

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

特許第3010207号
(P3010207)

(45) 発行日 平成12年2月21日(2000.2.21)

(24) 登録日 平成11年12月10日(1999.12.10)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

F 2 8 C 3/12

F 2 8 C 3/12

請求項の数4(全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平9-245412
(22) 出願日 平成9年9月10日(1997.9.10)
(65) 公開番号 特開平11-83347
(43) 公開日 平成11年3月26日(1999.3.26)
審査請求日 平成9年9月10日(1997.9.10)

特許法第30条第1項適用申請有り 1997年3月15日 日
本混相流学会発行の「混相流 VOL. 11 NO. 1」
に発表

(73) 特許権者 391012501
九州大学長
福岡県福岡市東区箱崎6丁目10番1号
(72) 発明者 清水 昭比古
福岡県福岡市早良区百道1-16-35
(72) 発明者 横峯 健彦
福岡県福岡市南区柳河内2-7-10-
302
(74) 代理人 100058479
弁理士 鈴江 武彦 (外5名)

審査官 上原 徹

(56) 参考文献 特開 昭60-245986 (J P, A)
特公 昭29-2297 (J P, B 1)
実公 昭52-16288 (J P, Y 2)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ガスと粒子との接触分離装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 中心軸線を略鉛直方向に向けて配置され下部に絞り部を有する分離筒と、この分離筒内にその上端部の周辺部のガス入口から下方に向けてガスの旋回流を噴出しこの分離筒内の周辺部に下向きの旋回流の下降流領域を形成する旋回流供給機構と、上記の分離筒の上端部の中心部に連通し上記の下降流領域のガスの流れを反転させてこの分離筒内の中心部に上向きの旋回流の上昇流領域を形成してこのガスを排出するガス出口と、上記の分離筒の上端部の中心部に開口し固体粒子を上記の上昇流領域に供給する粒子入口とを具備し、上記の上昇流領域に供給された固体粒子はガスと接触して遠心力により上記の下降流領域を通過して上記の分離筒の内面まで到達して分離されることを特徴とするガスと粒子との接触分離装置。

【請求項2】 前記の分離筒内には、前記の粒子入口の下方に配置されこの粒子入口から供給される粒子を径方向外側に分散する粒子分散体が設けられていることを特徴とする請求項1のガスと粒子との接触分離装置。

【請求項3】 前記の旋回流供給機構は、前記のガス出口の周囲に配置された複数の螺旋形のペーンを備えているものであることを特徴とする請求項1のガスと粒子との接触分離装置。

【請求項4】 前記の上昇流領域に供給された固体粒子はガスと接触して遠心力により前記の下降流領域を通過しこのガスと向流形の熱交換をしつつ前記の分離筒の内面まで到達して分離される熱交換器として構成されていることを特徴とする請求項1のガスと粒子との接触分離装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ガスと固体粒子との固気混相流型の熱交換器、粉体燃料の燃焼装置、またはガスと固体粒子との化学的な反応装置等、ガスと固体粒子とを混合して接触させるとともに接触後の固体粒子を分離するガスと固体粒子との接触分離装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来から、たとえばセメント製造設備、製鉄設備、塵芥焼却設備、流動層ボイラ等、高温の固体粒子が排出される設備、装置が多くある。したがって、これらの設備から排出される高温の粒子をガスと熱交換させ、その廃熱を回収することにより、エネルギーの節減を達成することができる。

【0003】しかしながら、従来のガスと粒子との間の熱交換器は、効率が低く、また構造が複雑かつ大形であり、その設置に多大な費用を必要とする等の理由で、これら高温の粒子からの廃熱回収は実用化されたものが少ない。

【0004】また、上記のような既存の設備に限らず、各種の熱機関等において、ガスと粒子との間の効率的な熱交換器の開発が要望されている。たとえば、将来実用化が予想される核融合炉では、冷却材としてガスと固体微粒子とを混合したいわゆる固気混相流の使用が検討されている。

【0005】すなわち、既存の軽水炉や高速増殖炉では軽水または液体ナトリウムによる冷却方式で十分対応可能であるが、核融合炉、特に炉内プラズマ対向機器では軽水炉と比較して数倍の熱負荷がかかるため、これを水冷却で行うならば高圧のサブクール沸騰に対応することになり、エネルギー回収は放棄せざるを得ないばかりか、高温と強い中性子照射環境下での過大な加圧は構造材料の選択の余地を大幅に狭める。このため、加圧することなく高いエネルギー回収効率を得られる固気混相流を冷却材として使用することが望ましい。

【0006】また、将来の核融合動力炉では、一次側単相ガスタービンサイクル、二次側蒸気タービンによるランキンサイクルで構成される複合発電システムの採用が有望視されている。このシステムに固気混相流を冷却材として用いる場合には、炉の出力密度が非常に高いため混相流の固相濃度を上げざるを得なくなり、これを直接ガスタービンに導く可能性は固体粒子によるタービン翼の摩耗損傷という問題から殆どない。したがって、タービン翼保護のためにタービン上流で混相冷却材を高温粒子とタービンに導入される単相ガスとに確実に分離する必要がある。

【0007】ところで、粒子とガスとの間の熱交換の方式は、分離型と混合型に大別できる。前者の分離型のもは、たとえば伝熱管を介して粒子とガス間の熱交換を行うもので、粒子とガスとは直接接触しないので、当然ながらガス中に粒子が混入することはない。しかしこの

方式の伝熱機構は、ガス側では単相ガスの強制対流、粒子側では粒子層が形成する多孔質体中の実効熱伝導であり、伝熱抵抗が大きく、効率が低い。また、粒子を伝熱管の外側領域で移動させる必要があり、この粒子の移動機構が複雑となるとともに、この伝熱管の管壁への粒子の付着等の問題があり、信頼性が低い。また、この粒子をガスと混合して移動させる方式もあるが、粒子側の熱抵抗を改善するだけの効果しかなく、全体としてはやはり伝熱効率が低い。

【0008】また、後者の混合型のものは、ガス流中に粒子を混合し、ガスと粒子を直接接触させて熱交換をなし、この後にサイクロン等で粒子を分離するものである。このものは、粒子がその大きな比表面積でガスと接触するため、瞬時に熱交換がなされ、またこのガスと粒子の混相流の移動等の機構も簡単で、信頼性が高い。しかし、この混合型のものは、粒子とガスとが上記のように瞬時に最終平衡温度に達し、熱交換後のガスの温度と粒子の温度は等しい温度となる。したがって、並行流型熱交換器と同等の効率しか得られない。

【0009】なお、混合型の熱交換器において、ガス中での粒子の重力沈降速度より遅い速度でガスを上向きに流通させ、この中で粒子を自由落下させれば、向流型の熱交換器と同等の効率を得られる。しかし、この場合のガスの速度は極めて低速となり、その容器が極めて大形となるため、到底実用化はできない。

【0010】上述のように、従来のガスと粒子との間の熱交換器では、高熱交換効率、高信頼性、小形化等の好ましい特徴を兼備したものが得られていない。このため、上述したような設備における高温の固体粒子からの廃熱回収、または将来の熱機関等におけるガスと粒子との間の熱交換等において、上記のような高熱交換効率、高信頼性、小形化等の好ましい特徴を兼備した熱交換器が要望されている。

【0011】また、上述したような混合型の熱交換器の場合のようなガスと粒子との接触および分離の問題は、熱交換器には限らず、たとえば微粉体燃料の燃焼器、ガスと固体粒子との間で化学反応を行う装置等においても共通している。すなわち、このような粒子はガス中に浮遊した状態となり、この粒子と周囲のガスとの間の相対的な速度が瞬時に実質的に零となるため、微粉体燃料の燃焼や粒子とガスとの反応の効率が低下する等の問題を生じることになる。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】本発明は以上の事情に基づいてなされたもので、ガス中に粒子を混合してこれらを直接接触させ、これらの間の熱交換や化学反応をおこない、かつこの後に粒子を分離する装置において、熱交換や化学反応の効率が高く、また信頼性が高いとともに構造が簡単で小形化が容易なガスと粒子との接触分離装置を提供するものである。

【0013】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の本発明は、中心軸線を略鉛直方向に向けて配置された下部に絞り部を有する分離筒と、この分離筒内にその上端部の周辺部のガス入口から下方に向けてガスの旋回流を下方に向けて噴出する旋回流供給機構と、上記の分離筒の上端部の中心部に連通し上記のガス入口から下向きに噴出されたガスの旋回流をこの分離筒内で上向きに反転させて排出するガス出口と、上記の分離筒の上端部の中心部に開口し固体粒子をこの分離筒の中心部に供給する粒子入口とを具備したものである。

【0014】したがって、粒子入口から分離筒内の上端の中心部に供給された粒子は、まず上記のガス出口に上向きに向かうガスの旋回流中に混合され、このガスに接触するとともにこの旋回流により回転し、遠心力により外側に移動し、次にガス入口から噴出される下向きのガスの旋回流に接触するとともに、さらに遠心力により外側かつ下側に移動し、この分離筒の内周面に達し、ガスから分離される。

【0015】この場合に、たとえば熱交換器にあっては、ガス入口から供給された低温のガスは、分離筒内を移動してきた低温の粒子と接触して熱交換された後に、ガス出口の近傍において高温の粒子と接触するので、向流型の熱交換器と同等の高い熱交換効率を得られる。また、ガスと粒子との燃焼や化学反応を行う装置では、粒子入口から供給された粒子は、ガス出口に向かう上向きの旋回流中を旋回しながら径方向外側に移動するため、この領域においては粒子とガスの相対速度が大きく、これらの間の燃焼や化学反応が効率的に行われる。

【0016】また、この装置は、分離筒内に形成される途中で上下に反転した旋回流中で粒子とガスの接触および分離が全て終了するので、構造が簡単で信頼性が高く、またこの分離筒等が小形化され、装置全体の小形化が容易である。

【0017】また、請求項2に記載の本発明は、前記の分離筒内には、前記の粒子入口の下方に配置されこの粒子入口から供給される粒子を径方向外側に分散する粒子分散体が設けられているものである。したがって、粒子入口から供給された粒子は、この粒子分散体により径方向外側に分散され、ガスの旋回流中に確実に混合され、この供給された粒子がそのまま分離筒の中心部を通過して下方に移動してしまうことが防止される。

【0018】また、請求項3に記載の本発明は、前記の旋回流供給機構は、前記のガス出口の周囲に配置された複数の螺旋形のペーンを備えているものである。したがって、構造が簡単であるとともに、信頼性が高く、また装置を小形に形成することができる。

【0019】また、請求項4に記載の本発明は、前記の粒子入口から供給される粒子と前記のガス入口から供給されるガスとの間で熱交換作用をなす熱交換器として構

成されているものである。したがって、上述のように、高熱交換効率、高信頼性、小形化など、好ましい特徴を全て兼備した熱交換器が得られる。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、本発明を図に示す一実施形態を参照して説明する。この実施形態のものは、本発明をガスと粒子との固気混相流型の熱交換器として適用した場合のものである。なお、この実施形態の熱交換器は、本発明の要旨たる特徴を備えているが、試験的に製作した小形の装置であり、前述したような各種の設備や装置において使用される実機の熱交換器にあっては、それらの仕様に対応して各部の構造、形状等の変更、または付加的な機器の追加等、本発明の要旨を逸脱しない範囲で各種の変更が可能であることはもちろんである。

【0021】まず、図1を参照して本発明の熱交換器の全体を概略的に説明する。図中の1はこの熱交換器の主要部分である本体部であり、この本体部1においてガスと粒子とが混合され、これらの中で熱交換がなされ、また熱交換が終了した後にガスと粒子が分離される。この本体部1の構成については、後に詳述する。

【0022】この本体部1には、たとえばプロア2によりガス供給管3を介して低温のガスが供給される。なお、4はガスの流量検出器、5は制御用の弁機構であり、図示しない制御装置に信号を送り、またこの制御装置により制御される。また、この本体部1内で熱交換された高温のガスは、ガス排出管6を介して排出される。なお、このガス排出管6の途中には、サイクロンセパレータ7が設けられ、このガス中に粒子が不所望に混入した場合には、この粒子を確実に分離する。

【0023】また、図中の8は、高温の粒子を一時的に貯蔵するホッパである。このホッパ8内には、たとえば高温の粒子を排出する設備、または核融合炉の冷却材の固気混相流から分離された高温の粒子等が供給される。そして、このホッパ8内に貯溜された高温の粒子は、図示しない供給機構により上記の本体部1内に供給される。なお、このホッパ8の下部には、高温の粒子の供給量を制御する弁機構9が設けられている。

【0024】また、この本体部1の下部には、粒子回収タンク10が接続され、熱交換後に分離された低温の粒子を回収する。なお、回収された低温の粒子は、図示しない移動機構により、この制御弁機構11を介して処理設備または核融合炉の冷却材中等に送られる。

【0025】次に、図2ないし図4を介して上記の本体部1の構成を説明する。この本体部1は、ガスと粒子を接触させかつ分離する分離筒20と、その上部に設けられこの分離筒内に低温のガスを旋回流として供給する旋回流供給機構23から構成されている。

【0026】上記の分離筒20は、円筒型の接触筒21と、この接触筒21の下部に接続され下方に向けて径の縮小した絞り部22とから構成されている。この分離筒

20は、その中心軸線が略鉛直方向に沿って竪型に設置されている。また、上記の絞り筒22の下端部すなわちこの分離筒20の下端部は、前記の粒子回収タンク10の上端部に連通している。

【0027】また、上記の接触筒21は、硬質かつ耐熱性のガラス材料等の透明な材料で形成され、この内部での粒子およびガスの挙動を測定できるように構成されている。なお、このような構造は、この実施形態の装置が試験的な装置であるために採用された構造である。したがって実機では、この分離筒20は、粒子の寸法や性状、ガスの種類、粒子の温度、粒子やガスの供給量等の各種の条件および使用に対応し、後述するようなガスと粒子の接触および分離が最も効率的に行われるような形状、寸法に設計されることはもちろんである。

【0028】また、上記の旋回流供給機構23は、この実施形態の場合には外筒24と内筒25とから構成されており、この内筒25は外筒24の内周面に気密をもって密嵌している。そして、この内筒25の外周には、溝状のガス供給通路26が形成されており、このガス供給通路26は周方向に連続し、また周方向にわたってその断面積が連続的に減少するような形状をなしている。また、このガス供給通路26の始端部は、上記の外筒24の周壁に接線方向に形成された供給口39に接続され、この供給口39は供給ノズル37を介して前記のガス供給管3に接続されている。

【0029】また、このガス供給通路26の下方に位置する内筒25の外周には、複数の螺旋状のベーン30が一体に形成されている。また、この内筒24の中心部には、ガス出口27が形成されており、このガス出口27は上記の分離筒20内の上端中心部に下向きに開口している。また、このガス出口27の外側と上記の外筒24の内周との間には、環状のガス入口28が形成されており、このガス入口28は、上記のガス出口27の外側を囲んで、上記の分離筒20内の上端部に下向きに開口している。

【0030】そして、上記のガス供給通路26内に供給された低温のガスは、上記のベーン30より旋回流となり、上記のガス入口28から下向きに分離筒20内に噴出される。このように噴出されたガスの旋回流は、この分離筒20内で上下に反転し、上向きの旋回流となって上記のガス出口27から上方に排出される。なお、この場合に、ガスの旋回流は上記のように上下に反転はするが、旋回の方法は同じ方向であることはもちろんである。

【0031】また、上記のガス出口27の下端開口部の内周には、所定の形状で拡径したカスプ部38が形成されている。このカスプ部38では、上記のガス入口28から噴出した下向きのガス流と、上記のガス出口27内に流入する上向きのガス流が隣接しているため、この部分にガスの渦が発生する。そして、このカスプ部38

は、このような渦が強く、かつ安定して形成されるような形状に設定されているものである。

【0032】また、上記のガス出口27は、この内筒25内を貫通して上方に延長され、この内筒25の上端からは筒状のガス出口筒31が一体に突出されている。そして、このガス出口筒31の上端部には上昇筒32が接続され、この上昇筒32は略鉛直上方に延長されている。そして、この上昇筒32の上端部は、縮径ノズル36を介して前述のガス排出管6に接続されている。

【0033】また、上記のガス出口27および上昇筒32の中心部には、これらの軸方向に沿って略鉛直に粒子供給管33が設けられている。この粒子供給管33の上端部は、前述のホッパ8に接続され、高温の粒子が供給される。また、この粒子供給管33の下端部は、上記のガス出口27の開口の中心部において分離筒20内に下向きに開口し、この下端開口が粒子入口34として形成されている。なお、この実施形態では、この粒子入口34、ガス出口27およびガス入口28は、略同一の高さ位置に開口しているが、前述の如く、各種の条件に対応してこれらの開口の高さ位置は適宜設定できるものである。

【0034】また、上記の分離筒20内の中心部には、上記の粒子出口34の下方にこれと同心状に粒子分散体35が設けられている。なお、図示はされていないが、この粒子分散体はガスおよび粒子の流動を妨げない適宜のステーにより、所定の位置に保持されている。

【0035】この粒子分散体35は、たとえば図4に示すように、上端および下端部が円錐型に形成され略紡錘型のものである。そして、この粒子分散体35は、上記の粒子入口34から下方に放出された粒子の流れを径方向外側に偏向する。なお、この粒子分散体35は、下端部も円錐型に形成されているので、この分離筒20内の中心部の上向きのガスの旋回流を妨げないように構成されている。

【0036】次に、上記のような熱交換器の作用を説明する。図5には、この分離筒20内でのガスおよび粒子の流れの状態を模式的に示す。なお、図5中で矢印線はガスの流れ、黒い丸Pは粒子の移動軌跡を示す。上述したように、上記のガス供給通路26内に供給された低温のガスは、この旋回流供給機構のベーン30によって強い旋回流となり、ガス入口28から分離筒20内に下向きに噴出し、下降流領域Aを形成する。一方、ガス出口27はこの分離筒20内の上部に下向きに開口しているので、このガスはこの分離筒20内の中間部で軸方向すなわち上下方向の流れが反転し、この分離筒20の中心部では、ガス出口27に向かう上向きの旋回流が生じ、上昇流領域が形成される。なお、前述したように、この下降流領域および上昇流領域での旋回流の旋回方向は同じ方向である。

【0037】そして、この分離筒20の上端部の中央に

開口した粒子入口34から下向きに高温の粒子が上昇流領域B中に供給され、この高温の粒子とガスが接触して熱交換作用が開始される。また、これとともに、これらの粒子は、このガスの旋回流とともに旋回し、その遠心力により径方向外側に移動する。なお、前記の粒子分散体35によって、これら粒子は、径方向外側にさらに効率的に偏向される。

【0038】これらの粒子は、径方向外側に移動し、さらに下降流領域Aに移動する。この下降流領域Aでも、旋回方向は同じであるため、これら粒子Pはこの下降流領域Aにおいてもガスと接触して熱交換をしつつさらに旋回を続け、遠心力により分離筒20の内周面まで到達する。そして、これら粒子はこの分離筒20の内周面に沿って旋回を続け、重力および下降流領域Aの下向きのガス流れにより次第に下方に移動し、前述した粒子回収タンク10内に回収される。

【0039】また、図5に示すように、この下降流領域Aと上昇流領域Bとの間には、前述した渦が発生し、この渦に捕捉された粒子が、カスプ部38の内面またはガス出口27の内面に衝突して下方外側に流れる境界点すなわち壁面への再付着点Rが形成され、この再付着点Rより下方の領域まで移動した粒子は、最終的にこの分離筒20の内周面に沿って下方に移動して粒子回収タンク10に回収される。したがって、粒子入口34、ガス出口27、ガス入口28等の位置や寸法、分離筒20の形状寸法等を各種の条件に対応して適切に設定することにより、粒子入口34から供給された粒子が確実にこの再

$$G_s C_s T_s = G_g C_g T_g$$

となる。微細な粒子とガスとの間の伝熱は良好で通常の熱通過抵抗に相当する不可逆損失は小さいから、理想的

$$t_h = (G_s C_s) / (G_g C_g) = (C_s / C_g)$$

となる。ここで混合熱ローディング比 t_h は、吹き込みガス熱容量流量 $[J/s \cdot K]$ と単位時間あたりの供給粒子熱容量 $[J/s \cdot K]$ の比で定義される。すなわち、混合熱ローディング比が1近傍での使用が熱交換性能の点からは好ましい。

【0044】さらに、粒子が高濃度（混合熱ローディング比が1以上）の条件下でこの熱交換装置を使用する場合には、粒子入口34から供給された粒子は高濃度を保ったまま、ほぼ直線的に粒子回収タンク10に落下してしまう。このため、ガス入口28から導入されたガスはこの粒子の高濃度領域には接触せず、導入直後に粒子とわずかに接触するだけでガス出口27に流れ、これらの混合が十分に行われなくなる。

【0045】このような不具合を改善するには、前述した粒子分散体35を備えることが好ましい。上記の粒子入口34から供給された高濃度の粒子は、この粒子分散体35により径方向外側に偏向されてガス中に稀薄な雲状に拡散され、ガスと良好に接触し、これら粒子の大き

付着点Rより下方まで移動するように設定すれば、粒子をほぼ完全に分離することも可能である。

【0040】なお、上記のような粒子の分離特性は、上記のような再付着点Rにのみ影響されるものではない。一般に上記のベーン30の角度を浅くして、より浅い角度でガスを噴出したり、また分離筒20の径を大きくすれば、この粒子の分離効率は向上する。

【0041】次に、この熱交換器の熱交換の特性を説明する。図6には、ガスおよび粒子の移動量たとえば粒子入口34からの距離と、これらの温度の変化を示す。図中、pは粒子の温度変化特性、gはガスの温度変化特性を示す。この図から明らかなように、ガス入口から流入して粒子と熱交換を開始したガスの温度は、下降流領域では並行流型の特性であるが、上昇流領域では直交流型の特性を示し、ガスは最後に供給された直後の高温の粒子に接触して排出される。なお、この実施形態ではガス流が反転する領域ではガスと粒子は接触しないので、ガスの温度は図中のq点からq'点まで移行する。

【0042】この熱交換器の特性は、上述の如く純粋な向流型ではないが、純粋な並行流型より不可逆損失の少ない熱交換体系であり、向流型に近い熱交換効率が達成可能である。

【0043】また、この熱交換器における熱交換性能について一般的に示すと、粒子およびガスの質量流量を G_s 、 G_g $[kg/s]$ 、これらの比熱を C_s 、 C_g $[J/kg \cdot K]$ 、これらの入口および出口の温度差を T_s 、 T_g $[K]$ とすれば、これらの交換熱量は

$$(1)$$

な向流型熱交換器の場合に不可逆損失を最小にするには、 $T_s = T_g$ が必要で、(1)式と併せて

$$= T_g / T_s = 1 \quad (2)$$

な比表面積により高効率の熱伝達が達成される。なお、この実施形態の粒子分散体35は、上端部および下端部がテーパ状の円錐型をなしているため、上記のように粒子の流れを確実に径方向外側に拡散できるとともに、下方からのガス流を妨げないという利点がある。

【0046】なお、上記の粒子分散体35の効果を確認するために行った試験の結果を図7ないし図10に示す。この試験では、上述の実施形態の装置において、粒子として粒径56 μm のガラスビーズを使用し、試験を通して低温のガスの吹き込み速度を12 m/sに、熱混合ローディング比は1近傍に維持した。また、粒子およびガスの入口および出口にそれぞれ2個の熱電対温度計を設けて、また装置内の温度分布を測定するために各箇所6個の熱電対温度計を設け、温度の時系列データを収集し、伝熱性能を求めた。

【0047】図7および図8は、上記の粒子分散体35を取外し、混合熱ローディング比 t_h が1.1の高濃度で粒子を供給した場合のものである。この場合には、

図7に示すように、時間が経過しても供給した粒子と回収した粒子との温度差、およびガス入口の温度とガス出口の温度差があまり大きくなり、図8に示すように粒子温度が210°Cから100°Cまでしか低下せず、またガス温度も35°Cから65°Cまでしか上昇せず、このガス出口の温度が回収した粒子温度よりはるかに低く、十分な熱交換が行われていない。

【0048】これに対して、上述の粒子分散体35を設けた場合には、図9および図10に示すように、混合熱ローディング比 t_h が1.0の高濃度で粒子を供給した場合、図9に示すように、時間が経過とともに供給した粒子と回収した粒子との温度差、およびガス入口の温度とガス出口の温度差が大きくなり、図10に示すように粒子温度が210°Cから70°Cまで低下し、またガス温度も30°Cから120°Cまで上昇し、ガス出口の温度が回収した粒子の温度より大幅に上昇し、高い効率で熱交換されている。

【0049】なお、上記の試験において、上記の粒子分散体35を設けた場合、この装置は高い熱交換効率を達成した。この熱交換装置の熱効率は

$$= \text{ガスが受け取った熱量} / \text{粒子によって供給された熱量}$$

で定義されるが、上記の装置でも約50%の高い値が得られた。この実施形態の装置は、前述のように試験的な小形の装置であり、この装置への流入熱量に対する装置の熱損失すなわちヒートロスは約25%と高い値である。この装置の熱損失を零として補正計算すると、熱効率が約86%という高い値が得られた。なお、従来の単純混合、固気再分離型の固気熱交換器の場合には、装置への熱損失が実質的に零という条件の場合でも、その熱効率は50%程度であり、これと比較して本発明の熱交換器の効率は極めて高いことが明らかである。

【0050】なお、本発明は上記の実施形態には限定されない。前述したように、本発明の熱交換器の実機においては、ガスや粒子の性状、装置の容量および寸法等の各種の条件に対応して適宜設計されるものである。よって、上記の分離筒、粒子分散体、旋回流発生機構、粒子やガスの入口および出口の形状および配置等は、これらの条件に対応して適宜設定され、上記の実施形態には限定されない。

【0051】さらに、本発明は上述のような粒子とガスとの間の熱交換装置には限定されない。本発明は、粒子とガスを効率的に接触させるとともに、この粒子を確実かつ効率的に分離できるものであり、この特性により各種の装置に適用が可能である。たとえば、微粉固体燃料を燃焼させる燃焼器、粒子とガスとを化学的に反応させ

る各種の化学装置等にも本発明を適用できる。

【0052】

【発明の効果】上述のように本発明によれば、分離筒内に形成される途中で上下に反転した旋回流中で粒子とガスの接触および分離が全て終了するので、構造が簡単で信頼性が高く、またこの分離筒等が小形化され、装置全体の小形化もが容易となる。そして、たとえば熱交換器にあっては、ガス入口から供給された低温のガスは、分離筒内を移動してきた低温の粒子と接触して熱交換された後に、ガス出口の近傍において高温の粒子と接触するので、向流型の熱交換器と同等の高い熱交換効率が得られる。また、ガスと粒子との化学反応を行う装置では、粒子入口から供給された粒子は、ガス出口に向かう上向きの旋回流中を旋回しながら径方向外側に移動するため、この領域においては粒子とガスの相対速度が大きく、これらの間の燃焼や化学反応が効率的に行われる等、その効果は大である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態の熱交換装置の概略図。

【図2】図1の2-2線に沿う要部の縦断面図。

【図3】一実施形態の熱交換装置の要部の分解斜視図。

【図4】粒子分散体の側面図。

【図5】分離筒内の粒子およびガスの流れを模式的に示す図。

【図6】熱交換性能を示す線図。

【図7】粒子分散体の無い場合の粒子およびガスの温度変化を時系列で示す線図。

【図8】粒子分散体の無い場合の粒子およびガスの温度変化を空間的に示す線図。

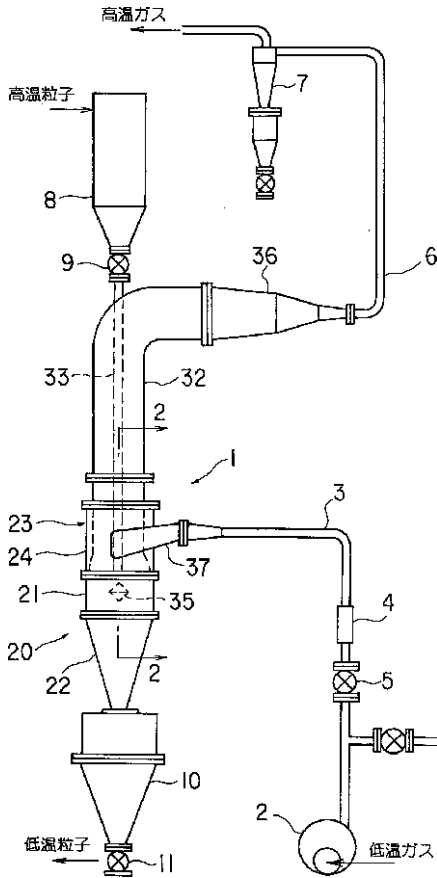
【図9】粒子分散体のある場合の粒子およびガスの温度変化を時系列で示す線図。

【図10】粒子分散体のある場合の粒子およびガスの温度変化を空間的に示す線図。

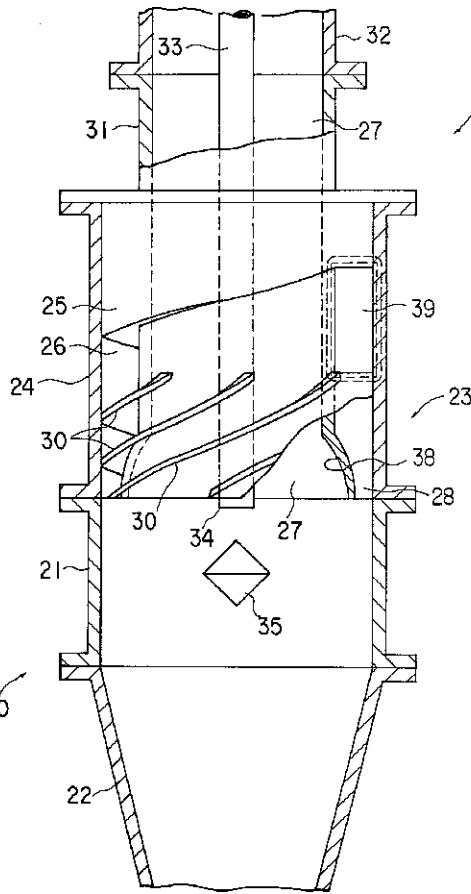
【符号の説明】

- 1 本体部
- 2 プロア
- 8 ホッパ
- 10 粒子回収タンク
- 20 分離筒
- 23 旋回流供給機構
- 27 ガス出口
- 28 ガス入口
- 30 ベーン
- 33 粒子供給管
- 34 粒子入口
- 35 粒子分散体

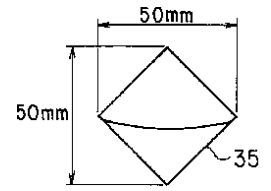
【図1】



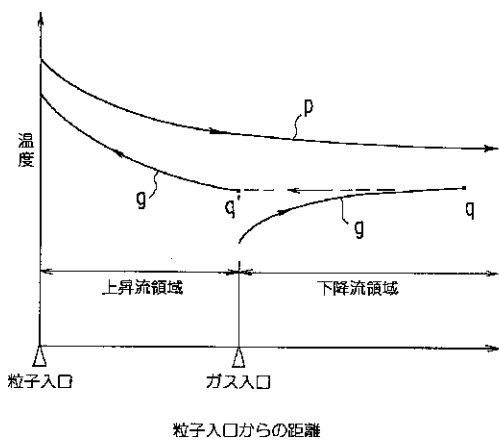
【図2】



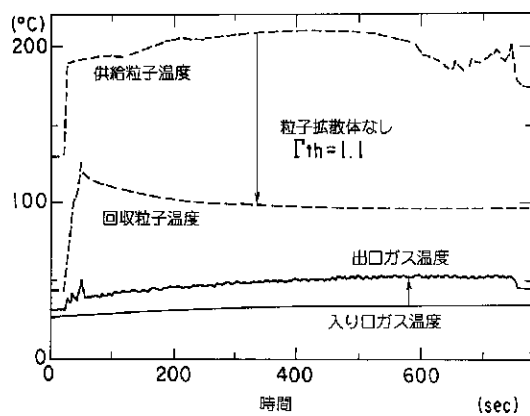
【図4】



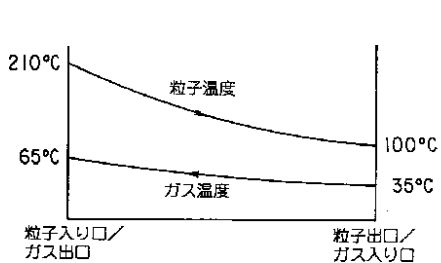
【図6】



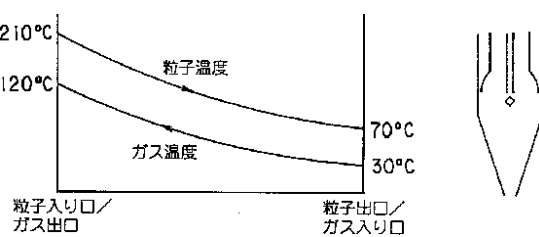
【図7】



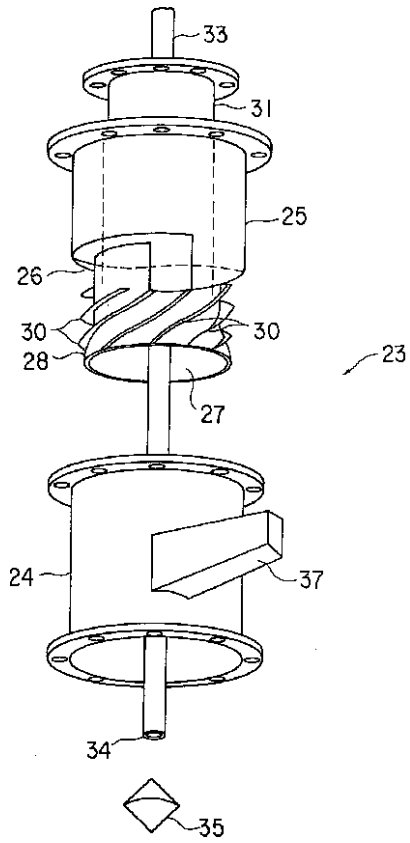
【図8】



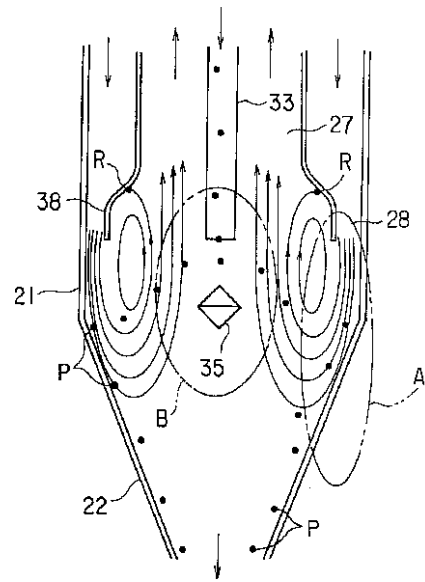
【図10】



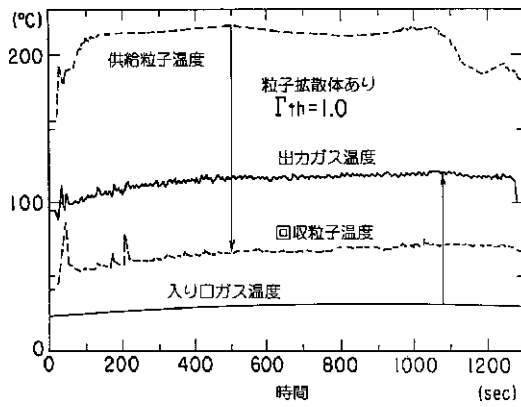
【図3】



【図5】



【図9】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl.7, DB名)

F28C 3/12