

平成 21 年 6 月 12 日現在

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19380098

研究課題名（和文） リサイクルパルプを配合した紙保存資料の劣化評価とその改質処理

研究課題名（英文） Degradation Estimation of Preserved Paper Documents Produced from Recycled Pulp and its Improvements

研究代表者

岡山 隆之 (OKAYAMA TAKAYUKI)

東京農工大学・大学院共生科学技術研究院・教授

研究者番号：70134799

研究成果の概要：リサイクルパルプ、特にリサイクル機械パルプを配合した紙の経時的劣化を実験的に再現し、いろいろな劣化度測定法を考案して劣化評価を行うとともに、リサイクルパルプによる紙の経時的劣化を抑制できる改質処理を検討した。その結果、紙の強度は時間の経過とともにリサイクルパルプ配合の有無による違いが解消されることが明らかになった。また、リサイクル機械パルプとともに蛍光増白剤が配合されると、光による紙の劣化速度が遅くなることが示された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	7,500,000	2,250,000	9,750,000
2008年度	7,600,000	2,280,000	9,880,000
年度			
年度			
年度			
総計	15,100,000	4,530,000	19,630,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：林学・林産科学・木質工学

キーワード：パルプ・紙、廃棄物再資源化、保存科学、林産科学、長寿命化、リサイクル

### 1. 研究開始当初の背景

日本の古紙回収量は2005年に2,230万トンを超え、古紙回収率としては71.1%に達した。同時に、製紙原料への古紙利用率も60.3%まで伸びている。

印刷・情報用紙における再生紙の割合が増加すると、学術書や学術雑誌はもとより一般図書や文書の形で保存される紙資料に再生紙が使用されるケースは増加してくる。すでに図書館や公文書館関係者の間には、低品質の再生紙を用いた紙保存資料では長期保存に耐えられないのではないかとという危惧が囁かれている。

印刷・情報用紙に配合される古紙としては、新聞古紙が全体の約60%と最も多く、次いで上質古紙が約26%、雑誌古紙が約9%となっている(2005年)。新聞古紙は回収サイクルが速いため、古紙流通量も多く、製紙用原料古紙としての利用も年間460万トンに上る。その結果、新聞用紙のほか、印刷・情報用紙の原料として利用されることとなる。

一方、2008年1月、本研究代表者らの分析によっていわゆる「古紙偽装問題」がマスコミに取り上げられ、再生紙中の古紙パルプ配合率が表示に比べてかなり低いことが明らかになった。しかし、この報道から再生紙

の使用がかなり広範にわたっていることも実証された。

新聞用紙のパルプ原料は、新聞古紙を主体として製造されているが、インキ吸収性及び高速印刷適性を良好にするために機械パルプのサーモメカニカルパルプが多量に配合されている。一方、通常、古紙をパルプ原料として配合していない印刷・情報用紙の場合にはすべてクラフトパルプが原料として用いられている。したがって、古紙を配合した再生印刷・情報用紙ではサーモメカニカルパルプの配合による影響が現れてくることになる。再生紙使用による紙保存資料の劣化についてはその歴史が浅いこともあり、まだ評価すら定まっていない。しかしながら、印刷・情報用紙への機械パルプの多量の配合は紙保存資料の経年変化に悪影響を及ぼすことが十分予測される。

## 2. 研究の目的

高温・高湿度による加速劣化処理あるいはリサイクル処理による機械パルプの変質は化学パルプに比べて小さいにもかかわらず、日常的な判定から判断すると機械パルプ含有紙の経時的変質は大きい。古紙の種類として消費量の多い新聞古紙、ちらし古紙、雑誌古紙には多量の機械パルプが混入されており、これらが印刷用紙やコピー用紙に配合されていると、光によって機械パルプが変質するため再生紙の経年劣化が大きくなる。また、近年、塩素ガスを使用しない化学パルプ漂白法として普及してきた無塩素漂白がパルプの色戻りが生じることも指摘されている。

本研究では、リサイクルパルプ配合紙の劣化挙動及び劣化機構の解明として、リサイクル処理が行われた機械パルプや無漂白クラフトパルプの配合が紙の光学的性質や強度特性の経時的変化に及ぼす影響を、種々の劣化測定法を用いて評価するとともに、リサイクルパルプを配合した紙の経時的劣化を抑制する改質処理の検討を行う。

リサイクルパルプ配合紙に適合する紙の劣化測定法の開発として、アコースティック・エミッション及び熱分解ガスクロマトグラフィー (GC) による紙の劣化度評価法を検討する。さらに、リサイクルパルプ配合紙の劣化外観評価リサイクルパルプ配合紙の保存性の評価を目的として、樹種や漂白方法、およびリサイクル処理の回数などが異なる各種パルプ紙試料について、強制劣化処理を行い、それぞれの劣化度を熱分解ガスクロマトグラフィーの手法により測定した。得られた結果を、各種物性試験や光学試験の結果とも総合して、各パルプ紙試料の劣化過程を解析し、リサイクル処理の影響を明らかにする。

また、紙保存資料の劣化度評価法としてのロール法による官能評価法の開発を検討す

ることとした。この目的は、リサイクルパルプを配合した紙保存資料の劣化度評価に、経年図書資料の劣化度評価法として開発したロール法の応用の可能性を追求し、従来の劣化度評価 (物性試験) との相関および差異を検証することにある。

## 3. 研究の方法

### (1) リサイクルパルプ配合紙の劣化挙動及び劣化機構の解明

#### ①再生紙の劣化評価

古紙パルプ配合率が 0、30、70、100% と異なる市販再生紙 10 種を用い、長期間の自然劣化と同等の劣化程度を受けた紙を短期間で調製するために、加速熱劣化処理を行った。加速熱劣化処理は、乾熱条件 105℃ (ISO5630-1) 及び湿熱条件 80℃、65% r. h. (ISO5630-3) とし、それぞれ、熱風循環式乾燥機及び温湿度試験機を用いて劣化処理を施した。さらに、ISO 5630-5 として新たに規格化された ASTM 法を用いた。この方法は、耐熱キャップを持つ所定容量のガラス製バイアル瓶に、予めそれぞれの紙の物理試験に適用できるような寸法に裁断した試験片 4.0g を封入する密封条件下で、100℃の熱風循環式乾燥機中で行う加速劣化処理である。それぞれの加速熱処理による劣化期間は 2、4、8、12 週間とした。

23℃、50%r. h. の環境条件下で紙の劣化評価のための標準的な強度試験として、耐折回数、引裂強さ、引張強さ、ゼロスパン引張強さ、白色度、pHなどを測定した。

#### ②漂白処理の異なるリサイクルパルプ配合紙の劣化評価

広葉樹漂白クラフトパルプ (以下、KP と略す) 4 試料 (ECF 漂白 (塩素ガスを使用しない漂白) 2、塩素漂白 2)、針葉樹漂白クラフトパルプ 3 試料 (ECF 漂白 2、塩素漂白 1) の 4 種 7 試料をサンプルとして用い、リサイクル処理の施した後、紙シートを作製した。乾熱条件 (105℃)、湿熱条件 (80℃、65%r. h.)、ASTM 法の加速熱劣化処理 3 種のほか、本計画で購入した耐候試験機を用いてキセノンランプによる加速劣化処理を行った。本研究では室内環境における露光条件を再現するために、光源と試料の間にガラス板を設置し、320nm 以下の光を遮断し、光暴露処理を行った。放射照度は 1250W/m<sup>2</sup>で行い、劣化期間は 0、10、20、40 時間とした。劣化した紙シートについて、紙の強度特性及び光学特性を測定した。

#### (2) リサイクルパルプ配合紙に適合する紙の劣化測定法の開発

##### ①アコースティック・エミッション法による紙の劣化度測定法

紙の耐折強さ試験は、紙が劣化する際の強度低下を鋭敏に測定できることから紙の劣

化度評価にしばしば用いられてきたが、15mm幅の試験片に9.81Nの張力をかけることになっており、劣化の進んだ試料の場合、張力を掛けるとそれだけで試料の切断が生じることとなる。加えて、耐折強さ試験はもともと測定値のばらつきが大きいという欠点がある。また、通常の紙の強度試験では、大きな寸法の試料を裁断する必要があり、貴重資料の劣化度判定には用いることはできない。

私たちは、測定に供する紙試料の大きさ及び損傷を最小限に止めながら、低水準にある劣化した紙資料の強度を精度よく測定する方法としてアコースティック・エミッション（以下 AE と略す）を用いた紙の劣化度測定法を開発した。測定装置は、本計画で購入した荷重制御装置に AE センサーを組み合わせて試作した。

#### ②熱分解ガスクロマトグラフィー (GC) によるリサイクルパルプ紙の劣化度評価

樹種や漂白処理方法の異なる紙を抄紙し、これを一旦離解した後に再度抄紙するリサイクル処理を行った。このリサイクル処理回数の異なる紙試料を、1～14日間加熱して加速劣化処理紙試料を調製した。

各紙試料から約0.35mgを採取して、350℃で熱分解 GC 測定した。脱水反応を伴う過程により紙を構成するセルロース分子が劣化すると、その熱分解によりレボグルコセノンが特徴的に生成することが知られているので、質量分析計で検出されるその相対ピーク強度から、当該紙試料の劣化度を評価し、リサイクル処理や強制劣化処理との相関を解析した。

#### ③紙保存資料の劣化度評価法としてのロール法による官能評価法の開発

ロール法では対象となる紙資料を、その角から中央に向かって、ロール棒で巻いていく。テストに用いるロール棒の直径は、順次、太いものから細いものに替えるため、細い直径のロール棒で支障なく巻くことができる紙ほど「しなやか」であり、劣化度が低い。

本研究では、人工的に異なるレベルに劣化させた紙に各種の強化処理を施した後、さらに強制劣化を施すことで、さまざまな段階の「しなやかさ」、劣化度のサンプル紙を作成した。強化処理前後、及び強制劣化前後において、それぞれのサンプル紙の劣化度を物性試験とロール法で評価し、物性試験の結果とロール法の結果との相関から、それぞれの劣化度評価法の特徴と差異を検証した。

#### ④蛍光顕微鏡を用いた古紙パルプ配合率推定方法の検討

広葉樹漂白クラフトパルプ、古紙パルプ、再生紙モデル試料について、分散機を用いて試験片を解繊し、スライドガラス試料の作製を行った。本計画で購入した蛍光装置付顕微鏡を用いて拡大倍率200倍で落射蛍光観察

(励起波長：365nm)を行い、パルプ繊維が確認されたら蛍光顕微鏡画像を撮影した。続いて、光源をLEDに切り替えて、透過明視野画像を撮影した。アメリカ国立衛生研究所で開発された画像処理ソフトウェア Image Jを用いて、撮影した画像から次のI～IVの画像処理を実施した。I. 蛍光顕微鏡画像をRGB分割し、Blue画像を得た。II. 透過明視野画像から繊維部分のみを抽出した。III. IのBlue画像からIIの繊維部分を選択した。IV. IIIで選択した繊維部分における256階調グレイレベル値を算出し、これを各パルプ繊維の蛍光強度とした。以上の操作を300本の繊維について行った。

#### (3) リサイクルパルプ配合紙の劣化防止法の開発

##### ①機械パルプ紙の光劣化挙動—リサイクル処理と蛍光増白剤添加の効果—

広葉樹漂白ケミサーモメカニカルパルプ（以下CTMPと略す）、針葉樹未漂白及び漂白サーモメカニカルパルプ（以下、TMPと略す）を用い、紙シートを作製した。これに5回の乾湿繰り返しのリサイクル処理を施し、リサイクル紙シートを作製した。蛍光増白剤添加シートの作製には広葉樹漂白CTMPと広葉樹漂白クラフトパルプを用い、蛍光増白剤を対パルプ0.02%または0.05%添加した。定着助剤には、硫酸アルミニウムまたはコーンスターチを用いた。紙シートはキセノンランプを光源とする光劣化装置によって放射時間、放射照度を変化させて照射し光劣化処理を施した。光劣化処理後のサンプルは調湿した後、紙の強度特性・光学特性を測定した。

##### ②ペーパースプリット法による紙の強化処理

脆弱化した紙資料の大量強化処理を目的として開発したペーパースプリットマシンプロトタイプを用いてスプリットした酸性紙および再生コピー用紙に芯紙を挿入して紙強化処理を施した。ASTM法によって100℃の加速熱劣化処理を施したとき、紙の強度及び光学的性質を測定し、加速劣化処理による変化を評価した。

#### 4. 研究成果

##### (1) リサイクルパルプ配合紙の劣化挙動及び劣化機構の解明

###### ①再生紙の劣化評価

古紙パルプ配合率100%のグループは、古紙パルプを含有しないグループに比べて加速熱処理前の耐折強さがかなり弱いが、加速熱処理による強度低下が小さく、12週間の湿熱劣化処理では古紙パルプを配合しないグループと同様のレベルになっていた。したがって、加速熱処理を進めると、紙の強度には古紙パルプ配合の有無による違いがなくなっていくことが明らかになった。また、加速

熱処理による紙の耐折強さの低下は、白色度の低下と同様、ASTM法の場合に最も顕著であった。

紙のゼロスパン引張強さはパルプ単繊維強さの指標になるとされているが、加速熱処理による古紙パルプに含まれていた繊維の強度低下は、バージンの広葉樹漂白パルプ繊維に比べて小さかった。したがって、加速熱劣化処理による紙の強度低下にはパルプ繊維自身の強度低下が強く反映していることが明らかになった。

## ②漂白処理の異なるリサイクルパルプ配合紙の劣化評価

加速劣化処理に伴う白色度の低下は乾熱条件で小さく、ASTM法で顕著であった。加速熱劣化処理では、ASTM法のように密閉された容器の中で内圧がかかることと紙中水分の存在が紙の光学特性に重要な役割を果たしていることが推測された。また、ASTM法では、ECF漂白パルプより塩素漂白パルプで白色度の低下が大きかった。

光劣化処理により全ての試料の白色度が低下した。しかし、リサイクル処理を行ったECF漂白パルプは、乾熱・湿熱条件劣化及び光劣化処理による白色度の低下が抑制された。

## (2)リサイクルパルプ配合紙に適応する紙の劣化測定法の開発

### ①アコースティック・エミッション法による紙の劣化度測定法

脆弱化した紙資料の劣化度を図書館などの保存現場で簡便に測定するために、荷重制御装置を装着したアコースティック・エミッション(AE)法による紙の劣化度測定装置を開発した。ASTM法による加速劣化試験法は、AE法のリングダウン数のピーク時間の出現が早くすることが確認され、紙の劣化評価試験として広く用いられてきた耐折強さ試験と同様の傾向を示すことが判明した。

### ②熱分解ガスクロマトグラフィー(GC)によるリサイクルパルプ紙の劣化度評価

各紙試料を熱分解GC測定した結果、リサイクル処理をしていない場合には、今回の強制劣化処理条件では、処理による劣化の進行はほとんど認められないのに対し、リサイクル処理を行った試料では、強制劣化処理の初期段階においてレボグルコセノンの相対的な生成量の増加が観測された。このことから、リサイクル処理は、セルロース分子鎖からの脱水反応に関わる劣化を促進することが示唆される。

一方、この段階での物性試験値には大きな変化が現れなかったことから、当該劣化過程では機械的強度の低下までには至らないと考えられる。光学試験に関しては、いずれの紙試料についても、熱分解GC測定によるレボグルコセノン生成量にほとんど変化が現

れない加速劣化処理の中後期段階においても、処理時間に伴い白色度が徐々に低下した。したがって、この段階では、セルロース分子鎖からの脱水反応が関るものとは異なる劣化過程が関与していることが示唆された。

### ③紙保存資料の劣化度評価法としてのロール法による官能評価法の開発

ロール法は特殊な機器を必要とせず、また極力非破壊で実施できる劣化度評価法であり、これらは物性試験にはない特徴である。ロール法では紙資料の角、周囲、ロールする面全体を対象として劣化度を判定するため、紙の劣化度をより総合的に反映することができた。各種劣化度評価法の比較検証を通じて、ロール法では、物性試験だけでは差異を見出すのが困難なほど劣化が進んだ紙資料(たとえば引裂強さ150mN以下)の劣化度の差の測定が可能であることが示唆された。

### ④蛍光顕微鏡を用いた古紙パルプ配合率推定方法の検討

蛍光顕微鏡を用いた画像解析法により再生紙モデル試料の古紙パルプ配合率を評価したところ、実際の古紙パルプ配合率とよく一致した。また、古紙パルプ配合率が増加するとともに、バージンパルプ繊維の蛍光強度が増加することが確認された。

古紙パルプ中に残留する蛍光増白剤が低レベルにある場合、目視法による蛍光観察試験が古紙パルプ配合率の評価に有効であることが実証された。

古紙パルプ中に残留する蛍光増白剤が高レベルにある場合、古紙パルプ配合率の低い試料に限り、目視法による蛍光観察試験が古紙パルプ配合率の評価に有効であることが実証された。

### (3)リサイクルパルプ配合紙の劣化防止法の開発

#### ①機械パルプ紙の光劣化挙動—リサイクル処理と蛍光増白剤添加の効果—

リサイクルパルプとして市販紙に配合される場合には、新聞古紙、ちらし古紙、雑誌古紙、模造・色上古紙が多く用いられるが、模造・色上古紙を除いて、いずれも機械パル

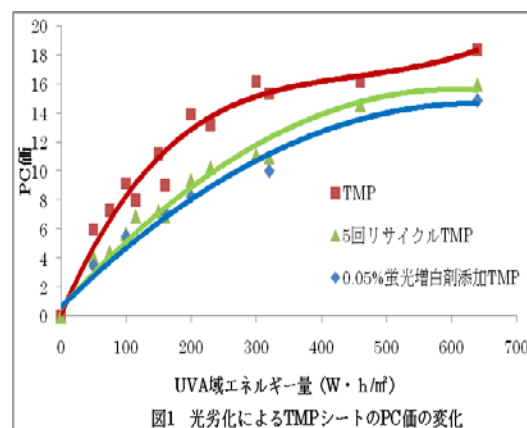


図1 光劣化によるTMPシートのPC値の変化

プの混入が認められた。機械パルプの欠点の一つである光による黄色化を検証するために、機械パルプ配合紙の光劣化特性に及ぼすリサイクル処理の影響を検討した。その結果、リサイクル機械パルプ紙は、バージンパルプの場合に比べて PC 価の増加が抑えられ、光による劣化速度が遅くなることが判明した(図 1)。また、蛍光増白剤を機械パルプに添加すると、無添加の場合に比べて加速光試験によって紙の蛍光強度が低下するが、白色度低下が抑制された。

## ②ペーパープリント法による紙の強化処理

ペーパープリントマシンプロトタイプを用いてプリントした再生コピー用紙に芯紙を挿入して紙強化処理を施した。その結果、本装置による紙の強化処理が、種々の紙に適用できることを確認した。さらに、強化処理後の劣化挙動を評価するために、加速劣化処理に伴う紙の強度及び光学特性の変化を測定したところ、それぞれの劣化前の物理的性質を大幅に向上させることが可能となり、結果として劣化による低下が抑制されることを確認した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

### 〔雑誌論文〕(計 6 件)

- ①Ohtani, H., Komura, T., Sonoda, N. and Taguchi, Y., 'Evaluation of Acidic Paper Deterioration in Library Materials by Pyrolysis-Gas Chromatography', *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 85, 460-464(2009)、査読有
- ②園田直子、図書・文書資料の保存：紙の劣化度評価と強化処理、*Proceedings of the 2008 Korea/Japan Joint Research Meeting on Conservation & Restoration of Paper*、1-22(2008)、査読無
- ③大谷 肇、熱分解ガスクロマトグラフィーによる酸性紙の経年劣化度評価、*Proceedings of the 2008 Korea/Japan Joint Research Meeting on Conservation & Restoration of Paper*、55-63(2008)、査読無
- ④岡山隆之、古紙配合の有無は見抜ける、*日経エコロジー*、106、47(2008)、査読無
- ⑤岡山隆之、リサイクルは有効か？、*ニュートン*、28(4)、68-73(2008)、査読無
- ⑥Okayama, T., Fukai, K., Sonoda, N. and Morita, T., 'Evaluation of Paper Deterioration - Application of Acoustic Emission Measurement Using Small Test Pieces', *Summaries of the IADA XI. Congress, Vienna*, 71(2007)、査読有

### 〔学会発表〕(計 17 件)

- ①Seki, M., Sonoda, N., Hidaka, S., Morita, T., and Okayama, T., 'A new technique for strengthening book papers through use of cellulose derivative', *Advances in Paper conservation Research*, 2009年3月23日, The British Library, London, U.K.
- ②吉永浩和、岡山隆之、機械パルプ繊維シートの光劣化挙動、第59回日本木材学会大会、2009年3月15日、松本大学
- ③香村知宏、大谷 肇、岡山隆之、関 正純、園田直子、酸性紙の加速劣化処理過程における劣化挙動の熱分解ガスクロマトグラフィーによる解析、第39回中部化学関係学協会支部連合秋季大会、2007年11月9日、名古屋大学
- ④Ohtani, H., Komura, T., Yasui, T., and Sonoda, N., 'Evaluation of Acidic Paper Deterioration in Library Materials by Pyrolysis-Gas Chromatography', 2008年5月21, 22日, スペイン、カナリア諸島
- ⑤岡山隆之、再生紙における古紙パルプ配合率の検証、第51回紙パルプ技術協会年次大会、2008年10月8日、名古屋国際会議場
- ⑥Okayama, T., Kobayashi, D., Jin, H., 'Heat-and light-induced aging characteristics of ECF bleached kraft pulps', *International Symposium on Wood Science and Technology*, 2008.9.28., 東北林業大学
- ⑦谷口一歩、岡山隆之、アコースティック・エミッション法による紙の劣化度測定、マテリアルライフ学会第19回研究発表会・特別講演会、2008年8月28日、キャンパス・イノベーションセンター東京
- ⑧小林大輔、岡山隆之、漂白処理の異なるリサイクルパルプ繊維シートの劣化評価、第75回紙パルプ研究発表会、2008年6月27日、タワーホール船堀
- ⑨香村知宏、安井俊博、大谷 肇、岡山隆之、園田直子、熱分解ガスクロマトグラフィーによる酸性紙の経年劣化の系統的解析、第69回分析化学討論会、2008年5月15日、三重大学、名古屋国際会議場
- ⑩川野辺 奨、岡山隆之、デキストランを用いたリサイクルパルプ繊維構造の評価、第58回日本木材学会大会、2008年3月18日、つくば国際会議場
- ⑪香村知宏、安井俊博、大谷 肇、岡山隆之、園田直子、熱分解ガスクロマトグラフィーによる酸性紙の経年劣化挙動の解析、第38回中部化学関係学協会支部連合秋季大会、2007年11月11日、三重大学
- ⑫川野辺 奨、岡山隆之、直接染料を用いたリサイクルパルプ識別法の試み、第57回日本木材学会大会、2007年8月8日、安田女子大学

- ⑬谷口一歩、岡山隆之、経年図書資料の劣化度評価法の開発、マテリアルライフ学会第18回研究発表会・特別講演会、2007年6月28日、名古屋市立工業研究所
- ⑭園田直子、紙の若返りを考える—欧米における図書・文書資料の大量保存処理、東アジア近代史学会第12回研究大会 歴史資料セッション：東アジア近代史資料の現状と保存・修復の課題、2007年6月24日、東京大学駒場キャンパス
- ⑮岡山隆之、小林里鶴、佐藤敬一、アコースティック・エミッション法による保存紙資料の劣化度評価、文化財保存修復学会第29回大会、2007年6月17日、静岡市民文化会館
- ⑯園田直子、日高真吾、和高智美、青木睦、金山正子、河村友佳子、橋本沙知、関正純「ローリングテストによる図書資料の劣化度評価法の開発」文化財保存修復学会第29回大会、2007年6月16日、静岡市民文化会館
- ⑰永田大輔、小林大輔、岡山隆之、光劣化試験による再生コピー用紙の劣化挙動、第74回紙パルプ研究発表会、2007年6月13日、タワーホール船堀
- ⑱岡山隆之、佐藤敬一、小林里鶴、アコースティック・エミッション法による自然劣化した紙の劣化度測定、第74回紙パルプ研究発表会、2007年6月13日、タワーホール船堀

#### 〔図書〕(計 4 件)

- ①岡山隆之、衆議院調査局環境調査室、古紙パルプ配合率偽装問題について～その経緯と求められる今後の取組～、2008年、51-56
- ②園田直子(編)、文化資源の高度活用 有形文化資源の共同利用を推進するための資料管理基盤形成、人間文化研究総合推進事業・連携研究中間報告書、2008年2月
- ③岡山隆之、朝倉書店、森林・林業実務必携、東京農工大学農学部森林・林業実務必携編集委員会、2007年、415-420
- ④Okayama, T., Sato, K., The Institute of Conservation, *Edinburgh Conference Papers 2006*, 2007年、219-226

#### 〔産業財産権〕

##### ○取得状況(計 1 件)

特許、森田恒之、園田直子、岡山隆之、関正純、大学共同利用機関法人・人間文化研究機構、硫酸アルミニウムを含む紙を保存するための紙の強化方法及びそのための処理液、日本国特許、第4164571号、2008年8月8日、国内

#### 〔その他〕

<http://kenkyu-web.tuat.ac.jp/Profiles/2/0>

000153/profile.html

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

岡山 隆之(OKAYAMA TAKAYUKI)  
東京農工大学・大学院共生科学技術研究院・教授  
研究者番号：70134799

### (2) 研究分担者

大谷 肇 (OHTANI HAJIME)  
名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：50176921  
園田 直子(SONODA NAOKO)  
国立民族学博物館・文化資源研究センター・教授  
研究者番号：50236155

### (3) 研究協力者

関 正純(SEKI MASAZUMI)  
高知県立紙産業技術センター・次長