

自然と調和する次世代の木材化学産業（上）

北海道大学教授 佐野 嘉 拓

1. 21世紀の持続的社會を目指す森林資源の化学的総合利用

植物バイオマス（図1），特に木材は現存する蓄積量が多く，環境保全を留意した更新が可能で，木材成分（図2）からは石油製品の95%が生産できることから，21世紀の石油欠乏期には，石油延命・代替の有機資源として広範な用途に利用することが要請されています。今世紀の木材の化学的利用はパルプ用が主ですが，日本の木材需要の約40%はパルプ材で，古紙の利用を含めると更に多くの木材がパルプ材として使用されていることとなります。しかし，輸入パルプを含め

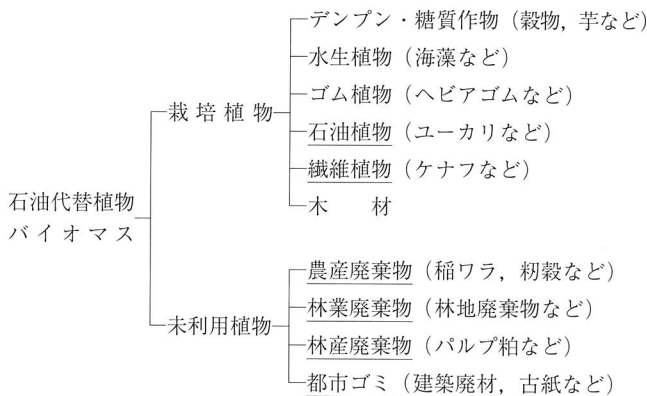
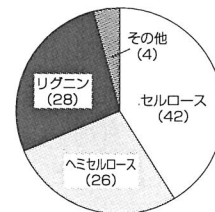


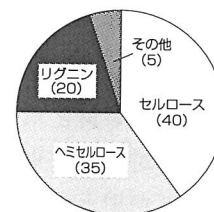
図1 21世紀を支える植物バイオマス資源

ると，パルプ材の70%強は外材であり，国産のパルプ材は建築用材と同様に価格面で苦戦を強いられています。道産材も例外ではなく，木材生産にあずかる森林資源を取り巻く環境は，国の内外を問わず，地球環境や生態系への関心の高まりと共に一段と厳しさを増しています。

従来は主に針葉樹を経済林として植林してきましたが，21世紀になると，環境保全や修復機能の優れた早生広葉樹を環境林として，グローバルな規模で植林する必要が生じてきます。同時に環境保全・修復機能の



エゾマツ材の化学組成



シラカンバ材の化学組成

図2 木材成分の化学組成

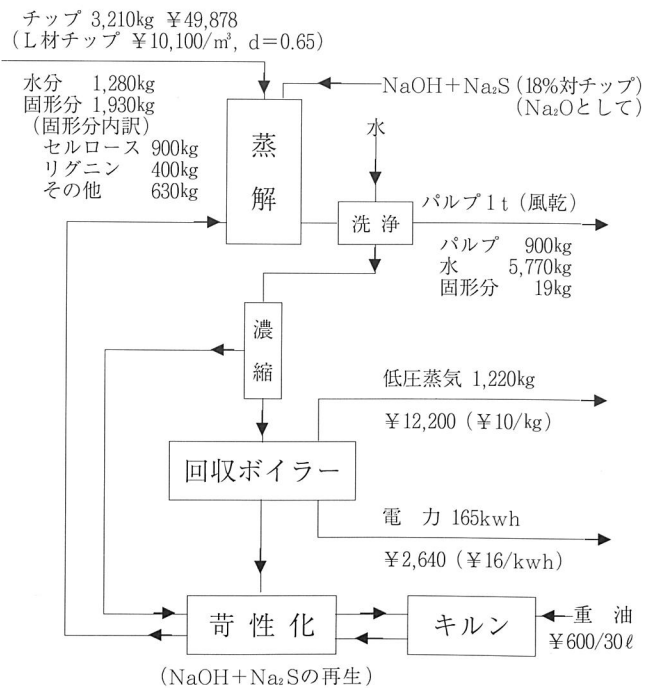


図3 クラフトパルプ化プロセス

表1 木質バイオマス成分の燃焼熱 (kcal/kg)

酢酸リグニン	6,100
酢酸リグニン水素化分解物	8,200
石炭	5,000~7,500
コークス	6,000~7,000
重油	10,000~11,000
キシロース	3,200
フルフラール	5,100
40%酢酸リグニンを含むフルフラール溶液	5,400 (粘度285cP)

早生樹の化学的総合利用を考える場合、木材の約50%を占める木材セルロース（パルプ）は合成高分子で代替できないエコマテリアルですから、その特性を生かした利便性の高い紙パルプに優先的に利用すべきです。更に、製紙原料に利用できない劣悪古紙、微細繊維、粉殻などに含まれるセルロース、および非繊維

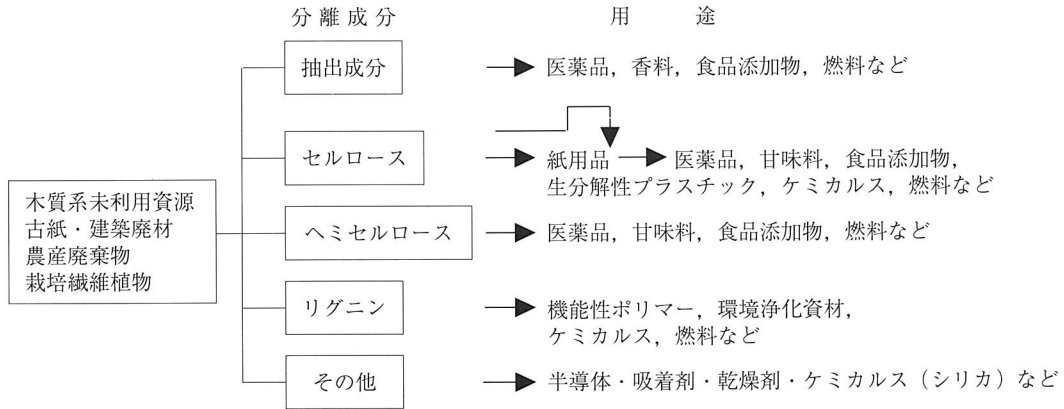


図4 木質バイオマスの有効利用

衰えた早生樹は木材資源として活用するのが合理的であり、環境という公益的機能と木材資源の供給機能の両面を満足させる森林資源の管理・運営が必要となります。しかし、早生樹の木材は一般に低質で、パルプ材には利用できても、高価な建築用材に使用することは困難です。

現在、パルプ材の約80%は、木材から化学薬品を用いて製造する高品質の化学パルプ（以下パルプ）の原料に使われています。残りの約20%は木材成分の約95%を含む機械パルプの原料ですが、機械パルプは品質が悪く、高級紙の原料には使用できません。現行のパルプ製造法（図3）では、木材から約50%のパルプを製造し、残りの非繊維成分（木材の20~30%を占めるリグニン、30~20%のヘミセルロースおよび約3%の抽出成分）の大部分はパルプ製造プロセス、例えば、パルプ廃液からパルプ試薬を再生産するエネルギー源として回収ボイラで燃やされています。しかし、非繊維成分、特に糖類は熱量が小さく、燃料としての付加価値は劣ります（表1）。早生樹から生産される木材に化学的変換により建築用材に比肩する付加価値を持たせるには、パルプと共に非繊維成分も燃料以上の高度な用途（図4）に有効利用する技術を開発する必要があります。環境材としての早生樹の機能を全うさせるためにも、非繊維成分の有効利用は重要です。

表2 セルロース誘導体の用途

産業部門	用途	誘導体
包装織物	包装用フィルム	アセチルセルロース、再生セルロース*
	繊維	アセチルセルロース、再生セルロース*
	サイズ剤	カルボキシメチルセルロース (CMC)
	不織布のバインダー	ヒドロキシエチルセルロース (HEC)
プラスチック	成形	アセチルセルロース、酢酸・酢酸セルロース、酢酸・プロピオン酸セルロース、エチルセルロース
	写真フィルム	アセチルセルロース
表面コート	ラッカー	ニトロセルロース、アセチルセルロース、エチルセルロース
	塗料	CMC, HEC, メチルセルロース, エチルセルロース
軍需	火薬	ニトロセルロース
	飛行機ロケット推進剤	ニトロセルロース
記録分散剤	テープ	アセチルセルロース
	農業	CMC
化学薬品	耐水性セロファン	ニトロセルロース
	乳化解融剤	HEC
食品医薬	乳化解融剤	CMC, ヒドロキシプロピルメチルセルロース (HPC)
	下剤	CMC
医療	乳化解融剤	CMC
	造粒剤	メチルセルロース, HPC
	コート剤	ヒドロキシプロピルメチルセルロース, HPC
	腸溶剤のコート	酢酸・フタル酸セルロース, ヒドロキシプロピルメチルセルロース・フタレート
化粧品	人工腎臓の透析膜	再生セルロース*
	手当用品 (ガーゼ, ほう帯)	酸化セルロース
たばこ製紙	乳化解融剤	CMC, メチルセルロース, HEC, HPC
	フィルター	アセチルセルロース
石油電気	サイズ剤	CMC, メチルセルロース
	コート剤	エチルセルロース
印刷土木	油井探掘用泥水剤	CMC
	絶縁材料	ベンジルセルロース, シアノエチルセルロース
陶器	インキ安定剤	エチルセルロース
	セメント添加剤	HEC
皮革	バインダー	メチルセルロース
	加工処理剤	メチルセルロース

*ビスコース溶液から再生

成分はバイオマス変換によって図5~7, 表2と3に示すような付加価値の高い化学工業原料, 食品添加物, 医薬品などに有効利用することが重要です。こういった

自然と調和する次世代の木材化学産業（上）

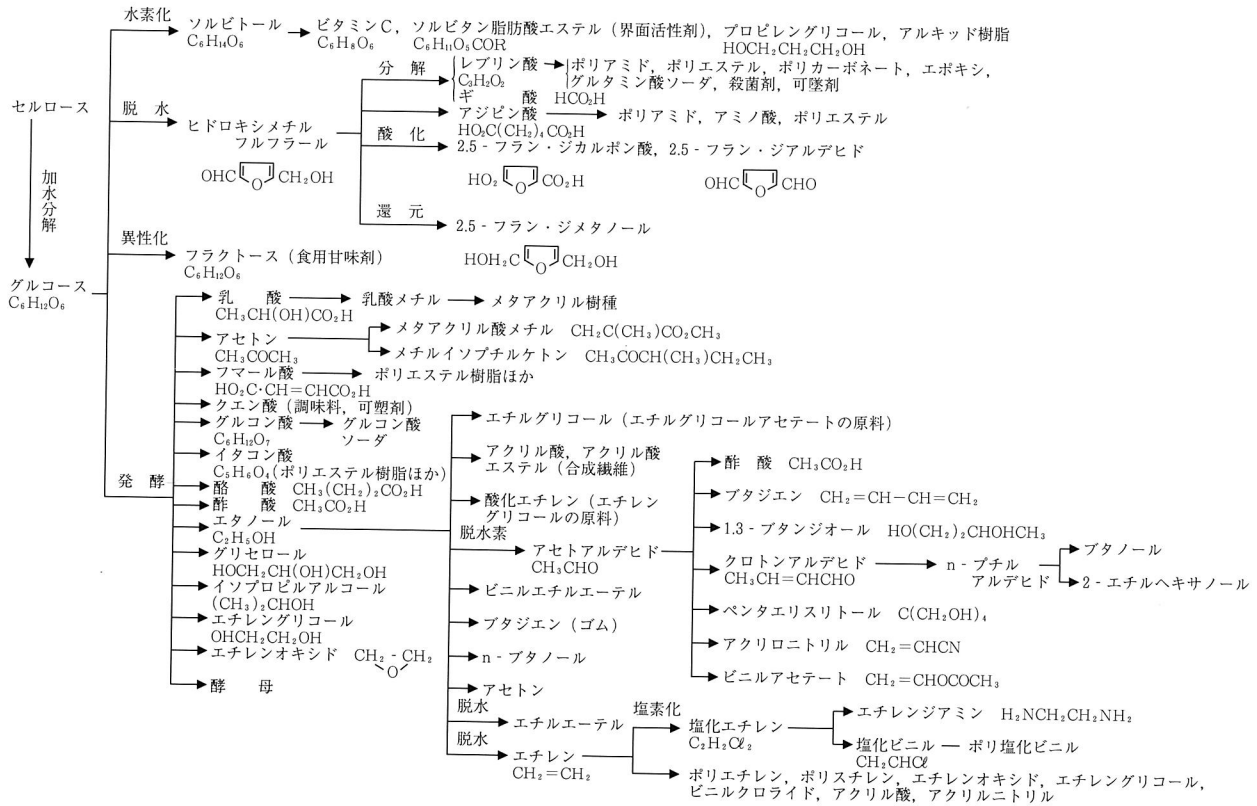


図5 セルロースから調製されるケミカルス

た木材化学成分の総合利用技術の開発は、早生樹の付加価値を飛躍的に高め、早生樹を21世紀の有機資源として利用するために早急に解決しなければならない課題です。

また、木部や樹皮には、薬理活性などの特性を有する有用な抽出成分（図2，図8）が含まれますが、抽出成分は単一樹種においても種類が多く、それぞれが

微量なために、樹木から有用な抽出成分を単離・精製し、医薬品などに利用する単独のプロセスは通常、殆ど経済性を持っていません。

木材の主要成分は針葉樹と広葉樹では化学構造を異にするものがありますが、針葉樹の樹種間や広葉樹の樹種間では樹種による本質的な相違はありません。しかし、抽出成分は樹種によって種類と量が著しく異なる

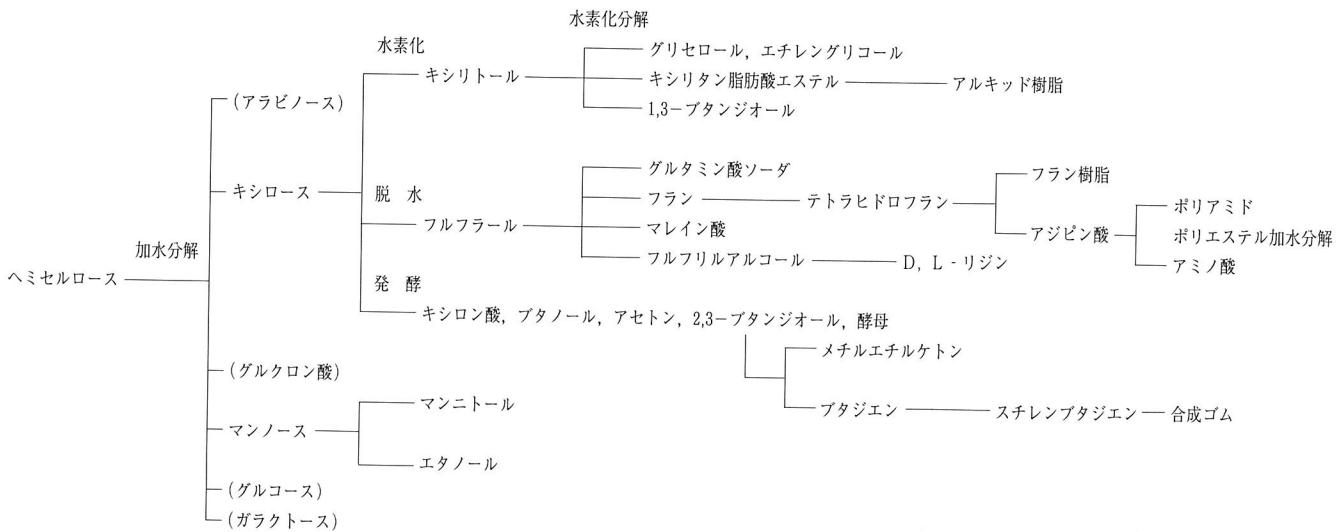


図6 ヘミセルロースから調製されるケミカルス

- フェノール樹脂：接着剤，成形品，イオン交換樹脂，成形活性炭他
- リグニンスルホン酸塩：界面活性剤，分散剤，皮革用鞣剤他
- エポキシ樹脂：接着剤，成形品，イオン交換樹脂，界面活性剤他
- ポリウレタン樹脂：接着剤，エラストマー，ポリウレタンフォーム他
- 炭素繊維：汎用炭素繊維
- 活性炭：繊維状活性炭，シート状活性炭，粒状活性炭他
- 低分子フェノール類：フェノール系樹脂他
- 燃料：固形燃料，混合液体燃料，粉炭固形燃料他

図7 リグニンから製造可能な製品

るので，その分別に複雑なプロセスが必要になって，多大なコストがかかります。ただし，極めて有用な特

構築できます。

対象となる樹木が，後述するように，寒冷地に繁茂する早生樹（例えば，シラカンバ）であることから，低廉な熱帯産早生樹材の脅威に曝されることなく，寒冷地早生樹を主要な原料とするウッドバイオマス変換工場を，環境保全に留意した持続可能な工業として，寒冷地山村に建設することが可能になると考えられます。

例えば，早生樹のチップと樹皮，農産廃棄物，木質

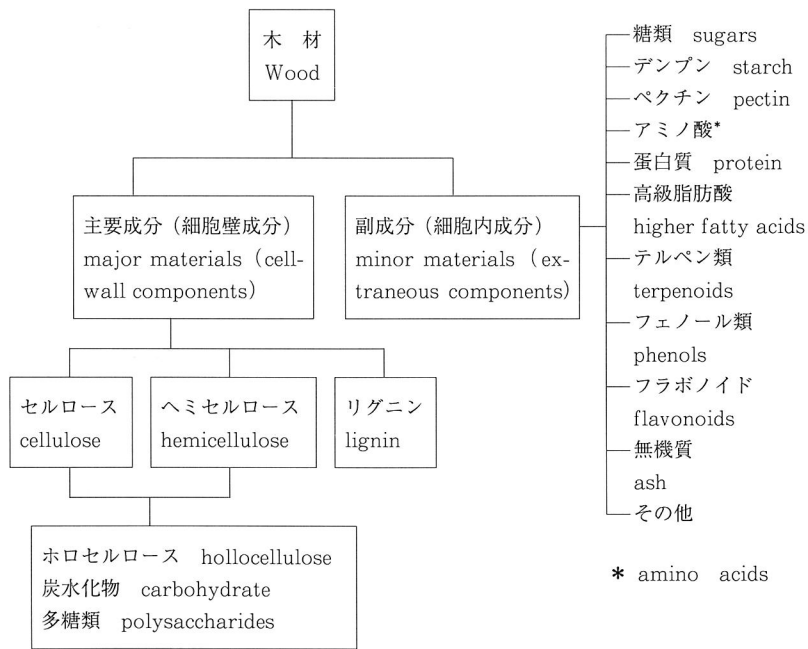


図8 木材を構成する成分

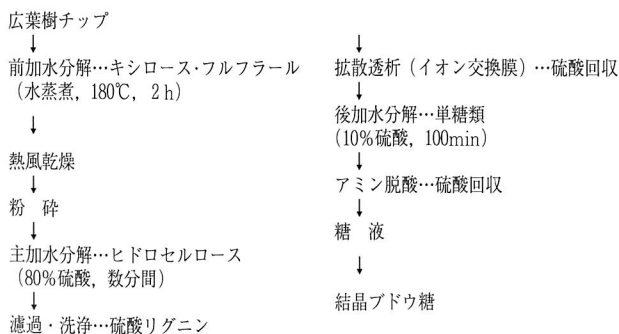


図9 木材の酸加水分解プロセス（北海道法）

異成分を含む樹木の場合，樹皮やチップを同時に集荷して，木材および樹皮各成分の分別・分離・溶媒回収などを共有の装置で行うなどのプロセスの改良で，経済性を改善し，これによって抽出成分を中心に捉えた，樹木全成分の総合利用を目指した成分分離システムが

都市ゴミ（古紙，建築廃材など）などの木質バイオマスを21世紀の要請に応える成分分離システムで分別・分離し，全てのバイオマス成分を原料とする

- ①紙パルプ製造工場
 - ②木材糖化工場（グルコース，キシリトールなどの製造）
 - ③バイオマス変換によるケミカルス製造工場（エタノール，乳酸，酢酸などの製造）
 - ④リグニン変換工場（接着剤，機能性ポリマー，界面活性剤，環境浄化資材，ケミカルスなどの製造）
 - ⑤ファインケミカルス工場（抽出成分から医薬品などの製造）
 - ⑥バイオマスエネルギー変換工場（ガス，液体，固体の各燃料の製造）
- などの多様なウッドケミカルス工場を設立して，21世

表3 リグニンスルホン酸塩の用途

コンクリート減水剤
粉砕造粒剤
肥料造粒剤・土壌改良剤
窯業用粘結剤・分散剤
農薬分散・造粒剤
豆煉炭・活性炭・カーボンブラック造粒剤
染料・顔料・インキ分散剤
泥水調整剤
石膏ボード用添加剤
鉱物砂用添加剤
飼料用バインダー
医薬（血液凝固防止剤、制酸剤、抗潰瘍剤など）
接着剤・合成樹脂
活性炭・炭素製品
皮革用鞣剤、ゴム老化防止剤
公害防止用処理剤（凝集剤）
ケミカルス（バニリン、シリングアルデヒド、フェノール類）
その他

リグニンスルホン酸塩：水に不溶性のリグニンにスルホン基を結合させ、水溶性とした界面活性を有するリグニン。
(Lignin-SO₃Ca_{1/2})

紀の、資源循環型でゼロエミッション型のウッドケミカルコンビナートを展開することも決して夢ではありません。

樹木成分の総合利用には、まず木材の各成分を利用し不都合な変質をさせずに高収率で分別・分離する簡易成分分離法が必要ですが、満足できる方法はまだ確立されていません。現行の主要なパルプ製造法であるクラフト法も木材成分の分離法の一つで、

- ①針葉樹、広葉樹、腐朽材など全ての繊維植物から強度特性の優れたパルプを製造することが可能で、
- ②高価で大量に使用されるパルプ化薬品（NaOHとNa₂S）の再生法が確立され、
- ③パルプ化プロセスで発生する環境汚染物を完全に封鎖する完成度の高いパルプ製造法ですが、クラフト法は②と③に膨大な設備投資が必要で、②に多くのエネルギーを消費する典型的な重厚長大型工場による生産を余儀なくされています。また、パルプ以外の非繊維成分はパルプ製造の際に熱アルカリにより著しく変質して、有効利用できないために、パルプ化プロセスの主要な燃料として利用し、重油使用量の削減に寄与しています。しかし、非繊維成分の熱量は小さい

ために、重油のカロリーと価格（20円/kg）に基づいて算出される燃料価格はヘミセルロース（以下、糖類）とリグニンで各々6.3円と13.7円/kgにすぎません。重油相当の熱量を得るには、重油より多くの非繊維成分を燃焼しなければならないし、ポスト石油時代の貴重な天然有機資源の利用法としては不満足です。エネルギー消費の少ないパルプ製造法を開発して、非繊維成分も炭素の固定化を継続できる用途に有効利用する技術の開発が必要です。

以前、低質広葉樹の資源化のために木材糖化プロセス（図9）の企業化が計画されました。人口大国などでの紙の消費量が近年著しく増加して、近い将来、パルプ材が世界的に供給不足をきたすことが懸念されていることから、木材を直接糖化することは木材の効率的利用の面からは好ましくないと考えられます。糖化に使用するセルロースは、劣悪古紙、微細繊維、非木材などパルプ材に使用できないバイオマスに含まれるもので十分です。農産廃棄物などの非木材は集荷・貯蔵の条件、パルプの性状などが木材に劣るために、現在、紙パルプ先進国では製紙原料に使用していませんが、21世紀の資源循環社会では「わら」などの農産廃棄物も紙やケミカルスの貴重な原料として積極的に活用しなければなりません。

樹木成分を効率良く総合利用するために、

- ①エネルギー消費量が少なく、
- ②パルプ化薬品の回収や環境保全に莫大な設備投資を要さず、
- ③環境に温和で、資源循環型小規模装置で成分分離が可能であり、
- ④全ての木材成分を分別・分離し、有効利用できるような新たなパルプ製造法を早急に開発しなければなりません。

現行のアルカリ法はパルプの製造には適していますが、①～④の全てを満足させません。有機溶媒を用いたソルベント法は①～④の条件を満足させるパルプ化法と考えられます。ソルベント法による木材パルプの製造法は無公害パルプ化法として古くから報告されていますが、多くはパルプの製造法で、木材成分の総合利用を目指す簡易成分分離法としては目を向けられていません。成分分離法にソルベント法を使用するにしても、分離したセルロース（パルプ）は前述のように優先的に製紙原料に利用する必要があり、ソルベント法で得られたパルプも製紙原料としての特性を有する

必要があります。ソルベントパルプはいずれも、製紙特性を持っており、その強度特性はクラフトパルプに比べると劣りますが、極めて漂白し易く、無塩素漂白が可能です。強度特性を強調した場合、クラフトパルプには太刀打ちできません。しかし、樹木を21世紀を構築するポスト石油に位置付けるには、①～③なども考慮に入れた総合的な評価をしなければなりません。

以下、樹木成分の効率的総合利用の観点から、ソルベント法による樹木の簡易成分分離とそれぞれの成分の利用を検討します。

2. ソルベントパルプ化による木質バイオマスの簡易成分分離

有機溶媒を用いたパルプ化法をソルベント法またはオルガノソルブ法と呼んでいます。有機溶媒は通常、少量の水を含むとリグニンの溶解力を著しく増加し、更に、水はリグニンやヘミセルロースの加水分解を促進することから、10～30%の水を含む有機溶媒を使用

します。ソルベント法による木質バイオマスの成分分離は水より低沸点と高沸点の各溶媒系に大別されます。水より低沸点の溶媒系では、200℃前後の高温高压条件下でパルプ化（成分分離）しなければなりません。パルプを分離した後、パルプ廃液から有機溶媒を留去して、残った水溶液から水不溶性リグニンと水溶性糖類を簡単に分別・分離することができます。留去した溶媒はパルプ化に再使用できます。高沸点溶媒系では、200℃前後の高温でも低压なので、安全性の高いパルプ化が可能です。パルプ廃液の蒸留により最初に水が留去して、次いで有機溶媒が留去するために、溶媒の回収は煩雑です。しかし、高沸点溶媒系でも常圧酢酸法や多価アルコール法は後述するように、極めて興味ある展開が可能です。木質バイオマスの効率的総合利用に用いるソルベント法は数多く考えられますが、次号では極めて興味深いエタノール、酢酸および多価アルコール法について解説します。

（つづく）

WOODY クラフト

縁 寿 達 磨

安藤木材店（北見市）

樹 種：えんじゅ

サイズ（高さ）：14cm

価 格：5,250円

えんじゅはどの字をあてても縁起が良い。
木理が重厚で置き物にピッタリ。

