

蒸気式乾燥室から排気される空気の温湿度及び量

誌名	愛媛県林業研究センター研究報告 = Bulletin of the Ehime Forestry Research Center
ISSN	13489534
著者名	武智,正典
発行元	愛媛県農林水産研究所林業研究センター
巻/号	27号
巻号補足	
掲載ページ	p. 25-30
発行年月	2009年3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



〈資料〉

蒸気式乾燥室から排気される空気の温湿度及び量

武智正典

Masanori TAKECHI

蒸気式乾燥には、木材から蒸発した水分を、加熱された空気とともに乾燥室外へ排気する方法が用いられている。この排気空気はその後利用されることは殆どなく、大気中にそのまま放出されている。また、この排気空気は多量の熱量を有していると考えられるが、実際に測定した例はない。一方、予備乾燥方法は日本では小規模の工場が多く、また既存の熱付与ではエネルギーコストが高いため殆ど導入されていない。本研究では、蒸気式中温乾燥方法で、5日間スギ間柱の乾燥を行った場合、乾燥室から排気される空気の温湿度、排気量を測定し、予備乾燥の熱源に利用できないか検討した。その結果、夏季(2006年8月)の排気量は100,065 (kg_{Dry air})、冬季(2007年2月)は82,293 (kg_{Dry air})であった。また、排気熱量は夏季が37,406MJ、冬季は30,299MJで、大気中に多量の熱量が放出されていた。この調査結果から予備乾燥室の断熱が十分で、湿度の制御が可能な場合は蒸気式乾燥機から排気された空気を、そのまま利用した予備乾燥が可能と考えられた。

キーワード — 蒸気式乾燥、排気、予備乾燥

1. 緒言

木材人工乾燥室を仕上げ含水率により分類すると、普通乾燥室と予備乾燥室に分類される(寺澤, 2004a)。

現在、普通乾燥室の中では蒸気式人工乾燥方法が最も多く使用されており、乾燥室を乾燥方法別にみると蒸気式乾燥室が全体の約80% (林野庁木材産業課調べ)を占めている。しかし、この蒸気式乾燥方法はボイラーから発生した蒸気を熱源としているため、化石燃料を使用したボイラーでは乾燥経費が燃料単価に大きく左右される。2008年のように燃料が高騰した場合は、企業の経営にも大きく影響を与える結果となる。

このため、木屑焚きボイラーが蒸気式乾燥には適していると考えるが、バイオマス燃料の種類やボイラーの管理等の問題から、大規模工場を除いて導入が遅れている。また、一度設置すると乾燥室の増設による容量不足が生じた場合、すぐに対応できない欠点もある。

一方、予備乾燥室は本格的な仕上げ乾燥まではやれない乾燥室(寺澤, 2004a)で、比較的短期間に安全かつ予定した日数で含水率20%まで乾燥できる低い温度の乾燥室(寺澤, 2004b)としており、人工乾燥の前処理と位置付けられている。

スギは初期含水率のバラツキが大きいため、高い含水率を下げるるとともにバラツキ幅を狭めることができる予備乾燥は、スギには適した乾燥方法と考えられるが、予備乾燥の熱源には安価なものが必要で、かつ大規模ほどその効果が大きい。

北米やオーストラリアではいろいろな型式の予備乾燥室があるが、どれも大型で数百から数千m³の規模であり、主に乾燥が困難な広葉樹が対象となっている。

日本では小規模の工場が多く、また既存の熱付与ではエネルギーコストが高いため殆ど導入されていないが、平田(2000)が、日本に輸入された収容材積1,000m³の予備乾燥室を用いてスギ柱材を予備乾燥し、水分減少や割れ・狂い等について

検討している。また、安価な加熱装置による小空間加熱を特徴とする予備乾燥や養生施設を検討した例（池田，2007）も報告されている。

蒸気式乾燥方法は、木材水分の除去方法として、木材から蒸発した水分と同時に加熱された空気（湿り空気で、以下単に空気という）を排気する方法が用いられ、企業が多く採用している蒸気式乾燥室は排気を排気ファンで強制排気している。

しかし、排気空気はそのまま大気中に放出されており、この空気は多量の水分を含んでいるため、木材乾燥には殆ど利用されていない。また、高温乾燥で排気された空気は住宅地に近い場所ではその臭いも問題となっている。

蒸気式乾燥室から発生した廃液の利用に関しては、その有効成分調査とその活用方法を検討した例（財団法人日本住宅・木材技術センター，2005）や、スギ材乾燥凝縮液精油の分析および生物活性試験を行った例（松下ら，2007）がある。

また、熱交換器を使った排気熱の活用方法として、富田（1998）は、熱交換器を用いて排気される熱量を給気の過熱に利用して熱効率向上を検討し、藤本（2007）は、簡易な熱交換器を備えた養生庫を設計・試作し、その性能を検証している。

しかし、現在企業等で稼動している乾燥室から、排気空気の温湿度や排気量を測定した事例はない。

このため、本調査では予備乾燥の熱源に蒸気式乾燥室から排気される空気が利用可能か検討するため、排気空気の温湿度、排気量を調査したので報告する。

なお、本調査は、【林業普及情報活動システム化事業「予備乾燥による乾燥の効率化研究」（平成18～20年度）】の中で実施した。

本論に先立ち、乾燥機の使用と調査に関し、ご協力をいただいた久万広域森林組合の方々に厚くお礼申し上げます。

2. 材料と方法

2.1 蒸気式乾燥方法

久万広域森林組合父野川事業所にある容量50m³

の乾燥機を用い、スギ間柱（36mm×120mm×3,000mm 3,060枚）の乾燥を2006年8月（以後、夏季という）と2007年2月（以後、冬季という）に実施した。

乾燥スケジュールは表－1のとおり蒸煮を除く5日間の中温乾燥スケジュールである。なお、調湿はスケジュールに入れていない。

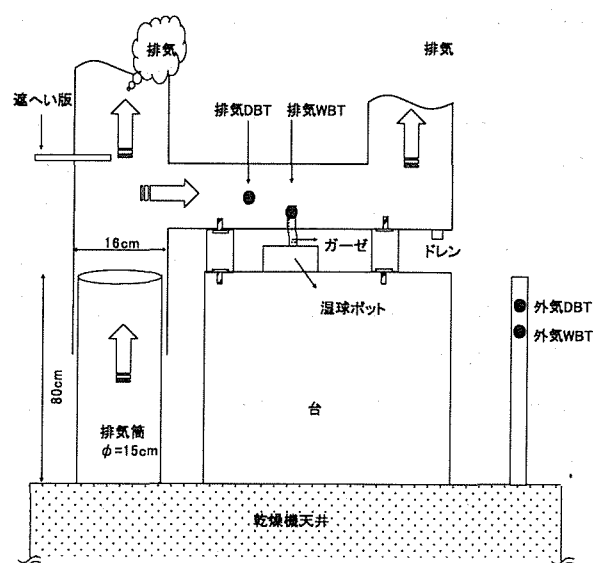
表－1 乾燥スケジュール（調湿除く）

STEP	時間(hr)	乾球温度(°C)	湿球温度(°C)
1(蒸煮)	3	70	70
2	24	65	60
3	24	65	57
4	24	65	55
5	24	70	55
6	12	75	55
7	12	80	55
合計	120	(蒸煮の3時間を除く)	

2.2 排気空気の測定方法

排気筒から排出される空気及び外気の乾湿球温度を測定するため、図－1の装置を乾燥室天井にある排気筒に取り付けた。乾湿球温度の測定は白金測温抵抗体及び熱電対で測定し、湿球温度計への水補給は装置下部に取り付けたポットからガーゼで給水した。

なお、排気は強制排気であり風速は14m/sにも



図－1 排気温湿度の測定方法

達するため、測定部分の風速が約2.5m/sになるように、風速調整用の遮へい板を装置に取り付けた。

また排気量は排気ファンの電源に取り付けたタイムカウンタと排気筒の径及び風速（装置を取り付ける前に事前に測定）から算出した。

各乾湿球温度のデータは12秒毎にデータロガー（日本電気三栄株式会社製 RD3218）に取り込み、排気1回毎に乾湿球温度を算出した。

3. 結果と考察

3.1 排気率及び排気時湿度

夏季及び冬季の乾燥ステップ2～7の排気率、排気時湿度を図-2、図-3に示す。

排気率とは乾燥時間中に占める排気した時間の率でステップ毎に示した。また、排気時湿度はステップ毎に平均値を示した。

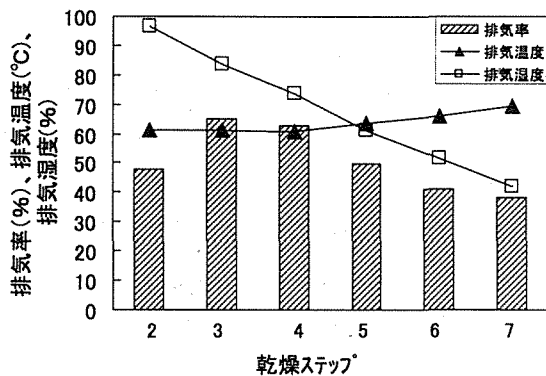


図-2 夏季の排気率及び排気時湿度

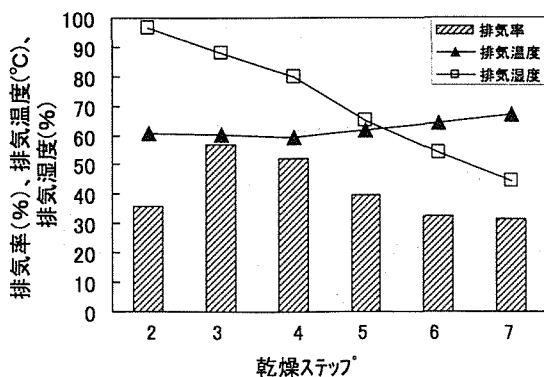


図-3 冬季の排気率及び排気時湿度

夏季の排気率はステップ2で47.7%、ステップ3で65.1%と最大の排気率となり、その後排気率は減少し、最終のステップ7では38.2%であった。また、排気温度は乾燥ステップ4までは乾燥スケジュールの乾球温度と同じであるため、排気温度も約61℃と一定しているが、最終ステップでは排気温度は69.4℃に上昇した。排気湿度はステップ2の96.8%から直線的に下がり、最終ステップ7では42.1%に減少した。

冬季は夏季に比べ、排気率及び排気温度とも低く、排気湿度は逆に夏季より高かった。

この原因として、乾燥室は排気と吸気の間で熱交換が行われるため、外気が低い場合は排気温度も低く、排気湿度は高くなったものと考えられる。今回の外気の時湿度は、夏季で平均温度が24.7℃、平均湿度が87.4%に対して、冬季は平均温度が5.0℃、平均湿度が76.9%と低かった。

また、夏季と冬季でスギ間柱の水分量が同じと仮定すると、排気率が冬季で低かったのは乾燥室内の結露による影響が考えられる。

3.2 排気量及び混合比

夏季と冬季のステップ別排気量（乾燥空気）と混合比（乾燥空気1kgに対する水蒸気量）を表-2に示す。

混合比はステップ毎の平均乾湿球温度から水蒸気分圧を求め算出した。

夏季は合計100,065 (kg Dry air) の排出量があり、冬季は82,293 (kg Dry air) で夏季の82%の排気量であった。

表-2 排気量及び混合比

ステップ	夏季		冬季	
	排気量 (kg Dry air)	混合比 (kg/kg Dry air)	排気量 (kg Dry air)	混合比 (kg/kg Dry air)
2	17,206	0.1566	13,050	0.1503
3	24,342	0.1294	21,213	0.1327
4	24,014	0.1114	20,131	0.1124
5	19,193	0.1034	15,338	0.1003
6	7,957	0.0964	6,355	0.0910
7	7,352	0.0897	6,206	0.0854
計	100,065	-	82,293	-

3.3 排気水分及び排気熱量

夏季と冬季のステップ別排気水分と排気比エンタルピーを表-3に示す。

表-3 排気水分量及び排気比エンタルピー

ステップ	夏季		冬季	
	排気水分 (kg) 注)	排気比エンタルピー (kJ/kg Dry air) 注)	排気水分 (kg) 注)	排気比エンタルピー (kJ/kg Dry air) 注)
2	2,694	470	1,961	452
3	3,149	398	2,815	406
4	2,675	352	2,262	352
5	1,984	334	1,539	324
6	767	319	578	302
7	659	305	530	291
計	11,928	-	9,685	-

注): 外気水分を含む

排気水分（外気的水分を含む）は、夏季が合計11,928kg、冬季は合計9,685kgで多量の水分が大気中に放出されていた。この水分は殆どが木材水分であり大気中に放出されていた。また、排気比エンタルピーは乾燥ステップが進むに伴い減少した。この合計排気水分を用いて乾燥機内の水分移動を示したのが図-4である。

木材の水分量は当研究センターが実施した過去の測定データから引用し、夏季と冬季で同様と仮定した。また、蒸煮中に乾燥室内に入った水分はボイラーの給水量から求め、この水分から木材に吸収された水分量（実測）を差し引いた水分を、蒸煮により増加した水分とした。なお、乾燥中のスプレーによる水分増加は考慮していない。

この乾燥室内に入った総水分から、外気を除く排気水分を差し引き、残った水分をドレン水分とした。

この結果、夏季のドレン水分が664kgであるのに対して冬季では1,812kgのドレン水分が発生したことになり、冬季のドレン水分を減少させる対策や、その有効利用等の検討が必要と考えられる。

また、蒸気式乾燥機室の熱量計算は（寺沢，2004c）により理論的に計算されているが、今回は供給熱量と排気熱量との関係を表-4に示した。

ここで、供給熱量とはボイラーに給水した給水量から算出した熱量（加熱管からの回収ドレン熱

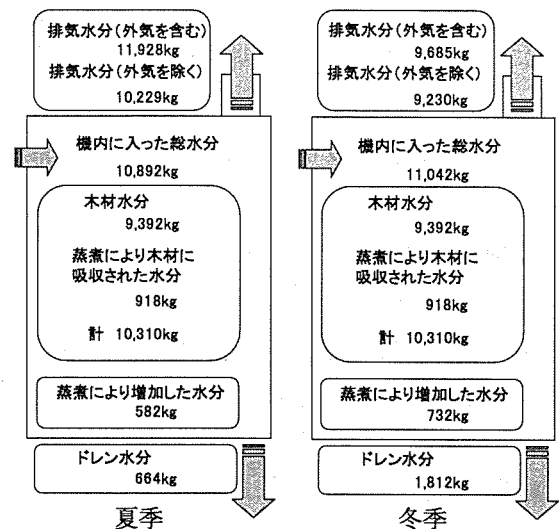


図-4 乾燥室内の水分移動

量を差し引いた熱量）とファンの供給熱量を合計したものであり、この供給熱量から排気熱量（実測値から外気の熱量を除いた熱量）を差し引いた熱量を放熱等熱量（ボイラー、配管、壁体、室内ドレン等からの放熱）とした。

供給熱量を100%とすると、夏季では70%の熱量が放出されており、また冬季では55%の熱量が放出されていた。

なお、排気熱を利用する場合は外気の熱量も含まれるため、その場合の排気熱量（外気の熱量を含む実測値）は夏季が37,406MJ、冬季は30,299MJであった。

木材の水分蒸発に使用された熱量等であるが、大気中に多量の熱量が放出されているため、今後は排気熱量をその品質に応じてカスケード的に利用する検討が必要になると考えられる。

表-4 供給熱量と排気熱量との関係

	供給熱量(MJ) ①	排気熱量(MJ) ②	放熱等熱量(MJ) ①-②
夏季	47,349(100)	32,974(70)	14,375(30)
冬季	52,600(100)	29,039(55)	23,522(45)

注: () 書きは供給熱量に対する率

3.4 予備乾燥の熱源としての検討

蒸気式乾燥室の排気熱量を予備乾燥に利用する

ためには、熱交換器を利用する方法と、排気空気をそのまま利用する方法とが考えられる。

熱交換器を利用する場合には、今回の乾燥スケジュールの全ステップが利用可能と考えられるが、予備乾燥室内の湿度の維持が難しくなってくる。

一方、排気空気をそのまま利用する方法では乾燥初期のステップ2は湿度が高く利用しにくい、ステップ3～7は利用可能と考えられる。しかし、湿度の制御方法が問題となる。

今回の排気率の測定結果から、夏季及び冬季とも蒸気式乾燥室が3室あれば、ほぼ連続して予備乾燥室へ排気熱量を供給することが可能（乾燥室3室の乾燥開始時期をずらして、常に2室分の排気を利用）であることに加え、各ステップの排気温湿度の平均化が図られるため、安定した熱量が供給できると考えられる。

よって、乾燥室3室のステップ3～7の排気熱量を利用した場合の1日当たりの供給熱量を表5に示した。

含水率80%の間柱を20%まで乾燥するのに要する熱量（木材中の水分蒸発に必要な熱量のみで、容量50m³乾燥機1室分）は今回の試験結果より約24,000 MJであるため、熱量自体は送風による放熱や予備乾燥室での放熱を考慮しても、十分な熱量を有していると考えられる。

また、夏季の場合、予備乾燥室の断熱が十分であれば約40℃の温度が得られると推定されるが、予備乾燥が可能のためには、予備乾燥室へ排気空気を送風した時点で露点温度にならず、かつ湿度の制御が必要なため、今後これらを検討した上で、排気空気をそのまま利用した予備乾燥を検討することとしている。

表5 乾燥室3室のステップ3～7の排気空気の性質

	平均温度 (℃) 注1)	平均湿度 (%) 注1)	排気量 (kg Dry air/日) 注2)	排気熱量 (MJ/日) 注2)
夏季	63.4	64.7	41,429	14,663
冬季	69.0	69.0	34,622	12,198

注1): ステップ3～7の平均排気温湿度

注2): 乾燥室3室で、1日あたり供給できる排気量及び排気熱量

4. 結論

蒸気式乾燥室（容量50m³）を用いて、スギ間柱を5日間で中温乾燥し、乾燥室から排気される空気の温湿度、及び排気量を測定した結果、以下の知見を得た。

- 1) 冬季は夏季に比べ、排気率及び排気温度とも低く、排気湿度は逆に夏季より高く、この原因は外気の温度に影響されていると考えられた。
- 2) 排気量は、夏季が合計100,065 (kg Dry air)、冬季は82,293 (kg Dry air) で夏季の82%の排気量であった。
- 3) 排気水分（外気的水分を含む）は、夏季が合計11,928kg冬季は合計9,685kgで、乾燥室1室から多量的水分が大気中に放出されていた。
- 4) 夏季のドレン水分が664kgであるのに対して、冬季では1,812kgと多量のドレン水分が発生していると考えられた。
- 5) 排気熱量（外気の熱量を含む実測値）は、夏季が37,406MJ、冬季は30,299MJで、大気中に多量の熱量が放出されていた。
- 6) 乾燥室3室のステップ3～7の排気量を用いると、1日の排気熱量は、夏季で14,663MJ、冬季は12,198MJであり、予備乾燥室までの送風で露点温度に達せず、かつ予備乾燥室の湿度の制御が可能であれば、排気空気をそのまま利用した予備乾燥が可能と考えられた。

参考文献

- 平田英史(2000) プレドライヤーによるスギの予備乾燥. 木材工業 55(3):128-132.
- 藤本英人(2007)先端技術を活かした農林水産研究高度化事業—新しい木材乾燥システムによる低コスト化と有用成分の回収—. 宮崎県木材利用技術センター平成19年度業務報告書: 36-37.
- 池田元吉(2007)組合せ乾燥における養生環境の改善—小空間の簡易加熱法の検討—. 第57回日本木材学会大会研究発表要旨集, 広島, PE008.
- 松下 陽一・菅本和寛・黒木千亜紀・松井隆尚 (2007)スギ材の蒸気加熱式乾燥により排蒸気が

ら得られるスギ材乾燥凝縮液精油の分析および
生物活性試験. 第57回日本木材学会大会研究発
表要旨集, 広島, M08-1100.

林野庁木材産業課調べ(2008) 平成18年の人工乾
燥材出荷実態等について

寺澤 眞(2004a)木材乾燥のすべて, pp.488-494.
海青社, 大津.

寺澤 眞(2004b)木材乾燥のすべて, pp.49-50.
海星社, 大津.

寺澤 眞(2004c)木材乾燥のすべて, pp.471-487.
海星社, 大津.

富田守泰(1998)木材乾燥室の熱効率向上に関する
研究. 岐阜県林業センター研究報告 16:75-
101

財団法人日本住宅・木材技術センター(2005) 農
林水産省補助事業、平成16年度木材利用革新的
技術開発促進事業報告書 p5-29