

じん芥処理工場管理システム

Computer Control System for Refuse Disposal Factory

横山 常昭* 森 清*
Tsuneaki Yokoyama Kiyoshi Mori

I. ま え が き

都市への人口集中および都市における生産・消費活動の活発化に伴い、都市における一般廃棄物（以下じん芥またはごみと略称）の量は上昇の一途をたどっており、その上昇率はほぼ所得の伸びに比例するといわれている。

現在、ごみの処理・処分の方法としては、焼却炉で焼却し、燃焼により発生する熱を地域冷暖房や発電用に利用し、焼却灰は埋立てまたは海上投棄に処する方式が多い。一方、ごみの収集・運搬の方法としては、一部パイプラインによる方式も実施されているが、トラックによる方式が一般的である。

以下では、トラックによりごみを収集し、焼却炉で焼却する方式のじん芥処理工場に対して、計算機を導入し、自動化・省力化をはかる場合の考え方について述べる。

じん芥処理工場における処理の概要は、第1図に示すとおりである。計算機の導入により、じん芥処理システム全体の効率化をはかる場合の基本的な考え方は第2図のシステム・フローの形に表すことができる。

じん芥処理工場の計算機制御システムは、次のようなサブ・システムから構成されることになる。

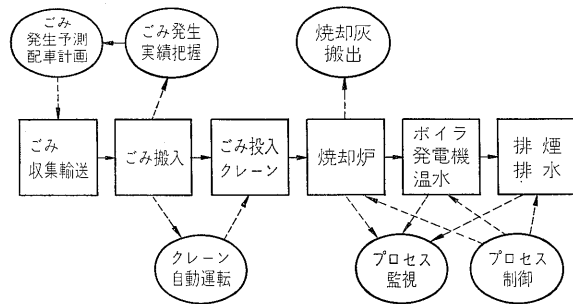
- (1) ごみ搬入車の秤量管理システム
- (2) 灰搬出車の秤量管理システム
- (3) ロギング・システム（各種日報の作成）
- (4) クレーンの自動化システム
- (5) 焼却炉・ボイラなどの監視・制御システム
- (6) ごみ収集車の配車計画システム
- (7) じん芥処理工場の最適運転システム

これらの各サブ・システムは互いに独立なシステムであるので、これらの任意の組合せにより、システムを構成することができる。

以下に、これら各サブ・システムについて、その概要を述べる。

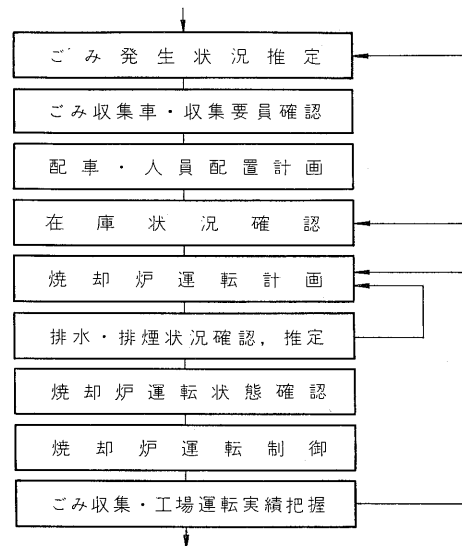
II. ごみ搬入車の秤量管理システム

じん芥処理工場へトラックで搬入されるごみの量を自



第1図 じん芥処理工場における仕事の流れ

Fig.1. Job flow in refuse disposal factory



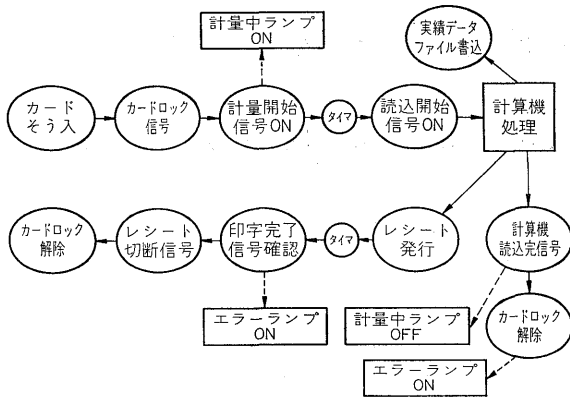
第2図 じん芥処理工場システム・フロー

Fig.2. System flow chart of refuse disposal factory

動的、総合的に管理するシステムである。1日当たり延べ数千台のごみ収集車の搬入量を自動的に計量し、リアルタイムで正味重量の計算・ごみ在庫量の計算・レントの発行などを行う。1日の搬入作業終了後に、ごみ搬入実績の印字および保存用データの出力（磁気テープまたは紙テープ）を行う。

第3図にごみ搬入車秤量管理システムの操作フローを示す。本サブ・システムの処理手順は次のとおりである。

- (1) 各収集地域よりごみを収集した搬入車は、空いてい



第 3 図 ごみ搬入車秤量管理システムの操作フロー
 Fig. 3. Operation flow chart of refuse truck weighing system

- る計量器を選んで、計量器上に車を停止させる。
- (2) カードリーダーにプリパンチカード（搬入車ごとに登録されている）をそう入する。
 - (3) 計算機はプリパンチカードより車両番号を読み取り計量器より計量器番号および総重量を読み取る。
 - (4) 計算機内に記憶されているデータを基にして、搬入ごみの正味重量を計算し、搬入時刻を記憶する。
 - (5) 搬入車に対して、レシート発券器より、必要事項をタイプしたレシートを発行する。
 - (6) 搬入車はレシートを受取ると、計算機より指定された投入ピットへごみを投入し、工場より退場する。
- カード忘失車、持込車に対しては、計量棟の現場操作盤より車両番号を入力することにより、同様に処理することができる。

III. 灰搬出車の秤量管理システム

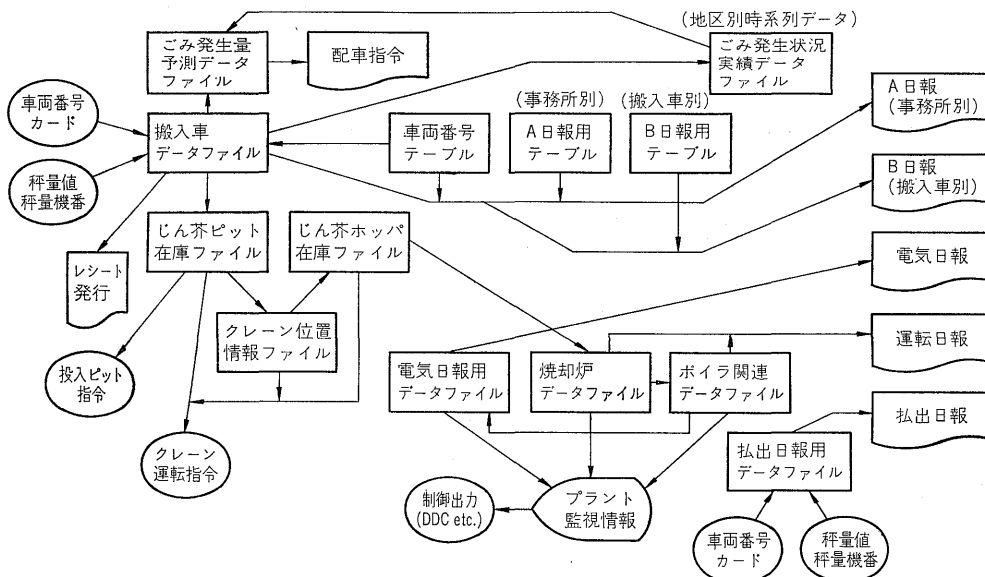
焼却灰は、灰ピットからクレーンで搬出車に積載し、埋立てまたは投棄のため搬出されるが、搬出車および搬

出量の管理は、ごみ搬入車の場合とほぼ同様の方式で行われる。1日の作業終了後に灰搬出日報を作成する。

IV. ロギング・システム(各種日報の作成)

原則として、1日の搬入・搬出作業終了後、下記のような各種日報を作成する。日報データを磁気テープに出力し保存する場合もある。

- (1) ごみ搬入日報 A
各事務所別に、車種別の搬入台数および搬入量をまとめて作表印字する。計画量との比較を行う場合もある。
- (2) ごみ搬入日報 B
車両番号別の搬入回数、毎回の正味重量、搬入時刻、搬入量総計などを事務所・事業所別に整理して作表印字する。
- (3) ごみクレーン運転日報
ごみクレーンおよび粗大ごみクレーン関係のデータを毎回、専用のタイプライタに記録印字する。1日の作業終了後に1日分のデータをクレーン別および投入ホップ別に整理してクレーン運転日報を作表印字する。
- (4) 灰搬出日報
工場より搬出される灰の搬出車についても、ごみ搬入車と同様に自動計量を行い、レシートの発行を行う。1日の作業終了後に、実績データを基に灰搬出日報を作表印字する。
- (5) 電気日報
受電・タービン発電機および配電関係のデータを演算・整理して、1時間ごとに専用のタイプライタに印字し、定刻に合計・最大・最小・平均・累計等を演算し、印字する。
- (6) プラント管理日報
焼却炉・ボイラなどの各種流量・圧力・温度・レベルなどのデータを一定時間ごとに作表印字する。



第 4 図
 じん芥処理工場システムのデータ・フロー
 Fig. 4.
 Data flow in refuse disposal system

第2図にごみ処理工場ロギング・システムのデータ・フローを示す。

V. クレーンの自動化システム

ごみ投入クレーンの自動化は、次の二つのステップに分けて行う。

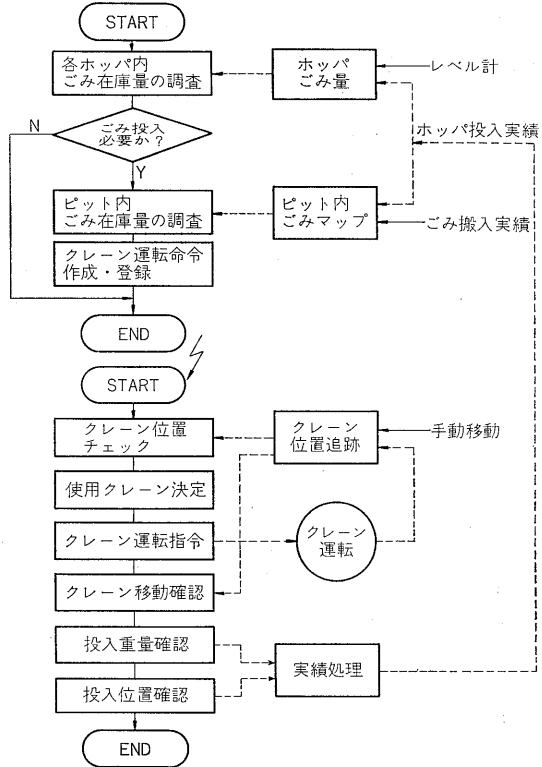
(1) クレーン運転命令の作成

ごみ投入ホッパの在庫状況・ごみピットの在庫状況・ごみの燃焼状況を監視して、各ホッパへの投入命令の待ち行列を作成する。

(2) クレーンの自動運転

上記命令を見ながら、複数台のクレーンの有効活用を考慮して、クレーンの自動運転（または運転のオペレータ・ガイド）を行う。同時にクレーン秤量によりごみ投入量を計測し、ピットのごみ在庫量および投入ホッパ・レベルの更新を行う。

第5図にクレーン自動化のフロー・チャートを示す。ごみクレーンの自動化は、一般ごみ用クレーンを対象とし、粗大ごみ用クレーンは手で運転するものとする。



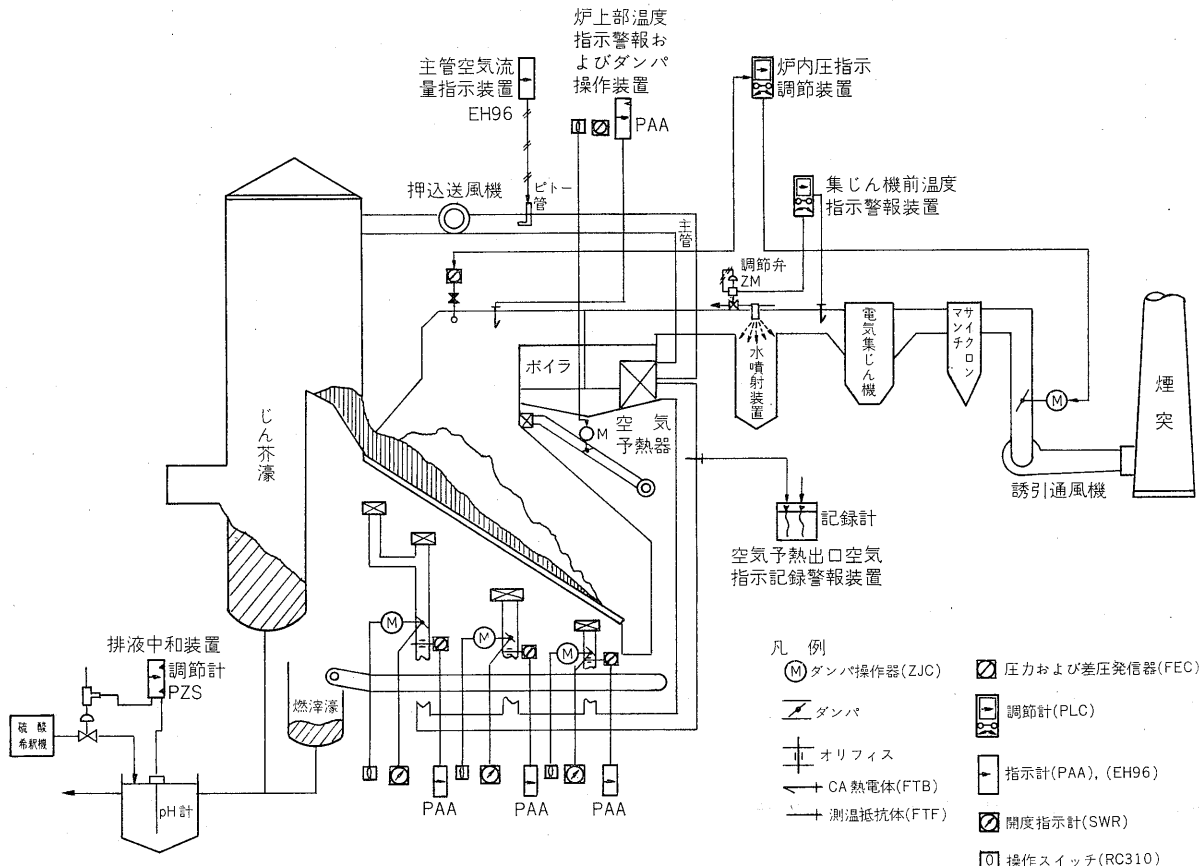
第5図 クレーン運転の自動化

Fig. 5. Automation program of crane operation

VI. 焼却炉・ボイラの監視および自動制御システム

1. 焼却炉関係

第6図にじん芥焼却炉の設備の概要を示す。制御対象



第6図 じん芥焼却設備の概要

Fig. 6. Outline of refuse disposal plant

としては、次のようなものがある。

(1) 燃焼空気流量調節およびダンパ制御

火格子のじん芥を乾燥・燃焼させるため各格子下から加熱空気を供給する必要がある。投入されるじん芥の状態および炉内の燃焼状況に応じて、この空気量の調節を行う。

(2) 焼却炉内圧力調節

炉内は燃焼効率を高めるため、および悪臭の拡散を防ぐため、煙突の前に設置された誘引通風機により燃焼排ガスを排出すると同時に、炉内が常に負圧になるよう制御を行う。

(3) 炉上部温度制御

炉上部の温度が高すぎると炉体の寿命を短くするので炉上部の温度を監視し、冷却空気ダンパの操作により適量の冷却空気を炉内に送り込む。

(4) 集じん機前排ガス温度制御

燃焼排ガス中のすすやダストを落とすために集じん機を設置する。排ガス温度を集じん機の許容温度まで下げるため、水噴射によりガスの冷却を行う。

(5) 空気予熱器出口空気温度監視

乾燥および燃焼用空気を空気予熱器で加熱するが、その温度が低くなり燃焼効率が落ちないように監視を行う。

2. ボイラ設備関係

じん芥焼却により生ずる熱をボイラに導き、発生する蒸気を工場内施設・発電機・温水プール・温室などに供給する。これに関連して下記の制御がある。

(1) ボイラドラム液面制御

ドラムレベルが規定値になるように、レベル偏差と発生蒸気量からボイラ給水流量を制御する。フィードフォワードを加味した制御により安定性を高める。

(2) 高圧蒸気ヘッダ圧力制御

高圧蒸気ヘッダはボイラドラムで発生した高温高圧の蒸気をためて圧力を一定にし、各所に蒸気を配分する。蒸気発生量が足らなくなった場合は、蒸気の配分個所に優先順位をつけておき、供給量を調節することにより圧力制御を行う。

(3) 脱気器圧力制御

脱気器の機能効果を上げるため、脱気器内の圧力を一定にするよう蒸気流量を制御する。

(4) 脱気器水位制御

脱気器水位を検出し、水位を一定にするよう給水量を調節弁で制御する。

VII. ごみ収集車の配車計画システム

ごみの収集および輸送には、ごみ処理全体に必要なコストの約75%に達する多額の費用を要するので、ごみ収

集車またはごみ収集要員の有効利用をはかることが必要になる。

できるだけ少ないトラック台数、収集要員で能率よく、迅速にごみを収集するためには、下記のAに示すような制約条件のもとで、Bに示すような種々の状況を推定して、ある期間(たとえば1週間)にわたっての収集・輸送費用が最小になるような計画を作成する必要がある。

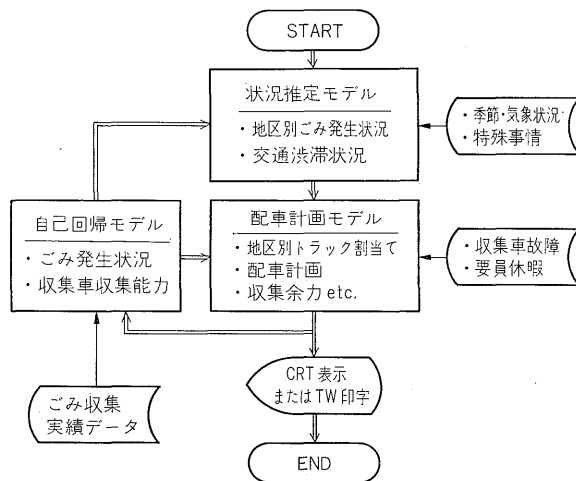
A. 制約条件

- (1) 各トラックの能力(積載量・運送速度 etc.)
- (2) ごみ収集要員総数
- (3) 各地区のごみ取残し許容量

B. 不確定状況(要推定)

- (1) 各地区のごみ発生量, 1週間のごみ発生のパターン
- (2) 交通事情(所要時間/1回)
- (3) 気象状況
- (4) 実働可能車数・要員数

ごみ収集車の配車計画の全体構成図を第7図に示す。



第7図 ごみ収集車配車計画の構成

Fig. 7. A structure of operating schedule for refuse collecting truck

状況推定モデルにより、週間内の各地区のごみ発生量(1日)を推定し、これを基に配車計画モデルにより、各曜日の地区ごとのトラック出動延べ台数・延べ収集要員数 etc. を決定し、全体の収集費用の経済化がはかれる。

さらに、この配車計画に基づき配車された結果の実績データを使用して、自己回帰モデルにより、状況推定モデル・配車計画モデルの係数を再計算し、モデルのレベルアップをはかる。

配車計画の計算結果を各ごみ収集車に知らせる方法としては、次のような方法がある。

- (1) 毎日(または毎週)配車計画書を配布する。
- (2) 中央から無線により各収集車に指令する。
- (3) トラック秤量の際に行先伝票を配布する。
- (4) トラック秤量の際に行先を表示して指令する。

他方、自己回帰モデルにおいては、地域別のごみ発生状況の実績データが必要であるが、その入力方法としては、次のような方法がある。

- (1) トラック秤量時に設定盤より地域 No. を入力する。
- (2) 配車は計画指令どおりに行われると仮定して、車両番号によりごみ収集地域を判別する。
- (3) 秤量ゲートと投入ピットの組合せと収集地域を対応させ、通過ゲートにより収集地域を判別する。
- (4) 1日の終わりにカード等により、実績を入力する。

次にごみ収集車配車計画の数式モデルについて、その概要を述べる。

1) 基本方針

一般に、都市におけるごみの発生量は、地区ごとに曜日によって、一定のパターンを持っていると考えられる。本モデルでは、月曜から日曜までの1週間を単位として、各日に何台の収集車を配車すれば、1週間の総コストが最少になるかを求める。この場合、各日・各地区ごとに m_{ij} ($m_{ij} \geq 0$) の取残しを許すことにし、取残し量は指定された一定値以下になるように解を求めることにする。すなわち、ごみの発生量が曜日によって大きくばらつく場合でも、取残しを許すことにより、収集量のばらつきを平均化して、出勤収集車の数を減らすことにより、コスト低減をはかるという考えである。

本モデルでは、各曜日の各地区ごとの出勤トラック台数を未知数とし、地区別ごみ発生量、取残し許容量、トラック1台当たりの費用などを与え、線型計画法により最適解を求めることにする。

以下に本モデルで使用する変数および定数を列挙する。

- i : 地区No., $i=1 \sim n$
- j : 曜日, $j=1 \sim 7$, 1: 月, 2: 火, ..., 7: 日
- N : ごみ収集車総数
- s_{ij} : 第 i 地区, 第 j 日の実働延べ収集車台数
- x_{ij} : 第 i 地区, 第 j 日の収集車出勤台数
- R_j : 第 j 日に休む収集車の台数
- f_{ij} : 第 i 地区, 第 j 日のごみ発生量 (設定値または推定モデル計算値)
- m_{ij} : 第 i 地区, 第 j 日の取残し量
- M_{ij} : 第 i 地区, 第 j 日の取残し許容量
- c_j : 第 j 日のトラック1台当たりの費用
- t_{ij} : 第 i 地区, 第 j 日のごみ収集1回当たりの所要時間
- P_{ij} : 第 i 地区, 第 j 日の車両1台1回当たりのごみ収集量 (平均的な値)
- T_j : 第 j 日の実働時間 (たとえば8時間)

2) 制約条件

各日のごみ取残し量は、前日の取残し量に当日のごみ

発生量を足したのから、当日の収集量を差引いたものであり、この量は負になることはないので、次式のように表すことができる。

$$m_{ij} = \max(m_{i,j-1} + f_{ij} - P_{ij} \cdot s_{ij}, 0) \quad j=1 \sim 7 (*)$$

計算に便利のように(*)式を次の二つの式に分解して考える。

$$m_{ij} \geq 0 \quad j=1 \sim 7 \dots\dots\dots(1)$$

$$m_{ij} \geq m_{i,j-1} + f_{ij} - P_{ij} \cdot s_{ij} \quad j=1 \sim 7 \dots\dots\dots(2)$$

さらに、取残し量は許容量を越えてはならないので

$$m_{ij} \leq M_{ij} \quad i=1 \sim n, j=1 \sim 7 \dots\dots\dots(3)$$

ごみ収集車に関しては、次の四つの制約式が成立する。

$$x_{ij} \geq 0 \quad i=1 \sim n, j=1 \sim 7 \dots\dots\dots(4)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq N - R_j \quad j=1 \sim 7 \dots\dots\dots(5)$$

$$x_{ij} = s_{ij} / (T_j / t_{ij}) \quad i=1 \sim n, j=1 \sim 7 \dots\dots\dots(6)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^7 x_{ij} \leq 5N \quad (\text{週5日制と仮定}) \dots\dots\dots(7)$$

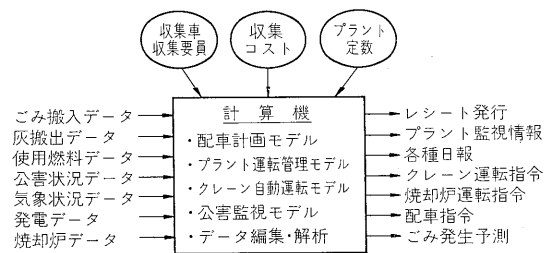
3) 目的関数

$$z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^7 c_j \cdot x_{ij} \quad \Rightarrow \text{最小} \dots\dots\dots(8)$$

制約条件(1)~(7)の下に、目的関数(8)を最小にするような m_{ij} , x_{ij} を求めることが本問題の目的である。

VIII. じん芥処理工場の最適運転

上にじん芥処理工場の計算機制御システムにおけるサブ・システムについて述べたが、これらのサブ・システムを有機的に結合することにより、じん芥処理システム全体の最適化をはかることが可能になる。第8図にじん芥処理工場の最適運転の模式図を示す。計算機は種々のデータを自動的(一部手動入力)に読込んで、各種モデルで処理し、制御出力または運転指令を自動的あるいはオペレータ・ガイド方式で出力し、最適運転に寄与する。



第8図 じん芥処理工場最適運転の模式図

Fig.8. Skeleton diagram of optimal operation for refuse disposal factory

IX. あとがき

じん芥処理工場への計算機導入に関してごみの収集管理および焼却炉の自動制御に重点をおいたシステムについて述べたが、関係各位の参考になれば幸甚である。



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。