< 総 説 >

(受理：平成 24 年 7 月 30 日)

保存処理された合板・単板積層材の接着性能 Adhesive Properties of Plywood and Laminated Veneer Lumber Treated with Preservatives

宮 崎 淳 子*
Junko MIYAZAKI

1. はじめに

合板、単板積層材 (LVL) とは、木材を切削して得られる厚さ数 mm の単板を積層接着した材料である。合板は各単板を繊維方向が互いにほぼ直交するように積層した面材で、LVL は各単板を繊維方向がほぼ平行になるように積層した軸材料である。いずれも家具、内装材から構造材まで幅広い用途に用いられている。最近、特に建築物の構造材や下地材としての使用量が増加している。これらの用途の一部については、建築基準法施行令において「構造耐力上主要な部分は、地面から 1m 以内に防腐・防蟻処理を講じる」と規定され、フラット 35 の工事使用書においては「土台の防腐・防蟻措置は、高耐久樹種または防腐・防蟻処理材を用いる」と規定されており、保存処理材を用いることが求められている。

合板、LVL への一般的な保存処理方法は、次の 3 つである。(1) 通常の方法で合板、LVL を製造した後、木材保存剤を含浸させる方法 (製板処理法) (2) 単板に木材保存剤を含浸した後に積層接着する方法 (単板処理法) (3) 木材保存剤を接着剤に添加し、積層接着する方法 (接着剤混入法)。これらの保存処理は、接着層への負荷、接着面および接着剤自体の改質を伴うことから、保存処理によって合板、LVL の接着性能に及ぼす影響について十分に検討しておく必要がある。こうした背景から、著者らは保存処理が合板、LVL の接着性能に及ぼす影響について検討してきた。本稿では、これらの成果をまとめるとともに、近年の保存処理合板・LVL の接着性能に関する研究

報告を紹介し、上述の 3 つの保存処理方法が合板・LVL の接着性能に及ぼす影響について概説する。

2. 製板処理による接着性能への影響

製板処理とは、通常の方法で製造した合板・LVL に保存処理を施す方法である。保存処理の方法としては、塗布や浸せき、吹付け、加圧注入などがあり、一般的には加圧注入処理が行われている。加圧注入処理は、薬液に製板を浸せきし、減圧・加圧する方法である。材料の深部にまで薬液を浸透させることができるため、高い耐久性を付与できるが、減圧加圧処理の工程とその後の乾燥工程で、木材は膨潤収縮するため、接着層に負荷がかかる可能性が考えられる。

スギ、メランチ単板をフェノール樹脂で積層接着した 3ply 構成、9mm 厚の合板に水溶性木材保存剤である AAC (第 4 級アンモニウム化合物系)、ACQ (銅・第 4 級アンモニウム化合物系)、CUAZ (銅・アゾール系)、および油性木材保存剤である AZN (アゾール・ニコチノイド化合物系) を加圧注入した保存処理合板について、合板の日本農林規格 (JAS) に準じたスチーミング繰り返し試験、72 時間連続煮沸試験を行い、接着性能を調べた結果、こ

宮 崎 淳 子

略歴：1997年 3 月 北海道大学農学部卒業。
同年 4 月より 北海道立林産試験場 研究職員として勤務。
2005年 東京大学大学院より学位 (博士 (農学)) を取得。
2010年 4 月 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構が設立され、森林研究本部 林産試験場に配属、現在に至る。
趣味：料理、園芸。

* (地独) 北海道立総合研究機構 林産試験場
旭川市西神楽 1 線 10 号 〒071-0198
Hokkaido Research Organization Forest Products Research Institute
1-10 Nishikagura, Asahikawa, Hokkaido 071-0198, Japan

表1 製板処理法を用いて製造された保存処理合板の常態接着強さ、スチーミング繰り返し試験および連続煮沸試験後の接着強さ^{1)~3)}

	常態試験 ^{※1}			スチーミング繰り返し試験 ^{※2}			連続煮沸試験 ^{※3}		
	接着強さ	標準偏差	木破率	接着強さ	標準偏差	木破率	接着強さ	標準偏差	木破率
	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	N/mm ²	%
スギ									
無処理	1.21	0.28	82	0.87	0.26	86	0.80	0.26	68
ACQ	1.07	0.35	88	0.80	0.24	75	0.80	0.25	42
AAC	1.06	0.23	90	0.86	0.21	76	0.90	0.17	38
CuAz	1.06	0.22	94	0.86	0.21	98	0.79	0.15	70
AZN	1.07	0.24	91	0.83	0.21	98	0.91	0.18	68
メランチ									
無処理	1.33	0.29	90	1.09	0.30	100	1.08	0.37	100
ACQ	1.13	0.29	86	1.04	0.31	100	1.05	0.32	58
AAC	1.16	0.24	88	1.05	0.27	100	1.05	0.23	66
CuAz	1.22	0.26	83	1.04	0.25	100	1.03	0.30	94
AZN	1.23	0.27	90	1.01	0.29	100	1.01	0.34	88

※1 クロスヘッドスピード 2, 10 mm/min で測定した接着強さの平均値。

※2 クロスヘッドスピード 10 mm/min

※3 クロスヘッドスピード 2 mm/min

これらの保存剤で処理された合板の接着強さは、基準値である 0.7 N/mm² を上回り、無処理合板の接着強さと同等であることが示された (表1)^{1)~8)}。一方、これらの保存処理合板について、常態での引張りせん断接着試験を行った結果、保存処理合板の接着強さは、無処理合板に比べてやや低い傾向が認められた³⁾。このときの木部破断率は、保存処理合板と無処理合板でいずれも高い値を示したことから、保存処理合板における接着強さの低下は、薬剤の加圧注入処理によって木材の強度が低下したためであると考えられた。水溶性木材保存剤を用いた処理による木材の強度性能への影響については、Winandy⁴⁾ が加圧注入処理によって木材の MOR (曲げ強さ) が 0~20% 低下したと報告している。MOR の低下率の差異は保存剤の種類や吸収量、加圧注入後の再乾燥温度が関係している^{4)~7)}。

油溶性木材保存剤や油性木材保存剤を用いる処理では、木材はあまり膨潤しないことから、接着層へのダメージは小さいと考えられる^{8)~10)}。Kimmel ら⁹⁾ は、フェノール樹脂を用いて製造された LVL に油性木材保存剤であるクレオソート油を加圧注入処理した場合、LVL の寸法変化は厚さ方向で 2~6%、幅、長さ方向では 1% 以下で、わずかであったことを報告している。これらの MOE (曲げヤング係数)、MOR、平使いおよび縦使いのせん断強度は、無処理の LVL とほぼ同等であった。

これらの報告から、フェノール樹脂を用いて製造された合板・LVL は、減圧加圧注入とその後の乾燥工程に耐えられる接着性能を有しており、製板処理によって接着強さはほとんど損なわれないと言える。

3. 単板処理が接着に及ぼす影響

単板処理法とは、単板を浸せき処理や吹付け処理などによって保存処理した後に積層接着する方法である。単板への保存処理方法としては、水溶性木材保存剤を加圧注入する方法が多く行われている。この方法で製造された合板、LVL は、全層が保存処理されていることから、高い耐久性が期待できる。しかしながら、接着面になる単板表面は、保存処理によって著しく改質されるため、処理された単板の接着性について十分に検討する必要がある。

著者ら³⁾ は、ACQ を用いた加圧注入処理による仮接着性への影響を調べるために、単板にフェノール樹脂を塗布した後、30 分間冷圧し、解放した後に室内環境下で平面上に静置し、仮接着の状態の経時変化を観察した。無処理では、解放後、60 分経過してもはく離しなかったが、ACQ 処理単板では、5 分後に最外層の単板が反り返り、はく離が観察された。このことから、ACQ で処理された単板は、仮接着が悪いことが示された。熱圧後の接着強さについては、ACQ 処理合板では無処理合板の 5 割程度にまで低下

した。

ACQ で処理された単板を接着した際に認められた仮接着の悪化と熱圧後の接着強さの低下は、ACQ 処理によって単板のぬれ性が向上したこと、接着剤の過浸透が引き起こされたことが一因であると考えられた³⁾。ACQ の他に、AAC、CUAZ で処理した木材についてもぬれ性が向上することが報告されており⁸⁾、これらの薬剤で保存処理した単板を接着する場合には、過浸透を引き起こす可能性があることを考慮すべきであると考えられる。他方、ホウ素化合物を浸せき処理した単板では、ぬれ性が悪化した¹²⁾。ホウ素化合物で処理された単板をユリア樹脂で接着し、接着強さを調べた結果、単板処理によって接着強さは低下することが示された¹²⁾。

また、加圧注入処理後、乾燥された木材には、割れや狂い、木理に沿った凹凸が現れる¹³⁾。表面の平滑性が損なわれることは、接着性能の低下を引き起こすことが懸念される。ただし、ぬれ性の向上に伴う接着剤の過浸透や表面の粗さが増すことによる接着不良は、塗布量の増加や圧縮圧力の増加によって改善できる場合がある¹⁴⁾。また、樹種によっては、接着性能が低下しない場合もある^{3,8,13,14)}。先に紹介した著者ら³⁾による ACQ 処理単板の接着性能の検討では、メラッチ単板を用いた場合、接着剤の塗布量が 222 g/m^2 (片面あたり 20 g/900cm^2) で無処理の 5 割程度にまで低下したが、塗布量を 250 g/m^2 (片面あたり 22.5 g/900cm^2) に増やすと接着強さは、合板の JAS の基準を満たす値にまで向上することが示された。また、スギ単板を用いた場合、塗布量が 222 g/m^2 でも ACQ 処理合板の接着強さは無処理と同程度であることが示された。

木材保存剤の混入がフェノール樹脂の硬化反応に影響することも指摘されている^{3,13,16,17)}。銅や亜鉛は、抗菌作用が高く、環境への負荷が比較的低いことから多くの木材保存剤で使用されているが、これらをはじめとする多くの金属塩は、フェノール樹脂の硬化反応に影響することが知られている¹⁸⁾。著者ら³⁾は ACQ がフェノール樹脂の硬化に及ぼす影響を調べるため、TBA (Torsional braid analysis) 法を用いて、ACQ を添加したフェノール樹脂を 120°C で加熱した時の硬化過程の動的粘弾性の経時変化を調べた。フェノール樹脂の硬化過程では、時間の経過に伴い G'/G_∞ (G_∞ 値は任意温度 (ここでは 120°C) で 60 分間加熱した後に 180°C で 20 分間加熱した時の G' 値) は加熱時間の経過とともに増大し、 $\tan \delta$ は減少した後、一定値に到達した。 G'/G_∞ 、 $\tan \delta$ が一定値に達した時点で力学的な観点での硬化が完了したと考えられる。ACQ の添加量を 3%、5% としたときには、 G'/G_∞ 、 $\tan \delta$ が短時間で一定値に到達し、フェノール樹脂の硬化が促進されたことが示されたが、添加量を 0.5% としたときは、ACQ を添加していないフェノール樹脂とほぼ同様の経時変化を示し、

硬化に影響しないことが示唆された。また、ホウ酸塩についてもフェノール樹脂のゲル化に影響する¹⁸⁾ことや、接着性能を低下させる¹²⁾ことが報告されている。Vick ら¹⁶⁾は、DDAC (ジデシルジメチルアンモニウムクロライド、第 4 級アンモニウム化合物のひとつ)、DDAC+銅、DDAC+カルバミン酸塩、ACB (Ammoniacal copper borate)、ACZA、フッ化ナトリウム、フッ化アンモニウムを加圧注入処理した単板をフェノール樹脂で接着し、接着強さを調べた結果、ACB、ACZA を単板に加圧注入した場合に接着強さと木部破断率が低下すること、薬剤の吸収量を増やすと接着強さはさらに低下することを示した。

これらの結果から、金属塩やホウ酸塩などフェノール樹脂の硬化反応に影響する化合物は、フェノール樹脂中に多量に混入されないようにする必要があると考えられる。Lorenz ら¹⁷⁾は、銅化合物は、保存処理材から溶出しやすい場合に接着剤の硬化促進に関与すると述べている。保存処理された木材を接着する際、木材保存剤の成分が塗布された接着剤中に溶出しないよう保存剤の成分を木材中に定着させるには、加圧注入処理の後に単板を十分に養生、乾燥させることが有効である^{4,19,20)}。

また、第 4 級アンモニウム化合物では、フェノール-レゾルシノール共縮合樹脂の硬化に影響しないことが報告されており^{11,17)}、有効成分の種類に配慮することも、木材保存剤によるフェノール樹脂の硬化に対する干渉を避けるためには有効である。

これまでに紹介した報告を概観すると、ACQ をはじめとする水溶性木材保存剤を用いた単板処理では、接着性能に影響する複数の因子があるが、良好な接着性能を得ることは可能であることが示されている。著者らのグループによる検討の結果^{1~3)}、ACQ を用いた単板処理合板の接着強さは、無処理合板よりも低下したものの、JAS 基準値をクリアすることが示された (表 2)。また、荘保ら¹⁵⁾は、ACQ 処理単板を積層接着した合板について、スチーミング繰返し試験、連続煮沸試験を 5 サイクル行い、各サイクルでの接着強さを無処理合板のそれと比較した結果、保存処理合板の接着強さは、無処理合板と同等であったことを報告している。

他方、乳化性木材保存剤や油溶性木材保存剤は、水に不溶な成分で構成されており、これらの保存剤を注入、乾燥した木材の細胞壁表面には極性の低い沈殿が堆積するため、フェノール樹脂と木材との接触が妨げられて接着強さが低下する⁵⁾。Vick ら¹⁶⁾は、乳化性木材保存剤に界面活性剤や水酸化アンモニウムを添加し、薬剤成分の溶液中での安定性を改善した結果、接着強さが改善されたことを報告している。また、界面活性剤等で改良された乳化ナフテン酸銅を用いて保存処理された単板の接着性能を検討した結果、クローズドアッセンブリタイムを 10 分にした場合、木部破

表2 単板処理法を用いて製造された保存処理合板の常態接着強さ、スチーミング繰り返し試験および連続煮沸試験後の接着強さ^{1)~3)}

	常態試験 ^{※1}			スチーミング繰り返し試験 ^{※2}			連続煮沸試験 ^{※3}		
	接着強さ	標準偏差	木破率	接着強さ	標準偏差	木破率	接着強さ	標準偏差	木破率
	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	N/mm ²	%
スギ									
無処理	1.21	0.28	82	0.87	0.26	86	0.80	0.26	68
ACQ	1.04	0.30	89	0.72	0.16	83	0.80	0.20	73
メランチ									
無処理	1.33	0.29	90	1.09	0.30	100	1.08	0.37	100
ACQ	1.02	0.22	93	0.85	0.18	100	0.86	0.21	68

※1 クロスヘッドスピード 2, 10 mm/min で測定した接着強さの平均値。

※2 クロスヘッドスピード 10 mm/min

※3 クロスヘッドスピード 2 mm/min

断率は30%と低い値を示したが、20分に延長すると80%に増加したことから、クロズドアッセンブリタイムを十分に取り、単板内部に接着剤を十分に浸透させることが必要であると述べている²¹⁾。ただし、界面活性剤の種類によっては、接着剤の過浸透を引き起こし、接着不良が発生することも示されている²¹⁾。

4. 接着剤混入処理が接着に及ぼす影響

接着剤混入法は、接着剤に木材保存剤を混合するだけで、あとは通常の合板・LVLと同様に製造すればよいことから、保存処理のために特別な装置を導入する必要がなく、簡便で経済的にも有利な方法である。単板に塗布された糊液中から有効成分が木材中に浸透し、生物劣化に対する耐久性が付与される。

接着剤混入法は、乾材害虫であるヒラタキクイムシに対する防虫性能を付与する方法として、すでに合板のJASで防虫合板として認定されている。そのため、この方法によって合板への木材腐朽菌に対する耐性を付与することも可能ではないかと期待されたが、ある程度の耐朽性能を付与することは可能であったものの、加圧注入処理と同等の耐朽性能を付与することは困難であったと報告されている^{22, 23)}。伏木²⁴⁾は、有効成分の多くが接着層の内部に留まっており、腐朽菌の発生を抑制するには保存処理剤を多量に混入する必要があると述べている。しかしながら、近年では、薬剤の種類、単板厚さを考慮すれば、接着剤混入法でも十分な耐朽性能を付与できることが報告されている^{3, 25~33)}。

西本²⁵⁾は、様々な薬剤を用いて接着剤混入法で保存処理合板を製造し、常態および連続煮沸後の接着強さを調べた結果、TBP（トリプロモフェノール）やIT-510（N-4

ーメチルフェニルマレイミド）を用いて製造した保存処理合板の接着強さは無処理合板の50~60%まで低下したが、IF-1000（有機ヨード系薬剤）を混合した場合には無処理合板の接着強さとほぼ同程度であったことを報告している。勝沢ら²⁶⁾はN・AZ（イミダクロプリド・シプロコナゾール製剤）およびAC・AZ（アセタミプリド・シプロコナゾール製剤）を用いて接着剤混入法で製造したLVLについて、構造用単板積層材のJASに規定される接着強さの基準を満たしたことから、同薬剤を用いて製造した合板について、スチーミング繰り返し処理後の接着強さは無処理材とほぼ同程度であり、合板のJASの基準をクリアしたことを報告している。また、著者らのグループ^{1~3)}は、CF・IF・IP（シフェノトリン・IF-1000・IPBC）、IM・IP・OPP（イミダクロプリド・IPBC・o-フェニルフェノール）、N・AZ、AC・AZを用いて製造した構造用合板について接着性能を調べた結果、保存処理合板の接着強さは無処理合板と同程度であり、合板のJASの基準を満たすことを示している（表3）。

著者ら³⁾は、CF・IF・IP、IM・IP・OPP、N・AZ、AC・AZがフェノール樹脂の硬化に及ぼす影響を調べるため、TBA法を用いて、薬剤添加したフェノール樹脂を等温加熱したときの硬化過程の動的粘弾性の経時変化を測定した。その結果、CF・IF・IP、IM・IP・OPP、AC・AZを添加した場合には硬化にほとんど影響しないことが示されたが、N・AZを添加した場合には硬化が遅延されることが示された。そこで、N・AZを添加したフェノール樹脂を用い、熱圧時間を変えて製造した合板について常態での引張りせん断接着強さと合板JASに準じた連続煮沸試験後の接着強さを調べた。なお供試した合板は、3.2mm

表3 接着剤混入法を用いて製造された保存処理合板の常態接着強さ、スチーミング繰り返し試験および連続煮沸試験後の接着強さ^{1~3)}

	常態試験 ^{※1}			スチーミング繰り返し試験 ^{※2}			連続煮沸試験 ^{※3}		
	接着強さ	標準偏差	木破率	接着強さ	標準偏差	木破率	接着強さ	標準偏差	木破率
	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	N/mm ²	%
スギ									
無処理	1.25	0.31	88	1.06	0.21	70	1.05	0.22	75
IM・IP・OPP	1.24	0.34	88	1.02	0.22	88	0.92	0.23	79
CF・IF・IP	1.21	0.49	87	0.99	0.24	70	1.04	0.22	63
N・AZ	1.31	0.37	86	1.02	0.20	91	1.09	0.26	85
AC・AZ	1.31	0.34	90	1.02	0.22	97	1.08	0.17	85
メランチ									
無処理	1.36	0.20	93	1.16	0.24	100	1.13	0.22	95
IM・IP・OPP	1.37	0.21	93	1.22	0.21	100	1.20	0.21	81
CF・IF・IP	1.36	0.32	93	1.16	0.29	100	1.21	0.30	97
N・AZ	1.42	0.24	92	1.24	0.23	100	1.23	0.25	96
AC・AZ	1.26	0.17	93	1.12	0.18	100	1.13	0.12	93

※1 クロスヘッドスピード 2, 10 mm/min で測定した接着強さの平均値。

※2 クロスヘッドスピード 10 mm/min

※3 クロスヘッドスピード 2 mm/min

厚のメランチ単板を用いた 3ply 構成のものであった。その結果、木材保存剤を添加していないフェノール樹脂を用いると熱圧時間が 282 秒 (30 秒/mm) で合板の JAS の基準値をクリアする接着性能が得られたが、N・AZ を混合したフェノール樹脂で接着した場合には、基準値をクリアするためには 329 秒 (35 秒/mm) 以上の熱圧時間が必要であることが示された。

古田ら³⁴⁾は、市販されている 2 種類の接着剤混入用木材保存剤を用い、種々の熱圧時間で製造した 10ply 構成、30mm 厚の LVL について、構造用単板積層材の JAS に準じた冷水浸せきはく離試験、煮沸はく離試験を行った結果、薬剤を添加したフェノール樹脂を用いて JAS の基準を満たす接着性能を得るには、無処理 LVL よりも長い熱圧時間が必要であることを示した。

著者ら^{35, 36)}はこれらの木材保存剤を添加したフェノール樹脂について、90~120℃で等温加熱した時の硬化過程の動的粘弾測定 (DMA) を行った結果、これらの木材保存剤はフェノール樹脂の硬化を遅延することを示した。また、ここで用いた木材保存剤に含まれる防蟻・防腐成分であるイミダクロプリド、シプロコナゾール、テブコナゾール、トリアジメホンはフェノール樹脂の硬化に影響しないが、溶剤として含まれるベンジルアルコールはフェノール樹脂の硬化を遅延することを明らかにした。さらに、フェ

ノール樹脂の硬化はベンジルアルコールの添加量が多い方がより遅延されることを示した。ベンジルアルコールは高沸点である (bp=205℃) ことを考慮すると、熱圧によっても糊液から揮散しにくく、フェノール樹脂中に長く残存し、フェノール樹脂の力学的な硬化の進展を遅延させたのではないかと推測された。

また、加熱温度によってベンジルアルコールによる硬化への影響は異なることが示された。120℃で加熱した場合、ベンジルアルコールを添加することによる硬化遅延はほとんど認められなかったが、加熱温度を 100, 90℃にするとベンジルアルコールを添加することによって顕著に硬化が遅延されることが示された³⁶⁾。LVL や厚物合板のように厚い材料を熱圧する場合、中央付近の接着層の温度上昇は表層に比べてかなり緩やかである。古田らの報告³⁴⁾では、30mm 厚、10ply 構成の LVL を 130℃で熱圧した場合、中央の接着層の温度は、15 分後 (30 秒/mm) に約 80℃、25 分後 (50 秒/mm) によりやく 100℃に到達した。これらの結果から、LVL や厚物合板など厚い材料に接着剤混入法を適用する場合には、フェノール樹脂に対する硬化遅延作用が顕著に表れる可能性が推察される。接着剤混入法を用いて良好な接着性能を得るためには、これらの結果を考慮し、溶剤の種類、配合量、熱圧条件を設定することが重要であると考えられる。

5. おわりに

保存処理が接着性能に及ぼす影響については、合板、LVLをはじめ集成材や木質ボード類まで含めると、多くの研究が古くから行われてきており、現在もなお続けられている。これまで、薬剤の効力の向上や、環境への配慮による使用禁止・自粛への対応のために、次々と新しい薬剤の開発が進められ、その変遷に従って保存処理による接着性能への影響が検討されてきた。今後も新たな薬剤が開発され、保存処理技術は改良が進むことが期待される。本稿が優れた防腐・防蟻性能、接着性能を兼ね備えた木質材料の開発にわずかながらでも貢献できれば幸いである。

謝辞

本報告の一部は、(独)森林総合研究所交付金プロジェクト(課題名「地域材を活用した保存処理合板の開発」(H19-21))、およびに農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業(課題名「北海道産人工林材を活用した低コストで高性能な単板集成材の開発と実用化」(H22-24))による成果をまとめたものである。共同で研究に携わった方々、ご協力いただいた企業の方々に深く謝意を表する。

参 考 文 献

- 井上明生, 宮本康太, 塔村真一郎, 平林靖, 古田直之, 宮崎淳子, 第59回日本木材学会大会研究発表要旨集, PN002 (CD-ROM) (2009).
- 平林靖, 古田直之, 宮崎淳子, 秋津裕志, 井上明生, 第59回日本木材学会大会研究発表要旨集, PJ002 (2009).
- 宮崎淳子, 平林靖, 古田直之, 井上明生, 塔村真一郎, 宮本康太, “地域材を活用した保存処理合板の開発”, 森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集, 32, 11 (2011).
- J. E. Winandy, Proceedings of American Wood Preservers' Association, 91, 17 (1995).
- J. E. Winandy, R. S. Boone, *Wood Fiber Sci*, 20, 350 (1988).
- J. E. Winandy, R. S. Boone, L. R. Gjovik, P. L. Plantinga, Proc of the American Wood Preservers Assoc, 85, 106 (1989).
- J. E. Winandy, S. T. Lebow, *Forest Prod J*, 47, 91 (1997).
- D. J. Gardner, C. Tascioglu and M. E. P. Wälinder, “Wood Deterioration and Preservation, ACS Symposium Series Vol 845”, ACS Publications, Washington DC, 399 (2003).
- J. D. Kimmel, J. J. Janowiak, R. T. Baileys and P. Merrick, *Forest Prod J*, 44, 49, (1994).
- F. A. Kamke and J. E. Winandy, Proc Annu Meet Am Wood Prot Assoc, 104, 116 (2008).
- 宮崎淳子, 中野隆人, 平林靖, 岸野正典, 木材学会誌, 45, 34 (1999).
- I. Aydin and G. Colakoglu, *Build Environ*, 42, 3837 (2007).
- 宮崎淳子, 中野隆人, 木材学会誌, 49, 212 (2003).
- 堀岡邦典, 林試研報, 89, 105 (1956).
- 荏保伸一, 新谷岳史, 山口秋生, 井上明生, 宮本康太, 第26回日本木材加工技術協会年次大会講演要旨集, 27 (2008).
- C. B. Vick, R. C. De Groot and J. Youngquist, *Forest Prod J*, 40, 16 (1990).
- L. F. Lorenz and C. Frihart, *Forest Prod J*, 56, 90 (2006).
- A. Pizzi, “Wood adhesives. Chemistry and technology, Vol. 1.” Marcel Dekker, Inc., New York and Basel, 105 (1983).
- B. Loubinoux, H. Malek, J. P. Joly and G. Kilbertus, *Forest Prod J*, 42, 55 (1992).
- B. Loubinoux and H. Malek, *Holzforschung*, 46, 537 (1992).
- C. B. Vick, *Forest Prod J*, 40, 25 (1990).
- E. W. B. Da Costa, K. Hirst and L. D. Osborne, *Holzforschung*, 26, 131 (1972).
- 角田邦夫, 木材保存, 1985, 32 (1985).
- 伏木清行, 木材保存, 22, 22 (1996).
- 西本孝一, 木材研究資料, 17, 60 (1983).
- 勝沢善永, 荒木五郎, 田中計実, 森岡健志, 第22回木質ボード・木質複合材料シンポジウム 木材・プラスチック複合体研究会 第9回公開講演集, 29 (2006).
- 高橋旨象, 角田邦夫, 今村祐嗣, 足立昭男, 西本孝一, 木材保存, 11, 84 (1985).
- 佐藤俊夫, 真上真論, 小田論, 西本孝一, 木材保存, 11(1), 8 (1985).
- 中村嘉明, 坂野三輪子, 当麻毅, 中堀清, 佐藤俊夫, 奈良県林試木材加工資料, 16, 4 (1987).
- 中村嘉明, 奈良県林試木材加工資料, 14, 13 (1985).
- 中村嘉明, 奈良県林試木材加工資料, 14, 8 (1985).
- 斉藤光雄, 伊東英武, 土居修一, 布村昭夫, 林産試験場月報, 320, 1 (1977).
- 善本知孝, 杉山慎吾, 木材学会誌, 29, 815 (1983).
- 古田直之, 宮崎淳子, 宮内輝久, 大橋義徳, 日本木材学会北海道支部講演集, 43, 42 (2011).
<http://www.agr.hokudai.ac.jp/wrsh/files/kouensyuu/Volume43.pdf>
- J. Miiyazaki, N. Furuta and T. Miyauchi, *J Apply Polym Sci*, 印刷中.
- 宮崎淳子, 古田直之, 宮内輝久, 大橋義徳, 日本木材学会北海道支部講演集, 43, 26 (2011).
<http://www.agr.hokudai.ac.jp/wrsh/files/kouensyuu/Volume43.pdf>