

木材の生物材料特性に基づく耐久性の向上に関する研究

今 村 祐 嗣

京都大学名誉教授・京都大学農学博士

1. 研究業績の概要

木材の耐久性の向上は住宅等の信頼性の上で重要であるばかりでなく、その長期使用は固定された炭素の放出を防ぐという観点から地球環境の保全にも寄与する。しかしながら、木材は他の材料と異なり腐朽やシロアリ等による生物劣化を受ける。

本業績は、樹木によって形成された細胞構造から成る木材の特性に基づいた耐久性向上に関する研究であり、1) 木材の液体注入性の向上技術、2) 木材の化学修飾による高耐久化、3) 木材の非破壊的劣化診断法の開発、4) 耐久性向上に基づく木材の利用拡大の取組みにまとめられる。

木材を利用することにより得られる森林活性化効果、炭素貯蔵効果、省エネルギー効果、化石資源代替効果等が見直され、一方で国内における豊富な森林資源の蓄積状況からも木材の利用拡大が謳われているが、耐久性の向上はその一翼を担うものとしても重要である。

2. 研究業績の内容

1) 木材の液体注入性の向上技術

木材の耐久性向上あるいは複合化技術の確立のためには、薬剤等が均一にかつ部材の内部まで浸透することが性能の発現の上ではきわめて重要である。しかし木材の使用現場において、保存薬剤の浸透不良のため予期せぬ期間で腐朽してしまった例が多々見られる。そこで、木材への液体浸透性を向上させるための新規技術の開発を行った。

生きている樹木における水分通導はもちろん、木材加工における薬剤注入等の経路となっているのは細胞壁の壁孔（ピット）であり、その開孔状態が浸透性に大きな影響を及ぼしている。そこで、電子顕微鏡による細胞壁孔の微細構造の研究を基礎とし、生物的、物理的手法を駆使した液体の注入性向上に関する共同研究プロジェクトを立ち上げて実施した。

物理的に木材表面から刺傷を付ける各種のインサイジング（刺傷）法、水中に生息するバクテリア等微生物のはたらきの援用による壁孔の開孔手法、部材を側面から圧縮して壁孔を局所破壊し液体浸透を促す前処理法、等について開発研究を進めた。これらの手法の中には横圧縮法のように実用化技術として企業化され、加圧注入処理の前処理法として活躍しているものがある。

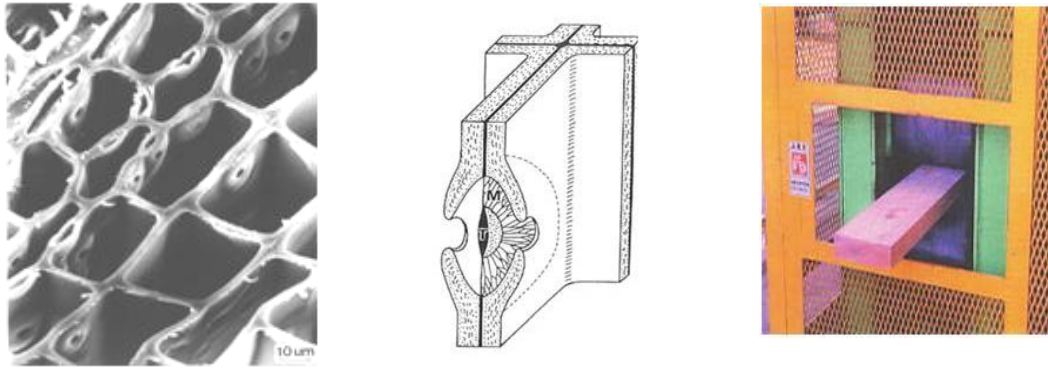


図1 木材細胞壁の壁孔（左）、その模式図（中）、
実用化された横圧縮法（右）

2) 木材の化学修飾による高耐久化

殺菌剤、殺虫剤等の薬剤に依存せず、木材成分の化学構造を変換することによって、木質感を維持したまま寸法安定性や生物劣化抵抗性を向上させる化学修飾技術の研究に取り組み、アセチル化処理、ホルマール化処理、低分子量フェノール樹脂処理、熱処理、さらに無機質複合化処理等による機能性の発現機構を明らかにした。

特に、防腐性能の発現が木材細胞壁中の水酸基の置換や架橋反応、あるいはナノ空隙の充填効果に関わっていること、腐朽菌による木材成分の分解機構と化学修飾の様式とが密接に関連していることを解明した。すなわち、アセチル化やホルマール化処理においては褐色腐朽菌と白色腐朽菌の相違による防腐効果の違いが顕著に現れること、フェノール樹脂処理においては注入する樹脂分子量が、無機質複合化処理においては木材の細胞部位への沈着状況が性能発現に大きく影響することを示した。さらに化学修飾木材とシロアリとの関わりにおいては、消化器官中での食物代謝阻害が摂食活動に作用していること等を見出した。

また、パーティクルボードなど各種の木質材料へ化学修飾の技法の展開を試みた。

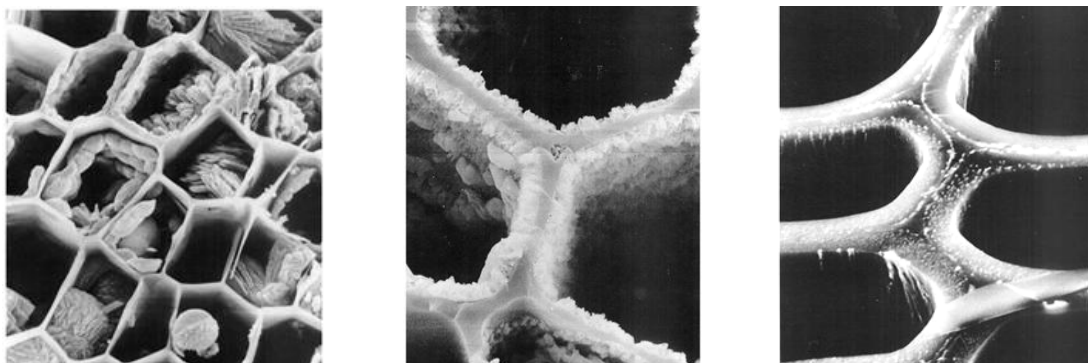


図2 木材細胞における無機質の複合化様式
(左：細胞内腔、中：細胞壁表面、右：細胞壁中)

3) 木材の非破壊的劣化診断法の開発

木材に腐朽や虫害などの劣化が発生しているのか、あるいはその進行がどの程度であるかを的確に知ることは、住宅等の安全性を維持し、耐久性を向上させる点から必要であるばかりでなく、効率的に保守を行っていくうえでも大切である。しかしながら、生物劣化は劇的にかつ部材内部から発生することが多く、その進行状況を探知することは容易なことではない。そこで、専門分野の異なる研究者と共同して木材の非破壊的な劣化診断法の開発を行った。

まず、シロアリが木材を食害する際に発生する超音波である AE（アコースティック・エミッション）をモニタリングすることによって、シロアリの活動を検出できることを見出し、ポータブル型の被害探知器の開発と実用化に成功した。その結果、実際の住宅現場や文化財建造物におけるシロアリ被害を非破壊的に、かつきわめて早期の段階で検出することが可能になったばかりでなく、新たな防蟻処理法の開発や効果の確認の面においても有用な手段になっている。

さらに、この AE モニタリングの手法ではリモートセンシングで測定できることから、シロアリの摂食の時間的リズム、あるいは明暗条件や環境温度など各種の雰囲気下における行動生態を明らかにする上で大きな役割を果たし、さらに、キクイムシやカミキリムシ等のシロアリ以外の木材加害昆虫の食害活動の検出にも応用されるようになった。



図 3 AE モニタリングの手法（左：藤井・築瀬画）
とポータブル型シロアリ被害診断器（右）

4) 耐久性向上に基づく木材の利用拡大の取組み

木材は環境調和型の材料であるばかりでなく景観性にもすぐれていることから、住宅エクステリアや屋外の公共施設で使用していきたいという要望も強い。しかしながら日射や風雨に曝されたり、土に接する場所での使用では耐久性の向上が大きな課題となっている。

そこで木材成分の紫外線分解（風化）から腐朽に繋がる一連の劣化プロセスや、土中、水中における木材の長期にわたる使用状況を詳細に検討し、木材の屋外使用における劣化要因と現象を解析するとともに、わが国における劣化の気候指標マップ等の知見を集約して効率的な耐用年数の延伸方法を提案し、社会に向けて発信してきた。

特に、木材の土木分野での利用拡大の動きに合わせて、保存・耐久性の立場から発言するとともに、木材の供給側である日本森林学会、木材を加工して供給する側の日本木材学会、ならびに木材の使用者側である土木学会に呼び掛けて「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」を立ち上げ、2013年3月には提言を発表するに至った。



図4 軟弱地盤補強用の木杭の打ち込み状況（兼松日産農林・株）

3. おわりに

本業績は、樹木細胞の集合体である木材の生物的特性に基づき、新たな耐久性向上の技術を開発したもので、木質科学の新領域を開拓し木材利用の拡大に向けて学際的な研究を展開したものである。

本研究の実施にあたっては、共同研究者だけでなく、学協会、産業界等多くの方々のご協力を頂いた。深甚なる謝意を表したいと思う。

機能性と景観性を兼ね備えた環境負荷の低い材料として、また森林と地球環境の保全の面からも木材の利用は大切であり、その一層の進展に耐久性の向上が寄与することを期待したい。

4. 論文等、主な関連研究業績

(1) Imamura, Y. and H. Harada (1975) Electron Microscopic Study on the Development of the Bordered Pit in Coniferous Tracheids. *Wood Sci. Technol.* **7**:189-205.

(2) 今村祐嗣 (1995) 木材への液体注入—ピットの構造と浸透性向上技術—、木材研究・資料、No.31:11-30.

(3) Iida, I., S. Yusuf, U. Watanabe and Y. Imamura (2002) Liquid penetration of precompressed wood VII- Combined treatment of precompression and extraction in hot water on the liquid penetration of wood. *J. Wood Sci.* **48**: 81-85.

(4) Imamura, Y., M. Takahashi, J. -Y. Ryu and H. Kajita (1998) Distribution of Polymer in the Cell Walls and Its Effect on Decay Resistance in Wood-Plastic Combination.

Biocontrol Sci. **3**:109-112.

(5) 今村祐嗣 (2003) 機能化した木材 (井上 真、桜井尚武、鈴木和夫、富田文一郎、中静 透編、pp.739、森林の百科、朝倉書店) 325-332.

(6) Furuno, T., Y. Imamura and H. Kajita (2004) The modification of wood by treatment with low molecular weight phenol-formaldehyde resin: a properties enhancement with neutralized phenolic-resin and resin penetration into wood cell walls, *Wood Sci. Technol.*, **37**:349-361.

(7) Fukuta, S., A. Watanabe, Y. Akahori, A. Makita, Y. Imamura and Y. Sasaki (2011) Bending properties of compressed wood impregnated with phenolic resin through drilled holes. *Eur. J. Wood Prod.* **69**:633-639.

(8) Fujii, Y., M. Noguchi, Y. Imamura and M. Tokoro (1990) Using Acoustic Emission Monitoring to Detect Termite Activity in Wood. *For. Prod. J.* **40**(1):34-36(1990).

(9) Fujii, Y., Y. Imamura and T. Yoshimura (1995) Observation of Feeding Behavior of Termite Using CCD Camera and Its Relation to the Generation of Acoustic Emission (AE), *Wood Res.*, No.82:47-53(1995).

(10) 今村祐嗣 (1997) 木質住宅の劣化診断 (今村祐嗣・川井秀一・則元 京・平井卓郎編、建築に役立つ木材・木質材料学、pp.348、東洋書店) 250-256.

(11) Indrayani, Y., T. Yoshimura, Y. Yanase, Y. Fujii, and Y. Imamura (2007) Evaluation of the temperature and relative humidity preferences of the western dry-wood termite, *Incisitermes minor* (Hagen) using acoustic emission (AE) monitoring. *J. Wood Sci.* **53**: 76-79.

(12) Imamura, Y. ed (2001) High Performance Utilization of Wood for Outdoor Uses. pp.204. *Report on Research Project, Grant-in Aid for Scientific Research.*

(13) 今村祐嗣 (2010) 木材の劣化と保存 (安藤直人、今村祐嗣、中島正夫著、安全で長持ちする木の家、pp.167、ラトルズ) 80-11.

(14) 今村祐嗣 (2010) 土木における木材利用と耐久性向上策. 土木学会木材利用研究論文報告集. **9**:1-8.

(15) 今村祐嗣 (2011) 土木にもっと木を. 農林水産技術研究ジャーナル. **34**(10):36-40

研究業績等に関するさらに詳しい情報は、ホームページ (<http://www.imamurawood.com/>) で参照できます。