

平成 21 年 6 月 1 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19580189

研究課題名（和文） 100℃超温度域での木材の水分吸着

研究課題名（英文） Water absorption on wood in the temperature range above 100℃

研究代表者

師岡 敏朗（MOROOKA TOSHIRO）

京都大学・生存圏研究所・准教授

研究者番号：00192378

研究成果の概要：高温高圧水蒸気を用いた、木材の加工及びその基礎的研究がなされており、含水率が異なると木材の物理的性質が大きく異なることがわかっている。しかし、高温高圧にある水蒸気雰囲気下での含水率測定が困難であることから、これまで我々は測定雰囲気の相対湿度を含水率の目安として用いてきた。本研究では、100℃超温度域で各相対湿度の水蒸気雰囲気下における木材の含水率を正確に求めるとともに、それを用いて 100℃超温度域にある木材の幾つかの力学的性質に及ぼす水分の影響を明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：木材物理学

科研費の分科・細目：林学・林産科学、木質工学

キーワード：過熱水蒸気、木材、含水率、吸着等温線

## 1. 研究開始当初の背景

高温高圧水蒸気により木材を処理することによる各種の木材改質法が提案されている。板材や丸太の圧密加工、木質材料の寸法安定化、圧縮変形の永久固定化などがそれぞれである。この処理は特別な薬剤を用いることなく、水と熱だけを利用する点で環境調和型の処理と言え、処理の効果は水分量と温度で異なる。そのような加工上の特徴に留まらず、この処理は 100℃超温度域での湿潤木材の物性、特に木材レオロジーの観点から学術的に

も興味深い。たとえば応力緩和に着目すると同じ飽和水蒸気雰囲気にある木材であっても 100℃以上と以下とでその挙動は大きく異なり、さらに飽和水蒸気（相対湿度 100%）から全乾（相対湿度 0%）にいたる各相対湿度にある過熱水蒸気雰囲気（従って木材の各水分状態）で異なる。また、応力緩和と関係の深い横圧縮変形について、その永久固定化の度合は 3つのパラメーター、周囲温度、相対湿度、時間によって異なるだけでなく、それらパラメーター間に統一的な関係、即ち時

間一温度、および時間一相対湿度換算則が成り立つことが見出されている。このほか、過熱水蒸気雰囲気でスギなどの木材を乾燥すると、乾燥応力は著しく低減されることもわかっている。

## 2. 研究の目的

上で述べたように、水分状態を異にする高温水蒸気処理を用いた加工やその基礎的な研究がなされていて、含水率が異なると木材の物性が大きく異なることが分かっている。しかし、高温高圧の飽和水蒸気あるいは過熱水蒸気雰囲気での含水率測定が困難であることから、これまで我々は測定雰囲気の相対湿度を含水率の目安として用いてきた。ところが、最近、磁気浮遊式天秤を用いた吸着量測定装置が導入されたことにより、高温高圧下での木材含水率の精密測定の可能性がでてきた。高温水蒸気雰囲気での木材含水率の正確な値を求めることは上述のように重要であることから、本研究では、100℃超温度域で飽和あるいは各相対湿度の過水蒸気雰囲気と平衡する木材の含水率を正確に求めると同時に、それを用いて100℃超温度域での各種の木材物性に及ぼす水分の影響を明らかにすることを目的とした。

## 3. 研究の方法

### 1 装置の諸条件の決定

100℃超温度域で木材の含水率を測定するためには、高温高圧湿潤雰囲気での木材重量を測定できる特殊な天秤系が必要となる。図に今回用いた磁気浮遊天秤式の飽和および過熱水蒸気雰囲気での木材の含水率測定装置の模式図を示す。図に示すように天秤部とその下部の測定部が隔絶されていて、測定部の高温・高圧等の影響を受けずに天秤部で試料の重量測定(従って含水率測定)が可能となる。高圧水の送液・流量制御にはHPLCポンプを、高圧窒素(または空気)の流量制御にはマスフローコントローラー(MFC)を用い、両者所定量を気化器部分で加熱し混合気体となし、試料部設定温度で所望の水蒸気分圧(すなわち相対湿度)となるように単位時間当たりの流量を調整して試料部に送気する方式を採用した。系の圧力は背圧弁(BPR)で制御する。

そこでまず第一に、HPLCポンプからの水の流量、マスフローコントローラーからの高圧窒素の流量の厳密なキャリブレーションを行うとともに、これらの量をリアルタイムでモニター可能であるように方策を考える。図では、水溜フラスコを化学天秤上に配して単位時間当たりの送液量をモニターする方式を示した。正確な水の送液には水溜と気化器との間に脱気装置を配する必要が生じる可能性もある。また測定部の実際の温湿度をバイサラ製の高温用温湿度センサーを用いて測定する。高温水蒸気下では試料は構造変化を起こすことから、温度について200℃まで最短で昇温できる条件を定める。

## 2 木材含水率の測定

### 2.1 試料

奈良県吉野産スギ材について、繊維方向厚さ1mm~10mm、放射方向、接線方向各20mm程度の試料を作成し、最適条件を探す。別に粉体となした試料も作成する。それらをアルコール・ベンゼン抽出後、全乾状態として供試材とする。

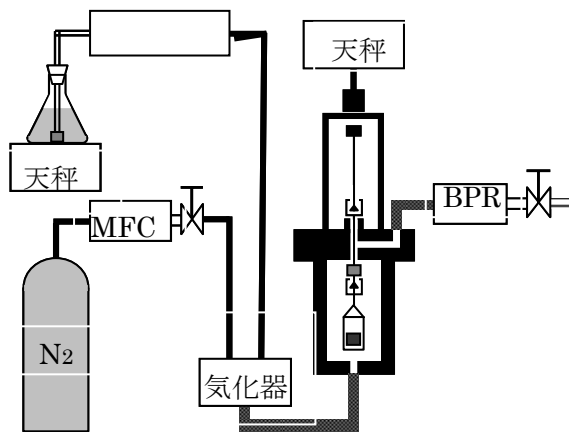
### 2.2 磁気浮遊天秤法での木材含水率の測定、100℃以下

常圧下、温度20~100℃について相対湿度10~98%での平衡含水率を測定し、吸着等温線をもとめる。

### 2.3 磁気浮遊天秤法での木材含水率の測定、100℃以上

温度100~200℃について高圧の過熱水蒸気雰囲気での相対湿度10~90%での平衡含水率を以下の手順で求める。

過熱水蒸気による熱分解等の構造変化に伴う試料の重量減少量を把握するために、100~200℃について20℃間隔で、相対湿度10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 90%の条件で、過熱水蒸気雰囲気に試料を所定時間(1, 2, 3, 5, 7, 10時間)保持した後、乾燥雰囲気となし、乾燥重量を測定する。この作業によって、ベースラインを得た後、同じ温度、相対湿度の過熱水蒸気を乾燥試料に作用させて10時間、重量変化を測定し、各時間での平衡含水率を求め、各時間、各温度での収着等温線を求める。なお、高圧水蒸気雰囲気では浮力の影響も考慮する。



過熱水蒸気雰囲気での含水率  
測定装置の模式図

#### 4. 研究成果

図1に、上で述べた天秤系を用いて得た、いくつかの温湿度雰囲気での試料の重量変化を示す。80℃では、各相対湿度雰囲気（20～90%RH）に試料を置くと、相対湿度に応じた一定重量となった。100℃以下では他の温度でも同様であった。しかし、100℃以上では事情が異なる。160℃・80%RH雰囲気にて試料を置くと、当初水分吸着に基づいて重量は増加したが、その後最大値を経て徐々に減少した。100℃以上では試料の構成成分分子の分解による重量損を生じるためである。本研究では図で示す試料分解近似曲線と最大重量との差をその温度・湿度雰囲気での試料の重量とし、含水率を得た。

図2に温度40～180℃、湿度0～90%で得られた試料の吸着等温線を示す。100℃以下において含水率を一定湿度で比較すると、湿度によらず温度の上昇につれて含水率は低下することが知られているが、同じ傾向は100℃以上でも成り立った。しかし、曲線の形状は温度の増加とともにIUPAC分類のII型からIII型に移行するようである。図3に相対湿度20%及び80%の場合について含水率の温度変化を

20～180℃の範囲で示す。図の白丸はStammら(1942)によって100℃以下について得られた値、黒丸が本研究で得られた値である。図に示す二つの相対湿度のどちらについても、温度範囲40～100℃で得た白丸含水率と黒丸含水率は測定方法、樹種のちがいに問わず同じ温度で同じ値となったことから100℃以上を含む我々の測定値と100℃以下のStammらの結果を区別せずに扱ってよいと判断した。図の2つの場合について、温度20～180℃の範囲で含水率は温度の上昇とともに直線的に減少した。他の相対湿度での結果もこれらと同様の傾向を示した。90%RHでの結果は各温度での繊維飽和点に近似すると考えられるが、それらの値は20℃で22%であるが180℃では9%となった。このように、180℃程度の高温での繊維飽和点は室温付近でのそれと大きく異なり10%程度の極めて低い値となることがわかる。20%RH～90%RHのそれぞれの相対湿度で含水率M—温度Tプロットが直線関係を示すことから、各相対湿度での含水率—温度直線( $M=aT+b$ )の傾斜aと切片bが定められる。図4に結果を示す。この図をもとに温度範囲20～180℃、相対湿度範囲0～100%での任意の温度、相対湿度での試料の含水率が求められる。図5に吸着等温線を用いて水和水と溶解水に分離した結果の一例を、図6に各相対湿度での水和水—温度関係（上図）、溶解水—温度関係（下図）を示す。図から温度の増加につれて溶解水は緩やかに減少するのみであるのに対して、水和水は大きく減少し、180℃付近になるとどの相対湿度においてもほぼ溶解水のみとなった。180℃付近での吸着等温線の形状が上に述べたIUPAC-III型となったのは、この結果を反映したものと考えられる。図7に圧縮応力—ひずみ測定で得た100℃以上での降伏応力—相対湿度（上図）、降伏応力—含水率

(下図) 関係を示す。相対湿度をパラメータに観察するとどの温度の場合でも降伏値は相対湿度の増加につれて80%RH付近まで大きく減少した。しかし、含水率パラメータで観察すると、温度140°Cの場合には含水率13%付近まで含水率の増加につれて降伏値は減少し、それ以上の含水率でレベルオフした。レベルオフ含水率は温度の上昇とともに低下し、180°Cの場合には5%程度まで低下した。さらに、横圧縮変形の回復度について得られている時間 - 相対湿度換算則について、移動因子 - 相対湿度関係は同じ相対湿度でも温度が異なると大きく異なっていた。しかし、移動因子 - 含水率関係に変換すると、温度に関係なく同じ含水率では同じ移動因子を示すことが明らかとなり、移動因子 - 相対湿度図でこれまでにみられたばらつきは、測定誤差ではなく本質的なものであることがわかった。

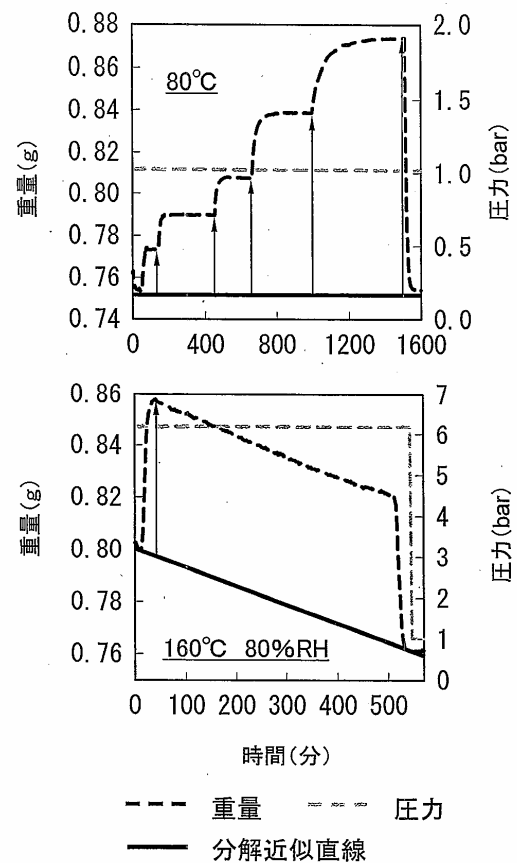


図1 試料の重量変化

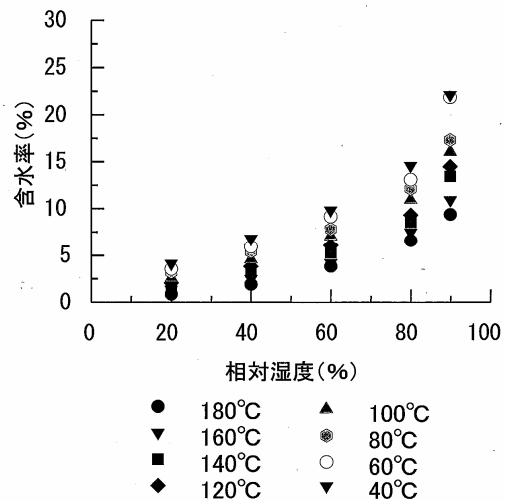


図2 各温度での吸着等温線

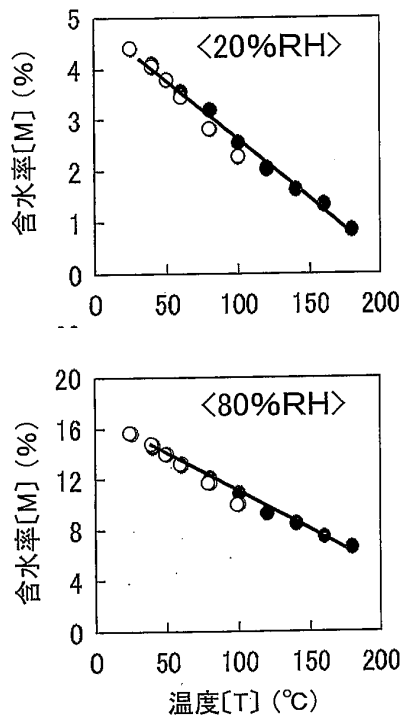


図3 含水率の温度変化

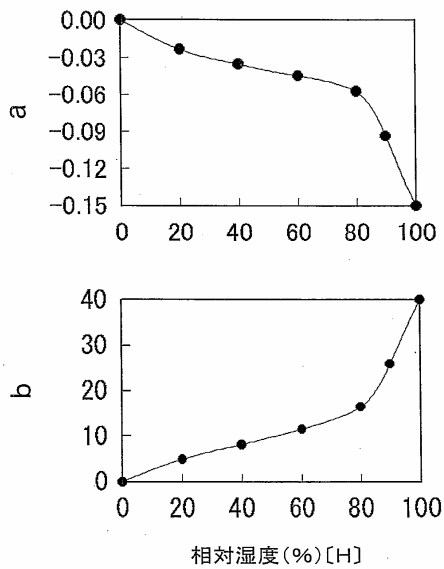


図4 傾きaと切片b

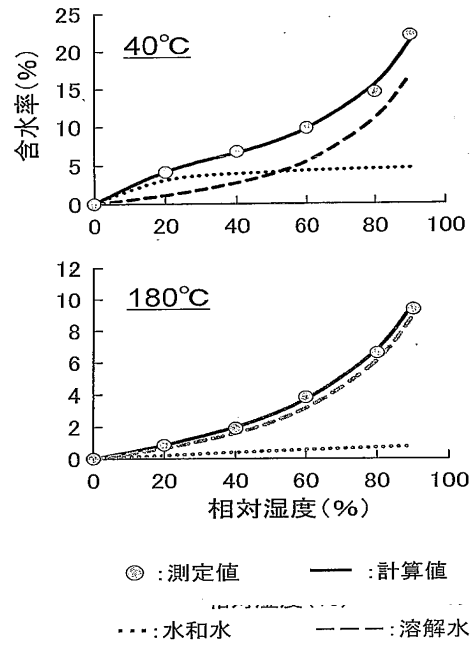


図5 吸着等温線の分離

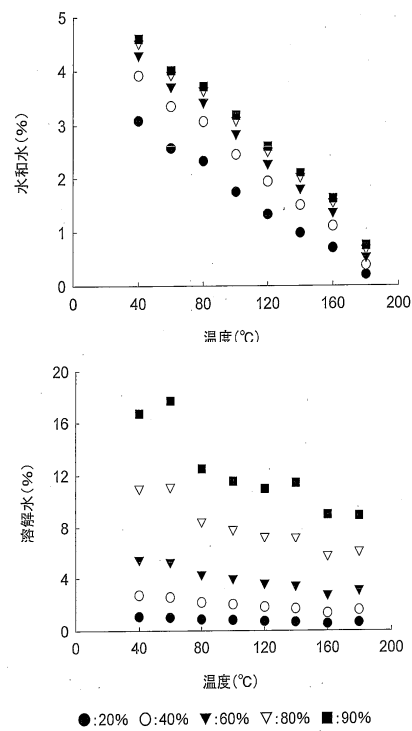
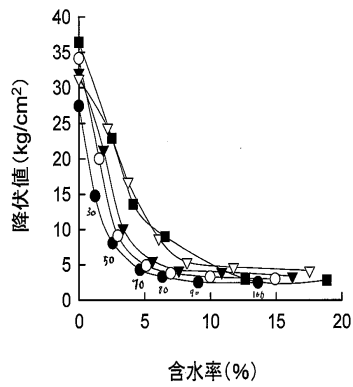
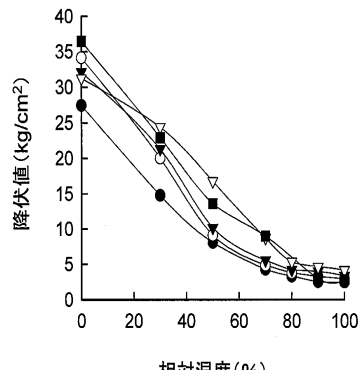


図6 各相対湿度での水和水(上)、溶解水(下)と温度の関係



●:180°C ○:170°C ▼:160°C ▽:150°C ■:140°C

図7 降伏値—相対湿度(上)、  
含水率(下)の関係

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

師岡 敏朗(MOROOKA TOSHIRO)

京都大学・生存圏研究所・准教授

研究者番号: 00192378

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者