

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B1)

(11)特許番号
特許第7541656号
(P7541656)

(45)発行日 令和6年8月29日(2024.8.29)

(24)登録日 令和6年8月21日(2024.8.21)

(51)国際特許分類 F I
C 2 1 B 5/00 (2006.01) C 2 1 B 5/00 3 1 0
C 2 1 B 5/00 3 1 8

請求項の数 15 (全22頁)

(21)出願番号	特願2024-535557(P2024-535557)	(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3月27日(2024.3.27)	(74)代理人	100147485 弁理士 杉村 憲司
(86)国際出願番号	PCT/JP2024/012503	(74)代理人	230118913 弁理士 杉村 光嗣
審査請求日	令和6年6月13日(2024.6.13)	(74)代理人	100165696 弁理士 川原 敬祐
(31)優先権主張番号	特願2023-55896(P2023-55896)	(74)代理人	100180655 弁理士 鈴木 俊樹
(32)優先日	令和5年3月30日(2023.3.30)	(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、溶銑温度制御装置、溶銑温度制御システム及び端末装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

高炉内の状態を計算可能な物理モデルによって予測される溶銑温度が予め設定された目標範囲に収まるように溶銑温度制御によって微粉炭比操作量を算出し、前記微粉炭比操作量を加味した微粉炭比の目標値と現在の前記微粉炭比の実績値との偏差を補償するために微粉炭比追従制御によって微粉炭流量操作量を算出し、前記微粉炭比の目標値と実績値との解離の大きさに基づいて、最適アクションとして前記溶銑温度制御又は前記微粉炭比追従制御を優先させる、算出ステップと、

前記最適アクションに関する算出の根拠を判定し、前記根拠を示す根拠文言に文言を追加する、判定ステップと、

前記最適アクションとして算出された前記微粉炭比操作量及び前記微粉炭流量操作量の少なくとも1つと、前記根拠文言とを含む操作情報を提示する提示ステップと、を含む、溶銑温度制御方法。

【請求項 2】

前記算出ステップは、前記微粉炭流量操作量の絶対値が1回当りに変更可能な微粉炭流量の操作幅より大きい場合に、前記微粉炭比追従制御を優先させて、前記溶銑温度制御によって算出された微粉炭操作量を、前記微粉炭比の目標値に加味しない、請求項1に記載の溶銑温度制御方法。

【請求項 3】

前記算出ステップは、前記微粉炭流量操作量を加味して算出された溶銑温度予測値が、

前記溶銑温度の目標範囲内から外れる場合に、前記溶銑温度制御を優先させて、前記溶銑温度制御によって算出された微粉炭操作量を、前記微粉炭比の目標値に加味する、請求項 1 又は 2 に記載の溶銑温度制御方法。

【請求項 4】

前記判定ステップは、前記根拠文言に複数の文言を追加し、

前記複数の文言は、現在時点から近い順又は変化量が大きい順に並べられる複数の変化内容を含む、請求項 1 又は 2 に記載の溶銑温度制御方法。

【請求項 5】

前記操作情報は、前記最適アクションの意図を表す文言と、前記最適アクションの算出の根拠と、了承ボタンと、非採用ボタンと、を有する操作量提示画面であり、

前記了承ボタンは、オペレータが前記操作量提示画面に示される前記最適アクションを了承する場合に用いられ、

前記非採用ボタンは、前記オペレータが前記操作量提示画面に示される前記最適アクションを非採用とする場合に用いられる、請求項 1 又は 2 に記載の溶銑温度制御方法。

【請求項 6】

前記提示ステップは、制御モードとして、前記オペレータの承認を経て最適アクションが実行されるセミオートモード及び前記オペレータの承認を経なくても最適アクションが実行されるオートモードを有し、

前記操作情報は、前記制御モードが前記オートモードの場合に、タイマーをさらに有する操作量提示画面であり、

前記タイマーは、前記最適アクションに関する表示が更新された時点から予め定められた所定時間までの時間を表示し、前記所定時間になるまでに前記非採用ボタンが選択されない場合に、前記最適アクションが実行されるようにする、請求項 5 に記載の溶銑温度制御方法。

【請求項 7】

高炉内の状態を計算可能な物理モデルによって予測される溶銑温度が予め設定された目標範囲に収まるように溶銑温度制御によって微粉炭比操作量を算出し、前記微粉炭比操作量を加味した微粉炭比の目標値と現在の前記微粉炭比の実績値との偏差を補償するために微粉炭比追従制御によって微粉炭流量操作量を算出し、前記微粉炭比の目標値と実績値との解離の大きさに基づいて、最適アクションとして前記溶銑温度制御又は前記微粉炭比追従制御を優先させる、算出部と、

前記最適アクションに関する算出の根拠を判定し、前記根拠を示す根拠文言に文言を追加する、判定部と、

前記最適アクションとして算出された前記微粉炭比操作量及び前記微粉炭流量操作量の少なくとも一つと、前記根拠文言とを含む操作情報を提示する提示部と、を備える、溶銑温度制御装置。

【請求項 8】

前記算出部は、前記微粉炭流量操作量の絶対値が 1 回当りに変更可能な微粉炭流量の操作幅より大きい場合に、前記微粉炭比追従制御を優先させて、前記溶銑温度制御によって算出された微粉炭操作量を、前記微粉炭比の目標値に加味しない、請求項 7 に記載の溶銑温度制御装置。

【請求項 9】

前記算出部は、前記微粉炭流量操作量を加味して算出された溶銑温度予測値が、前記溶銑温度の目標範囲内から外れる場合に、前記溶銑温度制御を優先させて、前記溶銑温度制御によって算出された微粉炭操作量を、前記微粉炭比の目標値に加味する、請求項 7 又は 8 に記載の溶銑温度制御装置。

【請求項 10】

前記判定部は、前記根拠文言に複数の文言を追加し、

前記複数の文言は、現在時点から近い順又は変化量が大きい順に並べられる複数の変化内容を含む、請求項 7 又は 8 に記載の溶銑温度制御装置。

10

20

30

40

50

【請求項 1 1】

前記操作情報は、前記最適アクションの意図を表す文言と、前記最適アクションの算出の根拠と、了承ボタンと、非採用ボタンと、を有する操作量提示画面であり、

前記了承ボタンは、オペレータが前記操作量提示画面に示される前記最適アクションを了承する場合に用いられ、

前記非採用ボタンは、前記オペレータが前記操作量提示画面に示される前記最適アクションを非採用とする場合に用いられる、請求項 7 又は 8 に記載の溶銑温度制御装置。

【請求項 1 2】

前記提示部は、制御モードとして、前記オペレータの承認を経て最適アクションが実行されるセミオートモード及び前記オペレータの承認を経なくても最適アクションが実行されるオートモードを有し、

前記操作情報は、前記制御モードが前記オートモードの場合に、タイマーをさらに有する操作量提示画面であり、

前記タイマーは、前記最適アクションに関する表示が更新された時点から予め定められた所定時間までの時間を表示し、前記所定時間になるまでに前記非採用ボタンが選択されない場合に、前記最適アクションが実行されるようにする、請求項 1 1 に記載の溶銑温度制御装置。

【請求項 1 3】

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、

高炉内の状態を計算可能な物理モデルによって予測される溶銑温度が予め設定された目標範囲に収まるように溶銑温度制御によって微粉炭比操作量を算出し、前記微粉炭比操作量を加味した微粉炭比の目標値と現在の前記微粉炭比の実績値との偏差を補償するために微粉炭比追従制御によって微粉炭流量操作量を算出し、前記微粉炭比の目標値と実績値との解離の大きさに基づいて、最適アクションとして前記溶銑温度制御又は前記微粉炭比追従制御を優先させる、算出部と、

前記最適アクションに関する算出の根拠を判定し、前記根拠を示す根拠文言に文言を追加する、判定部と、

前記最適アクションとして算出された前記微粉炭比操作量及び前記微粉炭流量操作量の少なくとも1つと、前記根拠文言とを含む操作情報を出力する出力部と、

前記操作情報の送受信を行う通信部と、

前記最適アクションと、前記根拠文言を含む、前記最適アクションに関する前記操作情報と、を取得する、取得部と、

取得された前記最適アクションと前記操作情報を、前記根拠文言が含まれるように表示する表示部と、

表示された前記操作情報に対する指示を受け付けて、前記指示に応じて、又は、所定時間の経過に基づいて、操作変数の設定値を出力するインターフェース部と、を備える、溶銑温度制御システム。

【請求項 1 4】

溶銑温度の制御のために、微粉炭比の目標値と微粉炭比の実績値の解離の大きさに基づいて、最適アクションとして算出した微粉炭比操作量及び微粉炭流量操作量の少なくとも1つと、前記最適アクションに関する算出の根拠を示す根拠文言とを含む操作情報を出力する溶銑温度制御装置とともに、溶銑温度制御システムを構成する端末装置であって、

前記最適アクションと、前記根拠文言を含む、前記最適アクションに関する前記操作情報と、を取得する、取得部と、

取得された前記最適アクションと前記操作情報を、前記根拠文言が含まれるように表示する表示部と、

表示された前記操作情報に対する指示を受け付けて、前記指示に応じて、又は、所定時間の経過に基づいて、操作変数の設定値を出力するインターフェース部と、を備える、端末装置。

【請求項 1 5】

10

20

30

40

50

前記操作情報は、複数の操作条件を含み、優先順とともに表示される、請求項 1 4 に記載の端末装置。

【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、溶銑温度制御装置、溶銑温度制御システム及び端末装置に関する。

【背景技術】

【0002】

少子高齢化によって労働人口が減少することが見込まれており、鉄鋼業においても知識と経験のある熟練オペレータが減っていくと予想される。したがって、プロセスの自動化による高効率かつ安定した操業が求められている。

10

【0003】

高炉は、炉上部からコークス及び鉄鉱石などの原料を装入し、炉下部にある羽口から熱風と微粉炭を吹き込んで鉄鉱石を溶融及び還元して、出銑口から溶銑を得るプロセスである。近年の高炉操業では、CO₂削減及び溶銑コスト削減のために低還元材比及び低コークス比を目指している。一方で、高品質な原料が枯渇しつつあるため、原料の品質の変動が大きくなることが予想される。したがって、高炉プロセスの制御はさらに難しくなると見込まれる。

【0004】

20

高効率かつ安定な高炉操業を実現する上で、溶銑温度(Hot Metal Temperature: HMT)の制御は重要である。溶銑温度が極端に低下すると、副生物であるスラグの温度が低下してスラグ粘度が上昇するため、炉内からの排出が困難になる。さらに、炉下部の溶銑又はスラグが熱不足で固まる炉冷事故となると、操業停止に至ることがある。溶銑温度の低下を避けるために目標温度を高めに設定すると、多くの燃料が消費されて、還元材比の上昇につながる。溶銑温度のばらつきを抑えることにより、溶銑温度の下限制約を満たしながら目標値を下げるのが可能となり、還元材比の低減に繋がる。

【0005】

溶銑温度は例えばコークス比、送風湿分、送風温度、微粉炭比、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に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予測と、予測に基づく制御が必要である。

30

【0006】

このような背景から、様々な溶銑温度制御方法が提案されている。例えば、特許文献1には、第1の制御(溶銑温度制御)と第2の制御(微粉炭比追従制御)の二重構造の制御ループを実行し、微粉炭比の目標値を算出する方法が開示されている。第1の制御では、溶銑温度が、予め設定された目標範囲に収まるように、微粉炭比の目標値を算出する。第2の制御では、微粉炭比の目標値と現在の微粉炭比の実績値との偏差を補償する(小さくする)ため、微粉炭流量操作量を算出する。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【文献】特許第7107444号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

特許文献1に記載の方法は、荷下りの変動の影響を受けづらい溶銑温度の制御を可能にする。ただし、溶銑温度が目標値から外れていて、かつ、微粉炭比の目標値と現在の微粉炭比の実績値との解離が大きい場合に過剰アクションが行われるおそれがある。ここで、

50

過剰アクションは、必須でない操作を追加的に実行してしまうことである。特許文献 1 に記載の方法は、微粉炭比の偏差を補償するための微粉炭流量の操作（第 2 の制御）のみで十分であるにもかかわらず、微粉炭比の操作（第 1 の制御に基づく操作）をさらに行うことがあり得る。また、特許文献 1 は自動制御を実現するが、一般に自動制御においてアクションの理由が示されることが少ないという傾向がある。例えば操作変数の操作量について算出の根拠を提示することによって、オペレータに納得感を持たせることができる。

【 0 0 0 9 】

かかる事情に鑑みてなされた本開示の目的は、過剰アクションを抑制して最適アクション及び算出の根拠を示すことが可能な溶銑温度制御方法、溶銑温度制御装置、溶銑温度制御システム及び端末装置を提供することにある。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 0 】

（ 1 ）本開示の一実施形態に係る溶銑温度制御方法は、

高炉内の状態を計算可能な物理モデルによって予測される溶銑温度が予め設定された目標範囲に収まるように溶銑温度制御によって微粉炭比操作量を算出し、前記微粉炭比操作量を加味した微粉炭比の目標値と現在の前記微粉炭比の実績値との偏差を補償するために微粉炭比追従制御によって微粉炭流量操作量を算出し、前記微粉炭比の目標値と実績値との解離の大きさに基づいて、最適アクションとして前記溶銑温度制御又は前記微粉炭比追従制御を優先させる、算出ステップと、

前記最適アクションに関する算出の根拠を判定し、前記根拠を示す根拠文言に文言を追加する、判定ステップと、

前記最適アクションとして算出された前記微粉炭比操作量及び前記微粉炭流量操作量の少なくとも 1 つと、前記根拠文言とを含む操作情報を提示する提示ステップと、を含む。

【 0 0 1 1 】

（ 2 ）本開示の一実施形態として、（ 1 ）において、

前記算出ステップは、前記微粉炭流量操作量の絶対値が 1 回当りに変更可能な微粉炭流量の操作幅より大きい場合に、前記微粉炭比追従制御を優先させて、前記溶銑温度制御によって算出された微粉炭操作量を、前記微粉炭比の目標値に加味しない。

【 0 0 1 2 】

（ 3 ）本開示の一実施形態として、（ 1 ）又は（ 2 ）において、

前記算出ステップは、前記微粉炭流量操作量を加味して算出された溶銑温度予測値が、前記溶銑温度の目標範囲内から外れる場合に、前記溶銑温度制御を優先させて、前記溶銑温度制御によって算出された微粉炭操作量を、前記微粉炭比の目標値に加味する。

【 0 0 1 3 】

（ 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、

前記判定ステップは、前記根拠文言に複数の文言を追加し、

前記複数の文言は、現在時点から近い順又は変化量が大きい順に並べられる複数の変化内容を含む。

【 0 0 1 4 】

（ 5 ）本開示の一実施形態として、（ 1 ）から（ 4 ）のいずれかにおいて、

前記操作情報は、前記最適アクションの意図を表す文言と、前記最適アクションの算出の根拠と、了承ボタンと、非採用ボタンと、を有する操作量提示画面であり、

前記了承ボタンは、オペレータが前記操作量提示画面に示される前記最適アクションを了承する場合に用いられ、

前記非採用ボタンは、前記オペレータが前記操作量提示画面に示される前記最適アクションを非採用とする場合に用いられる。

【 0 0 1 5 】

（ 6 ）本開示の一実施形態として、（ 5 ）において、

前記提示ステップは、制御モードとして、前記オペレータの承認を経て最適アクションが実行されるセミオートモード及び前記オペレータの承認を経なくても最適アクションが

10

20

30

40

50

実行されるオートモードを有し、

前記操作情報は、前記制御モードが前記オートモードの場合に、タイマーをさらに有する操作量提示画面であり、

前記タイマーは、前記最適アクションに関する表示が更新された時点から予め定められた所定時間までの時間を表示し、前記所定時間になるまでに前記非採用ボタンが選択されない場合に、前記最適アクションが実行されるようにする。

【 0 0 1 6 】

(7) 本開示の一実施形態に係る溶銑温度制御装置は、

高炉内の状態を計算可能な物理モデルによって予測される溶銑温度が予め設定された目標範囲に収まるように溶銑温度制御によって微粉炭比操作量を算出し、前記微粉炭比操作量を加味した微粉炭比の目標値と現在の前記微粉炭比の実績値との偏差を補償するために微粉炭比追従制御によって微粉炭流量操作量を算出し、前記微粉炭比の目標値と実績値との解離の大きさに基づいて、最適アクションとして前記溶銑温度制御又は前記微粉炭比追従制御を優先させる、算出部と、

前記最適アクションに関する算出の根拠を判定し、前記根拠を示す根拠文言に文言を追加する、判定部と、

前記最適アクションとして算出された前記微粉炭比操作量及び前記微粉炭流量操作量の少なくとも1つと、前記根拠文言とを含む操作情報を提示する提示部と、を備える。

【 0 0 1 7 】

(8) 本開示の一実施形態として、(7)において、

前記算出部は、前記微粉炭流量操作量の絶対値が1回当りに変更可能な微粉炭流量の操作幅より大きい場合に、前記微粉炭比追従制御を優先させて、前記溶銑温度制御によって算出された微粉炭操作量を、前記微粉炭比の目標値に加味しない。

【 0 0 1 8 】

(9) 本開示の一実施形態として、(7)又は(8)において、

前記算出部は、前記微粉炭流量操作量を加味して算出された溶銑温度予測値が、前記溶銑温度の目標範囲内から外れる場合に、前記溶銑温度制御を優先させて、前記溶銑温度制御によって算出された微粉炭操作量を、前記微粉炭比の目標値に加味する。

【 0 0 1 9 】

(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、

前記判定部は、前記根拠文言に複数の文言を追加し、

前記複数の文言は、現在時点から近い順又は変化量が大きい順に並べられる複数の変化内容を含む。

【 0 0 2 0 】

(1 1) 本開示の一実施形態として、(7)から(1 0)のいずれかにおいて、

前記操作情報は、前記最適アクションの意図を表す文言と、前記最適アクションの算出の根拠と、了承ボタンと、非採用ボタンと、を有する操作量提示画面であり、

前記了承ボタンは、オペレータが前記操作量提示画面に示される前記最適アクションを了承する場合に用いられ、

前記非採用ボタンは、前記オペレータが前記操作量提示画面に示される前記最適アクションを非採用とする場合に用いられる。

【 0 0 2 1 】

(1 2) 本開示の一実施形態として、(1 1)において、

前記提示部は、制御モードとして、前記オペレータの承認を経て最適アクションが実行されるセミオートモード及び前記オペレータの承認を経なくても最適アクションが実行されるオートモードを有し、

前記操作情報は、前記制御モードが前記オートモードの場合に、タイマーをさらに有する操作量提示画面であり、

前記タイマーは、前記最適アクションに関する表示が更新された時点から予め定められた所定時間までの時間を表示し、前記所定時間になるまでに前記非採用ボタンが選択され

10

20

30

40

50

ない場合に、前記最適アクションが実行されるようにする。

【0022】

(13) 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、高炉内の状態を計算可能な物理モデルによって予測される溶銑温度が予め設定された目標範囲に収まるように溶銑温度制御によって微粉炭比操作量を算出し、前記微粉炭比操作量を加味した微粉炭比の目標値と現在の前記微粉炭比の実績値との偏差を補償するために微粉炭比追従制御によって微粉炭流量操作量を算出し、前記微粉炭比の目標値と実績値との解離の大きさに基づいて、最適アクションとして前記溶銑温度制御又は前記微粉炭比追従制御を優先させる、算出部と、

10

前記最適アクションに関する算出の根拠を判定し、前記根拠を示す根拠文言に文言を追加する、判定部と、

前記最適アクションとして算出された前記微粉炭比操作量及び前記微粉炭流量操作量の少なくとも1つと、前記根拠文言とを含む操作情報を出力する出力部と、

前記操作情報の送受信を行う通信部と、

前記最適アクションと、前記根拠文言を含む、前記最適アクションに関する前記操作情報と、を取得する、取得部と、

取得された前記最適アクションと前記操作情報を、前記根拠文言が含まれるように表示する表示部と、

表示された前記操作情報に対する指示を受け付けて、前記指示に応じて、又は、所定時間の経過に基づいて、操作変数の設定値を出力するインターフェース部と、を備える。

20

【0023】

(14) 本開示の一実施形態に係る端末装置は、

溶銑温度の制御のために、微粉炭比の目標値と微粉炭比の実績値の解離の大きさに基づいて、最適アクションとして算出した微粉炭比操作量及び微粉炭流量操作量の少なくとも1つと、前記最適アクションに関する算出の根拠を示す根拠文言とを含む操作情報を出力する溶銑温度制御装置とともに、溶銑温度制御システムを構成する端末装置であって、

前記最適アクションと、前記根拠文言を含む、前記最適アクションに関する前記操作情報と、を取得する、取得部と、

取得された前記最適アクションと前記操作情報を、前記根拠文言が含まれるように表示する表示部と、

30

表示された前記操作情報に対する指示を受け付けて、前記指示に応じて、又は、所定時間の経過に基づいて、操作変数の設定値を出力するインターフェース部と、を備える。

【0024】

(15) 本開示の一実施形態として、(14)において、

前記操作情報は、複数の操作条件を含み、優先順とともに表示される。

【発明の効果】

【0025】

本開示によれば、過剰アクションを抑制して最適アクション及び算出の根拠を示すことが可能な溶銑温度制御方法、溶銑温度制御装置、溶銑温度制御システム及び端末装置を提供することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0026】

【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、算出部の処理を例示するフローチャートである。

【図3】図3は、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、提示部の処理を例示するフローチャートである。

【図5】図5は、制御モードがオートモードである場合の操作量提示画面を例示する図である。

50

【図 6】図 6 は、制御モードがセミオートモードである場合の操作量提示画面を例示する図である。

【図 7】図 7 は、制御モードがオートモードである場合の別の操作量提示画面を例示する図である。

【図 8】図 8 は、現在時刻を 0 として、過去の 8 時間及び将来の 10 時間の溶銑温度、微粉炭比の目標値及び微粉炭流量の設定値の変化の一例を示す図である。

【図 9】図 9 は、現在時刻を 0 として、過去の 8 時間及び将来の 10 時間の溶銑温度、微粉炭比の目標値及び微粉炭流量の設定値の変化を別の例を示す図である。

【図 10】図 10 は、60 時間の溶銑温度、コークス比、微粉炭比操作量、微粉炭比、微粉炭流量操作量、微粉炭流量、送風流量及び造銑速度の変化の一例を示す図である。

10

【図 11】図 11 は、60 時間の溶銑温度、コークス比、微粉炭比、微粉炭流量、送風流量、造銑速度及び劣質原料装入割合の変化の例を示す図である。

【図 12】図 12 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】

【0027】

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、溶銑温度制御装置、溶銑温度制御システム及び端末装置が説明される。各図中、同一又は相当する部分には、同一符号が付されている。本実施形態の説明において、同一又は相当する部分については、説明を適宜省略又は簡略化する。

20

【0028】

[溶銑温度制御装置の構成]

図 1 は、本開示の一実施形態に係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、本実施形態に係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得る。具体的に述べると、CPU (Central Processing Unit) 等の内部の演算処理装置がプログラムを実行することにより、コンピュータ等が溶銑温度制御装置 1 として機能する。

【0029】

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。本実施形態には、操業データベース 2 には、操業因子、プロセス変数の計算値、プロセス変数の実績値及び炉体、炉頂又は炉底で計測される温度又は圧力の履歴データが格納されている。操業因子は、例えば炉頂コークス比、送風流量、富化酸素量、送風温度、送風湿分、微粉炭比及び微粉炭流量等である。プロセス変数の計算値は、物理モデルによって出力されるガス利用率、ソリューションロスカーボン、溶銑温度及び造銑速度等である。プロセス変数の実績値は、例えば排出された炉頂ガスの CO 又は CO₂ の体積分率に基づき算出される。プロセス変数は、造銑速度、溶銑温度、ソリューションロスカーボン、ガス利用率等が挙げられる。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。また、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。

30

40

【0030】

本開示で用いられる物理モデルは、参考文献 (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) を計算可能な物理モデルである。

【0031】

本実施形態に係る溶銑温度制御装置 1 は、算出部 11 と、判定部 12 と、提示部 13 と、を備える。溶銑温度制御装置 1 は、算出部 11、判定部 12 及び提示部 13 が以下に説明する処理を実行することにより、溶銑温度を制御することができる。また、溶銑温度制

50

御装置 1 は記憶装置を備えてよく、この場合に、記憶装置が物理モデルを記憶してよい。溶銑温度制御装置 1 は、以下に説明する処理を実行する場合に、記憶装置から物理モデルを読み出して算出に用いてよい。

【 0 0 3 2 】

[算出部の動作]

図 2 を参照して、算出部 1 1 の動作が説明される。図 2 に示される処理の少なくとも一部は、算出部 1 1 が実行する算出ステップに対応する。

【 0 0 3 3 】

図 2 は、算出部 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、算出部 1 1 に対して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 1 の処理に進む。

10

【 0 0 3 4 】

ステップ S 1 1 の処理では、算出部 1 1 が、物理モデルによって予測した溶銑温度が予め設定された目標範囲に収まるように微粉炭比操作量 PCR_0 を算出する。本実施形態において、ステップ S 1 1 の算出の手法は、上記の特許文献 1 に記載の溶銑温度制御の手法と同様である。つまり、溶銑温度制御によって PCR_0 及び以下の PCI_0 が算出される。

【 0 0 3 5 】

微粉炭比 (PCR) の操作量である微粉炭比操作量 (PCR) の算出では、変化分を操作量から増減させる、いわゆる速度型の手法が用いられる。そのため、調整後の微粉炭比は、現在の微粉炭比の目標値 ($PCR_{ref}(0)$) に PCR を加算して設定される。

20

【 0 0 3 6 】

次に、現在の造銑速度 $Prod(0)$ 、緩和係数 α_0 ($0 < \alpha_0 < 1$) を用いて、微粉炭比操作量 PCR_0 に対応する微粉炭流量操作量 PCI_0 が (1) 式により算出される。微粉炭流量操作量 (PCI) は微粉炭流量 (PCI) の操作量である。添え字の 0 は、 PCR_0 に対応することを示している。微粉炭流量についても、微粉炭流量操作量 PCI_0 が現在の PCI の値からの増減として算出される。算出部 1 1 の処理はステップ S 1 2 の処理に進む。

【 0 0 3 7 】

【 数 1 】

30

$$\Delta PCI_0 = \alpha_0 \cdot \Delta PCR_0 \cdot Prod(0) \quad (1)$$

【 0 0 3 8 】

ステップ S 1 2 の処理では、算出部 1 1 が、微粉炭比の目標値と現在値 (現在の微粉炭比の実績値) との偏差を補償するために微粉炭流量操作量を算出する。本実施形態において、ステップ S 1 2 の算出の手法は、上記の特許文献 1 に記載の微粉炭比追従制御の手法と同様である。つまり、微粉炭比追従制御によって以下の PCR_1 が算出される。まず、現在の微粉炭流量を $PCI(0)$ 、微粉炭比の目標値を $PCR_{ref}(0)$ として、微粉炭比の目標値と実績値との偏差 ΔPCR が (2) 式により算出される。

40

【 0 0 3 9 】

【 数 2 】

$$\Delta PCR = \frac{PCI(0)}{Prod(0)} - PCR_{ref}(0) \quad (2)$$

【 0 0 4 0 】

続いて、緩和係数 α_1 ($0 < \alpha_1 < 1$) を用いて、微粉炭比の目標値と実績値との偏差 ΔPCR を補償するための微粉炭流量操作量 PCI_1 が (3) 式により算出される。算

50

出部 1 1 の処理はステップ S 1 3 の処理に進む。

【 0 0 4 1 】

【数 3】

$$\Delta P C I_1 = -\alpha_1 \cdot \delta P C R \cdot P r o d(0) \quad (3)$$

【 0 0 4 2 】

ステップ S 1 3 の処理では、算出部 1 1 が、微粉炭比の目標値と実績値との偏差 P C R を補償するための微粉炭流量操作量の絶対値 $| P C I_1 |$ が 1 回当りに変更可能な微粉炭流量の操作幅 A より大きいかなかを判断する。 $| P C I_1 |$ が操作幅 A より大きいことは、微粉炭比の実績値と現在の微粉炭比の目標値との解離が大きいことを意味する。ここで、上記の特許文献 1 に記載の方法では、溶銑温度が目標値から外れていて、かつ、微粉炭比の目標値と現在の微粉炭比の実績値との解離が大きい場合に過剰アクションが行われるおそれがある。本実施形態では、この解離が大きい場合に、原則として溶銑温度制御に基づく微粉炭比操作量の増減分を考慮せず、すなわち微粉炭比の目標値への加算をせず、その時点の微粉炭比目標値への追従のみを目的とする微粉炭流量のみの操作を最適アクションとする。この解離が大きい場合に、溶銑温度制御によって算出された微粉炭操作量を、微粉炭比の目標値に加味しない（反映しない）ことによって、過剰アクションを抑制することができる。すなわち、本実施形態において、解離が大きい場合に、原則として微粉炭比追従制御を優先し、微粉炭比の偏差を補償するために微粉炭流量の操作のみが行われることによって、微粉炭比の過剰操作による溶銑温度制御の精度低下を防ぐことができる。 $| P C I_1 |$ が操作幅 A より大きい場合に（ステップ S 1 3 の Y e s）、算出部 1 1 は、ステップ S 1 4 の処理に進む。また、 $| P C I_1 |$ が操作幅 A 以下の場合に（ステップ S 1 3 の N o）、算出部 1 1 は、ステップ S 1 9 の処理に進む。

【 0 0 4 3 】

ステップ S 1 4 の処理では、算出部 1 1 が、微粉炭流量操作量 $P C I_1$ を加味した溶銑温度予測値を算出する。現在時刻 t_0 における微粉炭流量を単位量変化させた場合の k 時間後の溶銑温度のステップ応答 $S_{P C I}(k | t_0)$ 及び現在の入力変数が将来も保持されたと仮定した場合の溶銑温度の自由応答 $y_{f r e e}(t_0 + k)$ が物理モデルを用いて算出される。微粉炭比の目標値と実績値との偏差 P C R を補償するための微粉炭流量操作量 $P C I_1$ を加味した溶銑温度予測値 $y_{p r e}(t_0 + k)$ は（4）式により求められる。算出部 1 1 は、ステップ S 1 5 の処理に進む。

【 0 0 4 4 】

【数 4】

$$y_{p r e}(t_0 + k) = S_{P C I}(k | t_0) \cdot \Delta P C I_1 + y_{f r e e}(t_0 + k) \quad (4)$$

【 0 0 4 5 】

ステップ S 1 5 の処理では、算出部 1 1 が、溶銑温度予測値 $y_{p r e}(t_0 + k)$ が溶銑温度の目標範囲内にあるかなかを判定する。ステップ S 1 5 の処理をする場合には、微粉炭比の目標値と実績値との解離が大きい状態であるが、微粉炭比追従制御を優先すると、溶銑温度が目標より低め又は高めに外れたままとなる（すなわち溶銑温度の目標範囲内から外れる）おそれがある。この場合に、溶銑温度制御を優先させて、微粉炭比の操作も実施することができる。溶銑温度予測値 $y_{p r e}(t_0 + k)$ が溶銑温度の目標範囲内にある場合に（ステップ S 1 5 の Y e s）、算出部 1 1 は、ステップ S 1 6 の処理に進む。また、溶銑温度予測値 $y_{p r e}(t_0 + k)$ が溶銑温度の目標範囲内でない場合に（ステップ S 1 5 の N o）、算出部 1 1 は、ステップ S 1 8 の処理に進む。算出部 1 1 は、微粉炭比の目標値と実績値との解離の大きさに基づいて、最適アクションとして溶銑温度制御又は微

粉炭比追従制御を優先させる。

【0046】

ステップS16の処理では、算出部11が、「微粉炭比追従制御優先フラグ」を成立させる。算出部11は、ステップS17の処理に進む。

【0047】

ステップS17の処理では、算出部11が、最終的に提示する微粉炭比操作量PCRにPCI₀を加味せず、最終的に提示する微粉炭流量操作量PCIをPCI₁として、一連の処理を終了する。

【0048】

ステップS18の処理では、算出部11が、「溶銑温度制御優先フラグ」を成立させる。算出部11は、ステップS19の処理に進む。

10

【0049】

ステップS19の処理では、算出部11が、最終的に提示する微粉炭比操作量PCRをPCR₀に、最終的に提示する微粉炭流量操作量PCIをPCI₀とPCI₁の和(PCI₀にPCI₁を加算した値)とし、一連の処理を終了する。

【0050】

[判定部の動作]

図3を参照して、判定部12の動作が説明される。図3に示される処理の少なくとも一部は、判定部12が実行する判定ステップに対応する。判定部12は、最適アクションに関する算出の根拠を判定し、その根拠を示す根拠文言に文言を追加する。追加される文言の具体例については後述する。

20

【0051】

図3は、判定部12の処理の流れを示すフローチャートである。図3に示すフローチャートは、判定部12に対して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S21の判定に進む。

【0052】

ステップS21の処理では、判定部12が、算出部11において微粉炭比追従制御優先フラグが成立したか否かを判断する。微粉炭比追従制御優先フラグが成立していれば、判定部12は、ステップS22の処理に進む。微粉炭比追従制御優先フラグが成立していなければ、判定部12は、ステップS23の処理に進む。

30

【0053】

ステップS22の処理では、判定部12が、根拠文言に「微粉炭比追従制御優先」を追加する。根拠文言は、操業における操作(アクション)の理由を示すものであって、後述する「最適アクションの提示根拠32」に表示される内容となる。根拠文言は、溶銑温度制御装置1が備える記憶装置に記憶されてよい。これにより、判定部12は、ステップS25の処理に進む。

【0054】

ステップS23の処理では、判定部12が、算出部11において溶銑温度制御優先フラグが成立したか否かを判断する。溶銑温度制御優先フラグが成立していれば、判定部12は、ステップS24の処理に進む。溶銑温度制御優先フラグが成立していなければ、判定部12は、ステップS25の処理に進む。

40

【0055】

ステップS24の処理では、判定部12が、根拠文言に「溶銑温度制御優先」を追加する。これにより、判定部12は、ステップS25の処理に進む。

【0056】

ステップS25の処理では、判定部12が、微粉炭比又は微粉炭流量のアクション実施を見送るべき操業制約に抵触するか否かを判断する。

【0057】

例えば、微粉炭比が過剰である場合、通気悪化につながる可能性がある。したがって、微粉炭比の上限という操業制約があり得る。判定部12は、現在の微粉炭比の目標値が上

50

限を超える場合に、根拠文言に「微粉炭比上限」を追加する。また、例えば還元材比が極端に小さい場合、急激な溶銑温度低下及び通気悪化につながる可能性がある。したがって、還元材比の下限という操業制約があり得る。判定部 1 2 は、現在の還元材比が下限を下回る場合に、根拠文言に「還元材比下限」を追加する。また、例えば炉頂ガス温度が低い場合、炉頂で煤が発生したり、高炉ガス中の水分が凝結したりすることで、高炉設備に損傷を与える可能性がある。したがって、炉頂ガス温度の下限という操業制約があり得る。判定部 1 2 は、現在の炉頂ガス温度が下限を下回る場合に、根拠文言に「炉頂ガス温度下限」を追加する。また、例えば羽口先の理論燃焼温度が低すぎる場合、羽口で微粉炭が燃焼しない可能性がある。一方、理論燃焼温度が高すぎる場合、羽口を損傷する可能性がある。したがって、理論燃焼温度の上下限という操業制約があり得る。判定部 1 2 は、現在の理論燃焼温度が上下限の範囲でない場合に、根拠文言に「理論燃焼温度上限」又は「理論燃焼温度下限」を追加する。

10

【 0 0 5 8 】

上記のような操業制約に抵触する場合に、判定部 1 2 は、ステップ S 2 6 の処理に進む。操業制約に抵触しない場合に、判定部 1 2 は、ステップ S 2 7 の処理に進む。

【 0 0 5 9 】

ステップ S 2 6 の処理では、判定部 1 2 が、上記のように、根拠文言に例えば「微粉炭比上限」、「還元材比下限」、「炉頂ガス温度下限」、「理論燃焼温度上限」又は「理論燃焼温度下限」などを追加する。これにより、判定部 1 2 は、ステップ S 2 7 の処理に進む。

20

【 0 0 6 0 】

ステップ S 2 7 の処理では、判定部 1 2 が、溶銑温度制御に関する操作変数及び溶銑温度と相関の高い指標の推移から、操作変数又は指標に変化があったか否かを判断する。操作変数として、コークス比、微粉炭比、送風温度、送風湿度が挙げられる。また、溶銑温度と相関の高い指標として、羽口埋込温度、溶銑中のケイ素、硫黄の成分、理論燃焼温度、ソリューションロスカーボンが挙げられる。判定部 1 2 は、変化の有無について、現時点の値との差分を算出して、差分の絶対値が閾値を超えることにより判断することができる。また、判定部 1 2 は、推移のグラフを入力とする機械学習モデルを用いて、指標の変化を判断してよい。判定部 1 2 は、複数の項目が変化している場合に、対応する複数の文言を現時点から近い順又は変化量が大きい順に並べてよい。操作変数又は指標に変化があった場合に、判定部 1 2 は、ステップ S 2 8 の処理に進む。操作変数及び指標に変化がなかった場合に、判定部 1 2 は、一連の処理を終了する。

30

【 0 0 6 1 】

ステップ S 2 8 の処理では、判定部 1 2 が、根拠文言に例えば、変化のあった操作変数又は指標と、変化のあった時刻（一例として現在時刻から何時間前であったか）及び変化の方向（例えば増えた又は減った）などを対応付けて追加する。これにより、判定部 1 2 は、一連の処理を終了する。このように、判定部 1 2 は、上記の最適アクションに関する算出の根拠を示す根拠文言に文言を追加する。

【 0 0 6 2 】

ここで、上記のように、根拠文言は複数の操業制約及び変化内容を含んでよい。ただし、情報過多とならないように、根拠文言に含まれる操業制約及び変化内容の個数は 1 ~ 4 個とすることが好ましい。

40

【 0 0 6 3 】

[提示部の動作]

図 4 を参照して、提示部 1 3 の動作が説明される。提示部 1 3 はオペレータに対して操作情報を提示する。図 4 に示される処理の少なくとも一部は、提示部 1 3 が実行する提示ステップに対応する。

【 0 0 6 4 】

図 4 は、提示部 1 3 の処理の流れを示すフローチャートである。図 4 に示すフローチャートは、提示部 1 3 に対して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

50

3 1 の処理に進む。

【 0 0 6 5 】

ステップ S 3 1 の処理では、提示部 1 3 が、算出部 1 1 で得られた最適アクションの操作量の絶対値が設定変更可能な最小単位を超えているかを判定することで、実行の可否を判定する。例えば、微粉炭比の目標値が最小で 2 k g / t 単位で変更される場合に、算出部 1 1 で微粉炭比操作量が + 1 k g / t と算出されても、アクションが必要でないと判定される。ステップ S 3 1 の処理によって、過剰な頻度の提示を抑制することができる。また、過剰な頻度の提示を抑制することは、溶銑温度のハンチング防止につながる。ステップ S 3 1 でアクションが必要と判定された場合に、提示部 1 3 の処理はステップ S 3 2 の処理に進む。ステップ S 3 1 でアクションが不要と判定された場合に、提示部 1 3 の処理は一連の処理を終了する。

10

【 0 0 6 6 】

ステップ S 3 2 の処理では、提示部 1 3 が、最後にアクションが実行されてから t_1 分経過したかどうかを判定する。 t_1 は非ゼロであるが、特定の数値に限定されない。最後にアクションが実行されてから t_1 分が経過している場合に、提示部 1 3 の処理はステップ S 3 3 の処理に進む。最後にアクションが実行されてから t_1 分が経過していない場合に、提示部 1 3 の処理は一連の処理を終了する。高炉は時定数の長いプロセスであるため、アクションの効果が発現するまでに時間を要する。したがって、直近の操作から間を置かずと同じようなアクションを実施することで過剰アクションとなる可能性がある。ステップ S 3 2 の処理は、過剰アクションを抑止するために重要である。ここで、 t_1 は複数の値を含んで選択されることが好ましい。 t_1 は、送風流量、富化酸素量又はコークス比が直近で大きく変更した場合など、緊急的に操作が必要な場合と、平常時とで異なる値が設定されることが好ましい。

20

【 0 0 6 7 】

ステップ S 3 3 の処理では、提示部 1 3 が、ステップ S 3 2 の処理において用いた操作変数（例えば送風流量、富化酸素量又はコークス比など）の設定値と、現時点で設定されている操作変数の設定値の差分が閾値以内であるかを判定する。閾値以内であれば、提示部 1 3 の処理はステップ S 3 4 の処理に進む。閾値より大きい場合に、提示部 1 3 の処理は一連の処理を終了する。一連の処理の最中にオペレータが設備トラブル又は炉況不調など何らかの理由により設定値を大きく変更した場合に、算出部 1 1 の処理により得られた操作量は推奨されるアクションでなく、実行することで溶銑温度の制御性が悪化する可能性がある。ステップ S 3 3 の処理により、外乱に起因する溶銑温度制御装置 1 の暴走を防ぐことができる。

30

【 0 0 6 8 】

ステップ S 3 4 の処理では、提示部 1 3 が、設定されている制御モードを判断する。本実施形態において、提示部 1 3 は、制御モードとして 2 つのモードを有している。すなわち、提示部 1 3 は、オペレータの承認を経て最適アクションが実行されるセミオートモード又はオペレータの承認を経なくても最適アクションが実行されるオートモードを用いることができる。制御モードがオートモードの場合、提示部 1 3 の処理はステップ S 3 5 の処理に進む。制御モードがセミオートモードの場合、提示部 1 3 の処理はステップ S 3 6 の処理に進む。

40

【 0 0 6 9 】

ステップ S 3 5 の処理では、オペレータの操作端末に、図 5 に示す最適アクションに基づく情報がポップアップ表示されて、アラームが発せられる。制御モードがオートモードの場合に、画面にアクション実行までのタイマー 3 6 が設けられている。ポップアップ表示された瞬間に、すなわち最適アクションに関する表示が更新された時点でタイマー 3 6 に t_2 秒がセットされ、カウントダウンが開始される。タイマー 3 6 が 0 秒になるまでにオペレータが非採用ボタン 3 5 を押下すれば、ポップアップが消去され、提示部 1 3 の処理は一連の処理を終了する。タイマー 3 6 が 0 秒になるまでにオペレータが非採用ボタン 3 5 を押下しない（選択しない）又はオペレータが了承ボタン 3 4 を押下した（選択した

50

)場合に、提示部 1 3 の処理はステップ S 3 7 の処理に進む。すなわち、 t_2 秒以内にオペレータが拒否しない場合に、最適アクションが実行される。アクションの自動実行に気づけるように、 t_0 t_3 t_2 を満たす t_3 のタイミングでアラームが発報されてよい。 t_2 及び t_3 は非ゼロであるが、特定の数値に限定されない。ここで、「0 秒」は予め定められた所定時間の一例であって別の値が用いられてよい。タイマー 3 6 はダウンタイマーに限定されず、予め定められた所定時間までの時間を表示するものであればよい。

【 0 0 7 0 】

ステップ S 3 6 の処理では、オペレータの操作端末に、図 6 に示す最適アクションに基づく情報がポップアップ表示されて、アラームが発せられる。制御モードがセミオートモードの場合に、画面にアクション実行までのタイマー 3 6 は設けられていない。アクションの実行にはオペレータの承認が必要とされる。オペレータが了承ボタン 4 4 を押下した場合に、提示部 1 3 の処理はステップ S 3 7 の処理に進む。オペレータが非採用ボタン 4 5 を押下した場合に、ポップアップが消去され、提示部 1 3 の処理は一連の処理を終了する。ポップアップ表示したままオペレータに放置されないように、ポップアップ表示した瞬間から了承ボタン 4 4 も非採用ボタン 4 5 も押下されずに t_4 分経過することにアラームが発せられてよい。 t_4 は非ゼロであるが、特定の数値に限定されない。

10

【 0 0 7 1 】

ステップ S 3 7 の処理では、ステップ S 3 5 又はステップ S 3 6 において表示されていたポップアップが消えて、操作変数の設定値が最適アクションに従って算出された値によって上書き（更新）される。これにより、ステップ S 3 7 の処理が完了し、提示部 1 3 は一連の処理を終了する。上書き（更新）された操作変数の設定値は、例えば操業設備 4（図 1 2 参照）を制御するコンピュータなどに出力されて、操業設備 4 において反映される。

20

【 0 0 7 2 】

[操作量提示画面]

図 5 は、溶銑温度制御装置 1 の制御モードがオートモードである場合の操作量提示画面を表す図である。

【 0 0 7 3 】

操作量提示画面には、最適アクションの意図を表す文言 3 1（例えば溶銑温度上げ、溶銑温度下げ又は微粉炭比制御など）、判定部 1 2 により決定された最適アクションの提示根拠 3 2 が示されている。また、操作量提示画面には、最適操作量 3 3、了承ボタン 3 4、非採用ボタン 3 5 及びタイマー 3 6 が示されている。最適操作量 3 3 には、最適アクションとして算出された微粉炭比操作量及び微粉炭流量操作量の少なくとも 1 つが示される。

30

【 0 0 7 4 】

図 6 は、溶銑温度制御装置 1 の制御モードがセミオートモードである場合の操作量提示画面を表す図である。

【 0 0 7 5 】

操作量提示画面には、最適アクションの方向を表す文言 4 1（例えば溶銑温度上げ、溶銑温度下げ又は微粉炭比制御など）、判定部 1 2 により決定された最適アクションの提示根拠 4 2 が示されている。また、操作量提示画面には、最適操作量 4 3、了承ボタン 4 4 及び非採用ボタン 4 5 が示されている。最適操作量 4 3 には、最適アクションとして算出された微粉炭比操作量及び微粉炭流量操作量の少なくとも 1 つが示される。

40

【 0 0 7 6 】

図 7 は、溶銑温度制御装置 1 の制御モードがオートモードである場合の別の操作量提示画面を表す図である。図 7 では、最適アクションとして算出された微粉炭比操作量及び微粉炭流量操作量を提示し、他のアクションとして、物理モデルに基づく溶銑温度制御によって算出された他の操作量（図 7 の例で送風湿分）を用いるケースを 2 つ提示している。図 7 の例において、操作情報は、複数の操作条件を含み、優先順（図 7 の 1 ~ 3）とともに表示されている。ここで、操業の制約によって、操作することができない操作量が存在する可能性がある。そのため、図 7 の例のように、推奨されるアクションを複数提示して、オペレータに操作を選択させることは好ましい。また、ボタン押下ミスを防ぐために、

50

「了承」又は「非採用」ボタンを押下した後で、さらに「実行」ボタンを押下する仕様が採用されてよい。

【 0 0 7 7 】

[実施例 1]

本実施例において、算出部 1 1 の処理によって溶銑温度制御優先フラグが成立したケースを図 8 に示す。図 8 は、現在時刻を 0 とした、過去の 8 時間及び将来の 1 0 時間の溶銑温度 (H M T)、微粉炭比 (P C R) の目標値及び微粉炭流量 (P C I) の設定値の変化を示す図である。溶銑温度の破線は目標値の上下限である。過去の 8 時間の太い実線は実績値である。細い実線は将来予測を含む物理モデルの計算値である。点線は算出されたアクションを実施した場合の溶銑温度の予測値である。微粉炭比の三角のプロットは、現在時刻における微粉炭比の実績値を表す。また、微粉炭比と微粉炭流量における矢印は、算出部 1 1 において算出されたアクションを示す。本実施例において、微粉炭比の目標値と実績値の解離が大きい一方で、微粉炭比追従制御を優先すると溶銑温度の上昇を抑制することができない。そのため、溶銑温度制御を優先して、微粉炭比及び微粉炭流量のアクションが提示された。

10

【 0 0 7 8 】

[実施例 2]

本実施例において、算出部 1 1 の処理によって微粉炭比追従制御優先フラグが成立したケースを図 9 に示す。図 9 は、図 8 とは異なる時刻において、現在時刻を 0 とした、過去の 8 時間及び将来の 1 0 時間の溶銑温度、微粉炭比の目標値及び微粉炭流量の設定値の変化を示す図である。本実施例において、微粉炭比の目標値と実績値の解離が大きい一方で、溶銑温度は大きく変化しない予測となっていた。そのため、微粉炭比追従制御を優先して、微粉炭流量のアクションのみが提示された。

20

【 0 0 7 9 】

[実施例 3]

本実施例において、溶銑温度制御装置 1 における制御モードとしてセミオートモードを用いて、微粉炭比及び微粉炭流量を操作することにより操業が実施された。 t_1 は 4 0 [分] である。

【 0 0 8 0 】

図 1 0 は、6 0 時間の溶銑温度、コークス比、微粉炭比操作量、微粉炭比、微粉炭流量操作量、微粉炭流量、送風流量及び造銑速度の変化を示す図である。

30

【 0 0 8 1 】

図 1 0 の溶銑温度及び微粉炭比において、実線は実績値である。破線は目標値を示す。図 1 0 の微粉炭比操作量及び微粉炭流量操作量の丸は実績値である。三角は溶銑温度制御装置 1 により算出された最適アクションである。オペレータは溶銑温度制御装置 1 が提示する最適アクションを全て了承した。したがって、図 1 0 の微粉炭比操作量及び微粉炭流量操作量について、最適アクションと実際の操作 (実績) は全て合致している。図 1 0 の微粉炭比及び微粉炭流量に示すように、微粉炭流量を適切に調整することで、微粉炭比の実績値は目標値に追従した。また、図 1 0 のコークス比はオペレータによる手動操作により次第に低下したが、図 1 0 の微粉炭比の通り、溶銑温度制御装置 1 が微粉炭比の目標値を上昇させたことでコークス比の低下による溶銑温度への影響が相殺された。つまり、溶銑温度が目標値近傍に制御された。

40

【 0 0 8 2 】

[実施例 4]

本実施例では、実施例 3 とは異なる期間において、溶銑温度制御装置 1 における制御モードとしてオートモードを用いて、微粉炭比及び微粉炭流量を操作することにより操業を実施した。 t_1 は 4 0 [分] である。

【 0 0 8 3 】

図 1 1 は、1 1 日間の溶銑温度、コークス比、微粉炭比、微粉炭流量、送風流量、造銑速度及び劣質原料装入割合の変化を示す図である。

50

【 0 0 8 4 】

図 1 1 の溶銑温度は時刻ゼロにおける溶銑温度目標値からの差分を示している。図 1 1 の溶銑温度以外のグラフは期間平均値をゼロとしている。図中の全ての期間において溶銑温度制御装置 1 により微粉炭比及び微粉炭流量を自動操作した結果、溶銑温度は - 2 5 ~ 3 5 の範囲内で推移して、溶銑温度の自動制御を実施することができた。また、9 日目において通気性悪化により送風流量を減少させたため溶銑温度が低下したが、微粉炭比を増加することで溶銑温度は目標値近傍に制御された。さらに、図中の全ての期間においてヤード焼結及びヤードコークスを使用した、溶銑温度の変動は抑制された。このように、通気性悪化による減風時又は劣質原料使用時のような厳しい操業条件下においても、溶銑温度制御装置 1 の制御性能が良好であることが確認された。

10

【 0 0 8 5 】

(溶銑温度制御システム)

図 1 2 は、溶銑温度制御装置 1 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。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。溶銑温度制御システムにおいて、溶銑温度制御装置 1 は、算出部 1 1、判定部 1 2 及び提示部 1 3 に加えて、操作情報の送受信を行う通信部 1 4 を備えてよい。通信部 1 4 は、特に端末装置 3 に対して最適アクション、操作情報などを送信する。また、溶銑温度制御システムにおいて、溶銑温度制御装置 1 は、直接的な提示に代えて、端末装置 3 を介する提示を行うことができる。そのため、提示部 1 3 は、通信部 1 4 に対して最適アクション、操作情報などを出力する出力部として機能する。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。操業設備 4 は高炉操業で使用される設備である。溶銑温度制御システムは、ネットワークを介して操業設備 4 と通信可能に構成されており、例えば最適アクションに従って更新された操作変数の設定値を操業設備 4 に出力する。溶銑温度制御システムにおいて、溶銑温度制御装置 1 が上記の処理を実行し、端末装置 3 に図 5 ~ 図 7 のような画面が表示され、例えばオペレータが操作する（指示を与える）ことによって指示に応じて操作変数の設定値が操業設備 4 に出力される。また、溶銑温度制御装置 1 は、通信部 1 4 によってオペレータからの操作情報に対する指示を受信することも可能である。

20

【 0 0 8 6 】

(端末装置)

端末装置 3 は、取得部 1 3 1 と、表示部 1 3 2 と、インターフェース部 1 3 3 と、を備える。取得部 1 3 1 は、最適アクションと、根拠文言を含む、最適アクションに関する操作情報と、を取得する。表示部 1 3 2 は、取得された最適アクションと操作情報を、根拠文言が含まれるように表示する。例えば表示部 1 3 2 は、根拠文言と複数の操作条件を含み、操作条件が優先順とともに表示される操作情報（図 7 参照）を表示してよい。インターフェース部 1 3 3 は、表示された操作情報に対する指示を受け付けて、指示に応じて、又は、所定時間の経過に基づいて、操作変数の設定値を出力する。ここで、操作変数の設定値の操業設備 4 への出力は、インターフェース部 1 3 3 が直接的に行ってよいし、溶銑温度制御装置 1 を介して行ってよい。

30

40

【 0 0 8 7 】

溶銑温度制御装置 1、操業データベース 2、端末装置 3 及び操業設備 4 は、LAN (Local Area Network) 又はインターネット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 1 2 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 1 2 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 1 2 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 1 2 の例に限定されるものでない。例えば判定部 1 2 と表示部 1 3 2 とが同じ装置にあってよい。また、例えば図 1 2 で溶銑温度制御装置 1 が備える構成要素の一部が、端末装置 3 側にある構成であってよい。また、例えば図 1 2 で端末装置 3 が備える構成要素の一部が、溶銑温度制御装置 1 側にある構

50

成であってよい。よって、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溶銑温度制御システムが、全体として、算出部 1 1 と、判定部 1 2 と、提示部 1 3（出力部）と、通信部 1 4 と、取得部 1 3 1 と、表示部 1 3 2 と、インターフェース部 1 3 3 と、を備える構成であってよい。

【 0 0 8 8 】

以上のように、本実施形態に係る溶銑温度制御方法、溶銑温度制御装置 1、溶銑温度制御システム及び端末装置 3 は、上記の工程及び構成によって、過剰アクションを抑制して最適アクション及び算出の根拠を示すことが可能である。本実施形態においては、自動制御（オートモード）においても、オペレータへ算出の根拠が提示されるため、オペレータに納得感を持たせることができる。また、了承ボタンと非採用ボタンとを有する操作量提示画面は、オペレータが素早く了承又は不採用を指示することに適しており、例えば数分毎に判断が必要になることもある高炉操業などのインターフェースとして好ましい。

10

【 0 0 8 9 】

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。例えば、溶銑温度制御のための操作変数の変更は、羽口先ガス温度の変動につながる。羽口耐火物等の設備保全及び未燃微粉炭による通気性悪化の抑止の観点から、羽口先ガス温度は所定の範囲内にすることが好ましい。したがって、溶銑温度制御装置 1 によって算出された最適アクションを実施した場合に羽口先ガス温度がどのように変化するかを操作量提示画面で可視化してよい。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。

20

【符号の説明】

【 0 0 9 0 】

- 1 溶銑温度制御装置
- 2 操業データベース
- 3 端末装置
- 4 操業設備
- 1 1 算出部
- 1 2 判定部
- 1 3 提示部（出力部）
- 1 4 通信部
- 3 1 最適アクションの意図を表す文言
- 3 2 最適アクションの提示根拠
- 3 3 最適操作量
- 3 4 了承ボタン
- 3 5 非採用ボタン
- 3 6 タイマー
- 4 1 最適アクションの意図を表す文言
- 4 2 最適アクションの提示根拠
- 4 3 最適操作量
- 4 4 了承ボタン
- 4 5 非採用ボタン
- 1 3 1 取得部
- 1 3 2 表示部
- 1 3 3 インターフェース部

30

40

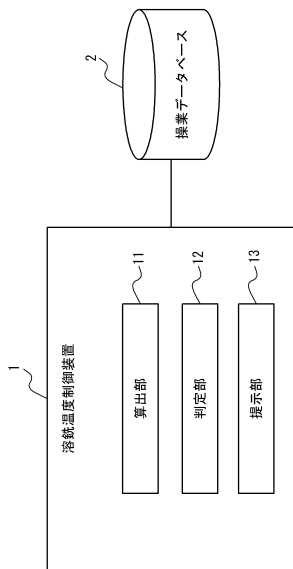
50

【要約】

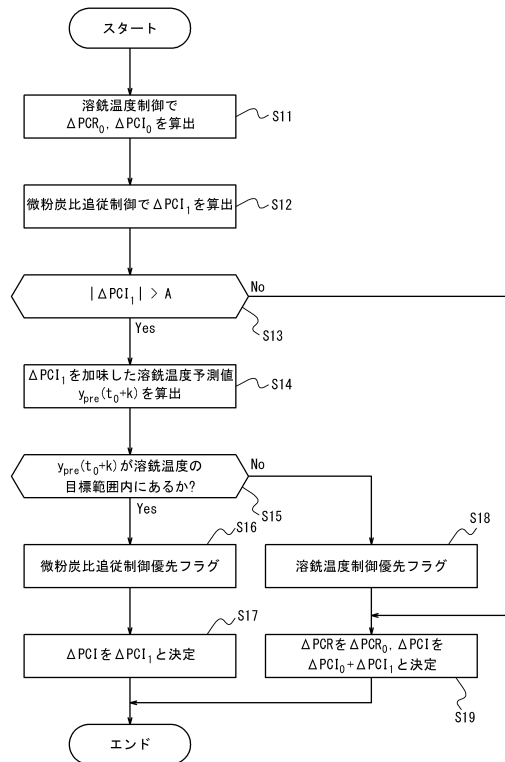
溶銑温度制御方法は、溶銑温度制御によって微粉炭比操作量を算出し、微粉炭比操作量を加味した微粉炭比の目標値と現在の微粉炭比の実績値との偏差を補償するために微粉炭比追従制御によって微粉炭流量操作量を算出し、微粉炭比の目標値と実績値との解離の大きさに基づいて、最適アクションとして溶銑温度制御又は微粉炭比追従制御を優先させる、算出ステップ(S11~S19)と、最適アクションに関する算出の根拠を判定し、根拠を示す根拠文言に文言を追加する、判定ステップと、最適アクションとして算出された微粉炭比操作量及び微粉炭流量操作量の少なくとも1つと、根拠文言とを含む操作情報を提示する提示ステップと、を含む。

【図面】

【図1】



【図2】



10

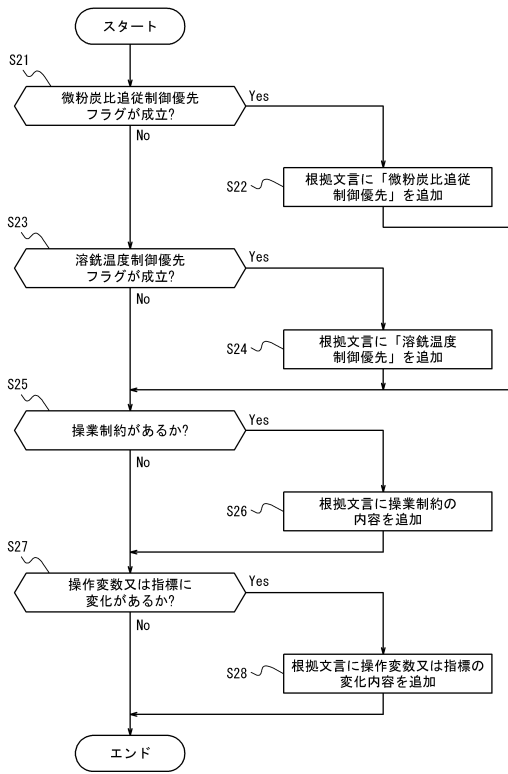
20

30

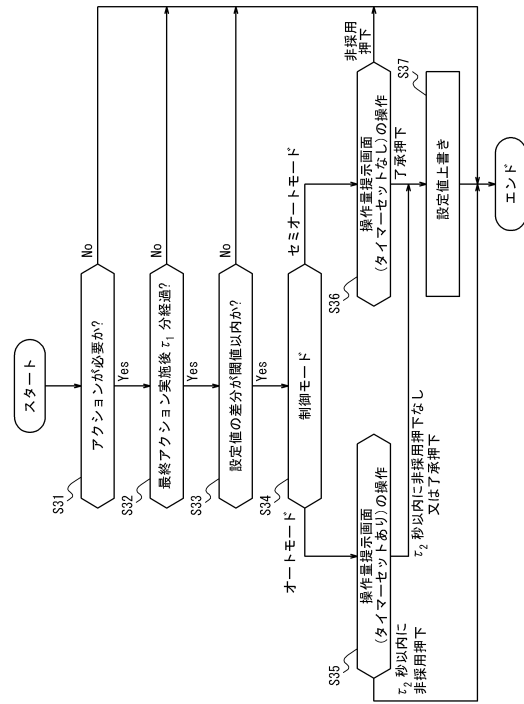
40

50

【図3】



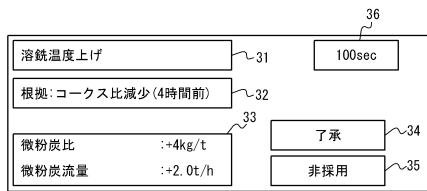
【図4】



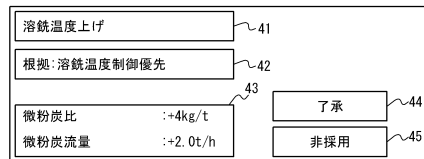
10

20

【図5】



【図6】

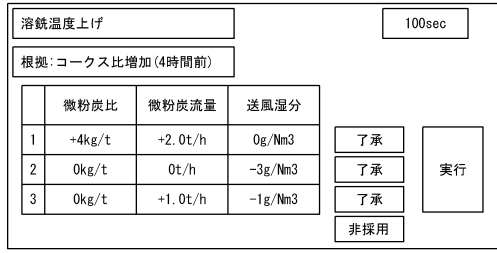


30

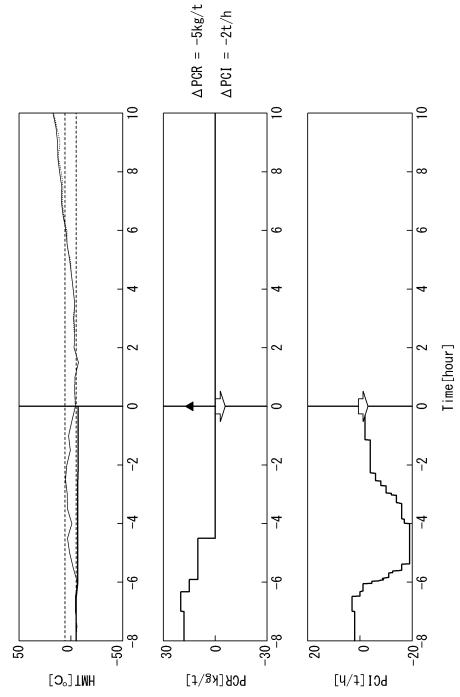
40

50

【 図 7 】



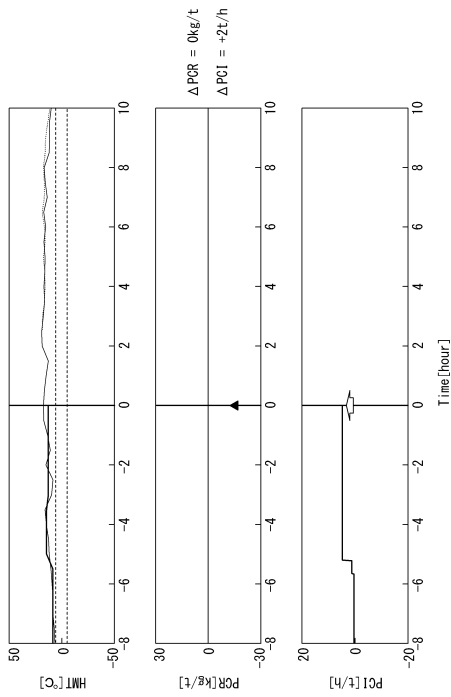
【 図 8 】



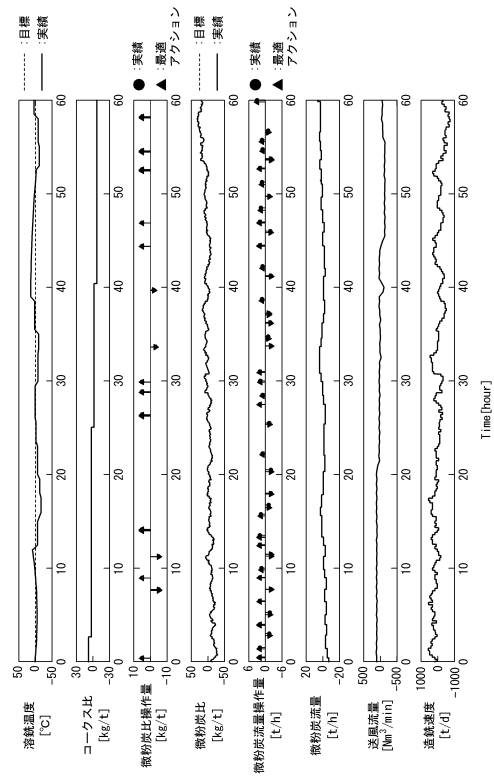
10

20

【 図 9 】



【 図 10 】

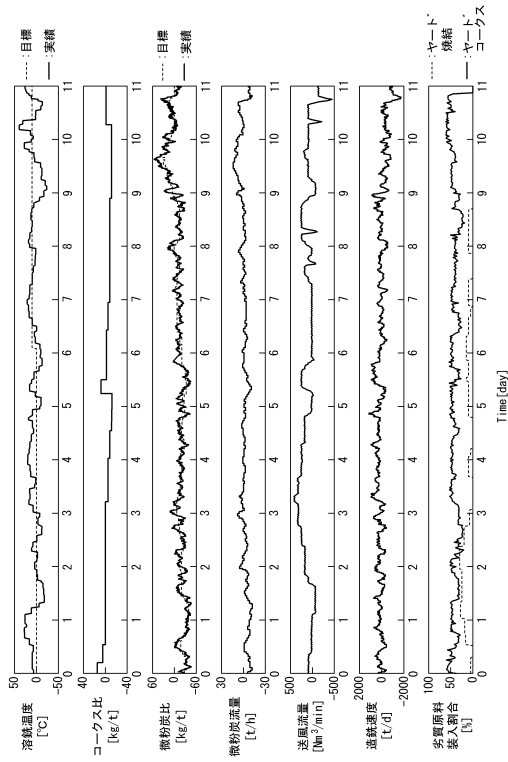


30

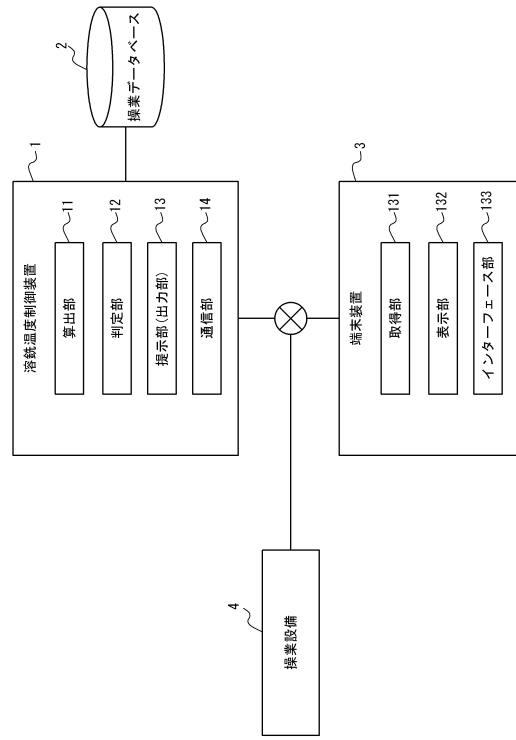
40

50

【図 1 1】



【図 1 2】



10

20

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

審査官 中西 哲也

- (56)参考文献 特許第7107444(JP, B2)
特開2022-014169(JP, A)
国際公開第2021/014923(WO, A1)
特開2005-320588(JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
C21B 1/00-9/16