1997 TAPPI Engineering & Papermakers Conference に参加して

日本製紙 中央研究所 宮 西 孝 則

Reports of 1997 TAPPI Engineering & Papermakers Conference

Takanori Miyanishi

Central Research Laboratory, Nippon Paper Industries Co., Ltd.

1. はじめに

10月5日から9日までの5日間に亘って米国テネシー州ナッシュビル市で開催された1997 TAPPI Engineering & Papermakers Conferenceに参加する機会を得た。テネシー州はゴア米国副大統領の出身地であり、ナッシュビル市には民主党の創設者である7代目大統領アンドリュージャクソンの広大な屋敷も残っている。ナッシュビル市の最大の産業は印刷と出版である。カントリーミュージックの本場でもあり、市内にはRCA、ソニーなどの個性的で美しいスタジオが立ち並ぶ一画があり、全米のレコーディングの半分が行われているとのことであった。会議は市の郊外にあるオブリランドホテルで開催された。数千人を収容する全米で6番目に大きなホテルである。因みに1番目から5番目のホテルはラスベガスにあるのでラスベガス以东では、最大のホテルになる。ホテルの中庭には熱帯植物が茂り、ボートに乗って川下りも楽しめる。ホテルに隣接してテーマパーク、劇場などがあり、週末になると全米から観光客がやってくる。土曜の夜のカントリーミュージックはラジオで全米に生中継されている。

筆者はTAPPI Papermakers Conferenceに1990年のアトランタ大会から毎年参加させて戴いてきた。会議は毎年4月末に開催されていたが、1997年はTAPPI Engineering Conferenceとの共催で10月になった。そのため異分野との交流もあり、ウエットエンド化学だけでなく機械設備面からも抄紙技術の動向を知ることができて大変有意義であった。米国以外にもカナダ、北欧からの参加者も多く、国際色豊かで議論も活発で真剣であった。例えば、抄紙機の脱水メカニズムのセッションではカナダのプリティッシュコロンビア大学Sheldon教授がコンピューターシミュレーションの結果を発表した後、スウェーデンのSTFI

のNorman博士が質問に立った。Norman博士が、“次のスライドを御願います”と言うと、Sheldon教授のスライドの後にNorman博士のスライドがセットしてあった。スライドを使いながらNorman博士が自分の研究を説明し、自分の実験データとSheldon教授の計算結果が合わないと言い出した。議論の結果、X軸のディメンジョンと範囲設定が2人の間で異なっていたようで、換算するとほぼ両者の結果は一致するという事で決着がついたが、発表者のスライドの後に質問者のスライドが入れてあるのには驚いた。

日本製紙は当研究室から2報を発表し、多くの質問が寄せられ何れも好評であった。会議の期間中、事務局から与えられたSpeakerと書いたりポンを胸に付けていると、他のセッションの休み時間でも質問を受け、丁寧に回答してあげると相手からも思わぬ貴重な情報を得ることがある。

今回の会議では48のセッションに別れて、数多くの研究発表とラウンドテーブルディスカッションが行われた。それらの全てを紹介することは筆者の任に余り、紙面も限られているので、①新規歩留剤、②ウエットエンド工程解析、③コンピューターシミュレーション、④抄紙機械、⑤ゼロデスチャージなどの筆者が興味を持った分野から、幾つかの講演を紹介させて戴きたい。

2. 技術、研究発表の概要紹介

2.1 新規歩留剤に関する研究

2.1.1 Flocculation for Precipitated Calcium Carbonate in Newsprint Pulps

Andrea Gibbs, McMaster University, Canada
Huining Xiao, UMIST, UK

Yulin Deng, IPST, USA

Robert Pelton, McMaster University, Canada

Book 1 : p 275-281

カチオン性歩留剤は上質紙には有効であるが、新聞紙には経済的ではない。新聞紙の歩留剤としては、1980年代に PEO が有望であることが発見された。当時、新聞抄造に歩留剤は添加されていなかったが現代は使用されるようになってきている。新聞原料は当時は GP と KP だけであったが、現在は TMP, CTMP, DIP の使用が増えてきている。新聞品質を向上させるために、クレー、重質炭酸カルシウム、沈降性軽質炭酸カルシウム (PCC) などの配合も増えてきており、薬品会社も過去 15 年の間に内添薬品の新製品を市場に投入してきた。新聞抄造の歩留剤としてはポリアクリルアミド+ベントナイト、PEO+フェノール樹脂、PEI などがあり、高分子歩留剤を新聞抄造に応用するのは特に挑戦的である。何故なら新聞抄紙機は強い乱流と急速脱水によりポリマーのフロックが破壊されるからである。木材と漂白工程から発生する炭水化物、リグニン残さ、樹脂、脂肪酸などの溶存コロイド成分 (Dissolved Colloidal Substance: DCS 又はアニオントラッシュ) はカチオン薬品の効果を阻害する。カチオン電荷を持たない PEO、ベントナイト、フェノール樹脂などの歩留剤は DCS によっても効果を失わない。

新しい共重合ポリマーを実験室で合成した。分子量が 100 万以上のポリアクリルアミドの主鎖に 9 個から 23 個のエーテル結合の酸素を持つ PEO が約 1 モル% 側鎖として付いている。このコポリマーは新聞紙の歩留剤として有効で、PEO よりも機械的なシェアに強い利点がある。

市販の代表的な歩留剤と合成したコポリマーの歩留まりを比較した。トラブルの原因となる DCS を含む過酸化水素漂白した機械パルプを選択し、PCC リテンションに焦点を合わせた実験を行った。クレー、ラテックス、二酸化チタンなどと比較して、炭酸カルシウムは異なったコロイドの性質を有している。炭酸カルシウム表面のゼータ電位はカルシウムイオンと炭酸イオンの濃度比に依存する。例えば PCC を蒸留水に添加して空気と平衡状態におくと、pH は 8.6 となりコロイド状の PCC はカチオン性を示す。炭酸ナトリウムを添加すると PCC 粒子の表面電荷はマイナスになる。カルボン酸の平衡により pH 6 以下では PCC は完全に解離する。

非常にきれいなパルプは負に帯電し、PCC は正に帯電しているの、PCC の歩留まりは高く、瞬時に定着する筈である。一方、新聞抄紙機では機械パルプに含まれている大量の溶存コロイド物質が PCC 粒子表面に吸着して PCC 表面を負に帯電させている。従

って DCS によって中和されることのない歩留まりシステムが必要である。市販のカチオン PAM+ベントナイトと合成した PFR/poly (AM/MPEGMA) (図 1) システムがこの目的に合うように思われる。これらの 2 つのシステムは構造が異なっているが、両者とも架橋機構で PCC を歩留まらせる。木材より生成した溶存コロイド物質は、カチオンポリマーを定着させ不活性にさせる。ノニオンポリマーが良好な歩留まりを示すのは、ポリマーと DCS とが反応しないからであろう (図 2)。

炭酸ナトリウムか耐酸性 PCC を添加してカルシウムイオン濃度を減少させると、PFR/poly (AM/MPEGMA) システムの歩留まりは向上することから、高濃度のカルシウムイオンは PFR のコファクターとしての機能を阻害すると推定される。

実験の信頼性であるが、DDJ テスターの回転数は

Fig.1 Chemical structure of poly (AM/MPEGMA).

Polymers : ◆PFR/PEO* (2:1);
▲PFR/PEO* (2:1) in 0.01 M Na₂CO₃;
■PFR/poly (AM/MPEGMA)* (2:1);
●PFR/poly (AM/MPEGMA)* (2:1) in 0.01 M Na₂CO₃.

Fig.2 Comparison of PEO with experimental nonionic copolymer based on acrylamide and PEG macromonomer.

1,000 RPM で最新の抄紙機と同程度の流体力学的剪断力を加えている。通常の歩留剤では高いリテンションを得るのが困難な過酸化水素漂白した CTMP に炭酸カルシウムを 20% 配合しているので歩留まり向上剤は大量に必要である。このような厳しい条件で実験を行っているので、実験と同じ結果が工場の抄紙機でも得られるであろう。

2.2 ウェットエンド工程解析に関する研究

2.2.1 The Importance of Paper Machine Process Control and Wet End Stability

Martin W. Beck

Beloit Corporation, USA

Book 2 : p 593-604

製紙工場の技術部門のダウンサイジングにより、工場独自では抄紙機の操業条件の診断とコントロールを行うことができなくなっている。しばしば見過ごされているのは、原料の pH、濃度、温度、表面電荷、添加物の添加率、種流量、原料のフリーネスなどの変動である。

表 1 は抄紙機の変調を引き起こす項目である。大部分はウェットエンドと調成に関するものである。

本報告で論ずるシステム変動要因を幾つかの領域に分類して表 2 に示した。

統計的プロセスコントロール、実験計画法などが抄紙工程解析に使われる(表 3)。データが入手できたら、鉛筆でチャートにプロットしていくのが最も簡単であり、抄紙機のオペレーターも統計的プロセスコントロールに参加することができるが、作業は退屈であり上司が厳しく要求しない限り中止してしまう事がある。

最新鋭の DCS (ウェットエンド化学では溶存コロイド成分も DCS と略するので、以後分散コントロールシステムと記す) は、オペレーターが選択したパラメータのトレンドを描くことができる。これは大変便利なツールであるが、これだけでは分散コントロールシステムの能力を充分使いこなしているとはいえない。工程解析にデータを活用する場合、一般的に用いられている方法はマネージメント情報システム (MIS) のコンピュータからデータをダウンロードすることである。簡単なスプレッドシートのプログラムを使ってデータを整理したり、統計プログラムにデータを引き渡すことができる。解析の用途に応じてデータのサンプリング周期を決定する。1 回/1 秒のサンプリング周期の場合は 2 時間から 4 時間サンプリングし、5 秒から 15 秒のサンプリング周期の場合は 12 時間サンプリングすることをお勧めする。

坪量コントロールをしている場合は定点測定が有効

表 1 抄紙機の変動の例

溶存ガス
MD 坪量変動
断紙
リテンション/濾水度の変動
地合の変動
ヘッドボックスや循環白水系統のスケール
紙品質問題

表 2 本報告で論ずる操業変動の原因

機械 (設備)	原料
工程に関するもの	自動制御
化学	

表 3 抄紙工程解析に役立つツール

実験計画法と変動解析
プロセスシミュレーションとモデリング
統計的プロセスコントロール
コントロールチャート
ヒストグラム

で、特定周波数を抽出するために収集したデータのフーリエ変換を行う。通常、坪量、水分、紙厚、紙面温度などのデータを収集するが、種箱濃度、種流量のデータも有用である。

ある工場では抄紙機のプレスで断紙が多発した。紙匹がグラナイトロールに粘着して断紙を引き起こしていると推定された。種箱 pH のトレンドから、18 時間の pH の平均値は 6.4 であり、周期的に 6.0~6.8 の間を変化していたことがわかった。白水 pH の平均値は 3.74、最大値は 5.1、最小値は 2.4 であった。種箱 pH と白水 pH の差は一次循環白水系統に pH ショックがあることを示唆していた。因みにバージンパルプの pH は酸性であった。ブロークはミキシングチェストに添加されていたが、pH はコントロールされていなかった。ブロークに含まれる炭酸カルシウムが白水の酸と反応して二酸化炭素ガスを発生し、二酸化炭素ガスは白水の様々なコロイド物質と反応して発泡の原因となっていた。そこで工場は、白水サイロとブロークに pH コントロールシステムを設置したところ、生産効率と生産高が向上して新記録を達成することができた。白水 pH は以前は強酸性だったので pH コントロールによって設備腐食も防止できた。

表 4 に示すように、パルプ濃度のコントロールが充

分でない抄紙機の走行性に重大な影響を及ぼす。ある抄紙機では種箱濃度が8時間に渡って徐々に低下し、断紙が頻発し紙のチリが増加していた。上流で稀釈水を添加していたことに気が付かず、種濃度の変動に伴って、坪量、ドロー、スクリーンとクリーナーの効率、薬品添加率などが変動し、抄紙機のヘッドボックス濃度の変動も引き起こしていた。種濃度の変動していたのでパルプ配合率も設定配合と異なっていた。

ある工場では、消費電力が一定になるようにレファイナーをコントロールしていたが、パルプ濃度の変動してパルプ処理量が変化していたので、見掛けの消費電力は一定でもパルプt当たりの電力原単位は33%も変動していたことが判明した。

ある抄紙機では断紙、地合などの問題があった。調成と抄紙機の工程調査を行った結果、pHショックがあり、それはDIPからのキャリーオーバーによって悪化していると推定された(表5)。プレス排水のカチオン要求量と濁度をプロットしてみると正の相関があった。プレス排水濁度とプレス排水pH、プレス排水pHとサイロ白水pH、サイロ白水pHとファーストパスリテンションとも相関があった。この調査結果に基づき、pHコントロールを設置し、脱墨化学を見直し、定期試験回数を増やして問題を解決した。

叩解エネルギーが変動するとフリーネスが変動する。

表4 不適切な濃度コントロールに影響を受けるプロセスの例

・叩解	・リテンション
・薬品添加率	・白水回収設備
・クリーナー	・パルプ配合
・スクリーン	・J/W比
・MD坪量変動	

表5 紙化学の変動要因

- ・不適切は薬品の選択
- ・化学ショック
 - アニオンとカチオンの反応
 - 前段からのキャリーオーバー
 - 不適切な薬品添加順序
- ・不適切な稀釈
- ・不適切な薬品添加場所
 - 剪断力の影響
 - ミキシングの影響
 - 滞留時間

表6 原料の変動要因

- ・パルプフリーネス
- ・パルプ品質変動
 - 粘 度
 - 白 色 度
 - カップー価
- ・ブロック変動
 - 流 量
 - 濃 度
 - 未離解物
- ・パルプ配合率

繊維の形態が変化すると抄紙機のドローが変動し、必要な薬品量も変化して地合問題も発生する(表6、図3)。

2.2.2 Increasing Papermaking Efficiency : Four Steps to Process Chemistry Optimization

John G. Penniman and Anatomy G. Makhonin
Paper Chemistry Laboratory, Inc., USA
Book 2 : p 613-616

現代の抄紙技術者は、抄紙機の物理学に重点をおいた教育とトレーニングを受けているが化学の知識は十分とは言えない。紙、板紙業界では、ウェットエンド化学を向上させて潜在的なメリットが得られる可能性がある。ウェットエンド化学の効率を高めるステップは4段階である。①パルプ原料と薬品とを完全に混合すること、②カチオン性スカベンジャーを添加して溶存コロイド成分(DCS)を繊維に定着させること、③抄紙機のヘッドボックスのウェットエンド化学を最適化すること、④リテンション、濾水度、地合を独立にコントロールすることである。

オンラインウェットエンドセンサーと分散コントロールシステムを用いて、ヘッドボックスのゼータ電位が一定になるように薬品添加量を自動制御して、ウェットエンド化学の効率を最大にすることができる。抄紙機の効率を1%増加させることによる経済的效果は莫大である。伝統的に、主観的な認識に基づいてウェットエンド化学の効率を判断してきたが、21世紀を迎えてもはやこのようなことは許されない。品質と生産性の問題を看過し、走行性が最低になっている抄紙機が多いが、ウェットエンド化学の効率が低いままで運転することは許容できない。

鍵となるセンサーは流動電位法に基づくもので、原料のゼータ電位、濾水度、電気伝導度、温度を同時に

85957-07

Fig. 3 Twenty four hour data sampling of tray water pH. pH shock will result from the difference between the stock pH at the headbox and the white water as determined in this figure.

測定することができる。北米とヨーロッパではカチオン要求量を測定してウェットエンド化学をモニタリングしている。カチオン要求量は原料がカチオン性になることによって引き起こされる問題を確認できるというメリットがあるが完全ではない。ウェットエンド化学の最適化は、原料のゼータ電位或いはモービリティで表される電荷をコントロールすることによって遂行される。ゼータ電位とカチオン要求量に相関関係はない。ゼータ電位とカチオン要求量の関係は、pHとアルカリ度又はpHと酸性度との関係に似ている。化学プロセスがpHに影響を受けやすいのと同様に、抄紙機のウェットエンド化学はゼータ電位に敏感に反応し、ゼータ電位はカチオン要求量よりも重要である。ゼータ電位が検出できる次の4つの重要な事象をカチオン要求量では検出できない。

- (1) ヘッドボックスのゼータ電位の標準偏差からわかるように、薬品と原料は十分に効率よく混合されていないことがある。1989年から多くの抄紙機の原料をモニタリングしてきた経験から、ゼータ電位の標準偏差は、その測定点における原料の均一性を示していることがわかった。例えば、実験室ではゼータ電位の標準偏差は1 mV以下である。工場の古い低速長網抄紙機の例であるが、洗浄された購入パルプをビーターで叩解し、完全に

混合してから簡単な薬品システムを用いて抄造していた。その場合、抄紙機のヘッドボックスのゼータ電位の標準偏差は1 mV以下であった。ティシュー、タオル、上質紙の最新高速抄紙機のヘッドボックスのゼータ電位変動は1~2 mVである。標準偏差が3 mVを超えると走行性が悪化し、ウェットエンドで6~10回/日断紙する。

- (2) 高濃度のパルプ原料（ここでは3%濃度のチェスト原料）のゼータ電位を測定しながら、適切なカチオン性スカベンジャーを添加し、溶存コロイド物質（DCS）をパルプ原料に定着させることによって、溶存コロイド物質を不活性化させることができる。DCSを定着させることができなければ、DCSが蓄積して様々な問題を引き起こす。例えばコートブロックの場合はホワイトピッチ、中質紙の場合は黒ピッチ、或いはデボジット、紙面穴などが発生する。染料が凝集したものは、赤斑点、青斑点などと呼ばれる。上流に適切なカチオン性スカベンジャーを添加してブレンドチェストのゼータ電位を-10 mVから-11 mVの範囲に保持すると良い結果が得られる。供給原料の変動があるので連続的に薬品流量をコントロールすることが重要である。DCSをパルプ原料に定着させることによって、DCSは添加薬品を妨害し

なくなり、プロセスは安定する。DCSの発生原因は様々であり、パルプから抄紙までの一貫工場では、DCSは変動している。コートブロークは、塗料のアニオン性が強く、コートブロークの流量も変動する。表面サイジングを施したブロークもアニオン性が高い。ブローク循環が抄紙機のゼータ電位変動の主要因である。DCS濃度が高いシステムでは、自動オンライン薬品注入法を確立して、パルプ原料のゼータ電位を適切な範囲に保持することが重要である。一方、コートブロークや損紙が殆どリサイクルされず、比較的きれいなシステムでは、オンラインゼータ電位計を1台抄紙機のヘッドボックスに設置するだけで、効率的に抄紙機を運転できる。

- (3) 我々はマイクロパーティクル歩留まりシステムと通常の歩留まりシステムを最大効率で使用していない。ヘッドボックスのゼータ電位を最適値から上下5~6 mV 外れた範囲で運転すると、内添薬品の効率は20~30%ロスすることがわかっている。適切な電荷中和用のカチオン性薬品を添加して、ゼータ電位をコントロールしながら、マイクロパーティクル歩留まりシステムを添加すると、最適な地合いとリテンションが得られる。しかし工場ではリテンションを上げる場合、低分子量高電荷の高分子よりも、高分子量低電荷の高分子凝集剤を添加する傾向があり、地合いが悪化することがある。そこで、PCC, AKD, スカベンジャー、カチオン澱粉、コロイダルシリカを添加するシステムにおいて、カチオン性スカベンジャーの添加量を段階的に増やしてゼータ電位を上げる実験を行った。リテンション、濾水度、サイズ、内部強度は、ゼータ電位が+2~+6 mV の範囲で最大

になった。マイクロパーティクルはアニオン性でカチオン性原料と最も効率よく反応し、通常は最後に少量0.15~0.3%添加されるが、電荷は反転させない。ゼータ電位が+2 mV~+6 mV と正の範囲でマイクロパーティクル歩留まりシステムは最適化され、リテンション、濾水度、紙の物理的強度も最適になった。ゼータ電位が適切な範囲にないと、紙穴、ピッチ、デポジット、プレスのピックアップ、断紙など、好ましくない現象が発生する。

- (4) 我々はリテンションの為に地合を犠牲にするという古典的なパラダイムを続けてきたが、今やリテンション、地合、濾水度を選択して独立にコントロールすることができるようになった(表7)。

通常の歩留まりシステムではリテンションを上げると濾水度と地合が悪化する。マイクロパーティクル歩留まりシステムは例外で、高いリテンション、地合、濾水度を同時に達成できる。ポーラスな紙層を形成するので濾水度が向上しプレスでの脱水が良くなる。白水濃度と白水のフロクキュレーションを連続的に測定することによってファーストパスリテンションをモニタリングでき、フォイルの寸法、形状、位置、ワイヤーテンションなどの効率を示す指標となる(図4)。

2.3 コンピューターシミュレーションに関する研究

2.3.1 Simulation Modeling of Dewatering in Press Nips

Gary Jones, Ph. D., PE

Simons Technologies Inc., USA

Book 1 : p 331-345

ウェットプレスの実験結果からプレスニップをモデル化するために、圧縮性でポーラスな物質内の流れのモデル開発が30年以上も行われてきた。実験結果が

表7 プロセス化学

プロセスのステップ	ブレンドチェストの安定化	ヘッドボックスの最適化
薬品処理	カチオン性スカベンジャー	機能：紙の物理的性質を向上させる。 プロセス：リテンション、濾水度、地合を向上させる。
反応するもの	アニオン性溶存物 アニオン性コロイド	填料、ファイン、繊維
目標ゼータ電位	-10 mV ~ -11 mV	マイクロパーティクル歩留まりシステム：+2 mV ~ +6 mV 通常の歩留まりシステム：-8 mV ~ -2 mV
結 果	アニオントラッシュを原料に沈殿させる	最少薬品コストで品質と生産を最大にする。

ラメーターを使ってモデルの開発が可能になり、様々なフェルトの種類、プレスの配置、抄紙条件で運転した場合の脱水を予測することができるようになった。

2.4 抄紙機械に関する研究

2.4.1 Conventional and Stratified Forming of Office Paper Grades

Ulla Haggblom Ahnger, Tampere Polytechnic

Pekka Pakarinen, Valmet Corporation

Michael Odell, Valmet Corporation

Dan Eklund, Abo Akademi, Finland

Book 1 : p 121-130

上質紙の紙層構造と表面性の要求は紙の銘柄によって異なる。例えば枚葉オフセット印刷機では、剛度、表面強度、不透明度、白色度、白色度の保存性、寸法安定性などが必要である。標準的なオフィス洋紙は、コピー用紙、レーザープリンター用紙、インクジェット用紙、筆記用紙として使用されるので、紙層構造と機能に於いて妥協が必要である。板紙とティシューの生産には、伝統的に多層抄紙が使用されてきたが、洋紙にはまだ受け入れられていない。経済と品質の理由から多層抄紙への興味が沸き上がってきた。オフィス用紙を多層化すれば、未印刷オフィス故紙、脱墨パルプ、ケミメカニカルパルプ、機械パルプ、非木材パルプなど様々なパルプを使用できる可能性があり、原料コストを削減できる。印刷用紙の多層化は、3層構造が目標である。経済的或いは環境的に興味のあるパルプは通常中層に用いられ、表層を高品質の原料で覆うことによって、リンティングの少ない平滑な表面を形成する。嵩高な原料を中層に配合することによって剛度を向上させ、オフィス用紙でも坪量を下げることができる。多層抄紙に関心が高まっているもう一つの理由は、ヘッドボックスとフォーマーの技術的進歩により、以前に多層技術の使用を妨げていた問題が解決されたことである。技術的進歩とは、原料濃度調整機能ヘッドボックスとロールブレードギャップフォーマーである。これらの技術とウェットエンドの自動制御の成果が一緒になり、多層抄紙技術の基礎が得られた。

多層抄紙は主として部分多層抄紙と完全多層抄紙の2種類に分類される。部分多層抄紙とは、填料、歩留剤、澱粉、サイズ剤、漂白染料などの添加物の多層抄紙の技術である。部分多層抄紙では、各層の純度はそれ程重要ではなく、ファインと填料の目標分布が得られれば充分である。この技術では、2系統の独立な原料システムは不要なので、ウェットエンド工程への投資金額は少なく済む。部分多層抄紙は、坪量の制限を受けないので軽量印刷用紙にも適用できる。

完全多層抄紙は、各層毎にパルプ、パルプフラクション、濃度、添加物などの種類を変えて別々に紙層を形成する。完全多層抄紙は、坪量 70 g/m^2 以上の高坪量の印刷用紙で経済的メリットが出てくる。その理由は、中層を完全に被覆するには 20 g/m^2 の表層が必要だからである。坪量 40 g/m^2 の薄い印刷用紙の場合は中層の余地がなくなる。 $70 \text{ g/m}^2 \sim 80 \text{ g/m}^2$ の標準オフィス用紙では、 $30 \text{ g/m}^2 \sim 40 \text{ g/m}^2$ の中層を配置することができ、多層抄紙の十分なメリットが得られる。

多層オフィス用紙の品質上の利点を調べるために、STFIのパイロット抄紙機を使ってトライアルを実施した。テストの目的は、2つの重要な品質項目である地合とCD曲げ剛度を改善する方策を見出すことである。FEXマシンのヘッドボックスは3層のハイドロリックで分離板が付いている。基本構造はバーチカルロールブレードフォーマーであるが、層分離の純度を上げるためロールフォーマーモードで運転した。脱水中に過度のせん断力が加わらない様に、J/W比は若干押しに設定し、各層の混合を防ぎ、引っ張り強度の縦横比の小さい紙を製造した。比較サンプルとして、針葉樹化学パルプ(松)30%と広葉樹化学パルプ(バーチ)70%を混合して均一な原料とし、PCCを20%配合して歩留剤、中性サイズ剤を全部の層に均一に添加した。

最初のトライアルでは、各層の紙料濃度だけを変えて抄紙した。ギャップフォーマーは中層の地合が悪いので、中層の地合を向上させることによって紙全体の地合の改善を試みた。中層のパルプ濃度を15%低く、表層のパルプ濃度を15%高くしてスライスリッパ開度は一定にした。別のトライアルではアスペンCTMP(350 ml/CSF)を中層に配した。表層は比較サンプルの原料と同じである。広葉樹CTMPはクラウディングナンバーが小さく、地合が良くなる可能性がある所以この処方を選択した。

最初のトライアルで各層の濃度を変えて多層抄紙した紙は著しく地合が向上した。しかしCD曲げ剛度は低下した。地合は良くなったが紙厚が低下したのが原因である。このことから、ギャップフォーマーでは中層のフロックが嵩と曲げ強さを与えていることが判明した。次のアスペンCTMPを中層に配するトライアルでは、地合とCD曲げ剛度は著しく向上した。中層の地合はやや向上し表層も良くなった。それは層分離が不十分で表層にファインが集中したためである。各層の異方性はコンベンショナルギャップフォーマーと同様であった。CTMPは化学パルプに比べて多くのフ

Fig. 6 β -formation and stiffness- of three ply samples.

ファインを含んでいるが、機械パルプのファインは化学パルプのファインよりも結合力が小さいので強度の著しい増加はない。しかし機械パルプのファインは嵩を増加させ、紙の剛度も増加させる。CTMP パルプを中層に配することによって、オフィス用紙の曲げ剛度や不透明度などの重要な品質を悪化させることなく、坪量を下げることがある。地合が良くなるのでインレット濃度を高くでき用水節減にもなる (図 6)。

2.4.2 A Pilot Paper Machine Evaluation of the Effects of Pressing on Newsprint Quality

J. D. McDonald and I. I. Pikulik, PPRIC, Canada

C. J. Mentele and D. V. Lange, Beloit Corporation, USA

Book 3 : p 1285-1292

印刷用紙のプレス強化する目的は、ドライヤーセクション入り口の紙匹の固形分濃度を上げることである。紙匹強度は上昇し、ドライヤー蒸発水分量が減少するので抄速が増加する。更にプレス圧を上げると紙品質への影響が懸念される。PAPRICAN ではパイロットマシンでプレスの研究を行ってきたが、それらは下記のように要約される。プレスの配置は紙の表面粗さと印刷品質の表裏差に影響を与える。最終段プレスのフェルトサイドに接した紙面は粗くなる。印刷濃度指数で表した印刷品質は、主としてフォーミングセクションで決定される紙層構造とカレンダー処理によって決定される。しかし、最初のプレスも印刷品質の表裏差に影響を与える。シングルフェルトニップの最初のプレスに於いては、印刷品質の向上はフェルトサイドで見られる。多段ロールプレスは、高速新聞抄紙機で固形分濃度 40% まで脱水することが可能である。

抄速が 1500 m/分 で紙匹を損傷せずに脱水するためにはプレスは 4 段必要である。抄速が上れば更に多くのプレスニップ数が必要となるが、このような多段ニップの設備費と運転費は高価である。それに代わる方法はニップ幅の広いシュープレスである。ラボテストで、Tri-nip と同じ Parker Print Surf 表面粗さで比較すると、シュープレスで 50% まで脱水できた。

今回の実験は、Rockton のペロイト研究開発センターのパイロット抄紙機で行った (図 7)。コンセプト III ヘッドボックス、長網抄紙機又はベルフォームオントップ抄紙機 (一晩で変更可能)、Tri-nip+4 番プレスが付いている。1 番プレスはダブルプレス、2 番と 3 番プレスはトップサイドがフェルト、4 番プレスはボトムがフェルトである。1 番と 4 番プレスの線圧は独立に変変なのでプレス条件が脱水、紙強度、印刷品質に及ぼす影響を評価できる。ボトムフェルトにロープをかけて紙に接触しないようにすると 1 番プレス線圧がゼロの条件になり、Twinver+3 番プレスの配置になる。抄紙機は 100% TMP 配合で 700 m/分 で運転した。紙はペロイトシートスプリッターで 4 分割し、ブリットジャーで 200 メッシュパス分を秤量してファインの分布を測定した。プレス後、紙はロールとして巻き取り、続いて 14 缶のスチームドライヤーで乾燥した。そして PAPRICAN のラボカレンダーで 50 m/分、50°C の条件で処理した。

長網抄紙機はボトムサイドにファインが少なかった。トップフォーマーに変更するとファインは中央部からボトムに分布が変り、より均一なプロファイルになった。1 番プレスを通さなくてもファインの分布は長網抄紙機でもトップフォーマーでも変わらなかった。この事は、プレスによってファインの分布は変わらない、或いは紙層を 4 分割する分析法では検出できないほどの小さな変化しかなかったことを意味している。

4 番プレス後の紙匹の固形分濃度は、トップフォーマーの方が長網抄紙機よりも高かった。トップフォー

Fig. 7 Distorted view of the former and presses to illustrate the surfaces that contacted the paper.

Fig.8 Print density index decreased linearly with bulk. At the same bulk, the print density index of the top former sheet was greater than that of the fourdrinier.

マーは両面脱水なのでクーチでの固形分濃度は長網抄紙機よりも高いが、それだけがプレス水分の差ではない。プレス固形分の差は地合と紙層構造の違いによると思われる。

カレンダー未処理の紙の嵩は、トップフォーマーが長網抄紙機よりも低かったが、長網抄紙機の紙はカレンダー効果が大きかった。トップフォーマーでは2枚のワイヤー間の圧力により地合は良くなり、高密度の紙ができた。繊維配向性は紙層構造に影響を及ぼし、引っ張り強度の縦横比はトップフォーマーが1.8で長網抄紙機が2.2であった。カレンダー処理すると嵩の差は減少した。嵩が増すと印刷濃度は直線的に減少した。同一の嵩で比較すると、トップフォーマーの印刷濃度は長網抄紙機よりも高かった(図8)。

2.5 ゼロディスチャージに関する研究

2.5.1 New Clathrate Hydrates for Second Generation Freeze Concentration Application in Paper Industry.

Peter X. Long and Jeffery S. Hsieh
Georgia Institute of Technology, USA
Book 1: p 75-82

BCTMPはパルプ歩留まりが高く排水汚濁も小さいことからますます重要になってきている。無排水工場では新水使用量を減らして循環水量を減らすことが重要であるが、通常それは排水の蒸発によって達成される。蒸発は、エネルギー多消費、スケール、設備の保守、揮発性有機物、複雑な操業などの問題がある。工場のクローズド化が進むに従ってエバポレーターの負荷が大きくなる。したがって新しい方法の探索が必要である。

凍結結晶化の理論は簡単で、溶媒或いは溶質の固体

結晶が生成するまで排水を冷却し、純粋な化合物としてこれらの結晶を排水から分離する。凍結結晶化は、水が蒸気になるまで加熱沸騰させるエバポレーションと全く反対の操作である。

凍結濃縮の歴史は1950年代初頭から始まった。冷却溶媒が溶液と接触する直接冷却法と接触しない間接冷却法の2つの方法があるが、本報告は間接冷却法である。冷却濃縮法の原理は、平衡状態にある固相と液相の組成の違いに基づいている。溶媒が水の場合は簡単で、溶液の温度を下げるか圧力を上げて熱力学的平衡線よりも上に溶液を保つと氷が生成する。従って相分離は簡単である。装置は結晶ユニット、ヒートポンプ、冷却ユニット、分離ユニット、洗浄ユニット、母液貯蔵タンクなどから形成されている(図9)。

ルイジアナバシフィック社Chetwynd工場のBCTMPは凍結濃縮の考えを最初に導入した工場である。このプロセスは氷の生成と分離が理想的な条件で行える。実験室ではとてもうまくいったが、実際の工場の操業ではそうはならなかった。結晶化装置のチューブが氷の結晶で詰まり、スケールが頻繁に発生しシステムは停止しなければならなかった。結晶を生成段階に留め、それ以上結晶が成長しない様に結晶化工程をコントロールするのは極めて困難であった。工程水には鉱物、有機溶媒、木材繊維、その他の粒子などの大量の不純物が含まれていて、氷生成の熱力学が変化した。従って相分離に必要な融点の差は得られなかった。結晶の大きさのコントロールは困難であった。パイプのアンクル、縮小、拡大、不規則な形状の部分など、パイプ内のあらゆる箇所では結晶は生成し、詰まりが頻繁に発生した。水を0°Cの水のスラリーにかけると、氷と接したシャワー水は凍結し効果的な洗浄は困難になった。

そこで、氷のかわりにガス水和物の熱力学的性質を

Fig.9 Typical flow chart of freeze concentration.

利用してパルプ工場排水の処理を行うことを検討した。融点以上の温度でガス水和物を生成させ、それに洗浄水をかける。ガス水和物は水よりも軽いので、密度の差を利用して簡単に母液から分離できる。異なる圧力と温度条件で、様々なガスが水と反応して水和物を生成する。二酸化炭素、硫化水素、酸素などのガスは紙パルプ工場で使用されている。圧力 300 psi での二酸化炭素の生成温度は、二酸化炭素の熱力学プロファイルより 40 F であることがわかる。この圧力は運転圧力よりも若干高めである。従って生成圧力を低下させるため 2 番目のガス水和物をシステムに添加する。この場合、イソブテンを添加する。イソブテンを二酸化炭素に 15% 添加すると、平衡圧力は 87 psi、運転温度は 32 F 以上になるので洗浄水は生成した水和物と接触しても凍結しない。

排水中の大量の懸濁物、無機溶解物、有機溶解物は熱力学平衡を変化させる。二酸化炭素は純水にも塩水にも溶ける。二酸化炭素の溶解度は温度が上昇すると減少し、圧力が上昇すると増加する。塩化ナトリウム溶液の塩濃度が上昇すると二酸化炭素の溶解度は減少する。イソブテンの水への溶解度は僅かで大部分を回収できる。二酸化炭素の溶解度は無視できない。文献によると BCTMP 排水のガス水和物の熱力学平衡は純水と殆ど変わらない。

ガス水和物の生成ではガスを同時に注入することが必要なので効果的なミキシングが必要である。特に物質移動を加速するためにガスと液体のミキシングが重要である。水和物生成反応は発熱反応である。冷却装置を使って効率的に熱を除去することにより多くの水和物を生成できる。しかし、反応力学的な点から言うと、温度を下げると反応速度が減少する。従って実操業の運転圧力と温度の設定はこれらの 2 つの反応のバランスを考慮する。効率的な熱除去は、安定な結晶の生成と成長にとって重要である。

ガス水和物を用いた凍結濃縮プロセスの効率は、結晶分離と洗浄の効率に依存する。水和物は水や母液よりも軽いので、水和物の結晶を重力によって分離することが可能である。効果的な洗浄は純粋な水を得るのに必要である。有利な点は洗浄温度は零度よりも高いことである。全体のシステムが加圧状態なので洗浄も圧力が必要である。

代表的な BCTMP/TMP 排水の濃度は 3% から 4% である。排水濃度を 3% から 15% に増加させると、

80% の水が回収除去でき、エバポレーター負荷を大幅に軽減できる。凍結濃縮はエバポレーターや膜分離装置など他の装置に比べて安くはないが、運転コストが安いことが有利である。

代表的な多重効用缶だけのシステムと、凍結濃縮と多重効用缶とを組み合わせたシステムとを比較する。凍結濃縮の利点は相変化エネルギーの差である。1 ポンドの水を蒸発させるのに必要なエネルギーは 1,000 BTU なのに対し、1 ポンドの水を凍結させるのに必要なエネルギーは 144 BTU である。この大きなエネルギーの差は多重効用缶を使用することによって減少し、水和物を分離溶解することによっても少なくなる。多重効用缶単独システム（入り口濃度 3%）と、凍結濃縮と多重効用缶との複合システム（入り口濃度 13%）の熱収支を計算すると、仕上がり濃度が 50% の場合、後者のエネルギー節減は理論的に 35% になる。コンデンセートを処理する場合、シングルステージの凍結濃縮は、エバポレーションとスラッジ二次処理との組み合わせよりも安価になる。

異なる種類の排水を研究するために小規模の排水分析装置を製作した。

二酸化炭素が工場で容易に得られることとイソブテンが完全に回収できることから、二酸化炭素とイソブテンの混合液を凍結濃縮に使用した。二酸化炭素/イソブテンの水和物生成反応は低圧の加圧装置で十分なので有利である。

3. おわりに

オープニングセッションでは、筆者が以前留学したカナダ、ブリティッシュコロンビア大学の Kerekes 教授が長年の抄紙技術の研究により表彰され、筆者も喜びを共有することができた。講演会では当研究室から留学生を派遣した米国 IPST とカナダのマクマスター大学の研究室の方々にも御会いた。ウェットエンド化学の教科書を執筆されているマイアミ大学の Scott 教授とは朝食会で話しすることができた。長年 TAPPI Papermakers Conference の座長とセミナーの講師を勤めてきたウエアーハウザー社の Gess 博士は同社を昨年定年退職され、現在はコンサルタントとして世界を飛び回っている。

今回は Coating Conference との共催で 5 月に米国ニューオーリンズ市で開催される予定である。