

生ごみと下水汚泥の同時嫌気性消化システムの LCA による評価

廃棄物・有害物管理工学研究室 渡辺 勇
指導教官 小松俊哉、姫野修司、藤田昌一

1. はじめに

我が国では、生ごみをはじめとする有機性廃棄物のほとんどが焼却処理されてきたが、焼却にともなうダイオキシン発生や最終処分場の逼迫等の問題から、新しいリサイクルシステムが摸索されている。さらに、最近になってバイオマスの利活用の推進をはかる法整備も進められ、容器包装リサイクル法施行後、可燃ごみ中の生ごみの割合が増加していることなどから生ごみ処理への期待が高まっている。その中でも、メタン発酵処理はエネルギー回収、発酵物肥料価値の向上が高く評価され、循環型処理技術として注目されている。しかし、メタン発酵処理施設はまだ普及率が低いために建設コストが焼却施設に比べ割高とされており、生ごみ単独では微生物の栄養バランスの問題でメタン発酵が困難と考えられる。それに対して、下水処理場は下水道普及率の上昇とともに増加しており、全国各地に存在する。そこで、生ごみを単独でメタン発酵する問題点を既存の下水処理施設を利用することで解決し、生ごみを分別処理することで可燃ごみの焼却効率を上げ、生ごみの有効利用にもなる生ごみと下水汚泥の同時嫌気性消化システムは小松ら¹⁾によって有効性が確認されている。これまでに、生ごみ単独のメタン発酵や下水処理システムに関する LCA の研究例はあるが同時嫌気性消化システムを対象とした LCA の研究はない。また、LCA においてもコスト、エネルギー消費量を扱った研究が多く、環境影響評価を行った研究は少ない。そこで本研究では、同時嫌気性消化処理システムを LCA 手法によって、コストおよび環境負荷の面から定量化（インベントリー分析）し、さらに重み付け手法を用いて環境影響の統合評価を試み、生ごみと下水汚泥の同時嫌気性消化システムの有効性を検討した。

2. 検討条件

2.1 シナリオと評価範囲

本研究では例として人口 20 万人の都市を想定した。図 1 に示す 5 種類のシナリオを設定して、ごみの収集から処理施設の建設、運転、最終処分までを評価範囲とした。なお、同時嫌気性消化シナリオ（2、3、4、5）についても可燃ごみの焼却を含んでいる。対象とするごみの素材割合は文献²⁾から容器包装以外とし、可燃ごみ 119t/日（生ごみ 46t/日）の排出量とする。

従来の LCA では原単位整備の問題から評価項目をコスト、エネルギー消費量、CO₂ 排出量に限られてきたが、本研究では環境負荷として酸性化物質（SO_x、NO_x）排出量、埋立地消費量、有害物質（ダイオキシン類、重金属類）排出量の定量化も試みた。これらの環境負荷項目の選択根拠は同時嫌気性消化システムによって効率的なエネルギー回収が行えることが期待できるためにエネルギー消費量、CO₂ 排出量、酸性化物質を選択した。また、我が国では、埋立地逼迫が深刻な問題となっているために埋立地消費量を選択した。そして、ダイオキシンの基準値が平成 14 年 12 月から施行されるなど、焼却によるダイオキシン類排出が懸念されていることや生ごみを嫌気性消化することによるダイオキシン排出抑制が期待できると考え、ダイオキシン類を選択した。重金属類については消化汚泥を堆肥化して使用する際に重金属類の農地への排出が懸念されることから重金属類の人間への毒性を考慮する必要があると考えた。なお、比較する対象は可燃ごみ 1t の処理とした。

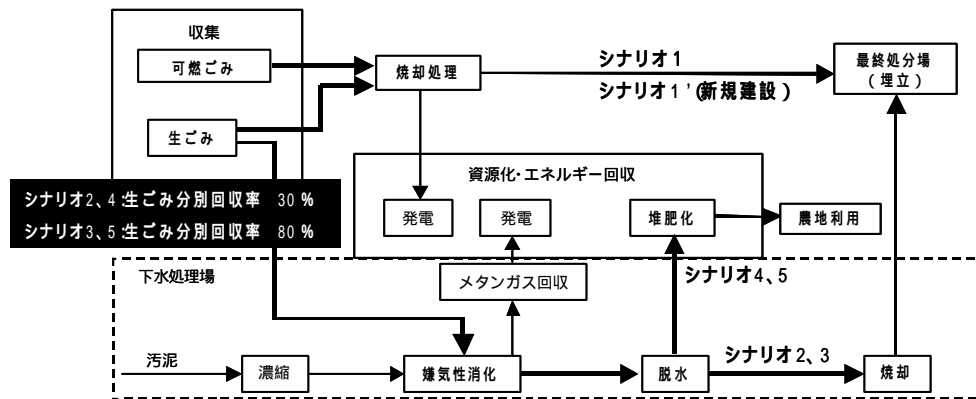


図 1 評価対象とした各シナリオのシステムフロー

2.2 各プロセスの検討条件

2.2.1 収集、搬出

全量焼却するシナリオ 1、1' では平均的な週 3 回収集することとした。生ごみを 30%回収するシナリオ 2、4 は週 1 回生ごみだけを回収し、2 回は混合ごみを収集することとした。生ごみを 80%回収するシナリオ 3、5 は週 2 回生ごみだけを回収し、週 1 回混合ごみを収集することとした。80%という設定は住民が全面的に協力した場合に 80% とう値も可能であると考えた。収集には 2 tパッカー車（ディーゼルエンジン、燃費 0.2 L/km）を用いると想定し、搬出車として、8t ダンプ車（ディーゼルエンジン、燃費 0.35 L/km）を用いることを想定した。走行距離については平均的な都市として、焼却施設、下水処理場、堆肥化施設は隣接するものとして収集場所から 10 km、埋立地、堆肥売却施設はそれらから 15km 離れていると設定した。

2.2.2 焼却

ストーカ炉を 2 基とし、ボイラによる発電で電力回収を行うものとする。ごみ中炭素分の 95 %が燃焼され CO₂ として排出されるとした。焼却残渣の HCl、SO_x 除去には消石灰を用いるものとし、集塵灰は重油を使用した熔融固化処理とした。

2.2.3 同時嫌気性消化

既存の下水処理場に増設するメタン発酵施設は汚泥再生処理センター（上越市）に採用されているメビウスシステム（湿式（固形物濃度 10～15%）高温発酵（発酵温度 55℃）³）を想定し、生ごみ破碎分別装置、発酵槽、ガスホルダー、自家発電機等を増設するものとする。回収したバイオガスはガスエンジンにより発電して 170kWh/生ごみ - ton^{4)~6)}の電力が得られるとした。また、生ごみの有機物分解率は 50%とした。

2.2.4 堆肥化

消化汚泥の脱水後の含水率を 75%、C/N 比 7.5 と設定した。堆肥化施設設計要領の投入汚泥含水率 65%、C/N 比 20 以下に適合するために、もみがらを添加物として水分調整を行うものとする。発酵槽の形式は横型式とし、脱臭方式は土壌脱臭とする。生産された堆肥は複合肥料を代替するものとした。

2.2.5 埋立

埋立地の使用年数を 10 年、使用終了後の浸出水処理年数を 10 年と設定し、埋立機材はブルドーザーを使用する。ごみに対する覆土割合は 0.2 とした。また、埋立地で発生する CH₄ は微量であるため、特性化係数によって CO₂ 等量に換算して CO₂ 排出量に含めた。

3 . コストおよび環境負荷（エネルギー消費量、CO₂・SO_x・NO_x 排出量）の算出方法

各プロセスの建設、運用段階のコストおよび環境負荷（エネルギー消費量、CO₂・SO_x・NO_x 排出量）の算出に用いた各種原単位を表 1 に示す。これらは文献^{7)~9)}の値を採用した。重油使用にともなう SO_x、NO_x排出量については施設からの排ガス量と排ガス処理後の濃度から算出した。

表 1 本研究で用いた原単位

| 項目 | コスト | 単位 | エネルギー | 単位 | CO ₂ | 単位 | SO _x | 単位 | NO _x | 単位 |
|-------------|--------|------------------|-------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| 電力 | 20 | 円/kWh | 2.25 | Mcal/kWh | 0.129 | kg-C/kWh | 0.39 | g-SO ₂ /kWh | 0.62 | g-NO ₂ /kWh |
| A重油 | 34 | 円/l | 9.3 | Mcal/l | 0.705 | kg-C/l | 8.57 | g-SO ₂ /l | 1.45 | g-NO ₂ /l |
| 軽油 | 57 | 円/l | 9.2 | Mcal/l | 0.74 | kg-C/l | 0.95 | g-SO ₂ /l | 4.74 | g-NO ₂ /l |
| 苛性ソーダ | 70800 | 円/t | 2348 | Mcal/t | 150 | kg-C/t | 837 | g-SO ₂ /t | 649 | g-NO ₂ /t |
| 硫酸 | 23800 | 円/t | 476 | Mcal/t | 28 | kg-C/t | 170 | g-SO ₂ /t | 131 | g-NO ₂ /t |
| 次亜塩素酸ソーダ | 266700 | 円/t | 899 | Mcal/t | 52 | kg-C/t | 320 | g-SO ₂ /t | 248 | g-NO ₂ /t |
| 集塵灰処理用キレート剤 | 450000 | 円/t | 24469 | Mcal/t | 725 | kg-C/t | 3216 | g-SO ₂ /t | 4868 | g-NO ₂ /t |
| 洗煙排水処理用薬品 | 359700 | 円/t | 2329 | Mcal/t | 136 | kg-C/t | 830 | g-SO ₂ /t | 644 | g-NO ₂ /t |
| アンモニア水 | 230000 | 円/t | 2380 | Mcal/t | 185 | kg-C/t | 10.58 | g-SO ₂ /t | 29.2 | g-NO ₂ /t |
| セメント | 12000 | 円/t | 908 | Mcal/t | 225 | kg-C/t | 302 | g-SO ₂ /t | 1761 | g-NO ₂ /t |
| 消石灰 | 20000 | 円/t | 530 | Mcal/t | 299 | kg-C/t | 9 | g-SO ₂ /t | 21 | g-NO ₂ /t |
| 水道水 | 300 | 円/m ³ | 3.2 | Mcal/m ³ | 0.175 | kg-C/m ³ | 0.81 | g-SO ₂ /m ³ | 0.55 | g-NO ₂ /m ³ |
| 浸出水処理薬品 | 18 | 円/m ³ | 0.514 | Mcal/m ³ | 0.029 | kg-C/m ³ | 0.19 | g-SO ₂ /m ³ | 0.15 | g-NO ₂ /m ³ |
| 土木工事 | | | 151 | Mcal/千円 | 1.54 | kg-C/千円 | 5.057 | g-SO ₂ /千円 | 11.915 | g-NO ₂ /千円 |
| 土木・建築工事 | | | 125.6 | Mcal/千円 | 1.2 | kg-C/千円 | 5.057 | g-SO ₂ /千円 | 11.915 | g-NO ₂ /千円 |
| 整備補修 | | | 97 | Mcal/千円 | 0.84 | kg-C/千円 | 5.057 | g-SO ₂ /千円 | 11.915 | g-NO ₂ /千円 |
| ブルドーザ（15 t） | 32 | 百万円/台 | 11.4 | Mcal/千円 | 0.818 | kg-C/千円 | 52899 | g-SO ₂ /台 | 3762 | g-NO ₂ /台 |
| ごみ収集車（10 t） | 7 | 百万円/台 | 11.4 | Mcal/千円 | 0.859 | kg-C/千円 | 33534 | g-SO ₂ /台 | 49074 | g-NO ₂ /台 |
| 残渣輸送車（10 t） | 8.4 | 百万円/台 | 11.4 | Mcal/千円 | 0.859 | kg-C/千円 | 33534 | g-SO ₂ /台 | 49074 | g-NO ₂ /台 |

3.1 建設段階におけるコストおよび環境負荷（エネルギー消費量、CO₂・SO_x・NO_x 排出量）の算出

建設時のコストおよび環境負荷は、文献⁷⁾の一般式および自治体へのヒアリングにより1年当たりの建設費および重機、車両費を算出し、土木工事、土木・建築工事、ブルドーザ、収集車、搬出車の原単位を乗じて年間処理量で除して算出した。また、施設の耐用年数は収集における清掃事務所、焼却施設、同時嫌気性消化設備、堆肥化施設、最終処分場の浸出水処理施設については20年、ブルドーザについては5年、収集車および搬出車は7年とした。

3.2 運用段階におけるコストおよび環境負荷（エネルギー消費量、CO₂・SO_x・NO_x 排出量）の算出

運用段階では運転にともなう電力、焼却・溶融工程で補助燃料として使用される重油、濃縮や脱水、有害物質除去で使用される薬品、この他に水道水、整備補修費が使われるとした。ここで、電力、燃料、薬品、水道水については使用量にコストおよび環境負荷原単位を乗じて算出した。整備補修費については1年当たり建設費の2%とした。この他にCO₂排出量についてはごみの分解にともなう排出量も計上した。コストについては、人件費、不動産買収費は地域によって変動が大きいため本研究では除いた。

3.3 埋立地消費量

埋立地消費については焼却灰量およびHCl、SO_xの除去装置に吹込まれる消石灰と覆土量の和を体積に換算した。ブルドーザで圧縮した際のかさ密度は焼却灰：1.68t/m³、覆土：1.72t/m³とした。また、分別回収した生ごみには夾雑物は混入されないとした。

3.4 有害物質排出量（ダイオキシン類、重金属類）

有害物質については施設建設段階の原単位が入手できなかったため、運用段階のみの評価とした。ダイオキシン類については焼却による大気への排出、バイオガス発電時の大気への排出、最終処分場からの浸出水による水系への排出、堆肥施肥による土壌への排出を計上した。

重金属類はCr、Zn、As、Cd、Hg、Pbについて求めた。焼却施設では排ガス、排水への排出、バイオガス発電時の大気への排出、最終処分場での浸出水による水系への排出、堆肥施肥による土壌への排出として求めた。

なお、全てのプロセスにおいて電力消費によって間接的に排出される重金属類のCr、As、Cd、Hg、Pbを文献¹⁰⁾より火力発電所における排出量から原単位を求め、我が国の火力発電率（55%）を乗じた。

4. インベントリー分析結果および考察

インベントリー分析結果を図2、表2に示す。まず、コストについてはシナリオ1と2、3とほぼ同等といえる。4、5は処理プロセスが増えるため、1よりもやや高い値となっているが、それほど大差はないといえる。プロセスごとの割合でみると焼却の運用にかかるコストが最も高い。堆肥化シナリオ4、5では、堆肥化量を増加することによって、焼却・埋立分のコストが削減するが、堆肥化にコストがかかるため結果として2、3よりも高くなる。また、2~5の収集段階をみると生ごみを分別回収してもあまり増加しないといえる。これは、分別を行なっているが収集回数を全て週3回に設定しているためである。

次に環境負荷についてエネルギー消費量においては2、3は1とほぼ同等であり、3は1よりも少なくなった。シナリオ2と3、4と5を比較するといずれも生ごみ分別回収率を80%にしたシナリオが低くなっている。これは、焼却する生ごみの減少により、焼却ごみの低位発熱量が増加し、ごみ重量あたりの発電量が増加することに加え、生ごみを嫌気性消化することでバイオガス発電が行えるからである。生ごみ回収率の高い場合、焼却にかかるエネルギーよりも

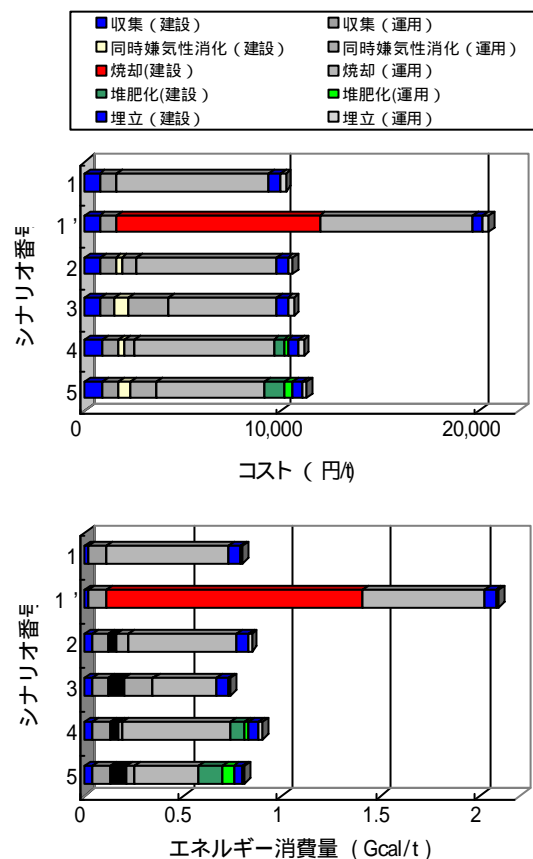


図2 インベントリー分析結果

同時嫌気性消化し、汚泥を焼却した方がエネルギー消費量はわずかに低いといえる。2、3と4、5を比べると堆肥化するには堆肥化施設の建設時にエネルギー消費量が多いため、複合肥料代替効果があるにもかかわらず堆肥化シナリオはエネルギー消費量が多くなっている。

CO₂ 排出量については焼却運用時の排出が 8 割近く占めており、2と4、3と5を比較すると焼却量が減少した方が少なくなることがわかった。また、3、4、5については現状よりも低い値となっている。3については、消化した方が同じごみ量を焼却する場合でも、エネルギー消費と同様に発電による電力代替効果があるためである。生ごみ分別回収率 30%では、また、消化設備を増設するメリットがあらわれないため 2 は高くなっている。また、2、3と4、5を比べると堆肥化による排出よりも汚泥焼却による排出の方が大きいいため、2、3の方が大きくなっている。これは、堆肥化による複合肥料代替効果である。

SO_x 排出量は重油使用量の影響が大きいため、消化シナリオでは脱水汚泥の焼却に多量の重油を使用するために 1 に比べ、3は非常に高い値となっている。また、焼却処理は重油使用量が少ないために低い値となっている。各プロセスの割合をみると焼却、消化汚泥焼却プロセスの排出が 9 割を占めており、焼却時の排出削減が同時嫌気性消化後焼却するシステムの課題であることが明らかとなった。

NO_x 排出量については、全てのシナリオでほぼ同等だが、生ごみ分別回収率 30%では焼却シナリオはやや高い値となっている。これは、消化設備の増設分である。シナリオ 3、5をみると消化焼却分と堆肥化分が増加するが、焼却による排出が減少するため、相殺している。

以上のインベントリー分析結果から、生ごみの同時嫌気性消化処理への移行の効果は、消化 + 焼却シナリオでは生ごみ 80%分別回収時にエネルギー消費量、CO₂ 排出量で現れ、消化 + 堆肥化シナリオにおいて生ごみ 80%回収時では、CO₂ 排出量に現れたが、他の評価項目ではほぼ同等であった。

なお、1' は参考のため、焼却処理場を新規建設したものであるが、当然ながら、新規建設した場合、SO_x 排出量以外は不利になることがわかる。

埋立地消費は焼却灰量と覆土量の和を体積に換算して算出しているために、焼却灰量に比例し、シナリオ 1、2、3 は同じ値で、堆肥化を行い農地還元する 4、5 は堆肥化量に比例して減少している。

有害物質について焼却におけるダイオキシン類排出をみると 2、3 は 1 と比べ、減少している。焼却における排ガス、排水経由の重金属類の排出が 1、2、3 と同じ値となっているが、これは焼却灰量から算出しており、焼却灰量は同じためである。4、5 については焼却灰量に減少にともない減少している。電力消費による重金属類の排出が 1 に比べ、2~5 で減少しているのは、他の排出物質と同様に発電量が増加するためである。

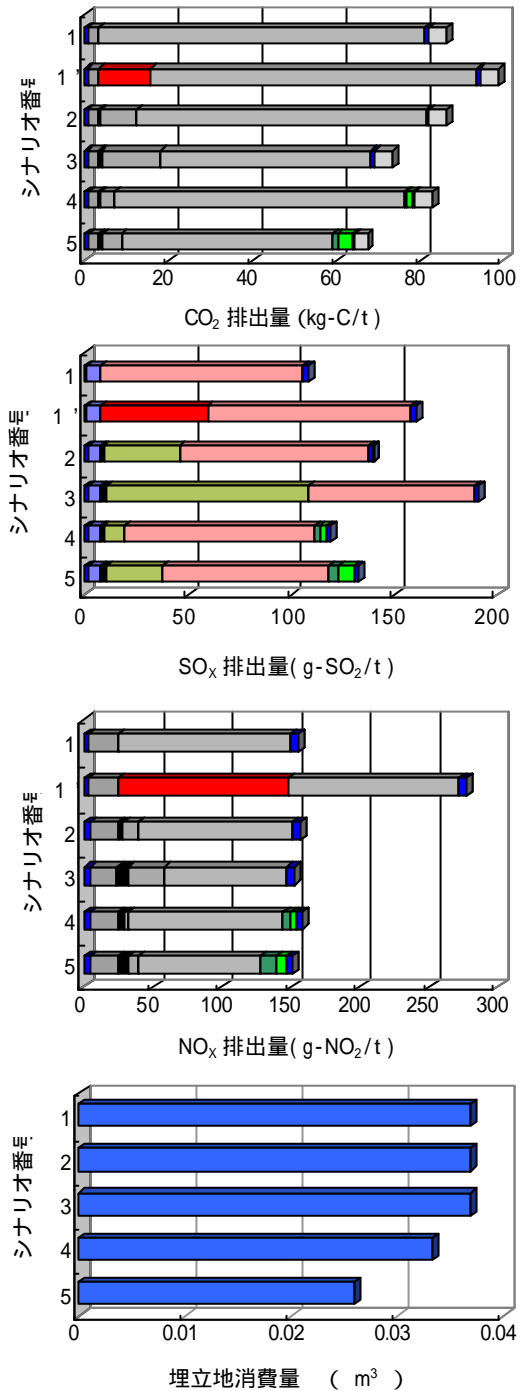


図 2 インベントリー分析結果の続き

表 2 有害物質排出量の算出結果 (mg/t)

| シナリオ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| ダイオキシン類 | 0.00050 | 0.00047 | 0.00043 | 0.00046 | 0.00038 |
| Cr | 1.23 | 1.15 | 1.03 | 1.53 | 2.03 |
| Zn | 3.30 | 3.30 | 3.30 | 7.27 | 13.78 |
| As | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.10 | 0.13 |
| Cd | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.06 |
| Hg | 0.68 | 0.65 | 0.59 | 0.62 | 0.51 |
| Pb | 0.58 | 0.57 | 0.54 | 0.97 | 1.60 |

る。

埋立の有害物質の排出量は焼却灰量に比例するため、4、5では低くなっている。

5. 環境影響評価方法

本研究では、同時嫌気性消化システムの特性をより明らかにするためにインベントリー分析だけではなく、環境影響を統合的に評価するため、特性化係数によって特性化を行い、重み付けによって環境影響の統合評価を試みた。

5.1 環境影響領域の選択と特性化

まず、インベントリー分析結果で得られた環境負荷項目を環境影響領域ごとに分類する。

本研究では環境影響領域としてヨーロッパ環境毒物化学学会(SETAC-Europe)によるインパクトカテゴリーのうち、非生物資源の消費(エネルギー消費量)、地球温暖化(CO₂、CH₄排出量)、酸性化(SO_x・NO_x排出量)、土地の使用(埋立地消費量)、人間への毒性影響(健康被害)を選択した。

特性化係数として地球温暖化にGWP(Global Warming Potential)100年値(CO₂:1、CH₄:23)、酸性化にAP(Acidification Potential)(SO₂:1、NO₂:0.7)を用いた。有害物質の特性化には、Mackay型マルチメディアモデルを用いて、対象物質の予測摂取量と一日耐用摂取量との比に基づいて有害性の強さを評価するUSES(Uniform System for Evaluation of Substances)モデルの特性化係数を使用した。

5.2 正規化

正規化は参照地域の環境が受ける影響と対象システムを関連付ける手段であり、特性化と統合評価との間の任意的な段階として考えられる。日本全体で考える場合、以下のような式¹¹⁾となる。

$$\text{正規化結果 } i = S_i / A_i$$

S_i: 検討対象システムの環境影響領域 i の特性化結果

A_i: 日本全体1年間の排出物による環境影響領域 i の特性化結果

5.3 重み付け

重み付けは環境影響項目ごとに相対的な重み付け係数を設定し、各影響項目の特性化結果にその重み付け係数を掛け合わせ、合計する。すなわち、この重み付けの作業で、評価対象の製品がライフサイクルで持っている環境への総合的な影響を評価しようとすることになる。本研究で採用したDtT(Distance to Target)法はターゲットとする値と現実の排出量を比較する方法である。

$$\text{重み付け結果} = \text{正規化結果 } i \times A_i / T_i$$

T_i: 日本全体1年間の排出物に対する目標値の環境影響領域 i の特性化結果

この方法は目標値の設定が困難であるという問題があるが、高月ら¹²⁾の採用した年間負荷量、目標値を参考に表3のように設定した。また、高月らの扱っていないエネルギー消費量については統計資料¹³⁾から年間負荷量を設定し、目標値を京都議定書の1990年度比6%削減という値を用いた。また、感度解析として埋立地消費の環境影響をなくした場合(重み付け2)と国際的に問題となっているエネルギー消費、地球温暖化のA_i/T_iを10倍にした(重み付け3)。

表3 目標値の設定

| 環境影響領域 | 単位 | 年間負荷量 A _i [年度] | 目標値 T _i | 重み付け ₁ | 重み付け ₂ | 重み付け ₃ |
|---------|---------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | | | | A _i /T _i | A _i /T _i | A _i /T _i |
| エネルギー消費 | 百万 Gcal | 5587 [2000] | 4029 | 1.39 | 1.39 | 13.87 |
| 地球温暖化 | 百万 ton-CO ₂ eq | 1332 [2000] | 1057 | 1.26 | 1.26 | 12.60 |
| 酸性化 | 千 ton-SO ₂ eq | 3388 [1990] | 2910 | 1.16 | 1.16 | 1.16 |
| 埋立地消費 | 百万 m ³ | 80971 [1998] | 40486 | 2.00 | 0.00 | 2.00 |
| ダイオキシン類 | g - TEQ | 2900 [1998] | 635 | 4.57 | 4.57 | 4.57 |
| 重金属類 | 百万 ton-DCBeq | 95 [1997] | 67 | 1.43 | 1.43 | 1.43 |

6. 総合評価

インベントリー分析結果を特性化し、正規化および重み付けした結果を図3~6に示す。正規化では埋立地消費の値が高く、シナリオ間の差も最も大きいことから統合評価において最も影響が大きいことが予測できる。DtT法による重み付け結果では、埋立地消費の影響が地球温暖化や酸性化などの他の環境影響に比べ高く、埋立量を削減できる消化汚泥を堆肥化するシナリオが優れているという結果を得た。さらに、感度解析として影響の大きい埋立地消費量を無くした重み付け結果2でも5は最も低い値となった。また、国際的な問題となっているエネルギー消費と地球温暖化のA_i/T_iを10倍した重み付け結果においても埋立地消費をなくした結果と同様な結果となり、5が最も優れていた。したがって、同時嫌気性消化システムは生ごみの高い分別回収率が得られ、消化汚泥を堆肥化した場合に特に環境負荷削減に効果的であるといえる

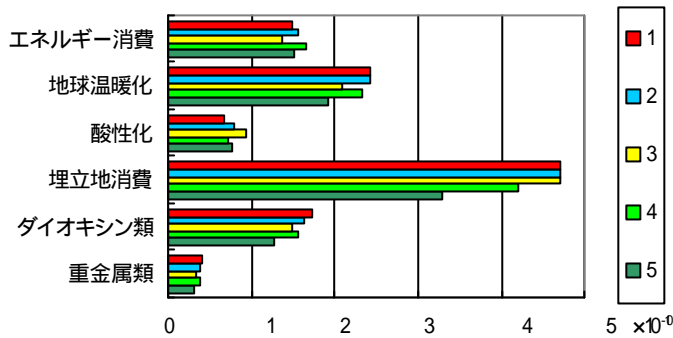


図3 正規化結果

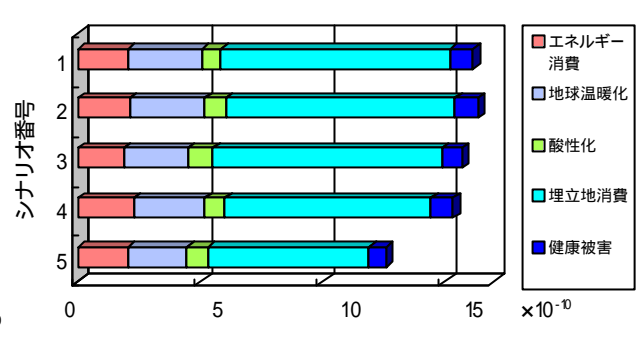


図4 DtT 法による重み付け結果

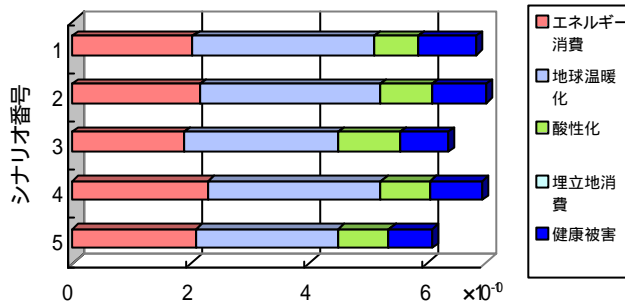


図5 埋立地消費を無視した重み付け結果

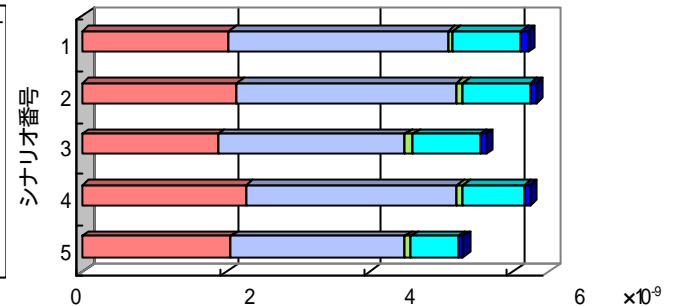


図6 エネルギー消費および地球温暖化を重要視した重み付け結果

7. 結論

本研究では、生ごみ処理について現状の焼却処理システムと同時嫌気性消化システムを LCA により、コストおよび環境負荷の観点から比較評価した結果、以下のことが明らかとなった。

- ・ コスト面で現状の焼却シナリオと同時嫌気性消化シナリオは大差がない。
- ・ 生ごみ分別回収率を高くし、消化汚泥を堆肥化すると環境負荷の低減化が期待できる。
- ・ 環境影響間の統合評価結果では、同時嫌気性消化（80%）後堆肥化することが最も優れている。

以上のように本研究の評価において、同時嫌気性消化システムは生ごみ分別回収率が高く得られ、堆肥化を行える場合、特に環境負荷削減に効果的であるという結果が得られた。現実を考えた場合の問題点として、生ごみ分別の手間や汚泥堆肥使用による施肥時の労働力の増加および堆肥の需給ギャップがあげられるが、山形県長井市のレインボープラン¹⁴⁾で示されているように市民の協力と土地条件が合えばこのシステムは適用可能であると考えられる。また、都市部のように堆肥の需要が少ない場所でも、シナリオ 3 の結果からわかるように高い分別回収率が得られれば、焼却した場合でも SO_x 除去率の高い装置を付加することで現状の焼却よりも環境負荷が小さくなり、消化汚泥を全て堆肥化できない場合でも優れたシステムとなる可能性を見出した。

8. 参考文献

- 1) Toshiya Komatsu, Takeshi Kikuta, Kiyoshi Momonoi : Methane Production from Municipal Solid Organic Waste by Anaerobic Codigestion with Sewage Sludge, WORLD WATER CONGRESS、PAPER e21580b、2002
- 3) 岩尾 充：メビウスシステムについて、環境技術、Vol.27、No.12、pp845-852、1998
- 4) 久芳 良則：REM システムについて、環境技術、Vol.27、No.12、pp853-859、1998
- 5) 古市 景康ら：生ごみを中心とした一般廃棄物の資源化処理システムの検討、国立公衆衛生院特別課程「廃棄物処理コース」特別調査研究レポート Vol.15、No.6、pp74-82 2000
- 6) P.R.White ら：Integrated Solid Waste Management : A LifeCycle Inventory、Blackie Academic&Professional、1995
- 7) 北海道大学大学院、廃棄物資源工学講座廃棄物処分工学分野：都市ごみの総合管理を支援する評価システムの開発に関する研究、1998
- 8) 日本建築学会：LCA データベース、<http://news-sv.aij.or.jp/tkankyo/s0/news.htm>
- 9) 齋藤峰夫、野池達也：LCA 手法を用いた排水処理の評価手法に関する研究、土木学会論文集、No.643/ -14、pp.11-20、2000
- 10) USEPA Study of Hazardous Air Pollutant Emissions from Electric Utility Steam Generating Units-Final Report to Congress; Volume 1. Executive Summ,1998,<http://www.epa.gov/ttn/oarpg/t3/reports/utilexec.pdf>
- 11) 平井康宏ら：食品残渣を対象とした循環・資源化処理方式のライフサイクルアセスメント、廃棄物学会論文誌、Vol.12、No.5、pp.219-228、2001
- 12) 高月 絃：都市型分散型エネルギー需給技術の温暖化抑制効果と都市環境影響に関する研究、平成 11 年度報告書
- 13) 経済産業省/EDMC：総合エネルギー統計、2002
- 14) 長井市レインボープラン推進室：レインボープランの取り組みと今後の方向、1999
[http://www.city.nagai.yamagata.jp/db000010.nsf/838dd9ae96cbbd0c4925698100066959/e8a8f3c3cb00b90c492569e00037cbd3/\\$FILE/rainbowplan-jpn.pdf](http://www.city.nagai.yamagata.jp/db000010.nsf/838dd9ae96cbbd0c4925698100066959/e8a8f3c3cb00b90c492569e00037cbd3/$FILE/rainbowplan-jpn.pdf)