

小名 俊博

(王子製紙(株)森林資源研究所、上級研究員)

「高リサイクル性を有する森林資源の開発」

1. 研究実施の概要

リサイクルによるパルプ繊維の劣化と損失を原料から改善するため、高リサイクル性かつ高成長性を有した樹木を迅速に同定・選抜する技術を開発し、選抜木の交雑育種(植林)を実施すると共に、この発生機構を解析することを目的とする。これにより、効率的な森林資源のリサイクルと省エネルギーを達成し、資源循環型社会構築の実現を目指す。生産性の高い森林資源を創出することにより、

CO₂固定量を増加させることが見込める。これまでに、リサイクル性に関与していると考えられる各種の材特性を、近赤外光フーリエ変換ラマン分光法と多変量解析を組み合わせることで、非破壊的に定量する方法をユーカリで開発した。また、同一地域で同様に育成され、成長にほとんど差がない樹木でも、個体によりリサイクル性が異なることがユーカリにおいて判明した。これにより、高リサイクル性を有する樹木の選抜が可能であることが初めて解明された。今後は、これらの手法をアカシアにも応用し、更なる優良樹木の選抜が期待される。

2. 研究実施内容

- (1) リサイクルによる紙の物理特性変化の同定：クラフトパルプに乾湿繰り返しのリサイクル処理を施すと、紙の強度が大幅に低下することが知られている。しかしながら、この低下が同一地域で同様に植林・育成され、成長にほとんど差がない同一樹種の試料において存在するかどうかは判明していなかった。そこで西オーストラリア産のユーカリ *E. globules* を用いリサイクル性の評価を試みた。まず、リサイクル前の比引張強度が約80Nm/gの4個体についてリサイクル性を検討した。この結果、一回目の強度低下の程度は同等であったが、回数が増すと個体間の差が顕著になり、30Nm/gになるリサイクル回数は5回から18回と、大き

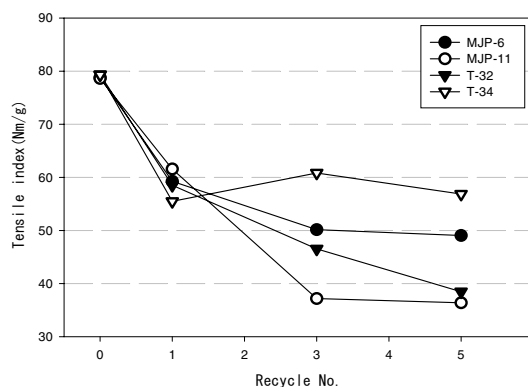


Fig1 Tensile index vs recycle

な個体間差が存在することが初めて同定された (Fig. 1 参照)。次に、比引裂強さでは個体によって、リサイクルにより大きく強度が低下するものやリサイクルの影響をほとんど受けないものなど、個体間の差は非常に大きく、優良個体の選抜が可能であることが判明した (Fig. 2 参照)。

- (2) Py-GC を用いたリグニンモノマー比の精密定量： リサイクル性に関与していると考えられる樹木成分の解析は重要である。一般的にリグニンの構造を解析する手法は化学的分解法または分光法であるが、分解が均一に行なわれない、また定量性が乏しいなどの課題があった。そこで、均一的な分解方法である Py(熱分解)と GC(ガスクロマトグラフィ)を組み合わせ用い、

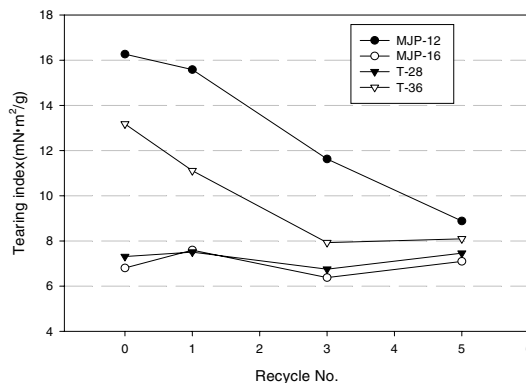


Fig 2 Effect of recycling on Tearing index

ユーカリにおけるリグニンモノマー比の定量を検討した。この結果、リグニンモノマーとしてメジャー成分であるシンナミルアルコール類とともに、これまで定量解析されていなかったマイナー成分であるシンナムアルデヒド類についても、精密な定量が可能となった。

- (3) 高白色度 CTMP の製造とその熱・光退色性： 資源の有効利用の観点から、高収率パルプ特に機械パルプの製造は重要である。しかし、ユーカリでは一般的にその製造は難しいとされてきた。そこで、西オーストラリア産の *E. globules* を用い CTMP (chemithermomechanical pulp) の製造を検討した。一方、CTMP においてはリグニンを含めたポリフェノールが多量に残存しており、熱や光による色戻りの問題がある。紙をリサイクルする際、この色戻りは漂白薬品を多量に消費するため重要な課題であり、この点についても検討した。この結果、高収率・高白色度の CTMP が製造可能であることが判明した。また、加熱試験においても安定した白色度が維持された。光退色試験においては、個体間差が見られたが、非常に良好なものも認められた。以上のことから、高収率・高白色度、かつ低熱・光退色性の優良個体の選抜が可能と考えられ、リサイクル性のみならず、資源の有効利用への道が開かれた。
- (4) 植物 K^+ チャネルのイオン選択性： 植物にとって K^+ は必須元素であるが、 Na^+ は必須元素ではなくむしろ植物の生長には害となる。植物 K^+ チャネルの KAT1 は、 K^+ 輸送体のモデルとしてもっとも研究が進んでいる。KAT1 は K^+ を輸送するが Na^+ が共存しても影響を受けないことが知られている。一方、塩害の原因物質である Na^+ が植物細胞内へ何らかの輸送経路で入ることも知られてい

る。積極的に Na^+ を取り込む機構がないとすれば、 K^+ 輸送体を介して Na^+ が取り込まれると考えられている。つまり、一価陽イオンの Na^+ と K^+ はイオン半径がほぼ同じで、この輸送体を通るといふ仮説があるが未だ証明されていなかった。そこで KAT1 の孔部位のアミノ酸を置換したところ、 Na^+ の存在下では K^+ が通過できなくなった部位特異変異体 2 種類 (T256E, T256Q) が見出された。野生型の KAT1 と 2 種類の変異型 KAT1 の cRNA を合成し卵母細胞において発現した後、膜電位固定法 (two electrode voltage clamp) にてイオン電流を測定した。この結果、T256Q では低電位から高電位まで Na^+ ブロックは膜電位非依存性であり、孔入口付近のブロックがされていた。 Na^+ 高濃度かつ高電位 (過分極電位) の場合でも Na^+ がポアに入りブロックし、それ以後 Na^+ は比較的簡単に細胞外に戻る方向に抜け出すことが判明した。一方、T256E において低膜電位の場合、 Na^+ が孔の中に侵入して孔にとどまり通過することはなかった。ところが、高い過分極した膜電位では、KAT1 孔への Na^+ の侵入後、 Na^+ が細胞側へ透過することが明らかとなった。動物の K^+ チャネルの中には、このアミノ酸に相当する位置に E であるものが存在する。動物の場合、細胞外に Na^+ が存在して、常に濃度勾配を利用して細胞内に流入する Na^+ を排出するイオンポンプが機能している。このため動物の K^+ チャネルの Na^+/K^+ の選択性が低いことと、T256E はよく似ている。 Na^+ に弱い植物細胞が K^+ チャネルを通して Na^+ が通過するのを防ぐために、植物の K^+ チャネルは Na^+/K^+ の選択性が高くなるようなアミノ酸で、イオン選択孔が構成されていることが示唆された。

- (5) アカシア属の各種力学的性質の発現と肥大成長量： 材の未成熟から成熟材への移行が樹齡 (形成層齡) によるものか、あるいは直径 (肥大成長) によるものかは、植林木の管理上非常に重要な課題である。つまり、材の性質として利用に好ましい成熟材部が、樹齡によってしか発現しないと、樹木を早く生長させても量的なメリットはあるが、質的なメリットは望めないことになる。そこで、マレーシア産のアカシア 3 樹種 (*A. mangium*, *A. auriculiformis*, 両者のハイブリッド) について、気乾密度、マイクロフィブリル傾角、繊維方向ヤング率および繊維長に着目し、これらの変化を成熟材の指標として肥大成長量との関係を検討した。この結果、マイクロフィブリル傾角でははっきりしないものの、気乾密度、繊維方向ヤング率および繊維長では、成熟材になる、つまり各種の値が放射方向で髓から樹皮に向かって増加し一定になるのは、樹齡ではなく肥大成長に関係していることが判明した。このため早生樹で心配される、成長速度を大きくすることが材質を悪化させる、という予測はあたらないことを明らかにした。
- (6) 繊維形態における樹幹内変異と標準値： 成長錐コアを用い、立木を抜倒せず樹木全体の品質を予測するには、目的の材特性の樹幹内変異を見極めた上で、全

体を代表するような部位からコアを抜き取ることが重要である。そこで、パルプ特性と相関が高い木繊維の形態について、樹幹内変異と標準値を西オーストラリア産のユーカリ *E. camaldulensis* および *E. globules* を用い検討した。この結果、*E. camaldulensis* では、平均直径および内腔直径が樹幹下部、壁厚においては上部と樹皮側において高い傾向が認められた。しかし、放射方向直径では傾向は認められず、また接線方向直径においては大きな個体間差が認められた。一方、*E. globules* においては、内腔直径を除くすべての項目が樹幹上部および樹皮側において高い傾向が認められた。標準値は、*E. camaldulensis* においては内腔直径が地上高1.3mであるのを除き、すべて2.8mであった。また、*E. globules* においてはすべての項目で1.8および2.3mであった。このため、コアによる全体の品質の予測は可能であることが判明した。

- (7) 近赤外 FT-Raman 分光法を用いた実用的な定量分析における装置温度の影響： 近赤外 FT-Raman 分光法を用い定量分析する際、測定温度環境の変化により再現性の問題があることが指摘されている。この問題は、レーザー、検出器、試料の各温度の影響が考えられる。そこで、市販の FT-Raman 分光光度計を入れられ、実用的な範囲内で温度コントロールが可能な分析機用恒温（低温）器を新規に開発した。これにより、 ± 0.1 の環境が確保された。また、これに InGaAs 検出器を有した FT-Raman 分光光度計を入れて測定温度環境の影響を検討した。試料として固体（ポリスチレン）と粉末（セルロース）の二種類の試料形態を用いた。この結果、試料温度に関係なく、特定のピーク強度比における再現性が、ポリスチレンで15.0から22.0 の範囲内で温度が変化すると約200倍、セルロースでは15.0から22.5 の範囲内で、同様に約40倍と大きく改善されることが判明した。これにより、InGaAs 検出器を有した FT-Raman 分光光度計の定量再現性が大きく向上することが判明した。FT-Raman 分光法を用い、リサイクル性の予測が高い精度で実現されることが期待される。

3 . 主な研究成果の発表（論文発表）

Ona, T., Sonoda, T., Ito, K., Shibata, M., Ootake, Y., Tamai, Y. and Kojima, J. rapid prediction of pulp properties by Fourier transform Raman spectroscopy of native wood. *Journal of Pulp and Paper Science*, Vol. 26 : 43-47(2000)

Ona, T., Sonoda, T., Ito, K. and Shibata, M. Effect of alkali extraction on the lignin monomeric composition in *Eucalyptus*. *Journal of Wood Science*, Vol. 46 : 410-413 (2000)

Yokoi, H., Nakase, T., Ishida, Y., Ohtani, H., Tsuge, S., Sonoda, T. and Ona, T. Discriminative analysis of *Eucalyptus camaldulensis* grown from seeds of various origins based on lignin components measured by pyrolysis-gas

chromatography. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol. 57 : 145-152 (2001)

Sonoda, T., Ona, T., Yokoi, H., Ishida, Y., Ohtani, H. and Tsuge, S. Determination of lignin monomer composition by pyrolysis-gas chromatography/mass spectroscopy. 59, *In : Proc. The 14th International Symposium on Analytical and Applied Pyrolysis*, Seville, Spain(2000)

Yokoi, H., Nakase, T., Ishida, Y., Ohtani, H., Tsuge, S., Sonoda, T. and Ona, T. Discriminative analysis of *Eucalyptus camaldulensis* grown from seeds of various habitats based on lignin components measured by pyrolysis-gas chromatography. 153, *In : Proc. The 14th International Symposium on Analytical and Applied Pyrolysis*, Seville, Spain(2000)

Ito, K., Kato, T. and Ona, T. Improvement of reproducibility for quantitative analysis of real world samples by NIR FT/Raman spectroscopy using a thermal box. 80-81, *In : Proc. The 27th Annual Conference of the Federation of Analytical Chemistry and Spectroscopy Societies*, Nashville, TN, USA(2000)

Ona, T., Sonoda, T., Ito, K., Shibata, M., Ootake, Y., Ohashima, J., Yokota, S. and Yoshizawa, N. Quantitative FT/ Raman spectroscopy to measure wood cell dimension. 128, *In : Proc. The 27th Annual Conference of the Federation of Analytical Chemistry and Spectroscopy Societies*, Nashville, TN, USA(2000)

Ona, T., Sonoda, T., Ito, K., Shibata, Y., Tamai, Y. Kojima, Y., Ohshima, J., Yokota, S. and Yoshizawa, N. Investigation of relationships between cell and pulp properties in *Eucalyptus* by examination of within-tree property variations. *Wood Science and Technology*, Vol. 35(2001)

小名俊博、バイオ技術用いて 短期間 高効率 優れた樹木を創出、科学新聞、第7面、平成13年3月23日(2001)