

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B1)

(11)特許番号
特許第7522999号
(P7522999)

(45)発行日 令和6年7月26日(2024.7.26)

(24)登録日 令和6年7月18日(2024.7.18)

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

請求項の数 11 (全17頁)

(21)出願番号	特願2024-531525(P2024-531525)	(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6年2月28日(2024.2.28)	(74)代理人	100147485 弁理士 杉村 憲司
(86)国際出願番号	PCT/JP2024/007443	(74)代理人	230118913 弁理士 杉村 光嗣
審査請求日	令和6年5月27日(2024.5.27)	(74)代理人	100165696 弁理士 川原 敬祐
(31)優先権主張番号	特願2023-34999(P2023-34999)	(74)代理人	100180655 弁理士 鈴木 俊樹
(32)優先日	令和5年3月7日(2023.3.7)	(72)発明者	益田 稜介 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
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(72)発明者	橋本 佳也
早期審査対象出願			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 溶銑温度制御方法、高炉の操業方法、溶銑の製造方法、溶銑温度制御装置及び溶銑温度制御システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

高炉の炉内通気性の異常を判定する通気異常判定ステップと、
羽口から吹き込む微粉炭が燃焼せずに残存する未燃微粉炭の発生を判定する未燃微粉炭発生判定ステップと、
前記通気異常判定ステップ及び前記未燃微粉炭発生判定ステップの判定結果に基づいて溶銑温度制御に関するアクションの要否を判定するアクション要否判定ステップと、を含む、溶銑温度制御方法。

【請求項 2】

前記通気異常判定ステップは、高炉炉頂からの鉛直方向の距離が等しい位置に存在するシャフト圧力の標準偏差が、前記距離が異なる複数の段において第 1 閾値を上回る場合に、前記炉内通気性の異常があると判定する、請求項 1 に記載の溶銑温度制御方法。

【請求項 3】

前記未燃微粉炭発生判定ステップは、造銑速度及びソリューションロスカーボン量の少なくとも 1 つにおいて、物理モデルから得られる計算値と実績値との誤差の変化率が第 2 閾値以上の場合に、前記未燃微粉炭が発生していると判定する、請求項 1 に記載の溶銑温度制御方法。

【請求項 4】

前記アクション要否判定ステップは、前記通気異常判定ステップで前記炉内通気性の異常があると判定され、かつ、前記未燃微粉炭発生判定ステップで前記未燃微粉炭が発生し

ていると判定された場合に、溶銑温度を上昇させるための前記アクションを提示する、請求項 1 に記載の溶銑温度制御方法。

【請求項 5】

請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の溶銑温度制御方法によって判定された前記アクションの要否に従って、前記高炉を制御するステップを含む、高炉の操業方法。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の高炉の操業方法に従って前記高炉を制御し、溶銑を製造するステップを含む、溶銑の製造方法。

【請求項 7】

高炉の炉内通気性の異常を判定する通気異常判定部と、
羽口から吹き込む微粉炭が燃焼せずに残存する未燃微粉炭の発生を判定する未燃微粉炭発生判定部と、

前記通気異常判定部及び前記未燃微粉炭発生判定部の判定結果に基づいて溶銑温度制御に関するアクションの要否を判定するアクション要否判定部と、を備える、溶銑温度制御装置。

【請求項 8】

前記通気異常判定部は、高炉炉頂からの鉛直方向の距離が等しい位置に存在するシャフト圧力の標準偏差が、前記距離が異なる複数の段において第 1 閾値を上回る場合に、前記炉内通気性の異常があると判定する、請求項 7 に記載の溶銑温度制御装置。

【請求項 9】

前記未燃微粉炭発生判定部は、造銑速度及びソリューションロスカーボン量の少なくとも 1 つにおいて、物理モデルから得られる計算値と実績値との誤差の変化率が第 2 閾値以上の場合に、前記未燃微粉炭が発生していると判定する、請求項 7 に記載の溶銑温度制御装置。

【請求項 10】

前記アクション要否判定部は、前記通気異常判定部が前記炉内通気性の異常があると判定し、かつ、前記未燃微粉炭発生判定部が前記未燃微粉炭が発生していると判定した場合に、溶銑温度を上昇させるための前記アクションを提示する、請求項 7 から 9 のいずれか一項に記載の溶銑温度制御装置。

【請求項 11】

溶銑温度制御装置と、端末装置と、を備えて構成される溶銑温度制御システムであって、高炉の炉内通気性の異常を判定する通気異常判定部と、
羽口から吹き込む微粉炭が燃焼せずに残存する未燃微粉炭の発生を判定する未燃微粉炭発生判定部と、

前記通気異常判定部及び前記未燃微粉炭発生判定部の判定結果に基づいて溶銑温度制御に関するアクションの要否を判定するアクション要否判定部と、

前記通気異常判定部が判定した炉内通気性の異常判定結果と前記未燃微粉炭発生判定部が判定した未燃微粉炭発生の判定結果と前記アクション要否判定部の判定結果が出力する溶銑温度制御のアクションを出力する出力部と、

前記出力部からの出力結果を取得し、前記通気異常判定部の判定結果と前記未燃微粉炭発生判定部の判定結果と前記アクション要否判定部が出力する溶銑温度制御のアクションを表示する表示部と、を備える、溶銑温度制御システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、溶銑温度制御方法、高炉の操業方法、溶銑の製造方法、溶銑温度制御装置及び溶銑温度制御システムに関する。

【背景技術】

【0002】

高炉プロセスにおいて、溶銑温度、通気度及び造銑速度は主要な制御変数である。高炉

10

20

30

40

50

において生産される溶銑の温度を一定に保つことは重要である。また、高炉では炉頂から装入した鉱石及びコークス等の原料を安定的に降下させるため、炉内の通気性を確保する必要がある。さらに、高炉の次工程である製鋼工程により要求される所定の生産速度（造銑速度）に従って溶銑を生産することが求められる。

【0003】

高効率かつ安定的な高炉操業を実現するために、溶銑温度の制御は特に重要である。溶銑温度が著しく低下すると、炉下部の溶銑又はスラグが固まる炉冷事故となり、操業が停止するおそれがある。また、溶銑温度が高いことは、燃料である微粉炭又はコークスの過剰投入を意味しており、還元材比の上昇につながる。この場合に、炉内のガス温度の上昇に伴いガスが膨張するため、通気性も悪化する。

10

【0004】

近年の高炉操業では、CO₂削減のために還元材比の低減を目指しており、溶銑温度のばらつきの低減が強く求められている。

【0005】

溶銑温度は、例えばコークス比、送風湿分、送風温度及び微粉炭流量を操作することによって制御される。高炉は熱容量の大きいプロセスであるため、操作変数を変更した場合に溶銑温度が変化するまで例えば2～8時間程度の時間遅れを伴う。そのため、アクションの効果が現れるまでの時間遅れを考慮した溶銑温度の将来予測と、予測に基づく制御が必要である。

【0006】

このような背景から、物理モデルを用いる溶銑温度制御方法が提案されている。例えば特許文献1は、物理モデル中のガス還元平衡パラメータ又は炉頂におけるコークス比のパラメータを調整し、現在の操作量が保持されたと仮定して物理モデルで溶銑温度の予測値を算出し、算出された予測値に基づいて溶銑温度を制御する方法を記載する。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【文献】特開2018-24935号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0008】

ただし、特許文献1に記載の物理モデルでは、計算時間短縮のため、コークス粉化、未燃微粉炭の蓄積など、粉体に関連する現象までは考慮されていない。つまり、特許文献1に記載の物理モデルは、微粉炭が完全燃焼すると仮定しており、未燃微粉炭の挙動の反映が困難である。近年の高炉操業では、溶銑コスト削減のためコークスを微粉炭に置換する操業を志向しており、微粉炭が未燃となり蓄積しやすい。したがって、未燃微粉炭が原因で、溶銑温度又は造銑速度の推定誤差が発生することがあり得る。

【0009】

未燃微粉炭が発生する場合に、コークスの燃焼が促進されることによって、高炉内の原料降下速度が上昇し、ガスによる鉱石の還元が遅れ、吸熱反応である直接還元が増える。このことにより溶銑温度が一時的に低下する。その後、未燃微粉炭がレースウェイにて燃焼すれば、原料降下速度が低下して溶銑温度は回復する。ただし、未燃微粉炭が蓄積した場合には、未燃微粉炭が直接還元で使用されて消失して、溶銑温度の低下が継続する。また、未燃微粉炭が炉内に蓄積すると通気性が悪化する。すなわち、炉内の通気性の指標の変化及び造銑速度、ソリューションロスカーボン量等のプロセス変数の推定誤差から未燃微粉炭の蓄積を判定することが可能であると考えられる。また、未燃微粉炭の蓄積を精度良く判定できれば、将来の溶銑温度の低下を検知することが可能である。

40

【0010】

かかる事情に鑑みてなされた本開示の目的は、物理モデルでは予測が困難な将来の溶銑温度低下を検知して溶銑温度を上昇させるアクションを提示することが可能な溶銑温度制

50

御方法、高炉の操業方法、溶銑の製造方法、溶銑温度制御装置及び溶銑温度制御システムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

(1) 本開示の一実施形態に係る溶銑温度制御方法は、
高炉の炉内通気性の異常を判定する通気異常判定ステップと、
羽口から吹き込む微粉炭が燃焼せずに残存する未燃微粉炭の発生を判定する未燃微粉炭発生判定ステップと、
前記通気異常判定ステップ及び前記未燃微粉炭発生判定ステップの判定結果に基づいて溶銑温度制御に関するアクションの要否を判定するアクション要否判定ステップと、を含む。

10

【0012】

(2) 本開示の一実施形態として、(1)において、
前記通気異常判定ステップは、高炉炉頂からの鉛直方向の距離が等しい位置に存在するシャフト圧力の標準偏差が、前記距離が異なる複数の段において第1閾値を上回る場合に、前記炉内通気性の異常があると判定する。

【0013】

(3) 本開示の一実施形態として、(1)又は(2)において、
前記未燃微粉炭発生判定ステップは、造銑速度及びソリューションロスカーボン量の少なくとも1つにおいて、物理モデルから得られる計算値と実績値との誤差の変化率が第2閾値以上の場合に、前記未燃微粉炭が発生していると判定する。

20

【0014】

(4) 本開示の一実施形態として、(1)から(3)のいずれかにおいて、
前記アクション要否判定ステップは、前記通気異常判定ステップで前記炉内通気性の異常があると判定され、かつ、前記未燃微粉炭発生判定ステップで前記未燃微粉炭が発生していると判定された場合に、溶銑温度を上昇させるための前記アクションを提示する。

【0015】

(5) 本開示の一実施形態に係る高炉の操業方法は、
(1)から(4)のいずれかの溶銑温度制御方法によって判定された前記アクションの要否に従って、前記高炉を制御するステップを含む。

30

【0016】

(6) 本開示の一実施形態に係る溶銑の製造方法は、
(5)の高炉の操業方法に従って前記高炉を制御し、溶銑を製造するステップを含む。

【0017】

(7) 本開示の一実施形態に係る溶銑温度制御装置は、
高炉の炉内通気性の異常を判定する通気異常判定部と、
羽口から吹き込む微粉炭が燃焼せずに残存する未燃微粉炭の発生を判定する未燃微粉炭発生判定部と、
前記通気異常判定部及び前記未燃微粉炭発生判定部の判定結果に基づいて溶銑温度制御に関するアクションの要否を判定するアクション要否判定部と、を備える。

40

【0018】

(8) 本開示の一実施形態として、(7)において、
前記通気異常判定部は、高炉炉頂からの鉛直方向の距離が等しい位置に存在するシャフト圧力の標準偏差が、前記距離が異なる複数の段において第1閾値を上回る場合に、前記炉内通気性の異常があると判定する。

【0019】

(9) 本開示の一実施形態として、(7)又は(8)において、
前記未燃微粉炭発生判定部は、造銑速度及びソリューションロスカーボン量の少なくとも1つにおいて、物理モデルから得られる計算値と実績値との誤差の変化率が第2閾値以上の場合に、前記未燃微粉炭が発生していると判定する。

50

【 0 0 2 0 】

(1 0) 本開示の一実施形態として、(7) から (9) のいずれかにおいて、前記アクション要否判定部は、前記通気異常判定部が前記炉内通気性の異常があると判定し、かつ、前記未燃微粉炭発生判定部が前記未燃微粉炭が発生していると判定した場合に、溶銑温度を上昇させるための前記アクションを提示する。

【 0 0 2 1 】

(1 1) 本開示の一実施形態に係る溶銑温度制御システムは、溶銑温度制御装置と、端末装置と、を備えて構成される溶銑温度制御システムであって、高炉の炉内通気性の異常を判定する通気異常判定部と、羽口から吹き込む微粉炭が燃焼せずに残存する未燃微粉炭の発生を判定する未燃微粉炭発生判定部と、

前記通気異常判定部及び前記未燃微粉炭発生判定部の判定結果に基づいて溶銑温度制御に関するアクションの要否を判定するアクション要否判定部と、

前記通気異常判定部が判定した炉内通気性の異常判定結果と前記未燃微粉炭発生判定部が判定した未燃微粉炭発生の判定結果と前記アクション要否判定部の判定結果が出力する溶銑温度制御のアクションを出力する出力部と、

前記出力部からの出力結果を取得し、前記通気異常判定部の判定結果と前記未燃微粉炭発生判定部の判定結果と前記アクション要否判定部が出力する溶銑温度制御のアクションを表示する表示部と、を備える。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 2 】

本開示によれば、物理モデルでは予測が困難な将来の溶銑温度低下を検知して溶銑温度を上昇させるアクションを提示することが可能な溶銑温度制御方法、高炉の操業方法、溶銑の製造方法、溶銑温度制御装置及び溶銑温度制御システムを提供することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 3 】

【 図 1 】 図 1 は、本開示の一実施形態に係る溶銑温度制御装置の構成例を示すブロック図である。

【 図 2 】 図 2 は、通気異常判定部の処理を例示するフローチャートである。

【 図 3 】 図 3 は、未燃微粉炭発生判定部の処理を例示するフローチャートである。

【 図 4 】 図 4 は、アクション要否判定部の処理を例示するフローチャートである。

【 図 5 】 図 5 は、未燃微粉炭が発生したと考えられる場合における、シャフト圧力値の、高さ位置毎の平均値からの差分の時系列変化を示す図である。

【 図 6 】 図 6 は、図 5 と同時間における、シャフト圧力値の高さ位置毎の標準偏差及び造銑速度の実績値と計算値との差分に関する時系列変化を示す図である。

【 図 7 】 図 7 は、図 5 とは異なる時間における、シャフト圧力値の標準偏差、造銑速度の差分及びソリューションロスカーボン量の差分に関する時系列変化を示す図である。

【 図 8 】 図 8 は、図 7 と同時間における、未燃微粉炭が発生したと考えられる場合における、物理モデルの入力変数及び出力変数の時系列変化を示す図である。

【 図 9 】 図 9 は、溶銑温度制御装置を備える溶銑温度制御システムの構成例を示すブロック図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 4 】

以下、図面を参照して本開示の一実施形態に係る溶銑温度制御方法、高炉の操業方法、溶銑の製造方法、溶銑温度制御装置及び溶銑温度制御システムが説明される。

【 0 0 2 5 】

[溶銑温度制御装置の構成]

まず、図 1 を参照して、本開示の一実施形態である溶銑温度制御装置の構成が説明される。

【 0 0 2 6 】

10

20

30

40

50

図 1 は、本開示の一実施形態である溶銑温度制御装置 1 の構成を示すブロック図である。図 1 に示すように、本開示の一実施形態である溶銑温度制御装置 1 は、コンピュータ等の情報処理装置によって構成される。溶銑温度制御装置 1 がコンピュータである場合に、CPU (Central Processing Unit) 等の演算処理装置がプログラムを実行することにより、通気異常判定部 11、未燃微粉炭発生判定部 12 及びアクション要否判定部 13 として機能する。各部の機能については後述する。

【0027】

溶銑温度制御装置 1 には、操業データベース 2 がデータ読み取り可能な形態で接続されている。操業データベース 2 には、操業上必要な計測データ及び溶銑温度制御に必要な操業因子が逐次保存されて、格納されており、これらの情報が必要に応じて読みだされて、利用される。本実施形態では、操業データベース 2 には、炉頂コークス比、送風流量、富化酸素量、送風温度、送風湿分及び微粉炭流量等の操業因子が格納されている。また、操業データベース 2 には、物理モデルによって出力されるプロセス変数の計算値が格納されている。物理モデルによって出力されるプロセス変数の計算値は、溶銑温度制御装置 1 の計算の度に、操業データベース 2 に逐次保存される。また、操業データベース 2 には、排出された炉頂ガスの CO 及び CO₂ の体積分率に基づき算出されるプロセス変数の実績値が格納されている。また、操業データベース 2 には、シャフト圧力計から得られる圧力値の履歴データが格納されている。ここで、プロセス変数としては、溶銑温度、造銑速度、ソリューションロスカーボン量、ガス利用率等が挙げられる。

【0028】

本開示で用いられる物理モデルは、参考文献 1 (羽田野道春ら, 「高炉非定常モデルによる火入れ操業の検討」, 鉄と鋼, vol. 68, p. 2369) に記載の方法と同様のモデルである。すなわち、物理モデルは、鉄鉱石の還元、鉄鉱石とコークスとの間の熱交換及び鉄鉱石の融解等の複数の物理現象を考慮した偏微分方程式群から構成されており、非定常状態における高炉内の状態を示す変数 (出力変数) を計算可能である。

【0029】

このような構成を有する溶銑温度制御装置 1 は、通気異常判定部 11、未燃微粉炭発生判定部 12 及びアクション要否判定部 13 によって溶銑温度制御方法の各処理を実行して、溶銑温度制御のための適切なアクションを出力する。

【0030】

[通気異常判定部の動作]

シャフト圧力は、高炉のシャフト部における圧力である。シャフト圧力は、平常時の操業において全ての測定点において同期した挙動 (例えば同じ時刻での上昇又は低下など) を示す。しかし、炉内の通気性が悪化すると炉内の圧力分布が乱れるため、一部の測定点においてシャフト圧力が非同期な変化を示す。特に、炉内のガス流れが円周方向で不均一になることで、円周方向の特定の方角におけるシャフト圧力が変化する。ここで、方角とは、例えば東 (E)、南 (S)、西 (W) 及び北 (N) などであって、円筒形状の炉内の円周方向の領域を区分して、その位置を表すために用いられる。本実施形態において、通気異常判定部 11 は、炉頂からの距離が等しい測定点毎、すなわち高さ位置毎にシャフト圧力の標準偏差を算出する。そして、通気異常判定部 11 は、複数の高さ位置で直近の標準偏差が閾値を超えるか否かによって通気異常を判定する。

【0031】

図 2 を参照して、通気異常判定部 11 の動作が説明される。上記のように、通気異常判定部 11 は高炉の炉内通気性の異常を判定する。

【0032】

図 2 は、本開示の一実施形態である通気異常判定の流れを示すフローチャートである。図 2 に示される処理が通気異常判定ステップに対応する。図 2 に示すフローチャートは、溶銑温度制御装置 1 に対して通気異常判定の実行指令が入力されたタイミングで開始となる。通気異常判定はステップ S1 の処理に進む。

【0033】

10

20

30

40

50

ステップ S 1 の処理では、通気異常判定部 1 1 が、操業データベース 2 からシャフト圧力データを取得する。データ取得周期は、1 分～30 分であることが好ましい。これにより、ステップ S 1 の処理が完了し、通気異常判定はステップ S 2 の処理に進む。

【0034】

ステップ S 2 の処理では、通気異常判定部 1 1 が、ステップ S 1 の処理において取得したシャフト圧力値の中に測定不良又はデータ伝送異常等に起因した異常値が含まれるかを判定する。例えば通気異常判定部 1 1 は、シャフト圧力値が炉頂圧を下回る又は送風圧を上回る場合に、そのシャフト圧力値が異常値であると判定してよい。シャフト圧力データが異常値を含むと判定した場合に、通気異常判定部 1 1 は異常値を示す観測値を除去する（ステップ S 6）。そして、通気異常判定はステップ S 3 の処理に進む。シャフト圧力データが異常値を含まないと判定した場合に、通気異常判定はそのままステップ S 3 の処理に進む。

10

【0035】

ステップ S 3 の処理では、通気異常判定部 1 1 が、異常値の無い又は異常値が除去されたシャフト圧力データに対して、炉頂からの距離が等しい測定点を 1 つの群（グループ）として、測定点群における標準偏差を算出する。高さ方向に N 点、円周方向に M 点のシャフト圧力の測定点があるとする。高さ方向の N 点の測定点は、高炉を高炉炉頂からの鉛直方向の距離で区分した N 段の領域における、それぞれの測定点に対応する。1 つの段の領域の円周方向に M 点のシャフト圧力の測定点があり、これら M 点の測定点は高炉炉頂からの鉛直方向の距離が等しい位置に存在する。ある高さ位置 i 、ある円周方向の方角 j 、ある時刻 t におけるシャフト圧力を $p_{i,j,t}$ とする場合に、時刻 t の高さ位置 i におけるシャフト圧力の平均値 $a(p_{i,t})$ は (1) 式で求められる。

20

【0036】

【数 1】

$$a(p_{i,t}) = \frac{\sum_{j=1}^M p_{i,j,t}}{M} \quad (1)$$

【0037】

さらに、平均値 $a(p_{i,t})$ を用いて、標準偏差 $\sigma_{i,t}$ は (2) 式により算出される。

30

【0038】

【数 2】

$$\sigma_{i,t} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^M (p_{i,j,t} - a(p_{i,t}))^2}{M}} \quad (2)$$

40

【0039】

さらに、高さ位置毎に直近 T_1 の標準偏差の中央値 $\bar{\sigma}_i$ が算出され、(3) 式に示す標準偏差の配列 $\sigma_{i,t}$ が求められる。ここで、高さ位置毎とは、高炉を高炉炉頂からの鉛直方向の距離で区分した N 段の領域の領域毎を意味する。 T_1 は一例として 15 分であって、直近の 15 分のシャフト圧力データについて、1 つの高さ位置の標準偏差 $\sigma_{i,t}$ が求められて、15 分の間の複数の標準偏差 $\sigma_{i,t}$ から中央値 $\bar{\sigma}_i$ が算出される。中央値 $\bar{\sigma}_i$ は高さ位置毎に求められて、その集合として配列 $\bar{\sigma}_i$ が得られる。

【0040】

【数 3】

50

$$\sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \vdots \\ \sigma_N \end{pmatrix} \quad (3)$$

10

【0041】

ここで、 T_1 が極端に小さいとノイズによって一時的にシャフト圧力が変化した場合に通気異常と誤判定する可能性がある。また、 T_1 が大きすぎると通気異常と判定するタイミングが遅れて適切なアクションの提示が困難になる。したがって、 T_1 は10分～60分の範囲で決定されることが好ましい。これにより、ステップS3の処理が完了し、通気異常判定はステップS4の処理に進む。

【0042】

ステップS4の処理では、通気異常判定部11が、ステップS3の処理において得られる標準偏差の配列に対して、閾値（第1閾値）を上回る高さ位置（段数）をカウントする。カウントした値 k が2以上であれば、ステップS4の処理が完了し、通気異常判定は「異常」と判定して（ステップS5）、一連の処理を終了する。また、カウントした値 k が1以下であれば、ステップS4の処理が完了し、通気異常判定は「正常」と判定して（ステップS7）、一連の処理を終了する。段数による判定を加えることによって、1つの段において生じたノイズなどによる一時的な偏差の大きさを通気性の「異常」と誤判定することを回避することができる。ここで、閾値は、高炉の容積及びシャフト圧力の測定位置に応じて決定される。シャフト圧力の単位がkPaである場合に、閾値は例えば2～10[kPa]の範囲の値で決定されてよい。また、ステップS4において、カウントした値 k が2以上か、2未満（1以下）かに応じて処理を分岐させたが、分岐の判断に用いられる数（基準値）は2に限定されない。例えば高炉のサイズが大きい又は測定点の数が多の場合などに、誤判定を回避する効果をさらに高めるために、基準値は2より大きい数に設定されてよい。

20

30

【0043】

ここで、通気異常判定部11は標準偏差と異なる算出値を用いてよい。別の例として、通気異常判定部11は、直近の T_1 のシャフト圧力データについて、標準偏差に代えて1つの高さ位置の最大値と最小値の差分を求めて、 T_1 の間の差分から中央値を算出してよい。

【0044】

[未燃微粉炭発生判定部の動作]

次に図3を参照して、未燃微粉炭発生判定部12の動作が説明される。未燃微粉炭発生判定部12は、高炉の羽口から吹き込む微粉炭が燃焼せずに残存する未燃微粉炭の発生を判定する。以下において、未燃微粉炭発生とは、未燃微粉炭が発生して、溶銑温度の低下が継続する程度に蓄積した状態を指す。

40

【0045】

図3は、本開示の一実施形態である未燃微粉炭発生判定の流れを示すフローチャートである。図3に示される処理が未燃微粉炭発生判定ステップに対応する。図3に示すフローチャートは、溶銑温度制御装置1に対して未燃微粉炭発生判定の実行指令が入力されたタイミングで開始となる。未燃微粉炭発生判定はステップS10の処理に進む。

【0046】

ステップS10の処理では、未燃微粉炭発生判定部12が、操業データベース2から物理モデルによって出力されるプロセス変数の計算値の履歴データ（物理モデル計算結果）

50

を取得する。未燃焼微粉炭判定に使用されるプロセス変数は、例えば造銑速度、ソリューションロスカーボン量等を含む。これにより、ステップS10の処理が完了し、未燃微粉炭発生判定はステップS11の処理に進む。ここで、未燃焼微粉炭判定に使用されるプロセス変数として、還元材比又はガス利用率が用いられてよい。物理モデルでは吹き込まれた微粉炭の全てが反応すると扱うが、実際において未燃微粉炭発生時に微粉炭の一部が反応しなくなるため、還元材比について計算値との乖離が生じる。また、物理モデルでは吹き込まれた微粉炭の全てがCOになると扱うが、実際において未燃微粉炭発生時に微粉炭の一部が反応せずにCO発生量が低下するため、ガス利用率について計算値との乖離が生じる。したがって、造銑速度及びソリューションロスカーボン量と同様に、還元材比又はガス利用率の推定誤差から未燃微粉炭の蓄積を判定することが可能である。

10

【0047】

ステップS11の処理では、未燃微粉炭発生判定部12が、操業データベース2からプロセス変数の実績値の履歴データ（操業実績データ）を取得する。これにより、ステップS11の処理が完了し、未燃微粉炭発生判定はステップS12の処理に進む。

【0048】

ステップS12の処理では、未燃微粉炭発生判定部12が、ステップS10で取得したプロセス変数の計算値の履歴データと、ステップS11で取得したプロセス変数の実績値の履歴データを用いて、直近 T_2 のプロセス変数の推定誤差の変化率を算出する。本実施形態では、時刻 t におけるプロセス変数 y の実績値 $y_{act}(t)$ と計算値 $y_{cal}(t)$ との誤差 $y_{err}(t)$ を(4)式でモデル化した。

20

【0049】

【数4】

$$y_{err}(t) = A \cdot t + B \quad (-T_2 \leq t \leq 0) \quad (4)$$

【0050】

取得された履歴データに基づいて(4)式の A が最小二乗法により求められる。 A は推定誤差の変化率である。 B はオフセットである。ここで、 T_2 を極端に小さくすると、プロセス変数の実績値において炉頂ガスの成分測定異常等により生じるノイズの影響で推定誤差の変化率が大きく変化する。また、 T_2 が大きすぎると過去の正常時の寄与が大きくなり直近の推定誤差の急変化を捉えることが困難となる。したがって、炉頂で装入された原料が羽口に降下する時間を考慮して、 T_2 は3～12時間の範囲で決定されることが好ましい。ここで、 T_2 はプロセス変数の種類によって異なってよい。これにより、ステップS12の処理が完了し、未燃微粉炭発生判定はステップS13の処理に進む。

30

【0051】

ステップS13の処理では、未燃微粉炭発生判定部12が、ステップS12で算出された、プロセス変数についての物理モデルから得られる計算値と実績値との誤差の変化率（誤差変化率 A ）について、閾値（第2閾値）との大きさを比較する。閾値はプロセス変数の種類によって異なる。誤差変化率 A の絶対値が閾値より小さい場合に、ステップS13の処理が完了し、未燃微粉炭発生判定部12が未燃微粉炭の発生なしと判定し（ステップS15）、一連の処理を終了する。また、誤差変化率 A の絶対値が閾値以上であれば、ステップS13の処理が完了し、未燃微粉炭発生判定部12が未燃微粉炭の発生ありと判定し（ステップS14）、一連の処理を終了する。

40

【0052】

[アクション要否判定部の動作]

次に、図4を参照して、アクション要否判定部13の動作が説明される。アクション要否判定部13は、通気異常判定部11及び未燃微粉炭発生判定部12の判定結果に基づいて溶銑温度制御に関するアクションの要否を判定する。

【0053】

図4は、本実施形態における、溶銑温度制御に関するアクション要否判定の流れを示す

50

フローチャートである。図4に示される処理がアクション要否判定ステップに対応する。図4に示すフローチャートは、溶銑温度制御装置1に対してアクション要否判定の実行指令が入力されたタイミングで開始となる。アクション要否判定はステップS20の処理に進む。

【0054】

ステップS20の処理では、アクション要否判定部13が、通気異常判定部11の判定結果に基づいて通気が正常か異常かを判定する。通気が「異常」の場合、ステップS20の処理が完了し、アクション要否判定はステップS21の処理に進む。通気が「正常」の場合、ステップS20の処理が完了し、アクション要否判定はステップS22の処理に進む。

10

【0055】

ステップS21の処理では、アクション要否判定部13が、未燃微粉炭発生判定部12の判定結果に基づいて未燃微粉炭が発生しているか否かを判定する。未燃微粉炭発生が「あり」の場合、ステップS21の処理が完了し、アクション要否判定はステップS23の処理に進む。未燃微粉炭発生が「なし」の場合、ステップS21の処理が完了し、アクション要否判定はステップS22の処理に進む。

【0056】

ステップS22の処理では、アクション要否判定部13が、未燃微粉炭の蓄積のない(微粉炭が完全燃焼した)炉内状態を推定して、溶銑温度制御のアクションを提示する。つまり、ステップS22の処理では、アクション要否判定部13が、従来の物理モデルによる溶銑温度の計算値に基づいて溶銑温度制御のアクションを提示する。この場合のアクション提示は、例えば参考文献2(Y. Hashimoto et al., ISI International, Vol. 59 (2019), p. 1573 - 1581)に記載の方法を用いることができる。これにより、ステップS22の処理は完了し、一連のアクション要否判定を終了する。

20

【0057】

ステップS23の処理では、アクション要否判定部13が、溶銑温度を上昇させる方向のアクションを提示する。未燃微粉炭が蓄積した場合には、未燃微粉炭が直接還元で使用されて消失して、溶銑温度の低下が継続するためである。溶銑温度を上昇させる方向のアクションとして、送風湿分を下げる、微粉炭比を上昇させる、送風温度を上昇させる又はコークス比を上昇させることが挙げられる。アクションにおける変更量は、送風湿分、微粉炭比、送風温度及びコークス比のそれぞれについて予め定められた固定値が用いられてよい。これにより、ステップS23の処理は完了し、一連のアクション要否判定を終了する。

30

【0058】

ここで、アクション要否判定は、ステップS20より先にステップS21の処理を実行してよい。つまり、ステップS20とステップS21の順は逆であってよい。

【0059】

上記の溶銑温度制御装置1が実行する溶銑温度制御方法は、高炉の操業方法の一部であり得る。例えば高炉の操業方法は、溶銑温度制御方法によって判定されたアクションの要否に従って、高炉を制御するステップを含んでよい。このような高炉の操業方法は、溶銑温度を上昇させる方向のアクションを適切に実行可能である。また、上記の溶銑温度制御方法又は高炉の操業方法は、溶銑の製造方法の一部であり得る。例えば溶銑の製造方法は、高炉の操業方法に従って高炉を制御し、溶銑を製造するステップを含んでよい。判定されたアクションの要否及び内容は、例えば溶銑温度制御装置1と高炉の操業又は溶銑の製造を管理するコンピュータと間の通信機能等を用いることによって自動的に操業又は製造に反映されてよい。また、判定されたアクションの要否及び内容は、例えばディスプレイ表示などによって操業又は製造を管理するオペレータに提示されて、オペレータによるアクション決定のガイダンスとして用いられてよい。

40

【0060】

50

また、図9に示すように、溶銑温度制御システムが構成されてよい。溶銑温度制御システムは、溶銑温度制御装置1と、端末装置3と、を備えて構成される。また、溶銑温度制御システムは、操業データベース2をさらに備えてよい。溶銑温度制御装置1及び操業データベース2の構成は、図1と同様である。すなわち、通気異常判定部11、未燃微粉炭発生判定部12、アクション要否判定部13及び操業データベース2については上記の説明の通りである。ただし、図9の例において、溶銑温度制御装置1は、提示するアクションなどを端末装置3に対して出力する出力部14をさらに備える。例えば溶銑温度制御装置1がコンピュータである場合に、演算処理装置がプログラムを実行することによって出力部14としても機能する。端末装置3は、例えばオペレータによって使用される装置である。端末装置3はスマートフォン又はタブレットなどの携帯端末であってよい。

10

【0061】

出力部14は、通気異常判定部11が判定した炉内通気性の異常判定結果と未燃微粉炭発生判定部12が判定した未燃微粉炭発生の判定結果とアクション要否判定部13の判定結果が出力する溶銑温度制御のアクションを出力する。例えば出力部14は、通気異常判定部11により出力される通気異常の有無とその根拠（シャフト圧力の異常を示す高さ位置及び異常判定した標準偏差の値）を端末装置3に出力してよい。また、例えば出力部14は、未燃微粉炭発生の有無の判定結果とその根拠（判定に用いたプロセス変数と誤差変化率）を端末装置3に出力してよい。ここでプロセス変数は、造銑速度、ソリューションロスカーボン量などである。また、例えば出力部14は、アクション要否判定部13の判定結果及び溶銑温度制御の操作量を端末装置3に出力してよい。端末装置3は、出力部14からの出力結果を取得して、出力結果を表示する表示部30を備えてよい。表示部30は、通気異常判定部11の判定結果と未燃微粉炭発生判定部12の判定結果とアクション要否判定部13が出力する溶銑温度制御のアクションを表示する。表示部30は、液晶ディスプレイ（Liquid Crystal Display）などであってよい。ここで、表示部30における表示は、汎用的なブラウザ上での表示であってよい。

20

【0062】

溶銑温度制御装置1、操業データベース2及び端末装置3は、LAN（Local Area Network）などのネットワークを介して相互に通信可能に構成される。ここで、図9の構成は一例である。溶銑温度制御装置1及び端末装置3は、図9に示す構成要素の全てを含まなくてよい。また、溶銑温度制御装置1及び端末装置3は、図9に示す以外の構成要素を備えてよい。また、溶銑温度制御装置1と端末装置3のそれぞれが含む構成要素は、図9の例に限定されるものでない。例えばアクション要否判定部13と表示部30とが同じ装置にあってよい。また、例えば通気異常判定部11、未燃微粉炭発生判定部12及び表示部30が端末装置3にあり、アクション要否判定部13及び出力部14が溶銑温度制御装置1にあってよい。また、各構成部間はプロセス間通信又はネットワークを利用する通信によってデータを送受信可能であってよい。

30

【0063】

[実施例1]

図5は、未燃微粉炭が発生したと考えられる場合における、シャフト圧力値の、高さ位置毎の平均値からの差分に関する時系列変化を示す図である。図の上下方向は、高炉の鉛直方向の高さに合わせている。つまり第1高さ位置が高炉炉頂に最も近い（高い）位置であり、第7高さ位置が高炉炉頂から最も離れた（低い）位置である。また、線種の違いは、測定点の円周方向の方角の違いを表す。図5の例では、特に下2段（第6高さ位置及び第7高さ位置）においてシャフト圧力値が非同期で変化しており、炉下部での通気性の悪化を示している。さらに、直近の0.5時間で下4段のうち特定の方角のシャフト圧力値が上昇しており、通気性がさらに悪化している。ここで、図5の縦軸は、各段における全ての方角のシャフト圧力の平均値を求めて、平均値との差で各方角のシャフト圧力値を示している。例えば負の値は、平均値より低いシャフト圧力値であることを示している。

40

【0064】

図6は、図5と同時間における、シャフト圧力値の高さ位置毎の標準偏差及び造銑速度

50

の実績値と計算値との差分の時系列変化を示す図である。シャフト圧力の標準偏差における線種の違いは、測定点の高さ位置の違いを表す。本実施例において、閾値は 4 [k P a] に設定された。また、図 6 の造銑速度のグラフにおいて、実線は実績値 $y_{a c t} (t)$ と計算値 $y_{c a l} (t)$ との誤差を表す。また、破線は (4) 式の関係を仮定して線形回帰を行った結果を表す。

【 0 0 6 5 】

通気異常判定について、 T_1 は 15 分に設定された。高さ位置毎に標準偏差が求められて、閾値を上回る高さ位置 (段数) がカウントされた。3 段の標準偏差が閾値を超えて、通気が「異常」と判定された。

【 0 0 6 6 】

また、未燃微粉炭発生判定について、造銑速度の誤差変化率 A が正で、誤差は拡大傾向である。すなわち、実績の造銑速度が物理モデルでの予測 (計算値) 以上に増加していた。 T_2 は 10 分に設定された。また、閾値は 30 に設定された。誤差変化率 A の絶対値と閾値とが比較されて、未燃微粉炭発生は「あり」と判定された。

【 0 0 6 7 】

以上のように、溶銑温度制御装置 1 は、従来の物理モデルの溶銑温度予測では示されない溶銑温度低下リスクを検知できる。溶銑温度制御装置 1 は、未燃微粉炭発生「あり」と判定した場合に、溶銑温度を上昇させる方向のアクション (例えば送風湿分下げ) を提示することが可能となる。

【 0 0 6 8 】

[実施例 2]

図 7 は、図 5 とは異なる時間における、シャフト圧力値の高さ位置毎の標準偏差、造銑速度の実績値と計算値との差分及びソリューションロスカーボン量の実績値と計算値との差分に関する時系列変化を示す図である。

【 0 0 6 9 】

本実施例の通気異常判定について、閾値は 4 [k P a] に設定された。また、 T_1 は 15 分に設定された。高さ位置毎に標準偏差が求められて、閾値を上回る高さ位置 (段数) がカウントされた。2 段の標準偏差が閾値を超えて、通気が「異常」と判定された。

【 0 0 7 0 】

本実施例の未燃微粉炭発生判定について、造銑速度及びソリューションロスカーボン量の誤差変化率 A がいずれも正で、誤差は拡大傾向である。高炉内の原料降下速度が上昇し、ガスによる鉱石の還元が遅れ、未燃微粉炭が優先的にソリューションロス化されたと考えられる。造銑速度の推定誤差について、 T_2 は 10 分に設定された。また、閾値は 30 に設定された。また、ソリューションロスカーボン量の推定誤差について、 T_2 は 8 分に設定された。また、閾値は 1 に設定された。誤差変化率 A の絶対値と閾値とが比較されて、造銑速度及びソリューションロスカーボン量で誤差変化率 A の絶対値が閾値以上であり、未燃微粉炭発生は「あり」と判定された。ここで、未燃微粉炭発生の判定は、造銑速度及びソリューションロスカーボン量の両方でなく、一方だけが用いられてよい (実施例 1 参照)。ただし、両方を用いることによって、さらに判定の精度を高めることができる。

【 0 0 7 1 】

図 8 は、図 7 と同時間における、物理モデルの入力変数及び出力変数の時系列変化を示す図である。入力変数は、コークス比 ($C R$)、富化酸素流量 ($B V O$)、送風流量 ($B V$)、送風温度 ($B T$)、送風湿分 ($B M$) 及び微粉炭流量 ($P C I$) である。出力変数は溶銑温度 ($H M T$) である。送風湿分の実線は本実施形態の手法に従って溶銑温度制御を行ったアクションの履歴を表す。送風湿分の破線は上記のアクション要否判定によって 0 時間時点で出力されたアクションを表す。物理モデルでは、3 時間前から微粉炭流量が増加したこと及び送風湿分が低下したことを反映して溶銑温度が上昇すると予測した。また、通気「異常」及び未燃微粉炭発生「あり」と判定され、物理モデルの溶銑温度予測と無関係に溶銑温度低下リスクが検知されて、溶銑温度を上昇させる方向のアクション (例えば送風湿分下げ) が提示された。例えば送風湿分下げとして、操作量は固定値 (一例と

10

20

30

40

50

して - 3 g / Nm³) で提示されてよい。その結果、溶銑温度は若干低下したが、目標値を大きく下回ることなく、適切に溶銑温度が制御された。

【 0 0 7 2 】

以上のように、本実施形態に係る溶銑温度制御方法、高炉の操業方法、溶銑の製造方法、溶銑温度制御装置 1 及び溶銑温度制御システムは、物理モデルでは予測が困難な将来の溶銑温度低下を検知して溶銑温度を上昇させるアクションを提示することが可能である。つまり、物理モデルでは予測が困難な未燃微粉炭の炉内の挙動による異常を、シャフト圧力値の偏差及び造銑速度、ソリューションロスカーボン量等のプロセス変数における推定誤差から判別し、溶銑温度を上昇させるための適切なアクションを提示することができる。

【 0 0 7 3 】

以上、実施形態について説明したが、本開示は本実施形態による本開示の一部をなす記述及び図面により限定されるものでない。すなわち、本実施形態に基づいて当業者等によりなされる他の実施の形態、実施例及び運用技術等は全て本開示の技術の範疇に含まれる。

【符号の説明】

【 0 0 7 4 】

- 1 溶銑温度制御装置
- 2 操業データベース
- 3 端末装置
 - 1 1 通気異常判定部
 - 1 2 未燃微粉炭発生判定部
 - 1 3 アクション要否判定部
 - 1 4 出力部
 - 3 0 表示部

10

20

30

40

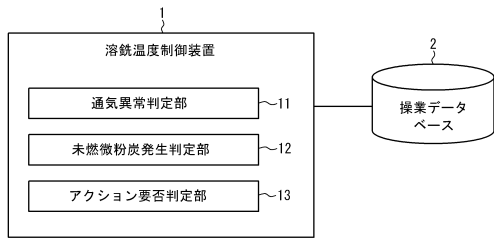
50

【要約】

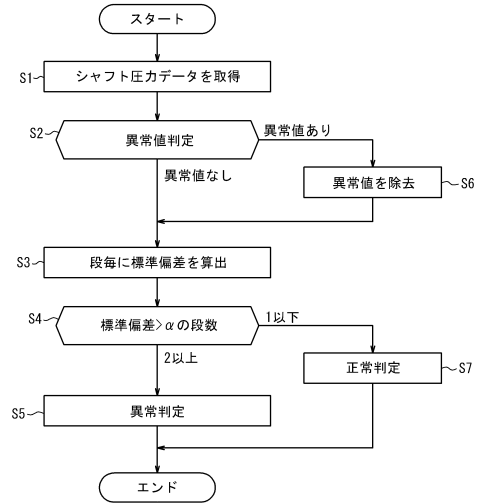
溶銑温度制御方法は、高炉の炉内通気性の異常を判定する通気異常判定ステップ（S1～S7）と、羽口から吹き込む微粉炭が燃焼せずに残存する未燃微粉炭の発生を判定する未燃微粉炭発生判定ステップと、通気異常判定ステップ及び未燃微粉炭発生判定ステップの判定結果に基づいて溶銑温度制御に関するアクションの要否を判定するアクション要否判定ステップと、を含む。

【図面】

【図1】



【図2】



10

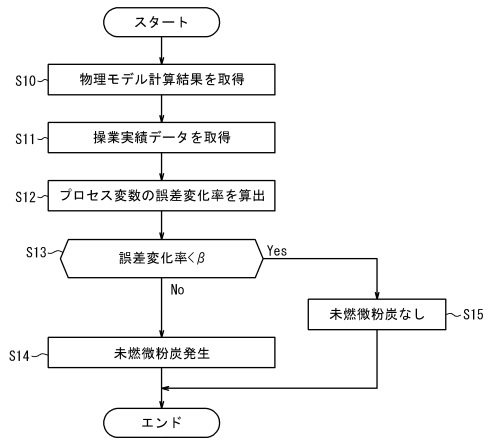
20

30

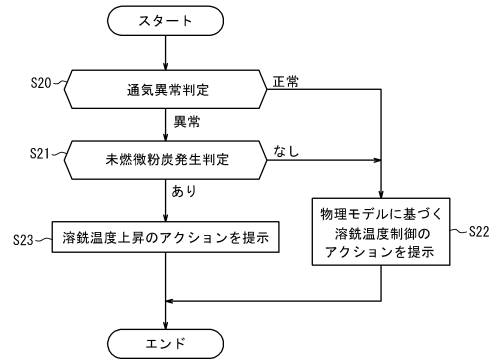
40

50

【図3】



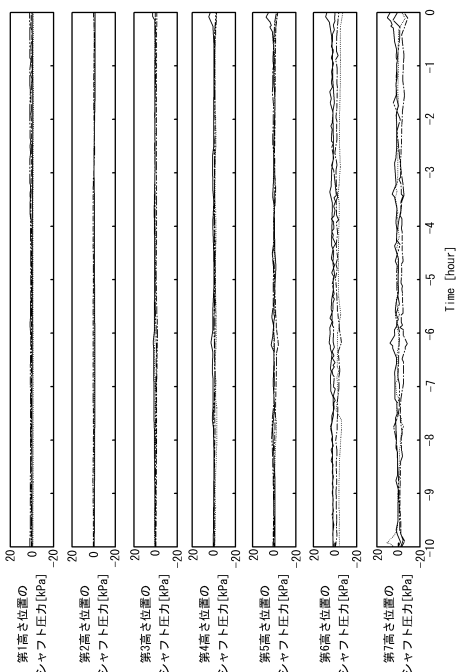
【図4】



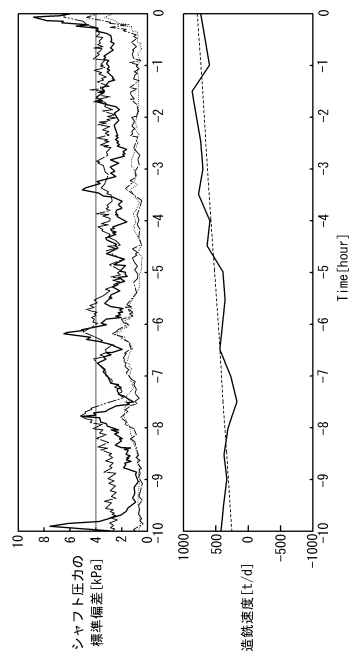
10

20

【図5】



【図6】

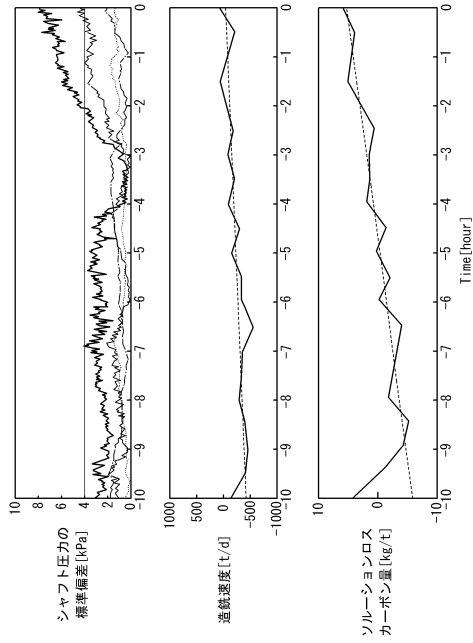


30

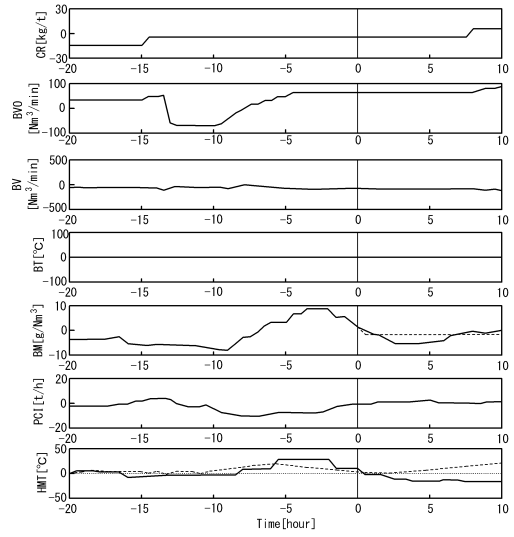
40

50

【 図 7 】



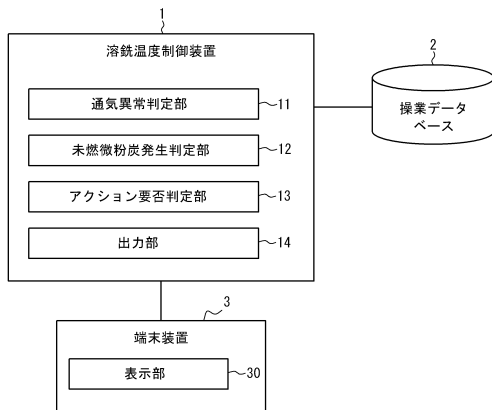
【 図 8 】



10

20

【 図 9 】



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 島本 拓幸
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 国際公開第2022/009617(WO, A1)
特開2022-014169(JP, A)
特開平11-222611(JP, A)
特開平07-268416(JP, A)
特開2004-027265(JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
C22B 1/00-9/16