

津波による水損文化財の緊急避難措置としての低酸素濃度処理法の評価

—糸状菌の活動抑制に対する効果的運用について—

杉山智昭

Key Words

津波 (Tsunami)、水損文化財 (Water-soaked cultural properties)、低酸素濃度処理 (Anoxia treatment)、糸状菌 (Filamentous fungi)、微生物劣化 (Microbial degradation)

1 はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災は津波による多数の水損資料を生み出した。震災発生後、時間の経過とともに、これらの水損資料については、糸状菌による劣化がレスキューの現場において確認されるようになり (図1)、その被害を最小限にとどめるための適切な措置の実施が喫緊の課題となった⁽¹⁾。特に脆弱な紙や繊維などの資料については速やかに凍結保存や凍結乾燥を行うことで糸状菌による劣化の進行を抑止することができるが、記録作業、被災現場からの安全な輸送、エネルギー供給、利用可能な設備 (冷凍庫、凍結乾燥機) の状況などによって、全ての資料を短期間に処理することは困難である。そのため、文化財レスキュー活動においては、安定化処理⁽¹⁾に至る前段階の緊急避難措置として、糸状菌の発生した (疑いのある)、ただちに凍結保存・凍結乾燥できない資料についてガスバリアフィルムを使用した低酸素濃度処理法を実施するケースがある。しかしながら糸状菌の活動に対する低酸素濃度処理法の現場での有効性 (即効性の有無や作業性など) について客観的・実証的データの蓄積は未だ十分ではない。

そこで本研究では被災文化財の緊急避難措置としての低酸素濃度処理について糸状菌の標準株、および被災資料からの分離株を用いた試験を行い、その効果について評価するとともに、プラスチック製の汎用コンテナを使用する、より作業性に優れた低酸素濃度処理法に関しても検討を行った。



図1 糸状菌による劣化が発生した水損資料の例 (2011年)

2 材料と方法

(1) 糸状菌の活動抑制に関する低酸素濃度処理法の評価

日本工業規格JIS Z2911:2010かび抵抗性試験に規定される *Aspergillus niger* (NBRC 105649)、*Chaetomium globosum* (NBRC 6347)、*Cladosporium cladosporioides* (NBRC 6348)、*Penicillium citrinum* (NBRC 6352)、*Rhizopus oryze* (NBRC 31005) の標準株5種、および水損資料から分離した *Penicillium* sp.の1株 (図2) を試験に用いた。

表1 供試菌株

種 名	菌 株
<i>Aspergillus niger</i>	NBRC 105649
<i>Chaetomium globosum</i>	NBRC 6347
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	NBRC 6348
<i>Penicillium citrinum</i>	NBRC 6352
<i>Rhizopus oryze</i>	NBRC 31005
<i>Penicillium</i> sp.	Hmh A2

NBRC : (独) 製品評価技術基盤機構バイオテクノロジーセンター
Hmh : 水損資料分離株



図2 水損資料 (行李) からの糸状菌採取 (Hmh A2)

各供試菌をφ90mmのプラスチックシャーレに調製したPDA寒天平板培地に接種した後、シャーレ側面をシールせずにガスバリアフィルム (エスカル: 三菱ガス化学

株式会社) 内に入れた。さらにフィルム内の空気容積に基づく規定量の脱酸素剤(水分中立型 RP剤Kタイプ: 三菱ガス化学株式会社)と酸素インジケーター(三菱ガス化学株式会社)を同封し、ヒートシーラーを用いてフィルム開口部を溶着した。封入したシャーレを23°Cの環境下で培養し、菌糸の伸長を24時間ごと経時的に測定した。また、本研究では、ガスバリアフィルムを用いた低酸素濃度処理においてフィルムシールの失敗、作業・運搬・保管中の微細なフィルム破損事故を想定し、人為的にピンホールを生成させた条件について検討を行った。ピンホールについては、金属ピンを用いてフィルムの1箇所にてφ0.4mmの穿孔を行った(図3)。穿孔時期は、培養開始直後(シールの失敗、封入作業中のフィルム初期破損事故を想定)および、培養開始7日後(運搬・保管中のフィルム中途破損事故を想定)の2条件について実施した。

(2) プラスチック製汎用コンテナを使用した低酸素濃度処理法の評価

Rhizopus oryze (NBRC31005) および *Aspergillus niger* (NBRC105649) を試験に用いた。4mm厚のポリプロピレン製のコンテナ(内寸: 38×60×14.5cm)の枠上部にシリコンシーラント(8051N、F☆☆☆☆: セメダイン株式会社)を塗布し、ポリプロピレン製の蓋を密着させたものを封入容器とした(図4)。容器内には2(1)と同様に寒天平板培地上に接種した供試菌と規定量の脱酸素剤、酸素インジケーターを入れ、23°Cの環境下で培養を実施した。7日および30日が経過した容器をそれぞれ開封し、菌糸の伸長を測定した。



図3 ガスバリアフィルムを使用した低酸素濃度処理とフィルムへのピンホール穿孔

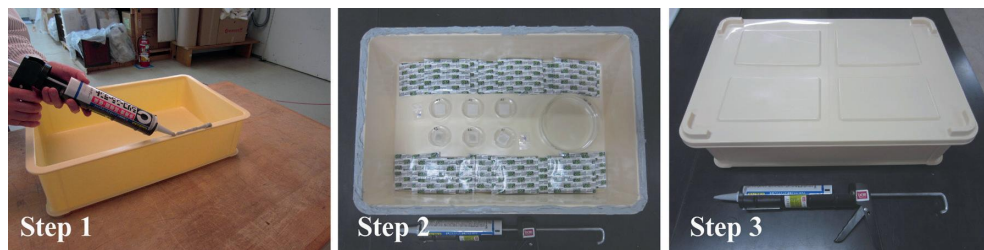


図4 プラスチック製汎用コンテナを使用した低酸素濃度処理法

左: シリコンシーラントの塗布 中央: 供試菌, 脱酸素剤, インジケーターの設置 右: 封入状態

3 結果および考察

低酸素濃度処理を行った供試菌の菌糸伸長を経時的に観察した結果、培養開始時より、*Rhizopus oryze*を除く全ての供試菌株(水損資料分離株を含む)において菌糸伸長の完全阻害が認められた(図5・6)。

低酸素雰囲気における糸状菌の生育については、酸素濃度の低下にともない胞子の発芽、菌糸伸長が抑制されることが知られている。既報⁽²⁾によると生育が速い *Rhizopus*属、*Mucor*属の糸状菌については酸素濃度0.1%の条件下において、遅延傾向は認められるものの、継続した菌糸伸長を示すことが報告されている。

本研究においても *R. oryze*の初期菌糸伸長を完全に抑制することはできなかったが、培養開始後72時間以降には本種の菌糸伸長が完全に停止することが明らかとなった(図5、図6)。この結果は、低酸素濃度処理法が72時間以内に菌糸伸長速度の速い糸状菌種の活動を抑止可能(酸素濃度0.1%以下の環境を創出可能)であることを示すものである。それに対して、ガスバリアフィルムに脱酸素剤を入れずに封入・培養を行った無処理のコントロール条件については、培養後72時間の時点ですべての菌株に菌糸の伸長が観察された(図5)。

さらに培養開始後30日においては、無処理コントロール条件で全供試菌にシャーレ全面におよぶ菌糸伸長が観察され、測定限界に達した(図6)。

一方、低酸素濃度処理条件においては、培養開始後72時間の状態からの変化は認められず、供試菌の5種(水損資料分離株を含む)については菌糸伸長の完全阻害が維持され、*R. oryze*についても、さらなる菌糸伸長の兆候は認められなかった(図6)。

低酸素濃度処理を行い、培養開始直後にフィルムにピンホールを開けた条件においては、72時間後の観察で無処理のコントロール条件と同等の菌糸伸長が確認され、脱酸素剤の存在による初期菌糸伸長の遅延・抑制効果は認められなかった(図7)。また、培養開始7日後にピンホールを開けた条件においては、*A. niger*および *P. citrinum*の2種において菌糸伸長の立ち上がりに遅延傾向が認められたが、その後、すみやかに菌糸伸長を再開することが明らかとなった。

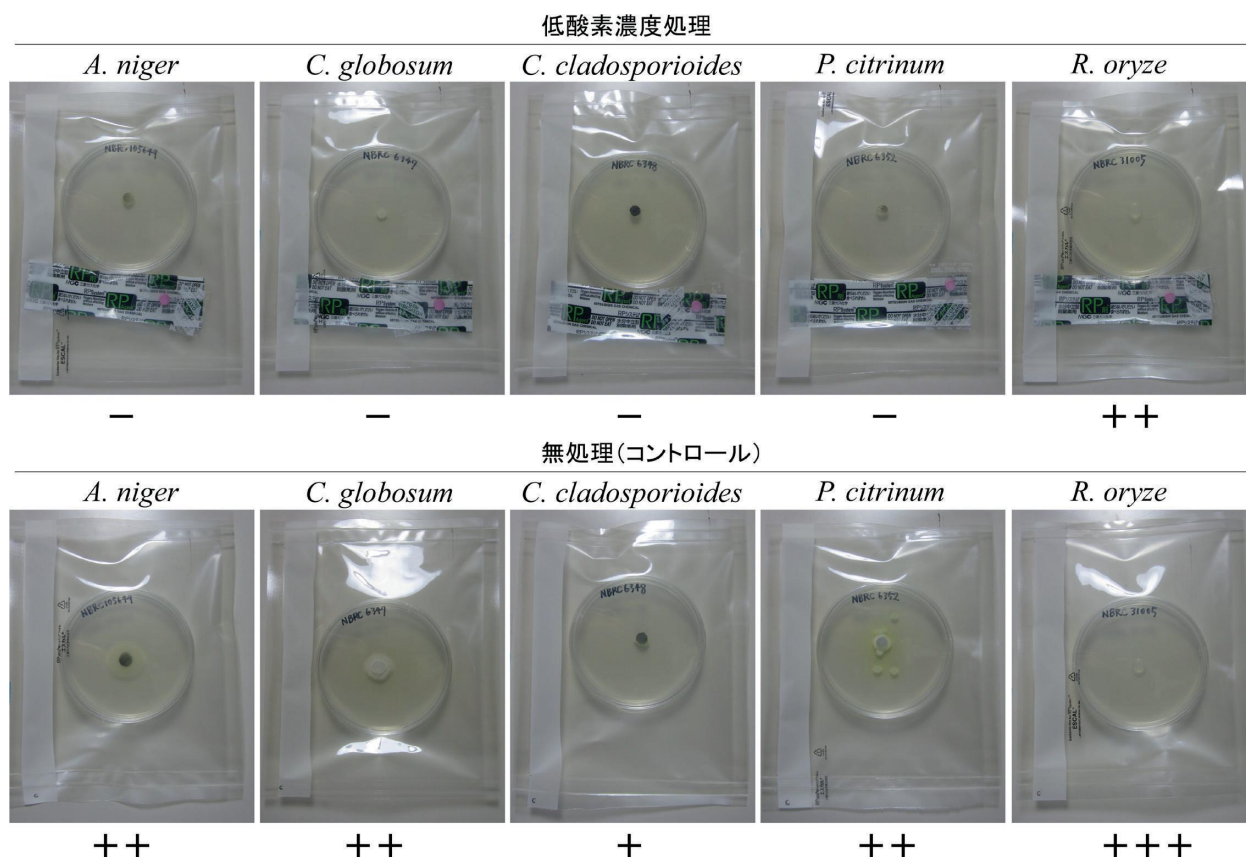


図5 ガスバリアフィルムを使用した低酸素濃度処理が菌糸伸長へ及ぼす影響（培養72時間後）
凡例）—：菌糸伸長なし（0mm） +：菌糸伸長（＜10mm） ++：菌糸伸長（10～30mm） +++：菌糸伸長（31～45mm）

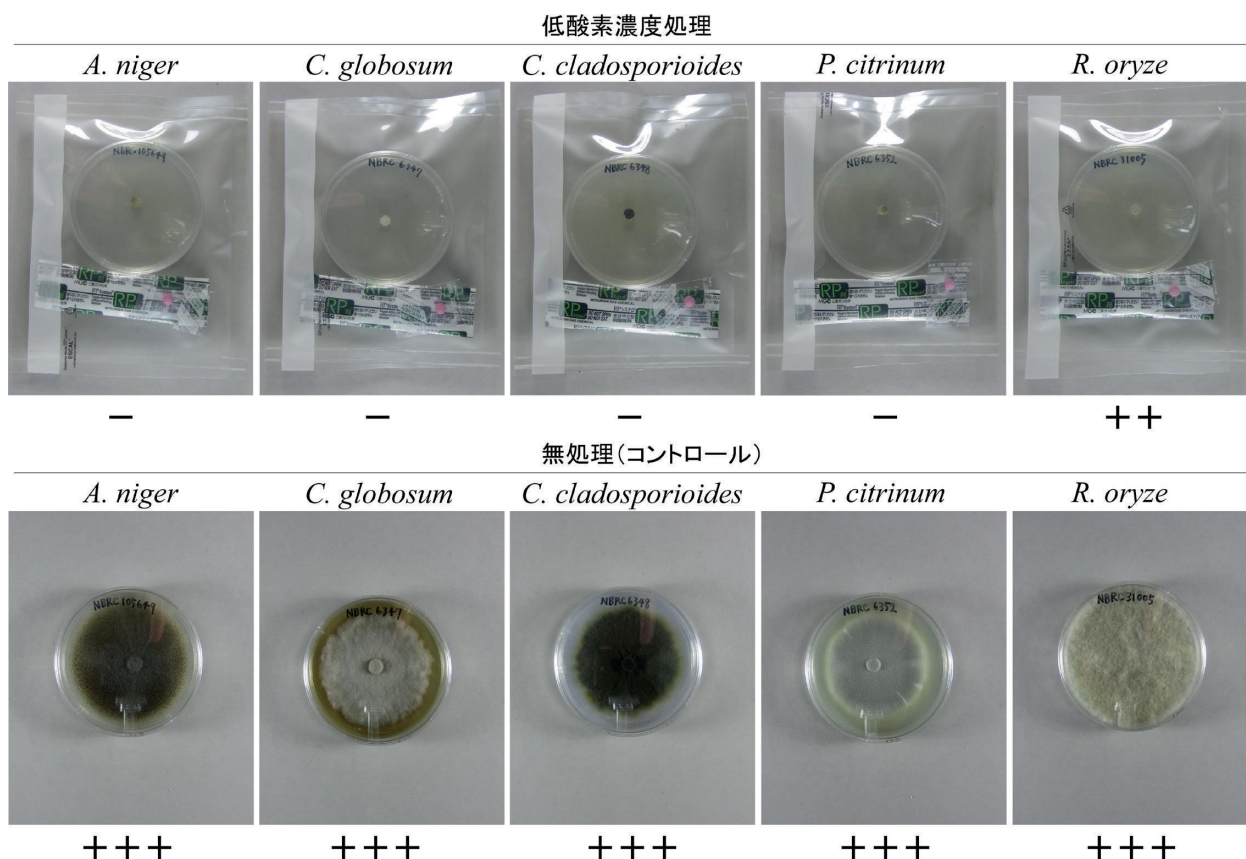


図6 ガスバリアフィルムを使用した低酸素濃度処理が菌糸伸長へ及ぼす影響（培養30日後）
凡例）図5参照 注）無処理コントロールについてはフィルムより取り出して撮影

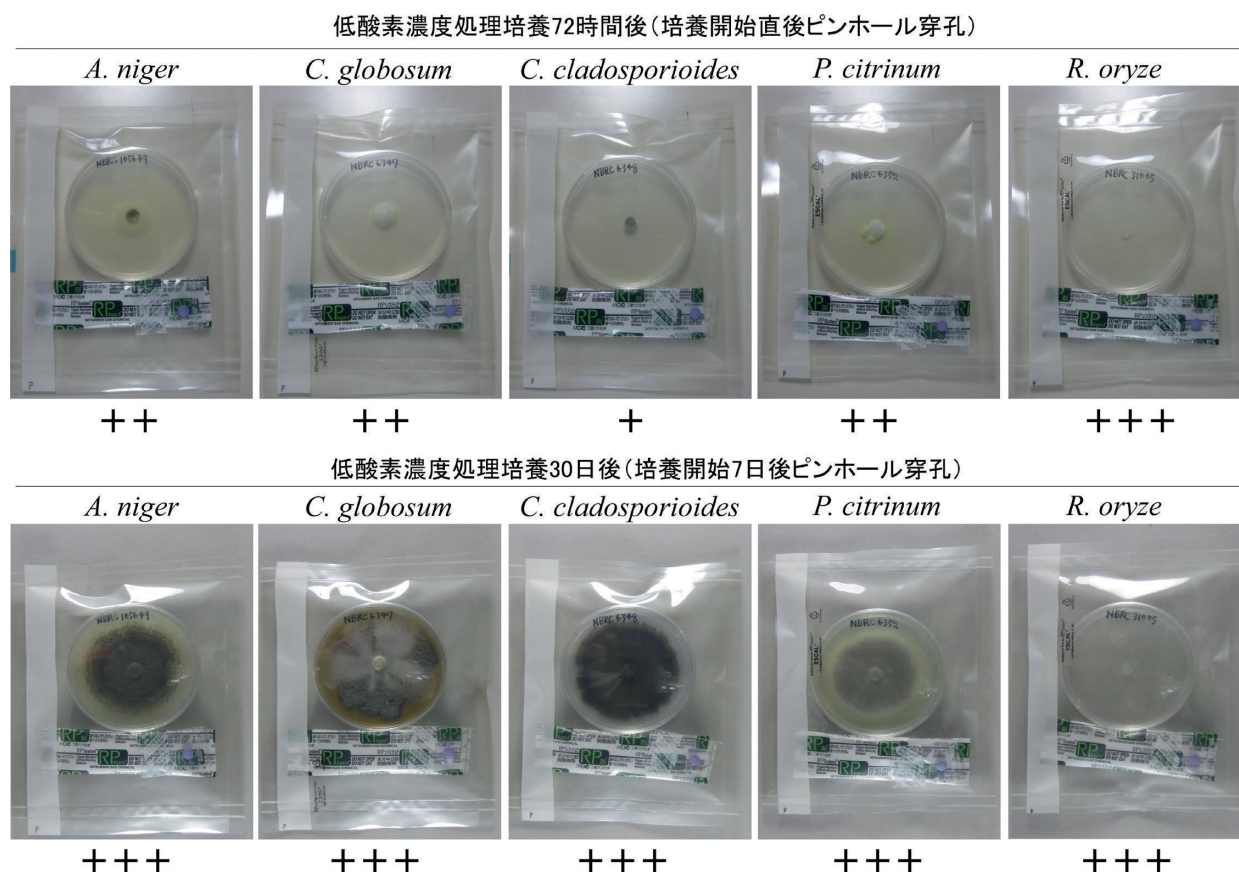


図7 ガスバリアフィルムへのピンホール発生が低酸素濃度処理へ及ぼす影響例
上段：培養72時間後(培養開始直後 ピンホール穿孔) 下段：培養30日後(培養開始7日後 ピンホール穿孔) 凡例) 図5参照

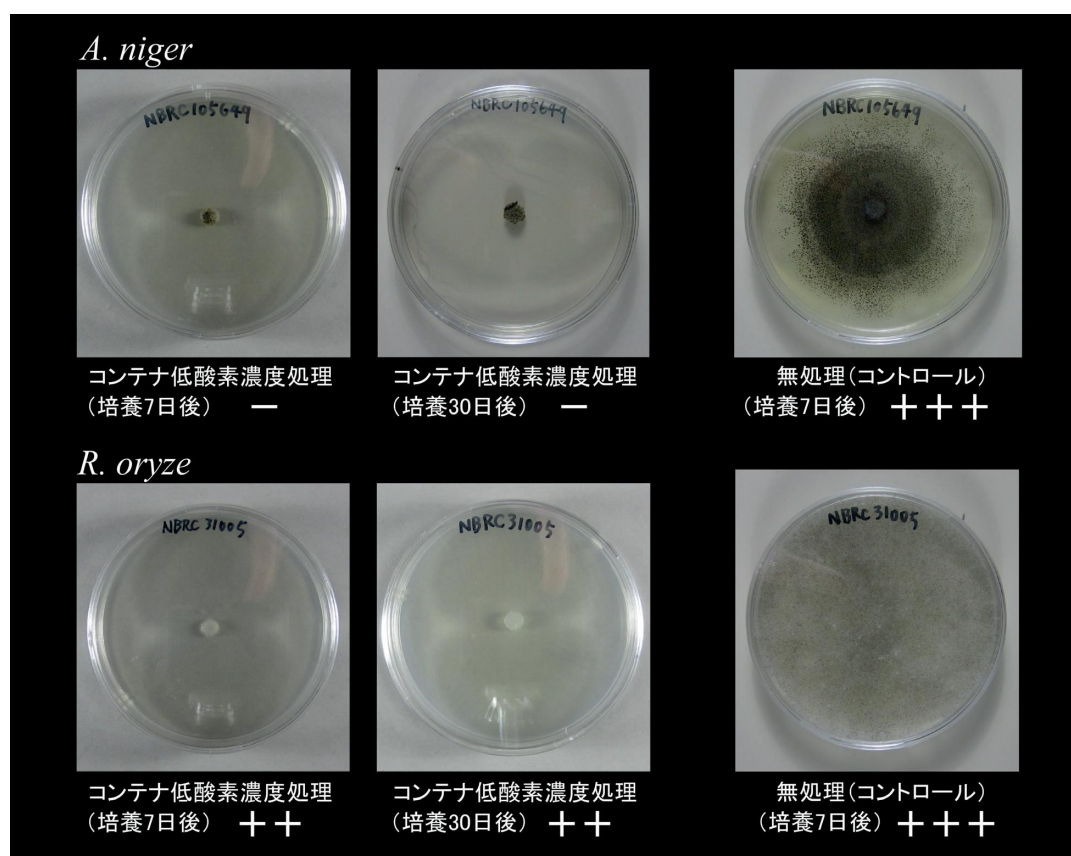


図8 プラスチック製汎用コンテナを使用した低酸素濃度処理
凡例) 図5参照

上記の結果は、ピンホールが生成しない限りにおいて、ガスバリアフィルムを用いた低酸素濃度処理法が文化財の糸状菌による劣化に対し即効性を有する優れた緊急避難措置として利用可能であることを示唆するものである。一方、本研究結果から示されるように、ガスバリアフィルムを用いた低酸素濃度処理法にとって、フィルムのシールミス、ピンホールの発生は糸状菌の活動制御において致命的な結果をもたらす。そのため、処理に際してはシール時の微細なしわの発生によって生じる密閉不良や、資料自身あるいは養生用資材の角がフィルムにあたることによって生成するピンホールに特段の注意を払わなければならない。

特に被災現場では平坦・平滑な作業スペースや、フィルムを密閉するための熱シーラーの数量・電源確保、人員数が処理作業の効率を決定する要因となる。したがって、現実問題としては、比較的熟練した作業者にとっても限られた時間内で多数の資料を適切に処理することは困難である場合が多い。また被災現場では十分な空間が確保できないことによる処理済み資料の積み重ねや、保護梱包が無い状態での輸送・保管も想定されるため(図9)、フィルムにピンホールが発生しやすい状態にあるといえる。さらに文化財公開施設等において通常時に実施されるガスバリアフィルムを用いた低酸素濃度処理の失敗には「空気容量に対する脱酸素剤の数量不足」も要因としてあげられる⁽³⁾。適正な脱酸素剤の数量計算法については製品カタログに明記されているが、被災現場において各水損資料のサイズに応じて不定形に切り出されるフィルムの容積に対する計算は作業をさらに煩雑化する。

このような状況の解決にむけて、本研究ではピンホールが発生しにくいプラスチック製の汎用コンテナを用いた低酸素濃度処理を試みた。その結果、本手法が *A. niger*、*R. oryze* の両種に対してガスバリアフィルムを用いたものと同等の菌糸伸長阻害効果を示すことが確認された(図8)。さらに同封したインジケーターにより容器内の酸素濃度が0.1%以下に達していたことが示されたため、比較的安価で汎用性が高く、繰り返し使用可能なプラスチック容器によっても糸状菌の活動を抑止する低酸素濃度処理が可能であることが明らかとなった。

プラスチック製汎用コンテナを使用した低酸素濃度処理法は以下の利点を有する。

- 1) コンテナサイズに収まる資料を短時間で効率よく処理可能(作業性の向上)。
- 2) 熟練者でなくとも信頼性の高い結果が得られる。(ピンホールやシールミスの発生確率が低い)
- 3) コンテナ同士の積み重ねが可能で保管スペースを有効利用できる。

- 4) サイズが規格化されているため輸送しやすく、保管に要するスペースの算出がしやすい。
- 5) ヒートシーラーが不要で電力の供給が遮断された地域でも実施可能。
- 6) 封入する脱酸素剤の数量をあらかじめ規格化することが可能。

上記の特徴を有するため、本手法は被災現場の緊急避難措置として、その利用価値は高いものと考えられる。

今後は、より現実的なモデルを用いた糸状菌に対する活動抑制効果等について検討を行い、本処理法の信頼性向上を図ることが望まれる。



図9 被災現場におけるガスバリアフィルムを用いた低酸素濃度処理資料の搬送例



図10 プラスチック製汎用コンテナを用いた低酸素濃度処理

4 まとめ

被災現場における糸状菌の活動抑制に対する低酸素濃度処理法の効果的運用について評価を行った結果、低酸素濃度処理法が即効性を有する優れた緊急避難措置として利用可能であることが示唆された。また、プラスチック製汎用コンテナを使用することで効率的で安定した処理を達成可能であることが明らかとなった。

謝辞

本調査を実施するにあたり、ご助言、ご協力をいただきました奈良大学 魚島純一氏、ならびに三菱ガス化学株式会社 村林 茂氏に深く感謝いたします。

本研究はJSPS科研費KAKENHI 23701016 若手研究(B)「文化財公開施設等における汎用的な高精度微生物汚染評価システムの構築に関する研究(研究代表者: 杉山智昭)」の一環として実施したものである。ここに記して謝意を表す。

引用文献

- (1) 赤沼英男・鈴木まほろ編 2014. 安定化処理—大津波被災文化財保存修復技術連携プロジェクト—. 津波により被災した文化財の保存修復技術の構築と専門機関の連携に関するプロジェクト実行委員会.
- (2) 柳井昭二・石谷孝佑・小城年久 1980. 糸状菌の生育におよぼす酸素濃度の影響について. 日本食品工業学会誌 27(1): 20-23.
- (3) 村林 茂 2010. 文化財保護への酸素濃度制御技術の応用. 文化財の虫菌害 59: 19-22.

Evaluation of the Anoxia Treatment as the Emergency Measure for Cultural Properties Affected by Tsunami

Tomoaki SUGIYAMA

The 2011 earthquake off the Pacific coast of Tōhoku and related disasters produced a large number of damaged cultural properties. Among them, water-soaked properties had especially needed first aid activities which avoid the irreversible biodeterioration caused by filamentous fungi. Although immediate treatments using freezers or vacuum freeze-drying machines can stop the fungal activity, it is not realistic to treat numerous water-soaked cultural properties in a short period. Furthermore, disaster affected areas often had insufficient infrastructure (power supply, transportation system) to apply these treatments. In present study, a series of anoxia treatments without the

special equipment were tested to develop the easy and stable emergency measure for water-soaked cultural properties. Results showed that the anoxia treatment had the rapid and excellent control effect against the growth of filamentous fungi unless there was no small pin hole or gap on the film, and the treatment using the polypropylene container also exhibited a high ability to inhibit the fungal activity on the medium for 30 days. Thus, anoxia treatments investigated in this study would contribute to the development of easy and stable emergency measure for damaged cultural properties affected by Tsunami.