(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年12月26日(26.12.2024)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2024/262547 A1

(51) 国際特許分類:
C21B 5/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2024/022266

(22) 国際出願日： 2024年6月19日(19.06.2024)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(30) 優先権データ：
特願 2023-101584 2023年6月21日(21.06.2023) JP

(71) 出願人: 日本製鉄株式会社 (**NIPPON STEEL CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 酒井 博 (**SAKAI Hiroshi**); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号 日本製鉄株式会社内 Tokyo (JP). 中野 薫 (**NAKANO Kaoru**); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号 日本製鉄株式会社内 Tokyo (JP).

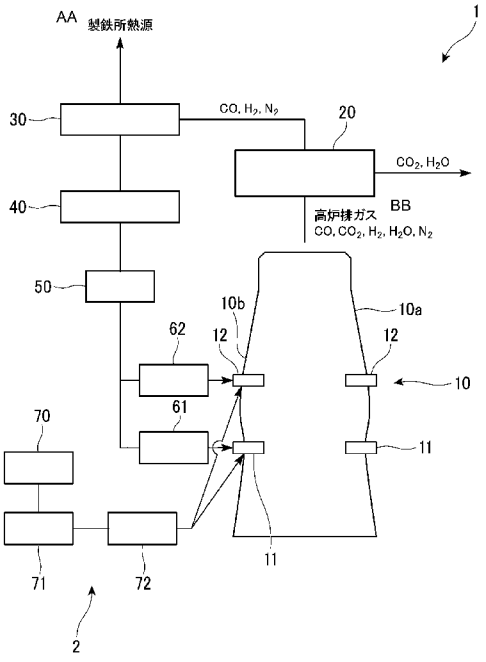
(74) 代理人: 松沼 泰史, 外 (**MATSUNUMA Yasushi** et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目９番２号 Tokyo (JP).

(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, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ,

(54) **Title:** BLAST FURNACE OPERATION METHOD

(54) 発明の名称： 高炉の操業方法



AA Steelworks heat source
BB Blast furnace exhaust gas

(57) **Abstract:** This blast furnace operation method is characterized by comprising: a step for heating a hydrogen-based reducing gas supplied from outside the blast furnace system; a step for blowing the heated hydrogen-based reducing gas into the blast furnace; a step for separating the reducing gas from the furnace top exhaust gas; a step for heating the separated reducing gas; and a step for blowing the reducing gas into the blast furnace.

(57) 要約: この高炉の操業方法は、高炉系外から供給される水素系還元ガスを加熱する工程と、加熱された前記水素系還元ガスを高炉に吹き込む工程と、炉頂排ガスから還元ガスを分離する工程と、分離した前記還元ガスを加熱する工程と、前記還元ガスを前記高炉に吹き込む工程と、を含むことを特徴とする。

WO 2024/262547 A1

[続葉有]

DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

— 国際調査報告（条約第21条(3)）

明　細　書

発明の名称 ： 高炉の操業方法

技術分野

[0001] 本発明は、高炉の操業方法に関する。

本願は、２０２３年６月２１日に、日本に出願された特願２０２３－１０１５８４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] 鉄鋼業においては、高炉法が銑鉄製造工程の主流を担っている。高炉法においては、高炉の炉頂から高炉用鉄系原料（酸化鉄を含む原料。主として、焼結鉱。以下、単に「鉄系原料」とも称する）及びコークスを高炉内に交互かつ層状に装入する一方で、ボッシュ部より下方にあたる高炉下部に設けられた羽口から熱風を高炉内に吹き込む。熱風は、熱風とともに吹き込まれる微粉炭、及び、高炉内のコークスと反応することで、高温の還元ガス（ここでは主としてＣＯガス）を発生させる。すなわち、熱風は、コークス及び微粉炭をガス化させる。還元ガスは、高炉内を上昇し、鉄系原料を加熱しながら還元する。鉄系原料は、高炉内を降下する一方で、還元ガスにより加熱及び還元される。その後、鉄系原料は溶融し、コークスによってさらに還元されながら高炉内を滴下する。鉄系原料は、最終的には炭素を５質量％弱含む溶銑（銑鉄）として炉床部に溜められる。炉床部の溶銑は、出銑口から取り出され、次の製鋼プロセスに供される。したがって、高炉法では、コークス及び微粉炭等の炭材を還元材として使用する。

[0003] ところで、近年、地球温暖化防止が叫ばれ、温室効果ガスの一つである二酸化炭素（CO_2ガス）の排出量削減が社会問題になっている。上述したように、高炉法では、還元材として炭材を使用するので、大量のCO_2ガスを発生する。したがって、鉄鋼業はCO_2ガス排出量において主要な産業のひとつとなっており、その社会的要請に応えねばならない。具体的には、高炉操業での更なる還元材比（溶銑１トンあたりの還元材使用量）の削減が急務となっ

ている。

[0004] 還元材は炉内で熱となって装入物を昇温させる役割と、炉内の鉄系原料を還元する役割があり、還元材比を低減させるためには炉内の還元効率を上げる必要がある。炉内の還元反応は様々な反応式で表記することができる。これらの還元反応のうち、コークスによる直接還元反応（反応式：ＦｅＯ＋Ｃ⇒Ｆｅ＋ＣＯ）は大きな吸熱を伴う吸熱反応である。したがって、この反応を極力発生させないことが還元材比の低減において重要となる。この直接還元反応は高炉下部で生じる反応であるため、鉄系原料が炉下部に至るまでにＣＯ、H_2等の還元ガスで鉄系原料を十分に還元することができれば、直接還元反応の対象となる鉄系原料を減らすことができる。

[0005] 上記課題を解決するための従来技術として、例えば特許文献１に開示されるように、羽口から熱風と共に水素ガスを吹き込むことで、炉内の還元ガスポテンシャルを向上させる技術が知られている。この技術では、水素ガスを鉄系原料の還元ガスとして使用することで、還元材比を低減させる。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：国際公開第２０２１／１０７０９１号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 特許文献１にも開示されているが、本発明者は、還元材比を低減するための指標となるパラメータとして、炭素消費原単位の削減割合（Ｉｎｐｕｔ　△Ｃ）というパラメータを定義した。「炭素消費原単位（Ｉｎｐｕｔ　Ｃ）」は、溶銑１トンを製造するのに要した炭素（すなわち溶銑１トンあたりの炭素消費量）である。「炭素消費原単位の削減割合Ｉｎｐｕｔ　△Ｃ」は、水素ガスを吹き込まない操業であるベース操業に対する炭素消費原単位の削減割合を意味する。単位ｋｇ／ｔでのベース操業のＩｎｐｕｔ　ＣをＡ、単位ｋｇ／ｔでのある操業時のＩｎｐｕｔ　ＣをＢとすると、Ｉｎｐｕｔ　△

Ｃは、以下の数式で示される。

Ｉｎｐｕｔ　△Ｃ＝（Ａ－Ｂ）／Ａ×１００（％）

炭素消費原単位の削減割合Ｉｎｐｕｔ　△Ｃが大きいほど、還元材比も削減され、ひいては、CO_2排出量が削減される。

[0008] 本発明者が特許文献１に記載された技術を詳細に検討したところ、特許文献１に記載された技術によってＩｎｐｕｔ　△Ｃを高くしようとした場合、多量の水素ガスを高温に加熱して高炉に吹き込む必要があることが判明した。例えば、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃを４０％以上としようとした場合、水素ガスの吹込み量を６５０Ｎm^3／ｔ以上とし、かつ水素ガスの温度を１２００℃以上とする必要があった。この場合、多量の水素ガスを準備する必要があることに加え、水素ガスを高温に加熱する加熱装置を準備し、さらに高炉設備を高温の水素ガスに耐えうる材料で構成する必要があった。

[0009] このように、特許文献１に開示された技術には、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃを高くするために多大な手間を要するという問題があった。

[0010] 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、水素系還元ガス（水素系還元ガスの詳細は後述する）の吹込み量を減少させ、かつ水素系還元ガスの加熱温度を低下させた場合であっても、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃを高くすることができる高炉の操業方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0011] 本発明者は、特許文献１に記載された技術を詳細に検討したところ、高炉の操業中に多量の水素ガスが炉頂排ガスとして排出されることが判明した。そこで、本発明者は、炉頂排ガスから還元ガス（この還元ガスには、水素ガス及びＣＯガスが含まれる）を分離し、分離した還元ガスを高炉に吹き込むことを試みた。この結果、特許文献１に記載された技術よりも水素ガスの吹込み量を減少させ、かつ水素ガスの加熱温度を低下させた場合であっても、特許文献１に記載された技術と同程度のＩｎｐｕｔ　△Ｃが得られることが判明した。本発明は、当該知見に基づいてなされたものである。

[0012] 本発明の要旨は以下である。

（１）高炉系外から供給される水素系還元ガスを加熱する工程と、

加熱された前記水素系還元ガスを高炉に吹き込む工程と、

炉頂排ガスから還元ガスを分離する工程と、

分離した前記還元ガスを加熱する工程と、

前記還元ガスを前記高炉に吹き込む工程と、を含むことを特徴とする、高炉の操業方法。

（２）前記還元ガスを前記高炉の下部に設けられた通常羽口から前記高炉に吹き込むことを特徴とする、（１）に記載の高炉の操業方法。

（３）前記還元ガスを前記高炉のシャフト部に吹き込むことを特徴とする、（１）または（２）に記載の高炉の操業方法。

（４）羽口先燃焼温度及び炉頂排ガス温度に基づいて、操業条件を調整することを特徴とする、（１）～（３）の何れか１項に記載の高炉の操業方法。

（５）前記操業条件には、前記還元ガスの吹込み量、熱風の送風量、及び前記熱風に含まれる酸素量が含まれることを特徴とする、（４）に記載の高炉の操業方法。

（６）高炉系外から供給される水素系還元ガスを加熱する工程と、

加熱された前記水素系還元ガスを通常羽口及び、少なくとも前記通常羽口よりも高い位置に設けられたシャフト部羽口のうち少なくとも一方から高炉に吹き込む工程と、

炉頂排ガスから還元ガスを分離する工程と、

分離した前記還元ガスを加熱する工程と、

加熱された前記還元ガスを前記通常羽口及び前記シャフト部羽口のうち少なくとも一方から高炉に吹き込む工程と、

を含み、

加熱された前記水素系還元ガスを前記通常羽口及び前記シャフト部羽口のうち少なくとも一方から高炉に吹き込む際、及び加熱された前記還元ガスを

前記通常羽口及び前記シャフト部羽口のうち少なくとも一方から高炉に吹き込む際のうち、少なくとも一方のタイミングで、羽口先燃焼温度及び炉頂排ガス温度に基づいて、前記還元ガスの吹込み量、熱風の送風量、及び前記熱風に含まれる酸素量のうち、少なくとも１種以上の操業条件を調整することを特徴とする、（１）～（５）の何れか１項に記載の高炉の操業方法。

（７）前記還元ガスは前記炉頂排ガスから分離したＣＯガスと、水素ガスとを含むことを特徴とする、（１）～（６）に記載の高炉の操業方法。

発明の効果

[0013] 本発明によれば、水素系還元ガスの吹込み量を減少させ、かつ水素系還元ガスの加熱温度を低下させた場合であっても、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃを高くすることができる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]本実施形態で使用される高炉システムの全体構成を示すフロー図である。

[図2]第１の実施形態の効果を検証するグラフである。

[図3]第１の実施形態の効果を検証するグラフである。

[図4]第２の実施形態の効果を検証するグラフである。

[図5]第２の実施形態の効果を検証するグラフである。

[図6]第２の実施形態の効果を検証するグラフである。

[図7]第２の実施形態の効果を検証するグラフである。

発明を実施するための形態

[0015] 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。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。

[0016] ＜１．高炉システムの全体構成＞

まず、図１に基づいて、本実施形態に係る高炉システム１及び高炉システム１に接続されている水素系還元ガス供給システム２の全体構成について説明する。高炉システム１は、高炉１０と、CO_2分離回収装置２０と、バッフ

ァータンク３０と、コンプレッサー４０と、加熱器５０と、流量計６１、６２とを備える。

[0017] 高炉１０は、高炉本体１０ａと、通常羽口１１と、シャフト部羽口１２とを備える。高炉本体１０ａの内部では、高炉法による鉄系原料の還元反応が生じる。具体的には、高炉１０の炉頂から鉄系原料及びコークスを高炉１０内に交互かつ層状に装入する一方で、通常羽口１１から熱風、微粉炭、及び富化酸素ガスを高炉１０内に吹き込む。なお、以下の説明において、「羽口先燃焼温度」は、通常羽口１１のガス噴出口における温度を意味するものとする。熱風は、熱風とともに吹き込まれる微粉炭、及び、高炉１０内のコークスと反応することで、高温の還元ガス（ここでは主としてＣＯガス）を発生させる。すなわち、熱風は、コークス及び微粉炭をガス化させる。なお、詳細は後述するが、微粉炭が高炉１０内に吹き込まれない場合もある。還元ガスは、高炉１０内を上昇し、鉄系原料を加熱しながら還元する。鉄系原料は、高炉１０内を降下する一方で、還元ガスにより加熱及び還元される。その後、鉄系原料は溶融し、コークスによってさらに還元されながら高炉１０内を滴下する。鉄系原料は、最終的には炭素を５質量％弱含む溶銑（銑鉄）として炉床部に溜められる。炉床部の溶銑は、出銑口から取り出され、次の製鋼プロセスに供される。

[0018] 通常羽口１１は、高炉１０のボッシュ部より下方に設けられ、上述した熱風の他、後述するように、加熱された水素系還元ガス、及び炉頂排ガス（高炉排ガス）から分離された還元ガスを高炉１０内に吹き込む。なお、図１では高炉１０の左右二個所に通常羽口１１が描かれているが、高炉１０の全周に亘って三つ以上所定ピッチで離間して取り付けられてもよい。

[0019] シャフト部羽口１２は、高炉１０の通常羽口１１よりも高い位置に設けられ、炉頂排ガスから分離された還元ガスを高炉１０のシャフト部１０ｂに吹き込む。なお、図１ではシャフト部１０ｂの左右二個所にシャフト部羽口１２が描かれているが、高炉１０の全周に亘って三つ以上所定ピッチで離間して取り付けられてもよい。また、図１ではシャフト部羽口１２は、シャフト

部１０ｂに描かれているが、炉頂排ガスから分離された還元ガスをシャフト部１０ｂに吹き込むことができ、且つ、通常羽口１１の設置位置より高い位置であれば、シャフト部１０ｂより低い位置である、ベリー部、ボッシュ部又はそれらより低い位置に取り付けられていてもよい。

[0020] CO_2分離回収装置２０は、炉頂排ガスを回収し、還元ガス（ＣＯガス及び水素ガス）及び窒素ガスと、CO_2ガス及びH_2Oガスとに分離する装置である。分離の方法は特に制限されないが、例えば化学吸着法及び物理吸着法（ＰＳＡ）等が挙げられる。以下の説明において、炉頂排ガスから分離された還元ガス及び窒素ガスをＲＢＦＧ（Ｒｅｔｕｒｎｅｄ　Ｂｌａｓｔ　Ｆｕｒｎａｃｅ　Ｇａｓ）とも称する。CO_2ガス及びH_2Oガスは系外に排出される。なお、CO_2分離回収装置２０は、必ずしも炉頂排ガスの全量を回収しなくてもよい。例えば、CO_2分離回収装置２０は、高炉に吹き込むＲＢＦＧの流量に応じた分だけの炉頂排ガスを回収するようにしてもよい。

[0021] バッファータンク３０は、ＲＢＦＧを一時的に貯留するタンクである。バッファータンク３０から所望量のＲＢＦＧがコンプレッサー４０に導入される。残りのＲＢＦＧは例えば製鉄所の熱源として使用される。

[0022] コンプレッサー４０は、ＲＢＦＧを加圧する。ここで、コンプレッサー４０は、例えば高炉１０の内圧（４．５気圧程度）程度までＲＢＦＧを加圧する。加圧されたＲＢＦＧは加熱器５０に導入される。

[0023] 加熱器５０は、ＲＢＦＧを加熱する。加熱温度は高炉１０の操業条件に応じて任意に設定されるが、例えばＲＢＦＧをシャフト部羽口１２から高炉１０のシャフト部１０ｂに吹き込む場合、８００℃以上に設定されることが好ましい。加熱器５０は電気ヒーター等で十分実現可能である。加熱器５０で加熱されたＲＢＦＧは、例えば通常羽口１１から高炉１０内に吹き込まれるか、または、シャフト部羽口１２から高炉１０のシャフト部１０ｂに吹き込まれる。図１では左側の通常羽口１１及びシャフト部羽口１２からＲＢＦＧを高炉１０内に吹き込んでいるが、右側の通常羽口１１及びシャフト部羽口１２からもＲＢＦＧを高炉１０内に吹き込んでもよい。ＲＢＦＧは、通常羽

口１１及びシャフト部羽口１２の双方から高炉１０内に吹き込まれてもよい。

[0024] 流量計６１は、通常羽口１１から高炉１０内に吹き込まれるＲＢＦＧの流量を測定する。流量計６２は、シャフト部羽口１２から高炉１０のシャフト部１０ｂに吹き込まれるＲＢＦＧの流量を測定する。本実施形態では、バッファータンク３０からコンプレッサー４０に導入されるＲＢＦＧの流量を調整することで、通常羽口１１から高炉１０内に吹き込まれるＲＢＦＧの流量、及びシャフト部羽口１２から高炉１０のシャフト部１０ｂに吹き込まれるＲＢＦＧの流量を任意に調整可能である。

[0025] 水素系還元ガス供給システム２は水素系還元ガスタンク７０と、加熱器７１と、流量計７２とを備える。水素系還元ガス供給システム２は、高炉システム１の系外から高炉システム１に水素系還元ガスを供給するシステムである。

[0026] 水素系還元ガスタンク７０は、水素系還元ガスを貯留するタンクである。ここで、水素系還元ガスは、水素ガスの他、水素ガスと（本実施形態の効果を損なわない）他のガス（例えば窒素ガス）との混合ガスを含む概念である。加熱器７１は、水素系還元ガスタンク７０から供給される水素系還元ガスを加熱する。加熱器７１は電気ヒーター等で十分実現可能である。加熱器７１は、通常羽口１１と接続されており、加熱された水素系還元ガスは、通常羽口１１から高炉１０内に吹き込まれる。加熱器７１は加熱器５０と併用してもよい。流量計７２は、通常羽口１１から高炉１０内に吹き込まれる水素系還元ガスの流量を測定する。また、後述するように、水素系還元ガスの吹込み量を減少させ、かつ水素系還元ガスの加熱温度を低下させた場合であっても、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃを高くすることができる。また、本実施形態では、水素系還元ガスを通常羽口１１から吹き込むこととしたが、シャフト部羽口１２から水素系還元ガスを高炉１０内に吹き込んでもよい。

[0027] ＜２．第１の実施形態＞

（２－１．第１の実施形態に係る高炉の操業方法）

次に、本発明の第１の実施形態について説明する。第１の実施形態では、ＲＢＦＧは通常羽口１１から高炉１０内に吹き込まれる。第１の実施形態では、シャフト部羽口１２及び流量計６２は省略されてもよい。

[0028] 第１の実施形態に係る高炉１０の操業方法は概ね以下の通りである。すなわち、高炉１０の炉頂から鉄系原料及びコークスを高炉１０内に交互かつ層状に装入する一方で、水素系還元ガス供給システム２から加熱された水素系還元ガスを通常羽口１１に供給する。そして、通常羽口１１から熱風、微粉炭、富化酸素ガス、加熱された水素系還元ガス、及び加熱されたＣＯおよびH_2を含むＲＢＦＧを高炉１０内に吹き込む。熱風は、熱風とともに吹き込まれる微粉炭、及び、高炉１０内のコークスと反応することで、高温の還元ガス（ここでは主としてＣＯガス）を発生させる。すなわち、熱風は、コークス及び微粉炭をガス化させる。還元ガスは、高炉１０内を上昇し、鉄系原料を加熱しながら還元する。水素系還元ガス及びＲＢＦＧは、高炉１０内を上昇し、鉄系原料を加熱しながら還元する。鉄系原料は、高炉１０内を降下する一方で、還元ガス、水素系還元ガス、及びＲＢＦＧにより加熱及び還元される。その後、鉄系原料は溶融し、コークスによってさらに還元されながら高炉１０内を滴下する。鉄系原料は、最終的には炭素を５質量％弱含む溶銑（銑鉄）として炉床部に溜められる。炉床部の溶銑は、出銑口から取り出され、次の製鋼プロセスに供される。

[0029] 一方、高炉１０の炉頂排ガスが排出される。CO_2分離回収装置２０は、炉頂排ガスを回収し、還元ガス（ＣＯガス及び水素ガス）及び窒素ガス（すなわち、ＲＢＦＧ）と、CO_2ガス及びH_2Oガスとに分離する。CO_2ガス及びH_2Oガスは系外に排出される。

[0030] ＲＢＦＧは、バッファータンク３０に一時的に貯留される。バッファータンク３０から所望量のＲＢＦＧがコンプレッサー４０に導入される。残りのＲＢＦＧは系外に排出され、例えば製鉄所の熱源として使用される。

[0031] ついで、ＲＢＦＧは、コンプレッサー４０により加圧される。ここで、コンプレッサー４０は、例えば高炉１０の内圧（４．５気圧程度）程度までＲ

ＢＦＧを加圧する。加圧されたＲＢＦＧは加熱器５０に導入される。

[0032] ついで、ＲＢＦＧは、加熱器５０により加熱される。加熱温度は高炉１０の操業条件に応じて任意に設定される。加熱器５０で加熱されたＲＢＦＧは、通常羽口１１から高炉１０内に吹き込まれる。流量計６１は、通常羽口１１から高炉１０内に吹き込まれるＲＢＦＧの流量を測定する。ＲＢＦＧは、主に通常羽口１１から高炉１０内に吹き込まれるが、シャフト部羽口１２から補助的に高炉１０内に吹き込まれてもよい。詳細は後述する。

[0033] ここで、高炉操業においては、安定した操業を行う等の理由により、羽口先燃焼温度、炉頂排ガス温度、及び溶銑温度を所定範囲内に維持することが好ましい。例えば、羽口先燃焼温度は２０００～２３００℃程度に維持されることが好ましく、炉頂排ガス温度は、１０５℃程度以上に維持されることが好ましく、溶銑温度は１５２０℃程度以上に維持されることが好ましい。なお、羽口先燃焼温度の上限値は通常操業（水素系還元ガスの吹き込み、ＲＢＦＧの吹き込みを行わない操業）を想定した上限値である。羽口先燃焼温度が上限値を超える場合には、羽口設備の損耗を防ぐために羽口設備の冷却能力を強化する、より耐熱性能の高い材料を使用する、等の対策を行うことが好ましい。高炉操業の諸元は、羽口先燃焼温度、炉頂排ガス温度、及び溶銑温度が所定範囲内に維持されるように決定されることが好ましい。なお、羽口先燃焼温度、炉頂排ガス温度、及び溶銑温度が所定範囲内に維持される限り、高炉操業の諸元を自由に設計することができる。また、設計の結果、羽口先燃焼温度が上限値を超えてもよいが、上述した対策を別途行うことが好ましい。

[0034] 例えば、水素系還元ガスの吹込み温度（通常羽口１１から吹き込まれる水素系還元ガスの温度）は８００～１０００℃程度とすることが好ましく、水素系還元ガス中の水素ガスの吹込み量は３００～６００Ｎｍ^3／ｔ程度とすることが好ましい。いずれも特許文献１よりも低い範囲になる。ＲＢＦＧの吹込み温度（通常羽口１１から吹き込まれるＲＢＦＧの温度、すなわち加熱器５０による加熱温度）は８００～１０００℃程度とすることが好ましく、Ｒ

ＢＦＧの吹込み量は４００～８００Ｎｍ^3／ｔ程度とすることが好ましい。特に、ＲＢＦＧの吹込み量は、６００Ｎｍ^3／ｔ以上であることが好ましい。後述するように、この場合、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃが４０％を超えるからである。他に調整可能な諸元として、熱風の吹込み量、熱風に含まれる酸素量（酸素の吹込み量）等が挙げられる。また、溶銑温度は、高炉１０に吹き込む微粉炭の吹込み量またはコークス比（溶銑１トンあたりに使用するコークス量）によっても調整することができる。たとえば、まず微粉炭の吹込み量で溶銑温度を調整し、微粉炭の吹込み量がゼロになっても溶銑温度が所定範囲を超える場合には、コークス比を調整するといった制御が可能である。なお、溶銑温度は高炉１０内の総熱量（炉熱）を反映した値になる。なお、高炉操業中には、羽口先燃焼温度、炉頂排ガス温度、及び溶銑温度を定期的に（好ましくは常時）モニタリングし、羽口先燃焼温度、炉頂排ガス温度、及び溶銑温度の何れかが上述した範囲外の値となった場合には、操業条件（例えば上述したように水素系還元ガスの吹込み温度、水素系還元ガス中の水素ガスの吹込み量、ＲＢＦＧの吹込み温度、ＲＢＦＧの吹込み量、熱風の吹込み量、及び熱風に含まれる酸素量（富化酸素ガスの吹込み量）のうち少なくとも１種以上）を調整すればよい。なお、水素系還元ガスまたはＲＢＦＧの吹込みの際に羽口先燃焼温度、炉頂排ガス温度、及び溶銑温度が変動しやすいので、これらのガスの吹込みの際には、羽口先燃焼温度、炉頂排ガス温度、及び溶銑温度をモニタリングすることが好ましい。

[0035]（２－２．操業方法の具体例）

以下、操業方法の具体例についていくつか説明する。なお、以下に列挙する具体例は、後述する第２の実施形態にも適用可能である。

[0036]（２－２－１．溶銑温度が低下した場合）

通常羽口１１から高炉１０内に吹き込むＲＢＦＧの吹込み量を増加させる。同時に富化酸素ガスの吹込み量を増加させ、熱風の吹込み量（送風量）を低下させて羽口先燃焼温度を維持する。また、これにより、炉頂排ガス温度が所定範囲を下回った場合は、更にシャフト部羽口１２から吹き込むＲＢＦ

Ｇの吹込み量を増加させる。

[0037]（２－２－２．羽口先燃焼温度が低下した場合）

富化酸素ガスの吹込み量を増加させ、熱風の吹込み量を低下させて羽口先燃焼温度を上昇させる。これにより、ボッシュガス量が低下して炉頂排ガス温度が所定範囲を下回る懸念が生じるが、その際は、同時にシャフト部羽口１２から吹き込むＲＢＦＧの吹込み量を増加させて対応する。

[0038]（２－２－３．炉頂排ガス温度が低下した場合）

シャフト部羽口１２から吹き込むＲＢＦＧの吹込み量を増加させる。

[0039]（２－２－４．羽口先燃焼温度、炉頂排ガス温度の両方が低下した場合）

富化酸素ガスの吹込み量を増加させ、熱風の吹込み量を低下させて羽口先燃焼温度を上昇させつつ、同時にシャフト部羽口１２から吹き込むＲＢＦＧの吹込み量を増加させる。

[0040]（２－２－５．羽口先燃焼温度が低下し、炉頂排ガス温度が上昇した場合）

炉頂排ガス温度が高すぎると、炉内ガス流速が上がって操業変動を引き起こす可能性が高まるため、過度な炉頂排ガス温度の上昇は好ましくない。

富化酸素ガスの吹込み量を増加させ、熱風の吹込み量を低下させる。これによって羽口先燃焼温度は上昇傾向、炉頂排ガス温度は低下傾向となる。炉頂排ガス温度が所定範囲を下回った場合は、同時にシャフト部羽口１２から吹き込むＲＢＦＧの吹込み量を増加させて炉頂排ガス温度を制御する。

[0041]（２－２－６．羽口先燃焼温度が上昇し、炉頂排ガス温度が低下した場合）

富化酸素ガスの吹込み量を低下させ、熱風の吹込み量を増加させる。これによって羽口先燃焼温度は低下し、炉頂排ガス温度は上昇傾向となる。炉頂排ガス温度が所定範囲を上回った場合は、同時にシャフト部羽口１２から吹き込むＲＢＦＧの吹込み量を低下させて炉頂排ガス温度を制御する。

[0042]（２－２－７．羽口先燃焼温度、炉頂排ガス温度の両方が上昇した場合）

富化酸素ガスの吹込み量を低下させ、熱風の吹込み量を増加させ、シャフト部羽口１２から吹き込むＲＢＦＧの吹込み量を低下させる。

[0043]（２－３．効果の検証）

つぎに、本発明者が行った効果の検証について説明する。本検証では、高炉操業のシミュレーションを行い、第１の実施形態に係る高炉の操業方法の効果を検証した。シミュレーションモデルは、Ｋｏｕｊｉ　ＴＡＫＡＴＡＮＩ、Ｔａｋａｎｏｂｕ　ＩＮＡＤＡ、Ｙｕｔａｋａ　ＵＪＩＳＡＷＡ、「Ｔｈｒｅｅ－ｄｉｍｅｎｓｉｏｎａｌ　Ｄｙｎａｍｉｃ　Ｓｉｍｕｌａｔｏｒ　ｆｏｒ　Ｂｌａｓｔ　Ｆｕｒｎａｃｅ」、ＩＳＩＪ　Ｉｎｔｅｒｎａｔｉｏｎａｌ、Ｖｏｌ．３９（１９９９）、Ｎｏ．１、ｐ．１５－２２などに示される、所謂「高炉数学モデル」を用いた。この高炉数学モデルは、概略的には、高炉の内部領域を高さ方向、径方向、周方向に分割することで複数のメッシュ（小領域）を規定し、各メッシュの挙動をシミュレーションするものである。シミュレーションの前提条件は以下である。

・水素系還元ガスとして水素ガスを用いる。

・CO_2分離回収装置２０は、炉頂排ガスに含まれるCO_2ガス及びH_2Oガスを１００％分離除去する。

・出銑量、溶銑温度は全水準で一定（１２３５０ｔ／ｄ、１５３５℃）とする。

・炉頂排ガス温度は、下限値近傍（１０５℃）とする。

・炉熱調整（溶銑温度の調整）は、微粉炭の吹込み量を調整することで行う。微粉炭の吹込み量がゼロになっても溶銑温度が１５３５℃を超える場合には、コークス比を調整する。

・熱風の吹込み量、酸素の吹込み量は、上記前提条件が満たされるように調整した。

[0044] 上記の前提条件の下、以下の各水準についてシミュレーションを行った。水準１－５が第１の実施形態に対応する。

（水準１－１）水素ガス吹込みなし、熱風の吹込み温度が１２００℃、ＲＢＦＧ吹込み操業（吹込み温度が１２００℃）（図２、３中Ｈ２－０　ＢＴ１２００℃。なお、Ｈ２－０　ＢＴ１２００℃は、水素ガス吹込みなし、熱風の吹込み温度が１２００℃であることを示す。）

（水準１－２）水素ガス吹込みあり（吹込み温度が１２００℃、吹込み量６５０Ｎｍ^3／ｔ）、熱風の吹込み温度が１２００℃、ＲＢＦＧ吹込み操業（吹込み温度が１０００℃）（図２、３中Ｈ２－６５０　１２００℃、ＢＴ１２００℃。なお、Ｈ２－６５０　１２００℃は、水素ガスの吹込み量が６５０Ｎｍ^3／ｔ、吹込み温度が１２００℃であることを示し、ＢＴ１２００℃は熱風の吹込み温度が１２００℃であることを示す。）

（水準１－３）水素ガス吹込みあり（吹込み温度が１０００℃、吹込み量６５０Ｎｍ^3／ｔ）、熱風の吹込み温度が１２００℃、ＲＢＦＧ吹込み操業（吹込み温度が１０００℃）（図２、３中Ｈ２－６５０　１０００℃、ＢＴ１２００℃。なお、Ｈ２－６５０　１０００℃は、水素ガスの吹込み量が６５０Ｎｍ^3／ｔ、吹込み温度が１０００℃であることを示し、ＢＴ１２００℃は熱風の吹込み温度が１２００℃であることを示す。）

（水準１－４）水素ガス吹込みあり（吹込み温度が１０００℃、吹込み量６５０Ｎｍ^3／ｔ）、熱風の吹込み温度が１３００℃、ＲＢＦＧ吹込み操業（吹込み温度が１０００℃）（図２、３中Ｈ２－６５０　１０００℃、ＢＴ１３００℃。なお、Ｈ２－６５０　１０００℃は、水素ガスの吹込み量が６５０Ｎｍ^3／ｔ、吹込み温度が１０００℃であることを示し、ＢＴ１３００℃は熱風の吹込み温度が１３００℃であることを示す。）

（水準１－５）水素ガス吹込みあり（吹込み温度１０００℃、吹込み量３２５Ｎｍ^3／ｔ）、熱風の吹込み温度が１３００℃、ＲＢＦＧ吹込み操業（吹込み温度が１０００℃）（図２、３中Ｈ２－３２５　１０００℃、ＢＴ１３００℃。なお、Ｈ２－３２５　１０００℃は、水素ガスの吹込み量が３２５Ｎｍ^3／ｔ、吹込み温度が１０００℃であることを示し、ＢＴ１３００℃は熱風の吹込み温度が１３００℃であることを示す。）

[0045]　結果を図２及び図３に示す。図２の横軸（ＲＢＦＧ羽口吹込み量）は通常羽口１１から高炉１０内に吹き込まれるＲＢＦＧの吹込み量（Ｎｍ^3／ｔ）を示し、縦軸はＩｎｐｕｔ　△Ｃ（％）を示す。図３の横軸（ＲＢＦＧ羽口吹込み量）は通常羽口１１から高炉１０内に吹き込まれるＲＢＦＧの吹込み量

（Ｎｍ^3／ｔ）を示し、縦軸（系全体水素ガス利用率）は系全体の水素ガスの利用率（％）を示す。ここで、系全体の水素ガスの利用率は、以下の数式で示される。

n_{H2}^{*}＝１００×ａ／（ａ＋ｂ）

n_{H2}^{*}：水素ガスの利用率（％）

ａ：CO_2分離回収装置２０から系外に排出されるH_2Oガスの量（Ｎｍ^3／ｔ）

ｂ：バッファータンク３０から系外に排出される水素ガスの量（Ｎｍ^3／ｔ）

[0046] 図２及び図３によれば、以下の知見が得られる。

・水素系還元ガス供給システム２からの（すなわち、ＲＢＦＧに含まれるものではない）水素ガスの吹込み量が多くなる程、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃが大きくなる。しかし、多量の水素ガスを用意する必要があるため、上述した問題が生じる。

・ＲＢＦＧの吹込み量が多くなる程、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃが大きくなる。水準１－５では、ＲＢＦＧの吹込み量を６００Ｎｍ^3／ｔとすることで、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃが４０％を超える（４３．２％、図２中の破線円で囲んだ点）。この値は、水素ガスを大量に吹き込む水準１－２～１－４に匹敵するものである。さらに、水準１－５の水素ガスの吹込み量は３２５Ｎｍ^3／ｔと水準１－２～１－４に比べて５０％少なく、水素ガスの吹込み温度も１０００℃と低い。なお、このときの水準１－５の水素ガスの利用率は７７％（ａ＝２５３Ｎｍ^3／ｔ、ｂ＝７６Ｎｍ^3／ｔ）となる（図３中の破線円で囲んだ点）。

[0047] 以上により、第１の実施形態によれば、水素系還元ガス供給システム２からの水素系還元ガスの吹込み量を減少させ、かつ水素系還元ガスの加熱温度を低下させた場合であっても、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃを高くすることができる。

[0048] ＜３．第２の実施形態＞

（３－１．第２の実施形態に係る高炉の操業方法）

次に、本発明の第２の実施形態について説明する。第２の実施形態では、ＲＢＦＧはシャフト部羽口１２から高炉１０内に吹き込まれる。第２の実施

形態では、流量計６１は省略されてもよい。

[0049] 第２の実施形態に係る高炉１０の操業方法は概ね以下の通りである。すなわち、高炉１０の炉頂から鉄系原料及びコークスを高炉１０内に交互かつ層状に装入する一方で、水素系還元ガス供給システム２から加熱された水素系還元ガスを通常羽口１１に供給する。そして、通常羽口１１から熱風、微粉炭、富化酸素ガス、及び加熱された水素系還元ガスを高炉１０内に吹き込む。一方で、シャフト部羽口１２からＲＢＦＧを高炉１０のシャフト部１０ｂに吹き込む。熱風は、熱風とともに吹き込まれる微粉炭、及び、高炉１０内のコークスと反応することで、高温の還元ガス（ここでは主としてＣＯガス）を発生させる。すなわち、熱風は、コークス及び微粉炭をガス化させる。還元ガスは、高炉１０内を上昇し、鉄系原料を加熱しながら還元する。水素系還元ガス及びＲＢＦＧは、高炉１０内を上昇し、鉄系原料を加熱しながら還元する。鉄系原料は、高炉１０内を降下する一方で、還元ガス、水素系還元ガス、及びＲＢＦＧにより加熱及び還元される。その後、鉄系原料は溶融し、コークスによってさらに還元されながら高炉１０内を滴下する。鉄系原料は、最終的には炭素を５質量％弱含む溶銑（銑鉄）として炉床部に溜められる。炉床部の溶銑は、出銑口から取り出され、次の製鋼プロセスに供される。

[0050] 一方、高炉１０の炉頂排ガスが排出される。CO_2分離回収装置２０は、炉頂排ガスを回収し、還元ガス（ＣＯガス及び水素ガス）及び窒素ガス（すなわち、ＲＢＦＧ）と、CO_2ガス及びH_2Oガスとに分離する。CO_2ガス及びH_2Oガスは系外に排出される。

[0051] ＲＢＦＧは、バッファータンク３０に一時的に貯留される。バッファータンク３０から所望量のＲＢＦＧがコンプレッサー４０に導入される。残りのＲＢＦＧは系外に排出され、例えば製鉄所の熱源として使用される。

[0052] ついで、ＲＢＦＧは、コンプレッサー４０により加圧される。ここで、コンプレッサー４０は、例えば高炉１０の内圧（４．５気圧程度）程度までＲＢＦＧを加圧する。加圧されたＲＢＦＧは加熱器５０に導入される。

[0053] ついで、ＲＢＦＧは、加熱器５０により加熱される。加熱温度は高炉１０の操業条件に応じて任意に設定される。加熱器５０で加熱されたＲＢＦＧは、シャフト部羽口１２から高炉１０のシャフト部１０ｂに吹き込まれる。流量計６２は、シャフト部羽口１２から高炉１０のシャフト部１０ｂに吹き込まれるＲＢＦＧの流量を測定する。ＲＢＦＧは、主にシャフト部羽口１２から高炉１０のシャフト部１０ｂに吹き込まれるが、通常羽口１１から補助的に高炉１０内に吹き込まれてもよい。操業方法の具体例は第１の実施形態で説明した通りである。

[0054] ここで、高炉操業においては、安定した操業を行う等に理由により、羽口先燃焼温度、炉頂排ガス温度、及び溶銑温度を所定範囲内に維持することが好ましい。例えば、羽口先燃焼温度は２０００～２３００℃程度に維持されることが好ましく、炉頂排ガス温度は、１０５℃程度以上に維持されることが好ましく、溶銑温度は１５２０℃程度以上に維持されることが好ましい。なお、羽口先燃焼温度の上限値は通常操業（水素系還元ガスの吹き込み、ＲＢＦＧの吹き込みを行わない操業）を想定した上限値である。羽口先燃焼温度が上限値を超える場合には、羽口設備の損耗を防ぐために羽口設備の冷却能力を強化する、より耐熱性能の高い材料を使用する、等の対策を行うことが好ましい。高炉操業の諸元は、羽口先燃焼温度、炉頂排ガス温度、及び溶銑温度が所定範囲内に維持されるように決定される。なお、羽口先燃焼温度、炉頂排ガス温度、及び溶銑温度が所定範囲内に維持される限り、高炉操業の諸元を自由に設計することができる。また、設計の結果、羽口先燃焼温度が上限値を超えてもよいが、上述した対策を別途行うことが好ましい。

[0055] 例えば、水素系還元ガスの吹込み温度（通常羽口１１から吹き込まれる水素系還元ガスの温度）は６００～１０００℃程度とすることが好ましく、水素系還元ガス中の水素ガスの吹込み量は４００～６００Ｎｍ^3／ｔ程度とすることが好ましい。いずれも特許文献１よりも低い範囲になる。ＲＢＦＧの吹込み温度（シャフト部羽口１２から吹き込まれるＲＢＦＧの温度、すなわち加熱器５０による加熱温度）は８００～１０００℃程度とすることが好まし

く、ＲＢＦＧの吹込み量は２００～６００Ｎｍ^3／ｔ程度とすることが好ましい。後述するように、この場合、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃが４０％を超えるからである。他に調整可能な諸元として、熱風の吹込み量、熱風に含まれる酸素量（酸素の吹込み量）等が挙げられる。また、溶銑温度は、高炉１０に吹き込む微粉炭の吹込み量またはコークス比（溶銑１トンあたりに使用するコークス量）によっても調整することができる。たとえば、まず微粉炭の吹込み量で溶銑温度を調整し、微粉炭の吹込み量がゼロになっても溶銑温度が所定範囲を超える場合には、コークス比を調整するといった制御が可能である。なお、溶銑温度は高炉１０内の総熱量（炉熱）を反映した値になる。なお、高炉操業中には、羽口先燃焼温度、炉頂排ガス温度、及び溶銑温度を定期的に（好ましくは常時）モニタリングし、羽口先燃焼温度、炉頂排ガス温度、及び溶銑温度の何れかが上述した範囲外の値となった場合には、操業条件（例えば上述したように水素系還元ガスの吹込み温度、水素系還元ガス中の水素ガスの吹込み量、ＲＢＦＧの吹込み温度、ＲＢＦＧの吹込み量、熱風の吹込み量、及び熱風に含まれる酸素量（富化酸素ガスの吹込み量）のうち少なくとも１種以上）を調整すればよい。なお、水素系還元ガスまたはＲＢＦＧの吹込みの際に羽口先燃焼温度、炉頂排ガス温度、及び溶銑温度が変動しやすいので、これらのガスの吹込みの際には、羽口先燃焼温度、炉頂排ガス温度、及び溶銑温度をモニタリングすることが好ましい。

[0056] （３－２．効果の検証）

つぎに、本発明者が行った効果の検証について説明する。本検証では、高炉操業のシミュレーションを行い、第２の実施形態に係る高炉の操業方法の効果を検証した。シミュレーションモデルは第１の実施形態と同様である。シミュレーションの前提条件は以下である。

・水素系還元ガスとして水素ガスを用いる。

・CO_2分離回収装置２０は、炉頂排ガスに含まれるCO_2ガス及びH_2Oガスを１００％分離除去する。

・水素ガスの吹込み温度、ＲＢＦＧの吹込み温度はいずれの水準でも８００

℃とする。ただし、水準２－１の水素ガスの吹込み温度は１２００℃とする。

・熱風の吹込み温度（送風温度）はいずれの水準でも１２００℃とする。

・出銑量、溶銑温度は全水準で一定（１２３５０ｔ／ｄ、１５３５℃）とする。

・炉頂排ガス温度はいずれの水準でも１３５℃とする。

・炉熱調整（溶銑温度の調整）は、微粉炭の吹込み量を調整することで行う。微粉炭の吹込み量がゼロになっても溶銑温度が１５３５℃を超える場合には、コークス比を調整する。

・熱風の吹込み量、酸素の吹込み量は、上記前提条件が満たされるように調整した。

[0057] 上記の前提条件の下、以下の各水準についてシミュレーションを行った。水準２－２～２－４が第２の実施形態に対応する。

（水準２－１）水素ガス吹込み量６５０Ｎｍ^3／ｔ、熱風の吹込み温度１２００℃、ＲＢＦＧ吹込みなし（Ｈ２：６５０Ｎｍ^3／ｔ、ＢＴ１２００℃）。

（水準２－２）水素ガス吹込み量６００Ｎｍ^3／ｔ、熱風の吹込み温度１２００℃、ＲＢＦＧ吹込み操業（Ｈ２：６００Ｎｍ^3／ｔ、ＢＴ１２００℃）

（水準２－３）水素ガス吹込み量５００Ｎｍ^3／ｔ、熱風の吹込み温度１２００℃、ＲＢＦＧ吹込み操業（Ｈ２：５００Ｎｍ^3／ｔ、ＢＴ１２００℃）

（水準２－４）水素ガス吹込み量４００Ｎｍ^3／ｔ、熱風の吹込み温度１２００℃、ＲＢＦＧ吹込み操業（Ｈ２：４００Ｎｍ^3／ｔ、ＢＴ１２００℃）

[0058] 結果を図４及び図５に示す。図４の横軸（シャフト羽口ＲＢＦＧ吹込み量）はシャフト部羽口１２から高炉１０のシャフト部１０ｂに吹き込まれるＲＢＦＧの吹込み量（Ｎｍ^3／ｔ）を示し、縦軸はＩｎｐｕｔ　△Ｃ（％）を示す。図５の横軸（シャフト羽口ＲＢＦＧ吹込み量）はシャフト部羽口１２から高炉１０のシャフト部１０ｂに吹き込まれるＲＢＦＧの吹込み量（Ｎｍ^3／ｔ）を示し、縦軸（系全体水素ガス利用率）は系全体の水素ガスの利用率（％）を示す。系全体の水素ガスの利用率の算出方法は上述した通りである。

[0059] 図４及び図５によれば、以下の知見が得られる。

・水素系還元ガス供給システム２からの（すなわち、ＲＢＦＧに含まれるものではない）水素ガスの吹込み量が多くなる程、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃが大きくなる。

・ＲＢＦＧの吹込み量が多くなる程、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃが大きくなる。水準２－４では、ＲＢＦＧの吹込み量を６００Ｎｍ^3／ｔとすることで、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃが４０％を超える（４０．５％、図４中の破線円で囲んだ点）。この値は、水素ガスを大量に吹き込む水準２－１、水素ガスの吹込み量がやや多い水準２－２～２－３に匹敵するものである。さらに、水準２－４の水素ガスの吹込み量は４００Ｎｍ^3／ｔと水準２－１～２－３に比べて少なく、水素ガスの吹込み温度も８００℃と低い。なお、このときの水準２－４の水素ガスの利用率は６３％（ａ＝２６０Ｎｍ^3／ｔ、ｂ＝１５１Ｎｍ^3／ｔ）となる（図５中の破線円で囲んだ点）。

[0060] 以上により、第２の実施形態によれば、水素系還元ガスの吹込み量を減少させ、かつ水素系還元ガスの加熱温度を低下させた場合であっても、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃを高くすることができる。

[0061] 本発明者は、さらに操業の自由度についても検討した。結果を図６及び図７に示す。図６の横軸（シャフト羽口ＲＢＦＧ吹込み量）はシャフト部羽口１２から高炉１０のシャフト部１０ｂに吹き込まれるＲＢＦＧの吹込み量（Ｎｍ^3／ｔ）を示し、縦軸は羽口先燃焼温度（℃）を示す。△ＣはＩｎｐｕｔ　△Ｃを示す。図６には、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃが２９％以上３３％未満となる点のグループ、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃが３３％以上３８％未満となるグループ、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃが４０％超となるグループを破線で囲んだ。図６中の羽口先燃焼温度の「通常上限」（＝２３００℃）は、通常操業（水素系還元ガスの吹き込み、ＲＢＦＧの吹き込みを行わない操業）を想定した上限値である。図７の横軸は羽口先燃焼温度（℃）を示し、縦軸は炉頂排ガス温度（℃）を示す。図６、図７には、参考例として、水準２－４において、送風温度１３００℃（ＢＴ１３００℃）、水素ガスの吹込み温度１０００℃とした例も

示す。

[0062] 図６及び図７によれば、以下の知見が得られる。

・水素系還元ガス供給システム２からの（すなわち、ＲＢＦＧに含まれるものではない）水素系還元ガスの吹込み量を低減させるか、またはＲＢＦＧの吹込み量を増加させることで、羽口先燃焼温度が上昇する。

高炉操業において、炉頂排ガス温度と羽口先燃焼温度とがどちらも適正範囲内となるように操業することが必要である。炉頂排ガス温度は高炉炉内に供給されるガスの流量に大きく依存し、出銑量あたりのガス流量を増やすほど炉頂排ガス温度は上昇する。一方で、羽口先燃焼温度は、羽口先での燃焼条件である酸素富化率に大きく依存し、酸素富化率を上げるほど羽口先燃焼温度は上昇する。高炉操業においては、酸素富化率を上げる＝熱風の送風量が減って羽口から供給されるガス流量が低下する、こととなるので、酸素富化率を上げて羽口先燃焼温度を上げると、炉内供給ガス流量が減って炉頂排ガス温度は低下する。よって、通常羽口１１からガスを吹き込む操業を前提とすると、炉頂排ガス温度と羽口先燃焼温度を独立して制御することは困難になる（どちらかを動かそうとすると、もう一方が逆方向に動いてしまうため）。なお、第１の実施形態のように通常羽口にＲＢＦＧを吹込む場合、ＲＢＦＧ吹込み量を調整することで炉内へ供給されるガスの吹込み量を調整することは可能であるが、羽口先燃焼温度より低温のガスを高炉炉内に供給することになるので、ＲＢＦＧ吹込み量を増やす＝羽口先燃焼温度は低下してしまう、こととなり、炉頂排ガス温度と羽口先燃焼温度を独立制御することはできない。

第２の実施形態の場合、羽口先燃焼温度より低温のガスを炉内に供給する点は第１の実施形態と同様であるが、ＲＢＦＧをコークスが燃焼している羽口部（通常羽口１１の先）ではなく、シャフト部１０ｂから吹き込むため、ＲＢＦＧの吹込み量を操作しても、羽口先燃焼温度が低下することはない。このため、ＲＢＦＧの吹込み量を増やして炉頂排ガス温度を調整しつつ、羽口部で酸素富化率を別個で調整して羽口先燃焼温度を適正値にすることが可

能となる。これは、第２の実施形態の強みの１つである（ガスを通常羽口１１とは別のところに吹き込むという点が良い）。

したがって、水準２－４の羽口先燃焼温度は水準２－１～２－３の羽口先燃焼温度よりも高くなる。水準２－４の羽口先燃焼温度は、下限値（２０００℃）よりも十分に高くなる。さらに、水準２－４の炉頂排ガス温度も下限値（１０５℃）よりも十分に高くなる。

[0063] したがって、第２の実施形態では、操業の自由度が高くなる（操業の諸元を設計できる幅が広い）。なお、水準２－４のＩｎｐｕｔ　ΔＣが４０％を超えると羽口先燃焼温度が上限値（２３００℃）を超える（図６中破線円Ａで示す点）が、上述した対策を行えば操業を継続することができる。

[0064] ＜４．第３の実施形態＞

（４－１．第３の実施形態に係る高炉の操業方法）

次に、本発明の第３の実施形態について説明する。第３の実施形態では、ＲＢＦＧは通常羽口１１及びシャフト部羽口１２の双方から高炉１０内に吹き込まれる。

[0065] 第３の実施形態に係る高炉１０の操業方法は概ね以下の通りである。すなわち、高炉１０の炉頂から鉄系原料及びコークスを高炉１０内に交互かつ層状に装入する一方で、水素系還元ガス供給システム２から加熱された水素系還元ガスを通常羽口１１に供給する。そして、通常羽口１１から熱風、微粉炭、富化酸素ガス、加熱された水素系還元ガスを高炉１０内に吹き込む。一方で、通常羽口１１及びシャフト部羽口１２からＲＢＦＧを高炉１０内に吹き込む。熱風は、熱風とともに吹き込まれる微粉炭、及び、高炉１０内のコークスと反応することで、高温の還元ガス（ここでは主としてＣＯガス）を発生させる。すなわち、熱風は、コークス及び微粉炭をガス化させる。還元ガスは、高炉１０内を上昇し、鉄系原料を加熱しながら還元する。水素系還元ガス及びＲＢＦＧは、高炉１０内を上昇し、鉄系原料を加熱しながら還元する。鉄系原料は、高炉１０内を降下する一方で、還元ガス、水素系還元ガス、及びＲＢＦＧにより加熱及び還元される。その後、鉄系原料は溶融し、

コークスによってさらに還元されながら高炉１０内を滴下する。鉄系原料は、最終的には炭素を５質量％弱含む溶銑（銑鉄）として炉床部に溜められる。炉床部の溶銑は、出銑口から取り出され、次の製鋼プロセスに供される。

[0066] 一方、高炉１０の炉頂排ガスが排出される。CO_2分離回収装置２０は、炉頂排ガスを回収し、還元ガス（ＣＯガス及び水素ガス）及び窒素ガス（すなわち、ＲＢＦＧ）と、CO_2ガス及びH_2Oガスとに分離する。CO_2ガス及びH_2Oガスは系外に排出される。

[0067] ＲＢＦＧは、バッファータンク３０に一時的に貯留される。バッファータンク３０から所望量のＲＢＦＧがコンプレッサー４０に導入される。残りのＲＢＦＧは系外に排出され、例えば製鉄所の熱源として使用される。

[0068] ついで、ＲＢＦＧは、コンプレッサー４０により加圧される。ここで、コンプレッサー４０は、例えば高炉１０の内圧（４．５気圧程度）程度までＲＢＦＧを加圧する。加圧されたＲＢＦＧは加熱器５０に導入される。

[0069] ついで、ＲＢＦＧは、加熱器５０により加熱される。加熱温度は高炉１０の操業条件に応じて任意に設定される。加熱器５０で加熱されたＲＢＦＧは、通常羽口１１及びシャフト部羽口１２から高炉１０内に吹き込まれる。流量計６１は、通常羽口１１から高炉１０内に吹き込まれるＲＢＦＧの流量を測定する。流量計６２は、シャフト部羽口１２から高炉１０のシャフト部１０ｂに吹き込まれるＲＢＦＧの流量を測定する。操業方法の具体例は第１の実施形態で説明した通りである。

[0070] ここで、高炉操業においては、安定した操業を行う等に理由により、羽口先燃焼温度、炉頂排ガス温度、及び溶銑温度を所定範囲内に維持することが好ましい。例えば、羽口先燃焼温度は２０００～２３００℃程度に維持されることが好ましく、炉頂排ガス温度は、１０５℃程度以上に維持されることが好ましく、溶銑温度は１５２０℃程度以上に維持されることが好ましい。なお、羽口先燃焼温度の上限値は通常操業（水素系還元ガスの吹き込み、ＲＢＦＧの吹き込みを行わない操業）を想定した上限値である。羽口先燃焼温度が上限値を超える場合には、羽口設備の損耗を防ぐために羽口設備の冷却

能力を強化する、より耐熱性能の高い材料を使用する等の対策を行うことが好ましい。高炉操業の諸元は、羽口先燃焼温度、炉頂排ガス温度、及び溶銑温度が所定範囲内に維持されるように決定される。なお、羽口先燃焼温度、炉頂排ガス温度、及び溶銑温度が所定範囲内に維持される限り、高炉操業の諸元を自由に設計することができる。また、設計の結果、羽口先燃焼温度が上限値を超えてもよいが、上述した対策を別途行うことが好ましい。

[0071] 例えば、水素系還元ガスの吹込み温度（通常羽口１１から吹き込まれる水素系還元ガスの温度）は８００～１０００℃程度とすることが好ましく、水素系還元ガス中の水素ガスの吹込み量は３００～６００Ｎｍ^3／ｔ程度とすることが好ましい。いずれも特許文献１よりも低い範囲になる。ＲＢＦＧの通常羽口吹込み温度（通常羽口１１から吹き込まれるＲＢＦＧの温度、すなわち加熱器５０による加熱温度）は８００～１０００℃程度が好ましく、ＲＢＦＧの通常羽口吹込み量は１００～３００Ｎｍ^3／ｔ程度とすることが好ましい。ＲＢＦＧのシャフト部羽口吹込み温度（シャフト部羽口１２から吹き込まれるＲＢＦＧの温度、すなわち加熱器５０による加熱温度）は通常羽口吹込み温度と同様であり、ＲＢＦＧのシャフト部羽口吹込み量は２００～６００Ｎｍ^3／ｔ程度とすることが好ましい。特に、ＲＢＦＧの吹込み量は、通常羽口吹込み量とシャフト部羽口吹込み量の合計で６００Ｎｍ^3／ｔ以上であることが好ましい。後述するように、この場合、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃが４０％を超えるからである。他に調整可能な諸元として、熱風の吹込み量、熱風に含まれる酸素量（酸素の吹込み量）等が挙げられる。また、溶銑温度は、高炉１０に吹き込む微粉炭の吹込み量またはコークス比（溶銑１トンあたりに使用するコークス量）によっても調整することができる。たとえば、まず微粉炭の吹込み量で溶銑温度を調整し、微粉炭の吹込み量がゼロになっても溶銑温度が所定範囲を超える場合には、コークス比を調整するといった制御が可能である。なお、溶銑温度は高炉１０内の総熱量（炉熱）を反映した値になる。なお、高炉操業中には、羽口先燃焼温度、炉頂排ガス温度、及び溶銑温度を定期的に（好ましくは常時）モニタリングし、羽口先燃焼温度、炉頂排

ガス温度、及び溶銑温度の何れかが上述した範囲外の値となった場合には、操業条件（例えば上述したように水素系還元ガスの吹込み温度、水素系還元ガス中の水素ガスの吹込み量、ＲＢＦＧの吹込み温度、ＲＢＦＧの吹込み量、熱風の吹込み量、及び熱風に含まれる酸素量（富化酸素ガスの吹込み量）のうち少なくとも１種以上）を調整すればよい。なお、水素系還元ガスまたはＲＢＦＧの吹込みの際に羽口先燃焼温度、炉頂排ガス温度、及び溶銑温度が変動しやすいので、これらのガスの吹込みの際には、羽口先燃焼温度、炉頂排ガス温度、及び溶銑温度をモニタリングすることが好ましい。

[0072] （３－２．効果の検証）

つぎに、本発明者が行った効果の検証について説明する。本検証では、高炉操業のシミュレーションを行い、第３の実施形態に係る高炉の操業方法の効果を検証した。シミュレーションモデルは第１の実施形態と同様である。シミュレーションの前提条件は以下である。

・水素系還元ガスとして水素ガスを用いる。

・CO_2分離回収装置２０は、炉頂排ガスに含まれるCO_2ガス及びH_2Oガスを１００％分離除去する。

・水素ガスの吹込み温度、ＲＢＦＧの吹込み温度は８００℃とする。

・熱風の吹込み温度（送風温度）は１２００℃とする。

・出銑量、溶銑温度は１２３５０ｔ／ｄ、１５３５℃とする。

・炉頂排ガス温度は１３２℃、羽口先燃焼温度は２１９６℃とする。

・炉熱調整（溶銑温度の調整）は、微粉炭の吹込み量を調整することで行う。微粉炭の吹込み量がゼロになっても溶銑温度が１５３５℃を超える場合には、コークス比を調整する。

・熱風の吹込み量、酸素の吹込み量は、上記前提条件が満たされるように調整した。

[0073] 上記の前提条件の下、以下の水準についてシミュレーションを行った。本水準では、水素ガス吹込み量を４００Ｎｍ^3／ｔ、ＲＢＦＧのシャフト部羽口吹込み量は４００Ｎｍ^3／ｔとし、通常羽口吹込み量は２００Ｎｍ^3／ｔとし

た。この結果、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃは４２．２％であった。

[0074] 以上により、第３の実施形態によれば、水素ガスの吹込み量を減少させ、かつ水素ガスの加熱温度を低下させた場合であっても、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃを高くすることができる。

実施例

[0075] つぎに、本実施形態の実施例を説明する。本実施例では、高炉数学モデルを用いた高炉操業シミュレーションを行い、第１～第３の実施形態の効果を確認した。実施例１が第１の実施形態に対応し、実施例２が第２の実施形態に対応し、実施例３が第３の実施形態に対応する。

[0076] ＜１．実施例１＞

（１－１．主要諸元）

・水素系還元ガスとして水素ガスを用いる。

・CO_2分離回収装置２０は、炉頂排ガスに含まれるCO_2ガス及びH_2Oガスを１００％分離除去する。

・出銑量、溶銑温度は１２３５０ｔ／ｄ、１５３５℃とする。

・炉頂排ガス温度は、炭素削減効果を最大限享受するため、下限値近傍（１０５℃）とする。

・炉熱調整（溶銑温度の調整）は、微粉炭の吹込み量を調整することで行う。微粉炭の吹込み量がゼロになっても溶銑温度が１５３５℃を超える場合には、コークス比を調整する。

・熱風の吹込み量、酸素の吹込み量は、上記前提条件が満たされるように調整した。

・水素ガス吹込みあり（吹込み温度１０００℃、吹込み量３２５Ｎm^3／ｔ）、熱風の吹込み温度１３００℃、ＲＢＦＧ吹込み温度１０００℃、吹込み量６００Ｎm^3／ｔ

[0077] （１－２．シミュレーションの結果）

シミュレーションの結果、実施例１では、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃが４３．２％となった。

[0078] ＜２．実施例２＞

（２－１．主要諸元）

・水素系還元ガスとして水素ガスを用いた。

・CO_2分離回収装置２０は、炉頂排ガスに含まれるCO_2ガス及びH_2Oガスを１００％分離除去する。

・水素ガスの吹込み温度、ＲＢＦＧの吹込み温度は８００℃とする。

・熱風の吹込み温度（送風温度）は１２００℃とする。

・出銑量、溶銑温度は１２３５０ｔ／ｄ、１５３５℃とする。

・炉頂排ガス温度は１３５℃とする。

・炉熱調整（溶銑温度の調整）は、微粉炭の吹込み量を調整することで行う。微粉炭の吹込み量がゼロになっても溶銑温度が１５３５℃を超える場合には、コークス比を調整する。

・熱風の吹込み量、酸素の吹込み量は、上記前提条件が満たされるように調整した。

・水素ガス吹込み量４００Ｎm^3／ｔ、ＲＢＦＧ吹込み量６００Ｎm^3／ｔ

[0079] （２－２．シミュレーションの結果）

シミュレーションの結果、実施例２では、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃが４０．５％となった。

[0080] ＜３．実施例３＞

（３－１．主要諸元）

・水素系還元ガスとして水素ガスを用いる。

・CO_2分離回収装置２０は、炉頂排ガスに含まれるCO_2ガス及びH_2Oガスを１００％分離除去する。

・水素ガスの吹込み温度、ＲＢＦＧの吹込み温度は８００℃とする。

・熱風の吹込み温度（送風温度）は１２００℃とする。

・出銑量、溶銑温度は１２３５０ｔ／ｄ、１５３５℃とする。

・炉頂排ガス温度は１３２℃、羽口先燃焼温度は２１９６℃とする。

・炉熱調整（溶銑温度の調整）は、微粉炭の吹込み量を調整することで行う

。微粉炭の吹込み量がゼロになっても溶銑温度が１５３５℃を超える場合には、コークス比を調整する。

・熱風の吹込み量、酸素の吹込み量は、上記前提条件が満たされるように調整した。

・水素ガス吹込み量を４００Ｎｍ^3／ｔ、ＲＢＦＧのシャフト部羽口吹込み量は４００Ｎｍ^3／ｔとし、通常羽口吹込み量は２００Ｎｍ^3／ｔとした。

[0081] （３－２．シミュレーションの結果）

シミュレーションの結果、実施例３では、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃが４２．２％となった。

[0082] したがって、第１～第３の実施形態によれば、水素系還元ガスの吹込み量を減少させ、かつ水素系還元ガスの加熱温度を低下させた場合であっても、Ｉｎｐｕｔ　△Ｃを高くすることができる。

[0083] 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、本発明は係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。

符号の説明

[0084] １　高炉システム

２　水素系還元ガス供給システム

１０　高炉

１０ａ　高炉本体

１０ｂ　シャフト部

１１　通常羽口

１２　シャフト部羽口

２０　CO_2分離回収装置

３０　バッファータンク

４０　　コンプレッサー

５０、７１　　加熱器

６１、６２、７２　　流量計

７０　　水素系還元ガスタンク

請求の範囲

[請求項1] 高炉系外から供給される水素系還元ガスを加熱する工程と、

加熱された前記水素系還元ガスを高炉に吹き込む工程と、

炉頂排ガスから還元ガスを分離する工程と、

分離した前記還元ガスを加熱する工程と、

前記還元ガスを前記高炉に吹き込む工程と、を含むことを特徴とする、高炉の操業方法。

[請求項2] 前記還元ガスを前記高炉の下部に設けられた通常羽口から前記高炉に吹き込むことを特徴とする、請求項１に記載の高炉の操業方法。

[請求項3] 前記還元ガスを前記高炉のシャフト部に吹き込むことを特徴とする、請求項１または２に記載の高炉の操業方法。

[請求項4] 羽口先燃焼温度及び炉頂排ガス温度に基づいて、操業条件を調整することを特徴とする、請求項１に記載の高炉の操業方法。

[請求項5] 前記操業条件には、前記還元ガスの吹込み量、熱風の送風量、及び前記熱風に含まれる酸素量が含まれることを特徴とする、請求項４に記載の高炉の操業方法。

[請求項6] 高炉系外から供給される水素系還元ガスを加熱する工程と、

加熱された前記水素系還元ガスを通常羽口及び、少なくとも前記通常羽口よりも高い位置に設置されたシャフト部羽口のうち少なくとも一方から高炉に吹き込む工程と、

炉頂排ガスから還元ガスを分離する工程と、

分離した前記還元ガスを加熱する工程と、

加熱された前記還元ガスを前記通常羽口及び前記シャフト部羽口のうち少なくとも一方から高炉に吹き込む工程と、

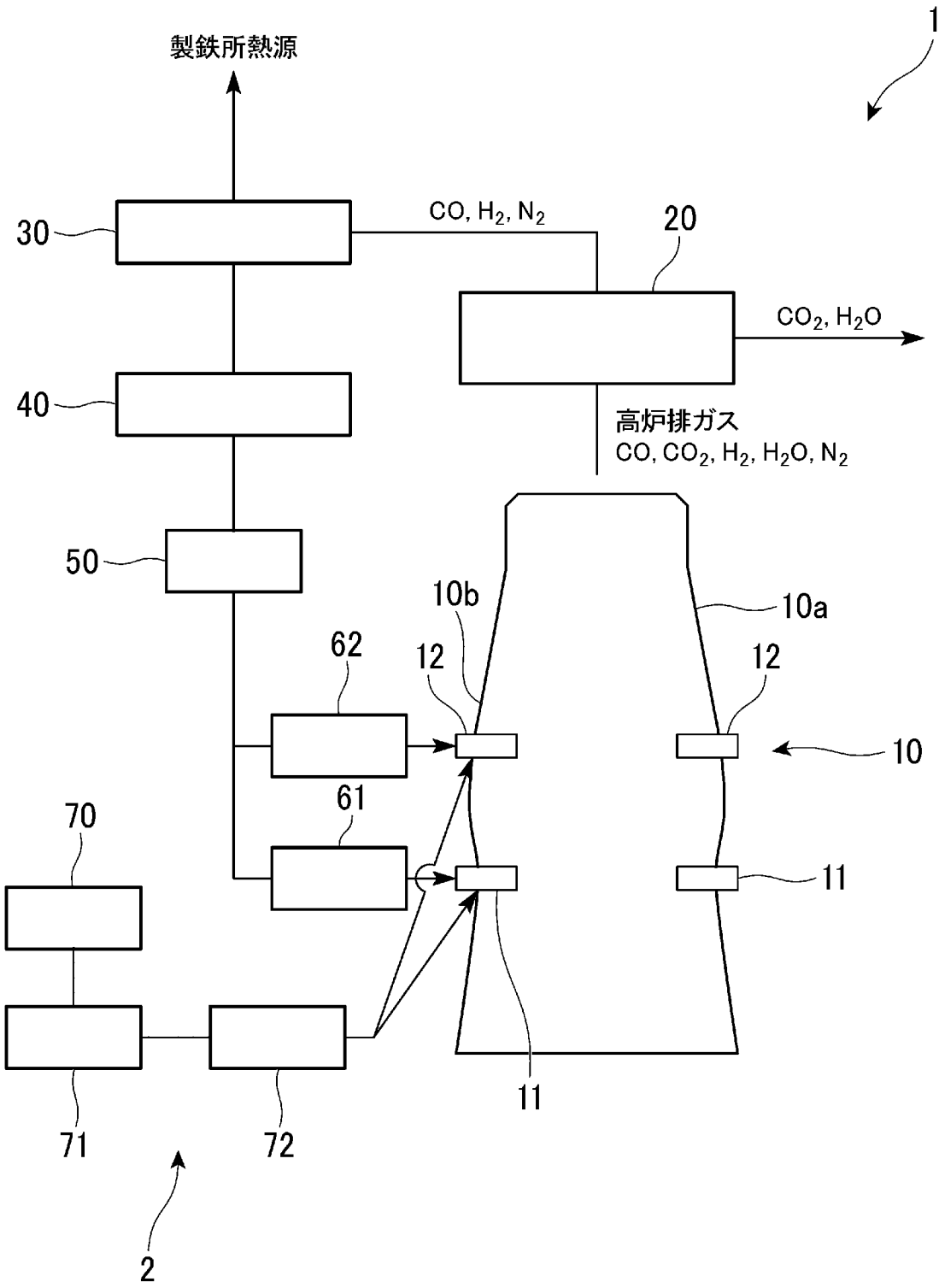
を含み、

加熱された前記水素系還元ガスを前記通常羽口及び前記シャフト部羽口のうち少なくとも一方から高炉に吹き込む際、及び加熱された前記還元ガスを前記通常羽口及び前記シャフト部羽口のうち少なくとも

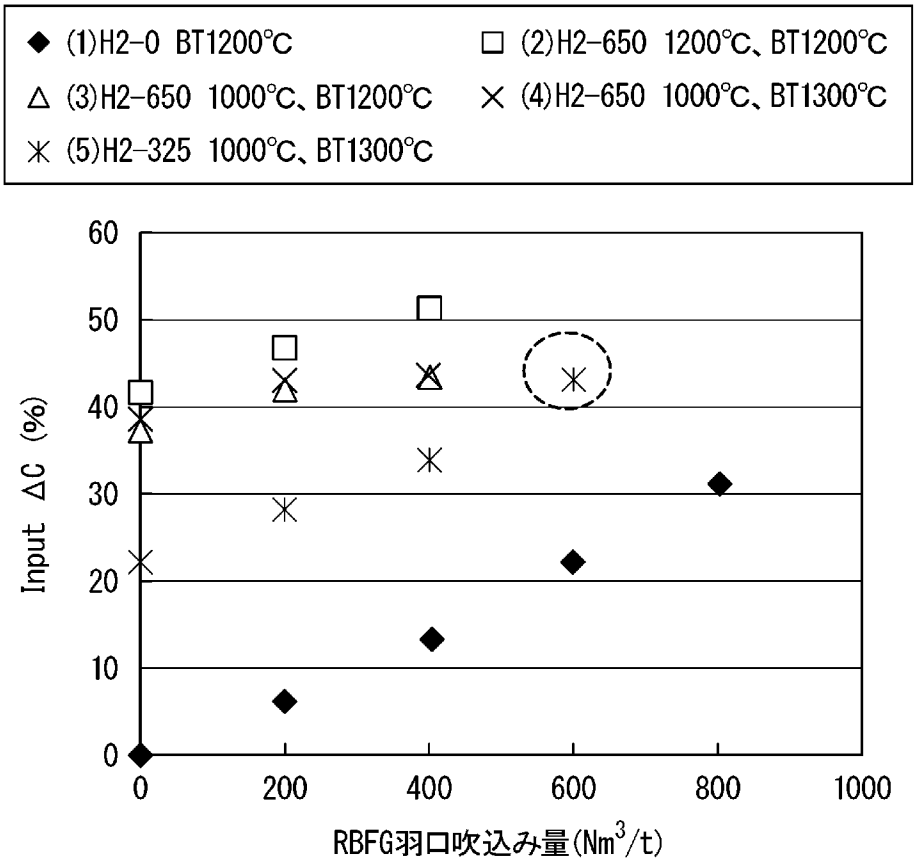
一方から高炉に吹き込む際のうち、少なくとも一方のタイミングで、羽口先燃焼温度及び炉頂排ガス温度に基づいて、前記還元ガスの吹込み量、熱風の送風量、及び前記熱風に含まれる酸素量のうち、少なくとも１種以上の操業条件を調整することを特徴とする、請求項１または２に記載の高炉の操業方法。

[請求項7] 前記還元ガスは前記炉頂排ガスから分離したＣＯガスと、水素ガスとを含むことを特徴とする、請求項１または２に記載の高炉の操業方法。

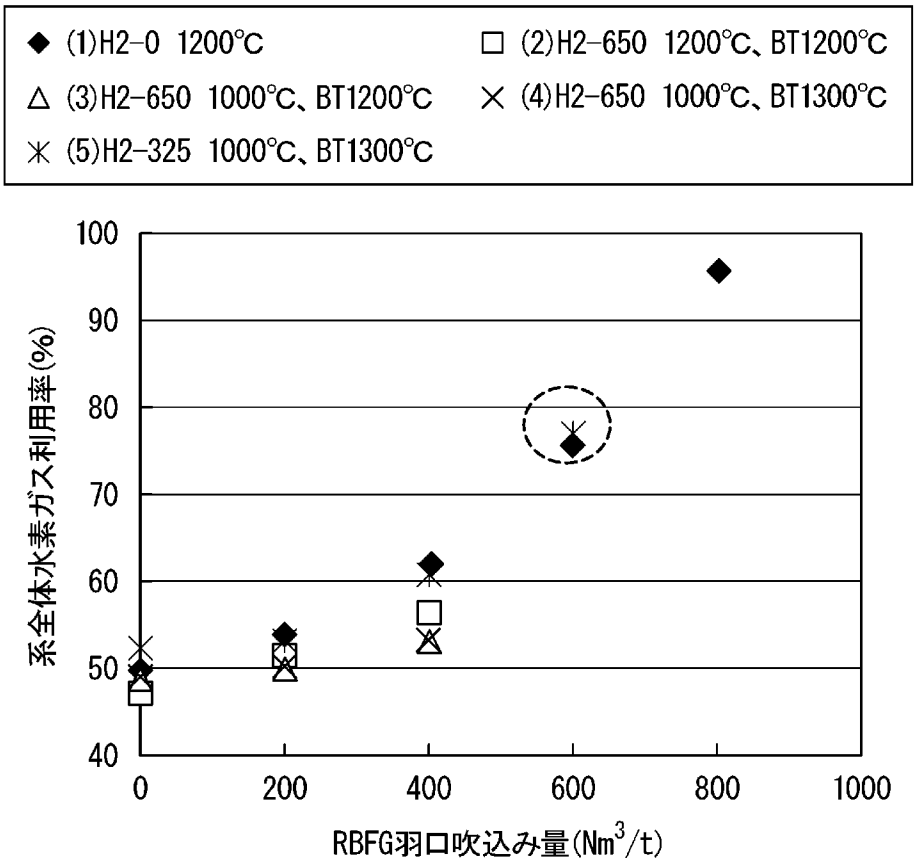
[図1]


1
製鉄所熱源
30
CO, H_2, N_2
20
CO_2, H_2O
40
高炉排ガス
CO, CO_2, H_2, H_2O, N_2
50
10b
10a
62
12
12
10
61
70
11
11
71
72
2

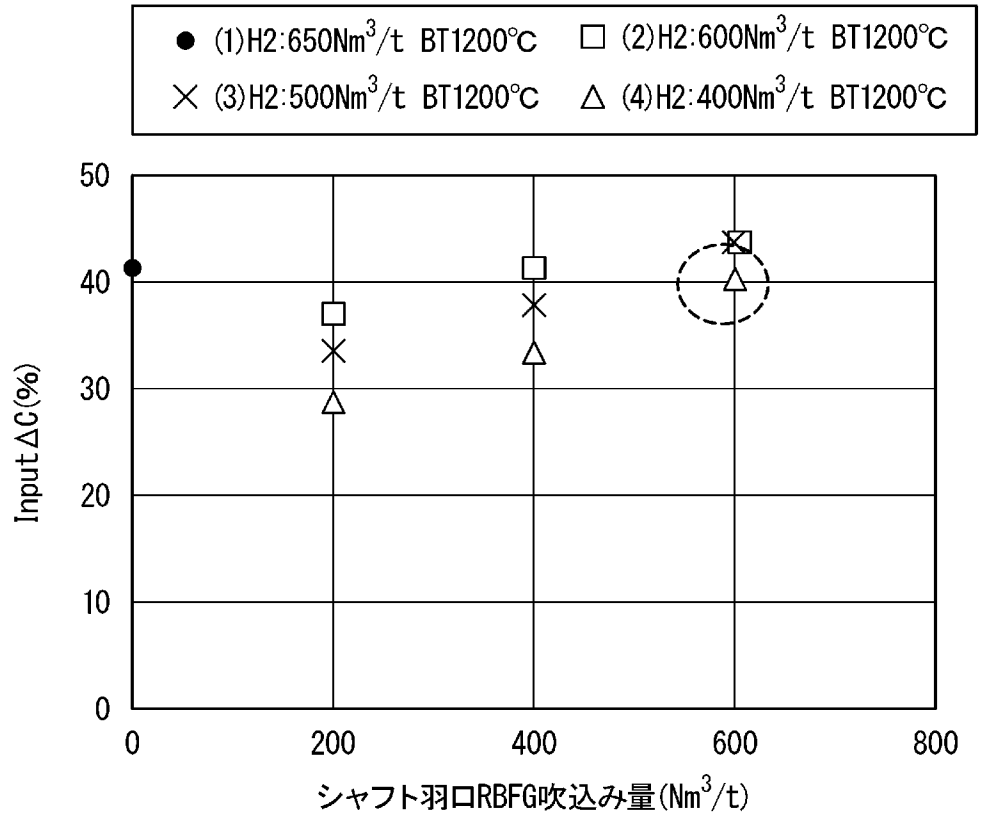
[図2]


◆ (1)H2-0 BT1200℃
□ (2)H2-650 1200℃、BT1200℃
△ (3)H2-650 1000℃、BT1200℃
× (4)H2-650 1000℃、BT1300℃
✳ (5)H2-325 1000℃、BT1300℃
Input ΔC (%)
RBFG羽口吹込み量(Nm3/t)
0
10
20
30
40
50
60
0
200
400
600
800
1000

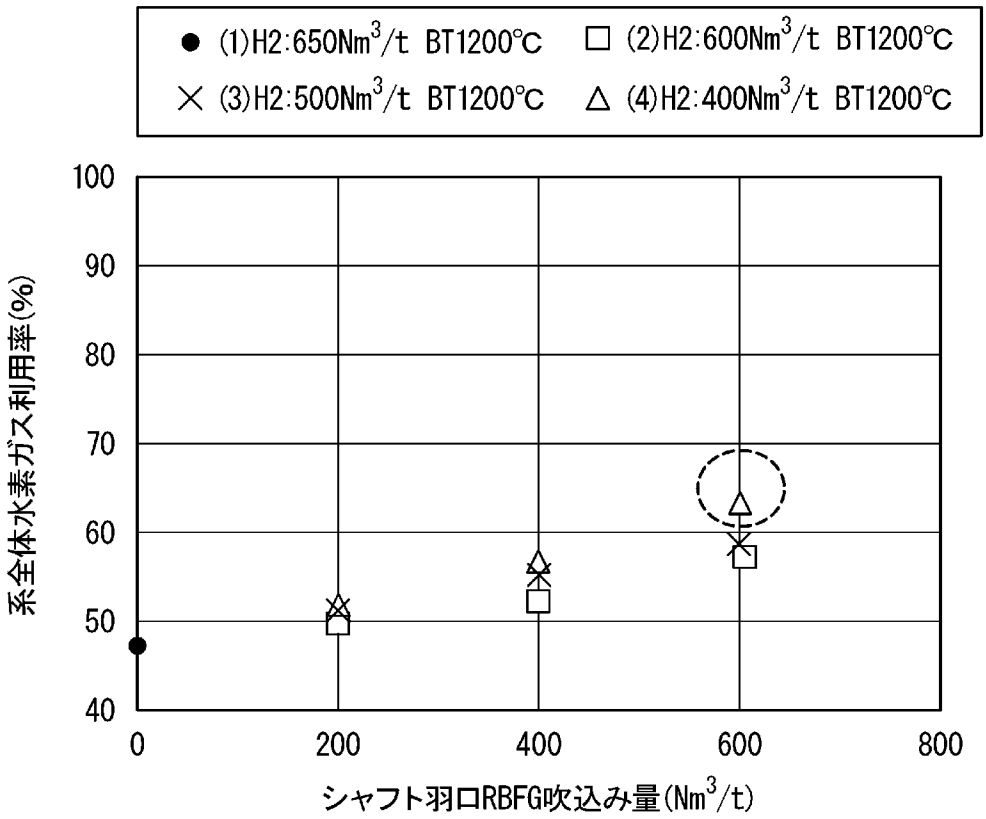
[図3]


◆ (1)H2-0 1200℃
□ (2)H2-650 1200℃、BT1200℃
△ (3)H2-650 1000℃、BT1200℃
× (4)H2-650 1000℃、BT1300℃
✳ (5)H2-325 1000℃、BT1300℃
系全体水素ガス利用率(%)
RBFG羽口吹込み量(Nm3/t)
40
50
60
70
80
90
100
0
200
400
600
800
1000

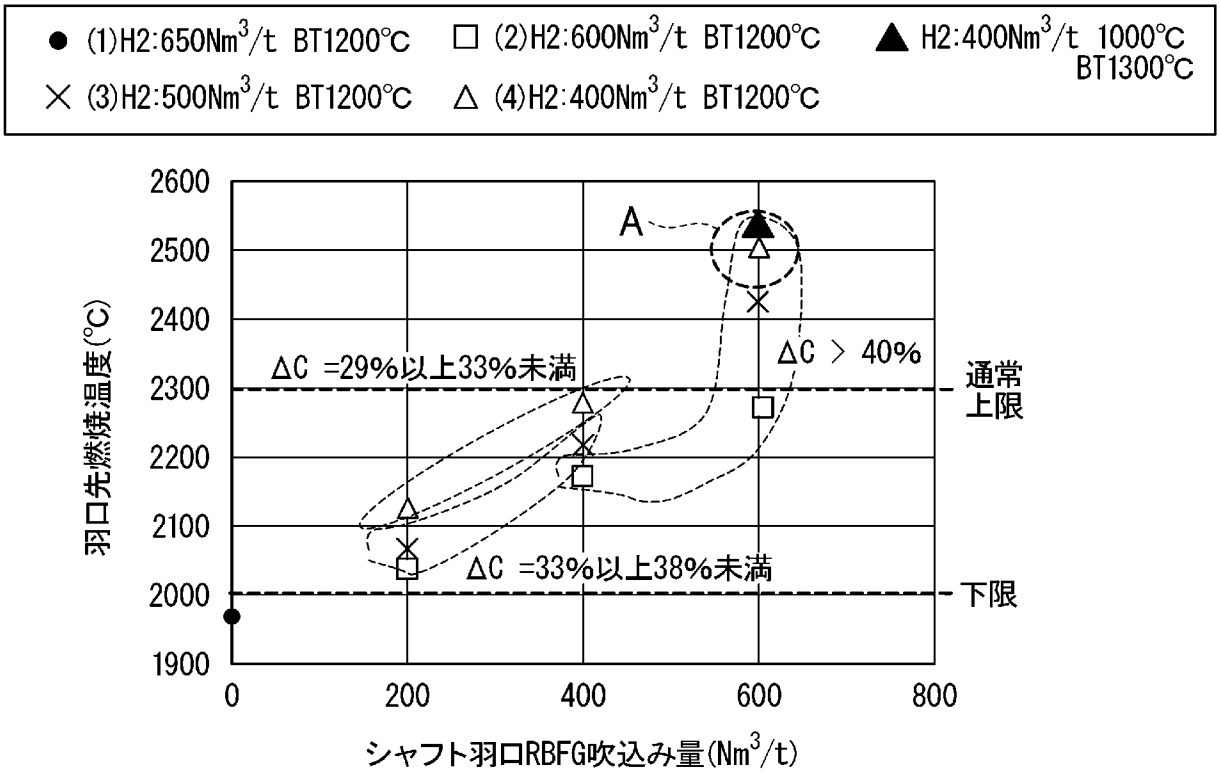
[図4]


● (1)H2:650Nm3/t BT1200℃
□ (2)H2:600Nm3/t BT1200℃
× (3)H2:500Nm3/t BT1200℃
△ (4)H2:400Nm3/t BT1200℃
Input ΔC(%)
0
10
20
30
40
50
0
200
400
600
800
シャフト羽口RBFG吹込み量(Nm3/t)

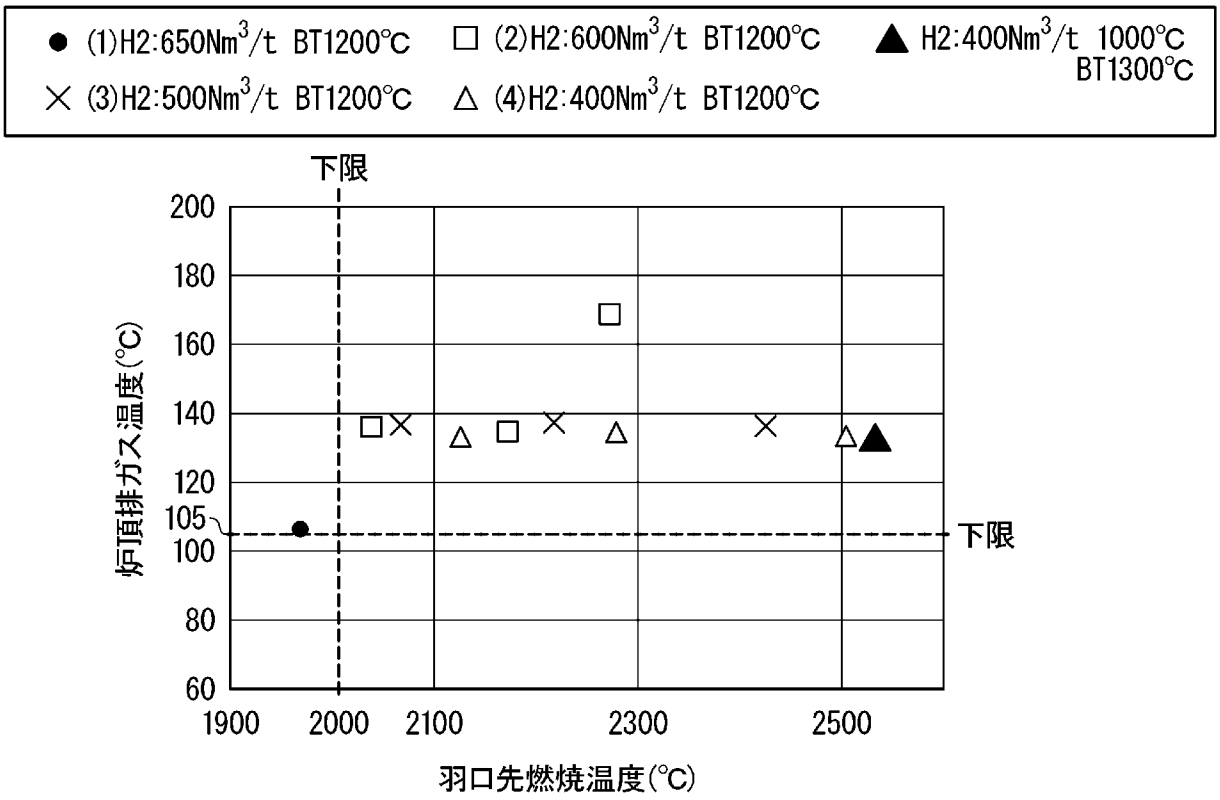
[図5]


● (1)H2:650Nm3/t BT1200℃
□ (2)H2:600Nm3/t BT1200℃
× (3)H2:500Nm3/t BT1200℃
△ (4)H2:400Nm3/t BT1200℃
系全体水素ガス利用率(%)
40
50
60
70
80
90
100
0
200
400
600
800
シャフト羽口RBFG吹込み量(Nm3/t)

[図6]


● (1)H2:650Nm3/t BT1200℃
□ (2)H2:600Nm3/t BT1200℃
▲ H2:400Nm3/t 1000℃ BT1300℃
× (3)H2:500Nm3/t BT1200℃
△ (4)H2:400Nm3/t BT1200℃
羽口先燃焼温度(℃)
2600
2500
2400
2300
2200
2100
2000
1900
A
ΔC =29%以上33%未満
ΔC > 40%
通常上限
ΔC =33%以上38%未満
下限
0
200
400
600
800
シャフト羽口RBFG吹込み量(Nm3/t)

[図7]


● (1)H2:650Nm3/t BT1200℃
□ (2)H2:600Nm3/t BT1200℃
▲ H2:400Nm3/t 1000℃ BT1300℃
× (3)H2:500Nm3/t BT1200℃
△ (4)H2:400Nm3/t BT1200℃
下限
炉頂排ガス温度(℃)
200
180
160
140
120
105
100
80
60
下限
1900
2000
2100
2300
2500
羽口先燃焼温度(℃)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2024/022266

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C21B 5/00(2006.01)i
FI: C21B5/00 321

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)

C21B5/00

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024
Registered utility model specifications of Japan 1996-2024
Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 49-79910 A (NKK CORP.) 01 August 1974 (1974-08-01) claims 1-2, p. 3, lower right column, line 1 to p. 4, upper left column, line 20, p. 4, lower left column, lines 5-7, p. 4, lower left column, line 15 to p. 4, lower right column, line 15	1-3, 7
Y		4-6
Y	WO 2021/107091 A1 (NIPPON STEEL CORPORATION) 03 June 2021 (2021-06-03) claim 13, paragraphs [0072]-[0076]	4-6
Y	JP 2009-221547 A (JFE STEEL CORPORATION) 01 October 2009 (2009-10-01) claims 1-3, paragraph [0014]	1, 3-7
Y	JP 2020-132928 A (NIPPON STEEL CORPORATION) 31 August 2020 (2020-08-31) paragraph [0051]	1, 3-7
Y	JP 2020-45508 A (NIPPON STEEL CORPORATION) 26 March 2020 (2020-03-26) paragraph [0031]	1, 3-7

☐ 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
"D" document cited by the applicant in the international application
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
16 July 2024	**30 July 2024**

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

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2024/022266

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 49-79910 A	01 August 1974	US 3884677 A claims 1-2, p. 4, line 17 to p. 5, line 9, p. 7, lines 53-56, p. 8, lines 3-41 GB 1438999 A	
WO 2021/107091 A1	03 June 2021	US 2022/0403477 A1 claim 13, paragraphs [0096]-[0100] JP 7297091 B2 EP 4067510 A1 KR 10-2022-0099573 A CN 114787391 A	
JP 2009-221547 A	01 October 2009	(Family: none)	
JP 2020-132928 A	31 August 2020	US 2022/0119899 A1 paragraph [0084] WO 2020/171008 A1 EP 3907303 A1 CN 113423845 A KR 10-2021-0118911 A	
JP 2020-45508 A	26 March 2020	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2024/022266

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

C21B 5/00(2006.01)i
FI: C21B5/00 321

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））

C21B5/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２４年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X	JP 49-79910 A（日本鋼管株式会社）01.08.1974（1974－08－01） 請求項1-2,第3頁右下欄第1行-第4頁左上欄第20行,第4頁左下欄第5行-第7行,第4頁左下欄第15行-第4頁右下欄第15行	1-3,7
Y		4-6
Y	WO 2021/107091 A1（日本製鉄株式会社）03.06.2021（2021－06－03） 請求項13,段落0072-0076	4-6
Y	JP 2009-221547 A（ＪＦＥスチール株式会社）01.10.2009（2009－10－01） 請求項1-3,段落0014	1,3-7
Y	JP 2020-132928 A（日本製鉄株式会社）31.08.2020（2020－08－31） 段落0051	1,3-7
Y	JP 2020-45508 A（日本製鉄株式会社）26.03.2020（2020－03－26） 段落0031	1,3-7

☐ 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
“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
“&” 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
16.07.2024	30.07.2024

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）

池ノ谷　秀行 4E 2357

電話番号 03-3581-1101 内線 3421

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2024/022266

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 49-79910 A	01.08.1974	US 3884677 A 請求項1-2,第4頁第17行-第5頁第9行,第7頁第53行-56行,第8頁第3行-41行 GB 1438999 A	
WO 2021/107091 A1	03.06.2021	US 2022/0403477 A1 請求項13,段落0096-0100 JP 7297091 B2 EP 4067510 A1 KR 10-2022-0099573 A CN 114787391 A	
JP 2009-221547 A	01.10.2009	（ファミリーなし）	
JP 2020-132928 A	31.08.2020	US 2022/0119899 A1 段落0084 WO 2020/171008 A1 EP 3907303 A1 CN 113423845 A KR 10-2021-0118911 A	
JP 2020-45508 A	26.03.2020	（ファミリーなし）	