

木材乾燥装置の省エネ化試験

- 風速変換技術による消費電力の削減について -

中 島 厚

はじめに

木材乾燥装置は一般に温度・湿度・風速の制御機能を持ち、温湿度は含水率スケジュールに基づいて適正値を維持しながら変化させます。しかしながら、風速は従来から一定制御方式で、しかも送風機の最大風量で使用されてきました。

そこで今回は、蒸気式乾燥装置によりミズナラ板材の乾燥試験を実施し、乾燥速度と風速の関係から乾燥経過中における適正風速値を検討することにしました。また、風速を適正に制御することにより電力量がどの程度削減可能かを求める実験を行いましたので紹介します。

実験の概要

木材乾燥装置は図1に示すように、送風機を1基側部に保有する小型乾燥装置で、収容材積は約

2.5m³です。今回の試験で供試した製材はミズナラの厚さ27および54mm、幅120mmの板目材で、乾燥速度測定を行うサンプル材は長さ約1mのものを使用し、棧積みの中段前方に設置しました。棧積み材積は約2.2m³で棧積み高さは約1.2mです。

また風速測定は、棧積みブロックの右側面（ファン側）と左側面の高さ方向3点、そして奥行き方向3点の計18点に均等に風速センサを設置して行いました。風速条件は送風機の設定周波数をインバータ制御により20、40、50Hzとしました。

人工乾燥装置の温湿度制御は、当場で開発した完全自動制御システムを用い含水率経過にしたがい連続変化型スケジュールで実施しました。乾燥速度は1時間ごとに自動記録される含水率値によって求めます。今回のミズナラ材の乾燥温湿度条件

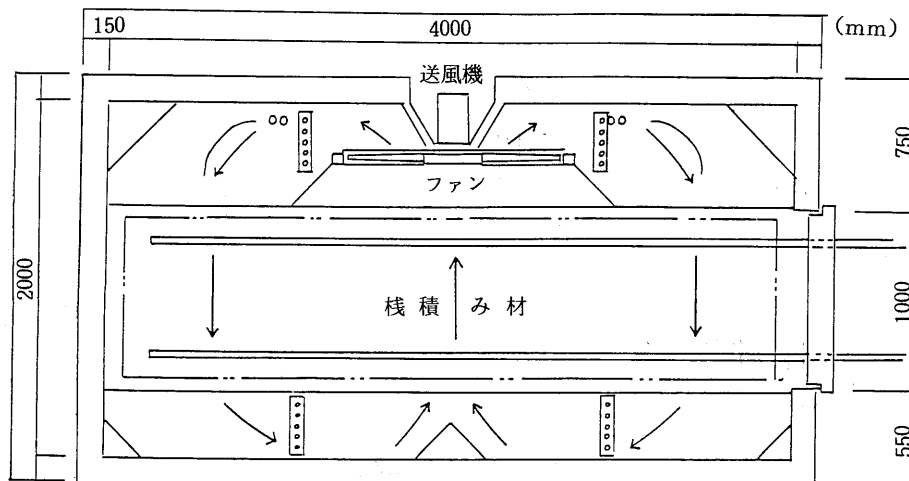


図1 木材乾燥装置の平面図

は、温度が45~80℃、乾湿球温度差3~28℃で、厚さ27mmおよび54mmの両材種とも同じ設定としました。すなわち、送風機モートル周波数20、40、50Hzの3条件の設定別に乾燥初期から末期まで同風速で運転し、かつ、どの試験条件についても乾燥スケジュールは、サンプル材の含水率値に対し同じ温湿度条件を適用し乾燥速度の比較を行いました。

風速値と装置特性

材間風速値と送風機モートル周波数値の関係を図2に示します。材厚27および54mm材の風速は、いずれも送風機の影響を直接的に受ける両側面上部で高い値を示し、反対に扉側の左側面上部付近が最も低い値を示しました。この両者の差は周波数20Hz設定時で約1.5m/秒、50Hzでは約3.9m/秒となり、設定周波数と材間風速はほぼ直線的な関係が得られました。棧積み位置による風速むらは低周波数ほど減少する傾向になりました。またサンプル材を置いた位置の風速は、50Hzで約2.6m/秒、40Hzで約2.0m/秒、30Hzで約1.5m/秒、20Hzで約0.9m/秒となりました。一般にこの強制水平循環式木材乾燥装置における風速分布は、上部I.F.型の縦循環式に比べると均等

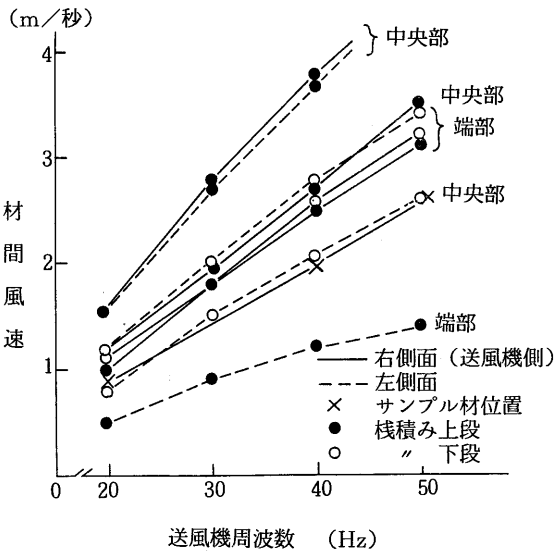


図2 材間風速と周波数の関係

化がやや困難とされていますが、ここではほぼ妥当な結果が得られたものと思われます。

含水率の減少経過

厚さ27mm材の乾燥初期から末期までの乾燥時間を比較してみると、材間風速を終始約2.6m/秒（周波数設定50Hz）にした場合、初期含水率46.3%から末期9.2%まで166時間、風速約2.0m/秒（40Hz）では74.2%から9.1%まで221時間、風速0.9m/秒では72.3%から9.1%まで266時間、同じく風速0.9m/秒では59.1%から9.1%まで242時間でした。また各条件の平均乾燥速度はそれぞれ0.223, 0.295, 0.238および0.207%/時でした。ただし、風速2.6m/秒の条件は初期含水率が他の条件より低かったため、湿球温度のコントロールは含水率が5%低い段階からスタートさせており、風速条件を比較する上では3つの風速条件の間で乾燥スケジュールに違いがあることを考慮しておく必要があります。

次に厚さ54mm材の乾燥時間を、材間風速2.0m/秒と0.9m/秒の2条件について調べてみました。風速2.0m/秒の乾燥時間は、含水率59.8%から12%まで613時間、風速0.9m/秒では含水率60.9%から12%まで773時間を要しました。したがって、平均の乾燥速度は風速2.0m/秒で0.078、風

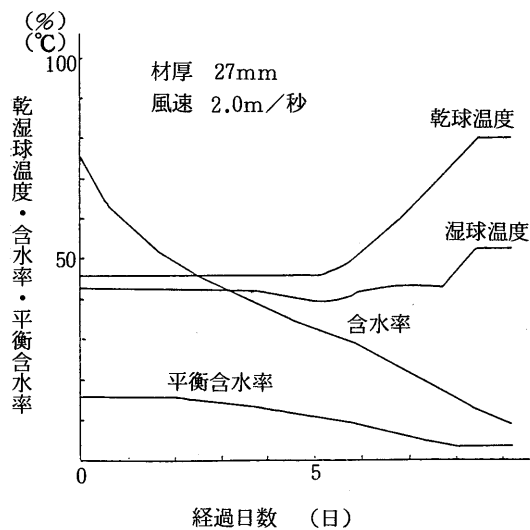


図3 乾燥経過図

速0.9m/秒では0.063%/時となります。

以上の含水率経過から推察されることは、初期含水率が高い材ほど、初期の乾燥速度が大きく、いずれの条件も初期の温湿度一定期間中は緩やかな減速経過をたどり、乾球温度差を拡大していく含水率約35%段階で乾燥速度はおおよそ定率に達すると思われます。その後、温湿度条件を徐々に変化させることにより乾燥速度は再び増加して、初期含水率からの乾燥経過線の延長で直線的、あるいはわずかに上に凸型で推移していきます。また乾燥末期は含水率約17.5%に達し、乾球温度80、乾湿球温度差28の最終乾燥条件に設定されてからは、乾燥速度は減率されながら推移します。以上の含水率経過特性は、平衡含水率（温度・湿度の関係から導き出される含水率の乾燥限界点）の経過と密接な関係があります。代表的な乾燥経過図を図3に示します（材厚27mm、風速2.0m/秒）。

たりの含水率低下速度を計算し表1に示します。ただし、ここでは材厚27mm、54mmとも含水率に対し温湿度条件を一致させ乾燥速度の比較を行ったわけですが、初期含水率の違いについては特に考慮していません。したがって、速度比較を乾燥経

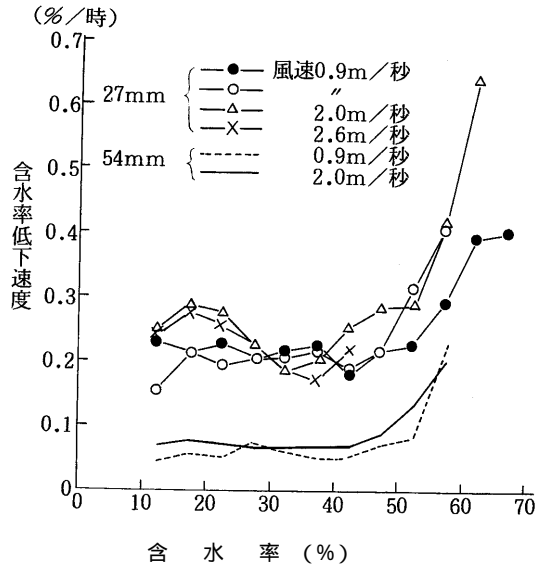


図4 風速条件別の含水率低下速度

風速条件別の乾燥速度比較

試験結果をもとに、含水率5%刻みで1時間当

表1 含水率低下速度

含水率 (%)	乾球温度 (°C)	乾湿球温度差 (°C)	平衡含水率 (%)	材厚	27mm				54mm	
					材間風速				0.9m/秒	2.0m/秒
					0.9m/秒	0.9m/秒	2.0m/秒	2.6m/秒	0.9m/秒	2.0m/秒
				初期含水率	59.1%	72.3%	74.2%	46.3%	60.9%	59.8%
生~65	45	3	16.0	含水率低下速度 (%/時)		0.400	0.836			
~60	45	3	16.0			0.392	0.638			
~55	45	3	16.0		0.410	0.289	0.417		0.221	0.200
~50	45	3	16.0		0.313	0.227	0.288		0.081	0.128
~45	45	3	16.0		0.217	0.217	0.284	(注)	0.070	0.086
~40	45	3.8 (3.0)	14.5 (16.0)		0.188	0.178	0.253	0.217	0.053	0.067
~35	45	5.9 (3.8)	11.7 (14.5)		0.217	0.222	0.200	0.167	0.050	0.063
~30	48.4	9.2 (5.9)	9.0 (11.8)		0.204	0.213	0.185	0.185	0.060	0.064
~25	55.8	14.3 (9.2)	6.6 (9.1)		0.204	0.208	0.227	0.226	0.072	0.063
~20	64.5	22.4 (14.3)	4.4 (6.6)		0.192	0.226	0.278	0.253	0.049	0.072
~15	74.4	28.0 (22.4)	3.4 (4.5)		0.213	0.217	0.289	0.275	0.054	0.076
~10	80.0	28.0	3.5		0.153	0.233	0.250	0.240	0.043	0.068
				平均速度	0.211	0.238	0.300	0.223	0.063	0.078

注) 初期含水率が低いため乾球温度差条件を()に示す値とした。

過傾向として判断するために、各条件別に含水率低下速度の経過を図4に示します。

厚さ27mm材については、乾燥初期の材表面含水率が平衡含水率に達するまでの期間は風速の影響は顕著であり、平均含水率が約40%以下になると速度はどの風速条件とも近似するようになり、含水率35%でほぼ一致して速度はおおむね一定となりました。その後、温湿度のコントロールが開始されるとともに乾燥速度は再び上昇し、乾湿球温度差の最終条件(28)になる含水率約17.5%でピーク値を示しました。ただし、この傾向は風速2.0m/秒以上で顕著であり、0.9m/秒では一定速度あるいは若干上昇する程度となりました。そして末期はおおむね速度低下が認められました。

以上から、風速は高いほど乾燥速度経過は波があり、Sカーブの傾向が強く、乾燥スケジュールの影響が大きいことが明らかとなりました。しかし風速0.9m/秒での含水率低下速度は全般的に小さく、含水率40~30%範囲で風速2.0m/秒と比較すると逆転する現象が生じています。また風速条件別の乾燥速度差は、初期含水率70%以上を想定して風速0.9m/秒と2.0m/秒の平均速度を比較してみると約0.06%/時の差が生じ、1日換算では約1.5%の含水率差と予想されます。

次に、厚さ54mm材では、乾燥経過の大きな変動がなく、風速による含水率低下速度差も材厚27mm程大きくありません。ただし、54mm材は乾燥日数を要するため低風速一定条件では、従来の高風速条件に比べ約8~10日の期間延長が必要と思われます。この時の乾燥速度差は平均0.015%/時で1日換算では約0.4%となります。このように総時間で風速の影響を考えると無視できない要因になります。また初期の乾燥速度は高風速と低風速条件であまり開きがありませんが、材温が上昇するに従い風速2.0m/秒条件は0.9m/秒に比べ高い速度で経過し、その後含水率約30%で一時逆転しますが、末期は風速2.0m/秒条件の方がわずかに上昇する傾向になりました。一方、風速0.9m/秒条件は温湿度スケジュールが厳しくなっても乾燥速度は徐々に低下していきました。

最適風速条件について

以上の結果をふまえ、省エネルギー化のための最適風速条件を以下のように考察します。

乾燥初期は湿球温度の低下を開始する時期までは高風速条件ほど乾燥時間の短縮が図られますが、内部応力が発生し、表面割れの危険性のある難乾燥材の場合は適時風速を減速させることが必要になります。今回の実験では厚さ27mm材の場合、風速0.9, 2.0m/秒の間で初期に約2倍の乾燥速度差があったことから大幅な時間短縮が期待されます。

次に、乾湿球温度差の拡大時点である含水率約40%点から乾球温度の上昇点である含水率約30%点までは、風速が乾燥速度に与える影響が最も小さくなる期間と考えられます。すなわち、この期間での高風速条件は、表層からの水分蒸発が初期から盛んに行われるため表層の含水率が急速に減少し、乾燥室内の平衡含水率値に近くなり、材内部の水分拡散移動が表面蒸発速度に応じきれず乾燥速度が低下してくると考えました。一方、低風速条件では初期の表面蒸発が比較的少ないため、水分傾斜による内部拡散速度との差が大きく生じないまま徐々に減率乾燥へ移行すると推測できます。よって、乾湿球温度差を拡大していく含水率42.5%で乾燥速度が上昇し、蒸発が促進されたものと思われます。したがって、この含水率期間では省エネ化を図るために低風速条件が妥当であると思われます。

含水率30%を経過して温度上昇段階に入ると、乾燥速度は高風速条件で再び高い値を示すようになりますが、低風速条件ではほぼ一定速度で推移します。この傾向は材厚27mmのような薄板ほど顕著になります。この含水率領域では材の平均含水率が繊維飽和点(約30%)以下となり、内部拡散移動が温湿度のコントロールによって促進され、水分蒸発量が増加したと考えます。したがって、この含水率期間では高風速条件により乾燥時間の短縮を図ることが可能と判断されます。

最後に含水率15%以下になると温湿度は最終条件となり、いずれの風速条件でも乾燥速度は低下

表2 風速と使用電力量の関係

送風機周波数 (Hz)	材間風速 (m/秒)	平均使用電力量 (kWh)
20	0.5～2.0 (0.9)	0.27
30	0.9～3.1 (1.4)	0.70
40	1.2～4.3 (2.0)	1.55
50	1.4～5.3 (2.6)	2.70

注) モートル性能: 3.7kWh、4P、プロペラファン径1m
() 値はサンプル材の位置

します。また風速条件による速度差は前段からの経過で継続されるため、前期同様に高風速条件によって乾燥時間短縮が可能と思われます。

省エネルギー効果

以上の考え方を適用し最も短時間の乾燥を行う風速条件(風速変換技術)と、従来の送風機周波数50Hz一定条件(従来技術)とを比較し、電力コストにどの程度影響を与えるか検討しました。

初期含水率70%から末期10%までの乾燥日数は厚さ27mm材の場合、風速変換法および従来法ともほぼ同日数の約9日と実験から推定されます。各風速条件と使用電力量の関係は表2に示すとおりで、それぞれの使用電力量を算出すると従来法では約580kWh、風速変換技術は約270kWhとなり、ほぼ半減できる計算となります。

また厚さ54mm材の場合は、初期含水率60%から末期10%までの乾燥日数は約27日間と実験から推定できます。使用電力量は従来法が約1000kWhに対し、風速変換法が約790kWhとなり約2割の省電力効果が期待できます。またこの時の従来技術における送風機周波数は40Hz一定条件を与えたため、50Hz一定条件を適用した場合には材厚27mm同様にほぼ半減できる見込みです。

今後の展開

今回はミズナラを供試材として、従来の乾燥速度を変えないことを前提にして、送風機の周波数制御により風速を低減させ省電力化を図ることを目的としました。その結果、ある含水率範囲で低風速条件適用が可能となり、電力コストはおおよそ半減できる見通しを得ました。

今後は樹種別に乾燥特性を把握することと、単に時間だけを捉えるのではなく、表面蒸発速度と風速の関係から内部応力緩和による割れ防止対策技術としての風速変換法についても追及する必要があります。

またこの技術は、含水率スケジュールと対比させることにより乾燥操作の自動化システム(商品名:デコム)に組み入れ可能となり、自動変換操作が簡単に実行され省エネルギー効果がさらに期待されると思われます。

(林産試験場 乾燥科)