ユーカリ植林木における KP 操業経験

セニブラ社 ○アレシャンドレ・ラナ, 彌富 俊治

Operating Experience of Kraft Pulp Mill “Plantation-grown Eucalyptus”

○Alexandre Lanna

Production, CENIBRA

Toshiharu Yatomi

Technical and Industrial Department, CENIBRA

アレシャンドレ・ラナ

Cenibra (Celulose Nipo-Brasileira S. A.) is one of the largest producers of short-fiber bleached Eucalyptus pulp. The company was founded on September 1973. In July 2001, Japanese company, “JBP” became the only shareholder of Cenibra.

Cenibra's total area is 234,827 ha, splitter in cultivated lands 123,398 ha with *E. Grandis*, *E. Urograndis* (hybrids *E. Urophylla* and *E. grandis*) and preservation and legal reserve 92,087 ha. The existing production capacity is 940,000 ADt with an expansion project for 200,000 ADt up-grade schedule to be start-up in early 2007.

The increase of production and quality stability needs as a continuous target, create a demand for wood segregation. Many parameters and alternative methods has been tried to improve process control.

In this paper, the outline of Cenibra is introduced and mil operating experience of pulp processes is reported.

Keywords : ユーカリ, 植林木, パルプ製造プロセス, 容積重, FT-NIR

分類 : A₂ 木材の特性, F₁KP 製造一般

1. はじめに

セニブラ社 (Cenibra ; Celulose Nipo-Brasileira S. A.) は日本の大手紙パルプメーカー 11 社と伊藤忠商事によって設立された日伯紙パルプ資源開発株式会社とブラジルのリオ・ドーセ社との合弁会社として, 1973 年 9 月 13 日ミナス・ジェライス州に設立された。また, この年 11 月に日本政府は, この事業が日本の紙パルプ資源の長期的確保という観点から重要であると判断。この事業はナショナルプロジェクトとして位置づけられることとなった。

1974 年 7 月 15 日に起工式が行われ, 1977 年 10 月 1 日より営業運転を開始。当初, 様々なトラブルを生じたものの, 工場の操業は年を追って安定に向かい, 増産設備の逐次稼動, 設備改善・操業努力もあり, 1987 年には年産 35 万 t 規模の工場となった。1993 年 9 月には新ライン設置工事が着工, 1996 年 1 月より営業運転に入り, 2 ラインで年産 70 万 t のパルプを生産する工場となった。

第 2 ラインが稼動した翌年の 1997 年 5 月, 合弁パートナーであるリオ・ドーセ社の民営化が決定。コアビジネスである鉄鉱石採掘に集中することとなり,

2001 年 5 月にはセニブラ社を含む、紙パルプ事業資産の売却が決まった。日伯紙パルプ資源開発株式会社は優先買取権を行使して、2001 年 9 月 14 日にセニブラ社の株式を購入。日本 100% 出資会社となった。

セニブラはその後設備の増強・改善を行い、2002 年 7 月からは ECF 100%，年産 84 万 t の規模となった。2004 年 5 月にはボトルネック解消による 10 万 t 増産工事を完了。年産能力 94 万 t と世界でも最もコスト競争力のあるパルプ工場のひとつとして、今まで順調に発展してきている。また、現在 20 万 t 増産工事を行っており、2007 年始めに完了予定となっている。

2. 工場概要

工場はミナス・ジェライス州ペロ・オリエンテ郡に位置している。サンパウロ及びリオ・デ・ジャネイロの北側に位置するミナス・ジェライス州周辺は、日照条件、気温、降雨量がユーカリの成長に極めて適しており、世界で最も成長量の高い地域として知られている。

工場ではユーカリから LBKP を生産している。生産された LBKP の 90% 以上は海外向けとなっており、ヴィトリア・ミナス鉄道にてポルトセル港へ貨車輸送され、そこから、国際市場へ船積みされる（図 1）。販売先は日本・ヨーロッパ・アジア・北米・南米等で

図 1 工場所在地

ある。

工場の敷地面積は 135 万 m² で、LBKP プラント 2 系列を有する。

1 ラインは 1977 年に稼動した設備で、設備改善を加え、現在は日産 1,290 (BKPt) となっている。蒸解釜は KAMYR の 1 ベッセル気相液相連続釜で 2000 年度より KOBUDO_{MARI} 蒸解を採用している。断面積負荷は 50.9 t/m²・D。晒工程は D 0 (Dual-D)-EP-D 1-P-D 2 の 5 段晒である。

2 ラインは 1995 年 12 月に稼動した設備で、設備改善を加え、現在は日産 1,462 (BKPt) となっている。蒸解釜は KVAERNER の 1 ベッセル気相液相の ITC 連続釜であったが 2004 年に改造を行い、1 ライン同

図 2 CENIBRA パルプ製造設備フローシート

様 KOBUDO_{MARI} 蒸解となっている。断面積負荷は $33.9 \text{ t/m}^2 \cdot \text{D}$ であるが, 20 万 t 増産工事後には約 $50 \text{ t/m}^2 \cdot \text{D}$ と 1 ライン連釜とほぼ同じ負荷にアップする。晒工程は D 0-EOP-D 1-P の 4 段階晒である (図 2)。

製品パルプの品質規格は, 白色度 89.0% (ISO) 以上, 粘度 $8.5 \text{ mPa} \cdot \text{S}$ 以上, チリ $0.5 \text{ mm}^2/100 \text{ g}$ 以下となっている。日本向けについては, 更にパルプ粘度 $10.0 \text{ mPa} \cdot \text{S}$ 以上としている。

3. 山林概要

社有林の総面積は 2005 年 1 月現在, 234,827 ha でミナス・ジェライス州 48 町村郡に亘っている。ブラジルでは保護林を設けることが義務付けられており, 保護林を除く植林面積は 123,398 ha である。昨年 7 月には FSC 森林認証を取得している (表 1)。

苗生産は, ミニ挿し穂によるクローン栽培で, 自動施肥灌水, 排水リサイクル等, 最新技術を導入した敷地面積 $60,000 \text{ m}^2$ の苗畑で行っている。この苗畑は 2000 年に完成しており, 生産能力は 2,400 万本/年で自社植林用苗全量をまかなっている。

樹種はユーカリ属のグランディス種 (*Eucalyptus Grandis*) を主体に使用してきたが, 現在はこれとユーロフィラ種 (*Eucalyptus Urophylla*) を交配させたハイブリッド種ユーログランディス (*Eucalyptus Urograndis*) を主に使っている。山林設立以来, 育種事業を継続して実施, 原木生長量のみならず, パルプ歩留, アルカリ消費量といった品質についてもターゲットにしている。

植林作業は通年植付けを実施しており, 乾季も高分子吸収ポリマーゲルの使用及び植付け時に灌水をすることにより, 生存率はほぼ 100% を達成している。

伐採作業は山や丘陵地帯が多いことから, 地形にあわせた機械伐採集材システム (フェラーバンチャー, スキッター) を採用しているが, 機械化率は約 60% にとどまり, 残りはチェーンソーによる人力伐採となっている。

植林地は大きく 4 つの地域の区分されており, ベロ・オリエンテ地区, ガニャエス地区, ノバ・エラ地区, イパーバ地区となっている。半径は 120 km の範囲内で, これは, 関東平野の面積内に東京都より広い土地 (神奈川県に相当) が点在していることになる (図 3)。植林・伐採はプロジェクトと呼ばれる 425 の地域に区分され, 計画的に行われている。各プロジェクトは更に, 土地の傾斜や土壌の違い等により林分と呼ばれる区画 (トータル 5,000 余り) に分けられ, その土地に適したユーカリ個体 (クローン) が植林され, 7 年後

表 1 山林概要 (2005 年 1 月現在)

保有土地面積	234,827 ha (内, 借地 3,508 ha)
既植林面積	123,398 ha
保護林面積	92,087 ha
インフラ等	17,060 ha
植林可能面積	2,282 ha
植林樹種	ユーカリ属ユーログランディス種 (<i>Eucalyptus Urophylla</i>) ユーカリ属グランディス種 (<i>Eucalyptus Grandis</i>)
年間伐採面積	14,700 ha (2005 年実績)

図 3 CENIBRA 植林地 (全体)

に伐採され, 萌芽更新を 1 回行う, 14 年サイクルになっている (図 4)。

4. 原木品質がパルプ製造プロセスに与える影響

セニブラは設備増強を繰返して, 2005 年実績で 96 万 t 余りを生産する規模となった。しかし, 定常的に高負荷操業となっており, 原木品質のバラツキがパルプ製造プロセスに大きな影響を与えるようになってきた。そこで, パルプ製造プロセスの安定を目的に原木使用方法の適正化を検討した。

4.1 原木品質のバラツキと要因

セニブラで使用しているのは *Eucalyptus grandis* 及び *Eucalyptus Urograndis* といった植林ユーカリ木である。しかし, 植林ユーカリ木といっても品質のバラツキが大きく, 容積重で $380 \sim 540 \text{ kg/m}^3$, ラボによる蒸解テストでもアルカリ消費量で 13.0~18.5%, 歩留で 46~56%, 抽出物含有量で 0.8~3.0% もの差がみられている (尚, ラボでの蒸解条件は, 温度; 170°C , 滞留時間; 150 min, 硫化度; 30%, 液比; 3 で実施)。図 5 に容積重の分布 (バラツキ) を示す。

図 4 植林地（プロジェクト例）

図 5 容積量のバラツキ

図 6 容積重とアルカリ消費量の関係 (kappa=17)

4.2 要因解析と対策

原木品質がバラつく要因としては、個体差、樹齢、地域、土壌、植付け場所（丘陵地 or 平地）等が上げられる。成長量だけでなく、容積重、アルカリ消費量、歩留、抽出物含有量、リグニン含有量といった品質にも大きな差が見られている。

原木品質を調査する中で、容積重増加に伴いアルカリ消費量増加や歩留低下が見られ、容積重のバラつきがパルプ製造プロセスの大きな影響を与えていることがわかった（図6）。そこで、2003年より、原木を容積重別に A クラス（ $\leq 450 \text{ kg/m}^3$ ）、B クラス（ > 450

kg/m^3 , $\leq 480 \text{ kg/m}^3$ ）、C クラス（ $> 480 \text{ kg/m}^3$, $\leq 510 \text{ kg/m}^3$ ）、D クラス（ $> 510 \text{ kg/m}^3$ ）、E クラス（その他）の 5 段階に選別。容積重の変動が少なくなるように使用することとした。

1・2 ラインとも対策後、連釜出の Kappa 値のバラツキが小さくなり、操業の安定が図られた。図7に#2 連釜の Kappa 値のバラツキ（標準偏差）の推移を示す。

5. FT-NIR 使用による原木の品質管理

容積重管理をすることで、操業の安定が図られたが、まだ満足できるレベルではない。そこで、次のステップとして FT-NIR 導入による原木の品質管理を検討した。

図7 kappa 値のバラツキの推移 (#2 連登)

5.1 FT-NIR とは

FT-NIR (Fourier Transform Near Infrared Spectrophotometer) とは、フーリエ変換近赤外分光分析計のことで、近年、農業、食品、石油化学、繊維、薬品等の広い分野で活用されてきている。紙・パルプの分野でもチップ特性やコーティング分析等に使用されてきている。基本的な測定原理は異物分析で一般的に用いられている FT-NIR と同様で、近赤外線をサンプルに照射して得られるスペクトルパターンから定量・定性分析をするもので、短時間で様々な情報を得ることができる。CENIBRA でも測定の迅速化や原木の品質管理強化を目的に導入検討を行った。

5.2 FT-NIR 測定値と実測値との比較

FT-NIR を導入するにあたり、当初は演算式の設定を含め、かなりの調整が必要であった。しかし、調整を行うに従い、FT-NIR による推定値の精度は大幅に向上した。現在では容積重をはじめとして、歩留、アルカリ消費量、リグニン含有量、抽出物含有量を分析している。図8に代表的な品質である容積中の FT-NIR による推定値と実測値の比較結果を示す。若干のバラツキはあるが、 $R^2 \approx 0.7$ の相関が見られ、実機での使用は可能なレベルと判断。測定の迅速化と測定数増による精度向上を目的に FT-NIR の使用を開始した。また、FT-NIR による Kappa 値推定値とオンライン Kappa 値計値との比較テストを実施 (図9)。

図8 容積重; 実測値と FT-NIR 推定値の比較

相関も高いことから、オンラインによる使用についても検討中である。

5.3 原木の新分類

これまでは原木を A～E の 5 段階に選別していたが、 450 kg/m^3 以下の品質の良い原木についてはパルプ製造プロセスに与える影響が軽微であることから、 510 kg/m^3 を超えるものについては全体の 5% にすぎないことから分類を廃止することとし、 480 kg/m^3 以下の比較的品質の良いものを A クラスと、 480 kg/m^3 超のものを B クラスとした。リグニン含有量が 28% 以上になると、アルカリ消費量が急激に増加すること、過去の経験より抽出物含有量が高い材がピッチトラブル等を起こす可能性があることから、抽出物含有量が 4% 以上のものについては、その他の材と共に C クラスとした (表2)。

6. 新原木管理方法の検討と導入

6.1 連釜による分別使用

現在、セニプラの連釜の（断面積）負荷は1連釜の方が高くなっている。そこで、2006年より、負荷の高い1連釜についてはAクラス材を中心に使用、連

釜の負荷が1連釜より低い2連釜についてはBクラス材を中心に使用することとして、取組みを開始している。Cクラス材については双方に少量ずつ混ぜて使用する予定である。また、2007年には20万t増産設備が稼動し、生産体制も変化することから、必要に応じて修正をしていく予定である。

表 2 原木の分類基準

～1999	2000～2002	2003～2005	2006～
原木の分類単位			
なし	プロジェクト毎 (425 箇所)	プロジェクト毎 (425 箇所)	林分毎 (約 5,000 箇所)
原木分類方法			
選別なし	ミックス 及び 容積重の高い材 (>520)	容積重による分類	品質による分類
		A ; $A \leq 450$	A ; 品質 A
		B ; $450 < B \leq 480$	B ; 品質 B
		C ; $480 < C \leq 510$	C ; 品質 C, その他
		D ; $D > 510$	
		E ; その他	
	品質 A	品質 B	品質 C
容積重 (kg/km^3)	$A > 480$	$B \leq 480$	—
リグニン量 (%)	$A < 26$	$26 \leq B \leq 28$	$C > 28$
抽出物量 (%)	$A < 2$	$2 \leq B \leq 4$	$C > 4$
歩留 (%)	$A > 52$	$C \leq 52$	—

6.2 プロジェクト→林分への品質管理変更

また，これまでプロジェクト毎に容積重等の原木品質を管理していたが，2006 年より，425 のプロジェクト毎に行っていた原木品質管理を約 5,000 の林分毎の，よりきめ細かい管理へ移行する。

6.3 原木のモニタリングシステム導入の検討

林地が広範囲に亘ることから，全エリアを対象としたモニタリングシステムの導入についても，現在，検討中である。このシステムは広範囲に亘る各エリアに，どのような品質の原木が伐採・ストック・運搬されているかを把握することで，工場へ搬入する原木品質を管理・コントロールすることを目的としている。また，運搬車輛の位置をモニターすることで，原木輸送の効

率化(燃料費削減や待ち時間削減による作業効率向上)も期待できる。

7. 最 後 に

工場概要を含め，セニブラの操業状況について紹介した。

ユーカリ植林木 100% といっても原木品質は均一ではなく，品質のバラツキがパルプ製造プロセスに大きな影響を与えている。育種事業による植林木のバラツキの減少と管理・使用方法の最適化という，原料供給と操業改善の双方の面から取組むことで，パルプ製造プロセスの安定をはかり，更なる品質と生産の向上に努めていきたいと考えている。