

美術工芸文化財の保存修復用洗浄に関する研究

関根 理恵*

要 旨

従来、美術工芸文化財の保存修復における洗浄については、担当修復家の経験的判断から洗浄剤や洗浄技法が選択されることが多い。また、近年では、洗浄剤を含ませた Gel を用いた洗浄方法が、埋蔵文化財の分野から発達し、紙資料や染織文化財、遺跡の壁画の分野へと応用されるようになるなど、洗浄方法と洗浄剤に多様化が見られる。

以上のことから、多様な洗浄剤から適切な洗浄剤を選択したうえで、より効果的な洗浄処置がおこなえるよう考慮する必要がある。そこで本研究では、多分野の洗浄に関する先行研究や修復事例を整理した上で、精査分析を行い、美術工芸文化財の保存修復処置の洗浄の示準となる基礎データの編纂を試みた。また、美術工芸文化財の保存修復における洗浄計画の立案方法、予備試験、計画に沿った洗浄剤および洗浄方法、洗浄機材の選択についての基本的指針を示した。具体的には、洗浄剤の特性を確認するとともに、洗浄剤選択の指標、取り扱い上の禁忌等を確認し、二次的損傷の予防措置に必要な基礎データを提示した。

はじめに

従来の美術工芸文化財の洗浄研究では、博物館作品等の保存修復報告書において、事例ごとの洗浄工程および得られた視覚的効果から洗浄の効能が論じられることが多い。これらの既存研究においては、汚損状況、洗浄技法の選択、洗浄剤について、なぜその技法と洗浄剤が選択されたのかという選択の根拠が不明確なまま論述されていることが多い。

保存修復技法および保存修復材料に対する改善や新規開発に向けての評価の観点から言えば、表面の仕上げ処理、つまり視覚的効果が向上されたかどうかのみが評価基準として重要視され、その保存修復技術や保存修復材料が保存の観点から適切であったのかどうかを判断することが、ほとんどなされてこなかったといえる。また、二次損傷に対する配慮も欠けていたことが指摘できる。

近年、自然災害によって引き起こされた被害で

は、津波による塩害や土砂災害による汚泥などが問題になっており、従来の博物館に保存されている比較的コンディションの良い作品群とは異なる、コンディションの極めて悪い緊急処置を要する文化財への保存修復処置の対応が求められている。この緊急対応の処理の中でもっとも重要な処理が、洗浄である。

そこで本研究では、急務と目されている洗浄技法に着目し、美術工芸文化財の保存修復における洗浄技法に関する基礎データの整理、分析を行い、適正な洗浄計画の立案方法、計画に沿った洗浄方法と洗浄剤について考察する。

洗浄の定義

洗浄とは、物質固体表面に付着した汚損物質を除去する行為の一つである。表面に付着した汚損物質も、気体、液体、固体のいずれかの形状をしているが、これらを物質固体表面から除去する行為が洗浄である。

汚損物質の定義

美術工芸文化財の場合、汚損物質の定義は、オリジナルに付着した、オリジナルの基底部もしくは表面層に損傷を与える物質を汚損物質と定義する。美術工芸文化財の保存修復においては、真正性および完全性の保全が最重要であることから、汚損物質は、オリジナルの状態では、もともと付着していなかったもの全てを意味するのではなく、一見、汚損物質と見えるものであっても、そこに、所有者との関係性、歴史性、芸術性など、文化財の価値、学術的価値、希少価値等を有している物質である場合は、OUV⁽¹⁾のエビデンスとして取り扱う必要がある。そのため、これらは文化財的価値を持つ重要な物質であり、除去を対象とする汚損物質として捉えることは適正ではない。とはいえども、文化財的価値、芸術的価値、学術的価値など本来の価値を維持することが困難となるような、構造保持に影響を与えるものや、物理的性質変化、有機的性質変化、色変などを直接的に引き起こすものは、保存科学的観点から言えば、やはり汚損物質と言わざるを得ない。

洗浄の目的

洗浄とは、表面に付着した汚損物質を除去することであるが、上記の汚損物質の定義でも述べたように、美術工芸文化財の保存修復用洗浄の場合に考慮しなければならないのは、『価値』の保持である。つまり、対象物となる美術工芸文化財の真正性および完全性に対する価値を維持することが、洗浄の目的である。

保存修復計画と洗浄における基礎診断

美術工芸文化財の保存修復計画立案の際、重要となるのは、修復技法と修復材料の検討である。

これら二つに対する検討は、現状調査として実施される目視および科学的調査による現況の確認とコンディションチェックの基礎診断の結果に基

づいて行われる。

コンディションチェックでは、構造に問題をきたしていないか、直接的な修復処置に耐えうる体力をもっているかどうかを確認する。構造に問題をきたしており、独立した状態で構造が維持できない状況や、修復処置に耐えうる体力をもっていない場合にのみ、積極的修復処置を実施する。文化財保存修復処置においては、構造維持や基底部強化など、状態の安定化にむけた保存処置が最優先事項であり、汚損物質の除去は、構造や基底部の安定が確保されている場合に行われるものである。

汚損物質の除去の方法には、物理的除去と洗浄除去の二つの方法がある。物理的除去とは、汚損物質が接着している美術工芸文化財の基底部との接着部分に、道具を用いて負荷をかけ、こそぎ落とし除去する方法である。洗浄は、汚損物質の除去による美観確保やカビ等の繁殖を抑える等の衛生への配慮の観点から修復処置の一つとして計画されることが多い。しかし、前提として、洗浄は、当該美術工芸品の構造上に問題がない場合に行われ、かつ基底部および表層部、基底内部など全てにおいて構造上もしくは性質の変化に問題をきたさない場合に限り、実施することが可能である。

一般的には、物理的除去と洗浄除去の両方を修復技法として同時に選択するケースが多い。

洗浄において、当該美術工芸品の構造変化の危険性がある場合、修復技術や修復材料の選択により改善が図れることが多い。そこで、洗浄においては、汚損物質の除去面のみならず、当該美術工芸文化財の構造変化にも配慮したうえで、適正な洗浄方法と洗浄剤を選択することが重要となってくる。

美術工芸文化財の保存修復計画要領

洗浄は、当該美術工芸品の現況、汚損物質の種類、洗浄技法、洗浄機器、洗浄用洗浄剤（洗浄条件）について吟味し、それぞれを詳細に設定する必要がある。特に当該美術工芸文化財の損傷状況では、洗浄行為による物的ダメージ、洗浄剤に

よる二次損傷や二次汚染について事前に配慮しなければならない。計画立案にあたっては、以下の段階を経て、総合計画を立案する。

第1段階

- ①当該美術工芸文化財の素材の特定
- ②当該美術工芸文化財の構造と形状の確認

第2段階

- ③汚損物質の部位の特定
- ④汚損物質の性状の特定（材質、付着の状態）

第3段階

- ⑤二次損傷の推定、二次汚損の推定（予備テストの実施）

- ⑥洗浄剤の選択

第4段階

- ⑦洗浄技法と機材の選択
- ⑧洗浄条件の設定（洗浄温度、洗浄時間）

第5段階

- ⑨保存修復処置後の汚損除去率の算定（仕上がりに予想）
- ⑩洗浄剤の操作性の配慮（取り扱いやすく、人体への影響が少なく安全性が高い）
- ⑪環境負荷への配慮
- ⑫費用
- ⑬恒久保存にむけての取り組み（保存形態の設定）

第2段階までは、当該美術工芸文化財自身に起因する問題で、保存修復者担当者が自由に変更できるものではない。つまり、仕上がりの差異を決定づけるものは、修復担当者による第3段階以降の対処である。一方で、第2段階は、第3段階以降を決定づける重要な要素であり、この段階をおざなりに対処すると、修復や仕上がりに問題が生じることが多々ある。

汚損物質の部位の特定

汚損物質は、目に見えない部分に隠れている場合も多い。部位を特定しないまま放置すると、その部分から褐色黄変などの問題がみられる場合も

ある。そのため、洗浄をする場合には、事前に、見立てによる汚損部位と範囲の特定のみならず、内側や裏面などの接触部分、襟や袖口の開口部分、ポケット等の部位など全面に渡る悉皆的なチェックが必要である。

汚損物質の性状の特定（材質、付着の状態）

汚損物質は、①水溶性汚損物質、②油性汚損物質、③不溶性汚損物質の3つに大別できる。それぞれの特徴は、①水溶性汚損物質は、汚損物質が水に溶解する、②油性汚損物質は、水には溶けにくい但有機溶剤で溶解することができる、③不溶性汚損物質は、水にも有機溶剤にも溶解しない固体である。

<水溶性汚損物質>

水溶性汚損物質は、易溶性汚損物質と難溶性汚損物質の2つに分かれる。易溶性汚損物質の場合は、水のみで洗浄効果が得られやすく、汚損物質の除去は比較的容易である。難溶性汚損物質は、比較的弱い酸化剤や弱酸・弱アルカリなどの水溶性溶媒で除去できるものである⁽²⁾。植物性の有機物など色素が付着する汚損物質も、難溶性汚損物質の一つである。

<油性汚損物質>

油性汚損物質は、高極性汚損物質、中極性汚損物質、低・無極性汚損物質に分類できる。極性とは、分子内に存在する電気的偏りである。極性の近いもの同士は溶けやすいという特徴を持ち、高極性物質は高極性溶媒に溶解しやすい。一方、低極性物質もしくは無極性物質は、低極性溶媒には溶解しにくいという性質がある⁽³⁾。つまり、水と油は混合しても分離したままである。アルコールは、油と異なり水と混合することができる。油は水と混合することはないが、アルコールには溶ける。これらの極性の性質は、洗浄剤にそのまま適用されており、この性質を利用して作られた美術工芸文化財の洗浄剤が、10%エタノール水、50%エタノール水、無水エタノール水である。これ

らの濃度の違うエタノール水は、水にエタノールを混合させ、エタノール量の増減によって洗浄剤の持つ表面張力を調整し、浸透湿潤作用をコントロールしながら油性汚損物質を落とすものである。

主な高極性汚損物質は、脂肪酸 (R-COOH) である。脂肪酸 (R-COOH) は、皮脂汚れの主要成分である。アルカリ液での中和や界面活性剤水溶液により汚染物質の除去が可能となる。中極性汚損物質は、脂肪や油脂である。脂肪や油脂はたんぱく質であるため、強アルカリ洗浄液を用いると脂肪や油脂はアミノ酸に分解される。例として、たんぱく質由来の汚損物質では、血液などがあげられる⁽⁴⁾。また、脂肪酸・たんぱく質混合汚損物質もある⁽⁵⁾。

無極性汚損物質は、機械油などで、油由来のものである。石油系有機溶剤は溶解しやすいが、水と混合することが極めて困難である。これらは、水溶性でないため、水系洗浄において水=H₂O単体では、ほとんど洗浄効果が得られない点が最大の特徴である。そのため、無極性汚損物質では、洗浄剤を利用した洗浄が必須となる。

<不溶性汚損物質>

不溶性汚損物質は、有機溶剤を用いても効果が得られない。これらは、塵埃が主である。油性汚損物質であるものの、自転車のチェーン油や靴墨、墨汁、クレヨンなどは、多種の物質が混じりあっているため、極めて溶解性が低く、不溶性汚損物質といってもよい。

二次損傷の推定、二次汚損の推定

美術工芸文化財の保存修復における洗浄の場合、かならず予備試験を実施する。溶剤テストとも呼ばれる。一般的には、有機溶剤テストを実施し、その後、水溶性溶剤テストを行う。その理由は、水溶性洗剤は、有機溶剤にくらべ揮発性が低く、輪染みができやすいなどの問題が生じるからである。経験としては、有機溶剤では、非極性溶媒を試験し、次に極性溶媒を試験する機会が多い。水溶性溶剤では、水 (H₂O) 単体、アルカリ性溶

剤、酸性洗剤の順に試験する。絵画の洗浄では、Fellar が考案した試験がある⁽⁶⁾。この洗浄試験は、シクロヘキサン (C₆H₁₂)、トルエン (C₇H₈)、アセトン (C₃H₆O) を単体もしくは、2種類を混合する。または、混合比率変えた溶剤を調合して、テストピース、または、除去したい汚損物質の一部に段階的に塗布し、洗浄効果や性能、安定状態等を見るものである。美術工芸文化財では、部位テストと呼ばれる作品の一部分をサンプルとして実施する予備試験が行われることも多い⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

また、二次損傷、二次汚損の推定では、当該美術工芸文化財の①素材、②装飾・加工、③形状、④洗浄技術による問題の4つの点を考慮する必要がある。

<素材>

美術工芸文化財に用いられる素材は、無機質素材と有機質素材の2つに大別することができる。これらの素材に対する二次損傷の推定の場面では、洗浄剤による化学変化の影響と範囲について考慮する必要がある。また、汚損物質がどのような状態で付着しているのかという点も素材と深くかかわっており、組織構造の内部まで浸透している場合や、汚損物質が基底部材と同等の性質を持つ素材である場合には、(例えば、どちらも動物性たんぱく質由来の有機素材であるなど) 特に注意を要する。

<装飾・加工>

当該美術工芸文化財においては、加工された部位への影響を考えなければならない。例えば、色落ちの問題は、素材そのものへの洗浄剤の影響だけでなく、染色に用いられた染料への配慮がなされなかったことによる二次損傷である。また、加工に用いられた染料だけでなく、加飾に用いられる素材は、異素材を用いることが多々ある。このため、洗浄手法や洗浄剤が、これら用いられているすべての材料に適したものであるように配慮しなければならない。

<形状>

基底部材および加飾に用いられている素材への配慮は先に論述したが、形状についても同様に配慮が必要である。美術工芸文化財の場合、構造上の問題等がなければ、解体して洗浄することができる。この場合、洗浄が格段に容易にできるようになる。しかし、すべてのものが解体できるわけではないため、その場合には、複雑に入り組む素材や多種多様な加工素材に対し、それぞれに対する影響を考え、二次損傷、二次汚損の危機にさらされないように配慮する必要がある。

<洗浄技術による問題>

再汚損とは、汚損物質が再び別な部位に転移付着する現象である。局所汚損が、全面汚損に拡散されてしまう場合もある。また、作業工程における技術上の問題により発生する場合もある。これは、洗浄剤により基底部材より剥がれ落ちた浮遊性汚損物質による二次汚損である。この二次汚損については、水系洗浄では必ず考慮しなければならない問題である。非水系洗浄では、引きおこるケースは少ないが、理論的にはあり得る。

洗浄剤の選択

まず洗浄では、保存修復の仕上げを鑑み、リスクマネジメントの観点から、洗浄しないという選択もありうる。しかしここでは、洗浄することを前提として洗浄剤の選定について考察する。

洗浄剤には、水系洗浄剤と準水系洗浄剤、非水系洗浄剤の3つに大別される。

上記3つの洗浄剤の特徴は、以下のとおりである。

<水系洗浄剤>

水系洗浄剤で、美術工芸文化財の保存修復の洗浄工程でもっとも多く用いられるものは、水(H₂O)である⁽¹⁰⁾。操作性への配慮を考えても、人体への影響や安全性を鑑みれば、非常に便利な

洗浄剤である。入手のしやすさや、洗浄剤の操作性(取り扱いやすく、人体への影響が少なく安全性の高い)、環境負荷への配慮、費用の面では、非常に優れている。

水(H₂O)といっても実際には様々な種類が存在しており、蒸留水やイオン交換水、精製水、水道水等が用いられている。染織文化財などの有機質素材に付着している汚損物質の多くは、泥、塵埃、無機塩、体液等であり、水溶性あるいは水に分散しやすい性質のものである。これらには、水(H₂O)は有効である⁽¹¹⁾。一方、油やたんぱく質由来の汚損物質は、水(H₂O)だけでは除去することが難しく、そのため洗浄剤を用いて洗浄する必要があり、水(H₂O)のみでは、対処できない。

洗浄において、水(H₂O)が汚損物質に直接与える影響では、表面張力について考えねばならない。表面張力は、外部から異物が浸透してくるときに抵抗する力であるため、表面張力が低ければ低いほど、物質に対する浸透湿潤作用は高くなる。水の表面張力は、温度により表面張力が異なり、70-74 mN/mの値を示す。表面張力は、温度が高くなるほど低い値を示す特性を持つ。

つまり、高い温度の水(H₂O)を使うと、浸透湿潤作用が得られるということである。これは、洗浄による汚損物質除去に対し有用な特性であり、高い温度の水(H₂O)を用いた洗浄が効果を示すものである。しかし、洗浄における温度影響に関する研究では、洗浄温度を高めることで、洗浄に効果がみられることが確認されており⁽¹³⁾、①界面張力低下の効果、②油性汚損物質の流動性を高めること、③油性汚損物質が融点以上では固体が液体へ変化し、除去性が高まる。一方で、たんぱく質等が熱変性することから、①有機質素材などの基底部材に対する二次損傷、②タンパク質系の汚損物質の熱変性による不溶性への変化と、それに伴う除去性の低下⁽¹⁴⁾、③油性高分子による油汚れの浸透による再汚損⁽¹⁵⁾などが指摘されている⁽¹⁶⁾。

表 1. 水の表面張力⁽¹²⁾

温度 °C	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	60°C	80°C	100°C
表面張力	75.64	74.22	72.75	71.18	69.59	66.18	62.61	58.85

以上のことから、水 (H_2O) による洗浄では、微生物やカビの繁殖などへの対策など、高い汚損物質の除去率が求められる場合を除いては、洗浄温度は、常温から $50^{\circ}C$ 程度に設定することが多い。

また、一概に水 (H_2O) といっても、超純水を除いて、一般的に洗浄に用いる水道水などの水 (H_2O) の成分には、若干の不純物が含まれていることが多い。この不純物の成分に含まれている代表的なものは、カルシウム (Ca)、マグネシウム (Mg)、ナトリウム (Na) であり、これらは金属原子である。水に溶けるとプラスの電気を持つカルシウムイオンとマグネシウムイオン、ナトリウム (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+}) となる。これらは、2価の陽イオンであり、カルシウムイオンとマグネシウムイオンの含有率は、水の硬度の示準となっている。硬度の低い水を軟水 ($\sim 50ppm$)、硬度の高い水を硬水 ($200ppm$ 以上) と呼ぶが、硬水は、これらのカルシウムイオンおよびマグネシウムイオンが多く含まれていることから、これらのイオンが洗浄に対し負の要素となるため、硬水は洗浄に適していない。そのため洗浄には、軟水を用いる方がよい⁽¹⁷⁾。

<水系洗浄剤の種類>

水系洗浄剤には、上記の水 (H_2O) 以外に、大別して以下の5つの洗浄剤のタイプがある。①界面活性剤主体型洗浄剤、②酸性洗浄剤 (無機酸、有機酸)、③アルカリ性洗浄剤 (水酸化ナトリウム (NaOH))、④酸化剤型洗浄剤 (次亜塩素酸類 (HClO)、過酸化水素水 (H_2O_2))、⑤還元剤主体型洗浄剤。これらの特徴は、以下のとおりである。

界面活性剤主体型洗浄剤：界面活性剤は、汚損物質表面と素材基底部表面に吸着し、汚損物質と基底部素材表面の接着部分の間隙に入り、汚損物質と素材基底部間に吸着膜を形成する。その結果、汚損物質が素材基底部から剥離する性質を利用して洗浄することができる洗浄剤である。

界面活性剤には、可溶化作用があり、水難溶性物質を水中に溶解する作用が、洗浄機能に有用である。臨界ミセル濃度 (Critical Micelle

Concentration: CMC) 以上の濃度でミセルが形成される性質を持ち、親水基を外側にして親油基が油污損物質を円状に取り囲むように油污損物質がミセルに取り込まれることで、可溶化作用が生じる⁽¹⁸⁾。脂肪酸などは、この現象が生じやすく界面活性剤により可溶化が可能になる。油性の汚損物質が、固形ではなく液体の状態であれば、ローリングアップという除去機構が、洗浄力を発揮する⁽¹⁹⁾。界面活性剤には、起泡作用があり⁽²⁰⁾、泡は、気液分散系現象である。洗浄においては、泡立ちが多い方が洗浄力も高い傾向があることが、指摘されている⁽²¹⁾。

界面活性剤は、イオン性界面活性剤と非イオン性界面活性剤の二系統がある。イオン性界面活性剤は、陰イオン (アニオン) 界面活性剤、陽イオン (カチオン) 界面活性剤、両性界面活性剤の三系統がある。このうち、洗浄剤として用いられるのは、イオン性界面活性剤の陰イオン (アニオン) 界面活性剤と、両性界面活性剤、非イオン (ノニオン) 界面活性剤である。陰イオン (アニオン) 界面活性剤の特徴は、水中で乖離したときに陰イオンとなり、分散性に優れる点である⁽²²⁾。代表する化合物は、石鹼などの水に溶けるとアルカリ性となり油性汚損物質の除去に効果を発揮する脂肪酸ナトリウム ($RCOO^{-}Na^{+}$)、衣料洗剤や食器用洗剤に用いられるポリオキシエチレンアルキルエーテル硫酸塩 ($C_nH_{2n+1}O(C_2H_4O)_mSO_3X$)⁽²³⁾⁽²⁴⁾ や、アルキルベンゼンスルホン酸塩 ($RC_6H_4SO_3X$) である。陰イオン界面活性剤は、硬水を用いた場合、水分中のカルシウムやマグネシウムと結合して金属石鹼が生成されてしまうため、金属石鹼が黄ばみなどの二次汚損の原因となる問題が生じる⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾。一方で、陰イオン界面活性剤のうち、アルキル硫酸エステル塩 (AS) やポリオキシエチレンアルキルエーテル硫酸塩 (AES)、 α -オレフィンスルホン酸塩 (AOS) は生物処理における生分解性が高く、河川水など環境への影響が他の洗浄剤に比べ少ないことがわかっている。イオン系界面活性剤は、環境への負荷が少ないことから、その利用が期待されている。しかし、アニオンの組み合わせや加熱によって、セルロースや動物性たんぱく質、特

に絹糸（フィブロイン）を溶解させることが指摘されており⁽²⁷⁾、有機質素材の美術工芸文化財においては、二次損傷につながるため、洗浄剤としての利用が適正であるとはいいきれず、その安全性の確保にむけた洗浄方法の改善、洗浄条件の設定、洗浄剤の新規開発が望まれる。

両性界面活性剤は、水溶性にすぐれ、溶液のpHに応じて酸性側ではカチオン（陽イオン）となり、塩基性側ではアニオン（陰イオン）となり、中性の等電点付近では（ノニオン）の性質を示し、両性イオンとなる特性を持つ。

代表する化合物は、アルキルジメチルアミノオキシド $R(CH_2)_2NO$ や、アルキルカルボキシベタイン $R(CH_2)_2N^+CH_2COO^-$ である。

非イオン性界面活性剤の特徴は、親水部が非電解質ということである⁽²⁸⁾。植物由来の高級アルコールと糖であるグルコースがグリコシド結合したアルキルポリグルコシド（代表例 n-オクチル-β-D-グルコシド等）や、脂肪酸ジエタノールアミド（ $RCON(CH_2CH_2OH)_2$ ）が、洗浄剤として利用されている。

非イオン性界面活性剤は、油脂汚損物質の洗浄に有効であり、低温度でも高い洗浄率を示す⁽²⁹⁾。非イオン界面活性剤は、繊維に対する収着量が少なく、そのため、羊毛などの再汚染されやすい繊維に対しては、再汚損物質の阻害効果を発揮しない⁽³⁰⁾。

よって、再汚損の懸念がある場合には、非イオン界面活性剤より、収着量が多い陰イオン界面活性剤の方が再汚損しにくいいため、洗剤選択の場合には、陰イオン界面活性剤の利用を一つの案として考えるべきである。

その他、界面活性作用（サーファクタント）として、サポニンの界面活性作用が知られている。サポニンは、トリテルペン（ C_{30} 化合物）やステロイドにオリゴ糖が結合した配糖体で多環式化合物であり、同一分子内に親水基と疎水基を持っている。起泡性があり、コロイド溶液を生成する。サイカチの実やムクロジの実、センダンの実に含まれ、これらの実は、古くから洗浄剤として利用されてきた⁽³¹⁾。

酸主体洗浄剤：無機酸（塩酸（HCl）など）や有機酸（酢酸（ CH_3COOH ）、グリコール酸（ $C_2H_4O_3$ ）、乳酸（ $C_3H_6O_3$ ）、ギ酸（ CH_2O_2 ）、クエン酸（ $C_6H_8O_7$ ）、シュウ酸（ $H_2C_2O_4$ ）などである。金属汚損（カルシウムによる汚損、鉄さび）の除去などに有効である。クエン酸（ $C_6H_8O_7$ ）は、安全性が高いことから近年広く普及されている。粉末状で扱いやすく保存性が高い点も利点としてあげられる。鉄錆やカルシウム、マグネシウムのスケールを溶解除去する際に用いられる。

アルカリ剤主体洗浄剤：水酸化ナトリウム（NaOH）、苛性ソーダなどのたんぱく質や油脂分に対し直接働きかける性質を持つ。古くから洗浄剤として使われてきたものの一つに灰汁があるが、灰汁もアルカリ剤主体洗浄剤である⁽³²⁾⁽³³⁾。アルカリ剤主体洗剤は、汚損物質の分散性を向上させる。タンパク質を溶解したり膨潤させる作用効果があり、これが洗浄効果として機能する。

弱アルカリ性洗浄剤は、脂肪酸汚損物質をスムーズに除去できる。人体への影響が少なく比較的安全性が高い。皮脂汚損物質の主成分である脂肪酸（R-COOH）は、弱アルカリ性洗浄剤により中和し、水に溶けやすい石鹼に変化する。生成された石鹼は、界面活性剤として水中で働いたため、洗浄に役立つ⁽³⁴⁾。また、弱アルカリ性洗剤は、廃液処理が簡単である。脂肪酸を含まない油性汚損物質に対して効果がないため、汚損物質の特定作業の際に、汚損物質が脂肪酸汚損物質であるかどうかを確認し、利用する必要がある。重曹も、弱アルカリ性洗剤の一つである。

強アルカリ性洗浄剤は、脂肪酸と油脂系汚損物質・脂肪系汚損物質に対して非常に優れた洗浄効果がある。強アルカリ性洗剤には、タンパク質をアミノ酸に分解する分解作用がある。高分子のタンパク質アミド結合を加水分解反応で切断し、低分子化させタンパク質分子を溶解しやすくする⁽³⁵⁾。廃液処理にあたっては、中和させる必要がある、廃棄処理にコストがかかる。

酸化剤型洗浄剤：過酸化水素や次亜塩素酸類などであり、酸化還元により汚損物質を洗浄する手法に有効である。体液など有機物汚染物質に効果を発揮する。主な酸化剤は、過マンガン酸カリウム (KMnO_4)、希硝酸 (HNO_3)、オゾン (O_3)、塩素 (Cl)、臭素 (Br) などである。塩素系漂白剤は、動物性たんぱく質に由来する物質に使用した場合、二次損傷が引き起こるため、動物性たんぱく質の物質に対し、洗浄剤として利用してはならない。セルロース系物質とポリエステル繊維に対しては、二次損傷の心配はない。また、濃度によっては染料を分解してしまうため、白色の物体にしか用いられない。塩素系漂白剤は、含窒素化合物に作用するとクロラミンを生成する性質があり、黄変の原因になる⁽³⁶⁾。また、塩素系漂白剤の多くは、主成分に次亜塩素酸が利用される。次亜塩素酸系漂白剤は、次亜塩素酸ナトリウムや、次亜塩素酸カルシウムの形で利用される。これらの取り扱いで注意すべき点は、pHにより状態が変化し、酸性になると有害な塩素ガスが発生するため、注意が必要である。

還元剤主体型洗浄剤：鉄さびや酸化による劣化に有効なものである。金糸などの装飾加工部分に用いられることもある。主な還元剤は、水素 (H)、一酸化炭素 (CO)、硫化水素 (H_2S)、シュウ酸 ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$)、ナトリウム (Na)、塩化スズ (II) (SnCl_2)、硫酸鉄 (II) (FeSO_4) である。還元剤主体型洗浄剤では、酸素系漂白剤があり、過酸化ナトリウム (Na_2O_2)、過酸化水素水溶液などがある。過酸化ナトリウム (Na_2O_2) は、ナイロン系繊維や染料の施された繊維の漂白に効果を発する。過酸化水素水溶液は、動物性たんぱく質繊維

の絹繊維や毛繊維に利用できる⁽³⁷⁾。

＜非水系洗浄剤＞

非水系洗浄剤は、有機溶剤を主成分とし、油性汚損物質に直接的に洗浄効果を発揮する。ドライクリーニングとも呼ばれる。水が使用できない場合に選択する手法である。

非水系洗浄剤を使った洗浄は、油性系汚損物質に対する効果が高いため、費用や設備の問題がなければ、美術工芸文化財の保存修復に用いることも考慮すべきである。非水系洗浄剤には、可燃性洗浄剤（炭化水素系洗浄剤、アルコール系洗浄剤、シリコーン系洗浄剤）、不燃性洗浄剤（塩素系洗浄剤、フッ素系洗浄剤、臭素系洗浄剤）がある。有機溶剤の問題点は、火気や中毒性に注意する必要がある。そのため防爆設備が必要である。また炭化水素系洗浄剤は、浸透性に優れる。アルコール系洗浄剤は、アルキル基 (R -) に水酸基 ($-\text{OH}$) が付いた R-OH である。親水性が高く、親水性汚損物質に有効である。アルコール系洗浄剤では、メタノール (CH_3OH)、エタノール ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$)、イソプロパノール ($(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$) があるが、殺菌効果があり、入手が容易であることから、美術工芸文化財の保存修復では、エタノール ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) が一般的に普及している。

エタノール水溶液の表面張力も、温度が低いほど表面張力は低くなり、エタノール量が多いほど表面張力は小さくなるため、洗浄効果が高くなることが予想される。

塩素系は、高い洗浄力があるが、生物への毒性や環境への負荷があるため、大量使用には向かない。

表2 エタノール水溶液の表面張力⁽³⁸⁾

℃	0wt%	10 wt%	20 wt%	30 wt%	40 wt%	50 wt%	60 wt%	70 wt%	80 wt%	90 wt%	100 wt%
40	69.6	44.4	35.6	31.0	28.5	26.8	25.6	24.6	23.4	22.2	20.7
30	71.1	46.1	37.0	31.9	29.2	27.5	26.3	25.3	24.1	22.9	21.6
20	72.26	47.9	38.4	32.8	29.9	28.2	27.0	26.0	24.8	23.7	22.4
10	74.1	49.7	39.8	33.7	30.6	28.9	27.7	26.7	25.6	24.5	23.3
0	75.6	51.4	41.3	34.7	31.3	29.6	28.4	27.4	26.3	25.3	24.1
-10			42.7	35.6	32.0	30.3	29.1	28.1	27.0	26.1	25.0
-20				36.5	32.7	31.0	29.8	28.8	27.8	26.8	25.8

<準水系洗浄剤>

準水系洗浄剤も油性汚染物質に対し洗浄効果を持つ洗浄剤である。有機溶剤（水和型）であり、油性汚染に対処できる。

洗浄技法と機材の選択、洗浄条件の設定

洗浄技法および機材の選択では、各洗浄技法によって機材は大幅に異なる。また、同じ洗浄技法と洗浄剤であっても、洗浄条件によって大きく仕上がりに差が出てくる。そこで、洗浄条件（洗浄温度、洗浄時間）を、洗浄剤を基準に洗浄技法と合わせて同時に設定することも重要である。洗浄の温度については、先述したため、省略する。

洗浄時間については、洗浄前に予備段階として洗浄液内に浸け置き処置により、浸透湿潤作用によるより高い効果を得られる。一方で、浸け置きの場合には、再汚染に対して注意を払わなければならない。

洗浄技法

洗浄技法では、主に浸水式洗浄と、噴霧透過式洗浄、払拭式洗浄、ゲル式洗浄等がある。

浸水式洗浄は、より一般的な方法であり、多くの場面で使われている。浸水式洗浄には、流水式洗浄と溜水式洗浄の2つの方式がある。文化財の保存修復を専門とする研究所などでは、かならず浸水式洗浄を行うため、大型の浴槽を設置している。形体やサイズは、対象とする美術工芸文化財の形状によって適正が異なるため、適宜、文化財に合わせて設計されていることが多い。

染織文化財などの繊維の場合には、洗浄する際に展開して平置きにする必要があることから、深さの浅い、平らで大きな浴槽を用いる。染織文化財の浸水式洗浄（流水式洗浄併用）では、イギリスの王立ハンプトンコート宮殿文化財保存局染織文化財修復部の活動が知られている⁽³⁹⁾。

噴霧透過式洗浄は、一般的にクリーニング店や和装手入れなどで行われているシミ取りの技法である。大型機材を用いた例では、ベルギーのDe Wit ベルギー王立染織文化財保存研究所が有名で

ある⁽⁴⁰⁾。

拭き取り式洗浄は、汚損物質に水や洗浄剤を浸潤させたのちに、物理的に払拭するものである。有機素材の場合には、摩擦による表面繊維の毛羽立ちなどの問題も生じる手法である。

ゲル式洗浄は、主に考古学の分野から発達したものである。金属素材の埋蔵文化財の錆取りなどに使われてきた。現在では、有機質素材にも用いられるようになり、木質⁽⁴¹⁾、絵画⁽⁴²⁾⁽⁴³⁾、壁画⁽⁴⁴⁾、染織文化財の保存修復の現場でも用いられている⁽⁴⁵⁾。調査により、上記のイギリス王立ハンプトンコート宮殿文化財保存局染織文化財修復部でも利用されていることを確認した。

その他、最近では溶剤を用いない洗浄として、ドライクリーニングの一つで、気体を使った洗浄技術がある。例として二酸化炭素洗浄がある。これは、二酸化炭素（CO₂）の超臨界流体を利用したクリーニング方法である。「超臨界ドライクリーニング法」と呼ばれる。

二酸化炭素（CO₂）の臨界点は31℃、7.3MPaである。この洗浄法は、上記の条件に従い、超臨界状態の環境を人工的に作りだして二酸化炭素（CO₂）の超臨界流体を循環させ、汚損物質を除去する洗浄法である。アメリカやドイツでは、商業レベルでこのドライクリーニング手法が取り入れられている。現在では、美術工芸文化財の保存修復にも用いられるようになった。Micaela Sousaらによれば、通常の他のクリーニング手法と同等の洗浄ができたとし、50-70%程度の汚損物質の除去率を達成したという。また、汚泥除去でも効果がみられたとしている⁽⁴⁵⁾。超臨界流体である二酸化炭素（CO₂）の利用の最大の利点は、被洗浄物へのダメージが極めて少ない点であり、注目できる。この洗浄手法は、残留物を残さないこと、複合部材に対する洗浄にも対応可能な点も利点として高く評価できる。

洗浄機材

超音波洗浄は、波動を利用した洗浄である。周波数により洗浄効果が異なる⁽⁴⁶⁾。15-50kHzの低周波の場合、キャビテーションを利用し洗浄効果

を得る。キャビテーションとは、液体中に加えた膨張力によって真空泡を発生させ、真空泡が消滅する時のエネルギーにより汚損物質を破壊するものである。強固に付着している汚損物質の除去に効果がある。1 MHz 前後の高周波を利用した洗浄の場合では、液体分子の加速度運動により均一で穏やかな波動による洗浄作用があり、超精密洗浄に利用される。100-500kHz の中周波は、低周波のキャビテーションと高周波の液体分子の加速運動の両方の効果を利用することができる。その他、特殊機材については、洗浄技法にて紹介した特別設計された噴霧透過式洗浄機材などがある。

環境負荷への配慮

環境負荷への配慮は、美術工芸文化財の修復に限ったことではない。洗浄剤の選択において考慮するほか、廃液の処理、廃液の中性化などを徹底する取り組みが必要となる。

費用

効果を考えると、非水系洗浄剤の利用を考えるが、費用および施設設備、廃液の処理、作業安全性、人体への影響、環境への負荷を配慮すれば、その利用は極めて限られた機会となるであろう。水系洗浄剤を利用した洗浄を選択する場合には、水と洗浄剤に対して費用を負担するということになる。水系洗浄剤を利用した洗浄では、先述したように軟水の利用が望ましい。費用対効果を考えた場合には、直接水道につないだ水道水による洗浄が利便性も高く費用負担も少ない。水道水の利用では、洗浄により生ずる金属石鹸の問題が指摘されており、その対処も考えなければならない。水道水を軟水化するためには、そのための専用装置の設置が必要となる。廃棄処理の問題を含め、トータルコストを考え、保存修復に関する計画をたて、洗浄方法も、その計画に従い予算の範囲内で選択をする必要がある。

恒久保存にむけての取り組み（保存形態の設定）

美術工芸文化財の修復における洗浄では、恒久保存の観点から、仕上げでは、カビの繁殖がない

ように配慮することが必要である。その場合には、すすぎ残しや完全乾燥などに配慮する必要がある。

また、洗浄による収縮、変色、染織文化財などでは織組織のゆがみなどがないように配慮する必要がある。

まとめ

本研究では、美術工芸文化財での洗浄について、汚損物質、洗浄剤、技法、機材などについて、その物性や性能について先行研究を分析し、基礎データとしてまとめた。

また本研究では、美術工芸文化財の保存修復に用いられている洗浄剤の特性を整理するとともに、予備試験の方法や洗浄剤選択にあたっての注意点を確認した。今まで、美術工芸文化財の修復においては、構造強化に重点が置かれるため、積極的に洗浄の手法や洗浄剤について活発に研究が行われてこなかった。美術工芸文化財の保存修復の現場では、修復担当者の経験にもとづき、洗浄方法や洗浄剤が選択されている場面が多々みられ、現場レベルでは、洗浄剤や手法の選択についての科学的根拠や、洗浄方法の改善、洗浄剤の改良・開発がほとんど行われてこなかった。そこで、本研究では、洗浄剤の成分や効能を整理し、洗浄剤選択の基準となる基礎的データを編纂した。また基礎データ構築にあたっては、洗浄により起こりうる二次的損傷を未然にふせぐための禁忌肢についても言及した。加えて、洗浄方法の詳細を検討するとともに、洗浄剤を適正に使い分ける必要があることと、その重要性を確認した。

洗浄技術に関する研究では、超音波洗浄や二酸化炭素洗浄など、洗浄によるダメージが少ない洗浄技術を確認した。

美術工芸文化財の保存修復処置においては、美術工芸文化財自身に負荷の少ない修復技術が、大変重要である。真正性、完全性の保存の原則から、オリジナル素材の保存を第一に考えれば、ダメージが少なく、洗浄剤の残留物を残さないこれらの洗浄手法は高く評価でき、これらと同様に、さらなる洗浄剤の性能に頼らない洗浄方法、および専

用機材そのものの新規開発も望まれる。

〔付記〕

本研究は、JSPS 科研費 基盤研究 (C) [課題番号 JP15K00734 美術工芸文化財の保存修復用洗浄に関する研究 (研究代表者: 関根理恵)] の助成を受けたものである。また、President Monsieur Yvan Maes De Wit (De wit Royal Manufacturers of Tapestry), Director Madame Frances Lennard (the Centre for Textile Conservation and Technical Art History at the University of Glasgow), Madame Mika Takami (Historic Royal Palaces, Hampton Court Palace, UK), Madame Céline Kamadaya (Unité de documentation de Service des Musées de FRANCE) の諸氏には、調査研究に対しご支援を賜りました。深謝いたします。

〔注〕

- (1) Outstanding Universal Value
- (2) 大矢勝, 「洗浄のメカニズム」, 『表面技術』, 2009, Vol.60, No.2, pp.85-89
- (3) 米田義章, 美濃順亮, 「洗浄の研究 (第 13 報) - 洗浄における繊維、汚こう、よび界面活性剤の親水性、疎水性についての考察」, 1970, 『油化学』, pp.46-50
- (4) 所 康子, 藤井富美子, 皆川基, 「血液たんぱく白質汚れの洗浄に関する研究 (第 1 報), 布に対する血液汚れのぬれと付着状態」, 『繊維製品消費科学』 Vol.25 No.1, 1984, pp.42-49, pp.32-39
- (5) 生野晴美, 竹内茂子, 岩崎芳枝, 「脂肪酸・タンパク質混合よごれの洗浄性」, 『日本家政学会誌』, Vol.39, No.4, pp.79-84
- (6) Feller, R. L., Stolow, "The relative solvent power needed to remove various aged solvent-type coating", *Conservation and Restoration of Pictorial Art* (Editors: N. Bromelle and P. Smith), IIC and Butterworths, London, 1976, pp.158-162
- (7) José Manuel BARROS GARCIA, "Cleaning Areas: The Location of Tests in the Cleaning of Paintings", *Inter National Journal of Conservation Science*, Vol.5, Issue3, July-September, 2018, pp.283-294
- (8) P. Cremonesi, "L'uso dei solvent organici nella pulitura di policrome", *il prato*, Padova, 2000
- (9) R. Wolber, "A Methodological approach to selecting a ceaning system", *Solvent Gels for the Cleaning of Works of Art: The Residue Question*, Editor: V. Dorge, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 204, pp.54-65
- (10) Wentz, M. "Experimental Studies on the Effect of Aqueous and Nonaqueous Treatments on Historic Textiles", *Historic Textile and Paper Materials*, American Chemical Society, 1986, pp.211-230
- (11) Burgess, H.D., "Gel Permeation Chromatography - Use in Estimating the Effect of Water Washing on the Longterm Stability of Cellulosic Fibers", *Historic Textile and Paper Materials*, American Chemical Society, 1986, pp.363-376
- (12) 温度による水の表面張力の変化, <http://www.tmk.or.jp/datapdf/data48.pdf>
- (13) 大矢勝, 皆川基, 「衣類の泡沫洗浄に関する研究 (第 2 報) - 泡沫温度が洗浄性におよぼす影響 -」, 『繊維製品消費科学』 Vol.29 (No.9), 1988, pp.42-49
- (14) 皆川基, 石川美紗子, 中島幸子, 「たん白質汚れの洗浄に関する研究 - 熱変性たん白質汚染布の洗浄について -」, 『大阪市立大学生活科学部紀要』 第 24 号, 1976, pp.41-48
- (15) 矢部章彦, 林 雅子, 石井桂子, 粒良栄子, 「洗浄用溶液の疲労度に関する研究 (第 2 報) - 各種洗剤溶液の繰り返し使用による洗浄効率・液性の変化と各種繊維の再汚染性 -」, 『繊維製品消費科学』 Vol.7 (No.1), 1966, pp.11-16
- (16) 大矢勝, 「よくわかる最新洗浄・洗剤基本と仕組み 汚れ除去のメカニズム - 水系・非水系洗浄」, 『機械的洗浄の基礎知識』, p191
- (17) 佐藤昌子, 皆川基, 「無リン洗剤による洗浄に関する研究 (第 4 報) - アニオン界面活性剤・ポリアクリル酸ナトリウム・プロテアーゼ系の配合効果と溶液特性 -」 『繊維製品消費科学』 Vol.26 (No.5), 1985, pp.37-49
- (18) 阿部正彦, 坂本一民, 福井 寛, 『界面活性剤の本』, 2010, 日刊工業新聞社, pp.54-55
- (19) 阿部正彦, 坂本一民, 福井 寛, 『界面活性剤の本』, 2010, 日刊工業新聞社, pp.64-65
- (20) 藤本明弘, 服部香奈子, 大矢勝, 「マイクロバブル洗浄への界面活性剤の添加効果」, 『繊維製品消費科学』 Vol.57 (11), 2016, pp.44-49
- (21) 大矢勝, 皆川基, 「衣類の泡沫洗浄に関する研究 (第 8 報) - バルク染液中に添加するアルカリビルダーの濃度が洗浄性におよぼす影響 -」, 『繊維製品消費科学』, Vol.30, (7), 1989, pp.29-35
- (22) 谷崎善治, 「高分子界面活性剤」, 『油化学』, 1985, 第 34 巻, 第 11 号, pp.73-78
- (23) 日本石鹼洗剤工業会, 「ポリオキシエチレンアルキルエーテル硫酸塩 (AES) のヒト健康影響と環境影響に関するリスク評価結果について」, 2011
- (24) 木村雄二, 中村喜久枝, 富原賢一, 中村好伸, 「オキシエチレン基の導入によるイオン性及び両性界面活性剤のタンパク質変性の低減効果」, 『日本化粧品技術者会誌』, 第 28 巻, 第 1 号, 1994, pp. 57-65
- (25) 岡田伸子, 藤井富美子, 皆川基, 「油脂よごれの洗浄に関する研究 (第 4 報) - 硬水中之での洗浄性と洗浄布の黄変におよぼす石けんの影響 -」, 『家政学雑誌』, Vol.35, No.5, 1984, pp.24-32
- (26) 岡田伸子, 藤井富美子, 奥山晴彦, 「油脂よごれの洗浄に関する研究 (第 2 報), 硬度成分による残留物の黄変におよぼす影響」, 『家政学雑誌』, Vol. 27, No.3, 1976, pp.49-54
- (27) 高木秀明・戸川泰輔, 「イオン液体の文化財修復・修理材料への代替溶剤としての可能性」, 『文化財情報学研究』, 第 5 号, pp.71-83,
- (28) 藤井富美子, 森口幸代, 奥山晴彦, 「非イオン性界面活性剤による油脂よごれの洗浄に関する研究」, 『家政学雑誌』, Vol.12, No.10, 1971, pp.19-25
- (29) 藤井富美子, 森口幸代, 奥山晴彦, 「非イオン性界面活性剤による油脂よごれの洗浄に関する研究」, 『繊維

- 製品消費科学』, 1971, Vol.12, (No.10), pp.19-25
- (30) 亀昌治, 団上安彦, 杵島誠一路, 甲田英行, 「非イオン界面活性剤の洗浄性について(第3報) - 繊維に対する界面活性剤の収着の効果 -」, 『油化学』, 1963, 第12巻, 第4号, pp.223-228
- (31) 藤居真理子, 高橋兆子, 「サイカチ, ムクロジ, 灰汁の洗浄性と溶液物性」, 『東京家政学院大学紀要』 第43号, 自然科学・工学系, 2003, pp.1-10
- (32) 田辺勝利, 「繊維, 染料および洗剤の歴史的関係(第3報): 主として洗浄剤・洗浄補助剤・漂白剤の歴史的展開」, 『愛媛大学教育学部紀要』, 第1部教育科学, Vol.33, 1987, pp.239-306
- (33) 藤居真理子, 高橋兆子, 「サイカチ, ムクロジ, 灰汁の洗浄性と溶液物性」, 『東京家政学院大学紀要』 第43号, 自然科学・工学系, 2003, pp.1-10.
- (34) 大矢勝, 「洗浄洗剤の基本と仕組み - 水系・非水系洗浄, 機械的洗浄の基礎知識 - 汚れ除去のメカニズム」, 秀和システム, 2011, pp.84-85
- (35) 大矢勝, 「洗浄洗剤の基本と仕組み - 水系・非水系洗浄, 機械的洗浄の基礎知識 - 汚れ除去のメカニズム」, 秀和システム, 2011, pp.84-85
- (36) 大矢勝, 「洗浄洗剤の基本と仕組み - 水系・非水系洗浄, 機械的洗浄の基礎知識 - 汚れ除去のメカニズム」, 秀和システム, 2011, pp.98-99
- (37) 大矢勝, 「洗浄洗剤の基本と仕組み - 水系・非水系洗浄, 機械的洗浄の基礎知識 - 汚れ除去のメカニズム」, 秀和システム, 2011, pp.98-99
- (38) 工業技術院計量研究所, 国際法定計量機関(OIML: International Organization of Legal Metrology) 採択, 国際アルコール表より抜粋
- (39) Historic Royal Palaces, Cleaning Henry VIII's tapestries, https://www.youtube.com/watch?v=ASbcok7m_y0
- (40) France Hartog, "Aerosol Washing, Alternative Methods of Wet cleaning Carpets in Collections, Cloth workers Fellowship Report November 2016-November 2017", Victoria and bert Museum, pp.24-26
- (41) Zarah Walsh, Emma-Rose Janeček, James T. Hodgkinson, Julia Sedlmair, Alexandros Koutsoubas, David R. Spring, Martin Welch, Carol J. Hirschmugl, Chris Toprakcioglu, Jonathan R. Nitschke, Mark Jones, and Oren A. Scherman, "Multi-functional supramolecular polymer networks as next generation consolidants for archaeological wood conservation", *PNAS*, Vol.111 (No.50), 2014, pp.17743-17748
- (42) Lora V. Angelova, Brownyn Ormsby, Emma Richardson, "Deffusion of Water from a Range of Conservation Treatment Gels Films Studied by Unilateral NMR" *Microchemica Journal*, Vol.124, January 2016, pp.311-320
- (43) Silvia Sotgiu, "A new methodology for wet conservatin treatments of grafic art on paper with a rigid polysaccharide gel of Gellan Gum", Preprints of Choices in Conservation Practice Versus Research, 2010, ed. L. Watteeuw, pp.47-51.
- (44) A. Sansonetti, M. Casati, J. Striova, C.Canevali, M.Anzani, A. Rabbolini, "A Cleaning Method Based on the Use of Agar Gels: New Test and Perspective" *12th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone*, Columbia University, New York, 2012, pp.1-13
- (45) Cindy Lee Scott, "The Use of Agar as a Solvent Gel in Objects Conservation", *AIC Objects Secialty Group Postprints*, Vol. 19, 2012, pp.71-83
- (46) Micaela Sousa, Maria Joano Melo, Teresa Casimiro, Ana Aguiar-Ricardo, "The Art of Co₂ for art conservation: a green approach to antique textiles cleaning", *Green Chemistry*, The Royal Society of Chemistry, Vol.9, 2007, pp.943-947
- (47) 後藤景子, 中谷博美, 徳安恵里菜, 「超音波を利用した繊維集合体の高性能洗浄法の検討」, 『繊維学会誌』, Vol.70, 2014, pp.273-280