

スチームジェット処理による嵩高紙の製造とその特性

高橋雅樹 大橋俊平 坂本 勝

Development of High Bulky Paper Using Steam-Jet Treatment

TAKAHASHI Masaki, OHASHI Syunpei and SAKAMOTO Masaru

抄紙後の湿紙の乾燥において、従来のドライヤー方式に代わり、微細なノズルから高圧蒸気を噴射する「スチームジェット方式」を併用する新たな乾燥システムを検討し、木材パルプを原料として乾式パルプ不織布のような柔軟性と嵩高性を有する、新規な嵩高紙の製造技術の開発に取り組んだ結果、次の成果が得られた。①スチームジェット処理により、木材パルプを原料に、従来にない嵩高性を有する紙が製造できることを確認した。②スチームジェット処理時に、湿紙の上下に重ねるポリエステル網のメッシュ数を変更することで、同一坪量においても厚さの異なる嵩高紙が得られた。③スチームジェット処理紙は、噴射蒸気の運動エネルギーにより紙層を構成するパルプ繊維が厚さ方向に一部配向することにより嵩高性が付与されていることを確認した。④スチームジェット処理紙は、嵩高な紙層構造に起因する高い柔軟性と吸水性を示した。

キーワード：スチームジェット処理、噴射蒸気、エアスルー乾燥、嵩高紙、衛生用紙

はじめに

紙の材料としての主要な特性は、記録・包装・吸収であるが、ティシュペーパー・トイレットペーパー・ペーパータオルなどの衛生用紙には、吸収材料としての特性が要求される。薄く、柔軟性があり、用途に応じた強度を有し、吸収性を向上させる一つの条件として、嵩(バルク)の特性が要求される。このような品質を高い生産性で効率よく生産するには、洋紙分野とは異なる抄造技術が必要であり、古くからの製造技術をベースに改良が進められている。しかし、吸収性基材としての紙に要求される嵩高性を付与する技術としては、従来の抄紙・乾燥技術をベースとした低密度化や、クレーピングやエンボス加工によるシワ・凹凸形状の付与によるものが主流であり、乾式パルプ不織布のような多孔性と柔軟性を有する嵩高紙を得ることができないのが現状である。

このため、本研究では、抄紙後の湿紙の乾燥において、従来のドライヤー方式に代わり、微細なノズルから高圧蒸気を噴射する「スチームジェット方式」を併用する新たな乾燥システムを検討し、木材パルプを原料として乾式パルプ不織布のような柔軟性と嵩高性を有する、新規な嵩高紙の製造技術の開発に取り組んだ。

実験方法

1. スチームジェット処理原紙の調製

原料は、未叩解の針葉樹晒クラフトパルプ(NBK P)を使用した。ろ水度は720ml(CSF)であり、繊維長分布測

定装置(FS-200:KAJANI社製)による繊維長は、数平均繊維長が1.05mm、長さ加重平均繊維長が2.20mm、重さ加重平均繊維長が2.73mmであった。

この原料をミキサーにより離解し、自動角型シートマシン(No.2557:熊谷理機工業(株)製)を使用し、目標坪量 $25 \cdot 50 \cdot 75 \cdot 100 \text{g/m}^2$ の4種類の坪量の湿紙を作製した。金網は150メッシュのものを使用し、攪拌・脱水操作後の金網上の湿紙は、吸収紙とコーチプレートに順に重ね、その上からコーチングロールにより往復5回のコーチングを行った。その後、湿紙は吸収紙とともに金網から剥がし、コーチ吸収紙に張り付いた状態で保存し、その後のスチームジェット処理に供した。

2. 湿紙のスチームジェット処理

図1にスチームジェット処理装置を示す。スチームジェット処理装置は、スチームジェットノズルと搬送用コンベアにより構成される。スチームジェットノズルは、多目的不織布製造装置(川之江造機(株)製)のウォータージェットノズルを改造流用した。搬送コンベアは、ノズルからの噴射蒸気の運動エネルギーによるパルプ繊維の飛散を予想し、上下2枚のメッシュ状コンベア間に湿紙を挟んだ状態でスチームジェット処理を行えるようツイワイヤー方式とした。搬送コンベアは、NBC(株)製の15メッシュのポリエステル網(品番:TB15)を使用した。

湿紙のスチームジェット処理は、300mm角のポリエステル網(NBC(株)製)にコーチ吸収紙から剥がした湿紙をワイヤー面を下にして載せ、さらに上部に300mm角のポリエステル網を重ねた状態で、スチームジェット処理装置の搬送コンベアに乗せて、蒸気が噴射するスチームジェットノズル下を通過させることにより行った。

ノズルピッチや蒸気圧力など各種処理条件の影響が認

められたが、条件を単純化するために、ノズルや蒸気圧力などは一定とし、湿紙を挟む上下のポリエステル網の影響のみを検討した。使用したポリエステル網の規格を表1に示す。ノズルは、直径0.3mmでノズルピッチ2.0mmの直線状2列配列で、2列のノズルは1.0mmずつ交互にずれた千鳥状のものを使用した。蒸気圧力は0.3MPaで、蒸気温度は147℃、搬送コンベア速度は2.0m/minとした。ノズル高さは、搬送コンベア上部に接する状態で湿紙のスチームジェット処理を行った。

3. スチームジェット処理紙の乾燥

スチームジェット処理では湿紙は乾燥しないため、その後多目的不織布製造装置(川之江造機(株)製)のエアスルードライヤー部を使用し、処理後の湿紙の乾燥を行った。

搬送用プラスチックワイヤーの影響を避けるため、スチームジェット処理後の湿紙は、処理時の下部ポリエステル網に張り付いた状態のまま、さらに20メッシュの上下2枚のポリエステル網に挟んだ状態とし、エアスルードライヤー部の搬送用ワイヤー上に乗せて乾燥を行った。運転速度は1.0m/min、熱風温度は120℃、送風量は77.3m³/minの条件で、湿紙の乾燥を行った。

対照として、スチームジェット未処理の湿紙を、20メッシュの上下2枚のポリエステル網に挟んだ状態で同様に乾燥し、エアスルー乾燥紙とした。さらに一部のエアスルー乾燥紙は、その後テスト用エンボス加工機(株大昌鉄工所製)によりエンボス処理を施し、エンボス処理紙とした。

4. 物性試験

(1) 厚さ

平らなガラス板上に120mm角に裁断した試料を1枚置き、その中央に100mm角のアクリル板2枚を載せた状態(圧力115Pa)と、さらにアクリル板上に400gのおもりを載せた状態(圧力507Pa)に加圧し、アクリル板上のマイクロメータにより測定した。

(2) 通気度

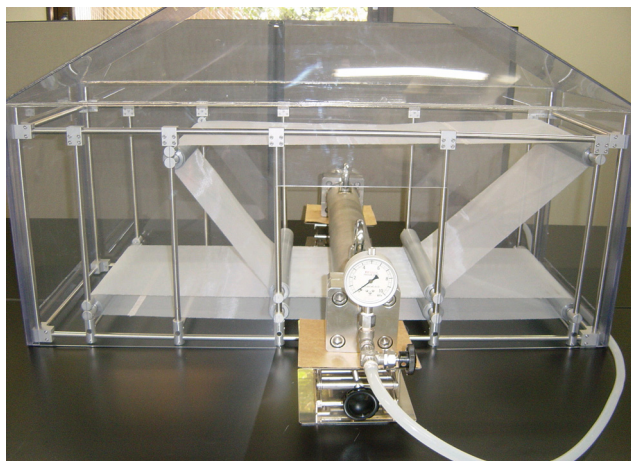


図1 スチームジェット処理装置

通気性試験機(KES-F8-AP1:カトーテック(株)製)により、通気抵抗R(kPa・s/m)を測定した。

(3) 柔軟度

100mm角に裁断した試料について、J. TAPPI-No. 34に準じ、ハンドロオメータ(No. 226: 株安田精機製作所製)により測定した。

(4) 吸水度

15mm幅の短冊状に裁断した試料について、JIS-P-8141に準じ、クレム吸水度を測定した。

また、一部の試料については、100mm角の試料を大量の蒸留水に20秒間浸漬した後、30秒間水を切ってから、試料の重量を電子天秤で測定し、浸漬前後の重量差から100cm²の試料に吸収された水の重量を、飽和吸水量として求めた。

(5) 引張強度

幅25mm、長さ100mmに裁断した試料について、万能引張圧縮試験機(RTE-1210: 株オリエンテック製)を用いて、引張速度100mm/min、試験片つかみ間隔50mmの条件で引張試験を行い、破断時の強度を測定した。

結果と考察

1. スチームジェット処理紙の形態

スチームジェット処理紙の代表的な形態について、実体顕微鏡写真を図2に示す。いずれも坪量50g/m²の試料について、斜め上方向からの落射照明における観察像を撮影している。スチームジェット処理紙(SJ処理紙と表記)の特徴としては、スチームジェット処理時の下網側(写真上側)は網目の形状を痕跡とした凹凸形状を有しており、一方スチームジェット処理時の上網側(写真下側)は、パルプ繊維が飛散はしていないものの、全体に紙層を構成するパルプ繊維の積層構造が乱されている様子が確認できる。スチームジェットノズルからの高圧蒸気は、湿紙上部のポリエステル網や網のオープニング上に噴射し、ポリエステル網を構成する糸に当たり流路が変化し

表1 ポリエステル網の規格

品番	メッシュ数 (/2.54cm)	オープニング (mm)	オープニング エリア(%)	線径 (mm)	厚さ (mm)
TB50	50	0.308	37	0.200	0.410
TB40	40	0.435	47	0.200	0.410
TB30	30	0.597	50	0.250	0.540
TB20	20	0.950	56	0.320	0.680
TB15	14	1.404	60	0.410	0.900
8目	7	3.083	72	0.545	(不明)
5目	5	4.310	72	0.770	(不明)

オープニング: 糸と糸の間の距離 (8目・5目はポリエチレン製)

オープニングエリア: メッシュクロス空間率

た噴射蒸気とともに、網のオープニングから直接湿紙に当たる噴射蒸気、さらに湿紙を通過後に湿紙下部の支持網から跳ね返った蒸気など、湿紙を構成するパルプ繊維の積層構造に対し、様々な方向から複雑な運動エネルギーを与えていることが予想される。しかし、噴射蒸気の主体となる運動エネルギーは、紙層を貫通する厚さ方向への作用が最も大きいものと考えられる。e)のように湿紙下部にポリエステル網ではなく板紙(坪量 480 g/m²)を用いた試料では、噴射蒸気が湿紙下方向への貫通を遮られ、紙層を形成する横方向や板紙に当たり跳ね返る方向の運動エネルギーに変えられ、パルプ繊維の横方向への移動が主体となり、その結果、上部ポリエステル網のオープニング部において多くの開孔が発生した。

また、湿紙上部のポリエステル網のメッシュが細くなるほどに、ポリエステル網を構成する糸に当たる噴射蒸気が多くなり、紙層を貫通する厚さ方向へ作用する噴射蒸気の運動エネルギーが弱められ、その結果湿紙を構成するパルプ繊維の積層構造を乱す程度が減少していることも確認できる。しかし、メッシュの一番細かい d) の上下 50 メッシュを使用した試料においても、f) の湿紙をエアスルー乾燥した試料とは紙表面の形態が異なり、特に噴射蒸気が直接当たる上網側での形態の差が顕著であることから、細かなメッシュにより弱められながらも、噴射蒸気の運動エネルギーが紙層構造に影響を与えていることが予想される。

さらに詳細な形態を確認するために、走査型電子顕微鏡による観察を行った。図 3 に代表的な試料の走査型電子顕微鏡写真を示す。いずれも坪量 50g/m² の試料であるが、スチームジェット処理紙 (S J 処理紙と表記) については、網目の形状を痕跡とした凹凸形状があり、パルプ繊維間の空隙が大きく、粗な部分構造を有することが確認できる。スチームジェットノズルからの噴射蒸気の運動エネルギーにより、紙層を構成するパルプ繊維が上下左右に移動し、パルプ繊維が湾曲したり捻れた状態で他のパルプ繊維と部分的に結合し、このような粗な部分構造を形成したものと考えられる。また断面写真からは、厚さ方向にパルプ繊維が部分的に配向し、嵩高な構造を形成していることが確認できる。

このような厚さ方向へのパルプ繊維の配向に起因する嵩高構造は、スチームジェット処理紙に特有であり、加圧エンボスロールにより付与されるエンボス処理紙の凹凸形状は、パルプ繊維が厚さ方向に積層した状態のままに付与されるものであり、当然ながら断面写真ではパルプ繊維の厚さ方向への配向は確認できない。逆にエンボス処理紙では、ロール間の加圧により紙厚はエアスルー乾燥紙よりも減少している。

2. スチームジェット処理紙の物性

(1) 乾燥厚さ

坪量 50g/m² の試料についての乾燥厚さを図 4 に示す。スチームジェット処理紙は、エアスルー乾燥紙に比較

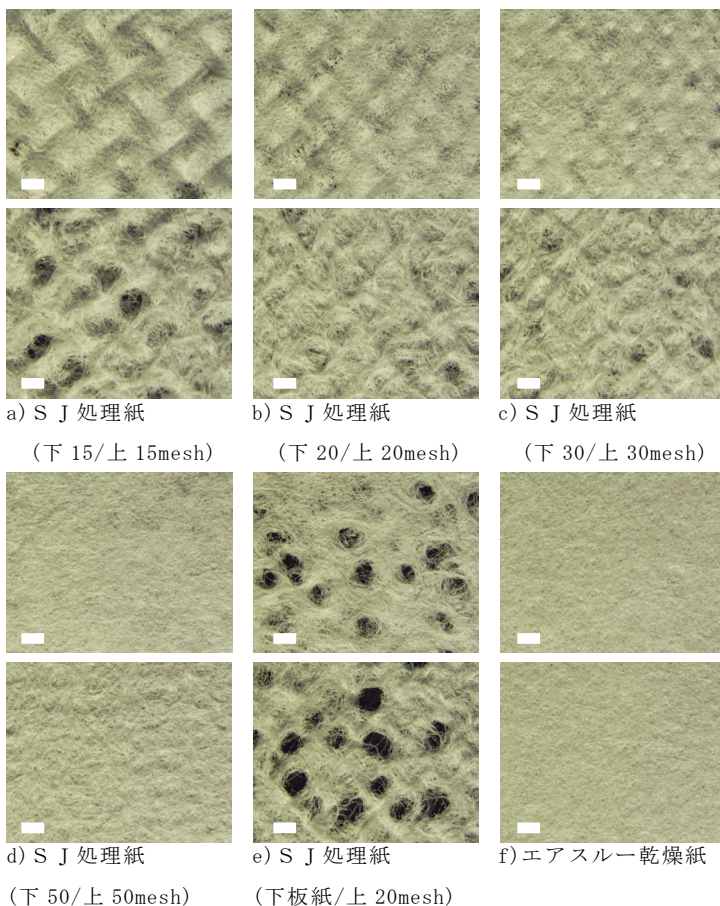


図 2 スチームジェット処理紙の実体顕微鏡写真 (坪量 50g/m²)
(写真上が下網側・写真下が上網側、白線 1.0mm)

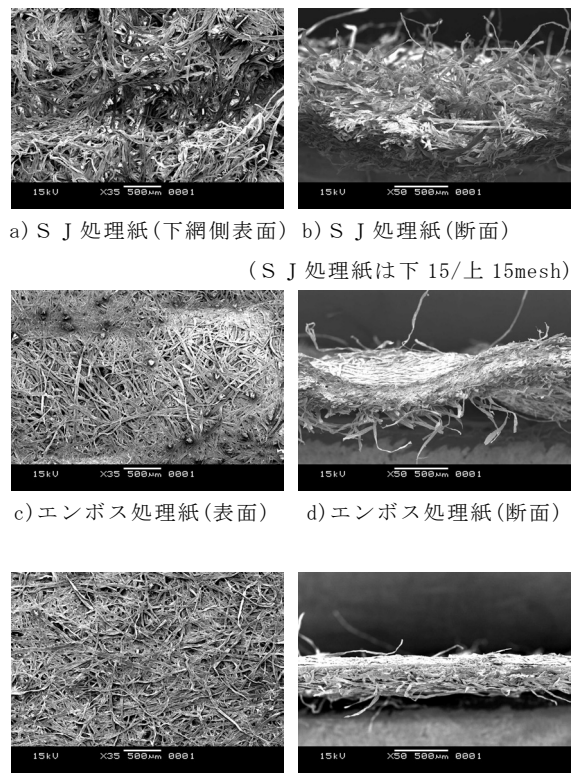


図 3 スチームジェット処理紙の走査型電子顕微鏡写真 (坪量 50g/m²)

して非常に大きな乾燥厚さを有することが確認できる。スチームジェット処理紙は、網目の形状を痕跡とした凹凸形状が特徴であるが、スチームジェット処理紙の厚さは、湿紙下部の網の厚さが支配的であると考えられる。噴射蒸気の運動エネルギーにより紙層を構成するパルプ繊維が移動するが、嵩の付与に必要な下方向の移動範囲は、湿紙下部の網のオープニングエリアとなる。したがって、蒸気圧力が十分高ければ、下部網の厚さだけこのオープニングエリアにパルプ繊維は移動することが可能となる。しかし、積層したパルプ繊維の繊維長や繊維間に働く摩擦力の影響もあり、完全に抜けきることなく繊維間結合が形成され、乾燥後に紙としての形状を保持できている。これは、積層するパルプ繊維の本数すなわち坪量に依存し、低坪量の湿紙は積層するパルプ繊維の本数が少なく、これを粗いメッシュ上で高圧蒸気によりスチームジェット処理を行えば、パルプ繊維は飛散し繊維間結合は形成されず、紙としてのシート形状を保持できない。

図5に坪量 25g/m² の試料についての乾燥厚さを示すが、湿紙上下の網のメッシュ数に応じて、湿紙が受ける噴射蒸気の運動エネルギーの作用が異なり、スチームジェット処理紙の乾燥厚さが変化していることが確認できる。坪量 25g/m² の試料では、積層するパルプ繊維の本数が坪量 50g/m² の試料よりも少なく、同じ噴射蒸気の運動エネルギーをより強く受けることとなる。図4と図5で上下同一メッシュを用いた試料を比較すると、坪量 25g/m² の試料でも坪量 50g/m² と同程度の乾燥厚さを有することが確認できる。しかし、坪量 25g/m² の試料については、坪量 50g/m² に比較して嵩高さを形成する厚さ方向に配向したパルプ繊維本数が少ないために、加圧による嵩の減少率が大きいことも確認できる。

坪量 25g/m² はペーパータオルなどに利用される坪量値であるが、エアスルー乾燥紙と比較すると、上下 40 メッシュを用いた試料は 2.5 倍、上下 20 メッシュを用いた試料は 4.7 倍と非常に大きな乾燥厚さを示した。スチームジェット処理は、従来の抄紙技術とは異なる独特の風合いを有する嵩高紙の製造技術であることがうかがえる。

(2) 通気度

同一坪量の紙で厚さ(嵩)があれば、より低密度でありパルプ繊維間の空隙が大きく、粗な構造を有することが

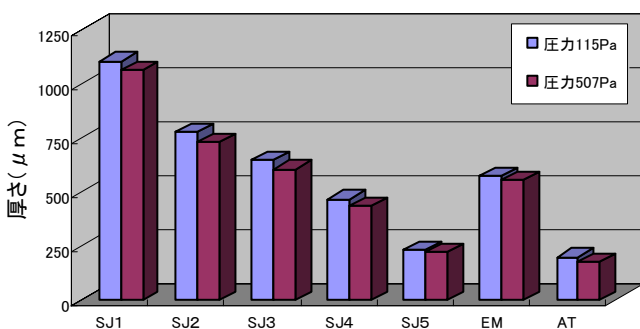


図4 S J 処理紙の乾燥厚さ(坪量 50g/m²)

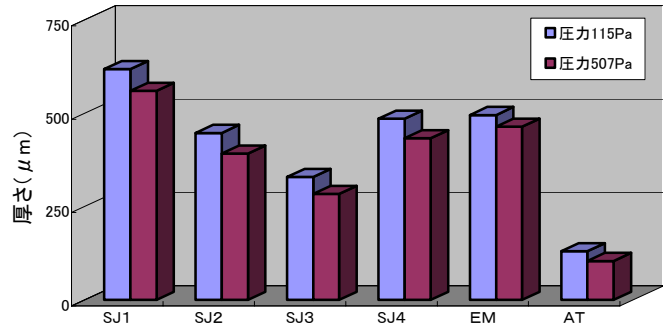


図5 S J 処理紙の乾燥厚さ(坪量 25g/m²)

(図中の略号)
 ①坪量 50g/m² の図: SJ1(下 8・上 15mesh)・SJ2(下 15・上 15)・SJ3(下 20・上 20)・SJ4(下 30・上 30)・SJ5(下 50・上 50)・EM(エンボス)・AT(エアスルー)
 ②坪量 25g/m² の図: SJ1(下 20・上 20mesh)・SJ2(下 30・上 30)・SJ3(下 40・上 40)・SJ4(下 40・上 20)・EM(エンボス)・AT(エアスルー)
 ③坪量 75g/m² の図: SJ1(下 5・上 15mesh)・SJ2(下 8・上 15)・SJ3(下 15・上 15)・EM(エンボス)・AT(エアスルー)

予想される。また図2に示すように、スチームジェット処理紙は、処理条件によっては湿紙に噴射する高圧蒸気の運動エネルギーにより紙層が乱れ、パルプ繊維の粗密のばらつきから紙層を貫通する開孔が発生した。そこで、紙層を構成するパルプ繊維の粗密構造及び開孔発生の度合いを評価するために、通気性試験機によりスチームジェット処理紙の通気抵抗を測定した。坪量 50g/m² の試料についての通気抵抗を図6に示す。

エアスルー乾燥紙に比較して、乾燥厚さ(嵩)が非常に大きいスチームジェット処理紙は、図3で認められるようにパルプ繊維間の空隙が大きいが、通気抵抗もエアスルー乾燥紙に比較して非常に低い値を示した。スチームジェット処理紙においても、厚さがエアスルー乾燥紙に近い上下 50 メッシュを用いた試料では、通気抵抗もエアスルー乾燥紙に近い値となり、通気抵抗が紙層構造の状態を反映していることが推察された。

(3) 柔軟度

衛生用紙に要求される品質として、柔軟性は使用感に影響する重要な要素である。図7に坪量 50g/m² の試料に

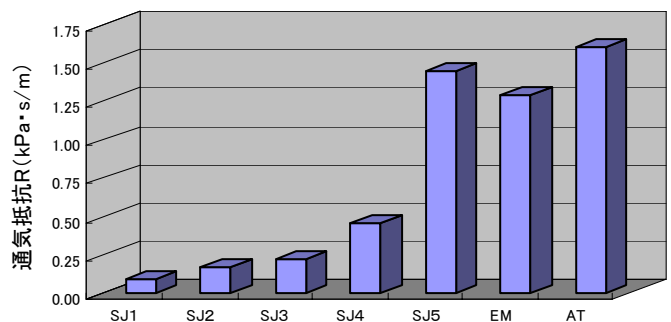


図6 S J 処理紙の通気抵抗(坪量 50g/m²)

ついでに柔軟性を示す。紙層を構成するパルプ繊維間の結合頻度が多ければ紙層は緊密になり、曲げなどの外力に対しての抵抗力も大きく柔軟性は低い、パルプ繊維間の接触・結合頻度が少なければ、曲げなどの外力に対しての自由度が大きくなり、柔軟性が向上することが予想される。

ハンドロオメータによる柔軟度の測定では、試験片を一定の間隙に押し込むときに受ける抵抗力で示すが、図7では、スチームジェット処理紙はエアスルー乾燥紙に比較すると全体に柔軟度(抵抗力)は低いが、エンボス処理紙の柔軟度(抵抗力)が最も低い結果となった。また、スチームジェット処理紙間で比較すると、下8・上15メッシュを用いた試料の柔軟度(抵抗力)が最も低いものの、上下15・上下20・上下30メッシュを用いた3試料間では柔軟度の差は認められなかった。図4の乾燥厚さでは、これら3試料間の差は顕著であったが、柔軟度において大差が認められない理由としては、坪量50g/m²の試料では紙層を構成するパルプ繊維数が多く、嵩高な紙層構造になった場合にもパルプ繊維間の接触・結合頻度が多いために、乾燥により生じた繊維間ネットワークが、曲げに対する抵抗力を発揮しているものと考えられる。一方、エンボス処理紙では、乾燥後に加圧エンボスロールによる大きな外力を受けることから、乾燥により生じた繊維間ネットワークが部分的に破壊され、曲げに対する自由度が大きくなったとともに、ロール間の加圧により紙厚が減少したことが、柔軟性が向上した要因として考えられる。

また、図8に坪量25g/m²の試料についての柔軟度を示すが、坪量25g/m²では坪量50g/m²の場合と異なり、スチームジ

ェット処理紙の柔軟度(抵抗力)がエンボス処理紙よりも低い結果となった。この理由としては、坪量25g/m²の試料では紙層を構成するパルプ繊維数が少なく、嵩高な紙層構造になったためにパルプ繊維間の接触・結合頻度がより少なくなり、曲げなどの外力に対しての自由度が大きく、高い柔軟性を発現したものと考えられる。

(4) 吸水度

衛生用紙に要求される品質として、吸液性は重要な要素である。図9に坪量50g/m²の試料についてのクレム吸水度(10分)を示す。スチームジェット処理紙のうちで、上下15・上下20・上下30メッシュを用いた試料が高い吸水性を示す結果となった。この理由としては、これら3試料は嵩高な紙層構造を有するとともに、柔軟度の評価で推察したようにパルプ繊維間の接触・結合頻度も多いことが予想され、これらの両作用によって、パルプ繊維間の空隙に発生する毛細管現象により水が効率よく吸収され、隣接するパルプ繊維に順次浸透していったものと考えられる。下8・上15メッシュを用いた試料では、紙層を構成するパルプ繊維の本数に対して嵩が大きすぎるために、パルプ繊維間のネットワークが十分ではなく、吸水性が発揮できなかったものとする。

図10に坪量75g/m²の試料についての飽和吸水量(試料面積100cm²)を示す。スチームジェット処理原紙の調製時に湿潤紙力増強剤は添加していないため、いずれの坪量の試料においても湿潤紙力はなく、湿潤状態でのハンドリングが困難であったが、坪量75g/m²の試料については飽和吸水量の測定が可能であった。図10によれば、スチームジェット処理紙は、その嵩高な紙層構造から内部に大量の水を保持でき、エアスルー乾燥紙やエンボス処

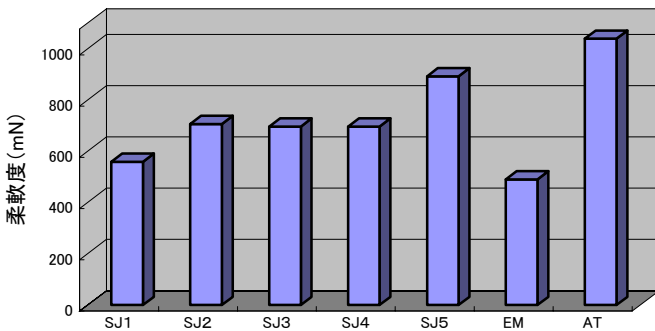


図7 S J 処理紙の柔軟度(坪量50g/m²)

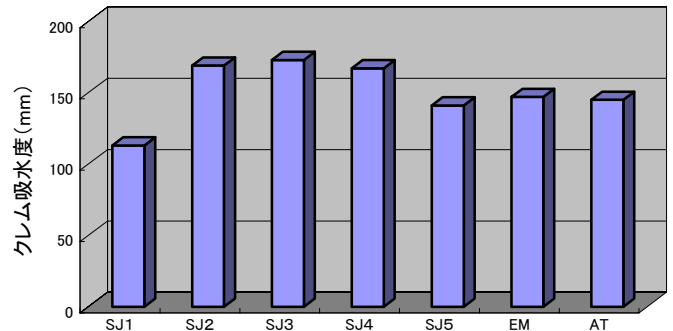


図9 S J 処理紙のクレム吸水度(坪量50g/m²)

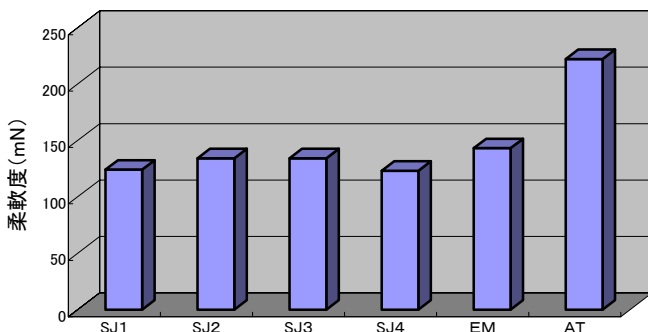


図8 S J 処理紙の柔軟度(坪量25g/m²)

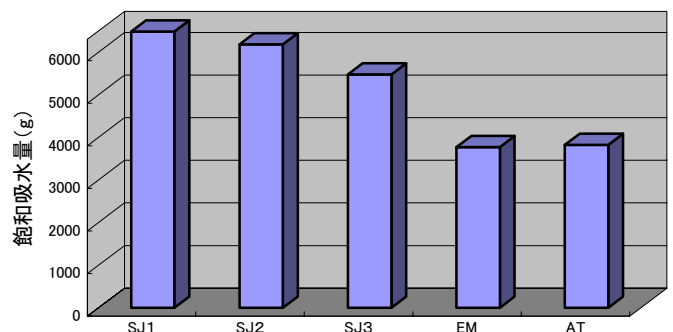


図10 S J 処理紙の飽和吸水量(坪量75g/m²)

理紙に比較して、飽和吸水量が多い結果となった。エアスルー乾燥紙と比較すると、下5・上15メッシュを用いた試料は、1.7倍と非常に大きな飽和吸水量を示した。湿潤紙力増強剤の添加により湿潤紙力を付与すれば、湿潤時にも嵩高な紙層構造を維持できるものと考えられ、スチームジェット処理紙はその高い吸水保持性能から、液体洗剤を含んだ掃除用品などの分野への利用が期待できるものと考えられる。

(5) 引張強度

図11に坪量50g/m²の試料についての引張強度を示す。図3の走査型電子顕微鏡写真からうかがえるように、スチームジェット処理紙はパルプ繊維間の空隙が大きく、粗な部分構造を有しており、このことは紙の強度の一因であるパルプ繊維間結合が少ないことが予想され、図11に示すようにスチームジェット処理紙は、エアスルー乾燥紙に比較して極端に低い引張強度を示した。

スチームジェット処理紙は、柔軟性や吸水性が高く、従来の抄紙技術とは異なる独特の風合いを有する嵩高紙であるが、嵩高な紙層構造に起因する強度不足は、従来からの抄紙技術である原料パルプ繊維の叩解や紙力増強剤の添加などにより補う必要がある。パルプ繊維の叩解や紙力増強剤の添加は、スチームジェット処理紙の特性である高い柔軟性や吸水性に対して悪影響を及ぼすことが予想されるが、紙としての使用強度と要求特性の関係については、スチームジェット処理条件に伴う嵩高性の付与効果も含めて、目的とする製品特性に合う条件を選択することが重要であると考えられる。

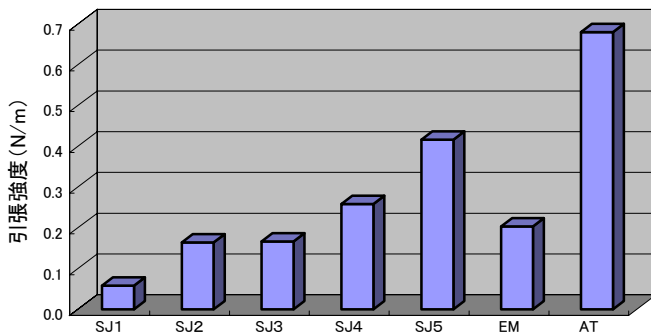


図11 S J 処理紙の引張強度(坪量 50g/m²)

スチームジェット処理により付与される嵩高性は、従来の抄紙技術では得られないものであり、スチームジェット処理紙の用途としては、従来からの衛生用紙としての用途以外にも、天然原料であるパルプ繊維を利用している点など環境負荷面をアピールすれば、従来の石油系材料に代わる緩衝材用途などが有効ではないかと考えられる。

本研究でスチームジェット処理後の乾燥に利用したエアスルードライヤーは、欧米では嵩高な風合いの紙が抄紙できる乾燥技術として、衛生用紙製造用の抄紙機(ティシューマシン)のドライヤーパートで多く採用されてい

る技術である¹⁾。ティシューマシンのエアスルードライヤー乾燥の前段に、スチームジェット処理を組み込んだ新しい抄紙技術が確立すれば、製造速度としては乾式パルプ不織布の製造速度よりも優位であり、品質的にも乾式パルプ不織布に劣らない新規な嵩高紙が製造できるものと期待される。

ま と め

抄紙後の湿紙の乾燥において、従来のドライヤー方式に代わり、微細なノズルから高圧蒸気を噴射する「スチームジェット方式」を併用する新たな乾燥システムを検討し、木材パルプを原料として乾式パルプ不織布のような柔軟性と嵩高性を有する、新規な嵩高紙の製造技術の開発に取り組んだ結果、次の成果が得られた。

1. スチームジェット処理により、木材パルプを原料に、従来にない嵩高性を有する紙が製造できることを確認した。
2. スチームジェット処理時に、湿紙の上下に重ねるポリエステル網のメッシュ数を変更することで、同一坪量においても厚さの異なる嵩高紙が得られた。
3. スチームジェット処理紙は、噴射蒸気の運動エネルギーにより紙層を構成するパルプ繊維が厚さ方向に一部配向することにより嵩高性が付与されていることを確認した。
4. スチームジェット処理紙は、嵩高な紙層構造に起因する高い柔軟性と吸水性を示した。

謝 辞

本研究を行うにあたり、ご助言をいただきました丸三製紙(株)取締役清水悟氏、篠原紙業(株)篠原直之氏、及び三菱レイヨン・エンジニアリング(株)の関係各位に厚くお礼を申し上げます。

文 献

- 1) 紙パルプ技術協会:紙パルプ製造技術シリーズ⑥紙の抄造 p.451-452, (1998) .