Thermopulp®—省エネルギーTMP プロセスの誕生*

日本スundsデファイブレーター株式会社 ○小林 成吉, 八田 章文

Thermopulp®—A New Energy Efficient Mechanical Pulping Process

Seikichi Kobayashi and Akifumi Hatta
Sunds Defibrator K. K.

小林成吉

A new two-stage refiner mechanical pulping system utilizing the well-known reduction of energy to rupture in the wood structure at elevated temperature well above the softening point of lignin has been offered by Sunds Defibrator AB, with the new process name Thermopulp®, in the production of mechanical pulp for printing grades.

In this paper, a summary of mill scale trials of Thermopulp® concept carried out on Scandinavian spruce at Ortviken, SCA is presented; about 20% of refining energy consumption was reduced with equivalent pulp qualities except a small reduction in brightness and tear index compared to the referenced conventional TMP system for news quality pulp. Application of the same concept to TMP reject pulp refining has also been proven with acceptable result. Extending the raw material reference base, some pilot plant trials have also been carried out on Pines with encouraging results.

Totally 4,500 t/d of printing grade pulp plants designed on Thermopulp® process have been installed in Sweden, Canada and Chile and under operation with great success. Now a users group has been formed in North America and started realistic activities to exchange and divide all experience and requirement on reserch and optimization of the new process, with the common goal of 40% energy saving in the near future. An interstage bleaching in the new process is also one technology shall be chased and developed.

1. はじめに

木質チップからの機械パルプ製造プロセスをリファイナーメカニカルパルプ (RMP) は、60 年代に最初に導入されたりファイナークラウンドウッドパルプ

(RGP) に始まり、其の 10 年後の 70 年代には早くも改良プロセスとしてサーモメカニカルパルプ (TMP) が導入された。さらに 80 年代にはケミサーモメカニカルパルプ (CTMP) の開発へと継承され、現在では各種用途紙の製造に高収率機械パルプの中心として広く活用されている。これら RMP プロセスにおける省エネルギー解繊への対応がここ数年来の研究/開発の主課題として強く要請されているが、実生産におい

*第 3 回パルプ基礎講座「機械パルプと非木材パルプ」講演報文

てはパルプ品質向上への要求に対してより重点が置かれた結果, 更に高いエネルギー消費をもたらすプロセスの改良/開発がしばしば試されてきた。

TMP プロセスは, 当初 RGP の省エネルギーを主たる目的として開発されたが, 現状では逆に 30~40% 程の過大エネルギーの投入を要している。Thermopulp[®] プロセスは現状 TMP の品質を確保しながら, 当初目的とした省エネルギー解繊を再度追求しようとの試みで始められた。

高収率木質パルプ製法の発展においては, 熱及び薬品によるリグニン成分の軟化性に対する基礎的知識の応用が常に重要な役割を占めている⁴⁻¹¹⁾。ニグニン軟化温度以上の環境下では, 木質構造の裂開ゾーンはリグニン成分の多い中間層に直接向かい, 解繊に要するエネルギーは大幅に減少する^{4,12-15)}。この特性は 1930 年代に開発された A. Asplund による繊維板製造用パルプの解繊方式 (アスプルンド法) として最も巧みに応用された¹²⁾。その製法では木質はニグニン軟化点以上に十分高い温度下で処理されるため, 木質構造中の繊維と非常に低い投入エネルギーにてほぼ完全な形態で分離される。

リグニン軟化/ガラス転移以上の温度処理下の解繊においては, 木質構造の裂開ゾーンはリグニン成分の多い中間層 (Middle Lamella) に直接向かい, 繊維 2 次壁外層や中層 (S1, S2) 部での裂開がほとんど見られない単純形状で表面平滑な長繊維を生ずる^{4,12-15)}。この種の繊維はガラス転移したリグニンで表面コートされていることが多くてフィブリル化叩解が難しく, 非親水性であり白色度や光散乱係数等の光学的特性も劣る。さらに精細解繊を進めたにしても, 印刷グレード紙が必要とするレベルの光学的特性や表面特性をもたらす微細繊維分を造出することにかかなりの制限が生ずる^{4,16,17)}。高収率パルプの微細繊維分は光散乱係数等に一定の影響を明らかに与えるが, 長繊維や中間繊維分は初期解繊時の品質により全く異なる動きを示す¹⁸⁻²⁴⁾。

近年の 2 段解繊 TMP における数多くの追跡・研究では, 初期解繊における条件設定の重要性を指摘した報告がなされ, 1 次解繊段でのチップの破碎即ち木質構造の初期裂開時にパルプの最終特性は大きく決定づけられ, 2 次解繊段での加圧/大気圧, リファイナー機種 (SDR/DDR), 濃度 (HC/MC/LC) 等の条件選定による影響度は遙かに少ないと報告されている²⁵⁻²⁹⁾。

2. Thermopulp[®] プロセス開発の原理

2 次解繊における操業諸条件のパルプ品質に及ぼす影響が 1 次解繊に適用される諸条件に比較してさほど大きくないのだとの見解に基づき, 2 次解繊を木質リグニンの軟化点以上の高温下で行うことで繊維構造の低エネルギー解繊を適正に評価してみる試みが試された³⁰⁾。すなわち, 1 次解繊ではチップをリグニン軟化温度以下にて余熱の上解繊を行うことで最終パルプの品質を確保し, 2 次解繊の高温下処理で大きな省エネルギーを期待する可能性の追求である (参考図)。

高温下での解繊では発生蒸気の容積が小さくディスク間隙が狭くなるので, この点からも省エネルギー追求の可能性を有する。解繊エネルギーの省力に成功した試みの多くにディスク間隙を狭くすることや解繊滞留時間の短縮等が報告されている^{29,31,32)}。正確に制御される狭いディスク間隙により, 投入されたエネルギーが熱発生へと転換されずに高い解繊インテンシティをもって有効に作用する。さらに Thermopulp 高温解繊下では繊維自身の柔軟性が増してより高いストレスに耐えられるので, 繊維の切断無しに部分的な潰しがより容易になされ 2 次壁外層や内層のフィブリルが生じる。過剰な繊維切断を生じることなく省エネルギー解繊を達成するには, 狭いディスク間隙と十分な繊維壁の軟化が最も好ましい組合せ条件と言える。

図 1 は, 2 次高温解繊された長繊維分を通常の TMP 長繊維と比較したときの低い曲げ剛性を示す。慣性モーメントを繊維の曲げ剛性或いは柔軟性として

参考図 Relation between temperature and power consumption for defibration of softwood and hardwood.

Fig.1 Diagram showing the moment of inertia for different types of pulp.

関連付け、Bauer NcNett 30 メッシュ残長繊維分の乾燥繊維を顕微鏡断面標本としてイメージ分析法で測定されている³⁵⁾。2次高温解繊による効果が期待される一方で、白色度の低下が大きな問題として提示される¹⁸⁾。この白色度低下を押さえるためには、高温処理を必要最小限にとどめることが重要となる。

軟化工程の動態現象を理解するため、木質サンプル (0.7×0.9×10 mm) 大気圧下加熱中の弾性係数変化を STFI (Swedish Pulp & paper Research) が DMA (Dynamic Mechanical Analyzer) 装置を使って測定した³⁴⁾。図2のごとく最高軟化に達するまでに要する時間は驚くほど短かった。この測定結果は、1次解繊された後の繊維がごく短時間でリグニン軟化

Fig.2 Diagram showing the time to reach maximum softening of wood samples at atmospheric steaming.

温度にまで加熱され、最少の白色度低下内で制御しうる適切なプラント設計の可能性を示唆していた。

3. パイロットプラントによる初期テスト

まず初めに堅型プリヒータと20吋SDRの組合せ (OVP-20) プラントで、Scandinavian Spruce (*Picea abies*) を原料にしたテストを行った。チップの予熱は115°Cで3分間、1次解繊も繊維2次壁外層と中層 (S1:S2) で出来るだけ初期裂開が起こるように同じ温度下で行い、さらに解繊エネルギーも約600 kWh/tと押さえて520 ml CSfのやや荒目パルプの製造を目標とした。2次解繊は115, 160, 170°Cの3温度条件で1分間加熱処理の後、次に予定される実機規模テストで使用されるDDRの解繊インパクトを考慮に入れ1,500 rpmの他に、3,000 rpmの回転速度も比較テストした。

テスト結果を図3~6に示す。所定フリーネスに要するエネルギー量は図3に示すように、2次解繊をリグニン軟化点以上の高温下で行った時顕著に減少し、150 ml CSFレベルの解繊において160°C処理は115°C処理に比較して30~35%の省エネルギー効果を呈した。十分な高温解繊下ではリファイナの回転速度の解繊エネルギーに及ぼす効果は比較的小さかった。

高温下の解繊で一定の負荷を加えた時はディスク間隙ははるかに狭くなるため、繊維の切断による引裂き指数の低下が懸念されたが、図4に示されるごとく、160~170°Cの高温処理のThermopulpはフリーネスが175 ml CSFのレベルを切るまでは通常のTMPより引裂き指数が劣化せず、高フリーネスレベルではむしろ高い値を提示した。

フリーネスと引張り指数、更に光拡散係数との関係を夫々図5~6に示す。Thermopulpはフリーネスと引張り指数、さらにフリーネスと光散乱係数との関係において通常のTMPと変わらぬ値と傾向を呈した。

以上のパイロットプラントによる初期テストの結果はThermopulpコンセプトの正しさを裏付けた。

4. SCA, Ortviken における実機生産テスト

SCA 社 Ortviken 工場はスプルースチップから新聞紙及びLWC紙用のTMPを生産している。新聞用パルプは1段解繊/1,650 kWh/tの投入エネルギーにてスクリーン前フリーネス150 ml CSFレベルまで処理され、LWC用パルプは更に2次解繊により80 ml CSFレベルのフリーネスまで通常処理されていた。

実機生産レベルでのThermopulpパイロットプラントは、1994年2月に日産350 tの規模で稼働に入っ

Fig. 3 The energy consumption is reduced at temperatures above the softening temperature of lignin.

Fig. 4 The tear index is better preserved in the initial phase of high temperature refining.

Fig. 5, 6 The relationships between tensile index and freeness as well as between light scattering and freeness were not influenced by the second stage refining temperature.

た。基本システムはダブルディスクリファイナー RGP 65 DDR 型 (2×7.5 MW, 2×6.5 MW) による 2 段階解繊で、チップのプリヒーティング処理は通常の TMP 生産と同じ 0.45 MPa/10 秒間が採用された。1 次解繊されたパルプは加圧サイクロン/プラグスクリーさらにフラフアー-RGP 44 を経てサーモリアクターに供された。リアクターは Max.1 MPa/40 秒間の加熱処理設計で、フラフアーからのブロー接続口変更により滞留時間の変更選択が可能。リアクターと 2 次リファイナー入口は圧縮スクリーにより同圧下で接続された。フローは図 7 を参照。

多数の操作テストにより約 100 種のパルプをサンプリングし、標準 SCAN 法に基づき分析評価を行った。プリヒーティング (0.45 MPa, 10 秒間), 1 次解繊圧力 (0.45 MPa), サーモリアクター滞留時間 (10

秒間) 等は一定条件とし、サーモリアクターと 2 次解繊圧力, 1 次/2 次解繊での投入エネルギー分配比等を変更条件としてテストした。比較のために同じプラントにて 0.45 MPa 処理/2 段階解繊の通常 TMP を製造した。初期テスト段階でサーモリアクター内の加熱時間を 20 秒に設定した時 (0, 180 MPa で) 著しい白色度劣化が生じたので (解繊エネルギーや強度特性などは顕著な差異を示さなかった), 加熱時間を 10 秒と短縮した。

4.1 2 次解繊圧力の影響

サーモリアクターと 2 次リファイナーの蒸気圧を 0.45 から 0.90 MPa の範囲で変更し、フリーネスレベルを変えた解繊テストを行った。テスト結果を図 8 ~12 に示す。蒸気圧が 0.70 MPa 以下の場合には通常の 2 段階解繊 TMP と変わらぬ値を呈した。尚これら

Fig.7 Flow diagram of the Thermopulp™ line at SCA, Ortviken.

Fig.8 Increased second stage steam pressure decreases energy consumption.

Fig.9 Thermopulp has a higher apparent density at a given freeness level than TMP.

Fig.10 Thermopulp has a slightly lower tear index at a given freeness than TMP.

Fig.11 The light scattering is not influenced by the secondary stage steam pressure.

の図表値には1次/2次解繊の投入エネルギー分配の関係は入っていない。

各加熱蒸気圧における解繊エネルギーとパルプフリーネスの関係を図8に示すが、蒸気圧を上げてゆくにつれ解繊エネルギーは減少していった。TMP/0.45 MPaとThermopulp/0.90 MPaの比較では、フリーネス150~160 ml/CSFレベルのパルプ解繊時に250

kWh/tの消費エネルギー差が生じた。Thermopulpだけを見てみると、0.80と0.90 MPaの蒸気圧の間では特に差は無かった。

引張り指数は蒸気圧を上げてゆくにつれ増加し、1,500 kWh/tの同じ解繊エネルギーではThermopulpはTMPより10%程高い値を呈した。フリーネス基準で見ると、蒸気圧が0.45~0.70 MPaの範囲を超

Fig.12 The brightness of Thermopulp is about 2.0% ISO lower than TMP.

え更に 0.80 MPa に近づいた時に初めて解繊エネルギーの減少傾向が表れた。この場合シャイブ含有量や長繊維分量には大きな差異はないが、僅かな長繊維分の減少傾向が Thermopulp に見られた。

手漉きテスト紙による紙力特性を見ると、密度は図 9 の如く同じフリーネスレベルでは Thermopulp は TMP よりも高い値を呈したが、同一フリーネスレベルにおける引張り指数がほぼ同じであった故、繊維間の結合優位性までは意味していない。引裂き指数に関しては図 10 に示す如く多少のバラ付きがあるが、Thermopulp と TMP では長繊維分の分布値の差が僅かであったとより大きな差異は見られなかった。

光学的な特性としての光散乱係数を図 11 に示す。2 次解繊における加熱圧力（温度）条件の変更は何らの差異をもたらさなかった。もちろん高温下での滞留時間は白色度に係わってくるので、白色度低下と解繊エネルギーの省力とのバランスには配慮を要する。初期段階の試みで 0.80 MPa/20 秒間加熱は、ISO 白色度にて 3~4 ポイントの劣化を呈した。従って、本段階のテストでは先述の如くサーモリアクター内での滞留時間は 10 秒と短縮した。

2 次高温解繊による白色度への影響を、図 12 に示す。10 秒間処理の Thermopulp では約 2 ポイントの低下となった。高温下での滞留時間、10~20 秒では特に解繊エネルギーに変化はなかったの、白色度低下を押さえるべくさらに滞留時間を短縮することが省エネルギーの課題内で可能と考える。

4.2 投入エネルギーの 1 次/2 次振分け効果

解繊エネルギーの省力化をより明確にするために、Thermopulp プロセスの 1 次解繊段での投入エネルギーを TMP より少ない 530, 615, 725 kWh/t と 3

段階に変えてテストした。図 13 に示す如く、1 次解繊エネルギーを 725 から 530 kWh/t と少なくした時に、フリーネス 150~160 m^l/ レベルのパルプ製造で全解繊エネルギーの約 15% 省力となった。

一定の引張り指数を得るのに必要な解繊エネルギー量は、図 14 に示すように 1 次解繊段での投入エネルギーに比例して少なくなった。引張り指数 35 Nm/g を得るための総エネルギーは、1 次解繊段のエネルギーを 725 から 530 kWh/t と少なくした時、1,500 から 1,250 kWh/t へと減少した。

引張り指数とフリーネスの関係は図 15 に示すように、1 次解繊への投入エネルギーの多少とは関係なしに一定の傾向を保持していた。

1 次解繊段での投入エネルギーの多少は、引張り指数には特に影響は与えず、僅かな引裂き指数の低下と光散乱係数の改善を呈した。引裂き指数の低下は、1 次解繊負荷を減少させた結果として 2 次解繊をより狭

Fig.13 Energy savings are related to primary refiner input.

Fig.14 A low primary refiner energy input reduces the energy consumption for a constant tensile index.

Fig.15 The relationship between tensile index and freeness is not influenced by the primary refiner energy input.

いディスク間隙で行ったためと思われる。

まとめとして、Ortviken工場の実機2段階解繊における Thermopulp と TMP のフリーネス 150 ml CSF レベルでの品質比較を表1に示す。Thermopulp は1次で 600 kWh/t と低めの解繊エネルギーが投入され、2次では 0.80 MPa, 750 kWh/t の高温解繊がされた。TMP と比較して繊維間結合力による引張り指数は同一レベルで引裂き指数と白色度は若干低めのパルプが、総解繊エネルギー、300 kWh/t 省力にて製造できた。

4.3 漂白性と収率 (COD 負荷) への影響

Spruce TMP の未晒白色度レベルは、新聞用紙製造には通常十分である。Ortviken 工場では新聞用紙グレード TMP はダブルディスクによる1段階解繊プロセスで生産されており、原料チップの品質により白色度は 63~64%ISO と一段高いレベルを維持してい

る。

2 段階解繊 TMP では1 段階解繊に比較して高温下での滞留時間が長くなり、白色度は1~2 ポイント低く約 62%ISO レベルとなる。Thermopulp では2 次解繊が遙かに高い蒸気圧下で行われるため白色度は更に 60%ISO レベルまで低下したが、新聞用紙グレードとしてはこのレベルでも十分である。LWC グレードの TMP は通常 72~74%ISO レベルが要求され、Ortviken 工場では高濃度過酸化水素漂白法が採用されている。

LWC 用として Thermopulp と1 段階解繊 TMP の過酸化水素漂白に対する反応性のベンチテストを行った。図16のごとく、一定量の過酸化水素添加で得られる白色度アップは、2つのパルプで同じ傾向を呈した。20 kg/t の薬品添加での最終白色度の差は2.5 ポイントで、未晒時での差とほぼ同じであった。最終白

Fig.16 Comparative peroxide bleaching of Thermopulp and single stage TMP.

Table 1 Comparative pulp quality characteristics for TMP and Thermopulp from Scandinavian spruce (*Picea abies*)

		Thermopulp	TMP 2-stage
Energy consumption	kWg/admt	1,350	1,650
Freeness CSF	ml	150	150
BMcNett+30	%	35	40
BMcNett-200	%	23.5	24
Shive content Pulmac (0.10 mm)	%	1.2	1.0
Density	kg/m ³	380	380
Tensile index	Nm/g	35	35
Tear index	mNm ² /g	6.7	7.1
Light scattering	m ² /kg	49	49
Brightness ISO	%	60	62

Fig.17 Flow diagram of new Thermopulp line at SCA, Ortviken.

色度 75%ISO の仕上がりには Thermopulp は 22 kg/t, 1 段解繊 TMP は 18 kg/t の過酸化水素の添加を要した。2 段解繊 TMP と比較した時は, Thermopulp は約 2 kg/t 余分の過酸化水素添加を要すると推測される。

各プロセスにおける熱処理温度と滞留時間は, 溶解物質の量即ち収率に影響を与える。Thermopulp は 1 段解繊 TMP よりも 10 kg/t 余分の COD 負荷を要し, これは約 0.8% の収率減を意味する。2 段解繊 TMP との比較では 6 kg/t の COD 負荷増で約 0.5% の収率減が予測される。

4.4 Ortviken の現状 Thermopulp 設備

パイロット及び実機テスト結果に基づく Ortviken 工場の 2 段解繊 Thermopulp はフロー図 17 のように改善され本格的プラントとして稼働している。1 次リファイナーからブローされたパルプは, 横型の加圧サイクロンを経てスチームミキサーにプラグスクリーにより圧縮供給され, 1~4 秒と極端に短い時間高温加熱されながら 2 次リファイナーに供される。中間のフラッファーは取外され, 白色度劣化を極力押さえるべくサーモリアクション時間を短くしている。

5. Stora Kvarnsveden AB/TMP 粕解繊への適用

TMP 粕の繊維長分布や濾水性が Thermopulp プロセスの粗い 1 次パルプに類似している点に着眼し, Stora 社 Kvarnsveden 工場にて高温解繊の実機テストを行った。この工場では通常フリーネス 400 ml CSF の TMP スクリーン粕パルプを, RGP 65 DDR により 30~35%濃度, 0.16 MPa, 900 kWh/t の条件下で 100 ml CSF まで解繊している。

粕パルプは 0.70 MPa/5 秒間の加熱処理の後に同

Fig.18 Thermopulping of TMP rejects decreases the energy consumption by 25%.

じ圧力下で解繊し, 生産量は通常の 0.1 MPa 粕処理時と同じ 300 admt/d ベースで, ディスク間隙の設定を変えて 50~200 ml CSF のパルプ製造した。

フリーネスの解繊エネルギーの関係を図 18 に示す。通常の処理と比較して若干の引裂き指数の低下以外は特に物質特性の変わらないパルプを, 約 25% の省エネルギーで解繊出来た。

表 2 にフリーネス 100 ml CSF パルプの特性値の比較を示す。基本的に先述の SCA 社 Ortviken 工場における Thermopulp の実機テスト結果に類似の傾向を呈している。

6. Pine 系樹種への適用

通常 Pine 樹種は Spruce 樹種に比べかなり厚めの繊維細胞壁を有し, より高い解繊エネルギーを要する。Pine でも Spruce でも, 同一密度を呈するまで解繊されたパルプは大体似たような引張りや破裂指数を持

Table 2 Comparative pulp quality characteristics of TMP rejects refined at high and low steam pressure

		Thermopulp rejects	TMP rejects
Steam pressure	Mpa	0.70	0.16
Freeness CSF, Initial	m/	400	400
Energu consumption	kWh/t	720	940
Freeness CSF	m/	100	1.00
Disc gap	mm	0.55	0.75
Shive content Somerville	%	0.55	0.40
BMc Nett+16	%	22	28
Density	kg/m ³	425	425
Tensile index	Nm/g	52	52
Tear index	mNm ² /g	7.3	7.9
Light scattering	m ² /kg	45	45
Light absorption	m ² /kg	2.5	2.8

つが、印刷用紙グレード向けパルプを Pine からつくるには一定レベルの表面特性を持つよう繊維細胞壁の厚みを減じて密度を高める必要がある。そのため強度特性が要求するレベル以上にフリーネスを下げた解繊が必要となり、繊維長の切断による引裂き指数低下の危険性が生じる。その影響度の大小は当然 Pine の種類や樹齢心材/辺材の割合等に左右され、比重が高いほど十分な表面特性を作り出す前に繊維長カットを引起こす危険性は高くなる。機械パルプ製造に使われはじめていた代表的 Pines として Radiata と Taeda が上げられ、共に Scandinavian Spruce とはまったく異なった形態特性を有している。Taeda はより比重が高くより厚い繊維を有するが、Radiata は Taeda より Spruce に近い形態特性を有しパルプ特性も似通っている。

これら 3 樹種材の密度と繊維特性を表 3 に示す。

先に述べた Spruce からの Thermopulp 製造テストにおいて、見かけ密度は 2 次解繊を高温下で行った

時に肯定的な影響を受けた特性の一つであったので、繊維壁の厚い Pines 類の解繊において平滑度と有孔度により大きな効果を期待できると考えた。

6.1 パイロットランプによる試み

オーストラリア産の Pinus Radiata とブラジル産の Pinus Taeda を原料に、パイロットプラントによるテストを再度実施した。1 次解繊における処理温度は Thermopulp も TMP も 115℃ で、2 次解繊では Thermopulp は 170℃ で 1 分間余熱された後に同圧下で処理したが TMP は何ら余熱なしの大気圧下で処理した。テストパルプのスクリーン未処理での分析結果を、図 19～23 に示す。

図 19 に示す如く、TMP では両樹種とも 100 m/ CSF レベルのパルプを造るのに 3,000 kWh/t と高かったが、Thermopulp では著しい減少を呈し Radiata で 25%、Taeda では 15% の省エネルギーであった。

フリーネスと見かけ密度の関係を図 20 に示す。Thermopulp は TMP より明らかに高い密度を有し、Radiata で約 12%、Taeda では約 18% と更に高い効果を呈した。これは原料木質の繊維壁が厚ければ厚いほど高温処理解繊での効果をより期待出来ることを意味していると言える。

Radiata Thermopulp と TMP の 100 m/ CSF レベルを Bauer McNett で篩分け、16～30 M 残分の密度比を比較したところ、Thermopulp の長繊維分のほうが高い値を示した。これは、密度改善の一部がより良く潰された繊維分布にもよることを示唆している。

表 4 に Bauer McNett 16～30 M 残繊維分における

Table 3 Fiber morphology of different wood species

	Basic density kg/m ³	Fiber length mm	Fiber width μm	Fiber wall thickness μm
Picea abies	410	3.5	36	2.9
Pinus taeda	470	4	43	3.5
Pinus radiata	390	4.2	33

Fig.19 Relationship between freeness and specific energy for TMP and Thermopulp from Pine species.

Fig.20 Relationship between freeness and density for TMP and Thermopulp from Pine species.

Fig.21 Relationship between freeness and surface roughness for TMP and Thermopulp from Pine species.

Fig.22 Relationship between freeness and light scattering coefficient for TMP and Thermopulp from Pine species.

見かけ密度と引張り指数の比較を示す。Thermopulpの長繊維分における繊維壁の程よい潰しが、表面特性の改善を期待させる。

Bendtsen ラフネス値は図 21 に示す如く、Radiata で 40%、Taeda で 50% 程減少した。同一フリーネスレベルにおける引張り指数の値には両プロセスで顕著な差異は見られなかったが、細長い繊維を有する Radiata は当然ながら Taeda よりも常に高い値を呈した。

光散乱係数とフリーネスの関係を図 22 に示す。同じく両プロセス間の顕著な差異は見られなかったが、Taeda からのパルプはフリーネスが 100 ml CSF 以下まで解繊が進むと急速な光散乱係数の改善を呈した。

引張り指数は Radiata の Thermopulp で影響を受けフリーネス 150 ml CSF レベル以下に解繊を進める

と顕著な低下を示したが、Taeda の Thermopulp ではその低下値は殆ど無視できる範囲であった。

表 5 に、フリーネス 100 ml CSF まで解繊したときの両 Pines の Thermopulp と TMP の特性値をまとめて示す。

7. 最新の Thermopulp® 実働プラント

SCA 社 Ortviken 工場における新聞及び LWC 向け 2 段 DDR Thermopulp や Holmens Paper 社の TMP 粕よりの Thermopulp 製造を初めとして、現在下記の如く 7 工場に設置されその内 6 工場で実働操業に入っている。Chile の Industrias Forestzles 社 Nacimiento 工場は本年末のスタートの予定 (表 6)。

7.1 Abitibi-Consolidated 社 Alama 工場

カナダにおける現状 Thermopulp プラントは、76

Fig.23 In the Thermopulp process, the secondary refining stage is carried out above the softening temperature of lignin.

Table 4 TMP and Thermopulp from *Pinus radiata*-comparative properties of whole pulp and Bauer McNett 16~30 mesh fraction

		TMP 2-stage	Thermopulp 2-stage
Properties of BMcNett 16~30			
Freeness CSF	m/l	720	725
Density	kg/m ³	190	210
Tensile index	Nm/g	12.3	14
Properties of whole pulp			
Freeness CSF	m/l	100	95
Density	kg/m ³	376	425
Tensile index	Nm/g	44.2	43.9

時CD（コニカルディスク）リファイナー/1,800回転による2段階解繊を主体にしている。フラットゾーンとコニカルゾーンの個別作動による精密なディスク間隙の制御を活用した、従来の約1/2~1/3という非常に狭い間隙下で繊維切断を極力押さえた省エネルギー解繊が報告されている。2次解繊前の高温処理は165度/約5秒間と制御して、白色度の低下を極力押さえている。

表7にAlama工場におけるRGP 76 CD、2段階解繊、

375 bdt/d/line 実機生産 BlackSpruce からの TMP と Thermopulp の特性比較を示す。

新聞用紙用パルプとして、光散乱係数と見かけ密度値の確保にポイントを置いて Thermopulp を製造しており、フリーネスは160 m/l レベルと TMP に比べ解繊度を進めている。76 CD リファイナーの特性を生かし引裂き指数の低下を押さえながら、約400 kWh/t 20%の省エネルギー解繊が達成されている。

図23は上記のCDリファイナー2段階解繊での TMP

Table 5 Physical properties of TMP and Thermopulp from *Pinus radiata* and *Pinus taeda* at a freeness level of 100 ml CSF

		Radiata TMP	Radiata Thermopulp	Taeda TMP	Taeda Thermopulp
Energy consumption	kWh/admt	3,200	2,400	3,200	2,700
Freeness CSF	ml	100	100	100	100
BMcNett+30	%	45	36	40	38
BMcNett-200	%	30	28	31	33
Shive content	%	0.40	0.25	0.20	0.07
Density	kg/m ³	375	425	325	380
Tensile index	Nm/g	45	44	32.5	34
Tear index	mNm ² /g	7.6	7.0	7.0	6.9
Light scattering	m ² /kg	44	43.5	42	41
Roughness	ml/min	400	250	1,000	550

Table 6 The Thermopulp process plants in operation

Plant	Refiner system	Raw material	End-product
SCA Graphic Ortviken, Sweden	2×RGP 65 DD	Spruce	Newsprint, LWC
Holmens Paper AB Bravikens Pappersbruk, Sweden	RGP 70 CD/RGP 262	Spruce	Newsprint
Abitibi-Price, Alma, Canada	4×RGP 76 CD	Spruce, Balsam, Jackpine	Newsprint/Directory
Abitibi-Price, Iroquois Falls, Canada	4×RGP 76 CD	Spruce, Balsam, Jackpine	Newsprint
Avenor Maritimes, New Brunswick, Canada	4×RGP 76 CD	Mixed softwoods	Newsprint
Irving Paper Ltd., New Brunswick, Canada	2×RGP 76 CD	Mixed softwoods	Newsprint
Inforsa, Chile	4×RGP 76 CD	Pine	Newsprint

Table 7 Comparative Thermopulp and TMP quality characteristics at Abitibi-Consolidated, Alma mill 1997

	TMP	Thermopulp	Δ%
Production t/d	375	375	0
SEC kWh/t	2,187	1,769	-19
CSF ml	177	161	-9
Density g/cm ³	0.349	0.342	-2
Tensile Index mN/g	37.5	37.1	-1
Tear Index mNm ² /g	9.8	9.6	-2
ISO Brightness %	56.7	55.6	-0.2
Scattering m ² /kg	54.5	54.8	0.6

と Thermopulp 製造におけるプロセス温度/圧力の相違を示す。1 次供給前, スティームミキサー前及び 2 次供給前の各所に圧縮プラグ形成スクリーを装備して, Thermopulp 解繊時のディスク間隙全領域に渡る蒸気の常態圧力勾配を緩やかにしている。1 次解繊段におけるディスク間の最高温度は低く緩やかな勾配になっている。

CD リファイナーのディスク間で発生した蒸気の排出処理を考慮した Thermopulp セグメントにより, 特に解繊ゾーン入口部での逆流蒸気の流速を押さえた操業が追求されている。図 24 は解繊ゾーン全領域にわたる蒸気の常態圧力勾配を示す。効率的な解繊によ

Fig.24 With the Thermopulp segments the steam pressure gradient (and there for the steam velocity) is significantly reduced at the inlet of the refining zone.

り省エネルギー化を目指すには、逆流蒸気の流速を低くしてディスク間における解繊パルプの流れに対する妨げを無くし、ブローバックや詰まりの発生を押さえる必要がある。原料木質チップの特性に合わせたThermoセグメント開発の必要性が指摘されている。

7.2 北米における Users Group の発足

Thermopulp プロセス技術のより一層の進展をめざしたユーザーグループが昨秋に発足し、定期的な技術情報交換がなされている。現在、具体的な取り組み課題として Abitibi-Consolidated 社の Alama 工場が摩砕セグメントを、Iroquois-Fall 工場が熱回収を、Irving Paper 社の New Brunswick 工場が CD リファイナー操業諸条件の安定基準と、役割分担が決められ積極的な取り組みによる成果が期待されている。年4回を予定する会議には、今後の Thermopulp 製造を検討中の業界各社の参加も歓迎されている。

7.3 更なる課題の追求

サーモミキサー中での1次解繊パルプ処理条件は、インターステージ漂白の適用に（サーモミキサーとして）高い可能性を示唆している。次なる課題として新たな研究、テストが始められている。

21世紀迄には、特殊フィードスクリュウと木質原料の特性に合わせた Thermopulp セグメントとの組合せ開発により、現状より更に20%、最終40%の省エネルギーが達成されよう。即ち2,000 kWh/tの解繊エネルギーTMPを1,200 kWh/tのエネルギーにて製造することである。

8. ま と め

Thermopulp® 方式による機械パルプ製造において、リグニン軟化点をはるかに超えた高温下で2次解繊を行うことにより、省エネルギー効果を有効に引出せた。これはパイロット及びフルスケールプラントで共に実証された。

パイロットテストでは、最高の効果は2次解繊を0.8~0.9 MPaの蒸気圧下で行った時に得られた。解繊プロセスでの最大省エネルギーは、1次解繊での投入エネルギーを600 kWh/t以下に押さえた時に得られた。

1次解繊後のパルプを加熱する時間は白色度確保の点より強く制限され、10秒間以上の滞留は避けねばならない。この短い時間内でもパルプは必要な温度に十分達することが証明された。

新聞用紙グレードの Thermopulp が、実機プラントにて約20%の省エネルギーで生産された。品質的には標準のTMPに匹敵するが、白色度は若干低下し引裂き指数も多少低下の傾向を示した。

Thermopulp の省エネルギー効果はTMP粕の解繊処理においても有効であった。

繊維壁の厚い Pine 樹種から生産された Thermopulp は見かけ密度の改善を示し、印刷紙グレード向けパルプが要求される光学的特性や表面特性値を呈した。

設置7工場のうち6工場において Thermopulp プラントが稼働に入っており、解繊段での省エネルギー量やパルプ品質特性などテスト生産で得られたレベルと同じ数値が達成されている。

サーモミキサー中での1次解繊パルプの高温/短反時間処理条件は、インターステージ漂白の適用に対する高い可能性を示唆している。

カナダにおけるCDリファイナー2段解繊による Thermopulp プラントでは、コニカルディスクの特性を生かした省エネルギーセグメントの追求もなされている。21世紀迄には通常TMPに比べて40%の省エネルギーの達成が期待される。

補 足：

本紙は1996年度のSPCI, StockholmにてSCA社 Graphic ResearchのHans Hoeglund及びRoland Baeck両氏の賛助のもと弊社Bo Falkが講演した資料を中心としてまとめ、さらに昨年中に陸続として稼働に入ったCanadaのThermopulpプラントの1つであるAbitibi社Alama工場の実操業データ等を付け加えた。

参考文献

- (1) Attack, D. : "Fundamental differences in energy requirements between the mechanical pulping peoces". International Mechanical Pulping Conference, Oslo 1981, Session VI : no 5.
- (2) Sundholm, J. : "Can wereduce energy consumption in mechanical pulping?". International Mechanical Pulping Conference, Oslo 1993, p.133.
- (3) Höglund, H. and Wilhalmsson, K. : "The product must derermine the choice of wood type in mechanical pulping". International Mechanical Pulping Conference, Oslo 1993, p.1.
- (4) Attack, D. : On the characterization of pressurized mechanical pulps. Svensk Papperstidning 75 (1972) : 3 p 89.
- (5) Höglund, H., Sihlin, U. and Tistad, G. : "The effect of physical properties of the wood on chips refining". International Mechanical Pulping Conference, San Francisco 1975, p77.
- (6) Salmén, L. : "Viscoelastic properties of in situ lignin under water saturated conditions". Journal of Materials Science 19 (1984) : p.3090.
- (7) Samén, L. : "The effect of the frequency of a mechanical deformation on the fatigue of wood". Journal of pulp and paper science 13 (1987) : 1,523.
- (8) Becker, H., Höglund, H. and Tistad, G. : "Frequency and temperature in chip refining". Paperi ja Puu. 59 (1977) : 3 p 123.
- (9) Attack, D. and Heitner, C. : "Dynamic mechanical properties of sulfonated eastern black spruce". International Mechanical Pulping Conference, Toronto, (1979) : p 1.
- (10) Heituer, C. and Attack, D. : "Dynamic mechanical properties of sulphite treated aspen". Paperi ju Puu 56 : (1984) : 2, p 84.
- (11) Corson, S. R. and Fontebasso, J. : "Viscoelastic energy absorption of sulfonated radiata pine". Appita 43 (1990) : 4, p.300.
- (12) Asplund, A. : "The origin and development of the Defibrator process". Svensk Papperstidning 56 (1953) : 14, p.550.
- (13) Koran, Z. : "Surface structure of thermomechanical pulp fibers studied by electron microscopy". Wood and fibre 2 (1970) : 3, p.247.
- (14) Koran Z. : "Electron microscopy of radial tracheid surfaces of black spruce separated by tensil failure at various temperatures. TAPPI 50 (1967) : 2, p 60.
- (15) Koran Z. : "Electron microscopy of tangential tracheid surfaces of black spruce produced by tensile faihure at various temperatures. Svensk Papperstidning 71 (1968) : 17, p 567.
- (16) Asplund, A. and Bystedt, I. : "Development of the thermomechanical pulping method". International Mechanical Pulping Conference, Stockholm 1973, 15 : 1.
- (17) Lunan, W. E., Miles K. B., May, W. D., Harris, G. and Franzén, R. : "High pressure refining and brightening in thermechanical pulping". TAPPI Pulping Conference 1983, p.239.
- (18), (19) Lindholm, C-A. : "Comparison of some paper making properties of groundwood, pressure ground wood and thermo-mechanical pulp by means of artificial blends of pulp fractions". Parts 1 and 3. Paperi ja Puu 62 (1980) : 10, p 593 and 63 (1981) : 8, p.487.
- (20) Lindholm, C-A. : "Comparison of some paper making properties of groundwood, pressure ground wood and thermomechanical pulp by means of artificial blends of pulp fractions". Parts 2. Paperi ja Puu 62 (1980) : 12, p 803.
- (21) Corson S. R. : Fiber and fines fractions influence on strength properties of TMP. Pulp and Paper Canada 81 (1980) : 5, p 69.
- (22) Mohlin, U-B : "Properties of TMP fractions and their importance for the quality of printing parts. Part 1. Large variation in properties within fraction are observed". Svenk Papperstidning 83 (1980) : 16, p 461.
- (23) Rundlöf, M., Htun, M., Höglund, H. and Wågberg, L. : "Effect of quality of fine ma-

- terial on paper properties-New Aspects". International Mechanical Pulping Conference, Ottawa 1995, p.109.
- (24) Lindholm, C-A. : "Comparison of SGW, PGW and TMP pulps at various freeness levels by means of artificial blends of pulp fractions". Paperi ja Puu 87 (1984) : 3, p 199.
- (25) Stationwala, M., Miles, K. B. and Karnis, A. : "The effect of first stage refining conditions on pulp properties and energy consumption". Journal of pulp and paper science 19 (1993) : 1, J 12.
- (26) Heikurinen, A., Vaarasalo, J. and Karnis, A. : Effect of initial defiberization on the properties of refiner mechanical pulp". Journal of pulp and paper science 19 (1993) : 3, J 119.
- (27) Stationwala, M. I. and Karnis, A. : "Pulp grinding-a new method for producing mechanical pulp". TAPPI Journal 73 (1990) : 12, p 187.
- (28) Falk, B., Jackson, M. and Danielsson, O. : "The use of single and double disc refiner configuration for the production of TMP for filled super calendered and light weight coated grades". International Mechanical Pulping Conference, Vancouver 1997, p 137.
- (29) Falk, B. : Jackson, M. and Danielsson, O. : "A low energy approach to the manufacture of TMP for SC and LWC grades". International Mechanical Pulping Conference, Helsinki 1989, p 119.
- (30) Höglund, H., Bäck, R., Danielsson, O. and Falk, B. : "A method of producing mechanical and chemimechanical pulp", PCT patent WO 94/16139.
- (31) Strand, B., Falk, B., Mokvist, A. and Jackson, M. : "The effect of production rate on specific energy consumption in high consistency chip refining". International Mechanical Pulping Conference, Oslo 1993, p.143.
- (32) Sundholm, J., Heikkurinen, A and Mannström, B. : "The role of rete of rotation and frequency in refiner mechanical pulping". International Mechanical Pulping Conference, Vancouver 1987, p 45.
- (33) Miles, K. B., Lunan, W. E. and May, W. D. : "Abrasive filled refiner plates in thermomechanical pulping". Journal of pulp and paper Science 15 (1989) : 2, J 66.
- (34) Olsson, A-M. and Salmén, L. : STFI, unpublished work.
- (35) Thimstrand, J. : SCA Research, unpublished work.
- (36) Höglund, H., Bäck, R., Falk, and Jackson, M. : "Thermopulp-a new energy efficient mechanical pulping process". International Mechanical Pulping Conference, Ottawa, 1995, p 213.