(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
2012 年 6 月 28 日(28.06.2012)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2012/086403 A1

(51) 国際特許分類:
C04B 5/00 (2006.01) *F27D 17/00* (2006.01)
C21B 3/08 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2011/078145

(22) 国際出願日: 2011 年 12 月 6 日(06.12.2011)

(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 2010-283656 2010 年 12 月 20 日(20.12.2010) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社神戸製鋼所 (**KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO**) [JP/JP]; 〒6518585 兵庫県神戸市中央区脇浜町２丁目１０番２６号 Hyogo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 織田 剛 (**ODA, Tsuyoshi**). 坂本 克彦 (**SAKAMOTO, Katsuhiko**).

(74) 代理人: 植木 久一, 外 (**UEKI, Kyuichi** et al.); 〒5300003 大阪府大阪市北区堂島２丁目１番１６号 フジタ東洋紡ビル９階 Osaka (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, 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, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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.

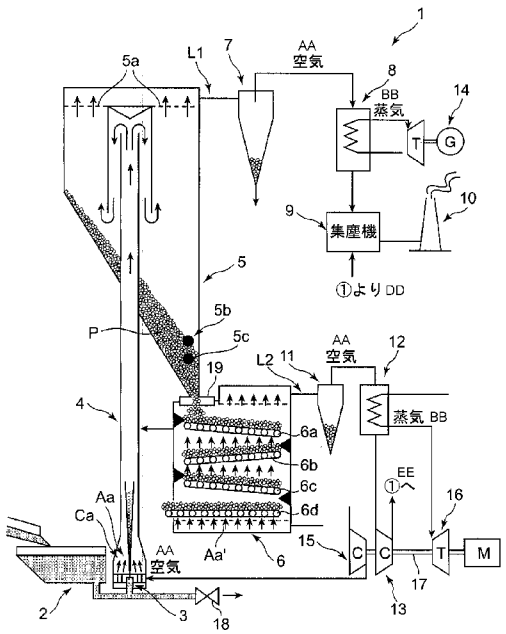
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,

[続葉有]

(54) **Title**: BLAST FURNACE SLAG SENSIBLE HEAT RECOVERY DEVICE

(54) 発明の名称 : 高炉スラグ顕熱回収装置

[図3]



AA... AIR
BB... STEAM
9... DUST COLLECTOR
DD... FROM 1
EE... TO 1

(57) **Abstract**: Provided is a blast furnace slag sensible heat recovery device which atomizes blast furnace slag using compressed air, lets sensible heat of the blast furnace slag be absorbed by the air by heat exchange between the air and the slag particles, and recovers heat, characterized by comprising: a gas atomizer (3) having an injection nozzle which injects gas upwards in an opposite direction to the gravity direction, and in which molten slag is fed towards the gas injected from the injection nozzle; and a first heat exchange tower (4) composed of a tubular body extending upwards from the gas atomizer (3) and inside of which the atomizer gas and atomized slag particles flow upwards.

(57) 要約: 圧縮空気を用いて高炉スラグを微粒化し、さらに空気とスラグ粒子間の熱交換により高炉スラグが持つ顕熱を空気に吸収させ、熱回収を行う高炉スラグ顕熱回収装置において、重力方向と反対方向の上向きにガスを噴射する噴射ノズルを有しその噴射ノズルから噴射されるガスに向けて溶融スラグが供給されるガスアトマイザー３と、このガスアトマイザー３から上向きに延設される筒状体からなり、内部をアトマイザーガスと微粒化されたスラグ粒子が上向きに流れる一次熱交換塔４とを備えてなることを特徴とする。

WO 2012/086403 A1

MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

明　細　書

発明の名称 ： 高炉スラグ顕熱回収装置

技術分野

[0001] 本発明は、高炉の銑鉄製造工程において副生成物として発生する高炉スラグの顕熱を効率良く回収することができる高炉スラグ顕熱回収装置に関するものである。

背景技術

[0002] 高炉では、１０ｔの溶銑が生産される間に約１，５００℃の高炉スラグが３ｔ発生している。この高炉スラグは主にセメントの原料として利用されるが、その場合、全高炉スラグの９５％以上がガラス化されている必要がある。

[0003] 高炉スラグを急激に冷却してガラス化(非晶質構造化)するには、図１に示す冷却速度が必要になる。

[0004] すなわち、約１，４００℃の溶融スラグを１，２００℃まで２１℃／sec以上、１，２００℃から１，１００℃までを６．０℃／sec以上、１，１００℃から１，０００℃までを２．５℃／sec以上そして１，０００℃から８５０℃までを０．３℃／sec以上の冷却速度で冷却する必要がある。

[0005] 上記冷却速度を得るために、現状では一般に高炉スラグに水を吹きつけて破砕する水砕処理が採られており、高炉スラグの約９０％がこの水砕処理によって７５μｍ～５ｍｍの粒子に急冷破砕されている。

[0006] 上記水砕処理では高炉スラグと冷却水との熱交換によって５０～７０℃の低温の廃水が大量に発生するが、この水温のレベルでは発電に使用することもできないという問題がある。

[0007] 投入した熱エネルギーが仕事や発電に利用される効率は、最大でも図２に示すカルノー効率を超えない。つまり、より高温で熱を回収する方が有利である。

[0008] そこで、高炉スラグが顕熱として持っているエネルギーを高温で回収する

ための方法として空気噴流によるスラグの微粒化が数多く考案され続けている（例えば、特許文献１参照）。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：特開２００９－１３２５４６号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] しかしながら、空気噴流によるスラグの微粒化によって高炉スラグの顕熱を回収する熱回収装置は現状では実用化されていない。

[0011] その要因として、(1)水と高炉スラグの熱伝達係数と比較して、一般的に空気とスラグ粒子の熱伝達係数は１／１０程度しかないために、図１に示した冷却速度を満足できないことが多いこと、(2)冷却速度を満足させるためには大量の冷却空気が必要になるため、１，５００℃の高温で高炉から流出するスラグから熱風として回収される空気温度が約５００℃にまで低下してしまい、最終的に発電のための蒸気として得られるのは２００℃程度の低圧蒸気となって、図２のカルノー効率からそれほど高い効率で発電できないことが挙げられる。

[0012] 本発明は以上のような従来の熱回収装置における課題を考慮してなされたものであり、高炉スラグの顕熱を効率良く回収することができる高炉スラグ顕熱回収装置を提供するものである。

課題を解決するための手段

[0013] 本発明は、圧縮空気を用いて高炉スラグを微粒化し、さらに空気とスラグ粒子間の熱交換により高炉スラグが持つ顕熱を空気に吸収させ、熱回収を行う高炉スラグ顕熱回収装置において、

重力方向と反対方向の上向きにガスを噴射する噴射ノズルを有しその噴射ノズルから噴射されるガスに向けて溶融スラグが供給されるガスアトマイザーと、このガスアトマイザーから上向きに延設される筒状体からなり、内部

をアトマイザーガスと微粒化されたスラグ粒子が上向きに流れる熱交換塔とを備えてなる高炉スラグ顕熱回収装置である。

[0014] 本発明において、上記噴射ノズルの外周部に冷却空気を上向きに噴射するためのノズルを配置することが好ましい。

[0015] 本発明において、上記熱交換塔は、下部から上部に向かって塔の径方向断面積が拡大されていることが好ましい。

[0016] 本発明において、上記熱交換塔内を流れ、上記熱交換塔の上部から混合状態で噴射される上記アトマイザーガスと上記スラグ粒子とを沈降分離させる分離塔を備えることができる。

[0017] 本発明において、上記分離塔の下部にゲート弁を有するとともに上記分離塔内に堆積した上記スラグ粒子の堆積高さを検出する位置センサを設け、上記ゲート弁を、上記位置センサから出力される信号に基づいて開閉動作させてスラグ排出量を調節すれば、スラグを常時、一定高さ分、分離塔の下部に堆積させることができるため、空気の漏れを防止することができる。

[0018] 本発明において、上記熱交換塔を、空気を透過させる内筒と空気を透過させない外筒を二重に配置した二重筒とし、上記内筒と上記外筒の間の環状空間を高さ方向に複数の部屋に仕切る仕切り板を設け、開閉弁と流量計を介して低圧空気を上記各部屋に供給する低圧空気供給路と、開閉弁を有し高圧空気を上記各部屋に供給する高圧空気供給路とを備え、上記流量計によって計測される低圧空気の流量が閾値を下回った時に上記高圧空気供給路の開閉弁を開動作させれば、上記熱交換塔の内壁にスラグ粒子が付着することを防止できる。

[0019] 本発明において、上記高圧空気供給路は、上記環状空間に向けて高圧空気を噴射する空気ノズルをさらに備えることが好ましい。

発明の効果

[0020] 本発明によれば、空気噴流を用いたスラグの微粒化によってガラス質スラグ粒を得るとともに、高炉スラグの顕熱を効率良く回収することができるという長所を有する。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]本発明に係る溶融スラグのガラス化に必要な冷却速度を示すグラフである。

[図2]本発明に係るカルノー効率を示すグラフである。

[図3]本発明に係る高炉スラグ顕熱回収装置の構成を示すブロック図である。

[図4]図３のアトマイザーおよびその周辺部の拡大図である。

[図5]図４のアトマイザーに適用される加速ノズルの構成を示す拡大図である。

[図6]上向きアトマイズによる噴射状態を撮影した写真である。

[図7]アトマイズされるスラグ粒子の抗力係数を示したグラフである。

[図8]一次熱交換塔内での空気温度と各粒子径毎の粒子温度時刻歴を示したグラフである。

[図9]一次熱交換塔内での各粒子径毎の粒子温度時刻歴を示したグラフである。

[図10]粒子径毎の粒子温度と冷却速度の関係を示したグラフである。

[図11]ベルトコンベア上に堆積したスラグと冷却空気の温度変化を示したグラフである。

[図12]本発明に係る逆圧払い落とし機構の構成を示す概略図である。

[図13]スラグ流量を変動させた場合の熱交換諸性能の変化を示すグラフである。

[図14]スラグ流量１．２５倍での一次熱交換塔内のスラグ粒子温度分布を示したグラフである。

[図15]空気スラグ比を一定に維持してスラグ流量を変化させた場合の熱回収効率と発電量変化を示したグラフである。

[図16]本発明の熱回収装置の第二実施形態を示した正面図である。

発明を実施するための形態

[0022] 以下、図面に示した実施の形態に基づいて本発明を詳細に説明する。

[0023] １ 高炉スラグ顕熱回収装置

１．１　高炉スラグ顕熱回収装置の全体構成と運転方法

図３は、高炉スラグ顕熱回収装置（以下、熱回収装置と略称する）１の構成を示したブロック図である。

[0024] 同図において熱回収装置１は、スラグタンディッシュ２と、重力方向と反対方向の上向きにガスを噴射するガスアトマイザー（以下、アトマイザーと略称する）３と、そのアトマイザー３から上向きに延設される筒状体からなり、内部をアトマイザーガスと微粒化されたスラグ粒子が上向きに流れる一次熱交換塔（熱交換塔）４と、その一次熱交換塔４内を流れ一次熱交換塔４の上部から混合状態で噴射されるアトマイザーガスとスラグ粒子と沈降分離するスラグ集積塔（分離塔）５、および二次熱交換室６を備えている。

[0025] 上記一次熱交換塔４も二次熱交換室６も、スラグ粒子に空気を接触させてスラグ粒子を冷却（このとき空気は加熱されて、熱交換される）することを目的にしており、一次熱交換塔４で加熱された空気と二次熱交換室６で加熱された空気は、それぞれ独立して一次系ラインＬ１と二次系ラインＬ２に流れるようになっている。

[0026] 一次系ラインＬ１については微粉を回収するための一次系サイクロン７、蒸気に熱を渡すための一次系蒸気ボイラー８、集塵機９、放散塔１０を経て大気へ戻され、二次系ラインＬ２については、二次系サイクロン１１、二次系蒸気ボイラー１２、ブロアー１３、集塵機９、放散塔１０を経て大気へ戻されるようになっている。

[0027] なお、本実施形態における上記一次熱交換塔４は、下部から上部に向けて断面積が１．５倍程度に拡大しており、直径（最小径）１．３ｍ×高さ４０ｍ程度の塔から構成されている。

[0028] 一次系ラインＬ１および二次系ラインＬ２の両系統にて一次系蒸気ボイラー８、二次系蒸気ボイラー１２で空気によって加熱された蒸気の状態を比較すると、一次熱交換塔系統（一次系ラインＬ１）の空気温度が高いことにより、高温・高圧の高エンタルピの状態にある。

[0029] したがって、一次系では発電機１４により電力としてエネルギーを回収す

る。

一方、一次系と比較して低エンタルピの状態にある二次熱交換室系統（二次系ラインＬ２）では、一次系のアトマイザー３に高圧アトマイズ空気（このアトマイズ空気が一次系の熱交換媒体空気になる）Ａａを送るための圧縮機１５の動力、および二次熱交換室６に二次系の熱交換媒体空気を送るために大気を導入するとともに集塵機９を経て放散塔１０に送るブロアー１３の動力を供給するために、タービン１６にて動力としてエネルギーを回収する。

[0030] すなわち、一つのタービン１６から共通の回転軸１７を介して一次系の圧縮機１５と二次系のブロアー１３へそれぞれ動力を送るようになっている。

[0031] 実際の始動、運転、停止では、まず系外から電力を供給してブロアー１３、圧縮機１５を稼働させ、アトマイザー３と二次熱交換室６にそれぞれ空気を送る。

[0032] 次にスラグタンディッシュ２に高炉から溶融スラグを供給し、アトマイザー３よりも低い位置にある徐冷設備（図示しない）へのゲート１８を開から閉へ切り替える。

[0033] それにより、アトマイザー３へ溶融スラグが供給されて、アトマイズが開始される。

[0034] アトマイザー３でアトマイズされたφ５ｍｍ以下のスラグ粒子は、さらに上向きのガスによって一次熱交換塔４内を上昇し、最終的にスラグ集積塔５内を落下する。

[0035] 次いで、スラグ粒子はスラグ集積塔５内からゲート弁１９を経て二次熱交換室６内を移動し、さらに二次系熱交換媒体空気によって冷却され、大気温度＋５℃程度の温度で排出される。

[0036] 通常、高炉の運転では複数ある出銑口を約３時間毎に切り替えながら、途切れることなく連続出銑を行っており、これら複数ある出銑口を樋で一箇所のタンディッシュに接続することにより、休風時以外は連続運転することが可能である。

[0037] 休風などによる出銑の停止時には、ゲート１８を開けて徐冷設備へ溶融スラグを送ればアトマイザー３へのスラグ供給が停止する。

[0038] スラグ供給が停止されてから、ブロアー１３、圧縮機１５を停止することで、アトマイザー３の運転を終了できる。

[0039] １．２ アトマイザー

図４は、図３に示したアトマイザー３およびその周辺部の拡大図である。

[0040] 図４において、アトマイザー３は、一次熱交換塔４の中心に配置されアトマイズガスを上向きに噴射するアトマイズガス噴射装置３ａおよび溶融スラグを上向きに放出する溶融スラグノズル３ｂを有し、アトマイズガス噴射装置３ａの周囲に、冷却空気を上向きに噴射する冷却空気ノズル２０が備えられている。なお、図中Ｓは落下してきたスラグ粒子を示している。

[0041] アトマイズガス噴射装置３ａから溶融スラグに向けて噴射されるアトマイズ空気Ａａと、放出される溶融スラグから離れた位置で一次熱交換塔４の内壁近傍から直上に向けて筒状に噴射される冷却空気Ｃａの合計は、溶融スラグとほぼ同一の質量流量になるように調整される。

[0042] 具体的には、アトマイズによる最大粒子径が５ｍｍになるように、まずアトマイザーが設計されてアトマイザー空気流量が決定され、次いで合計質量流量がスラグ質量流量と一致するように冷却空気ノズル２０のノズル径とノズル穴数が調整される。

[0043] しかし、アトマイザー３としては速やかにスラグ粒子と熱交換を行い、かつ運転の余裕度を確保することが望ましいため、極力少ない空気流量で最大粒子径５ｍｍまで溶融スラグをアトマイズできる高効率のアトマイザーを採用すべきである。

[0044] そこで、本熱回収装置では本願出願人によって先に出願した特許第４２６８１９３号に記載されている加速ノズルの一段タイプをアトマイザーとして使用する。

[0045] 図５は上記加速ノズルの構成を拡大して示した縦断面図である。

[0046] 同図において、アトマイズガス噴射装置３ａは、上向き放出口３ｂ′を備

えた円錐形状の溶融スラグノズル３ｂと、上向き放出口３ｂ′に隣接してその周囲に配置されるリング部品３ｃとから主として構成されている。リング部品３ｃの中心に形成された噴射口３ｃ′は下向きに拡径されるように断面円弧状に形成されている。図中、３ｄはアトマイズ空気Ａａが導入されるガス通路である。

[0047] 上記ガス通路３ｄに供給されたアトマイズ空気Ａａは、溶融スラグノズル３ｂの外壁とリング部品３ｃの噴射口３ｃ′との間に形成されるスロート部Ｔを通過することによって高速ガス流を形成し、その高圧ガス流によって溶融スラグを微粒化し、その微粒化したスラグ粒子を噴射口３ｃ′から噴射するようになっている。

[0048] 図６は溶融スラグを水で模擬して運転を行った時の上向き噴射状態を撮影した写真であり、アトマイズされた粒子がすぐには拡がらずに直進性が強いことを示している。

[0049] 上記構成を有するアトマイザー３は、噴流を１点に結ぶ従来の多孔ノズル列タイプのアトマイザーと比較して、約１／３の空気流量で同等のアトマイズと粒子冷却が可能になるという有利な特徴を持っている。

[0050] １．３ 一次熱交換塔

本発明の熱回収装置１において最もユニークな特徴は、重力方向と反対方向にスラグ粒子を飛行させる一次熱交換塔４である。

[0051] この一次熱交換塔４は、図１で説明した冷却速度を満足しながら、図２で説明した、ほぼ効率が最大値に漸近する５５０℃の蒸気を得るため、８５０℃の熱風でのエネルギー回収を行うことを実現することを目的として構成されている。

[0052] 非晶質では潜熱が存在しないので、一般的に低レイノルズ数での冷却速度ｄＴ$_s$／ｄｔは式(1)で記述される。

[0053] [数1]

$$\frac{dT_s}{dt}=\frac{6\times 0.37\,\mathrm{Re}^{0.6}\,\lambda_g}{D_s{}^2\rho_s C_{Ps}}\left(T_g-T_s\right)=\frac{6\times 0.37\lambda_g}{D_s{}^2\rho_s C_{Ps}}\left(\frac{\rho_g\left|u_g-u_s\right|D_s}{\mu_g}\right)^{0.6}\left(T_g-T_s\right) \quad (1)$$

ここで記号の意味は、Ｔ：温度、ｔ：時間、Ｒｅ：レイノルズ数、λ：熱伝導率、Ｄ：粒子径、ρ：密度、C_p：定圧比熱、ｕ：速度、μ：粘性係数。添え字の意味は、ｇ：ガス（空気）、ｓ：スラグである。

[0054] 冷却速度は空気とスラグ粒子間の相対速度差｜$u_g - u_s$｜の０．６乗に比例することが分かる。

[0055] 他の条件が物性値や温度であるために基本的に全て同一であり、変更困難であることから、ガラス化に必要な冷却速度を得るためには、空気とスラグ粒子間の相対速度差｜$u_g - u_s$｜を大きくする以外にない。

[0056] そこで平衡状態での空気とスラグ粒子間の相対速度差｜$u_g - u_s$｜について、運動方程式を解くことにより、式(2)が得られる。

[0057] [数2]

$$\left|u_g - u_s\right|\left(u_g - u_s\right) = -\frac{4D_s\rho_s g}{3C_d\rho_g} \qquad (2)$$

[0058] ここで記号の意味は、ｇ：重力加速度、C_d：スラグ粒子の抗力係数。重力加速度ｇは速度ｕと同一方向を正の方向としている。抗力係数C_dはもしスラグ粒子が球形であれば、φ５ｍｍ粒子のように大きな粒子（レイノルズ数が大きな条件）になれば、Ｃｄ＝０．４４のように一定値に漸近する値である。正確には図７に示すように、レイノルズ数の関数になる。

[0059] 重力加速度ｇが正の場合(速度と重力の向きが同一、つまり下向きガスアトマイズに相当)と負の場合（速度と重力の向きが反対、つまり上向きガスアトマイズに相当）に場合分けして式(2)を解くと、式(3)と式(4)のようになる。

[0060] [数3]

$$g > 0 \qquad u_s = u_g + \sqrt{\frac{4D_s\rho_s g}{3C_d\rho_g}} \qquad \text{（下向きガスアトマイズ）} \qquad (3)$$

[0061] [数4]

$$g < 0 \qquad u_s = u_g - \sqrt{\frac{4D_s\rho_s g}{3C_d\rho_g}} \qquad \text{（上向きガスアトマイズ）} \qquad (4)$$

[0062] 式(3)と式(4)の比較から分かるように、式(3)の下向きガスアトマイズでは粒子速度ｕ$_s$は空気速度ｕ$_g$よりも大きくなり、実現するには非常に長い粒子の飛行距離が必要になる。他方、式(4)の上向きガスアトマイズでは、粒子速度ｕ$_s$を

[0063] [数5]

$$u_s \cong 0 \qquad (5)$$

に設計することも可能であり、下向きアトマイザーと比較して短い飛行距離で目標達成した装置を実現できる。

[0064] 式(1)と式(2)から相対速度差｜ｕ$_g$－ｕ$_s$｜を消去すると式(6)が得られる。

[0065] [数6]

$$\frac{dT_s}{dt} = \frac{6\times 0.37\lambda_g}{D_s^{1.1}\rho_s C_{ps}}\left(\frac{4\rho_g\rho_s g}{3C_d\mu_g^{2}}\right)^{0.3}\left(T_g - T_s\right) \qquad (6)$$

[0066] 式(6)より、最終的に冷却速度は粒子径Ｄ$_s$の１．１乗に反比例することから、想定している粒子の中で最も径が大きいφ５ｍｍが、ここでは最も冷却速度が小さくなるためにガラス化が難しくなることが分かる。

[0067] なお、アトマイザー３、一次熱交換塔４、スラグ集積塔５を含めて加圧し、空気密度ρ$_g$を大きくすることは式(6)よりρ$_g$の０．３乗に比例して冷却速度は大きくなり、式(4)より空気速度ｕ$_g$も小さく設計できる（空気量を低減し、より高温で熱を回収できる）という利点がある。

[0068] この点については、後述する高炉送風に適用した第二実施形態で説明する。

[0069] 式(4)において、最も大きな５ｍｍ粒子（Ｄ$_s$＝０．００５［ｍ］）を一次熱交換塔４内で静止させる条件（ｕ$_s$＝０）で設計を行うと、一次熱交換塔４内での空気速度ｕ$_g$は式(7)により与えられる。

[0070] [数7]

$$u_g = \sqrt{\frac{4D_s\rho_s g}{3C_d\rho_g}} \qquad (7)$$

[0071] 他方、一次熱交換塔４の断面積をＡとすると、一次熱交換塔４内での空気質量流量ドットm_gは塔内のどの高さでも一定であることから、式(7)と連成させて、式(8)が成立する。

[0072] [数8]

$$\dot{m}_g = A\rho_g u_g = A\sqrt{\frac{4D_d\rho_g\rho_s g}{3C_d}} = \text{const.} \quad (8)$$

[0073] 式(8)を変形することにより、式(9)が得られる。

[0074] [数9]

$$A \propto \frac{1}{\sqrt{\rho_g}}. \quad (9)$$

[0075] 空気温度T_gは一次熱交換塔４内で一定ではなく、スラグ粒子が冷却されると空気温度は増加するので、塔内の高さ方向に空気温度T_gは増加し、空気密度ρ_gは減少する。粒子速度u_sを一定に維持して、一次熱交換塔４の高さを必要最低限に抑えるためには、式(9)の関係に従って、一次熱交換塔４の断面積を、減少する空気密度ρ_gの１／２乗に反比例させて増加させるのが効果的である。

[0076] 具体的には図３において、アトマイザー空気の温度は１８０℃から８７０℃に上昇し、それにより空気密度は１．１７kg/m^{3}から０．４６１kg/m^{3}へ初期の約４０％まで低下する。そこで、式(9)に従い、一次熱交換塔４の断面積を底部から頂部へ向かって、頂部の断面積が底部の断面積の１．５倍になるように、徐々に拡大する管を用いる。

[0077] 図８は、粒子と空気のエネルギー方程式を連成させて解いた、一次熱交換塔４内での空気と粒子の温度変化の計算結果を示したグラフである。

[0078] この結果から、一次熱交換塔４の高さ（粒子飛行距離）として４０ｍ程度あれば、粒径０．０７５～５．０ｍｍのどの粒子径でも空気温度とほぼ同じ平衡温度に到達することがわかる。

[0079] 図９は一次熱交換塔４内での各粒子径毎の粒子温度時刻歴を示したグラフ

である。

[0080] 図１０は粒子径毎の粒子温度と冷却速度の関係、および図1より加工した、スラグ温度と必要冷却速度の関係を示したグラフである。

[0081] 図１０において、粒子径５ｍｍ（図中、Ｆ１参照）では必要冷却条件を満足できておらず、粒子径３．３７５ｍｍ（図中、Ｆ２参照）が冷却速度の必要条件を満足できる最大径であることが分かる。

[0082] ガスアトマイズの段階で目標としている粒径分布では、粒子径２ｍｍ以上の比率は５％、粒子径３．３７５ｍｍ以上は２％、粒子径５ｍｍ以上は０％である。したがって、一次熱交換塔４の性能としてガラス化率９８％が予想され、セメント材仕様のガラス化率９５％以上を満足できると予測される。

[0083] １．４ スラグ集積塔

スラグ集積塔５では重力を利用してスラグ粒子を下部に堆積させて空気と分離し、空気をスラグ集積塔５の上部から一次系サイクロン７を経て一次系蒸気ボイラー８へ送り、他方、スラグ粒子のみを第二熱交換室６へ送り出す準備を行う。考慮しなければならない点は下記(ａ)、(ｂ)の２点である。

[0084] (ａ)空気と共に巻き上げられる粒子を最小限にすること

空気に随伴したスラグ粒子は二次熱交換室６へ送られることなく、一次系サイクロン７で回収され、このスラグ粒子が８６０℃から冷却される分の顕熱は熱回収に寄与しないので、最小限にする必要がある。そこで、スラグ集積塔５の天井部には流体抵抗を与えて流れを均一にするための多孔板５ａ（図３参照）を設置し、全面から均一に０．８５m/sの速度で空気を吸引するように設計する。

[0085] この時に空気速度と静止する粒子径の関係は式(7)によって表される。また、図７に示された抗力係数C_dは、レイノルズ数の関数として、１＜Ｒｅ＜10^4の区間では式(10)によって近似される。

[0086] [数10]

$$C_d = \left(0.55 + \frac{4.8}{\sqrt{\mathrm{Re}}}\right)^2 \qquad \text{ただし、} \mathrm{Re} = \frac{\rho_g |u_g - u_s| D_s}{\mu_g} \qquad (10)$$

[0087] スラグ粒子はその内部に気泡を含む可能性が高いため、粒子密度ρ_sにスラグの真密度２，６００kg/m³を用いると危険側の評価になる。そこで、空隙を含んで充填されたスラグ粒子の単位容積質量である１，３００kg/m³を使用して安全側の評価にする。

[0088] 式(7)と式(10)を連立させ、u_g＝０．８５、u_s＝０として理論上はスラグ集積塔５内に静止する粒子径を求めると、Ｄｓ＝０．２５ｍｍが得られる。

[0089] つまり粒子径０．２５ｍｍ以下は一次系サイクロン７側へ空気と共に送られることになる。ガスアトマイズにて目標にしている粒子径０．２５ｍｍ以下の比率は５％であり、粒子径０．２５ｍｍ以下の８６０℃スラグ粒子が持ち出す顕熱は１．４MWになる。

[0090] (ｂ)スラグ集積塔から二次熱交換室へ漏れる空気を最小限にすること

スラグ集積塔５内の圧力が５０，０００Pa(G)に対して、二次熱交換室６内の圧力が－３００Pa(G)であることから、スラグ集積塔５内から二次熱交換室６内へスラグ粒子の径路内を空気が漏れて、一次系での発電量を低下させる可能性がある。

[0091] それを防止するため、スラグ集積塔５内の下部では常時、スラグを一定高さだけ堆積させて、そのスラグ粒子充填層Ｐの流体抵抗により空気の漏れを防止する。

[0092] まず初めに、スラグ粒子の流量を調節するゲート弁１９の開口面積を求める。ゲートをオリフィスでモデル化して、スラグ粒子を２８kg/sの質量流量で通過させるオリフィス径D_oをBeverlooの式

[0093] [数11]

$$\dot{m}_s = 0.58\rho_s g^{0.5}\left(D_o - 1.4D_s\right)^{2.5} \qquad (11)$$

より求めると、D_o＝０．１７１ｍになる。嵩密度１，３００kg/m³のスラグ粒子が嵩速度０．９４m/sでオリフィスを通過していることになる。

[0094] 次にエルガン式を用いて、ゲート弁１９上のスラグ粒子充填層Ｐの圧力損失より、充填高さと漏れ空気流量の関係を求める。エルガンの式(12)より、

[0095] [数12]

$$\Delta p = \left(\frac{\rho_g u_g^{\ 2}}{2} \right) \left(\frac{L}{D_s} \right) \left\{ \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \right\} \left(\frac{300}{\mathrm{Re}} + \frac{3.5}{1-\varepsilon} \right) \qquad (12)$$

[0096] 充填高さＬと空気流量ドット$m_{g,leak}$の関係は式(13)で表される。

[0097] [数13]

$$\dot{m}_{g,leak} = \frac{\pi D_o^{\ 2}}{4} \sqrt{\frac{2\rho_g D_s \Delta p}{L\left(\frac{300}{\mathrm{Re}} + \frac{3.5}{1-\varepsilon} \right)} \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2}} \qquad (13)$$

ここで、Δｐ：スラグ集積塔と二次熱交換室の圧力差、ε：充填層空隙率である。

[0098] 式(13)より、例えば充填高さ０．５ｍでの漏れ空気流量ドット$m_{g,leak}$はスラグ集積塔５内空気流量の０．０７％になることが分かる。

[0099] したがって、スラグ集積塔５の下部に５００ｍｍ程度のスラグ粒子を常時堆積させておけば、漏れ空気量を実質的に無視できるレベルまで低減できる。

[0100] 本実施形態の熱回収装置１では、位置センサとしての上限ファイバーセンサー５ｂおよび下限ファイバーセンサー５ｃ（図３参照）を、スラグ集積塔５の下部に上下に離した状態で取り付けてスラグ充填高さの上限と下限の信号を出力させ、上限を超えればゲート弁１９を開動作させ、下限を切ればゲート弁１９を閉動作させ、それにより、スラグ粒子充填層Ｐの高さが下限ファイバーセンサー５ｃと上限ファイバーセンサー５ｂの間に位置するように制御する。

[0101] なお、高炉スラグに関する非晶質スラグ粒子間の付着温度に関する調査によると、非晶質スラグ間の付着温度の下限は９５０℃であるので、本熱回収装置１ではスラグ集積塔５の下部にスラグ粒子が堆積する間において８６０℃のスラグ粒子同士が付着結合することはない。

[0102] １．５　二次熱交換室

（ａ）装置の概要

二次熱交換室６では平均温度８６０℃で一次熱交換室としての一次熱交換塔４からスラグ集積塔５を介して流入するスラグ粒子の顕熱をさらに回収して、主に熱回収装置１全体の動力（アトマイザーガスの圧縮動力と二次熱交換室６内の冷却空気送風動力）を賄うことを目的にしている。

[0103] 図１のグラフに示した冷却速度に従って一次熱交換塔４ではスラグ粒子温度を１，０００℃以下まで低下させているので、二次熱交換室６では最低限０．３℃/sの冷却速度があれば良いことになる。

[0104] したがって、ベルトコンベア６ａ～６ｄ（図３参照）に堆積させて搬送している間に、二次冷却空気Ａａ′を堆積層に透過させることで、十分にこの程度の冷却速度は得られる。

[0105] 図３に示したように、ベルトコンベア６ａ～６ｄは、上から下へスラグ粒子が移動するように、高さ方向に多段に配置されており、各ベルトは通気可能なスクリーンから構成されている。ベルトとスラグ堆積層を通過して二次冷却空気Ａａ′は下から上へ流れるので、二次熱交換室６の側壁とベルトの隙間が最小になるように隙間詰めを行う。

[0106] 具体的には、幅５ｍ×長さ２３ｍ弱のベルトコンベアを上下方向４段で組み立てる。

[0107] したがって、二次熱交換室６内の水平面断面は５×２３ｍ程度であり、断面積は１１５m^2になる。

[0108] また、ベルトコンベア６ａ～６ｄのベルト総延長は９２ｍになり、スラグが二次熱交換室６内に流入してから室外に搬出されるまでの滞留時間として２５０秒を計画しているので、ベルトの移動速度は０．３６８m/s（２２m/min）になる。

[0109] 上記ベルトとしては、空気を通過させるために多孔でありながらスラグ粒子を保持することができるように、１００メッシュのステンレススクリーン（目開き０．１５ｍｍ程度）を使用する。

[0110] 各段のベルト６ａ～６ｄ上に堆積するスラグの総嵩容積は４．６m^3、質量合

計は６．７kgになる。この時のスラグの平均ベルト堆積嵩高は１０ｍｍである。

[0111] スラグの単位堆積質量より、空隙率εは４３％程度になる。冷却過程の計算より、空気／スラグ比は１．２３になる。したがって、二次熱交換室６内での冷却空気平均上昇速度は０．６m/s程度である。

[0112] スラグはベルトコンベアに載せたまま室外に搬出されることから、二次熱交換室６内を大気圧に対して負圧とし、二次熱交換室６外への発塵を防止する必要がある。したがって、ブロアー１３の吸引側に二次熱交換室６を設置する。

[0113] (ｂ)熱交換過程計算

４段×堆積厚１０ｍｍの合計４０ｍｍ厚さについて、スラグ粒子は上から下へ、二次冷却空気（流体）Ａａ′は下から上へ、二相が向流式で移動する向流熱交換において、スラグ厚み方向の一次元流れと熱伝達の計算を行った。スラグ粒子ー流体間の熱伝達には、関らによる低レイノルズ数での実験式(14)を用いた。

[0114] [数14]

$$Nu = 0.840\,Re \qquad \text{ただし、適用範囲は} 10 < Re < 500 \tag{14}$$

[0115] 図１１は、ベルトコンベア上に堆積したスラグ粒子の厚み方向の温度分布と、冷却空気の厚み方向温度分布を示したグラフである。

[0116] ２５０秒間かけて温度が８００℃低下しているので、平均でも３．２℃/sの冷却速度を達成している。ベルトコンベアでのスラグ粒子の流れと冷却空気の流れを対向させた一次元の向流式熱交換を仮定したこの計算モデルでは上段から排出される冷却空気の最高温度には、１，０４４Ｋ（７７１℃）が予想される。スラグ粒子側の排出温度には冷却空気入口温度＋５℃が予想されるので、ほぼ完全に顕熱を回収できている。

[0117] (ｃ)堆積層の圧力損失

１００メッシュスクリーンのベルトを空塔速度０．６m/sで空気が通過する際の圧力損失は、ベルトコンベア６ａ～６ｄを４段構成にしても合計２５Pa

程度であり、スラグ粒子堆積層での圧力損失の方が支配的である。

[0118] エルガンの式(12)を用いて合計４０ｍｍのスラグ粒子堆積層を、温度と共に空気の密度と粘性が変化することを考慮して計算すると、２５０Paであった。したがって、ベルトの圧力損失を合わせて３００Pa程度が予想される。この３００Paが上段ベルトコンベア６ａ上部空間での負圧に相当する。一方、下段側ベルトコンベア６ｄ部分ではほぼ大気圧に等しく、冷却が終了したスラグ粒子のスムースな排出が可能になる。

[0119] １．６　一次系ボイラーと発電機

一次系蒸気ボイラー８と発電機１４は、製鉄所で実際に使用されているコークス乾式消火設備（ＣＤＱ：Coke Dry Quenching）の仕様とほぼ同一になる。

[0120] 詳しくは、乾留が終了した赤熱コークス（１，０５０℃）がＣＤＱチャンバーを降下しながら下部から送られた窒素ガスにより冷却される。

[0121] 窒素ガスは９８０℃まで加熱されてボイラーに送られ、そこで蒸気へ熱交換し、蒸気は発電機用タービンを回している。

[0122] 上記ＣＤＱは窒素ガスを用いた非開放型循環系になっているが、スラグ顕熱回収設備では、一次熱交換塔４内で、スラグ粒子を決められた冷却速度を守って冷却するために０．３MPaの高圧まで圧縮機で断熱圧縮した比較的低温（２００℃以下）の空気が必要であることから、循環系を組んで高温排気空気を取り込んで、そのまま断熱圧縮して使用することができず、この場合には空気冷却機が必要になる。したがって、経済性の理由から開放型のシステムを組んでいる。

[0123] 表１に、ＣＤＱと熱回収装置１における一次系蒸気ボイラーから発電までの対比を示す。

[0124] ＣＤＱでは熱交換媒体温度が９８０℃であるのに対し、本実施形態における熱回収装置１の一次系蒸気ボイラー８では８７０℃であり、１００℃低い点が相違しているが、ボイラーのチューブ本数を増加させることで、熱交換器の性能を上げ、製鉄所のボイラー出口蒸気条件と一致させることが可能で

ある。ボイラー以降は蒸気を合流させることで、現有するタービンと発電機を利用することができる。

[0125] [表1]

ＣＤＱと熱回収装置との一次系蒸気ボイラーから発電までの比較

	No.1 CDQ	No.2 CDQ	熱回収装置
熱交換媒体種	窒素	窒素	空気
熱交換媒体温度	980℃	980℃	870℃
ボイラ入媒体温度			800℃
ボイラ出媒体温度	200℃	200℃	200℃
蒸気温度	556℃	556℃	556℃
蒸気流量	84 t/h	98 t/h	21 t/h/高炉
発電蒸気原単位	323ｋW/(t/h-蒸気)	323ｋW/(t/h-蒸気)	323ｋW/(t/h-蒸気)
発電量	27MW	32MW	6.7MW/高炉

[0126] 表１に示すように、本実施形態の熱回収装置１により６．７MW/高炉の発電が可能になると考えられる。この発電量に相当する分だけ、CO_2排出寄与の大きい石炭を燃料源とするボイラー・発電機を休止させれば、このボイラー燃料の購入費用を削減することができ、CO_2排出も削減することができる。

[0127] １．７　二次系蒸気ボイラーとタービン

二次系蒸気ボイラー１２では、７００℃の空気から４００℃、４MPaの過熱蒸気を作り出し、タービンで圧縮機を回すための動力を効率２６％で作り出すようになっている。

[0128] １．８　圧縮機

圧縮機１５は高炉送風と同じ圧力レンジであることから、同じタイプの軸流圧縮機を用いることができる。

[0129] １．９　ブロワー

ブロワー１３は１，０００～５，０００Pa程度の圧力で足りるため、ターボファンブロワを使用することができる。

[0130] ２　第一熱交換塔内壁へのスラグ粒子付着防止対策

飛行中の高炉スラグ粒子が粒子間で付着することが可能な最低温度と、飛行中の高炉スラグ粒子が衝突板に衝突した際に衝突板に付着することが可能な最低温度については既に実験より求めている。それによると、粒子間の付

着が生じる最低温度は９５０℃、衝突板に付着が生じる最低温度は１，０５０℃であった。

[0131] したがって本実施形態の熱回収装置においても、一次熱交換塔４内を上昇する間に、１，０５０℃以上のスラグ粒子については一次熱交換塔４の内壁に付着する可能性がある。

[0132] 図７に、その１，０５０℃のラインを破線で示している。

[0133] ただし、上記の実験はスラグ粒子を衝突板に対してほぼ垂直に衝突させた場合であり、本装置では内壁に対して接線方向に接触するため、付着の強さは垂直に衝突する場合に比べ、弱くなることが想定される。

[0134] スラグ粒子付着防止対策としては、アトマイザー３を円筒形からなる一次熱交換塔４の中心軸上に配置し、初期の段階でスラグ粒子を一次熱交換塔４の壁面から極力遠ざけ、アトマイザーの外周部からはスラグを含まない冷却空気のみを送風するようにして、スラグ粒子は中央部を、スラグ粒子を含まない空気は壁面近傍を流れるようにしている。

[0135] しかしながら、粒子飛行方向の分散性を計測すれば、４０ｍの距離を飛行したスラグ粒子は、いずれ塔内でほぼ均一な分布になることが予想される。

[0136] 図８において、全スラグ粒子の５０％（粒子径０．８５ｍｍ以下）は１０ｍｍ未満の飛行距離で１，０５０℃を下回るが、最も対地的に冷却が遅れる代表径３．４ｍｍの粒子（比率５％）は１，０５０℃（１，３２３Ｋ）を下回るまでに２５ｍ（Ｘ軸参照）の飛行距離を要している。したがって、実質的に４０ｍの全区間で対策が必要になる。

[0137] そこで４０ｍ全区間でのスラグ粒子付着防止対策として、バグフィルターで使用されている逆圧払い落とし機構を応用する。

[0138] ２．１ 逆圧払い落とし機構

図１２はその仕組みを示した概略図である。

[0139] 同図において、逆圧払い落とし機構２１は、一次熱交換塔４を、空気を浸透させる内筒４ａと空気を浸透させない外筒４ｂの二重構造としており、内筒４ａの内側をアトマイズ空気、スラグ粒子、冷却空気が上に向かって流れ

るようになっている。外筒４ｂの外部は図３に示したスラグ集積塔５に相当する。

[0140] 内筒４ａと外筒４ｂに挟まれたドーナッツ状の空間は、環状の仕切板４ｃによって塔の高さ４０ｍを１ｍ毎の４０区間になるよう気密に仕切られている。

[0141] 内筒４ａはステンレスの金属メッシュ材を使用しており、外筒４ｂと内筒４ａの間の空間Ｓに供給した空気が、そのメッシュ材を通過して内筒４ａ内部に染み出すように構成されている。

[0142] そのための構成として、外筒４ｂと内筒４ａとの間の環状空間には空気を供給するためのノズル４ｄが、同一リングヘッダ４ｅ上、９０°毎に４ケ所配設されている。

[0143] 高さ１ｍの区間に、４つのノズル４ｄを備えた１本のリングヘッダ４ｅが設置されて、合計４０本のリングヘッダ４ｅが一次熱交換塔４に設置される。なお、図１２では、構成を分かりやすくするため、リングヘッダ４ｅの本数を５本で表している。

[0144] そして、それぞれのリングヘッダ４ｅが流量計ＦＭ１～ＦＭ４０と電磁弁ＶＮ１～ＶＮ４０を経て共通の低圧空気ヘッダ４ｆに接続され、低圧空気供給路を構成している。

[0145] この低圧空気ヘッダ４ｆには冷却空気から分岐させて空気を供給し、最終的に低圧空気ヘッダ空気流量、アトマイザー３の外周部の冷却空気流量、アトマイザー３の空気流量の３者を合計して、スラグ流量との空気／スラグ比が１になるように流量を決める。

[0146] 運転中、電磁弁ＶＮ１～ＶＮ４０は開動作しており、ステンレスメッシュから空気が染み出すことで、スラグ粒子がステンレスメッシュに付着することをある程度防止する。この時、各リングヘッダ４ｅへ供給される流量を流量計ＦＭ１～ＦＭ４０で計測し、もしある区間の流量計指示値が低下した場合には、その区間のステンレスメッシュにスラグ粒子が付着して空気の流路が塞がれたと判断する。

[0147] その場合、当該配管ライン上の電磁弁ＶＮを閉動作させ、瞬間的に高圧３ＭPaの高圧ヘッダ４ｇに接続されている電磁弁ＶＥを開動作させる。これにより、当該区間のステンレスメッシュを大流量の空気が通過し、かつ４ケ所のノズル４ｄから４ケ所の狭い範囲に向けて集中的に高速気流が流れるために衝撃が発生してステンレスメッシュが振動し、内筒４ａの内面に付着したスラグ粒子が内側へ払い落とされる。

[0148] なお、上記高圧ヘッダ４ｇ、電磁弁ＶＥを含む配管ラインは高圧空気供給路として機能する。

[0149] ２．２ スラグ流量変化に対する対応性

基本的な設計では、空気/スラグ比を1として、この空気流量内でガスアトマイズを実行し、870℃の平衡温度まで空気を加熱して一次系ボイラーに送り出す仕組みになっている。

[0150] ガスアトマイズで微粒化される粒子径も、単純化すると、アトマイズ空気/スラグ比を維持するなら、完全に一致しないとしても、ほぼ同じ粒子径が得られる。

[0151] また、一次熱交換塔４内でスラグ粒子の冷却時間を確保しながら、粒子径５ｍｍ以上のスラグ粒子を一次熱交換塔４内で上昇させるためには、冷却空気とアトマイズ空気とを合わせた空気量を一定に維持しなければならない。

[0152] 一方、出銑中のスラグ流量は変動する。

[0153] そこでスラグ流量が変動した場合に、その変動に合わせて運転できる範囲について説明する。

[0154] 一次熱交換塔４内での空気量を一定に維持した状態で、スラグ流量を変動させた場合の熱交換諸性能の変化を図１３に示す。

[0155] スラグ流量の最小限度を時間平均値の０．７５倍に、最大限度を時間平均値の１．２５倍にしているが、これが予想される運転範囲に相当する。つまり、設計値±２５％の範囲しかスラグ流動変動は許されない。したがって、スラグの流量調整値が必要になる。なお、上記時間平均値とは、ある一つの高炉出銑口からの出銑鉄量を、出銑時間で割った平均時間を意味している。

[0156] 運転範囲の最小限度は一次系蒸気ボイラー８の入口空気温度（一次熱交換塔出口空気温度－７０℃）の低下によって制限される。

[0157] スラグ流量が１倍の時（設計値）、一次系蒸気ボイラー８の入口空気温度は８００℃（１，０７３Ｋ）であるが、スラグ流量を０．７５倍にすると、７０７℃（９８０Ｋ）まで約１００℃低下する。

[0158] そのため、かなり余裕を持って一次系蒸気ボイラー８を大型に設計しておかないと５５６℃との温度差が２５０℃から１５０℃へ約３／５になる影響を吸収することができない。

[0159] すなわち、－２５％のスラグ流量に対応するためには、空気－蒸気温度差１５０℃で一次系蒸気ボイラー８を設計する必要がある。

[0160] 一方、運転範囲の最大限度は一次熱交換塔４内でスラグ粒子温度が壁面付着限度の１，０５０℃以下まで冷却される条件で制限される。

[0161] 図１４はスラグ流量１．２５倍での一次熱交換塔内のスラグ粒子温度分布を示したグラフである。粒子飛行距離４０ｍの塔出口において、辛うじて１，０５０℃（１，３２３Ｋ）に到達していることが分かる。

[0162] 図１５は、空気スラグ比を一定に維持してスラグ流量を時間平均値の０．７５～１．２５倍に変動させた場合における一次熱交換塔４と二次熱交換室６の熱回収効率、および一次系発電量の変化を示したグラフである。

[0163] 同グラフにおいて、一次系の熱回収効率は低スラグ流量で高く（グラフＦ３参照）、二次系の熱回収効率は高スラグ流量で高くなる（グラフＦ４参照）傾向がある。その結果、一次系蒸気由来の発電量を見ると、スラグ流量に比例して発電量は増加せずに、スラグ流量の増加に対してほぼ１／２乗に比例して発電量は増加する（グラフＦ５参照）。

[0164] ３　本発明の第二実施形態

ガスアトマイザー、一次熱交換塔、スラグ集積塔を含めて加圧し、空気密度ρ_gを大きくすることは式(6)よりρ_gの０．３乗に比例して冷却速度は大きくなり、式(4)より空気速度u_gも小さく設計できる。すなわち、空気量を低減し、より高温で熱を回収できるという利点がある。

[0165] 図１６は本発明の熱回収装置の第二実施形態を示したものであり、０．５MPaに加圧した上向きガスアトマイザーで溶融スラグのアトマイズを行い、同様に熱交換塔にてアトマイズ空気との間で熱交換を行うことにより８７０℃の高温空気を得て、その空気をさらに１，２００℃まで加熱した後に高炉送風として利用している。

[0166] 同図において、３０はシャフト炉であり、その出滓口３１から排出されたスラグは一旦、スラグタンディッシュ３２に貯溜される。

[0167] このスラグタンディッシュ３２の底部からは筒状のスラグ降下通路３３が下向きに延設されており、スラグタンディッシュ３２からスラグ降下通路３３下端までの距離は２０ｍに設定されている。

[0168] なお、スラグ降下通路３３の外側は筒状の高周波加熱装置３４によって取り囲まれており、スラグ降下通路３３内を移動する溶融スラグの温度降下を抑制し所定の温度に維持するようになっている。

[0169] スラグ降下通路３３の下部近傍には図３に示したアトマイザーと同じ構成からなるアトマイザー３５が設けられている。

[0170] ０．５MPaに加圧されたアトマイザー３５に溶融スラグを押し込むためには、溶融スラグについても同様に０．５MPaに加圧して送る必要がある。そのため、上記したように深さ２０ｍのスラグタンディッシュ３２を設置し、溶融スラグの静水圧を利用して０．５MPaに加圧している。

[0171] 上記アトマイザー３５には、圧縮機３６によって加圧されたアトマイズ空気が供給されるようになっており、圧縮機３６は蒸気ボイラー３７によって回転するタービン３８によって稼働するようになっている。

[0172] なお、符号３９は、直径１ｍからなる円筒状の一次熱交換塔であり、溶融スラグの上向きアトマイズが行われるようになっている。また、符号Ｍ．Ｓは溶融スラグ、Ｍ．Ｉは溶鉄、４０はガス清浄装置、４１は熱風炉、４２はサイクロン、４３は溶鉄を取り出すための取出口である。

[0173] 第二実施形態によれば、図３における一次系冷却空気がもつエネルギー２４MWを高炉送風に利用することで、現在稼働している熱風炉での燃料ガス（

製鉄所の副成ガス）使用量を１３％程度削減することが可能になる。

[0174] そして、製鉄所の発電所でこの燃料ガスをボイラー燃料に使用して蒸気タービンで発電すれば、ＣＤＱタイプのボイラーを経て蒸気タービン発電を行う図３に記載の熱回収装置に比べ１．３倍の発電量が得られる。

産業上の利用可能性

[0175] 本発明の熱回収装置は、溶融スラグのガスアトマイズを行ない、アトマイザーガスとの効率の高い熱交換によって得られた高温空気を蒸気ボイラーに供給し発電機を運転すれば、高炉スラグの顕熱を電力として回収することができ、また、上記高温空気をさらに加熱すると高炉の送風として利用することもできる。

符号の説明

[0176]
１ 熱回収装置（高炉スラグ顕熱回収装置）
２ スラグタンディッシュ
３ アトマイザー（上向きのガスアトマイザー）
３ａ アトマイズガス噴射装置
３ｂ 溶融スラグノズル
３ｂ′ 上向き放出口
３ｃ リング部品
３ｃ′ 噴射口
３ｄ ガス通路
４ 一次熱交換塔
５ スラグ集積塔
５ｂ，５ｃ 位置センサ
６ 二次熱交換室
７ 一次系サイクロン
８ 一次系蒸気ボイラー
９ 集塵機
１０ 放散塔

１１　二次系サイクロン

１２　二次系蒸気ボイラー

１３　ブロアー

１４　発電機

１５　圧縮機

１６　タービン

１７　回転軸

１８　ゲート

１９　ゲート弁

２０　冷却空気ノズル

２１　逆圧払い落とし機構

請求の範囲

［請求項1］ 圧縮空気を用いて高炉スラグを微粒化し、さらに空気とスラグ粒子間の熱交換により高炉スラグが持つ顕熱を空気に吸収させ、熱回収を行う高炉スラグ顕熱回収装置において、

重力方向と反対方向の上向きにガスを噴射する噴射ノズルを有しその噴射ノズルから噴射されるガスに向けて溶融スラグが供給されるガスアトマイザーと、

このガスアトマイザーから上向きに延設される筒状体からなり、内部をアトマイザーガスと微粒化されたスラグ粒子が上向きに流れる熱交換塔とを備えてなることを特徴とする高炉スラグ顕熱回収装置。

［請求項2］ 上記噴射ノズルの外周部に冷却空気を上向きに噴射するためのノズルが配置されている請求項１記載の高炉スラグ顕熱回収装置。

［請求項3］ 上記熱交換塔の下部から上部に向かって塔の径方向断面積が拡大されている請求項１または２に記載の高炉スラグ顕熱回収装置。

［請求項4］ 上記熱交換塔内を流れ、上記熱交換塔の上部から混合状態で噴射される上記アトマイザーガスと上記スラグ粒子とを沈降分離させる分離塔を有する請求項１または２に記載の高炉スラグ顕熱回収装置。

［請求項5］ 上記分離塔の下部にゲート弁を有するとともに上記分離塔内に堆積した上記スラグ粒子の堆積高さを検出する位置センサを有し、上記ゲート弁は、上記位置センサから出力される信号に基づいて開閉動作を行うことによりスラグ排出量を調節するように構成されている請求項４記載の高炉スラグ顕熱回収装置。

［請求項6］ 上記分離塔の上部に、その分離塔によって分離されたアトマイザーガスから熱回収を行う一次系ラインが接続され、この一次系ラインに上記アトマイザーガスから微粉を回収するサイクロンと、微粉の除去されたガスで運転される蒸気ボイラーが設けられている請求項４に記載の高炉スラグ顕熱回収装置。

［請求項7］ 上記分離塔の下部に熱交換室を有し、この熱交換室は、上記ゲート

弁から排出されたスラグ粒子を搬送する通気可能なベルトコンベアを備え、そのベルトコンベア上のスラグ粒子に対して空気を透過させるように構成されている請求項５に記載の高炉スラグ顕熱回収装置。

[請求項8] 上記熱交換室の上部に、その熱交換室で加熱された高温空気から熱回収を行う二次系ラインが接続され、この二次系ラインに、上記高温空気から微粉を回収する二次系サイクロンと、微粉の除去された上記高温空気で運転される二次系蒸気ボイラーが設けられている請求項７に記載の高炉スラグ顕熱回収装置。

[請求項9] 上記ガスアトマイザーのアトマイズガスを生成する圧縮機と、上記二次系蒸気ボイラーからの蒸気で運転されるタービンを有し、上記圧縮機の動力を上記タービンから得るように構成されている請求項８に記載の高炉スラグ顕熱回収装置。

[請求項10] 上記熱交換塔は、空気を透過させる内筒と空気を透過させない外筒を二重に配置した二重筒と、

上記内筒と上記外筒の間の環状空間を高さ方向に複数の部屋に仕切る仕切り板と、

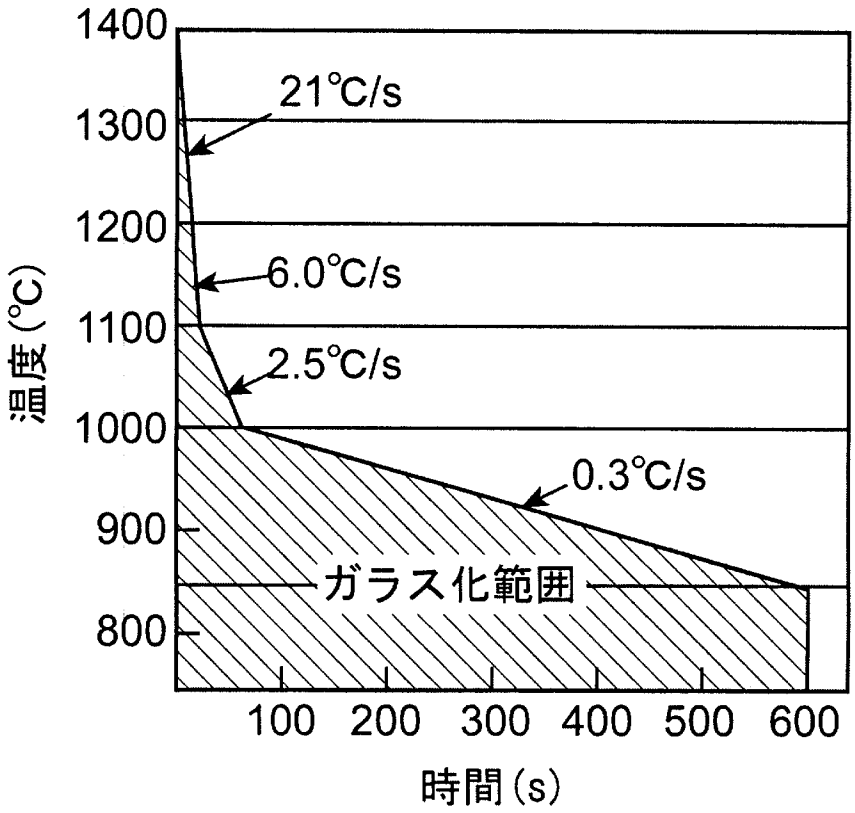
開閉弁と流量計を介して低圧空気を上記各部屋に供給する低圧空気供給路と、

開閉弁を有し高圧空気を上記各部屋に供給する高圧空気供給路とを有し、

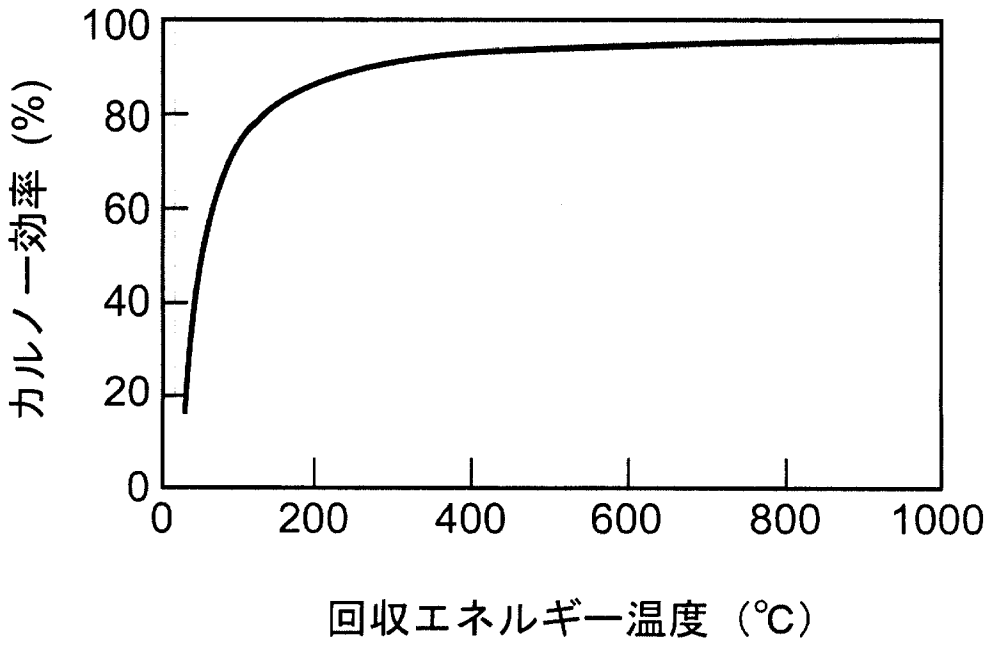
上記高圧空気供給路は、上記流量計によって計測される低圧空気の流量が閾値を下回った時に上記開閉弁を開動作させるように構成されている請求項１に記載の高炉スラグ顕熱回収装置。

[請求項11] 上記高圧空気供給路は、上記環状空間に向けて高圧空気を噴射する空気ノズルをさらに備えている請求項１０に記載の高炉スラグ顕熱回収装置。

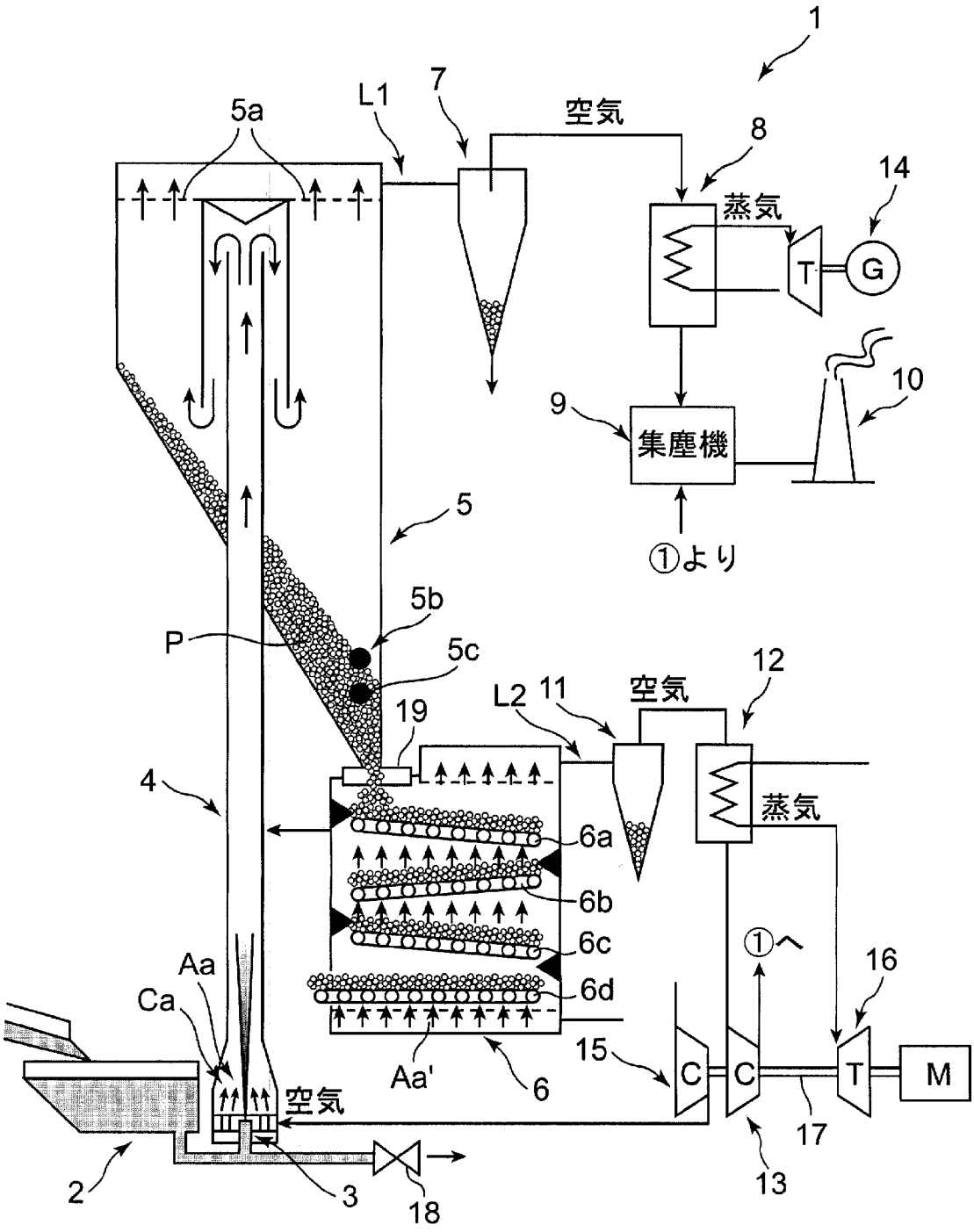
[図1]


1400
1300
1200
1100
1000
900
800
温度(℃)
21℃/s
6.0℃/s
2.5℃/s
0.3℃/s
ガラス化範囲
100 200 300 400 500 600
時間(s)

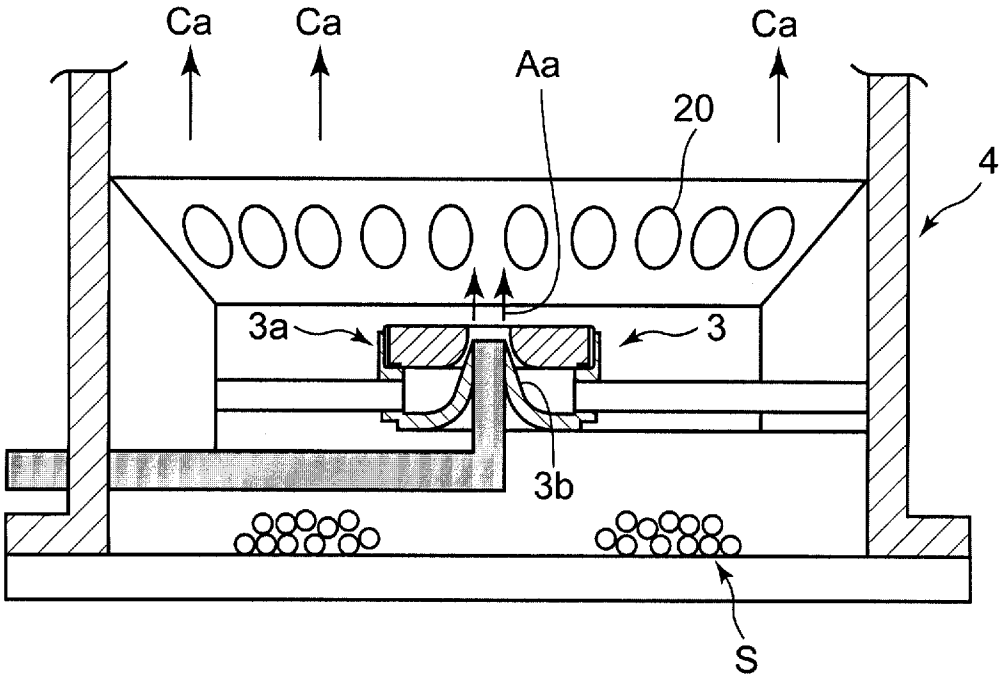
[図2]


100
80
60
40
20
0
カルノー効率(%)
0 200 400 600 800 1000
回収エネルギー温度(℃)

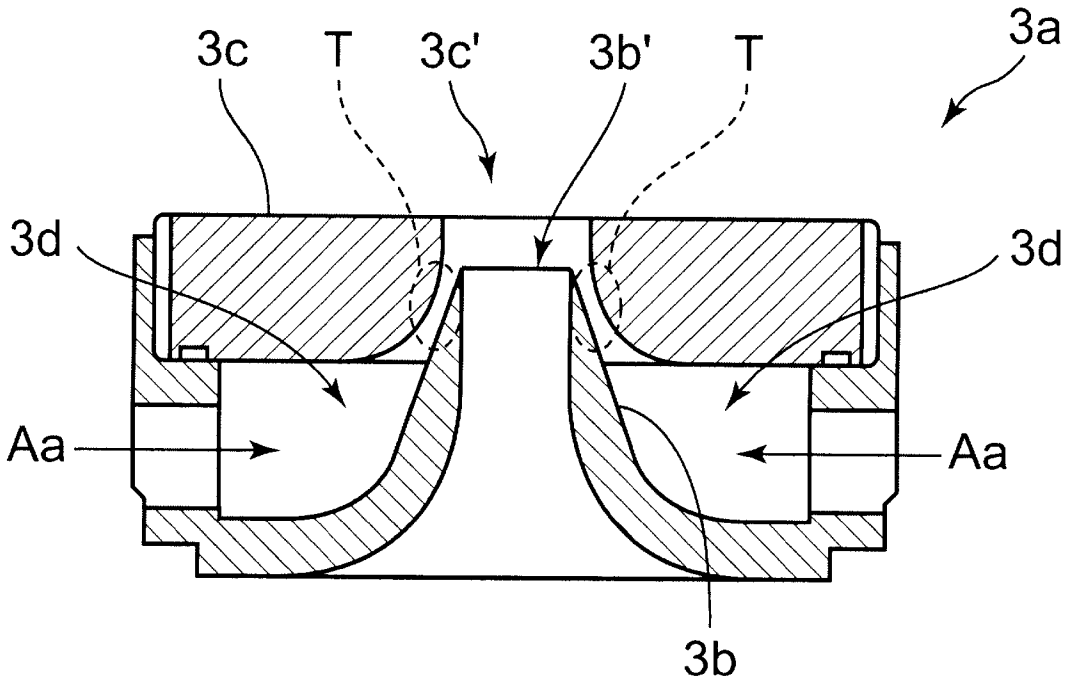
[図3]


1
7
L1
5a
空気
8
蒸気
14
T
G
10
9
集塵機
①より
5
5b
P
5c
12
L2
11
空気
19
4
蒸気
6a
6b
6c
6d
①へ
16
Aa
Ca
15
C
C
T
M
Aa'
6
空気
17
2
3
18
13

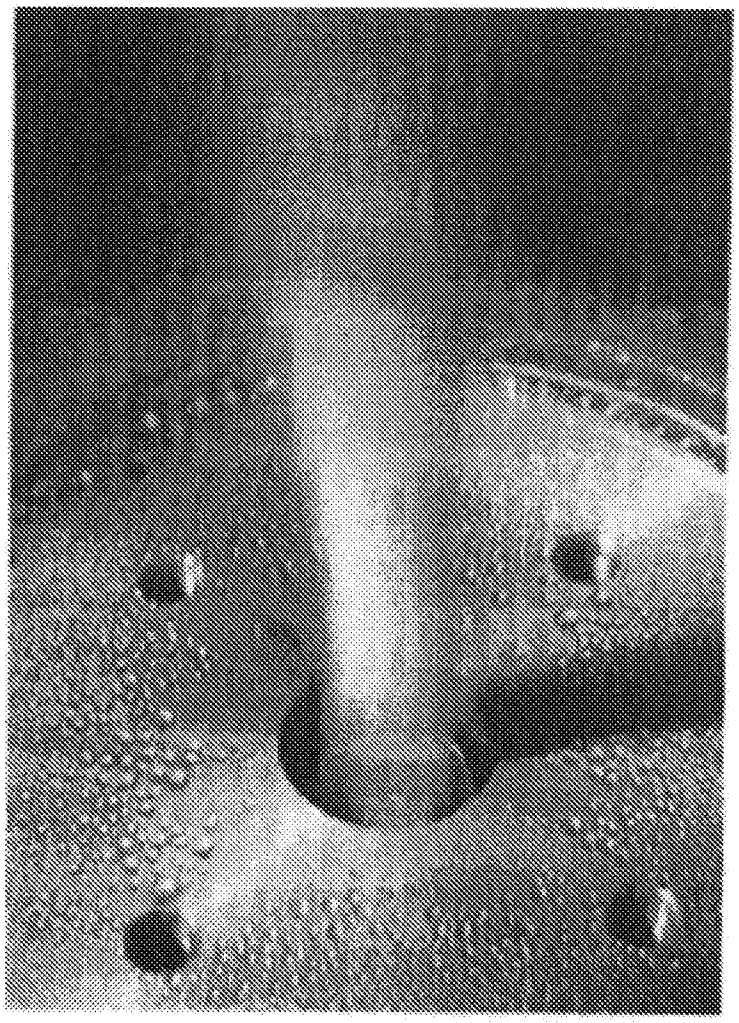
[図4]



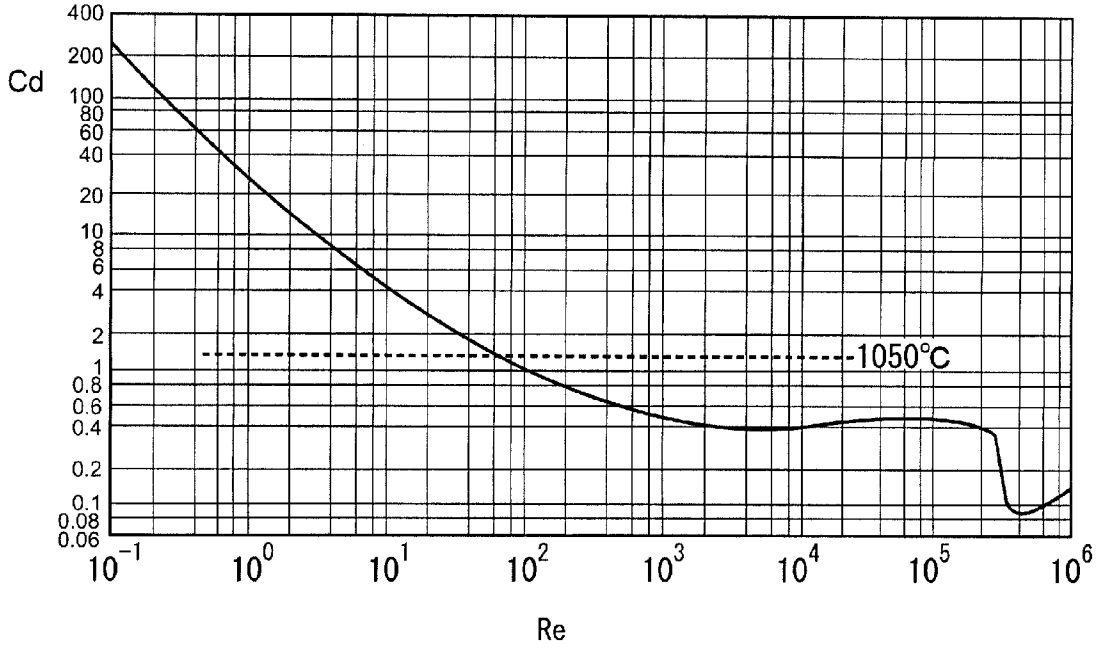
[図5]



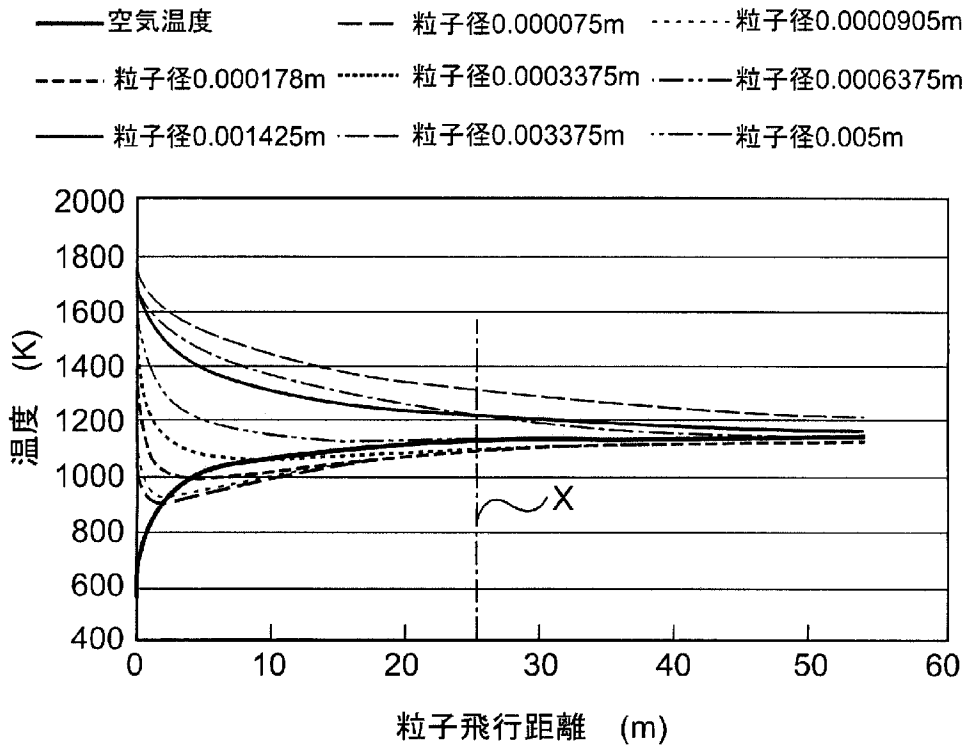
[図6]



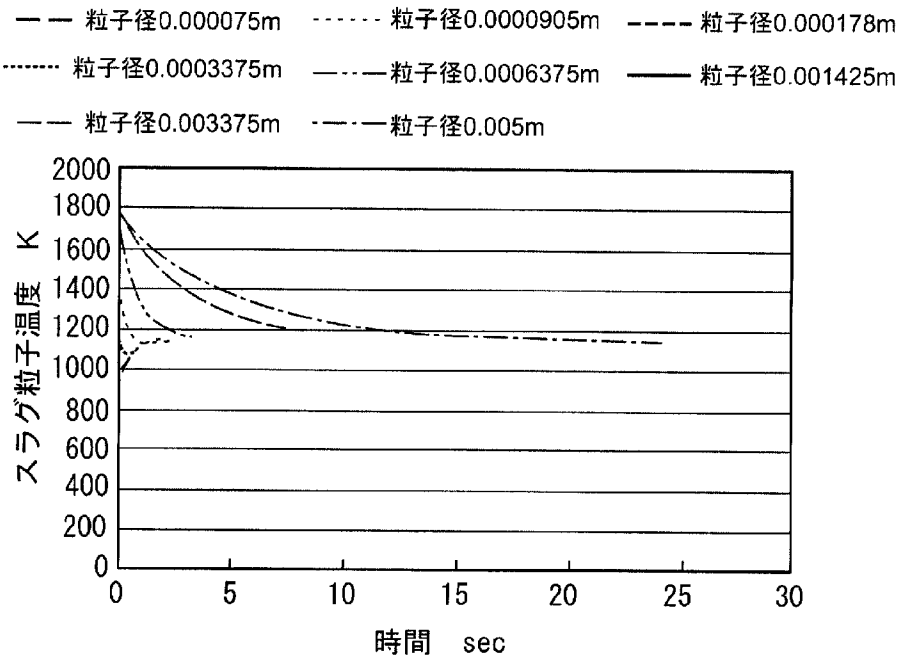
[図7]


Cd
400
200
100
80
60
40
20
10
8
6
4
2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0.1
0.08
0.06
1050℃
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
10^{2}
10^{3}
10^{4}
10^{5}
10^{6}
Re

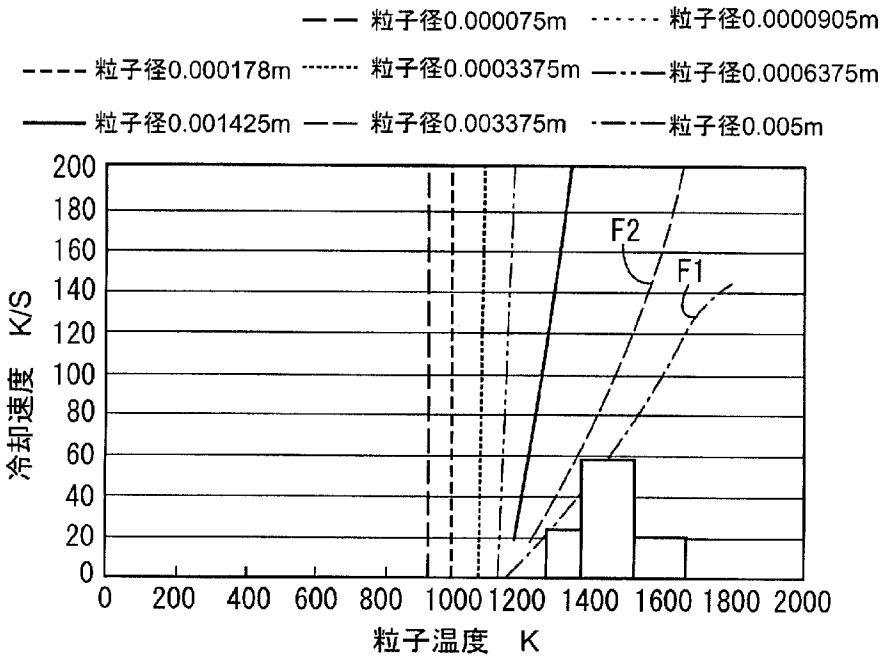
[図8]


空気温度
粒子径0.000075m
粒子径0.0000905m
粒子径0.000178m
粒子径0.0003375m
粒子径0.0006375m
粒子径0.001425m
粒子径0.003375m
粒子径0.005m
温度 (K)
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
0
10
20
30
40
50
60
X
粒子飛行距離 (m)

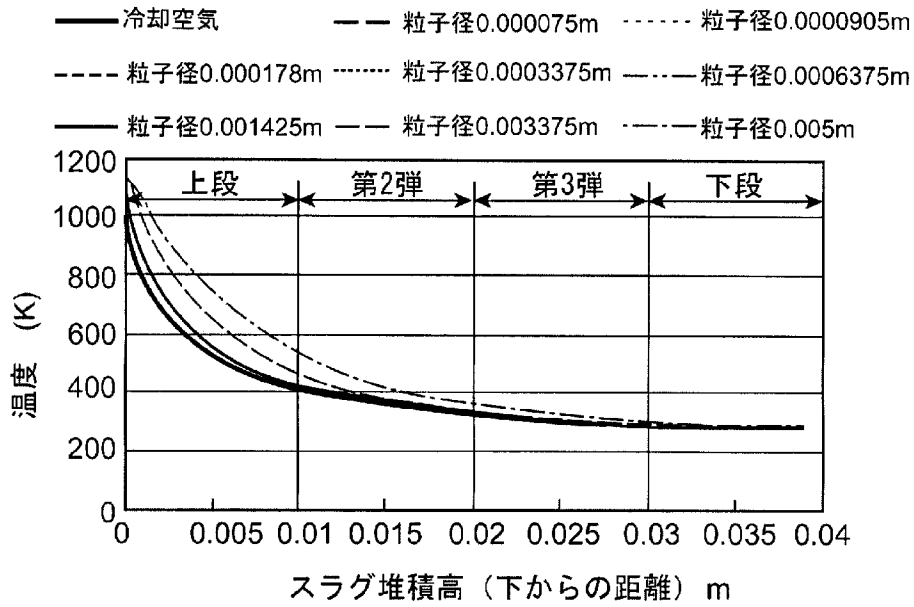
[図9]


粒子径0.000075m
粒子径0.0000905m
粒子径0.000178m
粒子径0.0003375m
粒子径0.0006375m
粒子径0.001425m
粒子径0.003375m
粒子径0.005m
スラグ粒子温度 K
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
5
10
15
20
25
30
時間 sec

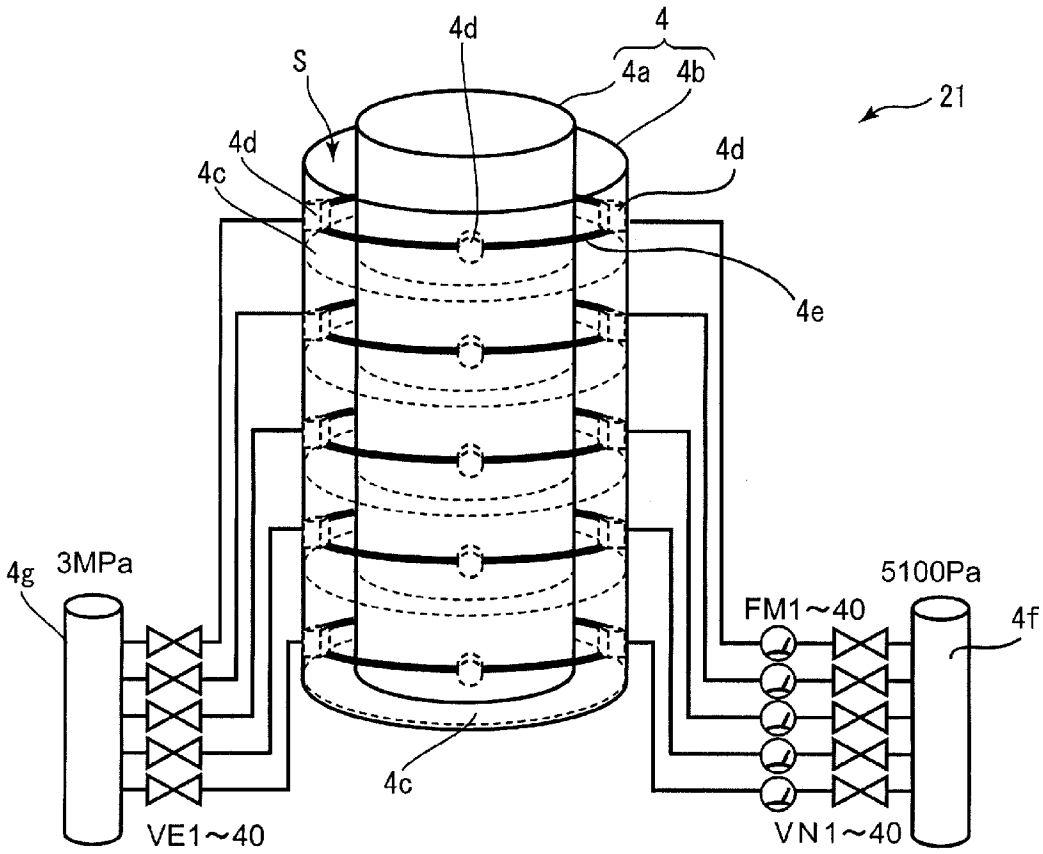
[図10]


粒子径0.000075m
粒子径0.0000905m
粒子径0.000178m
粒子径0.0003375m
粒子径0.0006375m
粒子径0.001425m
粒子径0.003375m
粒子径0.005m
冷却速度 K/S
粒子温度 K
F2
F1
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000

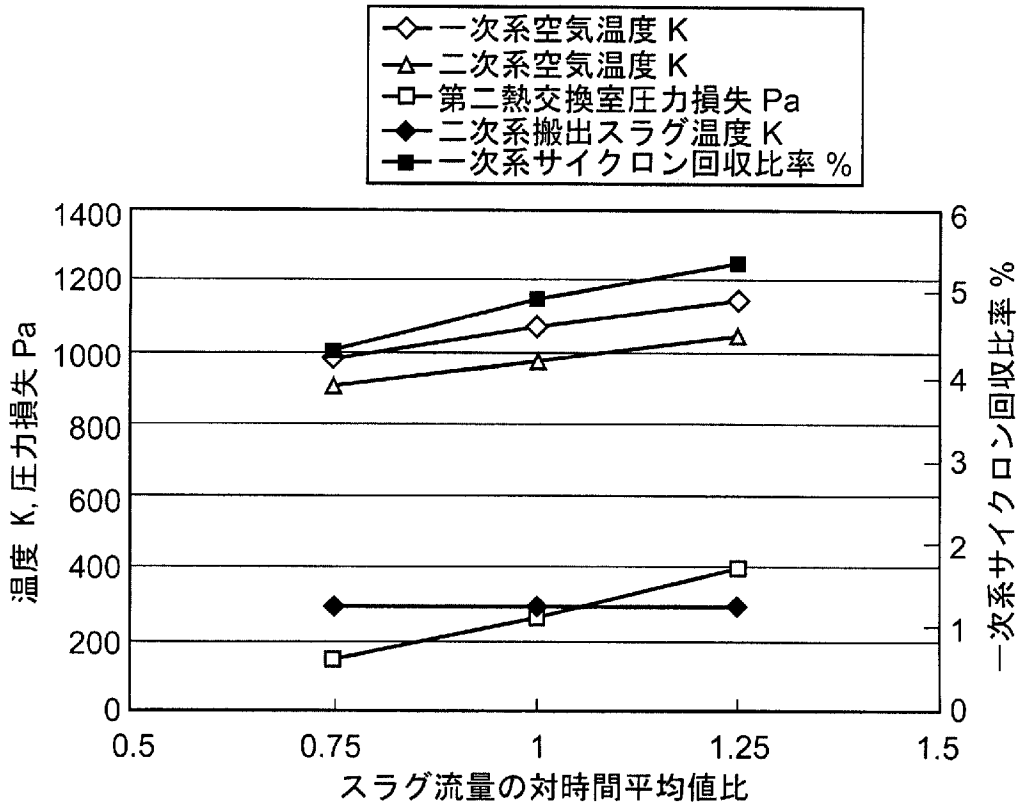
[図11]


冷却空気
粒子径0.000075m
粒子径0.0000905m
粒子径0.000178m
粒子径0.0003375m
粒子径0.0006375m
粒子径0.001425m
粒子径0.003375m
粒子径0.005m
上段
第2弾
第3弾
下段
温度 (K)
スラグ堆積高（下からの距離） m
0
200
400
600
800
1000
1200
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
0.03
0.035
0.04

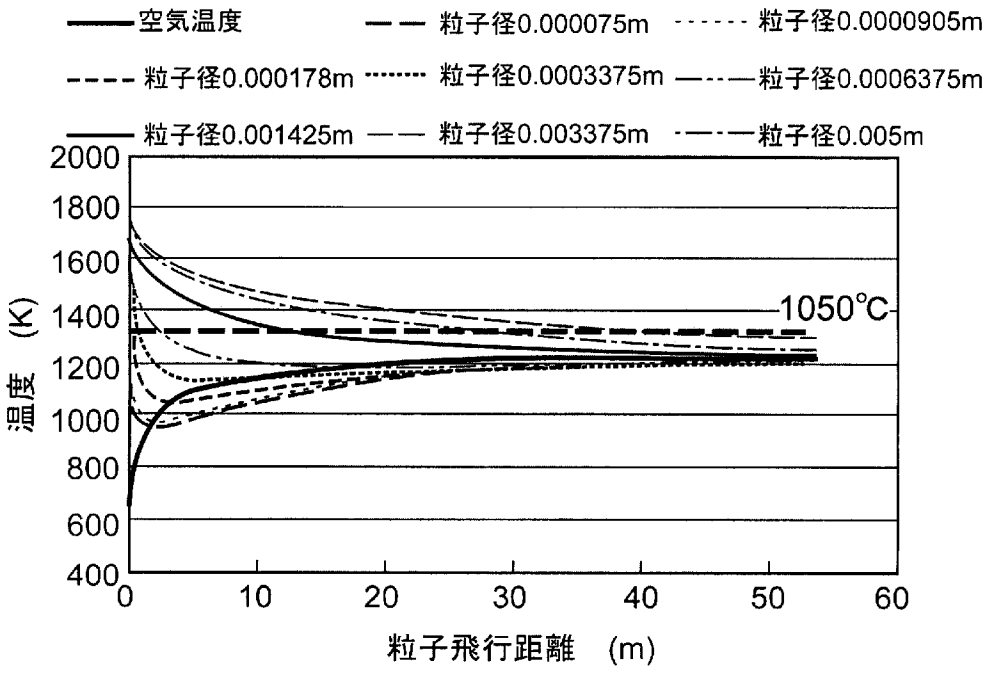
[図12]



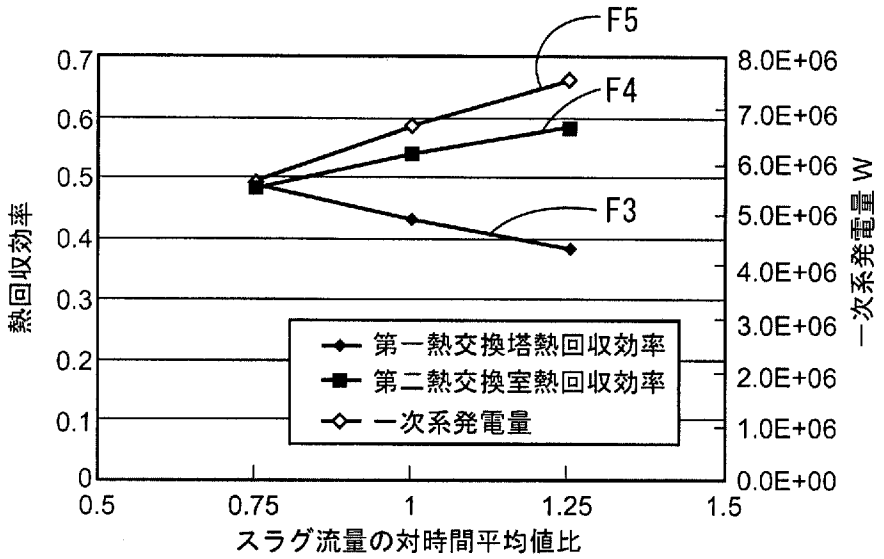
[図13]


一次系空気温度 K
二次系空気温度 K
第二熱交換室圧力損失 Pa
二次系搬出スラグ温度 K
一次系サイクロン回収比率 %
温度 K, 圧力損失 Pa
一次系サイクロン回収比率 %
スラグ流量の対時間平均値比
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
0
1
2
3
4
5
6
0.5
0.75
1
1.25
1.5

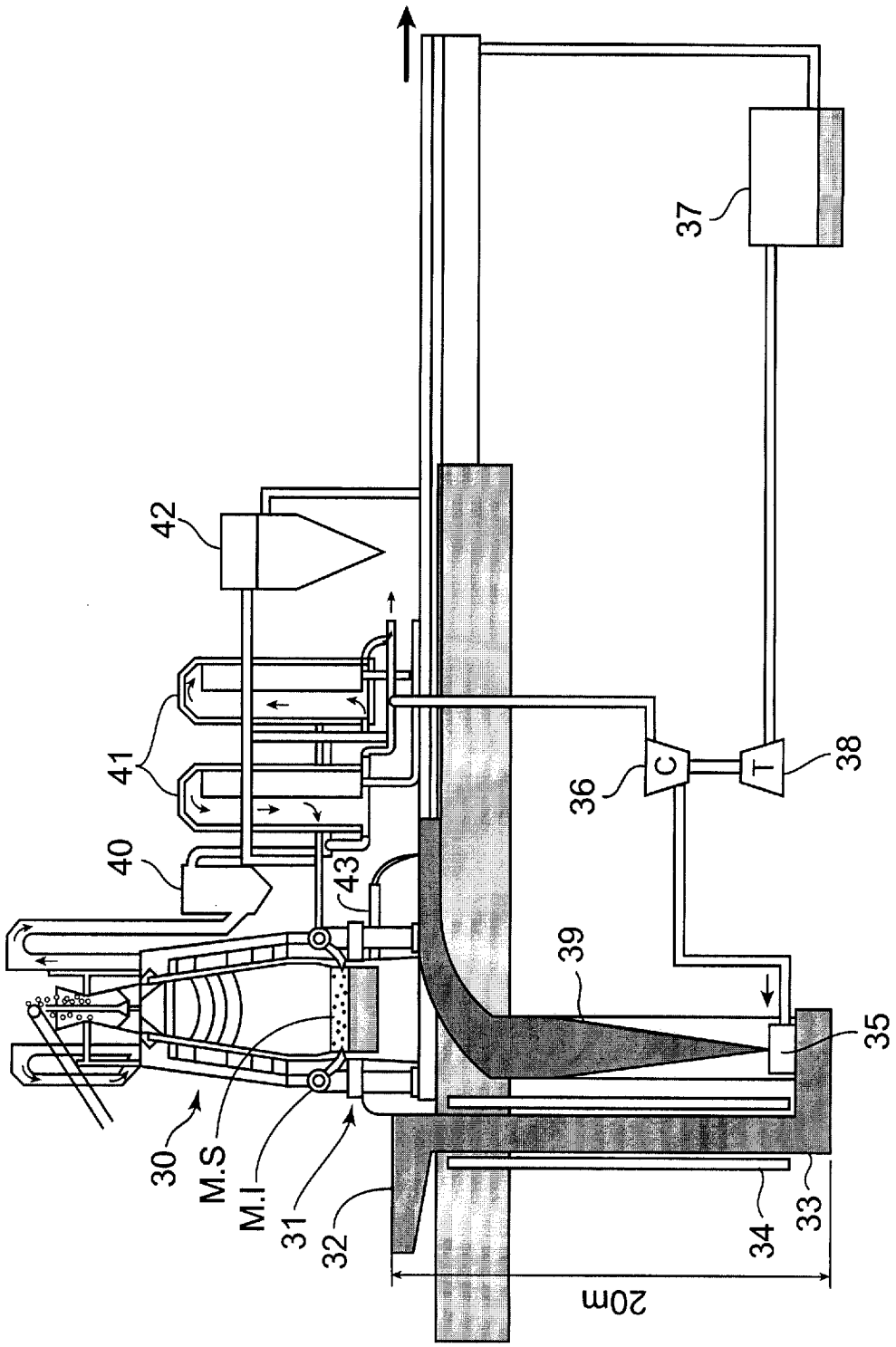
[図14]


空気温度
粒子径0.000075m
粒子径0.0000905m
粒子径0.000178m
粒子径0.0003375m
粒子径0.0006375m
粒子径0.001425m
粒子径0.003375m
粒子径0.005m
1050℃
温度 (K)
粒子飛行距離 (m)
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
0
10
20
30
40
50
60

[図15]


F5
F4
F3
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
8.0E+06
7.0E+06
6.0E+06
5.0E+06
4.0E+06
3.0E+06
2.0E+06
1.0E+06
0.0E+00
熱回収効率
一次系発電量 W
第一熱交換塔熱回収効率
第二熱交換室熱回収効率
一次系発電量
0.5
0.75
1
1.25
1.5
スラグ流量の対時間平均値比

[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2011/078145

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
C04B5/00(2006.01)i, *C21B3/08*(2006.01)i, *F27D17/00*(2006.01)i

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)
C04B5/00-5/06, C21B3/08, F27D17/00

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	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2009-132546 A (JFE Steel Corp.), 18 June 2009 (18.06.2009), claims; paragraph [0001]; drawings (Family: none)	1-11
A	JP 11-181508 A (Nippon Steel Corp.), 06 July 1999 (06.07.1999), paragraphs [0001], [0021] to [0024]; drawings (Family: none)	1-11
A	JP 3-295835 A (Sumitomo Cement Co., Ltd.), 26 December 1991 (26.12.1991), claims; drawings (Family: none)	1-11

☒ 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	Date of mailing of the international search report
01 March, 2012 (01.03.12)	13 March, 2012 (13.03.12)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2011/078145

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2003-523824 A (Holcim Ltd.), 12 August 2003 (12.08.2003), claims; paragraph [0001]; drawings & WO 2001/062987 A1 & EP 1203102 A1 & US 2002/0158376 A1	1-11

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１１／０７８１４５

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　C04B5/00(2006.01)i, C21B3/08(2006.01)i, F27D17/00(2006.01)i

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（ＩＰＣ））

Int.Cl.　C04B5/00-5/06, C21B3/08, F27D17/00

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	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１２年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１２年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１２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）

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
A	JP 2009-132546 A (JFE スチール株式会社) 2009.06.18, 特許請求の範囲,[0001],図面（ファミリーなし）	1-11
A	JP 11-181508 A (新日本製鐵株式会社) 1999.07.06, [0001],[0021]-[0024],図面（ファミリーなし）	1-11
A	JP 3-295835 A (住友セメント株式会社) 1991.12.26, 特許請求の範囲,図面（ファミリーなし）	1-11

☑　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 ０１．０３．２０１２	国際調査報告の発送日 １３．０３．２０１２
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 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）　４Ｔ　３０２９ 永田　史泰 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３４６５

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	JP 2003-523824 A (ホルシム リミティド) 2003.08.12, 特許請求の範囲,[0001],図面 & WO 2001/062987 A1 & EP 1203102 A1 & US 2002/0158376 A1	1-11