

# 福島県ハイテクプラザ研究報告書

TECHNICAL REPORTS  
OF  
FUKUSHIMA TECHNOLOGY CENTRE

研究課題

再資源化技術(リサイクル化技術)の研究開発

分担テーマ

微生物による未利用資源の高度利用化

平成15年3月

福島県  
ハイテクプラザ  
FUKUSHIMA TECHNOLOGY CENTRE

# はじめに

「戦争の世紀」、「IT幕開けの世紀」と称された20世紀末に、来世紀は「環境の世紀」「ITの世紀」「福祉の世紀」といわれて、様々な環境保全のためのアクションや福祉のためのアクションが興りました。

福島県ハイテクプラザにおいても、これらに関わる研究が積極的に進められており、各々に成果を公表しているところでもあります。

おりしも、福島・山形・新潟の3県知事会議において採択されました、「地域連携軸形成事業」（3県試験研究機関共同研究）においては、第1回の共同研究が終了時期を迎え、平成11年の3県知事会議において、これまでに多方面で論議され、関心が高まっている、「再資源化技術」を研究テーマとして取り上げることが決定されました。このうち、当県が担当致しました分担テーマ、「微生物による未利用資源の高度利用化」について、平成12年度から3か年にわたり研究を行い、生ゴミとして廃棄物となっておりました未だ使われていなかった資源を、肥料として有効活用するための手法について、電源立地特別交付金などを活用して研究を進めて参りました。その成果を本書にまとめることが出来ましたので報告致します。

今後は、本研究で整備致しました各種設備類を駆使致しまして、成果の普及をはじめ、技術支援を行う計画であります。

平成15年3月

福島県ハイテクプラザ所長

近 藤 達 男

研究課題：「再資源化技術(リサイクル化技術)の研究開発」

分担テーマ：「微生物による未利用資源の高度利用化」

## 目 次

---

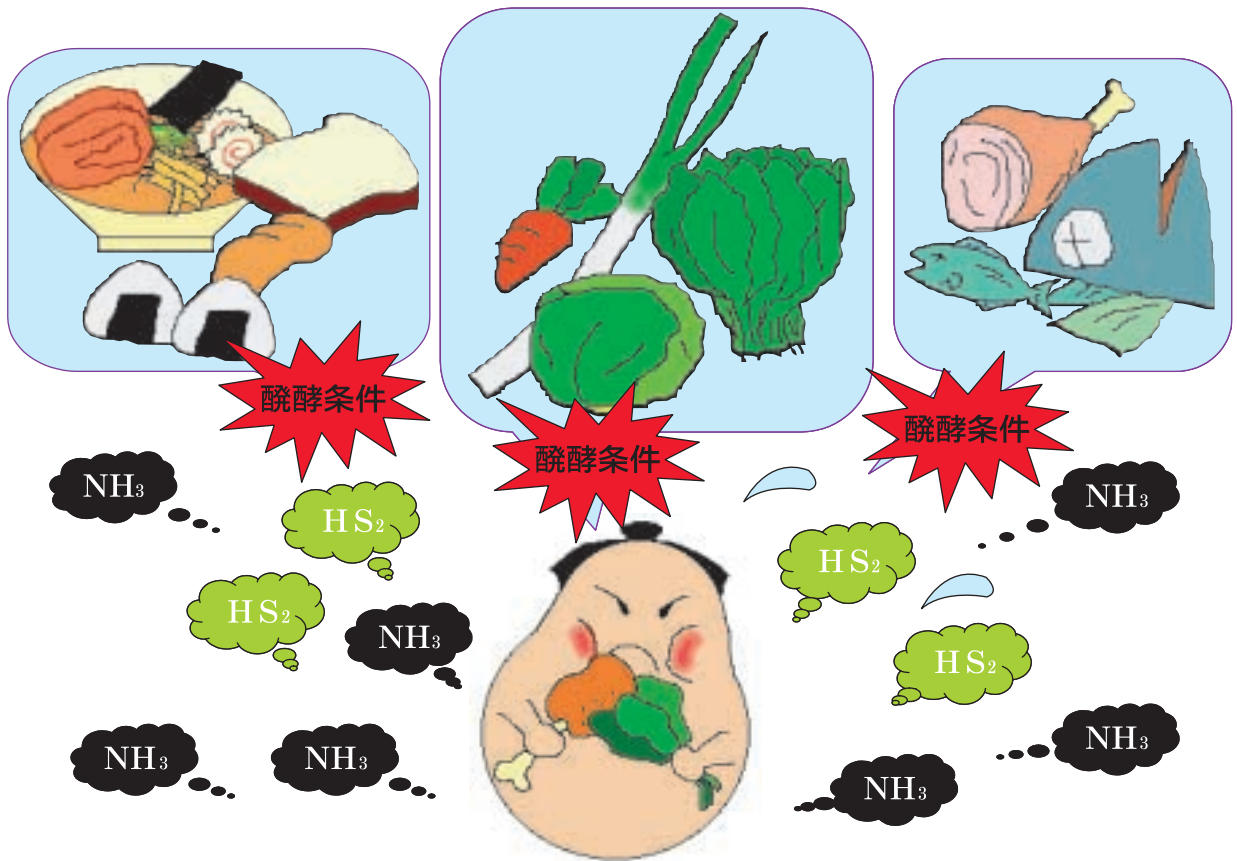
1	事業概要 .....	4
2	実証機による発酵試験について .....	7
3	コンポスト脱臭槽内腐葉土による悪臭物質脱臭試験、 および悪臭成分分解能を持つ微生物の分離について .....	23
4	分子生物学的手法によるコンポスト内細菌の群集解析 .....	38

# 福島・山形・新潟3県共同研究

—再資源化技術(リサイクル化技術)の研究開発—

分担課題：微生物による未利用資源の高度利用化

## 事業概要



福島県

# 福島・山形・新潟3県共同研究について

## —再資源化技術(リサイクル化技術)の研究開発—

・Development of recycle technology・

応用技術部 桑田 彰 池田信也 鈴木英二 安川 真

### 1. 経緯

平成6年に開催された、「福島・山形・新潟の3県知事会議」において、各県の公設試験研究機関がより緊密に交流して、研究開発活動を展開することが提案され、平成9年度から「新素材開発による繊維製品の高付加価値化研究」をテーマに繊維部門での共同研究が3ヶ年にわたって展開され、成果を共有するところに至っている。第2次の共同研究として、平成11年8月に開催された、3県知事会議において、「一般・産業廃棄物の再資源化技術」をテーマに、平成12年度から3ヶ年計画で取り組むこととなり、当県では、「微生物による未利用資源の高度利用化」をテーマとして、食品工場、食品等流通経路、食品等提供事業所等から排出される、未利用資源、いわゆる生ゴミの再利用に関する研究を行うこととした。

このことは20世紀が「戦争の世紀」「競争の世紀」と評され、来る21世紀は「環境の世紀」「福祉の世紀」「ITの世紀」と期待されていることにも充分に呼応していたと考えている。

21世紀を迎え、益々環境に与える負荷軽減が声高に望まれるところとなっており、リサイクル技術、リユース技術、農を取り巻く技術、緑化技術等に対する期待は年を追う毎に高まっている。

こういった中で、この研究に積極的に取り組み、成果を問うて行くことは有意義なことであり、多くの期待に応え得るものであると考えている。

### 2. 研究

#### 2. 1. 研究の推進会議

研究を推進するために、「微生物による未利用資源の高度利用化研究推進会議」を、県内の大学、福島県農業試験場から学識経験者委員、県内の産業廃棄物処理業者団体、機器メーカー等から企業委員を委嘱して会議を毎年2回ずつ開催し、研究の進捗状況を報告するとともに、研究の推進に必要な助言を受けながら研究を進めてゆくこととした。

#### 2. 2. 研究実施について

##### 2. 2. 1 当初の研究計画

県内の食品製造業において様々な工場廃棄物が排出されているが、これらの廃棄物はすべて産業廃棄

物として処理されており、その廃棄費用も無視できない状態になっている。そこで、これら食品工場等の廃棄物に着目して、廃棄物のうちから資源として有効利用できるものを探し出し、その未利用資源を微生物によって処理して、食品素材の創出や肥料・飼料製造への取り組み、有効な発酵方法などの開発や微生物の検索を試みる。併せて微生物の収集によって当所の保有する遺伝資源の数を増加させ、これまでの育種の課題などへの応用も試みる。また、共同研究課題で利用する微生物の生育環境への順応性の高い微生物の検索や育種にむけても積極的に取り組む。

「複合微生物系」での微生物処理の場合、微生物の単離・同定という作業などに占める研究時間の割合が多く、これを効果的に同定できるシステムを検討していく。

選択微生物の利用の可能性について処理槽のプロトタイプモデルを製造し、その中で微生物の発酵のメカニズムを検討し、さらに改良を加えたいうでの試験を実施する。

県内外の各地の様々な場所から土壌は言うに及ばず、湖沼、堆肥、果実、樹木等、広範なところから数多くの微生物を収集し、それら収集した微生物が比較的微生物密度の高い状態で食品工場等から排出される廃棄物を基質として生育できるかを確認し、併せてこれら微生物の生育環境として考えられる「複合微生物系」での効果的な未利用資源の有効利用へ向けた処理技術の開発等へのアプローチをする。

現在のところ食品工場からの未利用資源としては「おから」が容易に入手でき、研究へ供するための保存も容易なので、「おから」を基質として検討しているが今後、更に広汎な未利用資源へのアプローチも視野に入れて検討をする。

肥料の製造については製造工程での悪臭発生を最小限にとどめる微生物の検討や廃棄物のコンポストとしての利用促進、利用環境に合った微生物の検索や育種、微生物の利用環境整備のための方法を微生物相の遷移などと併せて検討して微生物利用有機肥・飼料等の製造についての可能性を模索する。併せて肥料に対して新たな高次機能を付与する方法などについても検討をする。

## 2. 2. 2 研究計画の見直し

・醗酵槽での微生物については、廃棄物が持ってきた微生物で十分に醗酵が出来ることを確認し、醗酵制御は微生物を十分に制御した上で、醗酵の制御が出来ることを確認し、醗酵制御・微生物制御は共存していることを確認して、特に微生物基質を添加することなく醗酵を制御することを目的とする様に修正した。

・従って県内各地からの微生物採集よりも、醗酵槽内微生物相の確認の方が効果的であることが判ったので、醗酵槽内からの微生物分離・確認に研究方向を転換した。

・オカラを対象として研究に取り組んだが、小規模なポット試験では充分であるが、中規模な試験槽での試験では、計画当初時期には、オカラの流通経路が十分に出来上がっており、廃棄物として排出するものがない状態であり、研究対象としては馴染まないことが判明して、オカラを研究対象とはしないこととし、当所から排出される生ゴミを研究対象とすることへ方向を転換した。

・研究成果として、食品素材の創出や肥料・飼料製造への取り組みを計画したが、研究の半ばでいわゆる牛海綿状脳症の問題が発生し、安易に醗酵飼料を給与することが適正であるかどうかの判断が困難になったこと、共同研究者としての畜産農家を選定することが困難であったこと、食品素材としても食品衛生の観点から、研究期間内に食品素材化することが困難と判断されたため、さらに食品工場などからの廃棄物の減量化が法律で規定されたことなどから、肥料化が急務と判断して肥料化に限定して研究を進めることとなった。

これらの研究方針の変更は時代の要請に柔軟に対応するためにやむを得なかったと判断するが、一方で、実機規模での研究にも力を入れることが出来、県内5ヶ所に設置した実機(100kg/day)規模での試験機での1次醗酵試験、県内2ヶ所に設置して行った2次醗酵試験は、充分実用に耐えうる機器の仕様を決定して、多くの現場で実験をすることが可能になったと考えている。

・さらに、研究中、「科学技術調整会議」が編成され、県庁内の部局を越えた試験研究機関の試験研究機関ネットワーク事業が興り、このなかで、農業試験場、林業研究センター、たばこ試験場には肥料の効果についての検討を専門の機関にお願いすることが出来、意味ある成果を確認することも可能になった。また、水産試験場、畜産試験場、養鶏試験場からの廃棄物を得ての醗酵試験も実施することになり、研究の対象に幅が出来ただけではなく、様々な肥料化試料の有効な処理へのアプローチが出来た。これらの詳細については別な機会に報告をすること

とする。

## 2. 3. 研究成果について

成果については以下の項で説明をすることになるが、本研究成果を、県内企業に対して、必要に応じて、技術移転を行うことになる。特許の取得なども視野に入れているので、今回十分に報告出来ない部分もあるが、今後の技術支援などの中で十分に技術移転をしたいと考えている。

## 3. 謝 辞

本研究の遂行にあたり、推進会議の中で、適切にご助言と、激励をしてくださいました、会津大学短期大学部食物栄養学科 安江俊二教授、いわき明星大学理工学部環境理学科 関口武司教授、郡山女子大学家政学部食物栄養学科 坂上 茂助教授、研究の実施に対しまして惜しまぬ協力をしてくださいましたグンダスト事業協同組合、研究実施に際して試料を提供し続けて下さった、株式会社メフォス福島事業所(福島県ハイテクプラザ厨房、鬼怒川ゴム厨房)、醗酵槽を試験的に設置して下さいました、日和田ショッピングモールフェスタ、財団法人福島県産業振興センター産業交流館、日本大学工学部、株式会社郡山大新青果、協業組合郡山とうふセンター、研究推進に際しての必要なアドバイスをしてくださいました、郡山市廃棄物対策課に対して深甚なる謝意を表します。

## 研究報告

微生物による未利用資源の高度利用化

実証機による発酵試験について

# 微生物による未利用資源の高度利用化

## —実証機による発酵試験について—

Development of the ways to use unused food processing subproducts by using Microbes.

-About the fermentation examination by the system scale-

応用技術部 微生物応用科 池田信也

平成12年度からの研究の成果を踏まえ、平成14年度においては、1日の処理量が、100kgの実証規模の発酵槽を製作し郡山市内の5カ所に設置し、実証試験を行った。その結果、(1)一般の食堂の残飯のケース、(2)野菜くずや果実などの廃棄物のケース、(3)食品加工工場から出る比較的均一な廃棄物を混合したケースについての検証をすることが出来た。また、管理方法についてもノウハウを得ることが出来た。

Key word : 廃棄物処理

## 1. 緒言

福島県ハイテクプラザでは、平成12年度より、食品リサイクル法に対応した、食品廃棄物を中心とする有機性廃棄物の有効利用に関しての研究を行ってきた。

平成12年度及び13年度においては、実験用の発酵槽を製作し、発酵状態の検討や発酵管理の方法、そして、発酵に関与する微生物や脱臭機作の解明などいくつかの研究を行った。

しかし、実験用の発酵槽は1日の処理量が15kgであり、あくまでも「試験用」であるため、研究の成果やノウハウを実際の現場で実証する必要があった。

平成14年度においては、これらの研究成果を基に実証試験を行い、一応の知見を得たのでここに報告する。

## 2. 実証試験

### 2. 1. 実証試験用発酵槽

#### 2. 1. 1. 発酵槽の仕様について

今回の実験では、日量100kgの処理量とし、連続運転を行うことを考え、1次発酵槽(5台)のほかに2次発酵専用の発酵槽(2台)を別に製作した。

今年度実証試験用に製作した発酵槽については、主に、平成13年度に製作した発酵槽を基に、処理量、データ収集装置などを再検討し、1次発酵槽の仕様は表1のとおりとした。上面図及び側面図(正面側)を図1に示す。

1次発酵槽の設置にあたっては、重量センサーの設置により全高が高くなったため、半固定式の階段をすべての発酵槽に設置した。

また、平成13年度製作の実験用発酵槽では、温度以外の重量及び二酸化炭素濃度の表示部を機械の内部に設置したが、今回は外側から判読できるよう、正面スイッチ部に設置し、透明なアクリル板で窓をつけ、鍵を開けずとも表示された数値を確認できるようにした。

2次発酵槽においては、1次処理物を処理するものであるため、二酸化炭素濃度計、重量計は省いた。

また、データの収集は現場で行うこととしたため、別なデータ収集装置を取り付けた。

2次発酵槽においては、投入にあたり粉末状の処理物を一度に投入することが想定されたため、1次発酵槽よりも投入口を大きくした。そのため、安全性を考えて、投入口に20センチ間隔で格子を取り付けることとした。

それ以外の仕様については、寸法および重量をのぞいて、処理槽の大きさなどは1次発酵槽とほぼ同じである。

#### 2. 1. 2. 脱臭槽について

発酵槽から排出される排気を脱臭する装置を、実験機と同様に設置することとした。

脱臭槽は、腐葉土をフィルターとした微生物脱臭方式である。その構造を図2に示す。

平成12年度製作の脱臭槽は、発酵状態が良好でしかも外気温が高いときに、中の腐葉土が乾燥し、脱臭能力が低下したことがあったため、平成13年度製作した脱臭槽は、排水を循環するポンプを取り付け、最上段の腐葉土の上から、適宜、散水する構造とした。

今回製作した脱臭槽は、処理量の増加に伴い悪臭物質の増加も考えられたため、構造的には平成13年度製作の実験用脱臭槽と同様としたが、実験用脱臭槽の腐葉土フィルターが2段であるのに対し、実証試験用では3段とした。

また、腐葉土フィルターの表面積を大きくとるため、脱臭槽自体の底面積も大きくした。

同様に、排水量の増加も見込まれ、それに対応するため、排水の貯水槽も大きくした。

#### 2. 2. 1次発酵槽の設置について

##### 2. 2. 1. 設置場所

製作した5台の発酵槽の設置場所については、共同



研究先であるグンダスト事業協同組合に選定をお願いし、下記の5カ所となった。

- 1 ショッピングセンター（搬入口入り口付近）
- 2 ビッグパレットふくしま（裏手職員駐車場付近）
- 3 青果市場（建屋内）
- 4 食品工業団地内（工場敷地内）
- 5 日本大学工学部（大学構内食堂西側）

これら設置場所の1及び4と5は、グンダスト事業協同組合の組合員の企業に投入をお願いした。

2については、施設内にある食堂の従業員の方々に投入していただき、青果市場では市場内の企業の責任者の方に投入を行っていただいた。

ビッグパレットふくしまにおける設置の様子を図3、4に示す。

据え付けにあたっては、発酵槽自体と処理物の重量の増加（約1t）を考え、発酵槽の接地部4カ所に、15cm角の鉄板を敷いて養生した。

また、日本大学工学部においては、植栽部の一部を提供していただいたので、ブロックを埋め、そこに発酵槽の足が乗るように設置した。

すべての場所において、重量センサーの誤動作防止を目的として、正確に水平をとった。

発酵槽において、排気パイプ内部に排気中の水分が結露して閉塞し、排気が困難になることを防止するために、脱臭槽は発酵槽に隣接して設置し、排気用のパイプができるだけ短くなるよう配慮した。

脱臭槽からの排気ホースは、設置場所2及び3においては、排気パイプを特に加工せずに地面に置くだけにした。

他の14及び5については、1は近くの植栽の木に本体の排気口より高いところを出口として固定し、4及び5は発酵槽の後ろ側に1.5mの支柱を立て、その最上部にパイプを固定した。

## 2. 2. 2. 電源設備等

電源設備は、各設置場所で交流三相 200Vの別電源を取り、ブレーカーをつけた上で発酵槽に接続した。

排水については、当初設置場所付近に排水溝がない場合も想定していたが、設置場所2、3及び4については、設置場所付近の排水溝にホースを引き込み、常時排水することとした。設置場所1及び5においては、2日から3日おきに著者らが排水を行った。

## 2. 3. 2次発酵槽の設置について

### 2. 3. 1. 設置場所

製作した2台の発酵槽の設置場所については、グンダスト事業共同組合の会員企業である、有限会社せいかつクリーン産業へ、残り一台は、株式会社アクテックへ設置した。

## 2. 4. 廃棄物の投入

各1次発酵槽について、試験機と同じように、あらかじめ通気のための粗殻を約100kg投入した。

## 2. 4. 1. 各設置場所におけるの廃棄物と投入の状況

### (1) ショッピングセンター

廃棄物は、ショッピングセンター内のテナントから出る、売れ残りのパン類、野菜、残飯、魚介類の残さ等であり、排出量はそれぞれ一定していない。

割合を見ると、重量はそれほどではないが、容積でパン類がかなり多い状況であった。また、排出から1日後に投入されていたため、来客数の多い土曜、日曜、祝日の次の日に投入量が多くなる結果となった。

### (2) ビッグパレットふくしま

廃棄物は、施設内の食堂からでるもののみで、野菜くず、魚介類のあら、残飯、揚げかす等であった。排出量は、施設内でイベント等がある場合、増加する傾向があった。

弁当などを出す場合も多く、揚げかすや揚げ物の食べ残しなど油分の多いものが、多く見受けられた。

### (3) 青果市場

廃棄物は、市場から傷んだり、規格外品として出る野菜及びその外皮、果物（柑橘類及びバナナ）であった。

大根、ジャガイモなども、ほとんど加工されないそのままの状態投入された。

市場の定休日が水曜、日曜日、休みの日には投入されなかった。

### (4) 食品工業団地

団地内の、製餡業者、製麺業者及び豆腐製品製造業者の3社から、各20kgずつ廃棄物を収集し、製餡業者は小豆かす、製麺業者は中華麺、小麦粉、そば粉を、豆腐製造業者は主におからを提供していただき、投入した。

製麺業者には定休日があり、その日は、小豆かすと豆腐製品の廃棄物（主におから）だけの投入となった。

### (5) 日本大学工学部

大学構内にある建物の中にある食堂から排出される残飯が中心であるが、大学食堂と言うことで、一日の給食量は他の事業所と比べて多く、一度に大量の野菜や麺類が投入されることもあった。

ここでは、生ゴミを出た日にそのまま投入するのではなく、外にある冷蔵庫に保管しておく。そのため、品温の低いものが投入されることになり、投入後の品温降下は一番大きい結果となった。

また、大学の休みが、土、日曜であり、その次の日は、投入量が少なかった。また、大学休業期間中は、食堂の利用者が少ないため、廃棄物量が少なく投入量が少なかった。

## 2. 5. 2次発酵

1次発酵の終了後、ショッピングセンター及びビッグパレットふくしまの処理物においては、2次発酵槽

への移動を行った。

処理中は、過剰に乾燥しないように3日に1回程度、50～70リットルの水を投入することとし、設置した企業の研究担当者の方に投入をお願いした。

## 2. 6. サンプルング及びデータ収集

### 2. 6. 1. 処理物のサンプルング

各発酵槽内の処理物について、成分等を分析するためのサンプルを採取した。

それぞれの場所で、16日分から19日分のサンプルングを行った。

### 2. 6. 2. データ収集

各発酵槽の、温度、二酸化炭素濃度及び重量の変化を、データロガーへ携帯電話を利用して、毎日ハイテクプラザからデータ収集を行った。

すべてのデータをノートパソコンに保存し、かつデータビューアを使ってグラフ化し、発酵槽の状態を確認した。

## 2. 7. 処理物の成分分析

サンプルングした処理物については、平成13年度研究報告<sup>1)</sup>と同様の方法で前処理し、窒素、炭素を同様に分析した。C/N比についても同様である。

## 3. 試験結果

### 3. 1. 各発酵槽の稼働状況について

各発酵槽の設置状況を図5～9に示す。

#### 3. 1. 1. ショッピングセンター

ショッピングセンターでは、大型トラック等が出入りする搬入口付近に設置されたが、車両の発酵槽への接触などはみられなかった。

また、脱臭槽にたまった排水を捨てることが可能な排水溝等が付近になかったため、2～3日おきに廃水の回収を行った。毎回、60～70リットルの廃水が排出された。

当初予想したよりも、排気パイプから排出される水蒸気の量が少なく、脱臭槽内で結露した水が、脱臭槽の最下層のタンクからあふれ、発酵槽からの排気パイプを逆流し、排気の妨げになっていた。

そのために、通気が悪くなり、処理物の水分が上昇したため、籾殻を投入したり、投入を停止して、数回水分調整を行った。

#### 3. 1. 2. ビッグパレットふくしま

ビッグパレットふくしまであるが、ここは、従来、関係者の駐車場だった部分を2台分確保し設置したため、電源を取るブレーカーからかなり距離が離れてしまった。しかし、ここには、雨水用の排水溝があり、常時排水することができた。

この設置場所においては、冬季間風が強く、階段の凍結等が起こるおそれがあること、投入は主に女性が担当することなどから、階段部分への滑り止めの設置及び投入口付近にバケツなどをぶつけた際に壊れない

ように、衝撃吸収材の設置が求められた。

そのため、階段部分には人工芝様のシートを貼り付け、また、投入口手前の角の部分には、衝撃吸収材を設置した。

### 3. 1. 3. 青果市場

青果市場では、今回唯一、屋内の設置となった。また、電源コンセント、排水溝が近くにあり、設置条件としては実験期間でもっとも良好な条件だった。

しかし、晩秋から冬季となり、廃棄される野菜等の量が少なく、他の場所に比べ、投入数は20回と少ない結果となった。

### 3. 1. 4. 食品工業団地

食品工業団地では、工場に隣接して設置した。電源も排水溝も近くにあり条件はよかった。しかし、当初、排気パイプを工場の雨樋に沿って2階部分まで延長して設置したところ、排気パイプが長すぎたため、パイプ中で水蒸気が結露して貯留してしまい、排気障害を発生させることとなった。そのため、日本大学工学部と同様の支柱支持型の排気方法に変更した。

また、ここでは、発酵状態が悪かったため、2度にわたり投入期間中に排出を行った。これは、投入物の体積が、攪拌用のパドルの攪拌できる上限を超えるとところまで到達したため、合計約380kgを排出した。

### 3. 1. 5. 日本大学工学部

日本大学工学部では、他に3台設置したあとだったので、排気パイプを垂直に立てるなどの工夫を行ったが、排水溝がないために、ショッピングセンターと同様に廃水の回収を行わなければならなかった。この場所では、発酵槽からの排気パイプの接続部が、脱臭槽の設置場所の反対側となってしまう、結果的に、発酵槽と脱臭槽の間で水蒸気が結露し、すぐに通気が困難な状況となってしまった。

これは、排気パイプを傾斜をつけて取り付けるなど対策を行ったが、根本的な解決には脱臭槽の位置を変える以外に方法はなく、排水を頻繁に行うしかなかった。

## 3. 2. 各設置発酵槽データの推移

各設置場所における1次発酵槽の温度、二酸化炭素、重量の各データを図10～14に示す。また、平均品温と平均二酸化炭素濃度、総投入量、総投入回数、平均投入量及び減容率（重量比）を表2に示す。

ここでいう減容率とは、投入した生ゴミのほか、籾殻、石灰なども含めた総投入量（A）と、実験終了時の総内容物重量（B）との関係から、（1）式によって算出した。

この減容率によって廃棄物の分解または水蒸気の蒸散等によって、重量の減少量を百分率で把握した。

$$\text{減容率 (\%)} = (A - B) \div A \times 100 \quad \dots (1)$$

ショッピングセンターにおいては、設置から2週間程度は順調に発酵したものの、その後急激に発酵状態が悪化し、pHの調整を試みたが、正常な発酵には復帰しなかったため、一度排出した。図10は再開後のデータである。

ビッグパレットふくしま設置の発酵槽については、投入開始の次の日から温度が上昇し、籾殻の追加投入だけで、pHの調整は行わなかった。

青果市場設置の発酵槽については、投入開始から3日目に一度品温が上昇しただけで、以後ほとんど品温は上昇しなかったが、二酸化炭素濃度は、投入ごとにわずかに上昇が見られた。また、籾殻の投入だけで、pHの調節は行わなかった。

食品工業団地の発酵槽については、投入開始から1週間は品温上昇が見られたが、その後はほとんど品温の上昇が見られなかった。そのためpHの調整を2度行ったが、正常な発酵状態には回復しなかった。また、表2における平均投入量をのぞくすべての項目で、最も低い値となっている。

日本大学工学部の発酵槽については、投入開始から、12日目までは順調な発酵状態であったが、その後発酵状態が悪化したため、pHの調整を行い、更に籾殻の追加を行った。その結果、15日目からは品温が上昇し、正常な発酵へ復帰した。

平均品温、平均二酸化炭素濃度はショッピングセンターが最も高かった。総投入量、総投入回数及び減容率はビッグパレットふくしまが最も高かった。

### 3. 3. 処理物の全窒素、全炭素及びC/N比について

各1次発酵槽の処理物の分析結果について図15～17に示す。

いずれの場合も、投入開始から、全炭素量はほとんど変化しないが、全窒素量が増加していき、徐々にC/N比が低下していた。

また、グラフの傾向は同様でも、その含有量は大きく異なっていた。しかし、実験期間終了時に、市場の処理物以外は20以下となり、C/N比は大きく差が出なかった。

### 3. 4. 2次発酵処理物について

2次発酵処理は、現在進行中であり、処理物の分析はまだ行っていない。詳細については、次の機会に発表する。

## 4 考察

### 4. 1. 試験結果について

#### 4. 1. 1. ショッピングセンター

ショッピングセンターでは、前述したように、順調に推移していた発酵が急激に悪化し、排出を余儀なくされた。

発酵異常の原因を調査したところ、投入担当者からの聞き取り調査から、投入物中にパン類が多く含まれ

ていること、野菜類だけを連続で投入したことがあったためと考えられた。

これは、ショッピングセンター敷地内の別な場所に設置されている生ゴミ処理槽においては、ご飯類や魚のあらなどの水分の多い物を投入すると処理がうまくいかななくなるという経験から、そのような投入物に偏ったもので、2名の担当者の双方に、投入方法、投入物の成分などについての共通理解がなされていなかったことに起因することが確認できた。

再開後は、投入担当者が処理槽内の状態や温度、重量変化などに注意するようになり、発酵は順調に経過した。

その後、34日目頃に、一度温度が急激に下降しているが、これは、脱臭槽の排水が滞り、水の蒸散に障害が発生し、その結果、処理物の水分含有率が増加して攪拌性に問題が生じたためとわかった。

グラフで処理物の温度が上がっていないことを確認し、投入担当者に伝え、その日は廃棄物を投入しないこととした。また、併せて、籾殻を追加投入し、通気量の確保を行った。

その結果、ほぼ2日後、急激に温度が上昇し、12日間連続して50℃を越えたまま推移した。通常重量が右肩上がりが増加するのに対し、この期間は、前日の投入量を超える重量低下が見られ、非常に旺盛な発酵が行われたことを示している。

処理物の成分をみると、他と比べて全窒素量が高いが、全炭素量も多く、活発な発酵が行われたにもかかわらず、依然大量の有機物が残存しており、C/N比は低下しているものの、2次発酵には長期間かかることが予想される。

この設置場所では、ショッピングセンターの従業員や搬入業者から、「異臭がする」などの苦情を受けた。

2回目の投入の際には、魚介類のあらなどを積極的に投入するよう指示したため、結果的にアンモニアなどが大量に発生し、苦情の原因となったものと考えられる。

### 4. 1. 2. ビッグパレットふくしま

この設置場所では、投入した次の日から温度が上昇し始め、廃棄物の分解による処理物の減容に起因する、攪拌性に問題が発生した時点で、温度が低下したことが確認されたのみで、それ以外は順調に発酵が推移した。

8日目頃には、実験期間中の最高温度である61.2℃を記録した。しかし、温度が上昇しすぎて、微生物の活動が阻害され、その後急激な温度降下が起こっている。

こういった傾向は、実験機の場合にも見られたが、異常発酵へと続いていく性質のものではないことがわかっており、今回も、その後2回の投入のあと温度上昇がおこり、正常発酵へ回復した。

処理物の成分は、全窒素も他と同様の含有量であるが、全炭素が低いため、C/N 比は期間中常に、20 程度であった。

ただし、投入物に窒素源を多く含む物が多かったことや、油分が多かったため、処理物の異臭が強く、脱臭槽で脱臭されて、排気パイプからはほとんど臭いがしないものの、生ゴミ投入後に周囲に臭いが残り、投入担当者、施設の管理部門職員、警備担当職員等から、風向きによっては強い異臭がしたとの苦情があった。

#### 4. 1. 3. 青果市場

この設置場所では、投入物がほとんどが野菜、果実に偏っていることから、微生物に対する栄養バランスに問題があり、大量に投入されてしまった3日目をのぞいて、ほとんど温度は上昇しなかった。

しかし、投入されるごとに、二酸化炭素濃度は増加し、わずかながらも発酵が起こっていることが示唆された。

また、この設置場所では、臭気に対する苦情などは全くなかった。

さらに、分解による重量の減少がほとんどないにもかかわらず、野菜等に含まれている水分が蒸散し、終了時にも、処理物は 450kg 程度であり、大きな重量増加はみられなかった。

これは、この設置場所の投入物である野菜等が、他の場所の投入物より破碎しやすく、処理物に力が余りかからなかったため、籾殻も粉碎されず形状が残っていた。それにより通気が他の場所よりも多くなり、水分の蒸散を助けたことと、脱臭槽の排水を常時行っていたため、処理槽内の乾燥が他よりも進む結果となり、水分の蒸散が盛んになったためと考えられる。

処理物は、糖分や窒素分の少ない野菜のために、全窒素及び全炭素型に比べて低く、特に、全窒素は、0.5%程度であった。

そのため、C/N 比は他と比べて非常に高く、後期になって若干下がったものの、60 を越えており、そのまま2次発酵しても、温度の上昇や有機物の分解がほとんど進まないため、窒素分が不足しており、他の処理物を混合するなどしないと、肥料としての効果は薄いことがわかった。

#### 4. 1. 4. 食品工業団地

この設置場所においては、窒素源としての、おからや大豆かすと、糖質源である小麦製品などを同重量ずつ混合した廃棄物を投入したにもかかわらず、温度の上昇がみられたのは投入開始から、1週間程度であった。

ただし、この温度が上昇している期間中も、重量減少は大きくなく、また、二酸化炭素の濃度も高くない。

この結果から、分解していたのは、主に小麦製品の糖質分であり、おからや大豆かすの繊維分は分解に時間がかかるため、結果的に、難分解物質が蓄積して成

分が偏ってしまい、pH の調整や籾殻の投入などで水分調整や通気の確保を行っても、ほとんど効果がなかったものと思われる。

C/N 比だけを取ってみれば、特に高いわけでもなく、また、全窒素も1%を越える含有量となっているが、野菜類だけしか投入していない青果市場と同程度の全炭素量しかなく、しかも、他の処理物と異なり減少していくという結果からみても、おから中心で発酵処理を行う場合、炭素源の供給が不可欠であり、その含有量についても、注意深く検討しなければならないことがわかった。

更に、投入期間において排出した試料に、生ゴミを等量混合して実験用発酵槽で発酵することによって、品温上昇、減容が確認され、正常発酵へ容易に転帰することがわかった。

#### 4. 1. 5. 日本大学工学部

この設置場所の廃棄物は、ビッグパレットふくしまと類似するものであったが、ビッグパレットふくしまよりも、野菜類が多く、また、麺類も多かった。

そのため、温度経過はビッグパレットと同様の傾向を示した。

グラフをみると、数日おきに温度の上昇がみられない部分があるが、二酸化炭素の濃度の変化からみると、その増加の仕方が緩慢になっており、水分の多い廃棄物が投入されると、一時的に攪拌状態が悪くなって、通気量が減少し、発酵が遅れてしまうものと考えられた。

実際に9日目頃から、攪拌性が悪くなり、11日目に、籾殻の投入と、pH の調整を行っている。

その後は攪拌性の改善及びpHの改善により、順調に発酵が進んだが、40日目頃から、再度処理物の水分の増加がみられ、このときは、pHがそれほど下がっていなかったため籾殻の投入だけで対策を行った。

この設置場所については、ビッグパレットふくしまと同様の廃棄物であり、しかも、土、日曜の投入量が少ないという好条件であるにもかかわらず、発酵が比較的安定しない状態だったのは、前述したとおり、排水をバッチ式で行っており、さらに、脱臭槽の設置条件が悪く、元々、水蒸気の蒸散があまりよくないためであると考えられた。

前述のとおり、水蒸気の蒸散については十分な対策を施し、今後の発酵槽設計の指針を得た。

全窒素量と全炭素量の変化は、他とそれほど変わらないが、炭素量が急激に増加した時期もあり、発酵が不安定だったことを伺わせるものとなっている。

#### 4. 2. 機器の管理について

すべての設置場所で、モーターの破損などの致命的な故障は起こらなかった。

また、外装に大きな損傷を受けるような事故もなかった。

さらに、今回取り付けたデータを収集するための、データロガーと携帯電話の組み合わせは、外部から発酵槽の状態を確認するために、非常に有効であることがわかった。

今回利用したデータロガーには、データを定期的に自動収集する機能のほか、電源が切断されて、再度電源が投入された際に警報を携帯電話などに知らせる通報機能や、データをグラフ化して表示する機能もあり、発酵槽を管理するには十分な機能を持っていた。

当初、発酵状態が不安定だった、ショッピングセンターの投入担当者に対しての、対応、指示の例をあげると、

(1) データ収集を行いグラフで、状態を確認し、現状を電話連絡する。

(2) 投入担当者が、発酵槽内の処理物の状態について確認し、その内容を通知する。

(3) データと処理物の状況から、その日の投入についての指示をする。

(4) 投入者がその指示に従い、投入をやめたり、半分の量を投入したりする。という、体制ができていた。

こういったやりとりを行うことで、現場では、データの変化はとらえられないものの、各データ、特に重量の減少量を把握することで、細かい指示をしなくても、投入量の調整等について自分で判断することができるようになっていった。

しかし、データロガーが誤動作をすることが頻発し、サンプリングのたびに、データロガーをリセットするというようなことがあった。この件については、原因を調査中である。

また、携帯電話についても、間違い電話や、ワン切りなどが常にあること、充電の状態によっては、バッテリーが使用不能になることなど、問題もあり、データロガー及び無線通信の部分については、専門家による指導を受け、より安定したシステムを導入することが必要であるという示唆を受けた。

今回の実証機には、処理物の過乾燥をさげ、ブロワー（排気用）モーターの目詰まりによる発酵槽の運転停止を防止するため、72時間（3日間）投入口が開閉されない場合、攪拌及びヒーターを停止する「休眠モード」へ移行する仕様となっていたが、この場合、休眠モードへ入った時点で、冬期間のため急激に温度低下が見られ、その後の温度回復までに時間がかかり、発酵が不良になることもあった。

そのため、後半から、72時間投入口の開閉がなければ、その後、3時間おきに正常運転のパターンを1回行うという方式に運転パターンの変更をした。

#### 4. 3. 今後の課題について

今回の実証試験で、投入物については、

(1) 一般の食堂の残飯のケース

(2) 野菜くずや果実などの廃棄物のケース

(3) 食品加工工場から出る比較的均一な廃棄物を混合したケース

について、実際の検証を行い、データを得ることが出来た。

また、

(A) 廃棄物収集業者が投入を行う場合

(B) (A) 以外の人が投入を行う場合

についての、管理、指導のノウハウを得ることが出来た。

しかし、すべてが順調にいったわけではなく、いくつかの問題点も浮上した。

まず、投入物については、上記(1)以外のケースでは、発酵が順調に進まなかった。

ただ、(2)のケースでは、温度は上昇しなかったものの、悪臭がほとんどでなかったことや、処理物が乾燥していたために、発酵は進まなかったが、減量することは出来た。

(3)の場合も、今回得られたデータから、もっと大量に糖質をふくむ廃棄物と混合すれば、発酵が進行していくものと考えられた。

これらのことから、今後発酵槽を導入する際には、設置場所の廃棄物の性質をよく検討し、場合によっては、隣接する工場の廃棄物と混合が必要な場合が想定される。

そのような場合、投入担当者が、必要な成分がそろわない場合は投入しないなどの判断が出来るようにしておくことが必要である。

また、投入担当者においても、廃棄物収集業者と現場において連絡が取れればよいが、一般的に、数カ所の廃棄物収集を掛け持ちしており、会社からの連絡についても、必要なときリアルタイムに行われないことが多く、投入をしないようお願いしても、間に合わないときがあった。

そのため、専用の携帯電話を持ってもらうなどのやり方もあるが、一番良い方法は、発酵槽にメッセージが表示されるような形がよいと思われる。これは、いくつかのメッセージを決めておき、遠隔地にいる管理者が、各データのグラフを見た際に異常を確認したら、発酵槽に付いている表示器に、「半分投入」「投入停止」などの表示をすることとすれば、電話で連絡を取り合うよりもずっと確実に指示を行うことが出来ると考えられる。

この方法であれば、(B)のような場合でも、確実に指示を伝えることが出来るはずである。

## 5. 結言

平成12年度からの研究の成果を基に、処理能力を増加させた実証機を製作し、グンダスト事業協同組合の協力を得て、郡山市内のショッピングセンター、ビッ

グパレットふくしま、青果市場、食品工業団地及び日本大学工学部に設置した。

設置した発酵槽のうち、ビッグパレットふくしま、日本大学工学部においては、順調に発酵が進行した。ショッピングセンターにおいては、一度異常発酵のため排出を行ったが、再開後は正常な発酵を継続することが出来た。

青果市場及び食品工業団地に設置した発酵槽においては、温度の上昇が投入開始時だけで、正常な発酵を継続することは出来なかった。

総投入量はビッグパレットふくしまが 3,163kg で最も多く、青果市場が 1,095kg で最も少なかった。

減容率はビッグパレットふくしまが 77.25%でもっとも大きく、食品工業団地が 24.48%で最も低かった。

C/N 比は、青果市場がもっとも大きく、他は、20 以下となった。しかし、全炭素量が多いものもあり、2 次発酵に長期間を要するものと考えられた。

設置場所近くに排水溝が無い所では、しばしば排水が過剰に蓄積され、排気を妨げることがあった。このため、水の蒸散も妨げられたため、発酵が不安定になる例も見られた。

機器の管理という点では、データロガーと携帯電話で、設置場所から離れたところで、発酵槽の管理を行うことが出来た。また、投入担当者と連絡を取り合うことで、投入作業の適正化を図ることが可能となった。

しかし、データロガーがしばしば不具合を起こし、より安定したシステムの導入が必要とされた。

今回の実証試験で、投入物については3つのケース、管理については2つのケースについて検証でき、ノウハウを得ることができた。

また、今後の課題として、発酵槽に管理者の指示を表示できる装置の組み込みをすることが必要なのではないかと考えられた。

今回の試験研究の成果を普及し、廃棄物処理システ

ムの構築について、更に検討していく必要があることがわかった。

## 6. 謝辞

今回の研究に協力いただいた、グンダスト事業協同組合の橋本理事長様をはじめとする役員の方々、そして、投入を手伝っていただいた、有限会社根本産業様、有限会社相良産業様、株式会社橋本産業様そしてビッグパレットふくしま内レストラン・パレットの飯原支配人並びに従業員の方々には、多大なご協力をいただきました。深く感謝いたします。

また、廃棄物の中から特別に、必要量だけをわけていただくことにご協力いただいた、郡山製餡協業組合様、株式会社富多屋製麺様に対して深く感謝いたします。

更に、発酵槽の設置をご快諾くださった、日和田ショッピングモールフェスタの水戸部部長、郡山とうふセンターの三坂取締役、日本大学工学部 管理課 酒井課長、投入も自ら行っていただいた株式会社郡山大新青果の鈴木専務取締役に深甚なる謝意を表します。

そして、機器の委託製作から、不調時の改造、プログラムの変更等、機器に関するすべてにおいてご協力いただいた、株式会社日栄工業の佐藤技術兼製造担当取締役部長に対し深謝いたします。

## 7. 参考文献

- (1) 池田ら：微生物による未利用資源の高度利用化、平成 13 年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告

表1 実証機の仕様

---

処理量 100kg/日  
 攪拌方式 横軸攪拌方式、2軸式。  
 攪拌時間 正転 20分、逆転 20分、停止 20分  
 動力トルク 出力軸許容トルク 最大 515N・m  
 排気能力 ブロア吐出空気量 最大 2.0 m<sup>3</sup>/min  
 パドル回転数 0～6回転/分（連続可変可能）  
 投入口 上部開口式  
 排出口 本体前面に排出口  
 重量 本体 約12t 脱臭槽 100kg  
 寸法 発酵槽 2,000(W)×1,100(D)×1,400(H)mm。 (処理槽容積約1.2立方メートル。)  
 脱臭槽 600(W)×600(D)×1,200(H)mm。  
 電力 交流三相200V 20A  
 平均電力使用量 約2kW  
 データ収集装置 二酸化炭素濃度計(0～10%)、重量計(0～1,500kg)、温度計(0～100℃)  
 データ記憶および転送 T&D社 ModemLogger ML-7 および通信カード、携帯電話  
 安全装置  
     動力系 ドアスイッチ（開放時停止）  
           非常停止スイッチ  
           モーター焼き付き防止装置  
           休眠モード付き  
           (72時間投入口が開閉されなければヒーターおよびモーターの停止)  
     排気系 ブロワモーター焼き付き防止装置  
     保温系 異常温度検知装置（槽内が80℃以上になった場合ヒーターの停止）  
 操作盤 運転、停止、リセット、強制回転、強制排気のスイッチ、各1。  
 表示 温度、重量、二酸化炭素濃度の表示、各1。  
     運転、停止、攪拌中、異常温度感知、ヒーター電源オンの各ランプ、各1。

---

表2 平均品温と平均二酸化炭素濃度、総投入量、総投入回数、平均投入量及び減容率（重量比）

	平均品温 (°C)	平均二酸化炭素濃度 (%)	総投入量 (kg)	総投入回数	平均投入量 (kg)	減容率 (%) (重量比)
ショッピングセンター	48.9	0.70	1,871	35	53.66	62.80
ビッグパレットふくしま	39.7	0.47	3,163	58	54.53	77.25
青果市場	26.5	0.15	1,095	20	54.75	62.60
食品工業団地	31.8	0.33	1,599	34	47.03	24.48
日本大学工学部	35.6	0.56	2,162	41	52.73	58.27

---

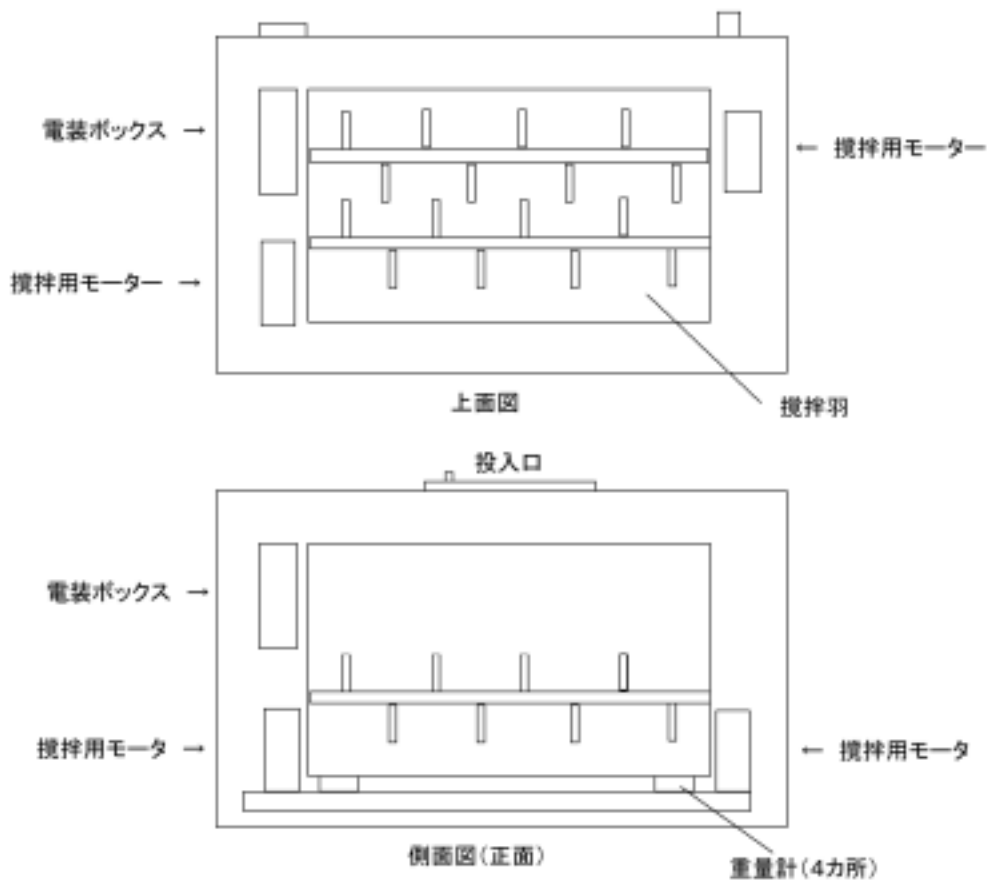


図1 発酵槽の構造

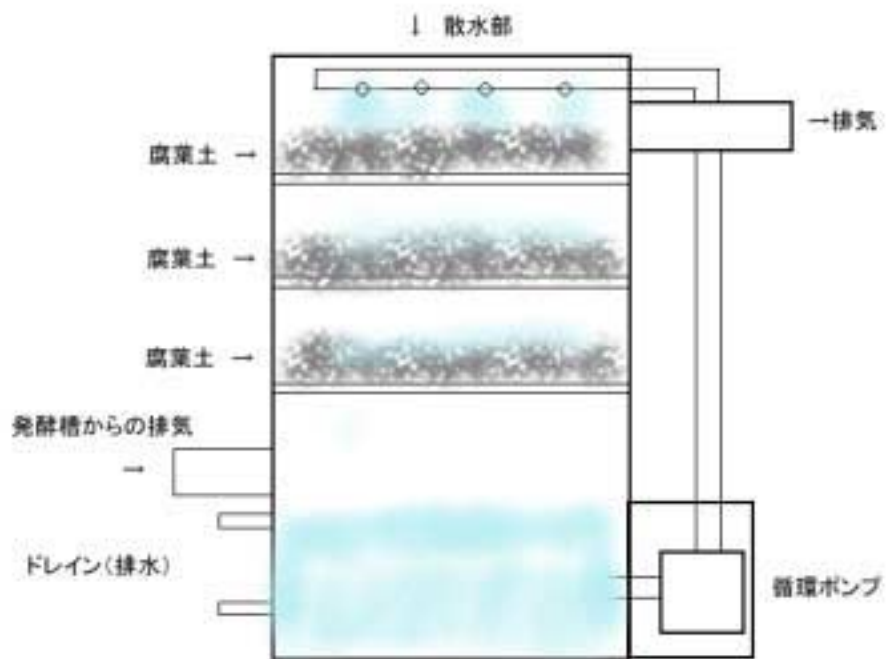


図2 脱臭槽の構造





図3 ビッグパレットふくしまにおける  
実証機の設置の様子（その1）



図4 ビッグパレットふくしまにおける  
実証機の設置の様子（その2）



図5 ショッピングセンター



図6 ビッグパレットふくしま



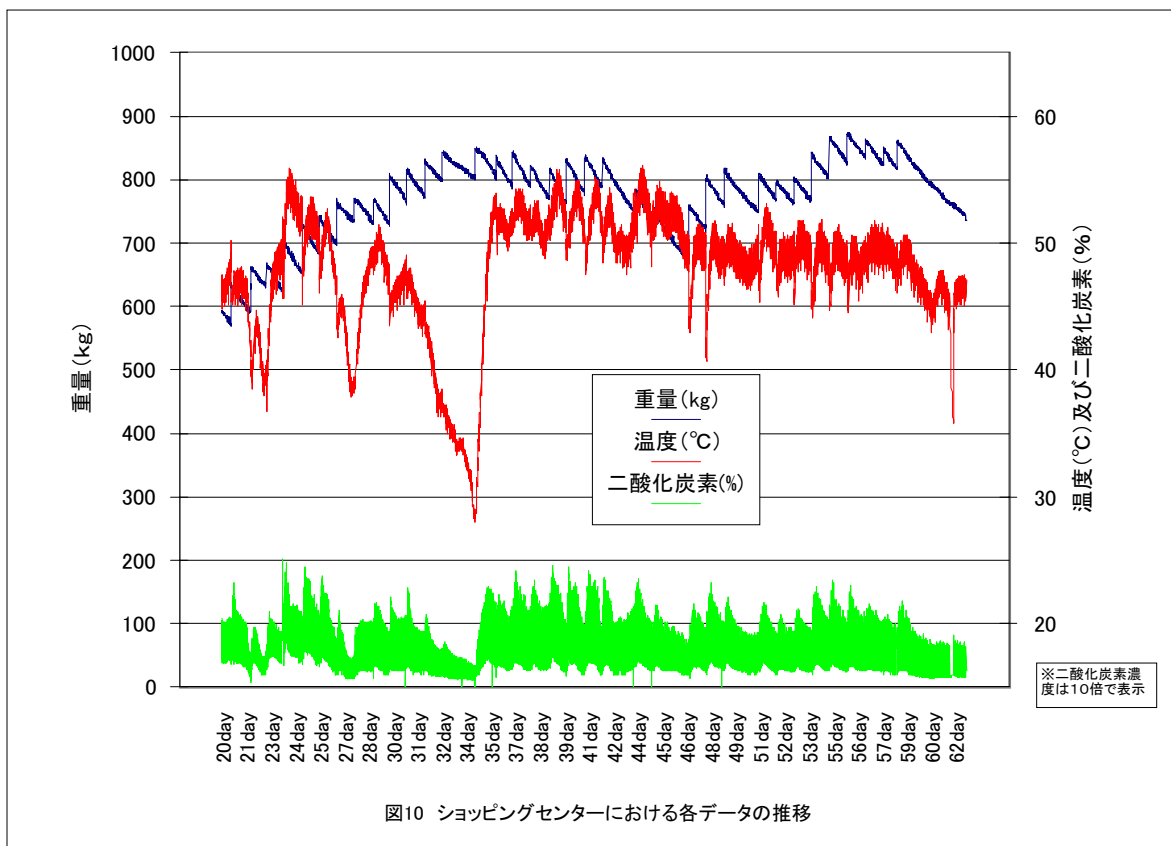
図7 青果市場

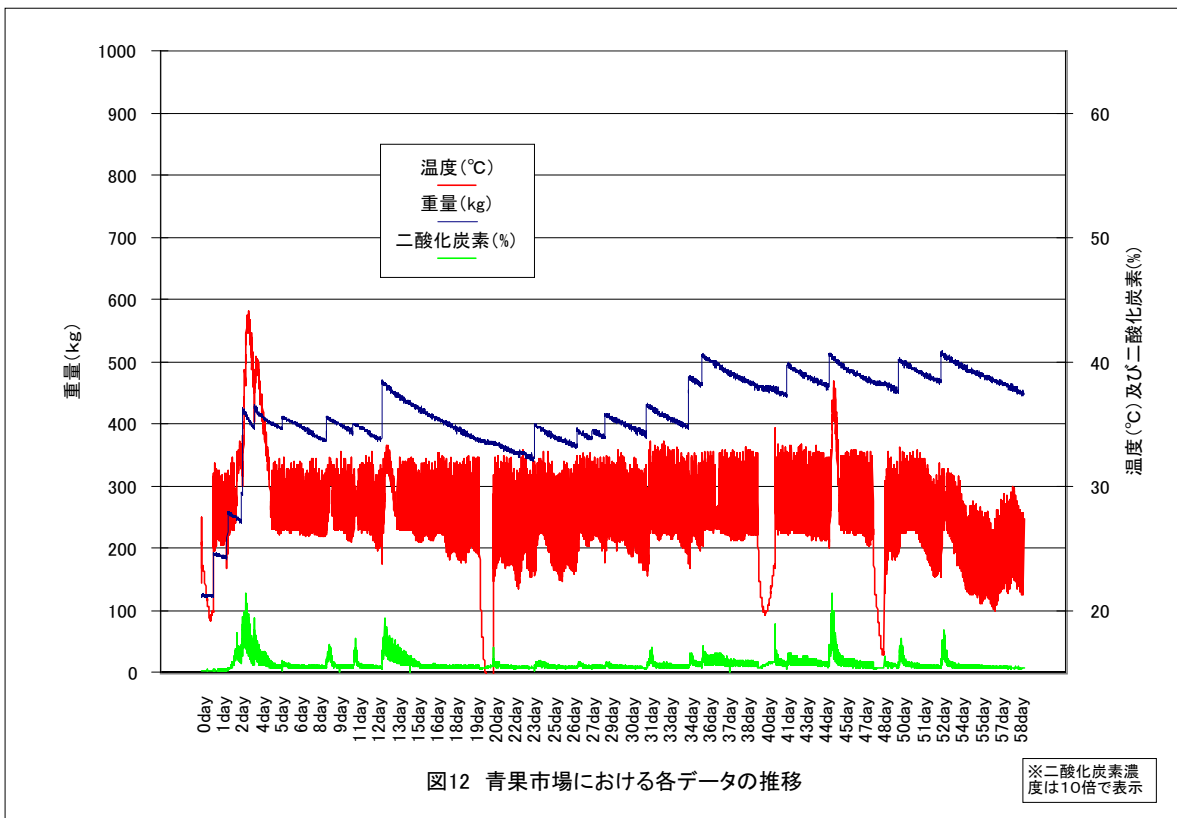
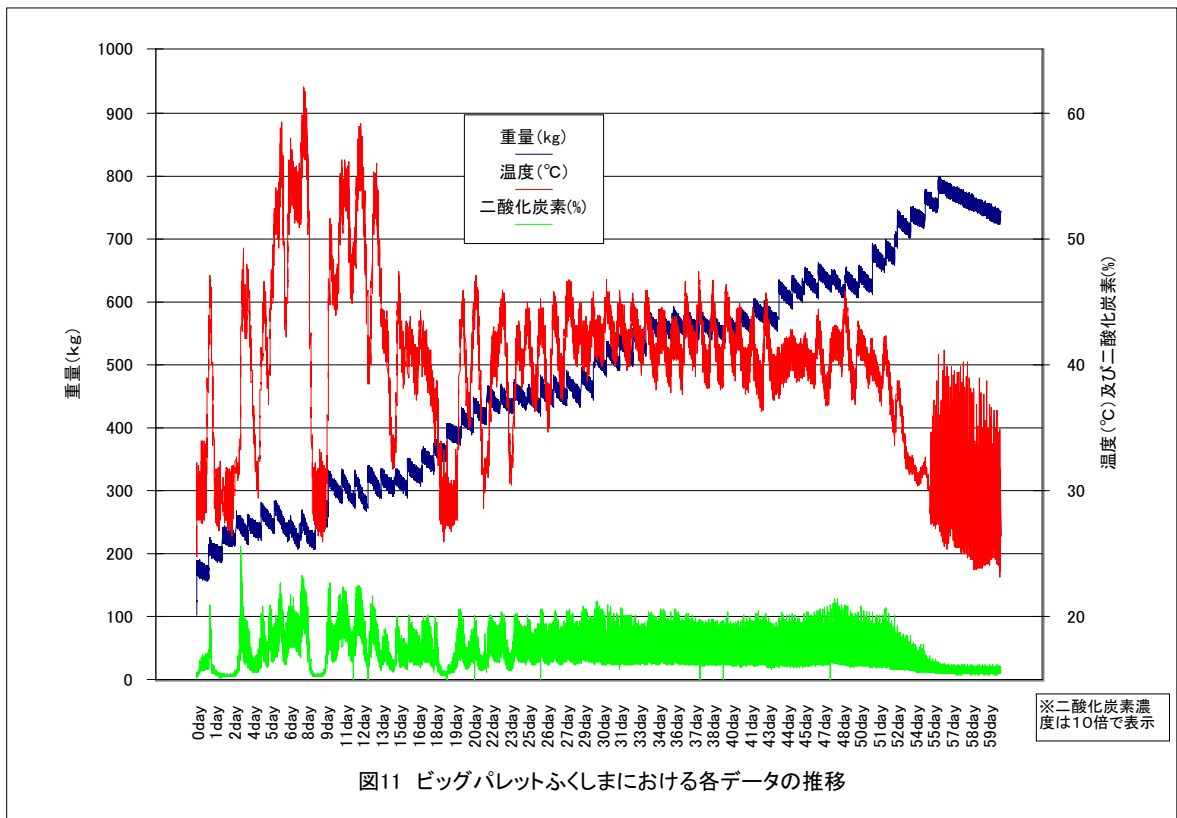


図8 日本大学工学部



図9 食品工業団地





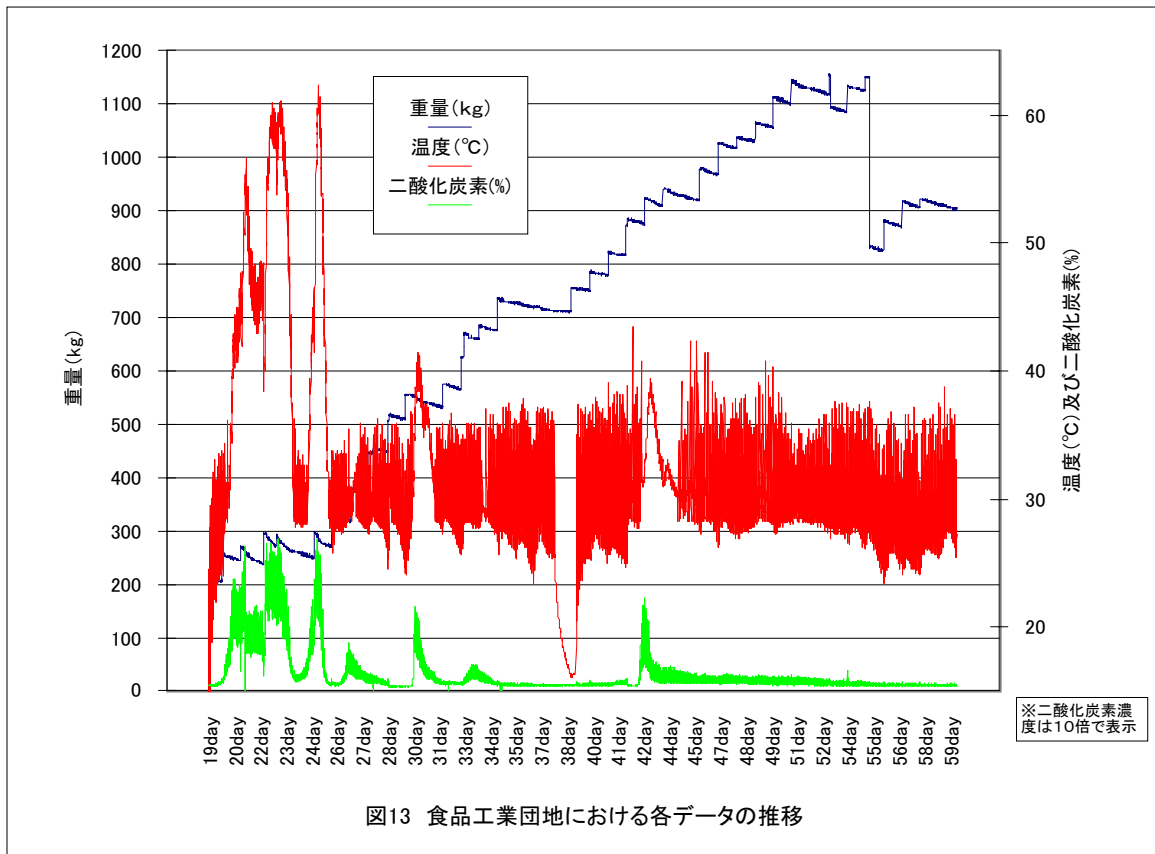


図13 食品工業団地における各データの推移

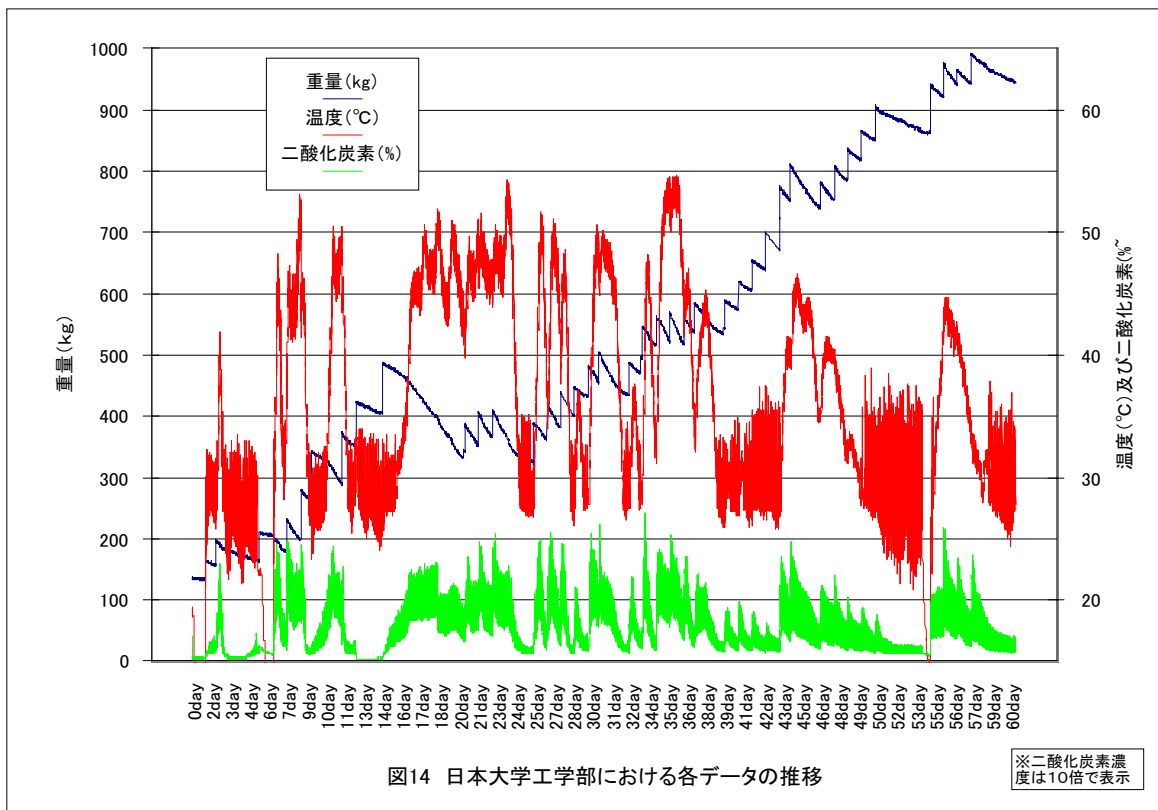
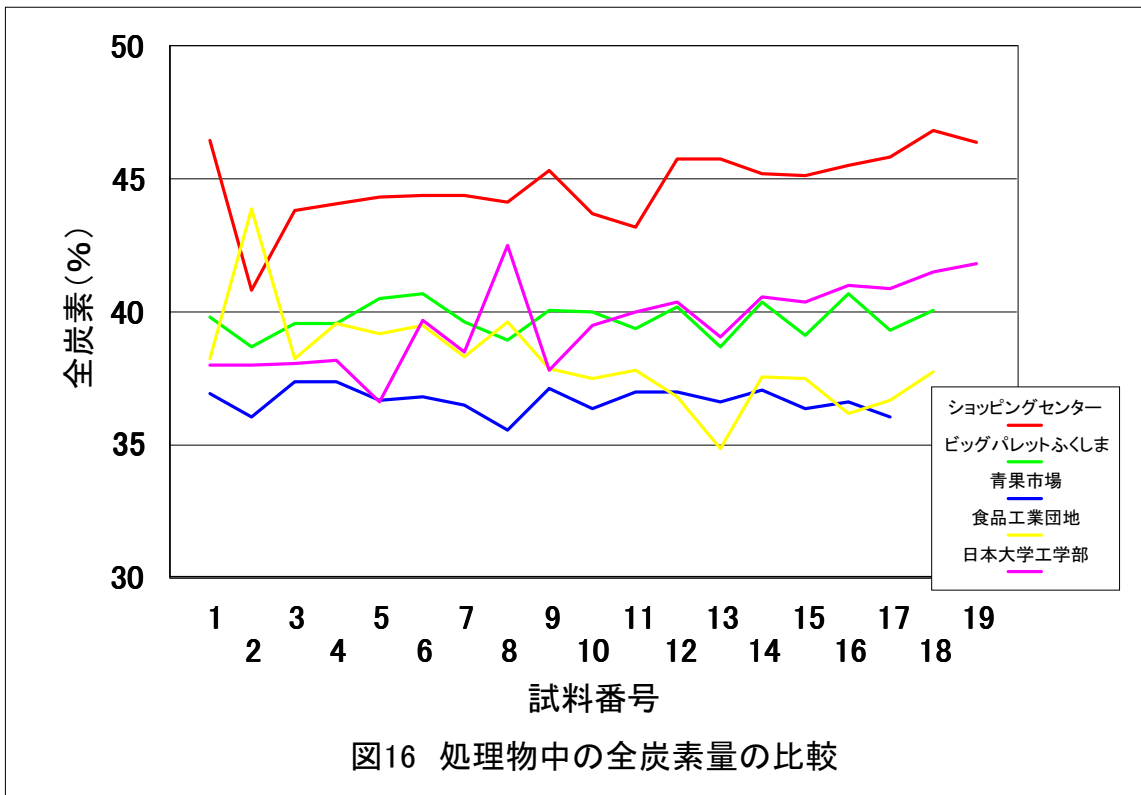
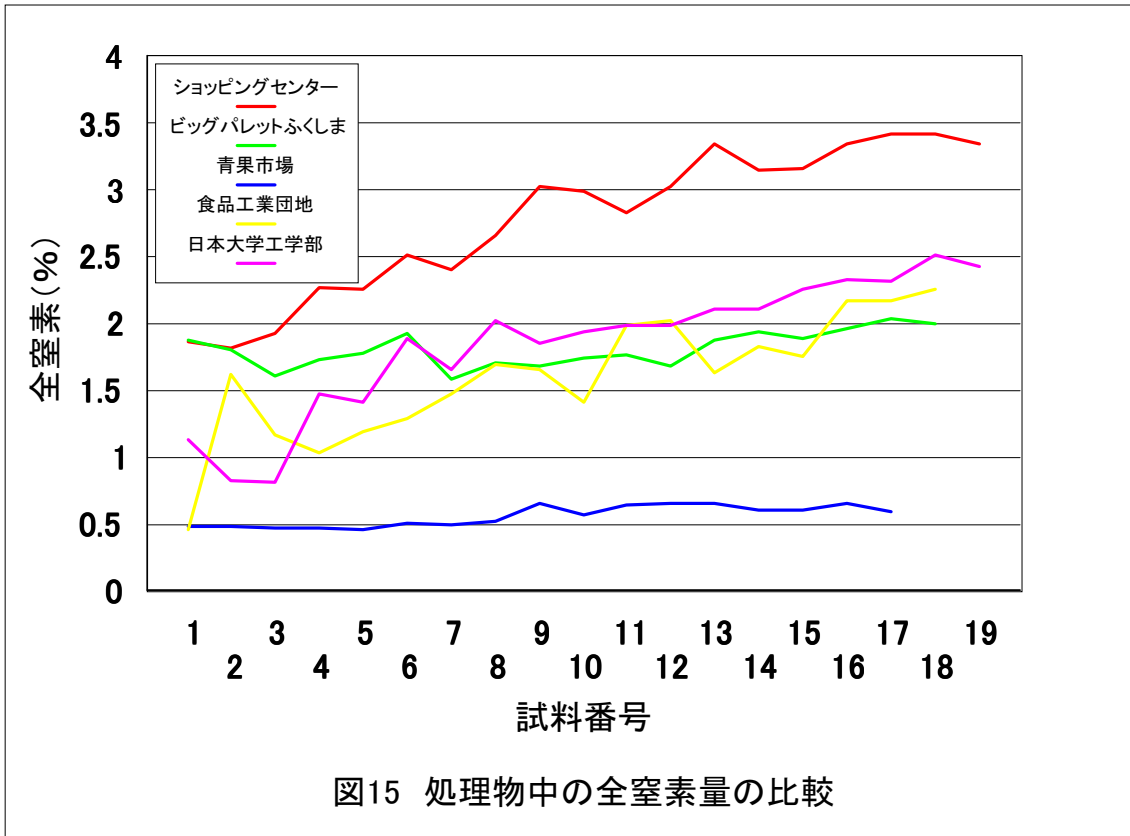


図14 日本大学工学部における各データの推移



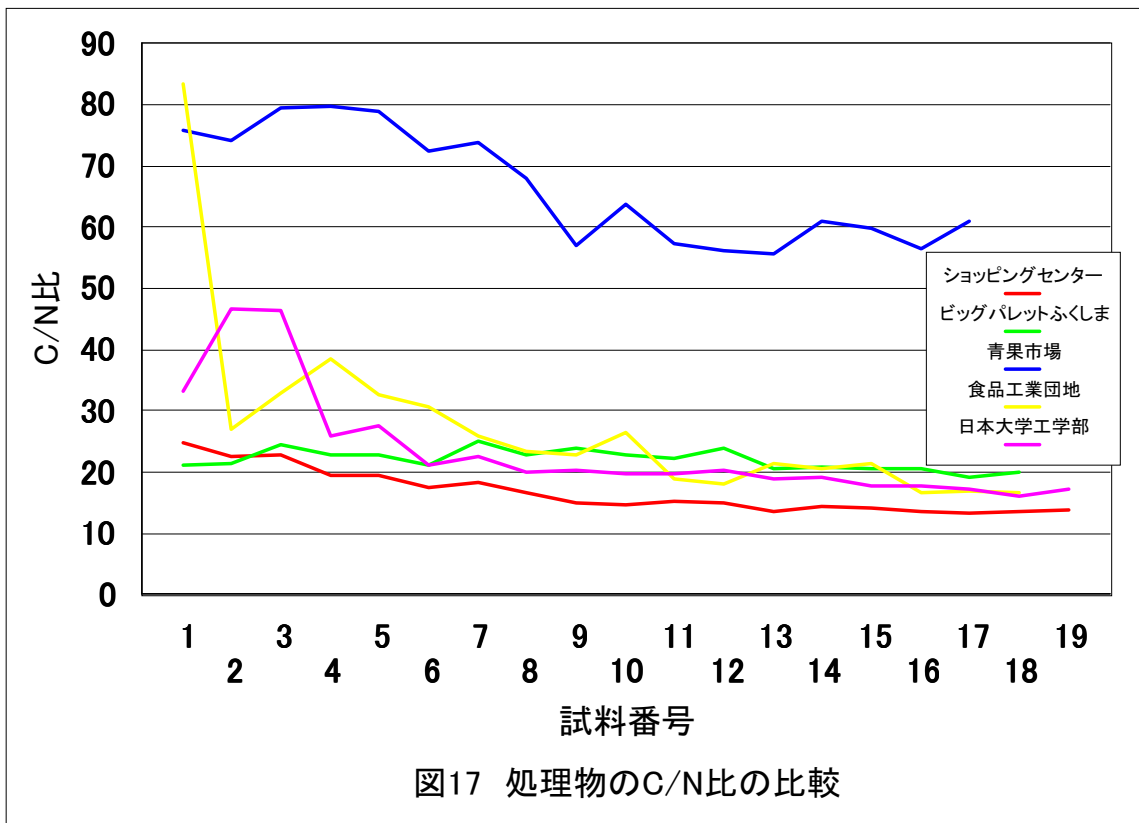


図17 処理物のC/N比の比較

## 研究報告

### 微生物による未利用資源の高度利用化

コンポスト脱臭槽内腐葉土による悪臭物質脱臭試験、  
および悪臭成分分解能を持つ微生物の分離について

# 微生物による未利用資源の高度利用化

## - コンポスト脱臭槽内腐葉土による悪臭物質脱臭試験、 および悪臭成分分解能を持つ微生物の分離について -

Development of the ways to use unused food processing subproducts by using Microbes.

-the bad smell substance deodorization examination by the leaf mold in compost deodorization equipment,  
and about separation of a microbea bad resolution for the smell ingredient-

応用技術部 微生物応用科 鈴木英二

福島・山形・新潟の三県が共同で「再資源化技術の研究開発」を行っており、当県では「微生物による未利用資源の高度利用化」をテーマとして研究を行った。有機性廃棄物である生ゴミから減容化や未利用資源の利用化などを踏まえて、試験用コンポスト化発酵処理装置を用いて肥料の発酵試験を行った。その後5ヶ所の事業所に実機規模のコンポスト化発酵処理装置を設置し、実用化に向けての実証試験を行った。ここでは、コンポスト化発酵処理装置に付随する脱臭槽を用いて、コンポスト化発酵時に発生する主な悪臭物質であるアンモニアの生物分解除去試験を試みた。また脱臭槽内の腐葉土から、アンモニアを取り込み分解する微生物のスクリーニングを試みた。

Key word : コンポスト、悪臭物質、生物分解、アンモニア

### 1. 緒言

現在、環境に対する負荷軽減が大きく叫ばれており、食品廃棄物を再資源化することが法的に定められ、再資源化へ向けた取り組みが急務となっている。

そこで、有機性廃棄物である生ゴミの減容化および肥料等への再資源化を行うために、飲食業者から排出される生ゴミを利用して、コンポスト化発酵処理装置による再資源化の研究を行った。始めに試験用コンポスト化発酵処理装置を用いて肥料の発酵試験を行った。その後5ヶ所の事業所に100kg/day処理能力のある実機規模のコンポスト化発酵処理装置を設置し、実用化に向けての実証試験を行った。

生ごみ等発酵処理装置による問題点として、発酵段階における種々の悪臭物質発生があげられる。この悪臭発生が周囲の生活環境を損ね、についてはコンポスト化発酵処理装置の悪臭発生による設置拒否等の問題が問われ、有機性廃棄物の再資源化利用が困難になる可能性がある。

今回コンポスト化発酵装置に付随している脱臭槽内で、腐葉土を用いて悪臭物質の生物分解を行った。コンポスト発酵時における主な悪臭成分は、アンモニア、メチルメルカプタン、トリメチルアミン、嫌気的狀態で発生する硫黄化合物に属する硫化水素、硫化メチル、二硫化メチル、低級脂肪酸のプロピオン酸、n-酪酸、n-吉草酸、i-吉草酸である。その中でもアンモニアが主な悪臭物質である。<sup>1)</sup>そこで、この主な悪臭物質であるアンモニアの、脱臭槽内腐葉土による生物脱臭試験を行った。

始めに試験用コンポスト化装置、次に食品事業所5ヶ所に設置した実証試験用コンポスト化装置について、使用した脱臭槽のアンモニア脱臭効果の検討を行った。

また腐葉土を用いた悪臭物質の生物分解の促進を図るために、脱臭槽内の腐葉土からアンモニア分解能を

持つ微生物の分離を検討した。あわせて、分離した微生物においてアンモニアに対する諸性質について試験をした。

### 2. 実験方法

#### 2.1. 試験用コンポスト化発酵装置の脱臭槽におけるアンモニア脱臭能力測定

試験用コンポスト化発酵装置の脱臭槽において、1日間および1ヶ月間のアンモニア脱臭能力の確認を行った。

##### 2.1.1. 試験用コンポスト脱臭槽について

試験用コンポスト化装置の外観を図1に、脱臭槽内の腐葉土を図2に示す。図1において中央部が発酵槽2槽、両端のそれぞれのボックスが脱臭槽となっている。また、試験用コンポスト脱臭槽の略図を図3に示す。この槽の外形寸法は400(W)×600(D)×1100(H)mmとなっている。コンポスト発酵装置内で発酵により発生した悪臭を、ファンにより脱臭槽内に約80L/min量流入し、容積約20Lの二層の腐葉土層を下層から上層へ流し、腐葉土中に存在する微生物により脱臭を試みた。この脱臭された空気を外気へ放出する構造となっている。



図1 試験用コンポスト化発酵装置外観





図2 試験用脱臭槽内の腐葉土

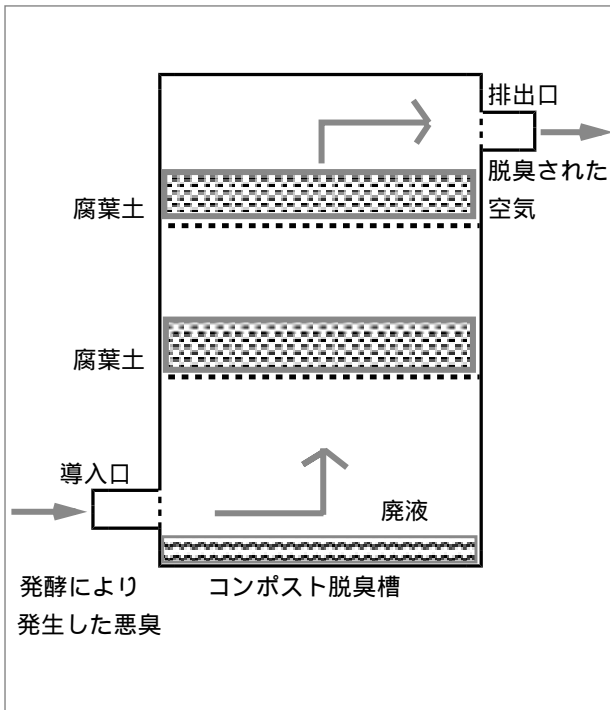


図3 試験用コンポスト脱臭槽略図

### 2. 1. 2. 試験用脱臭槽における1日あたりのアンモニア脱臭能力測定

試験用脱臭槽の1日昼間12時間のアンモニア脱臭能力の確認を行なった。生ゴミ発酵処理装置内で発酵により発生した悪臭の通過場所である脱臭槽の導入口と排出口を測定場所とし、アンモニアガス濃度を測定した。脱臭槽の導入口と排出口部分からアンモニアガス用ガステック検知管を用いてアンモニアガス濃度を測定した。またこの濃度測定時の外気温度および生ゴミ発酵槽内容物の温度も同時に測定した。

### 2. 1. 3. 試験用脱臭槽における一ヶ月のアンモニア脱臭能力測定

試験用脱臭槽の32日間のアンモニア脱臭能力の確認を行なった。脱臭槽の導入口と排出口部分からアンモニアガス用ガステック検知管を用いてアンモニアガス

濃度を測定した。またこのアンモニア濃度測定時の生ゴミ発酵槽温度および脱臭槽内腐葉土pH、腐葉土水分も同時に測定した。腐葉土のサンプリング場所に関して、脱臭槽内の腐葉土は2槽存在するが、上下それぞれ10試料ずつ各項目の測定を行ったところ、測定値に差がほとんどないことが予備試験により確認できた。よって腐葉土のサンプリング場所は脱臭槽上段上部と定めた。腐葉土pH測定はpHメータを用いて測定した。腐葉土水分は試料約5gを精秤し、120℃で2時間乾燥し水分量を測定した。

加えて32日間の腐葉土中のアンモニウムイオン( $\text{NH}_4^+$ )濃度の経時変化の確認を行なった。アンモニアガス濃度測定時の腐葉土中のアンモニウムイオン( $\text{NH}_4^+$ )濃度と亜硝酸イオン( $\text{NO}_2^-$ )濃度および硝酸イオン( $\text{NO}_3^-$ )濃度を測定した。測定にはメルククアント社アンモニウムイオンテストおよび亜硝酸イオンテスト、硝酸イオンテストを用いた。

### 2. 2. 実証試験用コンポスト化発酵装置の脱臭槽におけるアンモニア脱臭能力測定

コンポスト実証試験装置を設置した事業所5ヶ所の脱臭槽において、実証試験期間後期の約半月間のアンモニア脱臭能力の確認を行なった。

#### 2. 2. 1. 事業所5ヶ所に設置した実証試験用コンポスト脱臭槽について

今回実証試験に用いたコンポスト化発酵装置の外観を図4に示す。左側がコンポスト発酵槽、右側のボックスが脱臭槽となっている。次に脱臭槽の外観を図5、その槽内の腐葉土を図6に示す。この槽の外形寸法は600(W)×600(D)×1300(H)mmとなっている。また、実証試験用コンポスト脱臭槽の略図を図7に示す。コンポスト発酵装置内で発酵により発生した悪臭を、ファンにより脱臭槽内に約100L/min量流入し、容積約20Lの三層の腐葉土層を下層から上層へ流し、腐葉土中に存在する微生物により脱臭を行い、この脱臭された空気を外気へ流す構造となっている。

今回、実証試験機を設置した事業所は郡山市内の5ヶ所であり、事業所名をに表1示す。



図4 コンポスト化発酵装置外観



図5 脱臭槽の外観



図6 脱臭槽内の腐葉土

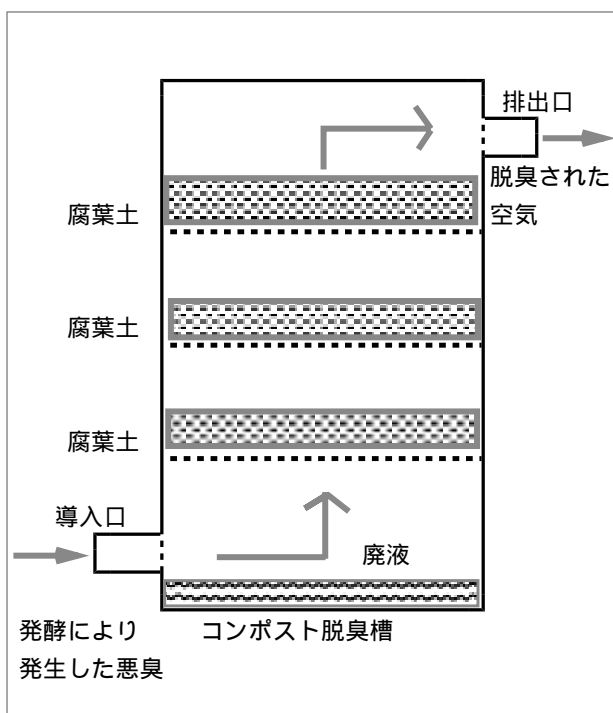


図7 コンポスト脱臭槽略図

表1 実証試験機を設置した事業所

設置事業所名
1. ショッピングモール
2. 郡山食品工業団地
3. 日本大学工学部
4. ピックパレットふくしま
5. 青果市場

### 2.2.2. 各事業所における脱臭槽出入口のアンモニアガス脱臭能力測定

実証試験期間後期の約半月間において、各事業所の脱臭槽によるアンモニアガス脱臭能力の測定を行った。コンポスト実証試験装置の発酵槽内で発酵により発生した悪臭の通過場所である脱臭槽の導入口と排出口を測定場所とし、アンモニアガス濃度を測定した。脱臭槽の導入口と排出口部分からアンモニアガス用ガステック検知管を用いてアンモニアガス濃度を測定した。このアンモニアガス濃度測定時間は5事業所とも概ね13時～15時の間に測定した。

### 2.2.3. 各事業所における脱臭槽内腐葉土の経時変化

実証試験期間後期の約半月間において、各事業所の脱臭槽内腐葉土における諸項目の分析を行い、腐葉土の各項目の経時変化を検討した。分析項目としてアンモニアガス濃度測定時の脱臭槽内腐葉土pH、腐葉土水分、腐葉土中のアンモニウムイオン濃度を測定した。腐葉土のサンプリング場所に関して、脱臭槽内の腐葉土は三槽存在するが、上段、中段、下段それぞれ5試料ずつ各項目の測定を行ったところ、測定値に差がほとんど現れないことが前試験により確認できた。よって腐葉土のサンプリング場所は脱臭槽上段上部と定めた。腐葉土pH測定はpHメータを用いて測定した。腐葉土水分は試料約5gを精秤し、120℃、2時間乾燥を行い、減少した重量をもって水分として測定した。腐葉土中のアンモニウムイオン濃度測定は、腐葉土100gを蒸留水100mlに浸水させ、この上澄み液100mlを試料としてアンモニウムイオン測定器(東興化学Ti-9001)を用いて測定し、腐葉土1kgあたりのアンモニウムイオン濃度に換算した。

### 2.3. コンポスト脱臭槽内の腐葉土中の菌数測定

コンポスト脱臭槽内の腐葉土中には種々の微生物が存在している。ここでは実際に運転している脱臭槽内の腐葉土中の菌数測定を行った。菌数測定用培地として土壌抽出液寒天培地<sup>2)</sup>を基に、腐葉土浸出液を用いた培地を使用した。この腐葉土浸出液寒天培地の組成を表2に示す。

表2 腐葉土浸出液寒天培地の組成

腐葉土浸出液	1000ml
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.2g
Agar	2%
pH	6.8
腐葉土浸出液:	
腐葉土1000gに水1000mlを加えオートクレーブで120℃・20分間熱水抽出する。濾過し水を加えて全量を1000mlとする。	

## 2.4. アンモニアを分解する微生物の分離

脱臭槽内腐葉土からアンモニアを分解する可能性のある微生物の分離を行った。NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub>1~10%、Glucose1%、Agar2%を含む炭酸水素アンモニウム培地を使用し、腐葉土100gを100mlの0.5%NaCl-waterに浸水させ、この希釈液を培地に添加し、20、10~30日間培養し微生物の分離を行った。

## 2.5. 腐葉土および分離菌によるアンモニア脱臭試験(気相側)

腐葉土中に存在する微生物および分離菌による、気相側のアンモニアガス脱臭効果の試験を行った。試験は3.5Lのポットを使用し、表3に示す条件で行ない、気相側のアンモニアガス濃度を測定した。Blank、A、B、Cの試験区を用い、Blankには腐葉土、分離菌培養液は添加せずアンモニア水溶液のみ添加した。Aには殺菌した腐葉土、殺菌した分離菌培養液、アンモニア水溶液を添加した。Bには未殺菌の腐葉土、殺菌した分離菌培養液、アンモニア水溶液を添加した。Cには未殺菌腐葉土、未殺菌の分離菌培養液、アンモニア水溶液を添加した。

また、アンモニア水溶液は揮発性向上の目的でそれぞれ脱脂綿に浸透させたものを使用し、また腐葉土との接触を避けるようにした。使用した腐葉土は実際に運転しているコンポスト脱臭槽内の腐葉土を用いた。Cには2.4×10<sup>7</sup>/mlの分離菌培養液を10ml添加したので、Cの腐葉土には初発で約1.2×10<sup>6</sup>/gの分離菌が生存していると考えられる。これらを20、10日間培養し、日毎の気相側のアンモニアガス濃度を測定した。測定には2種類のアンモニアガス用ガステック検知管を用いた。

表3 腐葉土および分離菌によるアンモニア脱臭試験条件(気相側)

試験区	腐葉土 (水分49.4%)	NH <sub>3</sub> 水溶液 (28%NH <sub>3</sub> )	分離菌培養液 (2.4×10 <sup>7</sup> /ml)
Blank	-	0.5ml	-
A	200g(殺菌)	0.5ml	10ml(殺菌)
B	200g	0.5ml	10ml(殺菌)
C	200g	0.5ml	10ml(1.2×10 <sup>6</sup> /g(腐葉土))

(3.5Lポット・20 培養)

## 2.6. 腐葉土および分離菌によるアンモニア脱臭試験(固相側)

腐葉土中に存在する微生物および分離菌による、腐葉土側(固相側)のアンモニア脱臭効果の試験を行った。試験は3.5Lのポットを使用し、表4に示す条件で行ない、腐葉土側のアンモニウムイオン濃度を測定した。A、B、Cの試験区を用い、Aには殺菌した腐葉土、殺菌し

た分離菌培養液、アンモニア水溶液を添加した。Bには未殺菌の腐葉土、殺菌した分離菌培養液、アンモニア水溶液を添加した。Cには未殺菌腐葉土、未殺菌の分離菌培養液、アンモニア水溶液を添加した。これらを20、30日間培養し、初発と30日後の腐葉土側のアンモニウムイオン濃度を測定した。測定にはメルククアント社アンモニウムイオンテストを用いた。また、一般的にアンモニアを酸化する微生物はNH<sub>3</sub>を無臭かつ有害なNO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>を無臭かつ無害なNO<sub>3</sub><sup>-</sup>に酸化<sup>3)</sup>していくことが知られている。よって、アンモニウムイオン(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)濃度とあわせて亜硝酸イオン(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)濃度および硝酸イオン(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)濃度を、初発と30日後に測定した。測定にはメルククアント社亜硝酸イオンテストおよび硝酸イオンテストを用いた。

表4 腐葉土および分離菌によるアンモニア脱臭試験条件(固相側)

試験区	腐葉土 (水分49.0%)	NH <sub>3</sub> 水溶液 (28%NH <sub>3</sub> )	分離菌培養液 (2.2×10 <sup>7</sup> /ml)
A	200g(殺菌)	0.5ml	10ml(殺菌)
B	200g	0.5ml	10ml(殺菌)
C	200g	0.5ml	10ml(1.1×10 <sup>6</sup> /g(腐葉土))

(3.5Lポット・20 培養)

## 2.7. 腐葉土菌群のアンモニウムイオン減少試験

腐葉土中に生ずる微生物群による無機窒素液体培地を用いたアンモニウムイオン減少試験を行った。ここでは未使用の腐葉土菌群と、脱臭槽内で使用している腐葉土菌群の二種類の菌群におけるアンモニウムイオン減少試験を行ない、未使用腐葉土と使用中腐葉土のアンモニア脱臭能力の相違を検討した。試験はBlank、A、Bの試験区を用い、表5に示す条件で行った。それぞれ表6の無機窒素液体培地500mlを用いBlankには腐葉土菌群を添加せず、Aには未使用腐葉土の菌群希釈液を50ml添加し、Bには使用中腐葉土の菌群希釈液50mlを添加した。腐葉土菌群希釈液は各腐葉土50gを0.5%NaCl-water50mlに希釈したものをを用いた。これらを30、40日間培養し、表2の腐葉土抽出培地にて腐葉土菌群の菌数を経時的に測定し、あわせてアンモニウムイオン濃度もアンモニア測定器(東興化学Ti-9001)を用いて経時的に測定した。

表5 腐葉土菌群のアンモニウムイオン減少試験

試験区	無機窒素培地	腐葉土菌群
Blank	500ml	0.5%NaCl-water 50ml
A	500ml	未使用腐葉土菌群希釈液50ml
B	500ml	使用中腐葉土菌群希釈液50ml

(腐葉土菌群希釈液:腐葉土50g/0.5%NaClwater50ml)

表6 培地組成

L培地			
Tryptone Peptone		10g	
Yeast Extract		5g	
NaCl		5g	
Glucose		1g	
Distilled water	1000ml		pH7.2

無機窒素培地<sup>4)</sup>

NH <sub>4</sub> Cl	2g	FeSO <sub>4</sub>	0.01g
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	2g	MgSO <sub>4</sub>	0.5g
glucose	10g	DIW	1.0L
CaCO <sub>3</sub>	10g	pH8.0	

## 2.8. 脱臭槽内腐葉土より分離した微生物のアンモニウムイオン減少試験

脱臭槽内腐葉土より分離した微生物において、アンモニウムイオン減少試験を行った。またアンモニウムイオン減少における諸条件の影響を検討した。

### 2.8.1. 分離菌のアンモニウムイオン減少試験

脱臭槽内腐葉土より分離した微生物のアンモニウムイオン減少試験を行った。試験はBlank、A、Bの試験区を用い、表7に示す条件で行った。対照として *Bacillus subtilis* を用いた。それぞれ表6の無機窒素液体培地500mlを用いBlankには菌を添加せず、Aには分離菌の前培養液を50ml添加し、Bには対照の *B. subtilis* の前培養液50mlを添加した。A、Bの前培養液はそれぞれの菌体を表6のL培地で30、2日間培養したものをを使用した。これらの試験区を30、40日間培養し、L培地にてそれぞれの菌数を経時的に測定し、あわせてアンモニウムイオン濃度もアンモニア測定器(東興化学Ti-9001)を用いて経時的に測定した。

表7 分離菌のアンモニウムイオン減少試験

試験区	無機窒素培地	添加菌
Blank	500ml	なし(L培地50ml)
A	500ml	分離菌 50ml
B	500ml	<i>B. subtilis</i> 50ml

### 2.8.2. 分離菌のアンモニウムイオン減少におけるpHの影響

脱臭槽内腐葉土より分離した微生物がアンモニウムイオンを減少させるうえで、培地pHがどのように影響するかを試験した。試験はBlank、pH6、pH7、pH8、pH9の試験区を用い、表8に示す条件で行った。それぞれ表5のCaCO<sub>3</sub>を除いた無機窒素液体培地500mlを用いBlank(pH8)には菌を添加せず、試験区pH6、pH7、pH8、pH9には

それぞれ分離菌の前培養液を50ml添加した。この前培養液は分離菌を表6のL培地で30、2日間培養したものをを使用した。これらの試験区を30、31日間培養し、L培地にてそれぞれの菌数を経時的に測定し、あわせてアンモニウムイオン濃度もアンモニア測定器を用いて経時的に測定した。

表8 分離菌のアンモニウムイオン減少におけるpH影響試験

試験区	無機窒素培地 (CaCO <sub>3</sub> 不含)	添加菌
Blank	500ml (pH8)	なし(L培地50ml)
pH6	500ml	分離菌 50ml
pH7	500ml	分離菌 50ml
pH8	500ml	分離菌 50ml
pH9	500ml	分離菌 50ml

### 2.8.3. 分離菌の高濃度アンモニウムイオン条件下における減少試験

脱臭槽内腐葉土より分離した微生物の高濃度アンモニウムイオン条件下における減少試験を行った。試験はBlank、A、B、C、Dの試験区を用い、表9に示す条件で行った。対照として *Bacillus subtilis* を用いた。それぞれ表6の無機窒素液体培地のNH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度を換えた500mlを用い、A、Cには分離菌の前培養液を50ml添加し、B、Dには対照の *B. subtilis* の前培養液50mlを添加した。A、CおよびB、Dの前培養液はそれぞれの菌体を表6のL培地で30、2日間培養したものをを使用した。これらの試験区を30、30日間培養し、L培地にてそれぞれの菌数を経時的に測定した。あわせてアンモニウムイオン濃度もアンモニア測定器を用いて、高濃度NH<sub>4</sub><sup>+</sup>条件下におけるNH<sub>4</sub><sup>+</sup>減少量を経時的に測定した。

表9 分離菌の高濃度アンモニウムイオン条件下における減少試験

試験区	無機窒素培地	添加菌
Blank	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 1500ppm(500ml)	無菌前培養液 50ml
A	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 1500ppm(500ml)	分離菌 50ml
B	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 1500ppm(500ml)	<i>B. subtilis</i> 50ml
C	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 2000ppm(500ml)	分離菌 50ml
D	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 2000ppm(500ml)	<i>B. subtilis</i> 50ml

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1. 試験用コンポスト化発酵装置の脱臭槽におけるアンモニア脱臭能力測定

試験用コンポスト化発酵装置の脱臭槽において、1日間および1ヶ月間のアンモニア脱臭能力の確認を行った。

### 3.1.1. 試験用コンポスト脱臭槽における1日あたりのアンモニア脱臭能力測定

試験用コンポスト脱臭槽の6月7日昼間12時間のアンモニア脱臭能力の測定を行なった。脱臭槽導入口および排出口のそれぞれのアンモニアガス濃度、これら測定時の生ごみ発酵槽温度、外気温度の測定結果を図8に示す。6月7日昼間12時間の腐葉土平均水分は80.09%、生ごみ試料投入時間は15時10分であった。また、脱臭槽導入口および排出口のそれぞれのアンモニアガス濃度測定結果からこの脱臭槽のアンモニア除去率(%)もあわせて示した。

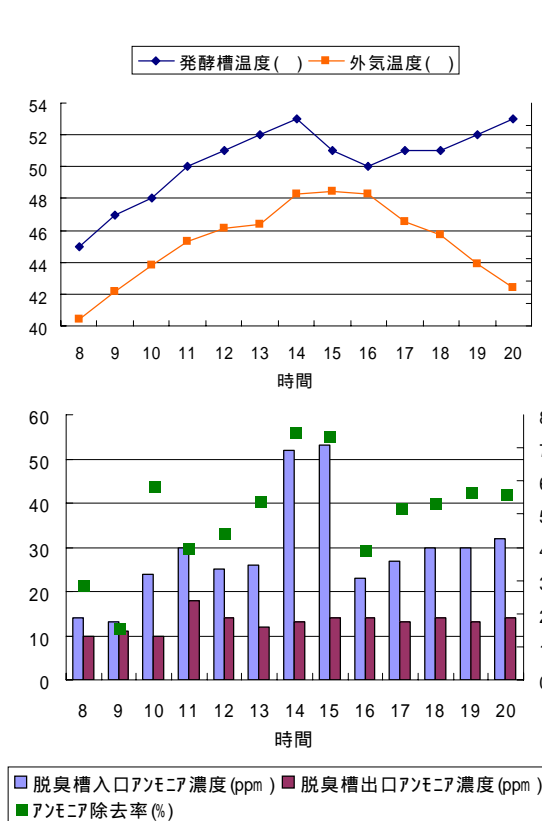


図8 試験用コンポスト脱臭槽における昼間12時間のアンモニア脱臭能力測定

生ごみ発酵槽温度が上昇するにしたがって、脱臭槽導入口のアンモニアガス濃度も高くなっていった。次に、この日の生ごみ試料投入時間は15時10分であったが、投入後生ごみ発酵槽温度が低下し、それにより脱臭槽導入口のアンモニアガス濃度も低くなった。この昼間12時間の脱臭槽導入口のアンモニアガス濃度は13～53ppmの範囲にあった。脱臭槽排出口のアンモニアガス濃度は11～18ppmの範囲に止まった。この脱臭槽のアンモニア除去率(%)は低いときは15.4%で、高いときは75.0%にまでアンモニアを除去していた。この除去率の平均値は49.7%であり、この日に関しては比較的アンモニアを除去していたと考えられる。

### 3.1.2. 試験用コンポスト脱臭槽における一ヶ月のアンモニア脱臭能力測定

試験用コンポスト脱臭槽の5月から6月にかけての1ヶ月のアンモニア脱臭能力の測定を行なった。脱臭槽導入口および排出口のそれぞれのアンモニアガス濃度、これら測定時の生ごみ発酵槽温度、脱臭槽内腐葉土の水分およびpHの測定結果を図9に示す。脱臭槽導入口および排出口のアンモニアガス濃度測定時間は概ね13時～14時の間に測定した。また、脱臭槽導入口および排出口のそれぞれのアンモニアガス濃度測定結果からこの脱臭槽のアンモニア除去(%)も合わせて示した。

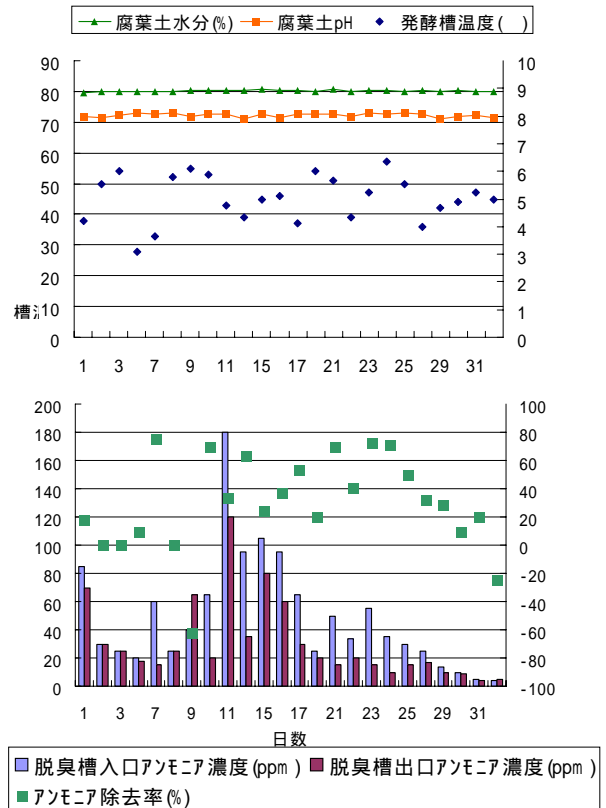


図9 試験用コンポスト脱臭槽における一ヶ月のアンモニア脱臭能力測定

脱臭槽内腐葉土の水分は測定時一ヶ月間は約80%を保持していた。これは生ごみ発酵槽からの湿度の高い悪臭が常時腐葉土に水分を与えていたので腐葉土自体水分が飽和状態になっていたことにより、水分約80%を保持していたと考えられる。また腐葉土pHについては一ヶ月間約pH8を保持していた。

この一ヶ月間の脱臭槽導入口のアンモニアガス濃度は4～180ppmの範囲にあり、脱臭槽排出口のアンモニアガス濃度は4～120ppmの範囲にあった。この脱臭槽のアンモニア除去率(%)は低いときは-62.5%となり、これは外気温が高い夏季における試験であり、腐葉土に蓄積したアンモニアを除去せずに放出したと考えられる。アンモニア除去率の高いときは75.0%にまでアンモニアを除去していた。この除去率の平均値は

22.2%であり、日々の条件によりアンモニア除去能力が変化すると考えられた。

また、この5月から6月にかけての1ヶ月間の脱臭槽導入口・排出口のアンモニアガス濃度測定時における腐葉土中のアンモニウムイオン(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)濃度の経時変化の測定も同時に行なった。脱臭槽導入口・排出口のアンモニアガス濃度測定時における腐葉土中のアンモニウムイオン(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)濃度、亜硝酸イオン(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)濃度、硝酸イオン(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)濃度の経時変化を図10に示す。

この一ヶ月間の脱臭槽内腐葉土のアンモニウムイオン(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)濃度は約750mg/kg(腐葉土)を保持していた。また亜硝酸イオン(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)濃度は高濃度時では12.5mg/kg(腐葉土)であったが、概ね不検出の日が多く低濃度であった。硝酸イオン(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)濃度についても高濃度時で25mg/kg(腐葉土)であったが、不検出の日が多く低濃度であった。

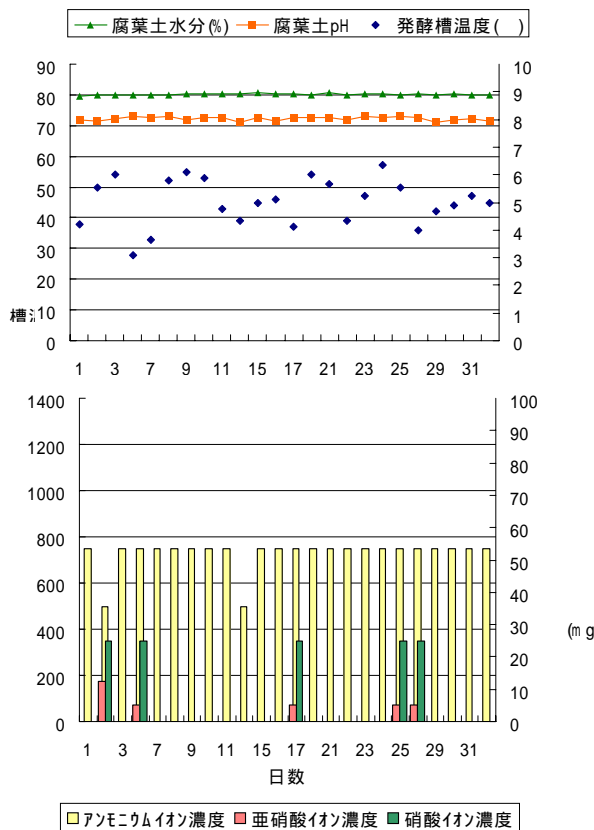


図10 試験用コンポスト脱臭槽内腐葉土における一ヶ月のアンモニウムイオン濃度経時変化測定

### 3.2. 実証試験用コンポスト脱臭槽のアンモニア脱臭能力測定

コンポスト実証試験機設置事業所5ヶ所の脱臭槽において、実証試験期間後期の約半月間のアンモニア脱臭能力の確認を行なった。

#### 3.2.1. ショッピングモールにおける脱臭槽のアンモニア脱臭能力

ショッピングモール内に設置した実証試験機の脱臭槽において、実証試験期間後期の16日間においてアンモニア脱臭能力の測定を行った。脱臭槽導入口および排出口のそれぞれのアンモニアガス濃度、およびこれら測定時の脱臭槽内腐葉土pH、腐葉土水分、腐葉土中アンモニウムイオン濃度についての測定結果を図11に示す。また、脱臭槽導入口および排出口のそれぞれのアンモニアガス濃度測定結果からこの脱臭槽のアンモニアガス除去率(%)もあわせて示した。

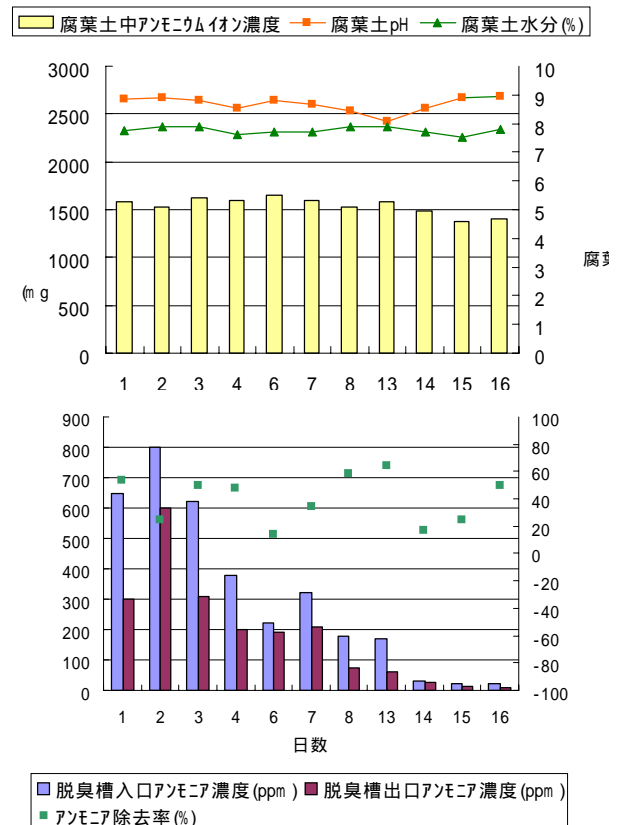


図11 ショッピングモールにおける脱臭槽のアンモニア脱臭能力

この16日間の脱臭槽導入口のアンモニアガス濃度は20～800ppmの範囲にあり高濃度で発生していた。脱臭槽排出口のアンモニア濃度も10～600ppmの範囲にあり高濃度で排出していた。この導入口および排出口ともに5事業所中最も高いアンモニアガス濃度を示していた。この導入口アンモニアガス濃度が高濃度であったため、脱臭槽のアンモニアガス平均除去率(%)は39.9%と5事業所中最も低い除去率を示した。またこの脱臭槽のアンモニアガス除去率(%)は13.0～64.7%の範囲にあり、日々の諸条件によりアンモニアガス除去能力が変化すると考えられた。

脱臭槽内腐葉土pHは16日間の平均がpH8.7、分布はpH8～9の間を推移していた。腐葉土水分については平均が77.6%で、大きく変動することなく、ほぼ一定な値で推移した。腐葉土アンモニウムイオン(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)濃度

は平均1542.4mg/kg(腐葉土)と5事業所中最も高い濃度で蓄積していた。

### 3.2.2. 郡山食品工業団地における脱臭槽のアンモニア脱臭能力

郡山食品工業団地に設置した実証試験機の脱臭槽において、実証試験期間後期の16日間においてアンモニア脱臭能力の測定を行った。各項目の測定結果を図12に示す。

この16日間の脱臭槽導入口のアンモニアガス濃度は1~3ppmの範囲にあり低濃度で発生し、脱臭槽排出口のアンモニア濃度も0~1ppmの範囲にあり低濃度で排出していた。この導入口アンモニアガス濃度が低濃度であったため、脱臭槽のアンモニアガス平均除去率(%)は71.1%と高い除去率を示した。

脱臭槽内腐葉土pHは16日間平均がpH7.4で、6.9~7.8の付近で保持していた。腐葉土水分については平均76.1%で大きく変動することはなかった。腐葉土アンモニウムイオン(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)濃度は平均204.6mg/kg(腐葉土)と比較的高い濃度で蓄積していた。

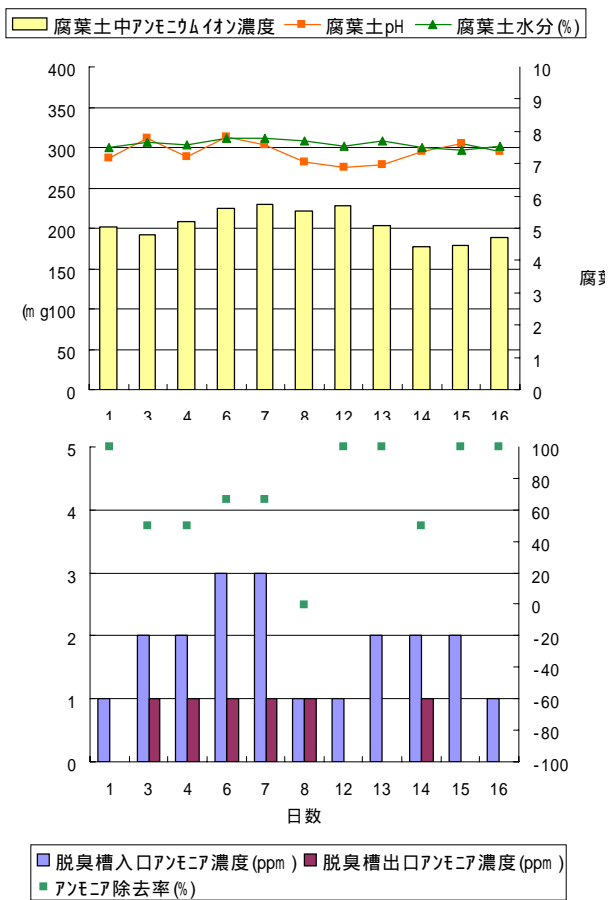


図12 郡山食品工業団地における脱臭槽のアンモニア脱臭能力

### 3.2.3. 日本大学工学部における脱臭槽のアン

### モニア脱臭能力

日本大学工学部に設置した実証試験機の脱臭槽において、実証試験期間後期の17日間においてアンモニア脱臭能力の測定を行った。各項目の測定結果を図13に示す。

この17日間の脱臭槽導入口のアンモニアガス濃度は1~4ppmの範囲にあり低濃度で発生し、脱臭槽排出口のアンモニア濃度も0~1ppmの範囲にあり低濃度で排出していた。この導入口アンモニアガス濃度が低濃度であったため、脱臭槽のアンモニアガス平均除去率(%)は82.4%と高い除去率を示した。

脱臭槽内腐葉土pHは17日間の平均がpH7.5で、7.1~7.8の間に分布していた。腐葉土水分については平均71.0%であり、大きく変動することはなく推移した。腐葉土アンモニウムイオン(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)濃度は平均41.0mg/kg(腐葉土)と低濃度で、あまり蓄積されていなかった。

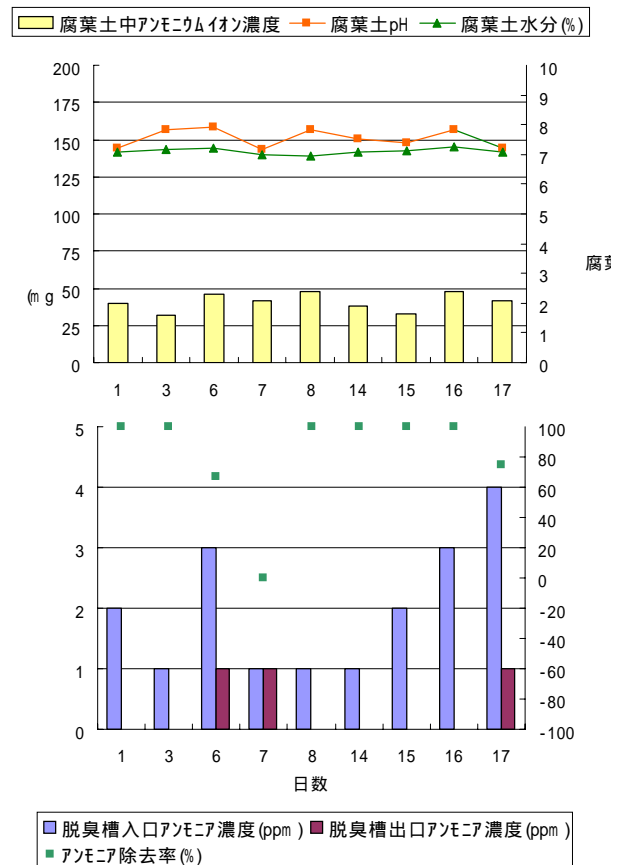


図13 日本大学工学部における脱臭槽のアンモニア脱臭能力

### 3.2.4. ビックパレットふくしまにおける脱臭装置のアンモニア脱臭能力

ビックパレットふくしまに設置した実証試験機の脱臭槽において、実証試験期間後期の8日間においてアンモニア脱臭能力の測定を行った。各項目の測定結果を図14に示す。

この8日間の脱臭槽導入口のアンモニアガス濃度は1～3ppmの範囲にあり低濃度で発生し、脱臭槽排出口のアンモニア濃度も0～1ppmの範囲にあり低濃度で排出していた。この導入口アンモニアガス濃度が低濃度であったため、脱臭槽のアンモニアガス平均除去率は94.4%と5事業所中最も高い除去率を示した。

脱臭槽内腐葉土pHは8日間の平均でpH8.0で大きく変動することはなかった。腐葉土水分についても平均78.6%付近でpH同様に大きく変動することはなかった。腐葉土のアンモニウムイオン(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)濃度は平均28.3mg/kg(腐葉土)と5事業所中最も低い濃度であり、他の脱臭槽とは異なって多く蓄積されることはなかった。

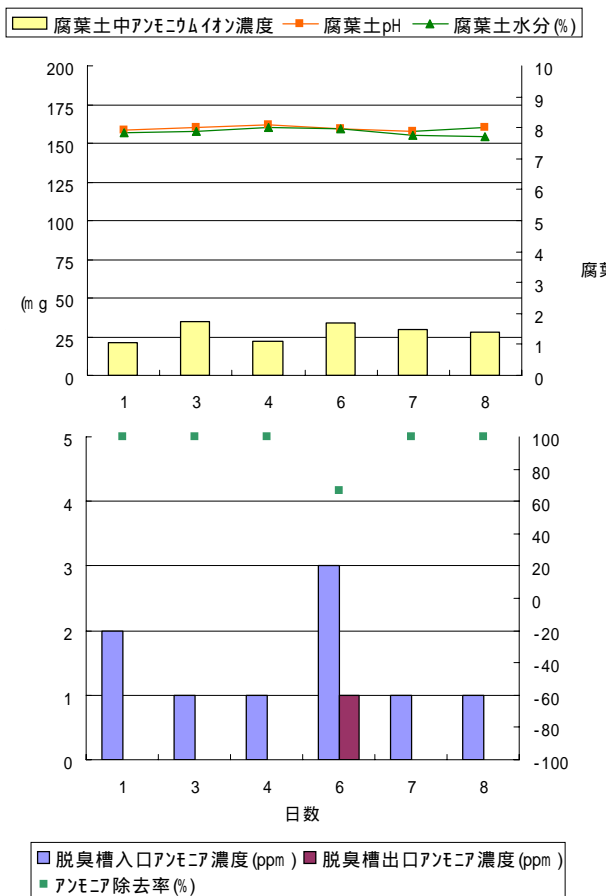


図14 ピックパレットふくしまにおける脱臭槽のアンモニア脱臭能力

### 3.2.5 青果市場における脱臭槽のアンモニア脱臭能力

青果市場に設置した実証試験機の脱臭槽において、実証試験期間後期の17日間においてアンモニア脱臭能力の測定を行った。各項目の測定結果を図15に示す。

この17日間の脱臭槽導入口のアンモニアガス濃度は2～62ppmの範囲にあり比較的高い濃度で発生し、脱臭槽排出口のアンモニア濃度も0～7ppmの範囲にありやや高め濃度で排出していた。この導入口アンモニア

ガス濃度がやや高め濃度であったため、脱臭槽のアンモニアガス平均除去率(%)は78.1%と比較的低い除去率を示した。

脱臭槽内腐葉土pHは17日間の平均でpH6.7であった。pHの分布は大きく変動はしなかったが、5台の実証機の中では最も低い値となっていた。腐葉土水分については平均76.0%であり、他の実証機とほぼ同じ結果で推移していた。腐葉土のアンモニウムイオン(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)濃度は平均775.1mg/kg(腐葉土)と高い濃度で蓄積していた。これは導入口アンモニアガス濃度が比較的高かったためと推測された。

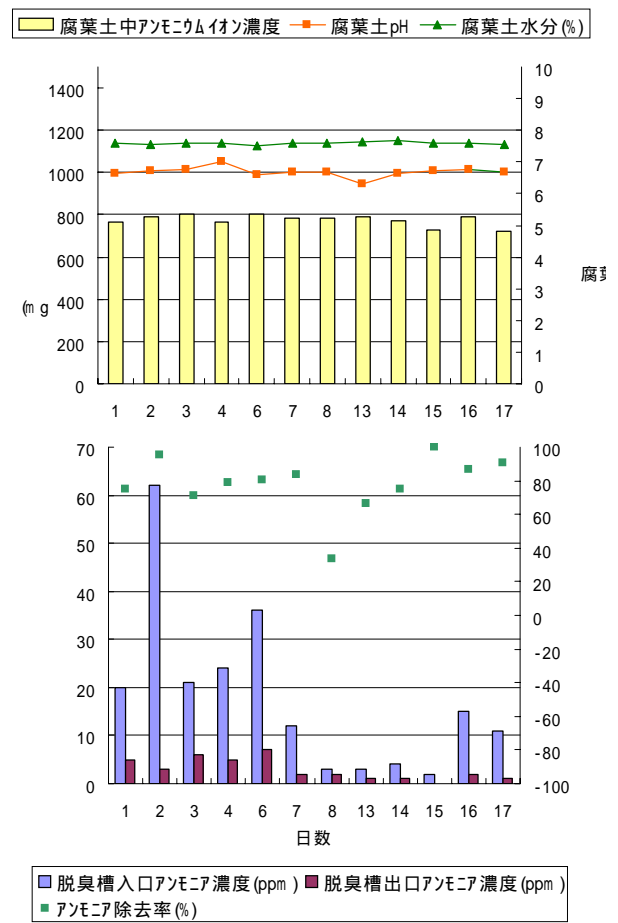


図15 青果市場における脱臭槽のアンモニア脱臭能力

5事業所に設置した実証試験機脱臭槽のアンモニア脱臭効果の測定平均値を表4に示した。この結果より、発酵槽からのアンモニアガス発生濃度は、発酵槽に投入する生ごみの種類により影響されることがわかった。

脱臭槽導入口からのアンモニアガスが高濃度で導入していた試験機は1のショッピングモール実証試験機であり、腐葉土による脱臭も限界になり、結果として脱臭槽排出口より高濃度で放出したと考えられた。またこの腐葉土中にはアンモニウムイオン濃度も高濃度



で蓄積されていた。アンモニアガス除去率においても、試験機発酵槽からのアンモニアガスが高濃度で発生している脱臭槽ではやはり低くなっていた。

表10 各事業所におけるアンモニア脱臭効果測定値平均

	pH	水分 (%)	腐葉土 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 濃度 (mg/kg)	脱臭入口 NH <sub>3</sub> 濃度 (ppm)	脱臭出口 NH <sub>3</sub> 濃度 (ppm)	NH <sub>3</sub> 除去率 (%)
1	8.7	77.6	1542.4	310.0	181.4	39.9
2	7.4	76.1	204.6	1.8	0.5	71.1
3	7.5	71.0	41.0	2.0	0.3	82.4
4	8.0	78.6	28.3	1.5	0.2	94.4
5	6.7	76.0	775.1	17.8	2.9	78.1

1. ショッピングモール
2. 郡山食品工業団地
3. 日本大学工学部
4. ピックパレットふくしま
5. 青果市場

### 3.3. コンポスト脱臭槽内の腐葉土中の菌数測定

実際に運転している脱臭槽内の腐葉土中の菌数測定を行ったところ、腐葉土浸出液寒天培地にて  $2.4 \times 10^9$ /g(乾燥腐葉土)の微生物が存在しており、脱臭槽内の腐葉土中には多くの微生物が生存していることが確認できた。また、今回の試験は腐葉土浸出液寒天培地上にのみ生育してくる微生物の生菌数であり、実際にはこの培地で生育しない微生物もいることから、これ以上の微生物が存在していると推測された。

### 3.4. アンモニアを分解する微生物の分離

炭酸水素アンモニウム培地を使用し、腐葉土からアンモニアを分解する可能性のある微生物の分離を行った。その結果高濃度のアンモニウムイオン存在下でも生育してくる微生物を1菌株単離した。この単離した菌株は運動性がある桿菌で、また16S-DNA断片の塩基配列から *Paenibacillus*属に最も近縁な株であった。

### 3.5. 腐葉土および分離菌によるアンモニア脱臭試験(気相側)

腐葉土中に存在する微生物および分離菌による、気相側のアンモニア脱臭効果の試験を行い、その結果を図16に示す。

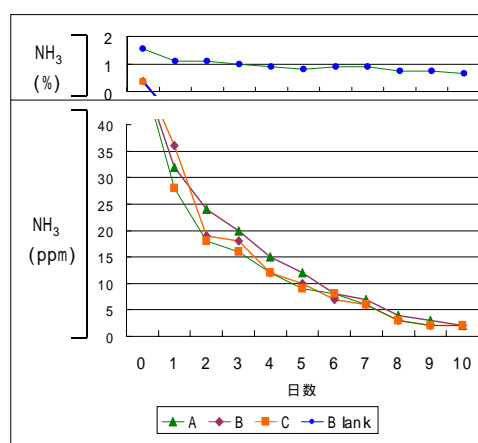


図16 腐葉土および分離菌によるアンモニア脱臭試験(気相側)

Blank以外、A、B、Cともにポット内の脱脂綿に浸透させた28%アンモニア水溶液0.5mlは1日後にはほぼポット内に蒸発していた。また、使用した腐葉土の水分測定をしたところ49.4%の水分を保持していた。Blankは3.5Lポットにアンモニア水溶液のみを添加したものであるが、ポット内のアンモニア濃度は初発1.55%で10日後は0.75%となり、若干の減少が見られたがほとんど減少しなかった。この減少は測定作業時開封による濃度減少と見られた。Aは殺菌した腐葉土、殺菌した分離菌培養液、アンモニア水溶液を添加したものであるが、Aポット内のアンモニア濃度は初発0.4%で10日後は3ppmと減少した。Bは未殺菌の腐葉土、殺菌した分離菌培養液、アンモニア水溶液を添加したものであるが、Bポット内のアンモニア濃度は初発0.35%で10日後は2ppmと減少した。Cには未殺菌腐葉土、未殺菌の分離菌培養液、アンモニア水溶液を添加したものであり、ポット内のアンモニア濃度は初発0.35%で10日後は2ppmと減少しBと同濃度の減少となった。図16より、Blankを除くA、B、Cともにポット内の腐葉土中の微生物が存在するしない、および分離菌の添加・不添加に関わらず同じような減少経過をたどることがわかった。また、A、B、Cともにアンモニア添加1日後には急激な減少をしていることから、アンモニアはポット内に添加してすぐに揮発し、このアンモニアガスは迅速に腐葉土および腐葉土に含まれる水分に吸着されたことが考えられた。また、この気相側のアンモニア脱臭ポット試験では、腐葉土中微生物および分離菌によるアンモニア脱臭の促進が確認困難であった。

### 3.6. 腐葉土および分離菌によるアンモニア脱臭試験(固相側)

腐葉土中に存在する微生物および分離菌による、腐葉土側(固相側)のアンモニア脱臭効果の試験を行い、その結果を図17に示す。

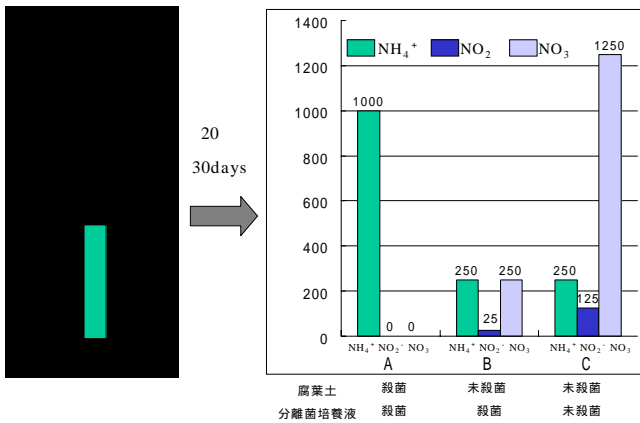


図17 腐葉土および分離菌によるアンモニア脱臭試験 (固相側)

気相側脱臭試験と同様にBlank、A、B、Cともにポット内の脱脂綿に浸透させた28%アンモニア水溶液0.5mlは1日後にはほぼポット内に蒸発していた。また、使用した腐葉土の水分測定をしたところ49.0%の水分を保持しており、この試験前の腐葉土中には500mg/kg(腐葉土)のアンモニウムイオン(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)が含有していた。これは使用した腐葉土が実際に運転している脱臭槽内より採取しており、高濃度のアンモニウムイオンを含有していたことが考えられた。

Aは殺菌した腐葉土、殺菌した分離菌培養液、アンモニア水溶液を添加したものであるが、Aポット内の腐葉土中のアンモニウムイオン(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)濃度は初発500mg/kg(腐葉土)で30日後は1000mg/kg(腐葉土)と増加した。これは気体側で蒸発したアンモニアガスが腐葉土および腐葉土中水分に吸着され、増加したと考えられた。また、A腐葉土中の亜硝酸イオン(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)および硝酸イオン(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)は初発不検出で30日後も不検出であった。

Bは未殺菌の腐葉土、殺菌した分離菌培養液、アンモニア水溶液を添加したものであるが、Bポット内の腐葉土中のアンモニウムイオン濃度は初発500mg/kg(腐葉土)で30日後は250mg/kg(腐葉土)と減少した。A、Bとの比較により考察すると、一度気体側で蒸発したアンモニアガスが腐葉土および腐葉土中水分に吸着され、腐葉土中のアンモニウムイオンが増加するが、その後腐葉土中のアンモニアを取り込む微生物によりアンモニウムイオンが減少したと考えられる。また、B腐葉土中の亜硝酸イオンは25mg/kg(腐葉土)、および硝酸イオンは250mg/kg(腐葉土)と増加した。

Cは未殺菌腐葉土、未殺菌の分離菌培養液、アンモニア水溶液を添加したものであり、Cポット内の腐葉土中のアンモニウムイオン濃度は初発500mg/kg(腐葉土)で30日後は250mg/kg(腐葉土)と減少した。A、B、Cとの比較により考察すると、アンモニアガスが腐葉土および腐葉土中水分に吸着され、腐葉土中のアンモニウ

ムイオンが増加するが、その後腐葉土中のアンモニアを取り込む微生物および添加した分離菌によりアンモニウムイオンが減少したと考えられる。しかし、Cの減少量はBの減少量と同量であり、ここでは分離菌添加によるアンモニウムイオンの減少促進が確認できなかった。また、C腐葉土中の亜硝酸イオンは125mg/kg(腐葉土)、および硝酸イオンは1250mg/kg(腐葉土)と増加した。一般的にアンモニアを酸化する微生物はNH<sub>3</sub>を無臭かつ有害なNO<sub>2</sub><sup>-</sup>、NO<sub>2</sub>を無臭かつ無害なNO<sub>3</sub><sup>-</sup>に酸化<sup>3)</sup>していくことが知られているが、今回のこの増加原因についても今後の課題である。

### 3.7. 腐葉土菌群のアンモニウムイオン減少試験

未使用の腐葉土菌群と、脱臭槽内で使用している腐葉土菌群の2種類の菌群におけるアンモニウムイオン減少試験を行ない、未使用腐葉土と使用中腐葉土のアンモニア脱臭能力の相違を検討した。この結果を図18に示す。

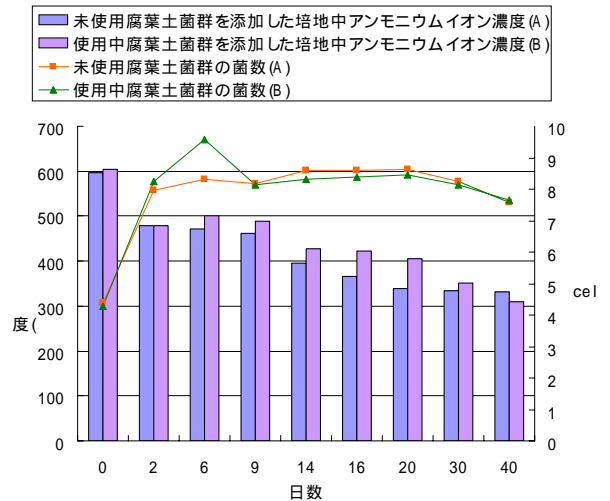


図18 未使用腐葉土菌群と使用中腐葉土菌群のアンモニウムイオン減少試験

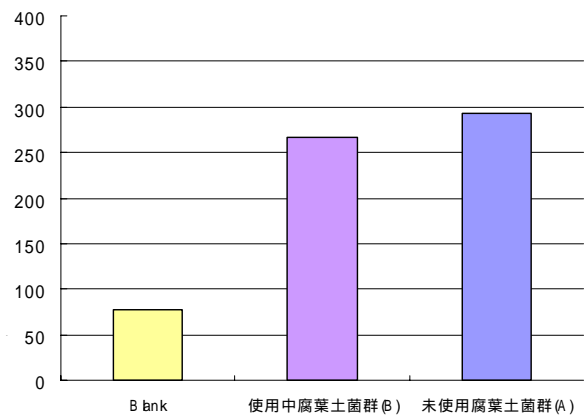


図19 未使用腐葉土菌群と使用中腐葉土菌群の40日後のアンモニウムイオン減少量

未使用腐葉土と使用中腐葉土の初発菌数はともに $10^4$  cells/mlオーダーであったが、6日目頃には $10^6$  cells/mlを越える菌数となった。アンモニウムイオン濃度については初発濃度約600ppmがともに腐葉土菌群により取り込まれ、緩やかに減少していった。

また未使用腐葉土菌群と、使用中腐葉土菌群の40日後の培地中アンモニウムイオン減少量を図19に示す。この培地中アンモニウムイオン減少量においてBlankの減少量は78ppmであり $\text{NH}_4^+$ の蒸散量と考えられる。未使用腐葉土菌群 $\text{NH}_4^+$ 減少量は293ppm、使用中腐葉土菌群 $\text{NH}_4^+$ 減少量は266ppmであり、ともに顕著な差はみられなかった。このことから腐葉土の状態が未使用および脱臭槽内において使用中のものにかかわらず、腐葉土中に生存する菌群はアンモニウムイオンを減少させることがわかった。

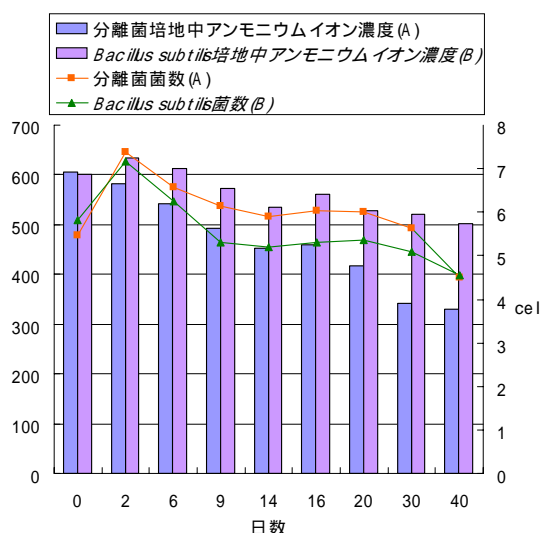


図20 分離菌と*B. subtilis*のアンモニウムイオン減少試験

### 3.8. 脱臭槽内腐葉土より分離した微生物の諸条件によるアンモニウムイオン減少試験

#### 3.8.1. 分離菌のアンモニウムイオン減少試験

脱臭槽内腐葉土より分離した微生物のアンモニウムイオン減少試験を行った。対照として*B. subtilis*を用い、同時に減少試験を行った。この結果を図20に示す。分離菌と*B. subtilis*の初発菌数はともに $10^5$  cells/mlオーダーであり、2日目には $10^7$  cells/mlを越える菌数となった。アンモニウムイオン濃度についてはともに初発濃度は約600ppmであったが、分離菌は*B. subtilis*より $\text{NH}_4^+$ 濃度の減少量が多かった。

また分離菌と*B. subtilis*の40日後の培地中アンモニウムイオン減少量を図21に示す。この培地中アンモニウムイオン減少量においてBlankの減少量は72ppmで、対照である*B. subtilis*の $\text{NH}_4^+$ 減少量は99ppm、分離菌の $\text{NH}_4^+$ 減少量は276ppmであった。ここでは培地中のアンモニウムイオン濃度がBlankより低下したのについて、アンモニウムイオンが菌体により減少されたものと判断した。*B. subtilis*は無機窒素培地において $\text{NH}_4^+$ を若干減少させることが知られており<sup>4)</sup>、このことからこの分離菌は穏やかにアンモニウムイオンを減少させることが確認できた。

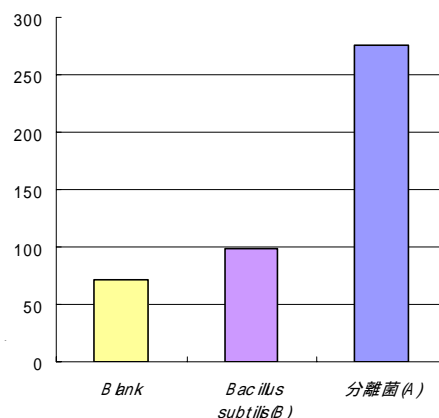


図21 分離菌と*B. subtilis*の40日後のアンモニウムイオン減少量

#### 3.8.2. 分離菌のアンモニウムイオン減少におけるpHの影響

脱臭槽内腐葉土より分離した微生物がアンモニウムイオンを減少させるうえで、培地pHがどのように影響するかを試験した。

この結果を図22に示す。分離菌の初発菌数はpH6、pH7、pH8、pH9の試験区ともに $10^5$  cells/mlオーダーであったが、pH7、pH8、pH9では3日目には $10^7$  cells/mlを越える菌数となった。また試験区pH6だけは分離菌が増殖せず、日毎に減少していった。アンモニウムイオン濃度についてはともに初発濃度は約600ppmであったが、試験区pH6では分離菌が増殖せず $\text{NH}_4^+$ 減少量が少なく、試験区pH8では分離菌が増殖し $\text{NH}_4^+$ 減少量も多かった。

また分離菌のpHの影響による培養31日後のアンモニウムイオン減少量を図23に示す。この培地中アンモニウムイオン減少量においてBlank (pH8)の減少量は58ppmで、試験区pH6では60ppm、pH7では109ppm、pH8では168ppm、pH9では147ppmの減少であった。ここでは培

地中のアンモニウムイオン濃度がBlankより低下したのものについて、アンモニウムイオンが菌体により減少されたものと判断した。よって試験区pH6とBlankのNH<sub>4</sub><sup>+</sup>減少量にはほとんど差がなく、pH6環境では分離菌はほとんどNH<sub>4</sub><sup>+</sup>を減少させないことがわかった。一般に無臭化微生物の大部分は生育至適pHが8であることが知られている<sup>5)</sup>が、この分離菌も生育至適pHおよびアンモニウムイオンを減少させるうえでの最適pHはpH8であることが確認できた。

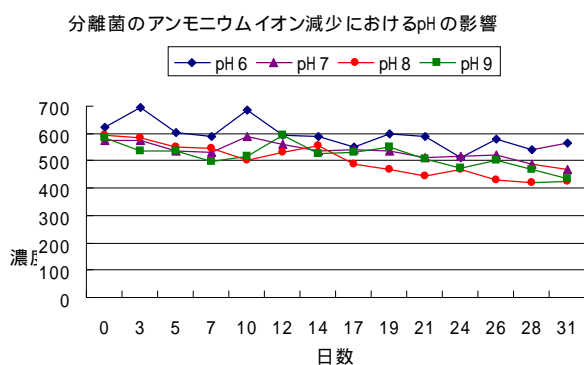
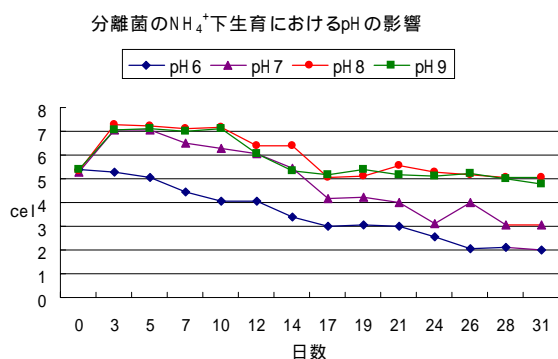


図22 分離菌のアンモニウムイオン減少におけるpHの影響

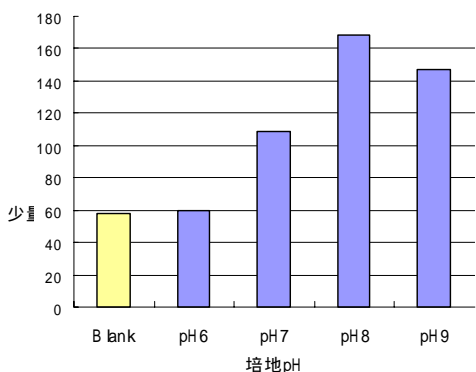


図23 分離菌のpHの影響による31日後のアンモニウムイオン減少量

### 3.8.3. 分離菌の高濃度アンモニウムイオン条件下における減少試験

脱臭槽内腐葉土より分離した微生物の、高濃度アンモニウムイオン条件下におけるアンモニウムイオン減少試験を行った。対照として*B. subtilis*を用い、同時に減少試験を行った。この結果を図24に示す。試験区A、Bの培地中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度はともに1500ppmであり、分離菌と*B. subtilis*の初発菌数は10<sup>5</sup>cells/mlオーダーと10<sup>6</sup>cells/mlオーダーであったが、4日目にはともに10<sup>6</sup>cells/mlを越える菌数となった。アンモニウムイオン濃度についてはともに初発濃度は約1500ppmであるが、分離菌は*B. subtilis*よりNH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度の減少がみられた。試験区C、Dの培地中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度はともに2000ppmであり、分離菌と*B. subtilis*の菌数は4日目にはともに10<sup>6</sup>cell/mlを越える菌数となったが、6日目には10<sup>5</sup>cell/mlオーダーに低下した。アンモニウムイオン濃度についてはともに初発濃度は約2000ppmであるが、分離菌および*B. subtilis*ともにNH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度の減少がほとんどみられなかった。

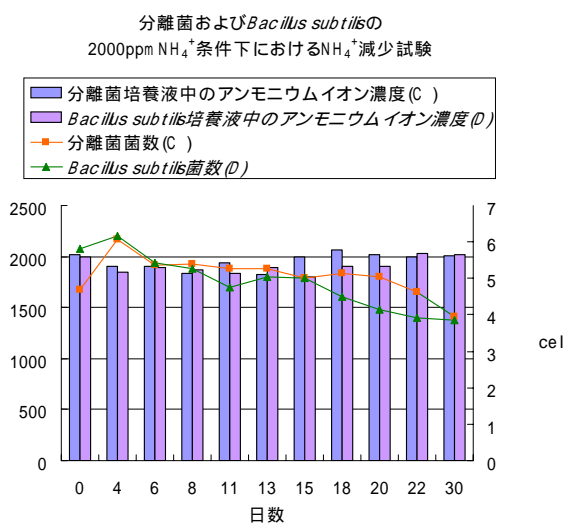
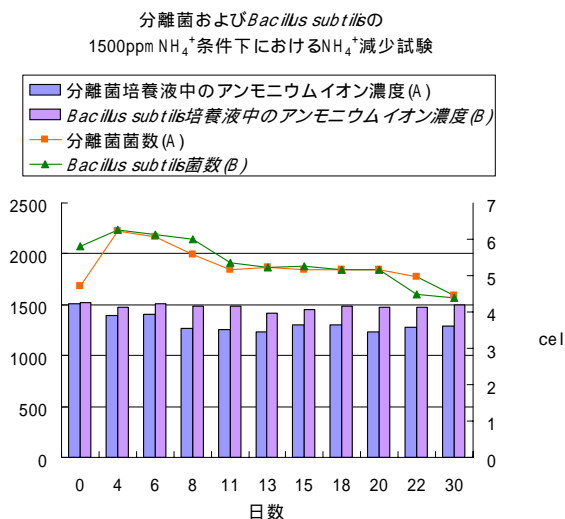


図24 分離菌と*B. subtilis*のアンモニウムイオン減少試験

また分離菌と*B. subtilis*の40日後の培地中アンモニウムイオン減少量を図25に示す。対照である*B. subtilis*においては、培地中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度が1500ppmおよび2000ppmのときともにBlankの減少量を下まわっており、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の減少がみられなかった。よって対照である*B. subtilis*は培地中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度が1500ppmおよび2000ppmのときは、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>減少能力が無いことが確認された。一方、分離菌において培地中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度が1500ppmのときは、Blank減少量を差し引いても172ppmのNH<sub>4</sub><sup>+</sup>減少量があった。しかし培地中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度2000ppmのときはBlankの減少量を下まわった。よって分離菌は培地中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度が1500ppmのときはNH<sub>4</sub><sup>+</sup>減少能力はあるが、培地中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度2000ppmになると菌の生育はするがNH<sub>4</sub><sup>+</sup>減少能力が無くなってしまふことが確認された。

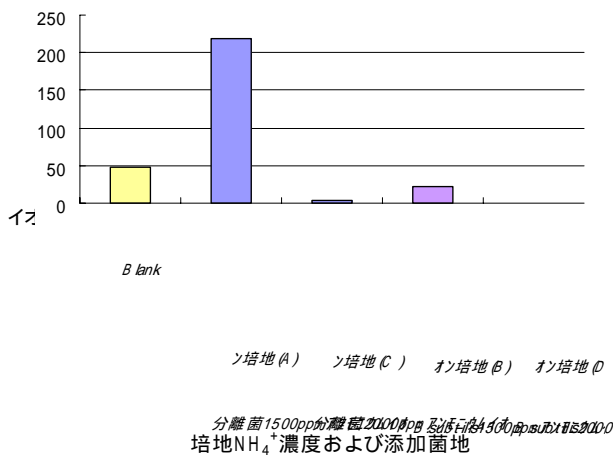


図25 分離菌と*B. subtilis*の高濃度NH<sub>4</sub><sup>+</sup>条件下における30日後のアンモニウムイオン減少量

ガス濃度が高く排出されてしまうところでは、脱臭槽内腐葉土のアンモニウムイオン濃度も高く、脱臭の限界状態になり、結果としてアンモニアガスが脱臭されずに排出されていた。

実際に運転している脱臭槽内の腐葉土中の菌数測定を行ったところ、腐葉土浸出液寒天培地にて $2.4 \times 10^9$  cells/g(乾燥腐葉土)の微生物が存在した。脱臭槽内の腐葉土中には多数の微生物が生存していた。

また炭酸水素アンモニウム培地を使用し、腐葉土からアンモニアを分解する可能性のある微生物の分離を試みたところ、高濃度のアンモニウムイオン存在下でも生育してくる微生物を1菌株単離した。

次に腐葉土中に存在する微生物および分離菌による、気相・固相側のアンモニア脱臭効果のポット試験を行った。その結果、気相側においてアンモニア添加後に急激な減少をしていることから、このアンモニアガスは迅速に腐葉土および腐葉土に含まれる水分に吸着され、その後腐葉土中のアンモニウムイオンが増加するが、腐葉土中のアンモニアを資化する微生物によりアンモニウムイオンが減少し、アンモニアを脱臭していくことがわかった。

また腐葉土の状態が未使用および脱臭槽内使用中にかかわらず、腐葉土中に生存する菌群はアンモニウムイオンを減少させることがわかった。

この腐葉土からの分離菌は、無機窒素培地において穏やかにアンモニウムイオンを減少させることが確認できた。またアンモニウムイオンを減少させるうえでの最適pHは8であった。高濃度アンモニウムイオン環境下では培地中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度が1500ppmのときはNH<sub>4</sub><sup>+</sup>減少能力はあるが、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度2000ppmになると菌の生育はするがNH<sub>4</sub><sup>+</sup>減少能力が無くなってしまふことが確認された。

今後この分離菌を利用し、コンポスト発酵時における悪臭分解の促進向上に努めていく方針である。

#### 4. 結言

始めに試験用コンポスト化装置の脱臭槽においてアンモニア脱臭効果の確認を行った。アンモニア除去率の高いときは75%にまでアンモニアを除去しており、日々の条件によりアンモニア除去能力が変化するが、腐葉土を用いた脱臭槽はアンモニア脱臭において効果的であると考えられた。

次に食品事業所等の5ヶ所に設置した実証試験用コンポスト化装置にて使用した脱臭槽のアンモニア脱臭効果の確認を行った。脱臭槽導入口からのアンモニアガス発生濃度は高濃度発生個所では平均310ppm、低濃度発生個所では平均1.5ppmと事業所により大きな差があり、発酵槽に投入する生ごみの種類により影響されることがわかった。また脱臭槽排出口にてアンモニア

#### 参考文献

- 1) (社)臭気対策研究協会：生物脱臭の基礎と応用 -改訂版-、p30
- 2) 土壤微生物研究会編：土壤微生物実験法、p380
- 3) 山中健生：独立栄養細菌の生化学、アイピーシー、p92
- 4) 樋渡隆, 河野広中, 生駒エレナ, 有馬康, 片山美和, 東眞幸, 樋口彰, 日比一雄, 玉田昭夫, 井出寿雄 鹿児島県畜産試験場研究報告 第33号, P76, 2000.
- 5) 白石誠, 田原鈴子, 光井武, 古川陽一, 小澤清一郎 岡山県総合畜産センター研究報告 第8号, P66, 1997.

# 研究報告

## 微生物による未利用資源の高度利用化

分子生物学的手法による  
コンポスト内細菌の群集解析

# 微生物による未利用資源の高度利用化

## —分子生物学的手法によるコンポスト内細菌の群集解析（その1）—

### Development of the ways to use unused food processing subproducts by using Microbes.

#### -Analyses of Microbial Community from Composter (Part 1)-

応用技術部 微生物応用科 安川 真

微生物によって生ゴミを分解させる生ゴミ処理槽に、二ヶ月間生ゴミを投入し処理槽内の処理物をサンプリングした。コンポストサンプルから菌体のDNAを抽出し、PCR法により細菌の16SrDNAを得た。得られた16SrDNAをクローニングし、コンポストの16SrDNAライブラリーを構築した。そのライブラリーを用いて、Gene Scan・DNA ladder解析・DNA Sequenceを行い、生ゴミ処理槽内で働く細菌群を特定した。また、Gene Scan・DNA Sequenceのデータを蓄積していくことで、複合細菌系のGene Scanデータからも細菌が特定できるようになった。

Key words:コンポスト、16SrDNA、群集解析

## 1. 緒言

有機系廃棄物の有効利用法の一つとして、そのコンポスト化が盛んに行われている。微生物利用方式の生ゴミ処理槽内では、日々、微生物によって生ゴミの分解が行われているが、それがどのような微生物群によって行われているかを知ることは大変興味深いところである。

そこで、生ゴミ処理槽内の細菌相を把握するための方法として、Gene Scanによるフラグメント解析を用いること考え、そのためのデータベース構築として次のような実験を行い、一応の知見を得たので報告する。

## 2. 実験方法

### 2. 1. ライブラリーの構築

#### 2. 1. 1. 生ゴミ処理

微生物分解型・横軸攪拌方式の生ゴミ処理機（日栄工業製）に、食堂からの調理残さを投入。以下のような条件で運転した。

攪拌：正転15min、逆転15min、停止30min

排気・通気：攪拌時

保温：30℃

攪拌調整材：初殻

投入量：約15kg/day

また、分解を促すための微生物資材の添加は行っていない。

#### 2. 1. 2. ライブラリーの構築

運転（平成12年7月14日～平成12年8月29日）を行っている生ゴミ処理機からコンポストをサンプリングし、常法によりDNAを抽出。ユニバーサルプライマーを用いて細菌の16SrDNAを増幅した。

TA-Cloning Kit（Invitrogen社）を用い16SrDNA

をクローニングした。

### 2. 2. 細菌の特定

Forward側に蛍光（6-FAM）をつけたプライマーで16SrDNAクローンをPCRし、16SrDNAの先頭に蛍光の付いたDNA断片を作製した。それを制限酵素HaeIIIで切断し、Gene Scanによるフラグメント解析、および、ゲル電気泳動によるDNA ladder解析を行った。Gene ScanにはABI PRISM™310 Genetic Analyzerを使用。それらの結果をもとにクローンの分類を行い、異なる16SrDNAについてDNA Sequenceをし、その塩基配列からデータベース検索（MicroSeq™ Applied Biosystems社）により細菌を特定した。

## 3. 実験結果

### 3. 1. ライブラリーの構築

生ゴミ処理槽内の様子は、好気的で微生物の代謝温度が高い状態から、嫌気的で微生物の代謝温度が低い状態に変わっていった。このような状態から、ライブラリーには処理槽内に存在可能な好気性菌から嫌気性菌までが含まれていると考えられる。

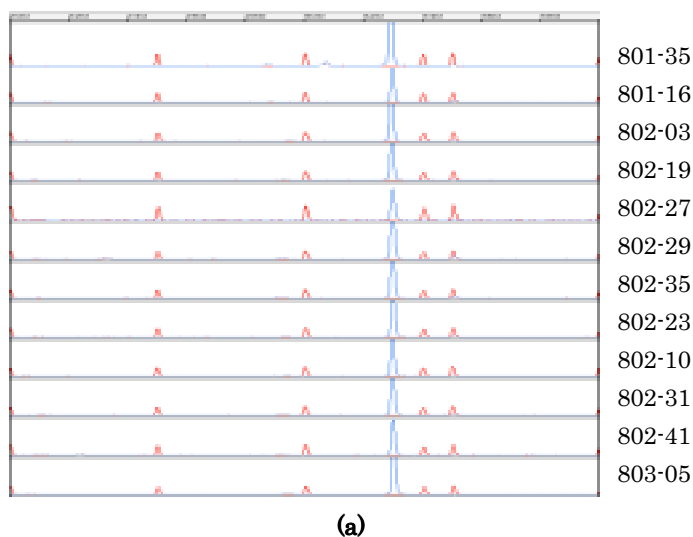
運転期間中の38日間にサンプリングしたコンポストから1278のクローンを得、コンポスト内に存在する細菌の16SrDNAライブラリーとした。

### 3. 2. 細菌の特定

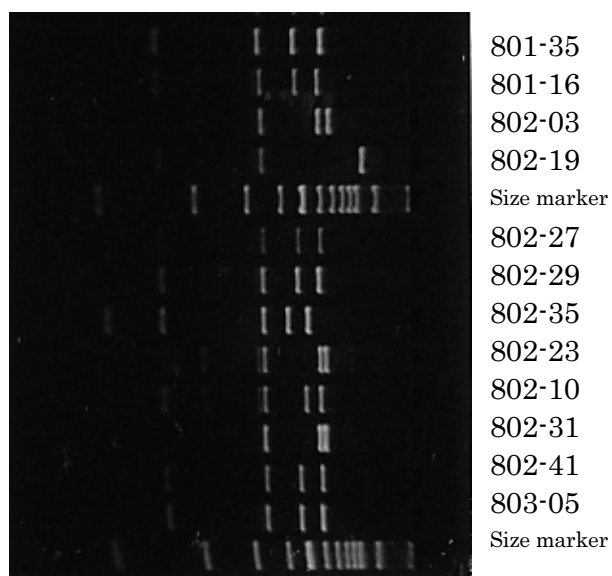
Gene Scanによるフラグメント解析から同じ長さに出現したクローンに分類（図1・a）し、さらに、DNA ladder解析によってラダーパターンの違いによる分類を行った（図1・b）。その結果、426の異なる16SrDNA断片を得、それらについてDNA Sequence

を行った。その塩基配列から細菌の同定をした結果、84種類の細菌が特定された。図1は、Gene Scanの結果で同じ329bpであったクローンが、ゲル電気泳動を行うといくつかの異なるラダーパターンになっていることを示している。それらDNAラダーの異なるサンプルについてDNA Sequenceをしてみると、すべて*Lactobacillus*属であることがわかった。

このようにして作製したデータベースの一部を表1に示す。



(a)



(b)

図1 Gene Scan法では、蛍光の付いたDNA断片のみが測定される(すなわち、16SrDNAの先頭から最初のHaeIII認識部位までの長さ)。(a)は、Gene Scanによって測定されたDNA断片の長さ(青のピークがサンプル、赤のピークはサイズスタンダード)で、すべて329bpであった。(b)は、(a)の同じサンプルをゲル電気泳動した結果。

表1

(bp)	細菌名
195	<i>Actinomyces viscosus</i>
205	<i>Lactobacillus paracasei paracasei</i>
218	<i>Pseudomonas(Burkh) phenazinium</i>
220	<i>Brevibacillus borstelensis</i>
225	<i>Clostridium limosum</i>
226	<i>Cholobacter heintzii</i>
228	<i>Deinococcus proteolyticus</i>
229	<i>Abiotrophia defectiva</i>
231	<i>Bacillus globisporus</i>
232	<i>Cellulomonas trubata</i>
233	<i>Cellulomonas cartae</i>
234	<i>Bacillus lentus</i>
236	<i>Bacillus isolifus</i>
236	<i>Bacillus pseudofirmus</i>
239	<i>Arthrobacter ureafaciens</i>
243	<i>Clostridium saccharolyticum</i>
245	<i>Arthrobacter sp.</i>
246	<i>Bacillus sp.</i>
247	<i>Bacillus sp.</i>
249	<i>Bacillus pumilus</i>
251	<i>Bacillus halodenitrificans</i>
253	<i>Bacillus sp.</i>
264	<i>Bacillus sp.</i>
266	<i>Brevibacterium incertum</i>
267	<i>Leuconostoc pseudomesenteroides</i>
268	<i>Carnobacterium divergens</i>
275	<i>Peptostreptococcus vaginalis</i>
281	<i>Lactobacillus salivarius salivarius</i>
292	<i>Lactobacillus fermentum</i>
293	<i>Sphingomonas chloroophenolica</i>
301	<i>Clostridium sp.</i>
302	<i>Bacillus pasteurii</i>
306	<i>Clostridium purinolyticum</i>
309	<i>Bacillus fusiformis</i>
311	<i>Bacillus badius</i>
312	<i>Staphylococcus sciuri sciuri</i>
318	<i>Peptostreptococcus sp.</i>
320	<i>Enterococcus flavescens</i>
321	<i>Clostridium hastiforme</i>
324	<i>Bacillus pantothenicus</i>
327	<i>Lactobacillus sp.</i>
329	<i>Lactobacillus sp.</i>
335	<i>Lactobacillus sp.</i>
337	<i>Lactobacillus sp.</i>
339	<i>Weissella confusa</i>

#### 4. 結言

今後、この結果を用いて生ゴミ処理槽内で働く細菌を群集としてとらえていく。すなわち、コンポストサンプルからDNAを抽出→蛍光付きのプライマーでPCR→種々の細菌の16SrDNAが混合したものを制限酵素で断片化→Gene Scanによるフラグメント解析を行うという一連の作業をすることで、おおよその細菌群の特定が可能となった。

これにより、生ゴミ処理槽内の変化と細菌群との関係を調べ、連続処理の制御法を確立する上での一助としてゆく。



# 事例 1 : N 社製生ゴミ処理機内の細菌群の変化

実験目的 : N 社製生ゴミ処理機を運転中に、生ゴミの分解が進まなくなり不調を起こした。良好に分解が行われているときと不調になったときの細菌群を比較し、どのような違いがあるかを調べる。

実験結果 : 不調を起こしたとき・良好な状態へ移行中のもの・良好に分解が行われているもの・攪拌調整材 (もみ殻) から DNA を抽出し、前報のデータベースを用いて細菌群を調べた (図 1)。不調になったときの処理物内 (①) には多くの種類の *Bacillus* 属 (赤星印) が検出され、良好な状態へ移行中の処理物 (②) や良好に分解が行われている処理物内 (③) にも *Bacillus* 属 (青星印) が検出されたが、①とは異なる種類のものであった。攪拌調整材のもみ殻に含まれる細菌類は、①～③には検出されなかった。

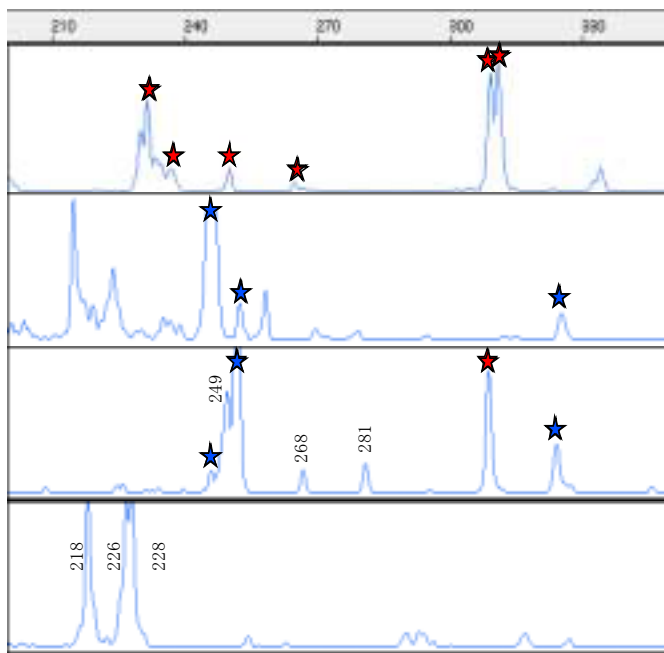


表 1

(bp)	細菌名
★	<i>Bacillus</i> sp. (231,236,249,264,309,311)
★	<i>Bacillus</i> sp. (246,251,324)
218	<i>Pseudomonas</i> (Buekh) <i>phenazinium</i>
226	<i>Cholatobacter</i> <i>heintzii</i>
228	<i>Deinococcus</i> <i>proteolyticus</i>
249	<i>Bacillus</i> <i>pumilus</i>
268	<i>Carnobacterium</i> <i>divergens</i>
281	<i>Lactobacillus</i> <i>salivarius</i> <i>salivarius</i>

図 1 細菌層の変化 上から、分解が進まなくなったとき、良好な状態へ移行中のもの、良好に分解している時、攪拌調整材 (もみ殻)

考察 : N 社製の生ゴミ処理機には分解を促す種菌は添加されていない。そのため、生ゴミ処理槽内に存在する細菌類は、生ゴミと攪拌調整材のもみ殻に由来している。分解が進まなくなったときには多くの *Bacillus* 属 (231, 236, 249, 264, 309, 311bp) が存在していたが、それらに代わって別の種類の *Bacillus* 属 (246, 249, 251, 324bp) や、*Carnobacterium* 属 (268bp) ・*Lactobacillus* 属 (281bp) などの細菌が良好な状態には存在していた。また、もみ殻に含まれている細菌類は、生ゴミ処理物内から検出されなかったという事からも、生ゴミの分解にはあまり関与しておらず、この生ゴミ処理機では、生ゴミ由来の細菌類で分解が行われていると考えられる。

(応用技術部 微生物応用科 安川 真)

## 事例2：T社製生ゴミ処理機内の細菌群の変化

実験目的：T社製生ゴミ処理機には運転開始時に種菌を加えている。その中のどのような細菌が増殖し、生ゴミ処理を続けていく間に細菌相がどのように変化していくかを調べる。

実験結果：種菌・運転開始時の生ゴミ処理物・運転開始から半年後の処理物よりDNAを抽出し、前報のデータベースを用いて細菌群を調べた(図1)。種菌に含まれていた細菌で運転開始時に生育が確認されたものは7種類(赤)あり、さらにその中で半年後の運転時にも存在していたものは6種類あった。また、運転開始時に新たに生育が確認され、その中で半年後の運転時にも存在していたものは3種類(青)あった。それら、長期にわたって存在する細菌10種類を表1にあげる。

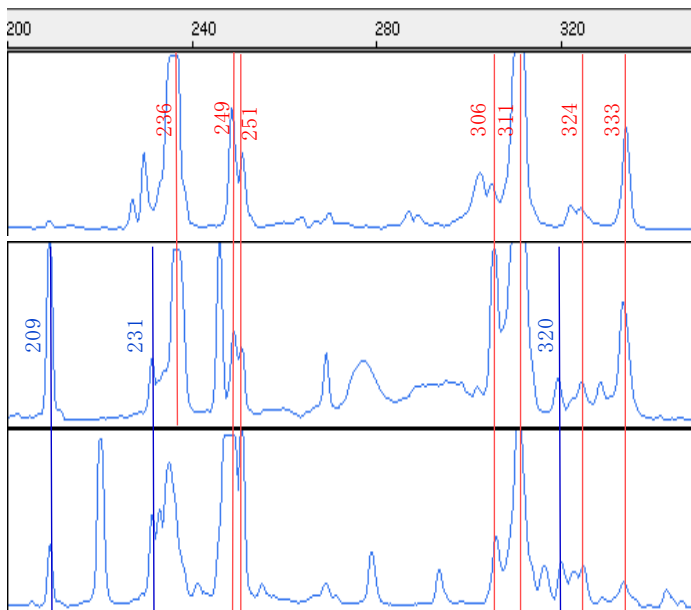


表1

(bp)	細菌名
209	unknown
231	<i>Bacillus globisporus</i>
236	<i>Bacillus isolifus</i>
249	<i>Bacillus pumilus</i>
251	<i>Bacillus halodenitrificans</i>
306	<i>Clostridium puriolyticum</i>
311	<i>Bacillus badius</i>
320	<i>Enterococcus flavescens</i>
324	<i>Bacillus pantothenicus</i>
333	unknown

図1 細菌層の変化 上から、種菌・運転開始時・半年後。赤線は種菌由来と思われる細菌。青線は運転開始時から存在している細菌。

考察：生ゴミ処理機の中では、生ゴミ処理開始時に添加した種菌由来の菌と、生ゴミから持ち込まれた菌が存在している。今回調べた結果によると、種菌には *Bacillus* 属や *Clostridium* 属などの孢子形成細菌が含まれていたことがわかった。生ゴミ処理を始めると、その中でも生育条件が生ゴミ処理機の運転条件と合っていたものが生育し始め、運転開始時には7種類、さらに半年間運転し続けた後には6種類の細菌が確認された。このことから、T社製の生ゴミ処理機の運転条件は、種菌に含まれるいくつかの細菌の生育条件に適していたと考えられる。

(応用技術部 微生物応用科 安川 真)

# 微生物による未利用資源の高度利用化

## —分子生物学的手法によるコンポスト内細菌の群集解析（その2）—

### Development of the ways to use unused food processing subproducts by using Microbes.

#### -Analyses of Microbial Community from Composter (Part 2)-

応用技術部 微生物応用科 安川 真

微生物によって生ゴミを分解させる生ゴミ処理槽において、同一条件で運転を行い、投入する生ゴミの種類を変えたときの処理槽内の成分変化と細菌相の変化を調べた。生ゴミ処理は第Ⅰ槽では畜肉・魚、第Ⅱ槽では野菜を主として投入した。投入した生ゴミと処理槽の内容物について、粗タンパク質・粗脂肪・粗繊維・糖などを分析した。前報<sup>(1)</sup>で報告したデータベースを用い細菌群の特定をおこなった。細菌相の変化は処理槽内の pH の変化と相関があると考えられた。

Key words: コンポスト、16SrDNA、群集解析

## 1. 緒言

有機系廃棄物をコンポスト化する上で、その廃棄物の種類によってどのような微生物群が分解を行っているかを知ることは大変興味深く、その生ゴミ処理槽内における微生物相の変化を把握することは、連続処理の制御法を確立する上で重要な鍵となるものである。

そこで、運転条件の等しい二槽の生ゴミ処理機を用い、投入する生ゴミの種類を変えて運転を行い、前報<sup>(1)</sup>で報告した結果を用いて生ゴミ処理槽内の細菌群を調べ、一応の知見を得たので報告する。

## 2. 実験方法

### 2. 1. 生ゴミ処理

微生物分解型・二槽式横軸攪拌方式の生ゴミ処理機（日栄工業製）の第Ⅰ槽に肉・魚／炭水化物系、第Ⅱ槽に野菜／炭水化物系の有機系廃棄物を投入。以下のような条件で運転した。

攪拌：正転7min、逆転7min、停止30min

切り返し運転時は

正転7min、逆転7min、停止6hrs

排気・通気：攪拌時

保温：30℃

攪拌調整材：初殻

投入量：約15kg/day

また、分解を促すための微生物資材の添加は行っていない。

処理槽から発生する悪臭の分析については、GASTEC 酢酸検知管（No. 81, No. 81L）、GASTEC アミン類検知管（No. 180, No. 180L）および、GASTEC アンモニア検知管（No. 3M）を用い、ガステックの気体採取器（100ml）を使って測定した。

### 2. 2. 成分分析

#### 2. 2. 1. 窒素

サンプルを乾燥・粉碎し、KJELTEC SYSTEM（tecator社製）を用い、ケルダール法<sup>(2)</sup>により分析を行った。

#### 2. 2. 2. 粗脂肪

サンプルを乾燥・粉碎し、SER 148 Solvent Extraction（VELP社製）を用いてエーテル抽出<sup>(3)</sup>を行い、105℃にて残留エーテルを蒸発させ、残留物の重量を測定し粗脂肪量とした。

#### 2. 2. 3. 粗繊維

サンプルを乾燥・粉碎し、ADF・NDF分析装置（ANKOM社製）を用いて分析を行った。

#### 2. 2. 4. 糖

サンプルを乾燥・粉碎し、グルコチーム SP（ナガセ生化学工業（株）：グルコアミラーゼ 50%含）を添加した溶液で糖化した。その糖化液を HPLC で測定した。HPLC の条件は下記のとおり。

Column :CAPCELL PAK NH2 UG80 (Shisesido co.)

Eluent :Acetonitrile/Water=70:30

Flow Rate :1ml/min

Detector :RI

Temperature :35℃

### 2. 3. 細菌群の特定

#### 2. 3. 1. RNA 抽出

生ゴミ処理槽内からサンプリングし、それを滅菌水でよく懸濁した。懸濁液を濾過し、濾液を 8,000×g で遠沈して菌体を回収した。回収した菌体に GTC 液（4M チオシアン酸グアニジン、0.5%(w/v)N-ラウロイルサルコシン酸ナトリウム、1%(w/v)2-メルカプトエタノール）を加えホモジナイズした。5.7M CsCl の上

に重層し、スイングロータで 55,000rpm、5 時間遠心分離し RNA を得た。

### 2. 3. 2. 細菌群の特定

Forward 側に蛍光 (6-FAM) をつけたプライマーで mixRNA を PCR し、16SrDNA の先頭に蛍光の付いた DNA 断片を作製した。それを制限酵素 HaeIII で切断し、Gene Scan によるフラグメント解析を行った。Gene Scan には ABI PRISM™310 Genetic Analyzer を使用。Gene Scan 結果より、前報にて報告したデータベースを用いて細菌群の特定を行った。

## 3. 実験結果及び考察

### 3. 1. 生ゴミ処理

#### 3. 1. 1. 第 I 槽

各処理槽に投入した生ゴミの成分分析結果 (1 日分の平均値) を表 1 に示す。第 I 層には第 II 槽の約 3 倍の粗タンパク質が入ったが、同時に畜肉・魚 (特に畜肉の廃棄部分) から持ち込まれる大量の脂肪 (第 II 槽の約 4 倍) が分解されにくく、処理槽内に蓄積され、内部に空気がうまく取り込めず嫌気状態となったと考えられる。

表 1 生ゴミの成分分析結果

	第 I 槽	第 II 槽
投入した生ゴミ	肉・魚類/パン・米飯類	野菜類/パン・米飯類
重量	7.07kg	6.95kg
水分	4.19kg (59.26%)	5.06kg (72.80%)
粗タンパク質 (乾物)	866g (12.24%)	275g (3.95%)
粗脂肪 (乾物)	735g (10.39%)	180g (2.58%)
全糖 (乾物)	643g (9.09%)	877g (12.61%)

処理槽内の悪臭を測定したところ、生ゴミ処理スタート時は酢酸が計測 (0.5~4.0ppm) された (図 1)。酢酸臭が消えた翌日、アミン類が検出された。分解が盛んなときには徐々にアミン臭が強くなり、続いてアンモニアが最高 370ppm まで計測された。その後 pH が下がってくると酢酸が検出されたが、スタート時とは官能的に異なる酸臭であった。

処理物の pH は、処理槽内からサンプリングしてきたものを蒸留水に懸濁・攪拌し、濾過した濾液を測定した (図 2)。生ゴミ処理スタート時は約 pH5、分解が進みアミン臭がするとき pH7.40、その後最高 pH8.85 まで上昇した。

処理物中の有機酸を調べたところ、酸性になったものから乳酸・酢酸が検出され、また、エーテル抽出物内からは脂肪酸が検出された。このことから、微生物

により有機酸が生成されると同時に、第 I 槽内に蓄積されていた脂肪が分解され徐々に pH が下がっていったと考えられる。

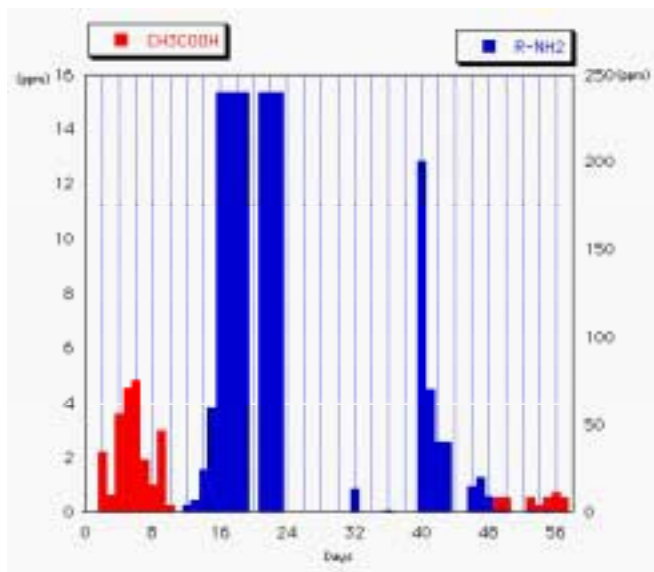


図 1 第 I 槽の臭いの変化 (棒グラフが抜けている部分は欠測日)

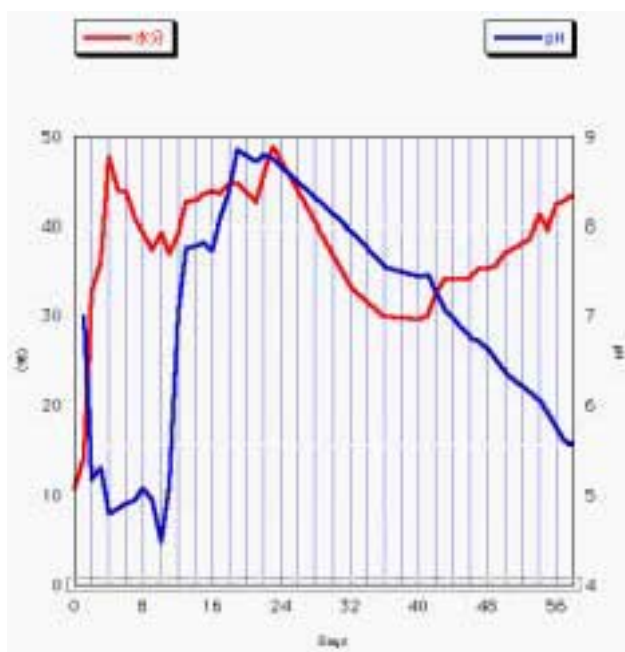


図 2 第 I 槽の水分および pH 変化

#### 3. 1. 2. 第 II 槽

窒素化合物をほとんど加えず大量の野菜類を投入していた第 II 槽では、生ゴミ処理開始から槽内はほぼ酸性の状態であった (図 3)。しかし、生ゴミの投入をやめ、切り返し運転 (23~36 日目) を行うことにより、槽内はアルカリ性になった。その後生ゴミの投入を再開すると再び槽内は酸性になった。

処理物中の有機酸を調べると、酸性になったものか

ら乳酸・酢酸が検出された。

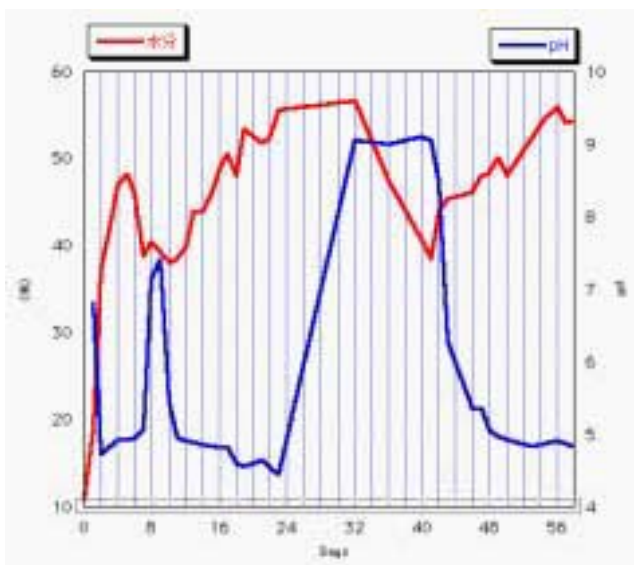


図3 第Ⅱ槽の水分およびpH変化

切り返し運転直後は最高 350ppm のアンモニアが計測されたが、生ゴミ投入再開から数日後にはアミン臭がなくなり、その翌日には酢酸が再び計測された(図4)。pH の変化も同様であるが、短期間に急激な変化が起こっており、第Ⅰ槽と異なる変化を示していた。

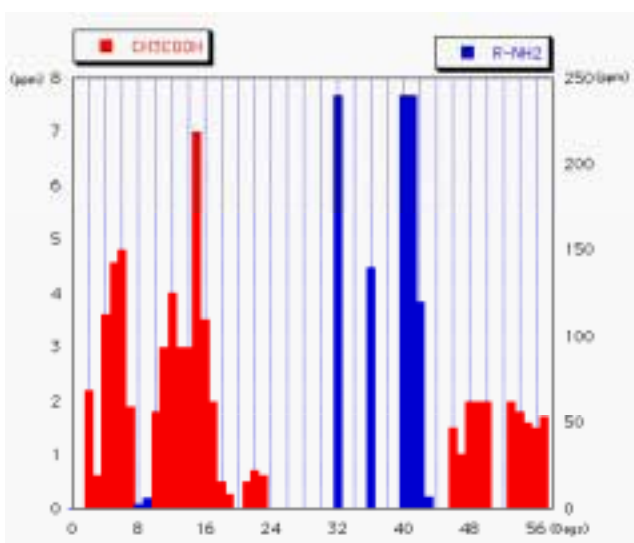


図4 第Ⅱ槽の臭いの変化 (棒グラフが抜けている部分は欠測日)

### 3. 2. 成分分析

#### 3. 2. 1. 窒素

投入した生ゴミの粗タンパク質量(乾物換算)の平均は、第Ⅰ槽:866g、第Ⅱ槽:275gであった(表1)。第Ⅱ槽には第Ⅰ槽の約3分の1しか窒素源が入っていないが、計測されたアンモニアは第Ⅰ槽の最高370ppm とほぼ同じ350ppm であった。窒素源の量を

減らしても、pH が上昇したときの悪臭となるアンモニア量は減少することはなかった。



図5 第Ⅰ槽と第Ⅱ槽の窒素量の変化

切り返し運転の前後(第23日目と第36日目)では、窒素化合物はアンモニアなどに分解され処理槽外部に放出されるので、第Ⅰ槽の窒素量は3.13%から2.98%、第Ⅱ槽では2.25%から1.63%に減少していた。この期間、第Ⅱ槽で窒素量が減少した量は第Ⅰ槽よりも多かった。これは、第Ⅰ槽のpHが徐々に下がってきたため、槽外に排出されるアンモニア量が減少したためと思われる。そのため、第Ⅰ槽では槽内に窒素が蓄積されていった。

#### 3. 2. 2. 粗脂肪



図6 第Ⅰ槽と第Ⅱ槽の粗脂肪量の変化

切り返し運転後(36~41日目)、生ゴミ処理を再開したとき、第Ⅰ槽は25.97%から21.53%、第Ⅱ槽では6.46%から1.61%に減少したが、その後、減少が持

続することはなかった（図6）。

第I槽に持ち込まれた油は主に魚や畜肉からであるが、先にも述べたように畜肉の廃棄部分には脂身が多く含まれている。魚の廃棄部分に含まれる粗脂肪が20~30%であるのに対して、畜肉の廃棄部分には30~60%と大量に存在していた。

エーテル抽出物から脂肪酸が検出されたことから、第I槽に蓄積された脂肪は脂肪酸に分解され、処理槽内のpHを徐々に下げていったと考えられる。

### 3. 2. 3. 粗繊維

攪拌調整材として粗穀を使用しているため、生ゴミ処理槽内の粗繊維を分析してみると、分解されずに蓄積していく物質によって粗繊維の割合は減少していく。切り返し運転中（23~36日目）は生ゴミを投入しないため、ガスとして処理槽外に放出される物質があり、粗繊維量は第I槽では31.38%から32.19%、第II槽では43.88%から54.12%と増加している（図7）。

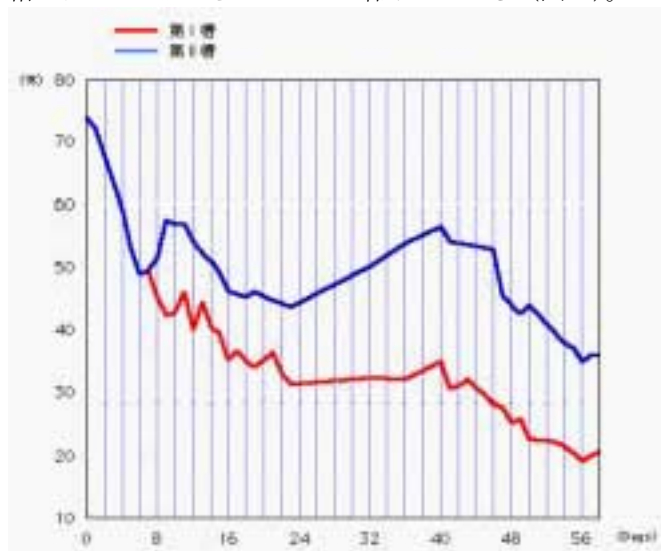


図7 第I槽と第II槽の粗繊維量の変化

### 3. 2. 4. 糖

糖質のもととなるパンや米飯類の量は第I槽・第II槽ともに同量を投入（第I槽では40日目まで）した。生ゴミ投入開始から数日間の、まだ微生物による分解が活発でない期間は糖の蓄積が確認されるが、微生物が増殖し生ゴミの分解が進むと糖は減少していった（図8）。主に嫌気状態だったと考えられる第II槽では、処理槽内に糖が蓄積される傾向にあったが、切り返し運転中（23~36日目）には蓄積されていた糖を使い切ってしまった。

切り返し運転中にpHが下がりはじめていた第I槽では、第II槽よりも早く糖が増加しはじめ、糖の供給をやめると（41日目）蓄積されていたものを消化していった。

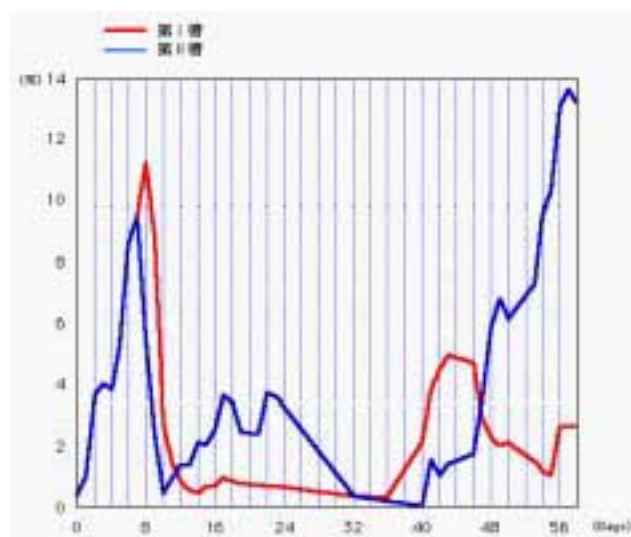


図8 第I槽と第II槽の糖の変化

### 2. 2. 細菌群の特定

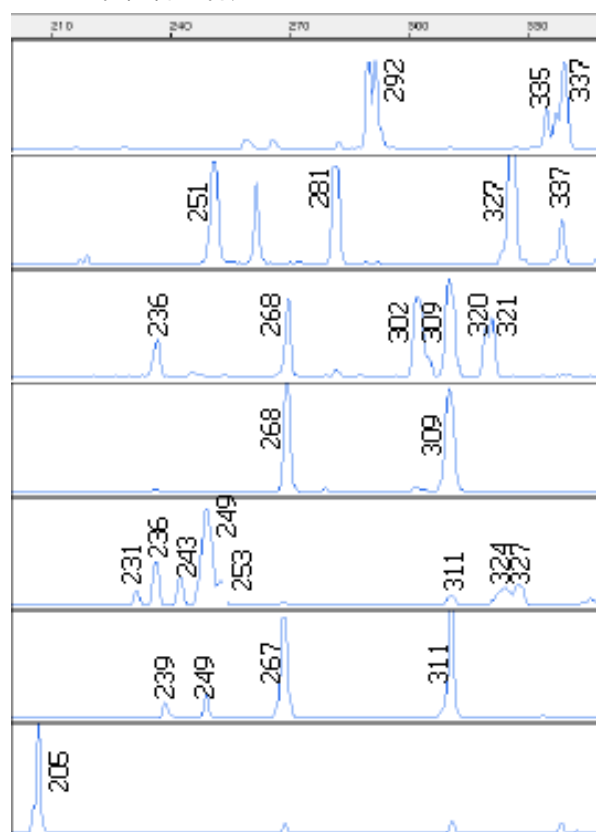


図9 第I槽の細菌相の変化 上から、4日目(pH4.81)、12日目(pH7.40)、17日目(pH8.09)、21日目(pH8.72)、40日目(pH7.45)、43日目(pH7.07)、55日目(pH5.91)

図9に、第I槽内の細菌相の変化を示す。平成13年度研究成果報告内のデータベースをもとに細菌群を解析すると、生ゴミ処理開始時（4日目）には、*Lactobacillus*属（292,335,337bp）が中心になっていた。その後、pHが中性の領域まで上がってくると（12日目）*Bacillus*属（251bp）が現れたが、まだ*Lactobacillus*属（281,327,337bp）が存在していた。

窒素化合物の分解が盛んになり、アルカリ性になってくると（17日目）、*Bacillus*属（236,302,309bp）の他に、*Carnobacterium*属（268bp）、*Enterococcus*属（320bp）、*Clostridium*属（321bp）なども現れてきた。さらにアルカリ性に近づくと（21日目）、*Carnobacterium*属（268bp）と*Bacillus*属（309bp）が主として検出されるようになった。切り返し運転後、徐々にpHが下がってくると（40日目）、多くの種類の*Bacillus*属（231,236,249,253,311,324bp）が増えた。さらにpHが下がると（43日目）*Leuconostoc*属（267bp）と*Bacillus*属（311bp）が中心となり、処理槽内が酸性になってしまった55日目には、*Lactobacillus*属（205bp）1種類が主として検出された。

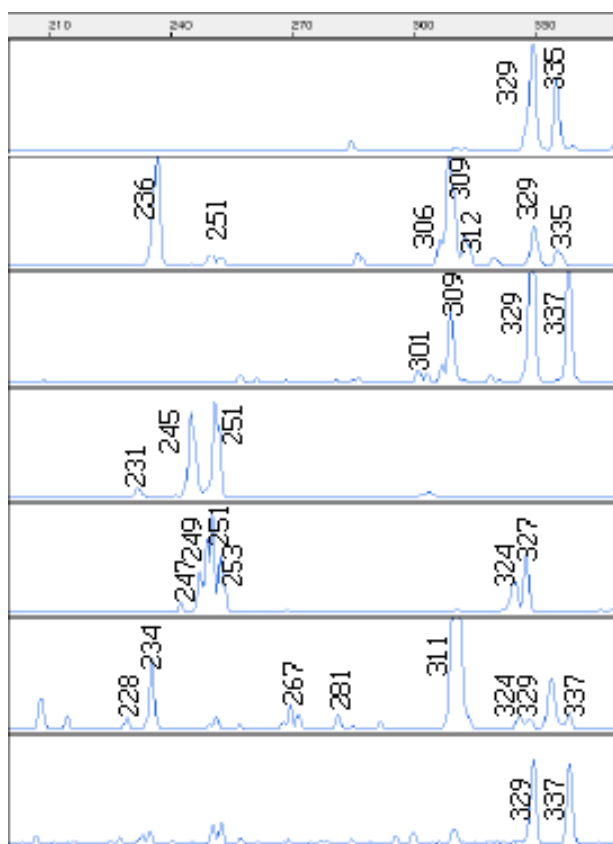


図10 第Ⅱ槽の細菌相の変化 上から6日目(pH4.95)、9日目(pH7.40)、18日目(pH4.60)、32日目(pH9.05)、40日目(pH9.10)、46日目(pH5.35)、55日目(pH4.90)

一方、第Ⅱ槽では（図10）、生ゴミ処理開始時（6日目）に*Lactobacillus*属（329,335bp）が存在していた。一時、pHが中性になったとき（9日目）には*Bacillus*属（236,251,309bp）、*Clostridium*属（306bp）、*Staphylococcus*属（312bp）などが現れたが、再びpHが酸性になり（18日目）、*Lactobacillus*属（329,337bp）が中心になった。切り返し運転後（3

2日目）は、*Arthrobacter*属（245bp）や*Bacillus*属（251bp）が現れていた。処理槽内がアルカリ性のまま生ゴミ処理を数日行ったとき（40日目）には、多くの*Bacillus*属（247,249,251,253,324bp）が現れてきた。再度、処理槽内が酸性になると（46日目）、*Bacillus*属（311bp）が現れ、最終的には（55日目）、切り返し運転の前のpHが酸性であったときと同様に、*Lactobacillus*属（329,337bp）が中心となった。

#### 4. 結言

生ゴミ処理開始から数日間、投入される生ゴミの炭水化物（糖）は蓄積されていき、酢酸・乳酸などの有機酸によって処理槽内はpH5前後になり、主に*Lactobacillus*属が検出された。その後、菌数が増加するにつれ炭水化物の消費が多くなり窒素化合物も基質として利用されていった。

窒素化合物の多い生ゴミを投入していた第Ⅰ槽では、*Bacillus*属や*Clostridium*属などによって生産されたアンモニアによって内容物がアルカリ性になり、好気状態で処理槽内の温度も高かった。しかし、分解されずに蓄積されていく脂肪により内容物は粘性をおび、酢酸や乳酸などの有機酸、また、油の分解による脂肪酸によって徐々にpHが下がり、*Lactobacillus*属などが検出されるようになった。

一方、窒素化合物が少なく炭水化物の多い生ゴミを投入していた第Ⅱ槽では、有機酸の生成によりpHは低く、*Lactobacillus*属が主として検出された。ところが、生ゴミの投入をやめると炭水化物がなくなり、*Bacillus*属などによって窒素化合物からアンモニアが生成されpHが上がっていったが、再び炭水化物の多い生ゴミの投入を始めると酢酸・乳酸などの有機酸が生成されpHは下がり、細菌相も元に戻っていった。

本研究に用いた生ゴミ処理機は加熱によって水分を蒸発させるものではなく、微生物による代謝熱を利用している。この実験からもわかるとおり、窒素源が多い生ゴミを投入した処理槽は、アミンやアンモニアが発生し、pHおよび温度が高い。一方、炭水化物の多い生ゴミを投入した処理槽では、有機酸が生成され、pHが低く温度も低い。このように、窒素源を多く投入すれば良いわけであるが、同時に持ち込まれる脂肪の分解についてさらに検討を加える必要がある。

#### 5. 参考文献

- (1) 安川 真：“微生物による未利用資源の高度利用化”平成13年度 研究報告
- (2) (財)日本食品分析センター：五訂 日本食品標準成分表分析マニュアルの解説

# 実証試験機 1 : ショッピングモール

運転状況：処理量 100kg/day の実証試験機を作製し、15min 正転・15min 逆転・30min 停止のプログラムで運転を行った。また、排気・通気は攪拌時、30℃で保温し、攪拌調整材にはもみ殻を使用、分解を促すための微生物資材の添加は行っていない。ここでは、スーパーから排出される生ゴミ（魚の調理くず・野菜くず・米飯等）を、毎日 30~70kg 投入した。

実験結果：実証運転中の運転開始から 18~56 日目の処理槽よりサンプリングを行った。処理槽内の成分変化を図 1，細菌相の変化を図 2 に示す。実験方法は前報<sup>(1)</sup>と同じ。処理槽内に投入された生ゴミはよく分解され、pH9 前後でアミン類は 200ppm 以上、アンモニアは 100~150ppm 計測された。好気状態であるため糖の消化も良く、微生物による代謝熱で水分の蒸散も良かった。細菌相の変化は、主に *Bacillus* 属が中心となった細菌群が増減を繰り返しているようであった。

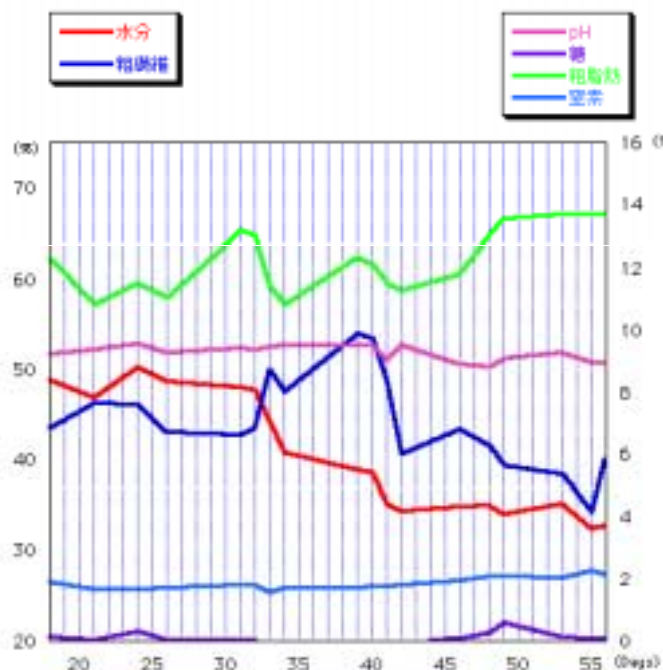


図1 処理槽内の成分変化 粗繊維・糖・粗脂肪・窒素は乾物中の割合

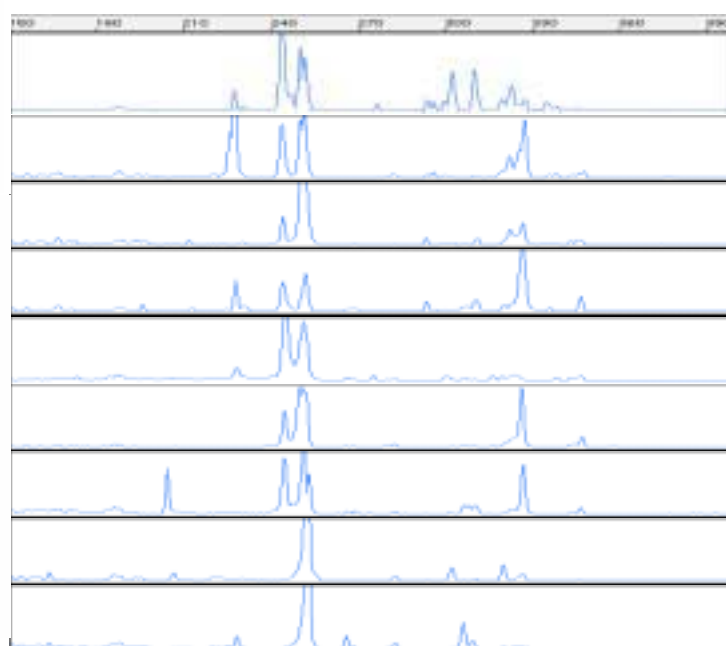


図2 処理槽内の細菌相の変化 上から18・21・24・31・39・41・42・46・48日目

考察：実証試験機 1 では、ほぼ同一の人によって毎日生ゴミが投入されていたため、槽内の状態によってゴミの量を変えるなどの的確な判断で、安定な状態が保たれていたと思われる。畜肉・魚などの廃棄物から持ち込まれる油によって粗脂肪量は高めであるが、微生物による高い代謝熱によって水分が蒸発していたので、槽内の処理物はさほど粘性もなくさらさらした状態であった。*Bacillus* 属(249, 251, 302, 309bp)・*Clostridium* 属(243, 306, 321bp)などの好氣的代謝によって、窒素化合物がアミン類やアンモニアに分解され、投入口の開閉時にそれらが飛散し、従業員からの苦情があったという。細菌相の変化があまりないことから、処理槽内が安定だったことがわかる。

<sup>(1)</sup> 安川 真 平成14年度研究報告

(応用技術部 微生物応用科 安川 真)



## 実証試験機 2 : ビックパレット

運転状況：ビックパレット内にあるレストランの厨房と食べ残しの生ゴミを、毎日 20~60kg 投入した。試験機の運転条件は前報（実証試験機 1）と同じ。

実験結果：実証運転中の運転開始から 20~63 日目の処理槽よりサンプリングを行った。処理槽内の成分変化を図 1，細菌相の変化を図 2 に示す。実験方法は前報<sup>(1)</sup>と同じ。サンプリングを始める以前は pH が高く、アミン臭やアンモニア臭もしていたが、この実験期間内では pH6 前後で処理槽内は酸性だった。厨房からの魚・畜肉の廃棄部分や食事の食べ残しなどからの油で、処理槽内の粗脂肪量は他の実証試験機に比べて高かった。処理槽内が酸性であるため、粗繊維の割合からもわかるように、分解が進まず糖の量も蓄積されていった。細菌相の変化については、21 日目から 25 日目の間で大きく変化し、*Bacillus* 属 (309bp) の細菌がいなくなり *Lactobacillus* 属 (205, 281, 335, 337bp) が中心になっていった。

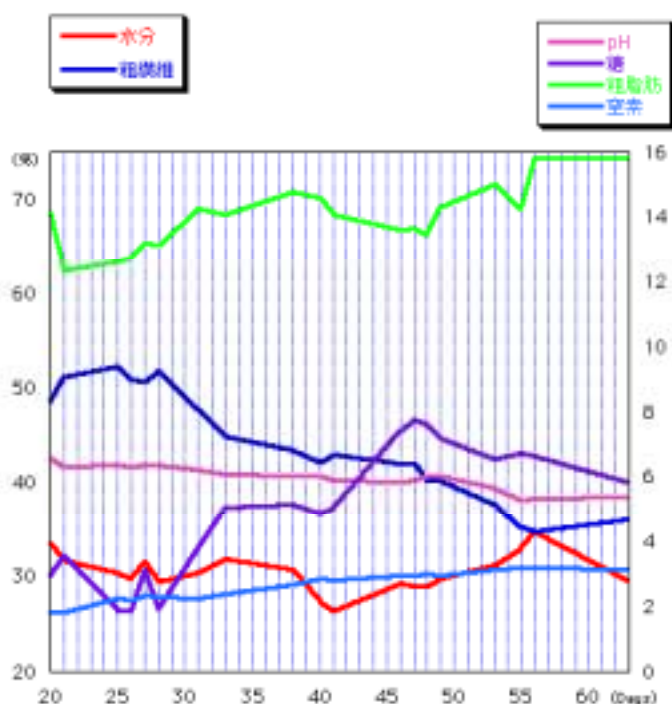


図 1 処理槽内の成分変化 粗繊維・糖・粗脂肪・窒素は乾物中の割合

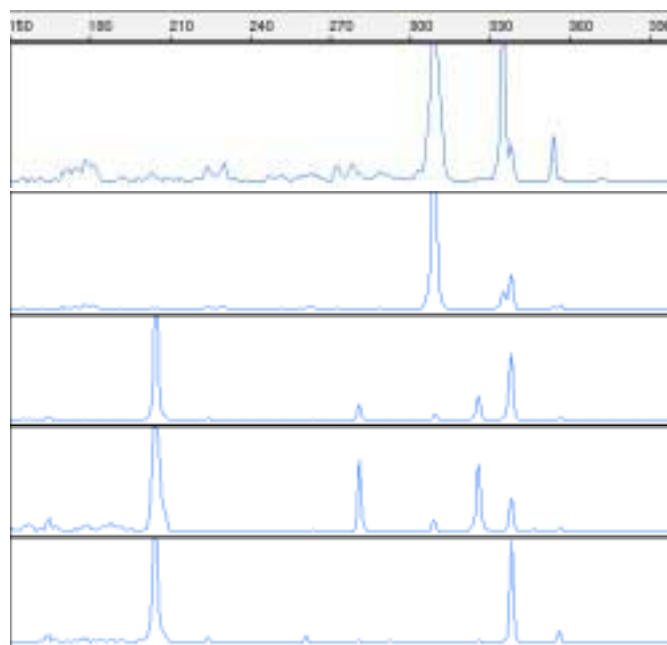


図 2 処理槽内の細菌相の変化 上から 20 日目、21 日目、25 日目、27 日目、33 日目

考察：実証試験機 2 では、運転開始時は良好な分解が行われていたが、サンプリングを始めた頃から酢酸が計測されはじめ、pH も徐々に下がっていった。水分は適当だったが粗脂肪量が高かったため、処理物が大きな固まりとなって攪拌されていたことから、嫌気性菌の *Lactobacillus* 属が好む環境になっていたと思われる。処理槽内が酸性になっても、細菌層が完全に移行するまでしばらく時間がかかっていることが図 2 からわかる。また、図 2 の 33 日目のデータは実証試験機 5 のデータとよく似ており、ほぼ 2 種類の *Lactobacillus* 属 (205, 337bp) が中心となっている。

<sup>(1)</sup> 安川 真 平成 14 年度研究報告

(応用技術部 微生物応用科 安川 真)

# 実証試験機 3 : 青果市場

運転状況：青果市場から排出される商品価値の無くなった野菜や果物を、一回に 15~60kg 投入した。試験機の運転条件は前報（実証試験機 1）と同じ。

実験結果：実証運転中の運転開始から 17~59 日目の処理槽よりサンプリングを行った。処理槽内の成分変化を図 1，細菌相の変化を図 2 に示す。実験方法は前報<sup>(1)</sup>と同じ。青果市場ではあまりゴミが出ないこともあり、毎日投入されることはほとんどなかった。生ゴミの内容は野菜・果物のみで、畜肉・魚といった窒素化合物は一切入らなかった。図 1 からわかるとおり、糖・粗脂肪・窒素の量は他の実証試験機に比べてほとんどなく、処理槽内は適度な湿度を含んだもみ殻が入っているだけに見えた。*Lactobacillus* 属(205, 292, 329bp)や*Cellulomonas* 属(232, 233bp)などが中心となって細菌相が変化していた。

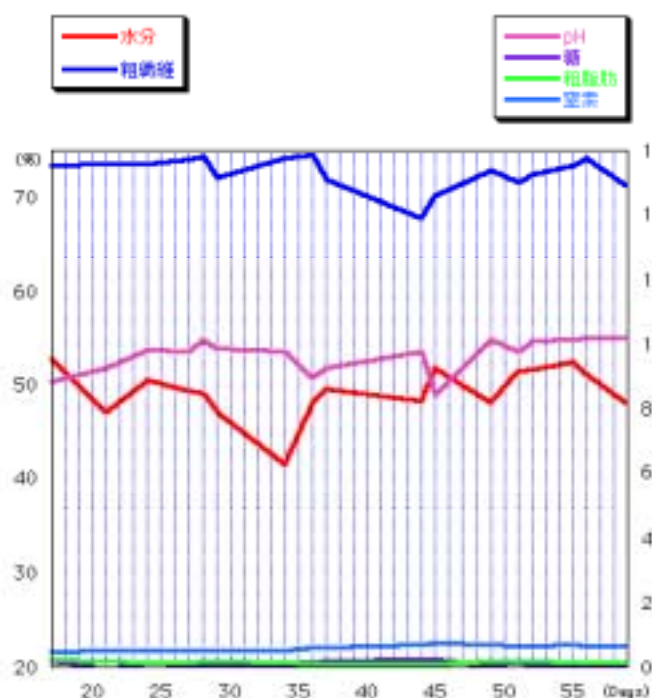


図 1 処理槽内の成分変化 粗繊維・糖・粗脂肪・窒素は乾物中の割合

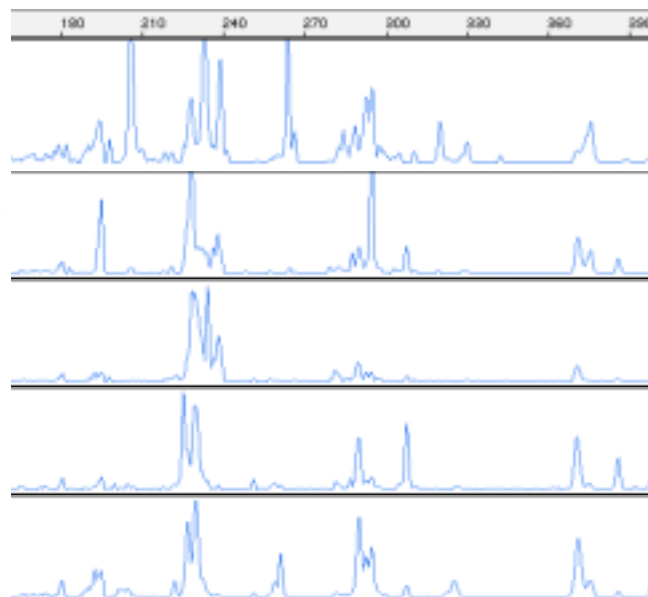


図 2 処理槽内の細菌相の変化 上から 17 日目、24 日目、34 日目、44 日目、51 日目

考察：実証試験機 3 では、窒素化合物がほとんど入らないという珍しい例だったので、図 2 の中で細菌の種類が不明なピークがたくさんあった。生ゴミの投入量も少なく、処理槽内に残存する栄養素も少ない状態だったが、図 2 中のピークの多さからも処理槽内の細菌は多様性を示していたことがわかる。

<sup>(1)</sup> 安川 真 平成 14 年度研究報告

(応用技術部 微生物応用科 安川 真)

# 実証試験機 4 : 日本大学工学部

運転状況：大学構内にある学生食堂の厨房から排出される調理残さを、毎日 40-60kg 投入した。試験機の運転条件は前報（実証試験機 1）と同じ。

実験結果：実証運転中の運転開始から 6～43 日目の処理槽よりサンプリングを行った。処理槽内の成分変化を図 1，細菌相の変化を図 2 に示す。実験方法は前報<sup>(1)</sup>と同じ。運転開始から二週間ほど不安定な運転が続いたが、その後は pH8-9 の間で安定な状態となった。攪拌調整材のもみ殻の量を示す粗繊維量が高く、糖の量が少なくなっていることから 12 日目以降から分解がよく進んでいったことがわかる。13 日目まで細菌相は不安定であったが、図 1 のグラフと同じようにその後安定し、*Bacillus* 属 (231, 234, 236, 249bp) を中心とした細菌群になった。

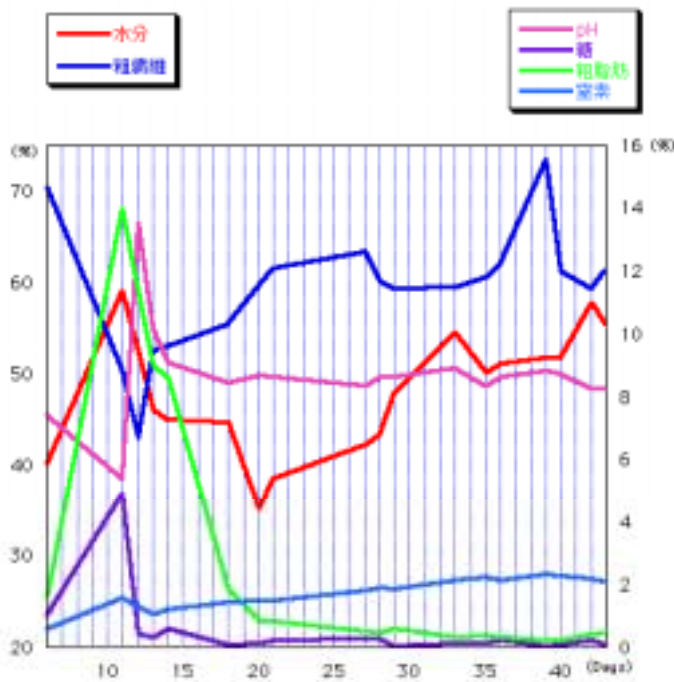


図1 処理槽内の成分変化 粗繊維・糖・粗脂肪・窒素は乾物中の割合

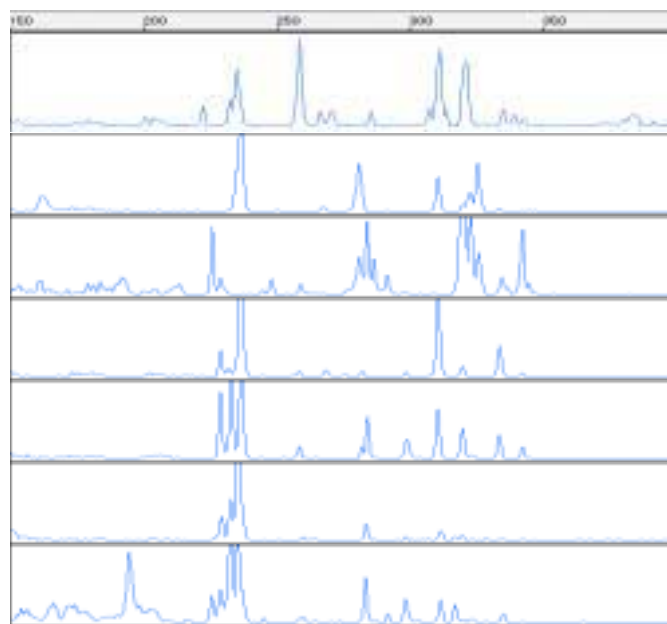


図2 処理槽内の細菌相の変化 上から6・11・13・18・21・33・42日目

考察：実証試験機 4 では、水分が高い傾向にあったが処理槽内は嫌気的条件になることもなく、pH8-9 で好氣的代謝が行われていたようである。窒素化合物が大量に入ることなかったため、アミン臭やアンモニア臭がすることもなかった。*Bacillus* 属が中心の細菌相は実証試験機 1 と同じであるが、窒素化合物が大量に入った実証試験機 1 とは中心となる *Bacillus* 属の種類が異なっている。図 2・11 日目の槽内が酸性になったときの細菌相には良好な状態の時の細菌群が残っており、その後の適切な処置により安定な状態に移行できたときに再び現れている。

<sup>(1)</sup> 安川 真 平成 14 年度研究報告

(応用技術部 微生物応用科 安川 真)

# 実証試験機 5 : 食品団地

運転状況：食品団地内の豆腐センター・製餡所・製麺所より、おから・餡かす・麺類を各 20kg ずつ（製麺所が毎週水曜・日曜が休みであるため、その日の麺類の投入はない）、毎日、合計 40~60kg 投入した。試験機の運転条件は前報（実証試験機 1）と同じ。

実験結果：実証運転中の運転開始から 2~38 日目の処理槽よりサンプリングを行った。処理槽内の成分変化を図 1，細菌相の変化を図 2 に示す。実験方法は前報<sup>(1)</sup>と同じ。運転開始から 6 日目まで槽内はアルカリ性であったが、その後、pH は酸性の状態が続いた。槽内が酸性になってからは水分や糖が蓄積されていき、粗繊維の割合が減少していることから分解が進まなくなったことがわかる。また、供給される窒素源が豆類由来であるため粗脂肪量は低かったが、分解が進まなかったため、わずかずつではあるが槽内に蓄積されていった。細菌相については、pH が高いうちは *Bacillus* 属が優位を占めていたが、pH が下がるにつれ *Lactobacillus* 属が増加していった。

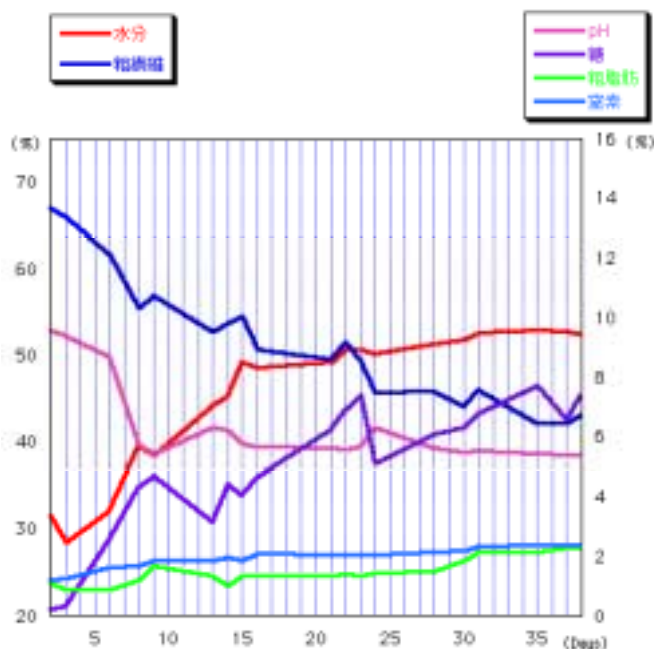


図1 処理槽内の成分変化 粗繊維・糖・粗脂肪・窒素は乾物中の割合

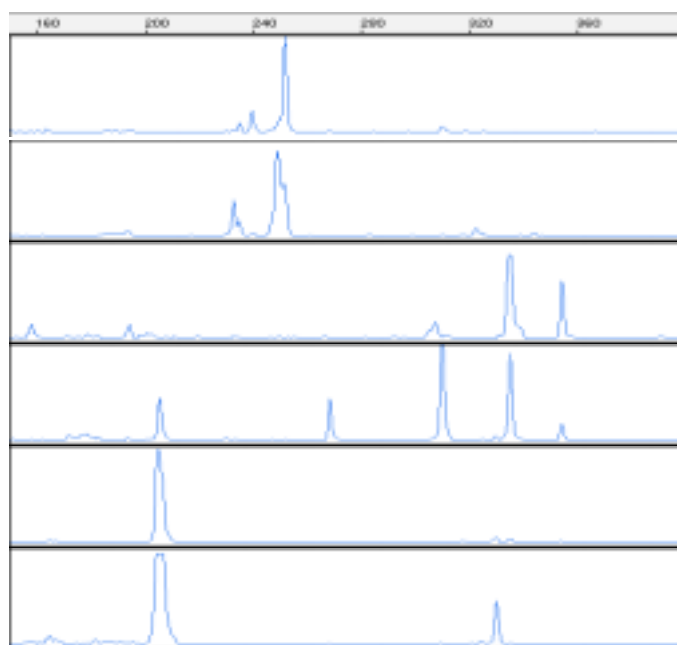


図2 処理槽内の細菌相の変化 上から2日目、3日目、8日目、13日目、30日目、37日目

考察：実証試験機 5 では、おからや餡かすなどの豆類から窒素源が供給され、麺類から炭水化物（糖）が供給されていた。運転開始から数日間は、*Bacillus* 属(232, 234, 249, 251bp)が好氣的代謝をおこない槽内がアルカリ性となり、糖の消化も良かった。しかし、水分の増加に伴い槽内は嫌氣的状态になり、*Lactobacillus* 属(205, 329, 335bp)により有機酸が生産され酸性に移行していった。嫌氣的代謝であるため糖の消化が悪く、供給量も多かったためか蓄積が著しい。投入される生ゴミが一定していたので処理槽内の菌種はあまり多く存在しないようである。

<sup>(1)</sup> 安川 真 平成 14 年度研究報告

(応用技術部 微生物応用科 安川 真)

# 福島県ハイテクプラザ研究報告書

TECHNICAL REPORTS OF FUKUSHIMA TECHNOLOGY CENTRE

## 新潟・山形・福島三県共同研究開発事業 微生物による未利用資源の高度利用化

平成15年3月発行

### 発行

福島県ハイテクプラザ

〒963-0215 福島県郡山市待池台1-12

TEL 024-959-1737(部直通)

FAX 024-959-1761

### 編集

福島県ハイテクプラザ

応用技術部

微生物応用科

※この研究は、電源立地特別交付金により整備された機器を使用して実施した事業です。