

# エアースルー乾燥による湿式不織布の製造とその物性

兵頭 孝次 高橋 雅樹

Influence on Physical properties of Sheets by Airthrough Drying

HYOHDOH Kohji, TAKAHASHI Masaki

抄紙機の従来の乾燥方式であるヤンキードライヤー（熱板圧着方式）に代わる方式として、エアースルードライヤー（熱風通気方式）を検討するため、ポリエステル湿式不織布及び木材パルプ紙を試作し、二つの乾燥方式がシート物性に及ぼす影響について評価した。一般に紙の強度と柔軟性には負の相関性があるが、エアースルー乾燥方式による湿式不織布は、従来方式よりもバルキー（高高）で柔軟性が高いにもかかわらず、同程度の強度を持ち得ることが分かった。抄紙工程を経て製造される湿式不織布は乾式に比べて生産性や地合の均一性で勝るものの、硬い質感を持つため用途が限られていたが、今回検討したエアースルー乾燥方式を用いれば湿式の硬い質感が改善されるため今後の利用が期待できる。一方、エアースルーを木材パルプ紙に適用した場合、適度な硬さと厚み感に加え、クレープ（シワ）を併せ持つことから、タオルペーパー等への利用が有望である。

キーワード:エアースルー、クレープ、湿式不織布、ソフトネス、バルキー

## はじめに

## 実験方法

従来から、抄紙乾燥工程で主に使われているヤンキードライヤー（熱板圧着方式）は、薄物のシートをシワなく安定に乾燥させるのに適している。しかし、熱の供給はシリンドラー（鉄製の缶体）表面からの熱伝達によるため、熱融着性繊維（バインダー繊維）を使用した嵩高な湿式不織布を乾燥させる場合にはシート表裏に温度差を生じ、乾燥ムラによるシワ発生、過乾燥によるシリンドラーへのバインダー貼付、乾燥不足による紙力低下など技術的課題も多く、機械制御はシビアである。<sup>1)</sup>また、物性面では硬く締まった特性を持つことから、嵩高で柔軟性に優れた乾式不織布に比べ用途が限られている。

一方、乾式不織布の製造に使用されるエアースルードライヤー（熱風通気方式）は、高温の乾燥空気を紙層に通して乾燥させる方式のため、通気性の高いシートを均一に乾燥させるのに適している。また、使用済みの乾燥空気から熱回収することによりエネルギー効率に優れ、機械制御が比較的容易で適応範囲が広い利点がある。<sup>2)~5)</sup>その上、乾燥工程で自然にクレープ処理（シワ付）がなされる付加価値を持つことから、湿式不織布分野への利用だけでなく、タオルペーパー等クレープ加工を要する紙パルプ分野への利用も期待される。

本研究では、エアースルードライヤーを用いたポリエステル繊維による湿式不織布の製造について検討した。その際、乾燥工程で重要な役割を果たし、且つ製品物性に大きな影響を与えるバインダー繊維の挙動について検討した。

また、エアースルードライヤーを用いた場合、自然にクレープ処理がなされるといふ利点に注目して、ティッシュペーパーやタオルペーパーを想定したエアースルードライヤーによる木材パルプ紙の製造も行い、市販ティッシュペーパーやタオルペーパーとの物性比較も行った。

### 1. ポリエステル湿式不織布の実験材料

#### (1) 湿式不織布用原料繊維

主体繊維として単一ポリマー構造のポリエステル（ユニチカエステル N801/3D5、ユニチカ<sup>株</sup>製）を使用した。バインダー繊維は芯鞘構造のポリエステル（ユニチカエステル 4080/4D5、同左 2D5、ユニチカ<sup>株</sup>製、及びクラレエステル N720/2D10、<sup>株</sup>クラレ製）を用いた。

バインダー繊維は何れも芯鞘構造を有するポリエステルを選択したが、これは、主体繊維に対する濡れ性が良く、接着効果が高いことや接着後も芯の部分繊維形態を有し、ソフトな風合いが期待できることが挙げられる。なお、3種類のバインダーを使用したのは繊維度や繊維長による影響を見るためである。また、これらの繊維の諸元を表 1 に示す。

表 1 湿式不織布の原料繊維

| 繊維         | 構造 | 繊維度     | 繊維長  | 融点  |
|------------|----|---------|------|-----|
| <N801>3D5  | 単一 | 3.3dtex | 5mm  | 260 |
| <4080>4D5  | 芯鞘 | 4.4dtex | 5mm  | 110 |
| <4080>2D5  | 芯鞘 | 2.2dtex | 5mm  | 110 |
| <N720>2D10 | 芯鞘 | 2.2dtex | 10mm | 110 |

#### (2) 湿式不織布用添加薬品

原料繊維がポリエステル(PET)100%であることから、離解の際の繊維のもつれを防ぐため、粘性と分散性の両方が期待できるポリエチレンオキサイド(PEO, 住友精化<sup>株</sup>)を使用した。また、PEOを高濃度で添加して離解を行う際、発泡により繊維が浮上し不織布の地合悪化が予想されるため、消泡剤として高級アルコール系 Em (フォームレックス SAF-55、日華化学<sup>株</sup>製)を使用した。

## 2. ポリエステル湿式不織布の抄造

3.3dtex × 5mm の主体繊維と 4.4dtex × 5mm の芯鞘繊維 (110 mp) を標準離解機にて離解後、セミオートマッチック角型自動シートマシン(熊谷理機工業(株)製)で抄紙を行った。

なお、抄紙の際は 80mesh ワイヤー上に 200mesh ポリエステルネットを予め被せておき、シート形成後、サンプルをネットごとワイヤーから剥がして後の乾燥工程に供した。これは、ポリエステル繊維の場合、パルプの水素結合のような結びつきを持たず、シートのウエット強度が繊維同士の摩擦力と繊維間に残った水の凝集力だけで支えられ、非常に脆いためである。

なお、抄紙条件を表 2 に示す。

表 2 湿式不織布の抄紙条件

| 項目        | 条件                                |
|-----------|-----------------------------------|
| 主体繊維      | 単一 PET 3.3dtex × 5mm              |
| バインダー-1   | 芯鞘 PET 4.4dtex × 5mm 110 mp       |
| バインダー-配合率 | 20% ,40% ,60%                     |
| バインダー-2   | 芯鞘 PET 2.2dtex × 5mm 110 mp       |
| バインダー-3   | 芯鞘 PET 2.2dtex × 10mm 110 mp      |
| バインダー-配合率 | 40%                               |
| 紙料濃度      | 0.2 ~ 0.3%                        |
| 目標坪量      | 60 ,80 ,100g / m <sup>2</sup>     |
| 添加薬品      | PEO (粘剤・分散剤)<br>高級アルコール系 Em (消泡剤) |

## 3. ポリエステル湿式不織布の乾燥

多目的不織布製造装置(川之江造機(株)製)のエアースルードライヤーを用いて湿紙の乾燥を行った。バインダー-1の湿式不織布については、坪量 (60 ~ 100g / m<sup>2</sup>) とバインダー-配合率 (20 ~ 60%) の異なる湿紙を作製して各々 140 ~ 170 の水準で熱処理を行った。また、バインダー-2 及び 3 については、坪量 80g / m<sup>2</sup>、バインダー-配合率 40% で同様に熱処理を行った。さらに、熱風通気方式のエアースルー乾燥試料の比較対照として、熱板圧着方式の回転乾燥機を用い、乾燥温度 140 で 2 分間の熱処理を行った。

なお、乾燥条件を表 3 に示す。

表 3 湿式不織布の乾燥条件

| 項目             | 条件                 |
|----------------|--------------------|
| 【エアースルードライヤー】* |                    |
| 乾燥温度           | 140 ,150 ,160 ,170 |
| ライン速度          | 1m / min           |
| 乾燥時間           | 2min (ドラム接触時間)     |
| 風量             | 100 ? / min        |
| 【回転乾燥機】        |                    |
| 乾燥温度           | 140                |
| 乾燥時間           | 2min               |

\* ヒーター容量 :19kw × 3回路、静圧 :1000mmAq

風速 5.6m / sec

ドラム容積 :1000mm × 1000mm

ワイヤー :二重織 70 メッシュ 線径 0.45mm、通気度 20,000cc / ? · min

## 4. ポリエステル湿式不織布の物性評価

得られた湿式不織布を 23、50% (RH) の恒温恒湿室で前処理後、各物性を次の方法で測定した。

### (1) 高密度

JIS P8124 の紙のメートル坪量試験方法により坪量を求め、KES-65 ハンディ圧縮試験機 (カトーテック(株)製)にて 0.5kpa 加圧時の厚さを測定し、坪量と厚みのデータより算出した。

### (2) 裂断長

JIS L1913 の一般短繊維不織布試験法に準じて引張強さを測定し、JIS P8113 により求めた。

### (3) 比破裂度

JIS L1913 の一般短繊維不織布試験法に準じて破裂強さを測定し、坪量で除して求めた。

### (4) 相対柔軟度<sup>6)</sup>

JIS L1913 の一般短繊維不織布試験法の剛軟度 B 法 (ガーレ法) に準じて、試料幅 50.8mm、長さ 63.5mm で測定した。また、坪量による影響を少なくするため、測定値を坪量で除して 100 を乗じた数値を相対柔軟度として評価した。

なお、この数値が小さいほど柔軟性が高いことを示す。

### (5) 相対通気抵抗率<sup>6)</sup>

KES-F8API 通気性試験機 (カトーテック(株)製)にて通気度を測定し、坪量による影響を排すため、坪量で補正した相対通気抵抗率として評価した。

## 5. エアースルー乾燥による木材パルプ紙の作製

針葉樹晒クラフトパルプ (NBKP) 及び広葉樹晒クラフトパルプ (LBKP) を等量混合し、標準離解機にて濃度 1.5% (w/v) で 30,000 回転離解後、200mesh ポリエステルネットで濾過した。

上記離解パルプを絶乾重量にて 30g 取り、蒸留水で全量を 300g に調整後、PF 30 (熊谷理機工業(株)製)にて、クリアランス 0.2mm、相対速度 6.0m / sec、4,000 回転で叩解した。

叩解後、200mesh ポリエステルネットに包んで遠心脱水し、叩解パルプ (500CSF) を得た。この叩解パルプを用いて、JIS P8222 に準じ、セミオートマッチック角型自動シートマシン(熊谷理機工業(株)製)で坪量 15g / m<sup>2</sup> のシートを作製し、エアースルードライヤーにて湿紙乾燥を行った。

乾燥温度は 105 の一定とし、ライン速度を変えて 3 水準の試作を行った。また、テスト用エンボス加工機 (大昌鉄工所(株)製)との併用も行った。なお、乾燥条件を表 4 に示す。

表 4 木材パルプ紙の乾燥条件

| 項目            | 条件           |
|---------------|--------------|
| 【エアースルードライヤー】 |              |
| 乾燥温度          | 105          |
| ライン速度         | 1、3、7m / min |
| 風量            | 50 ? / min   |
| 【テスト用エンボス加工機】 |              |
| 処理温度          | 105          |
| 処理速度          | 1m / min     |
| ニップ圧          | 19.6kN / m   |

## 結果と考察

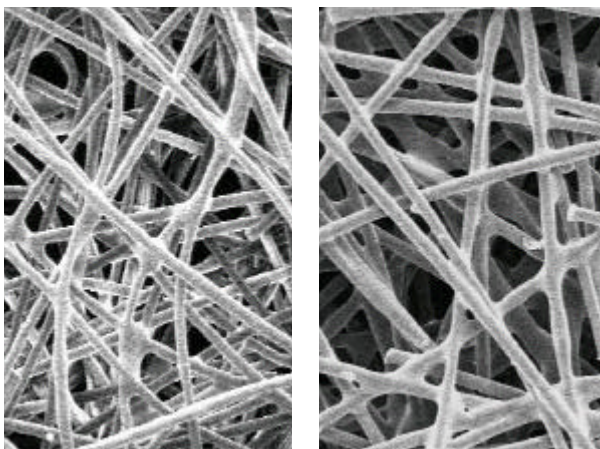
### 1. エアスルー乾燥によるポリエステル湿式不織布について

エアスルードライヤー(熱風通気方式)で処理した湿式不織布と従来の抄紙乾燥装置として使われてきたヤンキードライヤー(熱板圧着方式)の小型試験機としての回転乾燥機によるサンプルの電子顕微鏡写真(写真1)を示す。写真1よりどちらのサンプルでもバインダー繊維の交点における溶融が認められ、熱融着が十分に進行しているものと推察される。

両者を比較すると回転乾燥機によるサンプルは一本一本の繊維が直線基調で平面的に折り重なっているのに対し、エアスルードライヤーによるサンプルは繊維が屈曲してより複雑に交絡している様子が認められる。

この理由としては、熱板圧着方式の回転乾燥機では、熱容量の大きな鉄製の缶体からの熱伝達で急速に熱が加えられるため、シリンダーに貼り付いた瞬間に繊維の位置が固定されて熱処理中の繊維の動きに自由度が無いこと。他方、エアスルーの場合、熱風による穏やかで均等な加熱が行われる事から、熱融着が進む過程で繊維の動きに自由度があり、そのため熱収縮により繊維が屈曲してくることが考えられる。

エアスルーのこのような特徴がバルキーで風合いの良い不織布を生み、物性に影響を与えていると思われる。



エアスルードライヤー(熱風通気方式) 写真1 湿式不織布の走査電子顕微鏡写真(×100)  
回転乾燥機(熱板圧着方式)

### 2. ポリエステル湿式不織布の物性について

#### (1) 嵩密度

従来の抄紙乾燥装置として使われてきたヤンキードライヤーに比べ、エアスルードライヤーの乾燥品は嵩高で柔らかい質感を持つため、バルキー性を嵩密度により評価した。

坪量 80g/m<sup>2</sup>でバインダー配合率と乾燥温度を変えたサンプルの嵩密度を図1に、また、バインダー配合率 40%(w/w)で坪量と乾燥温度を変えたサンプルの嵩密度を図2に示す。

概ね、バインダー配合率や坪量の増加と共に嵩密度が増える傾向が見られたが、乾燥温度による影響は不明瞭だった。

これらの傾向はバインダー繊維の熱収縮に起因すると考え

られるが、坪量の増加と共に嵩密度が増えた原因については、単位面積あたりのバインダー使用量が多いためと考えられる。

なお、回転乾燥機によるサンプルと比べエアスルードライヤーによるサンプルは1.5~2倍ほど高バルキーであった。

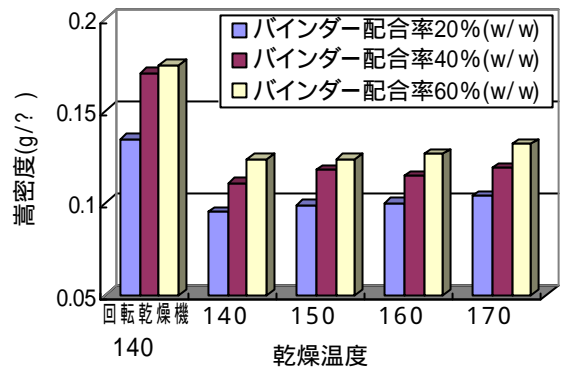


図1 坪量 80g/m<sup>2</sup>の湿式不織布の嵩密度

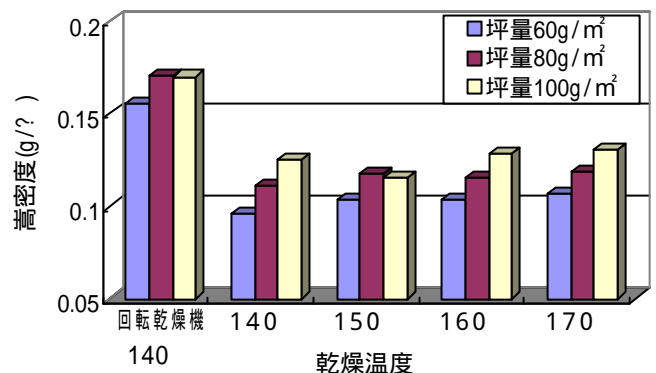


図2 バインダー配合率 40%(w/w)の湿式不織布の嵩密度

#### (2) 裂断長

湿式不織布のバインダー配合率・乾燥温度と裂断長の関係を図3に示す。

バインダー配合率や乾燥温度の増加と共に裂断長が大きくなる傾向が見られた。また、バインダー配合率と裂断長の関係は直線的な比例関係ではなく、徐々に収束していく傾向が見られた。これについては、バインダーによる接着効果が十分に発現する配合率があり、それ以上にバインダーを増やしても強度向上への寄与率が小さくなるからと理解できる。

なお、高バインダー配合率による高温乾燥を行った場合、回転乾燥機によるサンプルと同程度の強度が得られた。

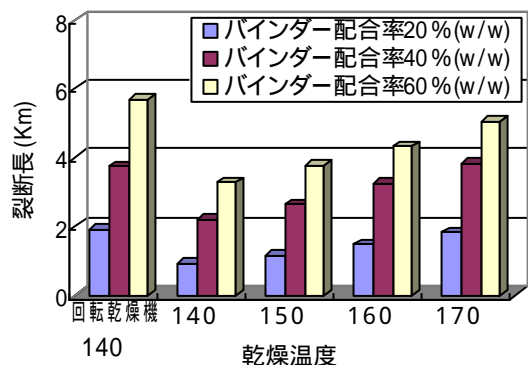


図3 坪量 80g/m<sup>2</sup>の湿式不織布の裂断長

(3) 比破裂度

湿式不織布のバインダー配合率・乾燥温度と比破裂度の関係を図4に示す。

前述の裂断長と同じく、バインダー配合率や乾燥温度の増加と共に比破裂度が大きくなる傾向が見られたが、理由も同様でバインダーの接着効果によると思われる。

また測定の際、破裂に至る過程を観察した結果、回転乾燥機による乾燥試料は一定圧に達した瞬間に破れるペーパライクな特性を示すのに対して、エアスルー乾燥試料は破裂度試験器のゴム膜の膨らみに応じて伸びながら局所的に破断していくクロスライクな特性を示した。サンプルの破断箇所は繊維自体と繊維間接着部の2カ所あるが、回転乾燥機による乾燥試料は両者がほぼ同時に破断すると考えられるのに対し、エアスルー乾燥試料は接着部の伸長・破断が先行した後、遅れて繊維の破断が生じているためと考えられる。

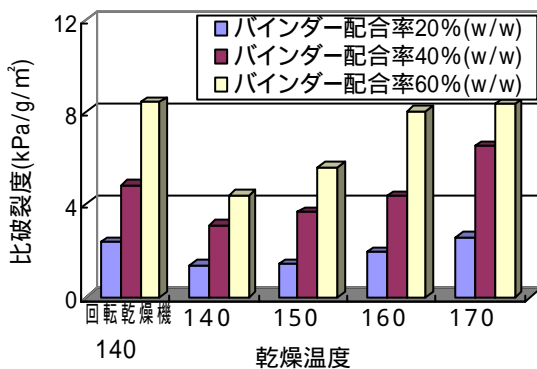


図4 坪量 80g/m<sup>2</sup>の湿式不織布の比破裂度

(4) 相対柔軟度

湿式不織布のバインダー配合率・坪量・乾燥温度と相対柔軟度の関係を図5、図6に示す。なお、この数値が小さいほど柔らかいことを示す。

バインダー配合率や坪量の増加と共に剛性が増す傾向が見られたが、乾燥温度との関係は不明瞭だった。また、相対柔軟度と高密度との間に相関性が見られることから相対柔軟度に影響を与える要因として繊維の接着交点の数が考えられる。バインダー配合率や坪量が大きいほど熱収縮の影響を受け易く、高密度が増すことは先に述べたが、高密度の増加に応じて繊維間距離が縮まり、接着交点が増えてウェブの骨格をより強固なものにし、剛性が増すと考えられる。

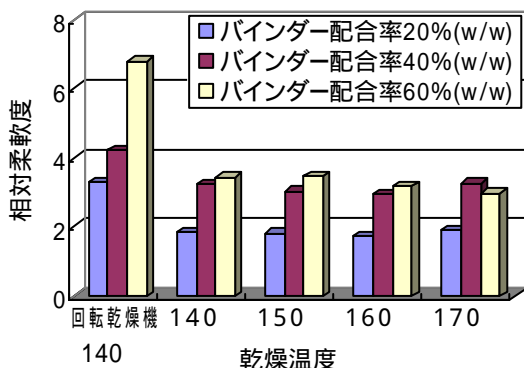


図5 坪量 80g/m<sup>2</sup>の湿式不織布の相対柔軟度

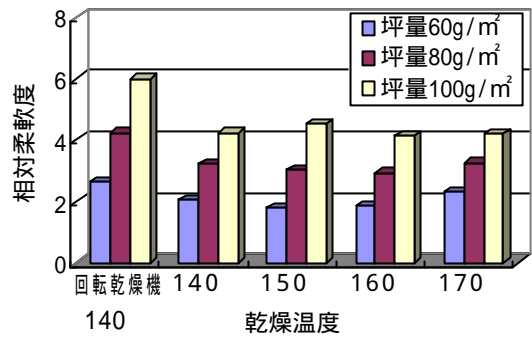


図6 バインダー配合率 40%(w/w)の湿式不織布の相対柔軟度

(5) 相対通気抵抗率

湿式不織布のバインダー配合率・乾燥温度と相対通気抵抗率の関係を図7に示す。

一般的に、バインダー配合率が増えるほど硬く締まって隙間の少ないウェブになるため通気抵抗が増すと考えられるが、実際にはバインダー配合率 40%(w/w)を頂点とする山型の依存性を示した。そこで、図8のような模式図を考えてみた。

芯鞘構造のバインダーを使用した場合、溶けた鞘部分は接着交点に移動してアヒルの水かきのような形態で留まる。鞘部分が溶けた後は一回り細い芯の部分が表れるが、溶ける前より繊維間の隙間が大きくなるので通気性が増すと考えられる。しかし、これは熱収縮を考慮に入れてない場合であり、実際にはバインダー増加に伴う熱収縮(繊維間の空隙減少)の影響も大きくなるため、両者の兼ね合いで通気性が左右されるのではないかと考えられる。

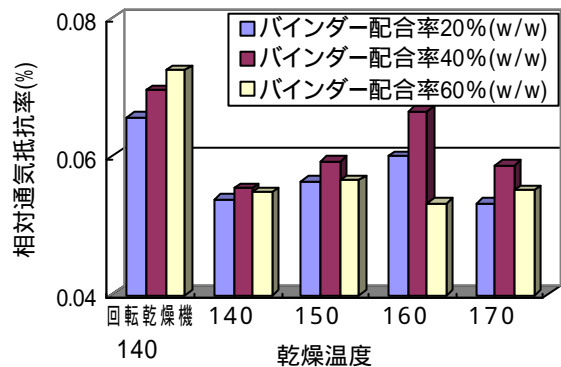


図7 坪量 80g/m<sup>2</sup>の湿式不織布の相対通気性

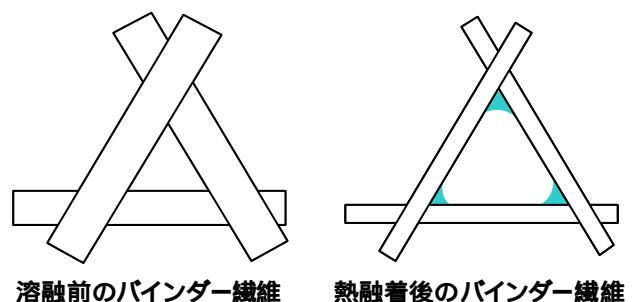


図8 芯鞘バインダー繊維の溶融模式図

### 3. バインダー繊維の織度や繊維長による影響について

バインダーの織度や繊維長を変えた場合の影響を調べるため、織度や繊維長の相異なる三種類のバインダー繊維を使用したサンプル(坪量 80g/m<sup>2</sup>、バインダー配合率 40%(w/w))の裂断長と比破裂度を図9 図10 に示す。

バインダー繊維の径・長さとも、湿式不織布の強度に影響を与えているのが分かる。バインダー繊維は細くて長い方が強度面では有利である。これは繊維径が細いほど接着交点が増え、繊維長が長いほどより多くの繊維と交絡するためウェブ全体の強度が上がると思われる。

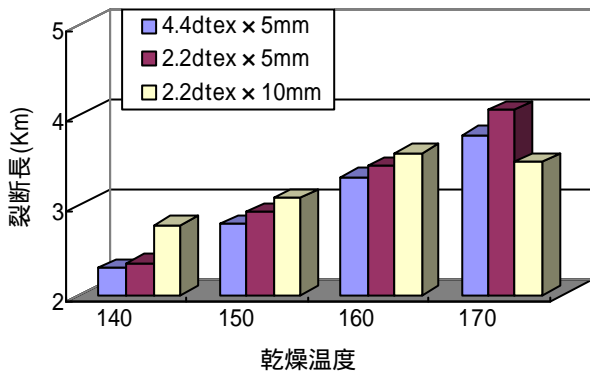


図9 三種類のバインダーによる裂断長の比較

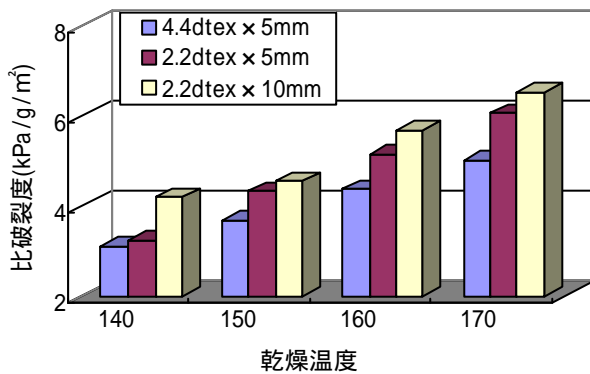


図10 三種類のバインダーによる比破裂度の比較

### 4. エアースルー乾燥による木材パルプ紙の物性について

ライン速度 1, 3, 7m/min (乾燥時間 120, 40, 17 秒)でエアースルードライヤーにより乾燥を行った木材パルプ紙(坪量 15g/m<sup>2</sup>)と市販ティッシュペーパー(坪量 13g/m<sup>2</sup>)の引張強さ、及び柔らかさを図11 に示す。共に2枚重ねの状態にて測定したデータである。

市販ティッシュに比べ、エアースルーによるサンプルは20倍ほど強く、硬い結果となりライン速度(乾燥時間)による影響は認められなかった。また、ライン速度 1m/min のサンプルにエンボス加工を施してみたが、若干手触りが良くなったものの硬い質感に変化はなかった。これらの結果は主にクレープ処理の違いから生じたものと推定される。

市販ティッシュは乾燥後、ドクタープレートによりクレープを付けるドライクレープ方式であるのに対し、エアースルーでは湿紙の状態でクレープを付けるウェットクレープの類に属する。一般的にウェットクレープはドライに比べて硬く厚み感があり業務用タオルペーパーなどに採用されている。<sup>7)</sup>

そこで、市販タオルペーパー(坪量 22g/m<sup>2</sup>、1枚)のデータと比較したところ、ほぼ同レベルの引張強さと柔らかさ(硬さ)を持っていることが分かった。(しかし、エアースルーによるサンプルは坪量 15g/m<sup>2</sup>の2枚重ねであるため、坪量 22g/m<sup>2</sup>のタオルペーパー1枚と比べるとより柔らかくなっている)

エアースルーで柔らかさを追求する際には、良質なパルプの選択、又は叩解処理や坪量の調整、そしてエアースルー乾燥時の風量の低減などを検討すれば良いが、ウェットクレープの基本特性を考えればティッシュ(フェイシャルティッシュ)レベルの柔らかさを要する商品には不向きだといえる。

しかし、適度な柔らかさ(硬さ)と厚み感を持つことから、タオルペーパー等への用途には有望ではないかと思われる。

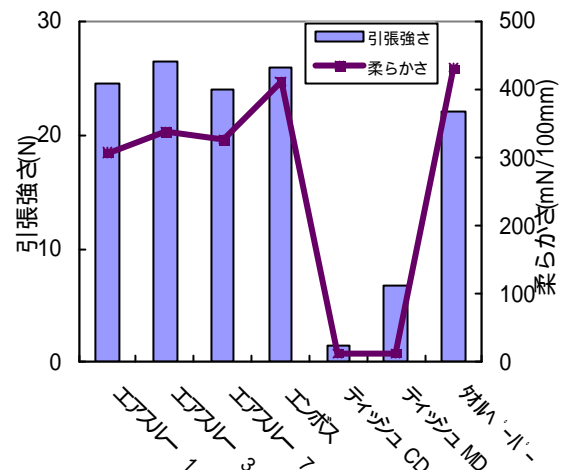


図11 木材パルプ紙の引張強さと柔らかさ

## まとめ

従来の湿式不織布は硬くペーパーライクな風合いを持つことから用途が限定され、柔軟でクロスライクな乾式不織布に対し、シェアーにおいて大きく水をあけられていたが、エアースルードライヤーを使用した場合、湿式特有の硬い質感が改善された。また、木材パルプ紙の製造においては、クレープを加えられる付加価値を有しながら、硬さと厚み感を併せ持つ利点を生かしてタオルペーパー等への利用が期待できる。

1. ポリエステル湿式不織布をエアースルー乾燥により熱融着させた場合、熱処理中の繊維の動きに自由度があるため、熱収縮による繊維の屈曲が生じ、従来法に比べてバルキーで柔らかい不織布が得られた。
2. エアースルー乾燥によるポリエステル湿式不織布では、バインダー繊維の使い方が物性に大きな影響を与えるため、接着交点を増やす条件を整えれば従来法により抄造したサンプルに近い強度が確保できることがわかった。
3. バインダー繊維の織度や繊維長も湿式不織布の物性に影響を与える。バインダー繊維が細く、長いほど強度面では有利に働くことがわかった。
4. エアースルー乾燥により製造した木材パルプ紙は市販ティッシュペーパーに比べ、20倍ほど引張強さが大きく硬い質感

を持つことがわかった。柔らかさを第一に求める用途には不向きと思われるが、エアースルー乾燥品の独特の質感やウェットクレープ固有の厚み感を持っており、タオルペーパー等への利用が有望である。

## 文 献

- 1) 豊島節夫: 湿式不織布のウェットフォーミングとボンディング技術の動向、繊維学会誌、45-9、389-393(1989).
- 2) Alfred Watzl: 不織布および製紙業用における通気乾燥 (Through Drying) の最近の考え方 (No.1)、不織布情報、336、64-68、(2002).
- 3) Alfred Watzl: 不織布および製紙業用における通気乾燥 (Through Drying) の最近の考え方 (No.2)、不織布情報、337、31-37、(2002).
- 4) Alfred Watzl: 不織布および製紙業用における通気乾燥 (Through Drying) の最近の考え方 (No.3)、不織布情報、338、39-43、(2002).
- 5) 斉藤竜太郎: 化繊紙研究会誌、12、21-26(1973) .
- 6) 宮地亀好、松本博、上野愛理: 再生 PET 繊維等による乾式不織布の試作研究、機能紙研究会誌、31、29-37
- 7) 大王製紙(株) / 家庭紙開発部: 特殊機能紙 2001、(紙業タイムス社)、811-816(2001) .