高能率の下水汚泥焼却装置に関する研究 (I)

——脱水汚泥の分散供給装置——

—昭和45年6月23日受理—

栗田工業株式会社 石井 一雄
早稲田大学理工学部 小泉 睦男・町山 忠弘
永田 勝也・杉本 旭

1. 結 論

家庭から排出される下水には多くの有機物質を含みこれが河川や海に流れこめば水を汚染し多くの公害をひきおこすことはよく知られている。都市人口の増加、人口当たりの使用水量の増加にともなつて、下水道の整備と下水処理技術の確立とが緊急の問題となつてゐる。現在広く行なわれている都市下水の処理方法は活性汚泥法によるものである。しかしこの方法でも有機物を完全に分解するものではなく、下水から沈降分離される汚泥の中には固形の有機物が含まれ、そのまま排棄すれば再び公害をおこすおそれがある。

そこで下水汚泥を真空脱水器などによつて脱水し、脱水された固形物（フィルタケーキともいうが以後脱水汚泥と称する）を焼却することにより衛生的に汚泥を処理するのがよいとされている。

処理を要する下水の量は、雨水と家庭排水を分けるかどうか、し尿を含めるかどうかで大きく異なるが、一般に人口1人1日当たり300ℓ程度であり、それから生ずる脱水汚泥は下水量0.05%の程度になるといわれる。この計算によると人口100万人に対し発生する脱水汚泥は1日に150tに達する。

脱水汚泥の焼却方法として各種のものが発表され、実用装置も製作されているが、固形物の輸送、供給、燃焼、という考え方でつくられている装置が多く、そのため燃焼の能率も一般にあまり高くない。本研究は汚泥の焼却を高能率化し、臭気や飛じんの発生がほとんどない焼却装置を開発するために、まず新しい方式の汚泥分散供給装置を製作し、その実験を行つたものである。

2. 蒸発式霧化装置

2-1 霧化装置の設計

蒸発式霧化装置はつぎのような原理によるものである。

脱水汚泥を加圧した状態で加熱し、100℃以上にする。これをその圧力によつて細孔からふき出すと、急激に水蒸気化し、瞬間的にその体積を増し、その結果汚泥は細かい粒子に分れて噴霧状に分散する。

いま汚泥の圧力を2atgとし、そのまま細孔からふき出したとすると、汚泥の比重量を $\gamma=1200\text{kg/m}^3$ としてその速度は、汚泥の絶対圧を P_1 、大気圧を P_0 として、

$$v = \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_0)}{\gamma}} = \sqrt{\frac{19.6 \cdot 2 \times 10^4}{1200}} = 18 \text{ m/s}$$

となる。汚泥の流量を100kg/hrとするとノズル径は1.28mmとなる。しかしノズル出口で蒸発、分散がおこるので必要なノズル径はこれより大きくなるものとして、1.5, 2.0, 2.3, 3.0mmの4種類とした。

汚泥の霧化には蒸発による体積増加の割合が大きな影響を持つものと思われる。2atgのもとで120℃に加熱して大気圧中にふき出すとすると、汚泥1kg当たり約0.038kgの水が蒸発し、その全体の体積は約80倍になる。この蒸発がノズルのどの部分でおこるかは予測できないが、ノズル内部で蒸発がおこると噴出が不安定になるおそれがある。そこでノズルの形状はなるべく急傾斜で細くするのがよいことになる。しかし一方ノズルの狭まり角をあまり大きくすると、その部

Fig. 1 Evaporation type sludge atomizer

分に汚泥の流動しない領域を生じ、ノズルの閉塞をおこす原因になるおそれもある。そこで若干の予備実験と塑性流体の流動に関する経験などを参照して Fig. 1 に示すようなノズルを製作した。ノズルの噴出の向きを斜め下にとつたのは実験上噴霧の捕集を容易にすることと、燃焼室内に噴霧することを考慮したものである。ノズル内で流れの向きをかえることに若干の懸念はあつたが、実験の結果流速の遅い所で向きをかえる

のは問題がないことがわかつた。

2-2 脱水汚泥の加圧、加熱装置の設計

脱水汚泥の供給、加圧にはスクリーフイーダを用いることとした。その理由はスクリーフで送りながら汚泥を加熱することにより、加熱に際して管内面に生ずるおそれのあるスケールをかきとり、加熱の効率を高めることができると考えたからである。

スクリーフの寸法は Fig. 2 に示される。スクリーフ

Fig. 2 Shape of sludge screw feeder

の外管（バレル）が同時に加熱管となるのでその長さは長く、1520mm となつている。スクリーフの加圧能力はこの外管内のスクリーフの山の数に関係するので、この点からもスクリーフの長いのは好都合である。スクリーフは外径 79mm、谷径 60mm、谷幅 12mm であるから、1 回転の送り体積は $2.49 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ となり、回転数を 100rpm とすると 毎時約 0.15 m^3 の送り体積となる。加圧を考慮しない場合のスクリーフイーダの体積効率率は約 50% であるから、この条件で 90kg/hr の汚泥を供給することができる。しかしスクリーフで加圧するときはイーダ内の逆流のために体積効率が低下することが予想される。そこで加圧が不足するときはホッパを密閉して圧縮空気により圧力をつけることとした。

加熱の熱源としては都市ガスを用い、Fig. 3 に示す

ように炉の下部を燃焼室、上部を加熱室とし、加熱室の中にスクリーフイーダをおさめた。

スクリーフの駆動には無段変速機を用い、回転数を 60~240 rpm に変化してフィード量を調節できるようにした。

2-3 脱水汚泥の性状

本実験で使用した試料は東京都芝浦下水処理場の脱水汚泥である。その水分含有量は 73.5% であつたが、実験に際してはこれに若干の水分を加え、水分量 79% とした。汚泥の組成、発熱量などを Table 1 に示す。

Table 1 Properties of dewatered sludge

Composition

Water content (%)	79.0
Ash content (%)	13.2
Combustible content (%)	7.8
Specific weight (kg/m^3)	1.2×10^3
Lower calorific value (dry base) (kcal/kg)	1730

汚泥の輸送供給に関してはその粘度が大きな影響を持つと考えられる。そこで B 型粘度計（東京計器製作所製）を用いて汚泥の粘度測定が行なわれた。この測定の際の汚泥の水分含有量は 74% であつた。粘度計の回転部は直径 3.2mm 長さ 30mm の円筒で、これを汚泥で満された径 32mm の円筒の中央において回転させ、そのとき軸に生ずるトルクから粘度を求めるものである。

汚泥は非ニュートン流体であり、降伏応力を持つ擬塑性流体の性状を示すので、容器内の速度傾斜（ずり速度）を定めることは困難である。そこで粘度としては計器に表示された値を示すこととした。これはニュー

- ① Atomizer
- ② Barrel
- ③ Screw feeder
- ④ Heating chamber
- ⑤ Combustion chamber
- ⑥ City gas burner
- ⑦ Sludge hopper
- ⑧ Mechanical seal
- ⑨ Torque meter
- ⑩ Steplless speed change device

Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 2 Feed rate, spray pressure and spray temperature

Nozzle diameter (mm)	Screw speed (rpm)	Feed rate (kg/hr)	Nozzle pressure (atg)	Spray pressure (atg)	Spray temperature (°C)	Saturation temperature at spray pressure (°C)
2.0	140	82.2	0.70	0.226	104	106
	180	88.8	0.85	0.264	104	106
	230	115.0	1.00	0.443	107	110
2.3	140	106.0	0.70	0.215	106	106
	180	139.0	0.90	0.370	108	109

トン流体が等しいトルクを示すときの粘度である。

粘度計の回転数と見かけの粘性係数との関係はFig. 4 に示すようになる。回転数が0に近づくとき急激に粘性が高くなってビンガム流体のように降伏点を有していることがわかる。しかし速度傾斜0の近傍を除いて擬塑性流体（せん断力が速度傾斜の n 乗 ($0 < n < 1$) に比例する流体）として近似することができる。

Fig. 4 Relation between apparent viscosity of sludge and rotor speed of viscometer

脱水汚泥の温度が高くなると粘性が著しく低下する。その程度は粘度計の回転数とは無関係に 10°C から 80°C の間で粘性係数が約 1/10 になる。これは同じ温度間隔で水の粘度が低下する割合より大きい。

2-4 脱水汚泥の霧化特性

スクリーを回転し、汚泥に圧力をかけてノズルからふき出すと汚泥は棒状の液流となつて走る。この状態で汚泥を次第に加熱していき、100°C をこえると液

流の内部からの蒸発がはじまり、汚泥は細かく分散し、ノズル先端からある角度をもつて広がるようになる。霧化の程度は温度が高くなるほどよくなる。しかしさらに温度の上昇をつづけて、温度がある限界をこえるとノズルから間けつ的に蒸気がふき出すようになり、汚泥の分散は著しく悪くなる。

このように蒸気が間けつ的にふき出すようになるのはノズル内で蒸発がはじまることによるものと考えられる。ノズル内の圧力は測定されているが、この限界温度はノズル内圧力の飽和温度より大分低い温度となる。これは汚泥の粘性が高いことによりノズル出口に達する前に摩擦による圧力降下がかなりあるためと判断し、ノズル出口直前の圧力という意味で噴出圧力と称する圧力が計算された。噴出圧力はノズル口からふき出す液流の動圧に等しいゲージ圧力である。Table 2 に定常的に良好な噴霧状態を示したときの噴出圧力と噴出温度の関係が示される。噴出温度は噴出圧力に相当する飽和温度よりわずかに低い温度であつて、良好な霧化ができる上限の温度は噴出圧力によつて定まると考えてよいようである。

この表でノズル口径としては 2.0mm と 2.3mm のものが用いられている。ノズル口径 1.5mm のものは汚泥の中のあらい夾雑物がノズルにつまり、しばしば閉塞をおこすので定常的な運転が不可能であつた。またノズル径 3.0mm の場合は 100kg/hr 以上のフィード量でも噴出圧力が低く、良好な霧化に必要な噴出温度をとることができなかった。

ノズルからの噴霧はある噴霧角内に比較的一様にひろがつているようにみえるが、噴霧流量の分布を測定すると Fig. 5 に示すようになる。この測定はノズル下 700mm の所に噴霧中心を通つて 3.5mm のピッチで 16個の小さなガラス容器をならべ、短時間内にその容器にたまつた汚泥の量を計量してその分布を求めたものである。測定値は Table 3 に示され、そのときの噴霧のひろがりから噴霧角が求められている。

噴霧量分布で外周部の流量が少なくなっているが、

Table 3 Degree of dispersion and spray angle of atomized sludge particles (evaporation type)

Nozzle diameter (mm)	Feed rate (kg/hr)	Weight percent (%)														Spray angle (deg.)
		Distance from spray axis (mm)														
		210	175	140	105	70	35	0	35	70	105	140	175	210		
2.0	82.2	0	0.9	3.4	17.3	19.0	12.9	11.2	14.7	13.8	6.0	0.6	0	0	31	
	88.8	0	0.7	4.4	11.0	19.7	18.2	14.6	18.2	8.8	3.7	0.7	0	0	31	
	115.0	0	0.8	1.6	9.6	18.4	12.8	9.6	10.4	24.0	10.4	1.6	0.8	0	34	
2.3	106.0	0	2.1	5.2	12.5	12.5	9.3	10.3	20.1	15.5	11.5	1.0	0	0	31	
	139.0	0	0.8	2.5	9.0	17.1	12.2	13.0	13.0	15.5	14.6	1.5	0.8	0	34

Fig. 5 Degree of dispersion of atomized sludge particles (Evaporation type)

これはノズルを出てから拡散によつて外へひろがった部分であろう。中心部の噴霧量がやや少なくなっているのは、ノズル出口で液流の中心部の温度が周辺部より高くなつていて、そのため中心部の方が蒸発量が多くなることによるものと考えられる。いずれにしてもかなり一様な分布で、周辺部の濃度がやや高いのは噴霧燃焼に対して有利であると考えられる。噴霧角は 30deg 程度で、あまり広くない。しかし汚泥温度をこの実験の場合より高くすることができれば、霧化がよくなると同時に噴霧角もひろがるであろう。

噴霧粒径の測定試料は、浸漬油として真空ポンプ油を塗った厚紙および板ガラスを短時間噴霧中に差出し、分散した汚泥をその上にうけることによつて得た。真空ポンプ油を塗ることにより、粒子が紙面に衝突する際におこる潰れや散乱をほとんど防止することがで

1 division on scale 0.5mm

Fig. 6 Photograph of atomized sludge particles

きた。

サンプリングした粒子群を接写によつて撮影したものの一例が Fig. 6 に示される。100 μ 以上の粒径のものはこの写真でその数を算え、それ以下の粒径のものは顕微鏡写真でその粒子数を求めた。その測定結果の例を Fig. 7 に示す。この図は 100 μ おきの区分 Δx に対し、その間の粒径をもつ粒子の数 Δn を求め $f = \frac{\Delta n}{\Delta x}$ を区分の平均粒径 x に対しプロットしたものである。曲線は $f(x) = \frac{dn}{dx}$ を意味する。この分布曲線は棚沢の式²⁾によく適合することが確かめられた。この式にもとづいてザウター平均粒径 (SMD) を求めた。

SMD は

$$SMD = \frac{\sum x^3 \frac{\Delta n}{\Delta x}}{\sum x^2 \frac{\Delta n}{\Delta x}}$$

であつて粒子群全体の比表面積と等しい比表面積を有する 1 個の粒子の粒径を意味する。

平均粒径と噴霧の条件との関係が Table 4 に示される。平均粒径は噴出温度が上昇するほど小さくなる。これは噴出温度が高いほど噴出の際に蒸発する水分の量が多くなり、分散に用いられるエネルギーが増大するためと考えられる。

Fig. 7 Distribution of particle size
(Evaporation type)

Table 4 Sauter's mean diameter of atomized
sludge particles (evaporation type)

Nozzle diameter (mm)	Feed rate (kg/hr)	Spray temperature (°C)	Sauter's mean diameter (μ)
2.0	82.2	104	660
	88.8	104	640
	115.0	107	465
2.3	106.0	106	478
	139.0	108	387
	145.0	—	364

噴出圧力は霧化特性に直接影響しないが、圧力が高いほど高い噴出温度をとることができる。

2-5 スクリューフィーダの性能

加熱しない状態でスクリューフィーダの回転数と汚泥のフィード量との関係をとると Fig. 8に示すようになる。ノズルをつけないときはこの関係は直線的であるが、ノズルをつけると回転数が多くなつたときのフィード量の増加は少なくなる。これはノズルをつけることによってスクリュー出口の圧力が高くなつたからである。フィード量とノズル内圧力の関係は Fig. 9に示すようになっている。

この結果からスクリュー輸送の体積効率を求めるとノズルなし、ホップの加圧なしの状態で約 22% である。これは予想よりかなり低い値で、汚泥の性質によるものと思われるが、今後の検討を要する点である。ホップに圧力をかけた場合はスクリュー溝やスクリューと外管の間を通る流れを生じ、回転数を 0 に近づけ

Fig. 8 Relation between screw speed and feed rate

Fig. 9 Dependence of nozzle pressure on feed rate

でもかなりのフィード量があることになる。しかしこの場合でも回転数のはやい所では体積効率が100%に達していない。

スクリー出口圧が高くなるとスクリーと外管の間のすき間などに戻り流れが生じてフィード量が少なくなることが知られている。この実験の場合もかなりその影響が見られるようである。

2-6 蒸発式霧化装置による実験結果に関する考察

脱水汚泥の霧化方法として全く新しい試みである蒸発式霧化という方法は、これらの実験により、その条件をよく調整すれば十分に効果の期待できる汚泥分散供給の方式であることが明らかにされた。

霧化が順調に行なわれる条件は汚泥の温度が105°C程度以上で、ノズルから噴出される直前の圧力(噴出圧力)に相当する飽和温度より低く保たれることである。

実験においてはこの噴出圧力が0.5atg以下であったためこの温度範囲が狭く、調整に困難があつた。その理由の一つはフィードする汚泥の量が少ないため、ノズル口径を小さくしなければ噴出圧力が上らず、一方ノズル口径を小さくすると、脱水汚泥中の夾雑物(草の根など)のためにノズルがつまるのでノズル径を2.0mm以下にできなかったからである。

実用装置においてはフィード量が増すためこの難点はさけられるものと思われる。たとえば毎時3m³の汚泥を供給する場合には噴出圧力を2atgとしてノズル口径は約7.6mmになる。2atgの飽和温度は約133°Cであるから、噴出温度を120~125°Cに調節することはそれほど困難でなくなる。

スクリーフィーダで汚泥を供給する場合脱水汚泥

そのままでもそれほど困難でない。しかし脱水汚泥を塊のままホップにいれるとその中に空気を含んで送りにくくなるので適当に攪拌して空気をぬいた状態でいれるのがよいであろう。攪拌すると汚泥の粘性も低下する。

スクリーフィーダで2atg程度に加圧するためには、かなりの体積効率低下をみこまなければならないし、外管とスクリーの間隙をよほど小さくしないと加圧できないであろう。そこで加圧のためにはある体積をつぎつぎに確実におし出していく形式のポンプを用いることも考えられる。なおこの種のポンプに脱水汚泥を供給するときには70°C程度の予熱を行なつて汚泥の流動性をよくしておくといよいであろう。

3. 空気噴霧式霧化器

3-1 霧化装置の設計

前章でのべたように蒸発式霧化器はある程度容量の大きいものについては十分すぐれた性能を発揮すると思われるが、小容量のものではその温度調整が非常に困難である。そこで小容量の汚泥の分散供給装置として空気噴霧式の霧化器を製作することとした。

空気噴霧式の霧化器が小容量の噴霧に適するという理由は、霧化媒体として高速の空気流を用いるため汚泥のノズル出口流速はそれほど高速でなくてよく、したがって小容量でもノズル口径がそれほど小さくならなくてすむからである。このようにして外部混気式の油バーナに類似した形式の空気噴霧式の霧化器が設計された。

ノズル口径は4.0mmとした。これは汚泥の中に2mm程度の夾雑物が含まれていても汚泥が順調にノズルからふき出されるようにするためである。この口径で汚泥100kg/hrを噴き出すときの流速は約1.85m/sとなる。この程度の流速があれば汚泥は棒状の液流としてふき出される。この液流に対しノズル出口直後に周囲から高速の空気をふきつけて汚泥を霧化させる。霧化方法としては完全な外部混気方式であり、しかも汚泥のノズルはできるだけ単純な形にして閉塞のおそれがないようにしてある。

実験に使用した空気噴霧式霧化器の構造はFig. 10に示される。汚泥ノズルの周囲に高压空気の通路を設け、環状のこの流路から35degの角度で内側に向けて空気を噴射するようになっていいる。空気通路出口の面積は約 $1.34 \times 10^{-5} \text{m}^2$ であつて摩擦損失や縮流を無視すると空気圧1atgのとき空気流量約22kg/hr, 2atgのとき約33kg/hrとなる。

2atg以上の空気圧による外部混気式の重油霧化器

Fig. 10 Air jet type sludge atomizer

では重油量の 30~50% の重量の空気を送ることにより良好な霧化が行なわれる。重油と汚泥とでは粘性や表面張力が異なるので単純な比較はできないが、2 atg の空気圧力で 60 kg/hr 程度の量の汚泥を霧化するときには十分良好な霧化を得ることが期待できる。

3-2 霧化特性試験

空気噴霧式の霧化器では汚泥のフィード量と空気圧

を変化して実験を行ない、その特性を調べた。

噴霧の流量分布の例を Fig 11. に示す。測定位置はノズル下 520mm の所である。蒸発式の霧化器とは異なつてその分布は中心部でもつとも高く、全体としてはほぼ正規分布に近い形となつている。したがつて噴霧の境界あるいは噴霧角をはつきり定めることはできない。そこで噴霧のひろがりを示すものとして分布量に対する標準偏差を求めた。Table 5 に各条件における噴霧量分布と標準偏差が示される。

Fig. 11 Degree of dispersion of atomized sludge particles (Air jet type)

Table 5 Degree of dispersion and standard deviation of atomized sludge particles (Air jet type)

Air pressure (atg)	Feed rate (kg/hr)	Weight percent (%)							Standard deviation (mm)
		Distance from spray axis (mm)							
		0	35	70	105	140	175	210	
1.0	60	24.4	22.0	17.7	14.6	10.4	6.7	4.2	93.4
	60	31.3	28.4	18.7	11.1	6.0	3.0	1.5	75.5
	100	37.2	30.2	16.3	8.5	3.9	2.3	1.6	65.3
2.0	60	34.4	27.3	19.5	10.2	4.7	2.3	1.6	68.8
	80	34.8	31.1	17.4	8.3	3.8	3.0	1.6	67.0
	100	43.3	28.3	13.3	6.7	4.2	2.5	1.7	63.7

汚泥のフィード量が増すと霧化が悪くなつて噴霧のひろがりが小さくなるのは当然であるが、空気圧力が増した場合もひろがりが小さくなつていく。これは空気の流速がはやいと噴流自体のひろがりが小さくなるのではないと思われる。いずれにしても噴霧のひろがりが小さくなると燃焼室の有効な容積が小さくなる場合が多く、霧化された粒子の再結合のため霧化性能も低下するおそれがある。汚泥噴流に対して空気噴流の角度を 35deg としたのは予備実験で良好な霧化がえられたと思われるものを選んだのではあるが、空気圧力と最良の空気噴射角度との関係などは今後の検討を必要とする。

汚泥の霧化特性は蒸気噴霧式の霧化器と同様の方法で測定が行なわれた。実験条件と霧化特性との関係は

Table 6 Sauter's mean diameter of atomized sludge particles (Air jet type)

Air pressure (atg)	Feed rate (kg/hr)	Sauter's mean diameter (μ)
1.0	60	308
	80	394
	100	446
2.0	30	136
	60	211
	100	244

Table 6 に示すようになる。予想されるように汚泥フィード量の少ないほど、空気圧が高いほど霧化が良好になっている。外部混気式の重油バーナと対比して考えてみても平均粒径 100μ 以下の微細な噴霧をうるためには霧化用の空気の重量をフィード量の 0.5 倍以上にとる必要がある。

4. 結 論

脱水汚泥を霧化して燃焼室に供給する方法として蒸発式霧化装置と空気噴霧式霧化装置が開発された。前者は加圧した脱水汚泥を 100°C 以上に加熱し、細孔よりふき出して、その際の急激な水の蒸発により汚泥を霧化するものである。後者は汚泥を細孔よりふき出しこれに斜に高速空気流をあてて霧化するものである。実験によりつぎのような結果を得た。

(1) 蒸発式霧化装置では汚泥の加熱温度を 105°C 程度以上、噴出圧力に相当する飽和温度以下に保持すれば汚泥をかなり細かくして噴霧することができる。

(2) 加熱温度が高く蒸発量が多いほど噴霧のひろがり角が大きくなるが、実験範囲では $31\sim 34^\circ$ であつた。

(3) 空気噴霧式の霧化装置では汚泥フィード量が

少なく空気圧が高いほど霧化がよくなる。霧化性能には空気流量と汚泥流量の比が大きく影響し、空気圧は臨界圧力比以上の圧力比で噴射が行なわれるようにとればよい。

(4) 汚泥噴流に対する空気噴射角度が一定のとき、噴霧のひろがり汚泥フィード量が大きいほど、空気圧が高いほど小さくなる。

実験の結果両者とも 30° 程度の噴霧角と 200μ 程度の平均粒径をもつ噴霧がえられた。汚泥を微粉炭燃焼のように空気中に分散して燃焼する場合には霧化の程度をもう少し高くする必要があるが、本研究では後報でのべるように充填層式の融灰式燃焼装置で汚泥焼却を行なうのでこの程度の霧化性能を示せば十分である。

終わりに本実験の遂行に当たつて多大の協力をいただいた小山弘美氏をはじめとする当時の早稲田大学学生諸氏に深く感謝の意を表する。

文 献

- 1) 日本都市センター, 「経済社会の変貌と清掃事業」, 124 (1969)
- 2) 棚沢 泰, 「ディーゼル機関 I」, 山海堂, 62 (1963)

High Performance Incineration of Sewage Sludge (I)

— Atomizing Feeders of Dewatered Sludge —

by Kazuo Ishii, *Mutsuo Koizumi, *Tadahiro Machiyama,
*Katsuya Nagata, and *Noboru Sugimoto.

(Kurita Water Industries Co., Ltd. *Waseda Univ.)

SYNOPSIS:—For sanitary disposal of sewage sludge, a new incinerating method with high performance is studied. In the first part, two types of atomizing apparatus, by which dewatered sludge is fed to furnaces in particulated form, are developed. One is the evaporation type atomizer, in which dewatered sludge is pressurized, heated and pushed out from a nozzle to atmospheric pressure, then a part of water in the sludge is instantaneously evaporated at the outlet of the nozzle and the sludge is atomized into very fine particles. The other is the air jet type atomizer, in which sludge flow from a nozzle is atomized by high speed air jet.