

[報告]

バイオマス・都市ガス活用による再生可能エネルギー導入促進研究

藤原 孝行 岡田 朋和*

[現・東京都環境局都市地球環境部]

1 はじめに

本調査は、東京ガス(株)から受託した調査であり、都内における「バイオマス・都市ガス併用エネルギーシステム」の事業化の可能性等を明らかにすることを目的としている。本調査では、バイオマス資源として、自己処理責任があり、区の指導により分別・再利用が進んでいると推定される事業用大規模建築物から排出される可燃ごみ(厨芥、紙類)を調査対象とした。

2 ごみの再利用状況

23区では、事業用大規模建築物に対して、ごみの再利用計画書の提出をはじめ、廃棄物の減量化指導を行っており、可燃ごみの再利用状況をみると図1のようになる。

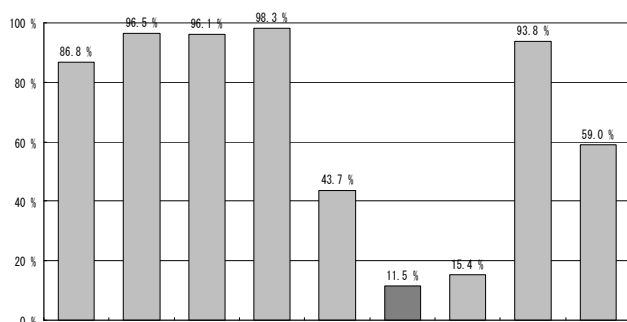


図1 大規模建築物におけるごみ再利用率 (平成17年度版23区再利用計画書のまとめ)

図1から分かるように、事業用大規模建築物の場合、段ボールや雑誌等の紙類の再利用率は100%近いが、生ごみ(厨芥)、木・草・繊維、その他の紙(ミックスペーパー)の再利用率が低い。

このため、事業用大規模建築物の可燃ごみの組成の平均値は、表1に示すように清掃工場搬入ごみの代表値に比べ、厨芥の割合が紙類よりも高くなっており、サーマルリサイクルに適さない可燃ごみを排出する建築物が多いことが推測される。

表1 可燃ごみの組成 (単位: %)

| | 紙類 | 厨芥 | 木、草、繊維 | その他 |
|-----------|------|------|--------|-----|
| 清掃工場搬入ごみ | 43.5 | 35.5 | 14.3 | 6.8 |
| 事業用大規模建築物 | 37.4 | 49.8 | 10.9 | 1.8 |

注:①清掃工場搬入ごみは23区一部事務組合のデータ

②事業用大規模建築物は再利用計画書より算出

3 ごみの排出実態調査

事業用大規模建築物から排出されるごみの組成等を把握するために、K区内及び都心地区の建築物から排出されるごみの実態調査を行った。ここでは、排出実態調査の後、採取したごみを用いてラボ実験によりメタン発酵実験も行ったK区内の7建築物についての調査結果を表2及び表3に示す。

表2及び表3より次のことが分かる。

- ① ごみの分別は、全ての建築物で行っており、厨芥と再利用に向かない紙類は、個別あるいは混合して、ポリ袋等に入れられ、プラ類や不燃物と分けて、ごみ集積所に置かれている。この他、ごみとは別に、リサイクルのための紙類、ビン・缶類、ペットボトルの置き場も設けられていた。
- ② ごみの発生量は、建築物の床面積よりは、業務内容により大きく異なり、食品類の調理や加工、販売などの分野の床面積の割合が多いと、ごみ発生量が増える傾向にある。これは、都心地区の複合ビルの調査でも同様であり、床面積当たりのごみ発生量は、事務所部分より数十倍多かった。
- ③ ごみの組成は、NO5(ホテル)を除けば、23区の清掃工場搬入ごみの代表値と異なり、厨芥の割合が紙類よりも多く、可燃物以外のプラ類や不燃物の混入も少なく、表1を裏付ける結果となった。
- ④ ごみの性状も組成と同様に、NO5(ホテル)を除けば、23区の清掃工場搬入ごみの代表値に比べ、含水率が高く、低位発熱量も1,600Kcal/Kg未満と低

く、家庭系のごみよりも、サーマルリサイクルに適さない性状のごみである。また、C/N比の値も大きいごみが多く、メタン発酵の際に、アンモニア

阻害を起こす可能性は低いと思われる。

表2 ごみの排出状況調査

| NO | 建築物の概況 | | | | ごみの分別状況 | | | |
|----|-------------|---------------------|-------------------------------|-----------------|---------|----|-----|-----|
| | 業種 | テナント | 延床面積 | ごみ排出量* | 紙類 | 厨芥 | プラ類 | 不燃物 |
| 1 | スーパー | テナントなし 食料品専門店 | 3,000m ² | 100~200 Kg/日 | ○ | | ○ | ○ |
| 2 | スーパー | テナント(物販、 飲食)あり | 16,000m ² | 300 Kg/日 | ○ | | ○ | ○ |
| 3 | ホーム センター | テナント(スー パー・飲食)あり | 14,000m ² | — | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 4 | 駅ビル | テナントビル: 物販・飲食等 | 24,000m ² | 500 Kg/日 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 5 | ホテル | ビジネス系:飲 食店あり | 3,600m ² 客室:121 | 20 Kg/日 | ○ | | ○ | ○ |
| 6 | 事務所 ビル | 社員食堂あり | 45,000m ² | 100 Kg/日 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 7 | 小学校 | 校内で給食を調 理 | 生徒:440 教職員:30 | 20~40 Kg/日 | ○ | ○ | ○ | ○ |

注: ごみ排出量*は紙類と厨芥の合計量。なお、紙類は汚れていて再利用が困難なものが大部分であり、リサイクル用の紙類とは、きちんと分別されていた。

表3 ごみの組成及び性状調査

| 建築物 | | NO 1 | NO 2 | NO 3 | NO 4 | NO 5 | NO 6 | NO 7 | 清掃工場* |
|---------|---------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 組成 % | 可燃物 | 100 | 99.0 | 95.9 | 98.5 | 93.2 | 99.1 | 100 | 93.2 |
| | 紙類 | 12.9 | 43.9 | 36.7 | 46.9 | 57.0 | 42.7 | 0.0 | 43.5 |
| | 厨芥 | 87.1 | 55.1 | 58.8 | 48.4 | 30.6 | 56.4 | 100 | 35.5 |
| | その他 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 3.2 | 5.6 | 0.0 | 0.0 | 14.3 |
| | プラ類・ゴム | 0.0 | 1.0 | 3.7 | 1.6 | 6.9 | 0.9 | 0.0 | 5.9 |
| | 不燃物 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.9 |
| | 合計 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 性状 | 含水率 | 79.2 | 59.5 | 57.5 | 46.8 | 32.6 | 52.5 | 74.9 | 42.7 |
| | 高位発熱量** | 772 | 1,479 | 1,480 | 1,950 | 2,591 | 2,057 | 1,098 | 2,646 |
| | 低位発熱量** | 225 | 984 | 990 | 1,483 | 2,155 | 1,565 | 551 | 2,172 |
| | C/N比 | 76.1 | 13.2 | 140 | 96.6 | 102 | 126 | 68.5 | 68.4 |

注: *は23区一部事務組合のデータ、**の発熱量の単位はKcal/Kg、搬入ごみの代表値
なお、NO 7は給食ごみ(調理屑と食べ残し)である。

4 メタン発酵方式の検討

「バイオマス・都市ガス併用エネルギーシステム」は、地域冷暖房施設など、都市内の大規模熱利用施設に低炭素エネルギーを供給することを目標にしている。このため、本システムのバイオマス資源であるごみは、次の要件を満足する必要がある。

① ごみ量の確保が容易であり、同じ発熱量のごみなら

ば焼却方式よりもエネルギー回収効率が高いこと。

② 都内の場合、バイオガス発生プラントから排出される排水の量が50m³D以上になると、下水道条例によりT-Nの規制が適用となるが、窒素処理はコストがかかる。このため、メタン発酵方式排水(廃液)が生じないか、生じても発生割合が少ないこと。

③ ごみ量の確保という点では、前記の調査から、食品類の調理や加工を行っている店舗等を併設する大規模建築物の可燃ごみ（紙類と厨芥の混合ごみ）が、既存の収集運搬方式を利用できるので最も有望である。この場合は、厨芥だけでなく紙類も同時に処理できるメタン発酵方式であることが必要。以上のような前提条件のもとで、既存のメタン発酵技術を調査したが、この結果を、ごみの種類別発熱量とそれに適したメタン発酵方式という形にまとめてみると図2のようになる。

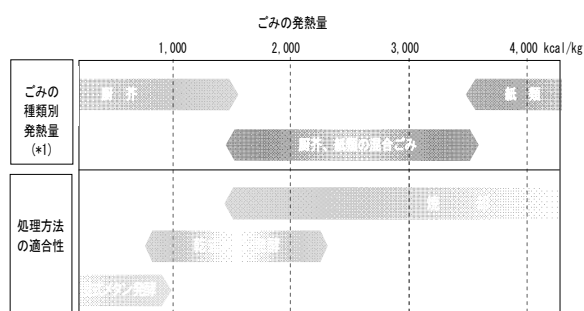


図2 ごみの発熱量とそれに適したメタン発酵方式

大規模建築物の可燃ごみは、発熱量が1,600Kcal/Kg以下であり、図2から分るように乾式メタン発酵が適していると推測される。このため、国内に導入されている乾式メタン発酵方式、2技術について、メーカーに対しヒアリング調査を実施した。この結果、未だ、国内では実証段階にあるが、K社の方式が、次の理由で、最も目的に適う技術であると判断した。

①含水率60～80%程度の厨芥と紙類の混合ごみの処

理が可能であり、発酵残渣も固形物（含水率80%程度）であるので汚水の発生もない。

② 実証実験結果をみると、ごみ1 t当たりのバイオガス発生量が、循環型社会形成推進交付金の基準、150N m³を上回っており、紙類の割合が高い大規模建築物の可燃ごみでは、これを超えることも期待できる。

③ ただし、残渣の減容効果は小さく（重量で10%程度の減少）、低位発熱量も4,000Kcal/Kg程度あるので、残渣は清掃工場で焼却処理をするか、乾燥・固形化して燃料として活用することを検討する必要がある。

5 ラボ実験によるメタン発酵調査

表3に示すごみを用いて、K社のメタン発酵方式が適用できるかどうか確認するために、K社に委託をしラボ実験によるメタン発酵調査を行った。

ラボ実験は、種汚泥と試料ごみを混合後、バッチ式乾式メタン発酵装置に投入し、7日間培養し、発生するガスを水上置換で採取し、発生ガス量、ガス成分濃度の経時変化から発酵状況を調査する方法で行った。

ラボ実験結果を表4に示す。

表4から含水率の高いNO1とNO7の建築物のごみ（表3参照）では、K社の乾式メタン発酵方式は成立しないが、他のごみでは成立しており、NO1～NO7のごみをある程度混合したごみでも成立すると予測される。また、バイオガス発生量は、ごみ1 t当たり 200N m³を超えると見込まれるごみも多く、NO1～NO7のごみを混合したごみでも、循環型社会形成推進交付金の基準は十分超えると推測される。

表4 メタン発酵のラボ実験結果

| 建築物 | NO1 | NO2 | NO3 | NO4 | NO5 | NO6 | NO7 |
|-----------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ごみ中の有機物分解率：% | 60.1 | 55.2 | 61.1 | 57.9 | 53.5 | 79.7 | 63.2 |
| バイオガス発生量：Nm ³ /t | 90.5 | 159.7 | 175.4 | 215.4 | 270.9 | 282.1 | 118.5 |
| メタンガス濃度：% | 51.2 | 53.2 | 53.6 | 56.1 | 53.3 | 53.2 | 56.3 |
| メタン発酵汚泥TS濃度：% | 10.1 | 24.7 | 24.1 | 33.2 | 52.6 | 18.1 | 5.3 |
| 乾式メタン発酵の適正 | × | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × |

注：メタン発酵汚泥TS濃度は、ごみ中の有機物分解率と、含水率等のごみの性状から計算式で求めたものであり、TS濃度15%以下だと乾式メタン発酵は成立しない。

このラボ実験結果に基づき、事業用大規模建築物の可燃ごみのバイオガス発生量を、ごみ1t当たり215Nm³（メタンガス濃度53%）と想定し、K社の既存データを用い、乾式メタン発酵法と焼却方式のエネルギー利用効率を比較してみると表5のようになる。

表5から分るように、50t/Dの規模であれば、乾式メタン発酵法はプラント消費エネルギーが少ないので、ごみの発熱量が低くても、エネルギーの外部利用可能割合は、焼却処理とほぼ同等になる。焼却処理の場合は、この他、焼却灰のスラグ化、乾式メタン発酵法の場合は、残渣の乾燥・炭化処理に際し、エネルギーが必要となるが、この結果からみて、適切なシステム設計を行えば、今回調査した事業用大規模建築物のごみのように発熱量が1,600Kcal/Kg程度以下の可燃ごみであれば、乾式メタン発酵法の方が、焼却方式よりもエネルギー回収率が高くなることは十分見込まれる。

表5 乾式メタン発酵と焼却方式のエネルギー回収効率の比較

| | エネルギー 回収割合 | プラント 消費割合 | 外部利用 可能割合 |
|---------------------|---------------|--------------|--------------|
| T清掃工場 (600t/D) | 84% | 44% | 40% |
| 乾式メタン発酵法 (50t/D) | 60% | 10% | 50% |

注：T清掃工場のデータはホームページ資料より作成
ごみの低位発熱量は、乾式メタン発酵法：1,400Kcal/Kg、T清掃工場：2,200 Kcal/Kg,

6 バイオマス利用サイトの考え方

K社の乾式メタン発酵法は、発酵槽が堅型で高さも高いので、中・大規模施設に適した方式である。このため、バイオマスの利用サイトとしては、清掃工場併設型と、地域冷暖房等大規模熱利用施設併設型が考えられる。

① 清掃工場併設型

清掃工場に併設して乾式メタン発酵施設を設置し、清掃工場に持ち込まれる事業用大規模建築物の可燃ごみを分取し、発酵処理をし、バイオガスを周辺の事業用建築物等に熱供給する方式。総合的エネルギー回収効率が焼却方式単独より向上することが要件。なお、残渣は清掃工場焼却処理を行う。

② 地域冷暖房等大規模熱利用施設併設型

地域冷暖房施設など、大規模熱利用施設に併設して乾式メタン発酵施設を設置し、事業用大規模建築物の可燃ごみを持ち込み、発酵処理をし、バイオガスを周辺の事業用建築物等に熱供給する方式。残渣は減量化を兼ねて乾燥・炭化し燃料として活用する方式。

ごみの効率的収集方式の確立、及び残渣の処理に要するエネルギーの削減と炭化物の用途の開発が要件。

また、バイオガスは、ごみ質の変動等の影響を受け、発生量やメタン濃度が変動するが、都市内で低炭素エネルギーとして供給するためには、安定供給の確保が絶対要件となる。通常、メタン発酵施設は、バイオガスの発生量等の変動吸収のため、かなり大規模なガスホルダーを設置するが、都市内の場合、これが制約条件となる可能性が大きい。このため、本調査では、バイオガスを都市ガスと混焼させ、安定供給の確保と、バイオガスホルダーフリー又は最小化の可能性を検討したが、適切な混焼技術を開発すれば可能性が高いと推測された。

7 地球温暖化対策開発事業（競争的資金）への応募

以上の調査により、K社の乾式メタン発酵法を用いてバイオガスを発生させ、都市ガスと混焼させれば、都市内に低炭素エネルギーを供給する「バイオマス・都市ガス併用エネルギーシステム」の実現は十分可能と判断された。このため、東京ガスを提案者、公社を共同実施者として、次に掲げる4つの技術的課題の開発を目的に、平成20年度の環境省の地球温暖化対策開発事業に、「乾式メタン発酵法活用による都市型バイオマスエネルギーシステムの実用化に関する技術開発」という件名で応募したところ採択された。

- ① 処理対象ごみの選定と効率的収集方法の開発
- ② バイオガス・都市ガス最適混焼制御技術の開発
- ③ 残渣の簡易処理に関する技術開発
- ④ システムの最適化に関する技術開発

これを受け、東京ガスと公社は、関係機関の協力を得て平成20～22年度にかけ実証プラントを用いて、上記の課題解決のため試験を行うことを予定している。