

# 都市ごみのメタン発酵技術

## Bio-gasification of Municipal Wastes

従来、都市ごみ中の厨芥はメタン発酵の対象外とされてきた。日立グループは都市ごみ厨芥を対象としたメタン発酵技術の開発に取り組み、エネルギー回収形メタン発酵システムを開発した。本システムの特長は、「化学的前処理」、「液化発酵」及び「ガス化発酵」から成る新プロセスにより、高速かつ高いメタン収率で発酵できることである。都市ごみから分別して得た厨芥フラクションを用いた連続発酵実験により、従来、15日以上発酵日数を要していたのに対し、1.4倍のメタン収率で8日以内に発酵できることを見いだした。更に、3万人スケールプラントによりその高効率性を実証するとともに、原料組成の年間変動にも十分対応できることを確認し、本システム実用化への見通しを得た。

石田昌彦\* Masahiko Ishida  
 芳賀良一\* Ryôichi Haga  
 下條哲男\*\* Tetsuo Gejô  
 石塚俊明\*\*\* Toshiaki Ishizuka

### 1 緒言

我が国の都市ごみの年間発生量は約3,000万tと言われている。このうち、20~40%は厨芥であるが、含水率が高く焼却しにくい。このため、厨芥の処理に適合し、かつ効率よくエネルギーを回収できる新しい技術の開発が望まれてきた。一方、古くから、下水汚泥やし尿の処理にメタン発酵法が用いられてきた。この方法は、嫌気性細菌の発酵作用により有機物をメタンと炭酸ガスに分解するもので、都市ごみ中の厨芥に適用できれば、ごみ処理の効率化に極めて有用である。ただし、現在、下水汚泥やし尿に用いられている方法は処理効率が低く、発酵槽内に15日以上滞留させることが必要である。そのため、メタン発酵法は一時斜陽化したが、近年、高速化による処理効率の向上を図り<sup>1)</sup>、エネルギー回収の要素技術として見直そうとする気運が生じた。

日立グループは自社研究により、積極的に発酵の効率化について基礎研究を行なってきており、処理速度についてはもちろん、メタン収率についても、従来法に勝る新プロセスの開発に成功している。この間、通商産業省大型プロジェクト「資源再生利用システムの研究開発」に参画し、都市ごみへの本プロセスの適用性につき、ベンチスケールで性能を確認<sup>2)</sup>するとともに、昭和58年春、実用規模スケールでの実証運転を完了した。ここに、実用化を前にした都市ごみ厨芥の新しいエネルギー回収形メタン発酵システムについて、研究成果を中心に紹介する。

### 2 都市ごみへの適用上の課題と対策

#### (1) 厨芥の分離と夾雑物の除去

住宅地域から収集される都市ごみには、湿基準40%前後(乾基準20%前後)の厨芥を含んでいる。メタン発酵の対象となるのは、デンプン、タンパク、脂質など、いわゆる易分解成分であるから、紙、プラスチック、ガラスなどの夾雑物をできるだけ除去することが重要である。したがって、ここでは都市ごみをふるい機により分別して厨芥を濃縮したフラクション(厨芥フラクション)を原料として使用した。表1に基礎研究で用いた試料の平均的組成を示した。

#### (2) 発酵の高速化

現行技術では、通常、発酵に15~30日を要している。処理

表1 都市ごみ及び厨芥フラクションの成分組成例 混合収集都市ごみには、通常、乾基準で20%前後の厨芥を含む。これを破碎し、ふるい分けして厨芥を濃縮した厨芥フラクションを得、ミニスケール及びベンチスケールによる基礎研究実験に供した。

試料	固形分 (%)	成分組成 (%乾基準)				
		厨芥	紙・布・木	プラスチック	ガラス・石	金属
都市ごみ	44	28	50	18	2.6	1.3
厨芥フラクション	38	65	23	8.7	2.9	<0.1

能力をVS(Volatile Solid:有機物)としての容積負荷量で表わせば、下水汚泥の場合、中温発酵で2 kg VS/m<sup>3</sup>・d、高温発酵でも5 kg VS/m<sup>3</sup>・dが限界とされている。メタン発酵の一般的課題として、発酵速度の向上が図ればそれだけ発酵槽容積を減少し、槽内温度保持及び攪拌に必要な自己消費メタン量を節減できることとなり、回収メタン量を増加できる。厨芥の場合、既に含水率40~60%の固形物であるため、水の添加量を調節して高い濃度のスラリーとして供給できる。したがって、高濃度スラリーを用い、高速かつ高いメタン収率で発酵可能なプロセスの開発が必要となる。

#### (3) 原料組成の変動と発酵性能への影響の把握

原料厨芥フラクションの組成変動に発酵がどのような影響を受けるか、特に組成の季節変動と発酵性能との関係を把握し、かつ発酵システムが変動に十分対応できるかどうか確認することが重要である。

### 3 高効率メタン発酵プロセス

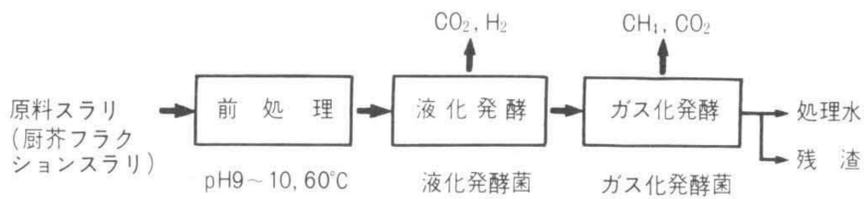
メタン発酵の高速化とメタン収率向上を目標に、原料成分の分解性と嫌気性細菌の発酵特性の両特性を検討し、新しいプロセスを開発した。本プロセスは図1に示すように、原料厨芥フラクションに水又は水の代わりに下水汚泥を加えてスラリー化し、化学的な「前処理」を行なった後、「液化発酵」、「ガス化発酵」の2段階の発酵により処理するものである。

#### 3.1 前処理工程

前処理は原料スラリーをアルカリ性下で加熱処理するもので、

\* 日立製作所日立研究所 \*\* 日立製作所機電事業本部 工学博士 \*\*\* 日立プラント建設株式会社

新プロセス



従来プロセス

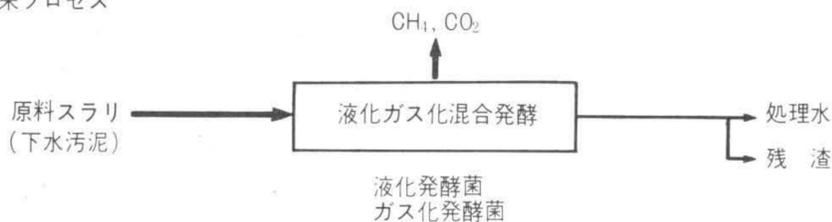


図1 新プロセスと従来プロセスのフロー比較 新プロセスは原料スラリをアルカリ性で加熱処理して発酵を容易にするとともに、発酵工程を液化、ガス化の2工程に分離して最適条件下で発酵させる。

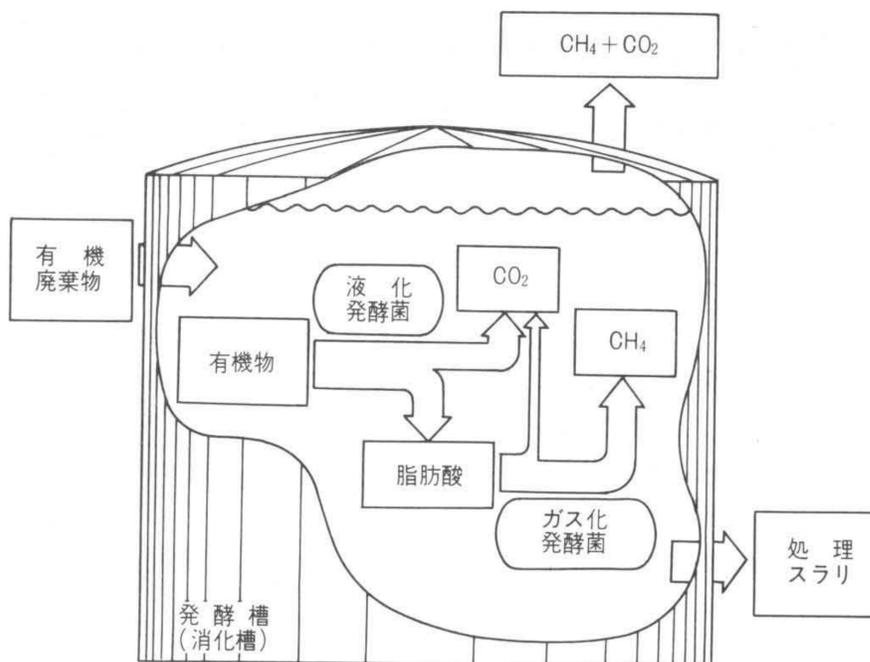


図3 メタン発酵機構 原料中の有機物が液化発酵菌により脂肪酸と炭酸ガスに分解し、次いで、生成した脂肪酸がガス化発酵菌によりメタンに転換する。従来の発酵法は、図のように両発酵を同一槽内で並行的に行なわせる1 Step発酵法である。

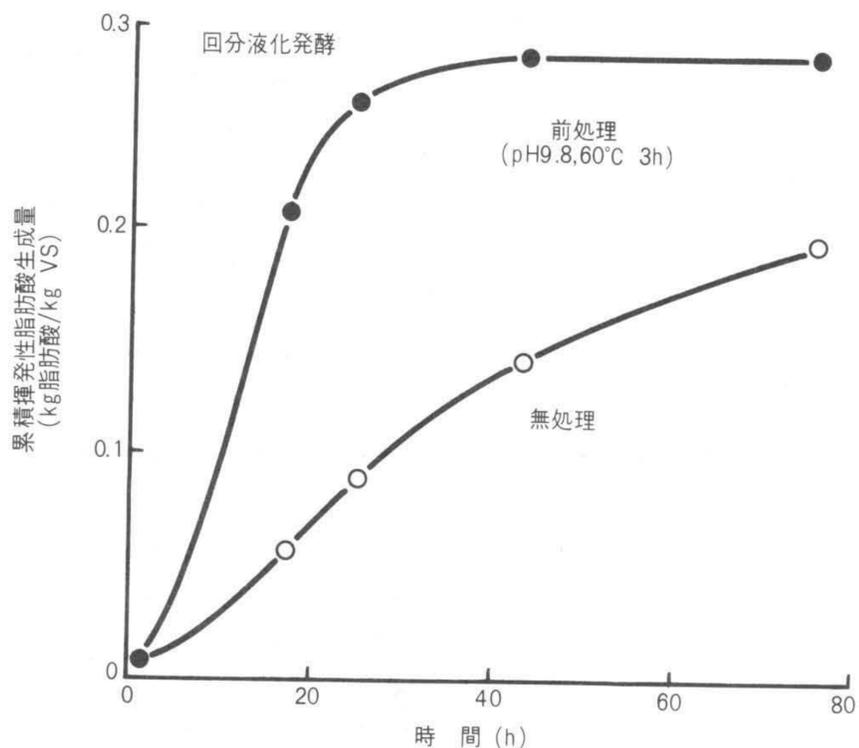


図2 前処理による液化発酵促進効果 原料スラリをアルカリ性で60°Cに加熱処理することにより、発酵が促進される。図では、発酵活性を液化発酵での揮発性脂肪酸生成量で示している。

後続の発酵を促進することと、スラリのハンドリングを容易にするために行なう。原料スラリを消石灰でpH 9~10に調整し、高温発酵の温度と同じ60°Cで3時間加熱処理してから発酵に供する。アルカリ性で加熱処理することにより、図2に示すように顕著に発酵が促進される\*1)。これは発酵に有効な糖及びビタミンが、固形物中から液中に溶出してくるためであることを別途確認している。

3.2 液化発酵工程とガス化発酵工程

メタン発酵はその発酵機構を図3に示すように、液化発酵菌\*2)(通性嫌気性菌)による液化発酵と、ガス化発酵菌\*2)(絶対嫌気性菌)によるガス化発酵との共役により進行する。すなわち、原料中の易分解性有機物が液化発酵菌により酢酸、酪酸などの脂肪酸と炭酸ガスに分解し\*3)、次いで、生成した

脂肪酸がガス化発酵によりメタンに転換する。従来用いられてきた発酵法は、両反応をバランスさせ、並行的に行なわせる1 Step発酵法(混合発酵法)であり、原理的には湖沼水面下でのメタン発生現象と同じである。これまでの研究は、実用面を中心に行なわれてきたこともあり、pHなど、両発酵の影響因子について定量的な知見が得られていなかった。そこで、pHと両発酵活性との関係を検討したところ、図4に示すように両活性がpHに大きく影響を受けることを見いだした。すなわち、発酵pHを弱酸性にコントロールして液化発酵だけを行なわせ、更に処理スラリを原料としてpHを7.0~8.0で発酵させることにより、ガス化発酵させることに成功した。発酵工程の2 Steps化により、両発酵をそれぞれの最適条件下で進行させることができ、発酵の高速化はもちろん、液化工程で分取される炭酸ガス量に相当する量に応じて、ガス化工程でのメタン濃度も上昇できる。

本プロセスに準じて、7 l液化発酵槽、21 lガス化発酵槽とをシリーズに連結して連続発酵実験を行ない、性能の確認を行なった。液化発酵槽へ供給する原料としては、厨芥フラク

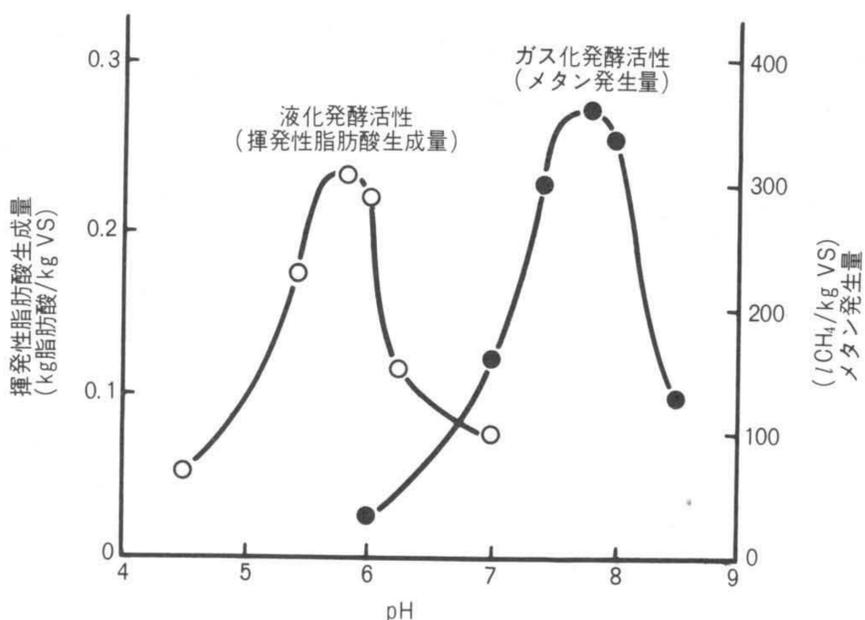


図4 液化発酵及びガス化発酵の最適pH 液化、ガス化両発酵活性はpHに大きく影響を受け、それぞれpH5.8, pH7.8付近に最適域をもつ。

\*1) この場合、発酵活性は液化発酵での脂肪酸生成量で示してある。  
 \*2) 単一種ではなく、複数種の菌、いわゆる菌群の状態を用いている。  
 \*3) 菌の種類、発酵条件により、炭酸ガスのほかに水素も発生する。

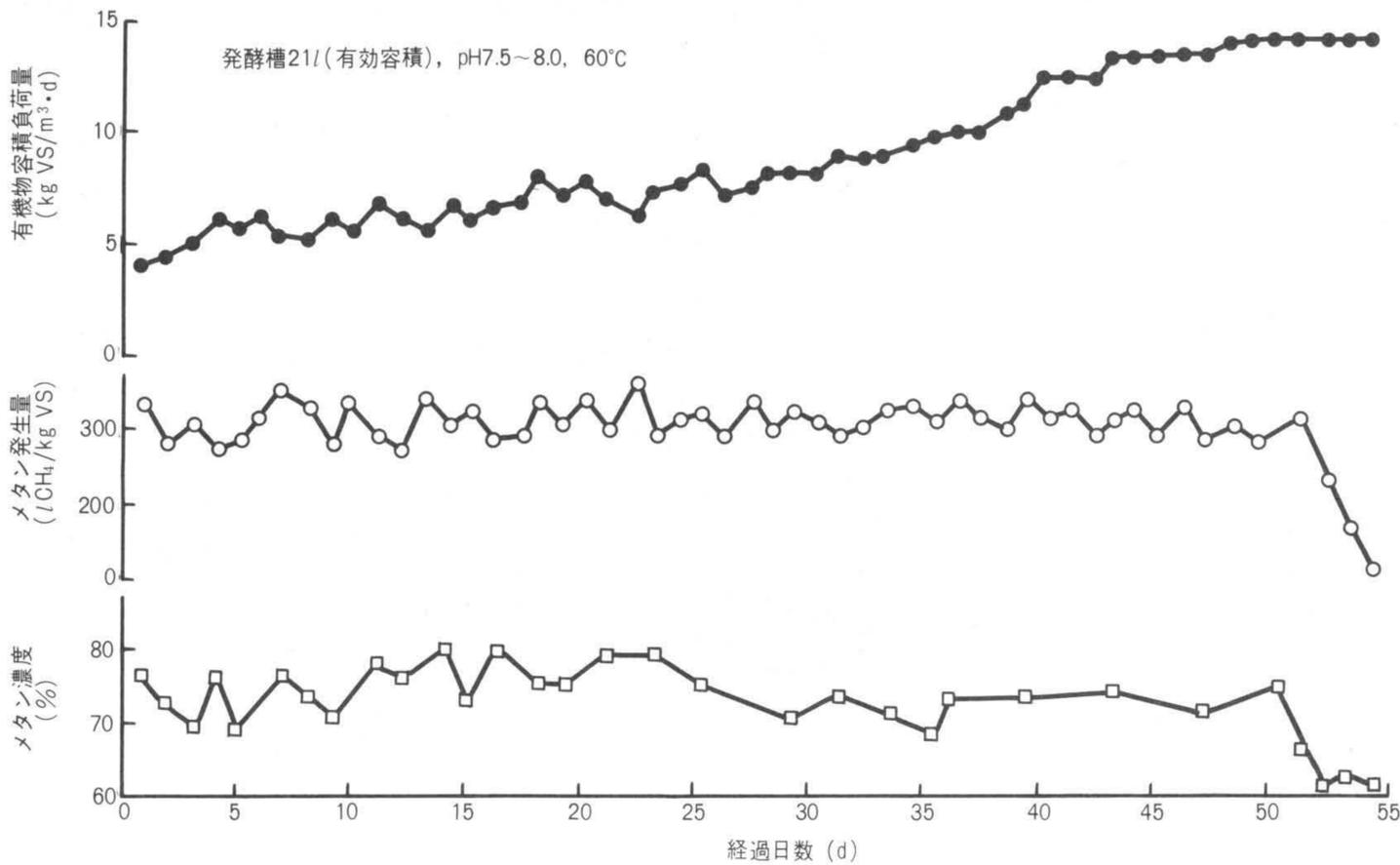


図5 液化発酵処理スラリの連続ガス化発酵  
7l液化発酵槽で連続的に液化発酵したスラリを、21lガス化発酵槽に半連続的に供給し、ガス化発酵を実施した。ガス化発酵槽の最大負荷量は13kg VS/m<sup>3</sup>・dで、液化、ガス化を合わせた総合負荷量は9.8kg VS/m<sup>3</sup>・dである。

ションに下水汚泥を添加して有機物濃度7~8%のスラリとし、これを前処理したものを用いた。発酵pHは、液化発酵槽だけをpH5.8に自動調整し、ガス化発酵槽は無調整とした。発酵温度を60°Cとし、負荷量を段階的に上昇した。液化発酵では、有機物容積負荷量を42kg VS/m<sup>3</sup>・d(滞留2日)まで上昇しても、発生ガス量(CO<sub>2</sub>: 40~60%, H<sub>2</sub>: 40~60%)は200 l/kg VS前後、脂肪酸濃度も2%とほぼ安定して処理できることを確認した。一方、ガス化発酵では、図5に示すように、段階的に負荷量を上昇していったところ、14kg VS/m<sup>2</sup>・dでpHが低下し、メタン発生量が低下した。したがって、ガス化発酵では13kg VS/m<sup>2</sup>・d(滞留6日)付近が負荷の限界であり、両発酵を合わせた総合負荷量は9.8kg VS/m<sup>3</sup>・d(滞留8日)となる。なお、従来の1 Step発酵方式のほか、2 Step発酵、前処理+1 Step発酵の各プロセスについても、別途、連続発酵実験を行ない、プロセス間の性能比較を行なった。その結果、表2に示すように、本プロセスは1 Step方式に比べ、最大負荷量が1.7倍高く、したがって、両発酵を合わせた総合滞留日数も15日から8日に短縮できた。また、高負荷にもかかわらず、メタン収量が1.4倍に向上したほか、メタン濃度も上昇し、本プロセスが優れていることを確認した。

表2 新プロセスと従来プロセスとの性能比較 各プロセスにつき連続発酵実験を実施した。本プロセスは1 Step発酵方式に比べ、1.7倍の高負荷で高速処理でき、メタン収量も1.4倍に向上した。

プロセス	総合有機物負荷量 (kg VS/m <sup>3</sup> ・d)	メタン濃度 (%)	メタン発生量 (l CH <sub>4</sub> /kg VS)	総合滞留日数 (d)
新プロセス (P→L→G)	9.4	75	340	8
2Steps発酵方式 (L→G)	7.0	69	309	11
前処理+1Step発酵方式 (P→LG)	5.5	44	302	14
1Step発酵方式 (LG)	5.1	42	241	15

注：P：前処理(回分)  
L：液化発酵(連続, pH5.7~5.9, 60°C, 7l槽)  
G：ガス化発酵(連続, pH7.5~8.0, 60°C, 21l槽)  
LG：液化ガス化混合発酵(連続, pH7.0~7.4, 60°C, 21l槽)

#### 4 パイロットプラントによる実証テスト

上述の基礎検討での知見をもとに、本プロセスに準じ、ベンチスケール及び実用規模スケールでの連続発酵実験を行なった。

##### 4.1 ベンチスケール実験

処理能力0.1t/dのベンチスケールプラントを用いて、プロセス性能の確認を行なった。本プラントの液化発酵槽は0.5m<sup>3</sup>、ガス化発酵槽は1.5m<sup>3</sup>である。原料スラリーの有機物濃度を8~16%まで変えて総合負荷量を6~21kg VS/m<sup>3</sup>・dまで段階的に上昇しながら、8箇月にわたる長期連続実験を行なった。その結果をまとめて図6に示す。現行の1 Step発酵法の最大負荷量の約3倍にわたる15kg VS/m<sup>3</sup>・d<sup>\*)</sup>の高負荷でも、低位発熱量6,000kcal/m<sup>3</sup>(CH<sub>4</sub>: 68%, CO<sub>2</sub>: 32%)のメタンガスを0.46m<sup>3</sup>/kg VS、純メタン換算で0.3m<sup>3</sup>/kg VS回収できるこ

とを確認した。なお、この場合の有機物の分解率及びBOD<sub>5</sub>の除去率はそれぞれ57%、83%であり、炭素の60%がメタン及び炭酸ガスに転換している。

##### 4.2 実用スケール実験

3万人スケール(10t/d)の実証プラントを用いて、原料組成の季節変動による発酵性能への影響と、本プラントの性能を把握するため連続発酵実験を行なった。本プラントは通商産業省工業技術院資源再生利用システム実験場(横浜市金沢区)に建設したもので、前処理槽(15m<sup>3</sup>)、液化発酵槽(60m<sup>3</sup>)、ガス化発酵槽(180m<sup>3</sup>)をはじめ、破砕機、ガス貯槽、発酵残渣

※4) 基礎実験に比べ、本実験での最大負荷量を大きくできた原因の一つは、前者が原料スラリー濃度を固定し、槽への供給量を段階的に増加させるのに対し、後者は供給量を一定とし、濃度を増加させたことによる。

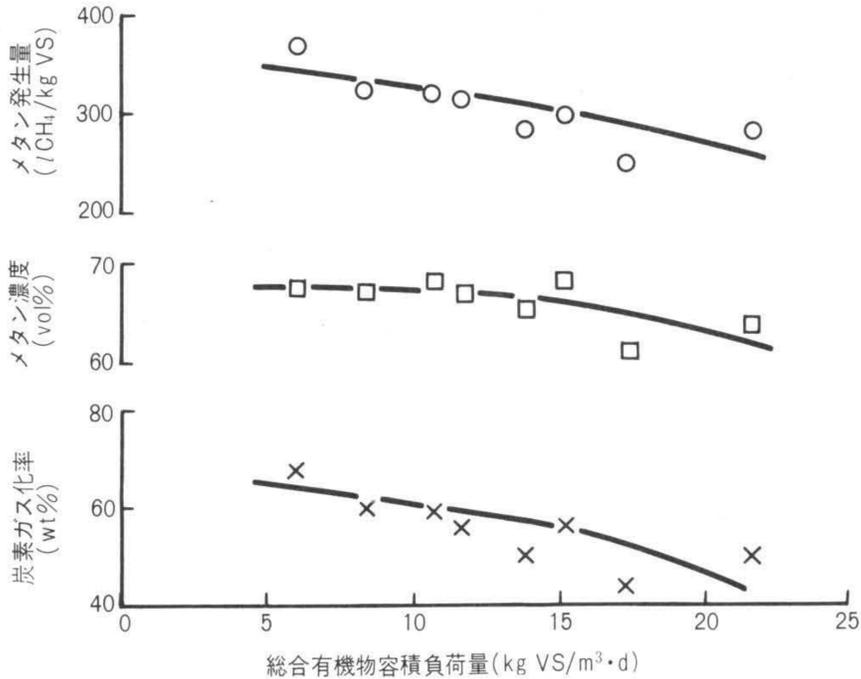


図6 ベンチスケール連続処理実験結果 総合有機物負荷：6～22kg VS/m³·d(スラリー濃度7.5～15.7%)総合滞留日数：8d(液化2d, ガス化6d)  
従来の1 Step発酵方式の最大負荷量の約3倍に相当する15kg VS/m³·dの高負荷でも、300l/kg VSのメタンを回収できることを確認した。

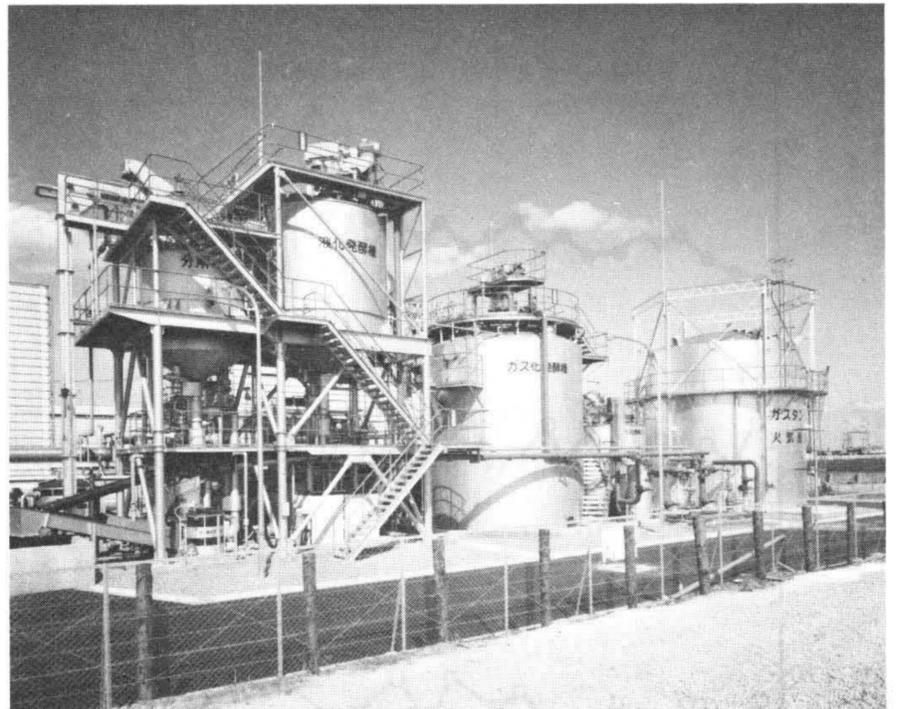


図7 実証プラントの外観 最大処理能力30t-厨芥フラクシオン/d, 前処理槽(15m³回分処理), 液化発酵槽(60m³), ガス化発酵槽(180m³)の実証プラントで、横浜市金沢区の通商産業省工業技術院資源再生利用システム実験場内に建設した。

用脱水機などから構成されている。外観を図7に、フロー概略を図8に示す。原料の厨芥フラクシオンは隣接の分別サブシステム実証プラント(半湿式選択破碎分離方式)から毎日供給を受けた。これをふるい分けと磁力選別によりガラス、金属などの夾雑物を部分的に除去した後、破碎して粒度を30mm以下に調整した。

厨芥フラクシオン組成の四季変動を図9に平均値で示す。厨芥は夏季に少なく、冬季は夏季の2.6倍に増加する。一方、紙、木、布類は夏季に増加しており、厨芥と逆の傾向が認められた。なお本原料が、ミニスケール及びベンチスケールでの基礎研究実験で用いたものと比べ、厨芥含量が $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ と低いのは、収集地域と厨芥フラクシオンの分別方式の相違に起

因している。まず、厨芥フラクシオン10tに工業用水を加えて前処理し、6%前後のスラリーとした。次いでスラリー供給量を調節して総合負荷量を7.5kg VS/m³·dに設定し、液化発酵槽、ガス化発酵槽の順に半連続的に移送した。その結果、図10に示すように、200～245m³/kg VSのメタンが得られた。これは、厨芥含量59%の原料を用い同一負荷量で行なったベンチスケールの場合の64～77%に相当する。更に別途、厨芥フラクシオンに純厨芥を添加して厨芥含有率を47%に増加した原料についても連続発酵実験を行なった。同図に示すように、これら各実験でのメタン発生量と厨芥含有率との間に直線関係が認められた。各季節の原料を用いた実験のメタン収量がベンチスケールの成績よりも劣るのは、原料の厨芥含有率が

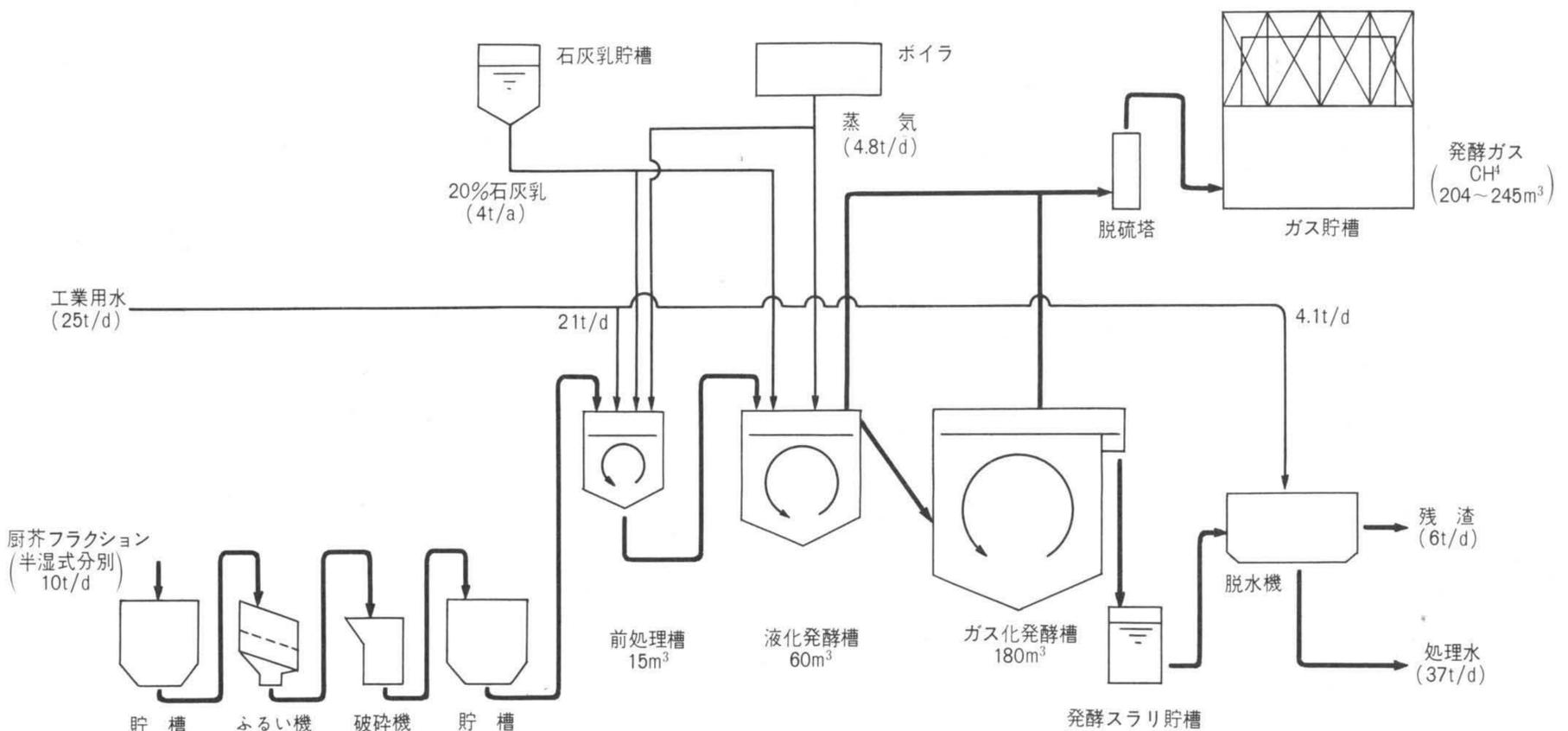


図8 10t/d実証プラントフロー概略 原料の厨芥フラクシオンは、隣接の分別サブシステム実証プラント(半湿式選択破碎分離方式)から供給を受けるが、夾雑物除去のため、更にふるい分別を行なっている。厨芥フラクシオンに水を加えてスラリーとし前処理後、発酵する。

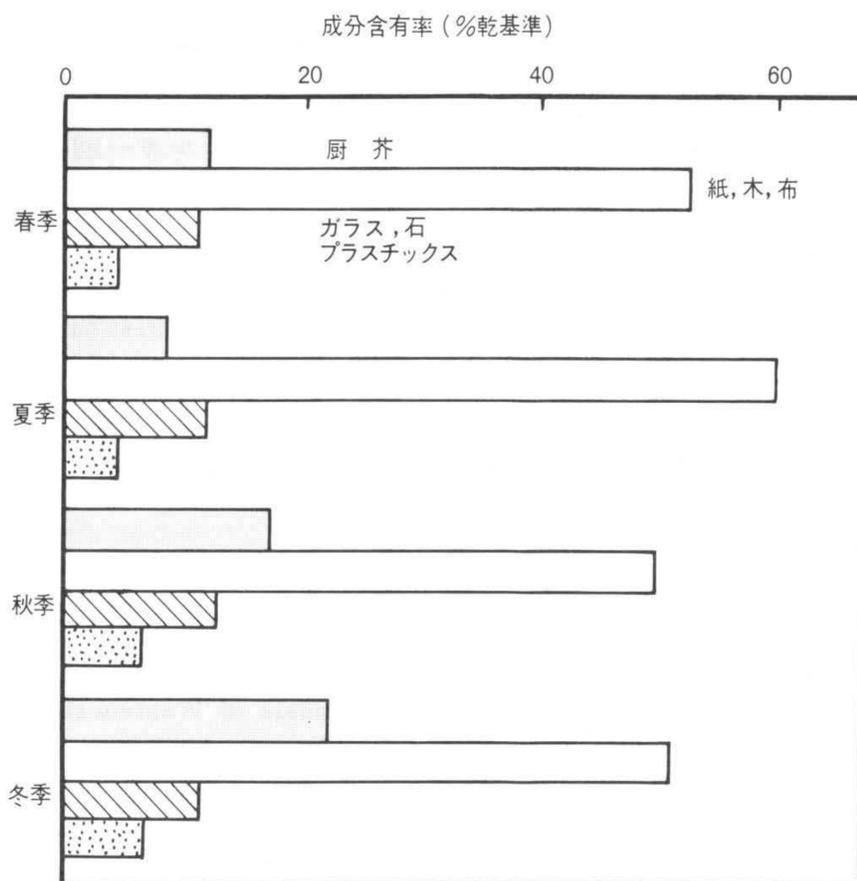


図9 厨芥フラクション成分組成の季節変動 季節ごとの平均値で示す。厨芥含量は夏季に少なく、冬季に増加する。紙、木、布類は厨芥と逆の傾向を示す。

低かったためである。すなわち、実証プラントの性能はベンチスケールプラントのそれと差がなく、厨芥含有率60%の原料を用いれば、ベンチスケールと同じメタン収量が得られることを示唆している。

次に、本プラントの性能を把握するため、厨芥含有率30~35%の原料を用い、滞留日数を8日に固定して、原料スラリー濃度を変化し、13kg VS/m<sup>3</sup>・dまで段階的に負荷量を増加した。その結果、図11に示すように、13kg VS/m<sup>3</sup>・dでは7.5kg VS/m<sup>2</sup>・dの場合に比べメタン収量が25%低下するが、安定して連続発酵可能であることを確認した。したがって、下水汚泥などに用いられる1 Step方式の中温発酵の少なくとも6.5倍、高温発酵の2.6倍効率が高いことを示しており、本発酵システムの高効率性を再確認した。

### 5 都市ごみトータル処理システムにおけるメタン発酵の位置づけ

これまで都市ごみは、下水汚泥やし尿と異なり、紙、プラスチック、ガラスなどの夾雑物を含むことから、メタン発酵の対象となり得なかった。今回、新プロセスの開発により、都市ごみの厨芥も、単なる廃棄物処理を越え、エネルギー回収の要素技術として確立しえたと言える。ここで、エネルギー回収形ごみ処理トータルシステム適用の最少単位として人口20万人都市を想定し、1日200t発生する都市ごみから厨芥フラクション70t(厨芥含有率32%、有機物30t)を分別してメタン発酵処理したとする(メタン発生量原単位235m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/t VS, メタン発生量7,050m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/d)。発酵槽の攪拌、保温のために発生したメタンの60%を自己消費するとしても、1日当たり2,820m<sup>3</sup>のメタン、すなわち熱量換算で年間800m<sup>3</sup>の重油(発熱量:メタン8,550kcal/m<sup>3</sup>, 重油10<sup>7</sup>kcal/m<sup>3</sup>)を余剰エネルギーとして回収できることになる。また、下水汚泥の年間発生量は2,000万tを超えるとされているが、固形分濃度が1%前後と低いため、厨芥を下水汚泥でスラリー化した際のメタン発酵に対する下水汚泥の寄与は厨芥の5%程度にすぎない。

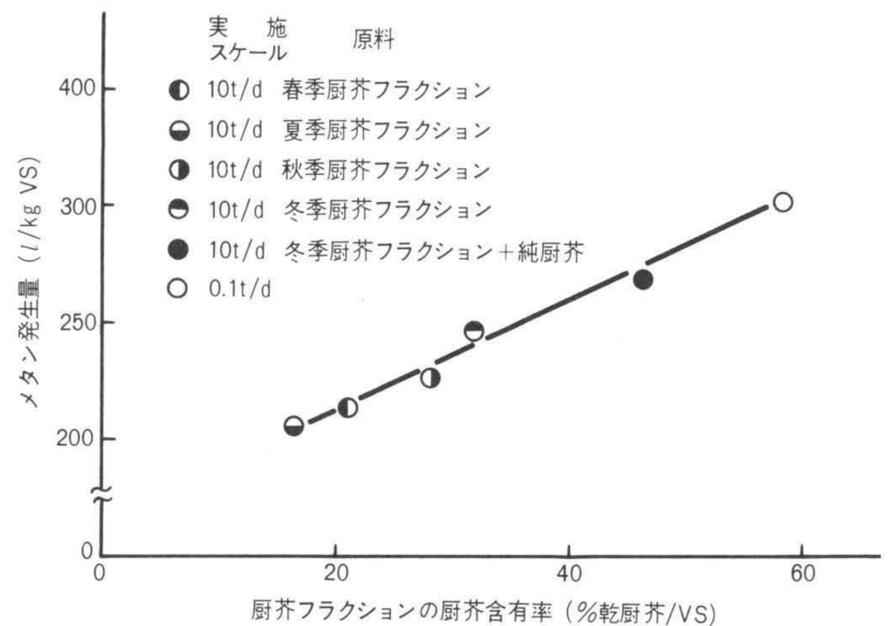


図10 メタン発生量に及ぼす原料中の厨芥含有率の影響 メタン発生量と原料の厨芥含有率との間に直線関係が認められる。季節により厨芥含有率が変化するため、メタン発生量もそれに伴い増減する。

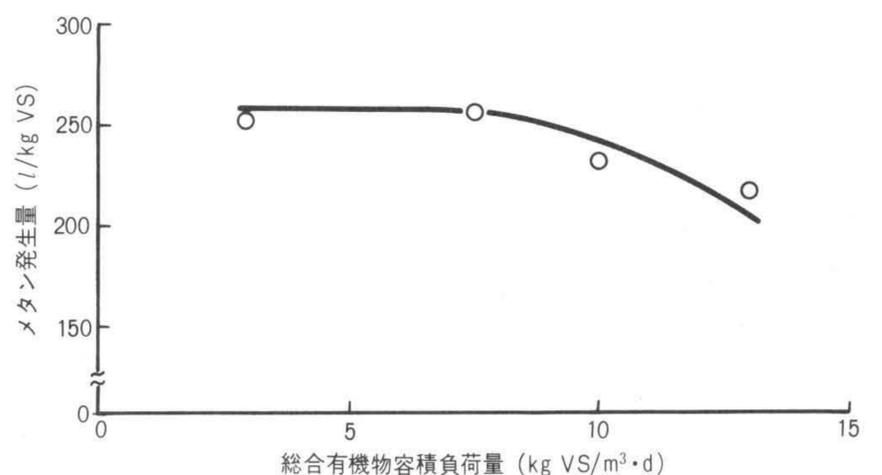


図11 容積負荷量とメタン発生量との関係(10t/d実証プラント) 厨芥含有率30~35%の原料を用い、滞留日数を8日に固定し、スラリー濃度を変化させて13kg VS/m<sup>3</sup>・dまで段階的に負荷量を上昇、13kg VS/m<sup>3</sup>・dの高負荷でも安定して連続発酵可能である。

い。しかし、厨芥と混合処理することにより、窒素過多のため単独で発酵しにくい下水汚泥を効率よく処理できるようになる<sup>4)</sup>。この点でもメタン発酵は注目すべきである。通商産業省の大型プロジェクトの一環としてメタン発酵サブシステムの開発と並行し、プラスチックフラクションの熱分解をはじめ、パルプ回収、コンポスト化、軽量骨材化などの各種サブシステムの研究開発も行なわれてきた。実用化の際には、その地域の特性に最も適合したトータルシステムを選択するか、必要なサブシステムを既存のシステムに部分的に導入することになるだろう。その際、メタン発酵は既存の焼却処理と競合するものではなく、むしろ相補う関係にあることに注目すべきである。すなわち、含水率の高い厨芥はメタン発酵に適しており、プラスチック、紙、木は熱分解や焼却に適しているからである。今後、混合収集に代わり、厨芥と厨芥以外の主要成分ごとに分別収集できれば、トータルシステムのなかでメタン発酵の特長も更に発揮できると期待される。

### 6 今後の課題と展望

都市ごみは、今後しばらくは混合収集方式で収集されるものと考えられる。メタン発酵の実用化を推進し、更に性能の向上を図るには、以下の技術的課題が挙げられる。

## (1) メタン発酵に適した分別処理システムの開発

現行の分別技術は、必ずしもメタン発酵を対象とし最適化されたものではない。厨芥フラクションに混入してくる夾雑物は、発酵槽底部に沈積しやすいし、発酵残渣(消化汚泥)の肥料化に際しても妨げになる。現在の機械的分別では限界があり、メタン発酵に適すると考えられる湿式分別法を導入するなど、発酵の転換も必要と思われる。

## (2) セルロースの微生物分解によるメタン収率の向上

紙繊維の主成分であるセルロースをもメタン化できれば、メタン収率の向上、消化汚泥の減容化につながる。今後、セルロース分解性のメタン発酵菌の開発が活発化するであろう。

## (3) メタン利用、廃熱利用を含めたトータルシステムの開発

メタンは良質の燃料ではあるが貯蔵性に劣るため、トータルシステム内での利用が主体となろう。逆に、熱分解などの他サブシステムからの廃熱は発酵槽の加熱源として利用でき、その分だけメタン回収率の増大につながる。

これらの技術開発と並行し、新システム導入のモデル自治体の育成など、行政面での積極策が望まれるところである。

## 7 結 言

これまで都市ごみ中の厨芥は、メタン発酵の対象とされなかった。厨芥を原料とする高効率メタン発酵システムの開発を目的とし、プロセスの基礎検討及びパイロットプラントによる実証実験を行なった。原料スラリのアルカリ性加熱処理が発酵促進効果をもつことを見いだすとともに、液化、ガス化発酵をそれぞれ最適pHで行なうことにより、発酵の2 Steps化による最適化に成功した。これらの知見をもとに、「前処理」、「液化発酵」及び「ガス化発酵」から成るプロセスを構

成し、連続発酵基礎実験により処理効率、メタン収率をはじめメタン濃度でも本プロセスが優れていることを確認した。更に10t/d実証プラントにより、その高効率性と原料組成の季節変動にも十分対応できることを確認し、エネルギー回収形メタン発酵システム実用化への見通しを得た。

本研究の遂行に当たり、種々有益な御助言、御指導をいただいた通商産業省工業技術院の高原弘榮研究開発官、大磯義和技官及び通商産業省微生物工業技術研究所の園田頼和工学博士に対し謝意を表わす次第である。

## 参考文献

- 1) S.Ghosh, et al.: Anaerobic Acidogenesis of Waste-water Sludge, J. Wat. Pol. Con, Fed, 47(1), 31~45(1975)  
液化発酵菌とガス化発酵菌の増殖速度の差を利用し、下水汚泥の発酵の2 Steps化を試みているが、部分的な分離にとどまる。
- 2) M.Ishida, et al.: Biogasification of Municipal Wastes, 2nd International Recycling Congress, Conversion of Refuse to Energy/Material and Energy from Refuse, Vol. 2, 797~802(Oct.1979, Berlin)E.Freitag Verlag fur Umwelttechnik, Berlin
- 3) 石田, 外: 汚泥とごみの混合消化処理, 環境技術, 7(5), 445~450(1978-5)
- 4) 石田, 外: 都市ごみ・下水汚泥混合スラリーのメタン発酵処理, 資源と再生, 4(12), 24~31(1981-12)

## 論文抄録

## 野菜工場の進展

日立製作所 高辻正基

計測自動制御学会誌 22—6, 522~528 (昭58-6)

近年、施設園芸が発展し、野菜のある程度の周年供給が可能になったが、農薬の大量使用、土壌の老朽化、品質の低下、流通コスト、労働環境の悪化など多くの問題がある。野菜工場は作物を正に工業的に生産することによって、上記の諸問題を解決しようとするものである。

工業生産とは一口に言って、規格品の大量生産のことである。したがって、野菜を工業的に生産するためには、野菜の栽培ノウハウを規格化し、従来の栽培法に比べて大幅な生長促進を達成しなければならない。筆者らはサラダナとピーマンを例にとり、生長の定量化と促進を実験的に確立した。

まず生長の規格化のために、生長指標として光合成、呼吸、重量、体積などを選び、これらを非破壊測定できる計測器を開発した。すなわち、生理反応を測定する多成分ガス質量分析計、葉菜の全重量を測定する半導体ひずみゲージ利用の重量連続測定装置、共振法を利用した果菜の部分重量測定

装置などである。グロースチェンバ(植物生育槽)内で環境条件を様々に変えて生長との関係を調べ、サラダナとピーマンに対してほぼ完全な生長定量化に成功した。

生長促進についても、サラダナは最適条件下(温度20°C, 日長24時間, 炭酸ガス濃度1,000ppm)で25gから200gまで7~8日間で生長し、これは春秋の露地栽培の5~6倍の生長速度に当たる。ピーマンでは最適条件下(温度24°C, 日長16時間, 炭酸ガス濃度1,000ppm)で、同じく3~4倍の生長促進が得られた。また播種から収穫開始までの期間が短縮され、収穫期間は大幅に延長された。生産物のビタミン、ミネラル含量も店頭物よりも数十パーセント多い結果が得られた。

サラダナの生長データを基に、完全人工制御形のサラダナ生産工場の概念設計と経済性評価を行なった。サラダナ1株(100g)の生産原価(償却費+変動費+人件費+金利)を計算すると50円代になり、卸売価格と

同程度である。経済的には一般にまだ少し難しいと考えるべきである。世界的には欧米を中心に研究開発が進められており、ルスナー社、ゼネラルミルズ社、ホイタカー社などで実用化に近い水準にきている。

完全人工制御形は照明・空調電力費がかさみ、現状では生産費の40~50%を占める。今後の技術課題としては、間欠照明による省電力化や、環境制御以外(磁場印加、ホルモン投与など)による生長促進が重要になる。また将来的には、野菜工場用の育種に期待したい。一方、太陽光利用形は一部実用化されているが、自然条件に左右される以上、立地条件がある。太陽光利用形では太陽光の熱線を吸収・反射し、可視光を選択的に効率良く透過する被覆材の開発と、最適制御技術の確立が重要である。以上の諸技術の開発に成功すれば、野菜工場が数年後以降に実用化される可能性がある。