

# 高品質肥料認証制度構築事業報告書

－ 品質の良い食品リサイクル堆肥製造の手引き －

平成 27 年 3 月

(一財)日本土壌協会



## はじめに

食品廃棄物の再生利用の重要な柱として肥料(堆肥)化がある。これを推進するためには利用者のニーズに沿った品質の良い肥料(堆肥)を製造することが重要である。このため、平成 21 年に食品リサイクル肥料(堆肥)認証制度(実施主体:(一財)日本土壌協会)が設けられ、堆肥の腐熟度等認証基準を満足しているものに FR マークを付与する事業等を実施してきている。これまで、この認証制度に沿って申請のあった堆肥で認証基準を満足しているものは 5 割程度と大変低い水準にある。

この理由としては、家畜ふん堆肥など他の堆肥化材料と比較して食品廃棄物の種類や内容は多様で米飯など通気性が乏しいものや、脂肪含有率の高いものなど分解しにくいものが多いことなどがあげられる。

一方、こうした中にあっても品質の良い食品リサイクル堆肥を製造している堆肥化施設があることから品質の良い堆肥を製造していくための条件を明らかにしていく必要がある。

このたび、農林水産省の「高品質肥料認証制度構築事業」により品質の良い堆肥を製造していくための各種の調査試験を行い、その手引き書となるものを取りまとめた。

また、食品リサイクル堆肥は作物生育に最も影響のある窒素成分の比率が高いことや、他の堆肥と比較して微生物相が多様で土壤病害の発生しにくい土壤環境を形成しやすいという特徴がある。こうした食品リサイクル堆肥の付加価値向上を図るための調査試験も併せて実施し、その結果を取りまとめた。

事業推進に当たっては、東京情報大学学長の牛久保明邦氏を委員長とする検討会を設け、調査試験の方針、結果の評価等を協議していただき進めてきた。

本事業は検討会の委員をはじめ、農林水産省の担当の方々、関係団体、企業の多大なご支援、ご協力のもとに進めることができた。こうした皆様方に対し、ここに深く感謝申し上げる次第である。

平成 27 年 3 月

一般財団法人 日本土壌協会

## 目 次

|   |    |
|---|----|
| I.品質の良い食品リサイクル堆肥製造法                     | 1  |
| 1.堆肥の品質                                 | 1  |
| 2.堆肥化の発酵プロセス                            | 2  |
| (1)堆肥化の基本は好気性発酵                         | 2  |
| (2)良好な堆肥化の発酵プロセス(一次発酵と二次発酵)             | 2  |
| (3)好気性発酵を促進するための条件                      | 3  |
| 1)堆肥化原料の空気層の確保と適切な水分含有率                 | 4  |
| 2)堆肥化原料の栄養分、温度と微生物                      | 4  |
| 3.食品廃棄物の堆肥化の問題                          | 6  |
| (1)食品廃棄物の特性と発酵                          | 6  |
| (2)食品リサイクル堆肥認証の合格率と不合格の理由               | 7  |
| 4.品質の良い食品リサイクル堆肥製造の条件                   | 8  |
| (1)嫌気性発酵にならないための堆肥化の基本                  | 8  |
| 1)好気性発酵の堆肥化施設と嫌気性発酵の堆肥化施設との発酵の相違        | 8  |
| 2)嫌気性発酵にならないための対応                       | 10 |
| (2)堆肥化材料の調製                             | 11 |
| 1)食品廃棄物と副資材の配合割合                        | 11 |
| 2)食品廃棄物の内容物に応じた副資材との配合割合                | 15 |
| ア、食品廃棄物の内容物と発酵の進み方                      | 15 |
| イ、食品廃棄物の処理方法と発酵の進み方                     | 17 |
| ウ、食品廃棄物の内容物と副資材の配合割合                    | 22 |
| (3)食品リサイクル堆肥化施設における食品廃棄物と副資材利用の現状と今後の対応 | 27 |
| ア、食品リサイクル堆肥化施設における食品廃棄物と副資材の利用の現状       | 27 |
| イ、食品廃棄物の配合比率は50%程度までの堆肥は発芽率が良好          | 29 |
| (参 考)                                   |    |
| 1)食品廃棄物の種類別成分の特徴                        | 30 |
| 2)主な副資材の特徴                              | 31 |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| (3)好氣的発酵にしていくための運転管理            | 32 |
| 1)堆肥化装置と発酵管理                    | 32 |
| 2)発芽率の良い堆肥を製造するための運転管理上の留意点     | 33 |
| (参 考)                           |    |
| 病原菌、寄生虫の致死温度と時間                 | 36 |
| 5.優良事例に見る高品質食品リサイクル堆肥製造上の留意点    | 37 |
| (1)堆肥化材料の収集                     | 37 |
| (2)堆肥化材料の調製                     | 37 |
| (3)運転管理                         | 38 |
| 適切な堆肥化材料の調製まとめ                  |    |
| (4)食品リサイクル堆肥(肥料)の施設調査事例         | 40 |
| (参 考)                           |    |
| (1)堆積化物の品温の測り方                  | 57 |
| (2)コマツナ種子発芽率の測り方(熱水抽出法)         | 58 |
| (3)容積重の測り方                      | 59 |
| II. 食品リサイクル堆肥の付加価値向上            | 60 |
| 1.食品リサイクル堆肥(肥料)の土壌病原抑止力         | 60 |
| (1)堆肥等有機物と土壌病害の抑制               | 60 |
| (2)食品廃棄物を原料とした堆肥、肥料と土壌病原抑制効果    | 60 |
| 1)各種堆肥と土壌病原抑止力                  | 60 |
| 2)食品廃棄物の種類や配合割合等と土壌病原抑止力        | 61 |
| 3)土壌病原抑止力の異なる堆肥によるハウレンソウ萎凋病抑制効果 |    |
| -ポット試験-                         | 64 |
| (参 考)                           |    |
| 「土壌、堆肥、ぼかし肥料、微生物資材などの病原抑止力の測定法」 | 68 |
| 2.食品リサイクル堆肥に含まれる窒素の形態と野菜の収量     | 70 |
| (1)有機質肥料の窒素形態と野菜の収量             | 70 |
| (2)各種食品リサイクル堆肥の窒素特性と野菜の収量       | 71 |
| (3)堆肥の窒素形態の特徴と作物の収量の関係          | 73 |
| (参 考)                           |    |
| 「植物体の窒素化合物の分画法」による有機質肥料の窒素形態    | 75 |



## I.品質の良い食品リサイクル堆肥製造法

### 1.堆肥の品質

堆肥は肥料取締法上では特殊肥料となっており、「堆肥」の定義は「特殊肥料等の指定」(農林水産省告示)でなされている。これによると、「たい肥」(わら、もみがら、樹皮、動物の排せつ物その他の動植物質の有機質物(汚泥及び魚介類の臓器を除く。)をたい積又は攪拌し、腐熟させたもの(尿素、硫酸アンモニアその他の腐熟を促進する材料を使用したものを含む。)をいう。)となっている。堆肥化は有機物を微生物の働きにより腐熟させ、無害で取り扱いやすい形にしていくためのものである。したがって、有機物を乾燥させただけのものは、水分を加えると発酵熱や臭いが発生し、障害が生じるので堆肥とは言わない。

一般に良い堆肥とは次のような要件を備えていることが必要とされる。

- ①悪臭や汚物感がなく、散布しやすい。
- ②作物の生育を阻害しない。
- ③発酵熱で人畜に害のある微生物や虫の卵が死滅している。
- ④有害な重金属等が含まれていない。
- ⑤水分や肥料成分が安定している。

堆肥利用者からよく問題にされる堆肥の品質は、腐熟度、取扱性、肥料成分の安定性などであり、その中で特に腐熟度が重視されている。

堆肥が未熟であると臭いが残っていることもあるが、有機酸等生育に有害な物質が含まれており、これにより作物の根に悪影響を与える恐れがある。

特に野菜類の場合は、堆肥を施用してすぐ播種したり、苗を定植するので腐熟度の高い完熟堆肥が求められる。特に、ダイコン、ニンジンなどは、堆肥が未熟であると岐根になったり(写真)、肌にしみが発生し品質を落とすので、完熟堆肥が必要とされる。



(写真) ダイコン未熟堆肥施用



(写真) ダイコン完熟堆肥施用

食品リサイクル堆肥の品質については、食品リサイクル堆肥認証制度実施要綱(平成 21 年 4 月 1 日施行)の中で規定されている。その中の肥料(堆肥)認証基準については、特に「病原微生物が存在しないこと(安全性)」、「腐熟度が良いこと(生育障害がない。取り扱いやすい。)」を重視しており、具体的には発酵中の発酵温度やコマツナ種子の発芽率で評価している。

#### (食品リサイクル肥料(堆肥)認証の要件)

- ①食品循環資源の原材料割合が容積比または重量比で 10%以上含有する肥料(堆肥については戻し堆肥分を除く)。
- ②堆肥製造の発酵過程における「発酵温度」が表面から深さ 30 cm 層の温度が 60℃以上連続 7 日間以上。
- ③堆肥の熱水抽出法(コマツナ種子使用)による「発芽率」が 80%以上。
- ④堆肥に異物が混入していないこと。

## 2.堆肥化の発酵プロセス

### (1)堆肥化の基本は好気性発酵

有機物の微生物による分解には発酵と腐敗がある。発酵と腐敗はともに微生物の分解作用であるが、学問的な規定はなく人間にとって有益な物質を作る場合を発酵と言い、有機酸、メルカプタンやアンモニアなどの不快臭を生じる過程を腐敗と呼んでいる。堆肥化は人間にとって有益な物質を作っているわけであるから発酵と呼ぶのが適当である。

発酵には好気性発酵と嫌気性発酵がある。

好気性発酵は、酸素が十分にある状態で活動する微生物による発酵である。好気性発酵では、有機物を分解し好気性微生物の増殖が盛んになるほど発熱量が増え、放熱量を上回って蓄熱効果で温度が上昇する。堆肥自身が発熱して水分蒸発を促進することにより、べとべとした水分の多い物質や悪臭成分が分解されるとともに、高温によって有害微生物や雑草種子を死滅させる。

嫌気性発酵は、酸素がない状態で活動する微生物による発酵である。有機物がメタン、アルコール、有機酸等に変換されるため発熱量が好気性発酵の 20 分の 1 程度と低く分解速度も遅いので、温度があまり上昇しない。また、発酵過程でかなり悪臭が発生する。

堆肥化は好気性発酵によって行うことで、悪臭の発生が少なく、安全で取扱いやすい堆肥が得られる

### (2)良好な堆肥化の発酵プロセス(一次発酵と二次発酵)

良好な堆肥化では、好気性微生物によって、発酵初期に易分解性有機物が短期間に分解され、その後、難分解性有機物が徐々に分解される。易分解性有機物が分解される過程を一次発酵、残存する難分解性有機物が徐々に分解される過程を二次発酵と呼んでいる。

有機物は分解のし易さで、易分解性有機物と難分解性有機物に区分される。易分解性有



機物は、分子量の小さい炭水化物、脂肪、タンパク質など容易に分解される成分である。難分解性有機物は、植物の繊維物質であるセルロース、ヘミセルロース、木質系のリグニンなどで、特定の酵素でしか分解できないので微生物の種類も限られており、増殖速度が遅く分解に時間が掛かる。

発酵初期は低温微生物（12～18℃）と中温微生物（30～37℃）が易分解性有機物を活発に分解しながら増殖し、蓄熱して温度が 55～60℃に達すると高温微生物（55～60℃）が優位になる。これらの微生物は分解速度が速く、初期の温度上昇に貢献している。一方、高温になると微生物の活性が低下して分解速度も急激に低下する。高温でも水分蒸発が抑制されるので、切り返し等で温度上昇を抑える工夫も必要である。発酵が順調に進めば、発酵開始後 1～2 週目でピーク温度に達した後、温度は徐々に下がる。4～5 週目に中温域になると放線菌が出現し、その後、糸状菌やセルロース分解菌が増殖し始めて難分解性有機物の分解に移行する（図 1）。

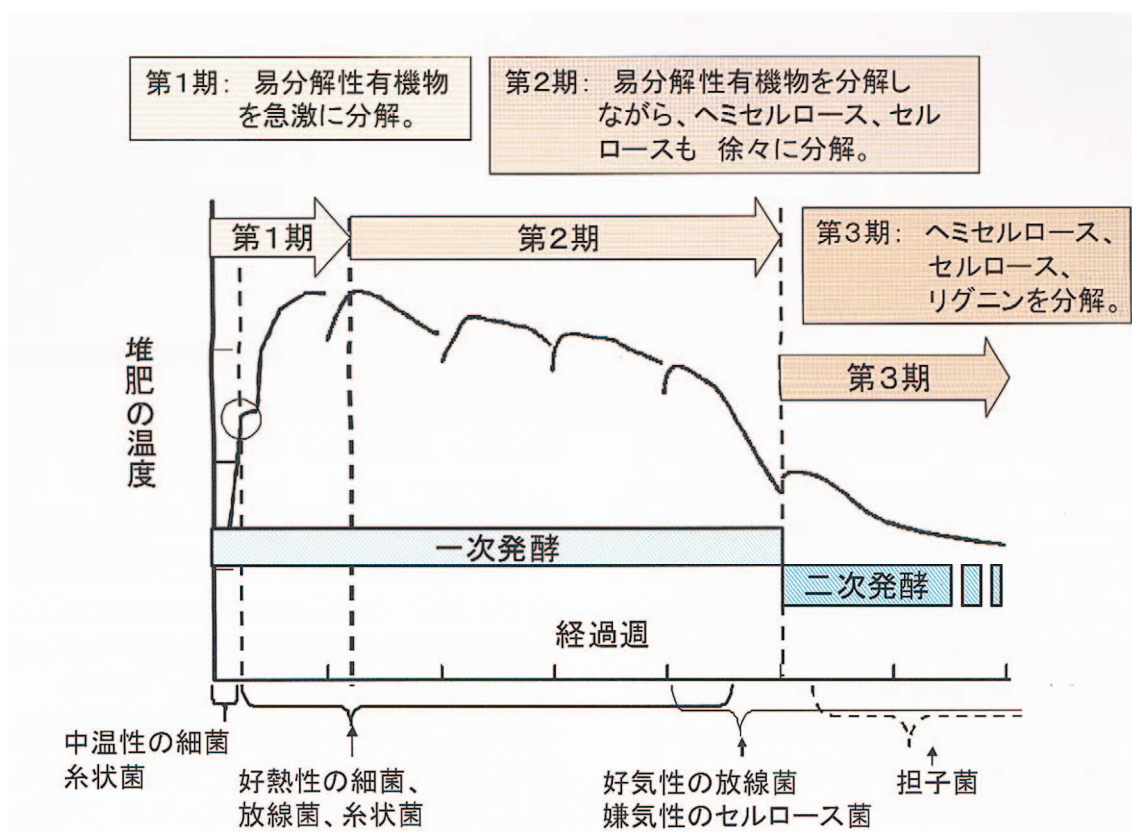


図 1 堆肥化過程の模式図(例)

(資料:「新畜産環境保全指導マニュアル」((社)中央畜産会))

### (3)好気性発酵を促進するための条件

堆肥化の主役は好気性条件で働く微生物である。堆肥化を順調に進行させるためには、好气的条件を確保し、微生物を活発に活動させる条件を整備する必要がある。その条件と

しては、適正な空気（酸素）、水分、栄養分、温度、微生物、pH、炭素率(C/N 比)などがあげられるが、特に堆肥化する原料の空気層の確保と適切な水分含有率が重要である。

### 1)堆肥化原料の空気層の確保と適切な水分含有率

堆肥化で微生物を働かせるためには、空気層の確保と水分を適切に管理することが大切である。水分は含水率で表示し、一般に 60%程度が適しているが、これは手で硬く握りしめて、手に湿り気を感じるが指の間から水が出てこない程度である。

含水率は、高過ぎると腐敗するし、低過ぎると微生物が活動できなくなる。たとえ含水率が適正でも、押しつぶされて空気が通らないようでは微生物が働かない。微生物は呼吸しているので酸素が必要で、酸素供給のためには空気が流通できる隙間をつくる必要がある。

すなわち、堆肥化原料の隙間と水分との関係は、含水率が高いと通気性が悪くなり、嫌气的条件となるので、通気性を改善するために含水率を下げる必要がある。一方、著しい乾燥状態では微生物の増殖が抑制され、発酵は進まない。

発酵促進のためには、堆肥化原料の適切な比重が大切である。堆肥化原料の容積比にすると、およそ固形物 40%、水分 30%、空気 30%程度が適していると言われている。このときの「みかけ比重」はおよそ 0.5 程度である。

通気性を良くし適切な水分条件にするためには、① オガクズなどの副資材を加える、② 戻し堆肥を混合する、③乾燥させる、などの対策が必要になる。

繊維分の多い馬ふんや牛ふんでは小さな隙間がかなりあるが、食品廃棄物、豚ふんや鶏ふんでは隙間が少ないので乾燥させると空気が通りにくくなる。空気の通り道を作るためには、隙間の多い資材を使うことが必要で、そのためには、オガクズやモミガラのような粗大有機物の混合が適している。牛ふんなどではハウスを利用した予備乾燥が行われることもあるが、一般には副資材、戻し堆肥を混合する方法が行われている。

また、堆肥化原料そのものの通気性を改善するとともに、全体に酸素が行き渡るようにするため攪拌が必要である。

堆肥化施設によってはより発酵を促進するため強制通気装置を装備しているものもある。

その場合でも堆肥の内部に空気路ができ、全体に空気が行き渡らなくなるので、切り返しまたは攪拌を行う必要がある。また、通気を行う場合、通気量が少ないと温度が上がりやすく、通気量が多すぎると、堆肥が冷却されかえって温度が下がる傾向が見られることから適切な通気量が必要である。

### 2)堆肥化原料の栄養分、温度と微生物

#### (栄養分と温度)

微生物の栄養分となるのは、分解しやすい有機物（易分解性有機物）である。易分解性有機物は堆肥化初期に急激に分解し、その結果発熱して堆肥は高温になる。

易分解性有機物は、汚水処理で言えば生物化学的酸素要求量（BOD）に相当するものである。易分解性有機物（BOD）と堆肥の温度との間には正の相関が見られる（図2）。

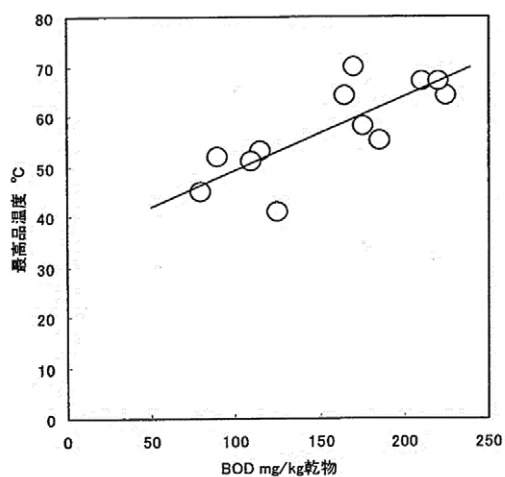


図2 堆肥原料の易分解性有機物(BOD)と最高品温の関係  
(資料:羽賀)

堆肥化の速さに影響するのは堆肥化原料の炭素率(C/N比とも言い、炭素量と窒素量との比率)である。

炭素率が高すぎる場合には堆肥化が遅れるが、逆に炭素率が低すぎる場合は、堆肥化の途中でアンモニアガスが発生し、悪臭が強くなる。堆肥化原料の炭素率(C/N比)は20~30程度が適しているとされているが、食品廃棄物(注)、家畜糞尿の多くは一般に易分解性有機物含量が高いことから、栄養分は十分に含まれていて炭素率(C/N比)が20未満にある。したがって、窒素の比率が高く、食品廃棄物や家畜糞尿の多くでは窒素源を加える必要性は殆どない。

(注)食品廃棄物・・・食品リサイクル法では食品廃棄物であって、飼料・肥料等の原材料となるなど有用なものを食品循環資源と定義しているが、ここでは、広い意味で食品廃棄物と言う。(以下同じ)

#### (微生物)

堆肥化原料には多くの種類の微生物が存在しており、一般に堆肥化を促進する上で不足することはない。例えば副資材として利用される落葉の表面には、糸状菌、放線菌、担子菌、その他の細菌などが多く存在しており、これらを混合することにより、堆肥化に適した微生物を増殖させることができる。むしろ微生物が積極的に働けるような堆肥生産の環境づくりが重要である。

これまでの試験結果では戻し堆肥の利用が発酵を促進するという報告が多い。

戻し堆肥の混合は堆肥化過程で優先的に増殖した菌を原料に混合することになるととも

に、含有水分の低い戻し堆肥を使用すると水分調節材の役割もあり、良好な発酵のために良い方法と言える。

### 3.食品廃棄物の堆肥化の問題

#### (1)食品廃棄物の特性と発酵

食品リサイクル堆肥の主原料は、市場、店舗、食堂、給食施設、一般家庭、食品産業などから排出される食品廃棄物、残飯などの廃棄物である。その成分的特徴から、炭水化物に富む米飯、パン、麺類など、繊維質に富む野菜くず、茶がら、コーヒー粕、果汁粕、おから、油粕、米糠など、タンパク質、アミノ酸に富む肉類、魚介類、卵など、脂肪含有率の高いバター、ラード、マヨネーズ、ドレッシング、食用油脂、乳製品など、塩分が多く含まれる漬物、塩漬けの魚、ハム、ベーコン、味噌、醤油、食塩などに分けられる。食品廃棄物の内容や割合はそれぞれの地域特性や季節によって大きく変動する。

米飯はこねると団子状になり、その内部へは空気が入りにくく、腐敗が早く進む。野菜くずは概して水分が非常に多く、腐敗しやすいため、新鮮なうちに発酵させる必要がある。油粕、米糠は肥料としても利用されており、堆肥化で肥料分を補給する場合の調整用資材に適している。コーヒー粕は多孔質で弱酸性であり、堆肥化過程でアンモニア発生が多い資材と組み合わせると、アンモニアの発生を抑制する効果が見られる。茶がらは弱酸性で、タンニンなどの影響で土壤中での分解が緩慢である。おからはたんぱく質に富み、腐敗が早く進み、新鮮なうちに発酵させる必要がある。肉類や魚介類は最も腐敗しやすく、悪臭の発生も強烈であり、取扱いの難しい原料である。

また、ミカン等果実類は皮が厚くそのままでは、内部まで発酵が進みにくい。

このように食品廃棄物原料の種類やその特性は多様であるが、こうした原料を堆肥化する場合の問題としては次のようなことがあげられる。

#### (食品廃棄物を堆肥化する場合の発酵上の問題)

- 1) 米飯などのように繊維が少なく通気性に乏しい材料がある。
- 2) 食用油脂、マヨネーズ、ドレッシングなどのように油分が多く油膜をつくり空気が原材料の中に入りにくい材料がある。
- 3) 肉、魚、おからなどのようにタンパク含量が多く短時間で腐敗が始まる材料がある。
- 4) ミカン等果実類のように原料のままでは内部まで速やかに発酵が進みにくい材料がある。
- 5) 漬物、塩漬けの魚などのように塩分を多く含むものがあり、食塩による作物への影響が懸念される材料がある。

このような食品廃棄物原料の特性から家畜ふん堆肥などと比較して一般に食品廃棄物原料は好気性発酵が進みにくく、嫌気性発酵になりがちである。

したがって、良好な好気性発酵を行うためには、適切な副資材や戻し堆肥との組み合わせ

せで、より通気性の確保を行うとともに、腐敗しやすいものも多いことから、早期に好気性発酵が始まるようにしていくことが重要である。

## (2) 食品リサイクル堆肥認証の合格率と不合格の理由

平成 21 年度から開始した食品リサイクル堆肥認証制度(実施機関(一財)日本土壌協会)で申請のあった食品リサイクル堆肥の銘柄は 22 銘柄でその中で認証基準を満たして合格した堆肥は 10 銘柄で合格率は 45%であった。この中には当初の申請で不合格であったが、その後改善し合格となったものもいくつかあることから、当初の申請で合格したものは 5 割を切る状況にあったと言える(表 1)。

表 1 食品リサイクル堆肥と普通肥料の認証と不合格の理由

| 区分   | 対象    | 合格    | 不合格   | 不合格の理由                    |
|------|-------|-------|-------|---------------------------|
| 堆肥   | 22 銘柄 | 12 銘柄 | 10 銘柄 | 発芽率不良 9 銘柄<br>申請書類不備 1 銘柄 |
| 普通肥料 | 1 銘柄  | 1 銘柄  | 0     |                           |

不合格の理由として多いのはコマツナの発芽率不良(発芽率 80%未満)によるものが殆どであり、その中には発酵温度が 60℃以上連続 7 日以上を満足してなかったものも多い。

発芽率などが不良となった要因としては、次のようなことがあげられる。

- 1) 嫌気性発酵になっており、発酵温度が上がらないとともに pH が低く(脂肪酸など発芽阻害物資が残っている)発芽率が不良となっている。
- 2) 生ごみ乾燥機により乾燥処理しただけで腐熟していない。
- 3) 発酵日数が短い
- 4) 塩類濃度が高い

特に不合格の要因として最も多くあげられるのが、発酵が嫌気性発酵になっていることである。

なお、発芽率などが不良となった堆肥の発酵の特徴と問題点は表 2 のとおりである。

表 2 認証不合格(発芽率不良)の要因

| 不合格の要因          | 発酵の特徴と問題  |
|-----------------|---|
| ①嫌気性発酵になっている    | 嫌気性発酵は好気性発酵に比べて次のような問題がある。<br>◆発酵日数が長く発酵物の品温が上昇しない。<br>◆悪臭が発生する。<br>◆堆肥化物の pH が低く、発芽率が低い。 |
| ②生ごみ乾燥機により乾燥処理し | ◆成分組成が生ごみそのものを乾燥させたものとほとんど変わらず、水分を含むと発酵を開始する。(易分解性有機物を多く含む)                               |

|          |   |
|----------|---|
| ただけである。  |   |
| ③発酵日数が短い | ◆好気性発酵が行われていても熟成日数が足りなければ発芽率が不良となっている。また、発酵途中で堆肥化物が乾燥し、その段階で出荷した堆肥は発芽率不良となっている。 |
| ④塩類濃度が高い | ◆戻し堆肥の量や回数が多くなると、塩類濃度が高まり発芽率が低下する。また、塩類濃度の高い原材料を用いた場合も、堆肥の発芽率に影響する。             |

#### 4.品質の良い食品リサイクル堆肥製造の条件

##### (1)嫌気性発酵にならないための堆肥化の基本

食品リサイクル堆肥は嫌氣的発酵になりやすいことが品質向上のための大きな課題である。堆肥化過程で嫌気性発酵にならないようにしていくことが重要である。

具体的に食品リサイクル堆肥の発酵が嫌氣的発酵となっている堆肥化施設と良好な好気性発酵となっている堆肥化施設の堆肥化物の pH や発芽率等には次のような相違がある。

##### 1)好気性発酵の堆肥化施設と嫌気性発酵となっている堆肥化施設との発酵の相違

###### ◆好気性発酵の A 堆肥化施設（機械攪拌タイプの装置）

A 堆肥化施設は一般家庭の生ごみに牛ふんともみ殻を加えて機械攪拌する装置で発酵している。好気性発酵となっている A 堆肥化施設の堆肥化物の発芽率の推移は発酵開始後 10 日程度で認証制度の合格ラインである発芽率 80%を超えている。また、pH については発酵開始後 pH が上昇し、10 日程度で pH7.0 を超えている（図 3）。

pH が上昇した要因は、発芽抑制物質である乳酸、酢酸といった物質が分解され消滅したためである。

###### ◆嫌気性発酵の B 堆肥化施設（堆積攪拌タイプの装置）

B 堆肥化施設はレストラン等の食品廃棄物を原料に炭等を副資材として加えて、ショベルローダーで攪拌して発酵させている。

嫌気性発酵となっている B 堆肥化施設の堆肥化物の発芽率の推移は発酵開始後 2 ヶ月たっても発芽率 0%となっており、70 日を超えてから 80%となっている。また、pH については発酵開始後 70 日後まで pH7.0 を超えることはなかった（図 4）。

pH が低下した要因は、発芽抑制物質である乳酸、酢酸といった物質が A 堆肥化施設の堆肥化物より多く発生し、これが分解され消滅したのは 120 日後となったためである。

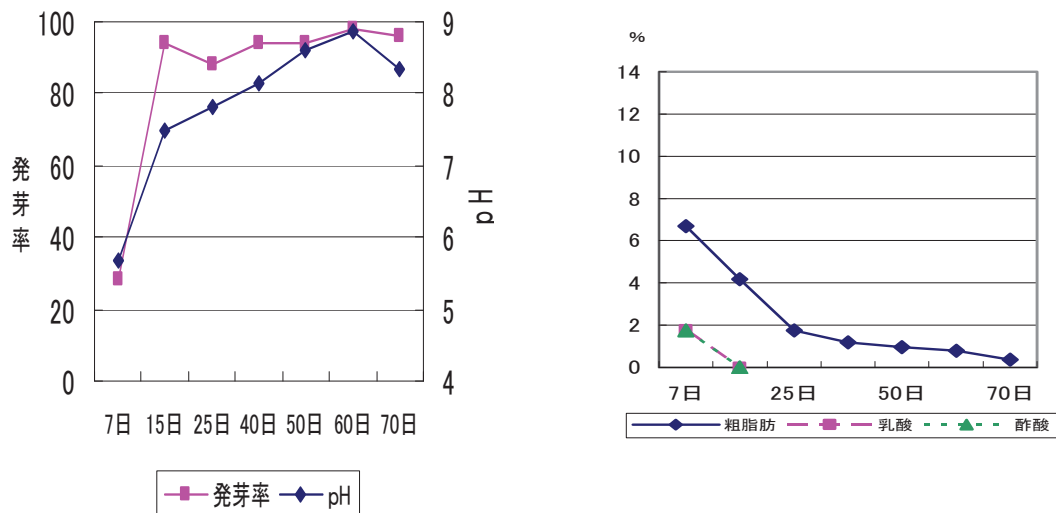


図3 A 堆肥化施設の発酵過程における発芽率等の変化

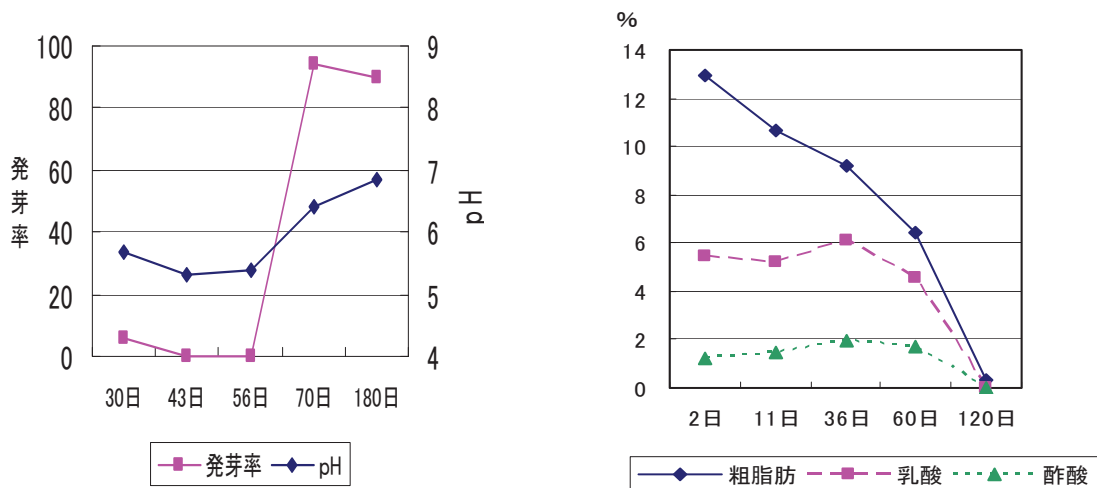


図4 B 堆肥化施設の発酵過程における発芽率等の変化

このようにA堆肥化施設で好気性発酵、B堆肥化施設で嫌気性発酵した主な理由としては、次のようなことがあげられる。

- ①A堆肥化施設の受け入れている食品廃棄物が一般家庭の生ごみであるのに対して、B堆肥化施設で受け入れている食品廃棄物はレストラン等の食品廃棄物で油分、タンパク含量の高い素材で空気が入りにくい素材であった。また、副資材の配合割合が少ないことと相まって脂肪分が多いことから、その分解に時間がかかり発芽阻害物質の消滅が遅れたことがあげられる。(堆肥化素材の通気性の問題)
- ②A堆肥化施設は機械攪拌装置のある施設で発酵初期の攪拌発酵が円滑に行えたのに対し、B堆肥化施設はショベルローダーでの攪拌堆積方法なので十分な空気の供給が行いにくかったことがあげられる。(堆肥化プロセスでの通気性の確保の問題)

### (pHとコマツナの発芽率との関係)

一般に食品廃棄物を原料とした堆肥化の場合、脂肪酸の発生が多く、そのため pH が低下してくる。各種食品リサイクル堆肥のコマツナの発芽率等を調査した結果では pH 7.0~8.0 付近を境に、それ以上では発芽が良好、それ以下では発芽不良と明瞭に区分される (図 5)。

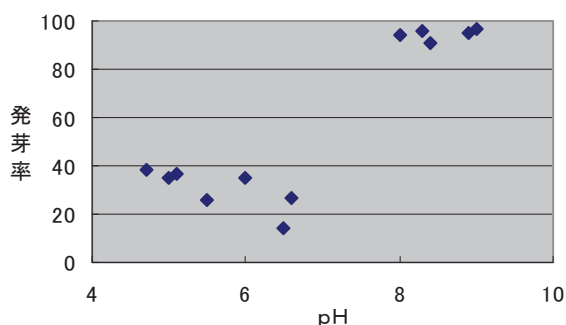


図 5 発芽率と pH との関係

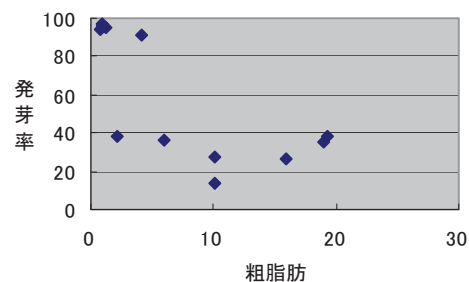


図 6 発芽率と粗脂肪含量との関係

このように、食品リサイクル堆肥では堆肥化物の pH の変化が発酵の進み具合と関係し、好気性発酵が進むと pH は高まるとともに、発芽率が向上するという関係が見られる。

## 2)嫌気性発酵にならないための対応

好気性発酵と嫌気性発酵となっている堆肥化施設との発酵の相違などから、嫌気性発酵にならないようにするための対応としては、次の点が特に重要である。

### ①通気性の確保が最も重要である。

具体的には、「堆肥化材料の調製」、「発酵期間中の操作」が重要であり、

◆堆肥化材料の通気性、水分条件を整えるための副資材や戻し堆肥の配合割合と材料の均一な混合。

◆発酵期間中の切返しや通気などの操作を的確に行うことにより好气的状況に保つこと。が特に重要である。

### ②食品廃棄物の栄養分は様々であり、その特性によって堆肥化材料の配合割合を変えていく必要がある。

具体的には、

◆肉類等蛋白質含有率や脂肪の割合が高い原料が多い場合にはより好气的条件にする。

◆野菜残渣のように栄養分の少ないものは発酵温度が上がりにくいので、カロリーの高い材料を加える。

ことが重要である。



## (2)堆肥化材料の調製

### 1)食品廃棄物と副資材の配合割合

#### ①食品廃棄物（おから）と副資材の配合(容量)比率は 1:1 までが発酵良好

（小規模堆肥化試験の結果）

食品リサイクル堆肥の主原料は空気が通りにくいものや、水分が高く腐敗しやすいものが多い。このため、好氣的発酵を促すには、通気性の確保や水分調整のために、副資材の投入が不可欠である。食品廃棄物との混合割合や副資材の種類によって堆肥化物の発酵の仕方や発芽率が異なる。

ダンボール箱(300前後)を用い、食品廃棄物と副資材の種類と容量比を種々組み合わせた区を設け、発芽率との関係を調査した。食品廃棄物と副資材の容量比が2：1と1：1とで攪拌発酵させて34日間実験した。

食品廃棄物としてはおから、副資材としては、もみがら(未粉碎)、おがくず(杉材と松材をほぼ半々に混合)、くん炭(もみがらを300℃で炭化)、剪定枝(サツキ、ツツジ及び下草が主で桜、松を含み野外に堆積していたもの)、イソライト(粒径2mm程度)、ゼオライト(粒径2～3mm程)のものを用いた。それに、種菌として品質の良い食品リサイクル堆肥であるK堆肥を加えた。

堆肥化物の品温が低下し、切返しても品温が上昇しない時点(約1ヶ月)をもって堆肥化完了と見なし、堆肥化物の発芽率を調べた。その結果、副資材の種類によって相違が見られるものの、全般的に食品廃棄物(おから)と副資材の配合割合(容量比)が1:1のもの発芽率がほぼ80%を超えており、良好な発酵を行っていると判断された(図7)。

食品廃棄物(おから)と副資材の配合割合(容量比)2:1の場合は、副資材の種類によって大きく差が生じた。副資材が剪定枝の場合に最も発芽率が悪かった。これは、一部の剪定枝の分解が進んでいたため、品温の立ち上がりが悪かったものの発酵が遅れた。この理由としては、試験終了時にも剪定枝の分解が継続していたことと、粗大な形態で保水力が小さいことが原因と考えられる。また、もみ殻区でも発酵が遅れたが、もみ殻の著しい撥水性のために保水力が小さいことが影響している。堆肥化物の水分が少なくなると、発酵が停止して品温が低下するので、保水力の小さな副資材を用いた場合には、堆肥化物が乾燥し過ぎないように注意する必要がある。

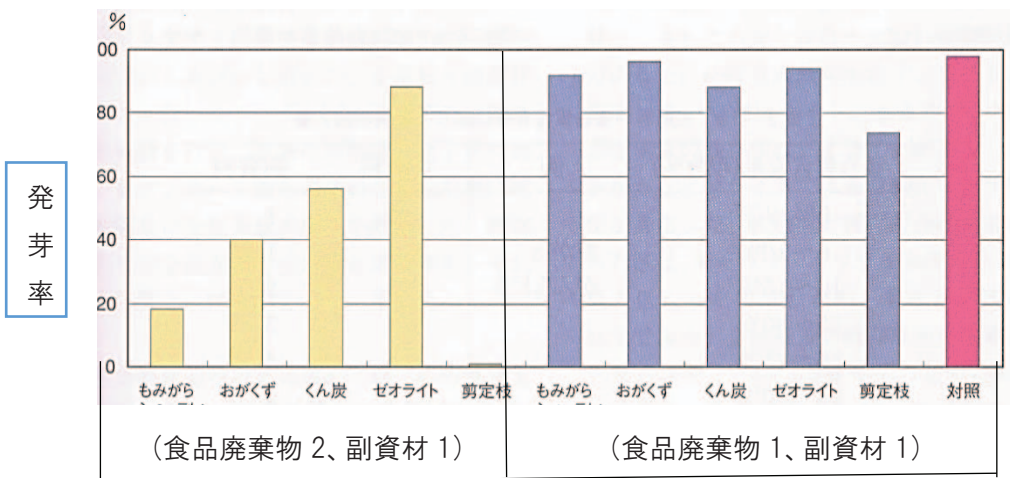


図 7 食品廃棄物（おから）と副資材の配合の容量比率と堆肥化物の発芽率

②食品廃棄物（食品加工等関係）と副資材（木炭）との配合（容量）比率は 1:1 が発酵良好で 2:1 では嫌気性発酵になる  
 （中規模堆肥化試験の結果）

実際の堆肥化施設に近い状況で、弁当製造、レストラン等から排出される食品廃棄物を用いて食品廃棄物と副資材（この場合木炭）の配合割合（容量比）を変えて発酵の相違を試験した。

食品廃棄物は肉等も含むもので比較的蛋白含量の高い素材（粗蛋白含量 6%程度）であり、副資材の木炭はやや粗い性状のものである。これら食品廃棄物と副資材を合わせて 3 m<sup>3</sup>を攪拌堆積して発酵を行った（表 3、表 4）。

表 3 試験区の構成

| 試験区  | 堆肥化物の容積              |                        | 配合比率  |         |
|------|----------------------|------------------------|-------|---------|
|      | 食品廃棄物 m <sup>3</sup> | 副資材(木炭) m <sup>3</sup> | 食品廃棄物 | 副資材(木炭) |
| 堆肥 A | 1.5                  | 1.5                    | 1     | 1       |
| 堆肥 B | 1.8                  | 1.2                    | 1.5   | 1       |
| 堆肥 C | 2.0                  | 1.0                    | 2     | 1       |

表 4 食品廃棄物原料の窒素と粗蛋白含量

|           | 食品廃棄物原料 |      |      |
|-----------|---------|------|------|
|           | 堆肥 A    | 堆肥 B | 堆肥 C |
| 水分率(%)    | 61.4    | 59.8 | 54.3 |
| 窒素(乾物)(%) | 2.6     | 2.3  | 2.2  |
| 粗蛋白(%)    | 6.2     | 5.9  | 6.4  |

(写真) 原料を混合した堆肥化物



(写真) 副資材の木炭



各試験区の中で発酵温度が最も高く推移したのはA区(食品廃棄物 1:副資材 1)で次いで、B区(食品廃棄物 1.5:副資材 1)であった。C区(食品廃棄物 2:副資材 1)は発酵温度が上がらず、60℃以上に達したのは2日間だけであった。C区(食品廃棄物 2:副資材 1)は嫌気性発酵になっていた(図8)。

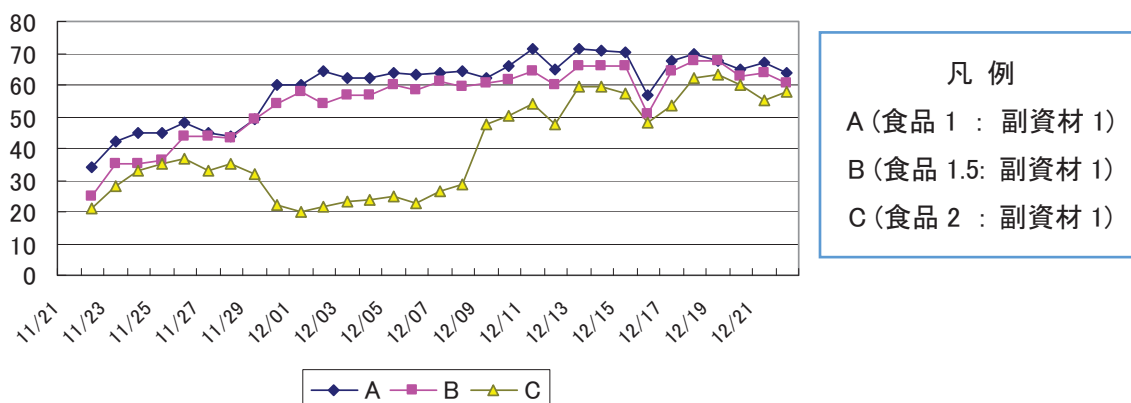


図8 堆肥化物の品温の推移

また、発酵完了後の堆肥化物の外観は、A区(食品廃棄物 1:副資材 1)ではかなり黒くなっているが、C区(食品廃棄物 2:副資材 1)は水分も多く発酵が進んでいないことがうかがわれた(写真)。

(写真) 堆肥 A (食品廃棄物 1:副資材 1)



(写真) 堆肥 B(食品廃棄物 1.5:副資材 1)



(写真) 堆肥 C(食品廃棄物 2:副資材 1)



各試験区の堆肥化物の発芽率は、A区(食品廃棄物 1:副資材 1)で 86%と良好であったが、B区(食品廃棄物 1.5:副資材 1)では 28%、C区(食品廃棄物 2:副資材 1)では 4%と不良であった(表 5)。

この結果から、堆肥の発酵は、食品廃棄物と副資材(木炭)との配合(容量)比率は 1:1 が良好であったが、2:1 では嫌気性発酵になりやすいと言える。

表 5 各試験区堆肥化物の発芽率等

|           | 堆肥化物 |      |      |
|-----------|------|------|------|
|           | A    | B    | C    |
| 発芽率(%)    | 86   | 28   | 4    |
| pH        | 8.2  | 7.5  | 7.2  |
| EC(mS/cm) | 2.6  | 4.7  | 5.0  |
| C/N比      | 18.0 | 14.6 | 16.1 |

## 2)食品廃棄物の内容物に応じた副資材との配合割合

食品廃棄物の内容物は米飯、パン、野菜くず、肉類、魚介類、バター、ラード、マヨネーズの調理品など多様である。米飯などのように内部に空気の入りにくい素材、野菜くずのような栄養分の少ない素材、魚、肉のように腐敗が進みやすい素材があり、食品廃棄物の内容物によって発酵の進み具合が異なってくる。また、これまで述べてきたように食品廃棄物の処理方法によっても異なってくる。

したがって、搬入される食品廃棄物の内容物によって、副資材の配合や食品廃棄物の処理等を変えていく必要がある。

### ア、食品廃棄物の内容物と発酵の進み方

食品廃棄物の内容物は多様であるが、その中で栄養分が少なく水分の多い野菜くずと、栄養分の高い挽肉等を取り上げ発酵の進み方の特徴を把握するため小規模な堆肥化試験を行った。

野菜くず等と挽肉等の発酵の進み方の特徴は次のとおりである。

#### ①野菜くず等の発酵の特徴

- 野菜くずのみでは発酵温度が上がりにくく、嫌気性発酵になりやすい。-

(小規模堆肥化試験の結果)

水分含量の多い野菜くずとしてキャベツを取り上げ、タンパク含量の多いおからと発酵の進み具合の相違を見てみた。キャベツはおからと比較して発酵温度の立ち上がりが遅く最高でも 40℃台と低い。また、キャベツは攪拌、水添加後の品温の上昇が殆ど見られぬままに発酵がほぼ終了している(図9)。

キャベツは、発酵途中で容積がある時期に急激に減少する。それとともに野菜の体内水分がある時点で急激に沁み出してくるので、堆肥化物が一度に過湿状態になることもある。おからではそうした変化は見られない(図10)。

キャベツなどの野菜くずは水分率が一般に極めて高く、発酵途中で水分が溶出してくるので、野菜くずを主原料とした堆肥化物は嫌気性発酵になりやすい。

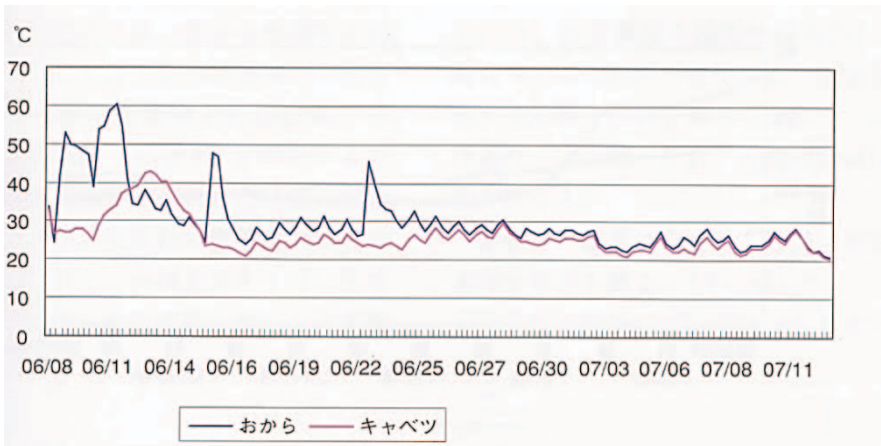


図 9 キャベツ、おからの堆肥化物の品温の変化

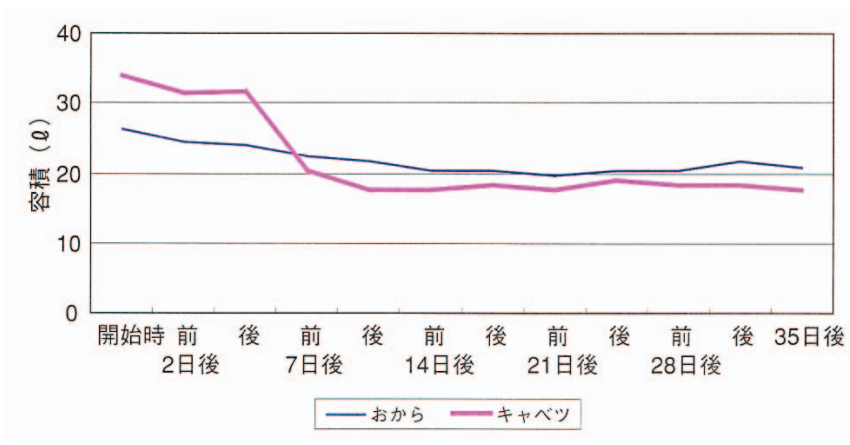


図 10 キャベツ、おからの堆肥化物の容積重の推移

②挽肉等の発酵の特徴

- 挽肉中心では堆肥化物の品温の立ち上がりが早く高温になるが、発酵の終了に時間がかかる。- (小規模堆肥化試験の結果)

脂肪、タンパク質の多い材料として挽肉を取り上げ炭水化物の多い食パンと発酵の進み具合の相違を見てみた。挽肉では食パンと比較して堆肥化開始後 品温の最高値はまもなく現れて 60°Cに達している。その後も切返し、水の添加後に急激な品温の上昇が5回見られた。挽肉などのように粗脂肪や粗タンパクの含有量が多い食品廃棄物は品温の最高値が高く、立ち上がりも早い。また、堆肥化開始後品温の低下が遅く、発酵の終了に時間がかかる傾向が見られる (図 11)。

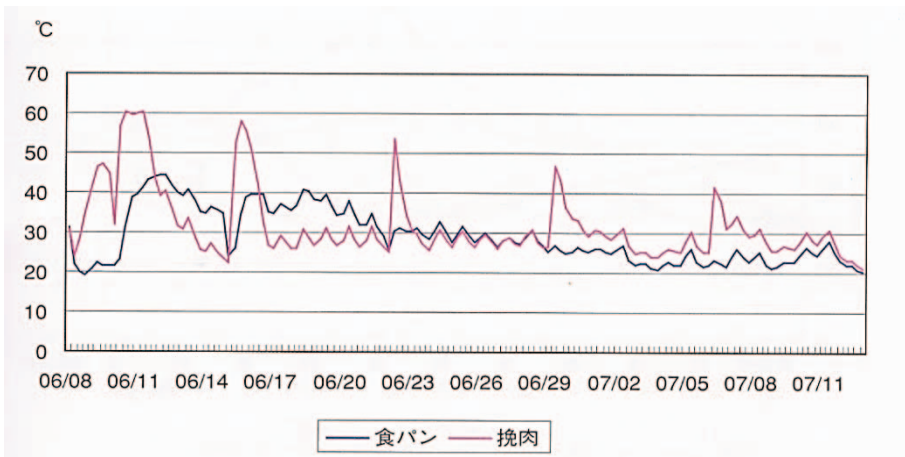


図 11 挽肉、食パンの堆肥化物の品温の変化

## イ、食品廃棄物の処理方法と発酵の進み方

食品廃棄物は形の残ったままで廃棄されることが多く、内部まで空気が通りにくいものや、野菜等水分の多いものがある。こうした材料の発酵を促すため、破碎や乾燥処理する場合がある。

(写真) 食品加工系企業からの廃棄物

水分調整については一般に堆肥化材料は 60%程度の水分含量に調整すると良好に発酵すると言われている。すなわち、過剰な水分が減少し、空気の通りが良くなるので好気性発酵しやすいということであるが、食品廃棄物の場合は水分調整の方法によっては嫌気性発酵になりやすい場合がある。



### ①食品廃棄物を破碎等の処理した場合

-食品廃棄物をこねない程度に破碎した場合には発酵が促進する- (中規模堆肥化試験の結果)

食品廃棄物を細かく裁断しこねてしまうとスラリー状態になり、水分が外に出て多くの副資材を使用せざるを得ないようになるので、こねないような破碎方法で食品廃棄物を処理して中規模の堆肥化試験を行った。

食品廃棄物の処理方法については、次の三つの方法で行った (表 6、写真)。

- ①原形のままのもの (原形)。
- ②破碎機にかけるが、こねる前に取り出す (破碎)。
- ③②の処理と同様に行った原料を底に穴をあけたフレコン袋に詰めて袋ごと 1 昼夜宙吊りにし、原料の水分を流下させる (破碎・流下) 方法。

なお、原材料の配合比率 (容量比) は全て食品廃棄物と副資材 (木炭) とは 1:1 である。

表 6 試験区の構成

| 試験区     | 食品廃棄物の処理内容  | 堆肥化材料の配合           |                    |
|---------|-------------|--------------------|--------------------|
|         |             | 食品廃棄物              | 木炭                 |
| 食品廃棄物原形 | 処理せず        | 1.5 m <sup>3</sup> | 1.5 m <sup>3</sup> |
| 〃 破砕    | 破砕機で切断      | 1.5                | 1.5                |
| 〃 破砕・流下 | 破砕後袋詰めて水分流下 | 1.5                | 1.5                |

(写真) 食品廃棄物原形



(写真) 食品廃棄物破砕



(写真) 破砕・流下



堆肥化過程の品温の変化について前半は各区とも大きな変化がなかったが、後半になって差が生じ、食品廃棄物原形区の品温の低下が他の区より遅かった (図 12)。粗大な原形の状態のものが多かったことが発酵を遅らせたものと考えられる。

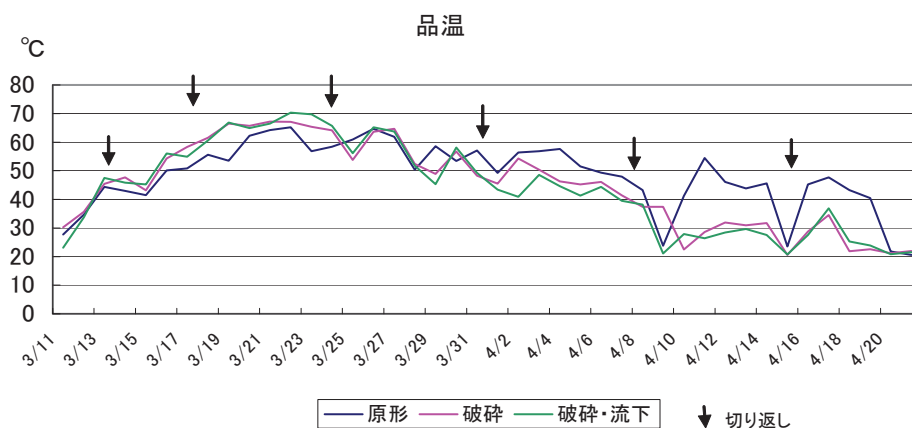


図 12 食品廃棄物の処理別堆肥化物の品温の変化

表 7 各試験区堆肥化物の発芽率等の相違

|           | 堆肥化物 |     |       |
|-----------|------|-----|-------|
|           | 原形   | 破砕  | 破砕・流下 |
| 発芽率(%)    | 60   | 96  | 98    |
| pH        | 6.3  | 8.3 | 7.6   |
| EC(mS/cm) | 8.3  | 5.0 | 5.7   |



各試験区の堆肥化物は原形のものにはpHの高まりが遅く、発芽率は60%とやや低かったが、破砕したものの発芽率は96%、破砕流下物については98%と高かった（表7）。

こうしたことから、食品廃棄物を破砕処理したものは原形のものと比較して発酵期間が短縮されると言える。

## ②果実類廃棄物を切断等の処理した場合

- 果実類廃棄物は未処理では発酵温度が上がりにくく、発酵終期でも形が残るが、切断等の処理を行うと発酵が進む - （小規模堆肥化試験の結果）

果実主体の廃棄物は形の残ったままの状態であると、内部に空気が入りにくく発酵が進みにくいので、柑橘を用い次の処理を行い未処理との発酵の相違を見てみた（表8）。

### ① 切断、②押し潰し、③皮むき

「皮むき」と「未処理」で堆肥化物の品温の変化を見ると、「皮むき」では発酵開始後すぐ品温の上昇が見られたが、「未処理」では品温の上昇が遅れるとともに品温も「皮むき」ほど高まらなかった（図13）。また、「未処理」では発酵終期においても形が残った状態となっていた。（写真）

また、「皮むき」、「押し潰し」と「切断」との比較では、「押し潰し」については水分含量が高まることから、「皮むき」や「切断」と比較して発芽率が低かった（表9）。

表8 試験区の構成（食品廃棄物と副資材の単位：ℓ）

|            | 試験区(果実類廃棄物処理法) |          |         |         |
|------------|----------------|----------|---------|---------|
|            | C1(切断)         | C2(押し潰し) | C3(皮むき) | C4(未処理) |
| 果実類廃棄物     | 7.5            | 7.5      | 7.5     | 7.5     |
| 副資材(木片チップ) | 22.5           | 22.5     | 22.5    | 22.5    |
| 食品廃棄物:副資材  | 1:3            | 1:3      | 1:3     | 1:3     |
| 容積重(kg/ℓ)  | 0.36           | 0.36     | 0.36    | 0.36    |

表9 各試験区の発芽率等

|           | 試験区(果実類廃棄物処理法) |          |         |         |
|-----------|----------------|----------|---------|---------|
|           | C1(切断)         | C2(押し潰し) | C3(皮むき) | C4(未処理) |
| 発芽率(%)    | 96             | 84       | 92      | 92      |
| pH        | 7.3            | 7.5      | 7.3     | 7.5     |
| EC(mS/cm) | 0.41           | 0.33     | 0.46    | 0.35    |
| C/N比      | 21.0           | 31.6     | 22.6    | 20.6    |

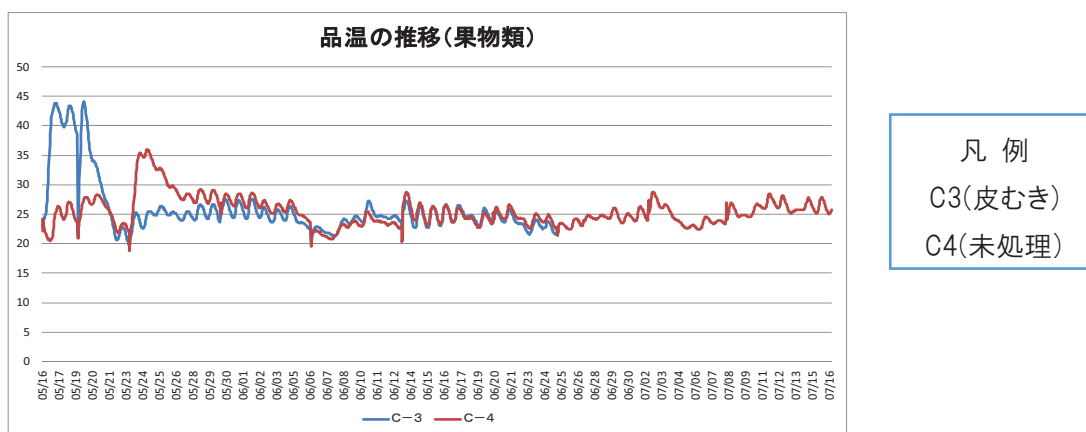


図 13 堆肥化物の品温の推移(果実類)

(写真) 発酵終期でも果実の形が残っている (写真) 果実類を切断処理したもの(前処理)



### ③油分の多い食品廃棄物を破碎・乾燥した場合

-油分の多い食品廃棄物を乾燥した場合には嫌気性発酵になりやすい-  
(中規模堆肥化試験の結果)

一般に堆肥化の際には堆肥化原料の水分を 60%程度にすると良好な発酵になると言われている。こうしたことから食品リサイクル堆肥を製造している事業者の中にも原材料を粉碎し、それを熱風乾燥させて堆肥化を試みているところもある。しかし、各種混合食品廃棄物の場合に良好な発酵となっているケースは少ない。

こうしたことから、前出ア-②の原材料を用い破碎・乾燥処理したものと生の食品廃棄物を 1:1 で配合したものとで中規模堆肥化試験を行った。

試験区の構成は次のとおりで、食品廃棄物(生の食品廃棄物+乾燥食品廃棄物)と副資材(木炭)の配合比率は水分調整の効果も考慮に入れて 1:2 としている。

なお、試験区 No. 2、No. 3 は食品廃棄物と副資材の配合比率(容量比)を 1:2 とした。これは、本来は 1:1 で良いところを、食品廃棄物が磨砕されて液状物になってしまったので増量したものである(表 10)。

表 10 試験区の構成

| 試験区      | 堆肥化材料の配合         |                  |                  |
|----------|------------------|------------------|------------------|
|          | No.1             | No.2             | No.3             |
| 食品廃棄物    | 1 m <sup>3</sup> | 1 m <sup>3</sup> | 1 m <sup>3</sup> |
| 乾燥食品廃棄物  | 1                | -                | -                |
| 木炭       | 1                | 2                | -                |
| もみ殻      | -                | -                | 2                |
| 戻し堆肥(種菌) | -                | -                | 2 kg             |

食品廃棄物の水分率は生の食品廃棄物 69.4%と熱風乾燥食品廃棄物 5.5%であるので、これを1:1に混合することにより通常堆肥化スタートの水分として適当と言われる60%をかなり下回る。したがって、堆肥化スタート時点の堆肥化資材の水分含量については問題がない。

一方、原材料の食品廃棄物は肉、油分のやや多いもので、粗脂肪含有率や粗蛋白含有率が高いが、乾燥するとこれらが濃縮され、生のものよりかなり高い値となっている(表 11)。

表 11 食品廃棄物原料の水分含量、粗蛋白含量等

|        | 食品廃棄物(現物) | 乾燥食品廃棄物(現物) |
|--------|-----------|-------------|
| 水分率(%) | 69.4      | 5.5         |
| 粗蛋白(%) | 6.7       | 16.5        |
| 粗脂肪(%) | 7.9       | 20.3        |

堆肥化プロセスでの品温の推移は、No. 1 区の「生の食品廃棄物+乾燥食品廃棄物区」は品温の立ち上がりが遅く、40℃から 60℃の間で推移しており、試験区 No. 2、No. 3 の品温が低下してくる時期にも同様の品温で推移している。すなわち、乾燥食品廃棄物を含む No. 1 区は嫌気性発酵となっており、発酵がだらだらと長く続いている(図 14)。

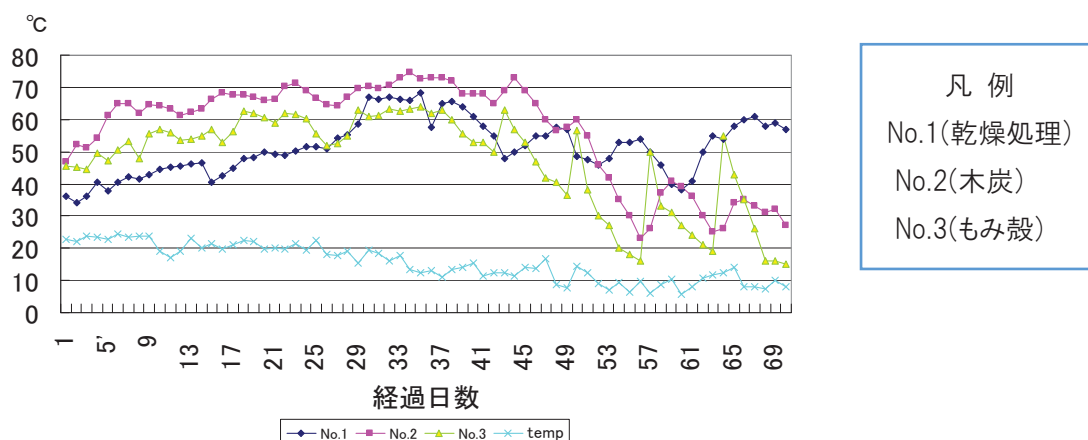


図 14 堆肥化物の品温の推移

発酵開始後 70 日後の堆肥化物の発芽率は、試験区 No. 2、No. 3 については 90%以上と極めて良好であるが、No. 1 区の「生の食品廃棄物+乾燥食品廃棄物区」の発芽率は 14%と極めて悪かった（表 12）。

表 12 各試験区堆肥化物の発芽率等

|           | 堆肥化物 |      |      |
|-----------|------|------|------|
|           | No.1 | No.2 | No.3 |
| 発芽率(%)    | 14   | 100  | 94   |
| pH        | 6.4  | 8.4  | 6.7  |
| EC(mS/cm) | 10.5 | 5.8  | 6.7  |
| C/N比      | 11.2 | 16.8 | 15.7 |

このように、特に油分の多い食品廃棄物では乾燥させると油で固められたような粒状品となり、粒の内部に空気が入りにくく、好気性発酵しにくいと考えられた。

以上のことから、食品廃棄物の処理は、材料の内部に空気を通りやすくするため、破碎処理は効果的であるが、特に比較的脂肪分の多い原材料を熱風乾燥による水分調整をする  
と嫌気性発酵になりやすいと言える。

#### ウ、食品廃棄物の内容物と副資材の配合割合

食品廃棄物の内容物により発酵の進み方が異なるが、多くの堆肥化施設では色々な種類の食品廃棄物が混ざって入ってくるケースが多い。

これまで述べてきたように一般的な弁当製造など業務用の廃棄物では色々な種類の廃棄物が入ってくるが、こうしたケースでは食品廃棄物と副資材の配合割合が 1:1 で好気的な発酵が進みやすかった。しかし、多くの堆肥化施設では日によって廃棄物の入手先の事情などによって食品廃棄物の種類や内容物が変化することが多い。

このため、食品廃棄物の種類や内容物の性状の変化によって堆肥化物の発酵の進み方が変化し、これに対して副資材の配合比率を変える必要がある場合がある。

こうしたことから、食品廃棄物内容物の変化と副資材の配合とがどのように発酵の進み方に影響するかについて試験をした。

食品廃棄物の材料としては特に多く搬入すると問題になりやすい「米飯」と「肉類」を中心に上げた。「米飯」は空気が入りにくい残渣であり、「肉類」は脂肪やタンパク質が多く腐敗が進みやすいとともに、発酵が長引く残渣である。食品廃棄物の試験区構成としては表 14 のとおりである。「米飯」と「肉類」についてそれに「野菜くず」を加えた区、副資材として「木片チップ」とより発酵が進みやすいと言われる「落ち葉」を加えた区を設け、発酵の進み方や発芽率の相違を見てみた（写真）。

これによって、食品廃棄物の内容物によって副資材の配合比率などを判断する目安となると考えられる。

(写真) 小規模堆肥化試験の実施状況



(写真) 副資材として用いた木片チップ



### ①「米飯」主体の場合の発酵の進み方

- 「米飯」のみの場合食品廃棄物:副資材(「木片チップ」)1:3 程度必要であるが野菜廃棄物が同じ容量加わった場合、概ね 1:1 で発酵が進む - (小規模堆肥化試験の結果)

食品廃棄物では「米飯」のみと「米飯」に「野菜くず」を加えた試験区、副資材では「木片チップ」のみ、「落ち葉」を加えた試験区を設け、品温が低下し落ち着くまで試験した。

「米飯」のみの場合には食品廃棄物:副資材(「木片チップ」)の配合比率が 1:4 で発酵が進むが、1:3 でも発芽率はやや低下(84%)するが問題ない状態で発酵が進む(図 15)。

しかし、食品廃棄物の内容が「米飯」に「野菜くず」が等量加わると食品廃棄物と「木片チップ」の配合比率は 1:1.5 でも発酵が好氣的に進み、発芽率も 92%と問題なかった(表 13、14)。

「米飯」に「野菜くず」のような廃棄物が同じ割合で混合された場合は概ね食品廃棄物:副資材の比率は 1:1 程度で好氣的発酵が進みやすい。

その場合、空気の通りやすさの目安となる容積重\*(測定方法は後述)は 0.4 程度であり、食品廃棄物の内容物に変更になった場合には一度容積重を測定してみることが重要である。(\*容積重・・・重量(kg)を容積(l)で割った値である。容積重が小さいと堆肥化資材の隙間が大きいと見なされる場合が多いので通気性の目安として用いられる。ただし、比重の重いゼオライトなどを利用する場合には容積重は適応されない。)

(写真) 「米飯」、「野菜くず」が同容量の試験区



表 13 試験区の構成 (食品廃棄物と副資材の単位 : ℓ)

| 原材料       |       | 試験区 A(米飯) |       |      |      | 試験区 B(肉類) |      |      |      |
|-----------|-------|-----------|-------|------|------|-----------|------|------|------|
|           |       | A1        | A2    | A3   | A4   | B1        | B2   | B3   | B4   |
| 食品廃棄物     | 米飯    | 7.5       | 6.0   | 6.0  | 6.0  | -         | -    | -    | -    |
|           | 肉類    | -         | -     | -    | -    | 6.0       | 5.0  | 5.0  | 5.0  |
|           | 野菜くず  | -         | 6.0   | -    | -    | -         | 5.0  | -    | -    |
| 副資材       | 落ち葉   | -         | -     | 6.0  | -    | -         | -    | 5.0  | -    |
|           | 木片チップ | 22.5      | 18.0  | 18.0 | 24.0 | 24.0      | 20.0 | 20.0 | 25.0 |
| 食品廃棄物:副資材 |       | 1:3       | 1:1.5 | 1:4  | 1:4  | 1:4       | 1:2  | 1:5  | 1:5  |
| 容積重(kg/ℓ) |       | 0.44      | 0.40  | 0.38 | 0.42 | 0.44      | 0.41 | 0.38 | 0.42 |

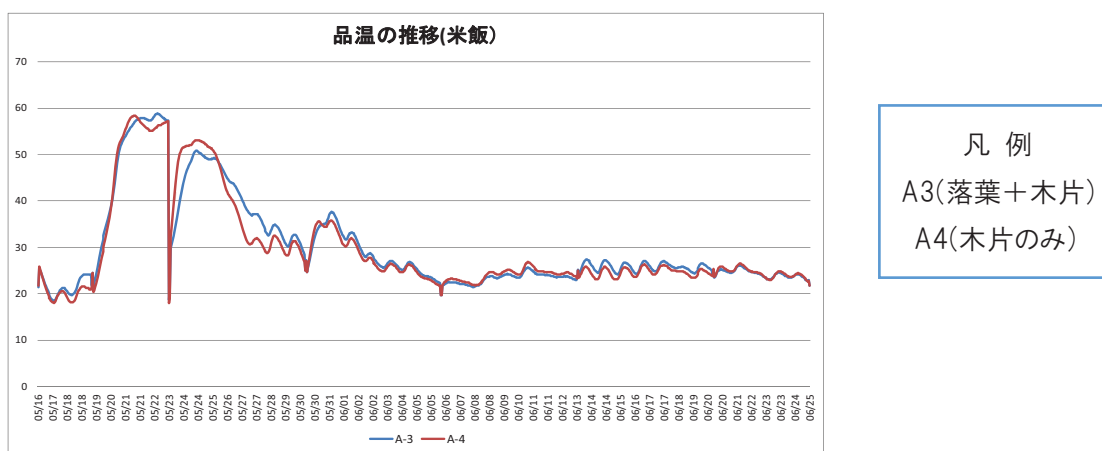


図 15 堆肥化物の品温の推移(米飯)

②「肉類」主体の場合の発酵の進み方

-「肉類」のみの場合、食品廃棄物:副資材(「木片チップ」)1:4 程度必要であるが、野菜廃棄物が同じ容量加わった場合、概ね 1:2 で発酵が進む - (小規模堆肥化試験の結果)

食品廃棄物では「肉類」のみと「野菜くず」を加えた試験区、副資材では「木片チップ」のみと「落ち葉」を加えた試験区を設け品温が低下し落ち着くまで試験した(表 13)。

「肉類」は「米飯」と比較して品温が落ち着くまでにかなり時間を要し、発酵が終了するまでに「米飯」の 2 倍の日数を要している。「米飯」系列が約 1 ヶ月で発酵が終了したのに対し、「肉類」系列の試験区ではその倍の 2 ヶ月を要している(図 16)。

「肉類」のみの場合には食品廃棄物:副資材(「木片チップ」)の配合が 1:4 以内で発酵が進むが、「野菜くず」が加わった場合には食品廃棄物:副資材(「木片チップ」)の配合が 1:2 でも発酵が問題なく進む。副資材として「落ち葉」を加えた場合と「木片チップ」のみの試験区とでは発酵の進み方に大きな差異は見られなかった。

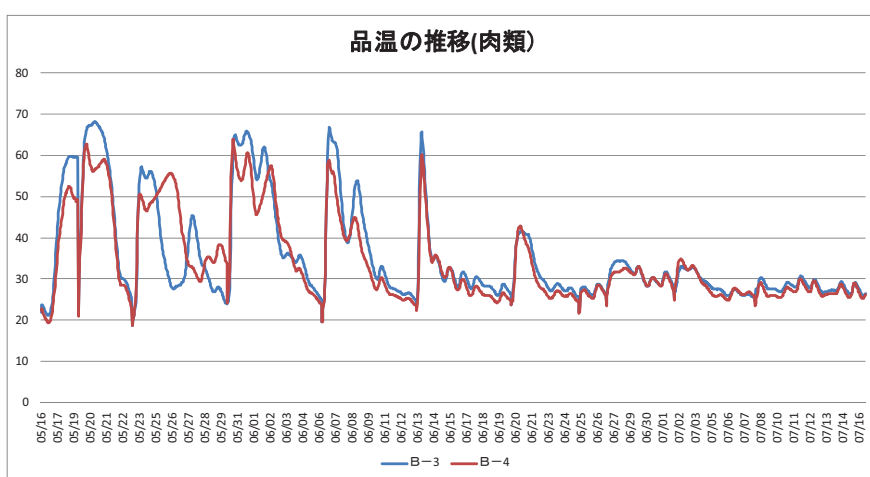
肉類主体の場合、好氣的発酵が進む目安の容積重は 0.4 程度である(表 13、表 14)。

表 14 各試験区の発芽率等

|           | 試験区 A(米飯) |      |      |      | 試験区 B(肉類) |      |      |      |
|-----------|-----------|------|------|------|-----------|------|------|------|
|           | A1        | A2   | A3   | A4   | B1        | B2   | B3   | B4   |
| 発芽率(%)    | 84        | 92   | 100  | 96   | 94        | 100  | 98   | 100  |
| pH        | 7.2       | 6.7  | 7.1  | 6.6  | 7.2       | 6.7  | 7.1  | 7.2  |
| EC(mS/cm) | 0.32      | 0.67 | 0.42 | 0.33 | 1.03      | 1.35 | 1.14 | 0.97 |
| C/N比      | 26.4      | 18.6 | 18.7 | 20.0 | 11.4      | 12.5 | 11.9 | 13.3 |

なお、肉類主体の各試験区の堆肥は塩類濃度(EC)が1.0 mS/cm程度と高くなる(表14)。塩類濃度(EC)が高いと発芽率に影響が出てくるので、実際の堆肥化場面では肉類以外の食品廃棄物と混ぜて堆肥化することが望ましい。

(写真) 肉類の試験区



凡例  
 B3(落葉+木片)  
 B4(木片のみ)

図 16 堆肥化物の品温の推移(肉類)

③一般の業務系食品廃棄物に牛ふんを加えた場合

- 牛ふんを加えると食品廃棄物のみより塩類濃度(EC)が低く使いやすい堆肥が生産できる-  
(中規模堆肥化試験)

実際の堆肥化施設では食品廃棄物原料に牛ふんを加えて発酵を行うことが多い。実際に近い状況で、弁当製造等から排出される食品廃棄物を用いて食品廃棄物に「牛ふん」を加えて中規模堆肥化試験を行った。「牛ふん」との比較のため「おから」区も設け、副資材(木片チップ)の配合割合は一定にして試験を行った。試験区の構成は表 15 のとおりである。

堆肥化試験は品温が低下し攪拌・水分添加しても品温が高まらない時点をもって試験終了とした(図 17)。

食品廃棄物に「牛ふん」を加えた区と食品廃棄物のみとの区とは発芽率には差は見られなかったが、「おから」を加えた区や食品廃棄物のみとの区と比較して堆肥化物の塩類濃度(EC)が低かった。この点では発芽率の点でより使いやすい堆肥になっていると言える(表 16)。

表 15 試験区の構成 (食品廃棄物と副資材の単位 : l)

| 試験区       | 主原料の容積 |     |     | 副資材の容積<br>(木片チップ) | 配合比率 |     |
|-----------|--------|-----|-----|-------------------|------|-----|
|           | 食品廃棄物  | おから | 牛ふん |                   | 主原料  | 副資材 |
| 食品廃棄物+おから | 500    | 250 | -   | 2,000             | 1    | 2.6 |
| 食品廃棄物+牛ふん | 500    | -   | 250 | 2,000             | 1    | 2.6 |
| 食品廃棄物     | 750    | -   | -   | 2,000             | 1    | 2.6 |

表 16 各試験区堆肥化物の発芽率等

|           | 食品廃棄物+おから | 食品廃棄物+牛ふん | 食品廃棄物 |
|-----------|-----------|-----------|-------|
| 発芽率(%)    | 98        | 96        | 96    |
| pH        | 6.8       | 6.7       | 6.5   |
| EC(mS/cm) | 11.5      | 6.5       | 7.1   |

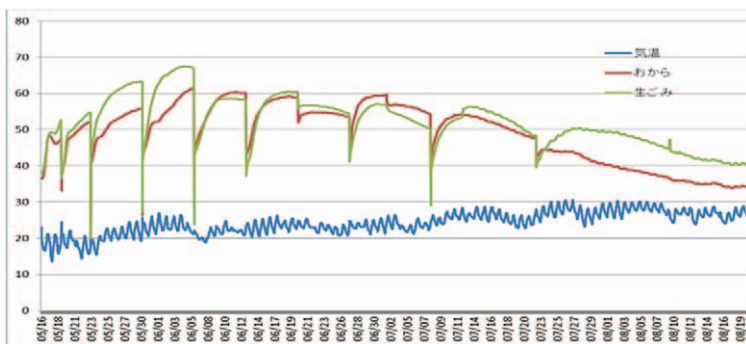


図 17 堆肥化物の品温の推移(食品廃棄物と食品廃棄物+おから)



### 3)食品リサイクル堆肥化施設における食品廃棄物と副資材利用の現状と今後の対応

堆肥化の過程が嫌氣的発酵にならないようにするためには、通気性の確保が重要であり、そのためには「堆肥化材料の調製」を行う必要があることを述べてきた。

これまでの実証試験からは、食品廃棄物と副資材や戻し堆肥の適切な配合割合は、1:1程度が望ましく、肉類等蛋白質含有率や脂肪の割合が高い原料が多い場合には、より好氣的条件にするため副資材の割合を高めることが必要である。

こうしたことを検証するとともに実態を把握するため、実際の食品リサイクル堆肥化施設で食品廃棄物と副資材の配合状況等を調査した。

調査はこれまで食品リサイクル堆肥認証(FR 認証)申請があった堆肥化施設に加え、今回、全国食品リサイクル登録再生利用事業者事務連絡会の構成メンバーの協力を得て行った。

調査の結果は各堆肥化施設では色々な食品廃棄物を受け入れており、食品廃棄物と副資材との配合割合もまちまちであったが、概ねこれまでの実証試験結果が裏付けられた。

#### ア、食品リサイクル堆肥化施設における食品廃棄物と副資材の利用の現状

FR 認証申請の堆肥化施設と全国食品リサイクル登録再生利用事業者事務連絡会で協力いただいた堆肥化施設を合わせて調査し、その中から具体的数字の明らかな施設 28 ケ所についてとりまとめた。

##### ①受け入れている食品廃棄物の種類と特徴

調査を行った堆肥化施設において受け入れている食品廃棄物の種類としては、①色々な種類の食品廃棄物が混合したものを原料としている堆肥化施設が最も多く、そのほか、②コービー粕、おから等事業系のものを中心に扱っている堆肥化施設もいくつかあった。

色々な種類の食品廃棄物の内容としては、「野菜くず、果物、残飯、麺類、惣菜残渣、肉、魚屑など給食施設、食品加工工場、スーパーなどの食品廃棄物」が最も多い。

事業系のものを中心に扱っている堆肥化施設の食品廃棄物としては、「おから、コービー粕、茶殻とともに食品汚泥」が多い。

食品工場の雑排水を活性汚泥処理により発生した食品汚泥を扱っている施設では、食品汚泥を含んだ普通肥料とその他の食品廃棄物のみで製造した堆肥との二種類を製造しているところが見られる。

(写真)色々な食品廃棄物を原料としている施設 (写真)食品汚泥を原料としている施設



## ②副資材の種類

(おが粉等)

堆肥化物の好氣的発酵を促すために用いられる副資材としては、おが粉、おが屑、木材チップ(バーク)、剪定枝チップ、刈草、もみ殻が多く用いられている。

使用例は少ないがその他として、落ち葉、きのこ廃菌床、竹粉碎物、木片の炭化物も用いられている。

(写真) もみ殻



(写真) 刈草



(写真) おが屑



(写真) 落ち葉



(家畜ふん)

食品リサイクル堆肥の配合材料として家畜ふんが利用されるケースが多い。調査を行った堆肥化施設において配合資材として家畜ふんを加えている堆肥化施設が 28 施設中 7 施設

あった。

家畜ふんとしては、主に牛ふんが多く用いられており、鶏ふん、豚ふんを用いているところも見られた。

#### (戻し堆肥)

おが粉等副資材の入手の問題や経費の問題から、できた堆肥を再度堆肥化の水分調整や発酵促進資材として利用している堆肥化施設も見られる。戻し堆肥を利用している施設は28施設中15施設見られた。

戻し堆肥の堆肥化資材の中の配合割合はまちまちで5%~60%までであった。

### イ、食品廃棄物の配合比率が50%程度までの堆肥はコマツナの発芽率が良好

FR 認証申請の堆肥化施設と全国食品リサイクル登録再生利用事業者事務連絡会の構成メンバーの堆肥化施設について食品廃棄物と副資材との配合割合と発芽率の関係を調査した。

その結果、食品廃棄物と副資材(戻し堆肥は副資材扱い)の配合比率は50%程度までの堆肥化施設で製品のコマツナ発芽率が良好で、食品廃棄物の配合比率が50%を超えると発芽率が低下する傾向が見られた。

これまでの実証試験結果の結論である「食品廃棄物と副資材(含む戻し堆肥)の適切な配合割合は、1:1程度が望ましく、肉類等蛋白質含有率や脂肪の割合が高い原料が多い場合には、より好气的条件にするため副資材の割合を高める」ことが裏付けられる結果となっている(図18)。

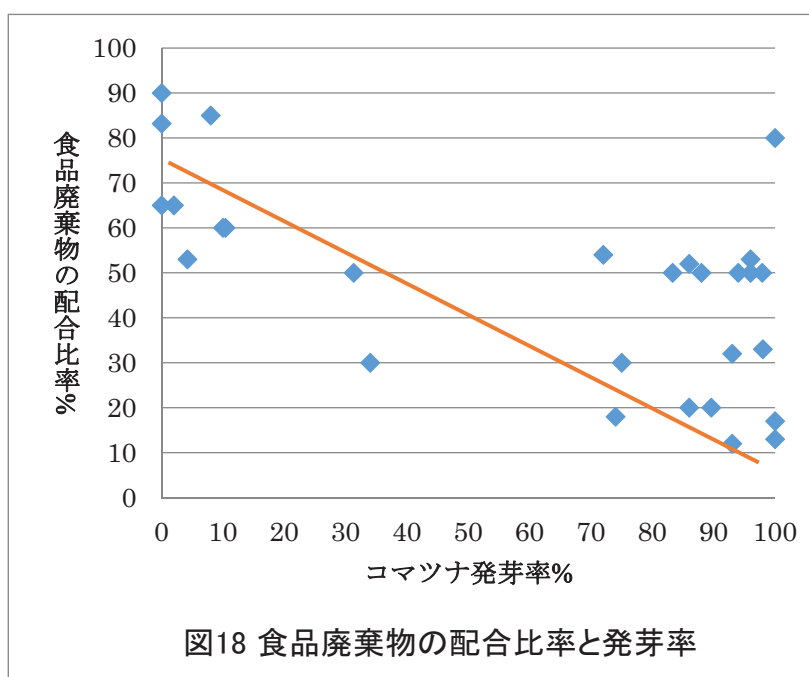


図18 食品廃棄物の配合比率と発芽率

食品廃棄物の配合比率が 12～50%の堆肥化施設では、80%以上の発芽率(FR 認証合格)の施設が 69%であったのに対し、51～90%の堆肥化施設では 80%以上の発芽率(FR 認証合格)の施設が 25%と大幅に低下していた。51～90%の食品廃棄物の配合比率では好気性発酵が難しくなっていると考えられる (表 17)。

今後、こうした調査結果を参考に堆肥化物の調製を行っていくことが重要である。

表 17 発芽率 80%以上の堆肥化施設と食品廃棄物の配合比率

|                 | 食品廃棄物配合の比率           |                     | 計                    |
|-----------------|----------------------|---------------------|----------------------|
|                 | 12～50%               | 51～90%              |                      |
| 発芽率 80%以上の堆肥化施設 | 69%<br>(11 か所/16 か所) | 25%<br>(3 か所/12 か所) | 50%<br>(14 か所/28 か所) |

なお、食品廃棄物の配合比率は 50%以下で発芽率の不良な堆肥化施設は発酵日数が短いものが見られるなど他の要因が考えられた。

(参 考)

1)食品廃棄物の種類別成分の特徴

食品廃棄物の種類別の食品成分組成を現物当りで比較すると、挽肉は粗たんぱくが際立って高く粗脂肪と炭水化物も高い。がんもどきは粗脂肪と粗たんぱくが挽肉に次いで高い。おからは炭水化物が高く粗たんぱくと粗脂肪も含まれている。米飯は炭水化物が著しく高い。食パンは炭水化物が高いが、粗たんぱくと粗脂肪も含まれている。キャベツ、もやし、野菜くずは9割以上が水分である (表 18)。

表 18 主な食品廃棄物の種類とその組成(分析例)

| 種類   | 水分率 (%) | 容積重 (kg/L) | C/N 比 | 現物当たり(%) |       |       |
|------|---------|------------|-------|----------|-------|-------|
|      |         |            |       | 粗脂肪      | 粗タンパク | 炭水化物  |
| おから  | 74.6    | 0.50       | 12.9  | 2.64     | 6.96  | 14.78 |
| 野菜くず | 89.5    | 0.82       | 11.5  | 1.19     | 2.00  | 5.73  |
| 米飯   | 61.2    | 0.94       | 141.6 | 0.08     | 1.00  | 37.69 |
| 挽肉   | 34.3    | 0.97       | 8.3   | 16.82    | 31.47 | 16.33 |
| がんも  | 69.6    | 0.63       | 8.6   | 11.55    | 12.25 | 5.21  |
| もやし  | 96.5    | 0.34       | 8.5   | 0.11     | 1.43  | 1.76  |
| キャベツ | 94.6    | 0.63       | 8.8   | 0.15     | 0.97  | 3.90  |
| 食パン  | 71.0    | 0.24       | 11.9  | 2.06     | 4.35  | 21.84 |

## 2)主な副資材の特徴

副資材の種類により発酵設備への投入時の堆肥化物の通気性、水分条件は変わり、副資材自体に空隙がたくさんあるものほど空隙に空気が溜まり、通気性が保たれる。一般にわら類>もみ殻>おがくずの順にそれ自体に空隙があるばかりでなく、剥離性を持つため、水分が高く、付着、粘着性がある食品汚泥など通気性が悪くなりやすい原料の通気性を改善する。主な副資材の特徴は次のとおりである。

- ①モミガラ：形状・大きさがほぼ均一であり、攪拌作業が容易にできる。硬いケイ酸質層で覆われているために微生物による分解を受けにくい面があり、窒素分が少なく、C/N比が100前後と高めである。通気性を改善する効果の高いことが特徴である。
- ②オガクズ：樹種などにより含有成分や分解性が異なるが、一般に水分が30%程度とやや高く、C/N比が300以上と非常に高くなっている。水分および臭気の吸収能力が大きい特徴がある。
- ③わら類：堆肥、粗飼料、敷料あるいはマルチ材料として農地で広く利用されているが、昨今では、堆肥の材料として利用されるわら類は、家畜の敷料とされたものが多く用いられている。わら類は、オガクズなど木質系の副資材やモミガラに比べて分解されやすく、わら類の中では稲わらが最も分解されやすく、これに次いで大麦わら、小麦わらの順になっている。C/N比は稲わらでは50~70、小麦わらでは120~130、大麦わらでは90~100程度である。
- ④剪定枝葉：生ごみ堆肥の副資材として利用されるケースが増大しつつある。剪定作業は夏季と初冬に集中し、夏季の剪定枝葉は水分が多く柔らかな若葉や生育途中の枝が多く、一方、初冬の剪定枝葉は水分が少なく、硬い古葉や枝が多いので、両者の分解速度には大きな違いが見られる。また、分解速度は樹種によって差があり、一般に広葉樹では速く、針葉樹では遅いと言われている。いずれにしろ剪定枝葉は分解を促進するために、破碎機と粉碎機によって、3cm以下の細かなチップにする必要がある。

### (3)好氣的発酵にしていくための運転管理

堆肥化施設において好氣的発酵による堆肥生産をしていくためには、これまで述べてきたように二つの重要な要件がある。

- ①堆肥化原料の適切な調製・・・堆肥化に用いる材料の通気性、水分条件を整えるための副資材や戻し堆肥の配合割合と材料を均一に混合する。
- ②堆肥化施設の適切な運転管理・・・堆肥化原料を発酵期間中、切返しや通気などの操作により好氣的状況に保って運転管理する。

これら二つの要素が相まって、堆肥化原料の好氣的発酵が行われ、有機物の分解により原料の温度が上がり、かつ高温が維持され安全で衛生的な堆肥が生産される。

堆肥化原料の調製後の運転管理では好氣的発酵を持続していくことと、発酵を止めないよう堆肥化物の水分管理や温度管理をしていくことが重要となる。

### 1)堆肥化装置と発酵管理

堆肥化の発酵プロセスは易分解有機物が分解され、品温が高く維持される一次発酵と難分解有機物が徐々に分解される二次発酵とがある。

一次発酵では堆肥化物を攪拌し空気を送り込んで易分解有機物が速やかに分解するようにしていく必要がある。その方式として大きく①ロータリー等により機械攪拌する方式と、②堆肥化物を堆積しショベルローダー等で攪拌発酵する方式とがある。

また、それぞれの中でも下図のようにいくつかの方式がある。



図 19 主な堆肥化方法の分類

また、二次発酵については堆積発酵を行っているところが多い。

(写真) ロータリー攪拌で一次発酵を実施



(写真) 二次発酵施設



一般に、機械攪拌方式は堆積方式と比較して設備投資や運転管理の電気代などコストが高むが、通気むらが発生しにくく発酵が早く進むなどの特徴がある。

一方、堆積方式は設備投資等のコストが安い、通気ムラなどが発生しやすく、発酵の進み方が遅いという特徴がある。

通気ムラがあると、好気性発酵と嫌気性発酵が同時に進むので均一に有機物が分解されず、堆肥の品質にばらつきができる。

堆肥化物の温度が高温になると分解速度も低下するとともに、水分蒸発が抑制されるので、特に堆積方式では概ね 70℃を超えた時点を目安に適切な切り返しの実施や水分管理を行うことがより重要となる。

そのためには、堆肥化物の温度を測定して管理していくことが重要である。

## 2)発芽率の良い堆肥を製造するための運転管理上の留意点

### ①通気性を確保するとともに通気にムラの出ない管理を行う。

堆肥化施設がロータリー、スクープ方式等機械で攪拌できるタイプでは通気性が保たれやすいが、堆積タイプの堆肥化施設では十分な攪拌(特にスタート時点)がなされていないと好気性発酵がしにくい。特に堆積発酵ではスタート時点で堆肥化材料を均一に混ぜ合わせるとともに、品温の上昇を見ながら適時に攪拌していくことが重要である。

堆肥化施設の床面に通気管を配置する施設では特定の場所だけに空気が通るような通気路ができることがあるので注意が必要である。

### ②発酵日数が十分に確保されている。

発酵日数が短いと、発生している有機酸の分解が進んでおらず、pHが低く発芽率が悪い。また、堆肥化物を短期間に乾燥させたものについては、水分を加えると再発酵し発芽率が悪い。FR 認証ではこうした要因で発芽率が悪く不合格となった例がある。

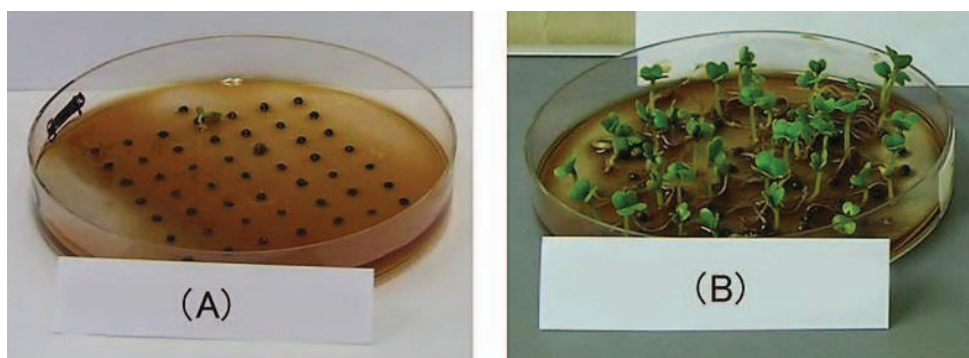
N 堆肥化施設では、当初発酵開始 1.5 ヶ月の堆肥で FR 申請を行い、発芽率が 2%と悪か

った。その後3ヶ月熟成したものでは発芽率が94%となり合格した（表19、写真）。

表19 発酵日数が短くてFR認証不合格となったN堆肥の例

| 発酵方式        | 発酵日数        | 発芽率 |
|-------------|-------------|-----|
| 攪拌タイプの堆肥化施設 | 1.5ヶ月(A)    | 2%  |
|             | その後3ヶ月熟成(B) | 94% |

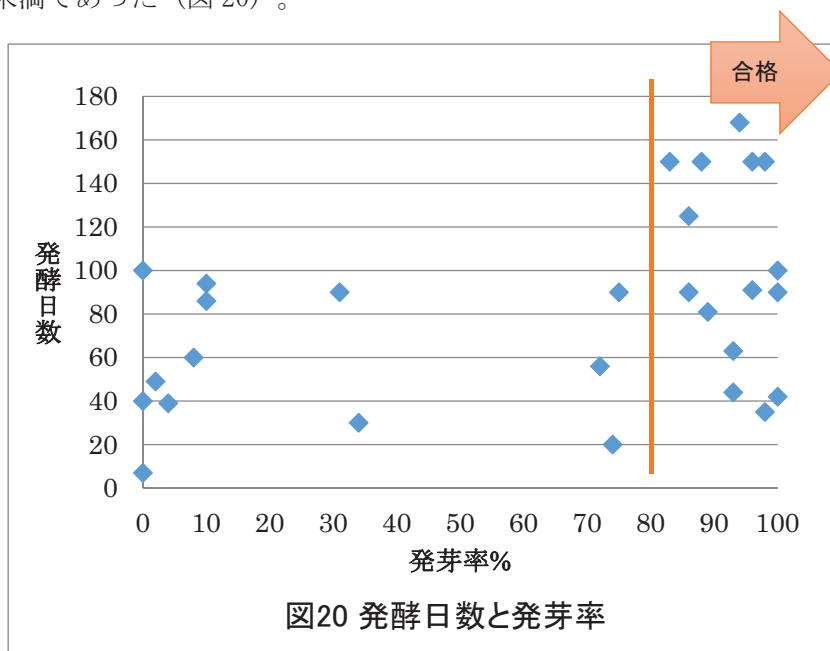
<同一堆肥化施設における発酵日数の相違によるコマツナの発芽率>



(左が発酵日数1.5ヶ月の堆肥(A)、右がその後3ヶ月攪拌熟成した堆肥(B))

FR認証申請の堆肥化施設と全国食品リサイクル登録再生利用事業者事務連絡会の構成メンバーの堆肥化施設について堆肥発酵日数と発芽率との関係を調査した。

全般的に発酵日数の短い施設に発芽率が悪いものも多く、発酵日数が120日(3ヶ月)以上のものは全て発芽率が80%以上であった。また、1ヶ月未満の発酵日数のものは全て発芽率が80%未満であった(図20)。





発酵終了時点の判断は、一般的には品温が気温と重なってから1週間経過した時点とすれば良い。

### ③堆肥化プロセスでの品温の測定と水分管理を適切に行う。

堆肥化物の温度が高温になり過ぎると微生物活性が低下するとともに、水分が蒸発し、発酵がストップする。見た目にはさらさらした性状のものとなって堆肥として出来上がったように見える。しかし、水分を加えると再発酵する。

こうした例はよく見受けられるので、高温になり過ぎ乾燥し過ぎないように水分補給を行うとともに、攪拌により空気を送り込み温度を下げるのが重要である。

品温の連続的な測定は、発酵終了時点の判定のほかに、製造された堆肥に病原菌が存在しないことを証明するためにも必要である。

FR 認証の合格要件として堆肥製造の発酵過程における「発酵温度」が 60℃以上連続7日間以上としているのも病原菌が存在しないことを証明するためのものである。

(参 考)

「病原菌、寄生虫の致死温度と時間」

堆肥化物の温度は、微生物の活動、有機物の分解、水分の蒸発などに関与し、堆肥化の進行状況を示すバロメーターでもある。温度の上昇は有機物の分解速度を高め、水分蒸発を加速する。また、一般には堆肥化物の温度を 65℃以上、48 時間以上保持することにより、病原菌、寄生虫卵を死滅させ雑草種子を不活化させると言われている。

病原菌、寄生虫卵を死滅させ雑草種子を不活化させるためには、温度とともに高温の持続時間が大切である。こうしたことから、病原菌や寄生虫卵の死滅と温度関係のデータを示した（表 20）。

表 20 主な病原菌、寄生虫の耐熱性 (Goueke 1977)

|        | 致死条件  |         | 備 考        |
|--------|-------|---------|------------|
|        | 温度(℃) | 期間(min) |            |
| チフス菌   | 55~60 | 30      | 46℃以上で成長停止 |
| サルモネラ菌 | 56    | 60      |            |
|        | 60    | 15      |            |
| 赤痢菌    | 55    | 60      |            |
| 大腸菌    | 55    | 15~20   |            |
|        | 60    | 15~20   |            |
| ブドウ球菌  | 50    | 10      |            |
| 連鎖球菌   | 54    | 10      |            |
| 結核菌    | 66    | 15~20   |            |
| ジフテリア菌 | 55    | 45      |            |
| ブルセラ菌  | 61    | 3       |            |
| アミーバ赤痢 | 55    |         | シスト        |
| 条虫     | 55~60 | 5       |            |
| 回虫     | 60    | 15~20   | 卵          |

## 5.優良事例に見る高品質食品リサイクル堆肥製造上の留意点

食品リサイクル堆肥の堆肥化施設を現地調査し、その聞き取りの中で他の堆肥化施設の参考となると思われることがいくつかあった。

そうした聞き取り調査の中で良質堆肥製造の参考になると考えられることを中心に整理してみた。

### (1)堆肥化材料の収集

#### (食品廃棄物)

- ◆以前は多くの食品廃棄物をいかに収集するかに力を入れており、結果的にレストランなどの油の多い残渣の割合が多かった。これらは発酵しにくく発酵過程ですごい悪臭がするので、現在では油分の多い食品廃棄物を集める収集業者からの受け入れは中止している。これにより悪臭の発生が改善した。
- ◆食品廃棄物は水分が多いことから以前はそれを火力乾燥させて水分を下げた堆肥化を行っていた。嫌気性発酵によりかなり悪臭がするので、乾燥するのを止めたら改善した。

#### (副資材)

- ◆堆肥化材料として落ち葉を有償で収集し副資材として利用しているが、空気層を保つことができ発酵促進面でメリットがあると感じている。
- ◆近年、里山保全の関係で竹の伐採が必要になってきて、その粉碎物を堆肥化の副資材として用いるようになった。これを利用するようになってから 1 週間ほど発酵が速くなったように感じる。
- ◆製材でかんなをかけたとき発生するかんな屑は、薄くて空気層を多く保つことができ、好気性発酵促進に役立つ。しかし、最近入手しにくくなった。なお針葉樹では発酵を阻害する抗菌性物質が含まれる場合があるので、注意が必要である。

### (2)堆肥化材料の調製

- ◆以前、牛農家の組合が保有していた堆肥化施設を借りて食品リサイクル堆肥を製造している。以前の所有者の堆肥発酵がうまくいかなかった要因の一つに副資材との混合がよい加減であると感じていた。そのため、ショベルローダーで均一に堆肥化材料を攪拌してロータリー攪拌槽に投入するようにした。これにより発酵が改善した。
- ◆堆積型施設で堆肥製造を行っており、ショベルローダーで切り替えしなどを行っている。ショベルローダーの操作で材料を持ち上げ振動させ材料間に空気を入れるようにしていくと温度の上りが速い。特に堆肥化スタート時点での堆肥化物を投入するときショベルローダーの操作により空気を入れるようにする効果は大きいと感じている。
- ◆堆肥化物として一次発酵の堆肥製造過程のものを戻し堆肥として混合している。

一次発酵の堆肥化物の品温は高いとともに、多くの微生物がいるが、これがスタート時点の堆肥化物の品温を上げ微生物の働きを良くし発酵が進むように感じている。

- ◆日によって受け入れる堆肥化材料の種類や水分条件が異なる。堆肥化材料の混合後の水分状態を見て、水分が多いようであればもみ殻を加えて調整している。
- ◆受け入れる堆肥化材料の種類や水分条件は変動するので、それに合わせた副資材の混合が必要とされる。その割合は感覚で把握する面が大きいので材料調整の作業員をできるだけ固定するようにしている。

### (3) 運転管理

- ◆以前の堆肥化施設の持ち主の堆肥の発酵がうまくいかなかった要因の一つとして発酵槽の床に設置してある通気パイプが詰まっていることがわかった。パイプの詰まりを改善するとともに、目詰まりしにくいよう投入資材の中で粗い素材である殻類を下に敷くようにした。小まめな点検管理が必要である。
- ◆堆肥の回転率を良くするため、完熟堆肥とは別に臭いのない一次発酵物を十分熟成していないことを了解の上、安い価格で地元農家に利用してもらっている。
- ◆堆肥利用者の声をできるだけ聞くようにしている。そこから得た堆肥施用による作物の品質向上等の効果や使い方の情報を利用者に提供している。

## 適切な堆肥化材料の調製まとめ

堆肥化物が嫌氣的発酵にならないためには、特に材料の調製が重要であるのでこれまで述べてきた中でポイントとなる点を以下に整理した。

### 1.食品廃棄物と副資材との適切な配合割合

- ◆嫌氣的発酵になりにくくするためには、一般的混合食品廃棄物の場合、食品廃棄物の割合が50%以下で、副資材(戻し堆肥含む)の割合がそれより高い方が良い。その場合の堆肥化資材の容積重比率は0.5以下で0.4程度が望ましい。
- ◆食品リサイクル堆肥認証合格している堆肥化施設や全国食品リサイクル登録再生事業者の堆肥化施設の食品廃棄物と副資材との配合割合と発芽率との関係を見ても、食品廃棄物の割合が50%以下の発芽率が良好である。

### 2.食品廃棄物の内容物に応じた対応

#### (1)原材料の種類

原材料を受け入れる際に食品廃棄物の種類、内容物によって発酵の仕方が変わってくるので、他の食品廃棄物を加えたり、副資材の配合割合を高める必要がある。

- ◆生の野菜くずが殆どの廃棄物の場合では発酵途中で水分が多く発生し、嫌氣的発酵になりやすい。
- ◆肉等脂肪の多い食品廃棄物の場合は発酵の終了が長引く
- ◆食品廃棄物の内容物は日によって変化するので、受け入れる原料の内容物や水分状態を見つつ、適宜副資材の配合を変えていく必要がある。

#### (2)食品廃棄物の処理

発酵促進の目的で食品廃棄物の破砕、乾燥処理を加える場合には以下の点に留意して行う。

- ◆食品廃棄物を捏ねずに破砕することが好氣的発酵を促進させる
- ◆果実類は切断処理しないままであると発酵後期まで形が残りやすい。
- ◆油分の多い食品廃棄物を加熱乾燥すると、内部に空気が入りにくく嫌氣的発酵となりやすい。

#### (4)食品リサイクル堆肥(肥料)の製造施設調査事例

食品リサイクル堆肥認証合格した堆肥化施設や特色ある堆肥(肥料)化材料や方法で堆肥(肥料)を製造している施設を調査した。堆肥(肥料)製造の参考として次に掲げる。

名称： 茂木町有機物リサイクルセンター美土里館  
 堆肥センター所在地： 栃木県芳賀郡茂木町大字九石 641-1

#### (1)肥料製造施設の特色

- ◆原料投入から袋詰までを自動化している。
- ◆醗酵槽の密閉化や脱臭装置による臭気対策をしている。
- ◆大量の原料を処理できる省スペース設計である。

#### (2)堆肥の原材料の種類とその割合

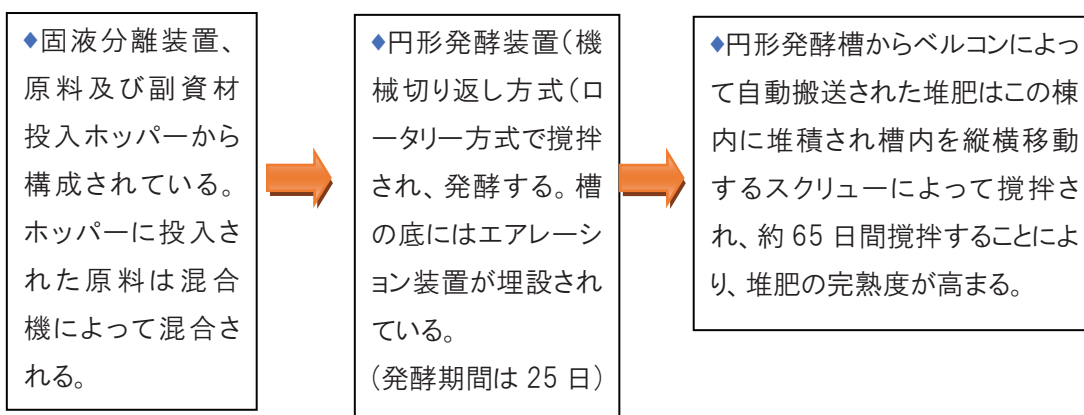
| 種 類          | 主な内容                                   | 混合比率(%) |
|--------------|--|---------|
| 食品廃棄物（含食品汚泥） | 家庭の生ごみ、給食生ごみ、事業系生ごみ（スーパーマーケット、ゴルフ場食堂等） | 10      |
| 家畜ふん         | 牛ふん（搾乳牛）                               | 65      |
| 水分調整資材       | おが粉、落ち葉、もみがら、竹粉、剪定枝                    | 20      |
| 戻し堆肥         |  | 5       |
| 計            |  | 100     |

#### (3)堆肥化のフロー(含む方式)と製造日数

(原材料の搬入)

(一次発酵)

(二次発酵)



(乾燥施設)



◆二次醱酵槽から搬送された堆肥をロータリー式の乾燥によって自然乾燥する。  
水分率が十分低下した良質の堆肥ができる。

(4)製品の肥料成分 (堆肥)

窒素 1.9%、リン酸 2.6%、加里 1.7%、C/N 比 20.1

(5)堆肥の品質 (発芽率、pH、EC 等)

| 製品    | 発芽率(%) | pH   | EC(mS/cm) | 備考 |
|-------|--------|------|-----------|----|
| 美土里堆肥 | 96     | 7.87 | 2.46      |    |

(6)堆肥の品質向上に向けた取組

1)醱酵管理

- ◆日によって変化する材料の水分状態を観察し籾殻の投入量を加減している。
- ◆竹の粉碎物を資材として投入することにより発酵が促進された。
- ◆製品時水分率を 50%程度に管理している。

2)その他

- ◆美土里堆肥利用者で優れた農産物を生産している農家に美土里堆肥使用していることがわかるシールを配布している。(シールを付けた農産物を道の駅等で販売)

(7)主な販売先、利用者の反応

- ◆茂木町を始め近隣の町の農家にも販売している。茂木町の 60%の農家が「美土里堆肥」を使用しており、無臭でサラサラしていて、扱いやすいと好評である。またハクサイ、ダイコン、ネギなどに使った農家は今までになく良くできて、虫がつかないと喜ばれている。

(写真)

(一次発酵 円形醱酵装置)



(二次発酵攪拌機)



(おが粉製造機)



名称：(有)ドンカメ

堆肥センター所在地：栃木県芳賀郡芳賀町大字稲毛田 2066-3

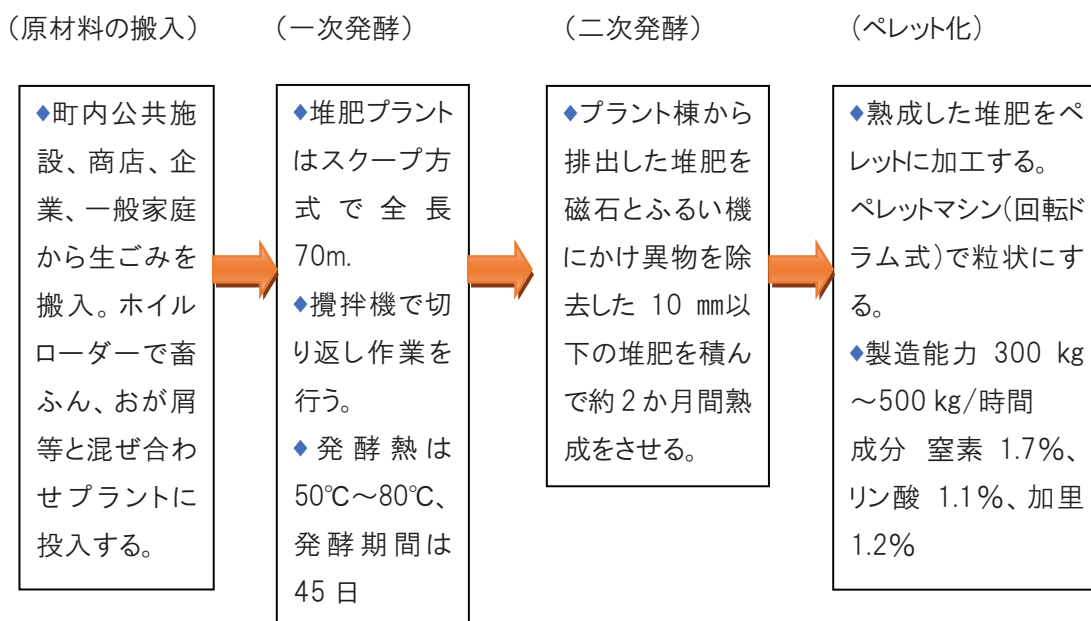
### (1)肥料製造施設の特色

- ◆高温好気性の高速堆肥化施設。攪拌機で繰り返し作業を行う。
- ◆排出した堆肥を磁石とふるい機にかけ異物を除去し 10 mm以下の堆肥を作る。

### (2)堆肥の原材料の種類とその割合

| 主な種類         | 主な内容                     | 重量混合比率(%) |
|--------------|--------------------------|-----------|
| 食品廃棄物（含食品汚泥） | 町内公共施設、商店、企業、一般家庭、給食の生ごみ | 23        |
| 家畜ふん         | 牛ふん、鶏ふん                  | 33        |
| 水分調整資材       | おが屑、籾殻、草、わら、落葉、剪定枝チップ    | 11        |
| 戻し堆肥         |                          | 33        |
| 計            |                          | 100       |

### (3)堆肥化のフローと製造日数



### (4)製品の肥料成分)

窒素 1.0%、リン酸 0.7%、加里 0.8%



### (5)堆肥の品質

| 製品     | 発芽率(%) | pH  | EC(mS/cm) | 備考 |
|--------|--------|-----|-----------|----|
| 地力 効太郎 | 98     | 8.7 | 7.1       |    |

### (6)堆肥の品質向上に向けた取組

#### 1)醗酵管理

◆原材料を混合後速やかに堆肥の温度を 60℃以上に上げることが重要であり、攪拌機による切返し作業や戻し堆肥を活用することによって攪拌・通気を十分行っている。その結果 2 日目に 60℃に上がり、1 ヶ月間 65℃を維持している

#### 2)その他

### (7)主な販売先、利用者の反応

◆町内の生産農家に販売されている。特にペレット化した「粒太郎」は機械散布（ブロードキャスター等）に最適で堆肥の投入が楽に行えると好評である。

#### (写真)

(生ゴミ混合ピット)



(プラント棟)



(堆肥舎)



(ペレット成型機)



(おがくず脱臭機)



(おがくず・もみがら)



(草・わら・落葉・  
剪定枝チップ)



(牛ふん・鶏ふんピット)



名称：(株)水口テクノス

堆肥センター所在地：滋賀県甲賀市水口町松尾 362-28

### (1)肥料製造施設の特色

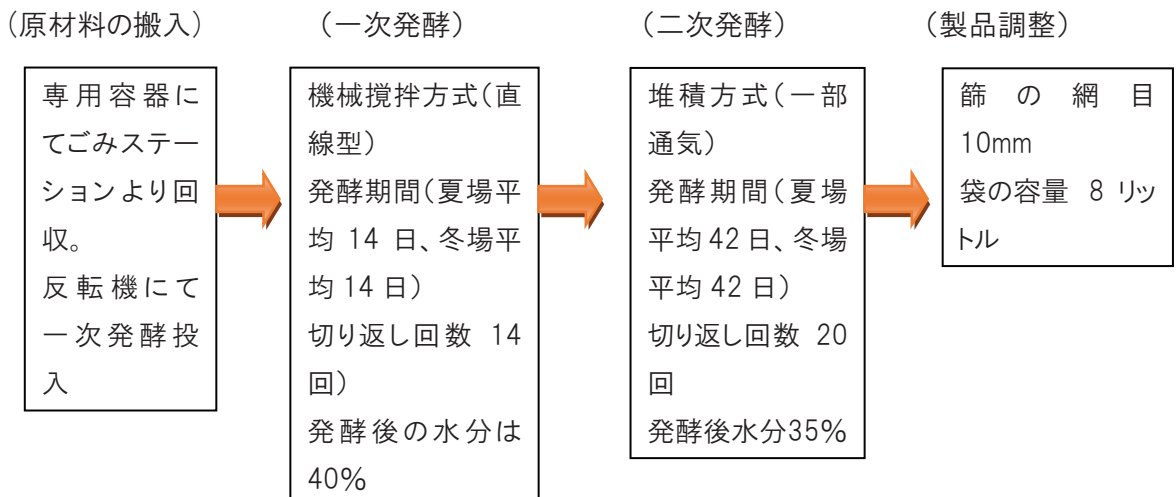
生ごみ循環エコロジーシステムの工程はいたってシンプル

- ◆1 次発酵処理施設の散水は液肥入りの処理水を散水するので悪臭がでない。
- ◆1 次発酵処理施設等から出る臭気ガスは生物脱臭塔で脱臭され、汚水は曝気槽を経て処理水となり再利用するので施設外にでない。

### (2)堆肥の原材料の種類とその割合

| 種類           | 主な内容         | 混合比率(重量%) |
|--------------|--------------|-----------|
| 食品廃棄物(含食品汚泥) | 家庭系生ごみ(台所残さ) | 28        |
|              | 事業系生ごみ       | 27        |
| 家畜ふん         |              |           |
| 水分調整資材       | 剪定枝・草        | 11        |
| 戻し堆肥         |              | 34        |
| 計            |              | 100       |

### (3)堆肥化のフロー(含む方式)と製造日数



### (4)製品の肥料成分(堆肥)

窒素 2.7%、リン酸 1.2%、加里 1.8%

### (5)堆肥の品質

| 製品   | 発芽率(%) | pH   | EC(mS/cm) | 備考 |
|------|--------|------|-----------|----|
| コンポ君 | 94     | 8.28 | 5.74      |    |

### (6)堆肥の品質の向上に向けた取組

#### 1)発酵管理

- ◆家庭での生ごみ専用容器に生ごみと種堆肥をサンドイッチ方式にしていることや切返し回数を34回行っていることで通気性が良くなり高い醗酵温度を維持している。

#### 2)その他

- ◆家庭でのプロセス要領に従い生ごみと種堆肥をサンドウィッチ方式で密封できるバケツ等に入れる。このため堆肥センターで保管する場所などの問題もない。

### (7)主な販売先、利用者の反応

- ◆一般家庭（98%）、その他（2%）に無償配布している。
- ◆15kg入袋、フレコンバッグ(900kg入)、バラ(1000kg)
- ◆主な販売先：水稲・野菜農家、直売所
- ◆利用農家の感想：野菜農家から：甘くなった、味が良くなった、日持ちが良くなった  
米農家から：根張りが良くなった、イモチ病が減った  
花農家から：花に艶がでた、色、艶が良くなった。  
という声が寄せられている。

(写真)

(事業系生ごみの収集状況)



(原料搬入・混合状況)



(一次発酵処理施設)



(二次醗酵処理施設)



名称: ユニバーサル企画(株)

堆肥センター所在地: 神奈川県秦野市東田原 478-10

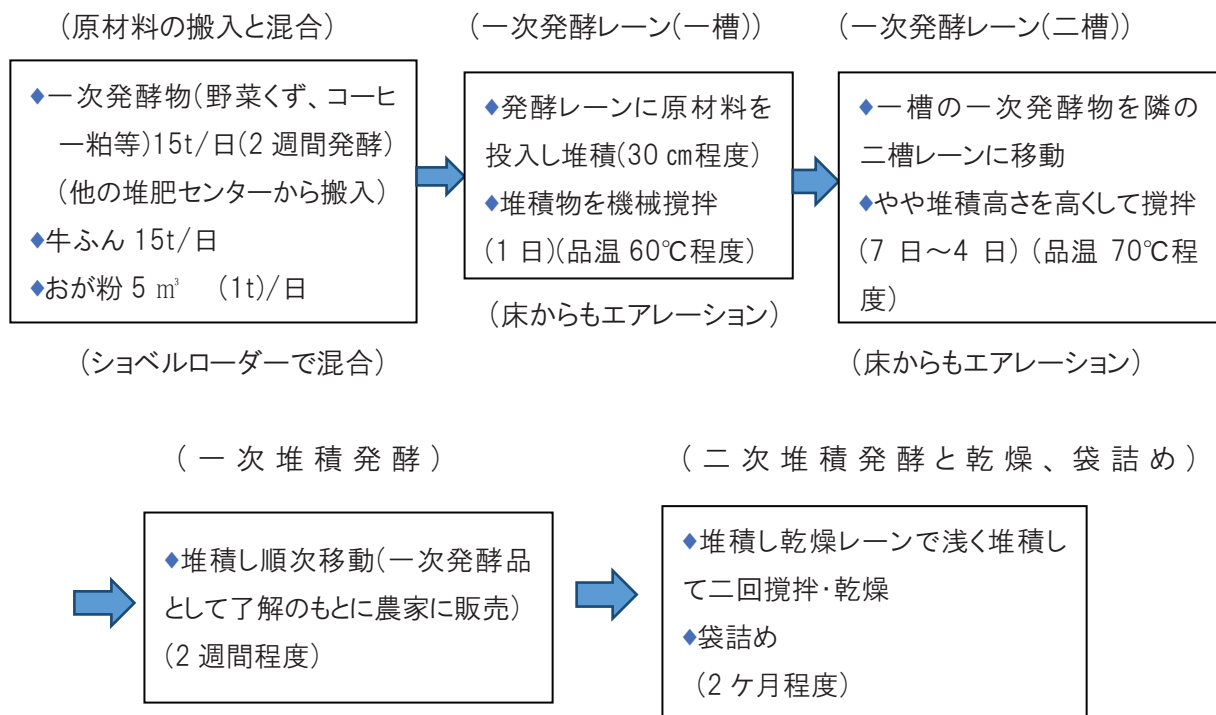
### (1)堆肥製造施設の特色

- ◆野菜くず、コーヒー粕、茶殻の食品廃棄物と牛ふん等家畜糞尿を原料とした堆肥(特殊肥料)とそれに食品汚泥を加えた普通肥料を製造している。
- ◆県内 3 ケ所に堆肥化施設を有しており、一次発酵物を他の堆肥センターの戻し堆肥(種菌)として活用するなど有機的に運用している。
- ◆堆肥の発酵が良いことから、堆肥製造施設からの臭いの発生は極めて少ない。

### (2)堆肥の原材料の種類とその割合(秦野堆肥センターの例)

| 主な種類        | 主な内容                | 重量混合比率 |
|-------------|---------------------|--------|
| 野菜くず        | 野菜くずをオーガで脱水しているもの多い | 24 %   |
| コーヒー粕、茶殻    |                     | 24     |
| 牛ふん、馬糞      | 搾乳牛ふんの割合が多く、水分高い    | 24     |
| おがくず等       | おがくず                | 2      |
| 戻し堆肥(一次発酵品) |                     | 26     |
| 計           |                     | 100%   |

### (3)堆肥化のフローと製造日数(秦野堆肥センターの例)



#### (4)製品の肥料成分（堆肥）

窒素 2.6%、リン酸 1.1%、加里 1.8%、C/N比 11

#### (5)肥料の品質(発芽率、pH、EC等)

| 製品     | 発芽率(%) | pH  | EC(mS/cm) | 備考 |
|--------|--------|-----|-----------|----|
| 一次発酵品① | 96     | 8.3 | 2.5       |    |
| 製品出荷品② | 96     | 8.6 | 3.7       |    |

#### (6)堆肥の品質の向上に向けた取組

##### 1)発酵管理

- ◆原材料を混合後速やかに堆肥化物の温度が 60°Cに上げることが特に重要である。  
そのため、堆肥化原料の均一な混合と、一次発酵品(戻し堆肥)を活用し、攪拌・通気を十分行っている。

(主な内容)

- ①一次発酵物+牛ふん+おが粉の原材料をショベルローダーで十分混ぜ合わせる。均一に混合させることが大切である。
- ②一次発酵品(1~2週間発酵)を戻し堆肥として利用している。一次発酵品は品温が高くこれを加えることによって微生物の発酵促進と水分蒸発、種菌の混入効果が期待される。

##### 2)その他

- ◆堆肥の回転が重要であるので一次発酵品で未熟であることを了解してもらって地域の野菜農家に安く販売している。

#### (7)主な販売先、利用者の反応

- ◆主な販売先： 近隣地域の露地野菜農家、肥料販売業者
- ◆利用農家の感想： 野菜農家からは野菜が甘いという声や土壌病害が抑制されるという声が寄せられているとのことである。

(写真) 堆肥化のプロセス

① 原材料搬入と混合



② (一次発酵レーン(一槽))



(一次発酵レーン(二槽))



品温 60℃以上

③ (一次堆積発酵)



(一次堆積発酵物を近隣農家が軽トラックで購入に来ている)

④ (二次堆積発酵と乾燥、袋詰め)



名称：(株)熊本清掃社 バイオプラザなごや

堆肥センター所在地：名古屋市港区潮見町 37-10

### (1)肥料製造施設の特色

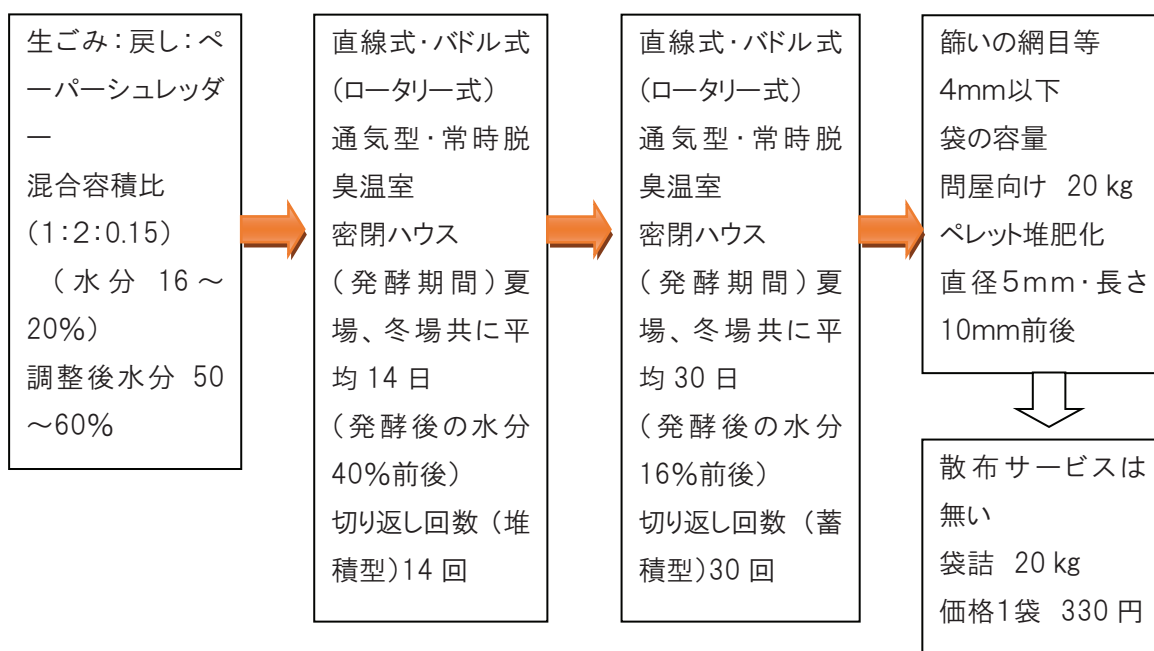
- ◆生ごみ肥料化の3大課題「分別、脱臭、品質」を克服している。
- ◆最新鋭分別機による除袋・異物除去システムで袋入りやパック・トレー入り生ごみも処理可能
- ◆最先端の技術の脱臭装置と水処理施設を完備し、悪臭や汚水を外に場外に出さないクロード式処理システムを採用

### (2)堆肥の原材料の種類とその割合

| 種類           | 主な内容  | 混合比率(%) |
|--------------|---|---------|
| 食品廃棄物（含食品汚泥） | ホテルの残飯・コンビニの賞味期限切れ弁当<br>飲食店の食品廃棄物。食品スーパーの売れ残り | 32      |
| 家畜ふん         |   |         |
| 水分調整資材       | ペーパーシュレッダー                                    | 5       |
| 戻し堆肥         |   | 64      |
| 計            |   | 100     |

### (3)堆肥化のフロー(含む方式)と製造日数

(原材料の受け入と調整)      (一次発酵)      (二次発酵)      (製品調整)



#### (4)製品の肥料成分(堆肥)

窒素 2.4%、リン酸 0.83%、加里 0.88%、C/N比 11

#### (5)堆肥の品質

| 製品      | 発芽率(%) |
|---------|--------|
| グリーンサブリ | 94     |

#### (6)堆肥の品質の向上に向けた取組

##### 1)発酵管理

通気型の密閉ハウスで発酵させていることや、堆肥化施設の屋根に太陽熱パネルを設置していること、戻し堆肥を60%以上も使用していることで発酵温度を上げるための管理をしている。

##### 2)その他

#### (7)主な販売先、利用者の反応

- ◆主な販売先：農家、農協、ホームセンター、園芸店、肥料販売会社（商社）、
- ◆利用農家等の感想：圧縮成型したペレット状の「グリーンサブリ」機械撒きができるので省力化につながると好評である。
- ◆名古屋市内の小学校給食12万3000食分の献立には、年2回、「おかえりやさいの日」が設けられるなど、地域の大きな取組身として着実に広がっており、グリーンサブリが将来を担う子供たちの環境教育や職業にも役立つと好評である。

(写真)

(堆肥化施設の全景)





名称:株式会社エコデザイン研究所

堆肥センター所在地:高知県高知市土佐山弘瀬 3345 番 1

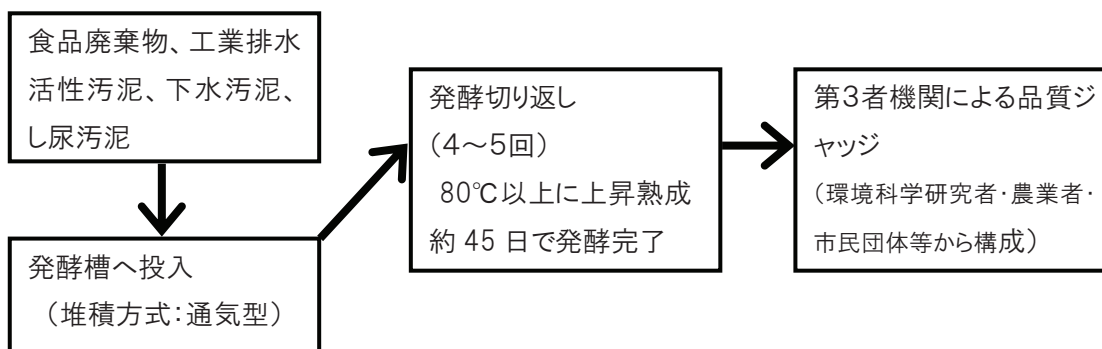
### (1)肥料製造施設の特色

- ◆汚泥、動植物性残渣、食品廃棄物、養殖死魚等を原料とし、YM菌を用いた超高温好気性発酵方式による肥料化を行っている。発酵の状態は良く、臭いの発生は少ない。

### (2)肥料の原材料の種類とその割合

| 主な種類             | 主な内容                                   | 重量混合比率       |
|------------------|--|--------------|
| 食品廃棄物<br>(含食品汚泥) | 食品排水活性汚泥(スーパー、養殖魚)                     | 15%          |
|                  | 工業排水活性汚泥(乳業、食肉ハム、鳥加工、魚、豆腐、酒造、PAC、高分子系) | 40%          |
| 有機廃棄物            | 下水汚泥                                   | 35%          |
|                  | し尿汚泥                                   | 10%          |
| 戻し堆肥             |  | (1:1 or 2:1) |
| 計                |  | 100%         |

### (3)肥料化のフローと製造日数



### (4)製品の肥料成分(汚泥発酵肥料)

窒素 3.6%、リン酸 7.0%、加里 1.0%、C/N比 5

#### (5)肥料の品質の向上に向けた取組

◆YM 菌を用いた 90℃に達する超高温好気性発酵により、雑草や種子を死滅させることで安心して使用できる品質を維持している。

また、製造肥料の活用法についての資料を配布し、作物への効果的な施用方法を提案している。

#### (6)主な販売先、利用者の反応

◆主な販売先：高知市内の直売所に 15kg 袋を販売

近隣地域の野菜農家、水稻農家、柑橘類農家等

◆利用者のヒアリングにより下記の反応が得られている。

- ・甘くなった、味が良くなった
- ・日持ちが良くなった
- ・根張りが良くなった
- ・土壌改良効果があった、土が柔らかくなった 等

(写真)



(工場内の様子)



(高い発酵温度)

名称：株式会社ロイヤルアイゼン

堆肥センター所在地：愛媛県松山市萩原乙 24-3

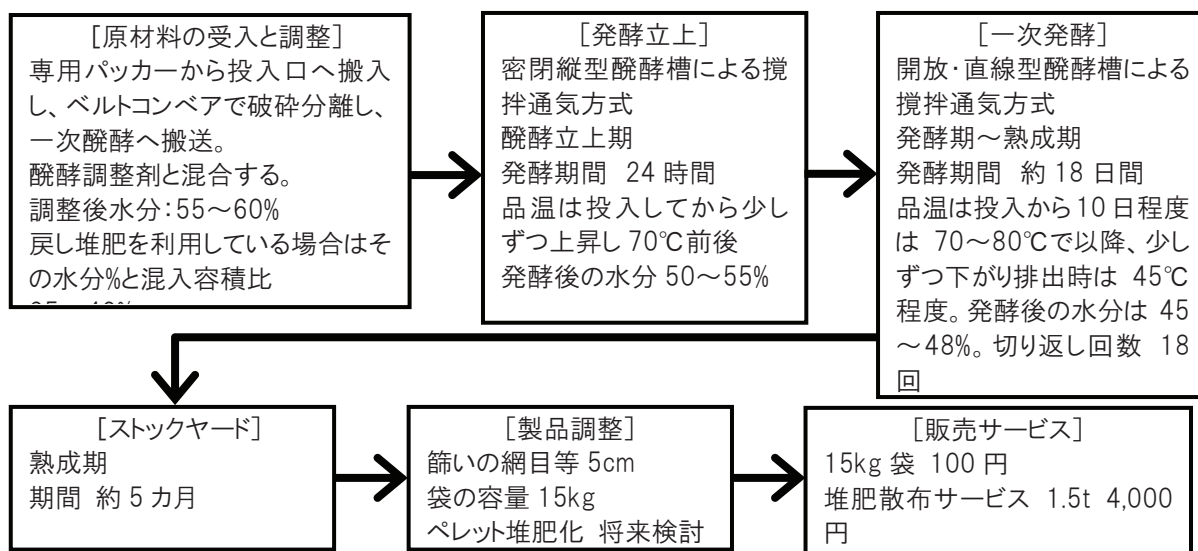
### (1)堆肥製造施設の特徴

- ◆高速醗酵堆肥化プラントであり、一次醗酵槽では収集した動植物性廃棄物と醗酵促進剤を混合し、醗酵環境を整え、エア供給と攪拌を 24 時間行う。醗酵時に発生する臭気を外部に漏らさないために密閉式にしている。

### (2)堆肥の原材料の種類とその割合

| 主な種類   | 主な内容         | 重量混合比率% |
|--------|--------------|---------|
| 食品廃棄物  | 野菜・果物くず      | 70%     |
|        | ごはん・うどん類・パン類 | 10%     |
|        | 総菜関係         | 10%     |
|        | 肉類・魚類        | 5%      |
|        | 嗜好品          | 5%      |
| 家畜ふん   | 豚ふん          | 15.6%   |
| 水分調整資材 | 剪定くず         | 14.9%   |
| 戻し堆肥   |              | 19.5%   |
| 計      |              | 100.0%  |

### (3)堆肥化のフローと製造日数



### (4)製品の肥料成分（堆肥）

窒素 2.4%、リン酸 1.7%、加里 1.9%、C/N 比 15

#### (5)堆肥の品質の向上に向けた取組

- ◆夏季はキウイフルーツやスイカ等の水分の多い青果物の残渣が増えるため、水分調整を別処理で対応し発酵の安定に努める。
- ◆近隣地域の農家・小売業（スーパー）と協力し、食品リサイクルを通じて循環型社会の構築を目指す協議会を立ち上げている。製造した堆肥を農家が使用し、その作物がスーパーの店内に並ぶことから品質向上のための努力が求められている。

#### (6)主な販売先、利用者の反応

- ◆主な販売先：15kg 袋を松山市内の3か所で販売（100円）  
（工場へ軽トラによる持ち帰りの場合は無料）
- ◆利用者の反応：製造堆肥の施用によって、特にタマネギの食味向上（甘味が良くなる）が認められた。農家の所得が増え、タマネギ産地（風早）の活性化に貢献している。

（写真）



（工場内（一次発酵槽）の様子）



（剪定枝を専用の重機で細かく裁断）

名称: 丸吉産業(株)

堆肥センター所在地: 茨城県稲敷市駒塚 1770-1

### (1)肥料製造施設の特色

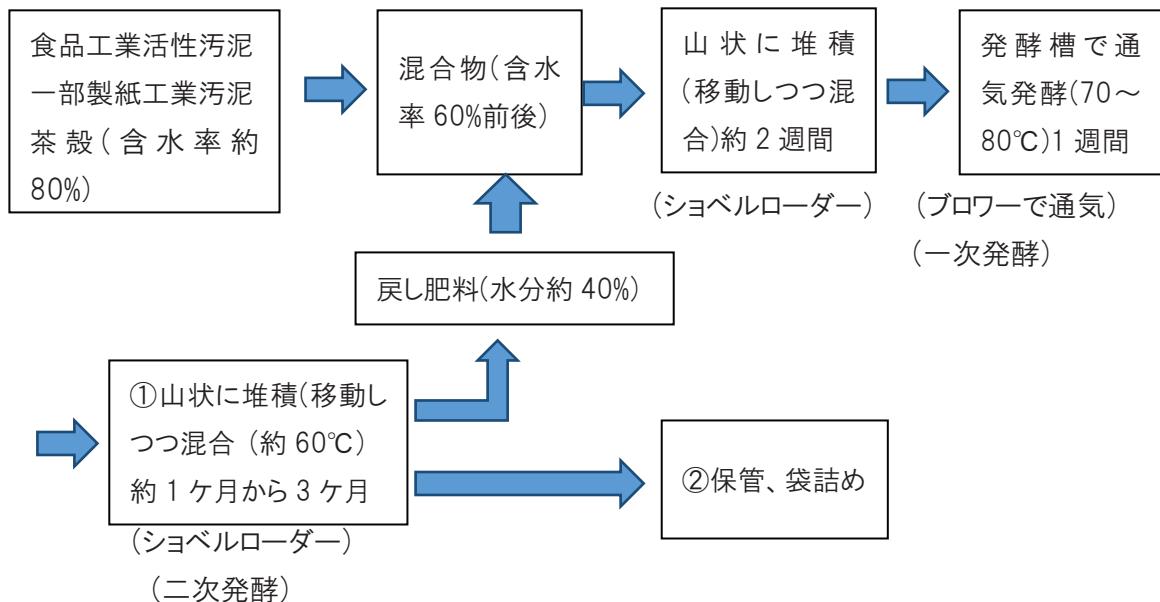
- ◆食品工業排水の活性汚泥や茶殻等を原料として発酵させて普通肥料を製造している。
- ◆近隣に宅地はあることから、臭いの発生にはかなり気を配っており、肥料製造施設からの臭いの発生は極めて少ない。

### (2)肥料の原材料の種類とその割合

| 種類                       | 主な内容             | 混合比率   |
|--------------------------|------------------|--------|
| 食品工業排水活性汚泥<br>ごく一部製紙工業汚泥 | 乳製品工場、パン工場等の活性汚泥 | 20~25% |
| 茶殻、コーヒーかす                |                  | 20~25% |
| 戻し堆肥                     |                  | 50~60% |
| 計                        |                  | 100%   |

### (3)肥料化のフロー(含む方式)と製造日数

(原材料の搬入)



### (4)製品の肥料成分 (汚泥発酵肥料)

窒素 2.8%、リン酸 1.9%、加里 1.0%、C/N比 10



(写真) 原料混合堆積      発酵層(ブローワーで通気)      堆積発酵

#### (5)肥料の品質(発芽率、pH、EC 等)

| 製 品     | 発芽率(%) | pH  | EC(mS/cm) | 備 考                             |
|---------|--------|-----|-----------|---------------------------------|
| 二次発酵初期① | 63     | 8.3 | 3.2       | 肥料として販売しているので発芽率<br>で問題になることはない |
| 製品出荷品②  | 100    | 7.2 | 5.2       |                                 |

#### (6)肥料の品質の向上に向けた取組

◆微生物の豊富に存在する肥料の製造を目指しており、二次発酵期間に自社培養の光合成細菌を噴霧している。また、近隣に住宅があることから臭いの少ない好気性発酵になるよう心がけている

##### 1)発酵管理

◆食品工業排水活性汚泥など原材料は搬入物ごとに水分含有率が異なる。(80~90%)

好気性発酵にもっていくため、水分含有率を約 60%前後にもっていくよう戻し肥料の量を調整している。戻し肥料も二次発酵で堆積しているものの中でできるだけ孔隙のあるものを選んでいく。また、茶かすは水分が多いので、できるだけほぐして空気が入るようにしている。(その加減は専門のオペレーターの長年の経験による面が多い)

##### 2)その他

◆おがくず、選定枝は製品の品質が不均一になりやすいので用いない。

◆食品工業排水活性汚泥の凝集剤として高分子凝集剤が用いられているので、JAS 有機資材として適合していないことを利用農家に伝達している。

#### (7)主な販売先、利用者の反応

◆年間約 3,000t 出荷、汚泥発酵肥料は 15 kg 包装形態で販売

◆主な販売先:近隣地域のゴルフ場、露地野菜農家、施設野菜農家

◆利用農家の感想:野菜農家からは味の良いものが収穫できているという声や土壌病害が抑制されるという声が寄せられているとのことである。

## (参 考)

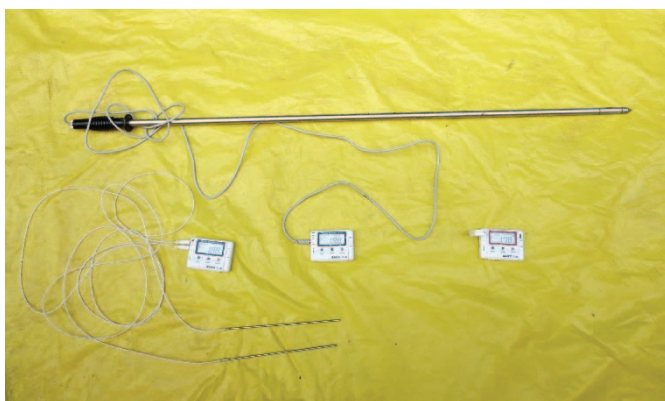
### (1)堆積化物の品温の測り方

各種の温度計が発売されているが、堆積期間を通して品温を測定するならば、「おんどとり」が簡便である。

「おんどとり」本体は単3アルカリ電池1本で約1年間連続して、温度で2チャンネル、温度と湿度で各1チャンネルの測定・記録が可能である。軽量小型なので設置場所を選ばず持ち運びも容易である。記録されたデータは付属のソフトウェアによってパソコンに読み込むことによって、グラフや表を簡単に作成することができる。

堆積物の品温を測定するには、「おんどとり」に付属温度センサーを接続して、センサーの感温部を堆積物内部に直接挿入する。「おんどとり」本体の電源スイッチを ON にしてから、INTERVAL ボタンにより記録間隔を設定する。ボタンを押すと記録間隔が表示される。堆積物では通常 60 分とする。次に「REC/STOP」ボタンを 3 秒押し続けると、REC マークが点灯し、記録を開始する。測定の終了時には電源を OFF にする。

付属のソフトウェアを用いて、記録されたデータを吸い上げて、パソコンに入れてデータのグラフ化、表作成、印刷などの処理を行います。記録データはテキスト形式でファイル化できるので、Excel などの表計算ソフトや解析ソフトでもデータを容易に移動して使用することができる。



上段 棒状のセンサ (たいひ君)

中段 「おんどとり」本体  
右は温度・湿度測定用

下段 ステンレス保護管センサ

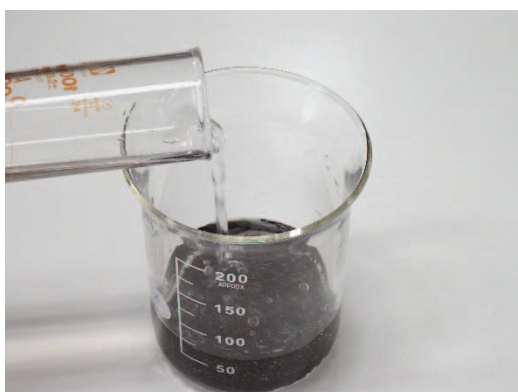
## (2)コマツナ種子発芽率の測り方(熱水抽出法)

シャーレ(直径 90mm) に濾紙(直径 84mm) を敷いて、その上にコマツナ種子 50 粒を載せて予め準備しておく。発芽試験専用のシート「たねピタ!」が発売されているので、これを用いると正確な粒数の装着が可能で、便利である。

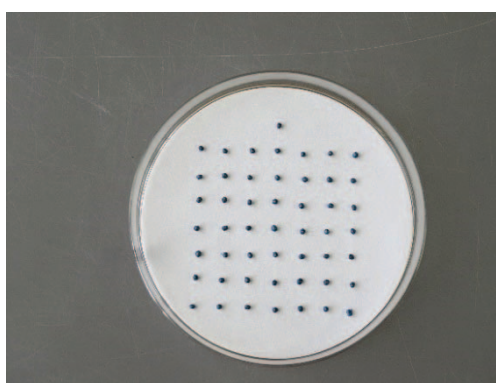
堆肥の生試料 10 g を計って 200ml のビーカーないし三角フラスコに入れ、沸騰水 100ml を加え、アルミホイルで蓋をする。1 時間静置後、ガーゼを 2 枚重ねてろ過する。ろ液 10ml をシャーレに分注する。対照として水 10ml 入れたものも用意する。

シャーレに蓋をして室温下に置き、3~6 日後に種子の発芽率を測定する。

### ① 熱水をビーカーに移す



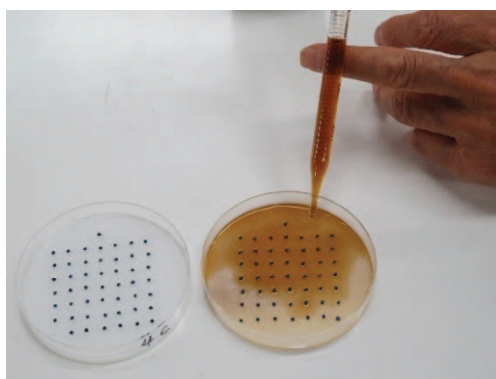
### ② コマツ菜種子 50 粒シャーレに並べる



### ③ 調査対象堆肥に熱水注ぎガーゼでろ過



### ④ 堆肥抽出液をシャーレに注ぐ





### (3)容積重の測り方

容積重は重量（キログラム）を容積（リットル）で割った値で、仮比重とも言われている。容積重が小さいと隙間が大きいとみなされる場合が多いので、通気性の目安として用いられる。しかし、比重の重い資材、例えば砂やゼオライトなどを利用する場合には、容積重を用いることはできない。

容積重を計るには、10 リットル程度のバケツと秤を用意する。最初にバケツの重さを計る（風袋を0にできる秤であれば0とする）。

原料をバケツの半分程度まで入れて、バケツを5回タッピングする。さらに原料を追加してバケツの上まで入れ、バケツを5回タッピングする。上面が平らになるように原料をならして、重量を計る。10 リットルで5キログラムの重量であれば、容積重は0.5となる。

主原料の生ごみと副資材を混合して堆肥を製造する際に予め容積重を測定して 0.5 以下になるよう生ごみと副資材の混合割合を決めることも、好気性発酵の目安になる。

#### ①バケツ(10ℓ)の重さを測る



#### ②堆肥化原料をバケツに入れる



#### ③バケツ表面と同じ高さにする



#### ④堆肥化物+バケツ重量を測る



## Ⅱ 食品リサイクル堆肥の付加価値向上

### 1.食品リサイクル堆肥(肥料)の土壌病原抑止力

#### (1)堆肥等有機物と土壌病害の抑制

堆肥をはじめとして、良質な有機物の施用は一般に根圏の微生物多様性をもたらし、土壌病害を抑制する効果がある。各種有機物施用と土壌病害の発生についての多くの試験事例からその関連性をまとめた報告がある。(松田 1981)

これによると、施用した有機物の種類(鶏糞、豚糞、牛糞、バーク堆肥類、青刈り作物など)により、発病が軽減される病害と助長される病害とがあるとしている。生の畜産廃棄物と比較して堆肥施用の方が病害軽減事例数が多い傾向が見られている。

試験事例の報告が最も多かったフザリウム菌による土壌病害発生について、有機物の施用量と発病との関係を解析した結果、キュウリつる割病、トマト萎凋病、ダイコン萎黄病、イチゴ萎黄病などに対して、消石灰、石灰質の有機物、カニ殻、エビ殻およびキチンは作物の種類を問わず安定した病害抑制効果が認められたとしている(表 21)。

表 21 カニ殻施用とイチゴ萎黄病の発病率

| 試験区          | 発病率   |
|--------------|-------|
| 無施用区         | 53.2% |
| 純正カニ殻 1 年使用区 | 31.8  |
| 純正カニ殻 2 年使用区 | 18.8  |
| 純正カニ殻 3 年使用区 | 0     |

注: フザリウム菌を接種した土壌にイチゴ苗を定植し発病率を比較

資料 鳥取県農試

最近では、堆肥製造プロセスで病原菌と拮抗作用のある菌を積極的に増殖させ、目的とする土壌病原菌の抑制を図るいわゆる機能性堆肥も開発されてきている。

堆肥の発酵促進材として食用油精製工程で発生する「廃白土」(ろ過剤である珪藻土に植物抽出油中の不純物や油脂が混ざった物、油分を 30%程度含むもの)を利用した牛ふん堆肥にはアブラナ科野菜の萎黄病や根こぶ病の抑制効果があることが明らかにされている。(三重県農研村上ら)

#### (2) 食品廃棄物を原料とした堆肥、肥料と土壌病原抑制効果

##### 1)各種堆肥と土壌病原抑止力

—食品廃棄物を原料とした堆肥等は土壌病原抑止効果が高い傾向が見られる—

最近、堆肥等の病原抑止力測定法が開発(片倉チッカリン(株)野口)((参考)資料参照)され、この方法によって各種堆肥(肥料)を測定してみると食品廃棄物を原料としたもの

は土壤病原抑止力が高い傾向が見られる（表 22）。

表 22 主な堆肥(肥料)化原料別土壤病原抑止力

| 区 分        | 主原料                  | 土壤病原抑止力 |
|------------|----------------------|---------|
| 畜ふん関<br>係  | 鶏糞 A                 | 54.2    |
|            | 鶏糞 B                 | 46.2    |
|            | 牛ふん                  | 46.8    |
|            | (平 均)                | 49.0    |
| 食品残さ<br>関係 | もみがら、食品排水活性汚泥        | 79.8    |
|            | もみがら、食品リ排水活性汚泥       | 70.6    |
|            | カニガラ、油かす、なたね油かすぼかし   | 75.0    |
|            | 食品廃棄物、微生物資材添加        | 74.0    |
|            | 食品廃棄物含む有機肥料(微生物資材添加) | 80.4    |
|            | (平 均)                | 76.0    |
| その他        | バーク                  | 48.9    |
|            | バーク(放線菌増量品)          | 41.4    |
|            | 剪定枝                  | 61.7    |
|            | 大豆・麦・ヘイキューブ・トウモロコシ   | 55.9    |
|            | カンゾウ原料               | 64.3    |
|            | (平 均)                | 54.4    |

注：土壤病原抑止力は数字の大きいものの方の土壤病原抑止力が高い

しかし、どのような食品廃棄物の種類、製造方法等の堆肥(肥料)の土壤病原抑止力が高いかについてはこれまで明らかにされていない。この点を明らかにするため今回、各種調査を行った。

## 2)食品廃棄物の種類や配合割合等と土壤病原抑止力

### ①食品廃棄物の配合割合等の異なる食品リサイクル堆肥化施設の土壤病原抑止力

—食品廃棄物の割合の高い堆肥の土壤病原抑止力が高い—

どのような食品廃棄物の種類、食品廃棄物の配合割合、製造方法の堆肥の土壤病原抑止力が高くなるのかを調査した。

調査対象としては、FR 認証合格の堆肥化施設の堆肥を中心にして、できるだけ堆肥化物における食品廃棄物の配合割合の異なるものや堆肥化の発酵日数の異なるものなどを選び、調査した。

調査の結果、堆肥化物の中に占める食品廃棄物の割合の高い堆肥の土壤病原抑止力が高い傾向が見られた。

堆肥化物の食品廃棄物の割合が 20%程度の堆肥の土壌病原抑止力が 50%程度であるのに対し、食品廃棄物の割合が 50%程度の堆肥の土壌病原抑止力は 80%前後であった。

また、同一堆肥化施設で発酵期間の異なるサンプルを採取して土壌病原抑止力を調査したが、発酵期間の短いものはやや低い傾向が見られた。(表 23)

表 23 各種食品リサイクル堆肥化施設の堆肥の土壌病原抑止力

| 堆肥化施設   | 食品廃棄物割合(%) | 食品廃棄物と副資材の内容、戻し堆肥の利用状況   | 堆肥製造期間(日)                      | 土壌病原抑止力                            |
|---------|------------|--|--------------------------------|------------------------------------|
| K 堆肥化施設 | 32         | 食品廃棄物(ホテルの残飯、コンビニ弁当、レストラン食品廃棄物、スーパー残渣 32%)、ペーパーシュレッダ 5%、(戻し堆肥 64%)         | 44                             | 50.0                               |
| H 堆肥化施設 | 20         | 食品廃棄物(米飯、野菜くず 20%)、牛ふん 34%、鶏ふん 6%おがくず 20%、もみ殻 5%刈草 5%(戻し堆肥 10%)            | 125<br>(28日)<br>(30日)<br>(60日) | 51.9<br>(31.9)<br>(29.5)<br>(40.7) |
| U 堆肥化施設 | 48         | 食品廃棄物(野菜くず 24%コーヒー粕、茶殻 24%)牛ふん、馬糞 24% おがくず等 2%、戻し堆肥(一次発酵品) 26%             | 90<br>(30日)                    | 61<br>(51.1)                       |
| M 堆肥化施設 | 54         | 食品廃棄物(家庭系生ごみ 27.7%、事業系生ごみ 26.7%)、剪定枝、刈草 11%、(戻し堆肥 35%)                     | 56                             | 65.9                               |
| R 堆肥化施設 | 50         | 食品廃棄物(野菜、果物 70%、残飯等 10%、惣菜 10%、肉類、魚類 5%、嗜好品 5%)、豚糞 16%、剪定枝くず 15%(戻し堆肥 20%) | 168                            | 80.7                               |
| A 堆肥化施設 | 55         | 食品廃棄物(野菜くず 50(粉碎、乾燥)、米ぬか 5%)、剪定枝チップ 35%、刈草 5%、竹酢液 5%                       | 150                            | 83.9                               |

注：堆肥製造期間(日)の( )内は発酵日数であり、それに対応する土壌病原抑止力の数値を土壌病原抑止力の欄の( )内に記した。

## ②堆肥化食品廃棄物素材の相違による土壌病原抑止力

— 食品廃棄物素材では米飯、肉の土壌病原抑止力が高く、果実(柑橘)は低い —

デンブンの多い米飯、脂肪、タンパク含量の多い肉、比較的熱量の少ない柑橘を用い、副資材としては木片チップを用い堆肥製造し土壌病原抑止力を調査した。副資材の配合割合は通常食品廃棄物:副資材 1:1 であるが、それぞれが通気性の劣る素材であることから好氣的発酵にするため 1:3 を基本にして配合した。

その結果、土壌病原抑止力は米飯が最も高く、次いで肉、果実(柑橘)の順であった(表 24)。

また、米飯については木片チップの配合比率をそれぞれ 1:3 と 1:4 の 2 区設けて行ったが、米飯の配合比率の少ない米飯 1: 木片チップ 4 の区の方が米飯 1: 木片チップ 3 の区よりも土壌病原抑止力はやや低かった。食品廃棄物の割合が低いと土壌病原抑止力も低下すると考えられた。

その点で肉の場合、米飯より木片チップの割合を多くして堆肥製造(肉 1: 木片チップ 5)を行っているので、食品廃棄物の割合が低く米飯より土壌病原抑止力が低くなったとも考えられる。

表 24 堆肥化食品廃棄物素材の相違による土壌病原抑止力

| 試験区               | 食品廃棄物割合(%) | 堆肥製造期間(日) | 土壌病原抑止力 | 備考                |
|-------------------|------------|-----------|---------|-------------------|
| 米飯 1:木片チップ 3      | 25         | 30        | 85.7    | 小規模(段ボール箱規模)で堆肥製造 |
| 米飯 1:木片チップ 4      | 20         | 30        | 83.0    |                   |
| 肉 1: 木片チップ 5      | 17         | 60        | 78.2    |                   |
| 柑橘(切断)1: 木片チップ 3  | 25         | 30        | 73.0    |                   |
| 柑橘(未処理)1: 木片チップ 3 | 25         | 30        | 73.3    |                   |

### ③食品廃棄物の配合割合と堆肥製造日数の相違による土壌病原抑止力

食品リサイクル堆肥化施設の多くが受け入れている野菜くず、残飯、麺類等の食品廃棄物の混合物をベースにそれにおからや牛ふんを加え、副資材として木片チップを用い堆肥製造し土壌病原抑止力の調査を行った。

試験区としては①食品混合廃棄物 1.5: 木片チップ 4(食品廃棄物割合 27%)、②食品混合廃棄物 1: おから 0.5:木片チップ 4(食品廃棄物割合 27%)、③食品混合廃棄物 1: 牛ふん 0.5: 木片チップ 4 (食品廃棄物割合 18%)を用いそれぞれ発酵開始後 45 日、75 日、90 日の段階で土壌病原抑止力を測定し、発酵期間によってどのように変化するかを調査した。

その結果、食品廃棄物の割合が 27%程度である①と②の堆肥は病原抑止力がやや高い傾向が見られ、食品廃棄物の割合が 18%の③の堆肥は病原抑止力がやや低かった。これまでの調査結果同様に、土壌病原抑止力は食品廃棄物の割合が影響していると考えられる。

また、堆肥の発酵日数と土壌病原抑止力との関係は、①の堆肥では発酵日数が経過するとやや土壌病原抑止力が低下する傾向が見られた。しかし、食品廃棄物の割合が同程度である②の堆肥では発酵日数が経過すると土壌病原抑止力が高まってきており、この調査結果では明確な傾向が見られなかった(表 25)。

表 25 食品廃棄物の配合割合と堆肥製造日数の相違による土壌病原抑止力

| 試験区                        | 食品廃棄物割合(%) | 堆肥製造期間(日) | 病原抑止力指数 | 備考                           |
|----------------------------|------------|-----------|---------|------------------------------|
| ①食品混合廃棄物 1: 木片チップ4         | 27         | 45        | 67.2    | 中規模(2.5m <sup>3</sup> )で堆肥製造 |
| 食品混合廃棄物 1: 木片チップ4          | 27         | 75        | 64.6    |                              |
| 食品混合廃棄物 1: 木片チップ4          | 27         | 90        | 62.4    |                              |
| ②食品混合廃棄物 1: おから 0.5:木片チップ4 | 27         | 45        | 66.5    |                              |
| 食品混合廃棄物 1: おから 0.5:木片チップ4  | 27         | 75        | 62.5    |                              |
| 食品混合廃棄物 1: おから 0.5:木片チップ4  | 27         | 90        | 70.8    |                              |
| ③食品混合廃棄物 1: 牛ふん 0.5:木片チップ4 | 18         | 45        | 63.8    |                              |
| 食品混合廃棄物 1: 牛ふん 0.5:木片チップ4  | 18         | 75        | 65.1    |                              |
| 食品混合廃棄物 1: 牛ふん 0.5:木片チップ4  | 18         | 90        | 63.6    |                              |

### 3)土壌病原抑止力の異なる堆肥によるハウレンソウ萎凋病抑制効果-ポット試験-

堆肥の土壌病原抑止力は土壌病原菌(主として糸状菌)の増殖をどの程度抑制できる働きがあるかどうかを評価するためのものであって、土壌病原抑止力がどの程度あれば作物の土壌病害の発生を抑止できるかどうかは不明である。

このため、土壌病原抑止力の異なる堆肥を施用して作物を栽培し、堆肥の土壌病原抑止力がどの程度あれば作物の土壌病害の発生を抑止できるかどうかを調査した。

対象作物としてはハウレンソウを用い、ハウレンソウの代表的土壌病害であるハウレンソウ萎凋病の病原菌(糸状菌)を接種して病害の発生程度を調査した。

調査対象とした堆肥は、これまで土壌病原抑止力の試験を行ったものの中から土壌病原抑止力の異なるものを選び試験した。調査対象堆肥の特性は表 26 のとおりである。

表 26 ホウレンソウ萎凋病菌接種ポット試験に用いた堆肥の特性

| 堆肥の種類                            | 土壌病原抑止力 | 備 考  |
|----------------------------------|---------|--|
| 資材 1(A 堆肥化施設)                    | 83.9    | 食品廃棄物 55%(野菜くず 50(粉碎、乾燥)、米ぬか 5%)、剪定枝チップ 35%、刈草 5%、竹酢液 5%、製造期間 150 日  |
| 資材 2(食品混合廃棄物 1: おから 0.5:木片チップ 4) | 70.8    | 食品廃棄物 56%、製造期間 90 日、中規模 (2.5 m <sup>3</sup> ) で堆肥製造                  |
| 資材 3(食品混合廃棄物 1.5: 木片チップ 4)       | 62.4    | 食品廃棄物 37%、製造期間 90 日、中規模 (2.5 m <sup>3</sup> ) で堆肥製造                  |
| 資材 4(H 堆肥化施設)                    | 51.9    | 食品廃棄物 20%(米飯、野菜くず 20%)、牛ふん 34%、鶏ふん 6%、おが屑 20%、もみ殻 5%、草 5%、製造期間 125 日 |

また、試験方法の概要は以下のとおりである。

〔試験方法〕

- ◆作物名：ホウレンソウ（品種：おかめ）

育苗トレーで育苗し、本葉が 3 枚程度展開後、鉢上げをしてガラス温室内で栽培。

- ◆使用土壌：未耕地土壌(関東ローム土壌へバーミキュライト 20%混合)

N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=25-50-25kg/10a になるように硫安、過石、硫加を添加した。

- ◆対象病原菌：ホウレンソウ萎凋病菌 (*Fusarium oxysporum f. sp. spinaciae*)

- ◆供試資材：1t/10a になるように施用

- ◆試験区：6 試験区 (資材 1 区、資材 2 区、資材 3 区、資材 4 区、無処理区、対照区(病原菌未接種) 反復数：5 反復

◎土壌に供試資材、病原菌を添加し、1 週間後に育苗したホウレンソウを鉢上げし温室内で栽培を行ない、2 週間後に発病調査を行なった。

- ◆試験開始日等：H27. 2. 4 (資材混合+病原菌液添加)

H27. 2. 12 (ホウレンソウ移植)

H27. 2. 25 (発病調査)

(堆肥の土壌病原抑止力とホウレンソウ萎凋病の発生の関係)

—土壌病原抑止力が 70 を超えないと、ホウレンソウ萎凋病発生抑制につながらない。—

接種試験の結果、ホウレンソウ萎凋病の発生抑制が認められたのは、①資材 1 (A 堆肥化施設、土壌病原抑止力 83.9) と②資材 2(食品混合廃棄物 1: おから 0.5:木片チップ 4、土壌病原抑止力 70.8) の 2 種であった。

①資材 1 (A 堆肥化施設、土壌病原抑止力 83.9) は発病株率 40%、発病度 13.3、防除価 63.6 であり、発病抑制効果が最も高かった。

②資材 2(食品混合廃棄物 1: おから 0.5:木片チップ 4、土壤病原抑止力 70.8)は発病株率 73.3%、発病度 31.7、防除価 13.6 であり、無処理区に比べやや発病抑制効果が認められた。

また、③資材 3(食品混合廃棄物 1.5: 木片チップ 4、土壤病原抑止力 62.4)と④資材 4(H 堆肥化施設、土壤病原抑止力 51.9)については発病抑制効果が認められなかった。

したがって、土壤病原抑止力は 70 を超えないと、ハウレンソウ萎凋病の発生抑制につながらないという関係が明らかになった(表 27)。

表 27 土壤病原抑止力の異なる堆肥とハウレンソウ萎凋病の発病度等

|         | 病原菌接種             |                                      |                                |                   |           | 未接種       |
|---------|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------|-----------|-----------|
|         | 資材 1<br>(A 堆肥化施設) | 資材 2<br>(食品混合廃棄物 1: おから 0.5:木片チップ 4) | 資材 3<br>(食品混合廃棄物 1.5: 木片チップ 4) | 資材 4<br>(H 堆肥化施設) | 無処理       | 対照        |
| 土壤病原抑止力 | 83.9              | 70.8                                 | 62.4                           | 51.9              | -         | -         |
| 発病株率%   | 40.0(40)          | 73.3(73)                             | 100.0(100)                     | 80.0(80)          | 100.0     | -         |
| 発病度     | 13.3(36)          | 31.7(86)                             | 53.3(145)                      | 41.7(114)         | 36.7(100) | -         |
| 防除価     | 63.6              | 13.6                                 | 0                              | 0                 | -         | -         |
| 生体重g    | 4.74(111)         | 3.98(93)                             | 2.47(58)                       | 3.86(91)          | 4.26(100) | 5.57(131) |

注 1. ( ) 内は無処理区を 100 とした場合の指数を示した

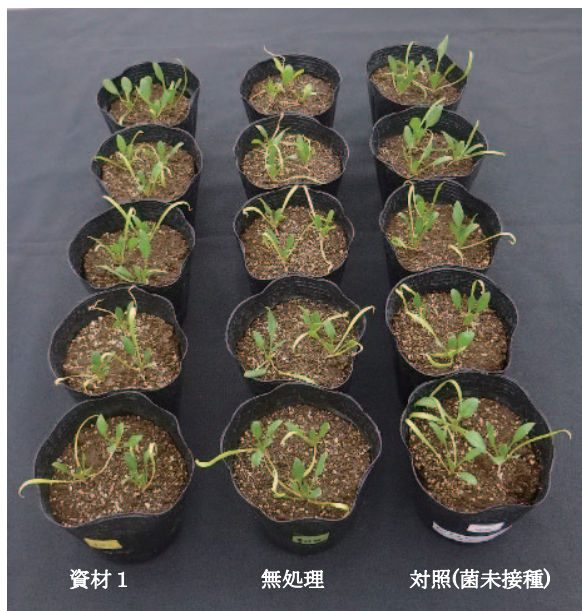
2. 発病度 =  $\Sigma$ (試験区の発病程度) / (調査株数 × 4) × 100

3. 防除価 = (1 - 試験区の発病 / 無処理区の発病) × 100



(写真) ホウレンソウ萎凋病菌接種試験結果

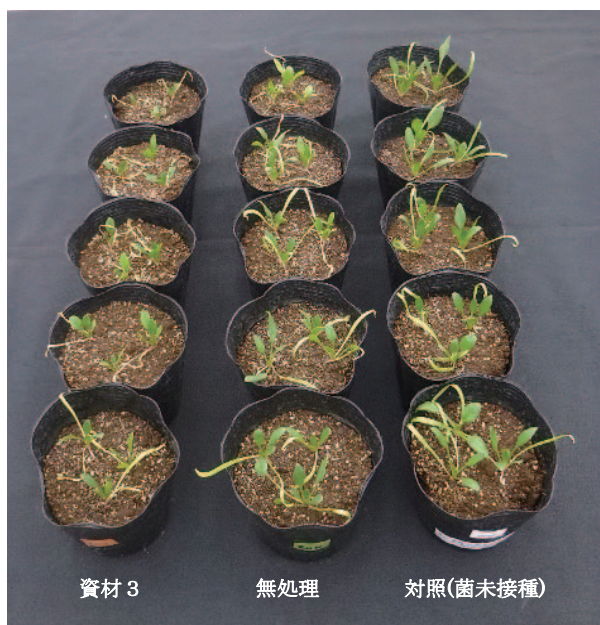
(資材 1)



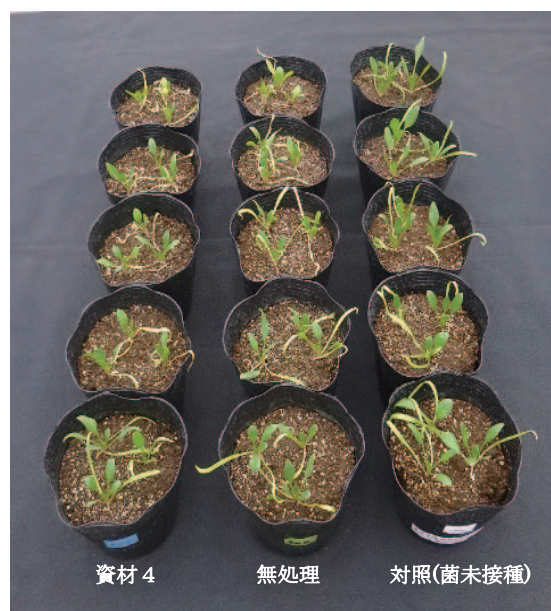
(資材 2)



(資材 3)



(資材 4)



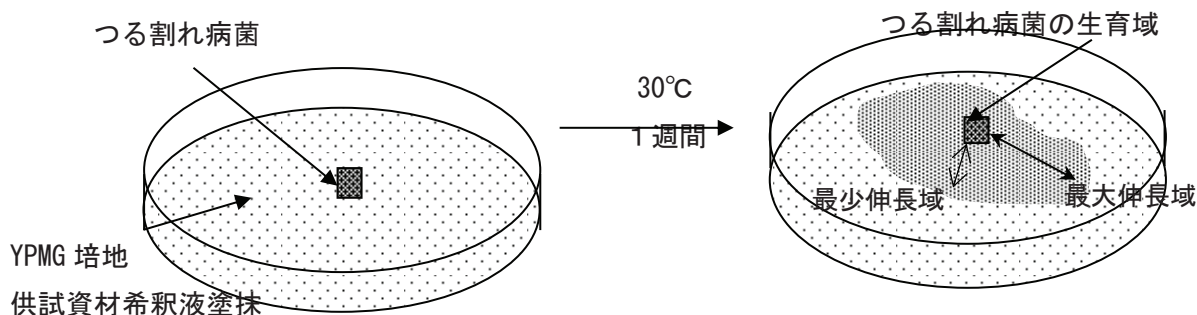
(参考)

### 「土壌、堆肥、ぼかし肥料、微生物資材などの病原抑止力の測定法」

土壌、堆肥、ぼかし肥料、微生物資材などが持つ土壌病原菌抑止力を土壌、資材中に生存する微生物と病原菌(フザリウム菌)と同時培養することにより、病原菌の菌糸伸長抑止力を測定し評価する。この土壌病原菌抑止力は、資材の種類によって異なり、資材選択の目安となる。その結果は、培養写真と病原抑止力(Pathogen Suppressive Value (PSV))として数値化したもので表示する。

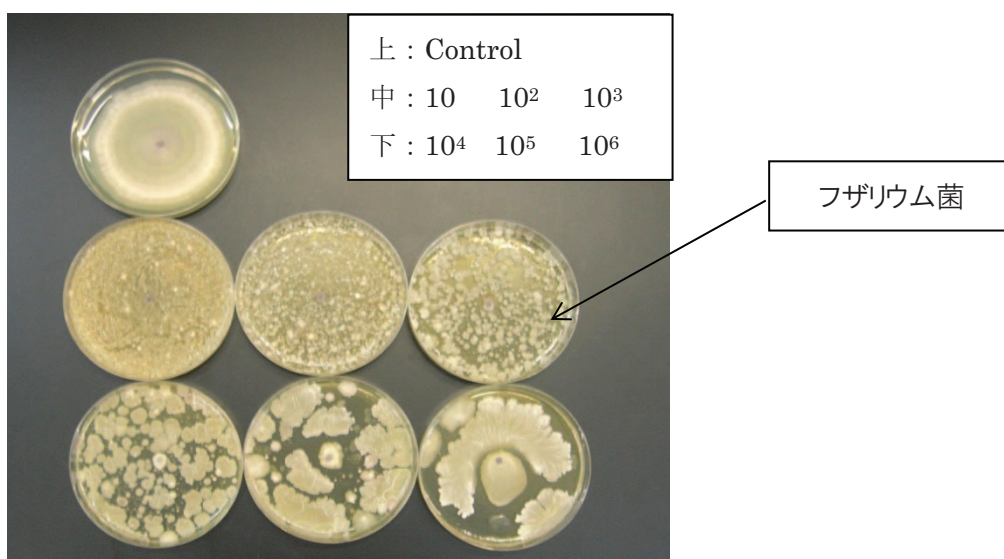
#### 測定方法

フザリウム菌(メロンつる割れ病菌あるいはトマト萎凋病菌)と土壌、堆肥等資材の各希釈液を同時に培地で 30℃、一週間培養する。比較対照として滅菌水のみを設ける。1 週間培養後、供試資材の希釈倍率ごとにフザリウム菌の菌糸伸長域を測定(最大伸長域と最少伸長域)し、数値化する。(下図)



(測定・算出例)

下記有機資材 A の場合は、 $10^6$  希釈までほぼ完全にフザリウム菌の伸長を抑制している。



(有機資材 A の病原抑止力の算出例)

培地の希釈倍率  $10^2 \sim 10^6$  の 相対伸長の平均 6.25 が対照区(コントロール)の相対伸長の平均 32.0 に占める割合が 19.53%( $6.25/32.0 \times 100$ )なので、100%マイナス 19.53%の 80.47 を Pathogen Suppressive Value (PSV)を病原抑止力としている。(本資材は病原抑止力を高める目的で有用微生物を添加した有機肥料である。)

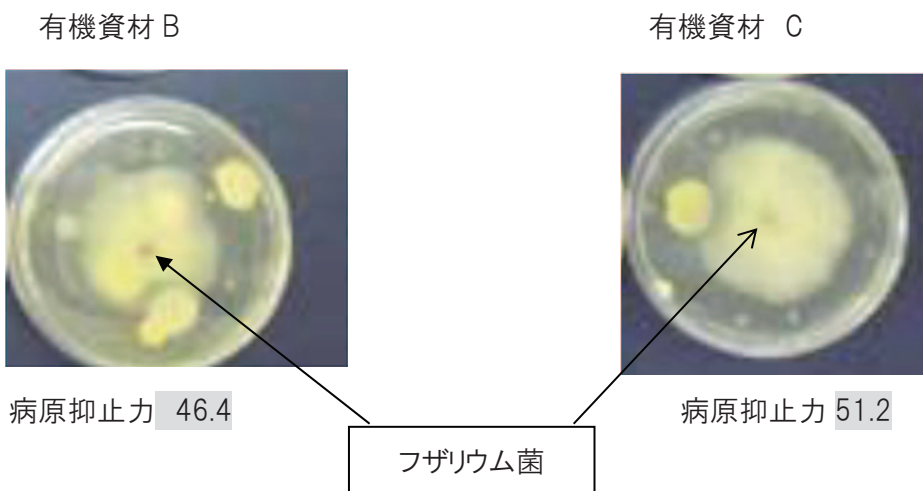
| コントロール | 28.5       |             |               |               |               |               |               | μc 32.0 |       |
|--------|------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------|-------|
|        | 希釈倍率       | $\times 10$ | $\times 10^2$ | $\times 10^3$ | $\times 10^4$ | $\times 10^5$ | $\times 10^6$ | 相対伸長μ   | PSV   |
| 資材 A   | 最大伸長 mm    | 0           | 1             | 1             | 3             | 7             | 10            |         | 80.47 |
|        | 最少伸長 mm    | 0           | 1             | 1             | 2             | 4             | 3             |         |       |
|        | 平均伸長 mm    | 0           | 1             | 1             | 2.5           | 5.5           | 6.5           |         |       |
|        | 相対伸長 mm μn | 1           | 3             | 4             | 6.5           | 10.5          | 12.5          | 6.25    |       |

(参考)

「有機資材の種類による病原抑止力の相違」

(有機資材 B と有機資材 C は堆肥であるが、それぞれ、病原抑止力を有しているが、有機資材 A(ぼかし有機肥料)より病原抑止力はやや劣る。このように資材の種類によって病原抑止力は異なる。)

(有機資材 B と有機資材 C の 1 週間培養後の  $10^6$  希釈の培地写真)



## 2.食品リサイクル堆肥に含まれる窒素の形態と野菜の収量

### (1) 有機質肥料の窒素形態と野菜の収量

肥料成分の中で窒素は作物の収量に最も大きく影響を及ぼす成分であり、食品リサイクル堆肥(肥料)は三要素の中で窒素比率が高いという特性がある。

作物の種類によって、それぞれの窒素吸収特性があり、その特性にあった窒素供給がなされれば、効率的にその作物の生育、収量が高まる。

有機質肥料の窒素は速効性の成分とともに微生物によって分解されて発現する窒素を含んでおり、それらの割合は有機質肥料の種類によって異なる。

有機質肥料(堆肥)の肥効特性としては、従来から炭素率(C/N比)が用いられてきており、炭素率(C/N比)の小さいものほど窒素の肥効が速いとされてきた。

これに加え窒素の肥効特性をより正確に把握するため、「植物体の窒素化合物の分画法」(参考資料参照)を用いタンパク質様物質の溶解度の相違に基づき4画分に分けて調べた。すなわち、有機質肥料の窒素成分を「速効性成分」(A+B画分)、「緩効性成分」(C画分)、「遅効性ないし難分解性成分」(D画分)に分け作物の生育との関係を見てきた。

これまで各種堆肥等を用いて試験してきた結果では、コマツナ、フダンソウ、ホウレンソウ、春ダイコンのような比較的生育期間の短い野菜では収量と有機質肥料の速効性窒素成分(AあるいはA+B画分)と正の相関がみられた(図21)。これらの作物は生育期間が1~3ヶ月と短く、この期間に窒素を急速に吸収する(表28)。

一方、タマネギ、スイートコーン、ゴボウ、ニンジンなどの可食部収量と窒素画分との関係は判然とせず炭素率(C/N比)と負の相関関係がみられた(図22)。これらの作物は生育期間が3ヶ月以上とやや長いあるいは長い。その上、生育初期には窒素の吸収が極めて少ない。

スイートコーンなどでは、植え付けてから1.5~2ヶ月過ぎて、ようやく窒素吸収が起こっている。つまり窒素吸収にタイムラグのある作物である(表28)。

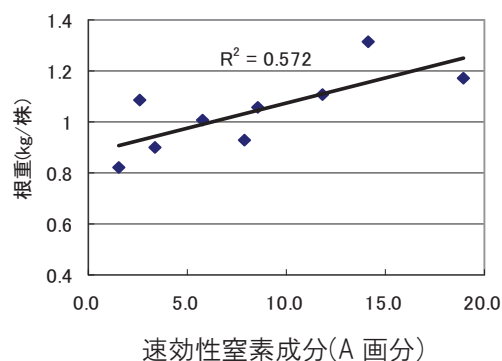


図21 春ダイコンの収量と速効性窒素成分

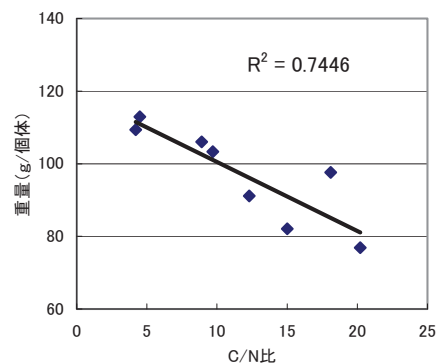


図22 タマネギ収量とC/N比

表 28 野菜の生育、収量と最も相関関係のある窒素形態等

|      | 作物の種類   | 生育期間     | 収量と最も関連する窒素形態等    |
|------|---------|----------|-------------------|
| 葉菜類  | コマツナ    | 約 1～2 ヶ月 | 速効性窒素(A 画分)       |
|      | ハウレンソウ  | 〃        | 速効性窒素(A+B 画分)     |
|      | 白菜      | 約 3～4 ヶ月 | 速効性、緩効性(A+B+C 画分) |
| 根茎菜類 | タマネギ    | 約 6 ヶ月   | 炭素率(C/N 比)        |
|      | ダイコン    | 約 1～2 ヶ月 | 速効性窒素(A+B 画分)     |
|      | ニンジン    | 約 4～5 ヶ月 | 炭素率(C/N 比)        |
|      | ゴボウ     | 約 6 ヶ月以上 | 炭素率(C/N 比)        |
| 果菜類  | かぼちゃ    | 約 4～5 ヶ月 | 緩効性窒素(C 画分)       |
|      | スイートコーン | 約 3～4 ヶ月 | 炭素率(C/N 比)        |

(2) 各種食品リサイクル堆肥の窒素特性と野菜の収量

(試験地・土壌)

千葉県白井市にある(一財)日本土壌協会の試験地 2ヶ所で行った。土壌はともに透水性と通気性がやや良好な中粒質の淡色黒ボク土に分類される。リン酸吸収係数が大きく、有効態リン酸が野菜畑としては少ない圃場である。

(試験に用いた食品リサイクル堆肥の特徴)

春～秋作のピーマンの栽培試験には、既に認証登録されている6種類の食品リサイクル堆肥を用い、コマツナの栽培ではこのうち5種類を用いた。

栽培試験に用いた6種類の認証済み堆肥について、それぞれの堆肥の原料や製造内容は表29のとおりである。それぞれの堆肥は食品廃棄物の内容、使用割合が異なる。

表 29 試験に用いた堆肥の製造内容

| 堆肥化施設   | 食品廃棄物割合(%) | 食品廃棄物と副資材の内容、戻し堆肥の利用状況   |
|---------|------------|--|
| H 堆肥化施設 | 20         | 食品廃棄物(米飯、野菜くず 20%)、牛ふん 34%、鶏ふん 6%おがくず 20%、もみ殻 5%刈草 5%(戻し堆肥 10%)            |
| K 堆肥化施設 | 32         | 食品廃棄物(ホテルの残飯、コンビニ弁当、レストラン食品廃棄物、スーパー残渣 32%)、ペーパーシュレッダ 5%、(戻し堆肥 64%)         |
| M 堆肥化施設 | 54         | 食品廃棄物(家庭系生ごみ 27.7%、事業系生ごみ 26.7%)、剪定枝、刈草 11%、(戻し堆肥 35%)                     |
| A 堆肥化施設 | 55         | 食品廃棄物(野菜くず 50(粉碎、乾燥)、米ぬか 5%)、剪定枝チップ 35%、刈草 5%、竹酢液 5%                       |
| R 堆肥化施設 | 50         | 食品廃棄物(野菜、果物 70%、残飯等 10%、惣菜 10%、肉類、魚類 5%、嗜好品 5%)、豚糞 16%、剪定枝くず 15%(戻し堆肥 20%) |
| S 堆肥化施設 | 35         | 食品廃棄物(米飯、野菜くず、惣菜等)35%、木片チップ 30%、戻し堆肥 35%                                   |

また、6種類の認証済み堆肥の化学成分の含有については表30のとおりである。  
 食品廃棄物の割合が20%のH堆肥を除いて、そのほかの堆肥は三要素の中で全て窒素成分が最も多くなっている。

表30 供試堆肥の化学分析結果(現物当たり)

| 堆肥  | 水分<br>% | pH   | EC<br>mS/cm | 現物当たり% |      |      |      |      | C/N<br>比 |
|-----|---------|------|-------------|--------|------|------|------|------|----------|
|     |         |      |             | 窒素     | リン酸  | カリ   | 石灰   | 苦土   |          |
| H堆肥 | 28.0    | 9.05 | 5.26        | 1.88   | 2.12 | 1.99 | 4.62 | 0.79 | 12.8     |
| K堆肥 | 15.9    | 8.10 | 4.92        | 2.70   | 0.94 | 0.87 | 7.44 | 0.32 | 13.9     |
| M堆肥 | 29.1    | 8.89 | 3.00        | 1.80   | 0.94 | 1.33 | 3.99 | 0.38 | 14.7     |
| A堆肥 | 28.4    | 7.92 | 1.05        | 1.42   | 0.56 | 0.94 | 1.09 | 0.46 | 12.6     |
| R堆肥 | 29.4    | 4.99 | 4.70        | 2.38   | 1.17 | 1.20 | 2.33 | 0.44 | 12.2     |
| S堆肥 | 45.4    | 6.25 | 2.73        | 1.29   | 0.39 | 0.53 | 1.73 | 0.22 | 18.5     |

(食品リサイクル堆肥の窒素肥効特性)

試験に用いた6種類の食品リサイクル堆肥の窒素肥効特性は表31のとおりである。

食品リサイクル堆肥の種類によって速効性成分に大きな相違が見られ、炭素率(C/N比)が11.5~13.9と大きな相違がなくても、速効性窒素成分(A+B画分)で27.7~41.0の相違があった(表31)。

この相違は必ずしも食品廃棄物の配合比率と関係していないことから、製造法、食品廃棄物の内容物との関係を今後調べて見る必要がある。

表31 供試堆肥の窒素形態画分、C/N比

| 堆肥  | 非蛋白A | 可溶性B | 膜結合性C | 細胞壁D | A+B  | A+B+C | C/N比 |
|-----|------|------|-------|------|------|-------|------|
| H堆肥 | 8.9  | 29.1 | 35.0  | 27.0 | 38.0 | 73.0  | 11.5 |
| K堆肥 | 11.6 | 29.4 | 35.0  | 24.0 | 41.0 | 76.0  | 13.6 |
| M堆肥 | 7.5  | 21.6 | 37.3  | 33.6 | 29.1 | 66.4  | 13.9 |
| A堆肥 | 5.3  | 22.4 | 36.7  | 35.6 | 27.7 | 64.4  | 13.1 |
| R堆肥 | 19.7 | 13.4 | 25.4  | 41.5 | 33.1 | 58.5  | 12.6 |
| S堆肥 | 21.0 | 17.1 | 31.9  | 30.0 | 38.1 | 70.0  | 15.7 |

注:それぞれの窒素画分の値は全窒素に占める%である。

### (3) 堆肥の窒素形態の特徴と作物の収量の関係

食品リサイクル堆肥の窒素形態と作物の収量との関係を調べるため、春～秋作の作物として、ピーマンおよびコマツナを選択し栽培試験を行った。

#### ① 食品リサイクル堆肥の窒素肥効特性とコマツナの収量

各種食品リサイクル堆肥を用いてコマツナでは春作(栽培期間 42 日)と秋作(栽培期間 51 日)を行い、それぞれの食品リサイクル堆肥の窒素肥効特性との関係を試験した。

なお、堆肥を用いた各試験区では、窒素の全量を堆肥から充当し、リン酸とカリの不足量は過石と硫加で補った。リン酸とカリの余剰分については調整を行わなかった。

コマツナの春作では苦土欠乏の影響もあり、堆肥の窒素肥効特性との相関関係は見られなかったが、その問題を改善した秋作ではコマツナの収量と窒素の速効性成分(A 画分)との相関関係が見られた(表 32、図 23)。

表 32 コマツナ収量調査結果(m<sup>2</sup>当り)

|      | ①春作(5/19~7/2) |       |     | ③秋作(10/8~11/28) |       |     |
|------|---------------|-------|-----|-----------------|-------|-----|
|      | 株数            | 重量g   | 比率  | 株数              | 重量g   | 比率  |
| H 堆肥 | 301           | 880   | 23  | 278             | 1,010 | 54  |
| K 堆肥 | 274           | 430   | 11  | 332             | 960   | 51  |
| M 堆肥 | 313           | 1,090 | 29  | 265             | 1,330 | 71  |
| A 堆肥 | 299           | 760   | 20  | 236             | 1,115 | 60  |
| R 堆肥 | 342           | 1,060 | 28  | 265             | 1,710 | 91  |
| 化学肥料 | 315           | 3,780 | 100 | 152             | 1,870 | 100 |

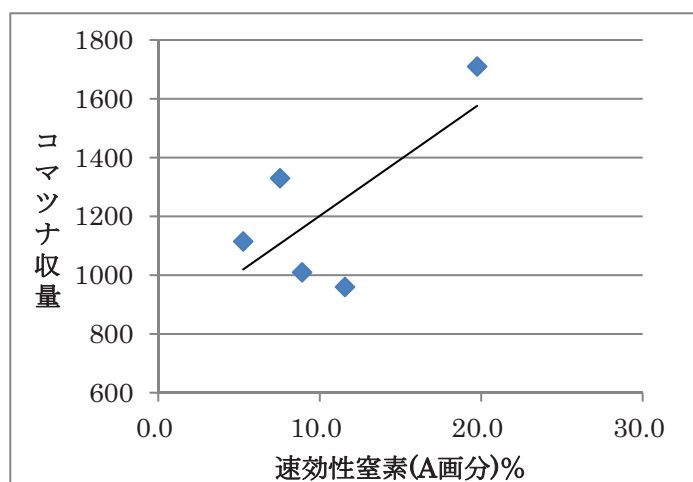


図 23 速効性成分(A 画分)とコマツナ収量の関係

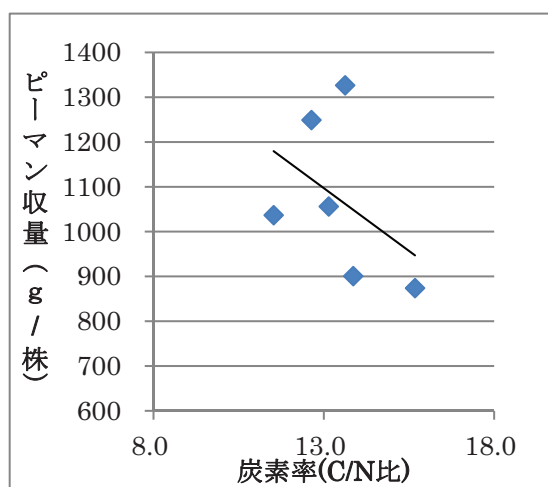
① 食品リサイクル堆肥の窒素肥効特性とピーマンの収量

ピーマン(5月9日定植 11月7日収穫終了、182日間)で、それぞれの堆肥の時期別の収量の推移は表13のとおりである。株あたり収量は堆肥によってかなり差があり、K堆肥が最も多く、S堆肥が最も少なかった(表33)。

表33 ピーマンの収量(株あたり累積果実重量g)

|     | 6/13 | 6/20 | 6/27 | 7/2 | 7/8 | 7/16 | 7/22 | 7/29 | 8/6  | 8/13 | 8/20 | 9/2  | 9/9  | 9/17 | 収量比率 |
|-----|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| H堆肥 | 34   | 105  | 152  | 224 | 333 | 469  | 622  | 708  | 784  | 878  | 918  | 985  | 1017 | 1037 | 52   |
| K堆肥 | 19   | 102  | 171  | 213 | 305 | 495  | 737  | 886  | 976  | 1092 | 1148 | 1236 | 1301 | 1327 | 66   |
| M堆肥 | 26   | 105  | 185  | 203 | 254 | 421  | 495  | 551  | 686  | 769  | 791  | 838  | 863  | 901  | 45   |
| A堆肥 | 28   | 124  | 177  | 203 | 296 | 533  | 674  | 749  | 846  | 918  | 964  | 1018 | 1041 | 1056 | 53   |
| R堆肥 | 39   | 135  | 199  | 257 | 352 | 637  | 783  | 871  | 956  | 1032 | 1100 | 1175 | 1232 | 1249 | 62   |
| S堆肥 | 20   | 77   | 180  | 198 | 280 | 398  | 502  | 613  | 691  | 755  | 784  | 825  | 850  | 874  | 44   |
| 単肥  | 28   | 88   | 140  | 235 | 348 | 572  | 725  | 930  | 1208 | 1452 | 1619 | 1819 | 1894 | 2003 | 100  |

堆肥の窒素形態との相関は弱く、炭素率(C/N比)との相関が見られ炭素率(C/N比)の小さい堆肥の収量が多かった(図24)。



(写真) ピーマン試験圃場

図24 ピーマンの収量と堆肥の炭素率(C/N比)との関係

以上のように、食品リサイクル堆肥についてもこれまで行ってきた各種堆肥(肥料)の窒素画分や炭素率(C/N比)と栽培期間の異なる野菜の収量との関係とほぼ同様の結果が得られた。

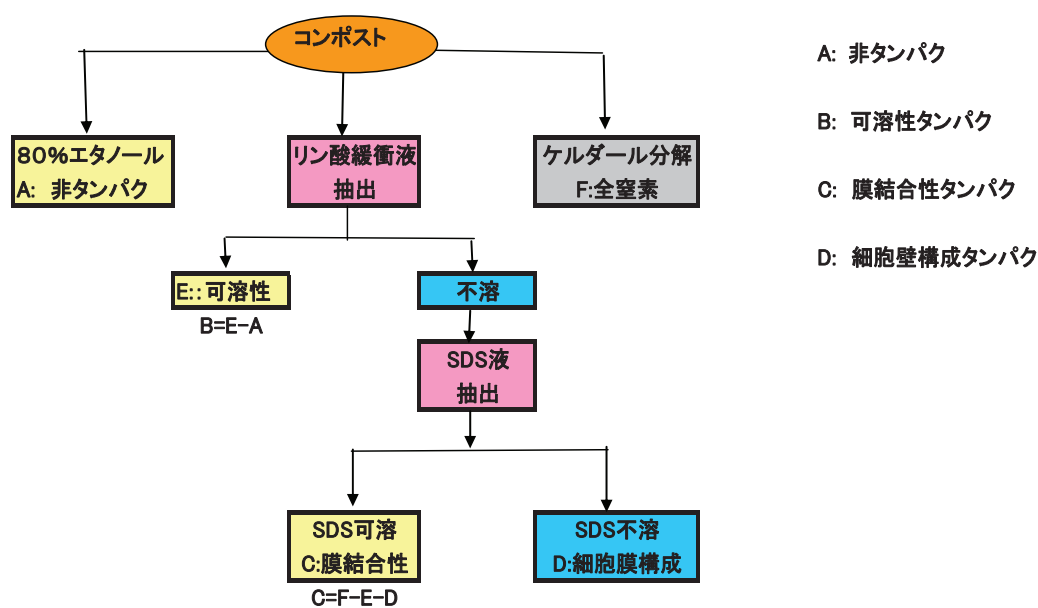
食品リサイクル堆肥についても、堆肥の窒素形態に相違があり、窒素形態や炭素率(C/N比)の相違が野菜の収量と密接な関連があることが明らかとなり、それぞれの食品リサイクル堆肥がどのような作物に向いているかを判断する手がかりが得られた。



(参考)

「植物体の窒素化合物の分画法」による有機質肥料の窒素形態

一般に有機質肥料に含まれる窒素化合物には、作物に対して速く効くものから遅く効くものまで肥効の速さに違いがある。このような窒素の肥効の違いを推測する一つの方法として、下図に示すような植物体窒素化合物の粗分画法が考えられている。この分画法により、堆肥に含まれる窒素化合物は、植物体の窒素化合物のように「A：非蛋白態窒素」、「B：可溶性蛋白質」、「C：膜結合性蛋白質」、「D：細胞壁構成蛋白質」の4形態に区分され、Aから順に速効性→B：やや速効性→C：緩効性→D：難効性とみなすことができる。



(植物栄養実験法、p、204~217、博友社に準拠)

高品質肥料認証制度構築検討会 委員

| 区分  | 氏名     | 所属、職                           |
|-----|--------|--------------------------------|
| 委員長 | 牛久保 明邦 | 東京情報大学 学長                      |
| 委員  | 松本 聰   | 一般財団法人 日本本土壌協会会長<br>東大名誉教授     |
| 委員  | 野口 勝憲  | 片倉チッカリン株式会社 技術顧問               |
| 委員  | 小久保 行雄 | 有限会社 ドンカメ 代表取締役                |
| 委員  | 山形 敬   | 栃木県茂木町 有機物リサイクルセンター<br>美土里館 館長 |
| 委員  | 伊藤 慎一  | 山崎製パン株式会社 総務本部 総務部長            |
| 委員  | 今井 伸治  | 公益財団法人 日本肥糧検定協会 理事長            |
| 委員  | 鬼沢 良子  | NPO法人 持続可能な社会をつくる元気ネット<br>事務局長 |