

ISSN 0386—5878

土木研究所資料第3413号

土 木 研 究 所 資 料

下水汚泥と剪定枝葉の堆肥化に関する調査

平成8年1月

建設省土木研究所
環境部緑化生態研究室

Copyright © (1996) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全文又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

下水汚泥と剪定枝葉の堆肥化に関する調査

緑化生態研究室 室 長 田 中 隆

主任研究員 藤 原 宣 夫

主任研究員 桃 井 信 行

研 究 員 飯 塚 康 雄

前 室 長 半 田 真理子 *

前 主任研究員 小 澤 徹 三 **

前 主任研究員 石 坂 健 彦 ***

前 研 究 員 吉 永 裕 康 ****

要 旨

汚泥をリサイクルの一環として緑地に利用する試みが進められている。一方、都市緑化により発生する廃棄物として剪定残渣はその処理が問題となってきた。これらの課題を解決する一手段として、両者を混合し、堆肥化し緑地に還元することが有効と考えられるが、良質な汚泥堆肥を製造するために効果的な副資材の性状や適正な混合比等についての知見は乏しい。本報告書では、各種副資材を用いて堆肥を試作するとともに、その堆肥を用いた植栽試験を実施し、試作堆肥の性状や肥効力を把握し、下水汚泥と剪定残渣等を用いた堆肥製作の手法等について取りまとめを行った。

キーワード：下水汚泥、有効利用、剪定残渣

* 現 環境部 環境技術総括研究官

** 現 日本道路公団 技術部

*** 現 日本道路公団 東京第二管理局

**** 現 関東地方建設局

はじめに

近年、下水道および下水処理施設の整備が進むに伴い、その汚水処理の最終段階で大量に発生する消化汚泥の再利用方法が各所で試みられている。汚泥には有機物が豊富に含まれていることから、肥料または土壌改良材として緑地に還元することが、有効な再利用法の一つであると考えられる。

緑化生態研究室においては、これら消化汚泥の利用に関して、昭和55年度から「下水汚泥の都市緑化への利用に関する調査」等の調査研究を実施し、研究の成果を建設省都市局とともに作成した「都市緑化における下水汚泥の施用指針(案)」(昭和62年3月)や、現場での利用者がより理解しやすいように補足説明等を加えて取りまとめた「都市緑化における下水汚泥の利用」(土木研究所資料第2938号、平成3年3月)として刊行してきている。

一方、緑地維持管理に伴い発生する樹木の剪定残渣は、一般ゴミの増加に伴う焼却施設の受け入れの拒否や産業廃棄物の処理に関する法制度の改正、また、環境に対する配慮などの点からリサイクルをはじめとした再利用方法も各所で検討されている。

当研究室においては、この窒素分に富んだ下水汚泥と炭素分を多く含む樹木の剪定残渣の2種の有機性廃棄物を同時に処理することにより、植物の生育に有効なバランスのとれた堆肥等を作り出す手法を明らかにするために、平成2年度より平成5年度にかけて「下水汚泥の施用方法に関する調査」を実施してきた。このなかで、汚泥と剪定残渣等を混合した堆肥の製造および施用に関して、留意すべき事項に関して検討を行うとともに、製造した堆肥の緑化植物に対する施用に関しても調査を実施した。

本書は、4箇年にわたる研究成果を取りまとめたものであり、本書が多少とも下水汚泥の緑地利用に携わる技術者のお役に立てば幸いである。

本研究の実施に際して、資料提供等のご協力を頂いた(財)公園緑地管理財団の関係各位に、ここに記して感謝の意を表する次第である。

平成8年1月

環境部 緑化生態研究室

室 長 田中 隆

目 次

第1章 堆肥試作に関する研究	1
1. 1 試験研究の目的と概要	1
1. 1. 1 試験研究の目的	1
1. 1. 2 試験研究の概要	1
1. 2 試験研究方法	1
1. 2. 1 堆肥試験製造	1
(1) 使用材料	2
(2) 使用機材	2
(3) 製造方法	3
1. 2. 2 調査内容及び調査方法	4
(1) 使用材料	4
(2) 堆肥化過程	5
(3) 試作堆肥	6
1. 3 試験研究結果	10
1. 3. 1 使用材料特性	10
(1) 下水汚泥	10
(2) 混合副資材	11
1. 3. 2 堆肥化過程	14
(1) 性状の変化	14
(2) 温度変化	19
(3) 沈下の度合い（減容度合い）	27
1. 3. 3 試作堆肥	28
(1) 性状	28
(2) 水分含有量の変化	28
(3) 化学的性質	30
(4) 粒度分布	32
(5) 病原菌検査	33
(6) 発芽試験	35

1. 4 試作堆肥に関する取りまとめ	36
1. 4. 1 混合物の性状	36
(1) 剪定枝葉粉碎物	36
(2) 建築廃材粉碎物	36
(3) 木粉（オガクズ）	36
(4) 炭	36
(5) 糖類	37
1. 4. 2 望ましい混合および製造方法	37
 第2章 植栽試験	39
 2. 1 試験目的	39
 2. 2 試験研究方法	39
2. 2. 1 試験区の造成と植栽方法	39
2. 2. 2 調査方法	40
(1) 土壌調査	40
(2) 試験植栽木の生育状況調査	40
 2. 3 調査結果	41
2. 3. 1 土壌調査	41
2. 3. 2 試験木の生育状況	43
(1) 樹高	43
(2) 根元径	44
(3) 葉張り	45
(4) 活力度	47
(5) 根系調査	48
(6) まとめ	48

付 録 植栽試験測定結果資料

第1章 堆肥試作に関する研究

1. 1 試験研究の目的と概要

1. 1. 1 試験研究の目的

下水汚泥の堆肥化は、廃棄物を有効に活用できるという点で優れた処理方法であり、また、物質循環の観点からも極めて好ましい処理方法であるといえる。

下水汚泥の堆肥化には、汚泥を単独で発酵させる方法と、汚泥以外の副資材を混合して発酵させる方法の2種類がある。後者の副資材を混合して堆肥化する方法では、汚泥の水分の調節や好気発酵に必要な汚泥内の空隙の維持が利点として挙げられる。特に、オガクズなどの有機質系の副資材の混入は、堆肥の炭素率の向上や、汚泥自体に含まれる量が少ないカリウムなど植物に必要な養分の供給を図ることができる。

このように副資材の混合は、汚泥の堆肥化にあたり発酵の促進および質的向上に寄与することが期待できるが、費用や資材の安定供給などの面で問題があり、多くの自治体等では、汚泥単独で堆肥を製造している場合が多く、副資材を混合して製造している例は少ない。

一方、公共施設における緑化面積の増加に伴い、緑地の維持管理作業で発生する剪定枝葉等が増加する傾向にある。これらの発生材は、一般的には焼却処分されているが、環境面や処理費用の面からリサイクルが試みられており、粉碎して堆肥化やマルチング材としての利用が図られている。樹木剪定は季節的な作業であるため、各月毎の発生量に変動はあるものの年間を通じておおよそ一定量が確保されることから、より一層の有効利用率の向上が望まれているところである。

本研究は、これらの2つの問題を総合的かつ効果的に解決する手段として、下水汚泥と剪定枝葉などの樹木起源の発生材を混合した堆肥を試験的に製造し、製造方法および製品の形状や組成などの把握とともに、その効果的な製造方法について知見を得ることを目的としている。

1. 1. 2 試験研究の概要

本研究では、使用する汚泥には一般的な公共下水処理場において発生する消化汚泥を使用し、副資材には樹木剪定枝葉などの樹木起源の資材と堆肥製造に効果が期待できる補助資材を使用することとした。これらの資材を一定比率に混合し、同量をできるだけ同一条件で堆肥化させた。堆肥は、その製造過程における各種変化の状況および完成時の性状や品質について調査分析を行うとともに、植物種子による発芽試験を行い、その発芽や生育結果より、堆肥の植物体に対する障害の有無を調べた。

これらの結果をもとに、良質の汚泥・樹木系副資材混合堆肥の効率的な製造方法に関する検討を加えた。

1. 2 試験研究方法

1. 2. 1 堆肥試験製造

(1) 使用材料

汚泥・樹木系副資材混合堆肥（以下、堆肥という）の試験製造には、主材料に霞ヶ浦湖北流域浄化センターで処理、発生した高分子凝集剤を用いた消化脱水汚泥を使用した。また、副資材として混合する木質系資材は、以下の材料を使用した。

- ① 乾燥粉碎物 : 伐採したサクラをチップ状に粉碎し、さらにハウス内で乾燥させたもの。
- ② (生)粉碎物 : 伐採したユリノキとケヤキをチップ状に粉碎し、堆肥製造時までで密封して冷蔵庫で保存したもの。
- ③ 建築廃材粉碎物 : 木質の建築廃材（家屋の梁等）を粉碎したもの。
- ④ 落葉樹粉碎物 : 落葉広葉樹の剪定枝葉をチップ状に粉碎したもの。
- ⑤ 常緑樹粉碎物 : 常緑広葉樹の剪定枝葉をオガクズ状に粉碎したもの。
- ⑥ 炭 : ヤシガラ炭あるいは建築廃材炭化物の粉粒物。
- ⑦ 木粉 : ベイツガのオガクズ（0.5mm選別品）。
- ⑧ 糖 : 砂糖。

これらの資材を混合、攪拌し、同一条件の下で堆肥化させることとした。副資材の種類及び量の差による呼称および汚泥と副資材と混合容積比率は以下の表－1. 1のとおりである。

表－1. 1 試作堆肥の呼称および混合容積比率一覧

名 称	混 合 物 組 成		製造年度
	汚泥	混 合 物	
ﾌｧﾌﾟ1 区	1 容	乾燥粉碎物 1 容	平成2年度
生ﾌｧﾌﾟ1 区	1 容	(生) 粉碎物 1 容	平成2年度
ﾌｧﾌﾟ0.5 区	1 容	乾燥粉碎物 0.5 容	平成2年度
ﾌｧﾌﾟ1:炭0.2 区	1 容	乾燥粉碎物 1 容 + 炭 0.2 容	平成2年度
建築廃材1 区	1 容	建築廃材粉碎物 1 容	平成2年度
剪ﾌｧﾌﾟ1 区	1 容	落葉樹粉碎物 1 容	平成3年度
剪ﾌｧﾌﾟ1:炭0.5 区	1 容	落葉樹粉碎物 1 容 + 炭 0.5 容	平成3年度
炭0.5 区	1 容	炭 0.5 容	平成3年度
剪ｶﾞｸｽ1 区	1 容	常緑樹粉碎物 1 容	平成3年度
剪ｶﾞｸｽ1:炭0.5 区	1 容	常緑樹粉碎物 1 容 + 炭 0.5 容	平成3年度
炭1 区	1 容	炭 1 容	平成3年度
木粉1:炭0.5 区	1 容	木粉 1 容 + 炭 0.5 容	平成4年度
炭0.5:砂糖 区	1 容	炭 0.5 容 + 砂糖	平成4年度

(2) 使用機材

本研究の堆肥製造には、発酵槽を用いた。使用した発酵槽は、木製合板を使用した二重構造で、形状は、内部の床面積が 0.25m^2 ($0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$)、高さ 1m の箱形で、内容量は、 250L である。(図-1. 1) また、本発酵槽は、壁板の間に厚さ 3cm の断熱材を使用している。

前部は、壁と同様の素材を用いた
3枚の上下に可動するスライド状の仕切りになっている。上部蓋の部分は、螺番付きの樹脂性の波形板を使用し、前後方向に傾斜を持って閉じる仕組みとすることにより、発酵槽の内部で蒸発した水滴が、外部に落ちる構造となっている。また、蓋の角度を調節することにより、水分を内部に還元することも可能な構造と

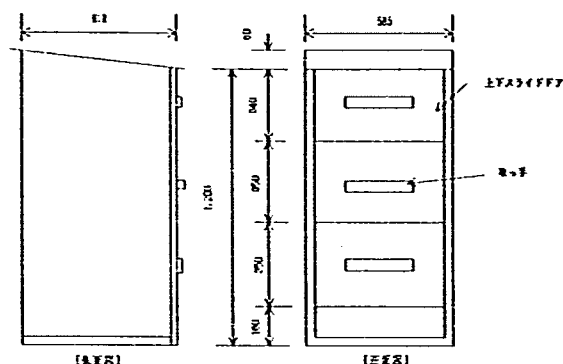


図-1. 1 発酵槽の模式図

してある。通気(エアレーション)用に、下部から送風が可能となるよう塩化ビニール性の通気管を設置するとともに、熱帯魚水槽用のバイブレーションポンプを用い、これにより、発酵槽下部より、強制的なエアレーションが可能となるようにした。

(3) 製造方法

堆肥は、土木研究所の緑化実験圃場で、表-1. 2に示した混合物比率により製造した。

表-1. 2 各資材の混入量(単位: L)

名 称	汚泥	乾燥 粉碎物	(生) 粉碎物	建築材 粉碎物	落葉樹 粉碎物	常緑樹 粉碎物	木粉	糖類	炭	発酵 補助材
ﾌﾌﾌ1区	1 2 5	1 2 5								
生ﾌﾌﾌ1区	1 2 5		1 2 5							
ﾌﾌﾌ0.5区	1 6 7	8 3								
ﾌﾌﾌ1:炭0.2区	1 1 4		1 1 4						2 2	
建築廃材1区	1 2 5			1 2 5						
剪ﾌﾌﾌ1区	1 2 5				1 2 5					1 0
剪ﾌﾌﾌ1:炭0.5区	1 0 0				1 0 0				5 0	1 0
炭0.5区	1 6 7								8 3	1 0
剪材'ｸｽ'1区	1 2 5					1 2 5				1 0
剪材'1:炭0.5区	1 0 0					1 0 0			5 0	1 0
炭1区	1 2 5								1 2 5	1 0
木粉1:炭0.5区	1 0 0						1 0 0		5 0	1 0
炭0.5:砂糖区	1 7 2							6 kg	8 6	5

汚泥と副資材は、混合、攪拌し、容量が 250 ℓ の小型発酵槽に詰め込んだ（仕込み）。発酵槽には下部からエアープンプによる 6 ℓ / 分の強制通気を行い、好気発酵を促した。約 2 週間、発酵温度、臭気、堆肥の減容、その他の観察結果から、切り返しが適当と判断したものは、発酵槽前部のスライドを除いて、内容物をシート等の上に広げ、手作業で攪拌混合した後、発酵槽に戻した。（ここまでの期間を一次発酵期間と呼ぶこととした。）

その後、約 4 週間、強制通気を止め、下部から自然通気による発酵に切り替えた。（この期間を二次発酵期間と呼ぶこととした。）

1. 2. 2 調査内容及び調査方法

堆肥の製造に使用する汚泥および副資材について、物理性および化学性の調査分析を行った。測定項目とその測定・分析方法は以下のとおりである。

(1) 使用材料

①比重（見かけ比重、またはかさ比重）

試料の比重は、容積 5 ℓ のステンレス製メジャーカップを使用して計量し、計算により求めた。

②pH

試料の pH は、試料を水で懸濁し、その懸濁液の pH をガラス電極 pH メーターで測定した。

懸濁液作成にあたっての試料と水の重量比率は、以下のとおりとした。

材料（汚泥、枝葉粉碎物等）・・・・・・ 試料：水 = 1 : 5

試作堆肥・・・・・・ 試料：水 = 1 : 5

③水分

試料の水分は、原則として試料を 100g 以上採取し、採取時の重量と乾燥器により強制乾燥させた重量の差を計量し、水分量を算出した。

④粒度分布

試料の粒度分布は、JIS Z 8801 に規定する標準ふるいを用いて計測した。

ふるい分けは、原則として有姿の水分状態のまま行うものとし、汚泥に関しては水分含有率が高いので、水中でふるい分けを行った。

⑤全リン酸

試料の全リン酸は、バナドモリブデン酸法による比色により計測した。

⑥電気伝導度（EC）

試料の電気伝導度は、試料を水に懸濁し、その懸濁液の電気伝導度をECメーターにより測定した。

懸濁液作成にあつたての試料と水の重量比率は、以下のとおりとした。

材料（汚泥、枝葉粉碎物等）・・・・・・ 試料：水＝1：10

試作堆肥・・・・・・ 試料：水＝1：10

⑦塩基置換容量（CEC）

試料の塩基置換容量（CEC）は、セミクロショーレンベルガー法により測定した。

⑧全炭素

試料の全炭素は、自動分析装置を用いて、試料を燃焼させたあとの炭素を炭酸ガスに変換し、ガスクロマトグラフィーに導いて炭酸ガスの量を測定し求めた。

⑨全窒素

試料の全窒素は、自動分析装置を用いて、試料を熱分解させたあと、試料中の窒素を窒素の酸化物とし、これを窒素ガスに還元してガスクロマトグラフィーに導いて、窒素ガス量を測定し求めた。

⑩アンモニア態窒素

試料のアンモニア態窒素は、10%塩化カリウム液による乾燥物の浸出液をセミ・ミクロケルダール蒸留法により測定し求めた。

⑪硝酸態窒素

試料の硝酸態窒素は、硝酸塩に換えて蒸発、乾固させフェノール硫酸を作用させた後、アンモニアアルカリ性で発色させ比色により定量し求めた。

⑫金属類

試料の金属類の分析は、硝酸－過塩素酸で分解した試料を、原子吸光分光光度計により、測定した。

(2) 堆肥化過程

堆肥化過程の調査にあたっては、以下の項目について調査を行った。また、試料の採取は、1次発酵終了時および2次発酵終了時、すなわち堆肥完成時の2回にわけて実施した。

① 性状の変化

1) 観察目的

堆肥の完成するまでの外見、触感および臭気などの発酵過程経緯を観察することにより、原材料と

完成した堆肥の性質との関係について明らかにする。

2) 観察方法

堆肥中の下水汚泥および混合副資材の分解度合い、色の変化、カビやキノコなどの発生状況、減容状況などについては目視により、随時観察し記録するとともに、写真撮影を実施した。乾燥度合いやぬめりなどについては手による触感により、また、堆肥の臭気についても、人間の感覚により観察し、随時記録した。

② 温度変化

1) 測定目的

堆肥は、発酵菌の働きにより堆肥化過程で 80℃以上に達することもある。発酵温度は、発酵の良否に関与するだけでなく、中に含まれる植物種子や病原菌などの消滅に大きな効果を持つことが知られている。一般に下水汚泥の堆肥化においては、病原菌の死滅などの点から 65℃以上の温度が 48時間以上続くことが製造過程での必要な一つの目安になっている。また、発熱を伴う一次発酵が終わったことを示す目安は 40℃前後の温度が継続する状態とされている。

これらを踏まえて、完成するまでの温度変化を観察することにより、完成時期の確認と完成した堆肥の性質との関係について明らかにする。

2) 測定方法

発酵槽の上段と下段に温度センサーを挿入して 3 時間毎に温度を測定した。仕込み時には計測部位を底面から、上段（上部）75cm、下段（下部）25cmの箇所とした。その後、堆肥は発酵の進行にともない減容し発酵槽内で高さが低くなるため、温度センサーの位置を逐次移動させ、常に堆肥表面から 20cm 下を上部、底面から 20cm の高さを下部の測定箇所とした。

③ 沈下の度合い（減容度合い）

1) 測定目的

一般に発酵過程において、堆肥化が進むと材料の分解等により容積は減少する。このため、減容化の度合いおよびその速度は、堆肥化の進行度のひとつの目安になる。これらの観察により、完成までの時間と堆肥の性質について明らかにする。

2) 測定方法

汚泥と副資材等の混合物の発酵槽底面から混合物表面までの高さを測定し、当初の仕込時の容積を 100 として、測定時の容積比で示した。

(3) 試作堆肥

試作堆肥の調査分析にあたっては、以下の項目について調査を行った。

① 性状の変化

1) 観察目的

完成した堆肥の外見、触感および臭気などを観察することにより、原材料や一般市販品と完成した堆肥の性状の相違について明らかにする。

2) 観察方法

堆肥中の下水汚泥および混合副資材の分解度合い、色の変化、カビやキノコなどの発生状況、減容状況などについては目視により、観察し記録するとともに、写真撮影を実施した。乾燥度合いやぬめりなどについては手による触感により、また、堆肥の臭気についても、人間の感覚により観察し、記録した。

② 水分含有量の変化

1) 測定の目的

当初の材料の水分量と堆肥化後の水分量の変化は、発酵に伴う発熱による蒸散などにより減少するため、堆肥化の客観的な目安として有効であると考えられる。このため、当初と完成時の含水率を測定し、性質との関係について明らかにする。

2) 測定方法

本研究においては、汚泥に混合する剪定枝葉等について、あらかじめ容積比でその混合量を定めて堆肥化を図り、その混合前の材料の計算上の水分量と完成品の実測水分量との変化を測定した。

ただし、平成4年度に製造した炭0.5:砂糖区は、作業性の確保から仕込み時に水分調整を行った。

③ 化学的性質

1) 測定の目的

本研究において製造された試作堆肥の原材料の化学的性質は、事前の分析で把握されているが、堆肥化によるそれらの性質の変化は、外見だけでは判別できない。このため、植物の生育補助などの目的で使用するにあたって、完成堆肥の基本的な化学的性質を把握する。

2) 測定方法

分析内容は、以下の項目とし、分析及び測定方法等は1. 2. 2の(1)項と同様とした。また、供試材料は、平成4年12月現在の試作品である。

a. 比重

b. pH

c. 含水率

d. EC (1:10)

e. CEC

f. 全炭素

g. 全窒素

h. C/N比

- i. アンモニア態窒素
- j. 硝酸態窒素
- k. 全磷酸
- l. 全カリウム
- m. 全カルシウム

④ 粒度分布

1) 測定目的

汚泥は、水分を多く含み粘性があるため、塊を形成し易い。特に、汚泥自身あるいは副資材を核としてその周りに汚泥が付着して、大粒径の塊を形成してしまうことが多い。このため、汚泥と副資材を混合して発酵させた製品であっても、取り扱いかたによっては、容易に塊を形成してしまうことがあり、原材料である消化脱水汚泥の性状と大きく変わるところがない場合がある。

このため、堆肥の取り扱いの容易さを図る尺度として、完成堆肥の粒度を測定し、完成堆肥の粒径と原材料との関係を明らかにする。

2) 測定方法

完成堆肥を自然状態で、各々所定のふるい目のふるいにかけて測定する。団子状などの塊がある場合にも、ほぐしたり崩すことなく測定するものとする。

⑤ 病原菌検査

1) 検査目的

病原菌の含有は、堆肥を緑農地へ利用する際に、最も留意しなければならない問題である。

堆肥化した場合の汚泥中の各種病原菌については、一般の緑農地関連文献にも、公表されているデータは皆無に等しい。このため、今回試験的に製造した堆肥の汚泥等の原材料及び試作堆肥について、病原菌の有無を明らかにする。

2) 検査項目および検査方法

汚泥その他の病原菌に関する検査は、(財)北里環境科学センターに依頼した。検査項目および検査方法は、以下のとおりである。

a. 病原大腸菌

試料 10 g を EC 培地 100ml に接種、44.5℃ にて 24 時間培養する。ガス発生が認められるものについて確認試験等を行う。大腸菌と確認された菌については、免疫検査で病原大腸菌であるか否かの確認を行う。

b. 腸球菌

試料 10 g を KF ブイヨン培地 100ml に接種して、37℃ にて 48 時間培養する。培養後 KF 寒天培地に分離培養する。腸球菌様集落の発生の有無のみ確認を行う。

c. 結核菌

遠心管に 5 g の試料を取り、0.1% アクリフラビン液を加え、50ml とし、ホモジナイズする。その後、3,000rpm で 20 分間の遠心沈殿を行う。その沈渣に約 10 倍量の 4 % 水酸化ナトリウム液を加えて均等化する。これを滅菌ガーゼ 2 枚で濾過して残渣を除き、ろ液を 3,000rpm で 10 分間遠心沈殿を行い、その沈渣を培地に塗抹接種する。

37℃ で 4 週間培養して結核菌発育の有無を確認し、発育陰性のものについては続けて培養して、8 週間培養後の観察で結核菌が発育していないものを最終的に陰性とする。

d. 破傷風菌

試料 10 g をクックドミート培地 50ml に接種し、37℃ にて 48 時間培養する。培養後に 80℃ で 10 分間加熱処理し、加熱試料及び非加熱試料を血液寒天培地に画線分離して 37℃ で 72 時間嫌気培養する。遊走性のある偏性嫌気性菌について端在性芽胞の有無を確認する。これは、発病性の疑いのある菌の有無のみ確認するものである。

e. ガス壊疽菌

試料 10 g をクックドミート培地 50ml 2 本に接種し、1 本は 100℃ にて 5 分間加熱して、他の 1 本は非加熱のまま 37℃ で培養、1 日後、2 日後、7 日後に分離した偏性嫌気性菌についてグラム染色を行い、芽胞の形成の有無を確認する。

f. サルモネラ菌

試料 10 g をセレナイト培地 100ml に接種して 37℃ にて 24 時間培養する。これを DHL 寒天培地に分離して、乳糖非分解集落の有無を確認する。

g. 黄色ブドウ球菌

試料 10 g を 7.5% NaCl 加トリプトソイブイオン 100ml に接種して、37℃ にて 24 時間培養する。これをマンニット食塩エッグヨーク寒天培地に分離して 37℃ で 48 時間培養後、卵黄反応陽性の集落の有無を確認する。

h. 真菌

試料 10 g をサブローブイオンに接種し、27℃ で 5 時間培養後に真菌の発育の有無を確認する。

⑥ 発芽試験

1) 試験の目的

本発芽試験は、完成堆肥の植物に対する生育阻害の確認を目的として実施するものである。

未熟な堆肥を施用した場合には、堆肥に含まれる生育阻害物質による生育阻害、易分解性物質の急激な分解によって生じるガス害および、有機物分解菌の増殖にともなう菌体への窒素の取り込みによって生じる窒素飢餓の発生が懸念される。

有害物質は、量や程度の差はあるが、本研究で堆肥製造に使用するほとんど全ての原材料に存在しており、ガス害は各種汚泥や鶏ふん、油粕のような C/N 比の低い資材で、逆に窒素飢餓は木質混合堆肥のような C/N 比の高い資材で発生するおそれがある。実際に製造した堆肥を植物種子の発芽床に用い、その発芽能力を通じて植物に対する生育阻害要因の有無を調べるものである。

2) 試験方法

試験は堆肥等の腐熟度を検定する際に用いられる藤原(1985年)の方法によるものとした。

風乾した堆肥 5 g を 200ml 容三角フラスコにとり、60℃の温水 100ml を加え、アルミホイルでふたをする。ときどき攪拌しながら 60℃の恒温器に 3 時間保持し、冷却後ガーゼ 2 枚を重ねてろ過する。このろ液 10ml を、あらかじめろ紙 2 枚を敷いてあるシャーレに分注し、その上からコマツナ（品種：ごせき晩成）を 30～50 粒播く。このとき対照区として水 10ml を入れて同様に播種したものを用意しておく。シャーレにふたをし、室温に保持して 3～6 日後に発芽率と根の状態を観察する。

3) 試験結果評価

発芽率と根長を測定し、対照区を 100 としたときの比率（％）で表示する。さらに根を切り取りラクトフェノールコットンブルー液で染色し、100～150 倍の顕微鏡で観察する。

根の観察は、発芽後の生育に対する阻害要因の有無をみるものであり、阻害要因がない場合には発芽率が良いことはもちろんのこと、細根の伸長、発達が十分であるのに対し、細菌をはじめ何らかの阻害要素があると、発芽率が良くても細根の発達が悪く、太く短く、さらには根の周囲に細菌の繁殖がみられることなどがある。

この試験方法では堆肥の温度に近い 60℃で 3 時間抽出するので、殺菌効果があり抽出液の菌密度は低下する。しかし、抽出液に含まれる易分解性物質の量に比例して微生物が増殖する傾向もみられるため、細根周囲の微生物の多少により、ガス害のもとになる易分解性物質の量も推定できる。

この試験方法は様々な堆肥に適用可能であり、完熟の目安としては、発芽率が 100％であること、細根が細く長く伸び、周囲に微生物の異常増殖がみられないこととされている。

1. 3 試験研究結果

1. 3. 1 使用材料特性

(1) 下水汚泥

下水汚泥の化学性分析結果について表- 1. 4 に示す。本研究では堆肥の試作を平成 2 年度から平成 4 年度までの 3 箇年にわたり実施しているため、年度毎の下水汚泥の理化学性のいくつかの項目に若干の違いがみられたが、堆肥製造に係る項目に関しては大きな差異はなかった。

今回使用した下水汚泥は、一般的な汚泥と同様にカリウムの少ないこと、C/N 比が 6.2 から 7.0 と低く、ナタネ粕の値に近いことなどの特徴がある。

また、下水汚泥は、重金属を微量ながら含有している場合がある。今回の研究目的のように堆肥を緑地へ施用する場合には、法律上は、肥料として扱われることになると考えられる。このため、重金属の含有規定値は、「肥料取締法」（農林水産省）および「金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める総理府令(1970年)」に準拠することが妥当であると判断できる。肥料取締法では、汚泥を肥料として生産または輸入する場合、特殊肥料として扱うことになっており、特殊肥料は、その生産または輸入に際し、都道府県知事にその旨を届け出ることが必要である。同法では、含有する有害物質については、「乾物 1 kg につき、ヒ素 50mg 以下、カドミウム 5 mg 以下、水銀 2 mg 以下であり、か

つ、金属等を含む産業廃棄物に係わる判定基準を定める総理府令の別表第2の基準に適合するもの」
 となっている（表－1. 3）。これらの重金属うち、特にその含有に対し注意が必要な金属は、乾物
 中のヒ素、カドミウム、水銀等の含有量である。今回の堆肥製造に使用した汚泥中に含まれる重金属
 は、表－1. 4のとおりであり、いずれの試料の重金属含有量も基準値を下回っていた。

下水汚泥の粒度は、表－1. 5のとおりであり、いずれの年度も 0.84mm 以上の材料はなく、0.84
 ～0.42mm のものが約 30%、0.074mm 以下のものが 35%以上を占め、この両方で全体の 65%以上を占
 めており、化学性と同様、堆肥製造に係る項目に関して大きな差異は見られなかった。

表－1. 3 特殊肥料指定のための基準値（肥料取締法）

項 目	含有濃度 (mg/kg乾物)	溶 出 量
		有害な産業廃棄物に係る判定基準を 定める総理府令(溶出試験)(mg/l)
ヒ素	50	1.5
カドミウム	5	0.3
水銀	2	0.005
鉛	—	3
有機リン	—	1
6価クロム	—	1.5
シアン	—	1
アルキル水銀	—	検出されないこと
PCB	—	0.03
亜鉛	—	—
銅	—	—
ニッケル	—	—

(2) 混合副資材

① 枝葉粉碎物（乾燥粉碎物、(生)粉碎物、落葉樹粉碎物、常緑樹粉碎物、木粉）

副資材として用いた枝葉粉碎物の性状について、表－1. 4および表－1. 6に示す。

含水率は、乾燥粉碎物が 8.0%で最も低く、ついで木粉が 8.5%であり、この2種類がかなり乾燥
 している。肥料の性質に大きく影響を持つ全炭素量は、粉碎物の種類による差はほとんど見られない
 が、同様な性質の全窒素量は粉碎物の種類による差が大きく、木粉、乾燥粉碎物、(生)粉碎物、落葉
 樹粉碎物、常緑樹粉碎物の順に多い値を示した。これは木粉、乾燥粉碎物・(生)粉碎物、落葉樹・常
 緑樹粉碎物の順に葉や小枝の含まれる量が多かったためと考えられた。この結果、C/N比もこの影
 響を受けた値となった。枝葉粉碎物は、植物由来のものであるため、重金属の含有量は少なく、堆肥
 の製造にあたって問題はないと判断できた。

粒径の分布は、乾燥粉碎物、(生)粉碎物、常緑樹粉碎物、落葉樹粉碎物、木粉の順で大きな粒径の
 資材が占める割合が大きくなっている。落葉樹粉碎物はチップ製造機、常緑樹粉碎物はオガクズ製造
 機により粉碎されたものであるが、いずれの機械もカッターを使用して粉碎する方法を採用している。
 粉碎物の粒径分布の違いは、使用した粉碎機の特性に起因するものであると考えられる。

② 建築廃材粉碎物

副資材として使用した建築廃材粉碎物は、家屋の梁等の木質建築廃材を粉碎したもののうち、ふるいにかけられた後の粒径の細かい木片であり、その性状は、表-1.4および表-1.6のとおりである。

化学性の分析では、木質素材であるのため枝葉粉碎物と、pH、EC、全炭素等では大きな違いはみうけられなかったが、本試料は、各種の溶脱を受けた木質部のみであるため、枝葉が混入する枝葉粉碎物に比べて、全窒素量が非常に少ない値となっている。また、カリウム、カルシウムなどの含有量についても同様のことがいえる。これとは逆に、鉛、クロム、カドミウム、ヒ素などの重金属類の含有量は高い値を示している。これは、CCA加工などの建築材に対する防腐処理に使用する薬剤に重金属が含まれているためであろうと考えられる。今回使用する試料では、重金属のうち含有量が問題となるカドミウム、ヒ素、水銀は、法令で定められた基準以下であったが、建築廃材を利用する際には、防腐剤などに含まれている重金属の含有量に注意する必要があると考えられる。

③ 炭

水分調整および菌類繁殖箇所の提供を目的として、炭を混入した。平成2年度および平成4年度には建築廃材炭化物を、平成3年度にはヤシガラ炭を用いた。建築廃材炭化物は、一般の消し炭状の柔らかい炭で、水分含有量も多い。ヤシガラ炭は、形状が細かく、比較的固い。通常状態でも、水分の含有が少ないため、保水性に乏しいと考えられた。

④ 糖類

副資材として用いた糖類は、ショ糖を用い、その性状は表-1.4のとおりである。糖類の使用は、発酵の初期段階で活動する微生物の活性を高めるために、その栄養源となる低分子の分解物質として投入し、発酵促進を図る目的を有している。

⑤ 発酵補助材

堆肥の製造は、微生物の増殖に伴う様々な活動によって行われる。

堆肥を製造する初期段階から、発酵を行う微生物が、混合された資材のなかに十分存在することが求められる。特に発酵初期の段階には、好気性の発酵を行う菌類が必要とされるが、本試験に使用する汚泥は、嫌気性発酵により処理された消化汚泥であるため、好気性発酵を行う菌類の含有量は極めて少ない。

このため、平成3年度および平成4年度の堆肥製造には、好気性発酵菌を有する造園工事用の土壌改良材を発酵補助材として加えた。この発酵補助材は、畜糞質や菌体蛋白などを植物質とともに好気発酵させ、さらにパーライトを加えて再度発酵させてあるため、好気性発酵菌が多く含まれていると予想された。

表－１．４ 原材料の化学性分析結果

項 目	単 位	下 水 汚 泥			乾燥 粉碎物	(生) 粉碎物	建築材 粉碎物	落葉樹 粉碎物	常緑樹 粉碎物	木粉	糖類
		2年度	3年度	4年度							
比重		0.70	0.79	0.72	0.19	0.26	0.19	0.26	0.24	0.22	0.76
pH		7.1	8.0	7.2	5.7	5.9	5.9	6.6	6.3	6.2	5.8
含水率	%	82.5	81.9	81.9	8.0	47.8	45.1	52.6	49.7	8.5	0.8
EC(1:10)	mS/cm	2.09	2.67	2.05	0.47	0.62	0.469	1.053	0.940	0.61	0.22
C E C	me/100g	54.70	72.07	66.00	24.9	ND	16.6	34.03	30.43	18.00	4.00
全炭素	%	29.83	27.83	28.32	45.14	43.34	47.10	45.05	46.13	65.26	42.30
全窒素	%	4.79	4.26	4.02	0.79	0.43	0.26	1.50	1.33	0.10	—
C/N比		6.2	6.5	7.0	57.1	100.8	181.2	30.0	34.7	652.6	—
770nm態窒素	mg/100g	514.0	77.01	48.2	ND	ND	ND	ND	ND	5.2	—
硝酸態窒素	mg/100g	13.8	ND	30.9	ND	ND	ND	ND	ND	0.5	—
全燐酸	%	8.14	2.73	3.52	0.0953	0.112	0.0185	0.26	0.18	0.01	—
全カリウム	%	0.264	0.28	0.19	0.212	0.248	0.0766	0.90	0.81	0.22	—
全カルシウム	%	1.18	0.02	1.12	0.368	0.307	0.195	1.07	0.89	0.16	0.001
全ナトリウム	ppm	5.28	1,900	830	1.11	0.417	1.91	1,500	1,000	0.8	—
全鉛	ppm	42.80	1.10	25.40	4.32	1.55	53.00	ND	0.60	ND	—
全マグネシウム	ppm	4,760	4,200	5,100	784	767	273	1,900	2,400	112	—
全クロム	ppm	18.40	25.70	27.20	0.465	0.354	18.7	—	—	2.4	—
全バリウム	ppm	4.08	3.10	1.60	0.1680	0.0658	0.2220	—	—	0.12	—
全砒素	ppm	11.7	8.00	12.1	0.196	0.528	24.8	—	—	ND	—
全銅	ppm	32.0	260.1	196.0	13.2	3.99	15.8	—	—	9.6	—
全鉄	ppm	1.61	394.3	472	541	270	1,480	—	—	76	—
全ニッケル	ppm	34.1	71.8	46.1	28.1	2.44	6.8	—	—	7.2	—
全亜鉛	ppm	1,520	16.9	986	153.0	97.0	83.8	—	—	5.1	—
全水銀	ppm	0.22	0.34	1.36	ND	ND	ND	—	—	—	—

注) 表中、含水率以外の%あるいはppm単位の項目値は特に記さぬ限り、乾物当りの含有量である。

NDは、検出されることが極めて微量。—は検出されず。

pHはガラス電極法(1:10)。ECは(1:10)25℃換算である。

表－１．５ 原材料下水汚泥の粒度分布

使用年度	0.84mm以上	0.84～0.42	0.42～0.21	0.21～0.11	0.11～0.074	0.074mm以下
2年度	0	32.1	6.3	16.9	7.2	37.5
3年度	0	27.2	8.1	23.7	4.2	36.8
4年度	0	30.6	4.1	19.2	10.3	35.8

表-1.6 副資材の粒度分布

	10 μ m以上	10-4.76	4.76-2.0	2.0-0.84	0.84-0.42	0.42-0.21	0.21-0.105	0.105以下
乾燥粉碎物	43.6	29.7	12.2	11.0		3.5		
(生)粉碎物	27.7	36.4	14.6	17.3		4.1		
建築粉碎物	4.6	13.0	45.0	45.0		3.8		
落葉粉碎物	11.2	17.4	20.9	25.3	14.6	8.0	2.6	
常緑粉碎物	8.8	19.7	32.6	24.0	9.7	5.2	0.0	
木粉	0.0	0.0	0.0	0.0	27.1	60.1	12.8	0.0
糖類	0.0	0.0	0.0	0.0	82.1	17.9	0.0	0.0

注) *土壌

1. 3. 2 堆肥化過程

(1) 性状の変化

①チップ1区

本混合物は、混合当初から汚泥がダマになることもなく適度にパラパラした状態であり、切り返しや詰め込み作業時の取り扱いが容易であった。

5日目頃から表面に白カビが発生するとともに、発酵熱の発生に伴って混合物から外に蒸発した水分の湿りが目立つようになった。

7日目頃には表面および側面に白カビが発生したが、べたつくことがなく団粒化しており、取り扱いは極めて容易であった。

8日目には、やや汚泥のアンモニア臭が残るものの、マッシュルーム臭が出始め、悪臭は、ほとんどなくなった。混合物の直径は大きくても2cm位で、団子状のものはほとんどなかった。

9日目には、カビが大量に発生してカビ臭が著しくなったが、アンモニア臭は減少した。

11日目には、表面のカビが減少し、カビ臭も弱くなってきた。逆にアンモニア臭が強くなってきた。

13日目には、混合物の上部には湿り気があるが、下部はパサパサとした状態であった。混合物の小塊を割ると内部には黒色部が少し残っているが、大部分は酸化して茶色を呈していた。

その後、性状には基本的に大きな変化は見うけられず、4週間後には団子状の混合物もほとんどなくなり、堆肥の表面は、弱い汚泥臭が残るのみとなった。

②生チップ1区

本混合物は、枝葉粉碎物の水分が多いのため、チップ1区などより初期の水蒸気発生が多かった。

3日目には、このため混合物の表面が水蒸気のためにややべとつき気味になり、白いカビが出始めた。また、切り返し時には、練るとダマ状の塊が発生した。

6日目頃から、表面の白カビの量が多くなり、カビ臭が増してきた。

8日目あたりになると、さらにねっとりとべとつき気味になり、全体に直径4~7cmの塊になってきた。また、アンモニア臭と汚泥臭はかなり残った。

9日目頃には、カビが大量に発生し、アンモニア臭が強くなって12日目頃まで続いた。

12日目頃になると混合物の表面は、比較的乾燥してきたが、下部の方は、まだ湿っており、団子状の混合物の内部は黒色が残った。

13日目にはキノコが発生した。

③チップ 0.5区

本混合物は、下水汚泥に対して、乾燥枝葉粉碎物を半容量混合した構成となっており、汚泥の割合が高く、仕込み時あるいは切り返し時に攪拌しすぎると汚泥の塊をつくってしまう結果となった。このため、混合物内の孔隙がつぶれ、酸素の供給が抑えられることとなり、既に述べたように発酵過程において、十分な温度の上昇が得られなかった。

2日目には汚泥臭を発しはじめた。

3日目には表面がべとつき気味となり、5日目には表面全体に白カビが出た。アンモニア臭が強く、相変わらずネバネバとして取り扱いが困難で、また、ウジが数匹発見された。

6日目から 10日目あたりまでは、汚泥臭やアンモニア臭が強く、取り扱いも困難で切り返しを行う毎に汚泥塊が増すような結果となっていた。このため、ねっとりとべたべたして粉碎物の姿も見えない状態であった。

11日目頃から表面にカビが生えはじめて、汚泥臭は強くなかった。

13日目にはキノコが発生した。

④チップ1:炭 0.2区

本混合物は、4日目あたりまでは表面が湿っており、汚泥臭とアンモニア臭が強かった。

5日目頃になり、全体にパラパラしてきて白カビが少量発生しはじめた。

6日目あたりではアンモニア臭があったが、取扱いは容易であった。

7日目には、カビ臭が強くなったがアンモニア臭は弱くなった。また、木質部にカビが多く見られるようになった。

8～10日目あたりでは、木質部にカビが多く、カビ臭に加えアンモニア臭が強くなった。

以上の経過ののち、2週間後には、弱いカビ臭とアンモニア臭がするのみで汚泥臭はなく、形状や外観及び取り扱いが、チップ1区と同等もしくはそれ以上に容易な堆肥となった。

その後、4週間を過ぎると表面の4割程度にキノコが生え、アンモニア臭もほとんどなくなった。

⑤建築廃材1区

本混合物は、4日目あたりで、カビ臭、汚泥臭があり、そして建築廃材1区は特有の臭いとして「好ましくない木の臭い」が発生した。この特有の臭いはフェノールやテルペン等の針葉樹臭を悪臭化したとでもいうような臭いであった。

5日目あたりで、汚泥の塊が目につきはじめた。

6日目～7日目でも、特有の臭いは変わらなかった。この時点まではカビが発生しておらず、カビ臭はほとんどなかった。

8日目あたりになり、カビが現れはじめ、アンモニア臭もしたが、前述のように温度の上昇が見られず、この時点では「発酵」という表現は、不適當であった。

10日目頃になって木質にカビが生え、全体的には茶色に見えるが、木質碎片に汚泥が付着しているといった外観で、指でつぶすとぬめっとした感触が強くのこた。

このように明瞭な発酵の兆候を示さぬまま2週間が経過しても、取り扱いは、困難とはいえないものの、堆肥とは呼び難い性状であった。

その後も温度の経過から判るように、全く発酵や分解の兆候は示さず、4週間後には他の混合物には、表面に白カビやキノコが発生したにもかかわらず、この建築廃材1区は全く変化が見られなかった。混合物も汚泥の塊のような性状で、中心部も仕込み時と全く同じ色を呈していた。

⑥剪チップ1区

本試験より、平成3年度の堆肥製造の結果となる。

落葉広葉樹の剪定枝葉を汚泥と同量混合した本混合物は、仕込当初は樹木臭が強く、パサパサした感じであった。

5日目頃には、鼻を突く汚泥臭があり、白カビの発生も見られた。白カビは25日目頃まで表面にみられた。

8日目頃にはアンモニア臭が強くなった。

10～17日目頃には、再度汚泥臭が強くなった。

25日目以降はアンモニア臭が優るようになった。

また、25日目頃には団子状の塊の形成もみられ、一部固結や乾燥もみられた。この頃でも木質部は茶色のままで目立った変化はみられなかった。

⑦剪チップ1:炭 0.5区

本混合物は、仕込み当初は若干の樹木臭が感じられる程度で、性状もパラパラとして取り扱いが容易であった。

5日目頃より汚泥臭が感じられるようになったが、剪チップ1区に比べると弱いものであった。この頃より表面に白カビの発生がみられた。

8日目頃にはアンモニア臭が勝るようになった。

10日目頃には汚泥臭が優ったが、剪チップ1区に比較すると、全般的に臭気は弱かった。

17日目頃にはほとんど、臭いは感じられなくなった。これは温度変化からみると、二次発酵に至ったと判断される時期であった。また、白カビの量がこの頃から減少しはじめた。

21日目を過ぎた頃には、性状はパラパラとした団粒状であるが、一部2cm程度の大きさの団子状の塊がみられた。また、再びアンモニア臭も発生した。

28日目を経過した時点では、性状的には 21日目を経過した時点と大差ないが、臭気はほとんどしなくなった。また、表面の 20%程度にキノコの発生がみられた。

剪チップ1区に比べて臭気が少ないのは、炭による脱臭効果があったものと考えられる。

⑧炭 0.5区

本混合物は、下水汚泥に対し炭を半容量加えたこの組み合わせであり、仕込み当初から汚泥臭が強く感じられた。性状としては、ややパサパサとした感じであった。

しかし、一次発酵において温度上昇があまりなかったためか、あるいは炭の効果か、全般に他の組み合わせに比べて、汚泥臭やアンモニア臭が感じられず、10日目前後に糞臭に似た汚泥臭を感じたのみであった。

5日目から 17日目頃にかけて、白カビがやや発生したが、他の組み合わせに比べると多いものではなかった。

性状的には仕込時と大きな変化はみられないが、3週間を過ぎた頃、表層から 5 cm程度下の部分に粘性の強い層ができた。

⑨剪オガクズ1区

本混合物は、下水汚泥と剪定枝葉を等しい容量混合した組み合わせであり、仕込み当初は汚泥臭と樹木臭の双方が感じられた。性状的には剪チップ1区に近似しており、パサパサしていた。

5日目頃から鼻を突く汚泥臭が強かったのをはじめとして、汚泥臭およびアンモニア臭が終始感じられた。

33日目頃の最終産物の段階ではほとんど臭いは感じられなくなった。

性状的には団子状の塊がやや多く、この塊自体は、表面的にはパサパサと乾燥した感じであった。

5日目頃から3週間目頃まで、表面に少量ながら白カビの発生がみられた。また、25 ～ 33日目頃にはキノコの発生もみられた。

⑩剪オガ1:炭 0.5区

本混合物は、剪オガクズ1区に炭を半容量加えた構成になっている。本試作堆肥においては、当初の性状はあまり炭の効果がみられず、剪オガクズ1区と比較しても大きな違いはみられなかった。しかしながら、臭気は、剪オガクズ1区より、汚泥臭は少なかった。

その後も8日目頃を除けば、全般に比較的汚泥臭及びアンモニア臭は少なかったといえる。25日目頃にはほとんど臭いを感じなくなった。

性状的には剪オガクズ1区に比較すると団子状の塊は少なく、2 cm内外の団粒というべきものが多く、取り扱いも比較的容易であると判断された。

剪オガクズ1区と同様に5日目頃から3週間目頃まで少量の白カビの発生がみられた。33日目にはわずかながらキノコの発生がみられた。

⑩炭1区

本混合物は、下水汚泥に炭を等容量混合したこの組み合わせであり、当初の仕込み時の性状として団子状の塊はほとんどみられず、パラパラとした性状を呈していた。

5日目～8日目、17日目頃にわずかに汚泥臭がしたが、それ以外の時期は全般にほとんど臭気は感じられなかった。

性状は、仕込時から大きな変化はみられなかった。25日目の団子状の塊を割ってみたが、中は黒色のままであった。

5日目頃から10日目頃まで表面に部分的に白カビの発生がみられたが、キノコの発生は見られなかった。

⑫木粉1:炭0.5区

本試験より、平成4年度の堆肥製造の結果となる。

本混合物は、当初から、取り扱いが容易であった。サラサラ、パサパサした感じで、手で握ると団子になるが、30cm程度の高さから落とすと壊れる程度の固さであった。

外見上も2～3cm程度の塊はあるが、それらはほとんど団子状の混合物であり、汚泥のみの団子状の塊は1cm以下の小粒に限定されており、それも多くはなかった。

臭気は仕込時に若干感じられたが、全般に気になるほどのものではなかった。11日目の切り返し時には、表面はうっすらと乾燥して、臭気は弱く、カビの発生もみられなかった。

2週間後にも、性状に仕込時と大きな変わりはなく、湿った砂状を呈する程度で、サラサラとしており、非常に取り扱いが容易な性状であった。

⑬炭0.5:砂糖区

本混合物は、水分調整のため、炭を絡めた汚泥をシート上に広げ、1週間程度放置した後、ショ糖を加えたものである。しかしながら、汚泥の乾燥はなかなか進まず、仕込み時の実測含水率は計算値よりやや低い、70.4%に留まった。仕込み時には、ショ糖の塊をふるい、やや乾燥させた汚泥と炭の混合物に振りかけ攪拌した。攪拌時に団子状の混合物の塊が少なからず形成されたが、これらは極力発酵槽の下部の方に納めるようにした。

10日目に発酵槽下部の温度の低下がみられたので切り返しを行った。切り返し前の時点で、表面の全面にスポット状に黒カビが生えており、弱い汚泥臭がして、小さなハエが2～3匹飛んでいた。

約5cm掘り起こすと、強い汚泥臭、アンモニア臭とやや砂糖を焦がしたようなカラメル臭が混じった臭気がした。さらに下の方では、アンモニア臭が弱くなり、カラメル臭と汚泥臭が強くなった。汚泥臭は、二次発酵終了後も残った。

性状に関しては、当初の汚泥と炭の団子状の塊は最後まで残った。

(2) 温度変化

各処理区の期間中の温度変化を図-1. 2～図-1. 14に示した。

前述のとおり、一般に下水汚泥堆肥の製造過程においては、病原菌の死滅などの点から 65℃以上の状態が 48時間以上続くことが、一つの目安になっている。また、発熱を伴う一次発酵が終わったことを示す目安は 40℃前後の温度が継続する状態とされている。

これらを踏まえて各処理区の温度変化を見ると以下のとおりであった。

①チップ1区

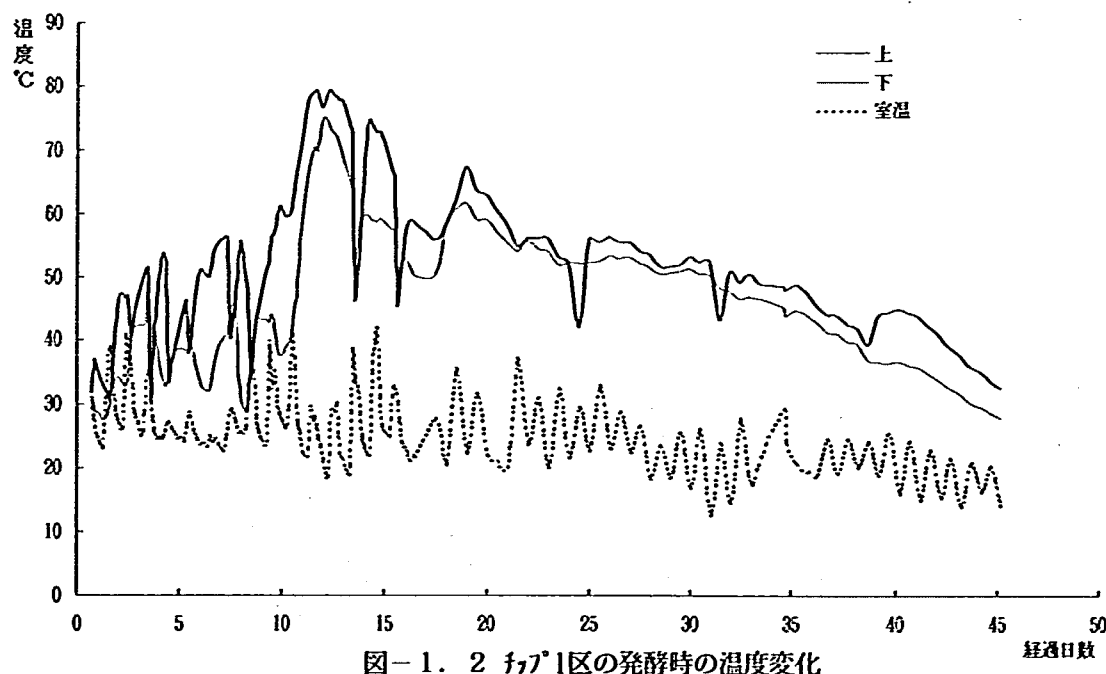
図-1. 2に温度変化を示す。初期の1週間程度は約 50℃以上に温度が上がっていない。これは、切返しとエアレーションの空気量が過剰であったため、発酵による蓄熱が妨げられた結果であると考えられる。また、温度変化を示す図中において、温度曲線が著しい下降を示すのは、切返しあるいは試料収集時の開放による熱の放出のためである。

8日目以降、切返し頻度を減らすとともに、エアレーションを停止した。その結果、良好な温度上昇がみられた。

12日目前後には 80℃に近い値が得られており、65℃以上の温度が 48時間以上続く条件を満たした。

このことから、チップ1区は、発酵過程において堆肥製造の条件を満たしていると考えられる。

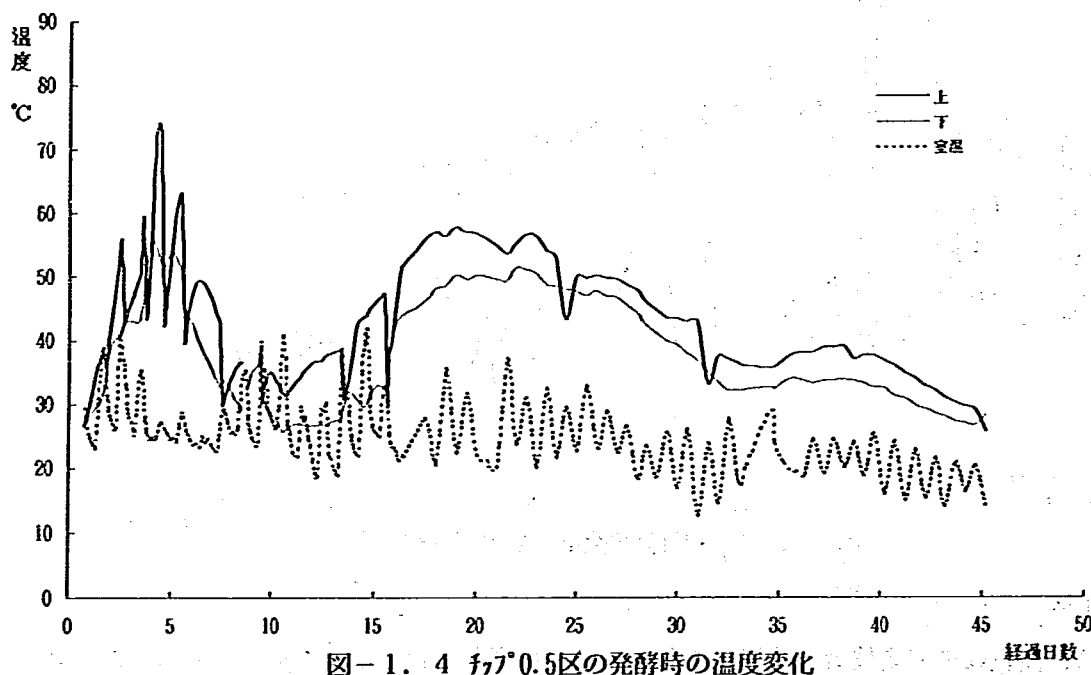
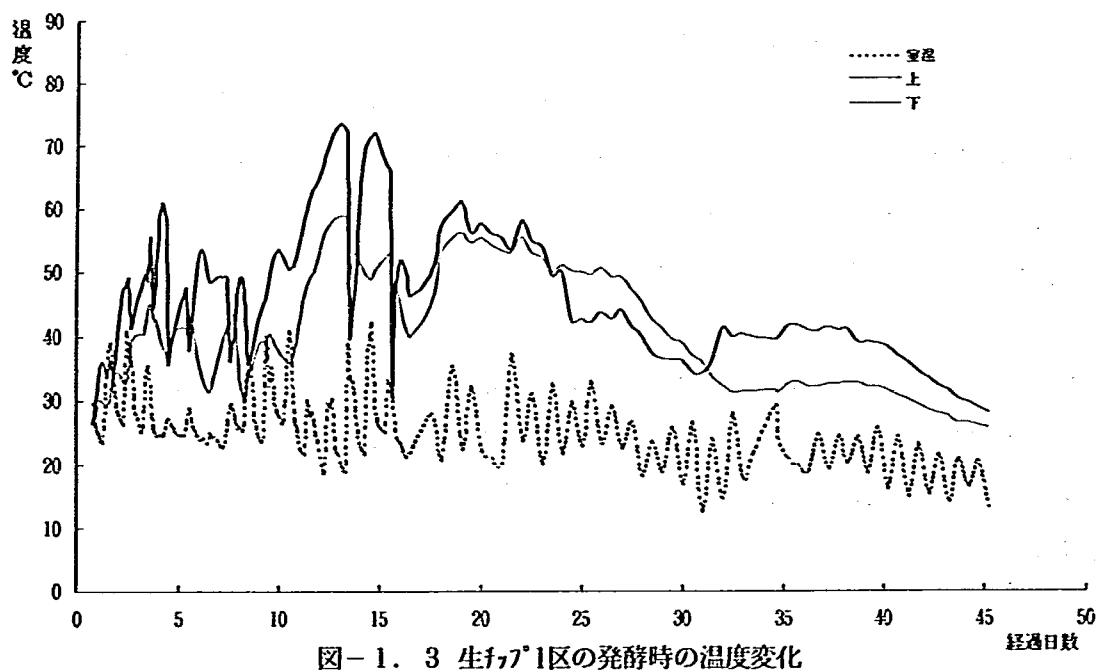
さらに、この 70℃以上の状態が連続した後は、徐々に温度が下降し、一次発酵に伴う 40℃以上の発酵熱は、約 40日間続いた。



②生チップ1区

この試料は、無乾燥の剪定枝葉の使用により、水分量が高かった。このため、試料のべたつきが著しく、仕込みおよび切り返し時にも、団子状の汚泥塊を形成する状況であった。図-1. 3に温度変

化を示す。発酵初期の切り返しの過多などに伴う温度未上昇と、8日目以降の切り返しの低減およびエアレーション停止により、温度の上昇が見受けられ、全般にチップ1区と同様な温度変化を示している。チップ1区に比べると、8日目以降の切り返し頻度の低減により温度上昇が緩慢で、発酵槽下部の温度も低く、発酵槽上部の最高温度も70℃強に留まった。チップ1区および生チップ1区の堆肥製造過程から、過度のエアレーションおよび切り返しは、発酵を阻害して温度上昇を妨げる結果となることが判明した。



③チップ 0.5区

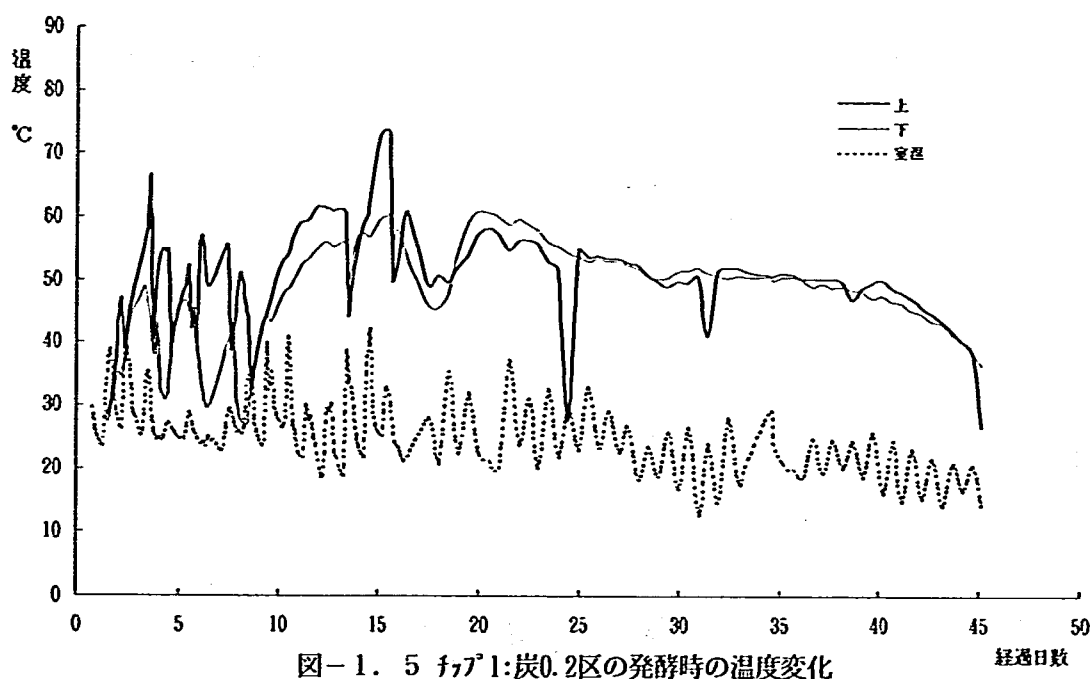
図-1. 4に温度変化を示す。この組み合わせの初期の温度の上昇は良好と考えられたが、切返しの度に練り混ぜて孔隙をつぶしてしまう結果となり、5日後以降、エアレーションの調整などにより温度上昇を図るべく対応したが、その後の温度の上昇はみられなかった。

再度温度の上昇がみられたのは、16日目以降の二次発酵段階と思われる状態になってからであった。

④チップ1:炭 0.2区

この組み合わせは、炭を加えたことで仕込み時からべたつきがなく、適度な団粒を形成しており、取り扱いが容易であった。

図-1. 5に温度変化を示す。初期は過剰な切返しなどによって、温度がそれほど上がっていないが、9日目以降、切り返しを控え放置することにより、次第に温度の上昇が見られた。その際、10日以上 60℃前後の状態を保ち、一時的には 70℃以上に上昇した。その後も 50℃前後の状態を維持し、45日目に 40℃以下となった。



⑤建築廃材1区

混合した副資材の建築廃材の粒子が細かく、仕込みの際に攪拌しすぎると汚泥の団子の中に練り込まれてしまう傾向があった。図-1. 6に温度変化を示す。この資料は前述のと通りの性状によって、切返し頻度およびエアレーションの調整を行っても 50℃以上の状態に達することがなかった。原因としては、副資材の建築廃材に発酵を阻害する物質が含まれていたのではないかと考えられる。

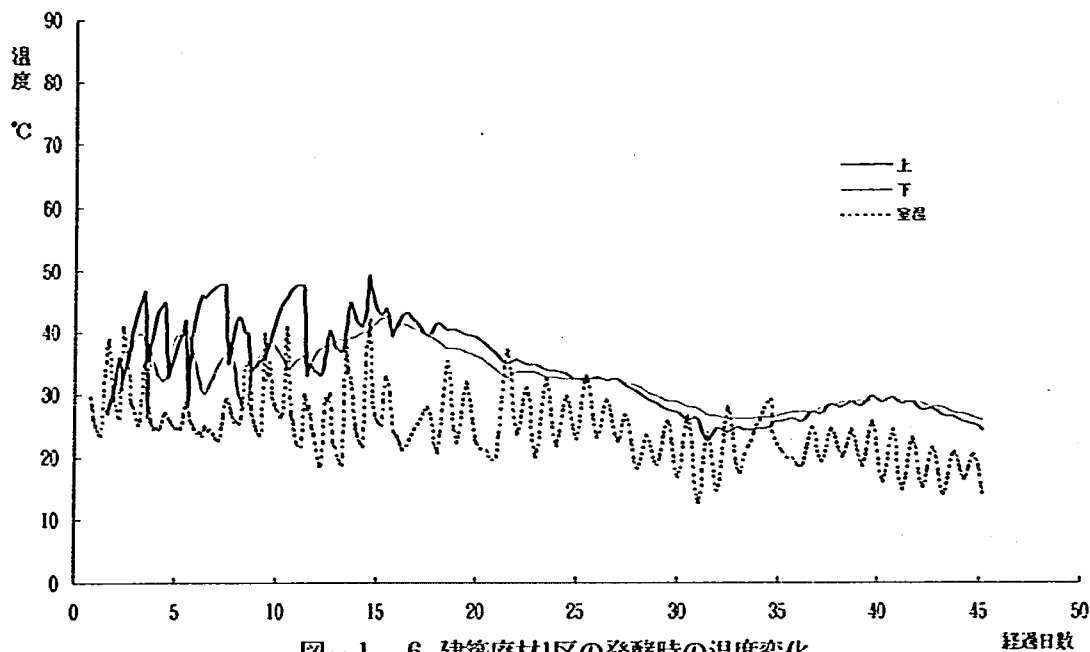


図-1. 6 建築廃材1区の発酵時の温度変化

⑥剪チップ1区

本試験結果から平成3年度の結果となる。図-1. 7に温度変化を示す。初期の段階から急激な温度上昇があり、65°C以上の状態が1週間程度続いており、一次発酵は十分であると考えられる。

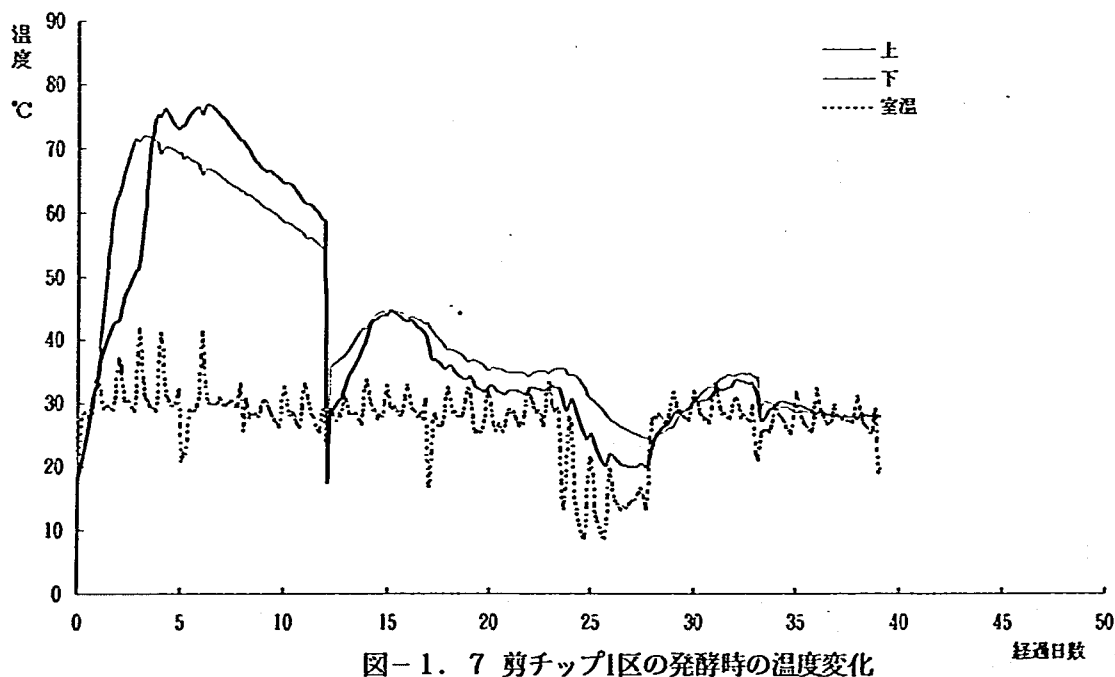


図-1. 7 剪チップ1区の発酵時の温度変化

⑦剪チップ1:炭 0.5区

図-1. 8に温度変化を示す。上部に関しては良好な温度状況を示し、下部に関しても 65°C以上の状態が 48時間以上連続するという条件はみたしている。しかし、剪チップ1区に比べそれ以降の下部の温度の下降がやや著しい。これは、剪チップ1区とは異なり、全容量の 20%の炭を含むため

か、もしくは、下部の水分がやや高かったことが影響していると考えられる。

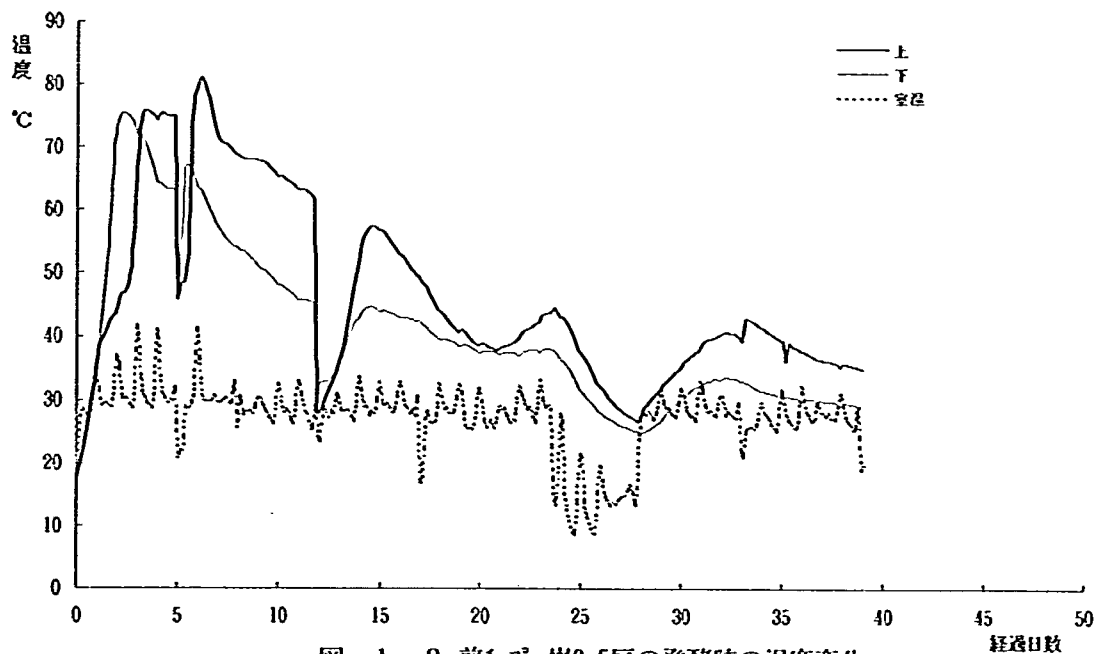


図-1. 8 剪 η ア⁷:炭0.5区の発酵時の温度変化

⑧炭 0.5区

図-1. 9に温度変化を示す。発酵初期において、やや温度の上昇がみられたが、60℃以上には上がっていない。また、全般に下部の温度が上部より高く、他の組み合わせには見られない温度傾向を示した。

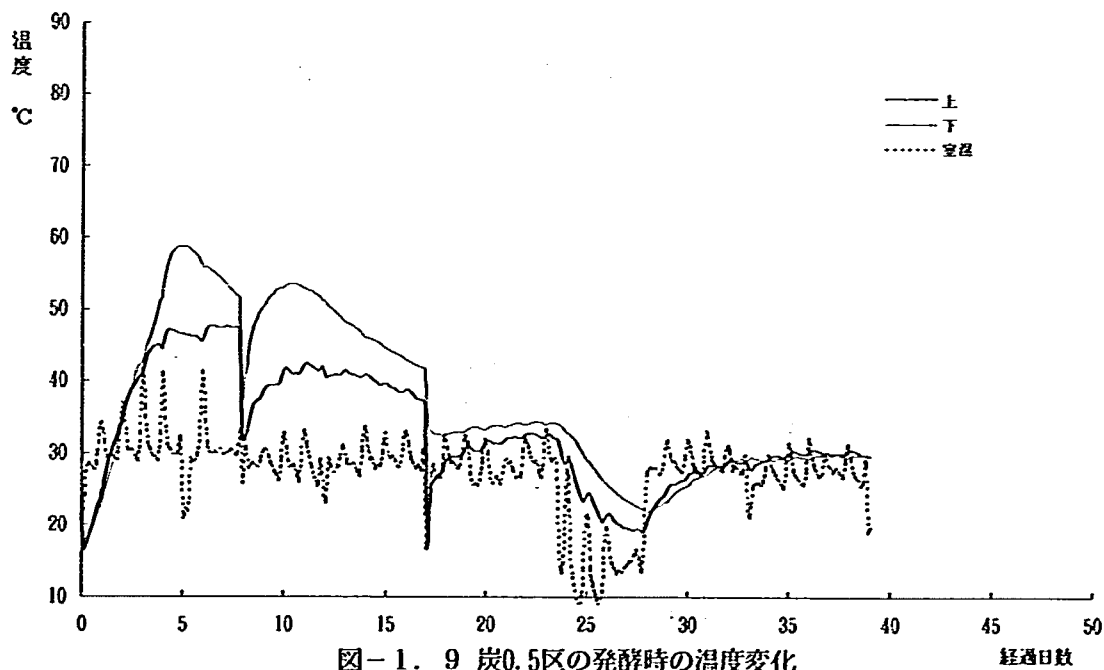


図-1. 9 炭0.5区の発酵時の温度変化

⑨剪オガクズ1区

図-1. 10に温度変化を示す。この資料は 65℃以上の状態が 48時間以上連続するという条件は、

十分満たしているが、温度の上昇が急激であるとともに、下降もやや急激であるという特徴がある。

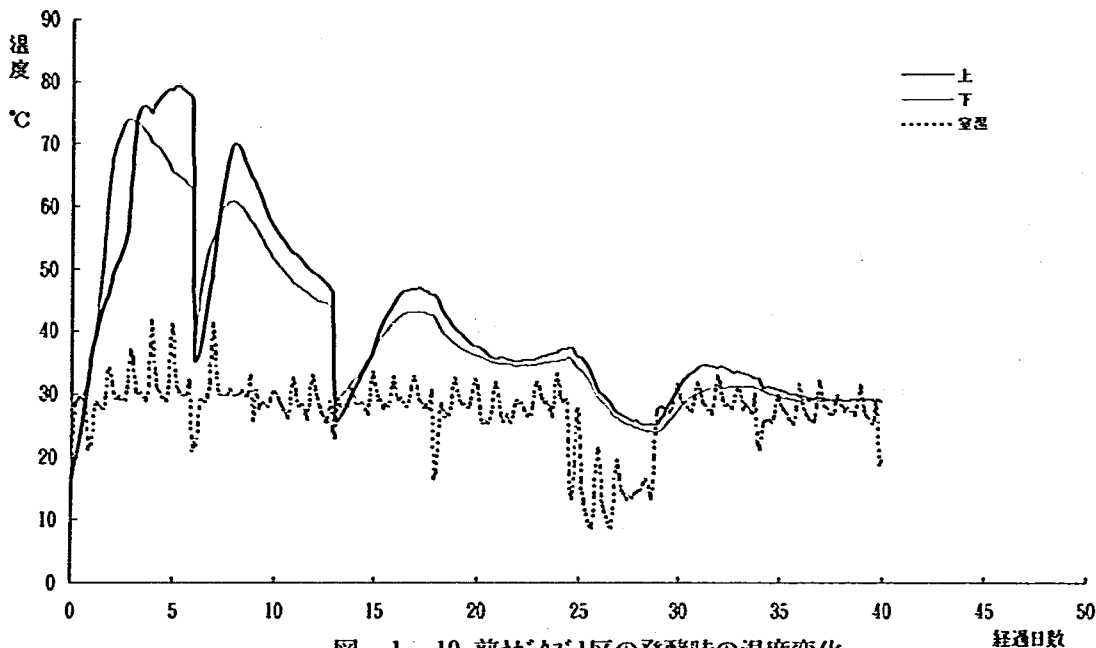


図- 1. 10 剪オガ¹区の発酵時の温度変化

⑩剪オガ1:炭 0.5区

図- 1. 11に温度変化を示す。全般的に剪オガ¹区と似た傾向にあるが、10日目以降の温度の下降が剪オガ¹区に比べるとやや緩やかである。

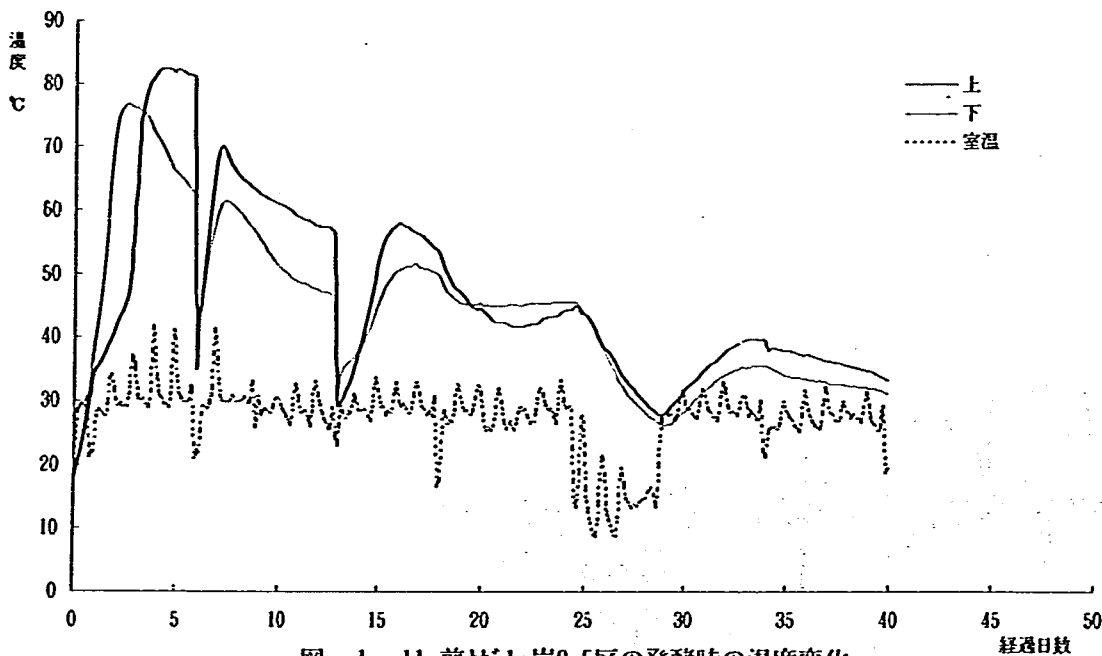
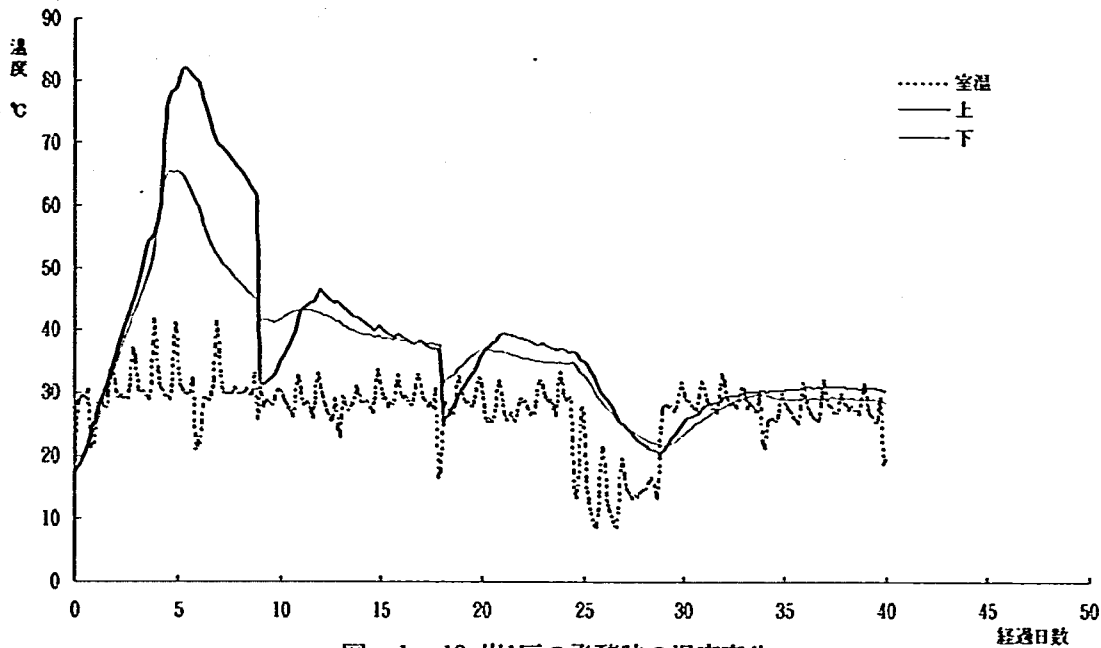


図- 1. 11 剪オガ¹:炭0.5区の発酵時の温度変化

⑪炭1区

図- 1. 12に温度変化を示す。上部に関しては発酵初期から急激な温度上昇があり、65°C以上の状態が 48時間以上連続するという条件を満たしているが、下部は最高値が 65°Cまでしか上がらず、温

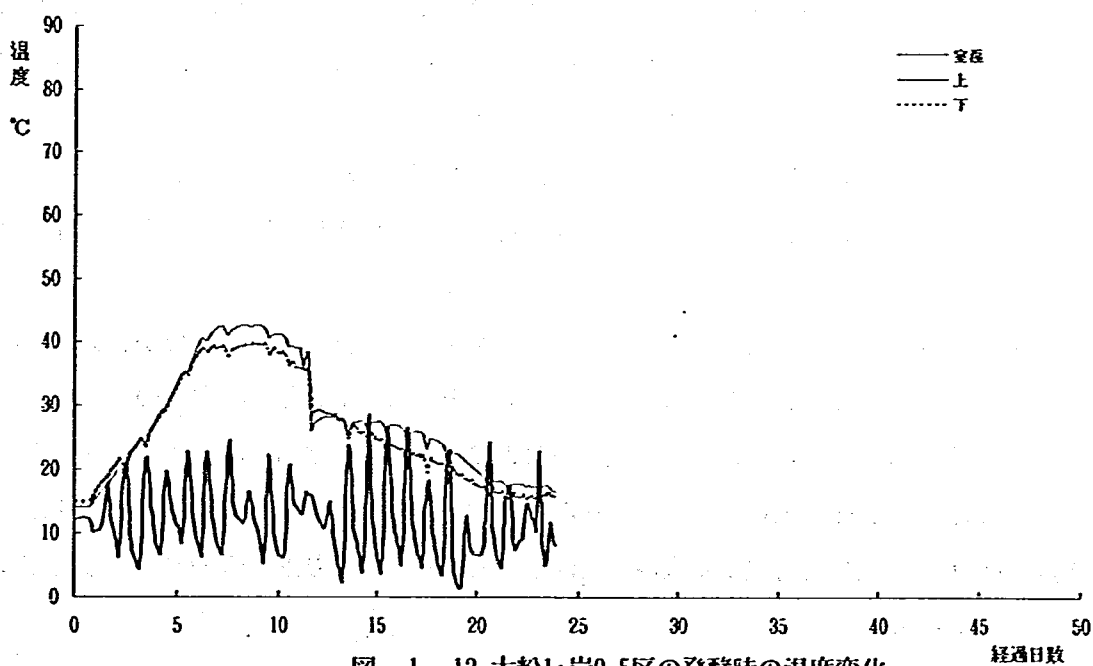
度上昇が不足している。



図－1. 12 炭1区の発酵時の温度変化

⑫木粉 1 : 炭 0.5 区

本試験結果から平成4年度の結果となる。汚泥と木粉の混合は、サラサラとした極めて取り扱いが容易な性状であった。図－1. 13に温度変化を示す。この混合物では、極めて緩慢な温度の上昇しかみられず、最高値でも約 40℃に留まった。取り扱いは容易であるが、70℃以上に発酵温度が上がらないため、熱による病原菌の死滅および発酵不足に問題が残る。これらは、病原菌の分析、植栽試験などにより追って確認する必要がある。



図－1. 13 木粉1:炭0.5区の発酵時の温度変化

⑬炭 0.5:砂糖区

図-1. 14に温度曲線を示す。温度の上昇は比較的急激であり、70℃程度にまで達した。上昇後も発酵層の上部での温度状態は極めて安定し、下部では70℃の値を2日示して下降した。発酵熱が、65℃以上で48時間以上連続するという条件は十分に満たしている。炭0.5区は、汚泥1に対し炭0.5という混合割合であり、この高い発酵熱は、糖類の添加による可能性がある。比較的長期にわたり高温状態が続いたが、温度下降は急速であった。一次発酵終了の目安となる温度、40℃には、上部では15日目、下部では13日目に達した。

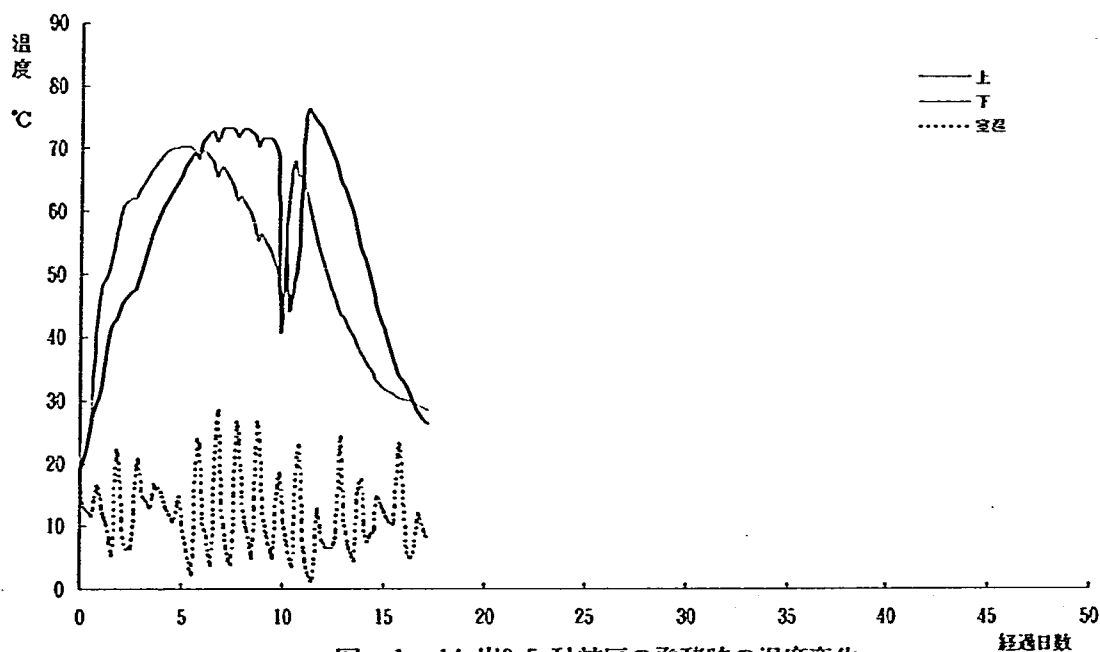


図-1. 14 炭0.5:砂糖区の発酵時の温度変化

平成2年度は、堆肥製造にあたり、発酵槽を設置した室温の変化に注意を払わなかった。この際、室温の低下と発酵温度の低下が同様な下降線をたどる傾向がみられたため、発酵促進には外気温すなわち室温が影響しているのではないかと予測された。これをうけて、平成3年度は、室温を一定に保ち堆肥の製造を実施したが、発酵温度の低下と室温には、特別な関係がみうけられなかった。このことから、発酵に対する室温の影響は希薄であると予想されたため、平成4年度は、室温の維持等の措置をとらなかった。

また、平成2年度は、堆肥製造にあたり、当初、切り返しを1日1回行っていたためか、発酵温度の上昇が見られなかった。このため、切り返し頻度を落としたところ、十分な発酵温度の上昇が見られた。このことから、平成3年度以降は、温度の低下のなど発酵状況の観察結果に基づき、切り返しを実施した。この結果、ほぼ、発酵過程では連続的な温度変化を呈した。ただし、一部の場合を除いて、切り返し前より切り返し後の発酵温度が大幅に上回ることはなく、切り返しの効果がより明確に現れる現象はおこらなかった。

(3) 沈下の度合い（減容度合い）

表－1. 7に堆肥の発酵槽内での容積変化を示す。

一部の数値のうち途中で上昇しているものもみられるが、切り返しの際の発酵槽への再詰め込みに伴う容積の一時的な増加である。

表－1. 8 混合物の容積変化 (%)

	チップ 1	生チップ 1	チップ 0.5	チ：炭 1：. 2	建 1	剪チップ 1	剪チ：炭 1：. 5	炭 0.5	剪木粉 1	剪木：炭 1：. 5	炭 1	木粉：炭 1：. 5	炭：糞 1：. 2
仕込時	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5日目	83	77	72	85	81	75	80	84	76	81	89		79
1週間後	78	75	72	82	78	71	73	81	71	81	87		68
2週間後	65	67	68	75	68	68	69	73	67	79	85	85	
3週間後	60	57	59	70	68	64	76	71	71	80	82		61
4週間後	60	60	55	67	68	64	71	67	66	77	86		
5週間後						64	69	68	64	75	85		
6週間後	52	50	52	60	60								

注) 仕込時を100としたときの測定時の相対的な汚泥－副資材混合物の容積比である。

2週間後の時点で、減容率が60%台に達していないのは、チップ1：炭0.2区、炭0.5区、剪オガ1：炭0.5区、炭1区及び木粉1：炭0.5区である。このうち65℃以上の十分な温度の上昇がみられたのは、剪オガ1：炭0.5区のみである。チップ1：炭0.2区はこの後、2週間を経過した後に65℃以上の温度の上昇がみられた。また、炭0.5区、木粉1：炭0.5区は十分な温度の上昇がみられていない。炭1区は発酵槽の上部では十分な温度上昇があったが、下部ではそれほどあがっていない。木粉1：炭0.5区では40℃程度の温度上昇をみるに留まった。

逆に温度上昇はみられなかったが、ある程度減容化が進んだものとしては、建築廃材1区があげられる。

温度変化とこれらの結果より、発酵槽内の堆肥の沈下は、堆肥化過程の副資材分解における減容だけでなく、混合物の自重による沈下も大きな要因となっているため、必ずしも減容は、堆肥化が進んだためと判断できないと考えられる。

1. 3. 3 試作堆肥

(1) 性状

試作した 13種類の堆肥の性状は表-1. 9のようにまとめられた。

以下に示した試作堆肥の性状は、試作堆肥の発酵終了時点でのものであり、平成4年12月末における状況である。したがって平成2年度、3年度に試作した堆肥は、それぞれ発酵終了後2年、1年を経過している。これらは 40ℓ 容量の土壌改良資材等の空袋に詰めて保管した。観察による限り、堆肥化の進行過程の項で述べたような最終産物の性状より、取り扱いが困難であったものが、年数の経過により取り扱いが容易となるというような年数の経過による性状の変化はみられなかった。

表-1. 9 試作堆肥の性状一覧

名 称	年 度	性 状	取り扱い性	臭 気
チップ1区	平	水分少、木質のみ目立つ	良	無臭
生チップ1区	成	木質目立つ	良	弱キノコ臭
チップ0.5区	2	赤土塊状、木質目立たぬ	普通	弱キノコ臭
チップ1:炭0.5区	年	水分少、木質あまり目立たぬ	極めて良	無臭
建築廃材1区	度	3～5cmの塊が目立つ、やや水分多い	やや不良	弱カビ臭
剪チップ1区	平	1～2cmの塊が目立つ、やや水分多い	普通	弱キノコ臭
剪チップ:炭0.5区	成	サラサラしている、水分適度	極めて良	無臭
炭0.5区	3	炭+汚泥、2～3cmの塊多い、やや水分多い	普通～やや不良	無臭
剪材:炭1区	年	2～3cmの塊多い、やや水分多い	普通～やや不良	弱キノコ臭
剪材1:炭0.5区	度	2～3cmの塊が目立つ	良	弱カビ臭
炭1区		炭+汚泥	普通	無臭
木粉1:炭0.5区	4	やや湿った砂状	極めて良	弱カビ臭
炭0.5:木粉	年	黒色(炭色)	普通	汚泥臭

取り扱い性が優れているものは、チップ1:炭0.2区、剪チップ1:炭0.5区及び木粉1:炭0.5区であった。いずれも、汚泥に等容量の乾燥粉碎物と炭を加えたものであり、均質な団粒状あるいは砂状であり、触感では取り扱いに適度な水分を有しているように判断された。同様な構成であるにもかかわらず剪材1:炭0.5区は、2～3cmの塊が多く、取り扱いに関してはやや劣る結果となった。

(2) 水分含有量の変化

表-1. 7に仕込み時における汚泥および副資材の混合物の計算上の含水率と、試作品の最終産物の含水率の実測値を示した。

当初の計算上の含水率と、試作品の最終産物の実測含水率とを比較してみると、程度の差はあるが、木粉1:炭0.5区を除いて、全般に最終産物の値の方が低くなっている。なお、木粉1:炭0.5区については、仕込時に木粉と汚泥の混合を容易にするために、約4ℓの木粉に水を加えているため、表のような値となっている。

試作堆肥の最終産物の含水率をみると、最も低いのは炭1区の44.9%、次いで剪材1:炭0.5区

の 49.6%である。

表-1. 7 試作堆肥の含水量

	名称	資材名	比重 %	水分	使用量 kg	換算重 kg	換算水分 %	当初計算上 含水率 %	最終産物の 含水率 %
平成 2 年度	フワ ¹ 区	下水汚泥	0.7	82.5	150	105	86.6		
		乾燥粉砕物	0.19	8.0	150	28.5	2.3		
		合計				133.5	88.9	66.6	58.7
	生フワ ¹ 区	下水汚泥	0.7	82.5	150	105	86.6		
		生粉砕物	0.26	47.8	150	39	18.6		
		合計				144	105.2	73.1	60.1
	フワ ^{0.5} 区	下水汚泥	0.7	82.5	180	126	104		
		乾燥粉砕物	0.19	8.0	90	17.1	1.4		
		合計				143.1	105.4	73.7	63.6
	フワ ¹ :炭 ^{0.2} 区	下水汚泥	0.7	82.5	150	105	86.6		
乾燥粉砕物		0.19	8.0	150	28.5	2.3			
炭		0.4	60.2	32	12.8	7.7			
合計					146.3	96.6	66.0	62.3	
建築廃材 ¹ 区	下水汚泥	0.7	82.5	144	100.8	83.2			
	建築廃材	0.19	45.1	144	27.4	12.4			
	合計				128.2	95.6	74.6	71.3	
剪フワ ¹ 区	下水汚泥	0.79	81.9	120	94.8	77.6			
	落葉樹粉砕物	0.26	52.6	120	31.2	16.4			
	補助材	0.38	43.3	10	3.8	1.6			
	合計				129.8	95.6	73.7	72.3	
剪フワ ¹ :炭 ^{0.5} 区	下水汚泥	0.79	81.9	120	94.8	77.6			
	落葉樹粉砕物	0.26	52.6	120	31.2	16.4			
	炭	0.56	9.6	60	33.6	3.2			
	補助材	0.38	43.3	10	3.8	1.6			
	合計				163.4	98.8	60.5	54.3	
炭 ^{0.5} 区	下水汚泥	0.79	81.9	180	142.2	116.5			
	炭	0.56	9.6	90	50.4	4.8			
	補助材	0.38	43.3	10	3.8	1.6			
	合計				196.4	122.9	62.6	61.4	
剪材 ¹ :炭 ¹ 区	下水汚泥	0.79	81.9	120	94.8	77.6			
	常緑樹粉砕物	0.24	49.7	120	28.8	14.3			
	補助材	0.38	43.3	10	3.8	1.6			
	合計				127.4	93.5	73.4	69.8	
剪材 ¹ :炭 ^{0.5} 区	下水汚泥	0.79	81.9	120	94.8	77.6			
	常緑樹粉砕物	0.24	49.7	120	28.8	14.3			
	炭	0.56	9.6	60	33.6	3.2			
	補助材	0.38	43.3	10	3.8	1.6			
	合計				161	96.7	60.1	49.6	
炭 ¹ 区	下水汚泥	0.79	81.9	150	118.5	97.1			
	炭	0.56	9.6	150	84	8.1			
	補助材	0.38	43.3	10	3.8	1.6			
	合計				206.3	106.8	51.8	44.9	
木粉 ¹ :炭 ^{0.5} 区	下水汚泥	0.79	81.9	100	79	64.7			
	木粉	0.22	8.5	100	22	1.9			
	炭	0.3	46	50	15	6.9			
	補助材	0.38	43.3	10	3.8	1.6			
	合計				119.8	75.1	62.7	69.7	
炭 ^{0.5} :砂 ^{0.5} 区	下水汚泥	0.72	81.9	172	123.8	101.4			
	糖類	0.76	0.6	0	6	0			
	炭	0.3	46	86	25.8	11.9			
	補助材	0.81	40.3	5	4.1	1.7			
	合計				159.7	115	72.0	68.4	
平成 3 年度	フワ ¹ 区	下水汚泥	0.7	82.5	150	105	86.6		
		乾燥粉砕物	0.19	8.0	150	28.5	2.3		
		合計				133.5	88.9	66.6	58.7
	生フワ ¹ 区	下水汚泥	0.7	82.5	150	105	86.6		
		生粉砕物	0.26	47.8	150	39	18.6		
		合計				144	105.2	73.1	60.1
	フワ ^{0.5} 区	下水汚泥	0.7	82.5	180	126	104		
		乾燥粉砕物	0.19	8.0	90	17.1	1.4		
		合計				143.1	105.4	73.7	63.6
	フワ ¹ :炭 ^{0.2} 区	下水汚泥	0.7	82.5	150	105	86.6		
乾燥粉砕物		0.19	8.0	150	28.5	2.3			
炭		0.4	60.2	32	12.8	7.7			
合計					146.3	96.6	66.0	62.3	
建築廃材 ¹ 区	下水汚泥	0.7	82.5	144	100.8	83.2			
	建築廃材	0.19	45.1	144	27.4	12.4			
	合計				128.2	95.6	74.6	71.3	
剪フワ ¹ 区	下水汚泥	0.79	81.9	120	94.8	77.6			
	落葉樹粉砕物	0.26	52.6	120	31.2	16.4			
	補助材	0.38	43.3	10	3.8	1.6			
	合計				129.8	95.6	73.7	72.3	
剪フワ ¹ :炭 ^{0.5} 区	下水汚泥	0.79	81.9	120	94.8	77.6			
	落葉樹粉砕物	0.26	52.6	120	31.2	16.4			
	炭	0.56	9.6	60	33.6	3.2			
	補助材	0.38	43.3	10	3.8	1.6			
	合計				163.4	98.8	60.5	54.3	
炭 ^{0.5} 区	下水汚泥	0.79	81.9	180	142.2	116.5			
	炭	0.56	9.6	90	50.4	4.8			
	補助材	0.38	43.3	10	3.8	1.6			
	合計				196.4	122.9	62.6	61.4	
剪材 ¹ :炭 ¹ 区	下水汚泥	0.79	81.9	120	94.8	77.6			
	常緑樹粉砕物	0.24	49.7	120	28.8	14.3			
	補助材	0.38	43.3	10	3.8	1.6			
	合計				127.4	93.5	73.4	69.8	
剪材 ¹ :炭 ^{0.5} 区	下水汚泥	0.79	81.9	120	94.8	77.6			
	常緑樹粉砕物	0.24	49.7	120	28.8	14.3			
	炭	0.56	9.6	60	33.6	3.2			
	補助材	0.38	43.3	10	3.8	1.6			
	合計				161	96.7	60.1	49.6	
炭 ¹ 区	下水汚泥	0.79	81.9	150	118.5	97.1			
	炭	0.56	9.6	150	84	8.1			
	補助材	0.38	43.3	10	3.8	1.6			
	合計				206.3	106.8	51.8	44.9	
木粉 ¹ :炭 ^{0.5} 区	下水汚泥	0.79	81.9	100	79	64.7			
	木粉	0.22	8.5	100	22	1.9			
	炭	0.3	46	50	15	6.9			
	補助材	0.38	43.3	10	3.8	1.6			
	合計				119.8	75.1	62.7	69.7	
炭 ^{0.5} :砂 ^{0.5} 区	下水汚泥	0.72	81.9	172	123.8	101.4			
	糖類	0.76	0.6	0	6	0			
	炭	0.3	46	86	25.8	11.9			
	補助材	0.81	40.3	5	4.1	1.7			
	合計				159.7	115	72.0	68.4	
平成 4 年度	フワ ¹ 区	下水汚泥	0.7	82.5	150	105	86.6		
		乾燥粉砕物	0.19	8.0	150	28.5	2.3		
		合計				133.5	88.9	66.6	58.7
	生フワ ¹ 区	下水汚泥	0.7	82.5	150	105	86.6		
		生粉砕物	0.26	47.8	150	39	18.6		
		合計				144	105.2	73.1	60.1
	フワ ^{0.5} 区	下水汚泥	0.7	82.5	180	126	104		
		乾燥粉砕物	0.19	8.0	90	17.1	1.4		
		合計				143.1	105.4	73.7	63.6
	フワ ¹ :炭 ^{0.2} 区	下水汚泥	0.7	82.5	150	105	86.6		
乾燥粉砕物		0.19	8.0	150	28.5	2.3			
炭		0.4	60.2	32	12.8	7.7			
合計					146.3	96.6	66.0	62.3	
建築廃材 ¹ 区	下水汚泥	0.7	82.5	144	100.8	83.2			
	建築廃材	0.19	45.1	144	27.4	12.4			
	合計				128.2	95.6	74.6	71.3	
剪フワ ¹ 区	下水汚泥	0.79	81.9	120	94.8	77.6			
	落葉樹粉砕物	0.26	52.6	120	31.2	16.4			
	補助材	0.38	43.3	10	3.8	1.6			
	合計				129.8	95.6	73.7	72.3	
剪フワ ¹ :炭 ^{0.5} 区	下水汚泥	0.79	81.9	120	94.8	77.6			
	落葉樹粉砕物	0.26	52.6	120	31.2	16.4			
	炭	0.56	9.6	60	33.6	3.2			
	補助材	0.38	43.3	10	3.8	1.6			
	合計				163.4	98.8	60.5	54.3	
炭 ^{0.5} 区	下水汚泥	0.79	81.9	180	142.2	116.5			
	炭	0.56	9.6	90	50.4	4.8			
	補助材	0.38	43.3	10	3.8	1.6			
	合計				196.4	122.9	62.6	61.4	
剪材 ¹ :炭 ¹ 区	下水汚泥	0.79	81.9	120	94.8	77.6			
	常緑樹粉砕物	0.24	49.7	120	28.8	14.3			
	補助材	0.38	43.3	10	3.8	1.6			
	合計				127.4	93.5	73.4	69.8	
剪材 ¹ :炭 ^{0.5} 区	下水汚泥	0.79	81.9	120	94.8	77.6			
	常緑樹粉砕物	0.24	49.7	120	28.8	14.3			
	炭	0.56	9.6	60	33.6	3.2			
	補助材	0.38	43.3	10	3.8	1.6			
	合計				161	96.7	60.1	49.6	
炭 ¹ 区	下水汚泥	0.79	81.9	150	118.5	97.1			
	炭	0.56	9.6	150	84	8.1			
	補助材	0.38	43.3	10	3.8	1.6			
	合計				206.3	106.8	51.8	44.9	
木粉 ¹ :炭 ^{0.5} 区	下水汚泥	0.79	81.9	100	79	64.7			
	木粉	0.22	8.5	100	22	1.9			
	炭	0.3	46	50	15	6.9			
	補助材	0.38	43.3	10	3.8	1.6			
	合計				119.8	75.1	62.7	69.7	
炭 ^{0.5} :砂 ^{0.5} 区	下水汚泥	0.72	81.9	172	123.8	101.4			
	糖類	0.76	0.6	0	6	0			
	炭	0.3	46	86	25.8	11.9			
	補助材	0.81	40.3	5	4.1	1.7			
	合計				159.7	115	72.0	68.4	

逆に含水率の高いのは、剪チップ1区の72.3%、建築廃材1区の71.3%、剪オガクズ1区の69.8%、木粉1:炭0.5区69.7%となっている。

この含水率は、発酵過程における通気や微生物の繁殖等に大きく関係するのではないかと予想される。しかし、最終産物の含水率がともに高い剪チップ1区と木粉1:炭0.5区とを比較した場合、発酵過程において前者では十分な温度上昇がみられたのに対し、後者ではほとんど温度の上昇がみられていない。また、ともに汚泥に対し粉碎物を等容量、炭を半容量加えた、ほぼ同様な材料組成である剪オガ1:炭0.5区と木粉1:炭0.5区とを比較した場合でも、前者では含水率が低いことに加えて、かなりの温度上昇がみられたのに対し、後者では含水率が高いことやほとんどが温度が上がっていないことなどが異なっている。この場合、加えた粉碎物の粒径や、炭の性状も異なっていることなどが、原因として考えられるが、含水率の多少による発酵過程での温度上昇などへの影響に関しては、この程度の実験で明確にすることは困難である。

しかし、副資材の混合は、その割合により含水率を低下させることは仕込み時の取り扱いを容易とするだけでなく、完成した堆肥の取り扱いも容易となる。その目標として、含水率を60%以下にすることは十分な意義があると考えられる。

(3) 化学的性質

試作堆肥の化学性の分析結果を表-1.10に示す。分析及び測定方法等は、前述のとおり1.2.2の(1)項と同様である。また、供試材料は、前項と同様、平成4年12月の堆肥である。

表-1.10 試作堆肥の化学性分析結果

項 目	単 位	剪チップ 1	生剪チップ 1	剪チップ 0.5	剪:炭 1:2	建 1	剪チップ 1	剪:炭 1:5	炭 0.5	剪オガ 1	剪オガ: 炭1:5	炭 1	木粉:炭 1:5	炭:汚泥 1:2
比重		0.38	0.40	0.57	0.43	0.52	0.56	0.54	0.69	0.58	0.56	0.63	0.48	0.57
pH		4.9	5.7	5.4	4.9	5.2	6.3	6.2	5.5	6.4	6.3	5.7	6.3	7.1
含水率	%	54.4	62.9	69.2	64.5	74.3	66.7	48.4	55.1	74.5	56.1	46.3	69.7	68.4
EC(1:10)	mS/cm	3.78	2.19	2.24	3.02	3.81	1.72	1.97	2.16	1.35	2.12	1.8	2.02	2.72
C E C	me/100g	87	80	82	84	59	73	60	42	71	62	39	48	40
全炭素	%	26.8	37.1	37.6	44.1	40.5	37.2	60.8	55.1	36.9	60.0	71.4	56.7	54.4
全窒素	%	3.28	3.11	3.23	2.92	2.36	2.62	1.46	1.21	2.55	1.63	0.90	1.86	2.74
C/N比		8.2	11.9	11.6	15.1	17.2	14.2	41.6	45.5	14.5	36.8	79.4	30.5	19.9
アミノ態窒素	mg/100g	65.6	72.1	49.3	83.5	43.6	47.2	26.2	31.3	54.6	48.7	17.6	38.2	42.2
硝酸態窒素	mg/100g	57.9	6.7	8.6	44.5	53.3	9.7	28.9	19.5	11.4	34.7	11.8	30.4	46.4
全リン酸	%	6.38	6.51	7.18	5.9	5.37	5.63	2.37	2.82	5.32	2.66	1.47	2.47	4.42
全カリウム	%	0.8	0.89	0.73	0.78	0.55	1.18	1.39	1.08	1.14	1.22	1.07	0.53	0.6
全カルシウム	%	3.4	3.68	3.43	3.39	2.6	3.64	1.61	1.15	3.58	1.61	0.63	1.61	2.34

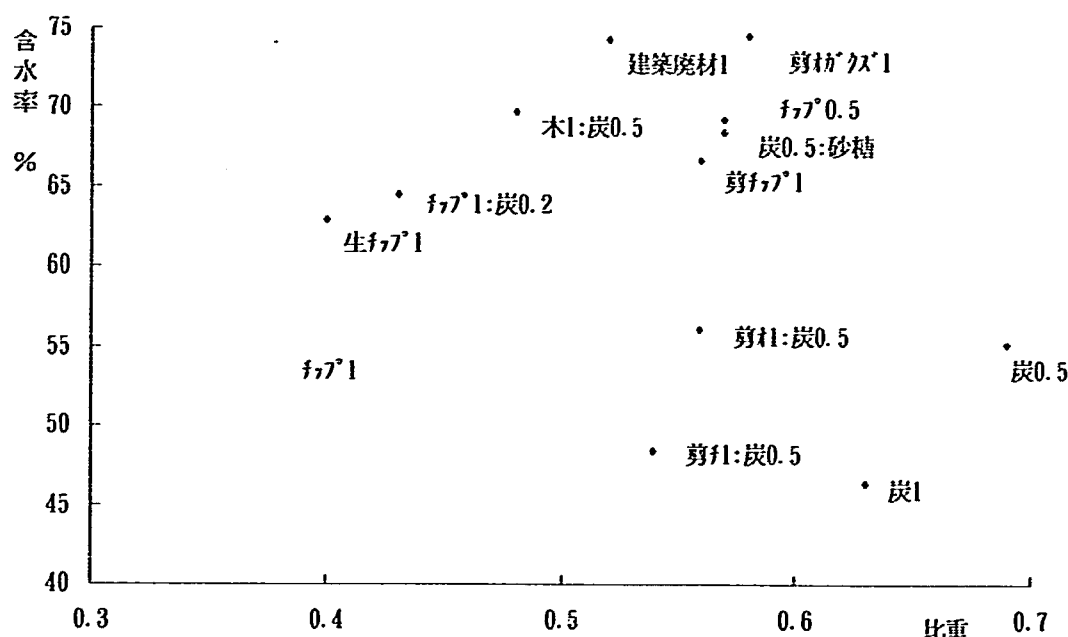
注)表中、含水率以外の%単位の項目値は特に記さぬ限り、乾物当りの含有量である。
pHはガラス電極法(1:10)。ECは(1:10)25℃換算である。

試作堆肥の比重は 0.38から 0.69までの広い幅がある。図－ 1. 15に比重と含水量の関係を示した。比重と含水量の関係をみると、大きく 2つのグループに分けることができる。

一つは、図の右下にまとめられる炭 0.5区、剪チップ 1 :炭 0.5区、炭 1区、剪オガ 1 :炭 0.5区の 4種の比重が大きく、含水率の低いグループで、いずれも平成 3 年度にヤシガラ炭を混合して作成した堆肥である。原因としては、ヤシガラ炭は建築廃材炭化物に比べて比重は大きいが含水率の低いことが影響していると考えられる。

もう一つのグループでは、平成 2 年度に試作したチップ 1 区、生チップ 1 区、チップ 1 :炭 0.2区、建築廃材 1 区及びチップ 0.5区の 5 種のうち、剪定枝葉粉碎物を容積比で 1 : 1 に含むチップ 1 区、生チップ 1 区及びチップ 1 :炭 0.2区については、比較的比重も軽く含水率も 65%程度までに収まっており、取り扱いも容易であった。しかし、建築廃材粉碎物を加えた建築廃材 1 区と剪定枝葉粉碎物に対して汚泥を倍の容量を加えたチップ 0.5区は水分が多く、取り扱いが容易であると言いが難かった。

仕込みおよび切り返し等の作業時の経験から、含水率は多くとも 70%以下、比重は 0.55以下であることが、取り扱いが容易な堆肥の条件であるといえた。



図－ 1. 15 試作堆肥の比重と含水量の関係

pHは全体的にやや低い傾向にある。特に pH 4.9と低いのは、チップ 1 区とチップ 1 :炭 0.2区であるが、これは硝酸態窒素の影響ではないかと考えられる。すなわち、汚泥を土壤に多量に施用した場合に急激な硝酸化がおきて、pHの低下が起こる場合があるとされているが、試作堆肥の成分中に硝酸態窒素の量が多い場合には、これと似た現象が起こったためではないかと考えられる。実際にチップ 1 区とチップ 1 :炭 0.2区を比較した場合には、硝酸態窒素の値がそれぞれ 57.9、44.5mg/100g というように比較的高くなっている。しかし、炭 0.5:砂糖区では pH 7.1、硝酸態窒素 46.4mg/100g と示すように、必ずしも硝酸態窒素の値だけからすべての pHの値を説明できるものではない。

C/N比は、堆肥の熟成度合いの指標となるものであるが、本研究では炭を加えて堆肥化を図った試料がある。炭を混入した場合、自動分析装置などの一般的な分析方法では、炭自体の炭素も計測されるため、堆肥の炭素含有量が高くなり、見かけ上のC/N比を上げる結果となる。このため、本結果のC/N比は、十分な熟成の判断指標にはならないことを注意しておく必要がある。実際、炭を混入している剪チップ1:炭 0.5区、炭 0.5区、剪オガ1:炭 0.5区、炭1区及び木粉1:炭 0.5区では、他の試作堆肥に比べて極端にC/N比が高くなっており、その中でも汚泥に対し炭だけを等容量混合した炭1区では、その傾向が特に顕著である。通常の場合、このようにC/N比が高い堆肥を緑地等に施用した場合には、窒素飢餓を起こす懸念がある。しかし、炭は、炭素原子自体が共有結合により安定しているため、窒素をほとんど吸着することはほとんどなく、炭の混入により土壌が窒素飢餓を起こす可能性は低いと考えられる。炭を混入していない生チップ1区、剪チップ1区及び剪オガクス1区のC/N比が10~15の範囲内に収まっていることから、剪チップ1:炭 0.5区、剪オガ1:炭 0.5区といった枝葉粉砕物と炭を混合した試作堆肥でも、炭以外の有機物に含まれる炭素と窒素のC/N比は、10~15前後の肥料や土壌改良材として利用可能な範囲内の値を示すと考えられる。

表-1. 4の原材料としての下水汚泥と表-1. 10の試作堆肥のカリウム量を比較すると、下水汚泥そのものでは全カリウムは0.2%前後の値を示すが、堆肥では例外なく増加がみられ、おおむね0.8~1.2%程度の値を示すものが多い。これは、下水汚泥にはもともとあまり含まれていないカリウム成分が、樹木系副資材の混合により補われたことをあらわしていると考えられる。

(4) 粒度分布

試作堆肥の粒度分布は表-1. 11に示すとおりである。

本研究で製造した堆肥を粒径と取り扱い易さの比較では、建築廃材1区、炭 0.5区、剪オガクス1区のように25mm以上の粒径の大きな塊が含まれている場合は、互いの塊同士や器具類などに付着しやすく、非常に取り扱いが困難であった。逆に、チップ1区、生チップ1区、剪オガ1:炭 0.5区などの25mm以上の粒径のものが全く含まれていない堆肥の取扱いは容易で、特に、チップ1:炭 0.2区、剪チップ1:炭 0.5区、木粉1:炭 0.5区のように4.7mm以下の粒径のものが60%以上を構成している堆肥でその傾向は顕著であった。

粒径と原材料の関係を比較すると、チップ1:炭 0.2区、剪チップ1:炭 0.5区、剪オガ1:炭 0.5区、木粉1:炭 0.5区などの汚泥と混合する副資材の比率が高いものや、チップ1区や生チップ1区などの材料の含水率が低く吸水性のある副資材を使用したものの取り扱いが容易である傾向があった。

粒径と発熱との関係を比較すると、チップ1区と生チップ1区のように高温が長く続いた試料ほど粒径が細かい傾向にあった。また、チップ1区とチップ1:炭 0.2区のように高温が発生して急激な温度下落を呈した試料よりも、発熱状態が長く安定していた試料ほうが粒径が細かい傾向にあった。

表－1. 11 試作堆肥の粒度分布

名 称	25㎜以上	9.5～25	4.7～9.5	2～4.7	2㎜以下	取り扱い性
チップ1区	0.0	11.9	31.6	33.9	22.6	良
生チップ1区	0.0	28.6	34.7	22.4	14.2	良
チップ0.5区	10.1	46.7	27.1	13.4	2.6	普通
チップ1:炭0.2区	0.0	11.1	25.0	33.6	30.3	極めて良
建築廃材1区	27.7	41.1	23.8	7.3	0.1	やや不良
剪チップ1区	13.4	46.5	26.9	12.6	0.6	普通
剪チップ1:炭0.5区	0.0	14.9	17.6	49.6	17.8	極めて良
炭0.5区	30.9	35.7	17.9	15.3	0.1	普通～やや不良
剪材*ス*1区	21.6	40.8	27.2	10.2	0.2	普通～やや不良
剪材*1:炭0.5区	0.0	15.7	20.7	50.9	12.7	良
炭1区	5.0	17.3	18.5	57.1	2.1	普通
木粉1:炭0.5区	0.0	9.3	19.2	26.0	45.5	極めて良
炭0.5:砂糖区	2.4	33.8	40.9	21.5	1.4	普通

(5) 病原菌検査

病原菌検査の対象及び検査項目は、表－1. 15のとおりである。

検査対象は、製造した堆肥のうち、発熱履歴が良好で最高温度が 80℃以上かつ 65℃以上の状態が 48時間以上十分続いた剪チップ1:炭 0.5区、取り扱いが容易だが発酵時に 45℃以上の温度に至らなかった木粉1:炭 0.5区、最高温度が 70℃程度かつ 65℃以上の状態が 48時間以上続く一般的な発熱パターンを示した炭 0.5:砂糖区の3種類について、発酵時の発熱による病原菌の出現変化に関する検査を行った。

また、これらとの比較検討を行うために、平成2年度の堆肥製造に使用した汚泥と、一般の土壌として、土木研究所構内のアカマツ林下の表土を採取し、同様の検査を実施した。

表－1. 15 病原菌検査の対象及び検査項目

検査対象	検 査 項 目							
	病原大腸菌	腸球菌	結核菌	ガス壊疽菌	破傷風菌	サルモネラ菌	真菌	黄色ブドウ球菌
下水汚泥 (平成2年度)	○	○	○	○	○	○	○	○
剪チップ1:炭0.5区	○	○	○	○	○	○	○	○
木粉1:炭0.5区	○	○					○	
炭0.5:砂糖区	○	○					○	
一般土	○	○	○	○	○	○	○	○

注) ○は実施した検査項目

病原菌検査の検査結果を表－1. 16に示す。

表－1. 16 病原菌検査の対象及び検査結果

検査対象	検 査 項 目							
	病原大腸菌	腸球菌	結核菌	ガス壊疽菌	破傷風菌	サルモネラ菌	真菌	灰色ブドウ球菌
下水汚泥 (平成2年度)	○	○	－	○	－	－	－	－
剪チップ1:炭0.5区	－	－	－	○	－	－	○	－
木粉1:炭0.5区	－	○	実施せず	実施せず	実施せず	実施せず	○	実施せず
炭0.5:砂糖区	－	○	実施せず	実施せず	実施せず	実施せず	－	実施せず
一般土	－	－	－	○	－	－	○	－

注) 「○」検出された、「－」検出されず、「一般土」土壌研究所構内より採取した土壌

下水汚泥からは病原大腸菌、腸球菌及びガス壊疽菌が検出された。これに対して、発熱履歴のある堆肥 剪チップ1:炭 0.5区では、ガス壊疽菌は検出されているが、病原大腸菌及び腸球菌が検出されていない。また、真菌が新たに検出されている。

この真菌はカビであり、それらが大量に付着している枝葉粉碎物や土壌等を副資材として混ぜたためであると考えられる。

木粉1:炭 0.5区及び炭 0.5:砂糖区では、病原大腸菌は検出されていないが、腸球菌は温度が上がらなかった木粉1:炭 0.5区と温度が 80℃近くまで上がった炭 0.5:砂糖区のいずれでも検出された。真菌は木粉1:炭 0.5区のみで検出され、木質を含まない炭 0.5:砂糖区では二次発酵終了時でもキノコ発生等も見られず、カビも表面に限定されていたので、不検出となったものと推察される。

これらとの比較対照となる一般土壌から検出されたのは、ガス壊疽菌の一つであるClostridium属と真菌であった。

これらの結果から、一般土壌に含まれていない腸球菌等は、堆肥の発酵過程において温度が 80℃程度にまで上昇しても検出されており、堆肥化により必ずしも病原菌が死滅しないといえよう。

(6) 発芽試験

各年度毎に製造した堆肥に対して発芽試験を実施した。

表－1. 12には平成2年度に製造した堆肥、表－1. 13には平成3年度に製造した堆肥の、それぞれ仕込から4週間後に採取した堆肥を使用した発芽試験結果を掲げた。

また、表－1. 14に平成4年度に製造した堆肥(木粉1:炭 0.5区、炭 0.5:砂糖区)の仕込から4週間後の試料及び平成2年度、平成3年度に製造した堆肥についてはそれぞれ2年間、1年間保存した平成4年12月現在の堆肥を用いた発芽試験結果を示した。

表-1.12 平成2年度試作堆肥の発芽試験

名称	発芽率(%)	備考
チップ1区	97	
生チップ1区	100	一部根の生育不良あり
チップ0.5区	97	
チップ1:炭0.2区	97	
建築廃材1区	13	

表-1.13 平成3年度試作堆肥の発芽試験

名称	発芽率	備考
剪チップ1区	100	地上部、根とも極めて良
剪チップ1:炭0.5区	100	阻害はないがやや根が不良
炭0.5区	100	極めて良
剪材・刈草1区	100	極めて良
剪材・刈草1:炭0.5区	100	良好
炭1区	100	良好

表-1.14 試作堆肥の発芽試験結果一覧

試料名	発芽率 %	地上部 生育阻害	地上部 生育	根成長 阻害	根成長	根毛発達	全体評価
チップ1区	100%	なし	良	なし	やや悪い	やや悪い	やや養分過多か
生チップ1区	90%	なし	良	なし	普通	普通	やや根に勢いが無い
チップ0.5区	100%	なし	普通	なし	やや悪い	悪い	やや養分過多か
チップ1:炭0.2区	70%	なし	良	なし	やや悪い	悪い	若干の発芽障害
建築廃材1区	90%	なし	良	なし	普通	普通	良好
剪チップ1区	100%	なし	良	なし	良	良	きわめて良
剪チップ1:炭0.5区	100%	なし	良(極良)	なし	良	普通	きわめて良
炭0.5区	90%	なし	良	なし	良	良	良好
剪材・刈草1区	90%	なし	良	なし	良	良	根が長い、養分不足か
剪材・刈草1:炭0.5区	100%	なし	良(極良)	なし	良	良	きわめて良
炭1区	100%	なし	良	なし	良	良	良好
木粉1:炭0.5区	100%	なし	良	なし	良	良	きわめて良
炭0.5:砂糖区	100%	なし	良	なし	普通	普通	良好

平成2年度に試作した堆肥による発芽試験結果をみると、建築廃材1区が極端に低いほかは、100%には達していないが、概ね高い発芽率を示している。しかし、ほぼ2年を経過した後の表-1.14をみると、建築廃材1区は発芽率が90%に向上している。これに対し、チップ1:炭0.2区は70%と低下している。根系の発達状況の観察においても、平成2年度の試作堆肥は普通以下と観察されるものが多く、やや問題を含んでいるといえる。

平成3年度に試作した堆肥の発芽状況は、試作直後では、全ての堆肥が100%発芽している(表-1.13)他、1年経過した後にも、概ね良好な発芽状況を示している(表-1.14)。また、生育状況の観察においても、良い評価が得られている。

平成4年度に試作した2種の堆肥については発芽率、生育状況ともに問題はなかった。

1. 4 試作堆肥に関するまとめ

試作堆肥の発芽試験においては、経年変化による発芽率の変化はあったものの、植物に施用するにあたっては、おおむね問題はなかった。この結果より、堆肥の植物生育に対する化学的性質においては、大きな問題点はないと考えられる。このため、堆肥の性状等に関しては、取り扱いや施用方法に影響する物理的な性質を主体にまとめこととした。

1. 4. 1 混合物の性状

(1) 剪定枝葉粉碎物

枝葉粉碎物のみを混入した場合には、一般的な市販堆肥と同等程度の堆肥が製造された。副資材の粒度分布では、粒径の小さな粉碎物の混入率が高い資材から、物理的性状のよい堆肥が得られる傾向にあった。また、混入量はわずかではあるが、小枝や葉に由来する2~3mm程度以下の粒径の小さい粉碎物は、製造後1~2年の間の保存期間内に、ほぼ原型を留めない程度にまで分解されていた。ただし、堆肥中の主な木質材料である幹や太枝に由来する粒径の大きな粉碎物は、ほとんど分解などの変化は見られなかった。

仕込み時の含水率の調整にあたっては、使用する剪定枝葉粉碎物が乾燥していることが望ましいが、混合物を製造する際には、汚泥と粉碎物が均一に混じるように十分な攪拌を行うため、混合物の物理的性状は粉碎物の形状に依存する割合が高く、その際、粉碎物の含水率はそれほど大きな影響を持たない傾向にあった。また、混合物の含水率は、炭等の副資材を混入することで改善できるため、特に注意が必要ではないと考えられる。

(2) 建築廃材粉碎物

建築廃材粉碎物は、堆肥製造時に発酵を阻害する傾向がある。その後の保存期間を経た後も、ほぼ副資材は堆肥内で原型を保ち分解などの変化を起こしていない。したがって、副資材として建築廃材を使用する場合には、そのままでは堆肥化素材として不適當であり、何らかの事前処理を必要とするものと考えられる。

(3) 木粉（オガクズ）

木粉（オガクズ）は剪定枝葉を理想的に細かく粉碎したものと捉えることができる。これらは、粒径が小さいために分解速度も速く、良質な堆肥を比較的、短期間で得ることができる。

現段階では、街路樹等から発生する剪定枝葉を大量に木粉化することは困難であるが、効率的かつ良質の堆肥製造を目指す際には、今後これらを可能とする機械の開発が必要となる。

(4) 炭

炭は、自身がつ水分保持能力、微小な粒径などの性質により、剪オガクズ1区と炭1区間に見られるように汚泥と副資材を混合する際の含水率の調整やそれにもなう作業性の向上等、物理性の改

善にともなう温度上昇効果への寄与が大きいことが明らかとなった。使用するにあたって発酵過程における微生物等の培地としての効果も大きいと期待していたが、今回の試験ではその詳細を明らかにできなかった。

このような、単に水分調整を目的とするだけであれば、パーライト等の鉱石性の発泡物質でも代替が可能であると考えられる。

(5) 糖類

糖類の添加は、木粉 1 : 炭 0.5 区と炭 0.5 : 砂糖区の間に見られるように初期発酵の増進には明らかに効果があると考えられる。しかしながら、堆肥の製造にあたって大量に使用することは、現実的な手段とはいえない。今後は、発酵促進のための副資材の開発も考慮する必要があると考えられる。

1. 4. 2 望ましい混合および製造方法

今回の試験結果から、汚泥材料を含水率 80% 強の高分子凝集剤使用の消化脱水汚泥とした場合、下水汚泥 1 容に対し、枝葉粉碎物 1 容、水分調整用の粉粒体（粒状炭等）0.5 容を基本構成とし、混合することにより、緑化資材として十分使用できる堆肥が製造できることが判った。

下水汚泥は使用する際に、粒状にして、やや乾燥した状態にしておくことが望ましい。また、枝葉粉碎物は、粒径形状が細かいものほどよく、できれば、乾燥している方が望ましい。炭等の水分調整資材に関しては、水分吸収能力に優れたものである必要がある。

混合物質の仕込み時の水分は 60% 弱となることが望ましい。ただし、比重の重い炭などの副資材を用いる場合は、計算上では含水率が低くなるので注意する必要がある。また、汚泥の水分はそのまま、枝葉粉碎物の含水率を極端に下げた乾燥状態に近いものを使用すると、水分を吸収しにくくなり、副資材の分解が遅くなることがある。副資材は、汚泥の水分を吸収、調整させ、同時並行的に含水率を減少させる必要がある。

発酵期間に関しては、枝葉粉碎物の木質部は通常の堆肥化過程ではほとんど分解しないので、実際的には汚泥の好気発酵にともない堆肥化が進むことになる。具体的な期間は規模や堆肥化装置の方式等によって異なるが、目安としては一次発酵期間は約 2 週間、二次発酵期間は 1 ~ 2 箇月程度であると考えられる。

引用・参考文献

1) 土壤物理性測定法委員会編：土壤物理性測定法：養賢堂、1975

2) 藤原俊六郎：シャーレを使った堆肥の簡易腐熟度検定法：日本土壤肥科学雑誌 第56巻、第3号 pp251、1985

3) 下水汚泥の有効利用を進めるに当たっての諸課題—主として緑農地利用について—第5回下水汚泥の

4)建設省都市局、(財)公園緑地管理財団：都市緑化における下水汚泥施用指針(案)：下水汚泥資源利用協議会、1987

5)日本土壌肥料学会編：下水汚泥－リサイクルのために－：博友社、1979

6)日本土壌肥料学会監修、有機性汚泥の緑農地利用委員会編：有機性汚泥の緑農地利用：博友社、1991

7)ペトロジスト懇談会編：土壌調査ハンドブック：博友社、1984

8)田中和博、中尾正和：米国におけるコンポスト化の現状：再生と利用、vol. 9、No. 33、p44～54、1986

第2章 植栽試験

2. 1 試験目的

本研究において、下水汚泥に各種の剪定枝葉などを混合して堆肥を試作した。堆肥の性状等に関しては、前章にて物理性および化学性について調査分析し、発芽試験による植物体への影響に関する基本的な検討を実施した。しかし、これらの堆肥を実際に緑地に施用した場合の効果については明らかではない。そのため、本植栽試験は、土壤に試作堆肥を混合した場合と化成肥料を混合した場合の樹木成長の比較を行い、堆肥の施用効果等を把握することを目的とした。

2. 2 試験方法

2. 2. 1 試験区の造成と植栽方法

建設省土木研究所構内に、関東ローム土を50cm盛り土し、各区5m×1mの試験区を設置し、表層から20cmまでに試作堆肥を混合した。試験に用いた土壤の分析結果は表-1、試験区の施工状況は図-1のとおりである。

各試験区には表-2の試作堆肥が窒素分として50g/m²となるように施用し、また窒素量と同程度のK量となるように珪酸カリを加えた。対照区には、遅効性化成肥料

表-1 植栽用土壌分析結果

項目	単位	結果
比重		0.83
土性	指触土性	埴壌土
pH(H ₂ O)		5.9
含水率	%	61.2
全リン酸	%	0.05
全カリ	%	0.72
全カルシウム	%	0.24
EC	μS(1:5)	43
CEC	me/100g	18.6
T-C	%	0.55
T-N	%	0.07
C/N比		7.9
アンモニア態窒素	N-mg/100	1.2
硝酸態窒素	N-mg/100	6.9

(6-4-3)を窒素分として10g/m²相当(試作堆肥区において50g/m²相当施用しているのは有機質と

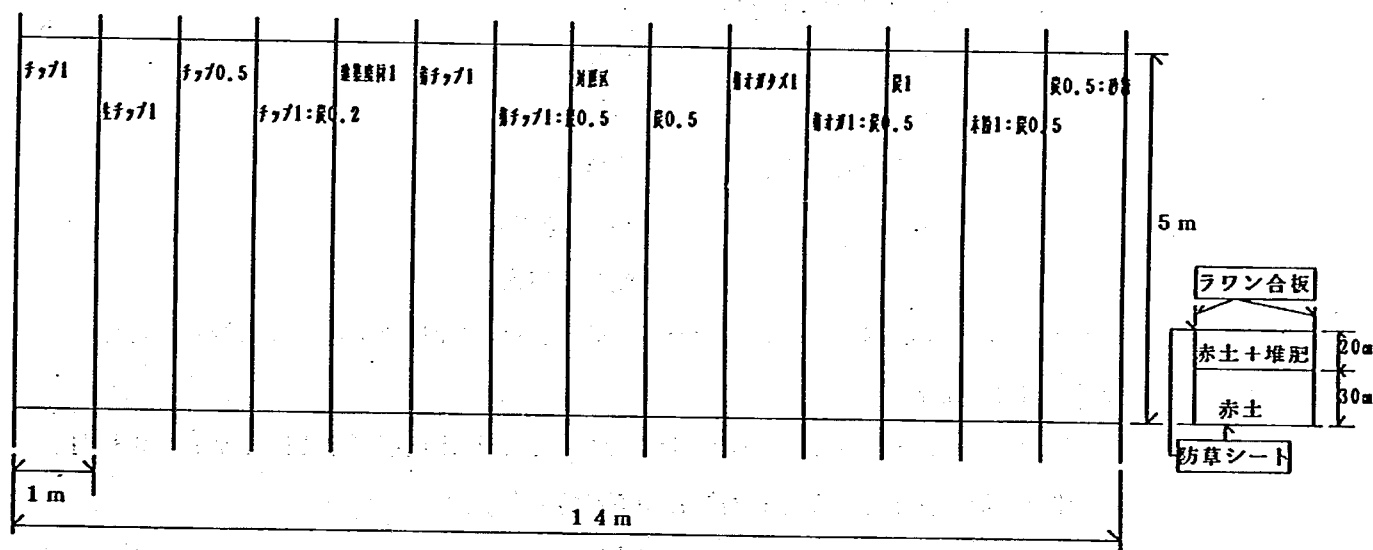


図-1 植栽試験区

表-2 試験に用いた試作堆肥の内容と性状

試作堆肥の 名称	試作堆肥の混合物組成		施用量 (kg)	性状	取扱性	臭気
	汚泥	混合物(木質物)				
チッピ	1容	乾燥粉砕物1	16.5	水分少、木質のみ目立つ	良	無臭
チッピ	1容	生粉砕物1	21.5	木質のみ目立つ	良	弱キノコ臭
チッ0.5	1容	乾燥粉砕物0.5	25.0	赤土塊状、木質目立たぬ	普通	弱キノコ臭
チッ1:炭0.2	1容	乾燥粉砕物1+炭0.2	24.0	水分少、木質あまり目立たぬ	極めて良	無臭
建築材	1容	建築廃材粉砕物1	41.5	3-5cmの塊が目立つ、やや水分多	やや不良	弱カビ臭
チッピ	1容	落葉樹粉砕物1	28.5	1-2cmの塊が目立つ、やや水分多	普通	弱キノコ臭
チッピ:炭0.5	1容	落葉樹粉砕物1+炭0.5	33.0	サラサラしている、水分適度	極めて良	無臭
対照区			0.83			
炭0.5	1容	炭0.5	46.0	2-3cmの塊が多い、やや水分多	普通~やや不良	無臭
常緑材	1容	常緑樹粉砕物1	38.5	2-3cmの塊が多い、やや水分多	普通~やや不良	弱キノコ臭
常緑材:炭0.5	1容	常緑樹粉砕物1+炭0.5	35.0	2-3cmの塊が目立つ	良	弱カビ臭
炭1	1容	炭1	51.5	炭+汚泥	普通	無臭
木粉1:炭0.5	1容	木粉1+炭0.5	44.5	やや湿った砂状	極めて良	弱カビ臭
炭0.5+砂糖	1容	炭0.5+砂糖	29.0	黒色(炭色)	普通	汚泥臭

注)・表中の容とは容積の略。

無機質との差を考慮したため)加えた。堆肥及び添加化成肥料等は客土表面より20cmの深さまで耕耘機で混合し、攪拌した。

ここに樹高約50~60cmのマテバシイのコンテナ苗を各試験区5本鉢土付きのまま植栽した。植栽は、平成5年4月に行った。

2. 2. 2 調査方法

本植栽試験における調査として、(1)土壌調査、(2)試験植栽木の生育状況調査を行った。

(1) 土壌調査

すべての試験区の各区2箇所から試料を採取し、試験区単位でよく混合した後に、必要な前処理(風乾等)を施して下記の項目の分析を行った。

- ・比重
- ・全硝酸
- ・CEC
- ・粒度
- ・全カリウム
- ・全炭素
- ・pH(H₂O)
- ・全カルシウム
- ・全窒素
- ・水分
- ・EC
- ・アミノ態窒素
- ・硝酸態窒素

また、土壌硬度の測定のため、各区2箇所です動貫入試験(長谷川式土壌貫入計による)を行った。

(2) 試験植栽木の生育状況調査

試験植栽区の植栽木(マテバシイ)の下記の項目について、成長休止期(第1回;平成5年12月、第2回;平成6年12月、第3回;平成7年12月)に調査を行った。

- ・樹高
- ・根元径
- ・葉張り(南北、東西)
- ・活力度

活力度は科学技術庁方式に準じたが、苗木であることを考慮して樹形等の項目は省略し、①樹勢

②新梢の伸長量 ③葉色 ④葉形 ⑤葉の大きさ ⑥ネクロシス ⑦幹色と枝条色 ⑧梢端や枝条の枯損、の8項目4段階評価を行った(表-3参照)。

表-3 樹木の活力評価基準

調 査 項 目	評 価 基 準			
	1	2	3	4
樹 勢	旺盛な生育状態を示し、被害がまったくみられない。	幾分被害の影響を受けているがあまり目立たない。	異常が明らかに認められる。	生育の状態が劣悪で回復の見込みがない。
新 梢 の 伸 長 量	きわめて良好。	普通。	枝の伸長に偏向が多くその伸長もやや悪い。	枝の伸長がきわめて悪い。
葉 色	きわめて良好。 (深緑色)	わずかに異常がみられる。 (緑～淡緑色)	かなり異常。 (黄緑色)	まったく変色している。 (黄褐色)
葉 形	きわめて良好。	わずかに変形がみられる。	かなり変形がみられる。	まったく変形している。
葉 の 大 き さ	正常。	幾分小さい。	かなり小さい。	まったく小さい。
ネ ク ロ シ ス	なし。	わずかにある。	多い。	著しく多い。
幹 色 と 枝 条 色	きわめて良好。	わずかに異常が認められる。	かなり異常。	まったく変色している。
梢端や枝条の枯損	なし。	わずかにある。	多い。	著しく多い。

また、堆肥混合層での樹木の根系の発達を確認するために根系調査を行った(平成6年12月)。根系調査は各試験区の平均的な生育を示している1本について、根株から15cm程度離れたところでトレンチを掘削し、根株の方向に根系を掘り出して露出させ、根系の形態、分布の状態をスケッチした。

2. 3 調査結果

2. 3. 1 土壌調査

試験区から採取した土壌の分析の結果を表-4に示す。

表-4 試験区の土壌分析結果

試験区名	含水率 %	比 重	pH(H ₂ O)	E C μ S	全炭素 %	全窒素 %	全P酸 %	全カリ %	全Mg %	CEC me/100g	NH ₄ -N me/100g	NH ₃ -N me/100g
チ71	46.5	0.82	5.85	26.0	0.34	0.08	0.07	0.79	0.23	18.6	2.0	3.8
チ71	5.8	0.90	5.85	31.2	0.63	0.09	0.07	0.74	0.22	19.1	1.2	2.6
チ70.5	45.9	0.87	5.70	41.2	0.67	0.08	0.07	0.75	0.24	18.3	1.2	4.7
チ71:R0.2	44.6	0.85	5.90	20.4	0.68	0.10	0.06	0.61	0.18	18.1	1.5	2.9
チ71	46.6	0.91	6.00	19.4	0.66	0.10	0.08	0.73	0.23	18.8	1.4	1.7
チ71	44.9	0.78	6.05	20.9	0.63	0.09	0.06	0.76	0.25	18.6	1.8	1.5
チ71:R0.5	46.1	0.84	5.95	21.7	0.57	0.10	0.08	0.73	0.22	18.9	1.7	1.9
対照区	45.3	0.88	5.40	50.2	0.54	0.09	0.06	0.68	0.21	18.1	1.6	4.5
R0.5	45.3	0.91	6.00	22.5	0.71	0.10	0.08	0.68	0.20	19.9	2.3	1.8
チ71	44.3	0.84	6.10	26.5	0.70	0.12	0.08	0.71	0.23	19.0	1.8	1.3
チ71:R0.5	46.0	0.87	5.95	27.4	0.70	0.11	0.07	0.66	0.22	18.9	2.0	1.3
R1	44.5	0.86	6.05	31.8	0.76	0.12	0.08	0.69	0.23	18.6	1.3	1.4
チ71:R0.5	46.5	0.82	6.00	27.1	1.10	0.11	0.07	0.66	0.26	18.7	1.4	2.5
R0.5:R1	49.3	0.82	5.90	70.6	1.35	0.21	0.13	0.72	0.35	21.1	1.5	2.3
平均値	45.83	0.86	5.91	31.21	0.72	0.08	0.11	0.71	0.23	18.84	1.62	2.44
標準標準偏差	1.25	0.04	0.18	14.20	0.24	0.02	0.03	0.05	0.04	0.72	0.33	1.15
変動係数	0.03	0.04	0.03	0.46	0.34	0.23	0.30	0.07	0.17	0.04	0.20	0.47

(1)土壌の物理性

採取土壌の比重(かさ比重)と水分(含水率)はすべての試験区の変動係数が3~4%と極めて低く、ほとんど差異は見られない。本試験のような施用量では、堆肥(汚泥堆肥)の施用の有無および

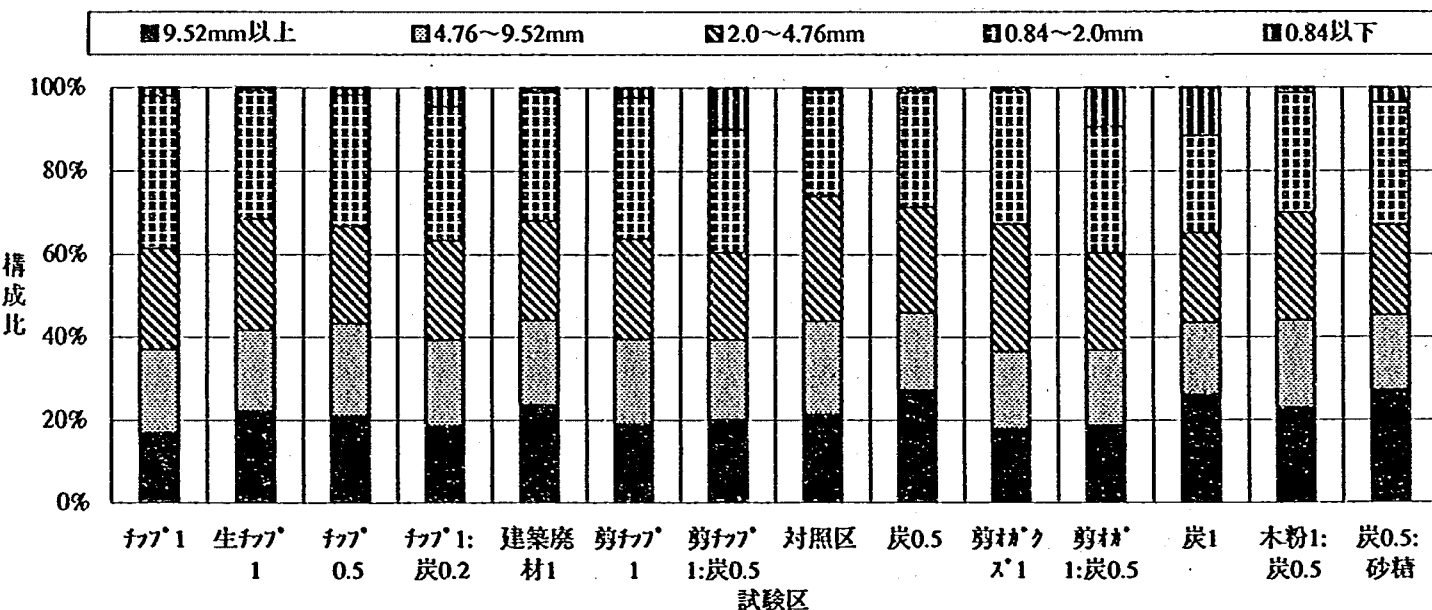


図-2 粒度測定結果

種類によって、水分や比重（かさ比重）は影響を受けないと考えられる。

粒度（生土ベースの磔を除く土塊の粒度）においても、試作した堆肥の混合割合が少ないことから対照区を含めて大きな差異はなかった（図-2）。

土壌硬度は、表面から深さ約60cm（堆肥混合は表面から20cm）までの軟らか度（S値）がすべての試験区においてS値=3cm以上と軟らかい結果であった。この結果は、堆肥混合による効果が現れたものではなく、試験に使用した土壌本来の硬度が軟らかかったためである。

(2)土壌の化学性

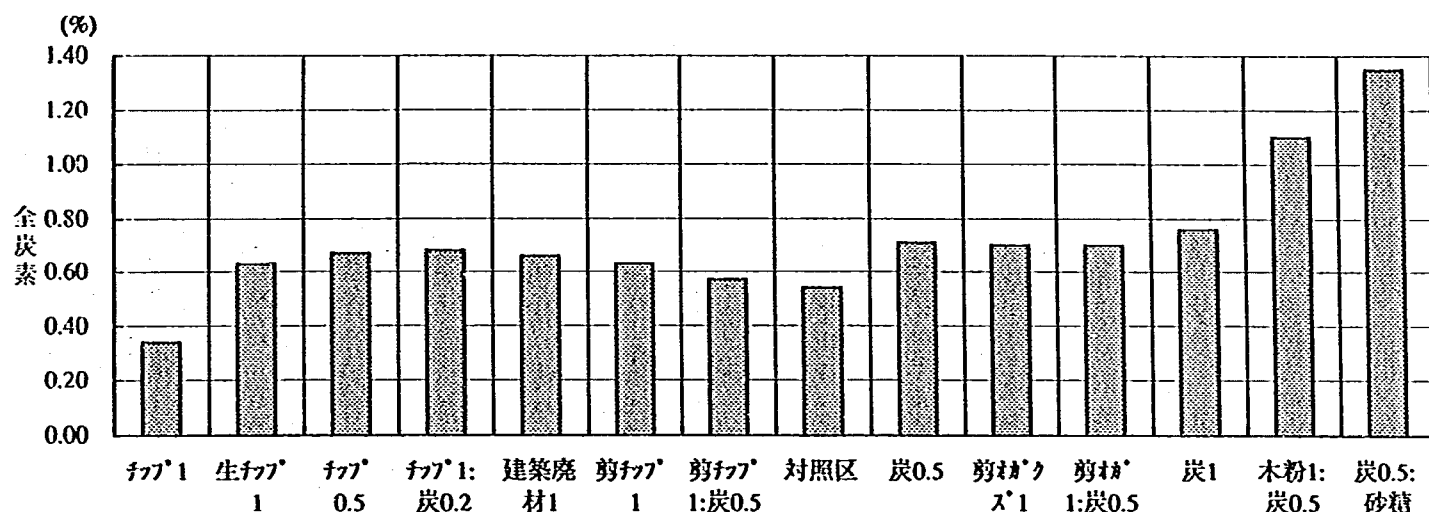
化学性データの傾向は3種（①差異が殆どみられないグループ、②差異は見られるがややランダムで原因が特定しにくいグループ、③明らかに一定の傾向が見られるグループ）に大別された。

このうち、①は全カリウムとCECであり、pH(H₂O)もこれに近い。ただし、pH(H₂O)は堆肥を入れない対照区のみ5.4と低いのに対して、その他は5.7~6.1の範囲にあり、堆肥を入れると土壌酸度が緩和される。

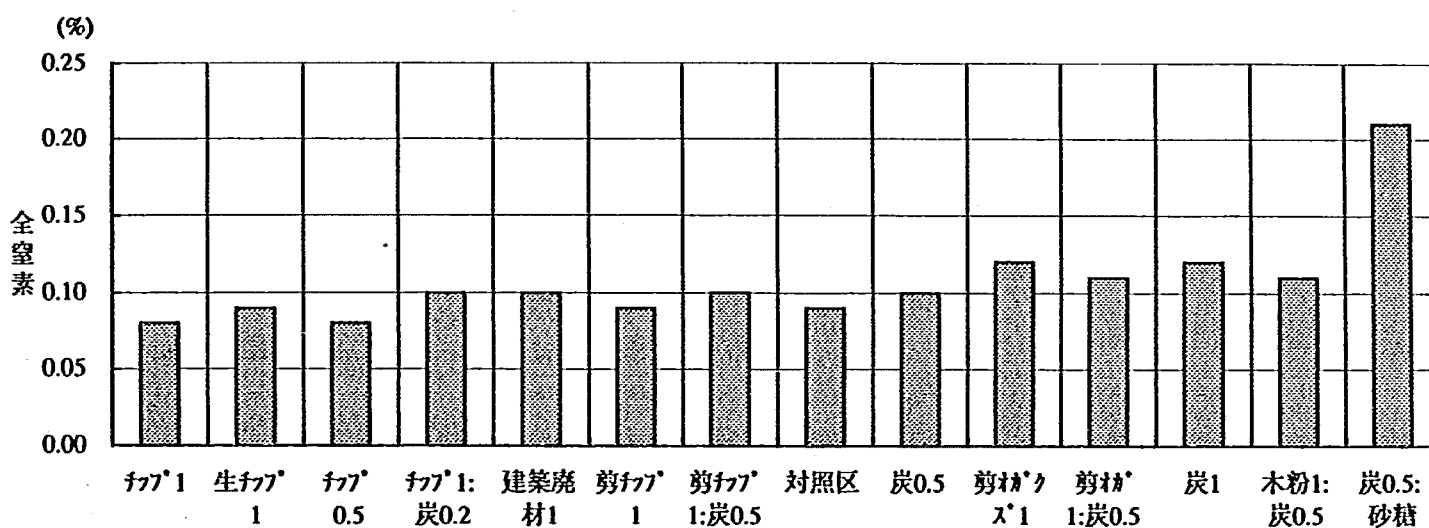
②のランダムに近い変動を示したのは硝酸態窒素(NO₃-N)とアンモニア態窒素(NH₄-N)であり、後述の生育との関連を見ても、特に関連は見られなかった。

③の明らかに一定の傾向を示すグループは、EC、全窒素、全炭素、全カルシウム、全リン酸であり、いずれも炭0.5:砂糖区（汚泥に糖類を混ぜて発酵した堆肥）のみ値が大きく、一部の項目（例えば全炭素）ではそれに次いで木粉1:炭0.5区の値が高かった。全炭素と全窒素の例を図-3と図-4に示す。

初期の施与量は各試験区とも窒素量で同量(50g/㎡)に設定してあるので、炭0.5:砂糖区のみ量が多い理由は不明であるが、この堆肥の性状が団子状であり、これがサンプリング土壌に混入したことで分析値が高くなったことが考えられる。



試験区
図-3 全炭素



試験区
図-4 全窒素

2. 3. 2 試験木の生育状況

試験木は、植栽後すべて活着したものの、その後に木粉1:炭0.5区で1本（平成7年）、炭0.5:砂糖区で2本（平成6年）が虫害、風害、雪害によって枯損した。

(1) 樹高

植栽2年8カ月後の樹高の測定結果を図-5に、植栽時からの年間成長率を図-6に示す。各試験区において多少のばらつきがみられるものの、樹高平均値での比較をすると試作堆肥を施用したすべての区で対照区の145cmよりも高い結果となっている。なかでもでは、建築廃材1区、剪チヅ1区、剪チヅ1:炭0.5区、炭1区、木粉1:炭0.5区では、200cm以上となっている。成長率では、剪チヅ1区、炭1区、剪チヅ1:炭0.5区が3年間を通して良好な成長がみられた。

分散分析による対照区との樹高成長比較では、建築廃材1区、剪チヅ1区、剪チヅ1:炭0.5区、炭1区、木粉1:炭0.5区において1%有意差が確認できた。また、生チヅ1区、チヅ0.5区、チヅ1:炭0.2区、剪チヅ1:炭0.5区、剪チヅ1:炭0.5区において5%有意差が確認できた。

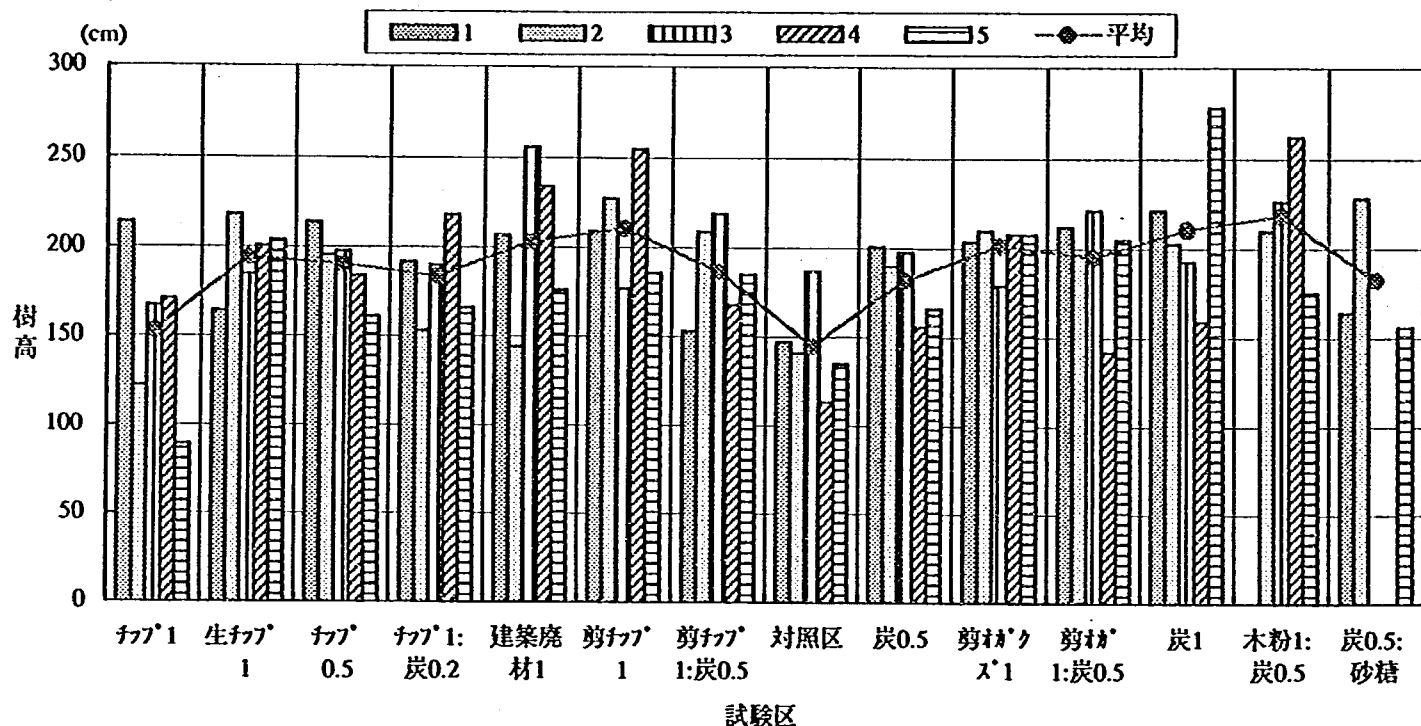


図-5 樹高

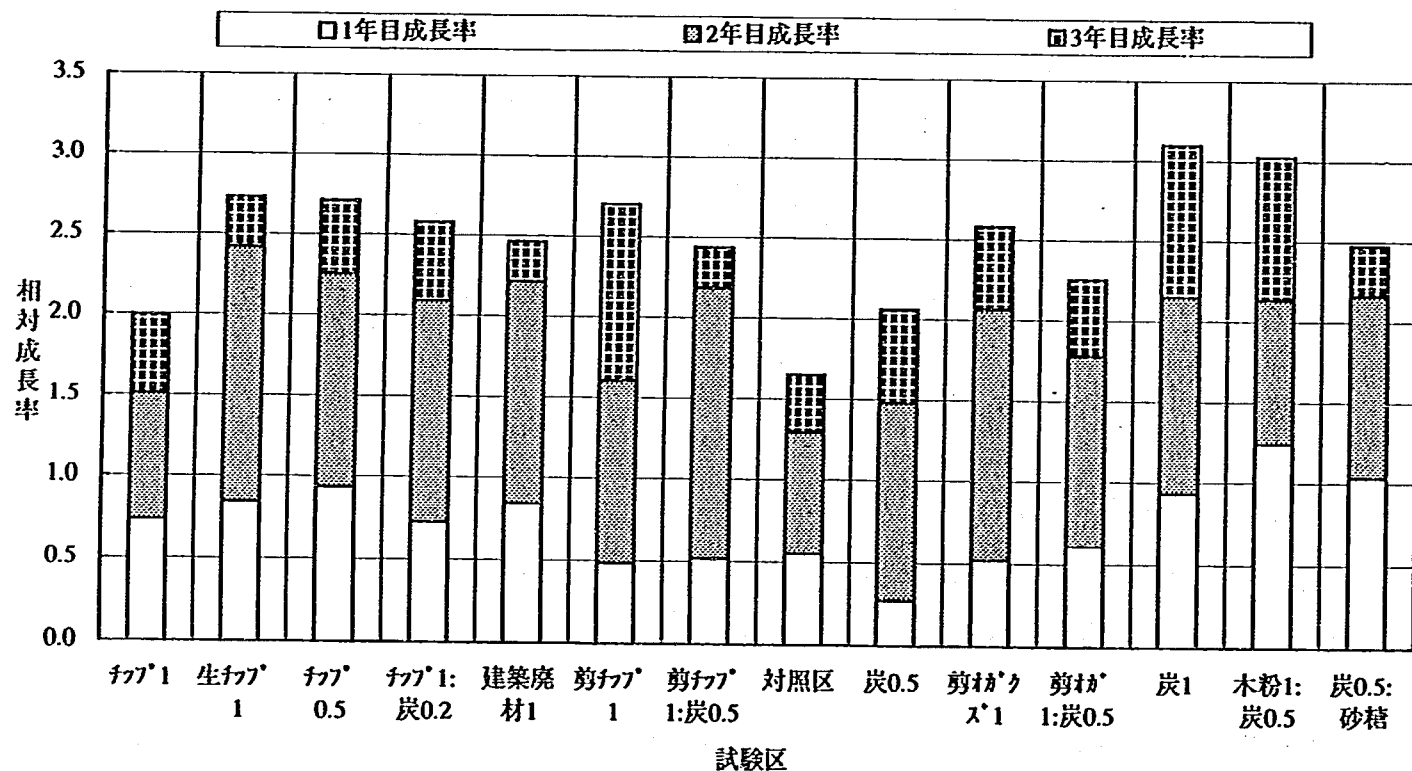


図-6 樹高の年間相対成長率

(2)根元径

植栽2年8カ月後の根元径の測定結果を図-7に、植栽時からの年間成長率を図-8に示す。平均値で比較すると、対照区の26cmに対して、すべての堆肥混合区で30cm以上となっており、このなかでも生チリ1区、チリ1:炭0.2区、建築廃材1区、炭1区、木粉1:炭0.5区が40cm以上であった。成長率では、1年目に試験区間で大きな違いがなかったものが3年目には明確な差となった。

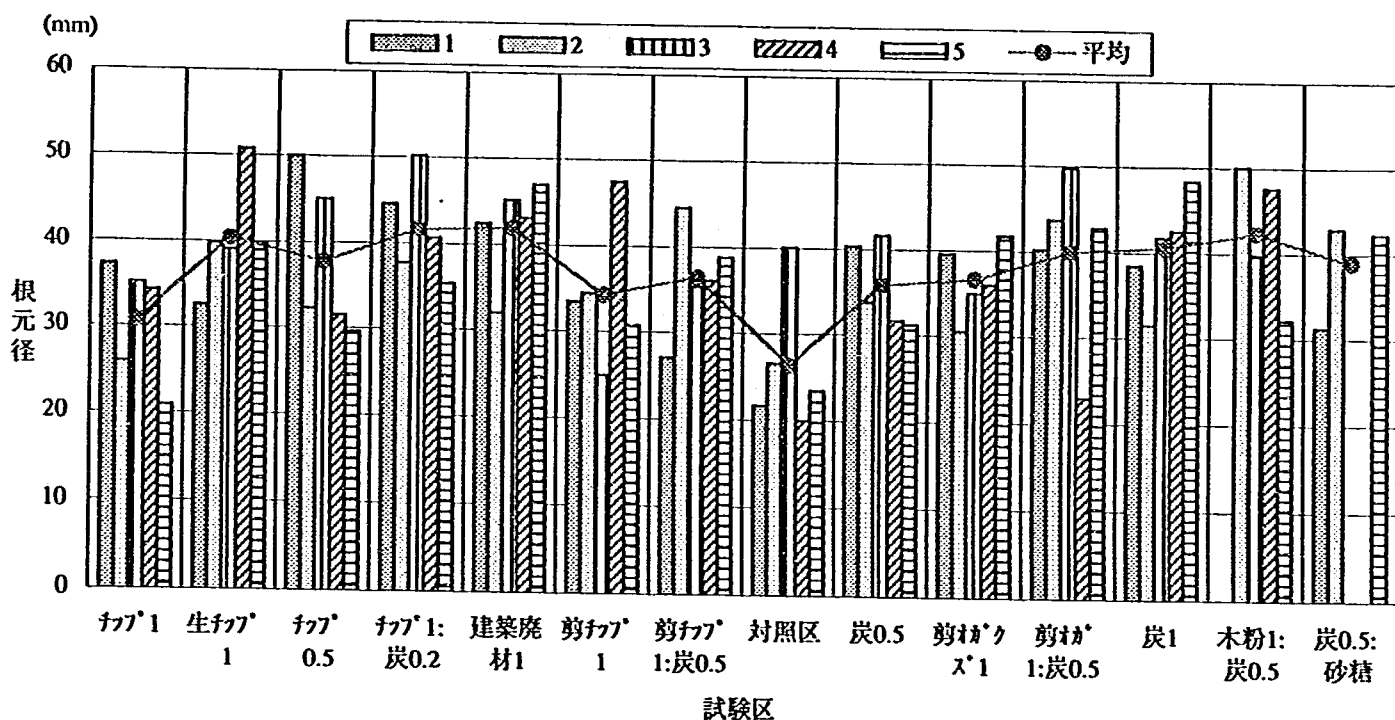


図-7 根元径

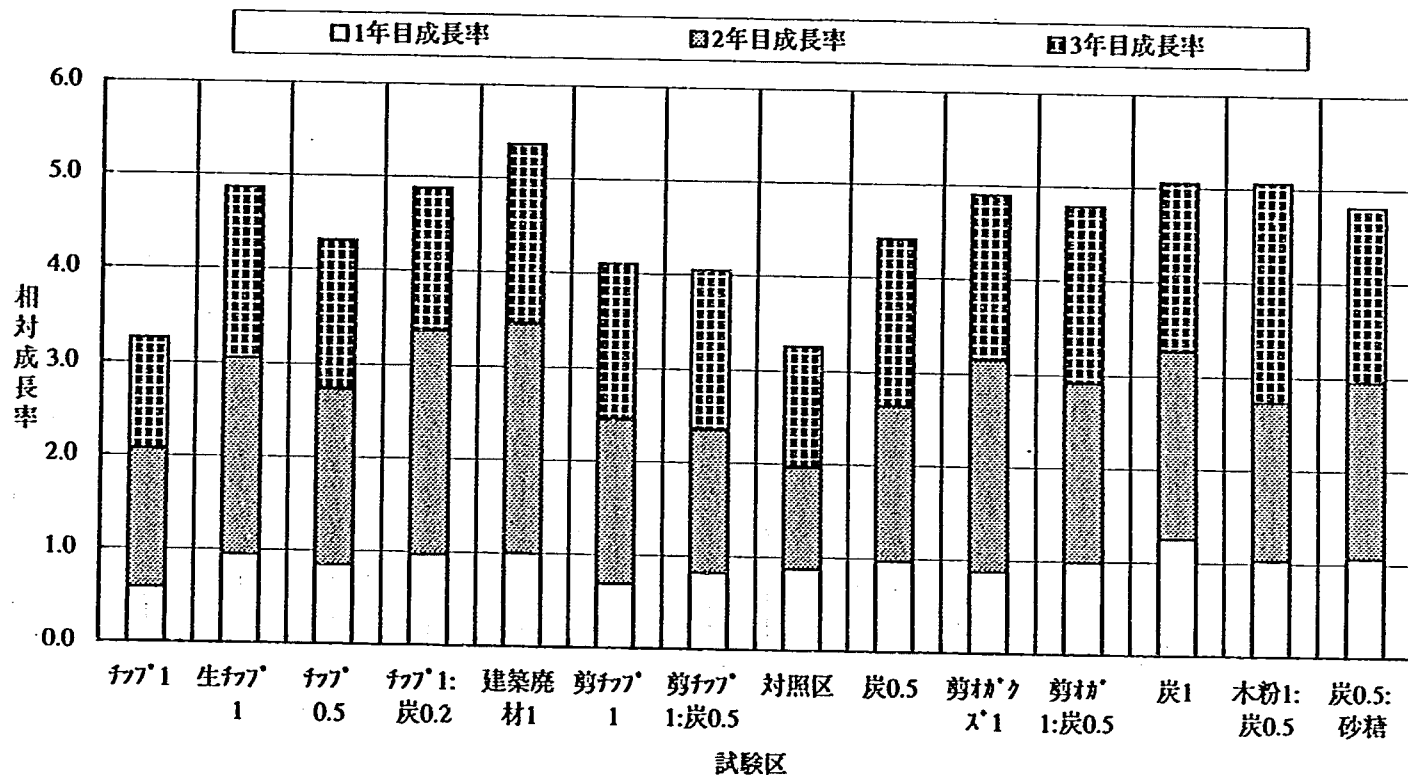
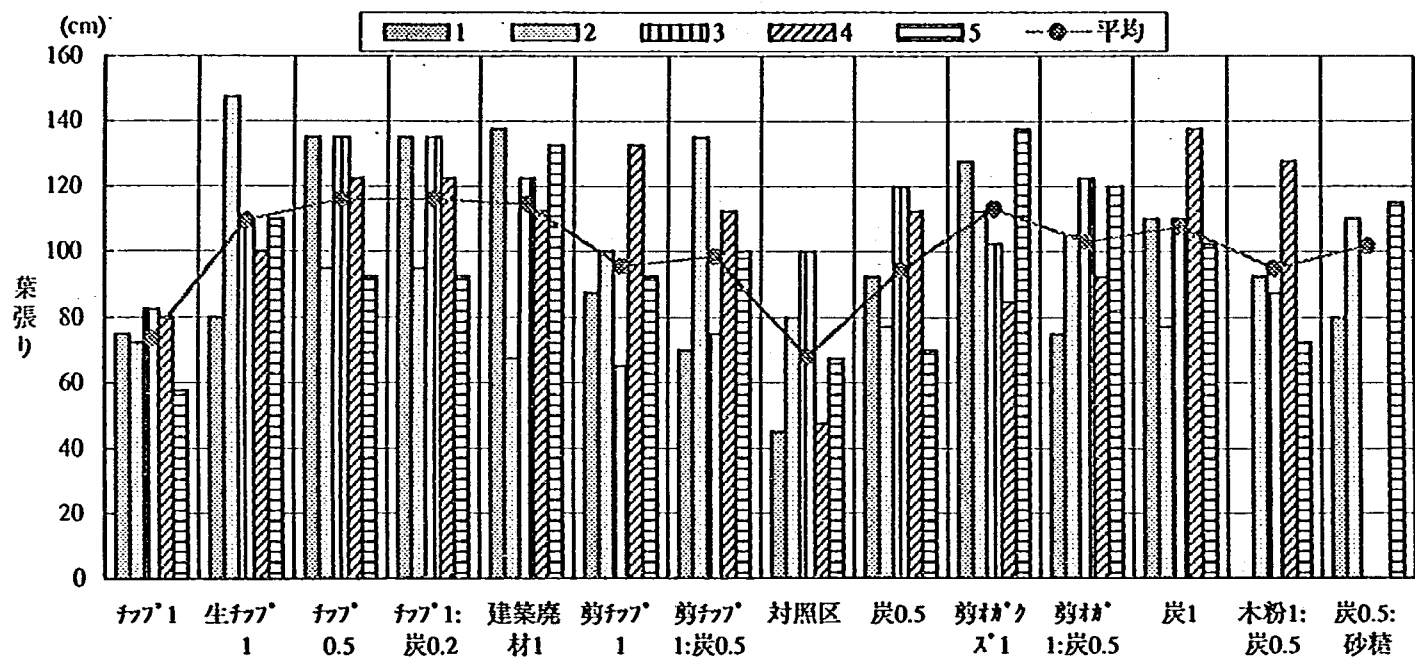


図-8 根元径の年間相対成長率

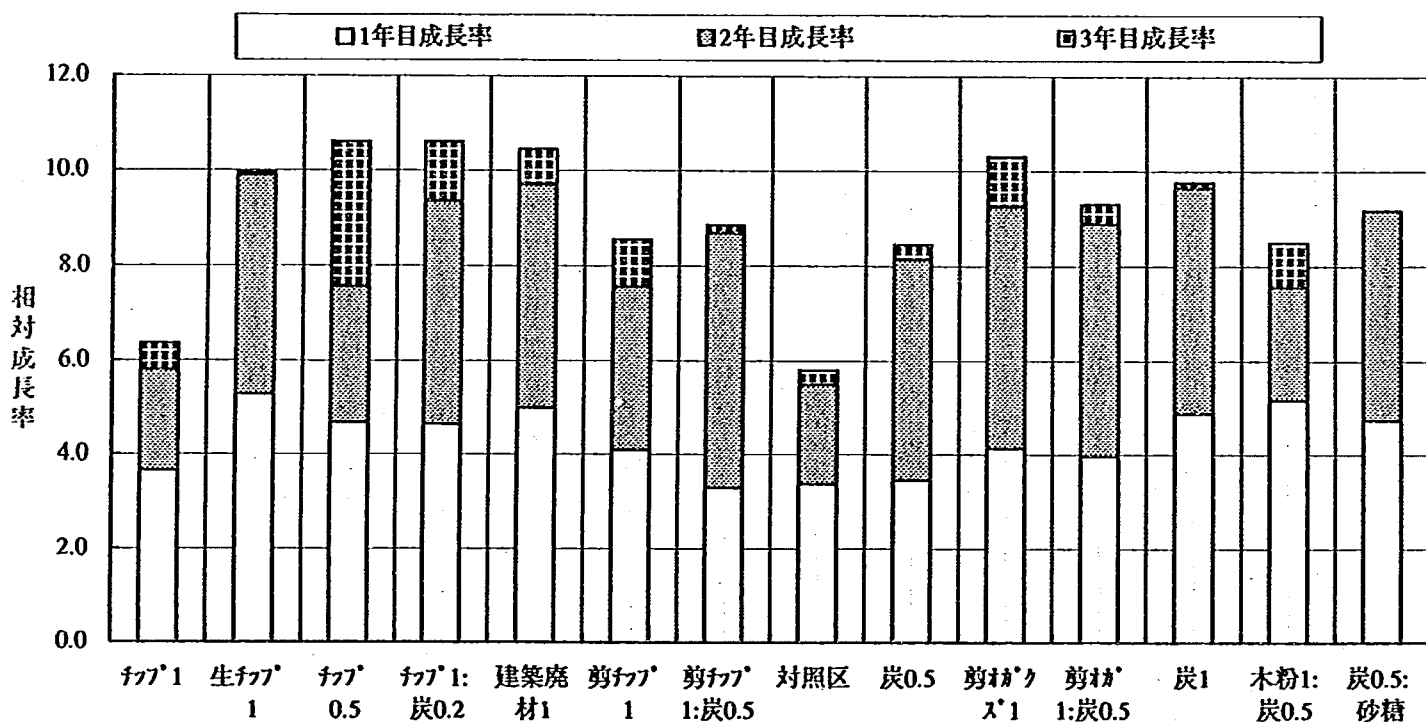
分散分析による対照区との根元径成長比較では、生チヂ¹区、チヂ¹:炭0.2区、建築廃材¹区、剪チヂ¹:炭0.5区、炭¹区、木粉¹:炭0.5区において1%有意差が確認できた。また、チヂ^{0.5}区、剪チヂ¹:炭0.5区、炭0.5:砂糖区において5%有意差が確認できた。

(3) 葉張り

植栽2年8カ月後の葉張りの測定結果を図-9に、植栽時からの年間成長率を図-10に示す。平均値で比較すると、対照区の68cmに対してすべての堆肥混合区でそれ以上となっており、なかでも生チ



試験区
図-9 葉張り



試験区
図-10 葉張りの年間相対成長率

1区、生1区、0.5区、1:炭0.2区、建築廃材1区、剪1:炭0.5区では110cm以上の値であった。成長率でみると、各試験区ともに1年目、2年目と順調に成長したものの、3年目の成長は小さかった。

分散分析による対照区との葉張り成長比較では、生1区、0.5区、1:炭0.2区、建築廃材1区、剪1:炭0.5区、炭1区において1%有意差が確認できた。また、剪1:炭0.5区、剪1:炭0.5区、炭0.5:砂糖区において5%有意差が確認できた。

(4) 活力度

活力度の測定結果（平均値）を図-11に示す。試験区が南端に設定されたチッ¹1区において値が多少高かった以外はほとんどの試験区で2以下の値で良好な活力を示しており、試験区間の差はみられなかった。

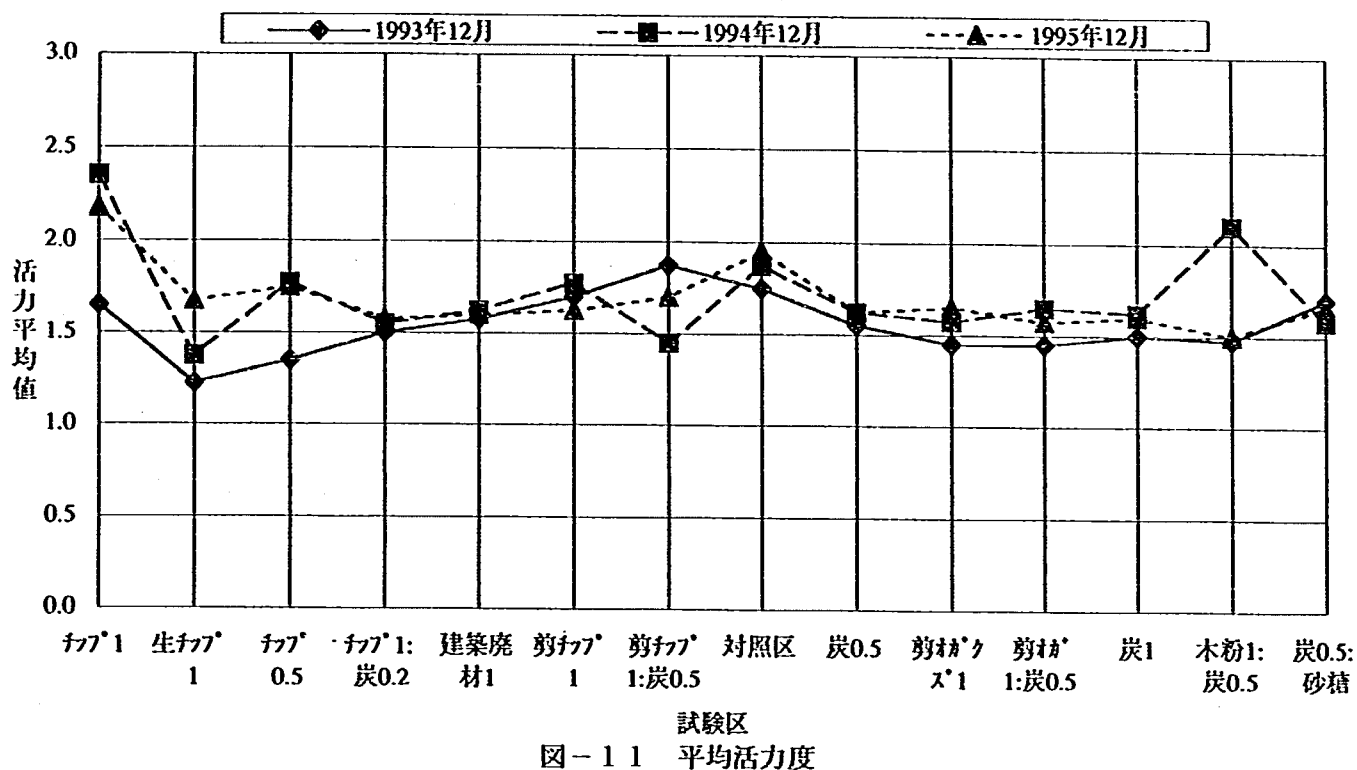


図-11 平均活力度

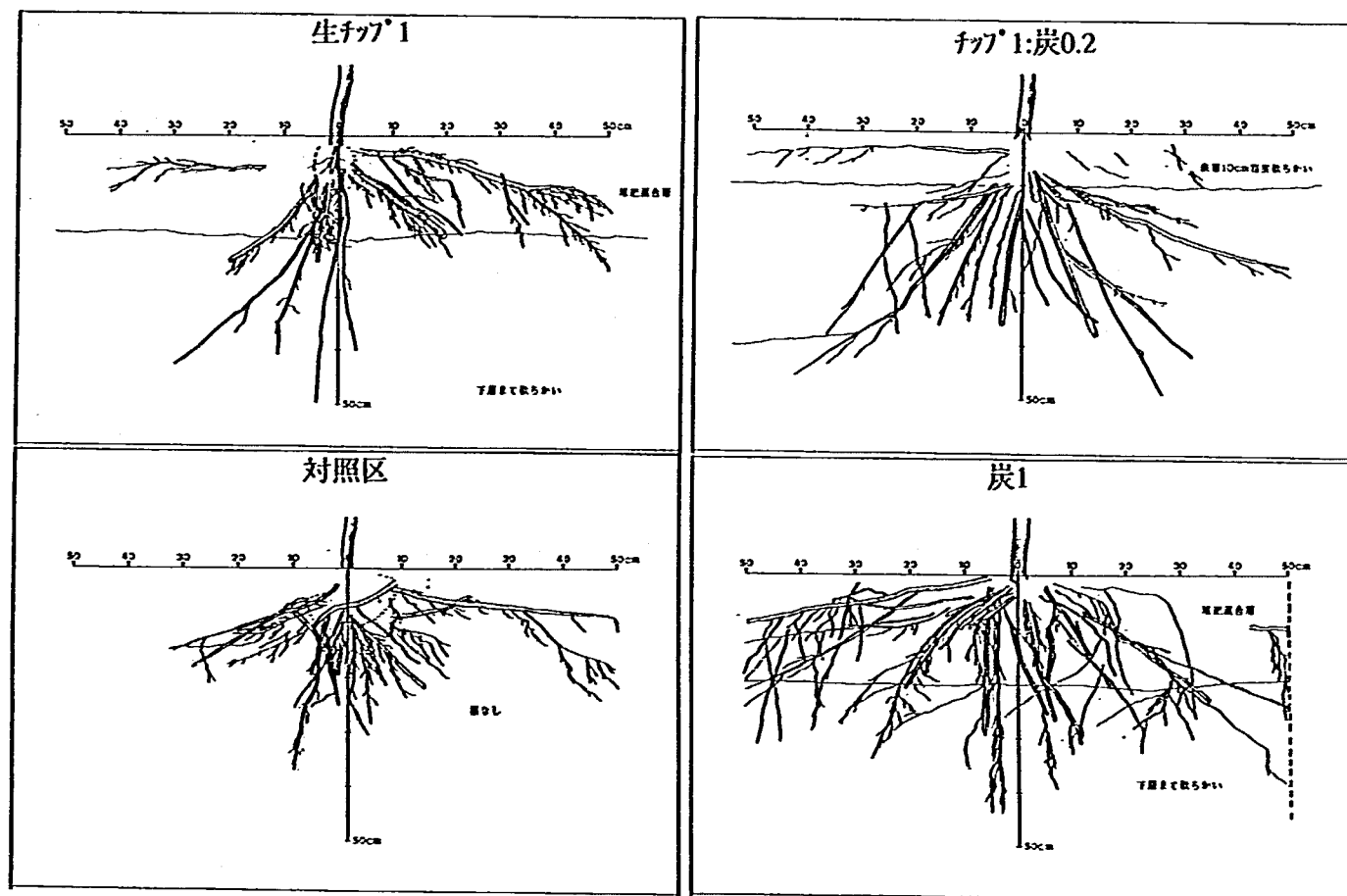


図-12 樹木の根系スケッチ

(5)根系調査

図-12に代表的な堆肥区の根系スケッチ図を示す。根系調査では、対照区に比較して試作堆肥混合区で掘り出した根系量が多くなっていることや侵入が深くなっていることが確認できた。また、堆肥混合層において細根が発達しており、堆肥が樹木成長に有効であることがうかがえた。

なお、堆肥の未熟による病害（紋羽病等）はみられなかった。

(6)まとめ

樹木の成長量における総合した結果を表-5に示す。対照区との樹高、根元径、葉張りのすべての成長量比較において、有意差（5%以下）が認められた堆肥混合区は、生フ71区、フ7°0.5区、フ7°1:炭0.2区、建築廃材1区、剪材°1区、剪材°1:炭0.5区、炭1区であり、これらの堆肥が対照区の化成肥料よりも樹木成長に与える施用効果が高いと考えられる。なお、これら以外の試作堆肥区においても対照区よりも樹木成長が良好であり、施用効果が認められた。

堆肥施用による樹木の生育障害は、特にみられなかった。

また、堆肥には炭を混合したもの、糖類を混合したものも試作したが、植栽試験では明確な差がみられなかった。

表-5 樹木成長量に関する総合結果

試作堆肥の 名称	試作堆肥の混合物組成		性状	取扱性	臭気	成長量有意差の有無		
	汚泥	混合物（木質物）				樹 高	根元径	葉張り
フ71	1容	乾燥粉碎物1	水分少、木質のみ目立つ	良	無臭			
生フ71	1容	生粉砕物1	木質のみ目立つ	良	弱キノコ臭	○	◎	◎
フ7°0.5	1容	乾燥粉碎物0.5	赤土塊状、木質目立たぬ	普通	弱キノコ臭	○	○	◎
フ71:炭0.2	1容	乾燥粉碎物1+炭0.2	水分少、木質あまり目立たぬ	極めて良	無臭	○	◎	◎
建築廃材1	1容	建築廃材粉碎物1	3-5cmの塊が目立つ、やや水分多	やや不良	弱カビ臭	◎	◎	◎
剪材°1	1容	落葉樹粉碎物1	1-2cmの塊が目立つ、やや水分多	普通	弱キノコ臭	◎		
剪材°1:炭0.5	1容	落葉樹粉碎物1+炭0.5	サラサラしている、水分適度	極めて良	無臭	○		○
対照区						-	-	-
炭0.5	1容	炭0.5	2-3cmの塊が多い、やや水分多	普通～やや不良	無臭			
常緑樹粉1	1容	常緑樹粉碎物1	2-3cmの塊が多い、やや水分多	普通～やや不良	弱キノコ臭	◎	○	◎
常緑樹粉1:炭0.5	1容	常緑樹粉碎物1+炭0.5	2-3cmの塊が目立つ	良	弱カビ臭	○	◎	○
炭1	1容	炭1	炭+汚泥	普通	無臭	◎	◎	◎
木粉1:炭0.5	1容	木粉1+炭0.5	やや湿った砂状	極めて良	弱カビ臭	◎	◎	
炭0.5+砂糖	1容	炭0.5+砂糖	黒色（炭色）	普通	汚泥臭		○	○

注）・表中の容とは容積の略。

・成長量の有意差は対照区との比較であり、表中の◎は1%有意、○は5%有意である。

植栽試験測定結果資料

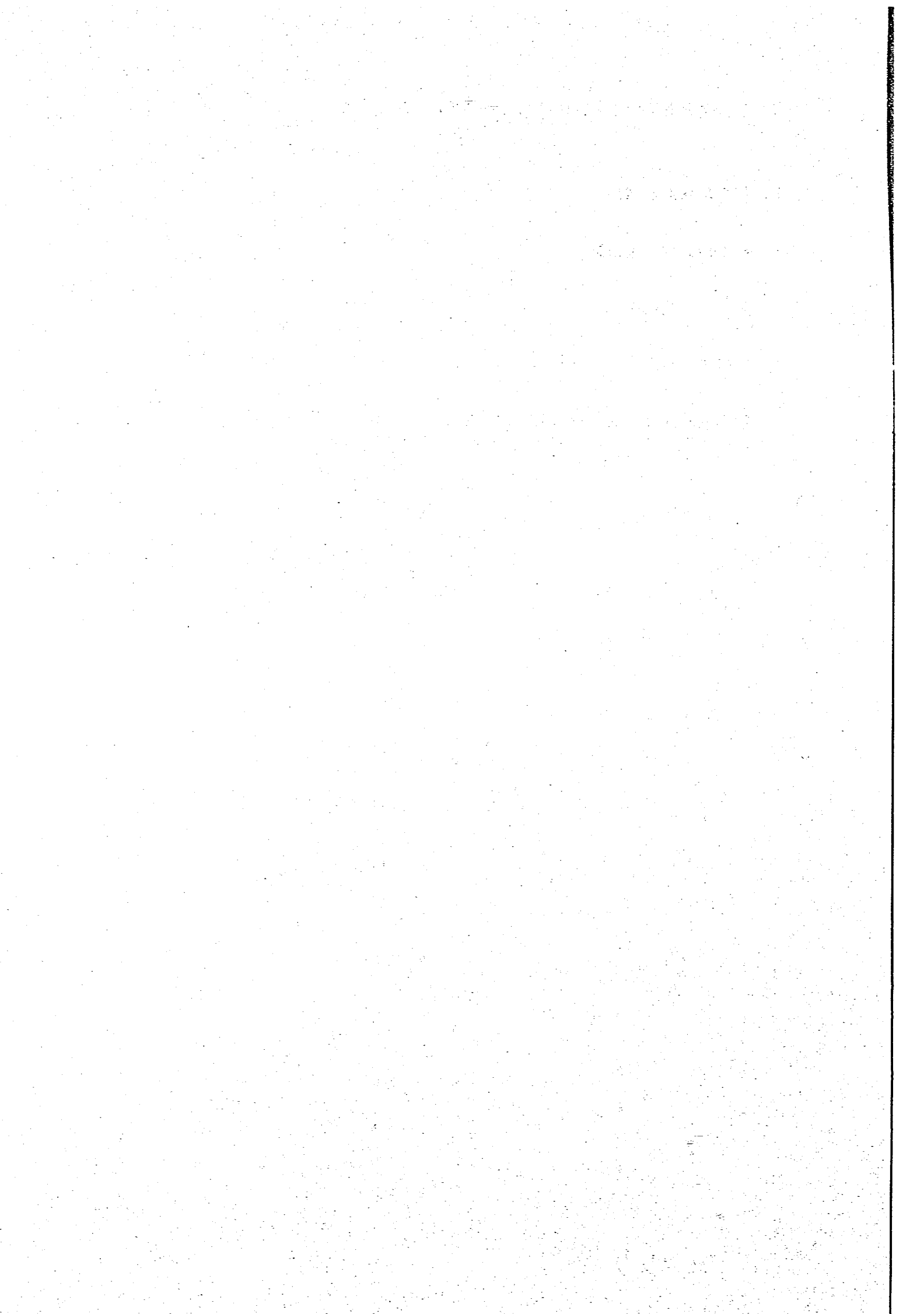
1. 樹木形状測定結果

2. 樹木活力度測定結果

3. 動貫入試験結果

4. 根系調査結果

5. 樹木成長量・分散分析結果



植栽時形状測定結果

測定日 1993.4.

樹高(cm)	1	2	3	4	5	平均
チップ1	59	49	48	51	48	51
生チップ1	53	48	51	58	51	52.2
チップ0.5	52	49	50	53	53	51.4
チップ1:炭0.2	54	47	49	53	54	51.4
建築廃材1	70	52	56	58	58	58.8
剪チップ1	66	72	50	50	47	57
剪チップ1:炭0.5	51	63	48	61	49	54.4
対照区	58	53	64	47	51	54.6
炭0.5	53	66	66	63	50	59.6
剪材×ス1	51	53	55	65	58	56.4
剪材1:炭0.5	69	60	56	53	62	60
炭1	55	48	51	55	48	51.4
木粉1:炭0.5	52	52	59	52	56	54.2
炭0.5:砂糖	58	62	49	45	52	53.2

根元径(mm)	1	2	3	4	5	平均
チップ1	8.3	7	7.7	6.2	6.8	7.2
生チップ1	7.7	6.3	7.1	7.6	5.8	6.9
チップ0.5	7.2	7.4	7.6	7	6.3	7.1
チップ1:炭0.2	6.5	8.2	6.8	6.8	7.2	7.1
建築廃材1	6	8	6.2	6.3	6.3	6.6
剪チップ1	7	6.3	7.2	6.4	6.6	6.7
剪チップ1:炭0.5	6.7	6.8	6.8	8.7	6.8	7.2
対照区	6.7	4.9	6.9	5.4	6.9	6.2
炭0.5	6.9	7.3	6.6	6.3	5.7	6.6
剪材×ス1	5.5	6.8	5.3	7	6.6	6.2
剪材1:炭0.5	7.8	7	7.9	5.5	6.2	6.9
炭1	7.8	5.8	6.9	6.9	6.2	6.7
木粉1:炭0.5	7.3	6.7	7.6	6.2	7.2	7.0
炭0.5:砂糖	7.7	6.2	6.3	7.2	5.9	6.66

葉張り(cm)		1	2	3	4	5	平均
チップ1	東西	10	10	10	10	10	10
	南北	10	10	10	10	10	10
生チップ1	東西	10	10	10	10	10	10
	南北	10	10	10	10	10	10
チップ0.5	東西	10	10	10	10	10	10
	南北	10	10	10	10	10	10
チップ1:炭0.2	東西	10	10	10	10	10	10
	南北	10	10	10	10	10	10
建築廃材1	東西	10	10	10	10	10	10
	南北	10	10	10	10	10	10
剪チップ1	東西	10	10	10	10	10	10
	南北	10	10	10	10	10	10
剪チップ1:炭0.5	東西	10	10	10	10	10	10
	南北	10	10	10	10	10	10
対照区	東西	10	10	10	10	10	10
	南北	10	10	10	10	10	10
炭0.5	東西	10	10	10	10	10	10
	南北	10	10	10	10	10	10
剪材×ス1	東西	10	10	10	10	10	10
	南北	10	10	10	10	10	10
剪材1:炭0.5	東西	10	10	10	10	10	10
	南北	10	10	10	10	10	10
炭1	東西	10	10	10	10	10	10
	南北	10	10	10	10	10	10
木粉1:炭0.5	東西	10	10	10	10	10	10
	南北	10	10	10	10	10	10
炭0.5:砂糖	東西	10	10	10	10	10	10.0
	南北	10	10	10	10	10	10.0

樹木成長量測定結果1

測定日 1993.12.

樹高(cm)	1	2	3	4	5	平均
チップ1	94	90	102	100	58	88.8
生チップ1	77	82	96	125	102	96.4
チップ0.5	130	92	92	76	108	99.6
チップ1:炭0.2	94	68	96	109	78	89
建築廃材1	86	118	110	119	110	108.6
剪チップ1	90	83	74	110	66	84.6
剪チップ1:炭0.5	62	85	87	74	105	82.6
対照区	88	85	121	68	62	84.8
炭0.5	76	72	91	70	69	75.6
剪材*クス1	65	62	112	87	103	85.8
剪材*1:炭0.5	113	102	97	82	89	96.6
炭1	79	121	129	83	85	99.4
木粉1:炭0.5	89	132	124	152	109	121.2
炭0.5:砂糖	121	104	76	116	118	107.0

根元径(mm)	1	2	3	4	5	平均
チップ1	12	11.5	12	12.5	9	11.4
生チップ1	11	15	12.5	16	12.5	13.4
チップ0.5	16.5	12.5	14	11	11.5	13.1
チップ1:炭0.2	14.5	13.5	15.5	14	12.5	14
建築廃材1	13	12	14	13.5	13.5	13.2
剪チップ1	11.5	11.5	10	14	9.5	11.3
剪チップ1:炭0.5	10.5	14.5	13	16.5	11	13.1
対照区	11	11	14	10	12	11.6
炭0.5	15	11.5	14	13.5	11	13.0
剪材*クス1	12.5	8	12	12.5	13	11.6
剪材*1:炭0.5	13	18	14.5	9	14	13.7
炭1	15	12.5	14.5	16	17.5	15.1
木粉1:炭0.5	15	15.5	13	13.5	14	14.2
炭0.5:砂糖	13	16	12.5	14	13.5	13.8

葉張り(cm)		1	2	3	4	5	平均
チップ1	東西	53	54	53	40	32	46.4
	南北	44	46	52	58	35	47
生チップ1	東西	68	55	62	58	58	60.2
	南北	70	54	71	68	64	65.4
チップ0.5	東西	64	54	62	40	48	53.6
	南北	80	74	48	43	54	59.8
チップ1:炭0.2	東西	66	54	58	44	49	54.2
	南北	78	49	80	42	42	58.2
建築廃材1	東西	39	50	82	64	68	60.6
	南北	50	58	60	66	62	59.2
剪チップ1	東西	46	45	38	67	44	48
	南北	66	56	40	60	46	53.6
剪チップ1:炭0.5	東西	35	48	40	48	38	41.8
	南北	28	49	46	46	53	44.4
対照区	東西	34	43	62	40	31	42
	南北	46	52	68	38	26	46
炭0.5	東西	35	32	72	48	49	47.2
	南北	36	40	54	48	34	42.4
剪材*クス1	東西	53	36	52	62	52	51
	南北	46	40	52	52	67	51.4
剪材*1:炭0.5	東西	64	58	39	22	44	45.4
	南北	50	59	58	48	55	54
炭1	東西	44	75	46	58	66	57.8
	南北	56	50	64	71	58	59.8
木粉1:炭0.5	東西	52	60	56	70	62	60
	南北	64	54	53	72	74	63.4
炭0.5:砂糖	東西	52	61	36	66	79	58.8
	南北	45	52	43	43	96	55.8

樹木成長量測定結果2

測定日 1994.12.28

樹高(cm)	1	2	3	4	5	平均
チップ1	168	118	144	136	74	128.0
生チップ1	138	181	184	198	192	178.6
チップ0.5	188	167	202	125	155	167.4
チップ1:炭0.2	173	120	174	187	140	158.8
建築廃材1	206	128	230	212	169	189.0
剪チップ1	155	138	118	184	148	148.6
剪チップ1:炭0.5	102	203	208	164	189	173.2
対照区	113	109	181	102	120	125.0
炭0.5	190	179	131	113	126	147.8
剪材*クス1	174	146	179	162	202	172.6
剪材*1:炭0.5	178	190	172	148	146	166.8
炭1	176	132	147	140	214	161.8
木粉1:炭0.5	56	203	166	250	175	170.0
炭0.5:砂糖	124	209			166	166.3

根元径(mm)	1	2	3	4	5	平均
チップ1	25	21	24.5	24	16	22.1
生チップ1	20	28	27	37.5	27.5	28.0
チップ0.5	36.5	24	29.5	23	19.5	26.5
チップ1:炭0.2	34	28	36	30.5	26.5	31.0
建築廃材1	27	25.5	29.5	32	33	29.4
剪チップ1	25	23.5	17.5	30	19.5	23.1
剪チップ1:炭0.5	17	27	25	26	25.5	24.1
対照区	16.5	19	27	13.5	16	18.4
炭0.5	26	23	29	21	21	24.0
剪材*クス1	24	21	28	25.5	30	25.7
剪材*1:炭0.5	26	32	32	15.5	29.5	27.0
炭1	24	21.5	33	31	33.5	28.6
木粉1:炭0.5	14.5	32.5	27.5	31.5	24.5	26.1
炭0.5:砂糖	21.5	26			32	26.5

葉張り(cm)		1	2	3	4	5	平均
チップ1	東西	70	75	90	75	55	73.0
	南北	55	50	60	80	70	63.0
生チップ1	東西	85	155	100	80	120	108.0
	南北	80	160	95	105	110	110.0
チップ0.5	東西	100	85	100	80	70	87.0
	南北	80	105	90	65	80	84.0
チップ1:炭0.2	東西	110	85	135	95	85	102.0
	南北	110	95	115	115	90	105.0
建築廃材1	東西	125	70	120	115	115	109.0
	南北	135	65	115	115	95	105.0
剪チップ1	東西	75	85	70	115	105	90.0
	南北	85	85	55	105	75	81.0
剪チップ1:炭0.5	東西	65	135	80	130	95	101.0
	南北	60	125	70	105	105	93.0
対照区	東西	45	55	75	55	85	63.0
	南北	50	70	95	55	65	67.0
炭0.5	東西	85	85	110	115	70	93.0
	南北	80	85	100	110	75	90.0
剪材*クス1	東西	130	95	85	85	120	103.0
	南北	105	120	95	65	125	102.0
剪材*1:炭0.5	東西	85	100	95	90	110	96.0
	南北	70	115	120	90	115	102.0
炭1	東西	125	85	100	120	105	107.0
	南北	135	60	105	120	110	106.0
木粉1:炭0.5	東西	40	105	95	105	75	84.0
	南北	25	90	100	140	80	87.0
炭0.5:砂糖	東西	80	110			140	110.0
	南北	70	85			125	93.3

樹木成長量測定結果3

測定日 1995.12.20

樹高(cm)	1	2	3	4	5	平均
チップ1	214	123	167	171	89	152.8
生チップ1	164	218	185	201	204	194.4
チップ0.5	214	196	198	184	161	190.6
チップ1:炭0.2	192	153	190	218	166	183.8
建築廃材1	207	144	256	234	176	203.4
剪チップ1	209	227	177	255	186	210.8
剪チップ1:炭0.5	153	209	219	168	185	186.8
対照区	147	141	187	114	135	144.8
炭0.5	201	190	198	156	166	182.2
剪材*クス1	204	210	179	208	208	201.8
剪材*1:炭0.5	212	197	221	142	205	195.4
炭1	221	203	193	159	278	210.8
木粉1:炭0.5		210	226	262	175	218.3
炭0.5:砂糖	164	228			156	182.7

根元径(mm)	1	2	3	4	5	平均
チップ1	37.2	26	35	34.2	20.9	30.7
生チップ1	32.5	39.8	39.1	50.8	39.8	40.4
チップ0.5	50	32.3	45.1	31.5	29.6	37.7
チップ1:炭0.2	44.6	37.7	50.2	40.7	35.3	41.7
建築廃材1	42.5	32	45.2	43.2	47	42.0
剪チップ1	33.4	34.4	25	47.5	30.7	34.2
剪チップ1:炭0.5	27.1	44.6	35.3	36	38.8	36.4
対照区	21.7	26.6	40.1	20	23.5	26.4
炭0.5	40.3	33.8	41.7	31.6	31.2	35.7
剪材*クス1	39.6	30.5	34.9	35.9	41.8	36.5
剪材*1:炭0.5	40.2	43.8	49.8	23	42.8	39.9
炭1	38.4	31.5	41.8	42.6	48.4	40.5
木粉1:炭0.5		50.1	39.7	47.6	32.1	42.4
炭0.5:砂糖	31.3	43			42.4	38.9

葉張り(cm)		1	2	3	4	5	平均
チップ1	東西	85	80	95	70	55	77
	南北	65	65	70	90	60	70
生チップ1	東西	75	155	110	100	110	110
	南北	85	140	110	100	110	109
チップ0.5	東西	125	70	130	80	95	100
	南北	105	115	125	70	90	101
チップ1:炭0.2	東西	130	95	145	110	90	114
	南北	140	95	125	135	95	118
建築廃材1	東西	135	75	125	120	135	118
	南北	140	60	120	105	130	111
剪チップ1	東西	85	95	65	130	105	96
	南北	90	105	65	135	80	95
剪チップ1:炭0.5	東西	80	125	80	130	100	103
	南北	60	145	70	95	100	94
対照区	東西	45	70	90	50	85	68
	南北	45	90	110	45	50	68
炭0.5	東西	100	80	140	110	70	100
	南北	85	75	100	115	70	89
剪材*クス1	東西	135	105	95	95	145	115
	南北	120	120	110	75	130	111
剪材*1:炭0.5	東西	85	100	110	85	115	99
	南北	65	110	135	100	125	107
炭1	東西	110	90	110	130	95	107
	南北	110	65	110	145	110	108
木粉1:炭0.5	東西		95	75	110	70	87.5
	南北		90	100	145	75	102.5
炭0.5:砂糖	東西	80	135			110	108.3
	南北	80	85			120	95.0

活力度測定結果1

測定日 1993.12.

活力度	樹木No.	樹勢	新梢伸	葉色	葉形	葉大	幹色	幹枝色	梢枝枯
f77'1	1	2	1	3	1	1	1	1	1
	2	2	1	3	1	1	1	1	1
	3	2	2	3	2	1	2	1	1
	4	2	1	3	1	3	2	1	1
	5	3	3	2	1	3	2	1	1
	平均	2.2	1.6	2.8	1.2	1.8	1.6	1	1
生f77'1	1	2	1	2	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	1	1
	3	1	1	2	1	1	1	1	1
	4	1	1	1	1	1	1	1	1
	5	1	1	1	1	1	1	1	1
	平均	1.4	1.2	1.6	1.2	1.2	1.2	1	1
f77'0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	1	2	2	1	2	1	1
	3	1	1	2	1	2	1	1	1
	4	2	2	2	2	2	1	1	1
	5	1	1	2	2	2	1	1	1
	平均	1.4	1.2	1.8	1.6	1.6	1.2	1	1
f77'1:炭0.2	1	1	1	2	1	1	1	1	1
	2	2	3	2	2	2	2	1	1
	3	1	1	1	1	1	2	1	1
	4	2	1	2	2	2	2	1	1
	5	2	2	2	2	2	2	1	1
	平均	1.6	1.6	1.8	1.6	1.6	1.8	1	1
建築廃材1	1	3	2	3	3	2	2	1	1
	2	2	1	3	2	1	2	1	1
	3	1	1	2	2	1	1	1	1
	4	2	1	3	2	1	1	1	1
	5	1	1	2	2	2	1	1	1
	平均	1.8	1.2	2.6	2.2	1.4	1.4	1	1
剪f77'1	1	3	2	2	2	1	2	2	1
	2	2	2	2	2	1	1	2	1
	3	2	2	2	1	3	1	1	1
	4	1	1	2	1	1	1	1	1
	5	3	3	3	3	1	3	1	1
	平均	2.2	2	2.2	1.8	1.4	1.6	1.4	1
剪f77'1:炭0.5	1	3	4	4	2	2	3	2	1
	2	2	2	2	2	2	2	1	1
	3	2	3	2	2	2	1	1	1
	4	3	2	2	2	1	3	1	1
	5	2	1	2	1	2	1	1	1
	平均	2.4	2.4	2.4	1.8	1.8	2	1.2	1
封照区	1	3	2	2	2	1	2	1	1
	2	2	1	3	1	1	2	1	1
	3	1	1	3	1	2	1	1	1
	4	3	3	2	2	2	1	1	1
	5	3	4	3	2	2	2	1	1
	平均	2.4	2.2	2.6	1.6	1.6	1.6	1	1
炭0.5	1	2	2	2	2	2	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	1	1
	3	1	1	2	1	1	1	1	1
	4	1	2	1	1	1	1	1	1
	5	3	4	2	3	1	2	1	1
	平均	1.8	2.2	1.8	1.8	1.4	1.4	1	1
剪f77'1:炭0.5	1	2	2	2	2	1	2	1	1
	2	2	3	3	2	2	2	1	1
	3	1	1	2	1	1	2	1	1
	4	1	1	2	1	1	1	1	1
	5	1	1	1	1	2	2	1	1
	平均	1.4	1.6	2	1.4	1.4	1.8	1	1
炭1	1	1	1	3	1	1	1	1	1
	2	2	1	1	3	3	3	1	1
	3	2	1	1	1	1	2	1	1
	4	2	1	3	2	1	2	1	1
	5	1	1	2	1	1	2	1	1
	平均	1.6	1	2	1.6	1.4	2	1	1
木粉1:炭0.5	1	2	3	2	2	1	2	1	1
	2	2	2	2	2	2	1	1	1
	3	1	1	2	1	2	2	1	1
	4	1	1	2	1	2	1	1	1
	5	1	2	2	1	2	1	1	1
	平均	1.4	1.8	2	1.4	1.8	1.4	1	1
炭0.5:砂糖	1	2	1	2	2	1	2	1	1
	2	2	2	2	1	1	2	1	1
	3	3	4	3	3	3	2	1	1
	4	2	1	3	2	2	3	1	1
	5	1	1	1	2	1	1	1	1
	平均	2	1.8	2.2	2	1.6	2	1	1

活力度測定結果2

測定日 1994.12.28

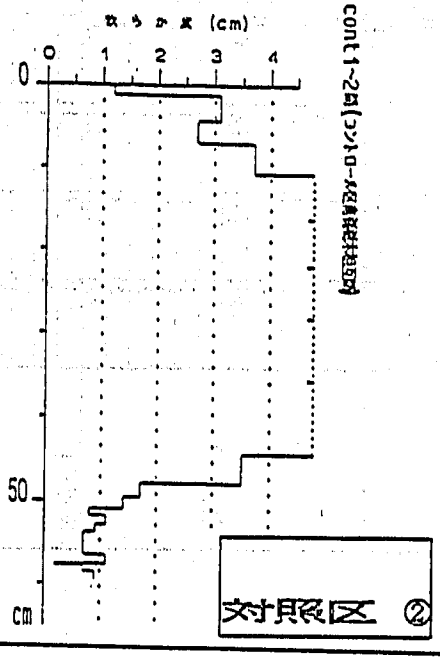
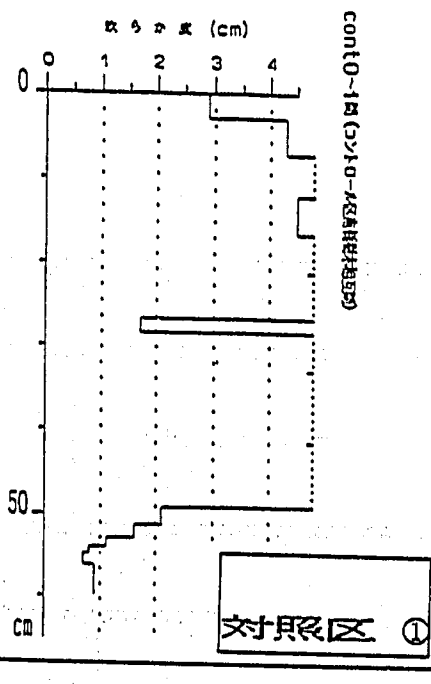
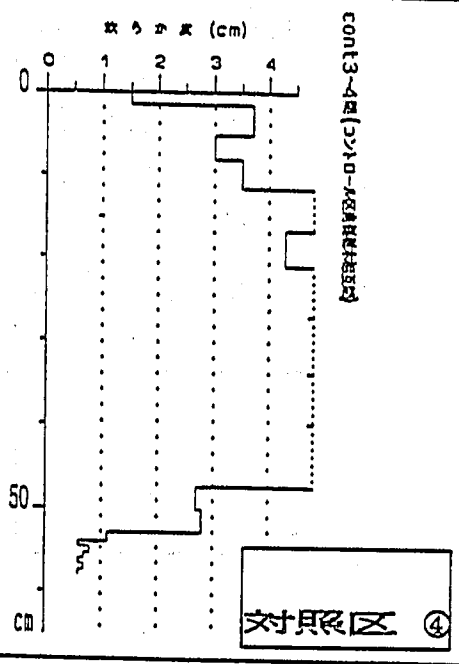
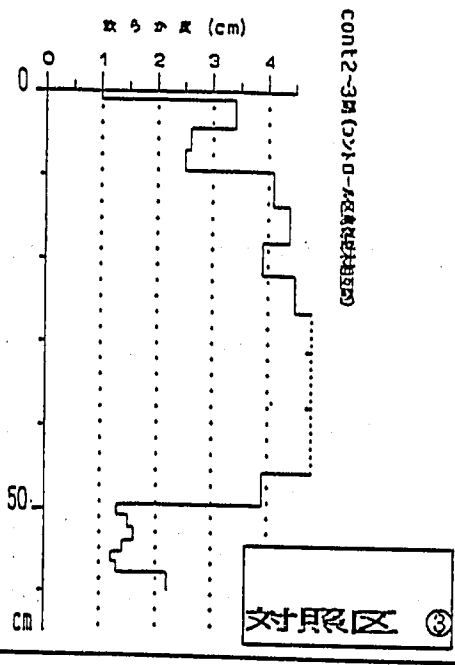
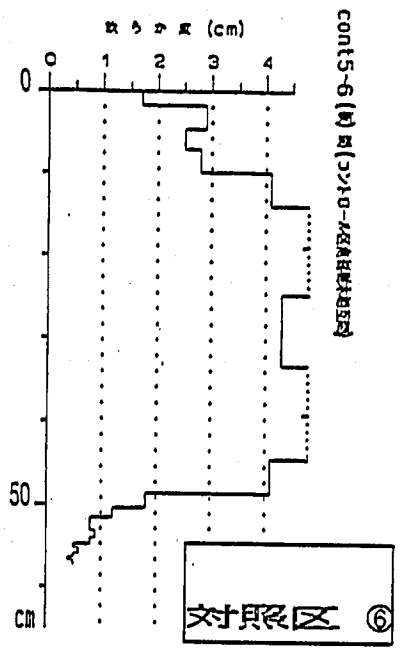
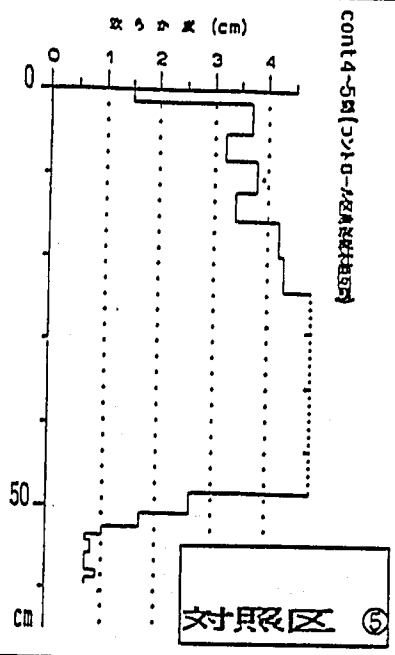
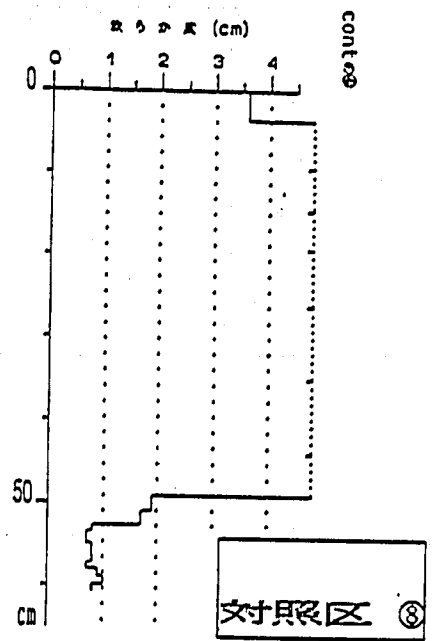
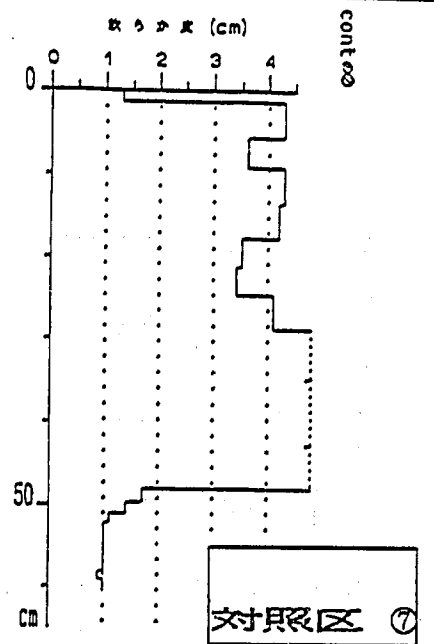
活力度	樹木No.	樹勢	新梢伸	葉色	葉形	葉大	幹周径	幹枝色	梢枝枯
f77'1	1	2	2	2	2	2	2	1	2
	2	3	4	3	3	3	2	1	1
	3	3	4	3	2	2	2	1	1
	4	3	4	2	3	3	2	1	1
	5	3	3	3	3	4	3	2	1
	平均	2.8	3.4	2.6	2.6	2.8	2.2	1.2	1.2
生f77'1	1	1	1	2	1	2	2	1	1
	2	2	1	2	1	1	2	1	2
	3	1	1	2	1	1	2	1	1
	4	1	1	1	2	2	2	1	1
	5	2	1	2	1	1	2	1	1
	平均	1.4	1	1.8	1.2	1.4	2	1	1.2
f77'0.5	1	2	2	2	2	2	2	1	1
	2	1	1	2	1	1	1	1	1
	3	1	1	2	2	2	1	1	2
	4	3	3	2	2	3	3	1	2
	5	3	1	1	2	3	3	1	3
	平均	2	1.6	1.8	1.8	2.2	2	1	1.8
f77'1:炭0.2	1	1	1	2	2	2	2	1	2
	2	1	1	2	1	2	2	1	1
	3	1	1	1	2	2	2	1	1
	4	1	1	2	2	2	1	1	2
	5	2	3	2	2	2	2	1	1
	平均	1.2	1.4	1.8	1.8	2	1.8	1	1.4
建築廃材1	1	1	1	2	2	2	1	1	1
	2	3	4	3	2	2	2	1	1
	3	1	1	2	2	2	1	1	2
	4	2	1	2	2	1	2	1	2
	5	2	1	2	1	2	1	1	1
	平均	1.8	1.6	2.2	1.8	1.8	1.4	1	1.4
剪f77'1	1	2	2	2	2	1	2	1	1
	2	2	2	1	2	2	1	1	1
	3	3	2	2	3	3	2	1	3
	4	2	2	2	2	2	2	1	1
	5	2	2	2	2	1	2	1	1
	平均	2.2	2	1.8	2.2	1.8	1.8	1	1.4
剪f77'1:炭0.5	1	2	2	2	2	2	2	1	1
	2	1	1	1	1	2	2	1	1
	3	2	1	2	2	1	1	1	2
	4	1	1	1	1	2	3	1	3
	5	1	1	2	1	1	1	1	1
	平均	1.4	1.2	1.6	1.4	1.6	1.8	1	1.6
対照区	1	3	3	3	2	2	3	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	1	1
	3	1	1	2	2	2	1	1	1
	4	3	2	2	3	3	3	1	2
	5	2	1	2	2	2	2	1	1
	平均	2.2	1.8	2.2	2.2	2.2	2.2	1	1.2
炭0.5	1	1	1	1	2	2	1	1	2
	2	1	1	2	2	1	1	1	2
	3	3	1	2	2	2	3	1	3
	4	2	2	2	2	1	1	1	1
	5	3	2	2	2	2	1	1	1
	平均	2	1.4	1.8	2	1.6	1.4	1	1.8
剪f77'1:炭1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
	2	2	2	3	1	1	1	1	1
	3	2	2	2	2	1	2	1	1
	4	2	2	2	2	2	2	1	2
	5	2	1	2	2	2	2	1	2
	平均	1.8	1.6	2.2	1.6	1.4	1.6	1	1.4
剪f77'1:炭0.5	1	2	2	2	2	3	2	1	2
	2	2	2	2	2	2	2	1	2
	3	2	1	1	1	2	2	1	2
	4	2	1	3	1	1	1	1	1
	5	1	1	2	2	2	2	1	1
	平均	1.8	1.4	2	1.6	2	1.8	1	1.6
炭1	1	2	2	2	2	2	2	1	2
	2	3	3	2	2	3	2	1	2
	3	2	2	2	1	1	2	1	1
	4	1	1	2	1	1	2	1	2
	5	1	1	1	1	1	1	1	2
	平均	1.8	1.8	1.8	1.4	1.6	1.8	1	1.8
木粉1:炭0.5	1	4	4	4	2	1	2	2	3
	2	2	1	2	2	2	3	1	3
	3	2	2	2	2	2	2	1	2
	4	2	1	2	2	2	2	1	2
	5	3	2	3	2	2	2	1	2
	平均	2.6	2	2.6	2	1.8	2.2	1.2	2.4
炭0.5:砂糖	1	2	2	2	2	1	2	1	2
	2	2	2	2	2	1	2	1	2
	3								
	4								
	5	2	1	1	1	1	1	1	2
	平均	2	1.7	1.7	1.7	1	1.7	1	2

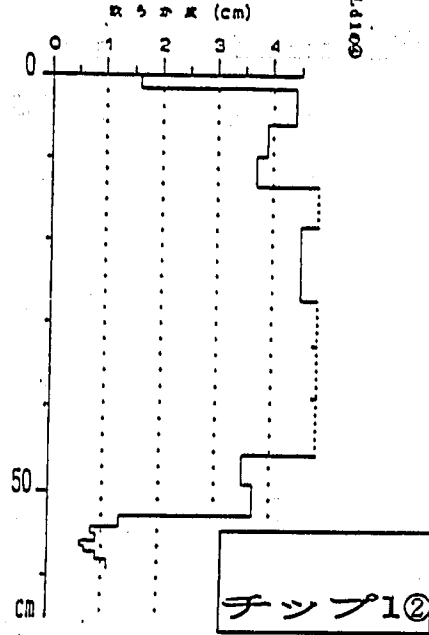
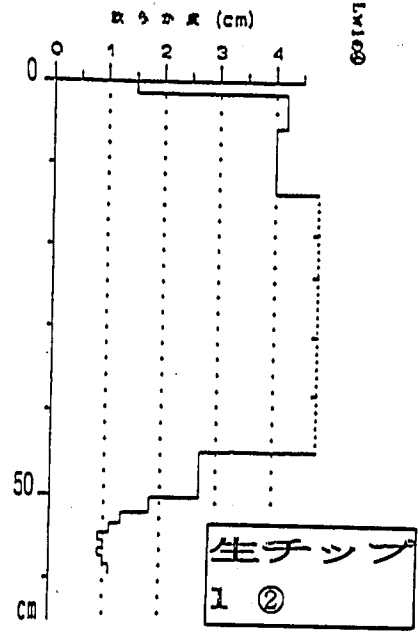
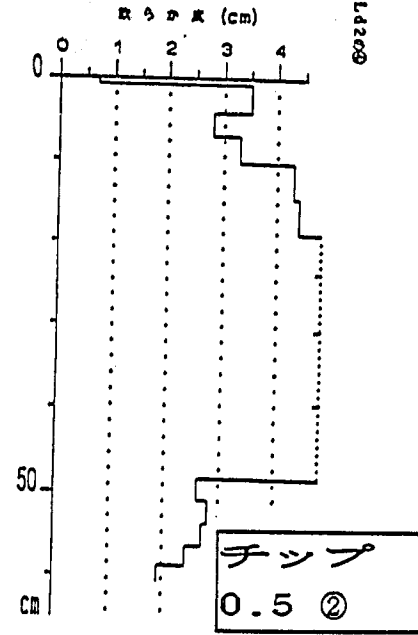
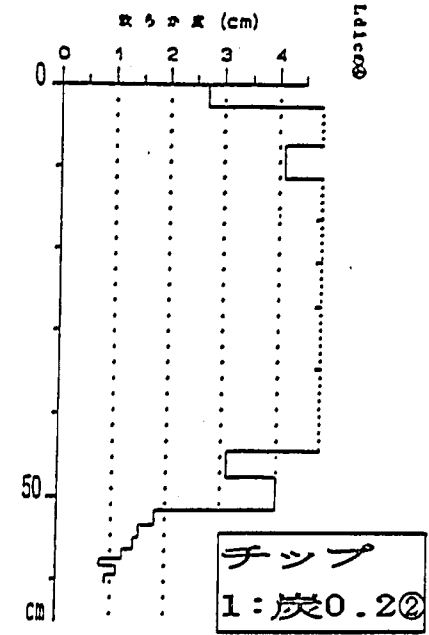
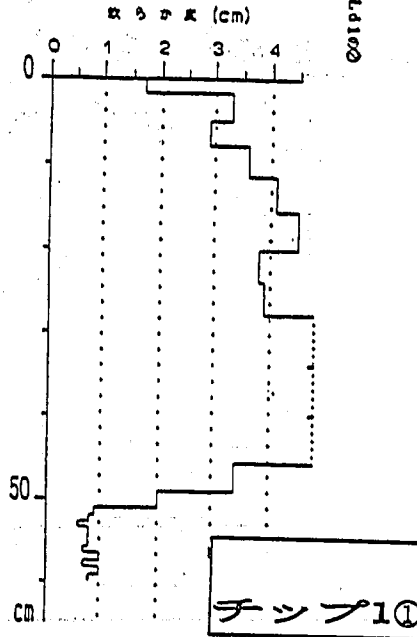
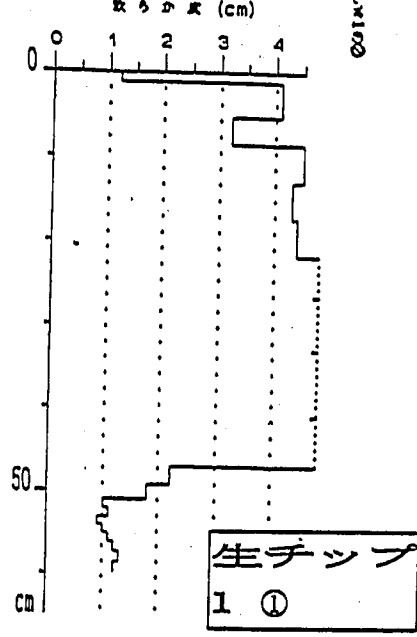
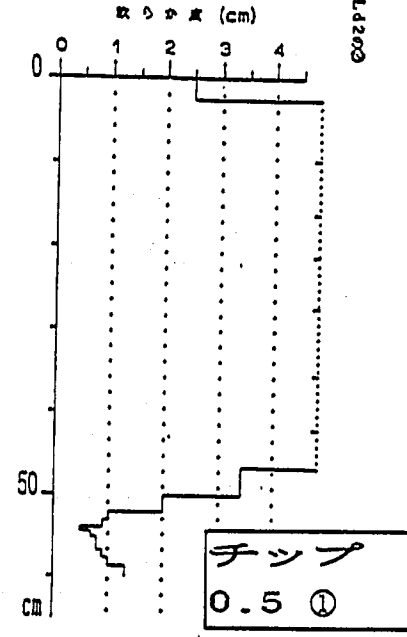
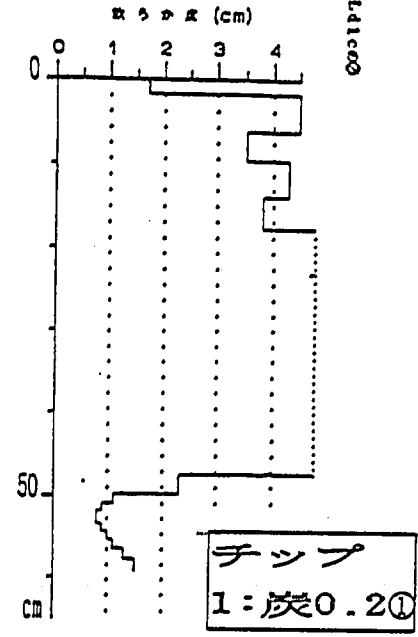
活力度測定結果3

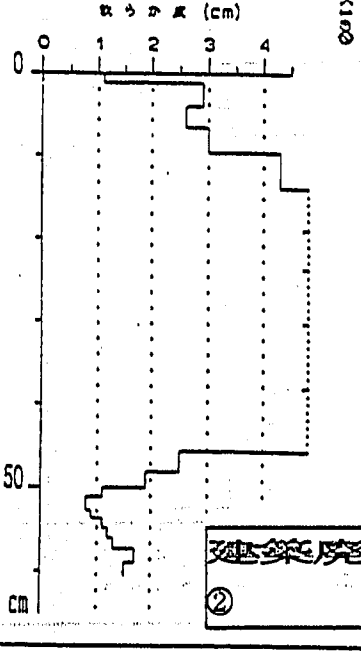
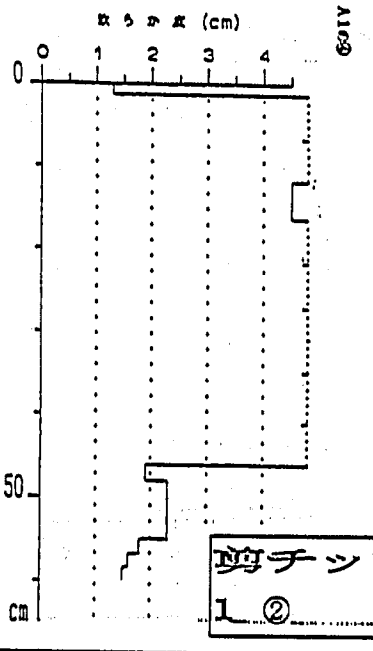
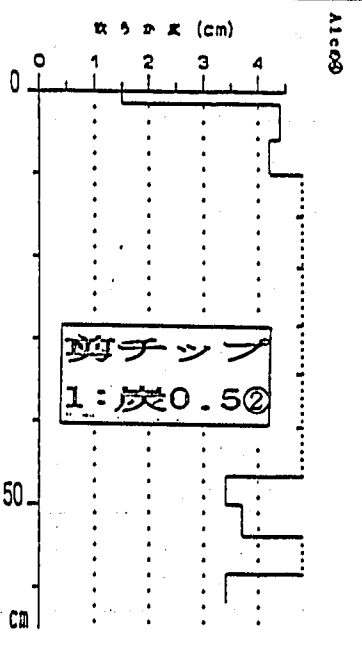
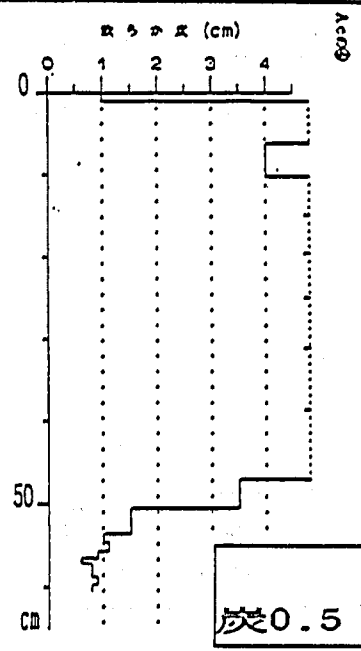
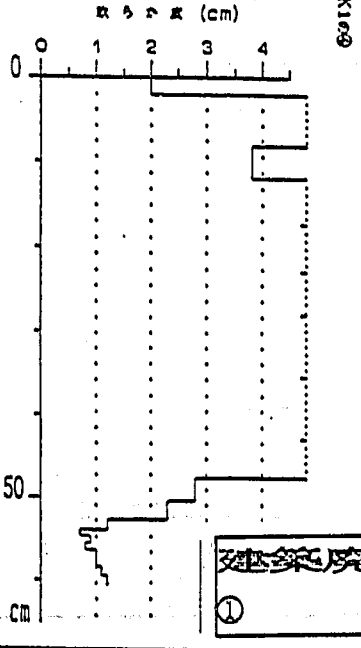
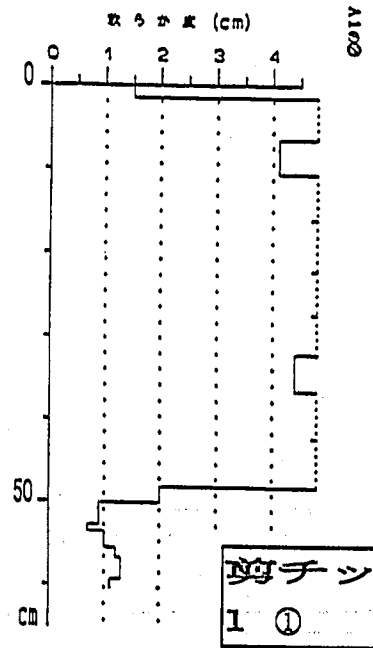
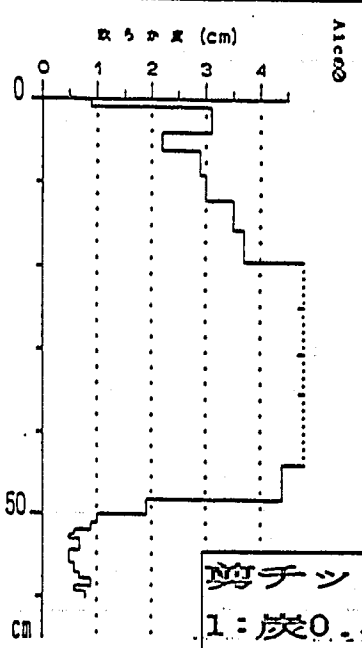
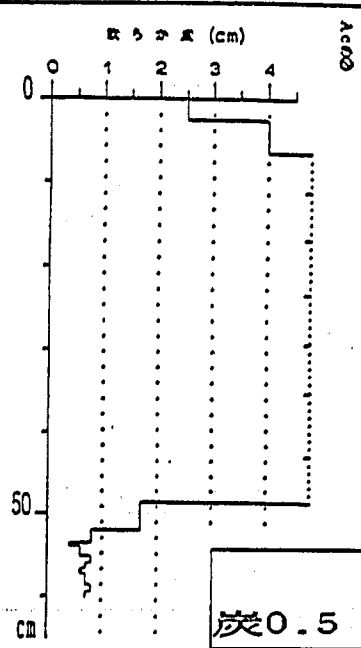
測定日 1995.12.21

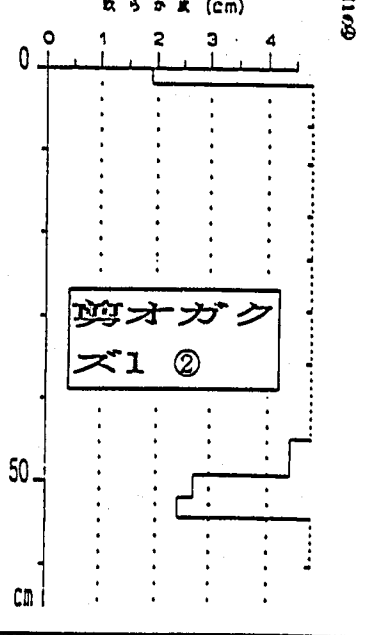
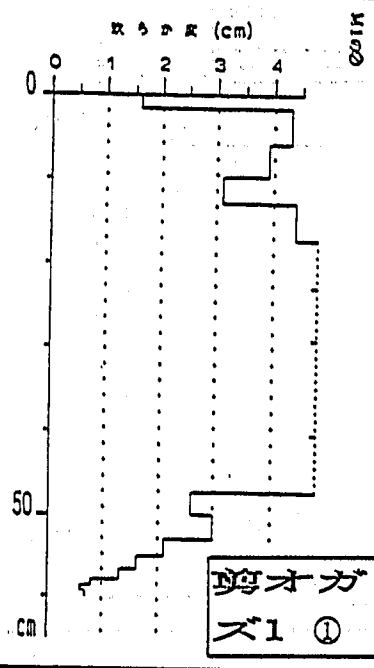
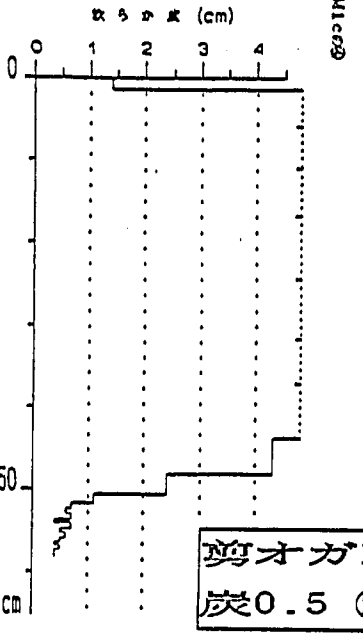
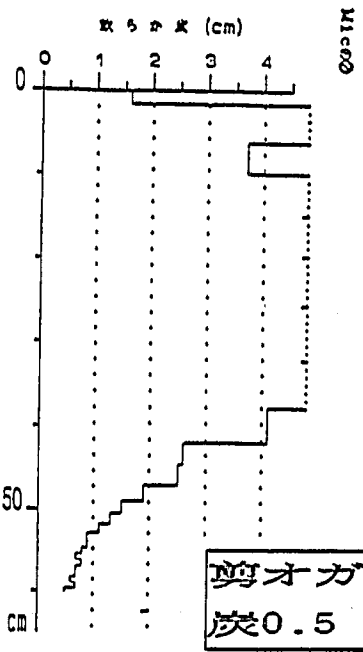
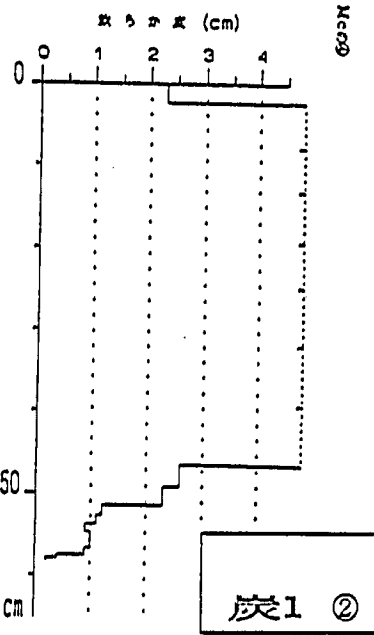
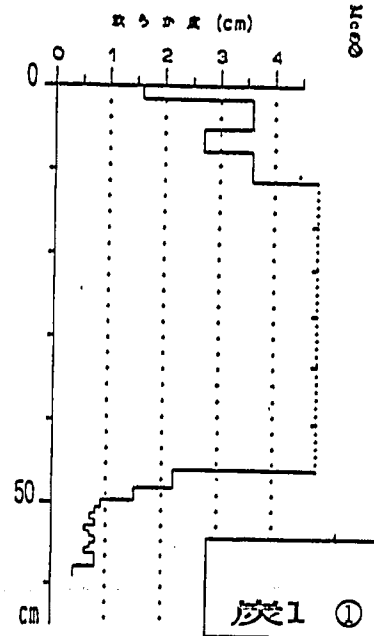
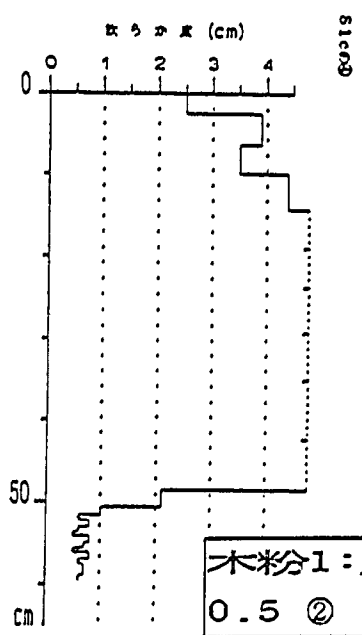
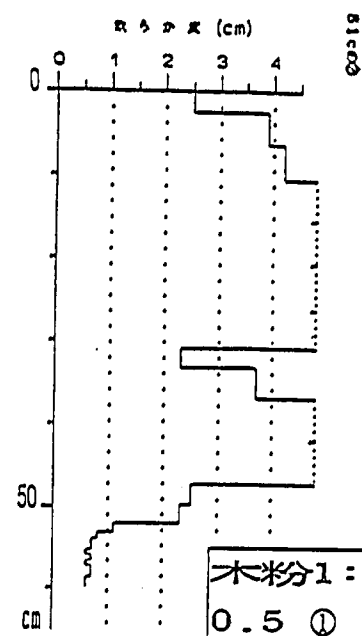
活力度	樹木No.	樹勢	新梢伸	葉色	葉形	葉大	秒時入	幹枝色	梢枝枯
f77'1	1	2	2	2	2	1	2	1	2
	2	3	4	2	2	3	2	1	2
	3	2	3	2	2	2	2	1	1
	4	3	3	2	2	3	2	1	2
	5	4	4	2	2	4	2	1	2
	平均	2.8	3.2	2	2	2.6	2	1	1.8
生f77'1	1	2	2	2	2	2	2	1	1
	2	2	2	2	1	1	2	1	2
	3	2	1	2	2	1	2	1	2
	4	2	2	2	2	1	2	1	2
	5	2	2	2	2	1	2	1	1
	平均	2	1.8	2	1.8	1.2	2	1	1.6
f77'0.5	1	1	1	2	2	1	2	1	1
	2	2	2	2	2	1	2	1	2
	3	2	2	2	2	2	2	1	2
	4	2	2	2	2	2	2	1	2
	5	2	2	2	2	2	2	1	2
	平均	1.8	1.8	2	2	1.6	2	1	1.8
f77'1:炭0.2	1	2	1	2	2	1	2	1	1
	2	2	3	2	1	2	2	1	1
	3	2	2	2	2	1	2	1	1
	4	1	1	2	1	1	2	1	1
	5	2	2	2	2	2	2	1	1
	平均	1.8	1.8	2	1.6	1.4	2	1	1
建築廃材1	1	1	1	2	2	1	2	1	1
	2	3	3	3	2	1	2	1	2
	3	1	1	2	2	1	2	1	1
	4	2	1	3	2	1	2	1	2
	5	2	1	2	1	1	2	1	1
	平均	1.8	1.4	2.4	1.8	1	2	1	1.4
剪f77'1	1	1	2	2	2	1	2	1	1
	2	1	2	2	2	1	2	1	1
	3	3	2	2	2	3	2	1	2
	4	1	2	2	2	1	2	1	1
	5	1	2	2	2	1	2	1	1
	平均	1.4	2	2	2	1.4	2	1	1.2
剪f77'1:炭0.5	1	2	2	2	2	1	2	1	1
	2	1	2	2	2	2	2	1	1
	3	2	3	3	2	1	2	1	1
	4	2	2	2	2	1	2	1	2
	5	1	2	2	2	1	2	1	2
	平均	1.6	2.2	2.2	2	1.2	2	1	1.4
対照区	1	3	3	3	2	1	2	1	2
	2	2	3	2	2	2	2	1	1
	3	2	3	2	1	1	2	1	2
	4	3	3	2	2	2	2	1	2
	5	3	2	2	2	1	2	1	2
	平均	2.6	2.8	2.2	1.8	1.4	2	1	1.8
炭0.5	1	1	1	2	2	1	2	1	2
	2	2	2	2	2	1	2	1	2
	3	2	2	2	1	1	2	1	2
	4	2	1	1	2	1	2	1	1
	5	2	2	2	2	2	2	1	2
	平均	1.8	1.6	1.8	1.8	1.2	2	1	1.8
剪f77'1:炭0.5	1	1	1	2	1	1	2	1	1
	2	2	1	3	2	1	2	1	2
	3	2	2	3	1	1	2	1	2
	4	2	1	3	3	1	2	1	2
	5	2	2	2	1	2	2	1	1
	平均	1.8	1.4	2.6	1.6	1.2	2	1	1.6
炭1	1	2	1	3	2	1	2	1	2
	2	2	2	2	1	1	2	1	2
	3	1	1	2	1	1	2	1	1
	4	3	2	3	2	1	2	1	1
	5	1	1	2	2	1	2	1	1
	平均	1.8	1.4	2.4	1.6	1	2	1	1.4
木粉1:炭0.5	1	1	1	2	1	1	2	1	2
	2	1	1	2	2	1	2	1	1
	3	1	1	2	2	1	2	1	1
	4	1	1	2	2	1	2	1	1
	5	2	2	3	2	1	2	1	2
	平均	1.3	1.3	2.3	1.8	1	2	1	1.5
炭0.5:砂糖	1	2	1	2	2	1	2	1	1
	2	2	1	2	2	1	2	1	2
	3								
	4								
	5	2	2	3	2	1	2	1	2
	平均	2	1.3	2.3	2	1	2	1	1.7

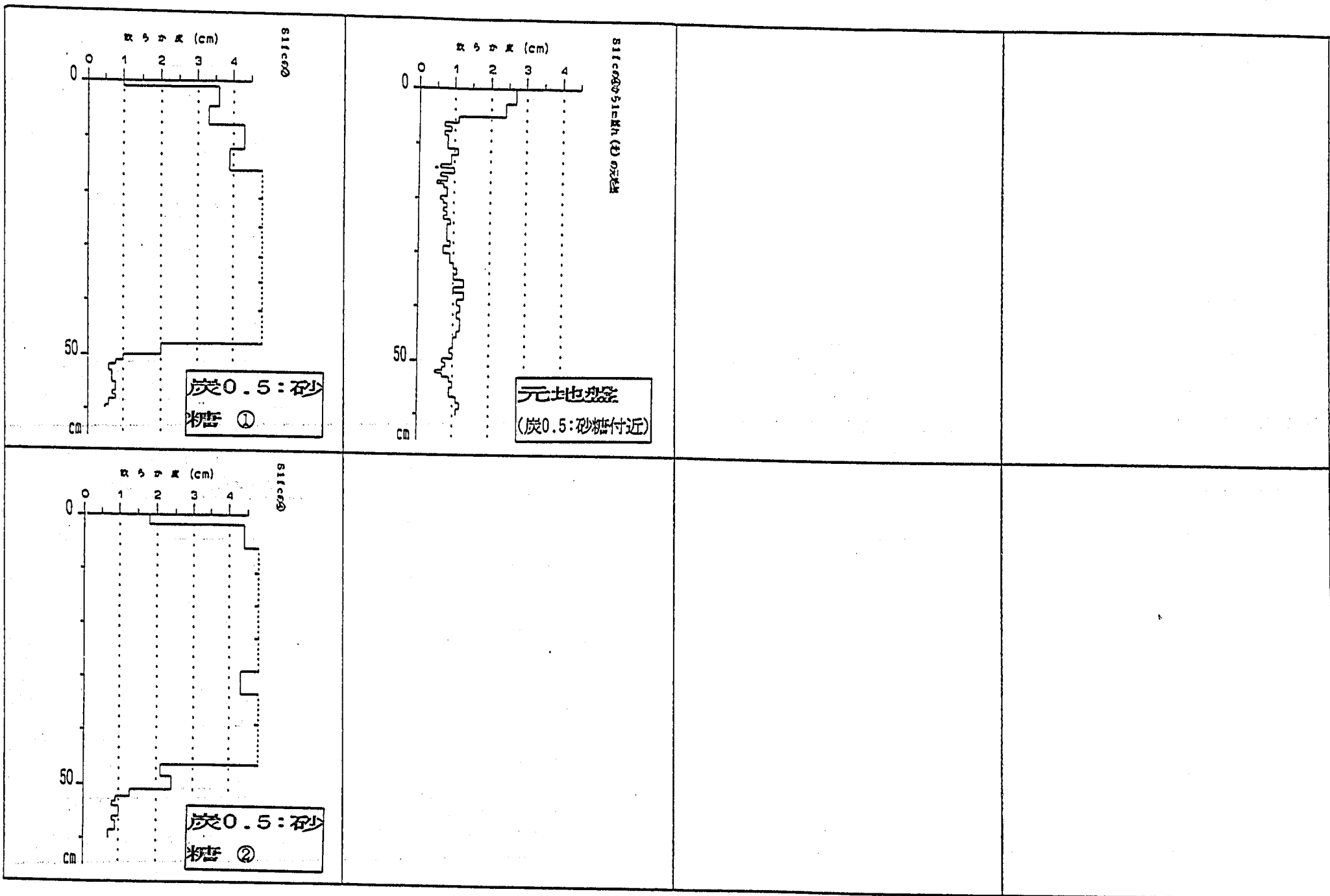
動員入試験結果 (その1)



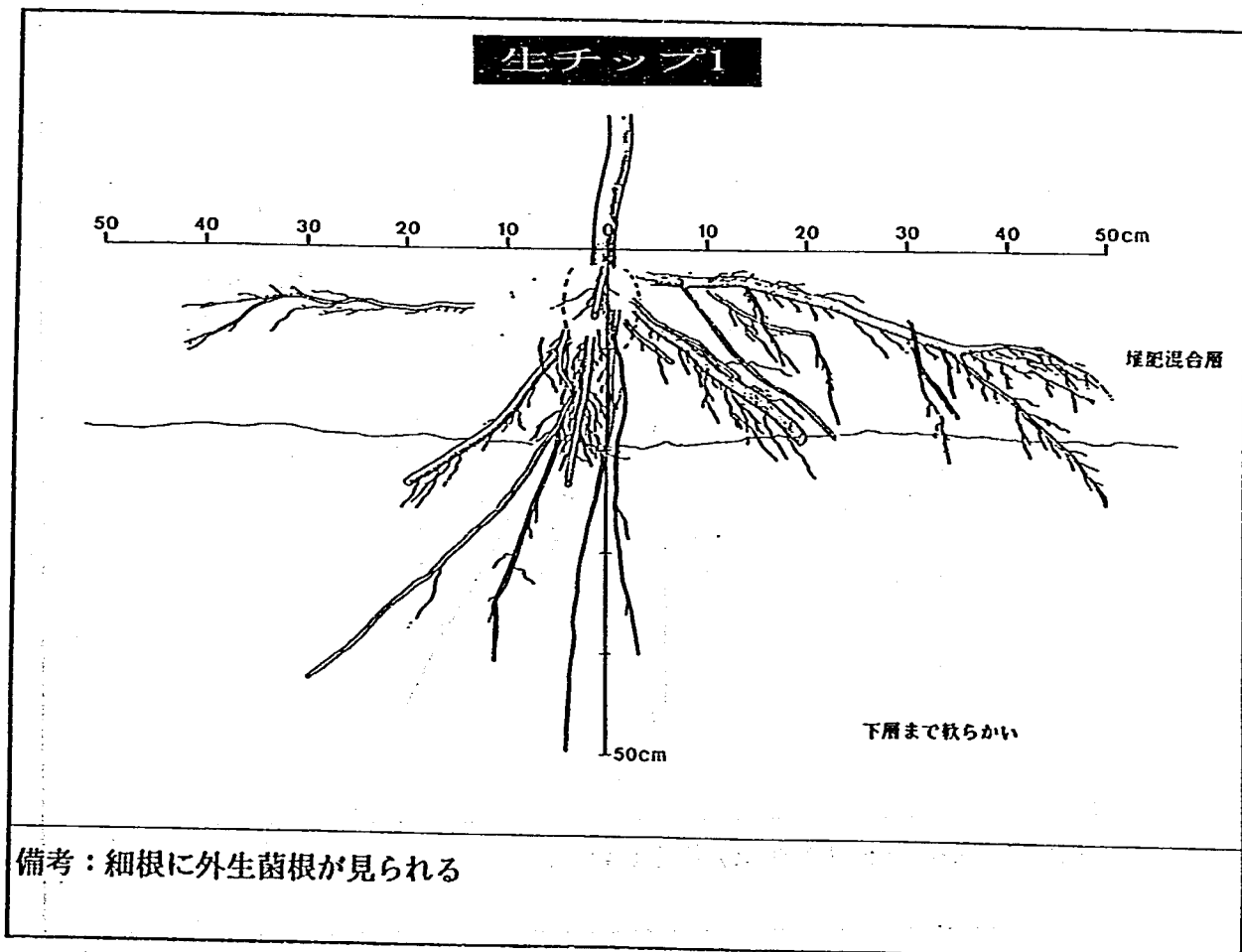
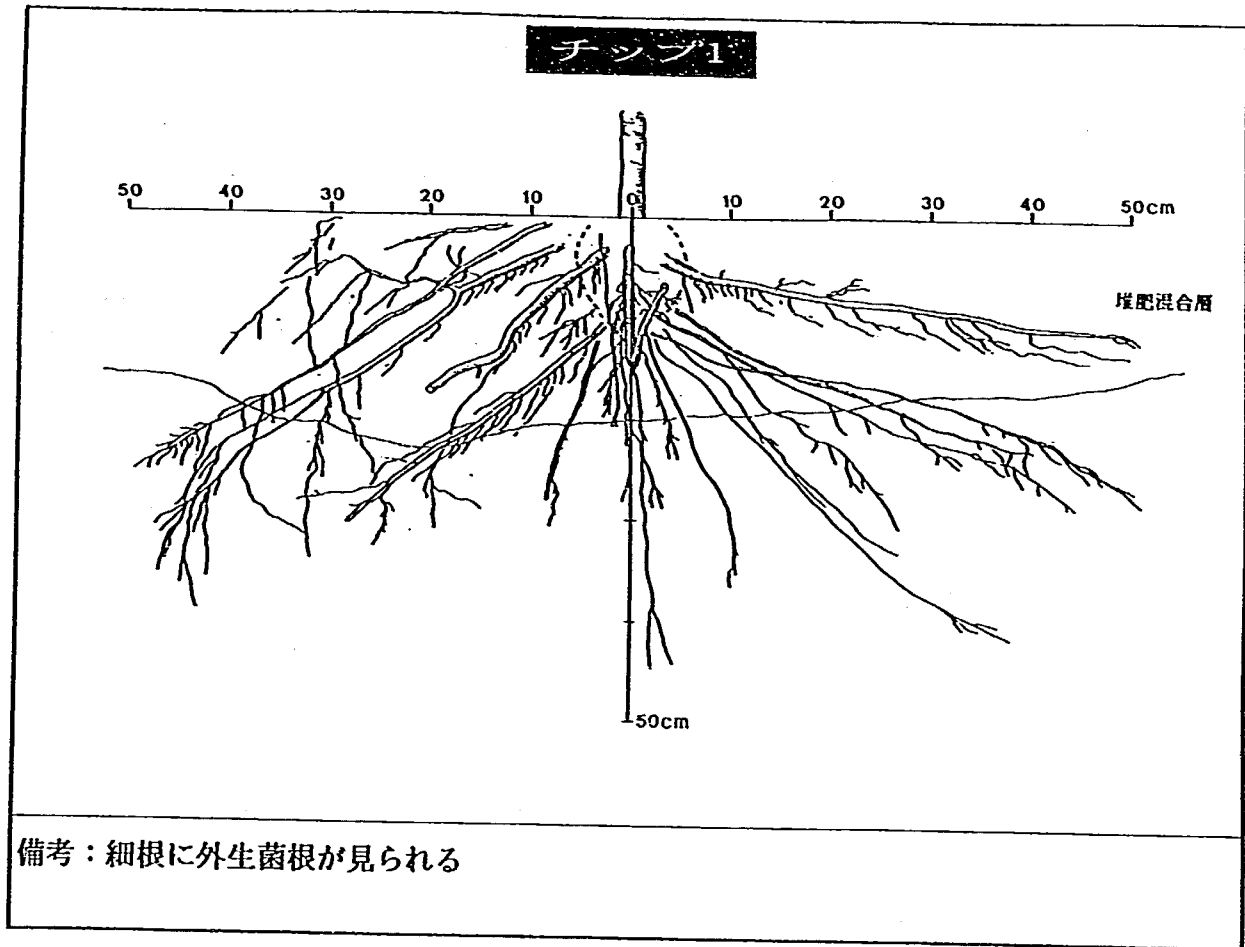






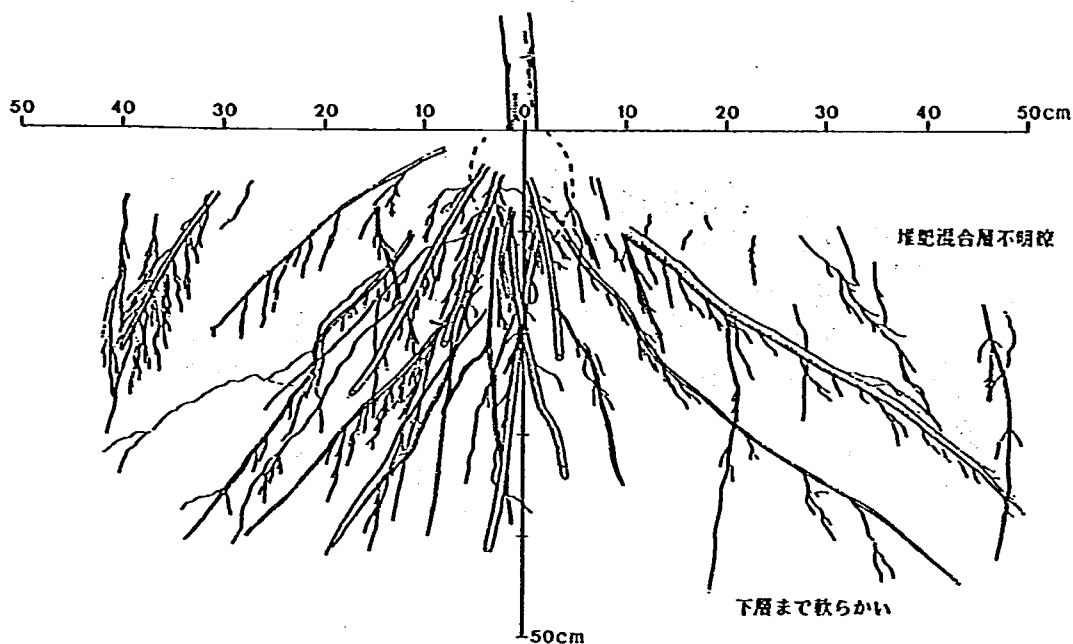


根系調査結果（その1）



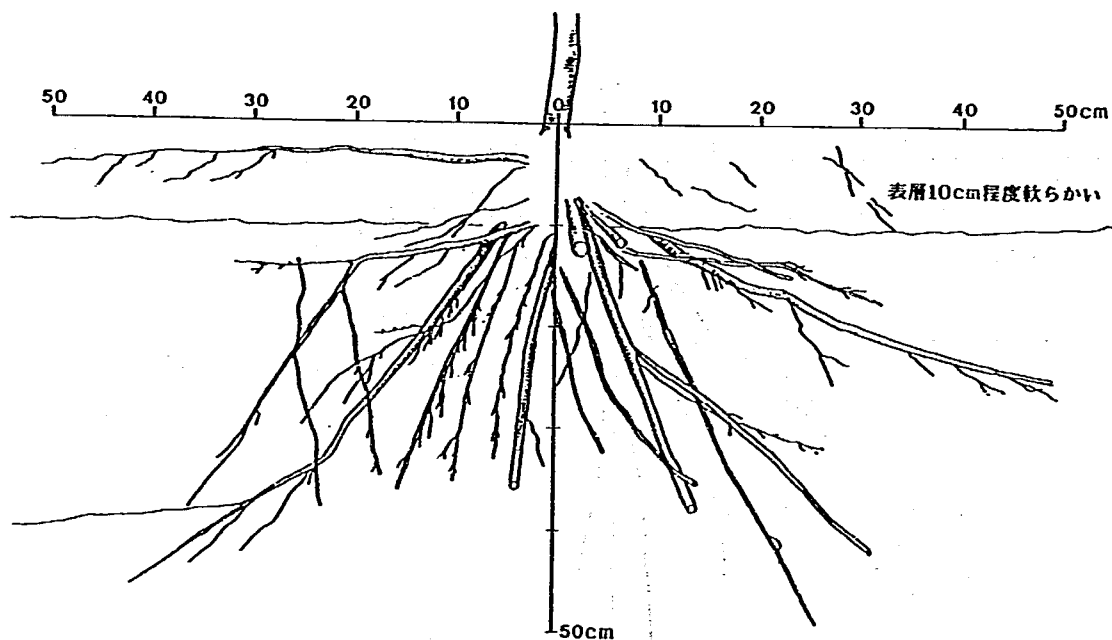
根系調査結果（その2）

チップ0.5



備考：細根に外生菌根が発達

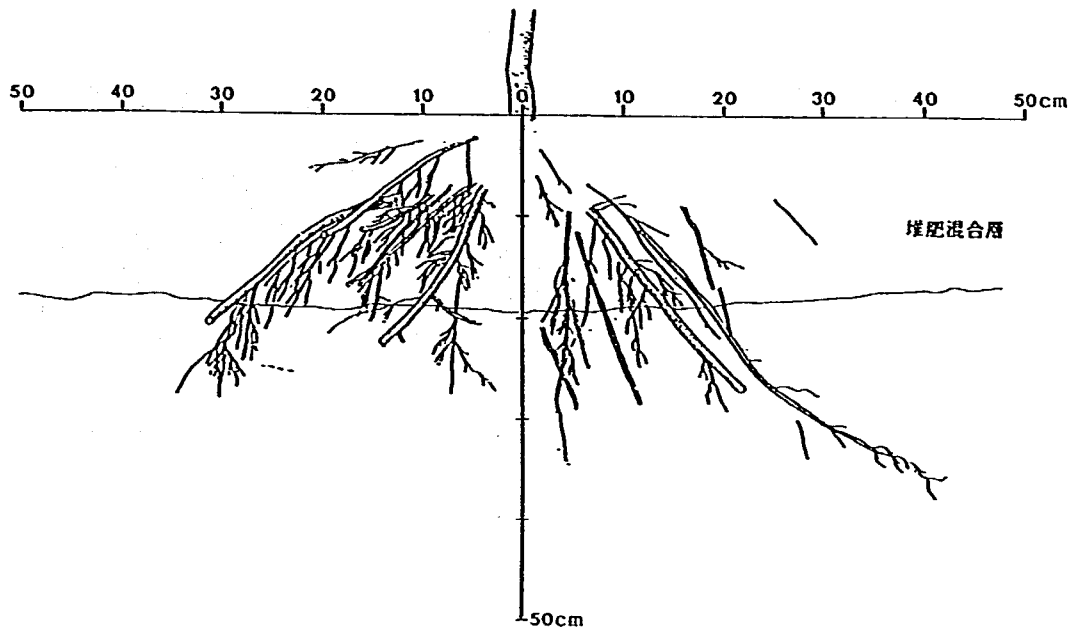
チップ1：炭0.2



備考：中・大根に富むが、細根（ヒゲ根）に乏しい

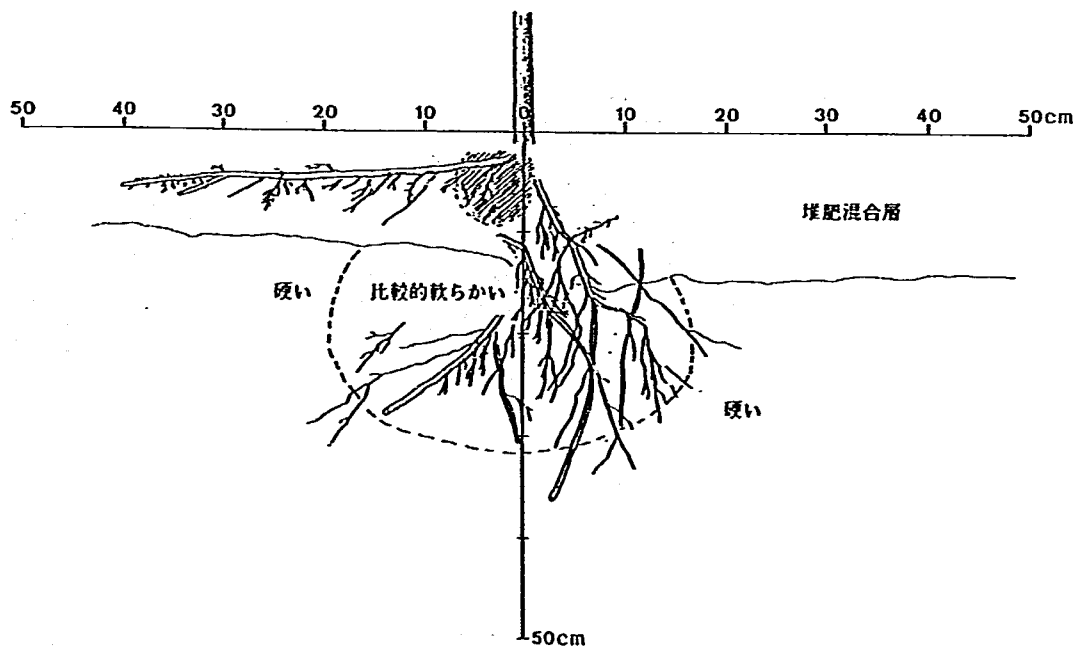
根系調査結果（その3）

建築廃材1



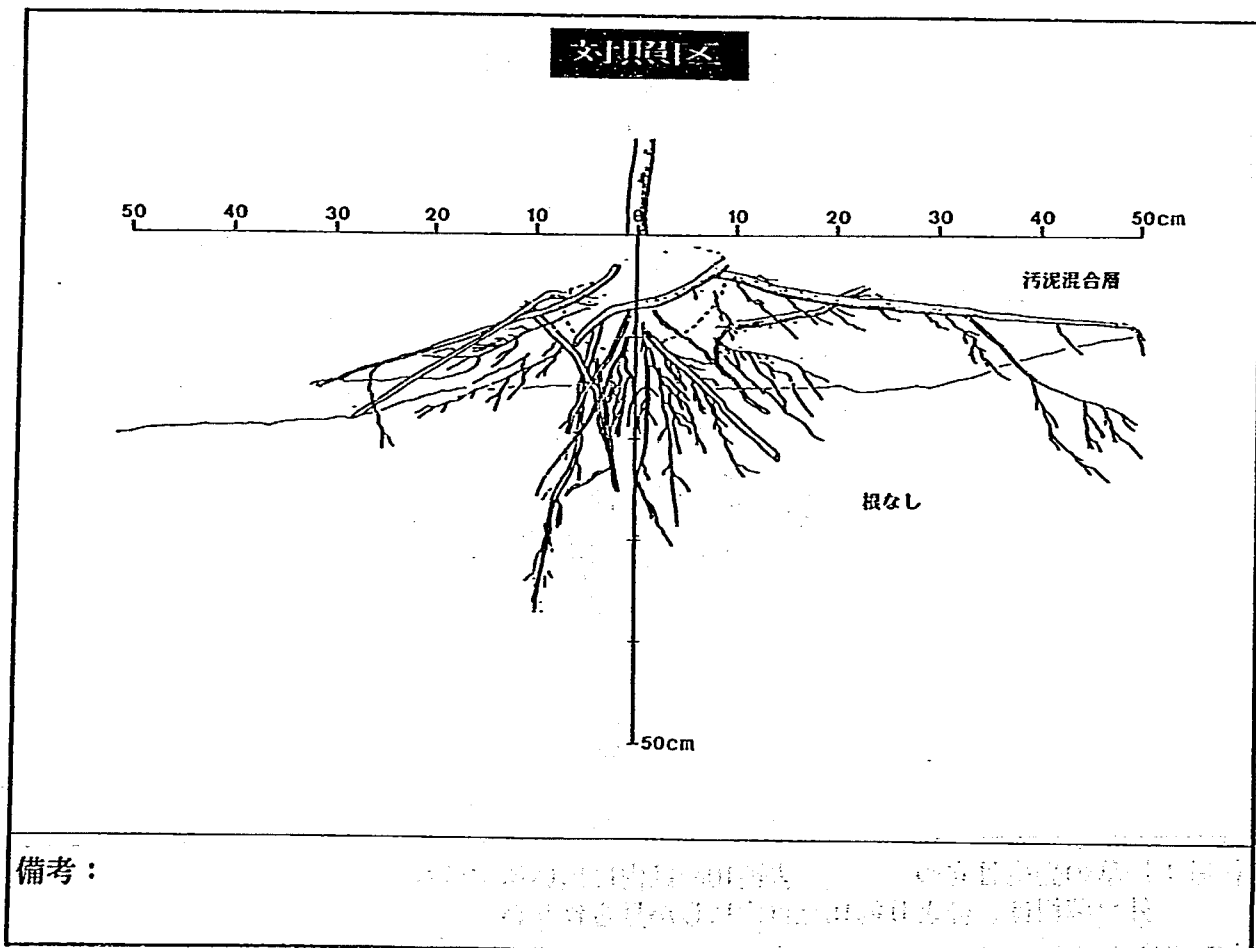
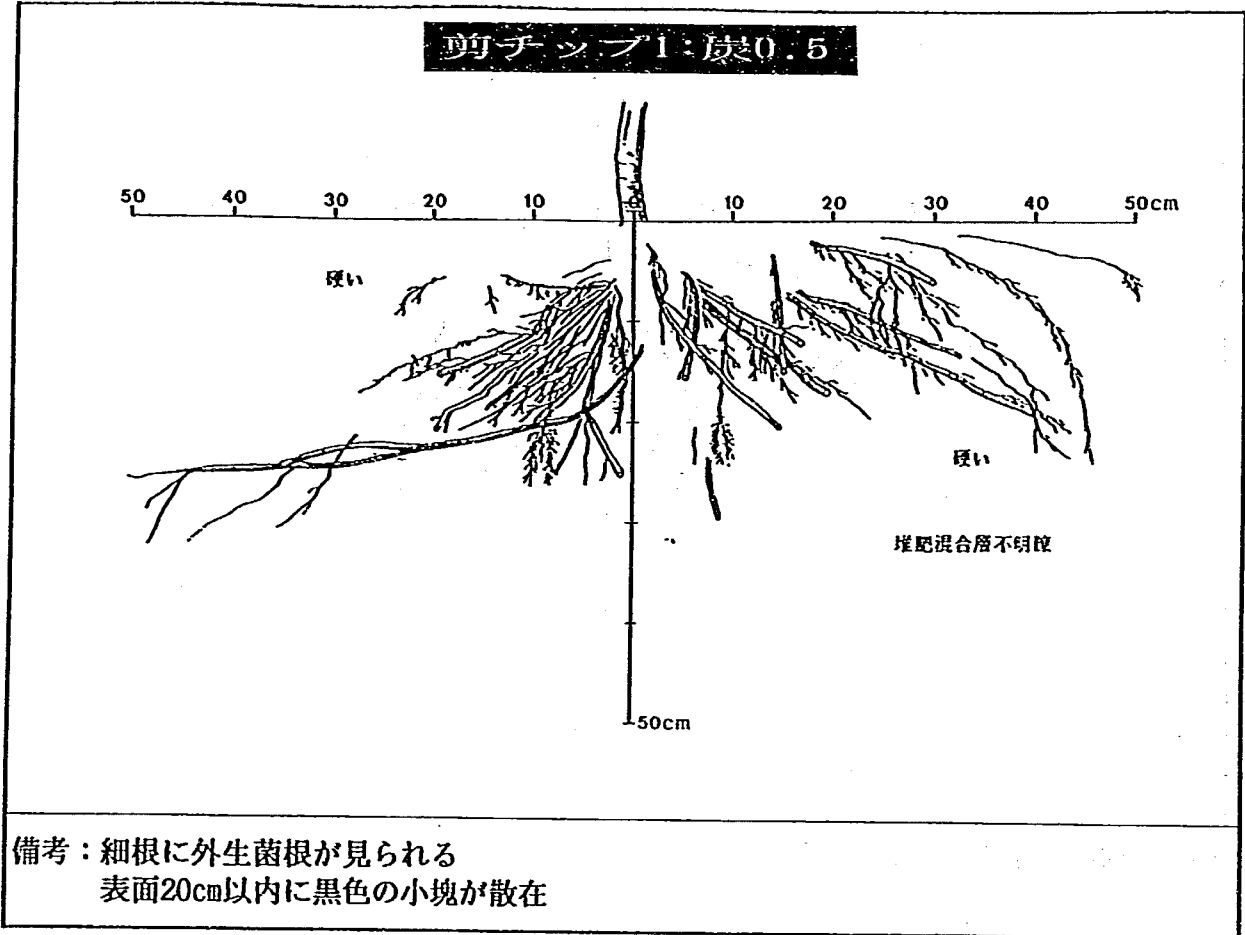
備考：細根に外生菌根が発達

剪チップ1

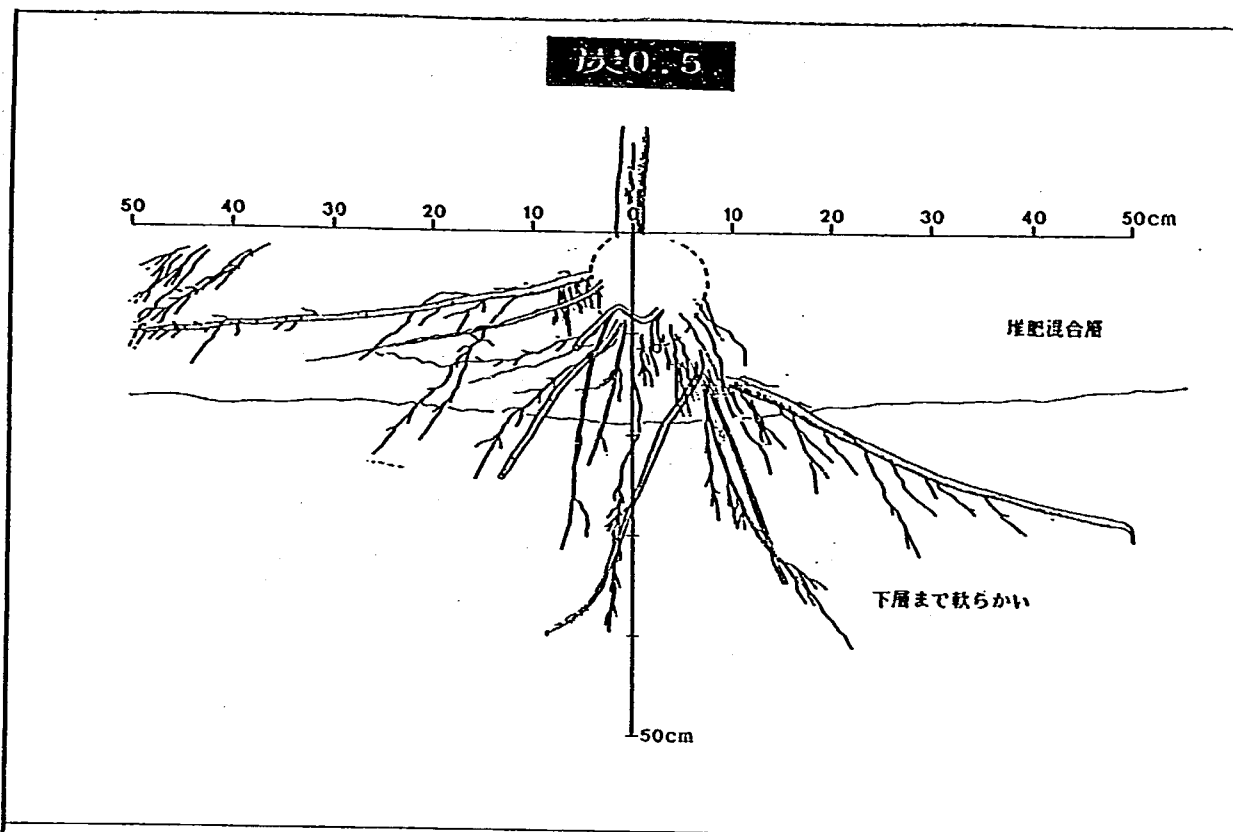


備考：雑草の発生日立つ
表面10cm以内に黒い塊が散在
外生菌根は、幹より約10cm以内にしか見られない

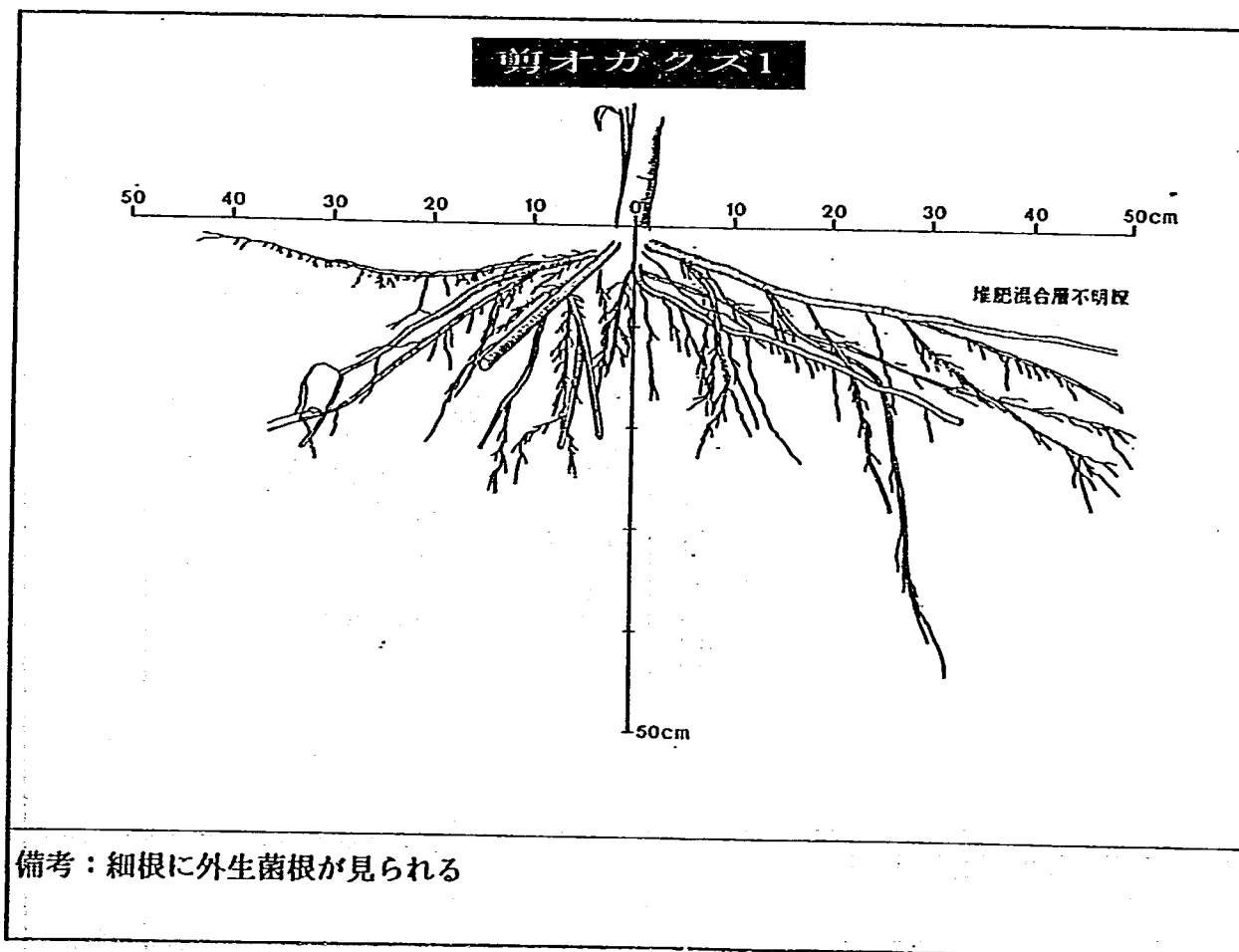
根系調査結果（その4）



根系調査結果（その5）

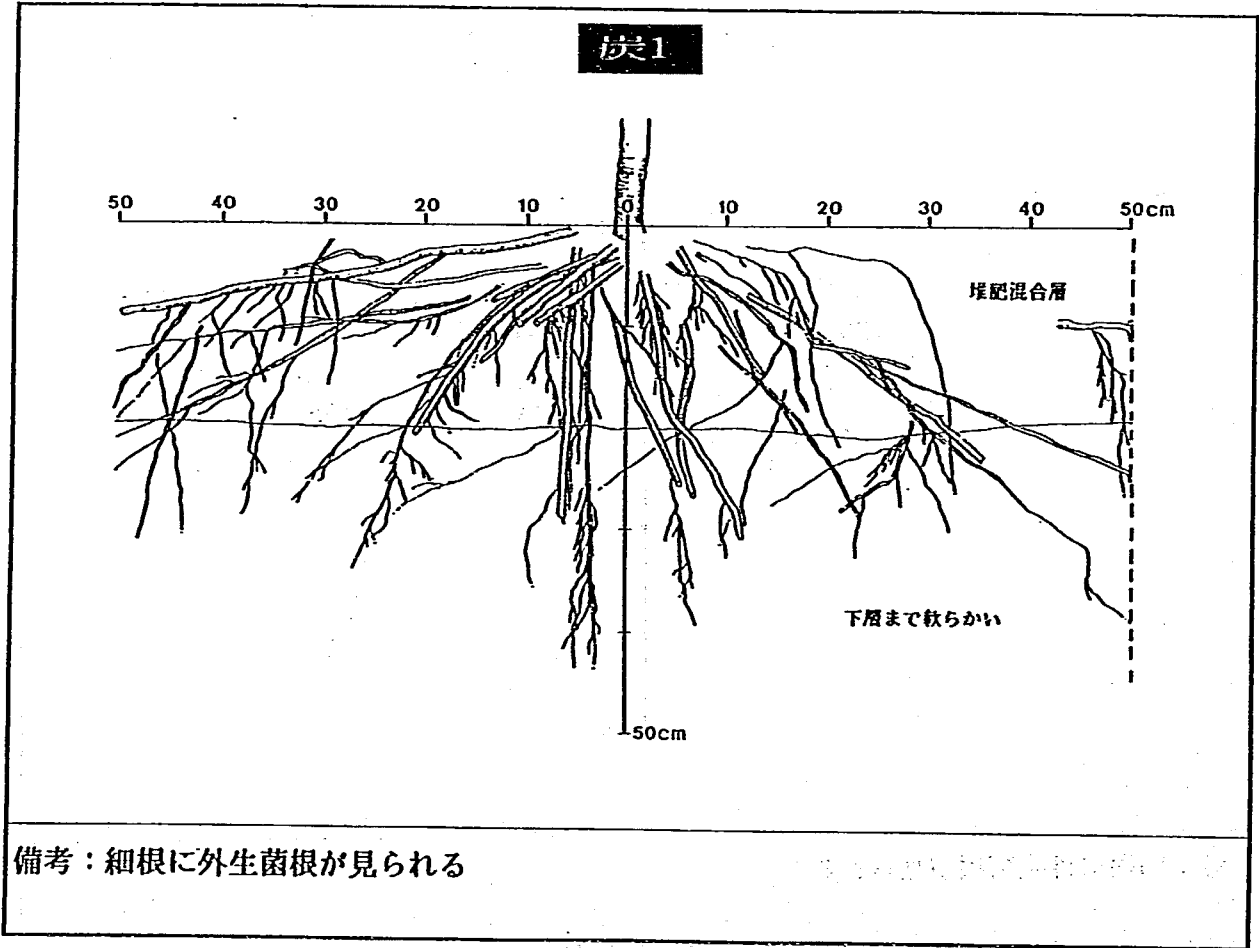
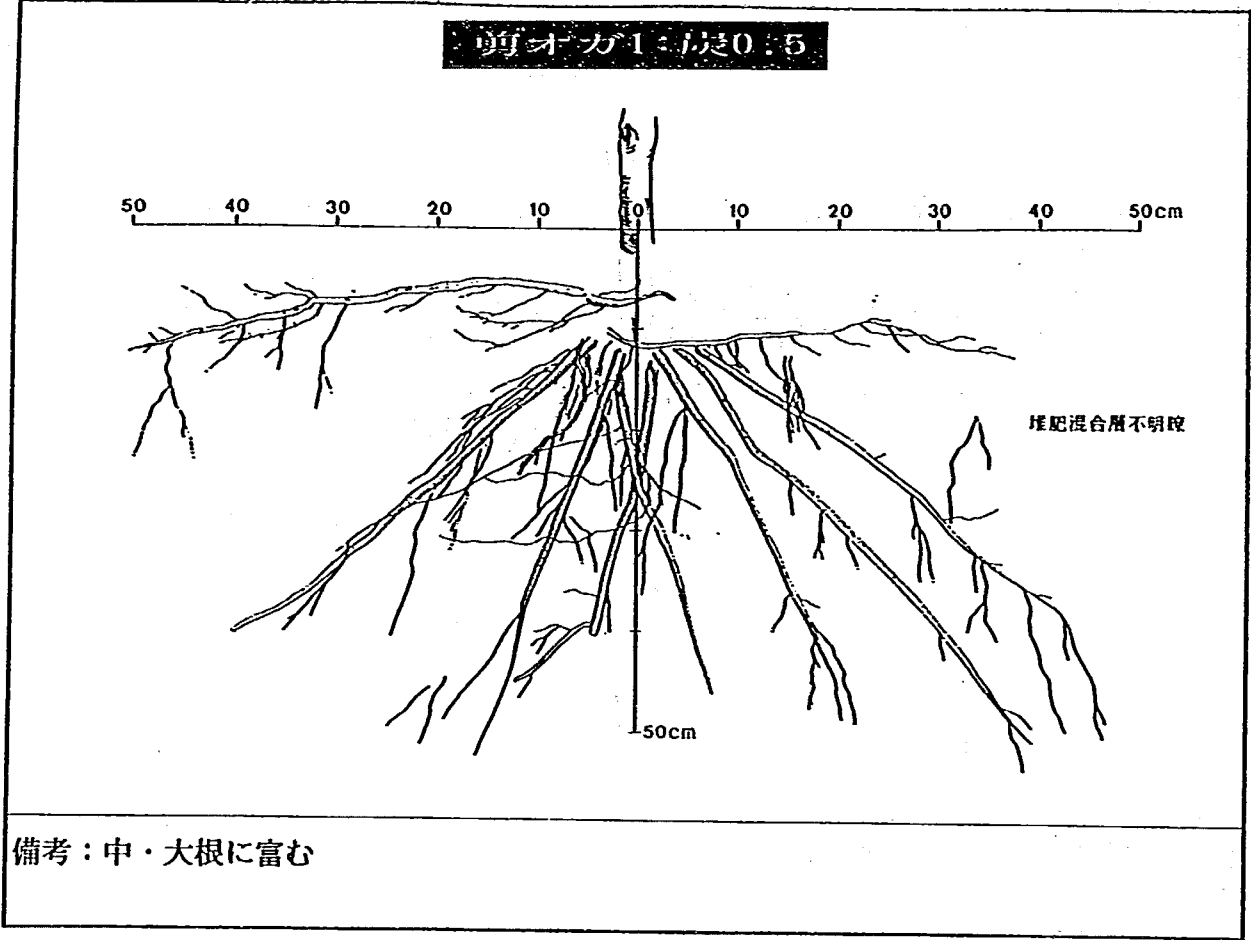


備考：細根に外生菌根が見られる

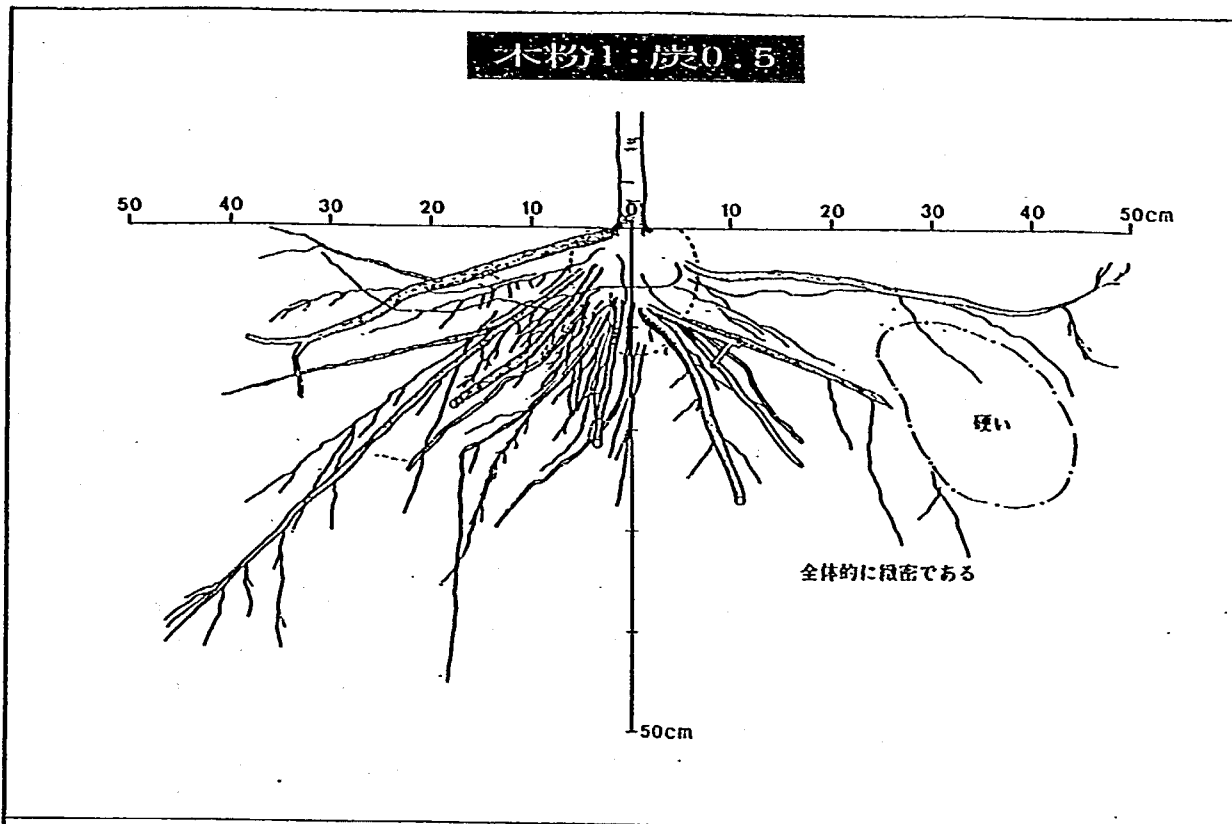


備考：細根に外生菌根が見られる

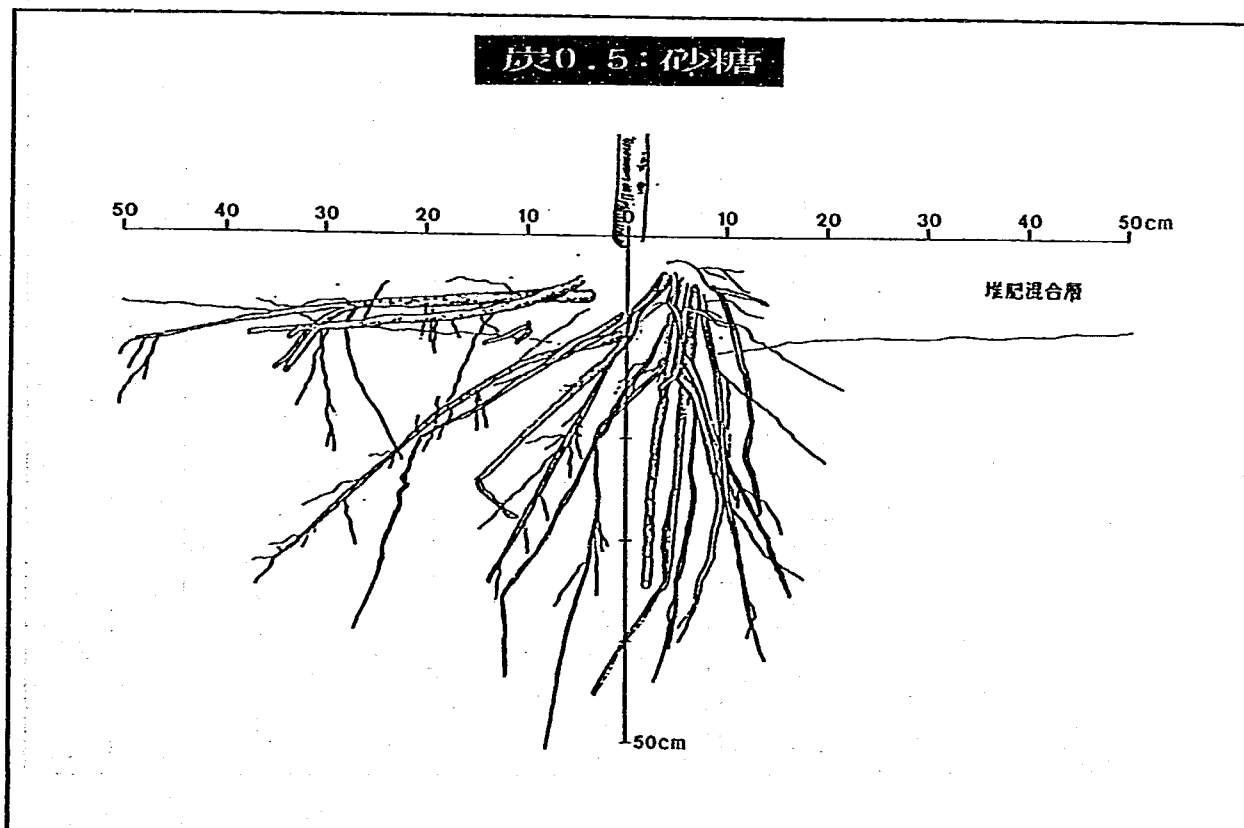
根系調査結果（その6）



根系調査結果（その7）

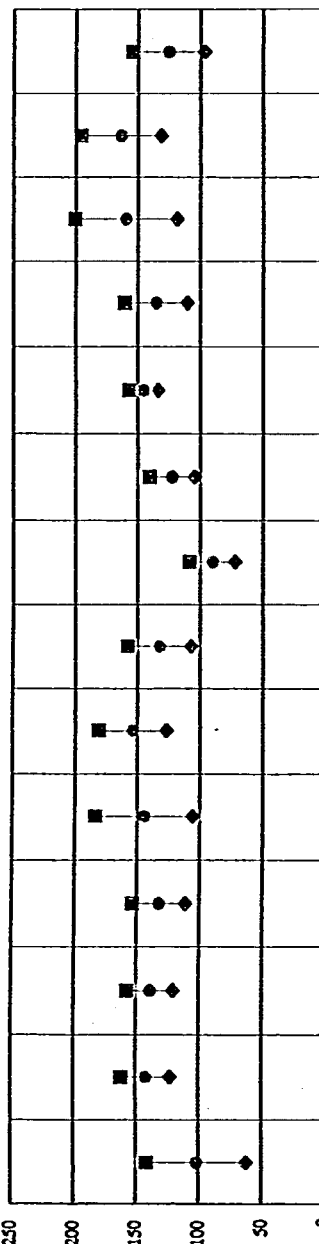


備考：外生菌根は見られない



備考：根系が、断面の左側に偏って分布する
深植である

各木塊の平均値

[illegible]

0.2	1	1	0.5	0.5
0.2	1	1	0.5	0.5

[illegible][illegible][illegible]

Figure 1 is a line graph showing the average values of water vapor pressure (mm) for four types of soil (1, 2, 3, 4) across 10 different locations. The y-axis represents water vapor pressure in mm, ranging from 0 to 45. The x-axis represents 10 different locations. Four data series are plotted: 1 (open circles), 2 (filled circles), 3 (open squares), and 4 (filled diamonds).

Location	1 (mm)	2 (mm)	3 (mm)	4 (mm)
1	35	35	35	35
2	35	35	35	35
3	35	35	35	35
4	35	35	35	35
5	35	35	35	35
6	35	35	35	35
7	35	35	35	35
8	35	35	35	35
9	35	35	35	35
10	35	35	35	35

[illegible]

下水汚泥と剪定枝葉の堆肥化に
関する調査

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第3413号
平成8年1月(1996)
田中 隆, 藤原宣夫, 桃井信行,
飯塚康雄, 半田真理子,
小沢徹三, 石坂健彦, 吉永裕康

要 旨

汚泥をリサイクルの一環として緑地に利用する試みが進まれている。一方、都市緑化により発生する廃棄物として剪定残渣はその処理が問題となってきた。これらの課題を解決する一手段として、両者を混合し、堆肥化し緑地に還元することが有効と考えられるが、良質な汚泥堆肥を製造するために効果的な副資材の性状や適正な混合比等についての知見は乏しい。本報告書では、各種副資材を用いて堆肥を試作するとともに、その堆肥を用いた植栽試験を実施し、試作堆肥の性状や肥効力を把握し、下水汚泥と剪定残渣等を用いた堆肥製作の手法等について取りまとめを行った。

キーワード：下水汚泥、有効利用、剪定残渣

○

郵便はがき

切手をは
いて下さ
い。

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所

緑化生態研究室 行

茨城県つくば市大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

○

土木研究所資料第3413号

部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

○