

令和 3 年 8 月 18 日現在

機関番号：84413

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H00759

研究課題名(和文)元寇沈船保存処理の研究 - トレハロース含浸処理の実施と錆化抑制効果の究明

研究課題名(英文) Research on the Conservation of Mongol Invasion Ships-Implementation of Trehalose Impregnation of its Rust Inhibiting Effects

研究代表者

伊藤 幸司 (Kouji, Ito)

一般財団法人大阪市文化財協会・学芸部門・室長

研究者番号：50344354

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：海底遺跡で発見された大型木製文化財、特に沈船の保存処理を念頭に置き、次の2つを目的として研究を進めた。太陽熱集熱加熱循環装置を製作し、海底遺跡出土大型木製品の保存処理を実施する。トレハロースによる海底遺跡出土木製品の鉄部錆化抑制のメカニズムを解明する。具体的には、太陽熱集熱加熱循環装置を設計、製作、使用して実用に耐えることを確認した。鉄部錆化抑制の研究については、鉄の錆化の必要要件である電気的な挙動をトレハロースが阻害していることに着目し、実証的・科学的研究によって明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我が国においては海底遺跡出土大型木製品の保存処理は継続的に実施されておらず、現在は止まった状況にある。今回の太陽熱集熱加熱循環装置とトレハロースによる鉄部錆化抑制メカニズムに関する研究で得られた成果や様々なデータの蓄積によって、元寇沈船の引き上げと保存処理に着手できる段階に到達したと言える。

研究成果の概要(英文)：With the conservation treatment of large wooden objects found at the undersea ruins, especially the wreck, in mind, we proceeded with the research for the following two purposes. (1) Manufacture a solar thermal collectors and heating circulation device, and carry out conservation processing of large wooden objects excavated from undersea ruins. (2) Investigate the mechanism of suppressing rusting of iron parts of wood objects excavated from undersea ruins by trehalose.

Specifically, it was confirmed that a solar thermal collectors and heating circulation device was manufactured and used and could withstand practical use. Regarding research on iron rust suppression, empirical and scientific research revealed that trehalose inhibits the electrical behavior that is a necessary requirement for iron rusting.

研究分野：文化財科学

キーワード：トレハロース 含浸処理 元寇沈没船 錆化抑制 太陽熱集熱

1. 研究開始当初の背景

研究代表者らは発掘調査によって出土した木製文化財（以下、「木製品」）の保存処理方法としてラクチトールを主剤とする「糖アルコール含浸処理法」を確立し、更にこれを発展的に転換した「トレハロース含浸処理法」（以下、「トレハロース法」）の開発・実用化など、糖類を用いる保存処理方法の研究を四半世紀に渡って進めてきた。中でも、「トレハロース含浸処理法の開発と実用化 - より環境に優しく経済的な方法へ - 」（基盤研究（C）平成24年度～平成26年度、研究代表者 伊藤幸司）、「トレハロース法による海底遺跡出土文化財の保存処理研究 - 自然エネルギー利用に向けて - 」（基盤研究（B）平成27年度～平成29年度、研究代表者 伊藤幸司）そして今回の「元寇沈船保存処理の研究 - トレハロース含浸処理の実施と錆化抑止効果の究明 - 」と継続して科学研究費助成を受けられたことにより研究を大きく前進、進展することができた。

これら一連の研究には大きな目標がある。それは「多様な条件の文化財に対する一元的な保存処理方法の開発」である。

前述の3つの助成研究もこのためのもので、大型木製品から海底遺跡出土木製品、更に海底遺跡出土木鉄複合材製品へ、そして現在は鉄製品全般の保存処理に向けた研究に主眼を置いている。内容として、トレハロースの性状や文化財保存への適性研究はもちろんであるが、沈船など大型木製品へ実施するための装置の開発や、長期に渡る含浸処理工程で常時使用する電力などのランニングコストの削減など、具体的な保存処理を想定した研究を進め、必要な機器などの開発、実用化に注力してきた。

2. 研究の目的

当該研究は、海底遺跡で発見される大型木製文化財、特に沈船の保存処理を念頭に置いている。具体的には、長崎県松浦市鷹島沖の海底で保存されている元寇沈船の引き上げ・保存処理を実現するために必要な保存科学的研究を行なうもので、次の2つを目的として研究を進めてきた。

太陽熱集熱加熱循環装置を製作し、海底遺跡出土大型木製品の保存処理を実施する。
トレハロースによる海底遺跡出土木製品の鉄部錆化抑止のメカニズムを解明する。

は松浦市埋蔵文化財センターで保管している海底遺跡出土大型木製品を保存処理し、関わる技術・設備・データの蓄積を行なった。保存処理には太陽熱集熱加熱循環装置を製作・使用し、既設のPEG含浸処理槽に組み込むことによって、電気エネルギーへの依存を50%以下に抑えることを目標とした。

はPEG含浸処理法など他の方法では処理後の劣化を抑止することができない海底遺跡出土木製品に対して、トラブルが生じていない唯一の保存処理法であるトレハロース含浸処理法の有効性を明らかにすることを目的とした。この劣化現象については、船体などに残存している鉄製部材が大きく関与していることから、トレハロースが持つ腐食抑制効果を究明した。

3. 研究の方法

太陽熱集熱加熱循環装置を製作、海底遺跡出土大型木製品の保存処理を実施する。

太陽熱集熱装置は既に実験機として製作、稼働しており、有効性は確認済みである。当研究で使用した装置は松浦市立鷹島埋蔵文化財センターの4mの含浸処理槽に適合させるための熱量計算を行ない、初年度に設計を進め、次年度に製作・設置、最終年度に試験稼働後、保存処理を開始した。

トレハロースによる海底遺跡出土の木鉄複合材製品の鉄部腐食抑止のメカニズムを解明する。

これまでは実資料に生じた劣化程度の差異からそのメカニズムを解明してきたが、当研究ではトレハロースという素材が持つ劣化抑止の効果を究明した。よって、錆の状態に合わせた粉体圧縮試料を各種作成し、また現代の鉄釘を用いた腐食進行の比較を長期に渡って行ない、含浸主剤の違いによる差異を現象面で再現、更にその分析からトレハロースが持つ鉄の錆化を抑止するメカニズムに迫った。

4．研究成果

4-1．太陽熱集熱加熱循環装置

4-1-1 製作の目的

木製品の保存処理において、最も経費・時間を要するのが含浸処理工程である。特に大型木製品の場合、対象に合わせたサイズの装置を製作し、数年間をかけて含浸処理を行なうのが常である。その費用は高額であるため、保存処理の実施がためられることが少なくない。

研究代表者は、再生可能エネルギーを有効に利用して諸経費を少しでも削減するために、太陽熱を熱源に用いた含浸処理装置の設計・実用化を図ってきた。これまでに太陽熱集熱含浸処理装置（試験機。以下、「1号機」。松浦市立埋蔵文化財センター設置）、大型木製品用太陽熱集熱含浸処理装置（以下、「3号機」。同センター設置）を設計・製作し、実用化した。当該研究では、既存の2機とは異なる熱交換方式を取り入れた太陽熱集熱加熱循環装置（以下、「2号機」）を製作した。

2号機は次の2つの問題を解決すべく設計した。

含浸処理溶液の攪拌

管見によれば、PEG含浸処理槽の攪拌機能には効果が十分ではないものが見受けられる。保存処理対象木製品などを処理槽内に漬けると尚更である。特に底部から垂直に吸い上げて上部に吐き出す方式のものには全く効果が無いものがある。

他方、1号機・3号機は槽の水深を50cm以下で使用することを前提としている。この程度の水深ならば自然対流によって含浸槽内の熱分布が均質になり、濃度ムラが抑えられることが判っている。よって1号機・3号機は機械的な攪拌は行なわず、必要な場合に杓などを用いて攪拌している。しかし、広範な条件の遺物をより適正に含浸処理するためには溶液の攪拌が求められる。

既存の含浸処理槽や水槽の有効利用

多くの組織に普及しているPEG含浸処理装置をトレハロースの含浸に転用する場合、求められる80℃程度まで液温が達しない場合がある。また、含浸処理装置の導入が叶わず、水槽に漬けられたままの木製品も各地で見受けられる。この2つの問題を解決するために、含浸処理溶液を吸い込んで加熱し、昇温した溶液を含浸槽に循環することで攪拌する装置を設計した。

4-1-2 装置の概要

図は2号機の概要である。

太陽熱を利用する含浸処理装置の場合、太陽熱の集熱装置(パネル)と、得られた熱を蓄えるための蓄熱装置(タンク)で構成されており、熱媒として水を用いて間接的に熱を伝えていく。1号機・3号機は更に放熱装置(放熱管)を備えており、この放熱管を含浸槽に沈めて含浸処理溶液を加熱、保温する。しかし、2号機の場合は放熱装置を持たず、含浸槽中に設置したパイプから含浸処理溶液を吸い込んで蓄熱槽中の熱交換コイルを循環させて加熱する。そして加熱した含浸処理溶液をパイプから含浸槽中に吐出する。つまり1号機・3号機は3回の熱交換によって含浸処理溶液を加熱するが、2号機は2回の熱交換で加熱する。更に含浸処理溶液を吸い込み、吐出することで含浸処理槽中の溶液を攪拌するのである。

4-2 問題点と稼動試験

4-2-1 問題点

含浸処理溶液を吸い込む方式である2号機の場合、次の2つの問題を解消する必要があった。

木片やゴミを吸い込むと循環ポンプの故障やパイプの詰まりを生じる恐れがある。これを防ぐためにステンレス製の金網などを吸込み口に取り付けると、その金網が目詰まりするために溶液の循環が妨げられる。

含浸処理溶液としてトレハロース水溶液を用いる場合、高濃度時に外気温が低下するとパイプ内で結晶が析出し、循環に障害をきたす恐れがある。

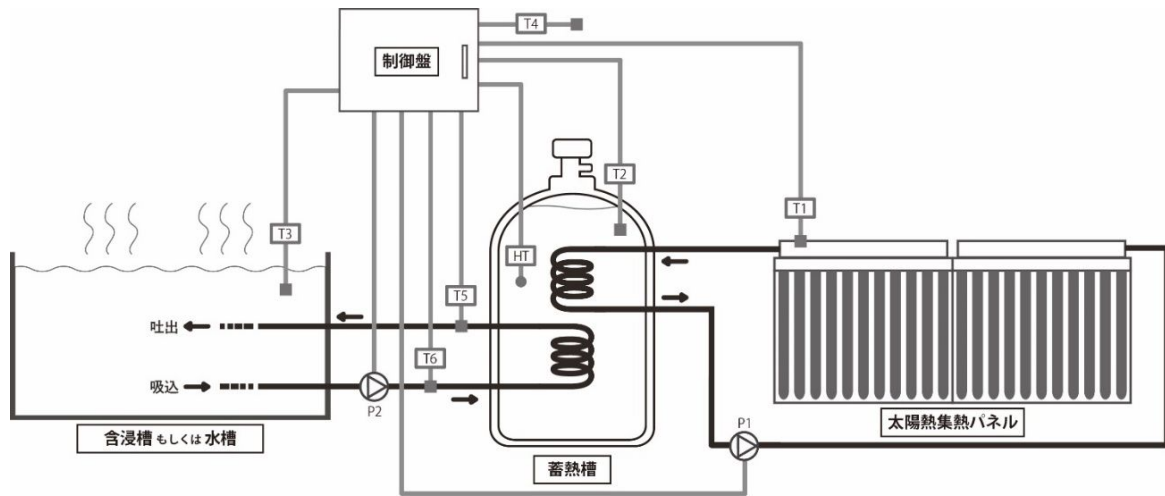
4-2-2 稼動試験

1号機・3号機同様、2号機も松浦市立埋蔵文化財センターに設置した。同センターではPEG含浸処理装置を2基設置、使用してきた。そのうちの1基(B槽)に2号機を組み込んで稼動試験を行なった。

想定していた問題の については、B槽の水槽部分を横断する形で大型の仕切り板(ステンレス製メッシュ)を取り付けることで木片の吸い込みと目詰まりを防ぐことができた。

問題の については、含浸槽への吐出温度、含浸槽からの吸込温度を管理し、循環ポンプ(P2)を常時動作させることで対処した。

機器設置後およそ7ヶ月間稼動試験を行ない、2020年11月から鷹島海底遺跡出土木製品の含浸処理を開始し、実用に耐えることを確認した。



太陽熱集熱加熱循環装置（2号機） 概要図

関連するプロジェクトとして「蒙古襲来沈没船の保存・活用に関する学際研究」（課題番号 18H05220、基盤研究（S）平成30年度～令和2年度、研究代表者池田榮史）が当研究と併行して進められていた。伊藤は研究協力者として参加しており、3号機はこのプロジェクトとして設計・製作した。この装置を用いて令和元年8月末に元寇沈船の隔壁板などの含浸処理を開始し、令和3年3月に完了、含浸槽からの取り上げを行なった。このような研究の連携により、実質的な成果として大きな実を結んだのである。

4-3 鉄部腐食抑止メカニズムの解明

鉄部腐食抑止の研究については、鉄の錆化の必要要件である電気的な挙動をトレハロースが阻害していることを実証的・科学研究によって明らかにした。中でも「含浸薬剤の電気伝導率の比較」「エバンスの液滴実験の手法による劣化進行比較」「PEG・トレハロース中での鉄釘劣化試験」等は、これまでの研究で行なわれていなかった斬新な基礎実験であり、非常に明瞭な結果が得られた。

研究代表者らのグループは、3年ごとに開催される ICOM-CC WOAMにおいて、先行するラクチール含浸処理法の研究以降継続して発表してきた。2019年のWOAM（於：ポーツマス）では、一連の基礎実験による含浸素材の比較、トレハロースの有効性を提示し、各国の研究者から非常に大きな反響を得ることが出来た。

トレハロースが持っている鉄の錆化抑制効果は、海底遺跡出土木鉄複合材遺物に対して顕著な結果を残しているが、海底遺跡出土鉄製品、更には内陸部出土の鉄製品にも同様の効果が得られる可能性が非常に高い。現在、出土鉄製品の保存処理には「減圧樹脂含浸処理」が不可欠である。これには減圧装置と、合成樹脂、有機溶剤を使用するために相応の施設と設備が必要である。トレハロースを用いる鉄製品の保存処理方法が確立出来れば、環境にも人にも優しく、場所を選ばず保存処理を行なえるようになり、より多くの文化財を救うことに繋がる。

文化財保存分野でトレハロースが持っている有効性、可能性は計り知れない。より多くの研究者が興味を持ち、多視点からの研究が継続されることを期待する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 伊藤幸司・藤田浩明・北村良輔・安木由美・今津節生・池田榮史
2. 発表標題 出土木製品保存処理の省コスト・省エネルギー化に向けた研究(その6) - 大型製品用太陽熱集熱含浸処理装置の開発と実施 -
3. 学会等名 日本文化財科学会第37回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤幸司・三宅章子・小林啓
2. 発表標題 トレハロース含浸処理法における含浸と結晶化のイメージ(その3) - 資料中で固化したトレハロースの状態の観察 -
3. 学会等名 日本文化財科学会第37回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林啓・伊藤幸司
2. 発表標題 トレハロースの非晶質化を用いた木簡削り屑の保存処理
3. 学会等名 日本文化財科学会第37回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Koji Ito, Hiroaki Fujita, Setsuo Imazu, Andras Morgos
2. 発表標題 The Conservation Treatment of Wood-Iron Composite Objects Excavated from Undersea Using the Trehalose Method-Study on stabilization of iron after conservation treatment-
3. 学会等名 Proceeding of 14th ICOM-CC WOAM (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koji Ito, Toshiya Mastui, Akiko Miyake, Setsuo Imazu
2. 発表標題 Utilization of Amorphization: Trehalose Conservation of Vulnerable Objects
3. 学会等名 Proceeding of 14th ICOM-CC WOAM (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤幸司、藤田浩明、三宅章子、今津節生
2. 発表標題 トレハロース含浸処理法の展開(その2)-ガラス状態の安定性について-
3. 学会等名 日本文化財科学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤幸司、松井敏也、三宅章子、今津節生
2. 発表標題 トレハロース含浸処理法の展開(その3)-鉄製遺物保存に向けた試行-
3. 学会等名 日本文化財科学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤幸司・國武博文
2. 発表標題 トレハロース含浸処理の有効性
3. 学会等名 東アジア文化遺産保存国際シンポジウム(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤幸司・藤田浩明・小林啓
2. 発表標題 トレハロースのアモルファスガラスを用いた保存処理方法- 布・編み籠・縄・削り屑-
3. 学会等名 東アジア文化遺産保存国際シンポジウム（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤幸司・藤田浩明・三宅章子・小林啓
2. 発表標題 出土木製品保存処理の省コスト・省エネルギー化に向けた研究（その5） 太陽熱集熱含浸処理装置と含浸処理液再生装置の効果
3. 学会等名 日本文化財科学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田浩明・伊藤幸司・メンドバザル・オユントルガ
2. 発表標題 モンゴルで出土する有機遺物の保存に向けた研究（その1） トレハロース含浸処理法適応のための試み
3. 学会等名 日本文化財科学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤幸司・藤田浩明・片多雅樹・小林啓・稗田優生・メンドバザル・オユントルガ・今津節生
2. 発表標題 モンゴルで出土する有機遺物の保存に向けた研究（その2） 出土直後の保全方法とトレハロース含浸処理法の実施
3. 学会等名 日本文化財科学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤幸司
2. 発表標題 トレハロース含浸処理法の知識と実技 基礎と応用、これからの展開
3. 学会等名 楚・漢王朝の漆の保存と研究に関するシンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 伊藤幸司	4. 発行年 2020年
2. 出版社 三恵社	5. 総ページ数 125
3. 書名 トレハロースを用いた文化財保存の研究と実践	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	三宅 章子 (MIYAKE Akiko)	株式会社林原・研究員	
研究協力者	安木 由美 (YASUKI Yumi)	松浦市教育委員会・文化財課・主事	
連携研究者	今津 節生 (IMAZU Setsuo) (50250379)	奈良大学・文学部文化財学科・教授 (34603)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	藤田 浩明 (FUJITA Hiroaki) (50344403)	一般財団法人大阪市文化財協会・調査課・学芸員 (84413)	
連携研究者	高妻 洋成 (KOHZUMA Yosei) (80234699)	独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・研究所・副所長 (84604)	
連携研究者	松井 敏也 (MATSUI Toshiya) (60306074)	筑波大学・芸術系・教授 (12102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関