研 究 報 文

多層抄紙によるベッセルピック防止*

(株)日本紙パルプ研究所 南光 浩毅, 向吉俊一郎**, 大澤 純二

Prevention of Vessel Picking Trouble by the Stratified Sheet Formation*

*Hiroki Nanko, Shun-ichiro Mukoyoshi** and Junji Ohsawa*

Japan Pulp and Paper Research Institute, Inc.

Vessel picking troubles of printing papers made from tropical hardwood pulps can be easily prevented by covering vessel elements with several fibers. This paper deals with the effect of covering layer on vessel picking.

Using multi-layered handsheet forming device (JPRI Multi-head) two-layered sheets consisted of a thin surface layer and a thick bottom layer were prepared. Non-vessel picking pulps such as Buna (beech) or softwood BKP were used for the surface layer. Lauan BKP which contains large vessel elements was used for the bottom layer. Vessel pick tendency was evaluated by IGT printing test.

The extremely thin surface layer of 2g/m² of Buna BKP can effectively prevent picking, where single vessel element is covered only by 4 to 7 fibers. Softwood BKP also has the same effect as Buna BKP. This means that vessel pick phenomenon is controlled by small amount of fibers covering vessels. These fibers play the roll of fixing vessels on the sheet surface and of preventing initial lifting of vessels which leads to complete destruction of vessel-to-under layer bonding.

Stratified sheet formation with single hydraulic headbox appears to be the most promising technology for vessel pick prevention, because it can perfectly prevent vessel picking without limitation of pulp woods used for the mid layer of the sheet.

Keywords: Vessel picking, Stratified sheet formation, Multi-layered handsheet, JPRI Multi-head.

* 本報を「南洋材ベッセルピクトラブルの防止 (第8報)」(Prevention of Vessel Picking Trouble in Tropical Hardwood Pulps Ⅷ.)とする。

この報告の一部は第36回日本木材学会大会(1986年4月, 静岡)において発表した。

** 現在, 神崎製紙(株) Current Affiliation; Kanzaki Paper Mfg. Co., Ltd.

1. はじめに

ベッセルピックは印刷用紙の表面にある道管要素(以下、道管と略す)が、印刷の際に版面のインキのタックによって剥ぎ取られる現象である。ベッセルピックを防止する方法は、その発生原因を何に求めるかによって異なり、下記のような何種類もの対策が考えられる¹⁾。

原因	対策
(1)道管が存在すること	(1)道管の除去または含有率を低減する
(2)道管が大きいこと	(2)道管を破壊し小型化する
(3)道管-繊維間の結合が弱いこと	(3)叩解や薬品により接着力を向上する
(4)道管が紙表面に存在すること	(4)道管を紙層中に抄き込む

このうち、実際に工場でとられているベッセルピック対策としては、(1)問題のあるチップの配合率を減らす、(2)紙力増強剤の添加量や表面サイズ剤の塗布量を増やして、道管と繊維間の結合を強化する、などがある。しかしこれらの対策にはそれぞれ、(1)原料チップの自由度が狭くなる、(2)紙が硬くなって平滑度が出にくい上に、その効果にも限界がある、といった問題がある。この他に高濃度叩解によって道管を破壊・小型化し、ベッセルピックを防止する試みもなされたが、低濃度叩解に比べ乾燥時のシート収縮率が増大するために紙の寸法安定性が損なわれて紙ぐせが悪くなるので、ほとんど採用されていない。

日本紙パルプ研究所では、液体サイクロンによる道管分離技術と高濃度叩解を組合せることによってベッセルピックを効果的に防止する技術を開発した²⁾。しかし、液体サイクロンによる道管分離が困難なパルプに対して、この方法は必ずしも有効ではない。

このように、これまで提案されている各防止法にはそれぞれ欠点があり、紙質をそこなうことなしに原料チップの如何にかかわらずベッセルピックを完全に防止できる方法はまだ見つかっていない。そこで、既成の概念や対策にとらわれることなく、新たな観点からベッセルピック現象を見直しその防止策を探ってみることにした。

ベッセルピックの対象となる道管は、印刷用紙の表面に露出しているものに限られる。したがって、もし紙の表面をベッセルピックを生じない良質の原料で覆ってやることであれば、いかにその内側に大きな道管を含む原料が抄き込まれていてもベッセルピックは全く発生しないはずである。しかもこの場合、他の方

法のように紙質を低下させることはないものと予想される。今日、めざましい発展を遂げつつある多層抄紙技術をもってすれば、このような3層構造の紙の製造も可能であると考えられる。

そこで本研究では、紙表面にある道管をどの程度繊維で覆えばベッセルピックが防止できるかを明らかにし、多層抄紙技術によるベッセルピック防止の可能性について検討した。

2. 実験方法

2.1 実験装置と抄紙方法

印刷用紙の印刷面となる表層パルプのベッセルピック防止効果を調べるために、表層用と内層用のパルプからなる2層構造の紙を調製した。すなわち、単一ヘッドボックスによる多層抄紙を実験室的にモデル化できる装置として著者が考案した JPRI Multi-head (マルチヘッド)³⁾を用い、表層(ここでは印刷面となる手抄き紙の光沢面側をさす)と下層のパルプの種類が異なり、かつ表層の厚さの異なる手抄き2層シート(坪量, 60 g/m²)を調製した。抄紙方法の詳細は既報³⁾を参照されたい。

マルチヘッドによる2層抄きでは普通の手抄きに対して約2倍の水を使用するので、表層パルプの流失が大きくなることが予想された。そこで、表層パルプの仕込み量とワイヤ上に残留するパルプ量の関係を調べたところ、2 g/m²仕込んだ場合で約1.6 g/m²程度しか残留していないことが分かった。しかしながら、本報では表層パルプの厚さはワイヤー上の歩留りを考慮せず、パルプの坪量換算仕込み量で表した。また、2層シートとの比較のため、2種のパルプを混合してTAPPI 標準手抄きも行った。

2.2 供試パルプと層構成

ベッセルピックを起こしやすいパルプとして白ラワン BKP を、ベッセルピックを起こしにくい表層用のパルプとしてブナ BKP を実験室で調製して用いた。表層用パルプとして道管をもたない NBKP (市販シートパルプ)も使用した。

また、ラワン BKP を液体サイクロン(セントリクリーナー 600)で処理して得た道管の少ないアクセプト側パルプを表層用原料とし、道管の濃縮されたリジェクト側パルプを下層とする2層シートを調製した。セントリクリーナーの処理条件はパルプ濃度 0.25%, 入口ゲージ圧力 3.0 kgf/cm² で、リジェクト率は 30.7%であった。

パルプは PFIミルを用いて叩解濃度 10%, 叩解圧 3.4 kgf/cm² で叩解した。フリーネスはブナ BKP は

375 ml, ラワン BKP は 400 ml, NBKP は 500 ml にそれぞれ調製した。

2.3 印刷試験

手抄き 2 層シートを IGT 型印刷試験機による印刷試験に供した。印刷試験は温度 20℃, 相対湿度 65% の恒温恒湿室内で, IPI インク No. 3 を使用し, 印刷速度 1.75 m/sec, 印刷線圧 18.75 kgf/cm の条件で行った。ベッセルピック数の測定は既報⁹⁾に従って行った。

2.4 観察法

紙の表面にある道管, および IGT 印刷後の道管の状態を走査電子顕微鏡で観察した。

また市販の染料で染色したパルプを表層に用いて 2 層抄きを行い, 表層が下の層を被覆している状態を透過光を用いて光学顕微鏡観察した。

3. 結果

3.1 ベッセルピック現象の観察

ベッセルピックの対象となる紙表面にある道管を走査電子顕微鏡で観察すると, 図 1 に示すように表面に全く露出しているもの (A) と何本かの繊維によって被覆されているもの (B) があつた。

実際に IGT 印刷試験を行った手抄き紙の表面を観察すると, 道管が完全に剥ぎ取られてしまった場合 (図 2, A) の他に, 剥がれかかった道管 (図 2, B, C, D, E) が多数認められた。ほとんどの場合, 剥ぎ取られかかった道管は道管上を覆うわずかの本数の繊維によってかろうじて紙表面につなぎとめられていた (図 2, B, C)。一方, 本数はそれほど多くなくても全体にわたってまんべんなく繊維によって覆われた道管はピックされることはなかった (図 2, F)。以上

のことは道管上に乗った繊維がベッセルピックの防止に極めて大きな力を発揮すること, しかもわずかの本数の繊維によって道管が覆われていればビッキングが起こらないことを示唆している。

剥ぎ取られかかった道管には, (1) 道管の細胞壁内表面相互の結合が破壊されて, 一旦閉じられていたルーメンが再び開いたもの (図 2, B, C, D) と, (2) 道管と下の紙層間の結合が破壊されて浮き上がっているもの (図 2, E) とがあつた。前者は道管の細胞内表面相互間の結合が極めて弱いことを示唆している。一般にベッセルピックを起こしやすい大型道管の細胞壁には極めて多くの壁孔が存在する。このように穴だらけの道管壁内表面 (図 3) どうしが接しても, 実際に結合する面積は少なく, 極く弱い結合しか形成されない。手抄き紙では前者のケースが後者に比べて数多く観察されたことから, 印刷によってまず道管壁内表面の結合が破壊され, これが引き金となって道管が浮き上がってピックされるに至ることが多いと考えられる。道管を覆う繊維にはルーメンが開くのを防止する効果が認められた (図 2, C, 矢印)。

3.2 ブナ BKP 表層パルプによるベッセルピックの防止

表層にブナ BKP, 下層にラワン BKP を用いて, 全坪量 60 g/m² の 2 層シートを調製した。このとき表層パルプの厚さは, 坪量換算で 1~15 g/m² とした。また, 比較のためブナとラワン BKP を種々の割合で混合して標準法で手抄きした。それぞれの結果を図 4, 図 5 に示す。

2 層シートの場合, 図 4 に示すように表層パルプ厚さの増加に伴いベッセルピック数は急激に減少した。表層厚さがわずか 1 g/m² でも, 表層パルプがない場

Fig. 1 Scanning electron micrographs of vessel elements lying on the surface of Lauan handsheets. Bars indicate 100 μm.

A : exposed vessel element

B : vessel element covered by several fibers

Fig. 2 Scanning electron micrographs of IGT printed surface of Luan handsheets showing various feature of vessel picking phenomenon. Bars indicate $100\mu\text{m}$.

- A : trace of picked vessel element.
- B : almost picked vessel element being kept on the paper surface with a few fibers.
- C, D : lifted vessel elements showing the reopening of lumen.
- E : lifted vessel element showing the destruction of vessel-to-under layer bonding.
- F : unpicked vessel covered by several fibers.

Fig. 3 Scanning electron micrograph of Lauan vessel observed from the lumen side. Note the rough surface of the pitted wall. Bar is 10 μ m.

Fig. 4 Vessel pick prevention effect of Buna BKP surface layer.
Surface layer : Buna BKP, CSF 380 ml.
Bottom layer : Lauan BKP, CSF 400 ml.

合、すなわち下層ラワンパルプが完全に露出している状態に比べ、ベッセルピックは1/4以下に減少し、著しいベッセルピック防止効果が認められた。さらに表層パルプ厚さが2g/m²以上になるとベッセルピック数が1/20以下に低下し、実質的にベッセルピックの発生を防止し得た。一方、混合抄きでもブナの混合量が増加するのに対応してピック数が減少した(図5)。しかし同一ブナパルプ含有率で比較すると、表層にブナパルプを局在させた方がはるかに大きいベッセルピック防止効果が得られると言える。

図6は表層パルプ仕込み量が1~20g/m²のときの表層パルプによる下層パルプの被覆状態を、染色したブナパルプを用いて示したものである。ベッセルピック防止効果が顕著に現れる表層の厚さ1g/m²では、

Fig. 5 Vessel pick tendency of 60g/m² hand-sheets made of mixed Buna and Lauan BKP. (Buna BKP : CSF 380 ml, Lauan BKP : CSF 400 ml) Horizontal axis represent the mixing ratio in terms of Buna BKP basis weight.

ブナ BKP の繊維相互があまり数多く重なり合うことなく、ラワン BKP のパルプ層の上にばらばらに分散している状態であり、ラワン BKP の道管は1~5本のブナ BKP の繊維で覆われているのみであった。さらにベッセルピックが実質的に防止できるといってもよい表層厚さ2g/m²では、ブナ BKP はかろうじて粗い繊維の網目構造を形成するのみで、下層のラワンパルプが透けて見える状態であり、道管は4~7本のブナ BKP 繊維で覆われている状態であった。このような極く粗いネットワークを形成しているにすぎない表層のパルプ層で、下層のパルプ層に起因するベッセルピックがほとんど完全に防止できるということは全く驚くべきことであった。

ラワン100%で通常の手抄きを行った場合と、2層抄きでマルチヘッド円筒内に下層のラワンパルプを仕込み、表層を0g/m²として抄いた場合を比べると、原料や坪量が全く同じであるにもかかわらずベッセルピック数は通常の手抄き方法の方がはるかに多かった(図4、図5)。しかし、粘着テープによる紙層剝離法¹⁾によって紙層表面の道管数や紙層Z方向の道管分布を測定したところ、それらには差が認められなかった。そこで、印刷面にある道管のうち、ほとんど繊維によって覆われることなく露出している道管の数をルーペを用いて数えたところ、標準手抄きしたものの方が約60%多かった。したがって抄き方の違いによって、紙層表面にある道管が繊維によって覆われる状態に差が生じ、ひいてはベッセルピック発生率の違いとなって現れたものと推定される。またこのことは、ベッセルピックの発生率を予測するには単に紙層表面

Fig. 6 Optical micrographs of two-layered sheets showing the covering condition of bottom layer by the surface layer. Stained Buna BKP is used for surface layer. Compare with the size of Lauan vessels.

にある道管の数を数えるのではなく、繊維によって被覆されていない道管を数えなければならないことを示唆している。

3.3 NBKP 表層パルプによるベッセルピックの防止

道管を持たない針葉樹パルプを表層とし、ベッセルピックを起こしやすいラワン BKP を下層とする 2 層シートを調製し印刷試験に供した。表層パルプの厚さは坪量換算で $0.5 \sim 5 \text{ g/m}^2$ とした。

図 7 から明らかなように NBKP を用いた場合には、

表層厚さがわずか 1 g/m^2 で、表層パルプがない場合、すなわち下層ラワンパルプが完全に露出している状態に比べ $1/4$ 以下にまでベッセルピックが減少し、さらに表層パルプ厚さが 2 g/m^2 以上では $1/10$ 以下に低下し、実質的にベッセルピックの発生を防止することができた。

3.4 道管分離技術と多層抄紙の組合せによるベッセルピック防止

未叩解のラワン BKP をセントリクリーナー処理することにより、道管の少ないアクセプト側パルプと道

Fig. 7 Vessel pick prevention effect of Softwood BKP surface layer.

Surface layer : NBKP, CSF 500 ml.

Bottom layer : Lauan BKP, CSF 400 ml.

管が濃縮されたリジェクト側パルプとに分画し、叩解後それぞれのパルプを表層と下層にする2層シートを作製した。

未処理パルプ中の道管の数と平均面積は、それぞれ88個/mg、0.072mm²/個であるのに対し、セントリクリーナー処理によって得られたアクセプト側パルプで68個/mg、0.053mm²/個、リジェクト側パルプで211個/mg、0.088mm²/個であった。道管の大きさによる分離の様子を図8に示したが、アクセプト側パルプは道管数が少なく、かつ大型道管が非常に少ないため、ベッセルピックが起きにくい。

図9から明らかなように、表層ラワンアクセプト側パルプの坪量を2g/m²以上にすると、ベッセルピ

Fig. 8 Vessel size distribution of Lauan BKP treated with hydrocyclone (Centri-cleaner 600)

(laboratory scale single stage treatment, reject rate : 30.7%, feed consistency : 0.25 %)

Fig. 9 Vessel pick preventing effect of cleaner treated Lauan BKP used for surface layer.

Surface layer : accept pulp, CSF 375 ml

Bottom layer : reject pulp, CSF 400 ml

クは表層パルプそのもののレベルに押さえることができる。もし、ベッセルピックを完全に防止する必要がなく、一定レベル以下にとどめるのみでよい場合は、この例のように単一原料パルプから道管分離技術と多層抄紙の組合せによってベッセルピックの起きにくい紙を製造することも可能である。

4. 考 察

図10に模式的に示すように、道管表面を覆っている繊維は道管および下の紙層と結合して両者を結びつけ、ベッセルピックに対する抵抗力を発現する。また道管を被覆する繊維は、インキのタックによって道管ルーメンの結合が破壊されても、道管がふくれて浮き上がるのを防止する効果を持っているとも考えられる。このように繊維の本数が増えるほど、道管と下の紙層を結びつける固定点の数が増え、ピックに対する抵抗力がより大きくなる。紙の表面にある道管がピックされるか否かは、坪量にして2g/m²程度の極くわずかな本数の繊維が道管表面を覆っているか否かにかかっている。この坪量2g/m²程度の表層パルプは、ちょ

Fig. 10 Schematic illustration of a vessel on the paper surface, showing that covering fibers fix vessel on the paper surface with several points (circles).

うど上記の様な条件を紙表面にあるすべての道管に対して満たす状態であると考えられる。

表層に用いるパルプはベッセルビクトラブルを起こさない良質の LBKP か、もしくは道管を含まない NBKP でなければならない。また、よく叩解されたパルプや薄壁の繊維では、ラテラルコンフォーマビリティに優れ、道管をしっかりと紙表面につなぎ止めることができるので、ベッセルビク防止効果が大きいと考えられる。

前報⁹⁾で述べたように、長網マシン抄造紙で紙層Z方向の道管分布を調べたところ、道管の量(紙層1mg当たりに含まれる道管の個数と面積の総和)はフェルト面においてワイヤー面のおよそ2倍であり、フェルト面からワイヤー面に向かって減少する傾向があった。このような道管の分布傾向は、ワイヤー面から脱水するという長網マシンに共通した脱水機構に係わっているものであって、個々のマシンで大きく異なることはないと考えられる。このような道管分布からすれば、当然フェルト面にベッセルビクが多く発生すると予想されるが、実際にはベッセルビクが多く発生する面はマシンによって異なり、フェルト面であったり、ワイヤー面であったり、発生面が一定しなかったりする。また一方、マシンの改造や操業条件の変化に伴って、ベッセルビクの発生量が大きく変ることもあるようである。本研究で指摘したように、ある道管がビクされるか否かはその道管を覆っている繊維が数本増えるか減るかといった極めて微妙なバランスによって決まってしまう。したがって上記の現象も、抄紙過程で湿紙表面の道管の上に乗る繊維の本数が、抄紙条件の極くわずかな違いに微妙に影響されて増減する結果起きたものと推察される。

本研究で明らかとなったように、非常に低坪量の良質な表層パルプが下層パルプに起因するベッセルビクを防止する効果をもつことを考えると、ベッセルビクトラブルを起こさない印刷用紙および塗工原紙の製造において、紙の層構造を設計することが極めて有効であることがわかる。その紙層構造を実現できる技術が多層抄紙技術であると考えられる。単一ヘッドボックスとツインワイヤー抄紙機の組合せによる多層抄紙技術は、近年めざましい発達を遂げつつあり、板紙の製造のみならず紙の製造も可能となっている⁹⁾。したがって、この技術によるベッセルビク防止も大いに期待できる。ただし、表層の良質パルプの坪量は 2g/m^2 で十分であるが、現実にはそれ以上の坪量で操業するのが適当であると思われる。

多層抄紙技術には様々な利点があるとされている

が⁹⁾、ベッセルビク対策に適用すると、他の対策に比べて、(1)熱帯産広葉樹材やユーカリのような大きな道管を持つ原料パルプを特別な処理をすることなく有効に利用できる。(2)表層用の良質な原料パルプは少量でよい、(3)薬品添加量の増加や特殊な叩解を必要としないのでコストをおさえ、しかも紙質を低下させることはない、(4)ベッセルビクを完全に防止できる、といった長所が期待できる点、注目に値する。

3. ま と め

紙の表面に露出した道管を被覆する繊維のベッセルビク防止効果について検討し、次のような結果を得た。

大型の道管を含みベッセルビクを起こしやすいLBKPの表面を、ベッセルビクを起こさない良質のパルプで極く薄く覆ってやれば、ベッセルビクを起こさない紙が製造できる。下層ラワンパルプに起因するベッセルビクは表層ブナパルプの厚さがわずか 1g/m^2 で $1/4$ に減少し、 2g/m^2 以上では起きなくなった。この表層坪量が 2g/m^2 の状態では下層にあるラワン道管は4~7本のブナ繊維で覆われているにすぎなかった。NBKPを表層にした場合には、表層坪量が 3g/m^2 ではほぼベッセルビクが防止できた。

以上の結果から、適切な紙層構造を作ることによりベッセルビクを効果的に防止できることが明らかとなった。すなわち、ベッセルビクを起こしやすいパルプを主原料とする紙であっても、その印刷面となる紙表面を 2g/m^2 以上の良質のパルプで覆った層構造をもつ紙を製造することによりベッセルビクが防止できる。そのような紙の製造には多層抄紙技術が適しており、しかも従来のベッセルビク防止対策法のもつ使用可能な樹種の制約、紙品質の低下、あるいはパルプ調成工程の複雑化などの欠点を伴わず、ベッセルビクトラブルの発生しない印刷用紙および塗工原紙の製造が十分可能である。

引用文献

- 1) 大澤, 大竹, 小松, 米田: 紙パ技協誌 36, 975 (1982)
- 2) Ohsawa, J., Wakai, M., Komatsu, Y., Yoneda, Y., Nagasawa, T.: Mokuzai Gakkaishi 30, 742 (1984)
- 3) 南光, 向吉, 大澤: 紙パ技協誌 41, 249 (1987)
- 4) 向吉, 小松, 大澤: 紙パ技協誌 40, 561 (1986)
- 5) 南光, 大澤: 紙パ技協誌 41, 149 (1987)
- 6) Bergström, J. I.: Norsk Skogind., 31(5), 133 (1977)

(受理: 62. 2. 20)