

〔研究報告〕

ごみ焼却処理施設の処理能力の評価方法について

(第2報：運転実績の評価)

Evaluation methods of functional ability
for refuse incineration plants
(II, Evaluation methods of operational data)

佐藤 幸世* 藤吉 秀昭* 二見 寿之*

Kousei SATOU, Hideaki FUJIYOSHI and Hisayuki FUTAMI

はじめに

ごみ焼却処理施設の処理能力は、通常設計ごみ質との関係で評価される。その評価にはごみ処理量(率)とごみ低位発熱量の関数として示されるごみ焼却施設の性能曲線が用いられる。例えば最近では処理能力の低下の多くがごみ質の高カロリー化が原因とされ、この性能曲線を利用して評価される場合が多い。

第1報ではこのような考え方に即して、主要な処理能力影響要因であるごみの低位発熱量を取り上げ、解析、評価する方法について報告した。

しかしながら、多くの施設においては、その処理能力は単純にごみの低位発熱量と機器の設計容量との関係によって設定されているのではなく、運転管理的要素が複雑にからんでいる。

従って、ごみ焼却施設の処理能力の評価手法の確立のためには、まず、実際のごみ焼却施設では運転管理上のどのような要因がどのように関連しあって処理能力を制限しているのかを解析、整理する必要がある。

そこで、本報告では具体的な事例を取り上げ、竣工から12年間の処理実績の推移を示し、それらの状況について検討した。同時に、各要因の関連を総合的に検討するためには稼働開始以降のデータを時系列的に長期的視野でとらえること、いわば施設のライフサイクルをたどりながら検討することが重要であることを示した。

1. ごみ処理能力の定義

1.1 処理能力の定義

ごみ焼却処理施設の処理能力の考え方をごみ焼却負荷量の面からいうとある時間内(例えば1年間、1ヶ月、1日)に計画量を処理できることをいう。この場合の処理能力は図-1のように焼却負荷量(率)と稼働時間の積(図の斜線の部分)として表わされる。

一般的にはこのある時間内の焼却負荷量を時間当りに換算した「時間当り焼却負荷量(率)」が処理能力を表わすものとみなすことが多い。

本報告ではこのような時間当り焼却負荷量(率)が処理能力を表すものとみなして運転管理的要素の影響等を検討した。

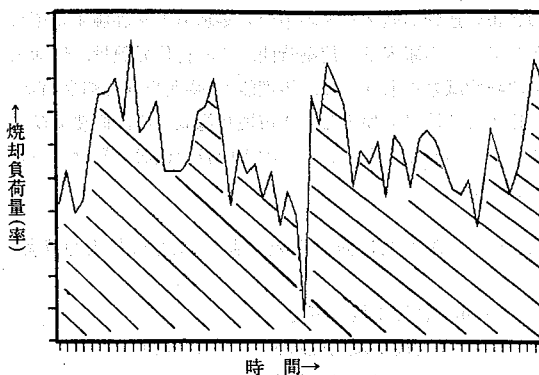


図-1 処理能力

1.2 処理能力影響要因

ごみ焼却処理施設を実際に検査するとその処理能力はごみ質以外に種々の運転管理的な要素が複雑にからんでいると判断されることが多い。過去の精密機能検査実施例から

* 勸業日本環境衛生センター衛生工学部
Department of Sanitary Engineering,
Japan Environmental Sanitation Center

処理能力影響要因をまとめると表-1に示すとおりである。

表-1 処理能力影響要因

外的要素……ごみ量、ごみ質等 設備的要素……単体設備能力、老朽化、炉別特性等 人的要素……運転方法、操作技術等 公害防止上の要素……焼却残渣の熱灼減量、大気汚染防止法の基準値等

排出された処理対象可燃ごみは焼却処理施設に搬入され、そこで総て焼却処理されることが原則である。ごみの焼却処理は自治体の運転管理面の事情から様々な運転方法のもとに行われている。

例えば、ごみ搬入量の多少によって、時間をかけて適正に処理することが必要であってもやむを得ずむりやり詰め込んで単に焼却炉内を通過させるだけのこともある。また、処理能力に十分な余裕があり運転炉数を減らしている(稼働率を低下させることができる)自治体もある。

時間当り焼却負荷量としてみた処理能力は一般に表-1の外的要素であるごみ質と設備的要素としての設備機器容量との関係で解析、評価される場合が多いが、実際は質、量の月変動や人的要素及び公害防止の要素が複雑に絡んで、全体としての処理能力を制限しているケースが多い。

このような観点から、以下具体的事例を検討してその影響要因と影響の程度等を示した。

2. 処理能力評価項目検討結果

1.2で述べた処理能力影響要因を踏まえ、検討対象施設のA市の運転実績データの中から処理能力を評価する項目として、ごみ搬入量、稼働時間、ごみ低位発熱量、焼却残渣の熱灼減量を取り上げ、処理能力(時間当り焼却負荷量)と比較して検討を加えた。A市焼却施設の施設概要並びに運転方法の概要は表-2に、評価項目の検討結果は以下のとおりである。

表-2 A市焼却施設の施設並びに運転方法の概要

<A市O清掃工場の概要> 全連続燃焼式焼却炉、ストーカ炉 水噴射式ガス冷却方式 施設規模 450t/24h(150t/24h×3炉) 6,250kg/h・炉 昭和52年3月竣工、4月稼働開始	
<処理、運転の概要> A市の可燃ごみは全てO清掃工場に搬入され焼却	

処理されている。

A市O清掃工場では燃焼室出口温度を950℃以下とする運転管理を行っている。
また、3炉の内通常2炉運転を実施している。

2.1 処理能力評価項目の実績状況

1) ごみ搬入量及び稼働時間の推移

ごみ搬入量データの推移及び稼働時間の推移グラフを作成し比較することにより、ごみ搬入量、稼働時間の相互の関係を検討、把握した。

A市焼却施設の稼働開始以降のごみ搬入量及び稼働時間の推移は図-2、図-3に示すとおりである。

S60年度まではごみ搬入量の増加割合は小さく平均3~4%程度であり、この間の年間稼働時間は概ね一定である。S61、62年度はごみ搬入量の増加割合が大きくなり(平均8%程度)、年間稼働時間はそれに応じて増加している。

単位：千

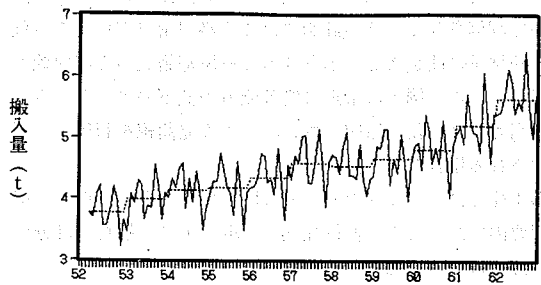


図-2 ごみ搬入量(A市)

単位：千

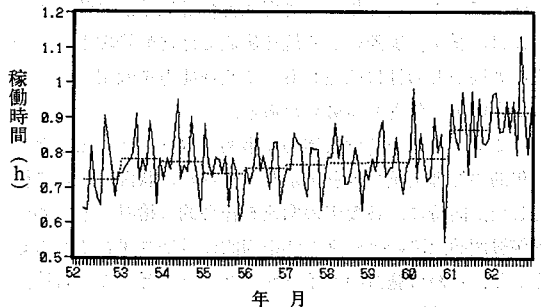


図-3 月別稼働時間の推移(A市)

2) ごみ発熱量の推移

焼却負荷量とごみ質の関係を見るために焼却負荷量の推移と低位発熱量の推移を比較してみた。A市の低位発熱量推移は図-4に示すとおりである。

なお、低位発熱量は手分析データでは信頼性(代表性)に乏しいので、実態としての推移を見るために焼却炉内熱精算等の方法で運転実績データから求めたものが望ましい。図-5は運転実績の水噴射量から算出した低位発熱量推移である。

低位発熱量の推移を表わすことによって焼却施設のライフサイクルに於て、ごみ質が設計値の範囲内の段階、設計値を超えた段階を把握できる。図-5によると昭和60年度の中ごろからA市搬入ごみの発熱量は設計高質ごみの発熱量を超える頻度が多くなってきたものと推測される。この図からごみ質の時間的推移が焼却負荷量にどのような影響を与えたかを検討した。

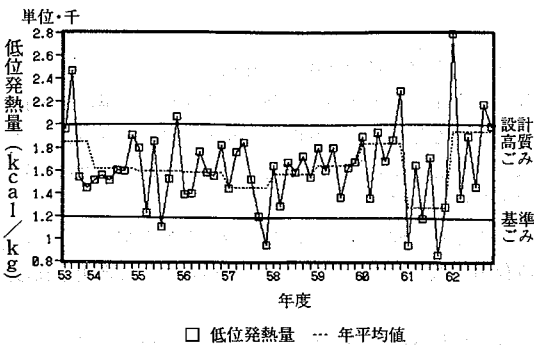


図-4 A市ごみ質測定実績

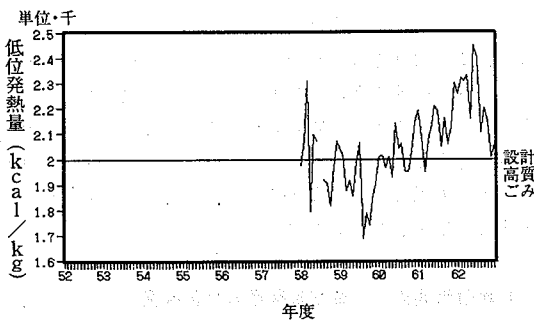


図-5 A市低位発熱量推移
(水噴射水量から算出)

3) 焼却残渣の熱灼減量及び公害防止数値の推移

第1報では処理能力を評価する前提として焼却残渣の熱灼減量及び公害防止数値が設計性能保証数値に適合する理想的な運転をしているものとした。

しかし、実際には運転方法により焼却残渣の熱灼減量及び公害防止基準値を犠牲にして運転していることがままあ

る。図-6はA市の焼却残渣の熱灼減量推移である。

S58~S61年度の期間は焼却残渣の熱灼減量は相対的に性能保証値(7%)を超える大きな値(年平均6~12%)を示しており、他の期間との差が認められる。この期間は焼却負荷量を優先した運転をしたものと推測される。

この図から熱灼減量の時間的推移と焼却負荷量の推移傾向を比較した。

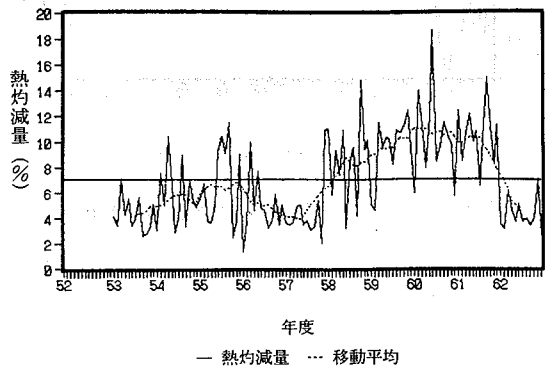


図-6 熱灼減量 (A市)

2.2 検討結果

「1. 処理能力の定義」で述べたように本報告では焼却処理能力を表すものとして時間当りの焼却負荷量を検討し、評価項目との比較を行った。

1) 時間当り焼却負荷量経年推移と評価項目との比較

図-7はA市の焼却施設の稼働開始以降の月別1炉1時間当りの焼却負荷量の月平均値の推移を示したものである。

図-7によると焼却負荷量は年々増加しているがS58年度以降は負荷率95%程度で推移している。また、年度内変動についてみると、焼却負荷量は月別に大きく変動しており、また、定格値(焼却負荷量6,250kg/h)を上回っている月、大きく下回っている月が認められる。この例では変動巾は定格値の5~25%程度である。他の都市についても同様な傾向が認められ、焼却負荷量にはバラツキが認められる。

また、年度平均焼却負荷量の経年変化は年度によって変動しており、例えばS54~57年度(稼働4~6年目)は約5.5 t/h (定格に対して負荷率88%)であるが、S58~61年度(稼働7~10年目)は約6.0 t/h (定格に対して負荷率96%)であり定格焼却量の10%程度の差が生じている。

時間当り焼却負荷量経年推移と評価項目との比較を行った結果は以下のとおりである。

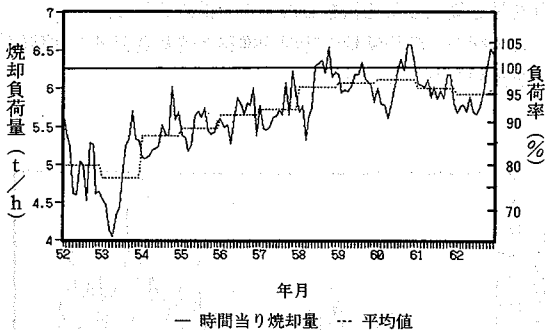


図-7 時間当り焼却負荷量の推移 (A市)

(1) ごみ搬入量及び稼働時間の推移との比較

ごみ搬入量及び稼働時間と比較すると焼却負荷量は概ねごみ搬入量の増加に応じて増加している。このなかで、焼却負荷量はS60年度までは概ね増加傾向を示しており、この間のごみ搬入量の増加割合は小さく、年間稼働時間は概ね一定である。S61, 62年度については焼却負荷量はやや低下しているが、この間のごみ搬入量の増加割合は大きく、年間稼働時間は増加している。

従ってA市の例ではS60年度まではごみ搬入量の増加に応じて、稼働時間を延長せずに焼却負荷量を増加させることで対応出来た、即ち、焼却負荷量を増加させることができたが、S61, 62年度はごみ搬入量の増加割合が大きいため稼働時間を大きく延長し、その結果焼却負荷量がやや減少した。これはS61, 62年度は処理能力が低下したかあるいは稼働時間を大幅に延長したため処理負荷量を多少軽減できたものと推定される。

年度当りの焼却負荷量と稼働時間の関係を図示すると図-8のとおりであり、以上の検討結果を更に明確に表現することができる。S60年度を境にしてA市の運転体制は大きく変更しているものとみられるが、この原因が処理能力が限界にきている(焼却負荷量をこれ以上増加させることが出来ない)ものであるのかについて、ごみ質の影響、焼却残渣の熱灼減量、公害防止条件との関係等を検討する必要がある。

この図を示すことにより対象施設の年度ごとの運転体制を検討する目安とすることができる。

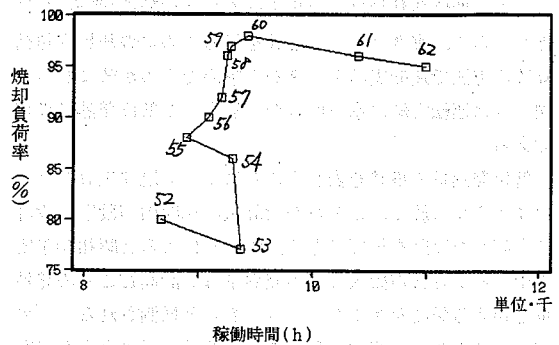


図-8 焼却負荷率と稼働時間 (A市)

(2) ごみ発熱量の推移との比較

焼却負荷量推移とA市のS58年度以降の低位発熱量の推移(図-5)を比較するとS61, 62年度は低位発熱量は設計高質ごみを超えている状況が続いているが、この期間は焼却負荷量が多少低下している。

このことから同期間はごみ質が設計条件を超えたことが処理能力の低下した一要因になっているものと推測される。

(3) 焼却残渣の熱灼減量の推移との比較

A市の焼却残渣熱灼減量はS58~S61年度の間、年平均6~12%であり性能保証7%を超えることが多い。

このことは焼却負荷量を増加させることによって焼却残渣の熱灼減量をある程度犠牲にして運転しているものと言えよう。ごみ焼却施設は本来運転制御の適正維持、焼却残渣の熱灼減量の適正保持、公害防止能力等の機能が十分に発揮されていることが必要であり、この条件のもとで焼却処理量が確保されるよう設計されている。A市の場合、熱灼減量の性能保証値に適合させて運転するという条件にすれば処理能力は低下することになる。

2) 単位時間当たり焼却負荷量の分布状況

ごみ焼却処理施設の処理能力を評価する上で、対象施設がどのような焼却負荷量で運転されていることが多いかということについて検討する必要がある。

そのため、時間当り焼却負荷量の月平均値の分布状況を把握する必要がある。

図-9はA市の稼働開始以降の時間当り焼却負荷量月平均値(データ数132)の度数分布を示したものである。このヒストグラムは概ね正規分布をしており、最頻値は処理率90~95%である。A市の焼却負荷率は概ね85~100%であり、定格処理量に対して比較的近い負荷で運転されている。

なお、このヒストグラムは過去11年間全体の実績であり、各年度の運転状況について表しているものではない。

各年度の時間当り焼却負荷量の実態は図-10のひげ箱チャートとして表すことができる。この図は年度別の運転方法(どの様な焼却負荷量で運転してきたか)を推定し易い。図-10を求めるための基礎統計量は表-3に示すとおりである。

ここでは各年度の焼却負荷量の「平均値±標準偏差」の範囲(確率的にデータの約68%が存在する)及び各年度の最大値、最小値の意味について着目し検討した。

図-10から各年度の焼却負荷量の分布状況は年度によってかなりばらついており、焼却負荷量の推移をみる場合は、単に年度の平均値のみではなくこのように「平均値±標準偏差」あるいは「平均値±2×標準偏差」の範囲として分布巾を評価することが必要であるといえよう。

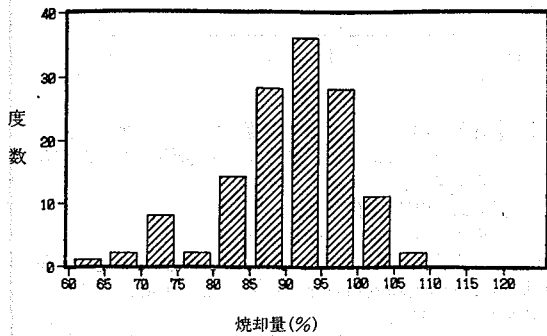


図-9 時間当り焼却負荷率度数分布 (n=132)

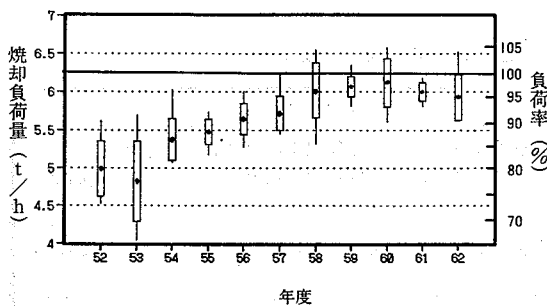


図-10 時間当り焼却負荷量の推移 (A市)

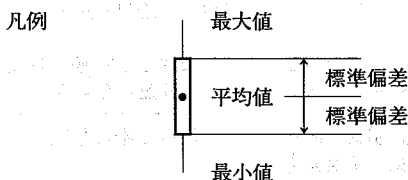


表-3 時間当り焼却負荷量についての基礎統計量

年度	平均値 (t/h)	最大値 (t/h)	月	最小値 (t/h)	月	標準偏差	変動係数
52	4.986	5.619	4月	4.526	11月	0.361	0.072
53	4.819	5.699	1月	4.043	7月	0.532	0.110
54	5.372	6.021	1月	5.071	5月	0.275	0.051
55	5.473	5.735	11月	5.175	6月	0.168	0.031
56	5.646	5.999	2月	5.276	7月	0.204	0.036
57	5.721	6.223	2月	5.447	6月	0.230	0.040
58	6.019	6.545	1月	5.321	6月	0.361	0.060
59	6.073	6.343	11月	5.817	3月	0.136	0.022
60	6.118	6.585	2月	5.609	7月	0.314	0.051
61	6.000	6.184	1月	5.811	3月	0.120	0.020
62	5.930	6.520	2月	5.663	10月	0.298	0.050

なお、A市の各年度の最大値、最小値の月の運転状況を個々に聞き取り調査をした結果は以下のとおりである。

最大値は1、2月に多い。このうち1月は正月ごみが大量に搬入され、その処理のため無理焚きをしたものである。2月はオーバーホール後に溜ったごみを処理するため無理焚きをしたものである。

最小値は5~7月に多い。これは本施設の場合、この期間は補修等の工事がないたため無理焚きをする必要がないため負荷量が少なくなったものである。

その他の月についてはごみ質による変動、及び、操炉者の運転パターン、テクニックによるものと推測される。

3. 処理能力影響要因と焼却施設のライフサイクル

対象施設の焼却負荷量が増減する要因及び処理能力影響要因を把握し、運転管理的要素等との関係をつかむことは処理能力評価を行う上で重要である。

処理能力評価項目の検討を基に焼却負荷量が増減する要因を整理すると表-4に示すとおりである。また、焼却負荷量に影響する一般的な運転管理面の要素と実際の運転方法例をまとめると表-5に示すとおりである。

さらに、ごみ処理施設の処理能力影響要因とそれらが焼却施設のライフサイクルに影響する時間的段階を整理すると図-11に示すとおりである。

従って、処理能力評価項目を検討し、各々の処理能力影響要因の関連を総合的に評価するためには、A市の例で検討したように、施設の稼働開始以降の焼却負荷量の時間的経過をたどる、いわばライフサイクルをたどることが重要な評価手法になると考えられる。

表-4 時間当たり焼却負荷変動要因

時間当たり焼却量が大きくなる要因	時間当たり焼却量が小さくなる要因
<ol style="list-style-type: none"> 1. 処理能力が定格に対して大きい（余裕がある…装置の余裕率が大きい） …安定燃焼を保持できることを前提の処理能力が大きい。 2. ごみ搬入量が多いため焼却炉の維持管理基準に適合した安定燃焼を度外視して処理せざるを得ない。（無理にごみを供給する） 3. オーバホール・改造・補修等でごみ処理が滞ったため維持管理基準に適合した安定燃焼を度外視して処理せざるを得ない。（無理にごみを供給する） 4. その他 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ごみ処理能力が低下している。 ① ごみ低位発熱量の上昇のため焼却炉、ガス冷却装置、送風機等の装置が容量不足を来し、その結果処理量を低下せざるを得ない。（炉出口ガス温度含む） ② 設備・装置の老朽化、損傷のため能力がでない。 ③ 燃えないためごみを供給できない。（構造上の問題及びごみ質悪化等） 2. ごみ量が少ないため負荷量を少なくして運転している。 …設備能力に対してごみ搬入量が少ない。 3. 運転時間がわずかなため炉内に投入したごみ量が少ない。 従って見かけ上の「時間当たり焼却量」が小さくなった。 <div data-bbox="713 627 1166 811" style="text-align: center;"> <p>例</p> </div> <ol style="list-style-type: none"> 例：① 運転時間内の「燃しきり運転」を行うケース。 ② トラブルによって（クリンカ付着等）たびたび停止するケース。 ③ 対外的制約条件 公害防止協定、労使協定等。 稼働時間を大副に延長したため（運転体制の変更）単位時間当たりの焼却負荷量を下げることが可能になる。 運転操作の熟練度 ごみ質に適合する運転操作を十分行うことが出来ず焼却量が小さくなった。 その他

表-5 時間当たり焼却負荷量に影響を与える運転管理面の要素と運転方法例

運転管理面の要素	運 転 方 法 例
1. ごみ搬入量の多少により焼却負荷量を調整する。	<ul style="list-style-type: none"> ・ ごみ搬入量が多いので定格処理量に対し100%以上の高負荷で運転する。 ・ ごみ搬入量が少ないので定格処理量に対し低負荷で運転する。あるいは運転炉数を減らす。休止する。
2. オーバホール、補修等の中、長期の休炉後に焼却負荷量を調整する。	<ul style="list-style-type: none"> ・ オーバホール、補修等で溜ったごみを定格処理量に対し高負荷で無理に処理する。
3. 運転計画、ごみ処理量を優先して運転する。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 燃焼室出口温度、熱灼減量等の条件を無視しても決められた処理量を焼却炉内へ投入する運転をする。
4. 運転計画、ごみ処理量の他の運転管理面における優先要素を決めて処理している。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 燃焼室出口温度を950℃以下にして運転する。 ・ ボイラ蒸発量を目標値の範囲内に抑えて運転する。（燃焼ガス冷却方式がボイラ式の焼却施設の場合） ・ 焼却残渣の熱灼減量を優先し、未燃物が出ないことを絶対条件として運転する。 ・ バッチ運転をする炉の場合、埋火運転をするあるいは燃しきり運転をする。
5. その他	<ul style="list-style-type: none"> ・ 労使協定により運転時間、運転炉数に制約があり、それに従って運転する。 ・ 公害防止協定の制約があり、それに従って運転する。

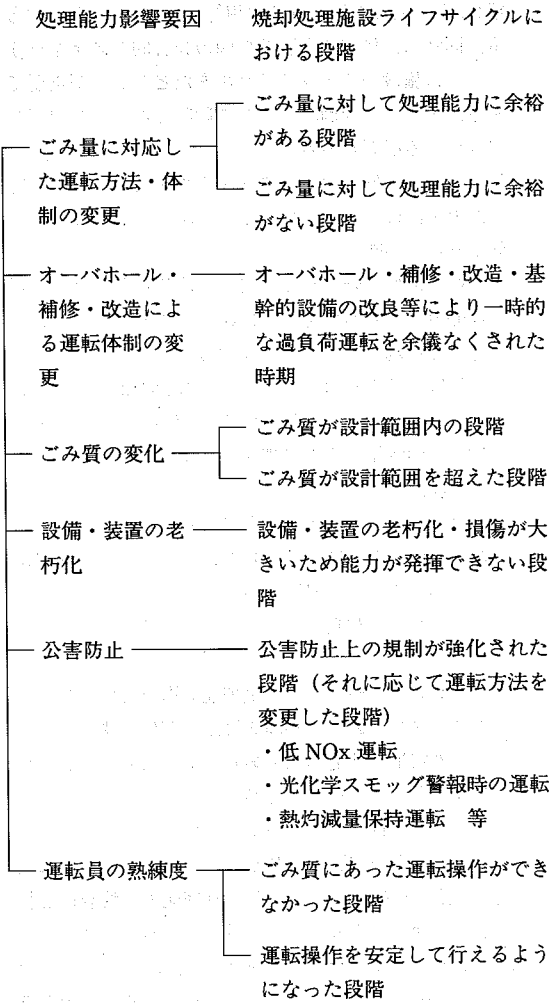


図-11 処理能力影響要因とそれがライフサイクルに影響する時間的段階

A市の例を検討すると図-12に示すとおりである。

A市の場合にはS57年度までは定格処理能力に対してごみ搬入量が少なかったためこの間は無理に過負荷で処理することなく焼却負荷量を徐々に大きくしていくことができた。

(この間、特にS51, 52年度は運転員が運転操作に慣れておらず、かつ、初期故障が多い段階であったため焼却負荷量が小さかったものと思われる。)

S61年度以降はごみ搬入量が著しく増加したため、稼働時間を大きく延長したものの、年間を通じて無理焚きする事が多く焼却残渣の熱灼減量を犠牲にして処理していた。しかも、S61年度からごみ低位発熱量が設計値を超えたため無理焚きしても処理負荷量が低下したものと推測される。一般的には、焼却負荷量を焼却施設のライフサイクルに

あわせて検討すると図-13に示すとおりになると考えられ、ごみ量、ごみ質、施設耐用等の処理能力影響要因について以下のような時間的段階に分けることができよう。

ごみ量についてみると稼働後経過年数によってごみ搬入量が少ない時期、計画処理量に達する時期、ごみ搬入量が計画処理量を上回る時期に分けられる。

ごみ質についてみると、ごみ質が設計ごみ質の範囲内の段階、設計ごみ質を上回る段階に分けられる。

施設の耐用についてみると、初期故障が多い段階、安定稼働の段階、老朽化が進行した段階、基幹施設整備等の大規模補修・改造を行い処理能力が復旧した段階、さらに老朽化が進行し処理能力が低下した段階等に分けられる。

運転操作の熟練度についてみると、ごみ質の変動に対して適切な運転操作が行えなかった(不慣れな状態)段階と、安定した運転操作が行える(熟練した)段階に分けられる。

また、この他に新たな公害防止規制が施行された段階等が考えられる。

このように対象施設がライフサイクルのどの段階にあっているかを把握することは処理能力を評価する上できわめて重要であり、そのためには処理能力を時系列的に長期的に検討すること(即ち、ライフサイクルをたどること)が必要である。

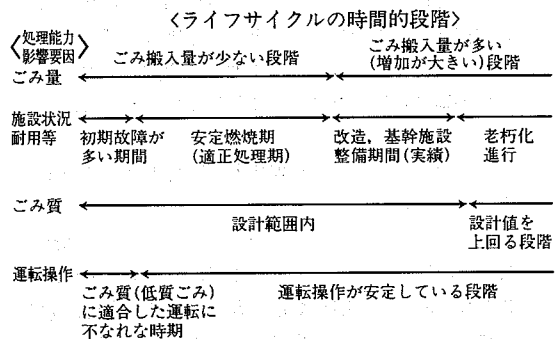
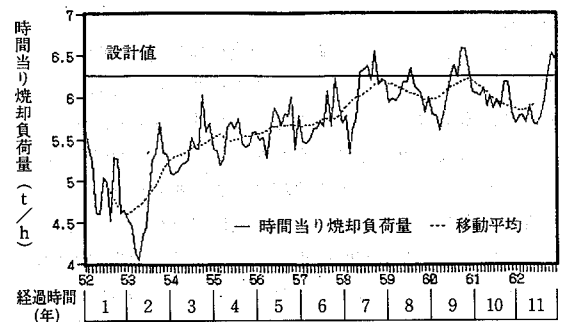


図-12 時間当り焼却負荷量の推移
A市処理施設のライフサイクル

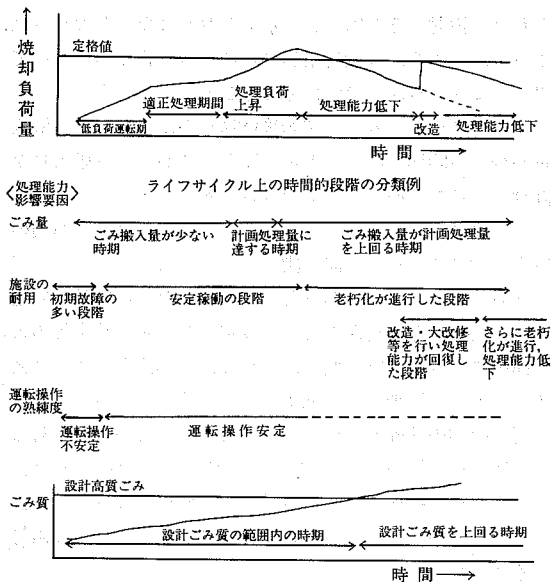


図-13 焼却施設のライフサイクルと処理能力影響要因

4. まとめ

処理能力を評価する上で第1報では主要な処理能力影響要因であるごみ質をとりあげ性能曲線による評価方法を報告した。

しかしながら、多くの施設の中には運転管理的要素が処理能力に影響を与えていると考えられるケースが認められるので、本報告では処理能力を時系列的に長期的な視野でとらえ、施設のライフサイクルをたどって処理能力の変化を検討し、その影響要因を整理することを目的とした。

A市の事例を中心に検討した結果は以下のとおりである。

- (1) 処理能力を長期的な視野で評価するため稼働開始以降の運転実績をたどり、検討項目として搬入量、稼働時間、ごみ質、焼却残渣の熱灼減量、補修改造実績をあわせて検討することによって時間当たり焼却負荷量(=処理能力)の変動の実態とその原因等を解析した。
- (2) 時間当たり焼却負荷量は年度内で変動しており、その変動幅は定格負荷の5~25%程度である。また、年度によっても変動している。

この変動については処理能力影響要因として以下のものが考えられる。

- 即ち、①ごみ搬入量の多少、オーバーホール、補修、改造等の停止後溜ったごみを無理に焼却する必要がある等ごみ量に対応した運転方法、体制の変更、②ごみ質の変化、③設備、装置の老朽化、④公害防止面の対応等である。
- (3) 処理能力を把握するためには以上のように施設の実

態(能力、運転方法、施設耐用等)を把握する必要がある。同時に、処理能力影響要因の総合的な評価を行うためには施設のライフサイクルをたどることが重要である。そして、評価時点がどの段階であるかを把握して評価する必要がある。

- (4) 以上から、施設のライフサイクルをたどりながら処理能力を評価するために以下の方法を用いることが有効であると判断される。

- ① 稼働開始以降の時間当たりの焼却負荷量(=「処理能力」を表すもの)推移グラフの作成(必要に応じて炉別のグラフも作成する)
- ② 稼働開始以降のごみ搬入量、稼働時間(必要に応じて炉別のグラフも作成する)、低位発熱量、焼却残渣熱灼減量(以上処理能力評価項目)推移グラフの作成。
- ③ 単位時間当たり焼却負荷量分布状況ヒストグラム及び年度ごとの基礎統計量を計算し、その分布状況を表わすグラフ(ひげ箱チャート)の作成。
- ④ 年度毎の焼却負荷量と稼働時間の関係グラフの作成。
- ⑤ ①②③④の検討を行い処理能力影響要因及びライフサイクルにおける時間的段階を明確にする。
- ⑥ ⑤の結果と性能曲線をあわせて検討し対象施設の処理能力をより精密に評価する。

処理能力把握を目的とした精密機能検査では性能曲線作成とともに、以上の方法により施設のライフサイクルに応じた運転方法、運転体制を把握し、処理能力影響要因を検討する事が有効な評価方法となり得るであろう。

また、そのためには精密機能検査の方法、項目もライフサイクルの各段階に応じて変えていく必要があるものと考えられる。

本報告では焼却炉が3炉あり比較的運転計画に余裕がある(残りの1炉を常に整備できる体制にある)事例を検討したが、今後の課題として、焼却炉数の影響、建設年度の影響、バッチ式焼却炉・ボイラ付焼却炉等の炉形式の違い等が処理能力評価を行う上でどのような影響があるか整理する必要がある。

参考文献

- 1) 清掃工場の運営と管理編集委員会、清掃工場の運営と管理、工業出版社
- 2) 昭和55年度廃棄物処理施設(ごみ処理施設)の標準設計方法に関する調査報告書(社)全国都市清掃会議、昭和56年3月
- 3) 佐藤、二見、ごみ焼却施設の処理能力評価方法について、日環セ所報No.15:42~51、1988