パルス燃焼によるスラリー乾燥装置 ——パルスコンバッションドライイングシステム*——

豊立 勝二**
Katsuji TOYOTATE

Key Words : Pulse Combustion, Slurry, Drying, Pulse Jet, Pulse Drying

1. はじめに

パルス燃焼の歴史は古く、80年にもおよび、騒音や材質の問題を解決しつつ、現在では、その熱効率の良さを生かして、給湯器などに実用されつつあり³⁾、またこのパルス燃焼技術を用いて熱効率のすぐれた省エネルギー型のスラリー用乾燥機が米国で開発・実用化されている。

この乾燥機はその熱源ガス温度が約1400℃もあり、かつ衝撃脈動流であることが最大の特徴で、通常の乾燥機で使用する脈動のない様な300～400℃の高温空気熱源と著しく異なる。

上記を特徴とする「パルスコンバッションドライイングシステム」について、以下その概略を記述する。

2. 熱源としてのバルブレスパルスコンバスター

かつて第2次世界大戦の時、ドイツがロンドンを空襲した、V-1号ミサイルは、パルスジェットエンジンを搭載していた。これは、図1に示すように圧縮行程のない2サイクルエンジンのようなもので、流体力学をとり入れた形状の燃焼室に空気と燃料を入れ、爆発させ、この時発生する間欠高速排気ガスを推進力として使用している。ただし爆発時、空気吸入側へ排気ガスが流れないようにするために逆止弁があり、これは爆発後ラム圧で開き、再び爆発可能な混合気を作り出している。

本乾燥機の熱源であるバルブレスパルスコンバスター

図1 逆止弁のあるパルスジェットエンジン³⁾

(a) 爆発燃焼

(b) 排気

(c) 吸気・混合

図2 バルブレスパルスコンバスターの作動原理

一は、このパルスジェットエンジンから推進力を除き、エンジン内の可動部分を無くした改造型エンジンといえる。

図2に示すごとく非常にシンプルな構造で高温の衝撃脈動燃焼ガス流が得られる。

図のように燃焼室内に生じた燃料と空気の混合ガスは火花プラグの火花、あるいは前の爆発により継

昭和62年3月5日受付

* ホソカワミクロン(株)製およびソノダイニングストリーズ社(米国)製のシステムについて記述する。

** ホソカワミクロン(株)技術開発本部(〒573 枚方市招提田近1-9) TEL0720-55-2220

続している高温雰囲気のため、瞬時に爆発して高温高圧の燃焼ガスとなる。

燃焼室内の高温高圧燃焼ガスの大部分は衝撃流となってテールパイプ内を突進し、残りの一部のガスは吸気口へも逆流する。このため燃焼室への空気の流入は一時停止し、燃焼も停止する。

ガスは高速でテールパイプ内を流れるので、大きな慣性を持ち、排出が終ると燃焼室内は高圧から逆に負圧となり、吸気口側から空気が流入し、燃料と混合して再び爆発可能な混合空気が燃焼室内に形成される。

この爆発、排気、吸気の繰返しにより、継続的にテールパイプ中に高温の衝撃流が作り出される。

発生する周波数は、燃焼室の容積、テールパイプの容積と長さ、燃料、形状によって決る。実用機での周波数は、機種により異なり、60～140 Hzの範囲である。

この型式のパルスコンバスターで、実用されている燃料は、気体燃料として天然ガスとプロパンガスがあり、液体燃料として灯油と軽油がある。

このようにパルス燃焼装置（パルプレスパルスコンバスター）は可動部分をもたないきわめてシンプルな形であるが、これは逆に形状で爆発に最適な混合気体を作り出し、衝撃流を継続せしめるので、その形状の決定はきわめて難しいものである。

3. パルスコンバッションドライイングシステム

乾燥機本体はコンバスタールームと仕上乾燥および固気分離のコレクトチャンバーから構成される(図3)。

スラリーはテールパイプの先端部に供給され、高温衝撃流(約1400℃)により一瞬に分散、乾燥される。また空気吸入口へ逆流した一部の高温ガスは、吸入空気とともにコレクトチャンバーに運ばれ、乾燥・露点低下に使用される。

システムとしては、乾燥機本体、スラリーを供給するためのポンプ、燃料を供給するための圧力調節弁やポンプ、固気分離用のバグフィルター、全体を負圧に保つためのブロワー、これを有機的に結びつける制御

図3 パルスコンバッションドライヤーの構造

盤などから構成されている。図4にフローを示す。

乾燥品の水分調節は乾燥機出口ガス温度を自動コントロールする。その方法は、コンバスター自身の発熱量は変えず、供給するスラリーの量で行う。1400℃の高温ガスになっている部分はコンバスターのみで、コレクトチャンバー内は、ほぼ乾燥機出口ガス温度(100～150℃)と同一である。

安全装置としては、入口風量スイッチ、燃料圧力スイッチ、失火安全装置(圧力スイッチおよび紫外線確認式)、異常高温防止シーケンスを組みこんでいる。

本乾燥機はその原理上エンジン音を発するので、保温をかねた防音が施行されている。音の大きさは、機側1mで、100～105 dB(Aスケール)である。必要に応じ、乾燥機空気取入口にサイレンサーを取りつけたり、装置一式を防音室に入れることがある。

標準型式として、表1に示すごとく四型式あり、その発生熱量は0.754 MJ～7.54 MJ/h(18万～180万 kcal/h) 概略蒸発水量は200～2000 kg/hである。

表1 パルスコンバスター発生熱量

型 式	パルスコンバスター最大発生熱量	概略蒸発水量
SD-1/4	837 J/h (200,000 kcal/h)	200 kg/h
SD-1/2	2093 " (500,000 ")	500 "
SD-1	4187 " (900,000 ")	1,000 "
SD-2	8374 " (1,800,000 ")	2,000 "

図4 パルスコンバッションドライイングシステムのフロー

スラリー用乾燥機としては上記の通りであるが、一般湿潤粉粒体の乾燥も可能である。これは、パルスコンパッションの高温衝撃流を、気流乾燥熱源として使用するもので、この場合には、本機のコレクトチャンバーは無く、コンバスタールームの出口にアタッチメントを取りつけて、配管により粉体を空気輸送する型式のものである。

4. 特 徴

- (1) スラリー・溶液から直ちに能率的に乾粉が得られる。コンバスターで発生する衝撃脈動流により原液は強力に分散されるため、低濃度から高濃度まで広く適用できる。
- (2) 熱効率がよく、燃料消費量が少ない。
1400℃以上の高温燃焼ガスを直接利用するので熱効率がよく、燃料の消費量が少ない。実績データでは、1kgの水分を蒸発させるのに3349～4187kJ (800～1000 kcal)の熱量である。(排熱回収無の時)
- (3) 所要風量が少なく、電力消費量が少ない。
- (4) コンバスタールーム内には、可動部分が無いのでメンテナンスが容易である。
- (5) 粉粒体の乾燥も効率よくできる。
- (6) 品質の劣化がほとんどない。
1400℃という高温ガスに接している時間は、わず

か、0.005～0.01秒というきわめて短いもので、この間に大部分の水分は蒸発する。また乾燥品の温度は、30～60℃程度であるので、品質劣化の心配はない。

- (7) スラリーの種類によっては、乾燥過程において、極度に器壁への付着・粘着力を増し、かつ、高温状態で燃焼するものがあるが、このような原料は本機には適さない。

5. 実 施 例

パルスコンパッションドライイングシステムの実施例を表2に示す。各種排水処理スラッジの乾燥、粘土鉱物スラリーの乾燥、炭酸カルシウム、水酸化アルミ、酸化ケイ素などの工業材料のスラリーの乾燥に適用され、その特長を発揮している。この表中の例は、全て米国での実施例であり、すでに10数台ある。

5.1 フィッシュミール乾燥⁴⁾

Ocean Proteins Co.での実施例は、工場へ入荷するraw fish/scrapsをパルスコンパッションで乾燥し、高品質の蛋白質として回収した例である。

装置としては、まず0.793mm以下に粗砕し、デカンターで極力水分を取り除き、水分80%にする。その量は50t/dであり、これを本乾燥機に投入し、乾燥させ10t/dの製品を得ている。乾燥は、サイクロン

表2 パルスコンパッションドライイングシステムの実施例

原 料 名	水分(WB)		公称能力	バーナー 本 数	燃 料	熱 量	
	原料	乾粉				蒸 発 水 分 量	
膠質炭酸カルシウム スラリー	%	%	t/d	本	プロパン 天然ガス 軽油	kJ/kg	(kcal/kg)
	68	15	25	1		3516	(840)
フィッシュミール	80	12	50	2	オイル (スタート時) プロパン	3692	(882)
アルミ、カルシウム、酸化鉄の ハイドロオキシサイドの排水 Al(OH) ₃	82	12	50	2	天然ガス	3579	(855)
生物スラッジ 酸化鉄排水	80	15	25	1	天然ガス	3307	(790)
カオリン、クレ	40	1	25	1	プロパン	3483	(832)
イースト他食品 Food commodities	85	20	50	2	オイル (スタート時) プロパン	3692	(882)
酸化ウランウム 廃棄物スラッジ	95	5	25	1	天然ガス	3801	(908)

およびバッグフィルターにより捕集している。乾燥機の型式はSD-1×2型(1t/hのコンバスター2基を1型式にまとめたもの)である。このプラントはshrimp waste(小エビ)も同効率で運転可能である。

使用する燃料は、スタートがプロパンで定常では軽油であり、その燃焼効率は99.8%のため、低コストで製品への汚染はない。

5.2 アルミ、鉄、カルシウムの水酸化物の廃液乾燥
メッキ工場より出る上記各種成分などを含んだ廃液は、元は水分がかなり高いため、フィルターにて脱水濃縮し82%程度の水分にする。しかるのち、パルスコンバッションドライヤーにて乾燥する。目的は、ハンドリングを良くするためであり、乾燥品は12%の水分を含んでいるが完全に0.5mm程度に粉化している。公称処理能力は50t/dである。乾燥機の型式は、SD-1×2型であり、燃料は天然ガスを使用している。動力は50kWである。

本装置は全体が工場の内部に設置されており、防音を施行している例で、屋外では70dB程度で静かに運転されている。

図5に廃液の状態を、図6に乾燥後の取り扱い容易な乾粉の状態を示す。

5.3 移動型パルスコンバッションシステムの例
乾燥処理したいスラリーが一個所でない場合、パルスコンバッションシステム一式をトレーラーに搭載し移動させて使用する例である。短期間の廃棄物処理、

図5 アルミ、鉄、カルシウム等の水酸化物の廃液

図6 乾燥後の取り扱い容易な乾粉

図7 トレーラー搭載のパルスコンバッションドライイングシステム

季節的な乾燥処理、各所における製品テストなどに使用される。処理能力はmax 50t/dである。乾燥機の型式は、SD-1×2型である。

装置はコンピューター化され、システムを制御する。乾燥システム一式の他に発電機、液体燃料タンク、プロパン、水タンクを有している。ハイウェー法にも適合している。装置一式を図7に示す。

6. む す び

パルス燃焼を利用したスラリー用乾燥機“パルスコンバッションドライイングシステム”は、1400℃という高温ガスで60~140Hzという振動数をもつ衝撃流によってスラリーを3349~4187kJ(800~1000kcal/水-kg)の熱量で乾燥させることができる省エネルギー型の乾燥機である。今後さらに熱効率の向上と、応用範囲の拡大が期待される。

引 用 文 献

- 1) Putnam, A. A.: *Am. Soc. Mech. Eng.*, No 84-WA-NCA-20 (1984)
- 2) Kolodogy, R. J.: *Annual Report, American Gas Assoc. Lab., Ohio* (82-83)
- 3) 松岡増二: “航空工学講座第11巻, ジェットエンジン(構造編)”, p. 17, 日本航空技術協会(1985)