

新聞古紙をトイレトペーパーの原料とするための技術開発（第2報）

製紙科 齊藤和明* 深沢博之* 木野浩成* 齊藤将人* 白井 圭* 山口智久*

Study on the use of recovered newspapers into toilet paper (2nd Report)

Kazuaki SAITOH, Hiroyuki FUKASAWA, Hironari KINO, Masato SAITO, Kei SHIRAI
and Tomohisa YAMAGUCHI

Paper factories in Shizuoka Prefecture produce over half of the recycled paper toilet paper produced in Japan. The problem of toilet paper manufactured by recovered paper is the stable securing of waste papers. The reason for this is that the price of high quality waste paper is unstable for various factors, i.e., increasing export volumes, economic insecurity, waste paper shortage due to a decrease in waste paper emissions, and so on. If recovered newspaper can be used as a part of materials for toilet paper, it can be expected that the cost and quality of products can be stably secured, because recovered newspaper has more distribution volume than high quality waste paper, and its price is stable. However, there is concern that product quality will be deteriorated such as faded color of toilet paper during long-term preservation and decline of softness, because recovered newspaper contains lignin and a lot of fine fibers.

In this study, representative prescriptions were given to restore reduced quality. As a result, it turned out that prescriptions used in paper mills sometimes become difficult to decomposit the toilet paper into water. It was found that bleaching by hydrogen peroxide is most effective for recovering the degraded quality by mixing recovered newspaper. By bleaching hydrogen peroxide, it was suggested that even if 10 weight % of recovered newspaper was mixed with waste paper for toilet paper, the quality equivalent to that of toilet paper could be recovered.

Keywords : Toilet paper, recovered newspapers, lignin, faded color, fine fiber

キーワード：トイレトペーパー、新聞古紙、リグニン、変色、微細繊維

1 はじめに

静岡県はトイレトペーパーの全生産量の50%にも及ぶ一大生産地であり、その生産量の9割程度は再生紙トイレトペーパーという特徴がある^{1,2)}。再生紙トイレトペーパーの原料は、比較的、品質の高い印刷用紙（模造・色上）などの上質古紙であるが、古紙輸出や景気により価格が不安定で、模造・色上などの上質古紙は2020年には53万トン不足すると予想される³⁾。新聞古紙は模造・色上に比べて流通量が2倍も多く⁴⁾、価格も安定しているため、トイレトペーパーの原料として利用できれば原料の安定確保に寄与できる。しかし、新聞古紙にはリグニンが多く含まれ、微細な繊維が多いため、トイレトペーパーの長期保存時の変

色や、やわらかさの低下など製品の品質低下が懸念される。本報では、トイレトペーパーの原料に新聞古紙を利用した時の薬品処方による品質回復方法について手すき紙を調整して検討したので報告する。

2 方法

2.1 手すき紙の調製*1方法

手すき紙の調製方法を簡単に図1に示す。

新聞古紙として、協力製紙会社から提供を受けた新聞古紙脱墨パルプシート（製品・水分50%(w/w)）を、相対湿度50%及び温度23℃の空气中で48時間以上静置して乾燥させたパルプシートを用いた。

*) 現 製紙・CNF科

*1) 本報では、一般的には手すき紙の「作製」というところ、JIS P 8222:2015 パルプ—試験用手すき紙の調製方法—の表現に合わせて、手すき紙の「調製」と表現する。

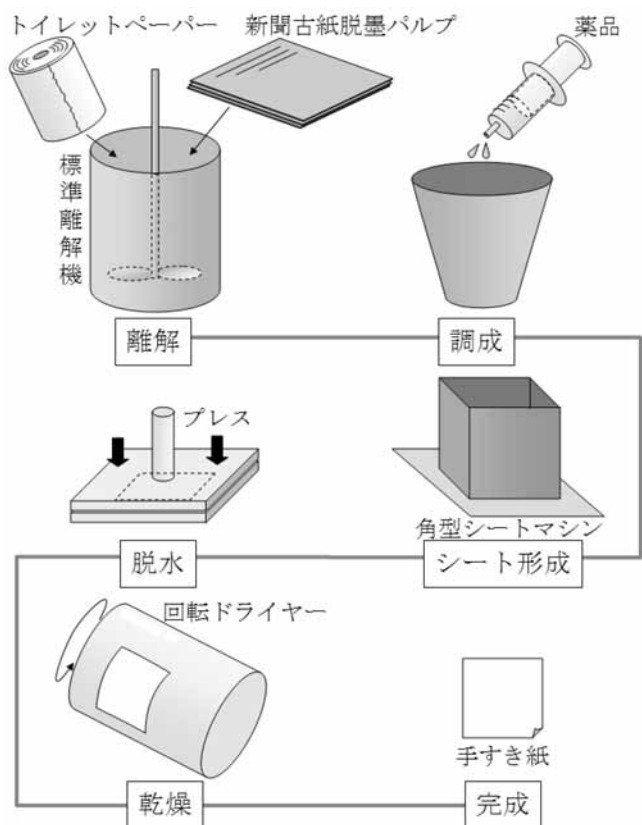


図1 手すき紙の調製方法

手すき紙の原料として、協力製紙会社から提供を受けた製品のトイレットペーパーを用いた。

JIS P 8220-1:2012付属書Aに規定された標準離解機に、30℃の温水を1,500mL入れた後、原料60gを容器に投入し1分間温水に浸漬させてから、20分間離解した。離解物は2.2に示す処方を実施し、シート形成用の原質*2（濃度約0.3%）とした。

原質を、坪量18g/m²以上となるように、JIS P 8222:2015パルプ—試験用手すき紙の調製方法—標準手すき機による方法に準じてシートを形成した。ただし、金網は目開き106μm（150mesh）、手すき機は角型シートマシン（熊谷理機工業株式会社製）を用いた。

シートは回転型乾燥機（熊谷理機工業株式会社製）を用いて約90℃で4分間乾燥させて、手すき紙を調製した。

2.2 離解物の処方

(1)pH調製

離解物を水で濃度約0.3%に希釈した。本報内では原料がトイレットペーパー100%の試料は「TP100」、新聞古紙100%は「NP100」、トイレットペーパー80%（w/w）と新聞古紙20%（w/w）の試料は「TP80NP20」

のように表す。

原質のpHとほぐれやすさの関係を調べるため、希釈後の原質に対して、硫酸アルミニウム水溶液を添加してpHを5～8の範囲で段階的に調製した。pHを調製した手すき紙は、2.3(2)ほぐれやすさのみ評価した。

(2)柔軟剤添加

離解物を水で濃度約0.3%に希釈し、星光PMC株式会社から提供を受けた家庭紙用の柔軟剤（風合向上剤）を、標準処方（対パルプ0.3%添加、定着剤使用）にて調製した。

本報内では風合向上剤FS8006（柔軟剤1）、GT8022（柔軟剤2）の添加を、「+柔1、+柔2」と表す。

(3)紫外線抑制剤添加

離解物を水で濃度約0.3%に希釈し、製紙薬品会社から提供を受けた紫外線抑制剤を表1のとおり添加した。

本報内では紫外線散乱剤、紫外線吸収剤の添加を「+散、+吸」と表す。

表1 紫外線抑制剤の添加条件

紫外線散乱剤	種類	酸化チタン（ルチル型）
	一次粒子径	0.25μm
	添加量	対パルプ10%（w/w）
	歩留まり	22.7%*
	前処理	水に濃度20%（w/w）になるように入れ、ロータリー式攪拌アジターRH04特型（株式会社島崎エンジニアリング製）で10分攪拌
紫外線吸収剤	種類	ベンゾフェノン系
	添加量	メーカー標準処方量
	前処理	水に溶かしてマグネチックスターラーSR-500d（アドバンテック東洋株式会社製）で攪拌

* JIS P 8251:2003 紙、板紙及びパルプ—灰分試験方法—525℃燃焼法による灰分から求めた

(4)漂白

離解物を目開き106μmの篩^{ふるい}を用いて650gに脱水した。脱水した試料を、標準的な漂白条件⁵⁾を参考に、漂白剤として次亜塩素酸ナトリウムおよび過酸化水素を用いて、表2のとおり漂白した。

*2) 本報では、一般的には手すき紙の「原料」というところ、JIS P 8222:2015 パルプ—試験用手すき紙の調製方法—の表現に合わせて、手すき紙の「原質」と表現する。

表2 漂白条件

	過酸化水素 H ₂ O ₂	次亜塩素酸ナトリウム NaClO
添加率 (%(w/w))	2	2
pH	—※	10~11
パルプ濃度	9.2	5
温度 (°C)	70	40
時間 (h)	1	2

※ ケイ酸ナトリウム4%(w/w)、水酸化ナトリウム2%(w/w)を添加して調成

漂白した試料を標準離解機に入れ、全量2,000mLになるように水を加え、1分間離解した。離解物を目開き106 μ mの篩を用いて650gに脱水・洗浄した。脱水・洗浄した試料を標準離解機に入れ水を1,350mL加えて1分間離解した。離解物を水で濃度約0.3%に希釈した。

本報内では過酸化水素漂白、次亜塩素酸ナトリウム漂白を「+H₂O₂、+NaClO」と表す。

2.3 評価方法

(1)原質に対する評価試験

JIS P 8121-2 パルプ—ろ水度試験方法—第2部：カナダ標準ろ水度法に準じてろ水度を、ファイバークオリティ—アナライザーHiRes” FQA” (OpTest Equipment Inc.,Canada社製)にて長さ加重の繊維長分布を測定した。

(2)手すき紙に対する評価試験

ア 2.3(1)と同様の長さ加重の繊維長分布

手すき紙を手動離解器で離解した試料について測定した。

イ JIS P 4501:1993 トイレtpーパーの坪量、比破裂強さ、ほぐれやすさ

ほぐれやすさは、手すき紙調製後数日以内及び1ヶ月以上経過した手すき紙について評価した。

ウ JAPAN TAPPI 紙パルプ試験方法No.34 柔らかさ試験結果は、柔らかさを坪量で除した相対的柔らかさとして評価した。

エ 表面粗さ、摩擦係数、摩擦係数の変動

自動化表面試験機KES-FB4-AUTO-A (カトーテック株式会社)を用いて、試験片サイズ125×250mm、テンションウェイト100g、静荷重50g、試料移動速度1mm/sの条件で、表裏各5回計10回測定の平均値を試験結果とした。

オ JIS P 8148:2001 紙、板紙及びパルプ—ISO白色度(拡散青色光反射率)の測定方法のISO白色度、JIS P 8150:2004 紙及び板紙—色(C/2°)の測定

方法—拡散照明法のCIELAB座標

カ 変色試験前後での上述オと同じISO白色度とCIELAB座標

変色試験は、紫外線キセノンロングライフフェードメーターFAL-25AX-HC・B・EC (スガ試験機株式会社)を用いて、照射強度320W/m²、ブラックパネル温度63°C、相対湿度50%の設定で、照射エネルギー100MJ/m²以上となるように耐光性試験にかけて手すき紙を変色させた。変色試験の試験片サイズは62.5×125mmとして、変色した部分について測定した。

比較のため、市販の紫外線カットフィルムで覆った状態で変色試験にかけた。紫外線カットフィルムは、波長300nmの紫外線を約97.5%カットするものを用い、本報内では「+遮」と表す。

2.4 最適処方による手すき紙調製と評価

2.3の評価結果から最適と考えられる処方について、トイレtpーパーと新聞古紙を混合した原料に適用し、2.1および2.2に準じて手すき紙を調製して、2.3と同様に評価した。

3 結果および考察

3.1 原質に対する評価試験結果

原質のろ水度試験結果を図2に示す。新聞古紙に対して、紫外線散乱剤添加、過酸化水素漂白および次亜塩素酸ナトリウム漂白いずれの場合もろ水度は高くなった。

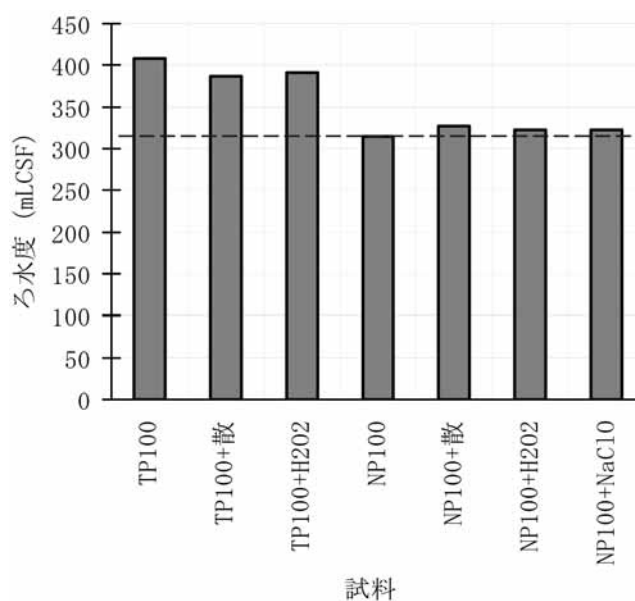


図2 原質のろ水度

原質の長さ加重平均繊維長および長さ加重繊維長分布を図3および図4に示す。新聞古紙の方が、トイレットペーパーよりも微細繊維の割合は多いが、長繊維を一定量含んでおり、平均繊維長は長くなることが分かった。新聞古紙の過酸化水素漂白および次亜塩素酸ナトリウム漂白のいずれの場合も、平均繊維長がわずかに短くなった。

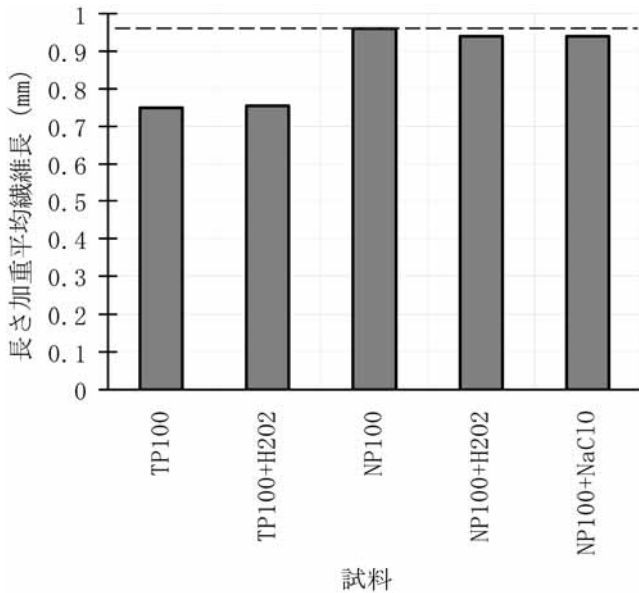


図3 原質の長さ加重平均繊維長

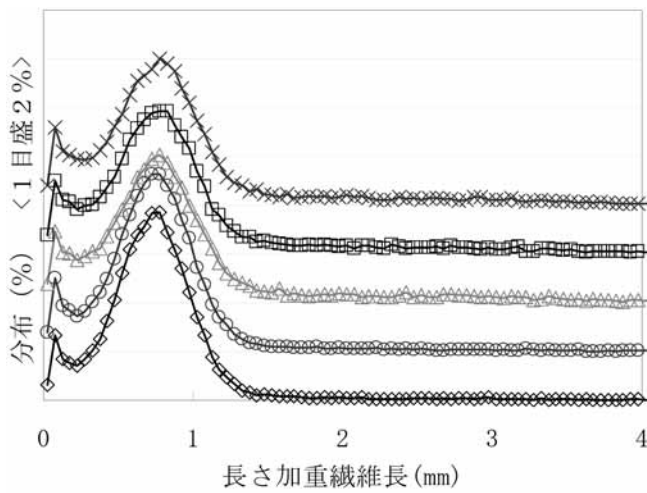


図4 原質の長さ加重平均繊維長分布

- ◇ : TP100、
- △ : NP100、
- × : NP100+NaClO、
- : TP100+H2O2、
- : NP100+H2O2、

3.2 手すき紙に対する評価試験結果

手すき紙の長さ加重平均繊維長および長さ加重繊維長分布を図5および図6に示す。原質の場合と同様に、新聞古紙の方が、トイレットペーパーよりも微細繊維の割合は多いが、長繊維を一定量含んでおり、平均繊維長は長くなることが分かった。平均繊維長は、

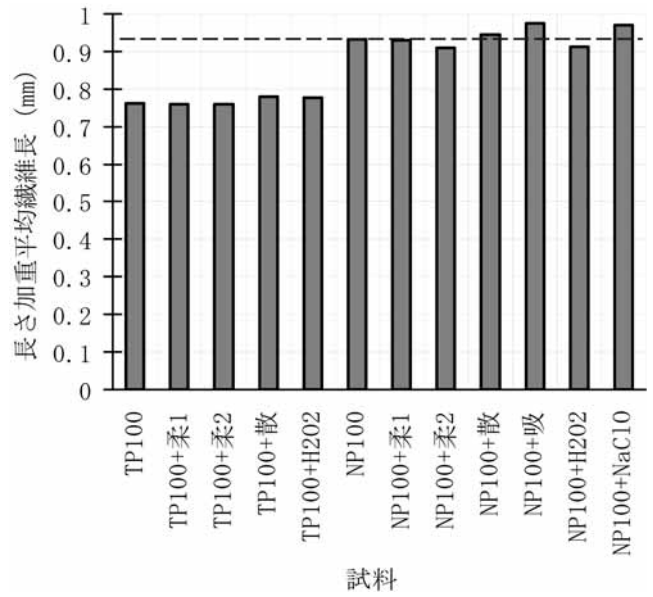


図5 手すき紙の長さ加重平均繊維長

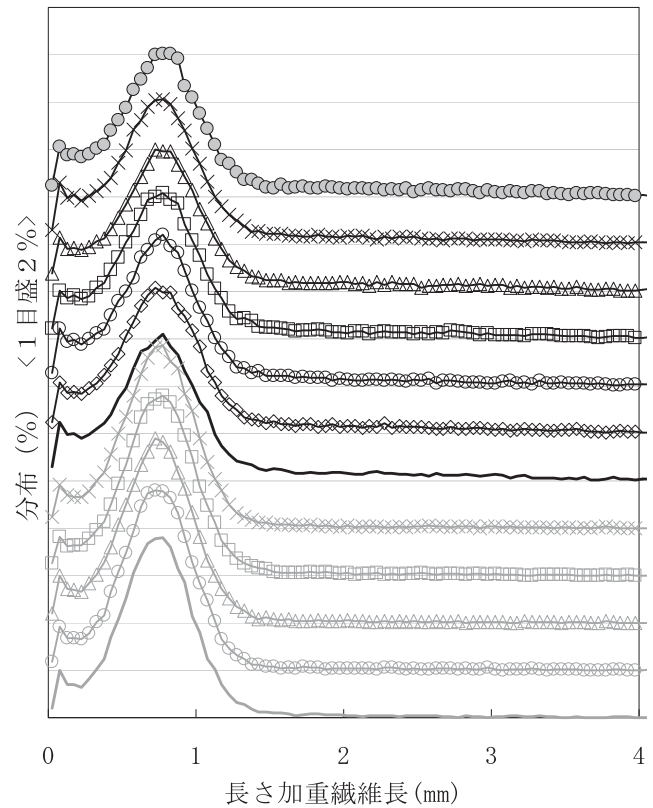


図6 手すき紙の長さ加重平均繊維長分布

- : TP100、
- △ : TP100+柔2、
- × : TP100+H2O2、
- ◇ : NP100+柔1、
- : NP100+散、
- × : NP100+H2O2、
- : TP100+柔1、
- : TP100+散、
- : NP100、
- ◇ : NP100+柔2、
- △ : NP100+吸、
- : NP100+NaClO、

柔軟剤1添加及び過酸化水素漂白の場合わずかに短くなり、紫外線散乱剤添加、紫外線吸収剤添加および次亜塩素酸ナトリウム漂白の場合わずかに長くなったが、顕著な変化は見られなかった。

【報告】

手すき紙の坪量、比破裂強さ、ほぐれやすさ、相対的柔らかさ、表面粗さ、摩擦係数および摩擦係数の変動を図7～14に示す。

図7より、調製した手すき紙はクレープ（しわ加工）がかかっていない以外は、トイレトペーパーとほぼ同じである。

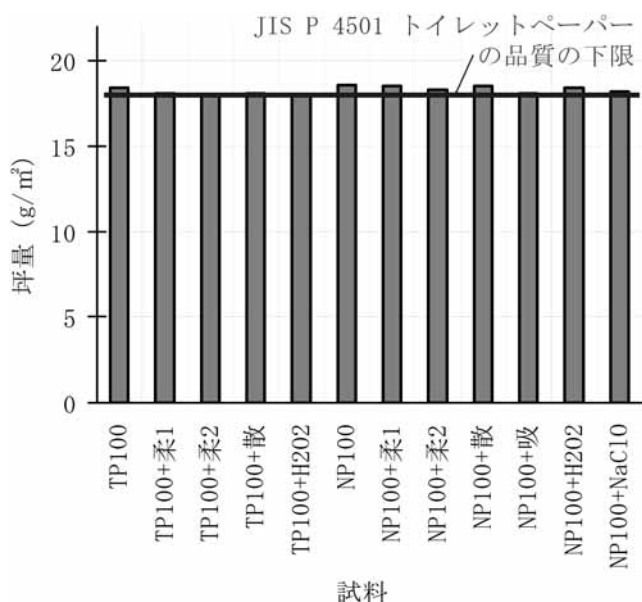


図7 手すき紙の坪量

図8より、柔軟剤1添加、柔軟剤2添加、紫外線散乱剤添加、紫外線吸収剤添加および次亜塩素酸ナトリウム漂白の場合、比破裂強さが小さくなった。添加薬剤の影響で、繊維間結合が阻害され紙力が弱まったものと考えられる。

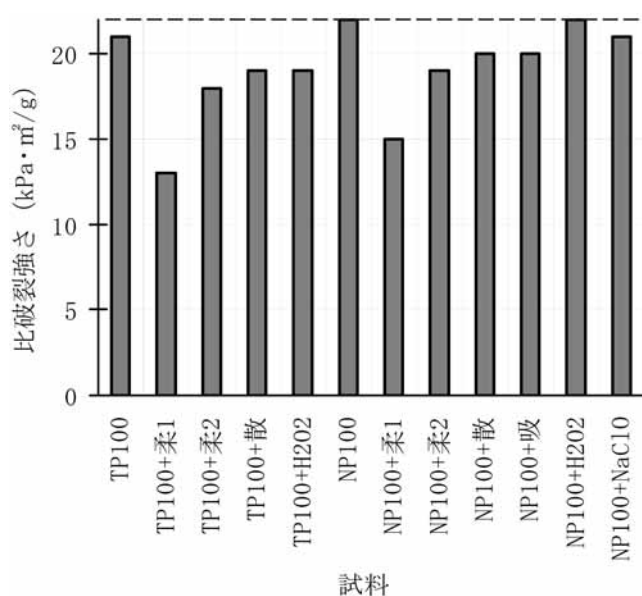


図8 手すき紙の比破裂強さ

図9より、いずれの場合も、調製後数日より1ヶ月後の方がほぐれにくくなるのが分かった。また、柔軟剤1添加、柔軟剤2添加および次亜塩素酸ナトリウム漂白の場合には顕著にほぐれにくくなるのが分かった。紫外線散乱剤添加および紫外線吸収剤添加の場合も、ほぐれにくくなり、紙力の低下を示す比破裂強さの試験結果とは異なる結果となった。パルプの繊維間結合に代わり湿紙強度を上げるような結合が形成されていると推測するが、今後の検討課題とする。なお、トイレトペーパー原料に対しても同様の結果となった。規格の範囲内ではあるが、柔軟剤を添加するとほぐれにくくなるのが明らかとなった。

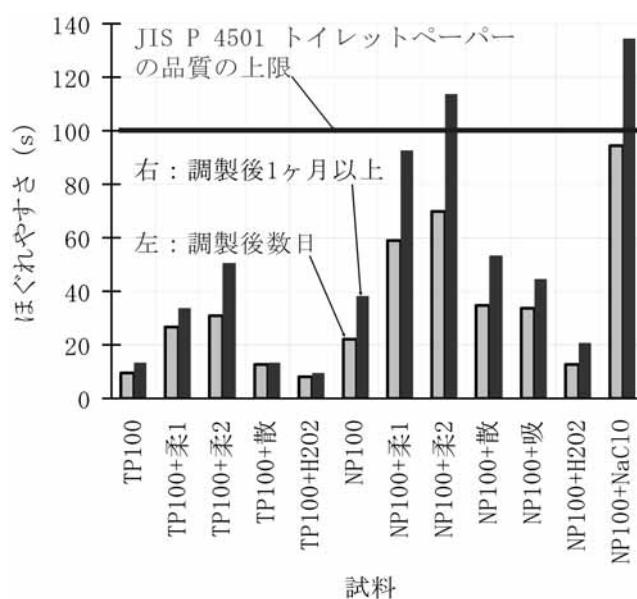


図9 手すき紙のほぐれやすさ

図10より、新聞古紙およびトイレトペーパーいずれの場合も、原質のpHが低くなると、調製した手すき紙はほぐれにくくなるのが分かった。

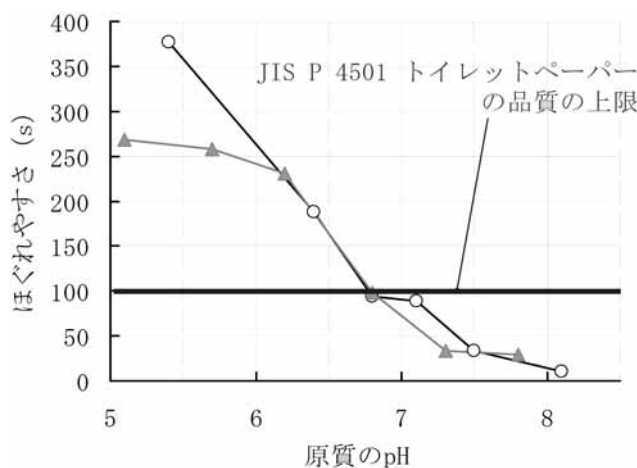


図10 手すき紙のほぐれやすさ

○ : TP100、▲ : NP100。

図11より、柔軟剤1添加、紫外線吸収剤添加、過酸化水素漂白および次亜塩素酸ナトリウム漂白の場合、相対的柔らかさが大きくなった。トイレットペーパーに対しては、柔軟剤1添加、柔軟剤2添加、紫外線散乱剤添加および過酸化水素漂白のいずれの場合も相対的柔らかさは小さくなった。

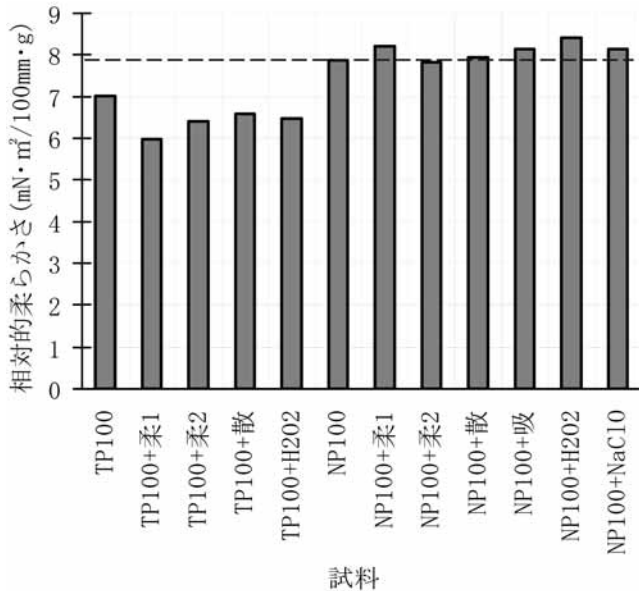


図11 手すき紙の相対的柔らかさ

図12より、柔軟剤1添加、柔軟剤2添加、紫外線吸収剤添加、過酸化水素漂白および次亜塩素酸ナトリウム漂白の場合、表面粗さは小さくなった。

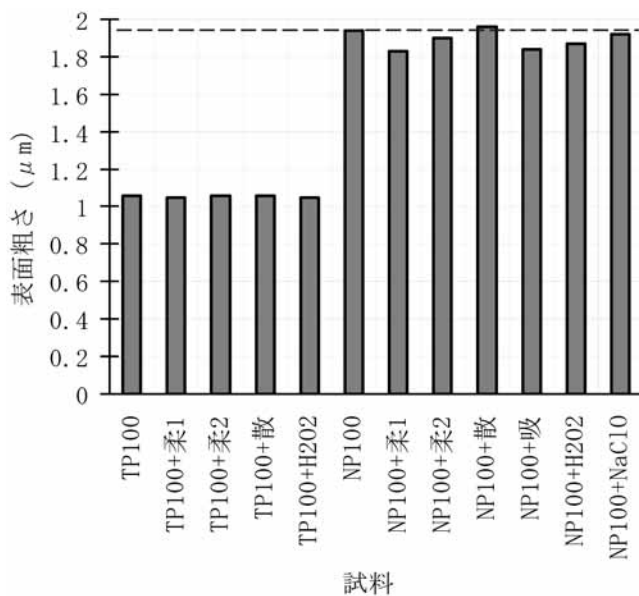


図12 手すき紙の表面粗さ

図13、図14より柔軟剤1添加および過酸化水素漂

白の場合は手触りが良く（摩擦係数小＝滑りやすい、摩擦係数の変動小＝滑らか）なった。特にトイレットペーパーに対しては柔軟剤1添加および柔軟剤2添加はいずれも顕著に手触りが良くなった。

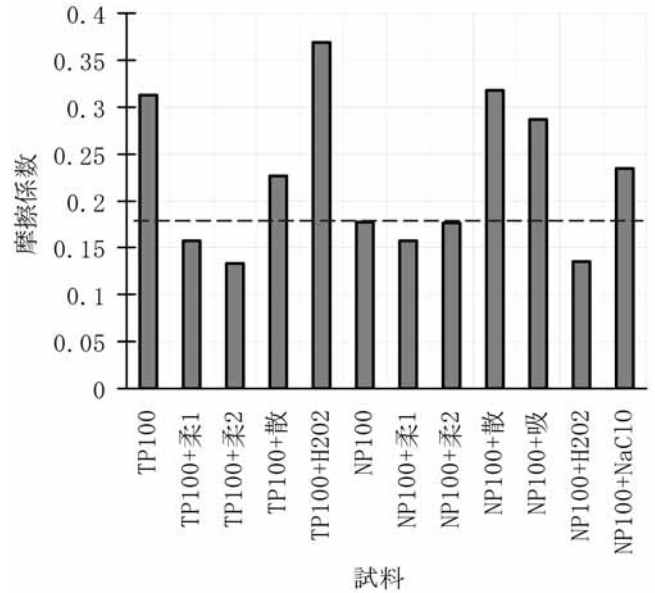


図13 手すき紙の摩擦係数

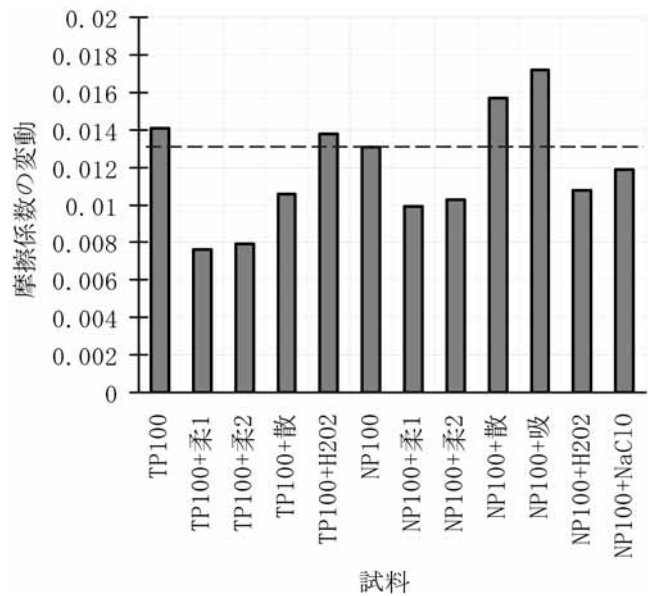


図14 手すき紙の摩擦係数の変動

手すき紙のISO白色度を図15、CIELAB座標を図16に示す。柔軟剤1添加および柔軟剤2添加の場合、色味に大きな変化は無くISO白色度が低下した。紫外線散乱剤添加および過酸化水素漂白の場合は、ISO白色度は向上し、色も白くなった。次亜塩素酸ナトリウム漂白の場合、リグニンの変色が進み、ISO白色度はわずかに低下し、黄変した。

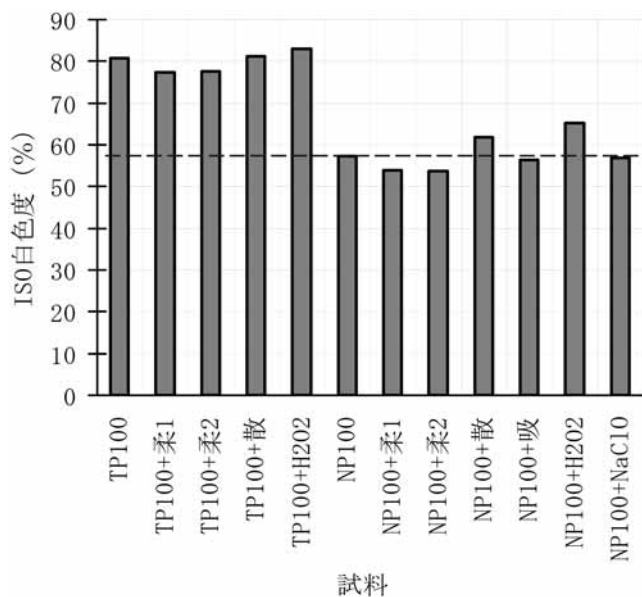


図15 手すき紙のISO白色度

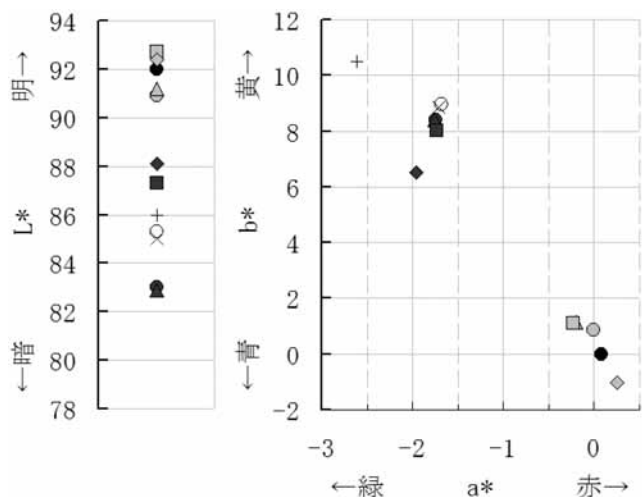


図16 手すき紙のCIELAB座標

- : TP100、
- : TP100+柔1、
- ▲ : TP100+柔2、
- : TP100+散、
- ◇ : TP100+H2O2、
- : NP100、
- : NP100+柔1、
- ▲ : NP100+柔2、
- : NP100+散、
- × : NP100+吸、
- ◆ : NP100+H2O2、
- + : NP100+NaClO。

手すき紙の変色試験結果を図17、図18に示す。紫外線散乱剤添加の場合、変色度合いが小さく、紫外線抑制の効果が見られた。過酸化水素漂白の場合、明るく白いものの、変色試験後は未処理（NP100）の場合とほぼ同じISO白色度・色味まで変色した。紫外線カットフィルムで被覆すると、紫外線による変色を抑制できた。図19に変色試験を進めたときのISO白色度の変化を示す。紫外線カットフィルムで被覆したものは緩やかに変色が進行するが、紫外線カットフィルムで被覆していないものはいずれも一気に変色が進んでい

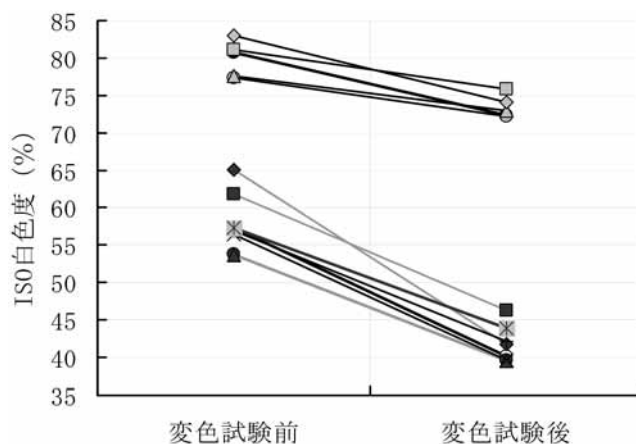


図17 手すき紙の変色試験結果 (ISO白色濃度)

- : TP100、
- : TP100+柔1、
- ▲ : TP100+柔2、
- : TP100+散、
- ◇ : TP100+H2O2、
- : NP100、
- : NP100+柔1、
- ▲ : NP100+柔2、
- : NP100+散、
- × : NP100+吸、
- ◆ : NP100+H2O2、
- + : NP100+NaClO、
- ✖ : NP100+遮。

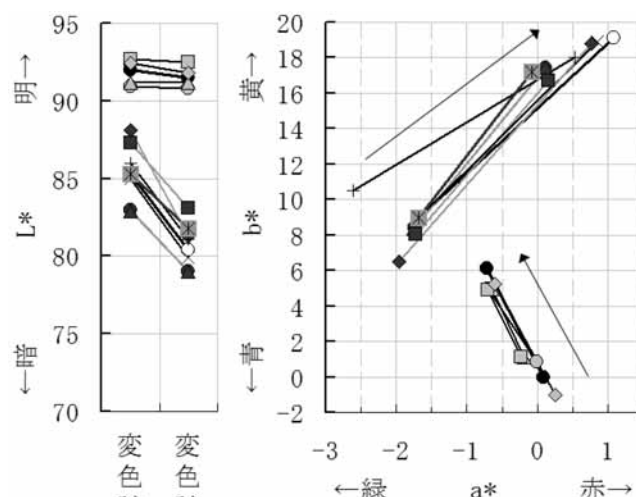


図18 手すき紙の変色試験結果 (CIELAB座標)

- : TP100、
- : TP100+柔1、
- ▲ : TP100+柔2、
- : TP100+散、
- ◇ : TP100+H2O2、
- : NP100、
- : NP100+柔1、
- ▲ : NP100+柔2、
- : NP100+散、
- × : NP100+吸、
- ◆ : NP100+H2O2、
- + : NP100+NaClO、
- ✖ : NP100+遮。

る。短期間でも通常のトイレットペーパーが目視レベルで変色することを示唆するものだが、外装を紫外線カットフィルムや半透明にすることで、効果的に変色を抑えることができると考えられる。

これらの結果を表3にまとめる。

表3より、新聞古紙をトイレットペーパーの原料に利

用するための最適な処方は過酸化水素漂白であると提案する。

柔軟剤は品質回復する項目もあるが、ほぐれにくくなる可能性があり、積極的に提案するものではない。

また、紫外線散乱剤は、品質改善効果も認められるが、高価であるため、費用対効果の面から積極的に提案するものではない。

古紙原料の漂白に次亜塩素酸ナトリウムで漂白する製紙工場については、意図せぬ新聞古紙の混入に注

意を促すものである。

3.3 最適処方による手すき紙の評価

3.2の結果から、新聞古紙とトイレtpーパーを混合した原料を、過酸化水素漂白して調製した手すき紙の評価結果を図20に示す。図20において、各評価項目はレーダーチャートの外側ほど品質が良く、中心に近いほど品質が悪い。トイレtpーパーの比破裂強さは、低い方が柔らかさを感じることから、低い方を好まれることが多いため、値の低い方を外側とした。

図20より、新聞古紙をトイレtpーパーの原料に混ぜる場合、過酸化水素漂白すれば10%(w/w) (TP90NP10+H2O2) でもトイレtpーパー (TP100) と同等の品質まで回復できた。

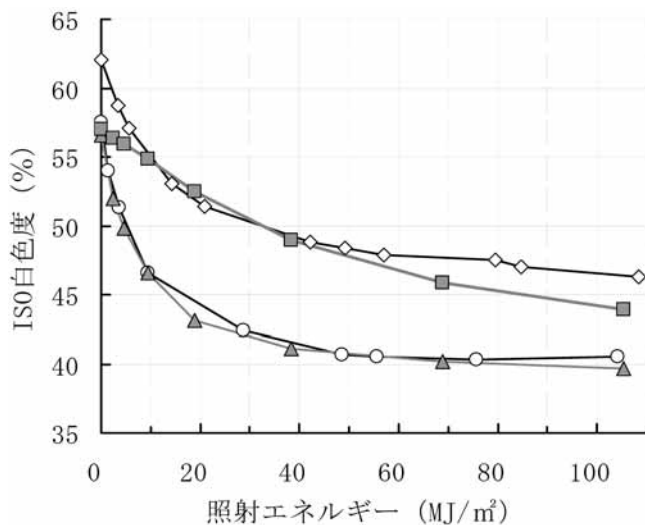


図19 手すき紙の変色試験結果
○ : NP100、◇ : NP100+散、
▲ : NP100+吸、■ : NP100+遮。

表3 新聞古紙を原料とした手すき紙に対する各処方の効果

処方	柔軟剤添加	紫外線散乱剤	紫外線吸収剤	過酸化水素漂白	次亜塩素酸ナトリウム漂白
繊維長	▼	△	△	▼	△
比破裂強さ	○	△	△	—	△
ほぐれやすさ	×	▼	▼	○	×
相対的柔らかさ	▼	—	▼	▼	▼
表面粗さ	△	—	△	△	△
摩擦係数	△	×	×	△	×
摩擦係数の変動	○	×	×	○	△
ISO白色度	×	○	▼	○	▼
色 ^{※2}	—	—	—	○	▼
紫外線による変色	—	△	—	—	—

※1 評価項目の品質が向上した処方には「○」、やや向上した処方には「△」、やや低下した処方には「▼」、低下した処方には「×」
※2 白くなることを良とし、白から外れる(黄変等)を悪とした

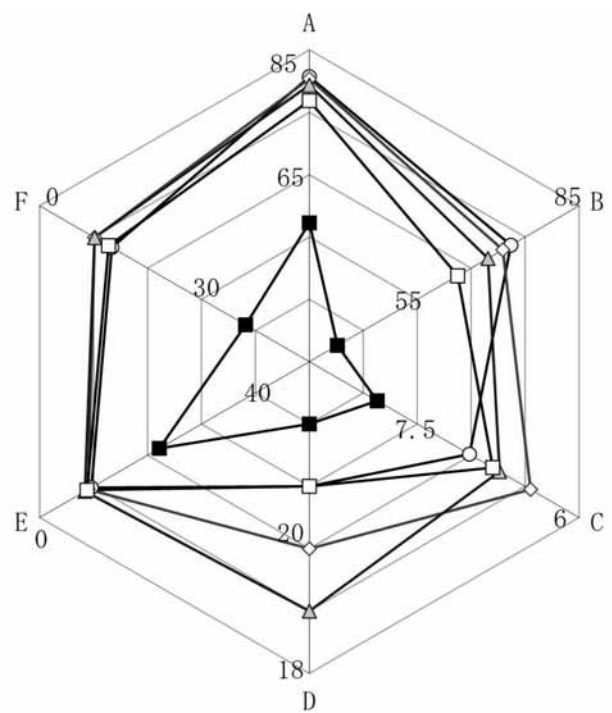


図20 最適処方した手すき紙の品質の比較

評価項目A : ISO白色度 (%)
 評価項目B : 変色試験後のISO白色度 (%)
 評価項目C : 相対的柔らかさ (mN・m²/100mm・g)
 評価項目D : 比破裂強さ (kPa・m²/g)
 評価項目E : ほぐれやすさ (s)
 評価項目F : 調製1ヶ月後のほぐれやすさ (s)
 ○ : TP100、◇ : TP95NP5+H2O2、
 ▲ : TP90NP10+H2O2、□ : TP80NP20+H2O2、
 ■ : NP100。

4 まとめ

トイレtpーパーに新聞古紙を混入することで低下した品質を回復するために代表的な処方を施した。その結果、新聞古紙の品質回復処方としては、過酸化

水素による漂白が最も効果が高いことが分かった。他に、製紙会社で利用されている処方でもほぐれにくくなることがあることが分かった。

過酸化水素漂白することで、10%(w/w)の新聞古紙を混ぜても、トイレトペーパーと同等の品質まで回復できる可能性が示唆された。

謝辞

本研究を進めるにあたり御意見をお聞かせいただいた静岡県紙パ技術研究フォーラムの会員の皆様に感謝いたします。また、製紙原料を御提供いただいた製紙会社の皆様、添加薬品を御提供いただいた星光PMC株式会社の皆様、製紙薬品会社の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) ㈱日刊紙業通信社：平成27年版静岡の紙・パルプ。(2015.11.13発行)
- 2) 富士市：富士市の工業。(2016.6公表)
- 3) 経済産業省：古紙利用率向上の可能性に関する調査報告書。(2015.3公表)
- 4) (公財)古紙再生促進センター：古紙ハンドブック2015。(2015.5公表)
- 5) 磯野陽一郎 他：古紙処理技術，「紙パルプ製造技術シリーズ④古紙パルプ」，初版（紙パルプ技術協会，東京），紙パルプ技術協会 紙パルプ製造技術シリーズ「古紙パルプ」編集委員会 編集監修，pp.116-134 (2005)。