有機性固形廃棄物のバイオガス化*

Biogasification of Organic Solid Waste

益 田 光 信**

MASUDA Mitsunobu

Abstract Biogasification occurs in the process of anaerobic fermentation for organic materials. The gas from the anaerobic fermentation process consists of 60% methane gas and 40% carbon dioxide and we call it Biogas. We can use it as the fuel for gas diesel generator obtaining the electricity and heat simultaneously or for CNG automobile. The biogas comes from solar energy and carbon dioxide, so we can also call it "Renewable Energy". The Anaerobic fermentation is not new technique, but is rather regular technique such for the sewage sludge treatment. The anaerobic fermentation that I am going to describe here is for the organic solid wastes such as kitchen waste, yard waste or food waste and the technique for them has been newly developed in Europe this latest decade. In Japan, we treat the solid wastes by incineration as usual. But the imperfect incineration often yields contaminants that contain unknown material such as dioxins. The organic waste contains a lot of water and it makes the incineration unstable and the risk of emission of contamination increases. More over, the packaging material recycling act that is going to run from 2000 will reduce papers and plastics from the domestic wastes, so the ratio of organic wastes in the domestic wastes will increase relatively then. Biogasification process will become necessary technique to reduce the organic waste from the domestic wastes then and it can yield safe energy and compost. Biogasification technique will become one of most important techniques for environmental safeguards and recycling.

Keywords : Anaerobic Fermentation, Methane, Biogas, Organic Solid Waste, Domestic Waste

1. はじめに

有機系廃棄物からのバイオガス回収は、昔から廃液については様々な形で行われてきていて、それ自体は決して目新しい技術ではない。

しかし、都市ごみ等の固体の有機性廃棄物処理にこれを適用し始めたのは、比較的最近である。ヨーロッパ、主に北欧・デンマークではじまり、ドイツ、オランダ、ベルギー、スイス等に広まったのが、この10年の間である。

これらの国での始まりのきっかけはオイルショッ

クであって、石油に頼らない自前のエネルギー開発という側面が強かったようだ。しかし今ではむしろ環境保全としての役割と、炭酸ガス排出削減に寄与する役割がクローズアップされている。即ち、バイオガスから得られるエネルギーは、その消費に際しては炭酸ガスを発生するが、その元は地表の炭酸ガス起源のものであるから、地表の系全体の炭酸ガス量を増やしていない。太陽や風力と同じ、Renewable Energy(再生可能なエネルギー)と見なされている。

* 1999.7.22 受付

** (株)タクマ新エネ環境本部EE推進部 〒660-0806 尼崎市金楽寺町2-2-33

TEL (06)6483-2708 FAX (06)6483-2709 E-mail : m-masuda@takuma.co.jp

バイオガス回収プロセスの日本における役割はこれだけではない。

今わが国の都市ごみの処理は、その70%以上を焼却処理している。しかし今後は、焼却以前に廃棄物の減量、リサイクルを進め、エミッションを減らし、炭酸ガス発生量を削減して行くことが必要とされている。そして最後に焼却する場合は、徹底した熱エネルギーの利用が必要である。

このように日本の廃棄物処理は、リサイクル比率を高める方向に移行してゆくが、その対象は紙やプラスチックといった比較的カロリーの高いものから始まるため、残されたごみは水分の多い厨芥主体のカロリーの低いものになる。しかし、ごみの熱利用を考えると、高効率発電やガス化熔融など、カロリーの高いごみを前提にしている。即ち、水分の多い厨芥についても別途リサイクルする方法を有しておくことが、リサイクル全体にとって必要である。

嫌気性発酵でメタンガスを取り出すバイオガス回収プロセスは、この目的に叶っている。厨芥の持っている炭素分を最低のエネルギーで取り出し、質の高いエネルギーとして利用できる。水分は系外へ排出するため蒸発エネルギーは必要としない。残渣は脱水してコンポストとして利用もできるし、再度焼却系に返すこともできる。

又、有機系固体廃棄物の問題は、ごみ処理だけでなく、農業の分野においてもその循環系を支えるキーテクノロジーとして、期待されている。農業の自給体制を目指す我国においては、残渣の循環再利用は自給体制そのものを支える柱となるからである。

このように有機性固形廃棄物に対するバイオガス化は、単に今ヨーロッパで盛んになりつつあるというだけでなく、我国の施策の中からも必要となる技術であろうと考える。ここではその意義、その他技術との比較、ヨーロッパでの情勢などと合わせて検討してみたい。

2. バイオガス回収プロセスの意義

2. 1 容器包装リサイクル法との関連

容器包装リサイクル法は、平成7年6月公布、12月政令制定、平成9年4月よりガラスびん、ペットボトルについて既に施行されている。平成12年4月からは更に「その他紙」、「その他プラスチック」の容器包装についても再商品化の義務が発生

する。現在のガラスびん、ペットボトルだけが収集ごみから抜けてゆく程度なら、さしたるごみ質の変化は考えなくてもよいが、「その他紙」、「その他プラスチック」が対象となる平成12年には現在のごみは、水分の多い厨芥主体のごみとなり、発熱量も究めて低くなっていると考えられる。

一方ごみ焼却炉はどのようになっているか。

大型炉中心でかつ高効率発電を備えたもの、或いはガス化して金属類をリサイクルラインに取り出した後、燃焼熔融して、低ダイオキシン運転と灰の熔融まで同時に行えるガス化熔融炉が主流になっていると考えられる。しかしこのような炉に水分が多い低カロリーのごみを持ち込むのはその長所を発揮させるやり方とは言えない。

ここで厨芥を分別し別途にバイオガス回収システムでリサイクルすれば、ごみカロリーの低下を防ぐことが出来ると共に、焼却量そのものを減らせる。

Fig. 1 に都市ごみ処理におけるバイオガス回収プロセス適用例を幾つか載せた。ここでは厨芥草木の比率が47%の都市ごみのケースを見ている。図では低位発熱量2000kcal/kgのごみを、厨芥($H_u=900\text{kcal/kg}$, 47%)とその他のごみ($H_u=3000\text{kcal/kg}$, 53%)に分けて処理した場合を試算してみた。このようなごみの場合は、単に焼却するより分別して厨芥についてはバイオガス回収を行なうほうが、外部へ売却できる電力量は増加し、焼却処理量も少なくなる。

2. 2 RDF製造との関連

現在中小市町村では、この容器包装法の実施もさることながら、ダイオキシン規制により、焼却そのものが困難になっている。或いは、広域化処理を推進させようにも、炉の残存寿命の違いや、設置場所の問題で合意できず、補助規模に到達しない自治体がある。このためごみはRDFに加工して、燃料として民間のボイラ又は県が用意するRDF発電プラントでこれを焼却する方法がある。

この場合RDF製造には熱源が、乾燥成形に必要である。この必要熱量は全く水分量に比例する訳で、水分の多いごみは製造コストがそのまま上昇する。

更に、腐敗を防ぐため消石灰を入れる場合もあるが、厨芥主体のごみになると腐敗も進み易く、入れる量も増える。即ち、RDF製造において厨芥は最も嫌がられるものである。紙やプラスチック

Fig. 1 Examples of biogas process in municipal solid waste treatment

ク主体のごみをRDFにするのは問題ないが、厨芥は別にしたい。

このため厨芥処理に好気性コンポスト化を採用するところもあるが、送風するため臭気の飛散も多く、かつエネルギーを消費する。

また全体の系をここで考えてみると、RDF製造で水分を飛ばすのに化石燃料を焚く事は、今まで以上に炭酸ガス発生量を増やしているし、コストもかかる。では製品のRDFを燃やすかということになるが、ここで燃やしたのではなんのために1箇所に集めようとしているのか分らなくなる。これらの問題を同時に解決するのは、このバイオガス回収プロセスである。

厨芥を別にすることでRDF原料のカロリーを維持できて、腐敗性も減る。又このとき得られるバイオガスを乾燥用燃料として使用するなら、排ガスの心配がない。バイオガスに塩素系物質は含まれない。

RDF処理におけるバイオガス回収プロセス適用例をFig. 1のなかでも考えてみた。この図では、比較のために外部エネルギーを入れず、かつバイオガスはすべて発電したとして、エネルギー的観点からの評価用に作成している。エネルギー観点だけからでも、分別して処理をしたほうが有利になることがわかる。

2. 3 汚泥再生処理センター構想

地域によっては、し尿処理とごみ処理場とが併設されている。その場合、厨芥ごみとし尿汚泥を混合して嫌気発酵・バイオガス回収処理を行うことで、どちらの処理からも嫌われていたものを施設運転のエネルギー源としてリサイクルすることが出来る。し尿処理からの汚泥とごみ処理からの厨芥を受け入れる代わりに、嫌気発酵から発生する汚水はし尿処理で処理し、前処理分別残渣は、ごみ処理で処分できる。

このような考えで、嫌気発酵が国の施策として今採り入れられつつある。この場合固形分濃度は10%程度となり、ややエネルギー回収プランとしては物足りない面もあるが、汚泥の再資源化とごみ焼却処理での安定運転が得られることを考えれば評価できるシステムであろう。

2. 4 バイオガスの利用方法について

バイオガスはまずは装置の運転電力や熱の供給に利用されるが、その他にも余剰ガスについては様々なメニューが考えられ、かつ実現している。ヨーロッパでは既にパイプラインへ繋げることも検討されているが、一般的な用途としては、精製圧縮してCNG自動車に使用するか、精製して燃料電池に使用するか、という用途が広がっている。GNG自動車ではスイスエアーの構内自動

車、従業員自動車、収集車両燃料などに使用されている。デンマークでは地域の熱電供給公社へ売られて、施設の維持管理費用を稼ぎ出している。

今後日本では農業分野で、有機資源の再利用は大きなテーマとなる。炭素資源の有効利用の面から、ガスとコンポストの両方を生む嫌気発酵プロセスは運転コストを稼ぎ出す施設として、今後発展する可能性の高い技術と考えられる。

3. メタン発酵の原理と特性

3. 1 有機質について

微生物分解を受ける有機質とは、a)炭水化物、b)脂肪、c)たんぱく質を指す。

a)炭水化物は単糖類(ぶどう糖等)と2糖類(蔗糖等)と多糖類(でんぷん、セルロース、グリコーゲン)からなる。

b)脂肪は脂肪酸、グリセリン、エステルなどで、その混合体は動植物界に存在する。

c)たんぱく質は生物細胞の原形質主成分である。単純タンパク、複合たんぱくがある。

3. 2 嫌気性分解のプロセス

固形有機物の場合はまず加水分解菌による固形物の溶解性物質への転換が行われる。次に、その溶解性有機物に対して、通性嫌気性菌である発酵菌により基質の分解が始まる。高分子有機物が低分子化し水素を発生させながら中間生成物(アルコールや更に有機酸)に変る。これを「酸性発酵」或いは大量の水素の発生を伴うことが多いので「水素発酵」とも言う。この発酵過程での最終生成物は「酢酸」となる。たんぱく質はこの段階でアンモニアやアミノ酸に分解される。

嫌気消化の第2段階では、前段で生じた代謝生産物である酢酸等を偏性嫌気性菌であるメタン菌が、炭酸ガスやメタンガスにする。これを「メタン発酵」という。このときアミノ酸も分解されてアンモニアやメタンガスとなる。このアンモニアは可溶性アンモニアイオンの形で液中にのこり、メタン菌に必要な弱アルカリの雰囲気を作る。従ってこれを、「嫌気的アルカリ消化」とも言う。

メタン菌にはある種の「生物的排他性」があり、抗菌性を有している。チフス菌やコレラ菌はメタン菌の存在下では培養出来ないし、回虫卵も死滅する。酸性発酵の通性嫌気性菌にはそれがない。

たんぱく質に含まれる硫黄や硫酸塩に対しては、硫酸還元菌も生息し、これらを硫化水素に還元す

る。硫化水素は金属塩と結合し、これを硫化物として安定化させる。

嫌気性消化はこのように多種多様の微生物の営みからなっており、これらの連動で分解が進むため、途中の工程で停滞があると中間成生物の蓄積が起こり、プロセスが停止することもある。好気性分解とは、そのあたりの様子が異なる。

3. 3 炭水化物分解

3. 3. 1 単糖類(ぶどう糖等)

(炭酸ガスとブチルアルコールに分解される)

(アルコールがメタンガスと炭酸ガスになる)

従ってメタンガスと炭酸ガスの比は1:1である。

分解の仕方はこの他に、

- ・エチルアルコールから酢酸を経由してメタンと炭酸ガスにいたるもの。

- ・プロピオン酸から酢酸を経由するもの。

- ・酪酸から酢酸を経由するもの。

等がある。

(エチルアルコールが酢酸とメタン)

(酢酸がメタンと炭酸ガス)

3. 3. 2 糖類(蔗糖等)

(ぶどう糖基、果糖基)

2つに分割されて、単糖類に分かれる。以下上記に準じる。

3. 3. 3 多糖類(でんぷん)

次の段階で

(ブチルアルコール)

(アセトン)

(炭酸ガスと水素からメタンが生成される)

この場合もメタンガスと炭酸ガスとの比は1:1となる。

従って炭水化物のガスは1:1で、その発生量は790ml/gといわれる。

3. 4 脂肪分解

脂肪酸は飽和脂肪酸と不飽和脂肪酸に分類され

る。

脂肪分解菌により

トリブチリン

酪酸 グリセリン

酪酸菌による分解

(グリセリンはエチルアルコールと蟻酸になる)

(蟻酸は水素と炭酸ガスになる)

以下酪酸もエチルアルコールもメタンと炭酸ガスに変わる。

この分解においてはメタンと炭酸ガスの比は62:38となる。

ステアリン酸の分解でもこの比率は、72:28となり、脂肪における分解のほうがメタンガスの比率は高くなる。

ガス発生量も平均すると1250ml/gとなる。

3. 5 たんぱく質分解

およその元素組成は次のようなものである。

C:52.5%、H:7.0%、O:22.0%、N:17.0%、S:1.5%

たんぱく質の種類としては、アミノ酸だけを生じる単純たんぱくと、単純たんぱくが他の有機分子と結合した複合たんぱくとに分類される。

分解は第1段階で、たんぱく質は炭酸ガス、アンモニア、硫化水素、アミノ酸に分解され、次にアミノ酸はさらにメタン、炭酸ガス、アンモニアに分解される。

分解には悪臭を伴う。アンモニアや硫化水素以外にもスカトールやメルカプタン等も生成されるため複雑な悪臭となる。

平均すると、たんぱく質1gから704mlのガスがとれて、そのガスの組成はメタン:炭酸ガスで71:29と言われている。

3. 6 ガス量と組成

まとめるとTable 1 となる。実際の生ごみ等においてはこれらの混合物がその対象となる。従ってバイオガス発生量では1gの分解有機物あたり、800ml前後となり、ガス組成としてはメタン:炭酸ガスで60:40くらいになる場合が多い。厨芥生ごみの分解においては、蓄糞や下水し尿汚泥と異なり、硫化水素濃度が極めて低い。従ってヨーロッパでは、ガスエンジン発電での使用の場合、脱硫

Table 1 The amount of gas production from each organic material[1]

	ガス量(ml/g)	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)
炭水化物	790	50	50
有機性脂肪	1250	68	32
たんぱく質	704	71	29

装置を設けないのが普通である。CNG自動車の燃料とする場合は炭酸ガスの分離と共に、この硫化水素の除去も必要となる。

4. 嫌気性発酵プロセスとその評価

4. 1 嫌気発酵プロセス上の諸数値

嫌気性メタン発酵は温度を上げることで活発化する。水処理ではその加温の熱量からも一般に中温域(30~37℃)の嫌気発酵が用いられるが、固体廃棄物では高温域(55~60℃)の嫌気発酵が用いられることが多い。発酵時間と温度の関係についてはFig. 2を参照されたい。固体廃棄物は酸発酵し易いため高温消化においてメタン発酵を重視したほうが、ガス発生量を最大に出来るという点や、発酵槽内部での流動性を維持し易いという利点、高温消化にあるためと言われている。

処理時間としては、厨芥固形物が多い場合は3週間程度、糞尿等液体比率が高い場合は2週間程度と考えられている。

ガスの発生量は経験的に、例えば厨芥ごみに対しては約100~150m³/tごみ発生する。このときメタン含有量は55~70%と考えられ、発熱量は5~6000kcal/Nm³前後ある。

Table 1 の表では、炭水化物で790m³/tのガス

Fig. 2 Digestion time and temperature [2]

発生可能性がある。この値との関係を考えてみる。
ここで厨芥ごみ中の水分を70%とし、残り30%の
うち約半分の15%が嫌気発酵するとしたら、

$$790 \times 0.15 = 118.5 (\text{m}^3/\text{t})$$

となり、ほぼ合ってくる。

下水汚泥では、分解可能な有機物gあたり500
～1000mlのガス発生を見込む。2%汚泥で、有
機物割合を70%、ガス発生を800ml/gとすれば、
 $0.02 \times 0.7 \times 800 = 11.2$ となり、これは汚泥1tあ
たり、 11.2m^3 の消化ガス発生が予想される。即
ち下水汚泥に比べると、投入原料量あたりで、固
体嫌気発酵のほうが10倍ガスを発生する。

汚泥再生処理センター方式においては、固形物

Fig. 3 C/N ratio and biogas amount from synthetic sewage water [1]

Table 2 Taking out the electric energy from 1 ton solid waste by the way of anaerobic digestion and incineration

方 式	嫌気発酵＋発電	焼却＋発電
発生バイオガス量(Nm ³)	100	—
発生熱量(kcal)	510,000	1,000,000
発電量(kWh)	178	174
	(発電効率：30%と仮定)	(発電効率：15%と仮定)
自己消費電力量(kWh)	50	100
外部売電力量(kWh)	128	74

濃度10%程度のスラリーを対象とするが、たんば
く質の多い汚泥等と野菜くずや落葉など混ぜて嫌
気性消化する。この方がガス発生量は増えること
が知られている。これはC/N比に関係していて、
窒素は嫌気性菌の細胞形成に必要で、これが少な
過ぎると嫌気性菌量が足りずにガス発生量が少な
いが、逆に窒素が多過ぎるとアンモニア濃度が上
がり、菌体の活動を阻害する。このため最適解が
存在し、C/N比=14, 10～20が良いと言われている。
合成下水においてC/N比と発生ガス量の関係
をとった例としてFig. 3を参照されたい。

4. 2 バイオガスエネルギー量の比較と評価

各嫌気発酵方式におけるバイオガス量とその量
によって出来ることを比較すると次のようになる。

- 1) 下水汚泥やし尿の嫌気発酵(DS；2%)→
バイオガス発生量；5～10m³/原料1t
エネルギー利用；発酵槽の加温は賄える。
- 2) し尿汚泥＋生ごみの嫌気発酵(DS；10%)→
バイオガス発生量；25～50m³/原料1t
エネルギー利用；発酵槽の加温及び装置運転電
力が賄える。
- 3) 生ごみの嫌気発酵(DS；25%)→
バイオガス発生量；100～150m³/原料1t
エネルギー利用；発酵槽の加温、装置運転電力、
及び余剰のバイオガス(熱、電力、自動車燃料
など)が得られる。

嫌気発酵処理装置で必要とされる熱や電気に費
やされるバイオガス量は、投入される原料あたり
40m³程度必要とされており、この値は汚泥であ
ろうと生ごみであろうとさほど変わらないため、
系外へ余剰エネルギーが出せるのは、生ごみ等
の固形有機物を嫌気発酵するプロセスとなる。この
プロセスなら、運転経費の収入も見込めるため、
事業として考えることが可能になってくる。

固形有機物をいきなり嫌気発酵するには技術的困難さが伴うが、それ以上に、このプロセスが Renewable Energy 発生施設として、炭酸ガス削減、エミッション低減に果たす役割は大きい。

4. 3 生ごみ(1000Kcal/Kg)1トンの嫌気発酵と焼却の比較

生ごみを嫌気発酵で処理して電力を得る場合と、焼却して電力を得る場合を比較してみる。

生ごみ1トンからはバイオガスが約100Nm³採れて、加温は発電装置の冷却水を使用するとして計算するとTable 2のとおりとなり、結局系外へ出せる売電力量は嫌気発酵プロセスの方が大きくなる。尚、バイオガス発電はガスエンジンを使用するが、効率は30%程度見込むことが出来る。一方、廃棄物の焼却では、このようにカロリーの低いものを発電するなら15%程度の効率しか見込めないだろうとしている。

4. 4 好気性微生物分解との比較

4. 4. 1 エネルギー発生

嫌気プロセスと好気プロセスのマスバランス上の比較をしたものとして、Fig.4がある。但しこの図は、主に水処理における違いを示していて、固形有機物に起きる反応とは多少異なっている点もあるが、有機系炭素について、それぞれの方式はどのような特徴があるのかを良く示している。

嫌気性分解では、80%部分がガス化されるが、分解せずに残留する部分も10%と多い。好気性分解では、酸化により炭酸ガスとなる部分は45%、残留部分は5%と少ない。処理水水質は好気性が良いことを示す。余剰汚泥となる部分は好気性分解のほうが多い。嫌気性10%に対して好気性50%としている。

これらの量をベースにエネルギー的側面から考

えてみる。

メタンの燃焼と炭素の燃焼は次のようになる。

嫌気分解で発生したガス中のメタン量は80%×2/3=53%となる。このメタンが燃えるときは213.5kcalの熱が発生するが、生成水分を気化する場合でも、1モルについて192kcal発生する。一方炭素の燃焼では、1モルにつき97kcalである。即ち、同じ炭素量でもメタンが倍発熱する。

一方、嫌気分解で発生するメタン量が53%、好気分解で発生した炭酸ガスが45%であるということは、好気分解で発生した熱量は嫌気分解で得られる熱量のおよそ半分ということになる。

この炭素を単純に燃焼する場合と比較してみる。燃焼では100%炭素が酸化される。嫌気性分解で発生したメタン量は53%であるから、これを燃焼するときに発生する熱量と嫌気分解はほぼ等しいということになる。

即ち有機性炭素1モルからの熱の取り出しと行うことでは、燃焼と嫌気分解がほぼ等しく、好気分解がそれらの約半分ということになる。

4. 4. 2 コンポスト

有機物には炭水化物などの炭素の他に窒素、リン、カリウムなどの養分を含み、これらは適切な処理をされることで、植物の育成に必要な養分を成長に合わせてゆっくりと供給することができるようになる。このように処理すること、或いはしたものをコンポストと言う。

コンポストはまず1次発酵で、その揮発性有機炭素分を分解除去して、土地に撒かれたとき酸素を消費したり、腐敗したりしないようにする。好気性コンポスト製造では空気を供給し、発熱反応において炭素を炭酸ガスにまで分解してしまう。好気性コンポスト製造ではこのとき発生する熱により、水分を蒸発させて、通気性の維持と、ハンドリングの良いコンポストを製造する。次に2次発酵が行われる。2次発酵では揮発性有機炭素の酸化が行われている間は酸素の利用を進めることの出来なかった他の物質の酸化反応が進む。ここでは発熱も少なく空気の消費も少ないので、切返し程度で管理すれば良く、例えば窒素ではアンモニアから硝酸イオンへと酸化される。2次発酵が完了すると、撒いても土から酸素を取り上げなくなり、窒素も植物へ利用されるようになる。

Fig. 4 Comparison of anaerobic and aerobic processes[5]

Table 3 Emissions of volatile organic compounds from aerobic and anaerobic system[4]

Emissions of volatile organic compounds during aerobic composting and during maturation after anaerobic digestion, expressed as grams per ton of biowaste

Compunds	aerobic	maturation after anaerobic	ratio aerobic/anaerobic
Alcohols	283.6	0.033	8593.9
Ketones	150.4	0.466	322.7
Terpenes	82.4	2.2	37.5
Esters	52.7	0.003	17566.7
Organic Sulphides	9.3	0.202	46.0
Aldehydes	7.5	0.086	87.2
Ethers	2.6	0.027	96.3
Total Volatile Organic Compoun	588.5	3.017	195.1
NH ₃	158.9	97.6	1.6
Total	747.4	100.617	7.4

好気コンポスト製造の問題はやはり空気供給のための動力を消費する点である。特に農業関係施設とする場合ランニングコスト高いことは問題である。もう1点は次に後述する臭気対策の問題が大きい。

一方今ヨーロッパで急速にそのプラント数を増やしつつあるのは、バイオガス化した後の脱水残渣をコンポスト化するものである。バイオガス化した後の脱水残渣は、ちょうど上記の好気コンポスト製造過程で言えば、1次発酵終了間際のもと考えて良い。ただ、好気コンポストと異なるのは、未だセルロースの分解があまり進んでいないことと、脱水により濾液側へ溶出していった分、溶解性塩類が少なくなっているという点である。従って取り出された脱水残渣は臭気も少なく、分解物がセルロース主体となるため、あまり温度も上がらず、そのまま2次発酵へと進む。この場合、病原菌や種子の発芽については、嫌気発酵プロセス自体において既に終了しているため、ここでは特に必要ない。出来あがったコンポストは好気コンポストより塩類の少ない、土地にやさしいコンポストになると考えられている。好気コンポスト製造とバイオガス化残渣コンポスト製造とでの、製造過程における発生揮発性有機物量の比較をTable 3に示した。バイオガス化残渣コンポストの方が極端に少ない。

余剰バイオガスが得られるといった経営性、臭気トラブルの少なさ、製品コンポストの使い易さ、といった点で、このバイオガス化残渣コンポスト

のプラント数は、Fig. 5, Fig. 6で示すように、ヨーロッパにおいては今好気コンポストプラントを凌駕しつつある。

Fig. 5 Capacity for the treatment of organic waste requested in Europe(1993-1996)[4]

Fig. 6 Operational digestion capacity in Europe(x 1000 ton/year)[4]

(注)説明の都合上一部図の変更を行っている。

Fig. 7 A wide variety of anaerobic digestion processes for MSW[2]

5. ヨーロッパの各種システムについて

前述したようにヨーロッパではこの10年間、オイルショックの教訓から自前で天然のガスを得るという観点もあり、各地に嫌気性消化プロセスプラントが建設されてきた。その方法は、一定ではなく、様々な方法がある。

IEAレポートによれば次のように分類できる。

- (a)原料の違い;10%以下の固形物濃度のものを処理する。(Wet原料用)
20%~40%の固形物濃度のものを処理する。(Dry原料用)

- (b)処理方式の違い;連続式か、バッチ式か。

- (c)処理温度の違い;中温消化か、高温消化か。

- (d)連続処理のとき、押し出し流れ方式で処理するのか、完全混合方式で処理するのか。

以上のような観点から各技術を分類したものをFig. 7に示す。

有機固形廃棄物だけを対象とする嫌気発酵システムはこの図ではDryの分類に入るものとなる。

Kompogasプロセスは発酵槽を横型として、内部に緩やかな機械攪拌装置を有していて、全体に穏やかな移動をその特徴としている。売却エネルギーも多いため、民間の会社が処理業をこれで営んでいる。

Drancoプロセスは縦型の発酵槽を有していて、内部には特別な機械装置を入れていない。その代わりピストンポンプによる循環攪拌を行っている。

Valorgaプロセスは同じく縦型の発酵槽として、攪拌を消化ガスの高圧吹き込みにより行っている。この図では中温発酵となっているが高温発酵も行うようである。

Snamprogettiプロセスの発酵槽はスクリュウポンプ攪拌を備えた下水汚泥の消化槽をそのまま使用する。ただ、運転濃度は15%程度を予定しており、Semi-dryであると説明している。

6. おわりに

有機系固形廃棄物のバイオガス化については日本でも1970年代後半から研究された経緯があるが、10%固形分濃度ぐらゐまでしかうまく行かないということで、下火になっていった。ヨーロッパでは結局その後も研究を続け今日に至ったと言える。

現在ヨーロッパでの30%固形分濃度有機系廃棄物の嫌気性発酵は、どの方式も同じようなところへ終着しつつあるように見える。即ち、2~3cmに破碎した原料について一部基質の循環を行いながら高温発酵を行う。発酵残渣はスクリュウプレスの脱水で固形残渣を除いた後、遠心分離機で再

度濾液の分離を行う。このようなハードに対して、ソフトとしてのノウハウが加わり、高固形分濃度の廃棄物の嫌気発酵が可能になっている。

従来日本では焼却一辺倒の廃棄物処理システムであったが、ダイオキシンの問題や資源循環型社会に適合した処理施設とするため、大きな変革期を迎えている。そのなかで、厨芥などの有機系残渣の生物学的な循環は、究めて重要なテーマになりつつある。又輸入食料、輸入飼料に端を発する国内農業における資源循環の問題からも、この有機系残渣の生物学的な循環システムの確立は重要なテーマである。

20年前と情勢は大きく変わっている。このバイオガス化技術が今度は日本で根付き、更に大きく発展することを期待している。

参考文献

- [1] 岩井重久, 申丘徹, 名取真, 下廃水汚泥の処理 コロナ社(1968).
- [2] IEA's Bioenergy Agreement, Task11, activity, IEA Bioenergy-Biogas from municipal solid waste, Minister of Energy/Danish Energy Agency, Copenhagen p.2(1994)
- [3] Hans Henrik Lindboe et al., Progress Report on the Economy of Centralized Biogas Plant, The Biomass Section of the Danish Energy agency(1995).
- [4] Lue De Baere, Development of anaerobic Digestion Technology in Europe, O.W.S, Belgium p.15, p.17(1998).
- [5] Schwarting-Uhbe GmbH, Umwelt-und Bioverfahrenstechnik.