

地域に産業を創出する改質リグニンの可能性

山田 竜彦

(国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 新素材研究拠点 拠点長

筑波大学 生命環境系 連携大学院教授、東京工科大学客員教授

リグニンネットワーク (地域森林資源開発ネットワーク) 代表

リグニンラボ (株式会社木質素研究所) 取締役 C T O

はじめに

森林資源に関する新しい需要を創出するための様々な取り組みが進んでいる。建材などの木材として活用するのが最優先であるものの、追加のビジネスとして、端材なども活用した木材を構成成分として活用する技術、いわゆるバイオリファイナリーに対しても期待が高まっている。バイオリファイナリーの歴史は古く、戦前から検討されていたらしい木材の加水分解による糖製造の試みや、40年ほど前にウッドリファイナリーなどとも呼ばれた化成品代替の試み、また、約10年前に盛んに検討された、バイオエタノールなどの液体燃料を製造する試みなどがあった。しかしながら、残念ながら産業化に成功したと言える状況にはない。一方、材料への活用においては、異なる観点からの開発が進んでいる。例えば、他の材料と比較して明らかに高機能な材料は、性能に応じた高い価格帯でのビジネスを行うことができ、例えば、セルロースナノファイバーなる強化フィラーの検討も進んでいる。一方、セルロースなどと異なり、性質が植物種により大きく異なる「リグニン」なるものを活用する場合は、植物種が国産資源に限定されるとなると、国産資源の特価したビジネスを創り出すことも可能となる。ここでは、国産資源利用の観点からも社会実装が期待されている高機能な代替樹脂素材「改質リグニン」について紹介する。

プラスチック代替素材

石油化学製品を代表するのが各種プラスチックであるが、その原料として石油などの化石資源から再生可能資源に転換することが推奨されている。プラスチックは炭素

を多く含む材料であるため、同様に炭素を多く含む生物資源は再生可能資源としての期待度が高く、とりわけ資源量が豊富な木材は期待が大きい。言うまでもなく木材を木材のまま多様な用途に適合するよう加工して利用することを第一に検討すべきであるが、現状の技術では熱処理により自由に加工できるプラスチックの代替や、高強度、高耐熱な材料への展開には限界があった。そこでプラスチックと同じように加工でき、優れた性能も併せ持つ木質資源由来の素材開発が期待されていた。一方、木材産業においては、製材・加工などの工程で生じる、端材、おが粉、プレーナーくずなどを余すところなく有価物に変換できれば、発展型のビジネス展開が期待できる。この2つの課題を同時に解決する新しい素材として「改質リグニン」が注目されている。

改質リグニンの開発

改質リグニンは木材中の「リグニン」と総称される成分を原料として製造する素材である。リグニンは、植物が水中から地上に生息域を広げた時、地上の重力や風雨に耐えて、頑強な樹木に進化するため、植物が自分の体の中に誕生させた芳香族核（ベンゼン環）をもつ成分の総称で、リグニンの出現により数十m級の樹木も誕生したと言われている。すなわち、リグニンという成分は、生まれながらに高強度な材料を形作るのに適した成分であり、ゆえに、高機能材料としての展開が期待されていた。しかしながら、現時点で私達の身の回りにはリグニン系の製品は存在しない。その理由は工業材料化に適さない欠点を持つからである。リグニンの欠点に関するこれまでの見解においては「構造が複雑であるから」という説明がなされてきた。しかしながら、これは誤解をまねく解釈で、情報を再度整理してゆくと、リグニン利用をあきらめることは無かったのである。多様性を制御して加工性を加えると材料展開が開けることに気が付いたのだ。材料利用において、構造の複雑性と、利用の不可は別問題であり、常に同じ物性の材料を出荷できるかといった均一な品質が重要である。様々な樹木を調べる中で日本固有の樹木「スギ」のリグニンが均一でばらつきが少なく安定であることがわかり、原料としての有用性が見い出された。このことにより国産資源の活用に道を開くこととなった。

リグニンが比較的均一なスギを用いるのが有効であることはわかったが、取り出したリグニン由来物が使えなければ意味がない。リグニンは本質的に変質しやすいので、

取り出すときの処理で大きく変質し、また、加工性を付けるための処理等を加えても、さらに変質し、本来の特性を発揮することが困難となる。そこで採用したのが、取り出すと同時に改質できる方法であり、一度の処理で変質を抑えながら改質したものを取り出すことが可能となる。改質に効果がある薬液としてシャンプーやハンドクリームなどにも使われている安全性の高いポリエチレングリコール（PEG）を用いた。PEG中で少量の酸と共にスギ材を処理すると、細胞壁中のリグニンを分解して取り出すと同時に分解したリグニン由来物をPEGと結合することができ、その性質を改質することが可能となった¹⁾。製造されたリグニン由来物はPEGにより改質されたリグニン由来物であり、PEG改質リグニンであるが、略して改質リグニンとして知られるようになった。グリコールリグニンとも呼ばれている。

改質リグニンの製造技術

改質リグニンの製造技術は2009年頃に筆者が基本技術を見出して、開発を進めたが、2014年に内閣府のSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）の課題に選ばれたことで、森林総研内にベンチプラントを建設し、本格的な製造プロセスの開発研究に至った。改質リグニン製造のコンセプトは、中山間地域の製材工場などに隣接して建設しても安全に運転できることであり、特にリアクターが耐圧容器でなく、常圧下であること、また有機溶剤を用いない分離方法により、安全性が確保されている。ベンチプラントでの成果を受け、林野庁の補助による製造プロセスの実証事業が開始され、同技術を用いた年産100トン生産の実証が行われた。これらの取り組みから改良点が見出され、プロセスの大幅な効率化が進行し、現在、株式会社木質素研究所（通称：リグニンラボ）において1000トン/年レベルの生産実証事業の計画が進んでいる²⁾。

改質リグニンの生産ビジネスは、スギを安定供給できる地域に導入することが可能である。改質リグニンの収率は1トンのスギ乾燥木材から約360kg産する。スギ材中のリグニン含有量は約30%であるが、PEGと結合したリグニン誘導體であるため高収率で産することができる。ビジネスモデルとしては、製材工場に隣接した形で改質リグニンの製造を行うことにより、端材の徹底的な活用が可能となる。これにより製材業に加えて追加のビジネスをもたらすことができるため、売上を4割も増加させる

というシミュレーション結果もある。一方、木質バイオマス発電所隣接でも効果的であることが確認されている。というのは、木質バイオマス発電のボイラーはチップの燃焼にチューニングされたものであるため、木粉の投入では効率的なエネルギー取得が困難なためである。よって、宮の里のケースのように、発電所にチップ工場が隣接する場合は、チップ工場から副産する木粉の利用で賄われるため、資源を取り合うこともない。加えて、発電システムからの廃熱を使うことで、より効率的な改質リグニンの製造が可能となる。

改質リグニンの製品展開

改質リグニンは、性質が安定したスギリグニンの分解物にPEGが結合した特異な構造の誘導体で、芳香族高分子としての高強度、高耐熱などに展開可能な基本性能に加えて、世界最高レベルの加工性が付与されたことで注目されている。改質リグニンそのものは水不溶性画分を集めたものだが、リグニン由来の疎水性部分とPEG由来の親水性部分が同分子内にある両親媒性物質の構造をしており、複合材料化に際して特殊な機能を発揮する³⁾。期待されている用途の一つに、繊維強化材（FRP）のマトリックス樹脂としての利用がある。炭素繊維強化材（CFRP）やガラス繊維強化材（GFRP）は、カーボンファイバーやガラスファイバーなどの強化繊維をマトリックス樹脂と呼ばれるプラスチックで固めた複合材料である。一般にCFRPのことを単にカーボンファイバーと略して呼ぶことが多いため誤認識が生じているが、CFRP中のカーボンファイバーは約半量にすぎず、残りの半分はマトリックス樹脂である。改質リグニンは優れたマトリックス樹脂素材として利用することが可能で数多くの需要を創出できる。既に、自動車の外装材に改質リグニンFRPを実装した試作車が2019年に発表され、注目されている。改質リグニンは、マトリックス樹脂と強化繊維との相互作用を向上する機能を持ち、改質リグニンを導入したCFRPは石油化学系のそれよりも高い強度を発揮すると共に約20%も軽量化できることも確認された。改質リグニンCFRPの極めて高い性能に注目した高性能なコンパクトスピーカーがオオアサ電子株式会社により開発され市販されている。これは、低音を担当するウーファー部分に用いることで高強度かつ薄膜化が達成できるため、ハイレゾサウンドを創り出すことが可能となっている。その他、改質リグニンからは3Dプリンターの基材や、電子基板、電子材料用の絶縁材など、IC分野における最先端製品の開発

が進んでいる。著者は、研究コンソーシアム「高機能リグニン」を結成してスーパーエンジニアリングプラスチック相当の性能を持つ改質リグニンベースの新規材料の開発を進めている⁴⁾。また、改質リグニンのような新素材を用いたバイオベースの新産業の創出には需要サイドと供給サイドを結びつける産学官連携の組織が必要と考え「リグニンネットワーク」というコンソーシアムを設立し、人と人とのネットワーク構築の活動を行っている⁵⁾。

おわりに

「日本は資源に乏しい国」との常套句が長らく用いられてきた。この「小資源国キャンペーン」にはずいぶん前から違和感を持っていたが、最近は異なる見解が聞こえるようになってきている。一つには海洋資源への期待である。日本は世界で6位の面積を持つ海洋国家で、海底を含めると相当量の資源を持つことが確約されており、このところ急ピッチで開発が進んでいるようだ。一方、山の方へ視点を向けると、日本は、先進国（OECD諸国）の中では世界第2位の森林率を誇る森林国であり、その持続的な活用は大きな課題である。改質リグニンのような国産資源を活用する技術開発を通じて、日本へ決して小資源国ではないことを若い世代にも広めてゆきたい。

参考文献

- 1) 山田竜彦ら：特許 6890821、Nge, Yamada, *ACS Sus. Chem. Eng.*, 6: 7841-7848, 2018.
- 2) リグニンラボ発表：https://lignin-lab.jp/PDF/Lignin-lab_News_20241011.pdf
- 3) Tanks J, Tamura K, Naito K, Nge TT, Yamada T, *Composites Science and Technology*, 238: 110030, 2023.
- 4) 高機能リグニン <https://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/hplignin/index.html>
- 5) リグニンネットワーク <https://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/matechem/index.html>



改質リグニン

日本の山の眠れる資源の活用による
日本オリジナルの先端材料産業の創出！

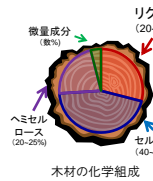
改質リグニン は日本の森林資源から作られるバイオ由来の新素材です。「熱に強い」「加工しやすい」「環境にやさしい」という理想的な性質をもち、様々な製品の素材として利用できます。改質リグニンは、木材の主成分の一つ、**リグニン** を原料に製造されます。均一なリグニンを持つ日本固有の樹木「スギ」を用いることと、世界に先駆けたオリジナルな新技術で工業材料化に成功しました。改質リグニンは、**日本の自前の資源を活用する自給型の産業を創出**します。



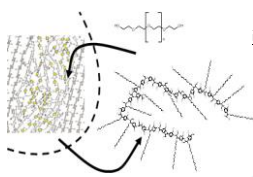
日本オリジナルの新素材 | 改質リグニン |

高性能・高い加工性・環境適合性を併せ持つ 理想的な新素材

リグニンは陸上植物を固くしっかりした構造にする役割を持つ成分で、地上で2番目に多い有機化合物といわれています。石油化学製品の代替素材として有望視されてきましたが、植物の種類により性質が異なり、バラツキも大きく、変質もしやすいので、高性能な工業材料化は困難とされていました。最近、森林総研の山田竜彦博士らの取り組みで製造技術に技術革新が生じ、高い加工性を有する高性能素材で環境適合性も併せ持つ、**理想的な新素材「改質リグニン」**が開発され、状況が一変しています。



抽出同時のリグニン改質に成功！



細胞壁からリグニンを取り出すと同時に改質する新技術を開発し、その製造プロセス化に成功*
*山田竜彦ら 特許第6890821号



環境中で分解して地球の炭素循環に適合

「改質リグニン」は高性能でありながら、環境中で分解し、地球の炭素循環に適合します。流出しても海洋プラスチック汚染問題を生じません。

改質リグニンビジネスによる 地方創生

国内の中山間地域を活性化

端材（おがこ、鉋屑）など**未利用物**を用いることで、既存の木材産業への**追加のビジネス展開が可能！**

地域への経済効果



改質リグニンの製造を地域で実証し、技術パッケージを構築して日本全国のスギ産地への展開を目指します。



改質リグニン



高付加価値製品

「中山間地域」を資源供給ステーションへ

均一性を担保するため スギ材 から製造

「スギ」は一種一属の日本固有の針葉樹です。スギのリグニンは均一で、他の樹木に比べて構造のバラツキが少ないという特徴を持ちます。スギを材料にすると、均一な改質リグニンを、安定して生産することが可能です。



国内のスギ林の成長量のみでも年間200万トンの改質リグニン生産のポテンシャル

(参考)日本のプラスチック年間消費量が約1千万トン

改質リグニンを用いた 高付加価値製品 3兆円規模の市場の創出

改質リグニンは、さまざまな材料と組み合わせることに適した素材です。高性能プラスチック材料をバイオマスプラスチックに代替することも可能となります。生み出された製品により、3兆円規模の新しい市場を創り出すことができます。



改質リグニン系粘土ハイブリッド膜



タッチセンサー用改質リグニンフレキシブル基板



改質リグニン電子基板



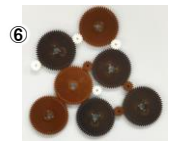
改質リグニン外・内装材(繊維強化材:FRP) 搭載車両



改質リグニン炭素繊維強化材を導入したウーファーユニット



改質リグニンをウーファーの素材として導入したハイレスピーカー



改質リグニン系エンブラ(ギア) 改質リグニン/POM複合材料



改質リグニン系フェノール樹脂 摩擦材(鉄道用ブレーキシュー)



3Dプリンター用生分解性改質リグニンフィラメントと3Dプリンター造形物



自動車用ハンドル 改質リグニン系ポリウレタン



改質リグニン系樹脂のインサート成形によるステアリング用ベゼル

- ①、②、③ | 産総研
- ④ | 森林総研、産総研、(株)宮城化成、(株)光岡自動車
- ⑤ | オオアサ電子(株)、(株)宮城化成
- ⑥ | ポリプラスチック(株)、東京工科大
- ⑦ | 上田プレーキ(株)
- ⑧ | ネオマテリア(株)、森林総研
- ⑨ | 豊田合成(株)、森林総研
- ⑩ | 樹天堂木工、豊田合成(株)



リグニンネットワーク事務局

lignin-net@ml.affrc.go.jp

(国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 新素材研究拠点内

