カレンダーの変遷と今後

㈱淀川製鋼所　大阪工場　中枋　正明

頁

１．　はじめに--2
２．　クラウン可変ロールの開発--2
３．　ソフトカレンダーの開発---3
４．　クラウン可変ロールの高機能化---------------------------------------9
５．　マルチニップカレンダーの開発--------------------------------------11
６．　その他の試み–--14

この資料は、平成 16 年 10 月 12 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」での講演録音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・複製等はご遠慮ください。

講師略歴

　昭和47年から昭和60年まで、製紙ロール、鉄鋼ロール、ゴム、ビニール用ロール等を加工する部門のスタッフとして、旋盤、研磨盤等の加工設備の導入、メンテナンスに関わる業務、ロール加工技術に関わる業務に従事。

　昭和60年から昭和61年まで、同じ部門内に新設された、鋼製物置（ヨド物置）等の部材を製造する金型製造業務に従事。

　昭和61年から今日迄、製紙ロール及びソフトカレンダーの設計製作を行う業務に従事。㈱淀川製鋼所のソフトカレンダーの1号機から今日までの殆ど全ての設計、製作、据付、立上げ業務に関与してきた。

1．はじめに

㈱淀川製鋼所は、1961 年から、鋳鉄製ロールの製造を開始しました。　現在は鉄鋼、製紙、ゴム・ビニール・プラスチック、不織布等の板状のものを生産するあらゆる分野の鋳鉄製のロールを製造・販売しています。

今日のテーマのカレンダーは、抄紙機の最終工程で、紙の品質に最後に影響を与える設備です。　カレンダーは、その名のとおり、つや出しが大きな目的の一つでありますが、紙の厚み調整およびその均一化も重要な役割になっています。ちょっと余談になりますが、最後の「ダー」というところを er と書けばつや出し機であり、ar と書けば暦です。だから、わたしどもの業界ではカレンダーといえば当然抄紙機のカレンダーを指すのですが、一般的にカレンダーといえば、暦と勘違いされることもありえます。また、紙はほとんどの場合、印刷して使用 R されるため、印刷適性の向上もカレンダーに求められる重要な役割です。これらの目的を達成するため改善――これから紹介していくわけですが――は、各分野の測定機器や制御機器の発達によって可能になってきました。それらは紙自体のオンラインの測定機器であり、制御用の圧力センサーのような検出機器であり、さらに、それらの制御機器としてのコンピューターの発展であります。今後、各分野の技術発達で、より高いレベルの精度で目的が達成できると考えています。

カレンダーの変遷に大きな影響を与えた技術開発としては、まずスイミングロールの開発があります。スイミングロールは、クラウン可変ロールの弊社製品名ですが、JIS の紙パルプ用語にも掲載されているほど汎用化していますので、あえて今回使用いたしました。2 番目がソフトカレンダーの開発です。3 番目がクラウン可変ロールの高機能化です。4 番目がマルチニップカレンダーの開発。5 番目としてその他の試みがあります。これ以外にも多くの変化がありますが、それらにつきましてはこの説明の中で補足的に紹介いたします。

カレンダーの変遷に関して

（カレンダーの変化に大きな影響を与えた技術の開発）

①スイミングロールの開発

②ソフトカレンダーの開発

③クラウンコントロールロールの高機能化

④マルチニップカレンダーの開発

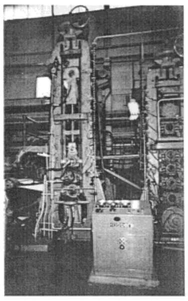
⑤その他の試み

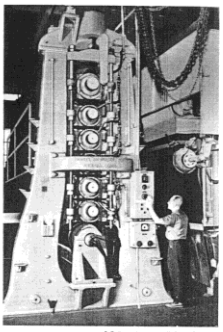
2．クラウン可変ロールの開発

今から 40 年以上前のカレンダーの代表的な形と、スイミングロールの設置改造事例を併せて示しています。いずれも下部にキングロールと称する大きなロールが入っています。次のロールをクイーンロール、その上に中間ロールが数本あってトップロールとなるのが従来のカレンダーの形でした。

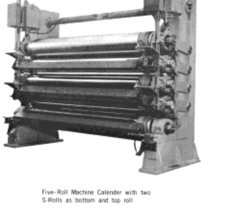
この最下段に配置されたキングロールは、積み重ねたロールの重量や、それほど大きな加圧ではないのですが、加圧に耐える強度を持たせるために、大きな径にする必要がありました。この荷重によるたわみで発生するニップの不均一の補正のために、クラウンと称し、ロールの形状自体を中高傾向に研磨して使用されていました。これは機械的にロール形状をそのような形にするので、ただ一種の線圧に対してのみ適正なニップが形成されます。したがって、最も使用頻度の高い線圧に対し適正なクラウンを付加することになり、他の線圧で使用した場合は均一なニップが得られないのですが、妥協または容認して使わざるを得ないという状態でした。ちな

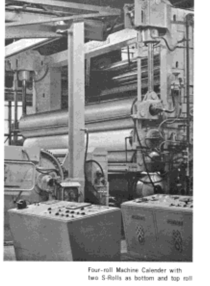
従来カレンダーと改造事例1


Four-roll Machine Calender with two S-Rolls as bottom and top roll (Rebuild)


S-Roll as bottom roll for a Machine Calender (Rebuild)

従来カレンダーと改造事例2


Five-Roll Machine Calender with two S-Rolls as bottom and top roll


Four-roll Machine Calender with two S-Rolls as bottom and top roll

21

みに、145 インチ（3600㎜）面長の多段カレンダーのロール構成の一例ですが、それぞれのロールの径はボトムロールとしては 700-760㎜φ、クイーンロールは 460㎜φ、中間ロールは 350㎜φのロールが 3 本程度、トップロールは 460-500㎜φが、この写真にあるように、多段に積み重ねられて使用されていました。

さて、それに大きな変化をもたらしたのが、クラウン可変ロールの開発です。世界初のクラウン可変ロールは、㈱淀川製鋼所が技術提携していますドイツのキュスター社で開発されて、スイミングロールという商品名で販売されました。クラウン可変ロールの一つであるスイミングロールの構造を横断面図および縦断面図で簡単に説明します。

スイミングロールは、その他のクラウン可変ロール（例えば三菱重工㈱の CCR（コントロールドクラウンロール））と基本的に大きな違いはないと思いますので、スイミングロールで説明します。スイミングロールは色の濃いシェルと色の薄いシャフトに 2 分割され、その間のドーナツ状の空間を長手方向シールで仕切る構造をしています。このシェルの上方がニップ方向ですが、ここに油圧を発生させることによってシェルを曲げ、といいますか、上にかかる荷重をはね返す形で、クラウンを任意にコントローできるロールです。これにより、生産する紙が求める異なる線圧に対してクラウンを簡単な操作で適切に変化させて均一なニップを形成できます。現在では当たり前のロールですが、当時としては画期的なロールでした。他社の同種ロールでは、この部分にシュー等を配置して、そのシューでシェルを押し上げるという方式を採っています。

スイミングロール横断面図

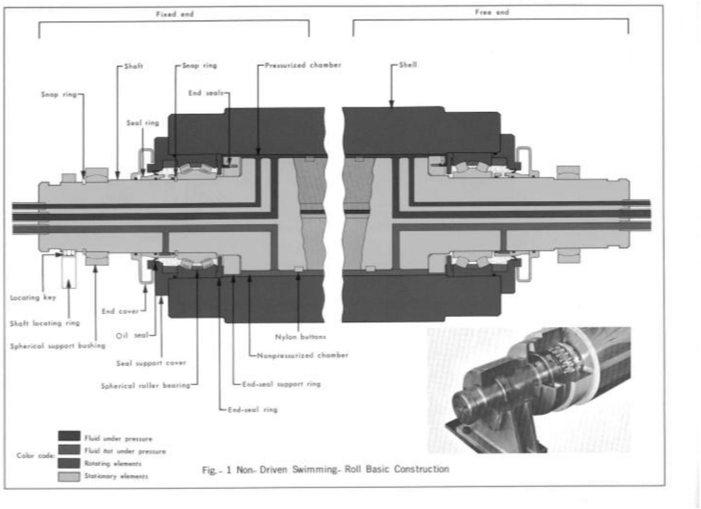


Fig.- 1 Non- Driven Swimming- Roll Basic Construction

スイミングロール縦断面図

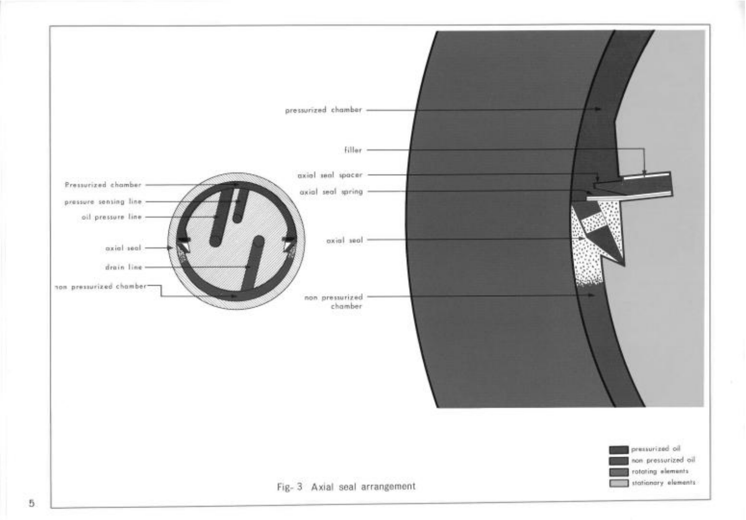


Fig- 3 Axial seal arrangement

このクラウン可変ロールの開発によってカレンダーの形態は大きく変化し、6-8 段の多段構成であった標準的なカレンダーが、上下にスイミングロールを配置して、3 段ないし 4 段に改造されていきました。なお、このクラウンを任意にコントロールできるロールというのは、抄紙の過程のいろいろなパートで必要とされ、プレス、ブレーカー、スーパーカレンダーも含めてどんどん採用されて、紙の品質向上には大きく寄与した

技術です。

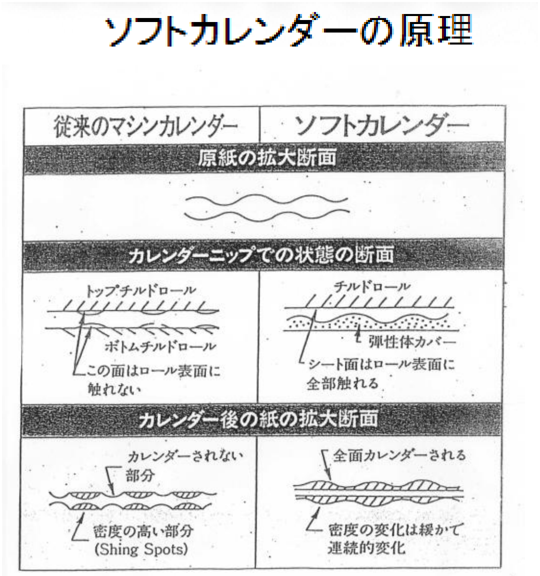
当然のことながら、クラウン可変ロールが開発されると、さらにその欠陥をカバーする優れた機能を付加したロールが開発されて今日に至っています。それに関しましては、この後の「クラウン可変の高機能化」というところで若干説明いたします。

また、ある種の紙、特に新聞用紙がそうであると認識していますが、ニップ圧が順次増えていく通常の多段カレンダー処理（徐々にトップニップからボトムニップに、ロールの自重分ずつニップ圧が増えていく構造）ではなくて、各ニップは軽くして、ニップ数のみを増やしたほうが品質的に優れているという考えのもとに、6 段、7 段の多段の中のすべてのロールをクラウン可変ロールにするというカレンダー（バーサーニップカレンダーと称するカレンダー）も採用された時期がありました。

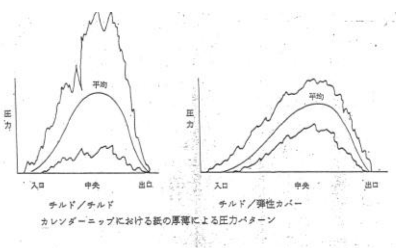
３．ソフトカレンダーの開発

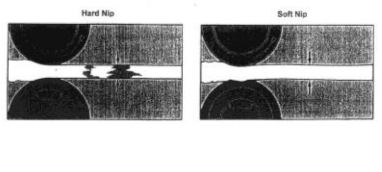
さて、クラウン可変ロールがカレンダーを変えたその次に、カレンダー自体の形を大きく変えたのは、ソフトカレンダーの開発です。ソフトカレンダーは、一般的にはチルド鋳鉄または鍛鋼という材質のハードロールと弾性カバーロールの組み合わせのカレンダーです。ソフトカレンダーは、別称として MOL カレンダーまたはソフトニップカレンダーというように呼ばれることもあります。これに対し、従来の鋳鉄製または鍛鋼製のハードロールの組み合わせのカレンダーをあえて、ハードカレンダーと区別して呼ぶようになっています。

ソフトカレンダーの基本的な考え方は、温度を上げたチルドまたは鍛鋼製のハードロールとゴムまたは樹脂の弾性カバーを被覆した弾性ロールの組み合わせのニップを通過させることによって、紙全体をより均一にカレンダリングするということです。温度を上げることは、ニップを通過する紙の表面温度を上げ、紙のみ軟化させるアイロン効果を担っています。



ソフトカレンダーの原理について、ここで簡単に説明します。この図は極端な事例ですが、左側に従来のハードカレンダー、右側にソフトカレンダーを示しています。このようにデコボコのある原紙がカレンダーニップを通過するときに、ハードカレンダーとソフトカレンダーではどの様になるかを説明しています。トップ、ボトムとも、ハードの場合は、このデコボコの出っ張ったところが強く圧縮されます。それに対しまして、ソフトカレンダーでは弾性体のカバーがある程度デコボコを吸収することによって、チルドロールが全面的に紙に当たり、より均一にカレンダリングができるというものです。その結果として、ハードの場合は、紙の出っ張ったところは強く圧縮されて密度が高くなっています。





ソフトカレンダーでは、密度は緩やかに連続的に変化し、かつ全体的にカレンダリングされ、より均一な密度に紙を仕上げていくという非常に優れた特徴を持っています。

次に、ソフトカレンダーの効果をまとめます。　ハードカレンダーでの局部的なカレンダリングでは、斑点模様（紙をかざして見たときにギラギラの斑点模様が見える）を生じやすく、当然のことながら、印刷後の見栄えが悪くなります。これは、紙厚の高い板紙においては、非常に顕著に見られると言われています。　また、密度むらのある紙を印刷しますと、密度の粗いところではインクがより深く吸収・浸透するため白っぽくなってしまいます。　これを防ぐため、より多くのインクで印刷しなければなりません。ソフトカレンダーの処理による密度がより均一な紙ならば、インクの使用量が少なくてきれいな印刷ができ、印刷コストの削減にも寄与すると考えられています。

ソフトカレンダーの効果

①印刷適正の良い紙の生産
②嵩の有る紙の生産
③表裏差の少ない紙の生産
④光沢度の高い紙の生産
⑤輪転機における走行安定性

紙の表面性向上に寄与する作用

①多くのニップを通過する時、紙に与えられる反復成形作用
②弾性ロールの変形（線圧による）からくる紙表面の磨き作用
③紙の表面に平滑な金属表面を押し付け、金属表面を転写する

また、アイロン効果で紙の表面を軟化させることから、低い線圧、面圧で目的とする表面品質が得られます。これは、新聞用紙が、軽量化・古紙使用率の向上等によって紙の腰が弱くなってきているときに、つぶれすぎを防止します。

一般的にソフトカレンダーの基本的な構造としては、No.1 カレンダー、No.2 カレンダーというように 1 ニップ、2 スタックのため、各カレンダーの線圧やヒートロール温度を任意に変化させることで表裏差の少ない紙の生産ができます。　光沢度につては、当然のことながら塗料の影響を大きく受けますが、ニップ幅が広くニップを通過する紙のニップ滞留時間が長いということ（ハードニップに比較して）は光沢度の高い紙の生産をも可能にします。　それから、紙に無理なストレスを与えないということで、輪転機での良い走行安定性が得られるといわれています。

なお、紙の表面性の向上に寄与する作用は次の通りです。多くのニップを通過するときに、紙に成形作用が反復して与えられます。これはスーパーカレンダー等で行われていることです。次に、弾性ロールの変形からくる紙表面の磨き作用があります。これは、変形した後、戻る際にスリップで紙の表面を磨くという作用です。それと、紙の表面に平滑な金属表面、ハードニップ面を押し付けることによって、金属表面が転写されます。これらは、スーパーカレンダー、ソフトカレンダー等のハードロールと弾性体を巻いたソフトロールの組み合わせの基本的作用で、これらが複合的に作用することによって、目指す品質を得ることが可能になります。

ソフトカレンダーを世界で最初に提案したのも、スイミングロールを開発したキュスター社です。このソフトカレンダーの開発において大きな要素になったのが、カバー材の開発です。キュスター社は、オランダのカバー材メーカーのローリン社と共同開発を行って、KR2 という商品名で、カレンダーパートで使用できるカバー材を実用化しました。

私は、ソフトカレンダーの開発当初から今日まで、さらには将来的にも、最も重要な要素は弾性カバー材であると考えています。日本のカバー材メーカーが優れたカバー材を開発し提供しているということは、ソフトカレンダーのメーカー、また、使用される製紙会社にとっても、非常に喜ばしいことと思います。　当社の技術提携先のキュスター社も、日本各社のカバー材が、ヨーッロパ各社のカバー材と比較して非常に優れているという評価を持っています。

しかし、カバー材はそれなりに進歩しているとはいいましても、ハードニップに対してはやはり弱い側面があり、その使用条件もますます過酷になっています。そのため、損傷防止の対策は、ソフトカレンダーメ

ーカーの使命であって、可能な限りの対策・装置が考案されて付属されているのがソフトカレンダーです。

ソフトカレンダーの普及については、世界的な流れと日本国内の流れでは若干違います。ヨーロッパではキュスター社が最初に始めたので、その歴史を見れば分かりますが、板紙から普及して、新聞、LWC と広がっていきました。日本国内ではLWCに最初に導入され、その実績は今なお多いという状況です。近年は、新聞用紙にどんどん採用され、ソフトカレンダーの入っていない新聞用紙抄紙機は少ないというほど採用されています。板紙はまだそれほどの普及には至っていません。このように、ソフトカレンダーは今日のあらゆる紙の生産に利用されていますが、その普及に影響した因子として、古紙の含有率が高まっていく動きを見逃すことができません。また、新聞の軽量化やカラー印刷化がソフトカレンダーの普及に非常に追い風となっています。　以前はスポーツ紙のみにカラー印刷がされていましたが、最近では一般紙もほとんど、全ページではないにしても、かなりの部分でカラー印刷がされています。

㈱淀川製鋼所では、ソフトカレンダーの将来性に早くから着目し、大手製紙会社の協力を得ながらキュスター社との技術交流も重ねて、国産化を行ってきました。当初はヒートロール温度が 120℃くらいのものが多く、片面だけの処理であれば1スタック、一般的には2スタックが多く、フレーム構造は従来カレンダーと同じＬ型フレームが一般的でした。

そのソフトカレンダーの形が大きく変化したのは、北海道地区の大手製紙会社の工場にLWC用の高温・高圧のソフトカレンダーを入れた時点からです。このカレンダーの大きな特徴はＵフレーム構造で、当時国内では見られない構造でした。さらに、最高線圧 350kN/m、ヒートロールの表面温度は 200℃という高温・高圧のソフトカレンダーでした。　また、ソフトカレンダーは2ロールシステムですから、大きな線圧を必要とする場合ヒートロールを大きなロールにせざるを得ません。これに対し、鍛鋼製のロールを採用したことは、ソフトカレンダーの歴史の中で大きな転機になったと考えています。

U フレーム構造はフレーム自体が耐震性に優れています。また、カレンダーの付属品がほとんどすべてそのフレームに取り付けられているので、ロール交換の際に、ドクターその他の付属品には一切手をつけずに、クラウン可変ロールにつながっている配管と駆動のためのカップリングのような必要最低限のものを外すだけで、ロール交換ができる構造にしています。

ここで、高温・高圧仕様に対し鍛鋼ロールを採用した理由を説明いたします。普通ドライヤーから出てくる紙の温度は 70℃から高いところでも 90℃です。この紙が 200℃のヒートロールのニップを通過する際は、温度差が非常に大きいことになります。当然ながら、ロールから多くの熱量が取られることになります。したがって、ロール内部からその熱を補給し、ロール表面温度を高く維持するためには、より熱伝導度の良いものが望まれます。また、新聞用紙も含め一般の紙の生産においては、操業条件が頻繁に変わる場合が多くあります。そのような操業条件の変更に伴う温度変更、またはSD時に機械整備のためヒートロールの温度を下げる、またスタートのときに上げる等の作業を考えた場合、温度の昇降を迅速に行っていく必要があり、鋳鉄製ロールでは限界があります。一般的に鋳鉄ロールでは、温度を上げるときは1時間に 60℃（1分 1℃）、下げるときには、その半分で、1時間に 30℃しか下げてはいけない。それを超えると、ロールは損傷することがあるといわれています。それに対し鍛鋼ロールでは、1分間に 3℃、1時間に 180℃という速度で昇降温をすることができます。

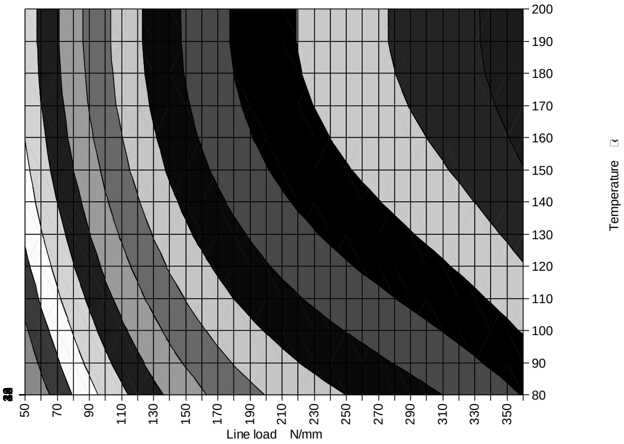
また、鋳鉄と鍛鋼を比べますと、組織的には鋳鉄ロールは粗く、鍛鋼ロールは緻密であり、高温使用時に不等膨張のようなロール変形を起こす可能性は鍛鋼ロールのほうが少ない。基本的に、ロールの熱変形は、鋳造時、製造時の残留応力等の存在によって大きく影響されるのですが、残留応力をゼロにはできません。それなりに軽減ははかっていますが、組織全体の緻密さから、鍛鋼ロールは一歩先にあると考えます。

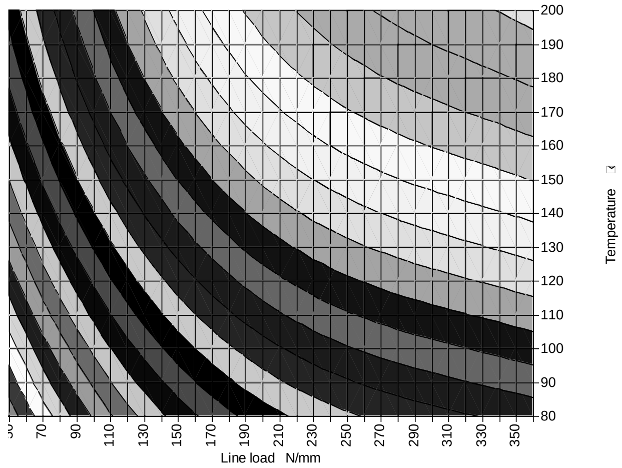
それと、当然のことながら、鍛鋼と鋳鉄ではロール部材としての強度が違い、同じロール強度を持たせよ

うとした場合、鍛鋼ロールのほうがロール径を抑えられます。ちなみに先ほど話しましたU型フレームでは、鋳鉄ロールであれば直径1,500㎜が必要ですが、鍛鋼にすることによって直径1,300㎜に抑えることができ、設備をかなり小さくできます。

ソフトカレンダーの仕様を検討する際は、線圧、温度およびニップ数に関するデータが必要です。

最初の図は、光沢に対して1ニップで1,200m/分の速度で操業した場合のデータの一例です。横軸に線圧、縦軸に温度、そしてグロスが色分け（左側の枠内）してあります。あるグロスの値を得るために、どのような組み合わせのスペックにすればよいかを示します。次の図が2ニップの場合です。

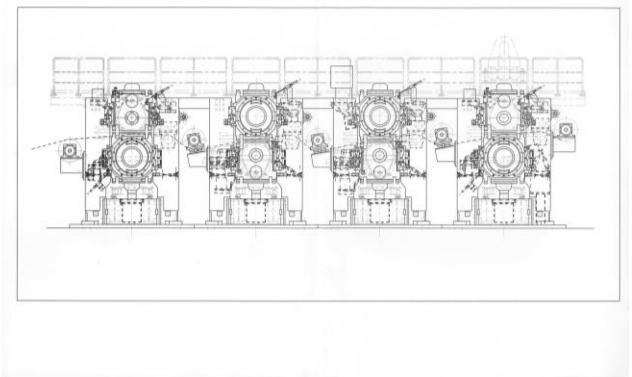




グロスを目標とする場合、塗工紙では塗料の影響が大きくでます。他の種類の紙においても、古紙の含有率等がかなり違う場合が多くあります。このため、A社の紙による結果がB社の紙でも同じ結果で得られるとは限りません。㈱淀川製鋼所では、実機に近い条件でテストをする設備を持っており、各製紙会社から送られてくる紙をテストして、その結果を確認することにしています。ただ、残念ながらオフマシンのテストですから、使用する紙の温度を実操業のように保つことはできず（室（ムロ）か何かを使って温度を上げ、湿度を一定に保ったままテストができればベストなのですが）、紙の温度による影響はある程度推定で考えていくしかありません。実機では、紙の温度が高い分、このテストカレンダーで出てきた結果よりも低い線圧でその効果を得ています。

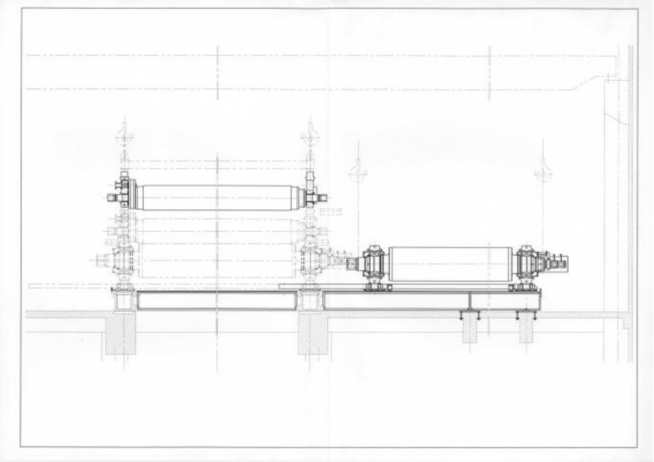
次にソフトカレンダーの実施事例として4連のMOLカレンダー―ソフトカレンダーですが―を紹介します。4連のカレンダーというのは、紙の表･裏面にそれぞれ2回ニップをかけるため設置されたもので、2ロールのカレンダーを流れ方向に4機配置したもので、かなり大きな設置スペースを必要とします。　鉄鋼業における鋼板製造設備は7連ですが、当然まっすぐに流していくというのが大前提です。一方、製紙業では比較的自由にペーパーランが取れますので、設置スペース節約のため多段に配置するという形ができていました。

4連MOLカレンダー図



それに対して、この4連カレンダーは、あえて横に並べたということで画期的であり、またある意味では限界かなと思います。実は、これは新設抄紙機のため設置できたのです。一般に、改造の際は、カレンダーの後にはリールがり、その後にすぐにワインダーや搬送設備があるためまず無理といえましょう。　この4連カレンダーというのは、私の認識では、ここに紹介しています7mクラス（A2から下級グレードまで生産）以外にM社が入れられた5mクラス1台、日本国内では2基しか稼動していません。この4連のソフトカレンダーは、先に説明しました技術的な開発が発展的に採用されています。まず、フレームがUフレーム構造です。また、端部冷却装置、ドクター、ソフトカレンダーを防御する装置、ロールの表面をクリーニングする装置等、必要な機器はほとんどフレームに付けられていて、ロールにじかに付けられているものはほとんど何もありません。

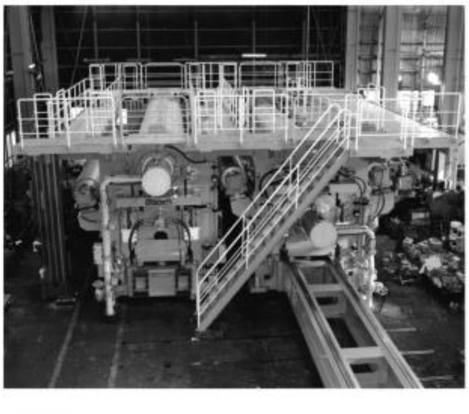
ロールの着脱装置



この図は、ボトムロールの着脱装置で、システムに付属した設備です。カレンダー内部にボトムロールを引き出すための台車が常にセットされており、その台車に乗せて、ボトムロールを引き出します。押しボタン操作でもって、ロールを乗せた台車が出てきますので、操作員がいる側にこのようなレールが必要ですが、このレールは1個だけで、着脱するロールの前に必要なときに設置します。床に、ソールプレートを配置していますが、このソールプレートはフロアと一緒にすることで、これを取り除いた後は作業に支障をきたしません。

また、トップロールには、専用のつり出しジグをはめます。そして、このジグと軸受け箱との結合はボルト締めではなくて、70φぐらいの大きなピンをスコンと入れるというだけで、簡単につり具と軸受け箱は脱着できる構造になっています（実は1号機の場合はM36の6本止のように大きなボルトで締め上げていたのですが、操作性が悪いのでピン式に改めました）。

4連MOLカレンダー写真



右が、4連モールカレンダーの借り組みのときの写真で、No.1,No.2カレンダーのものです。ボトムロールはすべて手前に引き出しロール交換を行います。

この4連のソフトカレンダーは、従来の2スタックのソフトカレンダーではなし得なかった分野、すなわち、スーパーカレンダーのかなりの分野まで処理できることから、この工場はスーパーカレンダーを設置せず、使用されています。

最初に述べましたように、ソフトカレンダーは、温度を上げたヒートロールと弾性カバーロールの組み合わせで、アイロン効果が基本のカレンダーですが、ヒートロールの温度を上げることによって線圧を下げ、嵩のある紙が生産できます。　現在、抄速は、塗工紙でも1,200-1,300m/分、新聞等においては2,000m/分と高速化されています。そのような高速では、どうしてもニップ滞留時間等が少なくなり品質的に目標が得られないことから、その対応として、ヒートロール温度がどんどん上がっています。開発当初は120℃レベルが主流であったのですが、現在は基本的には200℃またはそれ以上の仕様で製作されるものが多くなってい

ます。温度を上げる手段としては、ヒートロールの中を循環させる熱媒体を熱水から熱媒油に変更したドリルドロールが一般的に使われています。また、ロールの内部にコイルを―ジャケットロール―内蔵させ、誘導発熱させることも利用されています。ロールの高温化と表裏一体で、紙の塗工塗料の開発が行われます。熱いロールに付着することなく、耐熱性に優れて、なおかつ必要とする光沢を得られる塗料の開発が並行して行われています。それなくしては高温化にも限度があり、光沢度の向上にも制限が出てきます。

以上がソフトカレンダーの現状ですが、高温化の流れは今後とも変わらないと考えています。

４．クラウン可変ロールの高機能化

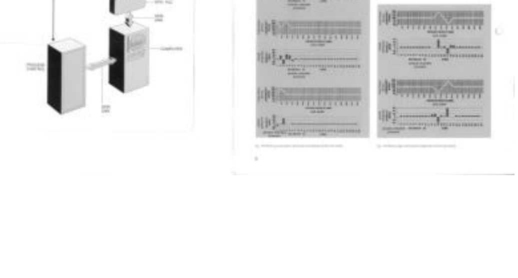
次に、カレンダーの変化に大きな影響を与えたのは、クラウン可変ロールの高機能化です。㈱淀川製鋼所の MHV(マルチハイドロバリオロール)を例に説明いたします。他社もいろいろな形で高機能化ロールは出されています。それらは全く同じものではなく、構造的な違いはありますが、ロールの幅方向で細かくキャリパーコントロールすることを目的とすること、及び、ロールの内部にハイドロスタティック機構を持たせるところは共通しています。

まず構造図を基に説明いたします。　高機能化とは、幅方向に細分化したニッププロファイル制御とその制御の自動化も含めています。この図がマルチハイドロバリオロールのシャフト図です。　エレメントが全幅にわたって配置されおり、最初に紹介しましたクラウン可変ロールであるスイミングロールとは全く異なる構造をしています。このエレメントそれぞれに油圧を発生させることによって、幅方向のキャリパーコントロールを行います。

MHV の構造説明

このエレメントは、基本的に、四隅のところに油圧を発生させることによって、シェルとエレメントを非接触にする構造を持っています。MHV ロールでは、エレメントが一つの部屋を形成する構造をしていますが、他社の場合はこれがピストンであったりします。そのピストンも、当然のことながらハイドロスタティック機構が採用されており、あくまでもシェルとピストンとは非接触を保つことが基本になっています。これによりシェルとエレメントが接触することによる有害な問題――摩擦力が増えたり、発熱すること――がない構造になっています。

MHVの制御１



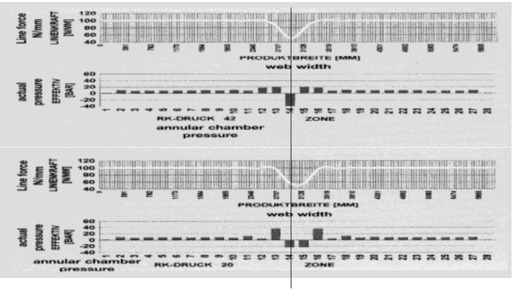
幅方向の細かい制御を行うロールにおいては、基本的には、個々のエレメントで発生させた変形の度合い（個々のエレメントに何 kg の圧力をかけたらどのような変形が出るか）を、有限要素法でもって解析し制御するプログラムでコンピューター制御されています。従来のスイミングロール等ではエアー機器等を使った簡単なシステムで制御ができたのですが、このように幅方向の細かな制御をするものは基本的にコンピューターによる制御です。

細かな制御を行うためには、エレメントを細かくすればいいではないかという議論もありますが、多くすると１個１個で発生できる力は小さくなります。ですから、ある程度の大

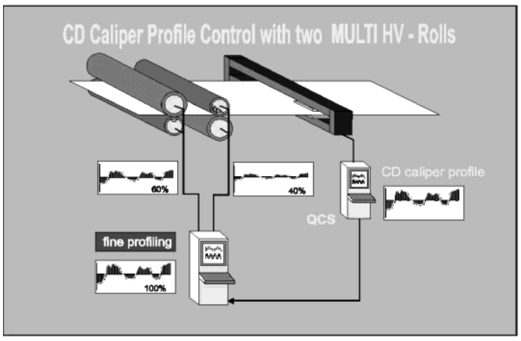
きさが必要で、最適な大きさを選定・配置したロールを設計します。また、ピストンやエレメントの配置したところしか突き上げられないとする誤解がありますが、先ほど紹介しましたように、有限要素によってそれぞれの影響を計算することで、ピーク位置は自由に変えることができます。右の図は、ピーク位置の移動を示しています。各エレメントのあるものを突出させ、そして周りの部分を逆方向に突出させるとことによって、図のようになります。このように、各エレメントの油圧の状況を変えれば、量やピークの位置を、エレメントの位置に関係なく移動させることができます。

MHV の制御を 2 スタックで行う場合は、データを補正する動きを、No.1 カレンダーと No.2 カレンダーにそれぞれ割り振ること(例えば No.1 には 60%、No.2 には 40%のように)によって可能になります。

加圧ピーク位置の移動 (4)



MHVの制御2



キャリパーコントロールには、誘導加熱方式（キャリコイル）や熱風を吹きつける装置（サーマルジェット、ウルトラジェット）が今まで根強い人気を持って使用されてきました。しかし、キャリパーコントロール能力の向上したロール(例えば MHV ロールやそれに類するロール)が出てきたことによって、外部加熱方式を見直す時期に来ていると思います。　というのは、ヒートロールそのものが 200℃と高温化してきているので、そのロール表面に温度差をつけるだけで紙品質に影響を与えることができるかどうかという観点からです。

また、このようにロール制御にコンピューターを使用していくことになったことから、操業状態を常時監視して記録することが容易になり、問題発生時の状態を正確に把握でき、原因究明等がやりやすくなりました。

下の図は一つの事例です。これは制御システムの画面ですが、機器操作、プロファイル表示、トレンド表示、警報表示がそれぞれ画面に用意されています。　また別の画面では、それぞれの運転状態、例えば MHV ポンプの運転状態、ドクターの着脱、エッジ冷却、端部温度状態等の画面展開ができる一覧表を持っています。

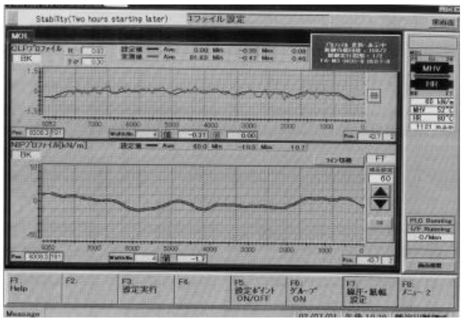
Multi Master 操作画面(1)

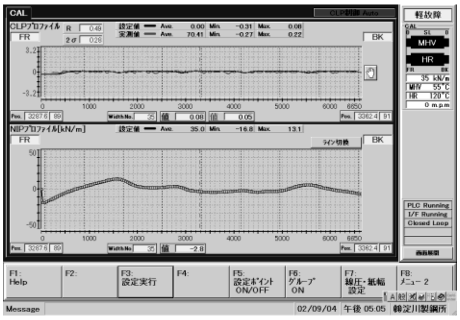
Multi Master 操作画面(2)

次は実施データの事例です。目標とするニッププロファイルに対して、下が各油圧の状況を示し、それに対して上が BM 計から入ったデータです。

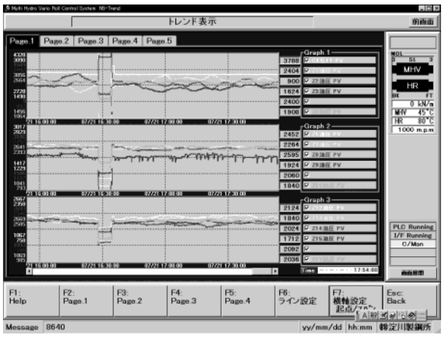
さらに、各油圧の状態がモニタリングされており、約 1 か月分のデータがすべてコンピューター内に格納されています。ですから、トラブルが生じたときに、どのような制御状態にあったかをすべて見ることができます。また、警報表示画面においては、どのような異常が何月何日に発生して、それを解除したのが何日であるかということが一目瞭然になっています。

CD- CLP_





Multi Master 操作画面(6)



Multi Master 操作画面(10)

Multi Master 操作画面(8)

5．マルチニップカレンダーの開発

次にマルチニップカレンダーの開発について話します。　紙は、抄紙機、コーター、スーパーカレンダー、ワインダーという工程で生産されます。　幾つかの工程を経ることで、その間にハンドリング作業があり、各設備の運転要員が要る等の問題が古くから認識されていました。

基本的に求められるのは、原料から製品までを一貫して製造する抄紙ロボット的なものが究極の姿であろうと思います。このため、工程の結合がいろいろな形で行われています。

まず、コーターとスーパーカレンダーの結合、次に、抄紙機とコーター、スーパーカレンダーの結合というように進んでいるのが現状です。いわゆるスーパーカレンダーのオンライン化で、マルチニップカレンダーの開発がそれに当たります。1 台の抄紙機に対して、それより 20-30％速いコーターを 1 台持ち、スーパーカレンダー2 台というのが一般的な構成だったのですが、そのようなものをすべて抄紙機の中に入れてしまおうという試みです。

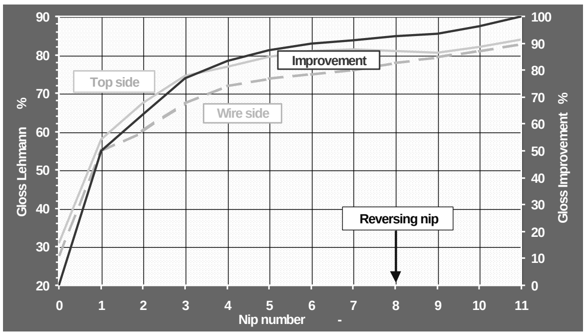
マルチニップカレンダーの特徴として、基本的には弾性ロールは樹脂が使われます。ヒートロール温度は、表面で 160℃です。マルチニップカレンダーの場合は 2 回紙が通過するので、紙にかなり熱を奪われるため、ドリルドロール形式のものに 250℃の熱媒油を通して奪われる熱を補います。それと、トップ及びボトムでは幅方向のキャリパーコントロールできる機能が必要です。または、多段に積み上げるため、オーバーハングロードの補正が必要であり、各ニップの線圧を低い領域から 500kN/m ぐらいの高い線圧までできるようにします。また、オンラインでの使用が基本です。

マルチニップカレンダーの特徴
（プロソフト）

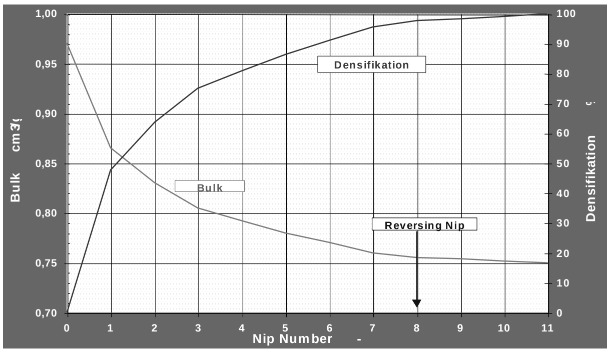
①弾性ロールはコットンロールに代わりポリマー又は合成カバー
②ヒートロールの表面温度は約１６０℃
③トップ／ボトムロールでＣＤキャリパーコントロール
④オーバーハングロードの補正
⑤ロールロード特性の可変性
⑥オンラインでの使用

次に、12 段のスーパーカレンダーでの紙の品質の変化を見てみます。最初がグロスの例です。　変化量を 100%とした場合、最初の 1 ニップで半分近く向上します。2 ニップ、3 ニップを経て、4 ニップで、紙の変化はほぼ 80%近辺まで達します。あと 20%を残りの段数で達成する。ラフネスまたはバルクにおいても、基本的には 4 ニップあればかなりの効果が得られます。

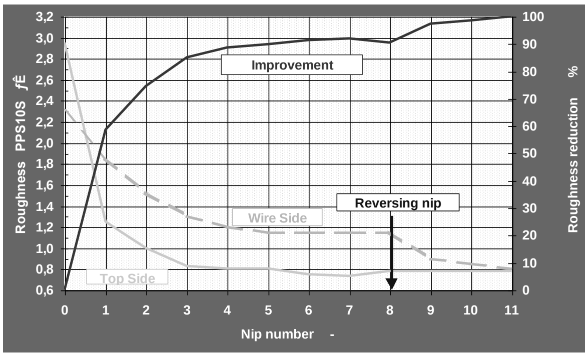
Gloss development in a 12 - Roll Supercalender
Wood free C2S, Basis weight 135 g/m², Moisture 6,5 %, Roll temperature 90 ° C



Bulk development in a 12 - Roll Supercalender
Wood free C2S, Basis weight 135 g/m², Moisture 6,5 %, Roll temperature 90 ° C

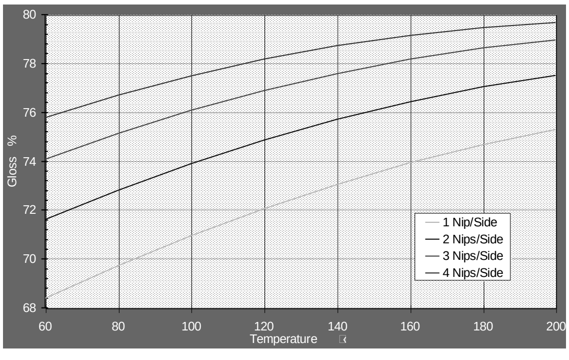


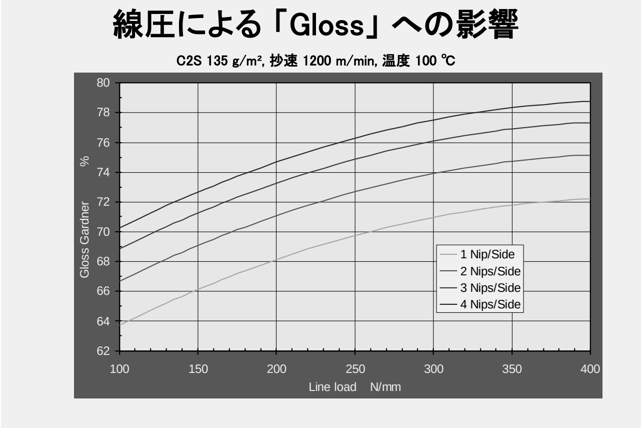
Roughness development in a 12 - Roll Supercalender
Wood free C2S, Basis weight 135 g/m², Moisture 6,5 %, Roll temperature 90 ° C



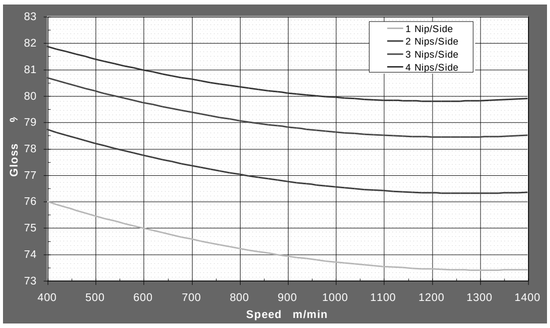
右の図はロール温度によるグロスの影響で、下から 1 ニップ、2 ニップというようにニップ数が増えた場合のグロス向上を示しています。同様に線圧の影響を示しています。また抄速については、グロスへの影響は、800－1,000m/分以降は比較的なだらかな減少を示しています。これらの研究の成果としてマルチニップカレンダーが開発されています。

ロール温度による「Gloss」への影響
C2S 135 g/m², 抄速 1200 m/min, 線圧 300 N/mm,



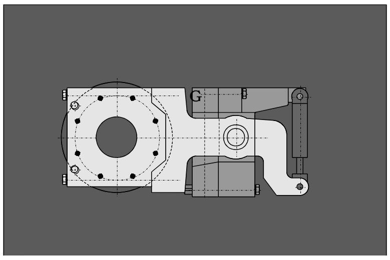


抄速による「Gloss」への影響

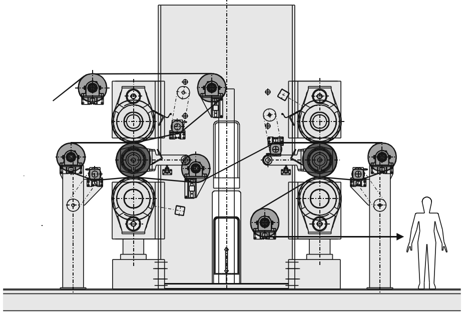


㈱淀川製鋼所ではプロソフトと称していますが、3 ロール・2 スタックの例、4 ロール・2 スタックの例、3 ロールと 5 ロールを上下に配置した例、及びオフラインの例を示します。オフラインの例は既設のスーパーカレンダーの改造などに適用されます。

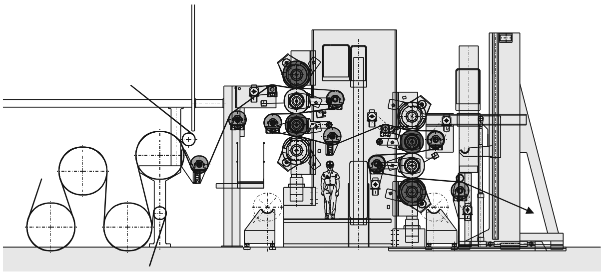
PROSOFT - NIP レリービングシステム



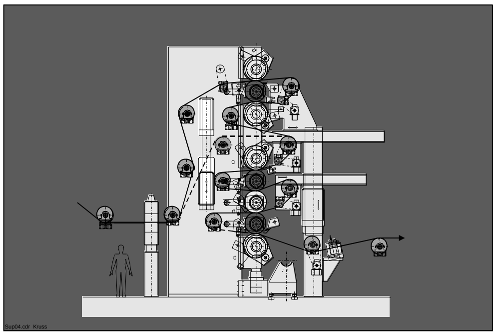
ProSoft 2 x 3 Rolls



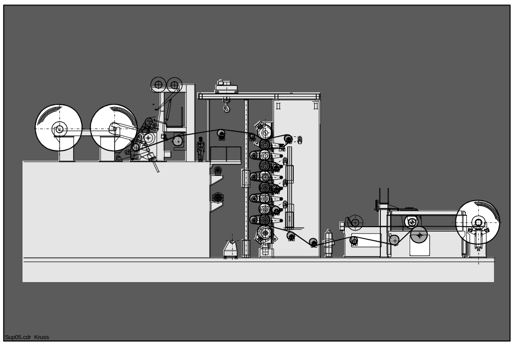
ProSoft 2 x 4 Rolls



ProSoft 3 + 5 Rolls



ProSoft 10 Rolls Off-Line



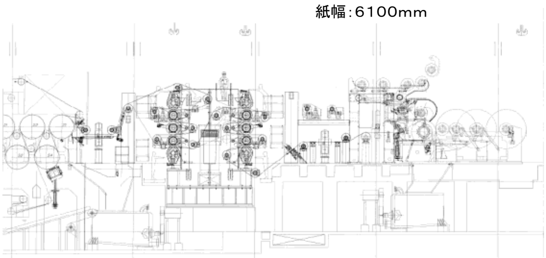
次に、プロソフトの実施例として、図面を示します。抄速 1,200m/分で、線圧は 30-500 N/m、紙幅は 6,100mm です。非常に大きいもので、1 階から基礎を立ち上げて、ソールプレートに相当する架台を設けて、その上にマルチニップカレンダーを設置しています。ドライヤーから出てきた紙はベルト通紙、ついでロープ通紙します。世の中の流れとして、ベルト通紙がどんどん採用されつつありますが、このような多段の中の複雑な経路をベルトで構成するのは無理があり、受け渡しのあとはロープですべて通紙されて、BM 計等を経て巻き取られます。

右の写真はキュスターで仮組みしているところです。人の背の高さとマシンの高さを比べてください。ドイツ人ですから 1,800mm ぐらいはあろうかと思います。そうしますと、5m を超えるマシンの高さになっていることがわかります。

次が同じ設備の完成した写真です。メインの 10 本のロール（5 段 2 スタック）それぞれに必要なモーターを付加する構造をとっています。これはプロソフトの基本的な考え方です。モーターとロールが直結で、途中に減速機がないというシステムで、モーターから後はユニバーサルジョイントを介してロールを回すという構造になっています。これは、機械的なメンテナンスが電気的なものに置き換わるという形にはなるのですが、今後のいろいろなところで採用されていくと推定しています。

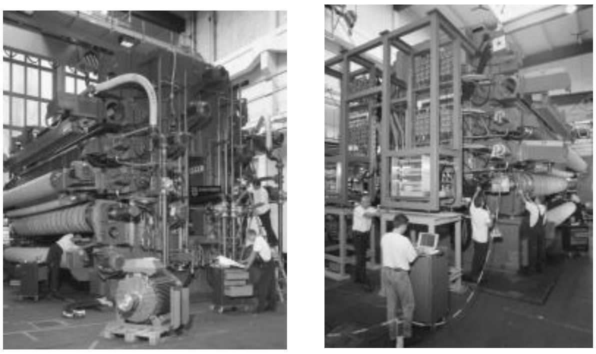
プロソフト設置図

StoraEnso Langerbrugge
SC紙及び新聞用紙用
抄速：1200mpm
線圧：30～500N／mm
紙幅：6100mm



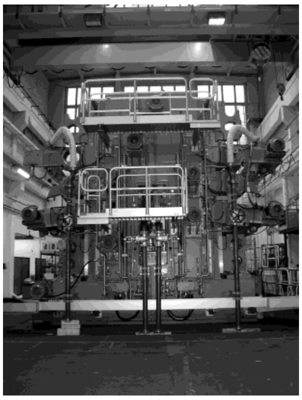
プロソフト仮組1

StoraEnso Langerbrugge
SC紙及び新聞用紙用
抄速：1200mpm
線圧：30～500N／mm
紙幅：6100mm



プロソフト仮組2

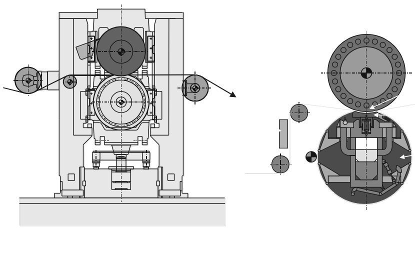
StoraEnso Langerbrugge コ
SC紙及び新聞用紙用
抄速：1200mpm
線圧：30～500N／mm
紙幅：6100mm



６．その他の試み

次に、その他のカレンダーの試みとしては、シューカレンダー及びベルトカレンダーがあります。そのイメージを示します。シューカレンダーは、プレスパートで実用化され採用がどんどん広まっていますシュープレスのカレンダー版です。このカレンダーが国内で稼動しているという情報はありません。海外では板紙、ライナー等で実績があると聞いています。よりなだらかなニップ形成やニップ滞留時間が飛躍的に上がる等の大きな特徴を持っていますが、幅方向のニッププロフ

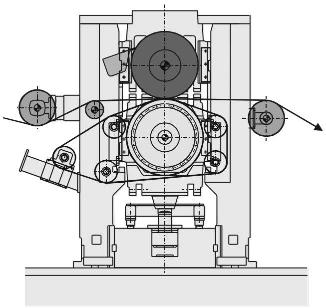
シューカレンダー



ァイルのコントロールがどこまでできるか、また、弾性カバーの耐久性が高温・高圧化の使用でどこまで伸びていくのかなどがこれからの課題になると思います。

カレンダーに求められる機能は当然生産される紙種によって異なりますので、ハードニップカレンダー、ソフトカレンダー、マルチニップカレンダー、シューカレンダー等の幾つかの選択肢の中から選択されます。日本国内では、板紙関係へのソフトカレンダーの普及、洋紙関係へのマルチニップカレンダーの導入が今後の方向と思います。シューカレンダーは、板紙、ライナー等の紙種に採用されていく補完的な動きであろうと、私は認識しています。

ベルトカレンダー



各カレンダーの適用比較

	Super-calender	Softnip Calender	Multinip Calender	Shoe Calender
Speed (m/min)	300 - 1000	400 - 1800	400 - 1800	300 - 800
Roll temperature (°C	40 - 100	60 - 240	60 - 180	130 - 250
Compressive stress (N/mm2)	30 - 50	5 - 40	8 - 55	3 - 8
Dwell time (ms)	2 - 0,4	1,2 - 0,5	1,2 - 0,4	30 - 3
Number of nips	7 - 13	1 - 4	4 - 9	1
Resilent cover	Cotton / Polymer	Polymer	Polymer	Polymer
On- / Off-line	Off	On / Off	On / Off	On

これらの各カレンダーの適用比較を簡単にまとめました。　カレンダーの今後につきましては、カバー材のさらなる進歩と塗料の開発が大きく影響するでしょう。

最後にハードロールの今後の変化として注目される技術は、タングステンカーバイド（WC）の溶射です。一部のカレンダーやスーパーでは採用されていますが、その流れはますます強まるだろうと思っています。タングステンカーバイド溶射は、耐磨耗性に非常に優れ、抜群の性能を持っていますので、ロール交換頻度が格段に少なくなり、メンテナンス費用が低減できると思います。しかし、あくまでも厚いもので200ミクロンぐらいの、いわゆる膜です。局部的な圧縮応力を受けた場合には、どうしても母材が強度を持つ必要があり、軟らかい母材のものに溶射したのでは何の意味もありません。焼き入れした鍛鋼ロールも異物噛み込みによってへこむことがあります。そのようなへこみ等が生じたときには再研磨しますが、下手をすると膜が全部無くなってしまうことも発生します。また、ダイヤモンドホイール等で研磨することになりますので、再研磨に時間・費用がかかります。また、タングステン溶射と言えども万能ではなく、水ドクターや塗料、またはドクターそのものとの相性等で傷が入ったという事例も聞いていまので、材質選定に留意する必要があります。否定的なことも述べましたが、少なくともタングステンカーバイド溶射というのは、今後のメンテナンス費用削減の大きな手段、有力な手段になると思います。また、ヒートロールの高温化はかなりのエネルギー消費を伴っておりますので、省エネの方向も今後のカレンダー等で考えていく必要があります。

ご静聴有難うございました。