

## 都市ごみのメタン発酵によるガス回収利用

奥村英樹\*

江森弘祥\*\*

緒田原蓉二\*\*\*

- 
- はじめに
  - メタン発酵法の特徴
  - 都市ごみ処理への適用
    - 適用上の課題とその検討
    - 新プロセスの構成
    - 新プロセスの特長
    - ベンチスケールプラントによる実証運転
    - 新プロセスの効果
  - 終わりに
- 

いて調査研究を進め、昭和51年からは大型プロジェクト「資源再生利用技術システム」の開発を行っている。筆者らは、厨芥分を主体とした都市ごみにメタン発酵を適用し、下水汚泥やし尿の処理を対象とした従来の方法に比べ、処理日数の短縮・ガス発生量の増加など、利点の多い新プロセスを考案した。そして上述の通産省大型プロジェクトに参画し、「都市ごみのメタン発酵サブシステム」として開発を進めている。ここに実用化を目前としている都市ごみのメタン発酵新処理システムを紹介する。

### 1. はじめに

メタン発酵法（嫌気性消化法）は下水汚泥やし尿等の高濃度有機系廃棄物を処理する方法として古くから知られている。ヨーロッパでは20世紀初頭から用いられており、わが国でも下水汚泥やし尿の処理に広く普及している。特に昭和48年の石油ショック以来、省エネルギーの声が高まる中で、メタン発酵法は廃棄物の処理を目的とするだけでなく、エネルギーの積極的な回収方法として見直されるようになった。

建設省土木研究所では昭和50年度より下水汚泥をメタン発酵させ、得られたメタンガス（消化ガス）を用いてガスエンジンを動かし、電気に変換し、下水処理場内で利用するシステムの開発を行っている。また、農水省関係でも畜産試験場を中心に家畜排泄物、特に豚のふん尿処理に適用するため小形で簡便なシステムの開発をすすめている。一方、通産省では廃棄物の再資源化の観点から都市ごみへの適用に取り組み、昭和48年より都市ごみからのエネルギー回収の可能性につ

### 2. メタン発酵法の特徴

メタン発酵法は「メタン発酵菌と総称される多種類の嫌気性菌群（増殖に際し酸素を必要としない）の働きを利用して有機物をメタンと二酸化炭素とに変換する方法」といえる。これを廃棄物の処理に適用するには、従来の焼却法や化学処理法とは異った点が多い。従ってメタン発酵法の長所・短所を十分に考慮して適用をはかる必要がある。以下にメタン発酵法の特徴を述べる。

(1)プロセスが単純で複雑な制御を必要としない。

微生物の働きを利用した反応は、化学反応のように一反応ごとに温度・圧力・pHなどを変化させる必要がなく、巨視的には一段階で反応が完了する。従って、1基の反応槽で処理が行われ極めて単純なプロセスといえる。

(2)水分の多い廃棄物からエネルギーを効率よく回収できる。

通常可燃物からエネルギーを回収する方法としては、焼却により蒸気に変換したり、熱分解によりガス化する方法等が試みられている。しかし水分が多いと、これらの処理法で回収されたエネルギーの大半は水分を

---

\* 日立プラント建設㈱水処理事業部技術部副部長

\*\* 日立プラント建設㈱水処理事業部技術部第一技術課

\*\*\* 株式会社日立製作所日立研究所主任研究員

蒸発させるために消費されることになる。ところが、微生物を利用する反応では水分は不可欠であり、また反応槽内を均一に混合することも必要である。したがって、微生物反応においてはスラリー状であることが必要条件であって、他の方法での欠点はむしろ好都合な条件となる。従来のメタン発酵法では一般に固形物濃度が1～5%がよいとされている。また反応温度は30～35℃もしくは50～60℃であり、外部から供給するエネルギーは少く省エネルギー的処理方法といえることができる。

(3)一般に処理後の有機物量は50%以下に減少する。

消化率(減少した有機物量/投入有機物量)は30日間の反応で50～60%といわれている。有機物が減少するのは、有機物がメタンや二酸化炭素に分解され系外に放出されるためであるが、それと同時に微生物の増殖が起こる。したがって処理スラリー中には増殖した菌体とメタン発酵に供しない有機物が残存し、処理日数をのばしても消化率はさほど上昇しない。消化率は60日で70%、100日で80%前後である。

### 3. 都市ごみ処理への適用

わが国の都市ごみ発生量は約1 kg/人・dといわれており、昭和47年での全国推定発生量は33.5Mt/Yである。昭和48年の石油ショック後、若干減少したものの、再び増加に転じ、昭和52年には32.7Mt/Yと石油ショック前の水準にもどり、以後増大し続けている。表1に昭和47年の1人1日当りのごみ収集量を示し、表2

表1 主要都市のごみ収集量<sup>1)</sup>

都 市 名	収集量 (g/人・d)
東 京 (区 部)	1,408
札 幌	642
川 崎	1,045
横 浜	758
名 古 屋	1,479
京 都	1,182
大 阪	1,161
神 戸	819
北 九 州	1,500
福 岡	1,243

算出方法： $\frac{\text{年間収集総量}}{365 \times \text{収集対象人口}}$

昭和47年度の収集実績で大掃除及び道路、河川清掃によるごみは含まない。

(昭和47年大都市比較年表による)

表2 都市ごみ組成例<sup>1)</sup>  
(湿基準重量%)

組成 \ 地域	A	B	C	D	E
厨 芥	38.4	38.7	61.2	53.3	8.4
紙	45.9	39.4	24.8	24.3	42.8
ビニール	8.8	4.5	9.5	8.2	10.2
木 片	2.0	9.9	0.8	1.8	8.4
布	1.7	2.8	1.9	2.1	3.0
ゴ ム	0.2	0.4	0.04	0.2	
陶 器 片	1.1	2.5	1.2	6.9	21.0
ガ ラ ス	1.4				
金 属	1.3	1.8	0.5	3.2	6.6

には各地方で発生した都市ごみの組成を示す。表2より都市ごみの組成は厨芥類と紙類で70%を占めているが、両者の比率は地域によってかなり差がある。しかしメタン発酵に適した厨芥類はほとんどの地域で40%前後含まれており、メタン発酵の原料として十分利用できるものと考えられる。

#### 3・1 適用上の課題とその検討

都市ごみはその組成および発生量から、メタン発酵法によりエネルギーの回収が可能であり、さらにごみの減容化の効果も大いに期待できる。エネルギー回収を目的としたメタン発酵法を都市ごみの処理に適用するにあたって、従来のメタン発酵法から得られた知見を基に改善を要する課題を挙げると次のとおりである。

##### (1)所要発酵日数の短縮

メタン発酵は通常15～30日の処理日数(滞留日数)が必要とされている。これは非常に大きな槽が必要であることを示しており、西独(デュッセルドルフ市)では、18,000m<sup>3</sup>の消化槽を用いている例がある。エネルギー回収の面から考えると、槽容量が大きいことは保温および攪拌に消費されるエネルギーが増大し、回収効率の低下につながる。したがって、反応速度を向上させ、処理日数の短縮を図るとともにスラリー濃度を可能な限り高くし、含水量を最小限にすることが必要である。

##### (2)メタンガス収率の向上

消化ガスをエネルギーとして有効に利用するには、原料から可能な限り多量の消化ガスを得るとともに、消化ガス中のメタン濃度をなるべく高くする必要がある。メタンガスの発熱量は8550kcal/N-m<sup>3</sup>であるが、消化ガスの発熱量はメタン濃度が通常50～60%である

ため5000kcal/N-m<sup>3</sup>程度と低い。そこでガス化率の向上、さらにメタン化率の向上を図ったプロセスを構成しなければならない。

### (3) 爽雑物混入に対する対策

先に述べたように都市ごみの組成は複雑であり、厨芥の含有率は40%前後である。メタン発酵の対象となるのは厨芥であるため、都市ごみの中から効率よく厨芥分を分別する技術が重要である。また、混入している土砂、ガラス、金属等は反応槽の有効容積を減少させるのみならず、重金属類のように毒性を示すものもあり、これらは事前に除去する必要がある。

以上のような課題に対し、メタン発酵の微生物特性および都市ごみ厨芥分の原料特性の二面からメタン発酵適用の検討を加えた。

### (1) 微生物特性からの検討

メタン発酵法は他の微生物処理法と同じく、各種の微生物群の生活作用を利用している。この消化過程を詳細にみると図-1に示すようなメカニズムであり、

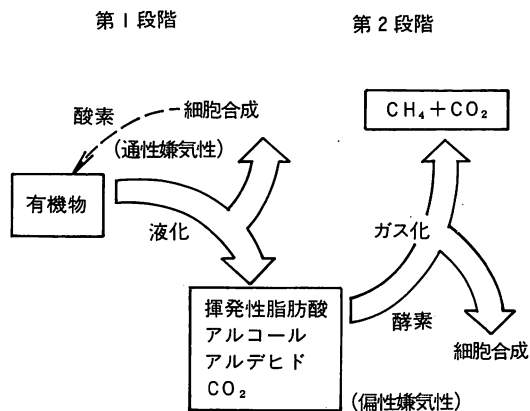


図-1 メタン発酵のメカニズム

全く異なる働きを持った2種の菌群によって営まれている。原料である下水汚泥や他の有機性廃棄物をスラリー状で供給すると、通性嫌気性の菌群によって揮発性脂肪酸（ギ酸，酢酸，酪酸など）にまで分解される一種の酸生成反応（液化発酵）が起こる。そして、この酸生成反応の後半から偏性嫌気性の菌群により、ガス化発酵が起こり、揮発性脂肪酸は還元されメタンにまで分解される。このように異種の発酵がほぼ同時に並行して進み、最終目的を達している。この経過をモデル化すると図-2のようになる。また、2種の菌群の活性は図-2に示したように発酵の前半と後半で大きな差がある。しかし従来のメタン発酵では、発酵条件は全過程を通じ同一に設定されている。したがって、

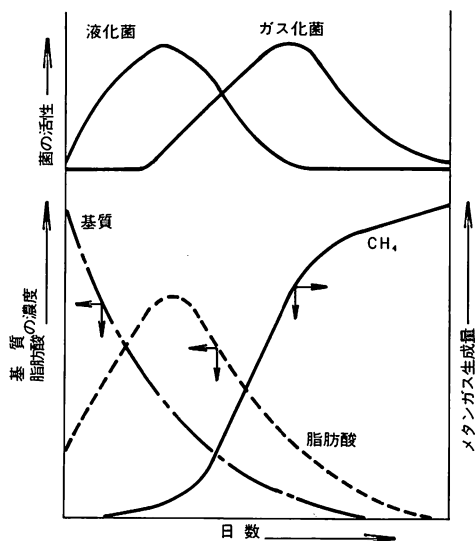


図-2 メタン発酵経過モデル

液化菌とガス化菌にそれぞれ最適な条件を与えてやれば反応速度の向上はもちろん、有機物の揮発性脂肪酸への転換率、さらにメタンガスへの転換率が共に向上するものと考えられる。一方、温度特性としては35℃付近および55℃付近に最適値を有する2種類の菌があり、後者すなわち高温菌の方が処理速度、ガス発生率共に高く有利である。そこで高温菌を用いて液化工程とガス化工程の分離を試みたところ、図-3に示すようにpH値によって両工程を完全に分離できることが明らかとなった。図-3よりpH5.5付近でガス化菌の活動なしに液化発酵を進行させることができ、液化発酵終了後、pH7.5付近で発酵させればガス化発酵が行われ

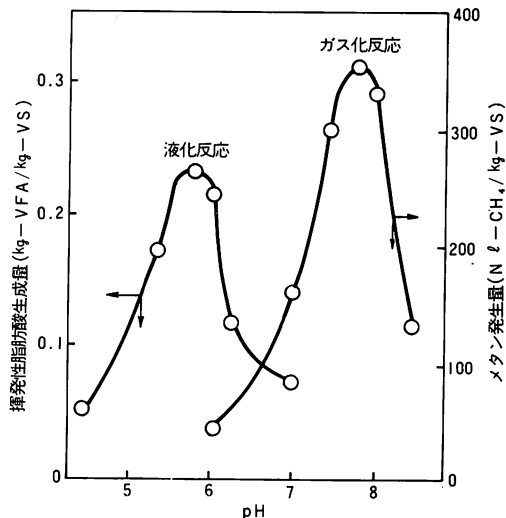


図-3 液化及びガス化反応の最適pH<sup>2)</sup>

ることが分かる。また液化発酵で発生する二酸化炭素は液化の段階で分離されるため、ガス化発酵で得られるガスは従来の工程を分離しない場合に比べ、メタン濃度が向上し、発熱量の増大が見込まれる。

### (2)原料面からの検討

メタン発酵は有機物を対象とするため、都市ごみ中の厨芥分を完全に分別し原料とすることが理想的であるが、技術的には極めて困難である。しかし近年普及しつつある分別収集はこれを解決する手段として非常に有効である。また厨芥分は大きささまざまな形状であり、これを微生物が分解しやすい形にすることも必要である。したがって、原料ごみの破碎による均質化、さらに化学的処理による発酵有効成分の抽出が発酵効率に大きく貢献すると考えられる。原料ごみは細粒化するほどよく、2.5mm程度に細粒化することで発酵速度が3倍になったとの報告もある。しかし破碎に要するエネルギーは相当大きなものとなる。そこで比較的容易に破碎できる範囲で取扱いが容易になる粒径を検討し、10~15mm程度が良いとの結論を得た。また、発酵有効成分の抽出と粘度の低下とを目的に酸やアルカリによる処理を検討した。表3に示すようにアルカリ添

表3 前処理による粘度低下と可溶化効果<sup>2)</sup>

前処理条件	スラリー粘度(P)	濃度(%)	
		でん粉	たん白
pH9.8, 60℃, 3h	26	82	85
無処理	42	42	29

加・加熱処理で著しい効果があり、可溶化したでんぷんは2倍に、同じくたん白は約3倍に増加し、粘度は約40%低下した。したがって破碎および化学的処理はメタン発酵前処理として発酵促進、効率化に有効に作用すると考えられる。

### 3.2 新プロセスの構成

上述の検討をもとにした、厨芥を主成分とする都市ごみからメタンガスを回収する高速メタン発酵プロセスを図-4に示す。すなわち厨芥を主成分とする原料を破碎した後、下水汚泥あるいは工業用水を加えて固形物含有量を調整したスラリーとする。このスラリーに前処理工程としてアルカリを加えて加熱する。その後、液化、ガス化の2工程を最適条件で行い、高メタン濃度の消化ガスを効率よく発生させるものである。

### 3.3 新プロセスの特長

新しい高速メタン発酵プロセスの特長は次の2点で

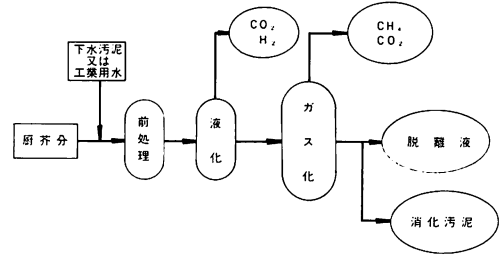


図-4 新プロセスのフローシート

ある。

#### (1)前処理工程の付加

アルカリ性の条件下で分解処理することにより、①発酵有効成分の抽出、②たん白・脂質の加水分解、③繊維質の膨潤・分散を行ない、スラリーの均質化、粘度の低下などによって発酵を促進させる。

前処理工程付加の効果を図-5に示す。図から明らかのように、アルカリ性で分解処理することにより、発酵が著しく促進され、液化発酵時間を半分以上に短縮できる。

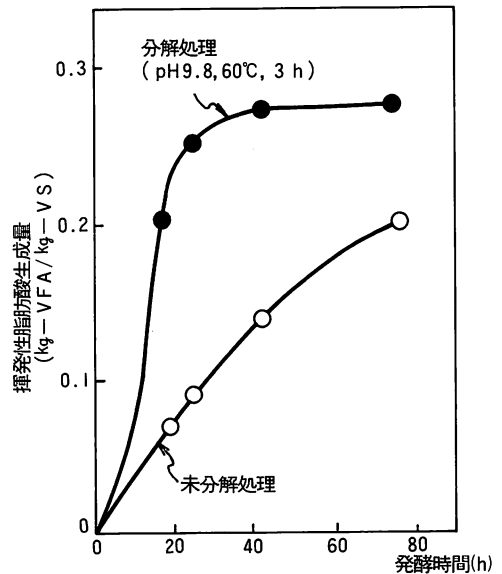


図-5 分解処理による液化発酵促進効果<sup>2)</sup>

#### (2)液化・ガス化発酵工程の分離

液化発酵工程とガス化発酵工程の最適pH値が異なることに着目し、両工程を分離し液化発酵工程を弱酸性に

に、ガス化発酵工程を弱アルカリ性に調整することにより、発酵効率をあげる。

液化、ガス化発酵の2工程を分離した結果を図-6に示す。処理日数を従来プロセスの1/2以下に短縮できるとともに、メタン発生量を30%以上増大でき、2工程に分離した効果は顕著である。

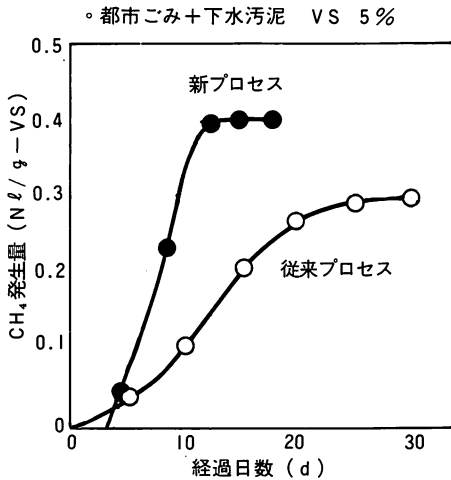


図-6 液化・ガス化発酵2工程分離効果<sup>3)</sup>

以上の効果を総括し、新プロセスの特長を表4に示す。

### 3.4 ベンチスケールプラントによる実証運転

前項の基礎検討結果を踏まえて、最大処理能力 240

kg/日のベンチスケールプラントを建設した。

本プラントはごみの分別・破碎装置、メタン発酵装置、ガス貯留装置、汚泥脱水装置、廃水処理装置から構成されており、フローシートを図-7に示す。

搬入した混合収集ごみを振動ふるい機に投入し厨芥分を分別し破碎機にて10~15mmに破碎する。その後、下水汚泥を添加し、スラリーとする。この原料スラリーを分解槽でアルカリ分解を行い、貯留槽を経て、液化槽、ガス化槽の順に連続移送し、発酵させる。液化槽、ガス化槽から発生するガスは、量・組成を測定後ガスタンクに貯留し適宜焼却処分する。ガス化反応を終了したスラリーは固液分離後、汚泥は脱水、上澄水は水処理装置により浄化処理する。

原料スラリーは破碎ごみの厨芥分が60% (乾燥重量基準) 以上になるように調整後、下水余剰汚泥 (水分98%) を添加して、有機物濃度8~15%の範囲とした。有機物濃度約8%の原料スラリーの組成を表5に示す。

プラントについて約1年半にわたる運転を行い、新プロセスの発酵性能と高濃度スラリーの槽内攪拌およびハンドリング等の装置機能との両面から検討を加え、実用に供し得ることを確認した。

表6は有機物濃度を約8%に調整した時の連続運転結果の1例を示したものである。この時の所要発酵日数は、アルカリ加熱前処理工程を含め、6日強の短期間で完了し、従来の下水汚泥等のメタン発酵に比較し

表4 新メタン発酵プロセスの特長

特徴	項目	現象	効果	開発目標
分解工程の付加		粘度の低下	仕込濃度の向上	高速化
		発酵の促進	発酵日数の短縮	コンパクト化
液化:ガス 2反応の分離		液化・ガス化反応の最適化	CH <sub>4</sub> 収率の向上	エネルギー回収率向上
		各工程での発生ガスの分離回収	CH <sub>4</sub> 純度の向上	回収ガスの高カロリー化

表5 ごみ及びごみスラリーの組成

分析項目		原料	都市ごみ	分別ごみ	ゴミスラリー
水分 (%)			56	62	91
固形分 (%)			44	38	9
組成 (乾基準重量) (%)	厨芥		28	65	65
	紙・木・布		50	23	23
	プラスチック		18	8.7	8.7
	金属		1.3	—	—
	ガラス		2.6	2.9	2.9

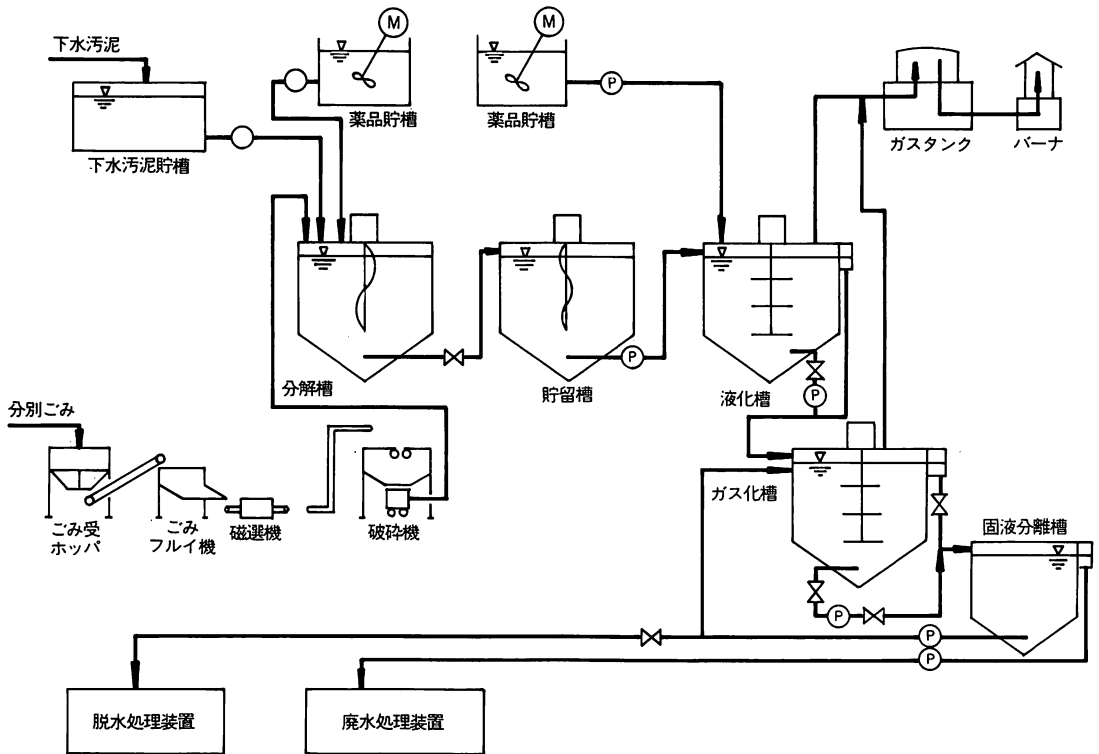


図-7 ベンチスケールプラントのフローシート

表6 ベンチスケールプラントによる連続処理結果

項目	槽内液量 ( $m^3$ )	有機物負荷 ( $kg-VS/m^2 \cdot d$ )	滞留日数 ( $d$ )	ガス発生量 ( $Nl/kg-VS$ )	メタン発生量 ( $Nl/kg-VS$ )	ガス化率 (対C%)
工程						
液化	0.46	45	1.5	100~160	0	70
ガス化	1.38	15	4.5	380~580	240~400	

約1/5に短縮できる。またメタン発生量は、240~400  $Nl/kg \cdot VS$ の変動幅を示しているが、これは原料ごみの組成変動を完全にコントロールすることが困難なためである。平均すると300  $Nl/kg \cdot VS$ のメタンガスが回収可能と考えられる。なお原料中の炭素のガスへの転換率は70%で、一般の下水汚泥のメタン発酵の50~60%に比較し良好な成績を得ている。

都市ごみの組成は常に変動すると考えられ、計画値以上の負荷が発酵槽にかかることも考慮しなければならない。このため、今回の運転では実用規模での計画有機物濃度8~10%に対し、1.5倍強の15%に濃度をあげ、負荷上昇による発酵阻害、連続運転への影響についても調べた。その結果、有機物濃度上昇にとともに、ガス化率、ガス発生量の低下はみられるが、発酵槽の機能には大きな障害とはならず、連続発酵が可能で、十分実用に供し得ることを確認した。

### 3.5 新プロセスの効果

新プロセスの開発によって、従来、処理の対象外とされていた都市ごみへのメタン発酵の適用が可能となり、廃棄物からのエネルギー回収の有力な技法が確立されたといえる。さらに下水汚泥との混合処理により性能改善が図れることも本法の適用を拡大する要因となる。現行の分別技術をベースにしても、新プロセスにより約10万人の混合収集ごみを処理した場合、 $17.5 \times 10^6 kcal/d$ 以上のエネルギーが回収され、これを都市ガスに換算すると、約1万人の消費量をカバーすることになる。

都市ごみをメタン発酵の原料とする場合は、有機物の多い方が有利であり、厨芥の分別収集が望ましい。近年普及しつつある分別収集は、廃棄物の特性を生かした効率のよいごみ処理を行う上からもさらに積極的に進めていく必要がある。また現在各方面で、都市ご

みからの資源再生を目的に分別技術の開発が行われており、その成果によっては、メタンガス収率は一段と向上するものと思われる。

新プロセスは従来のメタン発酵プロセスに比べ、前述のような数々の利点を有しており、有機性棄廃物の処理技術として用途の拡大が期待される。

#### 4. 終わりに

以上、新メタン発酵プロセスの概要について紹介した。現在、通産省工業技術院の大型プロジェクトとして、横浜市金沢地区に最大処理能力30t/d規模のデモ

ンストレーションプラントを建設中である。昭和56年度には、この実用規模の都市ごみ高速メタン発酵プラントが稼動する予定であるが、わが国のエネルギー源を支える一法となることを期待している。

#### 参考文献

- 1) 昭和49年度サンシャイン計画委託研究成果報告書「有機系廃棄物のエネルギー化に関する研究」
- 2) 緒田原他; 2nd International Congress CRE/MER 1979予稿集Vol. 2, 797~802
- 3) 緒田原; 日本機械学会第474回講演会(1978・7・10~11)教材, 63~70

### 話の泉

#### ローカルエネルギー開発がスタート

通産省は10月からローカルエネルギーの開発計画をスタートする。第1弾は水力の見直しで、2500地点、発電量合計1600万キロワットの立地点を58年度までにさがしだす。この場合、かんがいダムまで洗い直す計画。

中小水力の開発について同省は今年度から補助金制度を創設、初年度は県営や企業の自家発電用に15~5%の建設費補助率で25カ所、15億5000万円を補助する計画。県によっては上水用ダムを発電用にも利用したいところもあり、来年度は40地点、21億円に事業規模を拡大する予定。1地点あたり7~8000キロワット規模だが、この見直しは昭和35年春の第4次包蔵水力調査以来20年ぶりのもの。

続いて力を入れるのは地熱発電所。60年度には現在の6倍増の100万キロワットに引き上げるため、調査井掘削費の補助制度を始動する。9月中には初年度23億円の補助を決める予定。このほか、風力、都市ゴミ発電なども促進することになっている。(K)