

リサイクルシステムへの部分転換を考慮した一般廃棄物処理計画モデルの開発

A Model Analysis on System Approach to Establishing the Desirable planning of
Disposal system Process of Waste including Recycling System

春名 攻*・立花 潤三**・奥田 稔**・瀬川 喜臣**

by Mamoru HARUNA*, Junzo TATIBANA**, Minoru OKUDA**, Yoshiomi SEGAWA**

1. はじめに

近年、リサイクルの問題を含む環境問題に対する関心が世界的な高まりを見せ、現在では世界各国において、さまざまな、環境問題への積極的な取り組みがなされている。このような中で、我が国においても、ダイオキシン問題、産業廃棄物等の不法投棄問題、最終処分場の残余容量の問題など、環境問題に関する問題は山積である。中でも、人口に対し国土が狭い我が国においては、最終処分場の切迫した状況を背景とした、廃棄物処理問題は深刻な問題であり、現在、この問題に対する解決の糸口を必死で模索しているのが現状である。この問題に対する国際的な現在の動きの主流としては、リサイクルを進める事によって、できるだけ最終処分場への負荷を少なくしていくという方向が一番強く、もっとも効果を発揮していると思われる。また、資源の観点からこの問題を捉えた場合、特に大部分を輸入に頼る資源小国の我が国としては、資源の有効利用の観点からもリサイクルの推進が求められている。

本研究では、地方都市における一般廃棄物処理計画問題に焦点を当て、リサイクルシステムへの効率的な移行を実現するため、現象合理性を満足しなおかつ目的合理性を確保した形の、ハイブリット型の、そのハイブリット型の計画モデルのコアシステ

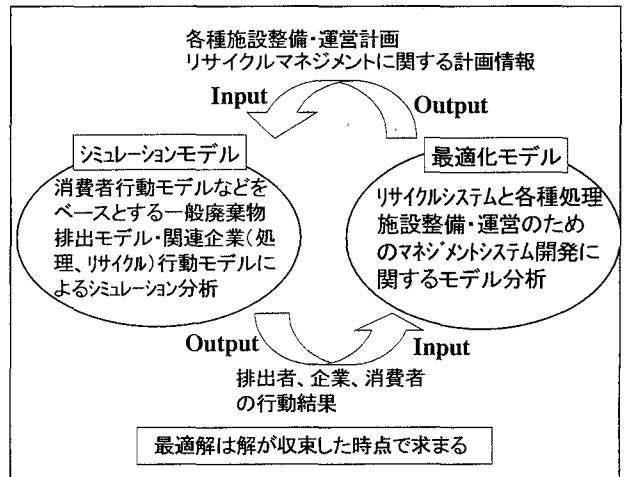


図-1 ハイブリット型最適整備計画モデルの概要

ムの一つである、一般廃棄物処理計画モデルの開発と実証分析を行った。

2. ハイブリット型廃棄物処理計画モデルの概要

今、ハイブリット型の廃棄物処理計画モデルの概念図を図-1に示す。

このモデルは、入力情報が確定的に与えられるという前提条件のもと、シミュレーションモデルと最適化モデルをコアとして、それらを交互に繰り返すハイブリット・システムとして構築され、最適な実行パターンの求解、同時にその事業効果のシミュレートがなされる。その結果を受けて、計画目標値に達しない場合は、最適化モデルにおいて事業化計画に再検討がなされ、その解が収束するまで、検討は繰り返される。

そして、計画目標値を満足する場合は開発計画が実行される。

3. 一般廃棄物処理計画モデルの概要

いま、一般廃棄物処理の構造を図-2のように考えるものとする。

キーワード：計画手法論、計画情報、環境計画

*正会員、工博、立命館大学理工学部環境システム工学科

(〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

TEL : 077-561-2736 FAX : 077-561-2667)

**学生員、立命館大学大学院理工学研究科

〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

TEL : 077-561-2736 FAX : 077-561-2667)

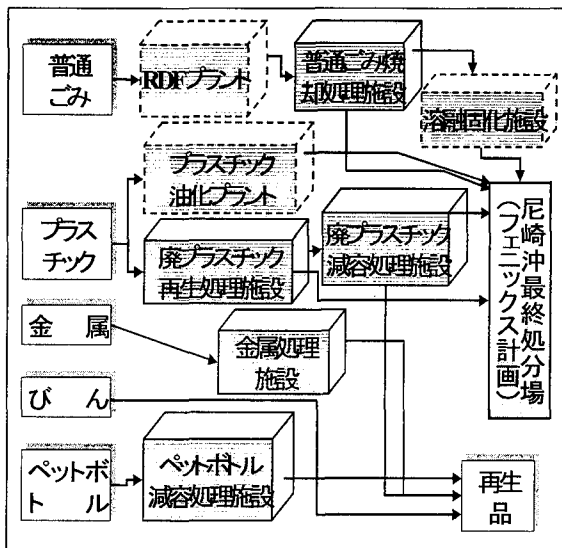


図-2 一般廃棄物処理フロー図

すなわち、ごみは排出源において普通ごみ、ペットボトル、プラスチック、金属、ピンに分別される。普通ごみは焼却場へ運ばれ、その後埋立場へ運ばれるか灰リサイクルプラントへ運ばれリサイクルされる。また、普通ごみはRDFプラントへ運ばれ、リサイクルされることができる。次にペットボトルはペットボトル減容処理施設にて再製工場へと運ばれリサイクルされる。プラスチックは廃プラスチック再生処理場もしくは廃プラスチック減容処理施設へ運ばれ、リサイクル、もしくは埋立される。さらに、プラスチックはプラスチック油化プラントを建設することによって、プラスチックを油化再生させることができる。次に、金属は金属処理施設へ運ばれ、分別、減容され、リサイクル業者へ運ばれる。最後に、ピンは処理施設を経て、分別、洗浄などを経て、リサイクル業者へ運ばれる。

4. 一般廃棄物処理計画モデルの定式化 目的関数

$$P(T) = \sum_t P'(t) = \sum_t (P_1(t) + P_2(t)) \Rightarrow \min \quad (1)$$

状態方程式と各変量

$$P(t) - P(t-1) = P'(t) = P_1(t) + P_2(t), \text{all } t \quad (2)$$

$$P_1(t) = W(t) + D(t) + H(t) - E(t), \text{all } t \quad (3)$$

$$W(t) = \sum_i \sum_j \sum_k {}^k w_j^i(t) \cdot {}^k q_j^i(t) + \sum_i w^{ri}(t), \text{all } t \quad (4)$$

$$D(t) = \sum_i \sum_j \sum_k {}^k d_j^i(t) \cdot {}^k q_j^i(t) + \sum_j d_j^i(t), \text{all } t \quad (5)$$

$$H(t) = \sum_i \sum_k {}^k h_1^i, \text{all } t \quad (6)$$

$$\text{if } {}^k x_1^i(t) \neq 1 \text{ then } {}^k h_1^i(t) = 0, \text{all } i, k, t \quad (7)$$

$$E(t) = \sum_i \sum_j \sum_k {}^k e_j^i(t) \cdot {}^k q_j^i(t), \text{all } t \quad (8)$$

$$P_2(t) = \sum_i b_2^i(t) \cdot q_2^i(t), \text{all } t \quad (9)$$

$$\text{if } {}^k x_1^i(t) \neq 2 \text{ then } q_0^i(t) = r^i(t) \cap q_1^i(t) = 0 \\ q_2^i(t) = a_0^i(t) \cdot r^i(t), \text{all } i, k, t \quad (10)$$

$$\text{if } {}^k x_1^i(t) = 2 \text{ then } q_0^i(t) = 0 \cap q_1^i(t) = r^i(t) \\ q_2^i(t) = a_1^i(t) \cdot r^i(t), \text{all } i, k, t \quad (11)$$

$$S^i(t) = S^i(t-1) + {}^k \delta_1^i(t), \text{all } i, k, t \quad (12)$$

$$\text{if } {}^k \delta_1^i(t) = 1 \text{ then } {}^k x_1^i(t+v) = 1 \cap {}^k x_1^i(t+{}^k V_1^i) = 2 \\ \text{all } i, k, t (v = 0, 1, \dots, {}^k V_1^i - 1) \quad (13)$$

$$\text{if } {}^k \delta_1^i(t) = 1 \text{ then } {}^k \delta_1^i(t+{}^k V_1^i) = 1, \text{all } i, k, t \quad (14)$$

$$P_1(t) \leq U(t) \quad (15)$$

$$P(0) = 0 \quad (16)$$

$$S^i(0) = 0, \text{all } i \quad (17)$$

$$S^i(T) = 1, \text{all } i \quad (18)$$

ここで、 i :ごみの種類を示すインデックス、 j :ごみの種類 i において既存の処理施設が0、代替案施設が1、埋立処分場が2であるインデックス、 t :計画初年度からの経過年数、 k :ごみの種類 i において代替案施設が複数存在する場合にその施設番号を示すインデックス、 $P(t)$: t 年次までのトータルコスト、 $P'(t)$: t 年次における

トータルコスト、 $P_1(t):t$ 年次におけるごみ処理関連費用、 $P_2(t):t$ 年次における環境負荷費用、 $W(t):t$ 年次における収集・運搬費用、 $D(t):t$ 年次における処理施設の運営費、 $H(t):t$ 年次における新規立地施設の建設費、 $E(t):t$ 年次における再資源の売上、 $q_j^i(t):t$ 年次におけるごみの種類 i の処理施設 j, k による処理量、 $w_j^i(t):t$ 年次における収集・運搬費用関数の係数、 $w^i(t):t$ 年次における収集・運搬費用関数の定数項、 $d_j^i(t):t$ 年次における施設運営費用関数の係数、 $d_j^i(t):t$ 年次における施設運営費用関数の定数項、 $h_1^i(t):t$ 年次におけるごみの種類 i に関する新規立地施設の建設費用、 $e_j^i(t):t$ 年次における再資源売却単価、 $b_2^i(t):t$ 年次における環境負荷費用関数の係数、 $x_j^i(t):t$ 年次においてごみの種類 i に関する施設 j, k が立地していなければ 0、建設中ならば 1、立地していれば 2、 $\delta_1^i(t):t-1$ 年次と t 年次の時間断面において新規立地施設の建設を開始すれば 1、その他が 0 のクロネッカーデルタ、 $\delta_1^i(t):t-1$ 年次と t 年次の時間断面において新規立地施設の建設が完了すれば 1、その他は 0 のクロネッカーデルタ、 $r^i(t):t$ 年次におけるごみの種類 i の排出量、 V_1^i : 新規立地施設 j, k の建設期間、 $U(t):t$ 年次に使えるごみ処理関連費用である。

式(1)は目的関数を表わす。ここでは、ごみ処理関連費用と環境への負荷を費用で表わしたもののトータルを最小にする問題として定式化した。制御変数として新規立地施設の建設開始を表わす $\delta_1^i(t)$ が該当する。式(2)はトータルコストの状態方程式、式(3)はごみ処理関連費用、式(4)～(6)はそれぞれ収集・運搬、施設運営、建設にかかる費用関数である。また、式(7)は新規立地施設の建設費の制約条件、式(8)は再資源の売却による収入を表わす。式(9)は環境負荷費用関数である。式(10)は新規立地施設が未整備の際のごみ量連続式であり、式(11)は整備済みの際の連続式を表わす。式(12)は各種ごみに関する新規立地施設の状态方程式を表わし、式(13)は新規立地施設の建設開始とその立地状況の関係、式(14)は新規立地施設の建設開始と終了年次の関係を表わす。式(15)は t 年次におけるごみ処理関連費用制約、式(16)は目的関数の初期条件、式(17)、式(18)は新規立地を想定する処理施設の初期条件及び終端条件を表わす。す

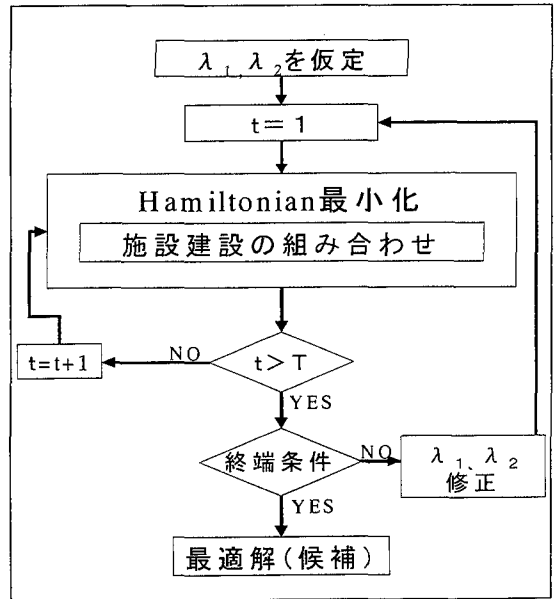
なわち本計画モデルでは目標年次までに想定したごみ処理システムを運営するために必要な処理施設を整備しておく事を目指している。ただし式(10)、式(11)は新規立地施設の整備が完了すれば既存処理施設は利用しない1段階の処理を想定した場合の定式化になるが、本計画モデルではごみの種類により最大で3段階までの処理を想定している。具体的には可燃ごみについて RDF($k=1$)による再資源化処理を行い、その処理の際に排出される残容物を既存処理施設により焼却処理し、その焼却灰を灰リサイクル($k=2$)として再利用するシステムの構築を行う。よって可燃ごみ($i=1$)に関するごみの連続式は以下のように表わされる。

$$\text{if } {}^k x_1^1(t) \neq 2 \text{ then } q_0^1(t) = r^1(t) \cap {}^k q_1^1(t) = 0 \\ q_2^1(t) = a_0^1 \cdot r^1(t), \text{ all } t, (k=1,2)$$

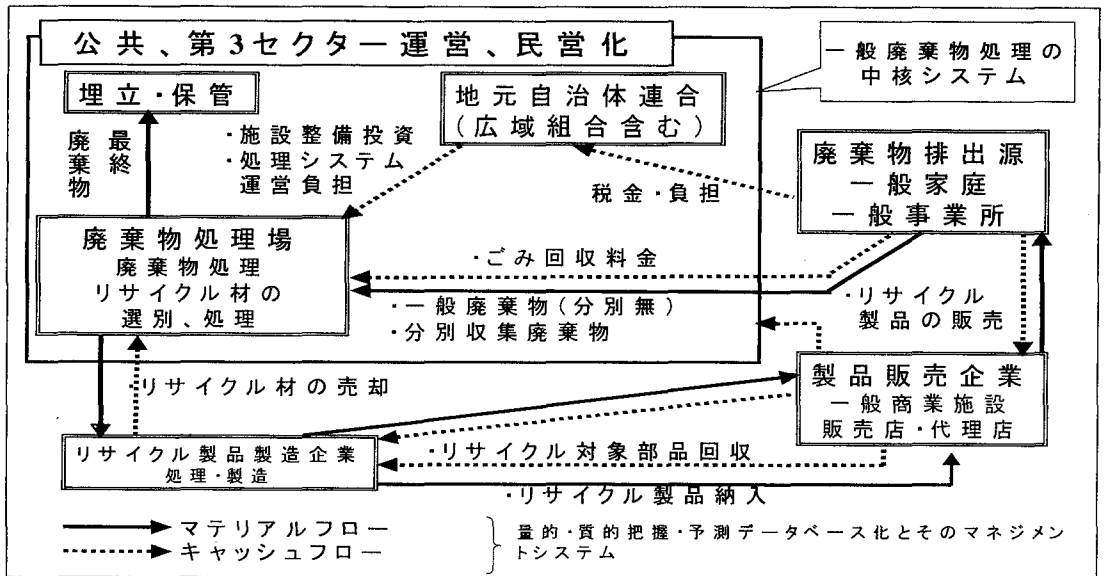
$$\text{if } {}^1 x_1^1(t) = 2 \cap {}^2 x_1^1(t) \neq 2 \\ \text{then } q_0^1(t) = {}^1 a_1^1 \cdot r^1(t) \cap {}^1 q_1^1(t) = r^1(t) \cap {}^2 q_1^1(t) = 0 \\ q_2^1(t) = {}^1 a_1^1 \cdot a_0^1 \cdot r^1(t), \text{ all } t, (k=1,2)$$

5. 解法の検討

本計画問題は制御変数を各期のごみ i に関する新規導入処理施設の建設状態 $\delta_1^i(t)$ とする、離散型最適制御問題である。本問題では、離散型最大原理を用い



図—3 求解のサイクル



図一4 廃棄物処理システムの概略図

λ_1, λ_2 を仮定した状態で Hamiltonian $H(t)$ の t

期における最小化問題を $t=T$ 期まで解く。本モデルにおいては、この最小化問題は、新規立地施設整備の組合せ問題に帰着する事ができる。そして、その時求めた解が終端条件を満たしていれば、それが最適解となり、終端条件を満たしていなければ、補助変数 λ_1, λ_2 を修正して、再度同様の手順を踏んでいく。このようにして、本計画問題では最適解の求解をおこなうこととした。

6. おわりに

本研究では、一般廃棄物処理におけるハイブリット型最適計画モデルの考え方を示すとともに、目的合理性を追求するための一般廃棄物処理計画モデルの構築、分析をおこなうことによって、廃棄物処理システムの合理的なリサイクルシステムへの転換という問題に対して有効な計画支援情報を提示する事ができたと考える。

今後は、ハイブリット型最適整備計画モデルの構築のため、シミュレーションモデルの開発および、それとのハイブリット化にともなう最適計画モデルの改良を行い、総合的なハイブリット型最適計画モデルの構築をおこなわなければならないと考える。それによって、目的合理性を確保しつつ、なおかつ、現

象合理性を満足するような、より高度な分析が可能となると考えられる。図一4には廃棄物処理に関わるシステムの概略図を示しているが、シミュレーションモデルにおいては消費者行動モデルなどをベースとした一般廃棄物排出モデルや、廃棄物処理関連企業、リサイクル関連企業などの行動モデル、自然環境への影響分析などさまざまな検討が必要であり、最適化モデルにおいては、そのシミュレーションモデルとの十分な連動を実現できるような改良が必要となると考える。

なお、分析結果に関しては、紙面の都合上、発表時に示す事とする。

【参考文献】

- 1) 草津市クリーン事業課：草津市のごみ処理状況、1997
- 2) 廃棄物学会：廃棄物ハンドブック、1996
- 3) 宇野利雄・菊池豊彦：最大原理入門、共立全書、1967
- 4) エル・イス・ボンリヤ・ギン他、関根智明訳：最適過程の数学的理論、文一総合出版、1967