

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015年7月23日(23.07.2015)



(10) 国際公開番号

WO 2015/108121 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 25/50 (2006.01) C10L 5/00 (2006.01)
G01N 33/22 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/050983
- (22) 国際出願日: 2015年1月15日(15.01.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2014-005154 2014年1月15日(15.01.2014) JP
- (71) 出願人: 株式会社神戸製鋼所(KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (KOBELCO STEEL, LTD.))
[JP/JP]; 〒6518585 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目2番4号 Hyogo (JP).
- (72) 発明者: 朴 海洋(PAK Haeyang).
- (74) 代理人: 特許業務法人栄光特許事務所, 外(EIKOH PATENT FIRM, P.C. et al.); 〒1050003 東京都港区西新橋一丁目7番13号 虎ノ門イーストビルディング10階 Tokyo (JP).

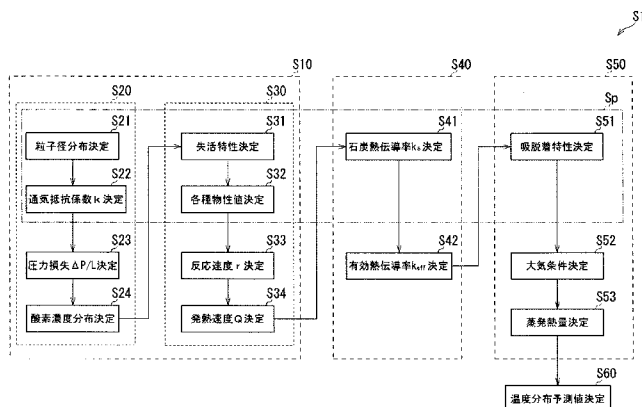
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: SPONTANEOUS COMBUSTION PREDICTION METHOD FOR COAL

(54) 発明の名称: 石炭の自然発火予測方法



- S21 Determine particle-size distribution
S22 Determine ventilation resistance coefficient k
S23 Determine pressure loss $\Delta P/L$
S24 Determine oxygen concentration distribution
S31 Determine deactivation characteristics
S32 Determine various physical property values
S33 Determine reaction speed r
S34 Determine heat generation speed Q
S41 Determine coal thermal conductivity rate k_s
S42 Determine valid thermal conductivity rate k_{eff}
S51 Determine adsorption/desorption characteristics
S52 Determine atmospheric conditions
S53 Determine evaporation heat amount
S60 Determine temperature distribution prediction values

(57) Abstract: This spontaneous combustion prediction method for coal is for predicting the spontaneous combustion of coal which forms a pile (layers of coal in a coal storage facility). This spontaneous combustion prediction method includes a physical property value determination step for determining the physical property values of coal, and a temperature distribution prediction value determining step. In the temperature distribution prediction value determining step, on the basis of the physical property values determined in the physical property value determining step, a temperature distribution prediction value which is a prediction value of the change over time of the temperature distribution in the pile is determined by analysis. According to this method, the time when the coal reaches a spontaneous combustion temperature, and the location of such coal, can be predicted without the need to construct an actual pile.

(57) 要約: 本発明の石炭の自然発火予測方法は、パイル(石炭貯蔵施設内の石炭層)を構成する石炭の自然発火を予測する方法である。本発明の自然発火予測方法は、石炭の物性値を決定する物性値決定ステップと、温度分布予測値決定ステップと、を有する。温度分布予測値決定ステップは、物性値決定ステップで決定された物性値に基づいて、パイ

ル内の温度分布の経時変化の予測値である温度分布予測値を解析により決定するステップである。本発明の方法によれば、石炭が自然発火温度に達する時および位置を、実物のパイルをたてる必要なく予測できる。

明 細 書

発明の名称：石炭の自然発火予測方法

技術分野

[0001] 本発明は、石炭の自然発火予測方法に関する。

背景技術

[0002] 従来より、石炭貯蔵施設内で石炭層（石炭の山、パイル）として石炭が貯蔵される場合がある。例えば、海外から石炭が輸入される場合には、一般的に2週間～1か月程度、パイルとして石炭が貯蔵される。石炭は、常温でも発熱（自然発熱）する。この発熱は、大気中の酸素によって起こされる緩慢な酸化反応（低温酸化反応）によって生じる。この発熱が進行し、石炭の発火温度に達すると、石炭が発火（自然発火）し、火災事故が起こるおそれがある。

[0003] 石炭の発熱のしやすさ（自然発火のしやすさ）は、石炭の銘柄によって異なる。具体的には、石炭中の酸素と炭素との原子数の比率（O/C比）が高い石炭ほど、発熱しやすい。近年、石炭の銘柄の多様化が顕著となっている。また、従来一般的に利用されてきた石炭に比べてO/C比が高い石炭も、近年では多く利用されている。そのため、石炭の（パイル内の）発熱の挙動を予測することが重要である。さらに詳しくは、石炭が、いつ、パイル内のどの部位で、どのような温度になるか（発火温度に達するか）を予測することが重要である。この予測は、発熱の挙動が未知の石炭（新たに使用する銘柄の石炭）を貯蔵する場合に特に重要である。

[0004] 特許文献1～3には、パイル内の温度等（発熱、自然発火）を予測する技術が記載されている。

[0005] 特許文献1（請求項1）には、「石炭貯蔵施設の石炭層内・・・に複数のガス採取管を挿入し、該採取管を通して採取された石炭からの発生ガスの組成を計測することによって、石炭の自然発火の兆候を検知する」ものが記載されている。

[0006] 特許文献2（請求項1、段落[0014]、[0015]等）には、次のような技術が記載されている。石炭貯蔵施設に貯蔵される石炭（3）に炭酸アンモニウム－水塩等の物質を混入する。貯蔵石炭（3）が酸化して石炭層内部の温度が上昇し約60℃を越えると、混入されていた炭酸アンモニウム－水塩が分解しアンモニアガスが発生する。これによって貯蔵石炭（3）内部の蓄熱温度を知ることができる。

[0007] 特許文献3（要約）には、「貯炭場内に複数個の温度計測口ロボット（1）を所定の間隔で規則的に配備し、・・・温度が自然発火温度に達した場合にはそのポイントを特定し、そのポイントに予め設けられてある注水ノズルから・・・注水して冷却し、自然発火を未然に防止する」ものが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：日本国特許第3241233号公報

特許文献2：日本国特許第3212451号公報

特許文献3：日本国特開平8－84782号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 特許文献1～3に記載の技術では、パイルをたてた後（パイリング後）に、パイル内の温度やガスを測定することで、パイル内の温度を予測している。そのため、パイル内の温度を予測するために、パイルをたてる必要がある。パイルの高さは例えば10m～15m等であるため、パイルをたてるにはコストや労力がかかる。

[0010] そこで本発明は、石炭が自然発火温度に達する時および位置を、実物のパイルをたてる必要なく予測できる、石炭の自然発火予測方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0011] 本発明は、石炭貯蔵施設内の石炭層を構成する石炭の自然発火予測方法である。前記自然発火予測方法は、前記石炭の物性値を決定する物性値決定ステップと、前記物性値決定ステップで決定された前記物性値に基づいて、前記石炭層内の温度分布の経時変化の予測値である温度分布予測値を解析により決定する温度分布予測値決定ステップと、を有する。

発明の効果

[0012] 上記構成により、石炭が自然発火温度に達する時および位置を、実物のパイルをたてる必要なく予測できる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]図1は、パイル1の断面図である。

[図2]図2は、自然発火予測方法S1のフローを示す図である。

[図3]図3は、流速と圧力損失との関係（石炭Bの場合）を示すグラフである。

[図4]図4は、酸素消費速度の実測値（石炭Aの場合）を示すグラフである。

[図5]図5は、酸素消費速度の実測値（石炭Bの場合）を示すグラフである。

[図6]図6は、相対圧と平衡水分との関係（石炭Aの場合）を示すグラフである。

[図7]図7は、相対圧と平衡水分との関係（石炭Bの場合）を示すグラフである。

[図8]図8は、貯炭日数と温度との関係（石炭Aの場合）を示すグラフである。

[図9]図9は、貯炭日数と温度との関係（石炭Bの場合）を示すグラフである。

[図10]図10は、24日目の酸素濃度分布（石炭Aの場合）の解析結果を示す図である。

[図11]図11は、24日目の酸素濃度分布（石炭Bの場合）の解析結果を示す図である。

[図12]図12は、24日目の温度分布（石炭Aの場合）の解析結果を示す図

である。

[図13]図13は、24日目の温度分布（石炭Bの場合）の解析結果を示す図である。

[図14]図14は、24日目の温度分布（石炭Bの場合）の実測結果を示す図である。

発明を実施するための形態

[0014] 図1～図14を参照して、図1に示すパイル1（石炭貯蔵施設内の石炭層）を構成する石炭の自然発火予測方法S1（図2参照）について説明する。

[0015] パイル1は、石炭が積み上げられたもの（石炭が積み重ねられたもの、石炭がパイリングされたもの、石炭の充填層）である。パイル1は、石炭の貯蔵時（貯炭時）に形成される、貯炭パイルである。パイル1は、スタッカ設備によりたてられる（形成される）。スタッカ設備は、石炭を貯炭敷地に積みつけるための設備であり、貯炭敷地に石炭を落下させて石炭を積み上げるための設備である。パイル1は、石炭を利用する事業所内などの石炭貯蔵施設内に設けられる。

[0016] このパイル1は、石炭の酸化反応により発熱する。発熱の詳細は次の（a）～（d）の通りである。（a）パイル1内に空気（大気）が流入する。（b）空気中の酸素と石炭とにより、常温でも酸化反応（低温酸化反応）が起こる。（c）この酸化反応により、石炭の温度が上昇する。（d）石炭の温度が発火温度（250℃等）まで上昇すると、石炭が発火する。

[0017] このパイル1がある程度発熱した時（石炭が発火する前）に、パイル1の払い出しが行われる。パイル1の払い出しは、例えば、石炭を使用するためにパイル1を崩すことであり、また例えば、石炭を使用することなくパイル1を一旦崩すことである（その後パイル1がたてなおされる）。パイル1の払い出しが行われる温度は、例えば約60℃等である。パイル1の払い出し日数（パイル1がたてられてから払い出しが行われるまでの日数）は、例えば約2週間～約1か月などである。

[0018] このパイル1の形状は、山状である。パイル1の形状は、例えば錐状（円

錐状や角錐状など）であり、また例えば台状（円錐台状や角錐台状など）であり、また例えば山脈状などである。パイル 1 の断面の形状は、山型である。パイル 1 の断面形状は、例えば三角形であり、また例えば台形等である。上記「断面」は、水平面と垂直な面であり、パイル 1 の最も高い部分を通る面である。以下では、パイル 1 の形状が円錐状（パイル 1 の断面形状が三角形）の場合について説明する。パイル 1 の断面の底辺と平行な方向を左右方向 X とする。パイル 1 の高さ h は、約 10 m ～ 15 m 等である。

[0019] このパイル 1 の断面には、部位 1 a ～ 1 e がある。

部位 1 a は、パイル 1 の裾野部である。部位 1 a は、パイル 1 の断面の下端部、かつ、左右方向 X 外側端部である。

部位 1 b は、パイル 1 の中腹部である。部位 1 b は、パイル 1 の断面の上下方向中央部、かつ、左右方向 X 外側端部である。

部位 1 c は、パイル 1 の頂上部である。部位 1 c は、パイル 1 の断面の上端部である。

部位 1 d は、パイル 1 の断面の中央部である。部位 1 d は、パイル 1 の断面の上下方向中央部、かつ、左右方向 X 中央部である。

部位 1 e は、パイル 1 の断面の底部である。部位 1 e は、パイル 1 の断面の下端部、かつ、左右方向 X 中央部である。

[0020] このパイル 1 は石炭により構成される。石炭には、様々な銘柄がある。石炭の銘柄によって、石炭を構成する物質の比率が異なる。石炭は、炭素、酸素、水素、窒素、硫黄、水分、及び無機分（灰）などで構成される。石炭中の酸素と炭素の原子数の比率（O/C 比）が高い石炭ほど発熱しやすい。石炭の例として、表 1 に示す石炭 A 及び石炭 B がある。石炭 B は、石炭 A よりも O/C 比が高い（発熱性が高い）。石炭 B は、石炭 A よりも高水分である。なお、表 1 中の水分 [%] は、石炭の質量に対する水分の質量の割合である。

[0021]

[表1]

	石炭A	石炭B
品位	瀝青炭	亜瀝青炭
O/C比	0.05	0.14
水分	11%	27%

[0022] 自然発火予測方法S1（図2参照）は、パイル1を構成する石炭の発熱を予測する方法である。以下では、パイル1については図1を参照し、自然発火予測方法S1については図2を参照して説明する。自然発火予測方法S1は、解析（数値解析、計算、シミュレーション）により、パイル1内の温度分布の経時変化（発熱特性）を予測することで、石炭の自然発火を予測する方法である。自然発火予測方法S1は、パイル1内の、いつ、どの部位が、どのように発熱するかを予測する方法である。自然発火予測方法S1は、石炭の物性値に基づいて（後述する物性値決定ステップSp参照）、上記予測を行う。自然発火予測方法S1では、パイル1の情報（温度やガスの成分など）を直接測定する必要はない。そのため、自然発火予測方法S1は、パイル1をたてた後に行われる必要はない。自然発火予測方法S1は、パイル1をたてる前に行われる。自然発火予測方法S1は、パイル1をたてている最中や、パイル1をたてた後に行われてもよい。パイル1内の温度（温度上昇）は、石炭の酸化反応による発熱と、パイル1内の熱伝導と、水の脱着（蒸発）により石炭から奪われる熱と、に依存する。そこで、自然発火予測方法S1では、発熱速度の決定S10と、有効熱伝導率の決定S40と、蒸発熱量の決定S50と、が行われる。

[0023] 発熱速度の決定S10では、酸化反応による石炭の発熱速度が決定（推算）される。酸化反応による石炭の発熱速度は、酸化反応の反応速度から導き出される。また、この反応速度は、パイル1内の酸素濃度に依存する。そこで、発熱速度の決定S10では、酸素濃度の決定S20と、反応速度等の決定S30と、が行われる。

[0024] 酸素濃度の決定S20では、パイル1内の酸素濃度分布が決定される。パ

イル1内の酸素濃度分布は、パイル1内の各部位の圧力損失（詳細は後述）から導き出される。圧力損失は、石炭の粒子径に依存する。また、圧力損失は、石炭の粒子群を通る空気の流速に依存する。そこで、酸素濃度の決定S20では、粒子径分布決定ステップS21と、通気抵抗係数決定ステップS22と、圧力損失決定ステップS23と、酸素濃度決定ステップS24と、が行われる。

[0025] 粒子径分布決定ステップS21は、パイル1内の石炭の粒子径分布を決定するステップである。図2では「ステップ」を省略し「粒子径分布決定」と記載した（他のステップも同様）。粒子径分布決定ステップS21では、パイル1内の石炭粒子の充填状態が把握される。石炭の粒子径は、パイル1内の部位によって異なる（広い粒子径分布を持つ）。例えばパイル1が円錐状の場合、粒子径の大きい石炭は、裾野部（部位1a）に集まる傾向がある。なお、粒子径分布を決定する必要性は次の通りである。充填層内の圧力損失を予測する経験式としてErgun式がある。Ergun式は、粒子径が均一の場合には適用できる。しかし、パイル1のように広い粒子径分布を持つものに対してはErgun式は適用できない。そこで、粒子径分布決定ステップS21で粒子径分布を決定し、この粒子径分布に基づいて、後述する圧力損失決定ステップS23で圧力損失を決定する。粒子径分布決定ステップS21での粒子径分布の決定方法には、実験（実験的手法）によるものと、解析（解析手法）によるものと、がある。

[0026] 実験による粒子径分布決定ステップS21では、ミニパイルの粒子径分布を実測することで、パイル1の粒子径分布が決定される。ミニパイルは、パイル1（実物）を模した試験パイルである。ミニパイルの大きさは、パイル1よりも小さく、例えば実験室内で製作できる程度である。ミニパイルの高さは、パイル1の高さhの例えば $1/10$ などである（例えば、パイル1の高さhが15mの場合、ミニパイルの高さは1.5mである）。ミニパイルとパイル1とを比べると、同じような粒子径分布になることが分かっている。そこで、ミニパイルの粒子径分布を実測することで、パイル1の粒子径分

布を推測する。

[0027] (測定方法及び結果) 粒子径分布の測定は、例えば次のように行われる。
パイル1の部位1 a～1 eに対応するミニパイルの各部位(部位1 a～1 eとする)から、石炭の粒子群を採取する。そして、採取した粒子群それぞれについて、平均粒子径を測定する。

[0028] (測定結果) 石炭Bのミニパイルの部位1 a～1 eでの、50%粒子径[mm]は次のようになった。

部位1 a : 29.8 部位1 b : 6.2 部位1 c : 6.3

部位1 d : 4.2 部位1 e : 2.2

この結果から、粒子径の大きい石炭が、パイル1の裾野部(部位1 a)に集まることがわかる。

[0029] なお、上記の例では、粒子径が採取および測定される部位は、ミニパイルの部位1 a～1 eであった。しかし、測定等が行われる部位は、部位1 a～1 eである必要はない。(α)測定等が行われる部位は、例えば部位1 a～1 eの一部のみでもよく、また例えば部位1 a～1 e以外の部位でもよい。(β)また、測定等が行われる部位の数は、4以下や6以上でもよい。(γ)また、測定が行われた部位(例えば部位1 a～1 e)の結果を元に、測定が行われない部位(例えば、部位1 a～1 e同士の間の部位や、部位1 a～1 eの周辺の部位)での推算値が算出されてもよい。上記(α)～(γ)については、粒子径分布決定ステップS21以外のステップにおいて測定や解析等を行う場合についても同様である。

[0030] 解析による粒子径分布決定ステップS21では、解析によりパイル1内の粒子径分布が決定される。粒子径分布を決定するための解析には、例えばDEMシミュレーション(DEM; Discrete Element Method)がある。

[0031] このように粒子径分布決定ステップS21には、実験によるものと、解析によるものと、がある。これと同様に、以下で説明する各ステップについても次のことがいえる。以下の説明において解析により決定されるもの(値、特性、分布など)について、実験による決定が可能であれば、実験により決

定されてもよい。以下の説明において実験により決定されるもの（値、特性、分布など）について、解析による決定が可能であれば、解析により決定されてもよい。以下の説明において実験または解析により決定されるもの（値、特性、分布など）について、既知の情報（他者が予め調べたもの等）を利用可能な場合等には、実験も解析も行わずに決定されてもよい。但し、後述する温度分布予測値決定ステップS 6 0で決定される温度分布予測値は、必ず解析により決定される。

[0032] 通気抵抗係数決定ステップS 2 2は、通気抵抗係数 k を決定するステップである。通気抵抗係数 k は、ある粒子径の（ある部位の）石炭粒子群を通る気体（空気）の流速と圧力損失との関係から決定される。通気抵抗係数 k は、流速と圧力損失との関係式における係数（定数）である。通気抵抗係数 k は、パイル1内の部位によって異なる。通気抵抗係数 k が決定される部位は、例えば部位1 a～1 eである。通気抵抗係数 k は、実験による測定により決定される。

[0033] （測定方法）通気抵抗係数 k の測定および決定は、例えば次の（S 2 2 – a）～（S 2 2 – e）のように行われる。（S 2 2 – a）ある粒子径の石炭（ある部位の石炭、例えばミニパイルの部位1 aの石炭）を充填させた系を用意する。この系は、筒と、筒内の充填層（石炭粒子を充填させたもの、石炭粒子群）と、を備える。筒は円筒が望ましい。（S 2 2 – b）筒の軸方向一端（入口、例えば下端）から乾燥空気を流入させ、他端（出口、例えば上端）から乾燥空気を排出させる。これにより、充填層内を乾燥空気が通る。（S 2 2 – c）入口と出口との圧力差（ ΔP ）と充填層の長さ（ L ）とから、充填層での空気の圧力損失（圧力損失 $\Delta P / L$ ）を求める。（S 2 2 – d）充填層内を通る乾燥空気の流速（流速 u ）の値をパラメータとして、複数の圧力損失 $\Delta P / L$ を求める。この測定結果から、通気抵抗係数 k が求まる。（S 2 2 – e）さらに、通気抵抗係数 k を、複数の粒子径それぞれについて（例えばミニパイルの部位1 b～1 eについて）測定する。

[0034] （測定結果）図3は、石炭Bのミニパイルの部位1 a, 1 b, 1 cそれぞれ

れの、流速 u と圧力損失 $\Delta P / L$ との関係を示すグラフである。このグラフに示すように、流速 u と圧力損失 $\Delta P / L$ との間には次の関係が成立する。

$$\Delta P / L = k \cdot u$$

ここで k は通気抵抗係数 [$\text{Pa} / \text{m}^2 / \text{s}$] であり、図3のグラフの傾きである。

- [0035] 圧力損失決定ステップS23は、圧力損失 $\Delta P / L$ を決定するステップである。圧力損失決定ステップS23では、複数の粒子径（複数の部位、例えば部位1a～1e）それぞれについて、圧力損失 $\Delta P / L$ が決定される。圧力損失決定ステップS23では、通気抵抗係数決定ステップS22で決定された通気抵抗係数 k と、石炭の温度変化に伴い経時変化する流速 u と、に基づいて圧力損失 $\Delta P / L$ が決定される。上記「経時変化する流速 u 」の詳細は次の通りである。例えば、パイル1内の温度が上昇すると空気の体積が膨張する。そのため、パイル1表面での空気の流速が同じでも、温度上昇がある場合は、温度上昇がない場合に比べ、パイル1内の空気の流速 u が大きくなる。このように、パイル1内の温度の経時変化に伴い、パイル1内を通る空気の流速 u も経時変化する。そこで、圧力損失決定ステップS23では、通気抵抗係数 k を用いて圧力損失 $\Delta P / L$ を決定する。これにより、流速 u の経時変化に応じた、圧力損失 $\Delta P / L$ の経時変化を推算できる。また、上記「経時変化する流速 u 」は、次のように予測できる。パイル1の温度と大気の温度との温度差によって、空気の密度差が生じる（低温より高温の方が低密度）。この密度差により、パイル1が形成された初期においては、パイル1外からパイル1内に空気が流入する。そこで、この密度差と、圧力損失 $\Delta P / L$ （経時変化する流速 u を考慮しない圧力損失 $\Delta P / L$ 、粒子径に基づく圧力損失 $\Delta P / L$ ）と、の関係から、パイル1が形成された初期におけるパイル1内の空気の流速 u （初期の流速 u ）を予測できる。この初期の流速 u に基づいて、パイル1が形成されてから「ある時間」が経過した後の流速 u の予測を行う。そして、上記「ある時間」を変えながら流速 u の予測を繰り返し行う。これにより、上記「経時変化する流速 u 」を予測できる。

- [0036] 酸素濃度決定ステップS 2 4 は、パイル 1 内の酸素濃度分布（空気の状態）を決定するステップである。酸素濃度決定ステップS 2 4 では、解析により酸素濃度分布が予測（推算）される。パイル 1 内の酸素濃度は、パイル 1 内の圧力損失 $\Delta P / L$ から導き出される。上述したように、圧力損失 $\Delta P / L$ は、石炭の粒子径によって（パイル 1 内の部位によって）異なる。そこで、酸素濃度決定ステップS 2 4 では、粒子径分布決定ステップS 2 1 で決定された粒子径分布と、圧力損失決定ステップS 2 3 で決定された圧力損失 $\Delta P / L$ （ある粒子径での圧力損失 $\Delta P / L$ ）と、に基づいて酸素濃度分布が決定される。
- [0037] 反応速度等の決定S 3 0 では、パイル 1 内の石炭の酸化反応の反応速度が決定される。酸化反応の反応速度から石炭の発熱速度が導き出される。また、酸化反応は失活する（後述）。そこで、反応速度等の決定S 3 0 では、失活特性決定ステップS 3 1 と、各種物性値決定ステップS 3 2 と、反応速度決定ステップS 3 3 と、発熱速度決定ステップS 3 4 と、が行われる。
- [0038] 失活特性決定ステップS 3 1 は、石炭の酸化反応の反応速度の失活特性を決定する（失活挙動を把握する）ステップである。失活は次のように起こる。酸化反応により、石炭の表面に酸化膜が形成される。その結果、酸化反応が進むにしたがって、酸化反応の反応速度が低下する。なお、この失活は、石炭の風化と同様の現象である。酸化反応は石炭による酸素の消費によって進行するので、酸化反応の反応速度は、酸素消費速度（OCR ; Oxygen Consumption Rate）で整理できる。酸素消費速度は、実験により測定される。
- [0039] （測定方法）酸素消費速度は、例えば次の（S 3 1 - a）～（S 3 1 - d）のように測定および決定される。（S 3 1 - a）容器（例えばプラスチック容器）内に、石炭（石炭試料）と乾燥空気とを入れ、この容器を密封する。（S 3 1 - b）容器内を、3 0℃で、1 時間保持する。（S 3 1 - c）その後、容器内の酸素濃度（ガス組成）を測定する。（S 3 1 - d）酸素濃度の低下量に基づく酸素減少量、石炭試料重量、及び測定時間から、次の式により酸素消費速度（酸素消費速度の実測値）OCR₀を求める。

$OCR_0 = \text{酸素減少量 [mg]} / (\text{石炭試料重量 [g]} \cdot \text{測定時間 [day]})$

[0040] (測定結果) 図4及び図5は、酸素消費速度と積算酸素量との関係を表すグラフである。グラフの横軸の積算酸素量は、酸素減少量の積算量であり、また、酸化反応による石炭への酸素の蓄積量である。図4は石炭Aの測定結果であり、図5は石炭Bの測定結果である。図4及び図5のグラフより、次のことがわかる。積算酸素量が大きくなるほど、酸素消費速度が小さくなる。石炭の銘柄によって（例えば石炭Aと石炭Bとで）、酸素消費速度が異なる。O/C比が高いほど（石炭Aよりも石炭Bの方が）、酸素消費速度が速い傾向にある。

[0041] 各種物性値決定ステップS32は、反応速度決定ステップS33及び発熱速度決定ステップS34で用いられる石炭の物性値（失活特性以外の物性値）を決定するステップである。各種物性値決定ステップS32で決定される石炭の物性値は、活性化エネルギー ΔE 、反応次数 n 、固体密度 ρ_s 、発熱量 H 、及びパイル1内の空隙率 ε である。これらの物性値は、石炭やミニパイルの測定等により決定される。

[0042] 反応速度決定ステップS33は、石炭の酸化反応の反応速度（低温酸化反応速度 OCR ）を決定（解析により推算）するステップである。低温酸化反応速度 OCR は、酸素濃度 C 、及び温度 T 等に依存する。これらの関係は次の式（アレニウス式）で表現できる。

$$OCR = OCR_0 \cdot \exp \left[\left(-\Delta E / R \right) \left(1 / T - 1 / T_0 \right) \right] \cdot (C / 21)^n$$

OCR_0 : 酸素消費速度の実測値 [mg-O₂ / (g · day)]

ΔE : 活性化エネルギー [kJ / mol]

R : 気体定数 [kJ / (mol · K)]

T : 温度 [K]

T_0 : 初期温度 [K]

C : 酸素濃度 [mol %]

n : 反応次数 [－]

[0043] 発熱速度決定ステップS 3 4 は、石炭の酸化反応による発熱速度（発熱速度 Q ）を決定（解析により推算）するステップである。発熱速度決定ステップS 3 4 では、反応速度決定ステップS 3 3 で決定された低温酸化反応速度 OCR に基づいて発熱速度 Q が決定される。さらに詳しくは、発熱速度決定ステップS 3 4 では、酸素濃度 C （酸素濃度分布）および酸素消費速度の実測値 OCR 。（失活特性）に基づき決定された低温酸化反応速度 OCR に基づいて、発熱速度 Q が決定される。発熱速度 Q は次の式により導き出される。

$$Q = \Delta H \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \rho_s \cdot OCR$$

Q : 発熱速度（酸化反応による石炭の発熱速度） [$kca l / (m^3 \cdot day)$]

ΔH : 発熱量（酸化反応による石炭の発熱量） [$kca l / mg - O_2$]

ε : パイル1内の空隙率 [－]

ρ_s : 石炭の固体密度 [kg / m^3]

[0044] 有効熱伝導率の決定S 4 0 では、パイル1内の有効熱伝導率が決定される。有効熱伝導率を決定する理由は次の通りである。石炭の酸化により生じた熱（さらに詳しくは、酸化により生じた熱から、水の蒸発により奪われた熱を差し引いた熱）は、周囲に伝熱する。パイル1内の石炭の粒子間には空隙があるので、この伝熱の挙動は、パイル1の有効熱伝導率に依存する。そこで、有効熱伝導率の決定S 4 0 では、石炭熱伝導率決定ステップS 4 1 と、有効熱伝導率決定ステップS 4 2 と、が行われる。

[0045] 石炭熱伝導率決定ステップS 4 1 は、石炭の熱伝導率（石炭熱伝導率 k_s ）を決定するステップである。

[0046] 有効熱伝導率決定ステップS 4 2 は、パイル1の空隙率に基づく有効熱伝導率（有効熱伝導率 k_{eff} [$W / (m \cdot K)$]) を決定するステップである。有効熱伝導率 k_{eff} は、空気（流体）の熱伝導率と石炭（固体）の熱伝導率との体積平均として整理できる。有効熱伝導率 k_{eff} は、次の式で表される。

$$k_{eff} = \varepsilon k_f + (1 - \varepsilon) k_s$$

ε : パイル 1 内の空隙率 [—]

k_f : 空気の熱伝導率 [$W / (m \cdot K)$]

k_s : 石炭の熱伝導率 [$W / (m \cdot K)$]

[0047] 蒸発熱量の決定 S 5 0 では、石炭から水が蒸発（脱着）することにより石炭から奪われる熱量が決定される。蒸発の詳細は次の通りである。石炭への水分の吸着量（水分吸着量、水蒸気吸着量）は、相対圧（水蒸気圧／飽和水蒸気圧）に依存する（相対湿度に依存する）。例えば、石炭が温度上昇すると、石炭から水が蒸発し、蒸発した水がパイル 1 外（系外）に放出される。石炭から水が蒸発する際に、石炭から熱が奪われる。この熱は、石炭の酸化反応の発熱による熱量から賄われる。石炭への水分吸着量は、吸脱着特性（後述）に依存する。そこで、蒸発熱量の決定 S 5 0 では、吸脱着特性決定ステップ S 5 1 と、大気条件決定ステップ S 5 2 と、蒸発熱量決定ステップ S 5 3 と、が行われる。

[0048] 吸脱着特性決定ステップ S 5 1 は、石炭に対する水の吸脱着特性を決定するステップである。吸脱着特性決定ステップ S 5 1 では、相対圧と水分吸着量との関係が決定される。吸脱着特性は、石炭の銘柄によって異なる。

[0049] （測定方法）石炭に対する水の吸脱着特性は、例えば次の（S 5 1 - a）～（S 5 1 - d）のように測定される。（S 5 1 - a）石炭試料を 1 0 7 °C で 6 時間、減圧乾燥させる。（S 5 1 - b）その後、圧力操作を行うことができる容器内に、この石炭試料を入れる。（S 5 1 - c）この容器内に水蒸気を供給する。（S 5 1 - d）容器内の温度を一定に保ち、相対圧と水分吸着量との関係を測定する。水分吸着量は、気体状態方程式（ $P V = n R T$ ）から求めることができる。さらに詳しくは、測定中に、容器内の水蒸気の体積 V 、気体定数 R 、容器内の温度 T は一定である。よって、容器内の水蒸気圧 P の変化より、石炭試料に吸着した水分子のモル数 n を求めることができる。その結果、石炭試料中の水分 [%] を導き出せる。

[0050] （測定結果）図 6 及び図 7 に、4 0 °C における吸脱着特性の測定結果を示す。図 6 及び図 7 は、相対圧と平衡水分（石炭に対する水の吸脱着が平衡状

態のときの石炭試料中の水分)との関係を表すグラフである。図6は石炭Aの測定結果であり、図7は石炭Bの測定結果である。

- [0051] 大気条件決定ステップS52は、パイル1付近(パイル1の周辺、又は、パイル1内)の、空気の条件(大気条件)を決定するステップである。決定される大気条件は、例えば大気温度および湿度などである。
- [0052] 蒸発熱量決定ステップS53は、石炭から水が蒸発する際の蒸発熱量を決定するステップである。蒸発熱量決定ステップS53では、吸脱着特性決定ステップS51で決定された吸脱着特性と、大気条件決定ステップS52で決定された大気条件と、に基づいて蒸発熱量を決定する。蒸発熱量は、石炭から蒸発する水分量 $[g]$ と、蒸発潜熱 $(2259 [J/g])$ と、から求められる。
- [0053] 温度分布予測値決定ステップS60は、パイル1内の温度分布の経時変化の予測値(温度分布予測値)を解析により決定するステップである。温度分布予測値決定ステップS60では、物性値決定ステップSp(後述)で決定された石炭の物性値に基づいて、温度分布予測値が決定される。温度分布予測値決定ステップS60では、発熱速度決定ステップS34で(発熱速度の決定S10で)決定された発熱速度 Q に基づいて、温度分布予測値が決定される。温度分布予測値決定ステップS60では、有効熱伝導率決定ステップS42で(有効熱伝導率の決定S40で)決定された有効熱伝導率 k_{eff} に基づいて、温度分布予測値が決定される。温度分布予測値決定ステップS60では、蒸発熱量決定ステップS53で(蒸発熱量の決定S50で)決定された蒸発熱量に基づいて、温度分布予測値が決定される。温度分布予測値決定ステップS60では、化学反応、流体、伝熱、及びガス拡散が考慮されて、温度分布予測値が決定される。温度分布予測値決定ステップS60では、上述した各ステップで用いられた条件(関係式や値)以外の条件が解析に用いられてもよい。
- [0054] この温度分布予測値決定ステップS60で予測される「温度分布」には、パイル1内の「複数の部位」それぞれの位置および温度の情報が含まれる。

上記「複数の部位」は、例えば、パイル1の断面における上下および左右それぞれ数cm間隔（例えば1cm間隔）で設定される。また例えば、「複数の部位」は、実験による粒子径分布決定ステップS21においてミニパイルから石炭を採取した部位1a～1eに対応するパイル1の部位1a～1e（例えば5か所）である。また例えば、「複数の部位」は、部位1a～1e同士の間や、部位1a～1eの周辺などである。上記「経時変化の予測値」は、複数の時刻それぞれの予測値である。上記「複数の時刻」同士の間隔は、例えば数時間、また例えば1日、また例えば複数日などである。

[0055] 物性値決定ステップSpは、パイル1を構成する石炭の物性値を決定するステップである。物性値決定ステップSpには、粒子径分布決定ステップS21、通気抵抗係数決定ステップS22、失活特性決定ステップS31、各種物性値決定ステップS32、石炭熱伝導率決定ステップS41、及び吸脱着特性決定ステップS51が含まれる。

[0056] （解析結果1）

自然発火予測方法S1を用いて、パイル1内の温度の経時変化を予測（解析）した。石炭Aおよび石炭Bそれぞれについて解析を行った。パイル1をたてた時から30日間について解析を行った。部位1a（裾野部）、部位1b（中腹部）、及び部位1c（頂上部）について解析を行った。この解析では、高さ $h = 15$ [m]の円錐状のパイル1を対象とした。解析結果を図8（石炭Aの結果）及び図9（石炭Bの結果）に示す。図8及び図9は、貯炭日数と温度との関係を示すグラフである。この結果から、次のことがわかる。石炭Aと石炭Bとを比較すると、高O/C炭である石炭B（石炭AよりもO/C比が高い石炭B）の方が、石炭Aよりも温度が上がりやすい。特に石炭Bでは、部位1a（他の部位に比べ大粒子径の石炭が多い部位）において、他の部位に比べて温度上昇が顕著である。具体的には、石炭Bにおいて、貯炭日数：0日目～6日目では、部位1aで温度上昇が顕著である。石炭Bにおいて、貯炭日数：13日目～30日目では、部位1bの温度が他の部位に比べて高い。石炭Bにおいて、貯炭日数：30日目では、部位1bと部位

1 c とでほぼ同じ温度である。

[0057] (解析結果 2)

自然発火予測方法 S 1 を用いて、貯炭日数：24 日目の、パイル 1 内の酸素濃度分布および温度分布を予測（解析）した。解析結果を図 10～図 13 に示す。図 10～図 13 に示す三角形は、左右対称のパイル 1 の断面の右半分の部分である（後述する図 14 についても同様）。酸素濃度分布の解析結果を、図 10（石炭 A の結果）及び図 11（石炭 B の結果）に示す。この結果から、パイル 1 の裾野部（図 1 の部位 1 a 付近）の酸素濃度が他の部分に比べて高いことがわかる。温度分布の解析結果を、図 12（石炭 A の結果）及び図 13（石炭 B の結果）に示す。図 13 から次のことがわかる。高温スポット（パイル 1 の中で最も温度が高くなる部位）の温度（温度レベル）は、約 70℃である。高温スポットの位置は、中腹部（図 1 の部位 1 b）の近傍である。さらに詳しくは、高温スポットの位置は、パイル 1 の下端（0 m）から上に約 5 m の位置、かつ、パイル 1 の左右方向 X の中央（0 m）から外側（図 13 における右側）に約 1.1 m の位置である。

[0058] (実測結果)

上記の解析の信頼性を検証するために、パイル 1 内の温度分布について、解析結果と実測結果とを比較した。具体的には、図 13 の解析結果に対応するパイル 1（実物）について、温度分布を実測した。実測に用いたパイル 1 は、石炭 B により構成され、高さ $h = 1.5$ [m] であり、円錐状のものであり、貯炭日数は 24 日目である。なお、温度の測定箇所数は 15 であり、測定箇所の間隔は、上下方向は 2.5 m、左右方向 X（図 1 参照）は約 2～3 m である（パイル 1 の下部よりも上部で間隔を大きくした）。パイル内の温度分布の実測結果を図 14 に示す。図 13 に示す解析結果と、図 14 に示す実測結果とを比較すると、高温スポットの位置（詳細は上述）、及び、温度レベル（約 70℃）が良好に一致していることがわかる。

[0059] (効果 1)

次に、図 2 に示す自然発火予測方法 S 1 による効果を説明する。自然発火

予測方法 S 1 は、パイル 1（石炭貯蔵施設内の石炭層）を構成する石炭の自然発火を予測する方法である。自然発火予測方法 S 1 は、石炭の物性値を決定する物性値決定ステップ S p と、温度分布予測値決定ステップ S 6 0 と、を有する。

〔構成 1〕 温度分布予測値決定ステップ S 6 0 は、物性値決定ステップ S p で決定された物性値に基づいて、パイル 1 内の温度分布の経時変化の予測値である温度分布予測値を解析により決定するステップである。

[0060] 上記〔構成 1〕では、温度分布予測値決定ステップ S 6 0 で決定される温度分布予測値は、石炭の物性値に基づいて決定される。石炭の物性値を決定するには、石炭があればよく、実物のパイル 1 をたてる必要はない。よって、パイル 1 をたてるのに必要なコストや労力を削減できる。

[0061] 上記〔構成 1〕のように、温度分布予測値とは、パイル 1 内の温度分布の経時変化の予測値である。よって、温度分布予測値を決定すれば、石炭が自然発火温度に達する時（例えば貯炭日数）、及び、自然発火温度に達する位置（部位）を予測できる。その結果、石炭を自然発火させずに貯炭し得る貯炭日数の上限（払い出し日数の上限）を決定できる。

[0062] （効果 2）

自然発火予測方法 S 1 は、石炭の酸化反応による発熱速度 Q を決定する発熱速度決定ステップ S 3 4 を有する。

〔構成 2〕 温度分布予測値決定ステップ S 6 0 では、発熱速度決定ステップ S 3 4 で決定された発熱速度 Q に基づいて温度分布予測値が決定される。

[0063] パイル 1 内の温度変化は、石炭の酸化反応による発熱に大きく依存する。そこで、上記〔構成 2〕では、酸化反応による発熱速度 Q に基づいて、温度分布予測値が決定される。よって、温度分布予測値をより確実に予測できる。

[0064] （効果 3）

自然発火予測方法 S 1 は、パイル 1 内の酸素濃度分布を決定する酸素濃度決定ステップ S 2 4 を有する。

〔構成 3〕 発熱速度決定ステップ S 3 4 では、酸素濃度決定ステップ S 2 4 で決定された酸素濃度分布に基づいて発熱速度 Q が決定される。

[0065] 石炭の酸化反応による発熱速度 Q は、パイル 1 内の酸素濃度分布に大きく依存する。そこで、上記〔構成 3〕では、酸素濃度分布に基づいて発熱速度が決定される。よって、発熱速度 Q を確実に予測でき、その結果、温度分布予測値をより確実に予測できる。

[0066] (効果 4)

自然発火予測方法 S 1 は、粒子径分布決定ステップ S 2 1 と、圧力損失決定ステップ S 2 3 と、を有する。

〔構成 4-1〕 粒子径分布決定ステップ S 2 1 は、パイル 1 内の石炭の粒子径分布を決定するステップである。

〔構成 4-2〕 圧力損失決定ステップ S 2 3 は、ある粒子径の（ある部位の）石炭粒子群を通る気体の圧力損失 $\Delta P / L$ を、複数の粒子径それぞれについて（例えば部位 1 a ~ 1 e について）決定するステップである。

〔構成 4-3〕 酸素濃度決定ステップ S 2 4 は、粒子径分布決定ステップ S 2 1 で決定された粒子径分布、及び、圧力損失決定ステップ S 2 3 で決定された圧力損失 $\Delta P / L$ 、に基づいて酸素濃度分布を決定するステップである。

[0067] パイル 1 内の酸素濃度分布は、パイル 1 内の圧力損失 $\Delta P / L$ に依存する。圧力損失 $\Delta P / L$ は、石炭の粒子径に依存する。そこで、上記〔構成 4-1〕 ~ 〔構成 4-3〕では、複数の粒子径それぞれの圧力損失 $\Delta P / L$ と、粒子径分布と、に基づいて酸素濃度分布が決定される。よって、酸素濃度分布を確実に予測でき、その結果、発熱速度 Q 、及び温度分布予測値をより確実に予測できる。

[0068] (効果 5)

〔構成 5-1〕 自然発火予測方法 S 1 は、ある粒子径の（ある部位の）石炭粒子群を通る気体の流速 u と圧力損失 $\Delta P / L$ との関係から通気抵抗係数 k を決定する通気抵抗係数決定ステップ S 2 2 を有する。

〔構成５－２〕圧力損失決定ステップＳ２３は、通気抵抗係数決定ステップＳ２２で決定された通気抵抗係数 k 、及び、石炭の温度変化に伴い経時変化する流速 u 、に基づいて圧力損失 $\Delta P/L$ を決定する。

[0069] ある粒子径の石炭粒子群を通る気体の圧力損失 $\Delta P/L$ は、この気体の流速 u に依存する。この流速は、経時変化する。そこで、上記〔構成５－１〕では、流速 u と圧力損失 $\Delta P/L$ との関係から通気抵抗係数 k が決定される。そして、上記〔構成５－２〕では、経時変化する流速 u と通気抵抗係数 k とに基づいて圧力損失 $\Delta P/L$ が決定される。よって、圧力損失 $\Delta P/L$ を確実に予測でき、その結果、酸素濃度分布、発熱速度 Q 、及び温度分布予測値をより確実に予測できる。

[0070] (効果６)

自然発火予測方法Ｓ１は、石炭の酸化反応の反応速度の失活特性を決定する失活特性決定ステップＳ３１を有する。

〔構成６〕発熱速度決定ステップＳ３４は、失活特性決定ステップＳ３１で決定された失活特性に基づいて発熱速度 Q を決定する。

[0071] 上述したように、石炭の酸化反応には失活特性がある。そこで、上記〔構成６〕では、失活特性に基づいて発熱速度 Q が決定される。よって、発熱速度を確実に予測でき、その結果、温度分布予測値をより確実に予測できる。

[0072] (効果７)

自然発火予測方法Ｓ１は、パイル１内の空隙率に基づく有効熱伝導率 k_{eff} を決定する有効熱伝導率決定ステップＳ４２を有する。

〔構成７〕温度分布予測値決定ステップＳ６０は、有効熱伝導率決定ステップＳ４２で決定された有効熱伝導率 k_{eff} に基づいて温度分布予測値を決定する。

[0073] パイル１を構成する石炭は粒子なので、パイル１内には空隙がある。そのため、パイル１内の熱伝導はパイル１内の空隙率に基づく有効熱伝導率 k_{eff} に依存する。そこで、上記〔構成７〕では、有効熱伝導率 k_{eff} に基づいて温度分布予測値が決定される。よって、温度分布予測値をより確実に予測でき

る。

[0074] (効果 8)

自然発火予測方法 S 1 は、石炭に対する水の吸脱着特性を決定する吸脱着特性決定ステップ S 5 1 と、パイル 1 付近の大気条件を決定する大気条件決定ステップ S 5 2 と、蒸発熱量決定ステップ S 5 3 と、を有する。

[構成 8-1] 蒸発熱量決定ステップ S 5 3 は、吸脱着特性決定ステップ S 5 1 で決定された吸脱着特性、及び、大気条件決定ステップ S 5 2 で決定された大気条件、に基づいて石炭から水が蒸発する際の蒸発熱量を決定するステップである。

[構成 8-2] 温度分布予測値決定ステップ S 6 0 は、蒸発熱量決定ステップ S 5 3 で決定された蒸発熱量に基づいて温度分布予測値を決定する。

[0075] 石炭中の水が蒸発する際に石炭から奪われる熱量（蒸発熱量）は、上述したように、吸脱着特性および大気条件に依存する。そこで、上記 [構成 8-1] 及び [構成 8-2] では、吸脱着特性および大気条件に基づいて温度分布予測値が決定される。よって、温度分布予測値をより確実に予測できる。

[0076] (変形例)

上記実施形態は様々に変形できる。例えば、図 2 に示す各ステップの順序を、図 2 に示す順序以外の順序に変更してもよい（温度分布予測値決定ステップ S 6 0 で温度分布予測値を決定できる範囲内であれば、変更してもよい）。例えば、発熱速度の決定 S 1 0 と、有効熱伝導率の決定 S 4 0 と、蒸発熱量の決定 S 5 0 とは、図 2 に示す順に行う必要はない。また、例えば、各種物性値決定ステップ S 3 2 は、自然発火予測方法 S 1 の最初（例えば粒子径分布決定ステップ S 2 1 の前）に行われてもよい。

[0077] 本発明を特定の態様を参照して詳細に説明したが、本発明の精神と範囲を離れることなく様々な変更および修正が可能であることは、当業者にとって明らかである。

なお、本出願は、2014 年 1 月 15 日付けで出願された日本特許出願（特願 2014-005154）に基づいており、その全体が引用により援用

される。

符号の説明

- [0078] 1 パイル（石炭貯蔵施設内の石炭層）
- S 1 自然発火予測方法
- S 1 0 発熱速度の決定
- S 2 0 酸素濃度の決定
- S 2 1 粒子径分布決定ステップ
- S 2 2 通気抵抗係数決定ステップ
- S 2 3 圧力損失決定ステップ
- S 2 4 酸素濃度決定ステップ
- S 3 0 反応速度等の決定
- S 3 1 失活特性決定ステップ
- S 3 2 各種物性値決定ステップ
- S 3 3 反応速度決定ステップ
- S 3 4 発熱速度決定ステップ
- S 4 0 有効熱伝導率の決定
- S 4 1 石炭熱伝導率決定ステップ
- S 4 2 有効熱伝導率決定ステップ
- S 5 0 蒸発熱量の決定
- S 5 1 吸脱着特性決定ステップ
- S 5 2 大気条件決定ステップ
- S 5 3 蒸発熱量決定ステップ
- S 6 0 温度分布予測値決定ステップ
- S p 物性値決定ステップ

請求の範囲

- [請求項1] 石炭貯蔵施設内の石炭層を構成する石炭の自然発火予測方法であって、
- 前記石炭の物性値を決定する物性値決定ステップと、
- 前記物性値決定ステップで決定された前記物性値に基づいて、前記石炭層内の温度分布の経時変化の予測値である温度分布予測値を解析により決定する温度分布予測値決定ステップと、
- を有する石炭の自然発火予測方法。
- [請求項2] 前記石炭の酸化反応による発熱速度を決定する発熱速度決定ステップを有し、
- 前記温度分布予測値決定ステップは、前記発熱速度決定ステップで決定された前記発熱速度に基づいて前記温度分布予測値を決定する、
- 請求項1に記載の石炭の自然発火予測方法。
- [請求項3] 前記石炭層内の酸素濃度分布を決定する酸素濃度決定ステップを有し、
- 前記発熱速度決定ステップは、前記酸素濃度決定ステップで決定された前記酸素濃度分布に基づいて前記発熱速度を決定する、
- 請求項2に記載の石炭の自然発火予測方法。
- [請求項4] 前記石炭層内の前記石炭の粒子径分布を決定する粒子径分布決定ステップと、
- ある前記粒子径の石炭粒子群を通る気体の圧力損失を、複数の前記粒子径それぞれについて決定する圧力損失決定ステップと、
- を有し、
- 前記酸素濃度決定ステップは、前記粒子径分布決定ステップで決定された前記粒子径分布、及び、前記圧力損失決定ステップで決定された前記圧力損失、に基づいて前記酸素濃度分布を決定する、
- 請求項3に記載の石炭の自然発火予測方法。
- [請求項5] ある前記粒子径の石炭粒子群を通る気体の流速と圧力損失との関係

から通気抵抗係数を決定する通気抵抗係数決定ステップを有し、

前記圧力損失決定ステップは、前記通気抵抗係数決定ステップで決定された前記通気抵抗係数、及び、前記石炭の温度変化に伴い経時変化する前記流速、に基づいて前記圧力損失を決定する、

請求項 4 に記載の石炭の自然発火予測方法。

[請求項6] 前記石炭の酸化反応の反応速度の失活特性を決定する失活特性決定ステップを有し、

前記発熱速度決定ステップは、前記失活特性決定ステップで決定された前記失活特性に基づいて前記発熱速度を決定する、

請求項 2 ～ 5 のいずれかに記載の石炭の自然発火予測方法。

[請求項7] 前記石炭層内の空隙率に基づく有効熱伝導率を決定する有効熱伝導率決定ステップを有し、

前記温度分布予測値決定ステップは、前記有効熱伝導率決定ステップで決定された前記有効熱伝導率に基づいて前記温度分布予測値を決定する、

請求項 1 に記載の石炭の自然発火予測方法。

[請求項8] 前記石炭に対する水の吸脱着特性を決定する吸脱着特性決定ステップと、

前記石炭層付近の大気条件を決定する大気条件決定ステップと、

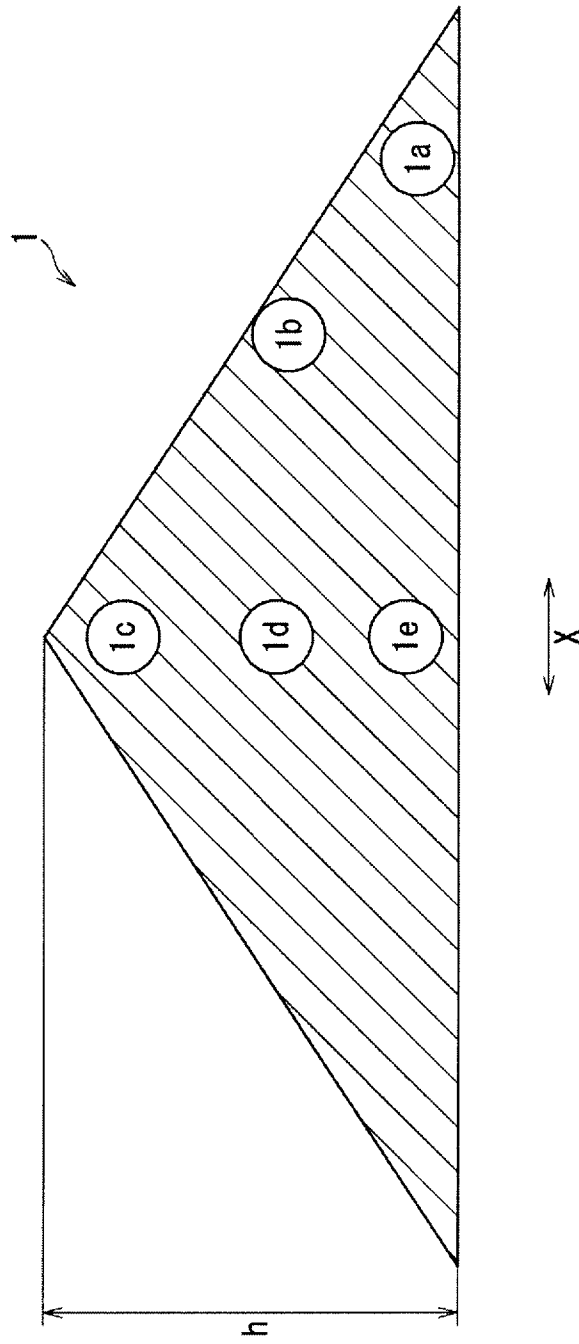
前記吸脱着特性決定ステップで決定された前記吸脱着特性、及び、前記大気条件決定ステップで決定された前記大気条件、に基づいて前記石炭から水が蒸発する際の蒸発熱量を決定する蒸発熱量決定ステップと、

を有し、

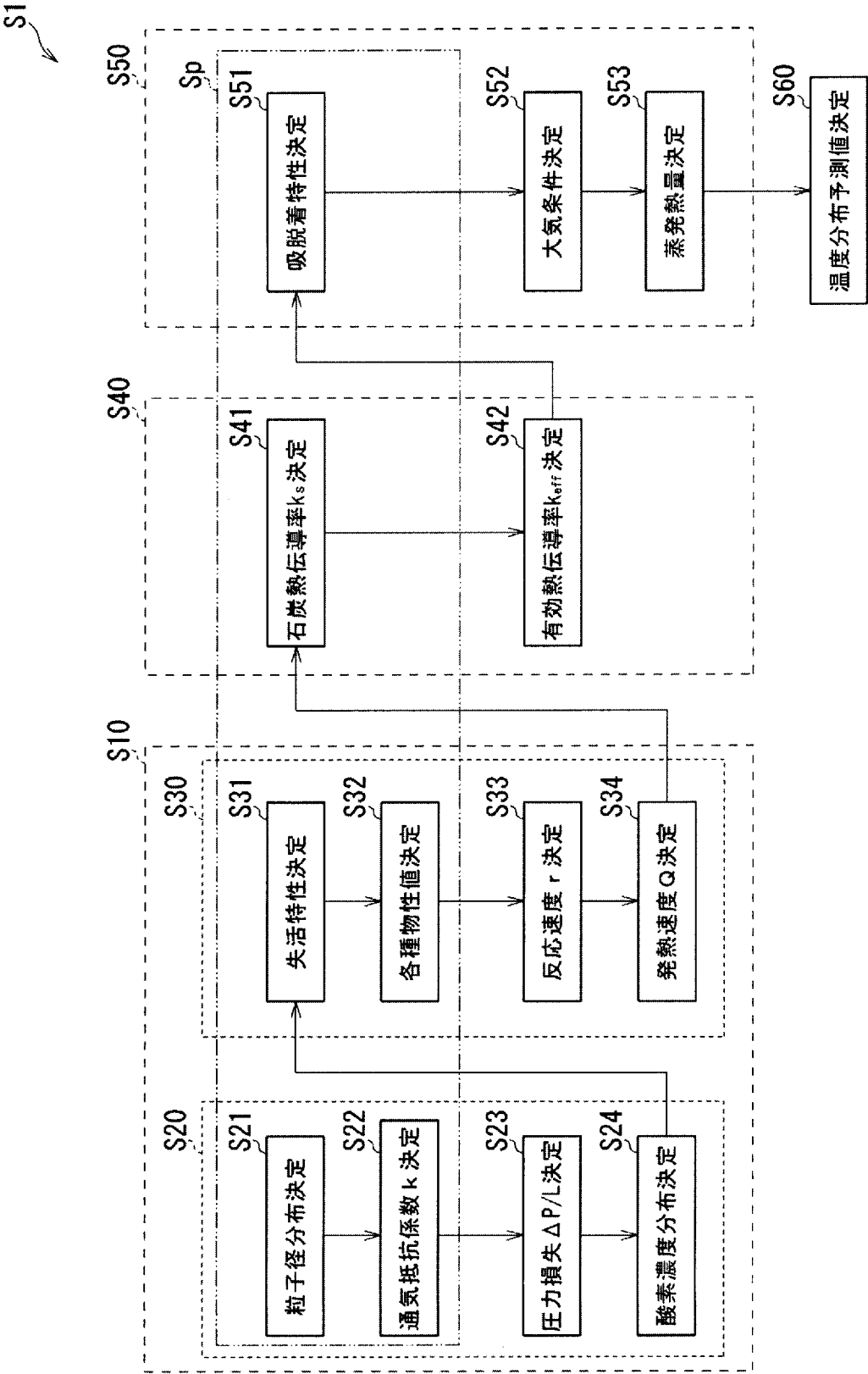
前記温度分布予測値決定ステップは、前記蒸発熱量決定ステップで決定された前記蒸発熱量に基づいて前記温度分布予測値を決定する、

請求項 1 に記載の石炭の自然発火予測方法。

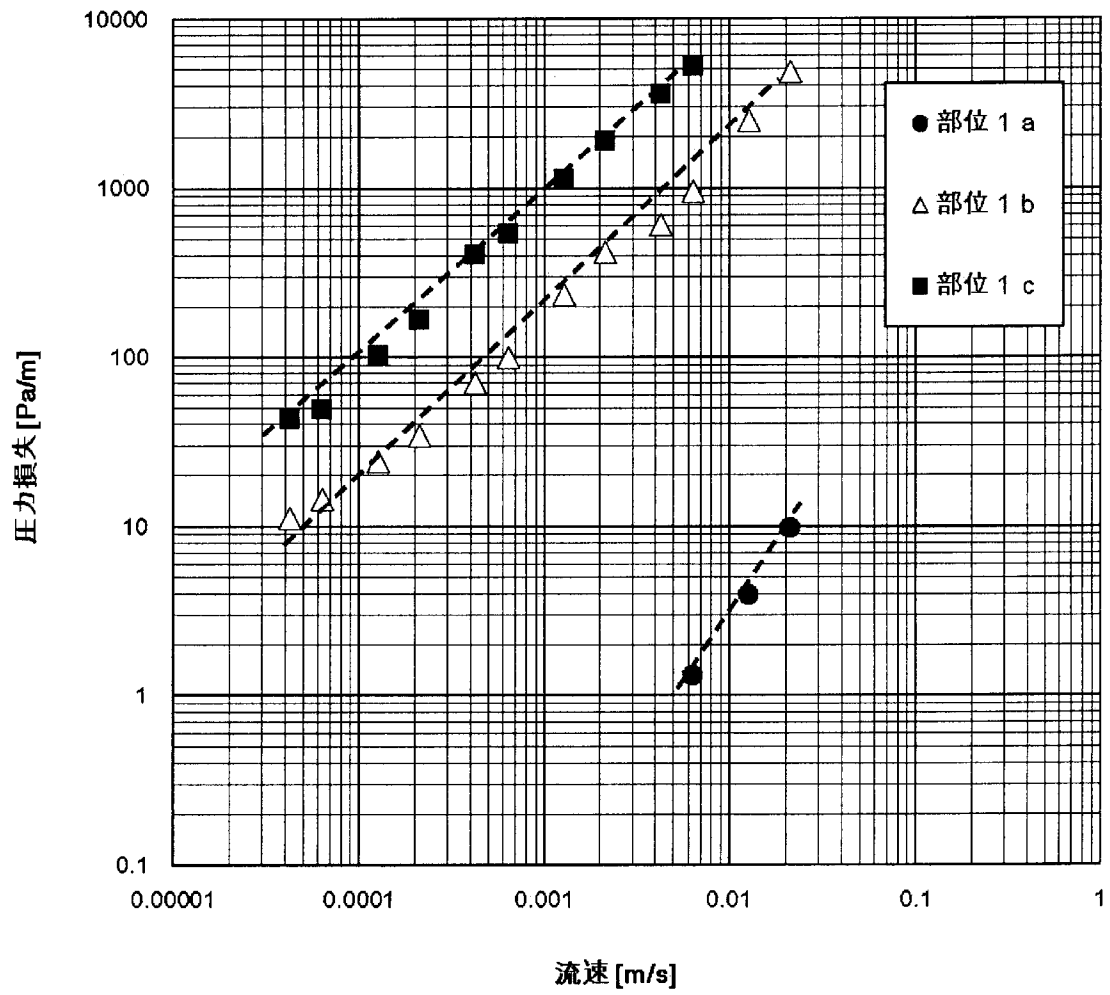
[図1]



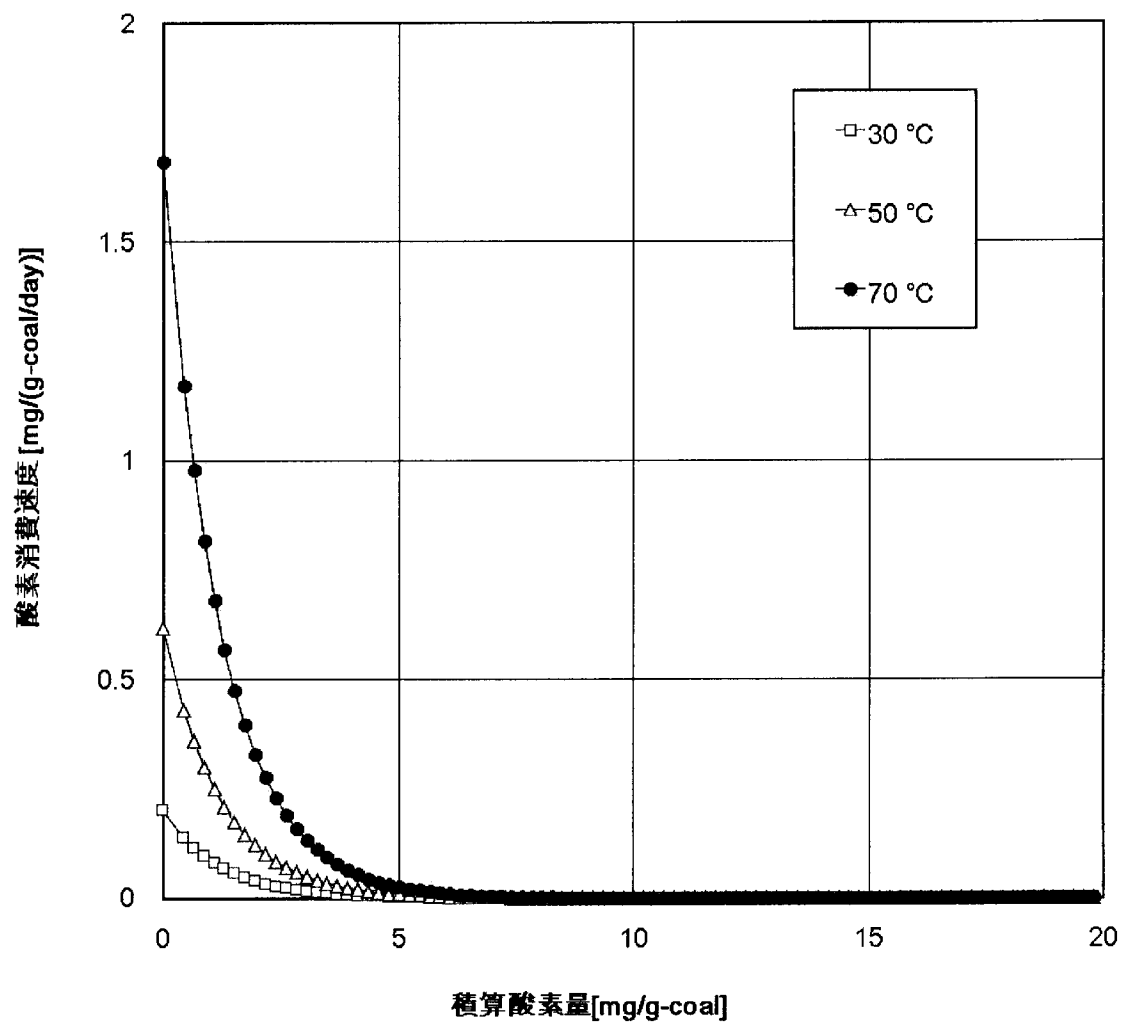
[図2]



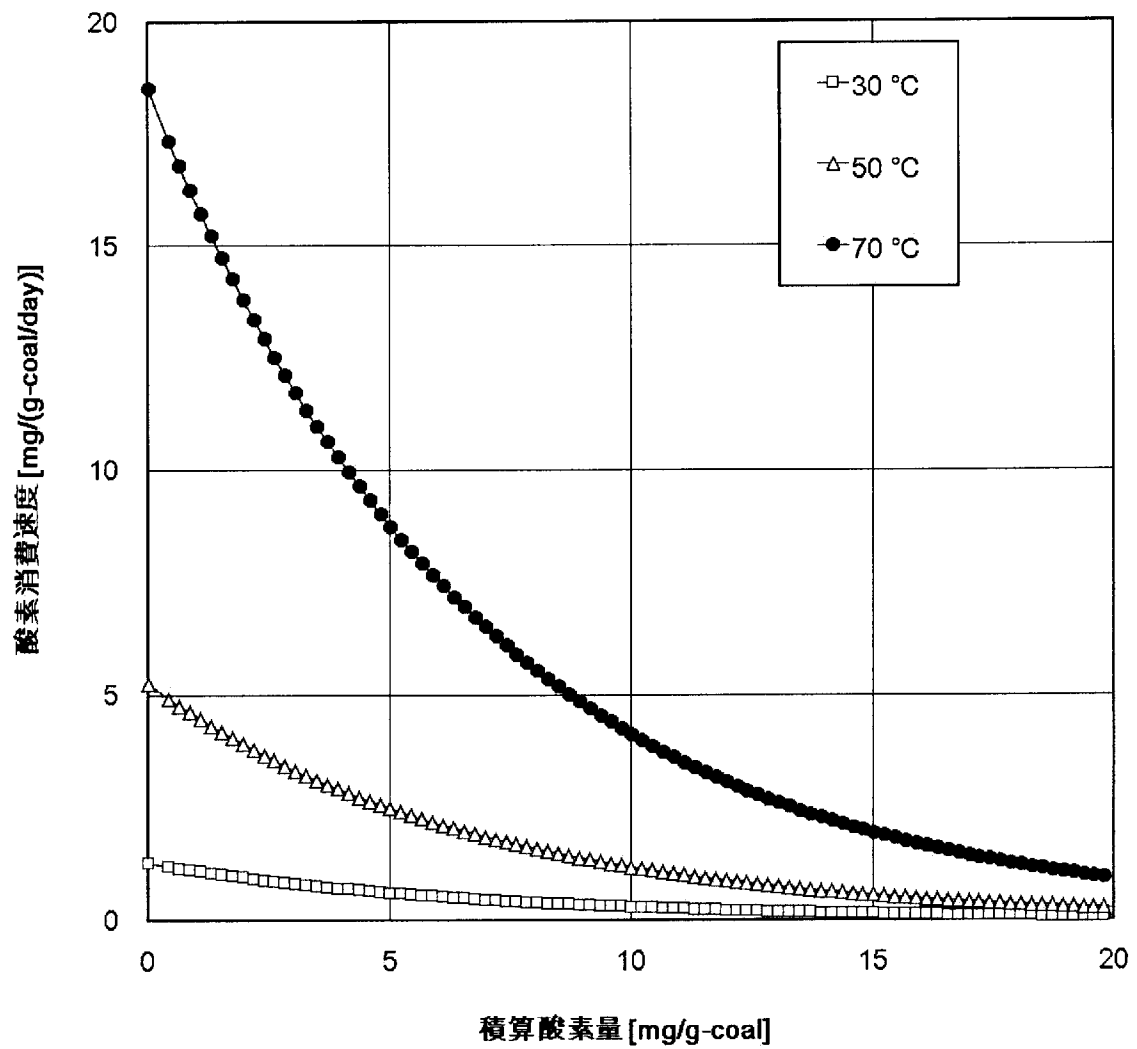
[図3]



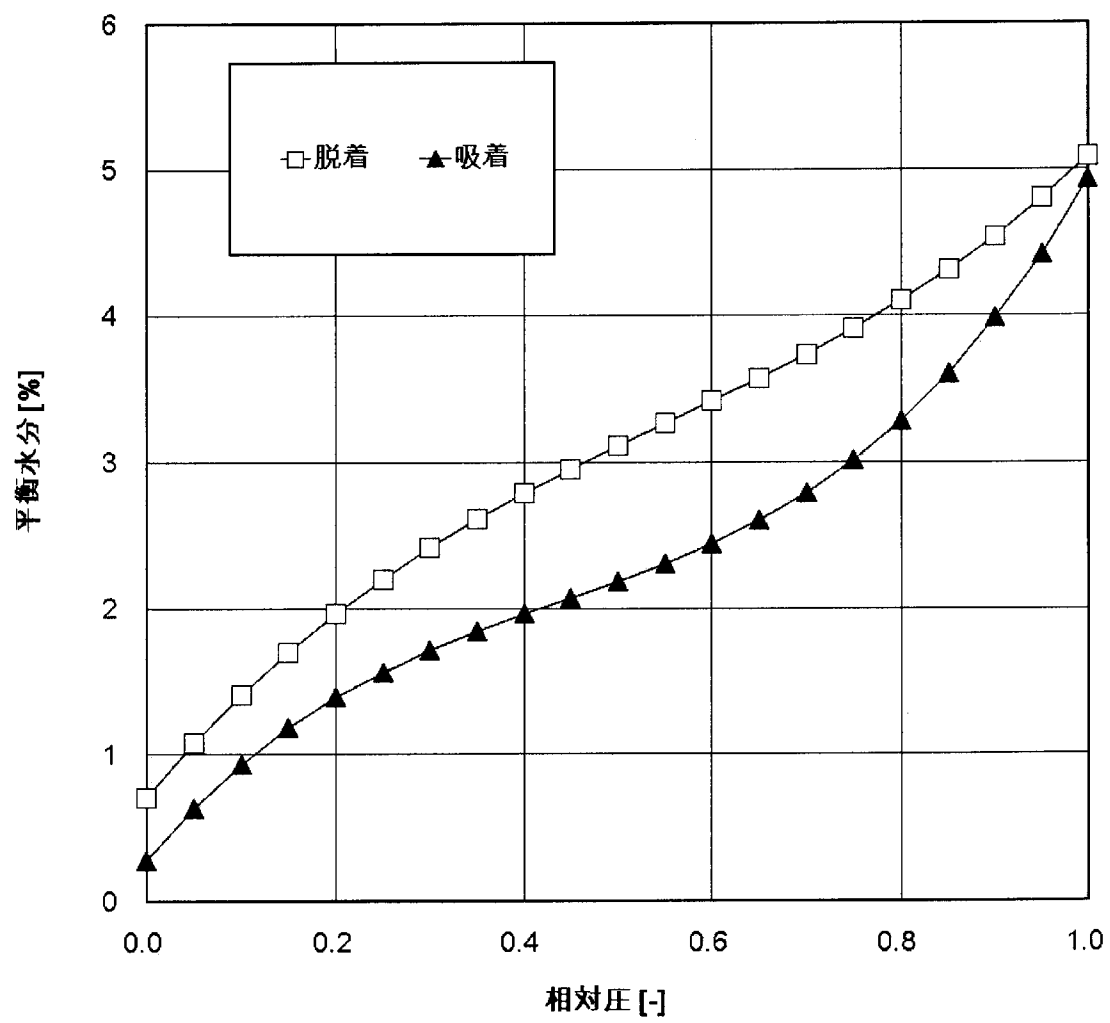
[図4]



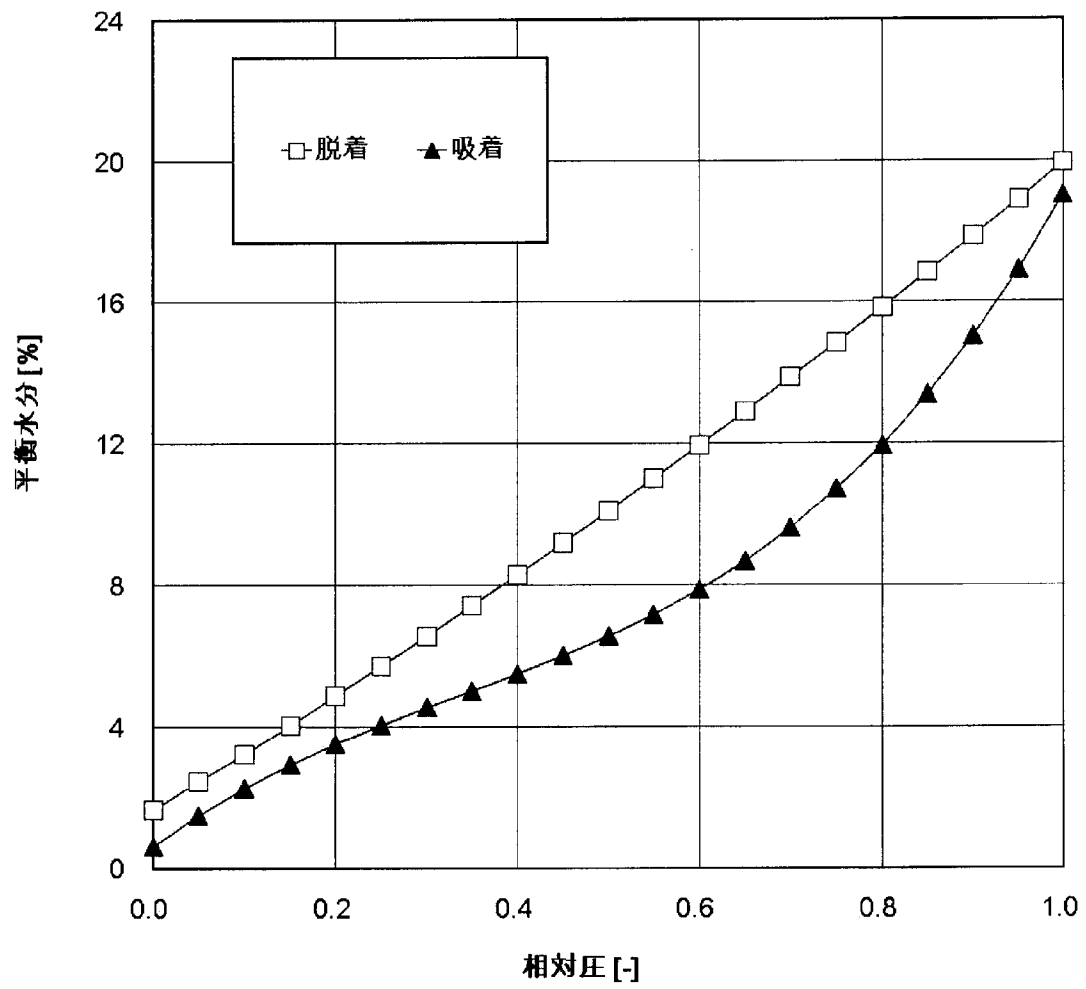
[図5]



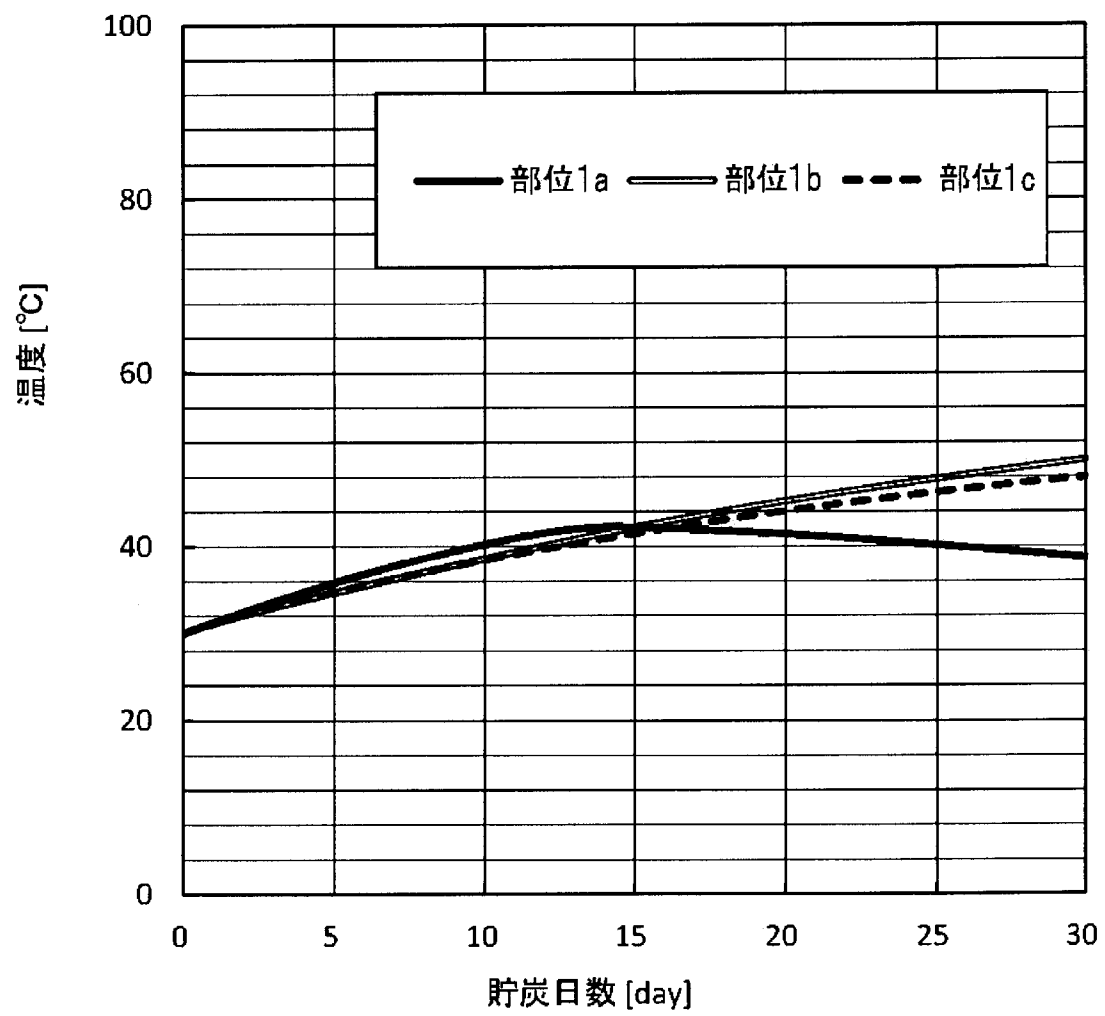
[図6]



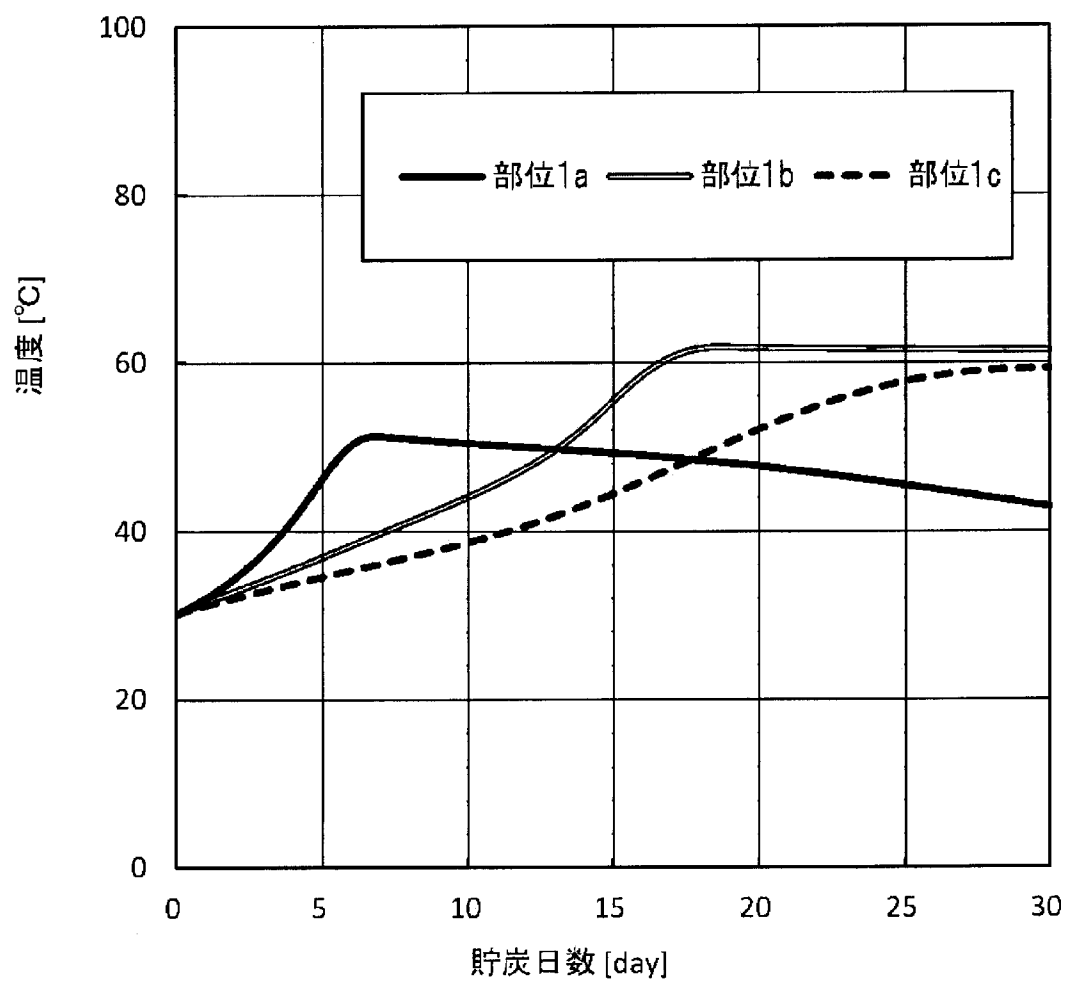
[図7]



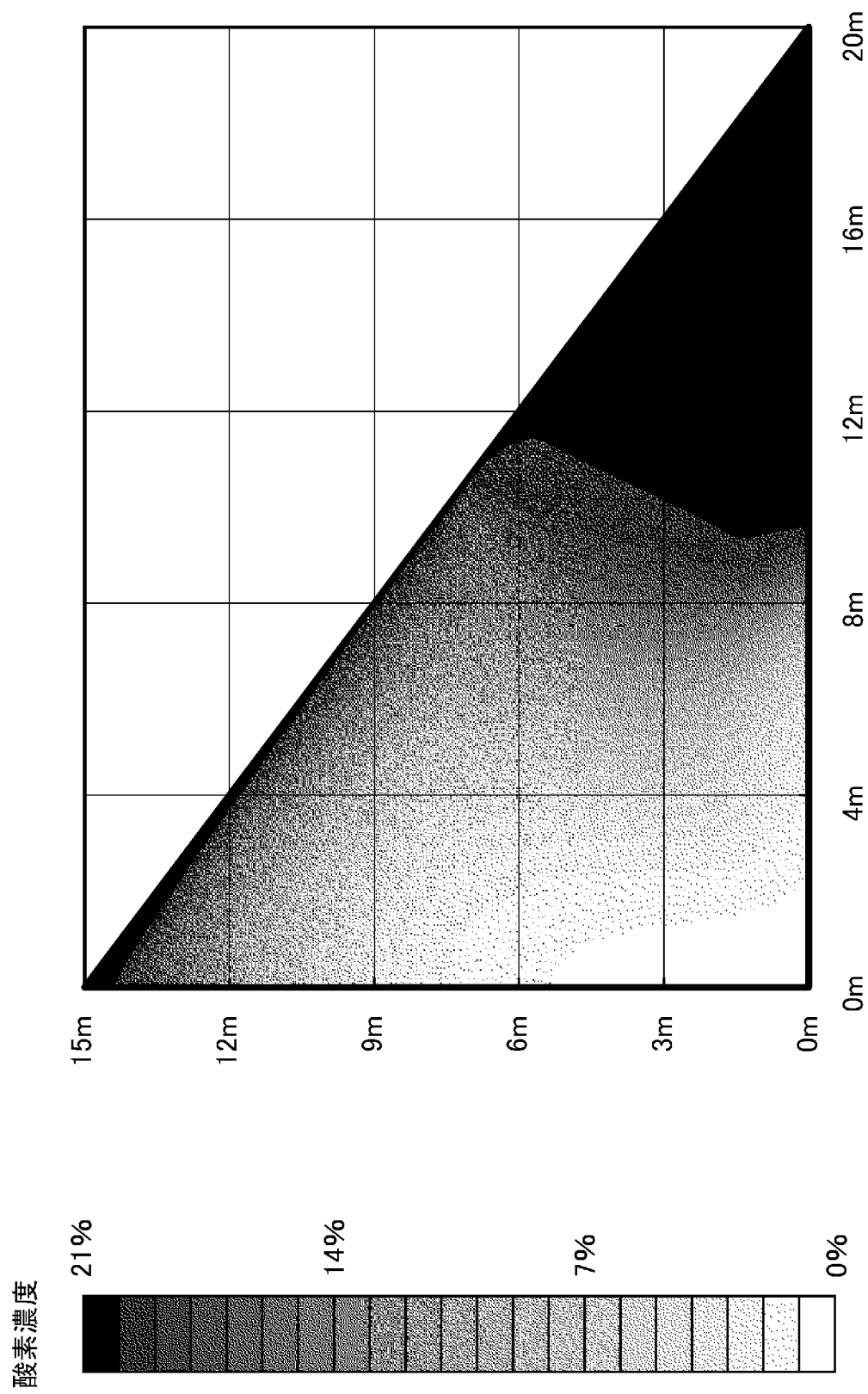
[図8]



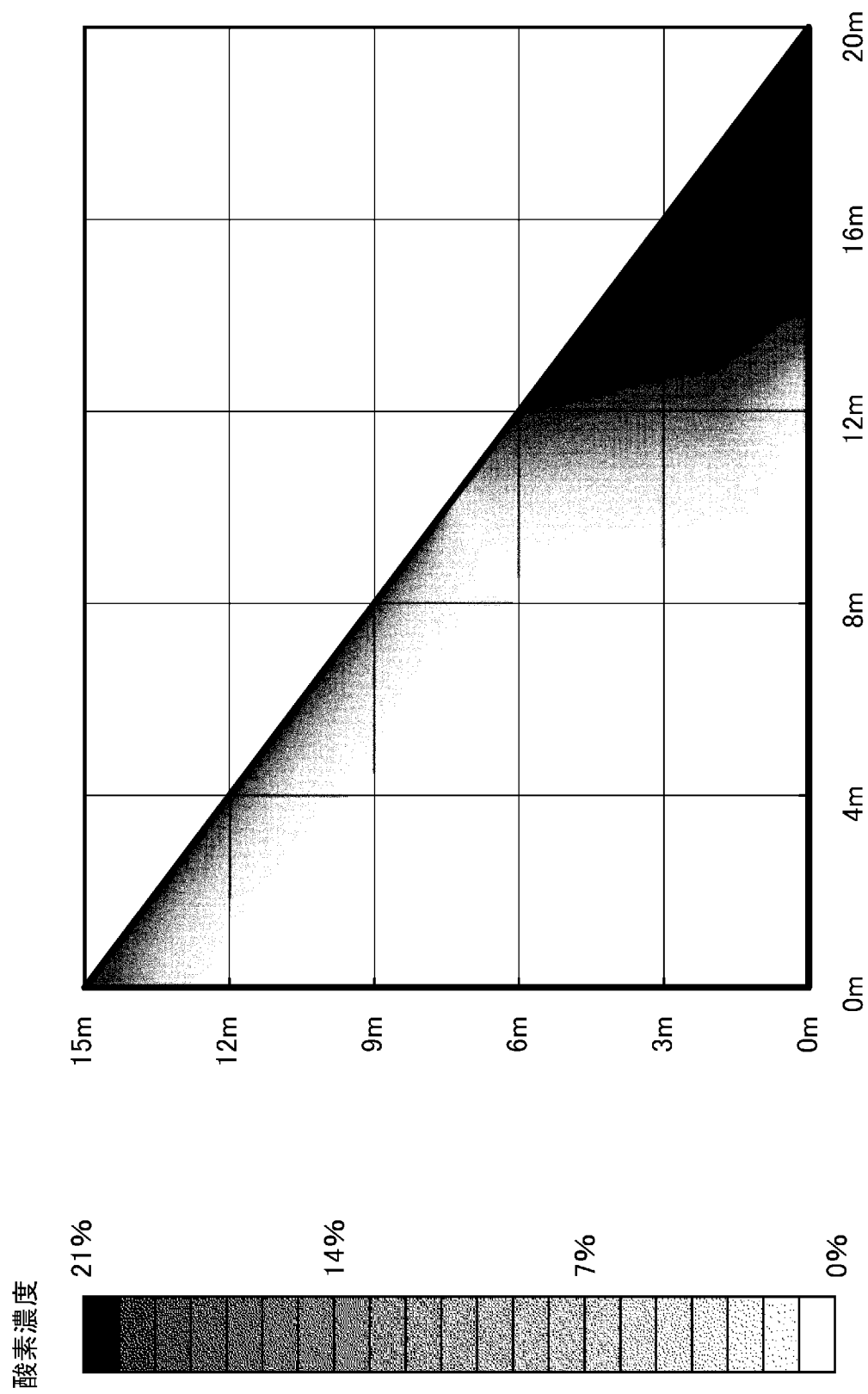
[図9]



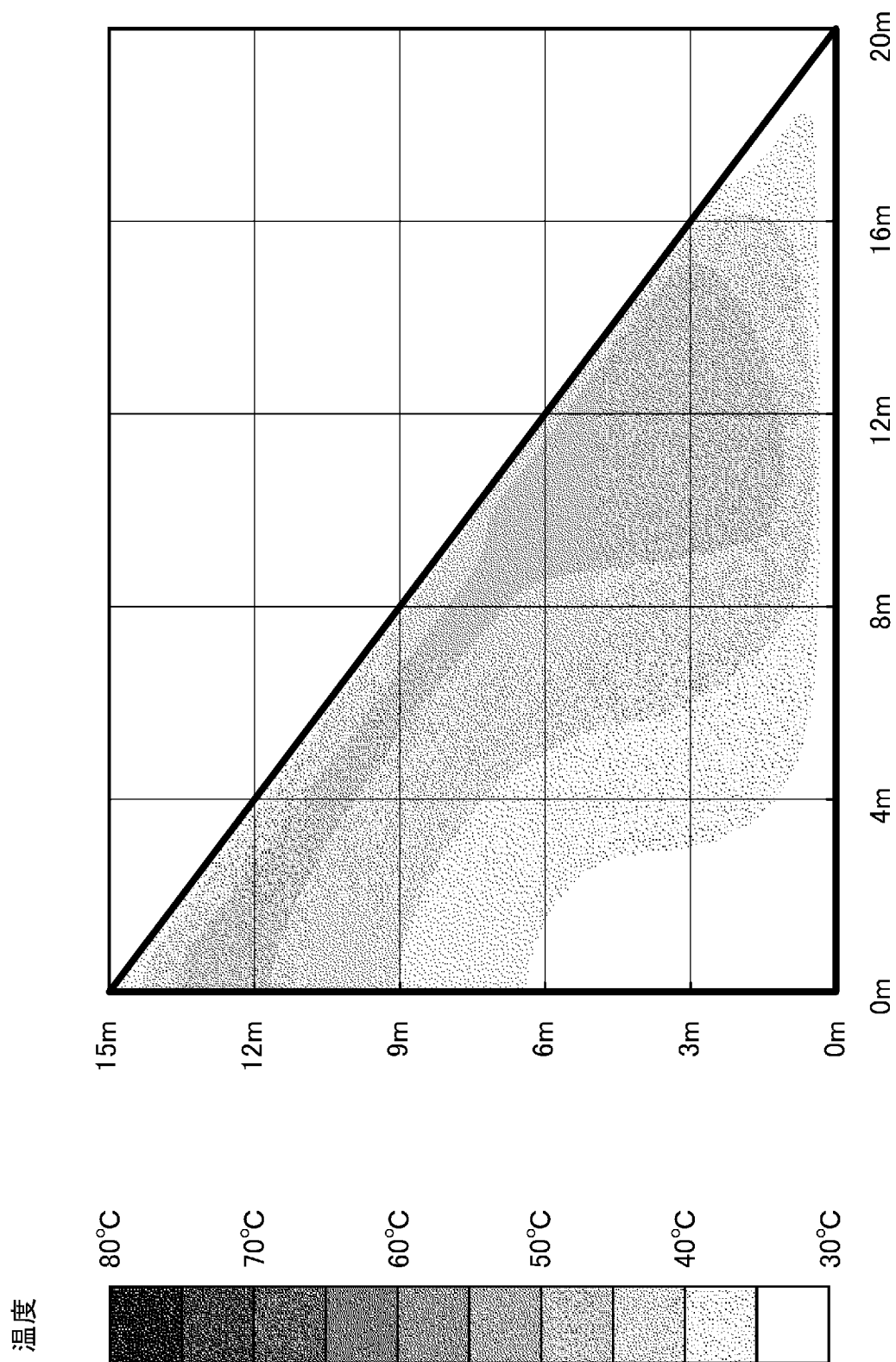
[図10]



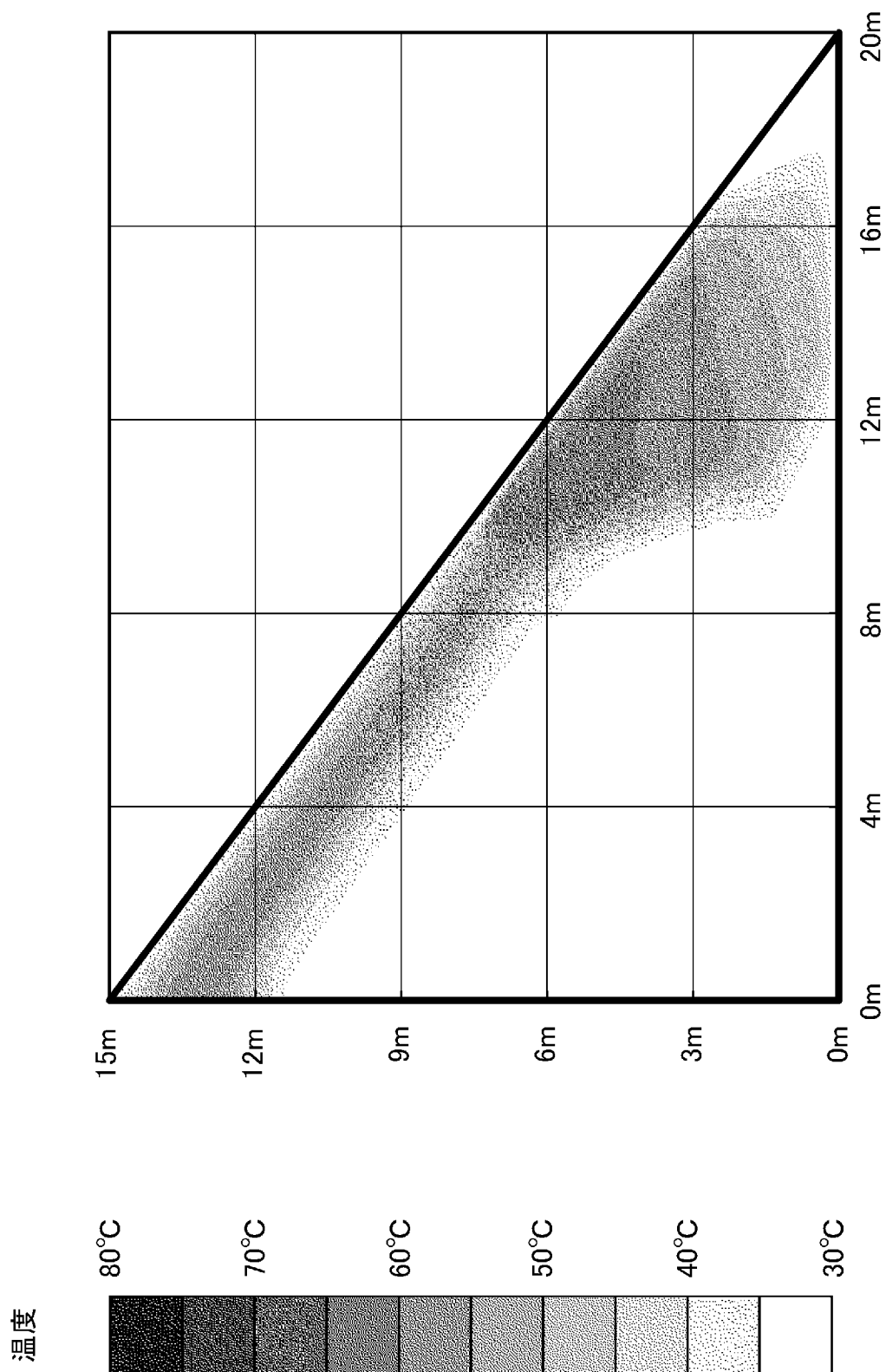
[図11]



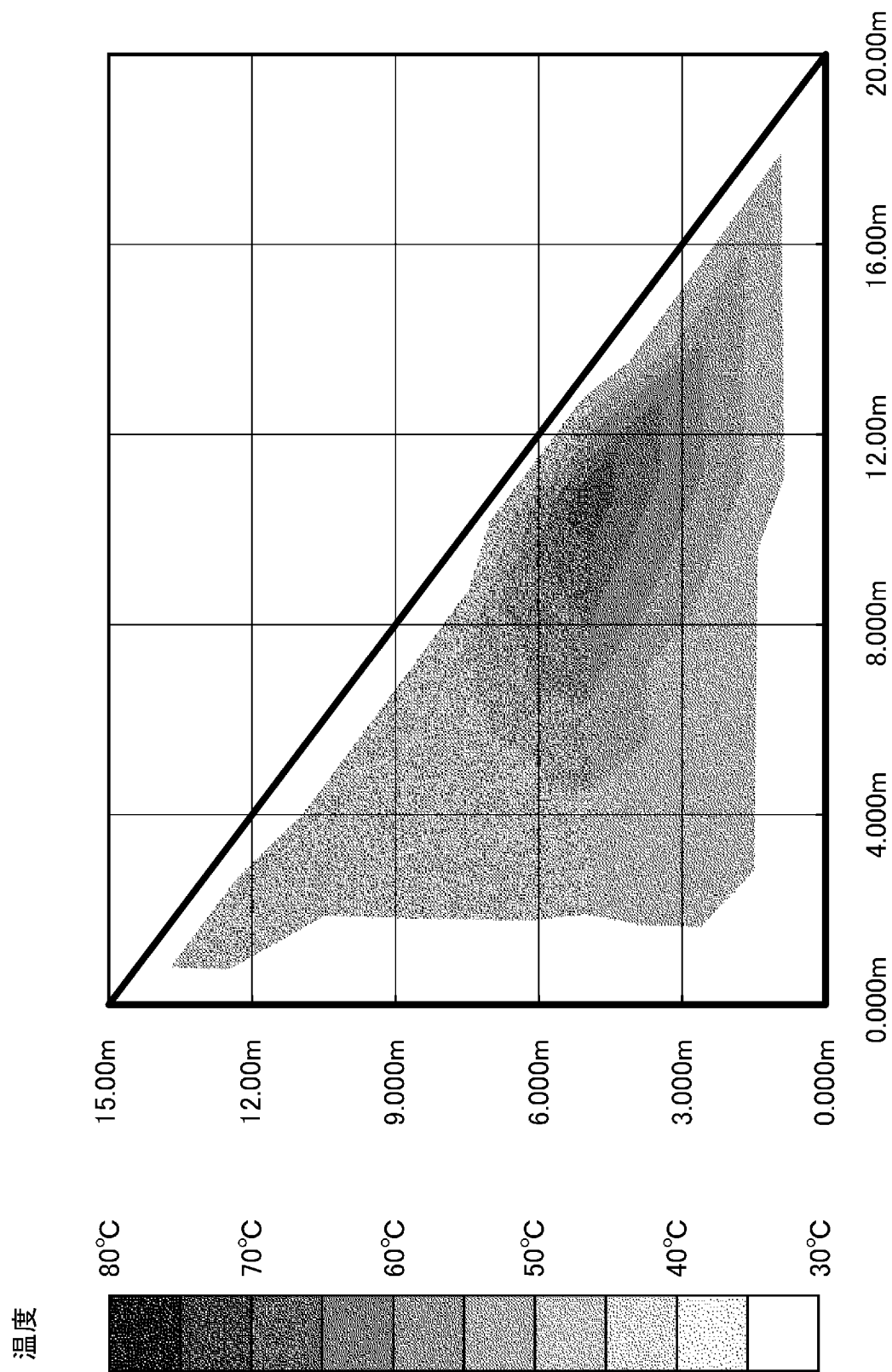
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/050983

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N25/50(2006.01)i, G01N33/22(2006.01)i, C10L5/00(2006.01)n

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N25/00-25/72, C10L5/00, G01N33/22

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	Hiroaki TOMINAGA, Tatsuya NIO, "Application of simulation technique.Simulation of spontaneous heat generation in coal pile", Idemitsu Technical Report, 15 August 1995 (15.08.1995), vol.38, no.4, pages 8 to 16	1-3, 6-7 4-5, 8
Y A	Masahiro OTA, Takanori OKADA, Naoya SHIGEMOTO, "Estimation of temperature rising behavior on coals stocked in a silo", Kenkyu Kiho, 05 January 1990 (05.01.1990) (received date), vol.54, pages 48 to 65	1-3, 6-7 4-5, 8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
07 April 2015 (07.04.15)

Date of mailing of the international search report
14 April 2015 (14.04.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/050983

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Kyuro SASAKI et al., "Water Vapor Adsorption of Coal and Numerical Simulation Related to Its Effect on Spontaneous Combustion in a Low Temperature Range", Journal of the Mining and Materials Processing Institute of Japan, vol.108, no.6, 1992, pages 479 to 486	1-8
A	Hirotooshi YANAGI, Tsuyoshi KATO, "Sekitan Silo no Shizen Hatsunetsu Simulation", Proceedings of the Annual Conference of the Japan Society of Civil Engineers Kyotsu Session, 1995, vol.50, pages 118 to 119	1-8
P,X	Haeyang PAK et al., "Evaluation of Spontaneous Combustion in Stock Pile of Sub-bituminous Coal", Kobe Steel Engineering Reports, 2014.04, vol.64, no.1, pages 22 to 27	1-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01N25/50(2006.01)i, G01N33/22(2006.01)i, C10L5/00(2006.01)n

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01N25/00-25/72, C10L5/00, G01N33/22

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

JSTPlus(JDreamIII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	富永浩章, 丹尾竜哉, シミュレーション技術の応用－石炭パイル内の自然発熱シミュレーション－, 出光技報, 1995.08.15, 38巻, 4号, p.8-16	1-3, 6-7 4-5, 8
Y A	太田正宏, 岡田高則, 重本直也, サイロ内に貯蔵した石炭の昇温特性の評価, 研究期報, 1990.01.05 (受入日), 第54号, p.48-65	1-3, 6-7 4-5, 8

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 7 . 0 4 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

1 4 . 0 4 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

後藤 大思

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 2

2 J

5 2 6 1

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	佐々木 久郎他, 石炭の吸湿特性と自然発火に及ぼす影響に関する 数値シミュレーション, 資源と素材, Vol.108 No.6, 1992, p. 479-486	1-8
A	柳浩敏, 加藤剛, 石炭サイロの自然発熱シミュレーション, 土木学 会年次学術講演会講演概要集共通セッション, 1995, Vol. 50, p. 118-119	1-8
P, X	朴海洋他, 亜瀝青炭パイル内の自然発火予測手法, 神戸製鋼技報, 2014.04, Vol.64, No.1, p. 22-27	1-8