接合面積を確保することが可能となる。

[0042] なお、赤外レーザに比べてグリーンレーザの方が吸収率が高くなるという特性は、図9に示すように、銅の場合において顕著であるが、銅のみならず、他の金属材料の多くにおいて確認できる。従って、コイル片52の線状導体60の材料が銅以外の場合でもグリーンレーザによる溶接が実現されてもよい。

[0043] 図10は、溶接中の吸収率の変化態様の説明図である。図10では、横軸にレーザパワー密度を取り、縦軸に銅のレーザ吸収率を取り、グリーンレーザの場合の特性100Gと、赤外レーザの場合の特性100Rとが示される。

[0044] 図10では、グリーンレーザの場合と赤外レーザの場合における銅の溶融が開始するポイントP1、P2が示されるとともに、キーホールが形成されるポイントP3が示される。図10にポイントP1、P2にて示すように、赤外レーザに比べてグリーンレーザの方が、小さいレーザパワー密度で銅の溶融を開始させることができることが分かる。また、上述した吸収率の相違に起因して、赤外レーザに比べてグリーンレーザの方が、キーホールが形成されるポイントP3での吸収率と照射開始時の吸収率（すなわちレーザパワー密度が0のときの吸収率）との差が小さいことが分かる。具体的には、赤外レーザの場合、溶接中の吸収率の変化が約80%であるのに対して、グリーンレーザの場合、溶接中の吸収率の変化が約40%となり、約半分である。

[0045] このように、赤外レーザの場合、溶接中の吸収率の変化（落差）が約80%と比較的大きいため、キーホールが不安定となり溶接深さや溶接幅のバラツキや溶融池の乱れ（例えば、スパッタ等）が生じやすい。これに対して、グリーンレーザの場合、溶接中の吸収率の変化（落差）が約40%と比較的小さいため、キーホールが不安定となり難く、また、溶接深さや溶接幅のバ

ラツキや溶融池の乱れ（例えばスパッタ等）が生じ難い。なお、スパッタとは、レーザ等を照射することにより飛散する金属粒等である。

[0046] なお、赤外レーザの場合、上述のように吸収率が低いため、ビーム径を比較的小さくする（例えば $\phi 0.075\text{ mm}$ ）ことで、吸収率の低さを補うことが一般的である。この点も、キーホールが不安定となる要因となる。なお、図11Bは、赤外レーザを用いた場合のキーホール等のイメージ図であり、1100は、溶接ビードを示し、1102は、溶融池を示し、1104は、キーホールを示す。また、矢印R1116は、ガス抜けの態様を模式的に示す。また、矢印R110は、ビーム径が小さいことに起因して赤外レーザの照射位置が移動される様子を模式的に示す。このように、赤外レーザの場合、上述のように吸収率が低くビーム径を比較的大きくすることが難しいことに起因して、必要な溶融幅を得るために蛇行を含んだ比較的長い照射位置の移動軌跡（連続的な照射時間）が必要となる傾向がある。

[0047] 他方、グリーンレーザの場合、上述のように吸収率が比較的高いため、ビーム径を比較的大きくする（例えば $\phi 0.1\text{ mm}$ 以上）ことが可能であり、キーホールを大きくして安定化することができる。これにより、ガス抜けが良好となり、スパッタ等の発生を効果的に低減できる。なお、図11Aは、グリーンレーザを用いた場合のキーホール等のイメージ図であり、符号の意義は図11Bを参照して上述したとおりである。グリーンレーザの場合、図11Aから、ビーム径の拡大に起因してキーホールが安定化しガス抜けが良好となる様子がイメージとして容易に理解できる。また、グリーンレーザの場合、赤外レーザの場合とは対照的に、上述のように吸収率が比較的高くビーム径を比較的大きくすることが可能であることから、必要な溶融幅（図8に示す溶接対象箇所90の径方向の範囲D2参照）を得るために必要な照射位置の移動軌跡（照射時間）を比較的短く（小さく）できる。

[0048] 図12は、本実施例によるグリーンレーザによる溶接方法の説明図である。図12では、横軸に時間を取り、縦軸にレーザ出力を取り、溶接の際のレーザ出力の時系列波形を模式的に示す。

[0049] 本実施例では、図12に示すように、レーザ出力3.8kWでグリーンレーザのパルス照射により溶接を実現する。図12では、10msだけレーザ出力3.8kWとなるようにレーザ発振器のパルス発振が実現され、インターバル100ms後に、再び、10msだけレーザ出力3.8kWとなるようにレーザ発振器のパルス発振が実現される。以下では、このようにして一回のパルス発振により可能なパルス照射（10msのパルス照射）の1回分を、「1パス」とも称する。なお、図12では、1パス目（ $N=1$ ）から3パス目（ $N=3$ ）の照射がパルス波形130Gで示され、 N は、 N パス目かを表す（以下、図18においても同様）。また、図12には、比較用として、赤外レーザの場合のパルス照射に係るパルス波形130Rが併せて示される。

[0050] ここで、グリーンレーザの場合、レーザ発振器の出力が低く（例えば連続的な照射時は最大で400W）、深い溶け込みを確保するために必要な高出力（例えばレーザ出力3.0kW以上の高出力）を得ることが難しい。すなわち、グリーンレーザは、上述のように酸化物単結晶のような波長変換結晶を通して生成されるので、波長変換結晶を通る際に出力が低下する。このため、グリーンレーザのレーザビームを連続的に照射しようとする、深い溶け込みを確保するために必要な高出力を得ることができない。

[0051] この点、本実施例では、上述のように、深い溶け込みを確保するために必要な高出力（例えばレーザ出力3.0kW以上の高出力）を、グリーンレーザのパルス照射により確保する。これは、連続的な照射の場合は例えば最大で400Wしか出力できない場合でも、パルス照射であれば、例えば3.0kW以上の高出力が可能となるためである。このようにして、パルス照射は、ピークパワーを上げるための連続エネルギーを蓄積してパルス発振することによって実現される。一の溶接対象箇所90の周方向の範囲D1が比較的広い場合、当該一の溶接対象箇所に対して、複数回のパルス発振が実現されてよい。すなわち、当該一の溶接対象箇所に対して、比較的高いレーザ出力（例えばレーザ出力3.0kW以上）による2パス以上の照射が実行されてよい。こ

れにより、上述の溶接対象箇所90の周方向の範囲D1が比較的広い場合でも、溶接対象箇所90の全体にわたり深い溶け込みを確保しやすくなり、高い品質の溶接を実現できる。

[0052] なお、図12では、インターバルが特定の値100msecであるが、インターバルは、任意であり、必要な高出力が確保される範囲内で最小化されてよい。また、図12では、レーザ出力は特定の値3.8kWであるが、レーザ出力は、3.0kW以上であれば、必要な溶接深さが確保される範囲内で適宜変更されてよい。

[0053] 図12では、赤外レーザの場合として、レーザ出力2.3kWで、比較的長い時間である130msec間、連続的に照射される際のパルス波形130Rが併せて示される。赤外レーザの場合は、グリーンレーザとは異なり、比較的高いレーザ出力（2.3kW）で連続的な照射が可能である。ただし、上述したように、赤外レーザの場合、必要な溶融幅を得るために蛇行を含んだ比較的長い照射位置の移動軌跡（連続的な照射時間）が必要となり、この場合、入熱量は、約312Jであり、図12に示すグリーンレーザの場合の入熱量である約80J（2パスの場合）に対して、有意に大きくなる。

[0054] このようにして、本実施例によれば、グリーンレーザを利用することで、赤外レーザを利用する場合に比べて、コイル片52の線状導体60の材料（本例では銅）に対して高い吸収率を有するレーザビームによる溶接が可能となる。これにより、必要な溶融幅（図8に示す溶接対象箇所90の径方向の範囲D2参照）を得るために必要な照射位置の移動軌跡（時間）を比較的短く（小さく）できる。すなわち、比較的大きいビーム径による1回のパルス発振あたりの、増加されたキーホールに起因して、必要な溶融幅を得るために必要なパルス発振回数を比較的少なくできる。この結果、比較的少ない入熱量で、コイル片52間での必要な接合面積を確保することが可能となる。

[0055] また、本実施例によれば、一の溶接対象箇所に対して2パス以上のグリーンレーザの照射を実行することが可能であり、この場合、溶接対象箇所90の周方向の範囲D1が比較的広い場合でも、溶接対象箇所90の全体にわた

り深い溶け込みを確保しやすくなり、高い品質の溶接を実現できる。

[0056] 次に、図13Aから図13Dを参照して、溶接速度と各種パラメータとの関係について説明する。なお、図13Aから図13Dは、グリーンレーザの場合の関係を示すが、赤外レーザの場合も基本的に同様の傾向となる。従って、以下で説明する本実施例による溶接速度プロフィールは、赤外レーザ等にも適用可能である。

[0057] 図13Aは、横軸に溶接速度（単位 $[\text{mm}/\text{s}]$ ）を取り、縦軸に溶接深さ（単位 $[\text{mm}]$ ）を取り、溶接速度と溶接深さとの関係を示す図である。図13Aには、試験データのプロット点と、それに対する近似直線が点線で示されている（後出の図13Cも同様）。ここでは、一定のレーザ出力が用いられている。

[0058] 図13Aからは、レーザ出力が同じであるとき、溶接深さ（溶け込み深さ）は、溶接速度が低いほど大きくなることが分かる。なお、溶接速度とは、単位時間あたりのレーザビーム110の照射位置の移動距離であり、例えば、ある時間にわたるレーザビーム110の照射位置の移動距離を同時間で割り算することで得られる値である。

[0059] 図13Bは、横軸に溶接速度（単位 $[\text{mm}/\text{s}]$ ）を取り、縦軸にスパッタ発生数（単位 $[\text{個}]$ ）を取り、溶接速度とスパッタ発生数との関係を示す図である。図13Bには、試験データのプロット点と、それに対する近似曲線が点線で示されている（後出の図13Dも同様）。

[0060] 図13Bからは、レーザ出力が同じであるとき、スパッタ発生数は、溶接速度が低いほど多くなることが分かる。換言すると、溶接速度を高めることで、スパッタの発生を低減できることが分かる。

[0061] 図13Cは、レーザ出力（単位 $[\text{W}]$ ）と溶接深さとの関係を示す図であり、図13Dは、レーザ出力とスパッタ発生数との関係を示す図である。図13Cからは、溶接速度が同じであるとき、溶接深さ（溶け込み深さ）は、レーザ出力が低いほど大きくなることが分かる。また、図13Dからは、溶接速度が同じであるとき、スパッタ発生数は、レーザ出力が高いほど多くな

ることが分かる。

[0062] 次に、図 1 4 A から図 1 5 B を参照して、比較的低い溶接速度を維持して一パスを実現した場合と、比較的高い溶接速度を維持して一パスを実現した場合のそれぞれの課題について説明する。

[0063] 図 1 4 A は、グリーンレーザによる溶接を、比較的低い溶接速度を維持した一パスにより実現する場合の説明図であり、照射位置と溶接速度との関係（以下、「溶接速度プロフィール」とも称する）を示す図である。図 1 4 B は、グリーンレーザによる溶接を、比較的高い溶接速度を維持した一パスにより実現する場合の説明図であり、溶接速度プロフィールを示す図である。図 1 4 A 及び図 1 4 B では、横軸に位置を取り、縦軸に溶接速度を取り、一パスに係る溶接速度プロフィールが示されている。なお、溶接速度プロフィールを示す線上の矢印は、時間の進む方向（一パスにおける照射開始位置から照射終了位置に向かう方向）を表し、以下の同様の図（図 1 5 等）でも同様である。

[0064] なお、図 1 4 A 及び図 1 4 B に示す例では、比較的高い溶接速度を維持した一パスの場合は、比較的低い溶接速度を維持した一パスの場合よりも、溶接速度が高い分だけ、一パスあたり（例えば 1 0 m s e c あたり）の照射位置の移動量が大きい。照射位置の移動量は、連続的な照射時間とともに適宜調整されてよい。

[0065] 図 1 5 A は、図 1 4 A に示す溶接速度プロフィールで溶接を行う場合の溶接初期の状態 1 5 0 A と、溶接中期の状態 1 5 0 B と、溶接後期の状態 1 5 0 C を模式的に示す図である。図 1 5 B は、図 1 4 B に示す溶接速度プロフィールで溶接を行う場合の溶接初期の状態 1 5 0 D と、溶接中期の状態 1 5 0 E と、溶接後期の状態 1 5 0 F を模式的に示す図である。図 1 5 A 及び図 1 5 B には、レーザビーム 1 1 0 の照射位置の移動方向（すなわち溶接方向）が矢印 V で模式的に示されている。

[0066] 図 1 5 A に示すように、比較的低い溶接速度による溶接速度プロフィールで溶接を行う場合、溶接初期では、状態 1 5 0 A にて模式的に示すように、

溶接深さは不十分であり、スパッタ発生数も少ない。溶接中期になると、状態 150B にて模式的に示すように、必要な溶接深さが確保され、キーホールが溶融池に囲まれる。この際、スパッタ発生数は少ない。そして、溶接後期になると、状態 150C にて模式的に示すように、溶接深さが更に増加し、キーホールを囲む溶融池（表面上で盛り上がる部分）が大きくなる。このようなキーホールまわりの溶融池であって、表面上で盛り上がる部分は、大きく乱れやすく、それ故に、スパッタ発生数が多くなる。

[0067] このように、比較的低い溶接速度で溶接を行う場合は、図 13A から分かるように溶接深さの点で有利である反面、スパッタ発生数が多くなる点で不利となる。

[0068] 他方、図 15B に示すように、比較的高い溶接速度による溶接速度プロフィールで溶接を行う場合、溶接初期では、状態 150D にて模式的に示すように、溶接深さは不十分である。溶接中期になると、状態 150E にて模式的に示すように、溶接深さが増加するものの、依然として溶接深さが不十分である。この際、キーホールは、照射位置の有意な前方への移動に伴い前方へと移動する。そして、溶接後期になると、状態 150F にて模式的に示すように、照射位置の更なる有意な前方への移動に伴い、キーホールに対して溶融池（表面上で盛り上がる部分）が後方に流れる。

[0069] このように、比較的高い溶接速度で溶接を行う場合は、スパッタ発生数が少ない点で有利である反面、図 13A から分かるように溶接深さが不十分となる点（及びそれに伴い接合面積が不十分となる点）で不利である。

[0070] そこで、本実施例では、以下で詳説するように、一パス中において比較的低い溶接速度と比較的高い溶接速度とを適切に使い分けることで、接合面積の確保とスパッタ発生数の低減の両立を図る。

[0071] 図 16 は、本実施例による溶接速度プロフィールの説明図である。図 16 では、前出の図 14A 及び図 14B と同様、横軸に位置を取り、縦軸に溶接速度を取り、一パスに係る溶接速度プロフィールが示されている。

[0072] 本実施例による溶接速度プロフィールは、図 16 に示すように、照射開始

位置から照射終了位置に向かう方向（矢印参照）の順序で、比較的高い第1速度V1の第1区間15Dと、比較的低い第2速度V2の第2区間15Bと、比較的高い第3速度V3の第3区間15Fとを含む。

[0073] 第1区間15Dは、照射開始位置からの区間であり、例えば一パスに係る連続的な照射時間（例えば10msec）の初期期間に実現される。第1区間15Dは、比較的高い第1速度V1により溶融池を発生させかつ安定化させる機能を有する。なお、第1区間15Dでは、第1速度V1が比較的高いが故に、スパッタ発生数は少ない（図15Bの状態150D参照）。

[0074] 第2区間15Bは、第1区間15Dから連続する区間であり、例えば一パスに係る連続的な照射時間（例えば10msec）の中間期間に実現される。第2区間15Bは、比較的低い第2速度V2により溶接深さを確保する機能を有する。第2区間15Bでは、図15Aに示した状態150Bに類似する状態が実現され、第2速度V2が比較的低いが故に、必要な溶接深さを確保することができる。また、第2区間15Bを過剰に長く維持しないことで、図15Aに示した状態150Cに至る可能性を防止し、スパッタ発生数を抑えることができる。換言すると、第2区間15Bは、図15Aに示した状態150Cに至る前に終了される。

[0075] 第3区間15Fは、第2区間15Bから連続する区間であり、例えば一パスに係る連続的な照射時間（例えば10msec）の最終期間に実現される。第3区間15Fは、比較的高い第3速度V3によりスパッタ発生数を低減する機能を有する。第3区間15Fでは、図15Bに示した状態150Fに類似する状態が実現される。ただし、第3区間15Fでは、第2区間15Bを経由しているが故に、第2区間15Bで確保された必要な溶接深さが依然として維持されやすい。すなわち、第2区間15Bで形成されたキーホールが維持されやすい。他方、第3区間15Fでは、上述したようにキーホールに対して溶融池が後方に流れやすく（図15Bに示した状態150F参照）、スパッタ発生数も少ない。

[0076] このようにして、本実施例によれば、照射開始位置からの第1区間15D

によって、溶融池を発生させかつ安定化させ、第2区間15Bによって、必要な溶接深さを確保し、第3区間15Fによって、必要な溶接深さを維持しつつ、第2区間15Bを継続した場合に生じうるスパッタを低減できる。このようにして、本実施例によれば、必要な溶接深さを確保することで接合面積の確保を図るとともに、第3区間15Fによってスパッタ発生数の低減を図ることができる。

[0077] 本実施例において、第1速度 V_1 及び第3速度 V_3 は、好ましくは、 200 mm/s よりも有意に大きく、より好ましくは、 230 mm/s よりも有意に大きい。また、第1速度 V_1 及び第3速度 V_3 は、同じであってもよいし、図16に示すように、第1速度 V_1 が第3速度 V_3 よりも有意に大きくてもよいし、あるいは、第1速度 V_1 が第3速度 V_3 よりも有意に小さくてもよい。なお、図16では、第1速度 $V_1 = 350\text{ mm/s}$ であり、第3速度 $V_3 = 250\text{ mm/s}$ である。

[0078] また、第2速度 V_2 は、好ましくは、 100 mm/s から 200 mm/s の範囲内であり、より好ましくは、 120 mm/s から 180 mm/s の範囲内であり、最も好ましくは、 140 mm/s から 160 mm/s の範囲内である。なお、図16では、第2速度 $V_2 = 150\text{ mm/s}$ である。

[0079] また、図16に示す例では、第1速度 V_1 は、第1区間15Dの全体にわたり一定であるが、変化してもよい。これは、第2速度 V_2 及び／又は第3速度 V_3 についても同様である。例えば、第1区間15Dから第2区間15Bに遷移する際に、第1速度 V_1 が第2速度 V_2 に向けて徐々に低減されてもよい。

[0080] ここで、本実施例による溶接速度プロフィールによる一パス中において、レーザ出力は、好ましくは、図17Aに示すように、一定である。図17Aは、一のパスに係るレーザ出力（及び溶接入熱）が、照射位置に応じて変化する態様の一例を示す概略図であり、照射位置に応じたレーザ出力の変化特性150Pと、照射位置に応じた溶接入熱の変化特性150Lとが概略的に示される。なお、図17Aでは、一例として、一パスの全体による入熱量が

面積Q 1 4 で表されている。

[0081] 図1 7 Aに示す例では、一のパスは、照射開始位置である位置P 1 0から開始される。すなわち、位置P 1 0から一のパルス発振が開始される。この場合、位置P 1 0でレーザ出力が所定値（本例では、一例として3. 8 kW）まで立ち上がる（矢印R 1 4 0参照）。そして、照射位置が位置P 1 0から位置P 1 2へと直線状に変化される。この間、レーザ出力は所定値（本例では、一例として3. 8 kW）で維持される（矢印R 1 4 1参照）。照射位置が、照射終了位置である位置P 1 2に達すると、レーザ出力は所定値（本例では、一例として3. 8 kW）から0へと立ち下げられる（矢印R 1 4 2参照）。すなわち、一のパルス発振が終了される。なお、照射位置が位置P 1 2に達しても、照射位置は、位置P 1 2から更に僅かな距離だけ離れた位置P 1 3に移動するまで変化されてもよい。この間、残留するレーザ出力に起因して僅かな溶接入熱が発生する（図1 7 AのQ 1 4参照）。ただし、変形例では、照射位置が位置P 1 2又はその直前の位置（図示せず）に達した際に、照射位置の変化が終了されてもよい。

[0082] このような照射態様によれば、位置P 1 0にてレーザ出力が所定値（本例では、一例として3. 8 kW）まで立ち上がるが、実際のレーザ出力が所定値に達するまでの間は、溶接入熱は最大値までは一気に増加しない。このため、図1 7 Aに変化特性1 5 0 Lにて示すように、位置P 1 0から位置P 1 1までは溶接入熱は徐々に増加していく。そして、位置P 1 2にてレーザ出力が0まで瞬時的に立ち下げられるが、この直前まで溶接入熱は最大値で維持されている。

[0083] なお、この場合、本実施例による溶接速度プロファイルは、位置P 1 0から位置P 1 3までの区間や、位置P 1 1から位置P 1 2までの区間等に適用されてもよい。例えば、本実施例による溶接速度プロファイルに係る第1区間1 5 D（図1 6参照）は、位置P 1 0から位置P 1 1までの区間内、又は、位置P 1 1から位置P 1 2までの区間内に包含されてもよい。また、第2区間1 5 B（図1 6参照）は、位置P 1 1から位置P 1 2までの区間内に包

含まれてもよい。また、第3区間15F（図16参照）は、位置P11から位置P12までの区間内、又は、位置P11から位置P13までの区間内に含まれてもよい。

[0084] ただし、本実施例による溶接速度プロファイルによる一パス中において、レーザ出力は、図17Bに示すように、一定でなくてもよい。図17Bは、一のパスに係る溶接入熱が照射位置に応じて変化する態様の他の一例を示す概略図であり、図17Aと同様、照射位置に応じたレーザ出力の変化特性150Pと、照射位置に応じた溶接入熱の変化特性150Lとが概略的に示される。

[0085] 図17Bに示す例では、一のパスは、照射開始位置である位置P10から開始される。すなわち、位置P10から一のパルス発振が開始される。この場合、位置P10でレーザ出力が所定値（本例では、一例として3.8kW）まで立ち上がる（矢印R140参照）。そして、照射位置が位置P10から位置P12へと直線状に変化される。照射位置が位置P10から位置P14までの間、レーザ出力は所定値（本例では、一例として3.8kW）で維持される（矢印R141参照）。照射位置が位置P14に達すると、レーザ出力は所定値（本例では、一例として3.8kW）から0へと段階的に立ち下げられる（矢印R143参照）。具体的には、照射位置が位置P14に達すると、レーザ出力は一段階だけ下げられ、照射位置が位置P12に達すると、レーザ出力は更に一段階だけ下げられ、照射位置が、照射終了位置である位置P15に達すると、レーザ出力は0へと立ち下げられる。なお、照射位置が位置P15に達しても、照射位置は、位置P15から更に僅かな距離だけ離れた位置P16に移動するまで変化されてもよい。この間、残留するレーザ出力に起因して僅かな溶接入熱が発生する（図17AのQ14参照）。ただし、変形例では、照射位置が位置P15に達した際に、照射位置の変化は終了されてもよい。

[0086] なお、この場合、本実施例による溶接速度プロファイルは、位置P10から位置P15までの区間や、位置P11から位置P12までの区間等に適用

されてもよい。例えば、本実施例による溶接速度プロフィールに係る第1区間15D（図16参照）は、位置P10から位置P11までの区間内、又は、位置P10から位置P14までの区間内に包含されてもよい。また、第2区間15B（図16参照）は、位置P11から位置P14までの区間内、又は、位置P11から位置P12までの区間内に包含されてもよい。また、第3区間15F（図16参照）は、位置P11から位置P14までの区間内、位置P11から位置P12までの区間内、位置P14から位置P12までの区間内、又は、位置P14から位置P16までの区間内、に包含されてもよい。

[0087] なお、上述では、一の溶接対象箇所90に対して1パスのグリーンレーザの照射が実行される場合を説明したが、一の溶接対象箇所90の範囲（長さ）に応じて、一の溶接対象箇所90に対して2パス以上のグリーンレーザの照射が実行されてもよい。

[0088] 図18は、一の溶接対象箇所90に対して2パスのグリーンレーザの照射が実行される場合の、好ましい溶接速度プロフィールを示す図である。図18では、前出の図16と同様、横軸に位置を取り、縦軸に溶接速度を取り、2つのパスに係る溶接速度プロフィールがそれぞれ示されている。なお、図18では、2パス目の溶接速度プロフィールは、点線で示されている。

[0089] 図18に示す例では、1パス目は、本実施例による溶接速度プロフィールにしたがって、第1照射区間D11に対して一のパルス発振により実現され、2パス目は、本実施例による溶接速度プロフィールにしたがって、第2照射区間D12に対して次の一のパルス発振により実現される。1パス目による溶接と2パス目による溶接は、協働して、溶接対象箇所90の周方向の範囲D1（図7参照）の全体をカバーする。

[0090] 本実施例では、好ましくは、1パス目の第1照射区間D11と2パス目の第2照射区間D12とは、一方の第1区間15Dが他方の第2区間15B又は第3区間15Fと重なる態様で、互いに重なる。すなわち、1パス目の第1区間15Dは、2パス目の第2区間15B又は第3区間15Fと重なり、

2パス目の第1区間15Dは、1パス目の第2区間15B又は第3区間15Fと重なる。これにより、1パス目と2パス目のいずれの第1区間15Dにおいても、他方のパスの第2区間15B又は第3区間15Fによって必要な溶接深さ（及びそれに伴う接合面積）を確保することが可能となる。

[0091] 図18に示す例では、1パス目の第1区間15Dは、2パス目の第3区間15Fと重なり、2パス目の第1区間15Dは、1パス目の第3区間15Fと重なる。また、1パス目の第2区間15Bは、2パス目の第2区間15Bと完全に重なる。ただし、変形例では、1パス目の第2区間15Bは、2パス目の第2区間15Bとは部分的に重なってもよいし、オフセットされてもよい。

[0092] このようにして、溶接対象箇所90の周方向の範囲D1が比較的広い場合でも、本実施例による溶接速度プロファイルによる2パス以上のグリーンレーザの照射を適用することで、必要な溶接深さ（及びそれに伴い必要な接合面積）の確保を図るとともに、スパッタ発生数の低減を図ることができる。

[0093] なお、図18に示す例は、1パス目と2パス目とで溶接方向（照射位置の変化方向）が対向する場合に関するが、溶接方向（照射位置の変化方向）が同一である2つのパスにより溶接が実現される場合にも、本実施例による溶接速度プロファイルは適用可能である。この場合、2パス目の第1区間15Dは、1パス目の第3区間15F（又は第2照射区間D12）に重なるように設定されてよい。これにより、2パス目の第2照射区間D12の第1区間15Dにおいても、1パス目の第3区間15F（又は第2照射区間D12）によって必要な溶接深さ（及びそれに伴う接合面積）を確保することが可能となる。すなわち、溶接対象箇所90の周方向の範囲D1において、2パス目の第1区間15Dに起因して溶接深さ（及びそれに伴う接合面積）が不足する箇所が生じてしまう不都合を、防止できる。また、1パス目の第1区間15Dは、溶接対象箇所90の周方向の範囲D1よりも外側に設定されてよい。このようにして、溶接方向（照射位置の変化方向）が同一である2つのパスにより溶接が実現される場合にも、本実施例による溶接速度プロフィー

ルによって、溶接対象箇所 90 の周方向の範囲 D1 において必要な溶接深さ（及びそれに伴い必要な接合面積）を確保するとともに、スパッタ発生数を低減できる。

[0094] 図 19 は、モータ 1 のステータ 21 の製造方法の流れを概略的に示すフローチャートである。

[0095] まず、本製造方法は、コイル片 52 をステータコア 22 に組み付ける組付工程（ステップ S150）を含む。また、本製造方法は、組付工程後に、コイル片 52 の先端部 40 同士をレーザ溶接により接合する接合工程（ステップ S152）を含む。コイル片 52 の先端部 40 同士をレーザ溶接により接合する方法は、上述したとおりである。

[0096] この場合、接合工程は、上述したように、各対となるコイル片 52 のそれぞれの先端部 40 同士が径方向に当接するようにセットするセット工程（ステップ S1521）を含む。なお、セット工程では、治具等を用いて、各対となるコイル片 52 のそれぞれの先端部 40 同士が径方向に当接した状態が、維持されてよい。

[0097] そして、接合工程は、セット工程後に、上述したように溶接対象箇所 90 にレーザビーム 110 を照射する照射工程（ステップ S1522）を含む。なお、セット工程と照射工程は、1 つ以上の所定数の溶接対象箇所 90 ごとにセットで実行されてもよいし、一のステータ 21 に係るすべての溶接対象箇所 90 に対して、一括的に実行されてもよい。なお、本製造方法は、接合工程後に、適宜、必要な各種の工程を行うことで、ステータ 21 を完成させて終了してよい。

[0098] 以上、各実施例について詳述したが、特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された範囲内において、種々の変形及び変更が可能である。また、前述した実施例の構成要素を全部又は複数を組み合わせることも可能である。また、各実施形態の効果のうちの、従属項に係る効果は、上位概念（独立項）とは区別した付加的効果である。

[0099] 例えば、上述した実施例では、溶接対象箇所 90 は、図 7 及び図 8 に範囲

D 1 及び範囲 D 2 に示すように、当接面 4 0 1 に沿って直線状に延在するが、これに限られない。溶接対象箇所 9 0 は、レーザビーム 1 1 0 の照射側から視て、湾曲する態様で設定されてもよい。この場合、レーザビーム 1 1 0 による照射区間は、照射位置が直線状に変化する区間と、照射位置が曲線状に変化する区間とを含んでもよい。そして、上述した本実施例による溶接速度プロファイルは、照射位置が曲線状に変化する区間に対して適用されてもよい。

[0100] また、上述した実施例では、上述したようにグリーンレーザの場合、必要なレーザ出力を確保できる連続的な照射時間が比較的短いが故に、本実施例による溶接速度プロファイルは、第 1 区間 1 5 D、第 2 区間 1 5 B、及び第 3 区間 1 5 F からなるが、これに限られない。今後の技術の進展に伴い、必要なレーザ出力を確保できる連続的な照射時間が長くできるようになれば、本実施例による溶接速度プロファイルは、第 1 区間 1 5 D、第 2 区間 1 5 B、第 3 区間 1 5 F、第 2 区間 1 5 B、第 3 区間 1 5 F といった具合に、第 1 区間 1 5 D の後に、第 2 区間 1 5 B と第 3 区間 1 5 F とを交互に繰り返して含んでもよい。この場合、第 2 区間 1 5 B 及び第 3 区間 1 5 F のセット数は、2 以上の任意である。また、この場合、溶接速度プロファイルは、第 3 区間 1 5 F で終了してもよいし、第 2 区間 1 5 B で終了してもよい。なお、このような、第 2 区間 1 5 B と第 3 区間 1 5 F とを交互に繰り返して含む溶接速度プロファイルは、比較的長い連続的な照射が可能な赤外レーザの場合にも好適である。

[0101] また、上述した実施例は、コイル片 5 2 の先端部 4 0 同士の接合に関するが、コイル片 5 2 の先端部 4 0 と、バスバーの端部（図示せず）との間の接合にも適用可能である。この場合、バスバーの端部に接合されるコイル片 5 2 の先端部 4 0 は、動力線や中性点を形成する渡り部の先端部であってよい。

[0102] 例えば、図 2 0 には、端子台 7 0 に保持されるバスバーの端部 8 0、8 1 とコイル片 5 2 A の先端部 4 0 A とが互いに接合される。なお、この場合、

端子台 70 に保持されるバスバーは、端子台 70 内において 3 相の外部端子 71 に電氣的に接続される。このようなバスバーの端部 80、81 とコイル片 52 A の先端部 40 A との間の接合部に対しても、本実施例による溶接速度プロフィールによるレーザ溶接が適用されてもよい。この場合、溶接対象箇所は、バスバーの端部 80、81 とコイル片 52 A の先端部 40 A のそれぞれの先端面に現れる当接面に設定されてもよい。なお、図 20 において、L 方向は軸方向に対応し、R 方向は、径方向に対応し、R1 側は径方向内側に対応し、R2 側は径方向外側に対応する。なお、図 20 では、バスバーの端部 80、81 とコイル片 52 A の先端部 40 A は、径方向又は軸方向に視て完全に重なる態様で当接されているが、特定の方向（例えば周方向）に視て X 字状に交差する態様又は C 字状又は L 字状をなす態様で、特定の方向に当接されてもよい。この場合、溶接対象箇所 90 は、当接面の軸方向外側の縁部に沿って直線状に設定されてよい。

- [0103] また、上述した実施例では、図 6 に示すように軸方向外側端面 42 が凸の円弧面に加工された先端部 40 を有するコイル片 52 同士を、図 7 に示すように径方向に当接させることで、溶接対象箇所 90 を形成しているが、これに限られない。例えば、このような加工がなされていない先端部（すなわち径方向に視て軸方向外側端面 42 が直線状に延びて先端面につながる構成）を有するコイル片同士を径方向に当接させることで、溶接対象箇所 90 を形成してもよい。この場合、コイル片同士は、先端部 40（加工がなされていない先端部 40）同士が径方向に視て X 字状に交差する態様又は径方向に視て C 字状又は L 字状をなす態様で、径方向に当接されてもよい。

符号の説明

- [0104] 1・・・モータ（回転電機）、24・・・ステータコイル、52・・・コイル片、40・・・先端部（端部）、22・・・ステータコア、80、81・・・バスバーの端部、110・・・レーザビーム

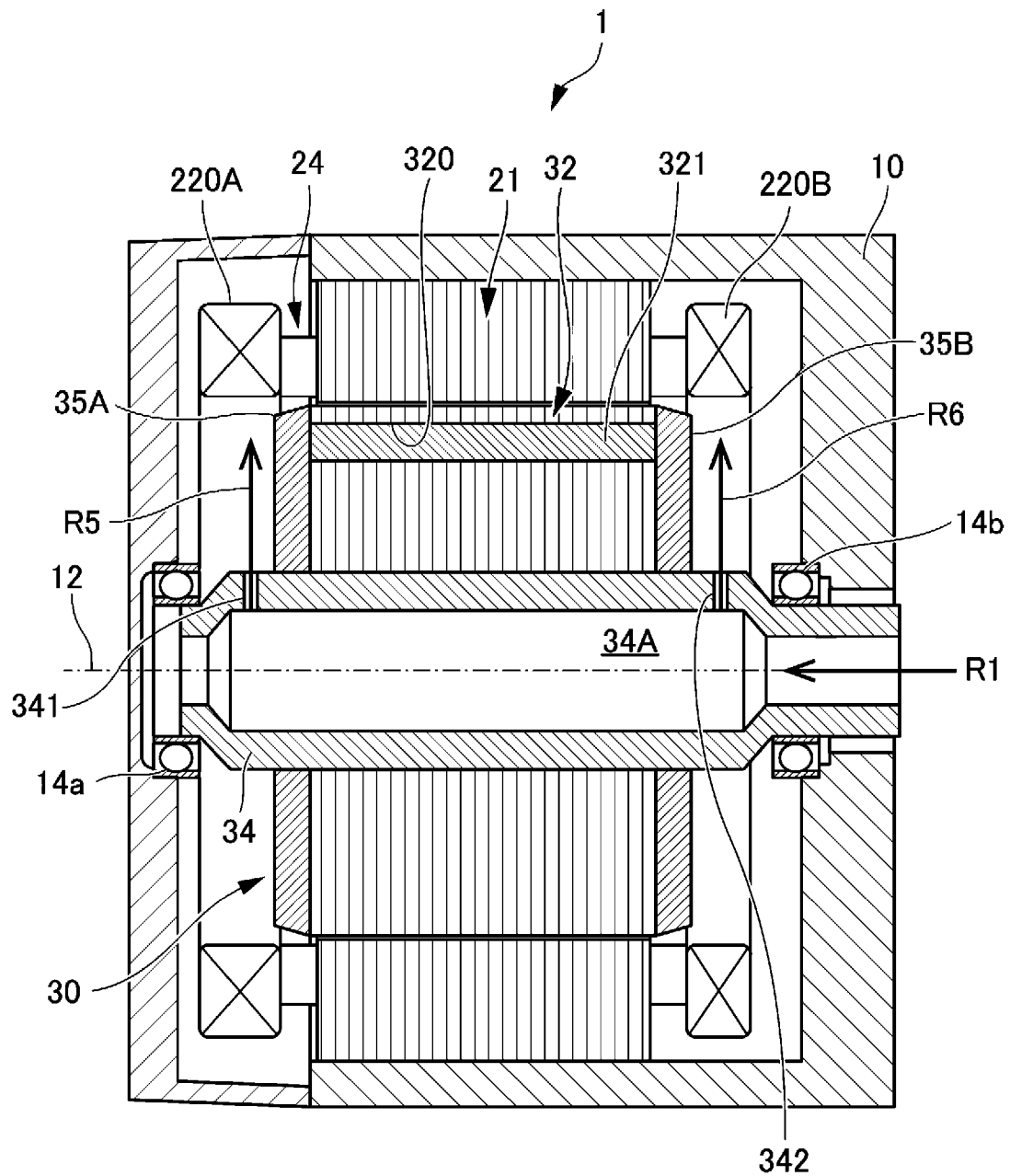
請求の範囲

- [請求項1] ステータコイルのコイル片をステータコアに組み付ける組付工程と、
- 、
- 前記組付工程の後に、前記コイル片の端部同士又は前記コイル片の端部とバスバーの端部とをレーザ溶接により接合する接合工程とを含み、
- 前記接合工程は、
- 接合対象の2つの端部同士を当接させるセット工程と、
- 前記2つの端部にレーザビームを照射する照射工程とを含み、
- 前記照射工程による前記レーザビームの照射区間は、前記レーザビームの照射位置が連続的に変化する連続照射区間を含み、
- 前記連続照射区間は、照射開始位置から照射終了位置までの前記レーザビームの照射位置の移動方向に沿った順序で、前記レーザビームの照射位置が第1速度で変化する第1区間と、前記レーザビームの照射位置が前記第1速度よりも低い第2速度で変化する第2区間と、前記レーザビームの照射位置が前記第2速度よりも高い第3速度で変化する第3区間とを含む、回転電機用ステータ製造方法。
- [請求項2] 前記連続照射区間は、前記レーザビームの照射位置が直線状に変化する態様で、前記第1区間が照射開始位置から開始し、前記第2区間が前記第1区間から連続し、前記第3区間が前記第2区間から連続する、請求項1に記載の回転電機用ステータ製造方法。
- [請求項3] 前記照射工程は、 $0.6\mu\text{m}$ 以下の波長を有するレーザビームを、レーザ発振器におけるパルス発振ごとに発生させ、
- 一の前記連続照射区間は、一のパルス発振により実現される、請求項1又は2に記載の回転電機用ステータ製造方法。
- [請求項4] 前記照射工程は、一のパルス発振ごとに一の前記連続照射区間が実現される態様で、2回以上のパルス発振により、前記2つの端部を接合する、請求項3に記載の回転電機用ステータ製造方法。

[請求項5] 一の前記連続照射区間と他の一の前記連続照射区間とは、一の前記第1区間が他の一の前記第2区間又は前記第3区間と重なる態様で、互いに重なる、請求項4に記載の回転電機用ステータ製造方法。

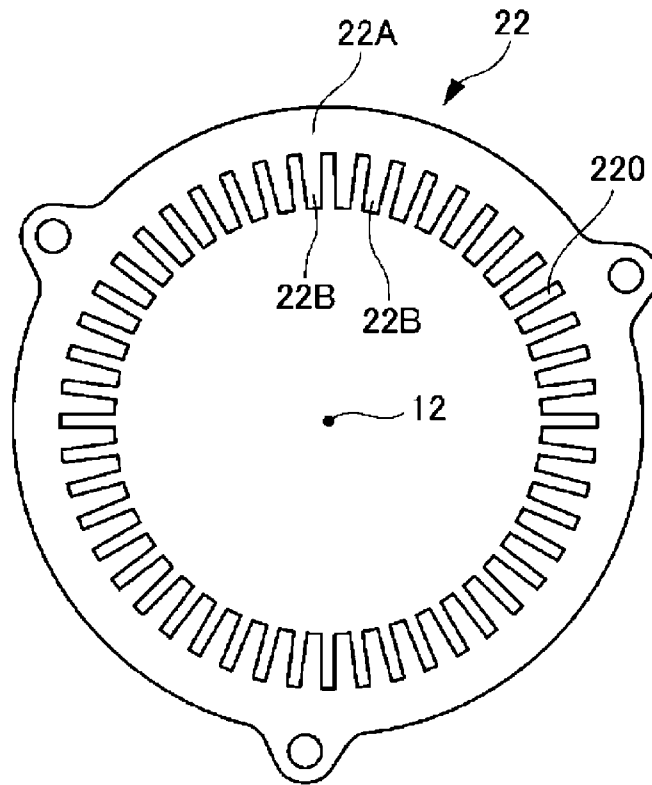
[図1]

FIG. 1



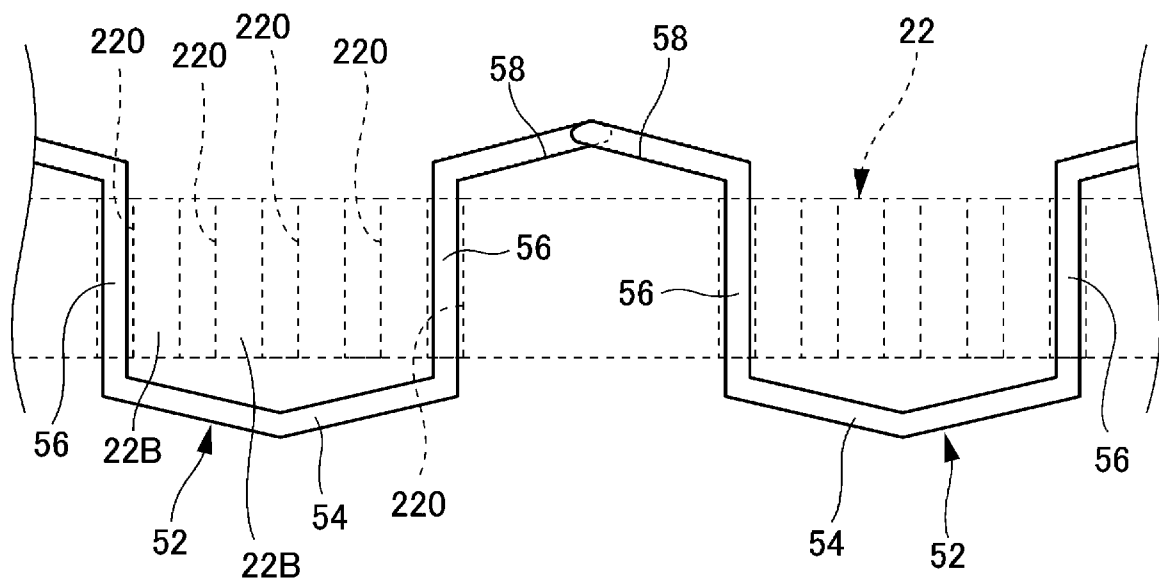
[図2]

FIG. 2



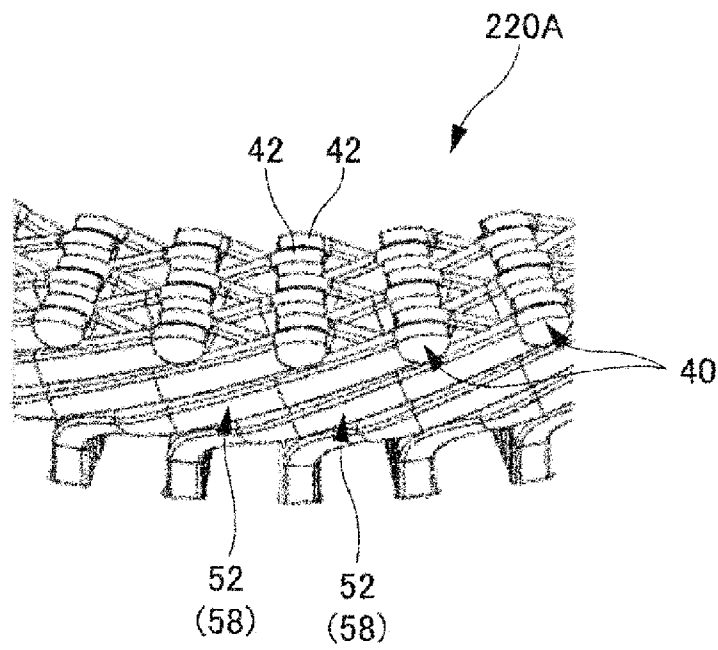
[図3]

FIG. 3



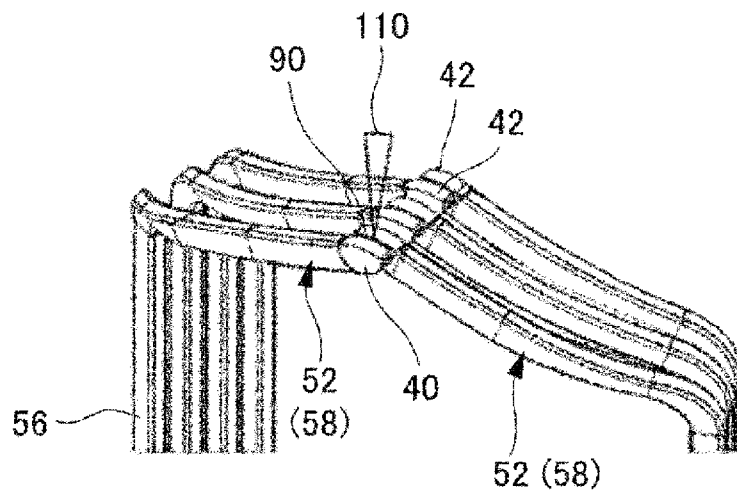
[図4]

FIG. 4



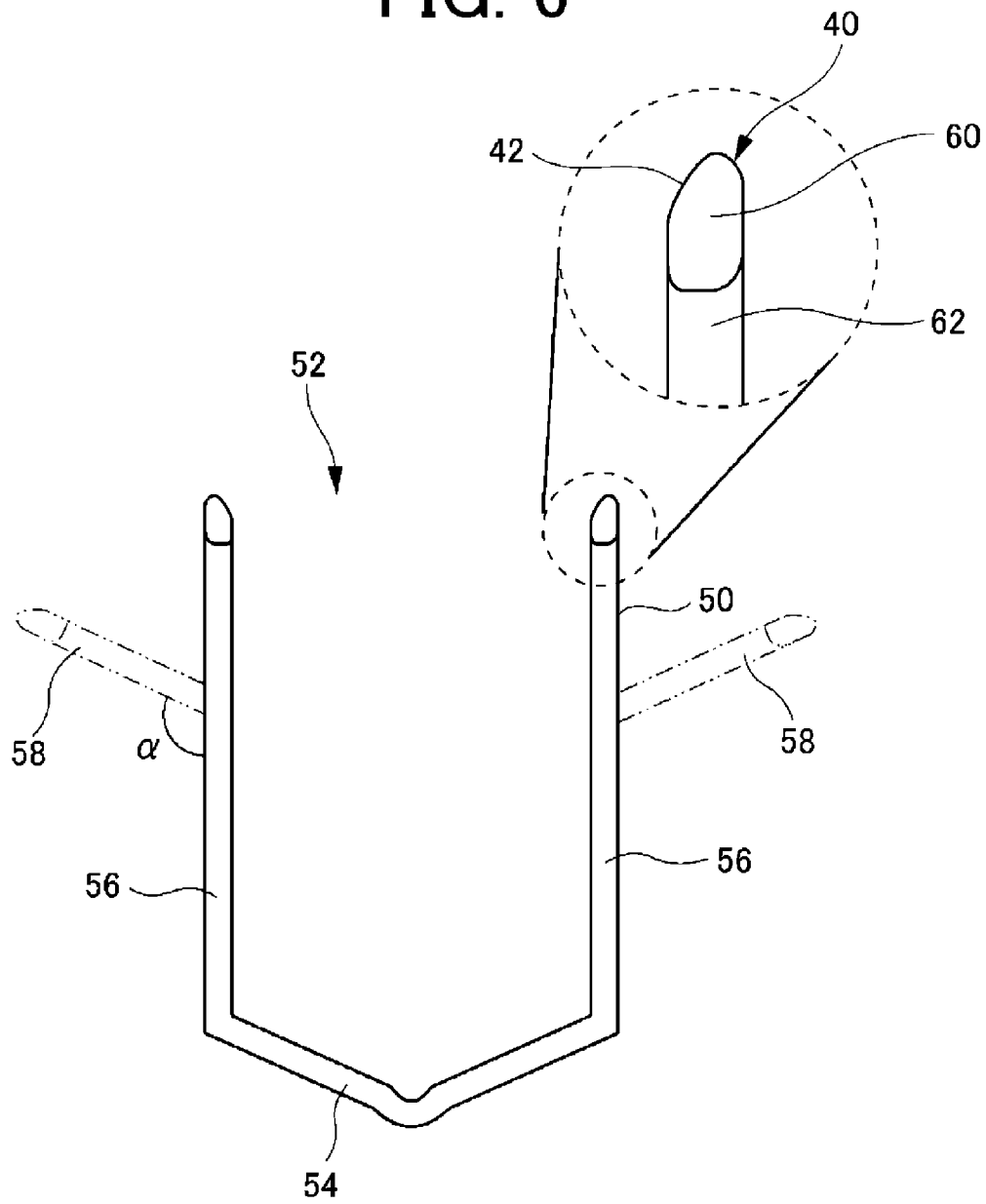
[図5]

FIG. 5



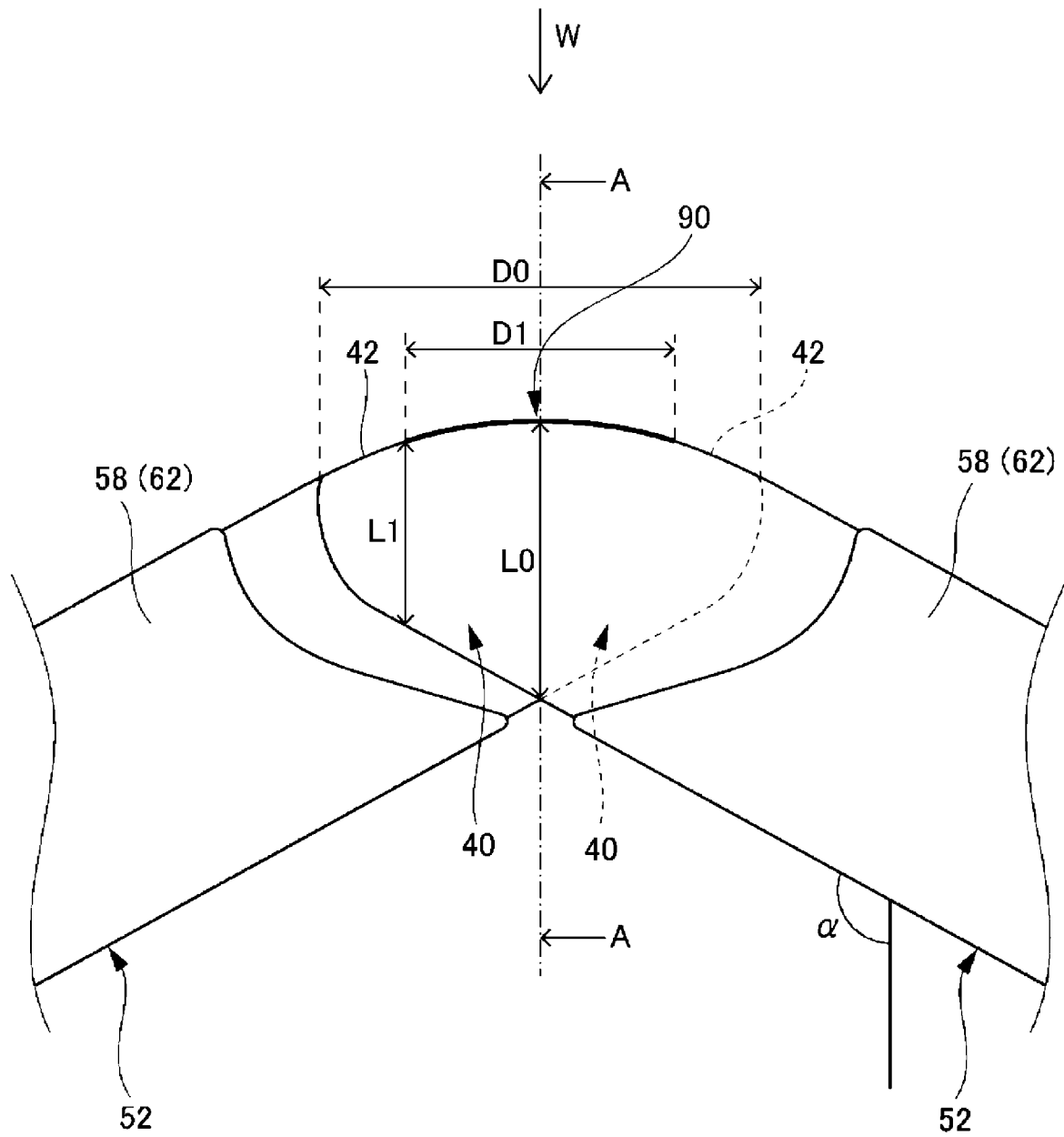
[図6]

FIG. 6



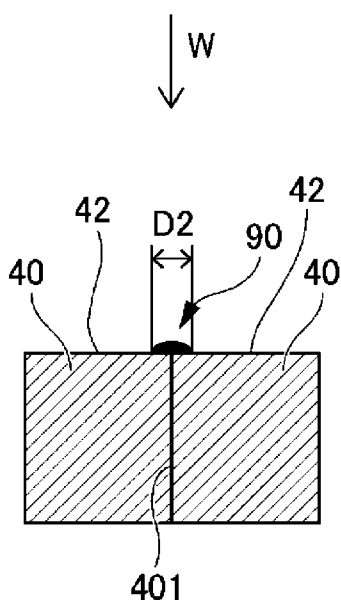
[図7]

FIG. 7



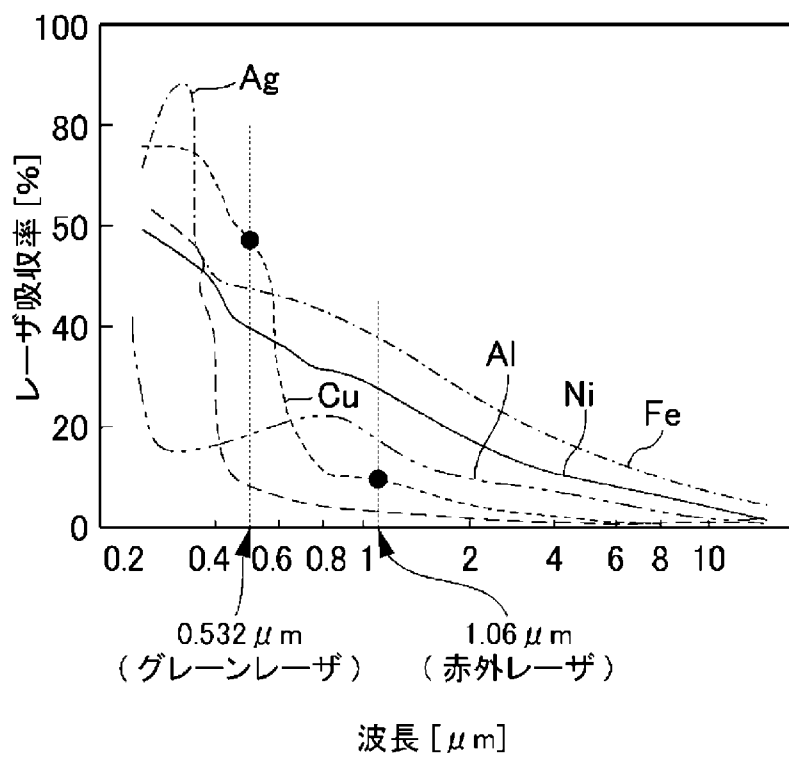
[図8]

FIG. 8



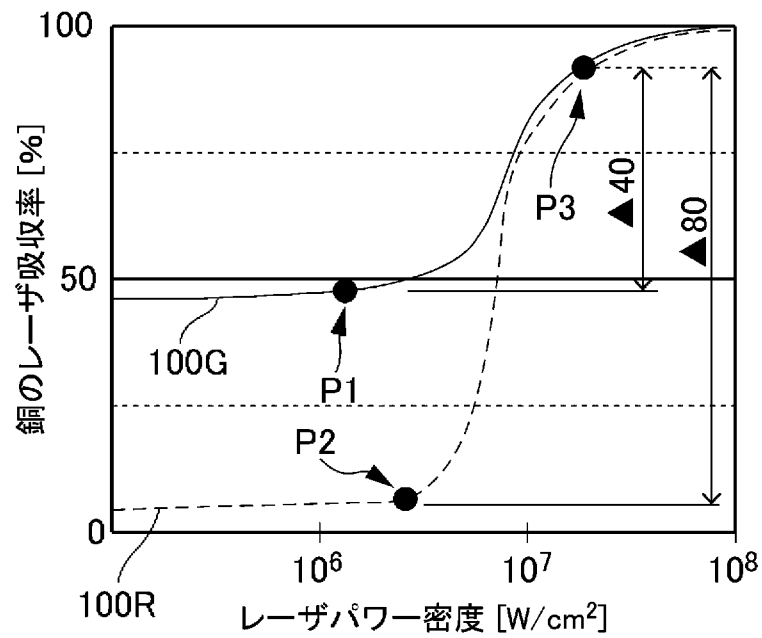
[図9]

FIG. 9



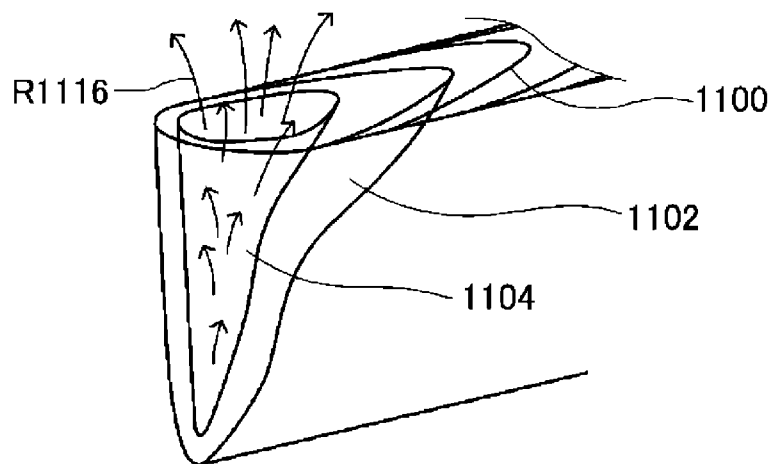
[図10]

FIG.10



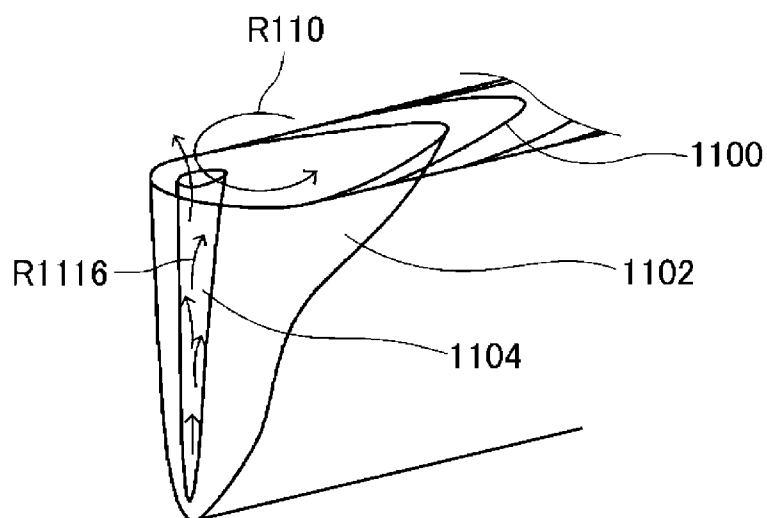
[図11A]

FIG.11A



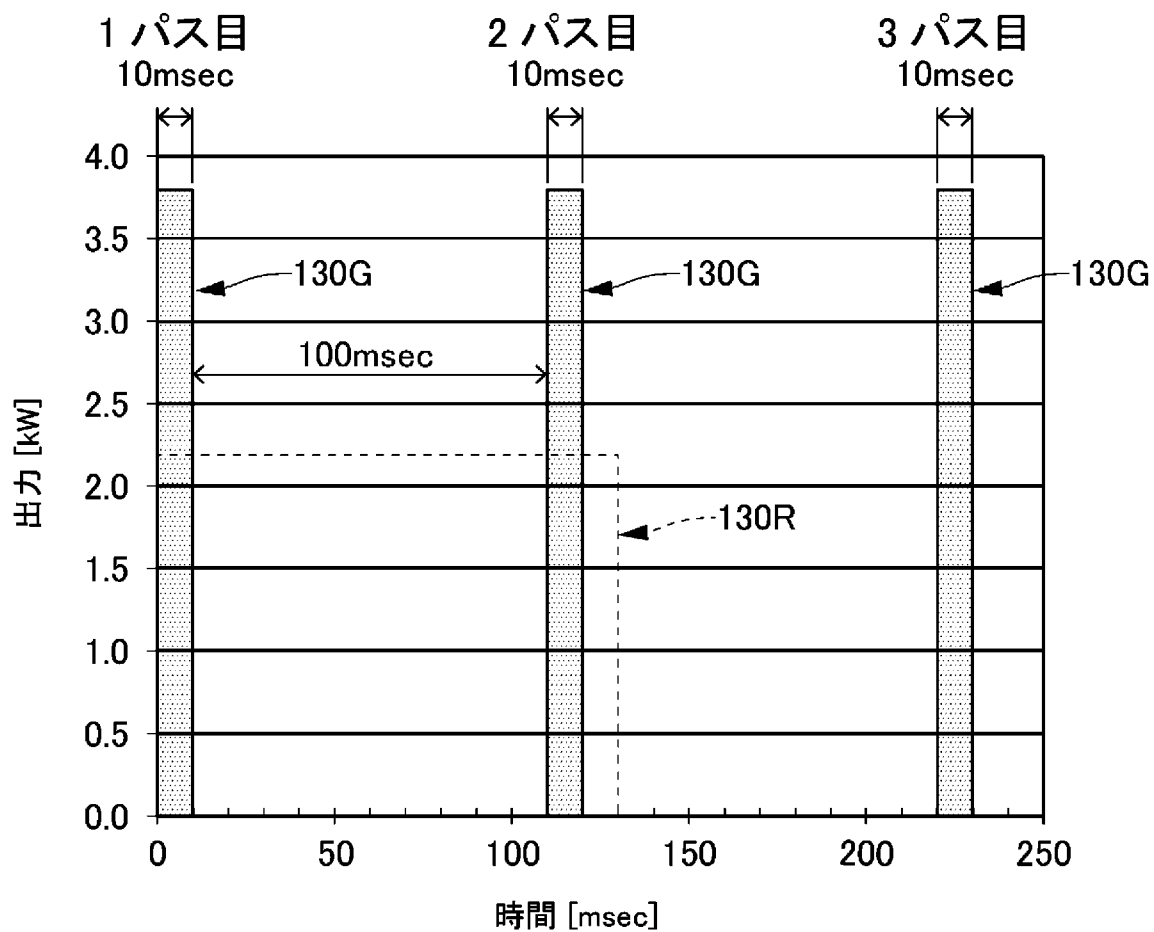
[図11B]

FIG.11B



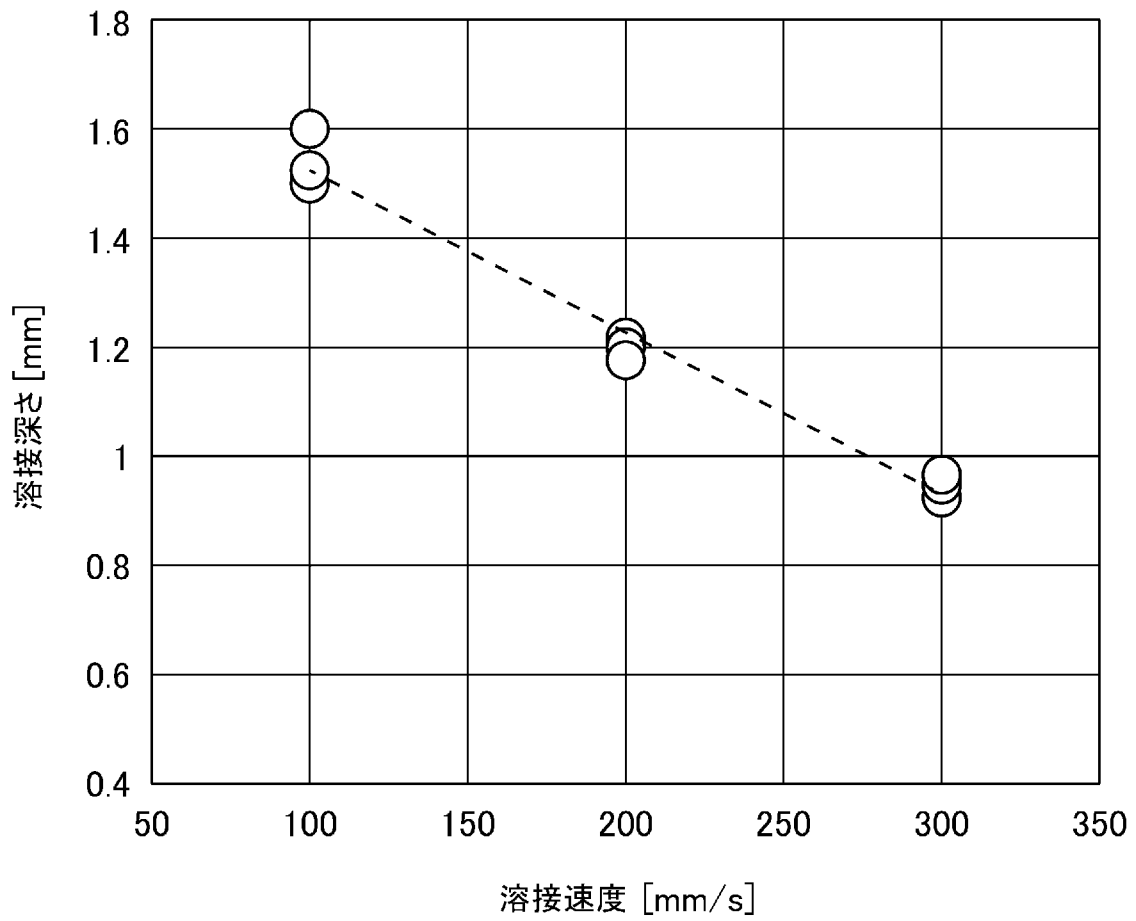
[図12]

FIG.12



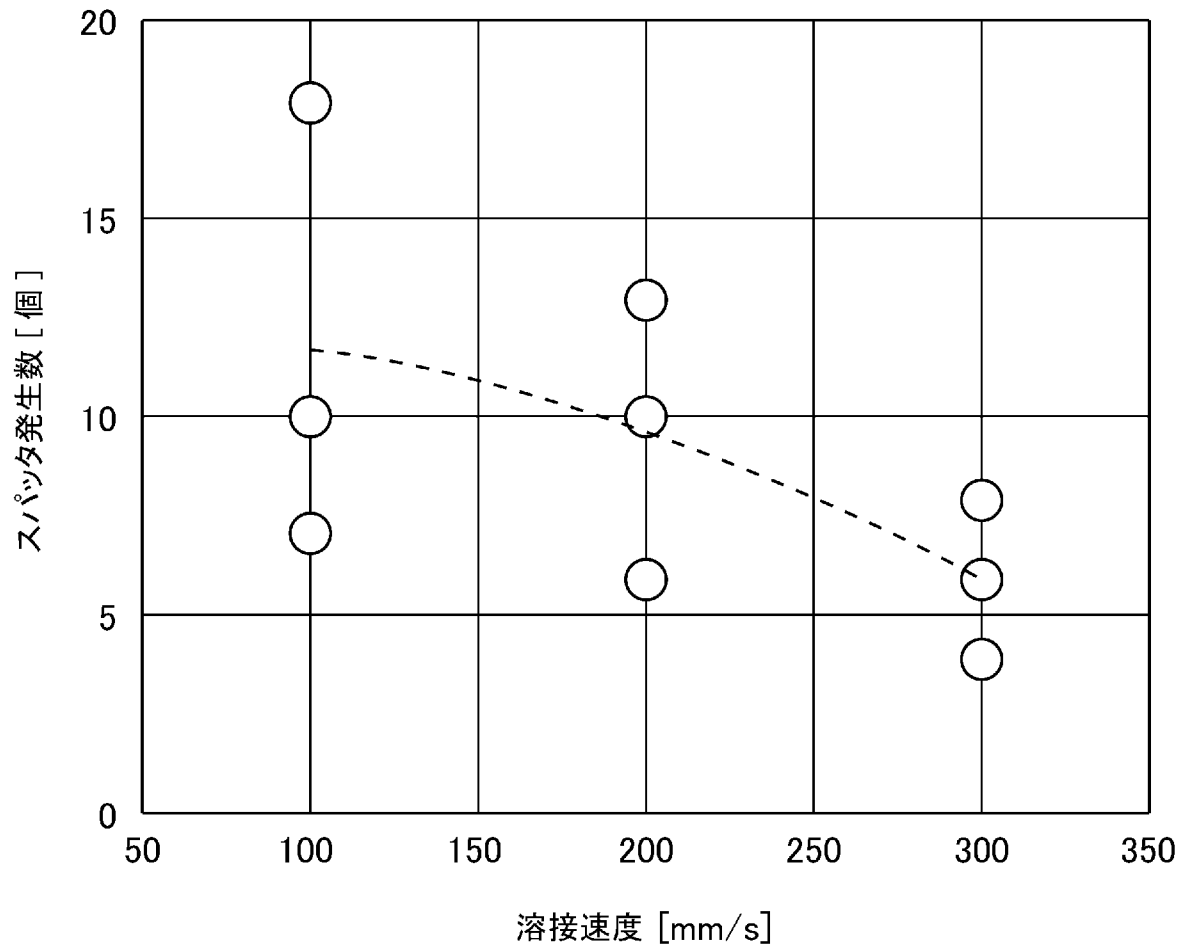
[図13A]

FIG.13A



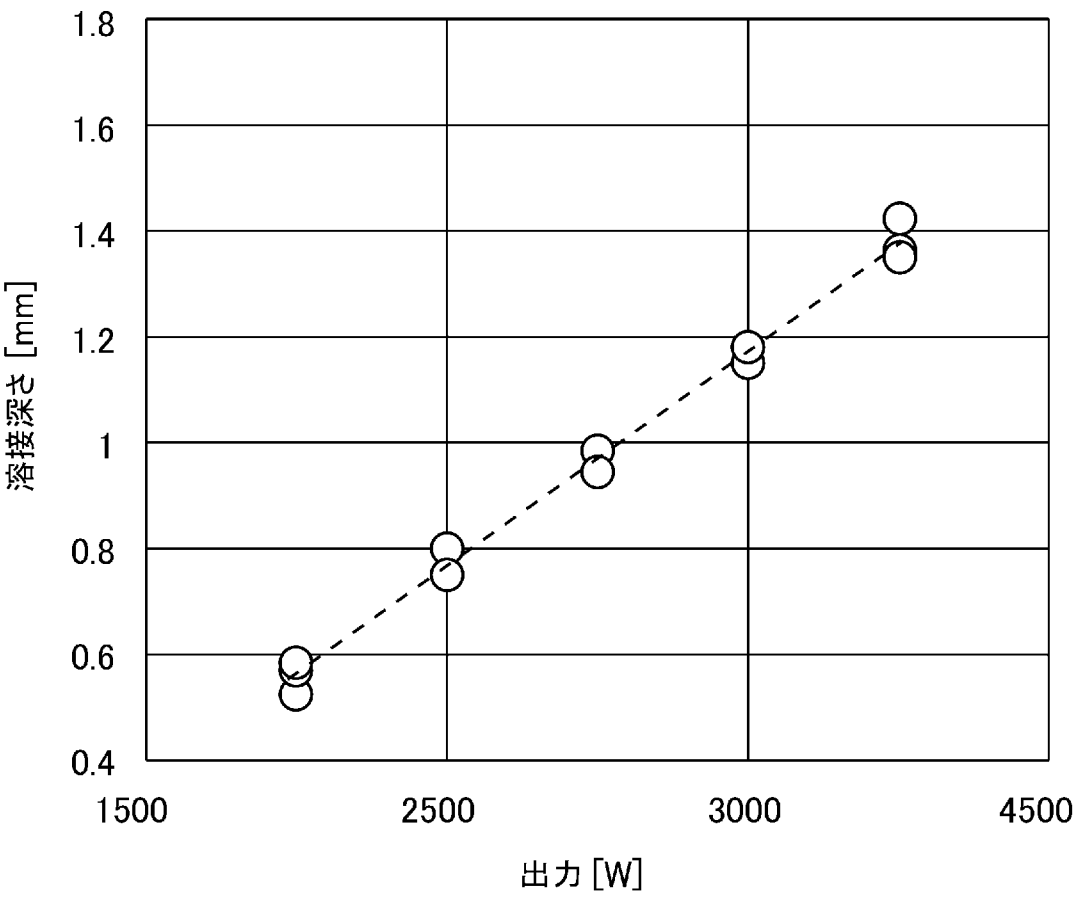
[図13B]

FIG.13B



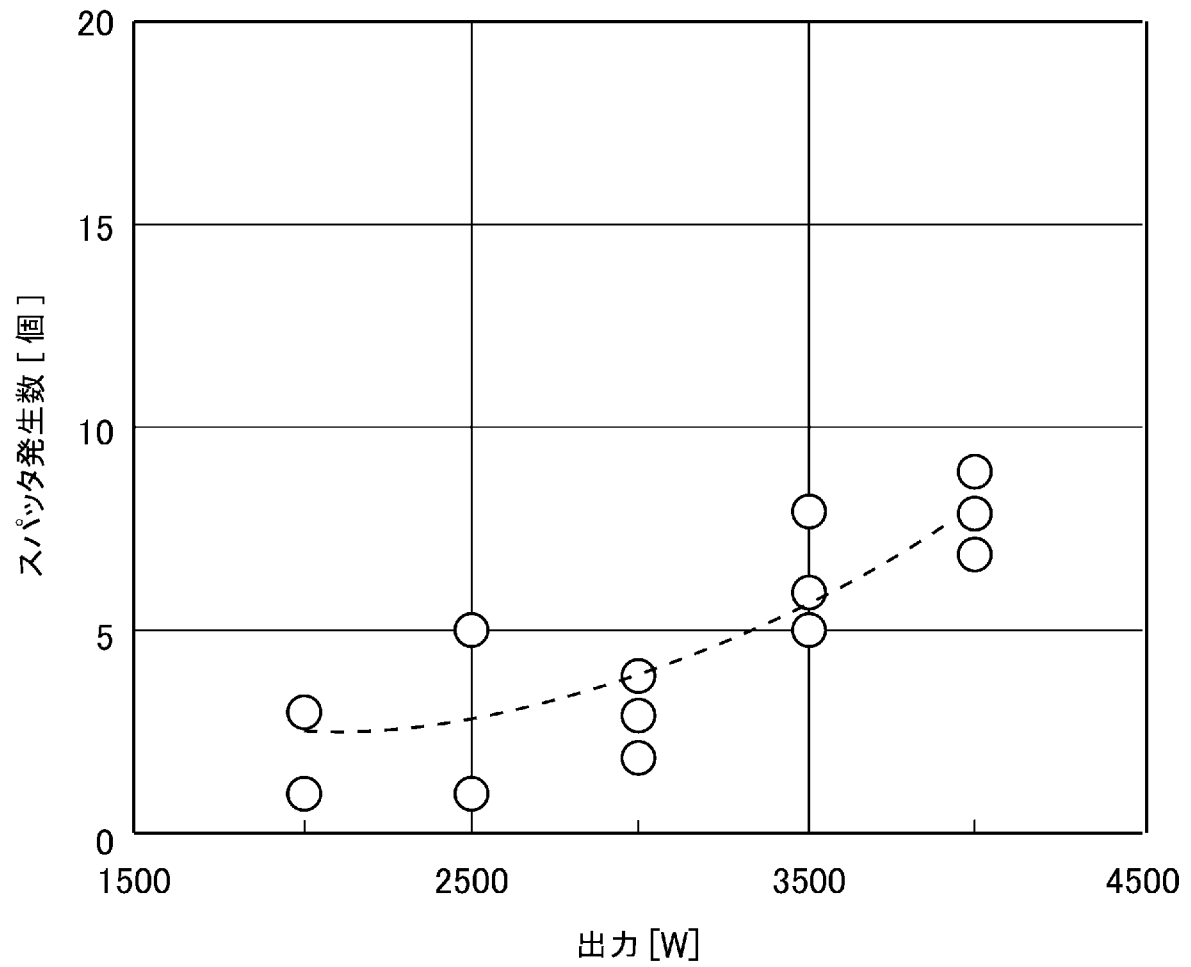
[図13C]

FIG.13C



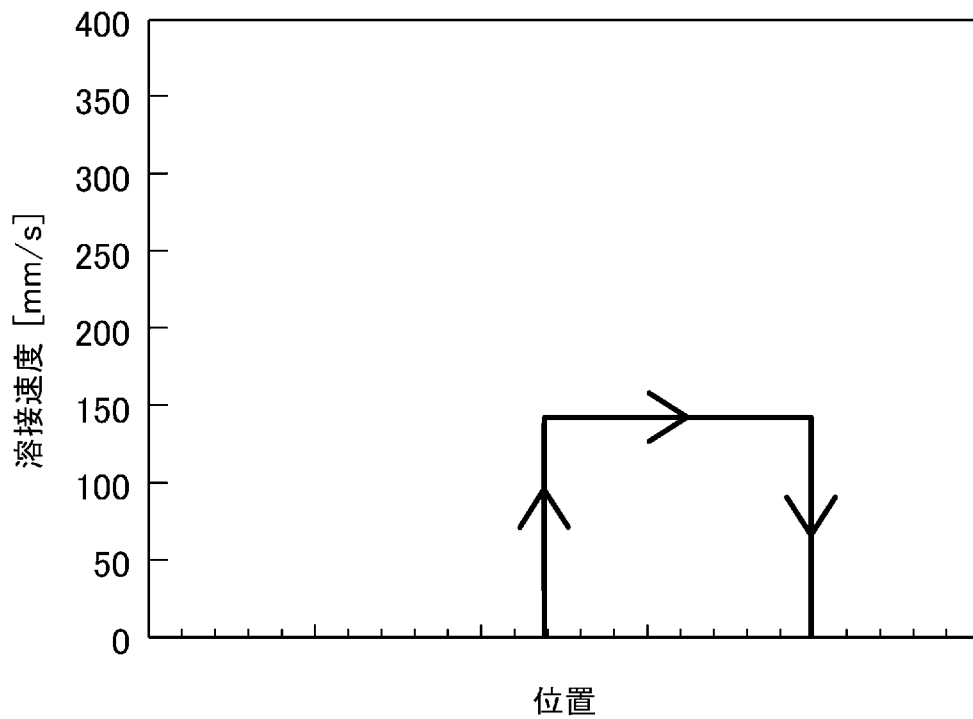
[図13D]

FIG.13D



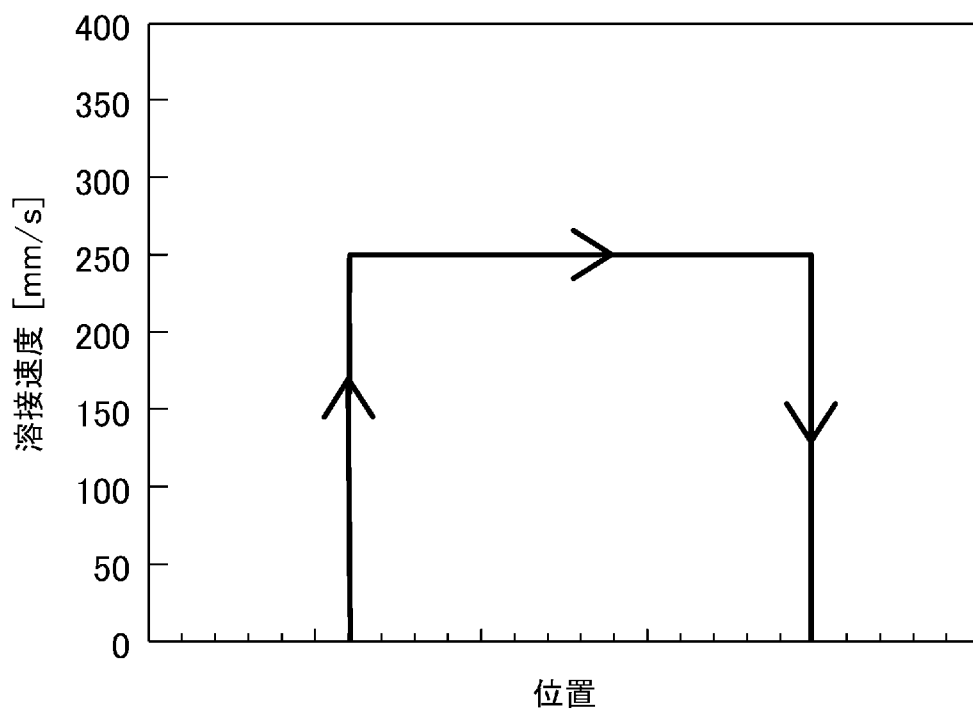
[図14A]

FIG.14A



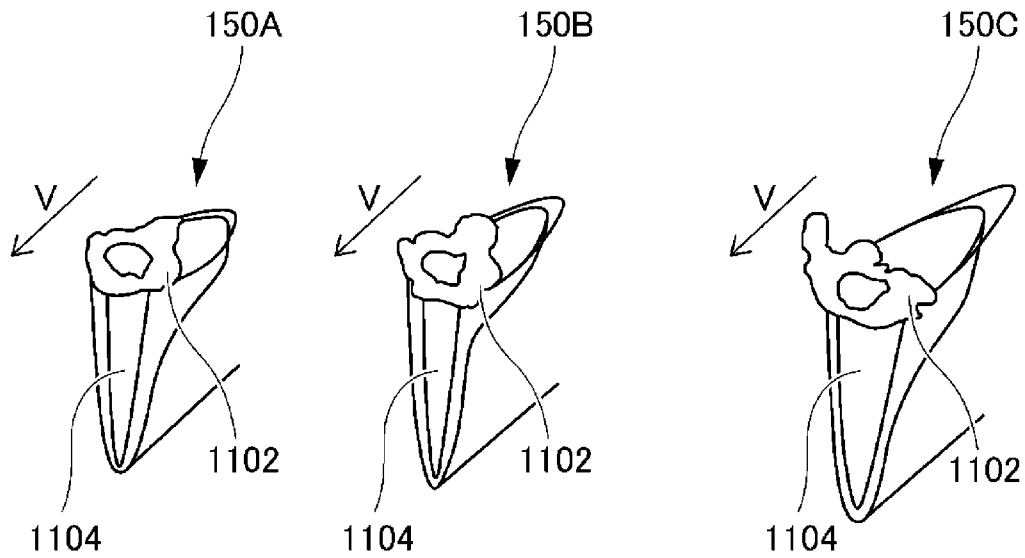
[図14B]

FIG.14B



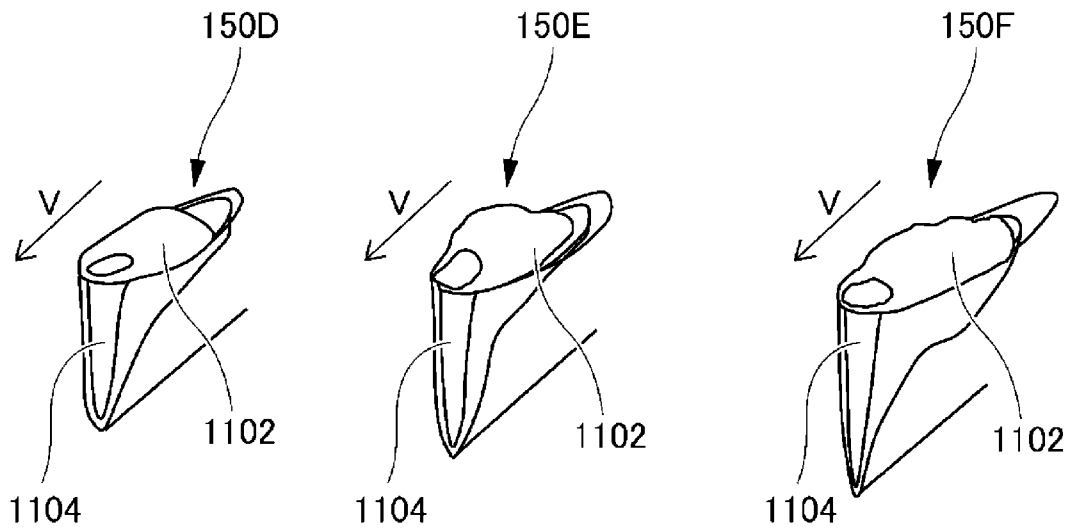
[図15A]

FIG.15A



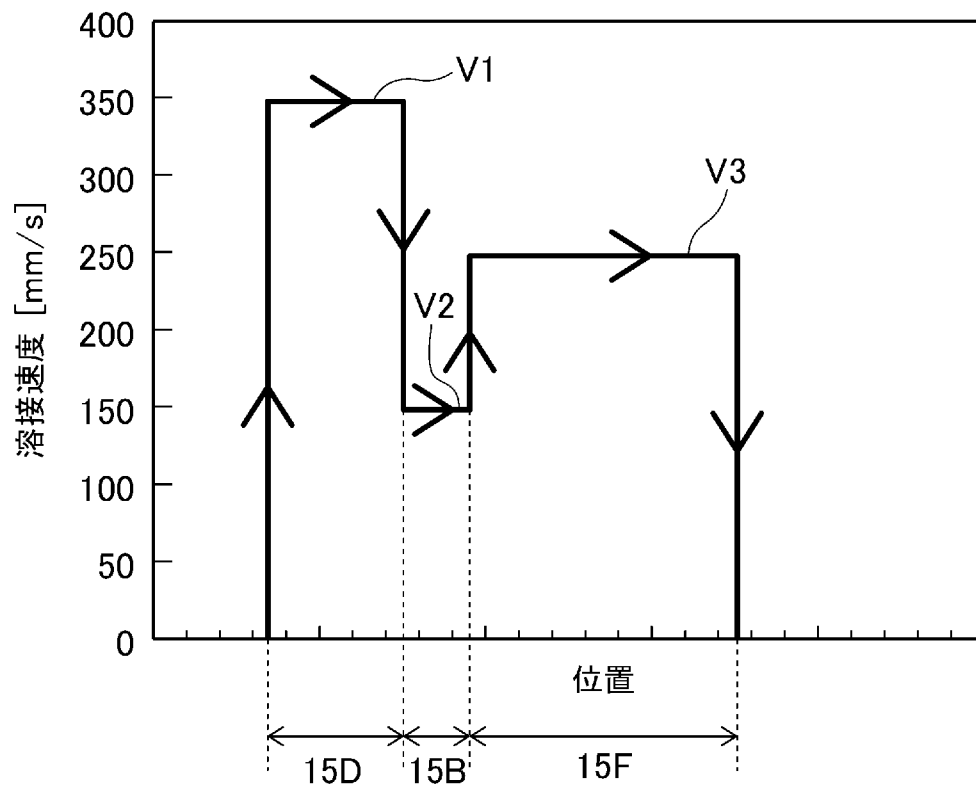
[図15B]

FIG.15B



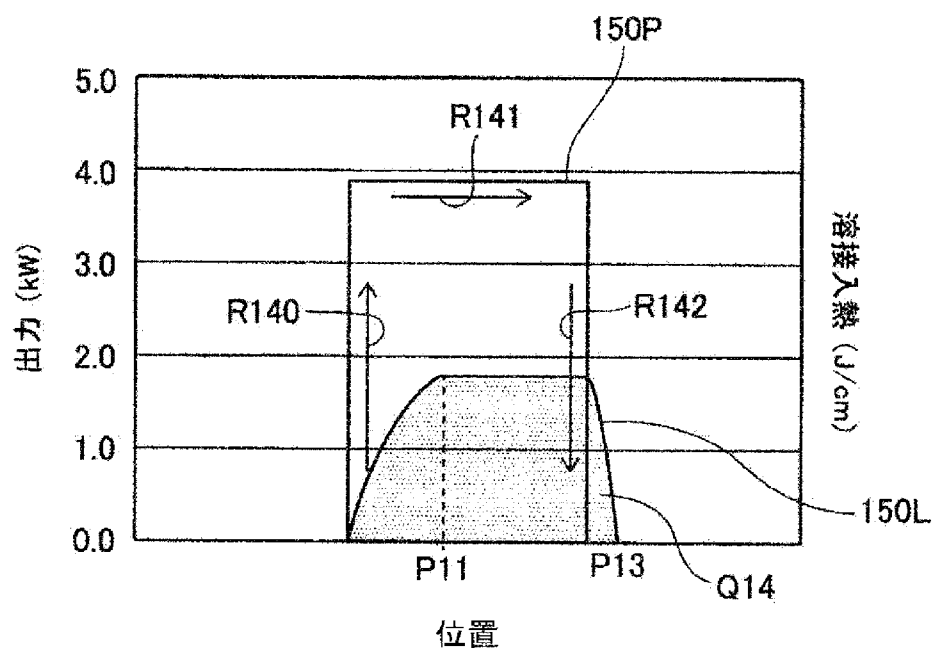
[図16]

FIG.16



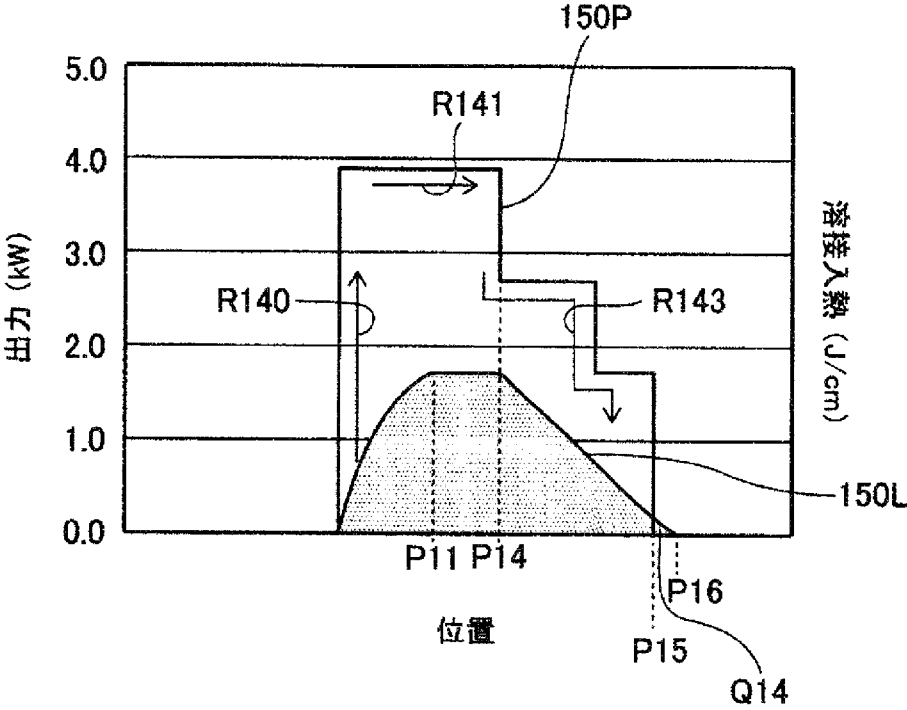
[図17A]

FIG.17A



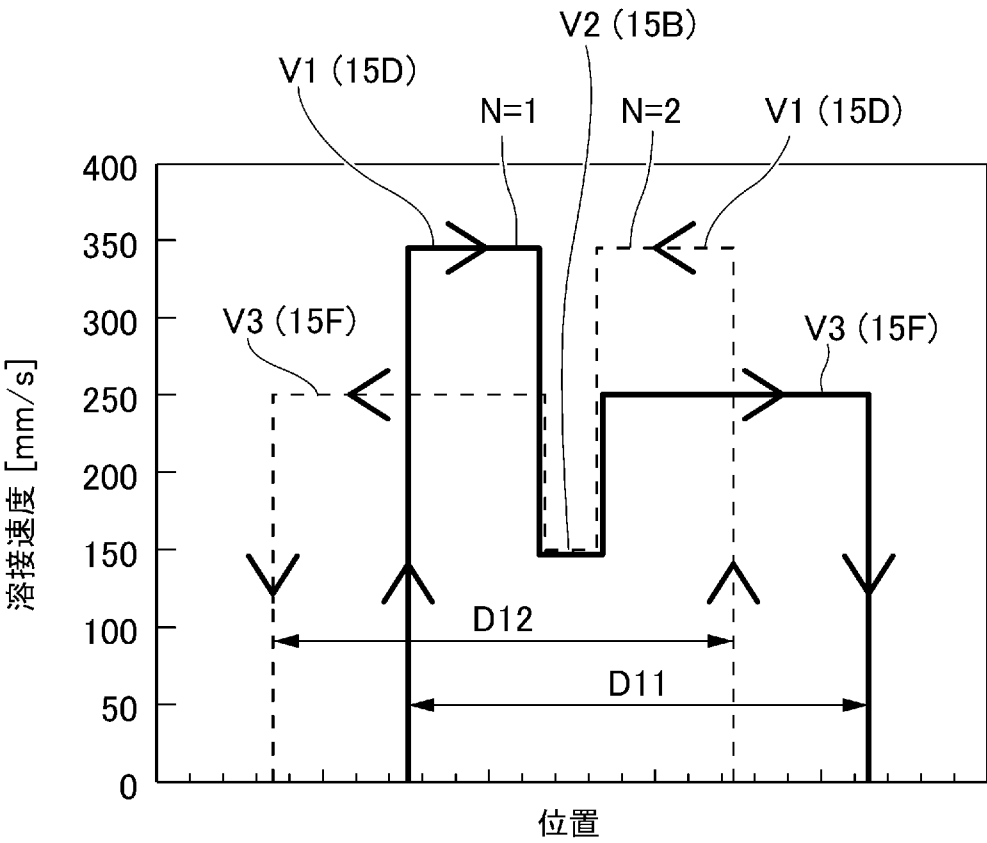
[図17B]

FIG.17B



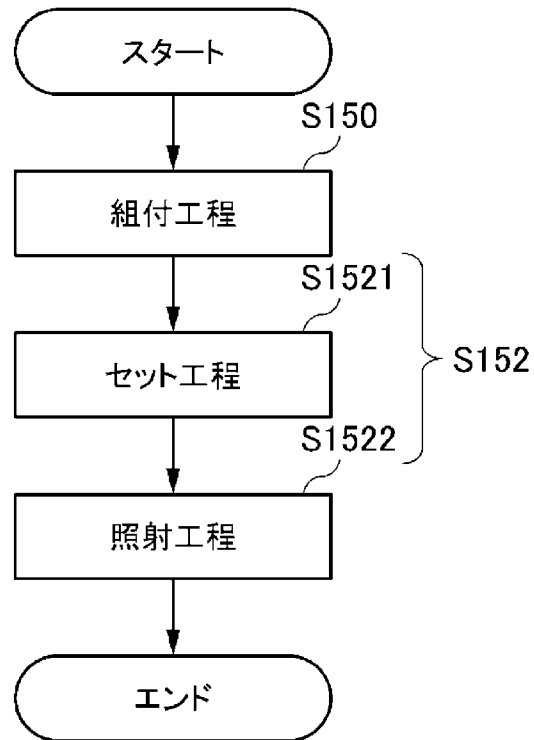
[図18]

FIG.18



[図19]

FIG.19



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/012873

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H02K 15/04**(2006.01)i; **H02K 15/085**(2006.01)i; **B23K 26/21**(2014.01)i

FI: H02K15/04 E; H02K15/085; B23K26/21 N

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)

H02K15/04; H02K15/085; B23K26/21

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 1971-2022

Registered utility model specifications of Japan 1996-2022

Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

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	JP 2020-40103 A (TOYOTA MOTOR CORP.) 19 March 2020 (2020-03-19) paragraph [0029], fig. 9, 10	1-2
Y		3-5
Y	JP 2014-7795 A (AISIN AW CO., LTD.) 16 January 2014 (2014-01-16) paragraphs [0012]-[0035]	3-5

☐ 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

12 April 2022

Date of mailing of the international search report

26 April 2022

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/012873

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2020-40103	A	19 March 2020	US 2020/0083787 A1 paragraph [0052], fig. 9, 10 CN 110893517 A1	
JP	2014-7795	A	16 January 2014	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H02K 15/04(2006.01)i; H02K 15/085(2006.01)i; B23K 26/21(2014.01)i FI: H02K15/04 E; H02K15/085; B23K26/21 N														
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）） H02K15/04; H02K15/085; B23K26/21														
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														
<table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2022年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2022年	日本国実用新案登録公報	1996-2022年	日本国登録実用新案公報	1994-2022年				
日本国実用新案公報	1922-1996年													
日本国公開実用新案公報	1971-2022年													
日本国実用新案登録公報	1996-2022年													
日本国登録実用新案公報	1994-2022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	JP 2020-40103 A（トヨタ自動車株式会社）19.03.2020（2020-03-19） 段落29，図9-10	1-2												
Y		3-5												
Y	JP 2014-7795 A（アイシン・エイ・ダブリュ株式会社）16.01.2014（2014-01-16） 段落12，35	3-5												
☐ 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。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“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	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
* 引用文献のカテゴリー	“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													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“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														
国際調査を完了した日 12.04.2022	国際調査報告の発送日 26.04.2022													
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） 若林 治男 3V 4190 電話番号 03-3581-1101 内線 3357													

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/012873

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2020-40103	A	19.03.2020	US 2020/0083787 A1 段落 52, 図 9-10 CN 110893517 A1	
JP	2014-7795	A	16.01.2014	(ファミリーなし)	