

蒸気・高周波併用減圧乾燥

スギ心持ち正角・平角への適用

誌名	愛媛県林業技術センター研究報告 = Bulletin of the Ehime Prefectural Forest Research Center
ISSN	13489534
著者名	武智,正典
発行元	愛媛県林業技術センター
巻/号	25号
巻号補足	
掲載ページ	p. 1-10
発行年月	2006年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



〈論文〉

蒸気・高周波併用減圧乾燥

—スギ心持ち正角・平角への適用—

武 智 正 典

Masanori TAKECHI

スギ心持ち正角・平角（背割りなし）を対象に、水分傾斜や乾燥後の含水率のバラツキが少ない、高品質な乾燥を目的に、蒸気式乾燥と高周波減圧乾燥を組み合わせた、蒸気・高周波併用減圧乾燥方法を実施した。正角は高温セット後に蒸気・高周波併用減圧乾燥を実施した。また、平角は温度を低く設定した高温セット後に蒸気・高周波併用減圧乾燥を実施する方法と、蒸気・高周波併用減圧乾燥のみで実施する方法を実施した。その結果、正角・平角とも乾燥後の水分傾斜及び含水率のバラツキが小さい乾燥が可能であった。乾燥後の割れについては、正角は木口割れがやや多いものの内部割れは小さく、平角は全体的に材面割れ及び内部割れが少なかったが、高温セットを実施していない平角1体に大きな割れが発生した。正角及び平角とも品質はよいものの熱効率率は極端に低く、乾燥機の放熱が大きく影響していた。また、ピン打ちスライス法で乾燥後の開放ひずみを測定した結果、高温セットを実施した平角と実施していない平角とでは、内部応力の分布が異なっていた。なお、平角について高温セット中の内部割れ発生時期について検討したところ、平均含水率が約30%から内部割れが発生しており、正角と同様の傾向を示した。

キーワード — スギ、高周波減圧、高温セット、内部割れ

1. 緒言

乾燥機内の気圧により人工乾燥の方法を分類すると、加圧式、常圧式、低気圧式、減圧（真空）式に分類される（寺澤，2004a）。蒸気式乾燥方法は、常圧下で実施されることが殆どで、現在最も普及している乾燥方法である。この蒸気式乾燥は、スギ柱材等の乾燥コストの低減を目的として乾燥温度が高温化してきており、また乾燥初期に高温セットと呼ばれる乾燥割れを抑制する技術も実用化し、効果を上げている。しかし、蒸気式乾燥は外部加熱方式であり、その水分移動が水蒸気の拡散によっている。そのため、材の中まで乾燥するのは非常に難しく、水分傾斜や寸法変化が少ない乾燥材を供給するには、十分な乾燥時間、調湿、養生等が必要である。

一方、減圧式における加熱方法は、熱媒体が少ないため、通常熱源に高周波やマイクロ波、熱板等が使用される。この中で、高周波やマイクロ波加熱は内部加熱方式と呼ばれ、誘電体自体を発熱

させ、水分移動は圧力差によっている。このため蒸気式と異なり材の中から乾燥することが可能であり、減圧下では沸点が低いいため、乾燥温度も低くすることが可能である。

しかし、高周波やマイクロ波を使用した減圧乾燥は、乾燥コストが高いため（金川，1996）、スギ等の一般材には広く普及していない。このため、スギ心持ち背割り材を対象に、天然乾燥と組み合わせる方法（久田・齋藤，1992）やプレドライヤーによる予備乾燥と組み合わせる方法（河崎ら，2003）が検討され、好結果をあげている。

金川(1985)が行った、無背割りスギ心持ち材を対象にした高周波減圧乾燥では、乾燥温度が高いときに内部割れが発生し、このことが表面の引張り応力を緩和していると報告している。スギは気体透過性が他樹種に比べて極めて低い樹種である（谷口・西尾，1993；金川，1996）ため、無背割りスギ心持ち材を高周波減圧乾燥のみで乾燥するのは、コストも高く非常に困難である。

そこで、久保ら(1996)・小林ら(1997)は短時間で表層から中心まで均一な含水率に上げることができる、高周波加熱と熱気を常圧下で複合した木材乾燥法を開発し、すでに実用化(山本, 2001)され効果をあげている。

本研究では、スギ心持ち正角・平角(背割りなし)を対象に、水分傾斜や乾燥後の含水率のバラツキが少ない、高品質な乾燥を目的に、蒸気式乾燥と高周波減圧乾燥を組み合わせた、蒸気・高周波併用減圧乾燥方法を検討したので報告する。

なお、本研究は、「県産木材の有効利用技術研究」(平成14～17年度、県単)のなかで実施した。

2. 材料と方法

2.1 試験材

2.1.1 平角の内部割れ試験材

常圧における蒸気式乾燥において、高温セット中の内部割れ発生時期を検討するため、スギ心持ち平角(材長4.4m、材幅225mm、材厚135mm)4本を用いた。4本の平角から材長50cmの小試験体8本をそれぞれ図-1のとおり連続採取した。その後、1本の材から平均含水率が同程度になるように4本ずつ2グループに分け、合計16本を1セットとする試験材2セットを試験に供した。

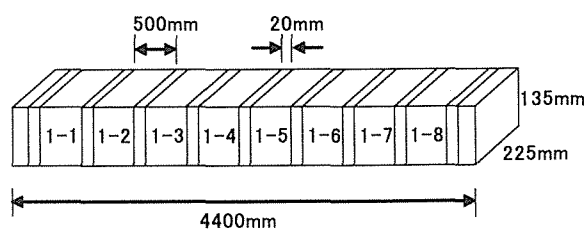


図-1 試験体の木取り方法

2.1.2 スギ心持ち正角・平角乾燥試験材

スギ心持ち正角(材長3.0m、134mm角、背割りなし)は12本を1ロットとし、2ロット分合計24本用いた。1ロットは乾燥試験(正角実験1)に使い、残りの1ロットは再現性の検討及び乾燥後の寸法変化の調査用(正角実験2)に用いた。

スギ心持ち平角(材幅225mm、材厚136mm、背割

りなし)は8本(材長4.0m 6本、材長3.0m 2本)を1ロットとし、4ロット分合計32本用いた。2ロットは異なる乾燥スケジュール用(平角実験1、平角実験2)とし、残りの2ロットは正角と同様に再現性の検討及び乾燥後の寸法変化の調査用(平角実験1-1、平角実験2-1)に用いた。また、正角・平角とも乾燥後の含水率のバラツキを確認するため、重量選別は実施しなかった。

なお、それぞれのロットでモニター用(材長1.0m、両端エポキシコーティング)と材温記録用(材長1.0m、両端エポキシコーティング)に1本ずつ別に用意した。

2.1.3 内部応力測定試験材

スギ心持ち平角(材長4.0m、材幅225mm、材厚133mm、背割りなし)14本から、エンドマッチする材長1.8mの小試験体を14本ずつ使い、木口の一方をエポキシでコーティングし、試験材とした。

2.2 乾燥装置

使用した乾燥機は一つの乾燥機で蒸気式、高周波式、減圧式が可能なハイブリッド乾燥機(株式会社ヤスジマ製、出力6kw、発振周波数13.56MHz)を使用した。この乾燥機は様々な乾燥条件が作り出せる実験用乾燥機である。

2.3 栈積み方法及び材温制御方法

栈積みは2段積みとした。高周波を利用した高周波減圧乾燥は通常栈積みが必要としないが、熱風を循環させるため、図-2のアルミ製波型極板を用いた。

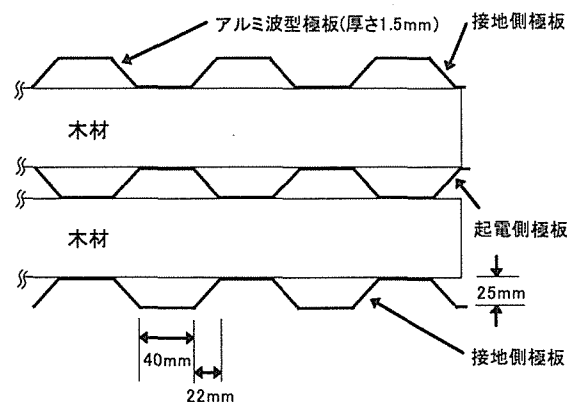


図-2 栈積み方法

藤本ら(1999)は、波型極板、通常の棧木、平極板について、加熱ムラ及び乾燥効率等を比較検討しており、青田(2006)は、曲がり材抑制方法として、波型棧木を検討している。通常、電極と木材との間にギャップがあると加熱効率が低下する。しかし、寺西ら(1998)によるとエアーギャップは必ずしも加熱効率の低下に影響を及ぼさず、インピーダンス整合させることができれば、高い加熱効率で高周波印加が可能と報告している。今回は、あくまで熱風循環させることと、接地側極板の温度低下を防ぐ熱板としての効果を期待して使用した。

材温制御はテフロンで被覆された白金測温抵抗体(Pt)を木口面に挿入して行った。また、光ファイバーセンサー(F)(NORTECH社光ファイバー式温度計)を材長中央中心に挿入した。蔡ら(2001)によると、Ptを使用した場合、材厚に対する接地電極板からの相対位置が0.28以下では高周波電界の影響がないとしており、今回は接地電極板からの位置を38mm(相対位置0.28)とした。制御はPtを基本に実施したが、Fの温度が設定温度以上にならないよう注意した。

2.4 乾燥方法

2.4.1 平角の内部割れ発生時期の検討

高温セットのスケジュールを乾球温度120℃・湿球温度90℃一定(以後120-90という)の場合と、乾球温度108℃・湿球温度85℃一定(以後108-85という)の2種類に設定した。120-90は12・18・24・36時間毎に4本ずつ取り出し(例えば、図—1の1-1・1-3・1-5・1-7を時間毎に取り出す)、表面割れ・心材色を測定した後、材中央を切断し内部割れの本数・長さを測定した。同時に厚さ2cmの切片を採取し、全乾法により含水率を求めた。一方108-85は12・24・48・72時間毎に4本ずつ取り出し(例えば、図—1の1-2・1-4・1-6・1-8を時間毎に取り出す)、120-90と同様に測定を行った。従って、初期含水率及び取り出した時の含水率は全て異なっている。

2.4.2 スギ心持ち正角

正角は材面割れを少なくするために、高温セッ

トを行い、かつ短時間で材の中まで乾燥することを目的とした。そのため、高温セット後に熱風・高周波併用減圧乾燥を表—1のスケジュールで実施した(実験1)。高周波出力は電圧5kv、陽極電流0.8Aで発振の制御は材温と発振率(発振9分、停止1分)で行った。また、プレス圧力は98kPaとした。

もう1ロットの正角は同じスケジュールで乾燥を実施(実験2)した後、実験棟内で養生し、その後の寸法変化を追跡調査した。

試験終了後はどちらのロットも、材面割れ(独立の表面割れ(以後表面割れという)と、面にかかる木口割れ(以後木口割れという)を合わせたもの)を測定した後、両木口から25cm、50cm、100cm及び材長中央で厚さ2cmの切片を取り、全乾法で含水率を求めるとともに、内部割れの本数、長さ、最大幅を測定した。乾燥後の含水率は7切片を平均し、また初期含水率は乾燥後の含水率から推定した。

表—1 正角乾燥スケジュール(実験1)

ステップ	時間 (hr)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	圧力 (kPa)	材温 (°C)
1	9	90	90	常圧	—
2	16	120	90	常圧	—
3	68	58~60	—	20.0	64~67
計	93				

2.4.3 スギ心持ち平角

最近平角は、現し工法と呼ばれる見せ梁や化粧桁等で使用されることも多くなってきており、材面割れや材色変化に注意が必要である。しかし、平角は強度が要求される部材であり、またたわみ制限を受けるため、含水率は低く、乾燥後の寸法変化が少ないことが求められる。また、高温乾燥によく見られる内部割れは、接合部の性能に影響を与える(原田ら, 2006)ため、平角の乾燥には、材面割れは多少発生しても内部割れを極力少なくし、かつ水分傾斜が少ない高品質の乾燥に主眼を置いた。

武智・越智(2006)によると、高温セット後に実施する熱風減圧は有効性が高いとしているため、平角の実験1は、高温セット(温度を低めに設定)後に、熱風減圧乾燥を実施し、その後熱風・高周波併用減圧乾燥を実施した(表-2)。平角実験2は材面割れの発生を少なくすることより、材色の変化を少なくし、また、材内の水分移動を途切れさせないことを期待して実施した。蒸煮後は高温セットを実施せず、その後は熱風・高周波併用減圧乾燥を実施した(表-3)。また、両実験とも高周波出力及び制御は正角と同様で、プレス圧力は78kPaとした。正角と同様に乾燥後の寸法変化の追跡調査用に、実験1と実験2のスケジュールをもう1ロットずつ同じ方法(実験1-1, 実験2-1)で実施した。

なお、正角と同様に試験終了後は、材面割れ、含水率、内部割れを測定した。

表-2 平角乾燥スケジュール(実験1)

ステップ	時間 (hr)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	圧力 (kPa)	材温 (°C)
1	12	90	90	常圧	—
2	24	105	80	常圧	—
3	12	85	—	47.3	—
4	12	75	—	31.3	—
5	103	58~60	—	20.0	63~72
計	163				

表-3 平角乾燥スケジュール(実験2)

ステップ	時間 (hr)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	圧力 (kPa)	材温 (°C)
1	10	90	90	常圧	—
2	96	64	—	24.7	68~71
3	60	60	—	20.0	71~72
計	166				

2.5 乾燥方法の違いによる内部応力

平角の乾燥後の内部応力を検討するため、2.4.3と同じスケジュールで乾燥を実施し、徳本ら(1997)の方法を参考に、ピン打ちスライス法で切断前後のピン間距離から開放ひずみを測定した。測定方法は、乾燥後に材面割れがない箇所、材長中央付近から繊維方向約50mmを鋸断した後、図-3に

示す位置に極細ピンを打ち込み、ピン間距離(約60mm)を測定顕微鏡(TOPCON TMM-130D)で求めた。その後ピンを含む繊維方向約15mmを鋸断し、ピンを中心に幅5mmのスライスを切り出した。切り出したスライスは万力でかるく引き伸ばし、ピン間距離を求め、切断後の開放ひずみ(%)を求めた。

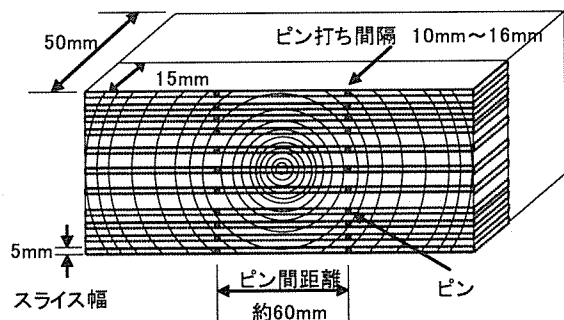


図-3 ピン打ちスライス方法

3. 結果と考察

3.1 平角の内部割れ発生時期

武智・越智(2004)によると、スギ心持ち正角の内部割れの発生時期は、乾球温度120℃、湿球温度90℃及び乾球温度120℃、湿球温度80℃一定で乾燥した場合、全体の平均含水率が約30%付近から発生している。

今回の平角の場合も図-4のとおり全体の平均含水率が約30%付近から内部割れが発生しており、正角の場合と同様の傾向を示した。

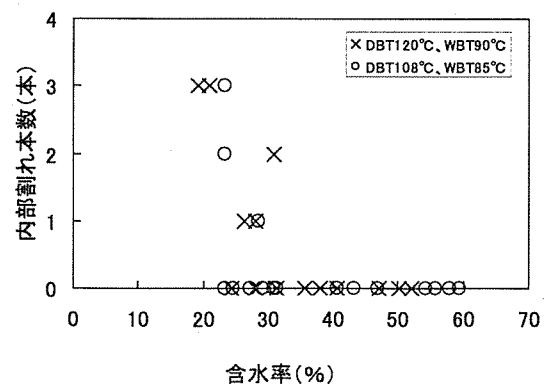


図-4 含水率と内部割れの関係

よって、初期含水率により高温セットの時間が異なるが、重量選別等を実施した場合は、高温セットの時間を効率的に設定できることになる。

また、120-90と108-85では、表面割れの本数、長さとも有意差がなく、かつ108-85の方が材色の変化が少なかったため、平角では温度が低めの高温セットが可能と思われた。

3.2 乾燥前後の含水率

正角実験1の乾燥前後の含水率を図-5に示す。

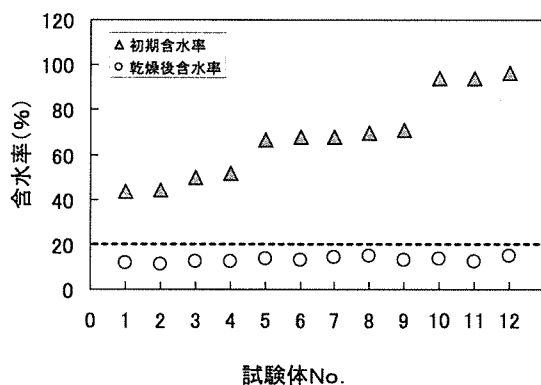


図-5 正角実験1の乾燥前後の含水率

初期含水率は平均67.9% (s.d.=19.0) で通常の生材含水率に比べやや低かった。乾燥後は平均13.2% (s.d.=1.2) で20%を超えるものはなく、バラツキも少なかった。

平角の実験1、実験2の結果を図-6、図-7に示す。平角実験1の初期含水率は平均87.7% (s.d.=35.0) で、乾燥後は平均13.1% (s.d.=1.3) であった。また、平角実験2の初期含水率は平均89.6% (s.d.=37.6) で、乾燥後は平均13.9% (s.d.=3.3) であった。平角実験1に比べるとやや乾燥後のバラツキが大きかったが、いずれも正角と同様20%を超えるものはなく、バラツキも少ないと思われた。

乾燥時間は正角実験1が93時間、平角実験1が163時間、平角実験2が166時間で、平角については、低含水率のものがあつた、慎重を期したため、乾燥時間が長くなったが、重量選別の実施や、高周波出力を高めにより、時間短縮が可

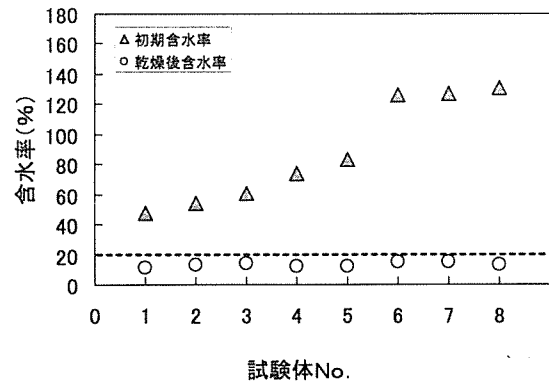


図-6 平角実験1の乾燥前後の含水率

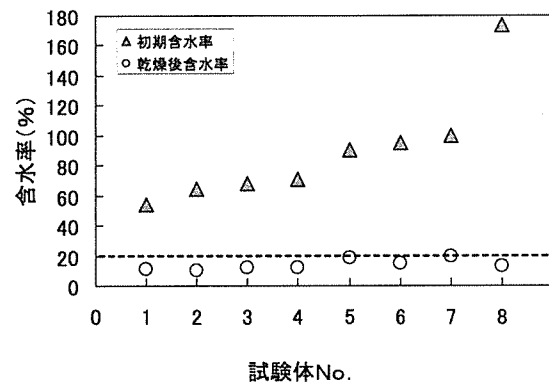


図-7 平角実験2の乾燥前後の含水率

能と思われる。

今回の正角・平角とも、初期含水率が約45%から140%の範囲では乾燥後の含水率のバラツキは小さかったため、平角について別途、初期含水率が140%を越える黒心を対象に追試を行った。その結果、乾燥後の含水率は20%を超えるものも多く、材長中央部の含水率が高く、バラツキも大きかった。このため、黒心は赤心に比べると気体透過性が悪いと考えられ、黒心については選別し、乾燥方法を検討する必要があると思われる。

乾燥後の厚さ方向の水分傾斜を図-8に示す。正角実験1及び平角実験1は、表層及び材中心の含水率が低く、また表層から約2cm内側では高くなっており、M字型を示した。これは高周波電界密度の影響と思われる。

平角の実験2は高温セットを実施していないため、材中央部の含水率が他より僅かに高いが、表

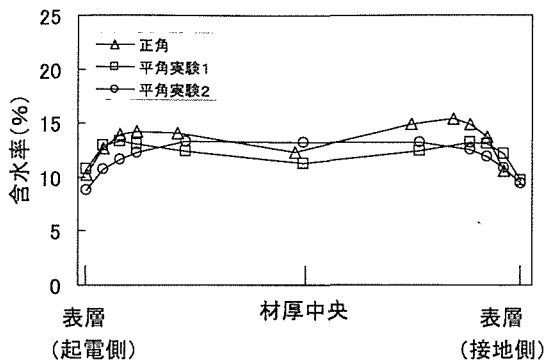


図-8 乾燥後の水分傾斜

層は含水率が低くなっている。波型極板を使用した高周波減圧乾燥(武智, 2004)では、材表面含水率はそれほど低下しないことが認められている。金川(1984a, 1984b)によると、減圧乾燥では、真空モレによる空気分圧を見込まなければならないとしている。このため、平角の実験2のステップ3の条件で、空気分圧を仮に20%とすると、缶体の蒸気圧と材表面温度(62℃)における飽和蒸気圧とから求められる関係湿度が約73%になり、これに加え熱風温度変化や高周波印加の影響もあり、さらに湿度が低下したためと考えられる。

また、材長方向及び材幅方向の水分傾斜は平角実験1では少なかったが、平角実験2では、バラツキがやや大きかった。

なお、平角の材長中央部で、木口面を15分割した乾燥後の水分分布(それぞれ8本の平均)を図-9に示す。平角実験1、平角実験2とも含水率差

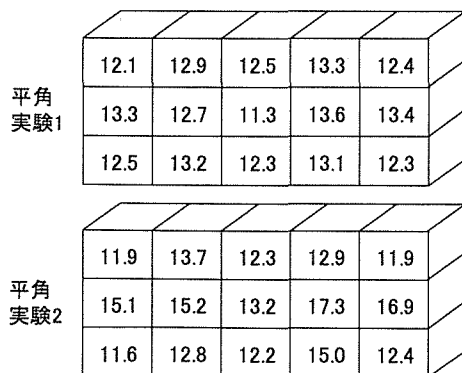


図-9 平角乾燥後の材長中央木口面の水分分布

は少なく、これは材長方向も同様で、高周波の利点が活かされた結果となった。

3.3 乾燥後の品質

3.3.1 材面割れ

表面割れと木口割れの長さ(4材面に発生した幅0mm以上の割れ長さを合計)を、試験体別に図-10に示す。

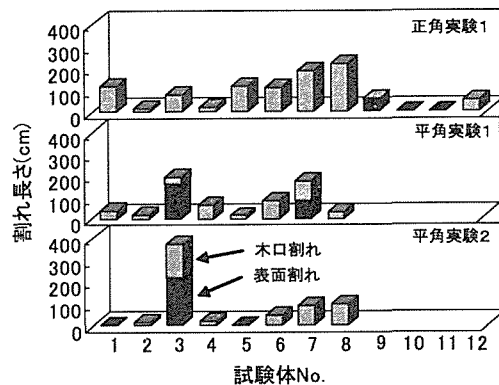


図-10 乾燥後の材面割れの比較

正角実験1は表面割れが少なく、全体的に木口割れが多かったが、割れ幅が1.0mmを超えるものはなかった。また、平角は全体的に材面割れが少ないが、高温セットを実施していない平角実験2は大きく割れたものが1体あった。正角実験1の木口割れは高温セットにおける波型極板の影響と、高周波印加中の木口面の材温低下が原因と考えられる。

3.3.2 内部割れ

正角実験1の内部割れ(木口面付近に見られる心割れは、内部割れに含めていない。また心割れと内部割れが繋がったと思えるものは、内部割れとした。)は、1体当たり平均すると0.6本発生しており、3本発生しているものも2体あった。発生していた内部割れの平均長さは12mm、最大の長さは30mmであったが、平均幅は0.3mmと小さかった。内部割れがどの切片でも見られなかったものは3体と少なかった。なお、材長方向では木口面付近に特に多い現象は認められなかったが、末口側は初期含水率が低いため、元口側に比べるとや

や多かった。正角実験1は初期含水率が極めて低いものは内部割れが多いため、少なくするためには、重量選別等を実施し高温セット時間を調整する必要がある。

一方、平角実験1は内部割れが発生していたものは2体で、かつ小さく、平角実験2はどの切片でも内部割れは発生していなかった。

3.3.3 平角の内部応力

スライス後の開放ひずみの平均値を図-11に示す。開放ひずみは圧縮側をプラス、引張り側をマイナスで表示した。なお、スライスの途中で割れた場合や、材中央に心割れが見られたものは除外したため、平均した個数は実験1と実験2で一致していない。

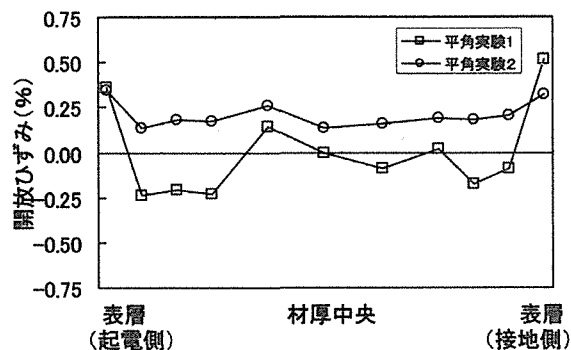


図-11 平角スライス前後の開放ひずみ

実験1では表層に強い圧縮応力、少し内側で引張り応力を示し、水分傾斜と逆のW字型であった。このことから、セットを実施した実験1では、強い残留応力が残ることになるが、正角の場合（平角と同様に小試験体で実施）に比べると、表層の圧縮応力は明らかに少なかった。実験2でも表層に圧縮応力がかかっているが、水分傾斜が小さいにも拘らずその他の部分のスライスと大きな応力差は認められず、中温乾燥とよく似た傾向を示した。

3.4 熱効率

全体の熱効率（熱量は、各乾燥スケジュールのステップ毎に、モニター含水率から計算して合計

した。）を（1）により求め、また高周波熱効率（熱量は各乾燥スケジュールのステップで、高周波を印加したステップの熱量をモニター含水率から計算して合計した。）を（2）式により求めた。なお、熱量等の算出は寺澤(2004b)、寺澤ら(1998)を参考にし、電気投入熱量は一次側の積算電力計の値とした。熱効率は材の充填率を考慮して求め、高周波印加中の熱風の熱効率は高周波の熱効率に含めた。

$$\text{全体熱効率(\%)} = \frac{(\text{材温の上昇及び水分蒸発に要した総熱量})}{(\text{重油・電気等、投入した総熱量})} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{高周波熱効率(\%)} = \frac{(\text{高周波印加ステップ中の水分蒸発に要した熱量})}{(\text{高周波印加ステップ中に、投入した熱量})} \times 100 \quad (2)$$

全体の熱効率は正角実験1が19.3%、平角実験1で15.8%、平角実験2は14.0%となり全体に低い熱効率であった。また、高周波熱効率は正角実験1が17.0%、平角実験1で26.5%、平角実験2は31.3%であった。正角は低含水率からの高周波印加となり効率が一番低く、また高含水率から高周波を印加した平角実験2は最も高かった。

また、脱水量1kg当たりの消費熱量は、正角が14,900kJ、平角実験1で18,000kJ、平角実験2は20,800kJであった。この熱効率と消費熱量との関係は黒田ら(2006)が調査した結果とほぼ同様であった。

熱効率が低い原因として、使用した乾燥機の放熱が極端に大きかったことが挙げられる。次に、減圧中に熱風を併用したこと、さらに局所的な材温の上昇を抑えるため高周波出力を低く設定し、かつ乾燥時間を長くしたためと考えられる。

熱効率を向上するためには、乾燥室の規模を大きくすることや、蒸気式乾燥室と高周波減圧乾燥室を分けること、さらに高周波減圧乾燥中の熱風併用を温水熱板等にすること等が考えられる。また、乾燥方法では予備乾燥の併用や、品質が劣らない範囲で高周波出力を上げることも有効と思われる。高周波を利用する乾燥は基本的には、平角のような大断面や通気性が良好な樹種、高い品質

が要求される部材に対して有効である。このため、スギの場合正角よりも平角に対して適用性が高い乾燥方法と言える。

3.5 乾燥後の寸法変化

乾燥後の日数と乾燥後の材面寸法を基準とした収縮率（4材面の平均収縮率）との関係を図-12、図-13、図-14に示す。また、参考までに、当センターの気象観測で測定している温度・湿度から平衡含水率を求め、図示した（太線は移動平均）。

正角実験2の初期含水率の平均は84.5%で、乾燥終了後は13.5%であった。乾燥終了後の2005年9月から2006年6月までの9ヶ月後には12.6%で約1%減少した。

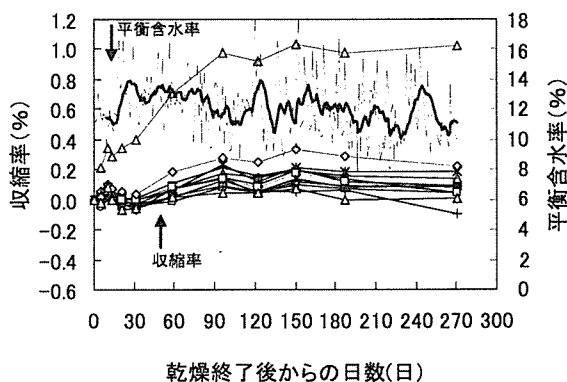


図-12 正角実験2の乾燥後の収縮率

2006年の4月～6月は例年に比べ雨が特に多かったため、昨年同時期と比較すると、この期間の平衡含水率は1～2%高かった。養生期間中、1本を除き収縮率に大きな変化はなく、これは乾燥後表層に強い圧縮応力が働いていたためと思われる。また、1体のみ乾燥終了後の含水率が19.3%であり、その後大きく収縮したため、安定した寸法変化のためには含水率は15%以下が望ましいと考えられた。

一方、平角実験1-1の初期含水率の平均は84.5%で、乾燥終了後は16.3%であった。高温セット中に停電があったため、乾燥後の含水率がやや高かった。2005年11月から2006年6月までの7ヶ月後の間で含水率は平均で1.8%減少したが、逆

に収縮率はマイナス（材面寸法が膨張）になっている。正角と同様、雨の多い時期に材幅方向は殆ど変化しなかったが材厚方向で膨張したため、全体的に収縮率がマイナスとなった。これは表層の圧縮応力が正角より少ないことにも原因していると考えられる。正角実験2も平角実験1-1も温度は異なるが、高温セットの影響で、乾燥後約2ヶ月で収縮率は安定傾向にあった。

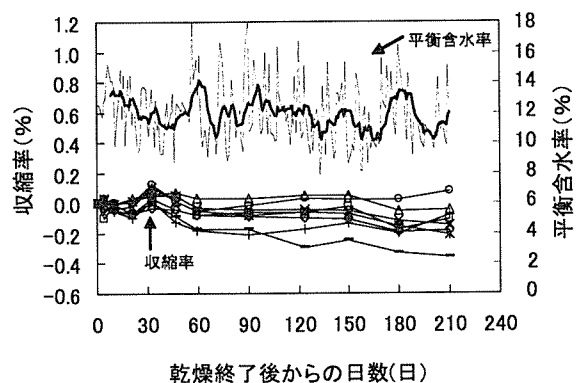


図-13 平角実験1-1の乾燥後の収縮率

なお、平角実験2-1の初期含水率の平均は84.9%で、乾燥終了後は10.2%と過乾燥であり、2005年12月から2006年6月までの6ヶ月後の間で、含水率は平均1.6%増加した。また、乾燥終了から約150日目まで、材厚方向の寸法変化が大きく収縮率がマイナスの一途をたどった。これは、過乾燥に加え、3.3.3で述べたように材の表層と内部に大きな応力差がないため、外気温湿度による影響を受けやすかったためと思われる。

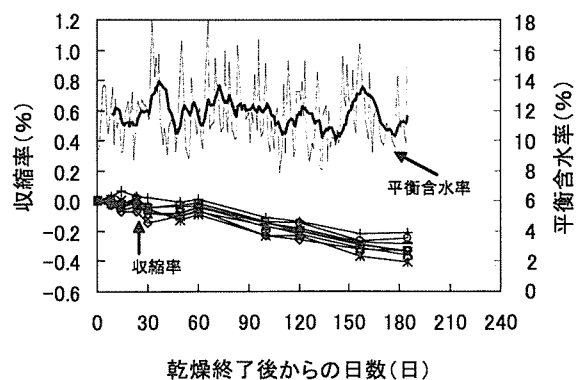


図-14 平角実験2-1の乾燥後の収縮率

4. 結論

スギ心持ち正角・平角（背割りなし）を対象に、蒸気式乾燥と高周波減圧乾燥を組み合わせた、蒸気・高周波併用減圧乾燥方法を検討した結果、以下の知見を得た。

- 1) 高温セット中の内部割れ発生時期を、平角について検討した結果、正角と同様に全体の平均含水率が約30%付近から内部割れが発生していた。
- 2) 初期含水率が約45%から140%の範囲の正角・平角を用い、蒸気・高周波併用減圧乾燥を実施した結果、乾燥後の含水率のバラツキや水分傾斜が小さい乾燥が可能であった。また、乾燥日数は正角が約4日と短かったが、平角では高周波出力を低く設定したため、約7日と長かった。なお、高含水率材の黒心は選別する必要があると思われた。
- 3) 乾燥後の材面割れは全体的に少なかったが、正角・平角とも表面割れに比べると木口割れが多かった。また、高温セットを実施していない平角実験2の1体は、大きな割れが発生していた。なお、内部割れは正角では発生していたが長さ・幅とも小さく、平角は内部割れがほとんど発生していなかった。
- 4) 平角について、ピン打ちスライス法により開放ひずみを測定した結果、高温セットを実施した平角実験1では、表層に強い圧縮応力、少し内側で引っ張り応力を示した。また、高温セットを実施していない平角実験2では、大きな内部応力差は認められなかった。
- 5) 熱効率は正角・平角とも極端に低く、乾燥機の放熱が大きく影響していた。また、熱効率を上げるためには、乾燥室の規模・減圧中の適切な熱付与方法・予備乾燥の併用・高周波出力等を検討する必要があると考えらる。
- 6) 乾燥後の寸法変化は、含水率が約20%のものは大きく収縮し、また過乾燥なものは寸法が増加した。なお、高温セットを実施した材は、寸法変化が小さかった。

参考文献

- 青田 勝(2006) 圧縮等による材の曲がり抑制技術の開発。森林総合研究所交付金プロジェクト成果集8, スギ材の革新的高速乾燥システムの開発, pp.47-51
- 藤本登留・谷口義昭・明神光幸・安島 稔(1999) 熱風・高周波減圧併用乾燥用新型極板の開発とその実証試験。日本木材加工技術協会第17回年次大会講演要旨集, 鹿児島, 22-23
- 原田真樹・軽部正彦・林 知行(2006) 乾燥材の品質の違いが接合部の性能に与える影響。森林総合研究所交付金プロジェクト 成果集8, スギ材の革新的高速乾燥システムの開発, pp.121-126
- 久田卓興・齋藤周逸(1992) 心持ち柱材の急速乾燥(Ⅱ)—短期間の天乾と高周波減圧乾燥の併用—, 第42回 日本木材学会大会研究発表要旨集, 名古屋, 159.
- 金川 靖(1984) 木材の高周波減圧乾燥(1). 木材工業33: 241-246
- 金川 靖(1984) 木材の高周波減圧乾燥(2)—厚材・難乾燥材への適用—. 木材工業39: 168-172
- 金川 靖(1985) 木材の高周波減圧乾燥(3)—スギ心持角材への適用—. 木材工業40: 66-70
- 金川 靖(1996) 高周波加熱乾燥. 木材工業51: 550-552
- 河崎弥生・金田利之・三枝道生(2003) 高周波加熱を利用したスギ材の高品質・低コスト乾燥法の開発。林野庁編, 農林水産新技術実用化型研究成果, 地域産材の低コスト乾燥技術の開発, 53-62
- 小林好紀・三浦 泉・目黒 忠(1997) スギ正角材の高周波による内部加熱乾燥. 第47回 日本木材学会大会研究発表要旨集, 高知, 153.
- 久保 健・小野広治・寺西康浩(1996) 高周波加熱処理を利用したスギ製材品の乾燥—乾燥時間の短縮を目的として—. 第46回 日本木材学会大会研究発表要旨集, 熊本, 164.

- 黒田尚宏・齋藤周逸・小林 巧・石川敦子(2006) 材質・用途別乾燥プロセスの最適化と乾燥コスト評価. 森林総合研究所交付金プロジェクト成果集8, スギ材の革新的高速乾燥システムの開発, pp.110-114
- 蔡 英春・林 和男・杉森正敏(2001) 高周波減圧乾燥時における木材内の3次元温度分布測定. 木材学会誌**47**(5): 389-396
- 武智正典(2004) 県産木材の有効利用技術研究—高歩留り乾燥技術の開発—. 平成15年度愛媛県林業技術センター業務成績報告書: 27-28
- 武智正典・越智仁夫(2004) スギ心持ち角材の高温乾燥スケジュール. 愛媛県林業技術センター研究報告, **22**: 46-56
- 武智正典・越智仁夫(2006) 減圧乾燥における乾燥効率化技術の開発. 森林総合研究所交付金プロジェクト 成果集8, スギ材の革新的高速乾燥システムの開発, pp.64-69
- 谷口義昭・西尾 茂(1993) 木材の高周波減圧乾燥法について(第6報)—乾燥過程における気体透過性と樹種別の乾燥特性—. 木材学会誌**39**(3): 277-283
- 寺西康浩・小野広治・沖中玲子・久保 健(1998) 高周波加熱併用乾燥法の実用化試験(第1報) 高周波加熱併用乾燥法の乾燥特性と加熱効率に及ぼすさん木厚さの影響. 奈良県林業試験場研究報告, **28**: 29-33
- 寺澤 眞(2004) 木材乾燥のすべて, pp.471-487. 海青社, 大津.
- 寺澤 眞(2004) 木材乾燥のすべて, pp.488-494. 海青社, 大津.
- 寺澤 眞・金川 靖・林 和男・安島 稔(1998) 木材の高周波真空乾燥. 海青社, pp.90-97
- 徳本守彦・坂口奈央・武田孝志・吉田孝久(1997) 高温セット法によるスギ心持ち柱材の人工乾燥(Ⅲ)—乾燥スケジュールと内部応力分布—. 第53回 日本木材学会大会研究発表要旨集, 福岡, F221545.
- 山本泰司(2001) 高周波・蒸気複合乾燥機の開発. 木材工業**56**: 519-521