

# 私が思い描く木質材料の将来像 ～持続可能な未来のために～

利用部 バイオマスグループ 岸野 正典

## ■はじめに

サステナビリティ（持続可能性）という言葉をよく耳にしますが、Google<sup>1)</sup>で検索してみますと、「将来の世代のニーズを損なうことなく、現在の環境、社会、経済の要求を満たし、地球環境や人間社会が長期的に存続・発展し続けられる仕組みや考え方。単なる環境保護だけでなく、環境（Environment）、社会（Social）、経済（Economic）の3つの側面のバランスが重視される」という回答がAIによる概要として提供されます。

私たちは、産業革命以降、自然界から資源やエネルギーを得て、それらを使って、私たちにとって価値のある有用な製品を大量に生産し、役目を終えた製品を大量に廃棄するという、一方通行的な経済活動、いわゆる直線型経済を続けてきました。

しかし、このような経済活動は、現在人類が直面している、資源やエネルギーの枯渇、増えつづける廃棄物の処理、さらには地球温暖化などといった様々な問題を引き起こしたため、持続不可能な経済活動とされ、現在は循環型経済（サーキュラーエコノミー）への移行が求められています。

木材は、再生可能でかつCO<sub>2</sub>を吸収する特性を有しており、資源枯渇の抑制と炭素隔離の強化という両面から持続可能な開発の焦点となっています。とりわけ、建築分野では、合板や集成材、直交集成板（CLT）といった木質材料の使用が増加しています<sup>2)</sup>。

これらの木質材料では、異なる繊維配向を持つ層や様々なサイズの木材粒子を接合することで、寸法安定性が低いという木材の欠点を克服していますが、木材粒子を接合するために大量の接着剤を使用しています。使用される接着剤はほぼすべて化石原料から作られているため、木材の持続可能性を損なっているという指摘<sup>2)</sup>もなされています。

そこで、木質材料の持続可能性という観点から、こういった問題が指摘されており、それをどのように克服しようとしているのか、様々な文献をもとに概説します。なお、可能な限りオープンアクセスの総説や論文（文献）を引用していますので、データ等の詳細をお知りになりたい方は巻末のURLからアクセスしてご覧ください。

## ■木質材料の持続可能性とは

木質材料の持続可能性を評価するには、原材料の調達、製造プロセス、製品の寿命の3つの段階が持続可能であることが重要とされています。

第1の原材料の調達では、持続可能性の観点から、木材が大規模な森林伐採に由来するものであってはならないことは明らかです。

合法木材ナビというHP<sup>3)</sup>によりますと、日本の合法木材（合法伐採木材）の利用割合は、認定事業者の取扱実績ベースで、素材生産（国内）が約78%、素材流通（国内）で約80%、木材加工（国内）で約66%となっていますので、現在流通している木材の多くは持続可能な方法で管理された森林からの木材と考えて差し支えないと思います。

したがって、木質材料の持続可能性の焦点は、製造プロセスと製品の寿命の段階ということになります。そこで、本稿では寿命を迎えた木質材料の末路をもとに、持続可能な木質材料に向けた、木材本来の特性を向上させ、新たな機能を付与するために使用される有望なアプローチについて考察したいと思います。

## ■寿命を迎えた木質材料の末路

木質材料に限らず、すべての製品は寿命を迎えたときに、ゴミとなります。ごみを減らすためのキーワードとしてよく耳にするのが、3Rという言葉です。3Rとは、無駄なゴミの量をできるだけ少なくするリデュース（Reduce）、一度使ったものを捨てないで何度も使うリユース（Reuse）、使い終わったものを資源に戻して再び製品にするリサイクル（Recycle）の3つです。

大阪・関西万博のシンボル「大屋根リング」に使われた木材も、一部は2027年に横浜で開催される国際園芸博覧会のランドマークタワーとなる木造タワーの資材のほか、石川県珠洲市に無償譲渡され、災害公営住宅（復興住宅）の建設資材として再利用されることとなっています。

このように、姿かたちを変えながら木質材料を何度も繰り返し使用することは可能です。しかし、いずれはチップ状に粉砕されてパーティクルボードに加工されたり、発電所で燃料として焼却されたり、埋立地に投棄されたりしますので、木質材料の持続可能性を

議論する上で、使い終わった木質材料をいかにして資源に戻し、再び製品にするか、すなわちいかにリサイクルが可能な製品にしていけるかということが重要だろうと思います。

### ■木質材料のリサイクルを阻んでいる要因

木質材料の製造に使用されている既存接着剤のほとんどは化石燃料由来の合成ポリマーをベースとしており、木質材料の2~8%を占めるとの報告<sup>2)</sup>もあります。

木材は多孔質ですので、接着層は木材表面に限定されず、細胞内腔に浸透し、ある種の接着剤は木材細胞壁にまで浸透するとされています<sup>4)</sup>。

木質材料の寿命が終わった後に接着剤を木材から分離するためには、表面から接着剤を除去しながら木材の要素を分離し、大部分をそのまま残すという課題に加えて、木材と接着剤がマイクロおよびナノスケールで密接に絡み合っている表面近くの界面領域を考慮する必要があります。

そのため、木質材料の寿命が終わった後に接着剤を木材から分離することは非常に複雑で、現在の状況では非経済的なプロセスとなってしまいます。

なお、木質材料のリサイクルを阻んでいる要因は、難燃性や木材の劣化防止などの保護目的の既存の木材処理にも密接に関係していますが、紙面の都合上、その詳細については割愛いたします。

### ■持続可能な木質材料に向けた有望なアプローチ

それでは、持続可能な木質材料に向けた積層方法として、どのような技術が検討されているのでしょうか。

最も有望なアプローチは、接着剤の組成を人工成分からバイオベースの成分に置き換えることとされています<sup>4)</sup>。古くから、タンパク質や多糖類をベースとした天然接着剤(ゼラチン、グルテン、デキストリン、デンプンなど)が接着目的で使用されてきました。現在でも、木製楽器の接着など、様々な用途で使用されていますが、これらの接着剤は乾燥状態では優れた特性を示すものの、湿潤時には必要な強度に達しない、あるいは全く存在しないという問題があります<sup>4)</sup>。

その解決策と言えるかもしれませんが、近年ではイオン液体という液体に溶かしたセルロースを用いて積層する試みもなされています<sup>5,6)</sup>。その著者らによると、接着界面では、溶解したセルロースが内腔を満たし、木材細胞壁と絡み合い、水中で再生した木材と相互接続する緻密なセルロースネットワークを形成し、

同時にホットプレスすることで、木材細胞が永久的に絡み合った構造を形成することによって、接着界面は耐水性があり、せん断強度は20 MPaを超え、無垢材のほぼ2倍に達することです<sup>5)</sup>。

この技術を実用化するためには、越えなければならないハードルが多数あると思いますが、木材成分であるセルロースを用いていますので、多糖類をベースとした天然接着剤の一つといえますし、また接着界面の耐水性など、持続可能な木質材料に向けた積層方法として魅力的だと思います。

### ■おわりに

余談になりますが、木材表面を塩素系などの漂白剤を用いて処理することによって、木材成分であるリグニンというものが除去され、セルロースが露出します。このような木材をプレスで圧密化することによって、ほとんどの構造用金属や合金よりも比強度が高く、低コストで高性能な軽量の代替品となることが報告されています<sup>7-9)</sup>。

さらに、リグニンを除去した木材を膨潤させたのち、収縮させることによって、すべての方向にバランスの取れた機械的強度の材料となり、多方向の破損リスクが大幅に軽減され、構造の安全性と耐久性が向上することが報告されています<sup>10-12)</sup>。

リグニンを除去したこれらの木材を先に述べたように溶かしたセルロースを用いて積層することで、木質材料はより持続可能な材料となることでしょう。

もっとも、プロセスと製品の持続可能性は、収量、エネルギー消費(それに伴うCO<sub>2</sub>排出量)、廃棄物の発生といった環境、技術、経済の要因が複雑に絡み合った相互作用によって成り立っていますので、製品中および製品加工中の有害物質の使用と発生を削減または排除し、エネルギー消費を削減することは言うまでもありません。

天然資源である木材の持続可能性とリサイクル性が改質および機能化の過程において維持されて初めて、これらの材料は循環型経済への道を開くことができる、私はそう考えています。

### ■参考文献

- 1) <https://www.google.com/>(検索語彙: サステナビリティとは)2026年2月24日参照
- 2) Goldhahn, C., Cabane, E., Chanana, M.: Phil. Trans. R. Soc. A 379: 20200339(2021)<https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0339>. 2025年12月25日参照

- 3) 合法木材ナビ HP(<https://www.goho-wood.jp/>) 2026年3月2日参照
- 4) Ding, Y., Pang, Z., Lan, K., Yao, Y., Panzarasa, G., Xu, L., Ricco, M., Rammer, D. R., Zhu, J. Y., Hu, M., Pan, X., Li, T., Burgert, I., Hu L.: *Chem. Rev.* 123, 5, pp.1843–1888(2023) <https://doi.org/10.1021/>. 2025年10月1日参照
- 5) Zhang, S., Koskela, S., Meinhard, H., Penttilä, P., Awais, M., Linder, M. B., Wang, S., Rautkari, L.: *Nat Commun* 16, pp.7902-7913 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41467-025-63239-y>. 2025年10月2日参照
- 6) Khakalo, A., Tanaka, A., Korpela, A., Orelma H.: *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 12(20),23532–23542(2020)<https://doi.org/10.1021/acsami.0c02221>. 2025年10月1日参照
- 7) Song, J., Chen, C., Zhu, S., Zhu, M., Dai, J., Ray, U., Li, Y., Kuang, Y., Li, Y., Quispe, N., Yao, Y., Gong, A., Leiste, U. H., Bruck, H. A., Zhu, J. Y., Vellore, A., Li, H., Minus, M. L., Jia, Z., Martini, A., Li T., Hu L.: *Nature* 554, pp.224–228 (2018). <https://doi.org/10.1038/nature25476>. 2025年10月1日参照
- 8) Mania, P., Kupfernagel, C., Curling, S.: *Forests*, 15, pp.892-903(2024). <https://doi.org/10.3390/f15060892>. 2025年10月1日参照
- 9) Jakob, M., Mahendran, A. R., Gindl-Altmutter, W., Bliem, P., Konnerth, J., Müller, U., Veigel, S.: *Progress in Materials Science*, 125, 100916 (2022)<https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2021.100916>. 2025年10月2日参照
- 10) Huang, D., Li, J., Li, S., Hu, J., Cao, Z., Guo, Y., Ding, Y., Zhu, M., Chen, Y.: *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 10(2), pp.199-208(2025)<https://doi.org/10.1016/j.jobab.2025.03.001>. 2025年10月2日参照
- 11) Tang, J., Wu, L., Fan, X., Dong, X., Li, X., Xie, Y., Li, J., Rao, J., Li, T., Gan, W.: *Sci. Adv.*, 10(30), eado5142(2024). <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.ado5142>. 2025年10月2日参照
- 12) Li, K., Wang, S., Chen, H., Yang, X., Berglund, L. A., Zhou, Q.: *Adv. Mater.* 32, pp. 2003653-2003661 (2020). <https://doi.org/10.1002/adma.202003653>. 2025年10月2日参照