

## 廃棄物処理等科学研究費補助金 総合研究報告書概要版

- 研究課題名=一般廃棄物処理システムにおける環境負荷・経済性の実効性評価手法に関する研究
- 研究番号=K1859,K1960,K2030
- 国庫補助金精算所要額（円）=17,340,000（複数年度の総計）
- 研究期間（西暦）=2006-2008
- 代表研究者名=小野田弘士（早稲田大学環境総合研究センター）
- 共同研究者名=永田勝也（早稲田大学環境総合研究センター）、切川卓也（早稲田大学理工学研究科）、堤恵美子（特定非営利法人循環型経済社会推進機構）、狩谷順二（特定非営利法人循環型経済社会推進機構）、加賀山保一（特定非営利法人循環型経済社会推進機構）、小林均（エックス都市研究所）、河井鉦輔（エックス都市研究所）
- 研究目的=一般廃棄物処理システムにおけるコスト縮減方策の実効性評価と 3R・エネルギー回収・適正処理・環境負荷低減効果の検証を可能とする評価ツールとして「BAS 評価手法」の実用化を図る。
  - 環境負荷・経済の両面から一般廃棄物処理システムの広域化・バイオマス促進等の実効性評価が可能な「BAS 評価ソフト」を実用化すること。
  - 焼却/溶融やバイオマスの有効利用等、都市規模・地域特性に応じた一般廃棄物処理システムのベストミックスのあり方および適用条件整理等を検討すること。
  - 千葉県や三重県等におけるケーススタディによる実効性評価を通じて評価ソフトの有効性を検証すること。
  - 環境省のガイドラインと適合した手法として開発することを前提とし、市町村等の廃棄物マネジメントや広域化計画における最適化処理システムの提案を支援することを目的とした本評価ソフトの活用方策の検討およびその具体的方法論を提示すること。
- 研究方法=上記の目的を達成するために、研究期間内に以下の検討を行った。
  - 一般廃棄物処理システムの環境負荷・経済性の実効性評価ツールの開発  
環境・経済の両側面から一般廃棄物処理システムの Best Available System (BAS)を提案する評価手法（以下、「BAS 評価手法」という）の高度化を図る。BAS 評価手法は、収集・回収－中間処理－輸送－最終利用・最終処分の一連の廃棄物処理・リサイクルシステムを LCA (Life Cycle Assessment)、LCC (Life Cycle Costing) の観点から包括的に評価する手法である。筆者らが「OSTEC (大阪科学技術センター) 廃棄物処理技術 LCA 研究会」の協力を得て集約した一般廃棄物処理システムの LCA、LCC に関するデータベースを結集し、環境負荷・経済性の実効性評価が可能な評価ソフトのプロトタイプを開発した。環境負荷の算出に関わるデータベースの見直しとともに、評価ソフトのパッケージ化を行った。BAS ソフトの一般廃棄物処理システム全体の評価を ELP に加え、「廃棄物からの資源回収率」、「埋立処分される割合」等の個別指標での評価機能を追加した。また、BAS 評価ソフトの評価項目は環境省「一般廃棄物処理システムの指針（平成 19 年 6 月）」との整合性を項目別に比較し、対応状況及び対応の可能性について検討した。
  - 千葉県をモデルとしたケーススタディの実施に向けた検討  
一般廃棄物処理システムの BAS を検討するにあたって、その都市規模・地域特性を考慮する必要がある。そこで、千葉県をモデルとした焼却/溶融とバイオマスの有効利用のベストミックスや広域化・民営化等のコスト縮減方策の適用可能性を検討する。これらに、BAS 評価によるケーススタディを実践し、コスト縮減方策の実効性評価と 3R・エネルギー回収・適正処理効果の検証を行う。

### 3) 千葉県をモデルとした収集運搬システムの比較分析

静脈物流の重要な一環である収集運搬システムは、環境負荷の観点では一般廃棄物処理システム全体 ELP の 5%程度とさほど支配的ではないが、コスト面では 40%程度を占め大きな影響を与えることが従来の研究より明らかとなっている。市町村における循環型社会づくりに向けた最適な一般廃棄物処理システムを構築するためには環境負荷面とコスト面のバランスをとることも重要だと考え、一般廃棄物処理システム指針に沿って、同指針に含まれていない収集運搬システムを評価する指標を設定し、千葉県市川市、船橋市、松戸市を例にとった比較分析を行い、収集運搬システムの比較検討モデルの構築を図った。さらにモデルの評価範囲を拡大し、千葉県全域の収集運搬に係る情報を整理し、各自治体の分別収集区分ごとに「一般廃棄物処理システムの指針」に沿った類型化を行い、3市で広域化した場合の検討との比較を行う。

### 4) BAS 実現に向けての課題の検討

一般廃棄物処理事業において自治体の抱えている課題とその対応状況を整理した。ここで、BAS 活用にあたっては、そうした実情を踏まえて客観的かつ科学的な根拠を与える計画ツールとなりうるようなものに仕上げるための検討を行った。

- ・ 結果と考察=以下、研究成果について述べる。

#### 1) 一般廃棄物処理システムの環境負荷・経済性の実行性評価ツールの開発

BAS 評価手法は、収集・回収－中間処理－輸送－最終利用・最終処分の一連の廃棄物処理・リサイクルシステムを TLCA (Technology Life Cycle Assessment)、LCC (Life Cycle Costing) を統合した包括的な CLCA (Comprehensive Life Cycle Assessment) によって評価する手法である (図 1)。こうした考え方にに基づき、自治体関係者等が一般廃棄物処理システムの現状把握や改善を検討するにあたって活用できる環境負荷・経済性の実効性評価ツールとして、以下の特長を有する BAS ソフトを開発した。

- ・ LCA・LCC の観点から収集・回収から最終利用・最終処分まで一連の一般廃棄物処理システムを評価範囲としていること。
- ・ 評価の基盤となる焼却・溶融等の環境負荷データ (処理規模に応じた投入/排出量、発電効率等) が、プラントメーカーの設計・計画値に基づきデータベース化されていること。
- ・ 上記の観点から、評価シナリオごとのリサイクル率、エネルギー回収、最終処分等に関する指標が算出可能であること。
- ・ さらに、筆者らが開発した環境負荷統合化指標 ELP (Environmental Load Point) を適用することでより総合的な評価・考察が可能としていること。

統合化指標 ELP は、9つのインパクトカテゴリー (エネルギー枯渇、地球温暖化、オゾン層破壊、酸性雨等) を評価対象として設定し (表 1)、環境への影響を改善する優先順位を、アンケート調査を基に相対的に決定するアンケート法 (Panel Method) によって統合化する手法である (図 2)。

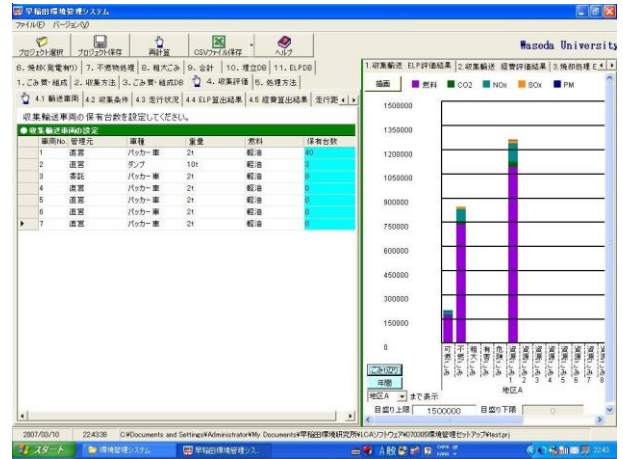
BAS 評価ソフトは、現状の一般廃棄物処理システムに対応したごみ質の設定、分別・収集区分の設定を行った上で、中間処理、最終処分・リサイクルの評価を行う流れとなっている。ELP 算出の過程で個別の投入・排出量の集計を行っているため、一般廃棄物処理システム全体の評価を ELP に加え、「廃棄物からの資源回収率」、「埋立処分される割合」等の個別指標での評価機能を追加した。このことにより、本ソフトのケーススタディ機能を用いることで、各個別指標における市町村間の比較も容易に行うことが可能である。

また、環境省が提示した「一般廃棄物処理システムの指針」と本ソフトの整合性について検討した。指針が定める指針の適用範囲と、評価指標の一覧と、各事項に対し、BAS ソフトでの対応状況および対応可否を表 2 に示す。適用範囲については、環境省の定める範囲は本ソフトでは網羅していることを確認した。評価指標については、計算課程で資源回収率や最終処分量などのデータは存在するため、概ね対応済みである。ただし、温室効果ガスの算定方法については、これまで ELP 算出のための CO<sub>2</sub> 算定方法と、環境省の定める算定方法とで異なる部分がある。そこで、現状の ELP 算出過程における温室効果ガス計上項目と、環境省が定める計上項目との比較を行った。

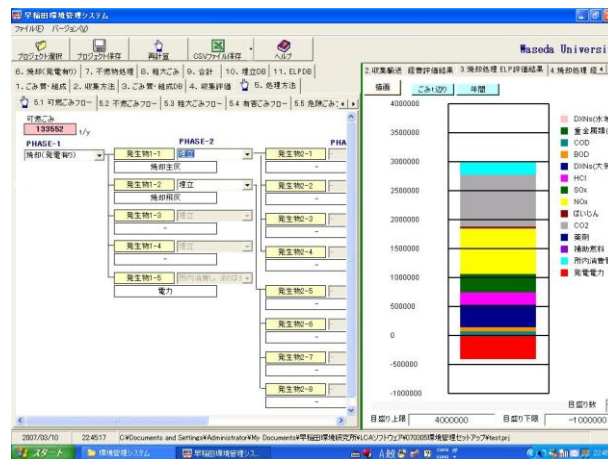




(a) 分別・収集区分の設定



(b) 収集の評価画面



(c) 処理技術の評価画面

図3 BAS評価ソフトの画面例

表2 BASソフトの環境省指針への対応状況

項目	環境省指針	対応可否	備考
適用範囲	市町村が自らの事務として行うもの	○	—
	委託により行うもの	○	—
	許可業者に行わせるもの	○	—
	法施行規則第2条第2号又は第2条の3第2号に規定する者に行わせるもの	○	—
	市町村が何らかの関与を行って実施されている集団回収	○	—
	※家り法における処理については適用外	—	家り法については、BASソフトでも現在は評価できていない。
	※容リ協会によって引き取られるものの再商品化については適用外	—	廃プラのリサイクルにおける工程の評価は、処理によっては可能。
評価指標	人口一人一日当たりごみ総排出量	○	対応可能
	廃棄物からの資源回収率	○	対応済み
	廃棄物からのエネルギー回収量	○	対応済み
	廃棄物のうち最終処分される割合	○	対応済み
	廃棄物処理に伴う温室効果ガスの人口一人一日当たりの排出量	△	対応済み(廃棄物における温室効果ガスの算定方法について要検討)
	住民満足度	×	—
	人口一人当たり年間処理経費	△	費用の算定方法について要検討
	資源回収に要する費用	△	費用の算定方法について要検討
	エネルギー回収に要する費用	△	費用の算定方法について要検討
最終処分減量に要する費用	△	費用の算定方法について要検討	
その他、自治体独自の評価項目	○	統合化指標 ELP によるアウトプットが可能	

○:容易にソフトへの実装が可能 △:ソフトへの実装前の検討が必要 ×:実装させる予定無し

2) 千葉県をモデルとしたケーススタディの実施に向けた検討

一般廃棄物処理システムの BAS を検討するにあたって、その都市規模・地域特性を考慮する必要がある。そこで、千葉県市川市とその近隣の船橋市、松戸市をモデルとした焼却/溶融とバイオマスの有効利用のベストミックスや広域化等のコスト縮減方策の可能性を検討することとした。これらに、BAS ソフトを用いたケーススタディを実践し、コスト縮減方策の実効性評価と 3R・エネルギー回収・適正処理効果の検証を行った。

収集体系の変更による効率化といった方策も重要であり、BAS ソフトのデータベースを用い、図 4 に示す CASE でケーススタディを行うこととした。各 CASE の ELP と経費の算出結果を図 5 に示す。CASE1 から経費 1 億円増加あたりの ELP の削減値としては CASE5 が最も高い結果となった (図 5)。また、評価結果について、各 CASE における効果について ELP、コストのみならず資源化量、エネルギー回収量、CO<sub>2</sub> 排出量、最終処分量といった個別指標についても評価可能であり、各シナリオを相対評価し比較を行った。

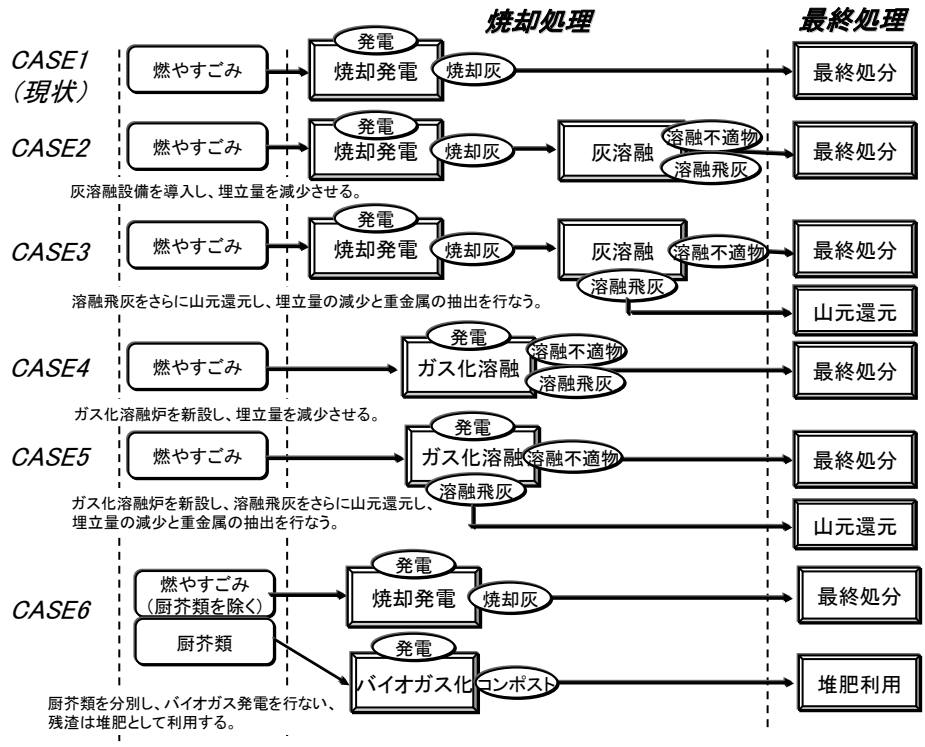


図 4 各 CASE のシナリオ

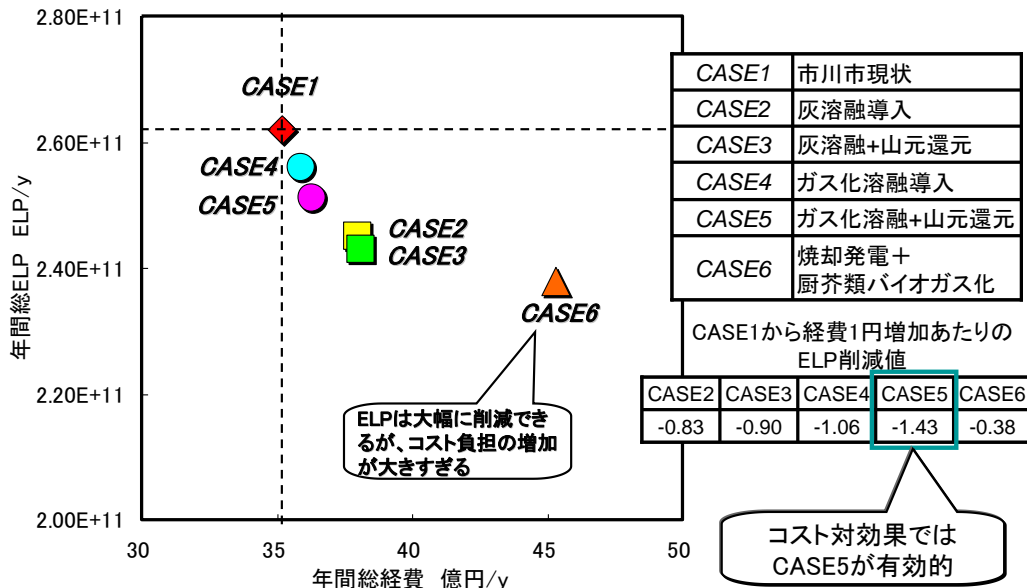


図 5 各 CASE の経費と ELP の関係 (市川市)

また、一般廃棄物処理システムの BAS を検討するにあたって、その都市規模・地域特性を考慮する必要がある。千葉県全域を対象とした広域化対応システムについて考察した。

千葉県全域における広域化の検討として、処理施設における稼働率と負荷率の関係に注目した。それより、稼働率では、60%から 80%の処理施設が多く、負荷率でみると 50%以下の処理能力にまだ余裕のある施設がいくつかあることがわかった。これより、千葉県を北西部、北東部、南部と 3 ブロックに分け、負荷率の低い処理施設の統合や廃止の検討を行った。その結果、収集から最終処理までの合計値より、全ての地域で環境負荷、経費ともに減少しているのがわかる。また、さらに灰溶融を追加し、山元還元をする CASE を加えると、全地域で環境負荷が若干、減少し、経費が若干増加することがわかる。これは、主に山元還元が要因であり、環境負荷の削減効果と埋立の処理より経費がかかるためである。

次に、収集回収を広域的に行い、焼却施設を統合する CASE について検討を行った。評価対象は千葉県北西部の 5 市とした。現状の処理体系を CASE0 とする。CASE1 を 4 カ所に 280[t/d]を 2 炉ずつ設置するという条件とした。CASE2 は 3 カ所に 370 を 2 炉ずつの条件とした。CASE3 はこの地域に 740 × 3 炉の一つの施設だけとし、新たに鎌ヶ谷市中沢付近に焼却施設を設置した CASE である。その結果、広域化をするに従って、収集輸送は走行距離が延び、環境負荷、経費はともに増加することがわかった。一方で、焼却施設については、広域化に処理規模が大きくなるに従って、環境負荷、費用ともに減少することがわかる。収集輸送と焼却処理を横軸に経費、縦軸に ELP をとったグラフに示す。これより、今回の CASE では最も広域化を行った CASE3 が、環境負荷、経費ともに減少することがわかる。

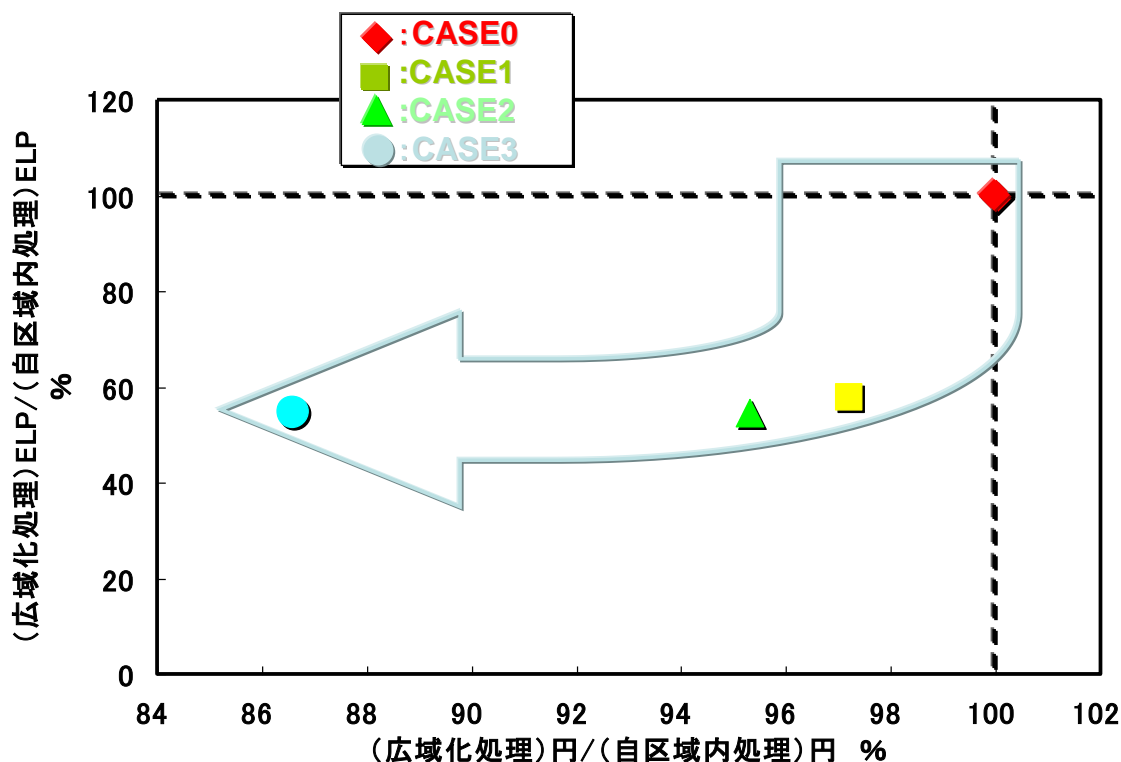


図6 各ケースの環境負荷と経費の関係

### 3) 千葉県をモデルとした収集運搬システムの比較分析

収集運搬システムは、住民が家庭系ごみを排出するステーションと施設（中間処理施設、最終処分場）間の“輸送”等を含み、重要な静脈物流と言える。一般廃棄物処理システムにおける収集運搬システムの影響度合いは、環境負荷の観点では全 ELP の 5%程度とさほど支配的ではないが、コスト面では 40%程度を占め大きな影響を与える。市町村における循環型社会づくりに向けた最適な一般廃棄物処理システムを構築するためには環境負荷面とコスト面のバランスをとることも重要と考える。

昨年度は、一般廃棄物処理システム指針に沿って、同指針に含まれていない収集運搬システムを評価する指標を設定し、千葉県市川市、船橋市、松戸市を例にとった比較分析を行い、収集運搬システムの

比較検討を行った。その結果、収集運搬システムのレーダーチャート上に、市川、船橋、松戸 3 市それぞれの特徴が明瞭に表現される。作成した収集運搬システムの比較検討モデルは、それぞれの市町村の収集運搬システムの改善を検討する上で大いに参考になるものである。また、廃棄物処理（収集運搬・処分）全体を集約した BAS の評価を可能とする。このモデルは更に多くの市町村のデータを追加することで信頼性の高いモデルを目指し、本年度は千葉県全域を対象を広げた。ただし、データの不足もあるので、以下に考え方と調査結果の抜粋を示す。

#### a. 類型の考え方

類型Ⅰは紙製容器包装とプラスチック製容器包装のどちらも収集していない場合

類型Ⅱは紙製容器包装とプラスチック製容器包装の一方か両方を収集している場合

#### b. 対象とした市町村

組合が収集に関与している市町村は検討の対象から除外し、独自で生活系一般廃棄物を収集している市町村のみを対象とした。

このうち、

類型Ⅰに該当する市町村・・・18（うち、産総研のアンケート結果が手元にある市町村：11）

類型Ⅱに該当する市町村・・・16（うち、産総研のアンケート結果が手元にある市町村：12）

よって、計 23 市町村のデータを用いてレーダーチャートを作成した。

#### c. 地域区分について

レーダーチャートの複雑化を回避するため、千葉県の広域ブロック化に基づき 3 つのブロック（北西部、北東部、南部）分けを行った。成果物としては、類型Ⅰ・Ⅱにつき、2～5 市町村をカバーする 3 ブロック毎、合計 6 つのレーダーチャートを作成した（2 類型×3 ブロック＝6 レーダーチャート）。なお、各レーダーチャートの評価指数基準値は類型内の平均値を基準値としている。

#### d. 評価項目について

評価項目は平成 19 年度業務と同様、①廃棄物の発生量、②温室効果ガスの排出量、③ステーション数、④総経費、⑤燃料費、⑥人件費、⑦車両台数、⑧稼働人数の計 8 項目としている。うち、②温室効果ガスの排出量、④総経費、並びに⑤燃料費については、BAS データベースより算出した。産総研アンケート結果において空欄となっているデータについては、BAS データベースから関連数値が算出できないため、つぎのように対応した。

○燃料が不明 → すべて軽油と仮定

○走行距離等が不明 → グリッドシティモデルを用いてシミュレートした数値を適用

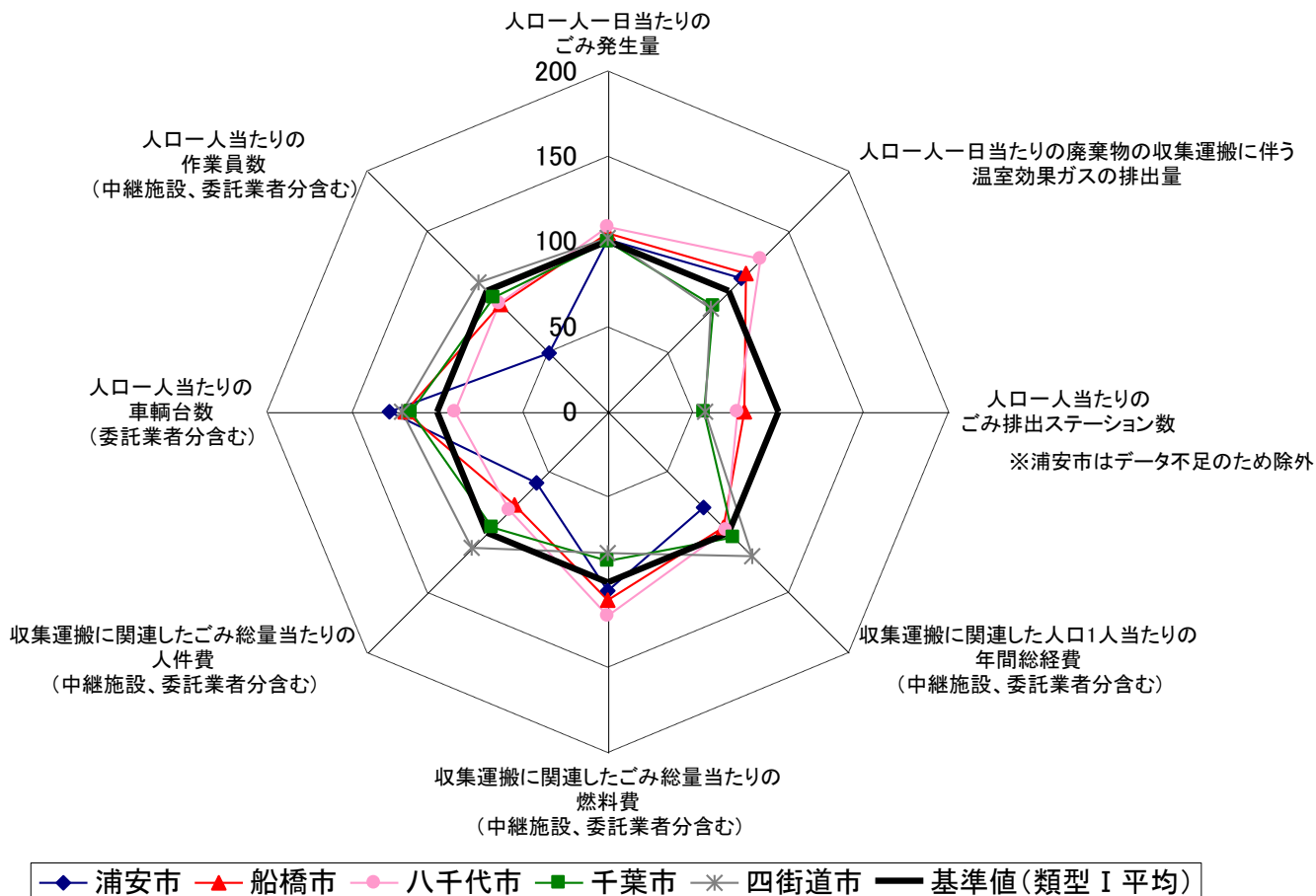


図7 類型I・北西部における収集運搬システムのレーダーチャート

4) BASの実現に向けての課題

自治体では、下表の課題と対応の内容に示すような課題を抱えている。そのため、BAS活用にあたっては、そうした実情を踏まえて客観的かつ科学的な根拠を与える計画ツールとなりうるようなものに仕上げる必要がある。

具体的には、市町村合併による焼却施設等の廃棄物処理施設の再編成（過剰分の合理化含む）の急務や、3R対応の必要性に加えて、市町村の財政効率化に対する社会的要請、地球温暖化対策や地域循環圏構築、資源戦略など新たな環境命題への対応など様々な課題への対応が必要となっている。

表3 一般廃棄物処理事業の背景

自治体の抱える課題	自治体における対応の内容
・3Rへの対応	・発生抑制対策、リサイクル事業の強化、処理システムの効率的・合理的な選択
・市町村合併による施設数・規模の調整	・非効率を解消するための、エリア内の施設規模等を再検討・計画の見直し
・自治体財政の逼迫化	・PFI事業及び官民共同事業として長期包括的運営の導入など、民間活用も含めた継続的な取組強化が求められている。
・ダイオキシン削減対策の施設補修後7年以上計画している施設	・合理的な更新計画の追求
・CO <sub>2</sub> 削減	・廃棄物処理施設における地球温暖化対策の強化
・未規制物質の排出規制強化	・排ガス高度処理等への対応



一般廃棄物処理事業は、図 8 に示すように、自治体に処理責任があるが、処理主体は、財政効率化を踏まえて、近年、民間活力の利用などが進められてきた。しかし、実際には、事業リスクの移転や、民間事業の事業性や、許認可取得のハードルなどを巡り、PFI や、長期運営委託の実績が伸び悩む状況が生じつつあるといわれている。

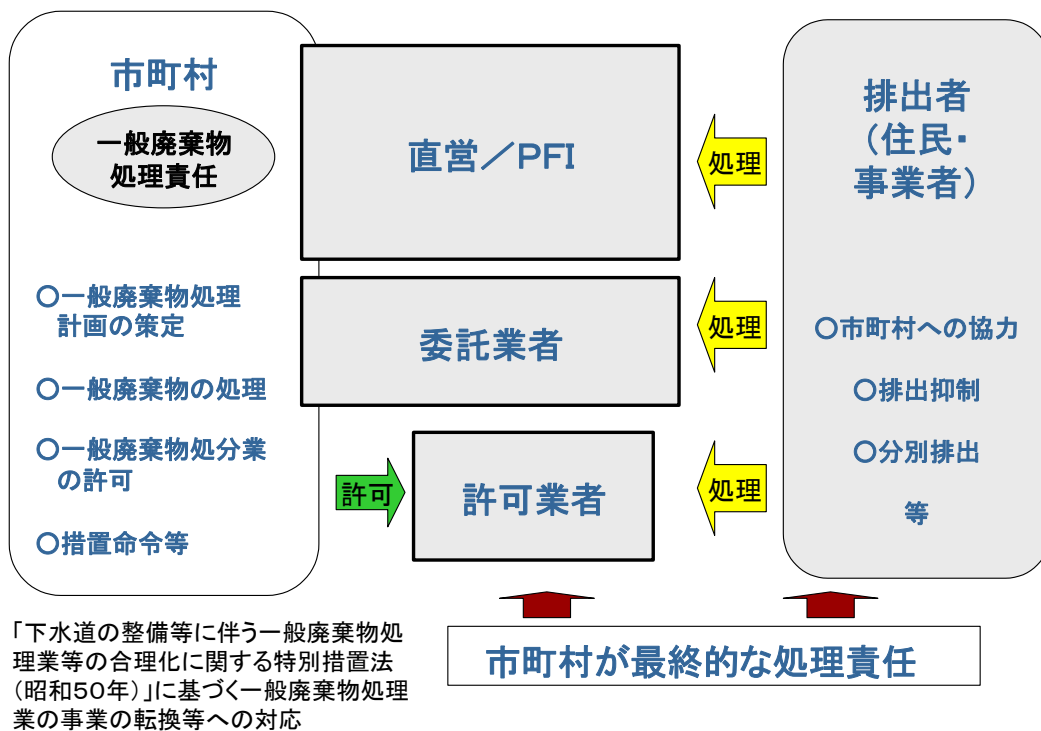


図 8 ごみ処理事業の計画責任の状況

民間による事業化に向けては、下図のように許認可等必要課題が多く、行政との連携が必須条件となっている。

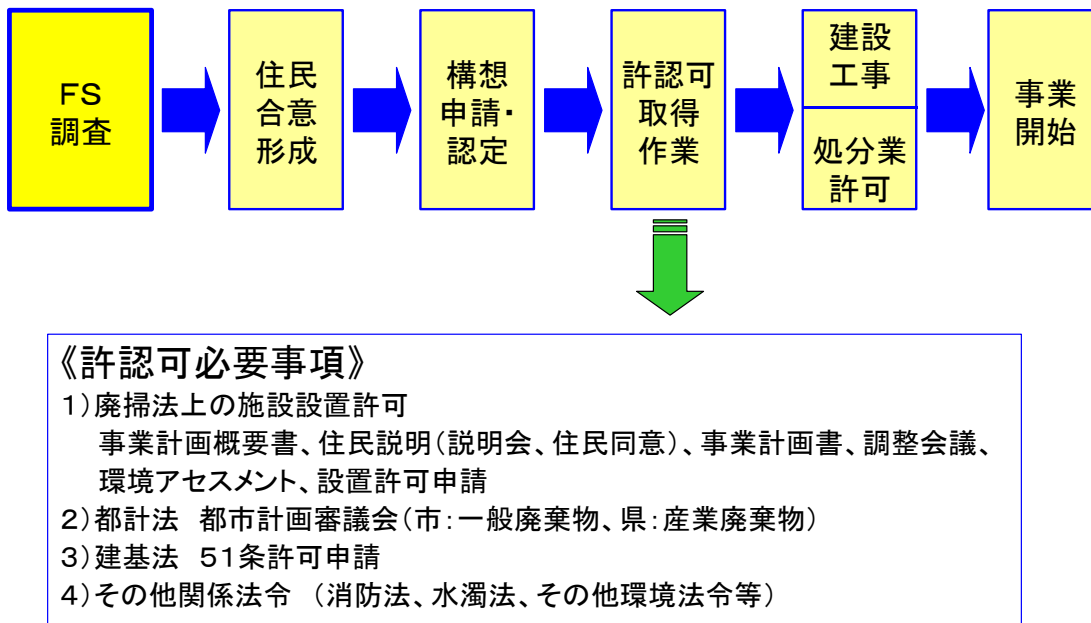


図 9 事業計画における許認可等必要事項

今後に向けては、行政、事業者、市民が連携の上で、BAS システムを用いた計画シミュレーションを行い、客観的かつ科学的な論拠を取り上げた上で、自治体・事業者が連携の上で、設備 (用地含む)・人材・ノウハウを相互に活用し、当該地域にとって、効率的・合理的なりサイクルシステムの形成を目指して、官民連携による循環型社会構築モデルを推進することが必要となっている。

・ 結論=以下に本研究を通じて得られた結論を要約して示す。

1) 一般廃棄物処理システムの環境負荷・経済性の実行性評価ツールの開発

一般廃棄物処理システムの環境負荷・経済性の実効性評価ツールとしての BAS 評価ソフトを開発した。BAS 評価ソフトは LCA・LCC の観点から収集・回収から最終利用・最終処分まで一連の一般廃棄物処理システムを評価範囲としていること、評価の基盤となる焼却・溶融等の環境負荷データ（処理規模に応じた投入/排出量、発電効率等）が、プラントメーカーの設計・計画値に基づきデータベース化されていること等の特長を有している。また、BAS 評価ソフトの評価項目は環境省「一般廃棄物処理システムの指針（平成 19 年 6 月）」との整合性を項目別に比較し、対応状況及び対応の可能性について検討した。

2) 千葉県をモデルとしたケーススタディの実施に向けた検討

千葉縣市川市とその近隣の船橋市、松戸市をモデルとして、処理現状のごみ収集・回収、中間処理、資源化、最終処分の各工程及び処理システム全体の LCA 評価を実施した結果、環境負荷を低減させるには、ごみの排出量を低減させることが最も効果的であることが確認できた。

千葉県全域を対象とした広域化対応システムについて考察した結果、収集から最終処理までの合計値より、全ての地域で環境負荷、経費ともに減少しているのがわかる。広域化するに従って、収集輸送は走行距離が延び、環境負荷、経費はともに増加することがわかった。一方で、焼却施設については、広域化に処理規模が大きくなるに従って、環境負荷、費用ともに減少することがわかった。

3) 千葉県をモデルとした収集運搬システムの比較分析

一般廃棄物処理システム指針に沿って、同指針に含まれていない収集運搬システムを評価する指標を設定し、千葉縣市川市、船橋市、松戸市を例にとった比較分析を行い、収集運搬システムの比較検討モデルの構築を行い、さらに千葉県全域を対象を広げ、多くの市町村のデータを追加することでモデルの高度化を図った。それぞれの市町村の収集運搬システムの改善を検討する上で大いに参考になる。

4) BAS の実現に向けての課題

一般廃棄物処理事業において自治体の抱えている課題とその対応状況を整理した。ここで、BAS 活用にあたっては、そうした実情を踏まえて客観的かつ科学的な根拠を与える計画ツールとなりうるようなものに仕上げるための検討を行った。

## 英語概要

- ・ 研究課題名 = 「A Study on Best Available System Assessment Method based on LCA and LCC for Waste Management System」
- ・ 研究代表者名及び所属 = Hiroshi ONODA (Waseda University)
- ・ 共同研究者名及び所属 = Katsuya NAGATA, Takuya KIRIKAWA (Waseda University), Emiko Tsutumi, Junji KARIYA (Organization for the Promotion of Sustainable Society), Hitoshi KOBAYASHI, Naohisa YAMAGUCHI (EX CORPORATION Urban & Environment Planning, Research and Consulting)
- ・ 要旨 (200 語以内) = This report describes about the development and practice of “Best Available System Assessment Method” based on LCA (Life Cycle Assessment) and LCC (Life Cycle Costing) for waste management system. The “BAS software” is developed as a supporting tool which can provide a quantitative index about LCA and LCC for investigating the improvement of waste management system. We did a case study practice to realize the effectiveness of the BAS software based on the actual condition of model cities in Chiba prefecture and extended the scope of evaluation to the entire prefecture. We also made an evaluation of waste collection and conveyance system among three neighboring cities and did a comparison on the result. And the problems of realization of BAS system are discussed.
- ・ キーワード (5 語以内) = Waste Management System, LCA, LCC, BAS (Best Available System)