

蒸気式乾燥装置内の温湿度
および風速分布の適正化（第2報）
- 心去り平角材の棧積み条件 -

伊藤 洋一 中 篤 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 (II)
- Stacking-method of flat squares without pith -

Youichi ITO Atsushi NAKAJIMA Hisashi OHSAKI
Eiji UENO Takeshi NAGASAWA

Flat squares without pith, 112(T)× 160(W) × 3,650(L) mm, of todomatsu (*Abies sachalinensis* Masters) wood were dried in a kiln using high-temperature drying schedules. After air velocity was measured in the dry kiln, temperature and humidity were measured to evaluate their characteristics in kiln drying. The effects of differences of temperature between measured points in the dry kiln, the extent of wetwood and initial moisture content (MC) on quality of flat squares were evaluated. The following results were obtained:

1) When "sticker thickness", "spacing" and "distance from the package piling to the sidewall of the drying room" on stacking were suitably set up, there was no marked difference of temperature between measured points in the steam dry kiln. Therefore, it was possible to control it with high accuracy.

2) Coefficient of variation of air velocity: Under the proper stacking conditions, there were few points where a marked change of 0.20 or over was measured. Therefore, on the whole, the circulation of airflow in the steam dry kiln was stable.

3) Final MC: The average final MC in specimens was 23.8%. This was a little higher than the target MC (20%). The number of specimens with 20% MC and under was 16 of 39; therefore the ratio to the whole was about 41%. The extent of wetwood and initial MC had more influence.

4) Surface check area: When the extent of wetwood was equal, regardless of the position in the package piling, it was the approximately equal. When the extent of wetwood was slight or none, the surface check area was sufficiently small to use.

5) Honeycomb area: The honeycomb area per specimen was 0.05-0.16cm²; therefore it was sufficiently small to use.

6) Moisture distribution: When the extent of wetwood was middle, specimens were not sufficiently dry to the core. Therefore, the moisture distribution of kiln-dried flat squares was marked.

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

トドマツ心去り平角材（厚さ112×幅160×長さ3,650mm）を用いて、高温乾燥試験を行った。高温乾燥の開始前には蒸気式乾燥装置内の風速測定を行った。高温乾燥中には乾燥室内の温湿度を測定し、温湿度むらや試験材の水食いの程度および初期含水率が、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) 棧積み時に「棧木厚さ」、「列間隔」、「棧積み側面から乾燥室壁面までの距離」を適正に設定することで乾燥室内の温度むらがほぼ解消され、精度の高い制御ができた。
- 2) 適正な棧積み条件の下では、風速値の変動係数が0.20を越える変動幅の大きな測定点はほとんどなく、全体的に安定した風回りが実現されていた。
- 3) 仕上がり含水率の平均値は23.8%で、目標含水率（20%）よりやや高めであった。仕上がり含水率が20%以下となった試験材は39本中16本で、全体に対する比率は約41%である。また、仕上がり含水率は、初期含水率および水食いの程度の影響を強く受けていた。
- 4) 表面割れ面積については、水食いの程度が同じであれば、棧積み位置にかかわらず、ほぼ同等となった。また、水食いの程度が「わずか」あるいは「なし」の場合には、表面割れ面積は十分に小さい値である。
- 5) 内部割れ面積については、0.05～0.16cm²/本であり、十分に小さい値である。
- 6) 水分傾斜については、水食いの程度が「中程度」であった場合には、材の中心まで十分に乾燥されていないことから、水分傾斜は大きくなった。

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⁾²⁾。その結果、棧積み時における条件として「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わかった。心持ち正角材を対象とした場合には、棧木厚さは30mm、列間隔は5cm以上、棧積み側面から乾燥室壁面までの距離は40～60cmが推奨されることがわかっている。

また、前報³⁾では、トドマツ心去り平角材の高温乾燥について、主として以下のことが明らかとなっている。

①乾燥室の高さ方向においては、上段に比べて中・下段の測定点の乾球温度が高くなる傾向にある。これにより、風上側の中・下段測定点の相対湿度は比較的低くなっている。

②乾燥室の幅方向については、ファンの正転時、逆転時とも風上にあたる点の乾球温度が高くなり、相対湿度は低くなる。また、風上側～中央間での温度低下は、中央～風下側間の温度低下より大きい。

③風速に関しては、棧積み幅方向の風速分布を一定にするために、棧木厚さを厚くする必要があると考えられる。

④水分傾斜に関しては、水食いの程度が「わずか」である試験材についても、中心部の含水率は30%前後と高く、水分傾斜は比較的高い。

⑤割れ面積に関しては、風速よりも水食いの程度の影響が大きい。

本報では、以上の結果を踏まえ、乾燥室内の風速および温湿度むらや、試験材の水食いの程度および初期含水率が、高温乾燥を行ったトドマツ心去り平角材の品質に及ぼす影響について検討した。

2. 試験方法

2.1 乾燥装置

使用した人工乾燥装置は、林産試験場所有の人工乾燥装置 AHX-20S（アサヒ動熱製、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

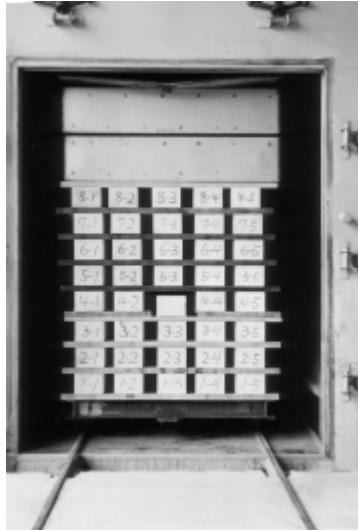
測定した材料は、第1表および第1図に示すトドマツ心去り平角材である。乾燥前の含水率分布は第2図のとおりである。今回の試験では、水食いの程度に応じて、「なし」「わずか」「中程度」「激しい」の4段階に分類した。分類については、製材直後の重量をもとに、目視による判定も加味して実施した。

第1表 トドマツ試験材の寸法と積り方

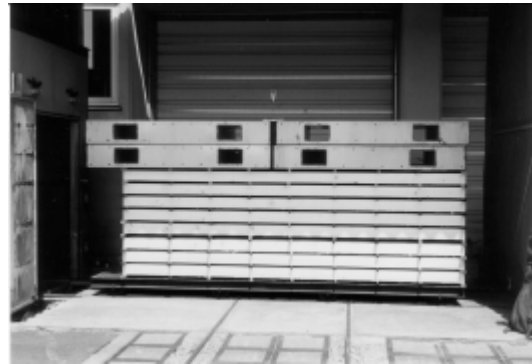
Table 1. Size and stacking-method of todomatsu (*Abies sachalinensis* Masters) specimens.

試験材寸法(mm) Size of specimens (厚×幅×長) (T×W×L)	積り時の列間隔 Spacing (cm)	1段あたりの本数 Pieces of lumber/Course (本)	総本数 Total (本)
112×160×3,650	6.5	5	40

注) 積り幅: 106cm, 積り段数: 8段, 重錘量: 約5.2トン, 積り厚: 3.0cm, 積り側面から乾燥室壁面までの距離: 48cm
 Note) Packing width: 106cm; Total stacking course: 8; Total stacking weights: 5.2 t; Sticker thickness: 3.0 cm; Distance from package piling to sidewall of drying room: 48cm



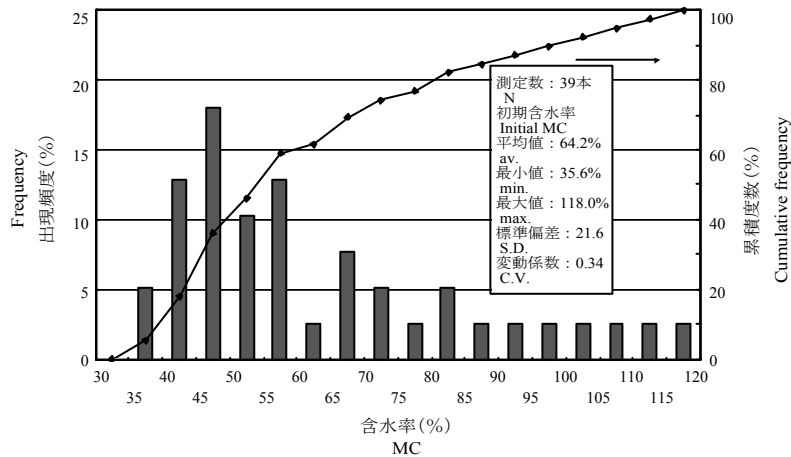
(a)正面
Front view



(b)側面
Side view

第1図 試験材の積り

Fig. 1. The package piling of specimens.



第2図 試験材の初期含水率分布

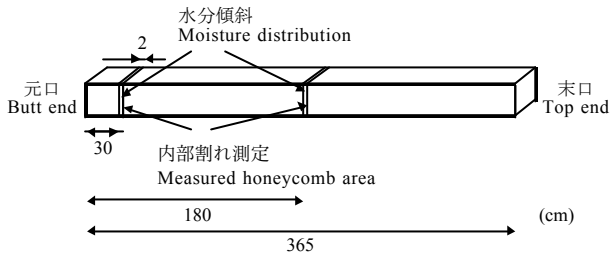
Fig. 2. Distribution of initial moisture content (MC) in specimens.

2.3 乾燥スケジュールと運転条件

第2表に, 今回の試験で採用した乾燥スケジュールを示す⁶⁽¹⁰⁾. 仕上がり含水率は平均で20%になるように設定した. 今回の運転における灯油消費量は559ℓ

(運転時間は5日と22時間)であった.

乾燥室内の循環ファンの運転は, 正転で1時間動作の後, 約1分停止し, 逆転で1時間動作の後, 約1分停止することを繰り返すように設定した. また, 循環ファ



第5図 水分傾斜試験体と内部割れ測定

注)内部割れは末口側の木口面を測定

Fig. 5. Specimens of moisture distribution experiment and honeycomb area.

Note) Honeycomb area was measured on the cross section of top end side.

2.8 狂いの測定

狂いについては、高温乾燥の前後に測定を行った。ねじれは、隣接2材面(木口長辺および短辺)の材長に対するねじれ角度を角度計で測定した。縦ぞりは、木口長辺側の中央矢高を0.5mm単位で測定した。曲がり、木口短辺側の中央矢高を0.5mm単位で測定した¹²⁻¹³⁾。

3. 結果と考察

3.1 温湿度の評価

第3表に乾燥スケジュール段階3(第2表)で得られた乾球温度、湿球温度、乾湿球温度差、相対湿度に関する数値の一覧をファンの正転時、逆転時別に示す。また、第6図、第7図に段階3での乾球温度、湿球温度、乾湿球温度差、相対湿度の平均値をファンの正転時、逆転時別に示す。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、栈積み上段・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。風下側においては、乾球温度の平均値で、上段では114.6~117.6℃、中段では115.7~118.0℃、下段で1182~1185℃であり、上段部の設定温度に対する温度低下がやや大きくなった。しかし、この温度低下は、過去に測定してきた数値¹⁻³⁾と比べて小さくなっており、今回の試験では精度の高い制御ができたと言える。したがって、設定した栈積み条件が適正であったことがわかった。

3.2 乾燥室内の風速について

第4表に風速の測定結果をファンの設定周波数別に示す。共通して言えることとして、風速の変動係数が

0.20を越える変動幅の大きな点はほとんどなく、安定した風回りが実現されていることがわかった。これは、栈積みに係わる諸条件(栈積み幅、栈木厚、栈積み側面~乾燥室壁面間の距離など)がこの装置に適合しているからであると考えられる。

また、今回の試験では、ファンの設定周波数を40Hzに低下させた時でも、風速の平均値が1.0m/s以下となる測定点はなかった¹⁻³⁾。したがって、今回の栈積み条件であれば、第2表の乾燥スケジュールのうち、最高温度となる段階3以外を40Hzに設定したことは、概ね適正であったと思われる。段階3の設定周波数については検討の余地が残るが、周波数を上げることによるコスト増やファンモーターの耐久性が損なわれることを勘案すれば、50Hzとした今回の条件設定は妥当であると思われる。

3.3 試験材の品質と水分傾斜について

乾燥後の仕上がり含水率分布は第8図のとおりである。仕上がり含水率の平均値は23.8%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39本中16本で、全体に対する比率は約41%、北海道乾燥材普及協議会の推奨含水率基準である17%以下となった試験材は39本中9本で、全体に対する比率は約23%であった。

初期含水率と仕上がり含水率の関係は第9図のとおりで、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45.9%以下に、同じく20%に設定した場合は54.0%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10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32.8kg以下に、同じく20%に設定した場合は35.3kg以下の製材を乾燥すればよいこととなる。

第5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⁴⁾傾向にあったが、今回の試験ではほぼ同等であった。水食いの程度が同じになるように栈積みした8段目(上段)、5段目(中段)、1段目(下段)を比較すると、8段目(上段)の試験材では表面割れ面積が44.4cm²/本であるの

第3表 乾燥室内の温湿度

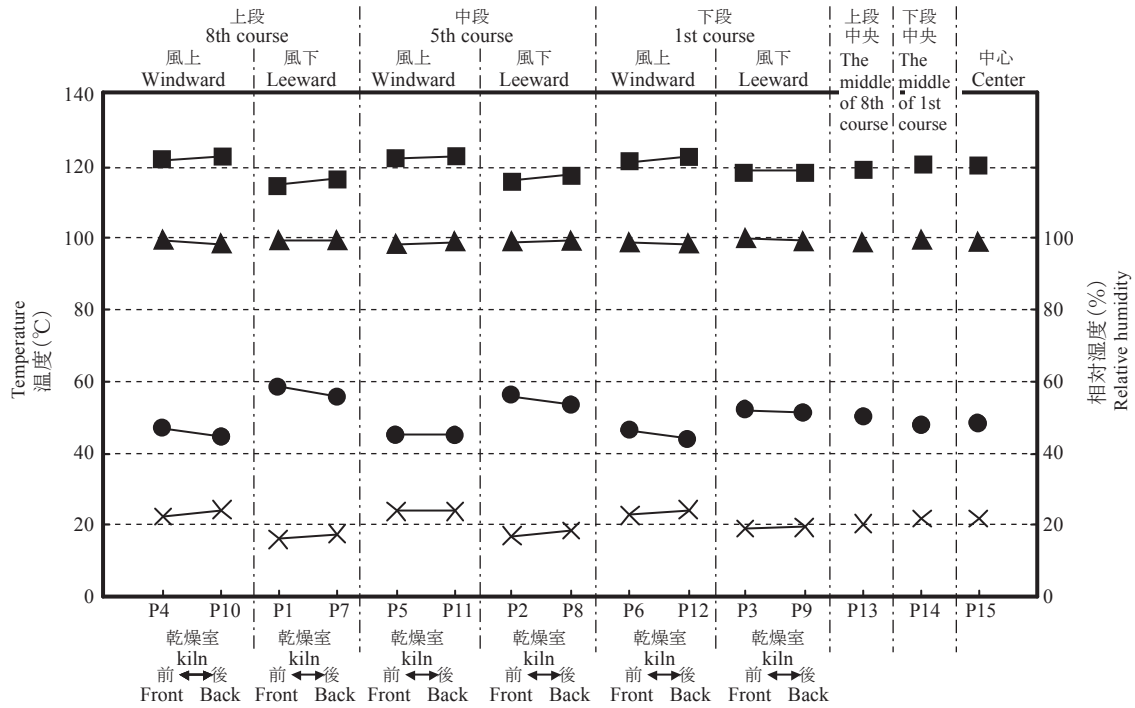
Table 3. The statistics among temperature and humidity in both normal and reverse airflow.

測定点 Measured points	乾球120℃正転									乾球120℃逆転				
	D.B.T.120℃ Normal			標準 偏差	変動 係数	D.B.T.120℃ Reverse			標準 偏差	変動 係数				
	最小値	最大値	平均値			最小値	最大値	平均値						
	min.	max.	av.	S.D. ¹⁾	C.V. ²⁾	min.	max.	av.	S.D.	C.V.				
P 1	乾球温度	D.B.T.	℃	110.8	119.0	114.6	2.6	0.02	116.5	122.8	120.1	1.6	0.01	
	湿球温度	W.B.T.	℃	97.5	99.9	98.9	0.8	0.01	99.2	99.8	99.4	0.2	0.00	
	温度差	D.B.T.-W.B.T.	℃	11.8	20.9	15.7	2.6	0.16	17.1	23.4	20.6	1.6	0.08	
	相对湿度	R.H.	%	48.3	67.9	58.2	5.1	0.09	44.1	53.7	49.1	2.7	0.05	
P 2	乾球温度	D.B.T.	℃	111.8	119.2	115.7	2.3	0.02	118.3	122.9	120.8	1.3	0.01	
	湿球温度	W.B.T.	℃	97.8	100.0	98.9	0.6	0.01	99.1	99.5	99.2	0.1	0.00	
	温度差	D.B.T.-W.B.T.	℃	13.2	20.8	16.8	2.2	0.13	19.1	23.8	21.5	1.3	0.06	
	相对湿度	R.H.	%	48.3	63.3	55.6	4.1	0.07	44.1	51.8	47.4	2.2	0.05	
P 3	乾球温度	D.B.T.	℃	115.5	120.8	118.3	1.6	0.01	119.0	123.7	121.6	1.3	0.01	
	湿球温度	W.B.T.	℃	98.4	100.0	99.4	0.5	0.01	99.5	100.0	99.7	0.1	0.00	
	温度差	D.B.T.-W.B.T.	℃	16.4	21.8	18.9	1.5	0.08	19.4	24.0	21.9	1.3	0.06	
	相对湿度	R.H.	%	46.8	55.4	52.0	2.5	0.05	44.3	52.0	47.9	2.0	0.04	
P 4	乾球温度	D.B.T.	℃	118.7	123.2	121.1	1.2	0.01	108.0	118.9	115.8	2.8	0.02	
	湿球温度	W.B.T.	℃	98.2	99.9	99.0	0.5	0.00	99.1	99.8	99.3	0.2	0.00	
	温度差	D.B.T.-W.B.T.	℃	20.3	24.6	22.1	1.1	0.05	8.7	19.8	16.5	2.8	0.17	
	相对湿度	R.H.	%	43.9	50.1	46.8	1.6	0.04	50.1	72.6	56.4	5.6	0.10	
P 5	乾球温度	D.B.T.	℃	119.9	124.2	121.8	1.3	0.01	110.3	119.8	116.9	2.5	0.02	
	湿球温度	W.B.T.	℃	96.1	99.5	98.4	1.2	0.01	98.8	99.4	99.1	0.2	0.00	
	温度差	D.B.T.-W.B.T.	℃	20.7	27.3	23.4	1.5	0.06	11.2	20.8	17.8	2.4	0.14	
	相对湿度	R.H.	%	39.6	48.5	44.6	2.3	0.05	48.5	67.7	53.9	4.9	0.09	
P 6	乾球温度	D.B.T.	℃	116.3	123.1	120.9	1.5	0.01	114.0	120.3	118.2	1.5	0.01	
	湿球温度	W.B.T.	℃	96.4	99.8	98.5	1.3	0.01	99.0	99.7	99.3	0.2	0.00	
	温度差	D.B.T.-W.B.T.	℃	16.6	26.2	22.4	2.0	0.09	14.9	21.0	18.8	1.5	0.08	
	相对湿度	R.H.	%	40.7	57.4	46.4	3.7	0.08	48.5	59.1	52.2	2.7	0.05	
P 7	乾球温度	D.B.T.	℃	112.0	119.6	116.2	2.4	0.02	118.0	123.6	121.0	1.4	0.01	
	湿球温度	W.B.T.	℃	97.7	100.0	99.1	0.8	0.01	99.4	100.0	99.7	0.2	0.00	
	温度差	D.B.T.-W.B.T.	℃	13.7	21.5	17.1	2.2	0.13	18.4	23.9	21.3	1.5	0.07	
	相对湿度	R.H.	%	46.8	61.2	55.5	4.2	0.08	44.3	53.7	48.7	2.3	0.05	
P 8	乾球温度	D.B.T.	℃	115.2	120.0	117.4	1.4	0.01	119.3	124.1	121.9	1.3	0.01	
	湿球温度	W.B.T.	℃	98.0	99.8	99.1	0.6	0.01	99.4	99.8	99.6	0.1	0.00	
	温度差	D.B.T.-W.B.T.	℃	16.5	21.4	18.3	1.4	0.07	19.6	24.6	22.3	1.3	0.06	
	相对湿度	R.H.	%	48.3	57.4	53.4	2.5	0.05	44.1	52.0	47.0	2.1	0.04	
P 9	乾球温度	D.B.T.	℃	116.9	121.6	118.5	1.4	0.01	119.5	124.6	122.2	1.5	0.01	
	湿球温度	W.B.T.	℃	98.5	99.8	99.1	0.4	0.00	99.2	99.6	99.3	0.1	0.00	
	温度差	D.B.T.-W.B.T.	℃	17.5	22.6	19.4	1.3	0.07	20.3	25.3	22.9	1.5	0.06	
	相对湿度	R.H.	%	45.5	53.6	51.1	2.4	0.05	41.4	48.8	45.4	2.3	0.05	
P 10	乾球温度	D.B.T.	℃	120.0	124.2	122.3	1.2	0.01	111.5	120.5	117.6	2.3	0.02	
	湿球温度	W.B.T.	℃	97.0	99.3	98.4	0.8	0.01	98.7	99.1	98.9	0.1	0.00	
	温度差	D.B.T.-W.B.T.	℃	20.8	26.7	23.9	1.2	0.05	12.8	21.7	18.8	2.2	0.12	
	相对湿度	R.H.	%	40.9	48.5	44.1	1.9	0.04	47.0	63.3	52.6	4.0	0.08	
P 11	乾球温度	D.B.T.	℃	117.1	124.2	122.0	1.5	0.01	113.4	120.6	118.0	1.8	0.01	
	湿球温度	W.B.T.	℃	96.3	100.0	98.4	1.3	0.01	98.9	99.8	99.3	0.3	0.00	
	温度差	D.B.T.-W.B.T.	℃	17.3	27.0	23.6	2.2	0.09	14.4	21.4	18.8	1.7	0.09	
	相对湿度	R.H.	%	39.4	55.5	44.6	3.8	0.08	48.5	61.1	52.6	3.1	0.06	
P 12	乾球温度	D.B.T.	℃	119.9	124.2	122.3	1.1	0.01	114.1	120.6	118.2	1.6	0.01	
	湿球温度	W.B.T.	℃	96.8	99.3	98.3	0.9	0.01	98.4	99.2	98.8	0.2	0.00	
	温度差	D.B.T.-W.B.T.	℃	20.6	26.8	24.0	1.4	0.06	15.5	22.0	19.4	1.6	0.08	
	相对湿度	R.H.	%	39.6	48.5	44.0	2.1	0.05	46.8	59.1	51.4	2.9	0.06	
P 13	乾球温度	D.B.T.	℃	116.3	121.9	118.9	1.7	0.01	115.0	122.7	119.6	1.9	0.02	
	湿球温度	W.B.T.	℃	97.6	99.9	98.8	0.7	0.01	99.1	99.6	99.3	0.1	0.00	
	温度差	D.B.T.-W.B.T.	℃	17.9	23.6	20.1	1.6	0.08	15.8	23.4	20.3	1.9	0.09	
	相对湿度	R.H.	%	43.9	53.8	49.8	2.7	0.05	44.1	57.2	49.5	3.2	0.07	
P 14	乾球温度	D.B.T.	℃	118.5	123.3	120.8	1.4	0.01	115.7	122.9	120.1	1.7	0.01	
	湿球温度	W.B.T.	℃	98.0	99.8	99.0	0.6	0.01	99.2	99.7	99.4	0.2	0.00	
	温度差	D.B.T.-W.B.T.	℃	19.6	24.8	21.7	1.3	0.06	16.5	23.5	20.7	1.7	0.08	
	相对湿度	R.H.	%	43.9	52.0	47.8	2.2	0.05	44.1	55.3	49.1	2.9	0.06	
P 15	乾球温度	D.B.T.	℃	117.6	122.9	120.3	1.6	0.01	113.6	121.8	118.9	2.0	0.02	
	湿球温度	W.B.T.	℃	97.5	99.8	98.8	0.7	0.01	99.3	99.8	99.6	0.1	0.00	
	温度差	D.B.T.-W.B.T.	℃	19.3	24.6	21.5	1.4	0.07	14.0	22.2	19.4	2.0	0.10	
	相对湿度	R.H.	%	42.5	52.0	48.0	2.4	0.05	45.5	61.4	51.9	3.8	0.07	

注) 第3表は、第2表の段階3におけるデータ

Note) Table 3 is the data for Step 3 in Table 2.

1): Standard deviation, 2): Coefficient of variation



第6図 ファン正転時の乾燥室内での温湿度特性

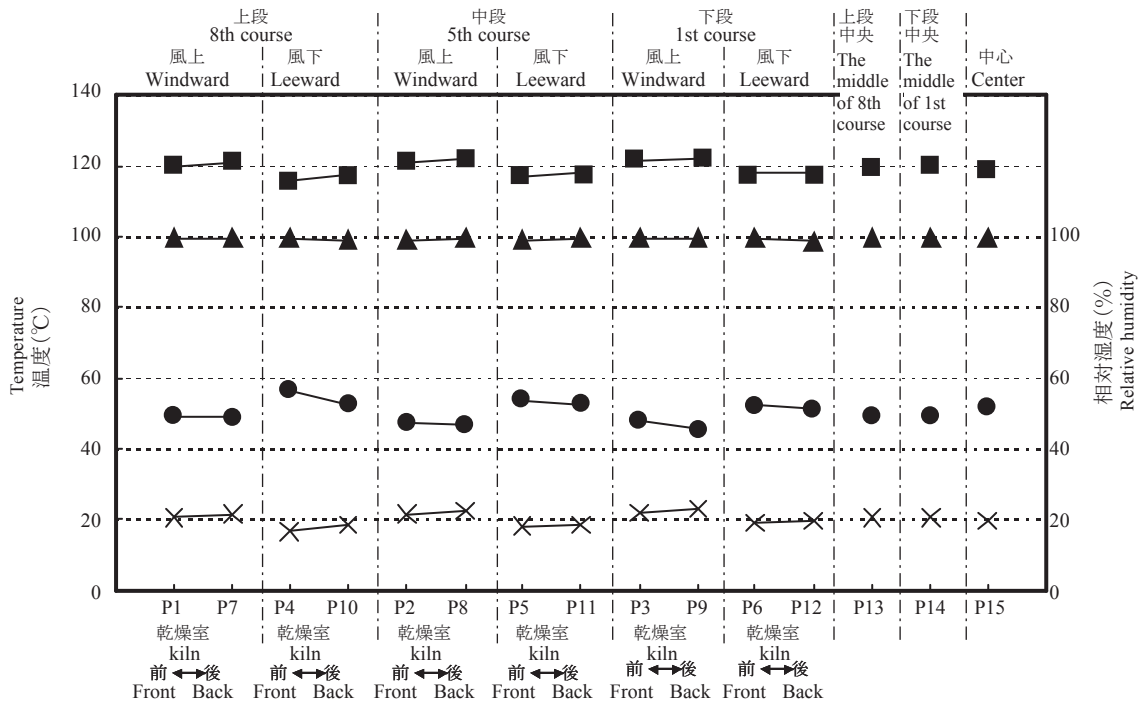
注) 第2表の段階3におけるデータ

凡例) ■: 乾球温度, ▲: 湿球温度, ×: 乾湿球温度差, ●: 相対湿度

Fig. 6. The characteristics of temperature and humidity in normal airflow.

Note) Fig. 6. is the data for Step 3 in Table 2.

Legend) ■: D.B.T.; ▲: W.B.T.; ×: D.B.T.-W.B.T.; ●: Relative humidity



第7図 ファン逆転時の乾燥室内での温湿度特性

注) 第2表の段階3におけるデータ

凡例) ■: 乾球温度, ▲: 湿球温度, ×: 乾湿球温度差, ●: 相対湿度

Fig. 7. The characteristics of temperature and humidity in reverse airflow.

Note) Fig. 7. is the data for Step 3 in Table 2.

Legend) ■: D.B.T.; ▲: W.B.T.; ×: D.B.T.-W.B.T.; ●: Relative humidity

第4表 乾燥室内風速の棧積み位置による比較
Table 4. The comparison of air velocity in the airflow on normal and reverse.

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			変動係数 C.V.		
		最小値 min.	最大値 max.	平均値 av.			最小値 min.	最大値 max.	平均値 av.			
上段 8th course	風上 Windward	P 4	1.4	1.9	1.7	0.14	P 1	2.0	2.5	2.3	0.11	
	中央 The middle of 8th course	P 10	1.8	2.1	2.0	0.08	P 7	1.8	2.2	2.0	0.10	
	風下 Leeward	P 13	1.9	2.0	2.0	0.05	P 13	2.2	2.5	2.4	0.05	
	風下 Leeward	P 1	2.4	2.8	2.6	0.07	P 4	2.0	2.2	2.1	0.04	
中段 4th course	風上 Windward	P 7	2.1	2.9	2.5	0.17	P 10	2.0	2.1	2.0	0.03	
	風上 Windward	P 5	3.2	3.6	3.4	0.06	P 2	2.7	3.2	3.0	0.09	
	中心 Center	P 11	4.2	4.6	4.4	0.05	P 8	2.4	2.7	2.6	0.07	
	中心 Center	P 15	1.9	2.1	2.0	0.05	P 15	2.3	2.6	2.4	0.05	
下段 1st course	風下 Leeward	P 2	3.2	3.4	3.3	0.04	P 5	2.2	2.3	2.2	0.02	
	風下 Leeward	P 8	1.1	1.7	1.4	0.21	P 11	1.8	2.1	1.9	0.07	
	風上 Windward	P 6	3.3	3.6	3.4	0.05	P 3	3.2	3.7	3.5	0.07	
	風上 Windward	P 12	4.5	4.9	4.7	0.04	P 9	4.1	4.2	4.1	0.02	
1st course	中央 The middle of 1st course	P 14	1.3	1.4	1.3	0.04	P 14	2.5	2.6	2.5	0.03	
	風下 Leeward	P 3	2.1	3.0	2.5	0.18	P 6	2.5	2.7	2.6	0.03	
	風下 Leeward	P 9	1.8	2.1	2.0	0.08	P 12	2.1	2.3	2.2	0.04	
	風下 Leeward	P 9	1.8	2.1	2.0	0.08	P 12	2.1	2.3	2.2	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			変動係数 C.V.		
		最小値 min.	最大値 max.	平均値 av.			最小値 min.	最大値 max.	平均値 av.			
上段 8th course	風上 Windward	P 4	2.2	2.6	2.4	0.09	P 1	2.8	3.1	2.9	0.06	
	風上 Windward	P 10	2.2	2.5	2.4	0.06	P 7	3.3	3.8	3.5	0.07	
	中央 The middle of 8th course	P 13	2.0	2.4	2.2	0.09	P 13	2.7	3.0	2.9	0.05	
	風下 Leeward	P 1	3.2	3.6	3.4	0.05	P 4	3.3	3.4	3.4	0.01	
中段 4th course	風下 Leeward	P 7	3.0	3.3	3.2	0.05	P 10	3.4	3.7	3.5	0.04	
	風上 Windward	P 5	3.4	3.9	3.6	0.06	P 2	2.7	3.4	3.1	0.11	
	風上 Windward	P 11	4.1	4.6	4.4	0.05	P 8	4.1	4.6	4.3	0.06	
	中心 Center	P 15	2.2	2.6	2.4	0.07	P 15	3.2	3.4	3.3	0.04	
下段 1st course	中心 Center	P 15	2.2	2.6	2.4	0.07	P 15	3.2	3.4	3.3	0.04	
	風下 Leeward	P 2	3.5	3.7	3.6	0.03	P 5	2.9	3.0	3.0	0.02	
	風下 Leeward	P 8	2.4	2.9	2.7	0.09	P 11	3.0	3.2	3.1	0.03	
	風上 Windward	P 6	4.4	4.6	4.5	0.03	P 3	4.2	4.5	4.3	0.03	
1st course	風上 Windward	P 12	5.6	6.0	5.8	0.03	P 9	4.8	5.1	4.9	0.04	
	中央 The middle of 1st course	P 14	1.7	1.9	1.8	0.05	P 14	3.1	3.2	3.2	0.02	
	風下 Leeward	P 3	3.1	3.5	3.3	0.06	P 6	3.3	3.5	3.4	0.04	
	風下 Leeward	P 9	2.7	3.0	2.8	0.05	P 12	2.9	3.1	3.0	0.03	

注) 測定値は小数点第2位を四捨五入した。

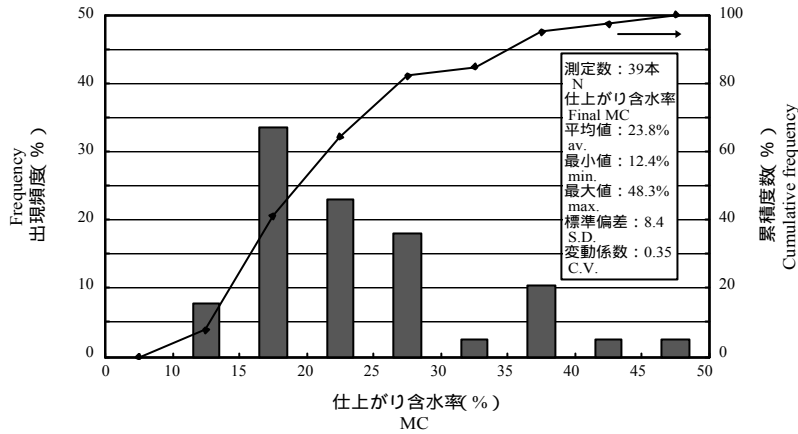
乾燥室壁面に当たる前の風速：40Hz：5.3～6.4(m/s)，50Hz：6.6～8.1(m/s)

棧積み側面から乾燥室壁面までの距離：48cm，棧積み幅：106cm，棧積み段数：8段，1段あたりの本数：5本，棧木厚：3.0cm

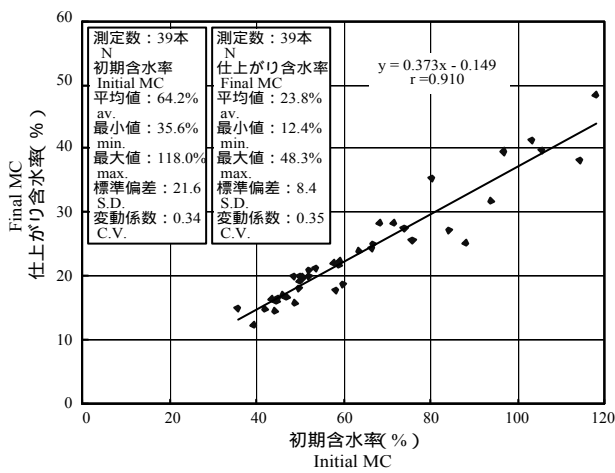
Note) The measured values were rounded to two decimal places. □

Air velocity before the airflow blows against the sidewall of drying room: 40Hz: 5.3~6.4(m/s), 50Hz: 6.6~8.1(m/s)

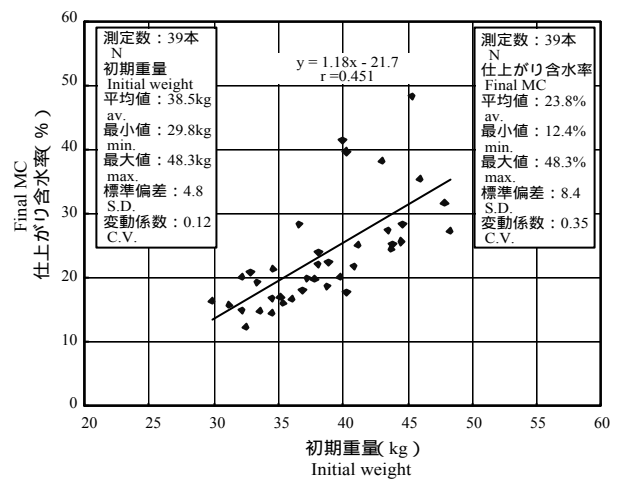
Distance from package piling to sidewall of drying room: 48cm; Packing width: 106cm; Total stacking course: 8; Pieces of lumber /Course: 5; Sticker thickness: 3.0 cm



第8図 試験材の仕上がり含水率分布
Fig. 8. Distribution of final MC in specimens.



第9図 初期含水率と仕上がり含水率の関係
Fig. 9. Relation between initial MC and final MC.



第10図 初期重量と仕上がり含水率の関係
Fig. 10. Relation between initial weight and final MC.

第5表 試験材の水食いの程度と乾燥材の品質

Table 5. The extent of wetwood and the quality after kiln-drying in specimens.

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 (%)	水食いの程度別本数 The number of specimens divided				表面割れ面積 Surface 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	2面 2nd surface		
上段 Upper											
8段目 8th course	101.8	39.2	0	0	5	0	44.4	2.1	2.2	2.6	1.2
7段目 7th course	46.5	18.4	5	0	0	0	9.5	3.5	3.7	1.8	2.4
6段目 6th course	56.4	20.5	0	5	0	0	19.7	3.9	4.4	2.6	1.3
5段目 5th course	70.9	26.5	0	0	5	0	37.9	4.1	3.5	2.6	0.8
4段目 4th course	43.5	15.2	4	0	0	0	12.7	2.4	2.3	2.3	1.6
3段目 3rd course	54.3	19.3	3	1	0	1	23.2	3.8	3.6	2.5	1.9
下段 Lower											
2段目 2nd course	55.1	21.1	0	5	0	0	29.4	2.9	3.5	2.6	1.1
1段目 1st course	80.8	28.5	0	0	5	0	51.3	2.8	2.1	1.8	1.1
全体 The whole	平均値 av. 64.2	23.8	小計(本) Subtotal 12	11	15	1	平均値 av. 28.9	3.2	3.1	2.2	1.4
	最小値 min. 35.6	12.4					最小値 min. 2.1	0.1	0.0	0.0	0.0
	最大値 max. 118.0	48.3	出現頻度 Frequency 30.8	28.2	38.5	2.6	最大値 max. 92.1	9.8	9.7	7.5	6.0
	標準偏差 S.D. 21.6	8.4					標準偏差 S.D. 21.1	1.6	1.8	1.6	1.2
	変動係数 C.V. 0.34	0.35					変動係数 C.V. 0.73	0.51	0.57	0.72	0.87

注) 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)。□
Note) The extent of the wetwood was divided into the following classes (none, slight, middle, hard).

第6表 人工乾燥後の水分傾斜と割れ面積

Table 6. Moisture distribution and check area of kiln-dried sawn flat squares.

水食いの程度 Extent of wetwood	測定位置 Measured points	含水率 (%) MC (%)					内部割れ面積 (cm ² /本) Honeycomb area (cm ² /specimen)	表面割れ面積 (cm ² /本) Surface check area (cm ² /specimen)					
		表層部 Surface	2層 Second layer	3層 Third layer	中心部 Core	平均値 av.			各段の平均 Average of each course				
上段 Upper	8段目 8th course	19.4	66.8	92.8	91.9	48.3	39.2	0.08	44.4				
		20.0	49.9	64.4	78.1	38.2							
	5段目 5th course	15.4	41.5	106.8	138.1	41.4							
		17.1	52.3	78.0	77.1	39.8							
	1段目 1st course	15.9	34.8	49.6	52.2	28.3							
		18.4	44.5	83.8	112.0	39.5							
	中程度 Middle	5段目 5th course	14.4	29.9	44.7	48.2				25.1	26.5	0.05	37.9
			17.0	36.1	40.2	38.5				27.5			
	1段目 1st course	1段目 1st course	11.9	20.7	28.3	28.9				17.8			
			14.3	27.5	35.2	34.1				22.4			
	下段 Lower	1段目 1st course	15.5	31.5	40.5	35.4				25.2			
			16.6	48.4	63.5	55.8				35.4			
1段目 1st course	1段目 1st course	14.9	27.8	42.2	58.9	24.4	28.5	0.16	51.3				
		17.3	38.5	59.3	46.5	31.7							
1段目 1st course	1段目 1st course	14.6	29.3	44.7	80.1	25.7							

注) 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)。

Note) The extent of the wetwood was divided into the following classes (none, slight, middle, hard).

に対して、1段目(下段)では51.3cm²/本であった。これは、温湿度および風速むらが解消したためと考えられる。

また、水食いの程度が「わずか」あるいは「なし」であった場合には、表面割れ面積はこれまで実施した試験結果³⁾と同様に十分小さくなっている。

仕上がり含水率においては、初期含水率および水食いの程度の影響を強く受けていることがわかる。したがって、乾燥前の選別により、人工乾燥を効率的に行い、仕上がり含水率を均一化させることが可能であると思われた^{14-15,18)}。

第6表に、試験材の水分傾斜と表面割れおよび内部割れ測定結果について示す。水分傾斜については、各段とも試験材の中心部の含水率が乾燥後においても高く、水食いの程度が「中程度」であった場合には、中心まで十分に乾燥されていない³⁾ことがわかる。

内部割れについては、0.05~0.16cm²/本であり、過去の試験結果と比較しても十分に小さい値であった^{4,16-17)}。

4. おわりに

今回設定したような積み条件を用いることで、比較的大きな断面の材についても、乾燥装置内部の風速を適正に制御して、温湿度むらを解消できることが確認できた。

今後は、この積み条件の下で乾燥スケジュールを

追求して仕上がり含水率の適正化を図ることや整流板等の導入による収容材積のより大きな乾燥装置における温湿度むらの解消や風速分布の適正化に向けた研究が必要である。

文 献

- 1) 伊藤洋一，中寫厚：林産試験場報，**15**(6)，8-17(2001)。
- 2) 伊藤洋一，中寫厚，中川伸一，幡多輝昭：林産試験場報，**16**(3)，1-8(2002)。
- 3) 伊藤洋一，中寫厚，中川伸一，幡多輝昭：林産試験場報，**16**(6)，7-15(2002)。
- 4) 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」”，1-37(2003)。
- 5) 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)。
- 6) 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)。
- 7) 北海道乾燥材普及協議会：“人工木材乾燥マニュアル”，1-19(1999)。
- 8) 中寫厚：林産試だより，12月号，10-14(1999)。
- 9) 北海道乾燥材普及協議会：“人工乾燥材生産マニユ

- アル”，1-21(2001).
- 10) 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).
- 11) Milota, M.R.; Boone, R.S.; Danielson, J.D.; Huber, D.W.: FPL-IMP-GTR-1, 1-50 (1991).
- 12) 中畠厚，土橋英亮：林産試験場報，**16**(6)，1-6 (2002).
- 13) Simpson, W., Tschernitz, J.: *Wood Fiber Sci.*, **30**(2), 165-174 (1998).
- 14) 日本木材学会事業委員会：“乾燥材問題を考える”，35-40(2002).
- 15) 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).
- 16) 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).
- 17) 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).
- 18) 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”，30-53(2003).

- 技術部 製材乾燥科 -
(原稿受理：03.7.11)