

## 〈資 料〉

## ファンガスセラーの導入と環境条件の検討

岩本頼子・伊藤貴文・奥田晴啓\*

ファンガスセラーを導入するにあたり、御所土、腐葉土、鹿沼土、パーミキュライトを容量比で5 : 3 : 1 : 1 または 3 : 5 : 1 : 1 に混合した2種類の土壌を調製し、耐朽性の評価に最適な環境条件の検討を行った。その結果、いずれの土壌においても光照射の有無による差は生じず、御所土の割合が高い土壌において、土壌水分の乾湿を繰り返した場合に最も腐朽が促進された。なお、いずれの試験片も腐朽によって白色化したことから、今回導入したファンガスセラーでは、白色腐朽菌が優勢であったと考えられる。

## 1. はじめに

ファンガスセラー試験とは、耐朽性を評価したい材料を未殺菌の土壌に埋め込み、木材腐朽菌の活動に適した環境（温度、湿度）を人工的に制御することで、腐朽による劣化を促進させるものであり、単一の菌を純粋培養する室内試験よりも野外杭試験に近いといわれている。ファンガスセラーでは屋外の約3～6倍の速さで腐朽が進むとされており、2～3年の試験期間で最低10年間は必要とされる野外杭試験に匹敵する評価が可能になるともいわれている。

ファンガスセラー試験は欧米で規格化され、新薬の評価方法として広く利用されており、日本では長野らによって耐朽性評価方法としての有効性が報告されている<sup>1) 2)</sup>。また、平成9～11年度に実施された農林水産省補助事業である農林水産業・食品産業等先端産業技術開発事業「環境適合木材製品製造システム技術の開発」において、ファンガスセラー試験方法案が作成された<sup>3)</sup>。

当センターにおいても、開発した化学処理および防腐薬剤の性能を敏速に評価するうえで、本試験方法の確立は不可欠であることから、平成14年度にファンガスセラーを導入した。これまで、光照射の有無、土壌の構成および水分管理の方法を変化させ、評価に最適な環境条件の検討を行ってきたので、その結果を報告する。

また平成16年に、ファンガスセラー試験がJIS K 1571<sup>2004</sup>に追加された<sup>4)</sup> ことから、それとの整合性についても述べる。

## 2. 材料および方法

## 2.1 材料

## 2.1.1 槽

ポリエチレン製のコンテナ（寸法：約500（W）×700（L）×600（H））8槽を土壌の容器として使用した。各槽の底部6カ所に直径1cmの排水口をあげ、ネットを敷いて使用した（図1-i）。

## 2.1.2 土壌

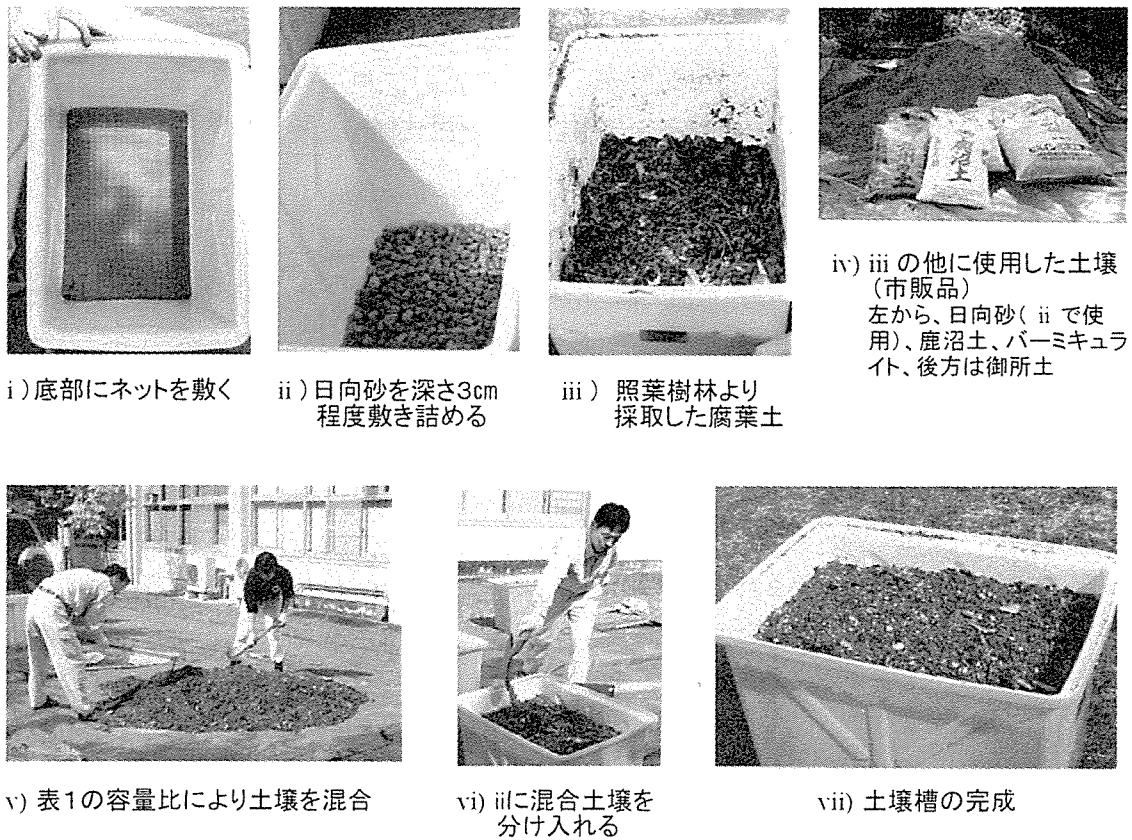
図1に土壌の調製過程を示す。2.1.1に示した槽の底部に日向砂を3cm程度敷き詰めた後、御所土（小礫を含む花崗岩風化土）、腐葉土、鹿沼土、パーミキュライトを容量比で5 : 3 : 1 : 1 または 3 : 5 : 1 : 1 に混合した土壌を、それぞれ4槽に分け入れた。土壌の深さは約45cmとした。なお、腐葉土はコナラなどの落葉樹林にて採取したものであり、それ以外は全て市販品を用いた。

腐葉土は木材腐朽菌を導入するための接種源として混合した<sup>3)</sup>。また、既にファンガスセラー試験を実施している各施設で、ベースとなる土壌に鹿沼土やパーミキュライトを混合することで飛躍的に腐朽が進行したと報告されていることから<sup>3)</sup>、当センターでもそれらを混合することにした。鹿沼土には土壌の水はけを良くする効果があり、パーミキュライトは土壌中に空隙をつくる役割を果たすことから、それらを混合することによって、好気性である木材腐朽菌にとって好適な環境になると期待される。

なお、JIS K 1571では、鹿沼土およびパーミキュライトに堆積土または海砂を混合したものを試験に用いるよ

\*：本研究はH14～16年度のNEDO事業「建築廃材・ガラス等リサイクル技術開発」で行った。

\*\*：現、奈良県高等技術専門校



i) 底部にネットを敷く    ii) 日向砂を深さ3cm程度敷き詰める    iii) 照葉樹林より採取した腐葉土

iv) iii の他に使用した土壤(市販品)  
左から、日向砂( ii で使用)、鹿沼土、パーミキュライト、後方は御所土

v) 表1の容量比により土壤を混合    vi) iiiに混合土壤を分け入れる    vii) 土壤槽の完成

図1 土壤の調整

う規定されているが、その混合比までは規定されていない。また、同JISの解説では、土壤の混合比は自然に存在する腐朽菌の活性を高めるための工夫によって決められると記されている。

2.1.3 試験体

気乾状態で9 (R) ×20 (T) ×100mm (L) のスギ辺材無処理材を1条件あたり16体使用した。JIS K 1571では、試験体の寸法を、木口面で20×20mm、長さ×100mm (L) としている。今回使用した試験体の寸法は、これより小さいが、2.2.4で述べる腐朽度の評価に、大きくは影響しないと考えられる。

2.2 方法

2.2.1 環境条件の検討

2.1.2で調製した2種類の土壤各4槽を培養室内に設置し、温度28℃、相対湿度80~85%の条件下に約2ヶ月間静置した後、予め全乾重量を測定した試験体をL方向に約80mmまで埋設した。同じ温湿度条件を維持した状態で、光照射の有無および土壤の水分管理の方法を2通りに設定し、耐朽性の評価に最適な環境条件を検討した。環境条件の組み合わせは表1の通りである。

光照射区では植物育成用の蛍光灯 (NEC製ビオルックス (BR-HG)) を常時点灯し、非照射区は布で覆って遮

表1 土壤槽の環境条件

土壤槽	光照射	土壤構成(容量比)			水分管理
		御所土	腐葉土	鹿沼土：パーミキュライト	
①	有	5	3	1	乾湿繰り返し 一定
②					
③		3	5	1	乾湿繰り返し 一定
④					
⑤	無	3	5	1	乾湿繰り返し 一定
⑥					
⑦		5	3	1	乾湿繰り返し 一定
⑧					

光した (図2)。

また、土壤水分を一定とした区では、土壤槽をビニルシートで覆ったが、乾湿繰り返しとした区では覆いをせず、適宜灌水を行った (図2)。乾湿繰り返しの場合は灌水の目安を水飽和度 (2.2.3で定義する) 30%とし、水分一定の場合は約60~80%の水飽和度を維持するよう、灌水の目安を水飽和度50%とした (表2)。なお、AWPA (米国木材保存協会規格集)<sup>3)</sup>によると、好ましい水飽和度は50~80%とされており、JIS K 1571では

表2 土壌の水分管理

土壌槽	シートによる被覆	灌水の目安		1回あたりの灌水量 (ℓ)	灌水間隔 (週)
		水飽和度 (%)	pF値		
①	なし	30	2.8	1.5	1~2
②	あり	50	2.5	0.5	5~6
③	なし	30	2.1	1.5	1~2
④	あり	50	2.5	0.5	3~4
⑤	あり	50	2.3	0.5	25
⑥	なし	30	2.5	1.5	3~4
⑦	あり	50	2.5	0.5	(25*)
⑧	なし	30	2.8	1.5	2~3

\* 灌水2回目以降、試験終了時まで灌水せず。



図2 光照射と土壌の水分管理

上段：右側は光照射区、左側は光非照射区  
下段：光照射区の水分管理の様子

50±5%に調節するよう規定されている。

2.2.2 土壌の最大水保持量の測定

ブフナーロートにろ紙を敷き、2.1.2で調製した土壌約100gを入れて24時間吸水させた。続いて15分間の吸引過を行った後、土壌を別の容器に移して吸水後の重量 ( $w_i$ ) を測定した。その後、105℃で恒量になるまで乾燥させ、全乾重量 ( $w_0$ ) を測定した。次式により、各土壌の最大水保持量 (以降Hと略す) を算出した。試験の繰り返し回数は2回とした。

$$H (\%) = \frac{w_i - w_0}{w_0} \times 100 \quad (1)$$

2.2.3 土壌含水率および水飽和度の測定

採取した土壌の重量を測定した後、105℃で恒量になるまで乾燥させ、全乾法により含水率 (以降Mと略す) を求めた。また、次式により水飽和度を算出した。

$$\text{水飽和度} (\%) = \frac{M}{H} \times 100 \quad (2)$$

さらに、水飽和度を上記の方法で随時求めるのは非常に煩雑であるため、セラミックス水分センサ (日本シンテック株式会社製 2124センサ) の使用を試みた。水分センサは、土壌水分計と同様のもので、土壌水が受けている負の圧力 (吸引圧) を多孔質セラミックセンサを通して検出し、電気信号として取り出すことができる。土壌の水分はpF値 (吸引圧の常用対数をとったもの) で表示され、直接的に土壌の水飽和度を知ることはできない。そのため、ここでは各土壌におけるpF値と水飽和度の関係を求め、水分センサが水分管理に適するかどうか検討した。

2.2.4 腐朽度の評価

試験開始から12、16、27ヶ月経過時に試験片を土壌から抜き取り、表3に示す評価基準 (JIS K 1571に準拠) に照らして、腐朽度を調査した。なお調査は、最も腐朽が進行している部分を観察して行った。図3に腐朽度0~5と評価した試験片の様子を示す。

表3 腐朽度の評価基準

腐朽度	観察状態
0	健全
1	部分的に軽度の腐朽
2	全面的に軽度の腐朽
3	2の状態のうえに部分的に激しい腐朽
4	全面的に激しい腐朽
5	腐朽により形が崩れる

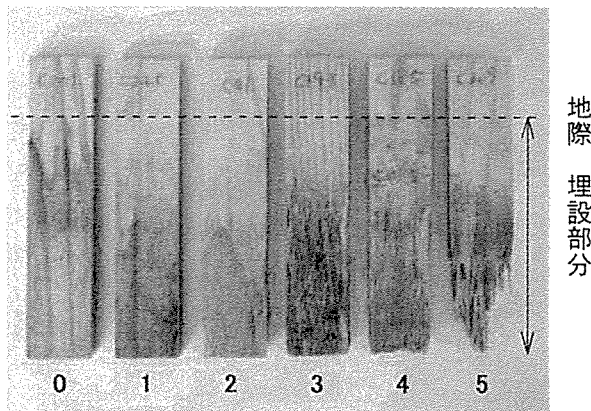


図3 各腐朽度の試験片

2.2.5 重量減少率の算出

27ヶ月経過時における腐朽度調査を終了した試験片を105℃で48時間乾燥し、全乾重量を測定した。ファンガスセラー試験前後の重量差を試験開始前の全乾重量で除すことにより腐朽による重量減少率（以降WLと略す）を求めた。

3. 結果と考察

3.1 土壌槽の水分管理

土壌の最大水保持量は、御所土の割合が高い土壌槽①②⑦⑧で約26.5%、腐葉土の割合が高い土壌槽③④⑤⑥では約35%であった。

図4に、水分センサのpF値と水飽和度の関係を示す。

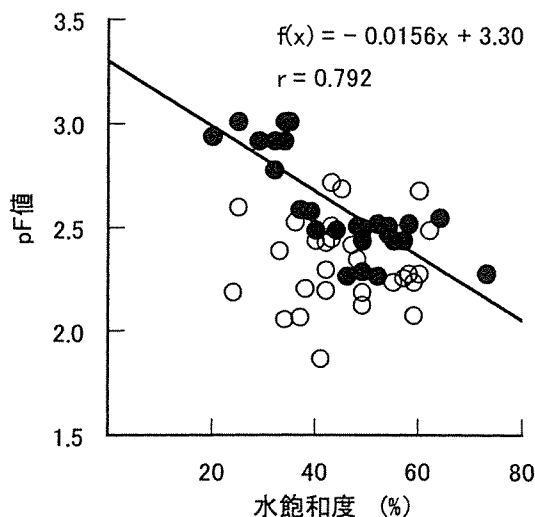


図4 土壌のpF値と水飽和度の関係  
 ●：御所土の割合が高い土壌  
 ○：腐葉土の割合が高い土壌  
 直線：御所土の割合が高い土壌の回帰直線

御所土の割合が高い土壌では両者の間に比例関係が認められた ( $R=0.811$ ) が、腐葉土の割合が高い土壌ではバラツキが大きく、pF値によって一元的に水分管理を行うことが困難であることがわかった。そのため、各土壌槽において個別に水飽和度の実測値とpF値の関係を求め、灌水の目安となるpF値を槽別に設けた(表2)。1~2週間に1回程度、pF値を参考にしながら、土壌水分の状態を目視で確認し、灌水が必要となれば一定量の水を散布した。実際に行った灌水の量と間隔を表2に併せて示す。なお、光非照射区は全体を布で囲んで遮光したため(図2)、土壌が乾燥しにくく、光照射区よりも灌水の頻度が少なかった。特に土壌槽⑦では、2回目の灌水以降、試験終了時まで灌水する必要がなかった。

3.2 最適環境条件

図5に、御所土の割合が高い土壌における腐朽経過を示す。光照射の有無による差は小さく、土壌水分を一定に保つよりも乾湿を繰り返した方が腐朽が促進されることがわかった。一方、図6に示すように、腐葉土の割合が高い土壌においても光照射の有無による差は小さかった。また、水分管理の方法による差は、御所土の割合が高い土壌におけるほど顕著ではなかった。なお、いずれの土壌においても、腐朽は試験片の先端付近で顕著であった(図3)。JIS K1571では、スギ辺材無処理材の平均腐朽度が、2年で2.5(図5、6に破線で示した)以上である場合に試験を有効とみなすと規定している。いずれの土壌においても乾湿を繰り返した場合にこの基準を満たした。また乾湿を繰り返した場合、御所土の割合が高い土壌の方がより高い平均腐朽度を示し、腐葉土の

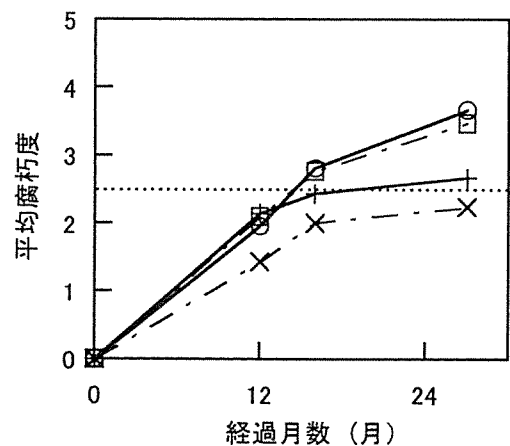


図5 御所土の割合が高い土壌における腐朽経過  
 ○：土壌槽①（光照射、乾湿繰り返し）  
 ×：土壌槽②（光照射、一定）  
 □：土壌槽⑧（光非照射、乾湿繰り返し）  
 +：土壌槽⑦（光非照射、一定）

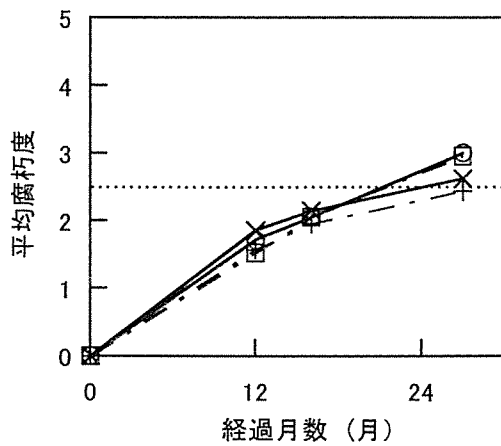


図6 腐葉土の割合が高い土壌における腐朽経過

- ： 土壌槽③ (光照射、乾湿繰り返し)
- ×： 土壌槽④ (光照射、一定)
- ： 土壌槽⑥ (光非照射、乾湿繰り返し)
- ＋： 土壌槽⑤ (光非照射、一定)

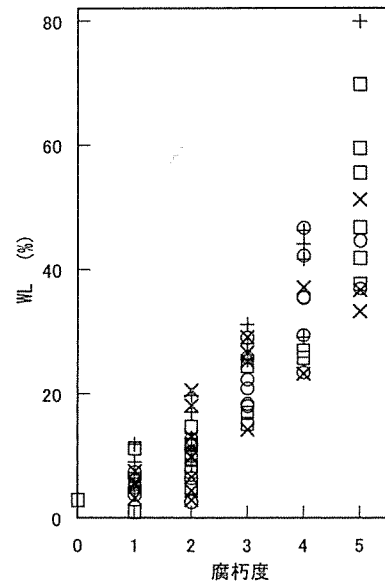


図8 腐葉土の割合が高い土壌における腐朽度とWLの関係

- ： 土壌槽③ (光照射、乾湿繰り返し)
  - ×： 土壌槽④ (光照射、一定)
  - ： 土壌槽⑥ (光非照射、乾湿繰り返し)
  - ＋： 土壌槽⑤ (光非照射、一定)
- 経過月数：27ヶ月

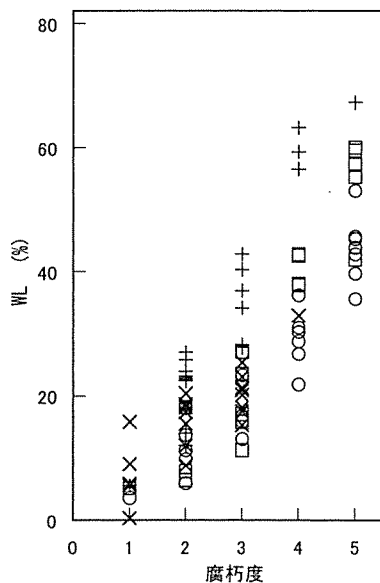


図7 御所土の割合が高い土壌における腐朽度と重量減少率(WL)の関係

- ： 土壌槽① (光照射、乾湿繰り返し)
  - ×： 土壌槽② (光照射、一定)
  - ： 土壌槽⑧ (光非照射、乾湿繰り返し)
  - ＋： 土壌槽⑦ (光非照射、一定)
- 経過月数：27ヶ月

割合が高い土壌よりも試験に適していることがわかった。これは、御所土の割合が高い土壌の方が水はけが良く、乾湿を繰り返すことによって、木材腐朽菌にとって好適な水分と酸素が供給されたためと推察される。

図7、図8に、各土壌における腐朽度とWLの関係を示す。

腐朽度に比例してWLが高くなる傾向が認められたが、光を照射せずに水分を一定に保った土壌槽⑦では、他の土壌槽に比べ、同じ腐朽度に対するWLが大きかった。これは、他の土壌槽に埋設した試験片では、主に埋設部分の先端付近で腐朽が生じたが、土壌槽⑦に埋設した試験片では先端から地際部付近まで広範囲に腐朽が進行したためである。このことは、土壌槽⑦では他の土壌槽に比べて特に土壌が乾燥しにくい状態にあり、試験片の含水率が地際部付近まで腐朽に適した状態にあったことに起因していると考えられる。今回使用した土壌では、シートで覆うことによって上記のように埋設部分の広い範囲で腐朽がみられたが、先端部における腐朽の進行は、土壌の乾湿を繰り返した方が速かった(図5)。試験片の腐朽する範囲の広さ、および、水分管理の容易さを優先して土壌槽をシートで覆う場合には、鹿沼土やバーミキュライトの割合を高くするなど、土壌の混合比を工夫して酸素の供給量を増加させることによって、腐朽が促進される可能性がある。また、いずれの試験片も腐朽によって白色化したことから、今回導入したファンガスセラでは、白色腐朽菌が優勢であったと考えられる。これは落葉樹林にて採取した腐葉土を使用したことに起因していると考えられる。

#### 4. おわりに

今回は、光照射の有無、土壌の構成および水分管理の方法を変化させ、最適環境条件を明らかにした。さらに環境条件を検討することにより、埋設した試験片の広範囲で腐朽を促進できる可能性があり、このことは今後の検討課題である。また一般に、自然の土壌は、初期の菌の活性は高いが1～2年で低下すると言われており、このことについても確認試験を行う必要がある。

#### 謝辞

ファンガスセラー導入にあたり、森林総合研究所研究管理官 山本 幸一 氏、東京農業大学 鈴木利克 助教授、株式会社サイエンス 長野行紘 氏、株式会社コシイプレザービング 前田恵史 氏には多くの貴重なアドバイスを頂きました。ここに深く感謝いたします。

#### 引用文献

- 1) 長野行紘：耐朽性評価方法としてのファンガスセラー法について. 木材保存. 26 (2) , 77-87 (2000)
- 2) 長野行紘：耐朽性評価方法としてのファンガスセラー法について. 第16回日本木材保存協会年次大会論文集. 19-27 (2000)
- 3) (社) 日本木材保存協会：環境適合木材製品製造システム技術の開発報告書. 東京, 2000-3, (社) 日本木材保存協会. 2000, 35-36.
- 4) 日本工業規格 (2004) JIS K1571, 木材保存剤の性能試験方法および性能基準
- 5) American wood-preservers' association standard (2000) E14-94, Standard method of evaluating wood preservatives in a soil bed

(2005年12月14日受理)