
**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**

Validity evaluation of restoration processes for paper cultural
properties with aim of establishment of cultural properties
restoration science by integration of humanities and science

平成 19 年度～平成 21 年度科学研究費補助金
基盤研究（B）研究成果報告書
課題番号 19300296

(<http://enomae.web.infoseek.co.jp/cgi-bin/PaperConservation/> から本報告書の PDF 版が入手可能)

平成 22 年（2010 年）11 月

研究代表者 江前敏晴
東京大学 大学院農学生命科学研究科 准教授

目 次

はしがき	5
研究の概要	7
1. 研究組織 7	
2. 研究経費 7	
3. ホームページ	7
4. 研究成果要約（和文）：	7
5. 研究成果要約（英文）：	8
6. 研究成果の概要	8
7. 雑誌論文発表	10
8. 研究発表 11	
本論	13
1. 修復手順の実例紹介	13
1-1. 指定文化財の修復方針	13
1-2. 修復事例	13
1-2-1 東京大学史料編纂所所蔵重要文化財『実隆公記』	13
1-2-2 東京大学史料編纂所所蔵重要文化財『愚昧記』	14
1-3. 現在の修復対象に対する方針と事前調査	15
1-4. 今後の課題	17
（追補）麩糊の調製方法	17
2. 古文書修復法のアンケート調査	18
2-1. 実施の概要	18
2-2. アンケート調査の依頼	18
2-3. 調査依頼文	19
2-4. アンケート用紙	20
2-5. アンケートの集計結果と実施者からのコメント	30
設問1 貴工房（貴社）で修復の対象となる文書の紙の種類はどのようなものですか。（複数可）	

設問 2	クリーニング工程について.....	38
設問 3	裏打ち除去工程について.....	77
設問 4	クリーニング(及び裏打ち除去)工程後の乾燥について.....	83
設問 5	虫損の補修工程はどのように行いますか。.....	91
設問 6	裏打ちはどのように行いますか。.....	110
設問 7	仕上げ工程はどのように行いますか。.....	126
3.	水によるクリーニング工程が文化財料紙の紙質に与える影響.....	132
3-1.	本研究の背景と目的.....	132
3-1-1	修復の理念.....	132
3-1-2	水クリーニングの目的.....	132
3-1-3	水クリーニングの種類.....	132
3-2.	乾燥方法.....	133
3-3.	実験試料および評価方法.....	133
3-3-1	試料調製.....	133
3-3-2	強制湿熱劣化処理.....	135
3-3-3	水クリーニング処理.....	136
3-3-4	物性値評価方法.....	137
3-3-5	試料調製と処理の流れ.....	138
3-4.	結果と考察.....	138
3-4-1	湿熱強制劣化による pH の変化と水クリーニング処理の影響.....	138
3-4-2	強制劣化による色の変化と水クリーニング処理の影響.....	141
3-4-3	強制劣化による機械的強度の変化.....	143
3-4-4	比散乱係数.....	158
3-4-5	湿熱強制劣化による物性変化のまとめ.....	159
3-5.	まとめ.....	161
	引用文献.....	161
4.	打ち紙処理により高密度化したシートの濡れ伸び挙動.....	163
4-1.	本研究の背景と目的.....	163
4-2.	自動打ち紙試験装置の製作と制御.....	164
4-3.	試料.....	165
4-3-1	試料の種類.....	165
4-3-2	試料の含水率調整と打ち紙条件.....	165

4-3-3	観察及び測定した物性	166
4-4.	結果と考察	167
4-4-1	外観の変化	167
4-4-2	表面及び断面の変化	167
4-4-3	圧縮圧力と物性変化の関係（コピー用紙）	168
4-4-4	圧縮圧力と物性変化の関係（和紙）	171
4-4-5	圧縮時含水率と物性変化の関係（コピー用紙）	173
4-4-6	圧縮時含水率と物性変化の関係（和紙）	178
4-4-7	圧縮圧力と濡れ伸びの関係（コピー用紙）	181
4-4-8	圧縮圧力と濡れ伸びの関係（和紙）	182
4-4-9	含水率と濡れ伸びの関係（コピー用紙）	183
4-4-10	圧縮圧力と濡れ伸びの関係（和紙）	184
4-5.	まとめ	187
おわりに		188
(参考)学会発表要旨及び各種報告書		191
1.	「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)	191
2.	“History, analysis and database of traditionally-handmade Japanese paper”, First China-Japan-Korea Symposium on Papermaking History.....	194
3.	“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	204
4.	「水によるクリーニング工程が文化財用紙の紙質に与える影響」、日本木材学会年次大会（松本大会）	208
5.	「紙文化財修復法の妥当性評価ー水によるクリーニング工程の考察ー」、紙の保存・修復に関する日韓合同研究会議.....	211

はしがき

古文書や史料等の紙でできた文化財を保護し、修復していくことは、史学的、文化的及び美術的価値を継承していくという観点から重要である。文化庁でも、文化財保護法に基づき、国宝・重要文化財（美術工芸品）、登録文化財を適切に保存するための計画的な保存修理に対して補助を行っている。文化財の修復法に関して言えば、一方では、文部科学大臣が指定する文化財の保存のために欠くことのできない伝統的な選定保存技術があり、他方では、修復を要する膨大な数（欧米では全保管書籍の2割以上とも言われている）の紙文化財を対象とした効率的な修復法が求められ、開発されている。

欧米では1800年代半ばから紙の繊維原料として木材パルプが普及し、はっ水性を与えるサイズ剤としてロジンとその定着助剤である硫酸アルミニウムを使用してきた。その硫酸痕により繊維の主成分であるセルロースが酸化水分解を起こし、紙の劣化が進行した。劣化を食い止めるには紙の中の酸性成分を取り除くことが必要となるが、このような書物量が膨大なため、大量に効率よく処理できる脱酸法が開発されてきた。しかし、明治中期までの日本の紙文化財は、明礬（みょうばん）のような軽度の酸性物質を少量塗布することはあっても、大量の酸性物質を添加して漉くことのない和紙であるため脱酸処理の必要性が低く、修復工程も洋紙とは異なっていて当然である。しかし、伝統的技術に基づかない欧米の手法が日本国内でも普及しつつある。虫食いの穴がある紙全体を網上に置き、繊維懸濁液を流し込んで脱水し、穴の部分だけを紙を漉く要領で埋める漉き嵌（ば）め法¹や、脱酸処理として水酸化カルシウム水溶液への浸漬²、中性次亜塩素酸カルシウム溶液を用いたシミの漂白³などが行われているが、このような処理は長期的に有効な処理と言えるのかどうかの検討は不十分と思えた。

私たちはこれまでに、古文書料紙の繊維配向を調べることによって紙の製造技

¹ Petherbridge, G., Conservation of Library and Archive Materials and the Graphic Arts, 153-179 (1987).

² Ambrosi, M., Colloidal Particles of $\text{Ca}(\text{OH})_2$: Properties and Applications to Restoration of Frescoes, Langmuir 17: 4251-4255 (2001).

³ Sundholm, F., Paper Conservation Using Aqueous Solutions of Calcium Hydroxide/Methyl Cellulose., Restaurator 24: 178-188(2003).

術を推定する手法を開発し、補修紙の繊維配向を文化財の紙（以下、本紙と呼ぶ）に合わせるべきであるとの見解を示した^{1, 2}。また、現代の和紙製造で行われなくなった打ち紙処理を行って修復の現場で補修紙を改質することが多い。これを踏まえて、打ち紙による紙質の変化を独自に設計製作した自動打ち紙装置を用いて調べ、補修紙設計の基礎データとした³。以上のように修復法が拠り所とすべき製紙科学的分析を展開し始めており、このような手法をさらに発展させて、この研究を進めて行くことにした。

1 つには、優れた補修、望ましい補修の概念を整理し、近年開発された紙文化財の修復法のいくつかについて、それが適正な手法かどうかを科学的な分析手段を用いて多角的に評価することにした。もう一方では、現在、修復工房等で行われている文化財補修の実態を明らかにする調査を進めた。修復方法の是非の判断や改良は一朝一夕にできるものではなく、工房での修復には長年にわたり培われた技術と業が生かされている。しかし、その上に覆いかぶさるようにして広まりつつある、十分な安全性の確認がない効率化、迅速化重視の手法にむしろ検証のメスを入れなくてはならないであろう。

そのような方針で進めた調査及び実験結果をこの報告書ではまとめたつもりである。

なお、本報告書は PDF 版として、ホームページ：
<http://enomae.web.infoseek.co.jp/cgi-bin/PaperConservation/>
からも入手可能である。

¹ Han, Y.-H., Enomae, T., Isogai, A., Yamamoto, H., Hasegawa, S., Song, J.-J. and Jang, S.-W., "Traditional papermaking Techniques revealed by fiber orientation in historical papers", *Studies in conservation* 52(4): 267-276(2006).

² Enomae, T., Han, Y.-H. and Isogai, A., "Nondestructive determination of fiber orientation distribution of fiber surface by image analysis", *Nordic Pulp and Paper Research Journal* 21(2): 253-259(2006).

³ 韓允熙 学位論文 2006 年 3 月（東京大学）。

研究の概要

1. 研究組織

研究代表者	江前敏晴	(東京大学 大学院農学生命科学研究科・准教授)
研究分担者	磯貝 明	(東京大学 大学院農学生命科学研究科・教授)
同上	保立道久	(東京大学 史料編纂所・教授)
同上	稲葉政満	(東京芸術大学・美術研究科・教授)
同上	加藤雅人	(東京文化財研究所・修復技術部・研究員)
同上	高島晶彦	(東京大学 史料編さん所・技術職員)
連携研究者	富田正弘	(富山大学 人文学部・教授)
研究協力者	鈴木 裕	(松鶴堂・代表取締役)
同上	長谷川 聡	(長谷川和紙工房)
同上	韓 允熙	(韓国国家記録院ナラ記録館)
同上	佐藤円香	(東京芸術大学・美術研究科・修士課程)
同上	和田恵美子	(東京大学 大学院農学生命科学研究科・技術補佐員)

* いずれも研究遂行時点での所属機関名・役職名

2. 研究経費

(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
総 計	12,800,000	3,840,000	16,640,000

3. ホームページ

<http://enomae.web.infoseek.co.jp/cgi-bin/PaperConservation/>

4. 研究成果要約（和文）：

湿熱強制劣化により酸性化した紙は、水クリーニング処理により 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。水クリーニング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。

5. 研究成果要約（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.

6. 研究成果の概要

- (1) 現状で行われている修復法を知ることが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。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。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) 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。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℃ 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性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℃、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クリーニング処理）。また、以上のような水クリーニング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。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、水クリーニング処理劣化により 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クリーニング処理により、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、水クリーニング処理による pH の上昇の程度が抑えられた。引張強さでは、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クリーニング処理により、TEA は増加した。これも破断伸びの影響と考えられた。水クリーニング処理の乾燥時に収縮が起ると、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) 古文書等の文化財料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。修復に携わる技術者にアンケート調査を行った。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。
- (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。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財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。

7. 雑誌論文発表

1. 韓允熙, 江前敏晴, 高島晶彦, 保立道久, 磯貝明, "中世大徳寺文書に見る和紙の表裏と書状の習慣", 日本史研究, 579 号(11 月 20 日発行), in press (2010).
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, 71, in press (2011).

3. 韓允熙, 江前敏晴, 高島晶彦, 保立道久, 磯貝明, "繊維配向性分析による大徳寺文書料紙の抄紙技術の推定", 情報考古学, 17(1), in press (2011).
4. Toshiharu Enomae, Yoon-Hee Han, Akira Isogai, Michihisa Hotate, Satoshi Hasegawa, "Mechanisms of perception of laid lines in Japanese paper", Journal of Wood Science, 56(5), in press (2010), DOI: 10.1007/s10086-010-1109-2.
5. Toshiharu Enomae, Yoon-Hee Han, Akira Isogai, "Z-Directional distribution of fiber orientation of Japanese and western papers determined by confocal laser scanning microscopy" Journal of Wood Science, 54(4),300-307 (2008)

8. 研究発表

1. Toshiharu Enomae, "Fascination of Japanese paper and sheet structure of repair paper for restoration of paper cultural heritage", The 21st IAPMA Congress, 2010 年 9 月 8 日, Hotel Interburgo, 原州, 韓国
2. 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
3. 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)
4. 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
5. 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
6. 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

財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

7. 佐藤円香, 江前敏晴, 水によるクリーニング工程が文化財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
8. 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
9. 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ー水によるクリーニング工程の考察ー, 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

本論

1. 修復手順の実例紹介

東京大学史料編纂所 高島 晶彦

1-1. 指定文化財の修復方針

かつての修理は、シミや汚れを除去し、損傷箇所は徹底的に直して美しく仕立てるといったものばかりで、そのため修理前とは見違えるものに変化してしまうのである。つまり料紙の「風合い」などは消え去った修理であった。

国宝・重要文化財に指定されている古文書・典籍等の紙文化財修理の仕様は、平成 7(1995)年以降になると、当初または現状の形態や痕跡などを極力残すこと、虫喰い等による本紙の欠失を補う補修紙が既製の似寄り紙からより本紙に適した復元補修紙へと移行し、裏打ちをせずに欠失した箇所へ復元補修紙を当てて糊付けし、押しをして仕上げるという方向へ大きく変化してきた¹⁾。特に現状の形態や痕跡などを極力残すために極力本紙に与える水分を抑えて、料紙の風合い、折り跡、へら押し線、針穴などの情報を残す修理方法¹⁾が増えてきている。

1-2. 修復事例

ここではまず、東京大学史料編纂所所蔵重要文化財『実隆公記』と『愚昧記』の修理事例を検討してみる。

1-2-1 東京大学史料編纂所所蔵重要文化財『実隆公記』

『実隆公記』は、1996 年から 2005 年の 10 ヶ年で 106 巻・1 帖・44 冊・1 紙が修理され、前述の文化財修理の大きな変化が見られた初期の修理品である。

修理方針はできる限り当初の姿で保存する修理を行い、大幅な原状変更は行わないとした。これは旧蔵者により一部補修（裏打ち）が加えられていたが、その多くは原状のまま保存されていたためである。但し、裏打ちが施されているものは裏打紙の除去を行い、本紙が甚だしく弱っているものには薄楮紙にて裏打ちを施すこととしている。

¹⁾鈴木裕「書跡の修理」国宝修理装こう師連盟編『平成 16 年度国宝修理装こう師連盟第 10 回定期研修会報告集』（2005 年）

虫喰いにより欠失した箇所を用いる補修紙は、本紙に関するデータを収集して、本紙の料紙と類似したものを復元したオリジナル（本紙）とほぼ同様の「似寄り紙」を使用することとしている。これは、視覚的な問題だけでなく、保存上、紙としての強度・柔軟さ・厚さなど本紙とのバランスを崩さず、適したものを使い、本紙になじませることを目的としているものである¹⁾。

補修紙と本紙の色合いをチェックして、本紙を下からの透過光で見て、補修紙を欠失箇所に置き、本紙の繊維の流れる方向、簀の目、糸目の位置を合わせ、欠失箇所の形より一回り大きくトレースする。そして接着面（接合部分）の当たるところを喰い先（ちぎって繊維を毛羽だたせる）にして整形し、新糊（沈糊）と布海苔の混合糊を虫穴の際、または補修紙の喰い先の部分に、先のきいた筆でくばり、嵌め込んでいる。

クリーニングは、吸取り紙（ろ紙・バージンパルプ 100%）を 5 枚から 10 枚重ねた上に、化繊紙で挟み込んだ本紙を置き、不純物を取り除いたろ過水をスプレーにて本紙に噴霧浸透させ、墨の滲みに注意して、吸取り紙に汚れを吸収し除去するものである。

糊付けの際、繕い紙に汚れがまわらぬよう十分に行っている。

『実隆公記』は、大きさの異なる料紙を継いでいて、かつ継ぎのラインも直線ではないため小口が不揃いである。小口を揃えるため、天地に足し紙を施すことを検討したが、室町後期の姿を残すことを優先し、付すことを見送った。

そのため取り扱いには十分な注意が必要であり、巻芯に巻き取る場合は、本紙の表面が平らであることを確認して、巻芯からはみ出さない程度に若干ゆとりをもたせておくのが良い。本紙を擦ったり、小口を押したり、きつく巻き上げたりすることは避けるべきである。

1-2-2 東京大学史料編纂所蔵重要文化財『愚昧記』

『愚昧記』は、2006 年から 2008 年の 3 ヶ年で、8 巻修理が行われた。

修理方針は、各巻で紙質や損傷が異なるため、それぞれに対応した仕様で修理を行う。卷子装を解体し補紙や裏打紙を除去することとした。安全な取扱いが可能で且つ出来る限り紙背文書が判読可能な形態を補紙の完了後に再度検討した結果、補修紙のみで形状が安定し、安全な取扱いが可能な巻については裏

¹⁾岡墨光堂編『修復』第 1 号 II 修復材料 紙（1994 年発行）

打ちを施さないこととした。料紙の脆弱や相剥ぎによる損傷が著しいものについては裏打ちを適宜 1 層もしくは 2 層施すこととした。とくに最終年度修理分の裏打ちの施し方を決定するために、『実隆公記』の料紙のうち薄いものを対象とした修理後の状況観察の結果を参考にした。

巻第 3 は全般に厚みのある均質な本紙で、紙数が 43 紙におよび巻径が大きい。本紙上部にカビや茶褐色のシミがあり、水による本紙表面の脆弱化が見られる。巻第 8 は全般に薄く、相剥ぎにより厚みにムラがあり損傷が著しく、第 18 紙から 28 紙はかすがい状の紙で継がれていることからバランスを考慮して、足し紙と隔てを新調して天地に施すこととした。

表紙は補紙や裏打紙を除去し、修理前の状態に戻す。補紙を施した後、強度によっては裏打ちを施す。紐や八双は付けずに、保護のための覆表紙を新調し、これに八双と紐を付けることとした。

巻尾には、軸・本紙に合わせた軸巻紙を新調して取り付けることとした。

補修紙については本紙に関するデータを収集して作成しているが、デジタル技術を活用して欠失箇所の部分のみを出力して同形の補修紙のみを作成しており、適切に補紙を行っている¹⁾。

クリーニングについては、方法は『実隆公記』と同様であるが、汚れを軽減する程度に留めている。

裏打紙の除去の際に与える湿りは必要最小限度の留め、間接的に文書に湿りを与える方法を採用している。

保存については、桐製の太巻添軸を新調し、本紙を巻きつけて箱に納入した。天地の小口が不揃いであるため、取扱いの注意事項を収納箱内に収めた。

以上が『実隆公記』『愚昧記』修理の概要である。

1-3. 現在の修復対象に対する方針と事前調査

現在、東京大学文学部所蔵『東大寺文書』の修理を行い、合わせて料紙の縦横の寸法・厚さ・重量の計測、顕微鏡観察による繊維・不純物・填料の観察、色差計・光沢度計による計測、板目・刷毛目等の観察、フーリエ変換解析による簀目本数の計測といった本紙に関するデータの収集を行っている。

¹⁾岡墨光堂編『修復』第 7 号 修復材料 宇都宮正紀「Digital Image Infill Paper System - デジタル技術を活用した補修紙作成方法 - 」(2002 年)

修理方針については、文字の情報だけでなく、文書自体にある料紙の情報が失われないよう、必要最小限度の修理に留めることとした。特に損傷のほとんどないものや少ないものについては、軽いプレスをかけて本紙紙面の折れ皺等を整える程度に留めることとした。

多量の水分を受けたために、変色して本紙の繊維が腐損しているもの等で、裏打ちを施さなければ原形を留めることが困難なものについては裏打ちを施す

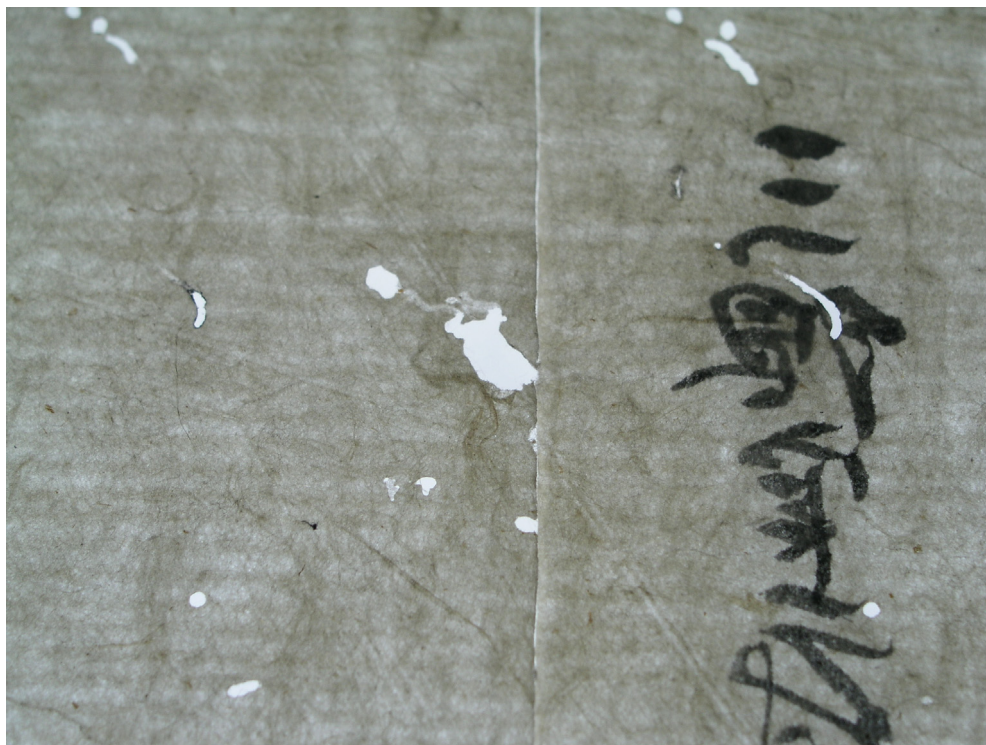


写真 1-1 「印蔵文書出納日記」部分写真

こととした。とくに文書に与える水分量は最小限に抑えることとし、間接的に文書に湿りを与える方法を採用した。この方法は、『愚昧記』の修理にも採用されており、本紙を化繊紙・ゴアテックス・水刷毛にて均一に湿りを与えたる紙・エチレンシートで挟んで湿りを与えるものである。この方法の有効性は、本紙に与える湿りの量をコントロールすることが可能であり、文書料紙の持つ「風合い」を維持できることである。「風合い」の維持の結果、刷毛目を残すことができ、これによって断簡が接合可能であることが実証できたのである（写真 1-1 参照¹⁾）。

¹⁾ 東京大学文学部所蔵『東大寺文書』第2括 5号

1-4. 今後の課題

以上、『実隆公記』『愚昧記』『東大寺文書』の例を見てきたが、このように文書料紙によっては修理方針や修理方法が異なっている。何一つ同じ修理で行うことはないのである。

補修紙については、料紙との関係で紙質が同じであれば良いのか、抄紙技術など技法が同じであれば良いのか、風合いが同じであれば良いのか、などの課題があり、本来補修紙とはどうあるべきかを検討する新しい段階へ進んでいる¹⁾。

修理対象物であるものの立場に立っていかに安全で現状を維持できるかを考慮し、先入観にとらわれることなく、柔軟な対応がもとめられるのである。

(追補) 麩糊の調製方法

古文書等の補修に用いる代表的な接着剤が正麩糊（しょうふのり）である。小麦に含まれるデンプンを水で抽出し、沈殿したものを乾燥させて粉末状にして保管する。これに水を加え、加熱すると 65-80℃程度で溶解し糊化する。冷ましてからこれを裏ごしして（写真 1-2）、使用できる状態となる（写真 1-3）。



写真 1-2 正麩糊の裏ごし



写真 1-3 調製済みの正麩糊

¹⁾池田寿「書跡文化財修復の全体像」国宝修理装こう師連盟編『平成 16 年度国宝修理装こう師連盟第 10 回定期研修会報告集』（2005 年）

2. 古文書修復法のアンケート調査

2-1. 実施の概要

古文書等の文化財修復の実際は、修理所・修理工房の間でかなり異なっているのが現状である。昭和34年設立の国宝修理装こう師連盟は、国の選定保存技術の1つである「装こう修理技術」の保存団体であり、これに加盟する10社の保存修復の基本技術は標準化されているが、文化財の状況に応じて個別に対応するための応用技術はかなり差があると思われる。国などによる文化財指定がなくても、個人が所有するような紙の文化遺産が社会には多数存在し、それらの修復を請け負う修理所では、標準的技術から逸脱した種々の方法を使っている可能性もある。そのような現場での修理技術は、社会に認知される機会が少ないため、まず修理技術に関する実態を知り、その情報を共有することが必要と考えた。

この考えの下に、次のようアンケート調査を実施した。実施期間は、2009年8月から2010年1月とした。基本的には、ホームページ上においた回答フォームに記入してそのまま送信してもらうか、回答用紙をダウンロードしてもらい、パソコン上で記入して頂き、電子メールで返信してもらうことにした。メールアドレスがわからない場合は、FAX又は郵送で依頼した。

2-2. アンケート調査の依頼

(1) 調査依頼先

調査対象は、インターネット上に掲載されている日本各地の修理や表装関連の団体・機関・企業をリストアップした。それらの依頼先は、次の通りであった。

- NPO 文化財保存支援機構 <http://www.jcpnp.org/> 登録会員
- 全国表装経師組合連合会 <http://tokyo-hyougu.jp/index.html/>
- 京都表具協同組合 <http://www.kyo-hyougu.jp/home.html>
- 表装ナビ <http://navi.hyousou.net/>
- 日本襖振興会 <http://www.fusuma.gr.jp/> にある各都道府県団体

北海道表具内装業協同組合、岩手県表具内装組合連合会、宮城県表具内装業連合会、福島県表具内装組合連合会、埼玉県表具内装組合連合、千葉県表具経師内装組合連合会、東京表具経師内装文化協会、神奈川県表具経師内装協同組合、

富山県表具師文化協会、石川県表具内装協同組合、山梨県表具内装技能士会、長野県表具経師内装協会 松本支部、岐阜県表具内装組合連合会、静岡県表具技能士会、愛知県 表具内装組合連合会、三重県表具内装組合連合会、滋賀県表具内装組合、京都表具協同組合、大阪府表具内装協同組合青年部、兵庫県表具内装組合連合会、奈良県表具内装協同組合、和歌山県表具組合、鳥取県表具技能士会、岡山県表具協同組合、広島内装表具協同組合、山口県表具内装組合連合会、徳島県表具組合、香川県表具組合技能士会、愛媛県表具内装組合連合会、長崎県表具内装連合会、大分県表具内装組合連合会、宮崎県表具経師内装組合連合会、鹿児島県表具内装組合連合

依頼件数は、907 件で、有効回答数は 98 件（10.8%）であった。

2-3. 調査依頼文

下記の通りの依頼文をアンケート調査対象者に送付し、またホームページにも掲載して、回答を依頼した。

古文書修復法の調査に関するご協力をお願い

2009 年 7 月 10 日

アンケート調査の趣旨

現在、日本学術振興会の科学研究費基盤研究のプロジェクト「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——、基盤研究（B）（一般）課題番号 19300296（H19～H21）を進めています。このプロジェクトは、古文書等の文化財料紙の修復工程で行われる処理法による料紙の変質、例えばそれを破壊しているのか、あるいは全く破壊してい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そうとするものです。

そのためにまず、各修理所で行っている修復工程と具体的な処理法がどのようなものか、そして修復技術者にとってそういった処理法がどれだけ妥当で有効と sentir られるかについて、最新の情報と率直なご意見をおうかがいしたいと思っております。このアンケート調査を実施して収集させていただいた情報と、私どもの研究成果を最終的に総合し、将来

的には紙修復文化学なるものの確立に貢献したいと考えています。

回答していただいた内容については、回答者名を出さずに、選んだ選択肢の数だけの集計を行った結果を 2010 年 3 月頃に科学研究費の報告書としてまとめます。具体的に文章で記述して頂くご意見についても、回答者名や貴工房（貴社）名を一切出さずに、その内容だけを報告書に掲載させていただきます。なお、回答していただいた方には、アンケート調査の結果をまとめた科学研究費報告書をお送りする予定です。

回答の期限は 2010 年 1 月末日とさせて頂き、集計をとります。それ以降も回答があり次第集計を更新しますので、ホームページ上でアンケート調査を公開している間はご回答頂ければ最終的な集計に取り込まれます。報告書作成は 2010 年 2 月の予定です。是非ご協力のほどお願いいたします。

実施者について

〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1

東京大学 大学院農学生命科学研究科 生物材料科学専攻 製紙科学研究室
准教授 江前敏晴（えのまえとしはる）

Tel 03-5841-8199 Fax 03-5841-5271

e-mail enomae@psl.fp.a.u-tokyo.ac.jp

当研究グループは次のメンバーによって構成されています。

研究代表者	江前 敏晴（東京大学 大学院農学生命科学研究科）
研究分担者	稲葉 政満（東京芸術大学 美術研究科） 加藤 雅人（東京文化財研究所 修復技術部） 保立 道久（東京大学 史料編さん所） 高島 晶彦（東京大学 史料編さん所）
研究協力者	鈴木 裕（松鶴堂） 長谷川 聡（長谷川和紙工房） 韓 允熙（韓国国家記録院）

2-4. アンケート用紙

質問事項を記入したアンケート用紙は次の通りとした。

紙文化財修復法に関するアンケート調査用紙

このアンケートは、インターネット上でも行っています。ご利用の可能な方はインターネットでご回答ください。

<http://enomae.web.infoseek.co.jp/cgi-bin/PaperConservation/> また、アンケート調査用紙の Word ファイル版、PDF 版をダウンロードできます。

回答者の情報をご記入ください。

お名前	(アンケート集計結果の報告書をご入用の方は必ずお書きください)
貴工房（貴社）名	(アンケート集計結果の報告書をご入用の方は必ずお書きください)
貴工房（貴社）住所	(アンケート集計結果の報告書をご入用の方は必ずお書きください)
メールアドレス	
コメント	(アンケート調査に対するご意見など何でもお書きください。)

紙媒体のアンケート用紙に直接ご記入になった方は、お手数ですが、下記まで郵便（受取人払いの封筒が同封されていればご利用ください）又は着払いの宅配便も可でお送り下さるようお願いいたします。

返送先：〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1

東京大学 大学院農学生命科学研究科 生物材料科学専攻 製紙科学研究室
江前敏晴

Tel 03-5841-8199 Fax 03-5841-5271 enomae@psL.fp.a.u-tokyo.ac.jp

以下のアンケートにお答え下さい。当てはまるものにチェック ☒ を入れていただき、それ以外はその他の（ ）欄に自由にお書き下さい。

- 1 貴工房（貴社）で修復の対象となる文書の紙の種類はどのようなものですか。（複数可）
和紙と洋紙の両方を扱う場合で、処理工程が大きく異なる場合は、以下の設問に関し、別のアンケート用紙に回答してください。

☐ 和紙	☐ 洋紙
☐ その他 【特殊な紙の修復をしたことがあればどのような紙かお書きください (例：羊皮紙、蜜蝋含浸等)】	

2 クリーニング工程について

2-a 保護紙及び吸い取り紙はどのようなものを使いますか。(複数可)

☐ レーヨン紙(保護紙として)	☐ 典具帖紙(保護紙として)
☐ その他 【どのような保護紙を使いますか。商品名でもかまいません。】	
☐ 保護紙を使用しない	
☐ 厚手のろ紙(吸い取り紙として)	
☐ その他 【どのような吸い取り紙を使いますか。】	
☐ 吸い取り紙を使用しない	

2-b 水を加えるやり方と量に関して次の中から選択してください。(複数可)

- ☐ 水を直接かける
- ☐ 霧吹きでかける
- 【霧吹きでは、前面に何回くらいかけますか】
- ☐ 1回
- ☐ 2回
- ☐ 3回
- ☐ 4回
- ☐ 5～10回
- ☐ 10回以上

- ☐ ゴアテックス等の水を通さず水蒸気だけを透過する素材を使い、本紙を蒸らす

- ☐ その他 【どのようなやり方ですか。】

()

【方法にかかわらず、どのくらいの水の量を使いますか】

- ☐ 紙全体が水に十分浸る程度
- ☐ 水面が紙表面の高さくらい（紙表面が光る程度）
- ☐ 1 m²あたり 100 cc未満
- ☐ 1 m²あたり 100～200 cc
- ☐ 1 m²あたり 200～500 cc
- ☐ 1 m²あたり 500～1000 cc
- ☐ 1 m²あたり 1 リットル以上
- 左に該当しない場合、水の量を説明してください。
- ()

- ☐ 水を使用しない

2-c クリーニング工程は長期の間に紙に生じた酸を洗い流すことにもなりますが、このような脱酸処理のための薬品を使用しますか。（複数可）

- ☐ 水酸化カルシウム
- ☐ その他 【どのような薬品を用いますか。】

()

☐ 脱酸処理は行わない。 【脱酸処理を行わない理由は何ですか。】

()

2-d 漂白のための薬品を使用しますか。(複数可)

- ☐ 過酸化水素水 (オキシドール)
- ☐ 次亜塩素酸ナトリウム (次亜塩素酸ソーダ)
- ☐ さらし粉 (次亜塩素酸カルシウム、カルキ)
- ☐ 水素化ホウ素ナトリウム
- ☐ その他 【どのような薬品を用いますか。】

()

☐ 漂白処理は行わない。 【漂白処理を行わない理由は何ですか】

()

2-e クリーニング工程 (脱酸処理及び漂白処理を含む) で、その他の処理などがあれば書いてください (例えば、エアスプレーで吹き飛ばす、エタノールで拭き取るなど)。

【その他の処理】

()

2-f クリーニング工程の処理 (水によるクリーニングのほか、脱酸処理及び漂白処理、その他の処理を含む) で、修復対象の本紙に影響を与えるかどうか気になることがあれば書いてください。

【クリーニング工程の処理で、修復対象の本紙に影響を与えるかどうか気になること (水の使用、薬品の使用、加える力の影響など何でも)】

3 裏打ち除去工程について

3-a 裏打ちを除去するためにどのような道具を使いますか（例えば、ピンセット、刷毛など）。また水や薬品などを使用しますか。

【道具の使用及び水や薬品の使用について】

4 クリーニング（及び裏打ち除去）工程後の乾燥について

4-a 乾燥工程の前処理（脱水など）や操作はどのようにしますか。（複数可）

☐ 木の板に張り付ける

☐ 金属の板に張り付ける

☐ プレス機を用いて圧力をかける

☐ 重石を置いて圧力をかける

☐ 仮張（格子状の木の骨組みに和紙を貼ったもの）に張り付ける

☐ その他 **【どのような前処理や操作を用いていますか。】**

☐ 乾燥前の処理はない

4-b 乾燥段階での本紙はどのような状態になっていますか。（複数可）

☐ 1枚ずつ乾燥する。

☐ 何枚かを重ねて乾燥する

☐ 重石を置いた状態で乾燥する

☐ プレス機を用いて圧力をかけたまま乾燥する

☐ ヒモにかけるか、洗濯バサミのようなもので吊り下げて乾燥する

☐ その他

【どのような状態で乾燥しますか。】

☐ 乾燥工程はない

5 虫損の補修工程はどのように行いますか。

5-a 補修紙をどのように選択しますか。(複数可)

☐ 既製品の和紙を購入

【どのような繊維原料の和紙を購入しますか】

☐ 和紙繊維原料（コウゾ、ガンピ、ミツマタなど
のみ）

和紙繊維原料以外の繊維（木材パルプなど）も
含む

【それ以外の繊維原料からなる和紙であれば、
どのような繊維ですか】

☐ 必要な特性を指定して和紙抄造を依頼し購入

☐ 必要な特性を持った和紙を自修理所で抄造する

☐ 購入した既製品の洋紙から選択

☐ 漉き^す_ぼめ法（リーフキャスティング法）により本紙の虫食い部に直接繊維を積層する

☐ 漉き^す_ぼめ法により虫食い部の形状に合わせた型紙を作製し、パッチ（当て）だけを

☐ その他 【どのように必要な補修紙を調達しますか。】

☐ 虫損の補修を行わない。

5-b 補修紙を使ってどのようにどのように補修を行いますか。(複数可)

☐ 裏打ちだけを行う

☐ 喰裂^{くいきき}を作り虫損部分より大きく、繕う

☐ 虫損部分の形状に合った一回り大きいパッチ（当て）を採取し、周囲を削ってから繕う

☐ その他 【どのように繕いますか。】

[]

5-c 虫損の修復に使用する接着剤の種類はどのようなものですか。(複数可)

☐ 接着剤として正麩糊^{しょうふのり}（小麦デンプン）を使用する

☐ 市販の正麩糊^{しょうふのり}（小麦デンプン）を使用する

☐ 自工房（自社）で炊いた正麩糊^{しょうふのり}（小麦デンプン）を使用する

☐ 接着剤としてフノリ（布糊、布海苔）を使用する

☐ 接着剤として古糊^{ふるのり}（正麩糊^{しょうふのり}を発酵させたもの）を使用する

☐ 原料の正麩糊^{しょうふのり}（小麦デンプン）は市販のものを使用

☐ 原料の正麩糊^{しょうふのり}（小麦デンプン）は自工房（自社）で炊いたものを使用

☐ その他 【どのような接着剤を使いますか。(例えば、化学のり[文房具用のポリビニルアルコール]、白いのり[木工用ボンドなどのラテックス]など】

[]

5-d 虫損の補修を行った後の処理はありますか。(複数可)

☐ プレスを行う（プレス機で圧力をかけるか板に挟むなどして重石を置く）

☐ その他 【虫損補修後どのように処理を行いますか。】

()

☐ 後の処理はない。

5-e 虫損の補修工程で、修復対象の本紙に影響を与えるかどうか気になることがあれば書いてください。

【虫損の補修工程で気になること】

()

6 裏打ちはどのように行いますか。

6-a 裏打ち紙はどのように選択しますか。（複数可）

☐ 購入した既製品の和紙から ☐ 必要な特性を指定して和紙抄造を依頼し購入

☐ 購入した既製品の洋紙から選択

【肌裏、増裏、総裏等によって裏打ち紙を区別することがあれば、説明してください】

()

☐ その他 【必要な裏打ち紙を選択するときに気をつけることは何ですか。】

()

☐ 裏打ちを行わない。

6-b 裏打ちのための接着剤はどのようなものを使いますか。（複数可）

- ☐ 接着剤として正麩糊（小麦デンプン）を使用する
- ☐ 市販の正麩糊（小麦デンプン）を使用
- ☐ 自工房（自社）で炊いた正麩糊（小麦デンプン）を使用
- ☐ 接着剤としてフノリ（布糊、布海苔）を使用する
- ☐ 接着剤として古糊（正麩糊を発酵させたもの）を使用する
- ☐ 原料の正麩糊（小麦デンプン）は市販のものを使用
- ☐ 原料の正麩糊（小麦デンプン）は自工房（自社）で炊いたものを使用
- ☐ その他 【どのような接着剤を使いますか。】
- （ ）

7 仕上げ工程はどのように行いますか。

7-a 装丁などの仕上げ工程で、本紙を傷めないように注意することはありますか。また、本紙に影響を与えるかどうか気になることがありますか。

【仕上げ工程で本紙を傷めないように注意すること、本紙に影響を与えるかどうか気になることはありますか】

（ ）

最後までお答えいただきありがとうございました。

2-5. アンケートの集計結果と実施者からのコメント

アンケートではまず回答者ご自身の情報を記入してもらった。回答者がどういう機関の関係者であるかということが、大きくアンケート結果に反映する。アンケートの回答を依頼した先を表1に示す。表具店、表装店に所属する方たちが約 2/3 で、文化財の修復を専門としている方が約 1/3 である。

表 2-1 アンケートを依頼した先の内訳

アンケートを依頼した対象者	依頼数	依頼数比率 (%)
各都道府県の表具・表装・襖店・表具組合	615	67.8
文化財保存修復会員正会員	212	23.4
NPO 法人 文化財保存支援機構正会員	80	8.8

(依頼総数 907)

表 2 にアンケート回答者の所属機関内訳を示す。合計回答数は 98 件で、回収率は古文書等の修復を専門に行なっている機関からの回答を期待したが、和紙系及び洋紙系を含め、そのような機関は合わせても 12 件 (12.2 %) で、特に技術が高いと思われる装こう師連盟に加盟する工房の関係者からは 5 件の回答しか受け取ることができず、残念であった。

表 2-2 アンケート回答者の所属機関内訳

回答者の所属機関	回答数	回答数比率 (%)
表具・表装・襖店・表具組合	73	74.5
公共機関、研究所等	7	7.1
和紙系修復工房（装こう師連盟加盟工房）	6 (5)	6.1 (5.1)
洋紙系修復工房	6	6.1

(有効回答数 92、未記入 6 件)

アンケート調査そのものに対するご意見をコメント欄に記入してもらったところ、このような調査が有意義であると感じておられる方が多く、他の工房等ではどのような処理を行なっているか興味をもたれている方々が多かった。当初は古文書の修復を想定して設問を考えたが、表具店では当然のことながら卷子装（巻物）や冊子装、掛軸、屏風、衝立といった美術品と言えるものを対象にすることが多いようである。そのため、修復対象となる紙類は多岐に渡り、アンケートの設問については、質問内容が少し広すぎて、お答えしにくいというご指摘も頂いた。

回答して頂いたコメントを全て次の通り掲載する。なお、個人情報、又は個人を特定できると考えられる部分は削除してある。

- 実際、紙支持体による美術品や古文書を傷めているのは、修復に携わる表具技術の未熟さだともいわれます。徒弟制度の中で存立していた表具技術は今日、見よう見まねで等閑的に表具を為される方によって、一部、崩壊しようかとも思える側面があります。このような流れは押し止めることが不能になっているのが現況であることから、こうしたご研究を広く報知して下さることが、業界のさらなる発展に結びつくことを期待しております。
- 「このプロジェクトは古文書等の文化財料紙・・・」とありましたが（別紙）私の店では基本的に文化財は取り扱っておりませんし、古文書等の修理というものも皆無ではないにしても多くはありません。主に個人が所有している軸・額・屏風・襖が主体です。ですので当然予算が先行し手の込んだ修理費用は見込めないのが実状です。又、私のような一般の技術者には修理に関する正しい知識が伝わっていませんし需要もないので学ぼうともしないのだと思います。このプロジェクトの結果が少しでも公に知られ正しい処理法が認識されることを期待します。
- 大変良い企画である。多くの情報を流してほしい。交流の場を企画してほしい。協力をしていきたい
- 10年位前は表装の仕事が多くありましたが徐々に拓装研究会、趣味の会、シルバー人材センター等に脅かされ仕事が激減してしまい、襖・障子張替え、内装仕上工事まで手掛けております。
- 修士論文にて3種類の紙の水洗方法と有機酸の除去について研究しました。以来、保存修復処置におけるもっともファンダメンタルな紙と水の関係につ

いてとても興味を持っています。

- 残念ながら昨年来のリーマンショック以来当方では現在修復処置の受注はストップしておりますので、ご回答には昨年までの業務の経験の中からのご回答となります。また、修復処置は個々の作品の状態によりケースバイケースで決まり、また状況によって変化するものですからご質問に一律の回答が不可能と判断した部分は未回答としておりますのでご容赦ください。当方の修復処置方針としましては「修復処置は作品保存のための一つの方法であって目的ではない」ということを念頭に処置計画を作成してまいりました。この点もよろしくご理解ください。
- お客様から求められているのはどちらかで修復の仕方も違ってきます。保存のための修復（大事にしたい）。飾るために見た目だけ良くなれば。お金はあまりかけたくない（サービスのうちで）
- この質問内容が少し広すぎて、お答えしにくいというのが正直な感想です。ご期待に添えない点、お許し下さいませ。
- この様なアンケート調査に対して感謝しております。これまで、各々の事業所などで行われてきた修復方法について、その処理法が適切かどうか、疑問に思う所もありましたので、この調査の結果を楽しみにしております。私を含め、この修復等に携わる人々がこれまでの方法を見直す良い機会だと思います。
- それぞれの工房、職人でやり方が違うので大まかな傾向でも判明するなら、とても意義深い調査だと思います。
- 各工房で当たり前の工程として行なわれている作業を比較検討できるよい機会だと思います。報告書では、問題点などもピックアップしていただければと期待しております。
- 具体的な手法等は記載し辛く、チェックのみで大変申し訳ありません。具体的に江前様が適切な処置法を見出したいと考えられたきっかけとなる“不適切”と予想される処置法、問題点をお知らせいただけますと幸いです。
- 古文書は極少ないです。軸額、屏風などが中心です
- 後々の人が、手直しが楽にできるように、作品を傷めないで仕上げることを心掛けています。表具店の良心を信じてください。
- 今後、何かの形で皆様のお役に立てれば幸いです。
- 今後修復をする表具師として作品は同じ物がなく、又依頼者も色々だし、最

初からのりや紙まで指定の仕事はらくですが一般のお客様には漂白は本人の希望に応じる事は有るが出来るだけ薬品は使用しない方が良いでしょう。修復に悩んだときに相談が出来るのであればご指導お願いいたします。

- 私は中卒で何もわかりません。講演や研修会に行く度に作業感覚とのズレを多々感じて居ます。発表の際は十分な検証の上ねがいたく思います。S36年「表具の栞」を読んで洗浄を知り抜け出すのに大変苦勞しました。今は廃業しました。洗浄もさる事ながら和紙の悪さは気になります。樹脂、パルプ、保存液作業板など少しですが後で紙を送ります。
- 私は表具師として、主に地域の文化財や日本美術を修復や表装の仕事をしています。大量の古文書などの紙資料の修復は専門ではありませんが、文書に関しては、卷子装や冊子装などの装幀が付くものは少しは扱っております。
- 私共では古文書の仕事は少なく、絵画、墨跡が主ですのでそれを前提に答えさせていただきます。又、ほとんどが江戸以降ですので料紙は割と新しいです。
- 表具師として、掛軸、巻物、屏風、衝立など、全体的に和紙を扱う事が多いです。画仙紙、2番唐紙、鳥の子紙などです。弱アルカリ性、自然にアク抜きをします。
- 質問が抽象的で答えにくいところがあった。たとえばクリーニングと言ってもいろいろな方法があり、どのようなクリーニングを意味しているのかによって水量や方法、その影響なども変わるのではないだろうか。また何回水によるクリーニングをするかによっても変わってくる。
- 主に版画、水彩などの美術品（和紙、洋紙は問わず）を扱っているため、文書などの扱いとは異なる場合がある。そのため質問には答えにくい箇所もあったが、なるべく記入するようにした。水については”Water Quality for Treatment of Paper and Textile”, TSE Season, Technical Bulletin24, 2001, Canadian Conservation Institute を参考にイオン交換水を水酸化カルシウム水溶液で pH コントロールしたものを使っている。
- 集計によって見出された所見（結論）を記して頂きたい。それに対しても意見を述べられるようにしてもらえるとありがたい。集計から見えてくるものが楽しみである。
- 少し内容の幅が広く、なんともお答えし難いというのが正直な感想です。お役にたてず申し訳ありません。
- 水の使い方は作業の目的と本紙の状況により判断がその都度違いますので全

て説明しつくせませんが、敢えて言うならば必要最低限ということだと思います。

- 全体的に学者言葉で我々表具師が使っている言葉と違うため、意味不明（だいたいわかるが）古文書修復の仕事はしていないのでそういう機会があれば参考にしたい。我々表具師として、参考になるような本等があれば購入したいと思うがぜひ作っていただきたい。
- 大変な調査ご苦労様です。結果を楽しみにして居ます。
- 遅くなり申し訳ありません。
- 町の軸装業で文化財的価値の低い物を主に扱っていますが価値の高い料紙には適切な工法、材料等を使用したいと考えています。アンケートの集計を期待しております。
- 町場の表具店なので従来 of 表具屋が行ってきた方法しか知りませんが技術的な良い方法がもっと公開されれば参考になると思うのですが。
- 調査用紙をお送り頂きましたが、現在文書修復等の仕事を受けておりません。表具につきましては襖クロス等が主になり掛軸等は職人さんに依頼しております。主旨に添えず申し訳ありません
- 旧来の方法と現代的な機械表装と合わせてやっていますが、仕上がりが良く便利な方法が主になっています。
- 古文書修復ボランティアによって修復作業を実施しております。今回の対象が業社のみであればご容赦ください。
- 当社は商社であり、高品を販売するのみで、修理作業（古文書等、掛軸）の修理は無く、近年掛軸の使用の上物 and 紙の____が無い為と保管上和紙特有な「星」カビが出る為、御問い合わせの件については貴重なお答えが出来ません。
- 当所では、修復の工程を主に「洗い」と「補修」に分けています。また「洗い」の中でも 2 a ～ b を水洗い、2 d ～ e を薬品洗いとして区別しています。また、「補修」は主に「折れ」の修復が多く、虫損等の穴のかけつぎはあまり行いません。
- 拝復、貴研究室より小生みたいな片田舎で細々と商いを致している者にまで御丁寧なる御依頼を頂きました事に深い感動とともに恐縮の至です。貴研究室の御成果をお祈り申し上げます。
- 漂白の薬品に化学的知識が無く恥ずかしいしいですが、つつい先代より

ならった事を使っている何が良いのか悪いのか認識する必要があると思っています。作品及び文書を後に良好に伝え残して行く使命を持っておりますので化学的な事をよろしくこの際にお教えお願いしたいයිです。

- 文化財や、古書画の修復に携わる者として正しい修復方法を模索しています。皆様のご意見を参考にさせていただきたいと思っております。
- 本紙の洗浄は表具経師屋には高等な技術と智識が必要です。洗い専門だけでも表具屋は結構商いが出来るものです。絵具、墨等の智識が絶対必要です。唯、建築、和裁、茶道、華道、造園等の智識が必要なのは言うまでもありません。
- 本紙の洗浄は薬品の如何による処が大きい。洗いのみで商が成り立つといっても過言ではない、絵の具の智識、墨の智識が最も必要なのである、又、表装は、葉道造園、建築、和裁、茶道等、幅広い勉強が必要であることは言うまでもない。しかし最近仕事に恵まれず後継者育成もままならぬのが現状である。
- 本紙修理は状態により、その工程はその都度変化致します。文化財の一般的な状況をお答えします。
- 古書画は同じ作品がふたつとない、年月も条件もいろいろな為、汚れが何なのか、雨水、カビ、手油、その他いろいろな液体等による汚れを見きわめることが大事で、簡単でない事はお解りの事と思います。私共もまだまだ研究中と言えます。新しい事を少しでも知りたく、協力をして、又教えていただきたいと思ひます。

設問1 貴工房（貴社）で修復の対象となる文書の紙の種類はどのようなものですか。（複数可）

☐ 和紙	☐ 洋紙
☐ その他 【特殊な紙の修復をしたことがあればどのような紙かお書きください（例：羊皮紙、蜜蝋含浸等）】	
[	

修復対象となる上記の紙の種類については、表 3 のような結果となった。和紙と洋紙の両方を扱う修理所もあるので組み合わせを考えた集計も行った。紙種の組み合わせとしては表 4 のようになった。アンケート依頼先から和紙が多いのは当然であるが、洋紙の修復も併せて手掛けている工房が全体の 30%（「和紙と洋紙」及び「和紙、洋紙とその他」の合計）あった。「洋紙だけ」又は「洋紙とその他」と回答した 3 件の工房のうち、2 件は外国の機関で、国内では 1 件である。

表 2-3 修復対象の紙の種類内訳

修復の対象となる文書の紙の種類	回答数	回答数比率（％）
和紙	95	96.9
洋紙	33	33.7
その他	14	14.3

（有効回答数 98）

表 2-4 修復対象の紙の種類と組み合わせ内訳

修復の対象となる文書の紙の種類	回答数	回答数比率（％）
和紙だけ	62	63.3
洋紙だけ	1	1.0
和紙と洋紙	21	21.4
和紙とその他	3	3.1
洋紙とその他	2	2.0
和紙、洋紙とその他	9	9.2

（有効回答数 98）

洋紙専門の修復工房はまだ非常に少ないが、明治時代初期から国内で洋紙の生産が始まり、130 年程が経過していることから、今後徐々に増加していくものと考えられる。国外では洋紙修復技術はかなり確立してきているが、修復の効率化が先行しており、和紙修復の技術がそのまま洋紙に適用できるかどうかの検証は、十分行なわれていないものと思われる。和紙修復特有の手厚い修理技術と、繊維の短い木材パルプが主繊維原料となっている洋紙特有の修復技術とが組み合わされた新しい技術の確立と普及が必要であろう。

特殊な紙の修復例を記入していただいたところ、次の紙が挙げられた。「パピルス」は1件が外国の機関であるが、もう1件は国内の表具店で行なわれたようである。「羊皮紙」も、5件のうち3件は洋紙系修復工房であるが、2件は和紙系の表具店などで行なわれている。

【和紙（中国の紙を含む）】

- 唐紙（2件）
- 画仙紙（2件）、宿紙、麻紙、鳥の子、間似合紙
- 蠟仙紙（ろうせんし）の軸物

【洋紙】

- 写真（印画紙）（2件）
- カーボン紙、トレーシングペーパー、コート紙

【その他】

- パピルス（2件）
- 板（2件）、樹皮
- 扇
- 絹本
- 羊皮紙（5件）、模造羊皮紙、皮

設問2 クリーニング工程について

2-a 保護紙及び吸い取り紙はどのようなものを使いますか。(複数可)

☐ レーヨン紙（保護紙として）	☐ 典具帖紙（保護紙として）
☐ その他	【どのような保護紙を使いますか。商品名でもかまいません。】
☐ 保護紙を使用しない	
☐ 厚手のろ紙（吸い取り紙として）	
☐ その他	【どのような吸い取り紙を使いますか。】
☐ 吸い取り紙を使用しない	

クリーニング工程における保護紙（紙を湿らす際に文化財の紙〔＝「本紙」と呼ぶ〕を傷めないように当てておく紙）と吸い取り紙の種類についての回答は表5のようになった。

表 2-5 クリーニング工程で使用する保護紙内訳

クリーニング工程での保護紙の種類	回答数	回答数比率（％）
レーヨン紙	74	75.5
典具帖紙	18	18.4
その他	40	40.8
保護紙を使用しない	4	4.1

（有効回答数 98）

その他の保護紙として挙げられていたものを、和紙の繊維を使用した紙から、合成繊維の不織布まで、紙に近いものから順に並べた（次ページ）。水を使う目的では、疎水性のポリエステル不織布が、軽くて安価であり、本紙を傷つけない

くいことから使われる頻度が高いようである。茶浮紙¹⁾が 5 件挙げられていたが、襖の張替えに使われ、手に入りやすい安価な紙であるため表具店はよく使うようである。洋紙でいう「マニラボール」のことであろうと思われる。「サンモア」は、三和製紙（高知県土佐市）の障子紙の商品名で、コウゾの繊維やレーヨン繊維を漉き込んだロール紙タイプの障子紙のことである。「ブラックレス」は、ニシコー株式会社（岐阜県岐阜市）製の破れにくい障子紙である。同じく、障子紙は表具店で入手しやすく、使用率が高いようである。

【手漉き和紙】計 10 件

- 薄美濃紙（2 件）
- 石州紙（2 件）
- 美濃紙（3 件）
- 典具帖紙
- みす紙 宇田
- 和紙

【機械抄き和紙】計 8 件

- 表具裏打用機械漉き楮紙（ロール紙）
- ロール和紙（祇園）
- 不織布（新やまと 肌裏用）
- 機械漉きの和紙
- 機械漉きローカ美濃紙
- 巻き取り楮紙
- 坪量約 3.5～5.0g/m²の和紙
- ロールの裏打ち紙

【障子紙】計 14 件

- サンモア（6 件）、障子紙（60m 巻木材パルプ製）、
- ブラックレス（2 件）

¹⁾ 茶浮紙（ちやうけがみ）。下地の柄が出ないように、また下地の傷などが表面に現れないようにするために、襖の下面に張る浮紙（うけがみ）のうち、古紙から作る茶色の紙のこと。

- 障子紙（3 件）
- 障子紙（ユニパック）
- 機械漉き障子紙
- 巻き取り障子紙

【襖の下張り】計 5 件

- 茶浮紙（茶受紙、茶チリ紙）（5 件）

【洋紙】計 5 件

- 新聞紙（2 件）
- 綿 100%の吸い取り紙
- ティッシュペーパー（2 件）

【レーヨン紙・湿式不織布】計 6 件

- レーヨン紙（5 件）
- サンビロン（合成繊維、靱皮繊維、木材パルプ等を組み合わせた湿式不織布）

【ポリエステル紙・不織布】計 17 件

- ポリエステル紙（7 件）
- ポリエステル不織布（4 件）
- ホリテックス（ポリエステル 100%スパンボンド不織布）（2 件）
- 広瀬製紙製ポリエステル不織布 15TH-15
- 不織布
- 化繊紙
- 化繊紙

【PET フィルム】計 2 件

- タフトップ（PET フィルム）
- マイラー

【ポリエチレン、ポリプロピレン不織布】計 2 件

- ポリエチレン布

- 不織布（ポリプロピレン）

【合成繊維ネット】計 7 件

- 洗いネット（5 件）
- ポリエステルネット
- 合成樹脂性メッシュ布数種類

【ビニロン、ガラス繊維、不明】

- パピロン（ビニロン繊維からなる合成繊維紙）
- 薄いガラスウールシート 商品名（株）大弘 クリーニングシート
- 一番紙（3 件）

吸い取り紙は、本紙を傷めないような保護紙の役割もするが、クリーニング目的で加えた水が本紙を透過して、本紙の下に敷いておき、汚れや酸性物質とともに吸水させる目的で用いられる。「吸い取り紙を使用しない」の中に、洋紙については使用しないという 1 件が含まれるが、その他は和紙系の回答である。

表 2-6 クリーニング工程で使用する吸い取り紙内訳

クリーニング工程での吸い取り紙の種類	回答数	回答数比率 (%)
厚手のろ紙	46	46.9
その他	35	35.7
吸い取り紙を使用しない	5	5.1

(有効回答数 98)

厚手のろ紙以外で使用する吸い取り紙として挙げられていたものは次の通りである。保護紙と共通性があるが、各種ろ紙（「**厚手のろ紙**」を選択した回答と重複しているが、回答どおり掲載した。）、ティッシュペーパー、キッチンペーパーが多く使用されている。また洗濯ができるような布も使われていることが伺える。

【和紙】計 14 件

- 美濃紙
- 楮和紙
- 韓国産の安い和紙を灰汁取りの吸い取り紙に使用
- 古くなった厚手の和紙
- 手漉き和紙の落としの部分。
- 表具裏打用機械漉き楮紙
- 100%を使用した機械漉き厚手の紙
- 厚手の和紙を使用すること多いが、本紙が薄く大変傷んでいる場合吸い取り紙に本紙が張り付いてしまうケースが多く大変危険である。
- 市販の巻き取り和紙
- 自分で作った渋紙

【ろ紙】計 14 件

- ろ紙（6 件）
- 中性紙の吸い取り紙（文化財、高級品）
- 特殊製紙社製の吸取り紙（2 件）
- 王子製紙製吸取り紙

- 版画用吸い取り紙

【障子紙】計 11 件

- 障子紙（7 件）
- 中性紙の障子紙（一般用）
- ブラックレス
- ロール状になった厚手の障子紙（レーヨン混）
- レーヨン障子紙

【襖の下張り】計 12 件

- 茶浮紙（ちり受紙、茶うけ）（10 件）
- 襖等下張に使用する、キカイ袋紙半切を使用
- 上袋紙（襖の下地貼り用に使用しているもの）

【ティッシュペーパー】計 11 件

- ティッシュ（2 件）
- キッチンペーパー（3 件）
- ペーパータオル（クレシア製 ケイドライ）
- ロール吸水紙（2 件）
- ろ紙ではない吸い取り紙
- 厚手の普通の吸取り紙
- 厚葉紙

【洋紙】計 7 件

- 古紙
- 洋紙 国更 45 k g
- 無蛍光のパルプ紙
- パルプ
- 新聞紙（2 件）
- 征紙（ロール状）

【布】計 3 件

- コットン
- タオル
- 綿タオル

【ポリエステル不織布】計 1 件

- ポリエステル不織布（帝人製 ユニセル）

2-b 水を加えるやり方と量に関して次の中から選択してください。(複数可)

☐ 水を直接かける	☐ 霧吹きでかける 【霧吹きでは、前面に何回くらいかけますか】 ☐ 1回 ☐ 2回 ☐ 3回 ☐ 4回 ☐ 5～10回 ☐ 10回以上
☐ ゴアテックス等の水を通さず水蒸気だけを透過する素材を使い、本紙を蒸らす	()
☐ その他	
() 【どのようなやり方ですか。】	
【方法にかかわらず、どのくらいの水の量を使いますか】 ☐ 紙全体が水に十分浸る程度 ☐ 水面が紙表面の高さくらい（紙表面が光る程度） ☐ 1 m ² あたり 100 cc未満 ☐ 1 m ² あたり 100～200 cc ☐ 1 m ² あたり 200～500 cc ☐ 1 m ² あたり 500～1000 cc ☐ 1 m ² あたり 1 リットル以上	
☐ 水を使用しない	

クリーニングのために水で湿らせる方法についての設問に対しては、水の量を指定する選択肢が不明確なところがあった。1 m²あたりの水量を尋ねる設問そのものはよいと思うが、「紙全体が水に十分浸る程度」、「水面が紙表面の高さく

らい（紙表面が光る程度）」というのは、水を加える速度にも依存するので、どのくらいの水量と考えてよいのかわかりにくい。また、容器に溜めたり、一気に水を注いだ場合、それぞれの水量がおそらく 10 リットル程度及び 2 リットルになるのではないかと考えられるが、「少→多」に正しく並べ、設問者側で、それぞれ推定している水量を添え書きするべきであった。

さて、回答の集計の結果は次の通りであった。

表 2-7 クリーニング工程で水を加える方法と量

水の加え方又は量	回答数	回答数比率 (%)
水を直接かける	31	31.6
霧吹きでかける	84	85.7
1 回	10	(11.9)
2 回	20	(23.8)
3 回	24	(28.6)
4 回	13	(15.5)
5～10 回	20	(23.8)
10 回以上	9	(10.7)
蒸気が透過する素材で紙を蒸らす	25	25.5
その他	42	42.9
水の量についての回答のあった数	75	76.5
紙全体が水に十分浸る程度	42	(56.0)
水面が紙表面の高さくらい	29	(38.7)
1 m²あたり 100 cc未満	9	(12.0)
1 m²あたり 100～200 cc	6	(8.0)
1 m²あたり 200～500 cc	4	(5.3)
1 m²あたり 500～1000 cc	2	(2.7)
1 m²あたり 1 リットル以上	6	(8.0)
水不使用	2	2.0

(有効回答数 98)

上記の回答数比率で、細字で示したパーセンテージは、それぞれ「霧吹きで

かける」とした回答数及び「水の量についての回答のあった数」に対する比率である。

「水不使用」が2.0%であったが、汚れがほとんどなくてクリーニングが必要でない場合もあるという意味の選択（複数選択可と指定した）であったと考えられる。したがって、水を使うクリーニング工程を補修の過程で取り入れている割合は、100%であることがわかる。

水を直接かけるのは31.6%であった。これは紙をバットのような平たい容器に入れ、コップ等に水を入れ、上からかけると考えられる。均等に少量の水で行ないたい場合は霧吹きを使うことになろうが、その使用率は85.7%であった。霧吹きでかける回数は、全面をくまなく一通りかけたときに1回で、その要領で全面がけを繰り返す回数を尋ねたつもりであったが、大きな紙の全面を一通りかける場合は数回霧を吹く必要があるので、その場合は「数回」という回答になり、期待しているより多い回数になる可能性がある。これも設問が不明確であり、反省しなければならない。全ての回答が、全面をくまなく一通りかけたときを1回と考えるとすると、3回に1つのピークがある。ペットボトルのリサイクルでボトル内を洗うときに水を入れる回数の平均は3回であるという調査結果を聞いたことがあるが、ここでも3回やればだいたい洗浄されたという感覚がある点は共通しているようである。回答では「5～10回」、「10回以上」もかなり多く、汚れの少ないものは3回程度、多いものは洗浄されたと考えられるまで何度も繰り返していることが伺える。

水をかけることが、紙の破壊に繋がるのではないかと考える人は、ゴアテックス等の素材を使い、液体の水で直接濡らさず、水蒸気で蒸らす方法を使用するようである。25.5%の回答者がこの方法を使っていた。これらの回答者の所属工房を見たところ、表装技術などを学んだ技能認定者が多かった。この方法は、裏打ちを剥がしたりするには有効と思われるが、経年の劣化により生じる酸性物質を洗い流す効果はないものと思われ、クリーニング目的で行なわれるものではないかもしれない¹⁾。

¹⁾ ゴアテックスの使用については、例えばお経の料紙は、黄檗で染めており、染料で染めているものについては、多量の水分を本紙に与えてしまうと色が抜けて色あせてしまう恐れがある。とくに黄檗は、まだら模様になりやすい傾向にある。朱書き(朱を用いて文字が書かれている場合)は、多量の水分を本紙に与えると滲みが生じる恐れがある。これを「泣く」という人もいる。本紙の種類・状態によっては、墨に滲みが生じることもある。

水の加え方で、以上のどの方法にも該当しない方法を記述式で回答していた。次のようにまとめることができる。水蒸気で湿らせる方法は、ゴアテックスなどの防水透湿性素材を使ったやり方以外は設問の選択肢に入れなかったが、超音波加湿器やアイロンを使うやり方が紹介された。水を直接与える手段としては、刷毛、ジョウロ¹⁾、水浴（容器、桶）が使われることがわかった。間接的に水を加える手段として、濡らした別の紙に挟むというやり方も多用されていることがわかった²⁾。使用する水については、浮遊物を除去するフィルタを通した水、イオン交換樹脂を通した水などしか想定していなかったが、水道の水そのままである可能性もあったということである。回答には、ぬるま湯を使う、RO 水（逆浸透膜を通した、純水に近い水）を使うというようなコメントもあった。その他、工程の手順を説明していただいたコメントもお寄せ頂き、資料として有効なものになったと考えている。

個別の回答は以下の通りであった。

【水蒸気、蒸らし】計 4 件

- 水蒸気による加湿
- 超音波加湿器による加湿（加湿ドームの中で）ゴアテックスを使用する場合はトレーを加湿チャンバーとして用いたり、ポリエステルシートで覆ったりなどして加湿する。
- 超音波加湿器を使用
- 蒸気を出す（あて紙をしてアイロンを使用する）

【刷毛】計 10 件

竹べらや角べら、角筆等で書いた文字や線(角筆・押界線)は本紙に多量の水分を本紙に与えると消えて見えなくなる恐れがある。本紙面に残っている板目なども同様である。(高島晶彦)

- ¹⁾ じょうろで直接水分を与えたり、水槽に入れたりすることは、汚れを充分にとるには有効であるが、破片が流れてズレや脱落が生じる恐れがある。また脆弱な本紙は、亀裂が入って完全に脱落する可能性がある。本紙に含まれる填料のうち、米粉などのデンプン粒子は、多量の水分を与えると流れ出てしまう恐れがあり、また水分を与えてアイロンなど高熱を与えるとデンプン粒子が溶け出してしまう恐れがある。(高島晶彦)
- ²⁾ 別紙に水分を与えて本紙に間接的に湿りを与える方法をとる場合は、しみやすいものであれば 3～5 分様子を見ながら行う。それ以外は 10 分位で様子を見ながら行う。(高島晶彦)

- 刷毛で水を塗布（9 件）
- 水切れの良い紙を敷き、（その上に置いた）作品を刷毛で濡らして、作品の表を下にして刷毛で軽く皺を伸ばして、次に水を吸い取る厚手の宇田で挟む。

【ジョウロを使用】計 5 件

- 水道の蛇口にホースをつなぎその先にジョウロの先端部をはめて水をかける
- ジョウロを使用し、静かにかける
- ジョロ
- ジョウロにて洗い桶の中に浸す。
- 両面保護紙ではさみジョロの要領で水を与える

【湿らせた別の紙に挟む】計 7 件

- 別の和紙に水分をあたえ、その紙に巻き込んで、水分を間接的にあたえる
- 湿らせた紙、布で本紙を覆う
- 水分を含んだ紙（ろ紙）の間に挟む。
- 保護紙の上から別の水を含ませた紙をのせる、または挟む。
- 極軽く湿らせた紙（厚口吸取紙、ペーパータオル）の間に本紙を挿む。
- 十分に湿った吸取紙の上にクリーニングしたい本紙を置く
- 楮系の手漉き和紙に水引きし、これを本紙に重ねるような仕方でも行う。

【水に浸漬】計 9 件

- 浸漬し、サクシオンテーブル等を使用
- 水槽にいれる
- 洗い箱（プラスチック）に水を数mm程度入れて
- 船に水を張ってその中に浸す。
- 本紙のいたみ具合によるが、いたんでいる場合は両面（上と下）に敷き紙を置き、水にひたす
- 水洗いの方法として、本紙をクリーニングシートではさみ、洗い桶に置き、水に浸す。程度によっては、直接霧吹きで水を噴霧し、和紙で吸い取るだけの「ほこり取り」で済ます場合もある。
- 水槽に水を入れ、レーヨン紙に挟み水槽に入れ、約 1 日置き、ススや汚れを浮かせ、静かに洗い流す（水を取りかえる）

- 水面上にネットを浮かべその上で浸潤させる。
- 全紙サイズの洗い桶と特殊ステンレス網を使用し、水量を調整する

【使用する水】

- 水＋お湯
- ぬるま湯で
- ぬるい湯で洗い置く（ステンレス）
- 純水の微温湯に浸漬する。
- 水溶液に浸漬
- ニカワ水で色止め、乾燥の後、保護紙の上から霧吹きでかける
- 使用する水は全て RO 水（逆浸透膜水）
- 洗いネットにはさみ、水及び湯洗いする。

【個別の方法説明】

- pH 調整した水（時には温度調整もあり）にサポートとともに徐々に浸漬。浸漬した水は約 10～20 分後、数回取り替える。
- 画面上から霧吹きで噴霧し、画面下に敷いた吸い取り紙に汚れを移動させる。
- 絵の表面にエステル紙を当て吸取り紙又は厚手の和紙でサンドイッチにして、サクシオンで 20 秒位水切りし自然乾燥。解体の時、水に浸す時間を少なくするため、絹物は水が通ると固くなる板面に水をたっぷりかけ本紙を浮かせホコリが画面の上に浮いたところで紙ですいとる。
- 現在は、本紙が健全であっても直接本紙に水を掛ける場合は少ないです。筆記材の安定を確認後、保護紙で本紙を挟み、事前に湿らせた吸取り紙を数枚重ね緩やかに湿紙とします。エチレンシートなどで湿紙環境を保ちつつ、吸取り紙への可溶性汚染の移行を見ます。汚染程度に応じ、吸取り紙を複数回交換します。ほかに、水浴槽で対処するケースもあります。これは水漬けが必要な場合です。
- 作品の大きさや状態によって異なります。水が作品（本紙）の表面を流れない程度を目安にしています。本紙を蒸らす場合、適当に湿った紙と本紙をビニールで密閉して数時間放置するやり方をしています。
- 作品の下に 10 枚くらい吸い取り紙を敷き、上から霧吹きで水をかけ、吸い取らせていく方法。

- (洋紙の場合) その大きさ、厚さにより、アルカリ性 (pH 8.5) などの浴槽に入れる場合、サクシオンテーブルを使う場合、ろ紙の上に湿潤強度の高いティッシュペーパーを置いて、その上に作品を置き、霧吹きなどで水を加えるなどバリエーションを加えます。霧吹きも作品の大きさ、厚さ、汚れの程度で違い、1回のときも10回以上の事もあります。
- 倉又製の噴霧器を使用。噴霧器の圧力を上げておき、霧吹きは素早く均一に、回数はほぼ1回で済ませる。アルコールが使える場合は、対象に適宜エタノールを混合した純水をスプレー。浸漬処置可能であれば、濡らした直後に洗浄液下に浸漬。
- 部分的な場合はプリザベーションペンシル (加温加湿装置) を使用
- プリザベーションペンシル、加湿器などで加湿した後、吸取紙に挿入
- 本紙をガラス板に乗せ斜45度位の所で上方より静かに水を流す
- 本紙を保護紙 (レーヨン紙) にてサンドして、洗い桶の上で直接水をかける場合と、目の細かい網の上にサンドした本紙を乗せて水が下に抜けるようにする場合がある。

2-c クリーニング工程は長期の間に紙に生じた酸を洗い流すことにもなりますが、このような脱酸処理のための薬品を使用しますか。(複数可)

☐	水酸化カルシウム	
☐	その他	【どのような薬品を用いますか。】
		}
☐	脱酸処理は行わない。	【脱酸処理を行わない理由は何ですか。】
		}

表 2-8 クリーニング工程で脱酸処理に使用する薬品内訳

脱酸処理に使用する薬品	回答数	回答数比率 (%)
水酸化カルシウム	32	32.7
その他の薬品	34	34.7
脱酸処理は行わない	46	46.9

(有効回答数 98)

「脱酸処理は行なわない」とする回答は 46.9%で、半数近くが水によるクリーニングだけを行なっているようである。回答者の内訳を見ると、高度な文化財を扱う工房は、概して脱酸処理を行なわない傾向にあることがわかった。また和紙を扱う工房から脱酸処理を行なうと回答した件数の比率は、52.6%であり、洋紙を扱う工房で脱酸処理を行なうと回答した件数の比率 63.6%よりも少なかった。しかし、和紙も洋紙も両方扱う工房が多く、どちらについて回答したかが区別できない。

「水酸化カルシウム」以外に使用する薬品は、以下の通りである。ブックキーパー法では、酸化マグネシウム微粒子を分散させたフッ素系の液体に紙を漬け、液体の浸透とともに酸化マグネシウム微粒子が繊維の間に行き渡ったあと、液体を気化させる。この液体は不活性でスミやインクを溶かし出すことなく、

また水とは違い繊維を膨潤させないので紙の変形が起こらない方法である¹⁾。

【ブックキーパー】計 3 件

- Bookkeeper (3 件)

【炭酸化物、炭酸水素化物など】

- 炭酸カルシウム (2 件)
- 胡粉²⁾ の上水 (ペットボトルに茶サジ 2 ～ 3 を入れ、冷蔵庫に 3 日置き上水を使用)
- 炭酸水素カルシウム (4 件)
- 炭酸水素マグネシウム水溶液
- 重炭酸マグネシウム³⁾

【水酸化物】計 3 件

- 稲わらを燃やし、その灰を水に溶かし上澄みを使用します⁴⁾。
- Fine art conservation は図書館と違い、脱酸処理は水酸化カルシウムか、または、ammonia hydroxide (水酸化アンモニウム) を使い washing という形で脱酸することができる作品以外は、周りの環境 (ハウジング) の向上をはかり、作品には手をつけない、(色が落ちる可能性がある事が多いため) ことが多いです。
- NaOH (水酸化ナトリウム、苛性ソーダ)
- 水酸化バリウム八水和物

【市販の中和剤】計 3 件

- アルカリ性中和剤
 - トリヒドロキシトリエチルアミン
 - 市販の表具表装薬品

¹⁾ プリザベーション・テクノロジーズ・ジャパンホームページ

<http://preservationtechnologies.jp/faq-jp.html> (閲覧日：2010 年 3 月 31 日)

²⁾ 貝殻を粉碎した粉末で、主成分の炭酸カルシウムにタンパク質などが混ざっている。

³⁾ 炭酸水素マグネシウムのことと考えられる。

⁴⁾ 水酸化カルシウムが主成分と思われる。

- 業販の酸性中和剤を使用後、PH試験紙での中性濃度は計測する
- 薄いアルカリ溶剤（2件）
- 市販の漂白剤（ハイター¹⁾）でも使用します

【アンモニア】計3件

- アンモニア（2件）
- アンモニア水、エタノール²⁾（サイズが強い場合）

【水だけ（薬品を使わない）】計3件

- 本紙の状態ではお湯を使う
- 薬品は使わず、精製水でのみ洗い流す
- 水洗いで良いと思った時は、薬品はできるだけ使用しない

以下、漂白処理と混同していると思われるものだが、削除せず列挙することにする。使用する漂白剤の種類を問う次の設問の回答には加えないものとした。

【チオ硫酸塩、亜硫酸塩】計2件

- チオ硫酸ナトリウム5水和物³⁾（塩素系漂白剤を使用したと推測される部分に用いる）
- 亜硫酸水素ナトリウム⁴⁾（2件）

【過酸化水素】計5件

- H₂O₂
- オキシドール 1～10倍希釈する
- オキシドール7倍～10倍にうすめる。
- 過酸化水素（2件）

¹⁾ 次亜塩素酸ナトリウムが主成分である。

²⁾ 水に濡れにくい紙を濡らしやすくするために加える。エタノール自体は脱酸効果はない。

³⁾ チオ硫酸ナトリウムもそれ自身漂白剤であるが、漂白剤である次亜塩素酸が残留している場合に用いるとそれを分解させる働きもする。有毒な塩素を除去するが、脱酸処理とは異なる。弱酸と反応するので脱酸の役割をするが、有毒の二酸化イオウガスが生じて危険性がある。

⁴⁾ チオ硫酸ナトリウムと同様の働きを持つ。弱酸をある程度中和する働きはある。

【過マンガン酸カリウム¹⁾】計4件

- 過マンガン酸カリウム (3件)
- 過マンガン酸カリウム、蓚酸

【ケミクリン²⁾】計3件

- ケミクリンなど
- コダマ油化学のケミクリン中和剤
- ネオクロール、ケミクロン

【光】計1件

- 太陽の光絹の光³⁾

¹⁾ 後述の注意参照のこと

²⁾ 成分の詳細は不明だが過マンガン酸カリウム水溶液と思われる。

³⁾ 光を当てることによって漂白作用が見られる。褐色のように濃いものは白っぽくなるが、白色のものは黄ばむ。

2-d 漂白のための薬品を使用しますか。(複数可)

☐ 過酸化水素水（オキシドール）
☐ 次亜塩素酸ナトリウム（次亜塩素酸ソーダ）
☐ さらし粉（次亜塩素酸カルシウム、カルキ）
☐ 水素化ホウ素ナトリウム
☐ その他

}

☐ 漂白処理は行わない。

{

}

}

表 2-9 クリーニング工程で漂白処理に使用する薬品内訳

漂白処理に使用する薬品	回答数	回答数比率 (%)
過酸化水素水	49	50.0
次亜塩素酸ナトリウム	20	20.4
次亜塩素酸カルシウム	10	10.2
水素化ホウ素ナトリウム	8	8.2
その他の薬品	30	30.6
漂白処理は行わない	47	48.0

(有効回答数 98)

漂白処理によって、紙は見た目に美しくなるので、鑑賞を目的とした処理を考えているならよいが、一般的に繊維に損傷を与えるため、紙の劣化を防ぐという意味では効果がないであろう。

アンケートの設問に例示した薬品は、酸素系酸化漂白剤として過酸化水素水、塩素系酸化漂白剤として次亜塩素酸ナトリウム及び次亜塩素酸カルシウム、還元漂白剤として水素化ホウ素ナトリウムを挙げたが、これらはやはり多く使用

されていた。これ以外には、酸素系酸化漂白剤である過マンガン酸カリウムが多く、還元漂白剤の亜硫酸水素ナトリウム、シュウ酸、亜硫酸ナトリウムも多かった。薬品名を見ると脱酸処理で使用する薬品と共通で、脱酸処理と漂白処理の区別がないようである。脱酸処理は、劣化によって発生した有機酸（セルロースやヘミセルロースが徐々に酸化することにより生じると考えられる）や、ミョウバン、硫酸アルミニウムのような抄紙時に添加された酸性物質の中和又は除去のことで、漂白処理はそれとは無関係に白く（炭素の二重結合など発色に関係する化学構造、物質の除去）する処理である。

還元漂白剤や過酸化水素水は繊維に損傷を与えることは少ないと思われるが、塩素系漂白剤は、濃度が高いと繊維に損傷を与える可能性がある。今後、繊維に与える損傷の程度を正確に評価する必要があると考えられる。

アンケートで回答のあった、その他の薬品やコメントを下記に示す。

<酸素系酸化漂白剤>

【過酸化水素】計 6 件

- 過酸化水素¹⁾ (6 件)
- サクションテーブル使用し部分的に
- 絵の具が傷むので変色部分のみ p エイト変色部分のみ
- 使用後に、水で浸漬洗浄できる場合のみ
- 本紙が絹本の場合

【過マンガン酸塩】

- 過マンガン酸カリウム²⁾ (16 件)
- 6 w v % (2 件)
- 過マンガン酸ナトリウム (2 件)

【その他酸素系漂白剤】

¹⁾ 薬局で購入するオキシドール（過酸化水素水）には安定剤として硫酸が入っており、これが問題を引き起こす。（稲葉政満）

²⁾ 過マンガン酸カリによる漂白法は、非常に有名な方法だが、大変危険な方法である。処理中の状態が観察できず、薬剤を分解しないと仕上がりがわからない。漂白しすぎたり、墨だと思ったインクが消え、画像が無くなったりするなどのトラブルもある。また、分解して残存した成分が悪さをする。（稲葉政満）

- コダマ油化製酸素系
- 酸素系
- 酸素系漂白剤等

＜塩素系酸化漂白剤＞

【次亜塩素酸ナトリウム（次亜塩素酸ソーダ）】計

- 次亜塩素酸ナトリウム（2件）
- 本紙が比較的新しくてお客様の要望がある場合

【その他塩素系漂白剤】

- シアヌル酸塩類¹⁾（有効塩素60%+α）使用後にチオ硫酸ソーダにて中和
- 水道水による微量の塩素。
- 塩素系漂白剤
- ネオクロール（塩素系漂白剤）コダマ油化学商会（3件）
- コダマ油化製塩素系漂白剤

＜還元漂白剤＞

【水素化ホウ素ナトリウム】計1件

- 水素化ホウ素ナトリウム²⁾
- 多くの場合、過酸化水素を使用した後のしみのもどり止めとしてハイドロサルファイト（鉄分のみ）

【亜硫酸水素ナトリウム】計9件

- 亜硫酸水素ナトリウム（9件）
- カビ（明治以降で料紙が持つと判断した場合）
- アルカリ性中和剤（市販の表具表装薬品）として

¹⁾ シアヌル酸クロリド（塩化シアヌル、塩素化シアヌル酸ナトリウム）のことで、水に溶かすと分解して、次亜塩素酸を生じる。プールの殺菌剤などにも使用される。

²⁾ 還元作用があり、塩素系漂白剤や酸素系漂白剤が残留してシミのように見える場合に加えると、分解して洗浄することによりこのシミを消す作用がある。併用する場合はこの用途に用いられる。ハイドロサルファイト（チオ硫酸ナトリウム）も同じである。

【亜硫酸ナトリウム】計 5 件

- 亜硫酸ナトリウム (5 件)
- 亜硫酸ナトリウムと中和剤

【シュウ酸】計 91 件

- シュウ酸¹⁾ (8 件)
 - (サビ)
 - (絹本のみ)
- シュウ酸二水和物

【その他還元漂白剤】計 1 件

- 脱酸素剤 (脱ネオクロール)

<その他>

- ドーサ ニカワ+ミョウバン少量 (3 件)
- アンモニア (2 件)
- 重曹
- 重炭酸マグネシウム
- 精製水・ぬるま湯・アルコール
- 市販の漂白剤等 (3 件)
- P エイトなる漂白剤
- 水に (P エイト、バクコース A)
- ケミクリン (2 件)
- しみの種類によって、様々な有機溶剤
- 最近は使用しないが、以前は過マンガン酸と亜硫酸ソーダを使用した
- さらし粉は通常は使用しない
- 以前は p エイト (今は使っていない)

¹⁾ シュウ酸 (HOOC-COOH) は還元作用があり、鉄さびやインクなどの染み抜きに使われる。

漂白処理を行わないとする回答も多く見られた。回答のあった理由を示す。

【紙を損傷する可能性があるため】計 19 件

- 本紙をいためる可能性が高い為
- お客さんが望む時以外は、本紙が傷むと思うので、できるだけ、漂白は行わない。
- ①作品の損傷の激しい時 ②お客様が望まない時は行わない。
- 基本的には行わない（紙の繊維を傷める恐れがあるため）
- 基本的には素材を傷めないために・・・どうしても必要ならば行うことも
- 基本的に漂白は行わないが、お客様の希望があれば行う。漂白処理は本紙に対し多大な負荷を与える危険性があるから
- 基本的に使わないようにしている。水、あるいは40度くらいのお湯。
- 古い物が多く基本的に水洗いとし紙を傷めたくない。
- 酸化させることだから 本紙素材を傷めることの不安
- 酸化原因の1つとなりうる、薬品は原則行わない。
- 紙の繊維をいためるから。修復処置の依頼者にはその旨をご説明し、それでも漂白処置をしてほしいと言われた場合には作品が太陽光漂白を実施可能なものについての
- 紙の劣化を防ぐため
- 処理をおこなった以降の本紙への影響を考えるとそこまでする必要性がまだないため。シミや黄色に変色することを聞いたことがあるため。
- 上記の薬品は、すべて紙の繊維を傷める怖れがありますので、基本的に文化財指定の作品では、使用することはありません¹⁾。
- 長いスパンで考えると本紙をいためることになるから
- 本紙に影響があると思われるため。
- 本紙に負荷が大きいと思われる時。

¹⁾ 文化財において脱酸処理を行う事は、ほとんどない。近代の洋装本や新聞など亀裂が入ってばらばらになる恐れのあるものに使用しているようである。昨年イェール大学の図書館にあるゼネラルコンサベーションラボで本や新聞に施工しているのを拝見した。（高島晶彦）

- 本紙を傷める
- 本紙が劣化している時

【見た目を改善する処置は不要で、履歴や時代感、風合い¹⁾を残すため】計 11 件

- アーカイブに対しての処置なので見た目を改善する処置である漂白は必要ないため。(漂白はクリーニングではない。)
- そこまでやる必要がない、時代色は必要以上消さない為
- 基本的には行なわない。履歴や真実性を失い、処置後の回復は困難となる。本紙が脆弱な場合、水処理による危険が高い。要請があり、必要な処置と了解した場合、本紙が健全で水処理に堪えるものであれば行なう。
- 経年の時代感、風合い、表情に大きな変化が生じる 残留薬品の 100%除去を確認する、機器を所有していない
- 作品の持ち味を損なう物については漂泊しない。一般の作品は薬品を使用するが、重要な古物には使用しない。
- 時代が作品の価値の一つでもあるから
- 上記と同じ理由で年代の古い物は特に処理は行わない。
- 全体が均一に変色している場合 (は漂白しない)。
- 美術品ではなく歴史資料として資料を扱っているので、判読が可能であれば紙の強度低下の懸念のある薬品は使用しないことにしている。
- 本紙を劣化させないため。
- 本紙を白くする必要性がないので

【絵具、墨等の退色や紙の変色を避けるため】計 3 件

- 絵具の退色
- 多くの色が用いられ傷みがひどい場合 (は漂白しない)。
- 薬品による劣化変色や顔料等の化学変化。薬品の残留による時間劣化の為使用しない。漂白処理をしたことはありません。 部分補修しかしないの

¹⁾ 文化財の保存には、古びた趣(風合い)の保持も入っているため、積極的に本紙を白くすることはしないことを心がけている。しかし、一方では、本紙の汚れを取らないと、補修紙に汚れがまわることがあるので注意が必要である。特に接着部分が黒ずんでしまう。
(高島晶彦)

で、もし漂白をしてしまったらそこだけ色が変わってしまい、不自然なむらになってしまうと思うからです。

【その他】

- 漂白はなるべくやらないほうがいいと思いますが、雨染み等、鑑賞に耐えない場合はします。漂白せずにヨゴレを落とす薬品（ケミクリンゴマ油化）も使います。
- クリーニング工程としては行わない。漂白が必要な時は、 H_2O_2 を使用する。
- 結果がなんとも言えない
- 古文書などやたらに漂白しません。物によります。
- 作品の状態や修理仕様、他により適宜調整および検討を行うため、一概に記述できません。
- 水だけで終わらせた方が良くと判断した場合
- 基本的に部分的な汚れ以外は使用しないように提案しています。
- 漂白処理が不安です。脱酸処理で十分と思われる為。
- 本紙が傷みすぎているときや表装代が少ない時

2-e クリーニング工程（脱酸処理及び漂白処理を含む）で、その他の処理などがあれば書いてください（例えば、エアスプレーで吹き飛ばす、エタノールで拭き取るなど）。

【その他の処理】

表 2-10 クリーニング工程でのその他の処理

その他の処理に使用する器具・薬品	回答数	回答数比率（％）
消しゴム	10	10.2
吸引	10	10.2
エタノール	7	7.1
刷毛	5	5.1
食パン	3	3.1
酵素	2	2.0
テープ痕の除去	2	2.0

（有効回答数 98）

回答には、漂白処理や脱酸処理に分類すべき内容のものも含まれているほか、漂白処理の中和などに言及したものもあった。それら以外の処理を挙げて使用する器具・薬品・目的などを明記した回答について、回答数の多かった順に表に示す。

水や液体を使用したときの紙の損傷や墨、インキ等の剥離を懸念するためにドライ状態で、ホコリや汚れを取り除く処理が多く、消しゴム、サクシオンテールなどの吸引法、刷毛、食パンが多かった。水・液体を使った処理では、カビ除去のためのエタノール¹⁾、ニカワが固くなったときに用いるタンパク質分解

¹⁾ 本紙にカビが生じている場合、回りに飛散しないようカビを刷毛や筆で丁寧に払い、アルコールを薄めたものを散布する場合もある。（高島晶彦）

酵素、テープ痕の除去に用いる有機溶剤などがその代表的なものであった。

<ドライクリーニング、ホコリ、汚れの除去>

- 消しゴム（10 件）

- 乾式洗浄（粉消しゴム、練り消しゴム等使用）
- 消しゴムを小さくきざんだ物で本紙にやわらかい筆ではくようにして汚れなどをとり、フィルターを装着した掃除機で吸引
- プラスティック消しゴム（粉末またはかたまり）、練りゴムなど使用
- スポンジ、消しゴム粉でホコリを除去する。
- もし版画などの場合、**Surface Cleaning** という方法で、消しゴム（テスト済み）の粉（修復用に加工されたもの）で手のひらで作品の上をわずかに触るぐらいでこの粉とともに汚れを取る場合があります。日本の和紙には向きません。
- 粉末消しゴムで汚れを消し取る
- 粉末消しゴムで汚れを消し取る
- 柔らかめの消しゴム
- 荒めの粉消しゴムによるドライクリーニング

- 吸引（10 件）

- サクションテーブル（図 2-1 参照）¹⁾ で吸引除去
- サクションテーブル、加熱式超音波加湿器使用
- サクションテーブルを使用し、水洗・吸引に止め本紙破損を重視し完全除去は施工しない。

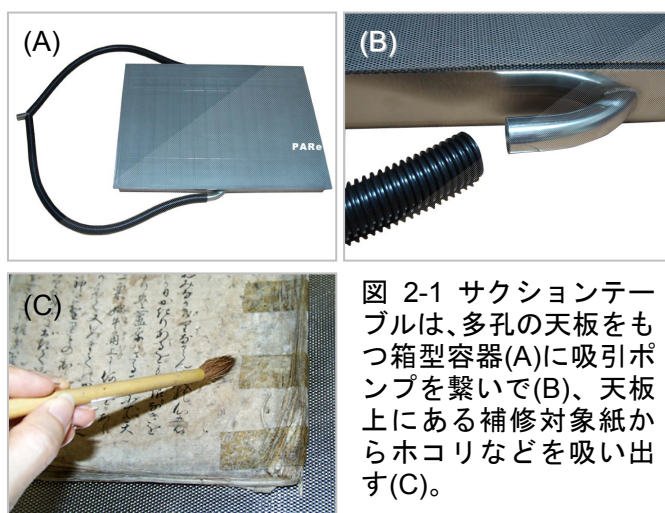


図 2-1 サクションテーブルは、多孔の天板をもつ箱型容器(A)に吸引ポンプを繋いで(B)、天板上にある補修対象紙からホコリなどを吸引出す(C)。

¹⁾ 図 2-1(A), (B)は、株式会社パレットのホームページより引用。図 2-1(C)は、紙資料修復工房ホームページより引用。

サクションテーブルは、室内の空気を、本紙を通過させて吸い込むことになるので、空気中にホコリが舞っているような状態だと、ホコリが本紙の繊維間に挟まって汚損することがあるので、テーブルに透明な箱をかぶせ、目の細かいフィルターを通った空気だけが本紙を透過するような構造にすることが望ましい。（稲葉政満）

- サクシオンテーブルを用い、下に汚れを吸取らせる。
- サクシオンテーブルを時々使いますが、吸引力の加減が難しいのであまり使っていません。
- 長時間洗浄できない場合、サクシオンテーブルテーブル上で吸引しながら洗浄液をスプレーすることもある（資料下に吸い取り紙をおいて汚れを吸着させる）。
- 自家製バキューム
- 本紙の痛み具合で、埃をバキュームする。
- 本紙の下に吸取り紙を敷きその下の網越しに掃除機で吸取る
- 刷毛（5 件）
 - 刷毛で埃をとる。
 - 撫で刷毛で表面をはらってほこりをとばす。
 - 柔らかい刷毛
 - 乾燥状態において刷毛などで払うなど。
- 食パン¹⁾（3 件）
 - 食パン（転がして吸着させる）
 - 食パンで汚れを丁寧にとり、その他の汚れ、アクは霧吹きにて水をかけ何度も本紙を傷めない程度に吸い取る。
- スポンジ（2 件）
 - ケミカルスポンジ
 - スポンジ（でクリーニングを行うことがある。）
- 超極細繊維のクロス
- ほこりと付着している汚れの除去
- ホコリの除去
- ほこりを払い落とす。
- 埃を払う

<湿式、液体処理>

- エタノール（8 件）

¹⁾ 木炭を使用したデッサンでは消しゴム代わりに使用される。紙との摩擦力が消しゴムより小さく、紙表面を傷つけにくい。

- アルコール
- かびコロニーなど目視で判別できるものは、クリーニングの前にエタノールで拭き取る。
- カビ殺菌のためエタノールをスプレーする事もあります
- カビの殺菌（エタノール使用）
- 消毒用エタノールをめんそう筆を使用して、カビにぬる
- 綿棒を使用しエタノール
- 酸化又は還元による漂白処理で中和剤を使用する。
 - 酸化漂白剤に対して→グリコール酸¹⁾ 他混合物
 - 還元漂白剤に対して→トリヒドロキシトリエチルアミン²⁾ 他混合物
- ライトブリーチ、サンブリーチ（水酸化カルシウム³⁾ 使用）
- 過マンガン酸カリウム水約 3 %位に薄めて、後に亜硫酸水素ナトリウムを同じく 3 %～ 5 %薄めた水溶液を塗り、温度 18℃以上が適する。
 - 過マンガン酸カリウムは、紙の繊維に全く良くないと聞いているがつつい便利である。水洗い多量に薬品を洗い流し十分に行う。煤の濃い紙本は煤を水流しをして抜けない後に使うようにしているが、P エイトと薬品名は知識がなく、分からない。お教えお願いしたい。
- 過酸化水素水の濃度に加え、エーテル⁴⁾ を混ぜ、処理後の漂白剤を残留させない。
- 過酸化水素水を使ったときは水洗いはしないでそのまま乾かす。日光に晒す（一層白くなります。）
- ファックスの場合薬品は過酸化水素水
- 薬品に関してはオキシドールにエタノールを加えて⁵⁾ 使っています。
 - 浸透性を良くする為に良いと聞いて
- 木灰による還元⁶⁾。

¹⁾ ヒドロキシ酢酸 (HOCH_2COOH) のこと。

²⁾ トリエタノールアミン [$\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3$] のこと。

³⁾ 酸性物質の中和（脱酸処理）が目的と思われる。

⁴⁾ 溶解している過酸化水素を追いつ出すためだと思われるが、過酸化水素が分解して酸素を発生するので、引火性の高いエーテルを用いると危険である。

⁵⁾ 酸化剤である過酸化水素がエタノールを酸化したときに酸素を発生するので容器に入れて長期保存はしないほうがよい。1 回ごとに使い切るなら問題ないと思われる。

⁶⁾ 木灰（主に酸化カルシウムで水に溶かすと水酸化カルシウムとなる）による脱酸処理（酸性物質の中和）のことか。

- アンモニア水
 - 数回、弱アルカリ性（pH は適宜調整）の水溶液で洗浄した後、変色部分のみサクシオンを併用しながらアンモニア水溶液（pH10 くらい）で処置することもある。
- 酵素¹⁾（2 件）
 - 木版画など、強いドーサが変質して非水溶性になり、紙に水がまったくしみこまなくなったときは、たんぱく質分解酵素を使うことがある
 - 溶剤の使用が必要な場合、最終的にエタノールにて処理し、火を与え、バキューム、酵素を使用し分解。部分的にバキューム
- テープ痕の除去（2 件）
 - テープ痕など部分的な付着物は、水や溶剤（適性をテストして選択）で拭き取る。
 - テープの除去（エタノール、アセトン、リグロイン使用）
- 油性、揮発性のもの、市販の薬品
- 裏打ち紙を剥がす
- 薬品洗いの後処理として、フェニッシュ（コダマ油科学商会）を噴霧します。
- ソノフラッシュ
- 大型で水槽に入らない様な資料は、吸い取り紙の上に資料を載せ、洗浄液をスプレーして溶け出す汚れを吸い取り紙に吸わせる様な処置をおこなう。
- 色落ちを防止の為、膠、ドーサ、等使用 カビ等 ホルマリン液
- 太陽ブリーチ²⁾ で処理する。（本紙が傷んでいない場合で汚れのひどいものは薬品を使用）

¹⁾ ドウサが固まると固くなり、液体の浸透性が下がるため、ドウサに含まれるニカワ（タンパク質である）を分解するための酵素を水に溶かして塗る。

²⁾ サンプリーチ（ライトブリーチ）のことと思われる。故 Keiko Mizushima が考案した方法（稲葉政満）

2-f クリーニング工程の処理（水によるクリーニングのほか、脱酸処理及び漂白処理、その他の処理を含む）で、修復対象の本紙に影響を与えるかどうか気になることがあれば書いてください。

【クリーニング工程の処理で、修復対象の本紙に影響を与えるかどうか気になること（水の使用、薬品の使用、加える力の影響など何でも）】

漂白処理、脱酸処理を含むクリーニング処理において気になる点として、水そのものによる紙の損傷や乾燥後の寸法変化、薬品による紙の劣化を気にする回答が多かった。また、絵具、墨、その他の着色顔料の変色が、作品の外観を変えてしまうことを心配する声が多かった。また処理中あるいは、処理後に残留する薬品が紙の劣化を進めないかどうかを気にする方が多かった。薬品の残留は、乾燥中に濃度が上がっていくため、十分希釈した水溶液で処理したつもりでも高濃度の処理と同じになる。十分な水洗が必要である¹⁾。

また、漂白剤の処理濃度や中和剤の添加量、pH の制御は重要である。pH が高くアルカリ性が強いと、劣化が進んだ紙の繊維を構成するセルロースが分子量が小さくなっているために、アルカリ水溶液に溶解したりよく膨潤したりするようになり、繊維がばらばらになりやすいので注意が必要である。このような薬品による処理の意味や手順を理解していないと、紙を破壊してしまうことになりかねない。

¹⁾ 十分な水洗は確かにそうだが、現場的には難しい面もあるのかもしれない。あまり水に浸す時間が長くなると絵の具が動き始める可能性もある。（稲葉政満）

また処理した紙が将来にわたって、劣化が進行することなく安定な性状を維持しているのかどうかを気にかけておられる様子が伺える。薬品による処理の時点で劣化が進行せず、よく洗浄して薬品を除去すれば、劣化が進行することはない。処理の時間が長くなると、低濃度の薬品でもセルロースの劣化や絵具や墨に含まれるニカワの劣化が進むので、処理の時点で劣化していれば、あとあとまで力学強度は、未処理のものより劣ることになる。もっとも脱酸処理が効果的に行われれば、セルロースの酸加水分解が抑制できるので、経年劣化の速度は小さくてすむ。

以下、クリーニング処理の気になる点の回答を、観点ごとに分類して列挙することにする。

- 紙の強度低下、変形

- 紙質、寸法の変化¹⁾
- 引っ張り強度、開閉折り強度劣化
- 本紙の劣化
- 紙自体の強度の減少
- 本紙の破損及び劣化
- 何拾年も、掛軸の場合、煤で茶褐色になっている作品等、漂白を必要とする物を煤落とし²⁾に薬品の力をかりる。依頼主の要望もある為について漂白を必要とする事となる。本紙を傷めずに汚れ煤を抜くように、水洗いのみで、ある程度きれいになれば依頼主の理解を得られるように努めるようにする。
- 水の使用による本紙の伸縮、法量の変化。
- 本紙の亀裂や断裂。

¹⁾ 寸法変化は、まず紙が濡れたときに繊維の中にあるセルロース分子間（濡れる前に分子間で水素結合を作っていたところ）に水が入り込んで、繊維が膨らむ（膨潤）ことにより、紙全体の寸法が大きくなることで生じる。濡れた紙が乾燥するときには、濡らす前の状態以上に繊維が収縮するため、紙の寸法が元の紙より小さくなり、皺も発生する。木の板や鉄板に張りつけて乾燥すれば収縮を防ぐことができ、元の寸法をほぼ維持することができる。

²⁾ 煤（すす）は、単体の炭素であるのでそれ自身は漂白されることはない。有機物の着色は、炭素が二重結合や共役二重結合を持つ構造に由来する。その二重結合が単結合になる（酸化）ことで着色構造が消失することが漂白である。何らかの方法で繊維間に詰まっている煤を吸い出せば白くなるであろう。

- 漂白剤による本紙（セルロース）の劣化¹⁾。
- 水の洗いでも時間をかけたり、こすったりすると本紙が傷む。
- 洗浄、脱酸性化処置、漂白処置をした場合、紙に対する短・中長期的な変化（物理的強度）
- 紙に対する変化についても事前にテストした上で処置をする／しないを、考慮するが、処置後に柔軟性、テクスチャー、サイジング効果、寸法などが微妙に変化してしまうことがあるため気になることがある。
- 当工房では古地図や版画作品の洗浄も多くおこなっているが、厚い用紙の場合、洗浄中の用紙の膨張と乾燥時の加圧（加圧しないと波打ちする）乾燥によって、厚さやサイズ、用紙表面に微妙な変化が生じる。
- 漂白処理をして修復が終わった作品の本紙の傷みが少なくすることを考える。
- 本紙によっては大量又少量でも風合いが、変わる場合があるので、又薬品で同様の事を言えるのではと、本紙と接する時には注意しています。
- 本紙の劣化
 - 薬品・水で洗い流す時の本紙の劣化が気になる。
 - 薬品の使用により和紙を劣化させてしまう
 - 薬品の使用は本紙に影響を与えたいと思います。
 - 薬品を使う場合薄めに使います。細心の注意を払う。
 - 薬品を使用の時うすめの薬で2度、3度と洗う様に心掛けています。
- 紙の変色
 - 薬品の洗い残しによる薬品焼けの発生
 - 脱酸性化処置による本紙の変色²⁾
 - 人工的な変色
 - 時間の経過後の変色
 - 経年による変色など。
 - 洗浄、脱酸性化処置、漂白処置をした場合、紙に対する短・中長期的な変化（色）
- 紙がもっている、書画以外の情報の喪失

¹⁾ セルロースの分子量が小さくなるのがセルロースの劣化と言える。

²⁾ pHの指示薬のように酸性かアルカリ性かにより発色の程度が変わることある。

- 紙本の場合、紙の持つ情報を損ねる水の与え方やプレス of 掛け方には注意が必要である。
- 版画作品（銅版画）の場合、プレートマークを減少させない様に乾燥させるのが難しい。
- 絵具、墨、顔料の変色と剥離
 - クリーニングにより、絵具や墨の色落ちやしみ
 - イメージ材料のしみ、変色、退色
 - 絵具の退色
 - 実際に薬品を使って本紙を漂白などすることは、本紙の紙、絹、等、彩色がある作品は特に危険である。薬品を使わぬほうが良い。部分的に、汚れなどある場合とか、絵の具に、触らぬように、汚れ、シミをとるようにする。
 - 顔料の剥落、染料のしみ。
 - 水洗浄を行うと、滲むことはなくても、顔料系の色料などは物理的に少量でも流れ落ちてしまうこと。白胡分の白色度が、かえって無くなってしまうことがあること。
 - 水分を与えることで、本紙の書や絵などににじみがでないかが心配です。
 - 色材に対しては事前の溶解テストで影響があるときには水性処置は合わせる。
 - 太陽ブリーチで処理する場合、漂白作用が遅いため汚れがひどいものは太陽に漂す時間が長くなり顔料に対してどの位の時間で変化が出るのか気になっています。
 - 脱酸処置後が色材の経年変化にどのような影響を与えるか。
 - 着色の劣化
 - 脱酸に関しては紙への影響というよりアルカリで変色しやすい顔料や染料が作品に含まれている可能性がある所以その点を留意している。
 - 漂白に関しても錆など金属系のダメージや金属系顔料が明らかに含まれている場合は過酸化水素を使わない¹⁾。（これは現在のスタジオでのことではなくほかの機関で経験してきたこと）
 - 本紙の時代性（古色）ができるだけ損ねたくない。墨色、彩色の色落ち

¹⁾ 過酸化水素は、金属を酸化しやすいので、金属が変色する。

を大変心配する。

- 残留する薬品の悪影響
 - 薬剤を使用した時に完全に抜けているか、万一残っていた場合はどの程度の影響があるのか¹⁾。
 - 薬品を使用した場合、確実に薬品が抜けているのかどうか？
 - 薬品の残留、クリーニング後経年による劣化、薬品残留による本紙の変質
 - 溶剤、酵素の残留、チオ硫酸ナトリウム 5 水和物を使用した時、希酸により遊離した硫黄の残留
 - 残留薬物による薬焼け
 - 残留薬品濃度
 - 残留薬品がまったく残っていないか？ 残っている場合の経年変化。次回修復時（50年～100年後）に同じ作業ができるのかどうか？
 - 薬品の残留により長い年月による傷みと漂白が心配であるから。
 - 完全に中和することが難しく、納品後どの位の年月で影響が出るものかが把握し難い。幸い現在の所、苦情は来ておりません。
- 処理前の本紙の傷みが既に激しい時の処置
 - 外気に直接当り、永い間 スス等で痛んだ額等の本紙（和紙及絹本）は強い薬品では流れてしまう為、希釈に注意が必要 又水は、本紙に直接かからないように隅にスポンジなどを置いてゆっくりと流す。
 - 状態の悪い物は水に浸すだけで本紙が流れる場合があるので薬品を使う場合は薬品を水で薄める割合を多くし薄めの薬品で2～3回繰り返して行っている。
 - 本紙が余りにも傷んでいる場合、下敷材としてサッシュのネットを利用している
 - 薬品の使用について、使用後に必要となる洗浄作業に本紙が耐えられるかどうか。
- 処理手順が不明確、情報不足、作業中の損傷
 - PHメーターで中性にしているが、上下許容範囲は？²⁾

¹⁾ 薬品の残留量がわずかでも、乾燥するにつれて濃縮されるので、劣化が進行する。確実な洗浄が必要である。

²⁾ pH6～9 程度なら劣化の進行はそれほど進まないと思われる。

- クリーニング、脱酸、漂白処理で薬品を使用すると中和剤を使用しても、それぞれの処理中は短時間であっても本紙を多少いためてしまうため、よほどの状態で無い限りその処理は適切かどうか疑問に思うところがある。特に、漂白処理はその度合いが大きく思います¹⁾。
- 一般的に表具屋では昔から使われている方法だと思いますが、他の方法の使用法などの情報が不足しているために従来通りのやり方で行っています、薬品を使うことにはリスクは付き物と思いますが良い方法があればご教授ねがえれば幸いです。
- 汚れの原因がわからない。
- 絵の具の剥離防止剤の効き目と水量と紙剤の劣化状態が握めない時
- 基本になる薬品の分量の半分以下で使用する（最初は様子を見る）。1回で終了するのではなく、薬品を薄くして、2～3回に分けて様子を見ながら使用する
- 基本的に、水以外のものを使用した場合、本紙に化学反応による害を多少なりともおよぼすのではないかと考えられます。
- 基本的に薬品を使用すると、本紙に何らかの負荷が係ってしまう為、水のためのクリーニングを心掛ける。
- 現在行っているクリーニング工程が正しいかどうか疑問に思うことがあります。他に正しい工程があれば是非参考にしたいです。
- 本紙を濃い薬品に長時間浸しておくと紙がトロケテしまうので注意が必要。
- 水（特に水道水）に含まれる薬品が本紙に与える影響。古紙の繊維剥離、溶解への影響の度合い。本紙に定着している墨の膠に与える度合い、がいつも気になります。
- 水で濡れた紙の取り扱い。やぶれやすい・・・平らなネットにのせる。すみ、絵の具の流れ・・・色止め
- 水に不溶で、保存のためにマイナス要因となるものにはどのようなものが考えられるか？水分を与えず酸化物を除く、若しくは軽減する方法は？

¹⁾ 脱酸処理により、酸性状態から中性又は弱アルカリ状態になれば、セルロースの劣化は食い止められるが、漂白処理は、見た目に白くなるだけであり、処理中に多かれ少なかれ劣化させてしまうという副作用は否めない。

- 薬品での処理は、文化財を残していくためには本紙に必ず影響があるのでやめるべきである。
- 水酸化カルシウムでの脱酸処理で墨にどのような影響を与えるのか気になります。
- 数年前芸大の先生に（ニカワ水に3%ミョウバン）で絵の具の色止めをすると聞いたが、ミョウバン3%は多すぎないか（長野上山田表装研修会での話）¹⁾
- この穴止の作業を取得するには中々秘密主義の人が多いため教えて頂けない。従って後進の育成が必要だ。唯秘伝は解ったら意外と易しいものだ
- 当店では中性紙で有るか否かが気になる。水道水の鉄分や塩素の影響は無いのか？
- 粉消しゴムを使用した際、粉消しゴムが和紙の抄き目に入り込んでしまっ
て、処理後完全に除去しきれていないようで気になったことがある。
- 作品の時代を一番に考えると、漂白をして良いか悪いかを先ず考えていますし、何はともあれ長く保存するのが目的だから。
- 薬品の影響がまったくないわけではないと考える。
- 薬品の使用により、本紙にどれだけのダメージを与えているのか。
- 薬品の使用は影響が大きいと感じています。特に本紙の状況（傷み・性質）を極端に言えば無視して薬品の分量を決めてしまっています。もちろん完全に汚れを落とすというところまではしないまでも、本紙に対する適量を何ら把握する事なく用いています。
- 薬品使用の際の保護紙等はその都度変える。舟等で処理した際は完全にきれいに洗い流して薬品を完全に落して次の工程に移る。又、本紙は陰干しにして急がずに乾かす。養生の紙等を本紙の上に置く。水分が取れたら短時間日光にあてるときもある。
- 劣化や風化の著しい本紙の場合、吸取紙を介した加水であっても風化した塵埃が外れる。どこまでをオリジナルと認識するか、汚染塵埃なのか風化破片か、など。ニカワ希釈液を表面サイズ剤とし事前に付与するが、

¹⁾ ドウサ（ニカワとミョウバンの混合水溶液）での絵の具の剥落止めは今では行わない。ニカワ水あるいはフノリを使用するようである。ミョウバンは紙を酸性にする可能性があるため。（稲葉政満）

劣化した本紙テクスチャーを保つ表面サイズ剤にはどのようなモノが適切なのか。

- クリーニング工程で除去している物質は何なのか、紙の繊維の水素結合は回復するのか。

- 処理効果に対する信頼性の不安

- いまだに、本紙に水を入れる最初の一刷毛がおそろしく思います。
- マイクロテストを顕微鏡のもとで行い、水による影響が出ないという事がわかってから修復しますが、それでも常に修復中の作品に寄り添い、もし中止する事になっても良いように、あらゆる事に対応できるように準備します。しかしそれでもどんな修復にもその思いはいつもつきまといますね。
- 汚れの移動による支持体や絵具層への再付着。
- 水の透過で実際にどれだけの酸化物が除去されているのか？その有無でどれだけの効果（将来的に）があるのか？
- 漂白および脱酸処理によりどれだけ（どのような）の負担が生じるのか？ リスクを負ってでも行わなければならない場合に指標があれば検討する際にありがたい
- 酸化物質の除去（効果）がどの程度行われているのか指標があれば有り難い。
- 水だけで行う場合は修復する前と変化はないが、他の方法で一切行ったことはない。やり直しはきかないから
- 積極的なクリーニングは行わないが精製水を使用しサクシオンテーブルで部分的にフォクシング、水ジミなど水で落ちないフォクシングなどにやむを得ず1～2%の過酸化水素でサクシオンテーブルで漂白する。全体的なクリーニングの場合は濡らした吸取り紙に挟みヨゴレを吸取る。朱字等にはパラロイドB72で止めクリーニング後サクシオンテーブルで溶剤で除去。
- 特に作品に対するサクシオンテーブルを用いた水性洗浄の場合は浸漬法に比べてコントロールしやすく効果的である一方で圧力次第でしわをさらに深めてしまったり、紙の質感や凹凸を変えてしまう可能性がある。
- 薬品使用による将来の変色と保存性。表具屋が使用します、過マンガン

酸がありますが変色と損傷が見られます。真白になり商売上印象が良いですが、一時的と思われます。当店では使用を控えております。

- 亜硫酸と過マンガン酸を使用する工房もあるようですが大変危険と聞いています¹⁾。本紙、絵具に対する影響は？通常の何倍の速さで劣化するのか？
- 将来にわたって紙の劣化が進行するかもしれない不安
 - 30年ほど前より薬剤を使用したサンプルによって、その経年変化を確認しているが、100年、200年後の本紙への影響となると調査しようがないので、若干不安には感じている。
 - 汚れを落とした時の老化の違いや風化の差など
 - 作品の本紙が将来どの様になっているか
 - 水、脱酸薬品、漂白薬品を部分的に使用した場合、使用していない部分との将来的な経年劣化の違い（強度、色）が気になります。
 - 色素（インクや絵の具など）がある資料については注意はしているが、脱酸性処理に使用するアルカリ剤の影響²⁾として、数十年後の変化（はあるか？）が懸念される。修復後に資料がおかれ、利用される環境は、処置の安全を確認した試験環境、条件とはまた異なっている。
 - 有機溶剤で汚れを除去すると、紙の繊維が脱水状態になるというが、その影響が将来紙にどのように現れるか。
- 作業者に対する薬品等の影響
 - 作業中の有毒ガスによる人体への影響
- 作業スペースの問題
 - 洗浄の場所は仕事する上においてある程度の広さが必要
 - 洗濯の場所はある程度の広さが必要と思います。薬品を使う関係上（劇薬を使う）

¹⁾ 過マンガン酸カリウムは、酸化作用が強く、自らは還元されて二酸化マンガンができる。過酸化水素を併用すると、過酸化水素の分解が急激に進んで酸素を放出するので、引火の危険や容器の爆発の危険が伴う。また過マンガン酸カリウムの中和のために亜硫酸ナトリウムを使用すると、有毒の二酸化硫黄を発生することがあるので危険である。

²⁾ 脱酸のためにアルカリ薬品を添加するが、水酸化カルシウムのままではアルカリ性が強すぎて、繊維の過度の膨潤やセルロースの分解反応を伴うので、炭酸カルシウムの形態（飽和溶液でもpH9程度）で紙に残す方がよい。実際には、空気中の二酸化炭素により自然に炭酸カルシウムに変化する。

設問3 裏打ち除去工程について

4-a 裏打ちを除去するためにどのような道具を使いますか（例えば、ピンセット、刷毛など）。また水や薬品などを使用しますか。

【道具の使用及び水や薬品の使用について】

裏打ちを剥がす手段として、水（紙の変形が少なくなるような水蒸気や、より強力なお湯を使用する場合も含めて）を使うが、デンプンが固化して剥がれにくい場合は、主にアミラーゼ¹⁾を使用するというのが一般的のようである。テープの粘着剤が付着している場合は、有機溶剤（エタノールやトルエン²⁾）を使用する、との回答が複数あった。有機溶剤は紙を傷めることはないであろうが、人体への影響が問題となるため、エタノールだけに留めておくのがよいと考えられる。道具には、刷毛、筆、ピンセット、へら、などを使うようである。ピンセットは、多数の回答があったが、竹製のピンセットにこだわる回答も見られた。

全般的に、フノリなどのデンプン系の糊の固着状態を判断して対処法を決めることが伺え、「本紙を最も傷めにくいと思えるものを選択して使用」のようなコメントが、作業者の方々の工夫とご苦労を端的に表現している。

裏打ちを剥がす際に使用する道具類として、刷毛、筆、布海苔などが非常に多かったが、裏打ちを剥がすと本紙がばらばらになるほど劣化している場合もあり、いきなり剥がさず表打ちをまず行う必要性が生じるため、このような表打ち（裏打ちも同じ）の道具を挙げたものと考えられる。

¹⁾ デンプンを分解する酵素で、固化したデンプンの溶解を助ける。十分な水洗が、現場的には難しい面もあるのかもしれませんが。あまり水に浸す時間が長くなると絵の具が動き始める可能性もあるので

²⁾ 有毒で揮発性〔引火性〕も高く、危険である。（稲葉政満）

以下、回答を、使用品ごとに整理して列挙する。

<薬品、酵素>

- アミラーゼ (22 件)
 - ジアスターゼ (12 件)、酵素 (6 件)、酵素糊抜き剤 (2 件)、麦芽酵素、消化酵素、大根の汁を含む
 - 固着の強く、除去が安全に行われないと判断した場合、デンプン分解酵素 (試薬 α アミラーゼ) を利用するケースもあるが、分解生成物の除去や安全な阻害剤の確認ができていない。ヨウ素反応でデンプンと想定される糊料であっても、水だけで除去できるとは限らず、経年変化した糊料に関する対応と知見を得たい。
 - 以前はジアスターゼが良いと聞き使用した事がありましたが、デンプン糊が糖に分解され虫喰いの要因になると聞いてやめました¹⁾。
 - 本紙に固着 (?) が見られるような場合、酵素を使用。この除去にバキューム
 - 水浸後、煤抜きの薬品を使う前に剥がす。水浸だけで剥げないときはジアスターゼの水溶液を加え、数十分後に剥がす。
 - 裏打ちの糊が堅い場合
 - 酵素など基本的に使用していない
 - バックコーソ²⁾
- メチルセルロース³⁾ (2 件)
- 浸透剤 (2 件)
 - 浸透剤 (主成分: アニオン界面活性剤)
- 剥離剤液 (4 件)
 - 剥れない場合市販の剥し液、はがし液、を含む。
 - はがし液は使用しない
 - 水で、湿らせてから剥がすのが主、固い場合は剥がし剤を使用。

¹⁾ デンプンの分解により、グルコースなどの単糖を生じるが、単糖は水に溶けやすいので、十分洗浄を行えば、問題なさそうに思われる。

²⁾ 何のことかわからない。

³⁾ エーテル化したセルロースで水溶性。デンプンに代わる接着剤として使用することがある。

- 薬品
 - 薬品は使用しない

＜水、液体、水蒸気＞

- 水（39 件）
 - むるま湯（2 件）、水（温度は適宜調節）、湯（5 件）、濾過水（2 件）、水流、精製水、RO 水、浄化水、浄水、蒸留水を含む
 - 水にて除去出来るものは薬品は使いません
 - 水浸する前に、空剥ぎできるものは空剥ぎする。
 - 初めは水のみで行なう。
 - 西洋画の裏打ちは同じような西洋紙で行われている事が多いのですが、湿度を与えたり、もしくはメカニカルに、そしてあるときにはエンザイム（酵素）を使う事もあります。
 - 水道水は使用しない。
 - 湿りを入れつつ除去します。いわゆる乾式肌上げ法を要する仕事は入ってきたことはありませんので。
- 本紙を入れる舟（2 件）
 - 深さは 2 分くらいの箱（プラスチックの箱）排水口の付いた舟、底板は白色系のもの
 - プラスチック製の箱で排水口付いた箱型入れ物底板は白色のもの
- エタノール¹⁾（2 件）
 - アルコールを含む
- トルエン
 - 非常に特殊な場合であるが、熱圧着によって裏打ちされた裏打紙の除去に
- 加湿器（6 件）
 - スチーム、蒸気、を含む
 - プリザベーションペンシル²⁾
- 噴霧器（16 件）

¹⁾ 水で濡れにくいとき、エタノールを混合した水を使うこともある。それ以外には、水不溶物質を溶解し除去するために使うこともできる。

²⁾ 超音波加湿器から発生した蒸気の温度と風量を制御する。

- 霧吹き（7件）、スプレー（3件）、を含む
- あまり水が与えられない場合は、湿らせた紙（先述の障子紙の様なもの）を対象にのせ、水分をよく浸透させるためにフィルムで覆っておくこともある。たいていは水かアルコールを加えた水、水を暖めて使うこともある。
- ゴアテックス（又はサーモンレーヨン）¹⁾（2件）
 - 間接湿し法を用いて、又、蒸気アイロンを用いて裏打ち紙除去する。
- 注射器

＜裏打ちを剥がすための道具＞

- ピンセット（66件）
 - 裏打ちを除去しなくてはならない場合は大抵の場合（イギリスの私のスタジオでは）17～19世紀の大型地図のテキスタイルによる裏打ちである。テキスタイルは洋紙にたいしてはがれやすいので大抵は水を使わずにピンセットや手でメカニカルに剥がせる。
 - ピンセットは危険
- ヘラ（15件）
 - スパチュラ（3件）、マイクロスパチュラ、を含む
- 竹ヘラ（10件）
- 竹製のピンセット（2件）
- 竹
- 杓子
- 木の棒
- 牙ベラ
- 千枚通し（7件）
 - 針、星突き²⁾、星付きを含む
- 小刀類（5件）
 - メス、メス刃、刃物、印刀³⁾を含む
- 歯ブラシの毛の少ないもの

¹⁾ 水蒸気は透過するが、液体の水は透過しない性質がある。

²⁾ 紙に印を付けるための針状の道具。

³⁾ 印章を作るために印材に文字などを彫るときにつかう小刀。

- ヤスリ
- サンドペーパー
- 手（2 件）
 - 指の腹

＜裏打ちを剥がすための補助的な道具＞

- ルーペ（6 件）
 - 拡大鏡（2 件）を含む
- ライト
- ガラス台
- ゴム製の手袋（2 件）
- 軍手（2 件）
- 割り箸（綿をつかむ時に使う）
- 吸取り紙（2 件）
- 旧裏打ち紙が剥がれにくい場合は、無理して破損をしてまでも、はやめる。
または紙を薄く剥く（指先で）そして徐々に湿りをくわえピンセットなどで剥がす。

＜表打ち（裏打ち）を行うための道具¹⁾と材料＞

- 刷毛（50 件）
 - 水刷毛、ドウサ刷毛、小刷毛を含む
- 筆（23 件）
 - 小筆、平筆を含む
- 布海苔（44 件）
 - 表打にフノリ（フノリの除去にバキューム）、を含む
- 糊（4 件）
 - 糊が硬く時間をおく場合には、湿らせた濾紙を本紙にあてて軽く重石をする。水で動かない接着剤（天然糊、合成糊など様々）の場合は、溶剤で剥離テストをして、塗布や注射器での注入など工夫して使用する。

¹⁾ 裏打ちを剥がすための道具などを尋ねる設問だったが、表打ちや仕上げの裏打ち工程についても回答していると思われるものもそのまま掲載した。

- 糊が濃い場合は（温湯に浸漬か加熱式超音波加湿器を使用）
- 傷みが激しい時は、表打ちを施す場合があります。

- 糊盆

<保護のための紙類>

- 保護紙（11 件）
 - レーヨン紙（4 件）、養生紙（2 件）、敷紙（2 件）、当て紙、本紙の補紙を含む
- 綿ネット

<その他の道具>

- 定木（大中小）
- アクリル板
- ポリエステルシート
- スポンジ
- バケツ
- ビニール
- 電気カーペット¹⁾

¹⁾ 水やアミラーゼを使用した場合の水を温め、早く剥がしやすくするための装置として使用するものと考えられる。

設問4 クリーニング（及び裏打ち除去）工程後の乾燥について

4-a 乾燥工程の前処理（脱水など）や操作はどのようにしますか。（複数可）

☐ 木の板に張り付ける ☐ プレス機を用いて圧力をかける ☐ 仮張（格子状の木の骨組みに和紙を貼ったもの）に張り付ける ☐ その他 【どのような前処理や操作を用いていますか。】 	☐ 金属の板に張り付ける ☐ 重石を置いて圧力をかける
☐ 乾燥前の処理はない	

表 2-11 クリーニング工程後の乾燥方法

乾燥に使用する器具・方法	回答数	回答数比率（%）
仮張	42	42.9
重石	11	11.2
木の板	7	7.1
プレス機	7	7.1
金属の板	2	2.0
その他	42	42.9
乾燥前の処理なし	14	14.3

（有効回答数 98）

仮張が最も多かった。和紙の製造工程と違い、木や金属の板に張り付けることはそれほど多くはないようである。また、「敷き干し」、「自然乾燥」のように、紙の収縮を拘束しないような乾燥方法を取ることも非常に多いことがわかった。元の状態に比べて収縮により寸法が小さくなったり、皺、うねり、粗さが増加したりする¹⁾と思われるが、元々の紙が、そのような状態にあったことを判断し

¹⁾ ガンピ紙は、水分を与えてそのまま放置すると「あばれ」が顕著なものになってくる。

てから行うのであれば、問題ないとも言える。

この設問で、種々の作業手順についても説明して頂いた。裏紙を除去した後は、一旦乾燥して虫食い等の修理を行ってから、再度裏打ちするものと考えていたが、乾燥させる前に裏打ちを行ってしまい、それから乾燥させる場合も多いことが分かった。

以下、回答を整理して示す。

<乾燥前の吸水処理>

- 板に挟む（吸水紙サンド）
- 吸い取り紙を作品の下に敷き、重みで吸い取らせる
- サクションテーブルを使うことがある。
- 水を多く含んだ状態であれば吸取り紙などで水分を吸い取ります
- 保護紙の上から吸取り紙をあて水分をとる
- 水取紙上にネットを置いて水切り バキューム
- 水分を取る

<紙等に挟んだ状態での乾燥>

- ボール紙に挟み込む形で乾燥を行う。

<各種の板に張り付け（または敷き干し）>

- アクリル板¹⁾（3 件）
 - 板はアクリル板、板に乗せて乾燥
- ステンレース
- サッシュネット

<敷き干し、自然乾燥>

- 敷き干し（10 件）

そのためプレス乾燥をするか仮張りにかけることが多いと思われる。クリーニング後、仮張りをかけるというのが多いのは、そのまま裏打ちの作業にスライドすることが多いためと思われる。これは、何度も本紙に水分を与える時間を抑えて、なるべく本紙に与える負担を抑えることを目的としているものである。（高島晶彦）

¹⁾ 金属や木の板と違い、乾燥後に紙がすぐ剥がれるであろう。そういう意味では自然乾燥に近いと考えられる。

- タオル等で水分を抜いたあと敷き干し
- まずは敷干しを行いその後仮張りにて乾燥します。
- 仮張りに張る前にある程度水分を飛ばせ本紙を縮まぬ為に敷き干しをすることもある。
- そのまましきぼし
- 古い裏打ち紙を除去した後は、薄口 肌裏紙で裏打ちし 敷き干しする
- 毛布、布の上で敷干し（13 件）
 - 表打ちをしてあれば、布の上で敷干し。
 - 毛布の上で敷き干し
 - 毛布の上で乾燥させる
 - 毛布の上で乾燥
 - 毛布の上で敷き干しする
 - 毛布の上に置く
 - 毛布上で乾燥
 - フェルトの上で放置乾燥
 - 裏打ち紙を除去した本紙は、大変脆弱で危険な状態なので裏打ち紙を除去した後はなるべく早く新しく肌裏打ちをして毛氈（もうせん）の上に置いて自然乾燥させる。
 - 木綿地の上に敷き干しする
 - 木綿布地の上で敷き干しする
 - 紙を敷いた洗い桶の中でひと通り乾かし、そのあとは場板に毛布を敷きその上で乾かす。
 - 養生の不織布の上で自然乾燥
- 吸い取り紙の上で敷き干し（9 件）
 - 吸水紙の上での敷き干し。
 - 吸取り紙の上に置き乾燥させる
 - 吸水紙で挟み脱水後、自然乾燥（2 件）
 - 吸水性のある紙の上で自然乾燥する
 - 紙の上で乾燥させる
 - きれいな紙、もしくは布の上で敷き干し（自然乾燥）する。
 - 保護紙に載せたまま敷き干しする。
- 素干し（2 件）

- 素干（すぼし乾燥）後裏打ちをする
- 自然乾燥（6件）
 - 自然乾燥、補修、后、裏打ち、仮張りに張る、
 - 自然乾燥、和紙で水分を良く吸うものをあてがい、水分を取る
 - クリーニング後は乾燥棚に置いて自然乾燥。その後、資料に水を与えてろ紙に挟み、重石またはプレス機で圧力をかける

＜種々の手順説明＞

- この段階で裏打ちまで行い保護シートの上で自然乾燥させます。
- 自然に乾燥させてから、もう一度チェンバーなどで湿度をその作品に合わせて与え、調整した重しを置いてある程度平にする事もあります。
- 自然に毛布の上で乾かし、程よい頃に仮張りやプレスにかける。支持体や絵具層の状態により変わる。
- 場合により剥落止め
- 水の使用し、ピンセットで裏打ちを除去
- 洗い舟で作業した舟はかたむけて水を流し切る。その後に本紙に保護紙を置いて静かに上部より筒状の棒か巻芯で静かに持ち上げてつるして水分を取る。敷干しにする場合もある。
- 多くの場合、洗浄・脱酸性化処置の後、吸い取り紙で余分な水分をとり、自然乾燥をさせる。その後、適宜加湿（ゴアテックスまたはスプレー）を行い、吸い取り紙にはさみ加圧したり、仮張りを使用したりして乾燥させる。吸い取り紙は完全に乾くまで時間をおきながら取り替える。
- 大きな物は和紙を使用し水裏打ちをし仮張にて乾燥
- 脱水の場合、水分を吸取りやすい紙をしき、大方の水分を吸取ったあと、場板にうつし、又水分をあたえた後、本紙をのぼし、その後保護紙をかぶせた後、吸取り紙で水分をとる。
- 敷干乾燥後水を入れ仮張り和本はボール紙の間にはさみ重ねる
- 裏打ち。 特殊な裏打ち（乾燥後に裏打ち紙が離れる¹⁾）
- 裏打後の作品は一時作業台に置きある程度水分乾燥後仮張に貼る

¹⁾ アクリル繊維などの親水性の少ない繊維とパルプや和紙繊維などの親水性の高い繊維との混抄シートではないかと思われる。

＜質問内容が不明など＞

- 乾燥工程とはどの段階を指すのか意味不明につき未回答。
- 乾燥工程の前処理の意味が分からないが。
- 作品の状態や修理仕様 他により適宜調整および検討を行うため、一概に記述できません。

4-b乾燥段階での本紙はどのような状態になっていますか。(複数可)

☐ 1枚ずつ乾燥する。	☐ 何枚かを重ねて乾燥する
☐ 重石を置いた状態で乾燥する	☐ プレス機を用いて圧力をかけたまま乾燥する
☐ ヒモにかけるか、洗濯バサミのようなもので吊り下げて乾燥する	
☐ その他	
【どのような状態で乾燥しますか。】	
{	
☐ 乾燥工程はない	

表 2-12 乾燥段階での本紙の状態

本紙の状態	回答数	回答数比率 (%)
1枚ずつ乾燥	79	80.6
重石を置いた状態で	22	22.4
プレス機を用いて圧力をかけたまま	11	11.2
吊り干し	8	8.2
何枚かを重ねて	7	7.1
その他	20	20.4
乾燥工程なし	4	4.1

(有効回答数 98)

乾燥段階での本紙の状態については、前問で**仮張**という回答が多かったため必然的に**1枚ずつ乾燥**という回答が多かった。同じく予想していなかった敷き干しは、1枚の場合も複数枚の場合もあるので、干し方によって区別した選択肢を設定すべきであったかもしれない。

その他の本紙の状態を問う設問に対する回答は、ほとんど前問と同じであった。

ここでも裏打ちを除去し、濡れているうちに新たに裏打ちをしてから仮張による乾燥を行うという方法の説明が多かった。敷き干しにするのは新たな裏打ちをしない場合が多いようである。

どのような状態で乾燥するかの設定に対する回答は以下のとおりであった。

- 敷き干し（23 件）

- 敷干しの方法が本紙を傷めない。
- しき干し（ござの上に置く）
- ゴザ、毛布等の上でしきぼし
- ゴサ又は毛布の上で完全に乾かし、水分を加えて仮張等に張り乾燥させる
- そのままの状態で床に広げて置く。自然に乾燥させる。
- フェルトや毛布等の上に保護紙に乗せて平らに置いて自然乾燥
- 仮張の上に一枚紙を置いて、敷干をする。他のものと重ねる事は絶対にしない
- 台の上に和紙を敷き、その上に負担を掛けないようにします。
- 地上の毛布の上において乾燥する（地ぼし）
- 平らな板に自然乾燥
- 平ら置き
- 毛布の上で敷き干しする
- 毛布の上にそっと置く、仮バリのの上に置く
- 毛布の上に干す
- 毛氈や毛布の上に敷き干しする
- 綿布などの上でゆっくりダメージを与えないように乾燥しています。
- 和紙の上に平らにねかせて自然乾燥させる。
- ネット上で置敷乾燥
- ゴザ上にネットを置き、その上に乗せる。

- 裏打ちしてから乾燥する（6 件）

- 基本的にクリーニング（及び裏打ち除去）後は、本紙が乾く前に、裏打ちをする。
- 美濃紙で肌裏をして乾燥する場合もある
- 乾燥することによってゆがみ、裂ける恐れのある場合は、薄美濃紙で裏

打ちをした上で敷干しをする。

- 平においた仮貼の上に布を敷いて敷紙ごと本紙を置く（裏打除去後すぐに裏打に入れる場合は乾燥工程がない）
- 裏打ちを行わない場合は軽く再湿しプレス乾燥。
- 裏を打った状態
- 重ね干し（3 件）
 - 周囲の糊が乾くため重ね干しをする
 - 周囲の糊が乾燥する__重ね干しをする
 - 何枚かを重ねて乾燥する（和本）
- 仮張（5 件）
 - 裏打ち（肌裏）する場合は仮張り乾燥。
 - 仮張りを使用
 - 軽くスプレーをして仮張りをかける
 - 自然乾燥させた本紙に霧吹きし仮張りに貼り付ける。
 - 裏打ちをして仮張りに貼る
- 紙に挟んでプレスするか重しを置く（3 件）
 - プレス機を用いる場合は中性紙ボード厚口に挟み乾燥させる。
 - ボール紙に挟んで重し
 - 平板な紙に挿し込んだ状態で乾燥させることもある
- 吊り干し（2 件）
 - 大径の棒に掛ける
 - 大径の棒に掛ける
- サクションテーブルを使用

<その他コメント>

- どの状態での乾燥かわからないが裏打ち前であれば敷紙の上でかわかす。
裏打後であれば仮貼りに貼りこみかわかす
- 作品によってそのときが一番良いと思う仕方で考える
- 作品の状態や修理仕様 他により適宜調整および検討を行うため、一概に記述できません。
- 本紙の状態によるが、十分に湿っている状態から半乾きと、さまざま。

設問5 虫損の補修工程はどのように行いますか。

6-a 補修紙をどのように選択しますか。(複数可)

☐ 既製品の和紙を購入	【どのような繊維原料の和紙を購入しますか】 ☐ 和紙繊維原料（コウゾ、ガンピ、ミツマタなどのみ） ☐ 和紙繊維原料以外の繊維（木材パルプなど）も含む 【それ以外の繊維原料からなる和紙であれば、どのような繊維ですか】
☐ 必要な特性を指定して和紙抄造を依頼し購入 ☐ 必要な特性を持った和紙を自修理所で抄造する ☐ 購入した既製品の洋紙から選択	

☐ 漉き ^す 嵌 ^は め法（リーフキャスティング法）により本紙の虫食い部に直接繊維を積層する ☐ 漉き ^す 嵌 ^は め法により虫食い部の形状に合わせた型紙を作製し、パッチ（当て）だけを漉く。 ☐ その他	【どのように必要な補修紙を調達しますか。】
☐ 虫損の補修を行わない。	

表 2-13 虫損用補修紙の選択方法

選択方法	回答数	回答数比率（％）
既製品の和紙	68	69.4
和紙繊維原料（コウゾ、ガンピ、ミツマタなど）	86	87.8
和紙繊維原料以外の繊維（木材パルプなど）も	17	17.3
和紙抄造を依頼し購入	20	20.4
和紙抄造を自修理所で行う	21	21.4
洋紙既製品	12	12.2

漉き嵌め法（リーフキャスティング法）	27	27.6
漉き嵌め法（型紙作製後、パッチだけを漉く方法）	27	27.6
その他の補修紙調達方法	26	26.5
虫損の補修を行わない	9	9.2

（有効回答数 98）

和紙の原料繊維の種類と、補修紙の調達方法について記述式で回答していただいた。2つの設問に対する回答は、特に区別なく書かれていると考えられるので、合わせて回答を集計した。

【和紙の原料繊維の種類】

- 保管してある古い和紙を使用（4件）
 - 古い和紙
 - 補修紙は工房にある。江戸中期～現代までの紙を時代、質等に分類してその中より適した紙を使用する。
 - スtockしてある。江戸後期～明治4、50年たった似ている紙なども使います。
 - いろいろな時代の紙を用意している
- 同質の和紙などを選択（8件）
 - 性質が似ている和紙を選定。
 - 既製品の和紙を購入・・・材料商根本より指定購入
 - 似寄りのモノを探すしかない。
 - 同質に近い紙を虫くい部の形状に合わせて紙をくいさく。その後虫食い部にはめる
 - その本紙に一番近いものを選ぶ。
 - 修復に取りかかる前に紙専門店と色々と相談する
 - 虫食い形状に合わせた形に紙をつくり貼り付ける。出来れば同質のものがあれば使用
 - 日本の和紙、韓国紙、中国紙、西洋紙、イスラミック
- 本紙の端を使用¹⁾（2件）

¹⁾ 本紙の一部を切断して補修紙とする、という文化財補修という意味ではありえない作業が行われていることに落胆を禁じえない。所有者にも現状維持を最優先する補修の意味

- 同程度の紙を入手出来なければその本紙のはじを使用する
- 本紙で余白が有ればそれを使い、なければ良く似たものでうめる。
- 古紙、剥がした裏打ち紙（17 件）
 - 以前表具に使用されていた古紙をストックしてあるので風合いの合うものを使用する
 - 古紙の使用 古い物をとっているので本紙の材質に似ているものを使用
 - はがしたうらうち紙
 - はがした裏打ち紙等を保存しておき、色合いや紙質を選定して繕う。（古い本紙等も保存しておく）
 - 以前表具に使用されていた古紙をストックしてあるので風合いの合うものを使用する
 - 過去の仕事でためておいた古い本紙の切れ端を使用。
 - 過去の修復時に取り出した、古い紙
 - 過去の修復時の取り除いた和紙や不要の本紙を取り置いておく
 - 古い掛軸等の修理の際に剥した裏打紙を保存して置いて紙質、色合せ等をして最も近い本紙に似たものを選ぶ。
 - 古い紙などを取って置き、その中から選んだり、古い裏打紙を利用する。
 - 古い時代の裏打ち紙や下張り紙を除去した際、質の良い紙は保存するようにしています。 その中で、似た紙質や色のものを使用することが多くあります。
 - 古い表具の解体紙を保存または矢車で色づけ
 - 古い和紙 先代伝来の物
 - 古画、古書の本紙をストックしておき依頼品の補紙に使用する。
 - 古紙、掛軸等を購入、裏打ち紙の再利用
 - 今まで残しておいた古い紙を使用します。（掛軸など巻替しの時にでる紙）
 - 修理の際に不用となった裏打ち紙等を保管しておいてその中から対象となる本紙の紙質に近い物を見つけて用いる
- 宣紙（竹紙、画仙紙）（3 件）

を理解していただき、意図的に本紙を傷つけることは避けてほしいと願うばかりである。

- 中国の宣紙など
- 時には竹紙も使用
- 画仙紙
- 木材パルプ（2件）
 - パルプなど。和紙繊維と伸縮の度合いが異なる。紙の補修のときに使用する
 - 本紙の状態によるが、パルプが最適と判断した場合には無漂白パルプを使用。木材パルプを使う必要があると判断した場合には、アルカリ水で煮る¹⁾などの処方をしたのち使えそうならば使用。
- コットン紙
- セルローズパウダー
 - セルローズパウダーを使用して穴埋めをする。虫食いの形状をトレースし、パッチをつくる。
- 染色、彩色、その他加工した紙（5件）
 - 時代合せ 色づけをする場合あり
 - 既製品を染めたり、サイジングしたりして使用する。
 - 補修後、色（補彩）をする
 - 作品の端を少し切って穴止めに使用する 過マンガン酸を希釈して塗って色を出す²⁾
 - 色で染めた紙など
- 自修理所で調製（3件）
 - 自工房で、作品に応じて
 - 自工房で調達できればベスト。本紙がそばにあるため、的確な紙を作製できる。不可能な場合は、高知県立紙産業技術センターに依頼し作製していただく。
 - 竹紙など C 染色液で何の繊維か確認後、同質なものを購入し、自社工房で抄造する
- 漉き嵌め説明

¹⁾ 洋紙を解繊したものではなく、パルプとして購入すれば、アルカリで煮るなどの処理は不要と思われる。

²⁾ 過マンガン酸カリウムが還元されると二酸化マンガン（黄ばむのはこの色）が存在することになり、酸化作用により繊維の劣化を進める可能性がある。

- パテントの関係で画像処理が出来ないため薄いフィルムを型を抜き欠損部の型の補修紙を漉くサクシオンテーブルを使用。小さな虫損部にスポイトで繊維を漉き込む。面相筆で型に合わせ水を与え喰裂き
- 関心は有るが機材が高価で導入できない。
- 形をとり裏から嵌め込む
- ①まずは漉きはめ法で良いかを聞いてから ②従来の方法で修復
- 補修しない
 - 作品の状により判断。作品にとってそれほど重要ではない、もしくは必要がないと判断した場合にはあえて虫損を補修しないということもある。
- その他
 - 作品の状態や修理仕様 他により適宜調整および検討を行うため、一概に記述できません。
 - 中国産紙の場合は素材不明

6-b 補修紙を使ってどのようにどのように補修を行いますか。(複数可)

☐ 裏打ちだけを行う
☐ 喰裂 くいきさき を作り虫損部分より大きく、繕う ☐ 虫損部分の形状に合った一回り大きいパッチ（当て）を採取し、周囲を削ってから繕う ☐ その他 【どのように繕いますか。】

表 2-14 補修紙を使った補修方法

補修紙の用途	回答数	回答数比率 (%)
虫損部分の形状に合ったパッチ	75	76.5
喰裂を作り虫損部分より大きく繕う	59	60.2
裏打ちだけ	29	29.6
その他	20	20.4

(有効回答数 98)

喰裂は、パッチ作製のためにその周囲を千切ることと、そのようにして作製したパッチのことを意味する用語、と理解している。ここでの設問は、虫損部分よりかなり大きい喰裂を作って当て、周囲を削らないやり方と、喰裂にせよハサミ等による切り抜きであっても、最終的にはパッチが虫損形状と同じになるように削るやり方のどちらを用いるか、を問う設問にしたつもりであったが、回答者には区別なく感じられたようである。どのように繕うかを記述してもらう設問では、ほとんどが虫損部分の形状に合うように削る、という回答であった。

- 虫損部分の形状に合ったパッチ（当て）を採取し、周囲を削ってから繕う
 - 厚めの補修紙
 - 上記の紙をしょうふのりなどでつけるか、欠損部と同じ形、大きさにしてしょうふのり、またはゼラチンを使ってつけるなど。
 - 水を引き、紙をなるべく現物大に喰い裂きにして嵌めこむ。
 - 繕ったのち裏打ちを予定する場合は、一回り大きいパッチ（当て）を採取し、繕い、乾いてからパッチ周囲を削り取り、重なりを最小にとどめる。裏打ちしない場合は喰い先で繕う。
 - 虫損部分の形状に合った一回り大きいパッチを、周囲を喰裂にしてつくり、繕う。
 - 虫損部分より大きくあて、乾燥後、穴に合せて削る
 - 補紙して本紙との重なりを削ることもある。修理によって異なる。
 - 本紙が絹本の場合、虫損部分の形状に合った形にして繕う
 - 和紙を虫損に合せてちぎり、糊をつけて手作業で埋めていく
- 喰裂（くいさき）を作り虫損部分より大きく繕う
 - 和本
- ガラステーブルと透過光照明を使う
 - ガラス状のものに本紙を乗せて下から電灯を照射して和紙の重なり部分を見つけて穴ドメ部分をけづり取る。
 - ガラス台を作っています。下からあかりをあてその上で作業をします。
 - すりガラスの下から電気を照らして虫損部分を良く見る
 - すりガラス状のものに本紙を乗せて下から電灯を照射して和紙の重なり部分を見つけて穴止め部分以外をけづり取る。
 - ライトテーブル使用で上記の作業を繰り返す。
- 漉き嵌め様
 - 既成補修紙をミキサーにかけ、サクシオンテーブル上で損傷部に局所漉き嵌め様の処置をすることがある。
- 本紙を削る
 - 削継法を用いる場合もある 虫クソのある場合のみ本紙を削る
- 両面から繕う
 - 本紙が厚い場合は両面から繕う。（裏面から、虫損より一回り大きいパッチをあてる。表面から虫損と同形状の補紙をはめる。

- 両面書写されたものにたいして、片側からでなく、両面から虫損部に補紙を行う（墨書部分を外して）両面繕い
- 全体的に裏打
 - 本紙に出来るだけ近い紙を探し、裏打ちをする。その後、通常の肌裏に使用する紙で裏打ちをし、虫食いの部分を切り抜く。（なぜなら本紙には出来るだけ刺激しないようにしたいから）
 - 本紙と同質の紙で全体的に裏打する方法もある（ものによるが）
 - 裏打紙は古代色に染めたものを使うので、通常は裏打のみで済ませ、虫損補修は特に行なわないが、特に指定のあった場合や穴が大きすぎる場合は、喰裂にて繕う。
- その他
 - その都度、状態や紙質、汚れ、いたみ具合がちがうので作品に最も近くて良いと思われる紙を古い在庫の中より選ぶ。又、補修後の肌裏紙は白ではなくうすい茶葉の色の紙を選ぶ（補修紙に合わせる。）
 - なるべく本紙に近い色の紙で打つ。 物によります。
 - 画筆紙等多くの種類あり同種類の紙類似を見て使う。
 - 基本削繕補修。
 - 小さな鉄砲穴などは、白引きで千切って
 - 繊維と接着剤を使って部分充填。

6-c 虫損の修復に使用する接着剤の種類はどのようなものですか。(複数可)

☐ 接着剤として正麩糊（小麦デンプン）を使用する

☐ 市販の正麩糊（小麦デンプン）を使用する

☐ 自工房（自社）で炊いた正麩糊（小麦デンプン）を使用する

☐ 接着剤としてフノリ（布糊、布海苔）を使用する

☐ 接着剤として古糊（正麩糊を発酵させたもの）を使用する

☐ 原料の正麩糊（小麦デンプン）は市販のものを使用

☐ 原料の正麩糊（小麦デンプン）は自工房（自社）で炊いたものを使用

☐ その他 【どのような接着剤を使いますか。（例えば、化学のり[文房具用のポリビニルアルコール]、白いのり[木工用ボンドなどのラテックス]など】

表 2-15 虫損の修復に使用する接着剤の種類

接着剤の種類	回答数	回答数比率 (%)
正麩糊（小麦デンプン）を使用	75	76.5
市販の正麩糊	27	27.6
自工房（自社）で炊いた正麩糊	60	61.2
フノリ（布糊、布海苔）を使用	40	40.8
古糊（正麩糊を発酵）を使用	27	27.6
原料の正麩糊が市販品	9	9.2
原料の正麩糊を自工房で炊く	24	24.5
その他	31	31.6

(有効回答数 98)

接着剤として用いるデンプンは、正麩糊（小麦デンプン）が最も多かった。市販品よりも自工房で炊いたものが多い。古糊（正麩糊を発酵させたもの）の場合は、自工房で炊いたものを使って作る場合がさらに多かった。フノリ（布糊、

布海苔)の使用も多かった。デンプンではあまり区別はしていないのかもしれない。

その他の接着剤として挙げられていたものを示す。

【天然接着剤】

- 膠
- 自工房で炊いた正麩糊と布海苔を混合したものを使用したこともある
- 姫糊¹⁾
- ゼラチン
 - 3%の水性ゼラチン (Kremer 製のテクニカルグレードのリーフ・ゼラチン、タイプ A、Bloom no.100) をレンズ・ティッシュにコーティングし乾かしたもの (Remoisturenable tissue) に水分を与えて補修材として使用する場合もある。

【セルロース系合成接着剤】

- カルボキシメチルセルロース (CMC) (4 件)
 - CM 糊 以前は正麩を炊いて使って古糊を使用していたが最近の (傾向として CM 糊を使うことが多い。しかし) 一般家庭では使用しない方がよい²⁾
- メチルセルロース (MC) ³⁾ (7 件)
 - メチルセルロース (Daw chemical 社製 Methocel A4M)

【エマルジョン系合成接着剤】

- 片岡糊 (ポリ酢酸ビニルエマルジョン) (6 件)
 - 片岡糊 (酢酸ビニル系)
 - 化学糊 (片岡糊) 酢酸エマルジョン系)
 - 片岡のり 片岡のりと市販でんぷんのりの混合
 - 片岡ノリの使用もあります

¹⁾ やわらかくたい飯に水を加えて、すりつぶして作った糊 (大辞林第二版)

²⁾ () 書きの部分を意味がわかるように追加した。カルボキシメチルセルロース (CMC) は、粘度調整剤としてアイスクリームなどの食品にも添加されている、人体に無害な材料で、一般家庭での使用に言及する理由がわからない。

³⁾ 西洋では書写用紙は表面サイズしてあるのが普通なので、修復処置後にメチルセルロースを塗布することが良く行われる。和紙の料紙ではその習慣がなく、メチルセルロースの塗布は紙の質感を変えるので難しい面がある。(稲葉政満)

- 化学糊
- 市販の化学のり（片岡のり）

【その他接着剤】

- アクリルベース接着剤など
- 柔のり¹⁾、いちばんのり
 - 表具用一番糊またはみよし糊
 - 表具用一番糊、みよし糊等
 - 当工房でプロデュースした糊（柔のり、梓糊）を使う
 - 矢沢化学工業株式会社製造の和紙のり いちばん 表装専用 業務用を使う。
 - 和紙のり いちばん 発売元：K.K 東京松屋
 - いちばん（姉妹品） 発売元：矢沢化学工業
- 表具用化学糊
 - 化学のり 1/3 正麩糊 2/3 まぜて使用することもあります。

- プラナトール²⁾

【その他接着剤】

- 表装用文化のり（2 件）
- 現在は原糊を使用
- 裏打ち

【質問・コメント】

- 当方では生麩糊と表記します。正麩糊との表記事由を確認したい³⁾。虫損修理に古糊（寒糊）は用いません。

¹⁾ メチルセルロースに（エチレン）酢酸ビニル共重合体（おそらく）エマルジョンを少し添加したものと考えられる。エマルジョンは、乾燥すると水不溶になるので、裏打ちを剥がすことができるかどうか確認した方がよい。

²⁾ エマルジョン系接着剤

³⁾ 「正麩糊」は、正しくは「生麩糊」と表記するのではないかとのこと質問だが、一般的に小麦粉から取り出したデンプンはどの国語辞典でも「正麩糊」と表記するようである。

「生麩」は、地域差による名称で、主に西側ではこの字をあてている。掛軸作成の工程で、耳折り(掛軸の両サイドを3ミリ弱折り込む作業)では、古糊と新糊を交ぜたものを用いる。巻子の継ぎにも同様のものを用いる。割合は状況の判断による。大体半々か。最近、林原グループと墨光堂、東京文化財研究所が共同開発した「古糊」があり、2010年の2月に発売された。今後使用されることが多くなるのではないと思われる。

<http://www.hayashibara.co.jp/html/press/2007/100125/index.html>

（高島晶彦）

6-d 虫損の補修を行った後の処理はありますか。(複数可)

☐	プレスを行う（プレス機で圧力をかけるか板に挟むなどして重石を置く）
☐	その他【虫損補修後どのように処理を行いますか。】
☐	後の処理はない。

表 2-16 虫損補修後の処理

処理の種類	回答数	回答数比率 (%)
プレスを行う	34	34.7
その他の処理	28	28.6
後の処理なし	24	24.5

(有効回答数 98)

虫損補修を行った後は、プレスを行うことが多いことが確認された。プレスの際には湿りを入れて、紙を平らにすることを目的に行うようである。補修紙を削ったり、木槌で叩いたりして接合部分の厚さを調節する処理も行われる。また正麩糊を再度塗り、接着を補強したり、毛羽を押さえたりすることもあるようである。以下、回答を示す。

- プレス、フラットニング（平らにすること）とその説明
 - モノにより軽めの重石を使うこともある。
 - プレスで安定させる。
 - 軽く加湿してフラットニング
 - そのまま敷き燥しにして一度乾かす。次に湿りを与え、平らに伸ばし、紙に挟んで乾かす。
 - 複数の欠損を補修（リーフキャスティングではなく）して、紙が若干歪んでしまったりした場合は補修した後に全体に軽く加湿してプレスす

る場合もある。

- 毛氈に挟んで上に板を置いて平らにする
- 裏打ちを行わない場合は軽く湿りをいれプレスする。
- ウェイトをかけて圧しをきる（2件）
- 本紙と補修紙の厚さ及び重なり調整
 - 乾燥後カッター、ペーパー等で微妙な調整はする
 - 補紙の段差等の厚み調整を行う
 - 場合によっては、槌を打つ。
 - 和本は補修紙の重なった所を木ヅチで打つ
 - 補修紙を少しずつつける。
 - 本紙が傷みが少ないときは補修紙を静かに擦る。
- 接着剤等による再補強
 - 打刷毛、なで刷毛等で本紙との接着を確認後、うすい正麩糊でまわりを刷毛でうすくつけておく。
 - 毛羽が気になる場合は、水や布海苔、澱粉糊を使用しとめる。
 - 毛羽たちを止めるのに布海苔 礬膠液等
 - 剥離紙などを当て、周辺を軽く爪で押さえる
- 裏打ちと仮張り
 - 裏打ち（8件）
 - 全面の裏打ちを行う（本紙）
 - 全面裏打ちをする
 - 薄い裏打ちを施す場合があります。
 - 裏打ち、特殊な裏打ち（乾燥後に裏打ち紙が離れる）
 - 裏打の直前作業として行うので、補修後は速やかに裏打する。
 - 状況、仕様等に応じて。（裏打ちなど・・・）
 - 和紙で手作業で裏打ちをする。
 - 本紙を裏打ちして、仮張りをする。
 - すぐに肌裏を打ち仮りに張りに張りこむ
 - （裏打ちできない場合）仮裏打ちをして、仮張りをする。
 - 基本的には裏打ちをしますが両面等出来ない場合そのままにします
 - 作品の状況により裏打ち
 - 修復後すぐに裏打をして仮張に掛かるかヒモに掛けてか紙の上に置く

か

- 場合によって薄い美濃紙、典具帖による裏打ち
- 虫損補修は肌裏の時にありますので増裏の時必ず本紙にあて紙を引いて裏打をします。
- 和紙にて裏打ちをして仮張りをする。裏打ちをしない場合は、レーヨン紙に水張りをはさんで仮張りをする。

【その他】

- 自然乾燥
- 何を聞いていらっしゃるのか、よくわからない。虫損と補修を行えば裏打造工程に含まれる

6-e 虫損の補修工程で、修復対象の本紙に影響を与えるかどうか気になることがあれば書いてください。

【虫損の補修工程で気になること】

この設問には多様なご回答を頂いた。修復行為そのものがよいのか悪いのかといったような哲学的な疑問を感じておられる回答もあったように、多かれ少なかれ多くの方がそのように感じられているように思う。本質的には、現状のまま劣化が進行しないようになればよいだけであろうが、外見をよくしたい、公開したい、という目的で修復を依頼される立場上、何らかの処置を行わざるを得ないジレンマであろう。

修復工程の中では、本紙と補修紙のさまざまな紙質の違いが将来的に本紙を傷めることにならないかを心配されている。紙以外では唯一の補修材料である糊の変質や変色、乾燥時の収縮などが問題となろうが、乾燥した状態では、特に問題はないであろう。将来的に有機酸を生成しやすくなれば本紙の劣化を進めることになるが、正麩糊では歴史的に使われてきた信頼性を考えるとその心配は要らないのではないかと考えている。正麩糊以外の合成接着剤では検討が必要であろう。

修復によって本紙の形態や紙質が変わり、それをさらに修正するための処理が本紙を劣化させる心配もある。特に虫損補修の接合部分の厚さの増加は、巻物などが元に収まらなくなるため、ある程度抑えるために、時には本紙を削ることになり、本紙は現状のままという理想とは相反するジレンマもあるようである。リーフキャストは厚さの増加が少ないと思われるが、同じ厚さにする調整が難しく、当ての部分の固定が別に必要になり糊の塗布を行う必要があ

るという手順をはじめて知ることができた。

美術作品の場合は、修復部分によっては補彩の必要があるようであるが、修復作業の範囲を超えているように感じられる。

個別の回答を下記に示す。

- 本紙と補修紙の、強度などの紙質の違い
 - 紙などの違いがその後になるか
 - 全く同じ紙を使用することは出来ない場合がほとんどなので、将来、紙質による強度、変色などの違いがどの程度なのか予想が出来ない。
 - 虫損の強度と補修紙の強度が同一かどうか
 - 虫損 コーナちぎれ補修 紙質など細かくは分析するのは困難なので大方の紙に合ったものを合せて使用。（その時は合ってます）時代が経てばその変化は？
 - 補修で使用する紙と本紙の紙がなじむか
 - 補修紙による本紙への影響
 - 本紙と補修紙の紙質の違い
 - 本紙と補修用の紙の厚み、腰の強さをそろえることが大切
- 紙や接着剤の材料、成分による本紙への悪影響
 - 古文書と修復としての仕事はしていないので何と答えていいかわからないが、本紙の補修工程で糊、紙（裏打紙）等材料に薬品が入っていないか又それがどのような影響をあたえるのか知識を持ち合わせていないのが気になる
 - 絹本などは素材の時代誤差。
 - 本紙虫損箇所を広げる結果になりはしないかどうか。
 - 修復が経って作品を仕上げますが20～30年後虫損のあとの色ちがいが気になる事もある
 - 本紙の肌裏紙の継ぎ目の喰裂の重ね具合、深からず、浅からずで乾燥段階は仮り張りを上下たて、横等に移動して平均に乾かす。
 - 本紙と補修紙の接点の受ける負担。（接着剤、補修紙の質、劣化の差、将来除去時）
 - 本紙を傷めないかどうか。
 - 補修部分が大きすぎると裏にひびくのでくい裂きていねいにする。

- 補修紙の重なり部分を乾燥させてからプレスではあまり意味がないと思うが、濡れた状態でプレスすれば糊は表紙表面上に移るのでは？
- 突っ張り、引きつり
 - あまり濃い糊で修復するとそこがつっぱる様な事がある。
 - 手作業による補填…引きつれ、厚みの変化
 - 糊による引きつり。
 - 穴の部分で引きが強くないか。
 - 虫損の面積が大きい場合に、本紙と補修紙との引き具合が違って、年数を経た後に裂けたりしないのかが心配です。
- 質感、テクスチャの変化
 - 裏打ち…紙の厚みが増す、質感の変化
 - 加水、乾燥方法によるテクスチャーの変化。
 - 紙質、光沢、色合い、漉きむら（2件）
 - 風合、質感が損ねていないか
- 補彩の必要性
 - 補彩によって補修紙が、ある程度色合いを調整することができるか。
 - 文字や絵画にかかる損傷部分では、補彩の有無を考えることがあります。
 - 補修後の色づけを気にしています。
 - 色づけの問題、墨の具合等
- 厚さの変化
 - 漉き嵌め方（リーフキャスティング法）により厚みが変わること
 - 冊子の場合仕立てた時に部分的に厚みが不均等になってしまう。手繕いの場合であるが
 - 部分的に厚さが異なり折れの原因にならないか
- 糊の影響、糊の変質
 - 旧繕い紙の糊を完全には除去しきれていないことが、将来的に変色などの影響がでないかどうか（必要以上に水も使用したくないので）。
 - 経年による糊しみ。
 - 糊が表面に廻り年月の過程において変色する可能性がある為、糊の使用には気くばりが必要。特にデンプン系は湿気に弱い
 - 後で元の状態に戻せる様に接着力の強いものは使いません。
 - 糊痕の経年変化

- 補修に使用した糊の影響（変色、変質など）それによる本紙への負担
- 糊足が目立たないか、修復したまわりにシミ状にならないかが後日になってもきになることが有る。
- 糊の硬化による影響 補修糊による新たな虫食い
- 補修紙を貼る為につける糊が本紙に与える影響
- 補修紙パッチのはずれ
 - リーフキャスティング…補填部分の外れ
 - 穴の際で補修紙とのはずれ、浮きが後に起こらないか。
- 補修部分の目立ちやすさ
 - 部分的に異物を接着したことで逆に目立つ。
 - 虫損作品の色を考え極力同色の古紙にて虫損作業実施する
 - 補修箇所が仕上がった時に目立たない様になっているのかが心配です。
- 本紙を削る行為
 - 虫損のキズの断面はくいさき状態ではなく、スパッと切れたようになっているが、少し刃物でくいさき状態にしていく時にオリジナルの本紙をくいさき分削ってよいか悪いかで悩むことがあります。
 - 本紙に手を入れる事そのものが良い事なのかなやんでいます。
 - 本紙を削る事は欠損を大きくするのでは？
- 適切な補修の概念
 - 後に虫損の補修紙を、本紙と見るかどうかで変わるが、再表具の時（裏打ち紙剥離の時）本当に虫損の補修が本紙に良いのか疑問。
 - 完全な事には成らない。特別気にしない様にしている
 - 欠損部の修復は、キューレトリアル部と相談して、欠損部を見る人にわかる用に修復する場合と、見分けがつかないような場合とがあります。
- 気になることはない。
 - 虫損については特に気にしたことはない。
 - 特になし（2件）

【その他】

- 虫喰いの__紙、軸物屏風等、修理をする前に殺虫¹⁾に、その設備が無く美術

¹⁾ 虫は脱酸素剤と専用フィルムを使って、簡単に殺すことができる。25℃以上の環境で3週間放置する。しかし、カビには良い方法がないというのが現状である。（稲葉政満）

館博物館に又は大学にお願いする手続き、又、知人ルートが大変に難しい市井の__人の仕事、個人__営業者はなかなか手間どってしまう。簡易に出来る__法パラホルムアルデヒド等入手困難である。

設問6 裏打ちはどうに行いますか。

6-a 裏打ち紙はどのように選択しますか。(複数可)

☐ 購入した既製品の和紙から	☐ 必要な特性を指定して和紙抄造を依頼し購入
☐ 購入した既製品の洋紙から選択	
【肌裏、増裏、総裏等によって裏打ち紙を区別することがあれば、説明してください】	
<input style="margin-right: 10px;" type="checkbox"/> その他 【必要な裏打ち紙を選択するときに気をつけることは何ですか。】	
☐ 裏打ちを行わない。	

表 2-17 裏打ち紙の選択

裏打ち紙の種類	回答数	回答数比率 (%)
既製品の和紙	91	92.9
指定して和紙抄造を依頼	17	17.3
既製品の洋紙	7	7.1
その他	27	27.6
裏打ちを行わない	7	7.1

(有効回答数 98)

裏打ち紙を選択する際には、既製品の和紙を使うのが普通のようなのである。和紙の抄造を依頼するのは、コストも時間もかかるため、それほど多くないようである。表装の世界では、本紙に直接接着する裏打紙は美濃紙¹⁾、その上に貼る増裏の裏打紙は美須紙（生産者により、美栖紙とも）で、総裏の裏打紙は宇陀紙

¹⁾ 肌裏については、本紙に直接つくものであるから、なるべく何も含まれていない生漉きの楮紙を使う。(高島晶彦)

（生産者により、宇田紙とも）を使うという習慣がはっきり定着しているのがわかる¹⁾。

裏打紙の特性として、薄いものが好まれたり、煮熟に水酸化ナトリウム（苛性ソーダ）を使用したものを避けて炭酸ナトリウム（ソーダ灰）を使用して製造した繊維から漉いた和紙を使ったり、といったこだわりがあるようである。水酸化ナトリウムを使ってもよく繊維を洗浄すればアルカリ性は強くなり、問題は無いと考えられるが、腐敗防止のためか、弱アルカリを保つため、煮熟後の洗浄をあえて行わないことも多いので、残存する可能性のある蒸煮用薬品も本紙と合わせたいという希望が強いようである²⁾。

裏打の段階は、本紙に近い側から、①肌裏、②増裏、③中裏、④総裏³⁾ と呼び、中裏は省略されることも多い。

以下、記述式で設問に回答していただいた枝設問について、順次整理して回答を掲載する。

【肌裏、増裏、総裏等によって裏打ち紙を区別することがあれば、その説明】

-
- ¹⁾ 裏打ちの際、増裏打に美栖紙、総裏打に宇陀紙を用いる事が多い。これらの紙は胡粉や白土を填料とし、アルカリ度が高いため、本紙の酸化を和らげる効果があると思われる、ある意味では脱酸処理の一つかとも考えられるのではないのか。（高島晶彦）
- ²⁾ 和紙の主原料である楮はアルカリ水溶液で煮熟され、繊維化される。アルカリとしては木灰、石灰、ソーダ灰（炭酸ナトリウム）、苛性ソーダ（水酸化ナトリウム）が使用されている。また、漂白処理も川晒しや雪晒しに変わってさらし粉が導入された。楮原料の多くも輸入品となりタイ楮は樹脂分が多く、水酸化ナトリウムで処理せざるをえない現状もある。私どもの研究グループでは、同一の高知産楮から作成した和紙の保存性に及ぼす煮熟剤の違い、漂白の有無による影響を検討した。煮熟方法の違う和紙に酸（ドウサ：ニカワとミョウバンの混合水溶液）を塗布して湿熱劣化促進試験（80℃、65%RH、16週間）を行った。煮熟後の楮繊維中の構成化学成分としては、木灰などのマイルドなアルカリの方が灰分量、すなわち紙中の無機物含有量が多かった。そのため、にじみ止めであるドウサ（ニカワとミョウバンの混合液）の塗布による酸性化に抵抗でき、結果として劣化しにくいことが明らかとなった。また、ヘミセルロース残量が多く、煮熟が穏やかに行われていることを示した。そして、セルロースの損傷度合いもマイルドなアルカリでの処理の方が少なく、より健全な状態であることがわかった。薬品による漂白処理は繊維をさらにいためており、保存の立場からは避けるべきであるといえる。以下、参考文献を挙げる。（稲葉政満）

Tanya T. Uyeda, Kyoko Saito, Masamitsu Inaba and Akinori Okawa: The Effect of Cooking Agents on Japanese Paper, *Restaurator*, 20, 119-125 (1999)

Masamitsu INABA, Gang CHEN, Tanya T. UYEDA, Kyoko Saito KATSUMATA and Akinori OKAWA: The Effect of Cooking Agents on the Permanence of Washi (Japanese Paper) Part II, *Restaurator*, 23, 113-144 (2002)

- ³⁾ 上げ裏（あげうら）とも言う。

- 裏打ち工程の種類
 - ①肌裏、②増裏、③中裏、④総裏
 - 肌裏、増裏、中裏、総裏
 - 紙の腰の強弱が影響するので普通の裏打ちは肌裏（薄、中肉、厚）のみ
- 裏打ち紙を選択する際の考え方
 - それぞれの紙によって役割があるから
 - それぞれの役割に合った紙を用いる。 ex) 増裏：透け止め、総裏：平滑さ、etc
 - 工程によって裏打紙を区別するのは当然であるが、いずれも既製品の和紙を使用している。
 - 作品の形態（表具、屏風・・・）や修理仕様 他により適宜調整および検討・選択を行うため、一概に記述できません。
 - 予算に応じた紙を使う。
 - 次回、修復するときに修理しやすい方法。入り口ではなく、出口から考える。
 - 本紙により区別しています。
 - 本紙の厚さにより肌裏の紙を選び又廻りの布地との取合をも計算し平均する様にそれぞれ使いわけ
 - 本紙の状態により厚みを考えます。
 - 本紙の性質・色に合わせ肌裏は染める、本紙の性質・色に合わせ増裏は染める場合もある
 - 裏打ちは、最終的に補修本紙をどのような状態にするかによって選択します。肌裏、増裏、上裏（総裏）に使用する紙は本紙の状態、経済的事情にも左右されます。
 - 裏打紙によって工程は違ってくる、（作品として完成した時にどのような工程をふんで来たかがわかる。見ればわかるということ）
 - 和紙、洋紙に限らず、よほどの状態で無い限り本紙に「裏打ち」は行わない主義であるが、状況によっては行う。なるべく薄く、必要なときには剥がしやすい（薄すぎない）和紙をえらぶ。
 - 保存も考慮するが、作品の鑑賞に支障のない仕上がりを重視。
 - 表具、障壁画、形態などにより異なります。

- 肌裏用紙は漉き簀跡が影響しないよう紗漉きの薄手2 匁以下のものを探すが、商品は少ない。文書修理の場合は、増裏、総裏まで施すことは余りない。
- 紙の特性、製造工程や薬品
 - 国産原料、手漉き、強力な薬品の使用を控えた安全かつ丈夫な紙
 - 漉きムラやチリの入っていないもの、厚さの均一したものを選び、煮熟に苛性ソーダを使ったものは避ける。基本的に裏打回数を重ねる場合は、はじめに出来るだけ薄いものを選ぶ。裏打紙は薄ければ必要な接着剤も少量で済むので、結果として資料本体への含浸量も抑制できるし、将来的に除去することもより容易になると考えている。
 - 紙の厚さは作品との兼ね合いにて選別。仕上がり具合を重視。
 - 本紙の格にあわせて品質を変更
 - 美濃（長谷川）美須（上窪）宇田（福西）、紙目で収縮が違うので紙目で縦横使い分ける

<修復対象の種別と裏打ち紙>

- 掛軸
 - 軸の場合は美濃、吉野等、8 種類、厚み等30 種類の紙を使い分けます
 - 掛軸は、薄美濃、美細紙、宇田紙
 - 掛軸で絹本の時、裏打の紙によって仕上がりに変化が出やすい。
 - 掛軸の大きさ、紙質、厚さ、本紙と裂地、時代等を考慮して使用する
- 額屏
 - 額屏風等は美濃紙中心に2 ～ 3 度
 - 屏風下貼等-石州紙
- 古文書等は薄い美濃紙で1 回
- 卷子
 - 卷子は、美栖紙、雁皮紙、
 - 卷子・掛け軸：三栖紙、宇陀紙使用
 - 基本的に変えます。卷子でも絵巻と文書では違います。
 - 巻物雁は紙
- 絵図
 - 絵図等は、カビ等で紙力の低下している時典具帖

- 巻く装丁と貼る工程によって紙は違うが、基本楮紙を使用する。
- 表装の価格によりその模造品を使用する。
- 軸、額、屏風、ふすま等の作品により紙の区別は一番必要です

＜裏打ちの各レベルで使用する紙の種類＞

- 肌裏、増裏、総裏用の紙の使い分け
 - 肌裏は直接、本紙にふれる物なので増、総裏の紙に比べて多少しっかりしたもの。増裏は本紙の厚みを増してしまうので極力薄く柔らかいものを総裏は紙自身の伸び縮みの少ないもの
 - 肌裏は薄く、貼りのあるモノ。増裏と総裏は石粉の混入しているモノ。
 - 増裏は石灰入りでアルカリ性のもので中性になるようにする
 - 総裏は仕上がりかかり具合のいいもの
 - 本紙の肌裏は、薄く丈夫なもの（未晒しの薄美濃紙、石州紙など）を使用しています。酸性化した本紙の場合¹⁾は、増裏に白土入りのもの（美栖紙²⁾など）使用することもあります。表装や装幀の形式によって肌裏、増裏、総裏の紙は判断します。
 - 肌裏紙は極力うすい強力な紙使用、増裏紙は同上、総裏用（中肉）又は厚みある紙使用
- 肌裏用の裏打ち紙の銘柄
 - 肌裏は美濃紙（5件）
 - 基本的に肌裏は美濃紙
 - 肌は美濃系
 - 肌裏＝美濃紙か同じような楮紙
 - 本紙肌裏-薄・中・厚美濃紙
 - 肌裏は美濃紙、強さ
 - 肌裏＝楮（美濃紙）
 - 肌裏は薄美濃紙（7件）
 - 従来の肌は薄美濃
 - 肌裏は手漉薄美濃紙

¹⁾ 白土は、鉱物学的にはカオリンのことを指すので、酸性化した紙を中和するという意味では、効果がない。和紙業界では炭酸カルシウムのことを指して「白土」と呼ぶようで炭酸カルシウムなら効果がある。

²⁾ 美栖紙という白土は、胡粉のことである。（稲葉政満）

- 肌は薄美濃（主にソーダ灰煮）
- 肌裏は薄美濃紙（楮の手漉きまたは機械漉き）
- 肌裏は薄美濃紙、その時代色染めのもの
- 肌裏は基本的に薄楮紙（美濃紙、土佐楮紙）本紙により目的によりかなり変化します
- 軸装の場合、後に喰裂部の負荷が本紙を傷めてしまう事もあり、肌裏は、巻き取り和紙を使用する。
- 肌裏→文化みす
- 肌裏は太田弥八郎製¹⁾ と鈴木製²⁾
- 肌裏は本紙になじみやすいもの
- 肌裏の段階で折れなどの問題を解決しないと次の段階には進め無いと思います。
- 肌裏：本紙のあばれを止める
- 肌裏は手打ち
- 肌裏は那須の寒漉き
- 肌裏は那須寒漉き紙
- 肌裏紙 本紙の裏打ちに一番先に使用。うす口紙、
- 肌裏-楮紙または美須紙
- 増裏用の裏打ち紙の銘柄
 - 増裏は美須紙（10 件）
 - 増は美須（石粉入り）
 - 増裏は手漉美須紙
 - 増裏 美須 クセをなくし、やわらかさ
 - 増裏＝美栖紙（楮＋糊粉）
 - 増裏は美須紙（手漉きまたは機械漉き）
 - 増裏は本美須紙
 - 増裏＝美栖紙（6 件）
 - 増裏は本美栖
 - 増裏打ちでは美栖（美須）紙

¹⁾ 極薄美濃和紙

²⁾ 本美濃紙など

- 増裏は三栖
- 増裏→文化みす
- 増裏は美濃紙（2件）
- 増裏は上窪製¹⁾
- 増裏紙 本紙とまわりの裂地との厚さに注意して選ぶ。中肉紙（文化みす→土入みす）
- 増裏：掛軸の場合柔らかく巻けるように
- 中裏は美栖（文化）
- 総裏（上裏）用の裏打ち紙の銘柄
 - 総裏は宇陀紙（7件）
 - 上げ裏は宇陀紙
 - 総裏は本宇陀紙
 - 総は宇陀（石粉いり）
 - 総裏は福寅製²⁾
 - 総裏＝宇陀紙（楮＋白土）
 - 総裏は宇陀 肉をつける
 - 総裏打ちでは宇陀紙を使用（巻物では総裏打ちに、雁皮紙や楮入り雁皮紙を使用）
 - 総裏は宇田紙（5件）
 - 総裏は宇田紙でなければだめ
 - 総裏-宇田
 - 総裏は手漉宇田紙
 - 総裏は宇田紙（手漉きのみ）
 - 総裏→文化みす、宇田
 - 総裏紙は良質の宇田紙使用
 - 総裏-宇田、それぞれ厚さは2～4匁と適時調整します。
 - 総裏-宇田紙は基本的に使用する。
 - 総裏は宇多紙（3件）
 - 総裏＝作品の内容、形態に応じて

¹⁾ 美栖紙

²⁾ 宇陀紙

- 総裏はプレス機によって機械打ちを行っている。季節の変化の表具の動きが無いから

次に、裏打ち紙を選択するとき注意点について質問したが、これは裏打の各段階で紙の銘柄（産地）は、ほぼ定着しているが、それ以外の点で選択の基準があるのかどうかを問う設問であった。最も気にしているのが厚さである。曲げこわさ（同じだけ紙を曲げようとした時の紙の抵抗力）は厚さの 3 乗に比例するため、厚さが 25%増えただけでも曲げこわさが 2 倍ほどになってしまう。軸装の場合は特に気を遣うであろう。「堅さ、柔らかさ」を気にする、との回答もその大部分は、同一銘柄でも厚さの相違による影響を気にしていると考えられる。

紙製造方法や繊維の種類、添加剤については、手漉きで、コウゾを使用した、いわゆる伝統的な手漉き和紙を求める声が強い。木材パルプ繊維は、本紙を傷めるというような誤解があるようであるが、化学的な成分からすれば、木材から製造した化学パルプが、和紙を傷める理由が見当たらない¹⁾。歩留まり向上剤としてのアラム（硫酸アルミニウム）の添加による酸性化が洋紙の劣化原因であり、アラムを添加しない紙ならば問題はないと思われる。自然劣化については、繊維が短いため和紙よりは強度低下が速く進行するように感じられるであろうが、本紙に悪影響を及ぼすとは考えにくい。強いて挙げれば密度が高い分だけ、乾燥収縮時の寸法変化が大きくなるためであろうと考えられる。また表打ち紙を剥がす際に繊維が身近ため紙の一部が本紙にくっついたままなる可能性があることの方が問題であろう。

以下、種々の観点から回答を分類して示す。

【裏打ち紙選択の注意点】

- 裏打を行わない場合
 - 洋紙の場合はよほどのことがない限りは裏打ち処理は行わない。
 - 裏打ちを行わないのは、浮世絵、丈夫な文書

¹⁾ 木材パルプ紙は本紙と伸縮挙動が違うのが問題となる。また、掛け軸などでは紙の堅さが問題になり、軸を巻くときに本紙に負担がかからないように軟らかい宇田、美栖を好んで使う。なお、本紙の補強として肌裏は薄美濃が定番であろう。（稲葉政満）。

- 裏打工程での裏打ち紙の取り扱い
 - 漉き目を互い違いに使う
 - 軸装の場合折れの発生をどのように解消するかと思います。
 - 色が出るので厚手の紙に挟み水洗いしてから使う。
 - 変色しにくい上質紙を使う。乾燥した場所に保存する。
 - 裏打ちの紙、特に掛軸の場合は出来るだけねかせた（年月が経ったもの）を使用します。
- 紙の厚さ
 - その本紙に最も適切な裏打ち紙は何か？（厚さ、強さ、透明感、質（楮、竹、ガンピ）など）
 - 何度打ちにするかによって厚みと紙の種類の選択
 - 各部分の厚さのバランスの調整
 - 強度と厚さを本紙によって使い分けるのと、掛軸であるのか額であるのか巻物であるのか仕上げるものによって最終的な厚さを予測しながら裏打ち紙を選択します。
 - 既製品から厚さ、色味で選ぶ
 - 厚さ　のりの濃さ　仕上がりの柔らかさ
 - 厚み　製造地、時期、製造法
 - 厚み、経目、横目
 - 厚みとしなやかさ（市販の和紙には引っ張る力に対し極度に弱いものもあるので、紙を選ぶ際には手でちぎってみたり、仮貼してみたりして使えるかどうか試しています。）
 - 紙の厚み、すの目の向き、紙の強度
 - 紙の厚み、紙原料の事情（日本産の楮なのか輸入産が混入されているのか。又、何年位寝かせている紙か）という点
 - 紙の材質と厚さ
 - 手漉き和紙は薄口、中肉、厚口等に分かれているが、その1つの中でも薄いもの、厚く感じるものがあるので1枚1枚指で触れてみて分ける
 - 製品にばらつきがあつて不揃いがあつて非常に困っています。厚さ薄さ見分けが付かない場合があります。
 - 相対的な厚み、堅さ、張り。
 - 特に軸装の場合は、裂地との厚みが均一されるよう選ぶ。　　薄く、丈

夫に、柔らかく仕上がるよう心がけて選ぶ。

- 肌裏はなるべく薄い和紙で打つ
- 本紙とまわりの裂の厚さ特に硬さを均一になる様に肌裏と増裏で調節する
- 本紙により薄さ、厚さを考える
- 本紙の厚さ、縦目、横目に気をつける
- 本紙の厚みによって裏打ち紙の厚みを変える
- 裏打ち紙の厚みを適正なものを選ぶ。
- 料紙の薄さ・厚さ、酸化状況
- 堅さ、柔らかさ
 - 作品の厚さも大切だが軸物は硬さを重視する事が重要であると考えている。
 - やわらかさ
- その他の紙質
 - 100%楮、緻密、均一、綺麗、色、硬さ、柔らかさ、煮熟材、ネリの保存法
 - スキムラの無い事 その年々で同じ紙でも癖がありその事を解って使う
 - 仕入時期によって質が違う時があり困っている。薄口を中肉の中に色分けが出来にくいものがある
 - 掛軸の大きさ、額、屏風、本紙の時代等により裏打ち紙の質と厚さ、産地等に気をつける
 - 使用目的によって裏打ち紙を変える (例) 強度、厚さ、柔軟さ
 - 質、厚さ
 - 修復業界でよいとされているものをなるべく選びます。
 - 十分に吟味し100%の自分の好みに合った裏打を使う。
 - 色、引き、強さ、厚さ、サイズ、柔軟性
- 紙の製造方法
 - できるだけ手漉き和紙を使う (大きさなどの制限により機械漉きを使用する場合は2回目の裏打ちで繊維の方向を逆にして裏打ちをする)、本紙より薄い柔軟性のある紙
 - 苛性ソーダを使った紙は使わない。

- 漉手の人が分かる紙、軟らかさ、硬さ、厚み等
- 肌裏は美濃の長谷川さんか五箇の宮本さんのどちらかを使用しています。比較的腰のある本紙の時は長谷川さんの紙、柔らかい本紙の場合は宮本さんの紙と、独断ですが今のところそのようにしています。
- 必要以上に漂白してないもの 繊維の長い粘りのあるもの
- 良質の手漉き和紙であること、その紙の厚さの均一性、色合い、美栖紙の石粉に固まりがないこと
- 繊維原料、添加剤の種類
 - 純国産楮使用で安定した品質のものが第一です。パルプの混合したものは使用しません。
 - パルプ、樹脂が入っていないか。
 - 繊維の種類、本紙との相性（地合い、厚さ、色など）。
 - 肌裏打ちは貼り¹⁾のある紙（美濃紙などを使用することが多い）。総裏打ちは石粉の今夕²⁾している物（アルカリ成分の入っている物）
- 本紙との調和、修復結果
 - 何に仕上げるかによって裏打紙を選ぶ
 - 掛け軸が柔らかく仕上がることをこころがける。
 - 掛軸装や卷子装幀を行う場合、本紙肌裏以後に使う裏打紙は、肌裏打後の資料の状態と装幀材料、資料と装幀材料を接合した後の状態によって選択する。
 - 原料産地、煮熟剤、叩解法、乾燥法とともに、より使い慣れたもの。
 - 作品の形態（表具、屏風・・・）や修理仕様 他により適宜調整および検討・選択を行います。
 - 作品の状態、修復後の保存、活用に応じて検討します。
 - 作品の内容、形態に応じて選択する 作品の保存と活用に適した仕上がりを目指して選択する
 - 仕上りから考えて、必要な機能を備えた紙を選ぶ。
 - 修復が終わってもこの作品が何年後に又修復する時に次の表具師がしやすいように紙の質を考えます。

¹⁾ 「張りのある紙」のことと思われる。

²⁾ 「混入」ことと思われる。

- 本紙との兼ね合い
- 本紙に対しての引きのバランス
- 裏打ちを行う目的に合った素材を選ぶ
- 裏打紙の選択は表具師にとって最も重要で経験を必要とするものと理解しているが、たとえば肌裏なら強度のみならずチリの少ない緊密なものといったように、各工程の役割を最適に果たすものが、その意志決定の根本にある。

6-b 裏打ちのための接着剤はどのようなものを使いますか。(複数可)

☐ 接着剤として正麩糊（小麦デンプン）を使用する

☐ 市販の正麩糊（小麦デンプン）を使用
 ☐ 自工房（自社）で炊いた正麩糊（小麦デンプン）を使用

☐ 接着剤としてフノリ（布糊、布海苔）を使用する

☐ 接着剤として古糊（正麩糊を発酵させたもの）を使用する

☐ 原料の正麩糊（小麦デンプン）は市販のものを使用
 ☐ 原料の正麩糊（小麦デンプン）は自工房（自社）で炊いたものを使用

☐ その他

【どのような接着剤を使いますか。】

表 2-18 裏打ちのための接着剤の選択

接着剤の種類	回答数	回答数比率 (%)
正麩糊（小麦デンプン）を使用	72	73.5
市販の正麩糊	33	33.7
自工房で炊いた正麩糊	62	63.3
フノリ（布糊、布海苔）	26	26.5
古糊を使用	49	50.0
原料の正麩糊は市販のもの	10	10.2
原料の正麩糊は自工房で炊く	42	42.9
その他	24	24.5

(有効回答数 98)

その他の糊は、セルロース系合成接着剤であるメチルセルロースの他、デンプン系の化学糊が多かった。ただし、化学糊でもエマルジョン（乳化させた白い接着剤）も含まれており、酢ビ（ポリ酢酸ビニル）エマルジョンは、水溶性ではなく、一般的な溶剤にも溶けない上に本紙にまで浸透すると考えられ、次の

修復は不可能と思われる。

膠という回答もあったが、墨の接着剤と同じであるため、墨蹟の古文書等には使えないであろう。裏打の除去作業が困難かもしれない。また礬砂（ドウサ）との回答もあったが、礬砂は膠以外に含まれている明礬が酸性物質であるので、裏打ち紙、延いては本紙の劣化を進める危険性がある。

その他の接着剤として挙げられていた糊についての回答を分類して以下に示す。

- メチルセルロース、カルボキシメチルセルロース（CMC、CM 糊）
 - 裏打ちする面積にもよるが、メチルセルロース、カルボキシメチルセルロースを使用。時には正麩糊をメチルセルロースに混ぜることもある。
 - メチルセルロース
 - メチルセルロース
 - メチルセルロース（洋紙の場合に使用する場合あり）
 - CM¹⁾ 糊、化学糊
- 合成樹脂
 - もし展色剤が水溶性の接着剤に向かない場合は、ソルベントベース、アクリルベース²⁾ など、使う事があります。
 - 総裏に酢ビ系エマルジョン³⁾
- 化学糊
 - 化学糊については、掛け軸の場合、仕様書で決められている以外に、増裏と総裏に使用します。古糊が理想ですが、安定性・表装費用・納期を考慮しますと町の表具屋では使用せざるを得ません。現在のところ、40年前の化学糊使用の掛け軸修復には、影響が見られませんでした。
 - 化学米糊⁴⁾

¹⁾ カルボキシメチルセルロース（Carboxy-methyl cellulose）のこと。

²⁾ アクリル系樹脂（接着剤）の溶剤のこと、と考えられる。

³⁾ 白色の木工用ボンド（ポリ酢酸ビニルエマルジョン）のようなエマルジョン（ラテックス）系の樹脂は、いったん固化して透明になると水にも有機溶剤にも溶解せず、繊維同士の結合よりも強固に接着するため、剥がすことが不可能になる。総裏だけの使用の場合も、浸透して本紙にまで到達する可能性があるので、使用は望ましくない。

⁴⁾ 古糊のように、化学的にデンプンの重合度を低下させた変性デンプンと考えられ、酸性でない限り問題はなさそうである。

- 市販の化学糊 糊＋ドーサ
- 市販化学糊 3 種
- 主に科学糊
- 表具用化学糊
- その他の糊
 - 京糊
 - 京表糊（商品名）
 - 基本小麦澱粉糊であるが、脆弱な本紙や裂地には古糊を少し混合させることもある
 - 原糊
 - 材料屋さんの表装専門ののり
 - 表装用文化のり（2 件）
- 片岡糊（4 件）
 - 片岡のり 市販でんぷんのりと片岡のりの混合
 - 片岡ノリ（化学ノリ）
 - 片岡糊（化学糊）
 - 片岡糊（酢酸ビニル系）
- 一番糊
 - 一番糊
 - 矢沢化学の和紙のり「いちばん」を使う。
- 柔のり
 - 当工房でプロデュースした糊（柔のり、梓糊）を使う
 - 柔のりなど 本当は古糊がベストだと思います。
 - 総裏のみ化学糊使用（㈱東京松屋 柔（やわら）
- 膠
 - 剥落止め にじみ止めに膠
 - 膠
- その他
 - 京都中村の正麴糊粉を使っています
 - いずれにしても使用する濃さが問題
 - 作品の形態（表具、屏風・・・）や修理仕様 他により適宜調整および検討・選択を行うため、一概に記述できません。

- 其の時の作品の状況次第です

設問7 仕上げ工程はどのように行いますか。

7-a 装丁などの仕上げ工程で、本紙を傷めないように注意することはありますか。また、本紙に影響を与えるかどうか気になることがありますか。

【仕上げ工程で本紙を傷めないように注意すること、本紙に影響を与えるかどうか気になることはありますか】

仕上げ工程で注意することについての回答から、汚れ、擦れ（こすれ）、折れ、のように不注意から来る損傷や汚損の方が、修復工程そのものに由来する損傷よりも心配しておられる様子が伺われる。材料から見れば、糊と裏打ち紙の品質が特に問題となるようである。修復工程の中の個々の作業では、不十分な乾燥、打ち刷毛による本紙の損傷、寸法合わせの際の本紙を断ち落とし、などが意図せず発生してしまう危険性を感じておられるようである。

乾燥工程では、十分に乾燥させたつもりでも、湿度が高い日や場所で仕上げる場合に紙の水分が高くなって、完成後に皺やたるみが発生する原因となるので、湿度環境に気を遣うという意見が非常に多かった。

以下、回答を整理して示す。

- 修理そのものが本紙を損傷する懸念
 - 時代性を損ねないこと。修理をしてかえって本紙を損ねるかどうかじゅうぶん検討し、無理な場合は本紙は手をつけないことも必要と思っています。
- 汚れ
 - 台のよごれに注意する。
 - 汚さないように、破かないように注意します。本紙にほこりを付着させないように注意します。

- 糊
 - なるべく糊気を少なくすること
 - のりの濃さ（仕上りの柔らかさと次回裏打ち紙が本紙を傷めずおこすことが出来るか）
 - 糊の濃さ、絹は濃く、和紙は薄い糊でゆっくり乾かす。裏打ちの糊が表にでる場合があるので薄い和紙で吸い取ると良い。
- 裏打ち紙、当て紙、敷き紙
 - 裏打ち紙の質、厚さ、生産者等に気を使う。紙の質を見抜く目を持つ。紙の原材料と作業工程と表具師により大きく作品に影響をあたえる。
 - 本紙に当て紙を水張りする。
 - 肌：増し裏打ちをするときは必ずしき紙をしてする。上げ裏のときはしき紙をしない。
 - 本紙にうすい紙をあてる
 - 移動には、古いものであれば補助紙を使って扱う。
 - 養生紙を仕上げた後で剥がす事があります
 - 裏打ちを取り除く、または裏打ちをする事は、ある程度の作品の歴史を変える事になり、特に西洋紙に描かれた作品の裏に何かのインフォメーションがある場合（サインやインスクリプションなど）はキューレトリアル部と相談したり、作品が裏打ちなくては存続していけないようなコンディションの時にするなど、ケースバイケースです。本紙への影響を一番に考えて最初から最後まで、あらゆる選択肢の中から修復方法を選ぶので、本当にそれで良いのか、または良かったのか考える事がよくあります。
- 厚さ
 - 欠損部の補修処理を行わないので厚みの差が生じるので軸装では気をつかいます¹⁾。
 - 表具のデザインや、色の取り合わせ等に、気をとらわれて本紙との厚みや強度の調和がおろそかになりがちです。
- 変色

¹⁾ 欠損部の補修処理の有無は厚みの差により軸巻きには関係しないように思われるが、片側の端部に欠損が集中している場合のことか。

- はじめから最後まで気を抜くところはない。変色が少しは気になる事も有ります。50年～100年と作品が残ることを願う
- 湿気、水分、環境
 - みだらに素手で本紙にふれない事。仕事台及び作業場の湿気は、仕上げ時は50%以下に下げ必要以上作品に湿気を吸わせない事。後日のつれを起す原因にもなる。
 - 一番水分はさけたい。巻いた後の強い押さえ
 - 急激な温湿度変化、エアコン
 - 乾燥後の折れ、水濡れ、特に汗などがたれないように気を配る。新しい紙でも十年掛けっ放しの軸の____は仕上る時も__く注意している。
 - 最後の仕上げ段階では、湿度をなるべく与えないように、湿度が低く、気温が高い日が2，3日続くようなときに仕上げる。
 - 注意しているのは湿度の高い日や湿気の多い状態では行わないという点のみ。
 - 軸棒、半月付けの時は先に取り付けた方の湿気がうつらないように和紙をあて保護する
 - 湿度のある日には仕上げはしない
 - 常時傷めないように注意しながら作業を行っているので、仕上げ工程のみということは特にありません。強いて言うなら、仕上げの時は、周りに水気のものを置かないことでしょうか。
 - 湿度を調整する。
 - 納品後の環境
 - 本紙だけでなく作品全体を傷まない様に環境を整えて作業に望む。
- 乾燥工程
 - 乾燥と枯らし程度。修理であっても本紙に介入し、あらたな形態のはじまりとなるので、仮張りなどシーズニング期間に余裕を見込む。
 - 乾燥を充分良くすることは当然仮張り期間を長く保つ。
 - 総裏を打って一日おいたら数日表面を出して3日～4日後数日裏面を出す。
 - 裏打ち後、仮張りに貼り、十分乾かす。
- 打ち刷毛
 - 本紙に影響を与えないか非常に気にしております。打刷毛をする関係で

本紙の顔の部分や絵のポイント部分は軽く打つようにしています。

- 裏打ちをした後に打刷毛を使用しますが、その場合に下（裏）になった本紙表面が損傷しないか心配です。敷き紙をしたりして対策は施しますが、特に古い本紙の場合は取り返しのつかない傷もしくは「はがれ」などが生じるかもしれない。

- 折れ

- 仕業工程の中で折らないよう注意しています
- 折らない、すらない。参考になる様な答えにはならなかったとおもいますが？
- 仕上げ工程では取り扱いに注意する。急激な取り廻し等、折れる危険性のある取り扱いにしない。
- 直接触れない。折れをつくらない。
- 東洋、日、中、韓典籍等、本綴りが開閉時に折り負荷とならないように留意する
- 本紙を折らない事。

- 本紙の断ち落とし

- 化粧断ちの段階で、本紙を損なわないように注意する
- 冊子や帖の場合は折りを変えないようにしています。本紙を断ち落とさないように、裏打ち紙の余白を残しています。本紙の大きさを揃えるために、補助紙を入れる場合があります。軸装や卷子装では、折れを入れないように、きつく巻かないようにします。
- 本紙の大きさを、できるだけ原形をとどめるようにする。

- 太巻き

- 太巻き芯は本紙画面に等の悪影響を与えないか。
- 軸装の場合傷みのひどい物には太巻きを使用しますがお客様の経済的な負担次第と言う側面もあります。
- 太巻の桐材のアク、防虫香

- 特殊な本紙の例や特定の処理

- 絵の具の剥落の危険性のある物や、折れのひどかった物は、裏刷りを加減する、または行わない。
- 江戸時代のもので絹本に糊を引いてそれに絵がかいてある本紙に出会ったことがあります。古くなっているのでその様な仕事が生じているとは

思わず苦しい思いをした事があります。 あて紙を引いて仕事を
しましたので傷が最小限ですみました。

- 仕上げに裏面にイボタ蠟¹⁾を与えて、裏擦りをするが、巻いた時裏面が本紙面に接触するので、イボタ蠟が本紙に何か影響を与えることがないか気になることがあった。
- 糸とじの締めすぎ、ゆる過ぎ
- 定規をあてると定規の形がつくので、本紙の大きさに合せた板をつくり切る
- 特に必要以上の装丁を加えないことを心がけている（オリジナルの形状を損なわないように）。本紙の保護のためには、本紙に糊をつけずに付けられる表紙やカバーで対応している。
- 仕上げ具合によって表具のバランスが左右するため、そのことが本紙のバランスにも影響を与える。
- 本紙は全の工程で注意を払い、時間経過にも予想想定を繰り返す。
- 作業中の丁寧な扱い
 - 仕上げの際に表裏に返す工程が多いため、画面を擦ることを気をつける。
 - 仕上げ工程で本紙を傷めぬよう行うのは当たり前で、これができないようでは半人前以下。
 - 仕上工程に入れば特にこれと言った事は無いが細心の注意は最大に持ってやればいいと思う。
 - 十分に使用に耐えるように補修作業は行なったが、あくまでも古物で有る事を念頭に置き、取り扱いには十分注意している。
 - 常にどの段階においても、本紙には100%の注意をはらいつづけて作業をします。完了するまでは常にということになります。預かりものの場合は手渡しして相手からOKの返事がでるまで気にしています。
 - 和本の製本時に、経験の浅いものが糸綴じ、表紙付けを行うと、作業に熱中して、不用意に束ねた資料を持ち上げたり曲げたりしながら作業す

¹⁾ イボタロウムシが分泌する蠟で、家具の艶出しや襖や障子の滑りをよくするために使われてきた。掛軸や巻物の裏側に擦り込んで滑りをよくし、巻き取りやすくするためにも使われる。韓国では、蜜蠟を塗った朝鮮王朝実録の劣化が重大な問題となっており、有機脂肪酸が繊維を劣化させる原因になっているようである。イボタ蠟も数百年という時間のスパンでは本紙の劣化を引き起こす危険性がある。

る者がいる。注意さえすれば、とくに問題は生じないであろう程度の行為であるが、作業中には出来るだけ冊子を曲げない様に作業台の上においたまま作業させる様に注意している。これは、掛軸装や卷子装幀についてもいえる事で、修復術とは別に、資料の十分な取扱い訓練をしておく必要がある。

- 心構え¹⁾

- 技術的なことはもちろん、作業をはじめる前の精神面をフラットにしておくことを心がけている。
- 作業台をきれいにする。細やか道具や材料を確認して行う。来客、電話等は無視して集中力を高める。作業に取りかかったら途中で中止しない（昼食、お茶等の時間を考えてやる） 作業服等の小ざれいにさっぱりした服装でとりかかる。手はいつもきれいにして本紙の表面には触れない。自信をもってやる。前日以前より仕上がりのイメージを育てておく。

¹⁾ 総論としては、糊加減、水加減、補修紙・裏打ち紙の選択は、経験によってその差が歴然としてくる。これはその多くが徒弟社会において成り立ってきた事にあると思う。大体、10年くらい修行しないと一人前とは見なしてもらえなかった。私が教わったことは、「作業自体は、水・糊・紙・裂・刷毛を用いた単純なものであるが、単純であるからこそ難しいものである。」「掛軸を同時に3本作っても3本ともきちんと掛かるとは限らない。」「その都度適切な判断が必要」である。また「技術者は、高い意識と知識とを持ちながらも頭でっかちにならず、逆に仕上げをごろうじろとうそぶけるくらいの職人魂をもち、そのくせ、してはならないこと、しなければならぬことをよくわきまえ、しかもそれぞれの指先に目を1つずつ持つほどに熟練した技術者となれ」「そのような人が増え、お互いの意識が連なった時、古くて新しい魅力的な装こうの世界が開ける」とも教わった。基本的な流れはマニュアルとして残す事はできるが、医療と同じで事例によって細かいところに差が出てくる。そのため、「臨床文化財」とも称される。（高島晶彦）

3. 水によるクリーニング工程が文化財材料紙の紙質に与える影響

3-1. 本研究の背景と目的

現在、紙文化財に対しては様々な修復法や修復工程が存在している。それらには理想的な修復の方針についての理念の統一はあるが、細部の具体的な修復手順は実際に現場で作業をする修復家の考えに委ねられている部分が多いために妥当性の評価は十分行われていない懸念がある。本研究では修復工程のうち特に水によるクリーニングについて着目した。これは、劣化した紙が水クリーニング処理によりどのような変化を起こすかを、紙の物性の面から検討し、さらに適切な修復処置を開発するための基礎的データを得ることを目的としている。

3-1-1 修復の理念

文化財の保存修復では、劣化の原因を取り除くこと、劣化して脆弱な状態にあっても極力現状の形態を維持すること、そして、すでに失われた本来の特性を再現することが行われる¹。特に美術工芸品や建造物の修復に関しては、伝統的な材料や技術に頼らなければならないことが多い。漆工芸品は漆工芸者、ふすまや掛け軸などの古美術品は装演技術を生かした表具師、などが専門的な知識を基にそれを行う。

3-1-2 水クリーニングの目的

水によるクリーニングの目的はドライクリーニングでは除去することのできない紙中の汚れや着色物資を除去することであり、見た目の効果として紙は白く、きれいになる。化学的及び物理的な変化として、水によって紙中の可溶性の酸性物質や金属イオンが洗い流され、蓄積した酸性物質や触媒作用のある金属による劣化に歯止めをかける目的もある。水クリーニングに使用される水には様々な精製方法があるが、基本的には、イオン交換樹脂とフィルタを通した純度の高いものが求められる²。

3-1-3 水クリーニングの種類

(1) 浸漬法

¹ 「2-10 保存修復」 沢田正昭 『文化財保存科学ノート』 1997 近未来社

² 「4 小川家文書の補修方法と経過Ⅱ」 有限会社 紙資料修復工房 『小平市中央図書館所蔵小川家文書への保存修復処置報告書要旨集』 2006

試料全体を水中に浸漬させる方法である。酸性物質の除去がかなり期待できる。しかし紙を構成する繊維間の結合を切り、紙を劣化させる可能性がある。

(2) ブロッティング法

適度に湿らせたろ紙を2枚重ね、その上に試料を置き、噴霧器でミスト状の水を与える方法である。試料から洗い流された着色物質はろ紙に吸着する。しかし与える水の量が十分でなかったり、細部にまで水が行きわたらなかったりする可能性がある。

3-2. 乾燥方法

(1) プレス

文化財用紙をろ紙、板で挟み、その上から重しをかける方法である。低圧しかかからないため紙繊維の風合いや厚みを損ねることがない。

(2) 仮張（かりばり）

仮張とは格子状の木の骨組みに幾重にも丈夫な紙質の和紙を貼ったもので、表面に柿渋を塗ったものが多い¹。表具を仕立てる途中で紙や裂を張り付けて乾燥させるものであり、紙文化財の修復にも応用されている。

3-3. 実験試料および評価方法

3-3-1 試料調製

酸性紙試料として市販の木材パルプ紙、和紙試料として楮（コウゾ）紙、その楮紙に礬水（ドウサ）塗布したもの、繊維配向性のない中性の紙試料として手抄き木材パルプ紙を用いた。以上計4種の紙試料（表3-1）を用いた。

表 3-1 試料の坪量

試料			坪量(g/m ²)
酸性紙		(Acidic paper)	66～69
和紙 (Japanese paper)	未塗布	(no sizing)	30～34
	礬砂塗布	(glue-alum treated)	31～37
木材パルプ手抄き紙		(Wood pulp sheet)	59～78

¹ 「第2部 装潢・文化材修理 仮張り」 東京芸術大学大学院 文化財保存学日本画研究室編 『図解 日本画用語事典』 2007 東京美術

(1) 酸性紙

日本における紙文化財に用いられる紙というと和紙を連想しがちであるが、日本では 1889（明治 22）年より木材パルプを用いた洋紙の生産が始まっている。その中で特に、酸性紙は過去に板紙も含むと年間 3000 万トンもの量が様々な分野において使用されていた。このような背景から、今後益々必要となるであろう酸性紙文化財に対する処理への試みとして、酸性紙試料を用いた。コクヨ連続伝票用紙（KOKUYO）を試料とした。

(2) 和紙

(ア) 礬水未塗布

和紙の三大主原料は楮・雁皮・三桮であるが、特に楮の繊維は太く長く（5～10 mm）、楮紙は雁皮・三桮紙と比較して圧倒的な強さを持っている。機械抄き楮紙（鹿敷製紙製、那須楮を炭酸ナトリウムで煮熟した繊維を原料とした）を用いている。

(イ) 礬水塗布

古来より書画用紙など一部の用途にはにじみ止め効果のために礬水塗布がなされている。これに倣って上記の機械抄き楮紙の半分に礬水を塗布した。礬水は実際に日本画家が用いている濃度に倣い、蒸留水 1 L あたりニカワ（三千本膠）7.0g、ミョウバン（明礬、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ ）3.5g の割合で調製した。これを礬水刷毛（ドウサバケ）にて試料の両面に 1 回ずつ塗布した。

(3) 手抄き紙（広葉樹晒クラフトパルプシート）

繊維配向性をもつ酸性紙試料、和紙試料との比較サンプルとして、試料の水クリーニング処理前後での変化が繊維配向性に起因しないことの証明を行う目的で配向性のない手抄き紙を用いた。広葉樹の晒しクラフトパルプから試験用手抄き装置を使用し、JIS P 8222（パルプー試験用手すき紙の調製方法）にしたがって調製した。サイズ剤等の添加剤は一切用いていない。

(ア) 抄紙

手抄きシートは東京大学 大学院農学生命科学研究科 生物材料科学専攻 製紙科学研究室にて抄紙した。抄紙手順は以下のとおりである。

(イ) 離解

乾燥状態のパルプシートに水を加え、標準離解機にて 10 分間攪拌（湿潤パルプでは通常 5 分）した。パルプ濃度は 1.5 %である。（図 2-1）

(ウ) 叩解

叩解は製紙工程の中でも重要とされ、紙の物性に大きく影響する。パルプ懸濁液（湿潤パルプ 10%）に PFI ミルを用いて機械応力を加え、繊維にフィブリル化や切断、膨潤を起こさせて柔軟性を与える。パルプ濃度は 10 %とした。回転数は 8000 回とした。（図 2-2）

(エ) 抄紙・プレス・乾燥

絶乾重量 7.2g に相当するパルプにポリバケツ中で 4.8L の水を加え 0.15%濃度にして攪拌機にてパルプを十分に分散させた。1枚当たり絶乾パルプ質量は 1.2 g、懸濁液は 800 mL となる。（図 2-3）標準手抄き装置を用いて面積 200 cm²・坪量およそ 60 g/m²の手抄きシートを作成した。（図 2-4、図 2-5）プレスによる脱水は厚手のろ紙3枚とさらに金属プレートを置きクーチロ

ールを使っ
て脱水した。
その後、ろ紙
を新しいもの
2枚に変えて
圧力 343
kPa （ 3.5
kgf/cm²）で、
油圧プレス
を使ってウ

ェットプレスを行い、水分を吸収させた。乾燥はドラム式乾燥機を用いた。



図 2-1 抄紙手順(離解)



図 2-2 抄紙手順(叩解)



図 2-3 抄紙手順(調成)



図 2-4 抄紙手順(抄紙)

3-3-2 強制湿熱劣化处理

4 種類の試料に対 000000 して劣化条件 80℃65%RH、0~16 週間の劣化处理を行

い、経年劣化紙モデル試料を調製した。一般的に紙の保存性評価のためには高温高湿度の環境下に紙を曝し加速劣化させる方法が用いられるが、本実験もそれに従った。

3-3-3 水クリーニング処理

修復工程における水クリーニングを模して水クリーニング処理実験を行った。実験方法は再現性があり簡単な方法であること、実際に現場で行われている方法に近いこと、試料に水分以外の影響を与えないようにすることを考慮して決定した。実験は以下のとおりである。

(1) 水通し

試料よりも十分大きいバットにイオン交換水を張り、手で試料を支えて一瞬水にくぐらせた。(図 2-6) 水温は 20℃であった。

(2) プレス

水通しした試料をろ紙 (ADVANTEC 製 300mm×280mm) で挟み、さらに両側を板 (接[は]ぎ板 350mm×280mm) で挟む。(図 2-7)

油圧プレス機にて 98.1kPa (1 kgf/cm²) の圧力で 1 分間プレス (図 2-8) を行った。

板に挟んだ状態で重し (5 kgf / 350mm×280mm) を置き、23℃・50%RH の条件で完全に乾燥する

時間以上)
静置した。

(図 2-9)

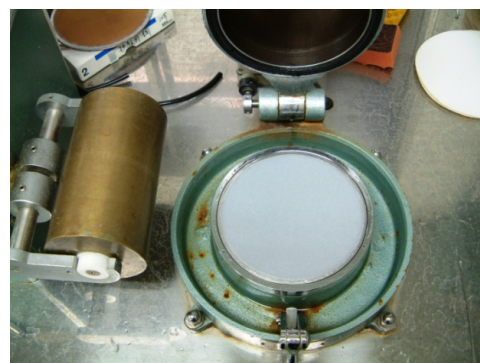
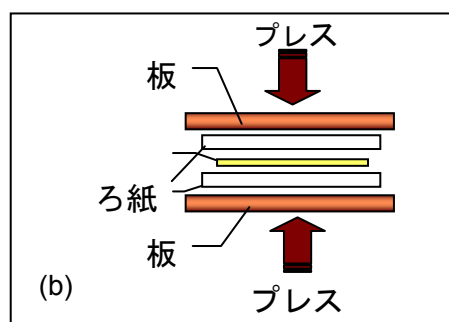


図 2-5 抄紙手順(クーチ)



図 2-6 水処理実験手順(水通し)



まで (48



図 2-7 水処理実験手順(ろ紙の上に置き(a)、積層させて(b)板に挟む(c)

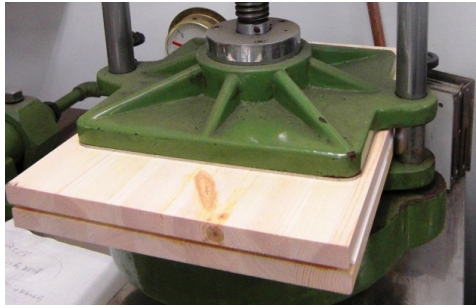


図 2-8 水処理実験手順(プレス)



図 2-9 水処理実験手順(乾燥)

3-3-4 物性値評価方法

(1) 色測定

色差計 (BYK-Gardner 社製 Spectro-guide 6834 型 (Sphere gloss)) を用いて $L^*a^*b^*$ 値を測定した。ろ紙 (ADVANTEC No.2) を 10 枚重ねた上に試料を置き、酸性紙試料・和紙試料では各 3 か所ずつ、手抄き紙試料では 1 か所を測定した。明度 (Lightness) の色差 ΔL^* を求めた。基準値は、湿熱劣化未処理の同種の試料の明度とした。

(2) pH 測定

pH メーター (HORIBA 製 twin pH) を用いて水抽出法により測定した。試験片 (7~10 mm) を採取し、測定部に試験片を置いて蒸留水を 3 滴滴下し、10 分後の値を測定値とした。測定は各試料とも 5 回ずつ行い、その平均値を紙の pH とした。

(3) 機械強度試験

強度試験は、試験片を JIS P 8111 (紙、板紙及びパルプー調湿及び試験のための標準状態) に従って調湿した後、23℃・50%RH の恒温恒湿室内で行った。

引張強さは、JIS P 8113 (紙及び板紙ー引張特性の試験方法ー第 2 部：定速伸張法) に従って試験を行った。装置は引張試験機 (東洋精機製 ストログラフ V) を用いた。引張速度は 10 mm/min とした。試験片幅は 15 mm、スパン長は 100 mm とした。比引張エネルギー吸収量 (TEA) は劣化とともに低下していく特性があるため劣化の指標に適切と言われる。引張破断強度よりも比引張エネルギー吸収量に着目した。

引裂強さは、JISP8116 (紙ー引裂強さ試験方法ーエルメンドルフ形引裂試験機法) に従って試験を行った。装置はエレメンドルフ・デジタル引裂試験機 (東洋精機製) を用いた。

耐折強さは、JIS P 8115 (紙及び板紙ー耐折強さ試験方法ーMIT 試験機法)

に従って試験を行った。装置は、MIT 型耐折試験機（熊谷理機工業製）を用いた。荷重は試料の強度に合わせて酸性紙試料は 2.94 N (300 gf)・0.98 N (100 gf)、和紙試料は 4.9 N (500 gf)、手抄紙試料は 1.96 N (200 gf) とした。

ゼロスパン引張強さは JIS P 8227（パルプー湿潤又は乾燥状態におけるゼロスパン引張強さの試験方法）に従って試験を行った。装置は、Z-Span1000（Pulmac 社製）を用いた。酸性紙、和紙については配向性をもつため MD・CD 両方向の測定を行った。手抄き紙は繊維配向性をもたないため 1 方向のみ測定を行った。

以上、酸性紙試料と和紙試料は各 10 点、手抄き紙試料は 4 点の平均値を求めた。

(4) 比散乱係数測定

比散乱係数は色差計 TOPSCAN TC-1800 により、各シート 1 枚について白板と黒板の 2 種類の裏当てを用いたときの反射率係数を測定し、算出した。同一の繊維ならば比散乱係数と繊維間結合量には相関がある。

3-3-5 試料調製と処理の流れ

試料の調製手順と水クリーニング処理、湿熱強制劣化処理、物性測定の一連の流れをフローチャート（図 2-10）に示す。

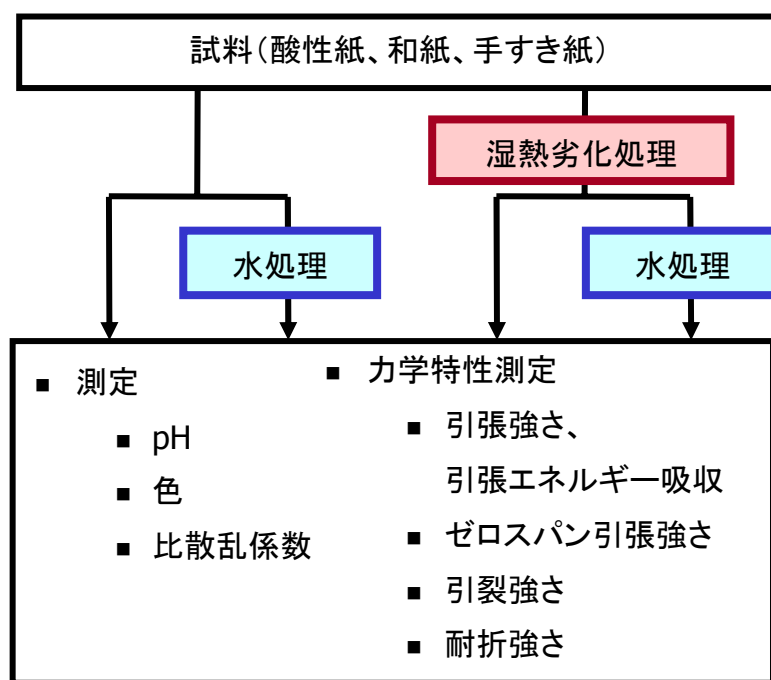


図 2-10 試料の調製、処理、及び物性測定手順

3-4. 結果と考察

3-4-1 湿熱強制劣化による pH の変化と水クリーニング処理の影響

図 3-11 は、湿熱強制劣化試験を行った際のそれぞれの紙の pH の変化を示す。試料のうち、和紙礬砂未塗布（Japanese paper, no sizing）と木材パルプ手抄き紙（Pulp sheet）は、中性を示している。正確には pH7 が中性であるが、大気中の

二酸化炭素が溶け込む影響で、しばらく大気中にある水は pH6.5~6.8 程度である。これらの紙は、劣化とともに pH が低下した。すなわち酸性化したことを示している。大気中の酸素による酸化で酸性基であるカルボキシル基がセルロースに生じるために pH が低下したものと考えられる。このようにして生じた酸はセルロースの加水分解を引き起こし、低分子化することによりさらに酸化される部位が増加し、酸性が進行すると考えられる。和紙の方が、酸性化の速度が小さいが、煮熟のときに加えられるアルカリ性の炭酸ナトリウムが残存しているため、中和剤として働くためと考えられる。

酸性紙である和紙礬砂塗布試料 (Japanese paper, glue-alum treated) と酸性紙 (Acidic paper) では、酸性物質であるミョウバン及び硫酸アルミニウムがそれぞれ含まれており、これらの物質は、新たにセルロースに生じたカルボキシル基の解離度よりも大きいため、pH の低下が見られなかったのではないかと考えられる。

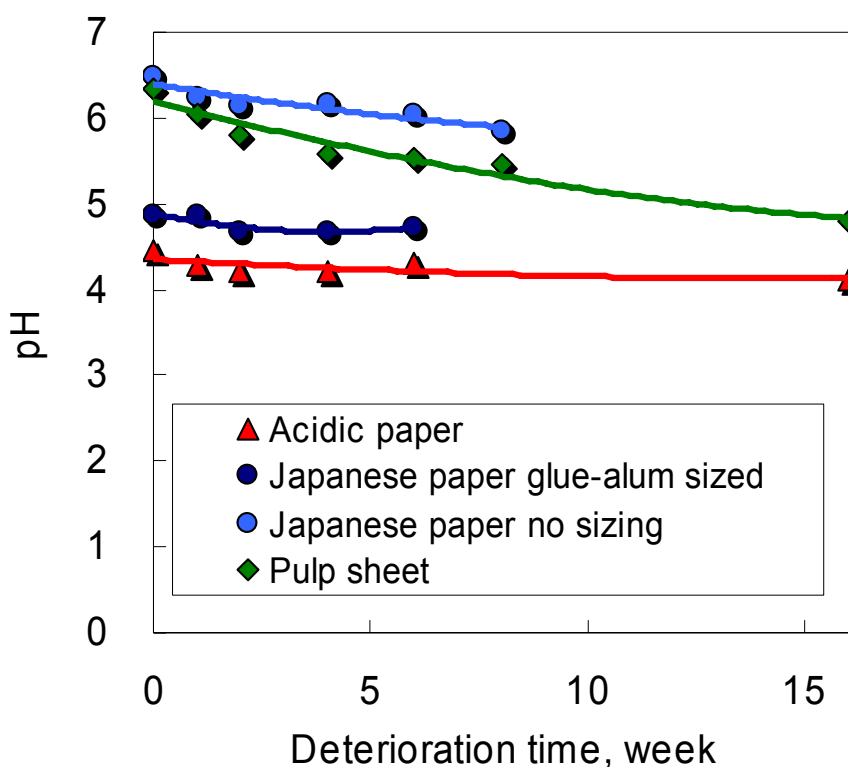


Fig. 3-11 Changes in pH of papers with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH.

図 3-12 は、湿熱強制劣化させた酸性紙試料が、水クリーニング処理によりどのように pH が変化したかを示す。湿熱強制劣化させただけの試料では pH は、4.1～4.5 でほぼ一定であったが、水クリーニング処理後の pH は、強制劣化時間が短いほど pH が上昇しており、酸性物質が洗い流されたことを意味する。酸性紙に含まれる硫酸アルミニウムが流し出されたと考えられる。湿熱劣化処理により繊維の角質化が進行すると、内部から硫酸アルミニウムが溶出しにくい構造に変化する可能性を示唆している。あるいは、湿熱劣化処理により生成した有機酸が水により溶出しにくい可能性もあるが、いずれにしろ水クリーニング処理よりも、pH 測定中の方が水に曝される時間が長いため酸性物質が溶け出す量が多くなるのであろう。

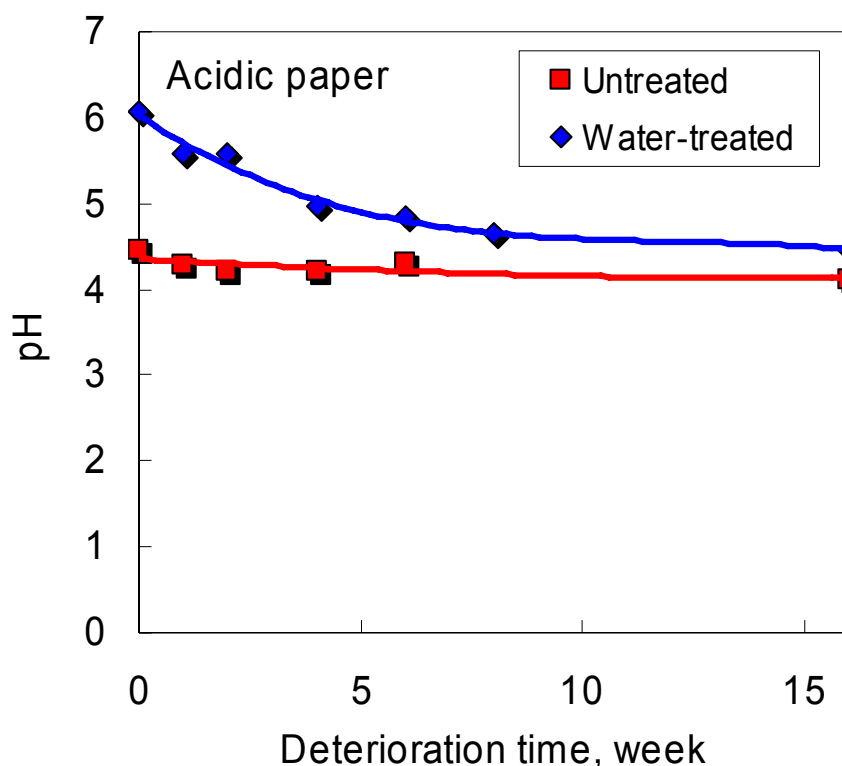


Fig. 3-12 pH of heat-humidity deteriorated acidic paper before and after water treatment

図 3-13 は、同じく湿熱強制劣化させた和紙の試料について、水クリーニング処理の有無により pH がどのように変化したかを示す。礬砂（ドウサ）未塗布試料（Japanese paper - no sizing）では、水クリーニング処理により中性付近から酸性側に移行したことがわかる。和紙に含まれるアルカリ性の煮熟剤が溶出した

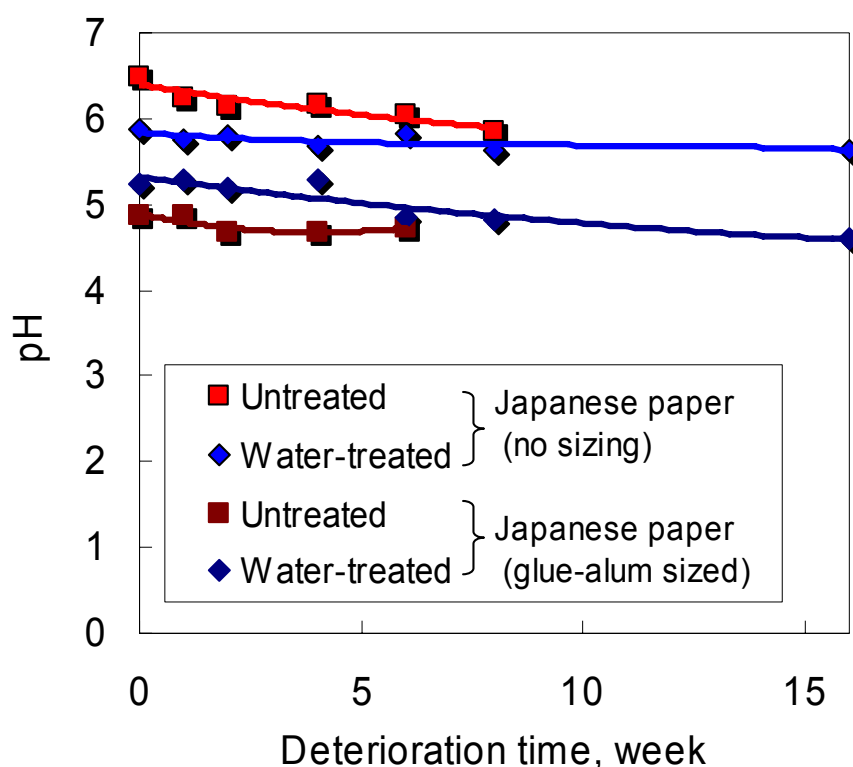


Fig. 3-13 pH of heat-humidity deteriorated Japanese paper before and after water treatment

ためと考えられる。アルカリ性の煮熟剤は、紙をアルカリ性側に保つアルカリ緩衝液の作用を持つと言える。礬砂（ドウサ）塗布試料（Japanese paper glue-alum sized）では、反対に酸性側から pH が上昇して、アルカリ側に移行したが、礬砂未塗布試料よりは酸性側にある。酸性物質である明礬（ミョウバン）が溶出したためと考えられる。

なお、水クリーニング処理用には脱イオン水を使用した。脱塩素した水道水の方がアルカリ緩衝作用をもつ物質の損失が少なくなることが知られているが、水道水にはアルカリ金属元素が多く含まれるためではないかと考えられる。

3-4-2 強制劣化による色の変化と水クリーニング処理の影響

図 3-14 は、湿熱強制劣化による紙の色の変化を色差で示したものである。酸性紙やドウサ塗布和紙のように、湿熱強制劣化によって pH の低下が著しかったもののほど色差の変化が大きいことがわかる。単純な ΔE^* の場合は、強制劣化処理前の紙の明度 L^* 値が高いと着色の程度を示す色差 ΔE^* が大きくなる傾向にあるが、水クリーニング処理を行っていない強制劣化処理前の明度の値はそれぞれ

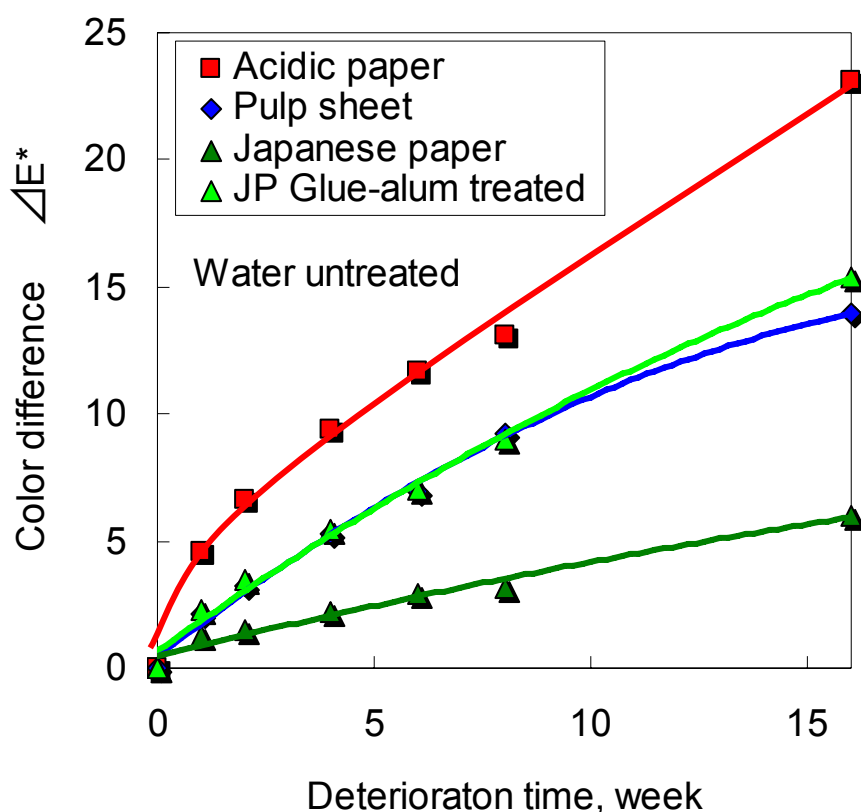


Fig. 3-14 Changes in color difference of papers with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH.

れ、酸性紙 95.2、和紙（未塗布）92.5、ドウサ塗布和紙 92.7、手抄き紙 97.1 であり、それを多少考慮すれば、ドウサ塗布和紙試料は、木材パルプ手抄き紙よりも着色が早く進行すると考えられ、酸性物質を含む試料では着色が早く進行することが明らかとなった。

図 3-15 は、湿熱強制劣化させた酸性紙の色差 ΔE^* の変化を、水クリーニング処理前後で比較したものである。劣化時間とともに色差は増加していくが、劣化時間に関係なく水クリーニング処理を行うことによって常に ΔE^* 値は1~2程度減少した。色差 1 は、目視で違いがかるうじて認識できるレベルを意味するが、水クリーニング処理による色差の差は目視で十分確認できるものであった。一般に紙の着色が起こる原因は、リグニンの色戻りが主原因であり、漂白によって着色構造が消失したリグニンが紫外線の照射などにより再び着色構造に逆戻りする。このような着色構造を持ったリグニンは水クリーニング処理だけでは除去しにくいいため、水クリーニング処理により、色差が下がった理由はこれとは異なるようである。

最近のパルプの製造工程では、酸素系の漂白方法が広まったために、ヘミセ

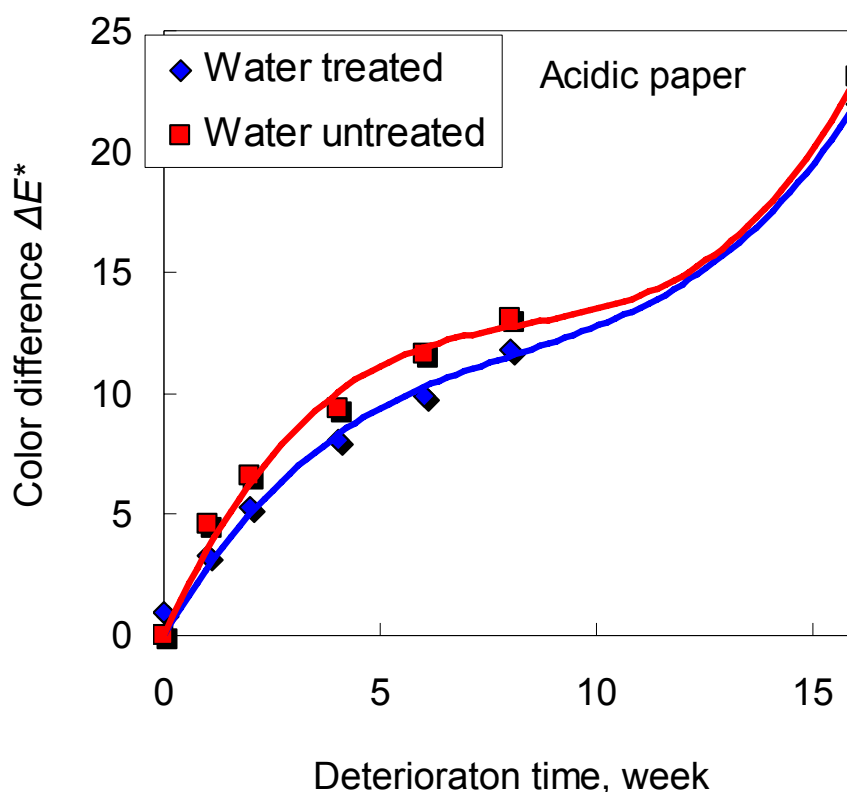


Fig. 3-15 Changes in color difference of acidic paper with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH before and after water cleaning treatment.

ルロースの 1 つであるキシランが変性して生成するヘキセンウロン酸がパルプ中に残存するようになった。このヘキセンウロン酸が水分や酸性物質の作用によりフラン化合物に変化するため、劣化とともに茶黄色を呈することが知られている。

図 3-16 は、同じく湿熱強制劣化させた和紙の色差 ΔE^* の変化を示す。広葉樹であるコウゾの柔細胞は、煮熟後に十分に洗浄しない場合は、木材パルプと同様に残存することになり、柔細胞にはキシランが含まれているため着色しやすい傾向を示す。しかし、煮熟剤として炭酸ナトリウムなどのアルカリ性物質を使い、洗浄を完全に行わなければ、強制劣化処理を行っても酸性化しにくいいため、この着色もある程度抑えることが可能と考えられる。

3-4-3 強制劣化による機械的強度の変化

(1) 引張強さ

図 3-17 は、湿熱強制劣化処理による紙の比引張（ひひっぱり）強さを比較し

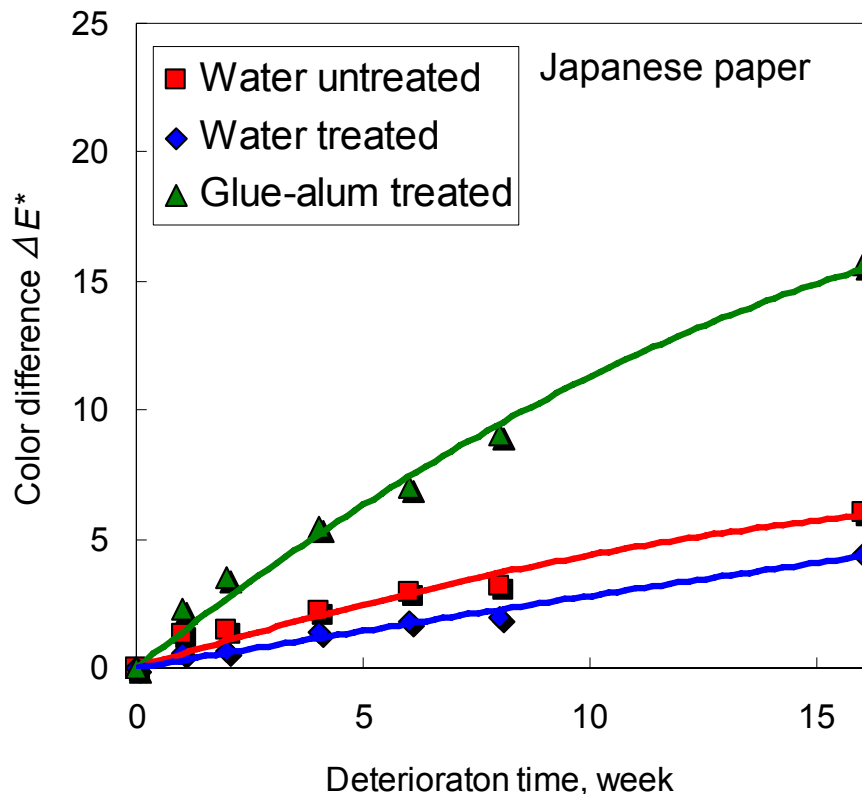


Fig. 3-16 Changes in color difference of Japanese paper with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH before and after water cleaning treatment.

たものである。機械抄き紙は縦方向（MD）値を示す。紙は厚ければそれだけ強くなるが、その影響を排除するために、破断したときの強度を紙の坪量で規格化（割り算）している。比引張強さの値は、繊維間の結合の強さや繊維そのものの強度を反映しており、紙の強度を比較するときの最も基本的な物性である。

酸性紙は明らかに比引張強さが低下しているが、酸加水分解によるセルロースの劣化が原因と考えられる。手すき紙は低下が見られたが、酸性紙ほど繊維の劣化が進行するとは考えにくく、抄紙時の水道水に含まれていた鉄イオンなどが触媒作用でセルロース分子鎖を切るような作用があったのかもしれない。手抄き紙は、強制劣化時間が 8 週以上になると、フォクシングの斑点が観察されており、鉄イオンによる劣化を示唆している。

和紙未塗布紙料では、強度が上昇した。ドウサ塗布試料でも強度上昇が見られたが、強制劣化時間が 4 週間を過ぎると劣化による低下に転じた。角質化と呼ばれる繊維の硬化現象が初期の強度上昇をもたらしたものと考えられる。角

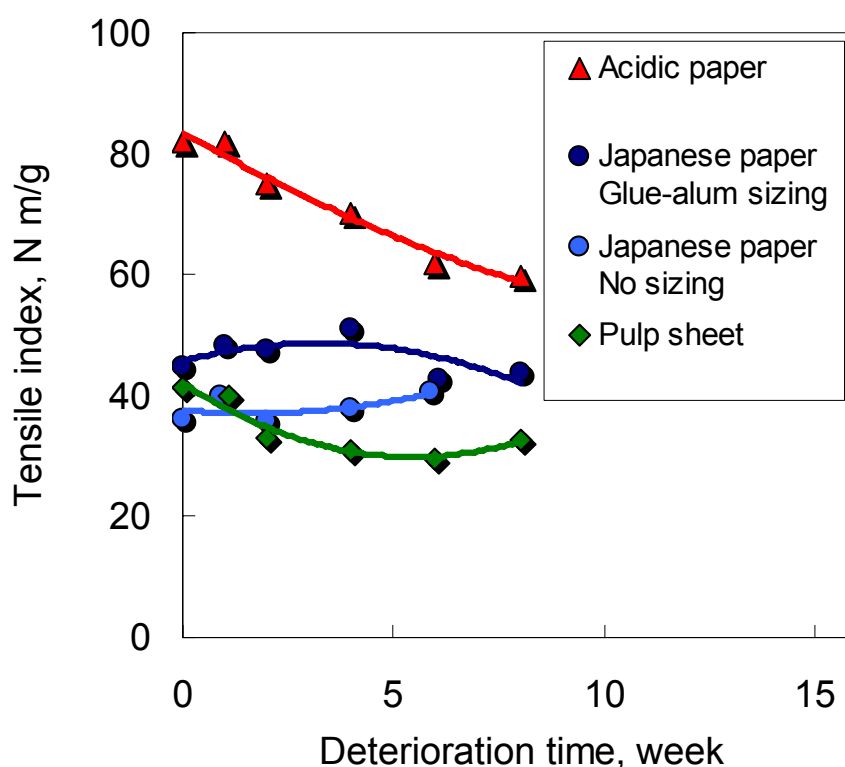


Fig. 3-17 Changes in tensile index of papers with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH.

質化は、セルロース中の非晶部分が、次第に結晶化する現象で、ばらばらになっていた分子鎖が順次応力を受けて切断していく破壊形態から、集合した分子鎖が束になって応力を受けとめるためと考えられる。なお、劣化処理前（劣化時間 0 週間）の引張強さを比較するとドウサ塗布試料の方が大きいことがわかる。ドウサに含まれる膠（ニカワ）は接着剤の役割をして繊維間の結合を補強したためである。

(2) 比引張エネルギー吸収量（TEA）

図 3-18 に手抄き紙試料の比引張エネルギー吸収量（TEA）変化を比引張強さと併せて示す。比引張強さでは、強制劣化により一旦減少したものが上昇するかあるいは一定値となる傾向が見られたが、TEA では、2～8 週目の変化について、ばらつきがあるもののおよそ減少傾向にあった。

図 3-19 は、湿熱強制劣化による和紙のドウサ塗布試料（Glue-alum sizing）及びドウサ未塗布試料（No sizing）の TEA の変化を示す。ドウサ塗布試料では、明らかな低下傾向があり、未塗布試料でも全体として緩い低下傾向を示している。上下に伸びたバーは 95%信頼区間を示しており、区間非常に狭いことから、実験誤差が大きいのではなく、紙の性質が部位によりばらつくためであることが

わかる。比引張強さで見られたような湿熱強制劣化の初期での上昇はなかった。

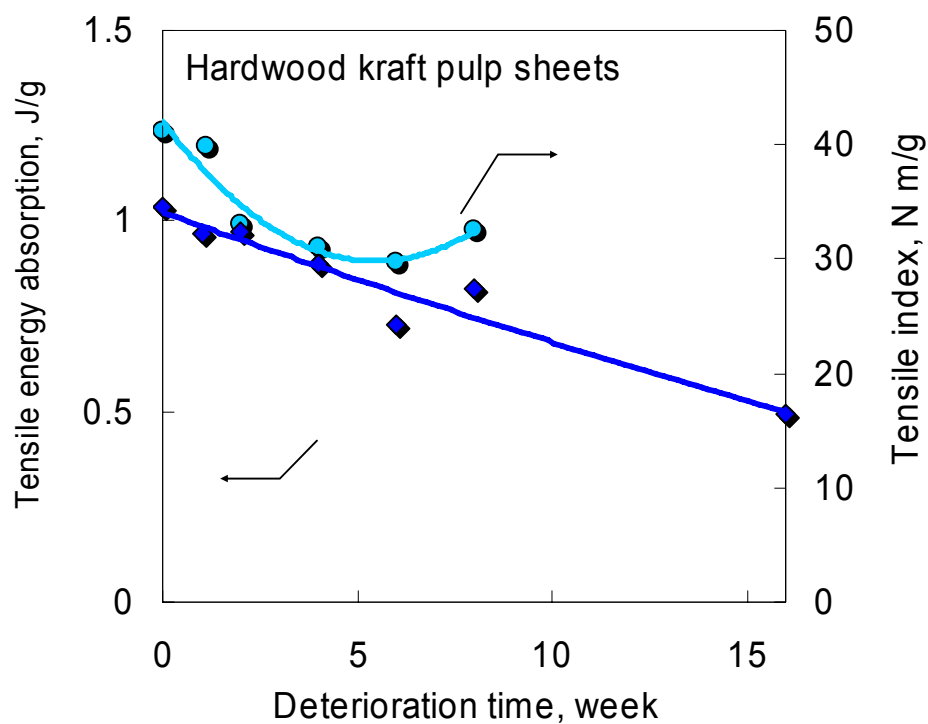


Fig. 3-18 Changes in tensile energy absorption index of wood pulp sheets with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH.

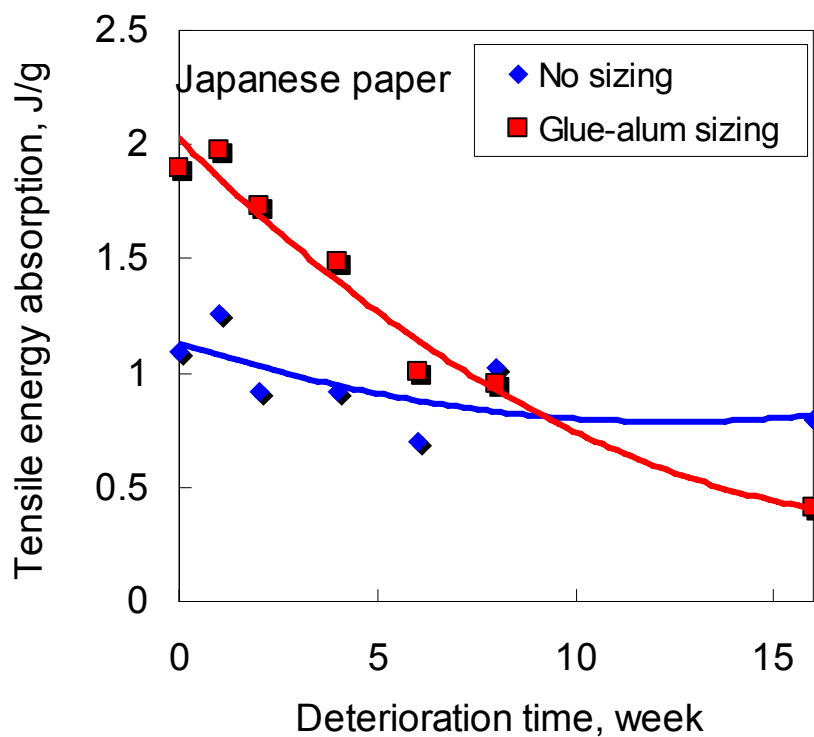


Fig. 3-19 Changes in tensile energy absorption of Japanese papers with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH.

TEA は、引張強さと引張破断伸び（破断までに伸びる長さ）の積であり、強度が上がったとしても十分伸びる前に破断する場合は TEA が増加しない。湿熱劣化による角質化は、分子鎖が集合して結晶構造をとるようになるので個々の分子同士にずれが生じなくなる。そのため伸びる余裕がないまま切断してしまうのである。結果的に破断伸びが大きく減少する影響の方が、強度上昇よりも大きいいため、湿熱強制劣化とともに TEA は単調減少すると考えられる。図 3-20 は、和紙のドウサ塗布試料及びドウサ未塗布試料の引張破断伸びを示す。TEA のグラフと非常によく似た傾向を示しており、TEA は湿熱強制劣化を受けた紙の破

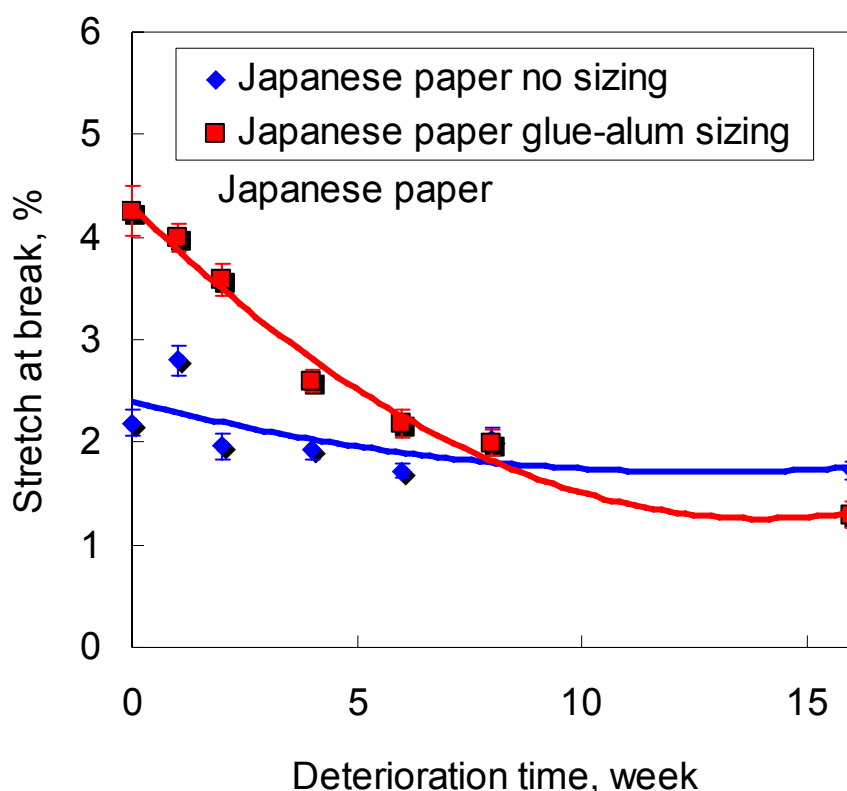


Fig. 3-20 Changes in stretch at break for Japanese papers with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH.

断伸びを示しているとも言える。

図 3-21 は、各試料の引張破断伸びを示す。木材パルプ手抄き紙では、湿熱強制劣化の初期にはばらつきはあるものの破断伸び量に大きな変化はなく 4～5%を保ち、16 週間では明らかに減少していると言える。先の図で比引張強さにもばらつきが見られたが、その積である TEA は漸減の傾向を安定して示しているこ

とが改めてわかる。酸性紙の結果はばらつきが少なく、湿熱強制劣化により確実に破断伸びが減少した。

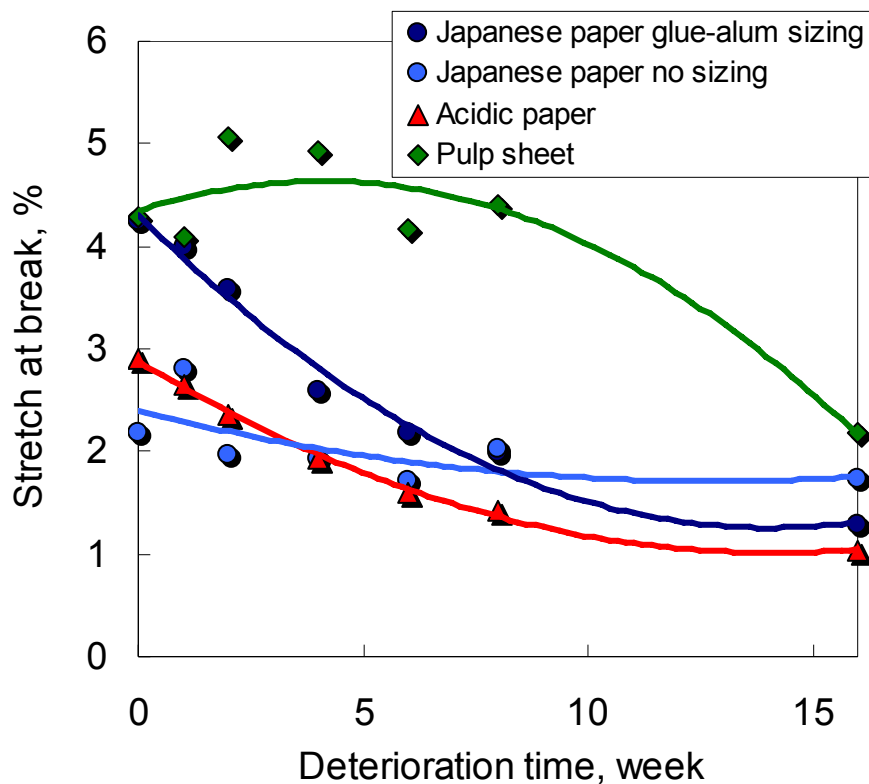


Fig. 3-21 Changes in stretch at break of papers with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH.

図 3-22 は、湿熱強制劣化した酸性紙を水クリーニング処理した場合に破断伸び及び TEA がどう変化したかを示す。水クリーニング処理を行わなかった試料に比べて破断伸びが増加したことがわかる。吸水したあとの乾燥により、繊維が収縮したため、その分だけ引張試験中に伸びたためである。16 週間の湿熱強制劣化では、乾燥時にまり収縮しなくなるほどの角質化が進行していたか、収縮しても引張試験時にその収縮部分が引き伸ばされる前に破断したものと考えられる。TEA もほぼ同様の傾向を示したことから、水クリーニング処理に起因する TEA の変化は主に破断伸びの変化であることがわかる。

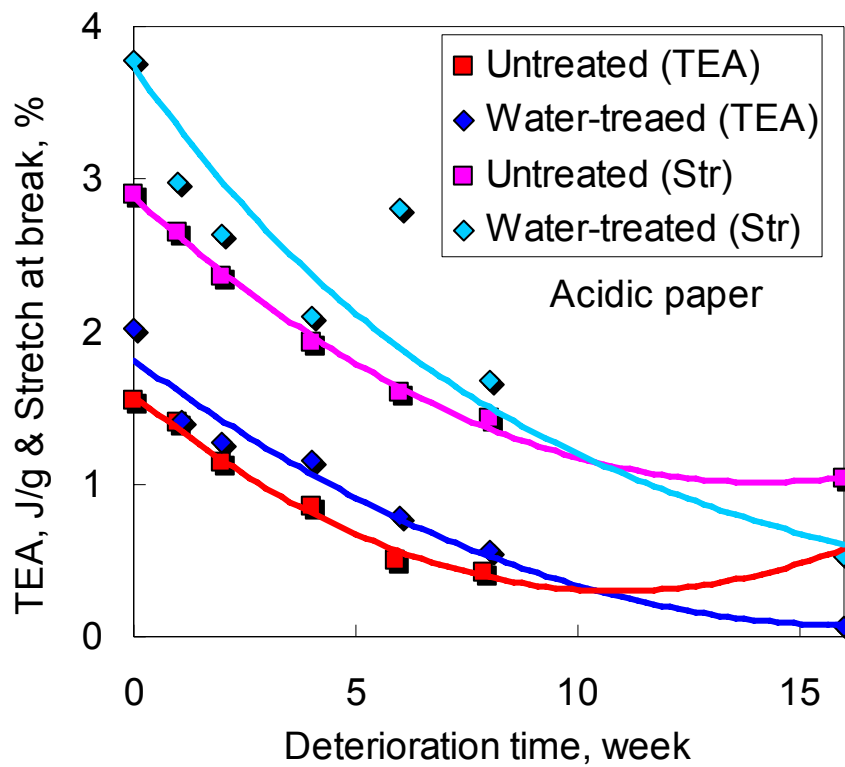


Fig. 3-22 Changes in TEA and stretch at break of water-treated and untreated acidic paper with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH.

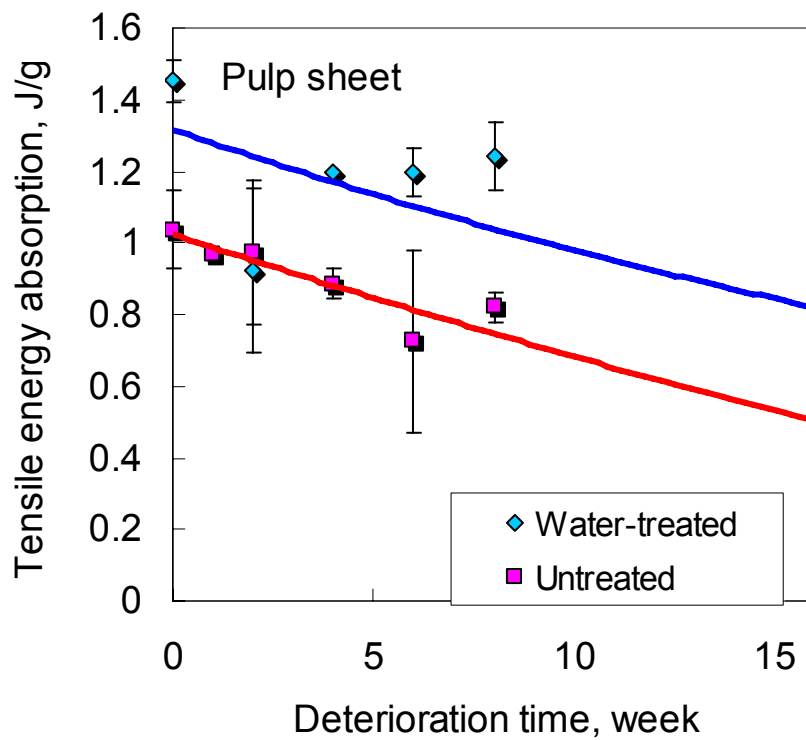


Fig. 3-23 Comparison in changes in TEA of water-treated and untreated pulp sheet with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH.

図 3-23 は、水クリーニング処理がパルプシートの TEA に及ぼす影響を示して

いる。水クリーニング処理により TEA は明らかに増加した。これも破断伸びの増加によるものと推測されたが、図 3-24 では、破断伸びは水クリーニング処理による増加傾向は見られなかった。破断伸びの増加がないとすれば TEA の増加が比引張強さの増加に由来することになるが、水クリーニング処理による比引張強さの増加があったかどうかは解析を行っていないが、通常は大きな変化がないと予測されるので、これらの関係は不明確のままである。

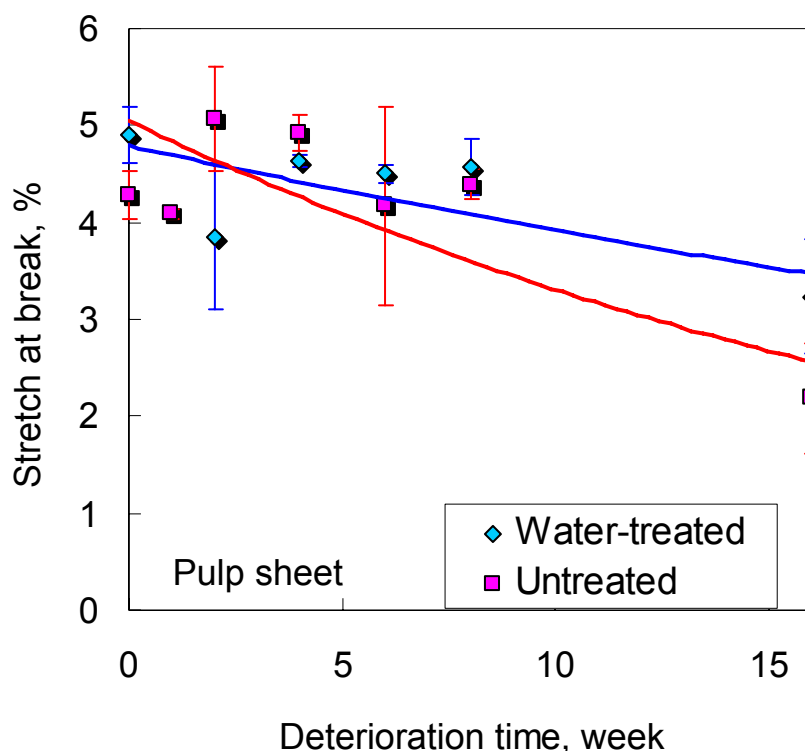


Fig. 3-24 Comparison in changes in Stretch at break of water-treated and untreated pulp sheet with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH.

(3) ゼロスパン引張強さ

図 3-25 は、各試料の比ゼロスパン引張強さを示す。酸性物質を含まないパルプシートでは、湿熱劣化期間 8 週までは単繊維の強度を示す比ゼロスパン引張強さは低下しなかった。酸性紙では、劣化期間が長くなるとともに比ゼロスパン引張強さが低下した。一方、酸性のドウサ塗布和紙では、劣化期間 8 週までは有意な低下は認められず、16 週で大きく低下した。未塗布和紙試料では、劣化期間 1 週から 2 週にかけて低下が見られるが、後掲の図 3-27 からわかるように誤差が大きく、1~8 週のすべての期間で有意な低下は起こらなかったと言える。なお、酸性紙及び和紙については縦方向 (MD) と横方向の幾何平均

($\sqrt[3]{MD \cdot CD}$) の値を示してある。ドウサ塗布和紙が湿熱劣化初期において単繊維強度を維持しているという結果は、図 3-17 の比引張強さにも同様の傾向が現れており、酸加水分解によるセルロース分子鎖の切断による強度低下と、並行して起こる角質化が拮抗して、強度を維持していたものと考えられる。

図 3-26 は、水クリーニング処理によって酸性紙の比ゼロスパン引張強さがどのように変化したかについて、MD、CD の方向別、及び両者の幾何平均を示す。両方向とも水クリーニング処理による変化は認められなかった。比引張エネルギー吸収量 (TEA) は、図 3-22 からわかるように、水クリーニング処理後の繊維の収縮が引張試験時に伸ばされるために水クリーニング処理が TEA を大きくすると推測したが、水クリーニング処理が繊維強度そのものには変化を与えないというここでの結果はその推測を支持している。

図 3-27 は、未塗布和紙試料の比ゼロスパン引張強さが水クリーニング処理の前後でどのように変わるかを示す。CD 方向では水クリーニング処理の影響はまったく見られなかった。MD 方向では水クリーニング処理によって比ゼロスパン引張強さが大きくなる場合や小さくなる場合が混在したが、誤差が大きく、水クリーニング処理の有意な影響はなかったと言える。

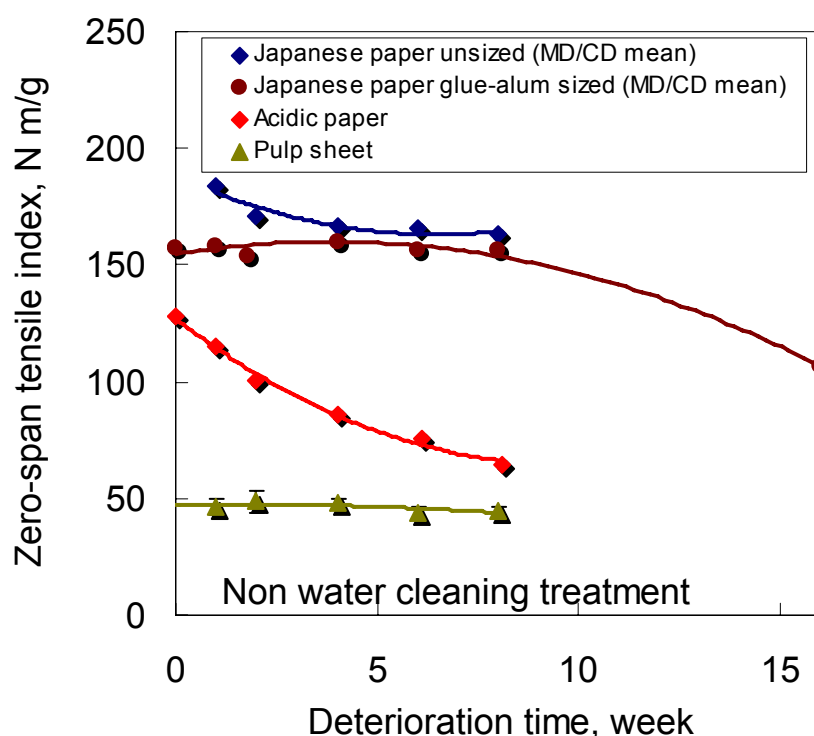


Fig. 3-25 Changes in Zero-span tensile index of papers with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH. The MD/CD means indicate geometric mean ($\sqrt[3]{MD \cdot CD}$).

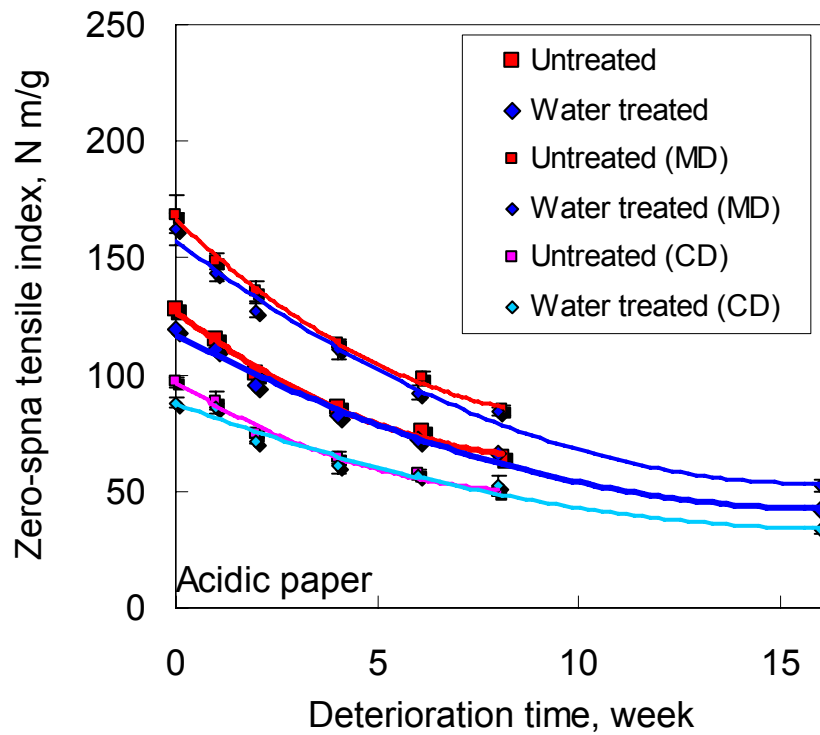


Fig. 3-26 Comparison in changes in Zero-span tensile index of water-treated and untreated acidic papers with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH. The central two curves indicate geometric means ($\sqrt[2]{MD \cdot CD}$).

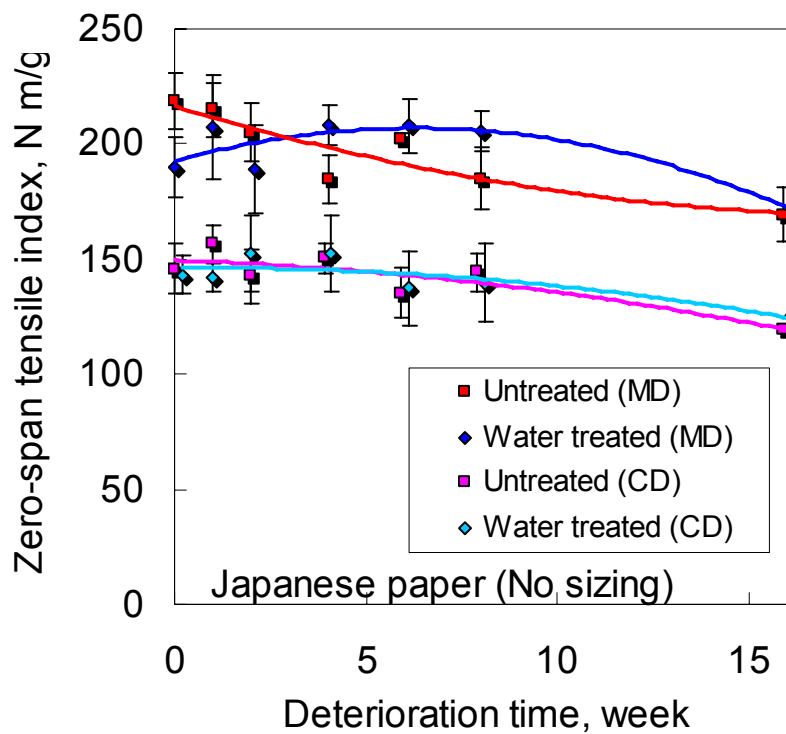


Fig. 3-27 Comparison in changes in Zero-span tensile index of water-treated and untreated Japanese paper (unsized) with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH.

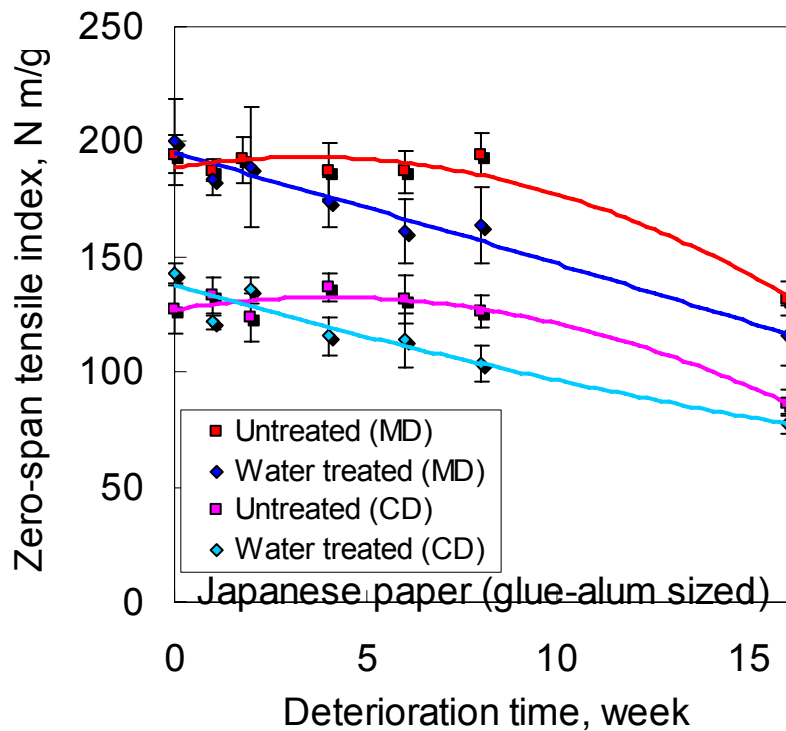


Fig. 3-28 Comparison in changes in Zero-span tensile index of water-treated and untreated Japanese paper (glue-alum sized) with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH.

図 3-28 は、同じくドウサ塗布和紙試料の結果を示す。未塗布試料に比べると、劣化期間 4 週以上で水クリーニング処理により比ゼロスパン引張強さが低下する傾向にあった。劣化したニカワが水に溶出し、見かけ上繊維強度が低下した可能性がある。

(4) 引裂強さ

図 3-29 は、湿熱劣化した各試料の比引裂強さを示す。引裂強さは繊維が長いと極端に大きくなる特性があり、広葉樹パルプ繊維からなる酸性紙や試験用パルプシート（右側軸の数値になる）に比べて、和紙の比引裂強さは非常に大きいことがわかる。ドウサ塗布和紙や酸性紙では、湿熱劣化処理時間が長くなるとともに大きく低下した。ドウサ塗布和紙は繊維自体の強度（比ゼロスパン引張強さ）や繊維間結合と繊維強度の両方が因子となる比引張強さ（図 3-17）は劣化期間 8 週程度では、大きな低下がなかったにも拘らず、比引裂強さの低下が進行したことは、強制劣化による角質化の進行により繊維が堅くなり、引裂抵抗の要因の 1 つとなる繊維の柔軟性が失われたことが原因となっていると考えられる。繊維が軸方向にまっすぐ引っ張られる引張試験（通常の引張試験と

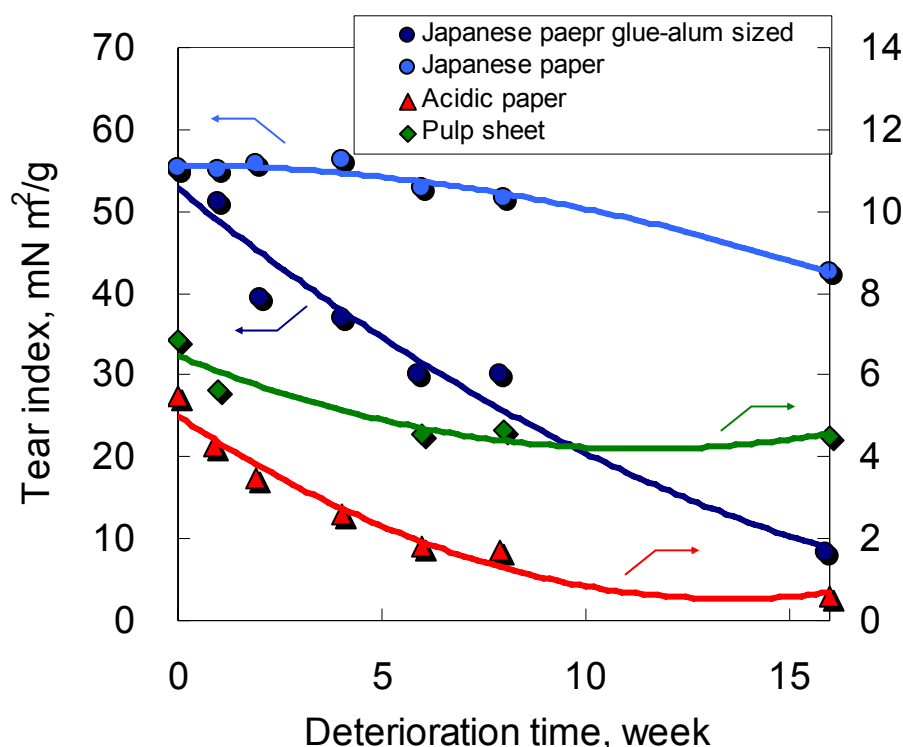


Fig. 3-29 Changes in specific tear strength of papers with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH.

ゼロスパン引張試験の両方) においては、繊維の柔軟性はあまり重要ではないと考えられる。

図 3-30 は、水クリーニング処理前後での湿熱劣化した酸性紙試料の比引裂強さがどのように変化したかを示す。8 週間の湿熱劣化処理で比引裂強さは 3 分の 1 程度に減少した。比引張強さの低下が 25%程度であったのに比べると大きく減少し、TEA あるいは引張破断伸びの低下と同様の傾向を示した。水クリーニング処理により、わずかながら TEA 同様の強度上昇がみられたが、TEA 及び引張破断伸びの上昇ほどではなかった。

図 3-31 は、水クリーニング処理前後での湿熱劣化したドウサ塗布和紙試料の比引裂強さがどのように変化したかを示す。水クリーニング処理によってやや引裂強さは向上するように見えるが、有意な変化とは言えない。

(5) 耐折強さ

図 3-32 は、湿熱劣化期間とともに耐折強さがどのように変化するかを、往復折り曲げ回数対数の対数で示したものである。耐折試験のときに試験片にかかる張力 (幅 15 mm あたりの荷重 g 数) が各試料によって異なることに注意していた

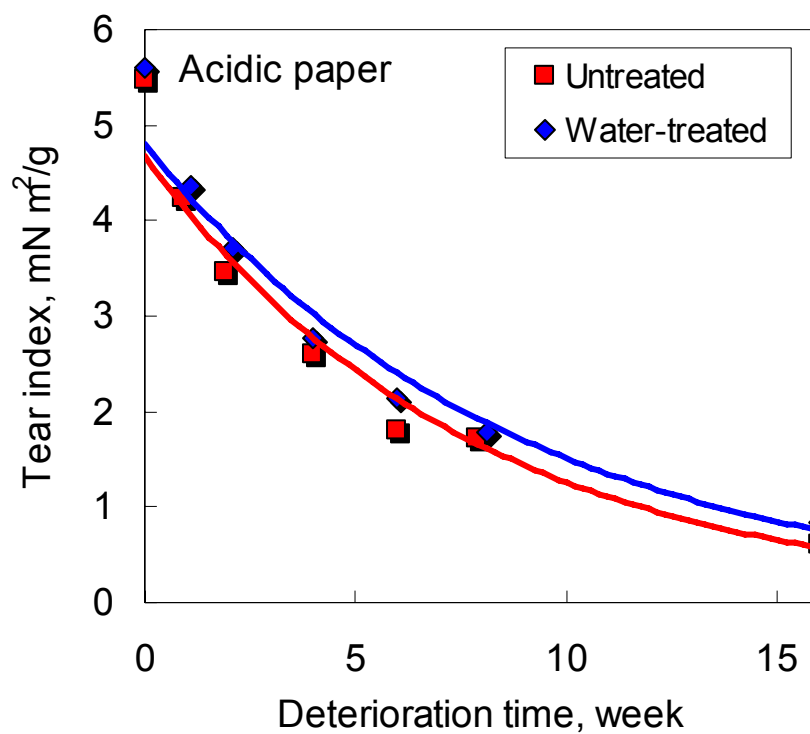


Fig. 3-30 Comparison in changes in tear index of water-treated and untreated acidic paper with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH.

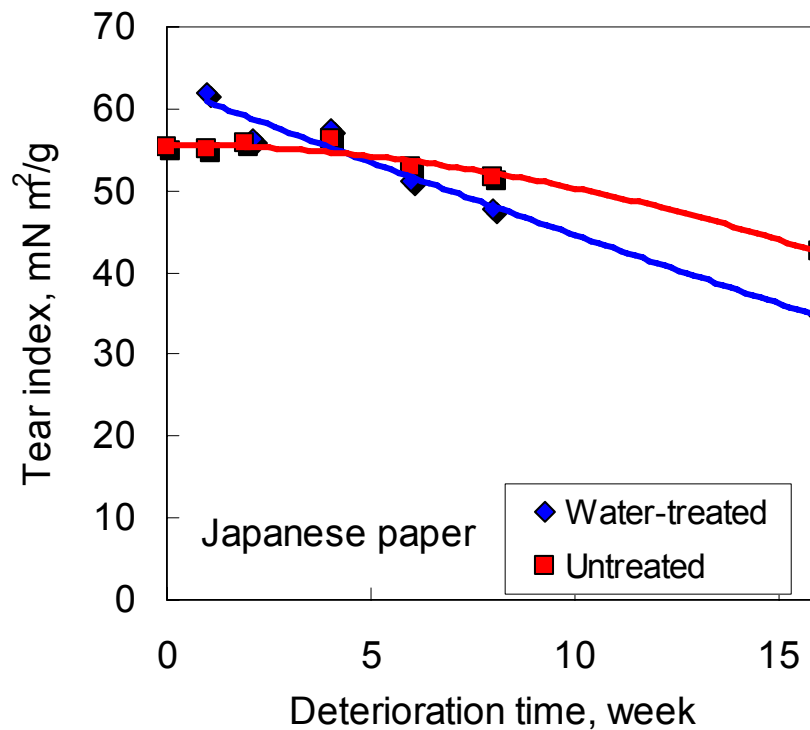


Fig. 3-31 Comparison in changes in tear index of water-treated and untreated acidic paper with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH.

だきたい。そのためここでは低下速度だけに注目する。パルプシート及び和紙

は劣化の進行とともに比較的緩やかに低下した。一方、酸性紙及びドウサ塗布和紙では、低下が急速に起きた。引裂試験同様、耐折試験では、繊維同士の摩擦力が強度に寄与する割合が大きい。劣化により単繊維強度が低下すると、この摩擦力が本来の最大値となる前に繊維の切断が起きてしまうため、繊維強度が耐折強さを決める重要な要因になると考えられる。

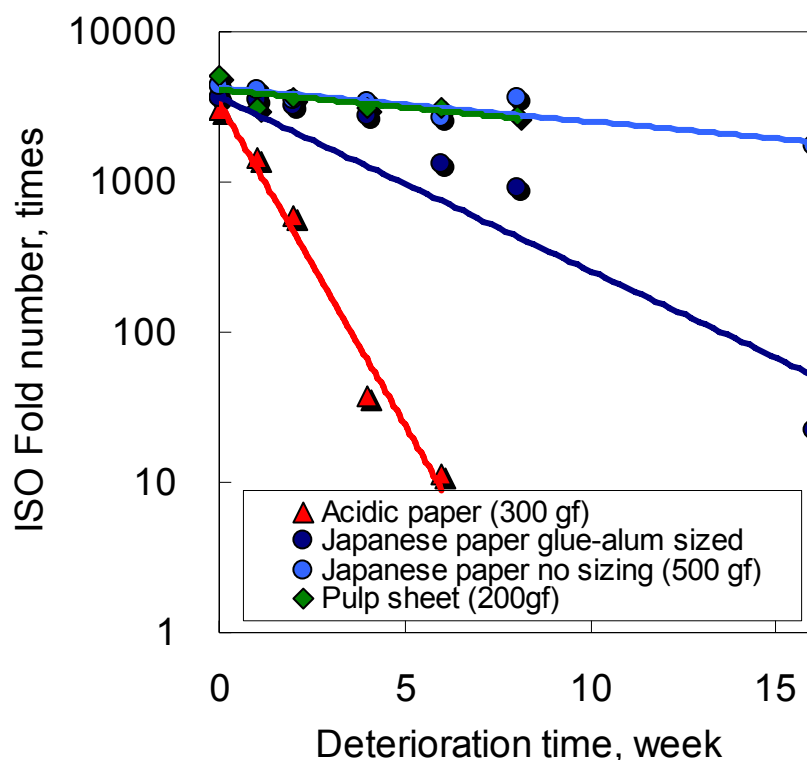


Fig. 3-32 Changes in ISO fold number of papers with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH.

図 3-33 は、水クリーニング処理前後での酸性紙の耐折強さ変化を比較したものである。水クリーニング処理により耐折強さが向上した。耐折試験中の繊維折り曲げ動作において紙の外側が伸ばされるが、水クリーニング処理後の乾燥工程中に生じた繊維の収縮部分が伸びることにより、応力の集中を緩和したための効果と考えられる。

図 3-34 は、同じく水クリーニング処理前後での広葉樹漂白クラフトパルプシートの耐折強さ変化を比較したものである。水クリーニング処理により耐折強さが向上する傾向がここでも見られる。

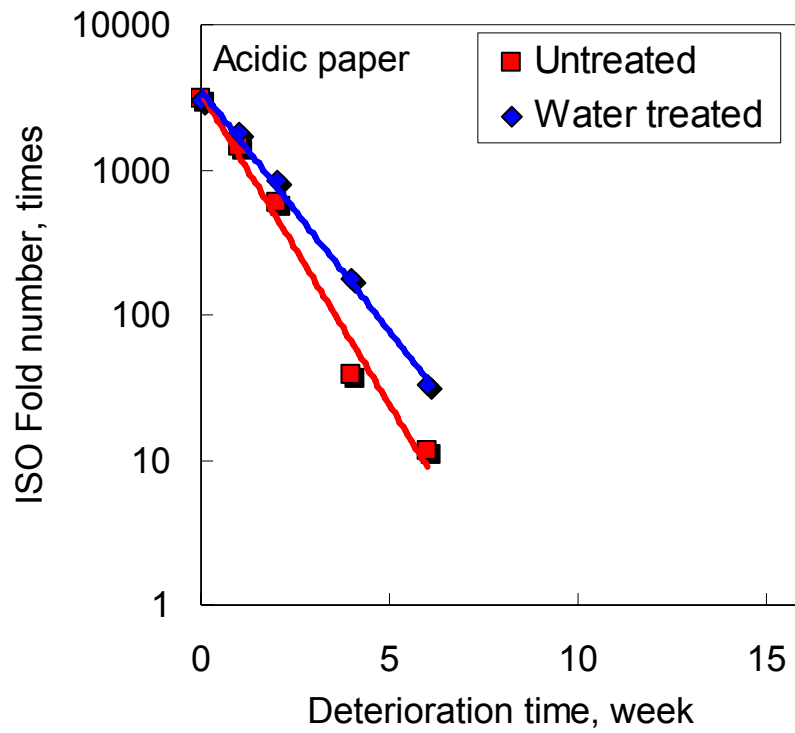


Fig. 3-33 Comparison in changes in ISO fold number of water-treated and untreated acidic paper with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH.

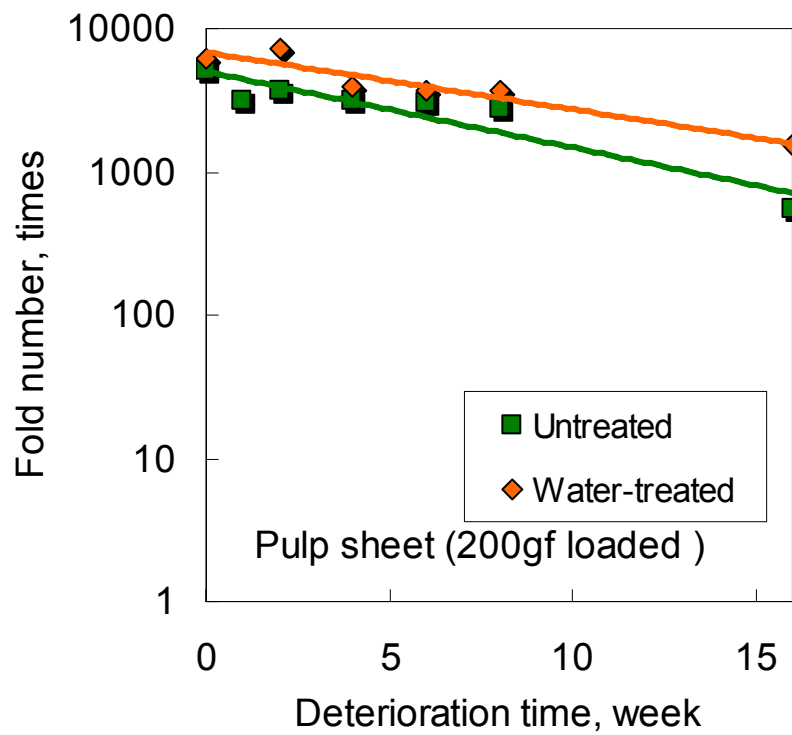


Fig. 3-34 Comparison in changes in ISO fold number of water-treated and untreated pulp sheet with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH.

3-4-4 比散乱係数

図 3-35～3-38 は、水クリーニング処理前後の比散乱係数変化を、それぞれ酸性紙、未塗布和紙、ドウサ塗布和紙、広葉樹漂白クラフトパルプシートについて示している。通常、水が繊維間結合を切ると繊維間に光の波長の 2 分の 1 の距離以上の隙間ができれば光をよく散乱するようになる。比光散乱係数の増加は繊維間結合の切断の証拠の 1 つとなる。酸性紙（図 3-35）の場合及び未塗布和紙（図 3-36）の場合は、水クリーニング処理により、むしろ低下が見られたが有意な差とは言い難い。ドウサ塗布和紙（図 3-37）の場合は、水クリーニング処理による比光散乱係数の変化は認められなかった。広葉樹漂白クラフトパルプシート（図 3-38）は、唯一、水クリーニング処理による比光散乱係数の増加が認められた。繊維間結合の破断を示唆する結果であるが、これに対応して比引張強さは低下した可能性があるが、比引張強さのデータを得ていない。

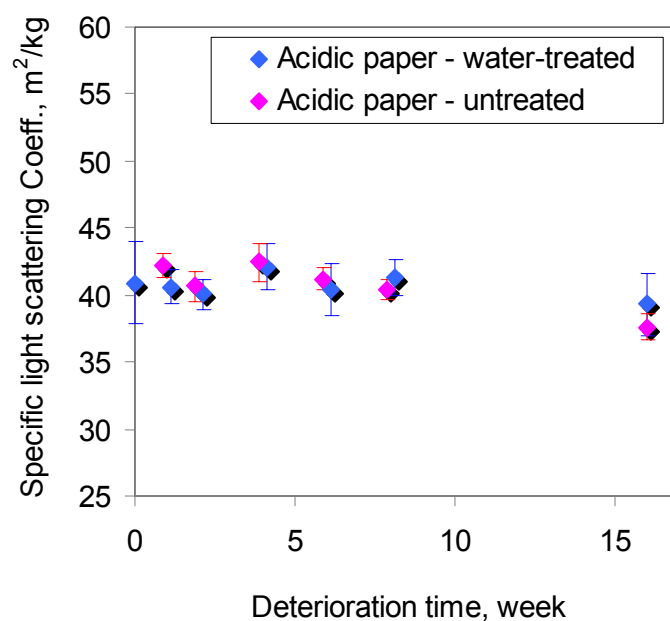


Fig. 3-35 Comparison in changes in Specific light scattering coefficient of water-treated and untreated acidic paper with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH.

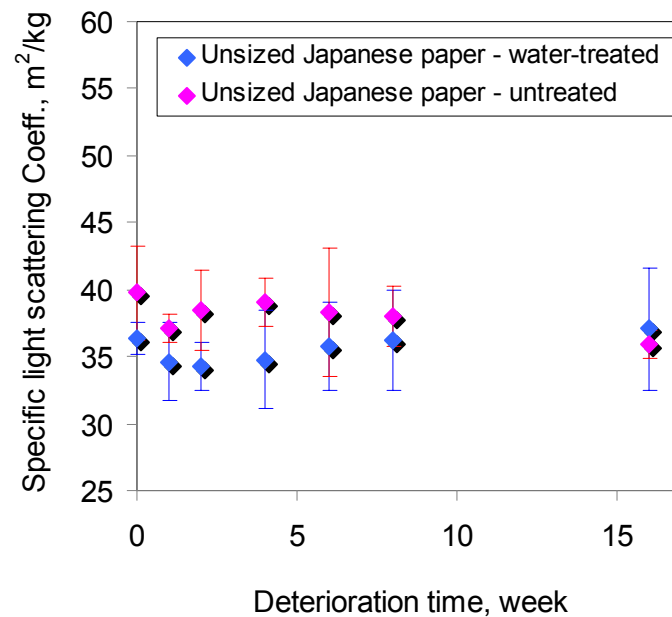


Fig. 3-36 Comparison in changes in Specific light scattering coefficient of water-treated and untreated Japanese paper (unsized) with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH.

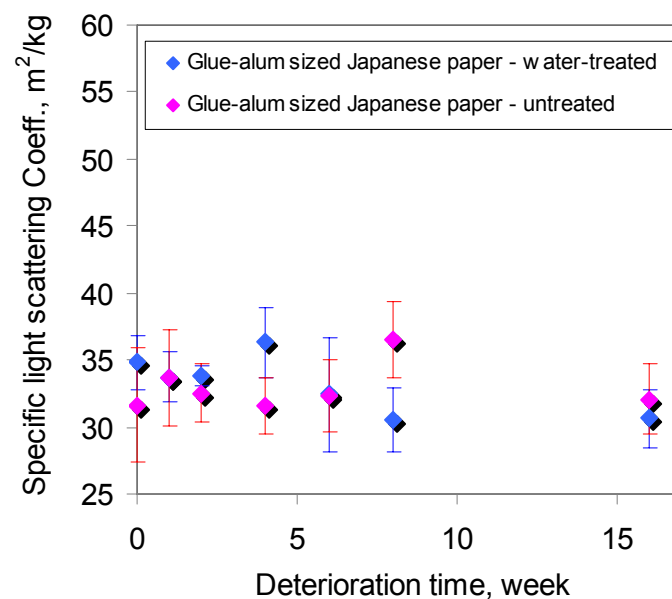


Fig. 3-37 Comparison in changes in Specific light scattering coefficient of water-treated and untreated Japanese paper (unsized) with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH.

3-4-5 湿熱強制劣化による物性変化のまとめ

湿熱強制劣化により、和紙未塗布試料と広葉樹漂白クラフトパルプの pH は低下した。空気中の酸素により、セルロース中にカルボキシル基が生じて酸性化

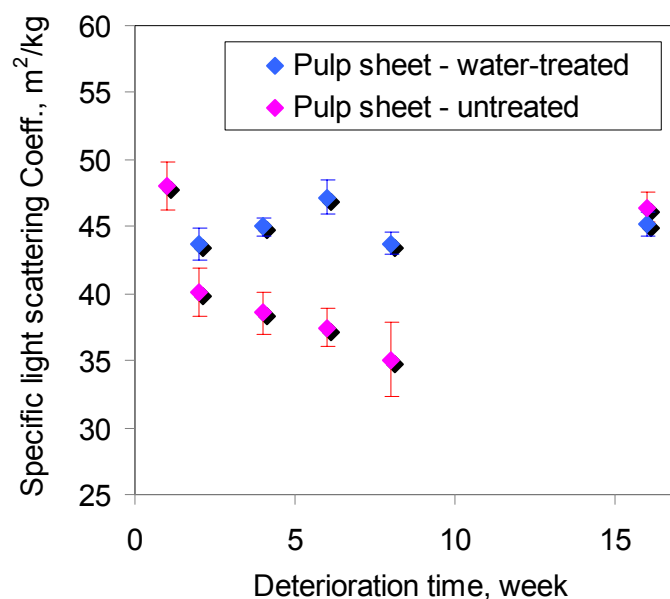


Fig. 3-38 Comparison in changes in Specific light scattering coefficient of water-treated and untreated Japanese paper (unsized) with time of deterioration at 80 °C and 65 %RH.

したと考えられた。酸性物質を含むドウサ塗布和紙と酸性紙にもカルボキシル基が生じるが、既に存在するミョウバン及び硫酸アルミニウムの解離度が高く、pH の低下は見られなかった。

水クリーニング処理により、酸性紙及びドウサ塗布和紙からは酸性物質が溶出するため pH が上昇した。劣化が進行すると角質化のために溶出しにくくなり pH の上昇は少なくなった。

色については、酸性紙は湿熱強制劣化により明度の値は、中性の紙より大きく低下した。水クリーニング処理ではその着色物質が溶出して、明度が再び上昇するため、これらの試料では色差の変化が大きくなった。和紙未塗布試料・礬水塗布試料ともに同様に明度の回復が見られた。しかし、ドウサ塗布和紙については変色量に比べて水クリーニング処理による色の回復が少なく、水溶性ではない着色物質が多く生成した可能性が示唆された

機械強度試験についてまとめる。湿熱強制劣化処理による紙の比引張強さは、酸性紙は酸加水分解によりセルロース重合度が小さくなることで低下した。和紙は、ドウサ塗布の有無に関係なく角質化により上昇した。ドウサ塗布和紙では湿熱劣化 6 週以降は下降に転じた。比引張エネルギー吸収量 (TEA) は、湿熱劣化 2 週以降ではすべての試料で低下した。この原因は、湿熱劣化による角質化、すなわち結晶化の進行により破断伸びが低下したためであることがわか

った。水クリーニング処理によって、破断伸びが増加した。吸水後の乾燥工程で繊維が収縮した分だけ引張試験中に伸びたためである。ゼロスパン強さに関しては、パルプシートでは変化がなく、酸性紙は大きく低下した。和紙では変化がなかったが、湿熱劣化 16 週のドウサ塗布和紙では低下した。水クリーニング処理は概ねゼロスパン強さを変化させなかった。ドウサ塗布和紙でのみ、湿熱劣化 4 週以上で低下した。

ドウサ塗布和紙や酸性紙では、湿熱劣化による角質化により繊維の柔軟性が失われ、大きく低下した。水クリーニング処理により比引裂強さの向上が見られる試料もあった。耐折強さは、酸性の紙（酸性紙とドウサ塗布和紙）では、大きく低下したが、それ以外の試料では低下は緩やかであった。引裂強さと耐折強さは繊維間の摩擦力が重要な要因となるが、単繊維強度の低下が起こると摩擦力が増加していく過程で繊維の破断が起きることが推測された。水クリーニング処理により耐折強さが向上した。

比散乱係数は、水クリーニング処理による有意な変化がほとんど見られなかったが、広葉樹漂白クラフトパルプシートだけは比光散乱係数の増加が認められた。繊維間結合の破断を示唆する結果である。

3-5. 水クリーニング処理による影響のまとめ

水クリーニング処理による影響に着目し、物性変化を表 3-2 にまとめた。

表 3-2 水クリーニング処理による物性変化					好効果	逆効果		
		色差	pH	TEA	引裂	耐折	ゼロスパン	比散乱係数
酸性紙		↓	↑	↑	↑	↑	—	—
和紙	未塗布	—	↓	↑	—	—	—	—
	ドウサ塗布	↓	↑	↑	—	—	↓	—
手抄紙		↓	—	↑	↑	↑	—	↑

引用文献

- 1) 沢田正昭、「2-10 保存修復」、『文化財保存科学ノート』、近未来社（1997）
- 2) 「4 小川家文書の補修方法と経過」、有限会社 紙資料修復工房、『小平市中央図書館所蔵小川家文書への保存修復処置報告書要旨集』（2006）

- 3) 『図解 日本画用語事典』、東京芸術大学大学院文化財保存学日本画研究室編、東京美術（2007）
- 4) 『紙パルプの試験法』、紙パルプ技術協会、p213-217（1995）
- 5) 稲葉政満、杉下龍一郎：和紙の劣化に及ぼすドウサの影響、古文化財の科学、31、p.32-40（1986）
- 6) 内田夕貴：紙作品に施す水洗法の評価：東京芸術大学大学院文化財保存学専攻保存修復（油画）修士論文（2005）

4. 打ち紙処理により高密度化したシートの濡れ伸び挙動

4-1. 本研究の背景と目的

古文書、史料、絵画等の紙文化財の復元補修には、その紙文化財と同様の紙質を有する紙を使用することが望ましい。修復箇所が十分わかる範囲内で修復後の外観に違和感のないこと、修復自体が本紙を損傷したり将来的に損傷を与えたりする可能性を極力排除することが重要である。紙の製造工程における各種の処理は紙の物性に様々な影響を与えるが、時代を経て寸法安定性のよくなった紙文化財に新しい復元補修紙を当てて固定すると、吸放湿による伸び縮みのために本紙を傷める可能性もある。伸びや強度に影響すると考えられる処理工程の一つに"打ち紙（うちがみ）"がある。紙を緻密にすることにより墨のにじみを抑え筆記性を向上させることが本来の目的である。板張り等の乾燥後に再度紙を湿らせて木槌や杵で叩くことにより、密度が高く表面の平滑な紙に加工できる。湿らせた状態で叩くため繊維間の水素結合が増加して強度が向上することも考えられる。現在の和紙の製造工程において打ち紙による仕上げを行うことは、通常の工程には取り入れられていない。しかし、江戸期以前は抄紙工程の中に打ち紙工程が確固として組み込まれていたことが文献からも明らかである。韓国の伝統的手漉き紙である韓紙（Hanji）では、現在も打ち紙工程を経て紙を製造している。現代の和紙の製造工程で何故打ち紙工程が省略されていたかは不明であるが、古文書の復元補修には本紙に合わせて打ち紙処理した和紙を使用することが多い。しかしながら、現代の打ち紙処理が江戸期以前の打ち紙処理を正確に再現しているかどうか不明であり、どの程度の強さで処理すれば適切か、打ち紙がどのような紙の物性変化を引き起こすのか、などわからない点も多い。本研究では、これらを明らかにするために、まず再現性のある打ち紙処理を行えるシステムの開発を目的として、自動化された打ち紙試験装置を試作した。次に、問題と考えられる点として、江戸期までに製造された紙の物性が経年変化、—乾湿の繰り返し等による何らかの変化—を受けているはずであるが、その和紙が打ち紙処理を経ているからと言って、補修紙にも当時行われていたような打ち紙を施せば、違和感のない補修をしたと言えるのかどうかである。特に乾湿繰り返しによる収縮が起こったとすれば補修紙はこれからその収縮が起こるのであり、それが文化財本紙を傷める懸念がある（図 4-1）。そこで、打ち紙によって生じる紙の物性変化を明らかにするとともに

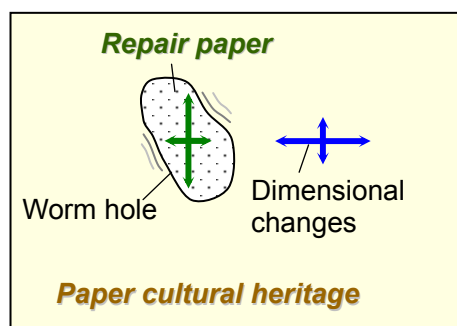


Fig. 4-1 Dimensional changes of cultural heritage paper and repair paper for patch



Fig. 4-2 Automatic pounder

に、吸水、吸湿による寸法変化についてについて評価することにした。特に注目した点は、濡らした紙の衝撃圧縮処理により繊維間結合が生成するのか、引張強度は向上するのか、紙が濡れた場合の伸びが抑えられるかの3点である。

4-2. 自動打ち紙試験装置の製作と制御

図 4-2 に自動打ち紙試験装置の写真を示す。ハンマーを空気圧で瞬間的に打ち下ろし、硬質樹脂製のステージ上に置かれた紙を局所的に圧縮する。ハンマー直径は 25 mm で先端部はゆるく丸み（曲率半径約 300 mm）がつけられているため、実際には直径約 5mm 程度の領域に強く作用する。空気圧は、0.10～1.00 MPa の間で調整できる。ステージが左右

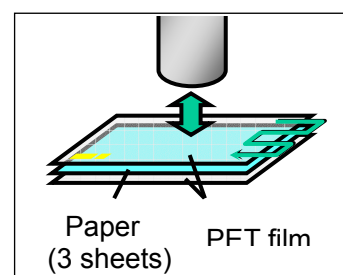


Fig. 4-3 Sheet stack in paper pounding

方向に約 300 mm、ハンマーが前後方向に約 250 mm の範囲で移動させることができ、処理範囲は A4 判の紙のほぼ全面である。ハンマーの打ち動作、XY ステージ(紙)の位置はパソコンから制御することができ、1箇所あたりの打ち回数、紙の移動での1ステップの距離、打ち領域の縦横の長さ、一連の打ち動作の繰り返し数を入力すると自動的に打ち紙作業を行う。また、ハンマーは手動でも打てるようになっている。ステージ上に置いた紙試料は、図 4-3 に示すように3枚重ねとし、その上側になるハンマー側に PET フィルムシート（厚さ 100 μm ）10枚を重ね、下側になるステージ側に1枚を敷き、処理を行なった。

4-3. 試料

4-3-1 試料の種類

コピー用紙は新聞古紙を主原料としている古紙パルプ配合率 100%の再生

表 4-1 打ち紙処理を行った試料

紙の種類	繊維組成等	坪量(g/m ²)	厚さ(μm)
コピー用紙	100% リサイクル	67.2	86
和紙	コウゾ、機械抄き	33.2	74

紙である。和紙（濱田製紙製）は、繊維長 10～20mm の楮（コウゾ）の繊維のみを使用し、添加剤等は一切使用せずに抄紙機により製造したものである。表 4-1 に主な特性を示す。

4-3-2 試料の含水率調整と打ち紙条件

標準的な条件として、ハンマーを駆動する空気圧を 0.15 MPa、紙の移動距離ピッチを、前後左右方向とも 2 mm とし、必要面積全面を打ったあと、前後左右方向で各 1mm ずらして（格子を形成する 1 回目 4 点の各中央に）2 回目を打ち、これを 1 回の衝撃圧縮処理（以下、単に圧縮処理と呼ぶ）とした。空気圧は 0.15、0.20、0.30、0.50 MPa の 4 水準に調整して行い比較した。圧縮処理時点での紙試料の含水率は、（気乾状態に対し）0、2.5、5.0、7.5、10.0 % の 5 水準で比較した。所定の含水率とするために次のような処理を行なった。完全に水に浸漬したあと（図 4-4(a)）、10 分程度水を切り(b)、両側を乾燥した同種の試料で挟み(c)、さらにその上に厚手のろ紙で挟み(d)、木製の板に挟んで 343 kPa で 5 分間プレスし

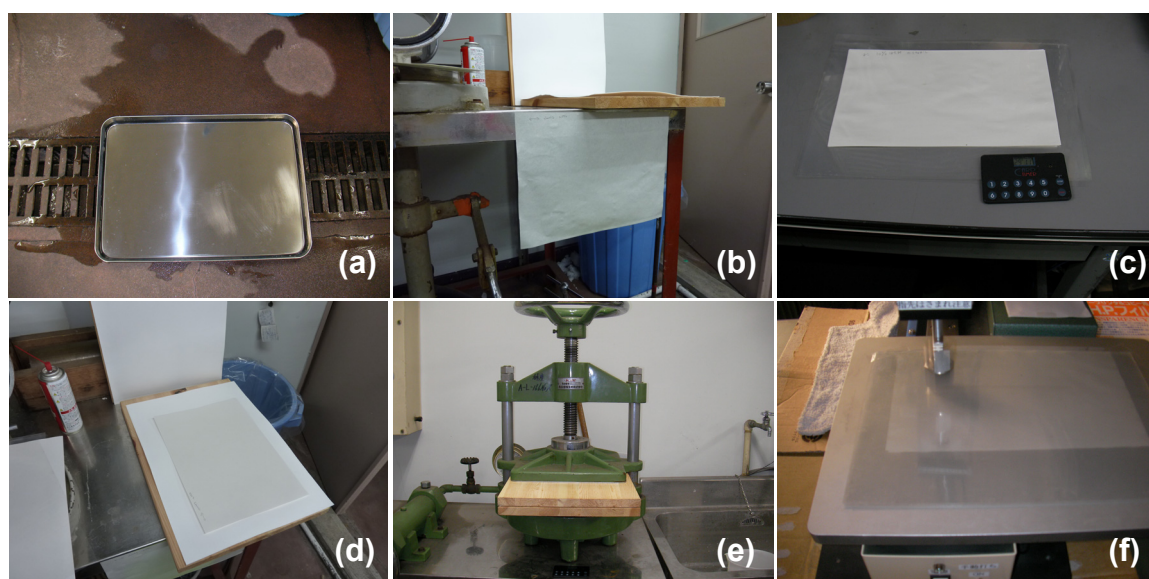


Fig. 4-4 Procedure of moisture content adjustment.

た(e)。試料を取り出し、所定の含水率となるまでろ紙に挟んでゆっくり乾燥させた。時々質量を測定し、所定の含水率になったら PET フィルムで挟んで打ち紙処理を行った(f)。

4-3-3 観察及び測定した物性

(1) 観察及び構造的物性の測定

走査型電子顕微鏡 (SEM、日立製 S-4000) による観察を行い、JIS に従って、密度、平滑度、透気抵抗度 (いずれも旭精工製 王研式透気度平滑度計) の測定を行なった。

(2) 引張試験

引張試験は、JIS P 8113 に従い、比引張強さ ($\text{N}\cdot\text{m/g}$)、引張破断伸び (%)、比引張エネルギー吸収量 ($\text{mJ}\cdot\text{m}^2/\text{g}$)、引張弾性率 (GPa) を測定した。JIS P 8227 に従い、乾燥状態でのゼロスパン引張試験を行い、比ゼロスパン引張強さ ($\text{N}\cdot\text{m/g}$) を測定した。

(3) 濡れ伸び

濡れ伸びは、図 4-5 に示す濡れ伸び測定器 (Emtec-スペクトリス社製 WSD02) を使用して測定した。約 180 mm スパンとなるようなクランプに試験片を挟み、真下の液だめ (通常、水) に素早く落下させる。水に接触した瞬間からの紙の伸びをクランプに取り付けられた微小回転角度読み取りセンサー (ロータリーエンコーダ) で測定する。濡れる部分の長さは 60 mm で、伸び量を 60 mm で除した割合を百分率で表示する。水と接触後 180 秒経過するまでの伸びを記録した。試験片の幅は 25 mm とし、標準の張力は、最小 1N (102 gf) であるが、この張力では、伸びが進行し続け 180 秒経過する前に破断に至る試料もあったため、重りを全てはずしたときの 285 mN (29 g) /25 mm とした。同一条件の試験を 4~10 回行ない平均した。

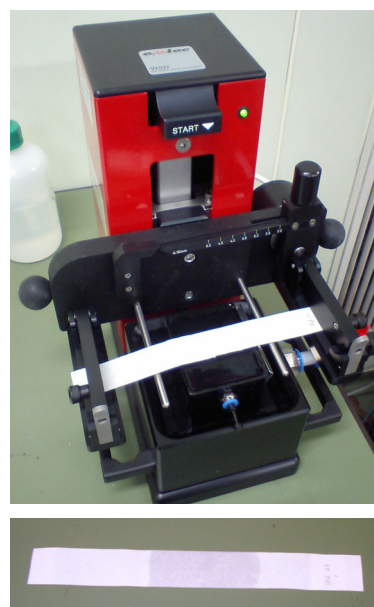


Fig. 4-5 Wet Stretch Dynamics Analyzer (WSD) and a sample right after measurement.

4-4. 結果と考察

4-4-1 外観の変化

図 4-6 に打ち紙処理した 10%含水率コピー用紙の反射光像(a)と透過光像(b)を示す。処理した部分は CD 方向に伸びるため波打ち、密度が増加して光散乱が減り、透明化することがわかる。

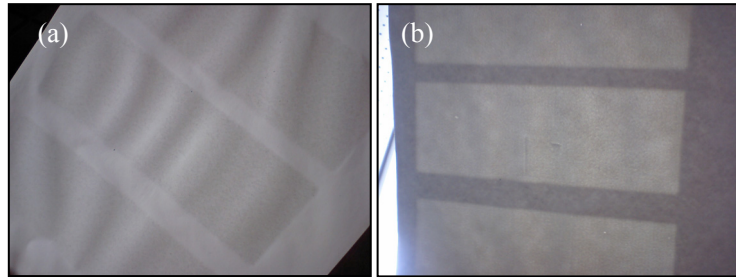


Fig. 4-6 Reflected light (a) and transmitted light (b) images of pounded copy paper.

4-4-2 表面及び断面の変化

図 4-7 及びは打ち紙処理前後の気乾コピー用紙表面及び断面の SEM 写真である。処理前の表面(a)は繊維間に隙間が多いが、0.30 MPa の圧縮圧力で打ち紙処理後(b)は隙間がほとんど消失した。断面写真の処理前(c)の繊維はルーメンが丸く観察されるが、新聞古紙を原料としており機械パルプが多く、その形状が観察されている。打ち紙処理後の断面(d)では機械パルプのルーメンが完全に潰れているのがわかる。

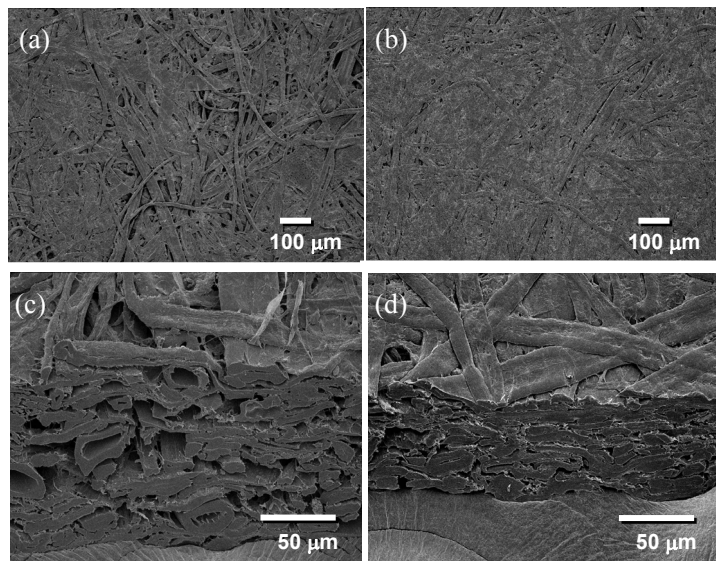


Fig. 4-7 Surfaces of compressed copy paper before (a) and after (b) paper pounding and cross-sections of compressed copy paper before (c) and after (d) paper pounding..

4-4-3 圧縮圧力と物性変化の関係（コピー用紙）

図 4-8 は、気乾コピー用紙が、圧縮圧力（ハンマーを駆動する空気圧）の増加とともに密度、平滑度、透気抵抗度が上昇することを示す。密度は 0.2 MPa の圧縮圧力で、約 1.0 g/cm³ に達し、それ以上空気圧を上げてほとんど変化がなかった。

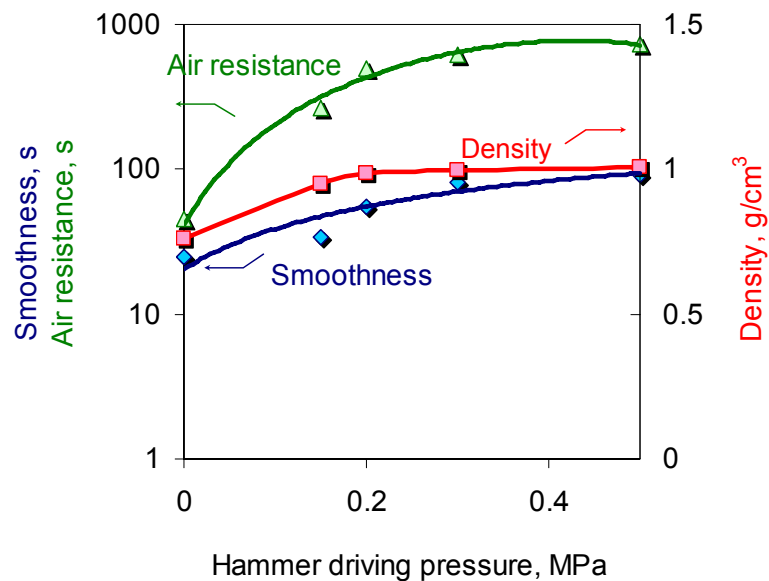


Fig.4-8 Structural properties of pounded copy paper vs. hammer driving pressure.

図 4-9 は、同じくコピー用紙の光沢度変化を示す。圧力は、0.2 MPa 程度でほぼ一定値になるが、光沢度はまだ上昇傾向にあった。高压での打ち紙処理はそれ以上圧縮作用は持たないが、表面の微小な変形はさらに進んで表面の平滑化を進めると考えられる。なお、この高光沢化は重ねられた PET フィルムに当たっている面で進行するので、カレンダーリングにおいてロールの鏡面が転写して光沢が発現するのと同様に平滑面が形成されているのである。

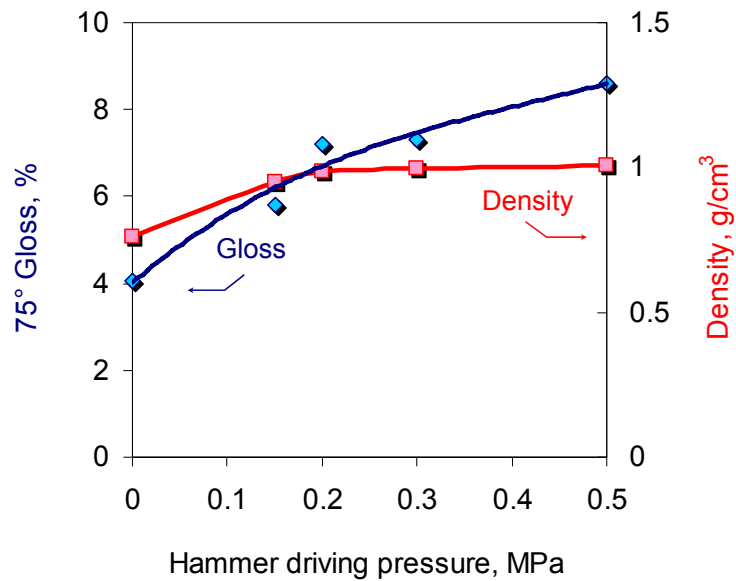


Fig. 4-9 Gloss of pounded copy paper vs. hammer driving pressure.

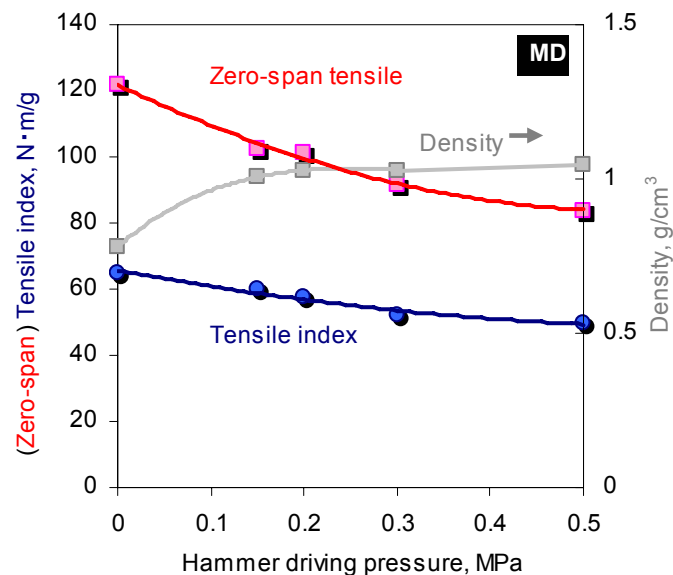


Fig. 4-10 Tensile properties (MD) of pounded copy paper vs. hammer driving pressure.

図 4-10 は、同じく圧縮圧力を変えたときのコピー用紙の MD 方向の比引張強さと比ゼロスパン引張強さを示す。圧縮圧力の増加とともに繊維自体の強度を示す比ゼロスパン引張強さは大きく低下し、100 mm スパンの比引張強さも明らかに低下したが、主に繊維強度低下の影響と考えられる。密度は 0.20 MPa 以上では変化が少ないにもかかわらず、圧力が大きくなるに従い、繊維の損傷が大きくなり、繊維の軸方向の強度が低下したと考えられる。

図 4-11 に示すように、引張破断伸び及び比引張エネルギー吸収量はわずかに減少傾向を示した。引張弾性率（ヤング率）は打ち紙処理により大きくなった

が、張力の増加率を断面積で除して得られるのが引張弾性率であるため、厚さの減少によって計算上増加が見られただけで実質的に弾性率が上がったわけではない。

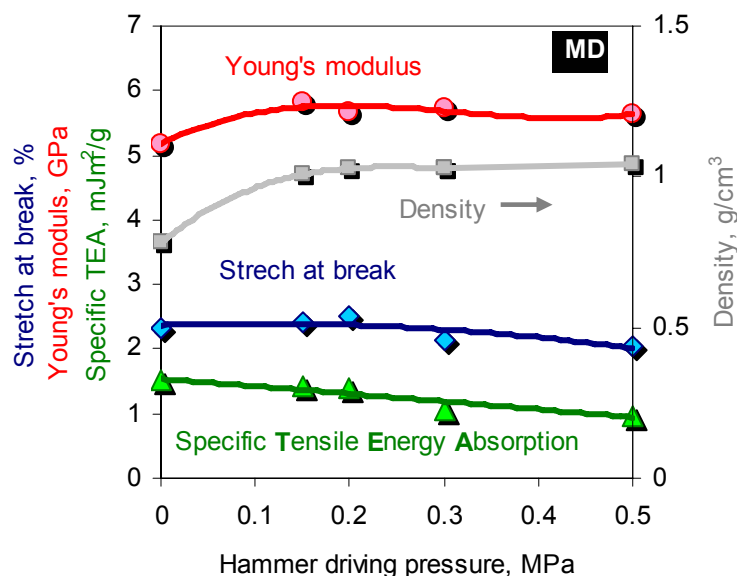


Fig. 4-11 Stretch at break etc (MD) of pounded copy paper vs. hammer driving pressure.

図 4-12 に示すように、コピー用紙の CD 方向の引張試験結果では、繊維自体の引張強度を示す比ゼロスパン引張強さは、圧力の増加とともに低下した。ゼロスパン測定を CD 方向で行なうと、繊維強度だけでなく繊維間結合強度の影響が大きく現れるため、低下率は MD 方向に比べ小さかった。比引張強さは、圧

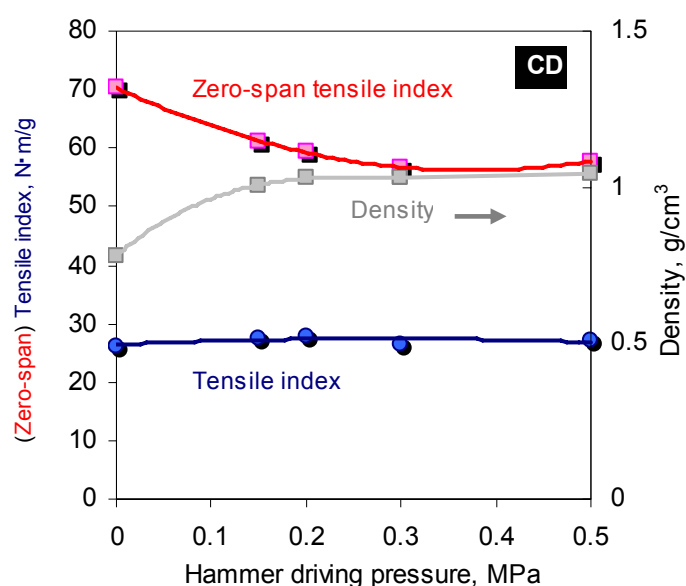


Fig. 4-12 Tensile properties (CD) of pounded copy paper vs. hammer driving pressure.

縮圧力に関わらずほぼ一定値になった。したがって MD 方向の比引張強さの低下 (図 4-10) は、繊維の軸方向の強度低下が主な要因であると考えられる。

図 4-13 に示すように、CD 方向の引張破断伸び、比引張エネルギー吸収量、引張弾性率は、いずれもほとんど変化しなかった。

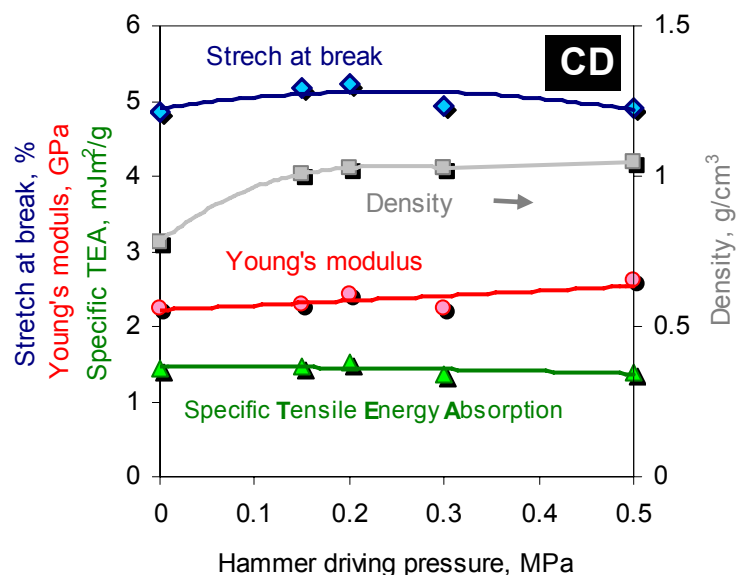


Fig. 4-13 Stretch at break etc (CD) of pounded copy paper vs. hammer driving pressure.

以上の結果から打ち紙処理の作用をまとめると次のようになる。繊維間の結合状態を維持しながら繊維が扁平になり、その結果紙の平滑性と密度は向上するが、繊維強度が低下する処理であると言える。

4-4-4 圧縮圧力と物性変化の関係 (和紙)

図 4-14 に示すように、和紙でも同様の傾向で、特に縦方向 (MD) の比ゼロスパン引張強さの低下が大きかった。ゼロスパン引張強さは、繊維の長い紙ほど繊維の強度そのものを示すことになるので、本実験で最も圧縮圧力が軽度であった 0.15 MPa のハンマーの衝撃でも大きく低下することがわかる。

図 4-15 に示すように、和紙の引張弾性率はやや増加したが、密度の増加により断面積が小さくなり、計算上増加したに過ぎず、実質的にはほとんど変化がない。引張破断伸びは繊維強度の低下により十分伸びる前に切断したため低下したと考えられる。この引張破断伸びの低下と繊維強度の低下が相乗的に作用し、比引張エネルギー吸収量は大きく低下した。

図 4-16 は、和紙の CD 方向の比ゼロスパン引張強さが低下し、比引張強さもやや低下したことを示しているが、その低下の程度は和紙の MD 方向よりは小

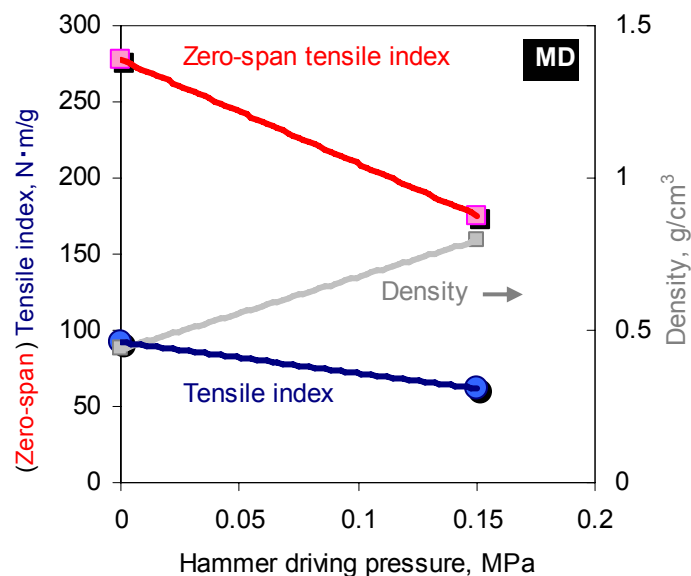


Fig.4-14 Tensile properties (MD) of pounded Japanese paper vs. hammer driving pressure.

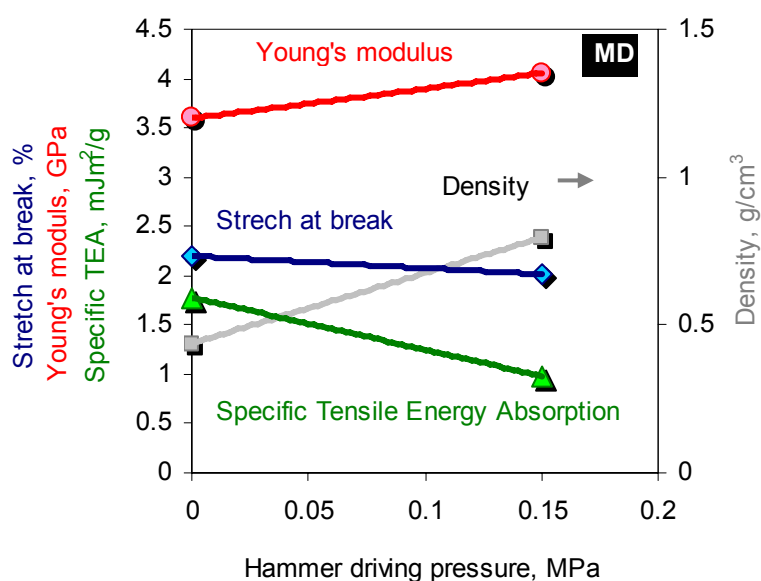


Fig.4-15 Stretch at break etc (MD) of pounded Japanese paper vs. hammer driving pressure.

さかった。この傾向はコピー用紙と同様であった。

図 4-17 は、和紙の CD 方向の引張破断伸びが増加したことを示している。和紙の MD 方向やコピー用紙の MD/CD 方向では、引張破断伸びは小さくなるか横ばいであったが、和紙の CD 方向だけ増加する傾向が見られた。これがなぜかはわからないが、このために比ゼロスパン引張強さが低下しているにもかかわらず、TEA は、打ち紙処理を行っていない試料とほぼ同程度を維持していた。打

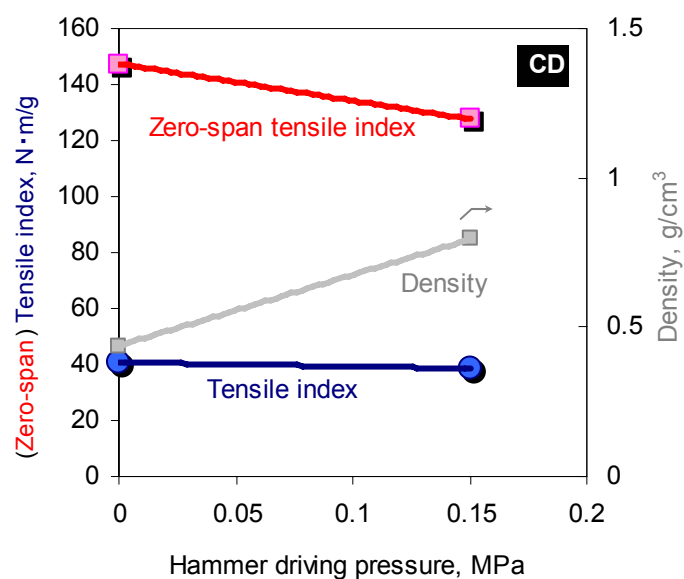


Fig. 4-16 Tensile properties (CD) of pounded Japanese paper vs. hammer driving pressure.

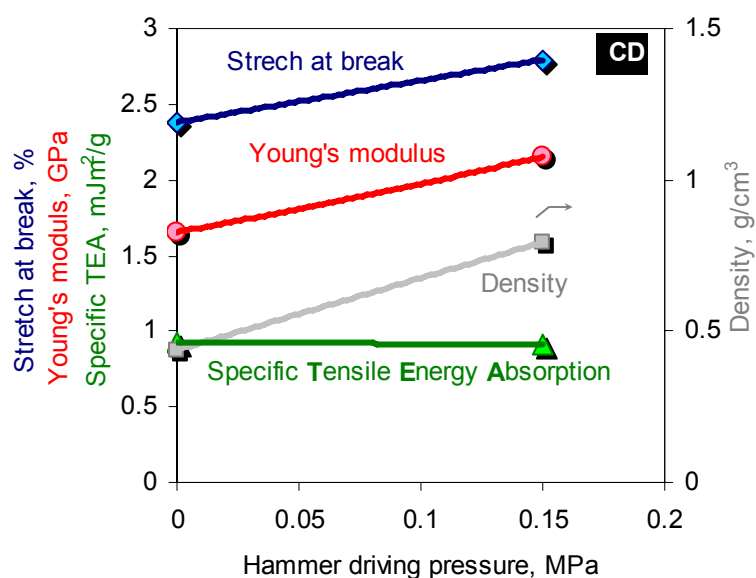


Fig. 4-17 Stretch at break etc. (CD) of pounded Japanese paper vs. hammer driving pressure.

ち紙によって CD 方向によく伸びる紙ができるわけであるから張力に対する抵抗性が CD 方向で大きくなり、補修紙としての適性があると言えるかもしれない。引張弾性率は、厚さの減少による計算上の増加に過ぎない。

4-4-5 圧縮時含水率と物性変化の関係（コピー用紙）

打ち紙は繊維間結合強度が維持されていると推測したが、通常の打ち紙処理では平滑化、高密度化効果を高めるためある程度濡らして処理を行うのが普通である。この場合の物性変化について考察する。図 4-18 は含水率を変化させて

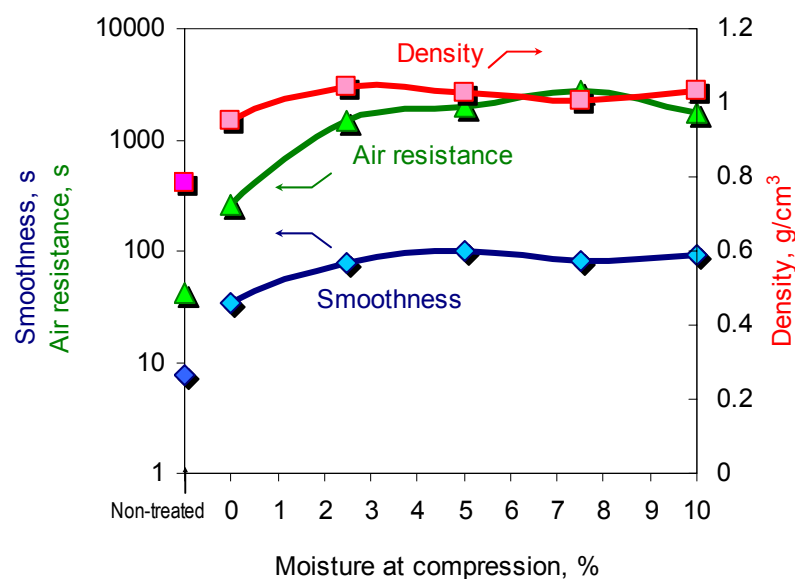


Fig. 4-18 Structural properties of pounded copy paper vs. moisture at compression.

打ち紙処理を行ったときのコピー用紙の構造的物性の変化を示す。一番左側の縦軸上にあるプロットは浸漬処理も打ち紙処理もしていない（Non-treated）元の状態のコピー用紙のデータである。含水率が 0%のときのプロットは、水に浸漬せず元のコピー用紙に対し打ち紙処理だけを行った場合のデータである。打ち紙処理時の含水率を 2.5%上げるだけで、打ち紙による圧縮効果と平滑化効果が強く現れることがわかった。しかし、2.5%以上の含水率では、圧縮される程度はほぼ一定（ $1.01 \sim 1.04 \text{ g/cm}^3$ ）となった。

図 4-19 は同じく光沢度の変化を示す。平滑度の変化と同様で、含水率 5%以上では、密度はほぼ一定で、光沢度もほぼ一定か含水率の上昇とともに低下する傾向が見られた。含水率が高すぎると、繊維のよじれが起きたり、乾燥時の収縮が大きくなるために光沢度が下がるのではないかと考えられる。

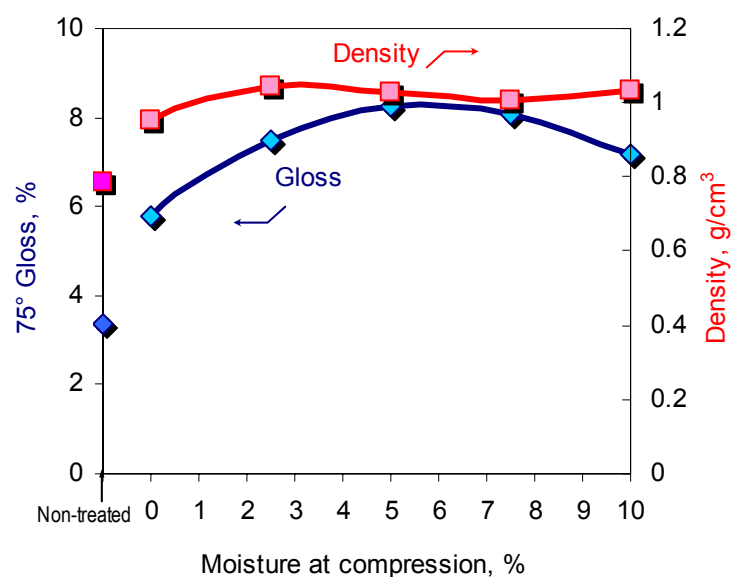


Fig. 4-19 Gloss of pounded copy paper vs. moisture at compression.

図 4-20 は打ち紙処理時の含水率を変えた場合のコピー用紙の MD 方向の比引張強さと比ゼロスパン引張強さを示している。含水率 0%より左側のプロットは、元の状態の試料でのデータで、そのプロットと線で結んである含水率 0%のプロットは、水に浸漬してからそのまま乾燥しただけで打ち紙処理を行っていない試料のデータ、含水率 0%のもう 1つのプロットは、水に浸漬せずに打ち紙だけを行った試料のデータである。従って左側 2つのプロットだけを結んだ線は、湿潤乾燥を 1 回行ったときの变化を示している。MD 方向では、湿潤状態の試料に打ち紙処理を行うことにより比ゼロスパン引張強さは低下したが、乾燥状態

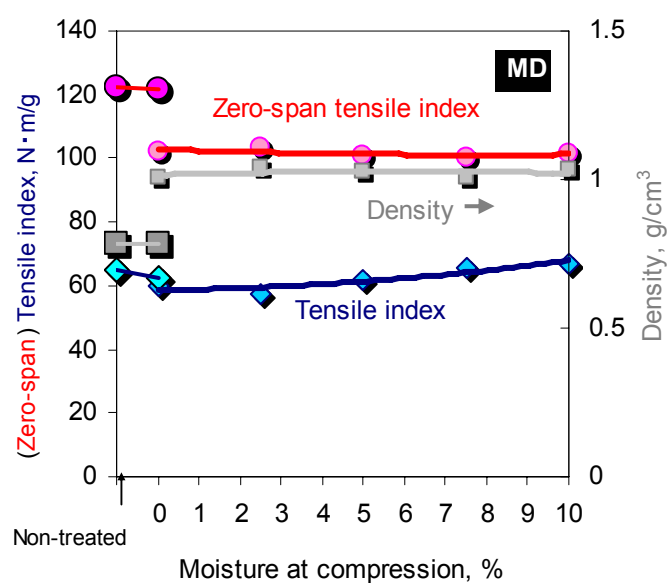


Fig. 4-20 Tensile properties (MD) of pounded copy paper vs. moisture at compression.

の試料を同じ圧力で打ち紙した場合（5 点を結んである一番左側の含水率 0% のプロット）でも同程度の低下があったことから、含水率の増加による比ゼロスパン引張強さの低下はなかったと言える。比引張強さは湿潤乾燥を 1 回行っても引張強さに変化はなかったが、打ち紙処理時の含水率の増加によってわずかに比引張強さが増加した。これは打ち紙による新たな繊維間結合の生成とも考えられるが、再現性があるのかどうかの検討が今後必要である。

図 4-21 は打ち紙処理時の含水率を変えた場合のコピー用紙の MD 方向の引張破断伸び、引張弾性率、比引張エネルギー吸収量（TEA）を示す。引張破断伸びは含水率が高くなると大きくなる傾向が見られたが、単に湿潤乾燥を 1 回行った場合にも大きく増加していることから、打ち紙処理との関係よりも、いったん湿潤状態に置くことにより大きな変化があったことを意味する。含水率の高い状態で打ち紙処理を行ってから乾燥させるとさらに収縮量が大きくなることから打ち紙処理による伸びがあることがわかる。打ち紙処理を行った場合は、引張破断伸びが大きくなっているが、比引張強さ（図 4-20）の微増傾向と合わせて考えると、繊維間結合の生成を示唆するものである。TEA（比引張エネルギー吸収量）は両者の積に関係する値であるので、含水率が上がると、TEA は顕著に増加する。TEA は、張力に耐えうる抵抗性を表しており、破断までにどれくらいのエネルギーが必要かがその指標となる。含水率の高い状態で打ち紙処理した紙はこの抵抗性が高くなるため、MD 方向には丈夫な紙になるという考え方もできる。引張弾性率は、含水率の高い状態で打ち紙処理をすることによ

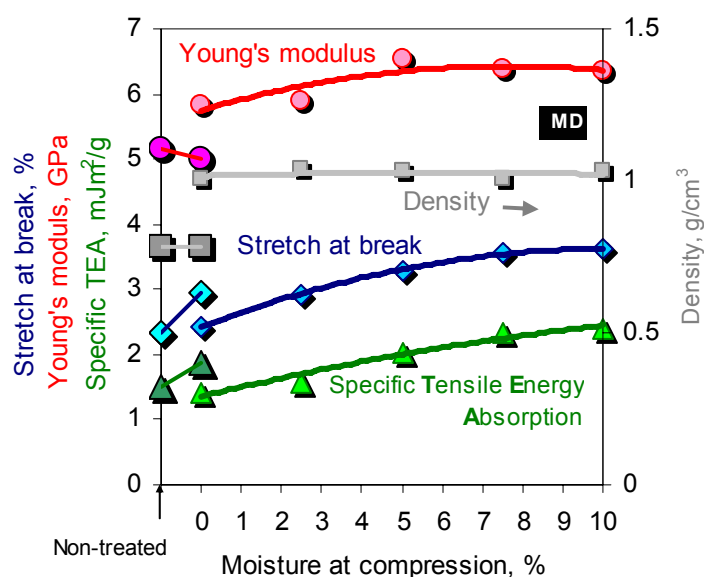


Fig. 4-21 Stretch at break etc. (MD) of pounded copy paper vs. moisture at compression.

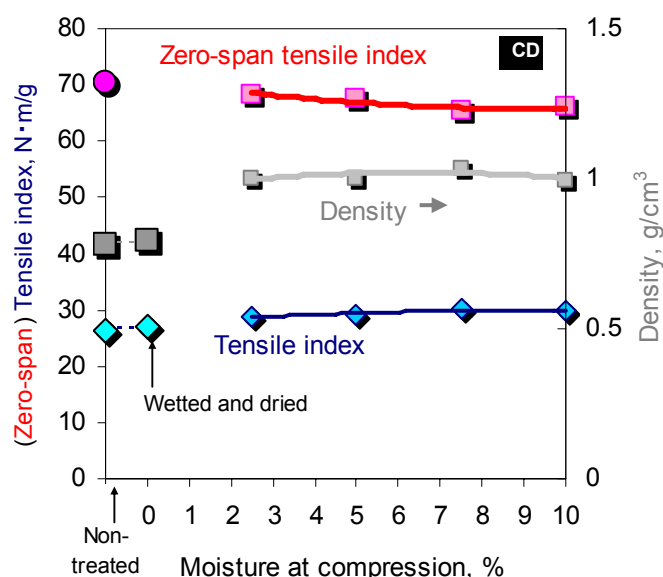


Fig. 4-22 Tensile properties (CD) of pounded copy paper vs. moisture at compression.

り向上したが、引張破断伸びの増加と並行していることからこの点でも繊維間結合の生成を示唆している。

図 4-22 は打ち紙処理時の含水率を変えた場合のコピー用紙の CD 方向の比引張強さと比ゼロスパン引張強さを示している。比ゼロスパン引張強さは、含水率の高いときに打ち紙処理をしても、未処理の元のコピー用紙に比べ、わずかな低下は認められるもののほぼ同程度であった。ゼロスパン試験そのものがやはり CD 方向での測定では繊維強度を表さないようである。比引張強さは、未処理の元のコピー用紙と湿潤乾燥履歴のある試料に比べ、含水率の高いときに打ち紙処理をすることによりわずかながら上昇傾向があったが、再現性について今後検討する必要がある。再現性があれば、繊維間結合の生成を示唆するものと言える。

図 4-23 は打ち紙処理時の含水率を変えた場合のコピー用紙の CD 方向の引張破断伸び、引張弾性率、比引張エネルギー吸収量 (TEA) を示す。引張破断伸びは未処理の元のコピー用紙に比べると、含水率の高低に関わらず大きくなった。TEA も、湿潤乾燥や打ち紙処理とは無関係にほぼ一定の値を示した。いずれもゼロスパン試験においては CD 方向では差が出にくいようである。引張弾性率だけは、含水率の高いときに打ち紙処理をすることにより向上したが、試験片の厚さが減少したことによるもので、MD 方向の結果と同じく、単なる計算上の増加に過ぎない。

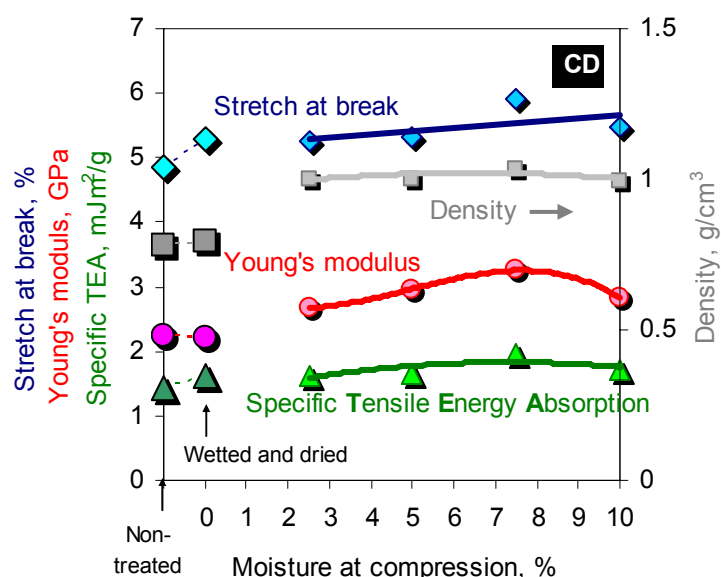


Fig. 4-23 Stretch at break etc. (CD) of pounded copy paper vs. moisture at compression.

4-4-6 圧縮時含水率と物性変化の関係（和紙）

図 4-24 に打ち紙処理時の含水率を変えた場合の和紙の MD 方向での引張強度を示す。含水率 0%のプロットは、和紙を濡らしてから乾かしただけで、打ち紙処理をしていない試料のデータである。比ゼロスパン引張強さは、未処理、濡らして乾燥した（湿潤乾燥）だけの未圧縮試料に比べ、含水率が 2.5%以上では低下したが、この低下は、コピー用紙と同じく、濡らしてない試料でも同じ圧

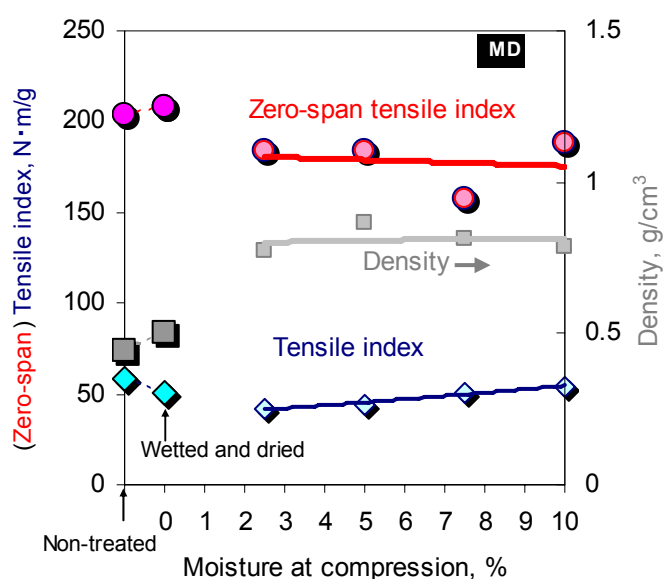


Fig. 4-24 Tensile properties (MD) of pounded Japanese paper vs. moisture at compression.

縮圧力で同程度の低下があることが予測され、含水率は影響していないと考えられる。比引張強さは、湿潤乾燥によってわずかに低下するが、打ち紙処理時の含水率の増加とともに、上昇していく傾向が見られた。これらの傾向はすべてコピー用紙と同じであった。

図 4-25 は、同じく打ち紙処理時の含水率を変えた場合の和紙の MD 方向での引張破断伸び、引張弾性率、比引張エネルギー吸収量（TEA）を示す。引張破断伸びは湿潤乾燥を行っても変化がなかった。これはコピー用紙と異なる点で、コウゾの繊維は叩解が軽度であり、乾燥時にも収縮の少ないまっすぐな形状を維持しているためではないかと考えられる。打ち紙処理時の含水率が高いときの引張破断伸びは大きくなったが、引張弾性率は含水率の違いに関しては差がほとんどなく、繊維の収縮という観点からは説明できない。なお、引張弾性率は未処理及び湿潤乾燥履歴のある試料に比べると、高い含水率のときに打ち紙処理をすることで上昇した。この点を考慮すると、繊維間結合の生成の可能性を示している。

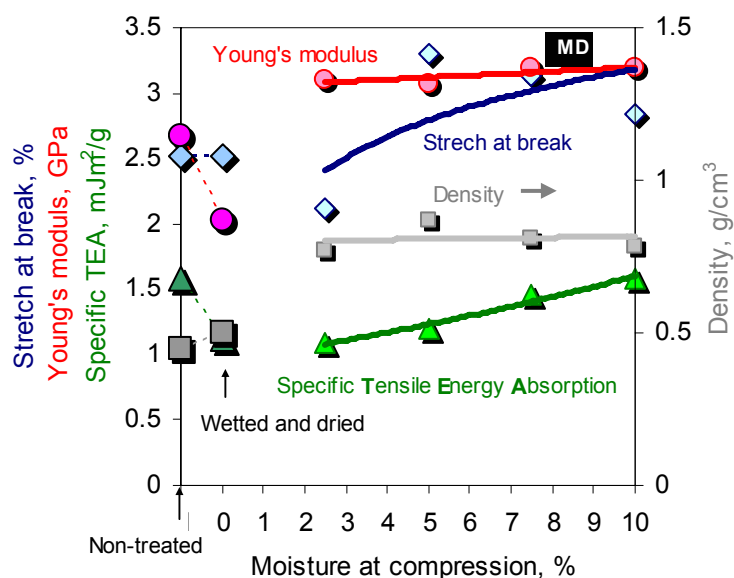


Fig. 4-25 Stretch at break etc. (MD) of pounded Japanese paper vs. moisture at compression.

図 4-26 は打ち紙処理時の含水率を変えた場合の和紙の CD 方向の比引張強さと比ゼロスパン引張強さを示す。比ゼロスパン引張強さは、含水率の高いときに打ち紙処理をしても、未処理の元のコピー用紙に比べ、低下するものと高いものがあり、やはりゼロスパン試験そのものが CD 方向での測定では繊維強度を必ずしも表していない。また、比引張強さは、含水率の増加とともにわずかな

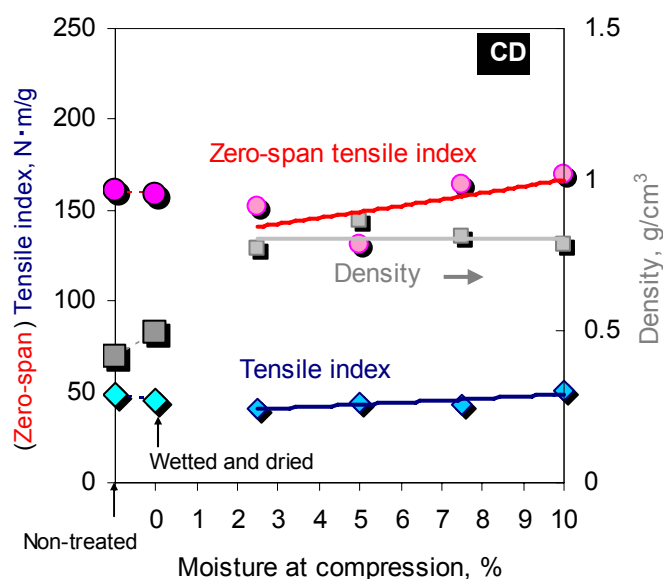


Fig. 4-26 Tensile properties (CD) of pounded Japanese paper vs. moisture at compression.

がら増加した。しかし、10%含水率で打ち紙処理した試料であったもその比引張強さは、元の和紙と同程度にしかならず、打ち紙処理自体は比引張強さを低下させることを示している。MD 方向でもこの傾向があった（図 4-24）。

図 4-27 は、同じく打ち紙処理時の含水率を変えた場合の和紙の CD 方向での引張破断伸び、引張弾性率、比引張エネルギー吸収量（TEA）を示す。引張破断伸びは湿潤乾燥を 1 回行うだけで大きく増加し、含水率の高い状態で打ち紙を行うとさらに増加した。打ち紙処理で扁平となった繊維は乾燥工程で幅方向に特によく収縮するようである。和紙は繊維の屈曲が少ないため、繊維の幅方

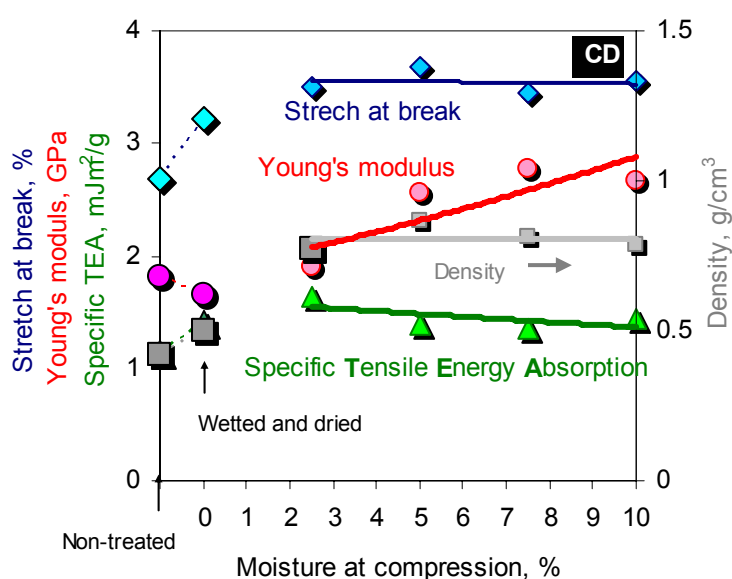


Fig. 4-27 Stretch at break etc. (CD) of pounded Japanese paper vs. moisture at compression.

向の収縮に由来する引張破断伸びが CD 方向に現れやすいためかもしれない。TEA は含水率の高い状態で打ち紙を行っても変化がなかった。引張弾性率は、含水率の高い状態で打ち紙を行うことにより上昇する傾向が見られたが、コピー用紙と同じく、厚さの減少により計算の上で上昇したに過ぎない。

4-4-7 圧縮圧力と濡れ伸びの関係（コピー用紙）

図 4-28 に圧縮圧力とコピー用紙の MD 方向の濡れ伸び挙動の関係を示す。試験中、着水の瞬間に試験片が 2 本の支持棒にぶつかって振動するため、安定状態となる 1 秒後の試験片の長さからの伸び量を示している。濡れ伸び曲線は、水と接触後 15 秒程度から急に伸びが大きくなる傾向があったが。片側から水が浸透するため、浸透する水の先端が裏面に近づくにつれて伸びを拘束していた裏面も

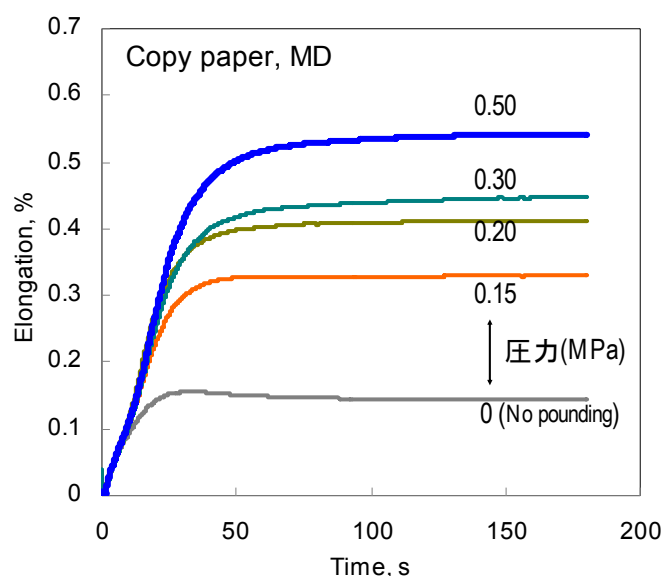


Fig. 4-28 Wet-stretch (MD) of pounded copy paper for varied hammer driving pressures.

伸びるようになり、全体として伸びが加速したと考えられる。圧縮圧力が大きくなるほど、濡れ伸びは増加した。打ち紙処理した紙の吸水による伸びの傾向は、引張試験による破断伸びとは異なり、引張破断伸びでは圧縮圧力の増加とともにむしろ低下する傾向にあった。

図 4-29 に圧縮圧力とコピー用紙の CD 方向の濡れ伸び挙動の関係を示す。濡れ伸び量の違いを示すために MD 方向の濡れ伸び曲線も併せて示す。CD 方向では、MD 方向よりも 10 倍程度の濡れ伸び量を示したが、圧縮圧力が大きくなるとともに濡れ伸び量が増加する点では同じであった。濡れたときに伸びる現象は、繊維そのものが膨潤により寸法が大きくなることにより生じると考えられ、

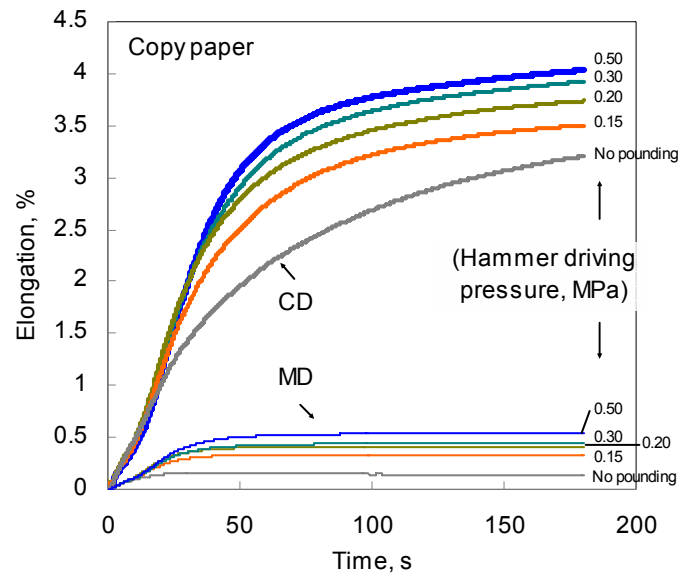


Fig. 4-29 Wet-stretch (MD/CD) of pounded copy paper for varied compression pressures.

繊維の幅方向によく伸び、軸方向へは、フィブリル傾角の大きさにもよるが伸びる量が少ないため、濡れ伸びにも異方性（MD と CD の方向性）が生まれると考えられる。圧縮圧力が大きいとなぜ濡れ伸びが大きくなるのかの理由として次のように推測した。ゼロスパン引張試験の結果からもわかるように圧力が大きいほど繊維の損傷が大きいことはわかっている。圧力が大きいほどセルロース繊維の集合体であるフィブリルに沿って多くの亀裂が入り、そこに水が浸入することによって幅方向への膨潤がより大きくなるからではないかと考えられる。もう 1 つの理由は、繊維間隙の縮小である。打ち紙処理前は繊維間に膨潤した体積を吸収するだけの余裕があったが、処理後にはその余裕がなくなり、繊維どうしが押し合って伸びていくのではないかと考えられる。

4-4-8 圧縮圧力と濡れ伸びの関係（和紙）

図 4-30 に 0.15 MPa の圧縮圧力で打ち紙処理をした場合の和紙の MD 及び CD 方向の濡れ伸び挙動を示す。打ち紙処理により、MD 方向では濡れ伸び量が増加し、CD 方向には減少した。コピー用紙では MD 方向にも CD 方向にも濡れ伸び量が増加した点異なる。引張破断伸びは打ち紙処理によって横ばいしないしは減少する傾向を示したが（図 4-11, 13, 15）、図 4-17 が示すとおり和紙の CD 方向では唯一顕著な増加を示した。今後、打ち紙処理と引張破断伸びが逆相関を示すというのが実際の現象を表したもののなかどうか検討すべきであろう。

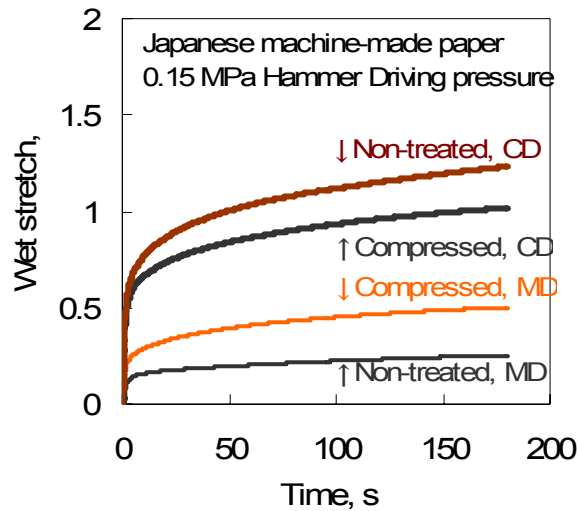


Fig. 4-30 Wet-stretch (MD/CD) of pounded Japanese paper for varied compression pressures.

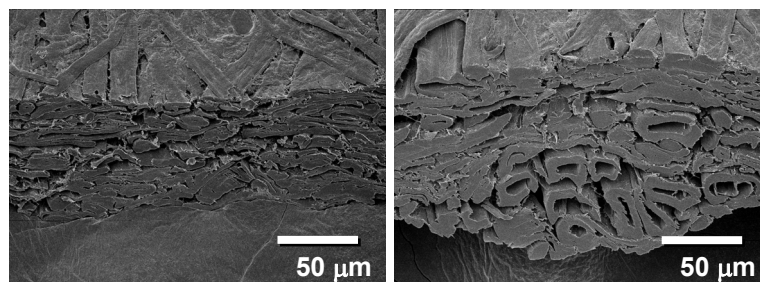


Fig. 4-31 Cross sections of pounded copy paper before and after water absorption.

4-4-9 含水率と濡れ伸びの関係（コピー用紙）

断面の SEM 観察では、図 4-31 に示すように、濡れ伸び試験後（b）は、打ち紙処理によって潰された繊維のルーメンが開き、繊維間にも空隙が生じていることがわかる。水の浸透はこの写真の下から上に進行したため下側にある繊維のみ変化が現れている。この写真は濡れ伸び試験後の乾燥状態を示しているが、濡れ伸びが進行している湿潤状態では繊維壁が大きく膨潤して横方向に広がっていったものと予測され、試験後の乾燥とともに繊維が収縮して繊維間に空隙が生じたと考えられる。打ち紙処理前の元の紙では繊維の間に隙間があり、ルーメンが開いている繊維も多数あったはずであるが、圧縮によりそのような空間が小さくなった状態であった（図 4-7(c), (d)）。圧縮圧力の増加は、繊維の損傷を進行させ繊維内に空隙を多く生じさせた結果、膨潤しやすくなり膨潤量と速度を増加させた可能性がある。

他の可能性として、吸水速度が大きくなったことに起因するとも考えられる。

図 4-32 に示すようにブリストー装置を使って、水と接触してから 1 秒後までのコピー用紙の吸水量を測定したところ、打ち紙処理なし、0.15 MPa 及び 0.30 MPa

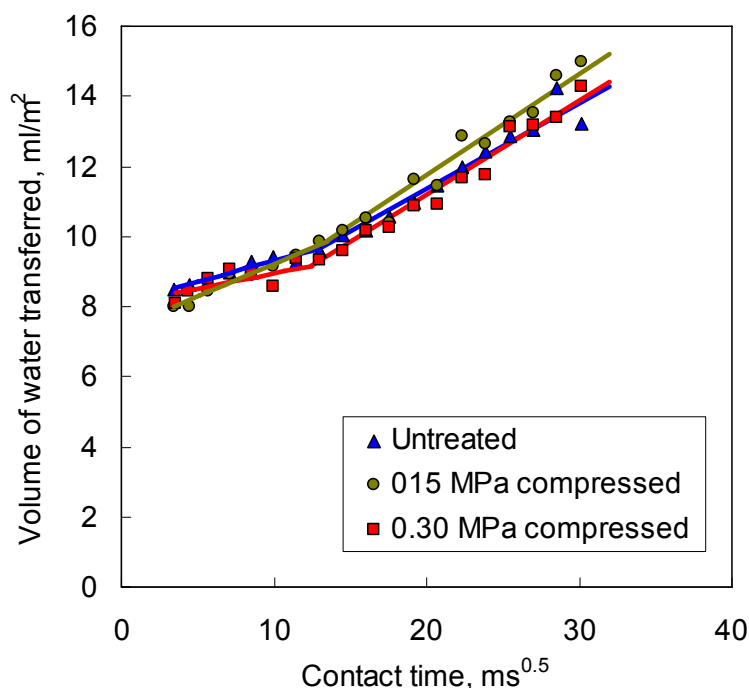


Fig. 4-32 Water absorption rates of uncompressed and compressed copy papers.

打ち紙処理試料の間に有意な差はなかった。したがって打ち紙処理による吸水速度の変化は否定されるが、1 秒後以降に差が現れてくる可能性はまだ考慮する余地がある。

図 4-33 は、気乾質量比で、含水率 0 (wetted then dried)、2.5、5.0、7.5、及び 10.0 %のときに打ち紙処理した試料を乾燥させ、気乾状態としてから濡れ伸び測定を行った結果を示す。含水率 2.5%での打ち紙処理より、含水率 5~7.5%程度の方が濡れ伸び量が大きくなった。含水率が上がるにつれて、特に MD 方向では引張破断伸びは大きくなったが、濡れ伸びは大きくならなかった。特に CD 方向の濡れ伸びは小さくなった。含水率が高い場合は濡れ伸びを拘束するような繊維内水素結合が繊維内にできた可能性がある。ただし、繊維強度を示す比ゼロスパン引張り強さは低下しているので、繊維強度を上げるような結合とは異なるものであろう。

4-4-10 圧縮圧力と濡れ伸びの関係（和紙）

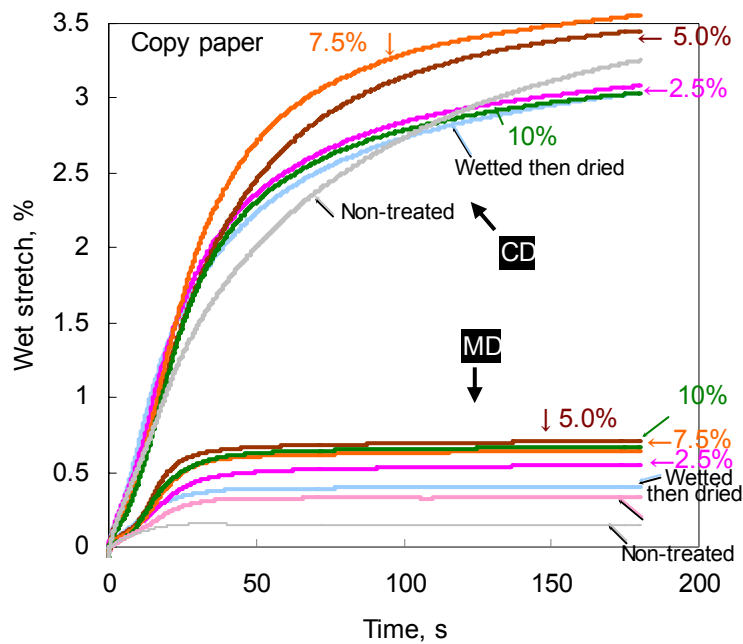


Fig. 4-33 Wet-stretch (MD/CD) of pounded copy paper for varied moisture contents.

図 4-34 は、含水率の異なる和紙を打ち紙処理した場合の濡れ伸び挙動（MD）を示す。和紙の場合も、濡れ伸びは、含水率が 7.5 % 打ち紙処理した場合が最も

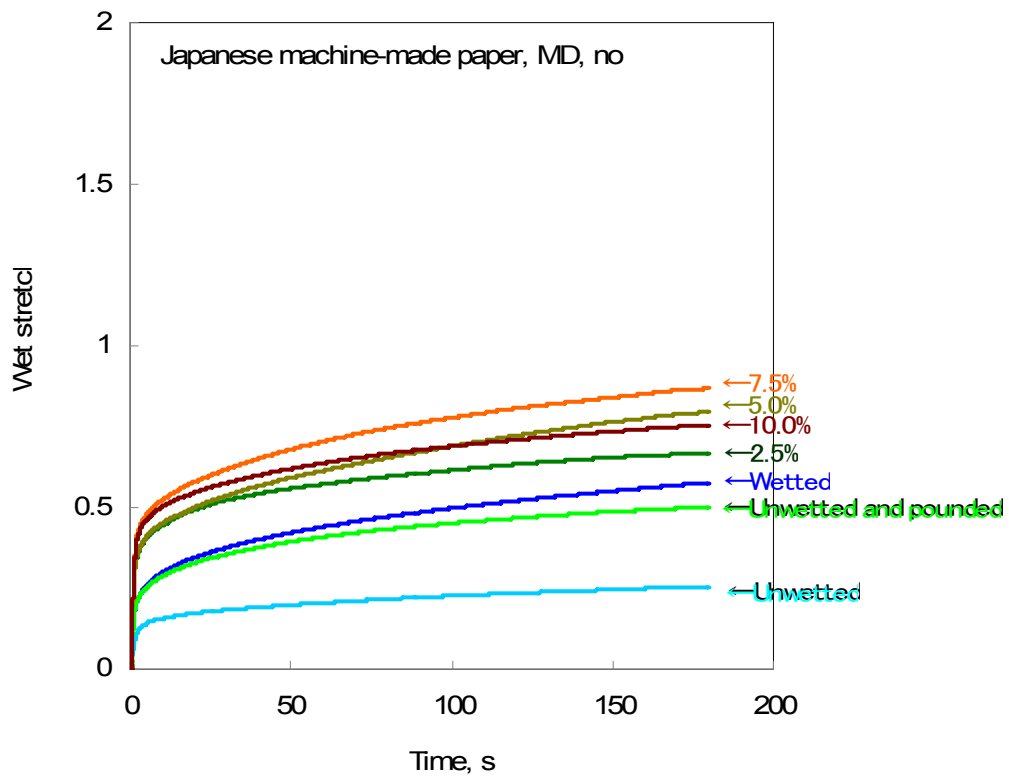


Fig. 4-34 Wet-stretch (MD) of pounded Japanese paper for varied moisture contents.

大きくなった。また、引張破断伸びを見てみると（図 4-21, 23, 25, 27）、コピー用紙の CD 方向は 5%ほどであったが、同 MD 方向及び和紙の MD/CD 方向はいずれも 2.0～2.5%程度であった。一方、濡れ伸びは、コピー用紙の CD 方向では 3%ほどで、同 MD 方向では 0.5%、和紙の MD/CD 方向はそれぞれ 0.5%/1.5%ほどであり、おおよそ半分程度かそれ以下であった。ただし、濡れ伸び量は 180 秒間での値であり、和紙の場合は特にまだ伸び続けているため、最終的にはもう 0.5%程度増加しそうである。しかし、いずれにしろ引張破断伸びよりは小さいであろう。濡れ伸びは繊維の膨潤に由来するものであり、引張破断伸びはこの膨潤に由来する伸び量に近いと考えられる繊維そのものの伸びと乾燥時の収縮量が回復する伸びの和であるという違いの表れと考えられる。

また、コピー用紙と比較した和紙の特徴は密度が小さい ($0.77\sim0.87\text{ g/cm}^3$) ことであり、繊維間の空隙が多いと繊維の膨潤を許容できる構造になっているのではないかと考えられる。乾燥時の収縮の回復量は、この許容量とは無関係と考えられる。和紙とコピー用紙の濡れ伸びの差異が、繊維配向度によるものである可能性があるが、引張強さの縦横比はコピー用紙が 2.5、和紙が 2.3 で配向度に大きな差はないと考えられる。

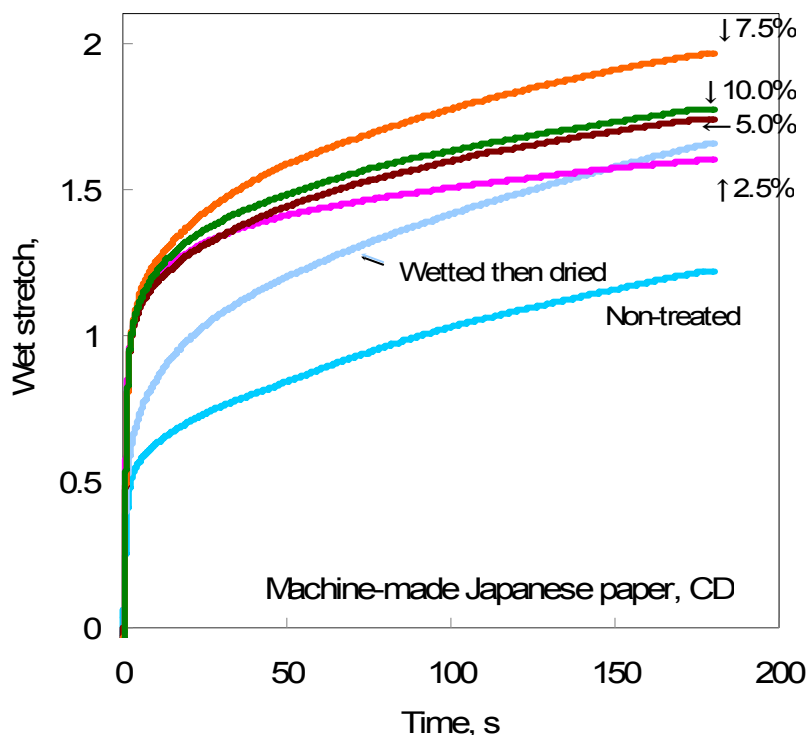


Fig. 4-35 Wet-stretch (CD) of pounded Japanese paper for varied moisture contents.

4-5. まとめ

打ち紙処理が、紙の物性に与える影響を要約する。平滑度及び密度は上昇した。ただし、平滑度の上昇は、処理時に接触させている PET フィルムの表面形状が転写されることによる。圧縮圧力の増加により、繊維強度（比ゼロスパン引張強さ）が顕著に低下したが、繊維の損傷によるものと考えられた。打ち紙処理時の紙の含水率を増加させても繊維強度は低下しなかったが、乾燥時の収縮量が増加するため、引張破断伸びが増加した。また、含水率が増加すると繊維強度は低下又は横ばいであったにも関わらず比引張強さが上昇した。特にコピー用紙の MD 方向では、元の未処理の試料と同程度の比引張強さを示したことは、高含水率時の打ち紙処理による繊維間結合の生成を示唆していた。このことは、打ち紙処理時に紙を濡らして行うことで平滑度及び密度上昇の効率化とともに、紙として強度上昇も見込める（少なくとも強度を損なうことはない）ことを意味している。

打ち紙処理時の圧縮圧力の増加とともに濡れ伸び量は増加した。繊維の損傷により膨潤しやすくなるために濡れ伸び速度も濡れ伸び量も大きくなったと考えられる。圧縮圧力が増加すると、膨潤量を許容する繊維間の空隙が減り、膨潤繊維が互いに押し合って、濡れ伸びが大きくなったとということであろう。打ち紙処理時の紙の含水率の比較では、5～7.5%程度までは、含水率が高いほど濡れ伸びが大きくなる傾向にあったが 10%では低下した。吸水速度には差がなかったことからそれが要因でない。

打ち紙処理により、濡れ伸びが大きくなったことから、吸脱湿での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注意する必要がある。経年劣化した打ち紙処理を経ている文化財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が安定する可能性が高いので併せて検討する必要がある。

和紙の濡れ伸び量はコピー用紙の半分程度であったが、密度が小さいために膨潤を許容できる繊維間の空隙があるためではないかと考えられる。吸水による膨潤のために紙の寸法は変化するということであるが、密度の高い洋紙と比較すると、和紙の方が寸法変化の少ない材料であることを意味し、補修の際にその寸法変化により本紙与える悪影響は少ないのは和紙の方だと言えるだろう。

おわりに

本研究において一番明らかにしたかったのは、水を使った処理が、文化財本紙に損傷を与えるのかどうかであった。そのような観点から本研究の成果を集約してみよう。

まず、水クリーニング処理を行うことによって引張試験による破断伸びが増加することが本紙に与える変化を端的に表している。この現象は、水クリーニング処理後の乾燥工程で、繊維が収縮することに由来する。ただし、敷き干しや吊り干しのように比較的自由に紙が収縮するような条件で乾燥した場合に起きるのであり、仮張りのように紙を拘束して乾燥する場合には、繊維の収縮が起きないため引張破断伸びが増加することはない。このように乾燥条件に依存する現象ではあるものの、引張破断伸びが増加すれば、比引張エネルギー吸収量（破断するまでに要するエネルギー量）も増加するのが普通であるから、外的な力に対して破壊しにくい紙になることを意味する。同じように外力に対する抵抗性が上がる現象が耐折強さ（折り曲げに耐えられる特性）や引裂強さにも現れている。

以上のような意味では、水クリーニング処理はむしろ優れた処理のように思えるが、繊維の乾燥収縮は紙に皺を作るため外観は悪くなり、張りのない柔らかな紙になってしまう。掛け軸のような美術品などは平面的な形状に仕上げるために必ず仮張りをするであろうから、引張破断伸びの増加はないはずである。したがって仮張りの場合は外力に対する抵抗性を付与する効果は期待できない代わりに、軸装により補強すれば問題ないであろう。水クリーニング処理により、繊維自体の強度（比ゼロスパン引張強さ）の低下はないことが確かめられたし、本来の目的である酸性物質の除去は pH の変化から確かめられたので、概して水クリーニング処理は好ましい処理であると言える。洋紙は繊維が短く、はっ水性の低い紙が水に浸った状態にあれば繊維間結合の破断により強度が相当地に低下し、修復作業による扱いのうちに損傷することが考えられる。しかし、繊維が長い和紙の場合は、一本の繊維が持つ繊維間結合点が多く、また繊維間の摩擦力によって紙の形態が維持されている面もあるので、湿潤状態の強度が比較的大きい。その意味でも、和紙は水クリーニング処理に耐えられる紙であると言える。つまり和紙は、水の中でバラバラになりやすい洋紙と洗濯に耐えられる布地の中間的な耐水強度を持っているのである。

修復工程の処理に関するアンケート調査の結果から考えると、水を使うクリーニング処理そのものより、酸性化した紙の中和処理、漂白処理による薬剤の使用において懸念される問題が多い。酸化作用を持つ漂白剤は、基本的に繊維の主成分であるセルロースを分解させるため繊維強度が低下する要因となる。また紙にあった金属成分や薬剤由来の残留金属成分及びそれらの酸化物が触媒作用によってセルロースの分解や紙の変色を引き起こすことがある。種々の薬剤の使用した場合やそれらによる処理後の洗浄が不十分な場合に引き起こす副作用について、詳細な検討が今後必要と思われる。

修復紙の特性を本紙の特性になるべく合わせることで外観の整合性や本紙の劣化要因を排除するという意味で望ましいとの考えから、文化財本紙の製造工程に合わせて修復紙に打ち紙処理を施すことがよく行われる。高密度化と高平滑化の効果をもつ打ち紙処理がもたらす紙の物性変化として、繊維そのものを損傷するため、繊維強度を低下させることが挙げられる。経年劣化により繊維強度が低下している本紙に合わせることはなるが、繊維が劣化してしまうことを意識する必要がある。通常の打ち紙処理は紙を軽く濡らしてから行う。紙の含水率を上げたときの打ち紙処理では、わずかではあるが引張強度を向上させる効果が確認され、繊維間の水素結合の生成を示唆するものであった。繊維強度は低下するが、紙の強度は向上するという相反する側面を併せ持つ処理と言える。

打ち紙処理した紙を濡らした場合には、処理時の圧縮圧力を上げるとほどよく伸びるようになるという傾向を示した。湿度変化に対しても寸法変化が大きくなることが予測され、“枯らし”効果で寸法安定性が高くなっていると予測される本紙とは、この点において反対の性質を持つ紙になっている可能性がある。したがって補修後の紙文化財の保管においては湿度を一定に保つ工夫が重要になるであろう。

以上、研究成果全体を概観し、紙文化財修復処理工程で考慮すべき点を挙げてみた。紙文化財の修復に携わる方に、このような成果を参照して頂き、ご自分が行っている処理一つ一つの意味を理解しながら、適切な修復処理を行って頂きたいと思う。江戸時代やそれ以前の古くから行われている伝統的な処理は、“経験”という検証による取捨選択を経て完成された技術が多く、正直なところ懸念されるところは全くない。むしろ、修復工房が組織化されて、処理の迅速化や新材料、新手法、修復目的の新概念の導入が行われつつある過程で十分

な検証が追いつかないところに問題が潜んでいる。

本報告書が少しでも皆様のお役に立てば幸いである。

2010 年 11 月 20 日

江前敏晴

(参考)学会発表要旨及び各種報告書

この章では本研究の成果を公表した学会発表や機関内報告書を参考として掲載する。

- ① 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
- ② 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
- ③ 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財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
- ④ 佐藤円香, 江前敏晴, 水によるクリーニング工程が文化財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
- ⑤ 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
- ⑥ 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ー水によるクリーニング工程の考察ー, 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

1. 「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)

江前敏晴、和田恵美子、2010年3月19日、宮崎観光ホテル(宮崎県)

衝撃圧縮処理した紙の強度特性と吸水による寸法変化

(東大院農生命) ○江前敏晴、和田恵美子

空気圧を利用した衝撃圧縮装置により、コピー用紙及びコウゾ繊維のみを使用した機械抄き和紙を高密度化した。衝撃圧縮処理では、ハンマーを駆動する空気圧及び紙の水分を変化させて試料調製を行い、引張強度、濡れ伸び(吸水させたときの伸び量)などの測定を行った。衝撃圧縮処理により、両紙とも引張破断伸びは大きくなったが、比引張強さはやや低下した。圧縮時の圧力増加及び水分の増加により、濡れ伸びは増加したが、吸水速度自体が増加したためでもある。紙文化財の修復に使用する補修紙にもこのような処理が行われることがあり、本研究は文化財本紙への影響の評価にも関連する。

【緒言】

紙を高密度化する技術には、叩解を進める、ウェットプレス強度を上げる、カレンダー処理

を行なうなどの方法がある。叩解とプレスは、繊維間結合が形成される乾燥工程の前段階で行なわれるため、繊維間結合の生成と紙力の増加に寄与するが、カレンダは繊維の変形による圧密化が起こるに過ぎない。カレンダ処理より強力な衝撃圧縮処理を局所的に行なった場合には物性はどのように変化するか、圧縮時の紙の水分が高い場合には、繊維間の水素結合が生成し強度が上昇するのかどうか、また吸水による伸び量（濡れ伸び）はどう変化するのか、を検討した。

【実験方法】

衝撃圧縮装置は、空気圧で駆動するハンマーを瞬間的に打ち下ろし、硬質樹脂ステージ上に置いた紙を圧縮する。ハンマーの先端径は 25 mm であるが、曲率半径は約 300 mm であるため圧縮後には約 5mm 径の円形の跡が紙面に付く。コピー用紙（古紙配合率 100%、坪量 66.3g/m²）及び機械抄き和紙（濱田製紙、コウゾ 100%、坪量 33.1g/m²）を PET フィルムシートで挟んでステージに置き、ハンマーを駆動する空気圧（0.15、0.20、0.30、0.50 MPa）、繰り返し打ち回数、水分（気乾状態に対し、2.5、5.0、7.5、10.0 %）を変化させて、衝撃圧縮処理を行った。

【結果および考察】

コピー用紙の密度は 0.77 から、0.97 g/cm³ に、水分 2.5%以上で圧縮した場合は約 1.05 g/cm³ に増加した。コピー用紙の比引張強さはやや低下する傾向にあったが、破断伸びや比引張エネルギー吸収量には変化がなかった。和紙の圧縮時水分の増加による比引張強さ、比ゼロスパン引張強さの変化はなかったが、引張破断伸びは大きくなった。弾性率も増加したが、紙が薄くなり断面積が小さくなったためである。図 1 は、圧縮時の圧力増加によるコピー用紙の濡れ伸

び速度の増加を示しているが、吸水速度自体の増加のためでもある。マシン方向（MD）では、最大濡れ伸び量は圧力増加とともに上がっているの、クロス方向（CD）でも

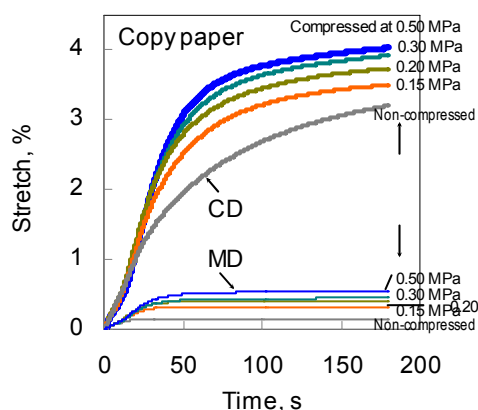


Fig.1 Wet-stretch behavior of copy paper compressed at different pressures.

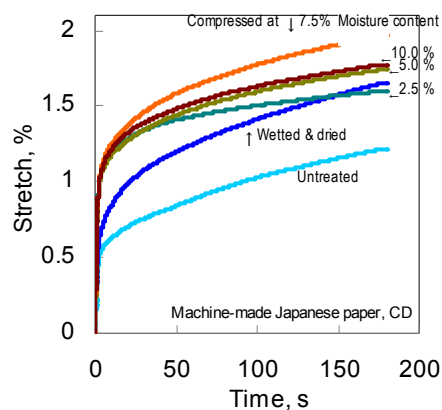


Fig.2 Wet-stretch behavior of Japanese paper compressed at different MC.

同様と考えられる。図 2 は、CD 方向での機械抄き和紙の濡れ伸びを示し、一旦濡らして単に乾燥させた (Wetted & dried) 場合の濡れ伸びは発現が遅いものの非常に大きく、圧縮時の水分増加によって濡れ伸びは大きくなるが、7.5%で最大であった。10.0%水分で減少したのは繊維間の水素結合生成によるものと考えられるが、濡らした直後 (5 秒程度) の伸びは 7.5%試料と同等であった。

- | |
|--|
| 2. “History, analysis and database of traditionally-handmade Japanese paper”, First China-Japan-Korea Symposium on Papermaking History |
|--|

Toshiharu Enomae, Michihisa Hotate, Yoon-Hee Han, , 2009 年 11 月 11 日, 浙江南国大酒店, 富陽市, 浙江省, 中国

HISTORY, ANALYSIS AND DATABASE OF TRADITIONALLY-HANDMADE JAPANESE PAPER

Toshiharu Enomae^{1*}, Michihisa Hotate² and Yoon-Hee Han³

1* Paper Science Laboratory, Department of Biomaterial Sciences

Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

Yayoi 1-1-1, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, JAPAN

✉ enomae@psL.fp.a.u-tokyo.ac.jp

2 Old Documents and Diaries Department, Historiographical Institute,

The University of Tokyo, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8654, JAPAN

3 National Archives & Records Service 920 Dunsan-Dong, Seo-Gu, Daejeon 302-701,

KOREA

ABSTRACT

First, the history of Japanese paper technology was overviewed. There were three major historic evolutions that occurred in a long history. The first evolution was use of shorter fibers from hemp to paper mulberry, Gampi, and Mitsumata fibers chronologically. This transition means that the choice of papermaking fiber sources oriented itself towards shorter fibers for good sheet formation and for reduced labor to cut long fibers. The second evolution was use of *Neri* for dispersing fibers in combination with flow sheet-forming method, that is, the third evolution both for good sheet formation to improve brush writability. Second, the technique to determine fiber orientation was introduced. Degree and angle of fiber orientation of handmade sheet surfaces depends on the forming screen motion, which are defined as two sheet-forming methods; the still sheet-forming and flow sheet-forming. Korean and Japanese papers

manufactured by the traditional methods were well distinguished by this technique. Last, a new database system for paper properties of historic documents is in process of creation. It was proposed to share the datasheet format and finally the data of a lot of historical document paper between the three countries.

INTRODUCTION

Modern papermaking history, and traditional paper history and science have become more and more important as industrial and cultural resources, respectively to preserve and hand down to next generations. Scholars involved with these matters belong to a variety of fields such as preservation and restoration of paper cultural properties, records and archives sections of paper companies and paper industry, paper art, historical sciences, and pulping and paper sciences. This article refers to natural science, historical science and restoration technology related to traditional paper—Japanese paper—and consists of three chapters: brief history of Japanese paper technology and industry, a technique for prediction of hand sheet-forming methods by using fiber orientation determination, and a creation of paper property database of historic documents and proposal to share the database system and the practical data.

HISTORY OF JAPANESE PAPER TECHNOLOGY AND INDUSTRY¹⁾

Paper manufacturing began in ancient China. In East Asia, this technology passed first to Korea some time between the second and fourth centuries according to an ancient Korean record²⁾ and then to Japan in 610 according to the Yamato Dynasty Chronicle of Japan. In the document, it is described that a Korean priest Doncho (曇徴), as an ambassador of the Goguryeo (高句麗) Dynasty, visited the dynasty government and instructed how to manufacture paper as well as paints with pigments, Chinese inks, and hydraulic mills for beating fibers.

Domestically, there have been several evolutions in papermaking technology. In view to historical transition of fiber sources for papermaking, cloth fibers such as hemp (*Cannabis sativa* L., 大麻), ramie (*Boehmeria nivea*., 苧麻), and linen (亜麻) were used initially. Later, however, the paper materials for ancient Japanese art and documents

were made also from other bast fibers such as paper mulberry (*Broussonetia kazinoki* Sieb., 楮, Kozo) as are contemporary handmade papers that are manufactured in the traditional ways. This fact is recorded in the Shoso-in (正倉院) documents as of 751 and it suggests that paper mulberry was widely used in those days. Then, use of Gampi (*Diplomorpha sikokiana*, 雁皮) started immediately next to paper mulberry. It seems that Mitsumata (*Edgeworthia chrysantha*, 三桠) started to be used almost in the same period, but the first year when use of Mitsumata was described in a document (order for papermaking work from Ieyasu Tokugawa, the founder of the Edo government) is 1598.

As listed in Table 1, the historic transition of fiber sources mentioned above is positioned as one of the important evolutions of papermaking technology for Japanese paper. Shorter fibers have advantages over longer ones

Table 1 Three major historic evolutions of Japanese paper	
1.	Use of shorter fibers from hemp (大麻) to paper mulberry (楮), Gampi (雁皮), and Mitsumata (雁皮) fibers in the chronological order.
2.	Use of <i>Neri</i> for dispersing fibers for good sheet formation
3.	Flow sheet-forming methods for good sheet formation

because fiber flocculation can be avoided to manufacture homogeneous sheets for better brush writability. Hemp fibers about 100 mm long must have been cut to shorter pieces for that reason and the manual cutting work required a lot of time and energy. To reduce it, fiber sources used shifted to shorter fibers such as paper mulberry 10 mm long, Gampi 5 mm long, and then Mitsumata 4 mm long.

The second one of the papermaking techniques typical of Japanese paper is use of a natural fiber-dispersing agent called *Neri*, a viscouse liquid extracted from roots of abelmosk (*Abelmoschus manihot*, 黄蜀葵). The use of *Neri* is regarded as a Japanese typical innovation by Japanese scholars in the field of Japanese paper culture. *Neri* includes polyuronic acids³⁾ with anionic carboxyl groups that disperse fibers well by electrostatic force for good sheet formation and control of dehydration speed.

The third one is the flow sheet-forming method. In this method, a mould with a forming screen composed of bamboo splints is dipped into a vat containing beaten fibers suspended in water with some amount of *Neri*. The filled mould is lifted above the water and then moved back and forth or sideways, so the sheet becomes homogenized and excess fibers are thrown off. Several dips form one sheet, which is then transferred to a pile of paper to be pressed together followed by drying on wooden boards. The

combination of the flow sheet-forming method and *Neri* provides a synergetic effect on homogeneity of sheet formation. The use of *Neri* and the flow sheet-forming method are speculated to have been initiated in the Nara Period (710-794) or the Heian Period (794-1192).

Since then until the beginning of the Meiji Period (1868-1912), wood-processing technology to manufacture forming screens had been improved as we can see the transition of the frequency of laid lines that constitute a forming screen. The Daitokuji documents (1168 - 1708) were surveyed for the historic transition of laid line frequency. Figure 1 shows that the laid line frequency decreased from 14 lines/sun (“sun” is the traditional Japanese unit of length equal to 30.3 mm) in the 12th century to 19 lines/sun in the mid 16th to early 18th century. This measured frequency shows a good continuity with the data from Ryukoku University documents surveyed by Kato⁴⁾ He mentioned that the frequency was a little less than 20 lines/sun from 17th to the mid 18th century and it increased suddenly to 20 to 30 lines/sun from the late 18th to the early 20th century.

As an industry, Japanese paper continued to increase the production scale with paper demand expansion. However, it started to compete with western paper when 7 western paper companies were established between 1872 and 1875. Around 1912, the productions of Japanese and western papers were reversed. The number of houses where paper is manufactured started to decline after peaking in 1902.

CHARACTERIZATION OF JAPANESE PAPER BY FIBER ORIENTATION DETERMINATION⁵⁾

Traditional sheet-forming processes used in the manufacture of Korean paper (韓紙) and Japanese paper (和紙) are classified into two methods, depending on the screen

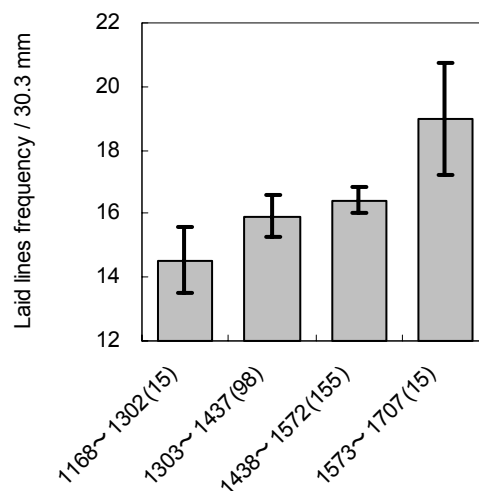


Fig. 1 Mean laid lines frequency determined every 135 years for Daitokuji documents papers. Figures in parentheses after year

motion: the still sheet forming method (溜漉) and the flow sheet-forming method (流漉) as mentioned in the previous section. These two methods still remain the major hand-making paper technologies. The motion of the screen in the two methods is reflected in the fiber orientation of the paper in different manners. One can often easily find fibers running in a specific direction on paper surfaces. However, it is impossible to evaluate the degree of fiber orientation (anisotropy) or the exact direction (angle) objectively by visual inspection alone. An image analysis technique allows one to quantify the degree and angle of fiber orientation of paper surfaces nondestructively. The purpose of this work is to characterize the sheet-forming methods and technology used for manufacturing papers of historic documents.

Experimental – theory and methods

Statistically, fiber alignment is expressed as a fiber orientation distribution as a function of angle. As a consequence of the statistical calculation using FFT (Fast Fourier Transform), the fiber orientation degree and angle (the right direction from the view of the standing craftsman is assumed to be 0°) are determined as follows⁶. First, a micrograph as a 256 grey-level image was trimmed to a size of 1024×1024 pixels (Figure 2a, for example) to facilitate the FFT computation. Second, the images were binarized using a dynamic threshold method of image partition (Figure 2b). FFT was computed with these binary images to obtain power spectra like that shown in Figure 2c, which was calculated from Figure 2b. The central bright region and its horizontal extension relate to the fiber orientation. To evaluate fiber orientation, amplitude (the square root of power) was added in the radial direction from the origin. That is, for each angle between 0 and 180° above the horizontal axis, the mean amplitude was calculated. If the mean amplitude values are plotted as a function of angle in polar coordinates, fiber orientation diagrams like the curve drawn with the thicker line in Figure 2d are obtained. The elliptical curve drawn with the thinner line as an approximation has longer (L) and shorter (S) axes at right angles to each other. The angle of S ($0 < S < 180^\circ$) represents the direction of fiber orientation. The magnitude of elongation, calculated as length L divided by length S, represents the degree of fiber orientation.

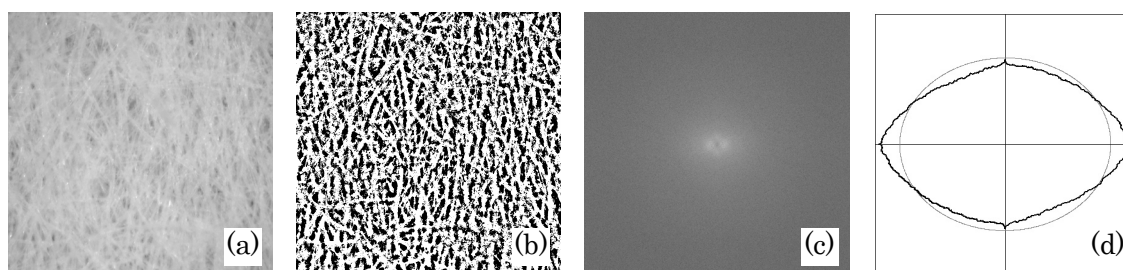


Fig. 2 Micrograph of screen side of Japanese H with digital optical microscope (a), binary image (b), FFT spectrum (c) and distribution diagram of overall fiber

A digital microscope DG-2, Scholar Co. Ltd., Japan was used to acquire reflected light images of paper surfaces with a 100 $\times$ magnification lens. Specimens were illuminated on a scanning stage at a low angle.

Experimental – samples

In the experiment, handsheets were prepared so as to simulate flow sheet-forming and still sheet-forming from a suspension of mulberry fibers after beating to 1000 revolutions with a PFI mill. *Neri* was added to the suspension. Bamboo splints of the screen were 0.1 mm thick and woven at 28 lines/sun. The papers prepared in this condition will be referred to as model papers in the following sections. In addition, contemporary papers manufactured using traditional methods in South Korea and Japan were examined to determine fiber orientation. The samples used were Mino paper with a basis weight of 61 g/m² (Japanese H) prepared by S. Hasegawa. Mino paper is one of the major Japanese paper products. Jangji of 57 g/m² (Korean J) and Uiryeong of 52 g/m² (Korean U) were made at craft studios in the traditional papermaking districts Uiryeong and Jangji, Korea, respectively.

Results and discussion

As Figure 2 shows, in the case of Japanese H, the degree of fiber orientation is very high and the orientation angle is almost 90°. In contrast, the distribution diagram of Korean J (Figure 3d) is relatively isotropic, indicating that there is no specified angle of fiber orientation. Accordingly, the fiber orientation degree is as low as 1.02.

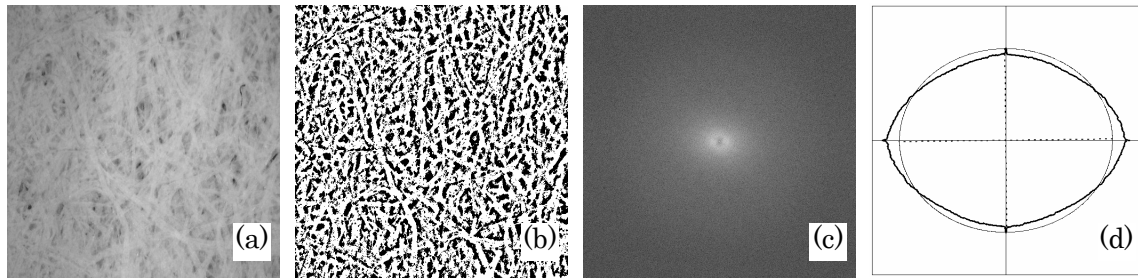


Fig. 3 Micrograph of screen side of Korean J with digital optical microscope (a), binary image (b), FFT spectrum (c) and distribution diagram of overall fiber

Figure 4 shows the degree and angle of fiber orientation for the three kinds of contemporary handmade papers. For the screen side, all the samples give high degrees of fiber orientation ranging from 1.16 to 1.22 and orientation angles of about 90° . For the top side (the other side of screen side), Japanese H gives a fairly high degree of fiber orientation, while Korean J and U show no fiber orientation because the degrees are almost equal to unity. The corresponding orientation angle of Japanese H is about 90° , although those of Korean J and U have very large 95% confidence intervals, denoted by the symmetrical error on the top of each thick bar in the figure. This result means that the determined orientation angles have large deviations and thus uncertain. The orientation angle of 90° means that the craftsman slanted the mould by lowering the edge on the far side from him as he regularly does. Exceptionally, the top side of Korean repair paper J gives an orientation angle of about 170° . However, the 95% confidence interval of the orientation angle is very large in this case, and the orientation degree is as low as 1.02. Therefore, it is reasonable to assume that this case indicates random orientation.

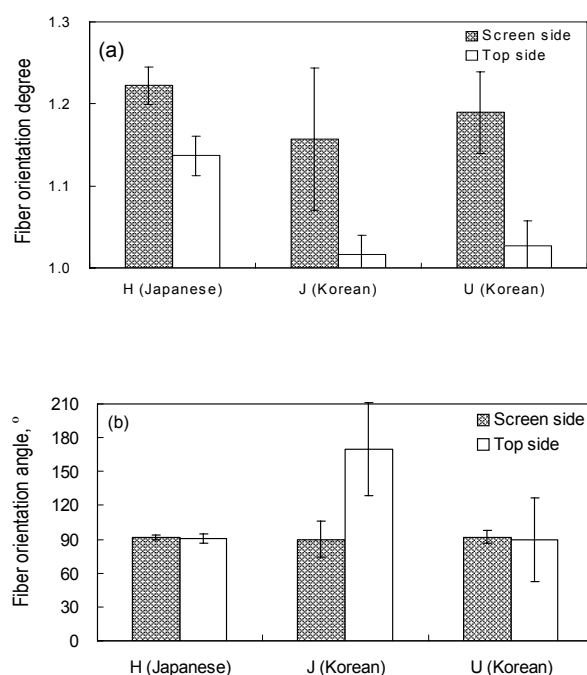


Fig. 4 Fibre orientation degree (a) and angle (b) of Korean and Japanese repair papers.

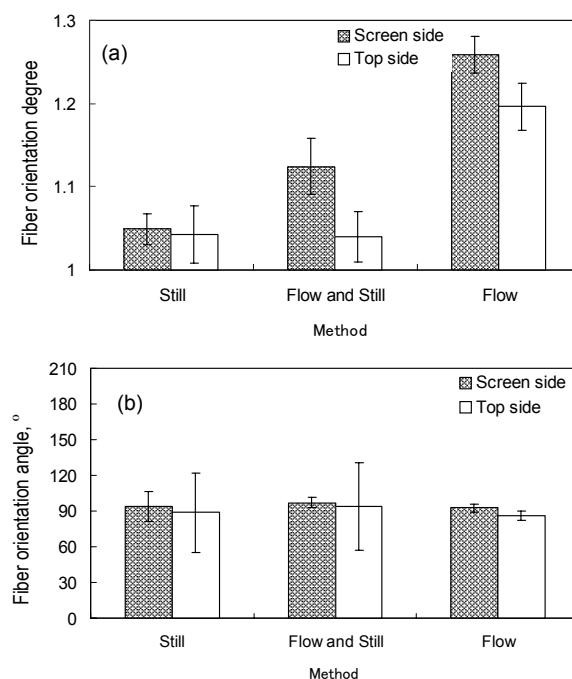


Fig. 5 Fibre orientation degree (a) and angle (b) of laboratory handmade papers

The general tendency of the data was to show the two-sided nature of fiber orientation degree indicating that the screen side always has higher degrees. Fiber orientation was examined with the model papers prepared in the laboratory by simulating typical motions of the traditional sheet formation. Figure 5 shows the degree and angle of fiber orientation obtained by the different sheet-forming methods. As expected, the flow sheet-forming method shows the highest value of orientation intensity (> 1.15), indicating strong fiber orientation, and the still sheet-forming method shows the lowest value (< 1.10), indicating random fiber distribution. The sequential flow and still sheet-forming method has intermediate degrees for the screen side, and the random orientation of the top side is as expected from the low degree.

PAPER PROPERTY DATABASE OF HISTORIC DOCUMENTS

Our research team of paper cultural heritage has two researcher groups in different fields; historical science and paper science. However, our team members together are now trying to create a nation-wide database on paper properties of historic documents. This effort is worth confirming historical evidence and reviewing historic

papermaking technology.

Some paper properties are customarily measured and recorded before and after restoration of paper cultural heritage in restoration workshops. But, the format of the datasheet is not common to all of the workshops. One object of our project is to share the paper property data of many historic documents for information exchange and to create the database system as a platform for that purpose. In our new database system in process of creation, the datasheet shown in Figure 6 is proposed. This datasheet view is for browsing all the recorded data, and when input by restoration workers, user-friendly prompts appear for input assistance. In addition to document properties like document name and written age, and paper properties like dimension, basis weight, thickness, density, color and presence of starch as a filler, frequencies each of splint and chain lines are automatically calculated from a transmission image and its scale. Moreover, fiber orientation degree and angle can be also calculated from uploaded images by the built-in program.

This database system will help with classification of past Japanese paper.

Traditional term based on the place of production is popularly used as a naming system of paper. But, it is logical to distinguish past paper by means of types of fiber sources,

The form is titled "文化財総合システム(含紙質情報)". It contains several sections for data entry:

- Document Information:** Includes fields for "史料群" (Cultural Heritage Group), "史料名" (Document Name), "総括史料名" (General Document Name), "分類番号" (Classification Number), "紙種" (Paper Type), "形状" (Shape), "紙張" (Paper Sheet), and "封式" (Sealing Style).
- Physical Properties:** Includes fields for "厚さ" (Thickness), "地" (Ground), "奥" (Back), "天" (Front), "平均" (Average), "目録寸法" (Record Size), "縦" (Vertical), "横" (Horizontal), "全" (Total), "cm", "mm", "目録比" (Record Ratio), "縦:横=1:" (Vertical:Horizontal=1:), "目録寸法" (Record Size), "縦" (Vertical), "横" (Horizontal), "全" (Total), "cm", "mm", "色" (Color), "白色度" (Whiteness), "色データ詳細" (Color Data Detail), "光沢度(75°)" (Gloss (75°)), "縦" (Vertical), "横" (Horizontal), "光沢度データ詳細" (Gloss Data Detail), "密度" (Density), "g/㎡" (g/sq m), "坪量" (坪量), "g/㎡" (g/sq m).
- Material Classification:** Includes fields for "材質分類" (Material Classification), "料紙名" (Paper Name), "再生" (Recycled), "地色" (Ground Color), "製粉" (Powder), "製目" (Preparation), "表" (Front), "裏" (Back), "程" (Degree), "板目" (Board), "製目" (Preparation), "表" (Front), "裏" (Back), "程" (Degree), "刷毛目" (Brush), "製目" (Preparation), "表" (Front), "裏" (Back), "程" (Degree), "白土" (White Clay), "製目" (Preparation), "表" (Front), "裏" (Back), "程" (Degree), "具物混入" (Material Mixed In), "製目" (Preparation), "表" (Front), "裏" (Back), "程" (Degree).
- Other Properties:** Includes fields for "縦" (Vertical), "横" (Horizontal), "全" (Total), "cm", "mm", "目録寸法" (Record Size), "縦" (Vertical), "横" (Horizontal), "全" (Total), "cm", "mm", "色" (Color), "白色度" (Whiteness), "色データ詳細" (Color Data Detail), "光沢度(75°)" (Gloss (75°)), "縦" (Vertical), "横" (Horizontal), "光沢度データ詳細" (Gloss Data Detail), "密度" (Density), "g/㎡" (g/sq m), "坪量" (坪量), "g/㎡" (g/sq m).

Fig. 6 Datasheet for recording paper properties of historical

added components, structural characteristics like wavy wrinkles at surface, optical properties etc, as long as place of manufacture is unknown, as is common.

REFERENCES

- 1) Enomae, T., "Papermaking", Historical Science Encyclopedia, Vol. 14 "Objects and Techniques," Koubundo publishing, (2006). [in Japanese].
- 2) Jung, S.-Y., "A study on the introduction of paper and papermaking technique in ancient Korea", PhD dissertation, Yonsei University, Korea (1997) [in Korean].
- 3) Han, Y.-H., Yanagisawa, M., Enomae T., Isogai A., Ishii, T., "Analyses of mucilaginous compounds used in making traditional handmade paper", Japan TAPPI Journal. 59(7), 121-130 (2005), .
- 4) Kato, M., Research report of Digital Archives Research Center, Ryukoku University, 2001 fiscal year, pp.125-128 (2002)
- 5) Han, Y.-H., Enomae, T., Isogai, A., Yamamoto, H., Hasegawa, S., Song, J.-I. and Jang, S.-W., "Estimate of hand-making processes of Asian traditional papers, Hanji and Washi, by fiber orientation analysis", Studies in Conservation, 51(4), 267-276 (2006).
- 6) Enomae T., Han Y.-H., and Isogai A., "Nondestructive determination of fiber orientation distribution of fiber surface by image analysis", Nordic Pulp and Paper Research Journal 21(2), 253-259 (2006).

3. “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

Toshiharu Enomae, Emiko Wada, Madoka Sato, Masamitsu Inaba, , 2009年10月17日, 故宮博物院, 北京, 中国

Mechanical properties of paper deteriorated at high temperature and humidity and pounding-processed paper and their change by moisture

Toshiharu ENOMAE¹, Emiko WADA¹, Madoka SATO² and Masamitsu INABA²

Abstract

Restoration of paper cultural properties carries a risk of damage to the restored paper from repair paper with different properties. If the repair paper used is likely to have no detrimental effect on the restored paper, different degrees of dimensional changes caused by humid-and-dry cycles between the two papers may cause serious damage for a long time after the restoration.

Therefore, before and after aqueous treatment as a simulation of cleaning processes, mechanical properties was compared for acidic western paper, Japanese paper from *Kozo* fibers, the Japanese paper coated with a glue and alum solution, hardwood pulp sheets deteriorated at 80 °C and 80 % relative humidity up to 16 weeks. Consequently, by the aqueous treatment, single fiber strength decreased for the deteriorated glue-alum-coated Japanese paper, but showed no change for all the other papers regardless of deterioration. Tensile energy absorption (TEA) increased by the aqueous treatment, suggesting that the aqueous treatment provided paper with toughness or resistance to tensile stress. However, increased stretch at break implied that shrinkage during drying increased TEA. Presumably, the paper sheets shrank during drying, making slight amount of bonding between or inside fibers, and some more energy was required to break these bonding during the tensile test.

Paper pounding-process used to be performed to Japanese paper historically to reduce bleeding problems for *Sumi* ink in handwriting. When repair paper is manufactured for the

¹ Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, Japan

² Graduate School of Conservation, Tokyo University of the Arts, Japan

restored paper so processed, it is often finished by paper pounding for concordance. To examine water absorption properties and dimensional changes, wood-free copy paper was pounded at different strength by altering the air pressure to drive a hammer for different repetitions. Strong paper pounding increased the apparent sheet density from 0.77 to 0.97 g/cm³. Tensile strength decreased slightly, but stretch at break and TEA showed no change. Water absorption rate increased and elongation due to swelling appeared more quickly as the strength of the pounding process was increased. This fact probably means that pounded paper elongates quickly in moisture adsorption. Influence of repair paper properties on the restored paper will be discussed.

続き

高温高湿劣化処理した紙及び打ち紙処理した紙の 強度特性と水による変化

江前敏晴¹, 和田恵美子¹, 佐藤円香², 稲葉政満²

【要旨】

紙文化財の修復を行う上で、補修紙が文化財本紙とは異なる特性をもつことが原因で本紙を損なう危険性が常に伴っている。使用された補修紙が本紙に何ら影響を与えないと思われても、乾湿の繰り返しによる寸法変化の相違が影響することもあると考えられる。

そこで、酸性紙、コウゾを原料とする和紙、それにドウサ引きした紙、木材パルプを原料とする手すき紙について、80℃、相対湿度80%で強制劣化させ、修復工程の水によるクリーニングを模した水処理を行う前後でその強度特性にどのような違いが現れるかを調べた。単繊維の強度は、ドウサ引き和紙で低下したが、他の試料では劣化処理の有無に関わらず変化がなかった。引張エネルギー吸収量（TEA）は、水処理により増加し、破壊しにくい紙になったと言えるが、破断伸びが増加することから乾燥時の収縮が原因であることが推測された。すなわち、乾燥時に繊維間あるいは繊維内で生じる結合を引張試験の際に切る分だけ余計にエネルギーを要したためと考えられた。

打ち紙処理は、墨のにじみを低減させる目的でかつては広く行われていたため、打ち紙処理した文化財用紙が多く、補修紙も打ち紙を行ってから修復することが多い。打ち紙を行うことによる紙の吸水特性と寸法変化を調べるため、コピー用紙を用い、ハンマーを駆動する圧力及び繰り返し打ち回数を変化させて、試料を調製した。強い打ち紙処理を行った場合には、密度は0.77 g/cm³から、0.97 g/cm³に増加した。引張強度はやや低下する傾向にあったが、破断伸びやTEAは変化がなかった。打ち紙処理強度の増加とともに、吸水速度が上昇し、吸水と膨潤による伸びが早く現れるようになった。これは吸湿時に、紙が即座に伸びることを示唆する。以上のような結果を元に、補修紙が本紙に与える変化を考察する。

¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科 生物材料科学専攻製紙科学研究室

² 東京芸術大学大学院美術研究科 文化財保存学専攻保存科学研究室

ポスター発表用原稿（次ページ）

Mechanical properties of paper deteriorated at high temperature and humidity and pounding-processed paper and their change by moisture

Toshiharu ENOMAE¹, Emiko WADA¹, Madoka SATO² and Masamitsu INABA²

¹ Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, ² Graduate School of Conservation, Tokyo University of the Arts, Japan

Objectives:



Toshiharu ENOMAE

Restoration processes might impair the restored paper due to the repair paper with different properties such as different degrees of shrinkage caused by humid-and-dry cycles (Fig.1). Influences of aqueous treatments on paper properties related to restoration were examined.

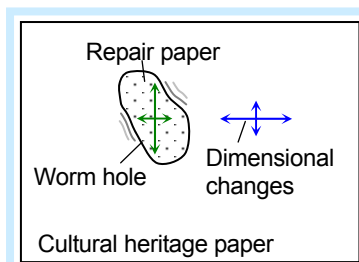


Fig.1 Deformation by different dimensional changes

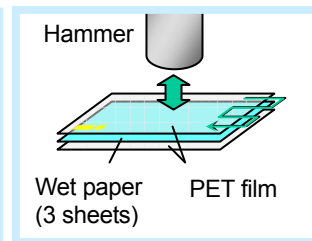


Fig.2 Testing paper-pounding

Experimental:

Change of pH and mechanical properties were compared for 4 kinds of paper (Table 1) with deterioration time by hygrothermal (HT) aging before and after water treatment to simulate aqueous cleaning process (Fig.3).

Table 1 Paper samples used

Paper	Basis weight (g/m ²)
Acidic paper	66~69
Japanese paper	30~34
Japanese paper (glue-alum coated)	31~37
Pulp sheet (HBKP)	59~78

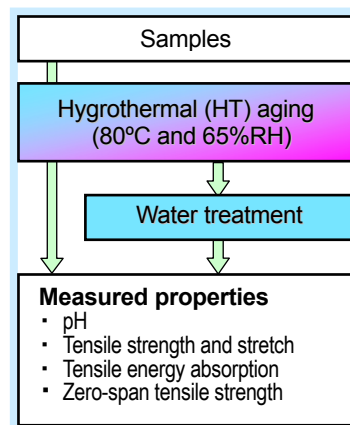


Fig.3 Experimental flow

In addition, effects of pounding processes on wet-stretch behavior were examined for copy paper and Japanese paper. Pounding pressure and moisture of samples were altered.

Results and discussion:

Water treatment increased pH, that is, recovered neutrality from acidification.

Tensile strength was decreased except for Japanese paper and single fiber strength (zero-span) was decreased for every sample by HT aging.

Tensile energy absorption (TEA) decreased for every sample because tensile stretch until break decreased (Fig.4). TEA was recovered by water treatment (Fig.4), suggesting that water treatment provided paper with toughness or resistance to tensile stress. This improvement is derived from difficulty of stretch induced by shrinkage of paper and inter-fiber bonding formation during drying.

Wood-free copy paper was pounded at different pounding pressures. Strong

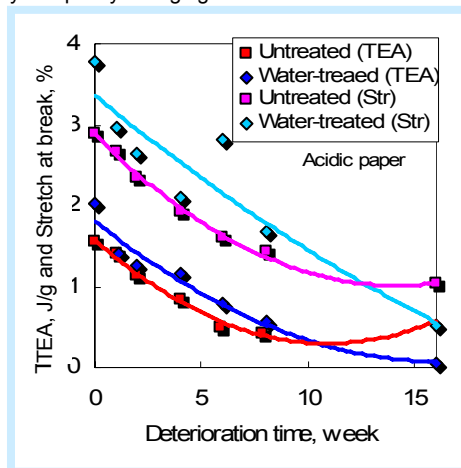


Fig.4 Changes in TEA and stretch at break by hygrothermal aging and water treatment

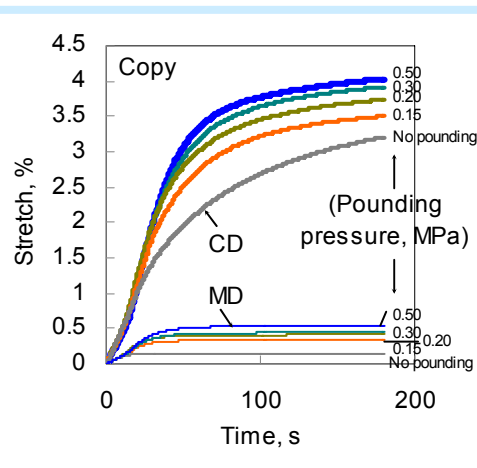


Fig.5 Wet-stretch for varied pounding pressures.

pounding increased the apparent sheet density from 0.77 to 0.97 g/cm³. Tensile strength decreased slightly, but stretch at break and TEA showed no change. Water absorption rate increased and stretch due to swelling appeared more quickly as the strength of the pounding pressure was increased. This fact probably means that pounded paper stretches quickly on moisture adsorption. Repair paper pounded well may stretch and shrink largely by humid-and-dry cycles and might cause damages to the restored paper.

4. 「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)

佐藤円香、稲葉政満、江前敏晴、磯貝明、2009年3月16日、松本

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

(東京芸大院美術) ○佐藤 円香、稲葉 政満、(東大院農生命) 江前 敏晴、磯貝 明

研究概要

紙文化財の修復法には共通した方針はあるが、細部は修復家の考えに委ねられており、個々の修復工程の妥当性の評価は十分には行われていない。本研究では修復工程のうち特に水によるクリーニングについて着目した。湿熱劣化させて経年劣化紙試料モデルを作成し、このモデル試料に水クリーニング工程を模した水処理を行い、水がどのような影響を与えるのか検討した。水処理により、劣化処理による紙の変色が軽減され、pHは中性側に上昇した。引張エネルギー吸収量が増加し、破壊しにくい性質に変化したと言えるが、水処理後の乾燥過程で繊維が収縮し、引張破断までの伸びが大きくなったためと考えられた。しかし、礬砂(ドウサ)引きした和紙では単繊維強度が低下傾向を示した。よって、脱酸・脱色の目的は達せられるが、繊維強度の低下を招く要因になる可能性を理解した上でクリーニングを行う必要があると言える。

【緒言】

現在、劣化した紙文化財に対しては様々な修復法や修復工程が存在している。それらには、共通した修復方針の統一はあるが、細部では実際に現場で作業をする修復家の考えに委ねられている部分が多く、また修復には大量迅速処理化が求められる趨勢にあるため、修復法や修復材料の妥当性評価は十分には行われていない。本研究では修復工程のうち特に水によるクリーニング(以下、“水処理”と呼ぶ)について着目した。紙の中の繊維間水素結合は水により切断される性質があるため、水処理は文化材料紙の破壊に繋がるおそれがある。そこで、水処理が料紙にどのような影響を及ぼすのかを客観的に評価し、水処理の妥当性及び望ましい水処理法を検討することを本研究の目的とした。

【実験方法】

【I】 試料

酸性紙・和紙(未塗布)・和紙(礬水塗布)・手抄き紙

【II】 強制劣化処理

湿熱劣化(80℃・65%RH)-0、1、2、4、6、8、16 weeks

【III】 水処理

修復工程における水クリーニングを模して水処理実験を行った。手で試料を支え、一瞬水をくぐらせたあと、ろ紙で挟み、さらに両側を板で挟んで、98.1 kPa(1 kgf/cm²)の圧力で1分間プレスを行った。板に挟んだ状態で1kgの重しを置き、23℃ 相対湿度 50%の条件で完全に乾燥するまで(48時間以上)乾燥した。実験方法は再現性があり簡単な方法であること、実際に現場で行われている方法に近いこと、試料に水分以外の影響を与えないようにすることを考慮して決定した。【IV】 測定項目

色差・pH・力学特性測定(引張/引張エネルギー吸収量(TEA)・引裂・耐折・ゼロスパン引張)、比散乱係数を測定した。一般に、繊維間結合が増加すれば比散乱係数は減少する。

【結果および考察】

・ 色差・pH

すべての試料において、色差については湿熱劣化時間とともに増加したものが、水処理後にそれぞれ減少した。pHについては同様に水処理後に高く、すなわち中性側に動いた。これは水処理によって劣化に伴い増加した試料中の着色物質及び酸性物質が洗い流されたためと考えられる。酸性紙では、湿熱劣化とともに、水処理によるpHの中性へのシフトが少なくなったが、硫酸アルミニウム以外の劣化により生じた酸性物質が溶出しにくいことが考えられる。

・ 力学特性

力学特性のうち特にTEA(図1)とゼロスパン引張強さ(図2)に着目すると、水処理後にTEAは増加しており引張荷重に対する耐久性が増したことが確認できた。しかしゼロスパン引張強さに関してはほぼ変化がなく、そればかりか和紙礬水塗布試料では水処理により低下する傾向があった(図3)。よって水処理は単繊維の引張強さに影響しないか、やや低下させる傾向があり、紙自体のTEAに与えるような影響とは異なることが確認できた。

力学特性のうち水処理により劣化による低下を回復させた特性はTEAと耐折強さである。これらは繊維の伸びやすさが重要となるため水処理後の乾燥により繊維収縮が起こっているのがその理由ではないかと考えた。水処理により、繊維に新たな好ましい性質を付与したことにはなるが、実際には寸法変化や紙のシワが生じているはずで、そのような評価も今後必要になる。

・ 比散乱係数

水処理による比散乱係数変化はほぼみられなかった(図 4)。つまり繊維間結合の量に変化はなく、TEA の変化は乾燥のときの繊維の収縮によるものであると考えられる。また、繊維の収縮は比散乱係数には影響を及ぼさないと解釈できる。

【まとめ】

水処理により紙の pH、色は回復し、一部の強度特性試験では強度が回復することが確認された。しかし単繊維自体の強度は水処理により低下する傾向が認められたものもあり、繊維自体には僅かながら影響を及ぼすことを示唆する結果となった。よって修復における水クリーニング法は処理を施す目的をよく認識した上で用いるのが望ましい、と言える。

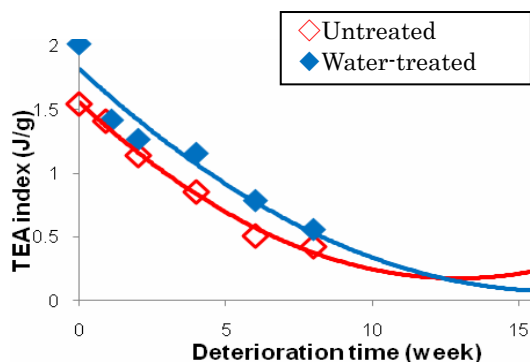


図 1 水処理前後の酸性紙 TEA index 変化

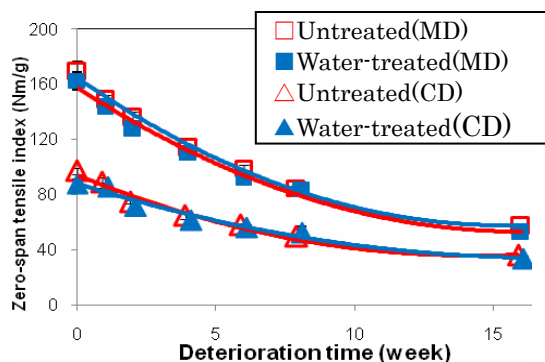


図 2 水処理前後の酸性紙ゼロスパン強さ変化

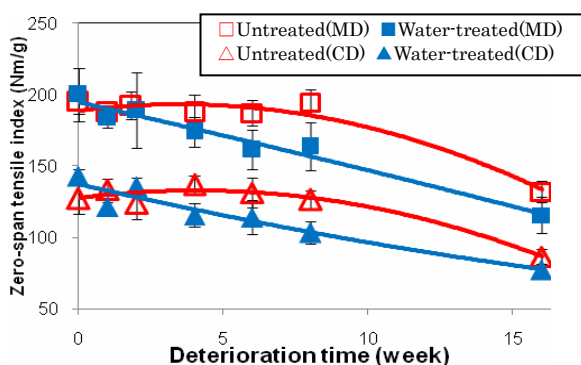


図 3 水処理前後の和紙礬水塗布ゼロスパン強さ変化

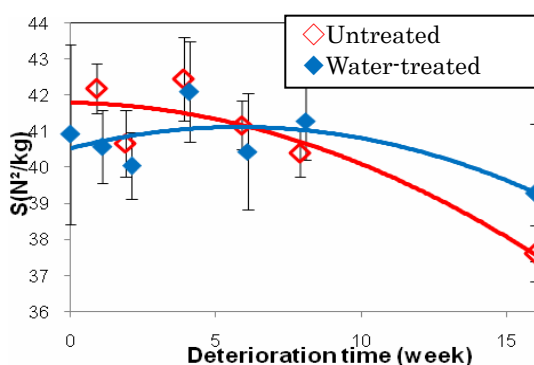


図 4 水処理前後の酸性紙比散乱係数変化

5. 「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

佐藤円香、江前敏晴、稲葉政満、2008年10月14日、ソウル

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－
Validity evaluation of restoration methods for paper cultural properties
— Consideration of aqueous cleaning processes —

佐藤円香¹、○江前敏晴²、稲葉政満³

Madoka SATO, ○Toshiharu ENOMAE and Masamitsu INABA

Abstract

In the processes of restoration of paper cultural properties, water is often applied. To remove dust and colored stain, water mist is dispersed over a whole sheet of those kinds of paper as an initial treatment. However, water changes the sheet structure and may break hydrogen bonding between fibers, finally. Therefore, in this work, possible detrimental influence of water treatment was examined from a standpoint of mechanical properties.

1. 緒言

現在、我々の研究グループでは、基盤研究(B)（一般）課題番号 19300296（H19～H21）「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」により、紙文化財の適切な修復方法のあり方を、科学的な裏づけをもって追求している。これまでに進めてきた研究の一部を紹介する。

古文書や史料等の紙でできた文化財を保護し、修復していくことは、史学的、文化的及び美術的価値を継承していくという観点から重要である。文化庁でも、文化財保護法に基づき、国宝・重要文化財（美術工芸品）、登録文化財を適切に保存するための計画的な保存修理に対して補助を行っている。文化財の修復法に関して言えば、一方では、文部科学大臣が指定す

¹ 佐藤円香 修士課程2年 東京芸術大学大学院美術研究科 文化財保存学専攻保存科学研究室

² 江前敏晴 准教授 東京大学大学院農学生命科学研究科 生物材料科学専攻製紙科学研究室
〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1 ☎ 03-5841-8199 ☎ 03-5841-5271 ✉ enomae@psl.f.u-tokyo.ac.jp

³ 稲葉政満 教授 東京芸術大学大学院美術研究科 文化財保存学専攻保存科学研究室
〒110-8714 東京都台東区上野公園 12-8 ☎ 050-5525-2285 ☎ 050-5525-2505 ✉ inaba@fa.geidai.ac.jp

る文化財の保存のために欠くことのできない伝統的な選定保存技術があり、他方では、修復を要する膨大な数（欧米では全保管書籍の2割以上）の紙文化財を対象とした効率的な修復法が求められ、開発されている。欧米は1800年代半ばから紙の繊維原料として木材パルプが普及し、はっ水性を与えるサイズ剤としてロジンとその定着助剤である硫酸アルミニウムを使用してきた。その硫酸痕により繊維の主成分であるセルロースが酸化水分解を起こし、紙の劣化が進行した。劣化を食い止めるには紙の中の酸性成分を取り除くことが必要となるが、このような書物量が膨大なため、大量に効率よく処理できる脱酸法が開発されてきた。しかし、明治中期までの日本の紙文化財は酸性物質を含有しない和紙であるため脱酸処理の必要がなく、修復工程も洋紙とは異なっていて当然である。しかし、伝統的技術に基づかない欧米の手法が日本国内でも普及しつつある。虫食いの穴がある紙全体を網上に置き、繊維懸濁液を流し込んで脱水し、穴の部分だけを紙を漉く要領で埋める漉き嵌（ば）め法¹⁾や、脱酸処理として水酸化カルシウム水溶液への浸漬²⁾、中性次亜塩素酸カルシウム溶液を用いたシミの漂白³⁾などが行われているが、このような処理は長期的に有効な処理と言えるのかどうかの検討は不十分である。

江前らは、古文書料紙の繊維配向を調べることによって紙の製造技術を推定する手法を開発し、補修紙の繊維配向を文化財の紙（以下、本紙と呼ぶ）に合わせるべきであるとの見解を示した⁴⁾。また、現代の和紙製造で行われなくなった打ち紙処理を行って修復の現場で補修紙を改質することが多い。これを踏まえて、打ち紙による紙質の変化を独自に設計製作した自動打ち紙装置を用いて調べ、補修紙設計の基礎データとした。以上のように修復法をそのものの妥当性を検討するには、製紙科学的分析が重要な役割を果たすものと考えられる。

現在の紙文化財修復工程で、最初に驚ろかされたのは、水をふんだんに使用することであった。紙は、水の中に分散した繊維を層状に重ね、脱水・乾燥することにより、繊維間に水素結合を生じさせ、その構造が保たれている。裏を返せば、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簡単に切れる。トイレットペーパーを水の中でかき混ぜれば繊維が分散することからも簡単にわかるであろうし、この現象のおかげで再生紙を製造することができるわけである。修復工程での水の使用の極端な例は前にも述べた漉き嵌め法であるが、このような完全に水に浸漬する方法ではなくても、単に汚れ（ホコリなどの他、着色成分など）を取るために水を霧吹きで与えることは日常的に行われる。わずかとはいえ、このような液体の水による処理が文化財本紙に与える影響を検討した。

2. 実験

2.1 試料

機械抄き酸性洋紙（プリンタフォーム用紙）、和紙（ドウサ引き処理）、和紙（ドウサ引きなし）、試験用手すき紙（広葉樹漂白クラフトパルプシートを JIS P 8222 に従って調製、PFI ミルにより約 500 ml CSF まで叩解、薬品添加なし）を使用した。各試料は、それぞれ表 1 にある名称で呼び、坪量とともに示す。

表 1 使用した試料名と坪量

試料名	English term	坪量 (g/m ²)
酸性紙	Acidic paper	66～69
和紙（ドウサ引き）	Japanese paper, glue-rosin treated	31～37
和紙（ドウサなし）	Japanese paper, no sizing	30～34
手すき紙	Pulp sheet	59～78

以上の試料を 270 mm×320 mm 程度の大きさの試験片として採取して、試験に供した。

吸水用ろ紙（坪量 230 g/m²）を 290 mm×400 mm の大きさに採取した。290 mm×420 mm×18 mm の合板をウェットプレス及び乾燥工程に使用した。

2.2 劣化処理

80℃ 65%RH 条件で、各試料について加速劣化処理を行った。劣化時間は、0、1、2、4、6、8、16 週とした。

2.3 水処理

劣化処理を行った試料、劣化処理なしの試料のそれぞれについて、水に浸漬して乾燥させる工程が引き起こす変化を調べるため、次の手順で水への浸漬処理（以下、水処理と呼ぶ）を行った。十分大きな金属性バットに深さ 50 mm 程度まで脱イオン水を入れ、手で試験片を支えて、水の中を通した（図 1(a)参照）。ろ紙上にこの試料を置き（(b) 参照）、別の 1 枚のろ紙を上から重ね、さらに合板 2 枚で挟んだ（(c) 参照）。試料を重ねる順番を（d）の通りとし、ウェットプレス装置（熊谷理機製 角型プレス機）で、98.1 kPa (1.0 kg/cm²) の油圧で 1 分間プレスした（(e) 参照）。試料を合板に挟んだままウェットプレス装置から取り出し、23℃、50%RH の条件で、重し（約 10 kg）を置き（(f) 参照）、48 時間以上乾燥させて、試料を取り出した（(g) 参照）。

2.4 測定

力学物性については、引張試験、ゼロスパン引張試験、引裂試験、耐折試験を行った。結果は比引張強さ (N・m/g)、比引張エネルギー吸収 (J/g)、比ゼロスパン引張強さ (kN・m/g)、

比引裂強さ、ISO 耐折強さとして求めた。その他、色差 (CIE $L^*a^*b^*$ 表色系の ΔE)、常温の水に 10 分間浸漬したときの液の pH を評価した。

ゼロスパン引張試験は、通常の引張試験がつかみ具の間隔を 100 mm (長さ 100mm の試料を引っ張るということ) とするのになら、極限まで 0 mm となるように設計された装置を用いる。図 2 にその模式図を示す。

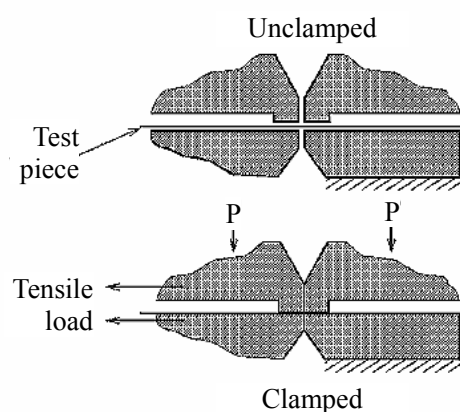


Fig.2 Jaws of zero-span tensile apparatus

3. 結果と考察

3.1 引張試験結果

図 3 は、各試料の比引張強さを示す。酸性紙は、劣化処理時間に対しほぼ直線的に低下した。和紙はドウサ引きの有無に関わらず、低下しなかった。手すき紙はやや引張強度が低下する傾向にあった。酸性紙の低下は、酸性紙たる所以である硫酸アルミニウムが、セルロースの酸加水分解を引き起こし低分子化するためである。pH は劣化処理前で 4.5 から劣化処理後は 4.0 程度となっている。手すき紙の pH は、6.2 から 6 時間の劣化で 5.4 程度に低下していた。手すき紙は、抄紙の際水道水を使用するためカルシウムイオンが多く含まれるが、劣化の原因とは考えにくく、また鉄イオン等が触媒的に酸加水分解を促進している可能性があるが、はっきりした理由はわからない。

図 4 は、手すき紙の比引張強さと比引張エネルギー吸収を比較したものである。比引張強さは、劣化初期の変化が小さく、劣化の指標としにくいのに比べ、引張エネルギー吸収は、変化の割合が小さいものの、劣化の初期から安定して変化が現れ易いことが知られている。手すき紙でもそのような傾向にあることがわかる。

図 5 は、ドウサ引きの処理が劣化に及ぼす影響を調べたもので、引張エネルギー吸収は、ドウサ引きした試料が直線的に低下するのに比べ、ドウサ引き無しの試料では、低下がわずかであるといえる。ドウサはミョウバン (硫酸アルミニウムカリウム) と膠 (ニカワ、ゼラチンが主成分) を水に溶解又は分散した混合液である。ミョウバンが硫酸アルミニウムに近い酸性を示すので酸加水分解を促進した結果であると言える。ここでも、比引張強さの結果はドウサ引きの有無を区別できないが、比引張エネルギー吸収では、はっきりした違いが現れていると言える。劣化によって、比引張強さにあまり変化がなく、比引張エネルギー吸収が低下するということは、実質的には、引張過程で破断までに伸びる量が減ったことを意味する。つまり、ヤング率が上がり、堅い材料になったと言える。劣化によって堅くなる現象

はよく実感することである。セルロース間の水素結合の生成が少しずつ進行するためではないかと考えられ、劣化がなければ引張過程で伸びるはずだった部分が伸びなくなるのであろう。繊維間では分子間距離が大きいいため、水素結合の生成が起きにくく、比引張強さにはあまり影響しないものと考えられる。長時間の劣化の過程では、セルロースの低分子化により、結晶化も進むであろうと考えられる。

図 6 は、劣化による酸性紙の比引張エネルギー吸収の変化を、水処理の有無で比較したものである。水処理により比引張エネルギー吸収は増加したが、水処理のない試料と比較して、どの劣化時間でも同程度の増加があった。これは、水処理により繊維が収縮し、その分だけ引張過程で伸びが大きくなったためと考えられる。

図 7 は、酸性紙の比ゼロスパン引張強さの劣化による変化を示す。MD は繊維が配向する方向で、CD はその垂直方向である。それぞれの方向に引っ張って測定した結果を示す。MD と CD では、大きな差があるが、水処理の有無では差がないことがわかる。繊維そのものの強度は水処理により変化しないが、乾燥時の収縮が起きるため伸び易い紙となり、その伸びやすさは劣化によっても変わらないことがわかった。

図 8 は、ドウサ引きをしなかった和紙の比ゼロスパン引張強さの劣化による変化を示す。酸性物質が存在しない紙では、繊維強度は、劣化処理によっても水処理によっても低下しないことがわかった。

4. まとめ

水処理により起こる変化として、乾燥時の繊維の収縮が示唆された。この収縮は、引っ張られたときの伸びが大きくなる可能性を潜在的に示していた。またこの収縮に伸びの可能性は劣化によっても消失しないことが示唆された。和紙などについては今後検討する。

参考文献

- 1) Petherbridge, G., Conservation of Library and Archive Materials and the Graphic Arts, 153-179 (1987).
- 2) Ambrosi, M., Colloidal Particles of $\text{Ca}(\text{OH})_2$: Properties and Applications to Restoration of Frescoes, *Langmuir* 17: 4251-4255 (2001).
- 3) Sundholm, F., Paper Conservation Using Aqueous Solutions of Calcium Hydroxide/Methyl Cellulose., *Restaurator* 24: 178-188(2003).
- 4) Han, Y.-H., Enomae, T., Isogai, A., Yamamoto, H., Hasegawa, S., Song, J.-J. and Jang, S.-W., "Traditional papermaking Techniques revealed by fiber orientation in historical papers", *Studies in conservation* 52(4): 267-276(2006).



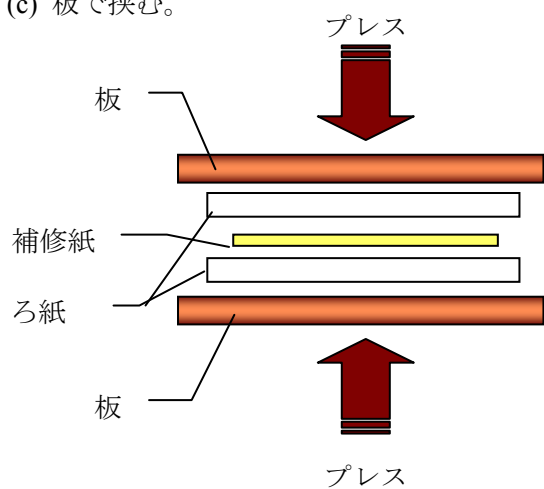
(a) 試料をイオン交換水中に通す



(b) ろ紙の上に置く。



(c) 板で挟む。



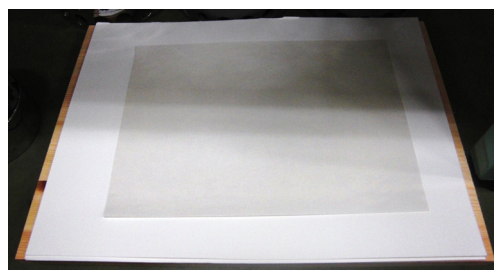
(d) 紙及び板の重ね順



(e) ウェットプレス工程



(f) 重しを置いて乾燥



(g) 乾燥後後取り出し

Fig.1 (a)～(g) 水処理工程の手順

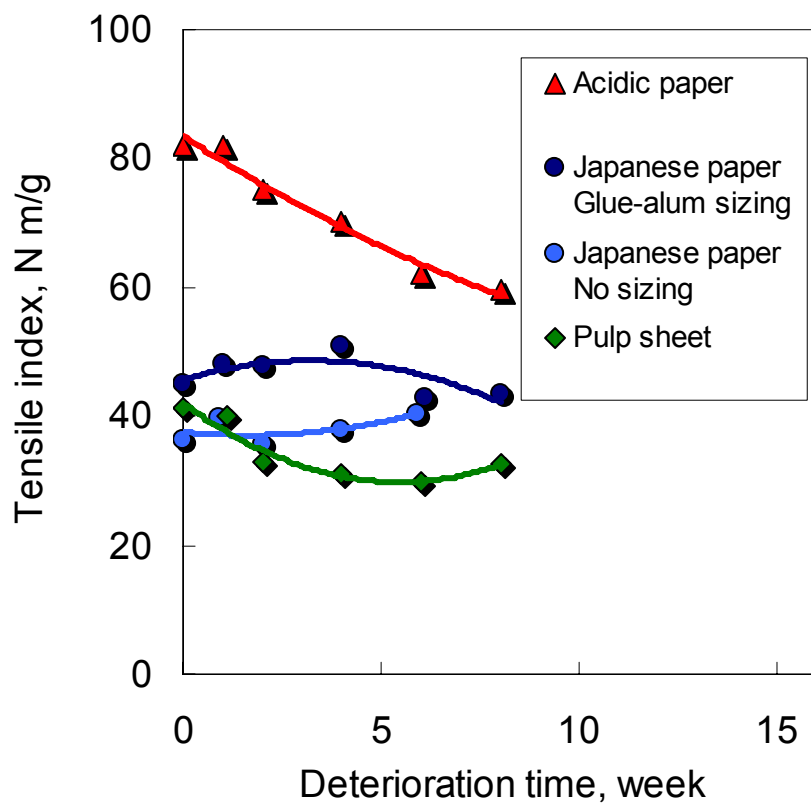


Fig.3 Changes in tensile index

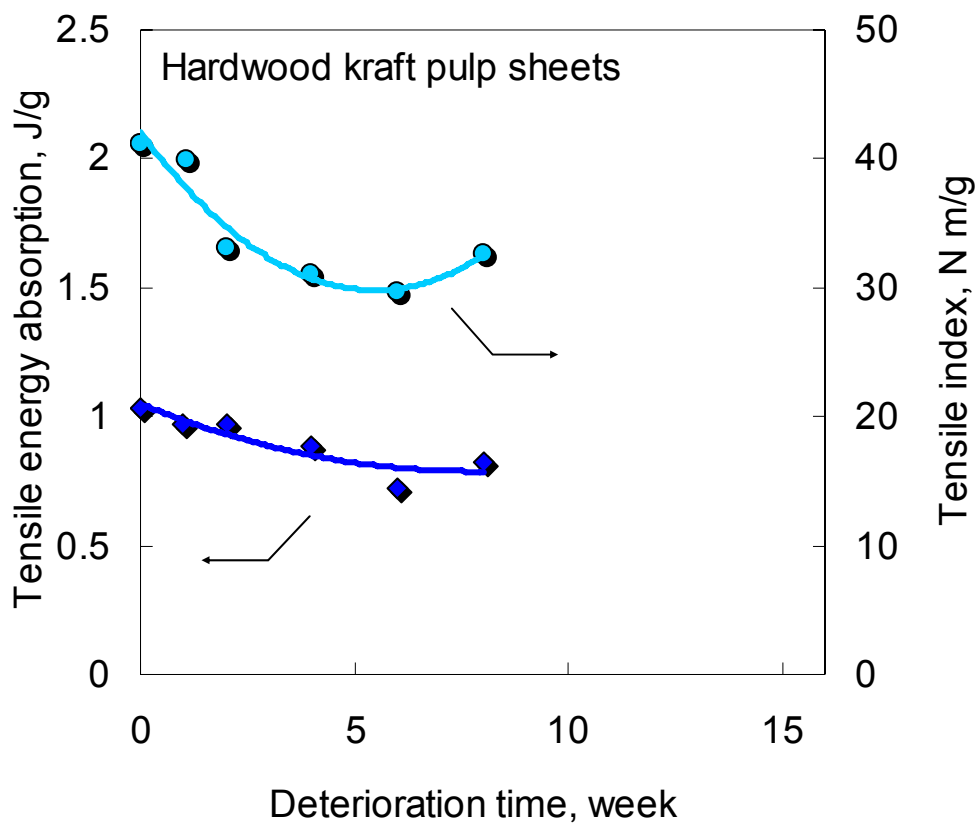


Fig.4 Effect of 80°C 50%RH treatment on tensile properties for laboratory pulp sheets.

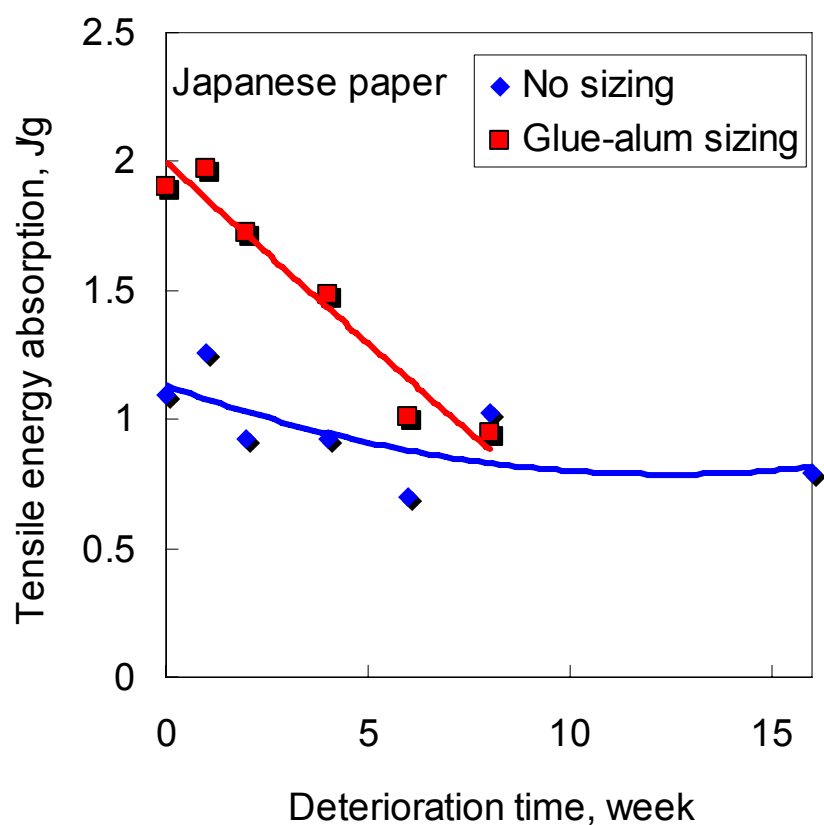


Fig.5 Effect of glue-alum (dosa) sizing on tensile energy absorption for Japanese paper.

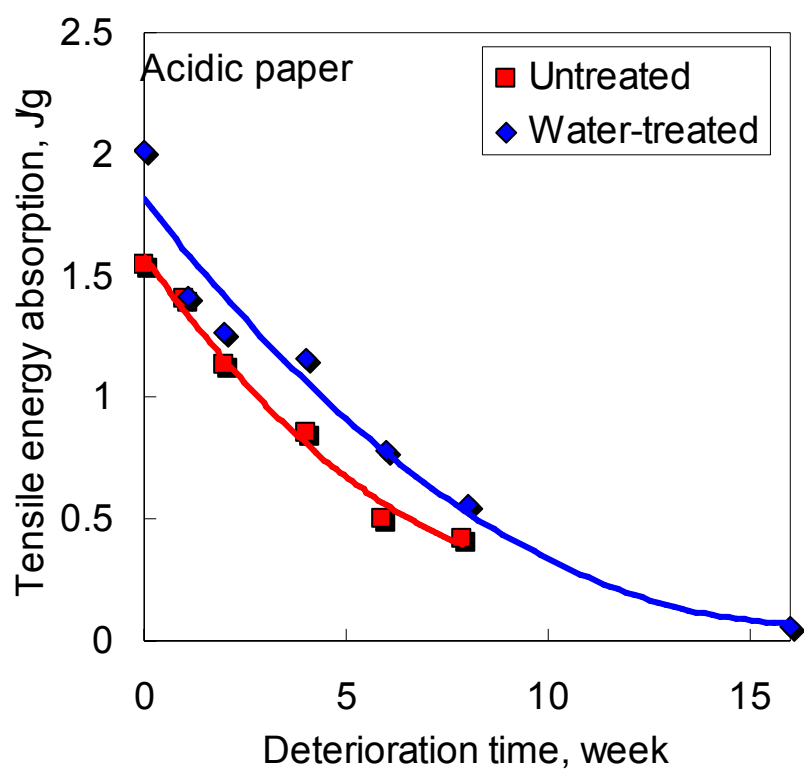


Fig.6 Effect of water treatment on tensile energy absorption for acidic western paper.

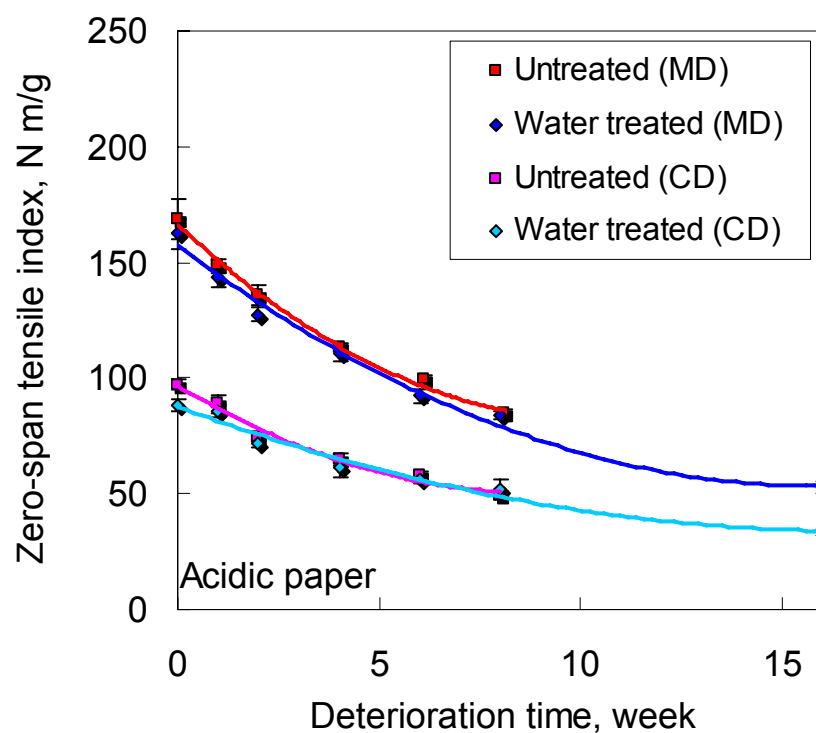


Fig.7 Effect of water treatment on tensile energy absorption for acidic western paper.

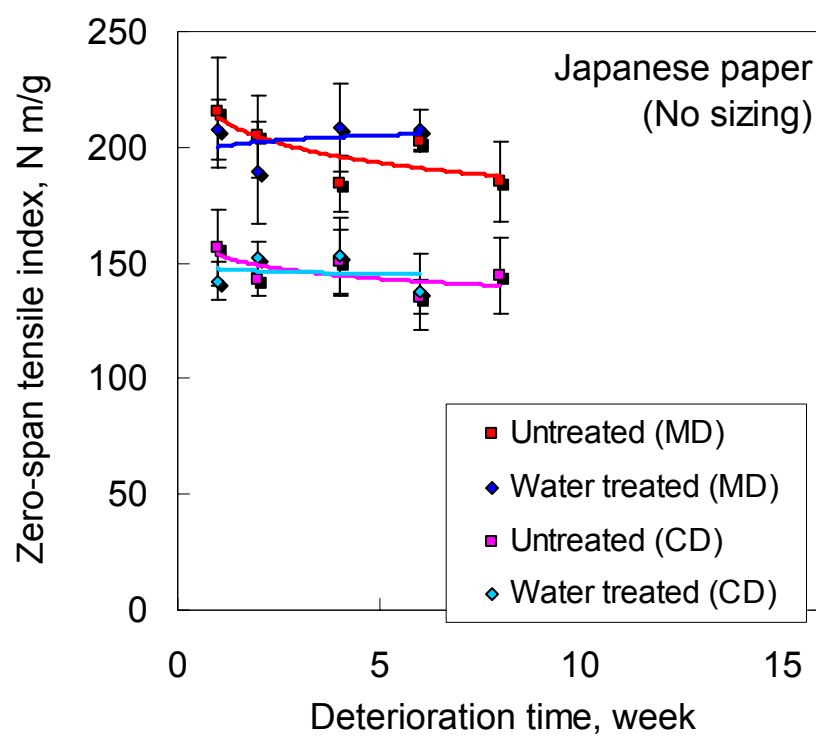


Fig.8 Effect of water treatment on tensile energy absorption for acidic western paper.

平成 19 年度～平成 21 年度科学研究費補助金 基盤研究（B）課題番号 19300296

「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」

研究成果報告書

(<http://enomae.web.infoseek.co.jp/cgi-bin/PaperConservation/> から本報告書の PDF 版が入手可能)

2010 年 11 月 30 日 発行

研究代表者・著者代表 江前敏晴
東京大学 大学院農学生命科学研究科