

研究種目：基盤研究 (B)  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19300296  
 研究課題名 (和文) 文理融合型文化財修復科学の確立を目指した紙文化財修復法の妥当性評価  
 研究課題名 (英文) Validity evaluation of restoration processes for paper cultural properties with aim of establishment of cultural properties restoration science by integration of humanities and science  
 研究代表者  
 江前 敏晴 (ENOMAE TOSHIHARU)  
 東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授  
 研究者番号：40203640

研究成果の概要 (和文)：湿熱強制劣化により酸性化した紙は、水処理により pH が上昇し中性化した。硫酸アルミニウムやドウサの溶出のためだが、生成した酸性物質は溶出しにくい傾向があった。水処理により引張エネルギー吸収量が増加した。乾燥時の繊維収縮により引張破断伸びが大きくなるため、本来の紙力回復ではないものの、総じて紙力低下はなかった。打ち紙処理より紙の濡れ伸び量が大きくなった。補修後の管理で吸湿があると寸法が大きくなり、本紙に力が加わることが示唆された。

研究成果の概要 (英文)：Paper subject to heat-humidity accelerated deterioration showed a pH increase resulting in neutralization by water cleaning treatment. Dissolution of aluminum sulfate or aluminum potassium sulfate induced this change, but acidic substances formed in the deterioration might be less water-soluble. Tensile energy absorption of the deteriorated paper increased due to the increased stretch to break by fiber shrinkage during drying. This TEA increase does not mean a practical strength recovery, but no strength reduction was found to be caused by the water cleaning treatment as a whole. The paper pounding treatment increased the wet stretch of paper. This result suggests that unnecessary force may be applied to the paper-made cultural properties from pounded paper patches, if they absorb moisture during a long storage.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	7,500,000	2,250,000	9,750,000
2008 年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2009 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
年度			
年度			
総計	12,800,000	3,840,000	16,640,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：文化財科学・文化財科学

キーワード：文化財、紙、修復、漂白、クリーニング、打ち紙、濡れ伸び、劣化

1. 研究開始当初の背景

|(1) 古文書や史料等の紙でできた文化財を保

管する際、その環境を完全なものにすることは困難であり、適切でない場合は劣化がどんどん進行していく。史料あるいは美術的価値を維持するために修復が行われるが、紙を現状よりも劣化させないということは修復に必須の要件である。このことを念頭において、現在行なわれている、紙文化財の修復法を知ること、それぞれの工程の意味を、検証的な実験を通して自然科学的に見直すこと、妥当性の評価を行なうとともに改良すべき点や新たな方法を提案することが必要であった。

## 2. 研究の目的

(1) 現状で行われている修復法を知ることやこの研究の第一歩と考え、修復作業を行なう現場に行き、現状を把握すること、修復技術者から直接意見を聞くこと、自然科学的に評価し、提言を行なうことを目的とした。

(2) 現在の紙文化財修復工程では、クリーニングや脱酸処理の工程で大量の水を使用する。紙は繊維間の水素結合によりその構造が保たれているが、紙を水に浸漬し水分子を繊維間に浸入させれば繊維間の結合は切れるため、紙を破壊することになる可能性が懸念される。そこで、修理工程における液体の水が文化財本紙に与える影響を検討した。

(3) 古文書等の文化財紙の修復工程で行われる処理法が料紙にどのような影響を与えるのか、例えば極端な場合にはそれを破壊している可能性はあるのか、あるいは損傷を与えることはないのか、などの点を科学的に調査し、適切な処理法を見出すことを目的とした。

## 3. 研究の方法

(1) 東京大学史料編さん所蔵する愚昧記（鎌倉幕府が起こされる前後の宮中の様子を綴った三条実房の日記）の修復が奈良国立博物館で行われた。ここで修復手順の調査及び愚昧記料紙（以下、本紙という）の紙質測定を行った。手順の調査では、特に水が使われる工程に注目した。

(2) 水を使った処理が本紙に与える影響について検討するため、機械抄き酸性洋紙、機械抄き和紙（ドウサ引き処理ありとなし）、試験用手すき紙（広葉樹漂白クラフトパルプ）を80°C 65%RH条件で、0、1、2、4、8、16週加速劣化処理した。これらの湿熱劣化紙試料を金属バットに入れた脱イオン水に、手で通した。ろ紙2枚でこの試料を挟み、さらに合板2枚で挟んで、98.1 kPaの圧力で1分間プレスして脱水を行った。合板に挟んだまま、23°C、50%RHの条件で、約10 kgfの荷重を加えて完全に乾燥させた（クリーニン

グ処理を模した条件で行う水処理)。また、以上のような水処理を行なわなかった湿熱劣化試料と合わせ、色、pH、強度、光学特性を測定した。

(3) 修復に携わる技術者にアンケート調査を行った。

(4) 書記時における墨のにじみを抑えるための処理として古来行なわれて来た（現代の和紙製造では途絶えてしまった）“打ち紙（うちがみ）”について検討した。修復すべき紙文化財の料紙は製造工程で打ち紙が行なわれていることが多いため、補修紙を使用する際に、打ち紙を行なうことがある。この処理が必要かどうかは、紙の物性に与える影響を調べることにより判断すべきである。そのため試作した打ち紙装置により処理を行い、紙の物性変化を調べた。

## 4. 研究成果

(1) 修復の最初の段階では、汚れ及び有機酸を取り除くための水によるクリーニングが行われる。ろ紙の上に本紙を置き、その上に極薄の典具帖紙を保護紙として載せ、溜まらない程度に霧吹きで満遍なく表面を濡らす。水は保護紙と本紙を通過し、ろ紙に吸収される。これを数回繰り返すが、一方向に水が移動することが重要と思われる。この処理後のあとは、板に挟んでプレスし、一方板に貼り付いた状態で乾燥する。いわゆる緊張乾燥に当たり、巻きぐせ等を取り除くことができるが、これがどの程度繊維間結合にダメージを与えるかは、評価しなくてはならないことが伺えた。虫食い部の補修には、補修紙の紙片を同様の形に採取して麩糊を用いて糊付けする。麩糊。糊の99%は水であり、どのような影響があるかを調べる必要があると考えられた。

(2) pHの変化を見ると、湿熱劣化によりどの試料も低下（酸性化）した。和紙のドウサ未塗布試料は、元来中性ないしアルカリ性（パルプ化に使用する炭酸ナトリウムなどを洗浄しないことが多いため）であり、水処理劣化によりpHは低下した。しかしそれ以外の湿熱劣化により酸性化した試料は全て水処理により、pHが上昇した（酸性から中性への変化）。機械抄き洋紙に含まれる硫酸アルミニウムは弱酸性を示すが、硫酸アルミニウムが溶解して除去されたと考えられた。また湿熱劣化により生じた酸性物質は溶解速度が遅いためか、劣化時間が長いほど、水処理によるpHの上昇の程度が抑えられた。引張強度では、酸性紙は明らかに低下したが、これは酸加水分解によるセルロースの劣化が原因である。和紙は、むしろ強度が上がる傾

向を示したが、ドウサ（硫酸アルミニウムカリウム）引きがあると劣化の進行とともに低下に転じた。和紙の比引張エネルギー吸収量（TEA）の劣化処理による変化を見ると、ドウサ引きがないと低下がわずかであったが、ある場合は急速に低下した。破断伸びが小さくなったためである。劣化処理の有無に関わらず水処理により、TEAは増加した。これも破断伸びの影響と考えられた。水処理の乾燥時に収縮が起こると、一見紙力が回復したかに見えるが、本質的な強度の増加とは言えない。

(3) 回答者が扱う対象は、和紙だけが63.3%、和紙と洋紙の両方が、21.4%であった。特に特筆すべきは、紙を傷める危険性のある脱酸処理や漂白処理で使用する薬品の種類であった。酸素系の過酸化水素が最も多く、塩素系の次亜塩素酸ナトリウムや次亜塩素酸カルシウムの他、過マンガン酸カリウムも非常に多かった。過マンガン酸カリウムは酸化力が強く、また酸性の中和剤によっても繊維の分解を進めたりすることがあるので、検証が必要と思われる事例がいくつかあった。また、打ち紙処理は明治期以前の和紙製造工程で行われていたため、古文書料紙の修復紙に打ち紙処理を行うことがある。その場合の物性変化については知られていないため、物性変化を調べた。打ち紙の際の圧縮圧力の増加により、繊維強度が低下したが、繊維の損傷によると考えられた。また、打ち紙により濡れ伸び（濡れたときに伸びる長さ）が大きくなったことから、紙の保管時に吸脱湿があれば寸法変化が大きくなることが予測される。したがって文化財の補修紙に打ち紙処理を施すことは、寸法変化の大きな紙を作ることになることを考慮する必要がある。経年劣化した打ち紙処理を経ている文化材料紙も同様の挙動を取るかもしれないが、経年劣化により寸法安定性が変化する可能性もあるので併せて検討する必要があることが示唆された。

#### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計2件）

- ① Toshiharu Enomae, Yoon-Hee Han, Akira Isogai, Michihisa Hotate, Satoshi Hasegawa, Mechanisms of perception of laid lines in Japanese paper, Journal of Wood Science, 査読有, 56, 2010, DOI: 10.1007/s10086-010-1109-2
- ② 韓允熙, 江前敏晴, 磯貝明, 保立道久, 大徳寺文書料紙に残る簀の目数の年代による変遷、古文書研究、査読有、70、2010

〔学会発表〕（計8件）

- ① 江前敏晴、和田恵美子、打ち紙処理による紙の濡れ伸び挙動の変化、日韓文化財科学国際シンポジウム、2010年3月27日国立現代美術館、ソウル、韓国
- ② 江前敏晴、和田恵美子、衝撃圧縮処理した紙の強度特性と吸水による寸法変化、第60回日本木材学会大会(宮崎)、2010年3月19日、宮崎観光ホテル(宮崎県)
- ③ Toshiharu Enomae, Michihisa Hotate, Yoon-Hee Han, History, analysis and database of traditionally-handmade Japanese paper, First China-Japan-Korea Symposium on Papermaking History, 2009年11月11日、浙江南国大酒店、富陽市、浙江省、中国
- ④ Toshiharu Enomae, Emiko Wada, Madoka Sato, Masamitsu Inaba, Mechanical properties of paper deteriorated at high temperature and humidity and pounding-processed paper and their change by moisture, 東アジア文化遺産保存学会第1回大会、2009年10月17日、故宮博物院、北京、中国
- ⑤ 佐藤円香、稲葉政満、江前敏晴、磯貝明、水によるクリーニング工程が文化材料紙の紙質に与える影響、日本木材学会年次大会(松本大会)、2009年3月16日、松本
- ⑥ 佐藤円香、江前敏晴、水によるクリーニング工程が文化材料紙の紙質に与える影響、紙の保存・修復に関する日韓合同研究会議、2008年12月13日、東京
- ⑦ 江前敏晴、日韓における紙文化財の分析・保存修復の実情と産業との連携、第204回繊維学会紙パルプ研究委員会研究会、2008年12月12日、東京
- ⑧ 佐藤円香、江前敏晴、稲葉政満、紙文化財修復法の妥当性評価—水によるクリーニング工程の考察—、紙の保存・修復に関する日韓合同研究会議、2008年10月14日、ソウル

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

佐藤 円香 (SATO MADOKA)  
和田惠美子 (WADA EMIKO)

○取得状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

[http://enomae.web.infoseek.co.jp/  
cgi-bin/PaperConservation/](http://enomae.web.infoseek.co.jp/cgi-bin/PaperConservation/)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

江前 敏晴 (ENOMAE TOSHIHARU)  
東京大学・大学院農学生命科学研究科・准  
教授  
研究者番号：40203640

### (2) 研究分担者

磯貝 明 (ISOGAI AKIRA)  
東京大学・大学院農学生命科学研究科・教  
授  
研究者番号：40191879

保立 道久 (HOTATE MICHIHISA)  
東京大学・史料編さん所・教授  
研究者番号：70092327

稲葉 政満 (INABA MASAMITSU)  
東京芸術大学・美術研究科・教授  
研究者番号：50135183

加藤 雅人 (KATO MASATO)  
東京文化財研究所・修復技術部・研究員  
研究者番号：10415622

高島 晶彦 (TAKASHIMA AKIHIKO)  
東京大学・史料編さん所・技術職員  
研究者番号：10422437

### (3) 連携研究者

富田 正弘 (TOMITA MASAHIRO)  
富山大学・人文学部・教授  
研究者番号：50227625

### (4) 研究協力者

鈴木 裕 (SUZUKI YUTAKA)  
長谷川 聡 (HASEGAWA SATOSHI)  
韓 允熙 (HAN YOON-HEE)