

生ゴミの堆肥化システム

Composting System of Garbage

宮内 修平* 井本 泰造* 岩崎 和弥**

Shuhei miyauchi Taizo Imoto Kazuya Iwasaki

(2002年7月16日 受理)

キーワード：生ゴミ、有機性廃棄物、堆肥、好気性発酵、有機物分解率

1. はじめに

今日の経済発展により物資の供給量は飛躍的に増加し、それに伴い廃棄物の発生量も増加の一途をたどっている。その結果、廃棄物の処理・処分に膨大な経費を必要としている。しかも、廃棄物の処理過程から炭酸ガス、ダイオキシン等の環境汚染物質の排出、最終処分場付近から地下水汚染等の社会的問題が発生している中、廃棄物を単に焼却処理の後、埋め立て処分を行うのではなく、リサイクルに重点を置く資源循環型社会に移行することが望まれており、食品リサイクル法や家電リサイクル法が施行されている。中でも、生ゴミ等に代表される有機性廃棄物の堆肥化処理は、大幅な減量化を可能にするとともに、堆肥としての有効利用がはかれる点から、再資源化技術の有力な手段として注目されている。

そこで、生ゴミの堆肥化における基礎実験（バケツ実験）、小型発酵槽による連続実験を行い、これらの結果をもとに、大阪府中央卸売市場から発生する野菜屑、魚粗等の生ゴミを対象に1日最大処理量50トン規模の生ゴミ高速減容化実証プラントを製作した。本報告はそれらの結果および実証プラント概要について述べる。

2. 基礎実験（バケツ実験）

(1) 実験材料

堆肥化発酵は、適当な水分と空気を必要とする好気的条件下において、有機物を栄養源として微生物が増殖し有機物を発酵分解させる反応であることは良く知られている。また、堆肥化発酵過程では代謝物として水、炭酸ガスを主体に、その他の臭気ガスを排出する。

* システム技術部 環境・エネルギーグループ

** システム技術部 環境化学グループ

実証プラントにおける堆肥化発酵の対象物は中央卸売市場で発生する野菜屑、魚粗等の生ゴミであるが、季節変動が大きいこと、性状が安定しないこと、さらに入手が困難であることから、ドッグフードに水を加えスラリー状として生ゴミの代替材料として基礎実験を行った。表1にドッグフードの組成を示す。

表1 ドッグフードの組成(%)

C	H	O	N	S	Ash
43.5	6.3	37.02	4.44	0.83	7.91

また、堆肥化発酵を行うには対象とする有機性廃棄物の水分は80~90%と高いことから、水分調整材としてオガ屑が一般的に使用されるため、本実験においてもオガ屑を水分調整材として使用した。また、オガ屑はリグニン、セルロースを主体としているために堆肥化発酵では分解困難なものであり、本実験を通じて物質収支の検討時には分解・減量しないものとした。

(2) オガ屑ベースの試験において種菌の添加量が発酵速度に与える影響

実験試料は、新鮮なオガ屑10リットルに栄養源としてドッグフード250gを加え、種菌として牛糞堆肥をオガ屑の1%および5%に相当する100cc、500ccを添加した後、

水分が共に55%となるよう調整・混合したものをを用いた。牛糞堆肥は畜産団地で製造されたものをを用いた。図1の写真は試

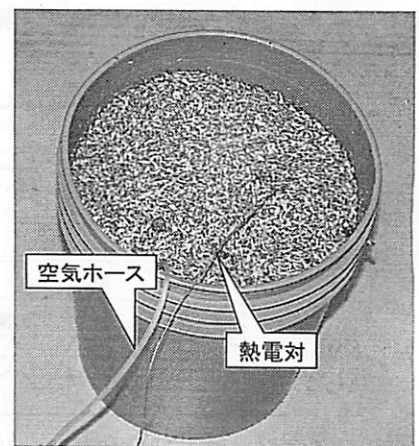


図1 バケツ実験の状況



図2 炭酸ガス濃度測定状況

料をバケツに入れ、毎分1リットルの発酵用空気を底部から送風するためのホース、温度測定用の熱電対を試料の中間に設置した状況を示している。

また、発酵状態を把握するためには炭酸ガスの発生量の把握も必要となるが、ガス分析装置の吸引量は毎分3リットルと大きく送風量が足りないため排ガス中の炭酸ガスが逸散しないように、図2に示すポリ袋をバケツにかぶせ排ガスを捕集し排ガス放出用ホースを取り付けた。炭酸ガス分析を行わない時は排ガス放出用ホースから余剰の排ガスを放出し、一定時間ごとに排ガス放出用ホースを分析用ホースに接続し各試料の炭酸ガス濃度を測定した。

更に2日(48時間)経過した後、栄養源としてドッグフード250gと水250gを加え、約4日間にわたって発酵温度および排ガス中の炭酸ガス濃度を測定した結果を図3に示す。

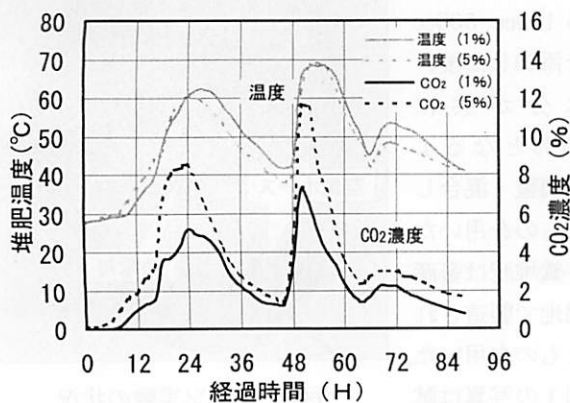


図3 発酵における種堆肥の影響

この図から、どちらの場合にも発酵温度、炭酸ガス濃度が上昇しており、発酵が順調に開始し約24時間経過後発酵温度のピークに達していることがわかる。このことは、種菌としての牛糞堆肥が1%と少ない場合においても、栄養源と水分・空気等の発酵条件さえ整えば十分堆肥化発酵が可能であることを示している。

また、3日目にドッグフードを加えると発酵温度および炭酸ガス濃度の上昇速度が大幅に加速し、約6時間でピークが現れたことから、菌が増殖し試料全体が発酵堆肥になっていることが理解できる。このことから、いったん発酵が始まれば、発酵槽内は発酵菌で充満されることとなり、基本的に種菌の追加は必要ないと考えられる。

(3) 発酵における水分の影響

堆肥化発酵は好氣的条件下における微生物による有機物の分解であり、一定量の水分が必要といわれている。そこで、水分量の違いが発酵に与える影響を確認するために、種堆肥6.8kgにドッグフード1kgを添加、水を加えて全体の試料水分を30,40,50,60%の4種類に調整して、それぞれ送風量毎分約1リットルでバケツ底部から送風し図2に示す要領で2日間行った。測定項目は排出ガス中の炭酸ガス濃度、バケツ内試料温度とした。図4に測定結果を示す。

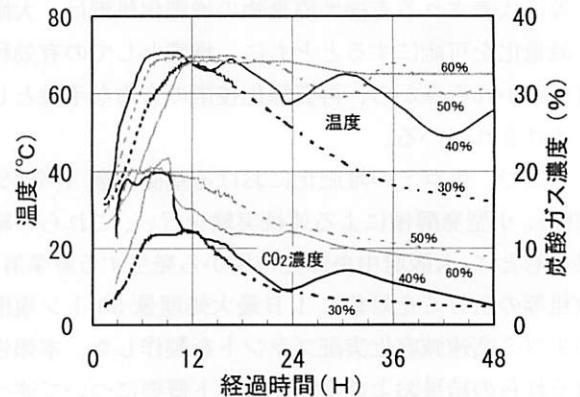


図4 発酵における水分の影響

図4の試験結果から以下のことが推察できる。

- ①種堆肥を使用しているために発酵の開始速度が早く、発酵温度から見る限りいずれも6時間から10時間でピークに達しており、最も早くピークに達したのは水分40%、50%で約6時間、水分30%、60%は約10時間で、発酵の開始速度については水分40%、50%の方が良好と思われる。
- ②温度の維持については、水分30%以外で若干の差があるものの良好であった。
- ③有機物分解率や発熱量に大きく寄与する発生炭

酸ガス濃度も温度と同様なカーブを描き、水分 40～60%において良好な結果となっている。

この実験結果から、発酵温度上昇の早さ、温度維持の長さ、炭酸ガス発生量の多さから判断すると、水分 50%前後における発酵が良好であった。

このことは、水分量が 30%程度まで低くなると乾き過ぎとなり微生物の活性が低下すること、一方、水分が 60%程度まで上昇すると、湿り過ぎにより濡れた嫌気的狀態になり、好氣的条件下で機能する微生物にとって不都合な条件になることを示している。

従って、堆肥化発酵における水分は乾き過ぎでもなく、濡れた状態でもない湿った状態の 50%前後が適切な水分量と思われる。また、この実験においてバケツ内の堆肥を観察すると、堆肥は通気性の良いフワツとした状態であり、かさ比重は約 0.5kg/リットルであった。

このことから、以降の堆肥化実験は水分を 50%前後に維持し、堆肥のかさ比重を約 0.5kg/リットルをめやすに行った。

(4) ドッグフードの毎日投入による減量および分解率の調査

表 2 にスタート時点における 20 リットルバケツに準備する試料の組成を示し、容量は約 12 リットルとした。

表 2 スタート時における試料組成 (kg)

オガ屑	ドッグフード	牛糞堆肥	水	全体
2.27	0.91	0.45	2.63	6.26

このバケツに土・日曜日を除く毎日一回ドッグフード 250g と水 250g、合わせて 500g を加え、風量 1 リットル/分で空気をバケツ底部より吹き込み図 1 の要領で堆肥化試験を約 100 日間行った。この実験期間の日々の重量変化・有機物分解率を図 5 に示す。

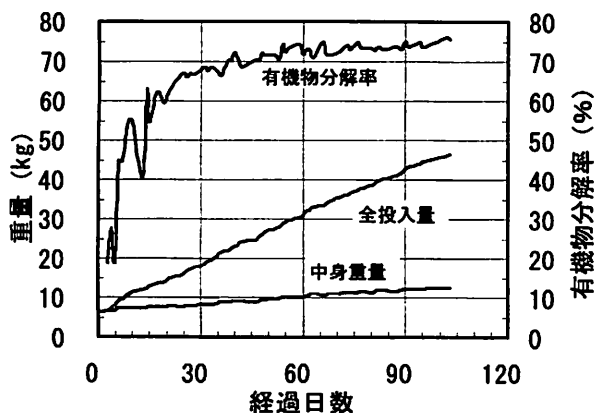


図 5 ドッグフードでの試験結果

ここで、ドッグフード乾物当りの全投入量を全有機物投入量とし、中身重量から水分、オガ屑乾物量、および種堆肥乾物量を差し引いた量を投入有機物未分解量とした。従って、全有機物投入量から投入有機物未分解量を差し引いた値が有機物分解量となり、この値を全有機物投入量の百分率で表し有機物分解率とした。

この図において実験開始時の数日間の有機物分解率が小さいのは、日々の分解量は一定であるが、スタート時におけるドッグフードの量が多く、未分解物が多く残っているため見掛けの有機物分解率が低くでているためであり、また、このことは、時間経過とともに有機物分解率が上昇し、最終的に 75%前後になっていること、しかも低下する傾向も見られないことから、有機物分解率が 75%前後で順調に推移していることがわかる。このことから、100 日程度であれば堆肥化が順調に継続することが可能であることが推測できる。なお、この間における試料水分は約 45%と安定して推移していた。

また、試験期間中におけるドッグフードと水の投入時から翌日投入時まで 1 日間の堆肥温度、炭酸ガス濃度について図 2 の要領で測定した結果を図 6 に示す。

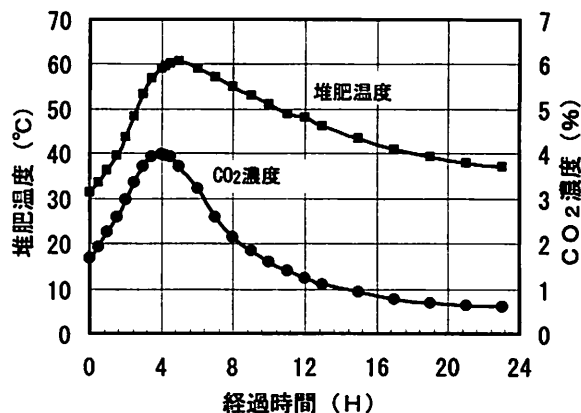


図 6 ドッグフード投入後の温度・CO₂の変化

ドッグフード投入後数時間で炭酸ガス濃度、槽内温度がピークに達しており、堆肥化は順調に進行していることがわかる。他の日の測定結果も、炭酸ガス濃度、槽内温度の上昇カーブは同様の傾向を示しており、堆肥化発酵の日々の変動は大きくないものと思われた。

堆肥化処理は堆肥としての有効利用だけでなく投入物の水分量、固形分量に関係なく、投入物の大幅な減量化が可能となることである。今回の実験における減量率は全投入量と試料重量の差を全投入量で割った値となるので、スタート重量が 6.26kg、日々投入量が 0.5kg で実験終了時の全投入合計は 46.44kg となり、最終試料重量は 12.37kg であった。従って、全体の減

量は 34.07kg となり、減量率は約 75% となった。

今回の実験で注目すべき点は、水分調整剤であるオガ屑の投入がスタート時点の一回のみで堆肥化発酵が順調に推移することが確認できたことである。すなわち、今回の実験では、スタート時にオガ屑を 2.3kg 投入することで、乾物ドッグフード約 20kg の堆肥化が可能となったことである。このことは、栄養源である有機物の水分に関係なく、堆肥化中の水分を 50%前後に維持できれば、調整材としてのオガ屑の量はごく少量でも発酵が可能であることを示唆している。

3. 小型連続発酵槽における試験

基礎実験の結果から、水分を 50%程度に維持することで、円滑な堆肥化発酵が可能であることが確認できた。基礎実験(堆積発酵)では投入生ゴミの水分を発酵槽内水分とほぼ同じ 50%にして運転を行っているため、堆肥水分が上がらず、また、水分蒸散が少なくすみ、堆積発酵と同様に少ない風量で堆肥化処理が進行した。しかし、現実の生ゴミの水分は約 80~90%と高く、しかも処理量を増加する場合には一回の投入量も多くなり、その結果、発酵槽内の水分が高くなり、堆肥化発酵は困難になると思われる。一方、発酵が順調に進行している場合には発酵槽内には数多くの発酵菌が存在し、生ゴミ投入後数時間で発酵のピークに達している。従って、1日一回の投入量を 24 時間かけて連続的に生ゴミを投入することおよび返送堆肥を用いることで、一時的な水分上昇は十分抑制できると考えられる。そのためには、生ゴミの連続投入設備、堆肥化装置内で堆肥が連続的に前進するとともに、連続投入される生ゴミと常に攪拌される装置が必要となる。

そこで、回転ドラム式の発酵槽を考案し、一方から生ゴミを投入し、堆肥化が進みながら反対方向に進み、オーバーフローした返送堆肥が生ゴミ投入側に返送される構造の試験装置を製作した。

(1) 試験方法および目的

試験装置の概要を図 7 に示す。

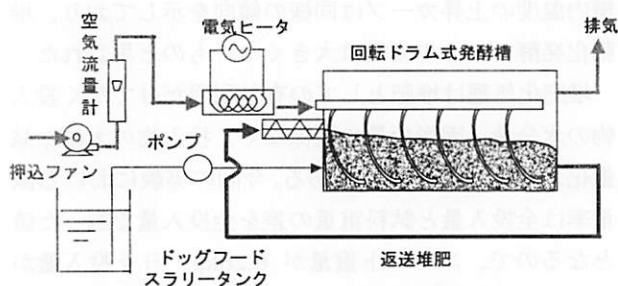


図 7 小型連続発酵試験装置の概要

回転ドラム式発酵槽は内径 0.5m、長さ 1.5m で全容量約 300 リットルである。実験開始時の投入物はオガ屑 16kg、種堆肥 42kg に水 12kg を加え水分 50%とし、全容量の 40%に相当する 120 リットルを発酵槽に充填した。ドッグフードを投入すると発酵槽の回転 (0.15rpm)により発酵槽内堆肥化物はセルフレベルされ、排出側に進み発酵槽出口の堰を越えて排出し、水分調整用の返送堆肥としてコンベヤを介して再び発酵槽に返送される。このとき 1日あたりの返送量は発酵有効容積に相当する 120リットルとなるよう堰の高さを調整した。また、ドッグフードはポンプにより定量供給を可能とするため、および実際の生ゴミの水分に近づけるために、9倍の水でスラリー (水分 90%) にして試験材料とした。堆肥化対象物としてのスラリーは、タイマーに連動した定量ポンプを数分間隔で間欠運転することにより定量供給を行い、擬似的に連続投入とした。

このとき、時間当りのスラリー投入量が少ないため、水分が 90%と高いスラリーを投入しても、多くの返送堆肥と混ざった見かけの水分はそれほど高くない。しかし、この水分を蒸散させない限り、堆肥化発酵過程で発酵槽内堆肥水分が上昇することになり円滑な堆肥化発酵が困難となる。従って、多くの水分を蒸散させることが必要である。発酵槽内温度を 60℃と設定し発酵排ガスの絶対湿度から、スラリー投入量に見合った水分蒸散に必要な発酵用空気量を求め送風した。

また、堆肥化反応による発熱のみではドッグフードスラリー中の水を全て蒸散できないことから、発酵槽内温度を約 60℃に設定し、不足熱量は発酵用空気を電気ヒータにより加熱し不足熱量の供給を行なった。加熱空気の温度制御は発酵槽内排気ガス温度をセンサーで計測し、設定温度が 60℃となるようヒータ電力をインバータ制御した。しかも、発酵排ガスが、発酵槽で冷却され蒸発水が凝縮しないように電気ヒータにて発酵槽全体の加温も行った。

今回の試験の主目的は、ドッグフードすなわち有機物の投入量 (処理量または負荷量) の変化に応じた、有機物分解量の変動を把握することである。すなわち、装置の大型化を考慮した場合の、最大負荷に対する最小規模の発酵槽を設計するための資料を得ることにあつた。そこで、ドッグフードの 1日投入量を 4kg から 8kg まで変化させ、それぞれについて、二日間以上の定常運転を行い、以下に述べる方法で有機物分解量、有機物分解率を求めた。

堆肥化発酵によって有機物中の炭素が酸化され炭酸ガスとなることから、発酵排ガス量と排ガス中の炭

酸ガス濃度から炭素重量を算出し、この値と有機物中の炭素含有量(表1)から有機物分解量を求めた。この有機物分解量を投入有機物量で割ったものが有機物分解率となる。

(2) スラリー連続投入試験結果

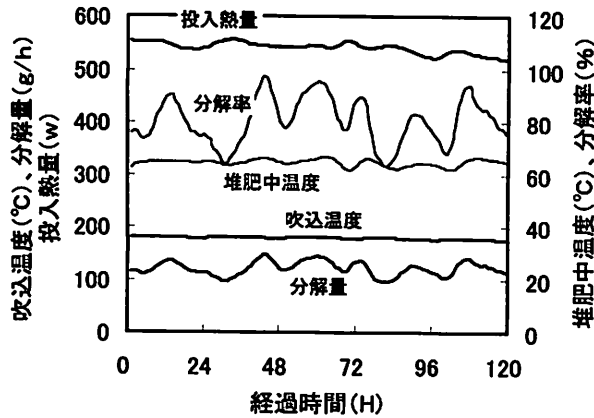


図8 小型連続発酵槽での運転状況

図8はドッグフード4kg/日、スラリーで40kg(リットル)/日における5日間の試験データである。堆肥温度、分解率、および分解量は変動しているが、分解率は80%以上、堆肥温度65°Cで推移しており、一日あたりの負荷量としては大きいにもかかわらず順調に発酵している。

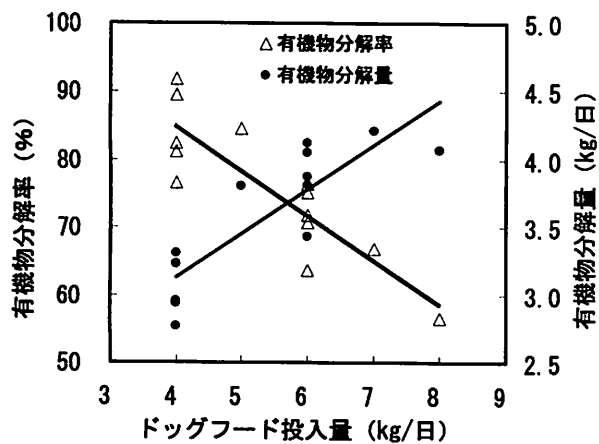


図9 投入量の違いによる有機物分解率・量

図9はスラリー投入量の違いによる、有機物分解量および有機物分解率の結果を示している。この結果から、一般に堆肥化における生ゴミの有機物分解率は約80%といわれていることから、ドッグフードの投入量は5kg/日、スラリーで50kg(リットル)/日程度までなら、この発酵システムで堆肥化処理が可能であり、生ゴミの減容化施設として使用できる。スラリー50kg(リットル)/日は槽内堆肥の約40%と非常に大きく、一日一回の

スラリー投入となると、投入時の水分は68%と高くなり好氣的堆肥化発酵は困難となる。しかし、24時間に分散して投入し、しかも大量の返送堆肥と混合することで、見かけの水分が低くなり、運転が可能となっている。この処理量は、従来の堆肥化設備に比べて数倍の負荷量となっている。

以上のことから、本発酵試験システムは処理量が大きいことが理解できる。このことは前述したように、発酵槽内の堆肥が活性の高い菌となっていることから、投入スラリーの発酵開始が早いこと、また、バッチ運転ではなく24時間に分けて返送堆肥とともに連続的にスラリーを投入することによる負荷量の分散により、発酵槽内では常に連続的に発酵が推移していることの結果と考えられ、投入生ゴミ量が有効容積の40%程度までなら十分に堆肥化発酵が可能であることが判明した。

4. 生ゴミ堆肥化実証実験

(1) 生ゴミの堆肥化実証プラント

前項の結果を受けて生ゴミの一日最大処理量50トンの実証プラントの基本設計を行なった。このときの、乾物あたりの有機物量は生ゴミの水分を85%と仮定すると一日当りの生ゴミ乾物量は7,500kgで、小型発酵槽における試験結果を基に有機物負荷量を同一とした場合80%分解が可能なドッグフード5kgの2,500倍となり、小型発酵槽の有効容積0.12m³の2,500倍、すなわち約180m³の有効容積の発酵槽が必要となる。したがって、実証プラントの発酵槽は設計・製作の観点から直径4m、長さ15mを2基設置することとした。内容充填量を約50%とした場合に発酵槽有効容積は188m³で必用容積を確保できることとなる。

表3 堆肥化実証プラントの設計仕様

生ゴミ水分	85%
おが屑/生ゴミ	0.04
外気温度	15°C
反応温度	55°C
有機物分解率	80%
反応生成物水分	35%
排ガス相対湿度	85%
脱臭炉出口温度	110°C
反応槽 直径	4,000 mm
反応槽 長さ	15,000 mm
反応槽 充てん率	50%
発酵槽 基数	2基
総括伝熱係数	0.63 w/m ² ・°C

また、実証プラントの設計計算に使用する堆肥化材料は市場から発生する生ゴミであるが、生ゴミの組成

は季節変動、その他の要因により不安定であることからドッグフードの組成(表1)を生ゴミの組成の代替として用い、表3に示す設計仕様をもとに、実証プラントの熱・物質バランス計算を行った。その結果を図10に示す。

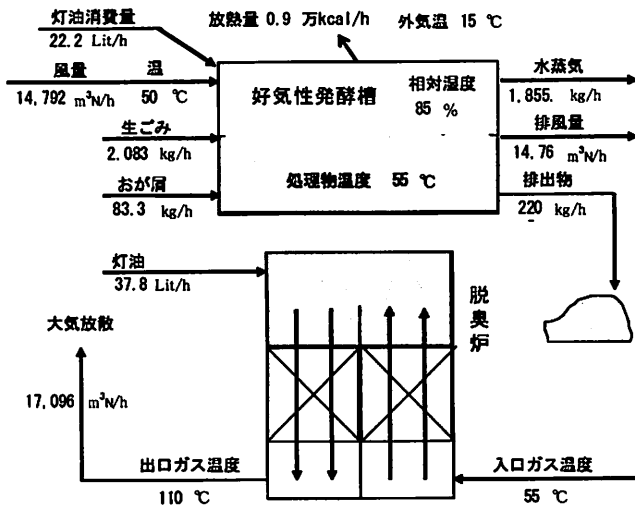


図10 堆肥化実証プラントの熱・物質収支

(2) 実証試験プラントの概要

実証プラントのフローは小型連続発酵槽と基本的に変わらないが、受入れ、排出および脱臭設備等をさらに加えた構造であり概要を図11に示す。この図をもとに、堆肥化システムの工程を以下に示す。

市場内で発生した生ゴミはダンプトラックで回収され、トラックスケールで計量され、受入れホップにダンプされる。受入れホップは、最大生ゴミ発生予想

量である日量50トンを受け入れるサイズで、2基設置されている。ホップ内の生ゴミはホップ下部に設けられた定量切り出し装置により、約24時間かけて生ゴミ発生量に相当する生ゴミが定量切り出しされ、生ゴミ破砕機に送られる。破砕された生ゴミはパイプコンベアを介して回転ドラム式発酵槽投入用コンベアに送られ返送堆肥と混合され発酵槽に投入される。生ゴミは発酵槽内で約1日かけて堆肥化が進み、発酵槽の出口側から排出され、磁選機で金属類が除かれ振動ふるい機あるいは投入用コンベア(返送堆肥)に送られる。振動ふるい機では、3種類の粒度に分けられ、細粒は堆肥に、中粒は返送堆肥に、大粒は夾雑物として分離される。

また、市場内で発生した廃パレットは破砕機、粉砕機により水分調整材用のオガ屑として利用される。

発酵用空気は、発酵排気ガスが適切な温度となるようTIC信号により熱風発生炉で加熱され送風される。送風量は水分計が適切な水分となるよう適宜調整される。

(3) 実証実験結果

図12に生ゴミ(マグロアラ含む)投入開始時からの生ゴミ投入量、マグロアラ投入量、オガ屑投入量および排出堆肥量の累積を示す。実証実験開始から50日あたりまでは生ゴミを投入しても減量したものが発酵槽内へ蓄積し、排出されない時期であった。また、この時期は開始時に発酵槽内へオガ屑を大量に充填していたため、水分調整材としてオガ屑を投入する必要はなかった。

投入開始から130日あたりよりマグロアラ受入量が

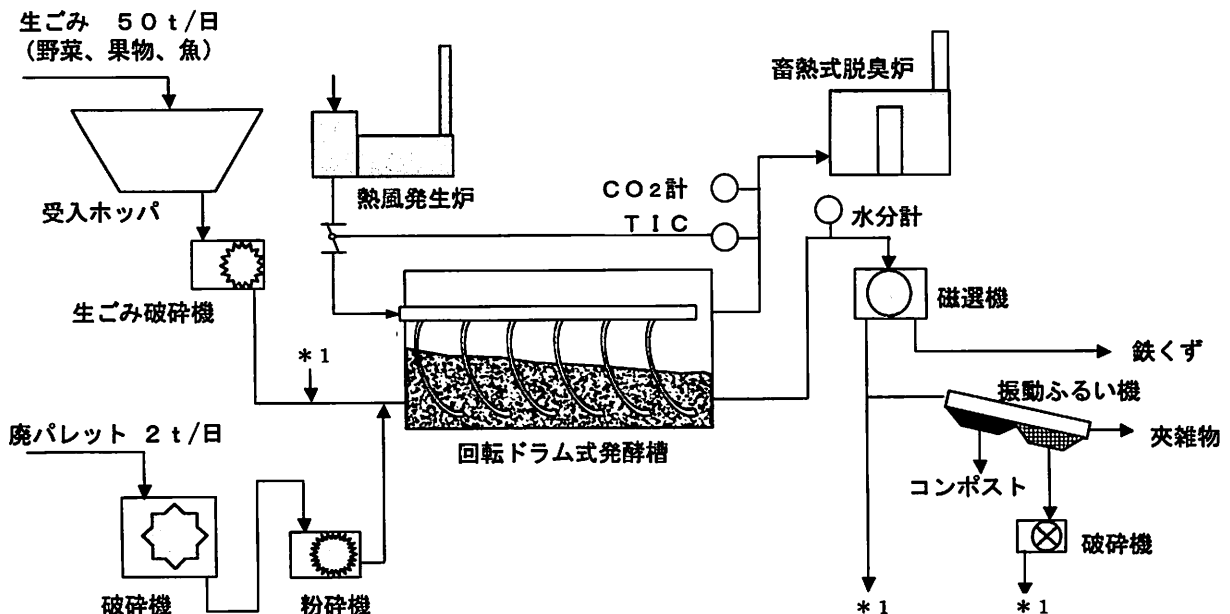


図11 中央卸売市場における生ゴミコンポスト化システムフロー

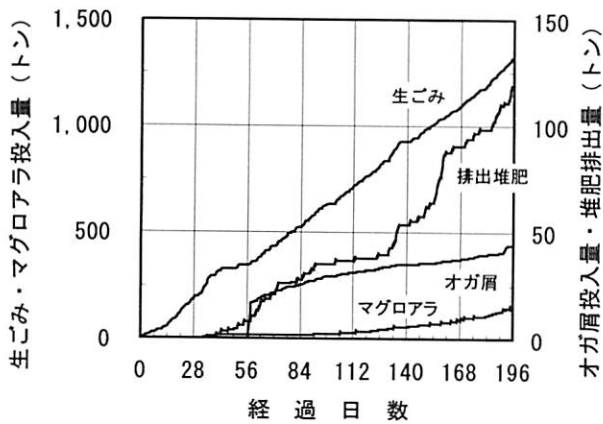


図12 投入量および排出量の状況

増加しており、それと同調して排出堆肥量が増加している。これは、マグロアラ中に占める骨の割合が高いため、発酵・分解されない骨が大量に排出されたためと考えられる。

196日経過時における生ゴミの全投入量約1,300トンに対して全排出堆肥量120トンで、1,180トンの減量が図られ、約91%の減量率となった。また、分解されないマグロアラに含まれる骨、オガ屑等が排出堆肥に多く含まれるため、実際の有機物の減量率はさらに大きくなり、実際の分解に供される生ゴミの減量率は95%以上となった。図13に中央卸売市場に設置している実証プラントの全景写真を示す。

5. まとめ

以上の結果から以下のことがわかった。

- (1) 生ゴミの発酵堆肥化には発酵菌の量の多少にかか

わらず、発酵条件を整えば数時間で円滑な発酵を開始する。

- (2) 堆肥化発酵は水分に大きく依存し、30~60%の範囲で堆肥化は可能であるが、50%前後が最も順調に進むことがわかった。
- (3) 水分の高い有機物の堆肥化を行うには発酵槽内の水分を上昇させないため堆肥の返送を行うことが効果的であり、しかも、この方法は大量処理に向いていることがわかった。
- (4) 実証プラントにおいても、本システムは順調に運転でき、有機物減量率が95%以上と大幅な減量化ができた。本プラントは現在も順調に稼働している。

本研究を進めるにあたり、日立造船株式会社、大阪府中央卸売市場および科学技術振興事業団の関係者の方々に多大な協力を受けたことに謝意を表します。

参考文献

- 1) 武田信生他、飲食店等動植物性残渣リサイクルモデル推進事業調査・検討報告書 (1997)
- 2) 宮内修平、井本泰造、岩崎和弥：大阪府立産業技術総合研究所報告、17-23(1998)
- 3) 井本泰造、宮内修平、岩崎和弥他：第7回資源環境連合部会研究発表会 75-78(1999)
- 4) 宮内修平、井本泰造、岩崎和弥、掛須雅子：大阪府立産業技術総合研究所研究発表会要旨集 16-17(2000)

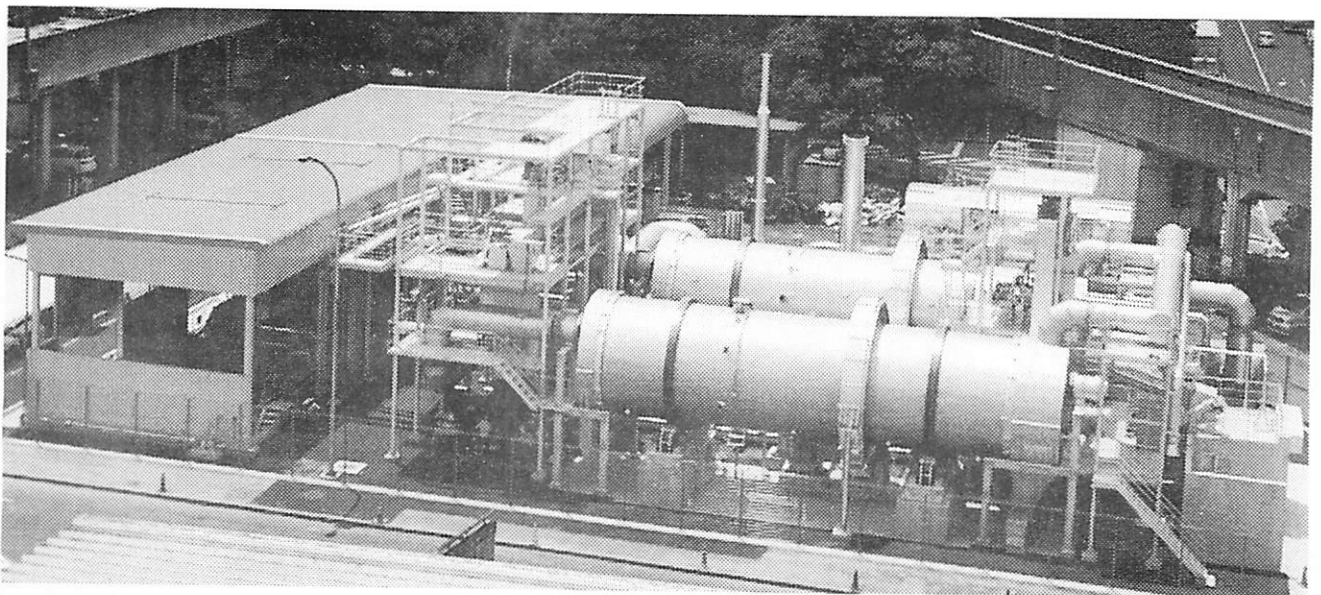


図13 実証プラント全景