

[木材学会誌 Vol. 51 No. 1, p. 60-61 (2005)]

リグノセルロースー持続的資源としての新しい展開*1

船岡正光*2

Advanced Sustainable Utilization of Lignocellulosics*1

Masamitsu FUNAOKA*2

1. 物質の流れと環境変化

『環境共生型社会』、『持続的発展』……21世紀におけるこの最重要キーワードを達成すべく各所で熱い論議が展開されている。生態系を攪乱することなく持続的に高度な社会を維持するためには、再生されない地下隔離炭素(化石資源)に依存した社会から、循環系炭素資源(バイオマス)に社会基盤を置く新しい社会システムへと早急に転換しなければならない。森林系バイオマスは生態系において壮大な年月を経て一巡するエンドレスループを形成しており、環境構成要素としてのみならず持続的物質供給システムとして今新しい角度から関心が高まっている。『利用』と『廃棄』を繰り返しても循環系炭素の総量に変化はなく、最近では『カーボンニュートラル』という言葉のもとに、安心して使える21世紀型工業原料としてその積極的な活用が検討されつつある。しかし、このような単純な認識で本当に生態系を攪乱することなく次世代へと繋がる持続的な社会が構築されるのであろうか。森林資源を複合体として、さらに分子素材として個々にその利用を論議する前に、我々は今一度完全循環系を形成している生態系のシステムに目を向ける必要がある。

生態系の基本……それは、『物質は流れている』ということである。大気中の炭酸ガス濃度の上昇、プラスチック公害などは我々人間が地下隔離炭素の流れとその時間を変えた結果である。森林地帯を構成する巨大な樹木も、炭酸ガスが太陽をエネルギー

源とする光合成システムによって集合化し、精密な分子複合系へと組み上げられた一形態であり、これはその後壮大な年月を経て再び解体され、最終的に炭酸ガスへと転換される。この流れは人間の流れの時間(平均寿命約85年)を大きく越えており、我々は樹木の流れの全てを見極めることはできない。一方同じ植物であっても草の流れは非常に速く、通常1年で完結する。草と樹木を分けるもの……それは流れの時間である。しかし、我々はこの時間の違いを認識し、使い分けているであろうか。野菜を食べるという行動は草本系炭素の流れにしたがった行動であり、炭素循環系を攪乱することはないのに対し、樹木を木材、紙として利用後廃棄するという行為は、樹木系炭素の流れをその頂点(ポテンシャル最大)において一気に終端分子(炭酸ガス)へと短絡させているということを確認しているであろうか。どのような理由を付けようか、木材を燃やすという行動は、壮大な年月をかけ地球外エネルギーによって組み上がった炭素を骨格とする分子の複合系を、その後の分子レベルでの機能を全て放棄し、炭酸ガスへと一気に転換することに他ならない。我々が生物素材に手を出すとき、以下の2点に関し、深い認識を持つことが必要である。

- ① Endless Loopのサイズ(循環時間)は、バイオマテリアル個々に異なる。
- ② 生物素材は機能を転換しながら、固有の時間で一方向に流れている。

森林資源を生態系における流れにしたがいなめらかに流すということ……それは地球生態系の基盤をなすシステムを攪乱しないということであり、環境保全、持続的な社会を目指す活動の原点であろう。樹木を構成する分子素材を『機能』と『時間』の因

*1 Received July 21, 2004; accepted September 3, 2004.

*2 三重大学生物資源学部 Faculty of Bioresources, Mie University, Tsu 514-8507

子で認識し、それを材料の流れに再現する全く新しい技術と社会システムが必要になる。

2. 樹木を機能性分子へ ～そのキーポイントとは～

木材は、生物素材としては異色の高耐久性素材である。しかし、そこからリグニンを取り去ると一転生分解性素材（紙）に変化する。このことはリグニンが樹木の生態系循環速度を高度に制御していることを意味する。一方、我々は新聞紙が変色する現象を知っている。これはリグニンの変性に基づいており、リグニンが糖質よりも先に変化した結果である。樹木に耐久性を与え、その流れを制御する鍵物質が不安定であるということ……リグニンの耐久性は、その剛直型構造固定によって発現しているのではなく、分子レベルで自在に環境に対応することによって発現しているのである。

リグニンのルーツは芳香族アミノ酸である。窒素が離脱した後その芳香環には複数個のフェノール性水酸基が付加され活性多価フェノールとなるが、その後そのほとんどはブロックされ、比較的安定な潜在性フェノール系高分子（リグニン）として樹木中で長期間機能する。その後、フィールドは土壤中に移り、分子内アルキルアリアルエーテルは徐々に脱アルキル化酵素の作用を受け、多価フェノール活性が再生、フミン系物質として植物栄養素、微量元素の吸着固定等に対し長期間持続的に機能する。脱アルキル化により循環速度制御機構の解除された活性多価フェノール環の一部は酸化され、芳香環が解裂、脂肪族化合物へと転換され、その後最終的にCO₂へと転換される。CO₂は地球外エネルギーをパワーソースとする植物の光合成機能によりポンプアップされ、再び森林とリンク、ここで壮大な炭素循環システムの輪が形成されることになる。

リグニンの構造の流れの中で認識すると、従来の利用法がいかに短絡的であるかに気付く。高エネルギー処理を受けた工業リグニンは、すでに活性部位を消費し厳しい環境に対応した姿であり、さらなる環境設定（反応）による構造転換（製品化）は不可能に近い。さらに、活性フェノール性水酸基のブロック構造を認識しないフェノール系物質への応用、多機能なリグニン構造を逐次応用しない一時的な製品化……これらはいずれもリグニン製品の特性を不明確にし、製品としての信頼性低下へとつながっている。

活性ベンジル位および分子内に高頻度で存在するアルキルアリアルエーテルは、自然界におけるリグ

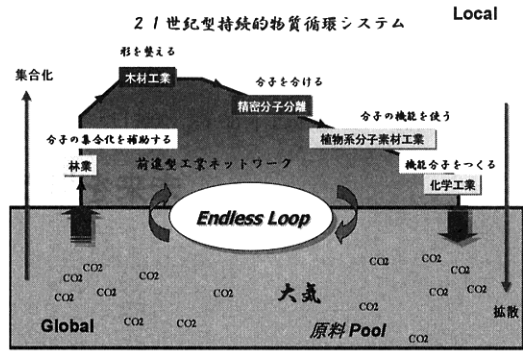


図1 森林を起点とする持続的工業ネットワーク

ニ循環速度制御システムのキーポイントである。これらの構造を精密に制御するシステムを構築することによって、リグニンの機能を徐放的に発現させ、長期間機能的に活用することが可能となる。

21世紀においてリグノセルロースを複合体から機能性分子レベルまでなめらかに逐次活用するためのキー……それは、『持続性』というキーワードを持つリグニンの精密機能制御そしてカスケード型活用システムの確立にある。

3. 新しい持続的工業システム

石油が枯渇を迎えたとき、世界が混乱することは必至である。我が国は石油資源を有しないが、そのルーツの一つである膨大な森林資源とその持続的な管理技術を保有している。炭酸ガスを高次複合体へと組み上げる林業、それを受けて機能材料へと形状成形加工を行う木材工業、その後精密に分子複合系を解放し、脂肪族系および芳香族系分子素材を提供する分子変換・分離工業、分離素材の連携を保ちつつその特性を生かす循環型材料を創製する植物系分子素材工業、そして高度に単純化された植物由来原料から機能材料を生み出す精密化学工業が工業ネットワークユニットを構成し、それを各地に点在させる。そしてさらに個々の工業ネットワーク間をネットワークで結びマテリアルインターネットワークを構築する。これによって地域間の不均衡をユニット間での補い合いにより常時は正することが可能となり、高度なそして持続的な（安定した）社会が構築されるであろう。

ピンポイント的な材料評価、リサイクル活動に終始せず、いまこそ後始末のいらない持続的な未来の社会システムに向け我々が英知を結集すべきである。森林資源は生態系物質循環システムの起点に位置する生命のルーツなのである。