

スーパーカレンダーの変遷

メッツォ SHI 株式会社 エンジニアリング本部

岩永 圭

	頁
1. はじめに	2
2. スーパーカレンダーの実績	2
3. マルチニップカレンダー	4
4. マルチニップカレンダーへの改造	6

この資料は、平成 17 年 10 月 11 日に開催された紙パルプ技術協会年次大会前日講演会「製紙産業技術 30 年の変遷」での講演記録を基にまとめたものである。資料中のすべての図の著作権は講演者に属し、無断使用・複製等をご遠慮ください。

講師略歴

1990 年 住友重機械工業株式会社 入社

入社以来、製紙機械事業部門の機械設計を担当。全般約 7 年間はワインダ関係、後半 8 年間はドライエンド（リール。カレンダー他）を担当。

現職：メッツォ SHI 株式会社 エンジニアリング本部 主任技師

1. はじめに

スーパーカレンダーの変遷について話します。最初にスーパーカレンダーの実績で、国内の他社例およびメツォ社の例を話します。2番目は、最近のオフライン、オンラインのスーパーカレンダーの代替として出てきたマルチニップカレンダーを紹介しします。さらに、既設のスーパーカレンダーからどのような改造ができるのか具体例を紹介しします。最後に、ヨーロッパで特に SC 紙での最新のオフティロードの使用例を紹介しします。

2. スーパーカレンダーの実績

メツォ SHI では、また以前の住友重機械も含め国内にスーパーカレンダーを納入した実績は残念ながらありません。ここでは国内の主な機械メーカーである南千住製作所や IHI の実績例を紹介しします。南千住製作所の納めましたもので、左が 12 段のスーパーカレンダーです。若干古いタイプですが、クローズドフレームです。右は旧本州製紙に納められた 20 段のスーパーカレンダーです。南千住製作所は、Bruderhaus の技術提携のもとに、このようなスーパーカレンダーを国内に多数納入し、実績は約 70 台以上になります。もう一つの主力メーカーとしては IHI-Voith があります。Voith は 1800 年代からスーパーカレンダー等仕上げ設備を生産しています。日本国内では、先ほど申しました南千住製作所、IHI、そして松坂貿易を経由してクライネからスーパーカレンダーが国内に納入されています。これらが主だった機械メーカーです。

その後このクライネは Bruderhaus と、Escher Wyss は Sulzer となり、また Voith Sulzer Paper となり、さらには Voith Paper のスーパーカレンダーとなっています。1970 年ごろ、チルド鋳鉄を使ったヒートロールを市場に投入してきています。さらに電気機械式の急速ギャップ調整システムを持ったスーパーカレンダーを納入してきており、さらに従来にはなかったオーバーハング荷重を補正するレバーアーム方式のスーパーカレンダーを納入しました。さらに、1990 年代にはオンマシン、そしてオートスプライスシステムを持ったアンワインドやリワインド装置、ポリマー樹脂カバーロールを使用するスーパーカレンダーを納入してきています。90 年代までは、スーパーカレンダーは特に大きな技術的な躍進はないといえます。その中で、オンラインのマルチニップカレンダーで、IHI-Voith の製品ではヤヌスカレンダーという革新的なスーパーカレンダーが登場しました。一方、三菱重工が技術提携していた Beloit は、ヨーロッパやアメリカにスーパーカレンダーを納入しましたが、クローズドフレームタイプのスーパーカレンダーを上市しました。

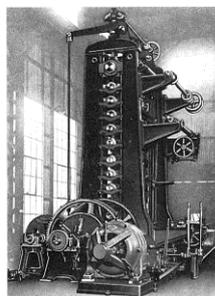
これに対し、Metso のスーパーカレンダーの歴史はどうであった

スーパーカレンダーの変遷

- スーパーカレンダーの実績(他社例、Metso例)
- マルチニップカレンダー(オンラインオフティロード)
- スーパーカレンダーからマルチニップカレンダーへの改造事例
- SC紙での最新オフティロードでの解決方法

株式会社 南千住製作所(Bruderhaus社) スーパーカレンダー

12段スーパーカレンダー



20段スーパーカレンダー



かひもといっています。Metso 社は、1800 年代の中ごろから、現在の Metso Appleton の前身の Appleton 社(U. S. A.)で開発が行われてきました。その後 1945 年、スーパーカレンダー初号機を納入し、以降現在までに、オプティロードへの改造例 10 台を含めて、292 台のスーパーカレンダーを納入しています。一方、ヨーロッパでは、1978 年に Bruderhaus 社から技術ライセンスを得て、Metso Jarvenpaa として 96 年までに 70 台以上のスーパーカレンダーを納入してきています。続いて 1983 年、この Wartsila が Appleton を吸収合併し、さらに 87 年に Valmet 社と Wartsila 社が合併しました。この Valmet 社は、現在の Metso 社になりますが、先ほど紹介した Voith 社の最新鋭のマルチニップカレンダーと同様のコンセプトをもつオプティロードを市場に投入しています。さらには 99 年以降、日本の樹脂メーカーである山内からの技術供与で、メツォ・デュラという会社をつくり、樹脂カバーを生産しています。

これが実機の写真です。クローズドフレームのスーパーカレンダーで、Appleton によって納入されたものです。ヨーロッパで、SC 紙用（日本にはない紙種ですが）のスーパーカレンダーとして多くの実績があります。Jamsankoski に納められました 6 号の写真とその仕様になります。紙幅は 9,450 ミリ、最大線圧はボトムで 450kN/m です。これはドイツの Nordland Papier へ納入したものです。

SC用スーパーカレンダーの実績 (Metso) UPM PM6, Jämsänkoski

- スタートアップ
- 11/1991
- 紙種
- SCA
- 原料
- TMP/Kraft 85/15
- カレンダーリングコンセプト
- カレンダータイプ SC12
- 紙幅 9450 mm
- 線圧 450 kN/m
- 速度 1000 m/min
- 典型的な操業条件
- 540 m/min
- 370 kN/m
- 130/110 °C 熱水



ここで、スーパーカレンダーの典型的な運転条件を紹介します。通常では 100 度以下の低い温度で操業されています。ニップ数は、7 段から 16 段、一般的なものは 11 ニップです。速度は 500m/分から 1,000m/分。ボトムニップで最大 450 kN/m、そのときにトップで形成されるのが 250 kN/m です。スーパーカレンダーではファイバー、コットンロールが使用されていますが、最近では樹脂ロールに変わりつつあります。

紙の要求されるグレードによって段数が変わります。マットコート紙用では通常 2 段から 4 段、感熱紙用に 5 段から 9 段、さらにアート紙、コート紙用や、グラビア用紙用には 10 段から 12 段です。さらには、先ほど写真でもありました 14 段から 20 段は、グラシン

Metso 社

スーパーカレンダーの歴史

- 1857 - Applton社(現在のMetso-Applton)設立
- 1945 - スーパーカレンダー初号機納入。以降、現在までにオプティロードへの改造例10台を含む292台を納入。
- 1978 - Wärtsilä(現在のMetso-Jarvenpaa)社、ブルダーハウス社とライセンス以後、Metso-Jarvenpaaとして1996までに70台以上のスーパーカレンダーを納入
- 1983 - Wärtsilä社、Applton社を吸収合併
- 1987 - Valmet社とWärtsilä社が合併
- 1999 - Valmet社(現在のMetso社)がオプティロードを市場に投入
- 1999 - Dura ホリマカー

A-frame supercalender (Appleton)

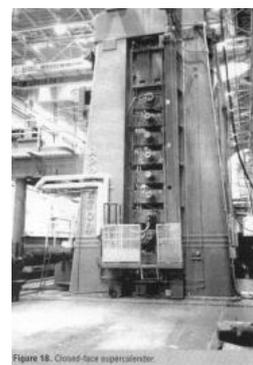
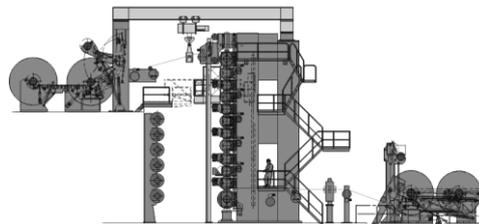


Figure 18. Closed-face supercalender.

スーパーカレンダーの実績 (Metso) Nordland Papier, Germany



スーパーカレンダーの典型的な運転条件

- 100°C以下の低い温度
- ニップ数 7 - 16 nip (11 ニップが一般的)
- 速度 500 - 1000 m/min
- ボトムニップで最大450 kN/m(トップニップ250 kN/m時)
- ファイバーロール、または樹脂ロール
- 良好なスムースネスやグロス

紙用として設計・納入されています。

スーパーカレンダーの基本的な目的は、紙の平滑度と光沢を向上することによって印刷適性を向上させようとするものです。一方、近年、印刷物からの要求としては、写真等のカラー化、高速化から、平滑度の要求が非常に高くなってきています。この要求される平滑度と光沢は、ニップ圧、温度、紙の水分、そして速度、さらに、ロールの段数、もしくは弾性ロールの使用等により決定されます。

3. マルチニップカレンダー

それでは、従来のこのスーパーカレンダーから、近年、90年代後半から開発されてきましたマルチニップカレンダー(例としてはVoith社のヤヌスカレンダーやMetso社のオプティロード)の技術を紹介します。これ以降、若干私どもの資料中心になりますので、その点ご了解いただきたい。

まず、縦軸が紙のグロス、横軸が紙の表面粗さの数値をあらわしています。ハードニップカレンダーの領域は、グロスが低い領域になります。近年、ソフトカレンダーが国内で多数納入されていますが、その操業範囲は、SC紙から新聞もしくはオフセット新聞用紙にわたります。それに対してスーパーカレンダーは、上質コート紙から微塗工紙、LWCもしくはSC紙に使用されています。この中で、マルチニップカレンダーが開発され、市場に投入されてきております。

このオンライン・マルチニップカレンダーの研究は1980年代初めに始まり、その後98年に初号機が納入されています。それ以降、新聞用紙、カタログ用紙、SC紙、上質紙、LWC紙、そしてコート紙等に多数の納入実績を持っています。

ここで、マルチニップカレンダーのテクノロジーを紹介します。まず、スーパーカレンダーのローディング原理です。ご存じのとおり、ボトムロールの上昇によって、上方に対して加圧していきます。それにより、ニップが下から次々と形成されていきます。そうすると、必ずロールの自重が下のロールに対して加算されていくことになり、下部のニップでは非常に大きな線圧になって(トップでは少ない線圧になって)しまいます。さらに圧力をつける場合には、上方の油圧シリンダーによって加圧しますが、その線圧分布はそのまま並行移動するのみで、分布状況は変わりません。一般的にはこの角度(ローディングアングル)は50度といわれています。また、多段型のカレンダーでは紙品質に対し最初のニップの影響が強いと言われていています。さらに2段目のニップが影響して、6段、7段になると紙品質に対し影響が少なくなると経験的に言われています。

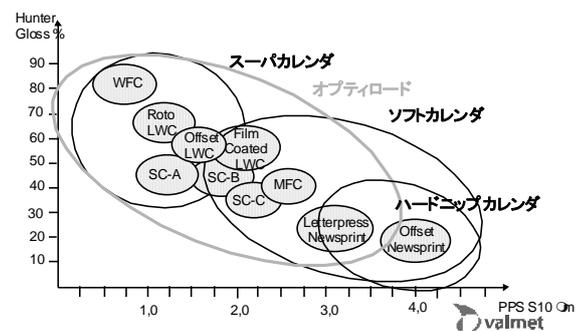
スーパーカレンダーの一般的なロール段数

- ・ 2 - 4段: マットコート用
- ・ 5 - 9段: 感熱紙用
- ・ 10 - 12段: フォトコート紙、グラビア紙用
- ・ 14 - 20段: グラシン紙用

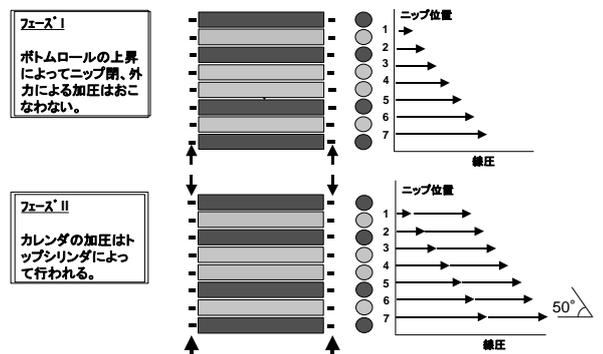
スーパーカレンダーの目的

- ・ 紙表面の平滑度と光沢の向上により印刷適性を向上させる
- 近年、印刷物からの要求
- ・ 活字のみならず、写真等のカラー化、高速化、並びに平滑度の要求が高い
- ・ 要求される平滑度、と光沢はニップ圧・温度・紙の水分・速度・ロール段数・弾性ロール仕様などにより決定される

カレンダー・アプリケーション



スーパーカレンダーのローディング原理



それに対して、オプティロードのローディング原理では、上段から下段まですべて同じ線圧でニップを構成することができます。線圧を高くしたい時に、そのまま線圧を高く上げることができます。そのメカニズムを簡単にご紹介します。各ロールに対してレバーがあり、さらにその端にサーボによって制御される油圧シリンダーが配置されています。このシリンダーによって各ロールの自重をすべてキャンセルすることができます。この各ロールの自重をすべてキャンセルした後、下段の加圧シリンダーで同じ線圧にキープする。それを簡単にグラフで紹介します。例えば線圧 230 kN/m の値が欲しいといった場合に、オプティロードではトップから下段まで同じような線圧を与えることができます。従来のスーパーカレンダーでは、平均線圧で 230 kN/m となるような荷重を与えようとすると、ボトムでは非常に大きな線圧が必要となります。

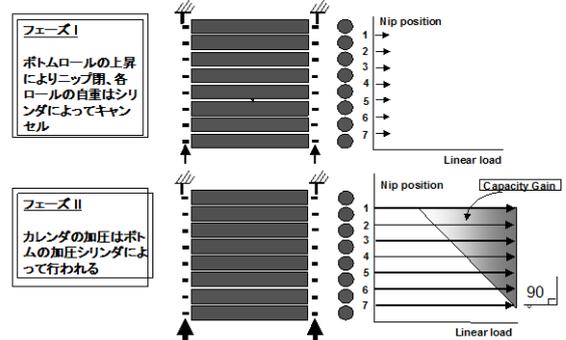
これは、LWC 用紙のハンターグロスに対して各パラメーターがどのような効果を与えるのかをあらわしたグラフです。縦軸が光沢度（グロス）です。速度を 200m/分下げた場合にグロスは何だけ得られるのかを示しています。ついで、線圧を 50 kN/m 変えた場合、ついで、ホットロールの温度を 15 度上げた場合、さらにこのローディングアングルを、従来の 50 度から 90 度と、ほぼ直角に上げた場合です。ローディングアングルを 50 度から、90 度にあげることによって、従来のスーパーカレンダーでは使用することにはきないゾーンを使用でき、グロスに対して効果が得られることがわかります。

次に、LWC 紙の表面粗さの数値を縦軸にあらわしています。ここでもローディングアングルの効果がわかります。

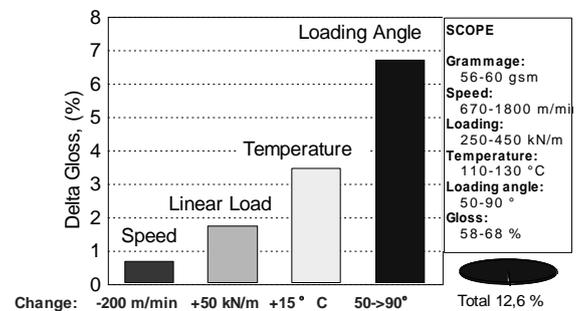
さらに、スーパーカレンダーではポリマーカバーのロールが使用されています。その特徴は、全体的に幅方向に均一なニップ線圧が得られることです。さらに、このポリマー樹脂カバーを使うことによって研磨周期が長くなります。また、対圧痕性が高く、対磨耗性に優れているため、厳しい使用条件にも耐え得ます。従来のコットンロールでは 70 度から 80 度のような低い温度までしか耐えませんでした。ポリマー樹脂カバーのロールはもう少し高い温度まで使用することが可能です。

このポリマー樹脂カバーのロールは、表面のカバーを保護する必

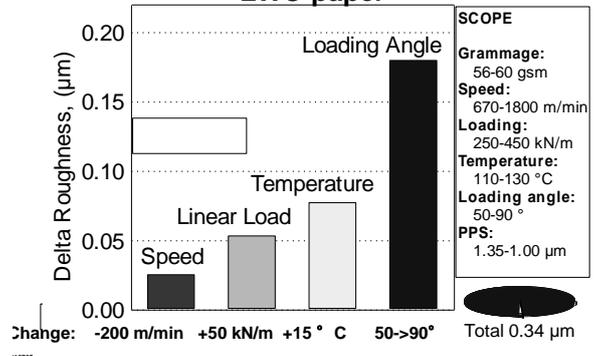
オプティロードのローディング原理



ハンター光沢への各パラメータの効果
LWC-paper

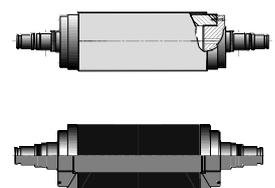


PPS-s10 ラフネスへの各パラメータの効果
LWC-paper



カレンダーでのポリマカバー

- 長い研磨周期
- 良好な表面品質
- 良好な耐圧痕性や耐摩耗性
- 厳しい使用条件に耐える



要があり、どのメーカーも最適化、保護制御をかけています。それらは、オープンニップでの通紙、均一にニップを閉じる制御システム、断紙センサーによるモニタリング機構、カレンダースタック前の紙切り装置、さらに、ブロータイプの紙切りの装置をも付けて二重化すること、急速開放、ホットロールもしくはポリマーロールの粕つき防止のためのドクターリング、ソフトロールカバーの端部のエッジのテーパ、そしてソフトカバー表面の温度監視装置等がソフトカバー保護の最適化のため装備されています。特に、オンラインの場合は、ストリークが発生しますと、どうしてもその部分の紙の厚みが増すため、ソフトカバーのその部分が急激に温度上昇します。それを数分のうちに見つけないとカバーが剥離するので、ソフトカバー全幅での温度監視装置がオンラインでは非常に重要になってきます。さらには、振動のモニタリングシステムも最適化の重要な項目になります。

ポリマーロールの内部は冷却水循環によって温度をバランスさせます。ロールにニップをかけますと局部的に変形して熱を発生します。その熱を取り除き、温度をコントロールするために、ポリマーロールの中には冷却水を循環させるシステムが組み込まれています。そのために、先ほど言いましたポリマーカバーの表面温度を全幅で温度計測する装置が必要で、ロールを常時監視しています。

ヨーロッパのSC紙でよく導入されるのがスティームボックスです。これはオフラインのスーパーカレンダーやマルチニップカレンダー、マルチニップのソフトカレンダーに、紙品質の改良用のアクチュエーターとして納入されています。

その原理は、走行するシートにスティームボックスから蒸気を与え、より高い温度のままでカレンダーリングすることにより、その効果を増大します。さらに水分のプロファイルを調整することにもなり、他の紙品質を損なうことなく、グロスやスムースネスを上げることができます。図は、スーパーカレンダーについている状態を示します。

4. マルチニップカレンダーへの改造

ヨーロッパでスーパーカレンダーがこのマルチニップカレンダーに改造された例を紹介します。スーパーカレンダーを改造する目的は、まずメンテナンスを少なくするためです。これは、現在の昇降スピンドルを撤去すること、さらに樹脂ロールを採用することによって可能となります。さらにカレンダーリング能力の増加は、自動オートsprayで実質の操業速度を上げることで可能となります。さらに紙品質が改善されます。

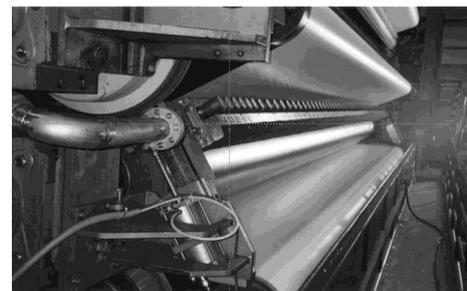
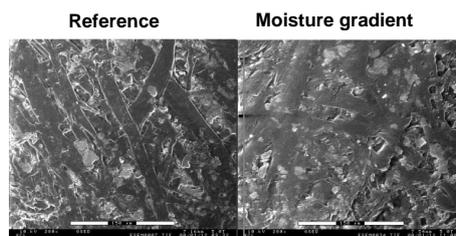
スーパーカレンダーの典型的な運転時間をここに示します。運転

ソフトカバー保護の最適化

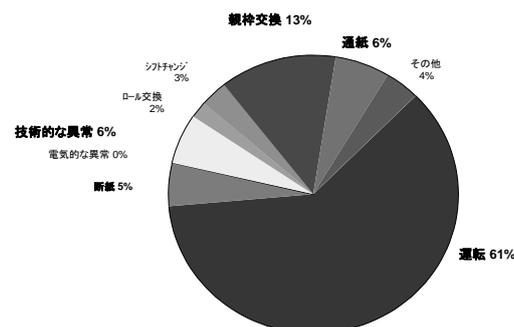
- オープンニップでの通紙
- 均一にニップを閉じる
- 断紙センサによるモニタリング
- カレンダースタック前の紙きり装置(鋸刃)
- カレンダースタックでの紙きり装置(ブロー)
- 急速開放
- ホットロール/ポリマロールのドクターリング
- ソフトカバー端部のエッジテーパ
- ソフトカバー表面の温度監視装置
- カレンダー後のエッジスリット
- 振動モニタリングシステム センソデック 6S

新しい品質ポテンシャル

- より高温での操業
- 操業紙種に対して効果的な温度や水分プロファイル
- より良い水分コントロール等最良運転条件



スーパーカレンダーの典型的な運転時間



は約 60%です。残りは、親枠交換、通紙、もしくは断紙にとられている時間です。

それに対して、まず通紙時間をできるだけ短縮しようということから、1980 年代以降、自動の枠替え装置が市場に投入されてきています。自動枠替え装置は、旧枠から新枠への紙継ぎを行い、スタックの速度は自動で下げ、さらにアンワインドでの紙継ぎは上枠・下枠つきでも、同様に可能となります。さらにワインドアップとしてはロワリングの装置、トランスファー、セカンダリドライブ、及び旋回装置を装備しています。

オートスプライスに使われますシーケンスを示します。IQ グロスと書いていますが、「ここまでを製品にしましょう」という目安の IQ グロスを示します。アンワインドでの紙が少なくなってくると、徐々にスピードが落ちてきます。速度が下がってきますと、同じ線圧は速度が下がった分ドウェルタイムが長くなって、グロスや平滑が上がっていきますから、この速度が落ちると同時に線圧も自動で下げていきます。さらにその速度が、200m/分、100m/分に落ちてきて、スプライスが行われます。親枠の交換も 5 分ぐらいの時間で済まると一般的に考えられています。さらに品質の改良として、スピードポテンシャルがあがり、操業条件の一定化が期待されます。特に顕著なのがオペレーションコストの削減、すなわち、オペレーター人数の削減であると聞いています。

さらにスーパーカレンダーの速度の増加には以下のキーポイントがあります。速度を上げると、ニップ内のドウェルタイムが減少します。その中で、紙に対してニップの矯正力をどれだけ与えるか問題となります。その一つとして、速度が速くなるとより高い線圧が必要になります。これには、ローディングアングルを有効に使用します。さらにより高いプロセス温度が必要となり、ホットロールもしくはコットンロールに代えて樹脂ロールを採用することによって補います。さらに SC などに対しては集中的な蒸気のスチーミングが速度増加のキーポイントになります。

既設のスーパーカレンダーを改造していく場合には既設のロールは危険速度範囲に入る可能性があります。このようなものはもちろん新作が必要です。さらに、アンワインド、リワインド、そしてメインドライブの動力および回転数の検討も必要です。さらにその構成スタックの振動の検討も必要です。通常、樹脂ロールは振動を和らげる方向に働きます。また、ファイバー、コットンロールは対速度性が劣るため、樹脂ロールへの置きかえが必要となります。

トップロールやボトムロールには幾つかのタイプがあります。スィミング式と呼ばれる上層と下層の油圧の圧力によってクラウンを調整するもの、さらにはSYM Zロールと呼ばれるもので一方にのみピストンシムが並んで大まかな制御ができるもの、さらに

オートスプライス 特徴

・アンワインド

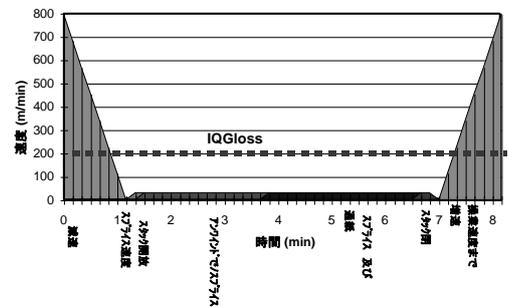
- 自動アンワインドシステムは旧枠から新枠へ紙継ぎを行う。スタック速度は徐動
- アンワインド紙継ぎは上継ぎでも下継ぎでも可能
- もし、片面のみの紙継ぎでよければ標準的な上継ぎを選択する

・ワインドアップ

- ワインドアップにはスプーロロリング装置、リールランスファーム、セカンダリドライブ、及び旋回装置を装備している

オートスプライスによる高い効率化 シーケンス

- ・ スプライス速度 20-30 m/min
- ・ スプライス時間 8-10 min
- ・ 通紙時間の削減 40%まで
- ・ カレンダー能力アップ 10%まで



スーパーカレンダーの速度増加 キーポイント

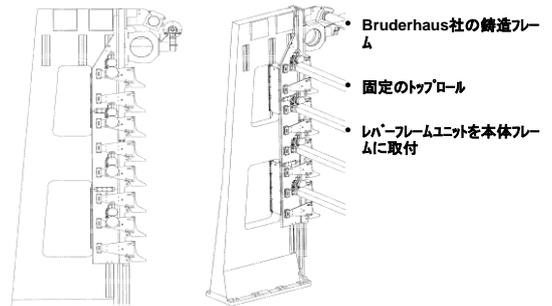
- ・ より高い速度はニップ内のドウェルタイムを減少させる
- ・ より短いドウェルタイムは下記により補わなければならない:
 - より高い線圧
→ オプティロードのローディングシーケンス
 - より高い操業プロセス温度
→ ControTherm や 樹脂ロールの採用
 - より集中的なスチーミング
→ ControSteam によるスチーミング (特にSC紙用)

カウンターゾーンを設けた非常に細かな制御ができるもの等があり、スーパーカレンダーにもホットロールが採用できます。

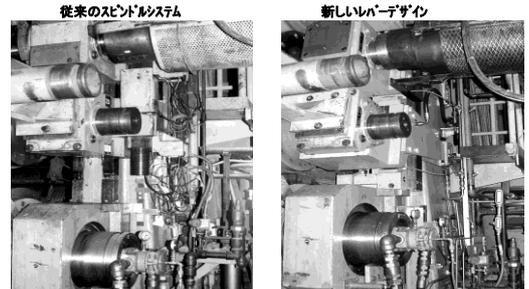
ここで改造の実例を紹介します。Bruderhaus 社の鑄造のオープンフレームのタイプに、オプティレバーの改造を行った例です。その写真を併せて示します。この改造によって機械的にも機側人に近づきやすくなり、メンテナンスもしやすくなります。

このオプティレバーのタイプに改造した場合、結果的にオプティロード相当の線圧プロセスが得られます。通常のスーパーカレンダー、50%自重キャンセルしたスーパーカレンダーおよび4本のホットロール、6本のポリマー樹脂ロールで100%自重をキャンセルしている場合を比較します。グロス、スムースネスにはっきり改造の効果が認められます。

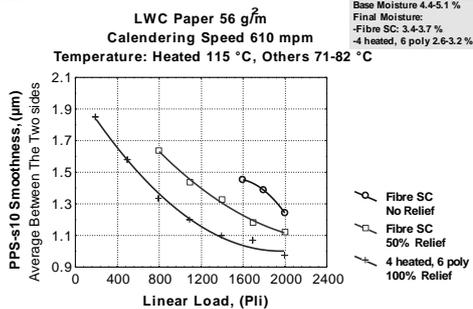
Mead Escanaba オプティレバー改造例



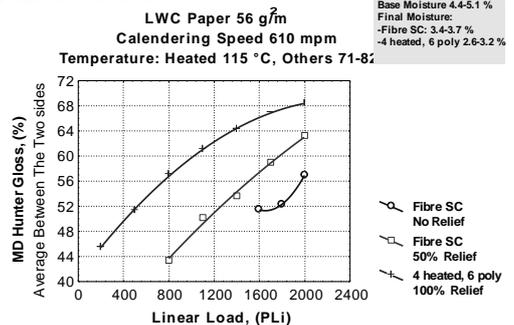
昇降スピンドルの撤去



オプティロードの線圧プロセス OptiLever Rebuild



オプティロードの線圧プロセス OptiLever Rebuild



スーパーカレンダーの改造には3段階あります。まずオプティレバーシステムを導入する。ついで、トップロールにSYM ZロールもしくはSYM CDロールを配置することによって、上段ニップで高線圧となりカレンダーリングの能力が増大し、幅方向のCDプロファイルの能力が上がる。最後に、フェーズ3としてホットロールもしくは樹脂ロールを採用することによって付加価値、速度、効率を増加させることができます。

4. SC紙での最新の解決法

SC紙スーパーカレンダーで1,600m/分以上の操業をする場合を考えます。速度が上がるとドウェルタイムが非常に短くなりますので、オンラインで20段ニップが必要となり実現性はありません。さらに、より高い線圧が必要で、800 kN/mが必要となり、これも現実的には不可能です。また、ホットロールの温度をできるだけ上

オプティレバーの改造 各フェーズにおけるアプローチ

フェーズ 1: オプティレバーシステム

- 全てのロールを再利用
- スピンドル軸の撤去 => メンテナンスの削減
- ロール交換時間の削減
- 良好なプロファイル

フェーズ 2: トップロールにSymZ (CD) ロール

- 上段ニップで高線圧(下段ニップと同線圧) => カレンダーリング能力の増大
- 幅方向CDプロファイル能力

フェーズ 3: ホットロール 及び 樹脂ロール

- 完全リフ => 付加価値、速度・効率増加

高速化への道(SC紙スーパーカレンダーで1600m/min以上の操業では)

- ~~より多くのニップが必要~~
- 1600 m/min のカレンダーリングに対しては20段ニップが必要
- ~~より高い線圧が必要~~
- 1600 m/min のカレンダーリングに対しては800 kN/mが必要
- ~~ホットロールの温度をできるだけ上げることが必要~~
- 課題: 水分コントロールやブラックニングに留意

げることですが、水分によって発生するブラックニングが課題になります。

従来、オンライン 10 段ロールのカレンダーで 1,200m/分で 120 度の領域で運転していた場合、カレンダーの入りの水分は約 10%で、最後に目標値が 5%程度の紙となります。1,600m/分で操業しようとし、ドウェルタイムが短くなりますので、ホットロールの温度を非常に上げなくてはなりません。当然で上がる紙の水分が非常に少なくなり、最終的に水分値が非常に少ない製品ができ上がってしまいます。

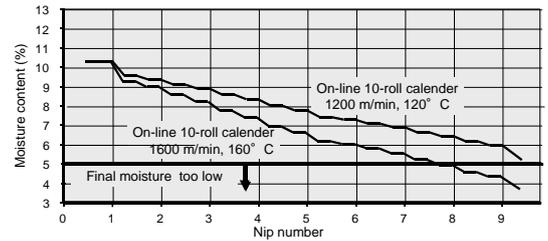
それでは、より高い水分値を持たせたままカレンダーリングをかけることになり、SC紙で 10%を超えるような水分でカレンダーリングを行いますと、表面に黒い斑点、ブラッニングと呼ばれるものが出やすく、結果的に 10%を超えての操業は困難です。

それではどうすればいいのでしょうか。これはオプティロードを 2 段並べたツインラインと呼ばれるものです。まず、最初のオプティロードは上面の平滑、グロスを上げるため、上面用にホットロールが配置されています。そのため、上面側にスチームシャワー等をつけて水分を与えますと、この上層だけに水分が高くなった状態となります。この上面がホットロールを通過していくことによって結果的に上面だけ水分 5%が得られる。さらに裏面側に水分を与えることによって裏面のホットロールを通過すると、結果的に 5%で均一となった紙ができ上がるというコンセプトです。

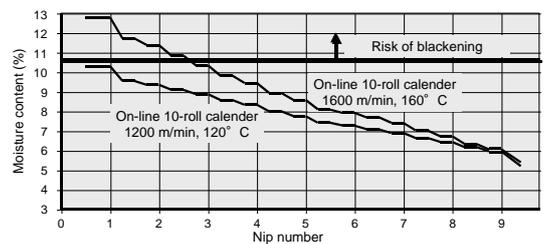
ヨーロッパでは最近このようなオプティロードを 2 段にしたツインラインというものが市場に投入されてきております。

これでスーパーカレンダーの遍歴について講演を終わります。ご清聴ありがとうございました。

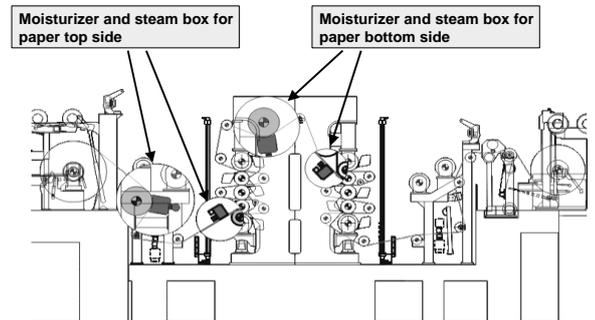
速度ポテンシャルリミットに対する最終水分目標値



カレンダー直前の水分値が高ければブラックニングの危険性あり



紙品質 - 何が要求されるのか？ 水分調整機能



水分コントロール カレンダーリングプロセスにおける水分調整機能

