木材用水性塗料の耐候性向上に関する研究（第４報）

–耐候性に及ぼすセルロースナノファイバー等の影響–

材料環境部
久間俊平　帆秋圭司　矢野昌之
平井智紀　田栗有樹

家具・木工，建築，塗料産業では，低環境負荷や木質感を損なわない等の品質と共に高耐候性である木材用塗料が求められている．しかし，低環境負荷であり木質感を損なわない透明系水性塗料には現状では耐候性が低いといった問題がある．本研究では，塗膜中間層にバイオマスを原料とするセルロースナノファイバー等を利用することで，色変化及び塗膜割れ等の劣化が抑制され，耐候性向上に効果があることが明らかになった．

1. はじめに

地球温暖化や環境汚染，生態系の破壊等は世界的に大きな問題となっており，持続可能な社会を実現するため，社会全体として低環境負荷の材料や製造プロセスが必要とされている．また，国内では国における「脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律」や「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」により，建築産業では木造建築物の普及拡大が進められている．

県内には，特色ある地域産業として家具産業等があり，技術力の高い企業が数多く立地している [1]．県内の家具・木工産業や建築産業では，木材の保護・美観・機能性付与のために木材用塗料が使用されており，低環境負荷や木質感を損なわない等の品質と共に高耐候性であることが求められている．そのため，低環境負荷の塗料として，塗料成分に用いられている有機溶剤を見直し，VOC（揮発性有機化合物）排出量を減らした水性塗料の普及が広がっている．

ここで，塗装していても木の風合いを生かすことができる塗料が重要な要件の一つとなる．従って，着色して木目が消える着色系塗料よりも透明系塗料にニーズがある．しかし，着色系と比べて木材用透明系水性塗料は，耐候性が低いことが知られており，県内塗料メーカーにおいても，さらに耐候性が高い塗料開発が行われている．

また，木材用塗料の耐候性における，塗膜劣化の原因は，紫外線や熱及び水による分解，水分吸収に伴う木材の寸法変化による塗膜剥離や割れ等が考えられる．寸法変化については，全乾から飽湿まで水分吸収に伴う木材の最大膨潤・収縮率は約 12%であり，年輪の接線方向（板目）で最も大きい [2]．さらに，透明系塗料は紫外線を透過するために基材の木質部も劣化し，塗膜の耐候性はより低下する [3]．

これまでの研究で，市販木材用透明系水性塗料の屋外曝露による耐候性試験を実施した結果，色変化及び微小な塗膜割れが耐候性試験の初期段階から発生しており [4]，これらの劣化を防ぐことは，さらなる耐候性の向上に寄与すると考えられる．

そこで本研究では，塗料分野においても多くの研究開発が行われている [5]，低環境負荷のバイオマスを原料として，高強度・高弾性・乳化性・光散乱性・ガスバリア性等の機能を有する，セルロースナノファイバー（CNF）やキチンナノファイバー（キチン NF）に着目した．新たに CNF やキチン NF を市販木材用透明系水性塗料の塗膜を補強するための中間層として利用することで，塗膜強度の向上及び紫外線の光散乱によって木材用水性塗料の耐候性を向上させることを検討した．

2. 実験方法

2.1 試薬

透明系水性塗料として，市販木材保護塗料（半造膜型，JASS 18 M-307 適合品）を用い，塗膜強度向上のために，CNF（中越パルプ工業製，nanoforest-S，原料：竹，高解繊度，濃度 1%）及びキチン NF（スギノマシン製，BiNFi-s，SFo-200，濃度 2%）を利用した．

2.2 試験片

使用した木材は，75mm×50mm のスギ材（板目，厚さ 5mm）を塗装前に 180 番の研磨紙で研磨した．塗料は，耐候性試験による劣化を加速させるために，片面のみを刷毛により塗布量 100g/m^2 で 3 回（うち

2 回目は中間層としてナノファイバー分散液のみ）塗布した．ナノファイバー分散液は，1%の CNF 分散液と，CNF 及びキチン NF をそれぞれ 0.5%ずつ混合した分散液の 2 種類利用した．比較として，ナノファイバー分散液を塗布しない試料を作製した．製作した試料を表 1 に示す．耐候性試験には，1 つの条件毎にそれぞれ 5 枚を準備した．

2. 3 耐候性試験

佐賀市において，試験片を南向き傾斜 28 度に設置し 5 月～翌年 2 月までの 7 ヵ月間屋外曝露した．

2. 4 測色

耐候性試験による木材外観の劣化の原因として，木材成分のリグニンが光酸化反応により黄変し，その後に分解した着色成分が雨水により溶出することが報告されている[6]．そこで，今回は測色計（コニカミノルタジャパン製，CM-700d）を用い，L*a*b*色空間における L*（明度），a*（+a*：赤方向，-a*：緑方向）b*（+b*：黄方向，-b*：青方向）について，各試験片毎に 3 点を測定した．

2. 5 透過率

石英ガラスにバーコーター（松尾産業製，Select-Roller L60，OSP-120）を用いてナノファイバー分散液を塗布し，乾燥後に紫外可視分光光度計（島津製作所製，UV-3600）を用いて透過率を測定した．膜厚は，塗膜の一部を剥離し，段差をレーザー顕微鏡（オリンパス製，OLS-4100）で測定した．

2. 6 撥水度

塗膜の保護機能を確認するために，撥水度を測定した．森林総研法[7]により塗装面に約 1g の脱イオン水を滴下し，1 分後に拭き取り，滴下前後と拭き取り直後の試験片の質量を測定し，試験片に浸透しなかった脱イオン水の質量百分率を撥水度とした．数値が高いほど撥水度は高くなる．

2. 7 表面観察

塗膜表面形状の観察には，レーザー顕微鏡（オリンパス製，OLS-4100）を用いた．

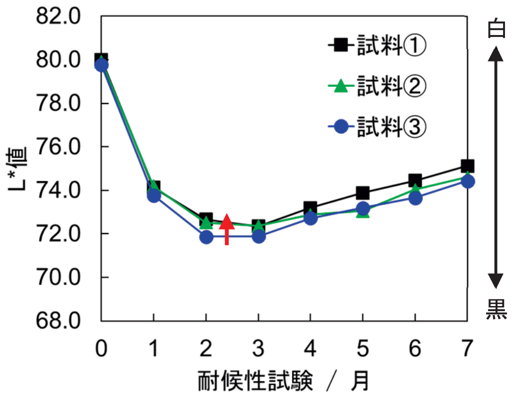
2. 8 非破壊断面観察

塗膜断面観察について，一般的には試料の目的箇所を切断することで行う．しかし，生物試料であり多孔質である木材表面に形成された微小な塗膜欠陥について，周辺組織を破壊せずに断面をピンポイントで観察することは非常に困難である．

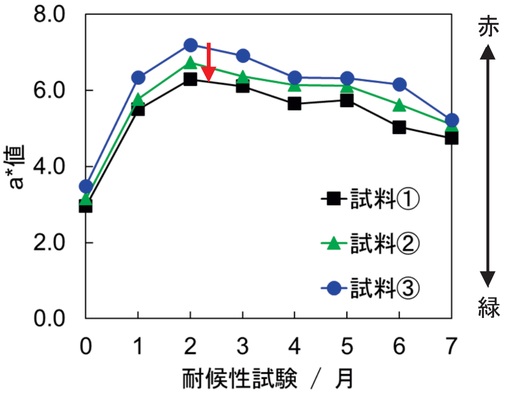
そこで，試験片の内部構造を非破壊で観察するため，放射光 X 線によるマイクロ CT 観察を行った．放射光は，一般的な X 線源に比べて高輝度・高指向性・連続スペクトル等の特徴を有しており，放射光

表 1　製作した試料

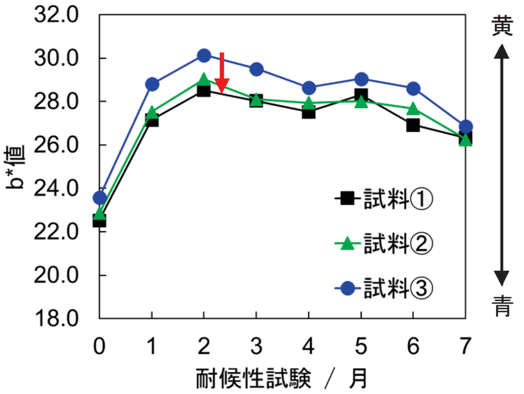
試料①	1%CNF 分散液を塗布
試料②	CNF とキチン NF をそれぞれ 0.5%ずつ混合した分散液を塗布
試料③	ナノファイバー分散液の塗布なし



(a) L*値



(b) a*値



(c) b*値

図 1　色の経時変化

を利用することで，高精細・高速・高密度分解なマイクロ CT 観察が可能である[4]．

試料は，試験片の測定径が直径 2mm となる様に条件毎に 3 個を切断加工し，樹脂チューブ内に固定した．さらに，この樹脂チューブを試料台に固定して測定を行った．画像解析には，ImageJ[8]を利用した．

3．結果及び考察

3.1 塗装木材の色変化

耐候性試験に伴う塗装物の色変化を図 1 に示す．それぞれの試料は，L*値は明度が低下し（図 1(a)），a*値は赤方向（図 1(b)），b*値は黄色方向（図 1(c)）へ変化した．なお，色変化の差は 2 ヵ月目に最大となった．

それぞれの試料を比較した結果，試験開始時に対して試料①の変化が最も小さく，試料③の変化が最も大きかった．このことから，CNF 等を中間層とすることにより，木材の色変化を抑制可能であることが明らかとなった．

ここで，色変化が試料毎に異なる原因を明らかにするため，ナノファイバー薄膜のみの透過率を測定した結果を図 2 に示す．膜厚 0.4μm の CNF 薄膜と CNF とキチン NF をそれぞれ 50%混合した薄膜は，特に短波長領域で光の透過率が低下しており，CNF 薄膜の透過率がより低い．このことは，ナノファイバーの粒子による光散乱の影響と考えられる．

ただし，ナノファイバーは，製造方法や解繊度等の種類により，透過率が変化することが考えられるため，適切な材料を選択することが重要である．

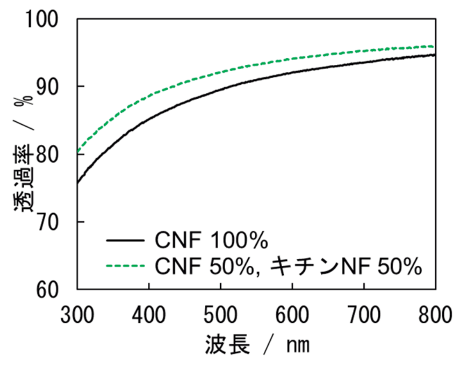


図 2　ナノファイバー薄膜の透過率

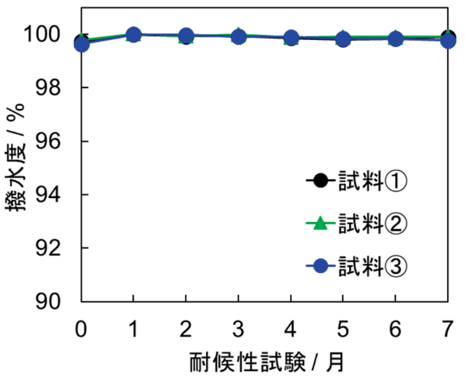


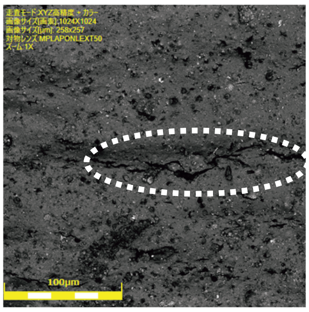
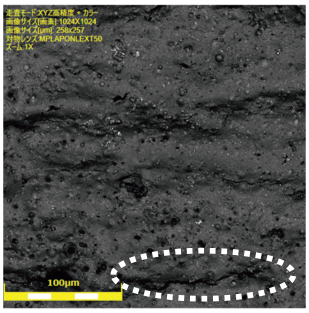
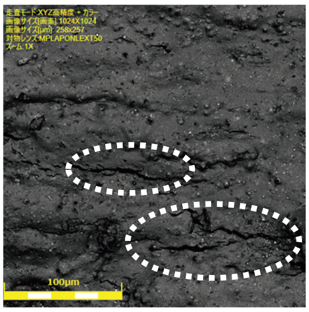
図 3　撥水度の経時変化

3.2 塗膜表面の評価

木材用塗料の効果として，外観以外にも撥水度等木材保護性能の持続性が期待されている．耐候性試験による撥水度変化を図 3 に示す．すべての試験片は，耐候性試験期間中においてほぼ 100%であり，劣化は確認できなかった．

また，レーザー顕微鏡による塗膜の表面観察を行った結果を表 2 に示す．輝度像より，すべての試験片で塗膜表面に傷が発生していることが確認され，それらは木材伸縮方向に対して垂直方向であった．

表 2　レーザー顕微鏡による表面観察

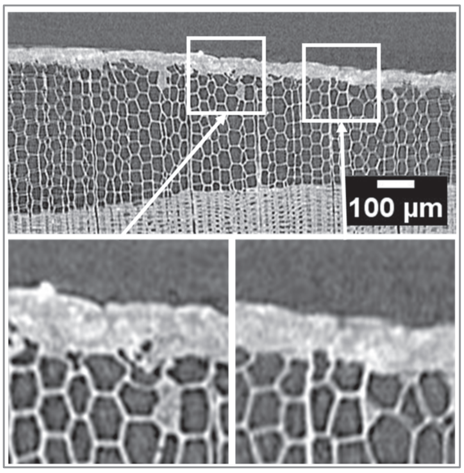
試料名	輝度像
試料①	
試料②	
試料③	

このことから，塗膜表面の傷発生は木材に伴って塗膜が伸縮を繰り返したことが主な原因であると考えられる．

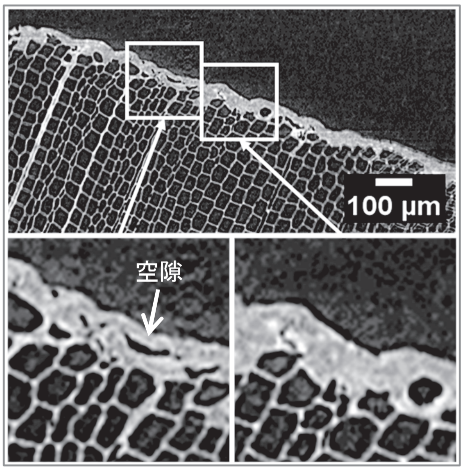
3.3 塗膜断面の評価

3.2 節における塗膜表面の評価結果から，耐候性試験により，塗膜表面には微細な傷が発生していることが確認できた．そこで，傷などを塗膜の断面方向から把握するため，放射光 X 線によるマイクロ CT による観察を行った結果を図 4 に示す．試料①は，表面付近に亀裂が発生しているものの，塗膜を貫通する割れは確認できなかった（図 4 (a)）．試料②も塗膜を貫通する割れは確認されなかったが，それ以外の欠陥として，撥水度や表面観察等，他の手法では確認が困難な塗膜内の空隙が確認された（図 4 (b)）．一方，試料③は，塗膜を貫通する微小な割れが複数確認された（図 4 (c)）．

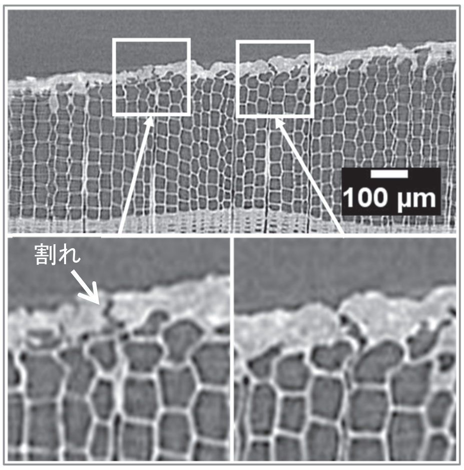
このことから，それぞれの試料の劣化初期の状態が把握できた．試料①・②のように，ナノファイバーを塗膜を補強するための中間層として利用することで，塗膜表面の劣化が抑えられることが明らかとなった．



(a) 試料①



(b) 試料②



(c) 試料③

図 4　塗膜断面のマイクロ CT 観察

4. おわりに

本研究では，CNF・キチン NF を中間層として塗布した木材塗装片を作製し，その耐候性向上について検討した．

その結果，CNF 等を中間層として塗布することにより，耐候性試験によるスギ材の変色を抑制可能であることが明らかとなった．また，塗装片をマイクロ CT により観察した結果，他の方法では確認できなかった初期の塗膜表面の劣化が把握できた．一方，この方法により，CNF 等を利用した試料①・②では微細な塗膜割れは確認されなかったことから，初期の塗膜劣化が抑制されていることが明らかとなった．

このことから，CNF 等を用いた塗料を使用することで，塗装物のさらなる耐候性向上が期待される．なお，研究に用いた基材のスギ材は天然由来であり，品質にばらつきが大きいため，今後さらなる検証を進めていく必要がある．

本研究を実施するにあたって使用した紫外可視分光光度計，レーザー顕微鏡，走査型電子顕微鏡は電源立地地域対策交付金により導入した．

最後に，放射光 X 線によるマイクロ CT 観察は九州シンクロトロン光研究センター（SAGA-LS）の県有ビームラインである BL07 にて実施した（課題番号：2201143P/BL07）．測定に際してご支援いただいた，九州シンクロトロン光研究センターの米山明男専門研究員に深く感謝の意を表する．

参考文献

1) -佐賀県総合計画 2019- 人を大切に、世界に誇

れる佐賀づくりプラン.
2) 大越誠，改訂版木材の塗装, 木材塗装研究会編, 海青社, 13-20 (2010).
3) 木口実， 改訂版木材の塗装, 木材塗装研究会編, 海青社, 235-237 (2010).
4) 久間俊平, 田栗有樹, 帆秋圭司, 平井智紀,矢野昌之, 佐賀県工業技術センター研究報告書, 30, 23-27 (2022)
5) (a) 石川敦子， 片岡厚， 大木博成， 何昕， 伊藤拓美， 下川知子， 林徳子， 眞柄謙吾， 小林正彦， 神林徹， 木口実， 木材保存，45(2), 68-76 (2019). (b) 樋澤健太, 佐々木麗, 表面技術,71(5), 371-375 (2020). (c) 竹内文代, 木村浩一, 特許第 6764111 号.
6) 片岡厚, 木材保存, 43(2), 58-68 (2017).
7) (財)日本住宅・木材技術センター：マニュアル作成事業報告書（木材保護着色塗料品質評価）(1998).
8) Rasband, W.S., ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, https://imagej.nih.gov/ij/, 1997-2018.