

### Ⅲ－２ 既存焼却設備の評価に関する報告書

昭和 55 年 6 月 19 日

日本下水道事業団技術評価委員会



(ま え が き)

昭和40年頃より始められた、汚泥脱水ケーキの焼却は、現在、汚泥の減量化、安定化を図る有力な処理方法の一つとなっている。

昭和53年3月末におけるわが国の下水汚泥焼却炉の設置状況は、立形多段炉68基〔5～300トン/日・基(水分55～80%)〕、流動焼却炉10基〔8～50トン/日・基(水分65～85%)〕、回転乾燥焼却炉(ロータリーキルン)8基〔24～36トン/日・基(水分60～80%)〕、階段炉床式焼却炉6基〔5～43トン/日・基(水分47～55%)〕、その他の機種5基となっている。

しかし、焼却に要する補助燃料費をはじめとした維持管理費の増大、焼却に伴う大気汚染などの問題が提起されており、焼却設備の選定に当っては慎重に考慮しなければならない。

本委員会は、立形多段炉、流動燃焼炉、回転乾燥焼却炉の機種選定、設計および維持管理上の諸問題について、試験調査と実態調査の結果から得られた知見に基づいて審議し、報告することとした。

## (立形多段炉)

### (機 構)

1. 炉は数段の耐火性の炉床、かき混ぜアームを取付けたセンターシャフト、それを取り囲む鋼製の円筒形外かく(シェル)とから成っている。

炉頂から投入された脱水ケーキは、下方からの燃焼ガスと向流接触して乾燥された後、燃焼、冷却され、燃焼残渣(焼却灰)は炉床から排出される。

かき混ぜアームは、ケーキの搬送と熱風との接触面積の拡大とを目的としている。

燃焼方法は、火格子燃焼に属する。

### (特 徴)

2. 炉に供給する脱水ケーキの量や性状(水分、発熱量など)に多少の変動があっても乾燥帯、燃焼帯とが自律的に緩かに上下することにより、安定した操業を継続することができる。

3. 連続運転が原則であるが、間欠運転の場合には、耐火材の温度変化を避けるため停止時間内でも保温のための加温を必要とする。

4. 炉出口排ガス中のばいじん量は少く、測定結果によれば $1\sim 2\text{ g/Nm}^3$ である。

5. 炉出口排ガスの臭気濃度は、一般に高く測定結果によれば $2000\sim 9000$ である。

### (適 応 性)

6. 稼働基数、稼働年数とも最も実績が多く、また、1基当りの焼却能力は $5\sim 300\text{ トン/日}$ (水分 $55\sim 80\%$ )まで、広く利用されている。

### (設計にあたっての留意事項)

7. 炉の年間定期整備期間は連続 $15$ 日間程度である。これを含めた焼却設備全体の年間稼働率は実績によれば $85\sim 89\%$ である。

8. 炉へ供給する脱水ケーキは連続的に定量投入することが必要である。  
ケーキ貯留槽を經由して炉へ投入する場合に、貯留中に脱水ケーキの物性  
が変化し、定量供給できないことが多いので、定量供給装置の選定に留意す  
る必要がある。
9. 脱水ケーキの水分は60～80%であるのが望ましい。  
水分55%以下の場合、燃焼帯が乾燥帯まで上昇するので乾燥帯に冷風  
を入れる必要がある。
10. 脱水ケーキの炉床全面積負荷率は30～40 kg/m<sup>2</sup>・時を標準として定め  
る。
11. 燃焼帯の温度は、焼却灰中の未燃分と、炉壁構成材料の耐熱性を考慮して  
700～900℃とする。
12. 炉出口排ガス温度は通常250～300℃とする。
13. 炉床の段間隔（高さ）は、経済性と点検および補修時の作業とを考慮して  
決定する。通常0.7～1.0 m程度である。なお各段に炉内への出入口を設け  
る。
14. 炉壁の厚さは、入熱に対する放散熱（3～6%程度）、炉シェル表面温度  
など考慮して決定する。
15. 空気量は、実績では総合空気率として2.2～2.9であるが、灰中の未燃焼  
分の増加を防ぐと同時に、排ガス量の減少をも図る必要があるために、総合  
空気率として1.4～2.0とすることがのぞましい。
16. かき混ぜアームおよびチーズによるケーキ移送能力は、炉の最大処理能力  
より大きくとり、ケーキの粘性、かさ比重などの物理的性状の変化に対応で  
きるよう配慮する。また、チーズのピッチ、角度などはケーキの伝熱面積が  
できるだけ広くなるよう配慮する。
17. クリンカーの生成防止、かき混ぜアーム、チーズの保護のために補助燃料

燃焼装置は火炎を直接炉内に入れない構造とする。

18. 煙突から排出するばいじん濃度は電気集じん機や効率の高い湿式洗浄装置を設置することにより  $0.05 \text{ g/Nm}^3$  以下となる。

19. 排ガス中のいおう酸化物 ( $\text{SO}_x$ ) 濃度は、水または薬品による洗浄吸収装置を設置することにより、 $50 \text{ ppm}$  以下とすることができる。

20. 炉出口排ガス中の窒素酸化物 ( $\text{NO}_x$ ) 濃度は、 $80 \sim 120 \text{ ppm}$  ( $\text{O}_2 12\%$  として換算) 程度である。

21. 誘引ファン・ブローアおよびコンプレッサーなどの騒音発生機器は吸音室内に設置するなど必要に応じて防音対策を講ずる。

(維持管理に当たっての留意事項)

22. 炉の運転操作は、脱水ケーキの水分と供給量を設計条件の範囲内で一定に維持し、燃焼段に接した乾燥段の温度の自動制御および炉出口排ガス中酸素濃度を管理する。

23. 炉内部の高温帯にかき混ぜアーム、チーズなどの機械的回転部や数段のせり出し炉床があるため、熱的損傷をおこしやすいので、年1回定期点検を行う必要がある。

## ( 流 動 燃 焼 炉 )

### ( 機 構 )

24. 円筒形鋼製シェル炉内に、炉下部より空気を吹き込み、流動媒体（珪砂）を加熱状態で流動層を形成させる。

外部から投入された脱水ケーキは浮遊した状態で瞬間的に燃焼し、燃焼残渣と燃焼ガスとはフリーボード部を経て炉頂部より排出される。流動媒体は炉内に留まる。

### ( 特 徴 )

25. 流動燃焼炉は蓄熱量が大きいいため、供給脱水ケーキ量と性状に多少変動があっても、操業の不安定を緩衡する効果がある。

26. 流動層で、脱水ケーキを流動媒体により強制的に粉碎し、混合攪拌して、均一に分散させるため、比較的、高吐出圧のプロワーが必要である。

27. 連続運転が原則であるが間欠運転の場合には、流動媒体の蓄熱量が大きいいため停止時間内でも保温のために加熱する必要はなく、容易に再起動できるので間欠運転に適する。

28. 炉出口の排ガスの臭気濃度は測定結果によれば300～1700である。一般には、脱臭設備を必要としない。

29. 燃焼残渣はすべて炉頂部から排出されるため、炉出口直後でサイクロン等による粗集じんが必要となる。

30. 炉体内部には、機械的可動部がないため故障因子が少ない。

### ( 適 応 性 )

31. 1基当りの焼却能力は、現在、脱水ケーキ1日当り8～50トン（水分65～85%）までの範囲で利用されている。

### ( 設計にあたっての留意事項 )

32. 炉の年間定期整備期間は、連続7日間程度である。これを含めた焼却設備

全体の年間稼働率は実績によれば92%である。

33. 炉へ供給する脱水ケーキは連続的に定量投入することが必要である。ケーキ貯留槽を經由して炉に投入する場合には、貯留中にケーキの物性が変化し定量供給できないことが多いので、定量供給装置の選定に留意する必要がある。
34. 流動床の所要面積は、一般に燃焼湿ガス量とその炉内平均流速から定める。炉内燃焼湿ガス量は、可燃物の燃焼生成ガス量、脱水ケーキ水分の水蒸気量および余剰空気量との和である。
35. 炉内における燃焼湿ガスの平均流速は、流動媒体の粒径、密度などにより異なるが、測定結果によれば0.8 m/秒程度である。
36. 炉床単位面積当りの焼却量は、測定結果によれば水分80%、可燃分50%DSおよび、水分65%、可燃分40%DSの場合、それぞれ、ケーキ200 kg/m<sup>2</sup>・時、ケーキ270 kg/m<sup>2</sup>・時である。
37. ケーキ供給口は流動層の内部または炉頂部とし、炉の規模1日当り50トンまでは1ヶ所で足りる。
38. 流動層を形成する珪砂層の静止時の高さは、一般には、1～1.5 mである。この静止時高さの約1.5倍が流動層の高さである。
39. フリーボード部の高さは、適正な流動層を形成するために、通常、流動層の高さの約3倍が必要である。
40. 炉出口排ガス温度は通常800℃程度である。したがって排ガスの保有熱量が大きいので燃焼用二次空気の前熱を行なう構造とする。
41. 燃焼用空気の前熱温度は450℃程度とする。
42. 炉壁放散熱の入熱に対する割合は5～10%程度とする。
43. 空気量は、実績では総合空気率として1.2～1.6であるが、灰中の未燃分の増加を防ぐと同時に、排ガス量の減少をも図る必要があるため、総合空気

率として1.3程度とすることが望ましい。

44. 煙突より排出するばいじん濃度は、電気集じん機や効率の高い湿式洗浄装置を設置することにより $0.05\text{ g/Nm}^3$ 以下とすることができる。
45. 排ガス中のいおう酸化物濃度は、水または薬品による洗浄吸収装置を設置することにより、 $50\text{ ppm}$ 以下とすることができる。
46. 炉出口排ガス中の窒素酸化物は、 $90\sim160\text{ ppm}$  ( $\text{O}_2\text{ }12\%$ として換算)程度である。
47. 誘引ファン、ブローア、コンプレッサーなどの騒音発生機器は、吸音室内に設置するなど必要に応じて防音対策を講ずる。  
(維持管理に当たっての留意事項)
48. 炉の運転操作は、脱水ケーキの水分と供給量を設計条件の範囲内で一定に維持し、流動層、フリーボード部の温度、炉内圧、炉出口酸素濃度を管理する。
49. 流動媒体の珪砂の損耗は、測定結果によれば、投入脱水ケーキの固形物量1トン当り $20\text{ kg}$ 程度である。その補給は圧力損失を監視して行う。

## （回転乾燥焼却炉）

### （機 構）

50. 炉本体は、横置に斜設された鋼製の円筒形で、ゆるやかに回転する。炉筒内に投入されたケーキは、燃焼ガスと向流接触することにより乾燥された後、燃焼冷却され、燃焼残渣は炉外へ排出される。

ゆるやかな回転をする炉筒は、乾燥帯でケーキを解砕攪拌し燃焼帯で切返えし（キルン・アクション）の機能を与えるとともてケーキの搬送機能をはたす。

乾燥帯の炉筒内面に取付けてある掻き上げ羽根（リフター）は、ケーキの解砕、攪拌作用を助長し、燃焼ガスとの接触効率を高める効果がある。

燃焼方法は、火格子燃焼に属する。

### （特 徴）

51. 炉へ供給する脱水ケーキ量やその性状に多少変動があっても、乾燥帯と燃焼帯とが自律的に緩かに前後することにより安定した操業を継続することができる。

52. 連続運転が原則であるが間欠運転の場合には、耐火材の温度変化を避けるため停止時間内でも保温のための加温を必要とする。

53. 炉体は、横置きで高さが比較的lowく、付属装置を立体的に配置することができる。

### （適 応 性）

54. 炉の1基当りの焼却能力は、1日当り24～36トン（水分60～80%）の範囲で利用されている。

### （設計にあたっての留意事項）

55. 炉の年間定期整備期間は、連続7日間程度である。これを含めた焼却設備全体の年間稼働率は実績によれば平均85～89%である。

56. 炉へ供給する脱水ケーキは、連続的に定量投入することが必要である。

ケーキ貯留槽を經由して炉へ投入する場合は、貯留中にケーキの物性が変化し、定量供給できないことが多いので定量供給装置の選定に留意する必要がある。

57. 乾燥帯に設置している掻き上げ羽根（リフター）は、脱水ケーキの性状によって、その形状、取付数などを検討し、乾燥効果を高めるようにする。

58. 乾燥帯の熱容量係数は、炉筒径 1.6 m で  $200 \text{ kcal}/\text{m}^3 \cdot \text{時} \cdot \text{°C}$  程度である。

59. 炉筒内の燃焼湿ガスの単位断面積当り流量は、 $3300 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{時}$  程度である。

60. 炉筒出口排ガス温度は、 $300 \text{ °C}$  程度とする。

61. 炉筒放散熱量は、入熱に対して 15 % 以下とする。

62. 空気量は、実績では総合空気率として 2.4 ~ 3.2 であり、侵入空気量が構造上多くなりがちである。フードと炉筒とのすきまからの侵入空気量を極力少くし、総合空気率として 1.4 ~ 2.2 とすることが望ましい。

63. ケーキのキルン内平均滞留時間はほぼ次式により決定できる。

$$\theta = \frac{0.19 \times L}{N \times S \times D}$$

L : キルンの長さ ( m )  
N : " 回転数 ( R.P.M )  
S : " 勾配 ( - )  
D : " 内径 ( m )  
 $\theta$  : 滞留時間 ( 分 )

キルン勾配は一般に  $\frac{1}{100} \sim \frac{3}{100}$  にとる。

64. 煙突から排出するばいじん濃度は、電気集じん機や効率の高い湿式洗浄装置を設置することにより、 $0.05 \text{ g}/\text{Nm}^3$  以下とすることができる。

65. 排ガス中のいおう酸化物濃度は、水または薬品による洗浄吸収装置を設置

することにより50ppm以下とすることができる。

66. 炉出口排ガス中の窒素酸化物濃度は、70～100ppm(O<sub>2</sub>12%として換算)程度である。

67. 誘引ファン、ブロワー、コンプレッサーなどの騒音発生機器は、吸音室内に設置するなど必要に応じて防音対策を講ずる。

68. 炉筒の変形をさけるため、突発的停電の際に、炉筒を回転させる出力をもつ非常用駆動装置を設置する。

(維持管理に当たっての留意事項)

69. 炉の運転操作は、脱水ケーキの水分と供給量を設計条件の範囲内で一定に維持し、炉出口排ガス温度および酸素濃度を管理する。

70. 炉筒内に機械的可動部がないが、炉体自体が回転するため、炉筒内の耐火材の脱落、炉筒を支えるローラの摩耗、回転炉筒と回転フードとのすきまの調整など定期点検が必要である。

(技術上の比較)

71. 流動燃焼炉・回転乾燥焼却炉は、現在のところ1基当りケーキ焼却能力50トン/日程度まで使用されているが、立形多段炉は300トン/日まで使用されている。
72. 立形多段炉は、固定された炉床上をレーキが回転することにより、また、回転乾燥焼却炉は炉筒が回転することにより、ケーキの攪拌と移送を行う、従って両炉の操作は比較的簡単である。  
流動焼却炉は、流動媒体の膨化、微細化などによる消耗があるため、流動層の形成を連続して最適状態に保つ操作に技能を要する。
73. 立形多段炉・回転乾燥焼却炉で間欠運転を行うときは、一般に、停止期間中保温のための加温を必要とする。流動燃焼炉では加温することなく再起動できる。
74. 流動燃焼炉は、立形多段炉・回転乾燥焼却炉よりも、一般に、総合空気率の低い焼却操作をとることが可能である。
75. 流動燃焼炉の炉出口排ガスの臭気濃度は、立形多段炉・回転乾燥焼却炉のものよりも、一般に低い。
76. 流動燃焼炉は、燃焼残渣が燃焼排ガスとともに炉頂から排出されるため、ばいじんと灰とを分離する粗集じん機構を必要とする。立形多段炉・回転乾燥焼却炉ではこれを必要としない。
77. 炉出口排ガス中の硫黄酸化物の排出量は、3機種とも同程度であり、供給ケーキ中の硫黄の含有量及び石灰の含有量により、ほぼ定まる。
78. 炉出口排ガス中の窒素酸化物の排出濃度は、3機種とも同程度であり250ppm(O<sub>2</sub>:12%換算)を下廻ることができる。

## (経済性の比較)

終末処理場から発生する汚泥を真空ろ過機，加圧ろ過機，遠心脱水機を用いて脱水し，この脱水ケーキを立形多段炉，流動燃焼炉，回転乾燥焼却炉を用いて焼却する場合を考え，これらの9種類の組合せ処理施設について，占用面積，設備費，ユーティリティ費の比較を行った。

比較算出条件としては，この調査で得られた資料および一般に是認されている資料に基づいたものであり，主要な条件は次のとおりである。

- (1) 処理場に流入する水量は $500000\text{ m}^3/\text{日}$ ， $1250000\text{ m}^3/\text{日}$ ， $2000000\text{ m}^3/\text{日}$ とし，発生汚泥の量と質とは各組合せとも同一であるものとする。
- (2) 脱水機の運転は昼間のみとし，凝集剤の種類と添加率，ろ過速度，脱水ケーキ水分は，各脱水機についてそれぞれ一定の値をとるものとする。
- (3) 焼却炉の運転は，昼夜連続とし，補助燃料の種類，外気条件，ケーキ温度，冷却水温は，各焼却炉とも同一とする。

炉出口排ガス温度，灰排出温度，総合空気率，熱損失率，予熱空気温度は，各焼却炉についてそれぞれ一定の値をとるものとする。

- (4) 排ガス処理装置の組合せについては，各焼却炉について適切な装置を設置し，いずれも大気汚染防止法に定まる一般基準を満たすものとする。

また，立形多段炉，回転乾燥焼却炉については，排ガス再加熱などの特別の脱臭対策は行わないものとする。

- (5) 占用面積については，脱水機，焼却炉とも平面配置とする。
- (6) 脱水，焼却に要するユーティリティ費（燃料費，電力費，薬品費，用水費および珪砂費の総計）の単価は，調査時の価格とする。

その結果，現時点における各施設の経済性について，概ね，次のようなことが判明した。

( 焼却処理の経済比較 )

79. 占用面積は、流動燃焼炉を用いた設備が最も小さく、立形多段炉・回転乾燥焼却炉のものは同程度である。
80. 設備費は、回転乾燥焼却炉を用いた設備が最も安く、立形多段炉・流動燃焼炉のものは同程度である。
81. ユーティリティ費は、流動燃焼炉を用いた場合が最も高く、回転乾燥焼却炉・立形多段炉の順に安くなる。

( 脱水・焼却処理を合せた経済比較 )

82. 施設の占用面積は、各脱水機の機種にかかわらず、焼却に流動燃焼炉を用いた施設が最も小さく、立形多段炉・回転乾燥焼却炉のものは、ほぼ同程度である。
83. 設備費については、焼却炉の機種にかかわらず、脱水に加圧濾過機を用いた施設が最も高く、真空濾過機・遠心脱水機のものは同程度である。
84. ユーティリティ費については、焼却炉の機種によるよりも、脱水機の機種に主として左右され、一般に、加圧脱水によるものが安く、真空脱水によるものが高い。

特に、加圧濾過—立形多段炉によるものが最も安く、真空濾過—流動燃焼炉によるものが最も高い。

(付 記)

85. 立形多段炉および回転乾燥焼却炉では、排ガス中の悪臭物質に対して直接燃焼による脱臭を行うとすると、同一性状のケーキの焼却に要するユーティリティ費は、流動燃焼炉によるよりも若干、高くなると考えられる。
86. 焼却設備の経済性については、炉および排ガス処理装置などの耐久性を考慮に入れなければならない。

現在、稼動経年の長いものでは、立形多段炉が昭和42年5月から約13年間、流動燃焼炉が昭和47年5月から約8年間、回転乾燥焼却炉が昭和40年9月から約15年間の実績があるものの、その基数が少く、資料が十分でない。

また、排ガス処理装置に関しては、排ガス規制の変遷による改造を重ねている場合が多く、装置の選定が流動的である。

したがって、耐久性については不明である。