次世代のロングニップカレンダー* —オプティドウェルカレンダー—

バルメットコーポレーション ミッコ・タニ
バルメット・ジャパン株式会社 ○山 崎 秀 彦

New Generation Long Nip Calender —OptiDwell—

Mikko Tani
Valmet Corporation

○Hidehiko Yamazaki
Valmet Japan Co., Ltd.

山崎秀彦

Valmet has developed a unique calendering method based on the SymBelt™ shoe nip press technology. The method, called OptiDwell, is based on a long nip dwell time and the use of an elastic belt. OptiDwell improves bulk and surface uniformity of the web. The long dwell time together with low specific nip pressure will result in bulk preservation, with no compromises to the surface properties. The elastic belt, in turn, provides uniform paper gloss and first-grade printability. The OptiDwell method has been proven in board calendering, and promising results have been achieved in calendering newsprint and woodfree paper grades. Up to 5% raw material savings have been gained both in production and customer trials.

A pilot OptiDwell calender with production scale rolls is available for customer trials at the Valmet Technology Center in Järvenpää Finland.

分類：M₉ マシンカレンダー，S₁₂ 白板紙

1. はじめに

ウェブの表面性を印刷で必要とされる水準にまでもっていくことがカレンダー掛けの最も重要な目的である。紙・板紙産業による大部分の投資の目的は生産能力の増大を図るとともにウェブの表面性と印刷適性を向上させることである。これが、紙・板紙製造に付随する工程としてのカレンダー掛けへの要求を一層増加させてきた。

製紙工程における経済性は原材料の節減と結びついている。マシンカレンダーあるいはソフトカレンダーをロングニップカレンダーと置き換えることで、カレンダー工程において嵩を保持することができる。ソフトカレンダーに比べてロングニップカレンダーは嵩を最高 7% までセーブすることができ、かつ印刷適性の向上と光沢の均一性を達成することができる。

新しいカレンダーコンセプトは板紙産業では既にテストされ成功を納めている。ロングニップカレンダーは極度にソフトなベルトカバーとシュープレス技術を利用している。

*平成 10 年度年次大会講演（講演 No. B 21）

2. オプティドウェル (OptiDwell™) —革命的カレンダー技術—

バルメットは新しいオプティドウェルカレンダーコンセプトを開発した。これはシュープレスの原理に基づいている。図1にカレンダーのレイアウトを示す。

2.1 オプティドウェルシュー (OptiDwell Shoe™)

シューカレンダーコンセプトは既知のシュープレス技術を有効利用するものである。シューロールにはいわゆるシムベルト (SymBelt™) ロールを用いる。図2はシューカレンダーの原理を示しており、これはホットロールとシューロールからなっている。ホットロールはソフトカレンダーに用いられるのと同じものであり、水、蒸気、オイルあるいは誘導加熱によって加熱することができる。シューロールはシュー、加圧ユニット、潤滑システム及びベルトからなっている。シューロールのベルト交換は単純化されており、ロー

図1 オプティドウェルシューカレンダー

図2 シューカレンダーの原理

ルをマシンから取り外す必要はない。また、ベルトは空圧により円筒形が保持されており、内蔵のビームおよびその他の部分とは完全に非接触であるのが特徴である。これが安定な運転に貢献している。

図3にシューの構造を示す。ニップ幅はシューの幅で決まる。パイロットカレンダーと実機カレンダーの両方を用いて70 mmと50 mm幅のシューがテストされた。シューは最大270 mmの長さまで可能である。シムベルトシューはユニークな油潤滑システムを有しており、ハイドロスタティック域に厚い油膜を形成することができる。これによって、ニップに紙の塊が入るとか、摩擦熱とか、他の余分な温度上昇の原因によって引き起こされるベルト損傷の危険性は最小化される。シューニップは、加圧、ロール径及びベルトの性質とは独立に、あらかじめ設定した一定のニップ幅を実現することができる。このことは、カレンダー掛けの重要な変数であるニップ滞留時間とニップ圧を独立に最適化できることを意味している。

ニップ圧のパルスはシューのティルトを変えることによって最適化することができる。シューのティルトは、シューの下にあるハイドロリックシリンダーの2つの列の圧力差を調節することによって無段階の調節が可能である。シューロールは、固定ティルト（シューの下に1列のハイドロリックシリンダーを持ったもの）のものも製造することは可能である。図4は低ティルト及び高ティルトにおいてティルトがニップ圧分布に及ぼす影響を示している。ニップ圧をニップ

図3 シューカレンダーニップの構造

図4 シューカレンダーのティルトがニップ圧分布に及ぼす影響

入口で小さくニップ出口で最高圧とする高ティルトの設定と、ニップ入口とニップ出口の圧力差を最小にする低ティルトの設定も可能である。

3. ロングニップカレンダーの変数

ロングニップカレンダーリングでは、シューニップ技術によりニップ滞留時間とニップ圧の最適化が可能となり、更にベルト状の「変形自在なカバー」の使用により非常にソフトな表面の適用が可能となる。これらの技術がかなりの程度の嵩の保持と印刷適性の向上を実現してきた。ある種の紙・板紙では、ハードニップからソフトニップにカレンダーを変更したときに得られたのと同程度の改善効果が、ロングニップカレンダーへの変更により更に追加された（図5）。

3.1 ニップ滞留時間とニップ圧一嵩の保持

シューカレンダーではニップ滞留時間はシューの長さのみに依存する。シューの長さは50 mm から270 mm まで変えることができる。ニップ滞留時間は、ウェブへの要求に基づいてニップ圧とは独立に最適化することができる。ニップ圧は線圧とシューのティルトを用いて2~12 Mpa の間で調節することができる。

紙・板紙に含まれる高分子の変形は時間に依存しており、部分的に不可逆（粘弾性）である。図6は高分子が外力（例えば、ニップでの圧縮）に対していかに反応するかを模式的に示している^{2,3)}。

等しいニップ圧を用いた場合、ニップ滞留時間が短

図5 カレンダーの違いが嵩と印刷適性に及ぼす影響

図6 不連続な機械的外乱に対する高分子の反応
備考：H=外力，R=反応，t=時間

いときに比べてより長いニップ滞留時間では、ウェブの永久変形はより一層大きくなる。他方では、同じ変形を達成するのに、ニップ滞留時間が短いときに比べて長いときには比較的低い圧縮力の使用で十分である。このことは、とりわけ、カレンダーのホットロールの温度がウェブの温度よりも高い（温度勾配カレンダー効果）ときとか、ウェブの表面がカレンダー前に湿らされる（水分勾配カレンダー効果）場合に、ウェブが嵩を保持するのに有効である。どちらの場合においても、ウェブの表面は内部に比べて一層塑性（感応性が高く）となる。この場合に、ロングニップでは目標とするウェブ表面特性の達成に低ニップ圧が使用できることから、弾性のあるウェブ内部の圧縮を最小限に抑えることができる。温度と水分の効果の詳細は後述する。

図7に、塗工箱用板紙をロングニップカレンダーとソフトカレンダーそれぞれで処理した場合のPPS-S 10 ラフネスとこわさの関係を示す。図からロングニップカレンダー処理ではこわさの変化はソフトカレンダーの場合よりもはるかに小さいことが分かる。ここでソフトカレンダー処理は2種類の異なるソフトカバー、すなわち72 ShD（最もソフトなロールカバー）と88 ShDを用いて行った。ロングニップカレンダーではベルトの硬度は91 ShAであり、ニップ長さは70

図7 カレンダーの違いによる塗工容器用板紙のPPS-S 10 ラフネスとこわさの関係

図8 カレンダーの違いによる非塗工容器用板紙のPPS-S 10 ラフネスと嵩の関係

mm であった。

図8に、非塗工箱用板紙をロングニップカレンダーとソフトカレンダーそれぞれで処理した場合のPPS-S10 ラフネスと嵩の関係を示す。オプティドウェルではソフトカレンダーに比べて嵩の変化がかなり小さいことが図から分かる。ソフトカレンダー処理は88 ShD のソフトロールカバーを用いて行った。ロングニップカレンダーでは、ベルトの硬度は91 ShA であり、ニップ長さは70 mm であった。ホットロールの表面温度はどちらの場合も 180℃ であった。

図9 典型的なソフトロールカバーとカレンダーベルトの弾性率と温度の関係

3.2 極度にソフトなベルトカバー —良好な印刷適性

ニップにおけるベルトとソフトロールカバーの変形能力は2つの場合とも弾性率によって影響される。ベルトの弾性率は最もソフトなソフトロールカバーの弾性率の約10の1である。図9は典型的なポリマーロールとカレンダーベルトの弾性率をカバー温度の関数で表したものである。図でポリマーの特徴を示すガラス転移温度、すなわちほとんど温度が一定でありながら弾性率が大きく低下する点が認められる。この領域を越えると、もはやロールを走らせることはできない(カバーがロールから分離するであろう)。ベルトの場合は、弾性率の減少は確認できない。

また、ベルトでは高い表面平滑性をそれほど必要としない。ベルトのソフト材料は高度のしなやかさを有しており、微小なスケールでの不均一性はニップで一樣にならされる。

ベルトは、その低い弾性率のためにニップ中でウェブの表面形状に合った変形をする。そして、非常に均一な圧力がウェブ表面に作用することにより、光沢や微小領域のラフネスの不均一性の発現を最小限に抑えることができる。それで、これは「カントール(輪郭)形」カレンダーリングと呼ばれる。図10は異なるカレンダー方法で理論的に達成可能なニップの接触状態を示している。図10に示されるようなカレンダー方式の違いから処理結果に現れる不均一性の理論的な差は光沢変動の測定によって求められる。光沢変動の測定値は大きさ分布の異なる領域でそれぞれの光沢変動を

図10 マシン、ソフト及びロングニップカレンダーでのニップ接触とニップ圧の均一性の違い

与える。図11は、非塗工ホワイトトップライナーについて、2つの異なる光沢変動分布（1.6～3.2 mm 及び 3.2～6.4 mm）を示す。このサンプルはロングニップカレンダー、ソフトカレンダー及びマシンカレンダーを用いて一定のPPS-S 10 ラフネス、 $9.0\mu\text{m}$ までカレンダー処理を行った。マシンカレンダーでは最大の光沢変動があった。印刷試験では、光沢変動の測定値は印刷モットリングとの間に非常に高い相関が得られている。

表1は、従来式ソフトカレンダーとロングニップカレンダーを用いて、同一のニップ滞留時間とニップ圧で、塗工板紙をカレンダー掛けしたときの光沢均一性、密度及び表面ラフネスを比較したものである。ソフトカレンダーの操作速度は28 m/分（ニップ滞留時間7.0 ms）であり、一方ロングニップカレンダーの操作速度は350 m/分（ニップ滞留時間7.4 ms）であり、

これらはほぼ同じニップ滞留時間を与えている。どちらの場合でもホットロールの温度は 140°C である。同一のニップ滞留時間に対してソフトカレンダー（高い弾性率）よりもロングニップカレンダー（低い弾性率）のほうがより良好な光沢均一性を達成しており、このことから光沢均一性はソフトロールカバーあるいはベルトの弾性率のみに依存することが分かる。

オブティドウェルでの「コントロール」カレンダーリングによってより、微小領域のラフネスがより均一となることにより、印刷適性に逆効果を及ぼすことなく、ウェブの地合スケールのラフネスをより高いレベルに設定することが可能となる。また、低い弾性率はウェブの嵩に有益な効果を及ぼす。

3.3 ホットロール温度とウェブの蒸気加湿

温度と水分含有量の増加は、紙あるいは板紙に含まれる高分子とその断片の動きを加速する。このことが

図11 カレンダーの違いによる非塗工ホワイトトップライナーの光沢変動と密度

表1 同一のニップ滞留時間とニップ圧で塗工板紙をカレンダー掛けしたときのロングニップカレンダーとソフトカレンダーでの紙質特性の比較

PROPERTY	LONG NIP CALENDERING Nip pressure 9.3 Mpa; Nip dwell time 7.4 ms	SOFT CALENDERING Nip pressure 10.8 Mpa; Nip dwell time 7.0 ms
Gloss (%)	59	57
Coeff. var. (gloss)	4.6	8
Density (kg/m ³)	857	846
PPS-s 10 rough. (μm)	1.50	1.44

ウェブを外力に対してさらに迅速に反応させることになる(ウェブの塑性化)。こうして永久変形はウェブ中で容易に達成できる^{2,3)}。

カレンダーの処理結果(嵩の保持)の観点からすると、ウェブの表面層のみに温度と水分による塑性化効果が限定されるのは利点である。図12は、ホットロールの温度増加が板紙のこわさ保持に及ぼす効果を示している。ホットロールの表面温度が150℃から200℃に増加するとき、同じこわさ損失に対してより大きな平滑度変化(向上)が達成されることが図から分かる。この塗工容器用板紙はオプティドウェルカレンダーを用いてカレンダー掛けしたものである。

ウェブ表面の水分含有量は、例えばニップに入る前のウェブを蒸気加湿することによって増加させることができる。ウェブの温度は蒸気が凝縮するに十分なだけ低くなければならない。図13は非塗工容器用板紙のPPS-S 10 ラフネスに及ぼす蒸気加湿の効果を、マシンカレンダーでの嵩の関数で表したものである。

4. オプティドウェルの納入実績

シューカレンダーのコンセプトはバルメットがコルスネス(Korsnäs)社と共同で開発したものである。第1号の実生産規模のシューカレンダーは1994年6月にコルスネスでスタートアップした。シューカレンダーはBM5(図14)のコーティングセクションの後に据え付けられた。BM5は塗工及び非塗工液体容器用板紙を年間で総計25万5,000トン製造している。目下、総生産の約80%がシューカレンダーを用いてカレンダー掛けされている。

コルスネスでは、目標は、嵩とこわさの損失を最小に抑えながら印刷適性を向上させることであった。実生産で達成された結果はパイロットトライアルで達成された結果と十分良い一致を示した。

5. オプティドウェル・パイロットカレンダー

新しいシューカレンダーが1997年秋にフィンラン

図12 ロングニップカレンダー処理におけるホットロール表面温度が塗工容器用板紙のこわさ変化及びPPSラフネス変化に及ぼす影響

図13 非塗工容器用板紙をマシンカレンダー掛けしたときの蒸気加湿がPPS-S 10ラフネスに及ぼす効果

図14 コルスネスBM5のオプティドウェル

図15 バルメット・ヤルベンパー・パイロットカレンダー

ドのヤルベンパー (Järvenpää) にあるバルメットのカレンダー部門でスタートアップした。改造の後、図 15 に示すように、マシンカレンダー、ソフトカレンダー、シューカレンダーのいずれの運転にも使用することが可能となっている。

6. ま と め

光沢の均一性と印刷適性を向上させると同時に嵩の減少を抑えることが、ソフトカレンダーに代わってロングニップカレンダーを用いることで達成できる。ソフトカレンダーに比べてロングニップカレンダーで嵩が保持されるのは、本質的にロングニップでの滞留時間と低ニップ圧に起因している。印刷適性と光沢の均一性の向上はロングニップカレンダーで使用されるべ

ルトの弾性率が非常に低いことによる。実機のカレンダーで得られた結果はパイロットカレンダーでの結果と十分な一致が認められた。

文 献

- 1) Wikstrom, M., Nylund, T., Rigdahl, M., Nordic Pulp and Paper research Journal, 12, (4), p. 289-298 (1997)
- 2) Sperling, L. H., Introduction to Physical Polymer Science, Wiley Interscience Publication, New York, p. 579 (1985)
- 3) Tormala, P., Lindberg, J. J., Polymeeritiede ja muoviteknologia (in Finnish). Part II. Otakustantamo 1983.