

蒸気式乾燥装置内の温湿度および風速分布の適正化(第5報)

- 心持ち平角材の実用化試験 -

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 (V)

- Test for practical application of flat squares with pith -

Youichi ITO

Atsushi NAKAJIMA

Hisashi OHSAKI

Eiji UENO

Takeshi NAGASAWA

Flat squares with pith, 114 (T) × 255 (W) × 3,650 (L)mm, of Todomatsu (*Abies sachalinensis* Masters) wood were dried in a kiln using high temperature drying schedules. The air velocity in the dry kiln, temperature and humidity of the kiln were measured. Uneven drying was evaluated and the effects of uneven drying and wetwood on characteristics of the flat squares were investigated. The following results were obtained:

- 1) By carrying out proper package piling of specimens, there was near uniformity of the air velocity and temperature distribution inside the dry kiln, because the difference in air velocity of the upper course, the middle course and the lower course was small.
- 2) Surface check area: When the extent of wetwood was middle or less, the surface check area per specimen was 22.0cm² or less; therefore it was small without hindrance to the practical use.
- 3) Honeycomb area: The honeycomb area per specimen was 0.1cm² or less; therefore, it was small without hindrance to use.
- 4) Moisture content (MC) after kiln-drying: When the extent of wetwood was middle or less, the MC standard as the structural lumber for architecture could be met.

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(厚さ114×幅255×長さ3650mm)を用いて,高温乾燥試験を行った。乾燥試験の直前には蒸気式乾燥装置内の風速分布を測定した。乾燥中には乾燥装置内の温湿度分布を測定した。また,温湿度むらや試験材の水食いの程度が,高温乾燥を行った平角材の品質に及ぼす影響について検討した。得られた知見は,以下のとおりである。

- 1) 適正な積みを行うことにより,積みの上・中・下段における風速値の差が小さくなり,乾燥装置内の風速および温度分布をほぼ均一化させることができた。
- 2) 表面割れについては,水食いの程度が「中程度」以下であれば,割れ面積は22.0cm²/本以下であり,実用上問題のない小さな値であった。

- 3) 内部割れについては, 0.1cm^2 /本またはそれ以下であり, 実用上問題のない小さな値であった。
- 4) 乾燥後の含水率については, 水食いの程度が「中程度」以下であれば, 建築用構造材としての含水率基準をクリアできる。

1. はじめに

著者らはこれまで, 実大材を対象とした乾燥試験を行い, 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, 棧積みの際の重要な因子として「棧木厚さ」, 「列間隔」, 「棧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⁶⁾の結果を示す。

重錘直下の棧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や乾燥装置内の温度低下を抑制できた。

表面割れについては既報⁵⁾よりも改善されたがその値は十分ではなく, 表面割れが大きくなった試験材もあったため, 乾燥スケジュールの改善が必要であった。

本報では, 以上の結果を踏まえ, 乾燥スケジュールの改善および乾燥装置内の温湿度むら抑制を目的として, トドマツ心持ち平角材の高温乾燥試験を行った。

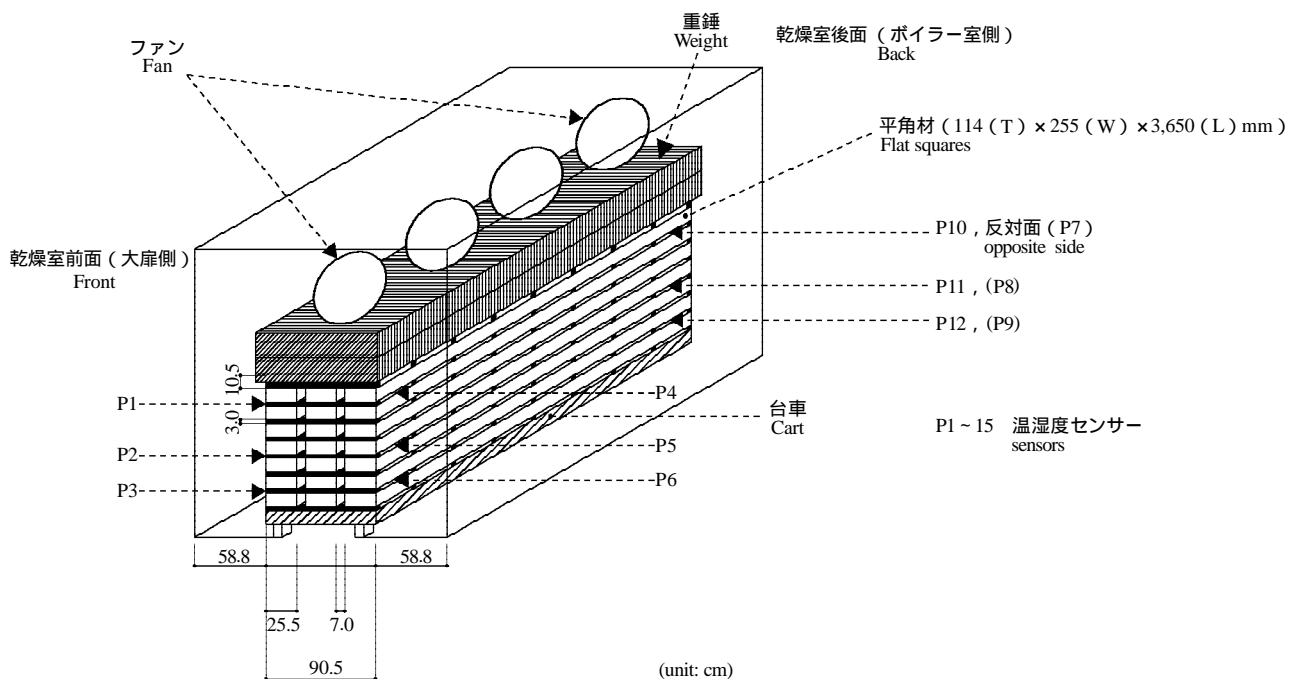
2. 試験方法

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 5.6m^3 (約 20 石)) である。

2.2 試験材と棧積み条件

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。前報⁶⁾と同様に, 棧積み上段部分の温度変動を抑えるた



第 1 図 試験材の棧積み

Fig. 1. The package piling of specimens.

注) P13 は棧積み材上段中央に, P14 は棧積み材下段中央に, P15 は棧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.

め、重錘直下の栈木の厚さを10.5cmとした。また、栈積みの際に栈木の上下配列を直線的にすることや栈木間の距離を正確に等間隔にすること、変形した栈木を使用しないこと、栈木の代わりにアルミ製角パイプをできるかぎり使うこと等の工夫を行った。

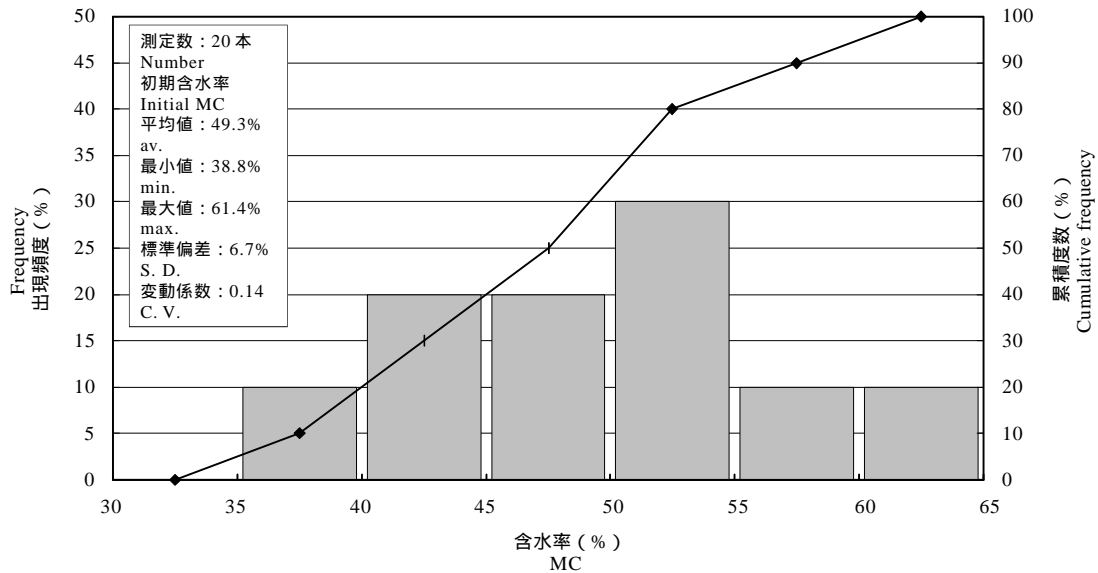
乾燥前の含水率分布は第2図のとおりである。水食いの程度については、既報³⁻⁶⁾と同様に「なし」、「わずか」、「中程度」、「激しい」の4段階に分類した。そして、各段の水食いの程度が同一になるよう栈積みした。

2.3 乾燥スケジュール

既報の結果⁶⁻¹³⁾を参考にし、今回の試験で採用し

た乾燥スケジュールを第1表に示す。今回は表面割れや内部割れをさらに抑制するために、段階3の乾燥温度120の時間を前報⁶⁾の半分の4時間に設定した。また、乾燥装置内の温湿度むらを少なくするため、循環ファンの回転周波数を50Hzに上昇させる工程を段階3および4に拡大した。加えて、段階3・4・7の時間を短縮したため、湿球温度がより低い段階8の設定時間を延長して、含水率の平均が目標仕上がり含水率17%になるように仕上げた。

今回の運転における灯油消費量は前報⁶⁾より88L少ない397L（運転時間は前報⁶⁾より26時間少ない5日と14時間）であった。



第2図 試験材の初期含水率分布

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

第1表 高温乾燥スケジュール

Table 1. High temperature kiln-dry schedule.

段階	乾燥温度	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	4	50	昇温・乾燥 Rising temp. & Drying
4	105	85	24	50	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	2	40	降温・乾燥 Dropping temp. & Drying
8	80	55	84	40	乾燥 Drying
9	-	-	48	-	冷却 Cooling

2.4 風速測定

風速測定は、既報³⁻⁶⁾と同様に温湿度センサーを取り付けた測定点(15か所)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

乾燥装置内の温湿度は、温湿度センサーを装置外部のデータロガーに接続し、30秒間隔で測定した。各センサー設置場所は、既報³⁻⁶⁾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。測定方法は、既報^{5-6,14)}と同じである。水分傾斜試験体の採取は乾燥直後、2か月後、4か月後の3回行った。乾燥後の養生場所は、直射日光や雨露の影響をほとんど受けない北海道立林産試験場の工場内とした。

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^{3-6,15-19)}と同様に行った。

3. 結果と考察

3.1 乾燥装置内の風速

第2表に風速の測定結果を循環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は最大0.08で、安定した風回りが実現されていることがわかった。

また、今回の試験では、循環ファンの周波数を40Hzに低下させた時でも風下側において平均値が2.3m/s以下となる点はなく、加えて、正転時、逆転時とも、上・中・下段の風速値の差は既報⁵⁾より小さくなっていた。これらのことから、今回の棧積み条件は前報⁶⁾と同様に風速分布の均一化に有効であるものと考えられる。

3.2 乾燥装置内の温湿度

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114.4～118.3℃、中段で115.5～118.0℃、下段で116.7～118.3℃であり、上・中・下段とも概ね同じ温度帯である。したがって、乾燥装置内温度の均一化が実現したものと考えられる。

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18.1%で、ほぼ目標含水率どおりであった。仕上がり含水率20%以下となった試験材は20本中17本で、全体に対する比率は85%、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8本で、全体に対する比率は40%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では、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46.4%以下に、同じく20%に設定した場合は54.6%以下の平角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52.3kg以下に、同じく20%に設定した場合は59.4kg以下の平角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、表面割れは上段の試験材の方が大きくなる^{1,7)}傾向にあったが、今回の試験では平均初期含水率が比較的高い下段部の試験材の表面割れが大きくなった。3.2により、温湿度むらは解消していることから、表面割れは初期含水率に依存するものと思われる。

また、水食いの程度が「中程度」である2段目の試験材の表面割れは22.0cm²/本であり、これまで実施した「中程度」の試験材における試験結果^{3-4,6)}では最も低い値に抑えることができていた。

内部割れについては、0.1cm²/本またはそれ以下であり、過去の試験結果と比較しても十分に小さい値であった^{4-6,21-22)}。

第2表 乾燥室内風速の積積み位置による比較

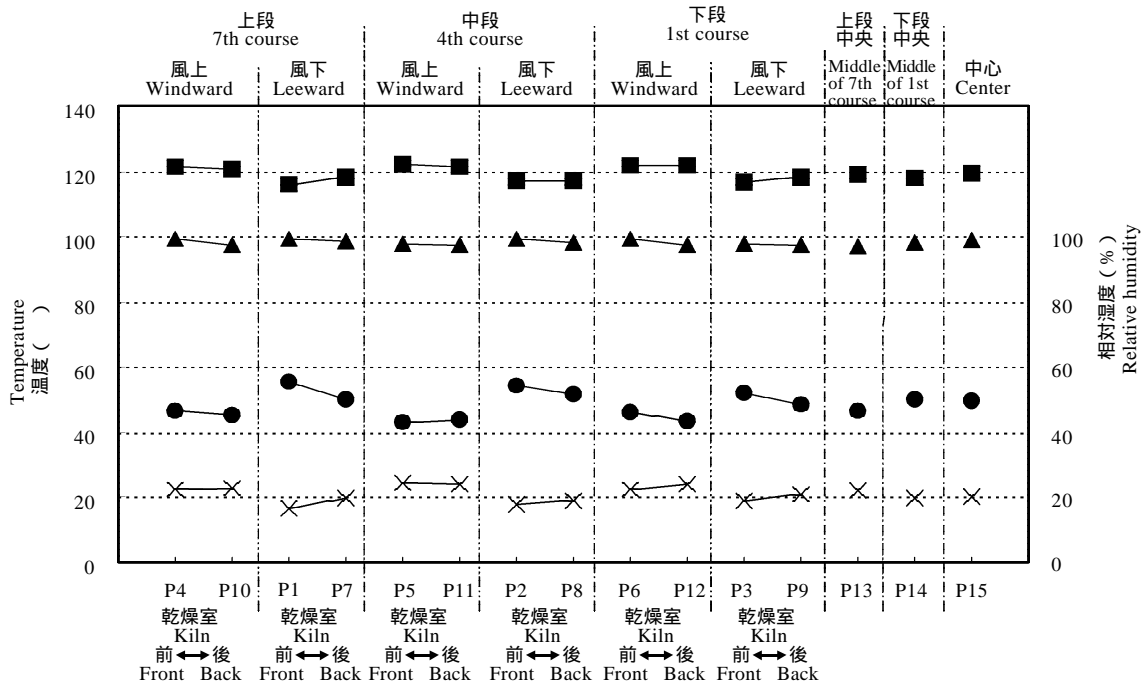
Table 2. Comparison of air velocity in the kiln between stacking positions.

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		5.0	5.6			5.3	0.06	主流 Main airflow	5.0
上段 7th course	風上 Windward	P 4	3.1	3.4	3.3	0.05	P 1	2.7	3.0	2.9	0.05
		P 10	2.6	2.9	2.8	0.05	P 7	2.8	3.1	3.0	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
7th course	風下 Leeward	P 1	2.4	2.6	2.5	0.04	P 4	2.4	2.6	2.5	0.04
		P 7	2.2	2.4	2.3	0.04	P 10	2.4	2.7	2.6	0.06
	風上 Windward	P 5	3.1	3.4	3.3	0.05	P 2	3.0	3.5	3.3	0.08
中段 4th course		P 11	3.1	3.4	3.3	0.05	P 8	2.9	3.2	3.1	0.05
	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	2.4	2.6	2.5	0.04	P 5	2.4	2.6	2.5	0.04
4th course		P 8	2.3	2.5	2.4	0.04	P 11	2.4	2.7	2.6	0.06
	風上 Windward	P 6	3.0	3.3	3.2	0.05	P 3	3.0	3.4	3.2	0.06
		P 12	2.9	3.3	3.1	0.06	P 9	3.0	3.3	3.2	0.05
下段 1st course	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	2.3	2.5	2.4	0.04	P 6	2.4	2.6	2.5	0.04
		P 9	2.3	2.5	2.4	0.04	P 12	2.5	2.8	2.7	0.06

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		6.1	7.0			6.6	0.07	主流 Main airflow	6.2
上段 7th course	風上 Windward	P 4	3.5	3.9	3.7	0.05	P 1	3.3	3.7	3.5	0.06
		P 10	3.3	3.6	3.5	0.04	P 7	3.5	3.9	3.7	0.05
	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
7th course	風下 Leeward	P 1	2.4	2.7	2.6	0.06	P 4	2.7	2.9	2.8	0.04
		P 7	2.4	2.7	2.6	0.06	P 10	2.7	2.9	2.8	0.04
	風上 Windward	P 5	3.7	4.1	3.9	0.05	P 2	3.3	3.6	3.5	0.04
中段 4th course		P 11	3.6	4.0	3.8	0.05	P 8	3.5	3.9	3.7	0.05
	中心 Center	P 15	3.0	3.2	3.1	0.03	P 15	3.3	3.5	3.4	0.03
	風下 Leeward	P 2	2.6	2.9	2.8	0.05	P 5	2.8	3.0	2.9	0.03
4th course		P 8	2.4	2.7	2.6	0.06	P 11	2.9	3.1	3.0	0.03
	風上 Windward	P 6	3.9	4.2	4.1	0.04	P 3	3.3	3.8	3.6	0.07
		P 12	3.5	3.9	3.7	0.05	P 9	3.5	4.0	3.8	0.07
下段 1st course	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	2.7	3.0	2.9	0.05	P 6	2.9	3.2	3.1	0.05
		P 9	2.6	2.9	2.8	0.05	P 12	3.1	3.3	3.2	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。積積み上面から重錘までの距離：10.5cm、積積み側面から乾燥室壁面までの距離：58.8cm、積積み幅：90.5cm、積積み段数：7段、1段あたりの本数：3本、積木厚：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

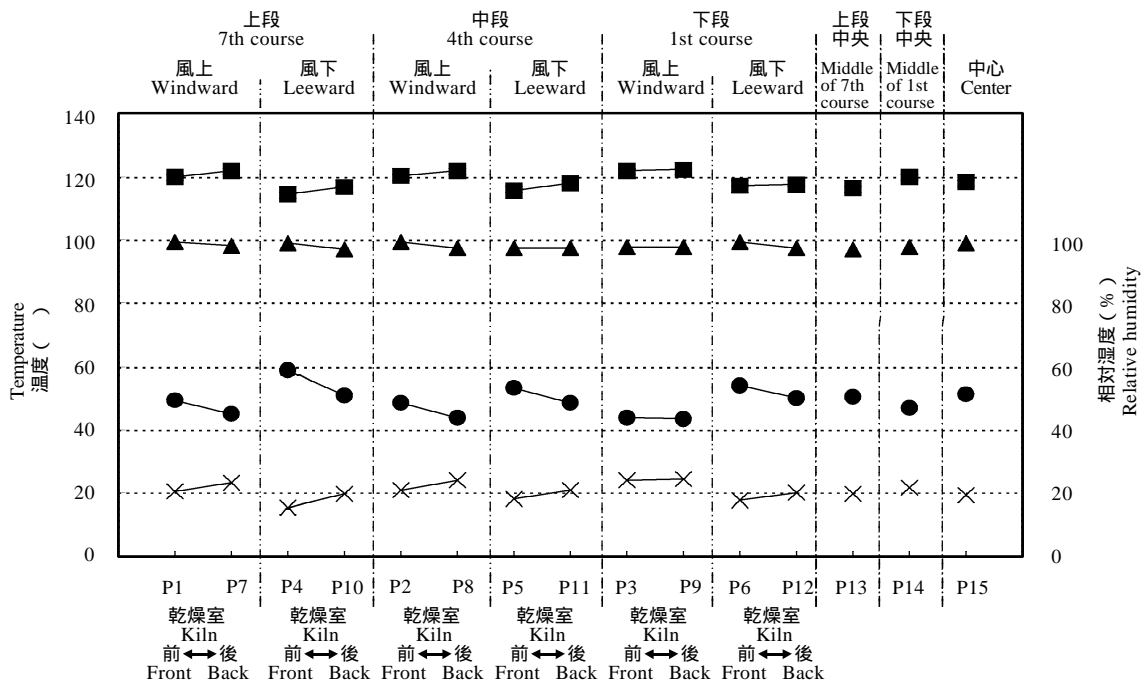


第3図 ファン正転時の乾燥室内での温湿度特性

凡例) □ : 乾球温度, △ : 湿球温度, ○ : 乾湿球温度差, × : 相対湿度
 注) 第1表の段階3におけるデータ

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

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 1.



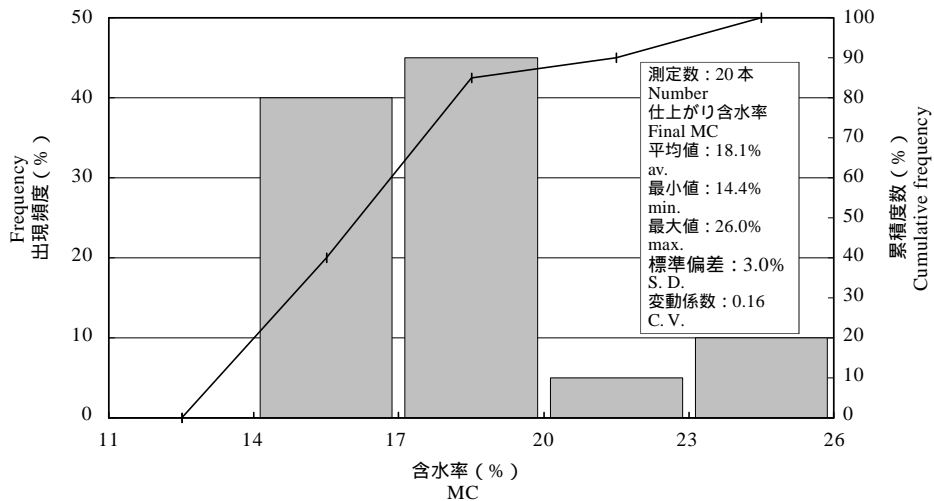
第4図 ファン逆転時の乾燥室内での温湿度特性

凡例) 第3図参照
 注) 第1表の段階3におけるデータ

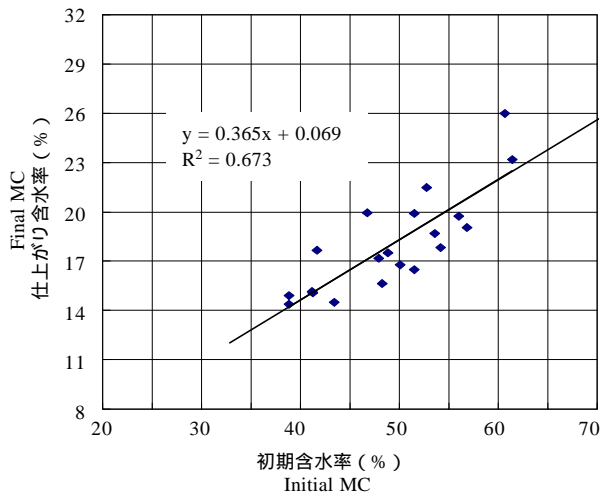
Fig. 4. Profiles of temperature and humidity in the kiln under reverse airflow.

Legend) See Fig. 3.

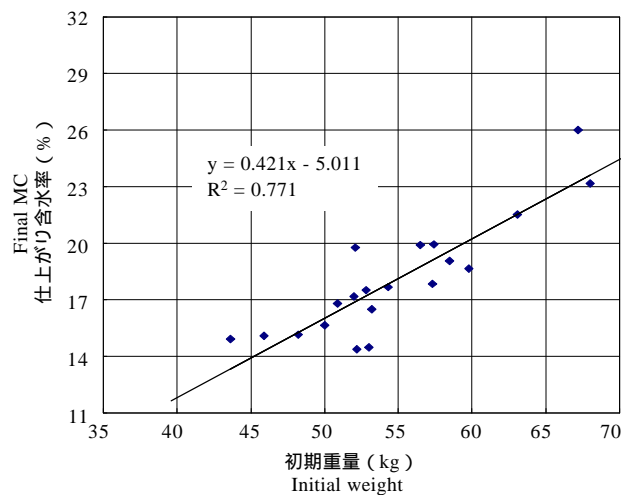
Note) Plots in Fig. 4 were data obtained during step 3 in Table 1.



第5図 試験材の仕上がり含水率分布
Fig. 5. Distribution of final MC in specimens.



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 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		縦ぞり矢高 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 7段目 7th course	45.2	16.4	0	3	0	0	13.6	0.1	0.9	0.8	1.8	0.8
Upper 6段目 6th course	42.8	15.2	3	0	0	0	14.6	0.1	1.4	0.8	2.5	0.8
5段目 5th course	49.1	17.2	0	3	0	0	13.6	<0.1	1.2	0.8	1.3	1.0
4段目 4th course	46.7	18.0	0	3	0	0	10.1	<0.1	1.0	1.1	1.8	0.8
3段目 3rd course	47.5	18.1	0	2	0	0	14.2	<0.1	0.7	1.5	0.0	0.5
下段 2段目 2nd course	59.6	22.7	0	0	3	0	22.0	0.1	0.4	0.9	1.3	0.3
Lower 1段目 1st course	53.5	19.3	0	3	0	0	21.2	0.1	0.7	0.9	1.3	0.7
全体 The whole	平均値 av. 49.3 最小値 min. 38.8 最大値 max. 61.4 標準偏差 S.D. 6.7 変動係数 C.V. 0.14	18.1 14.4 26.0 3.0 0.16	小計(本) Subtotal 3 14 3 0 出現頻度 Frequency (%) 15 70 15 0				平均値 av. 16.6 最小値 min. 4.7 最大値 max. 28.5 標準偏差 S.D. 6.3 変動係数 C.V. 0.38	0.05 0.0 0.1 0.77	0.9 0.1 2.4 0.70	0.9 0.2 1.8 0.51	1.5 0.0 3.5 0.61	0.7 0.0 2.0 0.89

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.

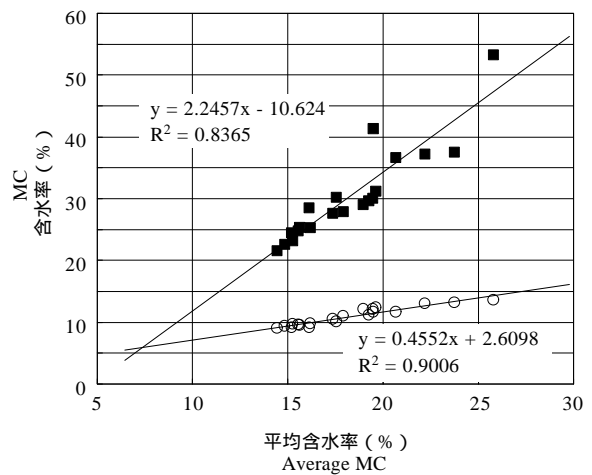
水食いの程度 ^{a)}	測定位置	水分傾斜試験の時期	含水率 (%)						
			MC						
			表層部	2層	3層	中心部	平均値 ^{b)}		
Extent of wetwood ^{a)}	Measured points	The time of moisture distribution experiment	Surface	Second layer	Third layer	Core	av. ^{b)}		
わずか slight	上段 Upper	7段目 7th course	乾燥直後	0 months after kiln-drying	9.8	18.5	23.5	26.1	16.2
			2か月後	2 months after kiln-drying	10.4	16.6	18.6	20.0	15.0
			4か月後	4 months after kiln-drying	12.1	15.9	17.0	18.0	14.6
なし none		6段目 6th course	乾燥直後	0 months after kiln-drying	9.5	17.4	22.5	24.9	15.5
			2か月後	2 months after kiln-drying	10.1	15.3	18.2	19.4	14.4
			4か月後	4 months after kiln-drying	11.9	14.5	16.8	17.6	14.0
わずか slight		5段目 5th course	乾燥直後	0 months after kiln-drying	10.9	19.9	24.6	27.3	17.4
			2か月後	2 months after kiln-drying	11.2	17.3	20.4	21.2	15.8
			4か月後	4 months after kiln-drying	12.1	16.4	19.0	19.2	15.2
わずか slight		4段目 4th course	乾燥直後	0 months after kiln-drying	10.6	20.6	27.1	31.0	18.2
			2か月後	2 months after kiln-drying	11.0	17.3	21.6	24.1	16.2
			4か月後	4 months after kiln-drying	12.3	16.2	19.8	21.7	15.6
わずか slight		3段目 3rd course	乾燥直後	0 months after kiln-drying	10.4	18.6	24.4	31.4	17.0
			2か月後	2 months after kiln-drying	10.8	15.5	19.1	21.6	14.9
			4か月後	4 months after kiln-drying	12.1	14.5	17.3	18.3	14.2
中程度 middle		2段目 2nd course	乾燥直後	0 months after kiln-drying	12.7	26.3	34.6	40.2	22.9
			2か月後	2 months after kiln-drying	12.6	19.3	25.3	31.6	18.3
			4か月後	4 months after kiln-drying	12.6	17.0	22.2	28.7	16.8
わずか slight	下段 Lower	1段目 1st course	乾燥直後	0 months after kiln-drying	12.5	23.1	28.9	32.1	20.2
			2か月後	2 months after kiln-drying	12.3	16.6	19.8	21.4	15.7
			4か月後	4 months after kiln-drying	12.3	14.4	16.8	17.8	14.2

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.

3.5 試験材の水分傾斜

測定結果について、第4表に人工乾燥後の水分傾斜を、第8図に乾燥直後の平均含水率と水分傾斜の関係について示す。各段の試験体とも、人工乾燥後の時間経過に伴って中心部と表層部の含水率差は小さくなっていく。

人工乾燥直後の水分傾斜については、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%を超えている場合があり、そのときの平均値は20%前後となっている。2か月経過した時点では、水食いの程度が「なし」および「わずか」であるの試験材については、「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。そして、4か月経過した時点では、すべての試験材で平均含水率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」¹²⁻¹³⁾と合致している。したがって、水食いの程度が「中程



第8図 乾燥直後の平均含水率と水分傾斜の関係
凡例) : 中心部, : 表層部
Fig. 8. Relation between the average MC soon after kiln-drying and moisture distribution.
Legend) : Core, : Surface

度」以下で、かつ養生期間が適正であれば、平角材でも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。

4. おわりに

トドマツ心持ち平角材の高温乾燥において、乾燥スケジュールを改善し、適正な棧積み条件を設定することによって、乾燥装置内の風速および温湿度をほぼ適正に制御させることができた。また、今回採用した乾燥条件によって、水食いの程度が「中程度」以下の材であれば、従来の高湿乾燥条件に比べて、乾燥後の割れや含水率のバラツキを大きく減少させることができた。

今後は、乾燥前の重量選別²³⁻²⁵⁾を行うことにより、水食いの程度が「激しい」と判定された材の乾燥条件を検討することや、工場での実働ラインに適した重量選別方法を検討することが残された課題と考えている。

文 献

- 1) 伊藤洋一，中島厚：林産試験場報 **15**(6)，8-17 (2001)。
- 2) 伊藤洋一，中島厚，中川伸一，幡多輝昭：林産試験場報 **16**(3)，7-15(2002)。
- 3) 伊藤洋一，中島厚，中川伸一，幡多輝昭：林産試験場報 **16**(6)，7-15(2002)。
- 4) 伊藤洋一，中島厚，大崎久司，上野英治，長澤岳志：林産試験場報 **17**(5)，16-26(2003)。
- 5) 伊藤洋一，中島厚，大崎久司，上野英治，長澤岳志：林産試験場報 **18**(3)，23-32(2004)。
- 6) 伊藤洋一，中島厚，大崎久司，上野英治，長澤岳志：林産試験場報 **19**(3)，13-21(2005)。
- 7) 北海道立林産試験場，エノ産業株式会社，有限会社ランバーシステムコンサル：“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」”，2003 pp.1-37。
- 8) 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”，2000 p.23。
- 9) 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 - ”，1997 pp.1-31。
- 10) 北海道乾燥材普及協議会：“人工林材乾燥マニュアル”，1999 pp.1-19。
- 11) 中島厚：林産試だより 12月号，10-14(1999)。
- 12) 北海道乾燥材普及協議会：“人工乾燥材生産マニュアル”，2001 pp.1-21。
- 13) 北海道乾燥材普及協議会：“乾燥材の生産テクニック”，2002 pp.1-21。
- 14) 中島厚，土橋英亮：林産試験場報 **17**(2)，1-5 (2003)。
- 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) 中島厚，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”，2001 pp.1-20。
- 21) 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，東京，2001 pp.3-13。
- 22) 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，京都，2001 pp.9-19。
- 23) 日本木材学会事業委員会：“乾燥材問題を考える”，2002 pp.35-40。
- 24) 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，京都，2002，pp.10-15。
- 25) 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”，2003 pp.77-113。

- 技術部 製材乾燥科 -
(原稿受理：06.5.29)