

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公 開 特 許 公 報(A)

(11)特許出願公開番号
特開2026-64206
(P2026-64206A)

(43)公開日
令和8年4月13日(2026. 4. 13)

(51)Int. Cl.
C 2 1 B 7/24 (2006. 01)
C 2 1 B 5/00 (2006. 01)

F I
C 2 1 B 7/24
C 2 1 B 5/00 3 1 6
C 2 1 B 5/00 3 1 1

テーマコード (参考)
4 K 0 1 2
4 K 0 1 5

審査請求 未請求 請求項の数 17 O L (全 19 頁)

(21)出願番号	特願2025-139715(P2025-139715)	(71)出願人	000001258
(22)出願日	令和7年8月25日(2025. 8. 25)		J F E スチール株式会社
(31)優先権主張番号	特願2024-172767(P2024-172767)		東京都千代田区内幸町二丁目2番3号
(32)優先日	令和6年10月1日(2024. 10. 1)	(74)代理人	110002147
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		弁理士法人酒井国際特許事務所
		(72)発明者	益田 稔介
			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	長谷川 直輝
			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	西山 滉一郎
			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
		F ターム(参考)	4K012 BC03 BD01 BD04
			最終頁に続く

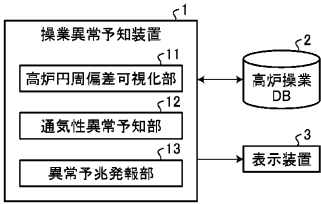
(54)【発明の名称】 高炉の操業異常予知装置、高炉の操業異常予知方法、高炉の操業方法および溶銑の製造方法

(57)【要約】 (修正有)

【課題】微粉炭の炉体円周方向の偏差と炉体温度の炉体円周方向の偏差とを組み合わせることにより、炉内の通気性悪化および炉体円周方向の異常部位を事前かつリアルタイムに予知することができる高炉の操業異常予知装置、高炉の操業異常予知方法、高炉の操業方法および溶銑の製造方法を提供すること。

【解決手段】高炉の操業異常予知装置は、高炉に吹き込まれる微粉炭の羽口ごとの微粉炭流量と、高炉の炉体円周方向における複数の位置の炉体温度とを用いて、微粉炭流量および炉体温度の炉体円周方向の偏差を算出する高炉円周偏差可視化部と、微粉炭流量および炉体温度の炉体円周方向の偏差に基づき、高炉の通気性異常の予兆の有無を判定する通気性異常予知部と、通気性異常の予兆があると判定した場合、通気性異常発生リスクのある炉内の炉体円周方向の部位を特定してガイダンスする異常予兆発報部と、を備える。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

高炉に吹き込まれる微粉炭の羽口ごとの微粉炭流量と、前記高炉の炉体円周方向における複数の位置の炉体温度とを用いて、前記微粉炭流量および前記炉体温度の炉体円周方向の偏差を算出する高炉円周偏差可視化部と、

前記微粉炭流量および前記炉体温度の炉体円周方向の偏差に基づき、前記高炉の通気性異常の予兆の有無を判定する通気性異常予知部と、

前記通気性異常の予兆があると判定した場合、通気性異常発生リスクのある炉内の炉体円周方向の部位を特定してガイダンスする異常予兆発報部と、

を備える高炉の操業異常予知装置。

10

【請求項 2】

前記通気性異常予知部は、前記微粉炭流量の炉体円周方向の偏差が所定の時間継続して所定の閾値を超え、かつ前記炉体温度の炉体円周方向の偏差が所定の閾値を超え、更に前記微粉炭流量の吹込みが多い方角に対して炉体中心に点対称の方角において、前記炉体温度の炉体円周方向の偏差が上昇している場合に、前記通気性異常の予兆があると判定する請求項 1 に記載の高炉の操業異常予知装置。

【請求項 3】

前記通気性異常予知部は、前記微粉炭流量の炉体円周方向の偏差および前記炉体温度の炉体円周方向の偏差を説明変数とし、通気抵抗の変動量を目的変数とする統計モデルに基づき通気抵抗の変動の予測を行い、前記通気抵抗の予測値が閾値を超過した場合に、前記通気性異常の予兆があると判定する請求項 1 に記載の高炉の操業異常予知装置。

20

【請求項 4】

前記通気性異常予知部は、前記統計モデルに基づく通気抵抗の変動の予測値が閾値を超過し、更に前記微粉炭流量の吹込みが多い方角に対して炉体中心に点対称の方角において、前記炉体温度の炉体円周方向の偏差が上昇している場合に、前記通気性異常の予兆があると判定する請求項 3 に記載の高炉の操業異常予知装置。

【請求項 5】

前記高炉円周偏差可視化部は、縦軸を前記高炉の炉体円周方向の方角、横軸を時間として、前記微粉炭流量および前記炉体温度の炉体円周方向の偏差の発生個所、発生タイミングを色の濃淡によって可視化する請求項 1 に記載の高炉の操業異常予知装置。

30

【請求項 6】

前記炉体温度は、前記高炉のシャフト中部からシャフト下部に設置された炉体温度計から得られたデータである請求項 1 に記載の高炉の操業異常予知装置。

【請求項 7】

前記炉体温度計は、前記高炉のシャフト中部からシャフト下部において、複数の炉体高さ方向の測定位置、かつ炉体円周方向に複数設置されており、

前記炉体温度は、炉体円周方向の炉体温度の標準偏差が最も上昇した炉体高さ方向の測定位置のデータである、

請求項 6 に記載の高炉の操業異常予知装置。

【請求項 8】

40

前記高炉円周偏差可視化部は、前記高炉の炉体円周方向における複数の位置の炉体圧力を用いて、炉体圧力の炉体円周方向の偏差を更に算出して可視化する請求項 5 に記載の高炉の操業異常予知装置。

【請求項 9】

コンピュータが備える高炉円周偏差可視化部が、高炉に吹き込まれる微粉炭の羽口ごとの微粉炭流量と、前記高炉の炉体円周方向における複数の位置の炉体温度とを用いて、前記微粉炭流量および前記炉体温度の炉体円周方向の偏差を算出する高炉円周偏差可視化ステップと、

前記コンピュータが備える通気性異常予知部が、前記微粉炭流量および前記炉体温度の炉体円周方向の偏差に基づき、前記高炉の通気性異常の予兆の有無を判定する通気性異常

50

予知ステップと、

前記コンピュータが備える異常予兆発報部が、前記通気性異常の予兆があると判定した場合、通気性異常発生リスクのある炉内の炉体円周方向の部位を特定してガイダンスする異常予兆発報ステップと、

を含む高炉の操業異常予知方法。

【請求項 10】

前記通気性異常予知ステップは、前記微粉炭流量の炉体円周方向の偏差が所定の時間継続して所定の閾値を超え、かつ前記炉体温度の炉体円周方向の偏差が所定の閾値を超え、更に前記微粉炭流量の吹込みが多い方角に対して炉体中心に点対称の方角において、前記炉体温度の炉体円周方向の偏差が上昇している場合に、前記通気性異常の予兆があると判定する請求項 9 に記載の高炉の操業異常予知方法。

10

【請求項 11】

前記通気性異常予知ステップは、前記微粉炭流量の炉体円周方向の偏差および前記炉体温度の偏差を説明変数とする統計モデルに基づき通気抵抗の変動の予測を行い、前記通気抵抗の予測値が閾値を超過した場合に、前記通気性異常の予兆があると判定する請求項 9 に記載の高炉の操業異常予知方法。

【請求項 12】

前記通気性異常予知ステップは、前記統計モデルに基づく通気抵抗の変動の予測値が閾値を超過し、更に前記微粉炭流量の吹込みが多い方角に対して炉体中心に点対称の方角において、前記炉体温度の炉体円周方向の偏差が上昇している場合に、前記通気性異常の予兆があると判定する請求項 11 に記載の高炉の操業異常予知方法。

20

【請求項 13】

前記高炉円周偏差可視化ステップは、縦軸を前記高炉の炉体円周方向の方角、横軸を時間として、前記微粉炭流量および前記炉体温度の炉体円周方向の偏差の発生個所、発生タイミングを色の濃淡によって可視化する請求項 9 に記載の高炉の操業異常予知方法。

【請求項 14】

前記炉体温度は、前記高炉のシャフト中部からシャフト下部に設置された炉体温度計から得られたデータである請求項 9 に記載の高炉の操業異常予知方法。

【請求項 15】

前記炉体温度計は、前記高炉のシャフト中部からシャフト下部において、複数の炉体高さ方向の測定位置、かつ炉体円周方向に複数設置されており、

30

前記炉体温度は、炉体円周方向の炉体温度の標準偏差が最も上昇した炉体高さ方向の測定位置のデータである、

請求項 14 に記載の高炉の操業異常予知方法。

【請求項 16】

請求項 9 から請求項 15 のいずれか一項に記載の高炉の操業異常予知方法による通気性異常の予兆の判定結果に基づいて、送風羽口からの熱風の送風流量、前記送風羽口から送風される熱風の送風酸素量、炉頂から装入するコークスのコークス比、のいずれかの操業条件を変更するステップを含む高炉の操業方法。

【請求項 17】

40

請求項 16 に記載の高炉の操業方法によって溶銑を製造する溶銑の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、高炉の操業異常予知装置、高炉の操業異常予知方法、高炉の操業方法および溶銑の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

高炉では、鉄鉱石を主原料、コークスを副原料として炉上部から装入し、炉下部にある羽口から熱風と微粉炭を吹き込み、羽口より更に下部にある出銑口から、溶けた銑鉄を取

り出すプロセスを行う。コークスおよび微粉炭は、羽口で燃焼してCOガスとなり、鉄鉱石の還元に使われる。また、コークスは、炉内のガスの通気性を確保するために非常に重要な役割を果たす。

【0003】

高炉は24時間365日稼働しており、重大なトラブルにより操業が停止すると再稼働までに長時間を要するため、安定な操業が要求される。しかしながら、近年の高炉操業では、CO₂削減および溶銑コスト削減のために、溶銑1トン当たりのコークス使用量（コークス比）の削減が求められている。そのため、通気性確保の役割を担うコークスの使用量の低減に伴い、炉内におけるガス流れが不安定化しやすく、局所的に炉内のガスが吹き上がる、「吹き抜け」と呼ばれるトラブルが頻繁に発生していた。

10

【0004】

ガス流れの不安定化の原因として、炉下部から吹き込む微粉炭流量の炉体円周方向の偏差が知られている。例えば特許文献1では、炉体円周方向において微粉炭の吹込み量が少ない方角では、長い滞留時間に応じて固体の加熱時間が長くなり放射熱量が大きくなる、すなわち炉体温度が高くなることが開示されている。そこで、特許文献1では、炉上部で熱的に不足する状況が発生し、炉体内壁に付着物が生成・成長する傾向が予測されるとして、炉内温度の炉体円周方向に関する偏差量に基づいて、羽口からの微粉炭の吹込み量を制御する手法が提案されている。

【0005】

また、特許文献1では、炉体温度が高い方角の羽口では微粉炭燃料の吹込み量を多くし、炉体温度が低い方角の羽口では逆に微粉炭燃料の吹込み量を少なくする手法が提案されている。特許文献1では、上記のように微粉炭の吹込み量を制御することにより、付着物の周辺に局部的なガス流れを発生させ、これにより付着物を還元・溶融によって除去している。

20

【0006】

また、特許文献2では、高炉操業における炉体円周方向の熱負荷の偏りや通気性の悪化に対して、炉体熱負荷の高い方位の反対側で微粉炭の間欠停止を行うことで熱負荷の均一化を図る技術が開示されている。

【0007】

また、特許文献3では、微粉炭流量の炉体円周方向の偏差が生じると、微粉炭/酸素比が変化して高炉の炉体円周方向に羽口先温度差が生じ、炉内の還元反応に偏りや溶銑温度の炉体円周方向差が生じ、炉況悪化に繋がる点に着目している。そこで、特許文献3では、微粉炭の吹込み量を羽口ごとまたは羽口群ごとに測定し、測定した微粉炭の吹込み量の測定値を用いてランスから吹込む酸素の吹込み量を、該当する羽口ごとまたは羽口群ごとに設定する手法が提案されている。

30

【0008】

また、特許文献4では、高炉内の任意位置におけるコークスの粉化量および通気性を、コークスの強度・反応性・反応温度等の物理的因子に基づいて、離散要素法や高炉二次元モデルを用いた数値シミュレーションにより推定する技術が開示されている。この技術は、離散要素法や高炉二次元モデルを用いて、操業条件に応じた通気性の定量評価を可能としている。

40

【0009】

また、特許文献5では、過去の操業実績データを用いて、高炉の通気抵抗指数を予測する技術が開示されている。この技術は、主成分分析による次元圧縮や類似度評価を用いて、操業条件に応じた局所的な予測モデルを構築し、通気性の高精度な予測を可能としている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】特開平11-124609号公報

50

【特許文献2】特開2004-300504号公報

【特許文献3】特開2014-31568号公報

【特許文献4】特開2022-019640号公報

【特許文献5】特開2015-140455号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

しかしながら、炉体温度や熱負荷の炉体円周方向の偏差は、炉体円周方向における微粉炭燃料の吹込み量のばらつきのみ起因して発生するものではない。炉体温度や熱負荷の炉体円周方向の偏差は、例えば高炉の炉頂からの装入物の中心ずれ（装入分布中心ずれ）が発生し、炉内の原料分布の偏りに伴ってガス流れの偏りが生じた場合にも発生する。

10

【0012】

このため、炉体温度や熱負荷の炉体円周方向の偏差の発生を、炉体円周方向における微粉炭燃料の吹込み量のばらつきが原因であると断定する特許文献1や特許文献2の方法には改善の余地があった。更に、特許文献1のように、炉体温度のみに基づいて微粉炭の吹込み量を判断する場合、温度計に異常が発生すると、微粉炭流量の炉体円周方向の偏差が発生したと誤って判断されてしまう可能性もある。

【0013】

また、特許文献3では、微粉炭流量の炉体円周方向の偏差のみを計測しているため、微粉炭流量計に異常が発生した場合、送風酸素量が大きく変化する。そのため、送風温度、酸素富化率、送風湿分に依存して理論燃焼温度を一定にすることにより高微粉炭比になる可能性があり、微粉炭が未燃となるリスクがある。また、羽口先のガスの温度が均一であっても、炉の中段で局所的な原料降下の円周バランスの乱れによりガス流れが不均一化する可能性があるため、通気性の異常を完全に防ぐことは困難であり、かえって炉況異常に繋がるおそれがある。

20

【0014】

また、特許文献4の技術は、粉化量や通気性の数理モデルによる推定を行い、操業条件に応じた通気性の定量評価を可能としている。しかし、操業中にリアルタイムで異常を検知する機能を有しておらず、粉化量や通気性の推定は事前のモデル構築とシミュレーションに依存しているため、突発的な異常や予兆の検出には対応できない。

30

【0015】

また、特許文献5の技術は、操業中のリアルタイムな異常予兆の検知や、異常の炉体円周方向の空間的な発生箇所の特定制には対応しておらず、予測結果は高炉全体の通気抵抗指数として一括的に示されるのみである。

【0016】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、微粉炭の炉体円周方向の偏差と炉体温度の炉体円周方向の偏差とを組み合わせることにより、炉内の通気性悪化および炉体円周方向の異常部位を事前かつリアルタイムに予知することができる高炉の操業異常予知装置、高炉の操業異常予知方法、高炉の操業方法および溶銑の製造方法を提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0017】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る高炉の操業異常予知装置は、高炉に吹き込まれる微粉炭の羽口ごとの微粉炭流量と、前記高炉の炉体円周方向における複数の位置の炉体温度とを用いて、前記微粉炭流量および前記炉体温度の炉体円周方向の偏差を算出する高炉円周偏差可視化部と、前記微粉炭流量および前記炉体温度の炉体円周方向の偏差に基づき、前記高炉の通気性異常の予兆の有無を判定する通気性異常予知部と、前記通気性異常の予兆があると判定した場合、通気性異常発生リスクのある炉内の炉体円周方向の部位を特定してガイダンスする異常予兆発報部と、を備える。

【0018】

50

また、本発明に係る高炉の操業異常予知装置は、上記発明において、前記通気性異常予知部が、前記微粉炭流量の炉体円周方向の偏差が所定の時間継続して所定の閾値を超え、かつ前記炉体温度の炉体円周方向の偏差が所定の閾値を超え、更に前記微粉炭流量の吹込みが多い方角に対して炉体中心に点対称の方角において、前記炉体温度の炉体円周方向の偏差が上昇している場合に、前記通気性異常の予兆があると判定する。

【0019】

また、本発明に係る高炉の操業異常予知装置は、上記発明において、前記通気性異常予知部が、前記微粉炭流量の炉体円周方向の偏差および前記炉体温度の炉体円周方向の偏差を説明変数とし、通気抵抗の変動量を目的変数とする統計モデルに基づき通気抵抗の変動の予測を行い、前記通気抵抗の予測値が閾値を超過した場合に、前記通気性異常の予兆があると判定する。

10

【0020】

また、本発明に係る高炉の操業異常予知装置は、上記発明において、前記通気性異常予知部が、前記統計モデルに基づく通気抵抗の変動の予測値が閾値を超過し、更に前記微粉炭流量の吹込みが多い方角に対して炉体中心に点対称の方角において、前記炉体温度の炉体円周方向の偏差が上昇している場合に、前記通気性異常の予兆があると判定する。

【0021】

また、本発明に係る高炉の操業異常予知装置は、上記発明において、前記高炉円周偏差可視化部が、縦軸を前記高炉の炉体円周方向の方角、横軸を時間として、前記微粉炭流量および前記炉体温度の炉体円周方向の偏差の発生個所、発生タイミングを色の濃淡によって可視化する。

20

【0022】

また、本発明に係る高炉の操業異常予知装置は、上記発明において、前記炉体温度が、前記高炉のシャフト中部からシャフト下部に設置された炉体温度計から得られたデータである。

【0023】

また、本発明に係る高炉の操業異常予知装置は、上記発明において、前記炉体温度計が、前記高炉のシャフト中部からシャフト下部において、複数の炉体高さ方向の測定位置、かつ炉体円周方向に複数設置されており、前記炉体温度が、炉体円周方向の炉体温度の標準偏差が最も上昇した炉体高さ方向の測定位置のデータである。

30

【0024】

また、本発明に係る高炉の操業異常予知装置は、上記発明において、前記高炉円周偏差可視化部が、前記高炉の炉体円周方向における複数の位置の炉体圧力を用いて、炉体圧力の炉体円周方向の偏差を更に算出して可視化する。

【0025】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る高炉の操業異常予知方法は、コンピュータが備える高炉円周偏差可視化部が、高炉に吹き込まれる微粉炭の羽口ごとの微粉炭流量と、前記高炉の炉体円周方向における複数の位置の炉体温度とを用いて、前記微粉炭流量および前記炉体温度の炉体円周方向の偏差を算出する高炉円周偏差可視化ステップと、前記コンピュータが備える通気性異常予知部が、前記微粉炭流量および前記炉体温度の炉体円周方向の偏差に基づき、前記高炉の通気性異常の予兆の有無を判定する通気性異常予知ステップと、前記コンピュータが備える異常予兆発報部が、前記通気性異常の予兆があると判定した場合、通気性異常発生リスクのある炉内の炉体円周方向の部位を特定してガイダンスする異常予兆発報ステップと、を含む。

40

【0026】

また、本発明に係る高炉の操業異常予知方法は、上記発明において、前記通気性異常予知ステップが、前記微粉炭流量の炉体円周方向の偏差が所定の時間継続して所定の閾値を超え、かつ前記炉体温度の炉体円周方向の偏差が所定の閾値を超え、更に前記微粉炭流量の吹込みが多い方角に対して炉体中心に点対称の方角において、前記炉体温度の炉体円周方向の偏差が上昇している場合に、前記通気性異常の予兆があると判定する。

50

【 0 0 2 7 】

また、本発明に係る高炉の操業異常予知方法は、上記発明において、前記通気性異常予知ステップが、前記微粉炭流量の炉体円周方向の偏差および前記炉体温度の偏差を説明変数とする統計モデルに基づき通気抵抗の変動の予測を行い、前記通気抵抗の予測値が閾値を超過した場合に、前記通気性異常の予兆があると判定する。

【 0 0 2 8 】

また、本発明に係る高炉の操業異常予知方法は、上記発明において、前記通気性異常予知ステップが、前記統計モデルに基づく通気抵抗の変動の予測値が閾値を超過し、更に前記微粉炭流量の吹込みが多い方角に対して炉体中心に点対称の方角において、前記炉体温度の炉体円周方向の偏差が上昇している場合に、前記通気性異常の予兆があると判定する。

10

【 0 0 2 9 】

また、本発明に係る高炉の操業異常予知方法は、上記発明において、前記高炉円周偏差可視化ステップが、縦軸を前記高炉の炉体円周方向の方角、横軸を時間として、前記微粉炭流量および前記炉体温度の炉体円周方向の偏差の発生個所、発生タイミングを色の濃淡によって可視化する。

【 0 0 3 0 】

また、本発明に係る高炉の操業異常予知方法は、上記発明において、前記炉体温度が、前記高炉のシャフト中部からシャフト下部に設置された炉体温度計から得られたデータである。

20

【 0 0 3 1 】

また、本発明に係る高炉の操業異常予知方法は、上記発明において、前記炉体温度計が、前記高炉のシャフト中部からシャフト下部において、複数の炉体高さ方向の測定位置、かつ炉体円周方向に複数設置されており、前記炉体温度が、炉体円周方向の炉体温度の標準偏差が最も上昇した炉体高さ方向の測定位置のデータである。

【 0 0 3 2 】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る高炉の操業方法は、上記の高炉の操業異常予知方法による通気性異常の予兆の判定結果に基づいて、送風羽口からの熱風の送風流量、前記送風羽口から送風される熱風の送風酸素量、炉頂から装入するコークスのコークス比、のいずれかの操業条件を変更するステップを含む。

30

【 0 0 3 3 】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る溶銑の製造方法は、上記の高炉の操業方法によって溶銑を製造する。

【 発明の効果 】

【 0 0 3 4 】

本発明に係る高炉の操業異常予知装置および高炉の操業異常予知方法によれば、微粉炭流量の炉体円周方向の偏差が発生した場合においても、炉体温度の炉体円周方向の乱れと、微粉炭流量の炉体円周方向の偏差と炉体温度の炉体円周方向の偏差との異方性に基づいて、炉内の通気性悪化を事前に予知することができる。本発明に係る高炉の操業方法によれば、微粉炭流量の調整ではなく、送風流量、送風酸素量（富化酸素流量）またはコークス比の操作を促すことにより、微粉炭が未燃となるリスクを回避しつつ通気性悪化を抑止することができる。本発明に係る溶銑の製造方法によれば、高炉の通気性を保ちつつ、溶銑を歩留まりよく製造することができる。

40

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 3 5 】

【 図 1 】 図 1 は、本発明の実施形態に係る高炉の操業異常予知装置の概略的な構成を示すブロック図である。

【 図 2 】 図 2 は、本発明の実施形態に係る高炉の操業異常予知装置における高炉円周偏差可視化部の処理の流れを示すフローチャートである。

【 図 3 】 図 3 は、本発明の実施形態に係る高炉の操業異常予知装置における高炉円周偏差

50

可視化の結果に関する考察を示す図である。

【図４】図４は、本発明の実施形態に係る高炉の操業異常予知装置における高炉円周偏差可視化の結果において、送風流量、送風酸素量、炉内通気抵抗、微粉炭流量の標準偏差、炉体温度の標準偏差、標準偏差が最も上昇した測定位置における炉体温度および炉体圧力の炉体円周方向分布、羽口ごとの微粉炭流量、の時系列変化を示す図である。

【図５】図５は、本発明の実施形態に係る高炉の操業異常予知装置における通気性異常予知部の処理の第一の態様の流れを示すフローチャートである。

【図６】図６は、本発明の実施形態に係る高炉の操業異常予知装置における通気性異常予知部の処理の第二の態様の流れを示すフローチャートである。

【図７】図７は、本発明に係る高炉の操業異常予知方法の実施例１であり、送風流量、送風酸素量、微粉炭流量の標準偏差、炉体温度の標準偏差、通気性異常予兆フラグの推移を示す図である。

【図８】図８は、本発明に係る高炉の操業異常予知方法の実施例２であり、横軸を通気抵抗の実績値とし、縦軸を統計モデルから出力される通気抵抗の予測値とした散布図である。

【発明を実施するための形態】

【００３６】

本発明の実施形態に係る高炉の操業異常予知装置、高炉の操業異常予知方法、高炉の操業方法および溶銑の製造方法について、図面を参照しながら説明する。

【００３７】

（高炉の操業異常予知装置の構成）

図１は、本発明の実施形態に係る高炉の操業異常予知装置の概略的な構成を示すブロック図である。高炉の操業異常予知装置１は、コンピュータ等の情報処理装置によって構成され、ＣＰＵ（Central Processing Unit）等の内部の演算処理装置がコンピュータプログラムを実行することにより機能する。

【００３８】

操業異常予知装置１には、高炉操業ＤＢ（データベース）２が、データ読み取り可能な形態で接続されている。また、操業異常予知装置１には、表示装置３が接続されている。

【００３９】

高炉操業ＤＢ２には、例えば以下のようなデータが格納されている。

（１）羽口ごとの微粉炭流量の実績値

（２）炉頂から装入するコークスと鉄鉱石との比率を示す炉頂コークス比（コークス比）の実績値

（３）送風羽口からの熱風の送風流量の実績値

（４）送風羽口からの送風酸素量の実績値

（５）通気性指標の実績値

（６）炉頂から排出されたガス（ＣＯ、ＣＯ₂等）の体積分率に基づき算出されるプロセス変数の実績値

（７）炉体や炉頂、炉底部で計測される温度、圧力の履歴データ

【００４０】

ここで、通気性指標としては、例えば下記式（１）で表される通気抵抗指数 $\Delta P / V$ が挙げられる。下記式（１）において、ＢＰは送風圧力〔Ｐａ〕、ＴＰは炉頂圧力〔Ｐａ〕、ＢＧＶはボッシュガス量〔ｍ³（標準状態）／ｍｉｎ〕である。

【００４１】

【数１】

$$\Delta P / V = (BP - TP) / BGV \quad \cdots (1)$$

【００４２】

表示装置３は、例えば液晶ディスプレイ（ＬＣＤ）、有機ＥＬディスプレイ（ＯＬＥＤ）等により実現される。表示装置３は、例えば高炉のオペレータの操作端末の一部を構成

10

20

30

40

50

してもよい。また、表示装置 3 は、通気性異常予兆がある旨のアラームを出力するスピーカを備えていてもよい。

【 0 0 4 3 】

表示装置 3 は、例えば高炉円周偏差可視化部 1 1 における処理結果（微粉炭流量、炉体温度および炉体圧力の標準偏差）、通気性異常予知部 1 2 における処理結果（通気性異常の予兆の有無）を表示する。また、表示装置 3 は、例えば異常予兆発報部 1 3 における発報内容（通気性異常発生リスクのある炉内の炉体円周方向の部位）を表示する。

【 0 0 4 4 】

高炉円周偏差可視化部 1 1 は、高炉に吹き込まれる微粉炭の羽口ごとの微粉炭流量と、高炉の炉体円周方向における複数の位置の炉体温度とを用いて、微粉炭流量および炉体温度の炉体円周方向の偏差を算出する。

10

【 0 0 4 5 】

ここで、炉体温度は、高炉のシャフト中部からシャフト下部までの範囲に設置された炉体温度計から得られたデータである。また、炉体温度は、炉体円周方向の炉体温度の標準偏差が最も上昇した炉体高さ方向の測定位置のデータである。なお、炉体温度計は、例えば高炉のシャフト中部からシャフト下部において、複数の炉体高さ方向の測定位置、かつ炉体円周方向に複数設置されている。

【 0 0 4 6 】

このような構成を有する操業異常予知装置 1 は、高炉円周偏差可視化部 1 1、通気性異常予知部 1 2 および異常予兆発報部 1 3 として機能し、通気性異常予知を行った上で、例えば表示装置 3 を通じて、オペレータに通気性異常予兆を発報する。

20

【 0 0 4 7 】

高炉円周偏差可視化部 1 1 は、縦軸を高炉の炉体円周方向の方角、横軸を時間として、微粉炭流量および炉体温度の炉体円周方向の偏差の発生個所、発生タイミングを色の濃淡によって可視化する。また、高炉円周偏差可視化部 1 1 は、高炉の炉体円周方向における複数の位置の炉体圧力を用いて、炉体圧力の炉体円周方向の偏差を更に算出して可視化してもよい。

【 0 0 4 8 】

通気性異常予知部 1 2 は、高炉円周偏差可視化部 1 1 で算出した微粉炭流量および炉体温度の炉体円周方向の偏差に基づき、高炉の通気性異常の予兆の有無を判定する。通気性異常予知部 1 2 は、例えば以下の条件を全て満たす場合に、通気性異常の予兆があると判定する。

30

（ 1 ）微粉炭流量の炉体円周方向の偏差が所定の時間継続して所定の閾値を超えている。

（ 2 ）炉体温度の炉体円周方向の偏差が所定の閾値を超えている。

（ 3 ）微粉炭流量の吹込みが多い方角に対して炉体中心に点対称の方角において、炉体温度の炉体円周方向の偏差が上昇している。

【 0 0 4 9 】

また、通気性異常予知部 1 2 は、高炉円周偏差可視化部 1 1 で算出した微粉炭流量の炉体円周方向の偏差および炉体温度の炉体円周方向の偏差を説明変数とし、通気抵抗の変動量を目的変数とする統計モデルに基づき通気抵抗の変動の予測を行ってもよい。そして、通気性異常予知部 1 2 は、通気抵抗の予測値が所定の閾値を超過した場合に、通気性異常の予兆があると判定してもよい。

40

【 0 0 5 0 】

また、通気性異常予知部 1 2 は、統計モデルに基づく通気抵抗の変動の予測値が閾値を超過し、更に微粉炭流量の吹込みが多い方角に対して炉体中心に点対称の方角において、炉体温度の炉体円周方向の偏差が上昇している場合に、通気性異常の予兆があると判定してもよい。

【 0 0 5 1 】

異常予兆発報部 1 3 は、通気性異常予知部 1 2 で通気性異常の予兆があると判定した場合、通気性異常発生リスクのある炉内の炉体円周方向の部位を特定し、例えば表示装置 3

50

を通じてオペレータにガイダンスする。

【 0 0 5 2 】

(高炉円周偏差可視化部の処理)

次に、高炉円周偏差可視化部 1 1 の処理について、図 2 を参照しながら説明する。図 2 は、高炉円周偏差可視化部 1 1 の処理の流れを示すフローチャートである。図 2 に示すフローチャートは、操業異常予知装置 1 に対して高炉円周偏差可視化の実行指令が入力されたタイミングで開始となり、ステップ S 1 の処理に進む。

【 0 0 5 3 】

ステップ S 1 の処理では、高炉円周偏差可視化部 1 1 が、高炉操業 D B 2 から高炉の操業データを取得する (ステップ S 1) 。ステップ S 1 では、例えば高炉に吹き込まれる微粉炭の羽口ごとの流量計から得られる流量データ (微粉炭流量) と、高炉の炉体円周方向に設置されている複数の温度計から得られる温度データ (炉体温度) と、を少なくとも取得する。また、ステップ S 1 では、好ましくは、高炉の炉体中段 (シャフト中部からシャフト下部) の炉体円周方向に設置されている圧力計から得られる圧力データ (炉体圧力) を更に取得する。

【 0 0 5 4 】

なお、炉体円周方向に配置される炉体温度計および圧力計は、4 方位 (東西南北) ごとに少なくとも 1 個を配置し、好ましくは、炉体円周方向の 4 方位ごとに 2 個以上を配置する。

【 0 0 5 5 】

また、炉体温度計の炉体高さ方向の測定位置は、後記する理由により、高炉のシャフト中部からシャフト下部とすることが好ましい。また、炉体温度計は、高炉のシャフト中部からシャフト下部にかけて、炉体高さ方向の複数の位置、かつ炉体円周方向の複数の位置に設置することが好ましい。

【 0 0 5 6 】

鉍石の軟化融着が始まる融着帯において圧力損失が大きく、融着帯での通気性悪化を捉えることが重要である一方で、羽口に近づくほど還元ガス流れの変化の影響を受ける。これにより、羽口に近づくほど炉体温度計の測定データのノイズが大きくなり、異常予知の精度低下に繋がるおそれがある。

【 0 0 5 7 】

図 3 に示すように、高炉のシャフト部は、下方に向けて炉径が拡大する円錐台形の部分である。また、高炉のボッシュ部は、下方に向けて炉径が縮小する円錐台形である。高炉の炉内には、炉頂と炉芯との間に、鉄鉍石が熱で軟化し始めて溶け終わるまでの半熔融状態となり、還元ガスの通気性に影響する層域である融着帯が、ボッシュ部よりも上方のシャフト下部からシャフト中部にかけて存在する。

【 0 0 5 8 】

そのため、シャフト中部からシャフト下部にかけての炉体高さ方向において、少なくともシャフト中部およびシャフト下部に、それぞれ 1 箇所以上、好ましくは 2 箇所以上の炉温の測定位置を設けることが好ましい。以上により、ステップ S 1 の処理は完了し、高炉円周偏差可視化部 1 1 はステップ S 2 の処理に進む。

【 0 0 5 9 】

ステップ S 2 の処理では、高炉円周偏差可視化部 1 1 が、測定時刻ごとに、微粉炭流量、炉体温度および炉体圧力の標準偏差を算出する (ステップ S 2) 。

【 0 0 6 0 】

炉体温度については、炉頂からの鉛直方向の距離が等しい炉体高さ方向の測定位置ごとに、炉体円周方向に複数の炉体温度計を配置し、炉体高さ方向の測定位置ごとに、炉体円周方向の炉体温度の標準偏差を算出する。また、炉体圧力についても同様に、炉頂からの鉛直方向の距離が等しい炉体高さ方向の測定位置ごとに、炉体円周方向に複数の圧力計を配置し、炉体高さ方向の測定位置ごとに、炉体円周方向の炉体圧力の標準偏差を算出する。

。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 1 】

これにより、炉体温度および炉体圧力の、炉体高さ方向の測定位置ごとの炉体円周偏差（炉体円周方向の標準偏差）の時系列データを作成する。また、時系列データの時間幅については、高炉プロセスの時定数が 8 時間程度の長さであることを鑑みて、1 週間以上とすることが好ましい。これにより、ステップ S 2 の処理は完了し、高炉円周偏差可視化部 1 1 はステップ S 3 の処理に進む。

【 0 0 6 2 】

ステップ S 3 の処理では、高炉円周偏差可視化部 1 1 が、炉体円周方向の炉体温度および炉体圧力において、直近の標準偏差が最も上昇した炉体高さ方向の測定位置をそれぞれ特定する（ステップ S 3 ）。

10

【 0 0 6 3 】

異常が発生する炉体高さ方向の測定位置は定まっていないため、例えば炉体高さ方向の測定位置を固定すると、当該炉体高さ位置での炉体温度および炉体圧力に変化が見られない場合に、異常判定できない可能性がある。そこで、ステップ S 3 では、直近の標準偏差が最も上昇した炉体高さ方向における炉体温度および炉体圧力の測定位置をそれぞれ特定する。

【 0 0 6 4 】

直近の標準偏差の変化の判定方法としては、例えば直近 1 時間の標準偏差の移動平均値から、直近 1 日の標準偏差の移動平均値を差し引く手法等が挙げられる。これにより、ステップ S 3 の処理は完了し、高炉円周偏差可視化部 1 1 はステップ S 4 の処理に進む。

20

【 0 0 6 5 】

ステップ S 4 の処理では、高炉円周偏差可視化部 1 1 が、例えば以下の時系列変化を示すグラフを表示装置 3 に表示する（ステップ S 4 ）。

- （ 1 ）送風流量
- （ 2 ）送風酸素量
- （ 3 ）通気性指標（炉内通気抵抗）
- （ 4 ）微粉炭流量の標準偏差
- （ 5 ）炉体温度の標準偏差
- （ 6 ）ステップ S 3 で特定された、直近の標準偏差が最も上昇した炉体高さ方向の測定位置における、炉体温度の炉体円周方向の分布
- （ 7 ）ステップ S 3 で特定された、直近の標準偏差が最も上昇した炉体高さ方向の測定位置における、炉体圧力の炉体円周方向の分布
- （ 8 ）炉体円周方向に配置された羽口ごとの微粉炭流量

30

【 0 0 6 6 】

図 4 にステップ S 4 の表示例を示す。図 4 の炉体円周方向に配置された羽口ごとの微粉炭流量、炉体温度および炉体圧力において、縦軸は高炉の炉体円周方向の方角、横軸は時間、色の濃淡は値の大小を示している。これにより、ステップ S 4 の処理は完了し、一連の高炉円周偏差可視化の処理は終了する。

【 0 0 6 7 】

（通気性異常予知の原理）

40

次に、通気性異常予知部 1 2 が行う通気性異常予知の原理について、図 3 および図 4 を参照しながら説明する。

【 0 0 6 8 】

例えば図 4 において、「通気性異常発生」と表示された箇所、すなわち高炉の下部から吹き込まれる熱風の送風流量および送風酸素量が調整された減風箇所から 1 0 時間前の矢印 A 1 のタイミングで、微粉炭流量の炉体円周偏差が拡大している。そして、その後の矢印 A 2 のタイミングで、炉体温度の炉体円周偏差が拡大し、その後の矢印 A 3 のタイミングで、炉体圧力の炉体円周偏差が拡大していることがわかる。

【 0 0 6 9 】

同様の可視化を行った結果、矢印 A 1 から矢印 A 2 までに 3 ～ 5 時間程度の時間遅れが

50

あること、微粉炭流量が相対的に多い方角（東）の炉体圧力が局所的に上昇していること、微粉炭流量が相対的に少ない方角（西）の炉体温度が局所的に上昇していることがわかる。

【 0 0 7 0 】

上記の事象が発生した原因について、図 3 を参照しながら説明する。例えば微粉炭流量が相対的に多い方角（Ⅰ）では、微粉炭が完全燃焼せず未燃チャーとなり、ガスとともに炉内を上昇する（図 3 の紙面右側参照）。その上昇過程において、未燃チャーがコークススリット（コークス層）におけるコークスの空隙に捕捉されて粉詰まりを起こし、局所的な圧力上昇が発生したと考えられる。

【 0 0 7 1 】

また、ガス流れの不均一化によって、微粉炭流量が相対的に少ない方角（Ⅱ）では、ガス流れが強くなる（図 3 の紙面左側参照）。なお、図 3 におけるガス流れを表す矢印の太さは、ガス流量の強弱を表している。これにより、羽口先の高温のガスが炉壁側にも流れて炉体温度が局所的に上昇したと考えられる。

【 0 0 7 2 】

更に、未燃チャーが捕捉されたコークス層が羽口に降下するまでの時間遅れである 3 ～ 5 時間の間に、炉体温度の炉体円周偏差（例えば図 4 において西側の炉体温度の高い状態）が解消しない場合に、通気性悪化が発生すると推察される。

【 0 0 7 3 】

そこで、発明者らは以下の事項を見出し、これらを通気性異常予知に利用できると考えた。

（ 1 ）微粉炭流量の炉体円周偏差と、炉体温度の炉体円周偏差との関係は異方的である。すなわち、微粉炭流量の吹込みが多い方角（図 4 では東側）に対して、炉体圧力は同じ方角（図 4 では東側）が高くなるのに対して、炉体温度は炉体中心に点対称の方角（図 4 では西側）が高くなる。

（ 2 ）微粉炭流量の炉体円周偏差が発生するタイミング（図 4 の A 1 ）と、炉体温度の炉体円周偏差が拡大するタイミング（図 4 の A 2 ）とにはラグ（時間差）が存在する。

【 0 0 7 4 】

以上の検討を踏まえて、通気性異常予知部 1 2 は、通気性異常予知の第一の態様として、微粉炭流量および炉体温度の炉体円周方向の偏差に基づき、高炉の通気性異常予知を行う。すなわち、通気性異常予知部 1 2 は、具体的には以下を全て満たす場合に通気性異常の予兆があると判定する。

（ 1 ）微粉炭流量の炉体円周方向の偏差が所定の時間継続して所定の閾値を超えている。

（ 2 ）炉体温度の炉体円周方向の偏差が所定の閾値を超えている。

（ 3 ）微粉炭流量の吹込みが多い方角に対して炉体中心に点対称の方角において、炉体温度の炉体円周方向の偏差が上昇している。

【 0 0 7 5 】

なお、上記したように、微粉炭流量の炉体円周偏差が発生するタイミング（図 4 の A 1 ）と、炉体温度の炉体円周偏差が拡大するタイミング（図 4 の A 2 ）とにはラグが存在する。そこで、通気性異常予知部 1 2 は、例えば図 4 の A 1 のタイミングで微粉炭流量の炉体円周偏差が発生した場合、それが所定の時間（例えば A 2 付近まで）継続しているかを監視する。その後、微粉炭流量の吹込みが多い方角に対して炉体中心に点対称の方角において、炉体温度の炉体円周方向偏差が発生したか否かの判定を行う。

【 0 0 7 6 】

また、通気性異常予知部 1 2 は、通気性異常予知の第二の態様として、微粉炭流量および炉体温度の炉体円周方向の偏差を説明変数とする統計モデルに基づき通気抵抗の変動の予測を行い、通気抵抗の予測値が所定の閾値を超えている場合に通気性異常の予兆があると判定してもよい。

【 0 0 7 7 】

この場合、通気性異常予知部 1 2 は、微粉炭流量の炉体円周偏差が発生するタイミング

10

20

30

40

50

と、炉体温度の炉体円周偏差が拡大するタイミングとにラグが存在することに基づき、上記ラグ分の将来予測を行うことが好ましい。またその後、微粉炭流量の吹込みが多い方角に対して炉体中心に点対称の方角において、炉体温度の炉体円周方向偏差が発生したか否かの判定を行ってもよい。

【 0 0 7 8 】

(通気性異常予知の第一の態様)

次に、通気性異常予知部 1 2 による通気性異常予知の処理の第一の態様について、図 5 を参照しながら説明する。図 5 は、通気性異常予知部 1 2 の処理の第一の態様の流れを示すフローチャートである。図 5 に示すフローチャートは、操業異常予知装置 1 に対して通気性異常予知の実行指令が入力されたタイミングで開始となり、通気性異常予知はステップ S 1 1 の処理に進む。

10

【 0 0 7 9 】

ステップ S 1 1 の処理では、通気性異常予知部 1 2 が、高炉円周偏差可視化部 1 1 のステップ S 2 で算出した微粉炭流量の標準偏差が閾値 α を超えた状態が、 τ 時間以上継続しているか否かを判定する (ステップ S 1 1) 。

【 0 0 8 0 】

ステップ S 1 1 における閾値 τ は、高炉円周偏差可視化の結果 (図 4 参照) を考慮して、例えば 3 ~ 5 時間に設定することが好ましい。ステップ S 1 1 の処理で条件が成立した場合 (ステップ S 1 1 で Y e s)、通気性異常予知はステップ S 1 2 の処理に進む。一方、ステップ S 1 1 の処理で条件が不成立の場合 (ステップ S 1 1 で N o)、通気性異常予知は一連の処理を終了する。

20

【 0 0 8 1 】

ステップ S 1 2 の処理では、通気性異常予知部 1 2 が、高炉円周偏差可視化部 1 1 のステップ S 2 で算出した炉体温度の標準偏差、またはステップ S 3 で特定した、直近の標準偏差が最も上昇した炉体高さ方向の測定位置における炉体温度の標準偏差が閾値 β を超えた状態であるか否かを判定する (ステップ S 1 2)。ステップ S 1 2 の処理で条件が成立した場合 (ステップ S 1 2 で Y e s)、通気性異常予知はステップ S 1 3 の処理に進む。一方、ステップ S 1 2 の処理で条件が不成立の場合 (ステップ S 1 2 で N o)、通気性異常予知は一連の処理を終了する。

【 0 0 8 2 】

ステップ S 1 3 の処理では、通気性異常予知部 1 2 が、微粉炭流量が相対的に多い方角と炉体中心に点対称の方角において、高炉円周偏差可視化部 1 1 のステップ S 2 で算出した炉体温度の標準偏差、またはステップ S 3 で特定した炉体高さ方向の測定位置における炉体温度が上昇しているかを判定する (ステップ S 1 3)。ここで、炉体円周方向における羽口本数と炉体温度の測定点数とは異なり、微粉炭流量が最大である箇所と完全な点対称の位置に炉体温度の測定点があるとは限らない。そこで、ステップ S 1 3 の処理では、例えば微粉炭流量が最大である箇所と点対称の位置から、時計回りおよび反時計回りに 4 5 ° の範囲内にある測定点における炉体温度が最大であるか否かを判定する。

30

【 0 0 8 3 】

ステップ S 1 3 の処理で条件が成立した場合 (ステップ S 1 3 で Y e s)、通気性異常予知はステップ S 1 4 の処理に進む。ステップ S 1 3 の処理で条件が不成立の場合 (ステップ S 1 3 で N o)、通気性異常予知は一連の処理を終了する。ステップ S 1 4 の処理では、通気性異常予知部 1 2 が、通気性異常の予兆があると判定し (ステップ S 1 4)、一連の処理を終了する。

40

【 0 0 8 4 】

(通気性異常予知の第二の態様)

次に、通気性異常予知部 1 2 による通気性異常予知の処理の第二の態様について、図 6 を参照しながら説明する。図 6 は、通気性異常予知部 1 2 の処理の第二の態様の流れを示すフローチャートである。図 6 に示すフローチャートは、操業異常予知装置 1 に対して通気性異常予知の実行指令が入力されたタイミングで開始となり、通気性異常予知はステッ

50

プ S 2 1 の処理に進む。

【 0 0 8 5 】

ステップ S 2 1 の処理では、通気性異常予知部 1 2 が、微粉炭流量の標準偏差と、直近の標準偏差が最も上昇した炉体高さ方向の測定位置における炉体温度の標準偏差を t 時間（ラグ t ）ずらしたものとを説明変数に含む統計モデルに基づき、通気抵抗の変動の予測を行う（ステップ S 2 1）。微粉炭流量の標準偏差は、高炉円周偏差可視化部 1 1 の処理（図 2 参照）のうちのステップ S 2 で算出される。また、直近の標準偏差が最も上昇した炉体高さ方向の測定位置における炉体温度の標準偏差は、高炉円周偏差可視化部 1 1 の処理（図 2 参照）のうちのステップ S 3 で特定される。

【 0 0 8 6 】

ステップ S 2 1 におけるラグ t は、微粉炭流量の炉体円周偏差が発生するタイミング（図 4 の A 1 参照）と、炉体温度の炉体円周偏差が拡大するタイミング（図 4 の A 2 参照）とに基づき、3 ~ 5 時間で設定することが好ましい。また、使用する統計モデルとしては、例えば重回帰、局所 P L S、決定木等が挙げられる。これにより、ステップ S 2 1 の処理は完了し、通気性異常予知はステップ S 2 2 の処理に進む。

【 0 0 8 7 】

ステップ S 2 2 の処理では、通気性異常予知部 1 2 が、ステップ S 2 1 で得られた通気抵抗の将来予測値が閾値 y を超えた状態であるか否かを判定する（ステップ S 2 2）。ステップ S 2 2 の処理で条件が成立した場合（ステップ S 2 2 で Y e s）、通気性異常予知はステップ S 2 3 の処理に進む。一方、ステップ S 2 2 の処理で条件が不成立の場合（ステップ S 2 2 で N o）、通気性異常予知は一連の処理を終了する。

【 0 0 8 8 】

ステップ S 2 3 の処理では、通気性異常予知部 1 2 が、微粉炭流量が最大の方角が炉体温度の最大の方角と点対称であるか否かを判定する（ステップ S 2 3）。ステップ S 2 3 の処理では、通気性異常予知部 1 2 が、微粉炭流量が相対的に多い方角と炉体中心に点対称の方角において、高炉円周偏差可視化部 1 1 のステップ S 2 で算出された炉体温度の標準偏差、またはステップ S 3 で特定された炉体高さ方向の測定位置における炉体温度が上昇しているか否かを判定する。ステップ S 2 3 の処理において、点対称であるか否かの判定方法は、通気性異常予知部 1 2 の処理の第一の態様におけるステップ S 1 3 と同様である。

【 0 0 8 9 】

ステップ S 2 3 の処理で条件が成立した場合（ステップ S 2 3 で Y e s）、通気性異常予知はステップ S 2 4 の処理に進む。ステップ S 2 3 の処理で条件が不成立の場合（ステップ S 2 3 で N o）、通気性異常予知は一連の処理を終了する。ステップ S 2 4 の処理では、通気性異常予知部 1 2 が、通気性異常の予兆があると判定し（ステップ S 2 4）、一連の処理を終了する。

【 0 0 9 0 】

（異常予兆発報部の処理）

次に、異常予兆発報部 1 3 の処理について説明する。異常予兆発報部 1 3 の処理は、操業異常予知装置 1 に対して異常予兆発報の実行指令が入力されたタイミングで開始となる。

【 0 0 9 1 】

異常予兆発報部 1 3 は、高炉円周偏差可視化部 1 1 で生成された推移グラフを表示装置 3 に表示する。更に、異常予兆発報部 1 3 は、通気性異常予知部 1 2 が通気性異常の予兆があると判定した場合に、直近で微粉炭流量および炉体温度が最大である箇所を点滅させて強調して表示してもよく、推移グラフ上に通気性異常予兆がある旨のアラームを、図示しないスピーカ等から出力してよい。

【 0 0 9 2 】

異常予兆発報部 1 3 によって異常予兆が発報された場合、通気性悪化を抑止するために、送風羽口からの熱風の送風流量または送風酸素量を低減する、あるいは炉頂から装入す

10

20

30

40

50

るコークスのコークス比を上昇させる、等の操業アクションをとることが好ましい。

【0093】

以上説明した実施形態に係る高炉の操業異常予知装置および高炉の操業異常予知方法が行う通気性異常予知の第一の態様によれば、微粉炭流量の炉体円周方向の偏差が発生した場合においても、炉体温度の炉体円周方向の乱れと、微粉炭流量の炉体円周方向の偏差と炉体温度の炉体円周方向の偏差との異方性とに基づいて、炉内の通気性悪化および炉体円周方向の異常部位を事前かつリアルタイムに予知することができる。

【0094】

また、以上説明した実施形態に係る高炉の操業異常予知装置および高炉の操業異常予知方法が行う通気性異常予知の第二の態様によれば、微粉炭流量および炉体温度の炉体円周方向の偏差を説明変数とする統計モデルに基づいて通気抵抗の変動を予測することにより、通気性異常の予兆を定量的かつ高精度に判断することが可能となる。これにより、異常予兆の検出感度や判定の信頼性が向上し、操業条件の最適化や異常発生未然防止に寄与する。特に、操業条件の変動が複雑に絡み合う高炉プロセスにおいては、統計モデルを用いた予測により、複数の因子の相関関係を考慮した異常予知が可能となり、操業の安定化と溶銑の品質向上に貢献する。

【0095】

(高炉の操業方法)

実施形態に係る高炉の操業異常予知方法は、高炉の操業方法に適用してもよい。高炉の操業方法では、高炉の操業異常予知方法による通気性異常の予兆の判定結果に基づいて、送風羽口からの熱風の送風流量、送風羽口から送風される熱風の送風酸素量、炉頂から装入するコークスのコークス比、のいずれかの操業条件を変更するステップを含む。実施形態に係る高炉の操業方法によれば、微粉炭流量の調整ではなく、送風流量、送風酸素量(富化酸素流量)またはコークス比の操作を促すことにより、微粉炭が未燃となるリスクを回避しつつ通気性悪化を抑止することができる。

【0096】

(溶銑の製造方法)

実施形態に係る高炉の操業方法は、溶銑の製造方法に適用してもよい。溶銑の製造方法では、上記の高炉の操業方法によって溶銑を製造する。実施形態に係る溶銑の製造方法によれば、高炉の通気性を保ちつつ、溶銑を歩留まりよく製造することができる。

【0097】

(実施例1)

本発明に係る高炉の操業異常予知方法の実施例1について、図7を参照しながら説明する。本実施例は、本発明に係る高炉の操業異常予知方法における通気性異常予知の第一の態様に対応している。なお、実施例にて示す高炉では、高炉のシャフト中部からシャフト下部の炉体の高さ方向に9段、円周方向に8点(方角:東、南東、南、南西、西、北西、北、北東)の温度計が設置されている。また、実施例にて示す高炉では、高炉のシャフト中部からシャフト下部の炉体の高さ方向に10段、円周方向に4点(方角:東、南、西、北)の圧力計が設置されている。更に、実施例にて示す高炉では、円周方向に42本の羽口が設置されている。

【0098】

図7の上から一番目のグラフは、高炉で通気性異常が発生した際に、当該通気性異常を回避するために操作した送風流量の推移(実線)および送風酸素量の推移(破線)を示している。図7の上から二番目のグラフは、高炉円周偏差可視化部11で算出された微粉炭流量の標準偏差の推移(実線)および閾値 α (一点鎖線)を示している。また、A1は、微粉炭流量の標準偏差が閾値 α を超えたタイミングを示している。

【0099】

図7の上から三番目のグラフは、高炉円周偏差可視化部11で算出された炉体温度の標準偏差の推移(実線)および閾値 β (一点鎖線)を示している。また、A2は、炉体温度の標準偏差が閾値 β を超えたタイミングを示している。図7の上から四番目のグラフは、

通気性異常予知部 12 で判定した通気性異常予兆フラグ（破線）を示している。

【0100】

本実施例において、閾値 τ は 3 時間とした。図 7 に示すように、本発明に係る高炉の操業異常予知方法では、炉体温度の標準偏差が閾値 β を超えた A 2 の後に通気性異常予兆フラグを立てることが可能となる。そのため、本発明に係る高炉の操業異常予知方法では、高炉で通気性異常が発生したタイミングよりも、3 ~ 14 時間早期に、通気性異常を予知することができることがわかる。

【0101】

（実施例 2）

本発明に係る高炉の操業異常予知方法の実施例 2 について、図 8 を参照しながら説明する。本実施例は、本発明に係る高炉の操業異常予知方法における通気性異常予知の第二の態様に対応している。なお、実施例 2 にて示す高炉は、実施例 1 にて示す高炉と同一である。

10

【0102】

本実施例において、ラグ t は 3 時間とした。また、微粉炭流量の標準偏差、直近の標準偏差が最も上昇した炉体高さ方向の測定位置における炉体温度の標準偏差を t 時間ずらしたものの、コークス比、送風流量、送風湿度、送風温度、トータル酸素流量、コークス含有水分量を説明変数として、決定木に基づいて通気抵抗を予測した。

【0103】

図 8 は、通気性異常予知部が統計モデルを用いて予測した結果の一例を示している。図 8 は、横軸を通気抵抗の実績値とし、縦軸を統計モデルから出力された通気抵抗の予測値とした散布図である。図 8 に示すように、本発明に係る高炉の操業異常予知方法によれば、通気抵抗を良好な精度で予測できることがわかる。

20

【0104】

以上、本発明に係る高炉の操業異常予知装置、高炉の操業異常予知方法、高炉の操業方法および溶銑の製造方法について、発明を実施するための形態および実施例により具体的に説明したが、本発明の趣旨はこれらの記載に限定されるものではなく、特許請求の範囲の記載に基づいて広く解釈されなければならない。また、これらの記載に基づいて種々変更、改変等したもののも本発明の趣旨に含まれることはいうまでもない。

【0105】

例えば、本発明において、微粉炭流量の円周偏差が所定の時間継続して所定の閾値を超え、かつ炉体圧力の円周偏差が所定の閾値を超え、更に微粉炭流量の吹込みが多い方角と同じ方角において、炉体圧力が上昇している場合において通気性異常の予知を行ってもよい。

30

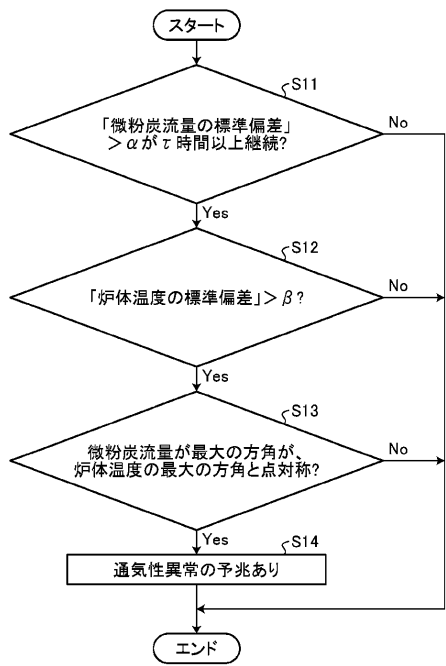
【符号の説明】

【0106】

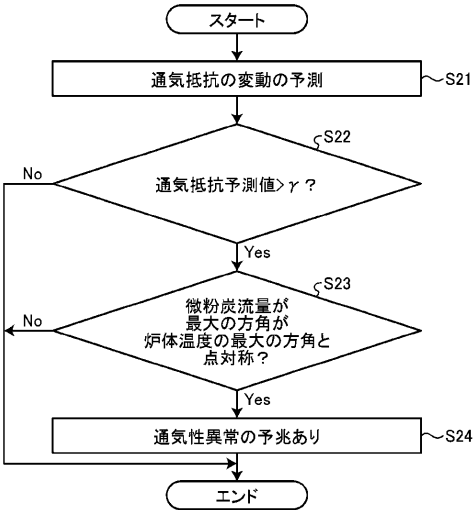
- 1 操業異常予知装置
- 11 高炉円周偏差可視化部
- 12 通気性異常予知部
- 13 異常予兆発報部
- 2 高炉操業 DB
- 3 表示装置

40

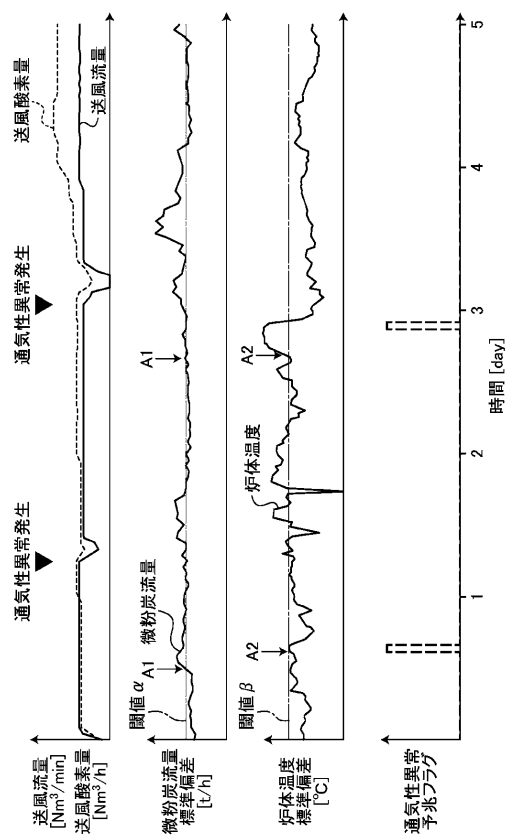
【 図 5 】



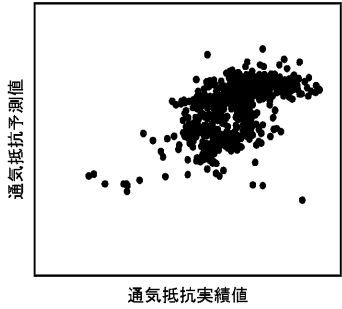
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

F ターム(参考) 4K015 KA01