

〈論文〉

車載式気流乾燥設備の処理特性

CHARACTERISTICS OF TREATMENT OF PNEUMATIC
DRYER ON VEHICLE南 紀一¹, 小野塚 敏彦², 黒田 浩史³¹ 七尾市上下水道部 / 石川県七尾市袖ヶ江町イ部 25 番地² (財) 下水道新技術推進機構 下水道新技術研究所 研究第一部 / 東京都豊島区西池袋 1-22-8³ 川崎重工(株) 環境装置事業部 水処理プラント部/神戸市中央区東川崎町 1-1-3TOSHIKAZU MINAMI¹, TOSHIHIKO ONOZUKA², HIROFUMI KURODA³¹ Water and Sewerage Works Dept., Nanao Municipal Government
/ 25 I-bu Sodegae-machi Nanao, Ishikawa² Japan Institute of Wastewater Engineering Technology /
1-22-8 Nishiikebukuro, Toshima-ku, Tokyo³ Water Treatment Division, Kawasaki Heavy Industries, LTD.,
/ 1-1-3 Higashikawasaki-cho, Chuo-ku, Kobe

Abstract

The development studies of Pneumatic Dryer on Vehicle (PDV) were executed by the municipal government of Nanao and Japan Institute of Wastewater Engineering Technology (JIWET). This equipment is co-generation system with a gas turbine generator, and has a capacity that decreases water content of the dewatered sludge from 85% to 20% with the drying rate 400kg/h. There is a relation between water content and temperature of dried sludge. To keep stable operation, it has to maintain that water content is 20% and temperature is 70°C. Although the automatic control range of dewatered sludge is 200~420kg/h by the heat capacity of the exhaust gas, it is need to control the temperature difference and raise the inlet temperature of dryer if increase the charge rate.

Key Words : Sludge Treatment, Drying, Optimization

1 はじめに

中・小規模下水処理場における単独の汚泥処理は、施設の稼働率や維持管理費を考慮すると、効率的でない場合が多く、初期段階では特に顕著である。石川県七尾鹿島地区では、小規模下水処理場が多く、維持管理費に占める汚泥処分費の割合が年々高くなる傾向にあり、脱水汚泥の効率的な処理・処分が急務となっていた。処理規模の小さい処理場を持つ市町村においては、行政区域を越えた汚泥処理設備の

共同利用を推進することは経済的に有利である。

当地区で広域汚泥集中処理を行う場合の課題は、下記の通りである。

- 1) 広域化する場合の用地を含めた建設費用の負担方法の決定
- 2) 集中処理基地用地を確保するための自治体間の協議
- 3) 現在の広域行政体系の中で、下水道汚泥を一括処分する場合、汚泥は産業廃棄物に該当するため、広域事務組合と関連する自治体間の協議。

これらの課題に対処するには、多くの時間を必要とする。しかしながら、当地区においては、効率的な脱水汚泥の処理・処分が急務であり、発生汚泥量の少ない期間においても経済的な処理ができる小規模汚泥処理法が望まれていた。

本論文で紹介する車載式汚泥乾燥設備は、発電機の排ガスを利用した汚泥の乾燥装置で、乾燥機本体はコンパクトかつ外部からの電源等を必要としない独立型の乾燥システムで、設備全体をトラックに搭載することにより、複数の小規模下水処理場を巡回して乾燥処理が可能となり、効率的な運用が図れるものである。

2 装置概要

車載式汚泥乾燥設備 (Fig.1) は、下水処理場の脱水汚泥をガスタービン発電機の排ガスを利用して乾燥（もしくは乾燥・成形）し、脱水汚泥の減容化、及び乾燥汚泥の多目的利用を図るものである。本設備は従来の直接乾燥方式の様に熱風発生炉を使うことなく、且つ発電電力で機器駆動を行うため外部電源を必要としない、独立型の高効率な乾燥システムである。また、設備全体をトラックに搭載し、複数の下水処理場を巡回して汚泥乾燥を行うことができる。

乾燥方式は低温乾燥が可能な気流乾燥であり、車載式とするため乾燥汚泥を循環混合させ脱水汚泥の含水率を下げることで、気流乾燥部をコンパクトにしている。

本設備のフローシートを Fig.2 に示す。

本設備はガスタービン発電機、(気流)乾燥機、サイクロン、乾粉供給装置、排ガスファン、スクラバ、活性炭供給設備、成形機等から構成されている。乾燥機は解砕機、気流管から成り、乾粉供給装置は混合機、乾燥汚泥ホップおよびホップ内に付属する乾粉フィーダから成る。

車載式汚泥乾燥設備の基本的な能力を Table.1 に示す。

(1) 汚泥の流れ

処理場からの脱水汚泥 (含水率約 85%) は、既設脱水汚泥供給ポンプ吐出配管からフレキシブルホースで本設備に接続され、混合機に入る。混合機では乾燥汚泥と循環汚泥比 120(DS 比；乾燥汚泥 DS/脱

Tab.1 Capacity

項目	仕様
脱水汚泥種類	高分子系脱水汚泥
脱水汚泥処理能力	400kg/h
脱水汚泥水分	80~90%
脱水汚泥可燃分	60~80%
脱水汚泥低位発熱	13,000~17,000kJ/kg-DS
乾燥汚泥含水率	20%

水汚泥 DS) 程度で混合された後、解砕機へ投入される。解砕機内でガスタービン排ガス熱風と直接接触し、温度約 70°C、含水率約 20%となった乾燥汚泥は、サイクロンで捕集されて混合機に落下し、混合機スクリーコンベヤによって乾燥汚泥ホップに移行する。乾燥汚泥の増量分は乾粉フィーダにより排出され、搬送コンベヤによりフレコンバッグに搬送される。残りの乾燥汚泥は、混合機により乾燥機へ循環利用される。乾燥汚泥を循環するのは、汚泥を水分調整して混合機、解砕機への付着を防止するためである。

(2) ガスの流れ

ガスタービンの排ガス (約 450°C) は、循環する乾燥排ガスの一部と混合され、300°C 程度で解砕機に入り脱水汚泥の水分を蒸発するのに用いられる。約 100°C の乾燥排ガスは、サイクロンで乾燥汚泥の捕集後排ガスファンへ入る。排ガスファンを出た乾燥排ガスは風量調整用に一部循環し、残りはスクラバでダスト、臭気が除去され、煙突でガスタービン余剰排ガスと並列に大気へ放出される。

(3) 自動制御

乾燥機への熱風取り込み量は、脱水汚泥投入量、すなわち蒸発水分量に対応するよう、乾燥排ガス温度を一定に保つことで制御を行っている。気流乾燥内部は、排ガスファン → 解砕機 → サイクロン → 排ガスファン という循環気流ができており、排ガスファンからスクラバへガスが出ていくとその分ガスタービン排ガスが解砕機へ取り込まれる構造となっている。スクラバへの引抜量は乾燥排ガス温度制御弁で流量制御されている。通常時、乾燥排ガス温度制御弁は一定の開度を保っているが、脱水汚泥投入量あるいは脱水汚泥含水率が増加すると、乾燥排ガ

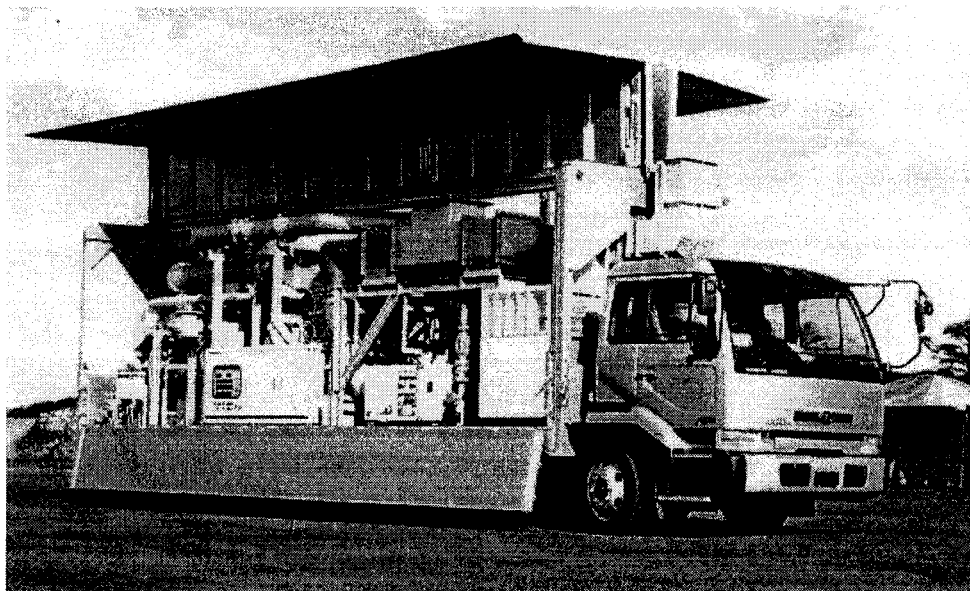


Fig.1 Appearance of PDV

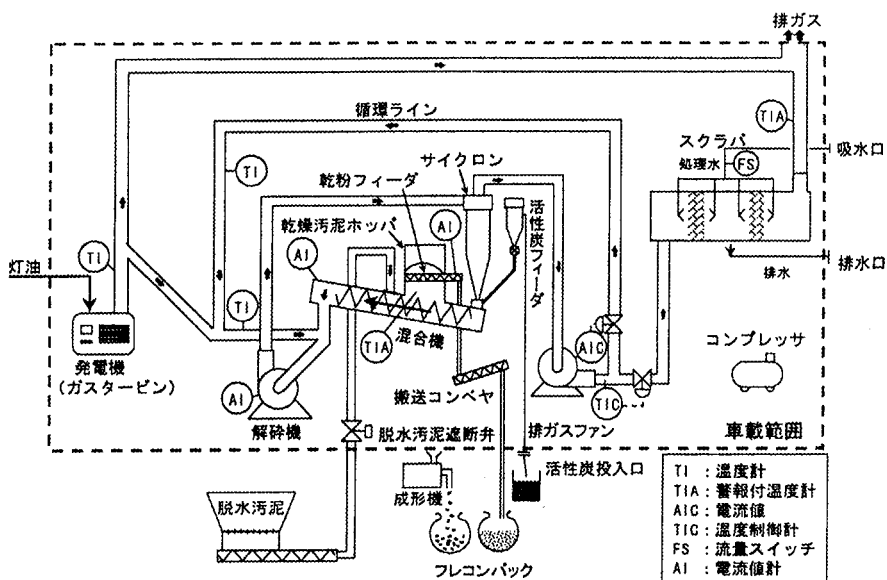


Fig.2 Flow Sheet of PDV

スの温度が低下する。乾燥排ガス温度が低下すると、排ガスファンからスクラバへの温度制御弁が開き、ガスタービン排ガスの取り込み量が増えて、適正な熱風を確保し乾燥汚泥含水率も一定に保つことができる。一方、解砕機やサイクロン等の気流乾燥部では汚泥を吹き飛ばし捕集するために、常時一定の風量を流す必要がある。乾燥排ガス温度制御でスクラバへの風量に変化すると排ガスファンの電流値を一定に保つよう循環風量調節弁にて補正し、解砕機、サイクロン内を流れる風量が一定となるように調節している。

3 運転操作に関する要因

通常の運転では、上述の自動制御によって運転が行われるが、本設備は巡回運転処理を行うため、性状の異なる汚泥への対応が必要である。ここでは、本設備の運転管理の要因を調査し、汚泥性状変化への対応方法を検討した。

(1) 乾燥汚泥含水率と混合機電流値

乾燥運転における乾燥汚泥含水率の許容範囲について検討した。

乾燥汚泥含水率が高いと混合機内で塊状となり、混合機の負荷が増大する。Fig.3に乾燥汚泥含水率と混合機電流値の相関を示すように、含水率が25%以上では乾燥汚泥が塊状になり、混合機負荷が増大する。この状態を続けると乾燥汚泥は熱風と接触する際にも塊状となり、十分乾燥できなくなる。逆に含水率が15%以下では混合機の電流値は低い乾燥汚泥粒子が細くなりサイクロンでの集塵効果が低下し、スクラバ排水のSSが高くなる。以上より、排水SSを流入下水程度に抑え、乾燥効率を保つための乾燥汚泥含水率は15~25%が適切な運転範囲といえる。

(2) 乾燥汚泥温度

混合機電流値は乾燥汚泥含水率との相関があることを前項で示したが、乾燥汚泥温度が高いと乾燥汚泥含水率が低くなる傾向があり、脱水汚泥投入量400kg/h、乾燥汚泥循環量 DS 比 117 倍で運転した際の乾燥汚泥温度と混合機電流値の経時変化を Fig.4 に示した。乾燥汚泥温度が低下すると、混合機電流値が上昇し、温度を上げると電流値が低くなる傾向

を示した。このことより、日常の運転管理においては乾燥汚泥温度のモニタリングを行い、自動制御を補完することで性状の異なる汚泥に対応することができる。

標準的な運転データ、物熱収支を Fig.5 に示した。立ち上げ時は、脱水汚泥投入量を定格の半分(200kg/h)から供給し、徐々に上げて20分程度で定格運転(400kg/h)となる。前述のように、定格運転においては(乾燥排ガス)温度(Fig.2参照)を一定に保持することで安定した運転が可能であり、乾燥汚泥温度が70~79°C、乾燥汚泥含水率20%程度を維持できた。

(3) 最大負荷に対する律速因子

通常時、乾燥排ガス温度は、100°C程度で400kg/hの処理が可能であり、汚泥水分蒸発量の増減に対して乾燥排ガス温度を一定に保つよう熱風の取り込み量を自動制御している。ただし、汚泥量がある限界を超えると、乾燥汚泥循環比が低下するため、乾燥汚泥含水率が上昇してくる。その際運転維持のためには乾燥排ガス温度の設定を上げていく必要がある。Fig.6に、乾燥汚泥含水率を20%に保つように乾燥排ガス温度設定値を上昇させたときの、脱水汚泥処理量と解砕機入口温度(熱風取り込み量)の相関を示した。

200kg/hから420kg/hの時は、排ガス温度一定の自動制御が可能であり、420kg/h以上では、乾燥排ガス温度の設定を上げ、乾燥排ガス温度130°Cで475kg/hまで負荷を上げる運転が可能であった。負荷をこれ以上上げると、乾燥汚泥含水率が急激に増大し、安定した運転ができなくなった。

以上より、定格に対し約20%増の最大負荷量が得られたが、最大負荷量は汚泥性状に大きく左右されるため、今回のデータをもとに最大負荷量の律速因子を以下に考察した。

車載式汚泥乾燥設備の処理能力に関し律速となる因子は、以下の3つが考えられる。

- ① ガスタービン排熱の余裕
- ② 乾燥時の汚泥蒸発表面積、熱交換過程における入口出口温度差によって規定される乾燥効率
- ③ 熱媒体、乾燥汚泥搬送のキャリアガスを与えるファンの誘引力

①ガスタービン排熱の余裕

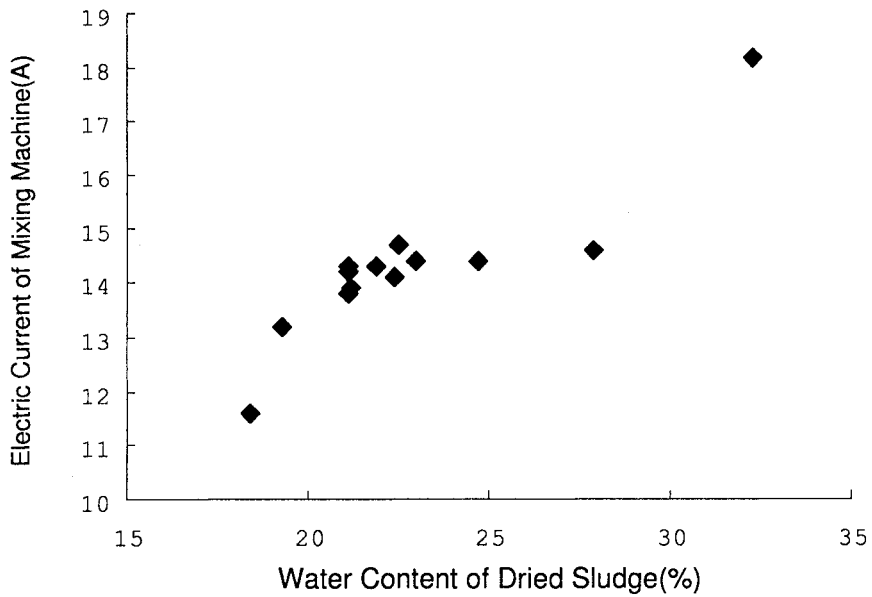


Fig.3 Water Content vs. Current of Mixing Machine
 ◆ : Current of Mixing Machine(A)

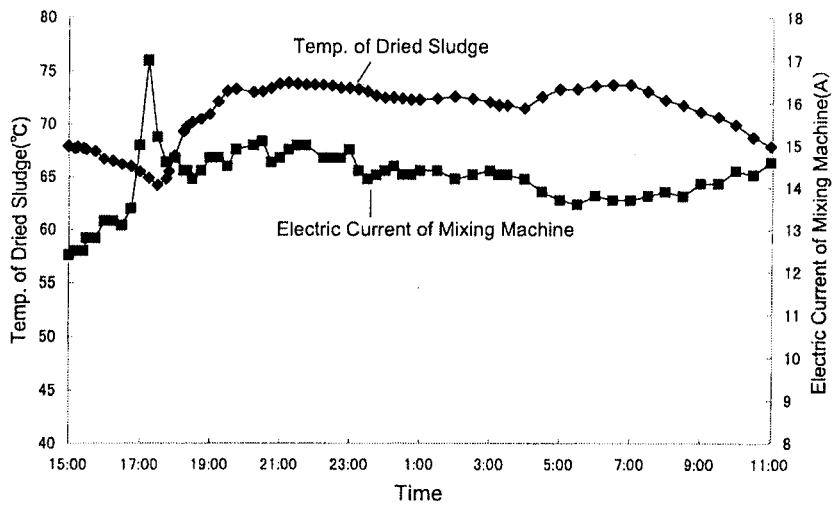


Fig.4 Temp. of Dried Sludge vs. Current of Mixing Machine
 ◆ : Temp. of Dried Sludge(°C)
 ■ : Current of Mixing Machine(A)

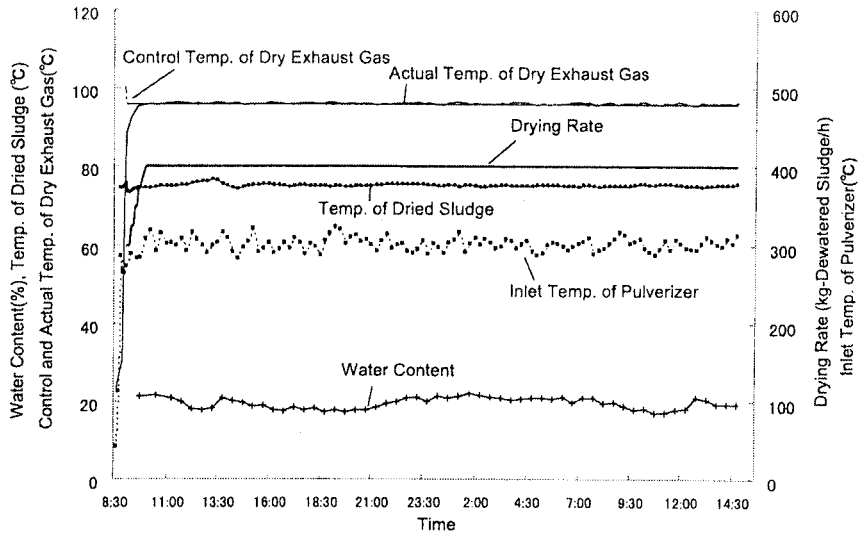


Fig.5 Operation Data

- : Control Temp. of Dry Exhaust Gas (°C)
- : Actual Temp. of Dry Exhaust Gas (°C)
- : Drying Rate (kg/h)
- : Temp. of Dried Sludge (°C)
- : Inlet Temp. of Pulverizer (°C)
- + : Water Content (%)

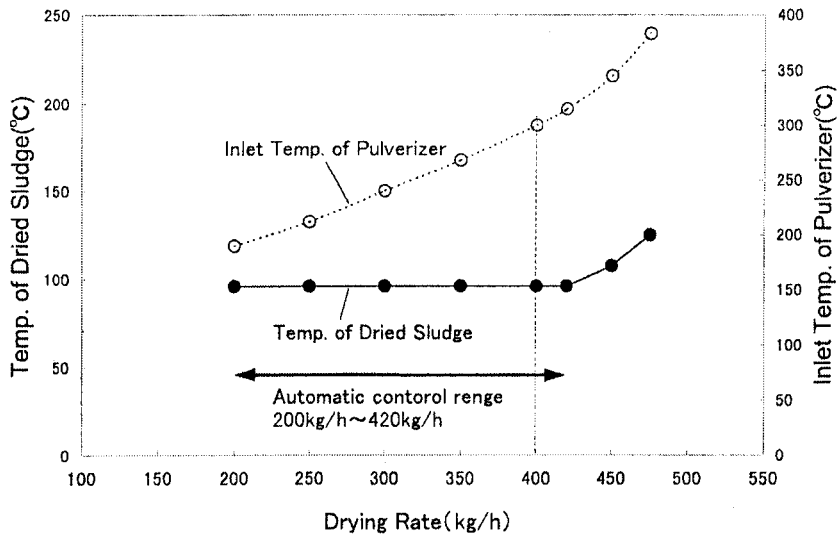


Fig.6 Temp. of Dry Exhaust Gas vs. Inlet Temp. of Pulverizer

- : Inlet Temp. of Pulverizer (°C)
- : Temp. of Dried Sludge (°C)

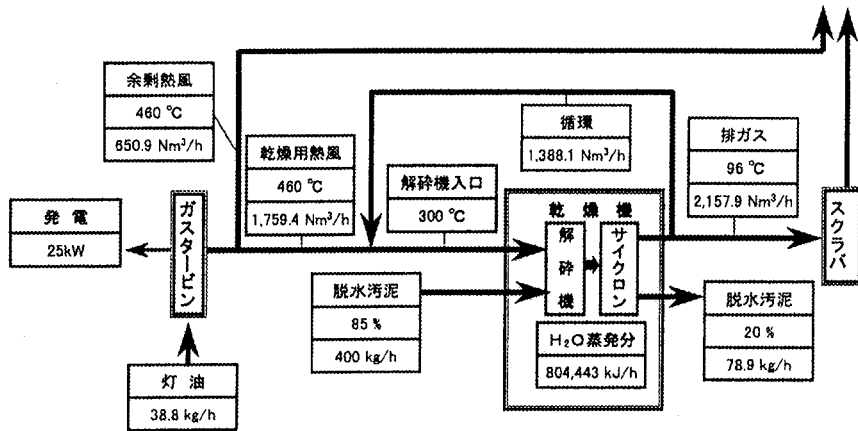


Fig.7 Material and Heat Balance of the Rated Operation (400kg/h)

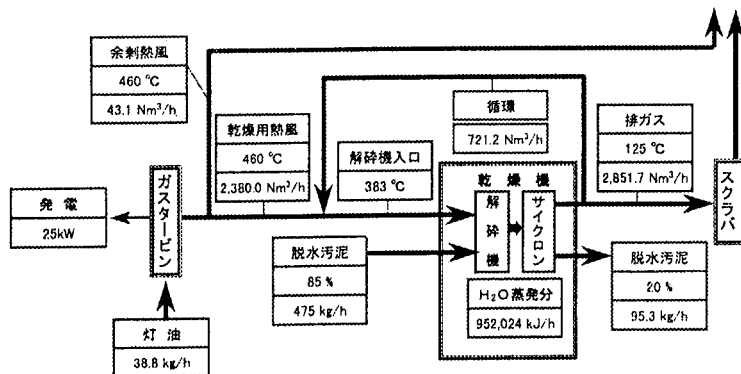


Fig.8 :Material and Heat Balance at Maximum Load (475kg/h)

Fig.7の物熱収支に示すように、400kg/hの定格運転時にガスタービン排ガスのうち、乾燥用熱風として1,759Nm³/h、その約37%にあたる651Nm³/hが余剰熱風として放出されている。この余剰分が、乾燥に利用できる。Fig.8の最大負荷量時の物熱収支より、ガスタービン排ガスはほとんど乾燥用熱風に利用されており、熱風量的には限界であると考えられる。

②乾燥時の蒸発表面積、温度差によって規定される乾燥効率

乾燥効率は蒸発速度と同義であり、蒸発速度は蒸発比表面積および熱媒体と汚泥の温度差に対し正の相関がある。脱水汚泥の蒸発表面積は、混合機での循環乾燥汚泥による”まぶし”効果と解砕機での粉砕によって拡大されるが、気流管の短い乾燥機では、脱水汚泥と、循環乾燥汚泥の量的割合によりほぼ規定される。脱水汚泥/乾燥汚泥比を一定に保つと常時一定の乾燥効率を維持できるが、本設備においては脱水汚泥投入量は既設定量ポンプで設定され、乾燥汚泥循環量は混合機回転数で決定されるため、既設との電氣的取り合いを避けるよう、乾燥汚泥循環量を一定としている。そのため通常運転時には、負荷変動に対して熱風取り込み量が自動制御され乾燥汚泥含水率を一定に保っているが、この自動制御が追従できないほど脱水汚泥量が増えると、乾燥排ガス温度の設定を上げて更に熱風を取り込む必要が生じる。

今回の最大負荷量の運転においては、400kg/hの定格運転時に対して、入口温度で83°C、出口温度で29°Cの温度上昇となっている（Table.2参照）。乾燥処理における対数平均温度差でみると、となり、脱水汚泥が約2割増大し乾燥汚泥混合による乾燥効率が低下した分、温度差を56°C大きくとって乾燥性能を維持したことになる。

③熱媒体、乾燥汚泥搬送のキャリアガスを与えるファンの誘引力

ファン能力は4,600Nm³/h、7kPaであり、400kg/h処理時の3,546Nm³/h、2.5kPaに対し、風量で23%、静圧で64%の余裕を持たせている。

ただし、排ガスファン電流値は一定制御されており、乾燥機熱風取り込み量は乾燥排ガス温度調節弁開度と、スクラバ、煙突の圧力損失によって規定される。

475kg/hの最大負荷量の時、乾燥排ガス温度調節弁の開度は90~95%とバタフライ弁としてはほぼ全開となっており、これ以上の熱風取り込みができないことを示している。熱風量に余裕があれば、スクラバ、煙突の圧力損失を下げることで、排ガスファン電流値設定を上げることで取り込み量を上げることはできるが、除塵、乾燥滞留時間における性能の低下を招くため、本設備の限界と考えられる。

以上の乾燥における律速因子の解析より、ガスタービン余剰排ガス量と排ガスファンによる熱風取り込み可能量はほぼ同じであり、最大負荷量は熱風取り込み可能量と、乾燥汚泥によって表面積を拡大されるべき脱水汚泥の汚泥性状のいずれかが律速になる。

ここでの475kg/hという最大負荷量はガスタービン排ガスをほぼ全量取り込み、乾燥排ガス温度の上昇により乾燥効率の低下を補うことで達成されたが、乾燥効率は汚泥性状に影響を受けるので、すべての汚泥に対して適用できるわけではなく、通常の汚泥処理量が400kg/hを維持できるときに限られることを留意すべきである。

逆に、汚泥量が増えても乾燥効率が低下しない汚泥性状であれば、熱風の余剰分である約37%増、約550kg/hにまで最大処理できる可能性がある。

4 まとめ

以上のことから、今回の運転で得られた処理特性による結論を以下に示す。

安定運転を行う際の得られた知見は下記の通りである。

- ① 通常運転において、汚泥処理量（蒸発水分量）の変動に対して乾燥排ガス温度のみの自動制御で、必要熱風量が調整され、運転が可能であった。
- ② 乾燥排ガス温度は、乾燥汚泥含水率15~25%となるよう設定を行うことにより、安定した運転が可能であった。
- ③ 乾燥汚泥温度のモニタリングを行い運転を補完することで、汚泥性状の変動に対しても運転制御が可能である。
- ④ 脱水汚泥処理量が定格以上の場合、乾燥排ガス温度の設定を変えることで、20%増の処理運転が可能であった。このことは、乾燥効率の悪化

Tab.2 LMTD of Inlet and Outlet of Dryer

処理量	乾燥機入口温度		乾燥機出口温度		対数平均 温度差
	入口ガス	脱水汚泥	乾燥排ガス	乾燥汚泥	
400 kg/h	300°C	20°C	96°C	75°C	100°C
475 kg/h	383°C	20°C	125°C	77°C	156°C
差	83°C	0°C	29°C	2°C	56°C

LMTD Logarithmic Medial Thermal Differense

$$\text{対数平均温度差} = \frac{(\text{入口ガス温度} - \text{脱水汚泥温度}) - (\text{乾燥排ガス温度} - \text{乾燥汚泥温度})}{\ln \frac{\text{入口ガス温度} - \text{脱水汚泥温度}}{\text{乾燥排ガス温度} - \text{乾燥汚泥温度}}}$$

を熱風取込量増大で補う、というさらなる自動
制御の可能性を示唆するものである。

(受付 2001. 1. 5)

(受理 2001. 1. 18)