

トレハロースによる 効果的な保存処理方法

～作業の流れの確立～

令和2年2月14日
鳥取県埋蔵文化財センター
家塙英詞

1 はじめに 保存処理とは

(1)なぜ保存処理が必要なのか

出土木材は乾燥によって、著しく収縮する。



木材の収縮＝木材細胞の空洞(細胞内腔)の落ち込み

↑

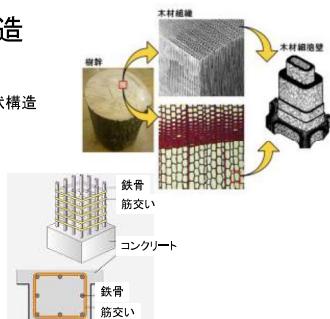
埋蔵中の劣化により、木材細胞壁が元の強度を失った

↑

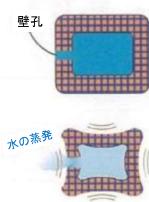
劣化させる犯人は…微生物(菌類・細菌類)

樹木細胞の基本構造

- ・多数の細胞からなる
- ・細胞壁は、幾重にも重なる層状構造
- ・細胞壁の主成分は
- セルロース(40~50%)
鉄骨に相当
- ヘミセルロース(15~37%)
筋交いに相当
- リグニン(18~35%)
コンクリートに相当



劣化した木材細胞が乾燥すると…



- ①細胞内腔から水が蒸発
↓
- ②壁孔での水の表面張力大
↓
- ③細胞内腔が減圧状態
↓
- ④細胞壁が減圧に耐えられない
↓
- ⑤細胞壁が変形

(2) 保存処理のしくみ

基本方針

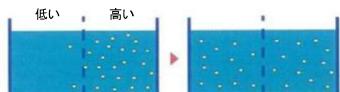
- ・遺物内部の水分を常温で固体の物質に置き換え、乾燥状態とする
ことで、形状の維持・安定化を図る。

ポイント

- ・水漬けの状態から乾燥した状態にする。
- ・縮んだり、曲がったり、割れたりしないようにする。
- ・文字や絵が消えないようにする。
- ・適当な強さをもたせる。
- ・元の状態に戻すことができる。(やり直しが可能)

薬剤置換法

遺物内部の水分を、別の薬剤に置き換える方法



濃度の高いものと低いものを一緒にすると、
高い濃度のほうから低い濃度のほうへと薬剤が移動し、
同じ濃度になろうとする。(例:漬物づくり)

PEG(ポリエチレン glycole)含浸法 ～PEGとは？～

- ・ 化学式 $\text{HO}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$
- ・ ハンドクリーム、化粧品、口紅、せっけんなどの材料
- ・ 水によく溶ける。
- ・ 約60°Cで加熱すると溶解するため、
100%付近まで濃度を上げることが可能。
- ・ 常温で固体となるため、
冷却により固化させることができる。
- ・ 人体に対する危険性が低い(安全である)。
- ・ 処理のやり直しが可能(可逆性)。



三洋化成製 PEG4000S

PEG含浸法の作業工程



埋蔵文化財センター秋里分室 PEG含浸施設

- ・ 水槽内に木製品を入れて、注水
↓
- ・ 60°Cに加熱し、濃度20%分のPEGを溶
解
↓
- ・ 約1か月間状態を保ちながら含浸
↓
- ・ ひと月に10%ずつPEG濃度を上昇
↓
- ・ 100%近くに達したら含浸終了
↓
- ・ 水槽から取り出して、表面を洗い、乾燥

処理にかかる期間は約1年間

2 トレハロース含浸処理法 (トレハロース法)

- ④) トレハロースとは?

 - ・自然界に存在する糖類の1種。キノコ類に多く含まれる。別名マツシュルーム糖。
 - ・トウモロコシなどのデンプンから人工的に作られる。
 - ・甘さは砂糖の38%。腸内でブドウ糖に分解され吸収。
 - ・一度に大量摂取すると、一時的におなかが緩くなる(個人差あり)。
 - ・血糖値の上昇・下降が緩やか。
 - ・菓子・食品・化粧品・入浴剤、園芸用農薬等に利用。

※文化財の保存処理には、(株)林原製の「トレハ」を使用する。



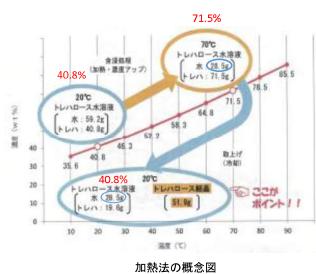
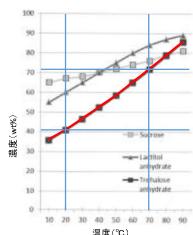
トレハ

トレハロースの特性

- ・安全(食品)
 - ・安価(PEGの約6割)
 - ・分子量が小さく、木材に含浸しやすい。
⇒ 处理期間の短縮化(PEG含浸法の3~4分の1)
 - ・2分子の水と結合して結晶化する。
 - ・結晶の安定性が高い(酸に強い=融点97°C)
 - ・結晶の吸湿性が低い(95%以下では吸湿しない)
 - ・虫がつかない
 - ・錆を抑制する ⇒ 金属製品にも応用可能

} 高温多湿な日本の環境に適合す。

溶解と結晶化



トレハロースの水に対する溶解度

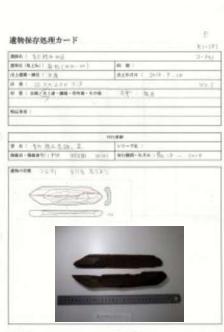
加熱法の概念図

(2)トレハロース法の作業工程



①状態の記録

- 寸法、重量をはかる。
- 写真をとる。
- 塗膜・墨書き等の有無、破損箇所など、処理上の注意点を記載する。
- 処理の過程、処理後の状態も記録する。



②鉄分除去・あく抜き・殺菌

- 出土木製品の黒ずみの原因である**鉄分**などを、**EDTA**(キレート剤)を使って取り除く。
- EDTA1%水溶液を作り、その中に木製品を浸ける。
- 60~70°Cで1週間加熱する。
- 1~2週間、水にさらす。

※高温加熱することで**あく抜き**の効果が高まり、**殺菌**もできる。



EDTA水溶液 加熱含浸1週間後

③トレハロース水溶液の作成

- 水にトレハを溶かし、水溶液を作る。
例: 20%水溶液1000gの場合
水800g:トレハ200g

常温(20°C)なら40%まで溶かすことができる。それ以上は加熱が必要。

- 加熱の目安:(濃度+10)°C**
例: 60%水溶液のとき...70°C



④トレハロースの含浸

- 容器の中にトレハロース水溶液と木製品を入れ、蓋をする。

40%までは常温(20°C)での含浸が可能。ただしカビが発生しやすいため、水溶液に防腐剤を添加する。



④トレハロースの含浸

・恒温器の温度は、(水溶液の濃度+10)℃を維持する。それ以上でも可。

・水溶液の濃度を引き上げるときは、恒温器の温度を先に上げてから庫内に収納する。

・蒸発がすすみ、水溶液の濃度が飽和濃度に達すると、結晶化が始まるため、注意が必要。



⑤重量の計測

・木製品の表面に付着する余分な溶液を吸い取る。

・はかりで計測する。

・数値を記録する。

・重量の増加が収まつたころが、含浸の終了時期。

・薄いもの、状態の悪いものほど含浸が早い。

・容器の中で一番大型のもの、厚みのあるものなど、含浸に時間がかかるようなものを選択して計測する。



⑥濃度(糖度)の計測

・溶液をしっかりと混ぜる。

・糖度計の先端のガラス面に溶液を塗り、蓋を閉じる。

・接眼部からのぞき、青と白の境界の目盛りを読む。

・数値を記録する。

・木製品の水分が外に出ることで濃度が下がるが、蒸発すると濃度は上がる。

「トレハロースは結晶体であり、水を含むため、糖度はトレハロースの濃度(重量比)よりも低い値が出る。例えばトレハロース70% (重量比)の水溶液を作ると、糖度計では66%を示す。」



⑦トレハロース水溶液の濃度引き上げ (以降、③～⑦を繰り返す)

- 20%→40%→60%→72%の順に濃度を上げる。

- 遺物の状態に応じて必要濃度を決定する。
状態が悪いもの…高濃度
状態が良いもの…低濃度



既存のトレハロース水溶液の濃度を変える場合 **低濃度→高濃度**

x=元の水溶液量(g) z=加えるトレハの量(g)
a=元の水溶液濃度(%) b=目標の濃度(%)

$$z = \frac{x(b-a)}{100-b}$$

既存のトレハロース水溶液の濃度を変える場合 **高濃度→低濃度**

x=元の水溶液量(g) y=加える水の量(g)
a=元の水溶液濃度(%) b=目標の濃度(%)

$$y = \frac{x(a-b)}{b}$$

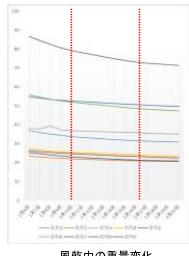
⑧乾燥

- 必要濃度含浸終了後、溶液から引き上げる。
- 扇風機等で風を当てて冷却し、結晶化と乾燥を促進させる。(風乾)
- 天地返しを行う。
1日目…30分ごと
2日目…1時間ごと
3日目以降…朝夕2回程度
天地返しは、内部まで均等に結晶化させるために必要。



⑧乾燥

- 重量を記録する。
- 重量の減少が収まったころ、風を止め、自然乾燥を行う。
- 風乾を必要以上に続けると、急激な乾燥に伴う収縮を引き起こす恐れがある。
- 風乾停止後も天地返しは継続する。



風乾中の重量変化

⑨表面処理

- 表面を覆うトレハロース結晶を、スチームクリーナーの蒸気を当てて溶解させ、ふき取る。
- 処理ムラが出ないように、広い範囲をまんべんなく処理し、風乾せさせることを繰り返す。



3 トライアンドエラー

(1) 含浸濃度を引き上げるタイミングの見極め

- 原理としては、
・木製品内の水分が外に流出する。
↓
・トレハロース水溶液の濃度が下がる。
↓
・濃度変化が止まる=含浸が終了する。

で、あるなら、水溶液の濃度を記録すればよい!

- ところが…
・PEGタンク内では蒸気が流入して濃度が低下する。
・恒温器内では蒸発して濃度が上昇する。
↓
どうすればよい?
↓
・木製品の重量を記録し、増加が止まるタイミングを見極める。
物自身の状態を観察することが重要！

(2) 含浸中の溶液濃度維持

- ・含浸は、トレハロース溶液と木製品をタッパー・ウェア容器に入れ、PEGタンク内の蒸気中、あるいは恒温器の中で、最高80°Cに加熱する。
・タッパー・ウェアの蓋の耐熱温度は60°Cのため、温度の上昇につれて蓋が変形し、蒸気の流入、あるいは蒸発によって溶液の濃度が変化する。
それを防ぐにはどうすればよいのか？

- ・容器をラップでくるむ
・蓋の隙間をテープで目張りする
・ジップロックで容器を封入
・液面をラップ等で覆う
・ステンレス容器の使用+上記併用

} 結論：熱による変形は食い止められない
放置せず、常に様子を確認して対処する。

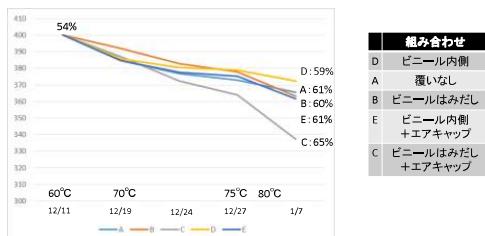
トレハロース水溶液の蒸発実験 ～蒸発しにくい組み合わせはどれか～

サンダ精工製 本体ポリプロピレン耐140°C 盖ポリエチレン耐60°C

	ビニールはみだし	ビニール内側	エアキャップ
A	x	x	x
B	○	x	x
C	○	x	○
D	x	○	x
E	x	○	○



トレハロース水溶液の蒸発実験 ～蒸発しにくい組み合わせはどれか～



(3) 含浸終了のタイミングの見極め

- トrehalose法の最高含浸濃度は72%だが、状態の良いものは低濃度で終了できる。
- 試みとして、50%で含浸終了したものを、70%の高濃度溶液に短時間浸けこむディッピングを行い、風乾させた。
- 乾燥1週間を過ぎたあたりで、収縮変形を起こすものが発生。
- 表面処理中に破損。
- 慣れないときは高濃度まで含浸したほうが安全。
…ただし、漆器椀や編物等の例外あり。
(熱に弱いもの、表面処理が困難なもの)



(4) 作業の効率化(容器の集約)

容器1つに木製品1点 → 容器1つに木製品複数点

- ・個体ごとの管理が容易。
ただし、
- ・木製品に対する容器の堆積が増加。
- ・使用するトレハロースの量が増加。
- ・恒温器内で処理する点数が低下。
- ・溶液の入れ替え作業の手間が増加

・大きさ・状態がそろい、外形で識別が可能な個体をまとめて、1つの容器に入れて処理する。

・破片の多いもの、破損の恐れがあるものは個別に処理する。

その結果、

処理点数が約3倍に増加。

4 おわりに 成果と課題

(1) 成果

小型で薄いものを中心に処理を行い、経験を重ねながら、基本的な作業の流れを確立した。

(2) 課題

① 大型品の処理
容器などの立体的かつ、厚みのある木製品

② 漆器の処理
漆器塗膜は高温ではがれやすいので、処理が困難
