

(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6月21日(21.06.2018)



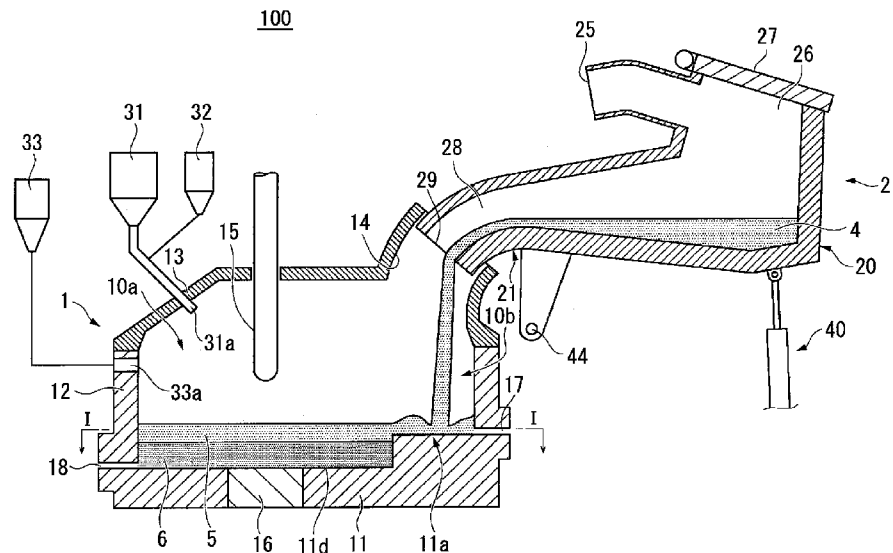
(10) 国際公開番号

WO 2018/110174 A1

- (51) 国際特許分類:
F27B 3/08 (2006.01) C22B 7/04 (2006.01)
C21C 5/28 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/040600
- (22) 国際出願日: 2017年11月10日(10.11.2017)
- (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 2016-244501 2016年12月16日(16.12.2016) 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: 原田 俊哉 (HARADA Toshiya); 〒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). 新井 貴士 (ARAI Takashi); 〒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: 棚井 澄雄, 外 (TANAI Sumio et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 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,

(54) Title: ELECTRIC FURNACE

(54) 発明の名称: 電気炉



(57) Abstract: This electric furnace has: a furnace body having an electrode; and a slag retaining furnace which retains molten slag kept in a molten state and which, by being tilted, allows the molten slag to be poured into the furnace body. The furnace body has: a cylindrical furnace wall; a furnace lid which is provided at the upper end of the furnace wall; a furnace bottom which is provided at the lower end of the furnace wall and which has a deep bottom section and a shallow bottom section that is a region at a height of 150-500 mm with respect to the deepest portion of the deep bottom section;



WO 2018/110174 A1

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,
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:

- 国際調査報告 (条約第21条(3))

and a slag pouring port which is provided in the furnace lid and through which the molten slag is poured from the slag retaining furnace. The slag pouring port has an overlapping portion with respect to the shallow bottom section in a plan view, and the area ratio of the shallow bottom section to the furnace bottom is 5-40% in a plan view.

(57) 要約: この電気炉は、電極を有する炉体と、溶融スラグを溶融状態のまま保持するとともに傾動により前記溶融スラグを前記炉体に注入可能なスラグ保持炉と、を有する電気炉であって、前記炉体は、筒状の炉壁と、前記炉壁の上端に設けられた炉蓋と、前記炉壁の下端に設けられ、深底部と、前記深底部の最深部に対する高さが150mm以上、500mm以下の領域である浅底部と、を有する炉底と、前記炉蓋に設けられ、前記スラグ保持炉から前記溶融スラグが注入されるスラグ注入口と、を有し、前記スラグ注入口は前記浅底部と平面視で重なりを有し、前記炉底に対する前記浅底部の平面視における面積率が5%以上、40%以下である。

明 細 書

発明の名称：電気炉

技術分野

[0001] 本発明は、製鋼工程で生成される溶融スラグを溶融状態のままスラグ保持炉にて一時的に保持してから、電気炉に注入して還元するプロセスに用いられる電気炉に関する。

本願は、2016年12月16日に、日本に出願された特願2016-244501号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 近年、資源のリサイクルの要請が高まる中、製鋼工程において転炉等を用いて脱硫、脱磷または脱炭精錬により生成されるスラグ（製鋼スラグ）からFeやPなどの有価物を分離回収するとともに、製鋼スラグを高品質のスラグに改質して再利用する方法が開発されている。

[0003] 例えば、特許文献1には、溶解炉内の鉄鋼溶湯に鉄鋼スラグを加え、熱および還元材を加えて鉄鋼スラグを変成しつつ、スラグ中のFe、MnおよびPを溶湯に移行させて変成スラグを得る第1工程と、溶湯中のMnおよびPを酸化させて順次変成スラグに移行させ、高Mnスラグ、高Pスラグを順次取り出す第2、第3工程とを含むスラグ処理方法が開示されている。

[0004] 特許文献2には、炭素含有率1.5wt%未満の鋼鉄浴に、酸化鉄含有率5wt%超の鋼鉄スラグを投入してから、炭素または炭素キャリアの導入により鋼鉄浴を炭化して炭素含有率2.0wt%超の鋼鉄浴を得て、その後、鋼鉄スラグ中の酸化物を還元する方法が開示されている。当該方法では、スラグ投入時に鉄鋼浴との激しい反応に伴うスラグの発泡（スラグフォーミング）や炉からの噴出（オーバーフロー）を抑制するために、スラグ投入前に鋼鉄浴の炭素含有率を低下させておくことでスラグ投入時の反応速度を緩和させ、その後当該炭素含有率を上昇させてスラグの還元処理を行っている。

非特許文献1には、電気炉内に製鋼スラグ粉、炭材粉およびスラグ改質材粉を装入し、スラグの還元試験を行った結果が開示されている。

[0005] 特許文献3には、低温で流動性の低い製鋼スラグを熔融改質するために、容器内に収容した低流動性の製鋼スラグに改質材を添加または溶射する前後に、スラグ表層を機械的に攪拌してから、加熱バーナーを用いてスラグと改質材の混合層を加熱して熔融させ、得られた熔融スラグを容器から排出して凝固させる方法が開示されている。

[0006] 特許文献4には流動性を有する高温の熔融スラグを、スラグ保持炉に一旦保持し、電気炉内の溶鉄層上に熔融スラグ層を緩衝帯として形成した上で、当該熔融スラグ層にスラグ保持炉から熔融スラグを注入する旨が記載されている。

[0007] 特許文献4の構造は、電気炉を用いるため、還元反応は、スラグー溶鉄間の反応よりも、スラグ中の鉄分（FeO）と炭素分（C）との反応が支配的になる。それ故、溶鉄中のC濃度が1.5質量%程度と低い場合であっても、加炭なしで、スラグの還元処理を行うことが可能であり、作業効率を向上できる点で優れている。

[0008] さらに、特許文献4の構造は、熔融スラグを電気炉に直接投入するのではなく、電気炉に隣接配置されたスラグ保持炉に一旦保持し、電気炉内の溶鉄層上に熔融スラグ層を緩衝帯として形成した上で、注入量を調整しながら、熔融スラグを徐々に注入しているため、スラグ投入時のスラグフォーミングを抑制できる点でも優れている。

先行技術文献

特許文献

- [0009] 特許文献1：日本国特開昭52-033897号公報
特許文献2：日本国特表2003-520899号公報
特許文献3：日本国特開2005-146357号公報
特許文献4：日本国特許第5522320号公報

非特許文献

[0010] 非特許文献1 : Scandinavian Journal of Metallurgy, 2003;32:P.7-14

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0011] 特許文献1記載のスラグ処理方法では、転炉を用いて還元処理を行っているため、溶湯とスラグが攪拌されている。このため、スラグ投入時に溶湯の炭素濃度が高いと、スラグが溶湯と接触してスラグフォーミングが起こる。これを回避するためには、炭素濃度が低い溶湯にスラグを投入後、還元反応の促進のために、炭素を投入して溶湯の炭素濃度を増加させる必要がある。そのため、多数回のスラグ還元処理と、Mn、Pの酸化および取り出し処理を繰り返し行う必要があり、作業効率および生産性が低下すると懸念される。

[0012] 特許文献2記載のスラグ還元方法でも、転炉を用いて還元処理を行っており、溶鉄中の炭素濃度を増減させてスラグの還元処理を行うために、脱炭昇熱と加炭還元という処理を繰り返すことになり、作業効率および生産性が低下すると懸念される。

[0013] 非特許文献1記載の還元試験では、凝固した冷間の製鋼スラグの粉碎物を処理対象としており、特許文献3記載の方法も、低温で流動性の低い製鋼スラグを処理対象としている。この場合、スラグの還元処理を行うためには、スラグを加熱溶融させる必要があり、エネルギー原単位が高くなるという問題があった。

[0014] さらに、特許文献4のようにスラグ保持炉を有する電気炉を用い、溶融スラグ層を緩衝帯として形成した場合でも、溶融スラグの注入量や注入速度によっては、電気炉内の溶融スラグ層がかく乱され、下層にある溶鉄層と注入直後の溶融スラグとが接触し、スラグフォーミングが発生する虞があった。

また、特許文献4では、溶融スラグ層がかく乱されないようにスラグ保持炉からのスラグ注入量を調整する場合、スラグ注入量および注入速度を下げる必要があるため、処理効率が下がるという問題があった。また、保持炉は炉体を傾動させることによりスラグを注入するため、保持炉の大きさによ

てはスラグ注入速度の微細な調整が困難である。そのため、注入速度を小さく設定したとしてもスラグ注入速度が変動することにより、一時的に注入速度が大きくなってしまい、スラグフォーミングが発生する虞があった。

[0015] 本発明は、上記問題に鑑みてなされたものであり、スラグ保持炉から注入された直後の溶融スラグと電気炉内の溶鉄層とが激しく混合されて大きなスラグフォーミングを生成することを防止できる電気炉を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0016] 即ち、本発明の要旨とするところは以下のとおりである。

(1) 本発明の一態様は、電極を有する炉体と、溶融スラグを溶融状態のまま保持するとともに傾動により前記溶融スラグを前記炉体に注入可能なスラグ保持炉と、を有する電気炉であって、前記炉体は、筒状の炉壁と、前記炉壁の上端に設けられた炉蓋と、前記炉壁の下端に設けられ、深底部と、前記深底部の最深部に対する高さが150mm以上、500mm以下の領域である浅底部と、を有する炉底と、前記炉蓋に設けられ、前記スラグ保持炉から前記溶融スラグが注入されるスラグ注入口と、を有し、前記スラグ注入口は前記浅底部と平面視で重なりを有し、前記炉底に対する前記浅底部の平面視における面積率が5%以上、40%以下である。

(2) 上記(1)に記載された電気炉では、前記炉壁は、高さ方向に垂直な断面形状が円環形状の本体と、前記本体の径方向に張り出した張出部を有し、前記浅底部は前記張出部の下端に設けられ、前記スラグ注入口は前記張出部の上端に設けられてもよい。

(3) 上記(1)に記載された電気炉では、前記炉壁は、高さ方向に垂直な断面形状が円環形状の本体を有し、前記浅底部は前記本体の下端に設けられてもよい。

(4) 上記(1)～(3)に記載されたいずれか一項に記載された電気炉では、前記炉蓋、または前記炉蓋と前記炉壁の両方に設けられ、還元材を炉内に投入する還元材投入口を有してもよい。

発明の効果

[0017] 上述の電気炉によれば、スラグ保持炉から注入された直後の溶融スラグと電気炉内の溶鉄層が接触するのを防止できるので、溶融スラグと溶鉄層とが激しく混合されることを防止できる。そのため、溶融スラグ層と溶鉄層とが急激に反応して大きなスラグフォーミングを生成してしまうことを防止できる。

図面の簡単な説明

- [0018] [図1]本発明の電気炉を使用したスラグ処理プロセスを示す工程図である。
- [図2]本実施形態に係るスラグ保持炉（保持姿勢）および炉体を示す縦断面図である。
- [図3]本実施形態に係るスラグ保持炉（注入姿勢）および炉体を示す縦断面図である。
- [図4A]図2および図3に示す炉体の|—|線における横断面図である。
- [図4B]炉底からの高さ150mmにおける炉体の横断面図であって、浅底部と深底部のみを記載した図である。
- [図5]本発明の第2の実施形態に係るスラグ保持炉（注入姿勢）および電気炉を示す縦断面図である。
- [図6]図5に示す電気炉の||—||線における横断面図である。
- [図7]炉体へのスラグ注入のシミュレーション結果を示す図である。
- [図8]炉体へのスラグ注入量とCO発生量を示す図であって、浅底部を有しない場合を示す図である。
- [図9]炉体へのスラグ注入量とCO発生量を示す図であって、浅底部を有する場合を示す図である。
- [図10]本発明の実施例および比較例における操業パターンについて説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0019] 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。

[0020] [1. スラグ処理プロセスの概要]

まず、図1を参照して、本発明の実施形態に係る電気炉を使用したスラグ処理プロセスの概要を説明する。

[0021] 図1に示すように、製鉄工程(S1)で高炉を用いて溶鉄が製造され、製鋼工程(S2)で転炉等を用いて鉄が鋼に精錬される。製鋼工程(S2)は、溶鉄中の硫黄、燐、炭素等を除去する脱硫、脱燐、脱炭の各工程と、溶鋼中に残った水素等の気体や硫黄等を除去して成分調整を行う二次精錬工程(S6)と、連続 casting 機で溶鋼を casting する連続 casting 工程(S7)を含む。

[0022] 製鋼工程(S2)のうち、主に脱燐(S4)、脱炭(S5)が転炉にて行われる。転炉内で、酸化カルシウムを主成分とするフラックスを用いて溶鉄が精錬される。この際、転炉内に吹き込まれた酸素により溶鉄中のC、Si、P、Mn等が酸化され、当該酸化物は酸化カルシウムと結び付きスラグとして生成される。また、脱硫、脱燐、脱炭の各工程(S3、S4、S5)では、それぞれ成分の異なるスラグ(脱硫スラグ、脱燐スラグ、脱炭スラグ)が生成される。

[0023] 本明細書中の説明では、上記製鋼工程で生成されるスラグを製鋼スラグと総称する。製鋼スラグは、脱硫スラグ、脱燐スラグ、脱炭スラグを含む。また、高温の熔融状態にある製鋼スラグを熔融スラグと称し、同様に、熔融状態にある脱硫スラグ、脱燐スラグ、脱炭スラグをそれぞれ、熔融脱硫スラグ、熔融脱燐スラグ、熔融脱炭スラグと称する。

[0024] スラグ処理工程(S10)では、製鋼工程(S2)で生成された熔融スラグを、熔融状態のまま転炉から電気炉に搬送し、電気炉内で連続的に還元熔融改質することで、熔融スラグ中のFe、P等の有価物を熔融スラグ層の下層にある溶鉄層に回収する。この際、電気炉内では、熔融スラグ中のFe、P等の酸化物の還元処理や、スラグから粒鉄(鉄分)を分離する処理、スラグの塩基度の調整処理などが行われる。

[0025] この結果、熔融スラグから分離された燐分等を含む高燐溶鉄が回収されるとともに、熔融スラグが還元・改質されて、高炉スラグ相当の高品質の還元

スラグが回収される。還元スラグは、還元前と比べてFeO、P₂O₅等の含有量が低いため、セメント原料、セラミック製品等にリサイクルできる。また、溶融スラグの塩基度が低くなるように成分を調整すれば低膨張性となるため、路盤材や骨材として使用できる。

[0026] さらに、回収された高燐溶鉄に脱燐処理（S11）を施し、溶鉄中のPを酸化させてスラグ中に移行させることで、高燐溶鉄が高燐酸スラグと溶鉄に分離される。高燐酸スラグは、燐酸肥料や燐酸原料等としてリサイクルできる。また、溶鉄は製鋼工程（S2）にリサイクルされ、転炉等に投入される。

[0027] 以上、スラグ処理プロセスの概要について説明した。本プロセスは、上記製鋼工程（S2）で生成される種々の溶融スラグのうち、溶融脱燐スラグを処理対象とすることが好ましい。溶融脱燐スラグは、溶融脱炭スラグよりも低温であるが、粒鉄や燐酸を多く含有している。このため、溶融脱燐スラグを、酸化処理ではなく、還元処理によって溶融改質することで、本プロセスによる有価元素（Fe、P等）の回収効率が高くなる。そこで、以下の説明では、処理対象の溶融スラグとして、主に溶融脱燐スラグを用いる例について説明する。しかし、本発明の溶融スラグとしては、溶融脱燐スラグに限定されず、溶融脱硫スラグ、溶融脱炭スラグ等、製鋼工程で発生する任意の製鋼スラグを使用することが可能である。

[0028] [2. スラグ処理設備の構成]

続いて、図2を参照して、上記スラグ処理プロセスのスラグ処理工程（S10）に用いられる電気炉100について説明する。

電気炉100はS10において、内部に溶鉄層6と溶融スラグ層5を形成する炉である。

[0029] 図2の拡大部に示すように、電気炉100は炉体1と、炉体1の斜め上方に配置されるスラグ保持炉2（スラグ保持容器）を有する。

スラグ保持炉2へ溶融スラグ4を投入する手段はスラグ鍋3であり、スラグ鍋3は図示しない転炉とスラグ保持炉2との間を往復移動する。転炉から

排出された溶融スラグ4はスラグ鍋3に投入される。スラグ鍋3は、転炉からスラグ保持炉2まで溶融スラグ4を搬送した後、スラグ保持炉2内に投入する。スラグ保持炉2は、溶融スラグ4を溶融状態のまま貯留して保持することもでき、当該保持した溶融スラグ4を傾動により炉体1に連続的または間欠的に注入可能である。

[0030] スラグ保持炉2内に保持される溶融スラグ4は、完全な溶融状態にある必要はない。一部が凝固していても、全体が炉体1に注入可能な流動性を有すればよい。

[0031] 炉体1は、炭材等の還元材および改質材などの副原料を用いて、溶融スラグ4を溶融・還元・改質する還元型の電気炉であり、例えば、炉傾動機構を有さない据置式の直流電気炉である。以下、据置式直流電気炉の例について説明する。

[0032] [3. 炉体1の構成]

引き続き図2、図3、図4A、及び図4Bを参照して、炉体1の構成について説明する。

図2、図3、図4A、及び図4Bに示すように、炉体1は、炉壁12と炉壁12の上端に設けられた炉蓋13と、炉壁12の下端に設けられた炉底11とを有する。炉底11、炉壁12、および炉蓋13のそれぞれの内面には、耐火物が内張されている。炉蓋13の一侧にはスラグ注入口14が形成されている。スラグ注入口14は、スラグ保持炉2の注ぎ口部21に連結される。炉体1はスラグ注入口14を除いて密閉されており、炉内を保温できる。

[0033] 炉体1の中央には、上部電極15と炉底電極16が上下に対向配置されている。上部電極15と炉底電極16に直流電源を印加し、上部電極15と炉底電極16間でアーク放電を発生させることで、溶融スラグ4を還元するのに必要なエネルギーが供給される。

[0034] 炉蓋13には還元材投入口31aを設けることができる。還元材投入口31aは原料供給装置31、32に接続される。炉壁12には還元材投入口3

3 aを設けることができる。還元材投入口3 3 aには原料供給装置3 3が設けられる。

[0035] 還元材投入口3 1 a、3 3 aは、溶融スラグ4の還元処理に必要な還元材および改質材等の副原料を供給する部位である。図2では炉壁1 2と炉蓋1 3の両方に還元材投入口を設けた構造を例示したが、還元材投入口は炉蓋1 3にのみ設けられてもよい。

[0036] 還元材は、コークス粉、無煙炭粉、グラファイト粉などの微粉状の炭材が用いられる。改質材は、主にスラグ中のSiO₂、またはAl₂O₃濃度を調整するものであり、珪砂、フライアッシュ、廃耐火物粉などを使用できる。還元材は、スラグフォーミングが発生した場合の抑制手段でもある。

[0037] 炉底1 1は、深底部1 1 dと、深底部1 1 dよりも底が浅い浅底部1 1 aを有する。

浅底部1 1 aは、スラグ処理工程中には、溶鉄層6の表面から露出した部分を有していることを想定して、設置されている。

スラグ処理中においては、溶融スラグ4と一緒に電気炉1 0 0に溶銑または溶鋼が装入されることがあるほか、スラグ還元に伴って溶銑が生成されるために、溶鉄層6の高さが上昇する。ある程度以上に溶鉄層が厚くなったら、溶鉄を排出する出湯口1 8を開けて溶鉄層6の高さを低下させるので、低下した後の期間には浅底部1 1 aを溶鉄層6から露出させて、その状態で、次に還元処理する溶融スラグ4を電気炉1 0 0内へ注入することを、想定している。ただし、浅底部1 1 aが溶鉄層6から露出してないと溶融スラグ4を注入できないわけではなく、溶鉄層6の高さが浅底部1 1 aの上で、ある程度以上低ければ、注入された溶融スラグ4と溶鉄層6との激しい混合は抑制されるので、本発明の目的を達成できる。

炉体1の構造として、図4 A、図4 Bに示すように張出部1 0 bを有する構造（第1の実施形態）と、図6に示すように張出部1 0 bを有しない構造（第2の実施形態）を採用することができる。ここではまず第1の実施形態を例に説明を行う。

第1の実施形態では、図4A、図4Bの横断面図に示されるように、炉体1が、高さ方向に垂直な断面形状が円環形状の筒状の本体部10aと、本体部10aから径方向の外側に張り出した、張出部10bとを有する場合について説明する。

浅底部11aは、スラグ処理工程中には炉底11の一部として、溶鉄層6の層厚よりも上になることを想定して、嵩上げされた部分であり、例えば、図2および図3に示されるように、張出部10bで炉底11が階段状に浅くなることによって形成される。浅底部11aは、他の部分の炉底11の内面と同様に耐火物である。

図4Aに示すように、浅底部11aはスラグ注入口14と平面視で重なりを有している。換言すると、平面視において、浅底部11aの存在領域とスラグ注入口14の存在領域は、その一部または全部が重なっている。スラグ保持炉2から炉内に注入される溶融スラグ4は、注ぎ口29を經由して流入する。注ぎ口29はスラグ注入口14の領域内にあるので、注ぎ口から流入した溶融スラグは浅底部11aに向けて落下することになる。即ち、浅底部11aはスラグ注入口14から流下する溶融スラグ4の落下位置を含むことになる。これにより、溶融スラグ4が炉体1に注入される場合、溶融スラグ4は浅底部11aに向けて注入される。

張出部10bでは、炉蓋13にスラグ注入口14が形成される。

[0038] 図2では、張出部10bで炉底11が1段階浅くなることで、浅底部11aが形成されているが、浅底部11aはこの形状に限られない。例えば、炉底11が2段階以上にわたって浅くなることで浅底部11aが形成されてもよいし、張出部10bで炉底11が階段状ではなく、連続的なスロープを形成して浅くなることで、浅底部11aが形成されてもよい。また、浅底部11aは必ずしも図2のように水平面を有さなくてもよい。スラグ注入口14の下方で浅底部11aが、スラグ処理工程中には溶鉄層6から露出していることを想定できる限りにおいて、浅底部11aの全体が階段形状またはスロープ形状でもよい。ただし、浅底部11aが水平面を有する場合、炉内容積

を必要以上に減少させることなく、炉底 1 1 に対する浅底部 1 1 a の平面視における面積率を 5 % 以上確保できる点で好ましい。

[0039] 図 3 に示されるように、基本的な想定では、スラグ保持炉 2 が注ぎ口部 2 1 側に傾動して熔融スラグ 4 が炉体 1 内に注入された場合、スラグ注入口 1 4 から注入された熔融スラグ 4 は、熔融スラグ層 5 に流れ落ちる。流れ落ちた熔融スラグ 4 によって熔融スラグ層 5 はかく乱されるが、流れ落ちた場所には浅底部 1 1 a がある。浅底部 1 1 a がある場所では熔融スラグ層 5 の下層に溶鉄層 6 がないので、注入直後の熔融スラグ 4 が溶鉄層 6 に接触することはない。従って、注入直後の熔融スラグ 4 が、溶鉄層 6 と急激に反応することによる、スラグフォーミングが防止される。

[0040] 図 2 に示すように、浅底部 1 1 a は、深底部 1 1 d の最深部に対する高さ H が 1 5 0 mm 以上、5 0 0 mm 以下の領域である。これは、高さが 1 5 0 mm 以上あれば、新たに装入された熔融スラグ 4 が、元からある溶鉄層 6 と激しく混合する状況を緩和する効果が、見込めるからである。また、深底部 1 1 d の最深部に対する高さが 5 0 0 mm 以下である理由は、5 0 0 mm 超にする意味は無い一方、そのように高くすると炉内容積が減少する悪影響が懸念されるからである。

図 4 B に示すように、深底部 1 1 d の平面視における面積を S_1 、浅底部 1 1 a の平面視における面積を S_2 とすると、炉底 1 1 に対する浅底部 1 1 a の平面視における面積率 $(S_2 / (S_1 + S_2)) \times 100$ は 5 % 以上、4 0 % 以下であるのが好ましい。面積率が 5 % 以上あることで、混合緩和効果を楽しむことができる熔融スラグ層 5 の比率が確保されて、スラグ全体としての激しいフォーミング生成を抑制することができる。面積率が 4 0 % 超の場合、フォーミング生成の抑制効果が高まることが殆ど無い一方、溶鉄層 6 としての溶鉄収容量や、溶鉄層 6 と熔融スラグ層 5 との界面積が少なくなってしまうので、還元効率が低下する懸念が生じる。また、4 0 % を超えると浅底部 1 1 a が炉底 1 1 の高電流密度領域に含まれるため、浅底部 1 1 a が消耗しやすくなるためである。

なお、本発明では浅底部 11a を「深底部 11d の最深部に対する高さ H が 150 mm 以上、500 mm 以下の領域」と定義しているため、 S_1 と S_2 の境界は深底部 11d の最深部に対する高さ H が 150 mm の位置である。

[0041] また、図 2 では、浅底部 11a が、溶鉄層 6 から露出する一方で熔融スラグ層 5 には沈潜しているが、熔融スラグ層 5 から露出してもよい。この場合、スラグ注入口 14 から注入された熔融スラグ 4 は、浅底部 11a の表面に衝突した後、浅底部 11a の表面を流下して熔融スラグ層 5 に流れ込む。熔融スラグ 4 が浅底部 11a の表面に衝突することによって、運動エネルギーが減殺されるため、溶鉄層 6 に熔融スラグ 4 が激しく混入することが無い。したがって、熔融スラグ 4 と溶鉄とが急激に反応することも抑制されて、スラグフォーミングが抑制される。

[0042] なお、図 2 に示すように、炉壁 12 には、還元スラグを排出する出滓口 17 と、溶鉄を排出する出湯口 18 を設けることができる。出滓口 17 は、熔融スラグ層 5 に対応する位置、具体的には浅底部 11a の上面よりも高い位置に形成される。出湯口 18 は、溶鉄層 6 に対応する位置、具体的には浅底部 11a の上面よりも低い位置に形成される。

[0043] [4. スラグ保持炉の構成]

次に、図 2 および図 3 を参照して、本実施形態に係るスラグ処理プロセスで用いられる、スラグ保持炉 2 の構成について詳述する。

[0044] 図 2 に示すように、スラグ保持炉 2 は、熔融スラグ 4 を保持し、炉体 1 に注入する耐熱性の容器である。スラグ保持炉 2 は、炉体 1 への熔融スラグ 4 の注入量を調整可能であり、かつ、炉体 1 で発生した排気ガスの排気経路でもある。

スラグ保持炉 2 は、熔融スラグ 4 を貯留・保持する炉本体 20 と、炉本体 20 内の熔融スラグ 4 を炉体 1 に注入する注ぎ口部 21 を備える。

[0045] 炉本体 20 は、密閉型の容器であり、熔融スラグ 4 を貯留するための内部空間を有する。

[0046] 炉本体 20 には、ガス排出口 25 とスラグ投入口 26 が形成される。ガス

排出口 25 は、スラグ保持炉 2 を経由して炉体 1 の排ガスを排出する排気口であり、図示しない集塵機等の吸気装置に接続される。吸気装置により、スラグ保持炉 2 内の雰囲気は負圧に維持される。スラグ投入口 26 は、上方のスラグ鍋 3 から炉本体 20 内に溶融スラグ 4 を投入する開口である。スラグ投入口 26 には開閉式の保持炉蓋 27 が設置されており、溶融スラグ 4 の投入時には保持炉蓋 27 が開放される。溶融スラグ 4 の非投入時には、保持炉蓋 27 が閉められてスラグ投入口 26 が閉塞されるため、炉本体 20 内への外気の進入を防ぎ、炉本体 20 内が保温される。

[0047] 注ぎ口部 21 は、炉本体 20 の炉体 1 側に設けられる筒である。注ぎ口部 21 の内部空間は、炉本体 20 から炉体 1 に溶融スラグ 4 を注入するスラグ注入路 28 となり、注ぎ口部 21 の先端部に形成される開口が注ぎ口 29 となる。スラグ注入路 28 は、炉本体 20 の内部空間と比べて上下方向および炉幅方向（図 2 の紙面垂直方向）とも狭くなっており、注入方向前方に向かうにつれて下方に湾曲している。炉本体 20 の内部空間も注ぎ口部 21 側に向かうにつれて徐々に狭くなっている。炉本体 20 および注ぎ口部 21 をこのような形状とすることで、炉本体 20 内の溶融スラグ 4 を炉体 1 に注入する際に、注入量を調整しやすくなる。

[0048] スラグ保持炉 2 の注ぎ口部 21 は、炉体 1 の炉蓋 13 のスラグ注入口 14 に連結される。図 2 では、注ぎ口部 21 の外径よりも炉体 1 のスラグ注入口 14 の内径を大きくし、注ぎ口部 21 の先端をスラグ注入口 14 内に挿入する構造であり、両者の間にはわずかな隙間が存在する。なお、注ぎ口部 21 とスラグ注入口 14 を連結する構造は、図 2 の構造に限定されず、ベローズ等を用いて両者を気密に連結する、または両者の隙間に充填材を詰めて連結するなど、多様に変更可能である。

[0049] 保持炉蓋 27 を閉めた状態で、図示しない集塵機を稼働させてスラグ保持炉 2 内の雰囲気を負圧状態にしたときには、スラグ保持炉 2 は、炉体 1 で発生した排ガスの排気経路となる。具体的には、炉体 1 内の還元処理により発生した CO および H₂等を含む排ガスは、炉体 1 のスラグ注入口 14 およびス

ラグ保持炉2の注ぎ口部21を通じて、slag保持炉2の炉本体20内に流入する。slag保持炉2内は負圧に維持されているため、炉体1とslag保持炉2の連結部の隙間から外気が進入することはあっても、炉体1内の排ガスが当該隙間から外部に漏洩しない。隙間から進入した外気は、slag保持炉2側に吸引される。さらに、slag保持炉2内に流入した排ガスは、炉本体20内に進みガス排出口25から排出され、図示しない集塵機に到達して処理される。

[0050] また、slag保持炉2の炉本体20の下部側には、傾動装置40が設けられている。

[0051] 傾動装置40は、slag保持炉2を注ぎ口部21側に傾動させて、炉本体20内の溶融slag4を注ぎ口部21から炉体1内に注入する装置である。

傾動装置40は、傾動軸44を中心としてslag保持炉2を保持姿勢（図2）と注入姿勢（図3）との間で、傾動させることが可能である。保持姿勢とは、図2に示すように、slag保持炉2が溶融slag4を炉体1に注入することなく、炉本体20内に保持するときの姿勢である。注入姿勢とは、図3に示すように、slag保持炉2が注ぎ口部21側に傾動して、炉本体20内の溶融slag4を炉体1内に注入するときの姿勢である。

[0052] slag保持炉2を保持姿勢から注入姿勢に変えるときには、傾動軸44を中心としてslag保持炉2を炉体1側に傾動させる。これにより、図3に示すように、炉本体20に対して注ぎ口部21の位置が相対的に低くなるので、炉本体20内に保持されている溶融slag4が、注ぎ口部21側に向かって流動し、slag注入路28を通じて注ぎ口29から流下し、炉体1内に注ぎ込まれる。このとき、slag保持炉2の傾動角度を調整することで、溶融slag4の注入量を調整することができる。

[0053] 本実施形態に係る電気炉100は浅底部11aを有するので、slagフォーミングを有効に防止できる。本実施形態に係る電気炉100はさらに、傾動装置40を用いてslag保持炉2を傾動させることで、溶融slag4を炉体1に間欠的に注入したり、その注入量を調整したりできる。炉体1への溶

融スラグ4の注入時には、注入された溶融スラグ4が、炉体1内の溶鉄と急激に反応して、炉体1からオーバーフローしないように、傾動装置40を用いて注入量を適切に調整（即ち、スラグ保持炉2の傾動角度を調整）しながら、溶融スラグ4を間欠的に注入することが好ましい。溶融スラグ4の注入時に、注入速度が速すぎると、炉体1内で溶融スラグ4がフォーミング状態になり、オーバーフローが発生し得る場合がある。この場合は、傾動装置40によりスラグ保持炉2の傾動角度を小さくして、溶融スラグ4の注入を一時停止するか、または、注入量を低下させて、炉体1内での反応を沈静化することが好ましい。

[0054] スラグ保持炉2による単位時間当りの溶融スラグ4の注入量は、炉体1の還元処理能力に応じて決定される。還元処理能力は、炉体1に対する単位時間当りの電力供給量、例えば、炉体1の上部電極15と炉底電極16に印加される電力量に依存する。そこで、溶融スラグ4の還元処理に必要な電力原単位と、上部電極15と炉底電極16に対する印加実績電力量に基づいて、単位時間当りの溶融スラグ4の注入量を決定すればよい。

[0055] スラグ保持炉2から炉体1に溶融スラグ4を間欠的に注入する方法としては、溶融スラグ4の注入と中断を適宜繰り返しながら注入する方法や、所定の時間間隔で、スラグ保持炉2内に保持されている所定量の溶融スラグ4をまとめて注入する方法がある。スラグ保持炉2から炉体1に溶融スラグ4を連続的に注入することも可能ではある。溶融スラグ4を間欠的に注入する場合、1回に注入する溶融スラグ4の総量が、スラグフォーミングによるオーバーフローが発生しない量であることを、事前に実験等で確認するのが好ましい。

[0056] [5. 溶融スラグの還元処理方法]

引き続き図2および図3を参照して、上記構成の電気炉100を用いた溶融スラグ4の還元処理について説明する。

まず、還元処理の前に深底部11dの面積 S_1 とHを決定し、決定した値に基づき、浅底部11aを形成する必要がある。

具体的には、溶鉄層 6 の最大体積（種湯と還元鉄を合計した体積）が $S_1 \times H$ 未満となるように S_1 と H を決定する。

[0057] 次に、図 2 に示すように、まず炉体 1 内に、種湯として、高炉から搬送された溶銑等の溶鉄を溶鉄層 6 として予め収容する。溶鉄の C 濃度は通常 1.5 ～ 4.5 質量%である。

[0058] 次に、炉体 1 に電力を供給して連続稼働させた上で、炉体 1 の還元処理能力（例えば、炉体 1 に対する単位時間当り電力供給量）に応じた量の溶融スラグ 4 を、図 3 に示すようにスラグ保持炉 2 から炉体 1 内に注入する。炉体 1 内に注入された溶融スラグ 4 は、溶鉄層 6 上に溶融スラグ層 5 を形成する。なお、注入された溶融スラグ 4 は浅底部 11a に向けて落下するため、溶鉄層 6 と直接接触することはない。よって浅底部 11a の存在により、スラグフォーミングを有効に防止できる。

さらに、還元材（炭材）や改質材等の副原料も、原料供給装置 31, 32, 33 を通じて炉体 1 内の溶融スラグ層 5 に連続的に投入する。また、炉体 1 内では、溶鉄層 6 の温度が例えば 1400 ～ 1550℃、溶融スラグ層 5 の温度が例えば 1500 ～ 1650℃ となるように制御される。この温度制御は、溶融スラグ 4 の供給量を調整することや、溶融スラグ供給量を変更せず電力供給量を調整することで実施できる。

[0059] この結果、炉体 1 内で、上部電極 15 と炉底電極 16 間のアーク熱をエネルギー源として、溶融スラグ層 5 中の溶融スラグ 4 の還元反応が進行する。この還元処理では、溶融スラグ 4 に含まれる酸化物（FeO、 P_2O_5 等）が、溶融スラグ層 5 中の炭材の C により還元されて、Fe、P が生成され、生成された Fe、P は、溶融スラグ層 5 から溶鉄層 6 に移行する。余剰炭材の C は溶融スラグ層 5 中に懸濁し、最終的には溶鉄中に溶解する。

[0060] 上記の還元処理においては、注入された溶融スラグ 4 に含まれる FeO は、溶鉄層 6 中の溶鉄に含まれる C よりも、溶融スラグ層 5 中の炭材の C と優先的に反応する（ $FeO + C \rightarrow Fe + CO \uparrow$ ）。つまり、投入された炭材の C は、溶鉄層 6 に移行せず溶融スラグ層 5 に懸濁するので、溶融スラグ層 5

の内部で $FeO + C \rightarrow Fe + CO$ の還元反応が優先的に進行し、生成された還元鉄 (Fe) は溶鉄層 6 に移行する。

[0061] このように、炉体 1 による還元処理では、溶融スラグ層 5 中の FeO と溶鉄層 6 中の C との反応よりも、溶融スラグ層 5 中の FeO と C との反応の方が支配的である。従って、炉体 1 内に溶融スラグ 4 を注入したときに、溶鉄層 6 上の溶融スラグ層 5 が、注入された溶融スラグ 4 と溶鉄層 6 の溶鉄との反応に対する緩衝帯となるので、浅底部 11a を設けた効果と相まって、溶融スラグ 4 と溶鉄の急激な反応を抑制できる。

[0062] つまり、溶融スラグ 4 を、FeO 濃度の低い溶融スラグ層 5 に注入することにより、注入される溶融スラグ 4 の FeO 濃度を希釈低減できるとともに、注入される溶融スラグ 4 と溶鉄層 6 の溶鉄との直接的な接触を抑制できる。よって、スラグ保持炉 2 から炉体 1 への溶融スラグ 4 の注入時に、溶融スラグ 4 と溶鉄との急激な反応に起因するスラグフォーミングを抑制でき、オーバーフローを回避できる。

[0063] 上記のようにして、炉体 1 内の溶融スラグ層 5 に注入された溶融スラグ 4 に含まれる酸化物が還元処理されて、溶融スラグ 4 から Fe や P が溶鉄層 6 に回収されるので、溶融スラグ 4 の FeO、 P_2O_5 が低減して、スラグ成分が改質される。従って、溶融スラグ 4 の注入後、還元処理が進行すれば、溶融スラグ層 5 の成分は、溶融スラグ 4 (製鋼スラグ) から還元スラグ (高炉スラグ相当の高品質スラグ) に徐々に改質されていく。還元スラグに改質された溶融スラグ層 5 は、より FeO 濃度の低い緩衝帯となるので、スラグ保持炉 2 から新たに溶融スラグ 4 を当該溶融スラグ層 5 に注入する際に、スラグフォーミングをより確実に抑制できるようになる。また、改質材として、 SiO_2 源、 Al_2O_3 源を添加することにより、溶融スラグの成分を調整することができる。

[0064] また、注入された溶融スラグ 4 の注入速度や注入量によっては、溶融スラグ 4 によって溶融スラグ層 5 がかく乱される虞があるが、浅底部 11a が設けられているため、注入直後の溶融スラグ 4 が溶鉄層 6 に接触することはな

い。従って、注入直後の溶融スラグ4が溶鉄層6と急激に反応することによる、スラグフォーミングも防止される。

[0065] さらに、炉底11の浅底部11aによって、スラグ注入流と電気炉100内の溶鉄層6との接触が防止されたとしても、溶融スラグ層5内の(T, Fe)が増加することにより、スラグメタル界面でスラグがメタル中のCと反応してCOガスを発生させ、それがスラグフォーミングを誘発する可能性がある。その場合には還元材投入口31a、33aから炭材粉を投入することにより、フォーミングスラグの破泡および還元を通じて、スラグフォーミングを鎮静化させることが可能となる。

[0066] また、上記還元処理が進行すれば、Feが溶鉄中に移行するため、溶鉄層6の層厚も徐々に増加していく。

溶融スラグ層5の層厚は、緩衝帯としての機能を発現させるという観点から、100~600mmが好ましく、100~800mmがより好ましい。溶融スラグ層5の層厚が上限に近づいた場合は、出滓口17を開放して、溶融スラグ層5の還元スラグを排出する。また、溶鉄層6の界面が浅底部11aの上面に近づいた場合は、出湯口18を開放して、溶鉄層6の溶鉄（例えば高P溶鉄）を排出する。このようにして、炉体1の出滓口17から還元スラグを、出湯口18から溶鉄を、間欠的に排出、回収する。これにより、炉体1内では、溶融スラグ4の還元処理を、中断することなく継続することができる。

[0067] また、上記炉体1の稼働中（即ち、還元処理中）には、炭材のCを用いて溶融スラグ4の酸化物を還元することにより、COおよびH₂等を含む高温の排ガスが発生する。例えば、酸化鉄を還元する場合、 $FeO + C \rightarrow Fe + CO$ ↑の反応により、COガスが生成される。この排ガスは、炉体1のスラグ注入口14を通じてスラグ保持炉2内に流入し、スラグ保持炉2内を排気経路として外部に排出される。炉体1を密閉型とし、スラグ保持炉2を排気経路とすることで、炉体1内の雰囲気は、還元反応により生じるCOガスと、炭材（還元材）から生じるH₂を主成分とする還元雰囲気維持される。従って

、溶融スラグ層5の表面での酸化反応を防止できる。

[0068] [6. 第2の実施形態]

次に、本発明の第2の実施形態について図5および図6を参照して説明する。第2の実施形態は、上述した第1の実施形態と比べて炉体1の形状が相違するのみであり、その他の機能・構成は、第1の実施形態と実質的に同一であるので、詳細説明は省略する。

[0069] 図5および図6に示すように、第2の実施形態では炉体1は張出部10bを有さない。炉体1は円環形状の断面の本体部10aを有する。

浅底部11bは、本体部10aのスラグ注入口14と平面視で重なりを有する領域で、炉底11が部分的に嵩上げされた部分である。浅底部11bは、例えば、炉壁12の内側に接して配置された箱型のステップ11cによって形成される。ステップ11cの表面は、他の部分の炉底11の内面と同様に耐火物で構成される。

[0070] 第2の実施形態は一般的な炉形状であり、浅底部11bを有さない既存の電気炉であっても、後からステップ11cを取り付けることによって、浅底部11bを形成できる点で有利である。

[0071] 図5に示されるように、スラグ保持炉2が注ぎ口部21側に傾動して溶融スラグ4が炉体1内に注入された場合、スラグ注入口14から注入された溶融スラグ4は、スラグ注入口14の下方で溶融スラグ層5に流れ落ちる。第1の実施形態と同様に、浅底部11bのためにこの部分では溶融スラグ層5の下層に溶鉄層6が存在しないので、注入直後の溶融スラグ4が溶鉄層6と急激に反応して突沸することに起因してスラグフォーミングが発生することを防止できる。

[0072] 以上で説明した本発明の第2の実施形態は、既に述べたように、既存の電気炉に後から浅底部11bを形成できる点で、第1の実施形態に比べて利点を有する。その一方で、第1の実施形態の方が浅底部11aを広くとることができるため、注入された溶融スラグ4によって溶融スラグ層5がかく乱される部分と、溶融スラグ層5の下層に溶鉄層6が存在する部分との間の距離

を大きくすることができ、スラグフォーミングを防止する効果を高めることが可能である。また、第2の実施形態では、浅底部11bの位置が、第1の実施形態に比べて炉体1の中央に近くなる。炉体1の中央では、上部電極15と炉底電極16との間でのアーク放電によって大きな熱が発生するため、浅底部11bの表面を構成する耐火物の溶損が、他の部分の炉底11や、第1の実施形態での浅底部11aに比べて大きくなる可能性がある。

[0073] このように、本発明の第1の実施形態と第2の実施形態とは、それぞれに異なる利点を有するため、例えば操業条件や設備の現状などに応じて適宜選択して実施されうる。また、これらの実施形態に限らず、これらの実施形態の説明によって、当業者には明らかな他の実施形態を採用することも可能である。

実施例

[0074] 次に、本発明の実施例について説明する。なお、以下の実施例は、本発明の実施可能性および効果を確認するために採用した条件例にすぎず、本発明が以下の実施例の条件に限定されるものではない。

[0075] (シミュレーション)

まず、実操業に先立って浅底部11aの有無の影響を確かめるために、図2に示す電気炉100を仮定したコンピュータシミュレーションを行った。具体的な手順は以下の通りである。

まず汎用流体解析ソフトFLUENTを用いて、以下の条件の電気炉に溶融スラグ4を注入して、その挙動を炉の軸断面方向から観察した。

炉の容積：13.8 m³

炉底面積 (S₁+S₂)：7.5 m²

炉内スラグ粘度：0.25 Pa·s

注入スラグ粘度：1.0 Pa·s

溶鉄粘度：0.006 Pa·s

浅底部の高さ (H)：250 mm

浅底部の面積 (S₂)：1.1 m²

種湯量：1.4 m³

注入スラグ流の幅：500 mm

スラグ注入速度：1 t/min、5 t/min、10 t/min、20 t/min

[0076] 結果を図7に示す。図7において実施例Aはスラグ注入速度が10 t/minで浅底部11aがある例、比較例Aはスラグ注入速度が1 t/minで浅底部11aがない例、実施例Bはスラグ注入速度が5 t/minで浅底部11aがない例、比較例Cはスラグ注入速度が10 t/minで浅底部11aがない例、比較例Dはスラグ注入速度が20 t/minで浅底部11aがない例を示す。

図7に示すように、スラグ注入速度が1 t/minの場合は、浅底部11aが無い比較例Aでも、注入された溶融スラグ4がほとんど溶鉄層6に達しておらず、注入された溶融スラグ4と溶鉄層6との反応は僅かしか認められなかった。

スラグ注入速度が5 t/min、10 t/min、20 t/minの場合は、浅底部11aが無い場合に注入された溶融スラグ4が溶鉄層6に達して、一部は溶鉄層6中に突入し溶鉄中のCと反応する様が予見された。特に10 t/min、20 t/minでは、反応が激しく、溶鉄と溶融スラグ4とが混合して飛び散ることが分かった。

一方で、浅底部11aがある場合は、スラグ注入速度が10 t/minでも、注入された溶融スラグ4がほとんど溶鉄層6とは反応せず、したがって溶鉄と溶融スラグ4との混合物が飛び散ることも無いと考えられた。

この結果から、浅底部11aを設けることにより、注入された溶融スラグ4が溶鉄層6と混合して、激しく反応することを防止できることが分かった。

[0077] (スラグ注入試験：比較例)

次に、図2に示す電気炉100において、浅底部11aがない構造を用いてスラグ注入試験を行い、COガス発生量を測定した。具体的な手順は以下

の通りである。

まず、炉体 1 に溶鉄層 6 および溶融スラグ層 5 を予め形成した。炉体 1 の条件は浅底部 1 1 a が不在なこと以外はシミュレーションと同じである。

[0078] 次いで、炉体 1 に電力 2.4 MW (240 V、10 k A) を供給して連続稼働させた上で、炭材粉を 2.5 kg/min で投入しながら、溶融スラグ 4 を 680 kg 一度に注入した。その結果、溶融スラグ 4 の注入直後に流量 300 Nm³/h 以上の CO ガスが発生し、その後は徐々に流量が低下した。

次に、炭材粉の投入量は変えずに作業を続け、最初の溶融スラグ 4 の投入から約 20 分後に溶融スラグ 4 を 540 kg 一度に注入した。その結果、溶融スラグ 4 の注入直後に流量 400 Nm³/h 以上の CO ガスが発生し、その後は徐々に流量が低下した。

さらに、炭材粉の投入量は変えずに作業を続け、直近の溶融スラグ 4 の投入から約 15 分後に溶融スラグ 4 を 800 kg 一度に注入した。その結果、溶融スラグ 4 の注入直後に流量 500 Nm³/h 以上の CO ガスが発生し、その後は徐々に流量が低下した。

その後、炭材粉の投入量を 3.5 kg/min に増加させ、直近の溶融スラグ 4 の投入から約 25 分後に溶融スラグ 4 を 20 kg 一度に注入した。その結果、溶融スラグ 4 の注入直後に流量 250 Nm³/h 以上の CO ガスが発生し、その後は徐々に流量が低下した。

以上の結果を図 8 に示す。

図 8 に示すように、浅底部 1 1 a が不在の電気炉 100 においては、溶融スラグ 4 の注入直後に CO ガスが発生しており、スラグフォーミングが生じている可能性が示唆された。

[0079] (スラグ注入試験：実施例)

次に、図 2 に示す電気炉 100 において、浅底部 1 1 a がある構造を用いてスラグ注入試験を行い、CO ガス発生量を測定した。具体的な手順は以下の通りである。

炉体 1 に電力 2.4 MW (240 V、10 k A) を供給して連続稼働させ

た上で、炭材粉を投入せずに、熔融スラグ4を780kg一度に注入した。その他の条件は「スラグ注入試験：比較例」と同様とした。その結果、熔融スラグ4の注入直後はCOガスが発生せず、その後のCOガス発生量も流量で100Nm³/h以下であった。

以上の結果を図9に示す。

図9に示すように、浅底部11aがある電気炉100においては、熔融スラグ4の注入直後にCOガスが発生せず、浅底部11aがスラグフォーミングの発生を抑制していると考えられた。

[0080] (実操業試験)

次に、浅底部がある場合とない場合とで、図10に示す操業パターンで電気炉を操業し、スラグフォーミングの有無を確認した。

まず、以下の条件の電気炉100を用意した。

炉の容積：13.8m³

炉底面積 (S₁+S₂)：7.5m²

スラグ組成：(T.Fe)0.8%、(CaO)33.1%、(SiO₂)28.4%

溶鉄組成：[C]2.8%、[Si]0.18%、[P]0.33%

浅底部の高さ(H)：250mm

浅底部の面積(S₂)：1.1m²

種湯量：1.3m³

[0081] 次に、図10に示されるように、まず、スラグ鍋3からスラグ保持炉2に、約40分に1回の頻度で、1チャージあたり約25tの熔融スラグ4を投入し、スラグ保持炉2内に一時的に保持した。その後、スラグ保持炉2を10分に1回の頻度で保持姿勢から注入姿勢に傾動させて、1回あたり8.0t~8.5tの熔融スラグ4を、炉体1内の熔融スラグ層5に間欠的に注入した。

[0082] また、炉体1でのスラグ還元処理中には、上部電極15と炉底電極16に30MWの電力を連続供給しつつ、還元材投入口31aおよび33aを通じ

て、炭材粉を45 kg/minの供給速度で供給した。さらに、還元材投入口31aを通じて、改質材として、珪砂を67 kg/min、廃アルミナ耐火物粉を8 kg/minの供給速度で供給した。なお、スラグ還元処理の終了後、スラグ保持炉2からの次のチャージの溶融スラグ4の注入が開始されるまでの時間は（10分程度）、供給電力を低減し、炭材ならびに改質材の供給は休止された。

[0083] 各実施例および比較例では、注入周期と1回あたりの注入量とが異なる点を除いて、操業パターンは同様とした。注入周期および1回あたりの注入量は、実施例1、実施例4、ならびに比較例1（注入周期5分、1回あたり注入量4.0 t～4.3 t）、実施例2ならびに比較例2（注入周期10分、1回あたり注入量8.0 t～8.5 t）、および実施例3ならびに比較例3（注入周期15分、1回あたり注入量12 t～13 t）でそれぞれ共通である。

[0084] また、各実施例および比較例において、転炉からスラグ鍋3に排出された溶融スラグ4の成分組成は、以下の表1に示す通りである。

[0085] [表1]

	(T.Fe)	(CaO)	(SiO ₂)	(MnO)	(MgO)	(Al ₂ O ₃)	(P ₂ O ₅)	その他
組成 (質量%)	19.8	33.3	23.5	6.1	8.2	1	1.5	6.6

[0086] 各実施例および比較例では、炉体1での反応状態および排ガス処理設備への影響を示す指標として、溶融スラグ4の炉体1内への注入時に発生したスラグフォーミングの高さと、炉体1におけるCOガスの発生状態（ガス排出口25を通過する排ガスの流量および排ガスにおけるCO+CO₂濃度から判定）を計測した。

結果の概要を表2に示す。

[0087]

[表2]

	実施例1	実施例2	実施例3		実施例4	比較例1	比較例2	比較例3
電気炉 タイプ	第1の実 施形態	第1の実 施形態	第1の実施形態		第2の実 施形態	浅底部 なし	浅底部 なし	浅底部 なし
注入周期 (min)	5	10	15		5	5	10	15
1回あたり 注入量 (t)	4.0~4.3	8.0~8.5	12~13		4.0~4.3	4.0~4.3	8.0~8.5	12~13
炭材粉 投入	なし	なし	なし	あり	なし	なし	なし	なし
フォーミン グ高さ (mm)	90	210	600	300	160	1200	2200	2500 以上
COガス 発生状態	穏やか	穏やか	急激	穏やか	穏やか	急激	急激	急激

[0088] 比較例1～3のいずれにおいても、浅底部11aがない電気炉では、注入周期が長くなり、1回あたり注入量が多くなるほど、フォーミング高さが大きくなっており、1回あたり注入量が多い比較例3では、スラグフォーミング高さが2500mm以上に達した。

また、比較例1～3のいずれにおいても、炉体1においてCOガスが急激に発生した。

[0089] これは、注入直後の溶融スラグ4が溶融スラグ層5の下層にある溶鉄層6と接触し、溶融スラグ4に含まれるFeOが溶鉄層6中の溶鉄に含まれるCと急激に反応した結果、フォーミングが生じたためと考えられる。

[0090] これに対して、実施例1～2では、いずれも、同条件の比較例1、2に比べて、スラグフォーミングの高さが大幅に低下し、炉体1でのCOガスの発生が穏やかになった。

実施例3では、スラグフォーミング高さが一時600mmまで上昇したが、側壁2か所から炭材粉を3kg/minで3分間吹きこんだところ、300mmまで鎮静化した。この結果、最も注入周期が長く、1回あたり注入量が多い実施例3でも、スラグフォーミング高さを300mmに抑えることができた。

従って、本発明の第1の実施形態に係る炉体1は、浅底部11aを設けた

ことにより、スラグフォーミングの発生を抑制しつつ、従来よりも1回あたりのスラグ注入量を増大させることが可能になったといえる。

[0091] 一方、第2の実施形態に係る炉体1を使用した実施例4でも、スラグフォーミングの高さ(160mm)が、第1の実施形態に係る炉体1を使用した実施例1(90mm)に比べてやや高いものの、同条件の比較例1(1200mm)に比べると大幅に低下している。結果として、COガス発生が穏やかであった。従って、第2の実施形態に係る炉体1でも、浅底部11bを設けたことにより、スラグフォーミングの抑制効果が十分に得られていることが実証された。

[0092] ただし、実施例1~4について操業を繰り返した結果、実施例1~3では、浅底部11aの表面の耐火物が50mm溶損するまでに、700~1000チャージの操業が可能であったのに対し、実施例4では200~300チャージの操業で、浅底部11bの表面の耐火物が50mm溶損した。従って、炉底11の耐久性の面では、第1の実施形態に係る炉体1の方が有利であることも実証されたといえる。なお、第2の実施形態に係る炉体1には他の利点があることは既に述べた通りである。

[0093] 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。

産業上の利用可能性

[0094] 本発明によれば、スラグ保持炉から注入された直後の熔融スラグと電気炉内の溶鉄層とが激しく混合されて大きなスラグフォーミングを生成することを防止できる電気炉を提供することができる。

符号の説明

[0095] 1 : 炉体

- 2 : スラグ保持炉
- 3 : スラグ鍋
- 4 : 溶融スラグ
- 5 : 溶融スラグ層
- 6 : 溶鉄層
- 10 a : 本体部
- 10 b : 張出部
- 11 : 炉底
- 11 a : 浅底部
- 11 b : 浅底部
- 11 c : ステップ
- 11 d : 深底部
- 12 : 炉壁
- 13 : 炉蓋
- 14 : スラグ注入口
- 15 : 上部電極
- 16 : 炉底電極
- 17 : 出滓口
- 18 : 出湯口
- 20 : 炉本体
- 21 : 注ぎ口部
- 25 : ガス排出口
- 26 : スラグ投入口
- 27 : 保持炉蓋
- 28 : スラグ注入路
- 29 : 注ぎ口
- 31 : 原料供給装置
- 31 a : 還元材投入口

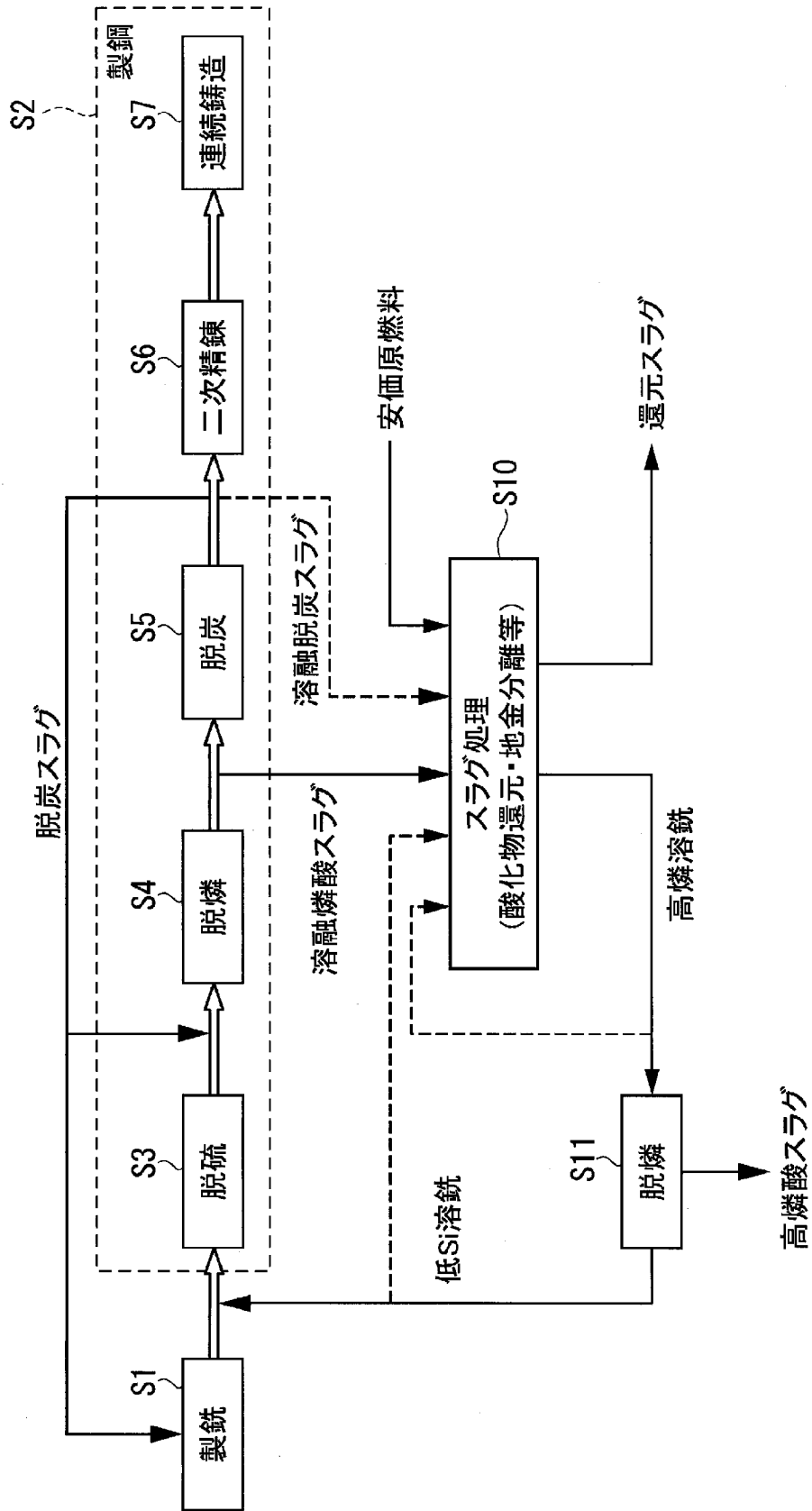
- 3 3 a : 還元材投入口
- 3 2 : 原料供給装置
- 3 3 : 原料供給装置
- 4 0 : 傾動装置
- 4 4 : 傾動軸
- 1 0 0 : 電気炉

請求の範囲

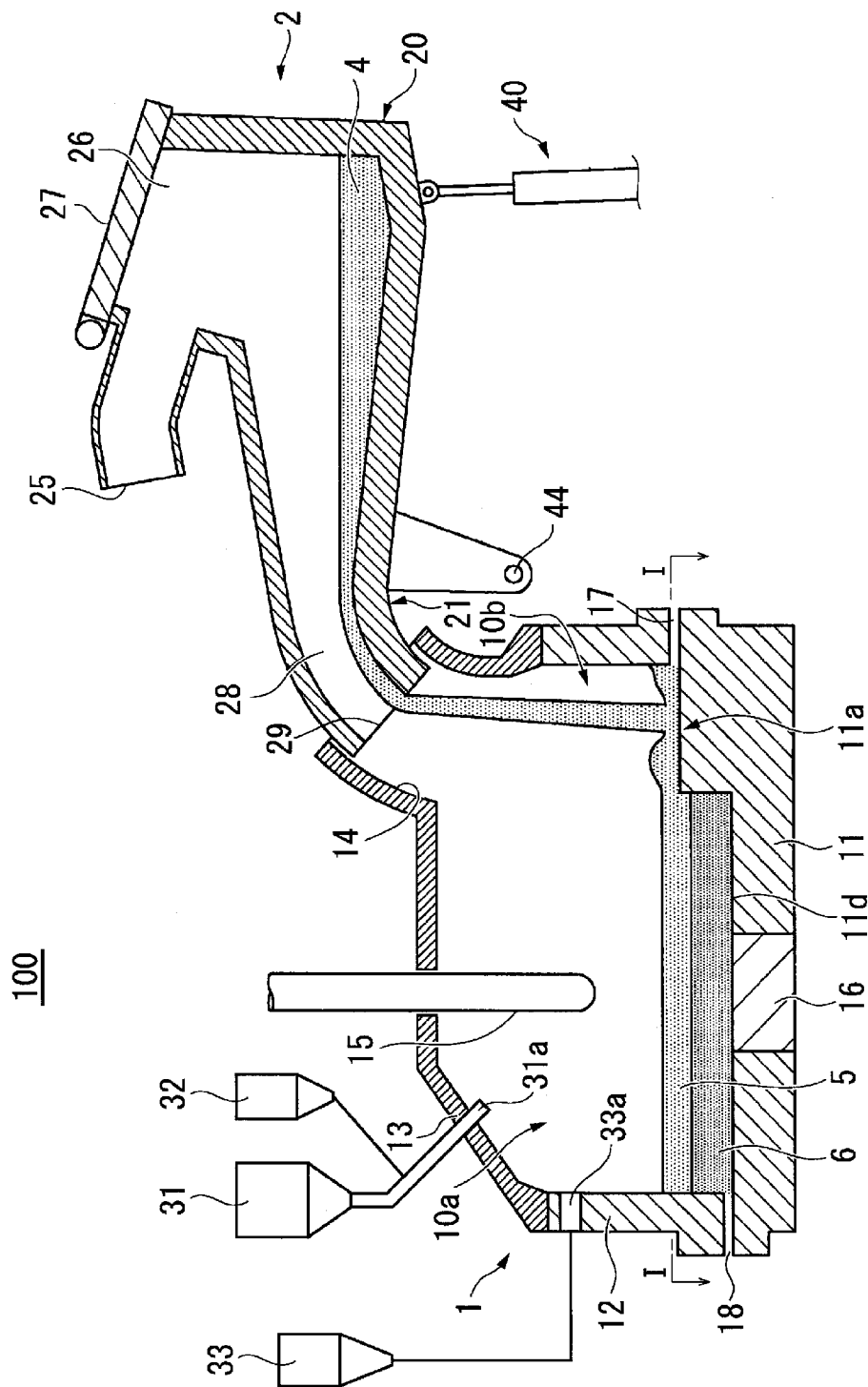
- [請求項1] 電極を有する炉体と、
溶融スラグを溶融状態のまま保持するとともに傾動により前記溶融スラグを前記炉体に注入可能なスラグ保持炉と、
を有する電気炉であって、
前記炉体は、
筒状の炉壁と、
前記炉壁の上端に設けられた炉蓋と、
前記炉壁の下端に設けられ、深底部と、前記深底部の最深部に対する高さが150mm以上、500mm以下の領域である浅底部と、を有する炉底と、
前記炉蓋に設けられ、前記スラグ保持炉から前記溶融スラグが注入されるスラグ注入口と、
を有し、
前記スラグ注入口は前記浅底部と平面視で重なりを有し、
前記炉底に対する前記浅底部の平面視における面積率が5%以上、40%以下であることを特徴とする、電気炉。
- [請求項2] 前記炉壁は、
高さ方向に垂直な断面形状が円環形状の本体と、
前記本体の径方向に張り出した張出部を有し、
前記浅底部は前記張出部の下端に設けられ、前記スラグ注入口は前記張出部の上端に設けられることを特徴とする、請求項1に記載の電気炉。
- [請求項3] 前記炉壁は、高さ方向に垂直な断面形状が円環形状の本体を有し、
前記浅底部は前記本体の下端に設けられる、請求項1に記載の電気炉。
- [請求項4] 前記炉蓋、または前記炉蓋と前記炉壁の両方に設けられ、還元材を炉内に投入する還元材投入口を有することを特徴とする、請求項1か

ら請求項3までのいずれか1項に記載の電気炉。

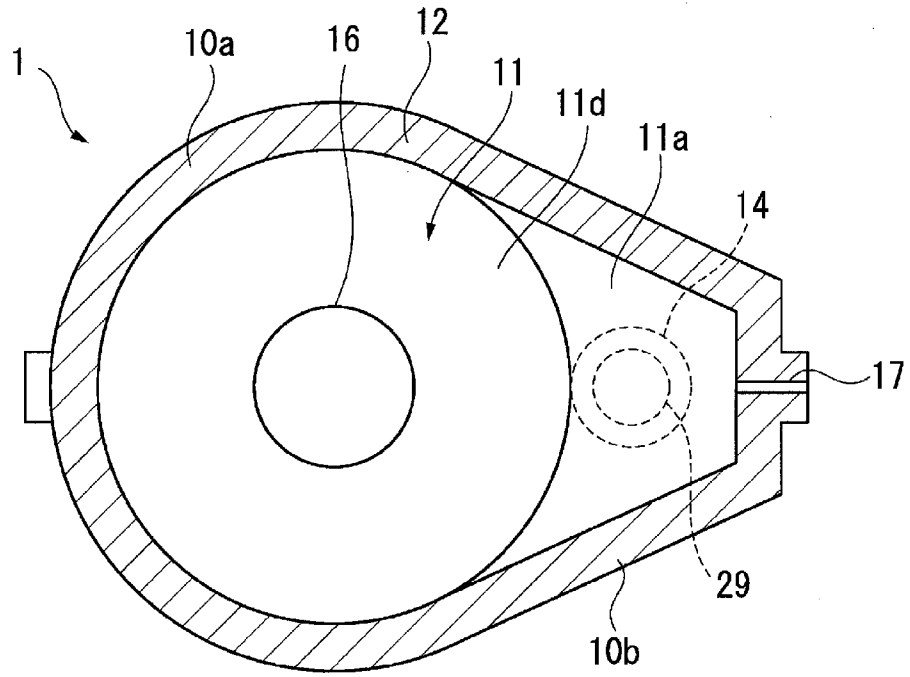
[図1]



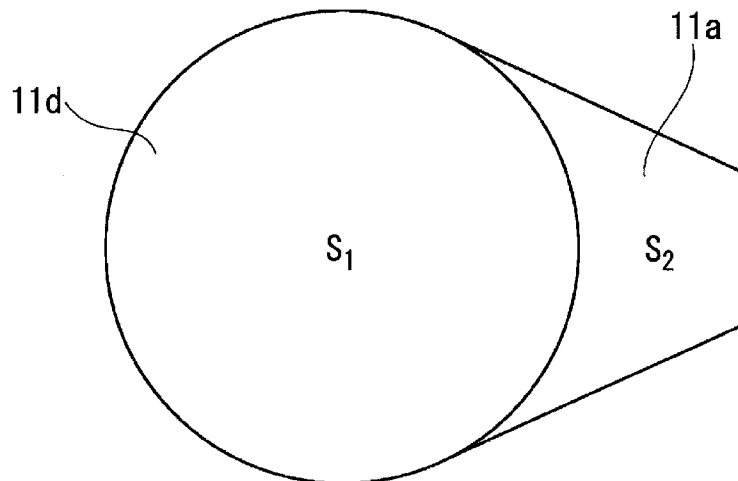
[図3]



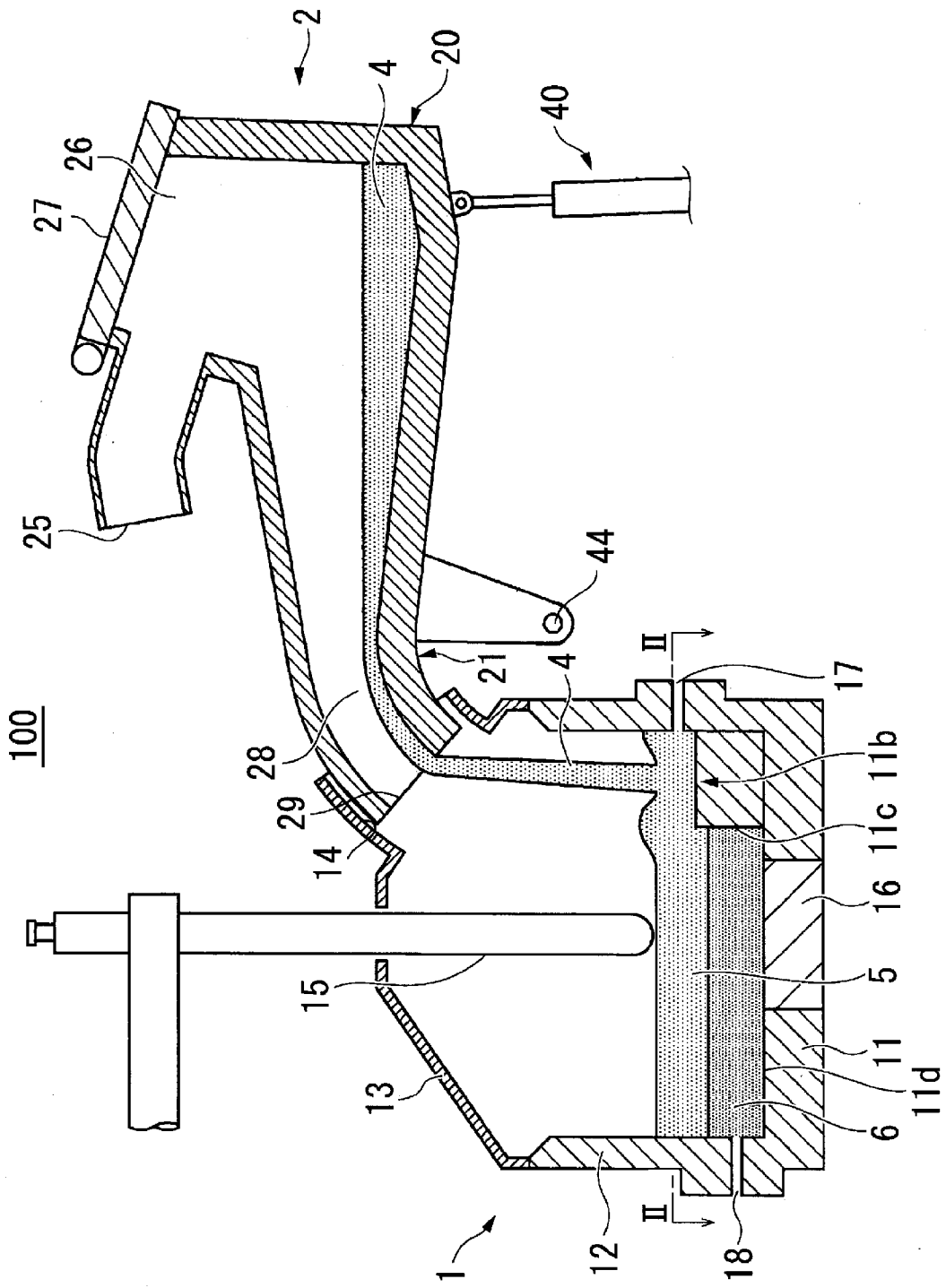
[図4A]



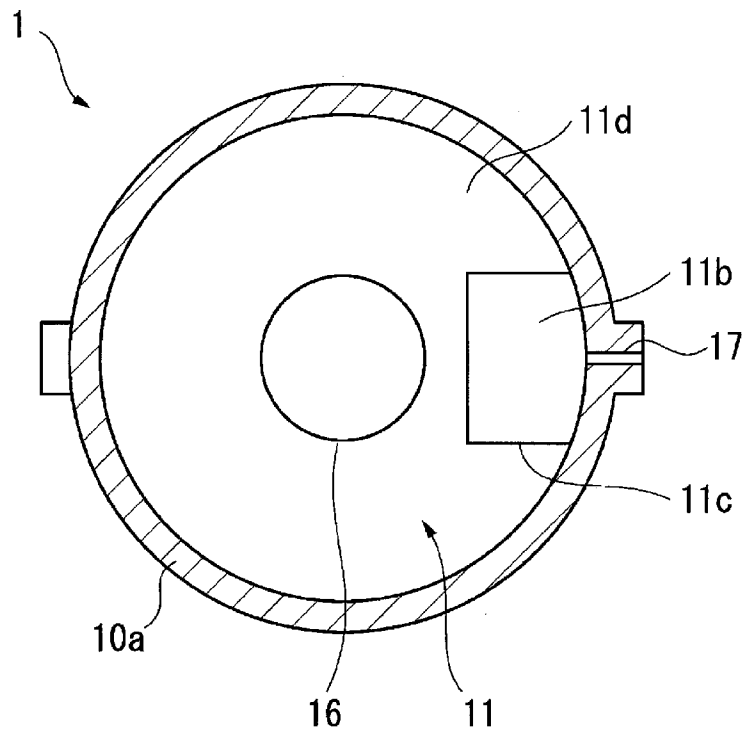
[図4B]



[図5]



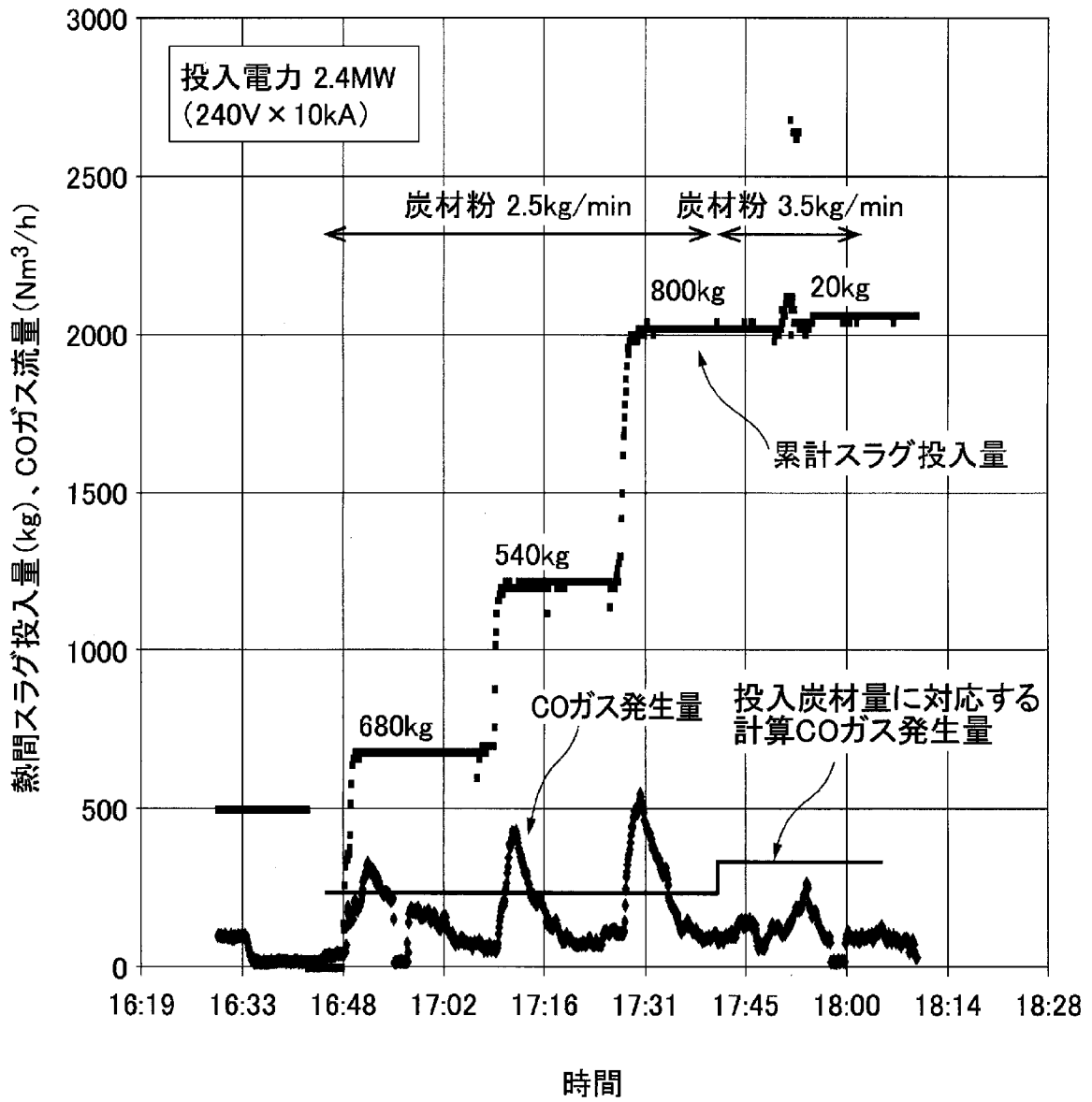
[図6]



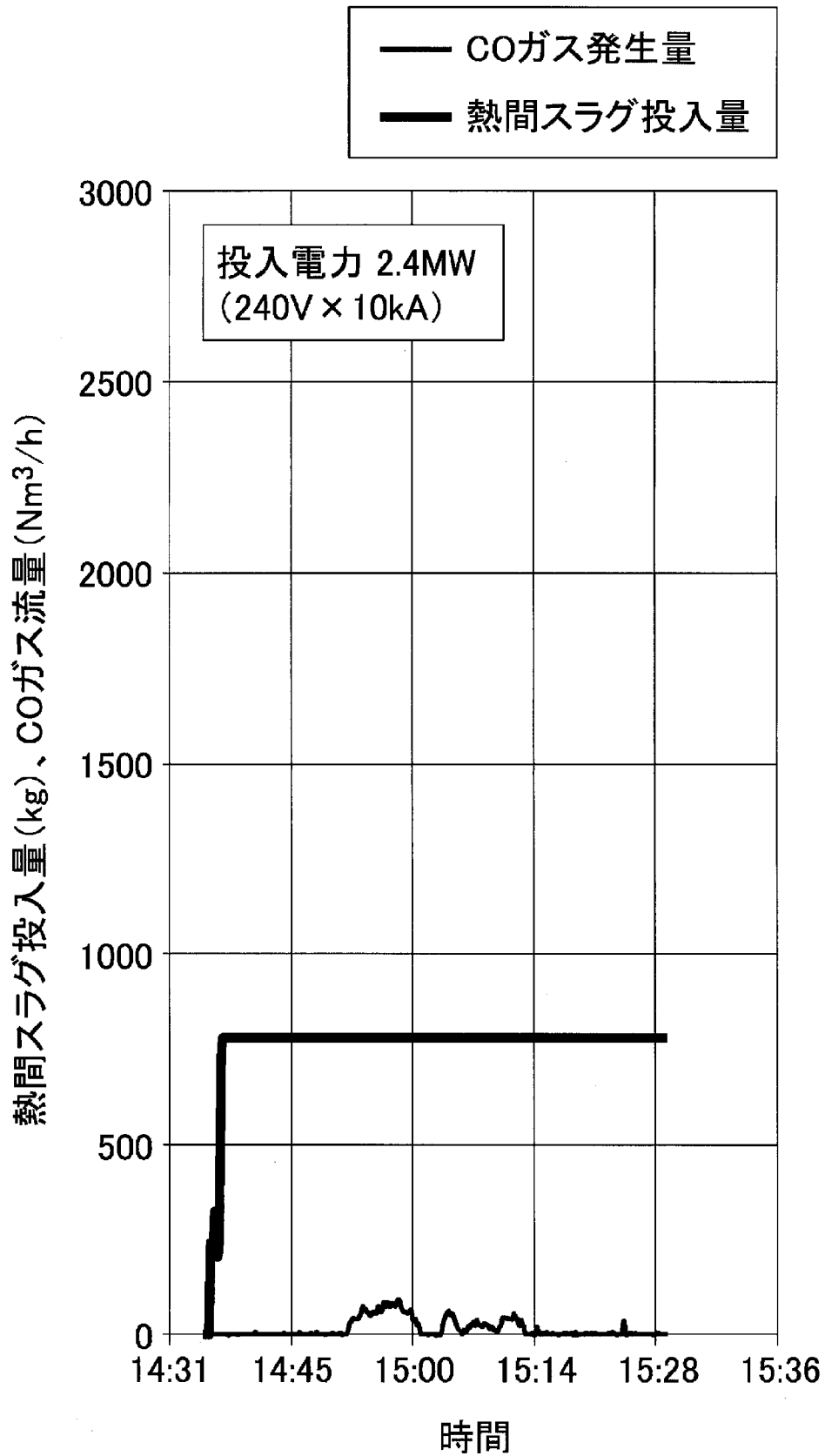
[図7]

試験番号	実施例A	比較例A	比較例B	比較例C	比較例D
スラグ流量	10ton/min	1ton/min	5ton/min	10ton/min	20ton/min
経過時間	1.00秒後	1.30秒後	1.06秒後	1.00秒後	1.00秒後
シミュレーション結果					

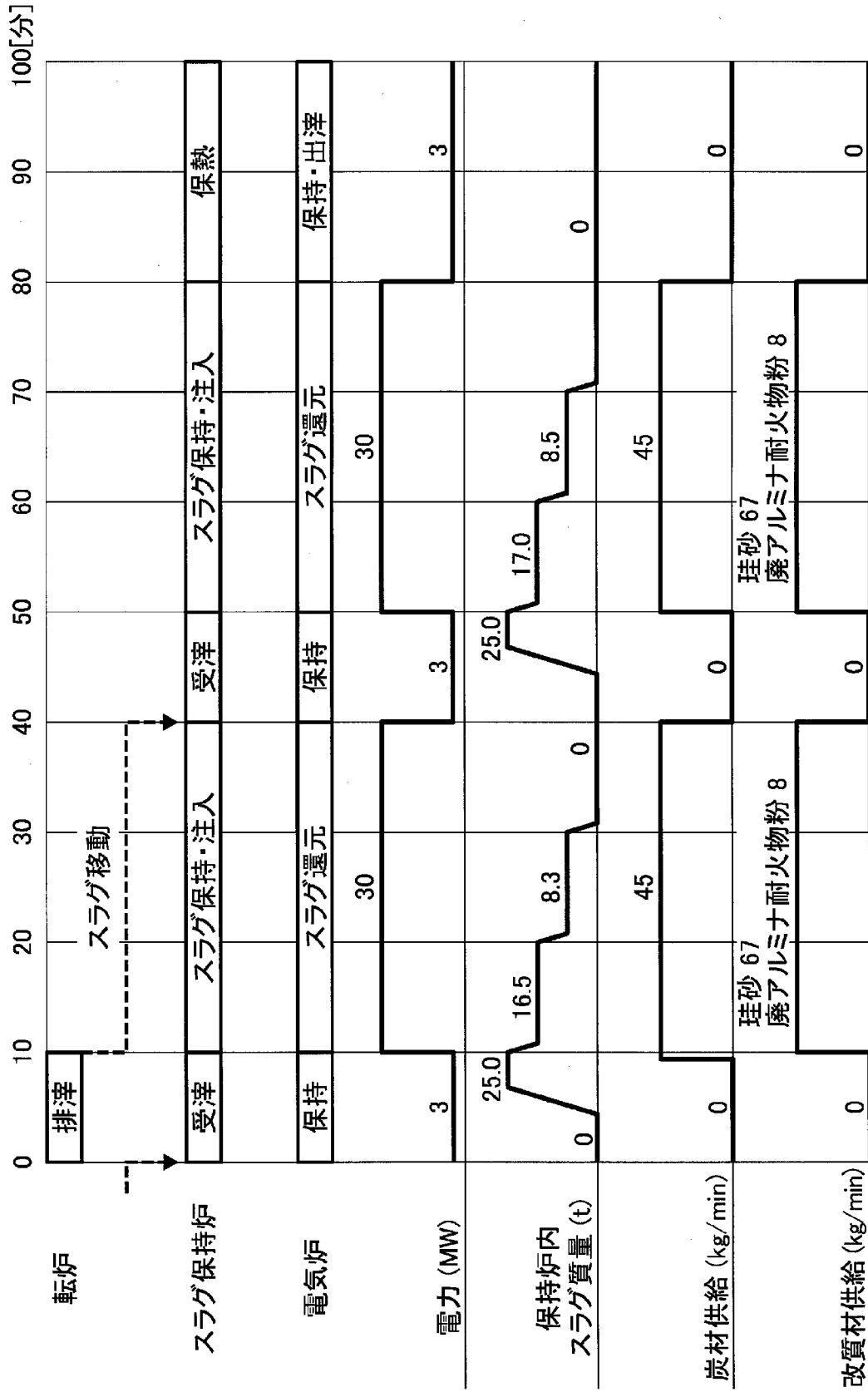
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/040600

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 F27B3/08 (2006.01) i, C21O5/28 (2006.01) i, C22B7/04 (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)
 F27B3/08, C21O5/28, C22B7/04

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.
A	WO 2014/003123 A1 (NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORP.) 03 January 2014 & US 2015/0135896 A1 & EP 2767597 A1 & KR 10-2014-0079805 A & CN 104039987 A	1-4
A	JP 2002-317918 A (NKK CORP.) 31 October 2002 (Family: none)	1-4
A	JP 10-002538 A (ISHIKAWAJIMA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO., LTD.) 06 January 1998 (Family: none)	1-4

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

* Special categories of cited documents:	“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
“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	Date of mailing of the international search report
---	--

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 REPORTInternational application No.
PCT/JP2017/040600

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2008-075950 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 03 April 2008 (Family: none)	1-4

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））
 Int.Cl. F27B3/08(2006.01)i, C21C5/28(2006.01)i, C22B7/04(2006.01)i

B. 調査を行った分野
 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））
 Int.Cl. F27B3/08, C21C5/28, C22B7/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018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

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
A	WO 2014/003123 A1（新日鐵住金株式会社）2014.01.03 & US 2015/0135896 A1 & EP 2767597 A1 & KR 10-2014-0079805 A & CN 104039987 A	1-4
A	JP 2002-317918 A（日本鋼管株式会社）2002.10.31（ファミリーなし）	1-4
A	JP 10-002538 A（石川島播磨重工業株式会社）1998.01.06（ファミリーなし）	1-4

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

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「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	「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
「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	「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
「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）	「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
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 19.01.2018	国際調査報告の発送日 30.01.2018
--------------------------	--------------------------

国際調査機関の名称及びあて先 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	特許庁審査官（権限のある職員） 瀧澤 佳世 電話番号 03-3581-1101 内線 3435	4K	4426
--	---	----	------

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2008-075950 A (三菱重工業株式会社) 2008.04.03 (ファミリーなし)	1-4