

(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10月18日(18.10.2018)



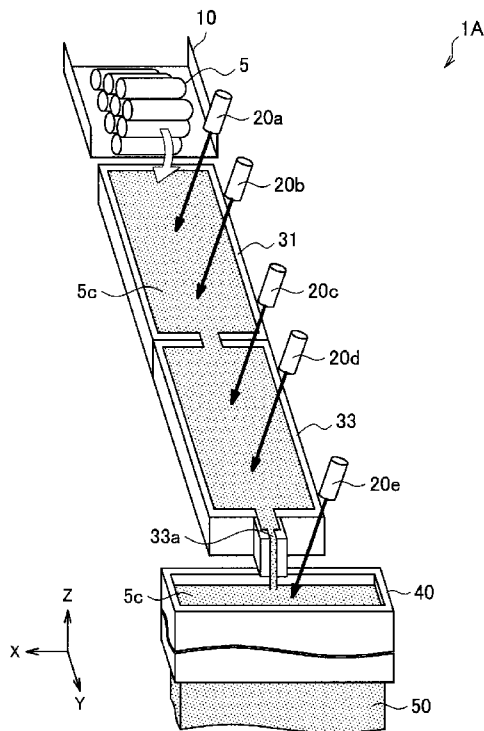
(10) 国際公開番号
WO 2018/190424 A1

- (51) 国際特許分類:
C22B 9/22 (2006.01) *B22D 27/02* (2006.01)
B22D 11/00 (2006.01) *B22D 43/00* (2006.01)
B22D 11/041 (2006.01) *C22B 34/12* (2006.01)
B22D 21/06 (2006.01) *C22C 14/00* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/015555
- (22) 国際出願日: 2018年4月13日(13.04.2018)
- (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 2017-079734 2017年4月13日(13.04.2017) JP
 特願 2017-079735 2017年4月13日(13.04.2017) JP
 特願 2017-079733 2017年4月13日(13.04.2017) JP
 特願 2017-079732 2017年4月13日(13.04.2017) JP
- (71) 出願人: 新日鐵住金株式会社 (NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL 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: 舟金 仁志 (FUNAGANE, Hitoshi); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP). 濱荻 健司 (HAMAOGI, Kenji); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 亀谷 美明, 外 (KAMEYA, Yoshiaki et al.); 〒1600004 東京都新宿区四谷3-1-3 第一富澤ビル はづき国際特許事務所 四谷オフィス Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, 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,

(54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING METAL INGOT

(54) 発明の名称: 金属鑄塊の製造方法



(57) Abstract: A method for manufacturing a metal ingot using an electron-beam melting furnace provided with an electron gun in which the irradiation position of an electron beam can be controlled and a hearth for retaining a molten metal raw material, wherein an irradiation line is disposed so that a lip part is blocked in a downstream region of a surface of the molten metal between a first side wall and an upstream region in which the metal raw material is supplied, and two end parts are positioned in the vicinity of a side wall of the hearth. On the irradiation line, a first electron beam is radiated to the surface of the molten metal, and the first electron beam is radiated to the irradiation line. The surface temperature (T2) of the molten metal in the irradiation line is thereby made higher than the average surface temperature (T0) of the surface of the molten metal overall within the hearth, and a molten metal flow from the irradiation line upstream in the direction toward the opposite side from the first side wall is formed in the surface of the molten metal.

WO 2018/190424 A1

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, 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))

(57) 要約: 電子ビームの照射位置を制御可能である電子銃と、金属原料の溶湯を貯留するハースとを備えた電子ビーム溶解炉を用いた金属鋳塊の製造方法であって、照射ラインは、前記溶湯の表面において前記金属原料が供給される上流領域と前記第1の側壁との間の下流領域に、前記リップ部を塞ぐように、かつ、2つの端部が前記ハースの前記側壁の近傍に位置するように配置される。前記照射ラインに対して、第1の電子ビームを前記溶湯の表面に対して照射し、前記照射ラインに対して前記第1の電子ビームを照射する。これにより、前記照射ラインにおける前記溶湯の表面温度 (T2) を、前記ハース内の前記溶湯の表面全体の平均表面温度 (T0) よりも高くして、前記溶湯の表層において前記照射ラインから前記第1の側壁とは反対側の方向である上流へ向かう溶湯流を形成する。

明 細 書

発明の名称： 金属鋳塊の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、電子ビーム溶解法により金属原料を溶解する金属鋳塊の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 純チタン、チタン合金等のインゴット（鋳塊）は、スポンジチタンまたはスクラップ等のチタン原料を溶解することにより製造される。チタン原料等の金属原料（以下では、単に「原料」と称する場合もある。）を溶解する技術としては、例えば真空アーク溶解法やプラズマアーク溶解法、電子ビーム溶解法等がある。このうち、電子ビーム溶解法では、電子ビーム溶解炉（Electron-Beam melting furnace；以下、「EB炉」と称する。）において、固体の原料に電子ビームを照射することにより、原料を溶解する。電子ビームのエネルギー散逸を防ぐため、EB炉での電子ビームの照射による原料の溶解は、真空チャンバー内で行われる。溶解された原料である熔融チタン（以下、「溶湯」と称する場合もある。）は、ハースにおいて精錬された後、モールド（鋳型）において凝固して、チタンのインゴットが形成される。電子ビーム溶解法によれば、熱源である電子ビームの照射位置を電磁気力により正確に制御できるため、モールド付近の溶湯に対しても十分に熱を供給することができる。このため、表面品質を劣化させることなくインゴットを製造可能である。

[0003] EB炉は、一般に、スポンジチタン等の原料を供給する原料供給部と、供給された原料を溶解するための1つまたは複数の電子銃と、溶解された原料を貯留するためのハース（例えば、水冷銅ハース）と、ハースから流し込まれた熔融チタンを冷却してインゴットを形成するためのモールドとを備える。EB炉は、ハースの構成の違いによって、大きく2つに分類される。具体的には、EB炉としては、図1に示すような溶解ハース31及び精錬ハース

33を備えるEB炉1Aと、図2に示すような精錬ハース30のみを備えるEB炉1Bとがある。

[0004] 図1に示すEB炉1Aは、原料供給部10と、電子銃20a~20eと、溶解ハース31及び精錬ハース33と、モールド40とを備える。原料供給部10から溶解ハース31に投入された固体の原料5に対して、電子銃20a、20bにより電子ビームを照射することによって、当該原料が溶解されて、溶湯5cとなる。溶解ハース31において溶解された原料(溶湯5c)は、該溶解ハース31と連通する精錬ハース33に流れる。精錬ハース33において、電子銃20c、20dにより電子ビームを溶湯5cに照射することにより、溶湯5cの温度を維持、或いは上昇させる。これによって、溶湯5cに含まれる不純物が除去される等して、溶湯5cが精錬される。その後、精錬された溶湯5cは、精錬ハース33の端部に設けられたリップ部33aからモールド40へ流し込まれる。モールド40内において溶湯5cが凝固して、インゴット50が製造される。図1に示すような溶解ハース31及び精錬ハース33からなるハースは、ロングハースとも称されている。

[0005] 一方、図2に示すEB炉1Bは、原料供給部10A、10Bと、電子銃20A~20Dと、精錬ハース30と、モールド40とを備える。このように精錬ハース30のみからなるハースは、図1に示すロングハースに対して、ショートハースとも称されている。ショートハースを用いたEB炉1Bでは、原料供給部10A、10B上に載置された固体の原料5に対して、電子銃20A、20Bにより電子ビームを直接照射して溶解させ、当該溶解された原料5を原料供給部10A、10Bから精錬ハース30の溶湯5cに滴下させる。これにより、図2に示すEB炉1Bでは、図1に示す溶解ハース31を省略できる。さらに、精錬ハース30において、電子銃20Cにより電子ビームを溶湯5cの表面全体に広範囲に照射することにより、溶湯5cの温度を維持、或いは上昇させる。これによって、溶湯5cに含まれる不純物が除去されるなどして、溶湯5cが精錬される。その後、精錬された溶湯5cは、精錬ハース30の端部に設けられたリップ部36からモールド40へ流

し込まれ、インゴット50が製造される。

[0006] ここで、上記のような電子ビーム溶解法によりハースとモールドを用いてインゴットを製造する場合、インゴットに不純物が混入していると、インゴットの割れの原因となる。このため、ハースからモールドに流し込まれる溶湯に不純物が混入しないようにすることが可能な電子ビーム溶解技術の開発が望まれている。不純物は、主に原料に混入しており、HDI (High Density Inclusion) と、LDI (Low Density Inclusion) の2種類に分類される。HDIは、例えば、タングステンを主成分とする不純物であり、HDIの比重は溶融チタンの比重よりも大きい。一方、LDIは、窒化チタン等を主成分とする不純物である。LDIの内部はポーラス状であるため、LDIの比重は溶融チタンの比重よりも小さい。

[0007] 水冷銅ハースの内面には、当該ハースと接触する溶融チタンが凝固した凝固層が形成されている。この凝固層は、スカルと呼ばれる。上記不純物のうち、HDIは、高比重であるため、ハース内の溶湯（溶融チタン）中を沈降し、スカルの表面に固着して捕捉されるため、インゴットに混入する可能性は低い。一方、LDIは、溶融チタンよりも比重が小さいため、LDIの大部分はハース内の溶湯表面に浮遊している。LDIは、溶湯表面に浮遊している間に窒素を拡散して溶湯に溶解される。図1に示したロングハースを用いる場合、ロングハースにおける溶湯の滞留時間を長期化できるため、ショートハースを用いた場合に比べてLDI等の不純物を溶湯に溶解させやすい。一方、図2に示したショートハースを用いる場合、ショートハースにおける溶湯の滞留時間はロングハースと比較して短いため、不純物が溶湯に溶解されない可能性がロングハースに比べて高い。また、高い窒素濃度を有するLDIは、その融点が高いため、通常操業の滞留時間内で溶湯に溶解される可能性は極めて低い。

[0008] そこで、例えば特許文献1には、ハース内の溶湯表面においてモールドへの溶湯流れ方向とは逆方向に電子ビームを走査するとともに、ハース内の溶

湯排出口に隣接する領域における溶湯の平均温度を不純物の融点以上とする、金属チタンの電子ビーム溶解方法が開示されている。かかる特許文献1に記載の技術では、電子ビームを溶湯流れ方向と逆方向にジグザグに走査することで、溶湯表面に浮遊する不純物を上流側へ押し戻し、不純物が下流のモールドへ流れ込まないようにしている。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：特開2004-232066号公報

非特許文献

[0010] 非特許文献1：Tao Meng, “Factors influencing the fluid flow and heat transfer in electron beam melting of Ti-6Al-4V”, (2009)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0011] しかし、上記特許文献1に記載の方法では、電子ビームを溶湯流れ方向と逆方向に走査するため、電子ビーム照射位置より溶湯流れの下流側に、不純物が通り抜けてしまう可能性がある。さらに、電子ビーム照射位置より下流側では、モールドに向かう溶湯の流れが加速され、ハースにおける溶湯の滞留時間が短くなり、不純物の除去率が低下する可能性がある。また、電子ビームの照射位置より不純物が溶湯流れの下流側にあると、その不純物は溶湯の流れに乗ってモールドへ流出するリスクが高まる。これらの理由により、ハース内の溶湯に含まれる不純物、特に、溶湯5cの表面に浮遊しているLDIが、ハースからモールドに流出し、モールドで形成されるインゴットに混入してしまう可能性がある。従って、LDI等の不純物がハースからモールドに流出することを抑制することによって、当該不純物がインゴットに混入することを抑制できる金属鑄塊の製造方法が希求されていた。

[0012] そこで、本発明は、上記問題に鑑みてなされたものであり、本発明の目的とするところは、ハース内の溶湯に含まれる不純物がインゴットへ混入する

ことを抑制可能な、新規かつ改良された金属鑄塊の製造方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0013] 上記課題を解決するために、本発明のある観点によれば、電子ビームの照射位置を制御可能である電子銃と、金属原料の溶湯を貯留するハースとを備えた電子ビーム溶解炉を用いた、チタン、タンタル、ニオブ、バナジウム、モリブデン及びジルコニウムからなる群から選択された少なくとも1つ以上の金属元素を合計で50質量%以上含む金属鑄塊の製造方法であって、前記金属原料の溶湯を貯留するハースの複数の側壁のうち、第1の側壁は、前記ハース内の前記溶湯をモールドへ流出させるためのリップ部が設けられる側壁であり、照射ラインは、前記溶湯の表面において前記金属原料が供給される上流領域と前記第1の側壁との間の下流領域に、前記リップ部を塞ぐように、かつ、2つの端部が前記ハースの前記側壁の近傍に位置するように照射ラインを配置し、前記照射ラインに対して、第1の電子ビームを前記溶湯の表面に照射し、前記照射ラインに対して前記第1の電子ビームを照射することによって、前記照射ラインにおける前記溶湯の表面温度(T_2)を、前記ハース内の前記溶湯の表面全体の平均表面温度(T_0)よりも高くして、前記溶湯の表層において前記照射ラインから前記第1の側壁とは反対側の方向である上流へ向かう溶湯流を形成する、金属鑄塊の製造方法が提供される。
- [0014] 本発明によれば、ハース内の溶湯表面に対して上述のような照射ラインに対して電子ビームを照射することで、不純物がハースからモールドへ流出するのを防止し、インゴットに不純物が混入することを防止できる。
- [0015] 前記照射ラインの2つの前記端部は、前記第1の側壁の近傍に位置する。
- [0016] 前記照射ラインの2つの端部は、前記側壁の内側面または前記側壁の内側面からの離隔距離が5mm以下の領域に位置する。
- [0017] 前記溶湯流は、前記照射ラインから、前記ハースの側壁のうち前記第1の側壁から前記上流に向かって略垂直に延びる側壁に到達する流れであってもよい。

- [0018] 前記照射ラインは、前記リップ部側から前記上流に向かって突出する凸形状であってもよい。
- [0019] 前記照射ラインは、V字形状、または、少なくとも前記リップ部の開口幅以上の直径を有する円弧形状であってもよい。
- [0020] 前記照射ラインは、前記2つの端部の間において前記第1の側壁に沿った第1の直線部と、前記第1の直線部から前記上流に向かって略垂直に延びる第2の直線部とからなる、T字形状であってもよい。
- [0021] 前記照射ラインは、前記2つの端部の間において前記第1の側壁に沿った直線形状であってもよい。
- [0022] 前記溶湯流は、前記照射ラインから前記上流に向かい、かつ、前記ハースの側壁のうち前記第1の側壁から前記上流に向かって略垂直に延びて互いに対向する一对の側壁から中央に向かう流れであってもよい。
- [0023] 前記照射ラインは、前記上流から前記リップ部に向かって突出する凸形状であってもよい。
- [0024] 前記照射ラインは、前記2つの端部の間において前記第1の側壁に沿った第1の直線部と、前記第1の直線部の前記2つの端部から、前記ハースの側壁のうち前記第1の側壁から上流に向かって略垂直に延びて互いに対向する側壁にそれぞれ沿った第2の直線部及び第3の直線部と、からなる、U字形状であってもよい。
- [0025] 前記照射ラインに対して前記第1の電子ビームを照射することにより生じる前記溶湯流のよどみ位置に、第2の電子ビームを照射してもよい。
- [0026] 前記溶湯の表面において、前記第1の電子ビームの照射軌跡が交差または重複するように、複数の電子銃を用いて、前記照射ラインに対して複数の前記第1の電子ビームを照射させてもよい。
- [0027] 前記ハースは、1つの精錬ハースのみからなり、原料供給部において前記金属原料を溶解し、前記溶解された金属原料を前記原料供給部から前記ハース内に滴下させ、前記精錬ハース内の前記溶湯中で前記金属原料を精錬するようにしてもよい。

- [0028] 前記ハースは、複数の分割ハースが組み合わされて連続的に配置された複数段のハースであり、前記分割ハースそれぞれにおいて、前記下流領域に前記リップ部を塞ぐように、かつ、前記2つの端部が前記分割ハースの前記側壁の近傍に位置するように配置された前記照射ラインに対して、第1の電子ビームを前記溶湯の表面に対して照射してもよい。
- [0029] また、前記金属原料は、チタン元素を50質量%以上含むようにしてもよい。

発明の効果

- [0030] 以上説明したように本発明によれば、ハース内の溶湯に含まれる不純物がインゴットへ混入することを抑制できる。

図面の簡単な説明

- [0031] [図1]ロングハースを備える電子ビーム溶解炉を示す模式図である。
- [図2]ショートハースを備える電子ビーム溶解炉を示す模式図である。
- [図3]本発明の第1の実施形態に係る金属鋳塊の製造方法を実行する電子ビーム溶解炉（ショートハース）を示す模式図である。
- [図4]本発明の第1の実施形態に係るハースにおける照射ライン及び供給ラインの一例を示す平面図である。
- [図5]図4のI-I切断線における部分断面図である。
- [図6]同実施形態に係る金属鋳塊の製造方法により、照射ラインに沿って電子ビームを照射したときに形成される溶湯流の一例を示す平面図である。
- [図7]同実施形態に係る照射ラインの一例を示す平面図である。
- [図8]同実施形態に係る照射ラインの他の一例を示す説明図である。
- [図9]本発明の第2の実施形態に係る金属鋳塊の製造方法により、照射ラインに沿って電子ビームを照射したときに形成される溶湯流の一例を示す平面図である。
- [図10]同実施形態に係る照射ラインの形状を説明するための平面図である。
- [図11]本発明の第3の実施形態に係る金属鋳塊の製造方法により、照射ラインに沿って電子ビームを照射したときに形成される溶湯流の一例を示す平面

図である。

[図12]本発明の第4の実施形態に係るハースにおける照射ライン及び供給ラインの一例を示す平面図である。

[図13]同実施形態に係る金属鋳塊の製造方法により、照射ラインに沿って電子ビームを照射したときに形成される溶湯流の一例を示す平面図である。

[図14]同実施形態に係る照射ラインの一例を示す平面図である。

[図15]同実施形態に係る照射ラインの一例を示す平面図である。

[図16]同実施形態に係る照射ラインの変形例であって、V字形状の照射軌跡を示す平面図である。

[図17]同実施形態に係る照射ラインの変形例であって、円弧形状の照射軌跡を示す平面図である。

[図18]同実施形態に係る照射ラインの変形例であって、U字形状の照射ラインを示す平面図である。

[図19]複数段ハースの一構成例を示す概略平面図である。

[図20]実施例1に係るシミュレーション結果を示す説明図である。

[図21]実施例1に係る溶湯の流動を示す流線図である。

[図22]実施例2に係るシミュレーション結果を示す説明図である。

[図23]実施例3に係るシミュレーション結果を示す説明図である。

[図24]実施例4に係るシミュレーション結果を示す説明図である。

[図25]実施例5の照射ラインを示す説明図である。

[図26]実施例5に係るシミュレーション結果を示す説明図である。

[図27]実施例6の照射ラインを示す説明図である。

[図28]実施例6に係るシミュレーション結果を示す説明図である。

[図29]実施例7の照射ラインを示す説明図である。

[図30]実施例7に係るシミュレーション結果を示す説明図である。

[図31]実施例8に係るシミュレーション結果を示す説明図である。

[図32]実施例9に係るシミュレーション結果を示す説明図である。

[図33]実施例10に係るシミュレーション結果を示す説明図である。

- [図34]実施例 1 1 に係るシミュレーション結果を示す説明図である。
- [図35]実施例 1 2 に係るシミュレーション結果を示す説明図である。
- [図36]実施例 1 3 に係るシミュレーション結果を示す説明図である。
- [図37]比較例 1 に係るシミュレーション結果を示す説明図である。
- [図38]比較例 2 の照射ラインを示す説明図である。
- [図39]比較例 2 に係るシミュレーション結果を示す説明図である。
- [図40]比較例 3 の照射ラインを示す説明図である。
- [図41]比較例 3 に係るシミュレーション結果を示す説明図である。
- [図42]比較例 4 の照射ラインを示す説明図である。
- [図43]比較例 4 に係るシミュレーション結果を示す説明図である。
- [図44]溶湯流の挙動に関する実施例の検証結果を示す説明図である。
- [図45]LDI 溶解促進用の電子ビームの実施例の検証結果を示す説明図である。

発明を実施するための形態

[0032] 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。

[0033] [1. 第 1 の実施形態]

最初に、本発明の第 1 の実施形態に係る金属鋳塊の製造方法について説明する。

[0034] [1. 1. 電子ビーム溶解炉の構成]

まず、図 3 を参照して、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法を実行するための電子ビーム溶解炉の構成について説明する。図 3 は、本実施形態に係る電子ビーム溶解炉 1（以下、「EB 炉 1」と称する。）の構成を示す模式図である。

[0035] 図 3 に示すように、EB 炉 1 は、一対の原料供給部 10A、10B（以下、「原料供給部 10」と総称する場合もある。）と、複数の電子銃 20A～

20E（以下、「電子銃20」と総称する場合もある。）と、精錬ハース30と、モールド40とを備える。このように、本実施形態に係るEB炉1は、ハースとして、1つの精錬ハース30のみを備えており、かかるハース構造は、ショートハースと称される。なお、本発明の金属鑄塊の製造方法は、図3に示すようなショートハースのEB炉1に好適に適用できるが、図1に示したようなロングハースのEB炉1Aにも適用可能である。

[0036] 精錬ハース30（以下、「ハース30」と称する。）は、金属原料5（以下、「原料5」と称する。）の溶湯5cを貯留しながら、溶湯5cを精錬して、溶湯5c中の不純物を除去するための装置である。本実施形態に係るハース30は、例えば、矩形状を有する水冷式銅ハースで構成される。ハース30の長手方向（Y方向）の一側端の側壁には、リップ部36が設けられている。リップ部36は、ハース30内の溶湯5cをモールド40に流出させるための流出口である。

[0037] モールド40は、原料5の溶湯5cを冷却して凝固させ、金属のインゴット50（例えば、チタンまたはチタン合金のインゴット）を製造するための装置である。モールド40は、例えば、矩形筒状を有する水冷式銅モールドで構成される。モールド40は、ハース30のリップ部36の下方に配置され、上方のハース30から流し込まれた溶湯5cを冷却する。この結果、モールド40内の溶湯5cは、モールド40の下方に向かうにつれて次第に凝固して、固体のインゴット50が形成される。

[0038] 原料供給部10は、原料5をハース30に供給するための装置である。原料5は、例えば、スポンジチタンまたはスクラップ等のチタン原料である。本実施形態では、例えば、図3に示すように、ハース30の一对の長辺の側壁の上方に、一对の原料供給部10A、10Bが設けられる。原料供給部10A、10Bには、外部から搬送された固体の原料5が載置され、当該原料5に対して電子銃20A、20Bから電子ビームが照射される。

[0039] このように本実施形態では、ハース30に原料5を供給するために、原料供給部10にて固体の原料5に対して電子ビームを照射することにより、原

料5を溶解させ、溶解した原料5（溶融金属）を原料供給部10の内縁部からハース30内の溶湯5cに滴下させる。つまり、ハース30外で原料5を予め溶解させてから、溶融金属をハース30内の溶湯5cに滴下することで、ハース30に原料5を供給する。このように溶融金属が原料供給部10からハース30内の溶湯5cの表面に対して滴下される位置を表す滴下ラインが、後述する供給ライン26（図4参照。）に相当する。

[0040] なお、原料5の供給方法は、上記滴下の例に限定されない。例えば、原料供給部10からハース30内の溶湯5cに、固体の原料5をそのまま投入してもよい。投入された固体の原料5は、高温の溶湯5c内で溶解されて、溶湯5cに加わる。この場合、固体の原料5がハース30内の溶湯5cに対して投入される位置を表す投入ラインが、後述する供給ライン26（図4参照。）に相当する。

[0041] 電子銃20は、電子ビーム溶解法を実行するために、原料5または溶湯5cに対して電子ビームを照射する。図3に示すように、本実施形態に係るEB炉1は、例えば、原料供給部10に供給された固体の原料5を溶解させるための電子銃20A、20Bと、ハース30内の溶湯5cを保温するための電子銃20Cと、モールド40内の上部における溶湯5cを加熱するための電子銃20Dと、ハース30からの不純物の流出を抑制するための電子銃20Eとを備える。各々の電子銃20A～20Eは、電子ビームの照射位置を制御可能である。従って、電子銃20C、20Eは、ハース30内の溶湯5cの表面の所望の位置に対して電子ビームを照射可能である。

[0042] 電子銃20A、20Bは、原料供給部10上に載置された固体の原料5に対して電子ビームを照射することにより、当該原料5を加熱して溶解させる。電子銃20Cは、ハース30内の溶湯5c表面に対して広範囲に渡って電子ビームを照射することにより、溶湯5cを加熱して所定温度に保温する。電子銃20Dは、モールド40内の溶湯5cの表面に対して電子ビームを照射することにより、モールド40内の上部の溶湯5cが凝固しないように、当該上部の溶湯5cを加熱して所定温度に保持する。電子銃20Eは、ハー

ス30からモールド40への不純物の流出を防ぐために、ハース30内の溶湯5cの表面における照射ライン25（図4参照。）に対して、電子ビームを集中的に照射する。

[0043] このように本実施形態では、例えば電子銃20Eを用いて、溶湯5cの表面の照射ライン25に対して、電子ビームを集中的に照射して（ライン照射）、不純物の流出を防ぐことを特徴としているが、その詳細は後述する。なお、本実施形態に係るEB炉1では、図3に示すようにライン照射用の電子銃20Eが、他の電子銃20A～20Dとは別個に設けられている。これにより、他の電子銃20A～20Dにより、原料5を溶解し、溶湯5cを保温しながら、同時並行して、電子銃20Eによりライン照射し続けることができるので、ライン照射位置の溶湯5cの表面温度の低下を防止できる。しかし、本発明はかかる例に限定されない。例えば、ライン照射用の電子銃20Eを追加設置せずに、既存の原料溶解用の電子銃20A、20B、または溶湯保温用の電子銃20C、20Dのうちいずれか1つ若しくは複数の電子銃を用いて、照射ライン25に対して電子ビームを照射してもよい。これにより、EB炉1における電子銃の設置数を低減し、設備コストを低減できるとともに、既設の電子銃を有効利用できる。

[0044] [1. 2. 金属鋳塊の製造方法の概要]

次に、図3～図6に基づいて、本発明の第1の実施形態に係る電子ビーム溶解法による金属鋳塊の製造方法の概要について説明する。図4は、本実施形態に係るハース30における照射ライン25及び供給ライン26の一例を示す平面図である。図5は、図4の1-1切断線における部分断面図である。図6は、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法により、照射ラインに沿って電子ビームを照射したときに形成される溶湯流の一例を示す平面図である。なお、図4及び図6の平面図は、図3の電子ビーム溶解炉1のハース30に対応している。

[0045] 本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法の目的は、純チタンまたはチタン合金等の金属のインゴット50を製造する際に、固体の原料5が溶解された溶

融金属（溶湯 5 c）に含まれる不純物が、ハース 30 からモールド 40 に流れ込むことを抑制することにある。本実施形態に係る金属鑄塊の製造方法では、特に、金属原料としてチタン原料を対象とし、チタン原料に含まれる不純物の中でも、チタンの溶湯（溶融チタン）よりも比重の小さい LD1 が、チタンまたはチタン合金のインゴット 50 に混入することを抑制することを課題解決としている。なお、以下の説明では、図 3 に示したショートハースの電子ビーム溶解炉 1 を用いた場合について説明するが、本発明はかかる例に限定されず、図 1 に示したロングハースの電子ビーム溶解炉 1 A についても適用可能である。

[0046] かかる目的を達成するために、本実施形態に係る金属鑄塊の製造方法では、図 4 に示すように、ハース 30 の長辺の側壁 37 A、37 B に隣接する供給ライン 26 に対して、原料 5 をハース 30 内の溶湯 5 c に供給する。そして、ハース 30 に貯蔵されている溶湯 5 c の表面に対し、リップ部 36 を塞ぐように配置された照射ライン 25 に対して電子ビームを照射する。

[0047] 供給ライン 26 は、原料 5 がハース 30 の外部からハース 30 内の溶湯 5 c に供給される位置を表す仮想ラインである。供給ライン 26 は、溶湯 5 c の表面上において、ハース 30 の側壁 37 A、37 B の内側面に沿って配置される。

[0048] 本実施形態では、図 3 に示したようにハース 30 の長辺の側壁 37 A、37 B の上方に配置された原料供給部 10 の内縁部からハース 30 に対して、溶融した原料 5 が滴下される。このため、供給ライン 26 は、ハース 30 内の溶湯 5 c の表面上において、当該原料供給部 10 の内縁部の下方に位置し、側壁 37 A、37 B の内側面に沿って延びる線状である。なお、供給ライン 26 は、ハース 30 の側壁 37 A、37 B、37 C の内側面に沿った厳密な直線状でなくてもよく、例えば、破線状、点線状、曲線状、波線状、ジグザグ状、二重線状、帯状、折線状などであってもよい。

[0049] 照射ライン 25（本発明の「照射ライン」に相当する。）は、ハース 30 内の溶湯 5 c の表面上において、電子ビーム（本発明の「第 1 の電子ビーム

」に相当する。)が集中的に照射される位置の軌跡を表す仮想ラインである。照射ライン25は、溶湯5cの表面上において、リップ部36を塞ぐように配置される。照射ライン25の2つの端部e1、e2は、ハース30の側壁37A、37B、37C、37D(以下、「側壁37」と総称する場合もある。)の近傍に位置する。照射ライン25は、厳密な直線状でなくてもよく、例えば、破線状、点線状、曲線状、波線状、ジグザグ状、二重線状、帯状、折線状などであってもよい。

[0050] ここで、照射ライン25と供給ライン26の配置について、より詳細に説明する。図4に示すように、本実施形態に係る矩形状のハース30は、4つの側壁37A、37B、37C、37Dを有する。X方向に相対向する一对の側壁37A、37Bは、ハース30の一对の長辺を構成し、ハース30の長手方向(Y方向)に対して平行である。すなわち、側壁37A、37Bは、側壁37のうち、リップ部36が設けられた側壁37Dから上流に向かって略垂直に延びている。また、Y方向に相対向する一对の側壁37C、37Dは、ハース30の一对の短辺を構成し、ハース30の幅方向(X方向)に対して平行である。ここで、「略垂直」とは、通常用いられるハースは矩形であり、ある側壁と、当該側壁に隣接する側壁とは略垂直に交差していることに由来する。すなわち、「略垂直」とは、厳密な垂直を示すものではなく、一般的にハースとして用いることが可能な範囲での誤差は許容される。許容される垂直からの角度誤差は、例えば5°以内である。

[0051] 短辺の一方の側壁37Dには、ハース30内の溶湯5cをモールド40に流出させるためのリップ部36が設けられている。これに対し、側壁37D以外の他の3つの側壁37A、37B、37Cには、リップ部36が設けられていない。このため、側壁37Dは、リップ部が設けられる「第1の側壁」に相当し、側壁37A、37B、37Cは、「リップ部が設けられない側壁」に相当する。

[0052] 図4に示す例では、ハース30の溶湯5cの表面上に、側壁37A、37Bに沿った2本の直線状の供給ライン26が配置されている。さらに、当該

供給ライン26よりもハース30の長手方向（Y方向）下流側に、リップ部36を塞ぐように照射ライン25が配置されている。本発明では、ハース30の長手方向（Y方向）において、供給ライン26を含み、リップ部36には接しない領域を、上流領域S2とする。また、ハース30の長手方向（Y方向）において、上流領域S2とリップ部36が設けられている側壁37Dとの間の領域を、下流領域S3とする。以下の説明では、ハース30内の領域を、2つの供給ライン26におけるリップ部36側の端点を結ぶ直線により、上流領域S2と下流領域S3とに分割して説明する。

[0053] 照射ライン25は、下流領域S3に配置される。照射ライン25の2つの端部e1、e2は、ハース30の側壁37A、37B、37C、37Dの近傍に位置する。図4に示す例では、端部e1、e2は、側壁37Dの近傍に位置している。ここで、端部e1、e2が側壁37の近傍に位置するとは、端部e1、e2が側壁37の内側面または側壁37の内側面からの離隔距離xが5mm以下の領域に位置することをいう。かかる領域に第1の電子ビームが照射される。なお、ハース30の側壁37の内側面には、溶湯5cが凝固したスカル7と呼ばれる凝固層が形成されている（図5、図6参照）。側壁37の近傍にスカル7が形成されていたとしても問題はなく、スカル7に第1の電子ビームが照射されてもよい。

[0054] 本実施形態では、上記溶湯5cの表面上の照射ライン25に対して電子ビームを集中的に照射することにより、ハース30内の溶湯5cの表面に特殊な温度勾配を形成し、溶湯5cの流動を制御する。ここで、ハース30内の溶湯5cの表面の温度分布について説明する。

[0055] 一般に、電子ビーム溶解法では、ハース30内の溶湯5cが凝固することを防ぐために、当該溶湯5cの表面のうち広範囲を占める保温照射領域23に対して、例えば、電子銃20Cにより電子ビームを均等に照射して、ハース30内の溶湯5cを保温する。かかる保温用の電子ビームの照射により、ハース30内に貯留されている溶湯5c全体を加熱して、溶湯5cの表面全体の平均的な表面温度T0（以下、「溶湯表面温度T0」と称する。）を所

定温度に保持する。溶湯表面温度 T_0 は、例えば、1923（チタン合金の融点）～2323 Kであり、好ましくは1973～2273 Kである。

[0056] 本実施形態では、上記原料供給部10において、固体の原料5に対して電子銃20A、20Bにより電子ビームを照射して原料5を溶解し、当該溶解された高温の熔融金属を、ハース30内の溶湯5cの供給ライン26の位置に滴下することで、ハース30に原料5を供給する。このため、原料5に含まれているLD1等の不純物は、ハース30内の溶湯5cのうち、供給ライン26付近に多く存在することになる。そして、供給ライン26に対して高温の熔融金属が連続的または非連続的に供給されるため、当該供給ライン26付近には、上記溶湯表面温度 T_0 よりも高い表面温度 T_1 を有する高温領域（図5の領域S1を参照。）が形成される。当該供給ライン26における溶湯5cの表面温度 T_1 （以下、「原料供給温度 T_1 」と称する。）は、原料供給部10からハース30に滴下される熔融金属の温度と略同一であり、上記溶湯表面温度 T_0 よりも高い（ $T_1 > T_0$ ）。原料供給温度 T_1 は、例えば、1923～2423 Kであり、好ましくは1973～2373 Kである。

[0057] さらに、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法では、上記溶湯5cの保温照射領域23に対する保温用の電子ビームの照射とは別に、電子銃20Eにより電子ビームを溶湯5cに対して照射ライン25に対して集中的に照射する。この電子ビームの集中照射により、下流領域S3においてリップ部36を塞ぐように、上記溶湯表面温度 T_0 よりも高い表面温度 T_2 を有する高温領域が形成される。当該照射ライン25における溶湯5cの表面温度 T_2 （以下、「ライン照射温度 T_2 」と称する。）は、上記溶湯表面温度 T_0 よりも高い（ $T_2 > T_0$ ）。さらに、不純物の流出をより確実に抑制するためには、ライン照射温度 T_2 は、上記原料供給温度 T_1 よりも高いことが好ましい（ $T_2 > T_1 > T_0$ ）。ライン照射温度 T_2 は、例えば、1923～2473 Kであり、好ましくは1973～2423 Kである。

[0058] このように本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法では、溶湯5cの表面上

の照射ライン25に対して電子ビームを照射することによって、供給ライン26付近だけでなく、照射ライン25付近にも溶湯5cの高温領域を形成する。これにより、図6に示すように、溶湯5cの表層において、照射ライン25から側壁37Dとは反対側の方向である上流へ向かう（すなわち、Y方向の負側に向かう）溶湯流61（本発明の「溶湯流」に相当する。）を強制的に形成することができる。特に、照射ライン25の任意の位置において、溶湯5cの温度をT0より高く維持することにより、形成された溶湯流61を定常的に維持することができる。

[0059] ハース30に貯留された溶湯5cは、ハース30内での滞留中に精錬された後、リップ部36から流出してモールド40に排出される。図6に示すように、ハース30内の幅方向（X方向）の中央部には、一方の側壁37C付近からリップ部36に向けて、ハース30の長手方向（Y方向）に沿って流れる溶湯流60が形成される。この溶湯流60によって、ハース30内に貯留されている溶湯5cが、リップ部36からモールド40に流動する。不純物は、溶湯5cと比べて高比重のHDI（図示せず。）と低比重のLDI8とに区分される。高比重のHDIは、溶湯5c中を沈降して、ハース30の底面に形成されたスカル7に固着するため、リップ部36からモールド40へ流出する可能性は低い。一方、低比重のLDI8の大部分は、溶湯5cの表面に浮遊しており、図5に示すように、溶湯5cの表層の流れに乗って移動する。

[0060] 本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法では、ハース30内の溶湯5cの表面に対し、2つの端部e1、e2がハース30の側壁37に位置し、かつ、リップ部36を塞ぐように配置された照射ライン25に対して、電子ビームを照射する。これにより、溶湯5cの表面の温度勾配によるマランゴニ対流を発生させ、図6に示すように、溶湯5cの表層において、照射ライン25から上流へ向かう溶湯5cの表層流れ（溶湯流61）を形成する。溶湯流61は、ハース30の溶湯5cの表面に浮遊するLDI8をリップ部36から離れる方向に移動させることにより、LDI8がモールド40に流出するこ

とを防ぐ。

- [0061] 流体の表面に温度勾配が生じると、当該流体の表面張力にも勾配が生じ、これが原因となって当該流体の対流が生じる。この流体の対流をマランゴニ対流という。マランゴニ対流はチタンを代表とする主な金属においては、高温領域から低温領域に向かう流れである。
- [0062] 図4に示すように、供給ライン26に沿って原料5がハース30内の溶湯5cに滴下されるときにおいて、供給ライン26に滴下される熔融金属の温度（原料供給温度T1）が、既にハース30内に既に貯留されている溶湯温度T0よりも高い場合を考える。この場合、図5に示すように、溶融された原料5（熔融金属）が滴下される供給ライン26付近の領域S1は、他の領域の溶湯5cよりも温度が高い高温領域となる。このため、図5及び図6に示すように、溶湯5cの表層において、領域S1から側壁37Bへ向かう溶湯流63、及び、領域S1からハース30の幅方向（X方向）の中央部へ向かう溶湯流62が形成される。
- [0063] すると、図6に示すように、供給ライン26に滴下された熔融金属に含まれるLD18は、溶湯流62に乗って、ハース30の幅方向（X方向）の中央部に向けて流動するとともに、溶湯流63に乗って、ハース30の側壁37Bに向けて流動する。左右一対の供給ライン26の各々からハース30の中央部へ向かう溶湯流62は、ハース30の幅方向の中央部において衝突して、ハース30の長手方向（Y方向）に沿ってリップ部36に向かう溶湯流60（図6参照。）が形成される。この結果、溶湯5cに浮遊するLD18も溶湯流60に乗ってリップ部36に向けて流動する。従って、LD18等の不純物が、リップ部36からモールド40へ流出しないようにするためには、リップ部36に向かう溶湯流60に乗って流動するLD1をハース30の上流側へ押し戻し、リップ部36から遠ざける溶湯5cの表層流を形成するのが好ましい。

- [0064] そこで、本実施形態に係る金属鑄塊の製造方法では、図4及び図6に示す

ように、2つの端部 e 1、e 2 が側壁 3 7 D の近傍に位置し、リップ部 3 6 を塞ぐように、上流側に突出する V 字形状の照射ライン 2 5 に対して電子ビームを溶湯 5 c の表面に照射する。これにより、照射ライン 2 5 付近の領域の溶湯 5 c の表面温度 T 2 を上昇させ、照射ライン 2 5 付近の領域と保温照射領域 2 3 とにおいて、溶湯 5 c の表面温度に温度勾配を生じさせる。この結果、マランゴニ対流が発生し、図 6 に示すように、溶湯 5 c の表層に、照射ライン 2 5 から上流側に向かう溶湯流 6 1 が発生する。この溶湯流 6 1 により、LD 1 等の不純物の流動を制御して、リップ部 3 6 に向かって下流側に流動してきた不純物を、照射ライン 2 5 よりも上流側へ押し戻す。これにより、不純物をリップ部 3 6 から流出するのを抑制することができる。

[0065] このとき、照射ライン 2 5 を、例えば図 4 及び図 6 に示す V 字形状のように上流側に突出する形状とすることで、リップ部 3 6 へ向かう溶湯流 6 1 がハース 3 0 の側壁 3 7 A、3 7 B に向かうようなマランゴニ対流を発生させることができる。すなわち溶湯流 6 1 は、図 6 において、Y 軸方向には上流方向（リップ部 3 6 から離れる方向）への流れであり、かつ、X 軸方向にはリップ部 3 6 から離れる方向への流れである。これにより、溶湯流 6 1 は、供給ライン 2 6 付近の領域において溶湯 5 c の表面に浮遊している LD 1 等の不純物を、照射ライン 2 5 よりも上流側であって、かつ、ハース 3 0 の側壁 3 7 A、3 7 B に向けて移動させる。

[0066] 側壁 3 7 A、3 7 B に向かって移動した LD 1 8 の一部は、ハース 3 0 の側壁 3 7 の内側面に形成されたスカル 7 に固着し、ハース 3 0 内の溶湯 5 c 中を移動しなくなる。あるいは、ハース 3 0 内を循環する間に、LD 1 8 は徐々に溶解する。特に、照射ライン 2 5 の近辺の溶湯 5 c は高温であるため、LD 1 8 の溶解が促進される。このように、照射ライン 2 5 に対して電子ビームを照射することによって、不純物を照射ライン 2 5 で塞いでせき止めるだけでなく、不純物を側壁 3 7 A、3 7 B の内側面に形成されたスカル 7 に捕捉させたり、あるいは、LD 1 8 の主成分である窒化チタン等の溶解を促進したりすることで、リップ部 3 6 からの不純物の流出を抑制できる。

[0067] このように、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法では、供給ライン 26 よりも下流側にある照射ライン 25 に対して電子ビームを照射する。これにより、照射ライン 25 付近に溶湯 5c の高温領域から上流へ向かう溶湯流 61 を形成することで、リップ部 36 側へ流動してきた L D I 等の不純物を照射ライン 25 よりも上流側に押し戻す。従って、当該不純物がハース 30 からモールド 40 に流出することを抑制できる。その結果、不純物がインゴットに混入することを抑制できる。

[0068] [1. 3. 照射ラインの配置]

次に、電子ビームが集中的に照射される照射ライン 25 の配置について、より詳細に説明する。

[0069] 本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法では、図 4 に示すように、供給ライン 26 を含む上流領域 S2 と側壁 37D との間の下流領域 S3 に配置される照射ライン 25 に対して、電子ビームを照射する。ここで、供給ライン 26 は、原料 5 の熔融金属がハース 30 の溶湯 5c に滴下される位置を表す仮想線であり、照射ライン 25 は、ライン照射用の電子銃 20E による電子ビームの照射軌跡に対応する仮想線である。

[0070] 本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法では、照射ライン 25 は、図 6 に示すように、2つの端部 e1、e2 が側壁 37D に位置し、リップ部 36 を塞ぐように、上流側に突出する V 字形状である。この照射ライン 25 に対して溶湯 5c の表面に電子ビームを照射することによって、照射ライン 25 から上流へ向かう溶湯流 61 を生じさせる。その結果、リップ部 36 のある下流へ向かう溶湯流 60 は上流へ押し戻され、L D I 等の不純物がハース 30 からモールド 40 へ流出することを抑制できる。

[0071] この際、ハース 30 の中央からリップ部 36 へ向かう溶湯流 60 が、照射ライン 25 をすり抜けてリップ部 36 へ向かわないように、照射ライン 25 の配置を適切に設定することが好ましい。そこで、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法では、供給ライン 26 が配置された上流領域 S2 とリップ部 36 との間を、照射ライン 25 により確実に区分する。このため、照射ライン

25の2つの端部e1、e2を側壁37の近傍に位置させる。端部e1、e2が側壁37の近傍に位置するとは、端部e1、e2が側壁37の内側面または側壁37の内側面からの離隔距離xが5mm以下の領域に位置することをいう。かかる領域内であれば、LD1等の不純物が側壁37と照射ライン25の端部e1、e2との間をすり抜けることがなく、上流領域S2からリップ部36への流路を確実に塞ぐことができる。なお、上述したように、側壁37の近傍にスカル7が形成されていたとしても問題はなく、スカル7に第1の電子ビームが照射されてもよい。

[0072] また、図4のX方向における照射ライン25の幅（以下、「照射ライン幅」と称する。）bは、少なくともリップ部36の開口幅 b_0 よりも大きくする必要があり、照射ライン幅bがリップ部36の開口幅 b_0 よりも小さい場合には、電子ビームが照射されない部分で、上流領域S2からリップ部36へ向かう溶湯5cの表層の流れができてしまい、LD1がモールド40側へ流出する可能性がある。なお、照射ライン幅bは、ハース30の幅よりも小さければよいが、照射ライン幅bが大きくなるほど、照射ライン25を1回走査するために必要な時間が長くなる。照射ライン25を1回走査するために必要な時間が長くなると、電子ビームの照射によってハース30の側壁に向かう溶湯流61が弱まり、LD1がリップ部36へ流出する可能性が高まる。

[0073] さらに、照射ライン25が上流に向かって突出する高さである照射ライン高さhは、当該電子ビームの照射によって形成される溶湯流61と走査時間とを考慮して決定される。ここで、照射ライン高さhは、照射ライン25の頂点から、照射ライン25の2つの端部e1、e2を結んだ直線と照射ライン25の頂点を通りY方向に延びる直線との交点までの距離とする。照射ライン高さhが大きくなるほど、図4に示すようなV字形状の照射ライン25に対して電子ビームを照射することで形成される溶湯流61は、ハース30の側壁37A、37Bに向かうものとなる一方、1回の走査に要する時間は長くなる。そこで、溶湯流61を側壁37A、37Bへ向けつつ、かつ、走査に要する時間がなるべく短くなるように、照射ライン高さhを設定するの

が好ましい。

- [0074] 本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法において、照射ライン25の頂点の位置は、図4に示すように、ハース30の幅中心を通る直線（「中心線」ともいう。）上に設定することに限定されない。しかし、図4に示すように、照射ライン25の頂点及びリップ部36の開口幅中心は、ハース30の中心線上にあることが望ましい。中心線上に照射ライン25の頂点を設けることで、図6に示すように、溶湯流61を中心線に対して対称とすることができる。このような電子ビームの照射により、溶湯5cの表層の流れの向きを照射ライン25から距離が近い側壁37A、37Bへと向かわせて、LDI等の不純物をスカル7に固着させる確度を上げることができる。
- [0075] 本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法の電子ビームの照射ライン25は、リップ部36から上流へ突出する凸形状であればよく、図4に示したV字形形状以外の形状であってもよい。例えば、照射ライン25は、放物線等の曲線形状であってもよい。あるいは、照射ライン25は、例えば図7に示すように、略半円の円弧形状であってもよい。このとき、円弧形状の照射ライン25は、リップ部36の開口幅 b_0 以上の直径を有する。具体的には、図7に示すように、リップ部36の開口幅中心を通る直線上に中心を有し、少なくともリップ部36の開口幅 b_0 以上の直径を有する円周の一部となるように設定する。
- [0076] この場合にも、図4と同様に、供給ライン26において滴下された原料5の温度が、既にハース30内に貯留されている溶湯5cよりも高温の場合は、図6に示した溶湯流60、61、62に対応する溶湯流が形成される。すなわち、供給ライン26において滴下された原料5は、それぞれハース30の幅方向（X方向）中央に向かって流れ、これらの溶湯流62が当たるハース30の幅方向（X方向）の中央においてリップ部36に向かう溶湯流60となる。
- [0077] また、2つの端部e1、e2が側壁37Dの近傍に位置し、リップ部36を塞ぐように、照射ライン25を設定する。このような照射ライン25に対

して電子ビームを溶湯5cの表面に照射する。これにより、マランゴニ対流を発生させ、リップ部36へ向かう溶湯流60を、ハース30の上流側であって、かつ、側壁37A及び37Bに向かう方向に誘導する。その結果、ハース30の側壁37に形成されたスカル7にLD1を固着させ、LD1が溶湯5c中を移動しないようにすることができる。あるいは、ハース30に貯留された溶湯5c中を循環する間に、LD1を溶解させることも可能である。

[0078] なお、照射ライン25に対して電子ビームが照射される実際の照射位置は、厳密に照射ライン25上になくともよい。電子ビームが照射される実際の照射位置は、おおよそ目標とする照射ライン25上であればよく、実際の電子ビームの照射軌跡が目標とする照射ライン25から制御上ずれる範囲であれば問題ない。また、照射ライン25の2つの端部e1、e2は、ハース30の側壁37内表面の近傍に位置される。端部e1、e2が側壁37の近傍に位置するとは、端部e1、e2が側壁37の内側面または側壁37の内側面からの離隔距離xが5mm以下の領域に位置することをいう。かかる領域において照射ライン25の端部e1、e2が設定され、電子ビームが照射されるが、ハース30の側壁37の内側面にスカル7が形成されていたとしても問題はなく、スカル7に電子ビームが照射されてもよい。

[0079] また、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法において、電子ビームの照射ライン25の配置は、下流領域S3の内部に、「2つの端部e1、e2が側壁37(37A、37B、37C、37Dのいずれか)の近傍にあり」、「照射ライン25がリップ部36を塞ぐように(上流領域S2とリップ部36との間を、照射ライン25により確実に区分するように)」である限り、任意の形態をとることができる。図4または図7で示された様態はあくまで例示であり、これらの例に比べて照射ライン25が側壁37Dから離れたものであっても許容される。

[0080] 例えば、図8に示すように、供給ライン26を含む上流領域S2が、ハース30の長手方向の上流側に配置されている場合には、上流領域S2と側壁

37Dとの間の下流領域S3は、図4に示す場合よりも広くなる。しかし、照射ライン25は、下流領域S3であれば配置可能であるため、図8に示すように、ハース30の長手方向の中央部に配置することも可能である。このとき、照射ライン25の2つの端部e1、e2は、側壁37A、37Bに位置させてもよい。LD18がハース30からモールド40へ流出するのをより確実に防止する観点においては、照射ライン25の2つの端部e1、e2は、図4等に示したように、リップ部36が設けられた側壁37Dに位置させるのが好ましい。これにより、電子ビームの走査距離が短くなり、照射ライン25を1回の走査するために必要な時間を短縮することができる。その結果、照射ライン25における溶湯5cの温度を効率よく上昇させることができ、溶湯5cの表層において照射ライン25から上流へ向かう溶湯流61をより早く形成することができる。

[0081] [1. 4. ライン照射用の電子ビームの設定]

次に、上記照射ライン25に対して集中的に照射されるライン照射用の電子ビーム（第1の電子ビーム）の設定について説明する。

[0082] 上記のように、照射ライン25からの溶湯流61（図6参照。）により、供給ライン26からの溶湯流62（図6参照。）をハース30の上流に向けて押し戻すためには、ライン照射用の電子ビームの伝熱量、走査速度及び熱流束分布等の照射条件を適切に設定することが好ましい。

[0083] 電子ビームの伝熱量 [W] は、照射ライン25における溶湯5cの温度上昇、及び当該温度上昇により生じるマランゴニ対流（溶湯流61）の流速に影響するパラメータである。電子ビームの伝熱量が小さいと、溶湯5cの主流に打ち勝つ溶湯流61を形成できない。従って、電子ビームの伝熱量は大きいほど好ましく、例えば、0.15~0.60 [MW] である。

[0084] 電子ビームの走査速度 [m/s] は、上記溶湯流61の流速に影響するパラメータである。照射ライン25に対して電子ビームを照射する場合、電子銃20Eから発射される電子ビームで、溶湯5cの表面上の照射ライン25を繰り返し走査する。このときの電子ビームの走査速度が遅いと、照射ライ

ン25上で電子ビームが長時間照射されない位置が生じてしまう。電子ビームが照射されない位置の溶湯5cの表面温度は急速に低下し、当該位置から生じる溶湯流61の流速が減少してしまう。そうすると、溶湯流60を溶湯流61により抑えることが難しくなり、溶湯流60が照射ライン25をすり抜ける可能性が高くなる。このため、電子ビームの走査速度はできる限り速いほうが好ましく、例えば、1.0~20.0[m/s]である。

[0085] 電子ビームによる溶湯5cの表面における熱流束分布は、電子ビームから溶湯5cに対して与えられる伝熱量に影響するパラメータである。熱流束分布は電子ビームの絞りの大きさに対応する。電子ビームの絞りが小さいほど、急峻な熱流束分布を溶湯5cに与えることができる。溶湯5cの表面における熱流束分布は、例えば下記式(1)により表される(例えば、非特許文献1参照)。下記式(1)は、電子ビームの中心からの距離に応じて熱流束が指数減衰することを表している。

[0086] [数1]

$$q(t, x, y) = q_0 \exp\left(-\frac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{2\sigma^2}\right) \quad \dots (1)$$

$$\iint_{\text{all surface}} q dx dy = Q \quad \dots (2)$$

[0087] ここで、(x、y)は溶湯表面上の位置を表し、(x₀、y₀)は電子ビーム中心位置を表し、σは熱流束分布の標準偏差を表す。q₀は電子ビーム中心位置での熱流束を表す。q₀は、電子銃の伝熱量をQとしたとき、上記式(2)に示すように、ハース内のすべての溶湯表面における熱流束qの総和がQとなるように設定される。

[0088] これらのパラメータは、例えば熱流動シミュレーション等により、照射ライン25に対する電子ビームの照射によって生じるマランゴニ対流により、ハース30の中央部からリップ部36へ向かう溶湯流60を照射ライン25より上流へ向かわせるような値を求め、設定してもよい。具体的には、図6に示したように、照射ライン25付近の高温領域の温度(ライン照射温度T

2) が、保温照射領域 23 の温度 (溶湯表面温度 T0) よりも高くなるように、ライン照射用の電子ビームの照射条件を設定すればよい。

[0089] なお、上記ライン照射用の電子ビームの伝熱量、走査速度及び熱流束分布等の照射条件は、電子ビームを照射する設備スペックにより制約される。したがって、電子ビームの照射条件を設定する場合には、設備スペックの範囲内で、できるだけ、伝熱量は大きく、走査速度は速く、熱流束分布は狭く (電子ビームの絞りを小さく) するのがよい。また、照射ライン 25 に対する電子ビームの照射は、1つの電子銃により行ってもよく、複数の電子銃により行ってもよい。さらに、ここで説明したライン照射用の電子銃は、ライン照射専用の電子銃 20E (図3参照。) を用いてもよく、あるいは、原料溶解用の電子銃 20A、20B または溶湯保温用の電子銃 20C、20D (図3参照。) 等の他用途の電子銃と兼用してもよい。

[0090] [1.5.まとめ]

以上、本発明の第1の実施形態に係る金属鑄塊の製造方法について説明した。本実施形態によれば、ハース30内の溶湯5cの表面に対し、2つの端部 e1、e2 がハース30の側壁37に位置し、かつ、リップ部36を塞ぐように配置された照射ライン25に対して、電子ビームを照射する。これにより、溶湯5cの表面の温度勾配によるマランゴニ対流を発生させ、図6に示すように、溶湯5cの表層において、照射ライン25から上流へ向かう溶湯5cの表層流れ (溶湯流61) を形成する。従って、溶湯流61により、ハース30の中央部をリップ部36に向かう溶湯流60を、照射ライン25より上流へ押し戻すことができ、溶湯5cに浮遊するLD18等の不純物がハース30からモールド40へ流出するのを抑制できる。ハース30内に押し戻された溶湯5cは、ハース30内の溶湯5cを循環する間に溶解され、もしくはスカル7に捕捉される。

[0091] また、照射ライン25を、図4及び図7に示すように、上流に向かって突出する凸形状とする。これにより、リップ部36に向かう溶湯流60を、溶湯流61によって、照射ライン25からハース30の側壁37A、37Bに

向かわせることができる。その結果、溶湯5cの表層に浮遊するLD18をハース30の側壁の内側面のスカル7に固着させることができる。また、LD18は、ハース30内の溶湯5c中を循環する間に溶解させることも可能である。これにより、不純物がハース30からモールド40へ流出してインゴット50に混入することを抑制できる。

[0092] また、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法によれば、既存のハース30の形状を変更する必要もないので、容易に実施可能であり、特段のメンテナンスも不要である。

[0093] また、従来のチタン合金の製造方法は、ハースに溶湯を長時間滞留させることにより、ハース底面に形成されたスカルにHD1を固着させつつ、溶湯にLD1を溶解して、不純物を除去することが一般的であった。このため、従来では、ハース内における溶湯の滞留時間を確保するために、ロングハースを用いることが一般的であった。しかし、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法によれば、ハース内における溶湯の滞留時間が比較的短い場合であっても、不純物を適切に除去できるので、ショートハースを用いることが可能となる。したがって、EB炉1でショートハースを用いることによって、電気代等の加熱コストを削減することができ、EB炉1のランニングコストを低減できる。加えて、ロングハースに代えてショートハースを用いることにより、ハースに生成されるスカル7の量を抑制できる。そのため、歩留まりを向上できる。

[0094] [2. 第2の実施形態]

次に、本発明の第2の実施形態に係る電子ビーム溶解法による金属鋳塊の製造方法について説明する。

[0095] 本実施形態に係る電子ビーム溶解法による金属鋳塊の製造方法は、第1の実施形態と比較して、電子ビームの照射ライン25の形状が相違する。以下では、第1の実施形態に係る金属鋳塊の製造方法との相違点を主として説明し、第1の実施形態に係る金属鋳塊の製造方法と同様の設定、処理等については詳細な説明を省略する。なお、以下の説明においても、図3に示したシ

ショートハースの電子ビーム溶解炉1を用いた場合について説明するが、本発明はかかる例に限定されず、図1に示したロングハースの電子ビーム溶解炉についても適用可能である。

[0096] [2. 1. 金属鋳塊の製造方法の概要]

本実施形態に係る電子ビーム溶解法による金属鋳塊の製造方法では、照射ライン25を、2つの端部e1、e2の間において側壁37Dに沿った第1の直線部L1と、第1の直線部L1から上流に向かって略垂直に延びる第2の直線部L2とからなる、T字形状とする。第1の直線部L1により、リップ部36が塞がれる。このような照射ライン25に対して電子ビームを照射することにより、溶湯5cの表層に浮遊しているLDIが、ハース30からモールド40へ流出しないようにする。

[0097] 図9及び図10に基づいて、より詳細に説明する。図9は、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法における照射ライン25の一例を示す平面図であって、ハース30内の溶湯5cの表面における溶湯流を示す。図10は、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法における照射ライン25の一例を示す平面図である。なお、図9の平面図は、図3の電子ビーム溶解炉1のハース30に対応している。また、図10においては、ハース30の側壁37の内側面に形成されたスカルに記載は省略している。

[0098] 本実施形態では、図9及び図10に示すように、照射ライン25をT字形状とし、当該照射ライン25に対して電子ビームを照射する。この場合にも、第1の実施形態において示した照射ライン25に対して電子ビームを照射する場合と同様に、保温照射領域23と照射ライン25付近の領域とに温度勾配が生じ、マランゴニ対流が発生する。マランゴニ対流の発生により、照射ライン25から上流へ向かう溶湯流61が生じ、LDIが上流へ向かって押し戻される。

[0099] 図9に、供給ライン26に滴下された原料5の温度が、既にハース30内に貯蔵されている溶湯5cよりも高温である場合の溶湯5cの流れを示す。マランゴニ対流は高温領域から低温領域に向かう流れである。このため、供

給ライン26に滴下された原料5は、溶湯流62に乗って、ハース30の幅方向(X方向)の中央部に向けて流動するとともに、溶湯流63に乗って、ハース30の側壁37A、37Bに向けて流動する。左右一対の供給ライン26の各々からハース30の中央部へ向かう溶湯流62は、ハース30の幅方向の中央部において衝突して、ハース30の長手方向(Y方向)に沿ってリップ部36に向かう溶湯流60が形成される。この結果、溶湯5cに浮遊するLD18も溶湯流60に乗ってリップ部36に向けて流動する。リップ部36に向かう溶湯流60に乗って流動するLD1をハース30の上流側へ押し戻し、リップ部36から遠ざける溶湯5cの表層流を形成することで、LD18等の不純物が、リップ部36からモールド40へ流出しないようにすることができる。

[0100] 本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法では、リップ部36に向かう溶湯流60は、図9に示すように、リップ部36へ近づくと、溶湯5cの表面に対してT字形状の照射ライン25に対して電子ビームが照射されている領域に到達する。照射ライン25は、側壁37Dに略平行であり、リップ部36を塞ぐ第1の直線部L1と、第1の直線部L1の略中央から、上流に向かって延びる第2の直線部L2とからなる。第1の直線部L1の2つの端部e1、e2は、側壁37Dに位置している。

[0101] 電子ビームが照射される照射ライン25付近の領域の溶湯温度T2は、保温照射領域23の温度T0と比較して高くなる。このため、マランゴニ対流が発生し、照射ライン25から上流に向かう溶湯流61が形成される。マランゴニ対流の発生により、図9に示すように、リップ部36に向かう溶湯流60が、照射ライン25において発生する溶湯流61により上流へ押し戻され、ハース30の側壁37A、37Bに向かい到達する流れとなる。これにより、溶湯流60に乗ってリップ部36へ流れてきたLD1は、ハース30の側壁37A、37B側に向かって移動した後、ハース30の側壁に形成されたスカル7に固着して移動しなくなる。あるいは、LD1は、溶湯5cの表面の流れに乗ってハース30を循環する間に、溶解される。

[0102] このように、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法では、T字形状の照射ライン25に対して電子ビームを照射する。これにより、照射ライン25から上流側に向かう溶湯流が生じる。その結果、溶湯5c中のLD1がハース30からモールド40に流出することを抑制できる。したがって、不純物がハース30からモールド40へ流出してインゴット50に混入することを抑制できる。

[0103] [2. 2. 照射ラインの配置]

照射ライン25がT字形状の場合、例えば3つの電子銃を用いて照射ライン25に対して電子ビームを照射してもよい。すなわち、図10に示すように、第1の直線部L1を構成する照射ラインd1、d3と、第2の直線部L2を構成する照射ラインd2とに対して、それぞれ電子ビームを照射する。

[0104] ハース30の幅方向(X方向)に略平行な側壁37Dに沿った第1の直線部L1については、2つの電子銃を用いて、電子ビームを照射する。照射ラインd1及び照射ラインd3は、それぞれの一端を共有させ、かつ、略同一直線上に配置される。ここで、特に合金金属を溶解している場合には、アルミニウム等の揮発有価元素の蒸発により電子ビームの照射位置制御の精度が低下する。したがって、第1の直線部L1に沿った電子ビームの照射により、リップ部36を確実に塞ぐため、照射ラインd1の一端側と照射ラインd3の一端側とを重複させるのが好ましい。特に、照射ラインd1と照射ラインd3とが、5mm以上の長さの領域で重複していることで、照射ライン25に対する電子ビームの照射位置制御の精度が低下した場合にも、照射ラインd1と照射ラインd3との間に隙間が生じないようにすることができる。

[0105] 第1の直線部L1の照射ライン長さ b_2 (すなわち、図10では照射ラインd1、d3の長さの和)は、後述する第2の直線部L2の照射ライン高さ h_2 あるいは電子銃から出力される電子ビームの伝熱量を考慮して決定される。照射ライン長さ b_2 は、少なくともリップ部36の開口幅よりも大きくする。照射ライン長さ b_2 がリップ部36の開口幅よりも小さい場合、電子ビームが照射されない部分で、ハース30の上流領域S2からリップ部36へ向かう

溶湯流ができてしまい、LD1がハース30からモールド40へ流出する可能性がある。このため、照射ライン長さ b_2 は、少なくともリップ部36の開口幅よりも大きくするのがよい。

[0106] また、照射ライン長さ b_2 は、ハース30の幅よりも小さければよいが、照射ライン長さ b_2 が大きくなるほど、図9に示す第1の直線部L1を1回走査するために必要な時間が長くなる。照射ライン25を1回の走査するために必要な時間が長くなると、電子ビームの照射によってハース30の側壁に向かう溶湯流61が弱まり、LD1がリップ部36を通り抜ける可能性が高まる。また、第1の直線部L1を構成する照射ライン d_1 、 d_3 の各長さは、略同一であるのがよい。これにより、各電子ビームの走査距離を均等に短くすることができ、第1の直線部L1における溶湯5cの温度を均等に上昇させることができる。なお、第1の直線部L1に対して電子ビームを照射する電子銃の数は、かかる例に限定されず、1つであってもよく、3つ以上であってもよい。

[0107] また、第2の直線部L2については、例えば1つの電子銃により電子ビームが照射される。第2の直線部L2に対して電子ビームを照射する電子銃の数は複数であってもよいが、通常、第1の直線部L1よりも走査距離が短いので、1つでも十分対応可能である。第2の直線部L2の照射ライン高さ h_2 も、第1の直線部L1の照射ライン長さ b_2 あるいは電子銃から出力される電子ビームの伝熱量を考慮して決定される。照射ライン高さ h_2 が大きくなるほど、照射ライン25を1回の走査するために必要な時間は長くなり、第2の直線部L2における溶湯5cの温度上昇の程度も小さくなる。したがって、照射ライン高さ h_2 は走査に要する時間をなるべく短くし、かつ、溶湯5cの温度を効率よく上昇させることができるように、設定される。なお、照射ライン高さ h_2 は、照射ライン長さ b_2 の $2/5$ 以上 $3/5$ 以下程度であるのが望ましい。

[0108] このようなT字形状の照射ライン25に対して、ハース30内の溶湯5cの表面に対して電子ビームを照射する場合、リップ部36の開口幅の中心、

第1の直線部L1の midpoint、及び第2の直線部L2は、図10に示すようにハース30の中心線上に設定するのがよい。これにより、ハース30内の溶湯5cの流れを中心線に対して略対称とすることができる。また、電子ビームの照射ライン25における溶湯流の向きを、照射ライン25から距離が近い側壁37A、37B側へと向かわせることができる。これにより、LD1等の不純物をスカル7に固着させる確度を上げることができる。

[0109] なお、照射ライン25に対して電子ビームが照射される実際の照射位置は、厳密に照射ライン25上になくともよい。電子ビームが照射される実際の照射位置は、おおよそ目標とする照射ライン25上であればよく、実際の電子ビームの照射軌跡が目標とする照射ライン25から制御上ずれる範囲であれば問題ない。また、本実施形態において電子ビームの照射軌跡における第1の直線部L1の両端e1、e2は、ハース30の側壁の内側面の近傍に位置される。端部e1、e2が側壁37の近傍に位置するとは、端部e1、e2が側壁37の内側面または側壁37の内側面からの離隔距離xが5mm以下の領域に位置することをいう。かかる領域において照射ライン25の端部e1、e2が設定され、電子ビームが照射されるが、ハース30の側壁37の内側面にスカル7が形成されていたとしても問題はなく、スカル7に電子ビームが照射されてもよい。

[0110] また、各電子銃から照射される電子ビームについては、第1の実施形態と同様、電子ビームの伝熱量、走査速度及び熱流束分布等の照射条件は、電子ビームを照射する設備スペックにより制約される。したがって、電子ビームの照射条件を設定する場合には、設備スペックの範囲内で、できるだけ、電子ビームの伝熱量を大きく、走査速度を速く、熱流束分布を狭く（電子ビームの絞りを小さく）することが好ましい。

[0111] ここで、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法における照射ライン25は、第1の直線部L1と第2の直線部L2とにより構成されている。T字形状の照射ライン25に対して電子ビームを照射することで形成される溶湯流61は、第1の直線部L1と第2の直線部L2とにより形成される流れが重ね

合わさって形成される。このため、T字形の照射ライン25に沿った電子ビームの照射方法は、照射ライン長さ b_2 及び照射ライン高さ h_2 、または、電子銃の伝熱量のうち少なくともいずれか一方に基づき決定される。これらの値の設定により、照射ライン25からハース30の側壁37へ向かう溶湯5cの表面流れのベクトルを決定することができる。

[0112] 具体的には、第2の直線部L2に照射される電子ビームが与える熱量よりも第1の直線部L1に照射される電子ビームが与える熱量が大きい場合、ハース30のリップ部36と対向する側壁37C側へ向かう流れが強くなる。一方、第1の直線部L1に照射される電子ビームが与える熱量よりも第2の直線部L2に照射される電子ビームが与える熱量が大きい場合には、ハース30の側壁37A、37Bへ向かう流れが強くなる。このように、第1の直線部L1への電子ビームの照射と第2の直線部L2への電子ビームの照射との強さ関係により、電子ビームの照射位置からハース30の側壁37へ向かう溶湯流の向きを決定することができる。

[0113] 例えば、使用する電子銃の伝熱量が略同一であれば、照射ライン25の照射方法は、照射ライン長さ b_2 及び照射ライン高さ h_2 の関係のみから決定してもよい。この場合、例えば、各電子銃の走査距離（すなわち、照射ライン d_1 、 d_2 、 d_3 の長さ）を略同一とし、また、走査速度及び熱流束分布も略同一となるように、各パラメータを設定してもよい。すなわち、照射ライン長さ b_2 を、照射ライン高さ h_2 の2倍程度とする。

[0114] また、使用する電子銃の伝熱量が相違する場合には、照射ライン長さ b_2 及び照射ライン高さ h_2 と、各電子銃の伝熱量を考慮して、リップ部36へ向かう溶湯流60が、ハース30の側壁37A、37Bに向かう溶湯流61によって上流へ押し戻されるように、照射ライン25の照射方法を決定すればよい。

[0115] また、本実施形態に係る電子ビームの照射方法では、第1の直線部L1と第2の直線部L2とにより形成される流れが重ね合わさって溶湯流61が形成される。このため、第1の実施形態に示した照射ライン25に対して電子

ビームを照射した場合に比べて、LDIをハース30の側壁37へ向かわせる速度を大きくすることができ、スカル7に固着させる確度をさらに上げることができる。したがって、各電子銃の伝熱量、走査速度、及び熱流束分布のうち少なくともいずれか1つの値を、第1の実施形態に示した照射ライン25に対して電子ビームを照射する電子銃の設定よりも小さくしても、第1の実施形態と同等以上の効果を奏することが可能である。

[0116] このように、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法のように、照射ライン25に対して電子ビームを照射することにより、リップ部36に向かう溶湯5cの表面の流れを、照射ライン25よりも上流に向かって、かつ、ハース30の側壁37A、37Bに向かって押し戻すことができる。これにより、リップ部36に向かって流れてきたLDIをハース30の側壁37に向かわせ、ハース30の側壁37のスカル7に固着させることができる。あるいは、LDIを、ハース30内の溶湯5c中を循環する間に溶解させることも可能である。これにより、LDIがハース30からモールド40へ流出し、インゴットに混入することを抑制できる。

[0117] なお、照射ライン25は、特に限定されるものではなく、下流領域S3の内部に、「2つの端部e1、e2が側壁37（37A、37B、37C、37Dのいずれか）の近傍にあり」、「照射ライン25がリップ部36を塞ぐように（上流領域S2とリップ部36との間を、照射ライン25により確実に区分するように）」である限り、任意の形態をとることができる。例えば、照射ライン25は、ハース30の長手方向の中央部に配置してもよく、リップ部36の近傍に配置してもよい。LDIがハース30からモールド40へ流出するのをより確実に防止する観点においては、照射ライン25は、なるべくリップ部36の近くに配置するのが好ましい。

[0118] [2. 3. まとめ]

以上、本発明の第2の実施形態に係る金属鋳塊の製造方法について説明した。本実施形態によれば、照射ライン25を、2つの端部e1、e2の間において側壁37Dに沿った第1の直線部L1と、第1の直線部L1から上流

に向かって略垂直に延びる第2の直線部L2とからなる、T字形状とする。このような照射ライン25に対して電子ビームを照射することにより、リップ部36に向かう溶湯流を照射ライン25において上流へ押し戻し、ハース30の側壁37に向かわせることができる。その結果、溶湯5cの表面に浮遊するLDIをハース30の側壁37のスカル7に固着させることができる。あるいは、LDIを、ハース30内の溶湯5c中を循環する間に溶解させることも可能である。これにより、LDIがハース30からモールド40へ流出し、インゴットに混入することを抑制できる。

[0119] さらに、本実施形態に係る金属鑄塊の製造方法によれば、照射ライン25に対して電子ビームを照射することにより形成される溶湯流61は、第1の直線部L1と第2の直線部L2とのそれぞれの位置での電子ビームの照射によって形成される流れが重ね合わさって形成されるため、強い流れとなる。したがって、確実にLDIをスカルに固着させることができる。また、電子銃の伝熱量、走査速度、あるいは熱流束分布の設定を弱めることも可能となる。

[0120] また、本実施形態に係る金属鑄塊の製造方法によれば、既存のハース30の形状を変更する必要もないので、容易に実施可能であり、特段のメンテナンスも不要である。

[0121] また、従来のチタン合金の製造方法は、ハースに溶湯を長時間滞留させることにより、ハース底面に形成されたスカルにLDIを固着させつつ、溶湯にLDIを溶解して、不純物を除去することが一般的であった。このため、従来では、ハース内における溶湯の滞留時間を確保するために、ロングハースを用いることが一般的であった。しかし、本実施形態に係る金属鑄塊の製造方法によれば、ハース内における溶湯の滞留時間が比較的短い場合であっても、不純物を適切に除去できるので、ショートハースを用いることが可能となる。したがって、EB炉1でショートハースを用いることによって、電気代等の加熱コストを削減することができ、EB炉1のランニングコストを低減できる。加えて、ロングハースに代えてショートハースを用いることに

より、ハースに生成するスカル7の量を抑制することができる。そのため、歩留まりを向上できる。

[0122] [3. 第3の実施形態]

次に、本発明の第3の実施形態に係る金属鋳塊の製造方法について説明する。

[0123] 本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法は、第1の実施形態に係る金属鋳塊の製造方法と比較して、照射ライン25の形状は略同一であるが、電子ビームを照射する電子銃の数が相違する。以下では、第1の実施形態に係る金属鋳塊の製造方法との相違点を主として説明し、第1の実施形態に係る金属鋳塊の製造方法と同様の設定、処理等については詳細な説明を省略する。なお、以下の説明においても、図3に示したショートハースの電子ビーム溶解炉1を用いた場合について説明するが、本発明はかかる例に限定されず、図1に示したロングハースの電子ビーム溶解炉1Aについても適用可能である。

[0124] 図11に基づいて、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法における電子ビームの照射方法について説明する。図11は、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法における照射ライン25の一例を示す平面図である。

[0125] 本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法では、図11に示すように、照射ライン25は、図4に示した第1の実施形態と同様、リップ部36から上流に向かって突出する凸形状である。具体的には、照射ライン25は、例えばV字形状である。図11に示すV字形状の照射ライン25は、ハース30の4つの角部のうち、リップ部36が設けられた側壁37Dの両端の角部から、ハース30の中央に向かってそれぞれ延びる、第1の直線部と、第2の直線部とからなる。第1の直線部の端部e1は側壁37Dの一端に位置し、第2の直線部の端部e2は側壁37Dの他端に位置する。

[0126] 第1の直線部及び第2の直線部への電子ビームの照射は、異なる電子銃により行われる。すなわち、2本の電子銃により、V字形状の照射ライン25に対して電子ビームが照射される。例えば、設備スペース等の制約から電子ビームの照射範囲に制限があり、第1の実施形態のように1本の電子銃によ

って図4に示したV字形の照射ライン25に沿った照射を行うことができない場合等には、本実施形態のように複数の電子銃を用いて電子ビームを照射してもよい。

[0127] このとき、溶湯5cの表面において、電子ビームの照射軌跡が交差または重複するように、2つの電子銃を用いて、照射ライン25に対してそれぞれ電子ビームを照射する。例えば、電子ビームは、図11に示すように、第1の直線部と第2の直線部とが接続される部分（V字形の頂点部分）において、これらの直線部が交差するように照射してもよい。すなわち、第1の直線部と第2の直線部とは、側壁37Dの端部e1、e2とは反対側の端部で接続されるのではなく、第1の直線部と第2の直線部とが交差するように接続される。

[0128] 合金金属を溶解している場合には、アルミニウム等の揮発有価元素の蒸発により、電子ビームの照射位置制御の精度が低下する。EB炉での電子ビームの照射による原料の溶解は真空チャンバー内で行われるが、揮発有価元素が蒸発すると真空チャンバー内の真空度が低下し、電子ビームの直進性が低下する。その結果、電子ビームの照射位置を高精度に制御することが困難となる。そうすると、2本の電子銃によって、図4に示すような2つの直線部がそれぞれの端部で接続されたV字形の照射ライン25に沿った照射を正確に行うことが困難となる。そして、2つの直線部の間に隙間が生じれば、この隙間からリップ部36に向かう溶湯5cの表面の流れが形成され、LD1がリップ部36へ流出する可能性が高まる。

[0129] そこで、2本の電子銃によって電子ビームを照射する場合にも、2つの端部e1、e2を側壁37に位置させ、かつ、リップ部36を塞ぐように、照射ライン25を配置する。さらに、ハース30内の溶湯5c中のLD1がリップ部36から流出するのを確実に防止するため、2本の電子銃から出力される電子ビームの照射軌跡を交差させるようにする。これにより、電子ビームの照射位置制御の精度が多少低下しても、第1の直線部と第2の直線部とが交差しているため、これらの直線部の間に隙間が生じることはなく、ハー

ス30内の溶湯5c中のLD1がリップ部36から流出することがない。特に、第1の直線部、第2の直線部とも、交差点から端部までの長さを5mm以上とすることにより、LD1がリップ部36へ流出する可能性をより低減することができる。

[0130] 第1の直線部と第2の直線部とは、それぞれの端部以外で接続されていればよい。例えば、電子ビームの直進性が保たれた状態で、図11に示すように、ハース30の角部と反対側の端部からハース30の幅方向にハース30の半幅Dの1/4離れた位置（すなわち、 $D1 = D/4$ である位置）で、第1の直線部と第2の直線部とが接続されてもよい。なお、電子ビームの照射位置制御を高精度に行うことが可能な場合には、第1の直線部及び第2の直線部の長さを、ハース30の角部から交点までの長さとし、図4に示したような2つの直線部がそれぞれの端部で接続されたV字形状の照射ライン25を配置してもよい。

[0131] 照射ライン25の形状がV字形状以外の形状である場合にも、2本の電子銃を用いることは可能である。例えば、ハース30の中心線上に頂点がある凸形状として、放物線等の曲線状の照射ライン25を配置してもよい。あるいは、図7に示したような略半円の照射ライン25を配置してもよい。このような場合にも、照射ラインが接続される部分において、電子ビームの照射軌跡を交差させ、上流領域S2とリップ部36との間の溶湯5cの流路を塞ぐようにすればよい。また、3本以上の電子銃を用いる場合でも、互いに異なる電子銃により照射される電子ビームの照射軌跡が接続される部分において、これらの照射軌跡が交差するようにすればよい。

[0132] [4. 第4の実施形態]

次に、本発明の第4の実施形態に係る金属鋳塊の製造方法について説明する。

[0133] [4. 1. 金属鋳塊の製造方法の概要]

本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法では、ハース内の溶湯の表面に配置される照射ラインをハースの幅方向に略平行な直線形状とする。かかる照射

ラインに対して電子ビームを照射することにより、ハース内の溶湯をモールドへ流出させるリップ部への溶湯流路を塞ぐ。これにより、溶湯表面に浮遊している不純物であるLDIがリップ部からモールドへ流れ出さないようにハース内に押し戻す。ハース内に押し戻されたLDIは、ハース内に滞留する間に溶解する。その結果、LDIがモールドへ流出することを抑制することができる。

[0134] 図12及び図13に基づいて、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法についてより詳細に説明する。図12は、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法における照射ライン25を示す平面図である。図13は、図12に示す照射ライン25に対して電子ビームを照射したときに溶湯5cの表面に形成される溶湯流を示す説明図である。なお、図12の平面図は、図3の電子ビーム溶解炉1のハース30に対応している。なお、以下の説明では、図3に示したショートハースの電子ビーム溶解炉1を用いた場合について説明するが、本発明はかかる例に限定されず、図1に示したロングハースの電子ビーム溶解炉1Aについても適用可能である。

[0135] 本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法では、2つの端部e1、e2がハース30の側壁37の近傍に位置し、リップ部36を塞ぐように、ハース30内の溶湯5cの表面に対して、照射ライン25を設定する。具体的には、照射ライン25は、図12に示すように、2つの端部e1、e2の間においてハース30の幅方向に略平行な直線形状である。照射ライン25の2つの端部e1、e2は、リップ部36が設けられた側壁37Dの近傍に位置する。図12に示す照射ライン25は、リップ部36の開口幅と略同一の長さとする。照射ライン25は、供給ライン26を含む上流領域S2と側壁37Dとの間の下流領域S3に配置されている。

[0136] このような照射ライン25に対して、溶湯5cの表面に電子ビームを照射する。これにより、溶湯5cの表面の温度勾配によるマランゴニ対流を発生させ、図13に示すように、溶湯5cの表層において、照射ライン25から上流側へ向かう溶湯5cの表層流れ（溶湯流61）を形成する。ここで、供

給ライン 26 に沿って原料 5 がハース 30 内の溶湯 5c に滴下されるときにおいて、供給ライン 26 に滴下される溶融金属の温度（原料供給温度 T1）が、ハース 30 内に既に貯留されている溶湯温度 T0 よりも高い場合を考える。この場合、溶融された原料 5（溶融金属）が滴下される供給ライン 26 付近の領域は、他の領域の溶湯 5c よりも温度が高い高温領域となる。したがって、図 13 に示すように、供給ライン 26 付近の領域の溶湯 5c は、供給ライン 26 からハース 30 の幅方向（X 方向）の中央部に流動し、溶湯 5c の表層に溶湯流 62 が形成される。

[0137] なお、図 13 には図示していないが、図 5 に示したように、供給ライン 26 付近の領域の溶湯 5c は、供給ライン 26 からハース 30 の幅方向（X 方向）の側壁 37A、37B へも流動し、溶湯 5c の表層に溶湯流（図 5 の溶湯流 63）が形成される。供給ライン 26 に滴下された溶融金属に含まれる LD18 は、溶湯流（図 5 の溶湯流 63）に乗って、ハース 30 の側壁 37A、37B に向けて流動し、側壁 37A、37B の内側面上に形成されたスカル 7 に付着して捕捉される。

[0138] 左右一对の供給ライン 26 の各々からハース 30 の中央部へ向かう溶湯流 62 は、ハース 30 の幅方向の中央部において衝突して、ハース 30 の長手方向（Y 方向）に沿ってリップ部 36 に向かう溶湯流 60 が形成される。この結果、溶湯 5c に浮遊する LD18 も溶湯流 60 に乗ってリップ部 36 に向けて流動する。LD18 等の不純物が、リップ部 36 からモールド 40 へ流出しないようにするためには、リップ部 36 に向かう溶湯流 60 に乗って流動する LD1 をハース 30 の上流側へ押し戻し、リップ部 36 から遠ざける溶湯 5c の表層流を形成するのが好ましい。

[0139] そこで、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法では、図 12 及び図 13 に示すように、2つの端部 e1、e2 が側壁 37D の近傍に位置し、リップ部 36 を塞ぐように、直線形状の照射ライン 25 が溶湯 5c の表面に配置される。照射ライン 25 付近の領域での溶湯温度は、保温照射領域 23 と比較して高くなる。このため、マランゴニ対流が発生し、照射ライン 25 から上流

に向かう溶湯流61が形成される。溶湯流61は、ハース30の幅方向の中央部における溶湯流60に乗ってリップ部36へ流動してきたLD18をハース30の上流側に押し戻す流れである。かかる溶湯流61により、リップ部36へ向かって流動してきたLD18は、照射ライン25において上流側へ押し戻され、ハース30内に流動する。ハース30内に押し戻されたLD18は、溶湯5cの表面の流れに乗ってハース30を循環する間に、溶解される。あるいは、LD18は、ハース30の側壁37A、37B側に向かって移動した後、ハース30の側壁37に形成されたスカル7に固着して移動しなくなる。

[0140] このように、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法では、2つの端部e1、e2が側壁37の近傍に位置し、かつ、リップ部36を塞ぐように配置された照射ライン25に対して、電子ビームを照射する。これにより、照射ライン25付近に溶湯5cの高温領域から上流へ向かう溶湯流61を形成し、リップ部36側へ流動してきたLD1等の不純物を照射ライン25よりも上流側に押し戻す。従って、当該不純物がハース30からモールド40に流出することを抑制できる。その結果、不純物がインゴットに混入することを抑制できる。

[0141] [4. 2. 照射ラインの配置]

本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法では、直線形状の照射ライン25が配置される。照射ライン25の形状を直線形状とすることにより、電子ビームの走査距離を短くすることができる。その結果、溶湯5c中のLD18がリップ部36を通り抜けてハース30からモールド40へ流出することを抑制できる。

[0142] 図12及び図13に示すように、ハース30を平面視したときの形状が矩形形状である場合には、照射ライン25は、側壁37Dに沿って配置するのが望ましい。側壁37Dは、ハース30の幅方向(X方向)に略平行である。供給ライン26の各々からハース30の中央部に向かう溶湯流62は、ハース30の幅方向の中央部において衝突して、ハース30の長手方向(Y方向

) に沿ってリップ部36に向かう溶湯流60が形成される。この溶湯流60は、ハース30長手方向に略平行である。したがって、照射ライン25を、ハース30の側壁37Dに沿って配置することにより、リップ部36に向かう溶湯5cの流れ(溶湯流60)を効率よく堰き止めることができる。また、照射ライン25から上流に向かう溶湯流61が形成される。これにより、溶湯5cの流れに乗ってリップ部36へ向かって流動したLD18を、溶湯流61によってリップ部36から遠ざけるように押し戻して、ハース30内に滞留させることができる。

[0143] 照射ライン25は、少なくとも供給ライン26を含む上流領域S1と側壁37Dとの間の下流領域S3に配置されればよい。不純物の流出をより確実に抑制するためには、図12及び図13に示すように、照射ライン25は、リップ部36への流入口に配置するのが好ましい。このとき、照射ライン25の長さは、少なくともリップ部36の開口幅以上とする。好ましくは、照射ライン25の長さは、リップ部36の開口幅と略同一の長さとする。これにより、照射ライン25に対して照射される電子ビームの走査距離を最も短くすることができる。これにより、電子ビームの走査速度が低下した場合にも、照射ライン25に対して電子ビームを照射することにより形成される溶湯流61の弱まりも小さい。したがって、LD18は、リップ部36へ流入する前に確実にハース30の内部側へ押し戻されるため、ハース30から流出しない。

[0144] 本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法における照射ライン25の配置は、図12及び図13に示したショートハースのみならず、ロングハースにも適用可能である。図14及び図15に、溶解ハース31及び精錬ハース33を備えるロングハース(以下、「ロングハース31、33」と称する。)に、直線形状の照射ライン25を配置した場合の例を示す。なお、図14及び図15では、便宜上、溶解ハース31及び精錬ハース33は1つのハースとしてモデル化して示している。例えば、図14に示すように、図12及び図13と同様、リップ部36への流入口に、リップ部36の開口幅と略同一の長

さを有する直線形状の照射ライン25を配置する。照射ライン25は、2つの端部e1、e2が側壁37Dに位置し、リップ部36を塞ぐように配置されている。これにより、図12及び図13と同様、溶湯5cとともにリップ部36へ向かって流動するLD18を照射ライン25において堰き止め、上流側へ押し戻す。これにより、LD18は、ロングハース31、33内に滞留し、ロングハース31、33からモールド40へ流出することを確実に抑制できる。

[0145] また、ロングハース31、33の場合にも、照射ライン25は、原料5が滴下される原料供給領域28を含む上流領域S2と側壁37Dとの間の下流領域S3に配置されればよい。ロングハース31、33では、図14及び図15に示すように、原料5が滴下される原料供給領域28は、通常、ロングハース31、33の長手方向（Y方向負側）の最上流位置にある。すなわち、原料供給領域28は、ロングハース31、33の長手方向においてリップ部36と反対側の側壁37Cの近傍にある。したがって、例えば図15に示すように、照射ライン25を、ロングハース31、33の長手方向の中央に配置してもよい。ロングハース31、33の長手方向の中央の位置は、原料供給領域28を含む上流領域S2よりも下流側の下流領域S3に位置する。この際、照射ライン25の2つの端部e1、e2は、側壁37A、37Bの近傍に位置する。これにより、LD18が照射ライン25を通り抜けてリップ部36へ流出することを抑制できる。

[0146] なお、照射ライン25に対して電子ビームが照射される実際の照射位置は、厳密に照射ライン25上になくともよい。電子ビームが照射される実際の照射位置は、おおよそ目標とする照射ライン25上であればよく、実際の電子ビームの照射軌跡が目標とする照射ライン25から制御上ずれる範囲であれば問題ない。また、端部e1、e2が側壁37の近傍に位置するとは、端部e1、e2が側壁37の内側面または側壁37の内側面からの離隔距離xが5mm以下の領域に位置することをいう。かかる領域において照射ライン25の端部e1、e2が設定され、電子ビームが照射されるが、ロングハー

ス31、33の側壁37の内側面にスカル7が形成されていたとしても問題はなく、スカル7に電子ビームが照射されてもよい。

[0147] また、各電子銃から照射される電子ビームについては、第1の実施形態と同様、電子ビームの伝熱量、走査速度及び熱流束分布等の照射条件は、電子ビームを照射する設備スペックにより制約される。したがって、電子ビームの照射条件を設定する場合には、設備スペックの範囲内で、できるだけ、電子ビームの伝熱量を大きく、走査速度を速く、熱流束分布を狭く（電子ビームの絞りを小さく）することが好ましい。

[0148] [4.3.LD1の溶解促進]

本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法では、照射ライン25によってリップ部36を塞ぐことにより、LD18をハース30内に堰き止め、LD18がハース内を循環している間に溶解させる。これにより、LD18がハース30からモールド40へ流出することを抑制している。このため、LD18が溶解するまでは、LD18がハース30からモールド40へ流出する可能性がある。そこで、LD18がハース30からモールド40へ流出する可能性を低減するため、ハース30内に存在するLD18の溶解を促進させる。このために、ハース30内の溶湯5cの表面に対して、LD1溶解促進用の電子ビーム（本発明の「第2の電子ビーム」に相当する。）を照射するようにしてもよい。

[0149] LD1溶解促進用の電子ビームは、例えば、溶湯5cの流れによどみが生じているよどみ位置に照射してもよい。溶湯5cの流れのよどみ位置は、LD18が滞留しやすい。このように、LD1が滞留する位置にLD1溶解促進用の電子ビームを照射することで、ハース内のLD18をより早く溶解させることができる。なお、LD1溶解促進用の電子ビームは、連続して照射する必要はなく、LD18が滞留する溶湯5cの流れのよどみ位置に対して適宜照射すればよい。また、LD1溶解促進用の電子ビームを照射する電子銃は、LD1溶解促進用に電子銃（図示せず。）を用いてもよく、あるいは、原料溶解用の電子銃20A、20Bまたは溶湯保温用の電子銃20C、2

OD（図3参照。）等の他用途の電子銃を兼用してもよい。溶湯5cの流れのよどみ位置は、予めシミュレーションにより特定する等すればよい。上述したように、設定された照射ライン25の位置と形状、電子ビームの伝熱量及び走査速度等に基づいてシミュレーションを行うことにより、よどみ位置を特定できる。

[0150] [4.4. 変形例]

第4の実施形態の変形例について説明する。上記では、図12及び図13に示すように、ハース30内の溶湯5cの表面に対して、2つの端部e1、e2が側壁37の近傍に位置し、かつ、リップ部36を塞ぐような直線形状の照射ライン25が配置される例を説明した。しかし、本発明はかかる例に限定されない。照射ライン25の形状が図12または図13に示した例でなくとも、ハース30内の溶湯5cをモールド40へ流出させるリップ部36への溶湯流路を塞ぎ、LD18をハース30内に押し戻すことができる。

[0151] 例えば、照射ライン25は、ハース30の上流から下流のリップ部36に向かって突出する凸形状であってもよい。具体的には、図16に示すように、照射ライン25は、2つの端部e1、e2が側壁37A、37Bの近傍に位置し、かつ、リップ部36に向かって突出するV字形状であってもよい。これにより、リップ部36が塞がれるため、溶湯5c中のLD18がリップ部36へ流出することを抑制できる。また、照射ライン25に対して電子ビームを照射することにより、照射ライン25から上流へ向かう溶湯5cの流れを形成することができる。その結果、LD18をハース30の内部側へ押し戻すことができる。

[0152] あるいは、図17に示すように、照射ライン25は、2つの端部e1、e2が側壁37A、37Bの近傍に位置し、かつ、リップ部36に向かって突出する円弧形状であってもよい。この場合にも、リップ部36が塞がれるため、溶湯5c中のLD18がリップ部36へ流出することを抑制できる。また、照射ライン25に対して電子ビームを照射することにより、照射ライン25から上流へ向かう溶湯5cの流れを形成することができる。その結果、

LD18をハース30の内部側へ押し戻すことができる。

[0153] さらに、照射ライン25は、ハース30の上流からリップ部36に向かって凸形状となるU字形状であってもよい。例えば、図18に示すように、U字形状の照射ライン25は、第1の直線部L1と、第2の直線部L2と、第3の直線部L3とからなる。第1の直線部L1は、2つの端部e1、e2の間において側壁37Dに沿って略平行に配置される。第1の直線部L1は、リップ部36を塞ぐように配置されている。第2の直線部L2及び第3の直線部L3は、第1の直線部L1の両端から、互いに対向する一对の側壁37A、37Bに沿って、それぞれ上流に向かって略垂直に延びるように配置されている。照射ライン25の両端e1、e2は、ハース30の側壁37A、37Bの近傍に位置する。これにより、リップ部36が塞がれるため、溶湯5c中のLD18がリップ部36へ流出することを抑制できる。また、照射ライン25に対して電子ビームを照射することにより、照射ライン25から上流へ向かう溶湯5cの流れを形成することができる。その結果、LD18を、ハース30の内部側に押し戻すことができる。

[0154] なお、U字形状の照射ライン25は、第1の直線部L1と第2の直線部L2とが接続する角、及び、第1の直線部L1と第3の直線部L3とが接続する角が、図18に示すように直角であってもよく、丸みを有してもよい。

[0155] 変形例においても、照射ライン25に対して電子ビームが照射される実際の照射位置は、厳密に照射ライン25上になくともよい。電子ビームが照射される実際の照射位置は、おおよそ目標とする照射ライン25上であればよく、実際の電子ビームの照射軌跡が目標とする照射ライン25から制御上ずれる範囲であれば問題ない。また、端部e1、e2が側壁37の近傍に位置するとは、端部e1、e2が側壁37の内側面または側壁37の内側面からの離隔距離xが5mm以下の領域に位置することをいう。かかる領域において照射ライン25の端部e1、e2が設定され、電子ビームが照射されるが、ハース30の側壁37の内側面にスカル7が形成されていたとしても問題はなく、スカル7に電子ビームが照射されてもよい。

[0156] また、図16～図18に示す照射ライン25に対しては、1本の電子銃を用いて照射ライン25に電子ビームを照射させてもよく、複数の電子銃を用いて照射ライン25に電子ビームを照射させてもよい。

[0157] さらに、図16～図18に示すような照射ライン25を配置した場合、当該照射ライン25に対して電子ビームを照射すると、照射ライン25よりも上流に向かい、かつ、ハース30の幅方向（X方向）の中央に向かう溶湯5cの流れが形成される。すなわち、照射ライン25よりも上流側において、側壁37A、37Bから中央に向かう溶湯5cの流れが形成される。このとき、照射ライン25付近の領域における溶湯温度は、保温照射領域23の溶湯温度よりも高い。したがって、マランゴニ対流が発生し、ハース30の側壁37A、37Bから中央に向かう溶湯流61が形成される。

[0158] このとき、ハース30の幅方向の中央には、溶湯5cの流れによどみが生じやすい。そこで、この溶湯5cの流れのよどみ位置に対して、LD1溶解促進用の電子ビームを照射してもよい。溶湯流れのよどみ位置は、LD18が滞留しやすい。このように、LD1が滞留する位置にLD1溶解促進用の電子ビームを照射することで、ハース内のLD18をより早く溶解させることができる。

[0159] [4.5.まとめ]

以上、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法について説明した。本実施形態によれば、ハース30内の溶湯5cの表面に対して、2つの端部e1、e2が側壁37に位置し、かつ、リップ部36を塞ぐような照射ライン25を配置する。これにより、ハース30内の溶湯をモールドへ流出させるリップ部36への溶湯流路が塞がれる。その結果、LD18は、リップ部36への流入口で堰き止められる。LD18は、ハース30内を循環し続け、その間に溶解される。これにより、溶湯5c中に含まれるLD18がリップ部36からモールド40に流出することを防止できる。

[0160] また、照射ライン25を直線形状とすることで、電子ビームの走査距離を短くすることができる。したがって、電子ビームの走査速度が低下しても、

照射ライン25に対して電子ビームを照射することにより形成される溶湯5cの流れの弱まりは小さい。したがって、LD18は、リップ部36へ流入する前に確実にハース30の内部側へ押し戻されるため、ハース30から流出しない。

[0161] さらに、照射ライン25を直線形状とすることで、電子ビームを照射する電子銃を直線的に移動させればよいため、その制御が容易であり、使用する電子銃の数も最小限とすることができる。

[0162] また、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法によれば、既存のハース30の形状を変更する必要もないので、容易に実施可能であり、特段のメンテナンスも不要である。

[0163] また、従来のチタン合金の製造方法は、ハースに溶湯を長時間滞留させることにより、ハース底面に形成されたスカルにHD1を固着させつつ、溶湯にLD1を溶解して、不純物を除去することが一般的であった。このため、従来では、ハース内における溶湯の滞留時間を確保するために、ロングハースを用いることが一般的であった。しかし、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法によれば、ハース内における溶湯の滞留時間が比較的短い場合であっても、不純物を適切に除去できるので、ショートハースを用いることが可能となる。したがって、EB炉1でショートハースを用いることによって、電気代等の加熱コストを削減することができ、EB炉1のランニングコストを低減できる。加えて、ロングハースに代えてショートハースを用いることにより、ハースに生成されるスカル7の量を抑制できる。そのため、歩留まりを向上できる。

[0164] [5. 複数段ハースへの照射ラインの配置]

上記では、図3に示すショートハース30あるいは図1に示すロングハース31、33に対して上記実施形態に係る金属鋳塊の製造方法を適用する場合について説明したが、本発明はかかる例に限定されない。例えば、本発明に係る金属鋳塊の製造方法を適用するハースが、複数の分割ハースを組み合わせて連続的に配置された複数段のハースであってもよい。例えば、図19

に示すように、第1のハース30Aと、第2のハース30Bとを組み合わせることで連続的に配置することにより、2段のハース30を構成してもよい。

[0165] 第1のハース30A（本発明の「分割ハース」に相当する。）は、例えば図4に示したハース30と同様に、供給ライン26に沿って滴下された原料5の溶湯5cを貯留しながら、精錬して、溶湯5c中の不純物を除去するための装置である。第1のハース30Aは矩形のハースであり、4つの側壁37A、37B、37C、37Dにより構成されている。第1のハース30Aの側壁37Dには、リップ部36が設けられている。リップ部36から流出した第1のハース30Aの溶湯5cは、第2のハース30Bに貯留される。

[0166] 第2のハース30B（本発明の「分割ハース」に相当する。）は、第1のハース30Aから流入された溶湯5cを貯留しながら、精錬して、溶湯5c中の不純物を除去するための装置である。第2のハース30Bも矩形のハースであり、4つの側壁37A、37B、37C、37Dにより構成されている。第2のハース30Bの側壁37Dには、リップ部36が設けられている。リップ部36から流出した第2のハース30Bの溶湯5cは、モールド40へ流出する。

[0167] このような2つの分割ハースからなる2段のハース30においても、第1のハース30A及び第2のハース30Bそれぞれにおいて、2つの端部e1、e2が側壁37に位置し、かつ、リップ部36を塞ぐように、照射ライン25を配置する。第1のハース30A及び第2のハース30Bそれぞれにおいて、照射ライン25に対して溶湯5cの表面に電子ビームを照射することによって、照射ライン25から上流へ向かう溶湯流61を生じさせる。その結果、リップ部36のある下流へ向かう溶湯5cの流れは上流へ押し戻され、LD1等の不純物が第1のハース30Aから第2のハース30Bへ、また、第2のハース30Bからモールド40へ流出することを抑制できる。

[0168] なお、図19に示す複数段のハースは、2段のハースであるが、本発明はかかる例に限定されない。複数段のハースは、3つ以上の分割ハースを組み

合わせて連続的に配置した3段以上のハースであってもよい。この場合にも、各分割ハースにおいて、2つの端部が側壁の近傍に位置し、かつ、リップ部を塞ぐように、照射ラインを配置する。照射ラインに対して溶湯の表面に電子ビームを照射することによって、照射ラインから上流へ向かう溶湯流を生じさせる。これにより、リップ部のある下流へ向かう溶湯の流れを上流へ押し戻すことができ、LDI等の不純物が後段のハースあるいはモールドへ流出することを抑制できる。

実施例

[0169] 次に、本発明の実施例について説明する。下記の実施例は、本発明の効果を検証するための具体例に過ぎず、本発明は以下の実施例に限定されない。

[0170] (1) ライン照射の実施例

まず、表1及び図20～図43を参照して、上述の本発明の第1～第4の実施形態に係るライン照射によるLDIの除去効果を検証するシミュレーションを行った実施例について説明する。

[0171] 本実施例では、実施例1～8、11～13及び比較例1、3、4では、原料5としてチタン合金を用い、図3に示したショートハース内に貯留されたチタン合金の溶湯5cに対して、照射ライン25に対して電子ビームを照射したときの、ハース30内の溶湯流をシミュレーションした。そして、ハース30内の溶湯5cの温度分布、LDIの挙動、及びハース30からのLDIの流出量について検証した。また、実施例9、10及び比較例2では、図1に示したロングハース内に貯留されたチタン合金の溶湯5cに対して、照射ライン25に対して電子ビームを照射したときの、ハース31、33内の溶湯流をシミュレーションした。

[0172] 実施例1では、図4に示したように、2つの端部e1、e2が側壁37Dに位置し、かつ、リップ部36を覆うようにV字形状の照射ライン25を配置し、照射ライン25に対して電子ビームを照射した。

[0173] 実施例2では、図7に示したように、2つの端部e1、e2が側壁37Dに位置し、かつ、リップ部36を覆うように円弧形状の照射ライン25を配

置し、照射ライン25に対して電子ビームを照射した。

[0174] 実施例3では、図10に示したように、2つの端部e1、e2が側壁37Dに位置し、かつ、リップ部36を覆うようにT字形の照射ライン25を配置し、照射ライン25に対して電子ビームを照射した。

[0175] 実施例4、5は、2本の電子銃を用いて照射ライン25に対して電子ビームを照射した場合についての実施例である。実施例4では、図11に示したように、2つの端部e1、e2が側壁37Dの両端に位置し、かつ、リップ部36を覆うようにV字形の照射ライン25を配置し、照射ライン25に対して電子ビームを照射した。実施例5は、図25に示すように、照射ライン25を図11（実施例4）と同様に配置する一方、電子ビームの走査方向を変更した。実施例4及び実施例5で用いた2本の電子銃の電子ビーム伝熱量は、いずれも0.125 [MW]とした。

[0176] 実施例6では、図27に示したように、2つの端部e1、e2が側壁37Dの両端に位置し、かつ、リップ部36を覆うようにV字形の照射ライン25を配置し、照射ライン25に対して電子ビームを照射した。

[0177] 実施例7では、図29に示したように、2つの端部e1、e2が側壁37Dの両端に位置し、かつ、リップ部36を覆うようにV字形の照射ライン25を配置し、照射ライン25に対して電子ビームを照射した。実施例7では、V字形の頂点Qを、ハース30の幅方向中央からずらして配置した。

[0178] 実施例8では、図12に示したように、2つの端部e1、e2が側壁37Dに位置し、かつ、リップ部36を覆うように直線形状の照射ライン25を配置し、照射ライン25に対して電子ビームを照射した。

[0179] 実施例9では、図14に示したように、ロングハース31、33において、2つの端部e1、e2が側壁37Dの両端に位置し、かつ、リップ部36を覆うように直線形状の照射ライン25を配置し、照射ライン25に対して電子ビームを照射した。

[0180] 実施例10では、図15に示したように、ロングハース31、33において、2つの端部e1、e2が側壁37Dの両端に位置し、かつ、ロングハー

ス 3 1、3 3 の長手方向の中央に直線形状の照射ライン 2 5 を配置し、照射ライン 2 5 に対して電子ビームを照射した。

[0181] 実施例 1 1 では、図 1 6 に示したように、2 つの端部 e 1、e 2 が側壁 3 7 A、3 7 B に位置し、かつ、リップ部 3 6 を覆うようにリップ部 3 6 に向かって突出する V 字形状の照射ライン 2 5 を配置し、照射ライン 2 5 に対して電子ビームを照射した。

[0182] 実施例 1 2 では、図 1 7 に示したように、2 つの端部 e 1、e 2 が側壁 3 7 A、3 7 B に位置し、かつ、リップ部 3 6 を覆うようにリップ部 3 6 に向かって突出する円弧形状の照射ライン 2 5 を配置し、照射ライン 2 5 に対して電子ビームを照射した。

[0183] 実施例 1 3 では、図 1 8 に示したように、2 つの端部 e 1、e 2 が側壁 3 7 A、3 7 B に位置し、かつ、リップ部 3 6 を覆うようにリップ部 3 6 に向かって突出する U 字形状の照射ライン 2 5 を配置し、照射ライン 2 5 に対して電子ビームを照射した。

[0184] 一方、比較例 1 として、ハース 3 0 内の溶湯 5 c の保温照射領域 2 3 に対して保温用の電子ビームを照射しつつも、照射ライン 2 5、2 5 に対するライン照射を行わない場合についても、同様のシミュレーションを行った。

[0185] 比較例 2 では、上記特許文献 1 の手法についてのシミュレーションを行った。すなわち、図 3 8 に示すように、ロングハース 3 1、3 3 内の溶湯 5 c の表面にジグザグ状の照射ライン 2 5 を配置し、当該照射ライン 2 5 に対して電子ビームを照射した。

[0186] 比較例 3 では、実施例 4 との対比として、図 4 0 に示すように、V 字形状の照射ライン 2 5 の頂点を交差させずに、電子ビームを照射した。なお、比較例 3 で用いた 2 本の電子銃の電子ビーム伝熱量は、いずれも 0. 1 2 5 M W とした。

[0187] 比較例 4 では、実施例 3 との対比として、図 4 2 に示すように、T 字形状の照射ライン 2 5 の 3 つの直線を交差させずに電子ビームを照射した。図 4 2 に示す照射ライン 2 5 は、リップ部 3 6 が設けられた側壁 3 7 D に沿った

第1の直線部L1及び第2の直線部L2と、側壁37Dに対して垂直な第3の直線部L3とからなる。第1の直線部L1、第2の直線部L2、第3の直線部L3は、接していない。なお、第1の直線部L1及び第2の直線部L2に沿って照射される電子ビームの伝熱量は0.05MWとし、第3の直線部L3に沿って照射される電子ビームの伝熱量は0.15MWとした。また、第1の直線部L1及び第2の直線部L2に沿って照射される電子ビームの走査速度は2.9m/sとし、第3の直線部L3に沿って照射される電子ビームの走査速度は3.6m/sとした。

[0188] 表1に、本実施例のシミュレーション条件を示す。

[0189] [表1]

表1

	電子ビーム 伝熱量 [MW]	電子ビーム 走査速度 [m/s]	電子ビーム 熱流束分布 (σ [m])	照射軌跡 形状
実施例1	0.25	1.8	0.02	V字形状
実施例2	0.35	1.7	0.02	円弧形状
実施例3	d1:0.09 d2:0.15 d3:0.09	2.94	0.013	T字形状
実施例4	0.125	1.8	0.02	V字形状
実施例5	0.125	1.8	0.02	V字形状
実施例6	0.25	1.8	0.02	V字形状
実施例7	0.25	1.8	0.02	V字形状
実施例8	0.25	1.6	0.02	直線形状
実施例9	0.25	1.6	0.02	直線形状
実施例10	0.25	2.0	0.02	直線形状
実施例11	0.30	1.8	0.02	V字形状
実施例12	0.25	1.8	0.02	円弧形状
実施例13	0.30	1.8	0.02	U字形状
比較例1	-	-	-	(照射なし)
比較例2	0.25	1.9	0.02	ジグザグ
比較例3	0.125	1.8	0.02	V字形状
比較例4	L1:0.05 L2:0.05 L3:0.15	L1:2.9 L2:2.9 L3:3.6	0.02	T字形状

[0190] 各シミュレーションでは、溶湯5cの流れや温度は電子ビームの走査によって時々刻々変化するため、非定常計算を行った。LD1は窒化チタンであ

り、窒化チタンの粒径が3.5 mmであり、窒化チタンの密度が溶湯5 cより10%小さいと仮定してシミュレーションを実施した。

[0191] 以下、実施例1～13及び比較例1～4のシミュレーション結果を示す。図20～24、26、28、30～36はそれぞれ実施例1～13のシミュレーション結果を示し、図37、39、41、43はそれぞれ比較例1～4のシミュレーション結果を示す。

[0192] 図20、22～24、26、28、30～36及び図37、39、41、43では、照射ライン25に対して照射されるライン照射用の電子ビームの照射位置が代表的な位置にあるときの、ハース内の溶湯5 cの表面の温度分布と、溶湯5 cの表面を流動するLDIの挙動とを表している。これら図20、22～24、26、28、30～36及び図37、39、41、43で中の左側の温度分布図において、丸を付けた温度が高い領域が、その時点での照射ライン25に対する電子ビームの照射位置を示し、上下2本の帯状の温度の高い部分が、2本の供給ライン26を示し、ハースの内側面近傍の低温部分は、スカル7が形成されている部分を示す。また、図20、22～24、26、28、30～36及び図37、39、41、43で中の右側の流線図において、非直線状に描かれている流線が、LDIの流動軌跡を示す。

[0193] (実施例1)

実施例1では、図20に示すように、リップ部36を塞ぐ照射ライン25に沿って高温領域が形成され、照射ライン25から上流に向かう溶湯流61が形成されている。このため、図20に示すように、供給ラインからリップ部36に向かって流動したLDIは全て、溶湯流61に乗って側壁37A、37Bに向けて流動し、リップ部36を通過してモールド40側に延びる流線はない。このことから、ハース30内のLDIは、上流側に押し戻され、リップ部36からモールド40に流出していないことが分かる。図21は、実施例1の照射ライン25近傍の各地点における溶湯5 cの流れ方向及び流れの強さを表す矢印を示している。図21からも、照射ライン25から上流に、かつ、側壁37A、37Bに向かう流速の大きい強い溶湯5 cの流れが形

成されていることが分かる。

[0194] (実施例 2)

図 2 2 に示すように、実施例 2 でも、実施例 1 と同様、リップ部 3 6 を塞ぐ照射ライン 2 5 に沿って高温領域が形成され、照射ライン 2 5 から上流に向かう溶湯流 6 1 が形成されている。このため、供給ラインからリップ部 3 6 に向かって流動した L D 1 は全て、溶湯流 6 1 に乗って側壁 3 7 A、3 7 B に向けて流動し、リップ部 3 6 を通ってモールド 4 0 側に延びる流線はない。このことから、ハース 3 0 内の L D 1 は、上流側に押し戻され、リップ部 3 6 からモールド 4 0 に流出していないことが分かる。

[0195] (実施例 3)

実施例 3 でも、実施例 1、2 と同様、図 2 3 に示すように、リップ部 3 6 を塞ぐ照射ライン 2 5 に沿って高温領域が形成され、照射ライン 2 5 から上流に向かう溶湯流 6 1 が形成されている。このため、供給ラインからリップ部 3 6 に向かって流動した L D 1 は全て、溶湯流 6 1 に乗って側壁 3 7 A、3 7 B に向けて流動し、リップ部 3 6 を通ってモールド 4 0 側に延びる流線はない。このことから、ハース 3 0 内の L D 1 は、上流側に押し戻され、リップ部 3 6 からモールド 4 0 に流出していないことが分かる。

[0196] (実施例 4、5)

実施例 4、5 では、2 本の電子銃を用いて、照射ライン 2 5 に対して電子ビームを照射した。実施例 4 では、2 つの電子銃の電子ビームが同一のタイミングで V 字形状の頂点に位置するように、照射ライン 2 5 に対して電子ビームを照射した。また、実施例 5 では、一方の電子銃の電子ビームが V 字形状の頂点に位置したとき、他方の電子銃の電子ビームが照射ラインの中央部に位置するように、照射ライン 2 5 に対して電子ビームを照射した。図 2 4 は実施例 4 のシミュレーション結果であり、図 2 6 は実施例 5 のシミュレーション結果である。

[0197] 実施例 4、5 いずれの場合も、図 2 4 及び図 2 6 に示すように、実施例 1 ~ 3 と同様、リップ部 3 6 を塞ぐ照射ライン 2 5 に沿って高温領域が形成さ

れ、照射ライン25から上流に向かう溶湯流61が形成されている。このため、供給ラインからリップ部36に向かって流動したLDIは全て、溶湯流61に乗って側壁37A、37Bに向けて流動し、リップ部36を通過してモールド40側に延びる流線はない。このことから、ハース30内のLDIは、上流側に押し戻され、リップ部36からモールド40に流出していないことが分かる。

[0198] (実施例6、7)

実施例6、7は、実施例1と同様、V字形状の照射ライン25を配置した場合であるが、実施例1とはV字の形状が異なる。しかし、実施例6、7でも、実施例1～5と同様、図28及び図30に示すように、リップ部36を塞ぐ照射ライン25に沿って高温領域が形成され、照射ライン25から上流に向かう溶湯流61が形成されている。このため、供給ラインからリップ部36に向かって流動したLDIは全て、溶湯流61に乗って側壁37A、37Bに向けて流動し、リップ部36を通過してモールド40側に延びる流線はない。このことから、ハース30内のLDIは、上流側に押し戻され、リップ部36からモールド40に流出していないことが分かる。

[0199] (実施例8～10)

実施例8～10では、直線形状の照射ライン25を配置した。図31は実施例8のシミュレーション結果を示し、図32は実施例9のシミュレーション結果を示し、図33は実施例10のシミュレーション結果を示す。実施例8～10では、直線状の照射ライン25の配置、あるいは、使用するハースが異なる。しかし、実施例8～10でも、実施例1～7と同様、図31～図33に示すように、リップ部36を塞ぐ照射ライン25に沿って高温領域が形成され、照射ライン25から上流に向かう溶湯流61が形成されている。このため、供給ラインからリップ部36に向かって流動したLDIは全て、溶湯流61に乗って側壁37A、37Bに向けて流動し、リップ部36を通過してモールド40側に延びる流線はない。このことから、ハース30内のLDIは、上流側に押し戻され、リップ部36からモールド40に流出してい

ないことが分かる。なお、図31～図33より、照射ライン25の端部近傍にLDIが滞留するよどみ位置があることがわかる。このLDIは、その後、ハース内の溶湯流に乗ってハース内を循環する。しかし、LDIが再び照射ライン25に到達しても、LDIは同様の位置に留まった後、再びハース内を循環する。LDIは、ハース内を循環する間に溶解する。あるいは、このよどみ位置に対して、LDI溶解促進用の電子ビームを照射し、LDIの溶解を促進することもできる。

[0200] (実施例11～13)

実施例11～13では、上流からリップ部36に向かって突出する凸形状の照射ライン25を配置した。図34は実施例11のシミュレーション結果を示し、図35は実施例12のシミュレーション結果を示し、図36は実施例13のシミュレーション結果を示す。実施例11～13では、照射ライン25の凸形状が異なる。しかし、実施例11～13でも、実施例1～10と同様、図34～図36に示すように、リップ部36を塞ぐ照射ライン25に沿って高温領域が形成され、照射ライン25から上流に向かう溶湯流61が形成されている。このため、供給ラインからリップ部36に向かって流動したLDIは全て、溶湯流61に乗って上流に向けて流動し、リップ部36を通過してモールド40側に延びる流線はない。このことから、ハース30内のLDIは、上流側に押し戻され、リップ部36からモールド40に流出していないことが分かる。

[0201] なお、図34～図36より、照射ライン25と供給ライン26との間において、実施例8～10と同様、ハース30の幅方向中央にLDIが滞留するよどみ位置があることがわかる。このLDIは、その後、ハース内の溶湯流に乗ってハース内を循環する。しかし、LDIが再び照射ライン25に到達しても、LDIは同様の位置に留まった後、再びハース内を循環する。LDIは、ハース内を循環する間に溶解する。あるいは、このよどみ位置に対して、LDI溶解促進用の電子ビームを照射し、LDIの溶解を促進することもできる。また、実施例8～13のシミュレーション結果より、照射ライン

25の配置及び形状を変化させることにより、LDIの滞留しやすいよどみ位置を調整できることがわかる。

[0202] なお、実施例1～実施例13では、照射ライン25がリップ部36を塞ぐように電子ビームを照射した。しかし、電子ビームの伝熱量、走査速度、および熱流束分布を適切に設定し、照射ライン25の端部e1、e2をハース30の側壁37に位置させ、供給ライン26を含む上流領域S2とリップ部36との間の流路を塞ぐように照射すれば、照射ライン25の配置は適宜変更可能である。この場合にも、LDIは、上記実施例1～13に示した挙動と同様の挙動を示すことは明らかである。

[0203] (比較例1)

比較例1では、照射ライン25に対して電子ビームが照射されない。このため、図37に示すように、供給ライン26の高温領域からハース30の中央部に向かってLDIが自由に流動し、ハース30の中央部の溶湯流60に乗って、大量のLDIがリップ部36を通過してモールドに流出した。

[0204] (比較例2)

比較例2は、上記特許文献1に記載の手法についてのシミュレーション結果である。すなわち、図38に示すように、ハース31、33内の溶湯5cの表面において鋳型への溶湯流れ方向とは逆方向に電子ビームをジグザグに走査させた。照射ライン25は、図38に示すように、ハース31、33の長手方向に沿ったジグザグ形状となる。原料5は、ハースの長手方向上流側(すなわち、リップ部と反対側)の原料供給領域28から投入されている。便宜上、溶解ハース31及び精錬ハース33は1つのハースとしてモデル化している。

[0205] 比較例2では、図39に示すように、LDIは、原料供給領域28からリップ部36に向かうにつれて、徐々にリップ部36に集まり、モールド40に流出した。なお、比較例2はロングハースを用いた場合についてシミュレーションを実施したが、LDIは照射ライン25上を通過しており、ショートハースの場合にもやはりLDIはモールドに向かって流出することは容易

に推測できる。

[0206] (比較例3)

比較例3では、図40に示すように、第1の直線部と第2の直線部とが交差していないため、ハース30の中央線付近に電子ビームが照射されない箇所がある。このため、図41に示すように、LD1は、電子ビームが照射されていない箇所を通り、リップ部36を通過してモールド40に向かって流出した。

[0207] (比較例4)

比較例4では、図42に示すように、第1の直線部L1、第2の直線部L2、第3の直線部L3が交差していないため、ハース30のリップ部36への流入口付近に電子ビームが照射されない箇所がある。このため、図43に示すように、LD1は、電子ビームが照射されていない箇所を通り、リップ部36を通過してモールド40に向かって流出した。

[0208] 以上、実施例1～13と比較例1～4のシミュレーション結果について説明した。これによれば、実施例1～13のように照射ライン25に対して電子ビームを集中的にライン照射することにより、照射ライン25から上流に向かう溶湯流を形成し、LD1がリップ部36を通過してモールドに向かって流出することを抑制できることが実証されたといえる。

[0209] (2) 溶湯流の挙動に関する実施例

本実施例では、第1の実施形態に係るV字形状の照射ライン25と、第2の実施形態に係る照射ライン25とについて、溶湯流の挙動について検証した。ここでは、上記実施例の実施例1(V字形状の照射ライン25)と、実施例3(T字形状の照射ライン25)とを比較した。各シミュレーションでは、溶湯の流れや温度は電子ビームの走査によって時々刻々変化するため、非定常計算を行った。本実施例では、実施例1、3の電子銃を、下記表2のように設定した。実施例3については、3つの電子銃を用いており、T字形状の照射ライン25は、照射ライン長さ(b_2)と照射ライン高さ(h_2)との比(h_2/b_2)が2/5となるようにした。

[0210] [表2]

表 2

	電子ビーム 伝熱量 [MW]	電子ビーム 走査速度 [m/s]	電子ビーム 熱流束分布 (σ [m])	照射軌跡 形状
実施例 1	0. 2 5	3. 7	0. 0 2	V 字形状
実施例 3	d 1 : 0. 0 5 d 2 : 0. 1 5 d 3 : 0. 0 5	d 1 : 2. 9 d 2 : 3. 6 d 3 : 2. 9	0. 0 2	T 字形状

[0211] 図 4 4 に、溶湯表面の流速分布及び溶湯表面の最大流速と、リップ部 3 6 付近から線分 A B を横切って側壁 3 7 A へ向かう溶湯流の総流量比とを示す。なお、総流量比は、溶湯流の平均流速と線分 A B の長さとの積で表される値の比である。

[0212] 溶湯表面の流速分布を比較すると、実施例 1、3 ともにリップ部 3 6 付近から側壁 3 7 A へ向かう溶湯流の速さが大きくなっているが、図 4 4 に示すように、実施例 3 の方が実施例 1 よりも流速が大きくなっている。最大流速は、実施例 3 は 0. 1 3 m/s であるのに対し、実施例 1 は 0. 1 1 m/s であった。また、図 4 4 の溶湯表面の流速分布に示した、ハースの側壁 3 7 に平行な線分 A B を通過する溶湯流の総流量比も、実施例 3 の方が実施例 1 よりも大きい値であった。

[0213] これより、1 つの側壁に向かう溶湯の表面流れが単一のマランゴニ対流の発生によって形成される実施例 1 よりも、2 つのマランゴニ対流の発生により形成される実施例 3 の方が、高速の溶湯表面流れが形成されることがわかった。

[0214] (3) L D I 溶解促進用の電子ビームの実施例

次に、上記実施例 8 に対し、L D I 溶解促進用の電子ビームを使用した場合のシミュレーションを実施した。本シミュレーションでも、溶湯 5 c の流れや温度は電子ビームの走査によって時々刻々変化するため、非定常計算を行った。L D I は窒化チタンであり、窒化チタンの粒径が 5 m m であり、窒化チタンの密度が溶湯 5 c より 1 0 % 小さいと仮定してシミュレーションを

実施した。

[0215] 本実施例では、まず、LDI流出防止用の電子銃1本を用いて、図12に示したように、2つの端部e1、e2がリップ部36が設けられた側壁37Dに位置し、かつ、リップ部36を塞ぐように直線形状の照射ライン25を配置した。LDI流出防止用の電子ビームの伝熱量は0.25MW、走査速度は1.6m/s、熱流束分布の標準偏差は0.02mとした。また、LDI流出防止用の電子銃とは異なる、ハース30内のLDI溶解促進用の電子銃2本を用いて、溶湯流のよどみ位置に対して電子ビームを照射した。このとき、LDI流出防止用の電子銃による電子ビームの照射時間は1秒とし、当該電子ビームの照射位置は溶湯流のよどみ位置に固定した。LDI溶解促進用の電子ビームの伝熱量は0.25MW、熱流束分布の標準偏差は0.02mとした。

[0216] 図45に、シミュレーション結果を示す。図45では、LDIが溶湯5cに滞留してから4つの時間におけるハース30内の溶湯表面の温度分布図とLDIの挙動とを示す。図45中の左側の温度分布図において、リップ部36近傍の丸を付けた温度が高い領域が、その時点での照射ライン25に対する電子ビームの照射位置を示し、供給ライン26のリップ部36の端部近傍の丸を付けた温度が高い領域が、その時点でのLDI溶解促進用の電子ビームの照射位置を示す。また、上下2本の帯状の温度の高い部分が、2本の供給ライン26を示し、ハースの内側面近傍の低温部分は、スカル7が形成されている部分を示す。また、図45中の右側には、各時間におけるLDIの位置を示している。

[0217] 図45に示すように、LDIが溶湯に滞留してから0.8秒後に供給ライン26近傍にあるLDIは、時間の経過とともにハース30内を移動する。LDIが溶湯に滞留してから27.7秒後、LDIの挙動において丸で示す位置（溶湯流れのよどみ位置）にLDIが複数滞留した。この滞留したLDI群に向けて、LDIが溶湯に滞留してから27.8秒後から1秒間、LDI溶解促進用の電子銃2本で電子ビームを照射した。その結果、LDIが溶

湯に滞留してから28.8秒後には、LDIは溶解した。このように、溶湯流れのよどみ位置を特定し、当該溶湯流れのよどみ位置に電子ビームを照射することで、LDIを早期に、かつ、確実に溶解させることが可能であることが示された。

[0218] 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、各種の変更例また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。

[0219] 上記では、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法による溶解対象の金属原料5が、例えば、チタンまたはチタン合金の原料であり、ハース30とモールド40を用いてチタンのインゴット50（鋳塊）を製造する例について主に説明した。しかし、本発明の金属鋳塊の製造方法は、チタン原料以外の各種の金属原料を溶解して、当該金属原料の鋳塊を製造する場合にも適用可能である。特に、電子ビームの照射位置を制御可能である電子銃と、金属原料の溶湯を貯留するハースとを備えた電子ビーム溶解炉を用いて、鋳塊を製造することが可能な高融点活性金属、具体的には、チタンのほか、タンタル、ニオブ、バナジウム、モリブデンまたはジルコニウム等の金属原料の鋳塊を製造する場合に適用可能である。すなわち本発明は、ここで挙げた各元素を、合計で50質量%以上含む鋳塊を製造する場合に、特に効果的に適用される。

[0220] また、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法を適用するハースの形状は矩形状に限定されない。例えば、ハースの側壁が楕円状、長円状等の湾曲形状である、矩形状以外のハースにも、本実施形態に係る金属鋳塊の製造方法は適用可能である。

符号の説明

[0221] 1 電子ビーム溶解炉（EB炉）

5	金属原料
5 c	溶湯
7	スカル
8	L D I
1 0 A、1 0 B	原料供給部
2 0 A、2 0 B	原料溶解用の電子銃
2 0 C、2 0 D	溶湯保温用の電子銃
2 0 E	ライン照射用の電子銃
2 3	保温照射領域
2 5	照射ライン
2 6	供給ライン
3 0	精錬ハース
3 6	リップ部
3 7 A、3 7 B、3 7 C	リップ部が設けられない側壁
3 7 D	第1の側壁
4 0	モールド
5 0	インゴット
6 1、6 2、6 3	溶湯流

請求の範囲

[請求項1] 電子ビームの照射位置を制御可能である電子銃と、金属原料の溶湯を貯留するハースとを備えた電子ビーム溶解炉を用いた、チタン、タンタル、ニオブ、バナジウム、モリブデン及びジルコニウムからなる群から選択された少なくとも1つ以上の金属元素を合計で50質量%以上含む金属鑄塊の製造方法であって、

前記金属原料の溶湯を貯留するハースの複数の側壁のうち、第1の側壁は、前記ハース内の前記溶湯をモールドへ流出させるためのリップ部が設けられる側壁であり、

照射ラインは、前記溶湯の表面において前記金属原料が供給される上流領域と前記第1の側壁との間の下流領域に、前記リップ部を塞ぐように、かつ、2つの端部が前記ハースの前記側壁の近傍に位置するように照射ラインを配置し、

前記照射ラインに対して、第1の電子ビームを前記溶湯の表面に照射し、

前記照射ラインに対して前記第1の電子ビームを照射することによって、前記照射ラインにおける前記溶湯の表面温度(T_2)を、前記ハース内の前記溶湯の表面全体の平均表面温度(T_0)よりも高くして、前記溶湯の表層において前記照射ラインから前記第1の側壁とは反対側の方向である上流へ向かう溶湯流を形成する、金属鑄塊の製造方法。

[請求項2] 前記照射ラインの2つの前記端部は、前記第1の側壁の近傍に位置する、請求項1に記載の金属鑄塊の製造方法。

[請求項3] 前記照射ラインの2つの端部は、前記側壁の内側面または前記側壁の内側面からの離隔距離が5mm以下の領域に位置する、請求項1または2に記載の金属鑄塊の製造方法。

[請求項4] 前記溶湯流は、前記照射ラインから、前記ハースの側壁のうち前記第1の側壁から前記上流に向かって略垂直に延びる側壁に到達する流

れである、請求項 1～3 のいずれか 1 項に記載の金属鋳塊の製造方法。

[請求項5] 前記照射ラインは、前記リップ部側から前記上流に向かって突出する凸形状を有する、請求項 1～4 のいずれか 1 項に記載の金属鋳塊の製造方法。

[請求項6] 前記照射ラインは、V 字形状、または、少なくとも前記リップ部の開口幅以上の直径を有する円弧形状である、請求項 5 に記載の金属鋳塊の製造方法。

[請求項7] 前記照射ラインは、前記 2 つの端部の間において前記第 1 の側壁に沿った第 1 の直線部と、前記第 1 の直線部から前記上流に向かって略垂直に延びる第 2 の直線部とからなる、T 字形状である、請求項 1～4 のいずれか 1 項に記載の金属鋳塊の製造方法。

[請求項8] 前記照射ラインは、前記 2 つの端部の間において前記第 1 の側壁に沿った直線形状である、請求項 1～3 のいずれか 1 項に記載の金属鋳塊の製造方法。

[請求項9] 前記溶湯流は、
前記照射ラインから前記上流に向かい、
かつ、前記ハースの側壁のうち前記第 1 の側壁から前記上流に向かって略垂直に延びて互いに対向する一対の側壁から中央に向かう流れである、請求項 1～3 のいずれか 1 項に記載の金属鋳塊の製造方法。

[請求項10] 前記照射ラインは、前記上流から前記リップ部に向かって突出する凸形状である、請求項 9 に記載の金属鋳塊の製造方法。

[請求項11] 前記照射ラインは、
前記 2 つの端部の間において前記第 1 の側壁に沿った第 1 の直線部と、
前記第 1 の直線部の前記 2 つの端部から、前記ハースの側壁のうち前記第 1 の側壁から上流に向かって略垂直に延びて互いに対向する一対の側壁にそれぞれ沿った第 2 の直線部及び第 3 の直線部と、

からなる、U字形状である、請求項9に記載の金属鋳塊の製造方法。

[請求項12] 前記照射ラインに対して前記第1の電子ビームを照射することにより生じる前記溶湯流のよどみ位置に、第2の電子ビームを照射する、請求項9～11のいずれか1項に記載の金属鋳塊の製造方法。

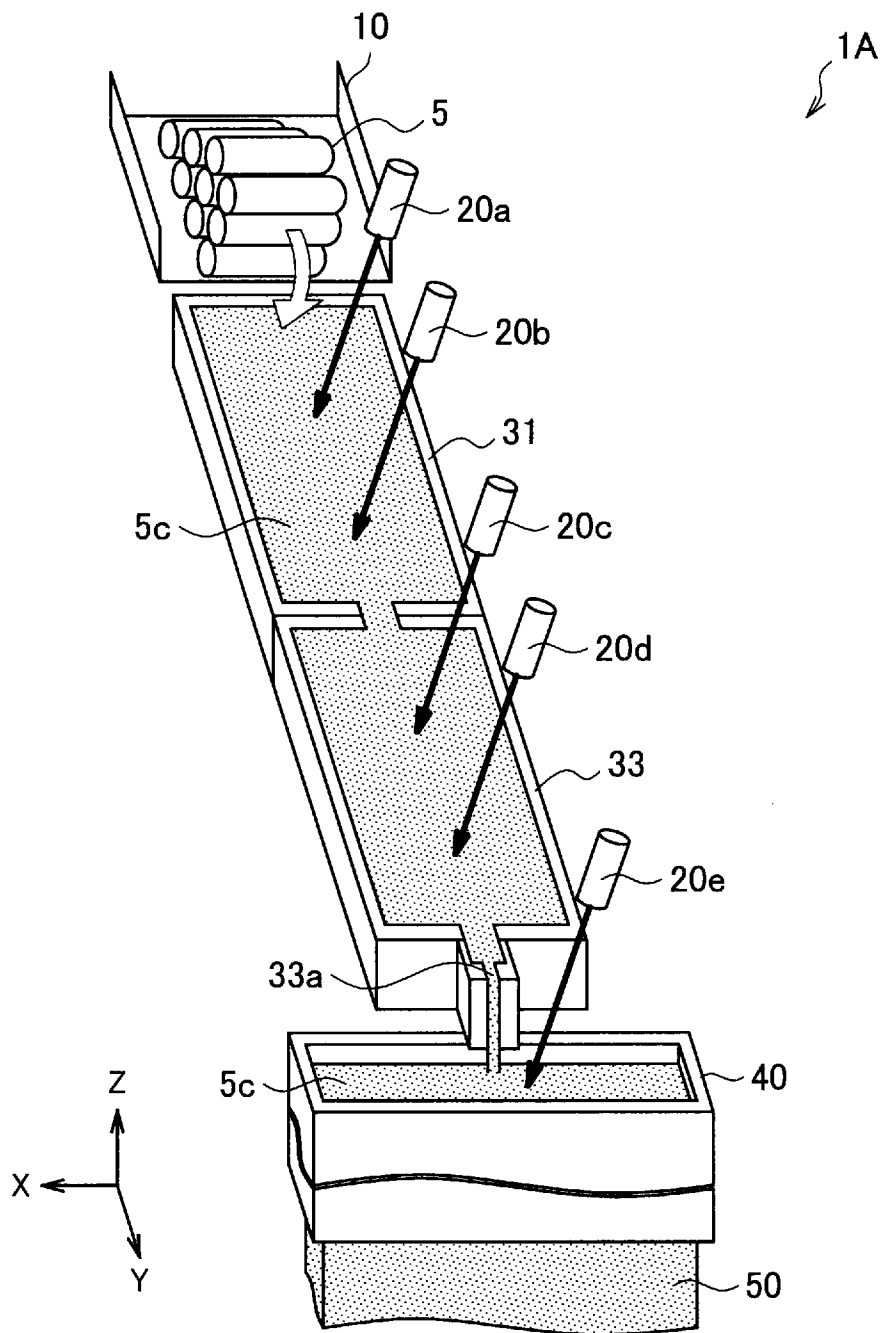
[請求項13] 前記溶湯の表面において、前記第1の電子ビームの照射軌跡が交差または重複するように、複数の電子銃を用いて、前記照射ラインに対して複数の前記第1の電子ビームを照射する、請求項1～12のいずれか1項に記載の金属鋳塊の製造方法。

[請求項14] 前記ハースは、1つの精錬ハースのみからなり、
原料供給部において前記金属原料を溶解し、前記溶解された金属原料を前記原料供給部から前記ハース内に滴下させ、前記精錬ハース内の前記溶湯中で前記金属原料を精錬する、請求項1～13のいずれか1項に記載の金属鋳塊の製造方法。

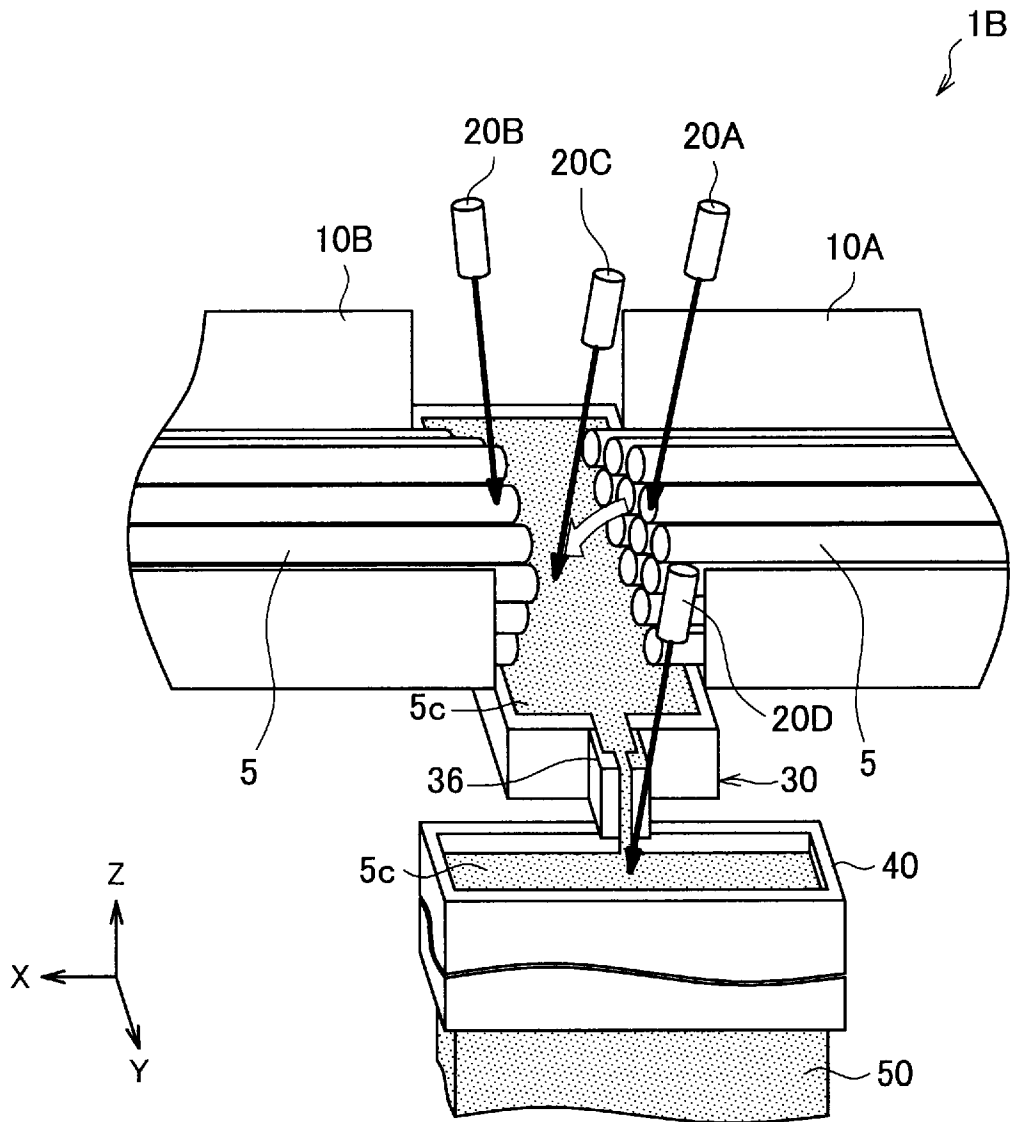
[請求項15] 前記ハースは、複数の分割ハースが組み合わされて連続的に配置された複数段のハースであり、
前記分割ハースそれぞれにおいて、
前記下流領域に前記リップ部を塞ぐように、かつ、前記2つの端部が前記分割ハースの前記側壁の近傍に位置するように配置された前記照射ラインに対して、前記第1の電子ビームを前記溶湯の表面に対して照射する、請求項1～13のいずれか1項に記載の金属鋳塊の製造方法。

[請求項16] 前記金属原料は、チタン元素を50質量%以上含む、請求項1～15のいずれか1項に記載の金属鋳塊の製造方法。

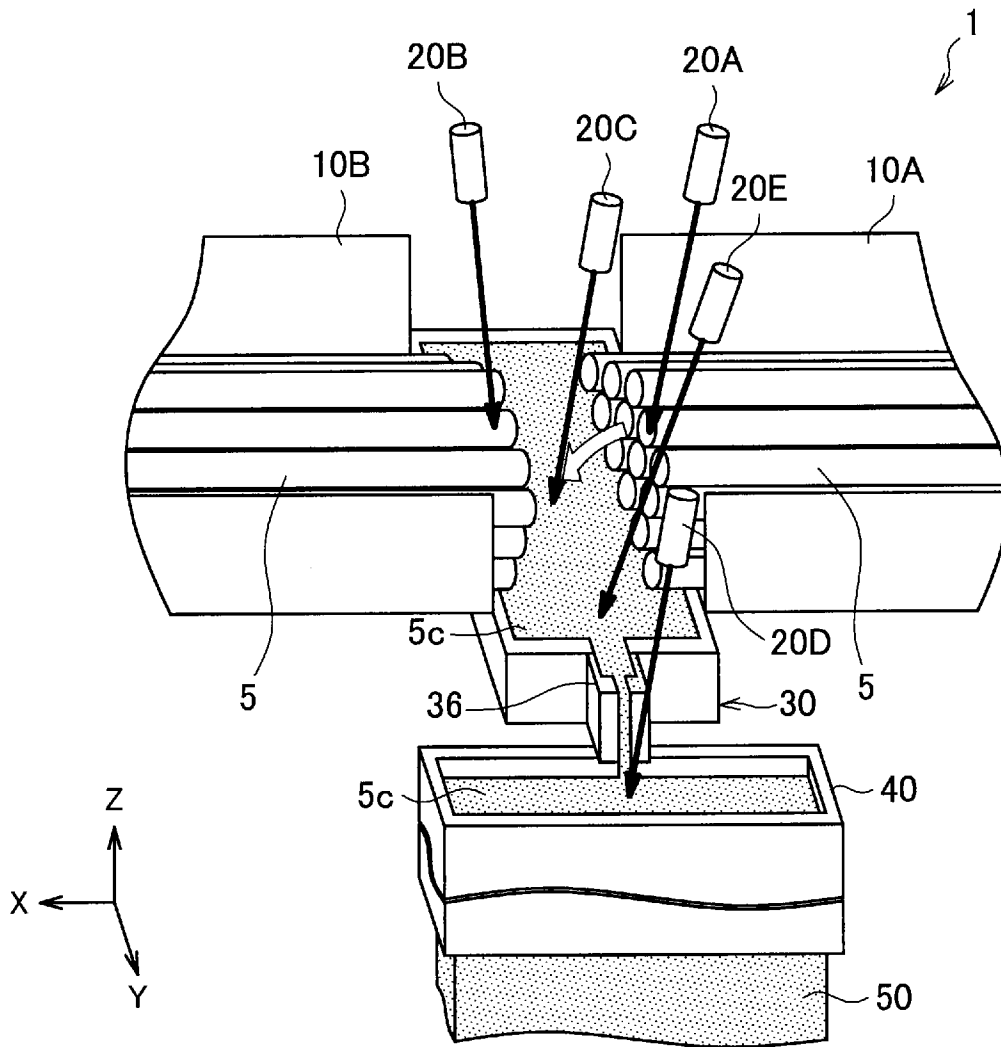
[図1]



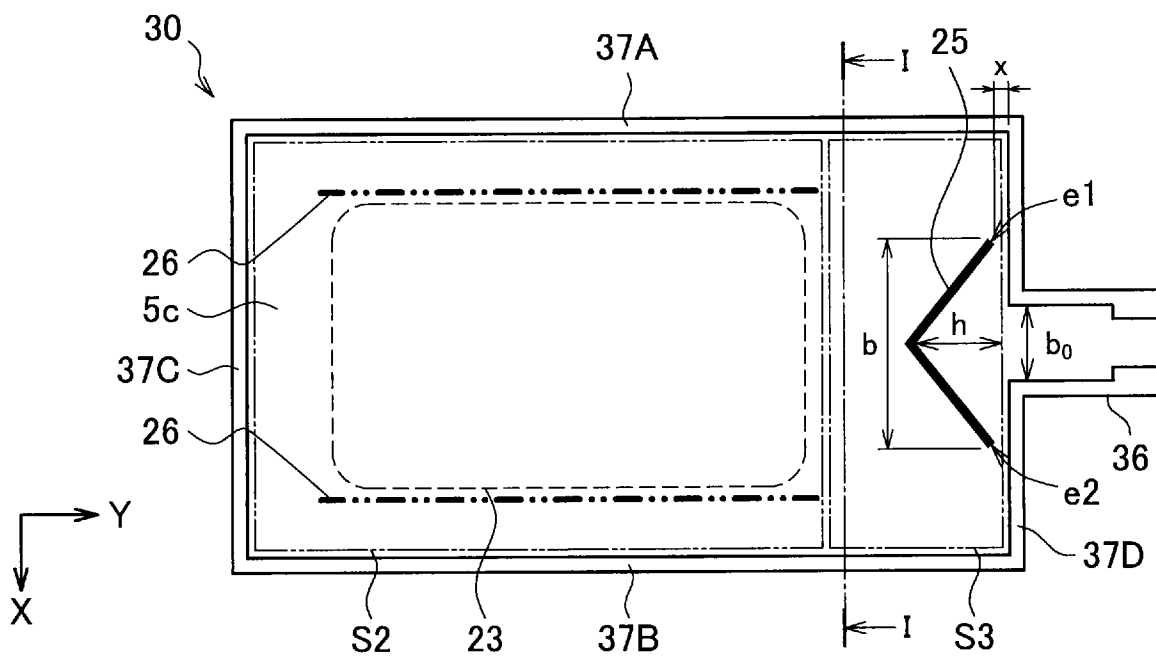
[図2]



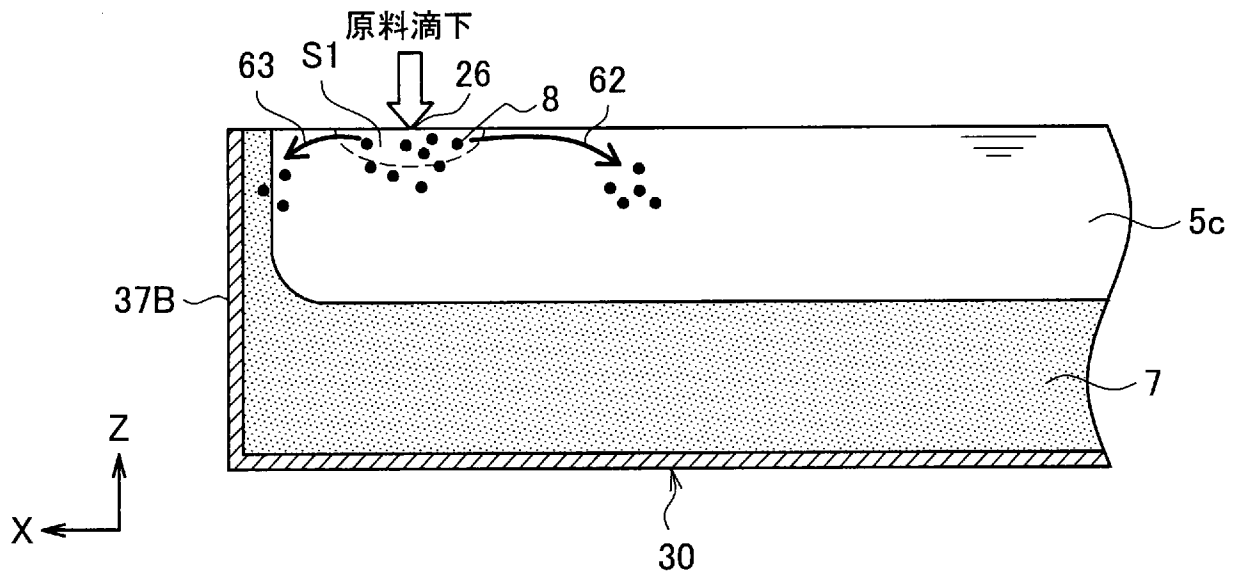
[図3]



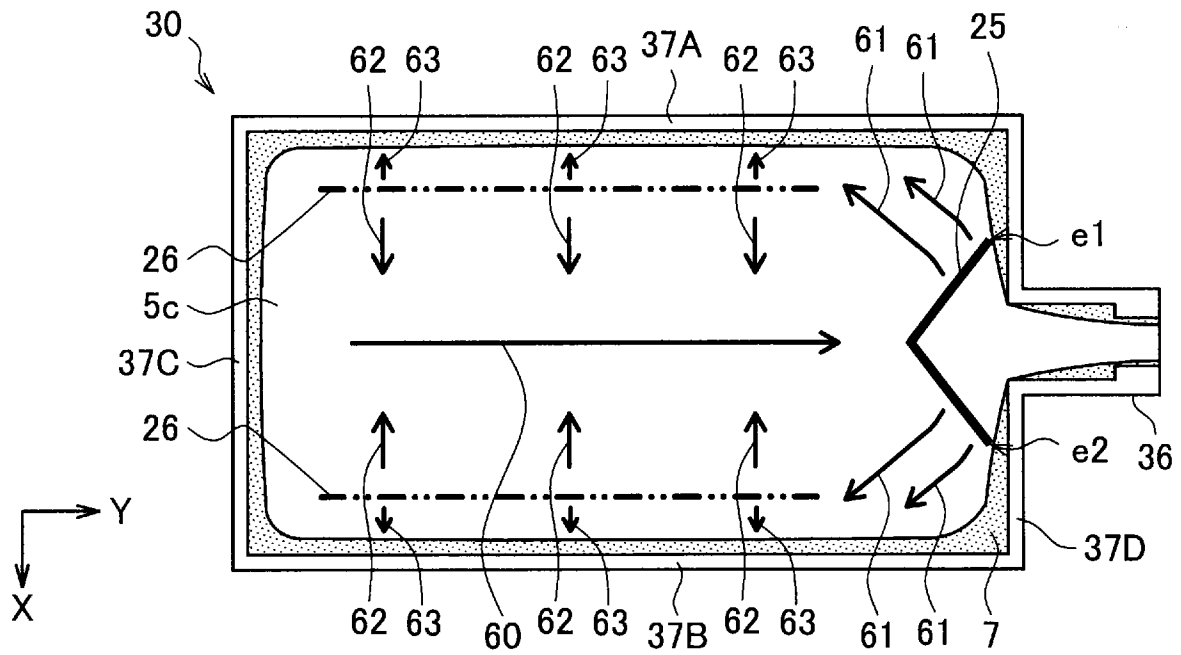
[図4]



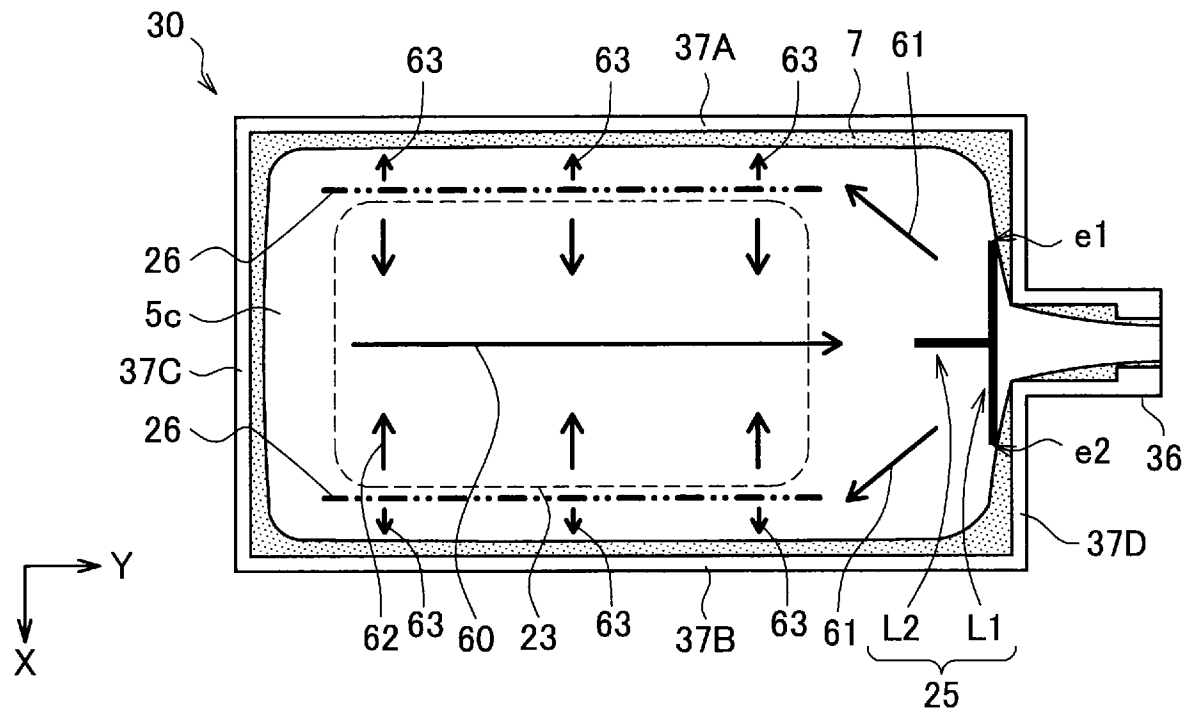
[図5]



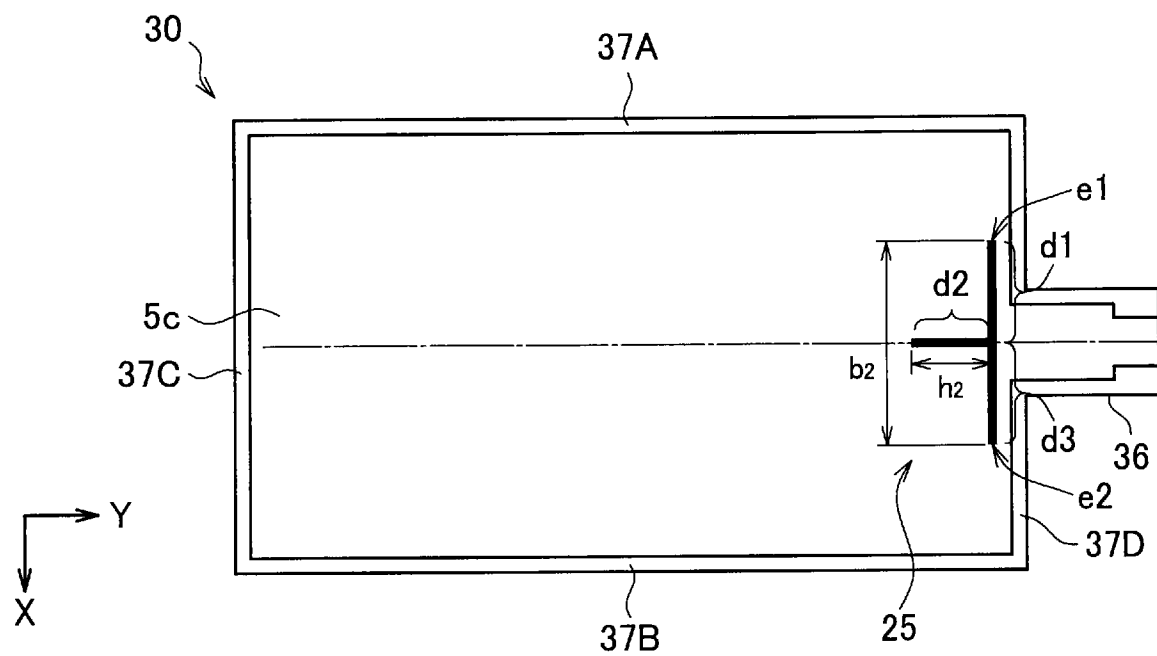
[図6]



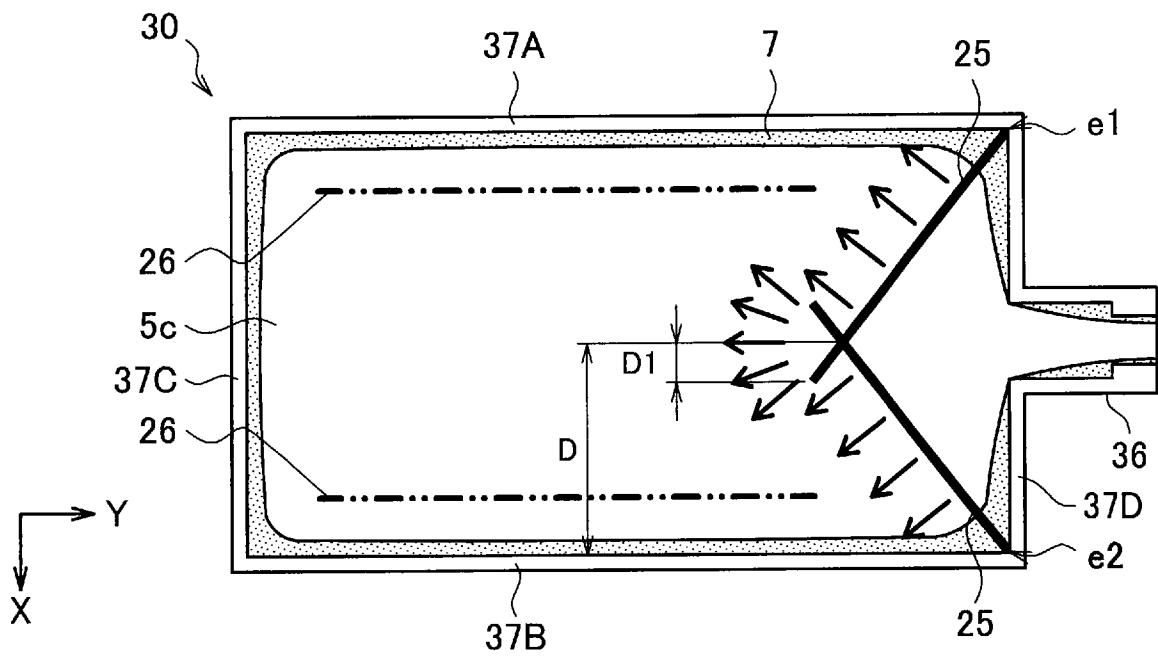
[図9]



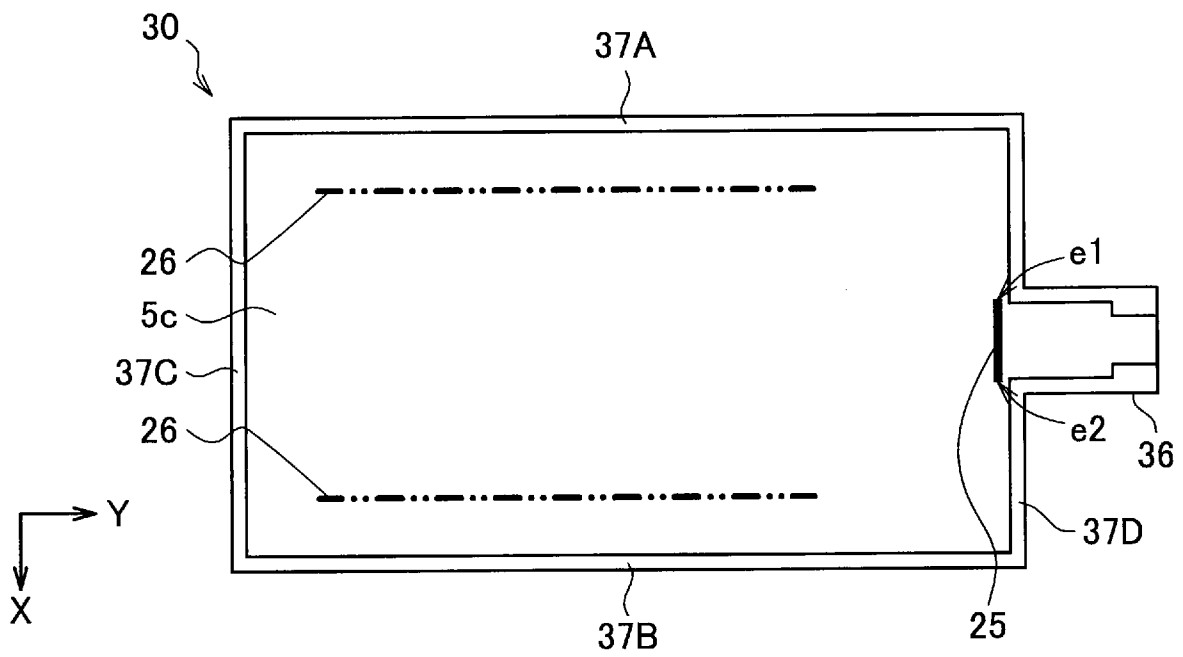
[図10]



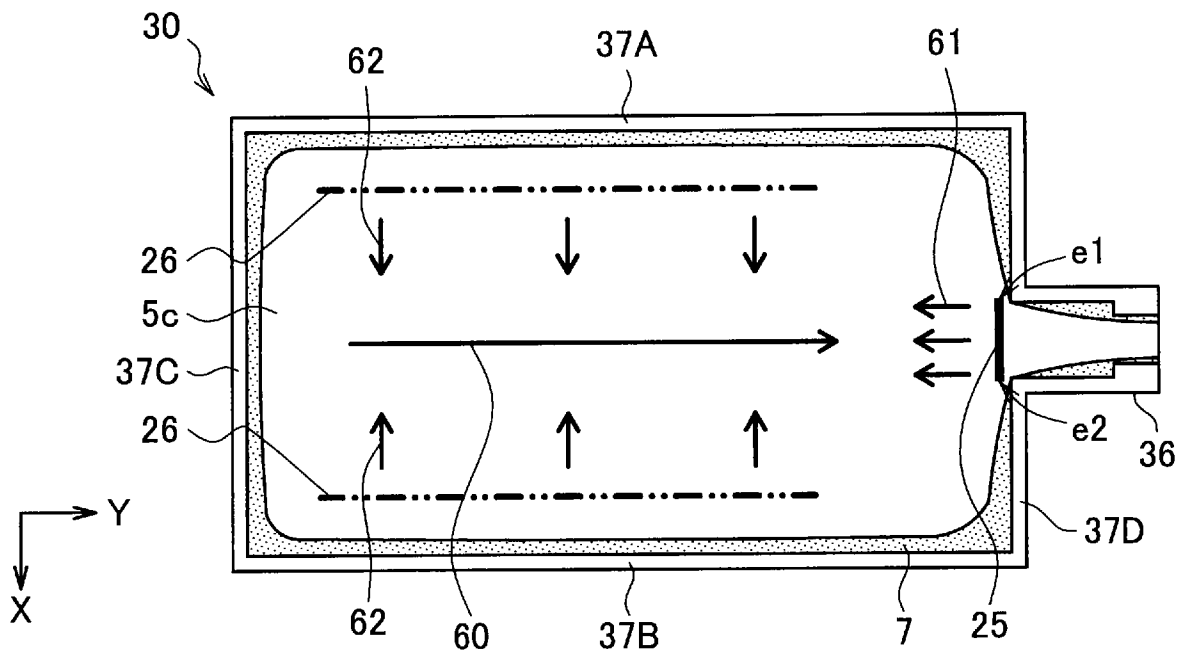
[図11]



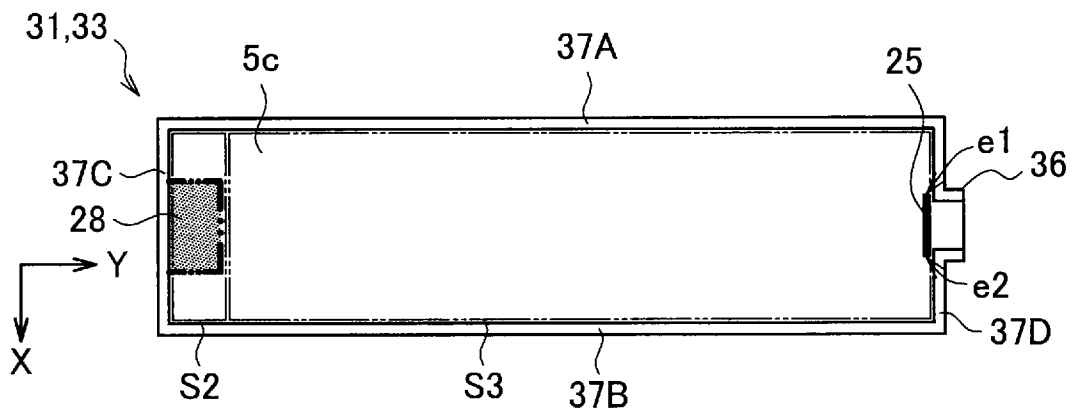
[図12]



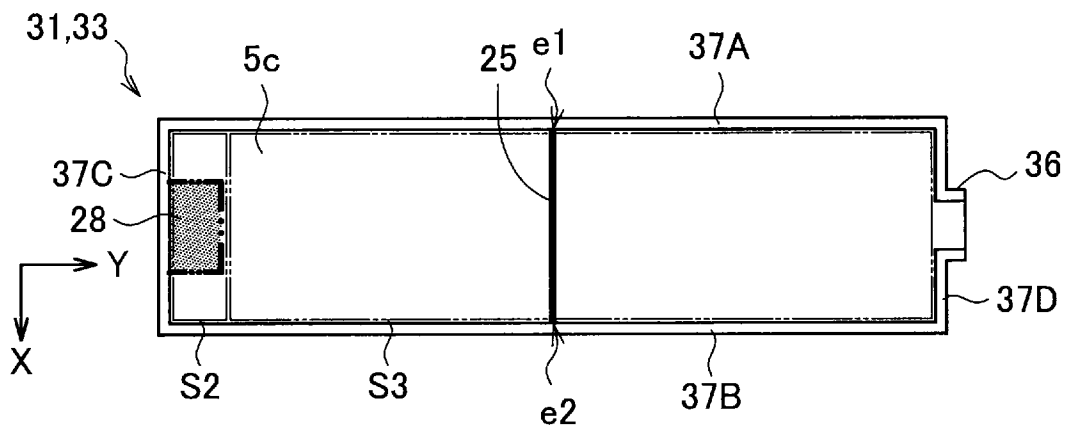
[図13]



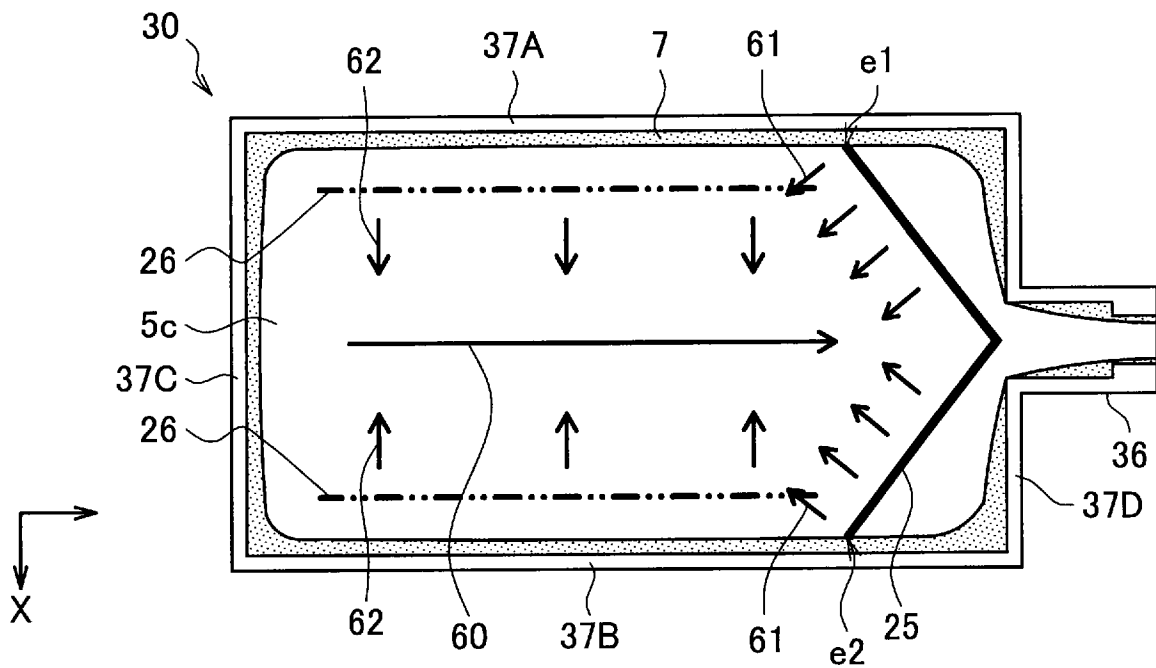
[図14]



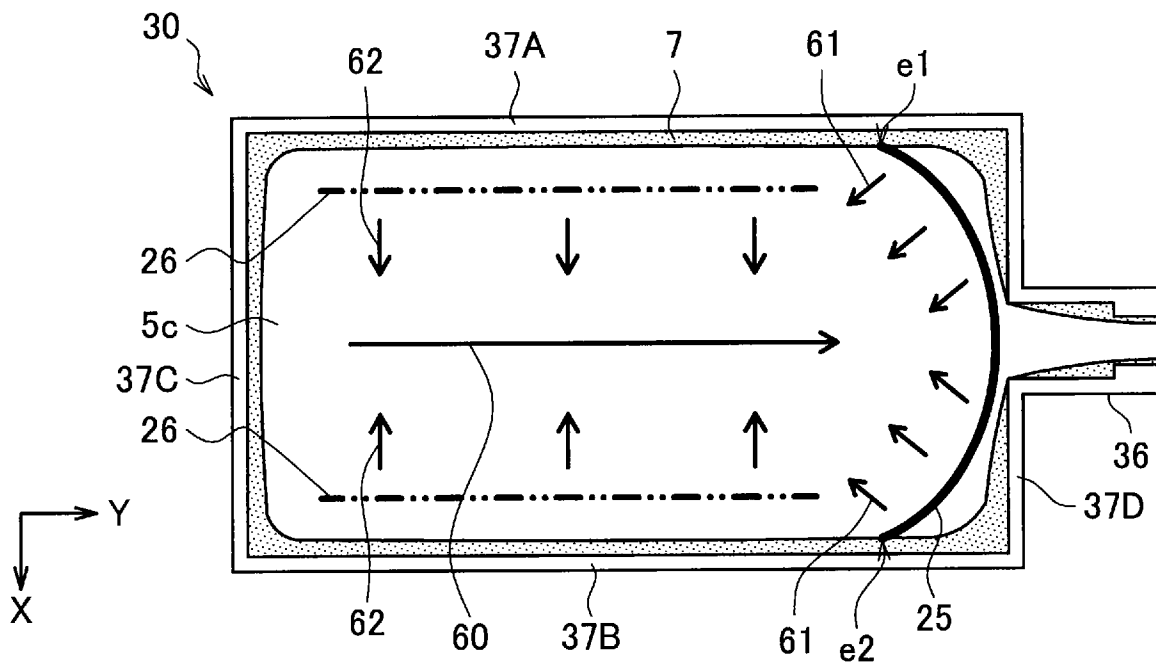
[図15]



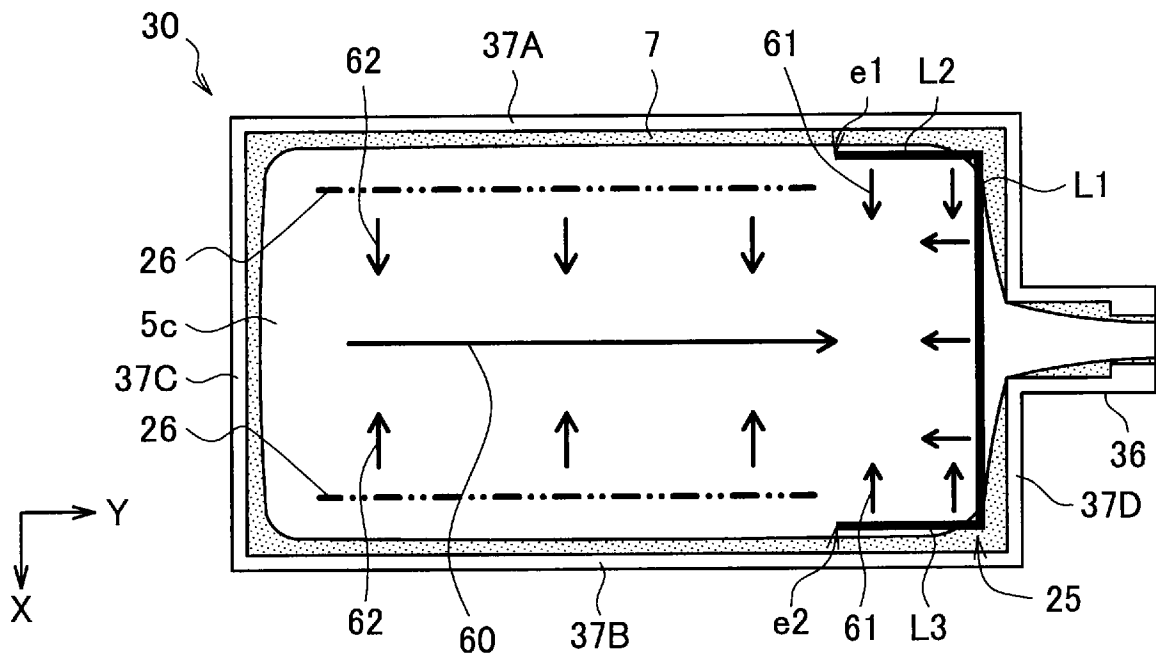
[図16]



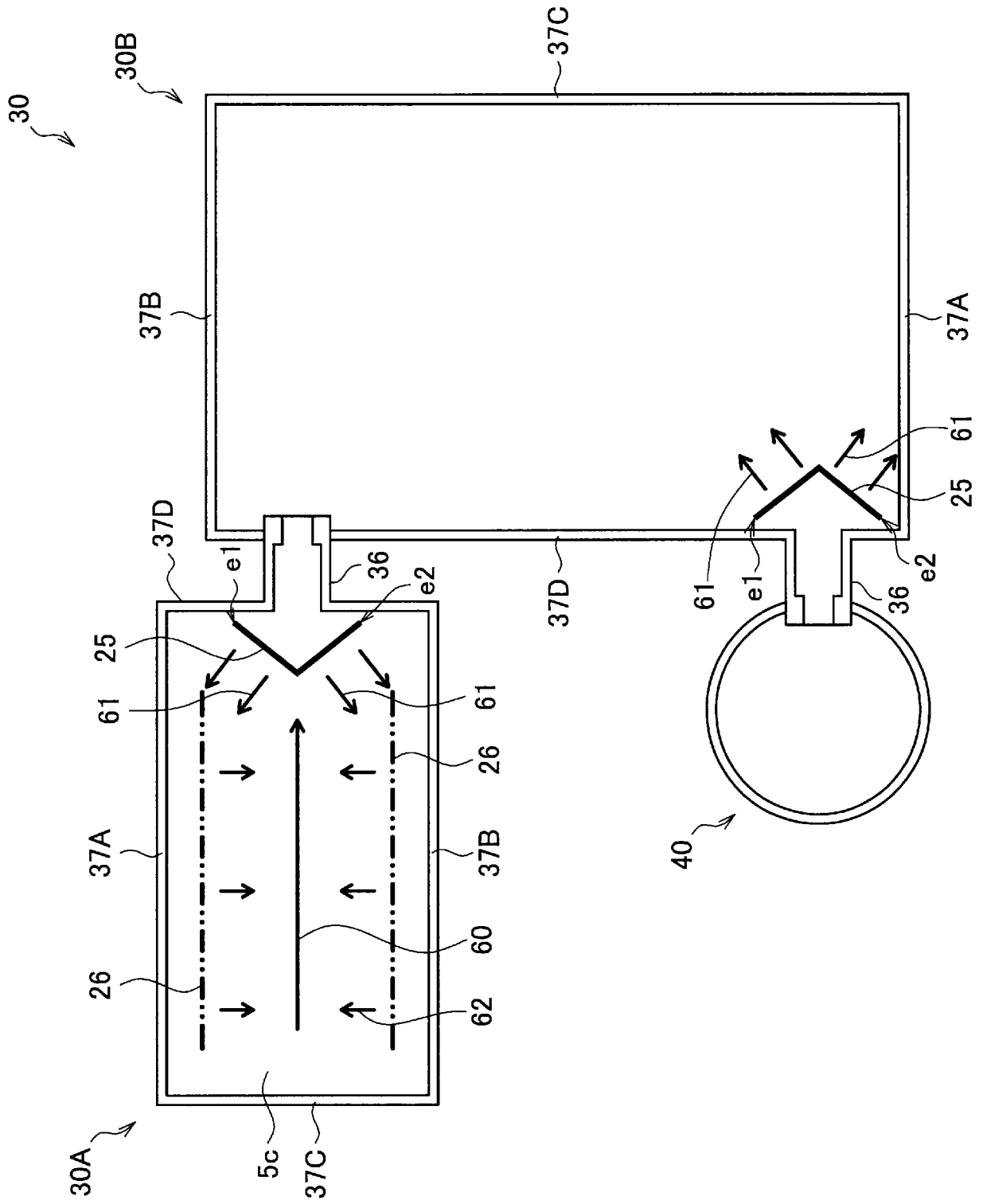
[図17]



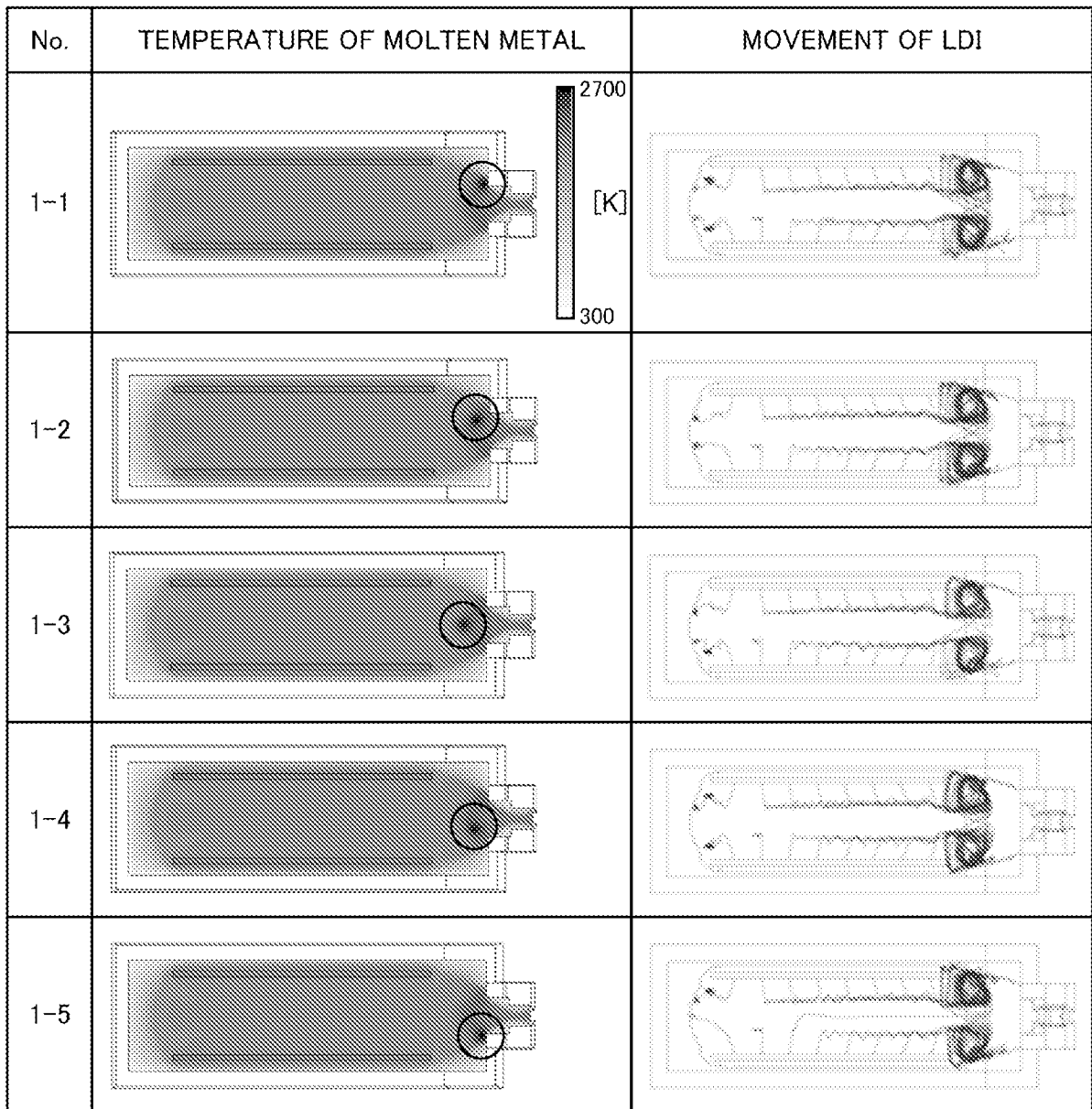
[図18]



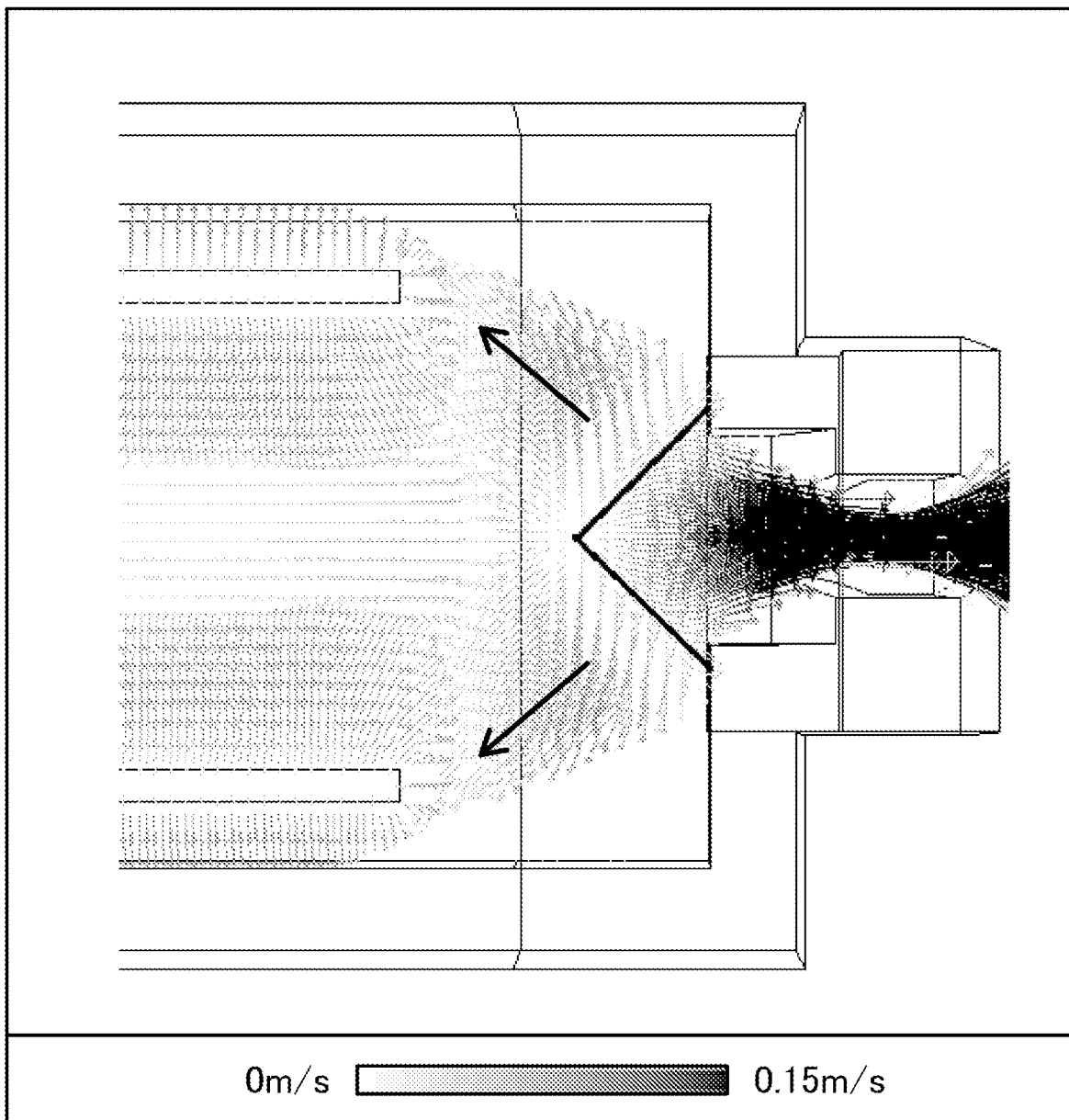
[19]



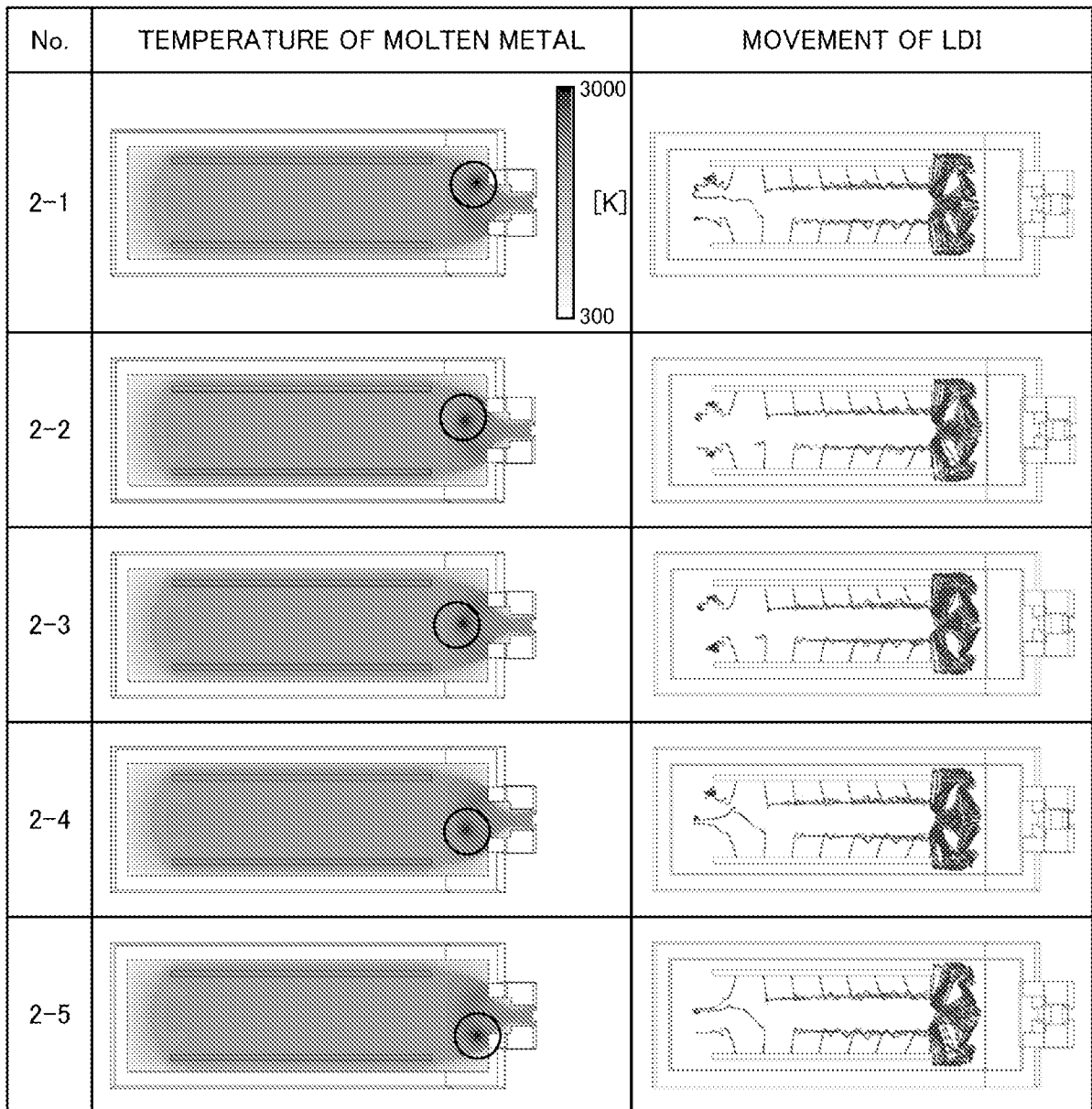
[図20]



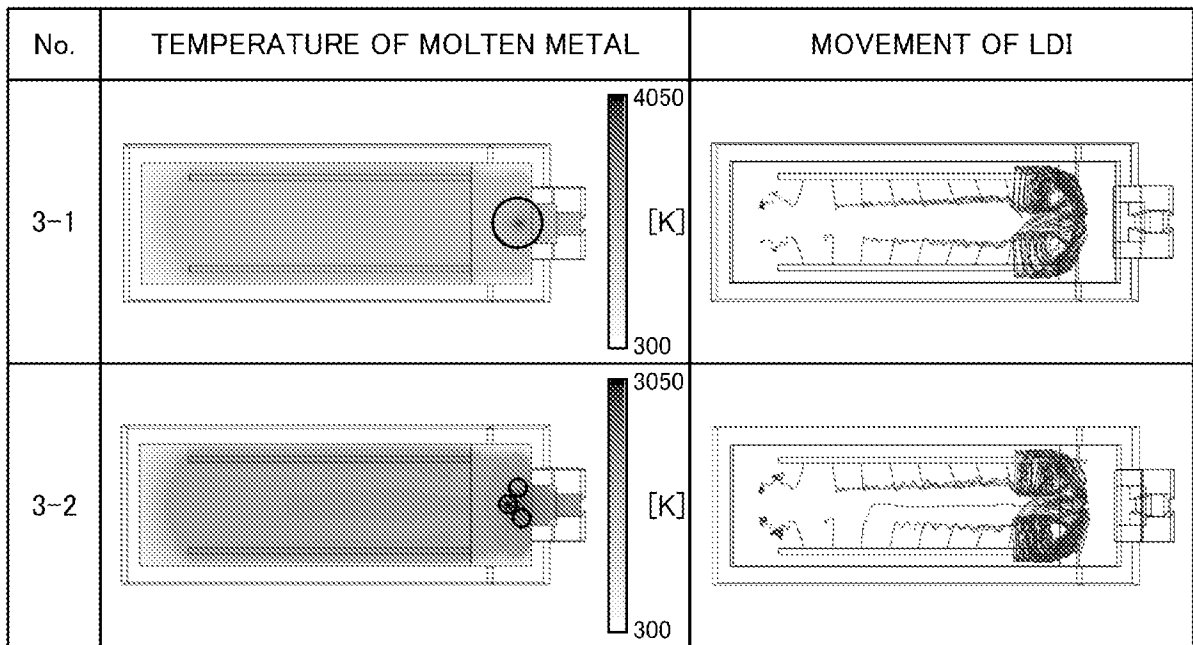
[図21]



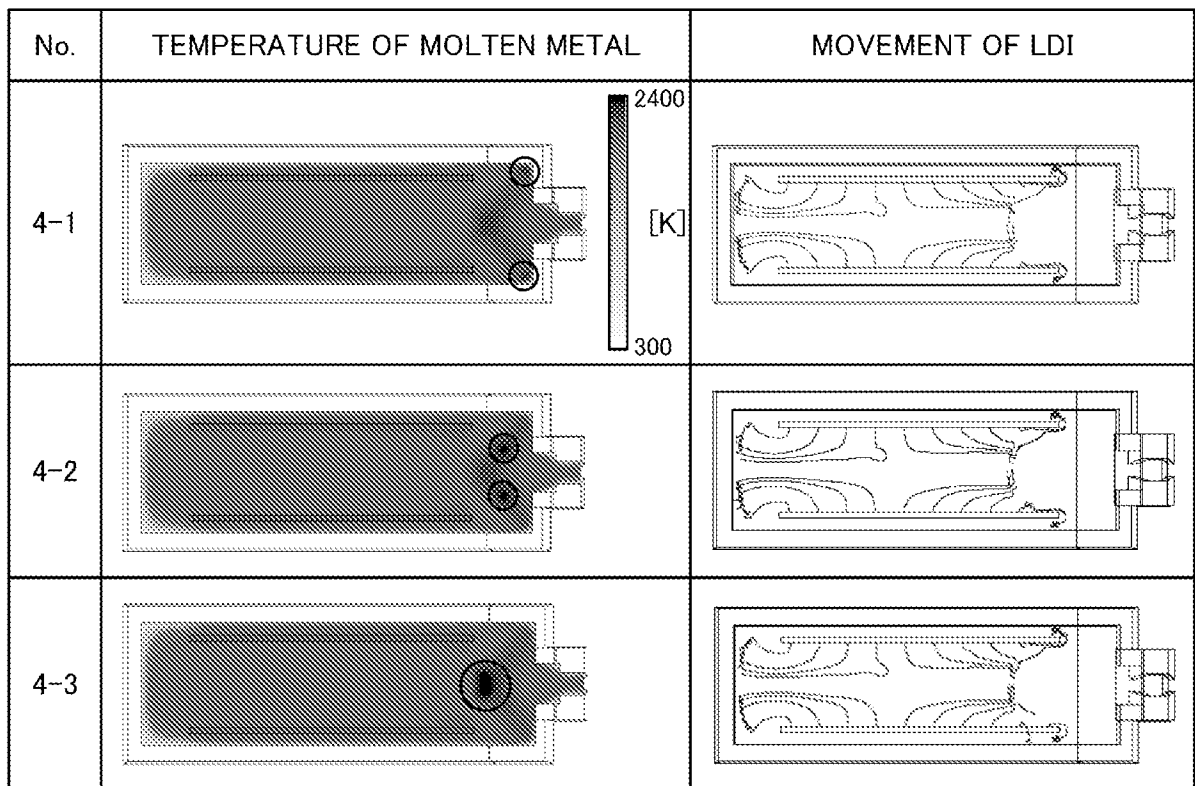
[図22]



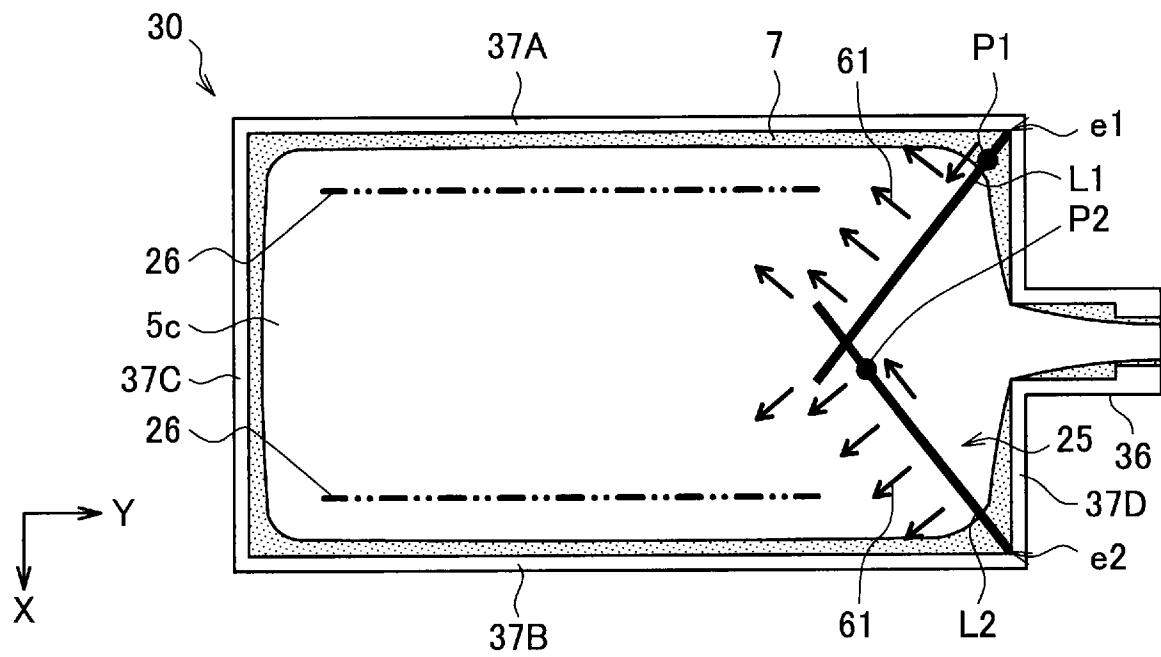
[図23]



[図24]



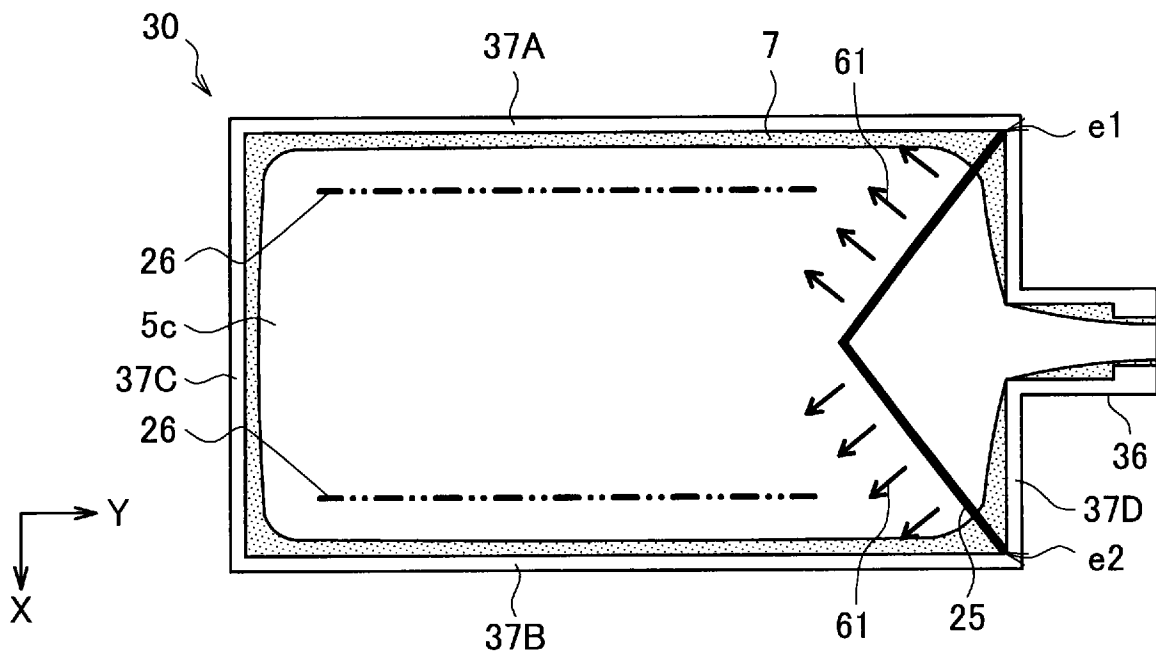
[図25]



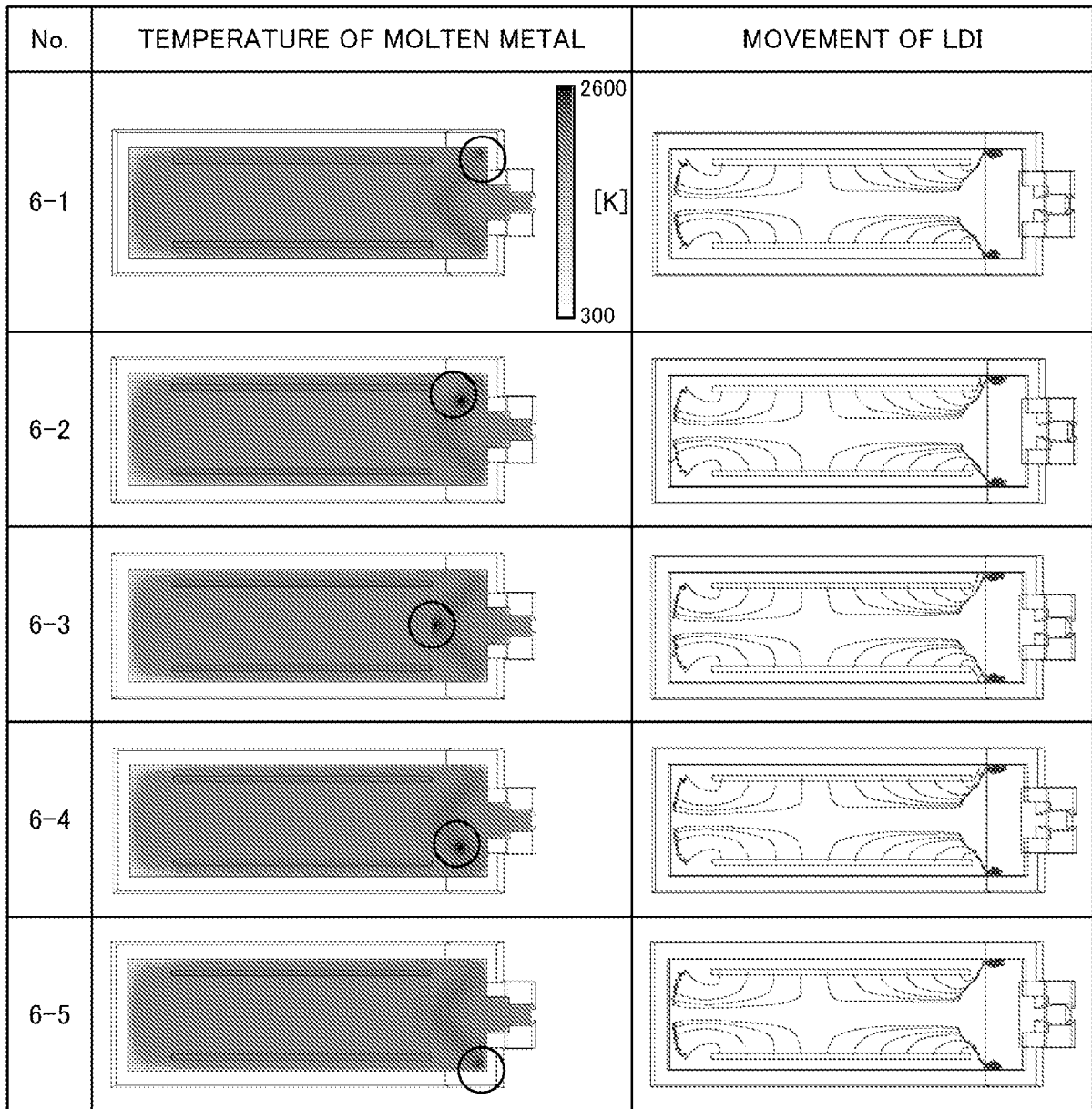
[図26]

No.	TEMPERATURE OF MOLTEN METAL	MOVEMENT OF LDI
5-1		
5-2		
5-3		

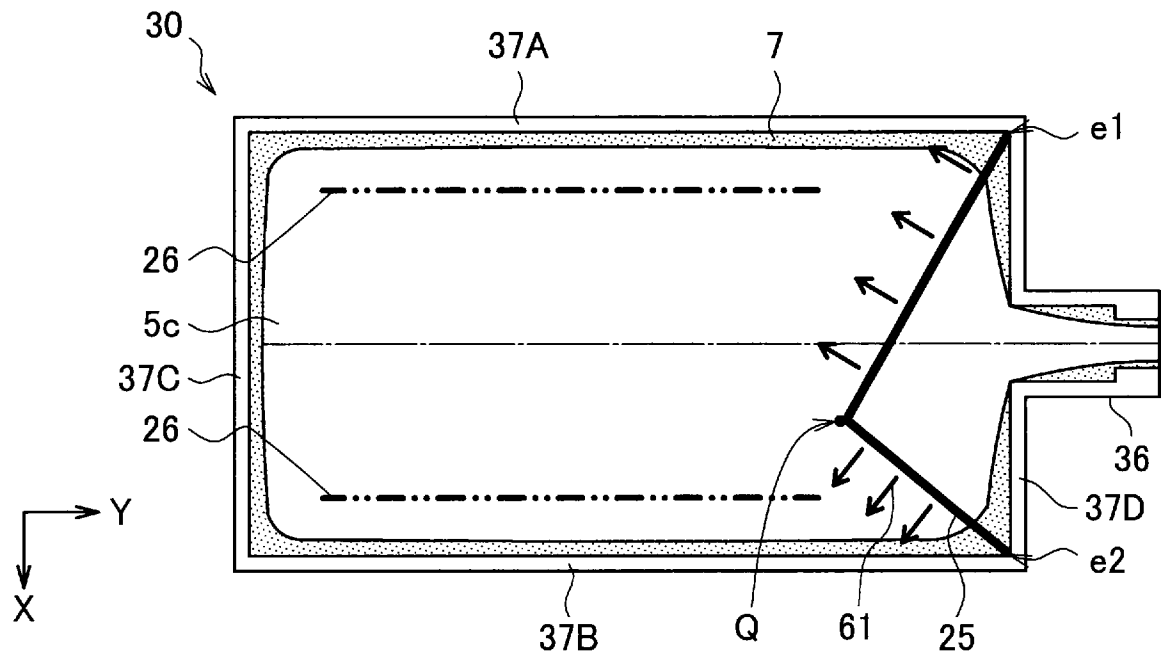
[図27]



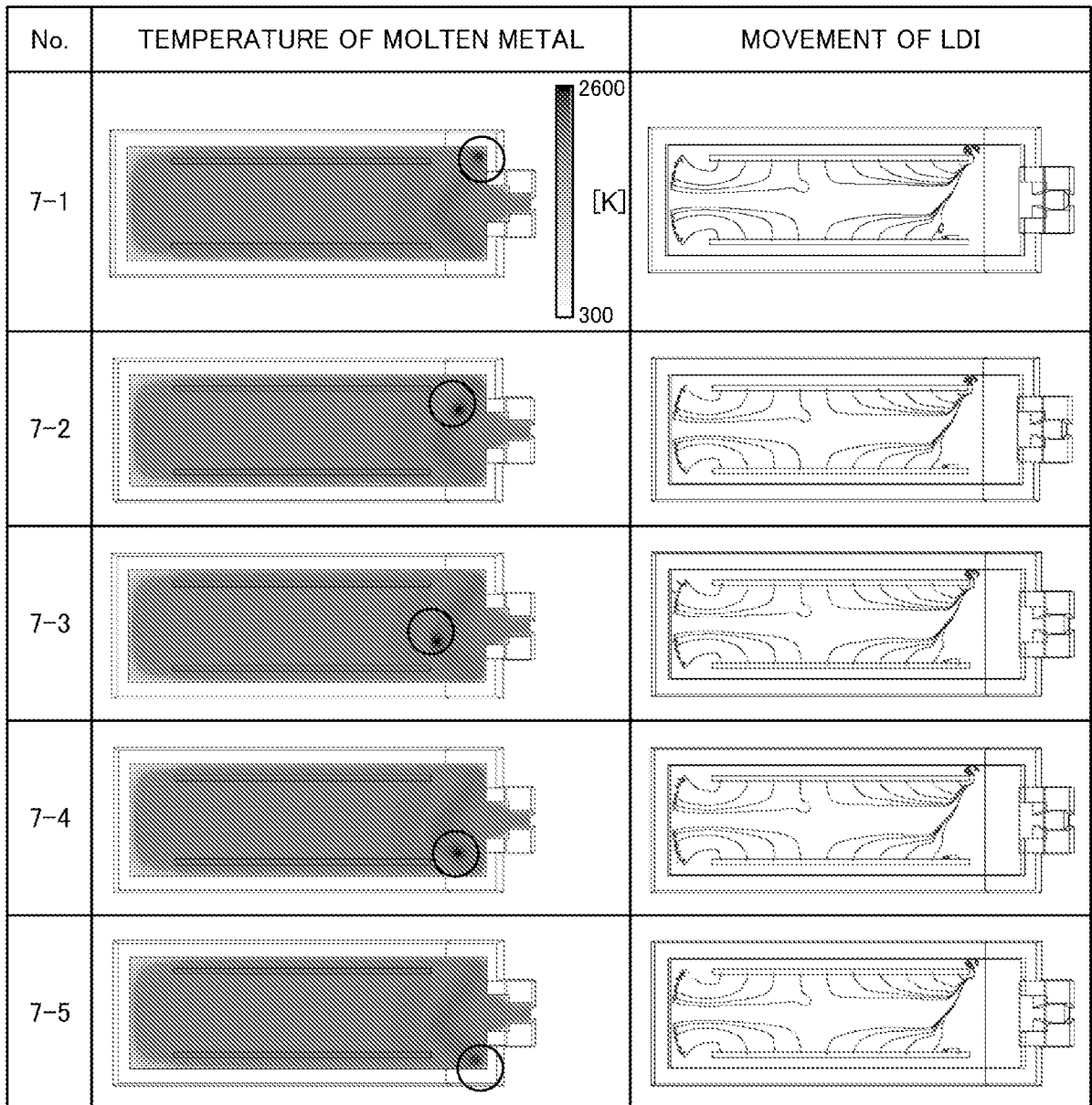
[図28]



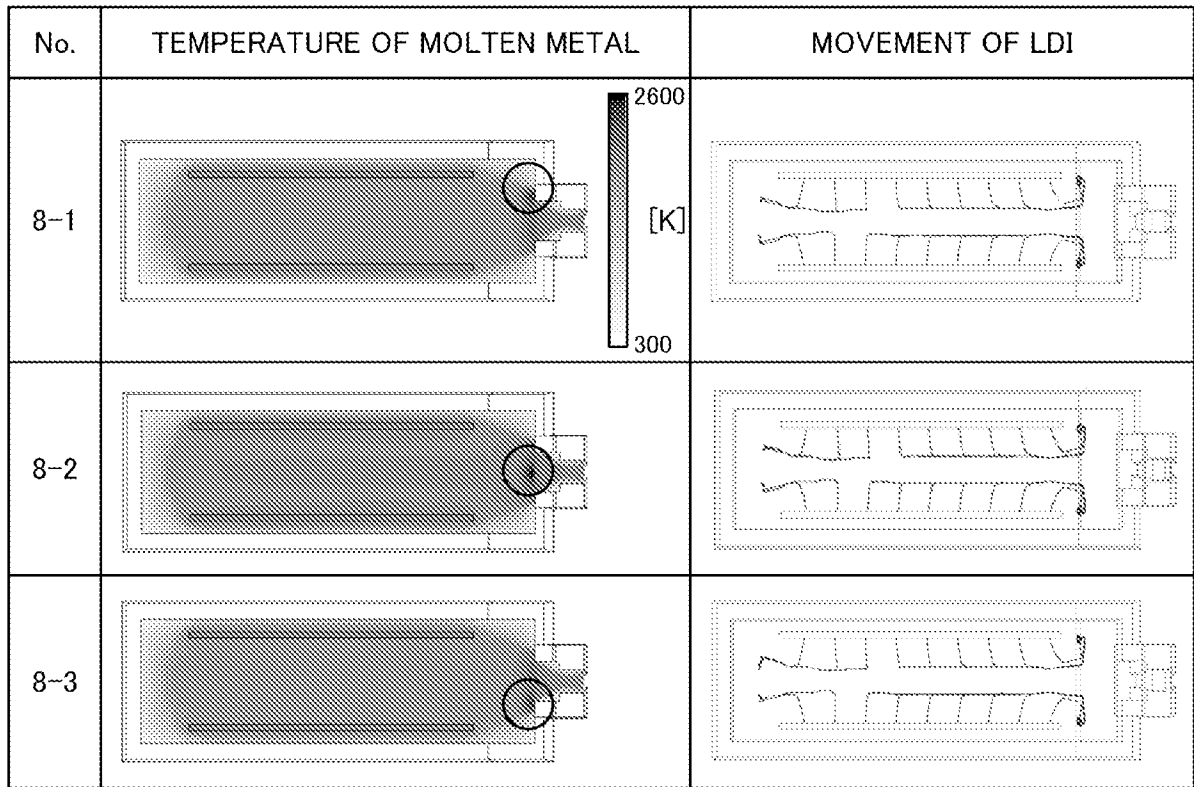
[図29]



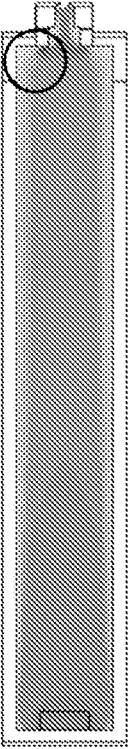
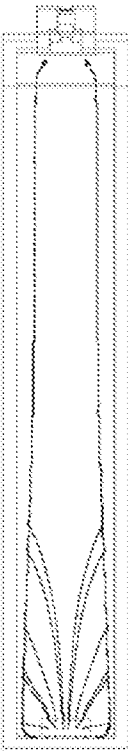
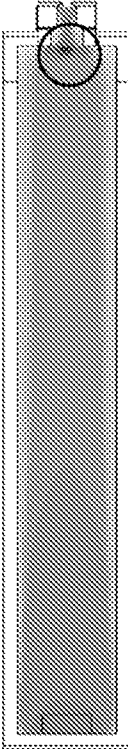
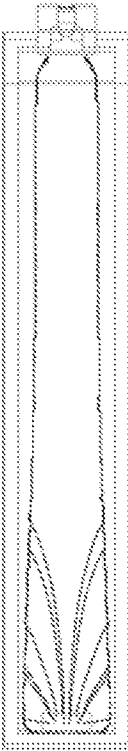
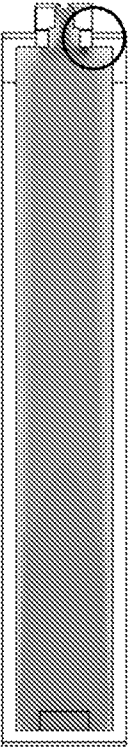
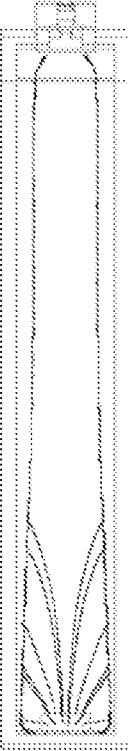
[図30]



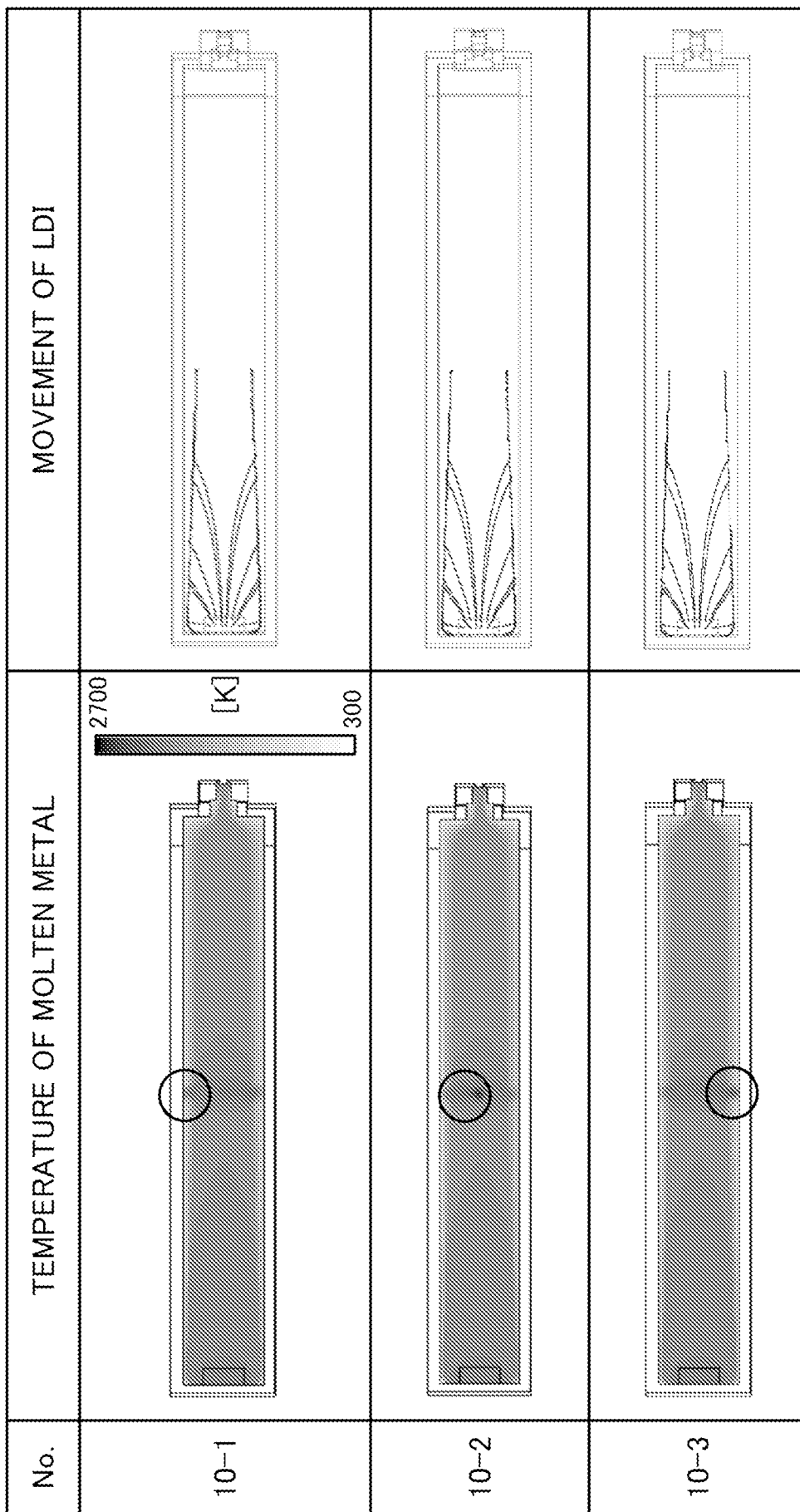
[図31]



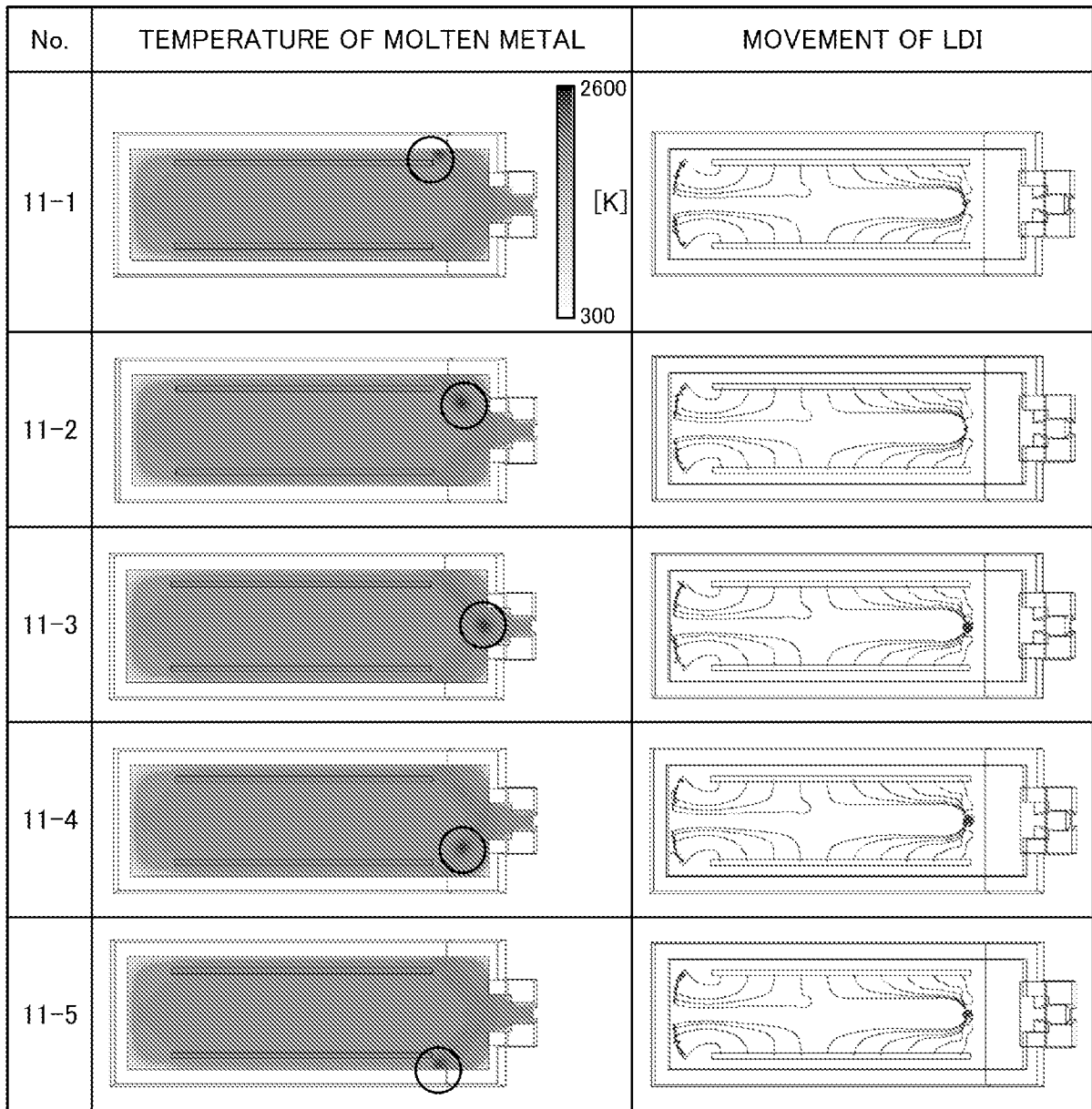
[図32]

No.	TEMPERATURE OF MOLTEN METAL	MOVEMENT OF LDI
9-1		
9-2		
9-3		

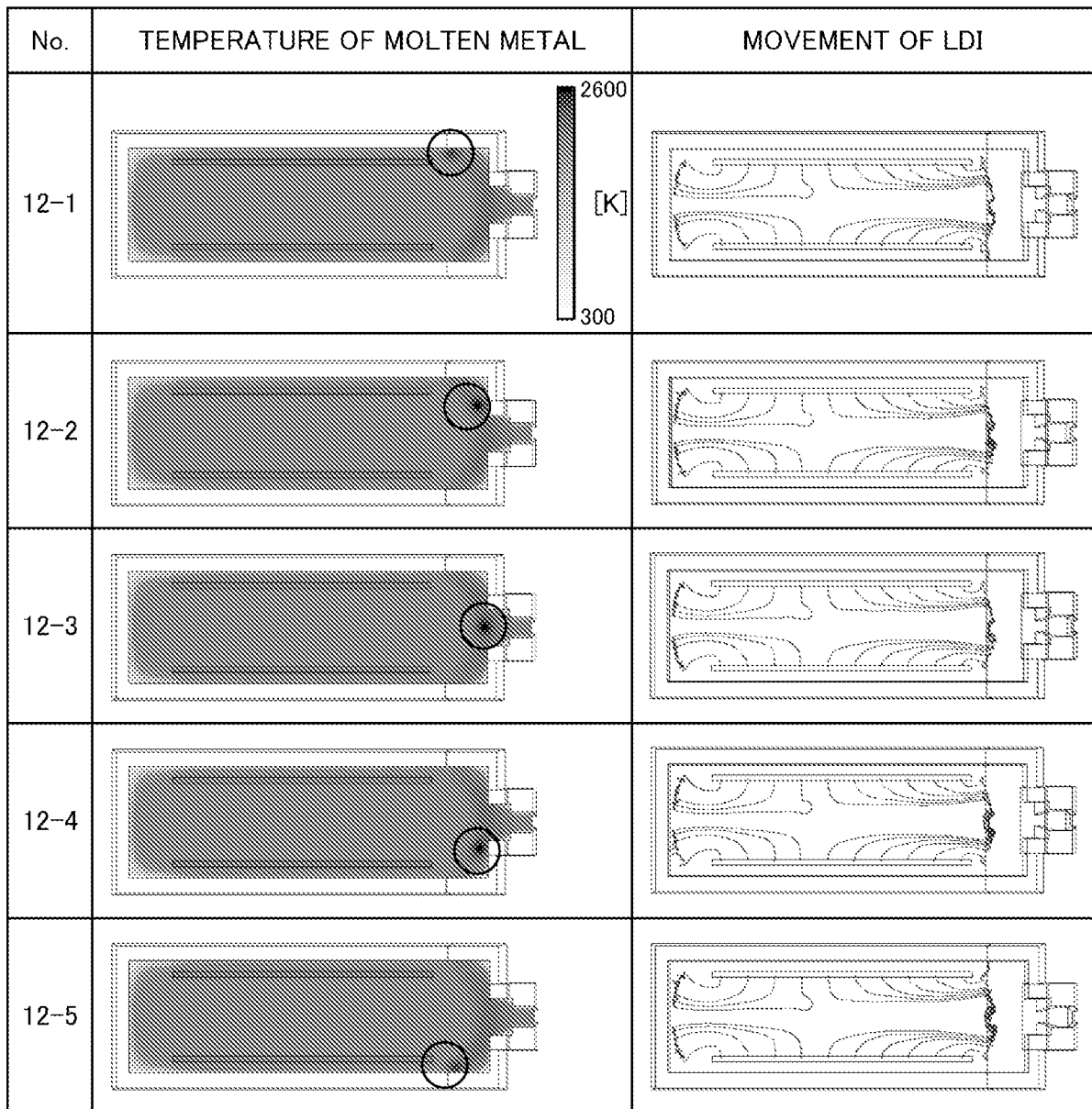
[図33]



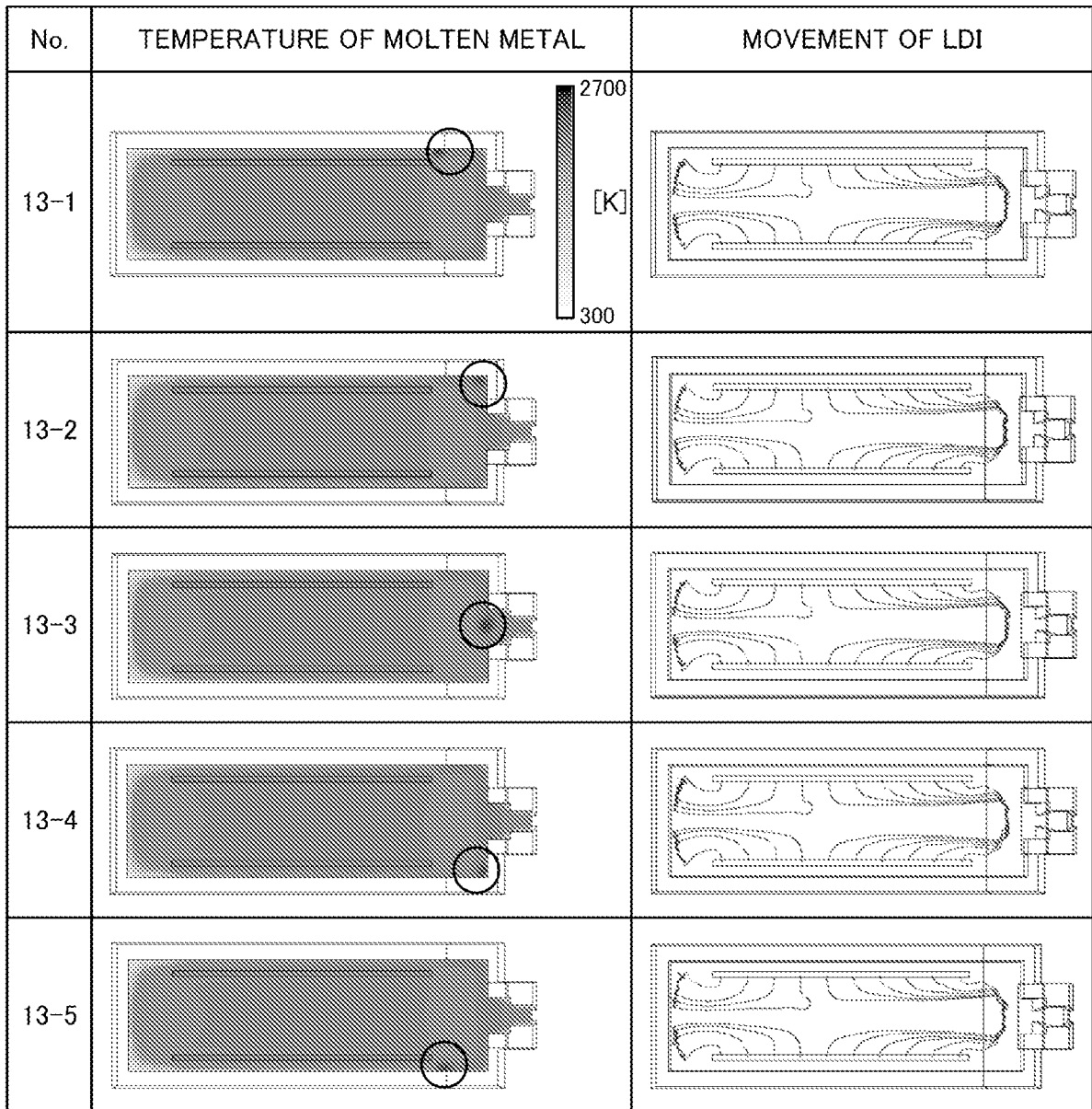
[図34]



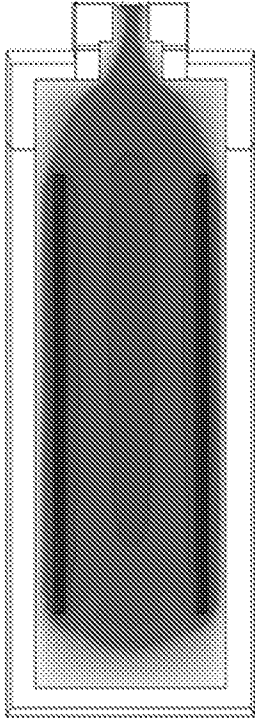
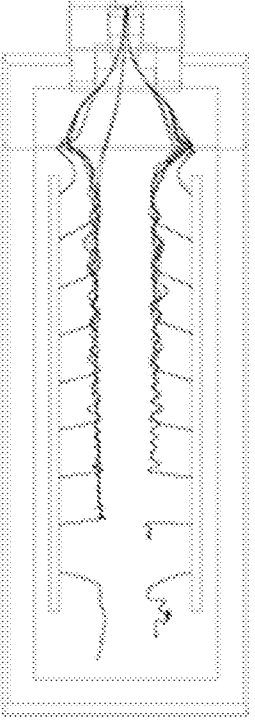
[図35]



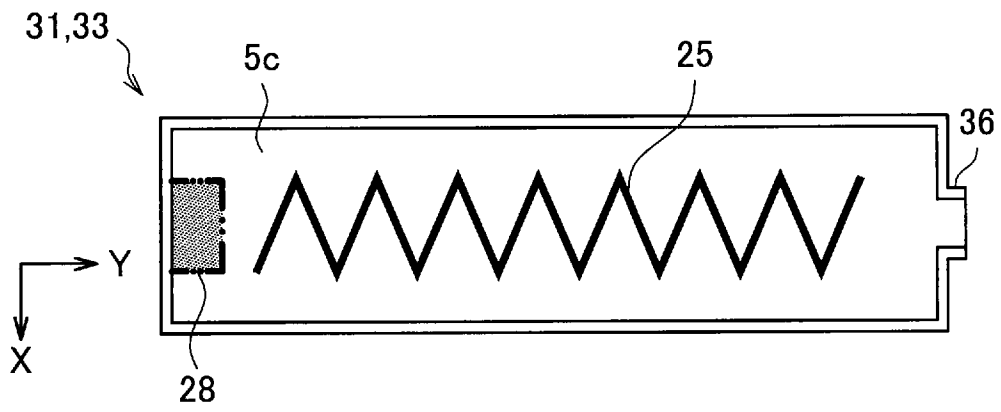
[図36]



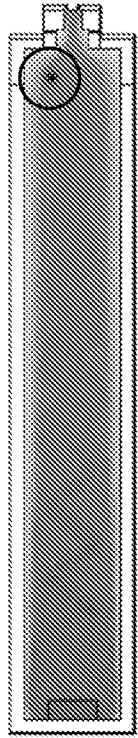
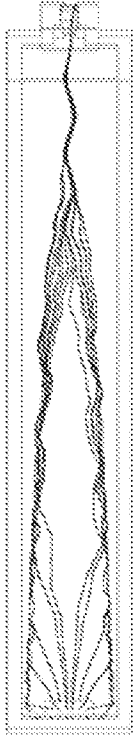
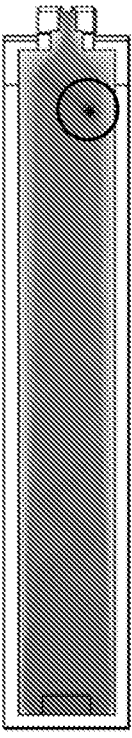
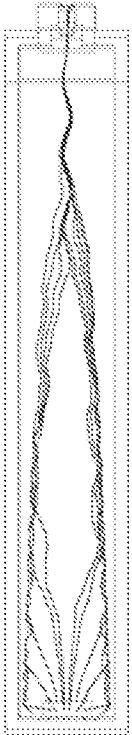
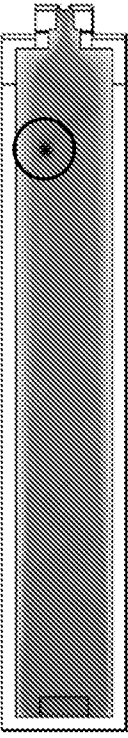
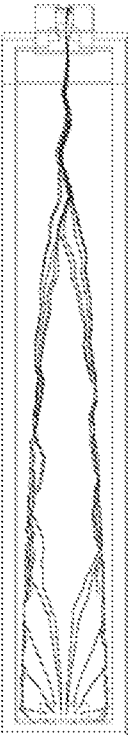
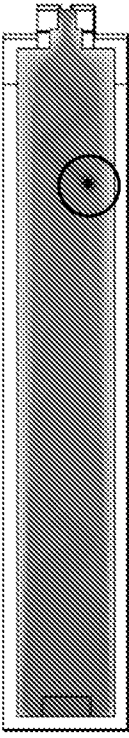
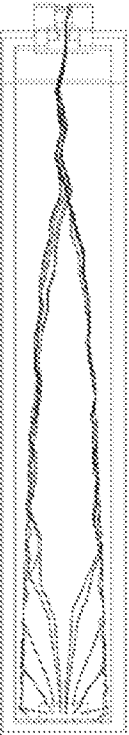
[37]

No.	C1	TEMPERATURE OF MOLTEN METAL	 <p>A grayscale image showing the temperature distribution of molten metal in a furnace. The furnace is a rectangular container with a central vertical channel. The metal is represented by a dark, textured area. A color scale bar is located above the image, with '2200' at the top (dark) and '300' at the bottom (light). The unit '[K]' is centered above the scale bar.</p>
MOVEMENT OF LDI	 <p>A grayscale image showing the movement of LDI (Liquid Discharge Interface) in a furnace. The furnace is a rectangular container with a central vertical channel. The LDI is represented by a dark, textured area. A color scale bar is located above the image, with '2200' at the top (dark) and '300' at the bottom (light). The unit '[K]' is centered above the scale bar.</p>		

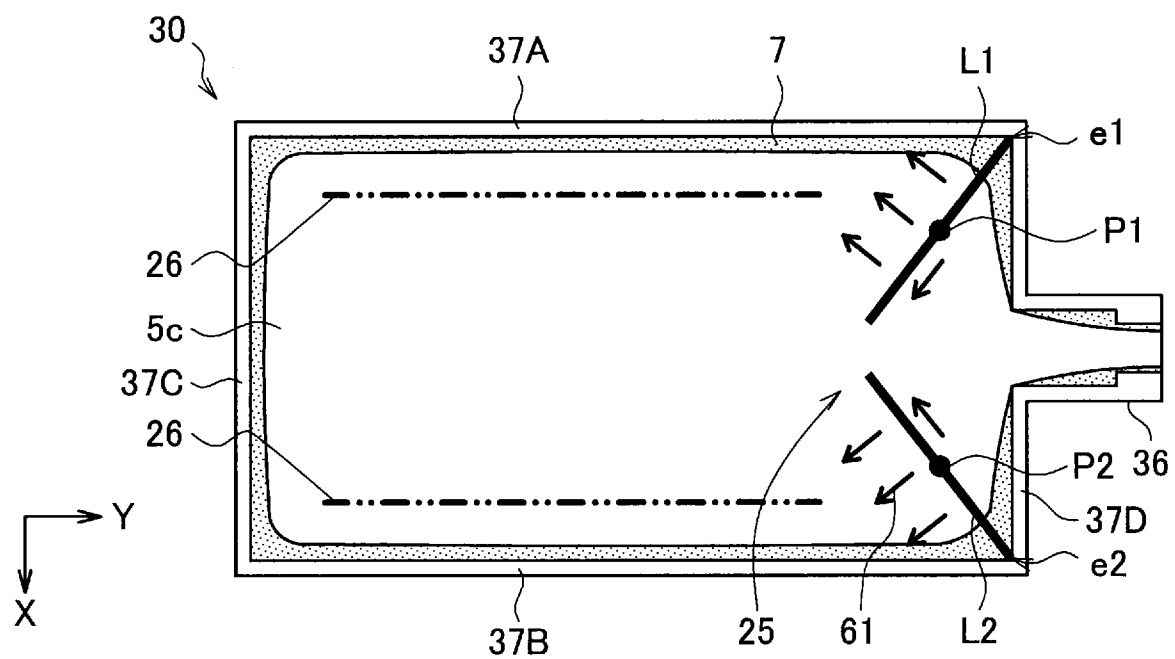
[図38]



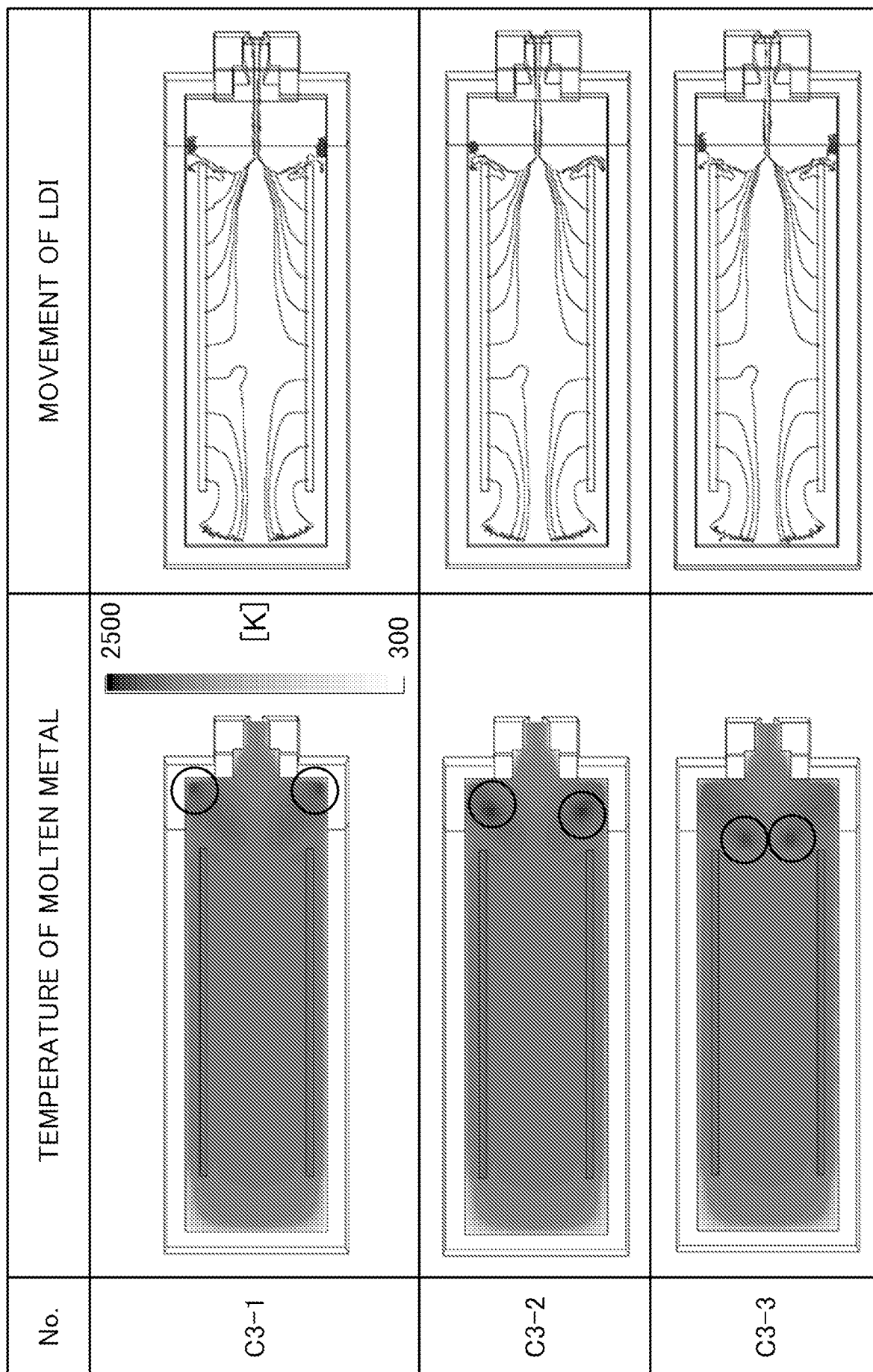
[39]

No.	TEMPERATURE OF MOLTEN METAL	MOVEMENT OF LDI
C2-1		
C2-2		
C2-3		
C2-4		

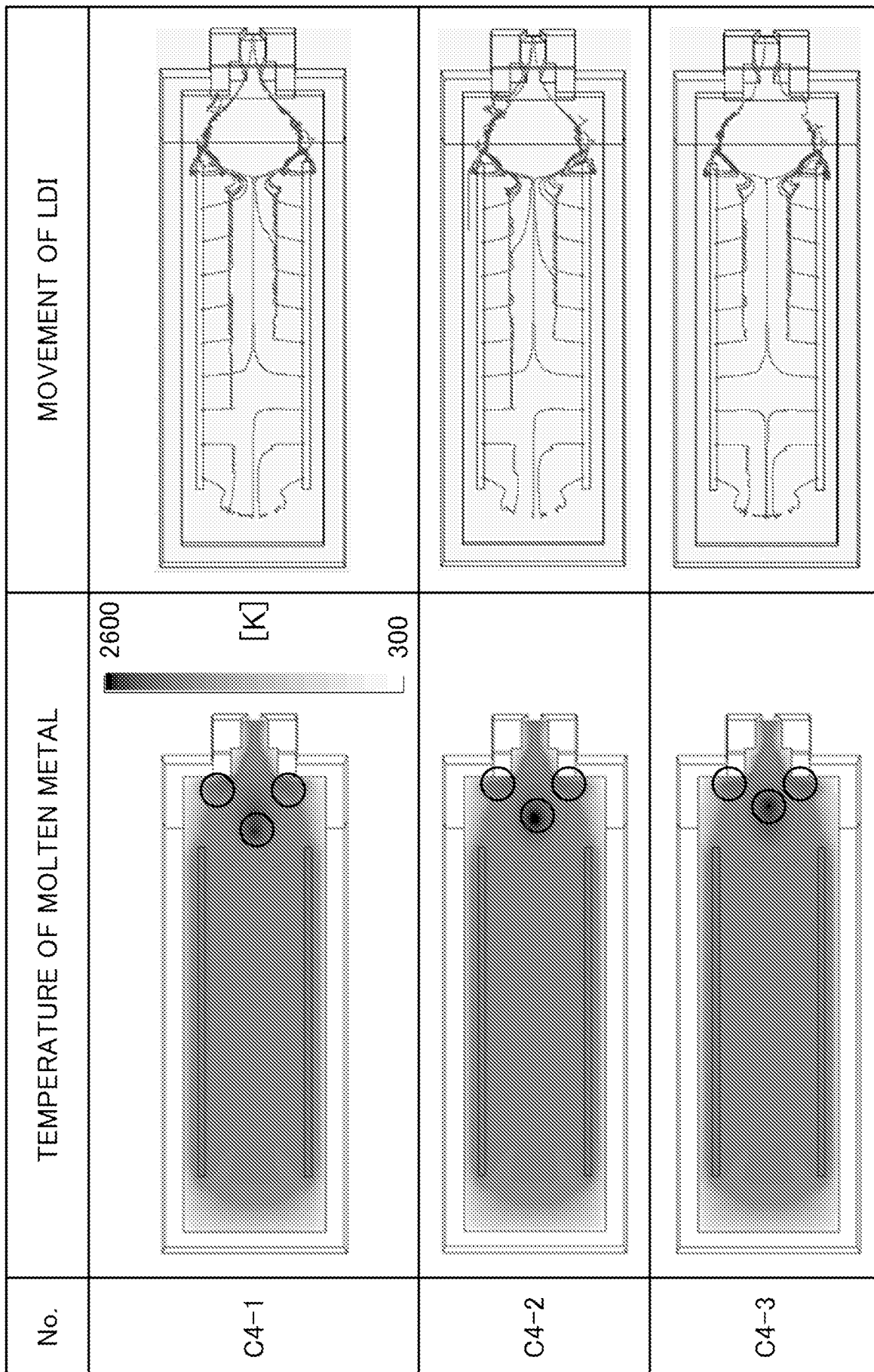
[図40]



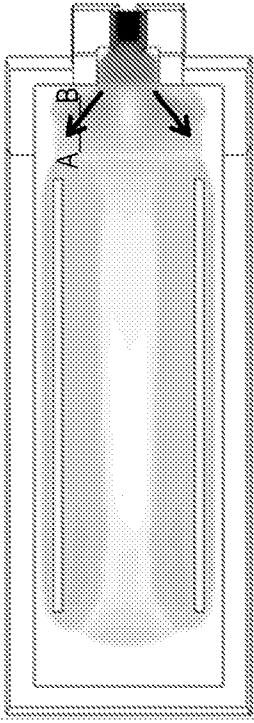
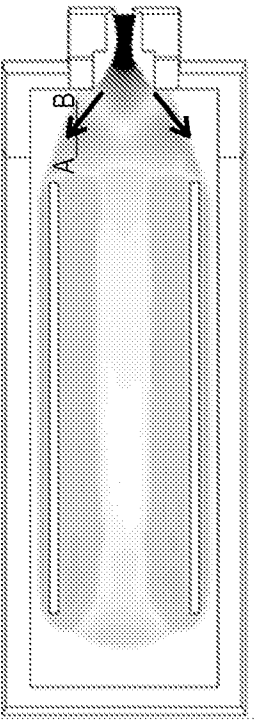
[図41]



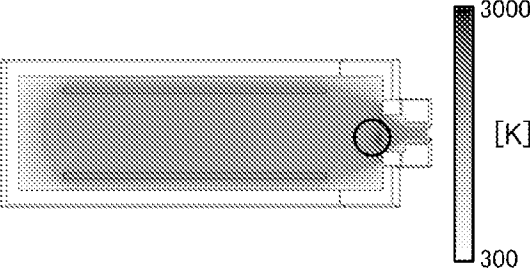
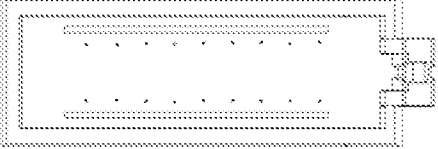
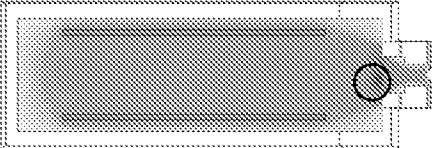
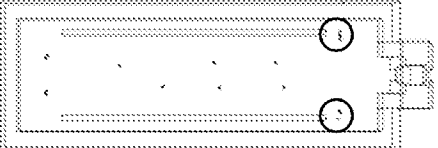
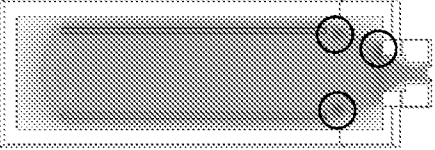
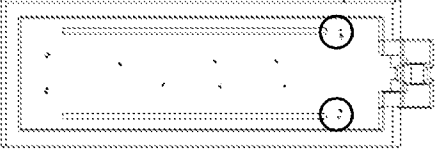
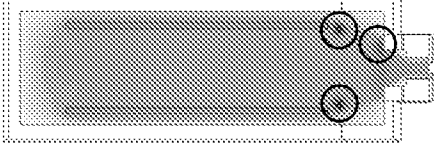
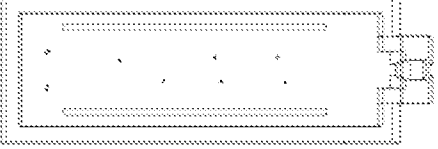
[図43]



[図44]

	EXAMPLE 3	EXAMPLE 1
IRRADIATION LINE	T-SHAPED	V-SHAPED
VELOCITY DISTRIBUTION OF MOLTEM METAL		
MAXIMUM FLOW VELOCITY [m/s]	0.13	0.11
RATIO OF TOTAL FLOW RATE	1.2	1.0

[図45]

RESIDENCE TIME OF LDI	TEMPERATURE OF MOLTEN METAL	MOVEMENT OF LDI
0.8sec		
27.7sec		
27.8sec		
28.8sec		

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/015555

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 Int.Cl. C22B9/22 (2006.01) i, B22D11/00 (2006.01) i, B22D11/041 (2006.01) i,
 B22D21/06 (2006.01) i, B22D27/02 (2006.01) i, B22D43/00 (2006.01) i,
 C22B34/12 (2006.01) i, C22C14/00 (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)
 Int.Cl. C22B9/22, B22D11/00, B22D11/041, B22D21/06, B22D27/02, B22D43/00,
 C22B34/12, C22C14/00

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	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

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 Y - A	JP 2004-276039 A (TOHO TITANIUM CO., LTD.) 07 October 2004, paragraphs [0014]-[0033], fig. 1-2 (Family: none)	1-6, 8-10, 13, 16 14-16 - 7, 11-12
X Y - A	WO 2008/078402 A1 (TOHO TITANIUM CO., LTD.) 03 July 2008, paragraphs [0046]-[0052], fig. 1-2 (Family: none)	1-6, 8-10, 13, 16 14-16 - 7, 11-12

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

* Special categories of cited documents:	"I" 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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 11 May 2018 (11.05.2018)	Date of mailing of the international search report 22 May 2018 (22.05.2018)
---	--

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

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/015555

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y - A	JP 2004-232066 A (TOHO TITANIUM CO., LTD.) 19 August 2004, paragraphs [0014]-[0019], fig. 1-3 (Family: none)	1-6, 8-10, 13, 16 14-16 - 7, 11-12
X Y - A	JP 2013-1975 A (TOHO TITANIUM CO., LTD.) 07 January 2013, paragraphs [0047]-[0054], [0059]-[0060], [0071]-[0092], fig. 1-3 (Family: none)	1-6, 8-10, 13, 16 14-16 - 7, 11-12

<p>A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))</p> <p>Int.Cl. C22B9/22(2006.01)i, B22D11/00(2006.01)i, B22D11/041(2006.01)i, B22D21/06(2006.01)i, B22D27/02(2006.01)i, B22D43/00(2006.01)i, C22B34/12(2006.01)i, C22C14/00(2006.01)i</p>											
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))</p> <p>Int.Cl. C22B9/22, B22D11/00, B22D11/041, B22D21/06, B22D27/02, B22D43/00, C22B34/12, C22C14/00</p>											
<p>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</p> <table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:30%;">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>1971-2018年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2018年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2018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	1971-2018年	日本国実用新案登録公報	1996-2018年	日本国登録実用新案公報	1994-2018年
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2018年										
日本国実用新案登録公報	1996-2018年										
日本国登録実用新案公報	1994-2018年										
<p>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)</p>											
<p>C. 関連すると認められる文献</p>											
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 2004-276039 A (東邦チタニウム株式会社) 2004.10.07, 段落[0014]-[0033], 図1-2 (ファミリーなし)	1-6, 8-10, 13, 16									
<u>Y</u>		<u>14-16</u>									
A		7, 11-12									
X	WO 2008/078402 A1 (東邦チタニウム株式会社) 2008.07.03, 段落[0046]-[0052], 図1-2 (ファミリーなし)	1-6, 8-10, 13, 16									
<u>Y</u>		<u>14-16</u>									
A		7, 11-12									
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。		<input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。									
<p>* 引用文献のカテゴリー</p> <p>「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</p> <p>「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</p> <p>「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)</p> <p>「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願</p>		<p>の日の後に公表された文献</p> <p>「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</p> <p>「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</p> <p>「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</p> <p>「&」同一パテントファミリー文献</p>									
<p>国際調査を完了した日</p> <p style="text-align: center;">11.05.2018</p>		<p>国際調査報告の発送日</p> <p style="text-align: center;">22.05.2018</p>									
<p>国際調査機関の名称及びあて先</p> <p style="text-align: center;">日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>		<p>特許庁審査官 (権限のある職員)</p> <p style="text-align: center;">藤長 千香子</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3425</p>									
		4E	5796								

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
X <u>Y</u> A	JP 2004-232066 A (東邦チタニウム株式会社) 2004.08.19, 段落[0014]-[0019], 図 1-3 (ファミリーなし)	1-6, 8-10, 13, 16 <u>14-16</u> 7, 11-12
X <u>Y</u> A	JP 2013-1975 A (東邦チタニウム株式会社) 2013.01.07, 段落[0047]-[0054], [0059]-[0060], [0071]-[0092], 図 1-3 (ファミリーなし)	1-6, 8-10, 13- 16 <u>14-16</u> 7, 11-12