

地域性を考慮した一般廃棄物処理システムに関する研究

環境システムコース エネルギー環境学分野
36660 山成 素子

1. 緒言

資源循環型社会において、排出後の処理システムによる円滑な廃棄物処理が求められており、処理システムの広域化においては効率的な収集・処理運営体制の構築が大きな課題となっている。

特に、家庭から出る一般廃棄物は広く分散して発生し、地域の人口分布と処理施設の場所によって収集形態は大きく変化する。そのためこれまでの処理施設の立地では、収集効率などの視点で立地選定および評価がされている。しかし実際には処理施設建設においては地域住民の不安等があり、建設地決定には自治体と住民との十分な合意形成を行うことも重要な課題である。

そこで本研究では、地域住民の処理施設に対する意識の変化を考慮した地域に適切な一般廃棄物処理システムの構築を目的とする。

具体的には、GIS (地理情報システム) により人口分布から建設可能地域を設定し、輸送コストと施設建設コスト及び処理・維持管理コストを併せた総コストが低減される施設配置の検討を行う。また住民の合意により建設可能地域が広がることでコストに及ぶ変化を分析する。

2. 整数計画法について

変数に関する一次等式、一次不等式条件と変数に関する整数条件のもとで、1 次式を最小化 (若しくは最大化) する問題は整数計画法と呼ばれている。また、変数が0又は1の値しかとらない問題を 0-1 整数計画法と言う。整数計画法には「ナップサック問題」や「施設配置問題」、「割り当て問題」等といった種類がある。さらに、一部の変数に連続変数値を含むような問題を混合整数計画問題と呼ばれている。よって、本研究では『施設配置問題』と『輸送計画問題』を併せた最適化問題は混合整数計画問題として扱うことができる。また、本研究では混合整数計画問題を解くときに NUOPT というソフトウェアを用いて計算を行っている。

3. 一般廃棄物処理システムの評価方法

シミュレーションを行ったのは、石川県北部の 24 市町村で、現在、RDF 発電事業 (RDF 製造施設:4 施設、発電施設:1 施設) が行われている。一般廃棄物の発生量は、約 94,000t/年である。

本研究の流れを Fig.1 に示す。

3.1 GIS の利用

GIS により、人口分布を約 10 km 四方のメッシュで表示し、各市町村の排出源 (Fig.2) 24 箇所からそれぞれのメッシュ (Fig.3) の中心 (45 箇所) までの直線距離を算出する。直線距離を道路距離に変換するため文献¹⁾を参考に 1.2 倍した。

建設可能地域はメッシュあたりの人口が少ないところから、段階的に加えていき、A~H の 8 段階で変化させた (Fig.3)。(A:0-2102 人/メッシュ 15 , B:0-3428 人/メッシュ 24 , C:0-5289 人/メッシュ 28 , D:0-7101 人/メッシュ 32 , E:0-11137 人/メッシュ 36 , F:0-13628 人/メッシュ 39 , G:0-26433 人/メッシュ 42 , H:0-48200 人/メッシュ 45 , ここでの 内はメッシュの数)

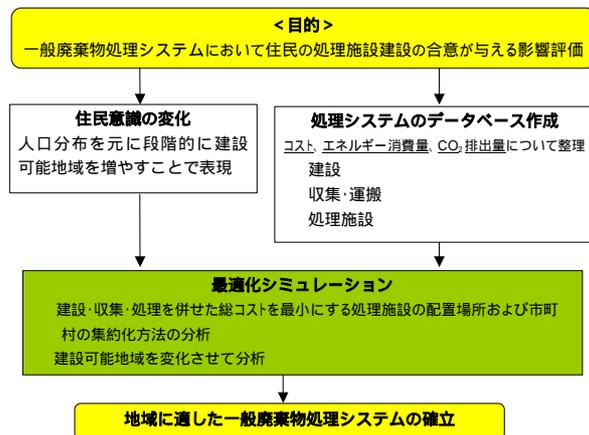


Fig.1 研究フロー図

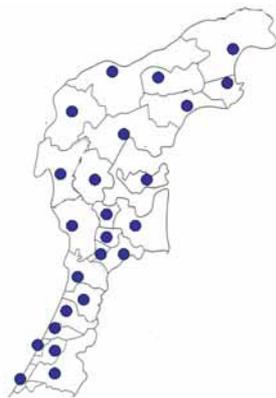


Fig.2 排出源

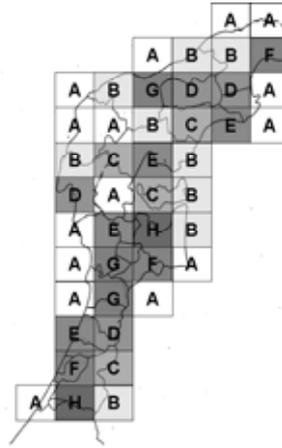


Fig.3 建設可能地域の段階分け

3.2 最適化シミュレーション

Fig.4 に示すモデル化を行った。各施設の焼却施設は 60t/日、RDF 化施設は 10t/日以上の処理規模として、コスト最小になるように求めている。

混合整数計画によるモデル化を行うため、輸送量を実数 x 、第 j 地点に処理施設を建設する場合を「1」、しない場合を「0」とする 0-1 変数 Y で表し、以下のような制約条件の下で合計コストの最小化を図った。

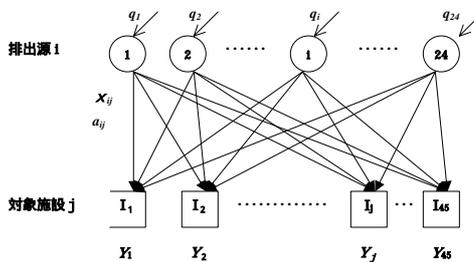


Fig.4 モデル図

$$\begin{aligned}
 \text{【最小化】 } TotalCost[\text{円/年}] &= \sum_i \sum_j \{TransportCost(i, j) + OperationCost(i, j) + PlantCost(i, j)\} \\
 &= \sum_i D_i + \sum_i \sum_j a_{ij} x_{ij} + \sum_i \sum_j B x_{ij} Y_j
 \end{aligned}$$

$$\text{【制約条件】 } q_i = \sum_j x_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, 24) \quad \sum_i x_{ij} \geq Q_j \quad Y_j \in \{0, 1\} \quad \sum_j Y_j = p$$

q_i : 各市町村からのごみ発生量 (t/年)

x_{ij} : 排出源から処理施設へ輸送される廃棄物の量 (t/年)

a_{ij} : 排出源から処理施設までの輸送単価【収集: 0.8785 円・km/t, 運搬: 0.2196 円・km/t】

d_{ij} : 排出源から処理施設までの運搬距離 (km/年)、 p : 建設処理施設数

Q_j : 処理施設 j の処理規模 (t/年)【焼却施設: 60t/日, RDF 化施設: 10t/日】

D_i : 排出源 i 内における収集費

B : 耐用年数を 20 年とした場合における建設コストおよび処理コスト (円/年)

【焼却施設: ごみ 1t あたりの建設・処理コスト (円/年・t) = $24,678,482 \times \text{処理量}(\text{t/年})^{-0.7369}$

RDF 施設 (厨芥は含む): コスト (円/年・t) = $383,067 \times \text{処理量}(\text{t/年})^{-0.2572}$

RDF 施設 (厨芥は含まない): コスト (円/年・t) = $382,617 \times \text{処理量}(\text{t/年})^{-0.257}$

RDF 専焼炉: ごみ 1t あたりの建設・処理コスト (円/年・t) = $325,414 \times \text{処理量}(\text{t/年})^{-0.39}$

堆肥化施設: ごみ 1t あたりの建設・処理コスト (円/年・t) = $16,953,923 \times \text{処理量}(\text{t/年})^{-0.817}$ 】

4. ケーススタディと結果

分析は 3 つのケースに分けて行った。まず 焼却施設のみ、次に運搬工程のコスト削減を目的に 焼却施設 + RDF 施設、そして厨芥を分別収集することによる影響を調べるため 焼却施設 + RDF 施設 + 堆肥化施設、の 3 ケースである。以下にその詳細を述べる。

4.1 焼却施設のみ

対象施設が焼却施設のみの場合について述べる。施設数 p を 1~4、つまり 1 施設から 4 施設建設した場合での合計コストの最小化シミュレーションを行った。その結果を Fig.5 に示す。Fig.5 は建設可能範囲 H(全ての地域が建設可)の場合である。施設数が 3 箇所とする場合が合計コストを最小にすることができる。なお処理コストには建設コストも含まれる。焼却施設のみの場合、範囲 H において合計コストが最小なのは 3 施設で 44 億 5 千万円であった。また、コスト最小時ににおける二酸化炭素排出量の結果を Fig.6 に、処理施設の位置と処理量を Fig.9 に示す。

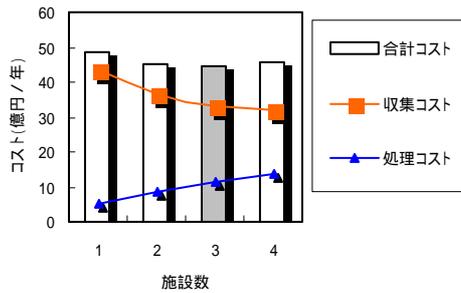


Fig.5 施設数の違いによるコストの結果

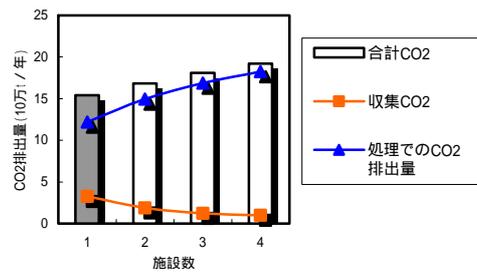


Fig.6 コスト最小時の施設数の違いによる二酸化炭素の結果

4.2 RDF 化施設と焼却施設

RDF 化施設の場合は、Fig.7 のようなフローになり、まずは RDF 化施設の配置について最適化、次に 焼却施設の配置についての最適化を行い、合計コストを算出した。施設数 p を 1~6、で変化させ同様にコスト最小化シミュレーションを行った。その結果、RDF 化施設は 3 施設の場合がコスト最小となった。その 3 施設の配置で焼却施設の配置について最適化を行った結果、焼却施設は 2 施設の場合に総合コストが最小となった。この時の総合コストは、62 億 2 千万円となり、各処理施設の位置と処理量を Fig.10 に示す。

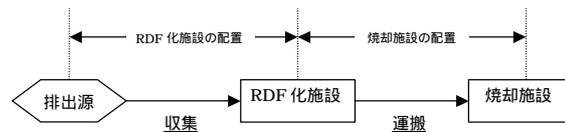


Fig.7 RDF 化施設の場合のフロー図

4.3 堆肥化施設と RDF 化施設と焼却施設

堆肥化を導入した場合は、Fig.8 のように厨芥を堆肥化し、その他を RDF 化して処理する。収集は、厨芥は週 1 回の収集とし、残りは週 2 回の収集とする。結果は、58 億 5 千万円となり、各処理施設の位置と処理量を Fig.11 に示す。

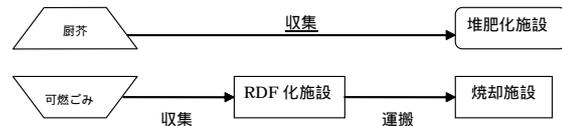


Fig.8 堆肥化と RDF 施設の場合のフロー図

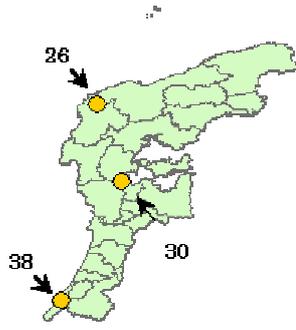


Fig.9 焼却施設のみ

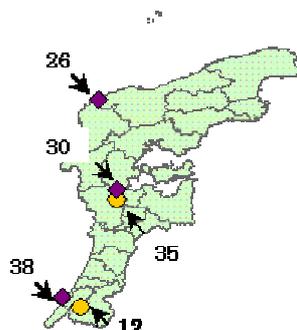


Fig.10 RDF 化施設と焼却施設

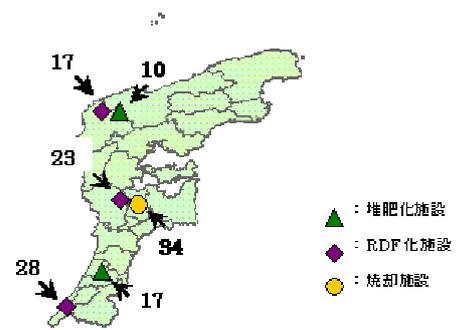


Fig.11 堆肥化施設と RDF 化施設と焼却施設

5. まとめ

5.1 各処理施設のコスト最適化結果

以上のように、焼却施設、焼却施設 + RDF施設、焼却施設 + RDF施設 + 堆肥化施設、に分けて、コスト最小を目的に分析を行った。コストとCO₂の結果をFig.12、 Fig.13 に示す。

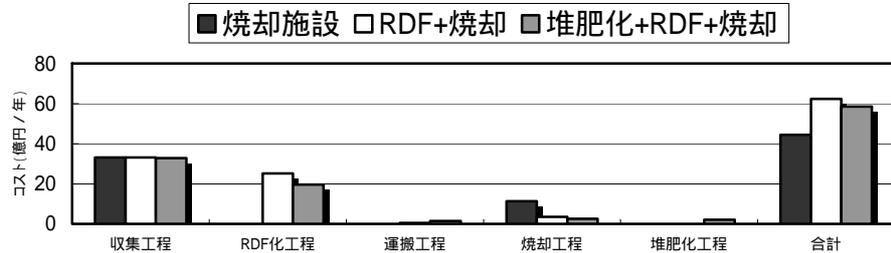


Fig.12 コスト

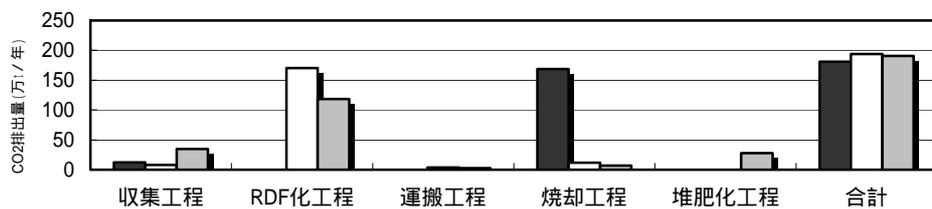


Fig.13 CO₂排出量

コストは、収集工程とRDF化施設でのコストが大きく寄与している。RDF化施設の処理コストが焼却施設に比べて高いため、合計コストが最小なのは焼却施設となった。堆肥化施設とRDF化施設の組み合わせでは堆肥化の処理コストが安いことと、分別収集をすることで厨芥が減り、RDF化施設へのエネルギー投入を少なくすることができるので、RDF化施設のみよりも削減できることがわかった。CO₂排出量に関しては、処理工程での排出量が大きく寄与している。CO₂排出量が最小なのは焼却施設のみの場合である。また堆肥化施設のCO₂排出量が少ないため、CO₂排出量の場合も分別収集を行うほうがRDF化施設のみの場合よりもCO₂を削減できる結果となった。

5.2 建設可能地域の変化による影響

Fig.14 に結果を示す。建設可能範囲が広がることで、合計コストが減少している。また人口密度が少ないところの変化は激しいが、人口密度がある程度達すると変化が緩やかになっている。

5.3 今後の予定

今後は産業廃棄物など他の廃棄物に関しても考慮したい。産業廃棄物と一般廃棄物の区別をなくすことで、より効率的な廃棄物処理を行えることが期待できる。

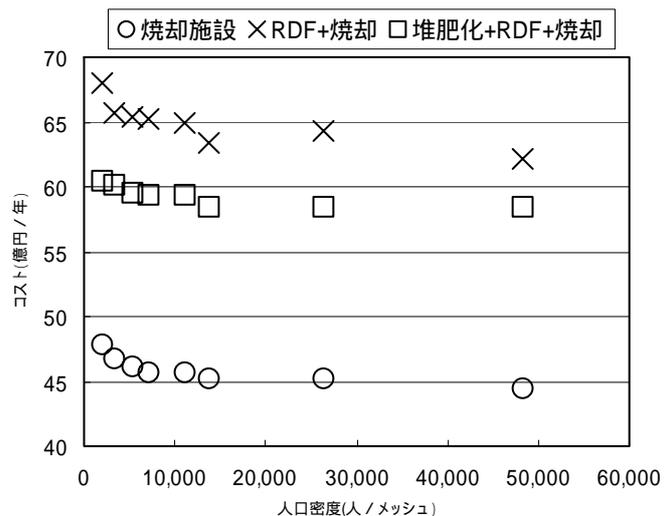


Fig.14 人口密度とコストの関係

参考文献

1) シンポジウム資料「地域のバイオマス利活用推進に向けたチャレンジ」農林水産バイオリサイクル研究「施設・システム化チーム」主催, 2004年10月