

HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

main body (2) and a carburizing gas discharge unit (3). The main body (2) has a carburizing gas guide inlet (9) for guiding a carburizing gas, which contains carbon for carburizing the reduced iron in order to add carbon thereto, into a space (5). The carburizing gas guide inlet (9) is provided below a reducing gas guide inlet (8). The carburizing gas discharge unit (3) has a carburizing gas intake inlet (13) disposed at a height equal to or below the height of the reducing gas guide inlet (8), and discharges gas containing the carburizing gas inside the space (5) through the carburizing gas intake inlet (13) to outside of the space (5).

(57) 要約:還元ガスおよび加炭ガスを連続的に供給して炭素が付加された還元鉄を製造するときに、還元ガスによる酸化鉄の還元反応が加炭ガスによって抑制されることを防ぐことが可能な還元鉄製造装置(1)および還元鉄製造方法を提供する。還元鉄製造装置(1)は、酸化鉄を含む原料に還元ガスを与えることにより酸化鉄を還元して還元鉄を製造する。還元鉄製造装置(1)は、本体(2)と、加炭ガス排出部(3)とを備えている。本体(2)は、還元鉄に炭素を加える加炭処理を行うための炭素を含有する加炭ガスを空間部(5)内部に導入するための加炭ガス導入口(9)を有する。加炭ガス導入口(9)は、還元ガス導入口(8)よりも下側に設けられている。加炭ガス排出部(3)は、還元ガス導入口(8)の高さと同じまたはそれより低い高さに配置された加炭ガス取入口(13)を有し、当該加炭ガス取入口(13)を通して空間部(5)内部の加炭ガスを含むガスを空間部(5)の外部へ排出する。

明 細 書

発明の名称：還元鉄製造装置および還元鉄製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、還元ガスを用いて酸化鉄を還元して還元鉄を製造する還元鉄製造装置および還元鉄製造方法に関する。

背景技術

[0002] 鉄鉱石などの原料に含まれる酸化鉄を還元して鉄を取り出すために、従来では豎型炉（シャフト炉）を用いた直接還元製鉄プロセスが行われる。

[0003] 特許文献 1 ～ 2 に記載されるシャフト炉は、縦長の空間部と、当該空間部の上部に形成された鉄鉱石などの原料の原料投入口と、当該空間部の下部に形成された還元処理後の還元鉄を排出する還元鉄排出口を有する。

[0004] さらに、シャフト炉は、還元ガス導入口と、ガス排出口とを有する。還元ガス導入口は、原料投入口と還元鉄排出口との間に設けられ、酸化鉄を還元する能力を持った還元ガス（例えば、水素や一酸化炭素など）を空間部に供給する。ガス排出口は、空間部の上部に形成され、当該空間部内部のガスを外部へ排出する。ガス排出口には、排気用のポンプが設けられる。

[0005] 上記のシャフト炉では、鉄鉱石などの原料が当該シャフト炉の上部の原料投入口から空間部へ投入される。空間部内部が原料で密になった状態で、還元ガス導入口から空間部に供給された還元ガスによって鉄鉱石に含まれる酸化鉄が還元されて還元鉄が製造される。還元鉄は、シャフト炉の下部の還元鉄排出口から排出される。空間部内部の還元処理後のガスは、空間部上部のガス排出口からポンプによって強制的に空間部から排出される。

[0006] 近年、シャフト炉では、還元鉄が製造された後に、還元鉄に炭素を添加する加炭処理を行って成分調整をするために、炭素を含む加炭ガス（メタンなど）をシャフト炉に供給することが行われる。加炭ガスを空間部に導入するための加炭ガス導入口は、還元ガス導入口の高さよりも低い位置に配置される。これにより、還元ガスによる還元処理によって得られた還元鉄に対して

加炭ガスを吹き付けて加炭処理を施すことが可能である。

[0007] 空間部内部に導入された還元ガスおよび加炭ガス、ならびに空間部内部の処理で発生したガスは、空間部内部を上昇して、空間部上部のガス排出口から空間部の外部へ強制的に排出される。

[0008] しかし、シャフト炉内の空間部に還元ガスおよび加炭ガスの２種類のガスを導入した場合、加炭ガスがシャフト炉の空間部を上昇して、還元ガス導入口の高さまで到達する。そのときに、当該加炭ガスが、還元ガス導入口から供給される還元ガスが空間部内部で分散することを阻害するおそれがある。

[0009] 例えば、加炭ガスが空間部を上昇して還元ガス導入口の高さの位置において空間部の中心部（具体的には、空間部の水平断面における中心部）付近に集まっている場合には、還元ガスは当該中心部付近に到達しにくくなる。これにより、当該中心部付近における酸化鉄の還元反応が部分的に抑制される。その結果、空間部内部で均一な条件で還元反応が行われないうことによって、還元鉄の還元率のばらつきが生じるおそれがある。とくに空間部内部が原料で密になった状態では、還元ガスおよび加炭ガスを空間部内部に送り込むことが難しいので、空間部内部で加炭ガスが存在する領域と還元ガスが存在する領域とが分離しやすくなる。

[0010] また、還元ガスによる酸化鉄の還元反応は、シャフト炉の空間部内部の温度が高い方が促進される傾向がある。しかし、加炭ガスの温度（３００度程度）は還元ガスの温度（７００～９００度程度）よりも通常低いので、加炭ガスが集まる空間部内部の場所では温度が上昇しにくくなり、還元反応が抑制される。

[0011] とくに、近年、シャフト炉の大型化、すなわち、炉径を大きくすることが求められている。炉径が大きくなると、さらに還元ガスがシャフト炉の中心部に到達しにくくなって、上記の現象が顕著に発生する。したがって、炉径を大きくしても、還元ガスがシャフト炉の中心部領域に届く割合を増やすことが重要な課題となっている。

先行技術文献

特許文献

[0012] 特許文献1：特開 昭53－1606号公報

特許文献2：特公 昭57－19164号公報

発明の概要

[0013] 本発明は、上記のような事情に鑑みてなされたものであり、還元ガスおよび加炭ガスを連続的に供給して炭素が付加された還元鉄を製造するときに、還元ガスによる酸化鉄の還元反応が加炭ガスによって抑制されることを防ぐことが可能な還元鉄製造装置および還元鉄製造方法を提供することを目的とする。

[0014] 上記課題を解決するためのものとして、本発明は、酸化鉄を含む原料に還元ガスを与えることにより前記酸化鉄を還元して還元鉄を製造する還元鉄製造装置であって、前記還元鉄製造装置の本体であって、前記原料が収容可能な縦長の空間部と、前記空間部における上側に形成され、前記原料を前記空間部に投入するための原料投入口と、前記空間部における下側に形成され、前記空間部内部の前記還元鉄を外部に排出するための還元鉄排出口と、前記原料投入口よりも下側に設けられ、前記還元ガスを前記空間部内部に導入するための還元ガス導入口と、前記還元ガス導入口よりも下側に設けられ、前記還元鉄に炭素を加える加炭処理を行うための炭素を含有する加炭ガスを前記空間部内部に導入するための加炭ガス導入口と、前記還元ガス導入口よりも上側に形成され、前記空間部内部のガスを前記空間部の外部へ排出する上部ガス排出口とを有する本体とを備えており、前記空間部内部の前記加炭ガスを含むガスを前記本体の外部へ排出するための加炭ガス排出部とを備えており、前記加炭ガス排出部は、前記空間部内部において前記還元ガス導入口の高さと同じまたはそれより低い高さに配置された前記加炭ガスを含むガスを取り入れるための加炭ガス取入口と、前記本体の外部に配置された当該加炭ガスを含むガスを当該外部へ排出するための加炭ガス排出口と、前記加炭ガス取入口と前記加炭ガス排出口との間を連通してこれらの間の前記加炭ガスを含むガスの流通を許容する排出路とを形成する、ことを特徴とする。

[0015] さらに、本発明の還元鉄製造方法は、酸化鉄を含む原料に還元ガスを与えることにより前記酸化鉄を還元して還元鉄を製造する還元鉄製造方法であって、前記原料を、還元鉄製造用の縦長の空間部の内部へ投入する工程と、前記空間部に還元ガスを導入して当該還元ガスによって前記酸化鉄を還元して還元鉄を生成する工程と、前記還元ガスの導入位置よりも低い位置において前記空間部に炭素を含む加炭ガスを導入して当該加炭ガスによって前記還元鉄に炭素を加える加炭処理を行うとともに、前記還元ガスの導入位置よりも低い位置の高さと同じまたはそれよりも低い高さにおいて前記空間部内部の前記加炭ガスを含むガスを前記空間部の外部へ排出する工程と、を含むことを特徴とする。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]本発明の実施形態である還元鉄製造装置の全体構成を示す断面図である。

[図2]図1のⅠ－Ⅰ線断面図である。

[図3]図1の還元鉄製造装置を用いて還元鉄を製造した場合のシャフト炉の高さ h と当該シャフト炉の中心軸における還元ガス割合 a との関係を示すグラフである。

[図4]本発明の変形例である還元鉄製造装置の全体構成を示す断面図である。

[図5]図4のV－V線断面図である。

[図6]図4の還元鉄製造装置を用いて還元鉄を製造した場合のシャフト炉の高さ h と当該シャフト炉の中心軸における還元ガス割合 a との関係を示すグラフである。

[図7]本発明の他の変形例である還元鉄製造装置の全体構成を示す断面図である。

[図8]図7の還元鉄製造装置を用いて還元鉄を製造した場合のシャフト炉の高さ h と当該シャフト炉の中心軸における還元ガス割合 a との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、図面を参照しながら本発明の還元鉄製造装置および還元鉄製造方法の実施形態についてさらに詳細に説明する。

[0018] 図1～2に示される還元鉄製造装置1は、酸化鉄を含む原料P aに還元ガスG rを与えることにより当該酸化鉄を還元して還元鉄P bを生成し、さらに当該還元鉄P bに炭素を含む加炭ガスG cを与えることにより還元鉄P bに炭素を添加することにより、炭素が添加された還元鉄P bを製造する装置である。この還元鉄製造装置1は、本体2と、加炭ガス排出部3とを備えている。加炭ガス排出部3は、空間部5内部の加炭ガスを含むガスG e 2を本体2の外部へ排出するための構成要素である。当該加炭ガス排出部3は、本体2内部において還元ガスG rの導入位置の高さ以下の位置で加炭ガスG cの一部を本体2外部に排出する。これにより、本体2内部における還元ガスG rの均一な分散が達成される。還元鉄製造装置1の具体的な構成は以下のとおりである。

[0019] 本体2は、既存のシャフト炉（竖型炉）が用いられる。具体的には、本体2は、縦長の炉であり、例えば、縦長でかつ下方に開放された筒体で構成されている。具体的には、本体2は、筒状の側壁2 aと、当該側壁2 aの上端を塞ぐ天壁2 bとを有している。

[0020] 本体2は、原料P aが収容可能な縦長の空間部5と、当該空間部5に連通する開口として、原料投入口6と、還元鉄排出口7と、還元ガス導入口8と、加炭ガス導入口9と、上部ガス排出口10と、を有する。

[0021] 原料投入口6は、粒状の原料P a（例えば、粒状のペレット）を空間部5に投入するための投入口である。原料投入口6は、空間部5における上側の位置に形成され、例えば、本体2の天壁2 bを貫通して複数の管が貫通して形成されている。原料P aは、原料投入口6を通して空間部5の内部に密に充填される。

[0022] 還元鉄排出口7は、空間部5内部の還元鉄P b（例えば、粒状のペレット）を当該空間部5の外部に排出するための排出口である。還元鉄排出口7は、空間部5における下側の位置に形成され、例えば、本体2の側壁2 aの下

端に開口する下向きの開口によって形成されている。

[0023] 還元ガス導入口 8 は、還元ガス G_r を空間部 5 内部に導入するための導入口である。還元ガス導入口 8 は、原料投入口 6 よりも下側に設けられている。還元ガス導入口 8 は、例えば、本体 2 の側壁 2 a に少なくとも 1 つ、具体的には、側壁 2 a に沿って等間隔に複数個所に形成されている。還元ガス導入口 8 には、ポンプを用いて還元ガス G_r が供給される。例えば、後述の排気用のポンプ P 1 によって本体 2 の上部ガス排出口 10 から強制的に排出されたガス $G_e 1$ と天然ガスとの混合ガスが、本体 2 の外部の改質器によって改質されることにより、還元ガス G_r が生成される。この還元ガス G_r は、上記のポンプ P 1 の圧力を利用して還元ガス導入口 8 から本体 2 の内部に供給される。還元ガス導入口 8 から空間部 5 内部に導入された還元ガス G_r によって、空間部 5 内部の原料 P a に含まれる酸化鉄が還元されて還元鉄 P b が生成される。

[0024] 加炭ガス導入口 9 は、加炭ガス G_c を空間部 5 内部に導入するための導入口である。加炭ガス G_c は、上記の酸化鉄の還元反応で得られた還元鉄 P b に炭素を加える加炭処理を行うためのガスであり、炭素を含有する。加炭ガス導入口 9 は、還元ガス導入口 8 よりも下側に設けられている。加炭ガス導入口 9 も、上記還元ガス導入口 8 と同様に、例えば、本体 2 の側壁 2 a に少なくとも 1 つ、具体的には、側壁 2 a に複数個所に形成されている。加炭ガス導入口 9 には、ポンプを用いて加炭ガス G_c が供給される。例えば、後述の排気用のポンプ P 2 によって加炭ガス排出部 3 の加炭ガス排出口 14 から強制的に排出された加炭ガスを含むガス $G_e 2$ と天然ガスとを混合することにより、加炭ガス G_c が生成される。この還元ガス G_c は、上記のポンプ P 2 の圧力を利用して加炭ガス導入口 9 から本体 2 の内部に供給される。

[0025] 上部ガス排出口 10 は、空間部 5 内部のガス $G_e 1$ を空間部 5 の外部へ排出する排出口である。上部ガス排出口 10 は、還元ガス導入口 8 よりも上側に形成され、例えば、原料投入口 6 近くの本体 2 の側壁 2 a に形成されている。上部ガス排出口 10 には、排気用のポンプ P 1 が接続されている。上記

の空間部 5 内部のガス G e 1 は、例えば、空間部 5 内部に導入された還元ガス G r および加炭ガス G c、ならびに空間部 5 内部の処理で発生したガスなどを含んでおり、ガス G e 1 は、空間部 5 内部を上昇して、上部ガス排出口 1 0 から空間部 5 の外部へ強制的に排出される。

[0026] 加炭ガス排出部 3 は、空間部 5 内部の加炭ガスを含むガス G e 2 を本体 2 の外部へ排出するために、加炭ガス取入口 1 3 と、加炭ガス排出口 1 4 と、排出路 2 4 とを形成する。加炭ガス取入口 1 3 は、加炭ガスを含むガス G e 2 を取り入れるための開口であり、還元ガス導入口 8 の高さ以下の位置に配置されている。加炭ガス排出口 1 4 は、当該加炭ガスを含むガスを本体 2 の外部へ排出するための開口であり、本体 2 の外部に配置されている。排出路 2 4 は、加炭ガス取入口 1 3 と加炭ガス排出口 1 4 との間を連通してこれらの間の加炭ガスを含むガスの流通を許容する。

[0027] 本実施形態の加炭ガス排出部 3 は、空間部 5 内部の還元鉄排出口 7 付近に配置され、還元鉄 P b の流れを還元鉄排出口 7 付近で整える整流用インサートとして機能するように構成されている。具体的には、この加炭ガス排出部 3 は、還元鉄 P b を空間部 5 の垂直方向に延びる中心線 C から離れる方向へ整流する中空の整流部 1 1 と、本体 2 の側壁 2 a を貫通して当該整流部 1 1 を空間部 5 内部に支持する複数の中空の支持部 1 2 とを有する。

[0028] 整流部 1 1 は、中空体であり、上方に突出する円錐状の上部分と下方に突出する円錐状の下部分とを垂直方向に重ね合わせた形状、すなわち、上端から下へ向かうにつれて横幅が大きくなり、最大の横幅になった位置からさらに下へ向かうにつれて横幅が小さくなる形状であり、いわば紡錘形状を有する。空間部 5 の内部を下降する粒状の還元鉄 P b は、整流部 1 1 の上部分によって空間部 5 の径外方向へ分散され、空間部 5 の垂直方向に延びる中心線 C から離れる方向へ整流される。その後、還元鉄 P b は、当該整流部 1 1 の下部分とシャフト炉からなる本体 2 の内壁との間に形成された環状の隙間を通して還元鉄排出口 7 から排出される。

[0029] 本実施形態の加炭ガス取入口 1 3 は、整流部 1 1 に形成され、具体的には

、整流部 11 の下端部において下向きに開口するように形成されている。この加炭ガス取入口 13 は、還元ガス導入口 8 および加炭ガス導入口 9 の両方よりも下側に位置している。しかも、加炭ガス取入口 13 は、空間部 5 の垂直方向に延びる中心線 C 上に配置されている。

[0030] 加炭ガス取入口 13 の高さ位置は、還元ガス導入口 8 の高さ位置と同じかそれより低ければよい。このような高さ位置であれば、加炭ガス取入口 13 を通して、還元ガス導入口 8 の高さ以下の位置で空間部 5 内部の加炭ガス G_c を含むガスを空間部 5 の外部へ排出することが可能である。それによって、還元ガス G_r が空間部 5 内部で分散することを加炭ガス G_c によって阻害されることを低減することが可能である。

[0031] 複数の中空の支持部 12 のそれぞれは、中空のパイプなどからなる。複数の支持部 12 は、整流部 11 の周囲において、複数個所に分散して配置されている。例えば、図 1～2 に示されるように、一对の支持部 12 は、整流部 11 の両側に配置されている。

[0032] 加炭ガス排出口 14 は、これらの支持部 12 における本体 2 の外部に位置する部分（具体的には、外側端部）に形成されている。加炭ガス排出口 14 は、排気用のポンプ P2 に接続されている。

[0033] 整流部 11 の内部空間と支持部 12 の内部空間とは連通している。これらの整流部 11 および支持部 12 の内部空間によって、加炭ガス取入口 13 と加炭ガス排出口 14 との間を連通して加炭ガス G_c を含むガス G_{e2} の流通を許容する排出路 24 が形成されている。

[0034] なお、加炭ガス導入口 9 から空間部 5 の内部に導入された加炭ガス G_c が当該加炭ガス取入口 13 に到達するまでに還元鉄 P_b に炭素を添加する反応を完了するための距離を確保するために、加炭ガス取入口 13 は、加炭ガス導入口 9 から当該距離以上離れた位置に配置されているのが好ましい。

[0035] 上記のシャフト炉からなる本体 2 の空間部 5 の内部では、鉄鉱石などの原料 P_a は、空間部 5 上部の原料投入口 6 から空間部 5 内部に投入され、当該空間部 5 の内部を当該原料 P_a が密集した状態で徐々に下降して、還元処理

および加炭処理が施された後に還元鉄P bとして空間部5下部の還元鉄排出口7から排出される。一方、空間部5の内部に供給された還元ガスG rは、空間部5の内部を上昇して空間部5の上部の上部ガス排出口10から他のガスとともに排気ガスG e 1として外部へ排出される。すなわちシャフト炉（本体2）内では、下降する原料P aと上昇する還元ガスG rとがいわば対向流を形成するので、当該原料P aと還元ガスG rとの間で効率的な熱交換を実現している。

[0036] つぎに、上記構成を有する還元鉄製造装置1を用いた還元鉄製造方法について説明する。

[0037] 本実施形態の還元鉄製造方法では、酸化鉄を含む原料P aに還元ガスG rを与えることにより当該酸化鉄を還元して還元鉄P bを生成し、さらに当該還元鉄P bに炭素を含む加炭ガスG cを与えることにより還元鉄P bに炭素を添加することにより、炭素が添加された還元鉄P bを製造する。

[0038] 具体的には、まず、酸化鉄を含む原料P aを、還元鉄製造用のシャフト炉からなる本体2の縦長の空間部5の内部へ投入する。具体的には、原料P aを原料投入口6から空間部5の内部に投入する。空間部5の内部は、原料P aである酸化鉄を含む鉄鉱石などのペレットが満たされた状態になっている。原料P aは、空間部5の内部を満たした状態で、空間部5の下側の還元鉄排出口7から還元鉄P bが排出されるにしたがって、空間部5の内部を徐々に下降していく。

[0039] そして、原料P aが空間部5の内部に満たされた状態で、空間部5に水素（ H_2 ）や一酸化炭素（CO）などの還元ガスG rを還元性導入口8から導入する。還元ガスG rは、酸化鉄の還元反応が可能な温度（500～600度）以上の温度（例えば、700～900度）の状態、ポンプP 1などによって圧力（例えば0.3～0.4 MPa程度）をかけて原料P aが満たされた空間部5の内部に供給される。当該還元ガスG rによって、酸化鉄（具体的には Fe_2O_3 ）は還元されて、還元鉄P b（例えば、重量比ではFeが90%以上のもの）が生成される。

[0040] このとき、還元ガス G_r の導入位置（すなわち、還元ガス導入口 8）よりも低い位置（すなわち、加炭ガス導入口 9）において空間部 5 に炭素を含む加炭ガス G_c を導入して当該加炭ガス G_c によって還元鉄 P_b に炭素を加える加炭処理を行う。

[0041] 加炭ガス G_c は、炭素を含むガスであり、例えば、メタン (CH_4) などが加炭ガス G_c として用いられる。加炭ガス G_c は、上記の還元ガス G_r の温度よりも低い温度（例えば 300 度程度）の状態で、ポンプ P_2 などによって圧力（例えば 0.3～0.4 MPa 程度）をかけて原料 P_a が満たされた空間部 5 の内部に供給される。

[0042] 上記のように加炭処理を行うとともに、還元ガス G_r の導入位置よりも低い位置にある加炭ガス取入口 13 から空間部 5 内部の加炭ガス G_c を含むガス G_{e2} を空間部 5 の外部へ排出する。このように空間部 5 内部の加炭ガス G_c が減少することによって、還元ガス G_r の分散に対する加炭ガス G_c の障害が低減する。よって、還元ガス導入口 8 から本体 2 の空間部 5 に導入された還元ガス G_r は、空間部 5 内部で均一に分散することが可能になり、空間部 5 内部で均一な条件で還元反応が行うことが可能になる。その結果、還元鉄 P_b の還元率のばらつきを抑えることが可能である。

[0043] 加炭処理によって炭素が添加された還元鉄 P_b は、空間部 5 の下側の還元鉄排出口 7 から順次排出される。

[0044] 以上のように、加炭ガス G_c を含むガス G_{e2} を加炭ガス取入口 13 から抜きながら上記の還元鉄製造方法を実施した場合と、当該ガス G_{e2} を抜かないで還元鉄製造方法を実施した場合とを数値流体解析（解析手法は後段で詳述する）を用いて比較した結果を図 3 のグラフに示す。この図 3 のグラフは、以下の表 1 に示されるガス条件の下で数値流体解析を行った結果が示されている。

[0045]

[表1]

	ガス流量[Nm ³ /s]	ガス圧力[MPa]
還元ガス	162.9	0.35
加炭ガス	7.5	0.35

[0046] 上記の図3のグラフによれば、加炭ガスG_cを含むガスG_{e2}を加炭ガス取入口13から所定の圧力（0.35MPa）で抜きながら上記の還元鉄製造方法を実施した場合（曲線L12）の炉中心軸（具体的には、図1の空間部5の中心線C）における還元ガス割合aは、当該加炭ガス取入口13からガスG_{e2}を抜かない場合（曲線L11）と比較して、シャフト炉（すなわち、本体2）の高さhの全体にわたって、約4倍程度向上していることがわかる。

[0047] （本実施形態の特徴）

（1）

上記のように、本実施形態の還元鉄製造装置1は、空間部5内部の加炭ガスを含むガスG_{e2}を本体2の外部へ排出するための加炭ガス排出部3を備えている。この加炭ガス排出部3は、空間部5内部において還元ガス導入口8の高さと同じまたはそれより低い高さに配置された加炭ガスを含むガスG_{e2}を取り入れるための加炭ガス取入口13と、本体2の外部に配置された当該加炭ガスを含むガスG_{e2}を当該外部へ排出するための加炭ガス排出口14と、加炭ガス取入口13と加炭ガス排出口14との間を連通してこれらの間の加炭ガスを含むガスG_{e2}の流通を許容する排出路24とを形成する。

[0048] さらに、本実施形態の還元鉄製造方法は、還元ガスG_rの導入位置よりも低い位置において空間部5に炭素を含む加炭ガスG_cを導入して当該加炭ガスG_cによって還元鉄P_bに炭素を加える加炭処理を行うとともに、還元ガスG_rの導入位置よりも低い位置の高さと同じまたはそれよりも低い高さにおいて空間部5内部の加炭ガスG_cを含むガスを空間部5の外部へ排出する工程を含む。

[0049] これらの本実施形態の還元鉄製造装置 1 および還元鉄製造方法によれば、加炭ガス排出部 3 は、空間部 5 内部において還元ガス導入口 8 の高さと同じまたはそれより低い高さに配置された加炭ガス取入口 13 を通して、空間部 5 内部の加炭ガス G_c を含むガスを取り入れ、排出路 24 を通して本体 2 の外部に配置された加炭ガス排出口 14 から本体 2 の外部へ排出することが可能である。したがって、還元ガス G_r の導入位置の高さ以下の位置で加炭ガス取入口 13 から空間部 5 内部の加炭ガス G_c を含むガスを空間部 5 の外部へ排出する。そのため、還元ガス導入口 8 から本体 2 の空間部 5 に導入された還元ガス G_r は、当該還元ガス G_r の分散の阻害要因である加炭ガス G_c が低減することによって空間部 5 内部で均一に分散することが可能になり、空間部 5 内部で均一な条件で還元反応が行うことが可能になる。その結果、還元鉄 P_b の還元率のばらつきを抑えることが可能である。これにより、空間部 5 を大きくしても加炭ガス排出部 3 の加炭ガス排出機能によって還元ガス G_r の均一な分散が担保されている。そのため、シャフト炉からなる本体 2 の大型化が可能になり、それによって還元鉄の生産性の増大可能になる。

[0050] (2)

本実施形態の還元鉄製造装置 1 によれば、加炭ガス取入口 13 が還元ガス導入口 8 よりも下側に位置するので、当該加炭ガス取入口 13 を通して、加炭ガス G_c を空間部 5 の外部へ排出することが可能になる。これにより、還元ガスの分散に対する加炭ガス G_c の阻害をさらに低減することが可能になり、還元ガス G_r の空間部 5 内部における分散の均一性を向上させることが可能である。

[0051] (3)

本実施形態の還元鉄製造装置 1 によれば、加炭ガス取入口 13 が加炭ガス導入口 9 よりも下側に位置するので、当該加炭ガス取入口 13 を通して、加炭ガス G_c を多く含んだガスを空間部 5 の外部へ排出することが可能になる。その結果、還元ガス G_r の分散に対する加炭ガス G_c の阻害をより一層低減することが可能になり、還元ガス G_r の空間部 5 内部における分散の均一

性をさらに向上させることが可能である。

[0052] (4)

本実施形態の還元鉄製造装置 1 によれば、加炭ガス排出部 3 は、空間部 5 内部の還元鉄 P b を空間部 5 の垂直方向に延びる中心線 C から離れる方向へ整流する中空の整流部 11 を有している。そのため、加炭ガス排出部 3 は、空間部 5 内部の加炭ガスを含むガス G e 2 を本体 2 の外部へ排出する加炭ガス排出部本来の機能を発揮しながら、当該整流部 11 によって還元鉄 P b の流れを還元鉄排出口 7 付近で整える整流用インサートとしての機能を発揮することが可能である。これにより、整流インサートを備えた還元鉄製造装置 1 の部品点数の増加を抑えることが可能である。

[0053] (5)

本実施形態の還元鉄製造装置 1 によれば、加炭ガス取入口 13 は、空間部 5 の中心線 C 上に配置されている。これにより、空間部 5 の中心部付近を上昇する加炭ガス G c を加炭ガス取入口 13 によって効果的に空間部 5 外部へ排出することが可能になり、還元ガス G r は、空間部 5 の中心部付近に到達しやすくなる。よって、還元ガス G r の空間部 5 内部における均一な分散を確実に行うことが可能になり、空間部 5 内部で均一な条件で還元反応を確実に行うことが可能になる。その結果、還元鉄 P b の還元率のばらつきを確実に抑えることが可能である。

[0054] しかも、空間部 5 の中心付近の加炭ガス G c を加炭ガス取入口 13 から空間部 5 の外部へ排出する。そのため、空間部 5 を大きくしても空間部 5 の中心付近へ還元ガス G r が到達しやすくなり、還元ガス G r の均一な分散が確実に達成される。これにより、本体 2（具体的には、シャフト炉）の大型化が可能になり、それによって還元鉄の生産性の増大可能になる。

[0055] (6)

本実施形態の還元鉄製造装置 1 によれば、加炭ガス取入口 13 は、下向きに開口しているので、加炭ガス取入口 13 に還元鉄 P b が入り込んで当該加炭ガス取入口 13 を詰まらせるおそれを回避することが可能である。

[0056] (7)

本実施形態の還元鉄製造装置 1 では、加炭ガス G c を炉外に排出するために、図 1 に示されるように、整流用インサートして機能する整流部 1 1 を有する加炭ガス排出部 3 が用いられている。この加炭ガス排出部 3 の下端には、加炭ガス取入口 1 3 が設けられている。したがって、加炭ガス導入口 9 から炉内に導入された加炭ガス G c は、炉内を下降して当該排出部 3 の下端の加炭ガス取入口 1 3 から当該排出部 3 の内部に取り入れられ、当該排出部 3 を通して、炉外に排出される。加炭ガス G c は、加炭ガス取入口 1 3 に向けて下降する間に、還元ガス G r と混合し、それとともに還元ガス G r および還元鉄 P b からの熱を吸収して 7 0 0 °C 以上に加熱される。これにより、還元ガス G r に含まれる一酸化炭素 (C O) から炭素 (C) が分離する反応、および加炭ガス G c に含まれるメタン (C H₄) が炭素と水素 (C + 2 H₂) に分離する反応が促進される。その結果、還元鉄 P b の炭素含有量 (すなわちカーボン量) を増やすことが可能である。また、加炭ガス G c は上記のように炉内で加熱されるので、炉外で加熱するための熱交換器などが不要になる。

[0057] 以下、上記のカーボン量増加のメカニズムについて詳細に説明する。

[0058] 図 1 に示される本体 2 を構成するシャフト炉内で進行しているカーボン発生反応は、主に表 2 に示された 3 種の反応である。

[0059] [表2]

シャフト炉内で進行している主なカーボン生成反応			
反応名	反応式	発生熱	活性な温度域
ブドアール (Boudouard)	$2\text{CO} \rightarrow \text{C} + \text{CO}_2$	発熱	600 ~ 700 °C
ベッグス (Begg)	$\text{H}_2 + \text{CO} \rightarrow \text{C} + \text{H}_2\text{O}$	発熱	600 ~ 700 °C
メタンクラッキング (Methane Cracking)	$\text{CH}_4 \rightarrow \text{C} + 2\text{H}_2$	吸熱	700 °C 以上 (高いほど有利)

[0060] 表 2 に示されたブドアール (B o u d o u a r d) 反応およびベッグス (

B e g g s) 反応は、いずれも発熱反応であり、 $500^{\circ}\text{C}\sim 750^{\circ}\text{C}$ 程度の中低温域で進行し、 $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ の温度域では特に迅速に進行する。ここでいう「ベッグス (B e g g s) 反応」とは、 H_2 および CO の混成ガスによる浸炭反応であって、一酸化炭素から炭素および二酸化炭素を生成する反応のことをいう。

[0061] メタンクラッキング (M e t h a n e C r a c k i n g) 反応は、吸熱反応であり、 500°C 以上の温度域で進行し、 700°C 以上の高温域で特に迅速に進行する。よって、還元鉄を高カーボン化する（すなわち、還元鉄のカーボン量を増やす）ためには $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ 程度の一酸化炭素 (CO) および水素 (H_2) がリッチな中低温ガス、もしくは 700°C 以上のメタン (CH_4) がリッチな高温ガスと長時間接触させることが望ましい。ただし、 CO および H_2 によるガス還元速度は温度が低下するにつれて遅くなるため、前者の CO および H_2 がリッチな中低温ガスを還元ガスとして用いると必要な滞留時間が増大する。そのために還元炉を大型化する必要がある。また、後者の 700°C 以上の CH_4 がリッチな高温ガスと接触させる方法においては、 700°C 以上の CH_4 ガスを作成することに大きな障害がある。なぜならば、 CH_4 ガスを加熱するための熱交換器を構成する鉄材（ステンレス材等のクロム含有材も含む）近傍でカーボン生成が起こると炭化反応 ($\text{Fe}\rightarrow\text{Fe}_3\text{C}$ 、 $\text{Cr}\rightarrow\text{Cr}_{23}\text{C}_6$) が進行し、鉄材(あるいはクロム含有材)が腐食されるためである。(このような鉄の炭化反応による腐食を浸炭反応、クロムの炭化反応による粒界腐食をメタルダスティングと呼ぶ)。よって、シャフト炉外部で熱交換器等を用いてメタンの温度を 700°C 以上にすることは難しく、シャフト炉内の固体（還元鉄など）の顕熱を用いて 700°C 以上に上昇させる必要がある。

[0062] カーボン量を向上させるためにはブドアール反応、ベッグス反応およびメタンクラッキング反応のうちいずれかの反応が優位に進行する環境にする必要がある。しかし、いずれの反応を用いる場合であっても、カーボン量をより増加させるためにはガス中の水蒸気 (H_2O) および二酸化炭素 (CO_2)

の含有率を下げる必要がある。なぜならば、表3に示されるように、900℃以上の高温の環境下では、カーボンを消失する反応であるソリューションロス（Solution Loss）反応およびウォーターガス（Water Gas）反応が活性化して、カーボンの増加を阻害するためである。700℃程度の中低温域ではこれらのカーボン消失反応の進行速度は緩やかであるが、より高いカーボン量を得るためには、中低温域においても水蒸気および二酸化炭素を除去する方が望ましい。ソリューションロス反応およびウォーターガス反応は、それぞれブドアル反応およびベッグス反応の逆反応であり、吸熱反応である。

[0063] [表3]

カーボン消失反応			
反応名	反応式	反応熱	活性な温度域
ソリューションロス (Solution Loss)	$C + CO_2 \rightarrow 2CO$	吸熱	900℃以上 (高いほど有利)
ウォーターガス (Water Gas)	$C + H_2O \rightarrow H_2 + CO$	吸熱	900℃以上 (高いほど有利)

[0064] そこで、還元鉄のカーボン量を向上させるための方法として、シャフト炉の中央部あるいは底部に、還元ガス（ $CO + H_2$ ）および加炭ガス（例えば、 CH_4 を主成分とする天然ガス）を混合したガスを供給することが考えられる。この方法では、上記の還元ガスおよび加炭ガスの混合比を調整することにより、700℃程度で、しかも、ブドアル反応およびベッグス反応の発熱量とメタンクラッキング反応の吸熱量が釣り合う条件に調整する。これによって、それぞれの反応が進行しても700℃程度の温度を保つことが可能となり、ブドアル反応、ベッグス反応、およびメタンクラッキング反応が全て良好に進行する条件となる。その結果、還元鉄の大幅なカーボン量の増加が可能になると考えられる。

[0065] 例えば、還元ガス（ $CO + H_2$ ）および加炭ガス（ CH_4 を主成分とする天然ガス）を混合して、700℃程度でシャフト炉に供給する場合を考える。

この時、初期の段階では、 CH_4 を用いたメタンクラッキング反応（吸熱反応）が進行することで 700°C 未満まで炉内のガスの温度が低下する。しかし、炉内のガスの温度が 600°C 台となるとブドアール反応およびベッグス反応（発熱反応）が（メタンクラッキング反応よりも）優位となるため、発熱により環境温度は 700°C まで戻ろうとする。すなわち、ブドアール反応およびベッグス反応を進行させるのに十分な低温ガスであり、なおかつ、メタンクラッキング反応が進行するのに十分な高温ガスを作成することが可能となる。これにより、還元ガスと加炭ガスの混合ガスの流量を増やすことで、製品となる還元鉄中のカーボン量を大幅に増加させることが可能である。

[0066] ここで、ガスの種類による還元鉄のカーボン量の違いを比較するために、3種類のガス、すなわち、還元ガスのみ、天然ガスのみ、およびこれら還元ガスおよび天然ガスの混合ガスを、それぞれシャフト炉に導入して還元鉄と反応させた場合で比較する。なお、還元ガスのみ、天然ガスのみ、およびこれら還元ガスおよび天然ガスの混合ガスのそれぞれの組成は、表6～8の初期状態に示される通りである。

[0067] 上記の3つの反応（ブドアール反応、ベッグス反応、およびメタンクラッキング反応）によって還元鉄に生成されるカーボン量（すなわち、生成カーボン量）は、平衡組成から検討される。すなわち、還元ガス、天然ガス、還元ガスと天然ガスとの混合ガスを放置した際に最終的に得られる生成カーボン量を、平衡定数から算出できる。なお、平衡組成を計算するにあたっては全ての化学種が含まれるようにブドアール反応、ベッグス反応、およびメタンクラッキング反応が平衡となる時の組成を求めた。また、圧平衡定数のフィッティング式は表4の式が用いられる。

[0068]

[表4]

圧平衡定数のフィッティング式	
圧平衡定数	温度依存性
$K_{p\text{Boudouard}} [\text{atm}^{-1}]$	$1 / \exp(19.9 - 3.13T' - 0.0839T'^2 + 0.00480T'^3 - 0.0000978T'^4)$
$K_{p\text{Beggs}} [\text{atm}^{-1}]$	$1 / \exp(17.2 - 2.86T' - 0.0164T'^2 + 0.00132T'^3 - 0.0000293T'^4)$
$K_{p\text{Methane Cracking}} [\text{atm}^{-1}]$	$1 / \exp(-13.1 + 1.89T' + 0.0234T'^2 - 0.00297T'^3 - 0.0000781T'^4)$
$T' [1/\text{K}]$	$T' = 10000 / T / 1.8$

[0069] シャフト炉を用いた直接還元製鉄プロセス（例えば、Midrex（登録商標）プロセス）における炭化ガスの典型的な条件である700℃、0.25MPaでの還元ガス、天然ガス、還元ガスと天然ガスの混合ガスについて生成するカーボン量を計算した結果を表5に示す。

[0070] [表5]

生成カーボン量の計算結果			
条件	還元ガス	天然ガス	混合ガス (還元/天然ガス= 1:1)
初期温度[℃]	700	700	700
平衡温度[℃]	780	454	615
生成カーボン量 [kmol]	1.9	5.8	14.7

[0071] 上記3種のガスについては、公平性を考慮し、ガス量は一律1000Nm³とした。また、それぞれのガスについての個別の計算結果については、表6～8に示した。

[0072]

[表6]

還元ガスの生成カーボン量			
初期状態			
温度	[°C]	700	量[kmol]
圧力	[MPa]	0.25	
体積	[Nm ³]	1000.0	
組成	H ₂	49.90%	22.3
	H ₂ O	4.88%	2.2
	CO	32.20%	14.4
	CO ₂	2.65%	1.2
	CH ₄	5.55%	2.5
	N ₂	4.81%	2.1
カーボン	C		0

↓

平衡状態			
温度	[°C]	780	量[kmol]
圧力	[MPa]	0.25	
組成	H ₂	52.40%	23.2
	H ₂ O	6.26%	2.8
	CO	28.79%	12.7
	CO ₂	3.83%	1.7
	CH ₄	3.87%	1.7
	N ₂	4.84%	2.1
カーボン	C		1.9

[0073]

[表7]

天然ガスの生成カーボン量			
初期状態			
温度	[°C]	700	量[kmol]
圧力	[MPa]	0.25	
体積	[Nm ³]	1000.0	
組成	H ₂	0.00%	0.0
	H ₂ O	0.00%	0.0
	CO	0.00%	0.0
	CO ₂	0.00%	0.0
	CH ₄	90.00%	40.2
	N ₂	10.00%	4.5
カーボン	C		0
↓			
平衡状態			
温度	[°C]	454	量[kmol]
圧力	[MPa]	0.25	
組成	H ₂	23.11%	11.7
	H ₂ O	0.00%	0.0
	CO	0.00%	0.0
	CO ₂	0.00%	0.0
	CH ₄	68.04%	34.3
	N ₂	8.84%	4.5
カーボン	C		5.8

[0074]

[表8]

還元ガスと天然ガスを流量比1:1で混合した ガスのカーボン生成量			
初期状態			
温度	[°C]	700	量[kmol]
圧力	[MPa]	0.25	
体積	[Nm ³]	1000.0	
組成	H ₂	24.95%	11.1
	H ₂ O	2.44%	1.1
	CO	16.10%	7.2
	CO ₂	1.33%	0.6
	CH ₄	47.78%	21.3
	N ₂	7.40%	3.3
カーボン	C		0

↓

平衡状態			
温度	[°C]	615	量[kmol]
圧力	[MPa]	0.25	
組成	H ₂	51.15%	24.9
	H ₂ O	12.45%	6.1
	CO	3.25%	1.6
	CO ₂	1.86%	0.9
	CH ₄	24.51%	11.9
	N ₂	6.78%	3.3
カーボン	C		14.7

[0075] 表5に示されるように、還元ガスのみの場合ではブドアル反応およびベッグス反応（発熱反応）により、700℃以上まで温度が上昇するため、すぐにブドアル反応、ベッグス反応が進行しなくなり、生成カーボン量は1.9kmolにしかならない。また、天然ガスのみの場合についてもメタン

クラッキング反応（吸熱反応）により、600℃以下まで温度が低下するため、すぐにメタンクラッキング反応が進行しなくなり、生成カーボン量は5.8 kmolにしかない。一方、還元ガスと天然ガスを流量比1：1で混合した混合ガスではブドアル反応とベグス反応による発熱量とメタンクラッキング反応による吸熱量が相殺しあうため、平衡時でも温度が615℃であり、平衡状態においてもなお、ブドアル反応、ベグス反応およびメタンクラッキング反応が進行する温度を保っている。したがって、この混合ガスにおいてはブドアル反応およびベグス反応（発熱反応）が優位に進行しながらも、メタンクラッキング反応（吸熱反応）も促進されるので、生成カーボン量が14.7 kmolまで大幅に増加する。以上より、還元ガスと天然ガスの混合ガスを還元鉄と接触させることによって、カーボン量を増加させることが可能であることを、定量的に確認できた。

[0076] 本実施形態の還元鉄製造装置1では、図1に示されるように、整流インサートして機能する加炭ガス排出部3の下端の加炭ガス取入口13からシャフト炉（図1の本体2）の内部のガスを抜き出すことにより、上記の還元ガスと加炭ガスとの混合を行うことが可能である。すなわち、加炭ガス導入口9から供給された加炭ガス（例えばCH₄を主成分とする天然ガス）と還元ガス導入口8から供給された還元ガスは、シャフト炉の底部で混合されながら上記の加炭ガス取入口13を通して炉外へ抜き出される。このとき、炉内に導入される還元ガスおよび加炭ガスのそれぞれの温度および流量、ならびに加炭ガス排出部3から抜き出されるガスの流量を調整することによって、シャフト炉底部で混合されたガスの温度および組成をブドアル反応、ベグス反応、およびメタンクラッキング反応の全てが同時に進行するガスを作成することが可能である。これは、還元ガスと加炭ガスを混合してシャフト炉底部に供給する方法と同じように還元鉄のカーボン量の増加の効果が可能である。しかも、当該カーボン量の調整を行うことが可能になる。

[0077] （変形例）

上記の実施形態では、本発明の加炭ガス排出部の一例として、図1に示さ

れる還元鉄P bの流れを整える整流用インサートとして機能する整流部11を有する加炭ガス排出部3を例に挙げて説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。本発明の加炭ガス排出部は、還元ガス導入口8の高さと同じまたはそれより低い高さに配置された加炭ガス取入口と、当該加炭ガス取入口を通して空間部5内部の加炭ガスG cを含むガスを本体2の外部へ排出するための排出路および加炭ガス排出口とを有する加炭ガス排出部であれば、いかなる形態であってもよい。

[0078] 例えば、本発明の還元鉄製造装置1の変形例として、図4～5に示されるように、従来より用いられる整流用インサート23（具体的には、上記の整流部11および支持部12を有する外部から閉じられた中空体の構造（すなわち、上記加炭ガス取入口13および加炭ガス排出口14を有していない構造））とは別に、加炭ガス排出部15は、水平方向に延びて本体2の側壁2aを貫通する直管状の部材によって構成されていてもよい。図4～5に示される還元鉄製造装置1のその他の構成は、図1～2に示される還元鉄製造装置1の構成と同じである。

[0079] 加炭ガス排出部15は、還元ガス導入口8と加炭ガス導入口9との間の高さ位置に配置されている。

[0080] 直管状の部材によって構成された加炭ガス排出部15は、上記の加炭ガス排出部3（図1参照）と同様に、加炭ガス取入口16と、加炭ガス排出口17と、排出路25とを形成する。

[0081] すなわち、図4～5に示される加炭ガス取入口16は、加炭ガス排出部15を構成する直管状の部材の周壁において下向きに開口するように形成されている。加炭ガス取入口16は、上記の加炭ガス取入口13（図1参照）と同様に、還元ガス導入口8の高さと同じまたはそれより低い高さに配置されている。具体的には、この加炭ガス取入口16は、還元ガス導入口8よりも下側に位置している。しかも、加炭ガス取入口16は、空間部5の中心線C上に配置されている。

[0082] 加炭ガス排出口17は、加炭ガス排出部15を構成する直管状の部材にお

ける本体 2 の外部に位置する部分（具体的には、外側の両端部）に形成されている。加炭ガス排出口 1 7 は、排気用のポンプ P 2 に接続されている。

[0083] 排出路 2 5 は、加炭ガス排出部 1 5 を構成する直管状の部材の内部空間によって形成されている。加炭ガス取入口 1 6 から加炭ガス排出部 1 5 の内部に導入された加炭ガス G c を含むガス G e 2 は、加炭ガス排出部 1 5 の内部の排出路 2 5 を通って、当該加炭ガス排出部 1 5 の両端の加炭ガス排出口 1 7 を通して本体 2 の外部へ排出される。

[0084] 図 4 ～ 5 の変形例によれば、直管状の部材からなる加炭ガス排出部 1 5 が水平方向に延びて本体 2 の側壁 2 a を貫通し、加炭ガス取入口 1 6 が当該直管状の部材の周壁に形成されているので、加炭ガス排出部 1 5 を通して空間部 5 内部の加炭ガス G c を含むガス G e 2 を本体 2 の側部から本体 2 の外部へ排出することが可能である。よって、当該ガスの排出を本体 2 の天壁よりも低い位置で行うことが可能であり、当該ガス G e 2 の排出用の配管の設置が容易になる。

[0085] また、図 4 の加炭ガス排出部 1 5 は、上記図 1 の加炭ガス排出部 3 と同様に、当該上記の特徴（1）～（2）および（5）～（6）の作用効果も奏することが可能である。

[0086] 図 4 ～ 5 に示される横方向に延びるパイプからなる加炭ガス排出部 1 5 を採用した変形例についても、加炭ガス G c を含むガス G e 2 を加炭ガス取入口 1 3 から抜きながら上記の還元鉄製造方法を実施した場合と、当該ガス G e 2 を抜かないで還元鉄製造方法を実施した場合とを数値流体解析（解析手法は後段で詳述する）を用いて比較した結果を図 6 のグラフに示す（ガス条件は上記の表 1 参照）。

[0087] 上記の図 6 のグラフによれば、加炭ガス G c を含むガス G e 2 を図 4 に示される加炭ガス取入口 1 6 から所定の圧力（0.3 MPa）で抜きながら上記の還元鉄製造方法を実施した場合（曲線 L 2 2）の炉中心軸における還元ガス割合 a は、当該加炭ガス取入口 1 6 から抜かない場合（曲線 L 2 1）と比較して、シャフト炉（本体 2）の高さ h の全体にわたって、約 2 ～ 3 倍程

度向上していることがわかる。

[0088] 本発明の還元鉄製造装置 1 の他の変形例として、図 7 に示されるように、加炭ガス排出部 18 は、垂直方向に延びて本体 2 の天壁 2b を貫通する直管状の部材によって構成されていてもよい。図 7 に示される還元鉄製造装置 1 のその他の構成は、図 1 ～ 2 に示される還元鉄製造装置 1 の構成と同じである。

[0089] 直管状の部材によって構成された加炭ガス排出部 18 は、上記の加炭ガス排出部 3（図 1 参照）と同様に、加炭ガス取入口 19 と、加炭ガス排出口 20 と、排出路 26 とを形成する。この加炭ガス排出部 18 は、本体 2 の天壁 2b を貫通して空間部 5 の中心線 C に沿って配置されている。

[0090] 加炭ガス取入口 19 は、加炭ガス排出部 18 を構成する直管状の部材の下端に形成されている。加炭ガス取入口 19 は、空間部 5 の中心線 C 上において還元ガス導入口 8 と加炭ガス導入口 9 との間の高さ位置に配置されている。

[0091] 加炭ガス排出口 20 は、加炭ガス排出部 18 を構成する直管状の部材の上部における本体 2 の外部に位置する部分（具体的には、上端）に形成されている。加炭ガス排出口 20 は、排気用のポンプ P2 に接続されている。排出路 26 は、当該直管状の部材の内部空間によって形成されている。

[0092] 加炭ガス取入口 19 から加炭ガス排出部 18 内部に導入された加炭ガス Gc を含むガス Ge2 は、加炭ガス排出部 18 の排出路 26 を通って、当該加炭ガス排出部 15 の上端の加炭ガス排出口 20 を通して本体 2 の外部へ排出される。

[0093] 図 7 の変形例によれば、直管状の部材からなる加炭ガス排出部 18 が垂直方向に延びて本体 2 の天壁 2b を貫通し、加炭ガス取入口 19 が直管状の部材の下端に形成されているので、加炭ガス排出部 18 を通して空間部 5 内部の加炭ガス Gc を含むガスを本体 2 の上部から空間部 5 の外部へ排出することが可能である。これにより、本体 2 の側方周囲において加炭ガス排出部 18 の設置スペースが不要になり、しかも、空間部 5 内部において加炭ガス排

出部 18 が水平方向で占める面積を低減することが可能である。

[0094] また、図 7 の加炭ガス排出部 18 は、上記図 1 の加炭ガス排出部 3 と同様に、上記の特徴 (1) ~ (2) および (5) ~ (6) の作用効果も奏することが可能である。

[0095] 図 7 に示される縦方向に延びるパイプからなる加炭ガス排出部 18 を採用した変形例についても、加炭ガス G_c を含むガス $G_e 2$ を加炭ガス取入口 19 から抜きながら上記の還元鉄製造方法を実施した場合と、当該ガス $G_e 2$ を抜かないで還元鉄製造方法を実施した場合とを数値流体解析（解析手法は後段で詳述する）を用いて比較した結果を図 8 のグラフに示す（ガス条件は上記の表 1 参照）。

[0096] 上記の図 8 のグラフによれば、加炭ガス G_c を含むガス $G_e 2$ を図 7 に示される加炭ガス取入口 19 から所定の圧力（0.35 MPa）で抜きながら上記の還元鉄製造方法を実施した場合（曲線 L32）の炉中心軸における還元ガス割合 a は、当該加炭ガス取入口 19 から抜かない場合（曲線 L31）と比較して、シャフト炉（本体 2）の高さ h の全体にわたって、約 2 ~ 3 倍程度向上していることが分かる。

[0097] また、本発明のさらに他の変形例として、加炭ガス排出部の加炭ガス取入口は、空間部 5 を構成する本体 2 の内周面に配置されていてもよい。この構成によれば、加炭ガス取入口 13 は、空間部 5 を構成する本体 2 の内周面に配置されているので、配置が容易であり、加炭ガス取入口の個数や大きさを増やすことも容易である。また、加炭ガス排出部が空間部 5 内部に占めるスペースが低減されるので、加炭ガス排出部が空間部 5 内部の原料 P_a の流れを阻害するおそれが低減される。

[0098] なお、加炭ガス取入口は、複数配置してもよいが、少なくとも空間部 5 の中心線 C 上に 1 つ配置されているのが好ましい。

[0099] （数値解析の手法についての説明）

上記の実施形態では、図 3、図 6 および図 8 のグラフに示される炉中心軸における還元ガス割合 a を求めるために、以下のようなシャフト炉を対象と

する数値流体解析を用いた。

[0100] <数値流体解析の一般論>

物質には固体・液体・気体の3つの状態が存在するが、このうち液体と気体を合わせて流体と呼ぶ。数値流体解析は数値解析によって流体の流れを解くことである。流体の流れとは流体の物理的な運動のことである。通常の流体の運動はナビエ・ストークス方程式と呼ばれる支配方程式で記述され、これを質量保存則である連続の式と合わせて解くことで解析的・数値的に解を得ることができる。ただし解析的に解を得られる場合は限られており、工業的な複雑形状においては数値的に解を得ることが必要となる。今回のシャフト炉を対象とした数値流体解析では数値的に解を得ることとし、商用の流体解析ソフトで広く使われる手法である有限体積法をベースとした解析手法により数値解析を実施した。

[0101] <粒子充填層を対象とした流体解析>

シャフト炉内部は、炉上部から供給される鉄鉱石で充填された粒子充填層になっている。粒子充填層における流体解析において、以下の2点が重要ポイントとなる。

[0102] ○圧力損失式

充填層に流体を通過させると、流体は粒子から抗力を受けて圧力が低下する。この圧力損失を与える必要がある。厚さLの充填層を空塔速度 u_0 （＝流量／断面積）で流体が流れるときの層両端での圧力差 ΔP について、Ergun式と呼ばれる代表的な式を以下に示す。

[0103] [数1]

$$\frac{\Delta P}{L} = 150\mu_g \left(\frac{1-\gamma}{\gamma d_p} \right)^2 \left| \vec{u}_0 \right| + 1.75\rho_g \left(\frac{1-\gamma}{\gamma d_p} \right) \left| \vec{u}_0 \right|^2 \quad (1)$$

今回の検討でも上式を用いる。

[0104] ○乱流モデル

充填層におけるガス混合はガスの乱流拡散に起因するため、充填層内の流

体解析では乱流モデルの選定が重要となる。乱流モデルにはさまざまなものが開発されているが、その多くは空間部の乱流特性を再現するために開発されたモデルであり、充填層内の乱流挙動を再現できるモデルを選択する必要がある。

[0105] 乱流モデルは大別すると、「レイノルズ平均ナビエ・ストークスモデル（RANS）」、「ラージエディシミュレーション（LES）」、および「直接数値シミュレーション（DNS）」の3種類がある。定性的にはRANSは精度が低いが計算負荷も低く、DNSは精度は高いが計算負荷も高いという傾向がある。工業的な検討には時間平均の挙動がわかれば十分なこと、計算時間や計算機リソースに制限があることから、今回はRANSの中で広く使われる乱流モデルである標準k-εモデルの改良版であるk-lmモデルを用いる。

[0106] k-lmモデルは通常の空間領域では標準k-εモデル・充填層部では以下のようにモデルを変更することを特徴としている。

[0107] k（乱流運動エネルギー）：生成項にガス-充填層間の相互作用による乱流エネルギーの生成速度Gを追加する。

[0108] [数2]

$$G = \gamma C_{lm} R_0 \left| \vec{u} \right|^2 \quad (2)$$

$$R_0 = 150 \mu_g \left(\frac{1-\gamma}{\gamma d_p} \right)^2 + 1.75 \rho_g \left(\frac{1-\gamma}{\gamma d_p} \right) \left| \vec{u} \right| \quad (3)$$

ここで、 γ ：空隙率、 d_p ：粒子径、 μ_g ：ガス粘性係数、 ρ_g ：ガス密度である。

[0109] lm（混合距離）：充填構造を反映し、定数 C_{lm} と空隙率・粒子径を用いて以下の式で定義する。

[0110]

[数3]

$$l_m = C_{lm} \left\{ \frac{\gamma}{1-\gamma} d_p \right\} \quad (4)$$

ε （乱流エネルギー散逸速度）：輸送方程式を適用せず、充填構造を反映した混合距離と乱流運動エネルギーを用いて以下のように定義する。

[0111] [数4]

$$\varepsilon = \frac{k^{3/2}}{l_m} \quad (5)$$

$k-l_m$ モデルでは C_k 、 C_{lm} という2つの定数を与える必要があるが、今回の検討では $C_k : 0.0413$ 、 $C_{lm} : 7.63$ として計算した。

なお、上述した具体的実施形態には以下の構成を有する発明が主に含まれている。

[0112] 本実施形態の還元鉄製造装置は、酸化鉄を含む原料に還元ガスを与えることにより前記酸化鉄を還元して還元鉄を製造する装置であって、前記還元鉄製造装置の本体であって、前記原料が収容可能な縦長の空間部と、前記空間部における上側に形成され、前記原料を前記空間部に投入するための原料投入口と、前記空間部における下側に形成され、前記空間部内部の前記還元鉄を外部に排出するための還元鉄排出口と、前記原料投入口よりも下側に設けられ、前記還元ガスを前記空間部内部に導入するための還元ガス導入口と、前記還元ガス導入口よりも下側に設けられ、前記還元鉄に炭素を加える加炭処理を行うための炭素を含有する加炭ガスを前記空間部内部に導入するための加炭ガス導入口と、前記還元ガス導入口よりも上側に形成され、前記空間部内部のガスを前記空間部の外部へ排出する上部ガス排出口とを有する本体とを備えており、前記空間部内部の前記加炭ガスを含むガスを前記本体の外部へ排出するための加炭ガス排出部とを備えており、前記加炭ガス排出部は、前記空間部内部において前記還元ガス導入口の高さと同じまたはそれより低い高さに配置された前記加炭ガスを含むガスを取り入れるための加炭ガス

取入口と、前記本体の外部に配置された当該加炭ガスを含むガスを当該外部へ排出するための加炭ガス排出口と、前記加炭ガス取入口と前記加炭ガス排出口との間を連通してこれらの間の前記加炭ガスを含むガスの流通を許容する排出路とを形成する、ことを特徴とする。

[0113] かかる構成によれば、還元鉄製造装置は、空間部内部の加炭ガスを含むガスを本体の外部へ排出する加炭ガス排出部を備えている。この加炭ガス排出部は、空間部内部において還元ガス導入口の高さと同じまたはそれより低い高さに配置された加炭ガス取入口を有している。この加炭ガス取入口を通して空間部内部の加炭ガスを含むガスを取り入れ、排出路を通して本体の外部に配置された加炭ガス排出口から本体の外部へ排出することが可能である。これにより、還元ガス導入口から本体の空間部に導入された還元ガスは、当該還元ガスの分散の阻害要因である加炭ガスが低減することによって空間部内部で均一に分散することが可能になり、空間部内部で均一な条件で還元反応が行うことが可能になる。その結果、還元鉄の還元率のばらつきを抑えることが可能である。

[0114] 前記加炭ガス取入口は、前記還元ガス導入口よりも下側に位置するのが好ましい。

[0115] かかる構成によれば、還元ガス導入口よりも下側の位置で、加炭ガス取入口を通して、加炭ガスを空間部の外部へ排出することが可能になる。これにより、還元ガスの分散に対する加炭ガスの阻害をさらに低減することが可能になり、還元ガスの空間部内部における分散の均一性を向上させることが可能である。

[0116] さらに、前記加炭ガス取入口は、前記加炭ガス導入口よりも下側に位置するのが好ましい。

[0117] かかる構成によれば、加炭ガス導入口よりも下側の位置で、加炭ガス取入口を通して、加炭ガスを多く含んだガスを空間部の外部へ排出することが可能になる。その結果、還元ガスの分散に対する加炭ガスの阻害をより一層低減することが可能になり、還元ガスの空間部内部における分散の均一性をさ

らに向上させることが可能である。

[0118] また、前記加炭ガス排出部は、前記空間部内部の前記還元鉄排出口付近に配置され、当該加炭ガス排出部は、前記還元鉄を前記空間部の垂直方向に延びる中心線から離れる方向へ整流する中空の整流部と、前記本体の側壁を貫通して当該整流部を前記空間部内部に支持する中空の支持部とを有し、前記加炭ガス取入口は、前記整流部に形成され、前記加炭ガス排出口は、前記支持部における前記本体の外部に位置する部分に形成され、前記排出路は、前記整流部および支持部の内部空間によって形成されているのが好ましい。

[0119] かかる構成によれば、前記加炭ガス排出部は、空間部内部の還元鉄を空間部の垂直方向に延びる中心線から離れる方向へ整流する中空の整流部を有している。そのため、空間部内部の加炭ガスを含むガスを本体の外部へ排出する加炭ガス排出部本来の機能を発揮しながら、当該整流部によって還元鉄の流れを還元鉄排出口付近で整える整流インサートとしての機能を発揮することが可能である。これにより、整流インサートを備えた還元鉄製造装置の部品点数の増加を抑えることが可能である。

[0120] さらに、前記加炭ガス排出部は、水平方向に延びて前記本体の側壁を貫通する直管状の部材によって構成され、前記加炭ガス取入口は、前記直管状の部材の周壁に形成され、前記加炭ガス排出口は、前記直管状の部材における前記本体の外部に位置する部分に形成され、前記排出路は、前記直管状の部材の内部空間によって形成されていてもよい。

[0121] かかる構成によれば、直管状の部材からなる加炭ガス排出部が水平方向に延びて本体の側壁を貫通し、加炭ガス取入口が当該直管状の部材の周壁に形成されている。そのため、空間部内部の加炭ガスを含むガスを当該加炭ガス排出部を通して本体の側部から本体の外部へ排出することが可能であり、当該ガスの排出を本体の天壁よりも低い位置で行うことが可能であり、当該ガスの排出用の配管の設置が容易になる。

[0122] さらに、前記加炭ガス排出部は、垂直方向に延びて前記本体の天壁を貫通する直管状の部材によって構成され、前記加炭ガス取入口は、前記直管状の部

材の下端に形成され、前記加炭ガス排出口は、前記直管状の部材の上部における前記本体の外部に位置する部分に形成され、前記排出路は、前記直管状の部材の内部空間によって形成されていてもよい。

[0123] かかる構成によれば、直管状の部材からなる加炭ガス排出部が垂直方向に延びて本体の天壁を貫通し、加炭ガス取入口が直管状の部材の下端に形成されている。そのため、前記空間部内部の前記加炭ガスを含むガスを当該加炭ガス排出部を通して本体の上部から前記空間部の外部へ排出することが可能である。これにより、本体の側方周囲において加炭ガス排出部の設置スペースが不要になる。しかも、空間部内部において加炭ガス排出部が水平方向で占める面積を低減することが可能である。

[0124] さらに、前記加炭ガス取入口は、前記空間部の垂直方向に延びる中心線上に配置されているのが好ましい。

[0125] かかる構成によれば、空間部の中心部付近を上昇する加炭ガスを加炭ガス取入口によって効果的に空間部外部へ排出することが可能になる。還元ガスは、空間部の中心部付近に到達しやすくなる。よって、還元ガスの空間部内部における均一な分散を確実に行うことが可能になり、空間部内部で均一な条件で還元反応を確実に行うことが可能になる。その結果、還元鉄の還元率のばらつきを確実に抑えることが可能である。

[0126] また、前記加炭ガス取入口は、前記空間部を構成する前記本体の内周面に配置されていてもよい。

[0127] かかる構成によれば、加炭ガス取入口は、空間部を構成する本体の内周面に配置されているので、当該加炭ガス取入口の配置が容易である。また、加炭ガス取入口の個数や大きさを増やすことも容易である。また、加炭ガス排出部が空間部内部に占めるスペースが低減されるので、加炭ガス排出部が空間部内部の原料の流れを阻害するおそれが低減される。

[0128] また、前記加炭ガス取入口は、下向きに開口しているのが好ましい。

[0129] かかる構成によれば、加炭ガス取入口に還元鉄が入り込むおそれを回避することが可能である。

[0130] さらに、本実施形態の還元鉄製造方法は、酸化鉄を含む原料に還元ガスを与えることにより前記酸化鉄を還元して還元鉄を製造する還元鉄製造方法であって、前記原料を、還元鉄製造用の縦長の空間部の内部へ投入する工程と、前記空間部に還元ガスを導入して当該還元ガスによって前記酸化鉄を還元して還元鉄を生成する工程と、前記還元ガスの導入位置よりも低い位置において前記空間部に炭素を含む加炭ガスを導入して当該加炭ガスによって前記還元鉄に炭素を加える加炭処理を行うとともに、前記還元ガスの導入位置よりも低い位置の高さと同じまたはそれよりも低い高さにおいて前記空間部内部の前記加炭ガスを含むガスを前記空間部の外部へ排出する工程と、を含むことを特徴とする。

[0131] この製造方法によれば、還元ガスの導入位置よりも低い位置において空間部に炭素を含む加炭ガスを導入して当該加炭ガスによって還元鉄に炭素を加える加炭処理を行う。それとともに、還元ガスの導入位置よりも低い位置の高さと同じまたはそれよりも低い高さにおいて空間部内部の加炭ガスを含むガスを前記空間部の外部へ排出する。これにより、還元ガス導入口から本体の空間部に導入された還元ガスは、当該還元ガスの分散の阻害要因である加炭ガスが低減することによって空間部内部で均一に分散することが可能になる。そのため、空間部内部で均一な条件で還元反応が行うことが可能になる。その結果、還元鉄の還元率のばらつきを抑えることが可能である。

請求の範囲

[請求項1] 酸化鉄を含む原料に還元ガスを与えることにより前記酸化鉄を還元して還元鉄を製造する還元鉄製造装置であって、

前記還元鉄製造装置の本体であって、前記原料が収容可能な縦長の空間部と、前記空間部における上側に形成され、前記原料を前記空間部に投入するための原料投入口と、前記空間部における下側に形成され、前記空間部内部の前記還元鉄を外部に排出するための還元鉄排出口と、前記原料投入口よりも下側に設けられ、前記還元ガスを前記空間部内部に導入するための還元ガス導入口と、前記還元ガス導入口よりも下側に設けられ、前記還元鉄に炭素を加える加炭処理を行うための炭素を含有する加炭ガスを前記空間部内部に導入するための加炭ガス導入口と、前記還元ガス導入口よりも上側に形成され、前記空間部内部のガスを前記空間部の外部へ排出する上部ガス排出口とを有する本体と、

前記空間部内部の前記加炭ガスを含むガスを前記本体の外部へ排出するための加炭ガス排出部とを備えており、

前記加炭ガス排出部は、

前記空間部内部において前記還元ガス導入口の高さと同じまたはそれより低い高さに配置された前記加炭ガスを含むガスを取り入れるための加炭ガス取入口と、

前記本体の外部に配置された当該加炭ガスを含むガスを当該外部へ排出するための加炭ガス排出口と、

前記加炭ガス取入口と前記加炭ガス排出口との間を連通してこれらの間の前記加炭ガスを含むガスの流通を許容する排出路とを形成する、

還元鉄製造装置。

[請求項2] 前記加炭ガス取入口は、前記還元ガス導入口よりも下側に位置する、

請求項 1 に記載の還元鉄製造装置。

[請求項3] 前記加炭ガス取入口は、前記加炭ガス導入口よりも下側に位置する、請求項 2 に記載の還元鉄製造装置。

[請求項4] 前記加炭ガス排出部は、前記空間部内部の前記還元鉄排出口付近に配置され、

当該加炭ガス排出部は、前記還元鉄を前記空間部の垂直方向に延びる中心線から離れる方向へ整流する中空の整流部と、前記本体の側壁を貫通して当該整流部を前記空間部内部に支持する中空の支持部とを有し、

前記加炭ガス取入口は、前記整流部に形成され、

前記加炭ガス排出口は、前記支持部における前記本体の外部に位置する部分に形成され、

前記排出路は、前記整流部および支持部の内部空間によって形成されている、

請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の還元鉄製造装置。

[請求項5] 前記加炭ガス排出部は、水平方向に延びて前記本体の側壁を貫通する直管状の部材によって構成され、

前記加炭ガス取入口は、前記直管状の部材の周壁に形成され、

前記加炭ガス排出口は、前記直管状の部材における前記本体の外部に位置する部分に形成され、

前記排出路は、前記直管状の部材の内部空間によって形成されている、

請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の還元鉄製造装置。

[請求項6] 前記加炭ガス排出部は、垂直方向に延びて前記本体の天壁を貫通する直管状の部材によって構成され、

前記加炭ガス取入口は、前記直管状の部材の下端に形成され、

前記加炭ガス排出口は、前記直管状の部材の上部における前記本体の外部に位置する部分に形成され、

前記排出路は、前記直管状の部材の内部空間によって形成されている、

請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の還元鉄製造装置。

[請求項7] 前記加炭ガス取入口は、前記空間部の垂直方向に延びる中心線上に配置されている、

請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の還元鉄製造装置。

[請求項8] 前記加炭ガス取入口は、前記空間部を構成する前記本体の内周面に配置されている、請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の還元鉄製造装置。

[請求項9] 前記加炭ガス取入口は、下向きに開口している、請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の還元鉄製造装置。

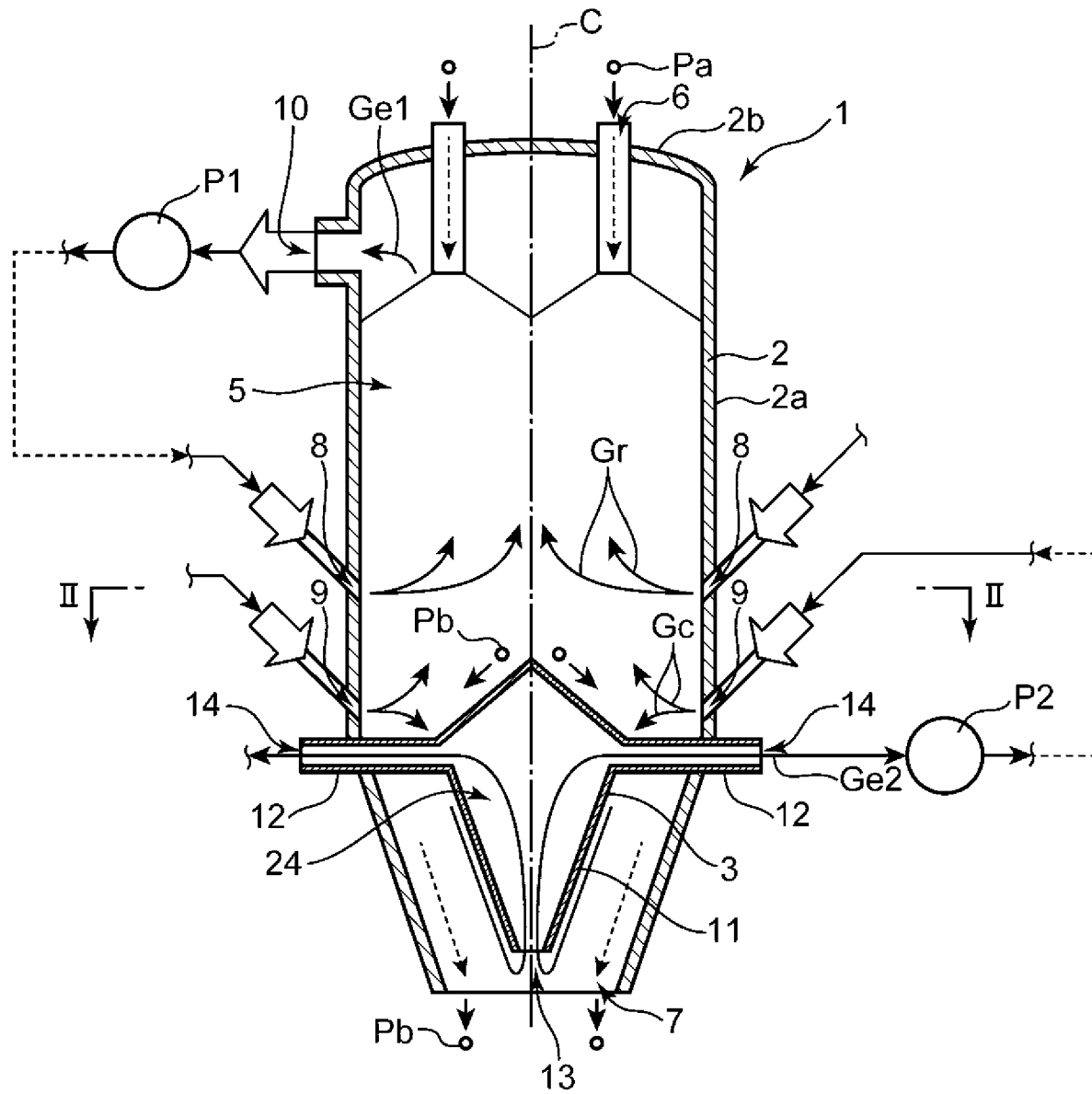
[請求項10] 酸化鉄を含む原料に還元ガスを与えることにより前記酸化鉄を還元して還元鉄を製造する還元鉄製造方法であって、

前記原料を、還元鉄製造用の縦長の空間部の内部へ投入する工程と、

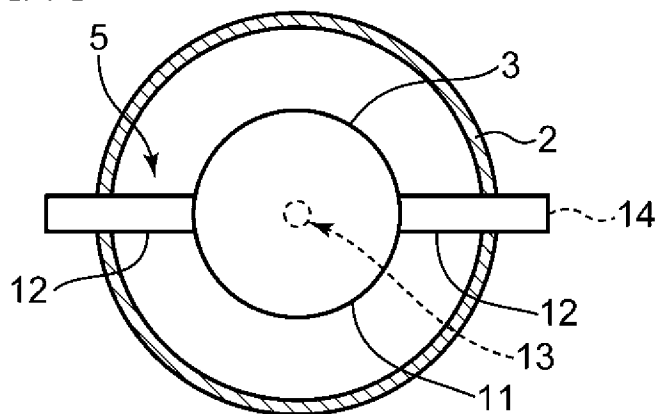
前記空間部に還元ガスを導入して当該還元ガスによって前記酸化鉄を還元して還元鉄を生成する工程と、

前記還元ガスの導入位置よりも低い位置において前記空間部に炭素を含む加炭ガスを導入して当該加炭ガスによって前記還元鉄に炭素を加える加炭処理を行うとともに、前記還元ガスの導入位置よりも低い位置の高さと同じまたはそれよりも低い高さにおいて前記空間部内部の前記加炭ガスを含むガスを前記空間部の外部へ排出する工程と、を含むことを特徴とする還元鉄製造方法。

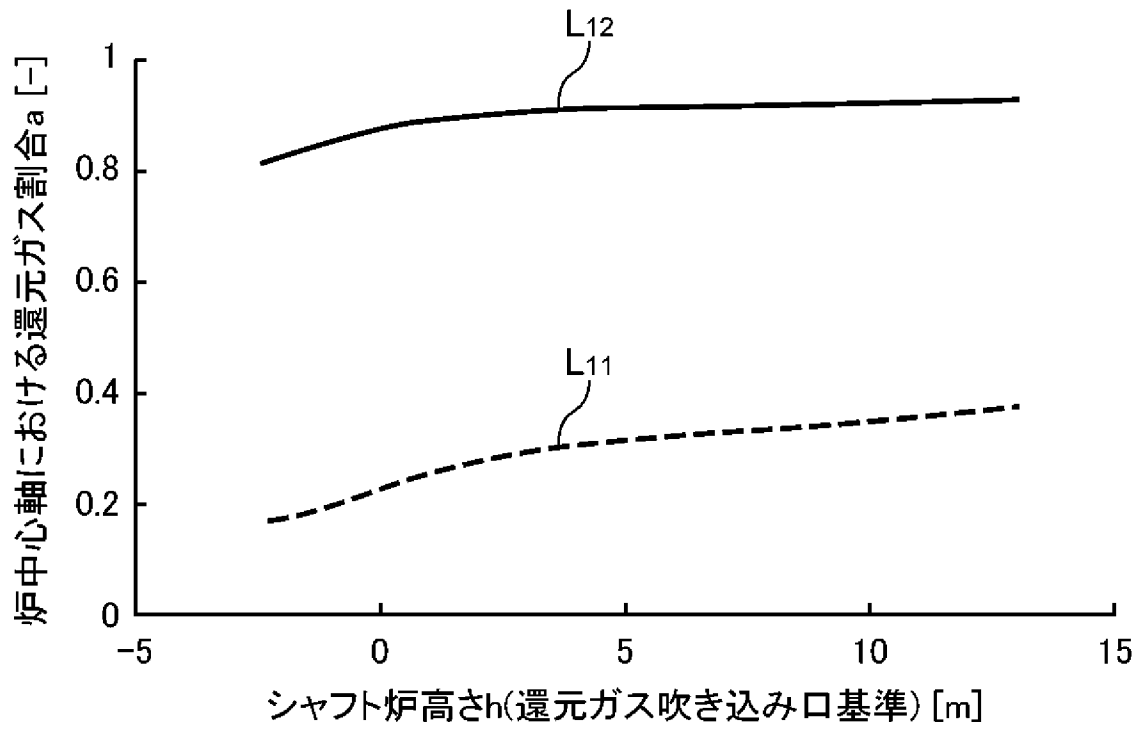
[図1]



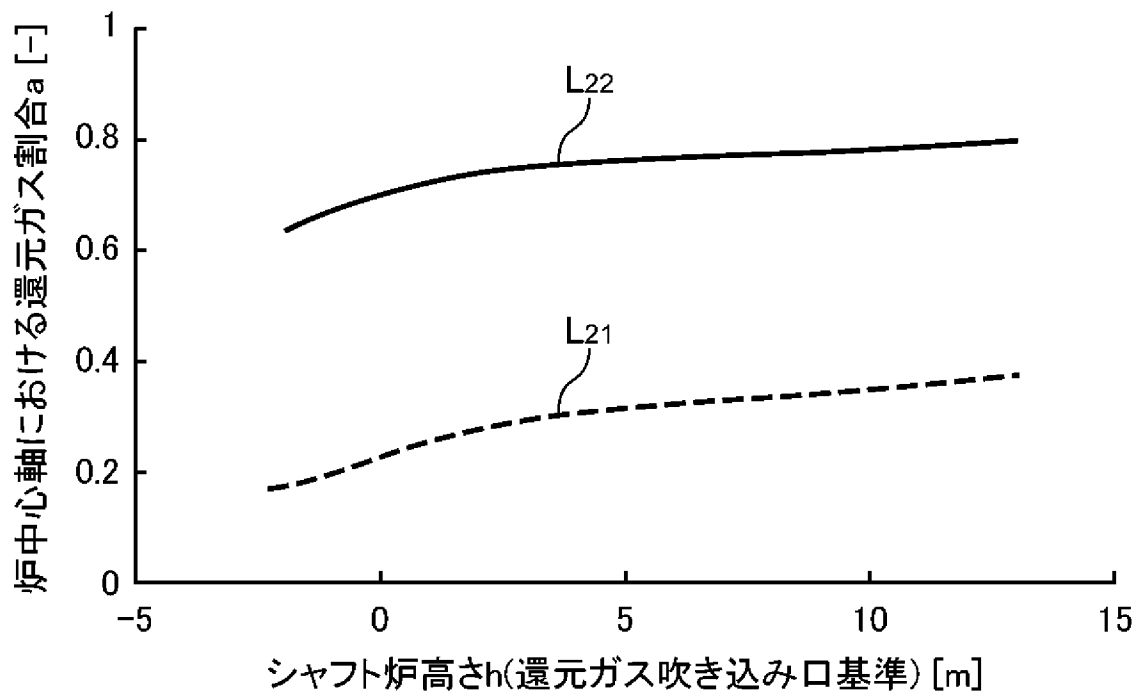
[図2]



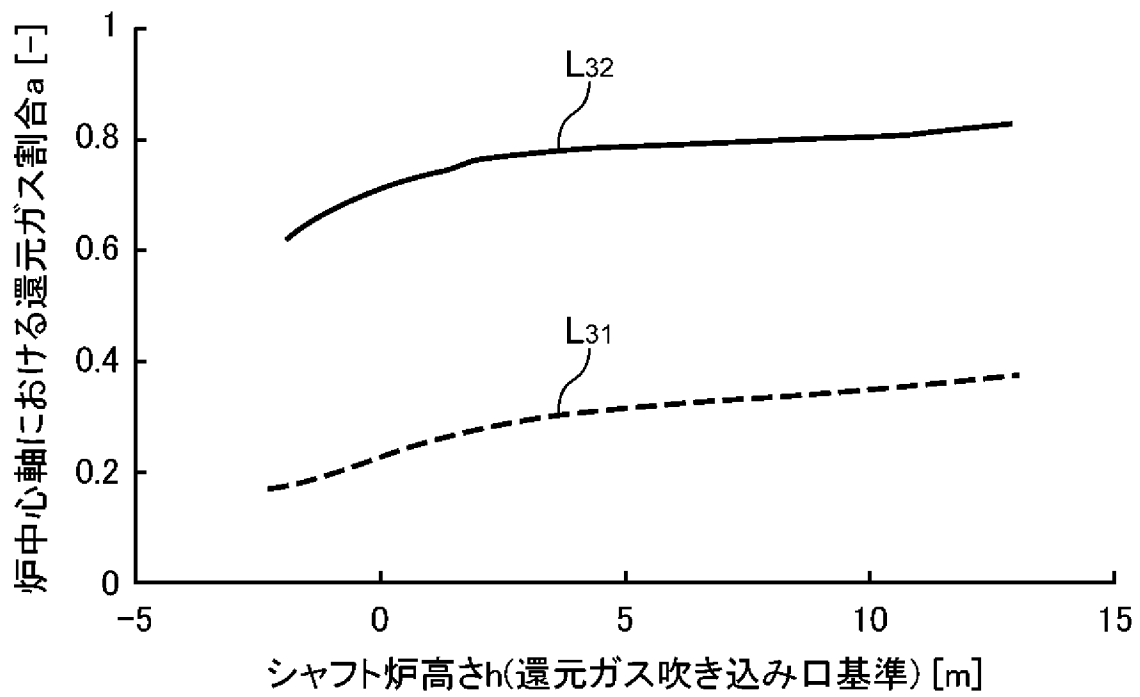
[図3]



[図6]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/085187

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C21B13/02(2006.01)i, F27B1/16(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)

C21B13/02, F27B1/16

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-342509 A (Kobe Steel, Ltd.), 14 December 2001 (14.12.2001), & US 2002/0005089 A1 & EP 1160336 A1 & CN 1327072 A & RU 2220208 C	1-10
A	JP 57-19164 B2 (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.), 21 April 1982 (21.04.1982), (Family: none)	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
09 December 2016 (09.12.16)

Date of mailing of the international search report
20 December 2016 (20.12.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. C21B13/02(2006.01)i, F27B1/16(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. C21B13/02, F27B1/16

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

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

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2001-342509 A（株式会社神戸製鋼所）2001.12.14, & US 2002/0005089 A1 & EP 1160336 A1 & CN 1327072 A & RU 2220208 C	1-10
A	JP 57-19164 B2（石川島播磨重工業株式会社）1982.04.21,（ファミリーなし）	1-10

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

09.12.2016

国際調査報告の発送日

20.12.2016

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）

坂本 薫昭

4E

9265

電話番号 03-3581-1101 内線 3425