

都市ごみ焼却炉の操業最適化の研究

宮井 卓・石田 喬重*

Study on Optimal Operation in Municipal Refuse Incinerater

Taku MIYAI and Takashige ISHIDA

In order to adapt the capacity to increasing amount of refuse and operating cost, municipal refuse incinerater is demanded to improve its productivity and operate efficiently as high as possible.

This study show the latest actual operation and maintenance data for a year in a municipal incinerater.

To analyze the facility maintenance, a mathematical probability model is applied. Based on the given data, simulation model is introduced.

Comparing the simulation data with the actual operation data, the result show that is fairly applicable.

Using this model, the incinerater operation capabilities would be able to preestimate for increasing amount of refuse in the future.

1. はじめに

ごみ焼却場に於いては、一般的には市町村でその公共性から運営されるのであるが、最近では労務対策及び経費の効率化を図るため民間に維持管理を依頼するケースが増えてきた。それに伴い従来あまり省りみられなかった生産工場同様の経営の効率化が必要とされてきた。

本報告は、一般の生産工場と異なって利益を生み出すことのない公共のごみ焼却場に於ける生産性の向上を図るために、62年度から1年間の運転実績データを分析し、設備を運用する立場でできるだけ高能率で運営するにはどうすれば良いかを解析したものである。すなわち、維持管理の確率モデルを作成し、シミュレーションを行なったもので、その結果を運転実績と比較検討し、高い適合性が得られたので、これを使ってごみ焼却場の将来の処理量増大に備えて、できるだけ能率的に運営する操業形態の予測をたてたものである。

ごみ焼却場は厚生省の基準では過去の実績と将来の人口の増加、地域の経済の動向を予測し、焼却能力を選定し建設することになっている。このことは

多くの場合、建設当初は設備に余裕があり、次第にごみ処理量が増加し、稼働率を高める必要がでてくる事を意味する。一方では機械は老朽化し、故障の度合も増加し、運営に従事する人員も増える事を意味する。例えば設備を当初1日8時間運転を必要としたものが、16時間となり24時間となるケースはよく生じる。それにつれ運転、保全作業の形態も変化していく。

これ等の実態を最近建設された小規模のごみ焼却炉の維持管理費の最適化、特に人員配置上の問題と保全経費の最小化について現状分析を試みた。

2. ごみ焼却炉の操業状態

図1は、今回研究対象とした、ごみ焼却場のフローシートである。焼却炉は2基設置されており、一般家庭その他から集収されたごみ量の増減や、設備の保全、故障状況により、1基又は2基運転の選択が可能となっている。

本設備の能力は2基で50T/16Hの能力であり、運転人員は技術責任者兼管理者1名、運転人員3名で構成され、運転員3名の役割は、クレーンによるご

* 久保田鉄工株

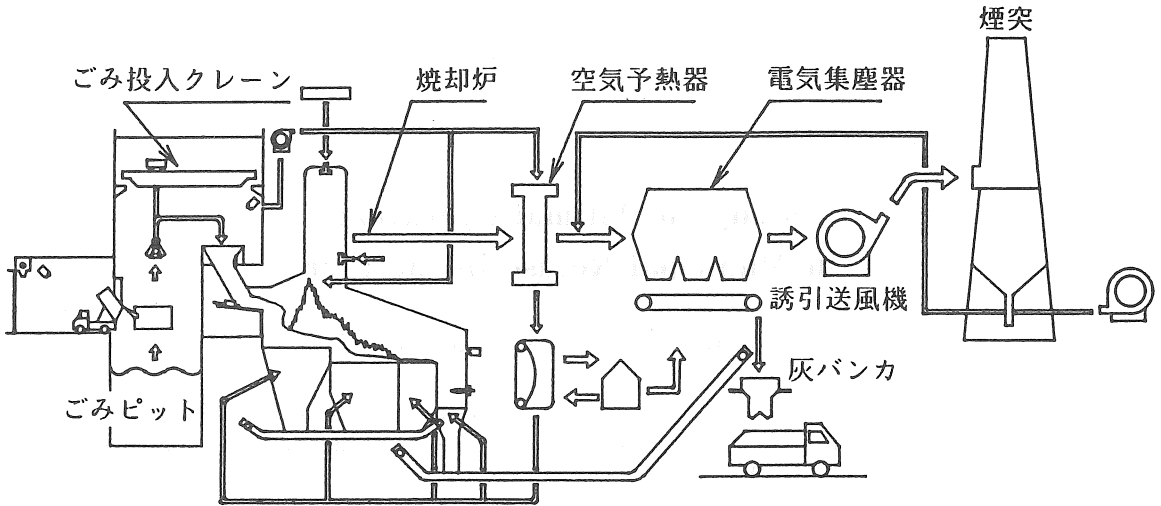


図1. 焼却炉フローシート

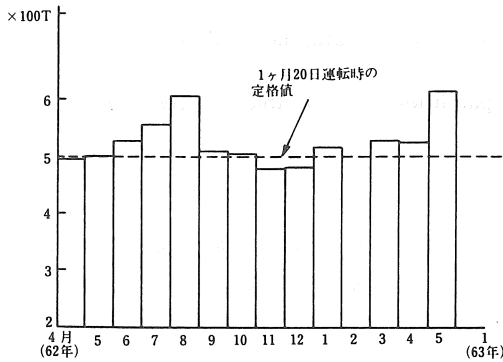


図2 ごみ搬入量

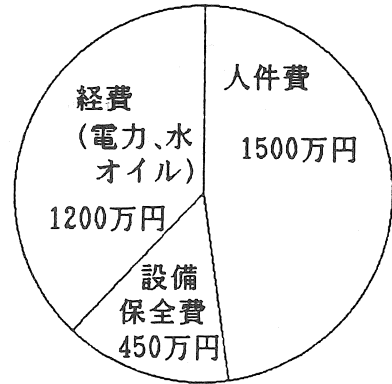


図3 焼却運転直接経費 (62年4月～63年3月)

み投入作業1名、中央制御室に於ける炉の運転管理1名、設備全体の日常保全1名となっている。

この焼却炉は62年4月に完成したが、当初のごみの処理量は計画最終年度の約半分であった。

したがって、昼間8時間運転でどうにか搬入ごみ全量を処理可能であったが、故障による設備停止や定期保全で、ごみの搬入量の増加があると、時間延長により処理しているのが実状である。

図2は、ここ1年間のごみの搬入量のグラフであり年間少しづつではあるが、増加傾向にある。

本施設は農業を主とする町村の広域行政組合で運営され、最近になって民間企業の進出が少しづつふえている地域で、ごみの質は夏には常緑樹、野菜くず等が増え、焼却能力が落ちる傾向にある。

表1は62年度の焼却量、運転時間、操業日数を示す。運転時間は実質的な設備稼働時間を示し、保全

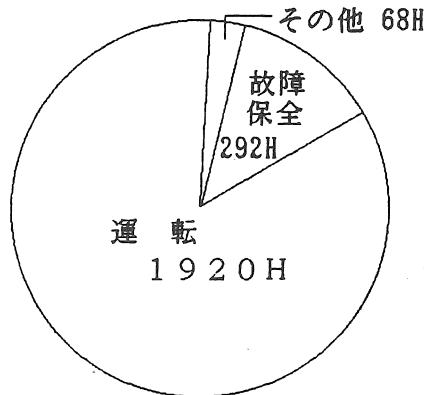


図4 運転、故障保全時間

表1. 62年度ごみ焼却処理量

年 月	焼却処理量(t)	運転時間	操業日数
62年 4月	520.8	168	23
5	539.8	176	23
6	553.0	188	22
7	563.3	176	26
8	551.7	181	24
9	515.1	162	25
10	566.7	160	24
11	518.7	139	25
12	453.9	143	22
63年 1月	498.8	150	23
2	408.8	123	22
3	560.4	150	24
平均	520.9	159.7	23.6

時間、準備時間は含まれていない。

図3は、焼却炉を操業に必要な直接経費である。

この焼却設備は、運転、保安全管理は、民間の会社に委託されている。したがって人件費は、委託費の一部である。経費は運転に必要なユーティリティを示す。

図4は操業時間の内訳を示す。

3. 故障保全作業の分析

維持管理費を考える場合、装置の改良工夫により、ごみ単位重量当りのユーティリティコストを減少させることは別の分野とし、ここでは人件費、主として人員の配置上の問題と保全経費の最小化という問題を論じる。

焼却設備の操業の特徴は、他の生産設備と異り、収集されたごみ量に応じて処理をすることで、長期に故障したり設備が停止すると一般の市民生活に影響が出ることである。また収集量以上には能率ばかり考えて焼却運転を続けることもできない。入出力のバランスをとりながら、維持管理費の最小化が求められる。

一般に保全回数が少ないと故障修理が多くなり、運転時間が短くなる。また故障復旧のための経費増となる。逆に保全回数が増加しても、保全費の増加と運転時間の減少となる。

今、最適な保全回数を求めるために、故障保全の実状を調査した。

3・1 故障保全の分類

故障保全の内訳を分類すると次のようになる。

A. 偶発折損型

故障は多くの場合突発的に発生するが、注意深い点検によりある程度予防が可能である。しかし、一旦故障が発生するとその修理に時間がかかり、代替部品も高価につく。

この型の故障は、運転時間に影響が大で、本施設のように1日8H運転で能力に限界をきたしている場合には、必ず勤務時間延長による運転が必要になってくる。

例えば、不注意による異物のかみ込み、ひっかかり、過負荷等で発生するコンベアのチェーン、軸受、減速機、油圧機器の破損等である。

B. 腐食、摩耗型

この型の故障は少し慣れてくると、故障の部位が推定でき頻繁に発生する機械については、あらかじめ予備品が用意され、運転中であっても最小限度に機械停止が押えられる設計になっている。

例えば、パッキン、フィルター、ポンプ、コンベアの部品等がある。しかし中には焼却炉の火格子の交換作業のように高熱作業であり、定期保全で事前に対処せねばならないものもある。

C. 時間累積型

ごみ焼却炉特有の故障で、ごみの燃焼に伴って多量の灰や高温ガスが発生する。この灰等がガス冷却装置、熱交換器、煙道に堆積し、通風や熱効率を低下させ、回転機のバランスをくずし、ついには運転不能の事態になる。

これ等は前項と異り、故障というより単なる保全作業とも考えられるが、これ等の発生する箇所は多くは高熱部であり、一旦不具合になると作業環境が整うまで長時間の機械停止が必要となる。

D. 日常保全型

機械停止にはつながらないが、不意に発生する故障、計装機器センサー、表示灯、監視TV、補機類のトラブル等、割合単純な場合が多く、運転中でも予備品と交換したり清掃したりできるケースが多い。

以上の四つのケースについて主なる機器についてその発生の頻度と補修時間及び損失費用を、表2に示す。

焼却設備は2系列あるが、本焼却設備では8H/日でフル運転しているので、1系列を予備機としての取扱いはできない。したがって基本設備そのものには予備はないものとして考える。

表2 設備グループ別故障データ

A グループ			B グループ			C グループ			D グループ		
焼却設備（駆動機構）			クレーン			誘引排風機			計装機器		
ごみ投入クレーン(駆動部)			集じん装置			ガス冷却装置			分析機器		
集塵装置(可動部分)			ポンプ			熱交換器			水処理機器		
焼却灰運搬装置			送排風機			煙道ダンパ			薬剤供給		
ごみ受入れ装置			その他			集じん灰運搬装置			その他		
故障までの 経過時間	故障 復旧時間	復旧費	故障までの 経過時間	故障 復旧時間	復旧費	故障までの 経過時間	故障 復旧時間	復旧費	故障までの 経過時間	故障 復旧時間	復旧費
8 H	6 H	22万円	8	1	1	5	2	14	8	1	1
14.0	3	8	16	0.5	1	10.2	1	5	8	0.5	0.5
23.5	4	15	18	0.5	1	16	1	5	8	1	1
34	6	20	37.5	1	4	31	0.3	4	9	0.5	0.5
36	1	15	42	0.5	1	32	1	5	11	0.3	0.5
48	8	15	50	0.5	1	37	1.6	9	11	1	1
59.5	0.5	2	69	3	5	46	0.5	5	13.5	2	2
66.5	3	10	120.5	1	3	47	0.2	3	15	0.1	0.2
70	3	20	130.5	0.5	1	70	1	5	15.5	0.5	1
71	1	3	132.5	1	5	79.5	2	10	34.5	2	1
99	6	20	148	1	3	82	1	5	45	1	1
113	1	5	227	0.5	2	86	0.5	5	47	0.3	1
136	0.5	15	229	0.5	3	120	2	10	61.5	1	2
227	4	7	271	1	5	23	1	5	123	4	5
341	1	8	334	0.5	1	187	2	10	147	0.5	0.5
合計	50H	185	合計	13	37	合計	17.1	100	合計	15.1	18
平均	3.3	12.3	平均	0.9	2.5	平均	1.1	6.7	平均	1.0	1.2

（故障までの経過時間は、故障から次の故障までの時間を示す）

損害額＝復旧人件費＋材料費＋焼却運転費

復旧人件費と焼却運転費は、故障復旧時間×（4人分の人件費）として
単純計算

今、この焼却設備をモデル化するために次のように定義をする。

(1) 故障，修理，補修費用

機器を運転中に機械の修理，部品の交換を必要とした場合故障とし，それに要した材料，部品費，人

件費を修理費用（復旧費）とする。

(2) 保全

定期的，または故障したとき設備内外を点検し，部品の交換，清掃修理を行ない，初期状態に戻す状態をいう。その時の人件費，修理費，部品費の合計

(1) もし $\sum_{j=0}^{\infty} R(jT) > \frac{C_2 - C_3}{C_2 - C_1}$ ならば, (4)式を満たす最小の整数Nがある。

(2) もし $\sum_{j=0}^{\infty} R(jT) \leq \frac{C_2 - C_3}{C_2 - C_1}$ ならば, (4)式は成立せず, 最初の仮定とちがって

$E'C(N+1) > E'C(N)$ となり, 保全日までの日数を長くすればする程運転時間当りの経費は安価となる。つまり保全をしない方が良いことになる。

この時の期待費用は

$$EC(\infty) = \frac{C_2 - C_3}{\sum_{j=0}^{\infty} R(jT)} + \frac{C_3}{T} \quad \dots\dots(7)$$

3・3 故障データからの最適保全間隔の推定

以下のことを実際のデータについて考察してみる。

表2の故障データをワイブル型累積ハザード紙を用いて, 故障分布関数を求めた。(図5～図8参照)

ワイブル故障分布関数, $F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^m}$
 $m, \eta > 0$

m : 形状パラメータ

η : 尺度パラメータ

γ : 位置パラメータとして

$F_a(t) \sim F_d(t)$ を求めると次のような結果が得られた。

$$F_a(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{95}\right)^{1.38}} \quad \dots\dots(8)$$

$$F_b(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{108}\right)^{1.15}} \quad \dots\dots(9)$$

$$F_c(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{70}\right)^{1.27}} \quad \dots\dots(10)$$

$$F_d(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-8}{15}\right)^{0.5}} \quad \dots\dots(11)$$

(11)式より, Dグループに関しては形状パラメータ $m < 1$ となり, 故障率は時間と共に減少し, したがって運転時間当たりの故障修理の経費も時間と共に減少していくので, 保全をしない方が良い事がわかる。

またDグループは故障に際して運転停止に結び付かないので, A～Cグループについてこれ等を総合的に運転した場合の最適定期保全間隔Nを求めてみる。

各グループの故障分布関数を, $F_a(t), F_b(t), F_c$

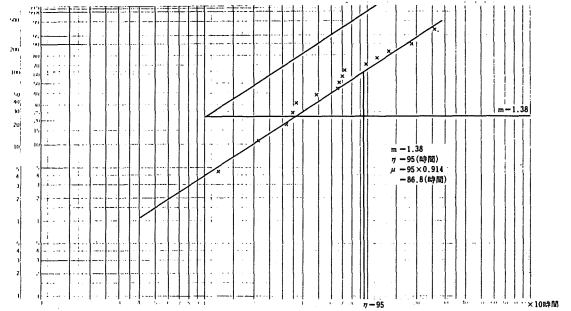


図5 Aグループ

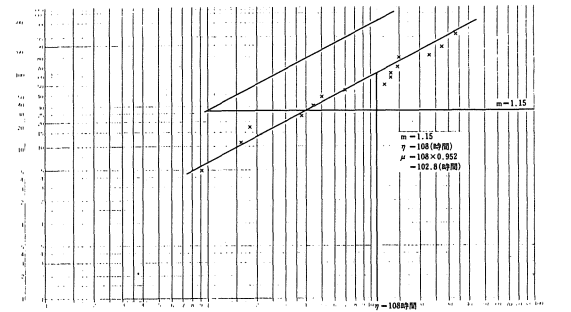


図6 Bグループ

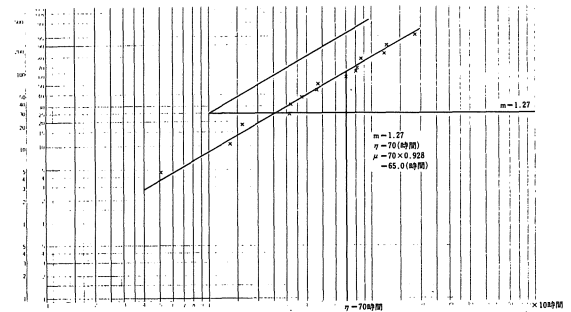


図7 Cグループ

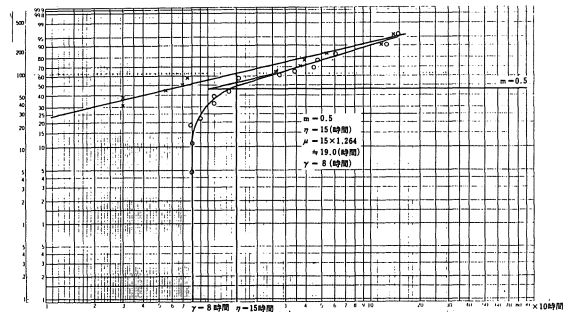


図8 Dグループ

を保全費とする。

保全日までに故障したら修理を行ない、その設備（グループ）に関しては保全をし初期状態に戻るものとする。

(3) 運転時間

1日T時間で間欠運転されるものとする。

(4) 保全間隔

保全日から次の保全日までの運転日数をN日とする。

3・2 故障、保全のモデル化と最適化の検討

今、1号炉のAグループに属する機械設備について考える。Aグループの故障するまでの寿命分布関数をF(t)とする。tは稼働時間を表わし、故障修理又は保全完了時には、t=0に戻るものとする。

故障、修理の確率、すなわち時間NTまでに故障する確率はF(NT)、したがって、予防保全の確率、すなわち時刻NTまでに故障しない確率は、

$$R(NT) = 1 - F(NT)$$

故障、修理、または予防保全するまでの平均運転時間は、

$$\begin{aligned} & NT \cdot R(NT) + \sum_{j=1}^N jT \int_{(j-1)T}^{jT} dF(t) \\ &= NT \cdot R(NT) + \sum_{j=1}^N jT [R((j-1)T) - R(jT)] \\ &= T \sum_{j=0}^{N-1} R(jT) \quad \dots\dots(1) \end{aligned}$$

C₁: Aグループ全体を予防保全するに必要な費用

C₂: 故障していたため補修しなければいけない費用

C₃: 定期補修日までに日常点検に必要な1回の平均費用

これより、運転開始から定期補修日までに要する期待費用は

$$C = C_1 R(NT) + C_2 F(NT) + C_3 \sum_{j=1}^{N-1} F(jT)$$

単位運転時間当りの期待費用は

$$\begin{aligned} EC(N) &= \frac{C}{T \sum_{j=0}^{N-1} R(jT)} \\ &= \frac{C_1 R(NT) + C_2 F(NT) + C_3 \sum_{j=1}^{N-1} F(jT)}{T \sum_{j=0}^{N-1} R(jT)} \end{aligned}$$

$$= \frac{(C_1 - C_3) R(NT) + (C_2 - C_3) F(NT)}{T \sum_{j=0}^{N-1} R(jT)} + \frac{C_3}{T} \quad \dots\dots(2)$$

一般に、故障が発生すると、機械を長時間停止し、内部温度が低下し作業環境が整うまで待ったり、部品の手配交換、専門職の到着待ちがある。したがって、材料費、人件費、機械停止の損失等で、故障修理費が、保全にかかる費用より大きくなる。

1日の作業時間Tを与えた時にEC(N)を最小とするNを求めてみる。

上記条件より C₁>C₃, C₂>C₃と仮定して、

$$E'C(N) = \frac{(C_1 - C_3) R(NT) + (C_2 - C_3) F(NT)}{T \sum_{j=0}^{N-1} R(jT)} \quad \dots\dots(3)$$

を最小にするNを求める。

E'C((N+1)T) > E'C(N) とすれば

$$\begin{aligned} & \frac{F((N+1)T) - F(NT)}{R(NT)} \sum_{j=0}^{N-1} R(jT) - F(NT) \\ & > \frac{C_1 - C_3}{C_2 - C_1} \quad \dots\dots(4) \end{aligned}$$

$\frac{F((N+1)T) - F(NT)}{R(NT)}$ は時刻NTまでに故障しなかった設備が時間間隔[NT, (NT+1)]の間に故障する確率(平均故障率)であり、通常時間の経過と共に増加する。したがって

$\frac{F((N+1)T) - F(NT)}{R(NT)}$ はNに関し単調増加関数となる。

(4)式左辺をL(N)とおくと、

$$\begin{aligned} & L(N) - L(N-1) \\ &= \sum_{j=0}^{N-1} R(jT) \left\{ \frac{F((N+1)T) - F(NT)}{R(NT)} \right. \\ & \quad \left. - \frac{F(NT) - F((N-1)T)}{R((N-1)T)} \right\} > 0 \quad \dots\dots(5) \end{aligned}$$

以上より、L(N)は単調増加となる。

設備が老朽化し、いつ故障が発生しても、不思議でない状態、すなわち

$$N \rightarrow \infty \text{の時} \quad \frac{F((N+1)T) - F(NT)}{R(NT)} \rightarrow 1$$

となるならば、

$$\lim_{N \rightarrow \infty} L(N) = \sum_{j=0}^{\infty} R(jT) - 1 \quad \dots\dots(6)$$

ここに $\sum R(jT)$ は、故障するまでの平均寿命(日数)を表わす。

表3. 保全間隔と運転時間当たりの修理保全期待費用

保全間隔	Aグループ	Bグループ	Cグループ	合計
1	0.4392	0.1104	0.2393	0.7889
2	0.2519	0.0627	0.1500	0.4646
3	0.1942	0.0437	0.1232	0.3646
4	0.1679	0.0398	0.1113	0.3190
5	0.1538	0.0354	0.1050	0.2942
6	0.1455	0.0326	0.1015	0.2795
7	0.1403	0.0206	0.0993	0.2703
8	0.1371	0.0292	0.0980	0.2643
9	0.1350	0.0282	0.0972	0.2603
10	0.1336	0.0273	0.0967	0.2577
11	0.1328	0.0267	0.0964	0.2559
12	0.1324	0.0262	※0.0962	0.2548
13	※0.1321	0.0258	※0.0962	0.2541
14	※0.1321	0.0254	※0.0962	0.2537
15	※0.1321	0.0251	0.0962	※0.2535
16	0.1323	0.0249	0.0963	※0.2534
17	0.1324	0.0247	0.0963	0.2534
18	0.1326	0.0245	0.0964	0.2535
19	0.1328	0.0244	0.0965	0.2537
20	0.1331	0.0242	0.0965	0.2539
21	0.1333	0.0241	0.0966	0.2540
22	0.1335	0.0240	0.0967	0.2542
23	0.1337	0.0240	0.0967	0.2544
24	0.1339	0.0239	0.0968	0.2546
25	0.1341	0.0238	0.0968	0.2547
26	0.1342	0.0238	0.0969	0.2549
27	0.1344	0.0237	0.0969	0.2500
28	0.1345	0.0237	0.0969	0.2552
29	0.1346	0.0237	0.0970	0.2553
30	0.1347	0.0236	0.0970	0.2554

(単位：千円/時間)

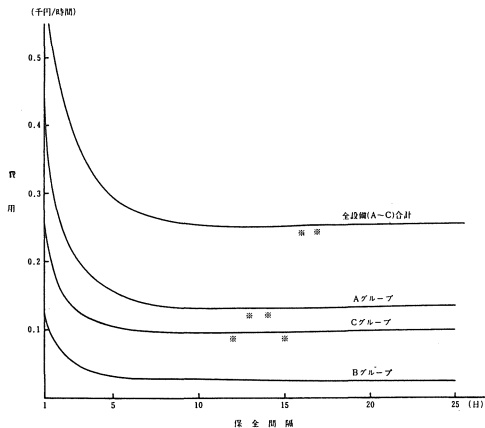


図9 保全間隔と運転時間当たりの修理保全期待費用
(※印の間で最低値となる。)

(t) とし、(8)～(10)式で求めた値と(2)式を使って、1日8時間運転として単位運転時間当たりの費用を、Nをパラメータとして計算した結果を表3に示す。またこれをグラフに示したのが、図9のグラフである。但し、日常点検費用 C_3 は零として計算した。

これによると保全日から保全日までの間隔は、この設備全体で約16～17日とする場合が経費が最小になることがわかる。

単独で保全をする場合はA～Cグラフで示したようになる。

また保全の間隔を13日以下にとると急速にその費用が増加する反面、15日以上日をあけてもあまり変化がないことがわかる。

この事は各設備A～Cグループを単独に保全作業を行なっても同様となるが、特にBグループは最小

表4. 保全間隔による1ヶ月間(23日操業)の
操業シュミレーション(1ヶ月間の累計)

保全間隔(日)	運転時間	故障回数	稼働率
1	92.00	0.00	0.50
2	133.26	1.68	0.72
3	145.40	2.65	0.79
4	152.01	3.00	0.83
5	154.69	3.33	0.84
6	157.82	3.55	0.86
7	157.25	4.69	0.85
8	160.05	3.99	0.87
9	159.90	4.03	0.87
10	160.19	4.95	0.87
11	159.59	4.10	0.87
12	162.52	4.37	0.88
13	163.05	4.24	0.89
14	162.87	4.28	0.89
15	162.74	4.31	0.88
16	162.66	4.33	0.88
17	162.62	4.34	0.88
18	162.60	4.35	0.88
19	162.56	4.36	0.88
20	162.53	4.37	0.88
21	162.48	4.39	0.88
22	162.41	4.40	0.88
23	162.28	4.43	0.88

値が存在せず、故障発生の都度修理を行った方がよい事がわかる。Bグループは腐食、摩耗形であり、設備が比較的新しいのであまり大きな影響が出てないのが理由として考えられる。またCグループは12~15日目に最小値がみられるが明確でない。

これは、故障の内容が粉塵や焼却灰の煙道や機器の内部付着によるものであり、ほぼ時期を同じくして清掃点検すれば良いように設計上考慮されていることを示しておく。したがって保全日の設定は、特に具合の悪い点が発生した場合、例えば粉塵付着による熱交換率の低下等を一つの基準にして保全をすれば良い。

結局全体保全日の設定は、故障時の損害の大であるAグループの影響が大きく、15日~20日目に次の保全日を設定するのが、本焼却設備の場合最適と考えられる。

実際にもこのような運転が行われ、2~3週間ごとの毎週月曜日に保全日が設定されている。

(月曜日は前日が休日であり、炉の内部冷却が可能で保全が容易に行い得る)

表4及び図10に保全間隔Nを1~23日まで変化させたときの、運転時間と故障回数のシュミレーション結果を示す。これによるとNが12~14で稼働率が最大になった。

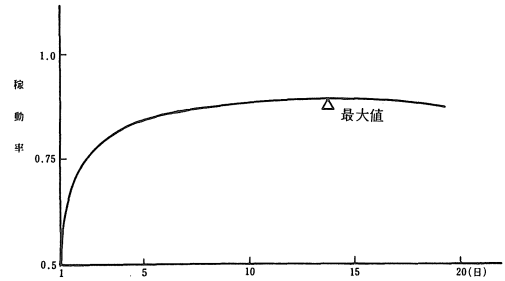


図10. 保全間隔と運転稼働率のシュミレーション
(昼間8時間操業)

4. 運転, 保全体制

本焼却設備は前述のように、1日8時間運転では、搬入されたごみ量を全部処理しきれない状態になっており、夜間運転を考えている。処理量を現在の2倍にする場合は完全2交代で作業時間を2倍にしないてはならない。

しかし、ごみ焼却作業は、一挙に処理量が2倍になることはなく、その地方都市の発展、人口の増加に比例して徐々に増加するのが普通である。

この場合処理量に比例した人員又は経費をかけるのが理想的である。

この場合完全2交代制で昼夜区別なく作業する場合と、夜間は故障修理又は保全作業をしないという前提の作業のやり方がある。

例えば前者は昼夜間とも3人体制で、夜間は定期的予防保全はしないが故障修理は行なう。後者は2人体制で運転し、故障が発生したらそこで作業を打ち切り、保全作業は昼間の班で行なうやり方である。

以下両者の利害損失を調べてみる。

時刻NTまでに故障しなかった設備が時間間隔〔NT, NT+T'〕の間に故障する確率は

$$\begin{aligned} & \frac{F(NT+T') - F(NT)}{R(NT)} \\ &= \frac{R(NT) - R(NT+T')}{R(NT)} \quad \dots\dots(12) \end{aligned}$$

A~Cグループのいかなる設備も故障しない確率は

$$R(NT) = R_a(NT) R_b(NT) R_c(NT) \quad \dots\dots(13)$$

保全が完了した翌日を第1日目として、昼間作業中夜間作業中それぞれN日目の故障発生の確率を求めてみる。

昼間の作業時間：T, 夜間の作業時間：T'とする
と、N日目の昼間の故障確率は

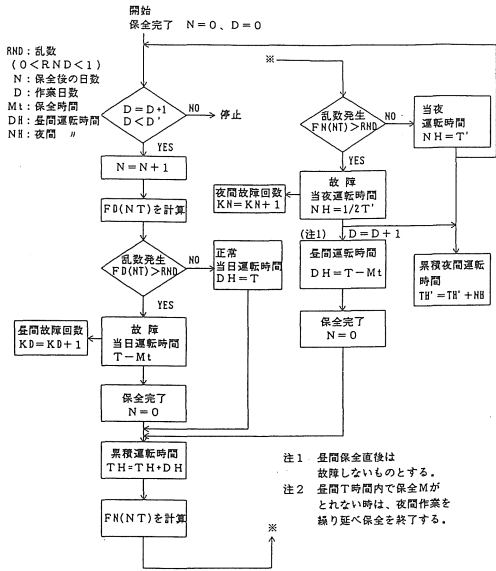


図11 昼間勤務で昼間のみ保全作業を行なう場合の運転シミュレーションフローチャート

$$F_D(NT) = \frac{R((N-1)(T+T')) - R((N-1)(T+T') + T)}{R((N-1)(T+T'))} \dots\dots(14)$$

その日の昼間までの期待運転時間累計は故障修理、保全に必要な時間をMtとすると

$$EH'(NT) = (T+T')(N-1) + (T-Mt) \dots\dots(15)$$

ここで故障が発生する時間が、1日の午前中か終業近くかにより、その日の故障修理及び保全が可能かどうか異なってくる。

しかし、ここまではその期間全体の運転時間により保全時間分だけ差し引くことにして計算する。

同様に夜間作業中にN目日に故障が発生する確率は

$$F_N(NT) = \frac{R((N-1)(T+T') + T) - R(N(T+T'))}{R((N-1)(T+T') + T)} \dots\dots(16)$$

期待運転時間累計は

$$EH''(NT) = (T+T')(N-1) + T + \frac{1}{2}T' \dots\dots(17)$$

保全時間は翌日昼間作業として行なうので、次の日よりMtを差し引かねばならない。また当日の故障発生までの作業時間は、二基の焼却炉を運転していることもあり、同時故障の確率は少ないとして1/2T'として計上した。

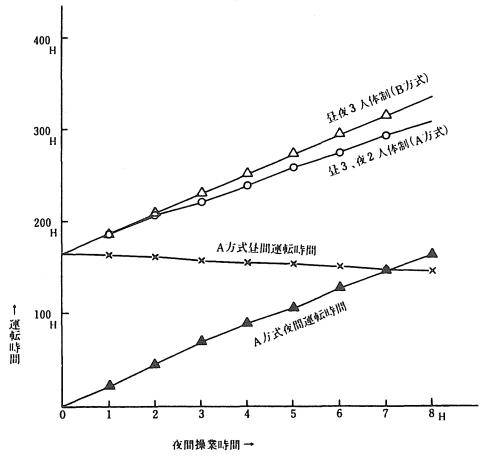


図12 1ヶ月(24日)操業時の運転時間(シミュレーション)

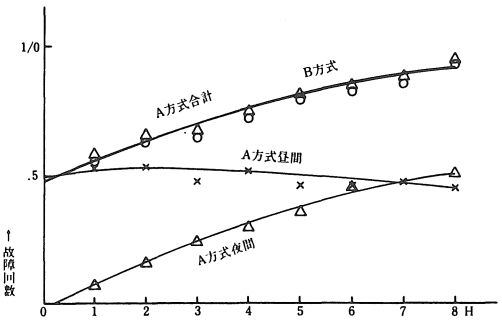


図13 1ヶ月(24日)故障発生回数(シミュレーション)

表5. 昼夜共、保全・故障修理を行う場合(3人体制)のシミュレーション(1ヶ月)23日間の累計

夜間操業時間/日	運転時間	故障回数	焼却量(t/h) 1人当たり	稼働率
0	165.98	4.74	0.94	0.90
1	186.58	5.37	0.94	0.90
2	208.79	5.59	0.95	0.91
3	228.17	6.53	0.94	0.90
4	249.66	6.93	0.94	0.90
5	271.44	7.27	0.95	0.91
6	292.07	7.89	0.94	0.91
7	313.85	8.22	0.95	0.91
8	335.14	8.68	0.95	0.91

(14)~(17)の式を使って、乱数を使用して実際の炉の運転の様子をコンピュータを使用して、1ヶ月間のシミュレーションを行なった。

表6. 昼間のみ保全作業を行う運転シュミレーション(1ヶ月23日間の累計)
(昼3人、夜2人体制)

夜間作業 時間	運 転 時 間			故障回数		焼却量(t/h) 1人当たり	稼 働 率		
	昼	夜	合 計	昼	夜		昼	夜	平均
0	163.64	0.00	163.64	5.09	0.00	0.93	0.89	0.00	0.89
1	160.96	22.65	183.61	5.11	0.70	0.96	0.87	0.98	0.89
2	159.82	44.59	204.41	4.69	1.41	0.99	0.87	0.97	0.89
3	156.92	65.91	222.83	4.82	2.06	1.01	0.85	0.96	0.88
4	154.92	86.52	241.44	4.64	2.74	1.03	0.84	0.94	0.87
5	154.10	106.80	260.90	4.34	3.28	1.04	0.84	0.93	0.87
6	151.22	125.78	277.00	4.30	4.08	1.05	0.82	0.91	0.86
7	149.16	144.95	294.11	4.32	4.59	1.05	0.81	0.90	0.85
8	148.90	164.54	313.44	4.14	4.87	1.06	0.81	0.89	0.85

図11はシュミレーションのフローシートを示す。過去の平均値として故障修理保全時間 $Mt = 4$ 、昼間作業時間 $T = 8$ 、夜間作業時間 $T' = 0 \sim 8$ とした場合の結果を表5及び表6に示す。それをグラフに表わしたのが図12、図13である。

5. シュミレーション結果の検討

5・1 現状との比較

夜間2人、昼間のみ3人で故障修理保全をする運転方法をA方式、昼夜共に3人で故障修理保全をしながら運転を続けていく方法をB方式とする。

A方式の夜間運転時間零の場合、現在の操業形態のシュミレーションを示している。

これは62年度の操業状態を示す表1及び設備別故障データ表2と概略一致し、実状をよく表している。

すなわち、実際の月間平均運転時間159.9時間/月、故障修理を含めた保全回数5.4回/月、シュミレーション結果は、運転時間166.0、故障回数4.7回、保全回数1回、誤差率は、それぞれ3.6%、5.2%となり、信頼性は、極めて高いと考えられる。

5・2 A方式とB方式の比較

A方式の場合夜間8時間運転時は、昼夜共稼働率が低下し、B方式の方が6%程度稼働率が高くなり、焼却処理量が増える。しかし夜間3時間までの操業であれば3%程度B方式が高くなる程度で、大差ないことがわかる。

1人1時間当りの焼却量、すなわち人件費当りの焼却処理量を比較すると、いかなる場合もA方式が有利であり、特に1日16時間操業(夜間8時間)の

場合は、夜間稼働率が90%、20時間程度の遊休時間が発生するにもかかわらず、10%程度人件費が安くなる。

3時間程度の夜間操業の場合は、作業能率は、A、B方式変わらないが、人件費の方は6%程度A方式が安価である。

また故障回数は、A、B方式共にほぼ同じであるが、A方式では夜間作業の時間が長くなると共に、昼間の保全時間が増大し、運転時間も故障発生も減少してくる。

本焼却設備のごみ収集量は62年度月平均520Tであるが、近い将来600T程度に増える事が予想される。

この場合炉の能力50T/16時間より192時間の運転時間が要求される。夜間2人制で操業した場合に、表6によると平均2時間程度の夜間運転が必要となり、稼働率89%が期待できる。

また、当初計画の50T/16時間の定格運転する場合夜間3人制と2人制では、期待焼却量はそれぞれ1035T/月、980T/月が期待できる。人件費は後者の方が完全に1人分減ることになる。

6. まとめ

新設されたばかりのごみ焼却炉(処理能力、25T/16時間×2基)に於て、運転保守管理を行う立場から、経営効率の最も高い形態を模索するために、1年間にわたる運転実績データを調査、分析した。

これによって、多数の機器からなるシステムの信頼性を求め、保全と運転の形態の確率モデルを作り

これのシュミレーションを行ない、現状との対比と将来のごみ集収量が増加した場合の対応策を検討した。

まず、類似の信頼性と維持管理形態をもつ設備グループを作り、各グループ別の故障確率をワイブル確率紙で求めた。次にそれぞれの故障修理、予防保全費との関係から、全体の設備保全費を最も少なくする保全週期を計算によって求め、シュミレーションによりその結果を確かめた。これによって現状の昼間のみ8時間運転の場合は、維持管理費では15～20日間隔の保全が最適であり、一方設備稼働率では12～15日間隔の保全が最高値となった。これは現在の隔週ごとの毎週月曜日の定期保全とほぼ合致する。

次に先に求めた故障確率により、ごみ処理量が増加した場合の夜間運転の種々の場合のシュミレーションを行なった。

シュミレーションモデルと現状の比較を行なったが、運転時間、故障回数、ごみ処理量共に現状との

誤差がそれぞれ2～8%であり、このモデルの信頼性が実証された。

更にこのモデルを使って、将来ゴミ集収量が増加した場合の夜間作業のあり方、設備稼働率、故障回数を予測した。

また、本焼却設備では操業方法として夜間は保全要因を置かず、故障が夜間に発生した場合、直に操業を打ち切り、昼間に故障修理する方法が、人件費を昼夜を通して、最高10%程度低くなる事がわかった。

参考文献

- 1) 中村義作, 加久間勝, 村尾 洋, 徳山五郎: システム工学, オーム社, 東京, 1987.
- 2) 真壁 肇: 信頼性工学入門, 日本規格協会, 東京, 1987.
- 3) 塩見 弘, 齋藤元雄, 三觜 武, 益田昭彦: 信頼性における確率紙のつかい方, 日科技連出版社, 東京, 1983.

(受理 平成元年1月25日)