

蒸気式乾燥装置内の温湿度および風速分布の適正化(第4報)

- 心持ち平角材の乾燥条件 -

伊藤 洋一 中 嶋 厚 大 崎 久 司
上野 英治 長 澤 岳 志

Optimization of the Temperature, Humidity and Air Velocity Distribution in the Steam Dry Kiln (IV)

- Kiln-drying method for flat squares with pith -

Youichi ITO Atsushi NAKAJIMA Hisashi OHSAKI
Eiji UENO Takeshi NAGASAWA

For the purpose of optimizing conditions during high temperature drying including temperature, humidity and air velocity distribution, of flat squares with pith of Todomatsu (*Abies sachalinensis* Masters) wood, the specimens (114(T) × 255(W) × 3,650(L) mm) were dried in a kiln. Furthermore, the effects of the variations in these conditions, and the extent of wetwood on the quality of the flat squares were investigated. The following results were obtained:

- 1) The variation in air velocity among the measured points was controlled because the sticker under the weight was thicker.
- 2) Temperature decline in the dry kiln was controlled to improve the stacking method.
- 3) Improvement of these conditions led to, on the whole, small surface check areas of specimens. However, specimens that had large check areas were also observed. Therefore, improvement of drying schedules is still necessary to improve the quality of flat squares with pith dried with high temperature drying.

Key words: high-temperature drying, wetwood, moisture distribution, airflow, check
高温乾燥, 水食い材, 水分傾斜, 風速, 割れ

トドマツ心持ち平角材の高温乾燥時における条件,たとえば温度や湿度,風速分布の最適化を目的に厚さ114×幅255×長さ3650mmの試験材を用いて,高温乾燥試験を行った。さらに,平角材の品質におよぼすこれらの条件のバラツキや水食いの程度の影響を評価した。得られた知見は,以下のとおりである。

- 1) 重錘直下の栈木厚さを厚くすることにより,測定点間の風速値のバラツキを抑制できた。
- 2) 栈積み条件を改善することにより,乾燥装置内の温度低下を抑制できた。
- 3) これらの条件の改善により,乾燥後の表面割れが少なくなった。しかしながら,表面割れが大きくなった試験材も認められた。そのため,高温乾燥を行う心持ち平角材の品質向上のためには,乾燥スケジュールの改善が必要である。

1. はじめに

著者らはこれまで、実大材を対象とした試験を行い、高温乾燥スケジュールの改善と高温乾燥装置内における温湿度と風速の適正条件を検討してきた¹⁻⁶⁾。その結果、積積みの際の重要な因子として「積木厚さ」、「列間隔」、「積積み側面から乾燥室壁面までの距離」が挙げられることが明らかとなってきた。

以下に前報⁵⁾の結果を示す。

風速値に関しては、積積み条件が適切な場合には、変動係数 0.10 以下の安定した風速分布が得られた。

乾燥装置内温度については、ファンの正転時および逆転時ともに、風下側では上段へ行くほど設定乾球温度に対する温度低下が大きいことがわかった。

表面割れや内部割れについては、心持ち正角材の試験⁶⁻⁸⁾と比較すると、水食いの程度にかかわらず割れ面積は大きかった。

本報では、以上の結果を踏まえ、トドマツ心持ち平角材の高温乾燥時における条件、たとえば温度や湿度、風速分布の最適化を目的に高温乾燥試験を行い、平角材の品質におよぼすこれらの条件のバラツキや水食いの程度の影響について報告する。

2. 試験方法

2.1 乾燥装置

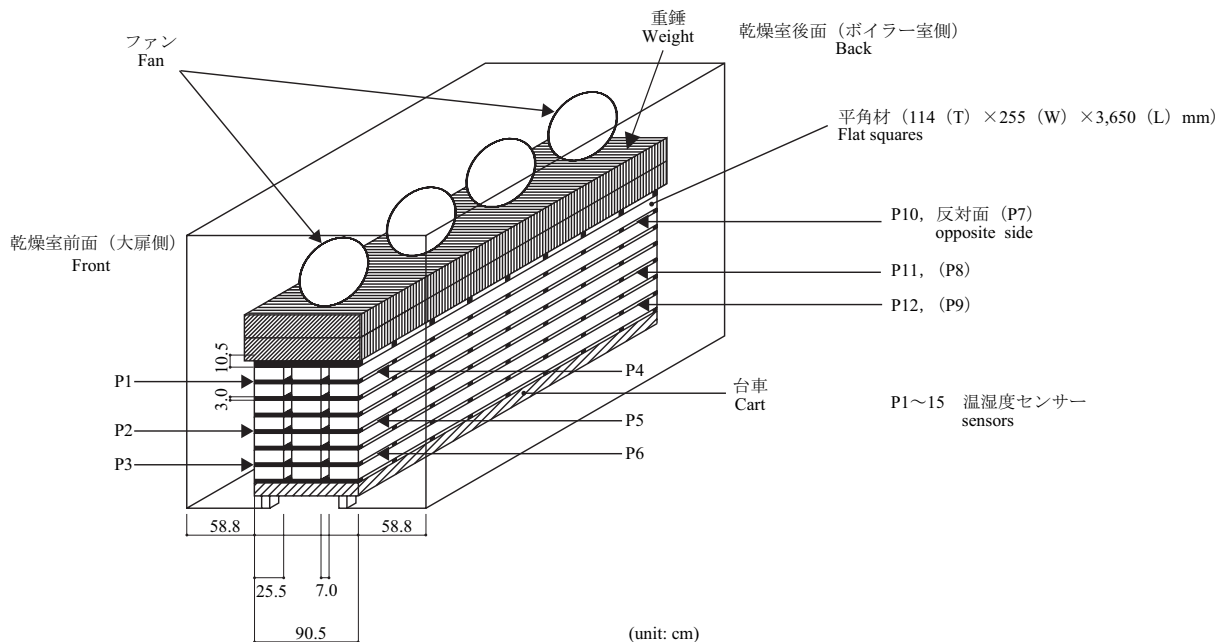
使用した人工乾燥装置は、アサヒ動熱製人工乾燥装置 AHX-20S (平成 8 年設置, 収容材積 5.6m³ (約 20 石), 幅 1.6 × 高さ 2.0 × 奥行 4.5m) である。

2.2 試験材と積積み条件

測定した材料は、第 1 図に示すトドマツ心持ち平角材である。乾燥中の含水率の目安とするためのサンプル材は、下から 3 段目の中央に置いた。前回の試験⁵⁾より積積み上段部分の温度変動を抑えるため⁶⁾、重錘直下の積木の厚さを 10.5cm とし、積積み段数を 8 段から 7 段へ変更した。乾燥前の含水率分布は第 2 図のとおりである。水食いの程度については、既報³⁻⁵⁾と同様に「なし」、「わずか」、「中程度」、「激しい」の 4 段階に分類した。

2.3 乾燥スケジュールと運転条件

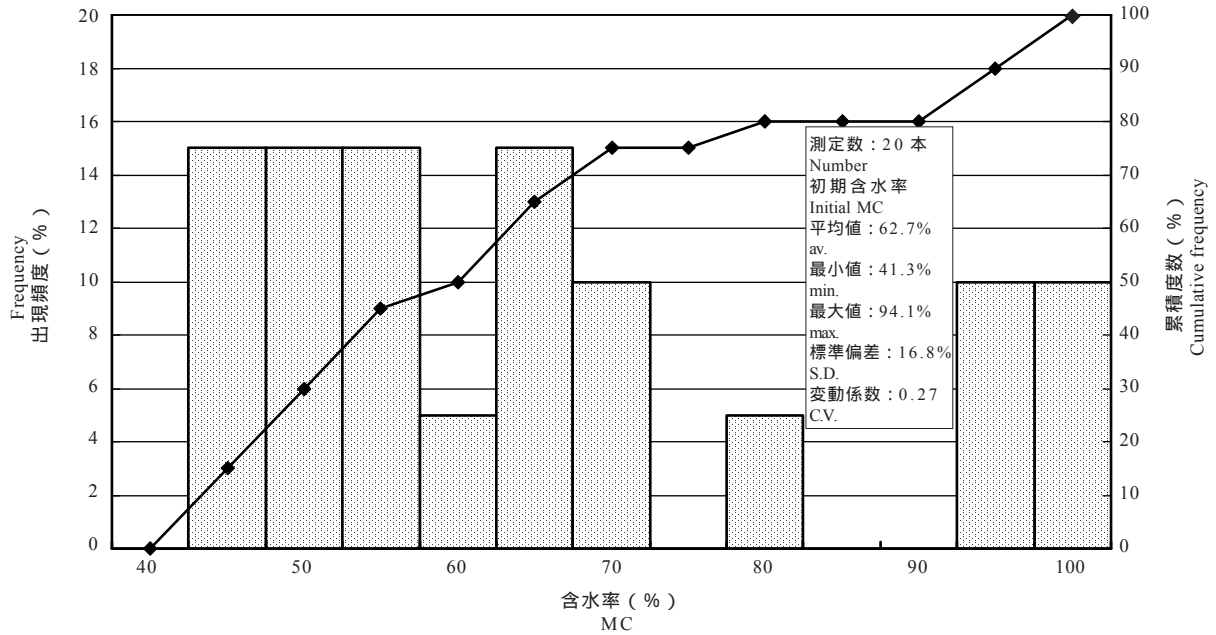
第 1 表に、既報の結果³⁻¹⁴⁾を参考にし、今回の試験で採用した乾燥スケジュールを示す。今回は内部割れを抑制するために、湿球温度を前報⁵⁾より高く設定した。仕上がり含水率は平均で 17% になるように設定した。今回の試験における灯油消費量は 479L



第 1 図 試験材の積積み

Fig. 1. The package piling of specimens.

注) P13 は積積み材上段中央に、P14 は積積み材下段中央に、P15 は積積み材の中心に取り付けた。
Note) P13 and P14 were attached to the middle of the upper and the lower level in the package piling, respectively. P15 was attached to the center of the package piling.



第2図 試験材の初期含水率分布

Fig. 2. Distribution of initial moisture content (MC) in specimens.

注) 累積度数は第2数値軸を使用した。

Note) Cumulative frequency was used as the second vertical axis.

第1表 高温乾燥スケジュール

Table 1. High temperature kiln-dry schedule.

段階	乾球温度	湿球温度	設定時間	循環ファンの 回転周波数	工程
Step	Dry bulb temperature ()	Wet bulb temperature ()	Time (h)	Frequency of fan (Hz)	Process
1	100	100	2	40	初期蒸煮 Pre-steaming
2	96	96	14	40	蒸煮 Steaming
3	120	98	8	50	昇温・乾燥 Rising temp. & Drying
4	105	85	20	40	乾燥 Drying
5	95	75	2	40	降温・乾燥 Dropping temp. & Drying
6	90	70	2	40	降温・乾燥 Dropping temp. & Drying
7	80	60	48	40	降温・乾燥 Dropping temp. & Drying
8	80	55	64	40	乾燥 Drying
9	-	-	48	-	冷却 Cooling

(乾燥時間は6日と16時間)であった。

2.4 風速測定

風速測定は、既報³⁻⁵⁾と同様に温湿度センサーを取り付けた測定点(第1図参照)にて行った。使用した機器は、日本科学工業(株)製アネモマスター MODEL24-6111である。

2.5 温湿度測定

温湿度センサーは乾燥室外部のデータロガーに接続し、1分間隔で測定した。各センサー設置場所は、既報³⁻⁵⁾と同様に計15か所である。

2.6 水分傾斜測定

高温乾燥後のすべての試験材について、1本あたり2か所の水分傾斜を測定した。木取り方法は、既報³⁻⁵⁾と同じである。水分傾斜試験体の木取りは乾燥直後、2か月後、4か月後の3回行った。乾燥後の養生場所は北海道立林産試験場内の直射日光や雨露の影響をほとんど受けない工場内であり、養生時期は平成16年12月~17年4月である。

2.7 割れおよび狂いの測定

乾燥後の試験材について、割れ(表面割れ・内部割れ)および狂い(ねじれ・縦ぞり・曲がり)の測定を既報^{3-5,15-19)}と同様にを行った。

3. 結果と考察

3.1 乾燥室内の風速

第2表に風速の測定結果をファンの設定周波数別に示す。全体を通して風速値の変動係数が0.12を超える変動幅の大きな測定点がなく、安定した風回りが実現されていることがわかった。

また、前報⁵⁾と比較して風上の風速値は低下したが、風上と風下の間や風下の風速値はそれほど低下せず、測定点間の風速値のバラツキが小さくなった。このことは重錘直下の棧木厚さを厚くすることによって棧積み上段部の風速変動が抑制されたことによる影響と推察される。

3.2 乾燥室内の温湿度

第1表における乾燥スケジュール段階3で得られた乾球温度、湿球温度、乾湿球温度差、相対湿度をファンの正転時、逆転時別に第3、4図に示す。

ファンの正転時および逆転時ともに、風上側での乾球温度は、棧積み上段・中段・下段にかかわらず、設定乾球温度120に対して、ほぼ設定どおりに推移していた。一方、風下側において乾球温度の平均値は、上段で114.6～116.3、中段で114.7～118.0、下段で117.1～119.1であり、上段へ行くほど設定温度に対する温度低下は大きくなる傾向であるが、その低下幅は前報⁵⁾のほぼ1/2に抑えることができた。この理由は、「大扉～棧積みとの間隔」と「乾燥室後壁～棧積みとの間隔」を等間隔にしたことや、重錘直下の棧木厚さを厚くしたことで、測定点間の風速値のバラツキが小さくなったことによるものと考えている。

3.3 試験材の含水率

乾燥後の仕上がり含水率分布は第5図のとおりである。仕上がり含水率の平均値は19.2%で、目標含水率より少し高めであった。仕上がり含水率20%以下となった試験材は20本中14本で、全体に対する比率は70%、北海道木材産業協同組合連合会が推奨している「北国のE-木材」の含水率基準²⁰⁾である17%以下となった試験材は20本中7本で、全体に対する比率は35%であった。

初期含水率と仕上がり含水率の関係は第6図のとおりである。今回採用した乾燥スケジュールを用いることを前提とすれば、仕上がり含水率を17%に設

定した場合は目安として初期含水率を55.0%以下、同じく20%に設定した場合は65.5%以下の製材を乾燥すればよいことになる。また、初期重量と仕上がり含水率の関係は第7図のとおりで、仕上がり含水率を17%に設定した場合は目安として初期重量を49.9kg以下、同じく20%に設定した場合は54.3kg以下の製材を乾燥すればよいこととなる。

3.4 試験材の水食い程度と割れ

第3表に、試験材の乾燥前後の含水率と水食いの程度および乾燥材の品質測定結果について示す。これまでの試験では、水食いの程度が同じであった場合、表面割れ面積は上段の試験体の方が大きくなる^{1,6)}傾向にあったので、7段目の表面割れ面積を5.4cm²に抑えられたことは評価できる。しかし、このときの初期含水率が少し低かったことや、7段目と同様に水食いの無かった4段目の表面割れ面積が大きくなったことから、今回の乾燥スケジュールには改善の余地があるものと考えられる。

3.5 試験材の水分傾斜

第4表に、人工乾燥後の平角材における水分傾斜の測定結果について示す。各段の試験体とも、人工乾燥後の時間が経過していくに連れて中心部と表層部の含水率値の幅は狭まっていき、水分傾斜は小さくなった。

水食いの程度が「中程度」または「わずか」であった場合には中心部の含水率は30%を超えており、平均値（水分傾斜試験体の全断面における含水率値）においても20%以上となった。2か月経過した時点では中心部の含水率は20%を超えているが、平均値においては16.5～19.2%であり、20%を下回ることができた。そして、4か月経過した時点では、水食いの程度が「中程度」の試験体以外は「北国のE-木材」の含水率基準²⁰⁾である平均含水率17%以下を達成できた。このことは、高温乾燥された正角材の養生条件である「春季～夏季で2か月、冬季で4か月以上」¹³⁻¹⁴⁾と合致している。したがって、水食いの程度が「中程度」の試験体以外は建築用構造材としての含水率基準をクリアするものと考えられる。

第8図に、平均含水率と水分傾斜の関係について示す。平均含水率が30%以下の場合においては、平均含水率と表層部および中心部の含水率とはそれぞ

第2表 乾燥室内風速の棧積み位置による比較

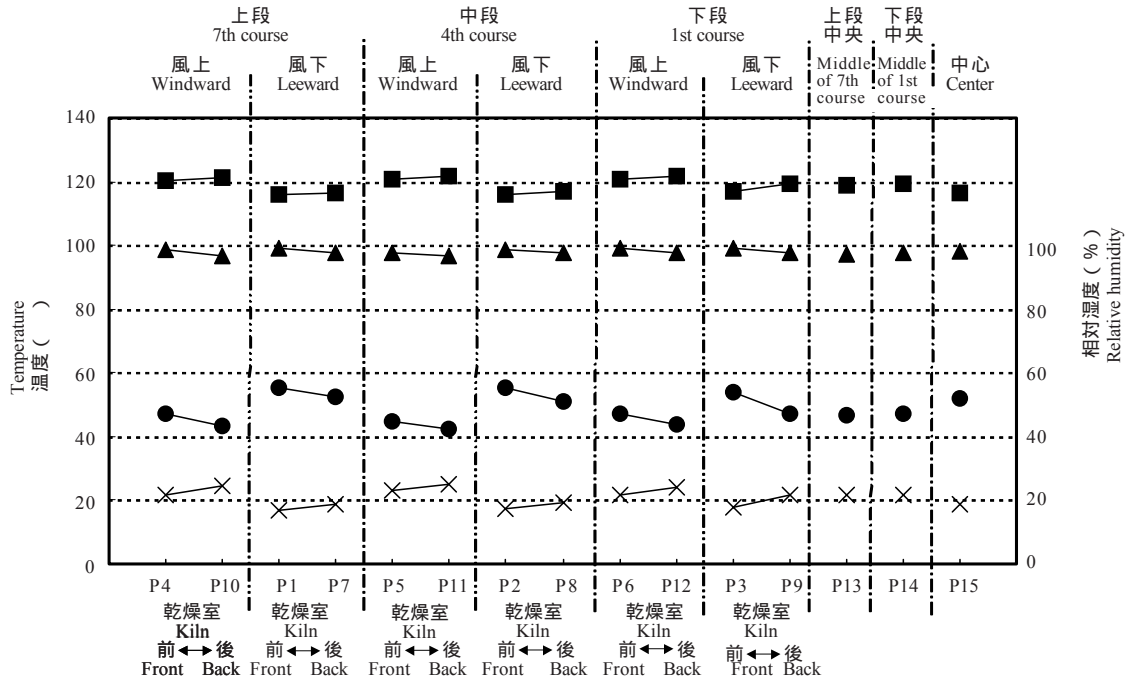
Table 2. Comparison of air velocity in the kiln between stacking positions.

循環ファンの回転周波数 = 40Hz Frequency of fan = 40Hz											
測定点 Measured points		風速 (正転) (m/s) Normal airflow				変動係数 C.V.	比較対象 Subject of comparison	風速 (逆転) (m/s) Reverse airflow			
		最小値 min.	最大値 max.	平均値 av.	最小値 min.			最大値 max.	平均値 av.	変動係数 C.V.	
主流 Main airflow		4.4	5.5	5.0	0.11	主流 Main airflow	4.5	5.6	5.1	0.11	
上段 7th course	風上 Windward	P 4 P 10	2.9 2.5	3.2 2.8	3.1 2.7	0.05 0.06	P 1 P 7	2.9 2.8	3.2 3.1	3.1 3.0	0.05 0.05
	中央 Middle of 7th course	P 13	2.3	2.5	2.4	0.04	P 13	2.3	2.6	2.5	0.06
	風下 Leeward	P 1 P 7	2.4 2.3	2.5 2.4	2.5 2.4	0.02 0.02	P 4 P 10	2.4 2.4	2.6 2.6	2.5 2.5	0.04 0.04
中段 4th course	風上 Windward	P 5 P 11	3.1 3.0	3.4 3.4	3.3 3.2	0.05 0.06	P 2 P 8	2.9 2.9	3.4 3.2	3.2 2.9	0.08 0.00
	中心 Center	P 15	2.3	2.5	2.4	0.04	P 15	2.4	2.6	2.5	0.04
	風下 Leeward	P 2 P 8	2.5 2.3	2.7 2.5	2.6 2.4	0.04 0.04	P 5 P 11	2.4 2.1	2.6 2.4	2.5 2.3	0.04 0.07
下段 1st course	風上 Windward	P 6 P 12	3.0 2.9	3.3 3.3	3.2 3.1	0.05 0.06	P 3 P 9	3.0 3.0	3.4 3.3	3.2 3.2	0.06 0.05
	中央 Middle of 1st course	P 14	2.3	2.5	2.4	0.04	P 14	2.4	2.6	2.5	0.04
	風下 Leeward	P 3 P 9	2.3 2.0	2.5 2.3	2.4 2.2	0.04 0.07	P 6 P 12	2.4 2.2	2.6 2.4	2.5 2.3	0.04 0.04

循環ファンの回転周波数 = 50Hz Frequency of fan = 50Hz											
測定点 Measured points		風速 (正転) (m/s) Normal airflow				変動係数 C.V.	比較対象 Subject of comparison	風速 (逆転) (m/s) Reverse airflow			
		最小値 min.	最大値 max.	平均値 av.	最小値 min.			最大値 max.	平均値 av.	変動係数 C.V.	
主流 Main airflow		5.6	6.7	6.2	0.09	主流 Main airflow	5.5	6.5	6.0	0.08	
上段 7th course	風上 Windward	P 4 P 10	3.5 3.3	3.9 3.7	3.7 3.5	0.05 0.06	P 1 P 7	3.5 3.1	3.9 3.5	3.7 3.3	0.05 0.06
	中央 Middle of 7th course	P 13	2.7	2.9	2.8	0.04	P 13	2.8	3.0	2.9	0.03
	風下 Leeward	P 1 P 7	2.4 2.4	2.7 2.7	2.6 2.6	0.06 0.06	P 4 P 10	2.7 2.7	2.9 2.9	2.8 2.8	0.04 0.04
中段 4th course	風上 Windward	P 5 P 11	3.7 3.6	4.1 4.0	3.9 3.8	0.05 0.05	P 2 P 8	3.5 3.2	3.9 3.6	3.7 3.4	0.05 0.06
	中心 Center	P 15	3.2	3.4	3.3	0.03	P 15	3.3	3.5	3.4	0.03
	風下 Leeward	P 2 P 8	2.6 2.5	2.9 2.8	2.8 2.7	0.05 0.06	P 5 P 11	2.8 2.6	3.0 2.8	2.9 2.7	0.03 0.04
下段 1st course	風上 Windward	P 6 P 12	3.8 3.5	4.3 3.9	4.1 3.7	0.06 0.05	P 3 P 9	3.7 3.3	4.2 3.8	4.0 3.6	0.06 0.07
	中央 Middle of 1st course	P 14	3.0	3.2	3.1	0.03	P 14	3.0	3.2	3.1	0.03
	風下 Leeward	P 3 P 9	2.8 2.6	3.1 2.9	3.0 2.8	0.05 0.05	P 6 P 12	2.9 2.8	3.1 3.0	3.0 2.9	0.03 0.03

注) 測定値は小数点第2位を四捨五入した。主流は、ファンから送られた風が乾燥室壁面に当たる前の風速を測定した。棧積み上面から重錘までの距離: 10.5cm, 棧積み側面から乾燥室壁面までの距離: 58.8cm, 棧積み幅: 90.5cm, 棧積み段数: 7段, 1段あたりの本数: 3本, 棧木厚: 3.0cm

Note) The measured values were rounded to one decimal places. The main airflow was measured for the air velocity before the airflow blew against the sidewall of the drying room. Distance from package piling to stacking weight: 10.5cm, Distance from package piling to sidewall of drying room: 58.8cm, Packing width: 90.5cm, Total stacking course: 7, Pieces of lumber/Course: 3, Sticker thickness: 3.0 cm



第3図 ファン正転時の乾燥室内での温湿度特性

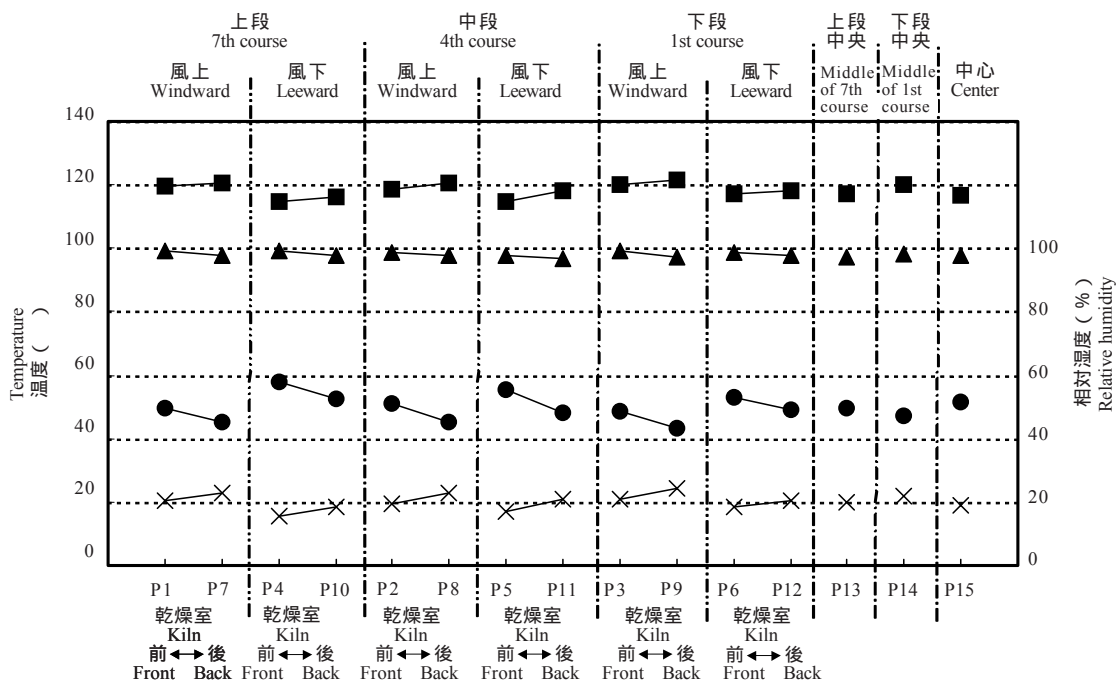
Fig. 3. Profiles of temperature and humidity in the kiln under normal airflow.

凡例) □ : 乾球温度, △ : 湿球温度, × : 乾湿球温度差, ○ : 相対湿度

注) 第2表の段階3におけるデータ

Legend) □ : Dry bulb temperature (DBT), △ : Wet bulb temperature (WBT), × : DBT-WBT, ○ : Relative humidity

Note) Plots in Fig. 3 were data obtained during step 3 in Table 2.



第4図 ファン逆転時の乾燥室内での温湿度特性

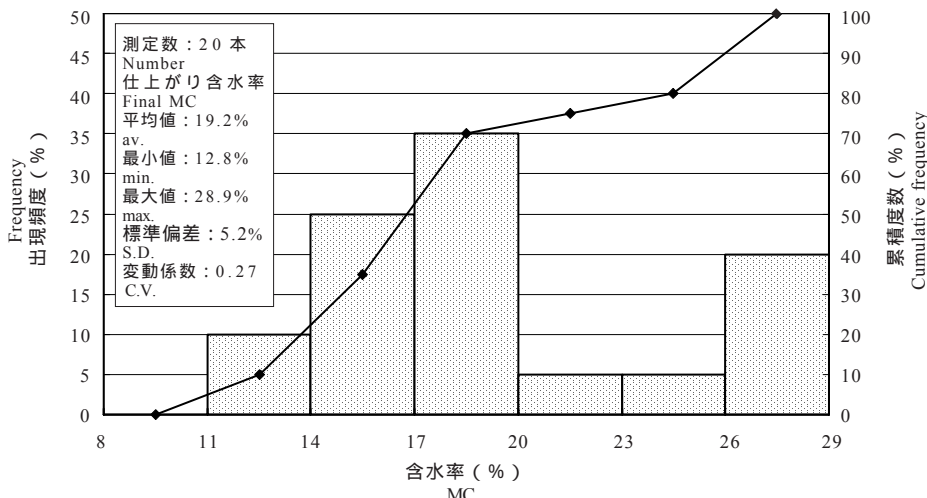
Fig. 4. Profiles of temperature and humidity in the kiln under reverse airflow.

凡例) 第3図参照

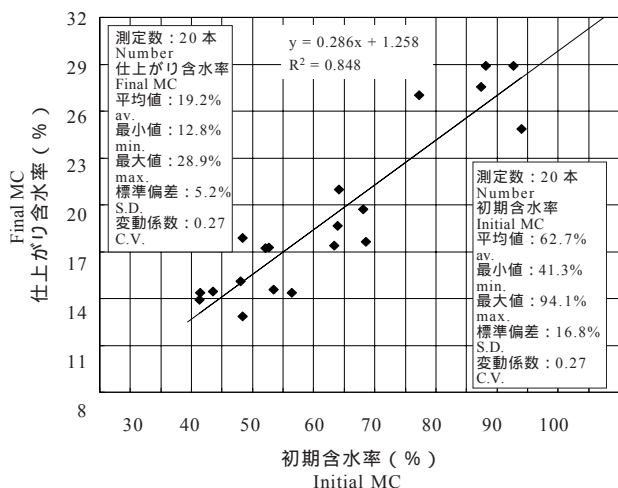
注) 第2表の段階3におけるデータ

Legend) See Fig. 3.

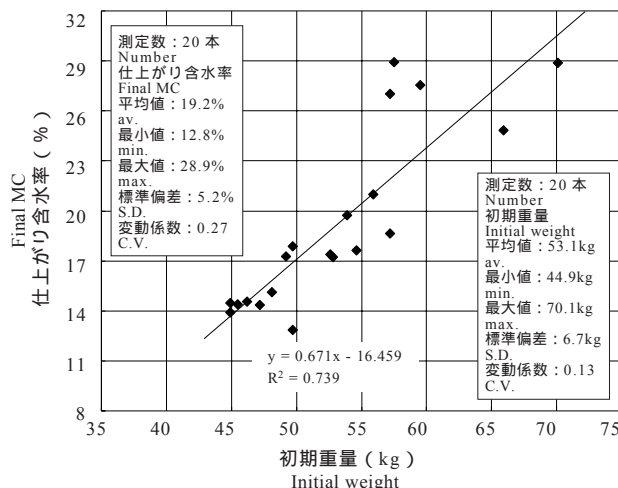
Note) Plots in Fig. 4 were data obtained during step 3 in Table 2.



第5図 試験材の仕上がり含水率分布
 Fig. 5. Distribution of final MC in specimens.
 注) 累積度数は第2数値軸を使用した。
 Note) Cumulative frequency was used as the second vertical axis.



第6図 初期含水率と仕上がり含水率の関係
 Fig. 6. Relation between initial MC and final MC.



第7図 初期重量と仕上がり含水率の関係
 Fig. 7. Relation between initial weight and final MC.

第3表 試験材の水食いの程度と乾燥材の品質

Table 3. The extent of wetwood and the quality of specimens after kiln-drying.

試験材の位置 Measured course	平均初期含水率 Av. of initial MC (%)	平均仕上含水率 Av. of final MC (%)	水食いの程度 ^{a)} 別本数 The number of specimens divided according to the extent of wetwood ^{a)}				表面割れ面積 Surface check area (cm ² /specimen)	内部割れ面積 Internal check area (cm ² /specimen)	ねじれ角度 Angle of twists		縦ざり矢高 Greatest deflection of bow (mm/3.65m)	曲がり矢高 Greatest deflection of crook (mm/3.65m)		
			なし none	わずか slight	中程度 middle	激しい hard			1面 1st surface (°/3.65m)	2面 2nd surface (°/3.65m)				
上段 Upper														
7段目 7th course	46.1	14.3	3	0	0	0	5.4	<0.1	1.9	1.8	1.0	0.3		
6段目 6th course	52.5	16.7	3	0	0	0	33.7	0.2	1.3	1.2	1.2	1.2		
5段目 5th course	76.2	25.2	0	3	0	0	20.2	0.1	1.1	1.0	1.3	1.0		
4段目 4th course	52.4	15.6	3	0	0	0	55.6	0.2	1.5	1.6	0.8	0.8		
3段目 3rd course	93.3	22.9	0	0	2	0	94.5	0.4	1.1	0.4	0.8	1.5		
下段 Lower														
2段目 2nd course	73.2	22.0	0	3	0	0	22.7	0.2	1.4	1.7	0.3	2.2		
1段目 1st course	55.1	16.1	3	0	0	0	25.4	0.2	2.2	2.5	1.8	0.8		
全体 The whole														
平均値 av.	62.7	19.2	小計 (本) Subtotal				平均値 av.	33.9	0.18	1.5	1.5	1.1	1.1	
最小値 min.	41.3	12.8	12	6	2	0	最小値 min.	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	
最大値 max.	94.1	28.9	出現頻度 Frequency (%)	60	30	10	0	最大値 max.	127.8	0.5	4.3	4.3	3.0	4.0
標準偏差 S.D.	16.8	5.2					標準偏差 S.D.	33.6	0.2	0.9	0.9	0.8	1.0	
変動係数 C.V.	0.27	0.27					変動係数 C.V.	0.99	1.00	0.59	0.60	0.76	0.93	

a) 水食いの程度は、次の4段階に分類した：なし、わずか、中程度、激しい。
 a) The extent of the wetwood was divided into the following classes: none, slight, middle, hard.

第4表 人工乾燥後の平角材における水分傾斜

Table 4. Moisture distribution of kiln-dried sawn flat squares.

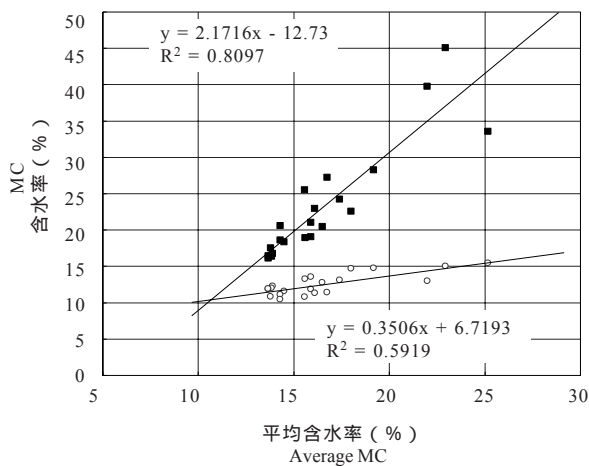
水食いの程度 ^{a)}	測定位置	水分傾斜試験の時期		含水率 (%)					
				MC					
Extent of wetwood ^{b)}	Measured points	The time of moisture distribution experiment		表層部	2層	3層	中心部	平均値 ^{b)}	
				Surface	Second layer	Third layer	Core	av. ^{b)}	
なし none	上段 Upper	7段目 7th course	乾燥直後	0 months after kiln-drying	10.5	15.6	19.2	20.6	14.3
			2か月後	2 months after kiln-drying	10.9	14.5	16.7	17.6	13.8
			4か月後	4 months after kiln-drying	12.0	14.1	15.9	16.5	13.7
なし none	6段目 6th course	乾燥直後	0 months after kiln-drying	11.4	18.5	24.3	27.3	16.7	
			2か月後	2 months after kiln-drying	11.9	17.0	19.8	21.1	15.9
			4か月後	4 months after kiln-drying	13.3	16.4	18.3	19.0	15.6
わずか slight	5段目 5th course	乾燥直後	0 months after kiln-drying	15.5	32.0	33.4	33.6	25.2	
			2か月後	2 months after kiln-drying	12.8	18.7	20.2	20.5	16.5
			4か月後	4 months after kiln-drying	11.9	14.3	15.7	16.2	13.7
なし none	4段目 4th course	乾燥直後	0 months after kiln-drying	10.8	16.6	22.0	25.6	15.6	
			2か月後	2 months after kiln-drying	11.1	15.1	17.5	18.7	14.3
			4か月後	4 months after kiln-drying	12.0	14.5	16.0	16.4	13.9
中程度 middle	3段目 3rd course	乾燥直後	0 months after kiln-drying	15.0	30.7	39.7	45.2	22.9	
			2か月後	2 months after kiln-drying	14.8	22.2	26.2	28.3	19.2
			4か月後	4 months after kiln-drying	14.7	19.3	21.7	22.6	18.0
わずか slight	2段目 2nd course	乾燥直後	0 months after kiln-drying	13.0	24.8	32.1	39.9	22.0	
			2か月後	2 months after kiln-drying	13.1	18.8	21.9	24.3	17.4
			4か月後	4 months after kiln-drying	13.5	16.8	18.6	19.1	15.9
なし none	下段 Lower	1段目 1st course	乾燥直後	0 months after kiln-drying	11.3	17.3	21.3	23.0	16.1
			2か月後	2 months after kiln-drying	11.6	15.0	17.4	18.4	14.5
			4か月後	4 months after kiln-drying	12.3	14.2	16.1	16.8	13.9

a) 第3表参照

b) 水分傾斜試験体の全断面における含水率値

a) See Table 3.

b) Moisture content measured on the cross section of moisture distribution specimens.



第8図 乾燥直後の平均含水率と水分傾斜の関係

Fig. 8. Relation between the average MC soon after kiln-drying and moisture distribution.

凡例) : 中心部, : 表層部

Legend) : Core, : Surface

れ直線的な相関関係にある¹⁴⁾。今回採用した乾燥スケジュールを用いることを前提とすれば、平均含水率を20%以下にするためには中心部を30.7%以下に、同じく17%以下にするためには中心部を24.2%以下に乾燥する必要がある。

4. おわりに

風速のバラツキや温湿度むらの少ない棧積み条件は得ることができたが、乾燥スケジュールには改善の余地があることが分かった。今回のような大きな断面で、初期含水率のバラツキが大きく、かつ心持ち材の乾燥は非常に難しいが、初期含水率や水食いの程度に応じて乾燥前に選別を行うことは、割れの少ない乾燥材を生産することや仕上がり含水率の均一化を図る上でこれまでの報告²²⁻²⁴⁾と同様に効果的と判断された。また、品質管理としては乾燥後の適切な養生により、水分傾斜をできるだけ小さくすることが必要である。

文 献

- 1) 伊藤洋一, 中畠厚: 林産試験場報, **15**(6), 8-17 (2001)
- 2) 伊藤洋一ほか3名: 林産試験場報, **16**(3), 7-15 (2002)
- 3) 伊藤洋一ほか3名: 林産試験場報, **16**(6), 7-15 (2002)
- 4) 伊藤洋一ほか4名: 林産試験場報, **17**(5), 16-26 (2003)
- 5) 伊藤洋一ほか4名: 林産試験場報, **18**(3), 23-32 (2004)
- 6) 北海道立林産試験場, エノ産業株式会社, 有限会社ランバースステムコンサル: “平成14年度共同研究報告書「蒸気式乾燥装置内の温湿度および風速分布の適正化」”, 1-37(2003)
- 7) 日本木材学会レオロジー研究会: “2001年度日本木材学会レオロジー研究会春のシンポジウム要旨集”, 3-13(2001)
- 8) 日本木材学会木材と水研究会: “平成13年度日本木材学会レオロジー研究会・木材と水研究会共催シンポジウム要旨集”, 9-19(2001)
- 9) 新住宅システム開発協同組合: “木材産業技術高度化促進事業報告書”, 23(2000)
- 10) 北海道立林産試験場: “平成8~9年度技術開発研究費補助事業成果普及講習会用テキスト - 木材高温乾燥の実用化技術の開発 - ”, 1-31(1997)
- 11) 北海道乾燥材普及協議会: “人工林材乾燥マニュアル”, 1-19(1999)
- 12) 中畠厚: 林産試だより, 12月号, 10-14(1999)
- 13) 北海道乾燥材普及協議会: “人工乾燥材生産マニュアル”, 1-21(2001)
- 14) 北海道乾燥材普及協議会: “乾燥材の生産テクニック”, 1-21(2002)
- 15) Milota, M.R., Boone, R.S., Danielson, J.D., Huber, D.W.: FPL-IMP-GTR-1, 1-50 (1991).
- 16) Milota, M.R.: *Forest Prod. J.*, **41**(9), 65-67 (1991).
- 17) Milota, M.R.: *Forest Prod. J.*, **42**(2), 57-60 (1992).
- 18) Simpson, W., Tschernitz, J.: *Wood Fiber Sci.*, **30**(2), 165-174 (1998).
- 19) 中畠厚, 土橋英亮: 林産試験場報, **16**(6), 1-6 (2002)
- 20) 北海道木材産業協同組合連合会: “北国のE-木材(道産乾燥材)安定供給方針”, 1-20(2001)
- 21) 日本木材学会事業委員会: “乾燥材問題を考える”, 35-40(2002)
- 22) 日本木材学会木材と水研究会: “平成14年度木材と水研究会シンポジウム要旨集”, 10-15(2002)
- 23) 木材乾燥低コスト化技術研究組合: “木材乾燥低コスト化技術研究成果報告書”, 77-113(2003)

- 技術部 製材乾燥科 -
(原稿受理: 05.08.11)