

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6825348号
(P6825348)

(45) 発行日 令和3年2月3日 (2021. 2. 3)

(24) 登録日 令和3年1月18日 (2021.1.18)

(51) Int. Cl.

F I

C 2 1 C 1/02 (2006.01)

C 2 1 C 1/04 (2006.01)

C 2 1 C 5/35 (2006.01)

C 2 1 C 5/46 (2006.01)

C 2 1 C 1/02 1 1 0

C 2 1 C 1/04 1 0 1

C 2 1 C 5/35

C 2 1 C 5/46 A

請求項の数 7 (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2016-244516 (P2016-244516)	(73) 特許権者	000006655
(22) 出願日	平成28年12月16日 (2016. 12. 16)		日本製鉄株式会社
(65) 公開番号	特開2018-95943 (P2018-95943A)		東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
(43) 公開日	平成30年6月21日 (2018. 6. 21)	(74) 代理人	110002044
審査請求日	令和1年8月5日 (2019. 8. 5)		特許業務法人プライタス
		(72) 発明者	岩村 健
			東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新
			日鐵住金株式会社内
		審査官	國方 康伸

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 溶銑予備処理方法、溶銑予備処理制御装置、プログラム及び記録媒体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

転炉を用いた吹錬による溶銑予備処理方法であって、
少なくとも S i、F e、および C を含む溶銑成分の初期濃度を含む初期溶銑データを取得するデータ取得ステップと、

取得された前記初期溶銑データ、並びに、前記転炉から排出された排ガスの成分および流量を含む時系列排ガスデータ、および前記転炉に投入された石灰石の重量を含む石灰石投入データに基づいて、上吹きランスから溶銑に供給された吹込み酸素と前記溶銑との酸化反応である火点反応と、前記火点反応が進行する領域である火点領域とは異なる領域において進行する前記溶銑とスラグとの界面における反応であるスラグメタル界面反応とが複合された複合反応モデルを用いて、溶銑 S i 濃度を逐次的に推定する溶銑 S i 濃度推定ステップと、

前記溶銑 S i 濃度が目標溶銑 S i 濃度に到達すると予定された時点である目標濃度到達時点に達したとき、前記目標濃度到達時点において推定された溶銑 S i 濃度と前記目標溶銑 S i 濃度との差に基づいて、溶銑 S i 濃度を調整するための操作を行う溶銑 S i 濃度適正化ステップと、

を含む溶銑予備処理方法。

【請求項 2】

前記目標濃度到達時点は、溶銑予備処理前の溶銑 S i 濃度および溶銑予備処理の操作条件に基づいて設定される、請求項 1 に記載の溶銑予備処理方法。

【請求項 3】

前記操作は、酸化鉄を含む副原料を前記転炉に投入する操作を含む、請求項 1 または 2 に記載の溶銑予備処理方法。

【請求項 4】

前記操作は、前記上吹きランスから供給される吹込み酸素量を増加する操作を含む、請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の溶銑予備処理方法。

【請求項 5】

転炉を用いた吹錬による溶銑予備処理を制御する溶銑予備処理制御装置であって、
少なくとも Si、Fe、および C を含む溶銑成分の初期濃度を含む初期溶銑データを取得するデータ取得部と、

10

取得された前記初期溶銑データ、並びに、前記転炉から排出された排ガスの成分および流量を含む時系列排ガスデータ、および前記転炉に投入された石灰石投入データに基づいて、上吹きランスから溶銑に供給された酸素と前記溶銑との酸化反応である火点反応と、前記火点反応が進行する領域である火点領域とは異なる領域において進行する前記溶銑とスラグとの界面における反応であるスラグメタル界面反応とが複合された複合反応モデルを用いて、溶銑 Si 濃度を逐次的に推定する溶銑 Si 濃度推定部と、

前記溶銑 Si 濃度が目標溶銑 Si 濃度に到達すると予定された時点である目標濃度到達時点に達したとき、前記目標濃度到達時点において前記溶銑 Si 濃度推定部により推定された溶銑 Si 濃度と前記目標溶銑 Si 濃度との差に基づいて、溶銑 Si 濃度を調整するための操作内容を決定する適正化処理部と、

20

を備える溶銑予備処理制御装置。

【請求項 6】

転炉を用いた吹錬による溶銑予備処理を制御する溶銑予備処理制御装置としてコンピュータを機能させるためのプログラムであって

少なくとも Si、Fe、および C を含む溶銑成分の初期濃度を含む初期溶銑データを取得するデータ取得機能と、

取得された前記初期溶銑データ、並びに、前記転炉から排出された排ガスの成分および流量を含む時系列排ガスデータ、および前記転炉に投入された石灰石投入データに基づいて、上吹きランスから溶銑に供給された酸素と前記溶銑との酸化反応である火点反応と、前記火点反応が進行する領域である火点領域とは異なる領域において進行する前記溶銑とスラグとの界面における反応であるスラグメタル界面反応とが複合された複合反応モデルを用いて、溶銑 Si 濃度を逐次的に推定する溶銑 Si 濃度推定機能と、

30

前記溶銑 Si 濃度が目標溶銑 Si 濃度に到達すると予定された時点である目標濃度到達時点に達したとき、前記目標濃度到達時点において前記溶銑 Si 濃度推定機能により推定された溶銑 Si 濃度と前記目標溶銑 Si 濃度との差に基づいて、溶銑 Si 濃度を調整するための操作内容を決定する適正化処理機能と、

をコンピュータに実現させるためのプログラム。

【請求項 7】

転炉を用いた吹錬による溶銑予備処理を制御する溶銑予備処理制御装置としてコンピュータを機能させるためのプログラムが記録された記録媒体であって、

40

少なくとも Si、Fe、および C を含む溶銑成分の初期濃度を含む初期溶銑データを取得するデータ取得機能と、

取得された前記初期溶銑データ、並びに、前記転炉から排出された排ガスの成分および流量を含む時系列排ガスデータ、および前記転炉に投入された石灰石投入データに基づいて、上吹きランスから溶銑に供給された酸素と前記溶銑との酸化反応である火点反応と、前記火点反応が進行する領域である火点領域とは異なる領域において進行する前記溶銑とスラグとの界面における反応であるスラグメタル界面反応とが複合された複合反応モデルを用いて、溶銑 Si 濃度を逐次的に推定する溶銑 Si 濃度推定機能と、

前記溶銑 Si 濃度が目標溶銑 Si 濃度に到達すると予定された時点である目標濃度到達時点に達したとき、前記目標濃度到達時点において前記溶銑 Si 濃度推定機能により推定

50

された溶銑 S i 濃度と前記目標溶銑 S i 濃度との差に基づいて、溶銑 S i 濃度を調整するための操作内容を決定する適正化処理機能と、

をコンピュータに実現させるためのプログラムが記録された記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、転炉を用いた溶銑予備処理において、溶銑 S i 濃度を適正に調整することにより、溶銑 P 濃度を精度高く制御する、溶銑予備処理方法、溶銑予備処理制御装置、プログラム及び記録媒体に関する。

10

【背景技術】

【0002】

近年、転炉を用いた溶銑予備処理の技術の向上により、鋼材の高品質化が実現されてきた。溶銑予備処理の対象となる成分としては、PおよびS i など、鋼材の品質に関わる成分が挙げられる。特に、溶銑 P 濃度の制御は鋼材の品質管理上非常に重要である。そのため、溶銑からPを除去する脱りん処理は、溶銑予備処理において重要なプロセスである。

【0003】

下記式(1)に脱りん反応式を示す。なお、下記式(1)において、「[物質X]」は溶銑中の物質Xを示し、「(物質Y)」はスラグ中の物質Yを示す。

【0004】

20

【数1】



【0005】

一般的に、上記式(1)のスラグ中FeOの濃度は、脱珪反応が終了してから高くなる。つまり、脱珪反応が終了したのちに、脱りん反応が進行する。これは、吹錬において酸素が転炉内の溶銑に供給されると、熱力学的な観点から、溶銑中のS i が他の成分よりも優先的に酸化されるためである。

【0006】

30

ところで、近年、高炉から出銑される溶銑に含まれるS i 濃度が高くなっている。これは、高炉の構造が変化したこと、またはS i 成分を多く含有する鉄鉱石の使用が増加したためと考えられている。そのため、溶銑S i 濃度が高い場合、脱珪反応に多くの時間が費やされ、脱りん反応が開始する(スラグ中FeO濃度が上昇する)までのタイミングが遅くなる。

【0007】

そこで、脱珪反応の影響を抑えるために、転炉において吹錬を用いた脱珪処理後に一度吹錬を停止し、転炉内で生成されたS i O₂リッチなスラグを当該転炉から排出し、その後吹錬を再開して脱りん処理を行う技術が提案されている。

【0008】

40

例えば、下記特許文献1には、脱珪処理中に、酸素バランスを逐次計算して算出される不明酸素量に基づいて転炉内のスラグ中FeO濃度を推定し、推定したスラグ中FeO濃度の推移に応じて上吹きランスからの酸素ガス流量等を調整して、脱珪処理開始時から9分経過時点までに転炉内のスラグ中FeO濃度を所定範囲(3.0~30質量%)に調整し、その後転炉内のスラグの少なくとも一部を排滓し、再度上吹きランスからの酸素ガスの供給を再開して脱りん処理を行う技術が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2013-136831号公報

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

しかし、本発明者は実際の溶銑予備処理における吹錬では、脱珪反応と脱炭反応が同時に発生しており、脱珪反応および脱炭反応に寄与する酸素量の分配率がチャージごとに異なることを、見出した。図7および図8は、各チャージにおける各溶銑成分の酸素との反応における酸素分配率の変化を示すグラフである。図7および図8に示すように、溶銑Siの酸素分配率が0に漸近する（つまり、脱珪反応が終了する）タイミングが、チャージ間において異なることが示されている。これは、すなわち、脱珪処理の進行がチャージごとに変動することを示している。そのため、脱珪処理終了時の溶銑Si濃度のばらつきが生じるので、溶銑予備処理終了時の溶銑P濃度の制御が困難となる。したがって、上記特許文献1に開示されているように、脱珪処理の時間を固定しては、溶銑P濃度を確実に目標値まで低減させることが困難となる。

10

【0011】

また、上記特許文献1に開示された技術では、溶銑予備処理において、脱珪処理により生じたSiO₂リッチなスラグの排滓処理が行われる。このような排滓処理に係る作業を挟むことにより、1チャージあたりの溶銑予備処理に係る処理時間が長くなる。したがって、生産スケジュールがタイトである場合、上記特許文献1に開示された技術の適用は好ましくない。また、当該排滓処理が行われている間は吹錬が中止となるため、当該排滓処理の間に溶銑から大量の熱が失われる。その結果、溶銑温度の管理の負担が大きくなり、操業コストが悪化し得る。すなわち、溶銑予備処理の生産効率が悪化する。

20

【0012】

ゆえに、溶銑予備処理を精度高く、かつ生産効率を向上させるためには、脱珪処理の進行の程度を把握し、その進行の程度に応じた操作をすることが肝要である。

【0013】

そこで、本発明は、上記問題に鑑みてなされたものであり、本発明の目的とするところは、脱珪処理の進行の程度を把握して溶銑Si濃度を適正に調整することが可能な、新規かつ改良された溶銑予備処理方法、溶銑予備処理制御装置、プログラムおよび記録媒体を提供することにある。溶銑Si濃度を適正に調整することにより、溶銑P濃度を精度高く制御し、かつ、生産効率を向上させることが可能となる。

30

【課題を解決するための手段】

【0014】

上記課題を解決するために、本発明のある観点によれば、転炉を用いた吹錬による溶銑予備処理方法であって、少なくともSi、Fe、およびCを含む溶銑成分の初期濃度を含む初期溶銑データを取得するデータ取得ステップと、取得された前記初期溶銑データ、並びに、前記転炉から排出された排ガスの成分および流量を含む時系列排ガスデータ、および前記転炉に投入された石灰石の重量を含む石灰石投入データに基づいて、上吹きランスから溶銑に供給された吹込み酸素と前記溶銑との酸化反応である火点反応と、前記火点反応が進行する領域である火点領域とは異なる領域において進行する前記溶銑とスラグとの界面における反応であるスラグメタル界面反応とが複合された複合反応モデルを用いて、溶銑Si濃度を逐次的に推定する溶銑Si濃度推定ステップと、前記溶銑Si濃度が目標溶銑Si濃度に到達すると予定された時点である目標濃度到達時点に達したとき、前記目標濃度到達時点において推定された溶銑Si濃度と前記目標溶銑Si濃度との差に基づいて、溶銑Si濃度を調整するための操作を行う溶銑Si濃度適正化ステップと、を含む溶銑予備処理方法が提供される。

40

【0016】

前記目標濃度到達時点は、溶銑予備処理前の溶銑Si濃度および溶銑予備処理の操業条件に基づいて設定されてもよい。

【0017】

50

前記操作は、酸化鉄を含む副原料を前記転炉に投入する操作を含んでもよい。

【0018】

前記操作は、前記上吹きランスから供給される吹込み酸素量を増加する操作を含んでもよい。

【0019】

また、上記課題を解決するために、本発明の別の観点によれば、転炉を用いた吹錬による溶銑予備処理を制御する溶銑予備処理制御装置であって、少なくともSi、Fe、およびCを含む溶銑成分の初期濃度を含む初期溶銑データを取得するデータ取得部と、取得された前記初期溶銑データ、並びに、前記転炉から排出された排ガスの成分および流量を含む時系列排ガスデータ、および前記転炉に投入された石灰石投入データに基づいて、上吹きランスから溶銑に供給された酸素と前記溶銑との酸化反応である火点反応と、前記火点反応が進行する領域である火点領域とは異なる領域において進行する前記溶銑とスラグとの界面における反応であるスラグメタル界面反応とが複合された複合反応モデルを用いて、溶銑Si濃度を逐次的に推定する溶銑Si濃度推定部と、前記溶銑Si濃度が目標溶銑Si濃度に到達すると予定された時点である目標濃度到達時点に達したとき、前記目標濃度到達時点において前記溶銑Si濃度推定部により推定された溶銑Si濃度と前記目標溶銑Si濃度との差に基づいて、溶銑Si濃度を調整するための操作内容を決定する適正化処理部と、を備える溶銑予備処理制御装置が提供される。

10

【0020】

また、上記課題を解決するために、本発明の別の観点によれば、転炉を用いた吹錬による溶銑予備処理を制御する溶銑予備処理制御装置としてコンピュータを機能させるためのプログラムであって、少なくともSi、Fe、およびCを含む溶銑成分の初期濃度を含む初期溶銑データを取得するデータ取得機能と、取得された前記初期溶銑データ、並びに、前記転炉から排出された排ガスの成分および流量を含む時系列排ガスデータ、および前記転炉に投入された石灰石投入データに基づいて、上吹きランスから溶銑に供給された酸素と前記溶銑との酸化反応である火点反応と、前記火点反応が進行する領域である火点領域とは異なる領域において進行する前記溶銑とスラグとの界面における反応であるスラグメタル界面反応とが複合された複合反応モデルを用いて、溶銑Si濃度を逐次的に推定する溶銑Si濃度推定機能と、前記溶銑Si濃度が目標溶銑Si濃度に到達すると予定された時点である目標濃度到達時点に達したとき、前記目標濃度到達時点において前記溶銑Si濃度推定機能により推定された溶銑Si濃度と前記目標溶銑Si濃度との差に基づいて、溶銑Si濃度を調整するための操作内容を決定する適正化処理機能と、をコンピュータに実現させるためのプログラムが提供される。

20

30

【0021】

また、上記課題を解決するために、本発明の別の観点によれば、転炉を用いた吹錬による溶銑予備処理を制御する溶銑予備処理制御装置としてコンピュータを機能させるためのプログラムが記録された記録媒体であって、少なくともSi、Fe、およびCを含む溶銑成分の初期濃度を含む初期溶銑データを取得するデータ取得機能と、取得された前記初期溶銑データ、並びに、前記転炉から排出された排ガスの成分および流量を含む時系列排ガスデータ、および前記転炉に投入された石灰石投入データに基づいて、上吹きランスから溶銑に供給された酸素と前記溶銑との酸化反応である火点反応と、前記火点反応が進行する領域である火点領域とは異なる領域において進行する前記溶銑とスラグとの界面における反応であるスラグメタル界面反応とが複合された複合反応モデルを用いて、溶銑Si濃度を逐次的に推定する溶銑Si濃度推定機能と、前記溶銑Si濃度が目標溶銑Si濃度に到達すると予定された時点である目標濃度到達時点に達したとき、前記目標濃度到達時点において前記溶銑Si濃度推定機能により推定された溶銑Si濃度と前記目標溶銑Si濃度との差に基づいて、溶銑Si濃度を調整するための操作内容を決定する適正化処理機能と、をコンピュータに実現させるためのプログラムが記録された記録媒体が提供される。

40

50

【 0 0 2 2 】

上記溶銑予備処理方法は、火点反応を表現する数理モデルとスラグメタル界面反応を表現する数理モデルとを複合させたモデルである複合反応モデルを用いて溶銑 S_i 濃度を逐次的に推定する。これにより、脱珪反応の進行の程度を高精度で把握することが可能となる。また、推定結果から溶銑 S_i 濃度を適正に調整するので、脱珪処理を適正化することが可能である。これにより、溶銑 P 濃度の制御を精度高く行いつつ、排滓処理を不要とするので、生産効率を向上させることが可能となる。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 3 】

以上説明したように本発明によれば、脱珪処理の進行の程度を把握して溶銑 S_i 濃度を適正に調整することが可能である。その結果、溶銑 P 濃度を精度高く制御し、かつ、生産効率を向上させることが可能となる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 4 】

【 図 1 】 本発明の一実施形態に係る火点反応およびスラグメタル界面反応の複合反応モデルの概要を示す図である。

【 図 2 】 式 (6) により算出される脱炭速度 C に基づく脱炭酸素効率 dC / dO の推移を示すグラフである。

【 図 3 】 式 (8) により算出される脱炭速度 C に基づく脱炭酸素効率 dC / dO の推移を示すグラフである。

【 図 4 】 本発明の一実施形態に係る溶銑予備処理システムの構成例を示す図である。

【 図 5 】 同実施形態に係る溶銑予備処理システムによる溶銑予備処理方法のフローチャートの一例を示す図である。

【 図 6 】 実施例および比較例に係るチャージに含まれる各成分の推定濃度を示すグラフである。

【 図 7 】 第 1 のチャージにおける各溶銑成分の酸素との反応における酸素分配率の変化を示すグラフである。

【 図 8 】 第 2 のチャージにおける各溶銑成分の酸素との反応における酸素分配率の変化を示すグラフである。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 5 】

以下に添付図面を参照しながら、本発明の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

【 0 0 2 6 】

< 1 . 本実施形態に係る溶銑予備処理方法 >

本実施形態に係る溶銑予備処理システム 1 の構成、機能および処理の流れについて説明する前に、本実施形態に係る溶銑予備処理方法について説明する。なお、以下の説明においては、特記しない限り、各成分の濃度の単位である [質量 %] は、[%] と記載する。本実施形態に係る溶銑予備処理方法は、溶銑 S_i 濃度の推定、および当該推定の結果に基づく溶銑 S_i 濃度の適正化により構成される。すなわち、本実施形態に係る溶銑予備処理方法では、まず、溶銑予備処理中の溶銑 S_i 濃度の推定が行われ、そして溶銑 S_i 濃度の推定結果を利用して、溶銑 S_i 濃度の適正化のための操作が行われる。以下、順に説明する。

【 0 0 2 7 】

< 1 . 1 . 溶銑 S_i 濃度の推定 >

まず、本実施形態における溶銑 S_i 濃度の推定に用いられる複合反応モデルについて説明する。

【 0 0 2 8 】

(複合反応モデルの概要)

一般に脱りん反応は、スラグメタル界面において生じる。スラグメタル界面とは、転炉内における溶銑とスラグとの界面である。スラグメタル界面における反応（以下、「スラグメタル界面反応」と呼称する）を表現するモデル（いわゆる「競合反応モデル」）については、S.Ohguchi et. Al, "Simultaneous dephosphorisation and desulphurization of molten pig iron", Ironmaking and Steelmaking, 11, (1984), p. 41 に記載されている（以下、当該文献を「非特許文献」と呼称する）。この競合反応モデルは、スラグメタル界面における溶銑およびスラグに含まれる各成分の物質移動に適用することが可能である。つまり、上記の競合反応モデルを用いることにより、溶銑およびスラグ中の各成分の濃度を推定することはある程度可能である。

【0029】

10

しかし、従来の競合反応モデルはあくまでもスラグメタル界面反応にのみ適用可能なモデルであり、吹錬により供給される酸素と溶銑との間で生じる酸化反応（いわゆる「火点反応」）は、競合反応モデルに反映されていない。そのため、例えば、火点反応により生じた SiO_2 等の酸化物のスラグへの移動等が、従来の競合反応モデルには反映されていない。したがって、従来の競合反応モデルをそのまま、火点反応に伴う溶銑予備処理における溶銑およびスラグ中の各成分の濃度の推定に用いることは困難であった。

【0030】

そこで、本発明者は、火点反応を表現する数理モデルと、火点反応が進行する領域とは異なる領域において進行する競合反応モデルをベースとしたスラグメタル界面反応を表現する数理モデルとを複合させた「複合反応モデル」を提案するに至った。以下、複合反応モデルについて具体的に説明する。

20

【0031】

図1は、本実施形態に係る火点反応およびスラグメタル界面反応の複合反応モデルの概要を示す図である。図1に示すように、火点反応が起こる火点領域と、スラグメタル界面との間においては、溶銑に含まれる物質の移動が生じ得る。また、火点反応により生成される SiO_2 および FeO 等の酸化物は、スラグメタル界面を介してスラグに流入する。これらの酸化物の物質移動量は、脱炭反応により生成される CO または CO_2 等の排ガスデータに基づいて算出される。この複数領域間における溶銑中の各成分の物質移動、および火点反応により生じた酸化物のスラグへの物質移動のそれぞれを考慮した反応モデルが、複合反応モデルである。

30

【0032】

複合反応モデルは、火点反応における物質収支および熱収支、並びに、スラグメタル界面反応における物質収支および熱収支を複合させたモデルである。物質収支および熱収支とは、火点領域と、スラグ領域と、当該火点領域および当該スラグ領域のいずれでもない溶銑領域の3つの領域間における、各成分の物質移動および熱移動の収支である。複合反応モデルにおいては、火点反応により生成される SiO_2 等を含む酸化物のスラグメタル界面への物質移動が、競合反応モデルに組み込まれる。これにより、 Si を含む溶銑およびスラグ中の各成分の濃度を高精度で推定することが可能であることを本発明者は見出した。また、火点反応において排ガスデータを利用することにより、火点反応により生成される SiO_2 等の酸化物の生成速度を高精度で推定することが可能であることを本発明者は見出した。以下、火点反応を表現する数理モデルとスラグメタル界面反応を表現する数理モデルとを複合させたモデルである複合反応モデルについて具体的に説明する。

40

【0033】

なお、以下の説明においては、特に説明がない限り、 $[X]$ は溶銑に含まれる元素 X の濃度を表現し、 (XO_n) はスラグに含まれる元素 X の酸化物 XO_n の濃度を表現する。 (XO_n) は下記式(2)の反応式によって表され、 n は元素 X に応じて定まる値である。

【0034】

【数 2】

$$[X] + n[O] = (XO_n) \quad \dots (2)$$

【0035】

(火点反応)

まず、火点反応を表現する数値モデルについて説明する。火点領域においては、上吹きランス等から溶銑に酸素が供給されることにより、溶銑に含まれる Si、C および Fe の酸化反応（火点反応）が生じる。Si、C および Fe の火点反応による物質収支は、以下の式（3）～（5）に表現される。式（3）は、脱珪反応による火点領域における Si の物質収支を示す。式（4）は、脱炭反応による火点領域における C の物質収支を示す。式（5）は、火点領域における Fe の物質収支を示す。

10

【0036】

【数 3】

$$\frac{d[Si_f]}{dt} = \frac{Q}{V_f} \times ([Si] - [Si_f]) - k_{Si} \quad \dots (3)$$

【0037】

【数 4】

20

$$\frac{d[C_f]}{dt} = \frac{Q}{V_f} \times ([C] - [C_f]) - \Delta C \quad \dots (4)$$

【0038】

【数 5】

$$\frac{d[Fe_f]}{dt} = \frac{Q}{V_f} \times ([Fe] - [Fe_f]) - \Delta Fe \quad \dots (5)$$

30

【0039】

ここで、 $[Si_f]$ 、 $[C_f]$ 、および $[Fe_f]$ は、火点領域における溶銑含有成分 [%] である。 $[Si]$ 、 $[C]$ 、および $[Fe]$ は、火点領域以外における溶銑含有成分 [%] である。 k_{Si} は、脱珪反応速度定数 [% / sec] である。 C は、排ガスデータから求めた脱炭速度 [% / sec] である。 Fe は、排ガスデータから求めた Fe の酸化速度 [% / sec] である。 V_f は、火点領域の溶銑堆積 [m^3] である。また、 Q は、転炉内の溶銑の還流量 [m^3 / sec] である。

【0040】

上記脱炭速度 C は、排ガスデータに含まれる排ガスの成分および流量を用いることにより算出される。具体的には、下記式（6）に示すように、脱炭速度 C は、転炉 11 より排出される排ガスに含まれる CO または CO_2 の少なくともいずれかを含むガス成分の流量等を用いることにより算出され得る。

40

【0041】

【数 6】

$$\Delta C = \frac{Q_{offgas}}{1000 \times 22.4} \times \frac{(CO + CO_2)}{100} \times \frac{12}{1000 \times W_f} \times \frac{1}{3600} \quad \dots (6)$$

【0042】

ここで、 Q_{offgas} は、転炉より排出される排ガスの流量 [Nm^3 / hr] である

50

。また、上記式(6)内のCO、およびCO₂は、転炉より排出されるCOの濃度、およびCO₂の濃度[%]である。また、W_fは、火点領域における溶銑の重量[t on]である。

【0043】

ところで、近年、式(1)の脱りん反応を促進させる副原料であるCaO源として、生石灰(酸化カルシウム：CaO)の代わりに、安価な石灰石(炭酸カルシウム：CaCO₃)が利用されることが多くなった。この場合、石灰石を転炉に投入した際に、石灰石の滓化に伴って、石灰石がCaOとCO₂に分解される。

【0044】

そうすると、転炉より排出されるCO₂ガスは、脱炭反応により生じるCO₂ガスと石灰石の滓化により生じるCO₂ガスとが混在する状態となる。したがって、単に転炉より排出される排ガスに係る排ガスデータを上記式(6)に適用させると、脱炭速度Cが実際よりも高く見積もられ得る。

【0045】

そこで、本発明者は、脱炭反応により生じるCO₂ガスと石灰石の滓化により生じるCO₂ガスを明確に区別して脱炭速度Cを算出する手法を開発した。具体的には、本発明者は、下記式(7)に示すように、式(6)に、石灰石の滓化の際におけるCO₂ガスの発生を考慮した、石灰石滓化速度W_{CaCO₃}[ton/sec]に係る変数を追加した。これにより、脱炭速度Cの精度を向上させることができる。

【0046】

【数7】

$$\Delta C = \frac{Q_{offgas}}{1000 \times 22.4} \times \frac{(CO + CO_2)}{100} \times \frac{12}{1000 \times W_f} \times \frac{1}{3600} - 0.12 \times \Delta W_{CaCO_3} \quad \dots (7)$$

【0047】

なお、上記式(7)の石灰石滓化速度W_{CaCO₃}の係数である0.12は、化学量論的に定められる定数である。また、石灰石滓化速度W_{CaCO₃}は、一次遅れを仮定した下記式(8)により算出される。

【0048】

【数8】

$$\Delta W_{CaCO_3} = \frac{W_{CaCO_3} \times \exp(-t/T_{CaCO_3})}{T_{CaCO_3}} \quad \dots (8)$$

【0049】

ここで、W_{CaCO₃}は石灰石投入量[t on]である。また、tは石灰石の投入時点を起点とする経過時間[sec]である。また、T_{CaCO₃}は時定数[sec]であり、適当な数値が用いられ得る。例えば、T_{CaCO₃}は60secであってもよい。

【0050】

図2は、式(6)により算出される脱炭速度Cに基づく脱炭酸素効率dC/dOの推移を示すグラフである。また、図3は、式(7)により算出される脱炭速度Cに基づく脱炭酸素効率dC/dOの推移を示すグラフである。なお、本実施形態において、脱炭酸素効率dC/dO[%/(Nm³/ton)]は、下記式(9)を用いて算出される。下記式(9)において、O₂は酸素原単位[Nm³/ton]である

【0051】

【数9】

$$dC/dO = \Delta C / \Delta O_2 \quad \dots (9)$$

10

20

30

40

50

【 0 0 5 2 】

また、図 2 および図 3 に示す脱炭酸素効率 dC/dO は、同一のチャージから得られる排ガスデータ等に基づいて算出されたものである。当該チャージでは、吹錬開始から 100 秒後に石灰石 ($5.1[kg/ton]$) が投入されている。

【 0 0 5 3 】

図 2 に示すグラフ Gr 1 を参照すると、石灰石の投入直後から脱炭酸素効率 dC/dO が増加している。また、脱炭酸素効率 dC/dO は、領域 R 1 が示す範囲において (200 秒経過前後)、脱炭酸素効率の最大理論値を上回っている。この結果から、石灰石を転炉に投入する場合において、石灰石の滓化を考慮していない式 (6) を用いることは好ましくないことが分かる。

10

【 0 0 5 4 】

一方、図 3 に示すグラフ Gr 2 を参照すると、石灰石の投入以降においても、脱炭酸素効率 dC/dO が横ばいの値を示していることが分かる。また、脱炭酸素効率 dC/dO が、脱炭酸素効率の取り得る理論値の範囲内で推移していることが分かる。この結果から、石灰石を転炉に投入する場合において、石灰石の滓化を考慮した式 (7) を用いることにより、妥当な脱炭酸素効率 dC/dO (すなわち、脱炭速度 C) を算出できることが示された。

【 0 0 5 5 】

以降の説明では、式 (7) で算出された脱炭速度 C を用いることを前提とする。

【 0 0 5 6 】

20

次に、Fe の酸化速度 Fe の算出方法について説明する。本実施形態においては、溶銑に供給された酸素は溶銑中の Si、C、および Fe により全て酸化反応に用いられると仮定されている。一般的に、溶銑中の Si および C の酸化反応が、溶銑中の Fe との酸化反応と比較して、優先的に進行することが知られている。そのため、本実施形態では、溶銑中の Si または C と反応しなかった残留酸素のみが溶銑中の Fe と反応すると仮定した。以上の仮定に基づき、本実施形態において Fe の酸化速度 Fe は、下記式 (10) に示すように、転炉内の溶銑に供給された酸素の供給量 ($FO_2[Nm^3/hr]$) から、脱珪反応および脱炭反応により消費された酸素量を差し引くことにより算出された酸素量から求められる。

【 0 0 5 7 】

30

【 数 1 0 】

$$\Delta Fe = \left(\frac{FO_2 \times 1000}{3600 \times 22.4} - \frac{d[Si_f]}{dt} \times \frac{W_f}{28.09} - \frac{d[C_f]}{dt} \times \frac{W_f}{12.01} \right) \times \frac{55.85}{2 \times W_f \times 100} \quad \dots (10)$$

【 0 0 5 8 】

ただし、上記式 (10) の右辺第 1 項の括弧内の値が 0 を下回る場合、つまり、下記式 (11) を満たす場合、 $Fe = 0$ とみなされる。

【 0 0 5 9 】

【 数 1 1 】

40

$$\frac{FO_2 \times 1000}{3600 \times 22.4} < \left(\frac{d[Si_f]}{dt} \times \frac{W_f}{28.09} + \frac{d[C_f]}{dt} \times \frac{W_f}{12.01} \right) \quad \dots (11)$$

【 0 0 6 0 】

このように、火点領域における溶銑中の Si、C、および Fe の物質収支の算出に、転炉から排出された排ガスに係る排ガスデータ、および転炉に投入された石灰石投入データを用いることにより、実際に火点反応において各溶銑成分と反応する酸素の量を推定することができる。これにより、火点領域における酸化反応のモデルをより忠実に表現することができ、各溶銑成分の濃度をより高精度に推定することが可能となる。

50

【 0 0 6 1 】

火点領域において酸化される Si および Fe の濃度変化 ($d[Si_f]/dt$ 、および $d[Fe_f]/dt$ [%/s]) は、火点反応を起因とするスラグ中の SiO_2 および FeO の濃度変化に対応する。これは、火点領域において酸化反応により減少した Si および Fe が SiO_2 および FeO に変化し、スラグへと取り込まれるためである。よって、火点反応を起因とするスラグ中の SiO_2 および FeO の、スラグの重量 W_s に対する濃度変化を、 $d(SiO_{2f})/dt$ 、および $d(FeO_f)/dt$ [%/s] とすると、上記濃度変化は下記式 (12) および式 (13) により表現される。

【 0 0 6 2 】

【 数 1 2 】

10

$$\frac{d(SiO_{2f})}{dt} = -\frac{W_f}{W_s} \frac{d[Si_f]}{dt} \times \frac{60.11}{28.09} \quad \dots (12)$$

【 0 0 6 3 】

【 数 1 3 】

$$\frac{d(FeO_f)}{dt} = -\frac{W_f}{W_s} \frac{d[Fe_f]}{dt} \times \frac{71.86}{55.85} \quad \dots (13)$$

20

【 0 0 6 4 】

以上説明したように、火点反応による火点領域における各成分の物質収支は、式 (3) ~ 式 (5)、式 (12)、および式 (13) により表現される。また、火点領域における熱収支は、火点反応により生じる酸化反応等の反応熱を考慮して、下記式 (14) のように表現される。

【 0 0 6 5 】

【 数 1 4 】

$$W_f \times cp_f \times \frac{dT_f}{dt} = H_{\text{reac},f} + (RQ - RQ_f) \quad \dots (14)$$

30

【 0 0 6 6 】

ここで、 cp_f は、火点領域における溶銑の比熱 [kcal/(kg・°C)] である。 T_f は、火点領域における溶銑の温度 [°C] である。 $H_{\text{reac},f}$ は、火点領域における反応熱 [kcal/s] であり、例えば、 $[Si_f]$ 、 $[C_f]$ 、および $[Fe_f]$ を用いて算出される。 RQ は、転炉内の還流による火点領域への流入熱量 [kcal/s] であり、火点領域以外の領域における溶銑の温度 T の値を用いて算出される。 RQ_f は、転炉内の還流による火点領域からの流出熱量 [kcal/s] であり、例えば、 T_f の値を用いて算出される。

【 0 0 6 7 】

40

以上より、火点領域における溶銑成分の挙動、および火点反応により生成されてスラグに流入する酸化物の挙動は、式 (3) ~ 式 (5)、式 (7)、式 (8)、式 (10) ~ 式 (14) により表現される。

【 0 0 6 8 】

(スラグメタル界面反応)

続いて、スラグメタル界面反応を表現する数理モデルについて説明する。まず、スラグメタル界面における溶銑成分に関する反応は、スラグメタル界面における溶銑成分の平衡濃度と火点領域以外における溶銑の濃度との差を推進力とする物質移動により表現される。すなわち、スラグメタル界面における溶銑に含まれる元素 X (Si、C、Fe、Mn、P) の物質収支は、下記式 (15) のように表現される。

50

【 0 0 6 9 】

【 数 1 5 】

$$\frac{d[X]}{dt} = \frac{1}{V} \times (A \times K_X \times ([X] - [X^*]) + Q \times ([X_f] - [X])) + W_{X, SUB} \quad \cdots (15)$$

【 0 0 7 0 】

ここで、 $[X]$ は、火点領域以外の領域における溶銑に含まれる元素 X の濃度 [%] である。 V は、火点領域以外の溶銑の体積 [m^3] である。 A は、スラグメタル界面の界面積 [m^2] である。 K_X は、溶銑成分である元素 X の物質移動係数 [m/s] である。 $[X^*]$ は、スラグメタル界面における溶銑に含まれる元素 X の平衡濃度 [%] である。 $[X_f]$ は、火点領域における溶銑に含まれる元素 X の濃度 [%] である。 $W_{X, SUB}$ は、副原料の投入による溶銑成分である元素 X の濃度の増加を考慮するための投入項 [%/s] である。

10

【 0 0 7 1 】

上記式 (15) は、従来の競合反応モデルに加えて、火点領域から火点領域以外の領域に流動する溶銑成分の物質移動 ($Q \times ([X_f] - [X])$) に相当する) による物質収支を表現する。つまり、上記式 (15) は、スラグメタル界面反応により進行する溶銑からスラグメタル界面への物質移動 ($A \times K_X \times ([X] - [X^*])$) に相当する) のみならず、火点領域から火点領域以外の領域への物質移動に基づいて溶銑中の Si 、 C 、および Fe の成分の濃度変化を算出する。これにより、火点反応による溶銑中の Si 、 C 、および Fe の成分の濃度変化の影響を、スラグメタル界面反応に反映させることができる。

20

【 0 0 7 2 】

なお、本実施形態に係る複合反応モデルでは、 Si 、 C 、および Fe 以外の元素 X (例えば、 Mn 、 P) の酸化物は火点反応により生成されないと仮定されている。したがって、 Si 、 C 、および Fe 以外の元素 X の物質収支について、上記式 (15) における $[X_f] - [X]$ の値は 0 となる。

【 0 0 7 3 】

また、非特許文献に記載されているように、スラグメタル界面における溶銑に含まれる元素 X の平衡濃度 $[X^*]$ は、界面酸素濃度 a_o^* を用いることにより表現される。当該界面酸素濃度 a_o^* は、スラグメタル界面における酸素収支式により算出される (当該非特許文献参考)。

30

【 0 0 7 4 】

次に、スラグメタル界面におけるスラグ成分に関する反応は、溶銑成分に関する反応と同様に、スラグメタル界面におけるスラグ成分の平衡濃度とスラグのバルク内の成分の濃度との差を推進力とする物質移動により表現される。すなわち、スラグメタル界面におけるスラグ成分 XO_n (SiO_2 、 FeO 、 MnO 、 PO_2 、 $AlO_1.5$ 、 CaO 等) の物質収支は、下記式 (16) のように表現される。

【 0 0 7 5 】

【 数 1 6 】

$$\frac{d(XO_n)}{dt} = \frac{1}{V_s} \times (A \times K_{XO_n} \times ((XO_n) - (XO_n^*))) + W_{XO_n, SUB} \quad \cdots (16)$$

40

【 0 0 7 6 】

ここで、 (XO_n) はスラグに含まれる元素 X の酸化物の濃度 [%] である。 V_s は、スラグの体積 [m^3] である。 K_{XO_n} は、スラグ成分である酸化物 XO_n の物質移動係数 [m/s] である。 (XO_n^*) は、スラグメタル界面におけるスラグに含まれる元素 X の酸化物の平衡濃度 [%] である。 $W_{XO_n, SUB}$ は、生石灰やスケール等の副原料の投入によるスラグ成分である酸化物 XO_n の濃度の増加を考慮するための投入項 [%/s]

50

s] である。

【 0 0 7 7 】

また、スラグに含まれる SiO_2 および FeO の濃度は、図 1 に示したように、火点反応により生じた酸化物のスラグへの流入によっても変化する。そのため、 SiO_2 と FeO の濃度変化については、スラグメタル界面反応による濃度変化のみならず、火点反応により生成された酸化物の生成速度を考慮する必要がある。そのため、 SiO_2 および FeO のスラグ中の濃度変化は、従来の競合反応モデルに、火点反応により生成された酸化物によるスラグ中の濃度変化の項を加えた下記式 (1 7) および式 (1 8) を用いて算出される。これにより、火点反応により生成された酸化物のスラグへの流入によるスラグ成分の濃度の変化を表現することができる。

10

【 0 0 7 8 】

【 数 1 7 】

$$\frac{d(\text{SiO}_2)}{dt} = \frac{1}{V_s} \times \left(A \times K_{\text{SiO}_2} \times ((\text{SiO}_2) - (\text{SiO}_2^*)) \right) + W_{\text{SiO}_2, \text{SUB}} + \frac{d(\text{SiO}_{2f})}{dt} \quad \dots (17)$$

【 0 0 7 9 】

【 数 1 8 】

$$\frac{d(\text{FeO})}{dt} = \frac{1}{V_s} \times \left(A \times K_{\text{FeO}} \times ((\text{FeO}) - (\text{FeO}^*)) \right) + W_{\text{FeO}, \text{SUB}} + \frac{d(\text{FeO}_f)}{dt} \quad \dots (18)$$

20

【 0 0 8 0 】

なお、 (SiO_2) はスラグ中の SiO_2 濃度を表し、 (SiO_2^*) はスラグメタル界面における SiO_2 の平衡濃度を表す。また、 (FeO) はスラグ中の FeO 濃度を表し、 (FeO^*) はスラグメタル界面における FeO の平衡濃度を表す。

【 0 0 8 1 】

以上説明したように、スラグメタル界面反応によるスラグメタル界面における各成分の物質収支は、式 (1 5) ~ 式 (1 8) により表現される。また、スラグメタル界面反応を構成する溶銑部分の熱収支、およびスラグ部分の熱収支は、スラグメタル界面反応により生じる反応等の反応熱を考慮して、下記式 (1 9)、および式 (2 0) のようにそれぞれ表現される。

30

【 0 0 8 2 】

【 数 1 9 】

$$W \times cp \times \frac{dT}{dt} = H_{\text{reac}} + (RQ_f - RQ) + Q_{\text{SUB}} \quad \dots (19)$$

【 0 0 8 3 】

ここで、 W は火点領域以外の領域における溶銑の重量 [t o n] である。 cp は、火点領域以外の領域における溶銑の比熱 [k c a l / (k g \cdot)] である。 T は、火点領域以外の領域における溶銑の温度 [] である。 H_{reac} は、スラグメタル界面反応で生じた反応熱のうち溶銑に分配される反応熱 [k c a l / s] であり、スラグメタル界面反応に伴う各成分の物質移動に基づいて算出される。また、 Q_{SUB} は、溶銑への副原料の溶解により生じる抜熱量 [k c a l / s] である。

40

【 0 0 8 4 】

【数 20】

$$W_s \times c_{p_s} \times \frac{dT_s}{dt} = H_{\text{reac},s} + RQ_s \quad \dots (20)$$

【0085】

ここで、 c_{p_s} は、スラグの比熱 [kcal / (kg ·)] である。 T_s は、スラグの温度 [] である。 $H_{\text{reac},s}$ は、スラグメタル界面反応で生じた反応熱のうちスラグに分配される反応熱 [kcal / s] であり、スラグメタル界面反応に伴う各成分の物質移動に基づいて算出される。また、 RQ_s は、スラグ表面からの抜熱量 [kcal / s] である。

10

【0086】

以上より、火点反応による溶銑成分の挙動を含めたスラグメタル界面における溶銑成分およびスラグ成分の挙動は、式 (15) ~ 式 (20) により表現される。

【0087】

以上説明したように、本実施形態に係る複合反応モデルは、火点反応を表現する式 (3) ~ 式 (14) (式 (6)、式 (9) を除く) と、火点反応を考慮した競合反応モデルにより構成されるスラグメタル界面反応を表現する式 (15) ~ 式 (20) とを複合させた数理モデルである。当該複合反応モデルに係る上記の連立方程式を逐次的に解くことにより、溶銑 S i 濃度を含む溶銑成分の濃度およびスラグ成分の濃度を推定する。例えば、上記複合反応モデルを用いて、溶銑 S i 濃度を逐次的に推定することが可能である。

20

【0088】

< 1 . 2 . 溶銑 S i 濃度の適正化 >

次に、上述した溶銑 S i 濃度の推定結果を用いて、実際のチャージの溶銑 S i 濃度の適正化する処理について説明する。ここで、溶銑 S i 濃度の適正化とは、実際の脱珪処理において当初到達すべき目標溶銑 S i 濃度と溶銑 S i 濃度の推定値とが乖離している場合に、脱珪反応を促進させるための操作を行い、溶銑 S i 濃度を調整することを意味する。

【0089】

本実施形態において、上述した操作とは、具体的には、脱珪反応を促進するために転炉内に酸素源を追加的に投入する操作を含む。この酸素源の追加投入に係る操作として、(1) 鉄鉱石等の酸化鉄を含む副原料の投入、および (2) 上吹きランスからの上吹き酸素流量の増加等が挙げられる。なお、酸化鉄を含む副原料は、鉄鉱石以外に、スケールまたは焼結鉱等、 FeO 、 Fe_2O_3 、または Fe_3O_4 の組成を有する鉄系酸化物であれば、特に限定されない。このような酸化鉄を含む副原料は、従来、式 (1) に示した脱りん反応を促進させるための FeO 源として期待されて用いられている。一方、本実施形態に係る溶銑予備処理方法においては、酸化鉄を含む副原料は、酸素源としての役割を有し、脱珪反応を促進させ、溶銑 S i 濃度の適正化のために用いられる。

30

【0090】

本実施形態に係る溶銑 S i 濃度の適正化処理においては、目標溶銑 S i 濃度に到達すべき時点 t_1 における溶銑 S i 濃度の推定値と目標溶銑 S i 濃度との差を算出し、次に、当該差に基づいて上記の転炉の操業に係る操作量を決定する。操作量を溶銑 S i 濃度の推定値と目標溶銑 S i 濃度との差に基づいて算出することにより、脱珪処理を確実に促進させ、かつ、過剰操作による溶銑の熱損失または操業時間の長時間化等の生産効率の悪化を回避することができる。

40

【0091】

ここで、目標溶銑 S i 濃度 ($[X_{s_i}]_{aim}$) に到達すべき時点 (目標濃度到達時点と呼称する) t_1 は、溶銑予備処理前に予め設定される、吹錬開始時 t_0 からの経過時間である。すなわち、脱珪処理の終了予定時点が、目標濃度到達時点 t_1 に相当する。本実施形態に係る目標濃度到達時点 t_1 は、溶銑予備処理前の溶銑 S i 濃度 (すなわち初期溶銑 S i 濃度 $[X_{s_i}]_{t_0}$) および、溶銑予備処理の操業条件 (例えば、溶銑温度、塩基

50

度等)に基づいて設定され得る。具体的には、目標濃度到達時点 t_1 は、下記の表1の例に示すように、初期溶銑 S_i 濃度と溶銑温度に応じて適宜設定され得る。また、目標濃度到達時点 t_1 は、吹錬設備の仕様(例えば上底吹きガスの流量等)または製造する鋼種に応じて、過去の経験に基づき適宜設定され得る。

【0092】

【表 1】

表1

初期溶銑Si濃度 $[X_{Si}]_{t0}$ [%]	初期溶銑温度 T_{t0} [°C]		
	$T_{t0} < 1250$	$1250 \leq T_{t0} < 1300$	$1300 \leq T_{t0}$
	...	70	...
	...	120	...
	...	200	...
...	...	300	...

本実施形態に係る適正化処理では、まず、目標濃度到達時点 t_1 における溶銑 S_i 濃度の推定値 $[X_{S_i}]_{t_1}$ と、目標溶銑 S_i 濃度 $[X_{S_i}]_{aim}$ とを比較する。ここで、溶銑 S_i 濃度の推定値 $[X_{S_i}]_{t_1}$ が、目標溶銑 S_i 濃度 $[X_{S_i}]_{aim}$ 以下である場合（すなわち、 $[X_{S_i}]_{t_1} - [X_{S_i}]_{aim} \leq 0$ の場合）、脱珪処理が予定通り、または予定よりも早いペースで行われているため、溶銑 S_i 濃度の適正化に係る操作は行われない。

【0094】

一方、溶銑 S_i 濃度の推定値 $[X_{S_i}]_{t_1}$ が、目標溶銑 S_i 濃度 $[X_{S_i}]_{aim}$ を上回る場合（すなわち $[X_{S_i}]_{t_1} - [X_{S_i}]_{aim} > 0$ の場合）、上述した操作による溶銑 S_i 濃度の適正化が行われる。

10

【0095】

なお、目標溶銑 S_i 濃度 $[X_{S_i}]_{aim}$ は、最終的に得られる鋼種等に応じて適宜決定される。例えば、目標溶銑 S_i 濃度 $[X_{S_i}]_{aim}$ は、0.01%であってもよい。

【0096】

以下では、実際の操作として、鉄鉱石等の酸化鉄を含む副原料を転炉内に投入する例について説明する。

【0097】

転炉内に投入される副原料の投入量 W_{FeOre} [ton] は、目標濃度到達時点 t_1 において溶銑中に存在すると考えられる余剰な S_i を酸化させるのに必要な酸素量に基づいて決定され得る。具体的には、投入量 W_{FeOre} は、下記式(21)に基づいて決定され得る。

20

【0098】

【数21】

$$W_{FeOre} = \frac{([X_{Si}]_{t1} - [X_{Si}]_{aim}) \times \alpha \times W_{HM}}{O_{FeOre}} \quad \dots (21)$$

【0099】

ここで、 α は換算係数 $[Nm^3 / (\% \cdot ton)]$ であり、化学量論的に決定される値である。本実施形態に係る換算係数 α は 8.0 とした。また W_{HM} は溶銑の装入量 [ton] であり、 O_{FeOre} は、副原料の酸素含有量 $[Nm^3 / ton]$ である。

30

【0100】

かかる鉄鉱石の投入により、転炉内の溶銑中に存在する S_i が鉄鉱石に含有される酸素と反応して酸化される。すなわち、脱珪反応が促進されるので、溶銑 S_i 濃度を目標溶銑 S_i 濃度まで迅速に低下させ、脱珪反応終了時期を適正化することができる。よって、溶銑 S_i 濃度が適正に調整されるので、溶銑 P 濃度を高精度に制御することが可能となる。

【0101】

ただし、上述した鉄鉱石等の酸化鉄を含む副原料の投入量に対して、溶銑の熱的余裕がない場合がある。この場合、副原料の投入とともに、または副原料の投入に替えて、吹込み酸素量 O_{blow} を増加する調整を行うことが好ましい。

40

【0102】

例えば、下記式(22)が成立しない場合、すなわち、副原料の投入による溶銑温度の降下量 $[]$ が、溶銑温度 T_{HM} および脱珪処理終了時点における目標温度 T_{aim} 等、溶銑の熱収支に係る変数を独立変数とする関数 f により一意に定まる溶銑の熱余裕度 $[]$ よりも大きい場合、吹込み酸素量の増加分 O_{blow} を増加する調整を行うことが好ましい。

【0103】

【数 2 2】

$$\frac{W_{FeOre} \times \gamma_{FeOre}}{W_{HM}} \times 100 \times 20 \leq f(T_{HM}, T_{aim}, \dots) \quad \dots (22)$$

【0104】

ここで、上記式(22)の左辺は、副原料の一例であるスクラップが溶銑重量 W_{HM} の1%だけ投入された場合に溶銑温度が20℃低下すると仮定した場合における、スクラップの投入による冷却効果を基準とする副原料の投入による溶銑温度の降下量を示している。また、 γ_{FeOre} は、投入される副原料に応じて定められる冷却係数である。当該冷却係数 γ_{FeOre} はスクラップの冷却効果を基準として定められている。すなわち、上記式(22)において、スクラップの冷却係数 γ_{scrap} は1.0である。また、上記式(22)の左辺の W_{FeOre} には、上記式(21)により算出される W_{FeOre} が代入される。

10

【0105】

上記式(22)が成立しない場合は、副原料の投入を行うとともに、または副原料の投入に替えて、吹込み酸素流量を増加させる操作が行われ得る。まず、副原料の投入とともに吹込み酸素流量を増加させる場合、副原料の投入可能量 W'_{FeOre} は、下記式(23)により算出される。

【0106】

20

【数 2 3】

$$W'_{FeOre} = \frac{W_{HM} \times f(T_{HM}, T_{aim}, \dots)}{\gamma_{FeOre} \times 100 \times 20} \quad \dots (23)$$

【0107】

そして、吹込み酸素量の増加分 O_{blow} は、下記式(24)により算出される。なお、下記式(24)の右辺第1項かっこ内の W_{FeOre} には、上記式(21)により算出される W_{FeOre} が代入される。

【0108】

30

【数 2 4】

$$\Delta O_{blow} = (W_{FeOre} - W'_{FeOre}) \times O_{FeOre} \quad \dots (24)$$

【0109】

また、副原料の投入に替えて吹込み酸素量を増加させる操作を行う場合、吹込み酸素量の増加分 O_{blow} は、下記式(25)により算出される。ただし、吹込み酸素量の増加は処理時間の延長を伴うため、熱余裕がある場合には鉄鉱石等の副原料を投入する操作を行うことが望ましい。

【0110】

40

【数 2 5】

$$\Delta O_{blow} = ([X_{si}]_{t1} - [X_{si}]_{aim}) \times \alpha \times W_{HM} \quad \dots (25)$$

【0111】

以上の各式から算出される操作量に応じた操作を行うことにより、脱珪反応が促進される。これにより、溶銑Si濃度が適正化されるので、スラグの排滓処理を行うことなく、溶銑予備処理終了時における溶銑P濃度を高精度に制御することが可能となる。

【0112】

以上、本実施形態に係る溶銑予備処理方法について説明した。

50

【 0 1 1 3 】

< 2 . 本実施形態に係る溶銑予備処理システム > >

< 2 . 1 . 溶銑予備処理システムの構成 >

次に、上述した本実施形態に係る溶銑予備処理方法を実現するためのシステムの一例について説明する。図 4 は、本発明の一実施形態に係る溶銑予備処理システム 1 の構成例を示す図である。図 4 を参照すると、本実施形態に係る溶銑予備処理システム 1 は、転炉吹錬設備 1 0、溶銑予備処理制御装置 2 0 および計測制御装置 3 0 を備える。

【 0 1 1 4 】

(転炉吹錬設備)

転炉吹錬設備 1 0 は、転炉 1 1、煙道 1 2、上吹きランス 1 3、排ガス成分分析計 1 0 1 および排ガス流量計 1 0 2 を備える。転炉吹錬設備 1 0 は、例えば、計測制御装置 3 0 より出力された制御信号に基づいて、上吹きランス 1 3 による溶銑への酸素の供給の開始および停止、冷材および副原料の投入、並びに、転炉 1 1 による溶銑およびスラグの排滓に関する処理を行う。転炉吹錬設備 1 0 には、上吹きランス 1 3 に対して酸素を供給するための送酸装置、転炉 1 1 に対して冷材を投入するための駆動系を有する冷材投入装置、並びに転炉 1 1 に対して副原料を投入するための駆動系を有する副原料投入装置等、一般的な転炉による吹錬に用いられる各種装置が設けられ得る。

【 0 1 1 5 】

転炉 1 1 の炉口からは吹錬に用いられる上吹きランス 1 3 が挿入されており、送酸装置から送られた酸素 1 4 が上吹きランス 1 3 を通じて炉内の溶銑に供給される。また、溶銑の攪拌のために、窒素ガスやアルゴンガス等の不活性ガス等が底吹きガス 1 5 として転炉 1 1 の底部から導入され得る。転炉 1 1 内には、高炉から出銑された溶銑、少量の鉄スクラップ、溶銑 (溶鋼) 温度を調整するための冷材、並びに石灰石等のスラグ形成のための副原料および溶銑 S i 濃度の適正化のための鉄鉱石等の酸化鉄を含む副原料が装入 / 投入される。なお、副原料が粉体である場合は、上吹きランス 1 3 を通じて酸素 1 4 とともに転炉 1 1 内に供給されてもよい。

【 0 1 1 6 】

溶銑中の S i 等は供給された酸素と酸化反応し、酸化物が生成される。ここで生じた酸化物は、スラグとして安定化する。また、溶銑中の C は供給された酸素と酸化反応し、C O または C O ₂ が生成され、排ガスとして転炉 1 1 から煙道 1 2 へ排出される。吹錬による酸化反応によって不純物の成分が除去され、溶銑中の C の量が制御されることにより、低炭素で不純物の少ない鋼が生成される。

【 0 1 1 7 】

転炉 1 1 において発生した排ガスは、転炉 1 1 外に設けられる煙道 1 2 へと流れる。煙道 1 2 には、排ガス成分分析計 1 0 1、および排ガス流量計 1 0 2 が設けられる。排ガス成分分析計 1 0 1 は、排ガスに含まれる成分を分析する。排ガス成分分析計 1 0 1 は、例えば、排ガスに含まれる C O および C O ₂ の濃度を分析する。排ガス流量計 1 0 2 は、排ガスの流量を測定する。排ガス成分分析計 1 0 1 および排ガス流量計 1 0 2 は、所定のサンプリング周期 (例えば 5 ~ 1 0 s e c 周期) で、逐次的に、排ガスの成分分析および流量測定を行う。排ガス成分分析計 1 0 1 によって分析された排ガス成分に係るデータ、および排ガス流量計 1 0 2 によって測定された排ガス流量に係るデータ (以下、これらのデータを「排ガスデータ」と呼称する) は、計測制御装置 3 0 を介して溶銑予備処理制御装置 2 0 に、時系列データとして逐次出力される。その際、排ガス成分分析計 1 0 1 および排ガス流量計 1 0 2 より出力される排ガスデータの出力周期は、溶銑予備処理制御装置 2 0 による溶銑 S i 濃度の推定周期と同期し得る。

【 0 1 1 8 】

(溶銑予備処理制御装置 2 0)

溶銑予備処理制御装置 2 0 は、データ取得部 2 0 1、溶銑 S i 濃度推定部 2 0 2、および適正化処理部 2 0 3 を備える。溶銑予備処理制御装置 2 0 は、C P U (Central Processing Unit)、R O M (Read Only Memory)、R A M (Random Access Memory)、

10

20

30

40

50

ストレージおよび通信装置等のハードウェア構成を備え、これらのハードウェア構成によって、データ取得部 201、溶銑 Si 濃度推定部 202、適正化処理部 203 および溶銑予備処理データベース 21 の各機能が実現される。また、入出力部 22 は、キーボード、マウス、またはタッチパネル等の入力装置、ディスプレイ、またはプリンタ等の出力装置、および通信装置等により実現される。

【0119】

溶銑予備処理制御装置 20 は、溶銑予備処理データベース 21 に格納されている各種データ、並びに排ガス成分分析計 101 および排ガス流量計 102 から取得される排ガスデータを入力値として、溶銑 Si 濃度を推定する。入力値とされるデータは、後述するデータ取得部 201 の有する機能により取得される。また、溶銑 Si 濃度は、後述する溶銑 Si 濃度推定部 202 の有する機能により推定される。また、溶銑予備処理制御装置 20 は、推定された溶銑 Si 濃度を、溶銑予備処理における操業の制御に用いる。具体的には、溶銑予備処理制御装置 20 は、推定された溶銑 Si 濃度と目標溶銑 Si 濃度との差に基づいて、上述した溶銑 Si 濃度を適正化するための操作の内容（例えば、操作タイミング、操作量）を決定する。当該適正化処理は、後述する適正化処理部 203 の有する機能により決定される。

10

【0120】

なお、本実施形態に係る溶銑予備処理制御装置 20 の各機能部が有する具体的な機能については後述する。

【0121】

20

また、溶銑予備処理制御装置 20 は、例えば、転炉 11 への酸素の吹込み、並びに冷材および副原料の投入等の溶銑予備処理に関するプロセス全体を制御する機能を有する。具体的には、溶銑予備処理制御装置 20 は、転炉 11 への吹込み酸素量、冷材の投入量（以降、冷材量と呼称する）および副原料の投入量等を決定する機能等を有する。これらの機能における具体的な処理としては、後述する適正化処理部 203 の有する機能により実現される処理を除いて、各種の公知の方法が適用され得るため、ここでは詳細な説明は省略する。

【0122】

溶銑予備処理データベース 21 は、溶銑予備処理制御装置 20 において用いられる各種データを格納するデータベースであり、ストレージ等の記憶装置により実現される。溶銑予備処理データベース 21 は、例えば、図 4 に示したように、溶銑データ 211、目標データ 212、およびパラメータ 213 等を格納する。これらのデータは、不図示の入力装置や通信装置を介して追加、更新、変更、または削除されてもよい。溶銑予備処理データベース 21 に記憶されている各種データは、データ取得部 201 により呼び出される。なお、本実施形態に係る溶銑予備処理データベース 21 を有する記憶装置は、図 4 に示すように溶銑予備処理制御装置 20 と一体となって構成されているが、他の実施形態においては、溶銑予備処理データベース 21 を有する記憶装置は、溶銑予備処理制御装置 20 とは分離された構成であってもよい。

30

【0123】

溶銑データ 211 は、転炉 11 内の溶銑に関する各種のデータである。例えば、溶銑データ 211 には、溶銑についての情報（チャージごとの初期の溶銑重量、溶銑成分（C、P、Si、Fe、Mn 等）の濃度、溶銑温度、溶銑率等）が含まれる。溶銑データ 211 には、その他にも、一般的に溶銑予備処理および脱炭処理において用いられる各種の情報（例えば、副原料および冷材の投入についての情報（副原料および冷材量についての情報）、吹込み酸素量についての情報等）が含まれ得る。目標データ 212 には、溶銑予備処理時における溶銑中の目標成分濃度、目標濃度到達時点および目標温度等のデータが含まれる。パラメータ 213 は、後述する溶銑 Si 濃度推定部 202 および適正化処理部 203 において用いられる各種のパラメータである。例えば、パラメータ 213 には、脱珪反応速度定数等が含まれる。

40

【0124】

50

入出力部 22 は、例えば、溶銑 Si 濃度推定部 202 による溶銑 Si 濃度の推定結果、および適正化処理部 203 により決定される操業に関する情報（操業開始タイミング、操業に係る操作量）等を取得し、各種出力装置に出力する機能を有する。例えば、入出力部 22 は、推定された溶銑 Si 濃度をオペレータに表示させてもよい。また、入出力部 22 は、後述する適正化処理部 203 により決定された操業に関する情報に基づいて、転炉吹錬の制御に関する指示を、計測制御装置 30 に出力してもよい。この場合、当該指示は、適正化処理部 203 により決定された操業に関する情報に基づいて自動的に生成される指示であってもよいし、表示された溶銑 Si 濃度の推定値に係る情報を閲覧したオペレータの操作により入力される指示であってもよい。また、入出力部 22 は、溶銑予備処理データベース 21 に格納されている各種データを追加、更新、変更、または削除するための入力インタフェースの機能を有してもよい。

10

【0125】

（計測制御装置）

計測制御装置 30 は、CPU、ROM、RAM、ストレージおよび通信装置等のハードウェア構成を備える。計測制御装置 30 は、転炉吹錬設備 10 の備える各装置と通信し、転炉吹錬設備 10 の全体の動作を制御する機能を有する。例えば、計測制御装置 30 は、溶銑予備処理制御装置 20 からの指示に応じて、転炉 11 への冷材および副原料の投入、並びに上吹きランス 13 の酸素 14 の吹込みに係る操業を制御する。また、計測制御装置 30 は、排ガス成分分析計 101、および排ガス流量計 102 等の転炉吹錬設備 10 の各装置から得られたデータを取得して、溶銑予備処理制御装置 20 に送信する。

20

【0126】

< 2.2. 各機能部の構成および機能 >

次に、本実施形態に係る溶銑予備処理制御装置 20 の各機能部の構成および機能について説明する。

【0127】

再度図 4 を参照すると、本実施形態に係る溶銑予備処理制御装置 20 には、データ取得部 201、溶銑 Si 濃度推定部 202 および適正化処理部 203 の各機能部が備えられる。

【0128】

（データ取得部）

30

データ取得部 201 は、溶銑 Si 濃度を推定するための各種データ、および推定された溶銑 Si 濃度等を用いて転炉の操業の制御を行うための各種データを取得する。例えば、データ取得部 201 は、溶銑予備処理データベース 21 に記憶されている溶銑データ 211、目標データ 212 およびパラメータ 213 を取得する。また、データ取得部 201 は、排ガス成分分析計 101 および排ガス流量計 102 から出力される排ガスデータを取得する。取得される排ガスデータは、時系列データである。すなわち、本実施形態に係るデータ取得部 201 は、排ガス成分分析計 101 および排ガス流量計 102 が逐次的に測定する排ガスデータを逐次的に取得する。

【0129】

なお、データ取得部 201 は、上述した各種データ以外にも、溶銑予備処理に係る各種データを取得し得る。また、データ取得部 201 は、転炉吹錬設備 10 に備えられる各種装置から出力されるデータを、計測制御装置 30 を介して取得し得る。

40

【0130】

データ取得部 201 は、取得した各種データを溶銑 Si 濃度推定部 202 および適正化処理部 203 にそれぞれ出力する。

【0131】

（溶銑 Si 濃度推定部）

溶銑 Si 濃度推定部 202 は、データ取得部 201 から出力された各種データ等を用いて、溶銑 Si 濃度を推定する。すなわち、溶銑 Si 濃度推定部 202 は、上述した溶銑 Si 濃度の推定に係る機能を有する。具体的には、溶銑 Si 濃度推定部 202 は、溶銑予備

50

処理データベース 21 に格納されている各種データ、一時点前に推定した S_i を含む各溶銑成分の推定濃度、および排ガス成分分析計 101 および排ガス流量計 102 から取得した排ガスデータを式 (3) ~ 式 (20) (ただし式 (6)、式 (9) を除く) に代入して連立方程式を解くことにより、溶銑 S_i 濃度 $[X_{S_i}]$ を逐次的に推定する。

【0132】

(適正化処理部)

適正化処理部 203 は、溶銑 S_i 濃度推定部 202 により推定された目標濃度到達時点 t_1 における溶銑 S_i 濃度 $[X_{S_i}]_{t_1}$ と目標溶銑 S_i 濃度 $[X_{S_i}]_{aim}$ との差に基づいて、実際の溶銑 S_i 濃度を調整するための操作内容を決定する機能を有する。すなわち、適正化処理部 203 は、上述した溶銑 S_i 濃度の適正化に係る機能を有する。なお、当該操作内容には、操作を行うタイミング、および操作量が含まれる。

10

【0133】

具体的には、適正化処理部 203 は、データ取得部 201 から出力された目標溶銑 S_i 濃度 $[X_{S_i}]_{aim}$ および目標濃度到達時点 t_1 を取得し、目標濃度到達時点 t_1 における溶銑 S_i 濃度 $[X_{S_i}]_{t_1}$ と目標溶銑 S_i 濃度 $[X_{S_i}]_{aim}$ との差を算出する。そして、適正化処理部 203 は、当該差に基づいて、適正化処理を行うか否かを判定する。例えば、 $[X_{S_i}]_{t_1} - [X_{S_i}]_{aim} = 0$ の場合、適正化処理部 203 は、溶銑 S_i 濃度を調整するための操作を特に行わないことを決定する。一方で、 $[X_{S_i}]_{t_1} - [X_{S_i}]_{aim} > 0$ の場合、適正化処理部 203 は、溶銑 S_i 濃度を調整するための操作内容を決定する。

20

【0134】

この場合、適正化処理部 203 は、目標濃度到達時点 t_1 を操作開始のタイミングとして、酸化鉄を含む副原料の投入量および / または上吹きランス 13 からの吹込み酸素量の増加量を決定する。当該投入量および増加量は、操作量の一例である。この操作量は、上述した式 (21) ~ 式 (25) により決定される。

【0135】

適正化処理部 203 は、溶銑 S_i 濃度を調整する操作を行う必要があると判定した場合、当該操作に係る指示を計測制御装置 30 に出力する。当該指示には、操作内容 (すなわち、操作量等) が含まれる。計測制御装置 30 は、当該指示を受信して、当該指示に基づいて当該操作の制御を転炉吹錬設備 10 に対して行う。これにより、転炉吹錬設備 10 において、溶銑 S_i 濃度を適正化するための操作が行われる。

30

【0136】

以上、図 4 を参照して、本実施形態に係る溶銑予備処理制御装置 20 の各機能部の構成および機能について説明した。

【0137】

< 2.3. 溶銑予備処理システムによる処理フロー >

図 5 は、本実施形態に係る溶銑予備処理システム 1 による溶銑予備処理方法のフローチャートの一例を示す図である。図 5 を参照しながら、本実施形態に係る溶銑予備処理システム 1 による溶銑予備処理方法の処理の流れについて説明する。なお、図 5 に示す各処理は、図 4 に示す溶銑予備処理制御装置 20 によって実行される各処理に対応している。そのため、図 5 に示す各処理の詳細については省略し、各処理の概要を説明するに留める。

40

【0138】

本実施形態に係る溶銑予備処理方法では、まず、溶銑予備処理開始前に、溶銑予備処理データベース 21 に格納されたデータ等の各種データが取得される (ステップ S101)。具体的には、ステップ S101 では、データ取得部 201 は、溶銑データ 211、目標データ 212、およびパラメータ 213 を取得する。

【0139】

次に、溶銑予備処理が開始されると、排ガスデータが収集される (ステップ S103)。具体的には、ステップ S103 では、データ取得部 201 は、排ガス成分分析計 101 および排ガス流量計 102 によって測定された排ガスデータを排ガス成分分析計 101 お

50

よび排ガス流量計 102 から逐次的に取得する。

【0140】

次いで、溶銑 S_i 濃度が逐次的に推定される（ステップ S105）。具体的には、ステップ S105 では、溶銑 S_i 濃度推定部 202 は、上述した各種データ、および一時点前の S_i 含む各溶銑成分の推定濃度を複合反応モデルに適用させることにより、溶銑 S_i 濃度を推定する。ステップ S103 およびステップ S105 に係る処理（排ガスデータ取得処理、溶銑 S_i 濃度推定処理）は、目標濃度到達時点 t_1 に達するまで逐次的に繰り返し実行される（ステップ S107 / YES）。

【0141】

次に、目標濃度到達時点 t_1 に達したとき（S107 / NO）、溶銑 S_i 濃度を調整するための操作を行うか否かが判定される（S109）。具体的には、適正化処理部 203 は、目標濃度到達時点 t_1 における推定された溶銑 S_i 濃度 $[X_{S_i}]_{t_1}$ と目標溶銑 S_i 濃度 $[X_{S_i}]_{aim}$ との差を算出し、当該差に基づいて溶銑 S_i 濃度を調整するための操作内容を決定する。溶銑 S_i 濃度 $[X_{S_i}]_{t_1}$ - 濃度 $[X_{S_i}]_{aim}$ 0 であれば（S109 / NO）、当該操作は行わないと判定される。一方で、溶銑 S_i 濃度 $[X_{S_i}]_{t_1}$ - 濃度 $[X_{S_i}]_{aim} > 0$ であれば（S109 / YES）、溶銑 S_i 濃度を調整するための操作が行われる（S111）。具体的には、適正化処理部 203 は、当該操作に係る操作量等の操作内容を決定し、当該操作内容を含む指示を計測制御装置 30 に出力する。そして、計測制御装置 30 は、当該指示に基づいて転炉吹錬設備 10 に対する各種操作を制御する。

【0142】

以上、図 5 を参照して、本実施形態に係る溶銑予備処理方法の処理の流れについて説明した。

【0143】

<< 3. まとめ >>

以上、本実施形態に係る溶銑予備処理方法、並びに当該溶銑予備処理方法を実現するための溶銑予備処理システムおよび溶銑予備処理制御装置について説明した。本実施形態によれば、溶銑 S_i 濃度の推定、および推定結果を用いた実際の溶銑 S_i 濃度の調整に係る操作の制御が行われる。かかる技術により、脱珪反応が芳しくない場合における脱珪処理を適正化させることが可能である。これにより、溶銑 P 濃度の制御を精度高く行いつつ、排滓処理を不要とするので、溶銑予備処理における生産効率を向上させることが可能となる。

【0144】

また、溶銑 S_i 濃度の調整に係る操作として、鉄鉱石等の酸化鉄を含む副原料を投入する操作が行われ得る。本実施形態においては、当該副原料は、脱りん反応を促進させるための FeO 源としてだけでなく、脱珪反応を促進させるための酸素源としても用いられ得る。

【0145】

また、本実施形態に係る複合反応モデルは、転炉から排出される CO_2 ガスを、脱りん反応を促進させるための安価な副原料として用いられ得る石灰石の溶解により生じる CO_2 ガスと、脱炭反応により生じる CO_2 ガスとに区別する。これにより、脱炭反応速度をより正確に推定することができる。ゆえに、副原料の投入コストを抑制しつつ、溶銑 S_i 濃度の推定濃度の精度を向上させることが可能となる。

【0146】

なお、図 4 に示す構成は、あくまで本実施形態に係る溶銑予備処理システム 1 の一例であり、溶銑予備処理システム 1 の具体的な構成はかかる例に限定されない。溶銑予備処理システム 1 は、本発明に係る溶銑予備処理方法を実現可能に構成されればよく、一般的に想定され得るあらゆる構成を取ることができる。

【0147】

例えば、溶銑予備処理制御装置 20 が備える各機能は、1 台の装置においてその全てが

10

20

30

40

50

実行されなくてもよく、複数の装置の協働によって実行されてもよい。例えば、データ取得部 201、溶銑 Si 濃度推定部 202 および適正化処理部 203 のうちの 1 又は複数のいずれかの機能のみを有する一の装置が、他の機能を有する他の装置と通信可能に接続されることにより、図示する溶銑予備処理制御装置 20 と同等の機能が実現されてもよい。

【0148】

また、図 4 に示す本実施形態に係る溶銑予備処理制御装置 20 の各機能を実現するためのコンピュータプログラムを作製し、PC 等の処理装置に実装することが可能である。また、このようなコンピュータプログラムが格納された、コンピュータで読み取り可能な記録媒体も提供することができる。記録媒体は、例えば、磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク、フラッシュメモリなどである。また、上記のコンピュータプログラムは、記録媒体を用いずに、例えばネットワークを介して配信してもよい。

10

【実施例】

【0149】

次に、本発明の実施例について説明する。本発明の効果を確認するために、本実施例では、上記実施形態に係る溶銑予備処理方法により推定される溶銑 Si 濃度に基づく溶銑 Si 濃度を調整するための操作の制御の有効性について検証した。なお、以下の実施例は本発明の効果を検証するために行ったものに過ぎず、本発明が以下の実施例に限定されるものではない。

【0150】

本発明の実施例および比較例として、上記実施形態に係る溶銑予備処理方法を適用させたチャージおよび適用させていないチャージのそれぞれについて、溶銑中の Si、FeO および P の推定濃度の推移を評価した。具体的には、実施例に係るチャージでは、目標濃度到達時点 t_1 における推定された溶銑 Si 濃度 $[X_{Si}]_{t_1}$ と目標溶銑 Si 濃度 $[X_{Si}]_{aim}$ との差に基づいて算出された投入量の鉄鉱石を、目標濃度到達時点 t_1 において転炉に投入する操作を行った。一方、比較例に係るチャージでは、推定された溶銑 Si 濃度 $[X_{Si}]$ が目標溶銑 Si 濃度 $[X_{Si}]_{aim}$ に到達した時点 t_2 において、元々脱りん反応促進の目的で投入されるべき所定の投入量の鉄鉱石を転炉に投入する操作を行った。

20

【0151】

本実施例および比較例に係る各チャージの初期の溶銑成分の濃度、溶銑温度、および溶銑予備処理時間を、表 2 に示す。

30

【0152】

【表 2】

表 2

項目	実施例	比較例
溶銑C [%]	4.52	4.54
溶銑Si [%]	0.67	0.64
溶銑Mn [%]	0.2	0.23
溶銑P [%]	0.093	0.1
溶銑温度 [°C]	1308	1344
鉄鉱石 [kg/ton]	13.7	4.4
処理時間 [sec]	840	720

40

【0153】

なお、実施例に係るチャージにおいては、目標濃度到達時点 $t_1 = 280 \text{ sec}$ であり、鉄鉱石の投入量は、式 (21) による算出結果から表 2 に示すように 13.7 kg/ton とした。一方、比較例に係るチャージにおいては、推定された溶銑 Si 濃度 $[X_{Si}]$

50

〕が目標溶銑 S_i 濃度 $[X_{S_i}]_{aim}$ に到達した時点 $t_2 = 371 \text{ sec}$ であり、鉄鉱石の投入量は表 2 に示すように 4.4 kg/ton とした。また、溶銑予備処理後の目標溶銑 P 濃度を 0.025% と設定した。

【0154】

以下、各チャージにおける各成分の推定濃度の推移を示す。図 6 は、実施例および比較例に係るチャージに含まれる各成分の推定濃度を示すグラフである。グラフ A は、溶銑 S_i 濃度の推定値の推移を示し、グラフ B は、スラグ中 FeO 濃度の推定値の推移を示し、グラフ C は、溶銑 P 濃度の推定値の推移を示す。また、グラフ C 中の X 印は、溶銑予備処理後の溶銑 P 濃度の実績値を示す。

【0155】

図 6 を参照すると、グラフ C に示すように、実施例および比較例に係るチャージの溶銑予備処理終了時点における溶銑 P 濃度の推定値と、同時点における溶銑 P 濃度の実績値がほぼ同一であることが分かる。この結果から、上記の複合反応モデルを用いた推定方法により、溶銑 P 濃度を精度高く制御することができることが示された。

【0156】

また、グラフ A の領域 R2 に示されるように、実施例に係るチャージでは、目標濃度到達時点 t_1 において鉄鉱石が投入されたタイミングで、溶銑 S_i 濃度の推定値が急激に低下したことが分かる。これにより、溶銑 S_i 濃度が目標溶銑 S_i 濃度 (0.01%) に短時間で到達したことが分かる。すると、グラフ C に示すように、溶銑 P 濃度の下降が開始する時点が前倒しされた。すなわち、脱りん処理の開始が前倒しされた。さらに、グラフ B に示すように、スラグ中 FeO 濃度が比較例に係るチャージと比較して実施例に係るチャージでは顕著に増加している。これにより、脱りん反応が促進され、溶銑 P 濃度の脱りん速度が大きいことが分かる。その結果、溶銑予備処理終了時点の溶銑 P 濃度は目標 P 濃度の 0.025% を下回り、 0.02% 程度となった。

【0157】

一方、比較例に係るチャージでは、推定された溶銑 S_i 濃度 $[X_{S_i}]$ が目標溶銑 S_i 濃度 $[X_{S_i}]_{aim}$ に到達した時点 t_2 で、実施例の場合よりも投入量の少ない鉄鉱石（元々脱りん反応促進の為に計画した量）を投入している。そのため、脱りん処理の開始時点が遅れ、また、脱りん処理における脱りん速度も低い。その結果、溶銑予備処理終了時点における溶銑 P 濃度は目標溶銑 P 濃度の 0.025% を下回らなかった。

【0158】

これらの結果から、上記実施形態に係る溶銑予備処理方法を適用することで、鉄鉱石が適切な量だけ投入されたため、脱珪処理が適正化されることが示された。また、その結果として、脱りん反応が促進されていることが示された。

【0159】

また、本実施例に係るチャージの結果から、上記実施形態に係る溶銑予備処理方法を適用することにより、排滓処理を行わずに、十分に溶銑 P 濃度を目的溶銑 P 濃度以下に制御することが示された。すなわち、溶銑予備処理における生産効率を向上することが可能なことが示された。

【0160】

以上、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施形態について詳細に説明したが、本発明はかかる例に限定されない。本発明の属する技術の分野における通常の知識を有する者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、これらについても、当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

【符号の説明】

【0161】

- 1 溶銑予備処理システム
- 10 転炉吹錬設備
- 11 転炉

10

20

30

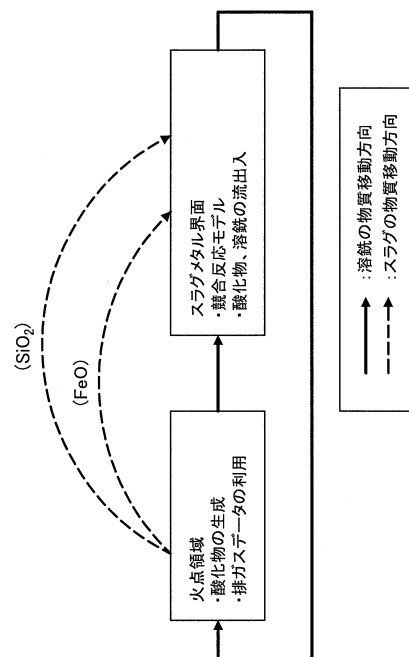
40

50

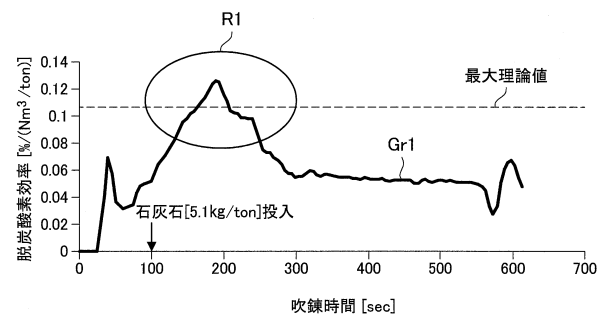
- 1 2 煙道
- 1 3 上吹きランス
- 2 0 溶銑予備処理制御装置
- 2 1 溶銑予備処理データベース
- 2 2 入出力部
- 3 0 計測制御装置
- 1 0 1 排ガス成分分析計
- 1 0 2 排ガス流量計
- 2 0 1 データ取得部
- 2 0 2 溶銑Si濃度推定部
- 2 0 3 適正化処理部

10

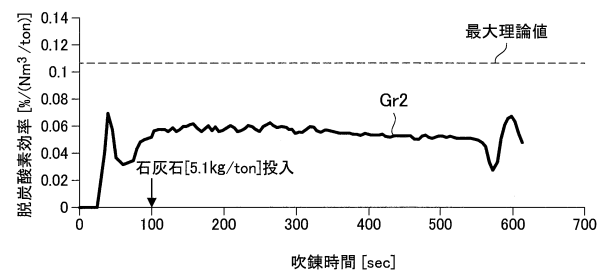
【図1】



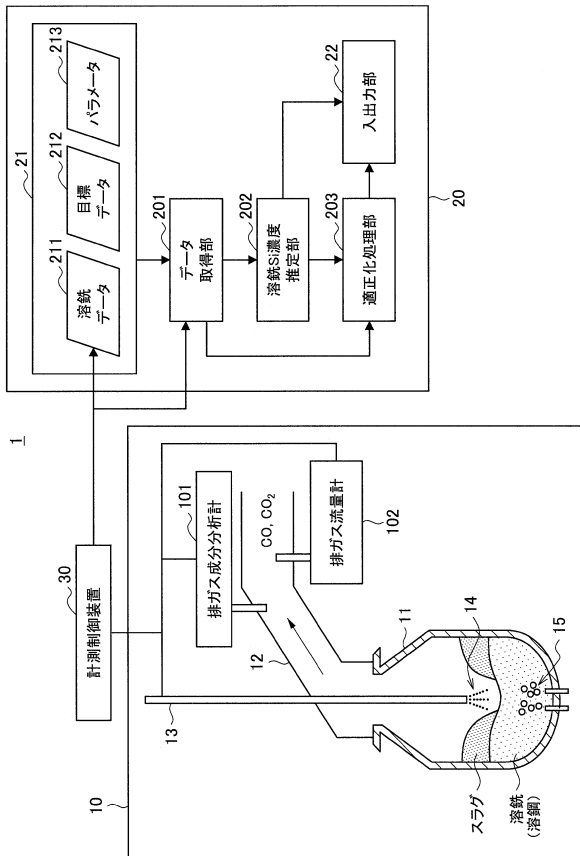
【図2】



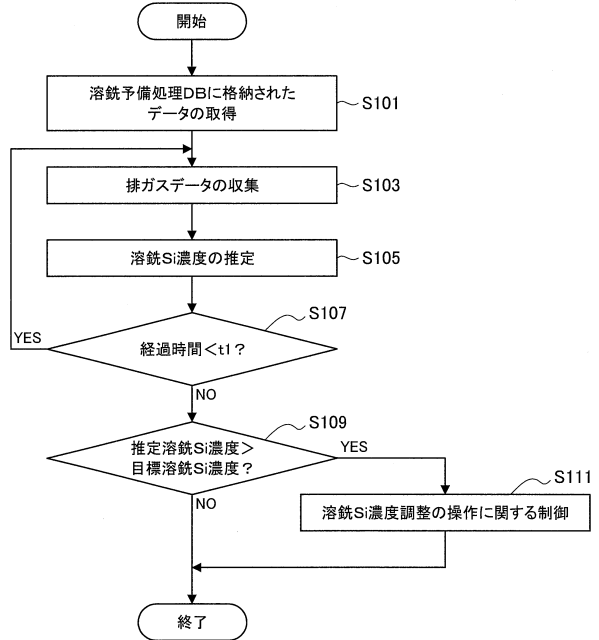
【図3】



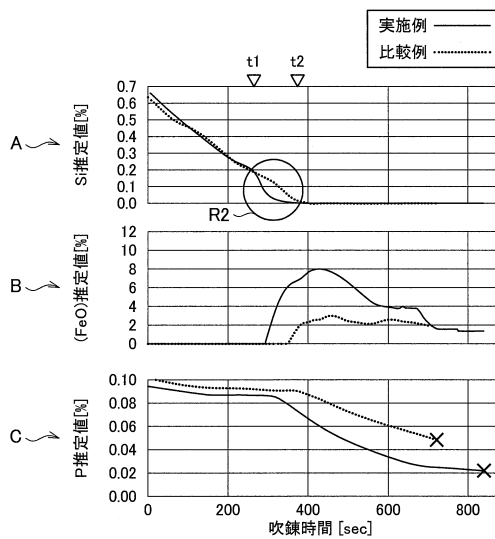
【図4】



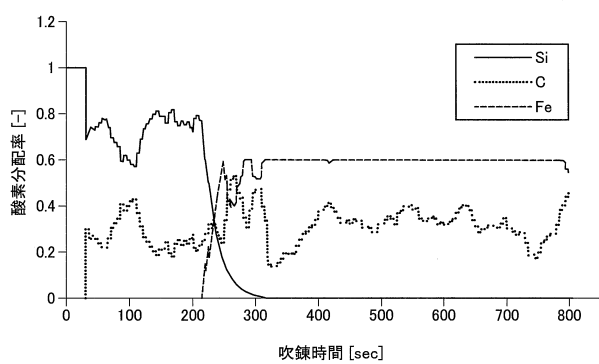
【図5】



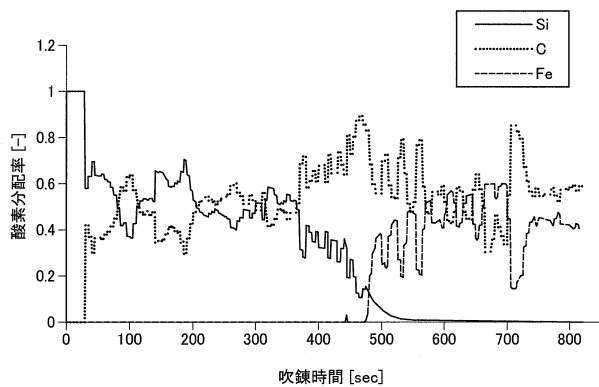
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2015-092026(JP,A)
特開平02-209411(JP,A)
特開昭61-019715(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
C21C 1/00 - 5/56