

# リサイクル特集

## 条件的嫌気性菌による植物発生材の堆肥化工法 —悪臭の発生しない堆肥化—

中村 富男・岩浪 美保子

近年は廃棄物を再利用し、環境負荷の低減を図ることが急務となっている。株式会社立山エンジニアリングは、国土交通省と共同で大規模開発現場や公園管理により発生する伐採木、抜根、剪定枝、刈草等を堆肥化し、緑化基盤作りのための有機質土壌改良材として緑地還元する技術を平成11年度より着手し、平成13年には、開発目標であるコスト縮減につながる施工および管理の簡易化、汚濁水の流出や悪臭を出さずに環境面に配慮した堆肥化工法を共同開発した。従来の堆肥化工法は「廃棄物処理」という考えの下、容積の減容や堆積期間の短縮に重きを置いたものであった。

本工法は、堆肥化を行う段階から、施工手間の削減、周辺環境への負荷低減、出来上がった堆肥の使用から余った堆肥の保管にいたるまで視野に入れ、植物発生材の本当の意味でのリサイクルを可能とした。

本報文では実際の施工に取入れられた国営アルプスあずみの公園および神流川ダム建設工事を例に取上げ、工法のメリットを報告する。

キーワード：環境負荷低減、リサイクル、堆肥化、緑化、土壌改良材、悪臭、汚濁水、条件的嫌気性菌

### 1. はじめに

開発行為に伴い発生する伐採木、抜根等は、これまで廃棄物として焼却処分や埋立て処分されてきた。しかし、焼却処分の禁止、処分地の減少による処理コストの増大などにより、廃棄物として処分することは困難になってきており、また開発行為に伴う環境負荷低減のためにも、有効利用技術の開発は重要である。いくつかの有効利用法が考えられる中で、今回は堆肥化し、植栽基盤土壌改良材や法面吹付け基盤材として利用する方法について検討した。

自然界においては、樹木の落葉、落枝、枯草等は土壌中の小動物や微生物の働きにより分解され、新たな栄養分として再び植物に吸収されるという形で、物質循環が行われている。さらに有機物が還元されることで土壌は肥沃になり、植物が生育しやすい環境が作られていく。

一方、新たに開発された造成地などは、肥沃であった表土が剥がされ、未熟な土壌が露出する。このような土壌は有機物や養分の不足をはじめ、固結や乾燥しやすいなど植栽基盤土壌として問題点が多く、順調な生育が妨げられる。早期に、そして確実に緑化、樹林化を実現するには、有機物や養分の補給をはじめとする土壌改良が必要である。

これまで廃棄物として処分されてきた植物廃材を堆肥にして土壌に還元することは、自然界の物質循環から見ても、開発に伴い出現した法面の早期樹林化、植栽基盤の早期肥沃化に効果があることを見ても、大変有効な方法であるといえる。

現場で発生する植物廃材について、現場内での有効利用が可能になれば、廃棄物処分に伴う環境への負荷の軽減や、処分費用が削減されるばかりでなく、新たな資材調達コストの削減にもつながるなど、大きなメリットがあるといえる。

### 2. 堆肥化に関与する微生物の分類

有機物を分解し堆肥化を行うのは、微生物の働きによるものである。堆肥化について述べるにあたり、微生物の分類と名称について簡単に説明する（表—1）。

表—1 堆肥化に関与する微生物の分類

絶対的好気性菌	酸素が必要な微生物
条件的嫌気性菌	酸素が少なくても活動できる微生物
絶対的嫌気性菌	酸素が嫌いな微生物

何に着目して分類するかにより分類方法は異なるが、ここでは微生物が活動にあたり、酸素を必要とするか否かで分類する。従来の堆肥化技術は、主に好気性菌を利用したものであるが、本工法では条件的嫌気性菌

を利用する。

### 3. 好気性菌に頼った従来の堆肥化

堆肥化について調べると、どの文献をみても必ず「切返し」という言葉が出てくる。「切返し」とは堆積してある有機物をほぐして、混合、攪拌する作業のことを言い、堆積物中への酸素の供給、堆肥の均一化などの目的で行う。多くの文献では頻繁な切返しを推奨しており、切返しの回数が多いほど良い堆肥ができると書かれているものもある。発酵槽などの機械設備については、通気、攪拌機能が装備され、好気的な状態を保つことが前提となっている。これは堆肥化に利用する微生物が好気性菌であるため、菌が働くためには十分な酸素の供給が不可欠という考えからきているのである。

しかし、上記をはじめ、既存の文献に記されている技術や理論の多くは、農業分野において積上げられてきたものであり、これらをそのまま造成中の現場で採用しようとする、様々な問題が発生してくる。

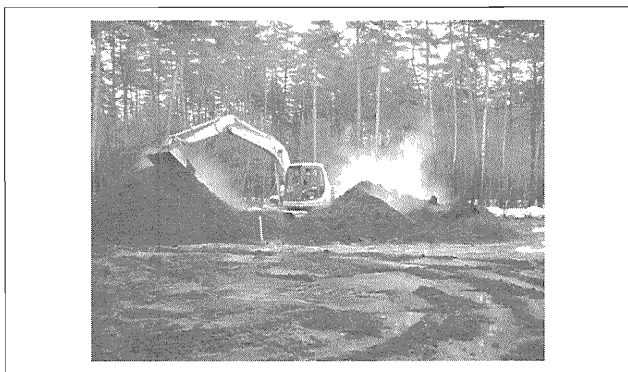
### 4. 現場での課題

造成中の現場には様々な制約条件があり、農業のように良い堆肥を作ることに重点を置いて現場を動かすことはできないのが現実である。

好気性菌による従来の堆肥化技術では、頻繁な切返し作業に手間がかかり、これを怠ると堆肥の品質低下、腐敗による悪臭の発生等の問題が発生し、以下に示すような現場での課題を克服することはできない。

#### (1) 切返しができない現場での施工

積雪の多い地域で、堆積時期が冬季に重なるような



切返し状況：積雪量が多いと作業ができない。  
また、堆肥化の規模が大きくなるほど、このような作業の負担は大きくなる。

写真-1 切返し状況

現場では、従来の堆肥化方法では必要不可欠とされている「切返し」(写真-1)が事実上不可能となる。

たとえ切返し可能な現場であったとしても、頻繁な切返しはコストの上昇につながるため、避けたいものである。

#### (2) 工程上の制約

堆肥化を行ううえでどんなに厳しい条件であったとしても、時期が来ればその堆肥を使用して次の施工に進まなければならない。「完熟するまで緑化工事を延期する」ということはできず、短期間である程度の品質には達しなければならない。

反対に施工が長期にわたる現場では、工事開始時に大量に発生した伐採木で堆肥を作っても、緑化工事は全工程のなかで比較的后半になるため、長期間使用できないということもあり、保存性の問題が発生する。

好気性菌により作った堆肥は、酸素の供給をしないと品質が低下するので、保存期間中も定期的な切返し管理を必要とする。

#### (3) 堆肥化に伴う周辺環境悪化の防止

堆肥化に伴う周辺環境の悪化の代表的なものは、悪臭の発生と汚濁水の浸出である。

悪臭の原因は、主に窒素分過剰によるアンモニア臭や、腐敗によるメルカプタン、硫化水素など多種類の物質によるどぶ臭さである。どぶ臭さは蠅や他の虫を誘引し、蛆虫等の大量発生につながる。

汚濁水の浸出は植物細胞の破壊により浸出する細胞液や降雨時に混入する過剰な水分が原因である。

農業・土木など分野に関係なく、このようなものによる周辺環境の悪化は防止しなければならない。

#### (4) 特別な施設を必要としないこと

施設・設備の導入は単純にコストの上昇を招く。また農業のように毎年継続して堆肥化を行うのであれば、施設・設備を導入し、切返しの自動化、脱臭対策、浸出水の流出防止対策なども可能だが、造成工事などの現場では限られた工期の中で堆肥化を終了し、その後施設は必要なくなる。施設を作らずに堆肥化できることも条件である。

### 5. なぜ条件的嫌気性菌による堆肥化なのか

酸素が少ない条件下でも活動できる条件的嫌気性菌は、頻繁な切返しにより酸素を供給しなくても、活性が低下することはない。そのため、条件の厳しい環境

での堆肥化であっても、短期間で質の高い堆肥を作ることが可能となる。悪臭や汚濁水の浸出もなく、特別な施設がなくても堆肥化が可能である。

(1) 切返しの回数が少なくて済む

切返しが少なくても微生物の活性が低下しないことは、堆肥の温度変化から読取ることができる。発熱は微生物活性の目安とされており、微生物の活性が高まると温度は上昇し、活性が低下すると温度は低下する。

図-1 に好気性菌、条件的嫌気性菌による堆肥化の温度変化を示す。

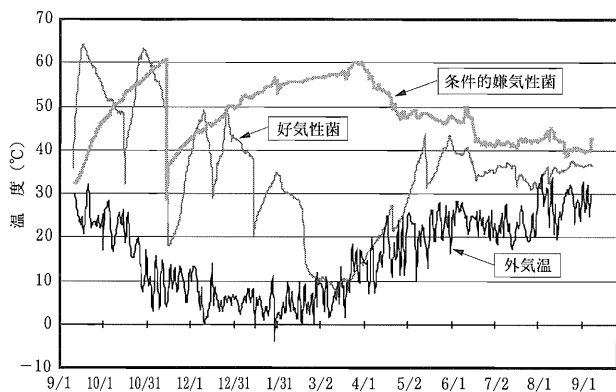


図-1 菌の違いによる堆肥の温度変化

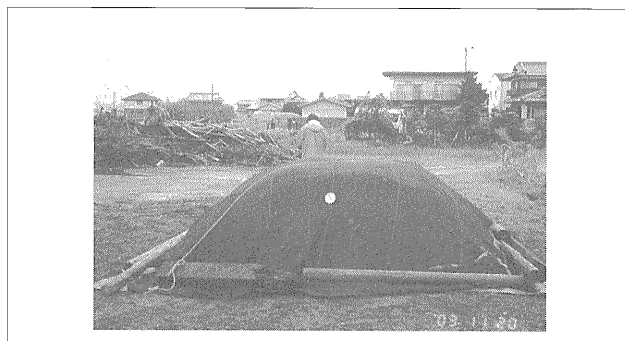
好気性菌による堆肥化のグラフは、仕込みや切返し直後など酸素が豊富に存在するときは、微生物の活性が急速に高まるため温度が上昇するが、酸素が消費されてしまうと急速に活性が衰え、温度も急速に低下しているのが読取れる。そのため頻繁な切返しにより酸素を供給しなければならず、1カ月に一度切返しを行っている。

これに対し条件的嫌気性菌による堆肥化のグラフは、温度上昇は緩やかだが、急速な温度の低下はみられず、切返しを行わなくても微生物の活性は維持されていることがわかる。2カ月目で一度急激に温度が低下しているのは、工程上全工区一律で切返しを行ったもので、切返し時に放熱されてしまったためである。堆肥の均一化のために2カ月目で一度切返しを行うようにしていたが、この温度変化から判断すると、仕込時から最後まで一度も切返しを行わないことも可能であると考えられる。

(2) 短期間で堆肥化・長期間の保存が可能

温度グラフからも読取れるように、切返し手間をかけなくても微生物の活性は維持され、きちんと堆肥化は進行し、限られた工期内で良質な堆肥を作ることができる。

またできた堆肥を長期間保存する場合も、条件的嫌気性菌で作った堆肥は、好気性菌で作った堆肥のように定期的な切返し管理を行う必要がなく、写真-2のようにシートを掛けたままの状態での保存が可能である。



- ① 悪臭の発生がないので、住宅地の近くで施工しても苦情は一切来ない。
- ② 仕込み後はシートを掛けて堆積しておくだけなので、特別な施設は必要ない。
- ③ 堆肥化が終了しても、このままの状態での長期保存可能。

写真-2 条件的嫌気性菌による堆肥化風景

短期で施工しなければならない場合も、長期にわたり施工する現場にも対応可能である。

(3) 堆肥化に伴う周辺環境悪化の防止

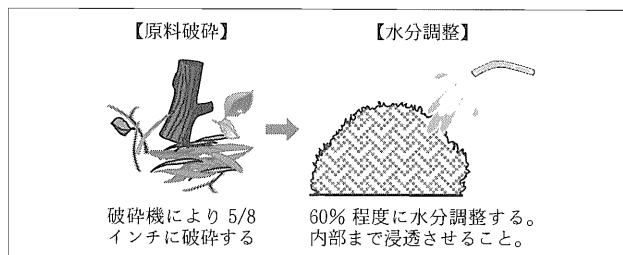
条件的嫌気性菌を用いた堆肥化では、悪臭や汚濁水の浸出は認められなかった。写真-2は条件的嫌気性菌により堆肥化しているものだが、住宅地の近くで施工しても住民から苦情が来ることは一切なかった。

(4) 特別な施設を必要としない

堆積中は、写真-2のようにシートを掛けておくだけなので、特別な施設は必要ない。

6. 施工方法概略

(1) 原料の調整段階 (破碎・水分調整)

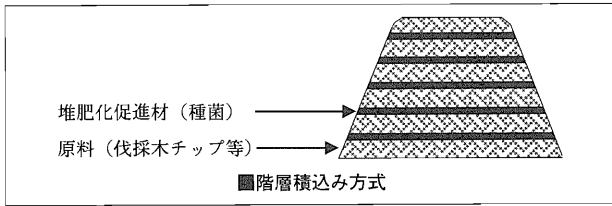


(2) 発酵促進材の添加・積込み

発酵促進材として種菌 (条件的嫌気性菌) を添加して、積込む。積込み方式は階層積込みと混合攪拌方式の2通りがある。

### (a) 階層積み方式

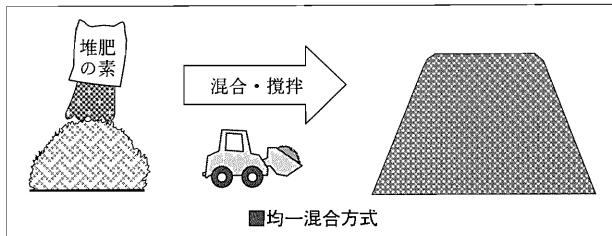
原料と堆肥化促進材（種菌）を層状に積込む方式。菌層の均一化のため、堆積2カ月目で一度、切返しが必要。



### (b) 均一混合方式

原料と堆肥化促進材（種菌）をあらかじめ混合してから積込む方式。

切返しをしなくてもよいが、種菌の混合量が多くなる。



### (3) シート掛け・堆積発酵

積み込み後は、風に飛ばされないよう、しっかりシートを掛け、堆積発酵させる（写真—3）。



写真—3 シート掛け状況

### (4) 堆積中の維持管理

温度の上昇が見られない、急激に温度が変化するなどの異常が見られた場合を除き、このまま堆積する。異常が見られた場合は状況に応じて対処する。

## 7. 事例紹介

条件的嫌気性菌による堆肥化の事例を紹介する。いずれも種菌として「堆肥の素一番」を使用した。堆肥の素一番は NETIS（NETIS 登録 No. KT-010162）にも登録されている。

### (1) 階層方式の事例1（国営アルプスあづみの公園）

本公園はアカマツを主体とした樹林地が公園面積の80%を占めており、公園整備に当たって大量に発生する伐採木、抜根を処理する必要があった。

リサイクル・ゼロエミッションをキーワードとして処理方法を検討した結果、植物性廃棄物をチップ化して堆肥にし、植生基盤材として再利用する方法を選択した。

平成11年度から技術開発に着手、平成12・13年度に試験施工を行い、開発目標を満足する良好な結果が得られた。

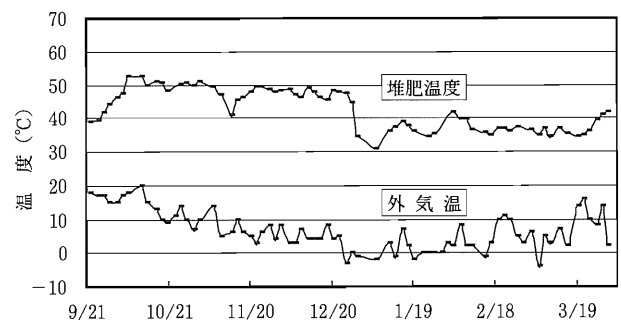
通常行われている好気性菌による堆肥化では、ある程度分解が進むと堆積物中の空気量が不足したり熱により水分が蒸散するため、切返しにより、空気や水分の補給を行わなければならない。しかし、工期の関係上、堆肥化開始が秋、一冬堆積して春には終了というものであり、冬季は積雪が多く、切返し作業が困難な環境であった。そのため、

① 切返しを行わなくても菌の活性が低下しないこと、

② 途中で水分の補給が必要ないことは重要な条件であり、条件的嫌気性菌による堆肥化、が採用された。

#### (a) 温度測定結果から

本堆肥化では種菌を階層的に積込んだため、2カ月目で菌相を均一にするため一度だけ切返しを行っているが、その他は一切行わなかった。切返しを行わなくても微生物の活性が低下せず、順調に分解が進むことが確認できた。



図—2 温度測定グラフ

12月後半から外気温が著しく低下し始め、それに伴い1月から堆肥の温度も低下したが、外気温が昼間でも氷点下、夜間の最低温度が-17°Cにまで下がった日もあるなかで、堆肥の温度が約40°C弱を維持し続けたのは、微生物による分解が順調に進行したためであると言えるだろう（図-2）。

(b) 分析結果から

原料および、6カ月間堆積後の堆肥を分析した結果を表-2に示す。

表-2 原料および堆肥の分析結果

分析項目	分析結果	
	原材料	6カ月後
水分 (%)	55.1	52.2
強熱減量(有機物) (%)	99.34	45.78
C/N 比 (-)	705	49

水分については、途中で水分の補給は全く行わなかったにもかかわらず、6カ月間ほぼ一定の値を維持した。水源を確保しにくい山奥の現場では水分補給の手間が省けるのは大きなメリットであるばかりでなく、微生物の活動環境の面からみても、乾湿の変化がなく安定した環境であるというのは良いことである。

腐熟度については、C/N比、有機物量などから判断するが、いずれも良好な値を示しており、微生物による分解が順調に進んだことが読取れる。

(c) できた堆肥の使用

平成14年度の植栽工事では、できた堆肥を土壤改良材として使用し、樹木も順調に生育している。

(2) 均一混合方式の事例2（東京電力神流川ダム）

神流川ダムは長野県と群馬県にまたがる位置にあり、東京電力株式会社が建設中のダムで、現場内の伐採木、抜根材を場内で有効利用する検討をしてきた。東京電力担当者より環境負荷を低減し、コストも最小減に抑える条件の中、条件的嫌気性菌利用の堆肥化促進材の検討をした。

原料はカラマツが主体で、堆肥化予定の現場は標高1,400m程度のところであり、冬季は外気温度が氷点下10°C以下になる。散水のための水の確保が難しく、まして冬季期間中は、現場に行くことさえ難しい環境条件が予想される中での堆肥化であった。これらの条件をふまえ、担当者と綿密に打合わせた結果、仕込み後の切返しを行わずに堆肥化するため、前例でのべた階層積込み方式ではなく、均一混合方式にすることとした。

階層積込み方式に比べ均一混合方式では、発酵促進

材の混合量は3割程度余分に必要となりイニシャルコストとしては増すが、発酵途中での切返しを全く必要としないため、ランニングコストは安くなり施工手間が減少することから均一混合方式に決定することとなった。

平成14年11月から仕込みに入った。切返しに頼った好気性堆肥は完成後も長期保管中に切返しなどの管理が必要となるが、条件的嫌気性菌は空気を必要としない菌相のため完成品をすぐ使用しなくてもまったく切返しの手間が掛からない。今回のダムのように施工が長期にわたる現場では、ダム本体工事開始より伐採は大量に出るが、本格的緑化工事は本体工事が半ばすぎからの施工となることから堆肥化しても完成品として長期間使用できないことが予想されることから、製品としての保管管理の面から特に条件的嫌気性菌発酵が非常に向いていると考えられる。

(a) 温度測定結果から

温度測定の結果、前例と同様、切返しを行わなくても微生物の活性は衰えず、順調に分解が進むことが確認できた。また外気温が低下し、氷点下温度が3カ月近く続いても、堆肥の温度は外気温に左右されず50°C弱を維持し続けた。条件的嫌気性菌の分解が順調に進行していると言えるだろう。ただし事例1（国営アルプスあづみの公園）で述べたように標高の低い現場と違い菌体の活性が低いのか多少発酵時間に影響するようである（図-3）。

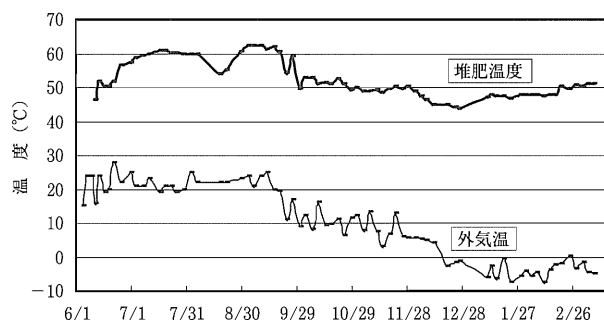


図-3 温度グラフ

(b) できた堆肥の使用

早いものは堆積4カ月目から法面吹付け基盤材として利用を開始しており、残った分は堆積保管している。保管中も特に悪臭の発生や汚濁水の浸出は見られず、品質の悪化も起きていない。

8. おわりに

本報文の事例では、できた堆肥は緑化用土壤改良材および法面吹付け基盤材として造成現場内で再利用し

ている。しかし大量に堆肥を作っても、緑化用資材としてだけでは、使用し切れない現場も数多くある。今後は、緑化用土壌改良材・法面吹付け基盤材以外の利用法についても検討していかなければならないであろう。

チップ堆肥には豊富な微生物が生息することから「微生物資材」としての利用が可能と思われる。例としては

- ① 土壌脱臭材
- ② 土壌浄化材
- ③ 大気浄化材

などが考えられる。今後、微生物を利用した環境負荷の低減技術についても大いに検討が望まれる。

J C M A

【筆者紹介】

中村 富男（なかむら とみお）  
株式会社立山エンジニアリング  
専務取締役  
営業部長



岩浪美保子（いわなみ みほこ）  
株式会社立山エンジニアリング  
技術部  
主席研究員



## 建設工事に伴う 騒音振動対策ハンドブック

「特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準」（環境庁告示）が平成8年度に改正され、平成11年6月からは環境影響評価法が施工されている。環境騒音については、その評価手法に等価騒音レベルが採用されることになった等、騒音振動に関する法制度・基準が大幅に変更されている。さらに、建設機械の低騒音化・低振動化技術の進展も著しく、建設工事に伴う騒音振動等に関する周辺環境が大きく変わってきている。建設工事における環境の保全と、円滑な工事の施工が図られることを念頭に各界の専門家委員の方々により編纂し出版した。本書は環境問題に携わる建設技術者にとっては必携の書です。

■掲載内容：

- 総論（建設工事と公害、現行法令、調査・予測と対策の基本、現地調査）
- 各論（土木、コンクリート工、シールド・推進工、運搬工、塗装工、地盤処理工、岩石掘削工、鋼構造物工、仮設工、基礎工、構造物とりこわし工、定置機械（空気圧縮機、動発電機）、土留工、トンネル工）
- 付録 低騒音型・低振動型建設機械の指定に関する規程、建設機械の騒音及び振動の測定値の測定方法、建設機械の騒音及び振動の測定値の測定方法の解説、環境騒音の表示・測定方法（JIS Z 8731）、振動レベル測定方法（JIS Z 8735）

■体 裁：B5判、340頁、表紙上製

■定 価：会 員 5,880円（本体5,600円） 送料 600円

非会員 6,300円（本体6,000円） 送料 600円

・「会員」本協会の本部、支部全員及び官公庁、学校等公的機関

### 社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館） Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289