

# 保存処理木材の性能評価方法の 効率化・高精度化に関する取組

性能部 保存グループ 宮内輝久

## ■はじめに

長期にわたり良好な状態で使用するための措置が講じられた住宅（長期優良住宅）の普及を促進し、環境負荷の低減を図りつつ、良質な住宅ストックを将来世代に継承することで、より豊かでやさしい暮らしへの転換を図ることを目的とした「長期優良住宅の普及の促進に関する法律」が平成21年に施行されました。また、平成22年に公布された「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」は、現在、木造率が低く今後の需要が期待できる公共建築物にターゲットを絞って、木材利用に取り組むことで木材全体の需要を拡大することをねらいとしています。

木造住宅や公共建築物などの安全性を長期間にわたり確保するためには、主要な構造材料に耐久性の高い樹種や保存処理（防腐防蟻薬剤の加圧注入処理）された木材を使用することが求められます。一般に、木材の耐久性は心材で高く、辺材の耐久性は樹種によらず低くなります。そのため、高耐久樹種であっても、辺材部には保存処理が必要となります。

十分な保存処理が行われていないことによる性能不良が生じると、構造物の安全性を確保することができません。今回は、保存処理木材の性能を評価する方法の効率化・高精度化を図るために行った取組の一部について紹介いたします。なお、紹介した取組の詳細については文献<sup>1) 2)</sup> などをご参照ください。

## ■保存処理木材の性能評価方法

保存処理された木材・木質材料の性能は、有効成分（防腐防蟻成分）がどこまで浸透しているかを表す「浸潤度」、どれぐらいの量が入ったかを表す「吸収量」によって評価されます（図1）。吸収量と浸潤度は処理した材料の中央部から採取した試料を用いて評価され、製材の日本農林規格（JAS）<sup>3)</sup> や優良木質建材等認証制度（AQ）<sup>4)</sup> など保存処理木材・木質材料に関する規格では、使用環境に応じた浸潤度と吸収量の値が規定されています。

浸潤度は、木材保存剤に用いられている有効成分等と反応することで色が付く試薬を試料に塗布し（または吹き付け）、着色した部分の面積を測ることで求めることができます。一方、吸収量を求めるためには、木材中に含まれる有効成分を取り出し、機器分析により定量する必要があります。

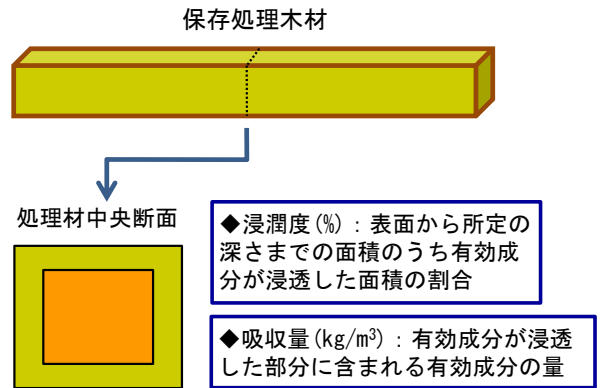


図1 浸潤度と吸収量

表1 木材保存剤の種類と有効成分（JIS K1570<sup>5)</sup>に記載されているうち水溶性木材保存剤と油性木材保存剤の一部を抜粋）

区分	種類	有効成分	
		有機化合物	無機化合物
水溶性木材保存剤	第四級アンモニウム化合物系	ジデシルジメチルアンモニウム クロリド（DDAC）	—
	銅・第四級アンモニウム化合物系	N,N-ジデシル-N-メチル-ポリオキシエチル -アンモニウムクロリド（DMPAP）	銅（酸化銅）
	銅・アゾール化合物系	シプロコナゾール（CYP）	銅（酸化銅）
	ホウ素・第四級アンモニウム化合物系	DDAC	ホウ素（ホウ酸）
	第四級アンモニウム・非エステルピレスロイド	DMPAP, シラフルオフェン	—
	アゾール・第四級アンモニウム ・非エステルピレスロイド	DMPAP, CYP, エトフェンプロックス	—
油性木材保存剤	アゾール・第四級アンモニウム ・ネオニコチノイド化合物系	DDAC, テブコナゾール（TEB）, イミダクロプリド（IMD）	—
	アゾール・ネオニコチノイド化合物系	CYP, IMD	—

加圧注入に用いられている木材保存剤は日本工業規格 (JIS K1570) <sup>5)</sup> に規定されています (表1)。これらの有効成分は、銅 (酸化銅) ホウ素 (ホウ酸) などの無機化合物、第四級アンモニウム化合物、トリアゾール化合物などの有機化合物に分けることができます。

銅などの無機化合物の場合、木材のほとんどを構成する有機化合物を酸などにより二酸化炭素や水に分解してしまうことで、回収することができます (図2)。得られる試料溶液中には木材由来の成分はほとんど共存しません。

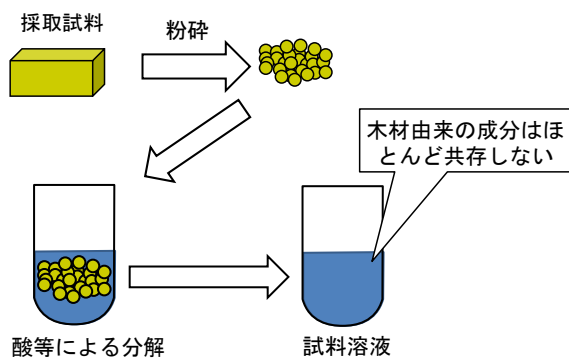


図2 無機化合物の回収方法

一方、有機物を回収する場合、無機物と同じ方法を用いると有効成分まで分解されてしまいます。そのため、有機物である有効成分を回収する場合は、有機溶媒等を用いた抽出が用いられます (図3)。木材には有機溶媒に可溶性成分が含まれているため、得られる試料溶液中には木材成分が共存することになります。後述するように、これらの木材成分が機器分析に影響し正確な定量が困難な場合があります。

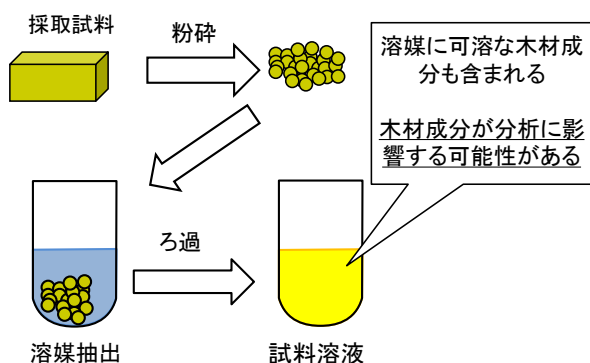


図3 有機化合物の回収方法

■ トリアゾール化合物の分析方法の効率化・高精度化

現在、JASにより規定されている方法では有効成分毎に用いる溶媒や方法が異なります。有効成分の

うちトリアゾール化合物である、シプロコナゾールは溶媒にメタノールを用いた超音波抽出により回収されています。現在の製材のJASは平成24年に改正されたもので、以前のJASでは、溶媒をエタノール (ジメチルスルホキシドを含む) とした、超音波抽出が用いられていました。現場で行った受託研究や公募型の研究開発等により、溶媒にメタノールを用いた方がより効率的であることが確認され、前述のJAS改正にはこれらの結果が反映されています。

ところで、抽出されたシプロコナゾールは高速液体クロマトグラフ (HPLC) を用いて分析することとされています。HPLCはポンプ、試料導入部、カラム、検出器で構成される装置で、配管によって連結されています (図4)。カラムは円筒形の管の中に充填剤が詰められたもので、充填剤として表面には官能基が結合している粒状のシリカゲルを詰めたものがよく用いられ、オクタデシル基 (ODS : 炭素が12個直鎖上に結合したもの) が結合したタイプが広く用いられています (図5)。

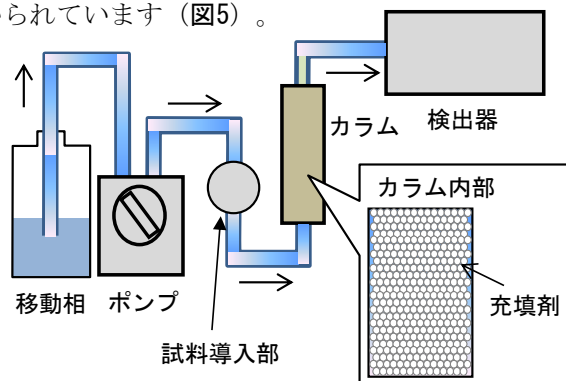


図4 高速液体クロマトグラフの概要

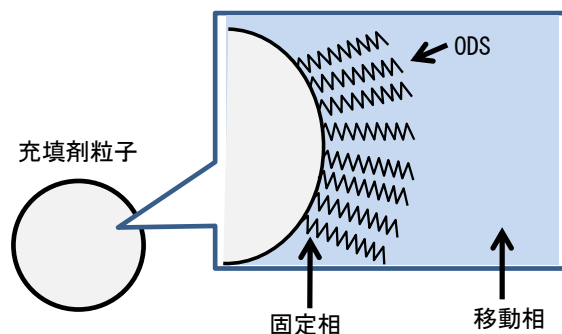


図5 ODS (: オクタデシル基) カラムの簡略図

移動相は有機溶媒と水などの混合液で、ポンプを介し、試料導入部、カラム、検出器の順に流れていきます。試料導入部から注入された試料溶液中の成分は、移動相とともにカラム内に入ります。

充填剤粒子に化学結合したオクタデシル基は移動相と混ざらない固定された液相のようにふるま

す（固定相）。油と水、を混合し激しく混ぜた後放置すると水の層と油の層に分かれる様子と同じように考えていただければよいと思います。油に溶けやすい成分と水に溶けやすい成分を加え、激しく混ぜた後放置すると、水に溶けやすい成分は水の層に、油に溶けやすい成分は油の層により多く含まれるように分配されます（図6）。

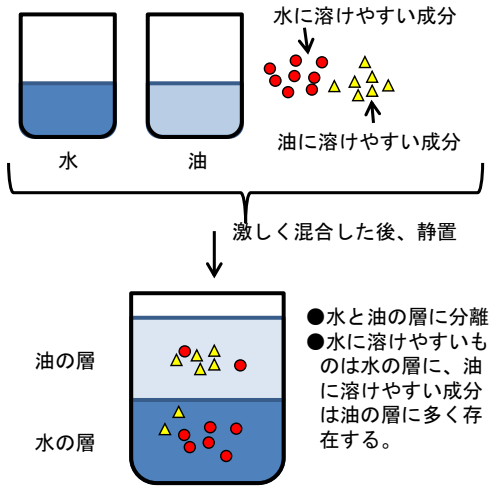


図6 水と油における成分の分配

同じように、試料溶液中に含まれる成分は、移動相と固定相のどちらに溶けやすいかによって各層に分配されます。移動相は文字通りカラム内を流れ続けているので、次々と新しい移動相が流れてくることになります。新しい移動相が流れてくると固定相に分配された成分は再び移動相と固定相の間で分配されることになります。この分配が繰り返されることで、試料溶液中の成分はカラム内を進むことになります。固定相に溶けやすいものは固定相にとどまる時間が長くなりカラムから出てくるまでの時間も長くなります。その逆に、移動相に溶けやすいものは、移動相にとどまる時間が長くなるのでカラムから出てくる時間が短くなります。この差により試料溶液中の成分が分離されます。

カラムから出た成分は移動相の流れに乗って、検出器に到達します。シプロコナゾールの分析にはUV検出器が用いられており、検出器に到達した成分が持つUV吸収量が記録されます。図7に示すように横軸を分析開始からの時間、縦軸をUV吸収量として記録されたものをクロマトグラムといいます。検出器に到達した成分はピークとして検出されます。ピークの高さや面積は成分の量に比例するので、あらかじめ分析しようとしている成分の量を変えた試料を分析することで、ピーク面積と量の関係を求め

ておき、成分量がわかっていない試料を分析した時に得られるピーク面積をこの関係に当てはめることで量を測ることができます。

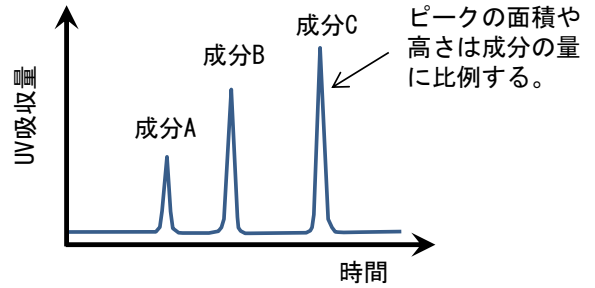


図7 クロマトグラムの例

前述したように、木材中にはエタノールやメタノールなどの有機溶媒で抽出される様々な成分が含まれています。そのため、HPLCに供する試料溶液中にはシプロコナゾールの他に木材成分が混在します。図8は、薬剤を含まないスギ心材またはトドマツ心材から調製した試料溶液と分析用試薬のシプロコナゾールを分析した結果を示しています。分析用試薬を含む試料には同じトリアゾール化合物であるテブコナゾールも混合していますが、これらの成分はカラムで分離されるため、異なる2つのピークとして確認できます。

スギ心材、トドマツ心材の試料溶液の場合、シプロコナゾールとほぼ同じ時間にピークを持つ成分が含まれていることがわかります。したがって、スギやトドマツの心材に含まれるシプロコナゾールを分析する場合、試料溶液に含まれる木材成分とシプロコナゾールのピークが重なり、正しいピーク面積や高さを求めることができなくなります。このような影響は、カラマツやヒノキなどの心材についても確認されています。

このような場合、HPLCに用いる移動相の組成などを変え、木材成分とシプロコナゾールが十分に分離する条件で分析を行なう必要があります。また、試料精製を行うことで、試料溶液から分析に影響する木材成分を除去する必要があります。しかし、木材に含まれる成分は樹種によって異なり、同じ樹種であっても部位によって異なります。そのため、樹種や部位によって分析条件を変更しなければならない可能性もあり、効率的に分析を進めることができません。また、試料精製法が複雑であっても効率的な作業の妨げになります。

そこで現場では、固相抽出法と呼ばれる試料精製法を用いることで、正確な分析の妨げとなる成分を

効率的に除去する方法を確立しました。固相抽出法は吸着剤などの担体が充填されたカートリッジに試料溶液を流すことで、溶液中の成分を充填剤に保持させ、引き続き適当な溶媒を用いて、余分な成分を洗い流し、最後に目的の成分を回収するという方法であり（図9）、従来用いられていた試料精製法よりも効率的かつ簡便であるため様々な分野において活用されています。

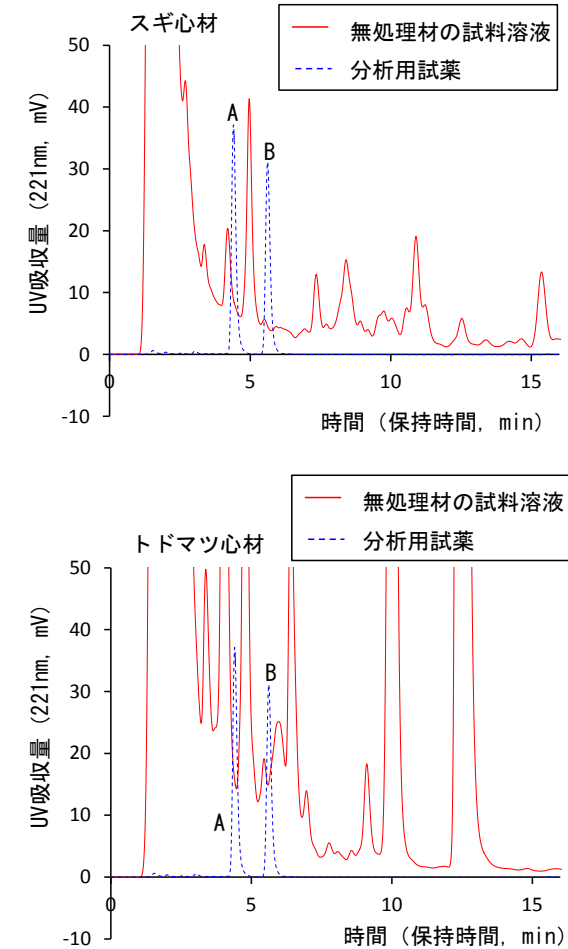


図8 無処理材の試料溶液とシプロコナゾール (A) とテブコナゾール (B) のクロマトグラム

シプロコナゾールは酸性の溶液中では陽イオンとして存在します。逆にアルカリ性の溶液中では陽イオンの性質がなくなります。そこで、シプロコナゾールの分析に影響する木材成分を除去するため、担体として強陽イオン交換樹脂が充填されているカートリッジを用いました。酸性側では、担体に吸着され、アルカリ性側では担体から脱着されます。この性質を利用することで、分析に影響する木材成分を除去することを試みました。

木材成分が除去できるかどうか確認するため、無処理の木材をメタノールで抽出したものを試料溶液として固相抽出の洗浄時に用いる溶媒などの検討を行いました。図10にスギ心材とトドマツ心材の場合の結果を示します。図8と比較すると明らかなように、シプロコナゾール付近にあったピークを含め、多くの成分を除去することが出来ることを確認しました。また、この方法はカラマツ、ヒノキなどの樹種にも有効であることを確認しました。

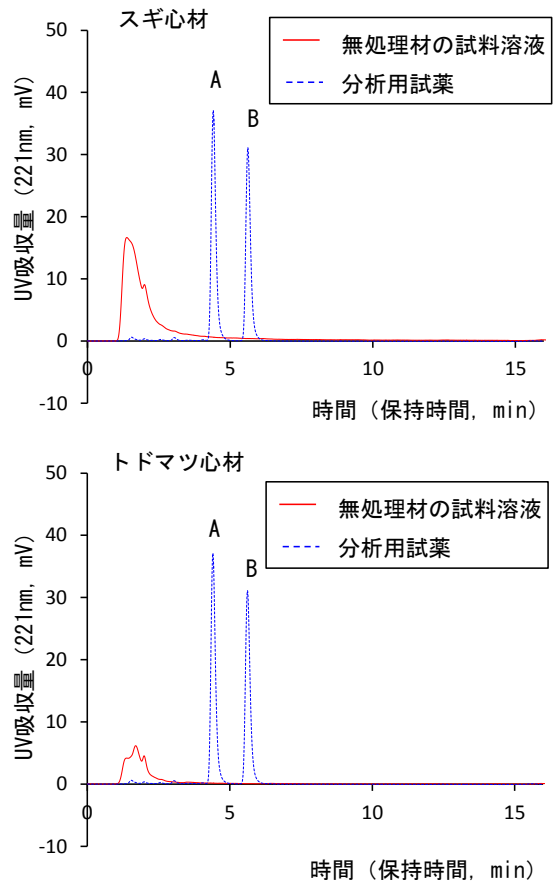


図10 固相抽出を行った無処理材の試料溶液とシプロコナゾール (A) とテブコナゾール (B) の標準品のクロマトグラム

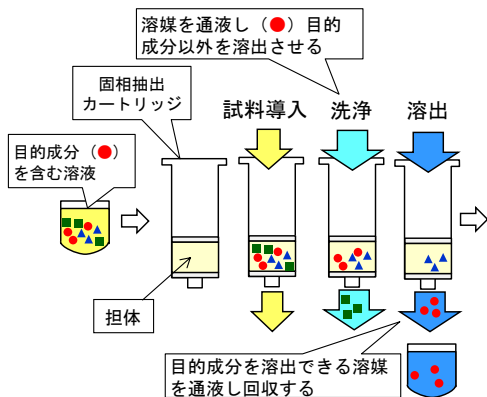


図9 固相抽出法の概要

次に、木材保存剤で処理した木材をメタノール抽出して得られた試料溶液について、固相抽出を実施しHPLCによる定量分析を行ないました。その結果、処理された木材中に含まれるシプロコナゾールを高精度に分析できることを確認しました。以上の成果は、前述の改正時に製材のJASの中に取り入れられました。

## ■おわりに

木造住宅の長寿命化や公共建築物の木造化を進めるうえで、構造物の長期の安全性を確保するための手段として、保存処理木材・木質材料の重要性は高まると考えられます。保存処理木材・木質材料の信頼性をより高めるためには、これらの性能評価方法である、浸潤度や吸収量の分析の信頼性も高めていく必要があります。

今回は、吸収量の分析方法を効率化・高精度化するために行った取組の一部について紹介しました。当场では、今回の紹介で対象となった有効成分を含め、より多くの有効成分について、吸収量の分析方

法の効率化・高精度化を図るための取り組みを行っています。これらの成果が、現在、改正作業が進められている集成材などのJASや関連企業における品質管理において活用されることで、保存処理木材・木質材料の信頼性向上に寄与できると考えています。

## ■引用文献

- 1) 宮内輝久, 桃原郁夫, 森満範: 木材保存33 (5), 218-225 (2007)
- 2) 宮内輝久: 木材保存36 (3), 92-99 (2010)
- 3) 製材の日本農林規格: 平成25年6月12日農林水産省告示第1920号  
[http://www.maff.go.jp/j/jas/jas\\_kikaku/pdf/kik\\_kik\\_40.pdf](http://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/pdf/kik_kik_40.pdf) (最終確認日: 2015年9月30日)
- 4) 公益財団法人日本住宅・木材技術センター: 優良木質建材等の品質性能評価基準  
[http://www.howtec.or.jp/ninsyou/aq/aq-hyokaki\\_jyun.pdf](http://www.howtec.or.jp/ninsyou/aq/aq-hyokaki_jyun.pdf) (最終確認日: 2015年9月30日)
- 5) JIS K1570(2010): 木材保存剤, 日本規格協会