

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7028363号
(P7028363)

(45)発行日 令和4年3月2日(2022.3.2)

(24)登録日 令和4年2月21日(2022.2.21)

(51)国際特許分類		F I			
C 2 1 B	5/00 (2006.01)	C 2 1 B	5/00	3 2 1	
C 2 1 B	7/00 (2006.01)	C 2 1 B	7/00	3 1 0	
F 2 7 D	17/00 (2006.01)	C 2 1 B	7/00	3 1 2	
		F 2 7 D	17/00	1 0 4 G	

請求項の数 6 (全17頁)

(21)出願番号	特願2021-511681(P2021-511681)	(73)特許権者	000001258 J F E スチール株式会社 東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号
(86)(22)出願日	令和2年11月11日(2020.11.11)	(74)代理人	100147485 弁理士 杉村 憲司
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/042144	(74)代理人	230118913 弁理士 杉村 光嗣
(87)国際公開番号	WO2021/106578	(74)代理人	100165696 弁理士 川原 敬祐
(87)国際公開日	令和3年6月3日(2021.6.3)	(74)代理人	100179589 弁理士 酒匂 健吾
審査請求日	令和3年3月1日(2021.3.1)	(72)発明者	高 橋 功一 東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号 J F E スチール株式会社内
(31)優先権主張番号	特願2019-212514(P2019-212514)	(72)発明者	野内 泰平
(32)優先日	令和1年11月25日(2019.11.25)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 高炉の操業方法および高炉附帯設備

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

高炉の操業方法であって、

前記高炉から排出される副生ガスから再生メタンガスを生成する工程と、

前記高炉の羽口から前記高炉内に送風ガスおよび還元材を吹込む工程と、を有し、

前記送風ガスとして酸素ガスを用い、かつ、前記還元材の少なくとも一部に前記再生メタンガスを用い、

溶銑 1 t を製造する際に還元材として高炉内に吹込まれる再生メタンガスの炭素換算質量である循環炭素原子の原単位が 5.5 kg / t 以上である、高炉の操業方法。

【請求項 2】

前記還元材における循環炭素原子の原単位が 6.0 kg / t 以上である、請求項 1 に記載の高炉の操業方法。

ここで、循環炭素原子は、次式により求める。

$$[\text{循環炭素原子の原単位 (kg / t)}] = [\text{還元材として高炉内に吹込まれる再生メタンガス中のメタンの質量 (kg)}] \times (12 / 16) \div [\text{溶銑製造量 (t)}]$$

【請求項 3】

前記酸素ガスの酸素濃度が 80 体積% 以上である、請求項 1 または 2 に記載の高炉の操業方法。

【請求項 4】

前記副生ガスの一部から前記再生メタンガスを生成し、前記副生ガスの余剰分を製鉄所内

に供給する、請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の高炉の操業方法。

【請求項 5】

前記再生メタンガスの余剰分を製鉄所内に供給する、請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の高炉の操業方法。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の高炉の操業方法に用いる高炉附帯設備であって、前記副生ガスから前記再生メタンガスを生成する、メタンガス生成装置と、前記再生メタンガスを前記高炉の羽口に導入するメタンガス供給部、および、前記酸素ガスを前記高炉の羽口に導入する酸素ガス供給部を有する、ガス吹込装置と、をそなえる、高炉附帯設備。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、高炉の操業方法および高炉附帯設備に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、地球環境問題を背景として、二酸化炭素（ CO_2 ）の排出量削減が強く求められている。そのため、製鉄所内に設けられた高炉の操業においても、低還元材比（低 RAR）操業を行うことが求められている。

【0003】

一般的な高炉では、羽口から送風ガスとして熱風（1200 程度に加熱した空気）を高炉内に吹込む。これにより、熱風中の酸素と、還元材となるコークスや微粉炭とが反応し、一酸化炭素（ CO ）ガスや水素（ H_2 ）ガスが生成する。これらの一酸化炭素ガスや水素ガスによって、高炉内に装入した鉄鉱石が還元される。また、この鉄鉱石の還元反応において、二酸化炭素が発生する。

20

なお、送風ガスは、羽口から高炉内に吹き込まれるガスである。送風ガスは、高炉内において微粉炭やコークスをガス化する役割も果たすものである。

【0004】

このような高炉の操業における二酸化炭素の排出量削減技術として、高炉等から排出される副生ガスに含まれる一酸化炭素や二酸化炭素を改質して、メタンやエタノールなどの炭化水素を生成し、生成した炭化水素を、再度、高炉に還元材として導入する技術が提案されている。

30

【0005】

例えば、特許文献 1 には、

「 CO_2 及び/又は CO を含む混合ガスから CO_2 及び/又は CO を分離回収する工程（A）と、該工程（A）で分離回収された CO_2 及び/又は CO に水素を添加し、 CO_2 及び/又は CO を CH_4 に変換する工程（B）と、該工程（B）を経たガスから H_2O を分離除去する工程（C）と、該工程（C）を経たガスを高炉内に吹き込む工程（D）を有することを特徴とする高炉の操業方法。」

が開示されている。

40

【0006】

また、特許文献 2 には、

「高炉ガスを燃料の一部または全部として使用する燃焼炉の排ガスから CO_2 を分離し、分離した CO_2 をメタンに改質して得られた還元ガスを高炉に吹込むことを特徴とする高炉操業方法。」

が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【文献】特開2011-225969号公報

50

特開2014-005510号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかし、特許文献1および2の技術では、還元材として高炉に吹込むメタンの量が一定以上になると、高炉下部の着熱不足や圧損上昇、出滓不良などの操業トラブルを引き起こす場合がある。

そのため、安定した操業の下、高炉からの二酸化炭素の排出量の一層の削減が可能な高炉の操業方法の開発が求められている。

【0009】

本発明は、上記の現状に鑑み開発されたものであって、安定した操業の下、高炉からの二酸化炭素の排出量の一層の削減が可能な高炉の操業方法を提供することを目的とする。

また、本発明は、上記の高炉の操業方法に用いる高炉附帯設備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】

【0010】

さて、発明者らは、上記の目的を達成すべく、鋭意検討を重ねた。

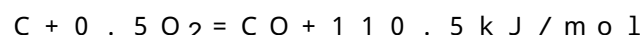
まず、発明者らは、特許文献1および2の技術において、還元材として高炉に吹込むメタンの量を一定以上とした場合に、操業トラブルが発生する原因について検討した。

その結果、以下の知見を得た。

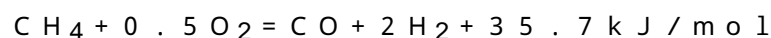
還元材として高炉に吹込むメタンの量を一定以上にすると、羽口の出口近傍に生じる燃焼領域（レースウェイ）において吹込み還元材およびコークスが燃焼して生じる火炎の温度（以下、羽口先温度ともいう）が大幅に低下する。そして、この羽口先温度の低下が、高炉下部の着熱不足や圧損上昇、出滓不良などの操業トラブルの発生原因となる。

【0011】

すなわち、羽口から高炉内に還元材として微粉炭を吹込む場合、微粉炭の主成分は炭素であるため、レースウェイでは以下のような反応が起こる。



一方、羽口から高炉内に還元材としてメタンを吹込む場合、レースウェイでは以下のような反応が起こる。



当該反応時に発生する熱量を、COおよびH₂の合計量の1モルあたりに換算すると、11.9 kJ/molとなる。

高炉の安定操業のためには、羽口先温度を2000～2400の範囲に制御する必要がある。しかし、高炉内に吹込む還元材の多くを微粉炭からメタンガスに置換すると、上記の反応熱の差により、羽口先温度が低下する。その結果、羽口先温度を上記範囲内に制御することができなくなって、種々の操業トラブルが発生する。

【0012】

そこで、発明者らは、上記の知見を基に、さらに検討を重ねた。

その結果、送風ガスとして、熱風（1200程度に加熱した空気）ではなく、酸素ガスを使用することにより、高炉内に吹込む還元材に多量のメタンを用いても、羽口先温度の低下を有効に防止されることを知見した。そして、このようなメタンを高炉から排出される副生ガスから再生し、この再生したメタン（再生メタンガス）を還元材として高炉内に再度吹込むことによって、高炉からの二酸化炭素の排出量を一層削減しつつ、安定した高炉の操業が可能になるとの知見を得た。

また、送風ガスとして、特に酸素濃度の高い酸素ガスを使用することにより、高炉から排出される副生ガスに含まれる窒素の量が大幅に低減される。その結果、当該副生ガスから一酸化炭素や二酸化炭素を分離する工程が不要となり、設備のコンパクト化の点でも極めて有利になるとの知見を得た。

【0013】

10

20

30

40

50

なお、発明者らは、送風ガスとして、酸素ガスを使用することにより、高炉内に吹込む還元材に多量のメタンを用いても、羽口先温度を2000～2400の範囲に制御することが可能である理由について、次のように考えている。

すなわち、送風ガスとして、熱風（1200程度に加熱した空気）を使用する場合、燃焼ガス中に燃焼反応に寄与しない50体積%程度の窒素が含まれるため、レースウェイにおける火炎の温度は高温となり難い。そのため、高炉内に吹込む還元材の多くを微粉炭からメタンガスに置換すると、上記した微粉炭-酸素の反応における反応熱と、メタンガス-酸素の反応における反応熱との差によって、羽口先温度が低下し、ひいては、羽口先温度が適正温度の下限である2000を下回ってしまう。

一方、送風ガスとして、酸素ガスを使用することにより、燃焼反応に寄与しない窒素ガスの混入を抑制できるので、羽口先温度を十分な温度まで昇温することが可能となる。すなわち、レースウェイにおける火炎の温度を、熱風を使用する場合と比べて高温とすることができ、羽口から還元材として多量のメタンを吹込む場合にも、羽口先温度を適正範囲である2000～2400の範囲に制御することが可能となる。

本発明は、上記の知見に基づき、さらに検討を加えて完成されたものである。

【0014】

すなわち、本発明の要旨構成は次のとおりである。

1. 高炉の操業方法であって、

前記高炉から排出される副生ガスから再生メタンガスを生成する工程と、

前記高炉の羽口から前記高炉内に送風ガスおよび還元材を吹込む工程と、を有し、

前記送風ガスとして酸素ガスを用い、かつ、前記還元材の少なくとも一部に前記再生メタンガスを用いる、高炉の操業方法。

【0015】

2. 前記還元材における循環炭素原子の原単位が60kg/t以上である、前記1に記載の高炉の操業方法。

ここで、循環炭素原子の原単位とは、溶銑1tを製造する際に還元材として高炉内に吹込まれる再生メタンガスの炭素換算質量であり、次式により求める。

[循環炭素原子の原単位(kg/t)] = [還元材として高炉内に吹込まれる再生メタンガス中のメタンの質量(kg)] × (12/16) ÷ [溶銑製造量(t)]

【0016】

3. 前記酸素ガスの酸素濃度が80体積%以上である、前記1または2に記載の高炉の操業方法。

【0017】

4. 前記副生ガスの一部から前記再生メタンガスを生成し、前記副生ガスの余剰分を製鉄所内に供給する、前記1～3のいずれかに記載の高炉の操業方法。

【0018】

5. 前記再生メタンガスの余剰分を製鉄所内に供給する、前記1～4のいずれかに記載の高炉の操業方法。

【0019】

6. 前記1～5のいずれかに記載の高炉の操業方法に用いる高炉附帯設備であって、前記副生ガスから前記再生メタンガスを生成する、メタンガス生成装置と、前記再生メタンガスを前記高炉の羽口に導入するメタンガス供給部、および、前記酸素ガスを前記高炉の羽口に導入する酸素ガス供給部を有する、ガス吹込装置と、をそなえる、高炉附帯設備。

【発明の効果】

【0020】

本発明によれば、安定した操業の下、高炉からの二酸化炭素(CO₂)の排出量の一層の削減が可能となる。また、高炉ガスから生成したメタンガスを使用することにより、コークスおよび微粉炭、すなわち、有限の化石燃料である石炭の使用量を削減することも可能となる。

10

20

30

40

50

さらに、高炉から排出される副生ガス中の窒素の量が大幅に低減されるので、当該副生ガスから一酸化炭素や二酸化炭素を分離する工程、換言すれば、巨大なP S A（圧力変動吸着法）分離装置等が不要となり、設備のコンパクト化の点でも極めて有利になる。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】本発明の一実施形態に従う高炉の操業方法に用いる、高炉および高炉附帯設備の一例を模式的に示す図である。

【図2】本発明の一実施形態に従う高炉の操業方法に用いる、ガス吹込装置の例を模式的に示す図である。

【図3】本発明の一実施形態に従う高炉の操業方法に用いる、高炉および高炉附帯設備の一例を模式的に示す図である。 10

【図4】本発明の一実施形態に従う高炉の操業方法に用いる、高炉および高炉附帯設備の一例を模式的に示す図である。

【図5】比較例で用いた、高炉および高炉附帯設備を模式的に示す図である。

【図6】比較例で用いた、高炉および高炉附帯設備を模式的に示す図である。

【図7】比較例で用いた、高炉および高炉附帯設備を模式的に示す図である。

【図8】熱風送風条件および酸素ガス送風条件について、循環炭素原子の原単位と羽口先温度との関係の一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

本発明を、以下の実施形態に基づき説明する。 20

本発明の一実施形態は、高炉の操業方法であって、

前記高炉から排出される副生ガスから再生メタンガスを生成する工程と、

前記高炉の羽口から前記高炉内に送風ガスおよび還元材を吹込む工程と、を有し、

前記送風ガスとして酸素ガスを用い、かつ、前記還元材の少なくとも一部に前記再生メタンガスを用いる、というものである。

【0023】

まず、本発明の一実施形態に従う高炉の操業方法を、図1に模式的に示す高炉および高炉附帯設備に適用した場合を例として、説明する。

図中、符号1は高炉、2は羽口、3はメタンガス生成装置、4はガス吹込装置、5は第1の脱水装置、6は第2の脱水装置、7はバーナーである。 30

なお、ここでいう高炉には、シャフト型還元炉なども含むものとする。

【0024】

[高炉の操業方法]

本発明の一実施形態に従う高炉の操業方法では、高炉の炉頂部から高炉内へ原料となる焼結鉱や塊鉱石、ペレット（以下、鉱石原料ともいう）やコークスなどが装入される（図示せず）。また、高炉下部に設置された羽口2から高炉1内へ、送風ガスと還元材とが吹込まれる。なお、羽口2から高炉1内へ吹込む還元材を、コークスと区別するため、吹込み還元材ともいう。

そして、送風ガスと還元材の反応により生じた一酸化炭素ガスや水素ガスによって、高炉1内に装入した鉱石原料が還元される。この鉱石原料の還元反応において、二酸化炭素が発生する。そして、この二酸化炭素は、鉱石原料と反応しなかった一酸化炭素や水素などととも、副生ガスとして、高炉の炉頂部から排出される。高炉の炉頂部は2.5気圧程度の高圧条件となっている。そのため、この高炉の炉頂部から排出される副生ガス（以下、高炉ガスともいう）が常圧に戻る際の膨張冷却により、水蒸気が凝縮する。そして、第1の脱水装置5において、その凝縮水が除去される。 40

【0025】

ついで、高炉ガスの少なくとも一部を、メタンガス生成装置3に導入する。そして、メタンガス生成装置3において、高炉ガスに含まれる一酸化炭素および二酸化炭素と、水素ガスを反応させて、メタン（ CH_4 ）ガスを生成する。ここで、高炉ガスを反応させて得 50

たメタンガスを、再生メタンガスと称する。

なお、再生メタンガスの生成に使用する水素は、外部から供給すればよいが、二酸化炭素を極力発生しない製法が好ましい。例えば、水の電気分解などを用いればよい。また、水素ガスは、水素濃度：100体積%のガスでなくてもよいが、再生メタンガスのメタン濃度を高濃度とするため、水素濃度が高いガス、具体的には、水素濃度が80体積%以上の水素ガスを用いることが好ましい。水素濃度は、より好ましくは90体積%以上、さらに好ましくは95体積%以上である。水素濃度は100体積%であってもよい。水素以外の残部ガスとしては、例えば、COやCO₂、H₂S、CH₄、N₂などが挙げられる。

【0026】

ついで、再生メタンガスを常温まで冷却することにより、再生メタンガス中の水蒸気が凝縮される。そして、第2の脱水装置6において、この凝縮水が除去される。

10

【0027】

ついで、再生メタンガスを、ガス吹込装置4に導入する。ガス吹込装置4は、第2の脱水装置6を介してメタンガス生成装置3と接続される。また、ガス吹込装置4は、吹込み還元材となる再生メタンガスを高炉1の羽口2に導入するメタンガス供給部、および、送風ガスとなる酸素ガスを高炉の羽口に導入する酸素ガス供給部を有する。

【0028】

例えば、図2(a)に示すように、ガス吹込装置4は、中心管4-1および外管4-3を有する同軸多重管から構成される。そして、メタンガス供給部(路)となる中心管内路へメタンガス(再生メタンガス、および、適宜、後述する外部メタンガス)が導入され、酸素ガス供給部(路)となる中心管4-1と外管4-3との間の環状管路へ酸素ガスが導入される。

20

また、その他の吹込み還元材、例えば、微粉炭や廃プラスチック、水素ガスや一酸化炭素ガス等の還元ガスを一緒に使用してもよい。なお、その他の吹込み還元材の高炉内への吹込み量は、合計で150kg/t以下とすることが好適である。ここで、「kg/t」という単位は、溶銑1tを製造する際に高炉内へ吹込むその他の吹込み還元材の量である。その他の吹込み還元材を使用する場合、メタンガス供給部に、その他の吹込み還元材も一緒に導入してもよい。また、その他の吹込み還元材として微粉炭や廃プラスチックを用いる場合には、メタンガス供給部とは別に、微粉炭や廃プラスチックを流通させる別の還元材供給部(路)を設けることが好ましい。この場合、ガス吹込装置3は、例えば、図2(b)に示すように、中心管4-1および外管4-3に加え、中心管4-1と外管4-3の間に内管4-2を設けた同軸多重管により構成される。そして、別の還元材供給部となる中心管内路から微粉炭や廃プラスチックなどのその他の吹込み還元材が導入される。また、メタンガス供給部となる中心管4-1と外管4-3との間の環状管路からメタンガスが導入され、酸素ガス供給部となる内管4-2と外管4-3との間の環状管路から酸素が導入される。

30

なお、送風ガスに常温の酸素ガスを用いると着火性が悪くなるので、ガス吹込装置4の酸素ガス供給部を構成する外管の吐出部を多孔構造とし、酸素ガスと吹込み還元材の混合を促進することが好ましい。

【0029】

40

また、羽口から高炉内に吹込むメタンガス(以下、吹込みメタンガスともいう)の全量を再生メタンガスとする必要はなく、製鉄所の操業に合わせて、別のラインから供給されるメタンガス(外部メタンガスともいう)を使用してもよい。この場合、ガス吹込装置4のメタンガス供給部に外部メタンガスの供給ラインを接続してもよいし、上記した別の還元材供給部に外部メタンガスの供給ラインを接続してもよい。また、メタンガス生成装置3とガス吹込装置4の間(好ましくは、第2の脱水装置6とガス吹込装置4の間)の再生メタンガス流通路に、外部メタンガスの供給ラインを接続してもよい。

なお、外部メタンガスとしては、例えば、化石燃料由来のメタンガスなどが挙げられる。

【0030】

ついで、図2(a)および(b)に示すように、ガス吹込装置4から導入された吹込みメ

50

タンガス等の吹込み還元材および酸素ガスが羽口 2 内で混合され、この混合ガスが、羽口 2 から高炉 1 内に吹込まれた直後に、急速着火・急速燃焼する。そして、羽口 2 の先の高炉内に、吹込みメタンガス等の吹込み還元材やコークスと酸素ガスとが反応する領域であるレースウェイ 8 が形成される。

【 0 0 3 1 】

なお、送風ガス中の酸素濃度が増加すると、炉内ガス量が少なくなり、高炉上部における装入物の昇温が不十分となる場合がある。この場合には、図 1 に示すように、第 1 の脱水装置 5 の下流の高炉ガスの一部を、800 ~ 1000 程度となるようにバーナー 7 により部分燃焼させた後、高炉シャフト部に吹込む予熱ガス吹込みを行うことが好ましい。

【 0 0 3 2 】

そして、本発明の一実施形態に係る高炉の操業方法では、上述したように、送風ガスとして、熱風（1200 程度に加熱した空気）ではなく、酸素ガスを使用することが重要となる。

すなわち、送風ガスとして、熱風（1200 程度に加熱した空気）を使用する場合、燃焼ガス中に燃焼反応に寄与しない 50 体積 % 程度の窒素が含まれるため、レースウェイにおける火炎の温度は高温となり難い。そのため、高炉内に吹込む還元材の多くを微粉炭からメタンガスに置換すると、上記した微粉炭 - 酸素の反応における反応熱と、メタンガス - 酸素の反応における反応熱との差によって、羽口先温度が低下して、羽口先温度が適正温度の下限である 2000 を下回ってしまう。その結果、高炉下部の着熱不足や圧損上昇、出滓不良などの操業トラブルを招く。また、高炉ガスに窒素が多量に含まれるようになるので、高炉ガスからメタンガスを生成する工程の前工程で、窒素と、一酸化炭素および二酸化炭素とを分離する工程が必要となる。

一方、送風ガスとして、酸素ガスを使用することにより、燃焼反応に寄与しない窒素ガスの混入を抑制できるので、羽口先温度を十分な温度まで昇温することが可能となる。すなわち、レースウェイにおける火炎の温度を、熱風を使用する場合と比べて高温とすることができる。そのため、羽口から還元材として多量のメタンを吹込む場合にも、羽口先温度を適正範囲である 2000 ~ 2400 の範囲に制御することが可能となる。

以上のことから、本発明の一実施形態に係る高炉の操業方法では、送風ガスとして、酸素ガスを使用することが重要となる。

【 0 0 3 3 】

なお、図 8 に、送風ガスとして熱風（1200 程度に加熱した空気）を用いた条件（以下、熱風送風条件ともいう）と、送風ガスとして酸素ガス（酸素濃度：100%）を用いた条件（以下、酸素ガス送風条件ともいう）について、後述する還元材における循環炭素原子の原単位（以下、単に循環炭素原子の原単位ともいう）と羽口先温度との関係の一例を示す。両方の条件とも、吹込み還元材には、全量、再生メタンガス（メタン濃度：99.5%）を使用している。

図 8 に示したように、熱風送風条件では、循環炭素原子の原単位が 52 kg / t 以上（すなわち、再生メタンの吹き込み量が 97 Nm³ / t 以上）になると、羽口先温度が適正温度の下限である 2000 を下回ってしまうことがわかる。このように、一般的に用いられている熱風送風条件では、循環炭素原子の原単位を、55 kg / t 以上、特に、60 kg / t 以上にすると、羽口先温度の低下を招き、安定した操業を行うことができない。一方、酸素ガス送風条件では、循環炭素原子の原単位を 55 kg / t 以上、さらには、60 kg / t 以上としても、羽口先温度を 2000 以上に保つことが可能であることがわかる。

なお、図 8 の酸素ガス送風条件では、循環炭素原子の原単位が 55 kg / t ~ 80 kg / t の範囲で羽口先温度が適正温度の上限である 2400 を超えている。これは、吹込み還元材に、全量、再生メタンを使用しているためであり、吹込み還元材の一部に外部メタンガスを使用する場合には、循環炭素原子の原単位が 55 kg / t ~ 80 kg / t の範囲においても羽口先温度を 2000 ~ 2400 の範囲に制御することが可能である。また、吹込み還元材に、全量、再生メタンを使用する場合にも、酸素ガスの酸素濃度を調整

10

20

30

40

50

することによって、羽口先温度を2000 ~ 2400 の範囲に制御することが可能である。

【0034】

また、酸素ガスにおける酸素濃度は、80体積%以上とすることが好ましい。すなわち、酸素ガスにおける酸素濃度が低いと、高炉内への導入するガス量、ひいては、高炉の圧力損失が増大して、生産性が低下するおそれがある。また、上記のガス循環を繰り返す間に、再生メタンガス中のメタンガスの濃度が相対的に低下する。そのため、酸素ガスにおける酸素濃度は80体積%以上とすることが好ましい。酸素濃度は、より好ましくは90体積%以上、さらに好ましくは95体積%以上である。特に、酸素濃度が90体積%以上であれば、通常の高炉の操業期間を超えて操業する場合にも、外部メタンガスの供給などなしに、再生メタンガス中のメタンガス濃度を高濃度(90体積%程度)に保つことができるので、非常に有利である。酸素濃度は100体積%であってもよい。

10

なお、酸素ガス中の酸素以外の残部ガスとしては、例えば、窒素や二酸化炭素、アルゴン等が含まれていてもよい。

【0035】

また、再生メタンガス、または、再生メタンガスおよび外部メタンガスにより構成される吹込みメタンガスのメタン濃度は80体積%以上とすることが好ましい。

すなわち、吹込みメタンガス中のメタン濃度が低いと、高炉内への吹込むガス量、ひいては、高炉の圧力損失が増大して、生産性が低下するおそれがある。また、上記したガス循環を繰り返す間に、再生メタンガス中のメタン濃度が相対的に低下する。そのため、吹込みメタンガスのメタン濃度は、80体積%以上とすることが好ましい。吹込みメタンガスのメタン濃度は、より好ましくは90体積%以上、さらに好ましくは95体積%以上である。吹込みメタンガスのメタン濃度は100体積%であってもよい。

20

同様の理由から、再生メタンガスおよび外部メタンガスのメタン濃度もそれぞれ、80体積%以上とすることが好ましい。再生メタンガスおよび外部メタンガスのメタン濃度はそれぞれ、より好ましくは90体積%以上、さらに好ましくは95体積%以上である。再生メタンガスおよび外部メタンガスのメタン濃度はそれぞれ100体積%であってもよい。なお、吹込みメタンガス、再生メタンガスおよび外部メタンガス中のメタン以外の残部ガスとしては、例えば、一酸化炭素、二酸化炭素、水素および炭化水素、ならびに、窒素などの不純物ガスが含まれていてもよい。

30

また、再生メタンガスのメタン濃度が低下した場合には、例えば、吹込みメタンガスにおける再生メタンガスの割合を低下させる一方、メタン濃度の高い外部メタンガスの割合を増加させることによって、吹込みメタンガス中のメタン濃度を高く保つことが可能である。

【0036】

また、本発明の一実施形態に係る高炉の操業方法では、還元材における循環炭素原子の原単位を55kg/t以上、さらには60kg/t以上とすることが好ましい。

ここで、循環炭素原子の原単位とは、溶銑1tを製造する際に還元材として高炉内に吹込まれる再生メタンガスの炭素換算質量であり、次式により求める。

[循環炭素原子の原単位(kg/t)] = [還元材として高炉内に吹込まれる再生メタンガス中のメタンの質量(kg)] × (12/16) ÷ [溶銑製造量(t)]

40

【0037】

高炉の安定操業のためには、通常、羽口先温度を2000 ~ 2400 の範囲に制御する必要がある。そのため、送風ガスとして、熱風(1200程度に加熱した空気)を使用する場合には、羽口先温度を上記の範囲に保持する観点から、メタンガスを、炭素換算質量で52kg/t程度までしか高炉内に吹込むことができない。すなわち、高炉内に吹込むメタンガスの全量を、再生メタンガスとしても、還元材における循環炭素原子の原単位は、52kg/t程度にしかならない。

【0038】

一方、本発明の一実施形態に係る高炉の操業方法では、メタンガスの吹込み量を大幅に増加させても羽口先温度を2000 ~ 2400 の範囲に制御することができる。そのた

50

め、還元材における循環炭素原子の原単位を55kg/t以上、さらには60kg/t以上に増加させることができる。これによって、高炉ガスに含まれる一酸化炭素や二酸化炭素に由来する再生メタンガスの使用量が増加し、高炉からの二酸化炭素の排出量が一層削減される。還元材における循環炭素原子の原単位は、80kg/t以上、さらには、90kg/t以上とすることがより好適である。還元材における循環炭素原子の原単位の上限は、特に限定されるものではないが、110kg/t以下とすることが好ましい。

なお、還元材における循環炭素原子の原単位は、吹込み還元材における再生メタンガスの羽口への吹き込み量を調整することにより、制御することができる。

特に、吹込みメタンガスにおける再生メタンガスの割合を80体積%以上、好ましくは90体積%以上とすることにより、高い二酸化炭素の排出量削減効果が得られる。

10

【0039】

また、図3に示すように、高炉ガスの一部から再生メタンガスを生成し、高炉ガスの余剰分を製鉄所内に供給してもよい。さらに、図4に示すように、再生メタンガスに余剰分がある場合には、その余剰分を製鉄所内に供給してもよい。

【0040】

なお、酸素ガスおよび還元材の吹込み量やその他の操業条件は、特に限定されず、高炉の容量などに応じ、適宜決定すればよい。

【0041】

[高炉附帯設備]

本発明の一実施形態に従う高炉附帯設備は、上記の高炉の操業方法に用いる高炉附帯設備であって、

20

前記副生ガスから前記再生メタンガスを生成する、メタンガス生成装置と、前記再生メタンガスを前記高炉の羽口に導入するメタンガス供給部、および、前記酸素ガスを前記高炉の羽口に導入する酸素ガス供給部を有する、ガス吹込装置と、をそなえる、高炉附帯設備である。

【0042】

ここで、メタンガス生成装置は、例えば、高炉ガス取入れ部と、水素ガス取入れ部と、反応部を有する。反応部では、高炉ガス取入れ部から取り入れた高炉ガスと、水素ガス取入れ部から取り入れた水素ガスとを反応させて、再生メタンガスを生成する。なお、メタンガスの生成反応では発熱が起こるので、反応部は冷却機構をそなえることが好ましい。

30

【0043】

また、ガス吹込装置は、上記したように、例えば、図2(a)に示すように、中心管4-1および外管4-3を有する同軸多重管から構成される。そして、メタンガス供給部(路)となる中心管内路へメタンガス(再生メタンガス、および、適宜、後述する外部メタンガス)が導入され、酸素ガス供給部(路)となる中心管4-1と外管4-3との間の環状管路へ酸素ガスが導入される。

また、その他の吹込み還元材、例えば、微粉炭や廃プラスチック、水素ガスや一酸化炭素ガス等の還元ガスを一緒に使用してもよい。

その他の吹込み還元材を使用する場合、メタンガス供給部に、その他の吹込み還元材も一緒に導入してもよい。また、その他の吹込み還元材として微粉炭や廃プラスチックを用いる場合には、メタンガス供給部とは別に、微粉炭や廃プラスチックを流通させる別の還元材供給部(路)を設けることが好ましい。この場合、ガス吹込装置は、例えば、図2(b)に示すように、中心管4-1および外管4-3に加え、中心管4-1と外管4-3の間に内管4-2を設けた同軸多重管により構成される。そして、別の還元材供給部となる中心管内路から微粉炭や廃プラスチックなどのその他の吹込み還元材が導入される。また、メタンガス供給部となる中心管4-1と外管4-3との間の環状管路からメタンガスが導入され、酸素ガス供給部となる内管4-2と外管4-3との間の環状管路から酸素が導入される。

40

【実施例】

【0044】

50

図 1、図 3 ~ 7 に模式的に示した高炉および高炉附帯設備を用いて、表 1 に示す条件で高炉操業を行い、操業中の羽口先温度および高炉からの二酸化炭素の排出量を評価した。評価結果を表 1 に併記する。

なお、図 5 ~ 7 中、符号 9 は熱風炉、10 はガス分離装置、11 は熱風炉排ガス用脱水装置である。

【0045】

ここで、発明例 1 では、図 1 に模式的に示した高炉および高炉附帯設備を用い、高炉ガスの一部から再生メタンガスを生成し、高炉ガスの余剰分を製鉄所内に供給した。また、吹込み還元材には、全量、再生メタンガスを使用し、再生メタンガスの余剰分を、製鉄所内に供給した。

10

発明例 2 では、図 3 に模式的に示した高炉および高炉附帯設備を用い、高炉ガスの一部から再生メタンガスを生成し、高炉ガスの余剰分を製鉄所内に供給した。また、吹込み還元材には、全量、再生メタンガスを使用し、再生メタンガスの余剰分が発生しないように、再生メタンガスの生成量を調整した。

発明例 3 では、図 4 に模式的に示した高炉および高炉附帯設備を用い、高炉ガスの全量から再生メタンガスを生成した。また、吹込み還元材には、全量、再生メタンガスを使用し、再生メタンガスの余剰分を、製鉄所内に供給した。

発明例 4 および 5 では、図 3 に模式的に示した高炉および高炉附帯設備を用い、高炉ガスの一部から再生メタンガスを生成し、高炉ガスの余剰分を製鉄所内に供給した。また、吹込み還元材には、再生メタンガスに加え、一部、化石燃料由来の外部メタンガスを使用した。

20

【0046】

一方、比較例 1 では、図 5 に模式的に示した高炉および高炉附帯設備を用いた。すなわち、比較例 1 は、送風ガスとして、熱風（1200 程度に加熱した空気（酸素濃度：21 ~ 25 体積%程度））を、吹込み還元材として微粉炭をそれぞれ使用した、一般的な高炉操業方法である。なお、高炉ガスからの再生メタンガスの生成は行わなかった。

比較例 2 では、図 6 に模式的に示した高炉および高炉附帯設備を用いた。ここでは、送風ガスとして、熱風（1200 程度に加熱した空気（酸素濃度：21 ~ 25 体積%程度））を、吹込み還元材として再生メタンガスをそれぞれ使用した。また、再生メタンガスの生成前に、高炉ガスから一酸化炭素および二酸化炭素を分離し、分離した一酸化炭素および二酸化炭素から、再生メタンガスを生成した。

30

比較例 3 では、図 7 に模式的に示した高炉および高炉附帯設備を用いた。ここでは、送風ガスとして、熱風（1200 程度に加熱した空気（酸素濃度：21 ~ 25 体積%程度））を、吹込み還元材として再生メタンガスをそれぞれ使用した。また、再生メタンガスの生成では、高炉ガスではなく、熱風炉の副生ガス（以下、熱風炉排ガスともいう）を使用した。そして、熱風炉排ガスから二酸化炭素を分離し、分離した二酸化炭素から、再生メタンガスを生成した。

比較例 4 では、図 1 に模式的に示した高炉および高炉附帯設備を用い、高炉ガスの一部から再生メタンガスを生成し、高炉ガスの余剰分を製鉄所内に供給した。また、吹込み還元材には、再生メタンガスに加え、一部、化石燃料由来の外部メタンガスを使用した。

40

比較例 5 では、比較例 2 と同様、図 6 に模式的に示した高炉および高炉附帯設備を用いた。なお、比較例 5 は、吹込みメタンガス比を増加させたこと以外は、比較例 2 と同じ条件である。

【0047】

なお、比較の観点から、高炉の諸元は可能な限り統一した。すなわち、シャフト効率は 94%、ヒートロスは 150000 kcal/t となるようにした。

なお、「kcal/t」という単位は、溶銹 1 t を製造する際に発生するヒートロス量（kcal）を意味するものである。同様に、コークス比などで使用する「kg/t」という単位は、溶銹 1 t を製造する際に使用されるコークスの量（kg）などを意味するものである。また、吹込みメタン比などに使用する「Nm³/t」という単位も、溶銹 1 t を

50

製造する際に高炉内に吹込まれる吹込みメタンガス中のメタン量 (Nm³) などを意味するものである (なお、吹込みメタン比は、再生メタン比および外部メタン比の和であるが、再生メタンガスには、メタン以外の微量の残部ガスが含まれている。また、表 1 中に表示している再生メタン比および外部メタン比の値は、いずれもメタン以外の微量の残部ガスを除いたメタン量であり、小数点以下第 1 位を四捨五入した値である。そのため、表 1 中の吹込みメタン比と、再生メタン比および外部メタン比の和が一致しない場合がある。

)。

また、表 1 中の「高炉 Input C」は、溶銑 1 t を製造する際に使用する外部由来の (具体的には、コークス、微粉炭および外部メタンガスに含まれる) 炭素原子の質量 (kg) を意味するものである。

【 0 0 4 8 】

10

20

30

40

50

【表 1】

表 1

		発明例 1	発明例 2	発明例 3	発明例 4	発明例 5	
高炉諸元	シャフト効率	-	0.94	0.94	0.94	0.94	
	ヒートロス	kcal/t	150000	150000	150000	150000	
	コークス比	kg/t	338	338	338	338	
	還元材 (吹込み還元材)	微粉炭比	kg/t	0	0	0	0
		吹込みメタン比	Nm ³ /t	200	200	200	200
		再生メタン比	Nm ³ /t	200	200	200	103
		外部メタン比	Nm ³ /t	0	0	0	98
	送風ガス	供給量	Nm ³ /t	321	321	321	321
		供給温度	°C	25	25	25	25
		種類	-	酸素ガス	酸素ガス	酸素ガス	酸素ガス
酸素濃度		体積%	100	100	100	100	
高炉ガス発生量	Nm ³ /t	1034	1034	1034	1034		
ガス分離工程	分離工程の有無	-	なし	なし	なし	なし	
	分離前のガス種	-	-	-	-	-	
	分離前のガス量	Nm ³ /t	-	-	-	-	
	分離後のガス種	-	-	-	-	-	
	分離後のガス量	Nm ³ /t	-	-	-	-	
メタンガス 生成工程	原料ガス種	-	高炉ガス	高炉ガス	高炉ガス	高炉ガス	
	原料ガス量	Nm ³ /t	527	264	1034	135	
	水素ガス供給量	Nm ³ /t	1301	651	2554	334	
	再生メタンガスの生成量	Nm ³ /t	402	201	788	103	
	再生メタンガスのメタン濃度	体積%	99.6	99.6	99.6	99.6	
	吹込みメタンガス中の再生メタンガス量	Nm ³ /t	201	201	201	103	
ガス分配	再生メタンガスの余剰量 (製鉄所内供給量)	Nm ³ /t	201	0	587	0	
	高炉ガスの余剰量 (製鉄所内供給量)	Nm ³ /t	507	770	0	899	
Cバランス	循環炭素原子の原単位	kg/t	107	107	107	55	
	高炉InputC	kg/t	290	290	290	343	
評価結果	高炉から外部へ排出されるCO ₂ 量	kg/t	1064	1064	1064	1256	
	羽口先温度	°C	2046	2046	2046	2046	

10

20

30

40

50

表 1 (続き)

	比較例 1	比較例 2	比較例 3	比較例 4	比較例 5
シャフト効率	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
ヒートロス	150000	150000	150000	150000	150000
コークス比	331	410	410	338	406
還元材 (吹込み還元材)	微粉末比	0	0	0	0
	吹込みメタン比	0	97	97	200
	再生メタン比	0	97	97	75
	外部メタン比	0	0	0	126
送風ガス	供給量	1006	1053	1053	321
	供給温度	1200	1200	1200	25
	種類	熱風	熱風	熱風	酸素ガス
高炉ガス発生量	体積%	25	25	25	100
	酸素濃度	1517	1587	1587	1034
ガス分離工程	高炉ガス発生量	1517	1587	1587	1034
	分離工程の有無	なし	あり	あり	なし
	分離前のガス種	-	高炉ガス	熱風炉排ガス	-
	分離前のガス量	Nm ³ /t	232	704	-
	分離後のガス種	-	CO、CO ₂	CO ₂	-
	分離後のガス量	Nm ³ /t	97	179	-
	原料ガス種	-	CO、CO ₂	CO ₂	高炉ガス
メタンガス 生成工程	原料ガス量	Nm ³ /t	97	179	98
	水素ガス供給量	Nm ³ /t	342	715	243
	再生メタンガスの生成量	Nm ³ /t	97	179	75
	再生メタンガスのメタン濃度	体積%	100.0	100.0	99.6
ガス分配	吹込みメタンガス中の再生メタンガス量	Nm ³ /t	97	97	75
	再生メタンガスの余剰量 (製鉄所内供給量)	Nm ³ /t	0	81	0
Cバランス	高炉ガスの余剰量 (製鉄所内供給量)	Nm ³ /t	960	1192	935
	循環炭素原子の原単位	kg/t	0	52	40
評価結果	高炉InputC	kg/t	420	353	358
	高炉から外部へ排出されるCO ₂ 量	kg/t	1539	1293	1311
	羽口先温度	°C	2179	2000	2046

【 0 0 4 9 】

表 1 に示すように、発明例ではいずれも、羽口先温度を 2000 ~ 2400 の範囲に制御することで安定した高炉の操業を行いながら、高炉から外部へ排出される二酸化炭素量を削減することができた。特に、発明例 1 ~ 3 では、高炉から外部へ排出される二酸化炭素量を大幅に削減することができた。

一方、比較例 1 ~ 4 では、十分な二酸化炭素量の削減効果が得られなかった。また、比較例 5 では、吹込みメタンガス量の増加により、羽口先温度が 2000 未満になったため、安定した高炉の操業を行うことができなかった。

【 符号の説明 】

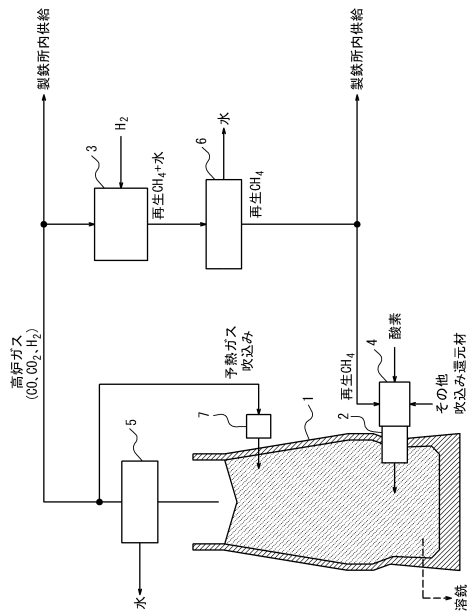
【 0 0 5 0 】

- 1 : 高炉
- 2 : 羽口
- 3 : メタンガス生成装置
- 4 : ガス吹込装置
- 4 - 1 : 中心管
- 4 - 2 : 内管
- 4 - 3 : 外管
- 5 : 第 1 の脱水装置
- 6 : 第 2 の脱水装置
- 7 : バーナー
- 8 : レースウェイ
- 9 : 熱風炉
- 10 : ガス分離装置
- 11 : 熱風炉排ガス用脱水装置

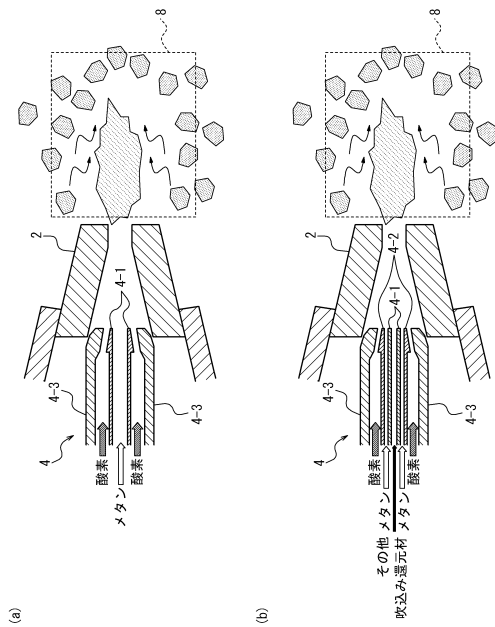
10

【 図 面 】

【 図 1 】



【 図 2 】



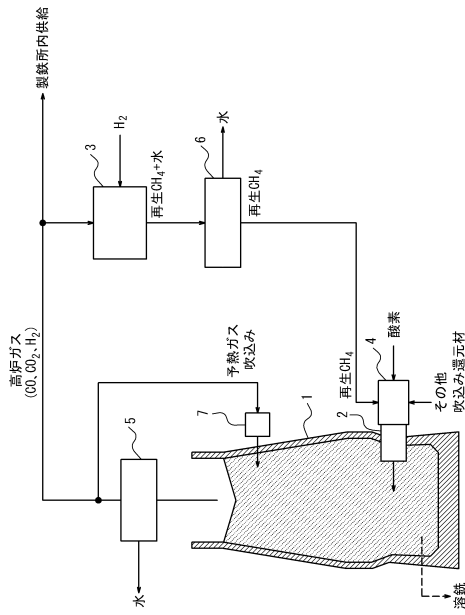
20

30

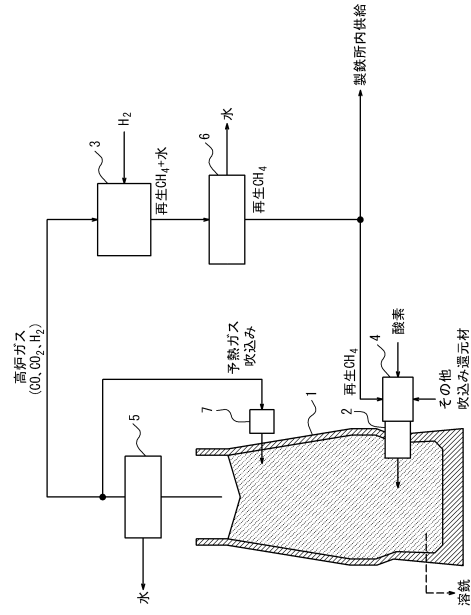
40

50

【図3】



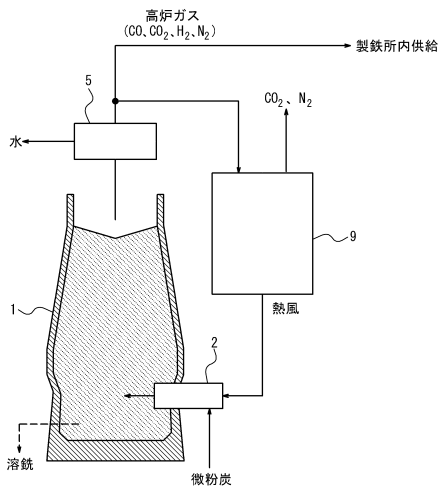
【図4】



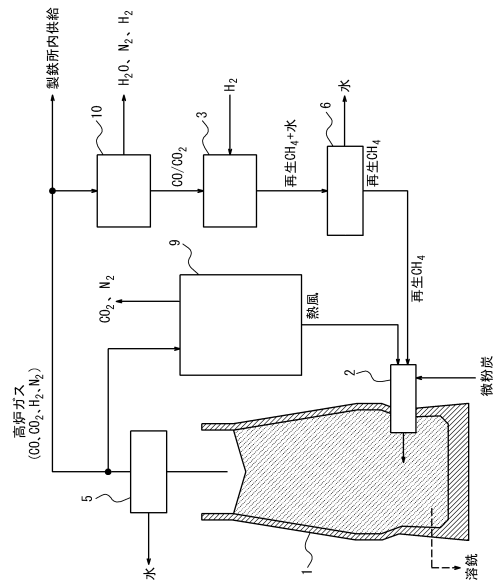
10

20

【図5】



【図6】



30

40

50

フロントページの続き

- 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内
(72)発明者 小澤 純仁
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内
(72)発明者 川尻 雄基
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内
(72)発明者 守田 祐哉
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内
審査官 中西 哲也
(56)参考文献 特開2010-261095(JP,A)
特開昭63-171804(JP,A)
特開平07-167569(JP,A)
特公昭49-008608(JP,B1)
特表2016-531973(JP,A)
特開2015-196619(JP,A)
特開2014-005510(JP,A)
特開2011-225969(JP,A)
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
C21B 3/00-5/06
C21B 7/00-9/16
C10L 3/08