システムクローズ化への前進：カナダにおける展望*

カナダ紙パルプ研究所 マイケル パレオログ
(訳) 泥谷直大

Progressive System Closure : A Canadian Perspective

Michael Paleologou, Talat Mahmood, Ronald Voss and Richard Berry
Paprican

Paper buying standards, environmental regulations, and economic factors are continuing the interest in progressing toward low effluent, closed-cycle pulp and paper mills. Customer satisfaction, reduced resource utilization, freedom to site mills in areas without a ready source of water and protection from future costs to meet tightening effluent regulations are some of the specific advantages associated with closed-cycle operation. Progressive system closure is gaining support in Canada as a way to achieve further effluent reduction, and to minimize the costs of environmental protection.

This paper will provide a brief review of past and present mill efforts to apply system closure in Canadian pulp and paper mills. It will then describe some highlights from Paprican's program in progressive system closure which incorporates research and development activities in the areas of : water use reduction, improved prediction and design tools, dynamics and control, corrosion control, chemical separation and regeneration, removal and/or control of wood extractives, chemical additives, energy cost reduction and control of solid and gaseous emissions.

分類：Z₄工場設計・工場管理（防災・安全含む）、X₄排水、X₃大気

1. 緒言

我々がシステムクローズ化と呼ぶ、排水量を低減し排水を循環利用する紙パルプ工場の操業¹⁾を進めることは、環境対策の中の一つの重要な課題として継続して関心が持たれている。「システムクローズ化」はここでは、水、及び排水中に含まれる貴重な繊維、化学薬品、エネルギーをより多く回収し再利用するための、

効率的で且つ経済的な方法を開発導入することによって、汚染物質をその発生源において減少させるコンセプト（考え方²⁾として、定義されている。システムクローズ化は、資源消費量の低減、不適切な水源の土地にも工場を建てられること、今後の排水規制強化によるコストアップを回避できるなどの、多くの利点を生むことが期待される³⁾。このようにシステムクローズ化された情況においては、製造工程は外部環境への液体、固体、気体状の排出物並びにエネルギーのロスを最小にするような形で操業される。その目的が環境に及ぼす全影響を最小にすることであるなら、エネルギー消費及びその他の3つの形態の排出量は統合的に注

*本報文は平成12年度年次大会に併設した Pan Pacific Conference で発表された講演内容を翻訳したものである。

意深く考慮されねばならない。理想的には、そうした目的に選択される、工場に応じて異なる技術は、全ライフサイクルにわたる評価（LCA）を用いて評価及び最適化がなされるべきである²⁴。また LCA を行う前に物量とエネルギーの完全な収支が把握されねばならない。この統合的な取組を通じて例えば、排水を完全に無くすことは、必ずしもすべての場合について最善な方策では無いことが明らかにされるのである。カナダにおいては予見し得る将来において更地への紙パルプ工場の新設は考えられないことから、既設の工場に適用できるようなシステムクローズ化のための戦略と技術の開発が強調されて来た。既存の工場で実現されるシステムクローズ化は、システムをクローズ化された新設工場を設計する場合と比べて、その挑戦課題は全く異なるのである。Paprican における我々の考え方は、現在のシステムに比べて低いコストで、且つ生産効率と製品品質とを維持または向上できるような、システムクローズ化を開発することである²⁵。

本稿の目的は、a) カナダにおけるシステムクローズ化取組の歴史的概観の要約、b) クラフトパルプと抄紙の工場に関する Paprican のシステムクローズ化法開発計画からの若干のハイライト、を提供することである。

2. カナダにおけるシステムクローズ化への 進歩の段階

2.1 Tomlinson 回収ボイラーの発明

カナダ紙パルプ産業におけるシステムクローズ化思想の芽生えは、ケベック州 Windsor の工場に Tomlinson 型回収ボイラーが初めて設置された 1934 年に遡る。これは主要な廃液の流れ（蒸解後薬液）の 85% 以上を無くし、同時に貴重な薬品（ナトリウムと硫黄）と熱を回収する廃液クローズ化技術で、この工程はそれ以来世界中のクラフトパルプ工場に設置されるようになった。

2.2 Rapson-Reeve の KP 工場クローズ化実験

システムクローズ化の次のステップは、1970 年代末にオンタリオ州 Thunder Bay にある Great Lakes Forest Products 社工場（現在は Bowater 社工場）においてなされた。この工場は、システムクローズ化を進めるために、次のような幾つもの技術や対策を行った。即ち、①漂白工程における洗浄水の向流循環、②漂白濾液中の塩化物量を減少させるため塩素の 70% までを二酸化塩素で置換、③未晒パルプ及び石灰泥洗浄のために用いられていた清水をこれらの漂白濾液で置換、④塩化ナトリウムを晶出させる目的、濃縮蒸

発後の白液の稀釈にもこの漂白濾液を利用、である。この考案者の名前を取って名付けられた Rapson-Reeve 方式の従来の分離排水処理方式に比べての重要な利点は、エネルギーの自給にある。この工場は操業時間の約 50% について漂白濾液の 50-70% を回収することができた。しかし不幸なことに多くの問題点のために、この工場は 1985 年にクローズサイクル操業を放棄せざるを得なくなった。それらの問題点とは、詰まり、腐食、ピッチ付着、石灰泥の沈澱不良、漂白薬品消費量の増大と工程の不安定、等である。これらの問題のためにこの取組は放棄せざるを得なかったけれども、その経験から得られた教訓は、その後の研究の基礎として役立っている。

2.3 その後の進歩：工程改善と二次排水処理 システム導入による排水水質の改善

カナダ紙パルプ産業は過去 10 年間に、二次排水処理システムを含む環境関連改善投資に 50 億カナダドル以上を投じており、これらの改善投資のあるものは、システムクローズ化の進歩をもたらしている。改善された蒸解方式、酸素脱リグニン及び新しい洗浄システムは、多くのクラフトパルプ工場で漂白工程に持ち込まれるリグニンの量を減少させるために導入され、その結果排水中に溶解している有機物質の量は減少した。多くの工場の漂白工程では、ダイオキシンの発生を防ぎ排水中の AOX を大幅に減少させる目的で、塩素を二酸化塩素に置き換えている。この ECF 漂白への転換によって、長期に持続し生物蓄積性のある化合物の発生源である、残留塩素を含む有機物質の大部分は排除されたが、これらの有機物質は化学的には、自然界に見られる塩素を含む物質と同じものである²⁷。排水二次処理設備は設置され、或いは更に性能向上が図られている。現在カナダの紙パルプ工場からの排水は、どの点から見ても安全であり、稀釈前の排水について行った実験室生物試験を元に、魚や水棲生物の生命を脅かすものではないと、自信を持って述べることができる。Paprican が最近 75 工場について行った調査によれば、ニジマスと *Daphnia magna*（ミジンコの一種）のそれぞれについて、88% 及び 76% の工場が毒性症状を発現していないこと、即ち 96-hLC₅₀ ≥ 100% 及び 48-hLC₅₀ ≥ 100% であることを報告している²⁸。毒性基準をクリアしているこの水準を過去のそれと比べると、工場における何年もの二次排水処理システムの操業経験によって、改善が継続的に行われていることが分かる。更に最近 Paprican がカナダケベック州の St. Francois River で行った調査によれば、3 つのパルプ工場の下流における魚の棲息群の状態は改善され

ており、BOD、SS（浮遊固形分）、及び毒性に関する排水水質の改善と一致している⁹⁾。

2.4 エバポレータードレンの逆浸透膜処理

1998年には、二次排水処理システムを持たないBKP工場であるニューブルンスウィック州 St. John の Irving Pulp & Paper 社工場が、多重効用エバポレーター系列の5号缶からのクリーン凝縮ドレン約 3,600 L (950 ガロン) /分を処理する目的で、逆浸透膜 (RO) システムを稼働させた¹⁰⁾。このプロセスでは、クリーン凝縮ドレンは加圧下で RO システムに送られ、浄化したドレン（全流量の 99%）は酸素脱リグニン後の2段目の洗浄機の洗浄水として用いられる。この水は原料に浸透して漂白プラントにキャリオオーバーされ、最終的に化学物質を含んだメイン排水溝に排出される。他方濃縮液（全流量の 1%）はパークボイラーで燃やされるか、高濃度固形分析出装置にかけた後回収ボイラーで焼却される。BOD、COD、及び Microtox™ 毒性で測定した RO システムの性能を図1に示す。図から、クリーン凝縮ドレンの RO 処理による BOD と COD の除去率は対給液量でそれぞれ 88% と 89% であった。これから、最終排水中の BOD と COD の減少量はそれぞれ 2,000 kg/日及び 4,000 kg/日ということになる。ニジマスと Daphnia magna に対する排水の急性毒性は、RO 処理によってそれぞれ 60% 及び 30% 減少している。更に RO システムの設置後、Saint John 川で見出される魚種に対するプラズマホルモン低下による準致死的影响も、減少している。

2.5 晒 CTMP 工場の完全クローズ化例

カナダには現在、排水を完全にクローズ化した晒 CTMP 工場が2つある。一つは Millar Western 社のサスカチュワン州 Meadow Lake 工場¹¹⁻¹³⁾、もう一つは Louisiana Pacific 社の BC 州 Chetwynd 工場¹⁴⁾で

図1 カナダニューブルンスウィック州 Saint John の Irving Pulp and Paper 社における逆浸透膜システム¹⁰⁾

ある。いずれもエバポレーション技術を用いて排水ゼロ操業を行っている。

Meadow Lake 工場のプロセスでは、まずフローテーション装置、沈降ポンド、及び繊維スクリーンを用いて工場排水 (10 m³/パルプ t) から SS (浮遊固形分) を除去する。この処理を終った排水は次いで蒸気を機械的に再圧縮するエバポレーター (MVR) に導き、固形分濃度を 2% から 35% に高める。蒸留水は蒸気ストリップングに掛けて後、安定化と貯蔵を目的とするポンド (容量 185,000 m³) に送る。他方 MVR 装置で濃縮された液は、2つの濃縮装置で固形分濃度を 70% まで高め、回収ボイラーで燃焼させる。工場のパルプ化工程歩留は約 85% なので、燃やすものはあり、回収ボイラーの操業は成り立つのである。回収ボイラーからのスメルトは固化して埋め立てる。この除去によって、微量の汚染物質が形成される可能性が減少するのである。

二番目の工場である BC 州 Chetwynd 工場では、最初主な排水処理技術として冷却晶出法を導入した。しかしこの技術はスケールアップが難しいことから、同工場もその後前述の Meadow Lake 工場と同様のエバポレーションをベースとする技術に転換している。

2.6 板紙工場の完全クローズ化例

カナダでの製紙経験によれば、製紙工場でシステムクローズ化を進められる難易度は製品の性状によるところが大きい。板紙や中芯原紙のような厚紙は丈夫で、それに要求される物理的、光学的特性は、紙の工場に比べてより容易にシステムクローズ化ができる性質のものである。それ故、板紙及び中芯原紙の工場は、カナダにおいて排水ゼロプロセス実現の面で優位に立っている。最近、オンタリオ州 Trenton にある 450 t/日の中芯原紙工場が、先の Meadow Lake 工場や Chetwynd 工場と同様のエバポレーション技術を用いて、工程用水サイクルの完全クローズ化を達成した¹⁵⁻¹⁷⁾。しかし Trenton 工場のシステムクローズ化のシナリオ (計画の大筋) は北米で初めてのタイプのものではあった。またこの工場のシステムクローズ化導入の動機は、生態系保護に関する環境規制の強化と、Trent 川のレクリエーション価値であった。

ケベック州 Matane にあるもう一つの 400 t/日の古紙を原料とする段ボール原紙工場は、系内用水の再利用徹底及びウエットエンド化学の改変によって、排水ゼロ化を達成している¹⁸⁾。この Matane 工場の排水ゼロ化目標は3段階をかけて達成された。最初のステップは、処理を必要としない工程排水のリサイクルに集中している。第二のステップは、抄紙機の過剰白水を

補給清水とともに真空ポンプに用いた。そして最後のステップでは、抄紙機効率に影響を及ぼさずに全工程排水を再循環させる大きな設備投資を行っている¹⁹⁾。Trenton 工場でも Matane 工場でも、工場の完全クローズ化は製品品質に影響を及ぼしていない。

3. Paprican のシステムクローズ化研究その 1： KP 工場のシステムクローズ化

3.1 はじめに

カナダの紙パルプ産業のこれまでの多くの成功にかかわらず、紙パルプシステムの広汎なニーズに応えられるような方策や選択される技術を開発するためには、更に大きな研究開発努力が必要である。カナダ紙パルプ研究所 (Paprican) はそのメンバー並びに加盟企業、更にカナダ政府とケベック州政府の支持を得て、現在システムクローズ化に関するカナダの研究活動をリードしている。1996 年末に、システムクローズ化技術開発のためのパイロットプラント設備の拡張を含む野心的な計画が、Paprican によって発表された。この最近建設されたパイロットプラント設備には、次の諸設備が含まれている。即ち、漂白パイロットプラントの拡張、パイロット抄紙機の新設、機械パルプパイロットプラントの新設、システムクローズ化案評価のための幾つもの分離選別用パイロット設備の新設、である。また Paprican のシステムクローズ化前進計画は、次の諸分野において研究、開発、及び工場への導入の各活動を統合するものである。即ち、用水量減少、予測と設計のためのツールの改善、動力学と制御、腐食の抑制、化学薬品の分離と再生、木材抽出成分の除去または抑制、添加剤、エネルギーコスト低減、固形廃棄物及びガスの排出の管理、である。以下には KP 及び紙の工場のシステムクローズ化に関する Paprican の研究計画の中から、若干の研究ハイライトを紹介する。

3.2 KP 工場のシステムクローズ化総括

用水量の節減面ではカナダの KP 工場は過去 40 年にわたって絶えず進歩してきた。Paprican は最近、カナダの紙パルプ工場からの排水量及び、生物処理した排水の工場取水との水質比較を明らかにする調査を行った¹⁹⁾。各工場からの回答によれば、市販 KP 工場の 1997 年の用水消費量は 49~150 m³/adt (風乾パルプ t) の範囲にあって平均値は 100 m³/adt であり、他方 KP から紙までの一貫生産工場では 82~198 m³/adt の範囲にあって平均値は 120 m³/adt であった。本調査からまた、KP 工場は他の生産品種の工場 (例えば新聞用紙工場) と比べると、工場取水と生物処理した

排水との間の水質の差異がより大きく変動していることが認められた。認識して置かねばならない重要な点として、先ず用水消費量を相当大きく減らしてからでなければ、現在利用できる進んだ技術を用いた多くのクローズ化対策は、経済的に引き合わない。例えば蒸発濃縮 (エバポレーション) のような技術は、用水消費量を 5 m³/adt 近くまで減らさねば (蒸発に要するエネルギーが大きくなり過ぎるため) 経済的に成り立たない。そこで既存の工場の節水を助ける目的で、Paprican と幾つかのカナダのコンサルタント企業とが共同で 1994 年に、用水量節減に関する最新の実施例や対策設計などの情報を集めて出版している²⁰⁾。

従来の KP 工場では黒液の大部分は薬品回収サイクルを通じて回収されているけれども、或いはスクリーン室で、あるいは液のこぼれと不十分な洗浄などのために、なお若干のロスを生じている。その上、使用済み漂白薬品はすべて、二酸化塩素発生装置からの残渣薬品の大きな部分と共に、排水二次処理システムに排出されている。非常に厳しい黒液回収サイクル及び酸素脱リグニン (漂白送りカップー価=14) を行っている針葉樹 ECF 漂白 KP 工場の場合で、我々の最近の研究によればこれらの損失は：Na 31 kg/adt (主として漂白プラント及び二酸化塩素発生装置から)、S 14 kg/adt (主として二酸化塩素発生装置から)、Cl 17 kg/adt (主として漂白プラントから) である。もしこれらの価値のある化学物質を回収して有用な薬品に転換すれば、1,000 t/日の KP 工場で 500~1,000 万カナダドル/年を節減することができる。それ故、漂白及びその他の工程からの排水中に含まれるこれらの物質の一部を回収するために、既存の薬品回収設備を利用することには、大きな経済的動機が存在するのである。しかしこのような場合、蒸発濃縮コストを減少し多重効用エバポレーターの最大能力をうまく利用するために、排水量を先ずもっと減らしておかねばならない。

H.A. Simons 社と Paprican の技術者によって最近出された論文は、BKP 工場を高い漂白プラント濾液リサイクル水準に設計し操業するための、技術的経済的に実現可能な方策について評価している²¹⁾。この評価は始めて開発されつつある CADSIM™ MASS-BAL™ という、3つのカナダの工場のモデルを用いて行われており、モデルは、全物質収支、パルプ製造ラインの熱と物質の収支、及び薬品回収サイクルの収支を含んでいる。このモデルは、3工場における広範囲なサンプリングと化学分析を通じて、有効であることが確かめられた²²⁾。この3つのケーススタディから、クローズサイクル操業への改変には、1993 年時点のク

ローズ化技術をベースにすると、工場の生産工程や設備の建設年代によって程度は異なるが、かなり大きな設備投資を要する（1工場当たり7,500-9,000万カナダドルまたはバルブ風乾t当たり216-415カナダドル）ことが示された。資本コスト以外の操業コストは従来と変わらないので、工場の全操業コストは概ねこの設備投資を賄うコスト分だけ増加する。クローズサイクル操業に必要な設備と工程は、工場の建設年代や設計によって異なるが次のようなものである。即ち高品質チップ供給設備、蒸解方式の改善と酸素脱リグニン設備、白液酸化システム、スクリーン室クローズ化、高効率洗浄機、黒液漏れ防止、凝縮ドレンの分離処理、冷却水分離、シールタンクの大型化、フェルト洗浄シャワー再利用のためのファイバーフィルター、塩素除去システム、金属除去システム、排水用エバポレーター、E₀排液貯蔵タンク、冷却塔新設、緑液用加圧フィルター、凝縮ドレンストリップシステム、白液リサイクルのための配管追加、こぼれた排液やシール水処理用の溝や排水溜め、である。これらの設備の多くは高コストにつく傾向があるので、システムクローズ化を経済的に達成するためには、コスト効率の優れた技術の選択が必要である。

既に述べたように、KP工場のシステムクローズ化の多くの面について、過去数年の間にPapricanの幾つもの異なったグループによる調査研究がなされ、その重要な成果が選ばれて他のところで発表されている²⁾。以下には、主として漂白濾液の未晒バルブ工程への利用及び回収サイクルに関する、最近のPapricanの若干の研究について報告する。

3.3 アルカリ性漂白濾液のリサイクルによる

用水消費量の節減

近年、北米の幾つものKP工場において、システムクローズ化への大きな一ステップとして、アルカリ性漂白濾液の未晒バルブ工程へのリサイクルが行われている²³⁻²⁵⁾。これらの工場はこれを行うことによって、その排水中の問題のある溶解有機成分（例えば AOX、

BOD、COD、着色成分）及びその他のアルカリ性溶解有機物質を、回収ボイラーで処理することを可能にしている。アルカリ性濾液リサイクルはまた、そうでなければ工場排水とともに廃棄されてしまう、例えばナトリウムのような貴重な無機化学物質の回収を可能にしている。更にこのリサイクルの実施は、工場排水処理システムの有機負荷及び水量負荷の軽減をもたらしている。しかしKP工場はアルカリ性濾液リサイクルの導入に先立って、漂白プラントへの有機物質キャリアオーバー増大の影響、黒液エバポレーターにおける負荷増大の影響、薬品回収サイクルにおけるナトリウム/硫黄バランス、液の循環における塩素の抑制、置換されたエバポレーター凝縮ドレンの利用先などの、幾つもの技術的課題を検討しておく必要がある。

3.4 漂白プラントへの溶解有機物質

キャリアオーバーの影響

これは前節末尾で述べた最初の課題で、Papricanの研究者達はこの目的で最近、BC州内陸部にある標準的なNBKP工場について、E₀濾液リサイクルが漂白剤消費量に及ぼす影響を調査した²⁶⁾。この研究は、D₀漂白段へのキャリアオーバーとしての、異なった工場濾液とプロセス流（O₂、D₀、E_{0p}、エバポレーター凝縮ドレン）の影響とそれらの間の差異を調査し、キャリアオーバーに起因する二酸化塩素消費増大量を見積もっている。表1²⁶⁾は各プロセス流のキャリアオーバーCOD 10 kg/t当たりのClO₂消費量の増大見積量を比較したものである。例えばD₀Eカップー価を算定基準として用いた場合、O₂濾液はキャリアオーバーCOD 10 kg/t当たりでClO₂消費量をバルブt当たりで2.3 kg、または基準ベースと比較して15%増大させる。他方同じキャリアオーバーCOD 10 kg/t当たりで、E_{0p}濾液とエバポレーター凝縮ドレン有機成分とは、D₀段でのClO₂消費量を約9%増大させる。三者とも、D₀E白色度を基準に取った場合のClO₂消費増大量は、D₀Eカップー価基準の場合のそれに比べて僅かだが大きくなる。しかし特にD₀濾液の場合には、ClO₂消費

表 1 D₀段へのキャリアオーバー COD 10 kg/t 当たりの ClO₂ 要求量増大見積り
単位: kgClO₂/バルブ adt, () 内は増加率%

キャリアオーバー源	ClO ₂ 要求増大見積値	
	D ₀ E カップー価基準	D ₀ E 白色度基準
O ₂ 濾液	2.3 (15%)	2.7(19%)
D ₀ 濾液	0.37(2.4%)	1.6(11%)
E _{0p} 濾液	1.4 (9.0%)	1.5(10%)
エバポレーター凝縮ドレン	1.4 (9.0%)	1.6(11%)

量増加率は、D₀E 白色度基準の場合の 11% に比べて、D₀E カッパー価基準では 2.4% とずっと低くなる。ここで注意しておかねばならない点として、最近の Paprican の研究によって、D₀ 段に多量の溶解有機物質が存在する場合、最終パルプ品質の指標として D₀E カッパー価を制御する方が優れていることが実証されている²⁷⁾。実際に幾つもの BKP 工場が D₀ 濾液の一部を D₀ 漂白段の稀釈水として用いているので、そのことが COD キャリオーバーの増加及び他の濾液 (E₀ 濾液とエバポレーター凝縮ドレン) のキャリオーバー量への影響を通じて、D₀ 漂白効率に及ぼす影響を調査することが重要と考えられた。高い D₀ 濾液含有率 (COD 32 kg/パルプ t) では E₀ 濾液キャリオーバーの影響は消失したが、O₂ 濾液キャリオーバーは D₀ 漂白に対して依然として強い負の影響を保持していた。しかしすべての場合について、O₂、D₀、E₀ の各濾液及びエバポレーター凝縮ドレンのキャリオーバーが、D₀E 漂白パルプの粘度に有意な影響を及ぼすことはなかった。

3.5 予測と設計のためのツール

アルカリ性濾液のリサイクル、またはその他のシステムクローズ化のためのプロセス改造を企図している工場にとっては、化学パルプ工場製造工程のコンピューターシミュレーションが重要なツールとなる。Paprican の研究者達は加盟企業の CADSIM Plus パルプ工程コンピューターシミュレーションを用いて二酸化塩素消費量を推定し、その結果を E₀ 濾液リサイクル工場実験中に得られたデータと比較した²⁸⁾。シミュレーションでモデル化された要素は、水、繊維、溶解している無機と有機の固形分、及び温度であった。本研究においては工場実験中の D₀E カッパー価の情報が得られなかったため、D₀E 白色度を基準とするモデルを用いた。このリサイクル実験中、洗浄水として酸素段後の 2 段目の洗浄機に用いられていた汚れた温水の全量を E₀ 濾液に置き換えたが、その量は E₀ 濾液全流量の約 47% であった。COD と有機固形分のシミュレーション結果は、アルカリ濾液リサイクル工場実験の終り頃に採取したサンプルのそれと比較的よく一致していた。しかしながら、E₀ 濾液サンプルには大きな違いがあった。図 2 は工場実験の前及び実験中における D₀ 塔で処理したパルプの二酸化塩素消費量を示し、且つそれをコンピューターシミュレーション予測結果と比較したものである。シミュレーションは実際に観察された二酸化塩素消費量の増大を正確に予測している。漂白プラントで処理されたパルプの二酸化塩素消費量の増大は、高いパルプカッパー価及び、濾液

図 2 E₀ 濾液リサイクルの前及びリサイクル中の二酸化塩素消費量の、実績とコンピューターシミュレーション結果の比較。リサイクル前の実績消費量を 100% として表示²⁶⁾。

略号は、CHW：汚れた温水中の有機固形分、Ak：アルカリ性漂白処理に起因する有機固形分、Ac：酸性漂白処理に起因する有機固形分、O₂：酸素段に起因する有機固形分

リサイクルの結果生じた D₀ 段へのアルカリ性有機固形分のキャリオーバー増加の、2 つの要因によってもたらされたものである。基準ケースでは、有機固形分は添加した二酸化塩素の 23.7% を消費したが、E₀ 濾液リサイクル中にその値は 27.5% に上昇した。

3.6 腐食の防止

アルカリ洗浄抽出段の濾液は、酸素や過酸化水素、塩化物のような残留酸化剤を含むため、設備の腐食の危険に配慮することが大事である。Paprican の研究者達はこの問題への取組みとして、ある加盟企業の工場に E₀ 濾液リサイクルの限界到達を示す腐食監視プログラムを導入した²⁹⁾。この工場は E₀ 濾液の 10% を、直接未晒パルプ洗浄工程の濾液タンクに導いてリサイクルしている。E₀ シールタンク、大気圧デフューザーの初段濾液タンク、及び残留黒液タンクに、E₀ 濾液リサイクルテスト前後の 2 回の曝露期間 (空にした期間であろう：訳者) に、クーポン (腐食量を測る炭素鋼試験片であろう：訳者) ラックを取り付けた。その結果、E₀ 濾液は残留黒液タンク中または大気圧デフューザー濾液タンク中にある未晒原料濾液のいずれと比べても、炭素鋼に対する腐食性が相当に大きかった。しかし E₀ 段濾液の 10% を未晒原料洗浄機濾液に戻しリサイクルしても、腐食量の有意な増大は認められなかった。炭素鋼はリサイクル開始後、大気圧デフューザータンクで、測定可能ではあるが非常に微量の腐食率を示した。本研究で試験されたステンレス鋼では、腐食は認められなかった。

3.7 化学物質の分離：塩素の除去

前記の腐食試験を行った工場では、白液中の塩化物濃度は、 E_{op} 濾液 10% リサイクル実施前の 1.62 g/L から、リサイクル完全実施後には 6.74 g/L に上昇したことを、ここで述べておくべきであろう²⁹⁾。よく知られていることだが、システムクローズ化の度合いを進めるほど、薬品回収系統内及び、とりわけ回収ボイラーの電気集塵機 (ESP) 内に、塩化ナトリウムと塩化カリウムが蓄積される²⁹⁾。これらの塩化物は回収ボイラーの過熱管及び蒸発パンクチューブに付着沈積物が形成される温度の範囲を低下させる。そしてこの付着沈積物は成長して燃焼ガスの通路を閉塞するに至る。ボイラーが詰まると工場ではそれを除去し、またこの望ましからざる沈積物の形成を抑えるために、幾つもの厳しい手段を取らねばならぬ羽目に陥る。それらの手段とは、スートブロー頻度の増大、熱的及び機械的衝撃の利用 (冷却とブロー)、回収ボイラー負荷 (黒液燃焼量) の低減、などである。そして最後には、回収ボイラーを停止して、温水洗浄をせねばならなくなる。これらの結果 KP 工場はパルプ生産や蒸気と電力の生産の損失として何百万ドルもの費用を失うことになる。更に過去の経験が示すこととして、炭素鋼やクローム/モリブデン合金などの伝統的素材から、塩化物に富む環境下で 900° F (約 480°C) 以上の蒸気を発生して満足できる寿命を保てる過熱管素材を得ることは不可能である³⁰⁾ (我が国では素材を工夫開発して 515°C までの蒸気を発生できる回収ボイラーを実用化している。但し過熱管はこのような高温環境下ではやはり腐食が進むので、ある程度の期間で高温部取替えなどの補修を必要としている。我が国は電気料金が高いので、少々手を掛けても発電量が増すことでペイするのである。他方、都市ゴミ焼却ボイラーでは塩化水素腐食を避けるため、我が国自治体は発生蒸気温度を 300°C 以下に抑えているが、欧米等諸外国ではそれ以上、450°C 位までの蒸気を発生させ、腐食する過熱管は定期的に取替えている。これは高温蒸気発生による経済的メリットを重視する欧米都市と、ゴミの焼却減容を専ら重視する我が国自治体との差であろう：記者)

ESP (電気集塵機) ダストから塩化物を除去するために、Paprican は Eco-Tec 社と提携して、集塵機ダスト浄化 (PDP) システムを開発した^{31, 32)}。PDP システムの主要素は、NaCl を吸着し Na_2SO_3/Na_2CO_3 は通過するように特別に設計された、イオン交換樹脂を充填した RecofloTM 固定樹脂床である。この RecofloTM 技術は最初トロント大学で開発され、Eco-Tec 社 (オ

ンタリオ州 Pickering) によって 1970 年代初頭に商業化されたもので、次のような構造になっている。即ち 7.5~60 cm 高さの短いカラムの中に微細粒子のイオン交換樹脂が充填され、大きな流量と向流による樹脂能力再生、及び短時間サイクル (従来イオン交換樹脂に一般的な時間オーダーでなく、分オーダーでの塩化物除去と樹脂能力再生のサイクル) を可能にしている。RecofloTM 技術はこのような構造のお蔭で、従来のイオン交換樹脂技術と異なり、最小限に稀釈された高い濃度の溶液を処理できる独特の能力を持っている。スケールアップは固定床の径を大きくすることによって可能である。その実用システムは主要素として固定樹脂床を持ち、スキッド上に取り付けられている (図 3 参照)。

PDP システムは 2 つの主要ステップで操作される (図 4 参照)。吸収ステップでは、濾過された ESP ダスト溶液が樹脂床に送入され、NaCl が樹脂に吸着される。また脱着ステップでは NaCl は水で洗い流されて、樹脂床が再生される。この結果 ESP ダスト溶液は、NaCl に富む第一の流れと Na_2SO_3/Na_2CO_3 に富む第二の流れに分離される。NaCl の除去率は 99% で、

図 3 RecofloTM 工業規模固定床イオン交換樹脂システム

図 4 集塵機ダスト浄化 (PDP) システムの操作³²⁾

$\text{Na}_2\text{SO}_3/\text{Na}_2\text{CO}_3$ の回収率は 98% である。浄化された $\text{Na}_2\text{SO}_3/\text{Na}_2\text{CO}_3$ 溶液 (250–350 g/L) は薬品回収系の多重効用エバポレーターまたは濃縮器に戻される (図 5 参照)。投資コストはこれと競合する蒸発析出システムに比べて遥かに安く済む。PDP システムはまた KP 工場におけるその他の塩化物で汚染された工程の流れにも適用できる³⁴⁾。ここで指摘しておきたいこととして、塩化物の水準が低い場合、カリウム水準が付着温度に及ぼす影響は大きく低下するので、カリウム除去の必要は無くなるということである。

3.8 薬品の再生：回収サイクルからの過剰なアルカリと酸の除去

Paprican と Eco-Tec 社は Recoflo™ 樹脂床技術を用いて、工場がシステムクローズ化に向けて更に前進するのを助けることのできる、他の幾つものコスト効率の優れたシステムを開発している。アルカリ抽出段濾液リサイクルを行っている工場を助けるシステムとしては、薬液スプリッターシステム³⁵⁾がある。このような工場は緑液中の炭酸ナトリウム (または白液中の苛性ソーダ) を過剰にして、ナトリウム/硫黄バランスを逆転させようとしている。この問題への対応策として幾つもの工場が、硫化物またはチオ硫酸ナトリウムが過酸化水素補強抽出段中の過酸化物と反応しないように、白液中の硫化物を完全に酸化させることを検討している³⁶⁾。しかしながら、白液の完全な酸化には部分酸化に比べてずっと高い温度を必要とし、それは構造材が応力腐食割れを起こす危険を増大させる³⁷⁾。

更に、過酸化水素補強漂白段中で完全酸化白液を用いることは、鉄とマンガンの含有量が障害になるので、常に可能というわけではない。また、その抽出段濾液が未晒バルブ工程にリサイクル (例えば酸素処理後の 2 段目洗浄機洗浄水として) されると、完全酸化白液中の硫酸ナトリウムのデッドロードが漂白初段にキャリアオーバーされ、最終的に排水となって失われてしまうことが懸念されている。漂白処理中の高い硫酸ナトリウム水準はまた、硫酸バリウム沈殿物生成の危険をもたらす。

そこでこの問題の一つの解決策として、白液からナトリウムハイドロサルファイド (NaHS) を除去するように特別に設計された樹脂を充填した、Recoflo™ 樹脂床を用いる方法がある (図 6 参照)。またその代替策として、樹脂の寿命を延ばすために先ず緑液から NaHS を除去し、次いで炭酸ナトリウムに富む製品を小さな苛性化装置を用いて苛性ソーダに変換する方法もある。いずれの方法においてもその副生 NaHS は、木材チップの蒸解に先立つ前処理に用いると、バルブの粘度と収率を高める効果が期待される³⁸⁾。

Recoflo™ 樹脂床技術を利用するもう一つのシステムとして、GAP システムと呼ばれるものがある³⁹⁾。これは大気圧二酸化塩素発生装置での副生物である硫酸ナトリウムと硫酸の混合物から硫酸を除去し、ナトリウムと硫黄の補給用として回収サイクルに戻してやれるような、脱酸された硫酸ナトリウムに再生するシステムである (図 7 参照)。GAP システムはこの硫酸

図 5 KP 工場に PDP システムを組み込んだ統合図

図 6 KP 工場に白液スプリッター (WLS) システムを組み込んだ統合図

図 7 KP 工場に二酸化塩素発生装置副生硫酸除去 (GAP) システムを組み込んだ統合図

除去によってパルプ工場白液中のアルカリの消費を防ぎ、補給苛性ソーダの量を節減することができる。更にまた、除去された硫酸は純度が高くなり、他への再利用の機会が増す。大気圧二酸化塩素発生装置 (Mathieson 法, 修正 Mathieson 法, Solvay 法, 及び HP-A 法) を用いている工場では、これによって 5-15 t/日の苛性ソーダ (50-150 万 \$/年) を節約することができる。現在のところ、大気圧二酸化塩素発生装置からの過剰の酸を経済的に除去できる技術は、本法の他には存在しない。現在幾つもの Paprican 加盟企業が、2 年以下で投資を回収できる工場規模の設置を検討中である。GAP システムはまた、Eka Chemicals 社の SVP-Lite™ 法と Sterling Pulp Chemicals 社の R-8™ 法の

ような準大気圧二酸化塩素発生装置にも用いることができる。このシステムはその場合 GAP-S と呼ばれ、特に改造の場合、Saltcake Washer または R-10 法の代替法として魅力的なものである。

3.9 酸性漂白濾液のリサイクルによる用水節減

酸性漂白濾液をパルプ工程や回収サイクル工程にリサイクルしようと企図する工場は、その流れの中で、或いはクラフト回収系列のどこかで、多価の金属を除去することを含む、幾つもの課題と取り組まねばならない。製造工程に不要なアルカリ希土類金属 (Ca, Mg など) や遷移金属 (Mn, Fe, Cu など) は、木材チップ、石灰、用水、製造用化学薬品などから系内に入ってくる。アルカリ希土類金属の濃度が高いと、製造設備へ

のスケールの付着を通じてパルプ工場の操業に悪い影響を与えるし⁴⁰⁾、他方遷移金属は漂白薬品の分解を加速させる^{41,42)}。それ故多くの場合漂白の初段は酸性処理として、パルプと共に入ってくる金属の大部分を漂白液に可溶の状態にして、漂白濾液の中に溶かし出してしまう。そこでこの濾液を回収サイクルの中に戻すと、これらの金属イオンがその中に蓄積し、多くの操業上の問題を引き起こすことになる⁴³⁾。例えば1980年代にCPFP社 Thunderbay 工場で行われたシステムクローズ化工場実験の期間には、デッカーや最初の抽出段の洗浄機にCaベースのスケールの付着が見られた⁴⁰⁾。Recoflo™ カチオン交換樹脂固定床技術は、酸性漂白濾液をパルプ系列にリサイクルするに先立って、それから金属を除去するのに用いることができる。このシステムは1995年にChampion社 Canton 工場に設置された(図8参照)。このシステムでは、大きな繊維を除去するため酸性漂白排液の一部がストレーナーを通過し、更に浮遊固形分を除去するため3基のマルチメディア(多媒体)フィルター(2基が平行に作動し、その間1基は逆洗)に送られる。濾過した液は次いで平行な2基のカチオン交換樹脂装置に送られるが、装置の各々は直径60インチ、高さ6インチの樹脂床を用いている。その全処理能力は約800米ガロン/分である。浄化されたD₀濾液はD₀段洗浄水として用いられる。Champion社は、この金属除去システムは操業当初には若干問題もあったけれど

も、D₁₀₀濾液から硬度(即ちCa, Mn, Mgの合計イオン濃度)の85-90%を除去するという所期の目的を、長期に亘って満足していると報告している⁴⁵⁾。

3.10 木材抽出成分の除去

パルプ製造工程及び回収工程への多価金属イオン蓄積と関連する問題として、これらの系列中での同じ流れへの木材抽出成分の蓄積がある。即ち木材中に含まれる遊離の脂肪酸及び樹脂酸は、Mg, Ca, Al, Baのような多価の金属イオンと反応して不溶性の金属石鹸を形成し、それは紙パルプ製造工程中に粘性性異物を沈着させる⁴⁶⁾。これらの石鹸は通常、酸がイオン化されるpH6以上の領域で形成される⁴⁷⁾。システムクローズ化を進めると、金属石鹸の付着は、未晒洗浄からの木材樹脂のキャリーオーバーの結果、漂白プラントでとりわけ問題となる。それ故洗浄の向上が、薬品消費量増大の見地からだけでなく、漂白プラントへの沈殿物形成防止の見地からも、重要である。Papricanの研究者達は最近、各種のパルプ及び紙の製造の流れから木材抽出成分を除去する新しい方法を開発した。工業規模の、傾斜したディスクスタックを備えた連続遠心分離装置が、酸化抽出濾液や弱液のようなKP工場の液の流れから、木材抽出物の大きな部分を分離除去するために、既に用いられている⁴⁸⁾。

3.11 未晒パルプ収率と漂白収率の向上

漂白プラント排水中の有機物残渣を更に減らすための有効な方法は、漂白前のリグニン除去を最大にする

図8 Champion社 Canton 工場の金属除去プロセス (MRP) 概略図⁴⁵⁾

ことである。この方法は漂白薬品消費量を低減させ、漂白プラントのクローズ化を容易にする。しかし残念なことに、従来の化学を用いた蒸解方法ではパルプ収率が低下し、その結果薬品回収システムの有機物負荷及び漂白プラントへの有機物のキャリオーバーが増大する。この問題は白液中の硫化物の一部をポリサルファイドに選択的に酸化することによって対応できる。ポリサルファイドは多糖類の末端還元基をアルカリ剥離反応に対し安定化することによって収率を高める。Paprican の研究者達は硫化物をポリサルファイドに酸化する経済的な方法を開発した。これは工場で試験され実際に利用されたプロセスで、触媒として酸化マンガンを用い、工場の苛性化槽の一つを用いて酸素または空気存在下に反応させるものである⁴⁹⁻⁵¹⁾。最近の Paprican の研究結果によれば、アンスラキノンやポリサルファイドのような収率向上剤によって得られた収率増分は、酸素脱リグニンの有無に関係なく、在来の ECF 漂白シーケンスを通じて維持されることが示された。例えばポリサルファイド 1.5% の添加によって、未晒パルプの対木材収率は 1.8% 増大したのに対し、その D₀E₀DED 漂白後の収率増大は 2.5%、また OD₀E₀DED 漂白後の収率増大は 2.1% であった⁵²⁾。

3.12 今後の研究

システムクローズ化を更に進めるためには、これまでに論じたシステムクローズ化の多くの面で更なる進歩が必要である。それらの面とは：蒸解漂白収率の増大、水の利用とエネルギーコストの低減のための新たな方法、酸性漂白濾液の経済的なリサイクル法、凝縮ドレンの浄化と再利用、エバポレーターと回収ボイラーの能力増加及び高度なクローズサイクル操業が腐食に及ぼす影響の調査、プロセス制御の動特性とスケール付着の可能性、等である。更に、システムクローズ化を狙う工場が利用できるすべての選択技術及び戦略の詳細評価のために、より厳密なシステムエンジニアリングとライフサイクルアセスメントが必要である。

Paprican では最近、上述の領域の多くでの進歩を助ける目的で、クラフトパルプ工場のシステムクローズ化に関する幾つものプロジェクトを発足させた。システムクローズ化の若干の領域に取組むために、より広汎にシステムクローズされた最新の工業用漂白を効果的にシミュレートする目的で、Paprican の漂白パイロットプラントに最近各種の改造が施された。これはバッチ操業から連続操業への転換を意味し、これによって各種濾液のリサイクル途中段階における問題の解明が容易になった。漂白後のパルプ洗浄及び濾液の捕集のための設備も整えられた。システムクローズ化

に関する研究は漂白排水負荷を軽減し、漂白システム設計と ECF 漂白効率を継続的に改善するものである。更に我々は、非プロセス物質の除去と現在排出している薬品の再生に関する問題を研究する助けとして、我々の化学的分離用パイロットプラント設備を、電気的膜、固定樹脂床、及び各種の高度な膜濾過技術を含むように近代化し且つ拡張した。

4. 製紙工場のシステムクローズ化

4.1 総 論

Paprican は最近の研究で、カナダの新聞用紙及び機械パルプ入り紙工場の、抄紙機の水の使用と白水システムのデザインを調査した⁵³⁾。その清水消費量は 10-46 m³/風乾 t の範囲にあって、中央値は 15 m³/風乾 t であった。シャワー用清水は 4-21 m³/風乾 t の範囲にあって、中央値は 10 m³/風乾 t であった。回答した抄紙機の 43% はシャワーにある程度白水を使用しており、それらの多くは使用前に白水を濾過処理していた。真空用及び冷却用水は 27% の抄紙機で再利用されていた。上級紙は、その原料は化学パルプと填料であるが、用水の使用状況は機械パルプ入り紙のそれとほぼ同じであった (10-40 m³/風乾 t)。LWC 抄紙機は 4 台が調べられただけであったが、その原料は機械パルプ、化学パルプ、填料からなり、水の消費量は前述の 2 紙種と同じであった。既に述べたように、ライナーと中芯原紙の工場は用水低減のリーダーとなっている。それらは広汎な用水節減技術を用いて、その平均用水原単位を約 5 m³/t まで低減している⁵⁴⁾。カナダの紙・板紙工場は、オープンな (リサイクルしない) システムの場合の過剰白水消費量が 100 m³/t 以上であるのに比べると、用水消費量を大幅に減らしていることは確かである。

Paprican はこの 10 年間、抄紙のシステムクローズ化を進める上で関わりのある幾つもの事項について調査してきた。製紙工場を高度にクローズ化することに伴う諸困難が明らかにされ、それには次のものがふくまれる：即ち白水循環系中に形成される溶解固形分及びコロイド状固形分 (DCS)、歩留向上剤の効きの低下、脱水速度低下、バクテリアとスライムの成長、高い系内温度、動特性と制御問題、腐食の危険、ピッチの付着、製品品質と抄紙機走行性、である。Paprican における多くの専門領域にわたる計画は、これらの問題に取り組むことを通じて、クローズサイクル条件下での抄紙機操業への悪い影響を抑えるための戦略と技術を開発するものである。

4.2 歩留と濾水性向上剤

白水循環系中に溶解及び浮遊する物質の中のあるものは高いカチオン要求量をもたらし、それは歩留と濾水性向上剤システムの効果を損なう問題がある。Paprican ではシステムクローズ化と関係のあるウェットエンド問題を明らかにし且つこれと闘うこと^{46, 57-60)}、及び進んだクローズ化構想の下に製造されるいろいろな品種の紙のための革新的な歩留・濾水性向上剤の開発に、大きな研究努力を割いて来ている^{46, 55, 59, 61)}。工場での経験から、従来のカチオンポリマーは、クローズシステムの下では主としてその汚染物質の高いカチオン要求量の故に、効果が低減することが分かっている。Paprican では異常に高いカチオン電荷密度を持つ新しい樹枝状のカチオンポリマーを見出した⁵⁵⁾。このポリマーはその非常に高いカチオン電荷保有特性の故に、クローズサイクルシステムへの利用に対する大きな可能性を秘めている。パイロット抄紙機での試験から、この新しい添加剤は微細繊維とクレアの粒子の紙への保持能力が特に優れていることが示された⁵⁶⁾。

PEO とその助剤（コファクター）の組合せ法をベースとする歩留向上システムもまた、高度にクローズ化された環境下で有効に働く。但しその場合、コファクターの正しい選択が重要となる。Paprican の研究者達は、現在使われているコファクターの大多数より性能の優れた、且つ安価な新しいコファクターを設計開発した。新しい PEO 用コファクターは、高い水準の白水汚染物質を含む原料中で PEO の働きを強めることから、非常に丈夫にできている⁵⁷⁾。それ故、これ

図 9 新聞用紙原料における 3 種の歩留向上システムの性能比較：PEO 単独，PEO + 最も普通に用いられるコファクター，PEO + Paprican 開発のコファクター⁵⁷⁾

は、脱墨パルプ或いは過酸化水素漂白 TMP を含む、高度にクローズ化された白水システムにとりわけ適している。図 9 は新聞用紙原料用の 3 種の歩留システム、即ち PEO のみ、PEO + 最も普通に用いられるコファクター、PEO + Paprican 開発の新コファクターの 3 つについて、性能を比較したものである。白水の中の電荷強度が高い場合、新コファクターは最も普通に用いられるコファクターに比べてワイヤー歩留が約 25% も高くなる。

4.3 浮遊固形物 (SS) の除去

機械パルプを使用する工場から、木材抽出物や浮遊固形物のような特定の汚染物質を除去することは、システムクローズ化を助けるものである。Paprican は浮遊固形物と木材抽出物とを分離するプロセスを開発し、特許を取っている⁶²⁾。このプロセスには図 10 の着色したボックス部分で示される、3 つの独立したユニット操作を含んでいる。最初にスラッジマットをスクリーン上に沈着形成させ、浮遊物懸濁液は後で利用できるように濾過排出して取って置く。次の濾過操作では、スラッジマットに流入液を通すと、浮遊固形物はスラッジマットに留まり、きれいになった水が排出される。捕集したスラッジは一部を再懸濁処理段に送り、残りはバージする。最後にこのスラッジを取って置いた懸濁液中に再懸濁させ、次の浮遊固形物除去サイクルのためのスラッジマットを形成させる。工場規模のパイロットテストでは、浮遊固形物の除去率は 85% 以上で、他方木材抽出成分の除去率は広葉樹パルプで約 30%、針葉樹パルプで約 52% であった。スラッジマット濾過法を溶解空気フローテーション法と比較すると、浮遊固形物と樹脂及び脂肪酸の除去では濾過法の法が優れていることが示された⁶²⁾。この濾過

図 10 排水 SS 除去のためのスラッジマット濾過設備の操業説明図

法はまた添加剤を必要としない利点がある。

更に3次処理排水をこの濾過法を用いて浄化リサイクルする可能性についても研究がなされた。図11は新聞用紙工場の3次処理排水を工場規模でリサイクルした場合の模式図である。工場規模での実験の結果、清水の25%を濾過した3次処理水で置き換えても、新聞用紙の品質には影響がなかった⁶³⁾。

4.4 予測と設計のためのツール

既に大きな課題になっている抄紙機とその白水ネットワークの制御は、システムクローズ化が進むにつれて更にその困難度が増す。システムクローズ化に伴うDCS（溶解固形分とコロイド状固形分）の形成は、歩留と濾水性の工場システムにとって有害であるだけでなく、製品品質にも悪影響を及ぼす。DCSの蓄積増大量を精確に見積もることは、その救済対策を設計する上で極めて重要な課題である。Papricanの研究者達は、抄紙機ウエットエンドにおける微細粒子（ファイン）、繊維、及び溶解固形分の質量分布を研究した。アプローチシステム（原料、薬品等抄紙への各種近接システムを指すものであろうか：訳者）、抄紙

機、白水ネットワーク、及びブローク（ウエット損紙）システムのための、定常状態及び動的なコンピューターシミュレーションモデルが開発された。これらのコンピューターシミュレーションは白水循環系中に形成される汚染物質の性質と量を予測し、且つクローズ化のいろいろな程度に対応したシステムクローズ化構想を開発するための、優れたツールを我々に提供してくれる^{64, 65)}。

4.5 腐食と微生物活動の抑制

腐食に関しては、白水中でステンレス鋼の腐食防止のための“伝統的な諸限界変数値”が存在する。しかしながらこれは腐食を防止するには不十分である。何故ならプロセスの変化や反転に起因する腐食は抄紙機操業を悩ませ続けており、屢々予期しない場所に発生するからである。Papricanの研究は腐食防止対策への価値ある洞察をもたらしており、とりわけシステムクローズ化に向けての工程変化の場合にそうである⁶⁶⁾。ThompsonとGardner⁶⁷⁾は腐食速度を増大させることに責任のある重大な諸要素及び抄紙機システムにおいて腐食に弱い個所を明らかにした。

図11 生物処理排水の工業規模でのリサイクル概要図。

工場用水濾過装置は砂濾過装置（複数）、クラリファイヤー、清水タンクからなる。

*はサンプリング個所を示す⁶³⁾。

クローズ化の度合いを高めて行くにつれて、抄紙機白水系の栄養水準は高くなる傾向があり、これは微生物の活動に好都合である。その影響は複雑で、カナダの製紙工場はいろいろな程度にその影響を受けている。それ故、伝統的な微生物抑制対策はクローズ化されたシステムでは効果が落ちる可能性がある。Papricanの研究者達⁶⁹⁾は伝統的な及び最近開発された微生物抑制対策を評価し、これらの技術の若干についてその相対的なメリットを明らかにした。それらの適用の方法と場所についても検討がなされている。

4.6 今後の取り組み

これまで何年にもわたって、多くの研究機関によって抄紙のシステムクローズ化の影響が研究されて来た。しかしこれらの研究は、実用抄紙機の未消化なシミュレーションになることを避け難く、とりわけ各種の抄紙機へのその適用において、抄紙機の走行性や必要の水質に関する信頼できる情報を提供することができなかった。更にそれら研究機関の研究結果については、カレンダー掛けや印刷のような爾後の処理へのシステムクローズ化の影響の決定にそれらを用いることができないために、その正当性が疑われている。Papricanは循環をクローズした状況下での抄紙機走行性についての理解を得るために、最近パイロット抄紙機の建設を完了した⁷¹⁾。この最新技術によるPapricanの抄紙機は最高設計速度2,500 m/分で、現在世界に存在するいかなる実用抄紙機及びパイロット抄紙機の操業速度をも凌駕している。これによって、部分的にまたは完全にクローズされた条件下で、抄紙機の白水システムを運転することが可能になった。また抄紙機を速度1,000 m/分で6時間まで連続運転できるように、原料貯蔵能力も増大された。もし抄紙機が運転している間に新鮮な原料パルプを製造するかタンカーで持ち込むなら、抄紙機の連続運転さえ可能である。100 m³までのパルプと50 m³までの白水を、工場からタンカーを通じて受け容れることができるので、これによって加盟企業の工場の原料に極めてよく似せた原料を用いて、抄紙実験を行うことができる。システムの動特性に及ぼすクローズ化の影響をつかむために、ウェットエンドには他のいかなる抄紙機も及ばないレベルの計測装置が設置されている。即時（リアルタイム）動的（ダイナミック）シミュレーションは拡張利用が可能であり、モデルもパイロット抄紙機にも実用の抄紙機にも利用できるように作られている。

既に述べたように、白水クローズ化の一つの問題は各種の望ましからざる溶解物質及び浮遊物質が蓄積することで、それらはパルプと紙の製造で用いられる木

材、古紙、または添加剤を起源とする。これらの汚染物質の名前をもっとはっきり述べると、木材抽出物、ヘミセルロース、リグニンに類する化合物、炭水化物、イオン、抄紙機添加剤等である。工場での経験から、これらの物質は製品品質と抄紙機の走行性にとって有害であることが良く知られており、高いシステムクローズ化水準においてはスムーズな抄紙機操業を保証するためにこれらを抑制ないし除去する必要がある。これらの問題に取り組むために、各種の抄紙プロセス流からの汚染物質除去の目的で、新しいPapricanの分離用パイロットプラントが設計及び発注された。分離装置の配列は、共通の貯槽からの供給液を用いて、各種の生物学的及び物理化学的処理技術を同時に評価できるようにになっている。これによって効率の正当な評価が可能になり、またこれらのユニットの操作も容易となる。処理される液は工場から供給されるか、またはPaprican内部で自製される。

5. その他のシステムクローズ化問題

5.1 エネルギーコストの低減

エネルギー効率と清水の消費量の間には密接な関係がある。なぜなら消費した水の1 m³ 毎がある量の購入エネルギーを廃熱の形で表しているからである。それ故、清水消費量の低減は取りも直さずエネルギー節減になる⁷²⁾。“ピンチアナリシス”のようなシステムツールは、コンピューター化された熱と質量の収支と結び付けて、工場の熱交換ネットワークの最適化のために用いることができ、また工場のある領域でのコスト低減が他の領域で予期しない支出や投資コストを発生させることを明らかにするのに用いることもできる。更に、気体の排出及び繊維原料と化学薬品の効率的な使用も、エネルギー消費に結び付いている。若干の設備メーカーとの合作で最近Papricanによって出版された論文は、紙パルプ産業におけるエネルギーコスト節減のための、実際的で行動を指向する指針を提供している⁷³⁾。Papricanの技術者はこの論文で提供されたデータに基づいて、実証された在来技術によって建設された新鋭工場で、最適のエネルギー管理を行うことによって期待されるエネルギー消費量を見積もった⁷⁴⁾。この研究は、カナダの紙パルプ産業のエネルギー消費量と温室効果ガス（GHG）排出量とは、既存の工場を現在利用できる技術で近代化することによって、大幅に減少させることが可能であると結論している。

5.2 廃棄物

既に述べたように、システムクローズ化の理念によれば、製造工程は液体だけでなく固体も気体も含めて

外部環境への排出を最小にするような方法で、操業されねばならない。紙パルプ産業における固形廃棄物の生成とその有益な再利用とは、現在幾つもの工場での関心事となっている。Paprican によるカナダ紙パルプ工場の調査は、1995 年に約 710 万 t の固形廃棄物を生じていることを報じている。このうち 57% は焼却して蒸気と電力を得ており、37% は埋立処理し、7% はコンポストなどとして土壌改良に利用されている。近年紙パルプ産業は、埋立を減らしてもっと有益な最終利用に依存するよう、その廃棄物管理方策を変えつつある。Paprican によって行われた廃棄物の化学特性調査⁷⁶⁾は、カナダの紙パルプ工場で発生するバイオ固形分、灰分、苛性化残渣の大部分は、カナダでの土壌への利用が可能であることを示している。重金属の含有率に関しては、調査されたすべての有機固形分及び石灰泥のサンプルは、現在オンタリオ州とケベック州で定められているガイドラインを十分下回っている。灰のサンプルと苛性化のグリッド及びドレグは、土壌改良剤として有用であることが証明されているが、オンタリオ州とケベック州における現在のガイドラインを守るために、ある種の重金属とナトリウムの濃度は測定監視を必要とする。スラッジ処理コストは排水処理プラントの全操業コストの 60% に達し、また環境規制は益々厳しくなりつつあるので、最終処分を要する廃棄物の発生量の低減は、紙パルプ工場にとって経済的に有利なことである。とりわけ排水処理残渣の処理は、大多数の紙パルプ工場において主要な廃棄物量低減課題であり続けている。この問題の対策として、Paprican の研究者達は回収活性汚泥 (RAS) を BKP 工場の酸性漂白排水に曝すプロセス^{77,78)}を開発した。この方法はスラッジの発生量を 48% 減少させることができる。なおその代わりに、RAS を無酸素状態または紫外線照射、またはその両方にかけることによって、スラッジの発生量を低減させている工場もある⁷⁹⁾。

5.3 大気への排出

Paprican 加盟企業についての最近の調査によれば⁸⁰⁾、大多数の工場は悪臭成分の排出、粉塵、窒素酸化物、及び揮発性有機化合物に関心を示しており、より少数の工場が、炭酸ガス、ダイオキシン/フラン、多環式芳香族炭化水素のような、その他のガスの排出に関心を持っている。TRS (全還元硫黄) 及びその他の悪臭化合物の測定、発生、分散、及び制御は、Paprican における突っ込んだ研究対象となってきた^{81,82)}。その結果、KP 工場における悪臭源である各種の TRS 発生量を減らす単純で経済的な方法が明らかにされた。それは TRS ガスを漂白プラント排気中に存在する残

渣二酸化塩素と混合することを含むもので⁸³⁾、ある加盟企業の工場で、弱液タンク排出ガスの模造品 (TRS レベル 245 及び 426 容積 ppm) を漂白プラント排ガス (ClO_2 排出量 2~6 kg/時) と混合する小規模なパイロット試行を行った結果、存在していたすべての TRS 成分を効率的に除去することができた。カナダ紙パルプ工場の環境及び煙道への PM_{10} (10 μm 以下の粉塵) と $\text{PM}_{2.5}$ (2.5 μm 以下の粉塵) の調査から、それらについて極めて限られたデータベースしかないことが分かった。この調査から、各種の煙突 (即ち回収ボイラー、その他の動力用ボイラー、石灰キルン、スメルト溶解タンク) から排出される PM_{10} 部分が、平均して全浮遊粉塵の 86% を占め、他方 $\text{PM}_{2.5}$ は全体の 60% を占めていることが示された⁸⁴⁾。また紙パルプ工場周辺地域の調査では、提案されている PM_{10} と $\text{PM}_{2.5}$ の 24 時間平均目標値は、一部の工場周辺では、一年のうちのいろいろな時期に超過されてしまう可能性があることが示された。

ダイオキシン/フランの排出は、塩分を含む木屑を燃料とする西海岸の工場で特に関心が高かった。Paprican はこれらの化合物を発生源で、及び燃焼と排出の制御の向上によって、減少させることを目的とする研究を行っている^{85,86)}。この研究における重要な発見は、塩素/硫黄比の減少がダイオキシン/フランの発生の減少に良い効果があることであった。更に、黒液固形分中の塩素の含有量が重量で 0.1~2.0% の黒液を回収ボイラーで燃焼した場合のダイオキシン/フランの排出量は、都市ゴミ焼却におけるそれらの濃度基準を遥かに下回ることが見出された。即ちその排出水準は TEQ 表示で 0.0004~0.005 ng/m^3 であって、都市ゴミ焼却排ガスに対してカナダ環境閣僚評議会が定めたガイドライン 0.5 ng/m^3 を遥かに下回っているのである⁸⁷⁾。

6. 結 び

この 10 年間に、カナダの紙パルプ産業は、環境への液体、固体、気体の排出量の減少という点で大きな進歩を成し遂げた。今後の 10 年間、紙パルプ製品市場の改善と関連して、カナダ紙パルプ産業は最高水準の新しいシステムクローズ化技術の開発実用化を続けて行くものと期待される。既に述べたように、最近幾つもの新しい経済性の優れた技術と対策とが、Paprican 及びその加盟企業に利用できるようになり、その結果紙パルプ工場は、高度なシステムクローズ化への道を更に前進することが可能になったと考えられる。これらの技術の導入は、工場にとっては、単に貴重な

資源の回収が容易になるだけでなく、非プロセス物質の管理や大きな状況変化への対応に関する柔軟性を増し、これまで不慣れだったシステムやプロセスに対して自信を持てるようになるメリットがある。その結果、用水とエネルギーの使用量の低減、プロセス効率と薬品回収の各領域で大きな進歩が期待される。Papricanは技術の開発と実用化のすべての段階において、その加盟企業及び連携企業とともに、製品の品質と価値を損なうことなく環境の質を改善できるような、経済的な技術対策の選択を進めて行く考えである。

引用文献

- 1) Paris, J. and Leroy, C., Eds.: "System Closure in Pulp and Paper Mills", PAPTAC, Montreal, October 1998
- 2) Ramamurthy, P. and Wearing, J.T.: "System Closure: A Canadian Perspective", in "System Closure in Pulp and Paper Mills", Paris, J. and Leroy, C., Eds., PAPTAC, Montreal, October 1998, pp. 3-10
- 3) Towers, M.T. and Wearing, J.T.: "Closed-Cycle Design in the Pulp and Paper Industry: Current Technology and Research Needs", Paprican MR 297, November 1994
- 4) McBride, G.: "Product Life Cycle Assessment: Concept, Methods, and Applications", Paprican MR 254, May 1993
- 5) Rapson, W.H. and Reeve, D.W.: "The Effluent-Free Bleached Kraft Pulp Mill. Part III. The Present State of Development", Tappi 56 (9) 112 (1973)
- 6) Isbister, J.A., Rae, R.G., Reeve, D.W. and Pryke, D. C.: "The Closed-Cycle Concept Kraft Mill at Great Lakes: An Advanced Status Report", Pulp Pap. Can. 80 (6) 174 (1979)
- 7) Archibald, F., Roy-Arcand, L., Methot, M. and Vaeleau, L.: "Recalcitrant Organic Compounds (Chemical Oxygen Demand Sources) in Biotreated Mill Effluents: Their Fate and Environmental Impact in Receiving Waters", Water Environ. Res. 70 (7), 1314 (1998)
- 8) Naish, V., Voss, R. and Kovacs, T.: "Progress in Reducing Effluent Acute Lethal Toxicity: A 1998 Survey", Paprican MR 413, January 2000
- 9) Martel, P., Kovacs, T. and Voss, R.: "A Comparative Study of Sentinel Species and Community Based Field Methods for Assessing the Biological Status of Fish in a River Receiving Pulp and Paper Mill Effluents", Proceedings of the 4th International Conference on Environmental Impacts of the Pulp and Paper Industry, Helsinki, Finland, June 2000, pp. 196-206
- 10) Dube, M., McLean, R., MacLachy, D. and Savage, P.: "Reverse Osmosis Treatment: Effects on Effluent Quality", Pulp Pap. Can. 101 (8), 42 (2000)
- 11) Evans, T.: "Start Up of Millar Western's Zero Discharge BCTMP Mill in Meadow Lake", Tappi Pulping Conference Proceedings, Boston, 1992, p. 1167
- 12) Sweet, F.W., Manolescu, D.R. and Mason, J.C.: "Millar Western's Zero Liquid Effluent Market BCTMP Mill One Year After Start Up", CPPA Spring Conference, Whistler, B.C., May 1993
- 13) Hardman, D. and Manolescu, D.R.: "Mill Closure: The Continuing Challenge", in "System Closure in Pulp and Paper Mills", Paris, J. and Leroy, C., Eds., PAPTAC, Montreal, October 1998, pp. 45-48
- 14) Cafer, A.: "Zero Liquid Effluent Discharge at Louisiana-Pacific Canada's Chetwynd Pulp Mill", in "System Closure in Pulp and Paper Mills", Paris, J. and Leroy, C., Eds., PAPTAC, Montreal, October 1998, pp. 49-54
- 15) Eamer, B.: "Case Study: Reducing the Environmental Impact of a Pulp and Paper Mill", Engineering Dimensions 18 (4) 23 (1997)
- 16) Martin, G.: "Effluent Closure at Domtar Trenton: An Environmental Milestone", in "System Closure in Pulp and Paper Mills", Paris, J. and Leroy, L., Eds., PAPTAC, Montreal, Oct. 1998, pp. 13-14
- 17) Rodden, G.: "Closure Provides Trenton with Increased Flexibility, Extra Capacity", Pulp Pap. Can. 98 (5) 8 (1997)
- 18) Rousseau, S., Dorion, B.: "Zero Process Effluent Discharge Attained at St. Laurent Paperboard Inc., Matane, QC", Pulp Pap. Can. 97 (9) 57 (1996)
- 19) Elliott, A. and Dorica, J.: "An Assessment of the Quality of Intake and Discharge Waters in the Canadian Pulp and Paper Industry", Paprican MR 395, March 1999
- 20) Turner, P. Ed.: "Water Use Reduction in the

- Pulp and Paper Industry", Canadian Pulp and Paper Association, November, 1994
- 21) Gleadow, P.L., Hastings, C., Richardson, B. Towers, M. and Uloth, V. : "Towards Closed-Cycle Kraft — Canadian Mill Studies", Tappi J. 81 (9) 199 (1998)
 - 22) Richardson, B., Lownertz, P., Forget, C., Uloth, V., Gleadow, P. and Hogikyan, R. : "Behaviour of Non-Process Elements in the Kraft Recovery System", TAPPI International Chemical Recovery Conference, Tampa, June 1998, pp. 1025-1040
 - 23) Burns, B. : "Alternative Bleaching and Effluent Recycling at Crestbrook's Skookumchuk Mill", Globe 96, Vancouver, B.C., March 1996
 - 24) Maples, G., Ambady, R., Caron, J.R., Stratton, S. and Canovas, R.V. : "BFR : A New Process Toward Bleach Plant Closure", International Pulp Bleaching Conference Preprints, Vancouver, B.C., Vol. 1, 1994, pp. 253-262
 - 25) Martin, F., Nepote, J., Girard, K., Jaegel, A., Guo, Y. and Edwards, L. : "Toward Mill Closure : Lessons Learned", TAPPI Minimum Effluent Mills Symposium Preprints, Atlanta, 1996, pp. 167-176
 - 26) Chen, J., Zychowka, K. and Towers, M. : "E_o filtrate recycle. Part II : The effect of dissolved organic carryover on D_oE bleaching", to be published
 - 27) van Lierop, B., Faubert, M.G., Labonte, S. and Pitre, D. : "High-Temperature Extraction in the Bleaching of Kraft Pulps", 85 th Annual Meeting, PAPTAC, Montreal, January 1999, pp.B 138-B 143
 - 28) Richardson, B., Towers, M. and Berndt, G. : "E_o filtrate recycle. Part III : Mill Trial versus Predicted Simulation Results", to be published
 - 29) Clarke, S. and Hitzroth, A. : "Stress Corrosion Cracking of Stainless Alloys in Oxygenated Caustic Environments", Proceedings of Corrosion 2000, Paper 00596, Publ. NACE International, Houston, TX, 2000
 - 30) Gleadow, P., Hastings, C., Barynin, J., Schroderus, S. and Warnqvist, B. : "Towards Closed-cycle Kraft : ECF versus TCF Case Studies", Pulp Pap. Can., 98 (4), 27 (1997)
 - 31) Paleologou, M., Thompson, R., Berry, R.M., Sheedy, M., Brown, J. : "Method and apparatus for Removing Sodium Chloride from Pulping Chemicals Using an Amphoteric Ion Exchange Resin", U.S. Patent No. 5, 922, 171, July 13, 1999
 - 32) Jemaa, N., Paleologou, M., Thompson, R., Richardson, B., Brown, C. and Sheedy, M. : "Chloride Removal from the Kraft Recovery Boiler ESP Dust Using the Precipitator Dust Purification (PDP) System", Pulp Pap. Can., 100 (7) , 46 (1999)
 - 33) Brown, C.J. : "Fluid Treatment Process and Apparatus", U.S. Patent No. 4, 673, 507, June 16, 1987
 - 34) Jemaa, M., Paleologou, M., Thompson, R., Thibault, A., Wong, P.-Y., Brown, C. and Sheedy, M. : "Sodium Chloride Removal from Oxidized White Liquor Using a Fixed-Resin Bed System", International Pulp Bleaching Conference, Halifax, June 2000, pp. 259-263
 - 35) Thompson, R., Paleologou, M., Jemaa, N., Berry, R. M., Brown, C. and Sheedy, M. : "Toward Improving the Pulping Process : a New Method for Producing Split Sulphidity Liquors", Pulp Pap. Can. 101 (1) 63 (2000)
 - 36) Ayala, V., Magnotta, V., O'Czerny, A., Zierdt, J.R. and Zanchin, R. : "Evaluation of Oxidized White Liquor as an Alkali Source", Oxygen Delignification Symposium, TAPPI Press, Atlanta, October 1990, pp. 153-161
 - 37) Clarke, S. : "Stress Corrosion Cracking of Stainless Alloys in White Liquor Oxidizer Environment", Corrosion 2000, Paper 00596, NACE International, Houston, TX, March 2000
 - 38) Lopez, L., Chang, H., Jameel, H. : "Effect of Sodium Sulphide Pretreatment on Kraft Pulping", Pulping Conference Preprints, TAPPI Press, Atlanta, Oct. 31-Nov. 4, 1999, pp. 135-145
 - 39) Paleologou, M., Thompson, R.M., Berry, R.M., Brown, C., Sheedy, M. and Gilliss, T. : "The Generator Acid Purification (GAP) System Reduces Caustic Make-up Requirements at Kraft Mills", Pulp Pap. Can. 100 (2) 34 (1999)
 - 40) Reeve, D.W., "The Effluent-Free Bleach Kraft Mill-Part VIII : The Second Fifteen Years of Development", Pulp Pap. Can., 85 (2), 27 (1984)
 - 41) Lapierre, L., Bouchard, J., Berry, R.M. and Van Lierop, B. : "Chelation Prior to Hydrogen Peroxide Bleaching of Kraft Pulps : An Overview", J. Pulp Pap. Sci. 21 (8) J 268 (1995)

- 42) Lapierre, L., Bouchard, J., Paleologou, M. and Berry, R.M. : "The Limits of Metal Removal from Kraft Pulp by Acid Treatment", J. Pulp Pap. Sci. 23 (11) J 539 (1997)
- 43) Jemaa, N., Thompson, R., Paleologou, M. and Berry, R.M. : "Non-process Elements in the Kraft Cycle, Part I : Sources, Levels and Process Effects", Pulp Pap. Can. 100 (9) 47 (1999)
- 44) Brown, C.J., Sheedy, M., Paleologou, M. and Thompson, R. : "Ion-exchange Technologies for the Minimum Effluent Kraft Mill", Pulp Pap. Can. 100 (8) 31 (1999)
- 45) Caron, J.R. and Delaney, G. : "Initial Learnings from the BFR Demonstration", in "System Closure in Pulp and Paper Mills", Paris, J., Ed., PAP-TAC, Montreal, 1998, pp. 55-60
- 46) Sithole, B. and Allen, L. : "The Effects of Wood Extractives on System Closure", Paprican MR 396, May 1999
- 47) Allen, L.H. : "The Importance of pH in Controlling Metal Soap Deposition", Tappi J., 71 (1), 61 (1988)
- 48) Allen, L. and Lapointe, C. : "Centrifugal Cleaning of Pulp and Paper Process Liquids", U.S. Patent No. 5,468,396, November 21, 1995
- 49) Uloth, V.C., Dorris, G.M., Thring, R.W., Hogikyan, R.M. and Wearing, J.T. : "In-situ Production of Polysulphide Liquor in a Kraft Mill's Causticizers, Part I : Pilot Plant Trials", Pulp Pap. Can. 97(4) 38 (1996)
- 50) Uloth, V.C., Dorris, G.M., Thring, R.W., Hogikyan, R.M. and Wearing, J.T. : "In-situ Production of Polysulphide Liquor in a Kraft Mill's Causticizers ; Process Scale-Up and Economics", Pulp Pap. Can. 97 (5) 43 (1996)
- 51) Tench, L., Hornsoy, D., Uloth, V., Munro, F., Dorris, G. : "Mill-scale implementation of Paprican's process for polysulphide liquor production in kraft mill causticizers-Part I : Batch Trials and Process Optimization", Tappi Pulping Conference, San Francisco, October 1998, pp. 571-581
- 52) Jiang, Z. -H., van Lierop, B., Nolin, A. and Berry, R. : "How Much of the Yield Increase from Modified Pulping Processes is Retained During Bleaching ? ", International Pulp Bleaching Conference, Halifax, June 2000, pp. 59-64
- 53) Francis, D.W. : "A Survey of Whitewater System Designs and Operating Practices for Newsprint and Mechanical Printing Paper Mills", Paprican MR 409, December 1999
- 54) Ramamurthy, P., Dorica, J., and Rollin, Y. : "Reduction in Effluent Discharge from Recycled Fiber Paperboard Mills", TAPPI Minimum Effluent Mills Symposium Preprints, Atlanta, 1996, pp. 335-340
- 55) Allen, L. and Polverari, M. : "Dendrimers : A New Retention Aid for Newsprint, Mechanical Printing Grades, and Board", Submitted for publication in Nordic Pulp and Paper Research Journal
- 56) Polverari, M., Hamel, J., Sithole, B., and Allen, L. H. : "A New Retention Aid for the Production of SC Printing Grades : Pilot Paper Machine Results", Submitted for publication in Nordic Pulp and Paper Research Journal
- 57) Laivins, G., Polverari, M. and Allen, L. : "Performance of Poly (ethylene Oxide) /Cofactor Retention Aids in Mechanical Pulp Furnishes." Accepted for publication in Tappi Journal
- 58) Polverari, M., Sithole, B. and Allen, L.H. : "Effects of System Closure on Retention Aids for SC-Grade Manufacture", Submitted for publication in Tappi Journal
- 59) Polverari, M., Allen, L.H. and Sithole, B. : "Effects of System Closure on Retention and Drainage Aid Performance in TMP Newsprint Manufacture. Part II ." Submitted for publication in Tappi Journal
- 60) Allen, L.H., Polverari, B., Levesque, B. and Francis, D.W. : "Effects of System Closure on Retention and Drainage Aid Performance in TMP Newsprint Manufacture", Tappi J., 82 (4), 188 (1999)
- 61) Polverari, M., Allen, L.H., Sithole, B.B., Gagnon, P. and Samuel, J. -F. : "The Effects of Retention and Drainage of Converting from 100% OCC to 50% OCC : 50% NSSC in a Closed-Cycle Paperboard Mill", Submitted for publication in Tappi Journal
- 62) Dorica, J., Prahacs, S. and Ramamurthy, P. : "Process for Removal of Suspended Solids from Pulp and Paper Mill Effluents", Canadian Patent No. 2,102,882, May 13, 1994

- 63) Houle, J.F., Brousseau, Y., Dorica J., and Paris J. : "Reduction of Fresh Water Consumption for Process and Non-Process Uses in an Integrated Newsprint Mill", Pulp Pap. Can., 100 (3) ,50 (1999)
- 64) Orcotoma, J.A., Paris, J., Perrier, M., and Roche, A. : "Dynamics of Whitewater Networks During Web Breaks", Paprican MR 374, March 1998
- 65) Paris, J., Dorica, J., Francis, D.W., and Orcotoma, J.A. : "System Closure in Integrated Newsprint Mills : Review of R&D issues", Pulp Pap. Can. 100 (9) 24 (1999)
- 66) Rodden, G. : "Closure and Corrosion Don't Need to be Partners", Pulp Pap. Can. 99 (5) 17(1998)
- 67) Thompson, C., and Garner, A. : "Corrosion and Paper Machine White Water Closure", 8 th International Symposium on Corrosion in the Pulp and Paper Industry, Stockholm, 1995
- 68) Clarke, P. : "Microbial Control Strategies and System Closure.", to be published
- 69) Vendries, E. and Pfromm, P.H. : "Influence of Closure on the White Water Dissolved Solids and the Physical Properties of Recycled Linerboard." Tappi J., 81 (9) ,207 (1998)
- 70) Gilbert, C.D., Hsieh, J.S., Xu, Y., and Deng, Y. : "Effects of White-water Closure on the Physical Properties of Linerboard", Tappi J. 83 (4) 68 (2000)
- 71) Crotagino, R., Pikulik, I., Leger, F., Daunais, R., Goulet, B. and Hamel, J. : "Paprican's New Pilot Paper Machine", 85 th Annual Meeting Preprints, PAPTAC, Montreal, January 1999, pp.A 121-A 127
- 72) Browne, T.C., Francis, D.W. and Towers, M.T. : "Energy Cost Reduction in the Pulp and Paper Industry : an Overview", 86 th Annual Meeting, PAPTAC, Montreal, February 2000, pp.B 19-B 30
- 73) Browne, T.C., Ed. : "Energy Cost Reduction in the Pulp and Paper Industry", Paprican, Pointe Claire, November 1999 (to be available to non-member companies in February 2001)
- 74) Francis, B. and Towers, M. : "Impact of Mill Modernization on Energy Use and Greenhouse Gas Emissions", Paprican MR 406, November, 1999
- 75) Reid, I.D., "Solid Residue Generation and Management by Canadian Pulp and Paper Mills in 1994 and 1995", Pulp Pap. Can. 99 (4) 49(1998)
- 76) O'Connor, B. : "Chemical characterization and variability of solid residues from pulp and paper mills", to be published
- 77) Elliott, A., and Dorica, J. : "Reduced Biomass Production Using Acid Effluent from a Kraft Bleach Plant", Pulp. Pap. Can. 100 (5) 30 (1999)
- 78) Dorica, J., Bergeron, J., Elliott, A. and St-Onge, J. : "Reduction of Sludge Yield by Feeding Acid Effluent into Recycled Activated Sludge", Inpaper International, 15, April-June, 2000
- 79) Elliott, A. and Dorica, J. : "Pilot Scale Evaluation of Sludge Reduction Techniques at a TMP/Newsprint Mill", Pulp Pap. Can. 100 (1) 59 (1999)
- 80) Allen, L. : "Air Emission Challenges and Priorities in the Canadian Pulp and Paper Industry", Paprican MR 375, March 1998
- 81) O'Connor, B., Buchanan, B. and Kovacs, T. : "Compounds Contributing to Odours from Pulp and Paper Biosolids", Pulp Pap. Can., 101 (2) 57 (2000)
- 82) Allen, L. : "Control of Total Reduced Sulphur Emissions from Pulp and Paper Mills", Paprican MR 389, October 1998
- 83) O'Connor, B.I., Phaneuf, D. and Dunn, T. : "Reduction of Total Reduced Sulphur (TRS) Kraft Mill Emission Vents Using Residual Bleach Plant Chlorine Dioxide", TAPPI International Environmental Conference, Nashville, April 1999, pp. 891-898
- 84) O'Connor, B.I. : "A Survey of PM₁₀ and PM_{2.5} Emissions from the Canadian Pulp and Paper Industry", Paprican MR 390, November 1998
- 85) Uloth, V.C. : "Towards Controlling Dioxins Emissions from Power Boilers fuelled with Salt-Laden Wood Waste. Part II.", Chemosphere, 36 (2) 231 (1998)
- 86) Luthe, C.E., Karidio, I. and Uloth, V.C. : "Towards Controlling Dioxins Emissions from Power Boilers fuelled with Salt-Laden Wood Waste. Part I.", Chemosphere, 35 (3) 557 (1997)
- 87) Luthe, C.E., Uloth, V.C., Karidio, I. and Wearing, J. T. : "Are Salt-laden Recovery Boilers a Significant Source of Dioxins ? ", Tappi J. 80 (2) 165 (1997)

システムクローズ化への前進：カナダにおける展望

カナダ紙パルプ研究所 マイケル パレオログ
(訳) 泥谷 直大

紙の購入基準、環境規制、及び経済諸要素は益々、少ない排水量で排水を循環利用するクローズドサイクル紙パルプ工場への前進を重視する方向にある。顧客の満足、利用資源の節約、水資源がない地域への工場立地の可能、今後予想される排水規制強化によるコストアップの回避等は、クローズドサイクル操業によって得られるメリットの例である。システムクローズ化への前進は、排水を更に減少させ、環境保護コストを減少させるための手段の一つとして、カナダにおいて支持を得つつある。

本稿は、カナダの紙パルプ工場におけるシステムクローズ化に対する過去及び現在の取組の状況を要約提供している。またそれは、Papricanのシステムクローズ化法開発計画における、次の分野での研究開発活動の若干のハイライトについて述べている。即ち用水量の減少、予測と設計のためのツールの改善、動力学と制御、腐食防止、化学的な分離と再生、木材抽出成分の除去または抑制、添加剤、エネルギーコスト低減、固形廃棄物及びガス排出の抑制の各分野である。

(本文 62 ページ)

好気性好熱細菌による汚泥減量化技術

— エステプロセス —

神鋼パンテック株式会社 長谷川 進

現在、家庭などから排出される下廃水は、主に細菌などの微生物を利用した生物学的処理法で処理されている。この方法は、確実に良好な処理水質が得られるため最良の方法といえるが、余剰汚泥を発生するという欠点がある。著者らは、好熱性細菌の作用で余剰汚泥を可溶化処理することにより余剰汚泥の発生を大幅に削減できる技術を開発した。使用する汚泥可溶化好熱性細菌は 60～70℃ の高温条件下で生育するもので、体外に汚泥を可溶化する酵素を分泌して余剰汚泥の生物細胞を可溶化する。可溶化された汚泥は、既存の活性汚泥曝気槽に戻され、通常の活性汚泥微生物群により無機化される。人工廃水を用いたベンチスケールテストの結果、従来発生していた余剰汚泥量の約 3 倍量の汚泥を可溶化処理し、曝気槽に返送して無機化することにより、余剰汚泥の発生量が大幅に削減され、最終的には、余剰汚泥の引拔をしない運転が可能であった。さらに、石油化学工場における 1 年間にわたるパイロットスケールテストにおいても余剰汚泥の引拔をしない運転を実証した。本法は、生物の作用で汚泥を減量するため、運転経費は従来の脱水、搬出に要した経費に比べて半分程度に低減される。また、好熱性細菌を培養するための温度制御を除いては特別な維持管理を要しないため、廃水処理設備の運転管理経験者であれば容易に維持管理が可能である。

(本文 81 ページ)