

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7571891号  
(P7571891)

(45)発行日 令和6年10月23日(2024.10.23)

(24)登録日 令和6年10月15日(2024.10.15)

(51)国際特許分類		F I		
C 2 2 B	1/20 (2006.01)	C 2 2 B	1/20	C
C 2 2 B	1/16 (2006.01)	C 2 2 B	1/16	K
F 2 7 B	21/14 (2006.01)	F 2 7 B	21/14	A

請求項の数 9 (全21頁)

(21)出願番号	特願2023-546363(P2023-546363)	(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5年3月8日(2023.3.8)	(74)代理人	100147485 弁理士 杉村 憲司
(86)国際出願番号	PCT/JP2023/008930	(74)代理人	230118913 弁理士 杉村 光嗣
(87)国際公開番号	WO2023/189335	(74)代理人	100165696 弁理士 川原 敬祐
(87)国際公開日	令和5年10月5日(2023.10.5)	(74)代理人	100169823 弁理士 吉澤 雄郎
審査請求日	令和5年7月31日(2023.7.31)	(72)発明者	岩見 友司 東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号 J F E スチール株式会社内
(31)優先権主張番号	特願2022-51807(P2022-51807)	(72)発明者	廣澤 寿幸
(32)優先日	令和4年3月28日(2022.3.28)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 焼結機の操業管理方法、焼結鉦の製造方法及び制御装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

鉄含有原料及び炭素含有原料を含む焼結原料に水を添加して造粒された造粒粒子を焼結する焼結機の操業管理方法であって、

前記焼結原料に含まれる各原料の粒度、成分組成及び配合割合を含む原料情報を取得する、原料情報取得ステップと、

前記焼結原料から前記造粒粒子を造粒する際の前記焼結原料の水分含有量を含む造粒条件を取得する、造粒条件取得ステップと、

前記原料情報及び前記造粒条件に基づいて、前記炭素含有原料の粒度、前記焼結原料に含まれる各原料の配合割合及び前記水分含有量を入力すると、前記造粒粒子の粒度を複数に区分した粒度区分のうちの1つの粒度区分における前記造粒粒子の含有量を出力する粒度推定モデルと、前記炭素含有原料の粒度、前記焼結原料に含まれる各原料の配合割合及び前記水分含有量を入力すると、前記造粒粒子の粒度を複数に区分した粒度区分のうちの1つの粒度区分における前記造粒粒子の特定成分の含有量を出力する成分推定モデルと、を含む造粒推定モデルを用いて、前記造粒粒子の粒度と、前記造粒粒子の粒度毎の成分組成とを含む造粒結果を推定する、造粒結果推定ステップと、

前記焼結機に前記造粒粒子を装入して原料装入層を形成する際の装入条件を取得する、装入条件取得ステップと、

前記造粒結果及び前記装入条件に基づいて、前記原料装入層の高さ方向を複数に区分した装入区分のそれぞれの装入区分における各粒度の前記造粒粒子の含有割合を示す装入推

定モデルを用いて、前記原料装入層の高さ方向における、前記造粒粒子の粒度偏析及び成分偏析を推定する、装入結果推定ステップと、

前記粒度偏析及び前記成分偏析のうちの少なくとも1つに基づいて、前記原料装入層内の所定位置における焼結温度を計算可能な伝熱モデルを含む焼成推定モデルを用いて、前記原料装入層内の焼結温度及び排ガス温度のうちの少なくとも1つを推定する、焼結結果推定ステップと、

を含む、焼結機の操業管理方法。

【請求項2】

前記原料情報取得ステップは、前記成分組成として、炭素(C)濃度、水分濃度、酸化カルシウム(CaO)濃度及び酸化アルミニウム(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)濃度のうちの少なくとも1つを取得する、請求項1に記載の焼結機の操業管理方法。

10

【請求項3】

前記装入結果推定ステップは、前記原料装入層の幅方向を複数に区分した装入区分のそれぞれの装入区分における各粒度の前記造粒粒子の含有割合を示す装入推定モデルを用いて前記粒度偏析及び前記成分偏析を推定する、請求項1に記載の焼結機の操業管理方法。

【請求項4】

前記焼結温度及び前記排ガス温度のうちの少なくとも1つを目標値とするための設定値を含むガイダンス情報を取得する、ガイダンス情報取得ステップをさらに含み、

前記ガイダンス情報は、前記炭素含有原料の配合割合、前記炭素含有原料の粒度、前記水分含有量、前記原料装入層の厚み、前記焼結機が備えるパレットの速度、サブゲートの開度、シュート角度及び前記焼結機が備える点火炉内の温度のうちの少なくとも1つの設定値を含む、請求項1に記載の焼結機の操業管理方法。

20

【請求項5】

前記焼結原料は、CaO含有原料をさらに含み、

前記造粒条件は、造粒機内の占積率及び造粒機の回転速度をさらに含み、

前記ガイダンス情報は、前記炭素含有原料の配合割合、前記炭素含有原料の粒度、前記CaO含有原料の配合割合、前記水分含有量、造粒機内の占積率、造粒機の回転速度、前記原料装入層の厚み、前記焼結機が備えるパレットの速度、サブゲートの開度、シュート角度及び前記焼結機が備える点火炉内の温度のうちの少なくとも1つの設定値を含む、請求項4に記載の焼結機の操業管理方法。

30

【請求項6】

前記目標値は、前記焼結温度及び前記排ガス温度のうちの少なくとも1つを入力すると、前記焼結機によって製造される焼結鉱の品質を出力する品質推定モデルを用いて、前記焼結鉱の品質が目標とする焼結鉱の品質を満たすことを条件として決定される、請求項4に記載の焼結機の操業管理方法。

【請求項7】

前記品質推定モデルは、前記焼結機の操業で取得される前記焼結温度及び前記排ガス温度のうちの少なくとも1つと、前記焼結機によって製造される焼結鉱の品質の実績値とを用いて更新される、請求項6に記載の焼結機の焼結機の操業管理方法。

【請求項8】

請求項4に記載の焼結機の操業管理方法において取得されたガイダンス情報を、焼結鉱の製造条件として用いて焼結鉱を製造する、焼結鉱の製造方法。

40

【請求項9】

鉄含有原料及び炭素含有原料を含む焼結原料に水を添加して造粒された造粒粒子を焼結する焼結機を制御する制御装置であって、

前記焼結原料に含まれる各原料の粒度、成分組成及び配合割合を含む原料情報を取得する、原料情報取得部と、

前記焼結原料から前記造粒粒子を造粒する際の前記焼結原料の水分含有量を含む造粒条件を取得する、造粒条件取得部と、

前記原料情報及び前記造粒条件に基づいて、前記炭素含有原料の粒度、前記焼結原料に

50

含まれる各原料の配合割合及び前記水分含有量を入力すると、前記造粒粒子の粒度を複数に区分した粒度区分のうちの1つの粒度区分における前記造粒粒子の含有量を出力する粒度推定モデルと、前記炭素含有原料の粒度、前記焼結原料に含まれる各原料の配合割合及び前記水分含有量を入力すると、前記造粒粒子の粒度を複数に区分した粒度区分のうちの1つの粒度区分における前記造粒粒子の特定成分の含有量を出力する成分推定モデルと、を含む造粒推定モデルを用いて、前記造粒粒子の粒度と、前記造粒粒子の粒度毎の成分組成とを含む造粒結果を推定する、造粒結果推定部と、

前記焼結機に前記造粒粒子を装入して原料装入層を形成する際の装入条件を取得する、装入条件取得部と、

前記造粒結果及び前記装入条件に基づいて、前記原料装入層の高さ方向を複数に区分した装入区分のそれぞれの装入区分における各粒度の前記造粒粒子の含有割合を示す装入推定モデルを用いて、前記原料装入層の高さ方向における、前記造粒粒子の粒度偏析及び成分偏析を推定する、装入結果推定部と、

前記粒度偏析及び前記成分偏析のうちの少なくとも1つに基づいて、前記原料装入層内の所定位置における焼結温度を計算可能な伝熱モデルを含む焼成推定モデルを用いて、前記原料装入層内の焼結温度及び排ガス温度のうちの少なくとも1つを推定する、焼成結果推定部と、

を備える、制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、焼結機の操業管理方法、焼結鉢の製造方法及び制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、焼結鉢を製造する焼結機の操業管理を行う際、各種センサで取得したデータに基づいてオペレータが各種操作を行い、焼結機の操業管理を行うことが多い。

【0003】

しかしながら、各種センサによって、焼結鉢の生産性及び品質を左右する要因となるデータを全て取得できるわけではない。取得できないデータについては、取得可能な他のデータに基づいて取得できないデータを推定し、推定したデータに基づいて焼結機の操業管理が行われている。

【0004】

特許文献1は、焼結原料層における高さ方向の原料の粒度分布を推定する方法を開示している。特許文献2は、各種の物理式に基づいて、焼結鉢の品質に直接関連する焼結層の層内温度を推定する方法を開示している。特許文献3は、焼結鉢の品質に直接関連する焼結層の層内温度を用いて焼結機の操業管理を行うことを開示している。特許文献4は、製造プロセスにおける所定の状態を表わす値の予測精度を向上させる技術を開示している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開2020-12185号公報

【文献】特許第6527306号公報

【文献】特許第5729251号公報

【文献】特開2019-87152号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特許文献1が開示している方法によって推定される、焼結原料層における高さ方向の原料の粒度分布は、焼結鉢の品質に直接関連するデータではない。

【0007】

10

20

30

40

50

特許文献 2 が開示する方法は、焼結層の層内温度を推定するための入力データとして、コークスの着火温度及び焼結層の空隙率を用いているが、これらのデータは測定困難なデータである。また、特許文献 2 は、これらの測定困難なデータをどのように取得するかについて開示していない。

【 0 0 0 8 】

特許文献 3 が開示する方法は、焼結層の層内温度を実測している。焼結層の層内温度を実測するためには、焼結釜の製造設備の大幅な改造が必要であり、改造するためには長期間の改造工期が必要となる。

【 0 0 0 9 】

特許文献 4 が開示する方法は、製造プロセスにおける所定の状態を表す値を目的変数として予測するに際し、製造条件実績と目的変数実績による機械学習で精度を向上させている。しかし、製造プロセスが複数プロセスの集合体である場合、目的変数の変化に全く影響を及ぼし得ない製造条件も学習してしまうため、偽相関などを招く恐れがある。また、機械学習は応答性及び精度に優れたものの、機械学習のみのシステムを使用してしまった場合、実績が無い原料、手法等を用いた際は使用することができない。

10

【 0 0 1 0 】

本開示の目的は、焼結釜の品質に直接関連するデータを容易に推定することができる焼結機の操業管理方法、焼結釜の製造方法及び制御装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 1 】

本開示の一実施形態に係る焼結機の操業管理方法は、  
鉄含有原料及び炭素含有原料を含む焼結原料に水を添加して造粒された造粒粒子を焼結する焼結機の操業管理方法であって、

20

前記焼結原料に含まれる各原料の粒度、成分組成及び配合割合を含む原料情報を取得する、原料情報取得ステップと、

前記焼結原料から前記造粒粒子を造粒する際の前記焼結原料の水分含有量を含む造粒条件を取得する、造粒条件取得ステップと、

前記原料情報及び前記造粒条件に基づいて、前記炭素含有原料の粒度、前記焼結原料に含まれる各原料の配合割合及び前記水分含有量を入力すると、前記造粒粒子の粒度を複数に区分した粒度区分のうちの 1 つの粒度区分における前記造粒粒子の含有量を出力する粒度推定モデルと、前記炭素含有原料の粒度、前記焼結原料に含まれる各原料の配合割合及び前記水分含有量を入力すると、前記造粒粒子の粒度を複数に区分した粒度区分のうちの 1 つの粒度区分における前記造粒粒子の特定成分の含有量を出力する成分推定モデルと、を含む造粒推定モデルを用いて、前記造粒粒子の粒度と、前記造粒粒子の粒度毎の成分組成とを含む造粒結果を推定する、造粒結果推定ステップと、

30

前記焼結機に前記造粒粒子を装入して原料装入層を形成する際の装入条件を取得する、装入条件取得ステップと、

前記造粒結果及び前記装入条件に基づいて、前記原料装入層の高さ方向を複数に区分した装入区分のそれぞれの装入区分における各粒度の前記造粒粒子の含有割合を示す装入推定モデルを用いて、前記原料装入層の高さ方向における、前記造粒粒子の粒度偏析及び成分偏析を推定する、装入結果推定ステップと、

40

前記粒度偏析及び前記成分偏析のうちの少なくとも 1 つに基づいて、前記原料装入層内の所定位置における焼結温度を計算可能な伝熱モデルを含む焼成推定モデルを用いて、前記原料装入層内の焼結温度及び排ガス温度のうちの少なくとも 1 つを推定する、焼結結果推定ステップと、

を含む。

【 0 0 1 2 】

本開示の一実施形態に係る焼結釜の製造方法は、上記焼結機の操業管理方法装置を用いて焼結釜を製造する。

【 0 0 1 3 】

50

本開示の一実施形態に係る制御装置は、

鉄含有原料及び炭素含有原料を含む焼結原料に水を添加して造粒された造粒粒子を焼結する焼結機を制御する制御装置であって、

前記焼結原料に含まれる各原料の粒度、成分組成及び配合割合を含む原料情報を取得する、原料情報取得部と、

前記焼結原料から前記造粒粒子を造粒する際の前記焼結原料の水分含有量を含む造粒条件を取得する、造粒条件取得部と、

前記原料情報及び前記造粒条件に基づいて、前記炭素含有原料の粒度、前記焼結原料に含まれる各原料の配合割合及び前記水分含有量を入力すると、前記造粒粒子の粒度を複数に区分した粒度区分のうちの1つの粒度区分における前記造粒粒子の含有量を出力する粒度推定モデルと、前記炭素含有原料の粒度、前記焼結原料に含まれる各原料の配合割合及び前記水分含有量を入力すると、前記造粒粒子の粒度を複数に区分した粒度区分のうちの1つの粒度区分における前記造粒粒子の特定成分の含有量を出力する成分推定モデルと、を含む造粒推定モデルを用いて、前記造粒粒子の粒度と、前記造粒粒子の粒度毎の成分組成とを含む造粒結果を推定する、造粒結果推定部と、

10

前記焼結機に前記造粒粒子を装入して原料装入層を形成する際の装入条件を取得する、装入条件取得部と、

前記造粒結果及び前記装入条件に基づいて、前記原料装入層の高さ方向を複数に区分した装入区分のそれぞれの装入区分における各粒度の前記造粒粒子の含有割合を示す装入推定モデルを用いて、前記原料装入層の高さ方向における、前記造粒粒子の粒度偏析及び成分偏析を推定する、装入結果推定部と、

20

前記粒度偏析及び前記成分偏析のうちの少なくとも1つに基づいて、前記原料装入層内の所定位置における焼結温度を計算可能な伝熱モデルを含む焼成推定モデルを用いて、前記原料装入層内の焼結温度及び排ガス温度のうちの少なくとも1つを推定する、焼成結果推定部と、

を備える。

【発明の効果】

【0014】

本開示に係る焼結機の操業管理方法、焼結鉾の製造方法及び制御装置によれば、焼結鉾の品質に直接関連するデータを容易に推定することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本開示の一実施形態に係る焼結設備の構成例を模式的に示す図である。

【図2】本開示の一実施形態に係る制御装置の構成例を模式的に示す図である。

【図3】本開示の一実施形態に係る焼結機の操業管理方法の手順例を示すフローチャートである。

【図4】実施例における造粒粒子の粒度分布及び粒度毎の炭素濃度の実績値を示す図である。

【図5】実施例における実績値と推定した値との相関を示す図である。

【図6】実施例における装入推定モデルの一例を示す図である。

40

【図7】実施例における計算歩留と実績歩留との相関関係を示すグラフである。

【図8】実施例における焼結機の仕様を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、本開示の実施形態について図面を参照して説明する。

【0017】

図1は、本開示の一実施形態に係る焼結設備1の構成例を模式的に示す図である。焼結設備1は、鉄含有原料及び炭素含有原料を含む焼結原料から焼結鉾を製造することができる設備である。

【0018】

50

焼結設備 1 は、制御装置 10 と、造粒機 20 と、焼結機 30 と、破砕機 40 と、クーラー 50 と、篩分装置 60 とを備える。

【0019】

制御装置 10 は、造粒機 20、焼結機 30、破砕機 40、クーラー 50 及び篩分装置 60 と通信可能である。制御装置 10 は、造粒機 20、焼結機 30、破砕機 40、クーラー 50 及び篩分装置 60 を制御する。

【0020】

制御装置 10 の構成及び機能の詳細については後述する。

【0021】

造粒機 20 は、鉄含有原料及び炭素含有原料を含む焼結原料から造粒粒子を造粒する。造粒機 20 が造粒粒子を造粒する際、焼結原料には造粒水が添加される。焼結原料は、副原料として、さらに酸化カルシウム (CaO) 含有原料を含んでもよい。造粒機 20 が造粒した造粒粒子は、焼結機 30 に搬送される。

10

【0022】

造粒機 20 は、造粒粒子を製造可能な任意の造粒機であってよいが、例えば、ドラムミキサであってよい。

【0023】

焼結機 30 は、造粒粒子を焼結する任意の焼結機であってよいが、例えば、ドワイトロイド式の焼結機であってよい。焼結機 30 は、焼結原料供給装置 31 と、パレット 32 と、点火炉 33 と、ウインドボックス 34 とを備える。

20

【0024】

焼結原料供給装置 31 は、造粒機 20 から供給された造粒粒子を、パレット 32 に装入する。

【0025】

パレット 32 は、無端移動式のパレットである。パレット 32 は、焼結原料供給装置 31 から造粒粒子を装入されると、パレット 32 上に原料装入層を形成する。

【0026】

点火炉 33 は、パレット 32 上に形成されている原料装入層の表層に含まれている炭素含有原料に点火する。

【0027】

ウインドボックス 34 は、パレット 32 上に形成されている原料装入層の空気を下方に吸引する。ウインドボックス 34 によって原料装入層の空気が下方に吸引されると、原料装入層内の燃焼及び溶融体は、原料装入層の下方に移動する。このように、原料装入層内において燃焼及び溶融体が移動することにより、原料装入層は焼結される。その結果、原料装入層から焼結ケーキが得られる。

30

【0028】

破砕機 40 は、焼結機 30 から供給される焼結ケーキを破砕する。破砕機 40 は、焼結ケーキの破砕物をクーラー 50 に供給する。

【0029】

クーラー 50 は、破砕機 40 から供給された焼結ケーキの破砕物を冷却する。クーラー 50 によって冷却された焼結ケーキの破砕物は、篩分装置 60 に供給される。

40

【0030】

篩分装置 60 は、クーラー 50 によって冷却された焼結ケーキの破砕物を、破砕物の粒径に応じて篩い分ける。例えば、篩分装置 60 は、焼結ケーキの破砕物を、粒径が 5 mm 以上の焼結鉱と粒径が 5 mm 未満の返鉱とに篩い分ける。

【0031】

このように、最終的に篩分装置 60 によって篩い分けられることによって、焼結鉱が製造される。また、篩分装置 60 によって篩い分けられた返鉱は、焼結原料に配合され、焼結鉱の原料として再び利用されてよい。

【0032】

50

続いて、制御装置 10 の構成及び機能について説明する。最初に、制御装置 10 の機能の概要について説明する。

【0033】

制御装置 10 は、造粒機 20 に供給される焼結原料が含む原料についての情報である原料情報を取得する。

【0034】

制御装置 10 は、造粒機 20 が焼結原料から造粒粒子を造粒する際の焼結原料の水分含有量の情報を含む造粒条件を取得する。

【0035】

制御装置 10 は、取得した原料情報及び造粒条件に基づいて、造粒機 20 によって造粒される造粒粒子の造粒結果を推定する。制御装置 10 によって推定される造粒結果は、造粒粒子の粒度と、造粒粒子の粒度毎の成分組成とを含む。

10

【0036】

制御装置 10 は、焼結原料供給装置 31 がパレット 32 に造粒粒子を装入して原料装入層を形成する際の装入条件を取得する。

【0037】

制御装置 10 は、推定した造粒結果と、取得した装入条件とに基づいて、パレット 32 上に形成される原料装入層の高さ方向における、造粒粒子の粒度偏析及び成分偏析を推定する。

【0038】

制御装置 10 は、推定した粒度偏析及び成分偏析に基づいて、原料装入層内の焼結温度及び排ガス温度を推定する。この際、制御装置 10 は、粒度偏析及び成分偏析の両方ではなく、粒度偏析及び成分偏析のどちらか一方に基づいて、原料装入層内の焼結温度及び排ガス温度を推定してもよい。また、制御装置 10 は、原料装入層内の焼結温度及び排ガス温度の両方を推定するのではなく、原料装入層内の焼結温度及び排ガス温度のうちいずれか一方のみを推定してもよい。

20

【0039】

続いて、制御装置 10 の構成について説明する。

【0040】

図 2 は、本開示の一実施形態に係る制御装置 10 の構成例を模式的に示す図である。制御装置 10 は、ワークステーション、パソコンなどのような汎用のコンピュータであってもよいし、焼結設備 1 の制御装置 10 として機能するように構成された専用のコンピュータであってもよい。

30

【0041】

制御装置 10 は、制御部 11 と、入力部 12 と、出力部 13 と、記憶部 14 と、通信部 15 とを備える。

【0042】

制御部 11 は、少なくとも 1 つのプロセッサ、少なくとも 1 つの専用回路、又はこれらの組み合わせを含む。プロセッサは、CPU (Central Processing Unit) 若しくは GPU (Graphics Processing Unit) などの汎用プロセッサ、又は特定の処理に特化した専用プロセッサである。専用回路は、例えば、FPGA (Field-Programmable Gate Array) 又は ASIC (Application Specific Integrated Circuit) である。

40

【0043】

制御部 11 は、記憶部 14 に記憶されているプログラム、データなどを読み込み、各種機能を実行する。制御部 11 は、造粒機 20、焼結機 30、破砕機 40、クーラー 50 及び篩分装置 60 を制御する。

【0044】

制御部 11 は、記憶部 14 から読み込んだプログラムを実行することにより、制御部 11 を、原料情報取得部 111、造粒条件取得部 112、造粒結果推定部 113、装入条件取得部 114、装入結果推定部 115、焼成結果推定部 116 及びガイダンス情報取得部

50

117として機能させることができる。

【0045】

原料情報取得部111、造粒条件取得部112、造粒結果推定部113、装入条件取得部114、装入結果推定部115、焼成結果推定部116及びガイダンス情報取得部117が実行する処理については後述する。

【0046】

入力部12は、ユーザ入力を検出して、ユーザの操作に基づく入力情報を取得する1つ以上の入力用インターフェースを含む。入力部12は、例えば、物理キー、静電容量キー、出力部13のディスプレイと一体的に設けられたタッチスクリーン、又は音声入力を受け付けるマイク等を含む。

【0047】

出力部13は、情報を出力してユーザに通知する1つ以上の出力用インターフェースを含む。出力部13は、例えば、情報を画像で出力するディスプレイ、情報を音声で出力するスピーカ等を含む。出力部13が含むディスプレイは、例えば、LCD(Liquid Crystal Display)、CRT(Cathode Ray Tube)ディスプレイなどであってよい。

【0048】

記憶部14は、例えば、フラッシュメモリ、ハードディスク、光メモリ等である。記憶部14の一部は、制御装置10の外部にあってもよい。この場合、記憶部14の一部は、制御装置10と任意のインターフェースを介して接続されたハードディスク、メモリーカード等であってよい。

【0049】

記憶部14は、制御部11が各機能を実行するためのプログラム、当該プログラムが使用するデータなどを格納している。

【0050】

通信部15は、有線通信に対応する通信モジュール及び無線通信に対応する通信モジュールの少なくとも一方を含む。制御装置10は、通信部15を介して他の端末装置などと通信可能である。

【0051】

続いて、原料情報取得部111、造粒条件取得部112、造粒結果推定部113、装入条件取得部114、装入結果推定部115、焼成結果推定部116及びガイダンス情報取得部117が実行する処理について説明する。

【0052】

原料情報取得部111は、造粒機20に供給される焼結原料が含む原料についての情報である原料情報を取得する。原料情報は、焼結原料に含まれる各原料の粒度、成分組成及び配合割合の情報を含む。例えば、焼結原料が鉄含有原料、CaO含有原料及び炭素含有原料を含む場合、原料情報は、鉄含有原料、CaO含有原料及び炭素含有原料のそれぞれについての、粒度、成分組成及び配合割合の情報を含む。鉄含有原料は、例えば鉄鉱石であってよい。CaO含有原料は、例えば石灰石であってよい。炭素含有原料は、例えば粉コークスであってよい。

【0053】

各原料の粒度の情報は、予め定められた粒度区分毎の含有割合の情報を含んでよい。各原料の成分組成の情報は、例えば、炭素(C)濃度、水分濃度、酸化カルシウム(CaO)濃度及び酸化アルミニウム(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)濃度のうちの少なくとも1つの情報を含んでよい。

【0054】

原料情報取得部111は、原料情報を、オペレータによる入力部12への入力操作によって取得してよい。オペレータは、各原料について、篩い分け、化学分析などを行うことにより、予め原料情報を取得しておくことができる。また、原料情報取得部111は、他の端末装置にオペレータが入力した原料情報を、通信部15を介して受信することによって、原料情報を取得してもよい。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 5 】

原料情報取得部 1 1 1 は、取得した原料情報を造粒条件取得部 1 1 2 に出力する。

## 【 0 0 5 6 】

造粒条件取得部 1 1 2 は、造粒機 2 0 が焼結原料から造粒粒子を造粒する際の焼結原料の水分含有量の情報を含む造粒条件を取得する。造粒条件取得部 1 1 2 は、造粒機 2 0 から造粒条件を取得してもよいし、オペレータによる入力部 1 2 への入力操作によって造粒条件を取得してもよい。造粒機 2 0 が焼結原料から造粒粒子を造粒する際の焼結原料の水分含有量は、焼結原料が含む各原料の水分含有量と、造粒機 2 0 に添加される造粒水添加量とから求められる。また、各原料の水分含有量は、例えば、赤外水分計を用いて測定することができる。

10

## 【 0 0 5 7 】

造粒条件取得部 1 1 2 が取得する造粒条件は、造粒機 2 0 が焼結原料から造粒粒子を造粒する際の焼結原料の水分含有量の情報を含んでいけばよいが、造粒機 2 0 が焼結原料から造粒粒子を造粒する際に設定されたその他の条件の情報をさらに含んでいてもよい。例えば、造粒条件は、造粒機 2 0 の占積率、回転速度及び滞留時間の情報をさらに含んでいてもよい。

## 【 0 0 5 8 】

造粒条件取得部 1 1 2 は、造粒条件と、原料情報取得部 1 1 1 から取得した原料情報とを、造粒結果推定部 1 1 3 に出力する。

## 【 0 0 5 9 】

造粒結果推定部 1 1 3 は、造粒条件取得部 1 1 2 から取得した原料情報及び造粒条件に基づいて、造粒機 2 0 によって造粒される造粒粒子の造粒結果を推定する。制御装置 1 0 によって推定される造粒結果は、造粒粒子の粒度と、造粒粒子の粒度毎の成分組成とを含む。

20

## 【 0 0 6 0 】

造粒結果推定部 1 1 3 は、造粒結果を推定する際、粒度推定モデル及び成分推定モデルを含む造粒推定モデルを用いて、造粒結果を推定する。粒度推定モデル及び成分推定モデルは、記憶部 1 4 に格納されていてよい。

## 【 0 0 6 1 】

粒度推定モデルは、焼結原料に含まれる各原料の配合割合と造粒の際の焼結原料の水分含有量とを入力すると、造粒粒子の粒度を複数に区分した粒度区分のうちの 1 つの粒度区分における造粒粒子の含有量を出力する学習済の機械学習モデルである。

30

## 【 0 0 6 2 】

造粒結果推定部 1 1 3 は、各原料の配合割合と、造粒の際の焼結原料の水分含有量を含む造粒条件とを、記憶部 1 4 から読み出した粒度推定モデルに入力することによって、1 つの粒度区分における造粒粒子の含有量を推定することができる。

## 【 0 0 6 3 】

なお、1 つの粒度区分における造粒粒子の含有量は、造粒粒子の粒度の一例である。造粒粒子の粒度は、他の指標によって表現されてもよい。

## 【 0 0 6 4 】

粒度区分は、例えば、3 水準であってよい。粒度区分が 3 水準である場合、例えば、8 mm 超え、2 . 8 mm 以上 8 . 0 mm 以下、2 . 8 mm 未満のように区分されてよい。粒度区分は 3 水準に限られず、それより多くに区分された粒度区分であってよい。

40

## 【 0 0 6 5 】

造粒結果推定部 1 1 3 は、他の粒度区分についても同じ処理を繰り返し、それぞれの粒度区分における造粒粒子の含有量を推定することができる。そして、造粒結果推定部 1 1 3 は、全ての粒度区分における造粒粒子の含有量を推定することによって、造粒粒子の粒度分布を求めることができる。

## 【 0 0 6 6 】

成分推定モデルは、焼結原料に含まれる各原料の配合割合と造粒の際の焼結原料の水分

50

含有量とを入力すると、造粒粒子の粒度を複数に区分した粒度区分のうちの1つの粒度区分における造粒粒子の特定成分の含有量を出力する学習済の機械学習モデルである。

【0067】

造粒結果推定部113は、各原料の配合割合と、造粒の際の焼結原料の水分含有量を含む造粒条件とを、記憶部14から読み出した成分推定モデルに入力することによって、1つの粒度区分における造粒粒子の特定成分の含有量を推定することができる。

【0068】

造粒結果推定部113は、他の粒度区分についても同じ処理を繰り返し、それぞれの粒度区分における造粒粒子の特定成分の含有量を推定することができる。そして、造粒結果推定部113は、全ての粒度区分における造粒粒子の特定成分の含有量を推定することによって、造粒粒子の特定成分の含有量を求めることができる。

10

【0069】

造粒結果推定部113は、推定した、それぞれの粒度区分における造粒粒子の含有量と、それぞれの粒度区分における造粒粒子の特定成分の含有量とを、装入結果推定部115に出力する。

【0070】

粒度推定モデル及び成分推定モデルは、入力の値と出力の実績値とを1組とした多数のデータセットを用いて機械学習させることによって予め生成され、記憶部14に格納されている。

【0071】

粒度推定モデル及び成分推定モデルへの入力には、他の原料の粒度が含まれていてもよい。また、粒度推定モデル及び成分推定モデルへの入力には、造粒機20の回転速度、滞留時間などの造粒条件が含まれていてもよい。

20

【0072】

また、粒度推定モデル及び成分推定モデルとして機械学習モデルを用いる場合を説明したが、粒度推定モデル及び成分推定モデルは重回帰モデルであってもよい。この場合、機械学習モデルにおける入力が重回帰モデルの説明変数となり、機械学習モデルにおける出力が重回帰モデルの目的変数となる。重回帰モデルにおいても、入力の値と出力の実績値とを1組とした多数のデータセットを用いて重回帰モデルの各パラメータが予め算出され、記憶部14に格納されている。

30

【0073】

また、粒度推定モデル及び成分推定モデルが機械学習モデルである場合、粒度推定モデル及び成分推定モデルは、後に取得されたデータセットを用いて機械学習を行うことによって更新されてよい。粒度推定モデル及び成分推定モデルが重回帰モデルである場合、後に取得されたデータセットを用いて、重回帰モデルの各パラメータが更新されてよい。

【0074】

装入条件取得部114は、焼結原料供給装置31がパレット32に造粒粒子を装入して原料装入層を形成する際の装入条件を取得する。装入条件取得部114は、焼結機30から装入条件を取得してもよいし、オペレータによる入力部12への入力操作によって装入条件を取得してもよい。

40

【0075】

装入条件取得部114が取得する装入条件は、例えば、パレット32の速度、焼結原料供給装置31が備えるサブゲートの開度、焼結原料供給装置31が備えるシュートの角度の情報などを含んでよい。

【0076】

装入条件取得部114は、取得した装入条件を装入結果推定部115に出力する。

【0077】

記憶部14は、造粒粒子の粒度分布及び装入条件毎に、原料装入層の高さ方向を複数に区分した装入区分毎の各粒度の造粒粒子の含有割合を示すテーブルを格納している。本実施形態において、装入区分毎の各粒度の造粒粒子の含有割合を示すテーブルは、装入推定

50

モデルの一例である。

【 0 0 7 8 】

装入結果推定部 1 1 5 は、造粒結果推定部 1 1 3 から造粒粒子の造粒結果を取得し、装入条件取得部 1 1 4 から装入条件を取得すると、記憶部 1 4 から、粒度分布及び装入条件に対応した、原料装入層の高さを複数に区分した装入区分毎の各粒度の造粒粒子の含有割合を示すテーブルを読み出す。ここで、造粒結果推定部 1 1 3 から取得する造粒粒子の造粒結果は、造粒粒子のそれぞれの粒度区分における造粒粒子の含有量と、造粒粒子のそれぞれの粒度区分における造粒粒子の特定成分の含有量とを意味する。

【 0 0 7 9 】

原料装入層を高さ方向に複数に区分した装入区分毎の各粒度の造粒粒子の含有割合は、D E M ( Discrete Element Method ) を用いて焼結機 3 0 の焼結原料供給装置 3 1 を模擬したシミュレーションを実行することによって、装入区分毎に予め算出することができる。このようにして算出されたテーブルが、記憶部 1 4 に予め格納されていてよい。

10

【 0 0 8 0 】

D E M は、推定された粒度分布で分布している造粒粒子同士が衝突したときに造粒粒子に生じる力を算出し、算出した力に基づいて、解析時間における造粒粒子の挙動を所定の時間間隔毎に算出する手法である。

【 0 0 8 1 】

D E M においては、入力する情報として、造粒粒子の粒度分布、パレット 3 2 の速度、焼結原料供給装置 3 1 が備えるサブゲートの開度、及び焼結原料供給装置 3 1 が備えるシュートの角度に加えて、造粒粒子同士のばね定数、造粒粒子と壁要素 ( パレット 3 2 、シュート、造粒機 2 0 ) との間の接線方向及び法線方向のばね定数、及び、造粒粒子と壁要素との間の摩擦係数 ( 静摩擦、転がり摩擦 ) を用いる。

20

【 0 0 8 2 】

パレット 3 2 の速度、焼結原料供給装置 3 1 が備えるサブゲートの開度、及び焼結原料供給装置 3 1 が備えるシュートの角度は、実際の装置における操作のデータを使用することができる。また、各種定数については、複数の原料の配合及び水分含有量における安息角の実験値が D E M による算出値と一致するように、それぞれの定数が設定される。

【 0 0 8 3 】

造粒粒子は、平均粒径の造粒粒子の数が最も多くなり、平均粒径から離れるにしたがって、その粒径の造粒粒子の数が少なくなる。したがって、造粒粒子の粒度区分は、平均粒径に近い粒度区分の大きさを狭くしてもよい。これにより、各粒子区分に含まれる造粒粒子の数の差を小さくすることができる。粒度区分の大きさを全体的に狭くすると計算負荷が高くなるが、平均粒径に近い粒度区分の大きさのみを狭くすることで、計算負荷の増大を抑制しつつ、より詳細な装入データを取得することが可能となる。

30

【 0 0 8 4 】

装入結果推定部 1 1 5 は、造粒結果推定部 1 1 3 から取得した造粒結果と、装入条件取得部 1 1 4 から取得した装入条件とに基づいて、パレット 3 2 上に形成される原料装入層の高さ方向における、造粒粒子の粒度偏析及び成分偏析を推定する。

【 0 0 8 5 】

装入結果推定部 1 1 5 は、装入区分毎の各粒度の造粒粒子の含有割合を示すテーブルを用いて、原料装入層の高さ方向における造粒粒子の粒度偏析を推定する。また、造粒粒子の粒度毎の成分組成は、造粒結果推定部 1 1 3 によって推定されているので、装入結果推定部 1 1 5 は、原料装入層の高さ方向における造粒粒子の粒度偏析と、装入区分毎の粒度毎の成分組成とに基づいて、原料装入層の高さ方向における造粒粒子の成分偏析を推定することができる。

40

【 0 0 8 6 】

なお、装入結果推定部 1 1 5 は、原料装入層の高さ方向に限らず、原料装入層の幅方向にも区分した装入区分における、造粒粒子の粒度偏析及び成分偏析を推定してもよい。この場合、記憶部 1 4 には、原料装入層の高さ方向だけでなく幅方向にも分割した装入区分

50

毎の各粒度の造粒粒子の含有割合を示すテーブルが格納される。

【0087】

なお、装入区分毎の各粒度の造粒粒子の含有割合を示すテーブルは、装入推定モデルの一例である。また、装入推定モデルとして、粒度区分毎の造粒粒子の含有量、成分組成及び装入条件を入力すると、装入区分毎の各粒度の造粒粒子の含有割合を出力する学習済の機械学習モデル又は重回帰モデルを用いてもよい。

【0088】

装入結果推定部115は、推定した、原料装入層の高さ方向における造粒粒子の粒度偏析及び成分偏析を、焼成結果推定部116に出力する。

【0089】

焼成結果推定部116は、装入結果推定部115から取得した、原料装入層の高さ方向における造粒粒子の粒度偏析及び成分偏析に基づいて、各種物理方程式を計算した伝熱モデルを活用し、原料装入層内の焼結温度及び排ガス温度を推定する。この際、焼成結果推定部116は、粒度偏析及び成分偏析の両方ではなく、粒度偏析及び成分偏析のどちらか一方に基づいて、原料装入層内の焼結温度及び排ガス温度を推定してもよい。また、焼成結果推定部116は、原料装入層内の焼結温度及び排ガス温度の両方を推定するのではなく、原料装入層内の焼結温度及び排ガス温度のうちのいずれか一方のみを推定してもよい。

【0090】

焼成結果推定部116は、例えば、以下に示す参考文献1に開示されている伝熱モデルを用いて、原料装入層内の焼結温度及び排ガス温度を推定してよい。伝熱モデルに入力する情報は、原料装入層の厚み、パレット32の速度、点火炉33内の温度、原料装入層内の成分濃度、原料装入層内の空隙率及び排ガス流量であってよい。原料装入層の厚み、パレット32の速度、点火炉33内の温度は、焼結機30の設定値を用いてよい。原料装入層内の成分濃度及び原料装入層内の空隙率は、装入結果推定部115によって推定される粒度偏析及び成分偏析を用いて算出した値を用いてよい。排ガス流量は、焼結機30において測定された値を用いてよい。なお、点火炉33内の温度は、点火炉33内のガス流量によって決まるので、点火炉33内の温度の代わりに点火炉33内のガス流量を伝熱モデルに入力してもよい。

(参考文献1：大野光一郎 外4名、焼結プロセス層内の温度分布推定数値シミュレーションに及ぼすコークスの燃焼速度式の影響、鉄と鋼、Vol. 101、2015、No. 1、P19～P24)

【0091】

焼成結果推定部116は、上述の伝熱モデルを用いることにより、原料装入層内の所定位置における焼結温度及び排ガス温度を、設定した時間刻み毎に算出することができる。時間刻みは、例えば1秒であってよい。

【0092】

上述の伝熱モデルは、焼成推定モデルの一例である。焼成推定モデルとしては、以下に示す参考文献2に開示されている物理モデルを用いてもよい。

(参考文献2：Yamaoka et al. ISIJ International, Vol. 45, No. 4, pp. 522)

【0093】

焼成結果推定部116は、推定した焼結温度及び排ガス温度のうちの少なくとも1つを、ガイダンス情報取得部117に出力する。

【0094】

ガイダンス情報取得部117は、焼結温度及び排ガス温度のうちの少なくとも1つを目標値とするための設定値を含むガイダンス情報を取得する。ガイダンス情報は、炭素含有原料の配合割合、炭素含有原料の粒度、CaO含有原料の配合割合、造粒の際の水分含有量、造粒機20内の占積率、造粒機20の回転速度、原料装入層の厚み、焼結機30が備えるパレット32の速度、サブゲートの開度、シュート角度及び焼結機30が備える点火炉33内の温度のうちの少なくとも1つの設定値を含んでよい。これら設定値のうち、炭

10

20

30

40

50

素含有原料の粒度は、ロッドミルの処理量を変えることで制御できる。造粒機 20 内の占積率は、造粒機 20 への焼結原料の搬送量を変えることで制御できる。また、点火炉 33 内の温度は、点火炉 33 内のガス流量及び空燃比を変えることで制御できる。

【0095】

焼結温度及び排ガス温度のうちの少なくとも1つの目標値は、焼結設備 1 によって製造される焼結鉱の品質が目標とする焼結鉱の品質を満たすことを条件として決定される。具体的には、焼結温度及び排ガス温度の少なくとも1つを入力すると、焼結鉱の歩留を出力する歩留推定モデル（品質推定モデル）を構築し、当該歩留推定モデルに様々な焼結温度及び排ガス温度を入力する。出力される焼結鉱の歩留が目標値を上回ったか否かを判定し、出力された焼結鉱の歩留が目標値を上回ったと判定すると、そのときに入力された焼結温度及び排ガス温度を目標値として特定する。歩留推定モデルとして、学習済の機械学習モデル又は重回帰モデルを用いてよい。

10

【0096】

なお、焼結鉱の歩留は、焼結鉱の品質の一例である。焼結鉱の歩留は、例えば、下記の式（1）によって算出される値であってよい。

$$\left( \text{粒径} 5 \text{ mm 以上の焼結鉱の質量} \times 100 \right) / \left( \text{粒径} 5 \text{ mm 以上の焼結鉱の質量} + \text{粒径} 5 \text{ mm 未満の返鉱の質量} \right) \quad (1)$$

【0097】

焼結鉱の品質としては、焼結鉱の歩留の代わりに、焼結鉱の強度、焼結鉱の被還元性などが用いられてもよい。

20

【0098】

ガイダンス情報取得部 117 は、焼結温度及び排ガス温度のうちの少なくとも1つの目標値を特定すると、焼成推定モデル、装入推定モデル及び造粒推定モデルを逆算して、焼結温度及び排ガス温度のうちの少なくとも1つの目標値を達成することができる、炭素含有原料の配合割合、炭素含有原料の粒度、CaO含有原料の配合割合、造粒の際の水分含有量、造粒機 20 内の占積率、造粒機 20 の回転速度、原料装入層の厚み、焼結機 30 が備えるパレット 32 の速度、サブゲートの開度、シュート角度及び焼結機 30 が備える点火炉 33 内の温度のうちの少なくとも1つの設定値を取得する。

【0099】

ガイダンス情報取得部 117 は、炭素含有原料の配合割合、炭素含有原料の粒度、CaO含有原料の配合割合、造粒の際の水分含有量、造粒機 20 内の占積率、造粒機 20 の回転速度、原料装入層の厚み、焼結機 30 が備えるパレット 32 の速度、サブゲートの開度、シュート角度及び焼結機 30 が備える点火炉 33 内の温度のうちの少なくとも1つの設定値を取得すると、取得した設置値を出力部 13 に出力する。

30

【0100】

出力部 13 は、ガイダンス情報取得部 117 から取得した設定値を出力する。例えば、出力部 13 がディスプレイを含む場合、出力部 13 は、ガイダンス情報取得部 117 から取得した設定値をディスプレイに表示する。

【0101】

ディスプレイに表示された設置値を視認したオペレータは、当該設定値に調整して焼結設備 1 を動作させることによって、目標とする焼結温度及び排ガス温度で焼結鉱を製造することができる。

40

【0102】

あるいは、ガイダンス情報取得部 117 は、算出した設定値を、焼結設備 1 を動作させる際の設定値として自動的に設定してもよい。これにより、焼結設備 1 は、目標とする焼結温度及び排ガス温度で焼結鉱を自動的に製造することができる。

【0103】

図 3 に示すフローチャートを参照して、本実施形態に係る焼結設備 1 が実行する焼結機 30 の操業管理方法について説明する。

【0104】

50

ステップ S 1 0 1 において、制御装置 1 0 の制御部 1 1 は、焼結原料に含まれる各原料の粒度、成分組成及び配合割合の情報を含む原料情報を取得する。

【 0 1 0 5 】

ステップ S 1 0 2 において、制御部 1 1 は、造粒機 2 0 が焼結原料から造粒粒子を造粒する際の焼結原料の水分含有量の情報を含む造粒条件を取得する。

【 0 1 0 6 】

ステップ S 1 0 3 において、制御部 1 1 は、取得した原料情報及び造粒条件に基づいて、造粒粒子の粒度と、造粒粒子の粒度毎の成分組成とを含む造粒結果を推定する。

【 0 1 0 7 】

ステップ S 1 0 4 において、制御部 1 1 は、焼結機 3 0 に造粒粒子を装入して原料装入層を形成する際の装入条件を取得する。

10

【 0 1 0 8 】

ステップ S 1 0 5 において、制御部 1 1 は、推定した造粒結果及び取得した前記装入条件に基づいて、原料装入層の高さ方向における、造粒粒子の粒度偏析及び成分偏析を推定する。

【 0 1 0 9 】

ステップ S 1 0 6 において、制御部 1 1 は、推定した粒度偏析及び成分偏析のうちの少なくとも 1 つに基づいて、原料装入層内の焼結温度及び排ガス温度のうちの少なくとも 1 つを推定する。制御部 1 1 は、推定した焼結温度及び排ガス温度を出力部 1 3 に出力し、出力部 1 3 に表示させてよい。

20

【 0 1 1 0 】

(実施例)

図 4 ~ 図 8 を参照して、本実施形態に係る焼結設備 1 における焼結機 3 0 の操業管理方法の実施例について説明する。

【 0 1 1 1 】

図 4 は、様々な条件で造粒粒子を製造したときの造粒粒子の粒度分布及び粒度毎の炭素濃度の実績値を示す表である。

【 0 1 1 2 】

図 4 に示すように、T 1 ~ T 2 4 の 2 4 通りの条件で測定を行った。図 4 には、条件として、配合割合、粉コークス粒度及び水分含有量を示している。また、実績値として、造粒粒子の粒度分布及び粒度毎の炭素濃度を示している。

30

【 0 1 1 3 】

図 4 に示す配合割合において、原料 A は、南米産の鉄鉱石である。原料 B は、原料 A とは銘柄の異なる南米産の鉄鉱石である。原料 C は、豪州産の鉄鉱石である。また、粉コークス粒度において、「 - 2 mm 」は、径の大きさが 2 mm 未満の粉コークスの割合を示す。「 - 1 mm 」は、径の大きさが 1 mm 未満の粉コークスの割合を示す。また、造粒粒子の粒度分布において、「 + 8 . 0 」は、径の大きさが 8 . 0 mm 超えの造粒粒子の割合を示す。「 2 . 8 - 8 . 0 」は、径の大きさが 2 . 8 mm 以上 8 . 0 mm 以下の造粒粒子の割合を示す。「 - 2 . 8 」は、径の大きさが 2 . 8 mm 未満の造粒粒子の割合を示す。また、粒度毎の炭素濃度において、「 + 8 . 0 」は、径の大きさが 8 . 0 mm 超えの炭素の濃度を示す。「 2 . 8 - 8 . 0 」は、径の大きさが 2 . 8 mm 以上 8 . 0 mm 以下の炭素の濃度を示す。「 - 2 . 8 」は、径の大きさが 2 . 8 mm 未満の炭素の濃度を示す。

40

【 0 1 1 4 】

図 4 に示す実績値を用いて粒度推定モデル及び成分推定モデルを生成し、これらを用いて、各粒度区分における造粒粒子の含有量及び粒度毎の炭素濃度を推定した。この際、機械学習モデルを用いた推定と重回帰モデルを用いた推定の 2 通りの推定を行った。

【 0 1 1 5 】

機械学習モデルを用いて推定する場合、粒度推定モデル及び成分推定モデルを用いて推定を行った。粒度推定モデルは、粉コークスの粒度、焼結原料の配合割合及び造粒時の水分含有量を入力すると、各粒度区分の造粒粒子の含有量を出力するモデルを使用した。成

50

分推定モデルは、粉コークスの粒度、焼結原料の配合割合及び造粒時の水分含有量を入力すると、粒度毎の炭素濃度を出力するモデルを使用した。

【0116】

重回帰モデルを用いて推定する場合、粒度推定モデルは、粉コークスの粒度、焼結原料の配合割合及び造粒時の水分含有量を説明変数とし、各粒度区分の造粒粒子の含有量を目的変数とするモデルを使用した。成分推定モデルは、粉コークスの粒度、焼結原料の配合割合及び造粒時の水分含有量を説明変数とし、粒度毎の炭素濃度を目的変数とするモデルを使用した。

【0117】

図5は、機械学習モデルを用いて推定した場合と、重回帰モデルを用いて推定した場合の推定値と実績値との相関係数を示す表である。また、機械学習モデルを用いた場合については、ニューラルネットワークを用いた場合の相関係数と、C & R Tree (Classification and Regression Tree) を用いた場合の相関係数とを示している。

10

【0118】

図5を参照すると、何れのモデルを仕様した場合も高い相関係数となっており、制御装置10が高い精度で造粒粒子の粒度及び粒度毎の特定成分の成分濃度を推定できることが確認された。

【0119】

また、機械学習モデルを用いた場合の相関係数と重回帰モデルを用いた場合の相関係数とを比較すると、一般的に機械学習モデルを用いた場合の相関係数が大きくなっており、機械学習を用いることで、造粒粒子の粒度及び粒度毎の炭素濃度をより高い精度で推定できることが確認された。

20

【0120】

図6は、装入推定モデルの一例を示す図である。装入推定モデルは、装入区分毎の各粒度の造粒粒子の含有割合を示すテーブルである。

【0121】

図6は、原料装入層の装入区分毎に、各粒度の造粒粒子の含有割合を示している。造粒粒子の粒度は、「+8.0」、「2.8~8.0」及び「-2.8」の3通りを示している。「+8.0」は造粒粒子の粒径が8.0mm超えであり、「2.8~8.0」は造粒粒子の粒径が2.8mm以上8.0mm以下であり、「-2.8」は造粒粒子の粒径が2.8mm未満である。

30

【0122】

図6に示すテーブルは、造粒粒子の粒度分布及び装入条件毎にDEMによるシミュレーションを実施することで生成される。生成された、装入区分毎の各粒度の造粒粒子の含有割合を示すテーブルは、記憶部14に格納される。

【0123】

図7は、計算歩留と実績歩留との相関関係を示すグラフである。図7に示すように、伝熱モデルから求められる排ガス温度最高点位置を用いて計算した場合の方が、原料装入層内の空隙率を用いて推定した場合よりも、計算歩留と実績歩留との相関が高かった。この結果から、焼結に直接影響する排ガス温度最高点位置を用いることで、焼結に直接影響しない原料装入層内の空隙率を用いるよりも高い精度で焼結鉱の歩留を推定できることが確認された。

40

【0124】

続いて、上述の排ガス温度最高点位置を、目標とする排ガス温度最高点位置に調整した結果について説明する。この際、パレット32の速度、原料装入層の厚み、粉コークスの配合割合、造粒水の添加量を調整することで、排ガス温度最高点位置を調整した。

【0125】

図8に、排ガス温度最高点位置を計算する際に使用した焼結機30の仕様を示す。

【0126】

まず、ガイダンス情報として、パレット32の速度の設定値を算出する場合について説

50

明する。焼結釜の歩留を目標以上にできる排ガス温度最高点位置の目標値が18.0であるのに対し、造粒推定モデル、装入推定モデル及び焼成推定モデルを用いて推定した排ガス温度最高点位置が18.9であった。

【0127】

ここで、焼成推定モデルを逆算し、排ガス温度最高点位置を目標値である18.0にするためのパレット32の速度を算出したところ、パレット32の速度の設定値として2.46 m/minが算出された。

【0128】

この結果に基づいて、パレット32の速度を2.50 m/minから2.46 m/minに変更したところ、排ガス温度最高点位置は18.9から17.9になった。これにより、排ガス温度最高点位置を目標値である18.0に近づけることができることが確認された。

10

【0129】

次に、ガイダンス情報として、原料装入層の厚みの設定値を算出する場合について説明する。

【0130】

焼成推定モデル及び装入推定モデルを逆算したところ、排ガス温度最高点位置を目標値である18.0にできる原料装入層の厚みの設定値は623 mmと算出された。

【0131】

この結果に基づいて、原料装入層の厚みを650 mmから623 mmに変更したところ、排ガス温度最高点位置は18.9から18.1になった。これにより、排ガス温度最高点位置を目標値である18.0に近づけることができることが確認された。

20

【0132】

次に、ガイダンス情報として、粉コークスの配合割合及び造粒水添加量の設定値を算出する場合について説明する。なお、造粒の際の水分含有量は、焼結原料の水分含有量に造粒水添加量を加えることで算出されるので、造粒水添加量の設定値を定めることは、造粒の際の水分含有量の設定値を定めることと同義である。

【0133】

焼成推定モデル、装入推定モデル及び造粒推定モデルを逆算したところ、排ガス温度最高点位置を目標値である18.0にできる粉コークスの配合割合は5.18質量%と算出され、造粒水添加量は13.7 t/hと算出された。

30

【0134】

この結果に基づいて、粉コークスの配合割合を5.10質量%から5.18質量%に変更し、造粒水添加量を13.0 t/hから13.7 t/hに変更したところ、排ガス温度最高点位置は18.9から18.1になった。これにより、排ガス温度最高点位置を目標値である18.0に近づけることができることが確認された。

【0135】

このように、ガイダンス情報取得部117が取得するガイダンス情報に基づいて焼結設備1の製造条件を調整することによって、高品質の焼結釜の製造を実現できることが確認された。

40

【0136】

上述のように、本実施形態に係る焼結機30の操業管理方法及び本実施形態に係る制御装置10において、制御装置10は、焼結原料に含まれる各原料の粒度、成分組成及び配合割合を含む原料情報を取得する、原料情報取得ステップと、焼結原料から造粒粒子を造粒する際の焼結原料の水分含有量を含む造粒条件を取得する、造粒条件取得ステップと、原料情報及び造粒条件に基づいて、造粒粒子の粒度と、造粒粒子の粒度毎の成分組成とを含む造粒結果を推定する、造粒結果推定ステップと、焼結機30に造粒粒子を装入して原料装入層を形成する際の装入条件を取得する、装入条件取得ステップと、造粒結果及び装入条件に基づいて、原料装入層の高さ方向における、造粒粒子の粒度偏析及び成分偏析を推定する、装入結果推定ステップと、粒度偏析及び成分偏析のうちの少なくとも1つに基

50

づいて、原料装入層内の焼結温度及び排ガス温度のうちの少なくとも1つを推定する、焼結結果推定ステップとを実行する。このように、制御装置10は、原料装入層内の焼結温度及び排ガス温度という焼結機30の品質に直接関連するデータを推定することができる。よって、原料装入層内の焼結温度及び排ガス温度を実測する必要がないため、焼結機30の設備を大幅に改造することが不要となる。したがって、本実施形態に係る焼結機30の操業管理方法及び本実施形態に係る制御装置10は、焼結鉾の品質に直接関連するデータを容易に推定することができる。

#### 【0137】

また、本実施形態に係るガイダンス情報取得部117は、焼結温度及び排ガス温度のうちの少なくとも1つを目標値とするための設定値を含むガイダンス情報を取得することができる。ガイダンス情報取得部117が取得したガイダンス情報に基づいて、焼結設備1による焼結鉾の製造条件を調整することで、目標とする品質を満足する焼結鉾を製造することができる。例えば、焼結鉾の歩留で考えると、従来は、篩分装置60で粒径5mm以上の焼結鉾と粒径5mm未満の返鉾とに篩い分けをして歩留を求めた後でなければ、歩留に基づく焼結鉾の製造条件の調整を実施することができなかつた。これに対し、本実施形態に係る焼結機30の操業管理方法によれば、ガイダンス情報を取得することができ、当該ガイダンス情報に基づいて焼結鉾の製造条件を調整することができるため、より迅速な調整が可能になる。さらに、本実施形態に係る焼結機30の操業管理方法によれば、焼結温度及び排ガス温度という焼結鉾の品質に直接的に影響する因子を考慮して歩留を推定することができるため、高い精度で歩留を推定することができる。歩留の推定精度が高くなると、これに伴いガイダンス情報の精度も高くなるので、当該ガイダンス情報に基づいた焼結鉾の製造条件の調整を、より高い精度で実現することができる。このように、ガイダンス情報に基づいて調整された製造条件で焼結鉾を製造することにより、高品質の焼結鉾を製造することが可能となる。

#### 【0138】

本開示は上述の実施形態に限定されるものではない。例えば、ブロック図に記載の複数のブロックを統合してもよいし、又は1つのブロックを分割してもよい。フローチャートに記載の複数のステップを記述に従って時系列に実行する代わりに、各ステップを実行する装置の処理能力に応じて、又は必要に応じて、並列的に又は異なる順序で実行してもよい。その他、本開示の趣旨を逸脱しない範囲での変更が可能である。

#### 【0139】

例えば、上述の実施形態において、焼結原料が鉄含有原料、CaO含有原料及び炭素含有原料を含む場合を例に挙げて説明した。しかしながら、これに限らず、焼結原料は鉄含有原料及び炭素含有原料を含んでいればよく、CaO含有原料を含まなくてもよい。但し、ガイダンス情報にCaO含有原料の配合割合が含まれる場合には、焼結原料は、鉄含有原料、CaO含有原料及び炭素含有原料を含む。

#### 【0140】

さらに、上述の実施形態において、制御部11がガイダンス情報取得部117の機能を有する場合を例に挙げて説明した。しかしながら、これに限らず、制御部11は、ガイダンス情報取得部117の機能を有していなくてもよい。ただし、制御部11がガイダンス情報取得部117の機能を有すると、目標とする品質を満足する焼結鉾を製造できるようになるので、制御部11は、ガイダンス情報取得部117の機能を有していることが好ましい。

#### 【符号の説明】

#### 【0141】

- 1 焼結設備
- 10 制御装置
- 11 制御部
- 12 入力部
- 13 出力部

10

20

30

40

50

- 1 4 記憶部
- 1 5 通信部
- 2 0 造粒機
- 3 0 焼結機
- 3 1 焼結原料供給装置
- 3 2 パレット
- 3 3 点火炉
- 3 4 ウインドボックス
- 4 0 破碎機
- 5 0 クーラー
- 6 0 篩分装置
- 1 1 1 原料情報取得部
- 1 1 2 造粒条件取得部
- 1 1 3 造粒結果推定部
- 1 1 4 装入条件取得部
- 1 1 5 装入結果推定部
- 1 1 6 焼成結果推定部
- 1 1 7 ガイダンス情報取得部

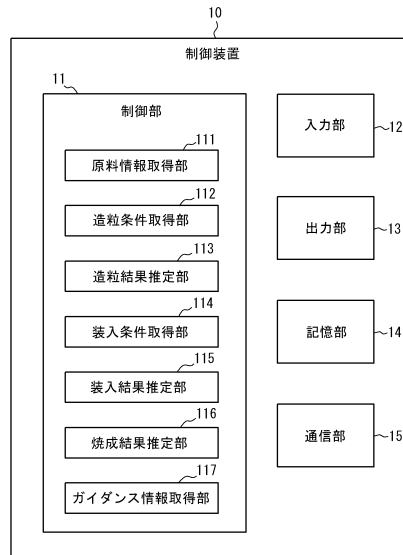
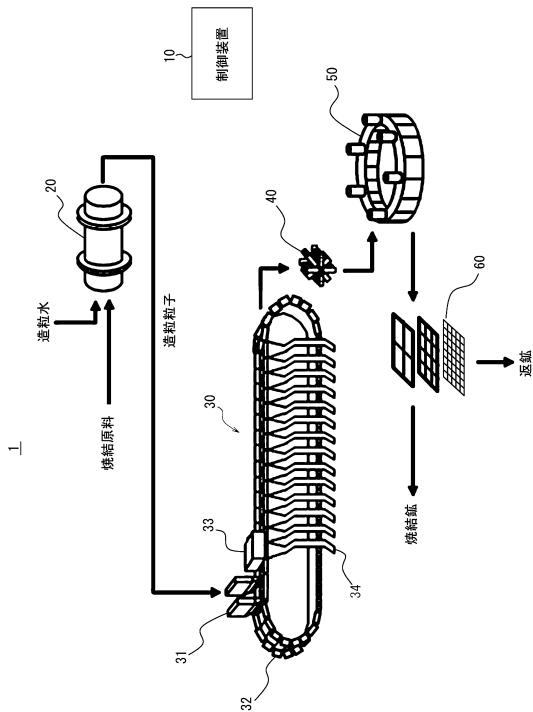
10

【図面】

【図 1】

【図 2】

20

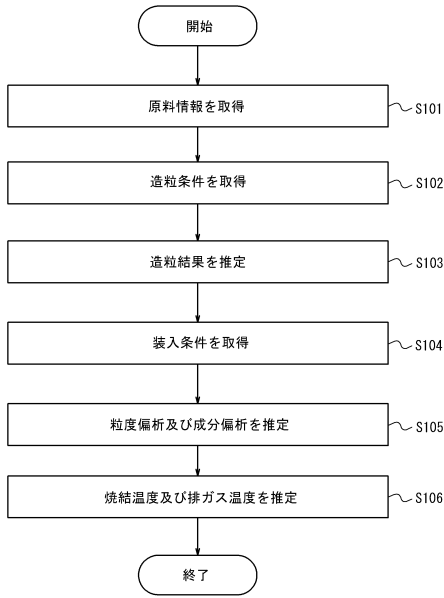


30

40

50

【図 3】



【図 4】

原料A	配合割合 [質量%]		配合割合 [質量%]	原料B	原料C	物コーフス	物コーフス		水分		造粒粒子の粒度分布 [質量%]		焼成後の粒度分布 [質量%]	
	原料A	原料B					-2mm	-10mm	含水率 [質量%]	揮発分 [質量%]	+0.0	2.0-8.0	+0.0	2.0-8.0
T1	19	19	57	5	100.0	100.0	6.8	4.0	43.0	53.0	2.9	2.5	6.0	
T2	19	19	57	5	100.0	100.0	7.8	3.3	54.6	42.1	2.0	3.0	5.9	
T3	19	19	57	5	100.0	100.0	8.8	15.0	63.8	21.2	4.2	4.7	3.2	
T4	19	19	57	5	100.0	100.0	9.8	30.2	53.1	16.7	5.1	4.6	2.9	
T5	19	19	57	5	92.5	85.6	6.8	2.8	40.1	57.3	1.0	2.8	5.2	
T6	19	19	57	5	92.5	85.6	7.8	7.1	59.0	33.9	2.5	3.2	5.3	
T7	19	19	57	5	92.5	85.6	8.8	24.3	59.3	16.4	3.1	4.2	3.7	
T8	19	19	57	5	92.5	85.6	9.8	17.5	60.2	23.3	2.9	4.4	4.0	
T9	19	19	57	5	92.5	85.6	6.8	2.0	52.8	45.2	0.6	2.8	6.3	
T10	19	19	57	5	84.9	71.1	7.8	6.3	63.0	30.7	1.6	3.4	5.8	
T11	19	19	57	5	84.9	71.1	8.8	20.9	59.3	19.8	3.0	4.6	5.2	
T12	19	19	57	5	84.9	71.1	9.8	24.1	58.6	17.3	3.3	5.0	4.4	
T13	38	38	19	5	100.0	100.0	5.9	1.7	38.2	60.1	1.6	1.9	5.3	
T14	38	38	19	5	100.0	100.0	6.9	1.4	36.0	62.6	1.8	2.5	5.4	
T15	38	38	19	5	100.0	100.0	7.9	12.3	51.1	36.6	3.0	3.0	5.3	
T16	38	38	19	5	100.0	100.0	8.9	11.9	64.1	24.0	3.9	3.4	5.0	
T17	38	38	19	5	92.5	85.6	5.9	4.1	35.0	60.9	1.4	2.2	5.7	
T18	38	38	19	5	92.5	85.6	6.9	1.4	43.1	55.5	0.9	2.7	4.4	
T19	38	38	19	5	92.5	85.6	7.9	9.6	52.0	38.4	2.9	3.2	4.1	
T20	38	38	19	5	92.5	85.6	8.9	15.5	64.2	20.3	3.1	3.5	4.4	
T21	38	38	19	5	92.5	85.6	5.9	0.8	34.4	64.8	1.5	1.9	4.5	
T22	38	38	19	5	84.9	71.1	6.9	10.4	43.2	46.4	0.0	2.5	4.5	
T23	38	38	19	5	84.9	71.1	7.9	4.2	53.7	42.1	1.5	3.4	3.9	
T24	38	38	19	5	84.9	71.1	8.9	19.6	61.8	38.6	2.3	3.3	4.1	

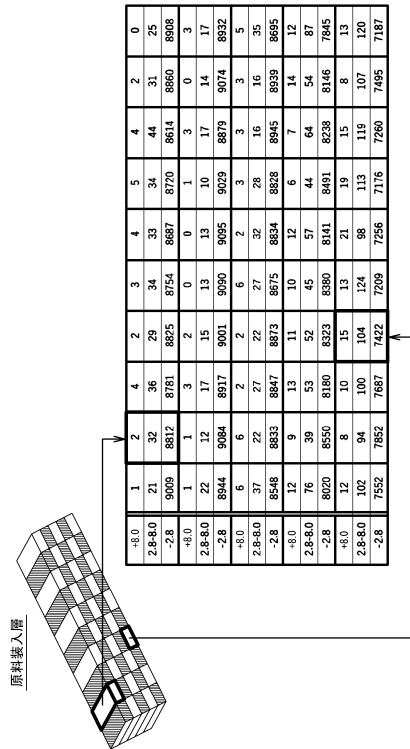
10

20

【図 5】

種類	造粒子の粒度分布 [質量%]		焼成後の粒度分布 [質量%]	
	+8.0	2.0-8.0	-2.8	-2.8
機械学習	C&R 係数	C&R 係数	C&R 係数	C&R 係数
重回帰	0.917	0.929	0.979	0.995
	0.867	0.848	0.949	0.952
			0.890	0.857

【図 6】

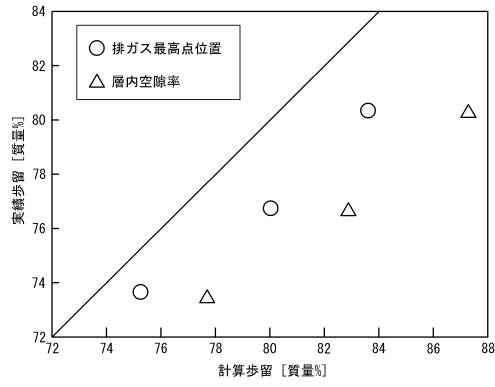


30

40

50

【 図 7 】



【 図 8 】

項目	単位	値
風箱個数	-	19
初期層厚	mm	650
パレット台車速度	m/min	2.50
粉コース配合割合	質量%	5.10
造粒水添加量	t/h	13.0

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  
(72)発明者 橋本 佳也
- 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 馬場 晴久
- 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 樋口 隆英
- 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 大屋 憲司
- 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 池田 安希子
- (56)参考文献 特公昭62-23058(JP, B2)  
特開2005-97658(JP, A)  
特開2020-12185(JP, A)  
特開昭59-13034(JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
C22B 1/00 - 61/00  
F27B 21/14