

2012 年度木質物性研究会・木材と水研究会合同講演会・見学会開催報告

寺西康浩（奈良県森林技術センター）

中嶋 康（岩手県林業技術センター）

金山公三（産業技術総合研究所）

杉山真樹（森林総合研究所）

1. はじめに

2012年8月30日（木）～31日（金）の2日間、梓水苑（長野県松本市）において、2012年度日本木材学会木質物性研究会・木材と水研究会合同講演会および見学会（主催：日本木材学会木質物性研究会、同 木材と水研究会、協賛：（公社）日本木材加工技術協会、産総研コンソーシアム持続性木質資源工業技術研究会）が開催されました。なお、日本木材学会レオロジー研究会は、レオロジーに限定することなく多面的な検討を進めることにより木質物性の理解を深めることを目指して、昨年度から「木質物性研究会」と名称を変更し新たな一歩を踏み出しています。

今回の講演会は、「木質物性と木材乾燥（今さら訊いても良いですか）」をテーマとして開催しました。木材乾燥をテーマとした過去2回の合同講演会において、主にマイクロ領域の構造を対象とする物性研究と、乾燥におけるマクロな現象（変形や割れなど）との間における密接な関連を再認識しました。

3回目となる今年は、木材乾燥を主な研究課題とする「木材と水研究会」側からの質問に対応する講演を設定するとともに、これらを踏まえた総合討論を通じて技術や研究の深化を図りました。なお、質問内容は日本木材学会木質物性研究会のホームページに掲載しています。

講演会では、大学・公設研・企業で活躍する研究者および技術者にご講演いただきました。本稿では、研究会幹事として、今回の講演会および見学会の企画・運営に関わった立場からその概要を報告させていただきます。



写真1 会場の様子

2. 講演会1日目

2.1 「木材乾燥全般：①乾燥のメカニズム」

木材乾燥の基礎である板材の乾燥スケジュールの考え方についての解説と、平衡含水率に関する質問を中心に回答をいただきました。

乾燥に求められる製品品質とそれを実現するための乾燥スケジュールの基本的な考え方について、これまで行われてきた種々の実験結果を示しながら解説されました。たとえば、乾燥スケジュールを乾燥初期、中期、末期に分けて考え、それぞれの時期において生じうる損傷に特徴があること、損傷のうち、割れ、狂い

森林総合研究所：小林 功 氏



は収縮、水分移動、木材の粘弾性的性質と密接な関係があり、これらを考慮して乾燥スケジュールが作られること、また乾燥時間短縮の点から見ればできる限り早い時期から湿度を低くしたいが、そのタイミングは木材内に生じる乾燥応力を考慮して決められることなど、木材乾燥と木質物性との関わりを絡めて、解説されました。

講演会に先立って募集された質問事項への回答としては、平衡含水率表の出典、平衡含水率が樹種によって異なるかどうか、また熱履歴によって平衡含水率が変化するかどうか、変化するならどのくらい変わるのかについて回答をいただきました。

2.2 「木材乾燥全般：②スケジュールと品質」

奈良県森林技術センター：寺西 康浩 氏

主に針葉樹心持ち無背割り材の高温乾燥スケジュールの内容について紹介していただきました。高温セット条件と表面割れ・内部割れ発生量との関係、高温セット後の乾湿球温度条件と内部割れ発生量との関係などについて、主にスギ心持ち正角での実験結果を示しつつ解説していただきました。それらを組み合わせて構築された内部割れの少ない乾燥スケジュール（『推奨乾燥条件』と定義）を示し、ほぼ同じ要領で検討されたヒノキ、カラマツ、アカマツ、トドマツおよびヒバに対する推奨乾燥条件も併せて示していただきました。



また事前に寄せられた質問・疑問に対応する内容として、乾燥処理に伴う損傷（表面割れ、内部割れ、落ち込み、狂い）および熱処理木材の性質をとりあげ、質問・疑問に対応するデータを紹介していただきました。

2.3 「高温セット乾燥：①基礎（原理や操作）」

九州大学：藤本 登留 氏

針葉樹心持ち無背割り材を乾燥する際、高温セット処理を行うと表面割れの発生が軽減される原理について、模式図により詳細に解説されました。また、表面割れが発生しやすい（高温セットがかかりにくい）とされているアカマツ心持ち無背割り正角をひとつの例として取りあげられ、破壊ひずみが小さいことや大きなセットが形成されにくいことがその理由であることを指摘しながら、適切な高温セット処理条件が樹種によって異なることを解説されました。



その一方で、高温セット処理の短所（注意点）についても触れられました。内部割れ発生のほか、変色、香り、金具の錆びやすさ、強度に与える影響、残留応力などについて解説され、あわせて、適切な含水率まで乾燥されていることの重要性を説かれました。

さらに、事前に寄せられた質問・疑問に対応する内容として、高温セット乾燥法の基本（処理条件（温度・湿度・風）の考え方、被乾燥材に形成された応力分布など）をとりあげ、それらについて詳細に解説

していただきました。

2.4 「高温セット乾燥：②材質変化」

信州大学：徳本 守彦 氏

高温セット法で乾燥した正角材の内部応力とセットについて、スライス法で測定した結果を説明していただきました。その中で、高温セット法の特徴として、①セット処理時間が長いほど表層の圧縮応力が大きい、②表層セットは湿熱回復性の比率が高い、③内部応力分布は高温セット処理後の乾燥方法の影響も受ける、④高周波加熱の併用は表層に高いセットを発生させる、⑤修正挽きに伴い内部応力は減少しその影響は応力勾配が大きいほど顕著、⑥修正挽きすると乾湿繰り返しが内部応力変化に及ぼす影響は小さくなることなど、実験データから得られた貴重な考察をいただきました。



また、高温セット材の材質変化に関する質問に対しては、表層の顕著な圧縮応力の継続性について、「表層の含水率が乾燥状態に保たれる限り半永久的であるが、長期にわたる乾湿繰り返しを受ける場合はこの限りではない。」との回答をいただきました。

2.5 「高温セット乾燥：③強度特性」

石川県農林総合研究センター：松元 浩 氏

強度性能に及ぼす乾燥温度の影響に関する樹種間の比較、天然乾燥材と高温乾燥材の「粘り」の比較、高温セット材のヤング係数の増減の原因、断面内の高温セットおよび強度の分布について各地で実施されたこれまでの試験結果を例に解説されました。

乾燥温度と強度性能に関しては、上記の「乾燥スケジュールと品質」で示された推奨乾燥条件で乾燥した材の強度性能については実用上問題ないことが示されました。

また、事前に寄せられた疑問・質問に対する内容については、主に化学成分などミクロな視点から考察されました。これを受けて講演後の質疑応答においては、「粘り」についての研究者と現場の捉える現象（認識）の差異、ヤング係数および強度性能のマクロな解釈について議論が盛り上がり、2日目の総合討論の主な議題へと進展しました。



2.6 「高温セット乾燥：④実例（その1）」

征矢野建材株式会社：星川 嘉諒 氏

近年、長野県林業総合センターとの連携に基づいて長野県産材の積極的な活用を手がけ、長野県内でも有数の建材・加工メーカーとして全国から注目され始めており、「地域材の流通と加工」の概要に関して講演していただきました。まず、長野県内の人工林の現状から見た間伐の必要性を述べられ、森林税を活用した森林整備（里山を中心とした間伐や松食い虫被害防止）例を紹介されました。続いて、間伐材を安定的に供給・利用していく仕組みとして、3つの森林組合と協定書を締結し、間伐材製品の有効利用を促進するモデル事業について説明していただきました。



最後に、間伐材の加工事例として、長野県産のアカマツ、ヒノキを活用した「接着重ね梁」および「圧密フローリング」について、開発コンセプトから、製造方法、品質管理および施工例について解説していただきました。2日目の見学会で加工現場を視察できるということで、参加予定者にとっては、貴重な予習の場となりました。

2.7 「高温セット乾燥：④事例（その2）」

株式会社ヤスジマは、石川県金沢市において、木材加工機械、食品加工機器、ボイラ、化工機等を製造・販売しており、木材加工機械分野では減圧乾燥機や含浸装置などを取り扱っており、今回は、高周波加熱を併用した減圧乾燥機を用いた諸事例について紹介していただきました。

中央研究所所長である氏の豊富な実務経験のなかから、オウシュウアカマツ平角材に対し表面セットを行った事例、ベイヒバ太角（40cm 角）に対し材内部の乾燥を先行させることを意識しながら表面割れを防いだ事例、ヒノキ平角材に対し材色の変化も極力防ぎながら乾燥を進めた事例を取りあげ、それぞれの事例における乾燥スケジュール（いずれも減圧下）とそのねらい、乾燥経過および仕上がり状態（含水率や損傷の発生状況）について詳細に解説されました。

株式会社ヤスジマ：明神 光幸 氏



3. 講演会 2日目

3.1 「境界領域：①乾燥にともなう微細構造変化（その1）」

産業技術総合研究所：三木 恒久 氏

木材乾燥に伴って微細構造がどのように変化するかを、熱分析に基づいて解説していただきました。木材の主要構成成分であるセルロース、ヘミセルロース、リグニンの微細構造変化に対する水分子の吸脱着の影



響を、熱分析（示差走査熱量測定：DSC）によって検討を進めたところ、含水率の異なりによってガラス転移現象が複雑な挙動を示すことが分り、この結果として木材乾燥の水分変化速度が木材物性に対して重要な影響を示すことを説明されました。また、加熱により分子運動が活発化することによって微細構造の緻密化が生じることも示し、水分除去のためのみの加熱ではなく構造の緻密化をも考慮した温度スケジュールの必要性を説明されました。さらに、熱分解が生じない温度域において、木材内部の微細構造の乱れと修復が可逆的に生じていると考えられるので、構造修復への検討の重要性を提案されました。

3.2 「境界領域：①乾燥にともなう微細構造変化（その2）」

京都府立大学：古田 裕三 氏

プラスチックでは冷却速度によって微細構造が変化するため弾性率も変化し、同じ高分子材料と位置づけられる木材でも、この考え方（非平衡状態）の導入が必要であり、温度のみならず含水率や応力の変化も重要な影響因子であることが近年の検討で明らかになってきていることを説明されました。これらの理解を進めるために、力学的検討（動的粘弾性）に加えて、熱的検討も含めて多面的な検討を進めており、具体例として、生材と各種条件での乾燥材を比較すると、急激な熱履歴や乾燥履歴のある場合には弾性率や発熱挙動に顕著な差異が認められ、常温下ですえ時間経過に伴って平衡状態に徐々に近づくことを示されました。また、メカノソープティブクリープにおいても、長期間の調湿を経た場合はクリープが少なく、急激な含水率変化を受けた直後の場合にはクリープが大きくなる傾向を示し、これは微細構造の変化（安定化）によるものと思われるので「養生が重要」という現場の知恵を裏づけるとともに、養生条件の推測のためには基礎的検討の蓄積が必要なことを分かりやすく説明していただきました。



3.3 「境界領域：②エネルギー評価ならびに周辺装置」

森林総合研究所：黒田 尚宏 氏

製材を活かす上での問題点を克服し、林業を活性化するために必要な木材品質を左右する乾燥機について、詳しく解説していただきました。

現在、木材乾燥は9割が蒸気式乾燥でありボイラで発生した蒸気を利用しているが、収容材積の増加や乾燥温度の上昇にともなって必要な蒸気エネルギーも増加するのでコスト把握が重要なため、蒸気式乾燥で灯油を使用した場合は 4,640 円/m³、木くずで 1,890 円/m³、蒸気・高周波複合乾燥の場合、灯油使用で 6,030 円/m³、木くず使用で 3,880 円/m³ という試算が紹介されました。木くずのほうが油よりもコスト面では優れているが、反面発熱量が低く効率もやや落ちるため、どのくらいのエネルギーが必要なのか事前の検討が必要と説明されました。



乾燥材生産量は年々増加し、乾燥機もそのため大きくなっていく傾向にあり、そのためCO₂ 排出量も

年々増加しているため、CO₂排出も減りコストも下がり環境にも良い木くずへの転換を推奨されました。

また、現行の携帯式高周波含水率計で高温セット乾燥材を測定すると全乾方よりも低く表示されてしまうという事前質問に対して、電極や回路をはじめとして装置改良は進むが、現状では設置型に比べて携帯型は精度が落ちる傾向にあることを現場でしっかりと認識しておくことが重要であると説明された。

3.4 「境界領域：③新規質問への回答および総合討論」

静岡大学：祖父江 信夫 氏

前日から続いた講演と議論の総括として、概要整理と、重要事項から数点抽出して「指名による補足説明」を進めていただきました。

今回の講演会では様々な質問が出たが、高温セットによる強度低下、ねじれの増大、粘りの変化とその本質に関わるものが多かったと総括されました。

構造材の強度は建築基準法やJASで基準が定められているが、「粘り」までは決まっていないので、マクロな視点で見た強度と粘りの関係について、森林総研の加藤氏を「指名」して次のような補足説明がなされました。ヤング率と破壊強度は応力レベル



が異なり、そもそも木材の粘りと割れ易さとは何かということになるが、どの程度の変化なのかを詳しく説明するとなると難しい。そのあたりを、岐阜大学の棚橋教授にミクロな視点での解釈の一例を披露していただきました。具体的には、熱的作用によるヘミセルロースの分解挙動、セルロースの結晶化度の変化挙動などと強度変化との関連について実験データを交えて説明していただきました。

高温セットに関連して、特に解釈が難しい長期の乾湿の影響について、信州大学の徳本教授に再び説明をして頂き理解を進めるとともに、今後若い研究者らによる更なる検討の必要性が確認されました。

最後に、昨年も意見があったが、レオロジー分野への期待として、実用的な場面での現象を説明できる視点を持って研究をしてほしい、そして現場での測定なども積極的に行なってもらいたいという言葉で締めくくられました。

4. 見学会

2日目の午後から、征矢野建材株式会社塩尻工場を見学させていただいた。まず昨日に引き続き星川嘉諒氏から工場の概要について簡単にご説明していただき、その後工場内を見学させていただいた。圧密ライン、内装建材ライン、構造材の養生倉庫などがあり、プレカットは別工場で加工されていた。

地元産のヒノキやアカマツの圧密加工によりフローリングが製造されていた。乾燥に始まり塗装で仕上げるまでの全工程を同工場内で効率良く行っていた。なお、ヒノキは床暖房に対応可能だがアカマツは対応出



来ないとのことで、この原因は興味深いと感じられた。次に、大断面かつ長尺の接着重ね梁の製造工程を見せていただいた。ブランドとして「あずみ野赤松」、「信州ヒノキ」の重ね梁を4～6mのプレス機で製造しており、含水率や素材配置などの製造条件を管理し、完成品には全てヤング率が表示されており品質管理のレベルの高さが感じられた。

印象的だったのは、加工工場の周囲に配置された大量の木材養生倉庫の群である。人工乾燥も行っているが、その後には天然の雰囲気中で長期間の養生を実施することで形状や材質の安定化を図っていた。

今回の見学会では見学者の皆様から様々な質問が寄せられて関心の高さが伺え、非常に有意義な見学会であった。

5. その他

1日目の夜には懇親会が開催された。講演会の内容に興味を示されたことに加えて中部地域（松本市）での開催のため、木材学会の棚橋光彦中部支部長が参加され、「昔のレオロジー研究会の頃から時々参加している。この講演会は議論があるのが良いと思う。この会が長く続くことを願っています。」と講演会を盛り上げるとともに今後への期待も述べられた。そして多くの参加者が和気藹々と懇談しつつ英気を養い、以前から大変好評を博している若手研究者や企業の技術者らによる研究事例の報告会へと進み、熱い議論は早朝まで終わらなかった。



6. おわりに

本講演会は、講師を含めて85名の方々に参加いただいた。これは、木材乾燥が木材産業において重要な課題であることの現れであろう。また、「今さら訊いても良いですか？」と副題をつけ、事前の質問集めに加えて新規質問も受け付けて、十分な回答陣を確保しての開催が参加者の増加につながったと思われる。

今年で3年目となる合同講演会を通じて、木材乾燥に関する長年の研究蓄積の理解がより一層深化し、基礎研究と実用研究両面からのアプローチによって乾燥研究進展へとつながるヒントを数多く見出した。

3年で一区切りとして、この3年間で得られた成果を踏まえて新たな研究展開を目指すことを模索している。すなわち、基礎と実用との境界領域の研究開発の重要性を再確認し、その境界領域からの視点で「実用にも役立つ更なる基礎、基礎を踏まえた更なる実用」の研究に取組み、その成果を再び持ち寄って再び議論する場を設けたいと考えている。時期は未定であるが、次回の講演会開催の際には多数の皆様に参加いただければ幸いである。

最後に、講演者の皆様、見学を受け入れていただいた征矢野建材株式会社の皆様、ご参加いただいた皆様に心から感謝申し上げます。なお、不参加の方々の中で本講演会の内容に興味を持たれた場合、講演要

旨集に残部が有りますので、「木質物性研究会」あるいは「木材と水研究会」の幹事にご連絡を頂ければ、有料ですがお分けいたします。これを機に研究連携が始まることを期待してお待ちしております。