

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05766

研究課題名（和文）次世代型機能性乾燥木材の創出に関する基礎試験

研究課題名（英文）Basic research on the creation of next-generation functional wood drying technics

研究代表者

藤本 登留（Fujimoto, Noboru）

九州大学・農学研究院・准教授

研究者番号：80238617

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：各種用途に必要な品質に応じた乾燥システムを具体的に追求した。（1）スギ大径材の未利用地際材の有効活用として、割れない円盤材の製造法を検討した。PEG処理や数種の糖アルコール処理を試み、乾燥しても割れない円盤材の製造を可能にした。しかし、PEG処理は製品の温度湿度条件により滲出被害が見られた。（2）これまで困難とされたアカマツ心持ち柱材の割れ抑制乾燥について、高温セット処理条件を検討することで一定品質を可能とした。（3）ログハウス部材に応じたスギ平角材について、必要となる割れ品質をはじめ乾燥時間などが乾燥スケジュールによってどの程度影響を受けるかを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの木材乾燥工学では、内部応力を抑えて割れが発生しない乾燥方法の開発が主流である。しかし、用途によっては乾燥応力を大きく発生させることで収縮異方性を克服する特異な技術が必要である。

本研究では循環型環境材料として資源も充実している国産材利用において、具体的な用途開発のキーテクノロジーとなる乾燥技術をマーケットインの視点で研究したニッチな研究開発実例である。今回はスギ地際材円盤、アカマツ心持ち柱材、ログハウス用スギ角材といった、これまで目を向けられなかった具体的な用途に必要な製品品質を目指した開発研究を行ったもので、本開発手法の概念は木材製品の高付加価値化に繋がると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Some drying system according to the quality required for various applications were pursued specifically. (1) As an effective use of unused ground edge Sugi logs with large diameter, a method for manufacturing a disc material without cracks was developed. I tried PEG treatment and several types of sugar treatment and made it possible to manufacture disc materials without cracks even when dried. However, PEG treatment showed exudation damage depending on the temperature and humidity conditions of the product. (2) A certain quality was made possible by the high-temperature set treatment conditions for the crack-suppressing drying of the red pine pillars with pith dimensions, which had been difficult so far. (3) It was clarified to what extent the cracking quality and drying time required for the log house member of Sugi lumber are affected by the drying schedule.

研究分野：木材乾燥工学

キーワード：木材乾燥法 スギ大径円盤材 割れ抑制 寸法安定薬剤 アカマツ心持ち柱材 スギ心去り平角材

## 1. 研究開始当初の背景

多様な特性を有する木材の利用を、用途に応じた木材品質を意識した木材乾燥法の開発が行われた例は少ない。本研究では用途に応じた木材の良さを残して欠点を抑えた乾燥システムについて、いくつかの具体的な用途について木材乾燥システムの開発を行った。

### (1) 高意匠性大径円盤材の乾燥システム

国産スギの未利用地際材を用いた、割れが無い高意匠性大径円盤材の製造に関する技術開発である。日本で最も蓄積量の多いスギの中でも現状利用価値が認められず端材にしかならない地際部(根鉢部)を、物語性・歴史性が感じられる割れの無い商品価値のある大径円盤材(直径50cm以上)として開発する。現在、スギの人工林の高齢化が進み、今後直径1mを超える大径材が大量に生産されると予想されており、伐採に伴い発生する地際部の有効活用は林業界からの切実な要望である。しかしながら、大径で厚い円盤材は、その乾燥時に大きなV字型の割れが発生しやすく、大きな割れがある円盤材は家具、建材等の用途としては商品価値がない。木材の変形・収縮防止の保存処理には、ポリエチレングリコール(PEG)による注入処理が知られていることから大径円盤材に対し、PEGを所定の濃度、条件で浸漬注入することにより、割れの発生を抑えることができる製造条件を既に見出ししている。今回はさらに、PEG処理乾燥円盤材の品質安定性試験で明らかとなった薬液のしみだし汚染の対策として、糖アルコール処理した割れ抑制乾燥システム開発について検討を行った。

### (2) アカマツ心持ち柱材の乾燥

アカマツはチップ材などの原料利用が主で、割れや変形が大きいことから建築用製材などへの用途開発は進んでいない。さらに、松くい虫被害が温暖化とともに拡大する懸念もあり、その利用促進が急がれる。そこで、アカマツが使われることがなかった柱材への用途開発を目指し、割れ抑制が困難と言われている心持ち角材の乾燥スケジュールの開発試験を行った。

### (3) ログハウス部材としてのスギ心去り平角材の乾燥

日本におけるログハウスは外材の丸太や角材を使った事例が一般的で、今後は資源が充実してきたスギ材の利用が求められる。ログハウス部材は構造材であるとともに、内壁材、外壁材を兼ねている。そこで、外壁面の耐久性、内壁面の意匠性を考え、ログハウス部材として耐久性が高い心材面を外壁に、節等が少なく意匠性が高い辺材面を内壁面に使用することを想定した、スギ心去り角材の乾燥スケジュールの開発試験を行った。

## 2. 研究の目的

### (1) 高意匠性大径円盤材の乾燥システム

スギ大径円盤乾燥材の製造において割れが発生しないようにするため、薬剤注入による寸法定処理を検討する。まず、基礎的な注入性およびその収縮率抑制効果について、考えられる低コスト薬剤数種について比較実験する。さらに、薬剤注入した円盤材が乾燥の際、およびその後の湿度変化環境下でも割れが生じない加工技術、すなわち薬剤注入も含めた特殊乾燥システムの開発を目指す。

### (2) アカマツ心持ち柱材の乾燥

心持ち柱材の割れ抑制技術である高温セット法は、主要な国産建築構造材樹種のスギ、ヒノキ、カラマツなどで十分な効果が得られ、全国的に普及している。一方、アカマツの場合、高温セット法では割れ抑制は困難であることが知られ、スケジュール開発は行われていない。そこで、アカマツにおいては考えられてなかった柱材への用途開発を目指し、割れ抑制が困難と言われている心持ち角材の乾燥スケジュールの開発を行う。

### (3) ログハウス部材としてのスギ心去り平角材の乾燥

ログハウス部材に適した寸法を持つ心去り平角材の乾燥スケジュール開発を行う。特に外壁面に割れがあるとそこから雨水が侵入し、腐朽が進む。すなわち、この乾燥スケジュールに求められる品質は表面割れが無いことと、乾燥後の断面形状加工の際に割れが表面に出てこないように内部割れもないことが必要となる。

## 3. 研究の方法

### (1) 高意匠性大径円盤材の乾燥システム

#### 供試材

末口直径が約50cmの九州産スギ丸太3本を丸太1、丸太2、丸太3とした。丸太1からは1cm厚及び4cm厚、丸太2からは2cm厚及び3cm厚、丸太3からは5cm厚の円盤材を12枚ずつ計60枚切り出した。切り出した各厚さの円盤材12枚のうち末口側から1, 5, 9枚目にスクロース含浸処理(浸漬法、以下同様)、2, 6, 10枚目にトレハロース含浸処理を行った。4, 8, 12枚目は対照材として純水含浸処理を行った。

#### 糖類の含浸処理

スクロース(塩水港精糖株式会社)及びトレハロース(株式会社林原)は食品添加物製品を用いた。スクロース水溶液は50wt%,トレハロース水溶液は40wt%に純水で調整した。なお、作製した溶液の密度はそれぞれ、1.228g/cm<sup>3</sup>および1.161g/cm<sup>3</sup>であった。

実験室内で3日間養生した円盤材を作製した水溶液及び純水に12日間浸漬した。その後注入容

器から円盤材を取り出し、実験室内で7日間養生した後、60℃、70%RH（平衡含水率10%）の恒温恒湿器内で恒量に達するまで静置して乾燥した。

#### 収縮率測定

乾燥が終了した各含浸処理円盤材のうち、各厚さのもの1枚ずつ計15枚を分割し、平均収縮率を測定した。心材4か所、辺材2か所から接線方向5cm、半径方向4cmとなるように切り出し、さらに木口表面層から中心層まで厚さ0.5cmずつ分割した。1cm厚の円盤材は厚さ方向の分割が困難であったため、厚さ方向には分割しなかった。

採取した試験片を恒温恒湿器に入れ、表1の条件の環境下に置いた。条件で恒量に達した時点で接線方向と半径方向の寸法を測定し、条件へと設定を変更した。同様に条件、の順で寸法の測定を行い、その後オープンに入れて105℃で恒量に達するまで乾燥した（条件）条件から条件における寸法変化から、以下の式を用いて平均収縮率を計算した。なお、計算に用いた含水率は、条件で恒量に達した時点の重量を全乾重量として、全乾法で算出した。

表1. 収縮率測定

条件	温度(°C)	相対湿度(%)	平衡含水率(%)
i	20	59	10
ii	20	33	7
iii	20	59	10
iv	20	83	17
v	105		

#### 乾燥円盤材の割れ評価

乾燥が終了した各含浸処理円盤材のうち各厚さのもの1枚ずつ、計15枚を恒温恒湿器内に入れた。温度、相対湿度を40℃、90%RHに設定して一週間静置後、40℃、40%RHに設定を変更して一週間静置させ、割れの状況を観察した。

#### 溶脱試験

乾燥が終了した各薬剤含浸処理円盤材のうち5cm厚のもの1枚ずつ、計2枚を80℃で恒量に達するまで乾燥した。乾燥後、恒温恒湿器内に入れ、水平面に対して60°傾けて受け皿の上に静置した。40℃、90%RHで24時間調湿後、60℃送風乾燥24時間を1サイクルとして、この操作を5サイクル行い、受け皿と材表面を観察することで溶脱性を評価した。その後、80℃で恒量に達するまで乾燥し、重量変化を確認した。

### (2) アカマツ心持ち柱材の乾燥

#### 材料

山梨県産アカマツの心持ち正角材(135×135×400mm)の木口をシリコンシーラント剤でシーリングして乾燥試験材とした。なお試験材に隣接する横断面材を25等分割して、全乾法による含水率分布測定を行った。

#### 乾燥方法

乾燥は95℃で8時間蒸煮し、その後乾球温度120℃、湿球温度95℃で高温セット処理した。ここで、高温セット処理を24時間、18時間、12時間の3条件で比較検討した。所定の高温セットの時間を終了後、乾球温度75℃、湿球温度50℃で含水率が10~15%になるまで乾燥を継続した。

#### 測定

乾燥中の重量、最大表面割れ幅を測定し、含水率、割れ幅、材幅の推移を調べた。

### (3) ログハウス部材としてのスギ心去り平角材の乾燥

#### 材料

大分県スギ人工林から切り出した丸太から、スギ平角材(長さ4000×高さ205×幅155mm)の供試材を製材した。心去りは高さが接線方向、幅が放射方向に対応していた。これらの供試材を長さ500mmに切り分け、元口から順に1~8の番号を振り分けた。切り分けた材の端から長さ430mmを切り、試験体として両木口面をシリコンシーラントによってシールした後に人工乾燥を行った。さらに長さ20mmの部分で初期含水率測定用試験片として切り、全乾法により乾燥前の試験体と供試材の含水率を算出した。

#### 乾燥方法

表2 乾燥スケジュール

人工乾燥スケジュールを表2に示す。

試験体	乾燥スケジュール(乾球温度-湿球温度)
心持ちの1,5、心去りの1,5	95℃-95℃8時間+120℃-90℃24時間+90℃-70℃
心持ちの2,6、心去りの2,6	95℃-95℃8時間+120℃-90℃24時間+70℃-50℃
心去りの3,7	90℃-70℃
心去りの4,8	70℃-50℃

#### 測定

乾燥前、乾燥中、養生後に、試験体の重量、高さ、幅の寸法、材色、表面割れの長さ、幅を計測した。

## 4. 研究成果

### (1) 高意匠性大径円盤材の乾燥システム

注入量(円盤材単位体積当たりの薬液注入量)

スクロース処理(SC)及びトレハロース処理(Tr)では純水処理(Wa)と比較して注入量が小さかった。また、円盤材の厚さが大きいほど注入量が小さくなる傾向がみられた。

#### 乾燥直後円盤材の割れ

スクロース処理円盤材は 15 枚中 14 枚で外周割れが発生しなかった。割れが生じた 3cm 厚の 1 枚については恒温恒湿器の不具合により過乾燥であった。1cm 厚の円盤材は割れが発生しなかったものの、立体変形が激しく、割れの評価には不適切であった。

トレハロース処理円盤材は 15 枚中 13 枚で外周割れが発生した。この 13 枚は恒温恒湿器内での乾燥が終了した時点では割れが発生しておらず、装置から取り出して実験室内に静置している間に割れが発生した。割れが発生しなかった 2 枚は、平均収縮率測定用に分割したため、分割せずに放置していれば割れが発生していた可能性がある。

純水処理円盤材は 15 枚中 14 枚で外周割れが発生したが、2cm 厚の 1 枚のみ割れが発生しなかった。

#### 収縮率評価

各含浸処理円盤材の接線方向平均収縮率を図に示す。なお、値は平均値（心材：n=4、辺材：n=2）である。

スクロース処理（Sc）、トレハロース処理（Tr）円盤材の平均収縮率は純水処理（Wa）円盤材のものより全体的に小さくなっており、薬剤処理によって収縮抑制効果を得られたと考えられる。収縮抑制効果はトレハロース処理よりスクロース処理の方が大きく、心材より辺材の方が大きい傾向がみられた。また、心材においては表層に近いほど収縮抑制効果が大きい傾向があり、心材の中心部までは薬剤が浸透していないことが推察された。

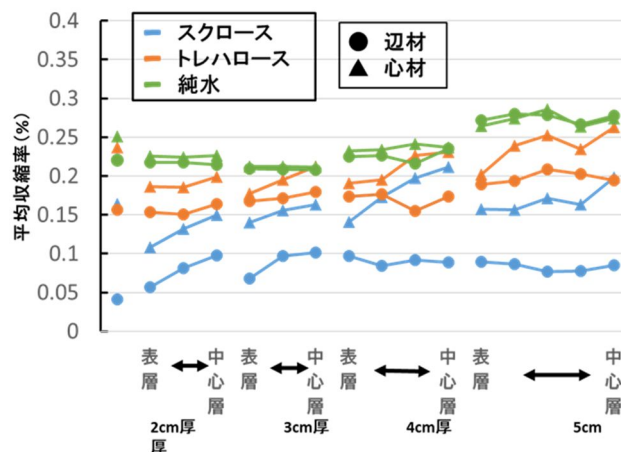


図1 純水、スクロース、トレハロース溶液注入円盤材内の接線方向収縮率

#### 円盤材の割れ評価

スクロース処理では試験に供した 5 枚すべての円盤材で外周割れが発生しなかった。トレハロース処理では、すべての円盤材で試験開始前から割れが発生しており、割れが拡大する結果となった。純水処理では、2cm 厚の円盤材 1 枚を除いて試験開始前から割れが発生しており、割れが拡大する結果となった。また、割れ評価試験開始前に割れが発生していなかった 2cm 厚の円盤材に幅 15mm の外周割れが発生した。

#### 溶脱性評価

溶脱性評価試験後、スクロース処理円盤材、トレハロース処理円盤材ともに円盤材表面に結晶化した薬剤の付着は確認されなかった。また、受け皿への薬液の溶脱についても確認されなかった。スクロース処理円盤材及びトレハロース処理円盤材の溶脱性評価試験前後の重量変化はともに極めて小さかった。

### (2) アカマツ心持ち柱材の乾燥

#### 横断面内含水率分布

乾燥前は辺材で非常に高い値を示していたが、乾燥後は外周部で低く、内層部で高い含水率分布を示した。特に高温セット 24 時間で外周部の含水率が非常に低い値であった。

いずれも乾燥後の時間経過とともに内層部が下がることが推察され、このことは発生した表面割れが閉じていく可能性が高いことを示している。

#### 乾燥中の含水率変化

今回の供試材はいずれも乾燥前 30% から 40% 程度の含水率であったため、高温セット処理終了段階で含水率 15% まで乾いたものもあった。高温セット処理 24 時間の場合はずべて含水率が 15% を下回っていたので、その後の中温乾燥は行わなかった。

#### 表面割れ幅の変化および内部割れ

表面割れは高温セット処理 24 時間で最も良好であった。ただ、高温セット処理 18 時間も 12 時間も、高温セット処理で発生した表面割れは中温乾燥段階で含水率の低下とともに小さくなる傾向が見られた。高温セット処理 18 時間、24 時間で乾燥後の最大割れ幅はずべて 2mm 以下であった。

内部割れは高温セット処理 18 時間、24 時間で見られたが、顕著な内部割れではなかった。

### (3) ログハウス部材としてのスギ心去り平角材の乾燥

乾燥時間に伴う含水率変化を図 2 に、乾燥時間に伴う表面割れ最大幅の変化を図 3 に示す。高温セット処理をした心去り材は、セット後の含水率が同程度である心持ち材よりも、90 - 70 では約 7 日、70 - 50 では約 15 日早く含水率 15% 近くに達した。また、心去り材は

高温セットすることで乾燥時間を短縮し、表面割れを抑制することができた。

養生後の断面の割れ長さの合計は、初期含水率の低かった心持ち材では、内部割れが大きく、高温セットの時点で内部まで乾燥が進んだと予想される。含水率が高かった心持ち材の90 - 70 で乾燥した試験体は内部割れが発生しなかったが、表面割れが深く、このため内部割れが発生しなかったと考えられる。心去り材では乾燥スケジュールに関わらずほとんどの試験体で内部割れが見られず、あっても長さ 3mm ほどの軽微なものだった。

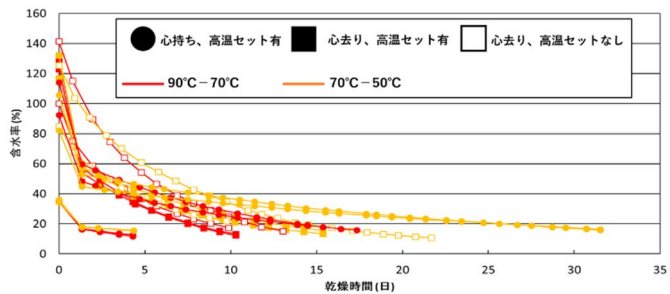


図2 スギ平角材の乾燥曲線

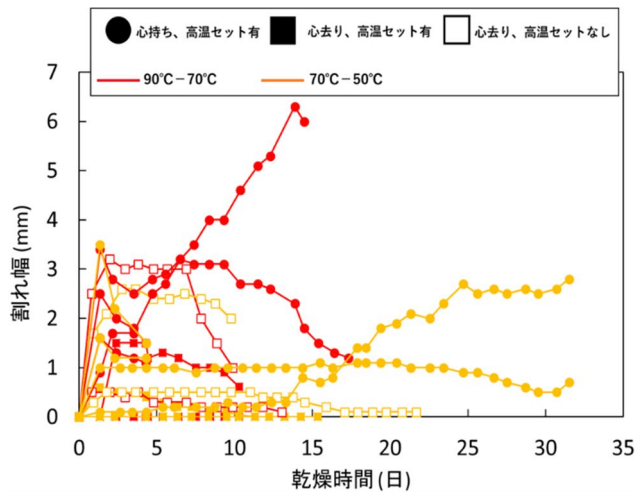


図3 乾燥日数と最も大きい表面割れの割れ幅の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 (九大農) 平岩 亮汰, (九大院農) 藤本 登留
2. 発表標題 割れの無い高意匠性スギ大径円盤材製造条件の検討
3. 学会等名 日本木材学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 (九大農) 北島 豪, (九大院農) FUJIMOTO Noboru, (日田木材化工(株)) 瀬戸 享一郎, ((株)アールシーコア) ITANI Mayumi, (大分県) 高宮 立身
2. 発表標題 スギ心持ちおよび心去り平角材の人工乾燥法の検討
3. 学会等名 日本木材学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------