〈情報〉

アメリカ合衆国の木材保存

Barry S. Goodell **

(訳: 山本幸一) ***

はじめに

日本木材学会生物劣化研究会から、アメリカ合衆国における木材保存事情を講演するよう依頼を受けた。以下、木材保存の概要、大学や公的研究機関での研究、企業における研究、環境問題と環境規制の項目について説明する。残念ながら、時間的制約もあり、シロアリについては述べる事ができなかった。講演原稿を農林水産省国際農林水産業研究センター林業部の山本幸一が日本語に翻訳した。

1. 木材保存処理の概要

過去10年間の保存処理製品の生産量の推移を見ると、製材品(ティンバー)の生産量は増加の傾向にあるが、製材品(ランバー)、ポール、フェンス、杭、枕木、橋梁床板等その他の製品はほとんど変化がない。主要保存処理製品の1993年度の総生産量は606百万立方フィートで、内訳は製材品(ティンバーとランバー)が394百万立方フィートで、その98%は水溶性薬剤(主にCCA)処理である。枕木、橋梁床板などは70百万立方フィートで、ほとんどがクレオソート処理である。電柱は64百万立方フィートで、処理薬剤としては、油性薬剤(主としてPCP)が51%、水溶性薬剤が31%、クレオソートが17%である。そして現在、1億本以上のユーティリティーポール(主として電柱)や6億本以上の枕木などの処理製品が合衆国内に存在している。

過去10年間の薬剤別の生産量の推移を見ると、水溶性薬剤は増加しているが、油性薬剤とクレオソートは減少しており、1993年度の生産量はそれぞれ471, 36, 92百万立方フィートであった。

難燃薬剤の使用は1990年にピークを迎えたが、その後減少している。難燃処理合板の使用は1980年代のはじめに行われた建築基準の変更に起因して増加した。すなわち、難燃処理合板を大規模なアパートやコンドミニアム、小型の商業用建築物に使うことが許可されたためである。しかし1980年代の後半には難燃合板の使用量は急激に減少した。その原因は野地板に使用されたある種の難燃合板が比較的高い温度の環境下で激しく劣化したことにあり、それは訴訟問題にまで発展した。1993年度の難燃処理材の生産量は7百万立方フィートであり、内訳は製材品、合板、その他がそれぞれ3.0, 2.6, 1.4百万立方フィートであった。

処理プラントは1993年現在、合衆国内で471あり、2つを除くと、全て加圧処理プラントであり、それらは352の会社により所有されている。これは、小規模な企業が多いことを物語っている。処理プラントの分布には偏りがあり、その半数以上が南部に存在する。これは、処理性の良いサザンパインが材料として存在することと大きく関係する。西部では、自然保護運動による出材量の減少につれ、処理プラント数も減少している。なお、アメリカ合衆国における三大木材防腐薬剤であるCCA、クレオソート、PCPを販売する企業はそれぞれ、CSI Raporte, Hicksons, OSMOSEと、

* 本報告は1995年度春期日本木材学会生物劣化研究会(日本木材加工技術協会保存部会、日本木材保存協会共催)での講演原稿を日本語にしたものである。

** メイン大学森林資源部木材科学科: University of Maine, Wood Science & Technology, College of Forest Resources, 113A Nutting Hall, Orono, Maine 04469-0125, USA

*** 農林水産省国際農林水産業研究センター

Allied Signal, Aristech, Coopers Creek, KMG-Bernoth, Koppers, Riley Industries, Trenton Sales と, ISK-Bioscience, Vulcan Chemical, Wood Protection Products である。

AWPA (アメリカ木材保存協会) は, 木材保存処理法, 保存薬剤, 処理製品についての規格の作成と承認に責任をもつ主要な規格機関である。FPS (林産学会) は, 企業, 政府機関, 大学からの木材研究者, 技術者が集まり, “木質系資源の利用による社会の利益”(“the socially beneficial use of wood and fiber resources”) を技術移転により促進するための主要機関である。FPS は, 木材保存に関する情報の普及も行うが, 木材全般について, より広い分野を包括する。

2. 大学における研究

オレゴン州立大学では Jeff Morrell を中心に超臨界流体をキャリアーとした処理法の開発を行っている。すなわち, 二酸化炭素超臨界流体 (臨界点は温度 31°C , 圧力 $75\text{kg}/\text{cm}^2$) にナフテン酸銅などを実用濃度で溶解し小試験体に注入を行い, 木材強度や薬剤の効力を検討している。スプルースなどの難注入性樹種でも良好な浸潤が得られている。

メイン大学では, Barry Goodell を中心に工学部との共同研究で木造橋の保存処理の研究を行っている。合衆国北部では冬季に融雪剤として塩類を使用するため鋼製やコンクリート製の橋梁の耐用年数は 30~35 年程度と短く, 木造橋への期待が大きい。木造橋の合衆国内の分布を見ると, 北部に多いことがわかる。木造橋の耐用年数は鋼製等の 2 倍以上と見積もられている。スプルース等の難注入性樹種にインサイジングを行い処理条件を改善し, 十分な注入量を得た材料により実験木造橋 (車橋) が建設された。さらに, ラミナ処理を行った集成材の片面に繊維 (炭素繊維とアラミド繊維) 強化プラスチックを貼ったコンポジットが第二実験木造橋に用いられた。

ミネソタ大学の Elmer Schmidt と Terry Amburgey らは広葉樹丸太の酵素反応による褐変色を

燻蒸により抑える研究を行っている。

ミシシッピ州立大学では, Darrel Nicholas と Torr Schultz らは, 薬剤の組み合わせによる相乗効果について研究を行っている。幾つかの組み合わせにより良好な結果を得ており特許を出願中である。Hamid Bourigeoni は, PCP やクレオソート由来の多環式芳香族炭化水素 (PAH's) による地下水汚染を微生物により修復 (バイオリメディエーション) する研究を行っている。汲み上げた地下水を第 1 タンクに入れ, ある種のバクテリアと栄養分を混合し, 第 2 タンクでバクテリアを沈殿させ, 浄化された地下水を回収する方法である。

ミシガン工科大学の Gary McGinnes は保存薬剤により汚染された土壌の修復に関する仕事を継続して行っており, AWPA の Colley 賞を受賞した。酸素を供給するため土壌の表層を鋤き起こし, 自然に存在する微生物を利用し, 若干の栄養分を添加することにより, PCP やクレオソート由来の多環式芳香族炭化水素を低レベルまで減少することができる。一例を示すと, 土壌表層と表面から 2 フィート深さの部位の PCP 濃度が処理前はそれぞれ約 500, 120 ppm であったが, 1 年後にはそれぞれ約 20, 10 ppm に減少した。この方法は, 多くの汚染箇所で実施されているが, 地域によっては許可されておらず, 他の方法である焼却処理等が行われている。しかし, 他の方法はコストが高いことが指摘されている。

マジソンの林産研究所では, Jerry Winandy らが CCA 処理材の強度性能について研究を行った。CCA 処理は衝撃荷重に対しては, 無処理材の 3 割強の強度低下があることが認められた。衝撃強度の弱さは, 地震に対する問題を含んでおり, 建築基準の変更が必要かも知れない。Jerry は更に, CCA 処理材からの溶脱量を天然乾燥より大きく減少させる人工乾燥スケジュールを研究している。第 1 章で述べたように, ある種のリン酸系難燃薬剤により処理された合板は, 高温の環境下で激しく劣化するため, いろいろな薬剤で処理された合板の暴露試験が継続して行われている。

3. 企業における研究

木材保存剤を製造するすべての企業における研究を網羅すべきであるが、時間の関係で、これまでに研究発表がなされた代表的なものに限って発表する。保存薬剤会社が開発している薬剤の主流は銅系であり、アメリカ合衆国においては、既存薬剤に代わる潮流は銅系薬剤にあるようだ。

CSI Laporteは、これまでACQ (Ammoniacal Copper Quat) の開発研究を進めてきており、木材保存剤として銅・第4級アンモニウム化合物に注目してきた最初の企業の一つである。ACQは8kg/m³の吸収量でCCAに匹敵する効力を、屋内試験およびハワイでの野外試験で発揮した。

Griffin Corp.は、木材保存分野への参入は比較的最近であるが、銅をベースとしたバイオサイドの生産ではアメリカ合衆国最大である。銅・アミン系と助剤の組み合わせによる木材保存剤を開発しているが、薬剤の詳細は明らかにされていない。シロアリに対する効力試験がハワイ大学のKen Graceにより行われており、助剤を加えていない有機金属・銅錯体や銅・第4級アンモニウム化合物は被害が顕著であるが、助剤を加えたものでは軽微であった。

Hickson Corp.は、銅・アゾール系の薬剤について研究を進めてきており、アゾールとしてテブコナゾールを用い、助剤としてホウ素を用いている。屋内試験や野外試験の結果、ACZAやCCAと遜色の無い効力が確認されている。

ISK Biosciencesは、CDDC (Copper Dimethyldithiocarbamate)の研究を行っており、24年間の野外試験の実績を有している。“Kodiak”の商品名で商業化を始めており、マーケティングでは危険な廃棄物とならないことを強調している。

OSMOSE Companyは、アンモニア性銅・クエン酸 (Ammoniacal Copper Citrate:CCIT)を開発している。8年間の野外試験の結果では、同じ吸収量でACAと同程度の性能を示す。

US Borax Co.は、銅系薬剤ではなく、ホウ化亜鉛 (Zinc Borate)をOSB等の木質複合材料の防

蟻剤として開発している。非接地状態での野外試験がハワイで行われており、3.5年の時点ではホウ酸として1.5%の吸収量で良好な結果を得ている。

4. 環境問題

環境保護局(EPA)は多くの部局を有するが、その中で木材保存処理に大きく関わるものに、1) RCRA(リックラと発音: Resource Conservation and Recovery Act): 重大な汚染域を持たない操業中のプラントについてと、2) EPA Superfund/SARA (Superfund amendment and Reauthorization Act): 汚染除去のための種々の処理技術について、の2つがある。他には、CERCLA (The Comprehensive Environmental Response Compensation and Liability Act)やFIFRA(Federal Insecticide Fungicide and Rodenticide Act)も重要である。EPAは、油剤のキャリアーとしての石油系炭化水素、クレオソート(多環式芳香族炭化水素)、PCP、CCAを汚染物質と見なしている。

処理プラントでは、使用水(process water)の排出は許されておらず、リサイクルされなければならない。氾濫水(stome water)の排出基準値は州あるいはケースバイケースで変動し、連邦の基準が確定している訳ではない。例えば、木材保存業界に対するヒ素の暫定的なNPDES (National Pollution Discharge Elimination System)の水質基準値は、淡水と海水への排出で異なり、それぞれ850と2300 µg/lである。氾濫水については、現在のところEPAからの基準値の提示はないが、すべての工場が氾濫水のモニタリングを行わなければならない。その際、モニタリングの基準値(EPAは、モニタリングの際の化学物質の排出基準値をまだ定めていない。各州でも殆どのケースについてはまだ排出基準値を定めていない)をクリアしていれば、モニタリングの頻度を少なくすることが可能である。各州はそれぞれの機関、通常は環境保護局(Dept. of Environmental Protection)がモニタリングの際の化学物質の排出基準値を定めるのだが、殆どの場合、EPAのガイド

ラインに追従しようとする。しかし、EPAのガイドラインが確定するのは2～3年後であろう。それまでは、各州がそれぞれの基準で行わなければならないであろう。なお、使用水の排水が許可されている特別の場合には、排水は急性毒性のレベル以下でなければならない、氾濫水と混ぜて排水する場合には慢性毒性のレベル以下でなければならない。

汚染物はその状態により以下のようなカテゴリー、1) 純粋物、2) 土壌、スラッジ、沈澱物中の汚染物、3) 地表水、土壌水中の汚染物、4) 軽い非水溶性の液体 (LINAPL's)、5) 重い非水溶性の液体 (DENAPL's) に分類されており、木材保存業界には、とくにDENAPL's (デーン・アップルと発音) が重要となる。DENAPL'sは土壌と土壌中の水とのマトリックス中に保持されており、その修復は非常に困難である。EPAは、木材保存処理プラントを、有機化学工業、産業廃棄物業、埋め立て等の諸工業の中でDENAPL'sを発生させる可能性が最も高い業種であると見なしている。

地表水、土壌水の汚染物の処理技術には汚染物に応じて多くの方法 (例えばCCAでは、没澱、逆浸透、イオン交換) があるが、重要なことはすべての処理方法は汚染された土壌と非水溶性の液体 (NAPL's) の処理をも含まなければならないことである。土壌、スラッジ、沈澱物中の汚染物の処理技術にも多くの方法 (例えばPCPでは、焼却、生物的处理、脱塩素) があるが、焼却は生物的处理に比較してコストが高いであろう。

木材保存処理プラントの汚染箇所の修復目標のレベルは、個々の実態により規定される。すなわち、それぞれの化学物質について、個々の汚染箇所の実態に即して“危険度の評価” (Risk Assessment) を行い、そのレベルが決定される。それゆえ、同じ汚染物質でも場所、場所により修復目標レベルは異なりうる。カリフォルニア州のマコー

ミック・バクスター処理プラントの例では、PCP、CCA、クレオソートのすべてにより汚染されている。PCPについて見ると、ここでの土壌の汚染濃度は2400 mg/kgであるが、EPAが要求する修復のレベルは1 ppmであり、ヒ素による土壌の汚染濃度は1000 mg/kgであるが、要求値はバックグラウンドである。このように、EPAは何百という汚染された木材保存処理プラントの場所と企業名のリストを公表し、それぞれの汚染の修復目標レベルと可能な修復方法を示している (多くの場合、まだ修復目標レベルが決定されていないが、南部の地域ほど決定されている割合が多い)。

なお、EPAは非常に有用かつ膨大なデータベースを持っており、世界中のどこからでもアクセスが可能である。それらには、汚染箇所の修復に関する技術や方法に関するたくさんの情報も含まれている。

5. まとめ

アメリカ合衆国では、既存薬剤であるCCA、PCP、クレオソートから、より環境的に受け入れできる新規薬剤の開発まで、木材保存分野の仕事が広範に行われている。そして、危険な化学物質の環境中での挙動について配慮することがますます重要となってきている。これは、政府の様々な機関で作られる無数の規則 (時としてオーバーラップあるいは相互に矛盾) や、企業や大学における汚染修復のための新しい技術の開発研究の増加に現れている。アメリカ合衆国では、木材保存処理の現場は、廃棄物質の性質から見て、最も修復が困難な箇所となっている。

謝 辞

資料やスライドを提供して頂いた各大学、研究所、企業の方々に感謝します。

(1995. 10. 12 受理)