

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
家塚英詞

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

↑

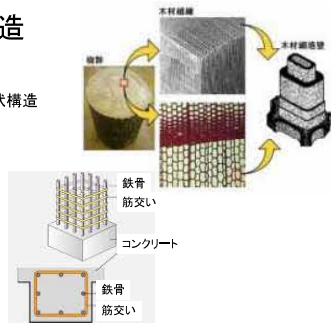
埋蔵中の劣化により、木材細胞壁が元の強度を失った

↑

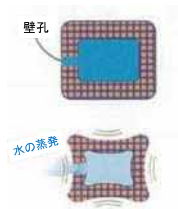
劣化させる犯人は・・・微生物(菌類・細菌類)

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

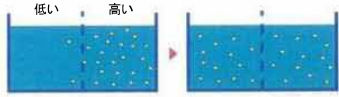
- 遺物内部の水分を常温で固体の物質に置き換え、乾燥状態とすることで、形状の維持・安定化を図る。

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 (ポリエチレングリコール) 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)

(1) 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。
別名マッシュルーム糖。
- 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。

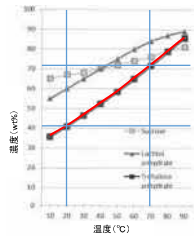


トレハ

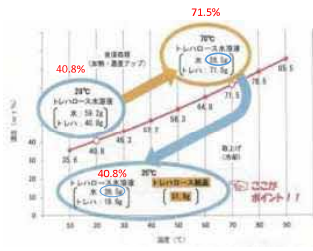
トレハロースの特性

- 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。
⇒ 処理期間の短縮化(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る。

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・墨書等の有無、破損個所など、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。
- EDTA 1%水溶液を作り、その中に木製品を浸ける。
- 60～70℃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℃)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)℃
例: 60%水溶液のとき・・・70℃



EDTA水溶液 加熱含浸1週間後

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℃)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)°C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。
- 重量の増加が収まったところが、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、含浸に時間がかかりそ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」は結晶体であり、水を含むため、糖度は「トレハ」の濃度(重量比)よりも低い値が出る。例えばトレハで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(%)

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

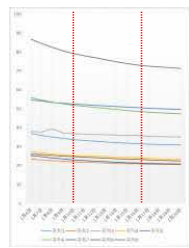
⑧乾燥

- 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

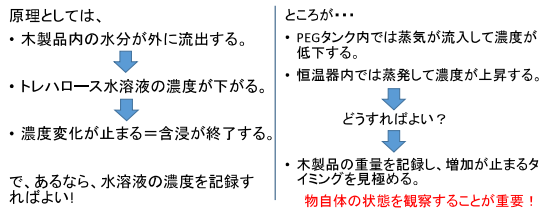
⑨表面処理

- 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



(2) 含浸中の溶液濃度維持

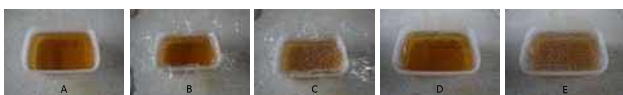
- 含浸は、トレハロース溶液と木製品をタッパーウェア容器に入れ、PEGタンク内の蒸気中、あるいは恒温器の中で、最高80℃に加熱する。
 - タッパーウェアの蓋の耐熱温度は60℃のため、温度の上昇につれて蓋が変形し、蒸気の流入、あるいは蒸発によって溶液の濃度が変化する。
- それを防ぐにはどうすればよいのか?

- 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。

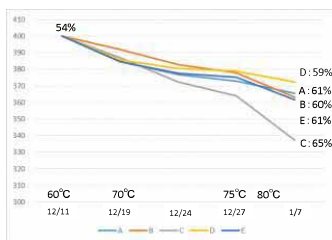
トレハロース水溶液の蒸発実験 ～蒸発しにくい組み合わせはどれか～

サナダ精工製 本体ポリプロピレン耐140°C 蓋ポリエチレン耐60°C

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



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～



組み合わせ
D: ビニール内側
A: 覆いなし
B: ビニールはみだし
E: ビニール内側 + エアキャップ
C: ビニールはみだし + エアキャップ

(3) 含浸終了のタイミングの見極め

- トレハロース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漬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、収縮変形を起こすのが発生。
- 表面処理中に破損。
- 慣れないうち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