

## 39. 伐採木材のオンサイトコンポスト化技術

### ON-SITE COMPOSTING OF FELLING WOOD

帆秋利洋\*・中浦和博\*\*・布施光敏\*\*・加藤重治\*\*・濱田武人\*\*・高原誠吉\*\*\*

Toshihiro HOAKI, Kazuhiro NAKAURA, Mitsutoshi FUSE,

Cyouji KATO, Taketo HAMADA, Seikichi TAKAHARA

**ABSTRACT;** The requirement for reclamation of the construction by-products is increasing as one of the serious problem of environmental pollution. Many trees in the mountains are felled during dam, residential land development, highway construction and so forth. These trees were burnt after felled in the spot until now. However, environmental pollution by increasing of CO<sub>2</sub> becomes a problem in all over the world. As the countermeasures, we have been studied bio-conversion technology of the felling wood. The bio-conversion technology, named as composting, is useful way to reclaim the wood to the soil amendment materials for the plants which consume CO<sub>2</sub> in the atmosphere for their growth.

In this report, we mention (1) optimal condition of pulverization process of felling wood, (2) effectiveness of seed materials for the composting, (3) operational condition for fermentation, and (4) utile condition of the compost to apply as soil amendment materials.

**KEYWORD;** felling wood, compost, construction by-product, reclamation, soil amendment materials

#### 1. はじめに

建設副産物の資源リサイクル化は、今後の建設工事において重要な技術的課題のひとつである。土地造成・道路・ゴルフ場等の建設工事に伴う森林伐採に関しては、環境破壊に対する懸念が高まっており、開発自体の在り方が問われる風潮にある。同時に、地方自治体レベルでの「野焼き禁止」条例およびCOP3での「炭酸ガス削減」に拘わる目標値の設定により、従来のように現場内で焼却処分を行うことが厳しい状況である。その対策として、伐採材を現場内で破碎後コンポスト化し、植物が成長するための土壌改良材として現場内で再利用する一連の技術開発を行ってきた<sup>1)~7)</sup>。本技術は、いわば作業所内ゼロエミッションを達成し得る事から、循環型社会を目指す21世紀に欠かせない要素技術であり、環境負荷を抑えた建設工事技術と言える。

我々は、本技術を確立するにあたり、作業所内でコンポスト化を行うための最適条件について検討してきた。ここでは、工期内で実施可能な技術、および出来るだけ安価な技術を前提条件として検討した。検討した内容は、コンポスト化にとって効率的な粉碎チップのサイズとその調整方法、副資材の種類と添加率等の諸条件の策定をはじめ、畝形状、温度、pH、含水率、かさ密度等の管理手法、作成したコンポストの品質検定、コンポストの利用条件とその手法についてであり、これら一連の研究開発を行った。

本稿では、それらの研究開発で得られた成果について紹介する。

---

\* 大成建設(株)技術研究所 Technology Research Center, Taisei Corp.

\*\* 大成建設(株)名古屋支店 Civil Eng. Dept., Nagoya Branch, Taisei Corp.

\*\*\* 大成サービス(株)計測エンジニアリング事業部 Taisei Service Co. LTD.

## 2. 木質のコンポスト化の概要

### 2.1 コンポストとは？

従来、コンポストは下水余剰汚泥や生ゴミ、家畜糞尿等の有機性廃棄物を安定化するために用いられてきた技術である。コンポスト化過程では、有機物の分解に伴って生じる呼吸熱によって、堆積物内部が通常 80℃ 程度まで上昇する。このような高温にさらすことの意義として、ひとつは分解活性が高まるためと、もうひとつは病害菌や害虫の卵を熱によって死滅させることにある。通常のコンポスト製造過程では、呼吸熱の蓄積による昇温後に菌類の増殖に必要な酸素が不足するため、堆積山内部を鋤返しする。この工程を繰り返すことによって腐敗性の有機物が分解されて安定化すると共に全体の容積が減少していく。

### 2.2 木材の成分と分解特性

木質成分は、天然物のなかでも分解を受けにくい有機物の代表である。その理由として、木質全体の 95% が細胞壁で構成されており、その成分はおおまかに 40～60% がセルロース、15～20% がヘミセルロース、残りの 20～30% がリグニンで構成されていることに由来する<sup>8)</sup>。森林リターフォール(落葉)が分解され粗腐食となるまでに、松針葉を例にとると約 10 年必要だと指摘されている<sup>9)</sup>。木質のコンポスト化に関しては、杉や檜の樹皮を原料にしたバーク堆肥が技術的に確立されている。製造業者からの情報によると、それらは設備の整った発酵槽内で製造されているが、それでも完熟までには 2～3 年要すると言われている。

### 2.3 木材分解菌

コンポスト化の対象としている木材に関しては、その分解菌の種類も少ない。木材分解菌で、最も有名な生物は担子菌類に分類される白色腐朽菌(*Pleurotus ostreatus*、*Coriolus* など)であり、これらはセルロース、ヘミセルロース、リグニンの全てを分解できる<sup>10)</sup>。また、好熱性放線菌(*Thermoactinomyces* sp.、*Actinobifida* sp. など)と好熱性糸状菌(*Chaetomium* sp. など)もセルロースやヘミセルロースを分解できることが知られている。

### 2.4 伐採木材の処分形態

当社作業所での工事实績によると、伐採された木材のうち容積比で約 60% は有価幹材等として業者に引き取られる為、残りの 40% がコンポストの対象となる。コンポストの原料としては枝葉や根株が大部分を占めている。

## 3. 原料調整の条件

### 3.1 チップサイズ

繊維質成分から成る木材の分解を促進させるためには、物理的な破碎処理か、もしくは化学的な熱処理や酸・アルカリ処理が有効となる。建設現場のように、大量の伐採材を現場内で処理する際には、破碎処理が最も簡単かつ確実な手法と言える。ここで、コンポスト化には、破碎されるチップの大きさが問題となることが想定できる。そこで、チップ径の異なった原料を調整してコンポスト化の比較試験を行った。比較試験に使用した木片径の分布に関して、1 次破碎(4 インチ篩調整)のみの条件 A は、50mm 以上の木片が約 90% を占めた。これらをさらに 2 次破碎(1 インチ篩調整)した条件 B は、木片の約 80% が 50mm 以下で占められていた。両条件で形成したチップ堆積山はそれぞれ約 100m<sup>3</sup> である。副資材等は一切使用しなかった。なお、チップ堆積山内部に隔測式温度センサー(深度 1.5m)を差し込み、発酵熱による内部の温度変化をモニタリングした。

条件 A は、外気温の推移に対応して畝内温度が上昇することは無かったが、条件 B では温度上昇が顕著で

あった。2条件間でのpH、含水率、およびC/Nに大差はみられなかったことから、この発酵熱の差は木片径の影響を受けていると考えられる。本試験による発酵熱の相違は、木片径の小片化に伴う微生物の接触面積の増大と堆積山の充填密度が高まることによる保温性の向上に影響を受けているものと推察する。

現場では、作業の効率化と低コスト化が大前提である。これらの制約を満足する伐採材の破碎条件は、以上の結果の結果に基づいて、4インチ篩を用いた1次破碎後、それらを1インチ篩を用いて2次破碎することが有効である事が分かった。

### 3.2 副資材

建設現場においては工期という制約条件があるため、長期間かけてコンポスト化することは非現実的と言える。そこで、現場内でコンポスト化するためには、発酵促進化技術の開発が必要となってくる。発酵を促進するためには、副資材と称している分解菌の栄養剤や分解菌そのものをあらかじめ投与することが提案されている。

そこで、副資材の効果を確認するために無添加系(A)に加えて、落葉表土(B)、バーク堆肥(C)、ヒラタケ栽培基(D)、下水汚泥コンポスト(E)、および鶏糞(F)の5種類の副資材を選定し、合計6条件下で比較実験を行った。各条件のチップ堆積山はそれぞれ約100m<sup>3</sup>、副資材の添加率はBの5%(v/v)を除いてすべて1.5%(w/v)とした。松を主原料とした枝葉と根株をチップ加工した木片の性状は、pH5.4、含水率38.5%、炭素含量33.9%、窒素含量0.23%、かさ比重0.4 t/m<sup>3</sup>であった。

副資材と水分調整を行ったチップ堆積山の内部は、いずれも外気温より高く、すべての条件で発酵が進んだ。発酵に伴った温度上昇の傾向は、各条件によって異なった。それぞれの条件で約6ヶ月間発酵したコンポストの性状について分析した結果より、バーク堆肥(C)、下水汚泥コンポスト(E)、鶏糞(F)を添加した条件はC/Nが低く、一方ヒラタケ栽培基(D)と鶏糞(F)を添加したものは、CEC(陽イオン交換容量)が高い傾向を示した。

### 3.3 窒素源の必要最少添加率

以上の結果より、原料調整の条件としては有機質資材を添加することで品質が向上するが、基本的には副資材を添加しなくても発酵が進行することが分かった。ここで、植物廃材をコンポスト化する際、その主成分であるセルロースやヘミセルロース、リグニンを対象とした分解特性に着目する必要がある。とくに、リグニン分解菌は貧窒素条件下で分解が促進されることが知られている<sup>12)</sup>ことから、通常の有機廃棄物のコンポスト化で適用されてきた最適C/N値の概念が植物廃材を対象とした際にそのまま適用できないことが推察された。一方、副資材の添加量を極力抑えることが作業効率と経済性に直接反映されるため、必要最小限の窒素源の投与量を見いだすことは実際の工事に有益な情報を提供することになる。そこで、副資材としてとくに窒素源添加の効果について再確認するために、チップ加工した伐採材のコンポスト化に及ぼす初期C/N比の影響について比較試験を行った。

コンポスト化の発酵状態を間接的に評価できる畝内温度は、尿素を添加していない畝の温度が約10℃低い傾向を示したが、尿素添加率による顕著な影響は見られなかった。しかしながら、畝内の最高到達温度と初期C/N比についてまとめると、変曲点があることが分かった。同様に、コンポスト化の指標として重要な減容率、ならびにCEC(陽イオン交換容量)について約7ヶ月後のデータをまとめると、最高到達温度と同様に変曲点があることが分かった。この変曲点は初期C/N比が115に位置しており、この時の尿素添加率は0.4%に相当した。ここで、CECの増加はリグニンの部分分解に基づく腐植質の増加に起因するものと考えられる。一方、減容率はチップが菌類によって分解され、水と二酸化炭素

に変換された割合を意味し、コンポスト化の進行状態を直接的に評価する指標と言える。本結果より、窒素源を大量に添加することで初期 C/N 比を小さく設定することは植物廃材の分解促進化に必ずしも有効ではないと考えられた。

ただし、それぞれの条件で約 7 ヶ月間発酵させた半熟コンポストの品質分析結果より、窒素濃度は尿素的添加率と比例していたが、コンポスト化に必要な最小限の尿素的添加率 0.4% では C/N 比が 52.5 であり、肥料として使用するには窒素分が不足気味である。また、肥料として重要なリン酸とカリウム濃度も不足している。以上より、土壌還元するには化成肥料等と併用する事が望ましいと言える。

## 4. コンポスト化の管理条件

### 4.1 菌相変化

尿素的添加による菌相比較を行った結果、窒素源が豊富であると、常温(20~35℃)で増殖する従属栄養細菌が 50℃ 以上で増殖できる好熱菌に対して 10 倍以上高く検出され、かつ糸状菌も出現する傾向が確認された。一方、尿素的を添加していない窒素飢餓条件では好熱性放線菌が出現していた。本結果より、窒素の添加によって多様な菌相になるものと推察できるが、これらは主に常温菌に対しての増殖に影響しており、実際の畝内温度を反映する 50℃ 以上で増殖してチップの分解を促進する菌に対しての影響はほとんど生じていないものと考えられた。

### 4.2 温度

白色腐朽菌を代表する *Phanerochaete chrysosporium* は増殖最適温度が 39~40℃ であり、そのリグニン分解活性の最適温度は 23~28℃ と低い<sup>11)</sup>。一方、好熱性菌といえども、60℃ 以上では増殖できず内生胞子を形成し休眠状態となる。従って、60~80℃ のような高温に到達したときのコンポスト化の進行状態は不明である。事実、発酵途中のチップを原料とした場合、大部分の菌が 40℃ 以下で生育した。その中で、分離された代表的な菌の木質分解酵素活性と温度の関係について調べたところ、セルラーゼに関しては 50℃ と 70℃、キシラナーゼに関しては 50~60℃ が分解のための最適温度であった。

酵素活性は、温度が 10℃ 上がると活性は 2 倍になるため、理論的には 70℃ では 35℃ に比較して約 10 倍速く分解されることになる。以上の結果を総合すると、コンポスト化初期段階では 40℃ 以下で温度管理を行って分解菌を増殖をさせ、その後 50℃ 以上に温度を上昇させて酵素活性を高めるよう高温状態を維持することが木質成分の分解促進化に有効であると思われる。

### 4.3 pH

減容率に及ぼす pH の影響について検討した結果、pH7~8 が木質をコンポスト化する際の最適条件であることが分かった。

### 4.4 C/N

一般的にコンポスト化には C/N が重要な指標として捉えられており、C/N=20~40 が良いとされているが、前述のように木質のコンポスト化には C/N=115 程度で十分であった。白色腐朽菌による合成リグニンの分解は、高 C/N 下で分解活性が高まるという報告<sup>12)</sup>がある。従って、本結果は木質成分の分解に特有の性質であると考えられる。

### 4.5 含水率とかさ密度

減容率に及ぼす含水率の影響について検討した結果より、含水率は 50~55% が木質をコンポスト化する際の最適条件であることが分かった。同様に、かさ密度は 0.6t/m<sup>3</sup> が最適条件であった。

## 4.6 酸素濃度

チップ堆積山内部のガス濃度は、 $O_2$ の消費とそれに伴った $CO_2$ の増加が確認され、また、 $H_2S$ 、 $H_2$ 、 $NH_3$ 、メチルメルカプタンは検出されなかったことから、好氣的発酵が良好に進行していたものと判断された。一方、代謝ガスは側面からの距離に応じて濃度勾配を示しており、側面より1.5mの堆積山内部の $O_2$ は約10%であった。ガスの濃度勾配を辿ると側面より2mで $O_2$ が消費される傾向を示した。すなわち、チップの堆積状態(充填密度)にも依存すると考えられるが、チップ堆積山の幅を4mに設定することで、嫌気条件を回避しつつ高温状態を良好に維持することができることが示唆された。

## 5. 施用事例

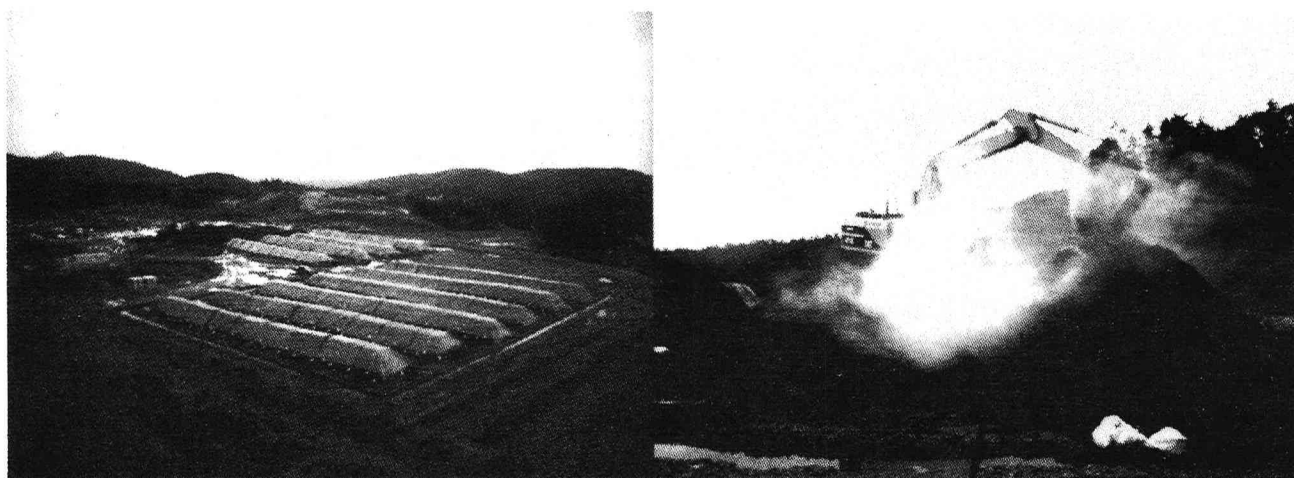
### 5.1 計画緑地への施用

伐採材のコンポスト化においては、発酵・熟成したコンポストをどのような用途で利用するかが問題となる。理想的には、伐採からチップ加工、コンポスト製造、ならびに利用に至るすべての工程をその建設工事現場内で行うことが望ましい。その際、土壌改良材として計画緑地へリサイクルする手段が考えられる。そこで、芝草の客土として敷設するために、地盤沈下の防止と浸出水の着色防止条件を実験的に見だし、その結果に基づいて施用した。一方、回復緑地へ土壌改良材として再利用した際には、事前に植栽苗を用いて現地発生土と半熟コンポストとの配合比、客土厚などの適正評価を行ったうえで施用した。

### 5.2 田畑への施用

工事の性格上、その建設工事現場内でコンポストの全量が消化利用できない場合も想定される。そこで、水田や畑の有機農法として施用する為の諸条件について検討した。施用したものは半熟コンポストであったが、コンポストとして重要な指標であるpH、CEC、窒素含量、可給態リン酸、可給態カリウムはともに日本バーク堆肥協会の基準値に近い値を示した。これらは収穫後においても土壌中に残留していたことから、作物の成長には過不足無く供給されたものと判断された。

以上の結果より、伐採材をコンポスト化したものは、利用目的に応じた条件を設定することで再利用が可能であることが明らかとなった。

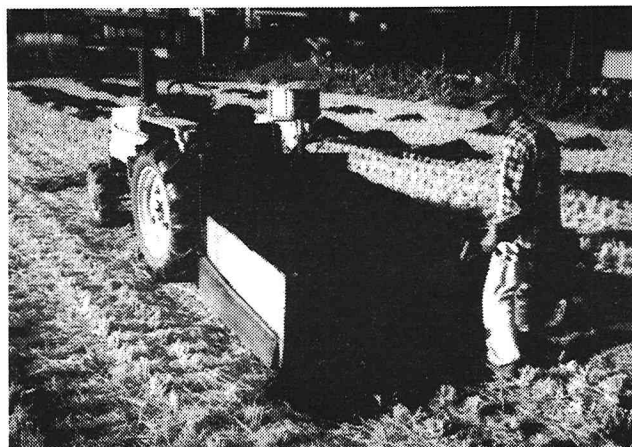


6,300m<sup>3</sup>チップのオンサイトコンポスト化状況

攪拌状況 (畝内部温度は約80℃)



半熟コンポストの場内回復緑地への再利用状況



半熟コンポストの水田への利用状況

## 参考文献

- 1) 中浦和博、濱田武人、布施光敏、帆秋利洋、高原誠吉、伐採材のコンポスト化における粉碎木片の影響、第53回年次学術講演会第6部門要旨集
- 2) 布施光敏、中浦和博、濱田武人、帆秋利洋、高原誠吉、伐採材のコンポスト化における副資材の影響、第53回年次学術講演会第6部門要旨集
- 3) 帆秋利洋、高原誠吉、中浦和博、布施光敏、濱田武人、木質分解酵素活性からみた伐採材のコンポスト化における管理条件、第53回年次学術講演会第6部門要旨集
- 4) 濱田武人、中浦和博、布施光敏、帆秋利洋、高原誠吉、粉碎木片を発酵させたコンポストの土壌改良材としての施用事例、第53回年次学術講演会第6部門要旨集
- 5) 帆秋利洋、建設工事で発生する伐採木材のコンポスト化技術、第13回セルラーゼ研究会
- 6) 帆秋利洋、濱田武人、中浦和博、布施光敏、高原誠吉、伐採樹木のコンポスト化技術、第20回全国都市清掃研究発表会、pp.104-106
- 7) 帆秋利洋、高原誠吉、濱田武人、加藤重治、伐採材のオンサイトコンポスト化における初期C/N比の影響、第54回年次学術講演会第6部門要旨集
- 8) 原口隆英他著：木材の科学・3、文永堂出版 pp.1-5、1985.
- 9) 杉山純多著：植物生腐生菌類、In 山里一英他編集、微生物の分離法、R&Dプランニング発行、pp.160-166、1986.
- 10) Nishida, T., Kashini, Y., Mimura, A. and Takahara, Y.: Lignin Biodegradation by Wood-Rotting Fungi I. Screening of lignin-degrading fungi、Mokuzai Gakkaishi、Vol.34、pp.530-536、1988.
- 11) Vyas, B.R.M., Volc, J. and Sasek, V.: Lignolytic Enzymes of Selected White Rot Fungi Cultivated on Wheat Straw、Folia Microbiol. 39、pp.19-22、1994.
- 12) Kirk, T.K.: Lignin Biodegradation: Microbiology, Chemistry, and Potential Application、CRC Press、Vol.II、p.51、1980.