

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-137368

(P2015-137368A)

(43) 公開日 平成27年7月30日(2015.7.30)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
C 2 2 B 1/20 (2006.01)	C 2 2 B 1/20	U 4 K O O I
F 2 7 B 21/14 (2006.01)	F 2 7 B 21/14	B

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2014-7819 (P2014-7819)	(71) 出願人	000006655
(22) 出願日	平成26年1月20日 (2014.1.20)		新日鐵住金株式会社
			東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
		(74) 代理人	100064908
			弁理士 志賀 正武
		(74) 代理人	100175802
			弁理士 寺本 光生
		(74) 代理人	100106909
			弁理士 棚井 澄雄
		(74) 代理人	100134359
			弁理士 勝俣 智夫
		(74) 代理人	100188592
			弁理士 山口 洋
		(74) 代理人	100166707
			弁理士 香取 英夫

最終頁に続く

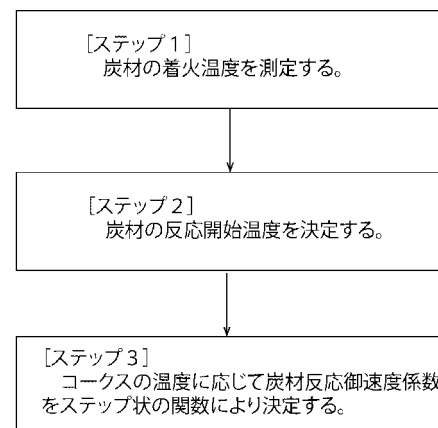
(54) 【発明の名称】 焼結温度履歴の計算方法

(57) 【要約】

【課題】 燃焼性が大きく異なる炭材においても比較的容易に実測可能なパラメータを用いて容易に焼結使用時の温度履歴を計算でき、かつ、計算負荷も従来に比べて削減できる方法を提供する。

【解決手段】 1 ~ 3 mmの粒径の炭材の着火温度 T_{ig} を測定するステップと、前記炭材の着火温度 T_{ig} から反応開始温度 T_i を決定するステップと、炭材の温度 T により、炭材の反応速度係数 k_r を、反応開始温度 T_i を用いた階段状の関数により決定するステップとを有する焼結温度履歴の計算方法である。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

1 ～ 3 mm の粒径を有する炭材の着火温度 T_{ig} を測定するステップと、
前記炭材の着火温度 T_{ig} から反応開始温度 T_i を決定するステップと、
炭材の温度 T により、炭材の反応速度係数 k_r を、

【数 1】

$$k_r = \begin{cases} 0 & T < T_i \\ k_{r1} & T \geq T_i \end{cases} \quad \dots (式1)$$

により決定するステップと、

10

を有することを特徴とする焼結温度履歴の計算方法。

【請求項 2】

前記炭材の反応速度係数 k_r を $1.13 [m / sec]$ 以上の値とすることを特徴とする請求項 1 に記載の焼結温度履歴の計算方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、焼結原料を焼成する過程の温度履歴を計算する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

20

高炉製鉄法では、粉鉱石及び副原料からなる焼結鉱原料を造粒して擬似粒子をつくる。焼結鉱原料は主に粉鉱石と副原料から構成されており、その大半は粒径 10 mm 以下の鉄鉱石であり、残りは副原料と呼ばれ、石灰石、橄欖岩または蛇紋岩、珪石、及びコークスである。擬似粒子は、ミキサーから排出された後ベルトコンベアーを乗継ぎ、原料ホッパーに装入される。その後、焼結機上に充填され、焼結層を形成する。充填された焼結鉱原料の表層部を点火炉バーナーで加熱してコークスに着火し、一方で下方に吸引することにより焼結鉱が製造されるが、焼結層内の通気性が焼結鉱の生産性に大きな影響を与える。

【0003】

焼結層内の通気性が良好であれば、焼結層の下方に焼結が進行して行く速度（以下、「焼結速度」という。）は上昇し、生産性も向上する。しかし、通気性が悪い場合は、焼成むらを生じ、生焼け状態が発生して歩留を低下させたり、局所的に過熔融の状態が生じて燃焼帯の幅が広くなり、焼結速度が大幅に遅くなり、生産性が低下する。

30

【0004】

したがって、焼結の生産性向上にあたり、焼結温度履歴を予め定められたように制御することが必要である。

【0005】

焼結温度履歴を推定する方法は、すでに非特許文献 1 で公開されている。従来、この手法に基づいて数値計算を行い、焼結速度に影響を及ぼす種々の制御因子について、その影響が検討されている。具体的には、焼結充填層の固体およびガスのそれぞれに関する熱収支を表す偏微分方程式（式 1 1）および（式 1 2）と、式中の発熱項を規定するコークスの総括反応速度式（式 1 3）、を連立して解く。

40

すなわち、以下の手順をその骨子とする。

【0006】

まず、焼結充填層内の固体温度 T およびガス温度 t は、次の（式 1 1）および（式 1 2）で表される。

【0007】

【数 1 1】

$$k_s \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} + h_p \alpha (T - t) + R^* (-\Delta H) = (1 - \varepsilon) c_s \rho_p \frac{\partial t}{\partial \theta} \quad \dots (式11)$$

50

【 0 0 0 8 】

【 数 1 2 】

$$k_g \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - h_p \alpha (T - t) - G c_g \frac{\partial T}{\partial z} = \epsilon_g \rho_g \frac{\partial T}{\partial \theta} \quad \dots \text{ (式 1 2)}$$

【 0 0 0 9 】

ここでは、焼結機高さ方向に z 軸[m]をとっており、 θ [sec]は反応時間を示す。また、 H は、反応（主にコークスの燃焼）1 kmolあたりの吸発熱[kcal/kmol]、 t および T はガスおよび固体の温度[K]、 G は単位断面積あたりのガス流量[kg/(m²・sec)]、 c_s は固体（焼結層）の比熱[kcal/(kg・K)]、 c_g はガスの比熱[kcal/(kg・K)]、 ρ_p は粒子（焼結層）の密度[kg/m³]、 ρ_g はガスの密度[kg/m³]、 ϵ は焼結層の空隙率[-]である。

【 0 0 1 0 】

（式11）中の左辺第3項が化学反応による吸発熱項である。反応量 R^* は、コークスの燃焼熱(r_c)、石灰石の分解熱(r_l)やスケール類の酸化発熱(r_s)等の足し合わせであって、

【 0 0 1 1 】

【 数 1 2 A 】

$$R^* = r_c + r_l + r_s \quad \dots \text{ (式 1 2 A)}$$

と表現されるものである。

【 0 0 1 2 】

化学反応の吸発熱のほとんどは、コークスの燃焼発熱である。コークスの総括反応速度 r_c^* [kmol/m³・sec]は、炭材濃度 c_{oke} [kg/m²]、炭材の比表面積 A_{oke} [m²/kg]、総括反応の速度定数 k_{oke} [m/sec]、酸素濃度 C_{O_2} [kmol/Nm³]を用いて、

【 0 0 1 3 】

【 数 1 3 】

$$r_c^* = \rho_{oke} A_{oke} C_{O_2} k_{oke} \quad \dots \text{ (式 1 3)}$$

により計算される。

【 0 0 1 4 】

さらに、総括反応の速度定数 k_{oke} [m/sec]は、拡散速度係数 k_f [m/sec]と反応速度係数 k_r [m/sec]を用いて、

【 0 0 1 5 】

【 数 1 4 】

$$k_{oke} = \frac{1}{1/k_r + 1/k_f} \quad \dots \text{ (式 1 4)}$$

より求められる。さらに、反応速度係数 k_r [m/sec]は、温度 T 、ガス定数 R [m²・kg/sec²・K・mol]をもちいて、非特許文献1に開示された、Hottel - Parkerの式を用いて、

【 0 0 1 6 】

【 数 1 5 】

$$k_r = 2.351 \times 10^9 \times \sqrt{T} \times \exp(-44000/RT) \quad \dots \text{ (式 1 5)}$$

により求められる。ここに、「 2.351×10^9 」および「 44000 」の値は、それぞれ、速度因子および活性化エネルギーといわれる。ここで、 k_r は、温度 T により変動する値であり、計算は非常に煩雑である。

【 0 0 1 7 】

10

20

30

40

50

特許文献 1 では、上記手法に基づいて、さらにフューエル NO_x 生成の支配因子を数式上で明確化し、燃焼の観点から NO_x 生成量抑制のための要因を俯瞰的に検討できるようにすることを目的とした発明を開示している。

【0018】

すなわち、粉コークス粒子の表面反応 $2\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}$ 、 $\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO}$ 、 $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{CaO}$ 、及び、焼結層内のガス反応 $2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$ を含むようにした燃焼反応を対象に、少なくとも焼結層内の O_2 、 CO_2 、 CO 、 C 、 CaCO_3 の物質収支、燃焼ガスの熱収支及び焼結層の熱収支を含んで構成される燃焼モデルに基づいて、焼結層温度、燃焼排ガス中の CO 濃度及び O_2 濃度を計算し、これら計算された焼結層温度、燃焼排ガス中の CO 濃度及び O_2 濃度を入力値にして、燃焼モデルに基づいて、コークス粒子のガス境膜内 CO 濃度及び O_2 濃度を計算して、燃焼過程にある粉コークス粒子のガス境膜内の CO 濃度と O_2 濃度との比率 CO / O_2 値を求める方法を開示している。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0019】

【特許文献 1】特開 2011 - 256405 号公報

【非特許文献】

【0020】

【非特許文献 1】鞭巖・森山昭 「冶金反応工学 (1972)」 養研堂

【非特許文献 2】B. M. Johnson, G. F. Froment and C. C. Watson:

20

Chemical Engineering Science, 17, 835 (1962)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0021】

近年、粉コークス以外の焼結炭材の開発が進み、それらの焼結使用時の温度履歴を頻繁に計算するニーズが生じている。

【0022】

しかしながら、新規に開発した炭材は、従来炭材と燃焼性が大きく異なる前記従来法にしたがって、これらの炭材の焼結利用時の温度履歴を計算するためには、(式 15) 中の速度因子と活性化エネルギーを実測する必要があり、炭材の燃焼のような高速で進行する反応の速度因子・活性化エネルギーの実測は煩雑で、多大な労力を要するため、従来と燃焼性の大きく異なる炭材の焼結使用時の温度履歴を計算することは極めて困難であった。

30

【0023】

本発明の目的は、比較的容易に実測可能なパラメータを用て新たな反応速度係数を表す方法を提案することにより、燃焼性が大きく異なる炭材の焼結使用時の温度履歴を、少ない労力、かつ、短時間で計算できる方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0024】

発明者らは、焼結層中の炭材はある温度まで加熱されると反応を開始し、反応を開始すると速やかに温度上昇し、物質移動で律速される概ね一定の反応速度に達すると考え、反応速度係数は、炭材の反応開始温度で表現できることに着目した。

40

【0025】

発明者らは、さらに、鋭意研究開発の結果、炭材の着火温度 (T_{ig}) の測定値より、反応開始温度 T_i を決定し、かつ、 $1.13 [\text{m} / \text{s} \cdot \text{e} \cdot \text{c}]$ 以上の反応速度係数 k_r を階段関数 (ステップ関数) として与えることで、燃焼性の大きく異なる炭材の焼結使用時の温度履歴を簡便に、かつ精度よく計算できることを見出して本発明を完成させた。

【0026】

本発明の要旨は以下の通りである。

【0027】

(1) $1 \sim 3 \text{ mm}$ の粒径を有する炭材の着火温度 T_{ig} を測定するステップと、

50

前記炭材の着火温度 T_{ig} から反応開始温度 T_i を決定するステップと、
炭材の温度 T により、炭材の反応速度係数 k_r を、

【 0 0 2 8 】

【 数 1 】

$$k_r = \begin{cases} 0 & T < T_i \\ k_{r1} & T \geq T_i \end{cases} \quad \dots (式1)$$

により決定するステップと、
を有することを特徴とする焼結温度履歴の計算方法。

【 0 0 2 9 】

(2) 前記炭材の反応速度係数 k_r を $1.13 [m / sec]$ 以上の値とすることを特徴とする (1) に記載の焼結温度履歴の計算方法。

【 発明の効果 】

【 0 0 3 0 】

本発明の方法を実施することにより、比較的簡単に実測できる着火温度 (T_{ig}) を用いて、従来と燃焼性の大きく異なる炭材の焼結使用時の温度履歴を精度よく、かつ、短時間で計算できるという顕著な効果を奏する。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 3 1 】

【 図 1 】 本発明の方法を説明するフロチャートである。

【 図 2 】 コークスの場合の反応速度定数 $k_r [m / sec]$ のグラフである。

【 図 3 】 焼結温度履歴を比較する図である。(a) 本発明の方法による焼結温度履歴 (b) 従来の方法による焼結温度履歴

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 3 2 】

本発明の実施形態は、以下のステップを有する焼結温度履歴の計算方法であり、図 1 にはそのフロチャートが記載されている。

〔ステップ 1〕炭材の着火温度 (T_{ig}) の測定するステップである。

【 0 0 3 3 】

炭材の着火温度 (T_{ig}) の測定にあたっては、 $1 \sim 3 mm$ の粒径の炭材を用いるが、 $1 \sim 3 mm$ の粒径の炭材を用いる理由は後述する。

【 0 0 3 4 】

炭材の着火温度 (T_{ig}) の測定には、藤部らの方法 (ISIJ International, 15(2013), p.1594.) を用いる。

【 0 0 3 5 】

当該方法用いた着火温度 (T_{ig}) の測定結果を表 1 に記載する。

【 0 0 3 6 】

【 表 1 】

	コークス	チャー					
炭材原料		石炭A	石炭B	石炭C	廃棄物A	廃棄物B	バイオマス
着火温度(℃)	618	484	457	345	393	404	502

【 0 0 3 7 】

〔ステップ 2〕反応開始温度 T_i を決定するステップである。

【 0 0 3 8 】

炭材の着火温度 (T_{ig}) の測定値より、反応開始温度 T_i を決定する。

【 0 0 3 9 】

しかしながら、 T_i は粒径によらないパラメータであるが、着火温度は粒径に依存する

10

20

30

40

50

物性値である点を留意する必要がある。

【 0 0 4 0 】

そこで、炭材の粒径を実際の焼結で使用される炭材を代表する粒度区分である 1 ~ 3 mm を用いるが、その算術平均粒径が 1 ~ 2 mm の粒径を用いるのがより好ましい。

【 0 0 4 1 】

なぜなら、藤部らの方法 (ISIJ International, 15(2013), p.1594.) によって計測された、1 ~ 3 mm、好ましくは、1 ~ 2 mm の粒径の炭材の着火温度 (T_{ig}) は、そのまま、反応開始温度 T_i とすることができるからである。

[ステップ 3] 炭材の反応速度係数 k_r を決定するステップである。

< 階段関数による付与 >

炭材の反応速度定数を

【 0 0 4 2 】

【 数 1 】

$$k_r = \begin{cases} 0 & T < T_i \\ k_{r1} & T \geq T_i \end{cases} \quad \dots (式1)$$

により決定する。

すなわち、焼結層中の炭材は、ある温度以下では全く反応せず、一度反応を開始すると速やかに温度上昇して一定の反応速度に達すると仮定し、ステップ状の燃焼速度式を採用している。

【 0 0 4 3 】

図 2 には、 k_r の挙動がグラフとして表されている。

図 2 において、縦軸は k_r [m / s e c] であり、横軸が温度 [] であり、点線グラフが従来の方法を用いて求めた k_r の挙動であり、実線グラフが本発明の方法により決定された k_r の挙動である。

【 0 0 4 4 】

k_r は、炭材の反応速度を定数化した数値であり、焼結過程は酸素供給律速であることから、焼結層ヒートパターンは反応速度の影響を受けないが、反応速度が極端に低いと、焼結層の温度を上昇させることができない。

【 0 0 4 5 】

< 数値範囲 >

本発明者らの検討では、 k_r は 1 . 1 3 [m / s e c] 以上の範囲で円滑にヒートパターン計算が行えることを確認した。

【 0 0 4 6 】

ここで、 $k_r = 1 . 1 3$ [m / s e c] の値は、H o t t e l の式によるコークスの着火点 (前述の測定値によると 6 1 8) での反応速度であり、発明者らは 1 . 1 3 [m / s e c] が、コークスの燃焼を継続できる閾値であると考えている。

【 0 0 4 7 】

(焼結熱履歴の計算方法)

本発明を用いた焼結熱履歴の計算は、従来技術でその概略を説明した非特許文献 1 の方法を用いるが、炭材の反応速度係数 k_r を計算するにあたり、従来用いられてきた (式 1 5) に代えて、上述のように決定された (式 1) を使用する点が本願発明の特徴である。

以下、その顕著な効果について説明する。

【 0 0 4 8 】

炭材の反応速度係数 k_r を (式 1 5) を用いて計算する場合には、温度 T を考慮する必要があり、計算は非常に煩雑となり、時間と労力を用することから、種々の炭材における焼結熱履歴の計算を実施するのは極めて困難である。

【 0 0 4 9 】

一方、炭材の反応速度係数 k_r を (式 1) を用いて計算する場合には、温度 T を考慮することなく、1 . 1 3 [m / s e c] 以上の値と、炭材の反応温度 T_i を与えれば足り、

10

20

30

40

50

また、炭材の反応温度 T_i は、炭材の粒径が1～3mmの場合には、簡単に実測できる着火温度(T_{ig})に相当する温度となることから、極めて簡単に与えることができ、種々の炭材における焼結熱履歴の計算を短時間で容易に実施できるという顕著な効果を奏することができる。

【0050】

また、実施例で説明するように、(式15)に代えて(式1)を用いても計算精度を低下させることはないことを、反応速度定数 k_r [m/sec]は、反応開始からほぼ一定であると仮定してパレット上の粒子層内のコークスの総括反応速度 r_c^* [kmol/(m³·sec)]を計算して求めた焼結温度履歴は、従来のように反応速度定数 k_r [m/sec]を温度毎に計算して、パレット上の粒子層内のコークスの総括反応速度 r_c^* [kmol/(m³·sec)]を再び計算して求めた焼結温度履歴との間には差がほとんどないことにより確認している。

10

【実施例】

【0051】

ここでは、本発明の方法を用いて計算した焼結温度履歴と、従来の方法を用いて計算した焼結温度履歴を比較することにより、本発明の方法を用いても、従来の方法を用いた場合とほぼ同様の精度で焼結温度履歴が得られることを、シミュレーション解析により確認する。

【0052】

[解析条件]

20

表2は、本発明の方法および従来の方法を実施するときに用いる解析条件を示す。なお、表2に記載してある値は、通常の焼結燃焼過程における値である。

【0053】

【表2】

層厚[mm]	500
吸引風速[m/sec]	0.3
水分[%]	7.0
炭材割合[%]	3.8
炭材粒径[mm]	1.2
炭材反応速度[m/sec]	1.13
炭材反応開始温度[℃]	400

30

【0054】

[解析結果]

図3を用いてシミュレーションにより解析した結果を説明する。

【0055】

図3(a)には、本発明の計算方法により k_r を求めた場合、図3(b)には、従来の方法により k_r を求めた場合に得られる焼結温度履歴が記載されている。

【0056】

図3(a)および図3(b)において、縦軸は温度()であり、横軸は時間(分)であり、それぞれには、上層(表面から100mm)、中層(表面から250mm)、下層(表面から400mm)における温度履歴がグラフとして描かれている。

40

【0057】

ここで、図3(a)と図3(b)のグラフを比較すると、ほとんど同じグラフであることから、本発明の方法を用いても、従来の方法を用いた場合とほぼ同様の精度で焼結温度履歴が得られることをシミュレーション解析により確認できる。

【0058】

[所要時間]

本発明の方法を用いて焼結温度履歴を計算した場合と、従来の方法を用いて焼結温度履歴を計算した場合に要した時間を比較した。

50

本発明の方法を用いて焼結温度履歴を計算した場合に要した時間は、従来の方法を用いて焼結温度履歴を計算した場合に比して、100分の1程度であった。

【0059】

[評価]

本発明の方法を用いて焼結温度履歴を計算すると、従来の方法を用いて焼結温度履歴を計算した場合とほぼ同じ精度で、かつ、100分の1の時間で実施でき、本発明の方法は従来の方法を代替することができる。

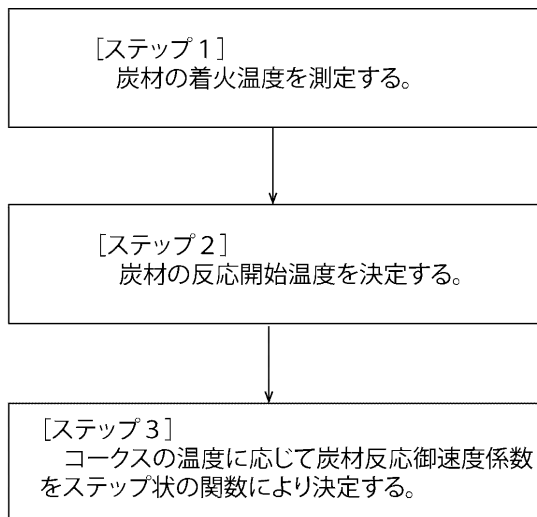
【産業上の利用可能性】

【0060】

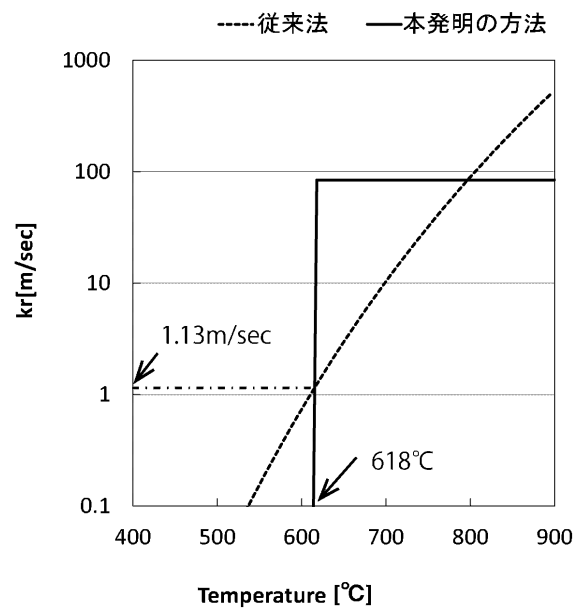
本発明の方法は、焼結の燃焼制御において利用可能である。

10

【図1】

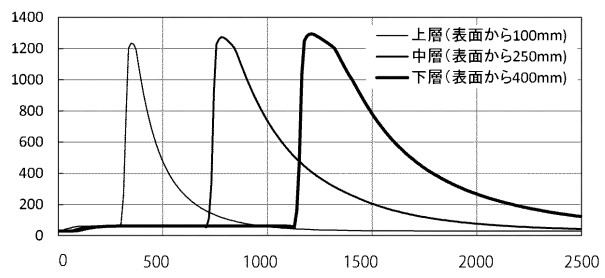


【図2】

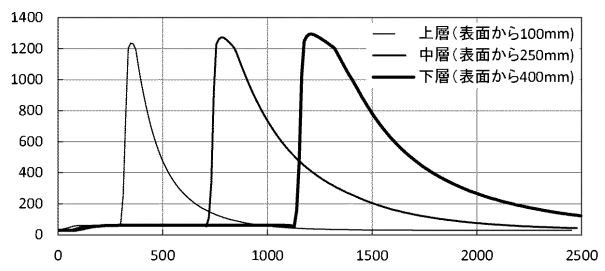


【 図 3 】

(a)



(b)



フロントページの続き

- (74)代理人 100105441
弁理士 田中 久喬
- (74)代理人 100107892
弁理士 内藤 俊太
- (72)発明者 成田 洋一
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
- (72)発明者 川口 尊三
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
- (72)発明者 松村 勝
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
- (72)発明者 原 応樹
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
- Fターム(参考) 4K001 AA10 BA02 CA35 CA36 CA40 GA10